

APCC 기후예측시스템 운영 및 개선

**Operation and Improvement of the APCC Climate
Prediction System**

양유빈, 송봉근, 임창묵, 정다은, 임아영

기후사업본부 예측운영과

2019.12.

APEC기후센터

평문 초록

앙상블 예측은 주어진 조건(예측 초기조건 및 경계조건 등) 하에서 생산될 수 있는 예측결과가 다양하게 존재하는 경우 여러번 수행된 예측 결과의 분포를 바탕으로 최적의 예측정보를 생산하는 방법입니다. 예측 정보를 생산하는 기후모형 자체에도 불확실성이 있는데, 각 모형마다 대기나 해양에서 일어나는 물리과정을 다르게 표현하기 때문에 같은 초기조건이 주어진다 해도 모형에 따라 예측 결과가 다를 수 있습니다. 이 경우 초기조건이 아닌 모형에 포함된 불확실성의 영향을 고려하기 위해 서로 다른 모형의 결과를 사용해서 예측을 생산하는 방법이 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble; 이후 MME) 예측입니다. 일반적으로 중기 혹은 장기 예보의 경우 다중모델 앙상블의 예측 성능이 단일 모형의 결과보다 우수한 것으로 나타나고 있습니다. APCC는 2005년 설립 이후 다중모델앙상블을 활용한 장기 계절예측기술 개발 및 개선에 많은 노력을 기울여왔으며, 그 결과 세계 유수현업기관 및 연구기관의 다양한 전지구모형을 활용한 기후예측시스템을 구축하여 매월 홈페이지를 통해 기후감시 정보와 장기 계절 예측(3/6개월) 및 검증정보를 제공하고 있습니다.

설립 초기부터 사용해 오던 계절예측시스템의 효율성과 안정성을 높이기 위해 현 예측시스템의 문제점을 진단하고 기술적인 측면에서 재정비하여 운영체계의 구조개선 및 자동화, 최신 소프트웨어 적용 등을 통해 보다 안정적이고 효율적인 기후예측정보 생산체계의 구축하였습니다. 이와 더불어 다중모델 앙상블 예측을 생산하는 방법들의 현업적 효용성을 검토하여 기술적인 측면에서의 효율성 확보와 동시에 현업적 효용성을 확보하게 되었습니다. 그 결과 매월 25일 제공되 예측정보를 20일로 앞당겨 제공하게 되었으며, APCC 계절예측 정보의 활용성과 경쟁력을 높일 수 있는 발판을 마련하게 되었습니다.

기후예측시스템의 확장 및 개선과 더불어 APCC 기후예측을 위한 MME 참여 모델들 또한 꾸준히 변화하여 왔고 예측성 또한 꾸준히 증가하고 있으나 예측력의 실질적 원인분석은 미비한 실정이었습니다. 따라서, 지속적으로 변화하고 있는 참여모델들과 MME 예측정보의 객관적 분석을 통한 예측력 제고의 기반 마련이 필요하다고 판단되었고, APCC MME 예측정보를 세계 유수 기관의 MME 예측정보와 비교평가 함으로써 APCC MME의 예측력을 객관적으로 파악하기 위한 연구를 진행하였습니다. 이를 위해 세계기상기구, 미국, 유럽에서 제공하는 MME 데이터를 수집하였고, 동일한 조건에서 비교평가 하였을 때 APCC MME의 예측력이 다른 기관들에 비해 뒤처지지 않으며, 지역별/계절별로 유사한 예측성 변동 추이를 보이는 것으로 나타났습니다. 특히, APCC MME는 MME의 효율성이 큰 것으로 분석되어 다중모델앙상블의 장점을 잘 살리고 있었으며 현업적인 측면에서의 안정성이 높은 것으로 나타났습니다.

Executive Summary

Since its establishment in 2005, APCC has made great efforts to develop and improve the long-term seasonal forecast technology using the Multi-Model Ensemble (MME), and as a result, it has established a climate prediction system using various global models of the world's leading businesses and research institutes to provide climate monitoring information and long-term forecast and verification information on its website every month.

For the production of stable climate forecast information, APCC developed the Automatic Forecast System (AFS) in the early days of its establishment. AFS has been improved with the expansion of the forecast period (3 months->6 months), the establishment of the ENSO forecasting system, and the development of the verification system. But it was partially improved by the person in charge, which caused lack of the overall system's efficiency and effectiveness in the system. Current AFS system has many limitations to applying the latest and ever-evolving data processing technology.

Therefore, we have established a more stable and efficient climate forecast system by diagnosing problems of the current forecasting system and readjusting them from a technical standpoint. To this end, we have improved the structure of the climate monitoring and verification system, gained expandability and flexibility, and improved the source code that was heterogeneous. Along with the improvement of structure, it was performed to verify reliability and time efficiency on the new server.

APCC uses four deterministic and one probabilistic MME (PMME) technique to predict the global 6-month MME. The deterministic method consists of SCM, which is simply averages of individual models, and SSE, MRG and SPM, which are statistical postprocessing. The official forecast of APCC provided through APCC's website is SCM (after 2005) and PMME (after 2006). The utilization of the other 3 SCM methods (MRG, SSE, SPM) is quite low, and in particular, it takes up to 45 minutes for SPM. In terms of predictability, the SCM and SPM show similar skill score, but, it shows that the SCM's predictive improvements are mostly on land (Eurasia, Australia, North America), whereas the SPM's forecast improvement is mostly in the oceans (especially in the Arctic and the Southern Hemisphere). Based on a comprehensive analysis of the relative comparative evaluation of the efficiency and predictability, the monthly production of MRG, SSE, and SPM information was judged to be ineffective in terms of operational perspective. Only SCM and PMME is produced to ensure current efficiency. This led to earlier provision of forecast information from 25th to 20th, which will enhance the utilization and competitiveness of APCC seasonal forecast information.

The participating models of APCC MME have changed steadily and predictability has been

increasing. Therefore, it is needed to objectively understand the predictability of APCC MME by evaluating the APCC MME data with the other world's leading MME in the same conditions. We collected MME data from 3 agencies (WMOLC, NMME, C3S), which currently provide MME forecasting information, and analyzed the overall predictability of MMEs. Because many studies refer to the sensitivity of observations in the verification of predictability, sensitivity to observations was investigated to ensure objectivity of evaluation. When we analyzed the sensitivity of the observations using various reference data, we found that although there were areas where the skill scores varied significantly depending on the observation data, we could compare predictability under the same conditions because the direction of variation did not vary depending on the MME.

To compare the MMEs of the APCC and other agencies under the same conditions, the MME set was constructed by applying Simple Composite Method (SCM) techniques to individual models over 17 years from 1993 to 2009, the common period of the four agencies' hindcast. Comparisons were performed for 2m temperatures, precipitation and sea surface temperatures. MMEs from APCC and other agencies showed similar trends in predictability by region and season. The NMME and C3S, which do not have the same individual model, showed similar changes in predictability. This may be because most of the dynamic models have similar strengths or weaknesses. Compared to the predictability of APCC and WMO MME with more models, the predictability of the C3S MME with fewer models is comparable. Since APCC and WMO are a combination of more than 10 different models, the range of individual model's predictability is wide and the uncertainty is greatly reduced through application of the multi-modal ensemble technique. In the case of C3S, the predictability of the individual models is on average high, so MME is also highly predictable. However, due to the small number of participating models, the significantly low predictability of one or two models can result in lower MME predictability, and the variability of predictability over the season can be a weakness in terms of stable forecasting.

국문 요약

APCC는 2005년 설립 이후 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble; MME)을 활용한 장기 계절예측기술 개발 및 개선에 많은 노력을 기울여왔으며, 그 결과 세계 유수현업기관 및 연구기관의 다양한 전지구모델을 활용한 기후예측시스템을 구축하여 매월 홈페이지를 통해 기후감시 정보와 장기 계절 예측(3/6개월) 및 검증정보를 제공하고 있습니다.

안정적인 기후예측정보의 생산을 위해 APCC는 설립초기 AFS(Automated Forecast System; APCC 2008)를 개발하고 이를 근간으로 예측기간의 확장(3개월→ 6개월), ENSO 예측시스템 구축, 검증시스템 개선 등과 같은 개발 사업을 진행해 왔으나, 단시간 내에 개별 현업 담당자들의 편의에 의해 부분적으로 개선되어 전체 시스템의 효율성과 확장성이 부족한 실정이었습니다. 최신 소프트웨어의 개발로 인한 이전 소프트웨어의 단종 또한 안정적인 시스템 운영의 저해요소로 부각되어 왔으며, 낙후된 현 AFS 시스템은 계속 발전하고 있는 최신의 자료 처리 기술을 적용하기에 한계점이 많았습니다.

따라서, 현 예측시스템의 문제점을 진단하고 기술적인 측면에서 재정비하여 운영체계의 구조개선 및 자동화, 최신 소프트웨어 적용 등을 통해 보다 안정적이고 효율적인 기후예측정보 생산체계의 구축하였습니다. 이를 위해 기후감시 및 검증 시스템의 구조 분석 및 문제점을 진단하고 구조 개선을 통한 확장성 및 유연성 확보하였으며, 이질적으로 구성되어 있던 소스코드를 개선하였습니다. 구조 개선과 더불어 새로 도입된 신규 서버로의 이식이 이루어져 신규 서버에서의 안정성 및 단계적/시간적 효율성을 검증하였습니다.

APCC는 전지구 6개월 MME 예측을 위해 네 개의 결정론적 MME 기법과 한 개의 확률론적 MME(PMME) 기법을 사용하고 있으며, 결정론적 MME 기법은 개별모델들의 편차를 단순 평균하는 SCM과 통계적 후처리를 거치는 SSE, MRG, SPM으로 구성되어 있습니다. APCC 누리집을 통해 제공되고 있는 APCC 공식예보는 SCM(2005년 이후~)과 PMME(2006년 이후~)이며, 나머지 기법들(MRG, SSE, SPM)의 예측자료 활용도는 상당히 낮음 편이며, 특히, 매월 3/6개월 SPM 과거기후재현(Hindcast) 및 실시간 예측정보 생산에 소요되는 시간은 최소 20분에서 최대 45시간으로 나머지 기법들에 비해서 상당한 시간이 소요되는 것을 확인하였습니다. 예측성 측면에서는 SCM과 SPM이 전반적으로 유사한 예측력을 보이며, 특히 기온(강수)에서는 SCM(SPM)이 다소 높게 나타나는 경향을 보이고, 지역적으로 살펴보았을 때 SCM의 예측력 향상은 대부분 육지(유라시아, 호주, 북미 대륙)에서 나타나는 반면, SPM 예측력 향상은 대부분 해양(특히, 북극 및 남반구 해양)에서 나타났습니다. 현업적 효율성 및 예측력의 상대적 비교평가를 종합적으로 분석한 결과, 현업적인 측면에서 매월 MRG, SSE, SPM 예측정보 생산은 효율성이 떨어지는 것으로 판단되었으며, 현재 누리집을 통해 제공되고 있는 APCC 공식예보 (SCM, PMME)만 현업으로 생산하여 효율적으로 계절예측시스템을 운영함으로써 기술적인 측면에서의 효율성 확보와 동시에 현업적 효율성을 확보할 수 있게 되었습니다. 이를 통해 MME 정보를 제공하는 타 기관에 비해 늦게 제공되던 예측정보를 25일에서 20일로 앞당겨 제공하게 되었으며, APCC 계절예측 정보의 활용성과 경쟁력을 높일 수 있는 발판을 마련하게 되었습니다.

기후예측시스템의 확장 및 개선과 더불어 APCC 기후예측을 위한 MME 참여 모델들 또한 꾸준히 변화하여 왔고 예측성 또한 꾸준히 증가하고 있으나 예측력의 실질적 원인분석은 미비한 실정이었습니다. 따라서, 지속적으로 변화하고 있는 참여모델들과 실시간 MME 예측정보의 객관적 분석을 통해 예측력 제고를 위한 기반 마련이 필요하다고 판단되어 MME 예측정보를 세계 우수 MME 예측정보와 동일한 조건에서 비교평가 함으로써 APCC MME의 예측력을 객관적으로 파악하고자 하였습니다.

현재 MME 예측정보를 제공하고 있는 3개 기관(WMOLC, NMME, C3S)의 MME 자료를 수집하여 MME의 전반적인 예측성을 분석하였습니다. 많은 연구들에서 예측성 검증에 있어 관측데이터의 민감도에 대해 언급하고 있기 때문에 객관성을 확보하기 위해 관측자료에 대한 민감도를 먼저 조사하였습니다. 각 기관에서 검증시 사용하는 관측데이터들로 민감도를 살펴보았을 때, 관측데이터에 따라 예측 검증값이 크게 바뀌는 지역이 있었으나, MME에 따라 변동의 방향이 다르지 않았으므로 동일한 조건에서 예측성을 비교한다면 객관적 비교가 가능하다고 판단되었습니다.

APCC와 다른 기관의 MME를 동일한 조건에서 비교하기 위해 네 기관 hindcast의 공통 기간인 1993년부터 2009년까지 17년간의 개별모델 자료들에 Simple Composite Method (SCM) 기법을 적용하여 MME set을 구성하였습니다. 지표기온과 강수, 해수면온도에 대한 예측성 비교가 이루어졌으며, APCC와 다른 기관의 MME들은 지역별, 계절별로 유사한 예측성 변동 추이를 보이는 것으로 나타났습니다. 많은 수의 참여모델이 동일한 APCC와 WMO MME는 유사한 예측성을 보였고, 동일한 개별모델이 없는 NMME와 C3S의 경우에도 예측성 변동 양상은 유사한 것을 확인할 수 있었습니다. 이는 MME를 구성하고 있는 역학 모델의 대부분이 유사한 강점 혹은 약점을 가지고 있기 때문이라 생각합니다. 다양한 모델로 구성되어 있는 APCC, WMO MME에 비교해서 적은 수의 모델로 이루어진 C3S MME의 예측성이 떨어지지 않는 것으로 나타났는데, APCC와 WMO의 경우 10개 이상의 다양한 모델의 조합이므로 개별모델 예측성의 범위 또한 넓고, 다중모델앙상블 기법의 적용을 통해 불확실성이 줄어드는 효과가 컸습니다. 반면, C3S의 경우에는 개별모델들이 보이는 예측성 자체가 평균적으로 높은 편에 속해 이들의 조합인 MME 또한 높은 예측성을 보였으며, 개별모델의 예측성은 선행시간이 길어질수록 MME의 예측성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었습니다. 그러나, 참여모델 수가 적으므로 그 중 한 두개 모델의 예측성이 떨어지는 경우 MME 예측성이 낮아질 수 있으며, 계절에 따라 예측성의 변동성이 커 안정적인 예측 측면에서 약점이 될 수 있음을 보였습니다.

목차

평문 초록	i
Executive Summary	ii
국문 요약	iv
목차	vi
표 차례	vii
그림 차례	viii
1. 서론	1
2. 방법 및 자료	3
3. 결과	4
가. APCC 기후예측시스템의 안정적인 운영 및 예측정보 제공	4
(1) MME 기후전망 개선	4
(2) 기후감시 정보 개선	7
(3) 참여모델 개선 및 신규모델 도입	12
(4) 웹페이지 콘텐츠 추가	26
(5) 기상청 예보토의를 위한 GloSea5의 확률론적 MME 예측 참여	37
(6) BSISO 개선사항	48
(7) APCC 예측정보의 활용	51
나. 기후감시 및 검증시스템의 생산체계 개선	53
(1) 기후감시시스템의 구조 분석 및 개선	53
(2) 기후검증시스템의 문제점 진단 및 개선	67
(3) 개선된 AFS의 효율성 및 안정성 평가	92
(4) MME 기법들의 효율성 평가	98
(5) 예측정보 조기 제공	102
다. APCC MME 개선 기반 연구	104
(1) 타 기관 MME 현황 및 DB 구축	104
(2) APCC 및 타 기관 MME의 예측성 분석	106
라. 국제 기후예측 워크숍 및 제3차 APCC MME 모델제공기관 회의 개최	143
4. 요약 및 결론	156
사사	158
References	159
부록 A. 동아시아 계절예측 정보 생산을 위한 일괄 처리 프로그램 소스 코드	160
부록 B. APCC MME 참여모델별 기후 평년값의 차이에 대한 통계적 유의성 평가 결과	185
부록 C. APCC Annual Report on Seasonal Forecast	199

표 차례

Table 1. Specifications of newly developed models (as of 2019.11).	13
Table 2. Information for SINTEX-F system.	17
Table 3. Model description of POAMA (previous) and ACCESS-S1 (new) model.	24
Table 4. Program lists for including GloSea5 to APCC PMME	46
Table 5. Summary of NCEP/NCAR Reanalysis 1.	55
Table 6. Summary of CPC Precipitation.	55
Table 7. Summary of NOAA OLR.	56
Table 8. Summary of NOAA OISST.	56
Table 9. Observation data directory in APCCDB.	57
Table 10. Individual program and Python user-defined module in RUN directory.	61
Table 11. Global climate models participating in APCC multi-model ensemble (MME).	68
Table 12. APCC multi-model ensemble (MME) methods.	68
Table 13. Summary of NCEP/DOE Reanalysis 2.	69
Table 14. Summary of CAMS-OPI.	69
Table 15. Summary of NOAA OISST.	70
Table 16. Observation data directory in APCCDB	70
Table 17. Domains used in APCC verification.	71
Table 18. Domains of tropical ocean indices.	72
Table 19. Verification methods in APCC forecast/hindcast.	74
Table 20. Individual program and Python user-defined module in RUN directory.	77
Table 21. Individual program and Python user-defined module in RUN directory.	83
Table 22. Comparison of existing AFS system and improved AFS system for MME work processes.	93
Table 23. Same as Table 22 except for graphic work processes.	94
Table 24. Comparison of production working time of seasonal prediction data for each AFS system.	95
Table 25. Anomaly correlation coefficient (ACC) of forecast of the APCC MME (SCM and GAUS) between two AFS system.	96
Table 26. Same as Table 25 except for root mean square difference.	96
Table 27. MMEs of different operation centers.	106
Table 28. Program of 2019 international workshop on climate prediction	144
Table 29. Keynote speaker and presentation title	145
Table 30. Speaker and presentation title of session 1	146
Table 31. Speaker and presentation title of session 2	147
Table 32. Speaker and presentation title of session 3	148
Table 33. Panel list	149
Table 34. Speaker and presentation title of poster session	150
Table 35. Program of the 3rd APCC MME model providers' meeting	151

Table 36. Speaker and presentation title of session 1152

그림 차례

Figure 1. A new form of data request email.	5
Figure 2. ENSO-related atmospheric responses during recent 24 months.	5
Figure 3. An example of probabilistic ENSO forecast information.	6
Figure 4. Anomaly of surface air temperature (top) and outgoing longwave radiation (bottom) for climatology of 1981-2003 (a: Jan 24 2019 – Jan 30 2019) and 1983-2010 (b: Jan 31 2019 – Feb 6 2019).	9
Figure 5. Changes of precipitation (top; CPC) and sea surface temperature (bottom; OISSTv2) on APCC climate monitoring service : (a) before; TMI, (b) after.	11
Figure 6. A list of APCC MME participating models (as of 2019. 11).	12
Figure 7. Comparison of Anomaly Correlation Coefficients between old (yellow line) and new (red line) models of BoM (left), MSC (middle), and CMCC (right).	14
Figure 8. Anomaly Correlation Coefficients of individual models' forecasts for temperature (left) and precipitation (right) during spring, summer, autumn, and winter.	15
Figure 9. Temporal Correlation Coefficients of individual models' hindcast for temperature during winter.	15
Figure 10. Before (a) and after (b) joining the SINTEX-F model for 2019DJFMAM Nino3.4 index.	23
Figure 11. Before (a) and after (b) joining the SINTEX-F model for 2019DJFMAM probabilistic ENSO forecasts.	23
Figure 12. (a) Phase diagram, (b) probability of heavy rainfall, (c) outgoing long-wave radiation anomalies, (d) verification for BSISO index in BSISO forecast web contents.	25
Figure 13. Before (a) and after (b) Korean translation for APCC website Korean version.	27
Figure 14. New menu for “East Asia Seasonal Prediction” on the APCC web-site Korean version.	28
Figure 15. Sea surface temperature forecasts for 2019DJF over the East Asia.	29
Figure 16. Precipitation and Wind at 850 hPa forecasts for 2019DJF over the East Asia.	29
Figure 17. A new page for Summary of seasonal climate outlook.	32
Figure 18. A new page for description of Multi-Model Ensemble methods.	34
Figure 19. A new page for description of individual models.	35
Figure 20. Updated data provision policy.	36
Figure 21. Management page for updating MME participating models.	37
Figure 22. Regional anomaly correlation coefficient (ACC) of hindcast of the APCC MME participating models (gray dot), GloSea (red dot) for temperature (left) and precipitation (right) each season (a-d, MAM-DJF). Bars indicate mean ACC of APMM MME participating models.	38
Figure 23. Same as Figure 22 except for temporal correlation coefficient (TCC).	39
Figure 24. Changes of pattern correlation coefficient (PCC) of real-time forecast of the APCC MME participating models (gray dot), GloSea (red dot) for seasonal temperature (top) and	

precipitation (bottom) 2008–2018. Black lines indicate mean PCC of APMM MME participating models.39

Figure 25. T-test between two climatologies for 1983–2010 (clim1) and 1991–2010 (clim2) of observed seasonal mean precipitation, 2m temperature, geopotential height at 500 hPa and sea surface temperature. Shaded areas are the regions where the clim1 and clim2 statistically differ at the 5%, 10%, and 20% significance levels.41

Figure 26. Same as Figure 25 except for KS-Test.42

Figure 27. KS-test between two probability distribution for 1983–2010 (clim1; black line) and 1991–2010 (clim2; red line) of observed seasonal nino3.4 index.43

Figure 28. T-test between two climatologies for 1983–2010 (clim1) and 1991–2010 (clim2) of predicted seasonal mean precipitation, 2m temperature, geopotential height at 500 hPa and sea surface temperature by APCC-SCoPS. Shaded areas are the regions where the clim1 and clim2 statistically differ at the 5%, 10%, and 20% significance levels.44

Figure 29. Same as Figure 28 except for KS-Test.45

Figure 30. KS-test between two probability distribution for 1983–2010 (clim1; black line) and 1991–2010 (clim2; red line) of predicted seasonal nino3.4 index by APCC-SCoPS.45

Figure 31. Before (a) and after (b) joining the KMA-GloSea5 model for APCC DMME (2m temperature; top, precipitation; bottom): 2019DJF.47

Figure 32. Same as Figure 31 except for PMME.47

Figure 33. Example of BSISO verification of CWB (left) and all participant models information (right).48

Figure 34. Before (left) and after (right) modification of initial field of outgoing long-wave radiation and forecast for GFS model.49

Figure 35. Before (left) and after (right) modification of BSISO verification for GFS model.50

Figure 36. APCC’s ENSO forecast information in Korea Meteorological Administration Global Atmosphere Watch (KMA GAW).51

Figure 37. APCC BSISO real-time forecast information in MOL53

Figure 38. Improvements in the new climate monitoring system.54

Figure 39. Configuration of climate monitoring system.58

Figure 40. Automation and manualization of climate monitoring system.59

Figure 41. Directories of climate monitoring system.60

Figure 42. Improvements in the new climate monitoring system.67

Figure 43. Verification domains in climate verification system.72

Figure 44. Domains of Nino indices.73

Figure 45. Domains of WIOD and EIOD indices.73

Figure 46. Domains of ENSO-Modoki indices.73

Figure 47. Configuration of observation data standardization system.75

Figure 48. Directories of observation data standardization system.76

Figure 49. Configuration of climate verification system.81

Figure 50. Automation and manualization of climate verification system.82

Figure 51. Directories of climate verification system.	83
Figure 52. Temporal correlation coefficient of hindcast (1983-2010) of the APCC GAUS between two AFS system.	97
Figure 53. Temporal correlation coefficient and root mean square difference of hindcast (1983-2010) for sea surface temperature between two AFS system.	97
Figure 54. The time cost for operation of Deterministic Multi-Model Ensemble methods for real-time forecast (left) and hindcast (right).	98
Figure 55. Temporal Correlation Coefficients of MMEs' hindcast for winter temperature (left) and summer precipitation (right).	99
Figure 56. Temporal Correlation Coefficients of MMEs' real-time forecast (left) and their differences from TCC of SCM during 2008JFM-2018DJF.	100
Figure 57. Pattern Correlation Coefficients of MME' s real-time forecast for global temperature and precipitation during 2008JFM-2018DJF.	100
Figure 58. Pattern Correlation Coefficients of SCM and its difference from those of SPM for global temperature and precipitation during 2008JFM-2018DJF.	101
Figure 59. The schedule for APCC seasonal forecast.	102
Figure 60. Reduction of operational steps and its efficiency.	103
Figure 61. Comparison of operational efficiency among each Automated Forecast System and each server.	103
Figure 62. Evaluation of stability of advanced Automated Forecast System (Anomaly Correlation Coefficient, 2019JJA).	103
Figure 63. Evaluation of stability of advanced Automated Forecast System (Spatial Root Mean Square Difference, 2019JJA).	104
Figure 64. Temporal correlation coefficient between observations of 2m temperature for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF.	108
Figure 65. Difference of temporal correlation coefficient for (a) MAM, (b) JJA, and (c) SON, and (d) DJF using different observations for 2m temperature (NCEP2-ERA1, NCEP2-GHCN, ERA1-GHCN).	110
Figure 66. Temporal correlation coefficient of 2m temperature using NCEP2 and ERA1 for various regions.	111
Figure 67. Maximum difference of temporal correlation coefficient for 2m temperature owing to different observations (blue), different MMEs (when using NCEP2, pink), and different MMEs (when using ERA1, pattern) in various regions.	111
Figure 68. Temporal correlation coefficient between observations of precipitation for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF.	113
Figure 69. Difference of temporal correlation coefficient for (a) MAM, (b) JJA, and (c) SON, and (d) DJF using different observations for precipitation (CAM5-CMAP, CAM5-GPCP, CMAP-GPCP).	115
Figure 70. Temporal correlation coefficient of precipitation using CAM5-OPI and GPCP for various regions.	116

Figure 71. Maximum difference of temporal correlation coefficient for precipitation owing to different observations (blue), different MMEs (when using CAMS-OPI, pink), and different MMEs (when using GPCP, pattern) in various regions.116

Figure 72. Temporal correlation coefficient between observations of sea surface temperature for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF. Blue and yellow boxes are regions for Nino indices.117

Figure 73. Difference of temporal correlation coefficient for (a) MAM, (b) JJA, and (c) SON, and (d) DJF using different observations for sea surface temperature (OISST-ERSST).118

Figure 74. Temporal correlation coefficient of sea surface temperature using OISST and ERSST for various regions.119

Figure 75. Temporal correlation coefficients of 2m temperature over globe for APCC, WMO, NMME, and C3S MME during (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, (d) DJF.120

Figure 76. Temporal correlation coefficients of 2m temperature over East Asia for APCC, WMO, NMME, and C3S MME during (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, (d) DJF.121

Figure 77. Anomaly correlation coefficients of 2m temperature for APCC, WMO, NMME, and C3S over (a) globe, (b) tropics, (c) northern extratropics, (d) southern extratropics, (e) East Asia, (f) South Asia, (g) North America, (h) South America, (i) Middle East, (j) northern Eurasia, (k) Australia, and (l) South Pacific.122

Figure 78. Temporal correlation coefficients of 2m temperature for APCC, WMO, NMME, and C3S over (a) globe, (b) tropics, (c) northern extratropics, (d) southern extratropics, (e) East Asia, (f) South Asia, (g) North America, (h) South America, (i) Middle East, (j) northern Eurasia, (k) Australia, and (l) South Pacific.123

Figure 79. Regional variations of (a) anomaly correlation and (b) temporal correlation for 2m temperature.123

Figure 80. Root mean square error (RMSE) of 2m temperature for four different MMEs over various regions.124

Figure 81. Linear trend of 2m temperature for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF.125

Figure 82. Temporal correlation coefficients of precipitation over globe for APCC, WMO, NMME, and C3S MME during (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, (d) DJF.126

Figure 83. Anomaly correlation coefficients of precipitation for APCC, WMO, NMME, and C3S over (a) globe, (b) tropics, (c) northern extratropics, (d) southern extratropics, (e) East Asia, (f) South Asia, (g) North America, (h) South America, (i) Middle East, (j) northern Eurasia, (k) Australia, and (l) South Pacific.127

Figure 84. Temporal correlation coefficients of precipitation for APCC, WMO, NMME, and C3S over (a) globe, (b) tropics, (c) northern extratropics, (d) southern extratropics, (e) East Asia, (f) South Asia, (g) North America, (h) South America, (i) Middle East, (j) northern Eurasia, (k) Australia, and (l) South Pacific.128

Figure 85. Regional variations of (a) anomaly correlation and (b) temporal correlation for precipitation.129

Figure 86. Seasonal mean bias of sea surface temperature of MME ((a) APCC, (b) WMO, (c)

NMME, and (d) C3S) for MAM, JJA, SON, and DJF.	131
Figure 87. Spatial distribution of seasonal mean temporal correlation coefficient between MME ((a) APCC, (b) WMO, (C) NMME, and (d) C3S) and observation (OISST) for MAM, JJA, SON, and DJF.	132
Figure 88. Anomaly correlation coefficients of sea surface temperature for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF over global (80 ° S-80 ° N, 0-360 ° E), tropical region (20 ° S-20 ° N, 0-360 ° E), and North pacific (15 ° S-60 ° N, 120 ° E-60 ° W).	133
Figure 89. Same as Figure 88, but for tropical region (20 ° S-20 ° N, 0-360 ° E)	134
Figure 90. Same as Figure 88, but for North pacific (15 ° S-60 ° N, 120 ° E-60 ° W).	135
Figure 91. (a) Hovmueller diagram of SST bias between MME and observation (OISST) over tropical pacific (20° S-20° N) and (b) temporal correlation coefficients of tropical SST. (The value means the number of common individual model).	136
Figure 92. Seasonal variation of (a) anomaly pattern correlation (ACC) and (b) temporal correlation coefficient (TCC) for sea surface temperature over global (80 ° S-80 ° N, 0-360 ° E), tropics (20 ° S-20 ° N,0-360 ° E), and North pacific (15 ° S-60 ° N, 120 ° E-60 ° W).	137
Figure 93. Difference of NINO3 (top), NINO3.4 (middle), and NINO4 (bottom) index between MME and observation (OISST).	138
Figure 94. Time-series of bias of 3-month (seasonal) mean Nino 3.4 index from (a) APCC, (b) WMO, (c) NMME, and (d) C3S for the period 1993 JFM to 2009/10 DJF.	139
Figure 95. Temporal correlation coefficients of MME (red square), mean of individual models (black circle), and skill range of individual models (arrow) for Nino 3.4 index.	140
Figure 96. Temporal correlation coefficients of MME predictions (solid line) and mean (dotted line) of individual models (dot) from (a) APCC, (b) WMO, (c) NMME, and (d) C3S for 3-month mean sea surface temperature over global (80 ° S-80 ° N,0-360 ° E) with lead-time.	141
Figure 97. Same as Figure 96, but over tropical region (20 ° S-20 ° N,0-360 ° E)	142
Figure B1. T-test between two climatologies for 1983-2010 (clim1) and 1991-2010 (clim2) of predicted seasonal mean precipitation, 2m temperature, geopotential height at 500 hPa and sea surface temperature by each individual models (a-g) for 4 season (MAM, JJA, SON, DJF). Shaded areas are the regions where the clim1 and clim2 statistically differ at the 5%, 10%, and 20% significance levels.	185
Figure B2. Same as Figure B1 except for KS-Test.	192

1. 서론

APCC 설립당시부터 이어져 온 기관의 미션은 ‘기후예측정보를 통한 아시아-태평양 지역의 공헌’을 기조로 하며, 기후예측 업무는 센터내에서도 가장 오래된 연구분야로 센터 존립의 근간이라 할 수 있다. 따라서 기후예측과 관련된 연구들은 2005년 설립이후부터 현재까지 APCC의 가장 중요한 연구로써 꾸준히 진행되어 오고 있다(예, Min et al. 2014; Sohn et al. 2013; Min et al. 2017; Kim et al. 2017; Shin and Moon, 2017). APCC는 다중모델앙상블(Multi-Model Ensemble, 이후 MME) 기법을 활용한 장기 계절예측기술 개발 및 개선에 많은 노력을 기울여왔으며, 그 결과 세계 우수현업기관 및 연구기관의 다양한 전지구모델을 활용한 기후예측시스템을 구축하고, 매월 정기적으로 홈페이지를 통해 기후감시 정보와 장기 계절예측(3/6개월) 및 검증정보를 제공하고 있다.

기후예측정보의 안정적인 생산을 위해서 APCC는 설립 초기에 AFS(Automated Forecast System; APCC 2008)를 개발하였으며, 이를 근간으로 예측기간의 확장(3개월→6개월), ENSO/SST 예측시스템 구축, 검증시스템 개발 등 기후예측 시스템을 확장하여 운영하여 왔다. 그러나 이러한 시스템 개선 작업들은 현업 일정 내에서 담당 연구자들의 편의에 의해 부분적으로 이루어졌으며, 이로 인해 확장된 기후예측시스템의 소스 코드에는 불필요한 함수와 프로시저들이 비효율적으로 존재하고, 소스 코드가 이질적이라는 문제점이 제기되었다. 또한 최신 소프트웨어의 개발로 인한 이전 소프트웨어의 단종도 커다란 문제점으로 대두되었다. 지속적으로 발전하고 있는 컴퓨팅성능에 비해 낙후된 현재 기후예측시스템은 나날이 발전하고 있는 최신의 자료 처리 기술들을 적용하기에 한계점이 많으며, 전체 시스템의 효율성 및 확장성이 부족한 실정이다. 이는 개인 또는 센터입장에서 단기간에 가시적 성과를 나타낼 수 있는 성과위주의 연구를 지향하면서 나타난 문제점으로, 현업적인 측면에서 가장 기본적이며 중요한 ‘예측시스템의 체계적인 개선 및 최적화’에 대한 관심이 소홀했기 때문이다. 본 과제에서는 APCC 예측시스템의 효율적인 운영을 위해서 현 예측시스템의 문제점을 진단하고, 기술적인 측면에서 재정비하고자 한다. 최적의 기후예측시스템의 흐름 구조를 설계하여 기존의 운영체계 구조를 재정비하고, 최신 소프트웨어의 적용과 시스템의 통합으로 안정적이고 효율적인 차세대 AFS를 구축할 것이다. 또한 현업운영 작업 프로세스의 불필요한 과정을 최소화시킴으로써 현업 운영에 소비되는 물리적인 시간 단축을 기대하였다.

기후예측시스템의 확장 및 개선과 더불어, APCC 기후예측시스템을 구성하는 MME 참여 모델들 또한 꾸준히 변화하여 왔다. 설립 초기에는 아태지역 모델만이 MME 예측에 참여 하였지만, 2014년 유럽 모델들이 참여하면서 APCC는 MME를 구성하는 참여 모델들의 다양성 및 독립성을 점진적으로 확보하고 있다. 또한 2017년 APCC 자체 모델 개발을 통해 자체 참여 모델인 CCSM3(Community Climate System Model Version 3)를 SCoPS(Seamless Coupled Prediction System)로 변경하는 등 모델 개선을 위한 노력에도 힘써왔다. 꾸준히 변화하고 있는 참여 모델들 및 MME 예측 정보의 객관적인 분석은 APCC MME 예측 시스템에 있어 매우 중요한 부분이라 할 수 있다. 따라서 지속적으로 변화하고 있는 참여모델들과 실시간 MME 예측정보를 세계 우수 MME 예측정보와 동일한 조건에서 비교평가 함으로써 APCC MME의 예측력을 객관

적으로 파악하고 예측력의 원인과 한계점을 찾기 위한 기반을 마련하고자 하였다.

본 과제에서는 ‘APCC 기후예측 시스템의 안정적인 운영을 통한 아태지역 고품질의 실시간 기후예측정보 생산/제공’을 목표로 수행된 결과들을 크게 4개의 주제, APCC 기후예측시스템의 안정적인 운영 및 예측정보 제공, 기후감시 및 검증시스템의 생산체계 개선, MME 자료개선 기반연구, 그리고 2019년 개최되었던 MME 모델제공기간 회의에 대한 부분으로 제시하고자 한다. 기후예측시스템의 운영과 예측정보 제공 부분에서는 기후예측시스템을 운영하면서 수행되었던 여러 가지 개선 사항들과 참여모델 변경 등에 대해 기술하였으며, 기후감시 및 검증시스템 개선 파트에서는 기 개발된 예측시스템의 안정성/효율성 평가와 더불어 감시 및 검증시스템의 개선 사항, 효율적인 시스템 운영을 위한 MME 기법들의 효용성 분석에 대한 결과가 제시되었다. MME 자료개선을 위한 기반 연구에서는 APCC MME와 타 기관 MME를 동일한 조건에서 비교하였으며, 마지막으로 2019년 개최되었던 계절예측워크숍 및 MME 모델제공기관 회의의 결과를 요약하였다.

기후예측시스템 개선 사업은 ‘17년 APCC MME 예측시스템 개선’을 시작으로 점진적으로 ‘18년 SST/ENSO 예측시스템 통합 및 그래픽시스템 개선’, ‘20년 기후감시 및 검증시스템 개선’으로 3차년 계획을 수립한바 있으며, 이후 기후감시-예측-검증을 아우르는 순차적인 예측시스템의 자동화 및 고도화를 목표로 다년도 과제를 제시한바 있다. 기후감시-예측-검증까지 효율적으로 개선·통합된 자동화 시스템을 통해 보다 능률적인 현업 업무가 수행될 것이며, 개선된 시스템의 효율성 진단을 통해 현업 스케줄을 재조정함으로써 MME 계절예측정보를 보다 조기에 제공할 수 있게 되었다. 현업업무에 대한 시간단축은 생산된 기후예측정보 분석에 더 많은 물리적 기회를 제공할 것이며, 꾸준히 변화하고 있는 개별모형 및 MME 예측정보의 객관적 분석은 MME 예측력 향상을 위한 기반 마련의 토대가 될 것이다.

2. 방법 및 자료

이 연구에서는 APCC가 제공하고 있는 MME 및 BSISO 예측자료를 활용하였다. APCC MME 참여모델은 Figure 6과 같으며, BSISO 예측에는 미국대기해양관리청(NOAA)의 2개 모델과 유럽 중장기예보센터(ECMWF), 대만기상청(CWB)과 호주기상청(BOM)에서 각각 1개의 모델이 참여하고 있다.

다중모델앙상블(Multi-model ensemble; MME) 자료 개선 기반연구에서는 APCC MME 자료와 함께 현재 MME 데이터를 제공하고 있는 다른 기관들의 모델 자료들을 사용하였다. 현재 다중모델앙상블 기법을 적용한 예측 정보를 제공하는 기관은 NMME(North American Multi-Model Ensemble), WMOLC(World Meteorological Organization Lead Center), C3S(Copernicus Climate Change Service)가 있으며, 이들 세 기관의 개별모델자료를 수집하여 연구에 활용하였다.

또한, 관측데이터에 대한 예측민감도를 살펴보기 위해 NCEP-DOE reanalysis II (Kanamitsu et al. 2002; NCEP2), ERA-interim(Dee et al. 2011), GHCN(Lawrimore et al. 2011)를 사용하였으며, 강수 분석에는 CAMS-OPI (Janowiak and Xie 1999)와 GPCP(Huffman et al. 1997), CMAP(Xie et al. 1997)이 이용되었다. 해수면온도 데이터로는 ERSST(Huang et al. 2017)와 OISST(Banzon et al. 2016, Reynolds et al. 2007)를 활용하였다.

올해는 연구를 시작하는 1단계로써 연구에 필요한 데이터를 수집하여 데이터베이스화 시키는 작업과 더불어 수집된 다른 기관 MME의 특징을 파악하고, APCC를 비롯한 타 기관 MME 예측력을 전반적으로 비교하였다. 차년도에는 1단계 연구를 바탕으로 각 기관 MME 특징에 기반한 차이점을 분석하고 민감도 실험을 수행하여 APCC MME 예측력의 원인과 한계점을 파악하려고 하며, 추후에는 연구결과들을 종합하여 APCC MME의 예측성을 향상시키기 위한 방안을 제시하는 것이 이 과제의 최종 목표이다.

3. 결과

가. APCC 기후예측시스템의 안정적인 운영 및 예측정보 제공

(1) MME 기후전망 개선

(가) 타 기관의 계절 기후전망 현황 파악

- ① **JMA**: 최근 기후를 매우 상세하게 감시하고 있으며 동아시아에 대한 3개월 평균 예측장을 제공하고 있다. 매월 20일 경에 발표한다.
- ② **CPC**: 눈덮임, 토양수분 등에 대해서도 감시를 수행하고 있으며 미국에 대한 3개월 평균 예측장을 1개월씩 이동하여 제공한다. 발표일은 매월 20일 경이다.
- ③ **IRI**: 최근 기후 감시 자료를 제공하지 않는다. 전구에 대한 3개월 평균 예측장을 제공하며 그 외는 CPC와 유사하다. 매월 15일 경 이메일을 통해 공지한다.
- ④ **BOM**: 최근 기후 감시 자료를 제공하지 않는다. 호주에 대한 3개월 평균 예측장을 제공하며 약 15일 경에 발표한다.

(나) 개선 사항

아래의 개선 사항을 2019년 2월(2019MAMJJA 예측)부터 전지구 및 태평양도서국 기후전망에 모두 적용하였다.

- ① **기후전망 발송 메일 개선**: 현업 대표 메일 계정(mme@apcc21.org)을 생성하여 하나로 통일된 소통창구를 마련하였으며 발송 메일 내용 전반을 수정하여 내용의 가독성과 정확도를 높였다(Figure 1).
- ② **기후전망 형식 개선**: 기후 감시부터 예측까지 본문 전반에 걸친 영문 교정 및 공식 문서로서의 형식을 갖추었다. 본문 및 그림을 각각 상단과 하단에 분리하여 배치하고 모든 그림 내에 평년기간(기후값)을 명시하였으며 홈페이지를 통한 추가정보 제공에 대한 안내 문구를 삽입하였다.
- ③ **기후감시 정보 개선**: 본문 및 기후감시와 예측에 사용되는 기후값을 통일하였고 기온 및 상향장파복사 편차의 3개월 평균장을 최근 1개월 평균장으로 변경하였다. 또한 최근 1개월 해수면온도장 및 편차장 정보, 최근 24개월의 ENSO 대기 반응 정보(열대 지역 해수면온도, 상향장파복사, 850hPa 동서풍)도 추가하였다(Figure 2).
- ④ **기후예측 정보 개선**: ENSO 종류(엘니뇨/중립/라니냐) 및 강도(강/중/약) 확률예측정보를 추가하였다(Figure 3).
- ⑤ **외부 전문가 의견 수렴**: Working Group(WG)에 초안을 발송하여 의견을 수렴하였다.

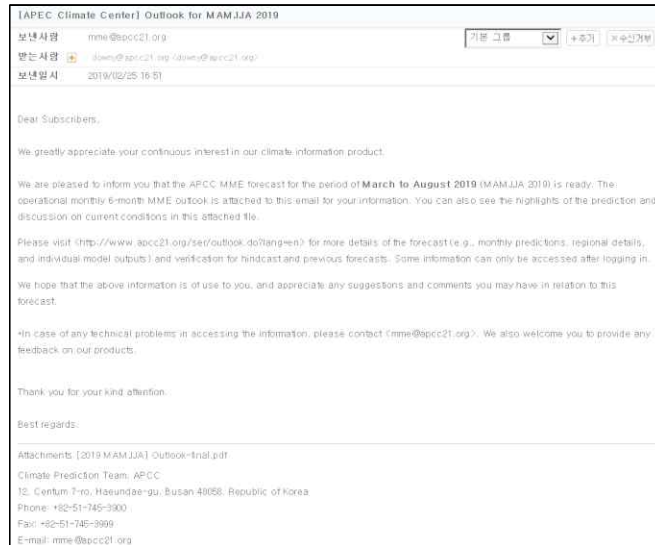


Figure 1. A new form of data request email.

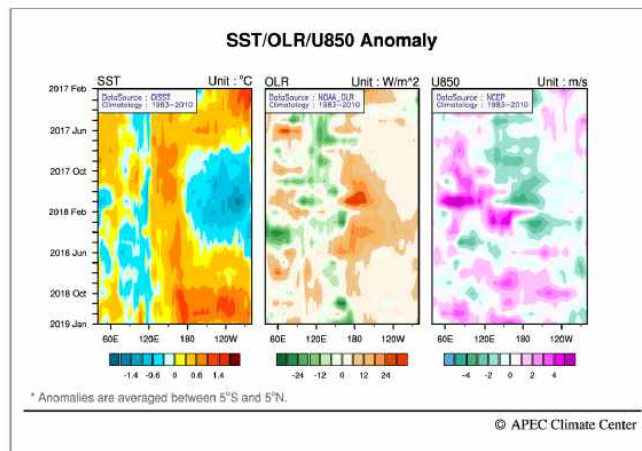


Fig. 2. Time-longitude cross section of the observed monthly mean SST anomalies, outgoing longwave radiation (OLR) anomalies, and zonal wind anomalies at 850hPa (U850) along the equator (5°S-5°N) in the Indian and Pacific Oceans (40°E-80°W) for February 2017 – January 2019.

Figure 2. ENSO-related atmospheric reponses during recent 24 months.

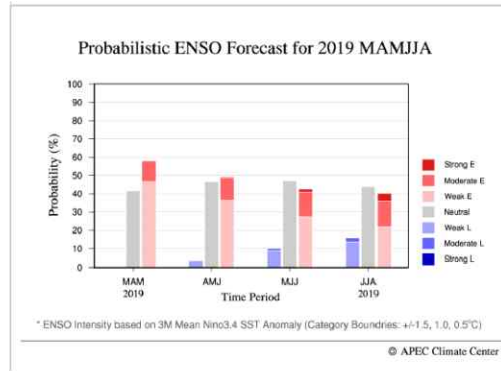


Fig. 5. Predicted monthly mean Niño3.4 index from individual models (A, B, C, D, E, and F) and the MME for March – August 2019 (top). Probabilistic MME forecasts of the status and intensity based on 3-month mean Niño3.4 index for four overlapping 3-month mean periods (bottom). Anomalies are computed with respect to the common base period of participating models in the APCC MME prediction (1983-2010).

Figure 3. An example of probabilistic ENSO forecast information.

(2) 기후감시 정보 개선

기후감시시스템(CMS, Climate monitoring system)은 기후자료제공서비스(ADSS, APCC data service system)에서 제공하는 관측 및 재분석 자료를 기반으로 최소 1주부터 3개월까지의 기후현황 정보를 생산하는 시스템으로써 APCC 누리집을 통한 다양한 기후감시 정보를 서비스하는 동시에 APCC 3개월 계절예측의 참고자료로 활용하고 있으나, ADSS에서 제공하는 자료에 의존하는 체계로 인하여 기후 평년값의 변경 및 다양한 기후 인자의 확대가 어려운 실정이다. 이러한 문제로 APCC 누리집에서 제공하는 기후감시 정보는 1981-2003년의 기후 평년값에 의한 편차장을 현재까지 제공함으로써 최근 기후 특성을 반영하지 못한다는 지적을 받아왔으며, 일부 관측 자료에 대해 자료 제공이 중단되었음에도 불구하고 APCC 누리집에서 유효하지 않은 문제점이 있었다. 이에, 기후 평년값을 APCC MME와 동일한 기간에 대하여 변경하고, 제공이 중단된 관측 자료에 대하여 대체 가능한 관측 자료로 교체하고 해당 기후감시 정보 서비스를 재개하였다.

(가) 기후감시시스템 기후 평년값 변경

기존 기후감시정보는 1981-2003년 기간의 기후 평년값을 통한 편차장을 제공하여 왔으나, APCC 계절예측 전망의 활용성을 증진시키기 위하여 APCC MME와 동일한 1983-2010년 기간의 기후 평년값으로 변경하고자 하였다. 위에서 언급하였다시피 기후감시시스템은 ADSS에서 제공하는 자료에 의존하기 때문에 기후 평년값 변경 역시 ADSS 상에서 이루어져야하므로 ADSS 내 자료 처리 프로그램 및 자료의 수정을 실시하였다.

① 기후 평년값 변경

기후 평년값 변경은 CDO (Climate data operation) 소프트웨어를 활용하여 ADSS 내 관측자료별(NCEP-R1, NOAA-OLR) 기후 평년 기간을 기존의 1981-2003년의 기간을 APCC MME 예측

자료의 기후 평년 기간과 동일한 1983-2010년으로 변경하여 기후 평년값에 대한 자료를 구축하였다. 각 자료의 경로는 아래와 같다.

- /\$ADSS_DATA_HOME/Data/NCEP_SFC/Daily/Climatology : NCEP-R1 지표 변수 자료
- /\$ADSS_DATA_HOME/Data/NCEP/Daily/Climatology : NCEP-R1 연직 변수 자료
- /\$ADSS_DATA_HOME/Data/NOAA_OLR/Daily/Climatology : NOAA OLR 자료

변경된 기후 평년 기간에 따른 기후 평년값 자료는 편차장을 산출할 때 사용된다.

② 변경된 기후 평년값에 대한 편차장 산출

위에서 구축한 기후 평년값 자료를 사용하여 ADSS 내 편차장 산출 프로그램을 수정하였다. 또한, 기존의 ADSS에서 윤년을 고려하지 않은 기후 평년값과 편차장 처리 방식에 대한 문제점을 개선하기 위해 시간 정보를 명확히 반영하여 윤년을 고려하도록 수정하였다.

- /adss_service/ncl/common/make_anoms.ncl : ADSS 편차장 산출 프로그램

- /\$ADSS_DATA_HOME/Data/NCEP_SFC/Daily/Anomaly : NCEP-R1 지표 변수 자료
- /\$ADSS_DATA_HOME/Data/NCEP/Daily/Anomaly : NCEP-R1 연직 변수 자료
- /\$ADSS_DATA_HOME/Data/NOAA_OLR/Daily/Anomaly : NOAA OLR 자료

이러한 과정을 통해 Figure 4과 같이 1983-2010년의 기후 평년값에 대한 기후감시 자료가 APCC 누리집을 통하여 서비스되고 있다.

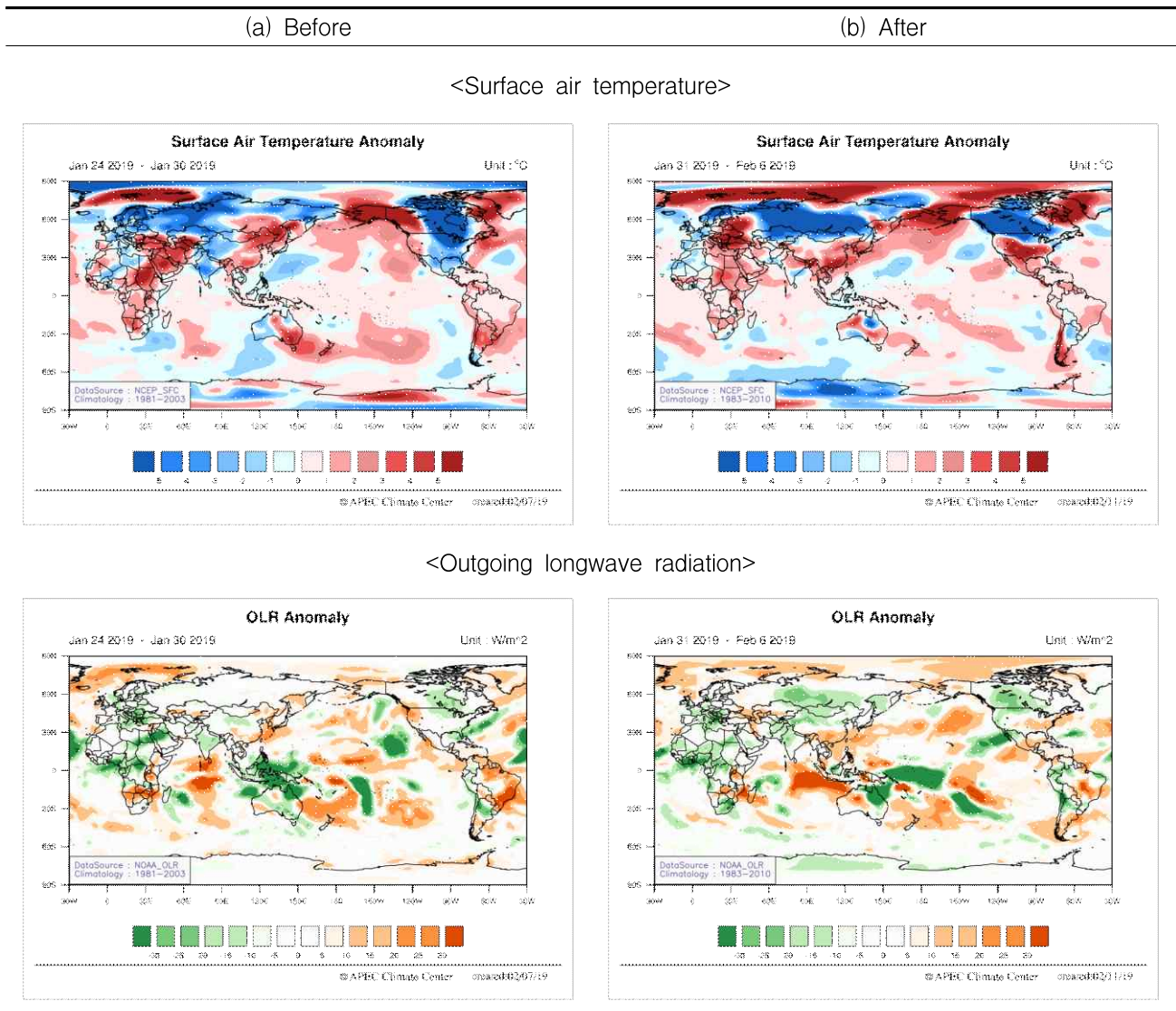


Figure 4. Anomaly of surface air temperature (top) and outgoing longwave radiation (bottom) for climatology of 1981-2003 (a: Jan 24 2019 - Jan 30 2019) and 1983-2010 (b: Jan 31 2019 - Feb 6 2019).

(나) 관측자료 제공 중단에 따른 자료교체

기존 기후감시정보 중 강수와 해수면온도는 TMI (TRMM Microwave Imager) 관측자료를

활용하였으나 2014년에 강수 자료, 2015년에 해수면 온도 자료를 제공 중단함에 따라 ADSS 및 APCC 누리집에서 서비스하는 강수 및 해수면온도 감시 정보가 유효하지 않은 문제가 발생하였다. 이에 대체할 수 있는 관측자료의 현황을 조사하고, 대체가 가능한 관측자료를 활용하여 강수와 해수면온도 감시 정보 서비스를 재개하였다.

① 타기관 실시간 강수 및 해수면온도 관측자료 제공 현황

APCC 기후감시 정보를 서비스하기 위한 관측자료의 조건은 매일, 일별 자료를 현재 시점으로부터 지연시간이 최소 3~4일 이하이어야 한다. 강수 및 해수면온도 자료를 제공해오던 TMI 자료를 대체하기 위해 위의 조건을 만족하는 관측자료의 현황을 조사하였다.

- CPC¹⁾ Global Daily Unified Gauge-Based Analysis of Precipitation (이하 CPC): 전지구 지점 관측자료를 기반으로 대륙에 대한 일 강수자료를 매일 제공하며, 현재 날짜로부터 약 3~4일 전까지 업데이트됨
- TRMM²⁾: 위성 자료를 기반의 관측자료로써 고해상도(0.25° × 0.25°)의 중위도(60° N-60° S) 지역에 대한 일 강수 및 월 강수 제공. 그러나 제공기간(2000년-현재)이 짧아 기후 자료로 활용이 어려움이 있으며, 자료 제공 주기가 늦은 단점이 있음
- GPCP³⁾: 위성 자료를 기반의 관측자료로써 전지구 지역의 일 강수 및 월 강수 제공하지만 일 강수(v1.2)의 경우 2015년을 마지막으로 제공하였고, 월 강수(v2.3)만 현재까지 제공 중임
- OISSTv2⁴⁾: 위성 자료를 기반의 관측자료로써 고해상도(0.25° × 0.25°)의 전지구 지역의 해수면온도를 제공. CPC 강수자료와 마찬가지로 매일 업데이트 되며, 현재 날짜로부터 약 3~4일 전까지 자료를 제공함. 극궤도위성 자료 특성에 따라 일부 missing value 값 처리에 주의가 필요함

위의 자료 중 APCC 기후감시 정보 서비스 조건에 부합한 관측자료는 CPC, OISSTv2 이며, 해당 자료를 활용하여 강수 및 해수면온도 기후감시 정보 서비스를 재개하고자 하였다.

② 강수 및 해수면온도 기후감시 정보 생산 재개

현 기후감시시스템은 ADSS에 의존성으로 인하여 관측자료의 변경이 어려움이 있기 때문에 기후 평년값, 기후 변수의 확장, 관심지역 등을 사용자 친화적으로 조정이 가능하게 개발된 python 기반의 새로운 기후감시시스템(나-(1)절 참고)을 활용하여 CPC, OISSTv2 관측자료를 통한 강수 및 해수면온도 기후감시 자료 생산을 재개하였다(Figure 5).

- 작업 경로 : /data11/CIS/NEW_CMS_beta/RUN (python 기반 새로운 기후감시시스템 베타버전)
- 작업 메인 프로그램 :
 - run4_CPC_OISST.py (주 평균 기후감시 자료 메인 프로그램)
 - run4_CPC_OISST_monthly.py (월 평균 기후감시 자료 메인 프로그램)
 - run4_CPC_OISST_season.py (3개월 평균 기후감시 자료 메인 프로그램)

1) Climate Prediction Center

2) Tropical Rainfall Measuring Mission

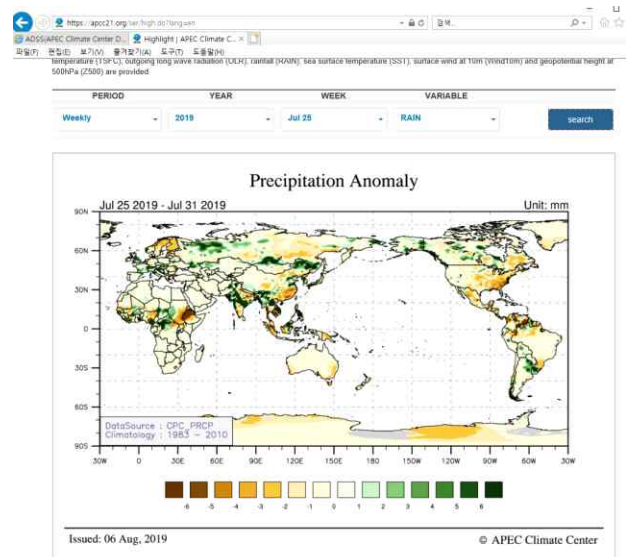
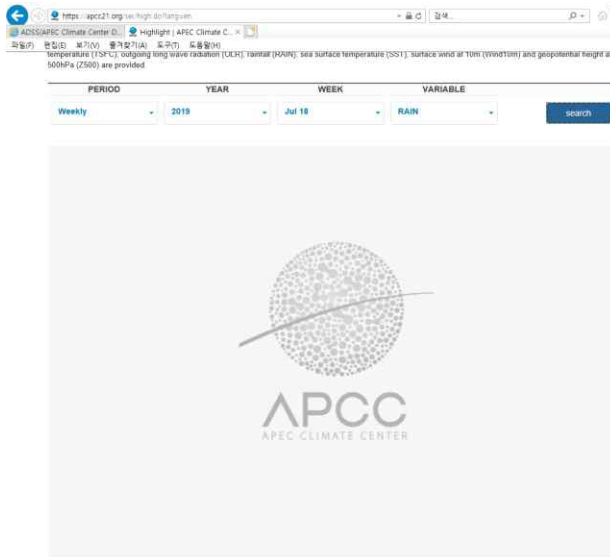
3) Global Precipitation Climatology Project

4) Optimum Interpolation Sea Surface Temperature version 2

(a) Before

(b) After

<Precipitation>



<Sea surface temperature>

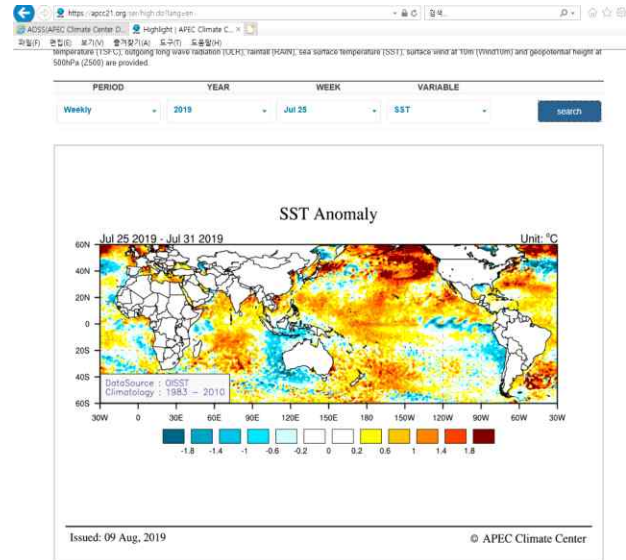
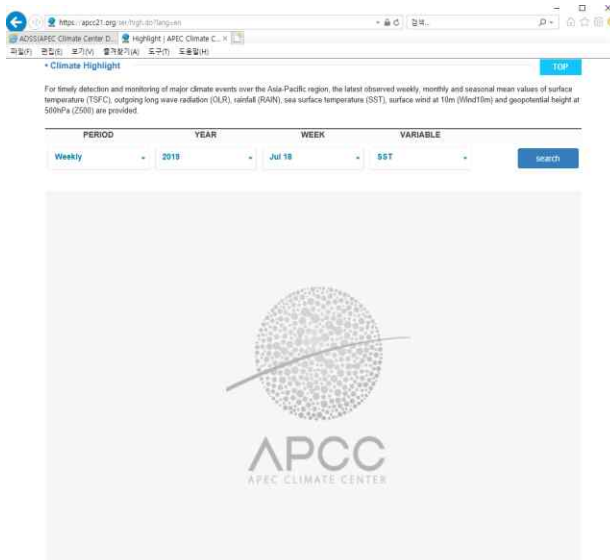


Figure 5. Changes of precipitation (top; CPC) and sea surface temperature (bottom; OISSTv2) on APCC climate monitoring service : (a) before; TMI, (b) after.

(3) 참여모델 개선 및 신규모델 도입

(가) MME 모델 개선: BoM, CMCC, MSC

① 필요성

APCC는 매월 10개국 14개 기관(Figure 6)의 기후모델에서 생산한 예측정보를 수집하여 다양한 MME 기법을 활용한 계절예측정보를 홈페이지를 통해 제공하고 있다. MME에 참여하는 자료제공기관은 자체 모델 개선/개발을 위한 노력을 끊임없이 기울이고 있으며, 새로운 버전의 모델이 현업으로 운영되고 예측정보를 생산하면 APCC 또한 업데이트 된 최신 예측정보를 수집하기 위한 노력을 하고 있다. 지난 6월 5-6일 대만에서 개최된 제3차 APCC MME 자료제공기관 회의(MPM)를 통해 공유된 참여기관의 모델 개선 계획에 발맞춰, 최근 개선/개발된 모델에서 생산된 예측정보를 시간 지연 없이 수집하고, APCC MME 현업에 적용하기 위한 프로그램 수정 및 개선이 필요하다. 또한 수집된 예측정보의 품질 검사를 위해 이전 버전의 모델 및 타 참여기관의 모델과의 예측력 비교평가가 함께 이루어져야 한다.

#	Institute	Model Name	Ens. (H/F)	Forecast Period	Hindcast Period	Resolution
1	APCC	SCoPS	10/10	6-month	1982-2013	T159, L31
2	CWB	CWB	30/30	6-month	1982-2017	T119, L40
3	JMA	JMA/MRI-CPS2	10/51	3(6)-month	1979-2014	T159, L60
4	MSC	CanSIPsv2	20/20	11-month	1981-2010	T63, L35
5	NASA	GMAO	10/11	8-month	1982-2016	288x181, L72
6	NCEP	CFSv2	20/20	6(9)-month	1982-2010	T126, L64
7	PNU	PNU CGCM v2	5/5	6-month	1980-2018	T42, L18
8	UKMO	GLOSEA5	12/42	5-month	1993-2016	1.875x1.25, L85
9	BCC	BCC	24/24	6-month	1991-2015	T106, L26
10	KMA	GLOSEA5	12/42	6-month	1991-2010	0.83°x0.56°, 85L
11	HMC	HMC	10/20	4-month	1985-2010	1.125x1.40625, L28
12	CMCC	CMCC-SPSv3	20/20	11-month	1993-2016	1°x1°, 46L
13	BOM	ACCESS-S	11/11	6-month	1990-2012	N216(~60km), L85
14	MGO	MGOAM2	6/10	3-month	1979-2004	T42, L14

Figure 6. A list of APCC MME participating models (as of 2019. 11).

② 개선 사항

2019년에 변경된 참여모델은 총 세 개이며 자세한 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. Specifications of newly developed models (as of 2019.11).

기관명	BoM		MSC		CMCC	
모델명	POAMA	ACCESS-S1	CanSIPS	CanSIPsv2	SPS2	SPS3
해상도	T47L17	N216L85	T63L35	T63/L35	T63L19	$\sim 1^\circ \times 1^\circ$ L46
양상률 (F/H)	33/33	11/11	20/20	20/20	9/9	20/20
선행시간	0.5-6 months	0.5-6 months	0.5-12months	0.5-12 months	1-11 months	0.5-5 months
hindcast 기간	1983-2011	1990-2012	1981-2010	1981-2010	1981-2005	1993-2016
대기모델	BAM (Spectral)	UM6	CanAM3, CanAM4	• CanAM4 • GEM4.8-LT S13	ECHAM5.3	CAM5.3
해양모델	ACOM2	NEMO ORCA2.5	CanOM4	• CanOM4 • NEMO3.6	OPA8.2/ORC A2	NEMO3.4
지면모델	Simple bucket model	JULES6.0	CLASS	• CLASS2.7 • ISBA	-	CLM4.5
해빙모델	-	CICE6.0	Cavitating fluid approach	• Cavitating fluid approach • CICE4	-	CICE4
대기초기 조건	Atmos nudging scheme to ERA Interim/Bom WNP	ACCESS-G	CMC Global 50-var analysis is assimilated	• CMC GDPS (Nudging) • CMC GEPS (EnKF)	ECMWF analysis	ECMWF analysis
해양초기 조건	Pseudo EnKF	NEMO 3D VAR	CMC SST and sea-ice analysis at the surface and NCEP GODAS 3D	CMC GIOPS analysis	CIGODAS - CMCC analysis	CMCC 3D-Var analysis
지면초기 조건	Atmos nudging scheme to ERA Interim/Bom WNP	Clim.	no direct observation used	• Response of land variables to atmospheric nudged runs • SPS forced by CMC analysis	ECMWF analysis	CMCC land-surface analysis
SST초기 조건	-	-	Observed SST fields are assimilaed once per day.	-	ECMWF analysis	-

해빙초기 조건	-	NEMO 3D VAR	Continuous nudging is used	<ul style="list-style-type: none"> • CMC GLOPS analysis, SMv3 statistical model thickness for NH thickness • CMC GLOPS analysis 	Clim.	CMCC land-surface analysis
---------	---	-------------	----------------------------	---	-------	----------------------------

③ 예측력 평가

㉗ 개선 및 변경된 모델의 예측력 평가

열대지역 기온의 과거기후재현 성능(Anomaly Correlation Coefficient, ACC) 비교하면 세 기관의 신모델 모두 각 구모델보다 전 계절에 걸쳐 향상된 예측력 보였다. 특히, POAMA 대비 ACCESS-S1의 예측력 향상이 전 계절에서 가장 뚜렷하게 나타나며, CMCC-SPSv3은 이전모델에서 낮은 예측력을 보인 봄철 및 여름철에서 예측력 향상이 높게 나타났다(Figure 7).

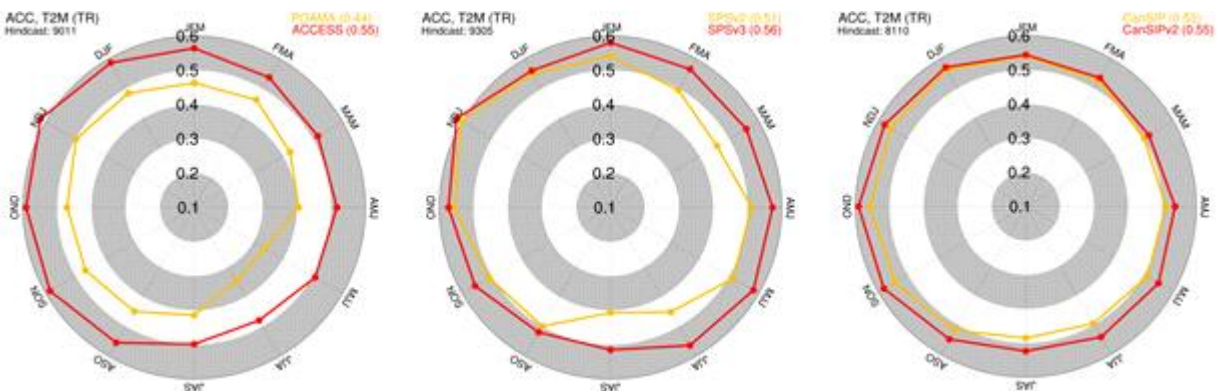


Figure 7. Comparison of Anomaly Correlation Coefficients between old (yellow line) and new (red line) models of BoM (left), MSC (middle), and CMCC (right).

㉘ 타 모델들과의 예측력 비교평가

검증지역 · 계절별 기온 · 강수의 과거기후재현 성능(ACC) 비교하였을 때 2019년 새롭게 변경된 최신 모델들은 기존 APCC MME에 참여했던 개별모델의 예측력 평균 대비 상위권에 위치하였다(Figure 8).

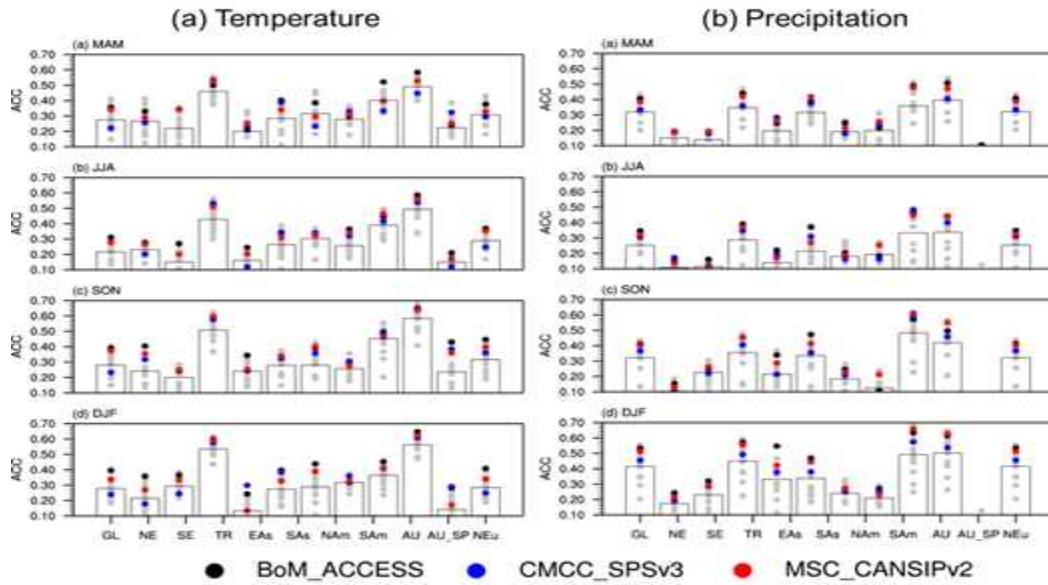


Figure 8. Anomaly Correlation Coefficients of individual models' forecasts for temperature (left) and precipitation (right) during spring, summer, autumn, and winter.

㉔ 전구 기온의 과거기후재현 성능(Temporal Correlation Coefficient, TCC) 비교

MSC의 모델 CanSIPsv2의 겨울철 전구 평균 예측력이 상당히 향상되었으며 CMCC의 SPS3의 경우 전구평균으로는 예측력이 다소 낮아졌지만 대부분 남극지역에서 예측력 감소가 원인으로 보이며, 이 지역을 제외한 대부분의 지역에서는 구 버전에 비해 뚜렷한 예측력 향상을 보였다(Figure 9).

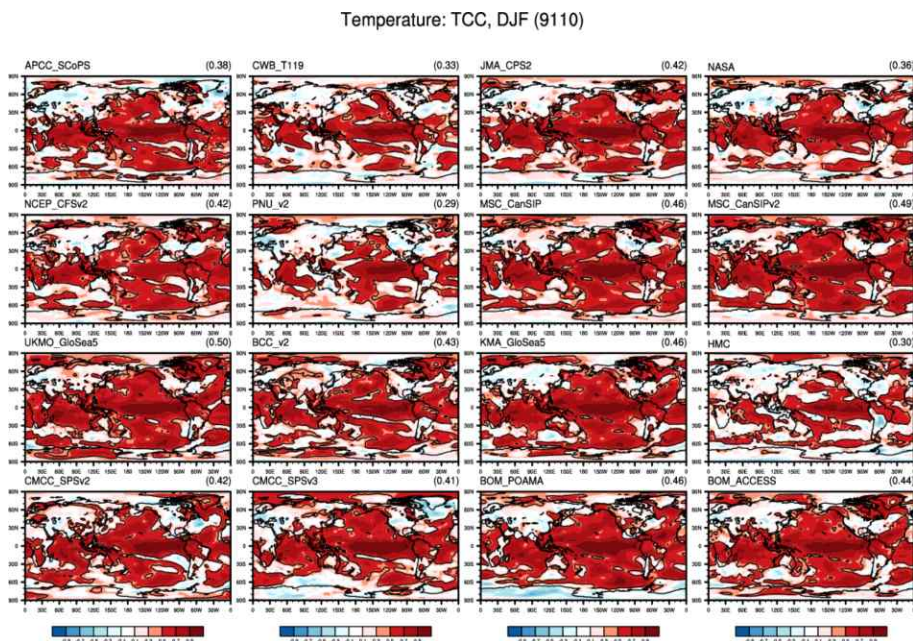


Figure 9. Temporal Correlation Coefficients of individual models' hindcast for temperature during winter.

④ 적용

프로그램 개발 12개월에 대한 과거기후재현자료 전처리를 완료한 후 2019년 12월 기준 ACCESS-S1과 CanSIPsv2가 2020JFMAMJ 예측부터 MME에 참여하고 있다.

(나) MME 모델 추가: SINTEX

APCC에서 수집하는 계절예측모델 중 tier-1에 해당하는 해수면온도 자료를 활용하여 3/6개월 ENSO 예측 정보를 매월 생산하고 있으며, 보다 다양한 계절예측모델의 확대를 위한 노력을 기울이고 있다. 2019년 6월 3-4일 대만에서 개최된 2019년 APCC 국제계절예측워크숍에서 일본해양연구개발기구(Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, JAMSTEC)가 개발한 SINTEX-F(Scale Interaction Experiment-Frontier Research Center for Global Change) 모델의 참여를 독려했으며, 이후 참여가능성에 대한 여러 방안의 협의를 거쳐 APCC MME ENSO 예측에 참여 의사를 밝혀왔다. JAMSTEC에서 개발한 SINTEX-F 모델은 해양 모델로써 Nino3.4, IOD (Indian Ocean Dipole), EMI (El Nino-Southern Oscillation) 등의 예측정보를 제공한다. 다만, SINTEX-F는 다른 계절예측모델과 다르게 지수 형태로 아스키(ascii) 형식으로 제공함에 따라 APCC MME ENSO 예측 시스템 내의 프로그램 수정이 필요하다. 이에, SINTEX-F를 APCC MME ENSO 예측에 포함하기 위하여 ENSO 예측 시스템 관련 프로그램 수정하고, SINTEX-F가 포함된 ENSO 예측 정보를 제공하고자 한다.

① SINTEX-F 자료 정보

JAMSTEC에서 개발한 SINTEX-F는 F1, F2, F2-3DVAR의 3종의 모델로 구성된 시스템을 말한다. SINTEX-F1(Luo et al. 2005)은 유럽과 일본이 협력하여 처음으로 개발된 대기-해양 접합 대순환 기후모델로써 2005년부터 계절 예측 정보 제공을 시작으로 열대지역의 예측력 향상을 위해 SINTEX-F2(Doi et al. 2016)라는 CGCM이 개발되었다. SINTEX-F2는 해빙 역학 모델을 갖춘 고해상도 모델이며, 태평양과 인도양의 열대 기후 변동에 특화되어 Indian subtropical dipole mode 와 Ningaloo Nino 지수에 대해 SINTEX-F1보다 높은 예측력을 보이는 것이 특징이다. SINTEX-F1과 F2는 해수면온도에 대해 너징(nudging) 기법을 사용한 비교적 간단한 초기화 과정을 가지고 있기 때문에 해양에 대한 상세한 예측 및 포착 능력이 충분하지 않은 문제점으로 인해 3차원 관측 해수온도 및 염분 등이 고려된 3DVAR 기법을 적용한 SINTEX-F2-3DVAR (Doi et al. 2017)를 개발하였다. SINTEX-F2-3DVAR를 통해 열대 인도 및 대서양의 계절 예측을 성공적으로 개선하였다.

위와 같이 개발된 SINTEX-F는 JAMSTEC 홈페이지⁵⁾에서 계절 예측 전망을 비롯한 다양한 해양관련 지수 정보를 제공하고 있으며, 고품질의 그래픽 시스템을 통해 계절 예측 정보를 보다 역동적으로 표현하고 있다. 해당 SINTEX-F 예측 정보의 상세 정보는 Table 2과 같다.

5) <http://www.jamstec.go.jp/virtualearth/general/en/index.html>

Table 2. Information for SINTEX-F system.

Model	SINTEX-F		
	SINTEX-F1	SINTEX-F2	SINTEX-F2-3DVAR
AGCM / Resolution	ECHAM4 / T106L19	ECHAM5 / T106L31	ECHAM5 / T106L31
OGCM / Resolution	OPA8 / $2^{\circ} \times (0.5-2^{\circ})$ L31	OPA9 / $(0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ})$ L31	OPA9 / $(0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ})$ L31
Coupling	Every 2 hour No flux correction	Every 2 hour No flux correction	Every 2 hour No flux correction
Sea-Ice Model	-	LIM2	LIM2
Ensemble	9	12	12
Initialization	SST-nudging	SST-nudging	SST-nudging with 3DVAR ocean assimilation
Prediction Variable	NINO3.4, IOD, EMI, South Atlantic subtropical dipole mode index, South Indian subtropical dipole mode index, Atlantic Nino index, Ningaloo Nino index, California Nino index, Dakar Nino index		
Hindcast period	1983-2015		
Lead time	0.5-10 month		
Data format	ASCII (.CSV) Observed index + Predicted index (each ensembles + ensemble mean)		
Access period	Around 15 th of every month		

② SINTEX-F 모델 참여를 위한 ENSO 예측시스템 수정

APCC ENSO MME 예측 정보에 SINTEX-F를 포함하기 위해 SINTEX-F 자료의 수집 및 전처리 프로그램 제작을 포함한 기존 ENSO 예측 시스템의 프로그램을 수정하였다.

㉠ 자료 수집 프로그램 제작

SINTEX-F는 JAMSTEC 홈페이지의 예측 정보를 직접 다운로드 하는 체계로써 APCC 자료 수집(ftp) 서버에서 SINTEX-F 자료를 수집하는 프로그램을 제작하였다.

- SINTEX-F 자료수집 프로그램
 - JAMSTEC ftp 서버에서 Nino3.4, IOD, EMI 지수 정보를 APCC ftp 서버로 다운로드
- SINTEX-F 자료수집 프로그램 내용 및 구동 방법

<SINTEX-F 자료수집 프로그램 내용>

```
#!/bin/sh

FTPPATH="http://www.jamstec.go.jp/virtualearth/data/SINTEX/"
FNAME1="SINTEX_Nino34.csv" (* Nino3.4 지수)
FNAME2="SINTEX_DMI.csv" (* IOD 지수)
FNAME3="SINTEX_EMI.csv" (* EMI 지수)

SYSDATE=`date +%Y%m%d`
#SYSDATE=20190805
NYEAR=`echo $SYSDATE | cut -c1-4`
NMONT=`echo $SYSDATE | cut -c5-6`

FYEAR=`date -d ${NYEAR}-${NMONT}-01 1-month` +%Y | tr a-z A-Z`
FMON=`date -d ${NYEAR}-${NMONT}-01 1-month` +%b | tr a-z A-Z`

echo $FYEAR$FMON
mkdir -p $FYEAR$FMON

cd $FYEAR$FMON

lftp $FTPPATH << EOF
mget $FNAME1
mget $FNAME2
mget $FNAME3
EOF
```

<SINTEX-F 자료수집 프로그램 실행>

```
]$ ./get_SINTEX.sh
```

- APCC 외부-내부간 자료 전송 프로그램
 - APCC ftp 서버(외부)로부터 APCC 현업시스템(내부)에 다운로드 받은 SINTEX-F 자료 전송
- APCC 외부-내부간 자료 전송 프로그램 내용 및 구동 방법

<APCC 외부-내부간 자료 전송 프로그램 내용>

```
#!/bin/sh

DATADIR=/${DIR}/
SYSDATE=`date +%Y%m%d`
#SYSDATE=20190805
NYEAR=`echo $SYSDATE | cut -c1-4`
NMONT=`echo $SYSDATE | cut -c5-6`

FYEAR=`date -d ${NYEAR}'-${NMONT}'-01 1-month' +%Y | tr a-z A-Z`
FMON=`date -d ${NYEAR}'-${NMONT}'-01 1-month' +%b | tr a-z A-Z`

echo $FYEAR$FMON
mkdir -p $FYEAR$FMON

cd $FYEAR$FMON
echo ${DATADIR}/${FYEAR}${FMON}/

ftp -nv [IP] << EOF
user apcc #####(* PASSWORD)
bin
prompt
cd ${DATADIR}/${FYEAR}${FMON}
mget SINTEX_Nino34.csv
mget SINTEX_DMI.csv
mget SINTEX_EMI.csv
EOF
```

<APCC 외부-내부간 자료 전송 프로그램 실행>

```
]$ ./get_SINTEX.sh
```

해당 프로그램을 수행하면 <년도><예측시작월>로 구성된 디렉토리(예시. 2019DEC)가 생성되며, 디렉토리에 SINTEX_DMI.csv (IOD 지수), SINTEX_EMI.csv (EMI 지수), SINTEX_Nino34.csv (Nino34 지수)의 원시자료가 전송됨을 확인할 수 있다.

㉔ 자료 전처리 프로그램 제작

수집한 SINTEX-F 자료를 APCC ENSO 예측시스템에서 원활히 읽어 들일 수 있도록 전처리 프로그램을 제작하였다. 본 프로그램은 SINTEX-F 자료 중 1-6개월 예측자료만 추출한다.

- SINTEX-F 전처리 프로그램
 - APCC MME ENSO 예측시스템에 SINTEX-F를 적용하기 위한 전처리 프로그램

· SINTEX-F 전처리 프로그램 내용 및 구동 방법

<SINTEX-F 전처리 프로그램 내용>

```

begin
; SYSDATE = 20191112
SYSDATE = stringpoint(systemfunc("date +%Y%m%d"))
FYEAR = stringpoint(systemfunc("echo " + SYSDATE + " | cut -c1-4"))
NMONT = stringpoint(systemfunc("echo " + SYSDATE + " | cut -c5-6"))
FMONT = (systemfunc("date -d '1month' +%b | tr a-z A-Z"))

YEAR = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 1month' +%Y"))
FMON1 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 1month' +%m"))
FMON2 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 2month' +%m"))
FMON3 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 3month' +%m"))
FMON4 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 4month' +%m"))
FMON5 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 5month' +%m"))
FMON6 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 6month' +%m"))
FMON7 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 7month' +%m"))
FMON8 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 8month' +%m"))
FMON9 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 9month' +%m"))
FMON10 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 10month'
+%m"))
FYEAR1 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 1month' +%Y"))
FYEAR2 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 2month' +%Y"))
FYEAR3 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 3month' +%Y"))
FYEAR4 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 4month' +%Y"))
FYEAR5 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 5month' +%Y"))
FYEAR6 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 6month' +%Y"))
FYEAR7 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 7month' +%Y"))
FYEAR8 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 8month' +%Y"))
FYEAR9 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 9month' +%Y"))
FYEAR10 = stringpoint(systemfunc("date -d " + FYEAR + "-" + NMONT + "'-01 10month' +%Y"))

MONTHS = (/FMON1,FMON2,FMON3,FMON4,FMON5,FMON6,FMON7,FMON8,FMON9,FMON10/)
YEARS = (/FYEAR1,FYEAR2,FYEAR3,FYEAR4,FYEAR5,FYEAR6,FYEAR7,FYEAR8,FYEAR9,FYEAR10/)

NYEARS = dimsizes(YEARS)
NMONT = dimsizes(MONTHS)

DATADIR = /$DIR/ + FYEAR1 + FMONT
IFILE = DATADIR + "/" + "SINTEX_Nino34.csv"
IFILE2 = DATADIR + "/" + "SINTEX_DMI.csv"
IFILE3 = DATADIR + "/" + "SINTEX_EMI.csv"
OUTDIR = "/data11/OPER/AFS/DATA/6-MON/MME_IN/FORECAST/JAMSTEC/" + FMONT + "/" +
FYEAR1

system("mkdir -p " + OUTDIR)

filename = IFILE
filename2 = IFILE2
filename3 = IFILE3
outfile = "SINTEX_NINO34.txt" (* 전처리된 Nino34 지수)
outfile2 = "SINTEX_IOD.txt" (* 전처리된 IOD 지수)
outfile3 = "SINTEX_EMI.txt" (* 전처리된 EMI 지수)

sintex_nino34 = asciiread(filename,-1,"string")
ncol = dimsizes(sintex_nino34)
str = str_split_csv(sintex_nino34(ncol-11:ncol-2),",",0)
nino34 = new(/10,35/,"float")

sintex_iod = asciiread(filename2,-1,"string")
ncol = dimsizes(sintex_iod)
str = str_split_csv(sintex_iod(ncol-11:ncol-2),",",0)
iod = new(/10,35/,"float")

sintex_emi = asciiread(filename3,-1,"string")
ncol = dimsizes(sintex_emi)
str = str_split_csv(sintex_emi(ncol-11:ncol-2),",",0)
emi = new(/10,35/,"float")

do imon = 0, NMONT - 1

```

```

nino34(imon,0) = tofloat(FYEARS(imon) + sprinti("%0.2i",MONTHS(imon)))
iod(imon,0)   = tofloat(FYEARS(imon) + sprinti("%0.2i",MONTHS(imon)))
emi(imon,0)   = tofloat(FYEARS(imon) + sprinti("%0.2i",MONTHS(imon)))
end do

nino34(:,1)   = tofloat(str(:,2))
nino34(:,2:34)= tofloat(str(:,6:))

iod(:,1)      = tofloat(str(:,2))
iod(:,2:34)= tofloat(str(:,6:))

emi(:,1)      = tofloat(str(:,2))
emi(:,2:34)= tofloat(str(:,6:))

option       = True
option@fout  = OUTDIR + "/" + outfile

write_matrix(nino34,"f7.0,34f7.2",option)

print(OUTDIR + "/" + outfile)

option2      = True
option2@fout = OUTDIR + "/" + outfile2

write_matrix(iod,"f7.0,34f7.2",option2)

print(OUTDIR + "/" + outfile2)

option3      = True
option3@fout = OUTDIR + "/" + outfile3

write_matrix(emi,"f7.0,34f7.2",option3)

print(OUTDIR + "/" + outfile3)
end

```

<SINTEX-F 전처리 프로그램 실행>

```

]$, module load ncl/6.4.0
]$, module load python/3.7.1-anaconda
]$, ncl SINTEX_pre.ncl

```

전처리 프로그램을 수행하면 아래의 경로에 전처리된 자료가 생산된다.

- 전처리된 SINTEX-F 자료
 - SINTEX_EMI.txt : SINTEX-F 6개월 예측 EMI 지수
 - SINTEX_IOD.txt : SINTEX-F 6개월 예측 IOD 지수
 - SINTEX_NINO34.txt : SINTEX-F 6개월 예측 Nino3.4 지수
 - * MMM : 예측 시작 월 (예시. DEC), YYYY : 예측 시작 해 (예시. 2019)

㉔ APCC ENSO 예측시스템 수정

전처리된 SINTEX-F 예측 자료를 APCC ENSO 예측시스템에 적용하기 위해 관련 프로그램들을 수정하였다.

SINTEX-F 모델은 타 모델과 다르게 ASCII 형식으로 지수값 형태로 제공하기 때문에 ENSO 예측시스템 중 Nino3.4, IOD, EMI 지수의 시계열 및 Table을 만들기 위한 각 모델별 지수 계산 과정에서 제외시키고, 해당 그래픽 표출 과정에서 전처리된 SINTEX-F 자료를 불러와 처리하는 방식으로 수정하였다.

개선된 APCC ENSO 예측 시스템을 통해 SINTEX-F를 포함한 ENSO 예측정보를 Figure 10과 11과 같이 산출할 수 있었으며, 이를 통해 보다 다양한 모델 정보를 제공하고, 추후 다른 기후예측 모델의 확장 가능성을 증진시킬 수 있었다. 해당 정보는 APCC 누리집을 통해서 서비스하고 있다.

(a) No SINTEX-F

(b) With SINTEX-F

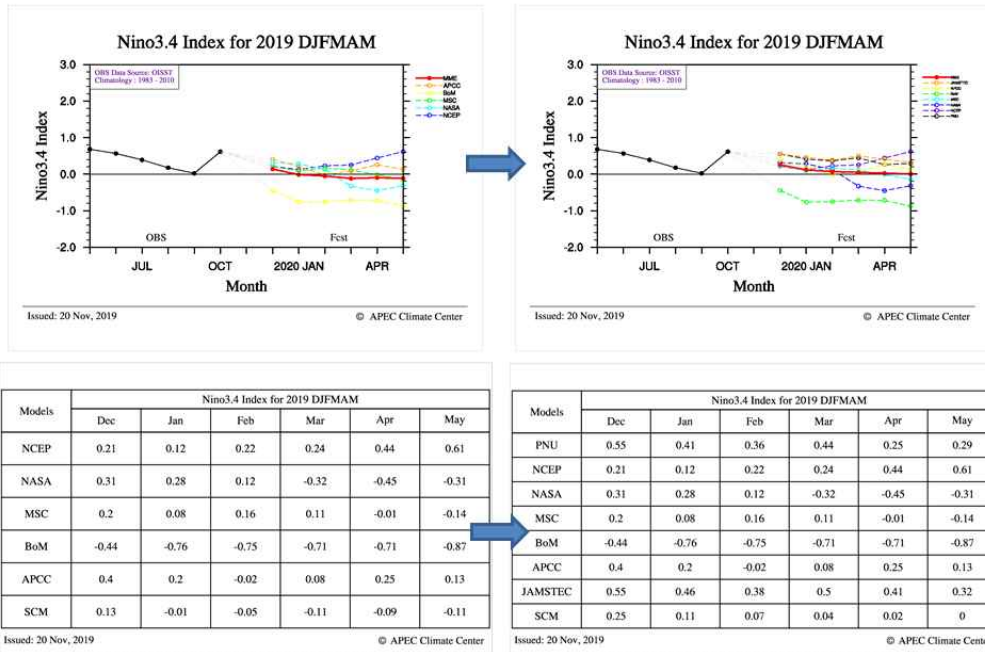


Figure 10. Before (a) and after (b) joining the SINTEX-F model for 2019DJFMAM Nino3.4 index.

(a) No SINTEX-F

(b) With SINTEX-F

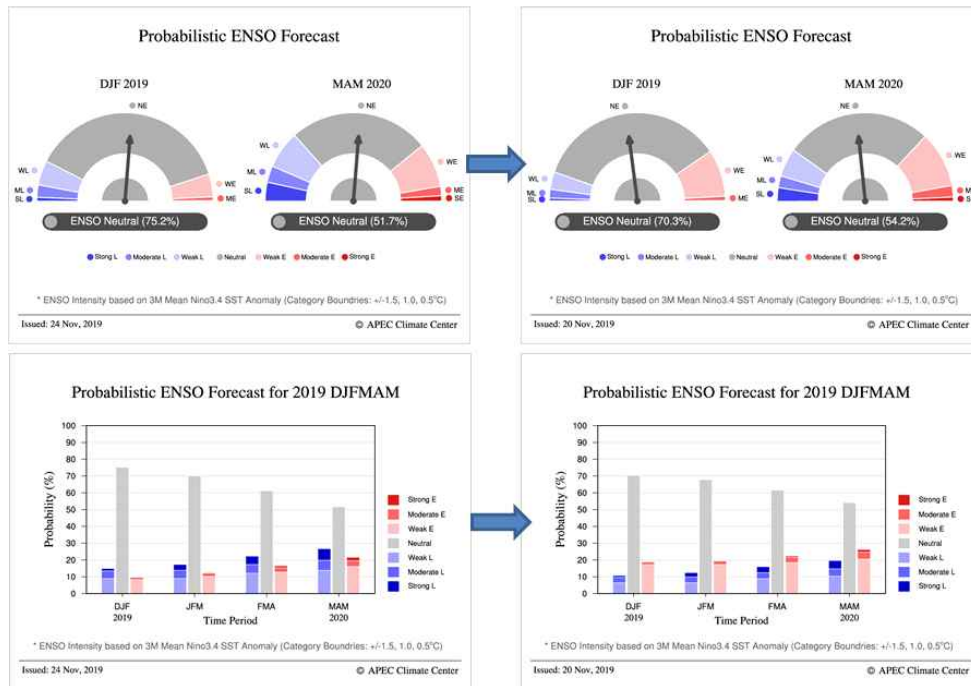


Figure 11. Before (a) and after (b) joining the SINTEX-F model for 2019DJFMAM probabilistic ENSO forecasts.

(다) BSISO 모델 개선: BoM

① 필요성

APCC에서는 Lee et al.(2013)에서 정의한 방법에 따라 매년 5월에서 10월까지 매일 실시간으로 모니터링 지수 및 4개 기관 5개 참여모델로부터 BSISO 예측 정보를 생산하고 있다. 각 참여기관의 현업 모델이 수정 또는 새로운 모델로 개선 운영되면 APCC BSISO 서비스 또한 최신 업데이트된 모델 정보를 수집하기 위한 노력을 하고 있다. 이에 따라 최신 모델의 새로운 예측 정보를 시간 지연 없이 수집하고, BSISO 현업 시스템에 적용하기 위해서는 프로그램 수정 및 개선이 필요하다.

② 개선 사항

올해는 호주기상청 (Australian Government Bureau of Meteorology; BoM)의 참여 모델이 POAMA에서 ACCESS-S1으로 변경됨에 따라 해상도 및 예측 업데이트 주기가 기존과는 차이가 있다. 수평해상도는 T47에서 N216으로 수직해상도는 17개에서 85개로 증가하였고, 예측자료의 업데이트 간격은 기존 3~5일에서 매일로 변경되었다(Table 3). 고해상도 모델 자료가 수집됨에 따라 BSISO 분석 영역 내 티벳 고원과 같은 고지대에서의 850hPa 바람장을 어떠한 방식으로 내삽 처리할 것인지에 대한 의견 및 테스트 자료 등을 해당기간과 수차례 주고받았고, 최종적으로 regular interpolation을 이용한 remask를 적용하여 BSISO 예측 초기장으로 활용하였다. 고지대의 missing value는 -999로 일괄 처리하여 전처리 계산에 오류가 없도록 현업 운영 코드를 수정 적용하였다.

Table 3. Model description of POAMA (previous) and ACCESS-S1 (new) model.

기관명 모델명	BoM	
	POAMA	ACCESS-S1
해상도 (수평/수직)	T47/L17	N216/L85
앙상블	33	33
예측 기간 (일)	40	400
업데이트 주기	3-5 day	Daily

③ 결과

최종적으로 변경된 현업 운영 코드로부터 Phase diagram, 상향장파복사 아노말리 공간장, 호우 확률 예보, BSISO 지수가 계산되었고, 이러한 예측 정보는 Figure 12와 같이 APCC BSISO 홈페이지를 통해 9월 10일부터 10월 31일 (BSISO 현업 종료기간)까지 포출되었다.

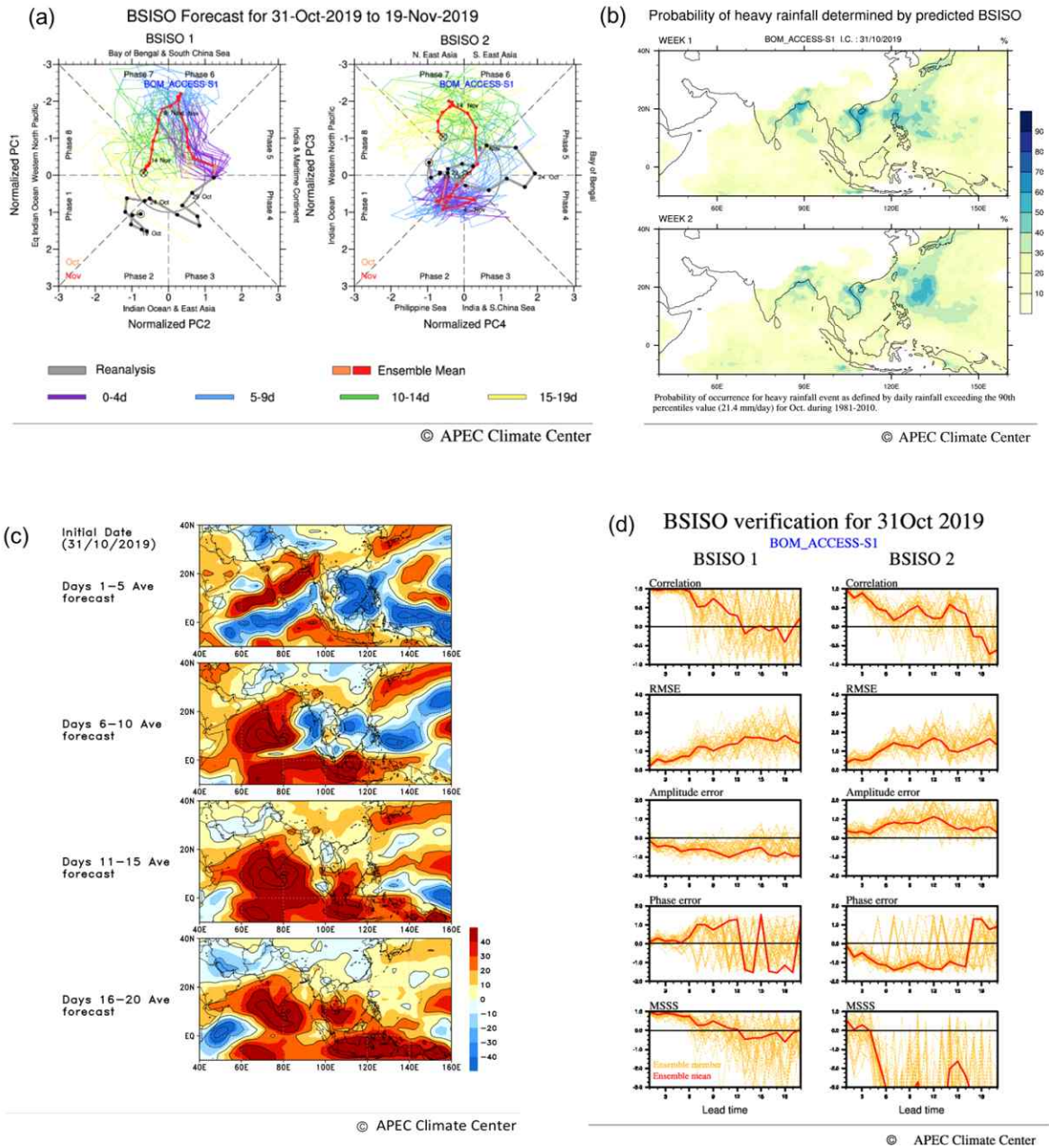


Figure 12. (a) Phase diagram, (b) probability of heavy rainfall, (c) outgoing long-wave radiation anomalies, (d) verification for BSISO index in BSISO forecast web contents.

(4) 웹페이지 콘텐츠 추가

(가) 동아시아 계절예측

① 현황 및 필요성

기존 APCC 누리집에서는 기상·기후 전문가 및 관련 종사자들을 대상으로 한 영문버전을 중심으로 기후정보 서비스를 제공하고 있었으며, 대한민국 국민들을 대상으로 한 국문버전의 경우 전문가가 아닌 일반 국민들이 이해하기 다소 어려운 설명이나 콘텐츠의 부족 등의 문제점들이 꾸준히 제기되어 왔다. 특히 국민들이 가장 관심 있어 하는 한반도를 포함한 동아시아 지역에 대한 기후 예측 정보가 부족하다는 지적이 있었다. 이에, 국민들의 APCC 기후 예측 정보의 활용성 증진을 더불어 국민들에 유익한 기후예측 정보를 제공하기 위하여 대한민국 국민 대상의 APCC 누리집 국문버전을 보다 가시성과 가독성을 개선하고, 관심과 활용도가 높은 동아시아 지역을 타깃으로 기후 예측 콘텐츠를 추가함으로써 국내 이용자들의 이용 및 활용성을 증대시키고자 하였다.

② 주요 개선 내용

APCC 누리집 국문버전에 대한 국내 이용자의 기후예측 정보 활용성을 증진시키고 편의성을 제공하기 위하여 국문버전의 한글화 작업과 접속장소 및 브라우저 특성에 따른 국/영문 페이지 제공방식을 개선하였고, 한반도를 포함한 동아시아 지역의 계절예측정보를 신규로 개설하였다.

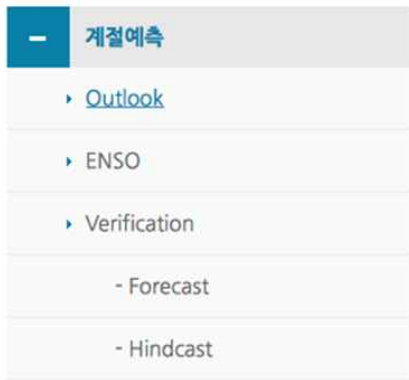
㉠ APCC 누리집 국문버전 한글화 작업

기존의 APCC 누리집 국문버전은 국문임에도 불구하고 많은 기후 관련 용어 및 설명이 영문으로 제공되고 있는 문제점을 개선하기 위해 이해하기 쉬운 용어를 바탕으로 전면적으로 한글화 작업을 수행하였다(Figure 13).

㉡ 방문자의 접속 국가 및 브라우저 특성에 맞춘 국/영문 페이지 연결 제공

기존 APCC 누리집에 접속 방식은 국가와 브라우저 상관없이 영문버전을 우선 제공하였으나 접속 국가와 브라우저 설정 언어에 따라 국/영문 페이지를 자동으로 설정하여 해당 페이지로 연결할 수 있도록 변경하였다.

(Before Korean translation)



(After Korean translation)

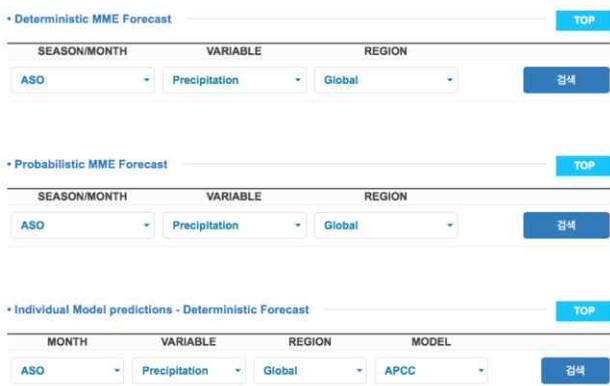


Figure 13. Before (a) and after (b) Korean translation for APCC website Korean version.

㉔ 동아시아 지역 계절예측정보 신규 제공

국내 이용자가 가장 많은 관심을 가지는 동아시아 지역(한반도 포함)을 대상으로 맞춤형 계절예측정보를 제공하기 위해 APCC 누리집 국문버전에 “동아시아 계절예측⁶⁾”이라는 추가 메뉴를 개설하였다(Figure 14). 해당 메뉴에서는 동아시아 지역의 한 달 전 관측된 기후감시 정보와 함께 APCC MME 기반의 6개월 예측에 대한 전망을 매일 제공하며, 예측정보로 기온, 강수, 바람, 해수면 온도에 대한 결정론적/확률론적 예측정보가 활용된다. 또한, 기존의 동아시아 지역의 해수면 온도의 경우 대부분이 육지가 있는 지역으로써 유효한 예측 정보가 없었던 문제를 개선하기 위해 대한민국 동해 및 일본해를 포함하여 서태평양 영역으로 범위를 조정하였으며(Figure 14), 복잡한 산악지형과 대기대순환의 직·간접적인 영향에 따라 강수와 하층(850hPa) 바람을 함께 확인할 수 있는 예측 정보를 제공함으로써 대기 순환에 따른 강수 유형을 이해하고 및 강수대의 이동을 예측하는 데 기여할 수 있게 되었다(Figure 15).

6) “동아시아 계절예측” 웹페이지 주소 : <https://apcc21.org/ser/eastasia/outlook.do?lang=ko>

Figure 14. New menu for “East Asia Seasonal Prediction” on the APCC web-site Korean version.

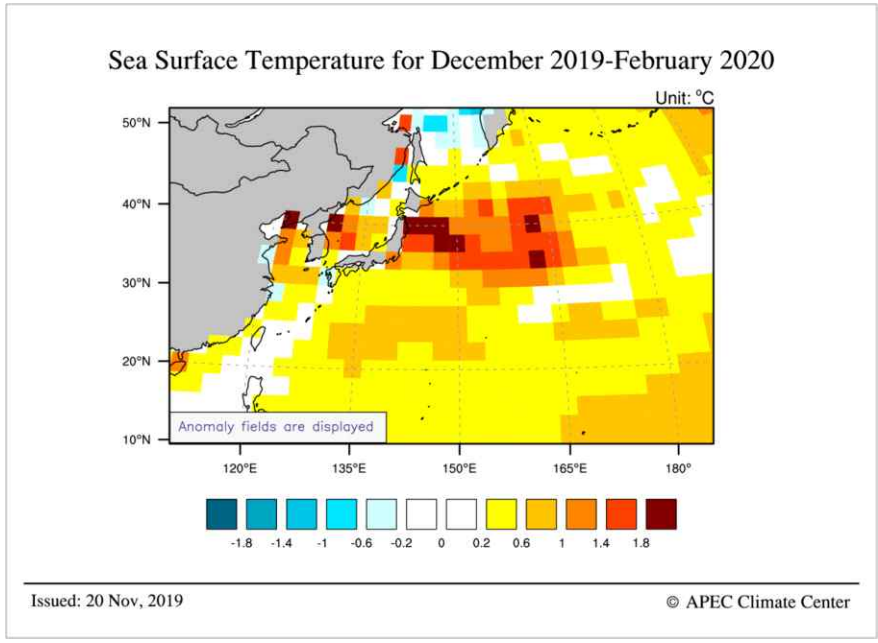


Figure 15. Sea surface temperature forecasts for 2019DJF over the East Asia.

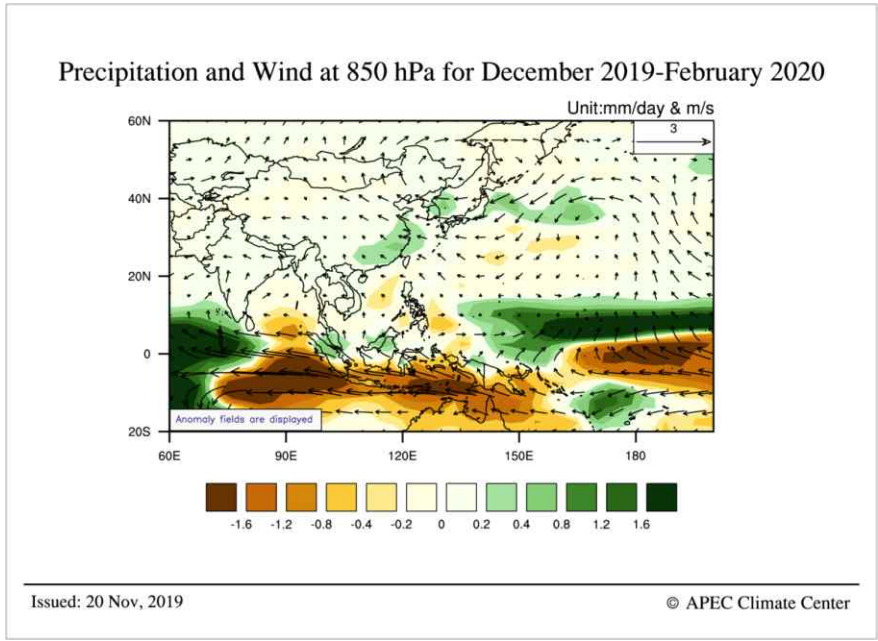


Figure 16. Precipitation and Wind at 850 hPa forecasts for 2019DJF over the East Asia.

이러한 동아시아 맞춤형 계절예측정보를 산출하기 위함과 더불어 현업적인 측면에서 물리적/시간적 작업 효율성을 증진시키기 위하여 동아시아 계절예측 그림 일괄 처리 프로그램을 제작하였다.

- 동아시아 계절예측 그림 일괄 처리 프로그램
 - 동아시아 계절예측 정보에 관련된 예측 그림들을 일괄 처리하여 한 디렉토리에 구축
- 동아시아 계절예측 그림 일괄 처리 프로그램 내용 및 구동 방법

<동아시아 계절예측 그림 일괄 처리 프로그램 내용>

```
#!/bin/sh

# -----
#   EA_outlook.ncl : Create Figure for East-Asia Outlook
#
#   completed : 16 Dec 2019
#   modified (1) :
#   modified (2) :
# -----

# ----- # Modify Part : Forecast Time Information
# ----- #
YEAR=2020 # First Year for Target Forecast Season (e.g. 2019DJF --> YEAR = 2019)
MON=1 # First Month for Target Forecast Season (e.g. 2019DJF --> MON = 12)
#
# ----- i -----
# ----- #

SEAS1=( JFM FMA MAM AMJ MJJ JJA JAS ASO SON OND NDJ DJF )
SEAS2=( AMJ MJJ JJA JAS ASO SON OND NDJ DJF JFM FMA MAM )
NS='expr $MON - 1'

OUTDIR=$DIR/$YEAR${SEAS1[$NS]}${SEAS2[$NS]}
echo "======"
echo $OUTDIR
echo "======"

mkdir -p $OUTDIR

WORKDIR=/data11/OPER/AFS/RUN/East_Asia

# -----
# 1st Step. Copy PMME t2m & prec
# -----

PMMEDIR_3m=$DIR/$YEAR/$MON/Seasonal/${SEAS1[$NS]}/East_asia
PMMEDIR_6m=$DIR/$YEAR/$MON/Seasonal/${SEAS2[$NS]}/East_asia

cp -rf $PMMEDIR_3m/t2m.png $OUTDIR/GAUS_$YEAR${SEAS1[$NS]}\_t2m.png
cp -rf $PMMEDIR_3m/prec.png $OUTDIR/GAUS_$YEAR${SEAS1[$NS]}\_prec.png
cp -rf $PMMEDIR_6m/t2m.png $OUTDIR/GAUS_$YEAR${SEAS2[$NS]}\_t2m.png
cp -rf $PMMEDIR_6m/prec.png $OUTDIR/GAUS_$YEAR${SEAS2[$NS]}\_prec.png

# -----
# 2nd Step. Creat SCM prec + uv850 & sst
# -----

ncl $WORKDIR/src/EA_SCM_PREC_UV850_3mon.ncl
ncl $WORKDIR/src/EA_SCM_PREC_UV850_6mon.ncl

ncl $WORKDIR/src/EA_SCM_SST_3mon.ncl
ncl $WORKDIR/src/EA_SCM_SST_6mon.ncl

# -----
# 3rd Step. Creat OBS t2m & prec
# -----

ncl $WORKDIR/src/OBS_prec.ncl
ncl $WORKDIR/src/OBS_t2m.ncl
```

(* 위 프로그램 내용 중 원하는 예측 첫 시간 정보를 수정(파란색 음영 부분)

해당 프로그램은 동아시아 지역을 대상으로 확률론적 예측(기온, 강수) 그림을 복사하는 부분(1st step)과 결정론적 예측(강수 및 850hPa 바람장, 해수면 온도)을 생성하는 부분(2nd step)과 관측된 기온, 강수를 생성하는 부분(3rd step)으로 구성되어 있으며 2nd step과 3rd step은 ncl 프로그램을 수행하는 형식이다. 해당 ncl 프로그램은 부록 A에서 상세한 내용을 확인할 수 있다.

<SINTEX-F 전처리 프로그램 실행>

```

]$ module load ncl/6.4.0
]$ module load python/3.7.1-anaconda
]$ ./EA_outlook.sh
  
```

위 프로그램을 수행하면 동아시아 지역의 관측 및 예측정보에 대한 그림 10종이 생산된다.

이를 통해 현업적인 측면에서 물리적/시간적 작업 효율성을 증진시켜 보다 빠르고 정확하게 동아시아 계절예측 정보를 생산할 수 있으며, 해당 동아시아 계절예측 정보를 국내 이용자에게 제공함으로써 APCC 누리집의 활용성을 높이고, APCC의 국내 기여를 강화할 수 있을 것으로 기대한다.

(나) 계절예측정보 제공 페이지 개선

① 현황 및 필요성

APCC 누리집을 통해 제공되는 계절예측정보의 활용성을 높이기 위해 사용자에게 필요한 메뉴 추가 및 가시성·가독성 높은 메뉴 구성이 필요하다. 이를 위해 계절예측정보가 제공되는 “Seasonal Forecast” 에 보다 다양한 예측정보를 제공하기 위한 콘텐츠를 추가하고자 하였다.

② 추가 내용

2019년 9월, 2019ONDJFM 예측 시점부터 반영하여 예측정보를 한 눈에 파악할 수 있을 뿐만 아니라 MME 계절예측정보를 활용하는 사용자들에게 유용한 정보를 추가 제공함으로써 APCC의 기후예측정보 활용성을 제고하였다.

㉠ 기후전망 요약(Summary) 메뉴 추가

기후전망 개선 결과 새롭게 생산·제공되는 기후감시 및 예측정보 콘텐츠를 홈페이지를 통해 제공하였다. 지난달의 기후 상태, 앞으로 6개월 동안의 ENSO 및 기온·강수 예측 정보를 하나의 페이지에 요약하였으며 APCC 누리집의 Climate Information Services > Seasonal Forecast > Forecast > Summary에서 확인할 수 있다(Figure 17).

㉡ MME 기법(Methodology) 메뉴 추가

APCC MME 결정론적 및 확률론적 MME 기법 설명과 개별모델 정보 페이지, ADSS (APCC DATA Service System) 페이지, 관련 문헌 링크를 추가하였으며 APCC 누리집의 Climate Information

Services > Seasonal Forecast > Methodology에서 확인할 수 있다(Figure 18).

㉔ 모델 정보(Model Description) 메뉴 추가

APCC에 매달 기후예측자료를 제공하는 14개 기관들의 기후예측모델 정보를 한 페이지에 탭 메뉴로 제공 및 파일 다운로드 기능 추가하였으며 Climate Information Services > Seasonal Forecast > Model Description에서 확인할 수 있다(Figure 19).

Climate Information Services

Home > Climate Information Services > Seasonal Forecast > Forecast > Summary

Summary

Seasonal Forecast
Forecast
- Summary
- Outlook
- SST
Verification
- Forecast
- Hindcast
Methodology
Model Description
+ BSISO Forecast
+ Applied Forecast
+ Climate Monitoring
+ Climate Service Toolkit

2020 JFMAMJ

Our seasonal forecasts are issued on the 20th of each month. In the case that the 20th falls on a weekend or national holiday, they are issued on the closest workday.

Summary

Climate Outlook for January - June 2020

(Issued: 20 Dec, 2019)

- During November 2019, weak positive Niño3.4 index was observed with weak positive sea surface temperature anomalies over the equatorial Pacific.
- The latest APCC ENSO outlook suggests the probability for ENSO neutral conditions is likely to be dominant (~58%) during January - March 2020 and the probability for neutral conditions is likely to slightly decrease to 52% through April - June 2020.
- Positive temperature anomalies are likely to prevail over most of the globe, especially over the subtropical North Pacific, southern South Pacific, subtropical North Atlantic, and the western Indian Ocean for January - June 2020.
- Above normal precipitation anomalies are predicted for the western Indian Ocean and the central off-equatorial North Pacific, while below normal precipitation anomalies are expected for eastern off-equatorial South Pacific for January - June 2020.

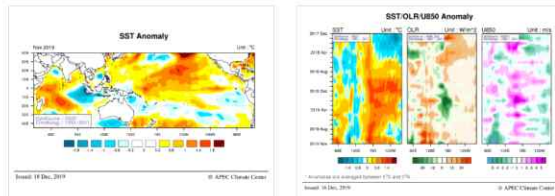


Fig 1 (Left) monthly mean observed sea surface temperature (SST) anomalies for November 2019 and (right) time longitude cross section of the observed monthly mean SST anomalies, outgoing longwave radiation (OLR) anomalies, and zonal wind anomalies at 850hPa (U850) along the equator (5°S-5°N) in the Indian and Pacific Oceans (40°E-80°W) for December 2017 - November 2019.

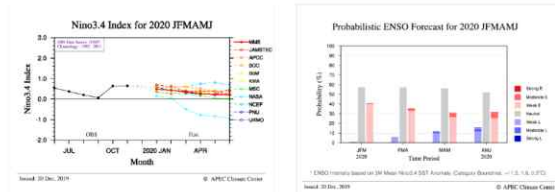


Fig 2 Predicted monthly mean Niño3.4 index from individual models and the MME for December 2019 - May 2020 (left). Probabilistic MME forecasts of the status and intensity based on 3-month mean Niño3.4 index for four overlapping 3-month mean periods (right). Anomalies are computed with respect to the common period of participating models in the APCC MME prediction (1992-2011).

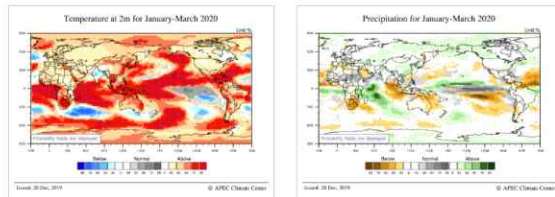


Fig 3 Probabilistic MME forecasts of 2m temperature (left) and precipitation (right) for December 2019 - February 2020. Normal conditions are computed with respect to the common base period of participating models in the APCC MME prediction (1992-2011).

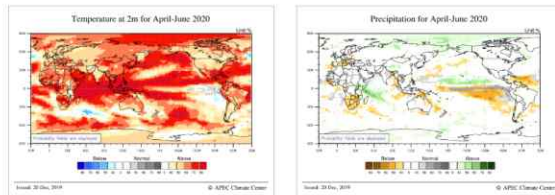


Fig 4 Probabilistic MME forecasts of 2m temperature (left) and precipitation (right) for March - May 2020. Normal conditions are computed with respect to the common base period of participating models in the APCC MME prediction (1992-2011).

Figure 17. A new page for Summary of seasonal climate outlook.

Climate Information Services

Home > Climate Information Services > Seasonal Forecast > Methodology
Methodology

- Seasonal Forecast
 - Forecast
 - Summary
 - Outlook
 - SST
 - Verification
 - Forecast
 - Hindcast
 - Methodology
 - Model Description
- B&ISO Forecast
- Applied Forecast
- Climate Monitoring
- Climate Service Toolkit

APCC Seasonal Forecasts

The APCC seasonal forecast is based on multi-model ensemble (MME) prediction system and disseminated to APEC member economics around 20th of every month. Currently, 14 operational centers and research institutes from 10 countries around the world participate in the APCC MME operational prediction system by routinely providing their predictions in the form of ensembles of global forecast fields ([More information on participating models](#)).

The APCC's real-time operational forecasts are issued in both deterministic (based on ensemble mean) and probabilistic (based on full set of ensemble members) forms and more detailed description of the methods is as follows.

Deterministic MME Forecast



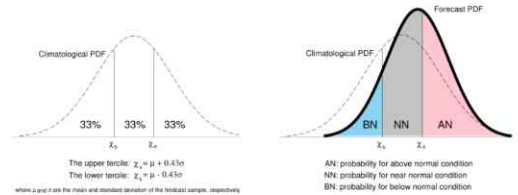
The deterministic forecast is based on a simply average of bias-corrected ensemble means from each model with equal weight to create a multi-model forecast. The ensemble mean anomaly forecasts for each individual model is calculated by their own climatology from the hindcasts.

Probabilistic MME Forecast

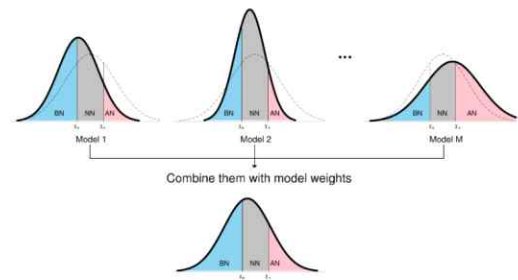


The probabilistic forecast is based on an uncalibrated MME with model weights being proportional to the square root of ensemble size, and a Gaussian fitting method for the estimation of the tercile-based categorical probabilities, that is, the probability of below-normal (BN), near-normal (NN), and above-normal (AN) categories with respect to climatology ([Min et al. 2009](#)). The procedure for the probabilistic forecast consists of following two steps.

1. Estimation of individual model probabilities: The upper and lower terciles are determined separately for each model using their mean and standard deviation of hindcasts. Then, the forecast probability for each category is estimated as a portion of the cumulative probability of their forecast sample associated with the category.



2. Multi-model combination: The forecast probabilities for each model are averaged together with model weights being inversely proportional to the random errors in the forecast probability associated with the standard error of the ensemble mean (i.e., proportional to the square root of ensemble size) to create a probabilistic multi-model ensemble forecast.



NOTE:

When using the data, please cite [Min et al. \(2017\)](#) and in the acknowledgements please note that "The authors acknowledge that the APCC Multi Model Ensemble (MME) Producing Centers for making their hindcast/forecast data available for analysis and the APEC Climate Center for collecting and archiving them and for organizing APCC MME prediction."


The MME and individual model data can be found in the [APCC Data Service](#).

Reference:

Min, Y.-M., V. N. Kousv, S. M. Oh, H.-J. Lee (2017): Skill of real-time operational forecasts with the APCC multi-model ensemble prediction system during the period 2008-2015. *Climate Dynamics*, 49:4141-4156. doi:10.1007/s00382-017-3576-2.

Min, Y.-M., V.N. Kousv, C.-K. Park, 2009: Probabilistic Multimodel Ensemble Approach to Seasonal Prediction. *Weather and Forecasting*, 24, 812-828.

Figure 18. A new page for description of Multi-Model Ensemble methods.



[LOGOUT](#) | [USER PROFILE](#) | [CONTACT US](#) | [SITE MAP](#) | [한국어](#) Q

Main Task
Climate Information Services
International Cooperation
Notices
About us

Climate Information Services

- Seasonal Forecast
 - Forecast
 - Summary
 - Outlook
 - SST
 - Verification
 - Forecast
 - Hindcast
 - Methodology
 - Model Description
- + BSISO Forecast
- + Applied Forecast
- + Climate Monitoring
- + Climate Service Toolkit

[Home](#) > [Climate Information Services](#) > [Seasonal Forecast](#) > **Model Description**

Model Description

202
[f](#)
[t](#)

The information of 14 climate models participating in APCC MME forecast is listed below. The information can be changed if the corresponding operational model is modified.

Download PDF

APCC	BCC	BOM	CMCC	CWB	HMC	JMA
KMA	MGO	MSC	NASA	NCEP	PNU	UKMO

APCC
TOP

1. Forecast System:

Organization	Korea, APCC
System name	SCoPS (Seamless of Coupled Prediction System)
First operational forecast run from APCC	Nov. 2017 (for 2017DJFMAM)

2. Model Description:

			Reference
Atmospheric model and resolution(top)	ECHAM5.3	T159L31 (10hPa)	Roeckner et al. 2003
Ocean model and resolution	POP2.0.1	0.3-0.5 x 1.0 deg. L40	Smith and Gent 2002
Land surface model and resolution	ECHAM5.3		Roeckner et al. 2003
Sea-ice model and resolution	CICE4.1		Hunk and Lipscomb 2010

3. Initial / Boundary Condition:

	Forecast	Hindcast
Atmospheric initial conditions	3D nudging CFSR	3D nudging CFSR
Land surface initial conditions	Clim	Clim
Soil moisture initial conditions	Clim	Clim
Snow initial conditions	Clim	Clim
Ocean initial conditions	EAKF CFSR SST & ARGO T/S	EAKF CFSR SST & ARGO T/S
Sea-ice initial conditions	Predicted	Predicted
SST boundary conditions (if tier-2)	N/A	N/A

4. Data Specification from APCC:

	Forecast	Hindcast
Initial conditions for forecast and hindcast	1 st and 5 th of the month	1 st and 5 th of the month
Ensemble size for forecast and hindcast	10 members	10 members
Hindcast period(fixed or on-the-fly?)	1982-2013(fixed)	
Forecast frequency and range(lead time)	6 months(1-6 month lead time)	
Spatial resolution	2.5° x 2.5°	
List of parameter for APCC	prec. sbp. sst. l2m. i850. u200. u850. v200. v850. z500	

5. More information

URL or Main reference	Ham et al. (2018) A newly developed APCC SCoPS and its prediction of East Asia seasonal climate variability. Clim Dyn, doi: 10.1007/s00382-018-4516-5
Focal point(name/e-mail)	Dr. Yoo-Bin Yhaeng (ybyhaeng@apcc21.org)

* The length of time between issuance of a forecast and the occurrence of the phenomena that were predicted
e.g. 2019 JJASON (1-6 month lead time) means 6 month forecast issued on May 2019.

- ✓ APCC: APEC Climate Center
- ✓ BCC: Beijing Climate Center
- ✓ BOM: Bureau of Meteorology
- ✓ CMCC: Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici
- ✓ CWB: Central Weather Bureau
- ✓ HMC: Hydrometeorological Centre of Russia
- ✓ JMA: Japan Meteorological Agency
- ✓ KMA: Korea Meteorological Administration
- ✓ MSC: Meteorological Service of Canada
- ✓ MGO: Voeikov Main Geophysical Observatory
- ✓ NASA: National Aeronautics and Space Administration
- ✓ NCEP: National Centers for Environmental Prediction
- ✓ PNU: Pusan National University
- ✓ UKMO: United Kingdom Met Office

Figure 19. A new page for description of individual models.

- 35 -

(다) 개별모델 정보 제공

① 현황 및 필요성

APCC 홈페이지를 통해 제공되고 있는 개별 모델의 예측정보는 현재 6개월 MME에 참여하고 있는 대기·해양 접합모델에만 국한되어 있었다. 하지만 개별모델 예측정보에 대한 수요가 점차 증가하고 있으며 APCC 예측정보 제공 다양화를 위해 APCC에서 수집하고 있는 다양한 모델의 예측정보를 제공하고자 하는 노력이 필요하게 되었다. 또한, 현재 홈페이지를 통해 제공되고 있는 개별모델 예측 및 검증정보는 특정 사용자(모델제공 기관)에게만 접근 권한이 있으며, APCC 예측정보 활용도 증대를 위해 일반 사용자에게도 확대 서비스하고자 한다.

② 개선 내용

아래의 사항을 2019년 8월 25일, 2019SONDJF 예측부터 적용하여 홈페이지를 통해 일반 사용자에게 확대 제공하였다.

㉠ 자료제공 정책 갱신

제3차 APCC MME 모델제공기관 회의(2019년 6월 4일, 대만)를 통해 12개의 모델제공자의 서비스 정책을 갱신하였고 서비스 정책을 반영하였다. 모델제공자들(JMA 제외)은 홈페이지를 통한 예측정보 제공에 동의하였다. 이를 바탕으로 홈페이지의 개별모델 정보 제공 범위를 로그인 사용자로 확대하였다(Figure 20).

	변경 전	변경 후
제공 방식	특정 ID(apcc)만 제공	로그인 사용자
서비스 목록	Outlook - Individual Model predictions - Deterministic Forecast	
	ENSO - Individual Model Predictions	
	Verification - Forecast / Hindcast	

Figure 20. Updated data provision policy.

기존 서비스는 8개의 모델(APCC, BOM, CMCC, CWB, MSC, NASA, NCEP, PNU.)에 국한되어 있었으나 이를 확대하여 13개의 모델(+ KMA, UKMO, BCC, HMC, MGO)을 서비스하고 있으며 모델과 기관명이 혼재되어 있는 기존의 표출 방식을 기관명으로 통일하였다.

㉡ 참여모델 확대제공을 위한 시스템 개발

관리자 페이지 내의 개별 모델 리스트를 개편하여 신규 모델을 추가(BCC, HMC, KMA, MGO, UKMO)하고 자료 미생산 모델을 삭제(MSC_CANCM3, MSC_CANCM4)하였으며 리스트를 모두 기관명으로 통일(POAMA→BOM)하였다(Figure 21).



Figure 21. Management page for updating MME participating models.

(5) 기상청 예보토의를 위한 GloSea5의 확률론적 MME 예측 참여

(가) 현황 및 필요성

APEC 기후센터는 기상청 장기예보 지원을 위해 매월 중순 기상청 예보토의 및 기후전문가회의(매계절)에 활용할 고품질의 MME 기후예측 자료를 생산 및 제공하고 있다. 여기서 생산되는 MME 예측자료는 참여하는 모델 중 다수가 만족하는 공통 hindcast 기간 (1983-2010년)을 기후 평년값으로 하여 편차값(anomaly)이 산출되는데, 2021년 WMO에서 새로운 기후 평년기준을 1991-2020년으로 재정의하는 가운데 다소 현재의 기후 특성을 충분히 반영하지 못한다는 지적이 나오고 있다. 더불어 현재 APCC의 hindcast 기간의 제약으로 인하여 최근 개선/개발된 고품질의 예측력을 가진 기후예측모델이 hindcast 기간이 불일치하다는 이유로 참여하지 못하는 모델의 수가 증가하면서 점차 MME 참여 모델의 다양성이 위축되고 있는 실정이다. 특히, 최근 개발되어 예측력이 비교적 우수한 한국 기상청의 GloSea5 모델(Figure 22~23) 또한 hindcast 기간의 불일치(1991-2010년)로 기상청 장기예보에 활용되지 않고 있다. 이에 GloSea5와 APCC MME 각각의 기후 평년 기간에 대한 평균값 및 확률 분포의 차이에 대해 통계적 유의성을 살펴보고 우수한 예측력을 지닌 GloSea5를 APCC MME에 참여시키기 위한 방안을 마련하고자 한다.

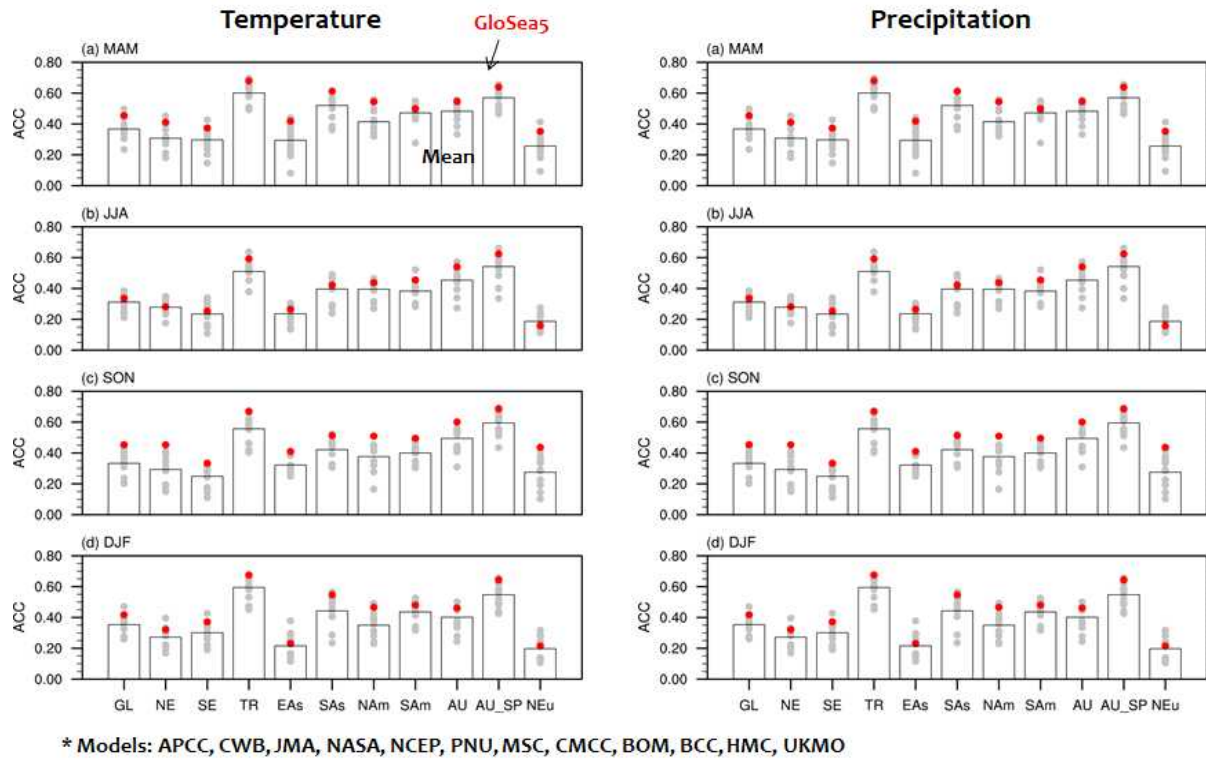


Figure 22. Regional anomaly correlation coefficient (ACC) of hindcast of the APCC MME participating models (gray dot), GloSea (red dot) for temperature (left) and precipitation (right) each season (a-d, MAM-DJF). Bars indicate mean ACC of APMM MME participating models.

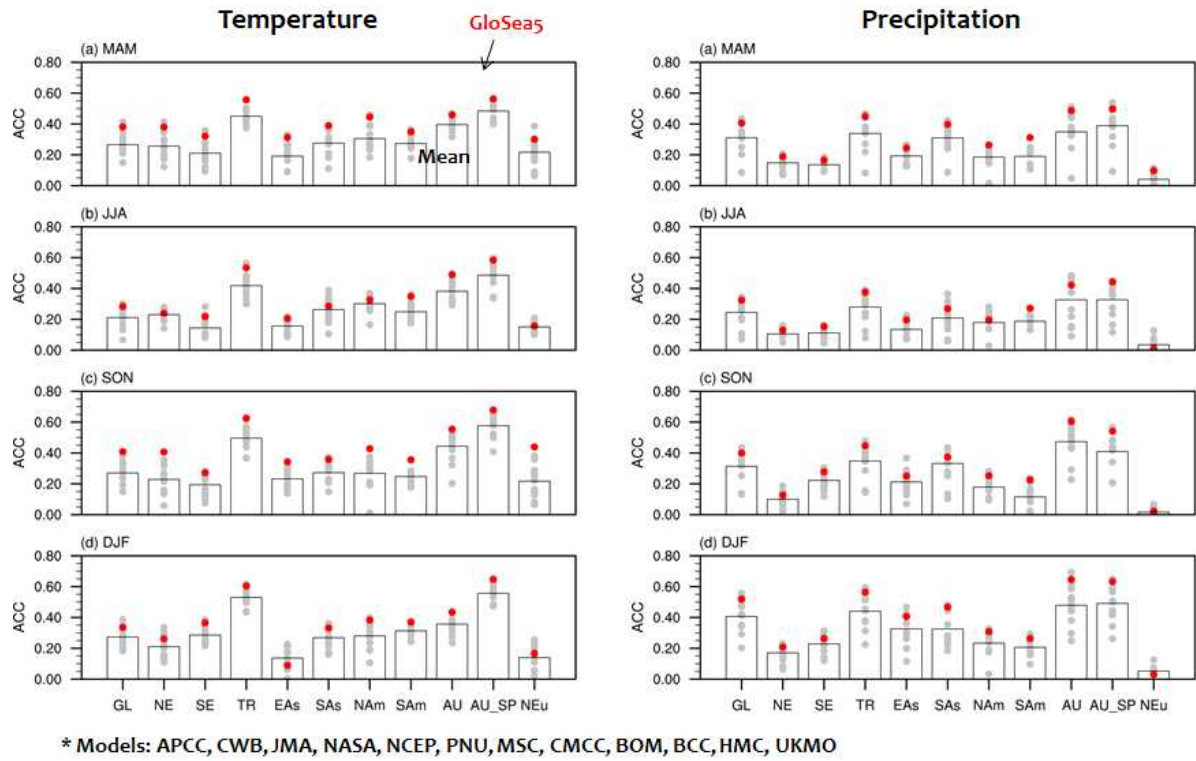


Figure 23. Same as Figure 22 except for temporal correlation coefficient (TCC).

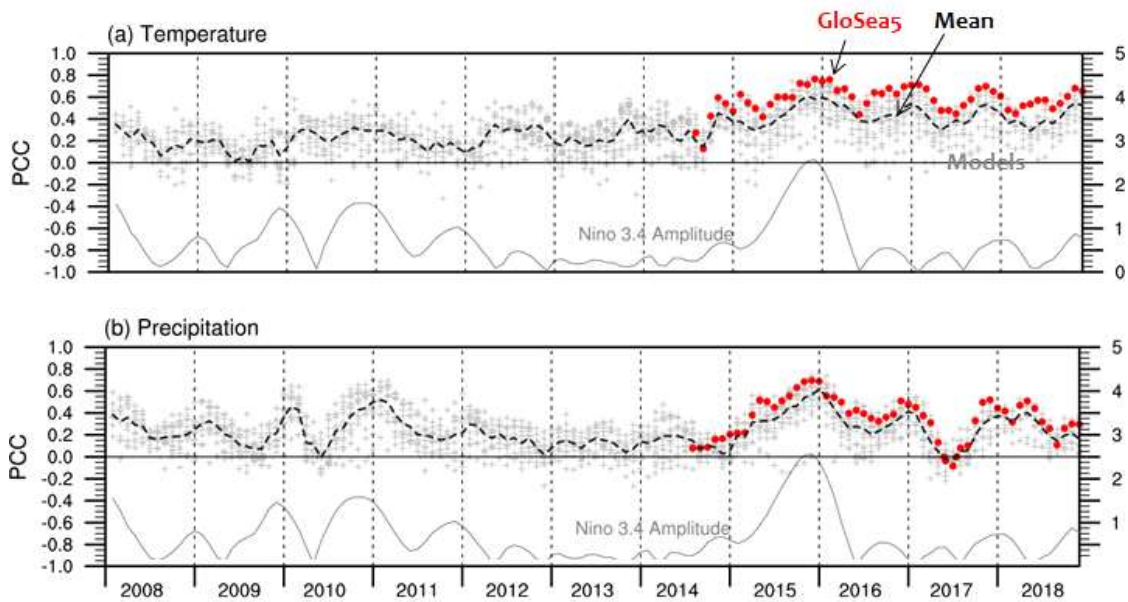


Figure 24. Changes of pattern correlation coefficient (PCC) of real-time forecast of the APCC MME participating models (gray dot), GloSea (red dot) for seasonal temperature (top) and precipitation (bottom) 2008-2018. Black lines indicate mean PCC of APMM MME participating models.

(나) 기후 평년 기간에 대한 기후 평년값 및 확률분포 차이 유의성 평가

앞서 언급한 바와 같이 APCC MME의 hindcast 기간은 1983-2010년이며, 해당 기간에 만족하는 기후예측 모델만이 MME에 참여하는 체계로 예측정보를 생산하여 기상청 예보토의 등에 활용되고 있다. 기상청에서 운영 중인 기후예측 모델은 GloSea의 hindcast 기간은 현 기후 평년 기간인 1991-2010년으로써 APCC MME와의 기간 불일치로 참여를 하지 못하였으나, 1983-2010년(이하 clim1)과 1991-2010년(이하 clim2)의 두 기간에 대한 기후 평년값의 차이가 통계적으로 유의하지 않다면 GloSea5 예측자료를 MME에 포함하여 통계적으로 무방하다고 할 수 있다. 우선 NCEP-R2 재분석자료를 활용하여 관측된 두 기간의 기후 평년값 차이에 대한 통계적 유의성을 평가하였다. Figure 25는 관측된 clim1과 clim2의 기후 평년값 차이에 대한 계절별(MAM-DJF), 변수별(강수; PREC, 기온; T2M, 상층 지위고도; Z500, 해수면 온도; SST) t-test 분포이며, 색이 짙을수록 두 기후 평년값의 평균 차이가 통계적으로 유의함을 의미한다. 강수의 경우 모든 계절에 대하여 남극 일부 지역에서 두 기후 평년값의 유의한 차이가 나타나나, 다른 변수의 경우 대부분 통계적으로 무의미한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 또한 여름철 유라시아 중심 지역의 기온에 대해 유의미한 차이가 약하게나마 나타나지만 그 범위가 좁고, 낮은 유의수준 구간에서 나타나는 차이로써 영향을 미칠 만큼의 큰 차이는 아닌 것으로 사료된다.

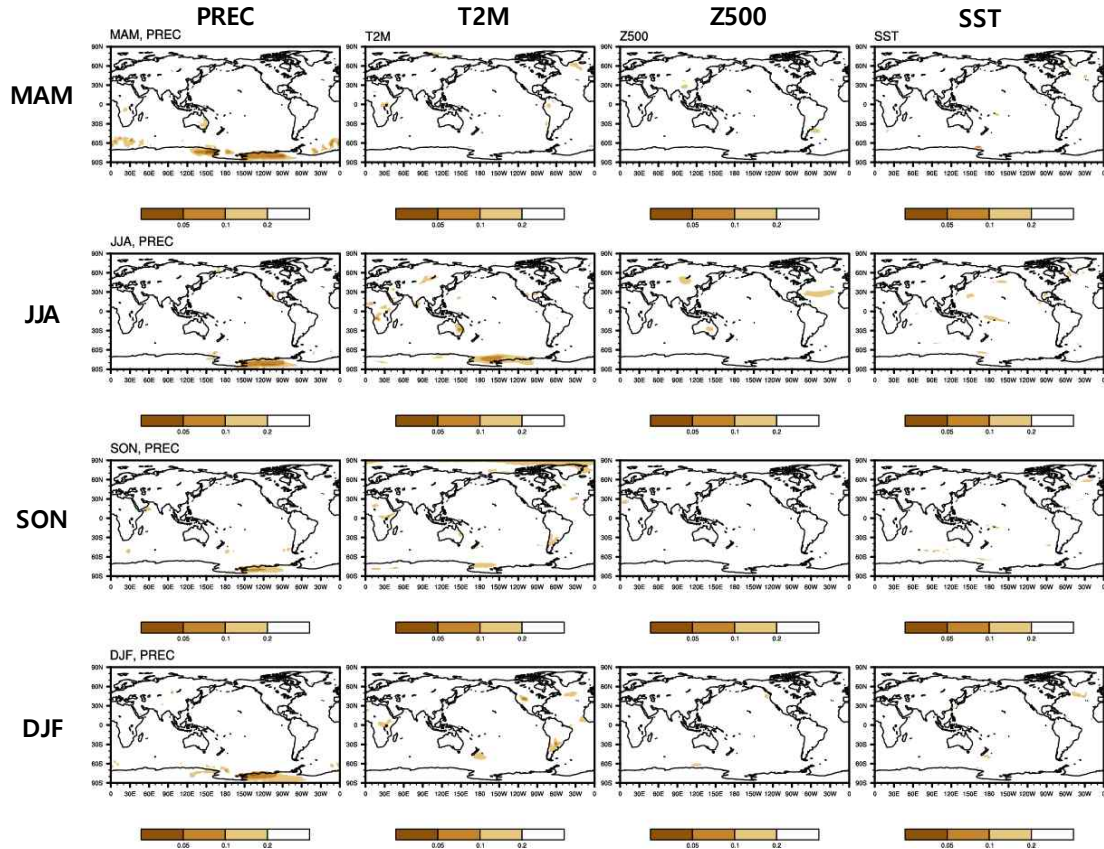


Figure 25. T-test between two climatologies for 1983-2010 (clim1) and 1991-2010 (clim2) of observed seasonal mean precipitation, 2m temperature, geopotential height at 500 hPa and sea surface temperature. Shaded areas are the regions where the clim1 and clim2 statistically differ at the 5%, 10%, and 20% significance levels.

두 기간의 평년값에 대한 평균적 차이뿐만 아니라 확률분포의 차이에 대한 통계적 유의성을 평가하기 위하여 KS-Test⁷⁾를 통해 살펴보았다(Figure 26). Figure 25와 마찬가지로 색이 짙을수록 두 기간의 확률분포에 대해 유의미한 차이가 나타남을 의미한다. 모든 계절 및 변수에 대해 통계적으로 유의하지 않은 차이를 보이면서 clim1과 clim2의 확률 분포가 서로 거의 유사함을 확인할 수 있다. 이는 nino3.4 지수에 대해서도 p-value가 모든 계절에 대해 0.99 이상으로써 두 기간에 대한 확률분포가 거의 동일한 것으로 나타남(Figure 27)에 따라 clim1과 clim2를 함께 사용하여도 통계적으로 무방하다는 것을 시사한다. 위 결과들과 같이 관측된 두 기후 평년값의 차이(평균 및 확률분포)는 일부 계절 및 지역에서 약간의 상이함은 있으나 통계적인 유의수준이 낮은 범주안에 포함되므로 각 기후 평년값에 의한 편차값을 함께 사용하여도 통계적으로 무관하다는 것을 알 수 있다.

7) Kolmogorov-Sminov 검정

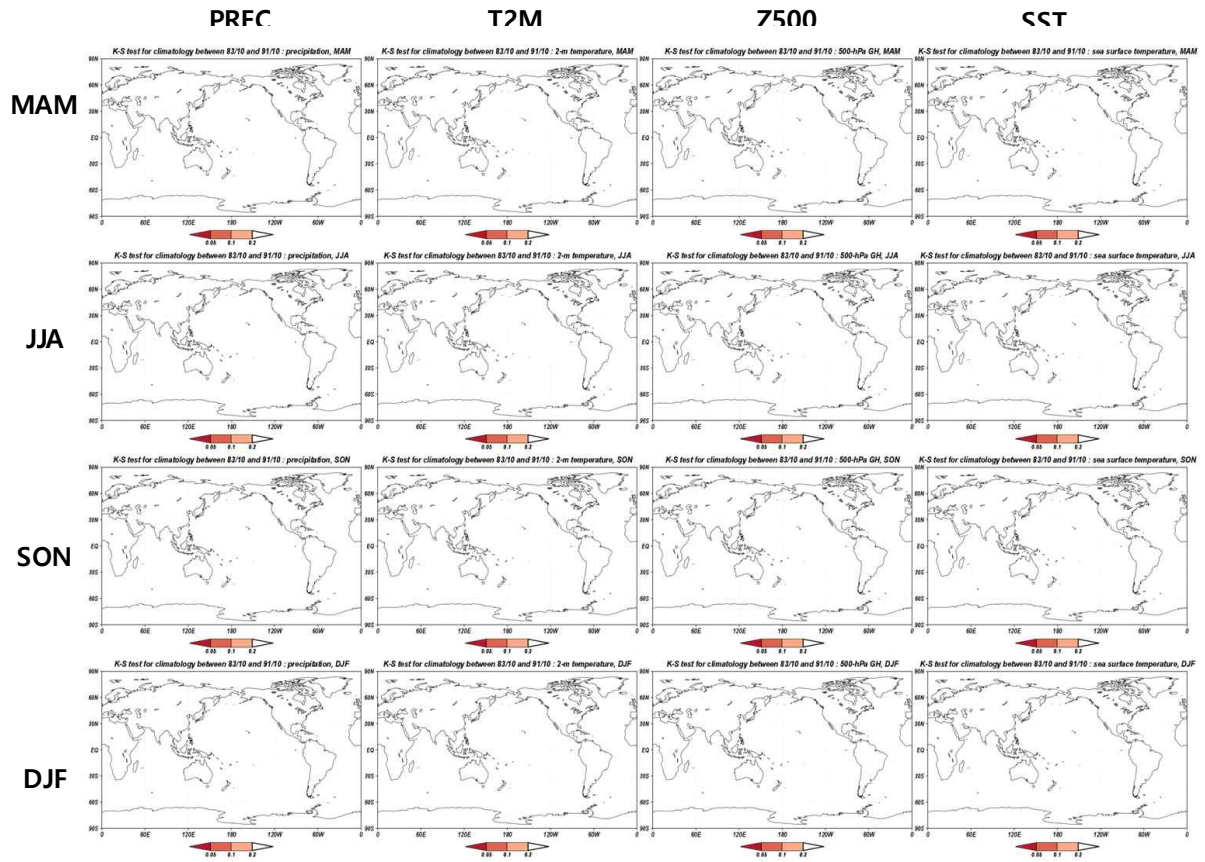


Figure 26. Same as Figure 25 except for KS-Test.

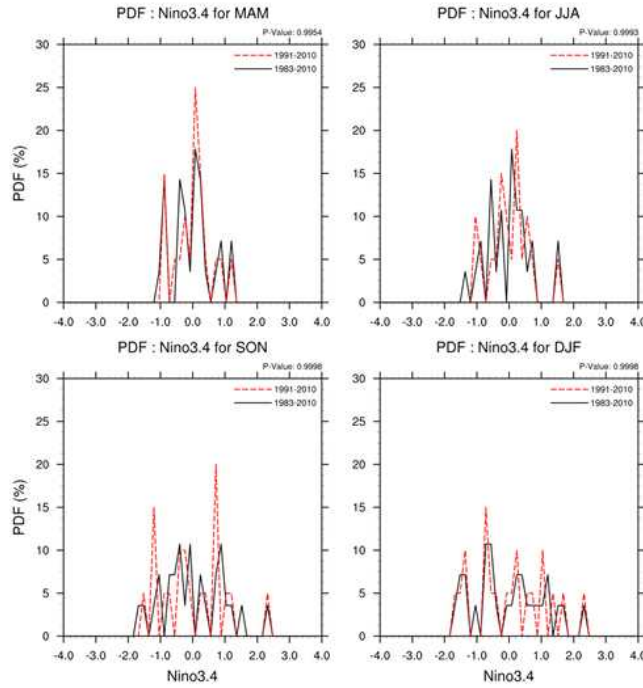


Figure 27. KS-test between two probability distribution for 1983-2010 (clim1; black line) and 1991-2010 (clim2; red line) of observed seasonal nino3.4 index.

기후예측 모델들에서도 관측과 동일한 결과가 나타나는 살펴보기 위하여 APCC-SCoPS 모델에 대해 clim1과 clim2의 기후 평년값의 차이가 통계적으로 유의한지는 t-test를 통해 분석하였다(Figure 15). clim1과 clim2의 기후 평년값은 평균적 차이는 봄/여름철 유라시아 일부 지역의 기온과 대서양에서의 상층 지위고도에서 약간의 유의한 차이를 보이곤 있으나, 전반적으로 전 계절 및 전 지역에 걸쳐 통계적으로 유의하지 않음을 확인할 수 있었다. Figure 28은 APCC-SCoPS 모델에서 예측된 clim1과 clim2의 계절별(MAM-DJF), 변수별(강수; PREC, 기온; T2M, 상층 지위고도; Z500, 해수면 온도; SST) 확률분포의 차이에 대한 KS-test 결과를 나타낸 그림으로써 모델 예측에서도 두 기후 평년값에 대한 모든 계절 및 변수별 확률분포의 차이가 통계적으로 유의하지 않으며, 예측된 nino3.4 지수에 대해서도 두 기후 평년 기간에 대한 분포가 거의 유사하게 나타났다(Figure 29). 또한, APCC-SCoPS 외 타 기후예측 모델들에 대해서도 분석을 실시했으며, 유사한 결과를 나타내었다 (부록C). 즉, 관측과 유사하게 개별모델의 예측된 결과에서도 clim1과 clim2의 통계적인 유의미한 차이가 없었으며, 각 기간의 편차장을 함께 사용하여도 통계적으로 무방한 것으로 나타났다. 따라서 GloSea5 자체 hindcast 기간을 활용하여 APCC MME 실시간 예측의 결정론적 방법 및 카테고리별 확률예측에 참여 가능성을 의미한다.

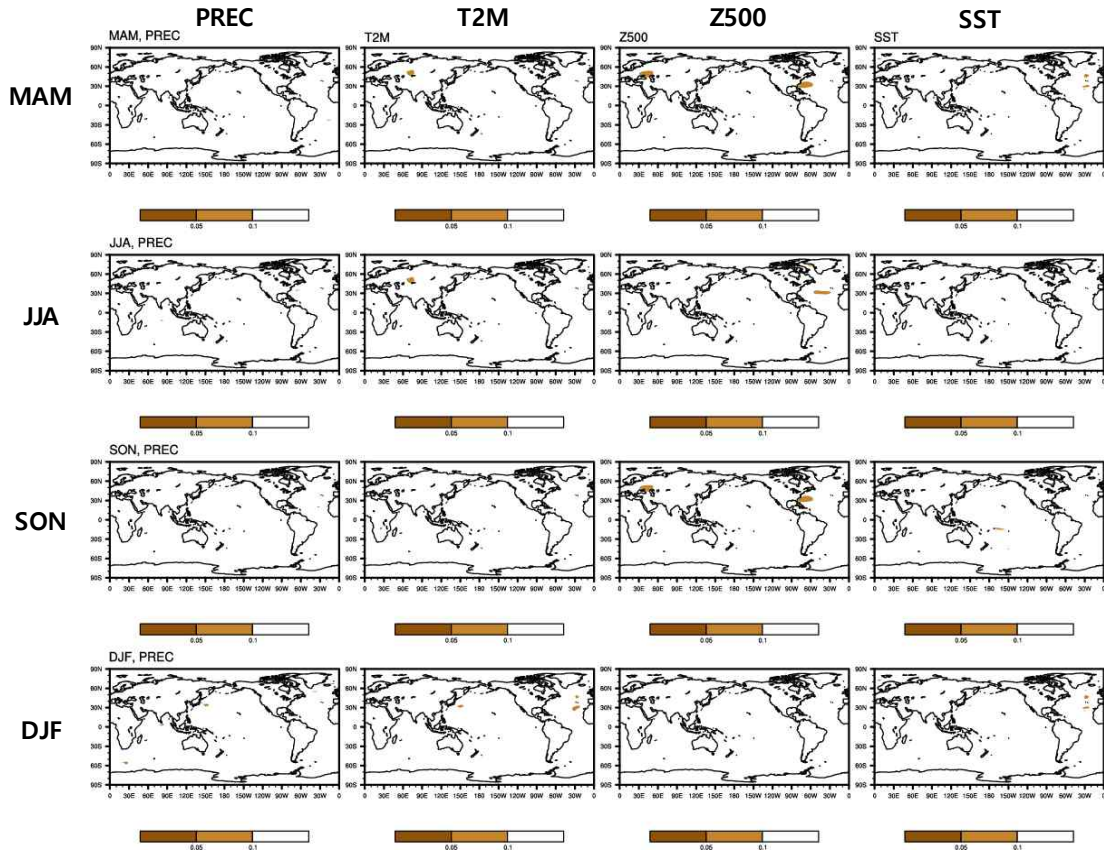


Figure 28. T-test between two climatologies for 1983-2010 (clim1) and 1991-2010 (clim2) of predicted seasonal mean precipitation, 2m temperature, geopotential height at 500 hPa and sea surface temperature by APCC-SCoPS. Shaded areas are the regions where the clim1 and clim2 statistically differ at the 5%, 10%, and 20% significance levels.

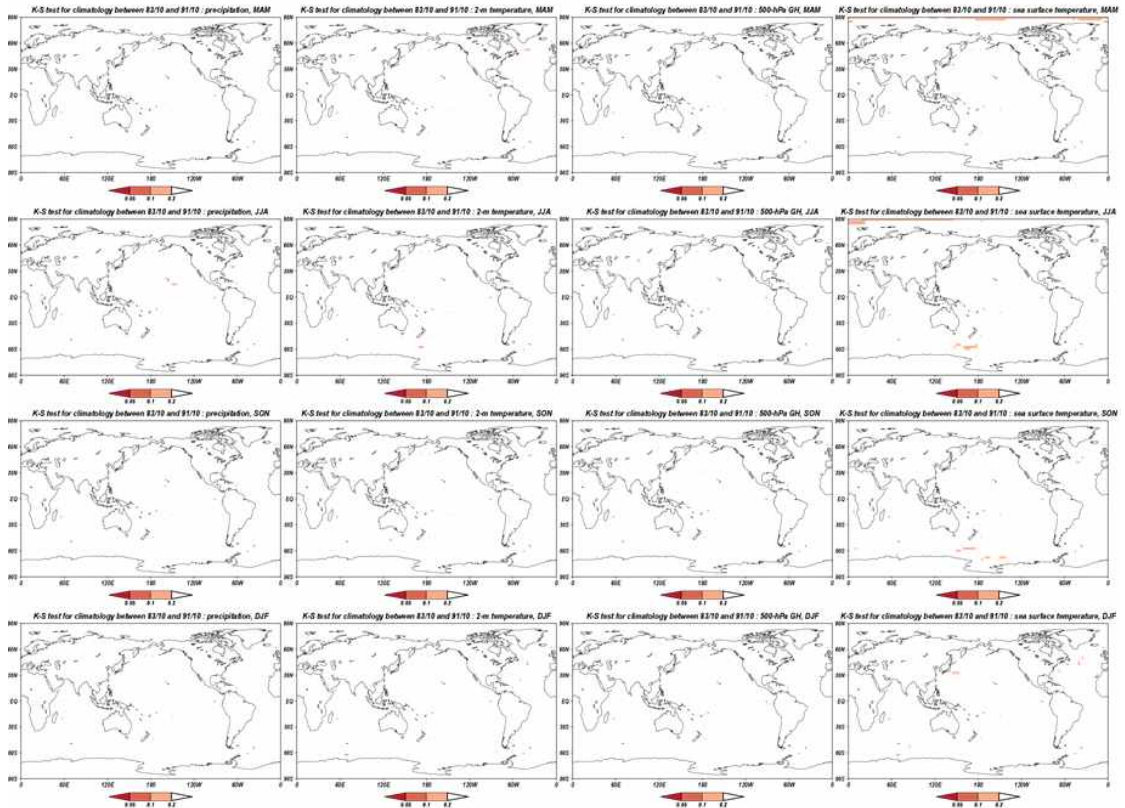


Figure 29. Same as Figure 28 except for KS-Test.

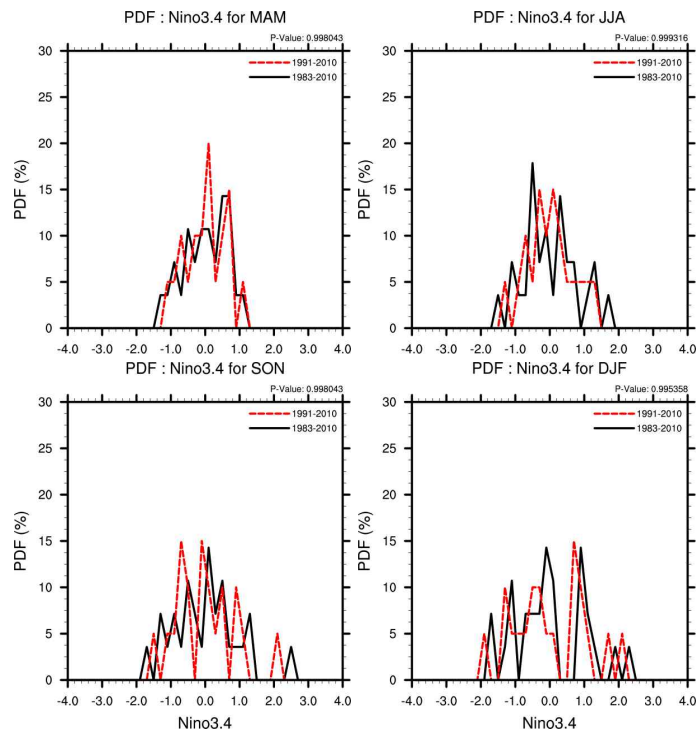


Figure 30. KS-test between two probability distribution for 1983-2010 (clim1; black line) and 1991-2010 (clim2; red line) of predicted seasonal nino3.4 index by APCC-SCoPS.

(다) GloSea5의 확률론적 MME 참여를 위한 프로그램 개발

(나)절에서와 같이 GloSea5 모델을 APCC MME에 포함하여도 통계적으로 무방한 것으로 나타남에 따라 GloSea5를 APCC MME 확률예측에 포함시키고자 독립적으로 수행할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

㉓ 프로그램 종류 및 기능

GloSea5를 반영한 MME 확률예측 프로그램의 종류와 그 기능은 아래(Table 4)와 같다.

Table 4. Program lists for including GloSea5 to APCC PMME

Program lists	Role
\${AFS}/RUN/Manage_MME GLOSEA5_fcast-mean.3m.yml GLOSEA5_fcast-month.3m.yml GLOSEA5_mme_module.rb GLOSEA5_runMME.rb	Setting for 3 months mean PMME
	Setting for 3-month PMME
	Setting for environment
	Run
\${AFS}/CODE/PMME/GAUS/N CL_GLOSEA5/ GAUS_FCST.ncl	Calculation for PMME

㉔ 프로그램 수행 방법 및 자료 생산

- 프로그램 수행 방법

```

] $ cd /$DIR/Manage_MME
] $ GLOSEA5_runMME.rb -c GLOSEA5_fcast-mean.3m.yml
] $ GLOSEA5_runMME.rb -c GLOSEA5_fcast-month.3m.yml
    
```

해당 프로그램을 통하여 GloSea5 모델을 포함한 MME 확률예측 정보를 생산이 가능해짐에 따라 기상청 예보토의 및 사용자들에 보다 고품질의 기후예측 정보 제공이 가능해졌다(Figure 31, 32).

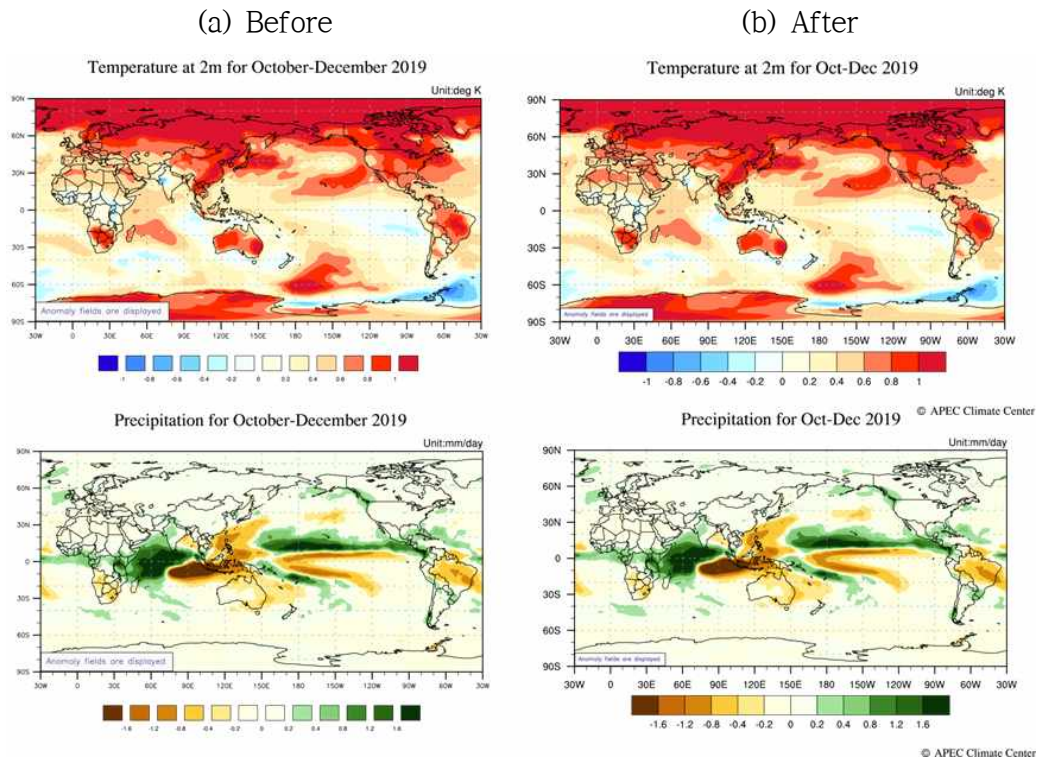


Figure 31. Before (a) and after (b) joining the KMA-GloSea5 model for APCC DMME (2m temperature; top, precipitation; bottom): 2019DJF.

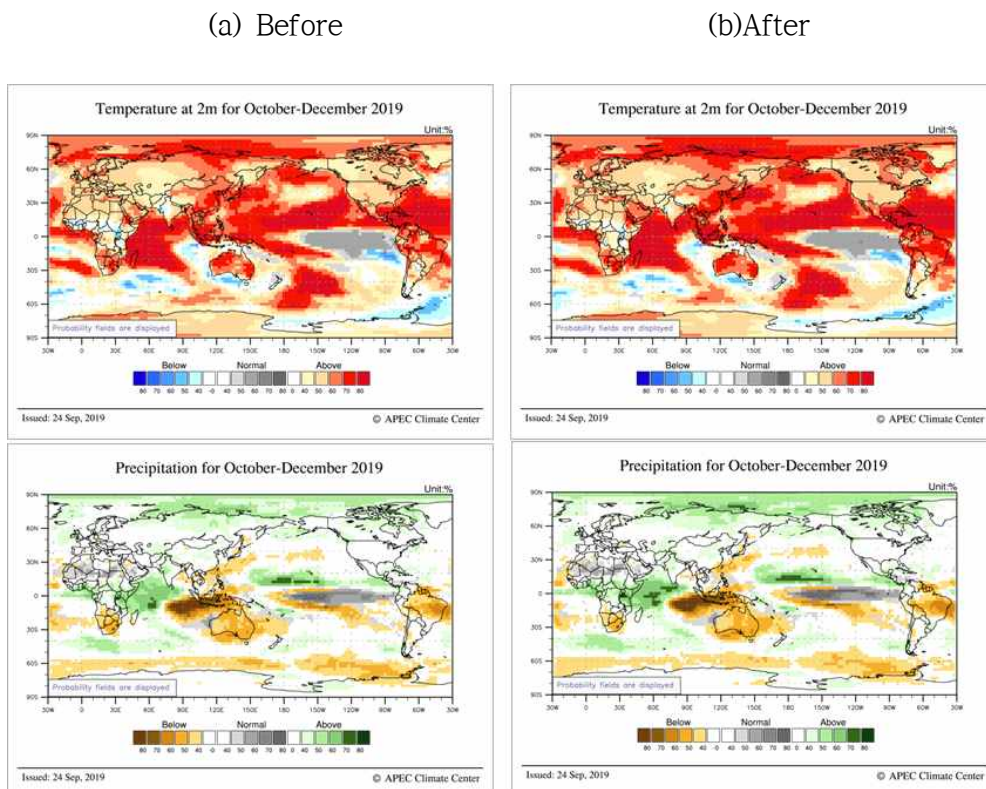


Figure 32. Same as Figure 31 except for PMME.

(6) BSISO 개선사항

(가) CWB 누적검증 표출

① 현황 및 필요성

APCC BSISO 예측 자료를 제공해오던 국가 현업기관 중 하나인 CWB는 모델 개선 작업으로 인하여 2017년 10월 31일부터 자료 제공을 잠정적으로 일시 중단하였으며, 2018년 5월 2일부터 개선된 모델 자료를 제공하기 시작하였으나 자료 누적 기간이 짧아 전체 기간에 대한 검증(total verification) 정보를 제공하는데 어려움이 있었다. 이에 따라 2018년 현업이 끝난 이후 CWB 자료 누적분에 대한 전체 검증을 하기 위하여 검증 시스템 내 코드 수정이 불가피하였고 수정사항을 반영하여 2019년 초부터 전체 검증 정보를 제공하고자 하였다.

② 개선 내용

2013년부터 현재까지 현업기간을 실시간으로 모두 누적하여 검증을 하는 방법에서 모델이 바뀐 시점 (예. CWB 같은 경우 2018년 5월 2일)부터 최근 현업기간까지의 누적 자료에 대해서 연단위로 1회만 누적 검증이 수행되도록 현업 코드를 수정함으로써 현업 소요시간을 단축시키고 해를 거듭할 때의 각 모델의 평균 검증스킬의 비교가 원활하게 되게끔 개선하였다(Figure 33).

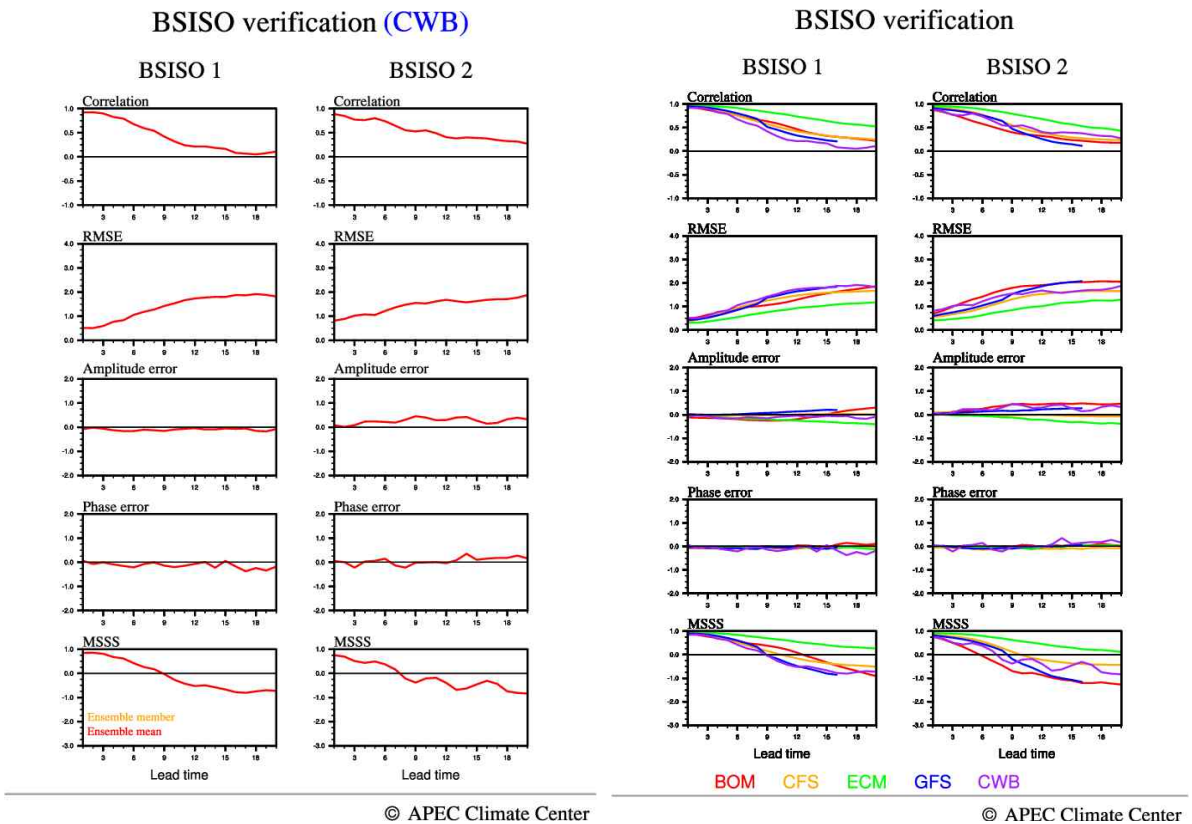


Figure 33. Example of BSISO verification of CWB (left) and all participant models information (right).

(나) NCEP GFS 누락기간 백업

① 현황 및 필요성

APCC BSISO 예측 자료를 제공해오던 국가 현업기관 중 하나인 NCEP의 GFS모델의 일 예측 자료에 2017년 8월 9일 이후부터 2018년까지 선행시간 9일 이후로부터 비정상적인 패턴이 연속적으로 나타남을 확인하였다. 이에 따라 2018년 5월부터 2019년 4월까지 수시로 모델 제공 기관과 에러값에 대한 조치 방안 및 수정에 대한 피드백을 주고받았다.

② 개선 내용

2019년 4월 NCEP으로 부터 새로운 GFS 예측자료가 재 입수되었고 2017년 8월 9일 ~ 2019년 4월까지의 BSISO 예측 정보 및 검증 자료를 재생산하였다. 수정 후 GFS 모델의 OLR 아노말리 패턴이 관측과 유사하게 나타났고 예측 기간에 따라 비정상적인 분포를 보이던 OLR 패턴이 수정되었음을 확인하였다(Figure 34). BSISO 1과 BSISO 2 지수의 9일의 선행시간이후에 비선형적으로 correlation, MSSS가 감소, RMSE가 증가하던 것이 예측 자료 수정 이후 검증 스킬이 증가하는 것을 확인하였다(Figure 35).

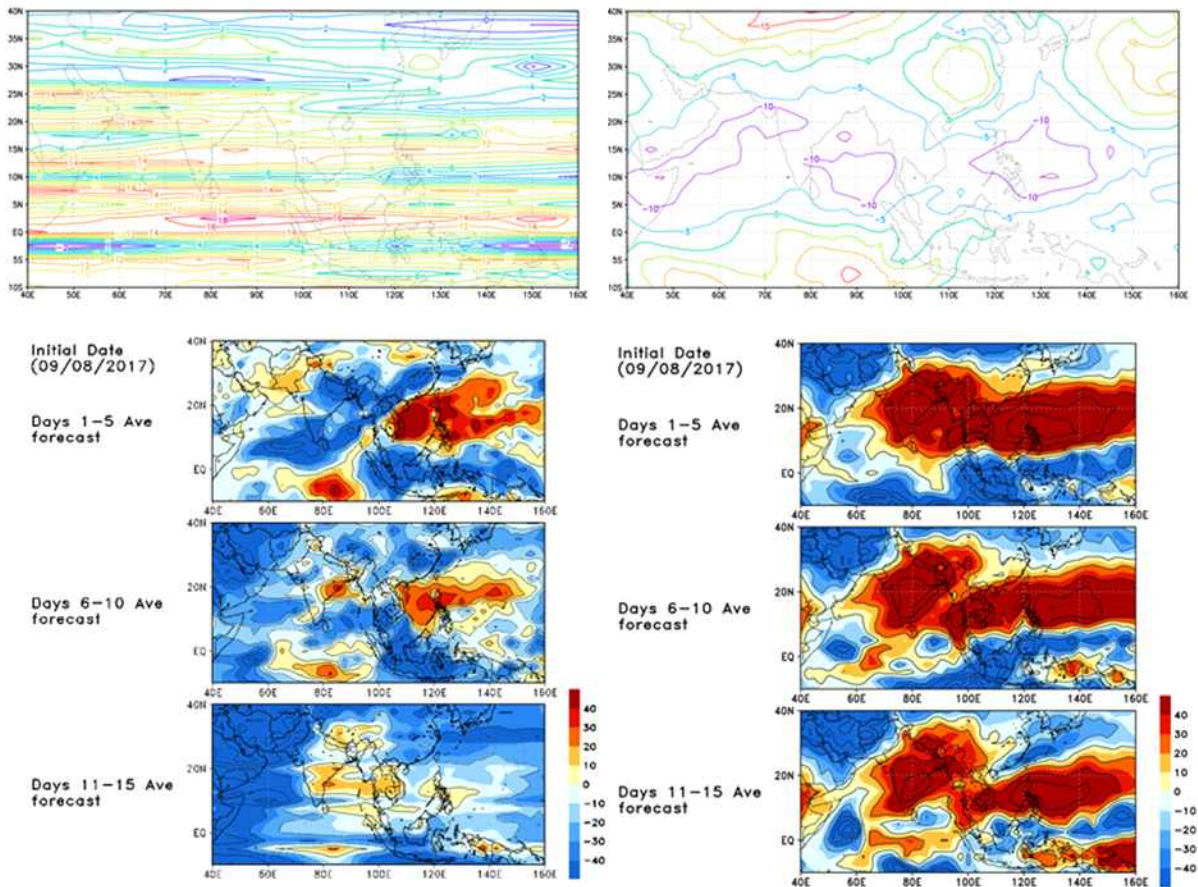


Figure 34. Before (left) and after (right) modification of initial field of outgoing long-wave radiation and forecast for GFS model.

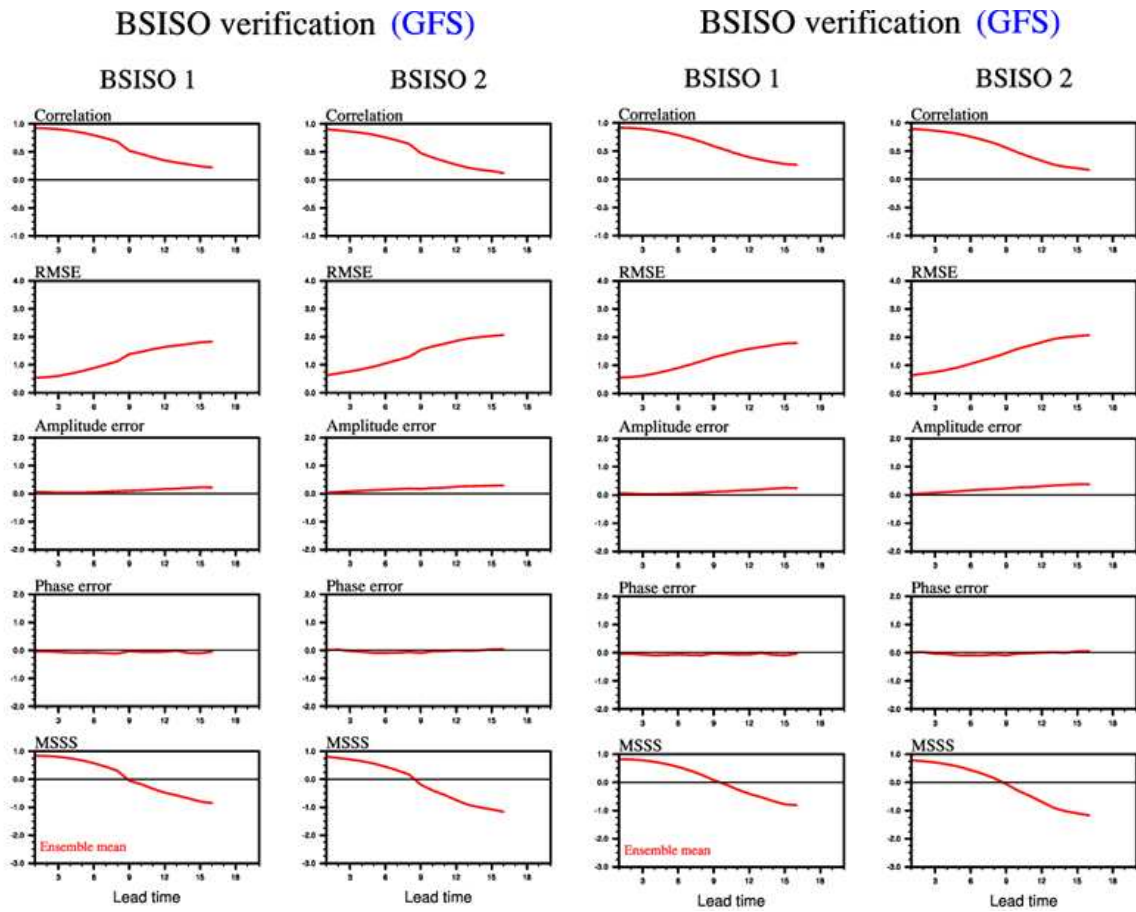


Figure 35. Before (left) and after (right) modification of BSISO verification for GFS model.

(7) APCC 예측정보의 활용

(가) 기상청 기후정보포털에 APCC MME ENSO 예측정보 제공

① 현황 및 필요성

APCC의 ENSO 예측정보 제공은 APCC 누리집을 통해서만 이루어지고 있었으며 외부 채널을 통한 제공은 이루어지고 있지 않았다. APCC의 ENSO 예측정보 활용도를 높이기 위하여 기상청과 협력하여 기상청 기후정보포털(climate.go.kr)에 ENSO 예측정보를 매달 제공하고자 한다.

② 제공 내용

우선적으로 공식 문서를 통한 기상청 관계 부서 협조 요청하였다. 그 후 ENSO 예측정보 문서를 작성하여 사용자가 예측정보를 다운로드 할 수 있도록 하였고 관련 그래픽 자료를 기상청 기후정보포털 웹페이지에 게시할 수 있도록 기상청 담당 부서에 전달하였다. 이 결과들은 2019년 5월에 예측한 2019JJASON 예측부터 기상청 기후정보포털에 매달 업데이트되고 있다 (Figure 36).



Figure 36. APCC's ENSO forecast information in Korea Meteorological Administration Global Atmosphere Watch (KMA GAW).

(나) BSISO 정보의 활용

① 현황

APCC의 BSISO 예측정보 제공은 APCC 홈페이지를 통해서만 이루어지고 있었으며 외부 채널을 통한 제공은 이루어지고 있지 않았다. APCC BSISO 예측정보의 활용성을 증진시키고 사용자 하여금 이해도를 높이기 위해서 국내외로 APCC BSISO 서비스 홍보에 노력을 기울여왔다.

② 제공 내용

최근 몬순 온라인 사이트 (<http://mol.tropmet.res.in>; MOL)의 Subseasonal Forecasts 메뉴에 APCC BSISO 홈페이지를 통해 업데이트 되는 모델 중 NCEP CFS에서 예측된 BSISO phase diagram과 호우 확률 예보 자료가 실시간으로 활용 및 제공하고 있다(Figure 37).

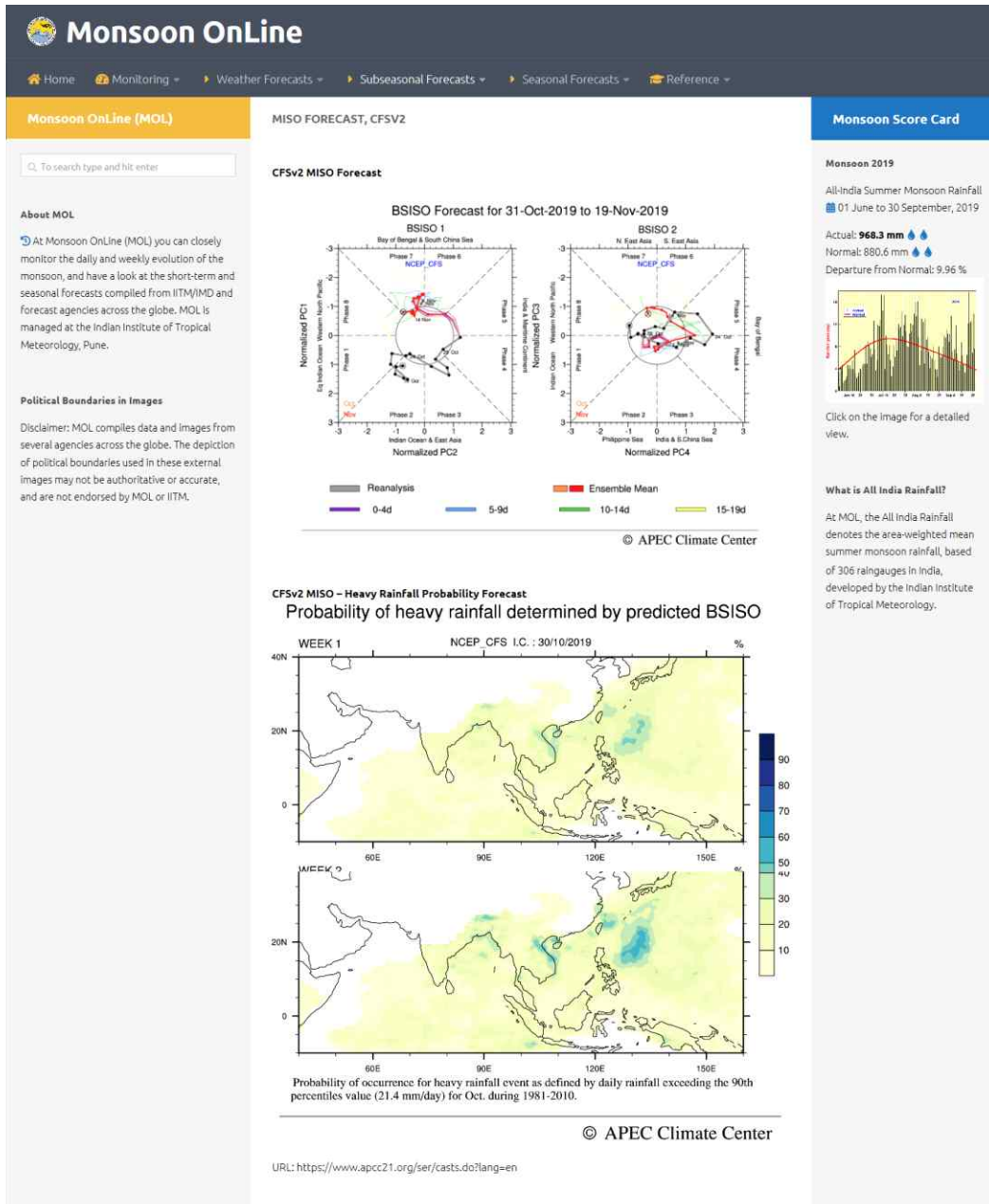


Figure 37. APCC BSISO real-time forecast information in MOL

나. 기후감시 및 검증시스템의 생산체계 개선

(1) 기후감시시스템의 구조 분석 및 개선

(가) 현황 및 필요성

APEC 기후센터(APCC)는 2005년 개소 이후 중·장기 예측기술 향상을 위한 연구 및 현업을 위한 다중모델앙상블 예측기법 개발 및 개선을 위한 노력을 지속적으로 기울여 왔다. 그 결과, 홈페이지를 통해 동아시아 계절예측, 전지구 계절예측 정보를 제공하고 있으며, 이와 더불어

어 최근 기후현황에 대한 기후감시 정보도 함께 제공하고 있다.

그러나 APCC 개소 이후 개발되었던 기후감시 시스템의 경우, 개발 및 개선을 반복하면서 다양한 프로그래밍 언어(예, Shell, FORTRAN, Ruby, NCL 등)로 복잡한 코드로 구성이 되어있었고 또한 외부에 자료를 제공하는 APCC Data Service System (ADSS)의 관측 자료를 읽어 들여 계산하는 시스템으로 되어 있었다. 이러한 기존 기후감시 시스템은 사용자가 새롭게 특정 자료를 생산하거나 코드를 수정하기에 많은 불편함이 있었고 새로운 기후감시 정보를 추가하기에도 어려움이 있었다.

따라서, 앞에 언급된 여러 문제점을 보완하기 위해 계산 부분은 python, 그림 부분은 NCL 프로그래밍 언어로 통일하여 새로운 기후감시 시스템을 개발함으로써 업무 효율성을 높이고 시스템의 확장성과 유연성을 강화하고자 하였다. Figure 38은 기존 기후감시 시스템의 문제점과 새로운 시스템의 개선점을 나타낸 것이다.

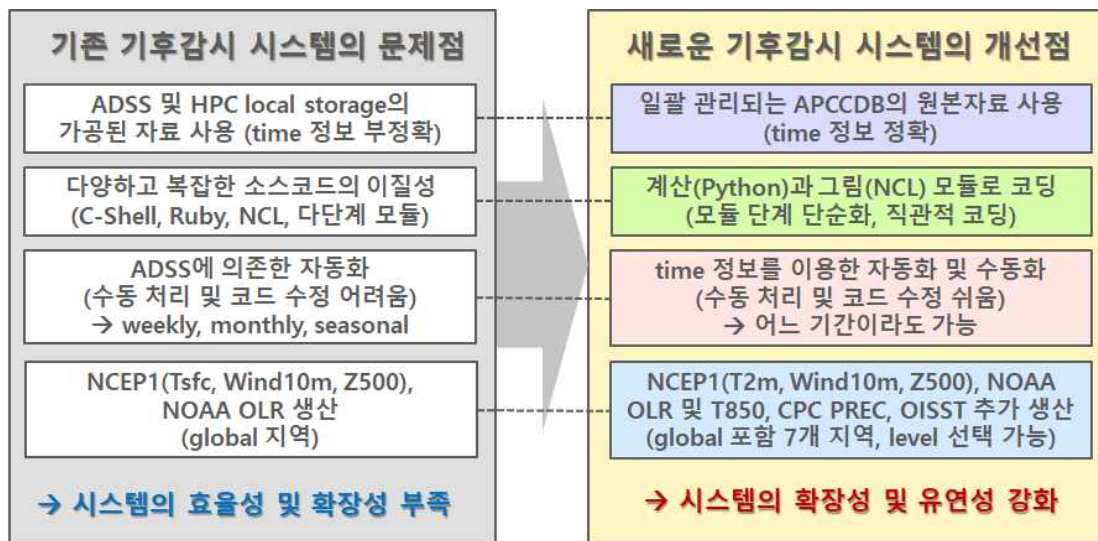


Figure 38. Improvements in the new climate monitoring system.

(나) 자료

① 관측 자료 개요

기후감시 정보를 생산하기 위해 사용된 관측 자료는 모두 일별(daily) 자료로써 NCEP/NCAR Reanalysis 1 (2m 기온, 850hPa 기온, 10m 바람, 500hPa 지위고도), CPC Global Unified Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation (강수), NOAA Daily Outgoing Longwave Radiation (OLR, 상향장파복사), NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST, 해수면온도)로 각 자료에 대한 간략한 설명은 아래 Table 5~8과 같다.

Table 5. Summary of NCEP/NCAR Reanalysis 1.

Contents	
FTP	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis.dailyavgs/
Variable	surface gauss : 2m temperature (air), 10m wind (uwnd.10m, vwnd.10m) pressure : 850hPa temperature (air), 500hPa geopotential height (hgt)
Period	1948. 1. 1 - present (daily update)
Resolution	surface gauss: T62 Gaussian grid with 192x94 points pressure : 2.5 x 2.5 degree
Webpage	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html

Table 6. Summary of CPC Precipitation.

Contents	
FTP	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/cpc_global_precip/
Variable	precipitation (precip)
Period	1979. 1. 1 - present (daily update)
Resolution	0.5 x 0.5 degree
Webpage	https://www.esrl.noaa.gov/psd/gridded/data.cpc.globalprecip.html

Table 7. Summary of NOAA OLR.

Contents	
FTP	non-interp : ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/uninterp_OLR/olr.day.mean.nc interp : ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/interp_OLR/olr.day.mean.nc
Variable	non-interp : outgoing longwave radiation (olr) interp : outgoing longwave radiation (olr)
Period	non-interp : 2002. 1. 1 - present (daily update) interp : 1974. 6. 1 - 2018. 12. 31
Resolution	non-interp : 2.5 x 2.5 degree interp : 2.5 x 2.5 degree
Webpage	non-interp : https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.uninterp_OLR.html interp : https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.interp_OLR.html

Table 8. Summary of NOAA OISST.

Contents	
FTP	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/noaa.oisst.v2.highres/
Variable	sea surface temperature (sst)
Period	1981. 9. 1 - present (daily update)
Resolution	0.25 x 0.25 degree
Webpage	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html

② 관측 자료 경로

관측 자료의 관리는 APCC 기후정보통합위원회를 통해 자료의 다운로드, 업데이트 등이 이루어지고 있으며, APCC HPC 스토리지(APCCDB)에 저장되어 관리되고 있다. 기후감시 정보 생산을 위한 관측 자료의 APCCDB 경로는 Table 9와 같다.

Table 9. Observation data directory in APCCDB.

Variable and Directory	
NCEP1	surface gauss : 2m temperature (air), 10m wind (uwnd.10m, vwnd.10m) - /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/surface_gauss/
	pressure : 850hPa temperature (air), 500hPa geopotential height (hgt) - /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/pressure/
CPC	precipitation (precip)
PRCP	- /apccdb/Observation/Grid/CPC_GLOBAL_PRECIP/
NOAA OLR	non-interp : outgoing longwave radiation (olr) - /apccdb/Observation/Grid/NOAA_OLR/Daily/uninterp_OLR/
	interp : outgoing longwave radiation (olr) - /apccdb/Observation/Grid/NOAA_OLR/Daily/interp_OLR/
NOAA	sea surface temperature (sst)
OISST	- /apccdb/Observation/Grid/OISST/Daily/sst/

③ 관측 자료 처리

관측 자료는 지정된 과거기간에 대한 기후값을 계산하고 원자료에서 기후값을 뺀 아노말리를 생산하여 사용하였다. 현재 시스템에 적용된 기후값 기간은 1983 ~2010년이다.

NOAA OLR의 경우에는 현재까지 업데이트되는 일별 자료가 non-interpolation자료로 2002년 1월부터 시작되기에, 기후값을 계산하기 위해 1974년 6월부터 2018년 12월까지 자료를 제공하는 interpolation 자료를 사용하였다.

(다) 기후감시 시스템의 구성과 환경설정

① 기후감시 시스템 구성

기후감시 시스템에 사용된 언어는 python version 3와 NCAR Command Language (NCL)이고 python은 자료 처리, NCL은 그림 산출을 위해 사용되었다. python 언어를 사용하기 위해서는 여러 부가적인 python 패키지가 요구되는데, 현 시스템에서는 일반적으로 많이 사용되는 numpy, netCDF4, xarray, pandas 패키지를 사용하였다.

현 시스템은 각 관측 자료별로 작성된 개별 python 프로그램으로 구성되고, 이 개별 프로그램은 기후값 및 아노말리 계산, nc 파일 쓰기, 그림 산출을 위한 python 모듈을 모두 포함하고 있다. 즉 관측 자료별로 작성된 개별 프로그램의 구성은 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 apccdb로부터 관측 자료의 자료명, 경로, 파일명, 변수명, 기간 등을 읽어 들이는 yaml 부분, 두 번째는 기후값, 아노말리 계산, nc 파일 쓰기 등을 위한 python 모듈 부분, 마지막은 ncl 파일 생산, ncl 실행을 위한 python 모듈 부분이다.

이러한 개별 프로그램은 관측 자료별로 독립적으로 프로그램 수행이 가능하며, 또한 개별

프로그램을 묶어서 전체적으로 수행도 가능하다. 이렇게 프로그램을 구성함으로써 사용자가 필요한 관측 자료에 대해 개별적으로 수동으로 실행도 가능하며, 전체 프로그램을 묶어 crontab 등을 이용해 자동화 및 수동으로 실행도 가능하도록 하였다. Figure 39는 개별 프로그램 및 전체 프로그램 실행을 위한 기후감시 시스템 구성도를 나타내고, Figure 40은 자동화 및 수동화 실행 내용을 나타낸다.

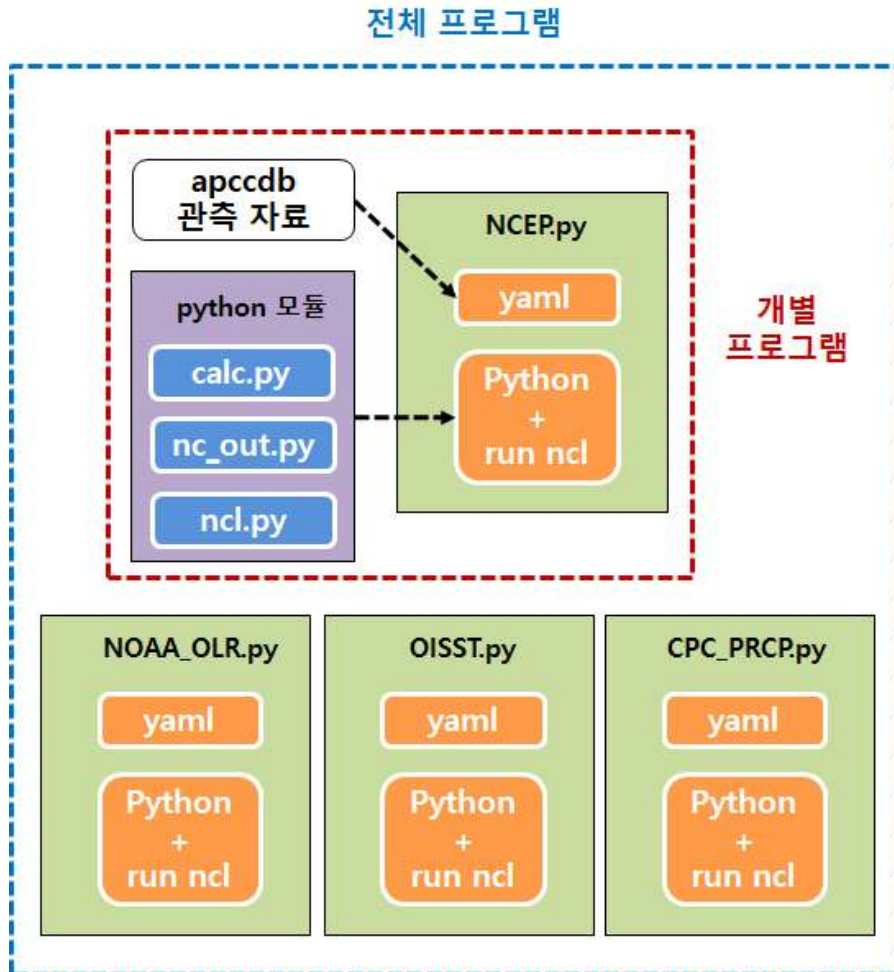


Figure 39. Configuration of climate monitoring system.



Figure 40. Automation and manualization of climate monitoring system.

② APCC 현업서버 환경설정

기후감시 시스템은 APCC HPC 로그인 서버 또는 현업서버에서 실행이 되며 이를 위해서는 HPC의 소프트웨어 모듈을 로드하여 사용하여야 한다. 기본적으로 필요한 것은 python과 NCL 모듈이다.

사용자가 로그인 후 해당계정에서 python과 NCL 모듈을 로드한다.

■ 모듈 확인(module avail)

```

]$ module avail
----- /opt/Modules/versions -----
3.2.10
----- /opt/Modules/3.2.10/modulefiles -----
dot      module-git  module-info  modules
----- /app/modulefiles/compiler -----
gnu/4.9.0      intel/14.0      pgi/13.10      python/3.6.1(default)
intel/11.1(default)  intel_mkl      pgi/14.6      python/3.7.1
intel/12.0      pgi/10.9(default)  pgi/9.0      python/3.7.1-anaconda
intel/12.1      pgi/11.10      python/2.7.15
intel/13.1      pgi/12.10      python/2.7.15-anaconda
...
----- /app/modulefiles/library -----
atk/2.7.5      libffi/3.2.1      ncl/6.2.0
atlas/3.10.2_GNU  libgd/2.2.2      ncl/6.3.0
  
```

atspi2/2.7.5

libjpeg/6c(default)

ncl/6.4.0

■ 모듈 로드(module load)

```
]$ module load python/3.7.1-anaconda ncl/6.4.0
```

③ 기후감시 시스템 환경설정

기후감시 시스템이 실행되는 기본 디렉터리는 Figure 41의 RUN 디렉터리 이며(실행 코드는 Table 10 참고), 나머지 DATA, NCL, FIG 디렉터리는 사용자가 필요 시 변경할 수 있다(관측 자료별 개별 프로그램에서 변경 가능).

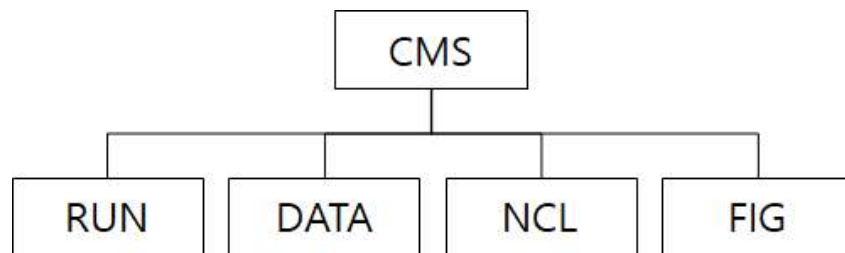


Figure 41. Directories of climate monitoring system.

- RUN 디렉터리 : 관측 자료별 python 코드와 yaml 파일,
자동화(crontab용) 코드, 수동화 코드 등 존재
※ RUN/my_package에는 python 사용자 모듈 코드 존재
- DATA 디렉터리 : 관측 자료의 기후값, 아노말리 nc 파일 저장 경로
- NCL 디렉터리 : 그림 생성을 위한 ncl 코드 저장 경로
- FIG 디렉터리 : eps, png 그림파일 생성을 위한 저장 경로

Table 10. Individual program and Python user-defined module in RUN directory.

RUN	Individual program
NCEP1	NCEP.yaml, NCEP.py
CPC PRCP	CPC_PRCP.yaml, CPC_PRCP.py
NOAA OLR	NOAA_OLR.yaml, NOAA_OLR.py
NOAA OISST	OISST.yaml, OISST.py
For crontab	run4crontab_week.py, run4crontab_season.py, run4crontab_month.py
For user-defined	run4user.py
Etc	update_check.py
RUN/my_package	User-defined module
Climatology, Anomaly	calc_daily.py
nc file	nc_out_daily.py
ncl file	ncl_NCEP.py, ncl_CPC_PRCP.py, ncl_NOAA_OLR.py, ncl_OISST.py
Etc	check_dates.py, run_command.py

DATA, NCL, FIG 디렉터리를 변경하기 위해서는 아래와 같이 RUN 디렉터리의 개별 프로그램(예, NCEP.py)을 열어 수정 가능하다. 사용자 지정 디렉터리를 \${USER}라고 하면, 실행 디렉터리는 아래와 같으며, ncout_path (DATA), ncl_path (NCL), ncl_figure (FIG) 경로를 수정한다.

■ 실행 디렉터리

```
${USER}/CMS/RUN
```

■ DATA, NCL, FIG 디렉터리 변경(예, NCEP.py)

```
#-----
# User defined

# Select plot type in NCL
ncl_ptype = "x11"
#ncl_ptype = "eps"    # for convert eps to png

# "daily mean climatology" and "daily mean anomaly" NetCDF files path
ncout_path = "${USER}/CMS/DATA/"

# NCL codes directory path
ncl_path = "${USER}/CMS/NCL/"

# NCL figures directory path
ncl_figure = "${USER}/CMS/FIG/"

#-----
```

또한, 화면상으로 그림을 출력(display)하기 위해서는 위 코드의 ncl_ptye을 “x11” 으로, png 그림파일로 저장하기 위해서는 ncl_ptye를 “eps” 로 수정하면 된다.

(라) 기후감시 시스템 실행

① 개별 프로그램 실행

관측 자료별 개별 프로그램을 실행하기 위해서는 먼저 해당 관측 자료의 자료명, 자료경로, 파일명, 변수명, 기후값 기간, 기후감시 기간을 yaml 파일에 입력을 해주어야 한다. 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 관측 자료별 yaml 파일을 수정한다. 여기서는 NCEP 자료에 대해 예시를 보여주고 나머지 관측 자료에 대한 yaml 파일은 뒤에 나열되어 있다.

㉞ 실행 디렉터리로 이동 및 NCEP.yaml 열기

```

]$ cd ${USER}/CMS/RUN
]$ vi NCEP.yaml

```

㉟ NCEP.yaml 변경

```

DataList:
- Source_name : NCEP_SFC
  Source_path : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/surface_gauss/air.2m/
  File_name   : air.2m.gauss.%s.nc
  Variable_name : air
  Climate_sdate : 1983-01-01
  Climate_edate : 2010-12-31
  Recent_sdate : 2019-09-01
  Recent_edate : 2019-09-30

- Source_name : NCEP_SFC
  Source_path : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/surface_gauss/uwnd.10m/
  File_name   : uwnd.10m.gauss.%s.nc
  Variable_name : uwnd
  Climate_sdate : 1983-01-01
  Climate_edate : 2010-12-31
  Recent_sdate : 2019-09-01
  Recent_edate : 2019-09-30

- Source_name : NCEP_SFC
  Source_path : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/surface_gauss/vwnd.10m/
  File_name   : vwnd.10m.gauss.%s.nc
  Variable_name : vwnd
  Climate_sdate : 1983-01-01
  Climate_edate : 2010-12-31
  Recent_sdate : 2019-09-01
  Recent_edate : 2019-09-30

- Source_name : NCEP
  Source_path : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/pressure/air/
  File_name   : air.%s.nc
  Variable_name : air
  Climate_sdate : 1983-01-01
  Climate_edate : 2010-12-31
  Recent_sdate : 2019-09-01
  Recent_edate : 2019-09-30

- Source_name : NCEP
  Source_path : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/pressure/hgt/
  File_name   : hgt.%s.nc

```

```
Variable_name : hgt
Climate_sdate : 1983-01-01
```

사용자가 실행을 원하는 변수를 선택하여(넣거나 뺄 수 있음) 형식에 맞게 수정한다(위 예제는 NCEP 기후감시 정보를 생산하기 위한 모든 리스트임). yaml 파일의 파일명에서 “%s” 부분은 python 코드에서 연도가 들어가는 부분으로 NCEP의 일별 자료가 모두 연도별로 구분이 되어 있기 때문이다.

yaml 파일 수정 후, NCEP.py python 코드를 실행하면 기후감시 정보가 생산된다. 여기서 기후감시 시스템 환경설정에서 기술하였듯이, 그림의 화면출력, png 파일 생성을 선택할 수 있고, DATA, NCL, FIG 디렉터리도 변경이 가능하다.

㊦ NCEP.py 실행

```
$ python NCEP.py
```

나머지 관측 자료에 대한 yaml 파일은 아래와 같이 나열하였다.

■ CPC_PRCP.yaml

```
DataList:
- Source_name : CPC_PRCP
  Source_path : /apccdb/Observation/Grid/CPC_GLOBAL_PRECIP/
  File_name   : precip.%s.nc
  Variable_name : precip
  Climate_sdate : 1983-01-01
  Climate_edate : 2010-12-31
  Recent_sdate : 2019-09-01
  Recent_edate : 2019-09-30
```

■ NOAA_OLR.yaml

```
DataList:
- Source_name : NOAA_OLR
  Source_path1 : /apccdb/Observation/Grid/NOAA_OLR/Daily/interp_OLR/
  Source_path2 : /apccdb/Observation/Grid/NOAA_OLR/Daily/uninterp_OLR/
  File_name    : olr.day.mean.nc
  Variable_name : olr
  Climate_sdate : 1983-01-01
  Climate_edate : 2010-12-31
  Recent_sdate : 2019-09-01
  Recent_edate : 2019-09-30
```

■ OISST.yaml

```
DataList:
- Source_name : OISST
  Source_path : /apccdb/Observation/Grid/OISST/Daily/sst/
  File_name   : sst.day.mean.%s.nc
  Variable_name : sst
  Climate_sdate : 1983-01-01
  Climate_edate : 2010-12-31
```

```
Recent_sdate : 2019-09-01
Recent_edate  : 2019-09-30
```

② 수동화 프로그램 실행(특정기간 입력의 경우)

수동으로 특정기간을 입력하여 기후감시 시스템을 실행하기 위해서는 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 “run4user.py” 코드를 사용한다. 이 코드의 기후값 기간, 특정기간을 연도, 월, 일로 입력을 하고 실행을 하면 그림이 생성된다.

㉞ 실행 디렉터리로 이동 및 run4user.py 열기

```
]$ cd ${USER}/CMS/RUN
]$ vi run4user.py
```

㉟ run4user.py의 기후값 기간, 특정기간 변경

```
#-----
# User defined
# Climatology and recent period
clim_start_date  = "1983-01-01"
clim_end_date    = "2010-12-31"
recent_start_date = "2019-05-16"
recent_end_date  = "2019-05-22"
#-----
```

㊱ run4user.py 실행

```
]$ python run4user.py
```

③ 자동화 프로그램 실행(오늘 날짜를 읽어 실행)

자동으로 기후감시 시스템을 실행하기 위해 APCC 홈페이지의 “기후현황-최근기후”에 업로드 되는 시간범위(주별, 월별, 계절별)에 따라 오늘 날짜를 자동으로 읽어 실행이 되는 자동화 코드 3개를 작성하였다. 해당 시간범위에 따라 선택하여 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에서 실행을 해주면 되고, 만약 사용자가 crontab에서 자동으로 실행되도록 하고 싶다면 crontab 스크립트에 매일 언제 실행할지를 정해서 crontab 스크립트에 해당 python 코드를 넣어주면 된다. 이 자동화 코드에서는 기후값 기간만 사용자가 변경하면 되도록 작성되어 있으며, 오늘 날짜를 읽어 지난 주, 지난 월, 지난 계절에 대한 기후감시 정보를 자동으로 생산하게 된다.

㉞ 실행 디렉터리로 이동 및 해당 코드 열기

```
]$ cd ${USER}/CMS/RUN
]$ vi run4crontab_week.py
```

```
또는
]$ vi run4crontab_month.py
또는
]$ vi run4crontab_season.py
```

㉔ 해당 코드의 기후값 기간 변경

```
#-----
# User defined : Climatology period
clim_start_date = "1983-01-01"
clim_end_date   = "2010-12-31"
#-----
```

㉕ 해당 코드 실행

```
]$ cd ${USER}/CMS/RUN
]$ python run4crontab_week.py
또는
]$ python run4crontab_month.py
또는
]$ python run4crontab_season.py
```

(마) 사용자 편의를 위한 기타내용

① 관측 자료의 기간 오류 알림

기후감시 시스템에 사용되는 관측 자료는 매일 업데이트가 되고 있으나, 제공하는 해당 기간에 따라 수일~일주일 정도 늦게 업데이트가 될 수 있다. 따라서 최근 기후감시 정보를 생산하기 위해 최근 시작 및 끝 날짜를 입력하게 되는데 자료의 늦은 업데이트로 인해 시스템이 실행되지 않고 에러를 출력하고 멈추게 된다. 이를 위해 각 관측 자료별 프로그램에 끝 날짜를 체크하도록 하여 사용자가 자료를 확인할 수 있도록 하였고, 별도의 자료 업데이트를 체크할 수 있는 코드도 함께 제공하였다.

■ 기간의 끝 날짜에 해당하는 자료가 없을 시 오류 알림 메시지

```
=====
The "recent_end_date" and source file's end date is not maching!!!
The source file's end date is 2019-11-14.
Please modify "recent_end_date"!!!
=====
```

- 관측 자료의 업데이트 여부를 확인할 수 있는 코드 제공 : 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에서 "update_check.py" 실행

```

j$ cd ${USER}/CMS/RUN
j$ python update_check.py
=====
APCCDB directory path
/apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/surface_gauss/air.2m/
=====
Starting date = 1948-01-01 00:00:00
Ending date   = 2019-11-15 00:00:00
=====

=====
APCCDB directory path
/apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/pressure/air/
=====
Starting date = 1948-01-01 00:00:00
Ending date   = 2019-11-15 00:00:00
=====

=====
APCCDB directory path
/apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP1/Daily/pressure/hgt/
=====
Starting date = 1948-01-01 00:00:00
Ending date   = 2019-11-15 00:00:00
=====

=====
APCCDB directory path
/apccdb/Observation/Grid/NOAA_OLR/Daily/uninterp_OLR/
=====
Starting date = 2002-01-01 00:00:00
Ending date   = 2019-11-14 00:00:00
=====

=====
APCCDB directory path
/apccdb/Observation/Grid/CPC_GLOBAL_PRECIP/
=====
Starting date = 1979-01-01 00:00:00
Ending date   = 2019-11-14 00:00:00
=====

=====
APCCDB directory path
/apccdb/Observation/Grid/OISST/Daily/sst/
=====
Starting date = 1981-09-01 00:00:00
Ending date   = 2019-11-14 00:00:00
=====

=====
APCCDB directory path
/apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
=====
Starting date = 1979-01-01 00:00:00
Ending date   = 2019-10-01 00:00:00
=====

```

② NCL 그림 수정

기후감시 시스템 환경설정에서 기술한 바와 같이 DATA 디렉터리에는 nc 파일이 저장되고, NCL 디렉터리에는 ncl 파일이 저장되게 되는데, 여기 NCL 디렉터리에 저장된 ncl 파일을 실행하면 사용자 설정에 따라 그림 화면출력 또는 png 파일 생성으로 바로 확인을 할 수가 있다. 따라서 그림을 수정하거나 개선하기 위해 기후감시 시스템의 python 사용자 모듈을 직접

수정하지 않고 NCL 디렉터리에 있는 ncl 코드를 수정하면 간단하게 확인이 되기 때문에 사용자가 쉽게 그림을 수정할 수 있게 된다. 이렇게 수정된 ncl 코드를 최종적으로 RUN/my_package 디렉터리에 있는 python 사용자 모듈에 적용하면 전체 기후감시 시스템의 그림이 수정되게 된다.

(2) 기후검증시스템의 문제점 진단 및 개선

(가) 현황 및 필요성

APEC 기후센터(APCC)는 2005년 개소 이후 중·장기 예측기술 향상을 위한 연구 및 현업을 위한 다중모델앙상블 예측기법 개발 및 개선을 위한 노력을 지속적으로 기울여 왔다. 그 결과, 홈페이지를 통해 동아시아 계절예측, 전지구 계절예측 정보를 제공하고 있으며, 이와 더불어 최근 기후현황에 대한 기후감시 정보도 함께 제공하고 있다.

그러나 APCC 개소 이후 개발되었던 기후검증 시스템의 경우, 개발 및 개선을 반복하면서 다양한 프로그래밍 언어(예, Shell, FORTRAN, NCL 등)로 복잡한 코드로 구성이 되어있었고 또한 관측 자료의 경우 여러 개인의 FORTRAN 코드를 사용하여 GrADS에서 사용되는 바이너리 자료(gdat)를 생산한 후 다시 NetCDF 자료로 변환하는 등의 과정으로 이루어져 있었다. 이러한 기존 기후검증 시스템은 사용자가 새롭게 특정 기간의 검증자료를 재생산하거나 또는 코드를 수정하기에 많은 불편함이 있었고 새로운 기후검증 정보를 추가하기에도 어려움이 있었다.

따라서, 앞에 언급된 여러 문제점을 보완하기 위해 계산 부분은 python, 그림 부분은 NCL 프로그래밍 언어로 통일하여 새로운 기후검증 시스템을 개발함으로써 업무 효율성을 높이고 시스템의 확장성과 유연성을 강화하고자 하였다. Figure 42는 기존 기후검증 시스템의 문제점과 새로운 시스템의 개선점을 나타낸 것이다.

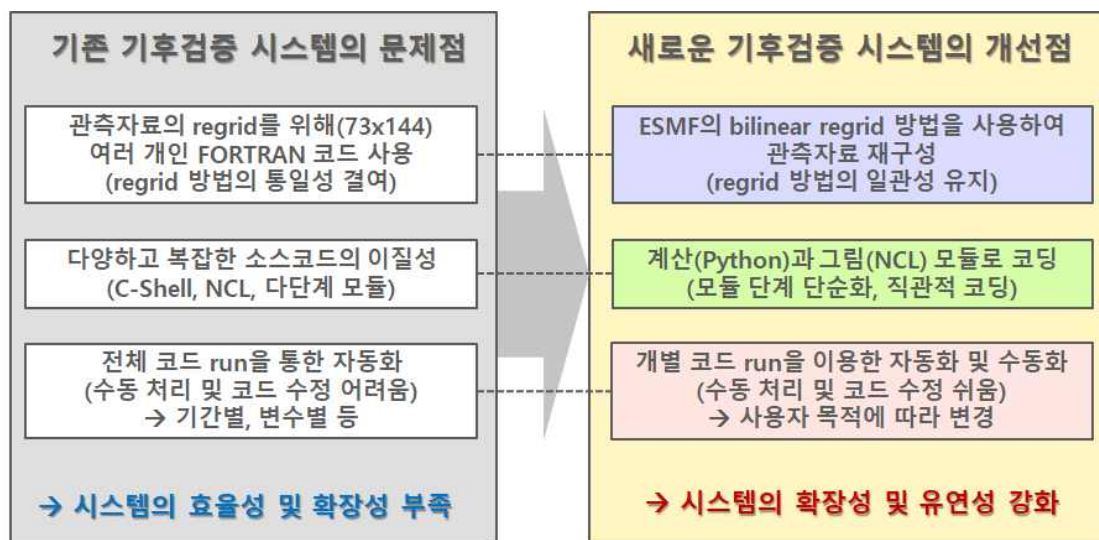


Figure 42. Improvements in the new climate monitoring system.

(나) 자료 및 방법

① 모델 자료 개요

현재 10개국(한국, 일본, 호주, 중국, 대만, 영국, 미국, 캐나다, 이태리, 러시아) 14개 현업 및 연구기관에서 매월 3개월 또는 6개월 예측 정보를 앙상블 형태로 제공해주고 있다(Table 11), 새롭게 개발된 기후검증 시스템은 각 개별모델 및 APCC 다중모델앙상블 예측정보에 대한 3개월 및 6개월 검증을 수행하게 되며, 다중모델앙상블 기법은 결정론적(deterministic) 예측과 확률론적(probabilistic) 예측을 각각 1개씩 사용한다(Table 12).

Table 11. Global climate models participating in APCC multi-model ensemble (MME).

Institution (Nation)	Model	Resolution	Ensemble No. (Fore/Hindcast)
APCC (Korea)	SCoPS	T159L31	10/10
BCC (China)	BCC_CSM1.1m	T106L26	24/24
BOM (Australia)	ACCESS-S	N216L85	11/11
CMCC (Italia)	CMCC-SPS3	1x1, L46	20/20
CWB (Taiwan)	GFST119L40/OPGSSTv2	T119L40	30/30
HMC (Russia)	SL-AV	1.125x1.40625, L28	20/10
JMA (Japan)	JMA/MRI-CPS2	T159L60	51/10
KMA (Korea)	GloSea5GC2	N216L85	42/12
MGO (Russia)	MGOAM-2	T42L14	10/6
MSC (Canada)	CanSIPsv2	T63L35	10/10
NASA (USA)	GEOS-S2S-2.1	0.5x0.5, L72	4/4
NCEP (USA)	CFSv2	T126L64	20/20
PNU (Korea)	PNU CGCM v2.0	T42L18	5/5
UKMO (UK)	GloSea5	N216L85	42/28

Table 12. APCC multi-model ensemble (MME) methods.

Method	Description	
Deterministic	SCM	Simple average of individual model forecasts with equal weighting
Probabilistic	GAUS	Non-calibrated probabilistic MME with model weights being inversely proportional to the random error in the forecast probability (Min et al. 2009)

② 관측 자료 개요

기후검증 정보를 생산하기 위해 사용된 관측 자료는 모두 월별(monthly) 자료로써 NCEP/DOE Reanalysis 2 (2m 기온, 850hPa 기온, 500hPa 지위고도), Climate Analysis Monitoring System and Outgoing longwave radiation Precipitation Index (CAM5-OPI, 강수), NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST, 해수면온도)로 각 자료에 대한 간략한 설명은 Table 13~15와 같다.

Table 13. Summary of NCEP/DOE Reanalysis 2.

Contents	
FTP	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis2.derived/
Variable	surface gauss : 2m temperature (air) pressure : 850hPa temperature (air), 500hPa geopotential height (hgt)
Period	1979. 1. - present (monthly update)
Resolution	surface gauss: T62 Gaussian grid with 192x94 points pressure : 2.5 x 2.5 degree
Webpage	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html

Table 14. Summary of CAM5-OPI.

Contents	
FTP	ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/data-req/cams_opi_v0208
Variable	precipitation (comb)
Period	1979. 1 - present (monthly update)
Resolution	2.5 x 2.5 degree
Webpage	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/global_precip/html/wpage.cams_opi.html

Table 15. Summary of NOAA OISST.

Contents	
FTP	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/noaa.oisst.v2
Variable	sea surface temperature (sst)
Period	1981. 12 - present (monthly update)
Resolution	1.0 x 1.0 degree
Webpage	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html

③ 관측 자료 개요

관측 자료의 관리는 APCC 기후정보통합위원회를 통해 자료의 다운로드, 업데이트 등이 이루어지고 있으며, APCC HPC 스토리지(APCCDB)에 저장되어 관리되고 있다. 기후감시 정보 생산을 위한 관측 자료의 APCCDB 경로는 Table 16과 같다.

Table 16. Observation data directory in APCCDB

Directory	
NCEP2	surface gauss : 2m 기온(air.2m) - /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/gaussian_grid/ pressure : 850hPa 기온(air), 500hPa 지위고도(hgt) - /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
CAMS-OPI	강수(comb) - /apccdb/Observation/Grid/CAMS_OPI/nc/
NOAA OISST	해수면온도(sst) - /apccdb/Observation/Grid/OISST/Monthly/

④ 관측 자료 처리

기후검증을 위해 서로 해상도가 다른 관측 자료를 2.5x2.5도의 위도, 경도를 가지는 자료로 regrid를 하여 표준화 하였다. 표준화를 위해 사용된 방법은 Earth System Modeling Framework (ESMF, <https://earthsystemcog.org>)의 regrid 기법 중 bilinear를 적용하였고, python 패키지로는 xESMF (xESMF: Universal Regrrdder for Geospatial Data, <https://xesmf.readthdocs.io>)를 사용하였다. 또한 검증 시 표준화된 관측 자료 및 다중모델앙상블 예측 자료의 landsea masking을 위해 NCEP/DOE reanalysis 2에서 제공하는 landsea mask 자료를 사용하였다.

결정론적 다중모델앙상블(DMME)의 검증을 위해 관측 자료는 지정된 과거기간에 대한 기후값을 계산하고 원자료에서 기후값을 빼 아노말리를 생산하여 사용하였고(현재 시스템에 적용된 기후값 기간은 1983 ~ 2010년이다.) 확률론적 다중모델앙상블(PMME)의 검증에서는 관측 자료의 원자료를 사용하였다.

⑤ 검증 영역

기후검증 영역은 WMO/CBS와 CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) 영역을 참고하여 최종적으로 12개 지역을 선정하였고(Table 17), 기존 과거 기후검증 시스템과 동일하다. 예측검증(Forecast)과 과거검증(hindcast) 부분 모두 동일한 영역으로 적용하였다(Figure 43). 또한 엘니뇨 및 IOD 지수 검증 시 사용되는 영역은 Table 18과 Figure 44~46와 같다.

Table 17. Domains used in APCC verification.

Region	Longitude, Latitude
Globe	0° - 360° E, 90° S - 90° N
Tropics	0° - 360° E, 20° S - 20° N
Northern Extra-tropics	0° -360° E, > 20° N
Southern Extra-tropics	0° -360° E, < 20° S
East Asia	75° E - 150° E, 15° N - 60° N
South Asia	60° E - 140° E, 10° S - 35° N
North America	190° E - 310° E, 10° N - 75° N
South America	270° E - 330° E, 60° S - 10° N
Australasia	110° E - 180° E, 50° S - 0° N
Australasia + South Pacific	110° E - 260° E, 50° S - 20° N
Northern Eurasia	25° E - 190° E, 40° N - 80° N
Middle East	25° E - 75° E, 10° N - 45° N

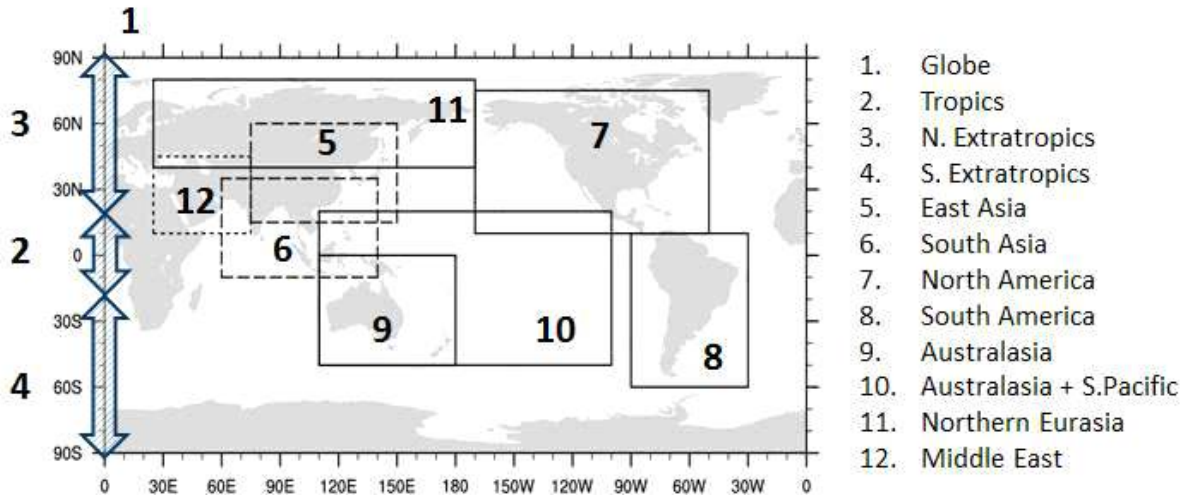


Figure 43. Verification domains in climate verification system.

Table 18. Domains of tropical ocean indices.

Index	Domain
Nino Indices	Nino 1+2 (0-10° S, 80° -90° W)
	Nino 3 (5° S-5° N, 90° -150° W)
	Nino 4 (5° S-5° N, 150° -160° W)
	Nino 3.4 (5° S-5° N, 120° -170° W)
IOD Indices	IOD = WIOD - EIOD
	WIOD (10° S-10° N, 50° -70° E)
	EIOD (10° S-0° , 90° -110° E)
ENSO-Modoki Indices	EMI = A - 0.5 x (B + C)
	A (10° S-10° N, 165° E-140° W)
	B (15° S-5° N, 110° W-70° W)
	C (10° S-20° N, 125° E-145° E)

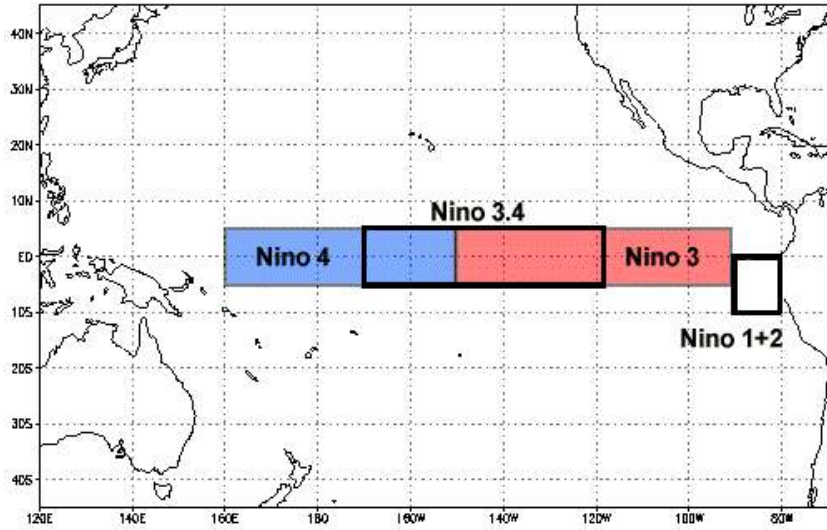


Figure 44. Domains of Niño indices.

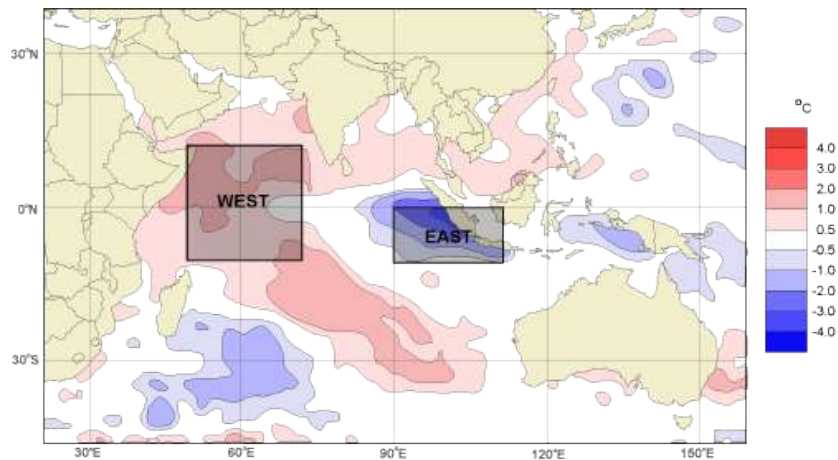


Figure 45. Domains of WIOD and EIOD indices.

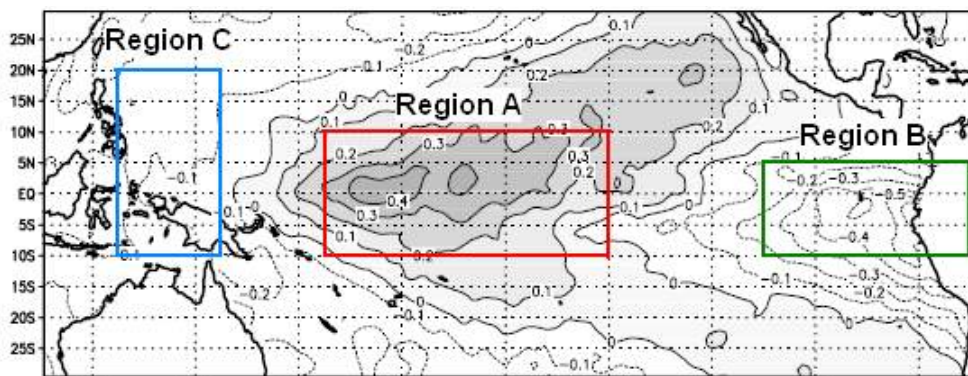


Figure 46. Domains of ENSO-Modoki indices.

⑥ 검증 기법

APCC 다중모델앙상블 예측은 결정론적 예보와 확률론적 예보로 구분이 되며, 각각 다른

검증기법을 이용하여 평가가 이루어진다. 검증 기법은 WMO/CBS의 권고사항을 우선적으로 고려하였으며, 이에 포함하지 않는 부분은 세계 현업기관에서 주로 사용되고 있는 기법을 추가적으로 적용하였다(Table 19).

Table 19. Verification methods in APCC forecast/hindcast.

Forecast	Verification Method	
Deterministic	WMO/CBS	Mean Square Skill Score (MSSS)
	APCC	Anomaly Correlation Coefficient (ACC)
Probabilistic	WMO/CBS	Reliability Diagram Relative Operating Characteristic (ROC)
	APCC	Brier Skill Score (BSS) Heidke Skill Score (HSS) Ranked Probability Skill Score (RPSS)
Tropical ocean indices	APCC	Comparisons of indices from observation and forecast

(다) 관측자료 표준화 시스템의 구성, 환경설정, 실행

① 관측자료 표준화 시스템 구성

관측자료 표준화 시스템에 사용된 언어는 python version 3이다. python 언어를 사용하기 위해서는 여러 추가적인 python 패키지가 요구되는데, 현 시스템에서는 일반적으로 많이 사용되는 numpy, netCDF4, xarray, pandas 패키지를 사용하였고, regrid를 위해 xesmf 패키지를 사용하였다.

관측자료 표준화 시스템은 각 관측 자료별로 작성된 개별 python 프로그램으로 구성되고, 원본 자료의 해상도가 2.5×2.5도(위도×경도, 73×144)로 같을 경우는 최종 파일 형식에 맞게 자료를 추출하고 다를 경우에는 xesmf regrid 사용하여 변환하였다. 관측 자료별로 작성된 개별 프로그램의 구성은 크게 2가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 apccdb로부터 관측 자료의 자료명, 경로, 파일명, 변수명, 기간 등을 읽어 들이는 yaml 부분, 두 번째는 regrid 변환, nc 파일 쓰기 등을 위한 python 모듈 부분이다.

이러한 개별 프로그램은 관측 자료별로 독립적으로 프로그램 수행이 가능하며, 또한 개별 프로그램을 묶어서 전체적으로 수행도 가능하다. 이렇게 프로그램을 구성함으로써 사용자가 필요한 관측 자료에 대해 개별적으로 수동으로 수행도 가능하며, 전체 프로그램을 묶어 crontab 등을 이용해 자동화 및 수동으로 수행도 가능하도록 하였다. Figure 47은 개별 프로그램 및 전체 프로그램 수행을 위한 관측자료 표준화 시스템 구성도를 나타낸다.

전체 프로그램

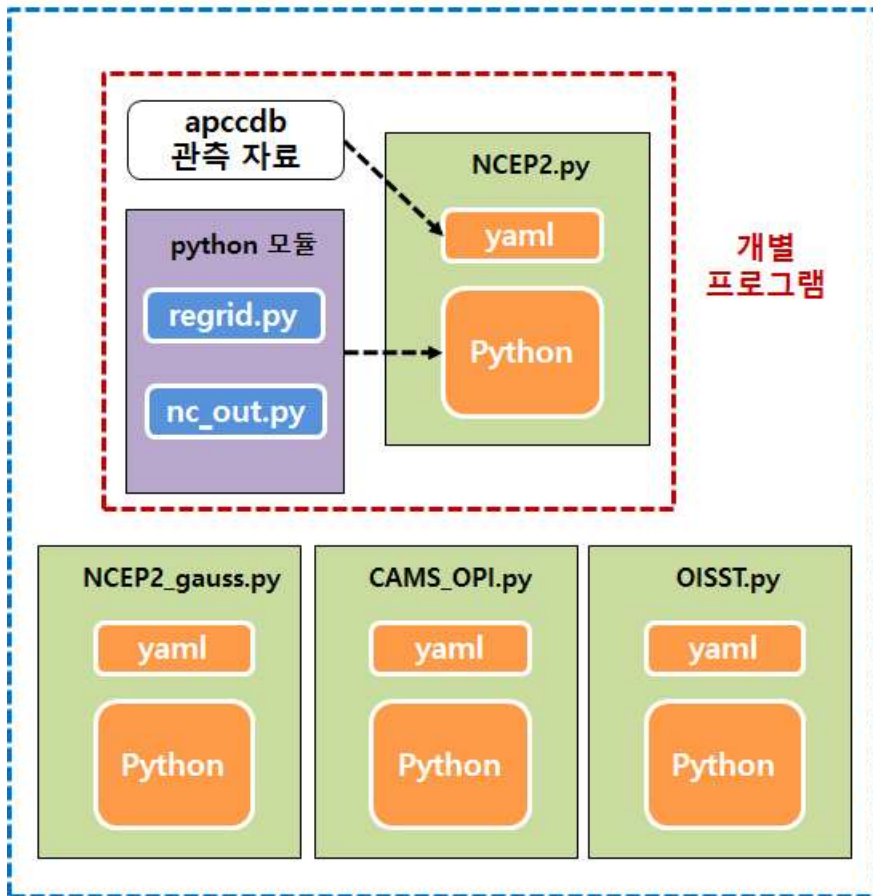


Figure 47. Configuration of observation data standardization system.

② APCC 현업서버 환경 설정

관측자료 표준화 시스템은 APCC HPC 로그인 서버 또는 현업서버에서 실행이 되며 이를 위해서는 HPC의 소프트웨어 모듈을 로드하여 사용하여야 한다. 기본적으로 필요한 것은 python과 NCL 모듈이다.

사용자가 로그인 후 해당계정에서 python과 NCL 모듈을 로드한다.

■ 모듈 확인(module avail)

```

]$ module avail
----- /opt/Modules/versions -----
3.2.10
----- /opt/Modules/3.2.10/modulefiles -----
dot      module-git  module-info  modules
----- /app/modulefiles/compiler -----
    
```

gnu/4.9.0	intel/14.0	pgi/13.10	python/3.6.1(default)
intel/11.1(default)	intel_mkl	pgi/14.6	python/3.7.1
intel/12.0	pgi/10.9(default)	pgi/9.0	python/3.7.1-anaconda
intel/12.1	pgi/11.10	python/2.7.15	
intel/13.1	pgi/12.10	python/2.7.15-anaconda	
...			
----- /app/modulefiles/library -----			
atk/2.7.5	libffi/3.2.1	ncl/6.2.0	
atlas/3.10.2_GNU	libgd/2.2.2	ncl/6.3.0	
atspi2/2.7.5	libjpeg/6c(default)	ncl/6.4.0	

■ 모듈 로드(module load)

```
]$ module load python/3.7.1-anaconda ncl/6.4.0
```

③ 관측자료 표준화 시스템 환경 설정

관측자료 표준화 시스템이 실행되는 기본 디렉터리는 Figure 48의 RUN 디렉터리 이며(실행 코드는 Table 20 참고), 나머지 DATA 디렉터리는 사용자가 필요 시 변경할 수 있다(관측자료별 개별 프로그램에서 변경 가능).

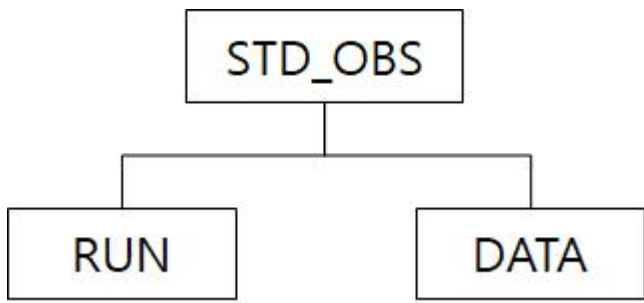


Figure 48. Directories of observation data standardization system.

- RUN 디렉터리 : 관측 자료별 python 코드와 yaml 파일,
자동화(crontab용) 코드, 수동화 코드 등 존재
※ RUN/my_package에는 python 사용자 모듈 코드 존재
- DATA 디렉터리 : 관측 자료의 기후값, 아노말리 nc 파일 저장 경로

Table 20. Individual program and Python user-defined module in RUN directory.

RUN	Individual program
NCEP2	NCEP2.yaml, NCEP2.py
NCEP2_gauss	NCEP2_gauss.yaml, NCEP2_gauss.py
CAMS_OPI	CAMS_OPI.yaml, CAMS_OPI.py
OISST	OISST.yaml, OISST.py
For crontab	run4crontab.py
For user	run4user.py
Etc	lsmask_OISST_180×360.nc
RUN/my_package	User-defined module
regrid	esmf_regrid.py
nc file	nc_out.py

DATA 디렉터리를 변경하기 위해서는 아래와 같이 RUN 디렉터리의 개별 프로그램(예, NCEP2.py)을 열어 수정 가능하다. 사용자 지정 디렉터리를 \${USER}라고 하면, 실행 디렉터리는 아래와 같으며, ncout_path (DATA) 경로를 수정한다.

■ 실행 디렉터리

```
${USER}/STD_OBS/RUN
```

■ DATA 디렉터리 변경(예, NCEP2.py)

```
#-----
# User defined
# NetCDF outfile path
ncout_path = "/data07/songbg/OPER/STD_OBS/DATA/"
#-----
```

④ 개별 프로그램 실행

관측 자료별 개별 프로그램을 실행하기 위해서는 먼저 해당 관측 자료의 자료명, 자료경로, 파일명, 변수명, 자료기간을 yaml 파일에 입력을 해주어야 한다. 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 관측 자료별 yaml 파일을 수정한다. 여기서는 NCEP2 자료에 대해 예시를 보여주고 나머지 관측 자료에 대한 yaml 파일은 뒤에 나열되어 있다.

㉓ 실행 디렉터리로 이동 및 NCEP2.yaml 열기

```
]$ cd ${USER}/STD_OBS/RUN
]$ vi NCEP2.yaml
```

㉔ NCEP2.yaml 변경

```
DataList:
- Source_name : NCEP2
  Source_path : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/surface/
  File_name   : mslp.mon.mean.nc
  Variable_name : mslp
  Start_date  : 1979-01
  End_date    : 2019-08

- Source_name : NCEP2
  Source_path : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
  File_name   : air.mon.mean.nc
  Variable_name : air
  Start_date  : 1979-01
  End_date    : 2019-08

- Source_name : NCEP2
  Source_path : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
  File_name   : uwnd.mon.mean.nc
  Variable_name : uwnd
  Start_date  : 1979-01
  End_date    : 2019-08

- Source_name : NCEP2
  Source_path : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
  File_name   : vwnd.mon.mean.nc
  Variable_name : vwnd
  Start_date  : 1979-01
  End_date    : 2019-08

- Source_name : NCEP2
  Source_path : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/pressure/
  File_name   : hgt.mon.mean.nc
  Variable_name : hgt
  Start_date  : 1979-01
  End_date    : 2019-08
```

사용자가 실행을 원하는 변수를 선택하여(넣거나 뺄 수 있음) 형식에 맞게 수정한다(위 예제는 NCEP2 표준화 자료를 생산하기 위한 모든 리스트임).

yaml 파일 수정 후, NCEP2.py python 코드를 실행하면 표준화 자료가 생산된다.

㉔ NCEP2.py 실행

```
]$ python NCEP2.py
```

나머지 관측 자료에 대한 yaml 파일은 아래와 같이 나열하였고, CAMS_OPI.yaml 파일의 파일명에서 “%s” 부분은 python 코드에서 연도가 들어가는 부분으로 CAMS OPI의 월별 자료가 모두 연도별로 구분이 되어 있기 때문이다.

■ NCEP2_gauss.yaml

DataList:

```
- Source_name : NCEP2
  Source_path  : /apccdb/Observation/Reanalysis/NCEP2/Monthly/gaussian_grid/
  File_name    : air.2m.mon.mean.nc
  Variable_name : air
  Start_date   : 1979-01
  End_date     : 2019-08
```

■ CAMS_OPI.yaml

DataList:

```
- Source_name : CAMS_OPI
  Source_path  : /apccdb/Observation/Grid/CAMS_OPI/nc/
  File_name    : cams_opi_merged.%s.nc
  Variable_name : comb
  Start_date   : 1979-01
  End_date     : 2019-08
```

■ OISST.yaml

DataList:

```
- Source_name : OISST
  Source_path  : /apccdb/Observation/Grid/OISST/Monthly/
  File_name    : sst.mnmean.nc
  Variable_name : sst
  Start_date   : 1981-12
  End_date     : 2019-08
```

⑤ 수동화 프로그램 실행

수동으로 자료기간을 입력하여 기후감시 시스템을 실행하기 위해서는 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 “run4user.py” 코드를 사용한다. 이 코드의 자료기간의 마지막 연도와 월을 입력하고 실행을 하면 표준화된 자료가 생산된다.

㉞ 실행 디렉터리로 이동 및 run4user.py 열기

```
]$ cd ${USER}/STD_OBS/RUN
]$ vi run4user.py
```

㉟ run4user.py의 자료기간 변경

```
#-----
# User defined
# End date
end_date = "2019-08"
#-----
```

㊱ run4user.py 실행

```
]$ python run4user.py
```

⑥ 자동화 프로그램 실행(오늘 날짜를 읽어 실행)

자동으로 관측자료 표준화 시스템을 실행하기 위해 서버의 오늘 날짜를 자동으로 읽어 실행이 되는 자동화 코드를 작성하였다. 이 자동화 코드를 실행만하면 표준화 자료가 생산되며, 만약 사용자가 crontab에서 자동으로 실행되도록 하고 싶다면 crontab 스크립트에 매월 언제 실행할지를 정해서 crontab 스크립트에 자동화 python 코드를 넣어주면 된다.

㉗ run4crontab.py 코드 실행

```
]$ cd ${USER}/STD_OBS/RUN  
]$ python run4crontab.py
```

(라) 기후검증 시스템의 구성과 환경설정

① 기후검증 시스템 구성

기후검증 시스템에 사용된 언어는 python version 3와 NCAR Command Language (NCL)이고 python은 자료 처리, NCL은 그림 산출을 위해 사용되었다. python 언어를 사용하기 위해서는 여러 부가적인 python 패키지가 요구되는데, 현 시스템에서는 일반적으로 많이 사용되는 numpy, netCDF4, xarray, pandas 패키지를 사용하였다.

현 시스템은 예측종류별(Forecast/Hindcast), 예측기간별(3개월/6개월)로 구분하여 검증 기법별로 작성된 개별 python 프로그램으로 구성되고, 이 개별 프로그램은 기후값 및 아노말리 계산, 검증 계산, nc 파일 쓰기, 그림 산출을 위한 python 모듈을 모두 포함하고 있다. 즉 검증 기법별로 작성된 개별 프로그램의 구성은 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 현업서버로부터 다중모델앙상블 예측 자료의 예측월, 예측년도, 변수명 등을 읽어 들이는 yaml 부분, 두 번째는 기후값, 아노말리 계산, 검증 계산, nc 파일 쓰기 등을 위한 python 모듈 부분, 마지막은 ncl 파일 생산, ncl 실행을 위한 python 모듈 부분이다.

이러한 개별 프로그램은 검증 기법별로 독립적으로 프로그램 수행이 가능하며, 또한 개별 프로그램을 묶어서 전체적으로 수행도 가능하다. 이렇게 프로그램을 구성함으로써 사용자가 필요한 관측 자료에 대해 개별적으로 수동으로 수행도 가능하며, 전체 프로그램을 묶어 crontab 등을 이용해 자동화 및 수동으로 수행도 가능하도록 하였다. Figure 49는 개별 프로그램 및 전체 프로그램 수행을 위한 기후감시 시스템 구성도를 나타내고 Figure 50은 자동화 및 수동화 실행 내용을 나타낸다.

전체 프로그램

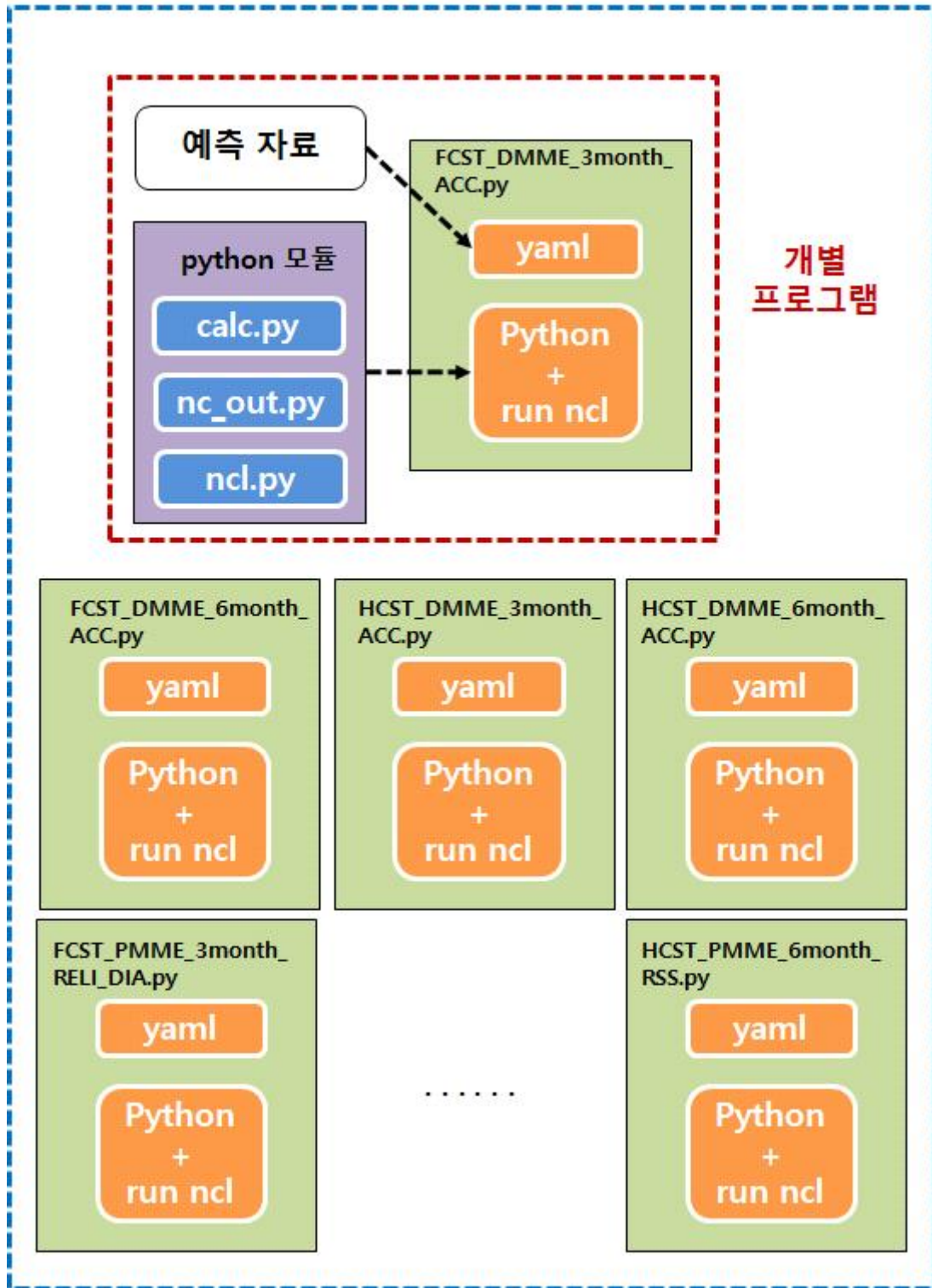


Figure 49. Configuration of climate verification system.

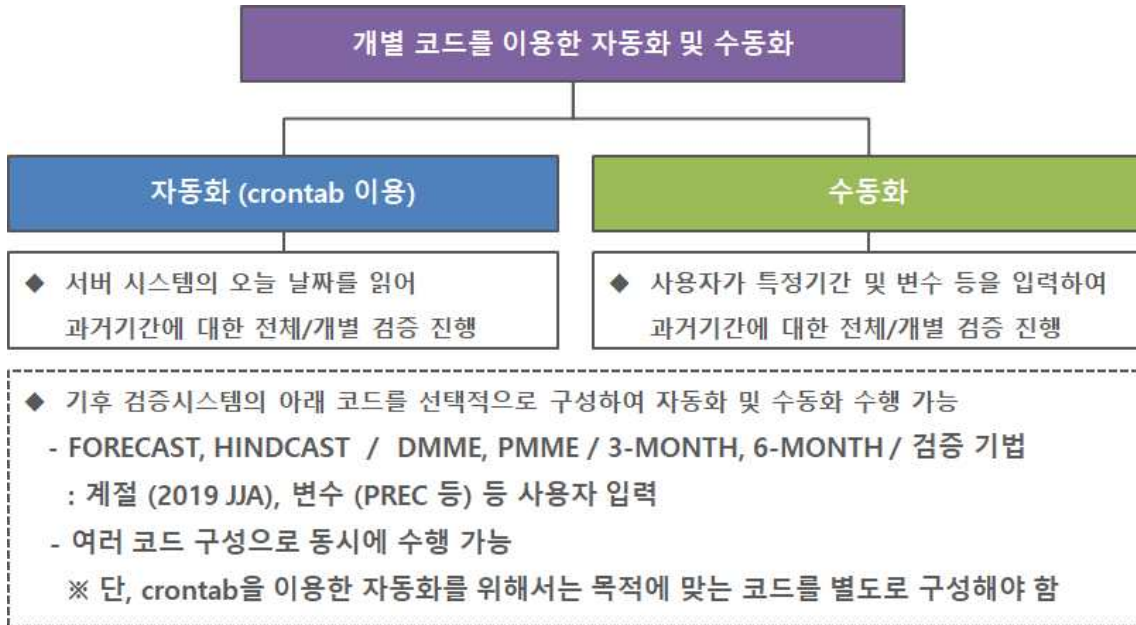


Figure 50. Automation and manualization of climate verification system.

② APCC 현업서버 환경 설정

기후검증 시스템은 APCC HPC 로그인 서버 또는 현업서버에서 실행이 되며 이를 위해서는 HPC의 소프트웨어 모듈을 로드하여 사용하여야 한다. 기본적으로 필요한 것은 python과 NCL 모듈이다.

사용자가 로그인 후 해당계정에서 python과 NCL 모듈을 로드한다.

■ 모듈 확인(module avail)

```

]$ module avail
----- /opt/Modules/versions -----
3.2.10
----- /opt/Modules/3.2.10/modulefiles -----
dot      module-git  module-info  modules

----- /app/modulefiles/compiler -----
gnu/4.9.0      intel/14.0      pgi/13.10      python/3.6.1(default)
intel/11.1(default)  intel_mkl      pgi/14.6      python/3.7.1
intel/12.0      pgi/10.9(default)  pgi/9.0      python/3.7.1-anaconda
intel/12.1      pgi/11.10      python/2.7.15
intel/13.1      pgi/12.10      python/2.7.15-anaconda
...
----- /app/modulefiles/library -----
atk/2.7.5      libffi/3.2.1      ncl/6.2.0
atlas/3.10.2_GNU  libgd/2.2.2      ncl/6.3.0

```

■ 모듈 로드(module load)

```
]$ module load python/3.7.1-anaconda ncl/6.4.0
```

③ 기후검증 시스템 환경 설정

기후검증 시스템이 실행되는 기본 디렉터리는 Figure 51의 RUN 디렉터리 이며(실행 코드는 Table 21 참고), 나머지 DATA, NCL, FIG 디렉터리는 사용자가 필요 시 변경할 수 있다(관측 자료별 개별 프로그램에서 변경 가능).

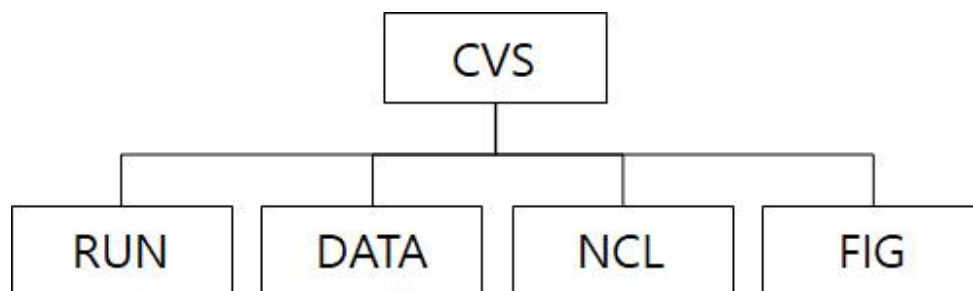


Figure 51. Directories of climate verification system.

- RUN 디렉터리 : 검증 기법별 python 코드와 yaml 파일,
자동화(crontab용) 코드, 수동화 코드 등 존재
 - ※ RUN/my_package에는 python 사용자 모듈 코드 존재
 - ※ RUN/so_package에는 확률검증 FORTRAN 사용자 모듈 코드 존재(so 파일)
- DATA 디렉터리 : 검증 계산값 nc 파일 저장 경로
- NCL 디렉터리 : 그림 생성을 위한 ncl 코드 저장 경로
- FIG 디렉터리 : eps, png 그림파일 생성을 위한 저장 경로

Table 21. Individual program and Python user-defined module in RUN directory.

RUN	Individual program
Forecast DMME 3 month	FCST_DMME_3month.yaml, FCST_DMME_3month_ACC.py, FCST_DMME_3month_RMSE.py
Forecast DMME 6 month	FCST_DMME_6month.yaml, FCST_DMME_6month_ACC.py, FCST_DMME_6month_RMSE.py
Hindcast DMME	HCST_DMME_3month.yaml, HCST_DMME_3month_ACC.py, HCST_DMME_3month_RMSE.py,

3 month	HCST_DMME_3month_MSSS.py
Hindcast DMME 6 month	HCST_DMME_6month.yaml, HCST_DMME_6month_ACC.py, HCST_DMME_6month_RMSE.py, HCST_DMME_6month_MSSS.py
Forecast PMME 3 month	FCST_PMME_3month.yaml, FCST_PMME_3month_RELI.py, FCST_PMME_3month_ROC.py, FCST_PMME_3month_BSS.py, FCST_PMME_3month_HSS.py, FCST_PMME_3month_RPSS.py
Forecast PMME 6 month	FCST_PMME_6month.yaml, FCST_PMME_6month_RELI.py, FCST_PMME_6month_ROC.py, FCST_PMME_6month_BSS.py, FCST_PMME_6month_HSS.py, FCST_PMME_6month_RPSS.py
Hindcast PMME 3 month	HCST_PMME_3month.yaml, HCST_PMME_3month_RELI.py, HCST_PMME_3month_ROC.py, HCST_PMME_3month_BSS.py, HCST_PMME_3month_HSS.py, HCST_PMME_3month_RPSS.py
Hindcast DMME 6 month	HCST_PMME_6month.yaml, HCST_PMME_6month_RELI.py, HCST_PMME_6month_ROC.py, HCST_PMME_6month_BSS.py, HCST_PMME_6month_HSS.py, FCST_PMME_6month_RPSS.py
Tropical ocean indices	FCST_DMME_3month.yaml, FCST_DMME_3month_SST.py, FCST_DMME_6month_SST.py
For crontab	run4crontab_FCST_DMME.py, run4crontab_HCST_DMME.py, run4crontab_FCST_PMME.py, run4crontab_HCST_PMME.py
For user	run4user_FCST_DMME.py, run4user_HCST_DMME.py, run4user_FCST_PMME.py, run4user_HCST_PMME.py

RUN/
my_package

User-defined module

Observation/MME Climatology, Anomaly	calc_OBS_DMME.py, calc_OBS_PMME.py calc_DMME_MME_OUT.py, calc_PMME_MME_OUT.py calc_MME_IN.py calc_regional_domain.py
Verification (Deterministic)	calc_determ_score.py
nc file	nc_out_DMME.py, nc_out_PMME.py
ncl file	ncl_FCST_ACC.py, ncl_HCST_ACC.py ncl_FCST_RMSE.py, ncl_HCST_RMSE.py ncl_HCST_HSSS.py ncl_FCST_RELI_DIA.py, ncl_HCST_RELI_DIA.py ncl_FCST_ROC_Curve.py, ncl_HCST_ROC_Curve.py

ncl_HCST_ROC_Score.py,
ncl_FCST_BSS.py, ncl_HCST_BSS.py,
ncl_FCST_HSS.py, ncl_HCST_HSS.py,
ncl_FCST_RPSS.py, ncl_HCST_RPSS.py,
ncl_FCST_SST.py

Etc

calc_regional_domain.py, read_MODEL_HIND_TIME.py,
make_season_month_name.py. run_command.py

RUN/
so_package

User-defined module (FORTRAN)

Forecast
(Probabilistic)

TERC_OBS_FCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
CATE_OBS_FCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
AGGR_ROC_FCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
RELI_DIA_FCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
RPSS_FCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
BSS_FCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
HSS_FCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so

Hindcast
(Probabilistic)

TERC_OBS_HCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
CATE_OBS_HCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
AROC_MC_HCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
AGGR_ROC_HCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
RELI_DIA_HCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
RPSS_HCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
BSS_HCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so,
HSS_HCST.cpython-37m-x86_64-linux-gnu.so

DATA, NCL, FIG 디렉터리를 변경하기 위해서는 아래와 같이 RUN 디렉터리의 개별 프로그램(예, NCEP.py)을 열어 수정 가능하다. 사용자 지정 디렉터리를 \${USER}라고 하면, 실행 디렉터리는 아래와 같으며, nc_dir (DATA), ncl_dir (NCL), fig_dir (FIG) 경로를 수정한다.

■ 실행 디렉터리

```
${USER}/CVS/RUN
```

■ DATA, NCL, FIG 디렉터리 변경(예, FCST_DMME_3month_ACC.py)

```
#-----
# User defined

# Select plot type in NCL
ncl_ptype = "x11"
#ncl_ptype = "eps"      # for convert eps to png

# Scores output files path
nc_dir = "${USER}/CVS/DATA/"

# NCL codes directory path
ncl_dir = "${USER}/CVS/NCL/"

# NCL figures directory path
fig_dir = "${USER}/CVS/FIG/"

#-----
```

또한, 화면상으로 그림을 출력(display)하기 위해서는 위 코드의 ncl_ptye을 “x11” 으로, png 그림파일로 저장하기 위해서는 ncl_ptye를 “eps” 로 수정하면 된다.

(마) 기후검증 시스템 실행

① 개별 프로그램 실행

검증 기법별 개별 프로그램을 실행하기 위해서는 먼저 해당 다중모델앙상블 예측 자료의 예측월, 예측년도, 변수명 등을 yaml 파일에 입력을 해주어야 한다. 사용자의 실행 디렉터리 (RUN 디렉터리)에 있는 예측종류(FCST/HCST), 예측기법(DMME/PMME), 예측기간 (3month/6mont)별 yaml 파일을 수정한다. 여기서는 FCST_DMME_3month 자료에 대해 예시를 보여주고 나머지 자료에 대한 yaml 파일은 뒤에 나열되어 있다.

㉗ 실행 디렉터리로 이동 및 FCST_DMME_3month.yaml 열기

```
]$ cd ${USER}/CVS/RUN
]$ vi FCST_DMME_3month.yaml
```

㉘ FCST_DMME_3month.yaml 변경

```
DataList:
- Forecast_month : JUL
  Forecast_year  : 2019
```

```

Variable_name : prec
Landsea_mask : landsea

- Forecast_month : JUL
  Forecast_year : 2019
  Variable_name : t2m
  Landsea_mask : landsea

- Forecast_month : JUL
  Forecast_year : 2019
  Variable_name : t850
  Landsea_mask : landsea

- Forecast_month : JUL
  Forecast_year : 2019
  Variable_name : z500
  Landsea_mask : landsea

- Forecast_month : JUL
  Forecast_year : 2019
  Variable_name : sst
  Landsea_mask : landsea

```

사용자가 실행을 원하는 변수를 선택하여(넣거나 뺄 수 있음) 형식에 맞게 수정한다(위 예제는 3개월 결정론적 예측검증(Forecast) 정보를 생산하기 위한 모든 리스트임). yaml 파일의 Landsea_mask에서 landsea로 입력하면 육지 및 해양에 대한 정보가, land를 입력하면 육지에 대한 정보만 계산된다. 그리고 예측월(Forecast_month)을 입력하는 부분에서 검증 target season을 기준으로, 3개월 예측의 경우는 target season의 시작 예측월을 입력하고 6개월 예측의 경우에는 target season의 3개월 전의 시작 예측월을 입력한다(예, JJA가 검증 target season 일 때, 3개월 예측은 JUN, 6개월 예측은 MAR을 입력)

yaml 파일 수정 후, 해당 검증 기법 python 코드(FCST_DMME_3month_ACC.py)를 실행하면 기후검증 정보가 생산된다. 기후검증 시스템 환경 설정에서 기술하였듯이, 그림의 화면출력, png 파일 생성을 선택할 수 있고, DATA, NCL, FIG 디렉터리도 변경이 가능하다.

㊦ FCST_DMME_3month_ACC.py 실행

```

]$ python FCST_DMME_3month_ACC.py

```

나머지 자료에 대한 yaml 파일은 아래와 같이 나열하였다.

■ FCST_DMME_6month.yaml

```

DataList:

- Forecast_month : MAR
  Forecast_year : 2019
  Variable_name : prec
  Landsea_mask : landsea

- Forecast_month : MAR
  Forecast_year : 2019
  Variable_name : t2m
  Landsea_mask : landsea

```

```
- Forecast_month : MAR
Forecast_year   : 2019
Variable_name   : t850
Landsea_mask    : landsea

- Forecast_month : MAR
Forecast_year   : 2019
Variable_name   : z500
Landsea_mask    : landsea
```

■ HCST_DMME_3month.yaml

```
DataList:

- Hindcast_month : JUN
Current_year     : 2019
Variable_name    : prec
Landsea_mask     : landsea

- Hindcast_month : JUN
Current_year     : 2019
Variable_name    : t2m
Landsea_mask     : landsea

- Hindcast_month : JUN
Current_year     : 2019
Variable_name    : t850
Landsea_mask     : landsea

- Hindcast_month : JUN
Current_year     : 2019
Variable_name    : z500
Landsea_mask     : landsea
```

■ HCST_DMME_6month.yaml

```
DataList:

- Hindcast_month : MAR
Current_year     : 2019
Variable_name    : prec
Landsea_mask     : landsea

- Hindcast_month : MAR
Current_year     : 2019
Variable_name    : t2m
Landsea_mask     : landsea

- Hindcast_month : MAR
Current_year     : 2019
Variable_name    : t850
Landsea_mask     : landsea

- Hindcast_month : MAR
Current_year     : 2019
Variable_name    : z500
Landsea_mask     : landsea
```

■ FCST_PMME_3month.yaml

```
DataList:

- Forecast_month : JUN
Forecast_year    : 2019
```

Variable_name : prec

- Forecast_month : JUN
Forecast_year : 2019
Variable_name : t2m

- Forecast_month : JUN
Forecast_year : 2019
Variable_name : t850

- Forecast_month : JUN
Forecast_year : 2019
Variable_name : z500

■ FCST_PMME_6month.yaml

DataList:

- Forecast_month : MAR
Forecast_year : 2019
Variable_name : prec

- Forecast_month : MAR
Forecast_year : 2019
Variable_name : t2m

- Forecast_month : MAR
Forecast_year : 2019
Variable_name : t850

- Forecast_month : MAR
Forecast_year : 2019
Variable_name : z500

■ HCST_PMME_3month.yaml

DataList:

- Hindcast_month : JUN
Current_year : 2019
Variable_name : prec

- Hindcast_month : JUN
Current_year : 2019
Variable_name : t2m

- Hindcast_month : JUN
Current_year : 2019
Variable_name : t850

- Hindcast_month : JUN
Current_year : 2019
Variable_name : z500

■ HCST_PMME_6month.yaml

DataList:

- Hindcast_month : MAR
Current_year : 2019
Variable_name : prec

- Hindcast_month : MAR
Current_year : 2019

```

Variable_name : t2m
- Hindcast_month : MAR
  Current_year   : 2019
  Variable_name  : t850

- Hindcast_month : MAR
  Current_year   : 2019
  Variable_name  : z500

```

② 수동화 프로그램 실행

수동으로 특정 season을 입력하여 기후검증 시스템을 실행하기 위해서는 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 “run4user_xCST_xMME.py” 코드를 사용한다. 이 코드의 예측월(forecast_month)과 예측년도(forecast_year, HCST의 경우는 current_year)를 입력하고 변수를 추가하여 실행을 하면 기후검증 정보가 생성된다.

㉞ 실행 디렉터리로 이동 및 run4user_xCST_xMME.py 열기

(예, run4user_FCST_DMME.py)

```

]$ cd ${USER}/CVS/RUN
]$ vi run4user_FCST_DMME.py

```

㉟ run4user_FCST_DMME.py의 예측월, 예측년도, 변수 변경

```

#-----
# User defined
# Forecast month and year

forecast_month = "JUN"
forecast_year   = "2019"

#-----

MONTH3 = """
DataList:

- Forecast_month : {0}
  Forecast_year   : {1}
  Variable_name   : prec
  Landsea_mask    : landsea

- Hindcast_month : {0}
  Current_year    : {1}
  Variable_name   : t2m
  Landsea_mask    : landsea
""" .format(hindcast_month, current_year)

with open("HCST_DMME_3month.yaml", "w") as file:
    file.writelines(MONTH6)

```

㊱ run4user_FCST_DMME.py 실행

```

]$ python run4user_FCST_DMME.py

```

③ 자동화 프로그램 실행

자동으로 기후검증 시스템을 실행하기 위해 오늘 날짜를 자동으로 읽어 실행이 되는 자동화 코드를 작성하였다. 사용자의 실행 디렉터리(RUN 디렉터리)에 있는 “run4crontab_xCST_xMME.py” 코드를 사용하며, 만약 사용자가 crontab에서 자동으로 실행되도록 하고 싶다면 crontab 스크립트에 매월 언제 실행할지를 정해서 crontab 스크립트에 해당 python 코드를 넣어주면 된다. 이 자동화 코드에서는 변수, 검증 기법은 사용자가 추가할 수 있도록 작성되어 있으며, 오늘 날짜를 읽어 지난 계절(3개월 및 6개월 예측)에 대한 기후검증 정보를 자동으로 생산하게 된다.

㉞ 실행 디렉터리로 이동 및 해당 코드 열기

(예, run4user_HCST_DMME.py)

```
]$ cd ${USER}/CVS/RUN  
]$ vi run4crontab_HCST_DMME.py
```

㉟ 해당 코드의 변수, 검증 기법 추가 또는 삭제 변경

```
MONTH3 = ""  
DataList:  
- Hindcast_month : {0}  
  Current_year   : {1}  
  Variable_name  : prec  
  Landsea_mask   : landsea  
- Hindcast_month : {0}  
  Current_year   : {1}  
  Variable_name  : t2m  
  Landsea_mask   : landsea  
"".format(hindcast_month, current_year)  
  
with open("HCST_DMME_3month.yaml", "w") as file:  
    file.writelines(MONTH3)  
  
run_command.run_python("HCST_DMME_3month_ACC.py".format("./"))  
run_command.run_python("HCST_DMME_3month_RMSE.py".format("./"))
```

㊱ 해당 코드 실행

```
]$ cd ${USER}/CVS/RUN  
]$ python run4crontab_HCST_DMME.py
```

(바) 사용자 편의를 위한 기타 내용

① NCL 그림 수정

기후검증 시스템 환경설정에서 기술한 바와 같이 DATA 디렉터리에는 nc 파일이 저장되고, NCL 디렉터리에는 ncl 파일이 저장되게 되는데, 여기 NCL 디렉터리에 저장된 ncl 파일을 실행하면 사용자 설정에 따라 그림 화면출력 또는 png 파일 생성으로 바로 확인을 할 수가 있

다. 따라서 그림을 수정하거나 개선하기 위해 기후검증 시스템의 python 사용자 모듈을 직접 수정하지 않고 NCL 디렉터리에 있는 ncl 코드를 수정하면 간단하게 확인이 되기 때문에 사용자가 쉽게 그림을 수정할 수 있게 된다. 이렇게 수정된 ncl 코드를 최종적으로 RUN/my_package 디렉터리에 있는 python 사용자 모듈에 적용하면 전체 기후검증 시스템의 그림이 수정되게 된다.

(3) 개선된 AFS의 효율성 및 안정성 평가

(가) 개선된 AFS의 물리적 작업 효율성 평가

기존 AFS 시스템은 최소 163단계를 거쳐 APCC MME 예측 정보를 생산하고 있으며, 단계별로 사람이 직접 작업을 수행하고 진행 과정을 수시로 확인해야 하는 번거로운 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 사람의 관여하는 비중을 줄이고 반복 작업에 대한 자동화 프로세스를 구축함으로써 APCC MME 작업 효율성을 증진시키고자 하였다.

개선된 AFS 시스템에서는 가장 반복되는 작업의 수가 많은 그래픽 작업 및 MME 작업에 대해 자동 수행 프로그램을 제작하여 일괄적으로 작업이 처리될 수 있도록 하였다. 자동 수행 프로그램을 통하여 APCC MME 예측 정보를 생산함에 있어서 물리적 작업 효율성을 평가하기 위해 기존 AFS 시스템과 개선된 AFS 시스템 간 작업 과정에 대한 비교를 수행하였다 (Table 22). 기존 AFS 시스템은 MME 예측(SCM, GAUS, MRG, SSE, SPM) 자료를 생산하기 위해 1회 기준 총 54회의 작업 단계를 거치지만 개선된 AFS 시스템은 반복 작업 등을 자동화하여 총 6회의 작업 단계만을 수행하도록 개선되었다. 이는 결과적으로 48단계가 단축되면서 약 88.9%의 물리적 작업 효율성을 보였다. APCC 공식 예측 정보를 제공하기 이전 기상청 예보토의 지원을 위한 예측 정보 생산이나 자료를 재생산해야하는 일이 발생하였을 때는 반복 횟수에 비례하여 그 효율성 증대될 수 있다.

생산된 예측 자료에 대한 그래픽 작업에 대한 물리적 작업 과정 또한 개선된 AFS 시스템 내 자동 수행 프로그램을 제작하여 작업 횟수를 단축하였다 (Table 23). 기존 AFS 시스템은 노후화된 전산 시스템의 한계로 인해 표출하고자 하는 지역을 3~4개의 그룹으로 나누어 작업을 수행함에 따라 비정상적 반복 작업을 동반한 총 40회의 작업 단계를 수행했어야하는 반면에 개선된 AFS 시스템 내 자동 수행 프로그램을 통해 총 4회의 작업을 수행하면 모든 예측 그림을 생산할 수 있다. 개선된 AFS 시스템 자체의 전산 시스템적 개선도 있지만 기존 AFS 시스템과 같이 지역별로 나누어 작업을 수행하는 과정도 자동으로 수행될 수 있게끔 제작함에 따라 이와 같은 작업 효율성을 보였다. 특히 그래픽 작업은 현업 수행 과정 중 가장 잦고, 많은 비중을 차지하는 작업으로써 자동 수행 프로그램을 통해 보다 원활한 현업 운영이 가능해졌다.

Table 22. Comparison of existing AFS system and improved AFS system for MME work processes.

단계	현 AFS 시스템			개선된 AFS 시스템	
	순번	프로그램 및 소스코드	작업 내용	순번	프로그램 및 소스코드
기상청간 예보토의를 위한 MME 예측자료 생산 : SCM, GAUS	1~6	models.3m.afs models.6m.afs	MME 참여 모형 list 초기화 및 세팅	1	reset__model__list
	7~16	runMME.rb - fcast-mean-3m.yml - fcast-mean-6m.yml - fcast-month-3m.yml - fcast-month-6m.yml - hcast-mean-3m.yml - hcast-mean-6m.yml - hcast-month-3m.yml - hcast-month-6m.yml	MME 메인 수행 프로그램 - forecast 3개월 계절 평균 (1회) - forecast 6개월 계절 평균 (2회) - forecast 3개월 월 평균 (1회) - forecast 6개월 월 평균 (1회) - hindcast 3개월 계절 평균 (1회) - hindcast 6개월 계절 평균 (2회) - hindcast 3개월 월 평균 (1회) - hindcast 6개월 월 평균 (1회)	2	rum__mme
APCC 최종(공식) MME 예측자료 생산 : SCM, GAUS, SSE, MRG	17~28	models.3m.afs models.6m.afs	위의 기존 자료 삭제 및 모형 재세팅	3	reset__model__list
	29~38	runMME.rb - fcast-mean-3m.yml - fcast-mean-6m.yml - fcast-month-3m.yml - fcast-month-6m.yml - hcast-mean-3m.yml - hcast-mean-6m.yml - hcast-month-3m.yml - hcast-month-6m.yml	MME 메인 수행 프로그램 - forecast 3개월 계절 평균 (1회) - forecast 6개월 계절 평균 (2회) - forecast 3개월 월 평균 (1회) - forecast 6개월 월 평균 (1회) - hindcast 3개월 계절 평균 (1회) - hindcast 6개월 계절 평균 (2회) - hindcast 3개월 월 평균 (1회) - hindcast 6개월 월 평균 (1회)	4	rum__mme
APCC 최종(공식) MME 예측자료 생산 : SPM	39~44	models.3m.afs models.6m.afs	SPM 수행을 위한 모형 재세팅	5	reset__model__list
	45~54	runMME.rb - fcast-mean-3m.yml - fcast-mean-6m.yml - fcast-month-3m.yml - fcast-month-6m.yml - hcast-mean-3m.yml - hcast-mean-6m.yml - hcast-month-3m.yml - hcast-month-6m.yml	MME 메인 수행 프로그램 - forecast 3개월 계절 평균 (1회) - forecast 6개월 계절 평균 (2회) - forecast 3개월 월 평균 (1회) - forecast 6개월 월 평균 (1회) - hindcast 3개월 계절 평균 (1회) - hindcast 6개월 계절 평균 (2회) - hindcast 3개월 월 평균 (1회) - hindcast 6개월 월 평균 (1회)	6	rum__mme

Table 23. Same as Table 22 except for graphic work processes.

단계	현 AFS 시스템			개선된 AFS 시스템	
	순번	프로그램 및 소스코드	작업 내용	순번	프로그램 및 소스코드
기상청간 예보토의를 위한 MME 예측자료 그래픽 표출	1~10	mme_graphics_3months.rb mme_graphics_6months.rb	MME 예측 자료 그래픽 표출 - 3-month / 6-month - monthly / seasonal - forecast / hindcast - 4 sub-regions	1	run_mme_graphics
APCC 최종(공식) MME 예측자료 그래픽 표출	11~20	mme_graphics_3months.rb mme_graphics_6months.rb	MME 예측 자료 그래픽 표출 - 3-month / 6-month - monthly / seasonal - forecast / hindcast - 4 sub-regions	2	run_mme_graphics

(나) 개선된 AFS의 시간적 작업 효율성 평가

(가)절과 같이 개선된 AFS 시스템은 자동 수행 프로그램을 통해 물리적 작업 단계를 대폭 감축함에 따라 물리적 작업 효율성이 크게 증진되었다면, 개선된 AFS 시스템 자체의 하드웨어 및 소프트웨어의 개선으로 인한 작업속도 증가와 자동 수행 프로그램을 통하여 작업 시간이 단축되었다. Table 24은 기존의 AFS 시스템과 개선된 AFS 시스템 간 각 작업과정별 작업 소요 시간을 정리한 표이며, 2019JJA 계절의 한 케이스에 대한 작업을 기준으로 비교가 이루어졌다. AFS 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어의 개선에 따른 작업 속도 차이를 정량적으로 비교하기 위해 새로운 AFS 시스템 내 기존의 AFS 시스템과 동일한 프로그램을 구축하여 기존 AFS 시스템의 작업 소요 시간을 비교한 결과, 각 작업 과정별 차이는 있지만 총 4시간 31분 정도 소요 되는 기존 작업 소요 시간에서 3시간 32분으로 약 58분 정도가 단축되었다. 즉, 기존 AFS 시스템에 대해 새로운 AFS 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어에 따른 시스템 개선 효과로 약 21.5%가 증진된 것으로 나타났다. 새로운 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 기능적 개선 효과를 포함한 현업시스템(프로그램 및 코드)의 개선을 모두 고려한 작업 효율성을 분석한 결과, 특히 MME 그래픽 과정에서 기존 1시간 56분의 작업 소요 시간을 24분 정도로 단축시키면서 약 1시간 32분의 소요 시간 단축 효과가 있었다. 이는 앞서 (가)절에서 언급한 바와 같이 기존 현업 시스템의 그래픽 작업 체계는 시스템적 한계로 인하여 지역별로 3-4개의 그룹으로 나누어 작업을 수행해야했던 문제점이 있었던 반면에 새로운 AFS 시스템에서는 보다 고성능으로 해당 문제가 해결됨에 따라 나타난 효과인 것으로 사료된다. 모든 작업 단계를 수행하는 작업 시간이 총 2시간 2분이 소요됨으로써 기존 AFS 시스템에 비해 약 2시간 28분이 단축되어 약 54.8%의 시간 단축 효과가 있었다.

Table 24. Comparison of production working time of seasonal prediction data for each AFS system.

시스템	MME 예측자료 생산	개별모델 그래픽 작업	MME 그래픽 작업	ENSO 자료 생산	합계	효율성
기존 AFS	01h 36m 03s	00h 40m 11s	01h 56m 38s	00h 18m 20s	04h 31m 12s ↑	-
새로운 AFS (기존 코드)	01h 14m 24s	00h 34m 29s	01h 29m 10s	00h 14m 52s	03h 32m 55s ↑	00h 58m 17s (약 21.5%)
새로운 AFS (개선 코드)	01h 10m 58s	00h 21m 42s	00h 24m 44s	00h 05m 21s	02h 02m 45s ↑	02h 28m 27s (약 54.8%)

(다) 개선된 AFS의 안정성 평가

개선된 AFS 시스템을 통해 물리적·시간적으로 효율성 증진 효과가 크게 나타났으나, 이러한 효율성 평가는 개선 전/후의 예측 결과가 동일해야하는 전제가 필요하다. 이에, 개선된 AFS 시스템의 안정성을 평가하기 위해 기존 AFS 시스템에서 산출된 예측 결과를 기반으로 통계적 평가를 수행하였고, 효율성 평가와 마찬가지로 2019JJA 예측에 대하여 안정성을 평가하였다. Table 25과 26은 각각 SCM과 GAUS 실시간 3개월 예측 자료에 대한 anomaly correlation coefficient (ACC)와 공간적인 root mean square difference (RMSD)를 변수 및 선행시간 별로

나타낸 표이다. ACC의 경우 SCM과 GAUS 모두 1로써 두 시스템에서 생산된 예측 결과가 공간적인 변동성이 동일한 것으로 나타났고, RMSD의 경우 SCM은 모두 0으로 두 시스템간 차이가 없으나, GAUS는 소수점 5~6자리 수에 해당하는 매우 작은 오차가 발생하였다. 이 오차는 매우 작은 오차로써 무시할 수 있는 수준의 오차이다. 따라서 두 시스템에서 생산된 자료는 동일한 자료로써 이는 개선된 AFS 시스템이 안정적으로 예측 자료를 생산함을 의미한다.

Table 25. Anomaly correlation coefficient (ACC) of forecast of the APCC MME (SCM and GAUS) between two AFS system.

	SCM				GAUS			
	LT1	LT2	LT3	Mean	LT1	LT2	LT3	Mean
prcp	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	1.000	1.000
t2m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
slp	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
t850	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
z500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
u850	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-
v850	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-
u200	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-
v200	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-

Table 26. Same as Table 25 except for root mean square difference.

	SCM				GAUS			
	LT1	LT2	LT3	Mean	LT1	LT2	LT3	Mean
prcp	0.000	0.000	0.000	0.000	1.32E-06	3.12E-06	3.55E-06	4.17E-06
t2m	0.000	0.000	0.000	0.000	1.12E-05	4.06E-05	1.23E-05	1.49E-05
slp	0.000	0.000	0.000	0.000	2.06E-06	1.68E-06	8.23E-05	2.97E-05
t850	0.000	0.000	0.000	0.000	1.03E-05	1.63E-05	1.55E-05	1.81E-05
z500	0.000	0.000	0.000	0.000	1.66E-05	1.68E-05	1.93E-05	1.20E-05
u850	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
v850	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
u200	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
v200	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-

1983-2010년에 대한 hindcast 자료에 대해서도 시공간적으로 동일한 자료임을 확인하기 위해서 temporal correlation coefficient (TCC), 시간적 RMSD, ACC, 공간적 RMSD를 통해 평가하였다. 그 결과 SCM 및 GAUS 모두 공간적 오차(RMSD)는 모두 0으로 나타났고, 공간적 ACC도 모두 1로써 동일한 자료임을 확인하였다. 그러나 GAUS의 경우 시간적 RMSD가 아주 작은 값으로 여러 지역에 걸쳐 나타나는데 실시간 예측에서의 안정성 평가 결과와 같이 이는 소수점 4~5자리의 값으로써 무시하여도 될 정도의 작은 값이기 때문에 동일한 자료라 봐도 무방하다 (Figure 52).

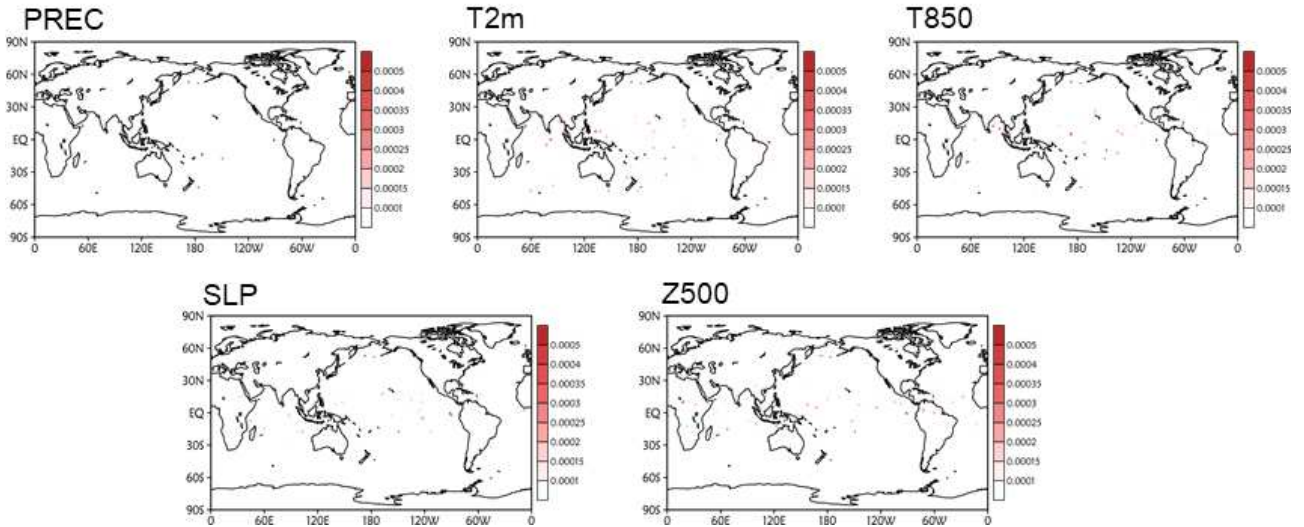


Figure 52. Temporal correlation coefficient of hindcast (1983-2010) of the APCC GAUS between two AFS system.

해수면 온도와 nino34 지수에 대해서도 동일한 안정성 평가를 수행한 결과 시간적 오차에서 아주 작은 오차를 보이는 것을 제외하면 두 시스템 모두 동일한 자료를 생산하였음을 확인할 수 있었다(Figure 53).

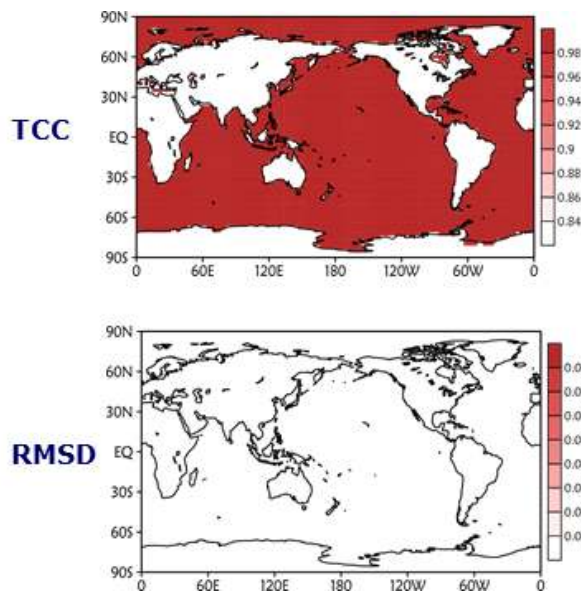


Figure 53. Temporal correlation coefficient and root mean square difference of hindcast (1983-2010) for sea surface temperature between two AFS system.

(4) MME 기법들의 효용성 평가

(가) 현황 및 필요성

APCC는 네 개의 결정론적 MME 기법과 한 개의 확률론적 MME(Probabilistic Multi-Model Ensemble) 기법을 운영하고 있으며, 결정론적 MME 기법은 개별모델들의 편차를 단순 평균하는 SCM과 통계적 후처리를 거치는 SSE, MRG, SPM으로 구성된다⁸⁾. APCC 예측정보 활용도 증대를 위해, 현업스케줄 재조정 및 계절예측시스템(Automated Forecast System, AFS) 재정비를 통해 2019년 11월부터 예측정보 조기제공(25→20일)을 계획하였다. 이러한 노력의 일환으로 현재 현업으로 운영되고 있는 다양한 MME 기법들의 효용성 평가를 통해 APCC의 계절예측시스템을 보다 효율적으로 운영하고자 한다.

(나) 현업 효율성 평가

APCC 누리집을 통해 제공되고 있는 APCC 공식예보는 SCM(2005년 이후~)과 PMME(2006년 이후~)이며, 나머지 기법들(MRG, SSE, SPM)의 예측자료 활용도는 상당히 낮음 편이다. 특히, 매일 3/6개월 SPM 과거기후재현(Hindcast) 및 실시간 예측정보 생산에 소요되는 시간은 최소 20분에서 최대 45시간으로 나머지 기법들에 비해서 상당한 시간이 소요되며 같은 작업 기준, SCM에 비해 최대 45배 이상의 시간 소요되는 등 현업적인 측면에서 운영 효율성이 떨어진다고 (Figure 54).

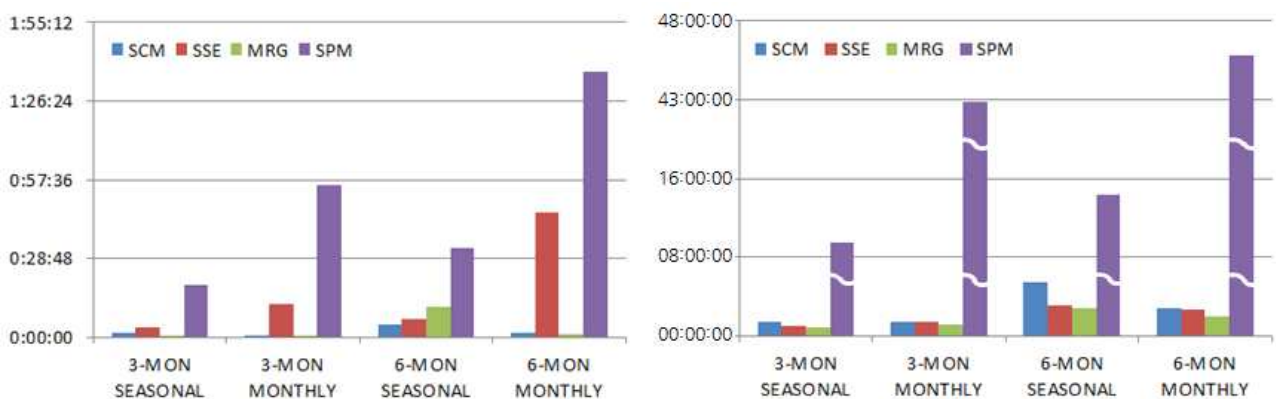


Figure 54. The time cost for operation of Deterministic Multi-Model Ensemble methods for real-time forecast (left) and hindcast (right).

(다) 예측성 평가

과거기후재현(1983-2005년) 및 실시간예측(2008-2018년)에 대한 전지구 강수 및 850hPa 기온의 지역별/계절별 예측력을 비교평가(TCC, ACC) 하였다.

① 과거기후재현 성능

8) SCM: Simple Composite Method, MRG: Multiple Regression Method, SSE: Synthetic Super Ensemble, SPM: Stepwise Pattern projection Method

기온 및 강수의 예측력은 4계절에 모두에서 SCM과 SPM이 MRG, SSE보다 높았다(Figure 55). SCM과 SPM은 전반적으로 유사한 예측력을 보이며, 특히 기온(강수)에서는 SCM(SPM)이 다소 높게 나타나는 경향을 보였다. 지역적으로 살펴보면 SCM의 예측력 향상은 대부분 육지(유라시아, 호주, 북미 대륙)에서 나타나는 반면, SPM 예측력 향상은 대부분 해양(특히, 북극 및 남반구 해양)에서 나타났다.

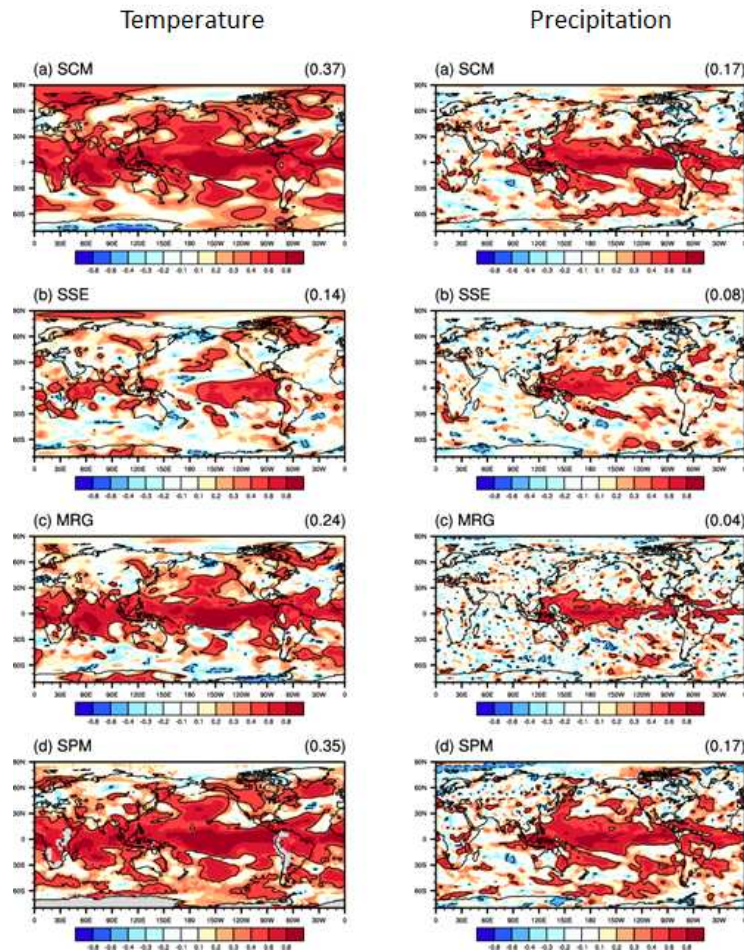


Figure 55. Temporal Correlation Coefficients of MMEs' hindcast for winter temperature (left) and summer precipitation (right).

② 실시간예측 성능

전반적으로 과거기후재현과 동일한 결과를 보였다(그림 56). 특히, 최근으로 갈수록 SPM에 비해 SCM의 예측력 향상이 증가하는 추세를 보였다. 이는 과거재현기간(1983-2005년)을 training period로 활용하여 개별모델의 bias를 통계적으로 보정을 하는 SPM의 경우 최근(즉, 2005년 이후)에 나타나는 기후변동성 등이 반영되지 않아 최근으로 갈수록 실제 예측정보에 대한 신뢰도가 점차 하락하는 것으로 보여며(Figure 57, 58) 추후 자세한 분석은 필요하다.

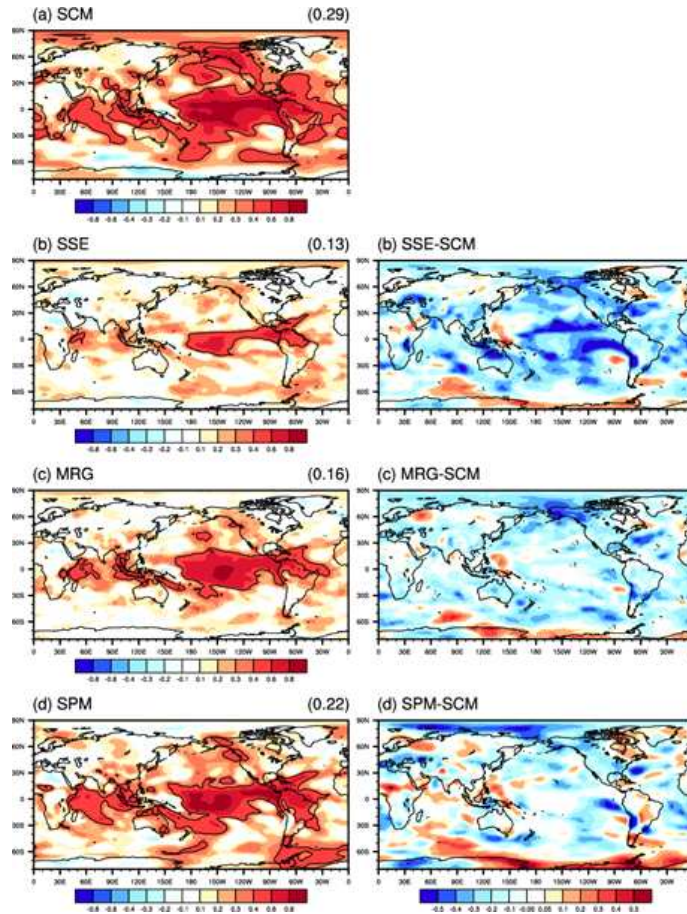


Figure 56. Temporal Correlation Coefficients of MMEs' real-time forecast (left) and their differences from TCC of SCM during 2008JFM-2018DJF.

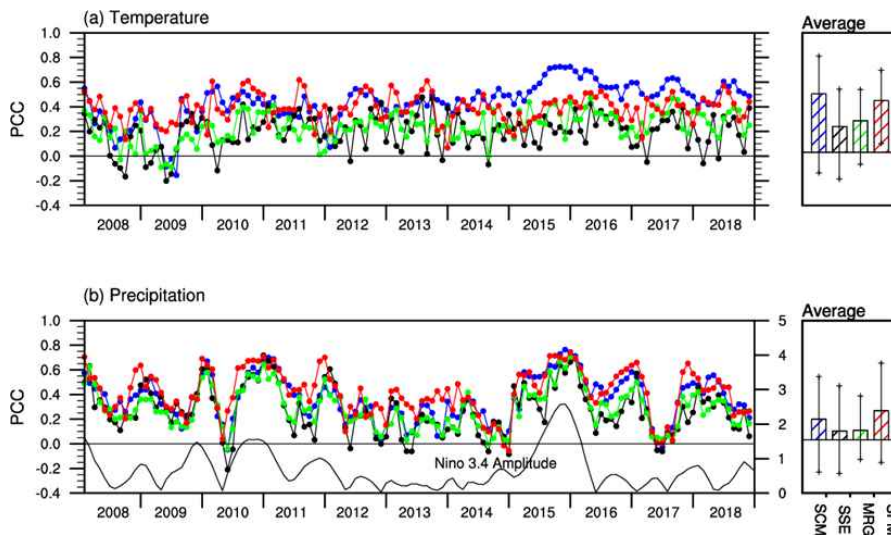


Figure 57. Pattern Correlation Coefficients of MME's real-time forecast for global temperature and precipitation during 2008JFM-2018DJF.

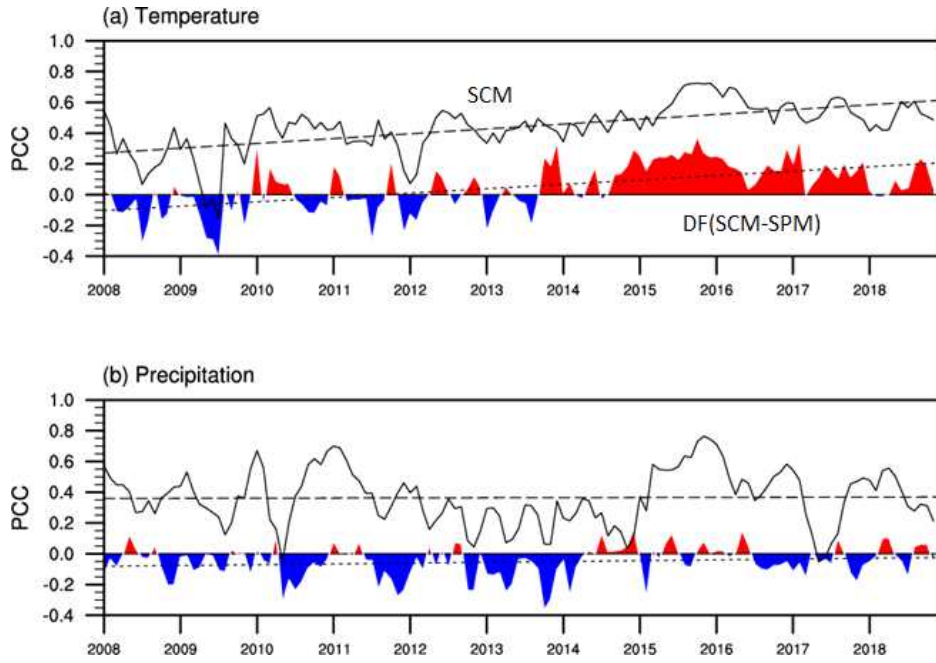


Figure 58. Pattern Correlation Coefficients of SCM and its difference from those of SPM for global temperature and precipitation during 2008JFM-2018DJF.

(라) 적용 결과

현업적 효율성 및 예측력의 상대적 비교평가를 종합적으로 분석한 결과, 현업적인 측면에서 매월 MRG, SSE, SPM 예측정보 생산은 효율성이 떨어지는 것으로 판단되어, 현재 누리집을 통해 제공되고 있는 APCC 공식예보 (SCM, PMME)만 현업으로 생산하여 효율적으로 계절예측 시스템을 운영하고자 한다. 2019DJFMAM 예보부터는 SCM과 PMME 기법만 현업으로 운영할 것이며(단, 연구 및 후속조치를 위해 나머지 기법은 비현업으로 상시 운영 가능) 이를 통해 현업 운영의 효율성 증가 및 APCC 예측정보 조기제공에 기여할 예정이다.

(5) 예측정보 조기 제공

(가) 필요성

APCC의 현업은 APCC 설립 초기에 개발된 자동예측시스템(AFS)을 기반으로 수행되고 있다. 그 후 지속적인 AFS 개선이 이루어지고 있었으나 현업 담당자 편의에 의해 개별적으로 진행되어 효율성과 확장성이 부족한 실정이었다. 또한 일련의 스케줄에 따라 현업이 이루어지는데 최종적으로 매월 25일 전후에 예보가 발표되며 이는 타 기관⁹⁾에 비해 가장 늦은 편으로, 이로 인해 APCC의 예측정보 활용성이 떨어지게 된다. APCC 예측정보 활용성 증대를 위해 계절예측 현업시스템의 현황을 파악하고, 보다 효율적인 현업 운영을 통해 APCC 예측정보를 조기 제공(25일→20일)하여 APCC 계절예측 정보의 활용성과 경쟁력을 높이고자 한다.

우선 APCC의 예측 스케줄 및 조정 가능성 파악하였다(Figure 59). 외부의 관점에서 개별모델 자료 수집은 MME 자료제공기관과의 협력을 통해 가능한 부분이다. 하지만 내부적으로 AFS 개선을 통한 예측시스템 효율성 향상, 다양한 MME 예측 기법들의 현업적 효용성 평가를 통한 MME 계절예측시스템을 효율적으로 운영함으로써 현업 수행시간을 단축시켜 예보 시점을 앞당길 수 있을 것으로 파악된다.

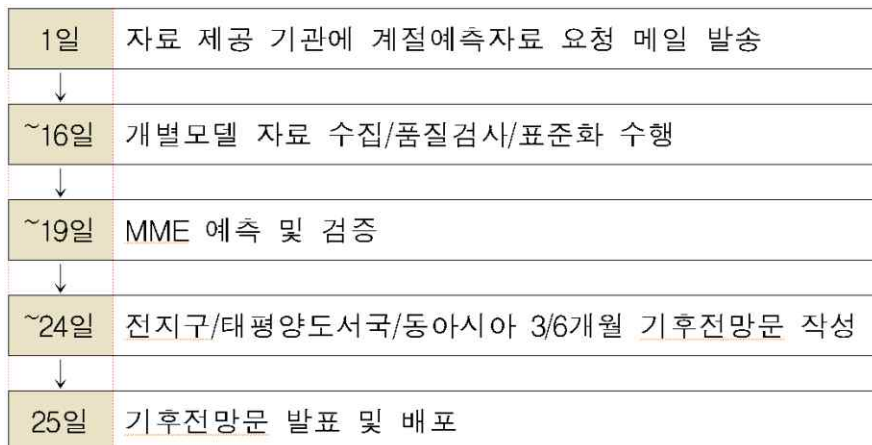


Figure 59. The schedule for APCC seasonal forecast.

(나) AFS 개선을 통한 예측시스템 효율성 향상

작업 단위 163단계에서 63단계로 단축하여 AFS 효율성을 61.3% 증가시켰다(Figure 60). 또한 새로운 서버를 도입함으로써 자료 생산 속도를 향상시켰다(Figure 61). 신규 서버에서 현 AFS를 구동하면 약 21.9%의 운영 시간 감축이 나타나지만 신규 서버에서 개선된 AFS를 구동시키면 약 49%의 운영 시간 감축이 나타난다.

그 후 개선된 AFS의 안정성을 평가하였는데 현 AFS와 개선된 AFS의 결과 차이는 없음을 확인하여 개선된 AFS가 안정적으로 구동됨을 확인하였다(Figure 62, 63).

9) NMME 9일, C2S 13일, BpM 14일, IRI 15일, WMO 및 JMA 20일



Figure 60. Reduction of operational steps and its efficiency.

시스템	MME 생산	Ind. 그래픽*	MME 그래픽*	ENSO 생산	합계	효율성
현재 AFS	01h 36m 03s	09h 22m 34s	01h 56m 38s	00h 18m 20s	13h 13m 35s ↑	-
AFS + New server	01h 14m 24s	07h 20m 46s	01h 29m 10s	00h 14m 52s	11h 01m 12s ↑	- 02h 54m 23s (약 21.9%)
New AFS + New server	01h 10m 58s	05h 03m 48s	00h 24m 44s	00h 05m 21s	06h 44m 51s ↑	- 06h 28m 44s (약 49.0%)

* 전처리, 검증은 포함되지 않음

Figure 61. Comparison of operational efficiency among each Automated Forecast System and each server.

	SCM				GAUS			
	LT1	LT2	LT3	Mean	LT1	LT2	LT3	Mean
prcp	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	1.000	1.000
t2m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
slp	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
t850	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
z500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
u850	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-
v850	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-
u200	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-
v200	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	-

Figure 62. Evaluation of stability of advanced Automated Forecast System (Anomaly Correlation Coefficient, 2019JJA).

	SCM				GAUS			
	LT1	LT2	LT3	Mean	LT1	LT2	LT3	Mean
prcp	0.000	0.000	0.000	0.000	1.32E-06	3.12E-06	3.55E-06	4.17E-06
t2m	0.000	0.000	0.000	0.000	1.12E-05	4.06E-05	1.23E-05	1.49E-05
slp	0.000	0.000	0.000	0.000	2.06E-06	1.68E-06	8.23E-05	2.97E-05
t850	0.000	0.000	0.000	0.000	1.03E-05	1.63E-05	1.55E-05	1.81E-05
z500	0.000	0.000	0.000	0.000	1.66E-05	1.68E-05	1.93E-05	1.20E-05
u850	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
v850	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
u200	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-
v200	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	-

Figure 63. Evaluation of stability of advanced Automated Forecast System (Spatial Root Mean Square Difference, 2019JJA).

(다) 다양한 MME 기법들의 효용성 평가를 통한 효율적 현업 운영

SCM, PMME에 비해 MRG, SSE, SPM 운영에 많은 시간이 소요되어 활용도 및 현업 효율성이 낮다. 예측력 측면에서는, 과거기후재현 및 실시간예측요소 SCM, SPM의 예측력이 MRG, SSE의 예측력보다 높으며 지역적으로 SCM(SPM)의 예측력 향상은 주로 육지(해양)에서 나타난다. 또한 최근으로 갈수록 SPM에 비해 SCM의 예측력 향상이 증가하는 추세를 보이고 있다. 즉, 매일 MRG, SSE, SPM 예측정보 생산의 효용성은 떨어지는 것으로 판단되어, SCM과 PMME 예측정보만 생산하여 효율적으로 AFS를 운영하고자 한다.

(라) 적용

2019년 11월 20일, 2019DJFMAM 예보부터 새로운 서버에서 새로운 AFS로 SCM과 PMME 예측 및 검증 정보를 생산하였다. MME 기법의 효율적 운영 및 예측자료의 빠른 생산을 통해 예측정보를 조기(25일→20일)에 제공하였다.

다. APCC MME 개선 기반 연구

(1) 타 기관 MME 현황 및 DB 구축

현재 다중모델앙상블 기법을 적용한 예측 정보를 제공하는 기관은 NMME(North American Multi-Model Ensemble), WMOLC(World Meteorological Organization Lead Center), C3S(Copernicus Climate Change Service)가 있으며, EUROSIP의 경우 2019년 10월부터 서비스가 중단되었다.

APCC, WMOLC, NMME, C3S, EUROSIP MME를 구성하는 개별모델과 제공하는 서비스는 Table 27과 같다. 각 기관의 MME를 구성하는 개별모델 중 동일한 모델은 같은 색으로 표시하

였다. APCC와 WMOLC MME의 구성모델이 가장 많으며, 약 75%의 모델이 동일한 것을 알 수 있다. NMME와 C3S MME는 5개의 모델로 구성되어 있으며, 서비스가 중단된 EUROSIP의 경우 C3S와 대다수의 모델이 동일하였다. 제공되는 해상도를 살펴보면 APCC, WMOLC, EUROSIP이 2.5° x2.5° 의 자료를 제공하였으며, 이에 비해 NMME와 C3S는 1° x1° 의 예측자료를 제공하고 있다. APCC와 NMME의 hindcast 기간은 다른 기관들에 비해 긴 편으로 각각 1983년-2010년, 1982년-2010년의 기간을 기준으로 하고 있으며, WMO와 C3S는 1993년부터 각각 2009년과 2016년까지를 기후값으로 정하고 있다. 이들 기관들은 예측 정보뿐 아니라 검증 결과 또한 제공하고 있는데, APCC와 WMO가 비교적 많은 변수에 대해 다양한 검증 매트릭스를 사용한 검증 결과를 공개하고 있으며, NMME는 real-time forecast에 대한 검증 결과만을 제공하고 있다. 검증에 사용되는 관측 데이터 역시 각 기관별로 상이하여 APCC는 기온과 상층변수에 대해서는 NCEP-DOE reanalysis II (Kanamitsu et al. 2002; NCEP2), 강수는 CAMS-OPI (Janowiak and Xie 1999)와 비교하며, WMOLC의 경우 hindcast 검증 시에는 ERA-interim(Dee et al. 2011) 과 GPCP(Huffman et al. 1997), real-time forecast 검증 시에는 NCEP/NCAR reanalysis I (Kalnay et al. 1996)과 CAMS-OPI를 사용하고 있다. NMME는 real-time forecast 검증에 GHCN(Lawrimore et al. 2011) 기온자료와 CPC(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>) 강수자료를 이용하는 것으로 조사되었다.

올해 연구에서는 NMME, WMOLC, C3S의 MME 개별모델 예측자료(hindcast)를 변수별로 수집하여 APCC MME의 자료 형태로 표준화하는 과정을 완료하였으며, 향후 연구에서도 지속적으로 이용가능 하도록 데이터베이스를 구축하였다.

Table 27. MMEs of different operation centers.

		APCC	WMO	NMME	C3S	EUROSIP
발행시기/ 예측기간		25 th / 6-month	20 th / 6-month	9 th / 6-month	13 th / 6-month	15 th / 6-month
Hindcast 기간		1983-2010	1993-2009	1982-2010	1993.02-2016	1991-2010
참여모델		14개 모델 BCC_CSM BOM_POAMA CMCC_CM2 (HMC_GCM) JMA_JRA55 KMA_GLOSEA 5 MSC_CANCM NCEP_CFSv2 UKMO_GLOSE A5 NASA_GEOS5	12개 모델 BCC_CSM BOM_POAMA HMC_GCM JMA_JRA55 KMA_GLOSEA 5 MSC_CANCM NCEP_CFSv2 UKMO_GLOSE A5 DWD_GCFS2 ECMWF_SEAS 5	5개 모델 MSC_CANCM NCEP_CFSv2 (NASA_GEOS5)	5개 모델 CMCC_CM3 UKMO_GLOSE A5 DWD_GCFS2 ECMWF_SEAS 5	5개 모델 JMA_JRA55 UKMO_GLOSE A5 NCEP_CFSv2 ECMWF_SEAS 5
		APCC_SCOPS CWB_CWB (MGO) PNU_CGCM	(CPTEC_GCM) (SAWS_EPS)	GFDL_FLORB NCAR_CCSM4	MF_SYS6	MF_SYS6
해상도		2.5x2.5	2.5x2.5	1x1	1x1	2.5x2.5
검 증 시 스 템	Matrix (DMME)	ACC, RMSE, MSSS, Gerrity Skill Score	ACC, RMSE, MSSS, Gerrity Skill Score	ACC	계획중	※ Allowed for all Member States
	변수	T2M, P, SST T850, Z500	T2M, P, SST T850, Z500, SLP	T2M, P * North America, Sep 2011~		
	검증 데이터	NCEP-R2 CAMS-OPI OISST	ERA-Interim GPCP/CAMS-O PI OISST	GHCN CPC-URD OISST		

(2) APCC 및 타 기관 MME의 예측성 분석

(가) 관측데이터에 대한 민감도 조사

APCC와 다른 기관의 MME를 비교하기에 앞서 각 기관들이 검증에 사용하는 관측 데이터들을 비교하여 관측 데이터의 상이함에서 발생할 수 있는 민감도를 살펴보았다.

Figure 64는 APCC와 다른 기관들에서 검증에 사용하는 관측 데이터들 사이의 상관관계를 구한 것이다. 앞 단락에서 언급한 바와 같이 APCC의 경우 기온 검증에 NCEP2 재분석 자료를, WMO는 ERA-interim, NMME는 GHCN 자료를 이용하고 있다. 기온의 경우 아프리카와 인도 부근, 칠레, 그리고 필리핀 해에서 상관관계가 낮게 나타나며(Figure 64a), 강수의 경우에는 아프

리카, 남아메리카, 북아메리카 부근의 북태평양에서 관측 사이의 상관관계가 약하게 나타났다 (Figure 64b). 온도는 관측지점에서의 데이터를 자료 동화하여 모델이 생산하는 값이므로, 관측치가 적은 곳에서는 모델이 모의하는 값에 의존하게 된다. 그러므로, 북반구보다는 상대적으로 관측지점이 많지 않은 남반구에서 재분석 자료들 사이의 상관성이 약한 것으로 보인다 (Gleckler et al. 2008). 강수는 육지보다는 주로 해양에서의 차이가 큰 것으로 나타났는데, 이는 CMAP, GPCP와 달리 CAMS-OPI가 해양에서 passive microwave 데이터를 사용하지 않기 때문이며, CMAP의 경우 위성자료의 바이어스를 줄이기 위해 남태평양의 rain gauge report를 이용한 보정 과정을 거치기 때문에 GPCP와의 차이가 발생하는 것으로 보인다(Janowiak and Xie 1999). 또한, CAMS-OPI는 CMAP으로부터 트레이닝된 위성자료 추정식을 사용하므로 두 데이터의 차이는 크지 않다.

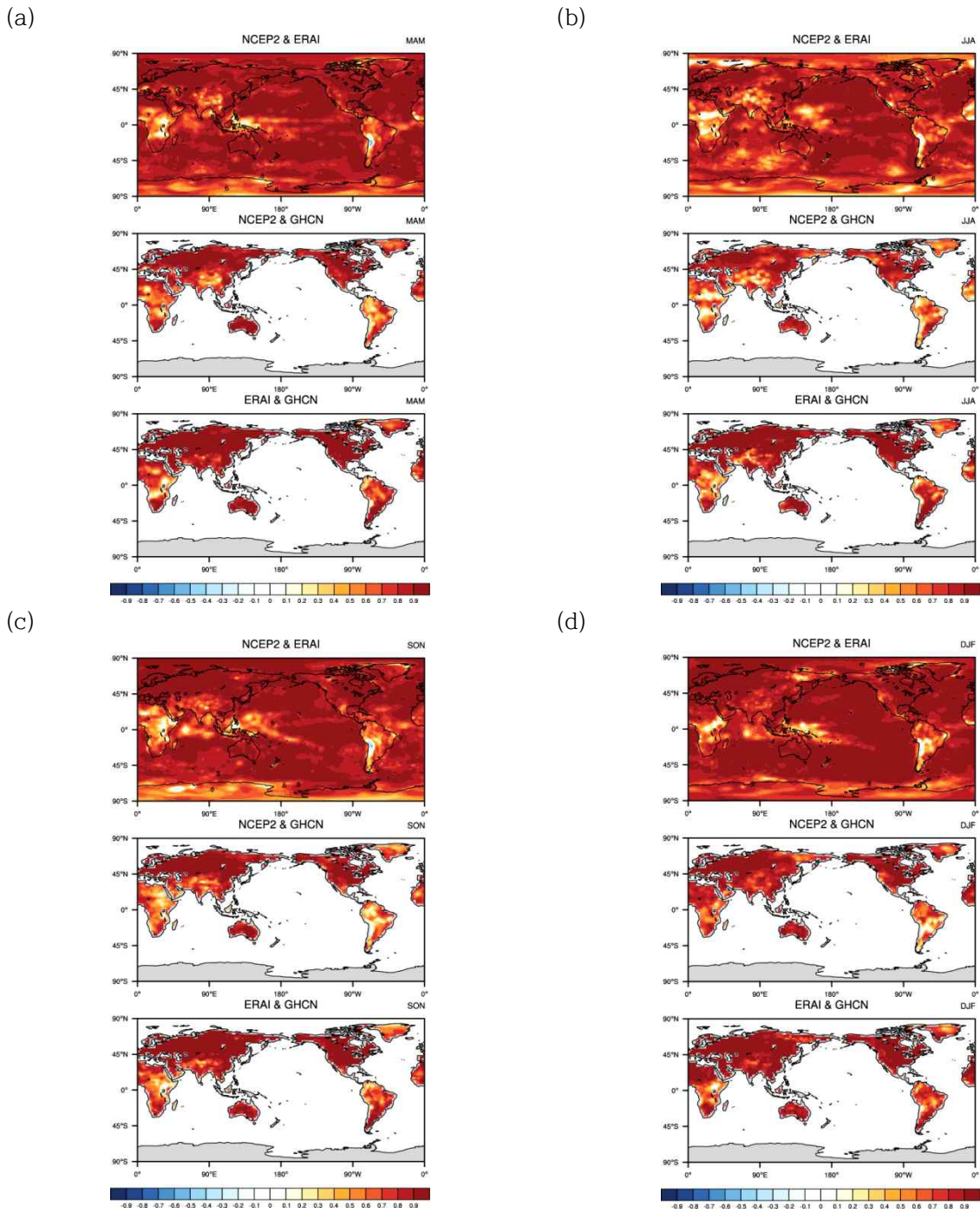
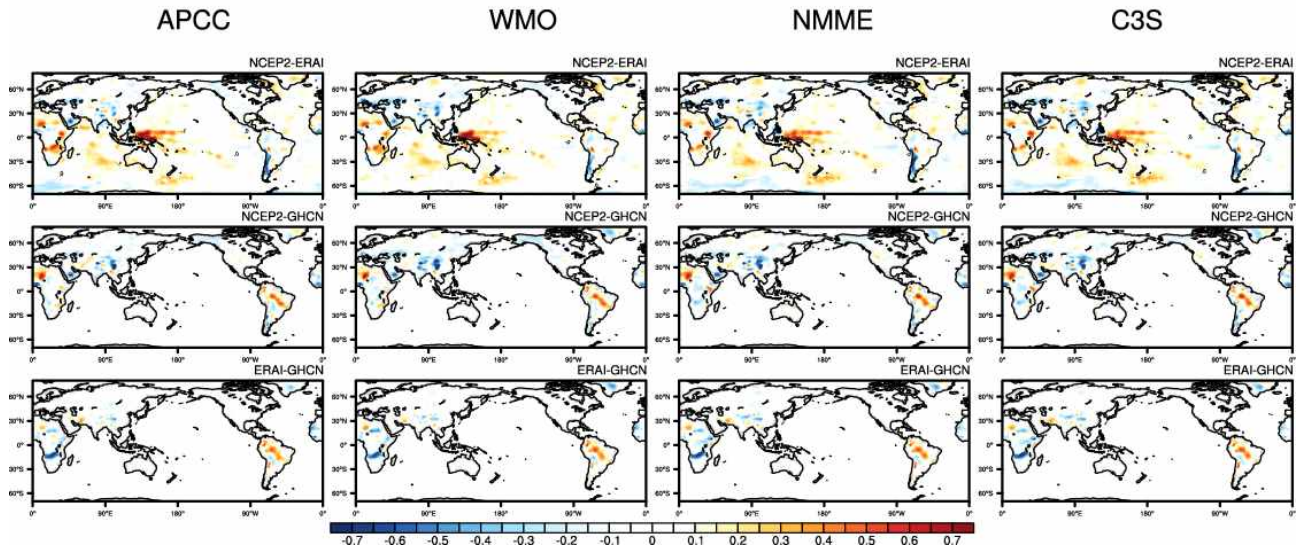


Figure 64. Temporal correlation coefficient between observations of 2m temperature for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF.

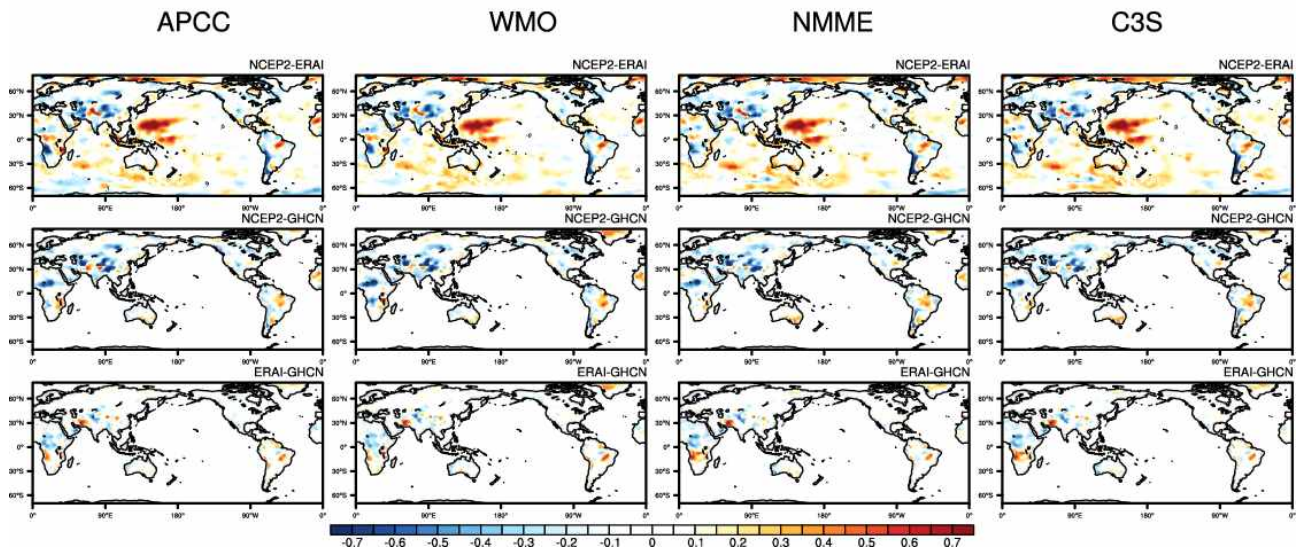
(a)

T2M TCC Difference (MAM 1993-2009)



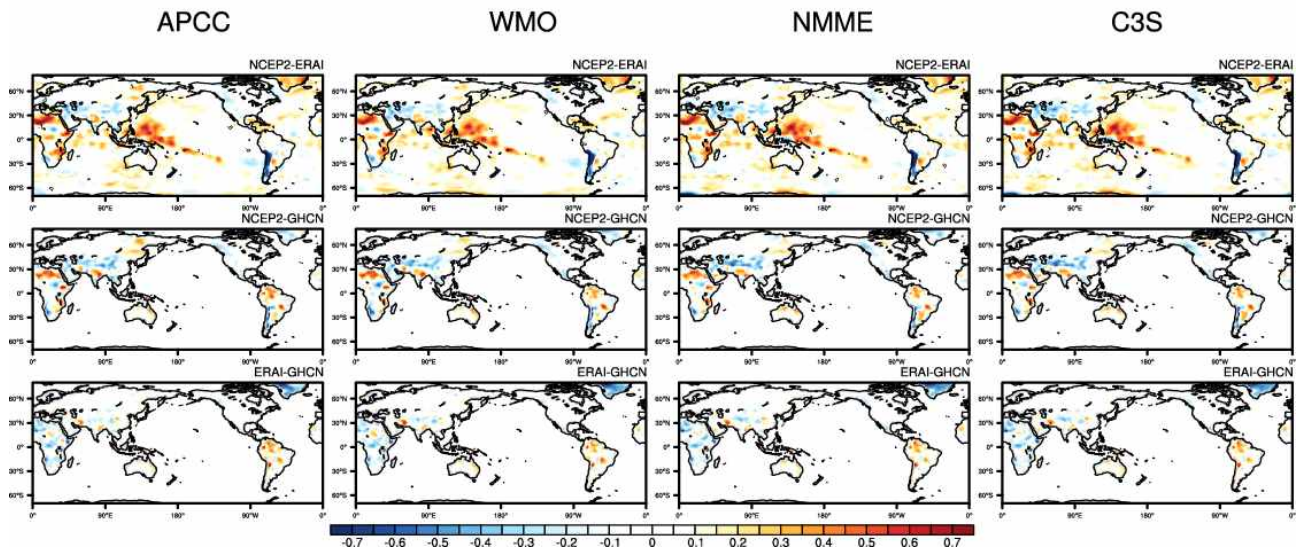
(b)

T2M TCC Difference (JJA 1993-2009)



(c)

T2M TCC Difference (SON 1993-2009)



(d)

T2M TCC Difference (DJF 1993-2009)

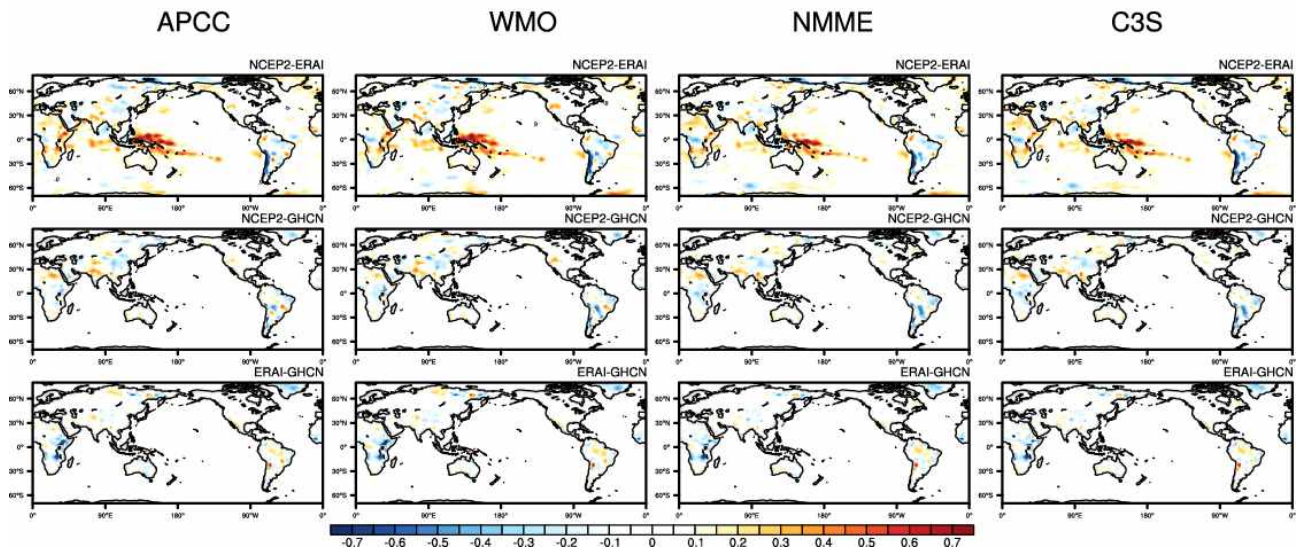


Figure 65. Difference of temporal correlation coefficient for (a) MAM, (b) JJA, and (c) SON, and (d) DJF using different observations for 2m temperature (NCEP2-ERA1, NCEP2-GHCN, ERAI-GHCN).

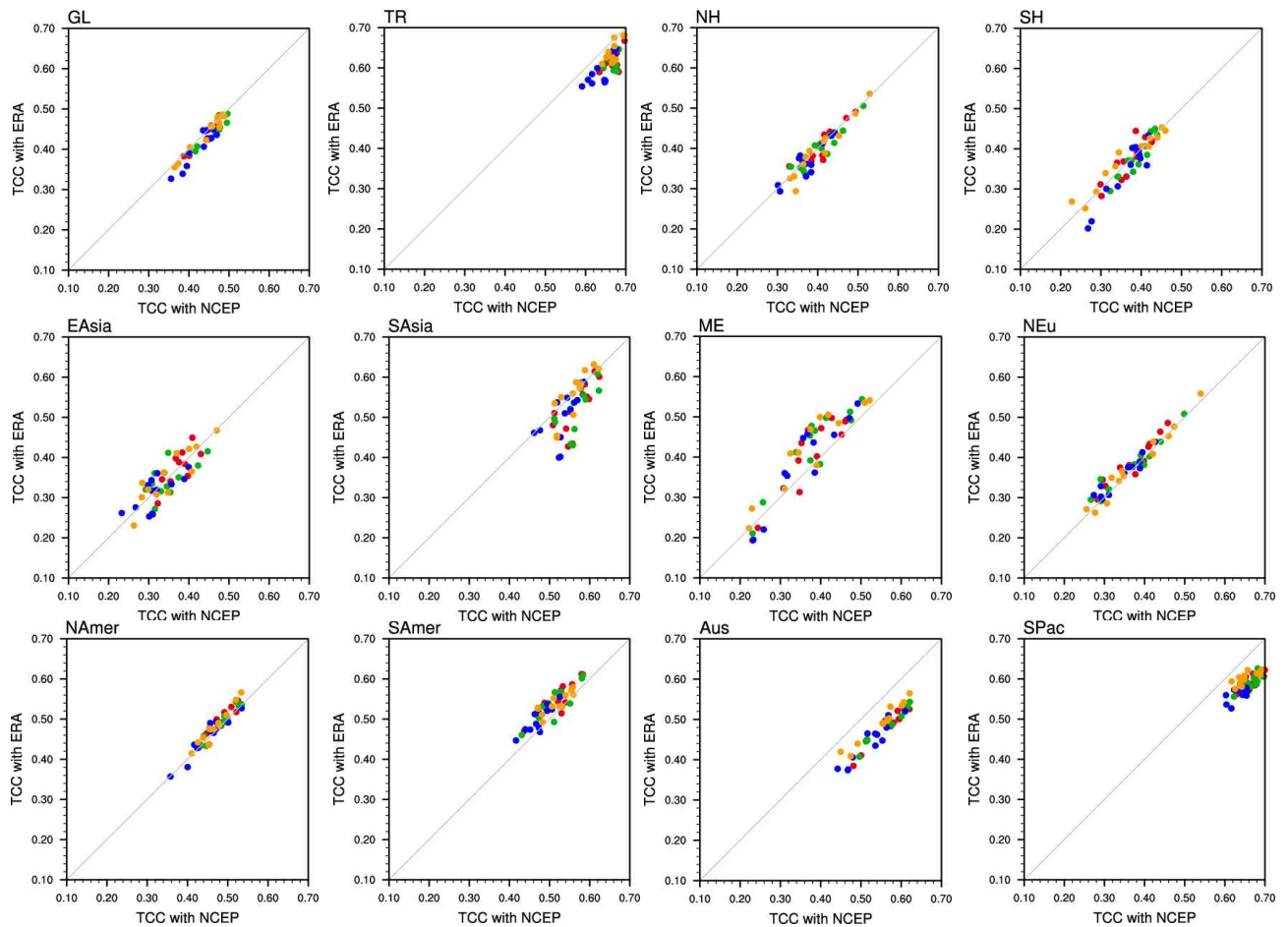


Figure 66. Temporal correlation coefficient of 2m temperature using NCEP2 and ERAI for various regions.

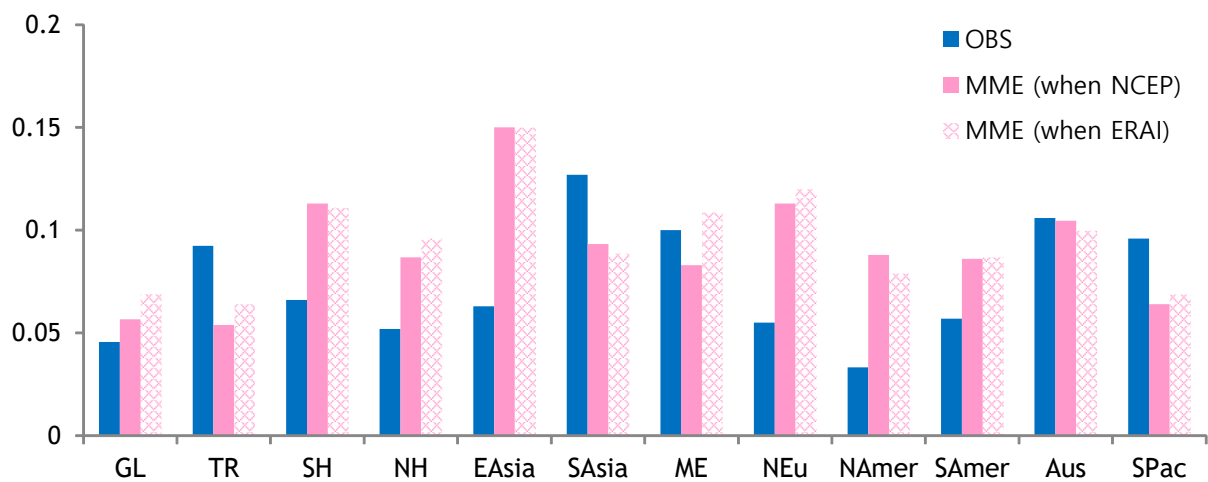


Figure 67. Maximum difference of temporal correlation coefficient for 2m temperature owing to different observations (blue), different MMEs (when using NCEP2, pink), and different MMEs (when using ERAI, pattern) in various regions.

Figure 65a은 NCEP2와 ERA-interim 자료를 이용하여 기온 예측성을 검증하였을 때 상관계수의 차이를 나타낸 것이다. NCEP2로 상관계수를 구했을 때에 비해 ERA-interim을 사용한 상관계수의 변동이 50% 이상 되는 지역을 격자무늬로 표시하였다. 관측데이터들 사이의 상관관계에서 살펴본 바와 같이, 두 관측데이터의 상관관계가 약한 곳에서의 상관계수 값의 변동이 큰 것을 알 수 있다. 주목할만한 것은 모든 MME에서 상관계수의 변동 경향이 유사하게 나타난다는 것이다. 즉, TCC의 차이가 가장 큰 지역은 필리핀 해 부근이며, 이때 네 기관의 MME는 NCEP2를 쓸 때가 ERA-interim을 사용하여 예측성을 검증했을 때보다 높은 상관계수를 보인다. 강수와 해수면온도에서도 이러한 양상이 나타나는 것을 확인하였다(Figure 65b). 따라서, 관측데이터에 따라 예측검증값이 바뀌는 지역이 있으나, MME에 따라 변동 양상이 다르지 않으므로 동일한 조건에서 예측성을 비교한다면 객관적 비교가 가능하다고 판단됨에 따라 이 연구에서는 APCC가 검증데이터로 사용하고 있는 NCEP2 재분석 자료와 CAMS-OPI, OISST를 이용하여 APCC 및 다른 기관의 MME 예측성을 비교하였다.

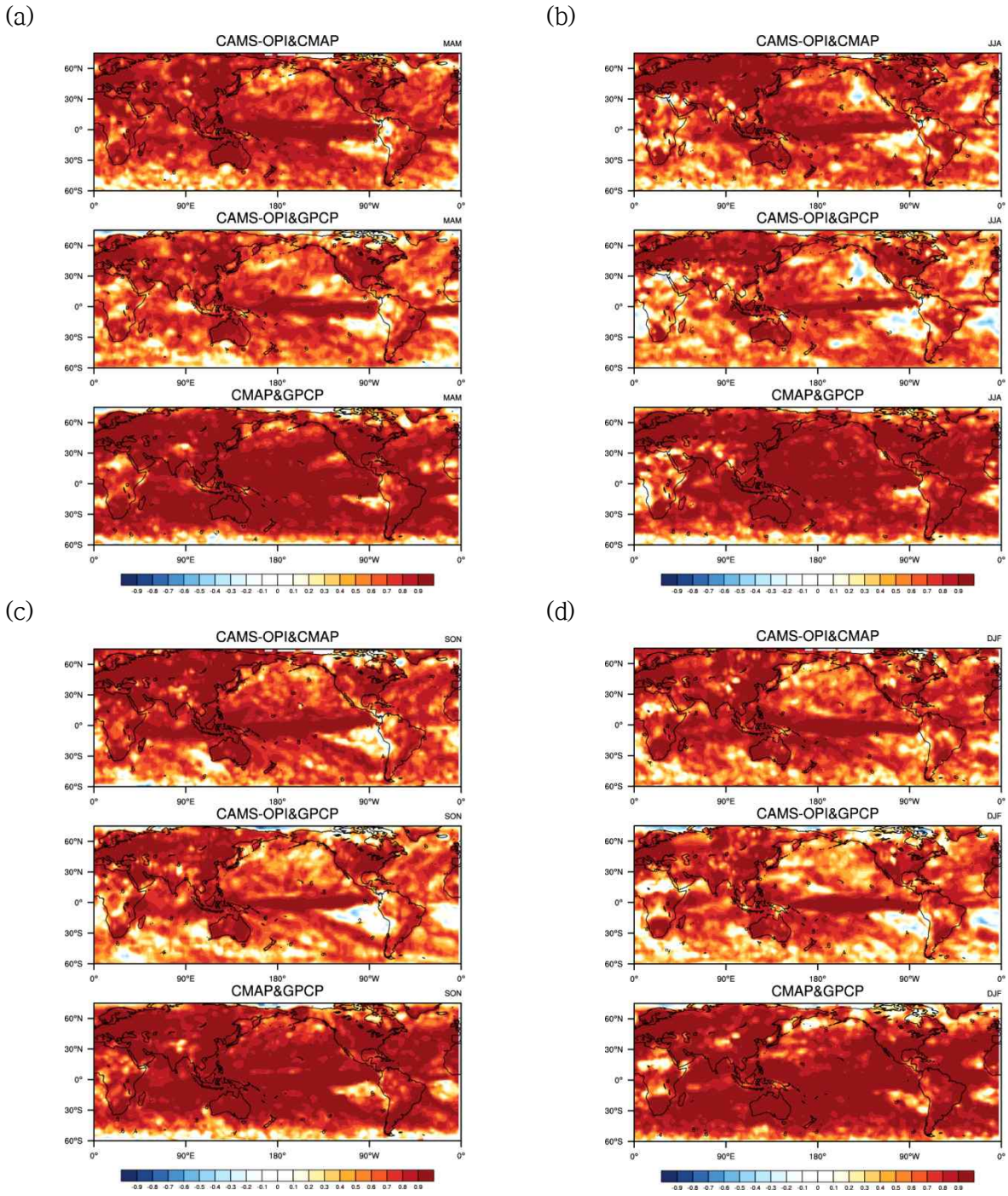


Figure 68. Temporal correlation coefficient between observations of precipitation for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF.

(a)

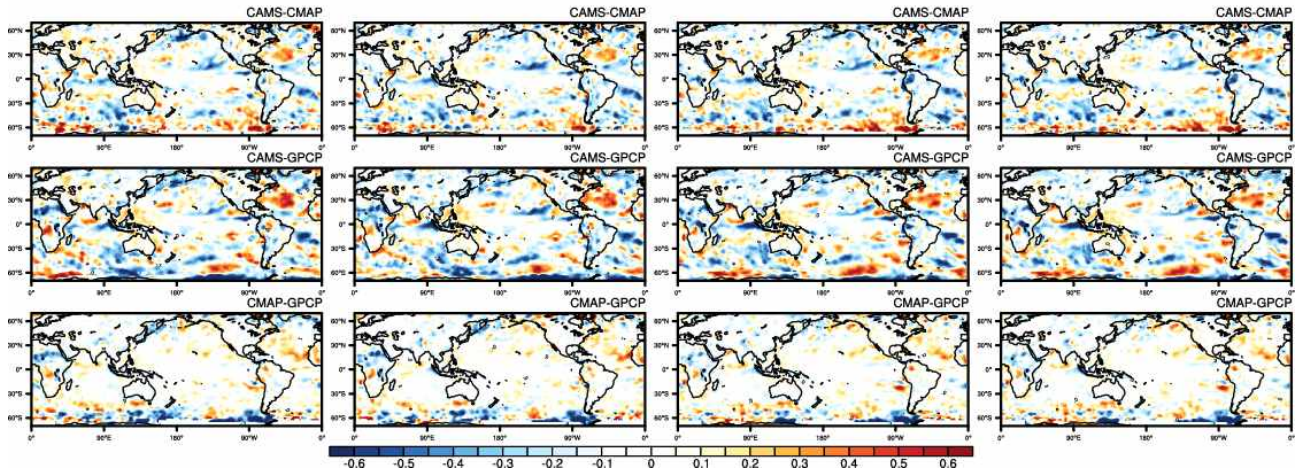
PREC TCC Difference (MAM 1993-2009)

APCC

WMO

NMME

C3S



(b)

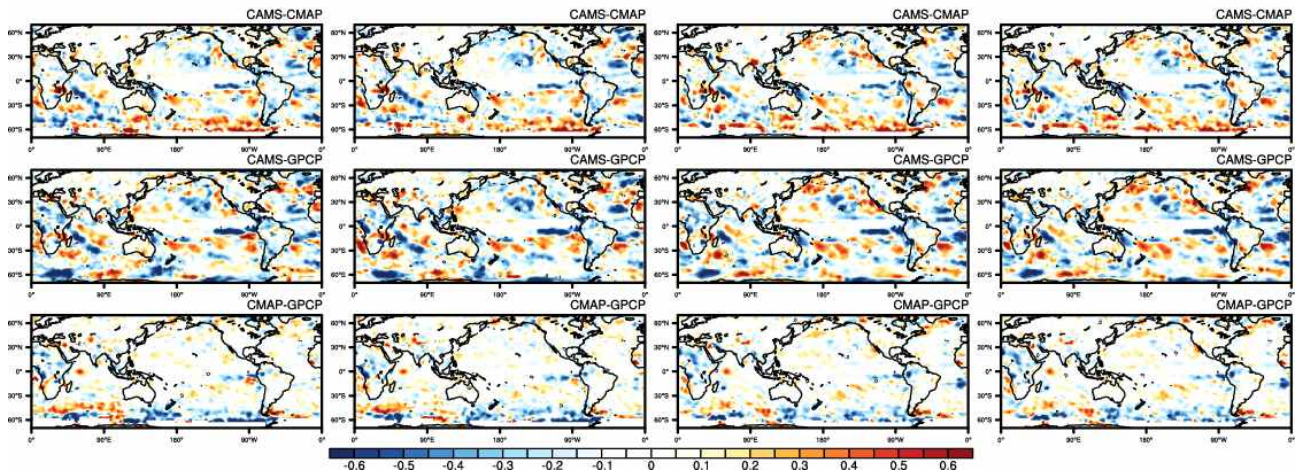
PREC TCC Difference (JJA 1993-2009)

APCC

WMO

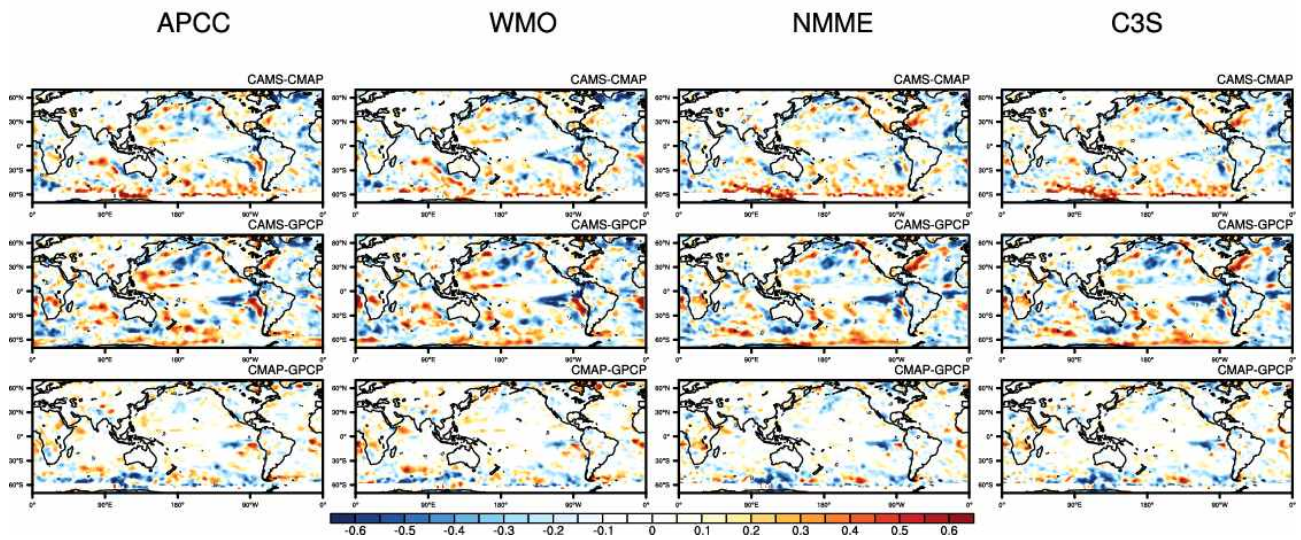
NMME

C3S



(c)

PREC TCC Difference (SON 1993-2009)



(d)

PREC TCC Difference (DJF 1993-2009)

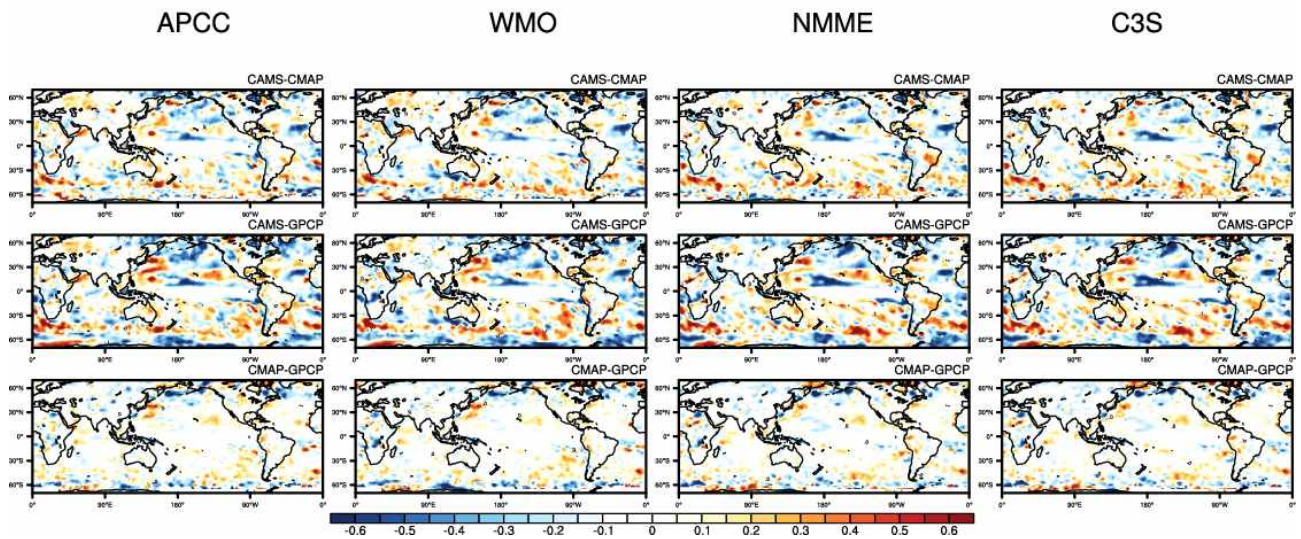


Figure 69. Difference of temporal correlation coefficient for (a) MAM, (b) JJA, and (c) SON, and (d) DJF using different observations for precipitation (CMAP-CMAP, CMAP-GPCP, GPCP-GPCP).

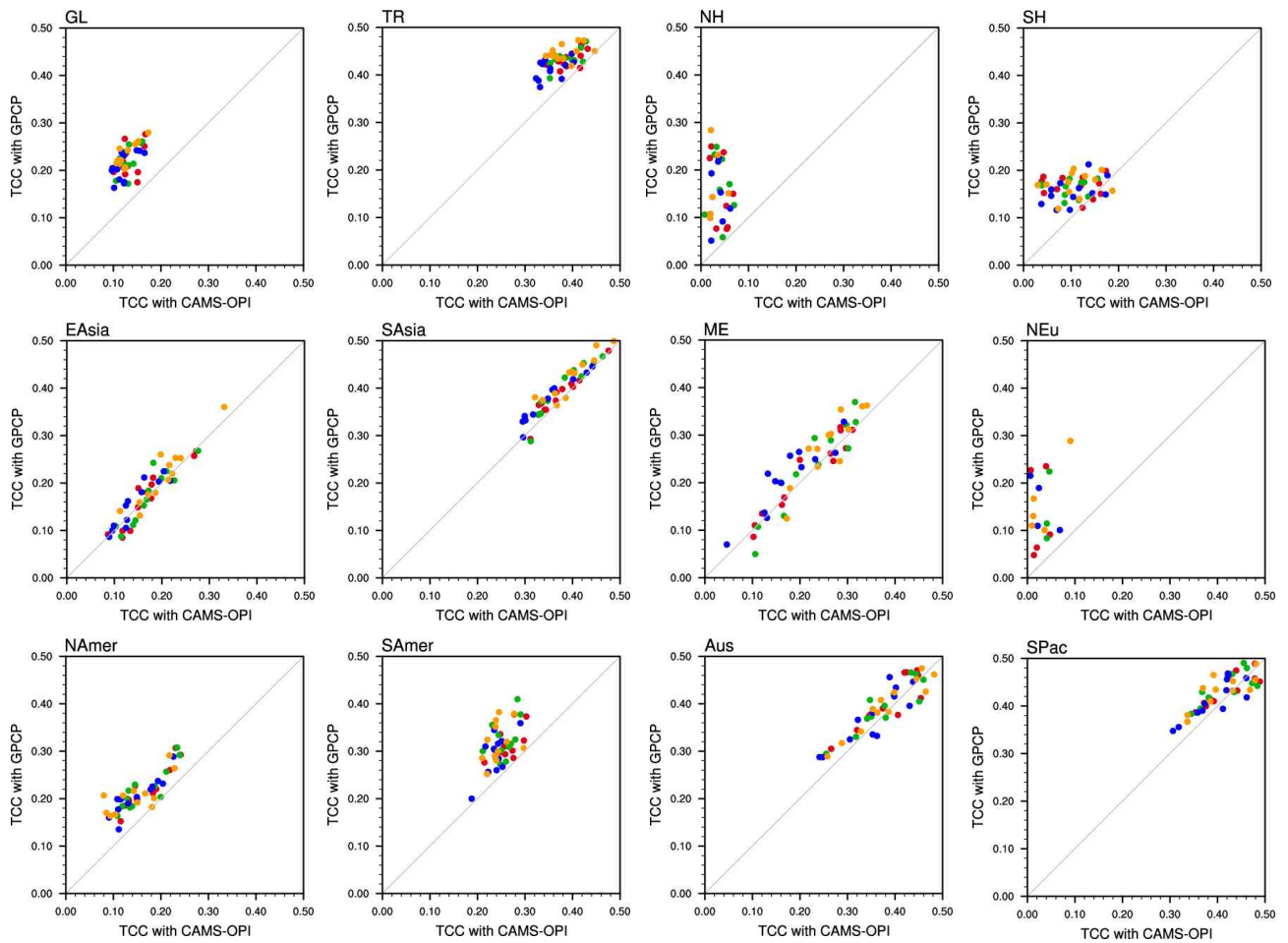


Figure 70. Temporal correlation coefficient of precipitation using CAMS-OPI and GPCP for various regions.

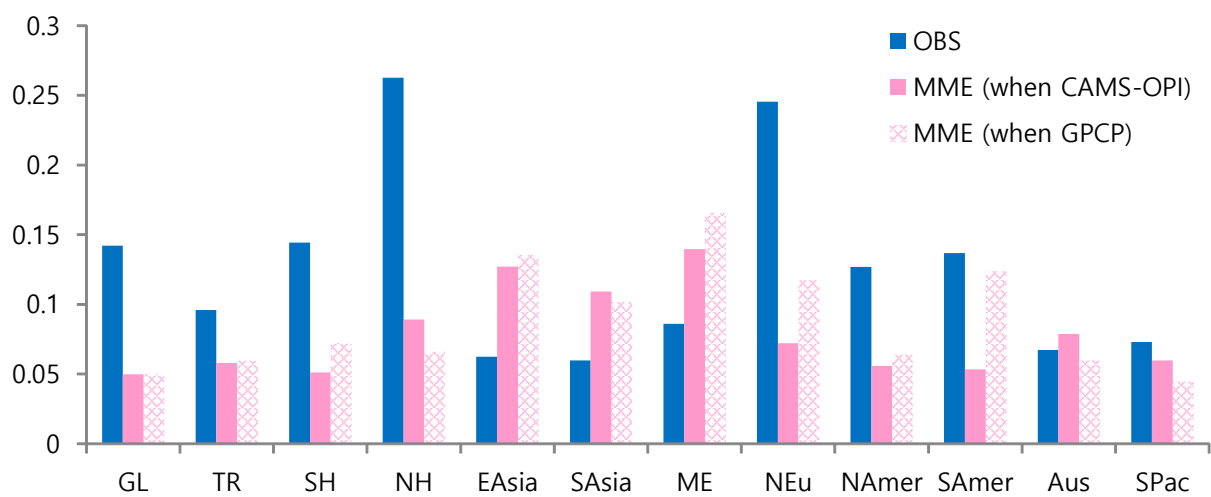


Figure 71. Maximum difference of temporal correlation coefficient for precipitation owing to different observations (blue), different MMEs (when using CAMS-OPI, pink), and different MMEs (when using GPCP, pattern) in various regions.

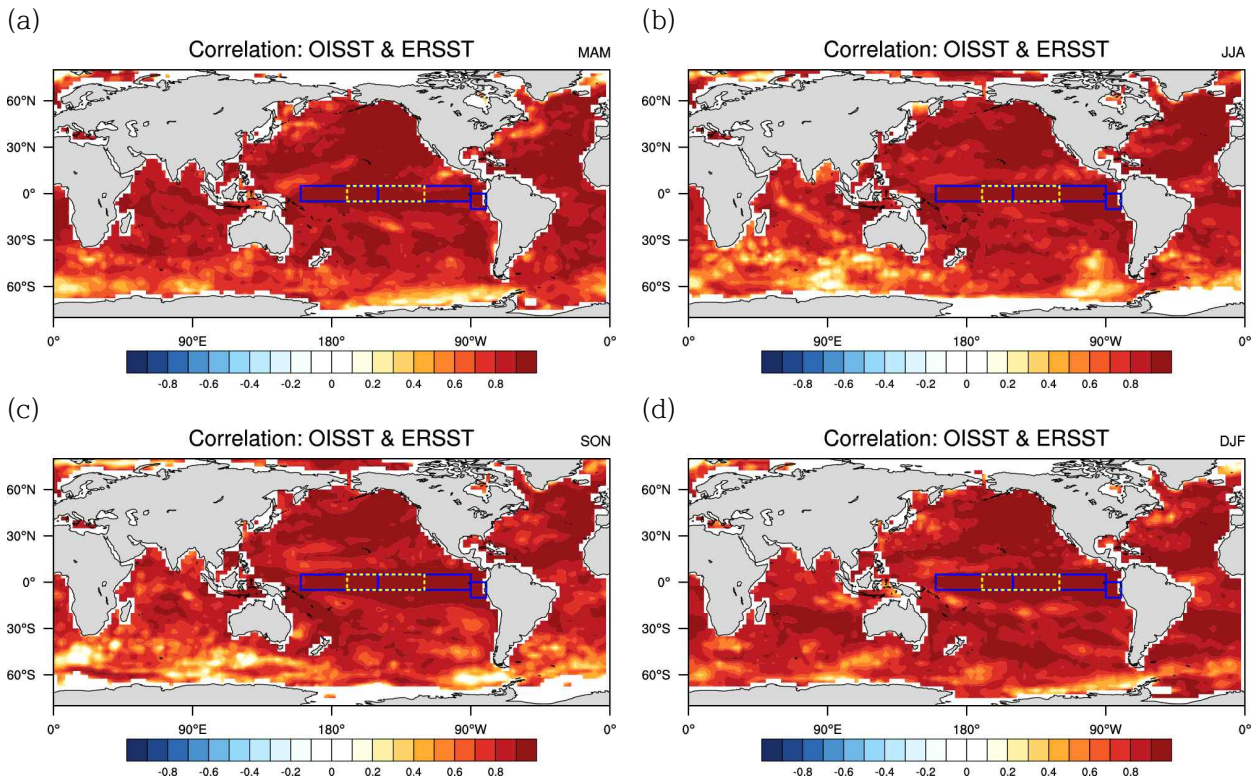
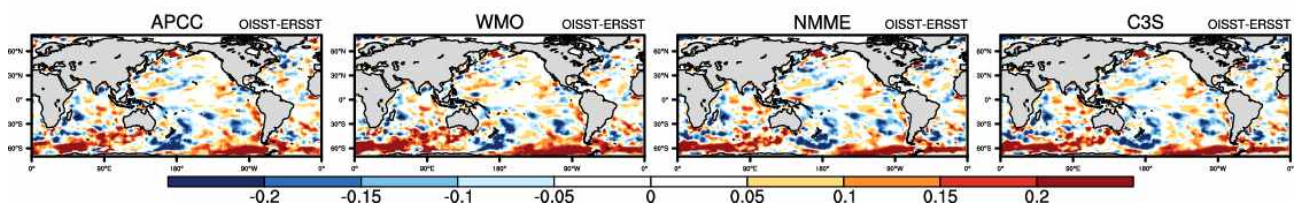


Figure 72. Temporal correlation coefficient between observations of sea surface temperature for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF. Blue and yellow boxes are regions for Niño indices.

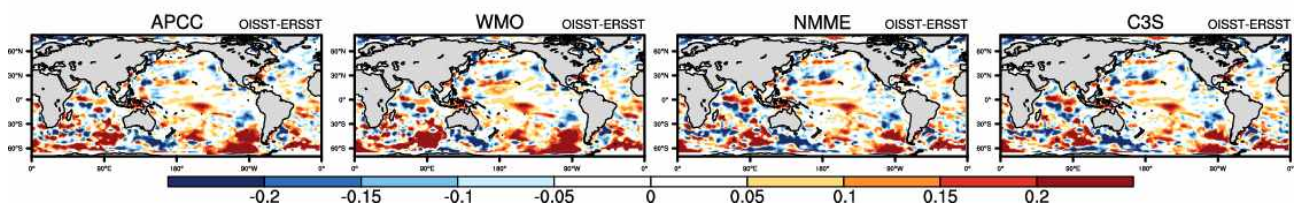
(a)

SST TCC Difference (MAM 1993-2009)



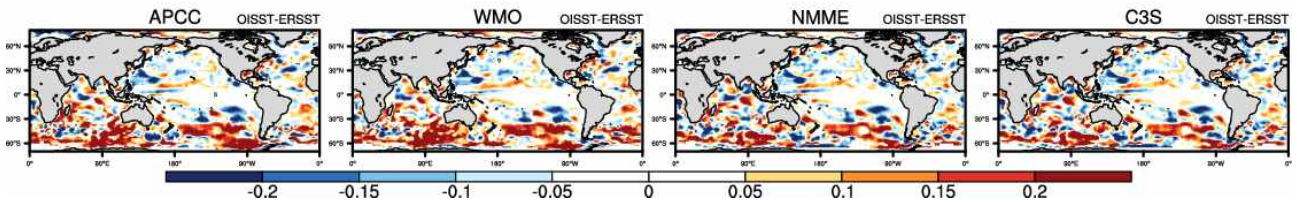
(b)

SST TCC Difference (JJA 1993-2009)



(c)

SST TCC Difference (SON 1993-2009)



(d)

SST TCC Difference (DJF 1993-2009)

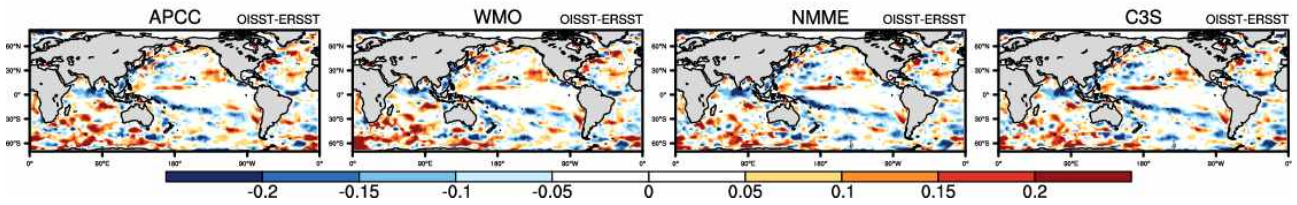


Figure 73. Difference of temporal correlation coefficient for (a) MAM, (b) JJA, and (c) SON, and (d) DJF using different observations for sea surface temperature (OISST-ERSST).

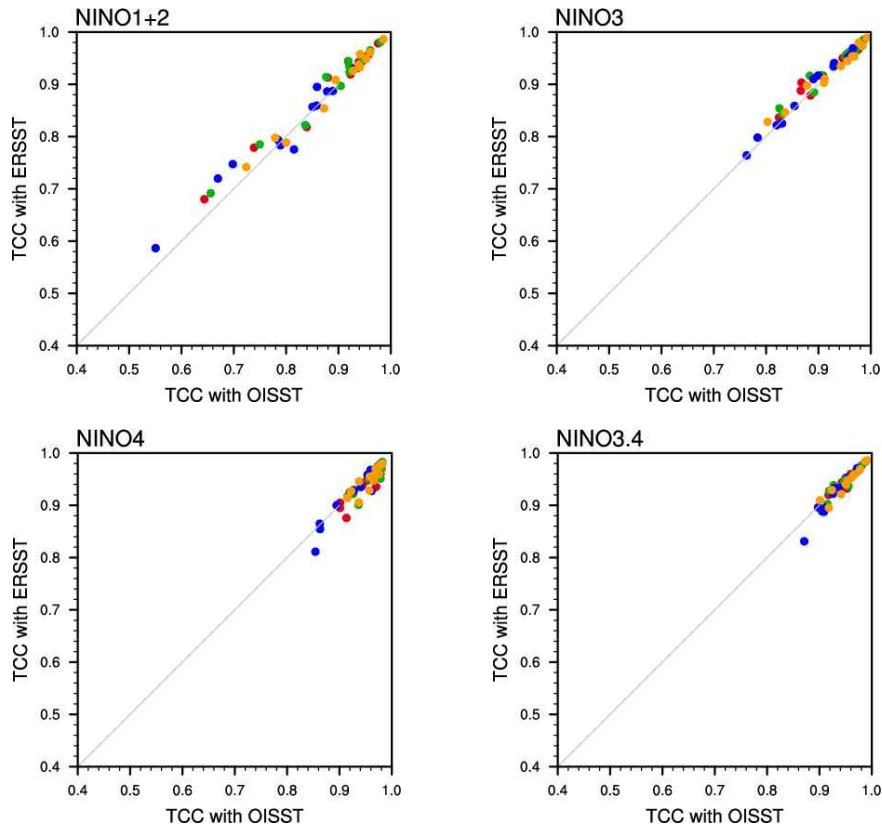


Figure 74. Temporal correlation coefficient of sea surface temperature using OISST and ERSST for various regions.

(나) APCC 및 타 기관 MME의 예측성 분석: 기온

APCC와 다른 기관의 MME를 동일한 조건에서 비교하기 위해 네 기관 hindcast 공통 기간인 1993년부터 2009년까지 17년간의 개별모델 자료들에 SCM(simple composite method)을 적용하여 MME set을 구성하였다. Table 27의 각 기관 참여모델에서 APCC의 경우 hindcast 기간이 맞지 않는 MGO를 제외한 13개 모델이 사용되었으며, WMO 12개, NMME 와 C3S는 5개의 모델이 앙상블 평균되어 기온과 강수 분석에 이용되었다. 해수면 온도 분석에서는 Tier-2인 모델 혹은 해수면 온도 자료를 제공하지 않는 기관을 제외하고 APCC 11개, WMO 10개, NMME 4개, C3S 5개의 모델 자료를 활용하였다.

Figure 75는 전구에서 계절별 ACC(anomaly correlation coefficient)와 TCC(temporal correlation coefficient)를 나타낸 것으로, 모든 기관의 예측성이 계절에 따라 유사하게 변동하고 있음을 보여준다. ACC의 경우 다른 계절에 비해 여름의 상관관계가 약하게 나타나고 있으며, 특히 C3S의 예측력이 다른 기관에 비해 낮은 특징을 보인다 (Figure 75a). 이는 C3S MME를 구성하고 있는 개별모델 중 2개의 모델이 남반구 극지역에서의 온도 아노말리를 비현실적으로 모의하고 있기 때문으로 확인되었으며, 5개의 모델로 구성되어 있는 C3S MME의 경우 1~2개 모델의 오차가 커지면 그 영향이 MME에도 크게 반영되는 결과를 보이는 것이라 할 수 있다. TCC는 여름과 겨울에 상대적으로 낮은 값을 보이고 있으며, 이러한 특징은 모든 MME에서 동일하게 나타난다(Figure 75b).

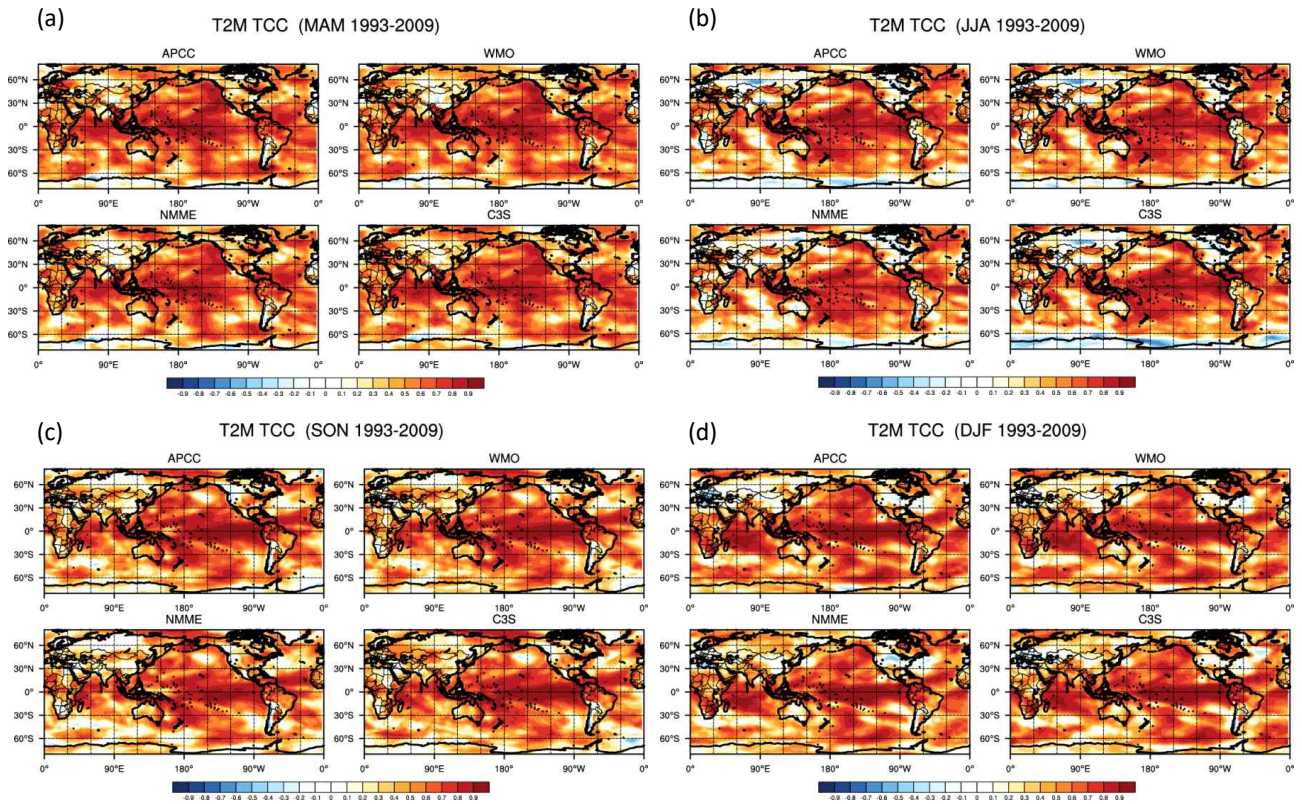


Figure 75. Temporal correlation coefficients of 2m temperature over globe for APCC, WMO, NMME, and C3S MME during (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, (d) DJF.

이를 동아시아 지역에 대해 좀 더 자세히 살펴보면 (Figure 76), 다른 기관들에 비해 APCC가 봄철 TCC가 높다는 것을 알 수 있다. 이는 Figure 77에서도 확인할 수 있으며, 다른 기관들의 MME가 육지에 비해 해양에서의 TCC가 높은 데에 반해, APCC MME는 한반도를 포함한 내륙에서의 상관관계수가 높게 나타난다. 여름철에는 NMME를 제외한 다른 세 기관에서 공통적으로 몽골과 러시아 인접 지역에서 음의 상관관계가 나타나며, 겨울철에는 중국 내륙에서의 상관관계수가 낮음을 알 수 있다.

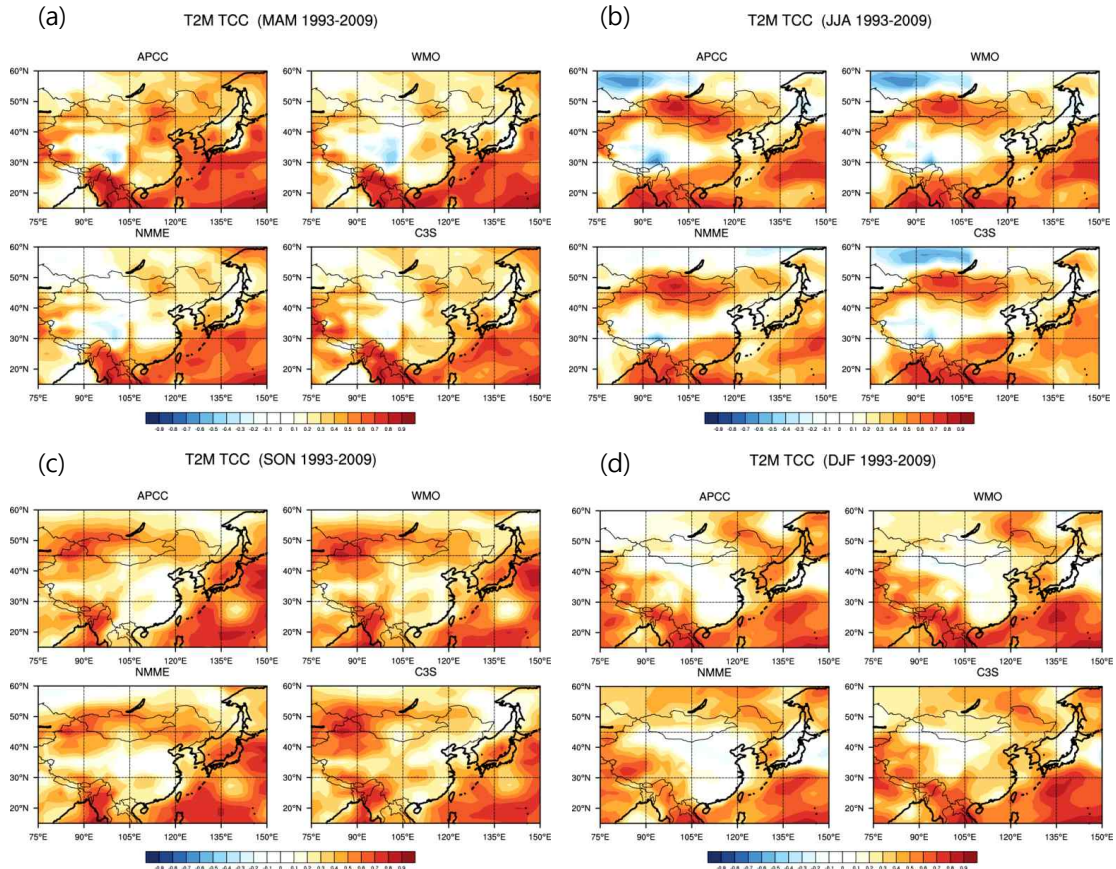


Figure 76. Temporal correlation coefficients of 2m temperature over East Asia for APCC, WMO, NMME, and C3S MME during (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, (d) DJF.

Figure 77는 지역별 아노말리 상관계수를 나타낸 것으로, 각 지역에서 계절별 상관계수의 변동 추이는 네 기관이 유사하게 변동하는 것을 알 수 있다. 다만, 전지구(Figure 14a)와 남반구 온대지역(Figure 77d)에서 C3S가 낮게 나타나는 것은 위에서 확인한 바와 같이 남반구 극 지역에서의 오차값이 크기 때문이다. 전반적으로 NMME의 아노말리 상관계수가 다른 세 기관에 비해 다소 낮게 나타나고 있다.

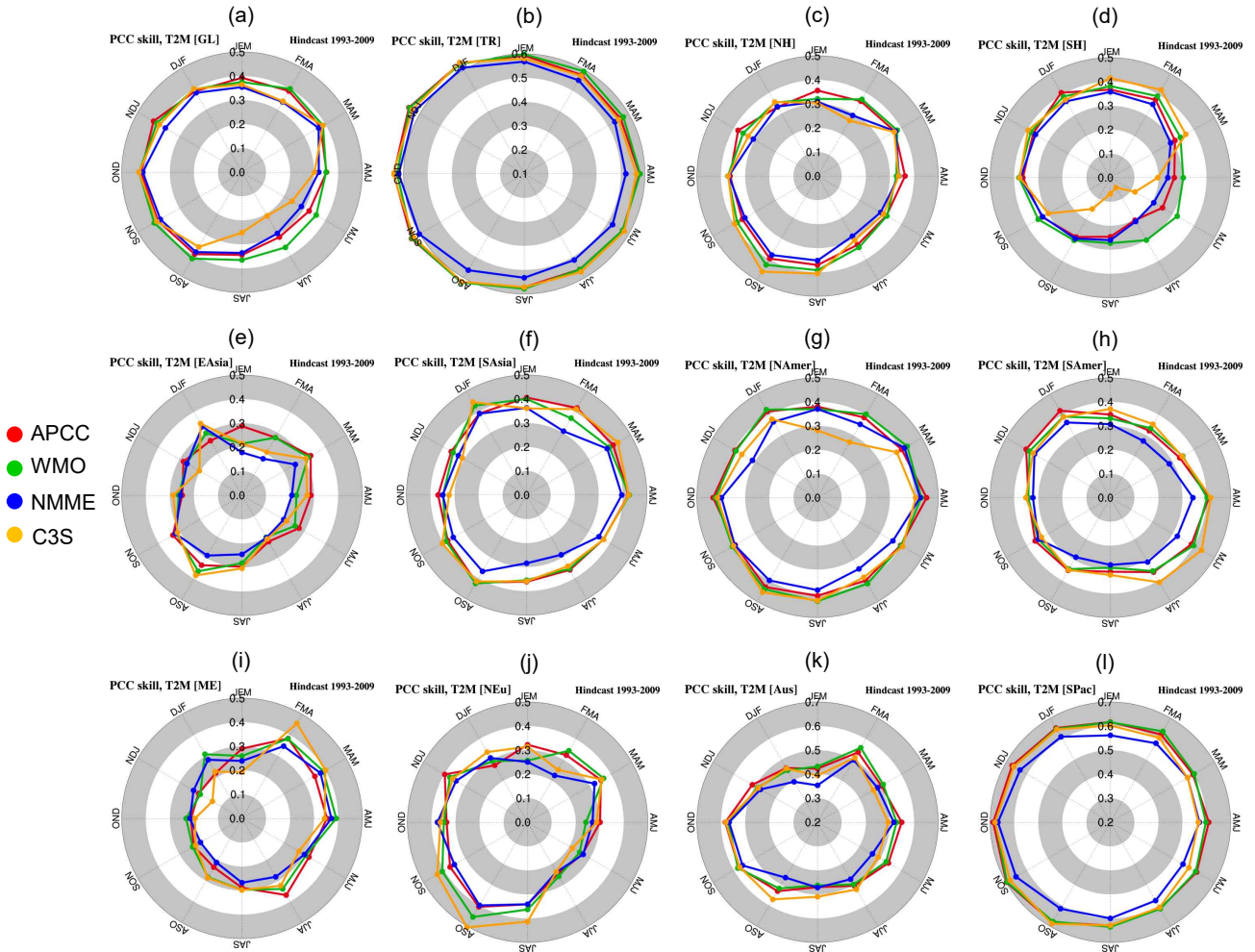


Figure 77. Anomaly correlation coefficients of 2m temperature for APCC, WMO, NMME, and C3S over (a) globe, (b) tropics, (c) northern extratropics, (d) southern extratropics, (e) East Asia, (f) South Asia, (g) North America, (h) South America, (i) Middle East, (j) northern Eurasia, (k) Australia, and (l) South Pacific.

Figure 78는 지역별 TCC 값을 나타낸 것으로, Figure 77와 유사한 결과를 보인다.

ACC와 TCC의 지역별 변동 추이는 Figure 79에서 확인할 수 있다. 전반적으로 해양이 많이 포함된 지역(TR, SPac)에서의 상관계수가 크고, 동아시아(EA), 중동(ME)과 같이 육지가 많은 지역에서의 상관계수 값이 낮은 것을 알 수 있다. 하나의 박스는 12계절이 나타내는 상관계수의 최고값과 최저값으로 그 크기가 정해지게 되는데, 박스의 크기가 클수록 계절에 따른 상관계수 값의 변화가 크다는 것을 의미한다. 노란색으로 표시된 C3S MME의 경우 최고값을 나타내는 지역이 많은 반면, APCC MME(붉은색)는 계절에 따른 값의 변화가 크지 않아 안정적인 예측성을 보여주고 있다는 것을 확인할 수 있다.

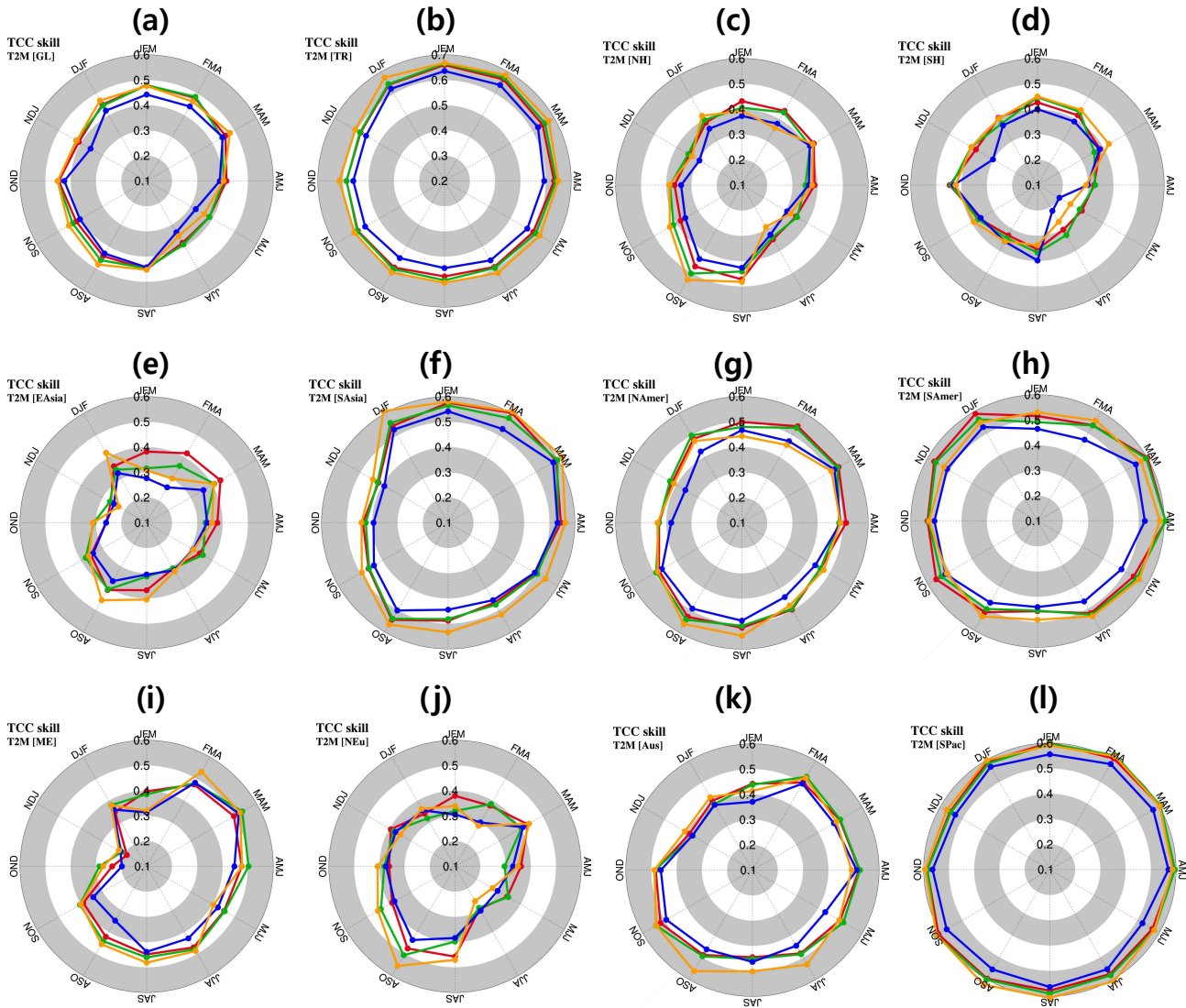


Figure 78. Temporal correlation coefficients of 2m temperature for APCC, WMO, NMME, and C3S over (a) globe, (b) tropics, (c) northern extratropics, (d) southern extratropics, (e) East Asia, (f) South Asia, (g) North America, (h) South America, (i) Middle East, (j) northern Eurasia, (k) Australia, and (l) South Pacific.

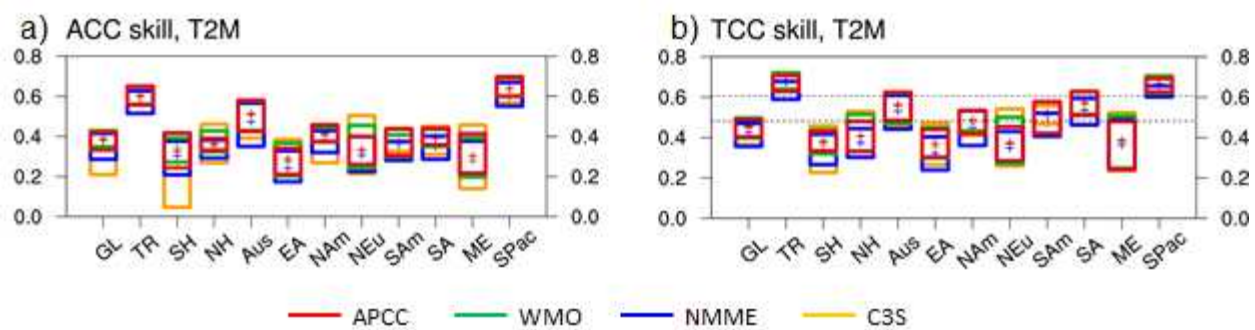


Figure 79. Regional variations of (a) anomaly correlation and (b) temporal correlation for 2m temperature.

Figure 80은 1993년부터 2009년까지 계절별 RMSE(Root Mean Square Error)값을 나타낸 것이다. 붉은색에 가까울수록 오차값이 커지는 것을 의미하며, 지역을 막론하고 여름철의 오차값이 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 관측에서 나타나는 겨울철 유라시아, 아메리카 대륙의 한랭화 트렌드를 MME에서 잡아내지 못하기 때문인 것으로 보인다(Figure 18d). 북반구 극지역에서의 온난화 추세는 봄, 가을에 뚜렷하게 나타나며, 각 기관의 MME는 관측에서 나타나는 강한 온난화를 반영하지 못하고 있다. 여름철에는 온난화, 한랭화 추세 모두 다른 계절에 비해 약하게 나타나고 있는데, 이로 인해 여름철의 오차값이 가장 낮게 나타나는 것으로 보인다.

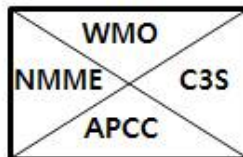
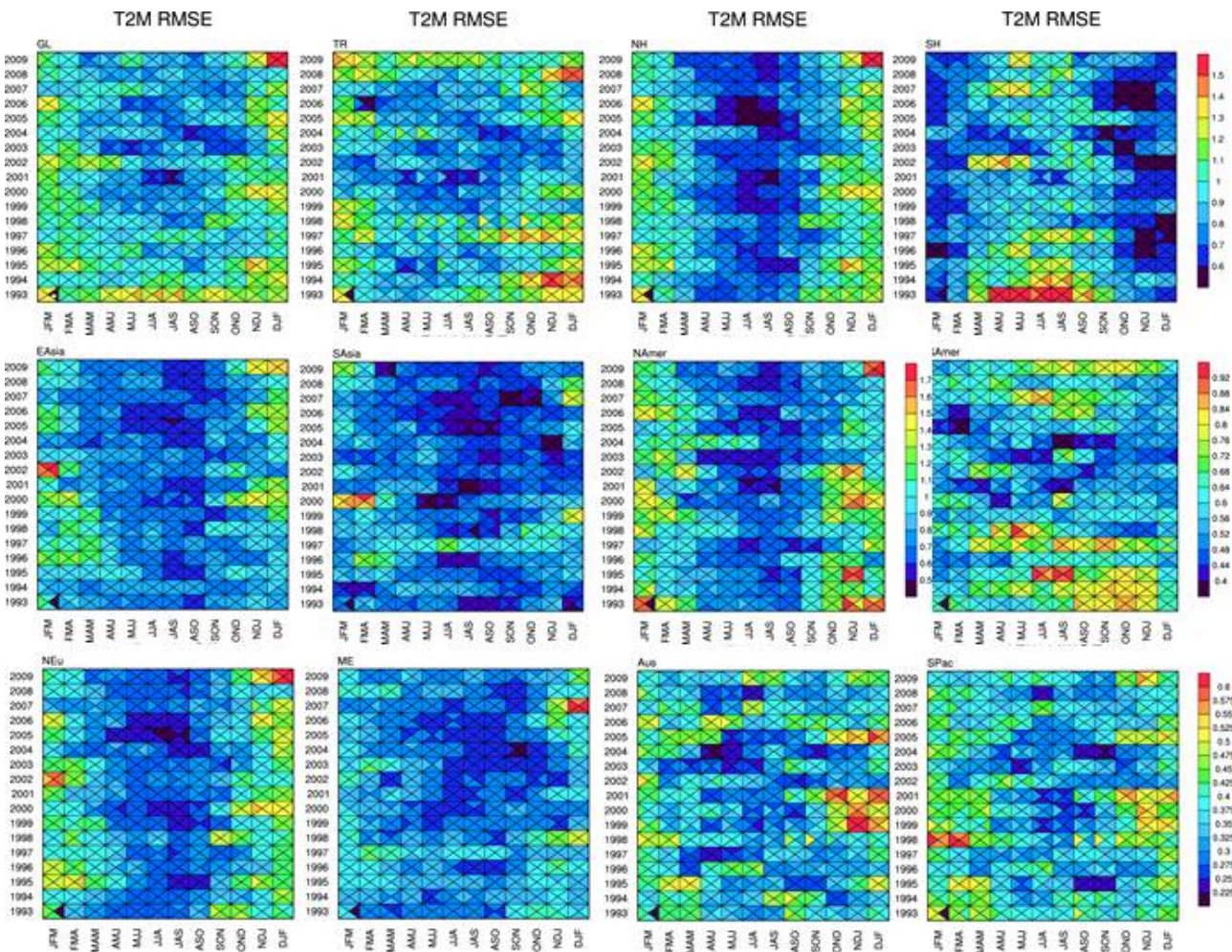


Figure 80. Root mean square error (RMSE) of 2m temperature for four different MMEs over various regions.

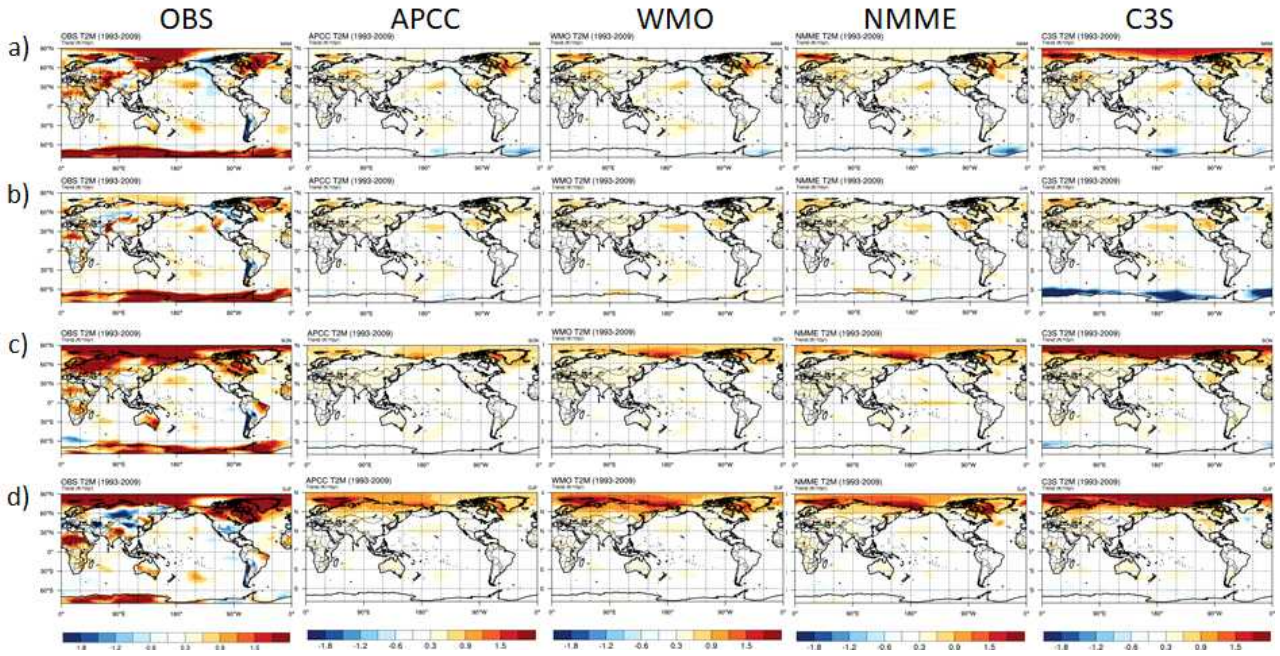


Figure 81. Linear trend of 2m temperature for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF.

(다) APCC 및 타 기관 MME의 예측성 분석: 강수

강수에 대해서도 온도와 같은 방법으로 분석을 수행하였다.

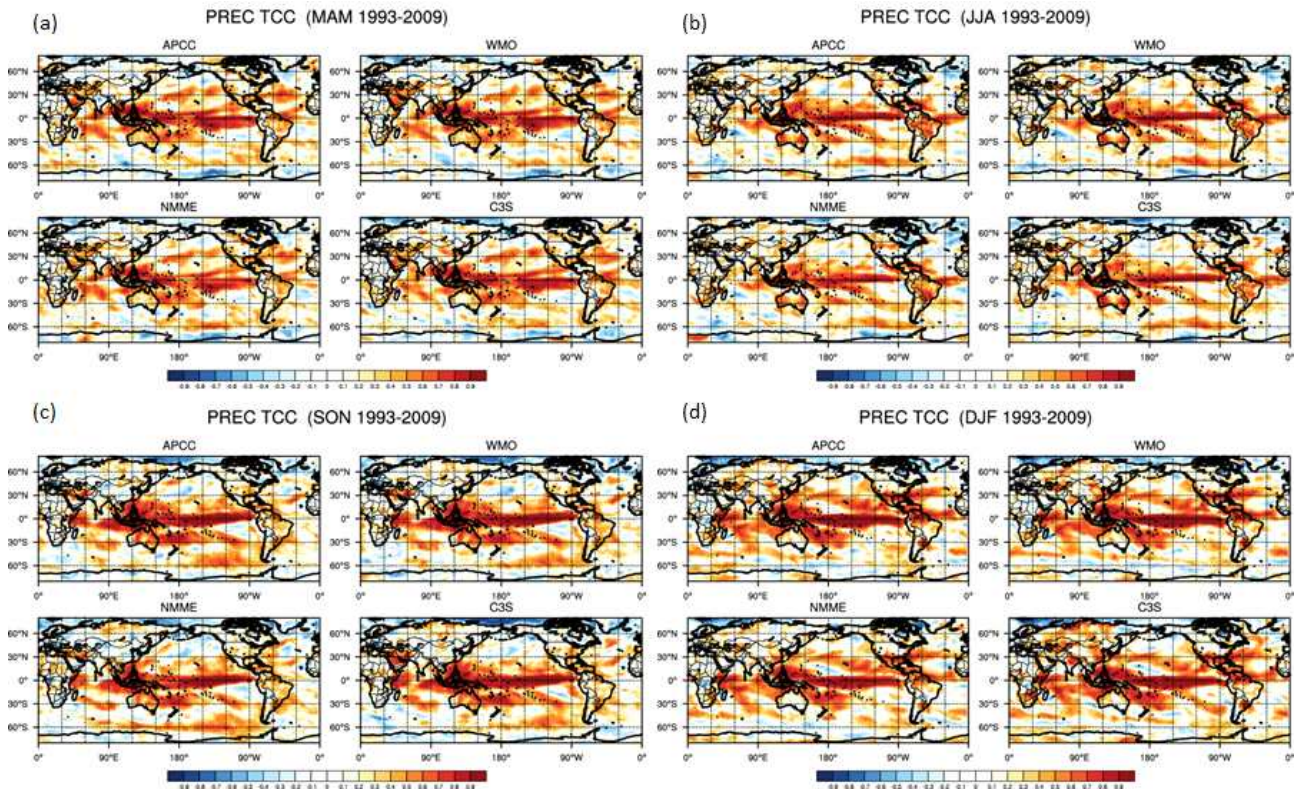


Figure 82. Temporal correlation coefficients of precipitation over globe for APCC, WMO, NMME, and C3S MME during (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, (d) DJF.

강수의 경우 적도 부근에서 나타나는 강한 강수대로 인해 전구적 관점에서의 상관계수는 매우 높게 나타난다(Figure 82, 83). 그러나, 시간적 상관계수의 경우 적도 부근 지역을 제외하면 낮은 편이고, 강수량이 많지 않은 북유라시아 지역은 특히 낮게 나타난다(Figure 84).

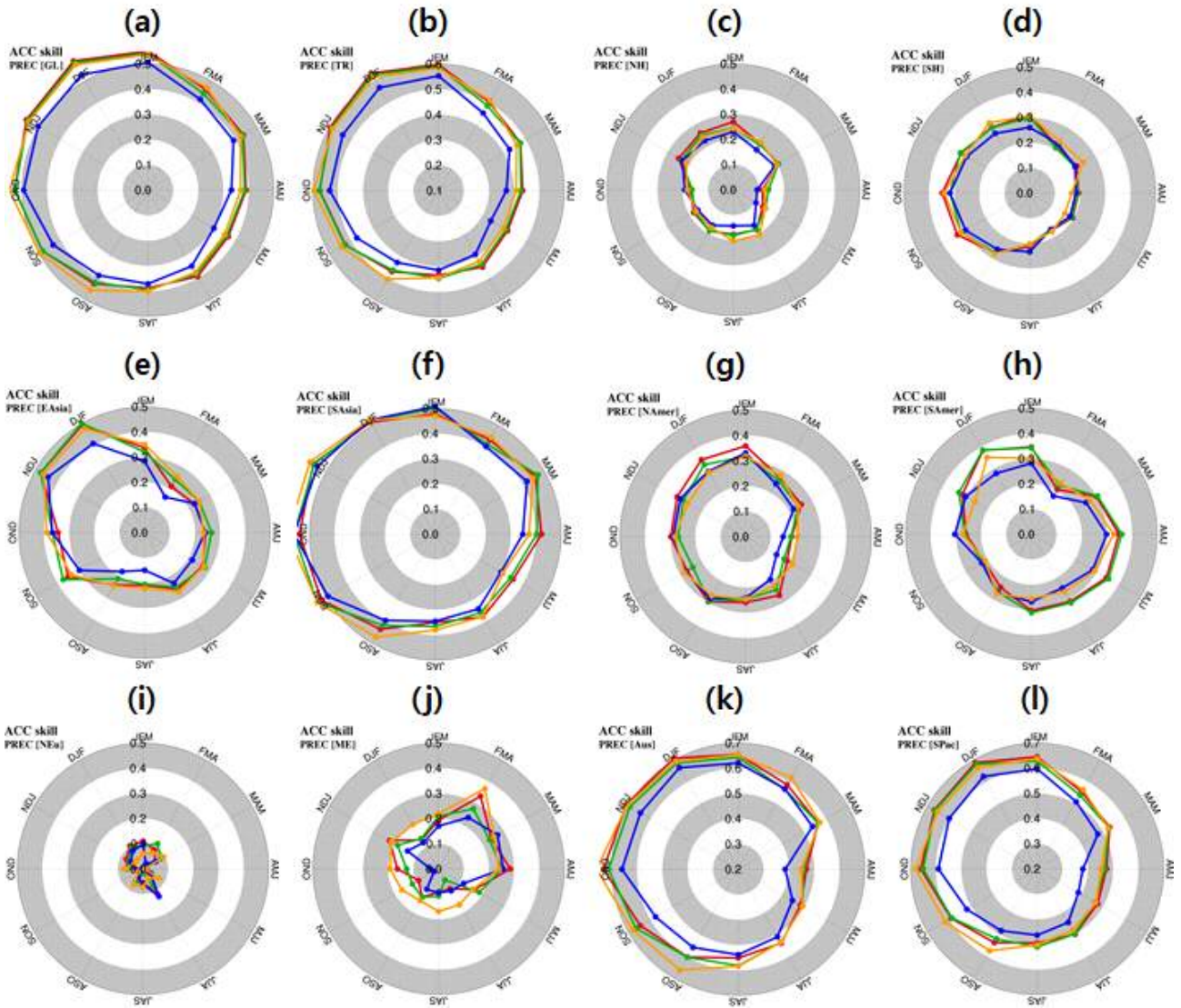


Figure 83. Anomaly correlation coefficients of precipitation for APCC, WMO, NMME, and C3S over (a) globe, (b) tropics, (c) northern extratropics, (d) southern extratropics, (e) East Asia, (f) South Asia, (g) North America, (h) South America, (i) Middle East, (j) northern Eurasia, (k) Australia, and (l) South Pacific.

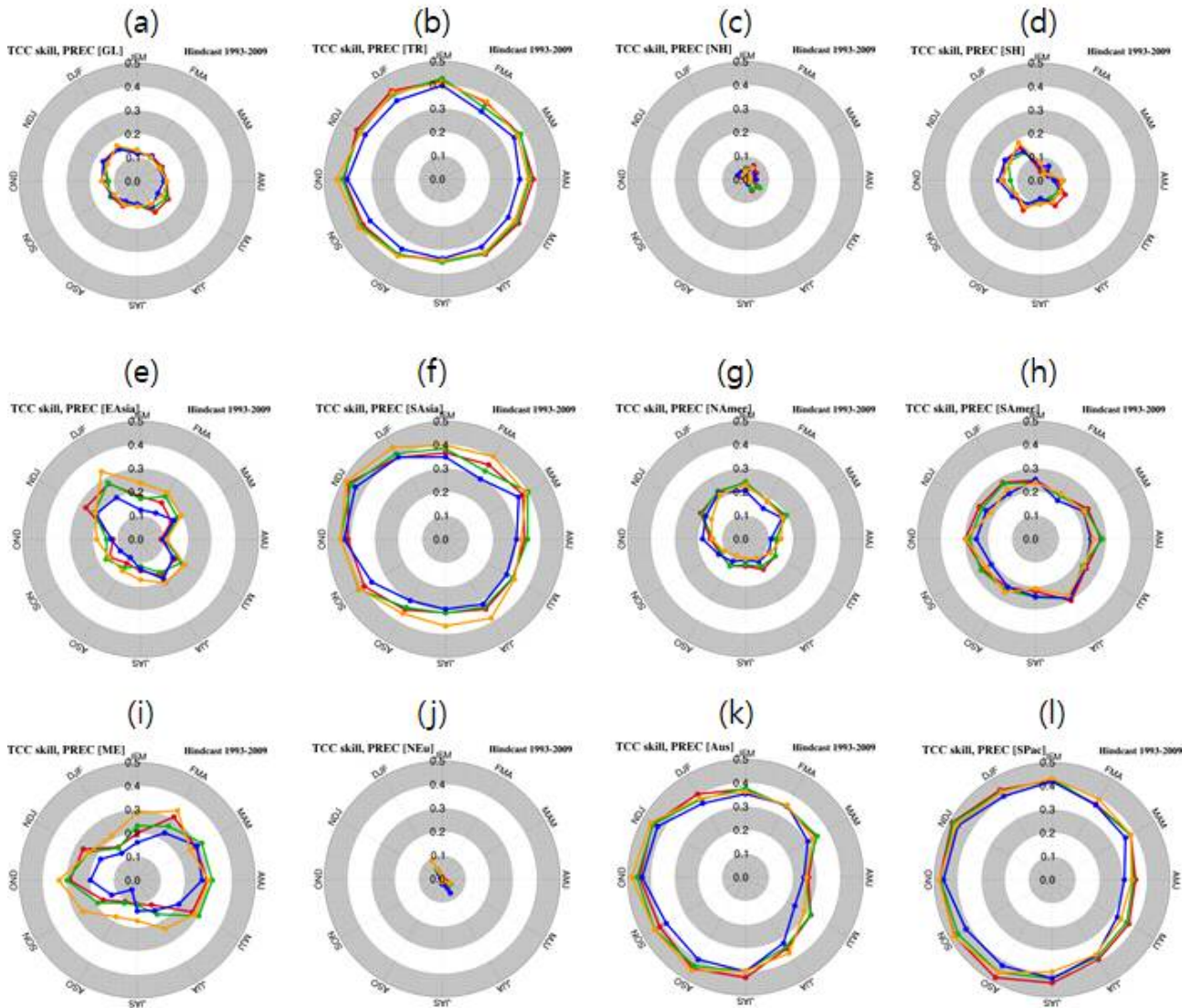


Figure 84. Temporal correlation coefficients of precipitation for APCC, WMO, NMME, and C3S over (a) globe, (b) tropics, (c) northern extratropics, (d) southern extratropics, (e) East Asia, (f) South Asia, (g) North America, (h) South America, (i) Middle East, (j) northern Eurasia, (k) Australia, and (l) South Pacific.

이를 지역적으로 살펴보면, 온도와 마찬가지로 해안이 많이 포함된 지역에서의 예측성이 높으며, 특히 적도 부근 지역에서 높은 상관계수를 보이는 것을 알 수 있다(Figure 85).

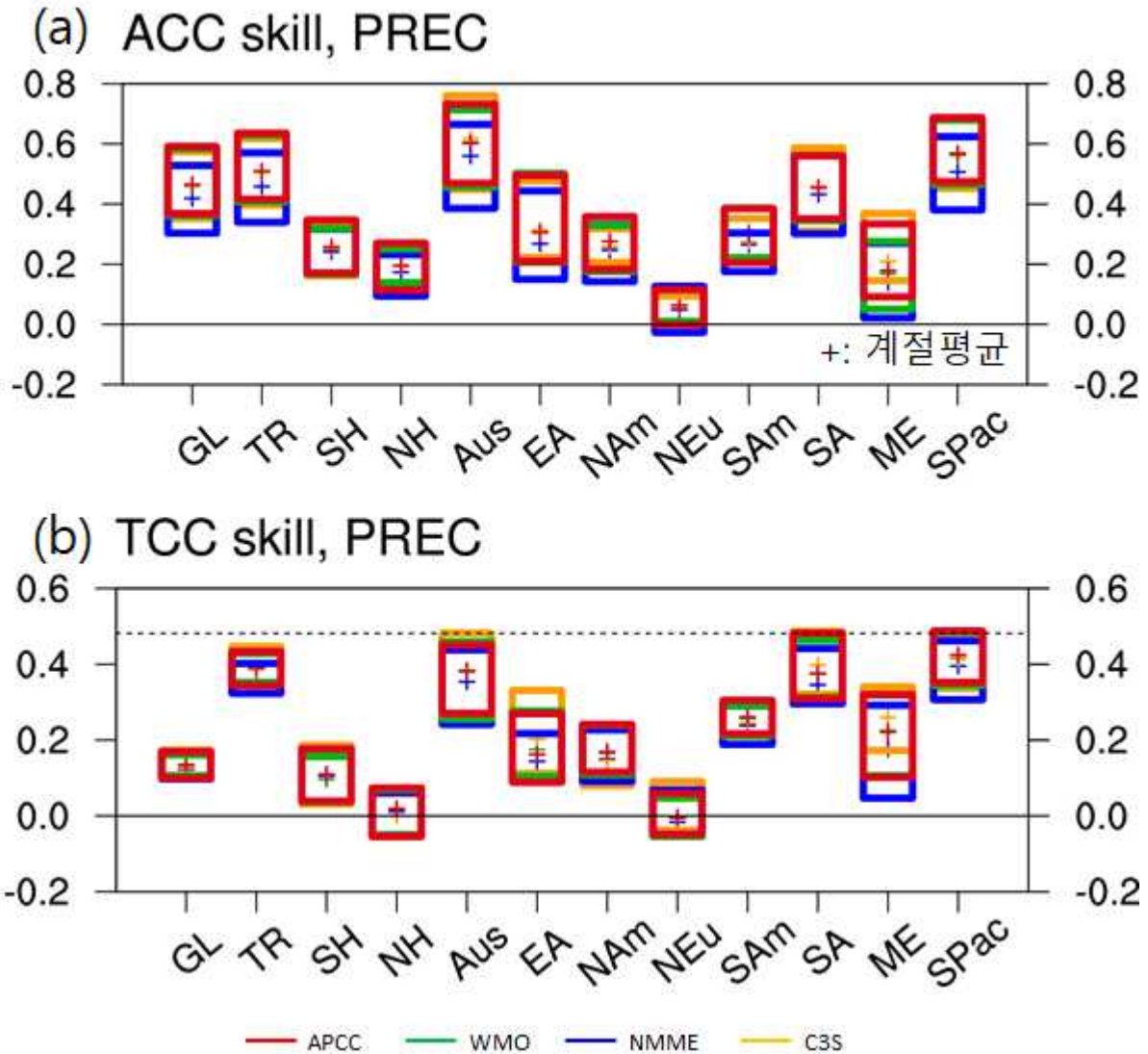


Figure 85. Regional variations of (a) anomaly correlation and (b) temporal correlation for precipitation.

(다) APCC 및 타 기관 MME의 예측성 분석: 해수면 온도

다음으로 해수면 온도(sea surface Temperature, SST) 및 Nino 3.4 지수(엘니뇨 감시구역 3.4 지역 SST 영역 평균 값)에 대한 각 기관 MME의 예측성을 살펴보았다. Figure 86은 각 기관의 태평양 지역에서의 SST bias를 나타낸 것이다. 공통적으로 네 기관에서 봄철 아열대 서태평양에서의 음의 편차(cold bias)가 존재하고 여름철에 APCC와 NMME에서 중위도 북태평양에서의 warm bias가 다소 강하게 나타나는 특징이 있다. 그리고 봄부터 가을까지 열대 동태평양에 cold bias가 서태평양까지 확장하며 나타나는 특징이 있다. 그러나 전 계절에서 C3S는 타 기관 MME에 비해 bias가 작고 상대적으로 SST 패턴을 잘 모의하는 것으로 나타난다.

Figure 87은 전구에 대한 계절별 SST 아노말리 시간 상관성(TCC)을 나타낸 것이다. 열대 태평양과 북태평양에서 NMME를 제외하고 세 기관의 TCC 성능은 계절별로 매우 유사한데,

MAM, DJF 기간에 북태평양 TCC 스کیل이 상대적으로 높게, JJA, SON 기간은 상대적으로 낮게 나타난다. 반면, NMME는 타 기관 MME에 비해 북태평양에서의 TCC 성능이 상대적으로 낮게 나타나고 APCC의 경우 특히 DJF 기간에 북태평양 TCC가 높게 나타나는 특징이 있다.

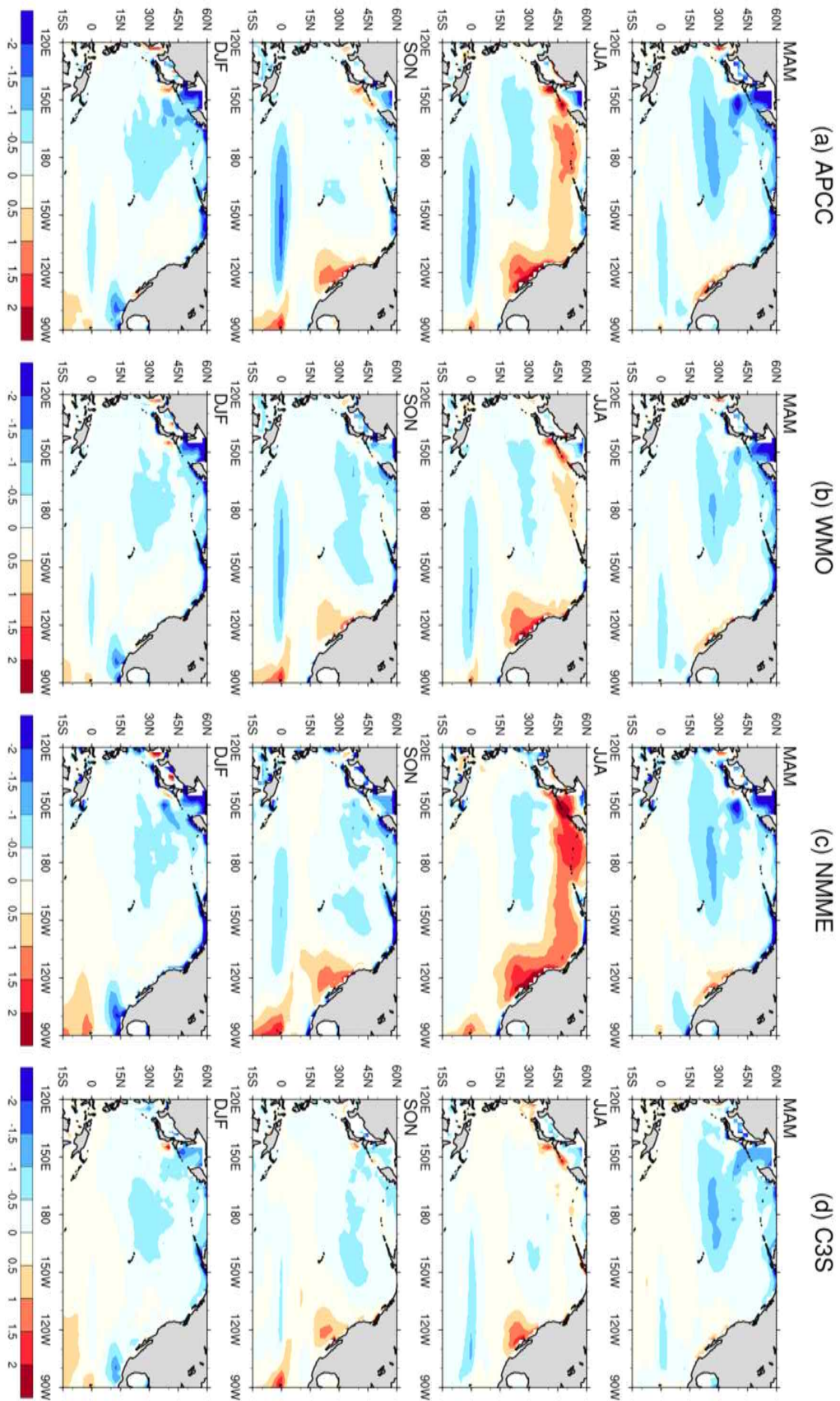


Figure 86. Seasonal mean bias of sea surface temperature of MME ((a) APCC, (b) WMO, (c) NMME, and (d) C3S) for MAM, JJA, SON, and DJF.

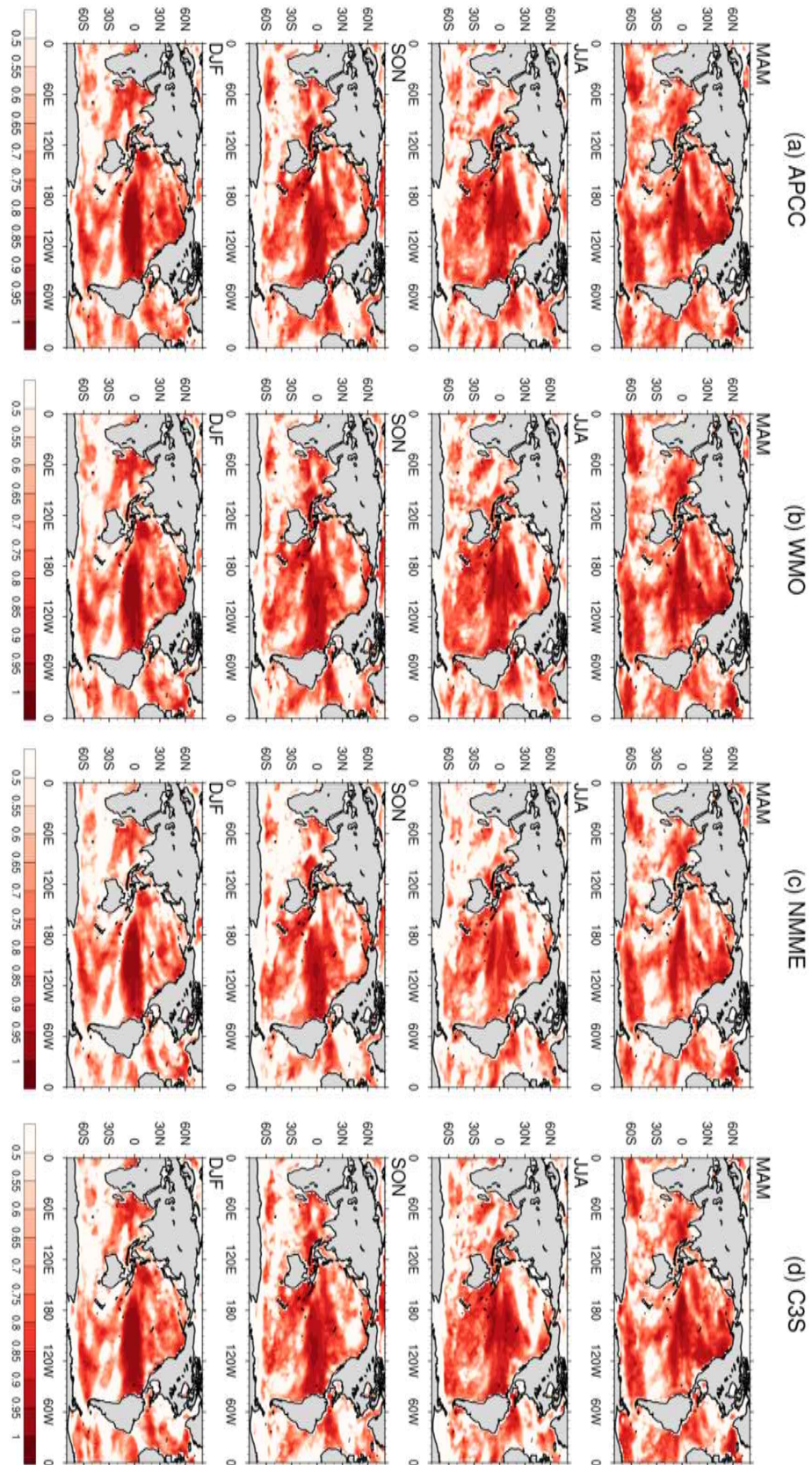


Figure 87. Spatial distribution of seasonal mean temporal correlation coefficient between MME ((a) APCC, (b) WMO, (c) NMME, and (d) C3S) and observation (OISST) for MAM, JJA, SON, and DJF.

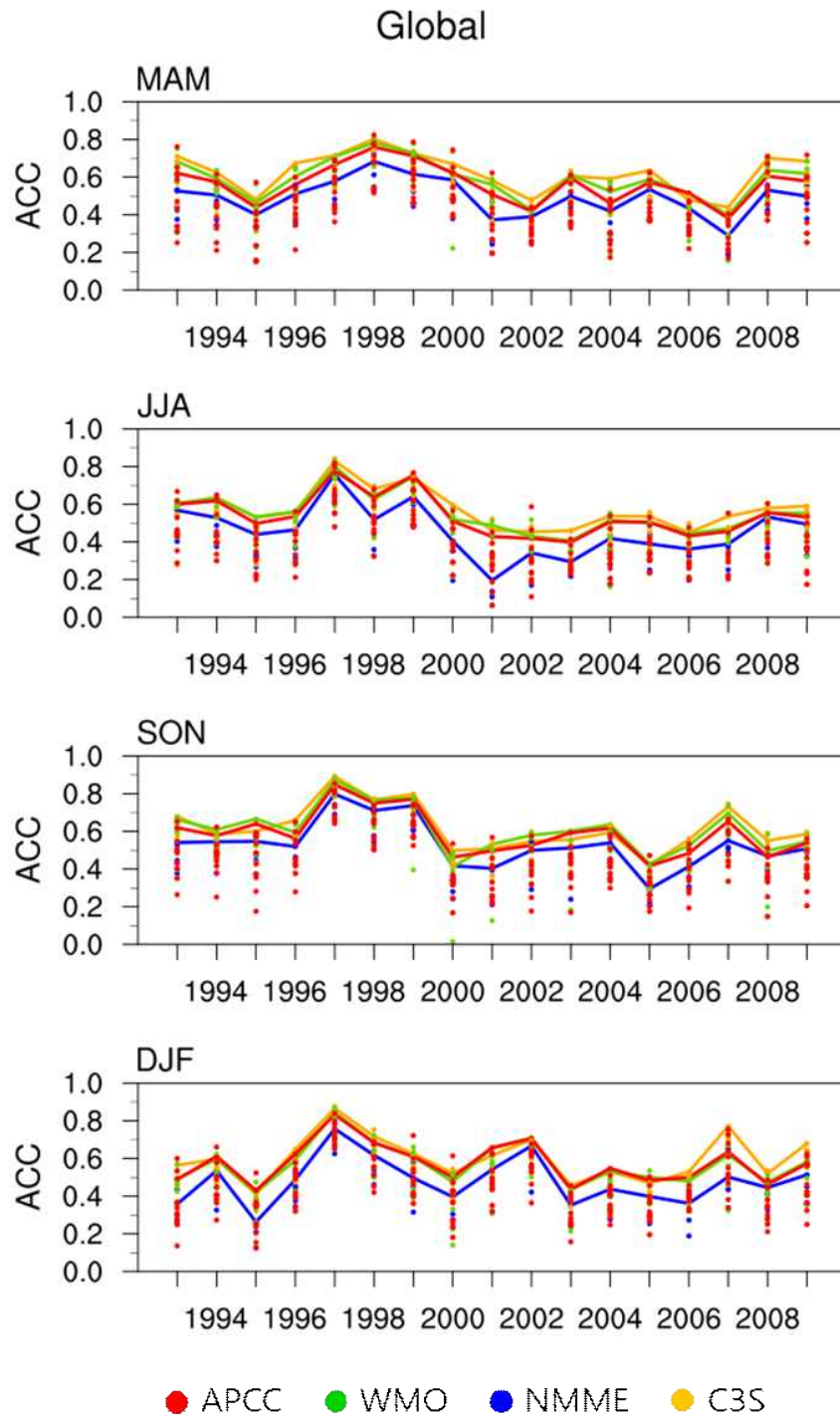


Figure 88. Anomaly correlation coefficients of sea surface temperature for (a) MAM, (b) JJA, (c) SON, and (d) DJF over global (80°S - 80°N , 0 - 360°E), tropical region (20°S - 20°N , 0 - 360°E), and North pacific (15°S - 60°N , 120°E - 60°W).

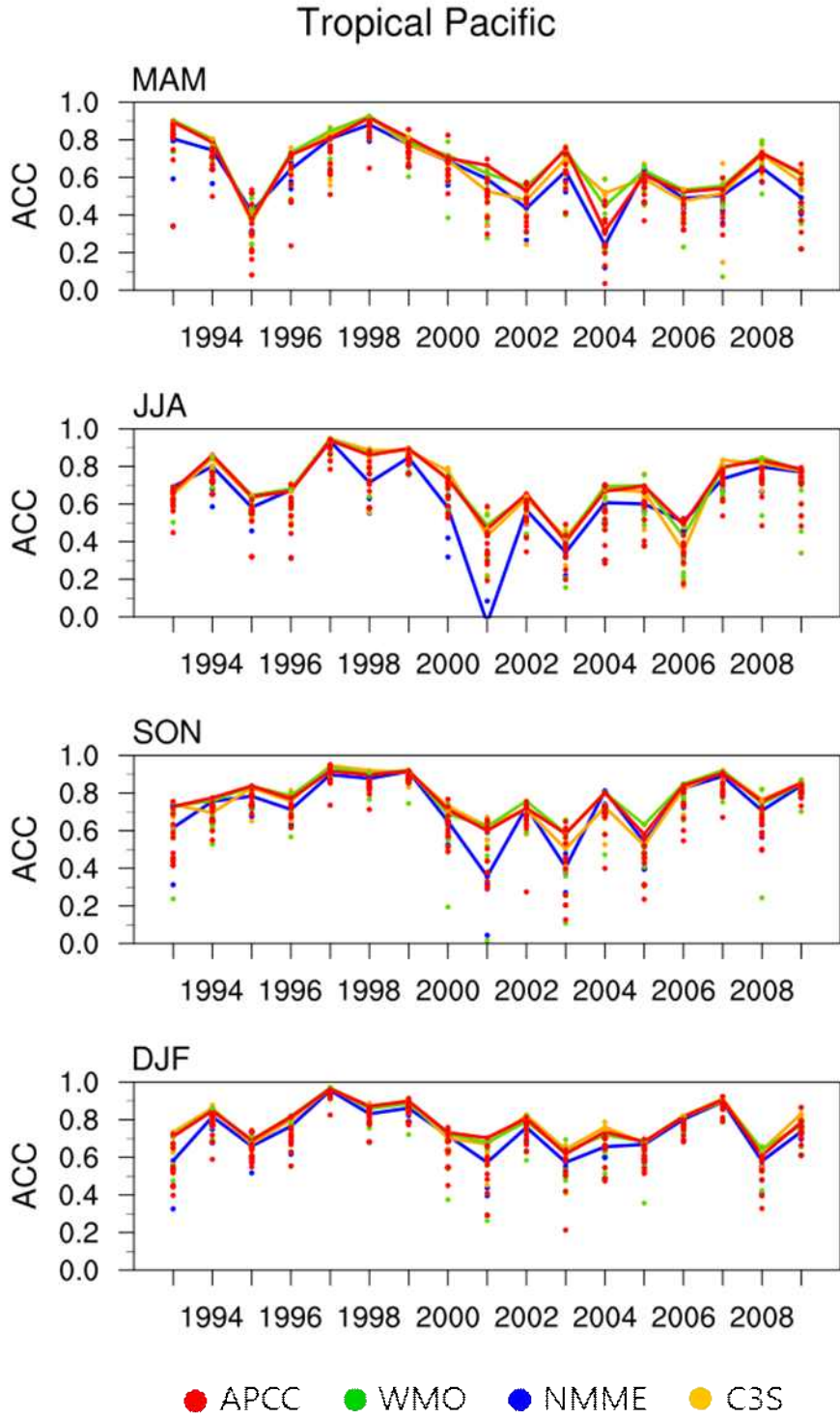


Figure 89. Same as Figure 88, but for tropical region (20° S–20° N, 0–360° E)

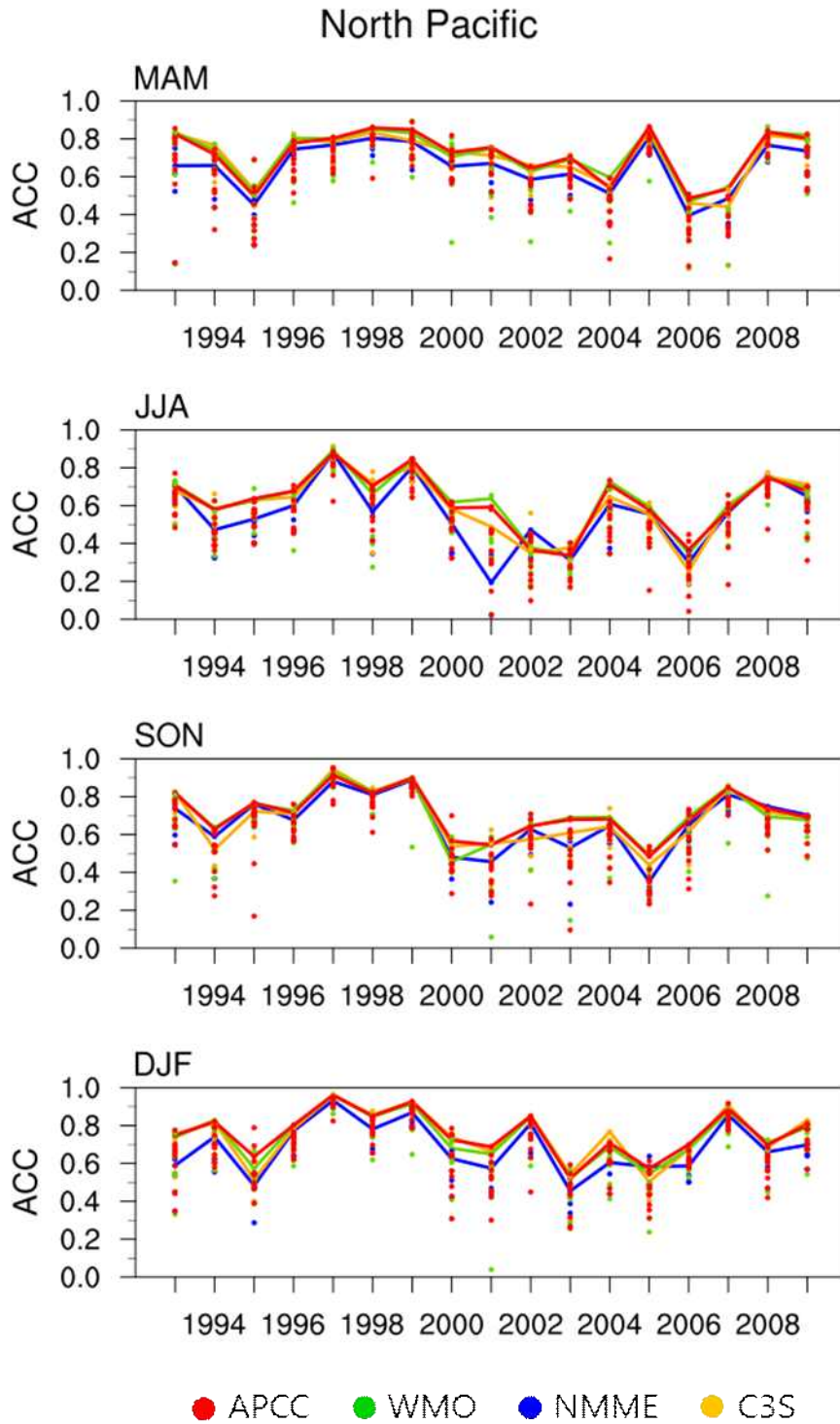
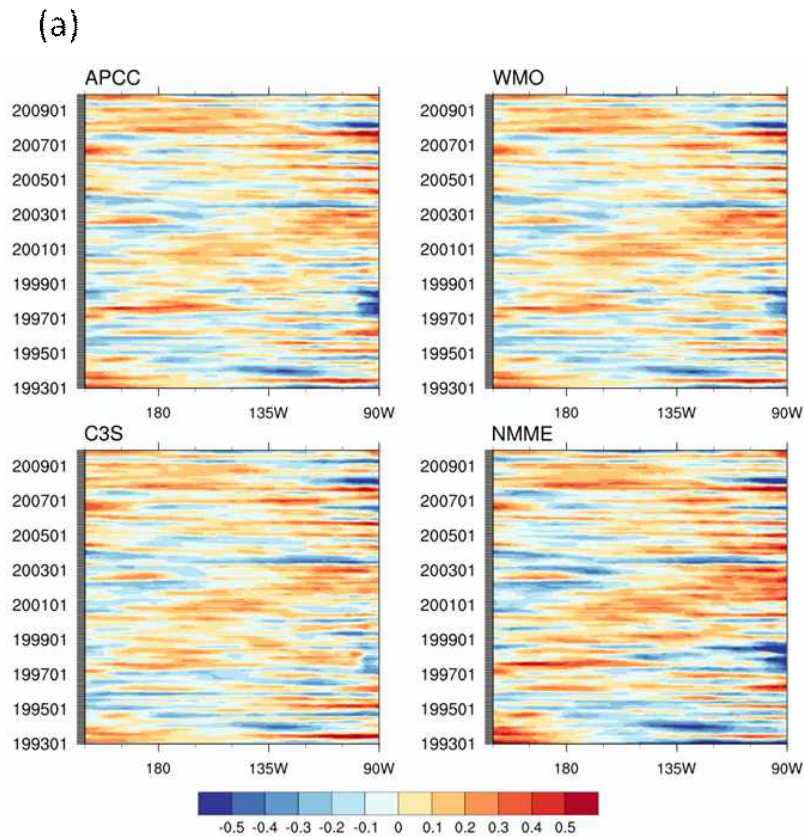


Figure 90. Same as Figure 88, but for North Pacific (15 ° S-60 ° N, 120 ° E-60 ° W).

Figure 88 ~ Figure 90은 전구, 열대 태평양, 북태평양에서의 계절별 아노말리 패턴 상관성 (ACC)을 나타낸 것으로, 네 기관의 ACC의 경년 변동성은 지역별, 계절별로 유사한 것을 알 수 있다. 전구에서는 C3S의 ACC가 네 계절에 걸쳐 가장 상위에 위치하는 것을 확인할 수 있고, 열대태평양 및 북태평양에서의 APCC MME의 해수면온도 예측성은 WMO, C3S와 비슷한 수준으로 나타난다. 여기서 특히 주목할 만한 점은 참여 개별 모델의 개수가 많은 APCC와 WMO ACC는 상·하위로 넓게 분포하는 데 반해 5개의 참여 모델로 이루어진 C3S의 개별 모델의 ACC는 타 기관 개별모델과 비교해 대부분 상위에 위치한 것을 확인하였다. 반면, NMME의 ACC는 상대적으로 다소 낮게 나타나는 특징이 있다.



(b)

	APCC	WMO	C3S	NMME
APCC	1	0.94(7)	0.91(2)	0.85(2)
WMO		1	0.89(3)	0.91(2)
C3S			1	0.79(0)
NMME				1

Figure 91. (a) Hovmueller diagram of SST bias between MME and observation (OISST) over tropical pacific (20° S-20° N) and (b) temporal correlation coefficients of tropical SST. (The value means the number of common individual model).

Figure 91은 열대 태평양 지역 SST bias의 hovmueller diagram과 각 기관별 MME의 bias에 대한 TCC를 나타낸 것이다. 공통적으로 1997년부터 2000년대 초반까지 warm bias가 동진하다가 2000년대 후반으로 갈수록 서진하고 1997~1998년에 동태평양의 음의 편차 (cold bias)가 강하게 나타나는 특징이 있다. 공통 hindcast 기간 (1993~2009년) 동안 각 기관의 MME bias의 TCC는 서로 공통 모델이 없는 NMME와 C3S에서 0.79로 나타났으며 공통 모델이 없어도 각 기관의 MME의 bias는 서로 유사하게 변동하고 있음을 확인하였다. 또한 공통 개별 모델이 7개로 가장 많은 APCC와 WMO의 MME의 bias의 TCC는 0.94로 가장 높게 나타나면서 공통 모델이 많을수록 SST MME의 오차도 가장 유사하게 변동하는 것으로 것을 확인하였다(Figure 91b).

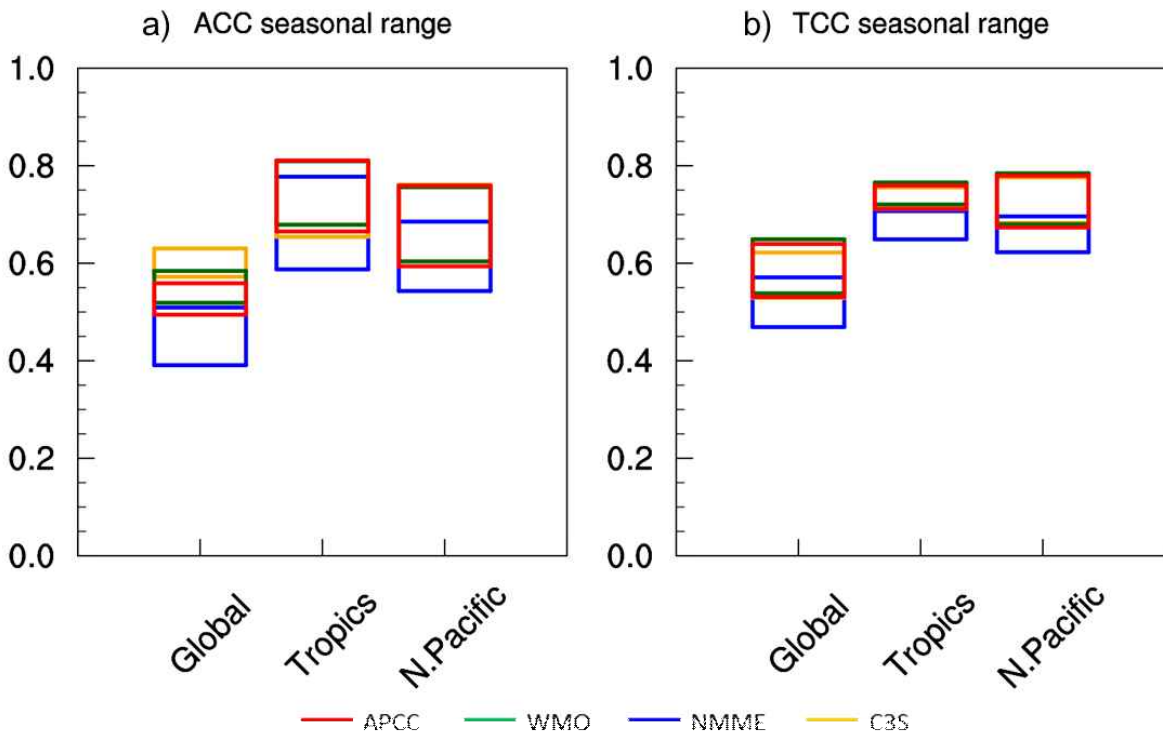


Figure 92. Seasonal variation of (a) anomaly pattern correlation (ACC) and (b) temporal correlation coefficient (TCC) for sea surface temperature over global (80° S-80° N, 0-360° E), tropics (20° S-20° N, 0-360° E), and North Pacific (15° S-60° N, 120° E-60° W).

지역별로 SST의 ACC와 TCC의 12개 계절에 따른 스킵 변동폭을 살펴보았다(Figure 92). 전구에 대한 아노말리 패턴에 대한 예측성능(Figure 92a)은 다른 기관에 비해 C3S가 높게 나타나고 계절에 따른 ACC 변동폭도 작은 것으로 확인하였다. 그 외 열대태평양, 북태평양 지역에서는 APCC, WMO, C3S 세 기관의 예측 성능이 비슷한 변동폭으로 나타났다. 이에 반해 전구 TCC (Figure 92b)는 특히 APCC와 WMO가 높게 나타나 계절별 경년 변동성 관점에서의 예측성은 두 기관이 다소 높게 나타나는 것을 확인하였다. 열대 해양과 북태평양 지역에 대해서는 NMME를 제외한 다른 세 기관의 예측성이 매우 유사하게 나타났다.

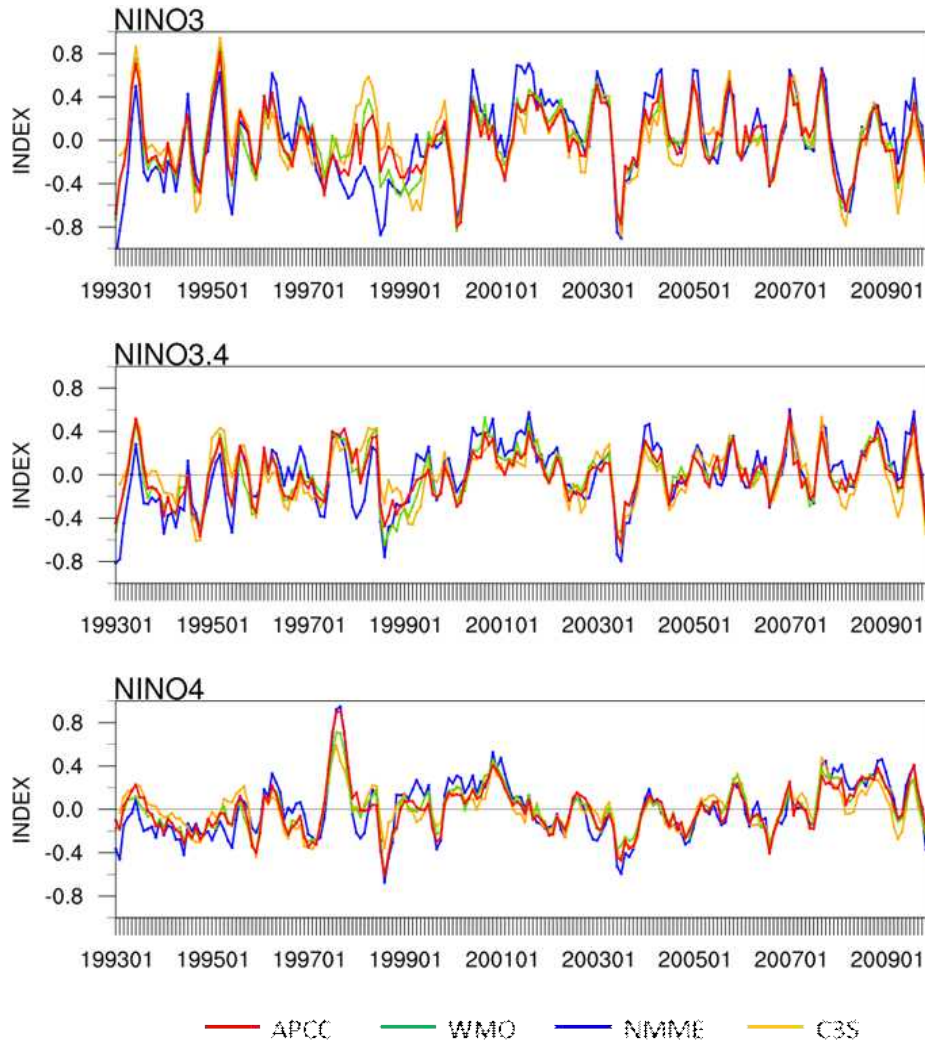


Figure 93. Difference of NINO3 (top), NINO3.4 (middle), and NINO4 (bottom) index between MME and observation (OISST).

다음으로 MME의 ENSO 예측성을 살펴보고자 하였다. Figure 93은 hindcast 기간 동안 각 기관 MME의 NINO 지수의 bias를 나타낸 것이다. 네 기관의 MME는 대체적으로 ENSO의 경년 변동성 자체는 적절하게 모의했다. APCC는 WMO와 C3S MME와 유사한 오차의 경년 변동성을 보인다. 그러나 Nino 3.4지수의 bias를 기관별 MME로 살펴보면 NMME는 상대적으로 bias의 변동폭이 타 기관에 비해 크게 나타나고, NINO3 지수에서 1990년대 초부터 1999년까지 음의 bias가 타 기관 MME 보다 강하게 나타나는 특징이 있다(Figure 94). 그리고 전반적으로 네 개 기관 MME 모두 동태평양 (NINO3 구역)에서 bias가 더 크게 나타난다.

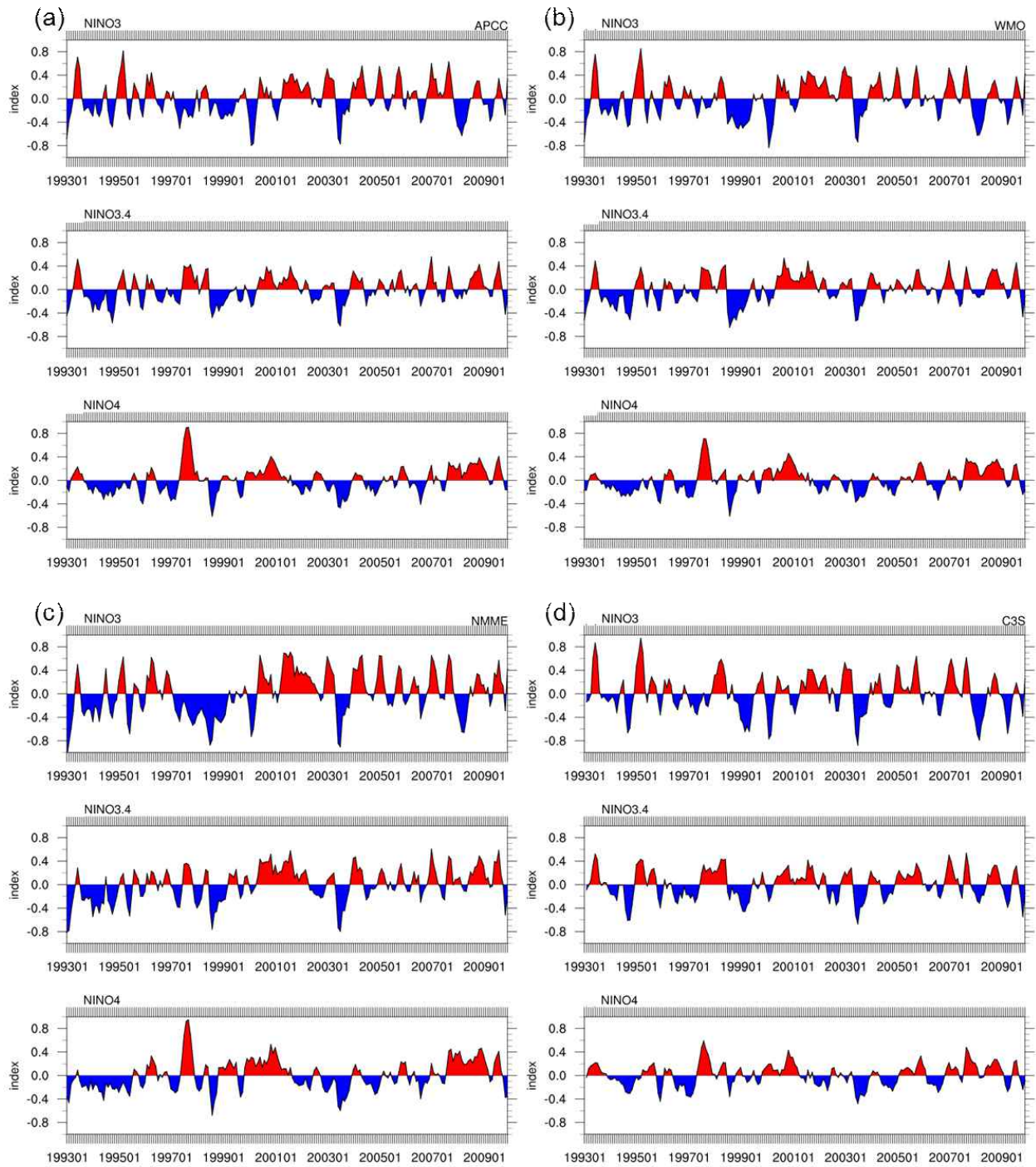


Figure 94. Time-series of bias of 3-month (seasonal) mean Nino 3.4 index from (a) APCC, (b) WMO, (c) NMME, and (d) C3S for the period 1993 JFM to 2009/10 DJF.

Figure 95는 각 기관의 MME가 예측한 Nino 3.4 지수에 대한 TCC 예측성을 살펴본 것으로, 붉은색 점은 MME의 TCC, 검정색 점은 개별모델의 평균 TCC, 그리고 화살표는 개별모델 TCC의 범위를 나타낸다. 각 기관 MME의 TCC는 개별모델 중 가장 높은 스킬을 보이는 모델과 유사한 예측성을 보였으나, 참여모델의 개수가 가장 적은 NMME의 경우 가장 높은 스킬을 보이는 참여 모델에 비해 MME의 스킬이 다소 낮은 것을 알 수 있다. 또한 개별모델의 성능 평균은 C3S가 높는데 반해 MME의 예측성능은 APCC가 가장 높게 나타나고 WMO와 C3S, NMME 순으로 나타난다. 이는 성능이 높은 일부 모델들 조합의 MME보다는 다양한 모델이 조합된 MME의 예측성능이 더 높을 수 있음을 보여줄 수 있다.

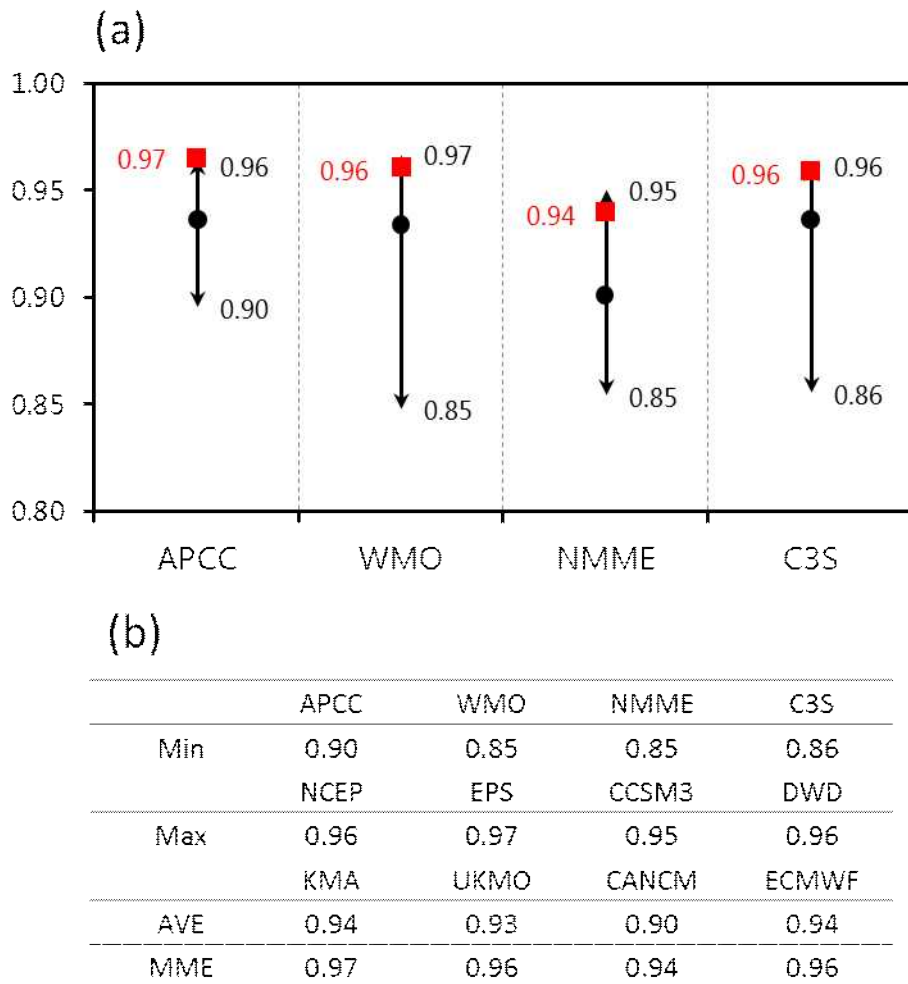


Figure 95. Temporal correlation coefficients of MME (red square), mean of individual models (black circle), and skill range of individual models (arrow) for Nino 3.4 index.

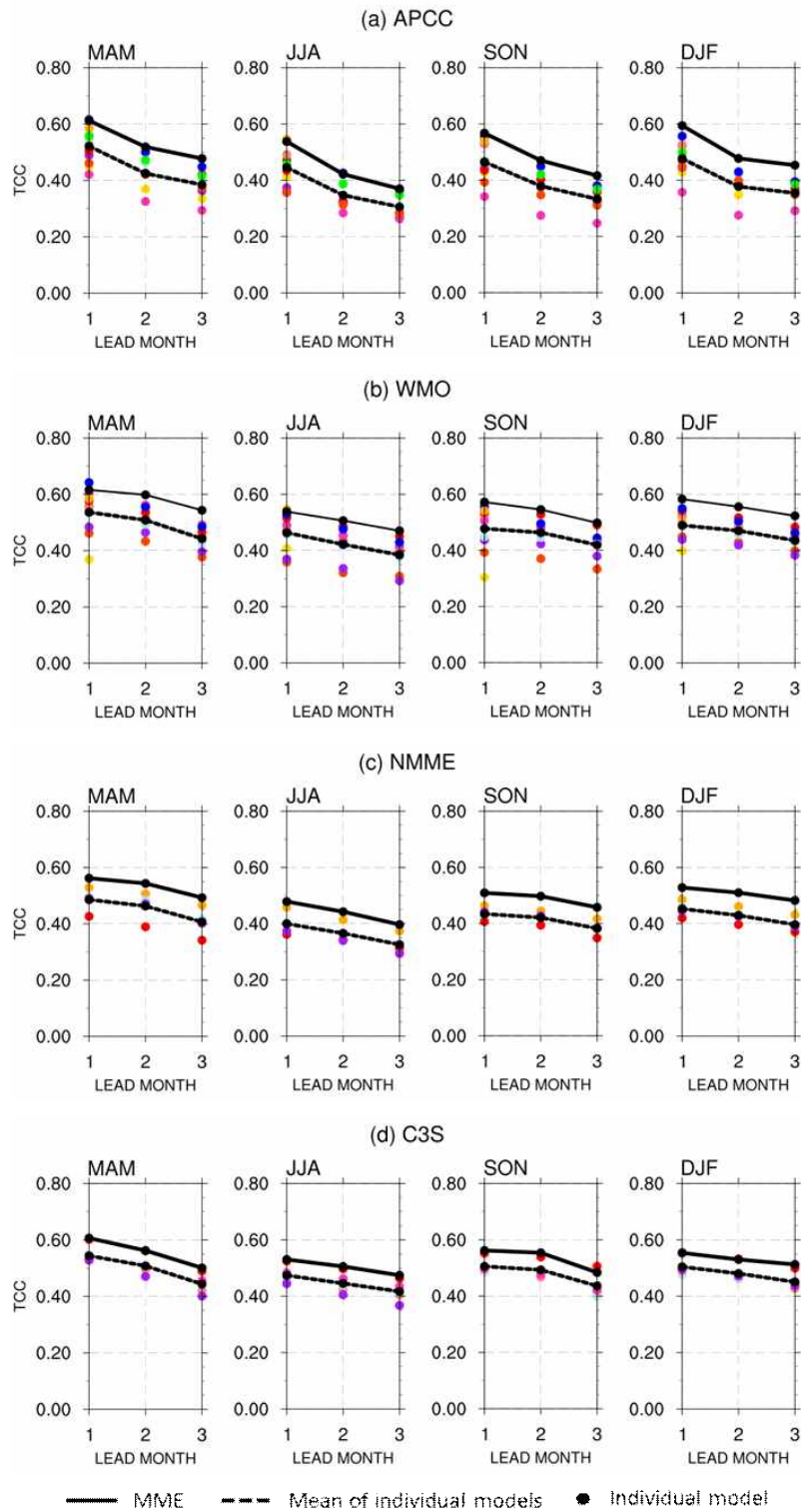


Figure 96. Temporal correlation coefficients of MME predictions (solid line) and mean (dotted line) of individual models (dot) from (a) APCC, (b) WMO, (c) NMME, and (d) C3S for 3-month mean sea surface temperature over global (80° S–80° N, 0–360° E) with lead-time.

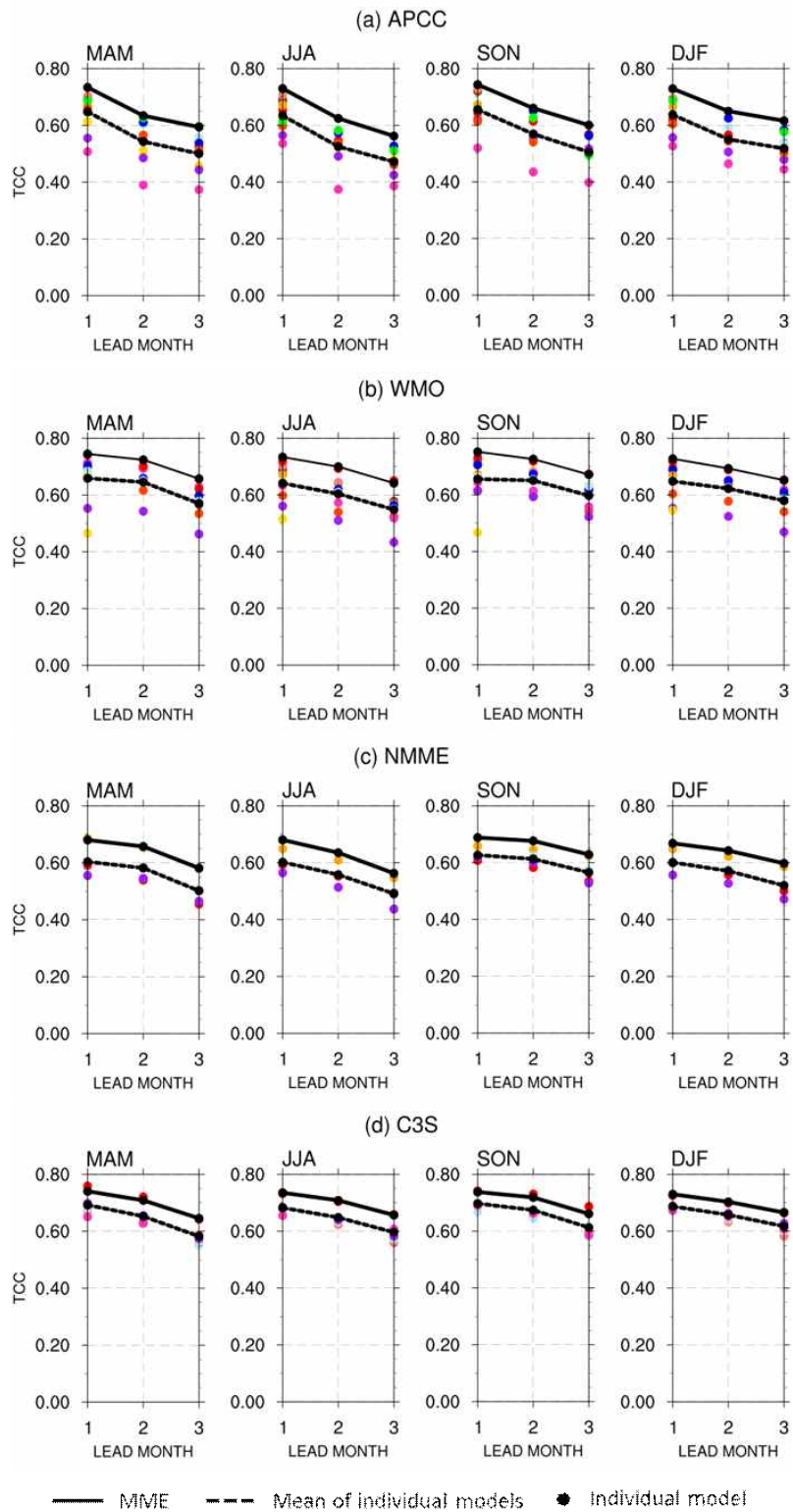


Figure 97. Same as Figure 96, but over tropical region (20° S– 20° N, 0° – 360° E)

다음은 선행 시간에 따른 계절별 SST의 예측성능을 살펴보고자 하였다(Figure 96, 97). 공통적으로 전구에서보다는 열대지역에서의 SST 평균 TCC 스킬이 약 0.15 ~ 0.2 정도 높게 나타나고 계절적 측면에서는 여름철 전구에서 SST의 TCC 스킬이 선행시간에 따라 가장 낮게 나타나는 특징이 있다. 각 기관별 MME 측면에서는 1개월 선행시간에 대한 예측 성능은 지역과 무관하게 APCC, WMO, C3S의 예측성이 NMME이 보다는 높게 나타난다. 그러나 선행시간이 짧을 때(1개월)는 APCC, WMO, C3S의 예측성이 유사하게 출발하지만, APCC MME의 경우 선행시간이 2개월 이상일 때부터 성능이 급격히 하락하는 특징이 나타난다. 이때 MME를 구성하고 있는 개별 모델들의 성능 역시 급격히 떨어지는 양상을 보이고 있다. 반면, 4개 기관 MME 중 개별 모델의 스킬 평균과 MME의 스킬의 차이가 가장 적게 나는 C3S의 경우에는 개별모델들의 예측성이 대부분 상위에 밀집되어 있고 선행시간이 지남에 따른 하락이 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이는 선행시간이 길어질수록 MME 예측 성능이 각 개별모델의 예측 성능의 영향을 많이 받을 수 있음을 제시하는 바이며, 선행시간이 길어질수록 개별 모델의 예측성능이 뒷받침되어야 MME 예측 성능이 유지될 수 있음을 보여준다.

라. 국제 기후예측 워크숍 및 제3차 APCC MME 모델제공기관 회의 개최

2019년 6월 3일부터 6월 6일까지 대만 기상청에서 2019년 국제 기후예측 워크숍과 제 3차 APCC MME 모델제공기관 회의가 있었다.

APCC는 설립 이래 아태지역 및 전 세계를 대상으로 기후전망을 생산·제공하고 있으며, 신뢰도 높은 기후정보 생산과 이의 활용을 도모해 왔다. APCC를 포함한 전 세계 앙상블 예측정보 제공기관이 계절 및 계절내 기후예측정보 생산·제공시 당면한 현안 및 해결방안을 함께 논의하고, 관련 연구진과 현업 운영자간의 긴밀한 협력 체계 구축을 위한 장을 마련하여, APCC가 MME 기후예측분야의 선두주자로 도약하기 위한 APCC 향후 연구 및 운영 방향성 설정에 도움을 받고자 국제 기후예측 워크숍을 개최하였다. 이 워크숍을 통해 앙상블 예측에 기반한 계절 및 계절내 기후예측정보 제공자 및 관련 연구진들과의 현안 논의의 장 마련하고, 계절 및 계절내 기후예측 기술의 현주소 파악 및 발전방향 논의하였으며, 기후예측 연구기관과 현업기관의 파트너십을 공고히 하여 상호협력을 강화하였다.

2019년 국제 기후예측 워크숍의 주제는 “계절 및 계절내 기후예측의 현재와 미래”로 전 세계 MME 생산·제공 기관, 기후예측 모델자료 생산·제공 기관, 기후예측 연구진, 유관기관 관계자 및 APCC 참석자 등 100여명이 참가하였으며, Table 28과 같은 일정으로 진행되었다.

Table 28. Program of 2019 international workshop on climate prediction

프로그램	시 간	내 용
[1일차] 2019년 6월 3일 (월)		
등록	08:00-09:00	참가자 등록

10) 개최식 사회자인 대만기상청 Fang-I Wang 연구원이 대독함

프로그램	시 간	내 용	
개회식	09:00-09:30	개회사	권원태, APEC기후센터 원장
		환영사	티엔 치앙 예, 대만기상청 청장
		축사	치아 룡 린, 교통통신부 장관(대독 ¹⁰⁾)
	09:30-09:40	기념사진 촬영	
	09:40-10:00	휴식	
기조연설	10:30-11:40	기후예측의 현주소	
		좌장	유진호, APEC기후센터 기후사업본부장
		연사	프란시스코 도블라스-레예스, 바르셀로나슈퍼컴퓨터 본부장
			아룬 쿠마, 미국 기상청 기후예측센터 선임연구원
토론 및 질의응답			
오찬	11:40-13:00	오 찬	
세션1	13:30-15:00	MME 기후예측 시스템 현황	
		좌장	에밀리 베커, 미국 기상청 기후예측센터 연구원
		연사	민영미, APEC기후센터 예측운영과 과장
			에밀리 베커, 미국 기상청 기후예측센터 연구원
			실비오 구알디, 유럽지중해기후변화센터 실장
휴식 및 포스터 세션			
세션2	15:45-17:45	기후모델의 한계점 및 개선사항	
		좌장	후양싱 슈, 대만 환경변화연구소 책임연구원
		연사	아이훙 중, 호주 기상청 해양시스템 책임자
			후양싱 슈, 대만 환경변화연구소 책임연구원
			안드레아스 프레인, 미국 국립대기연구소 연구원
박래설, 한국형수치예보모델개발사업단 예측본부장			
[2일차] 2019년 6월 4일 (화)			
세션3	09:00-12:30	모델의 후처리: 검증 및 보정	
		좌장	티모시 델솔, 미국 조지메이슨대학교 대기과학과 교수
		연사	이윤영, APEC기후센터 예측기술과 선임연구원
			티모시 델솔, 미국 조지메이슨대학교 대기과학과 교수
			앤드류 로버트슨, 미국 국제기후사회연구소 선임연구원
			밍디엔 첩, 대만기상청 차장
몽밍 루, 대만 국립대학교 대기과학과 교수			
안드레아 알레산드리, 네덜란드 왕립대기연구소 연구원			
오찬	12:30-13:30	오 찬	
세션3	13:30-15:00	연사	청타 첩, 대만 사범대학교 대기과학과 교수 스와딘 베헤라, 일본 해양과학기술센터 응용연구실 실장
		휴식	
세션4	15:00-17:15	기후정보와 의사결정의 연결	
		좌장	아룬 쿠마, 미국 기상청 기후예측센터 선임연구원
		세션 1-3 정리	세션 좌장
		패널토론	유진호, 프란시스코 도블라스-레예스, 티모시 델솔, 후양싱 슈
폐회사	권원태, APEC기후센터 원장 밍디엔 첩, 대만기상청 차장		

기후예측의 현주소에 대한 기조연설이 있었으며(Table 29), 앙상블 예측을 기반으로 한 계절 및 계절내 기후예측의 현주소 파악, 기후예측 연구, 현업, 정책 등 관련 분야 선두그룹의 활동 및 방향성을 제시하였다. “연구 개발-현업-서비스 제공”이 잘 연계되기 위해서는 기후예측정보의 가치를 정확히 진단함과 동시에 사용자의 요구사항이 반영될 필요가 있고, 예측성이 높은 기후예측정보를 생산하는 것도 중요하지만, 이러한 정보를 다양한 분야에 유용한 정보로

전환하는 것은 복잡한 문제이며, 이를 위해서는 사용자 관점에서의 기후정보 정의라는 새로운 패러다임이 요구된다.

Table 29. Keynote speaker and presentation title

연번	이름	소속	발표제목
1	Francisco Doblas-Reyes	바르셀로나 슈퍼컴센터 본부장	기후예측 연구에서 현업으로의 전환
2	Arun Kumar	미국 기상청 기후예측센터 선임연구원	WMO 장기예보 현업

또한, 세계기상기구(WMO)의 현업 인프라 및 관련 활동이 소개되었으며, 현업 인프라 선진화 및 관련 연구 현안이 소개되었다. WMO는 각 국의 국가기상수문서비스(NHMS) 강화를 위하여 지역기후센터(RCC)를 지정하여 지역 기후 정보 생산을 지원하고 있으며, 지역 기후 전망 배포를 지원하기 위해 지역기후전망포럼(RCOF)을 주도하고 있다. 이와 더불어 사용자 커뮤니티와 연계한 예측정보(forecast product) 개발 및 확률 예측정보 제공에 관한 논의가 진행되었고, 선진화된 현업 인프라를 바탕으로 주요 기후현상에 관한 예측 가이드스 제공이 논의되었다.

다중모델앙상블(MME) 예측정보의 예측성을 높이기 위해서는 개별 모델의 예측성 향상이 중요하며, 통계적/역학적 상세화(downscaling) 기법은 기후변화 규모에서는 적용 가능한 반면, 계절내 및 계절 규모에서의 적용은 고려해야할 현안(예, 고성능 전산자원 등)이 많아 어려울 것이라는 의견이 있었다. 또한, 장기예측에서 hindcast 및 forecast의 초기 조건 일치가 주요 이슈로 논의되었다.

세션 1은 “MME의 기후예측 시스템 현황”이라는 주제로 진행되었으며, MME 예측정보를 제공하는 현업기관의 현황 및 계절예측시스템의 한계점, 발전 방향을 논의하였다. 총 4명의 발표자가 앙상블 기반 예측정보를 현업으로 생산하고 있는 4개 기관의 현황 및 당면 현안들을 소개하였다(Table 30).

Table 30. Speaker and presentation title of session 1

연번	이름	소속	발표제목
1	민영미	APCC 예측운영과 과장	APCC MME 기후예측시스템 현황 및 계획
2	Emily Becker	미국 기상청 기후예측센터 연구원	NMME ¹¹⁾ 현업 및 향후 방향
3	Silvio Gualdi	유럽지중해기후변화센터 기후모의및예측실 실장	C3S ¹²⁾ 다중시스템 계절 예측
4	Andrew Robertson	미국 국제기후사회연구소(IRI) 선임연구원	IRI 다중모델계절예측시스템 현황

APEC 기후센터 예측시스템은 참여하는 개별 모델의 성능 개선 및 참여 모델 다양화 등으로 인해 지난 10여 년 동안 꾸준한 예측력 증가를 보였고, 또한 현재 APCC에서 진행되고 있는 전 세계 MME 예측자료 생산그룹(NMME, WMO LC-LRF, C3S, APCC)의 예측성 비교 평가 연구가 소개되었다. 또한, MME 현업기관으로서 당면하고 있는 문제(관측자료의 불확실성, 다양한 모델에서의 상이한 기후값(climatology) 선정 방법, 모델 보정 및 조합 등)을 소개하였다.

NMME는 홈페이지를 통해 제공하고 있는 hindcast 및 forecast 자료를 소개하고, 현재 수행하고 있는 여러 현업 관련 연구(MME 예측성에 앙상블 크기와 모델 다양화가 미치는 영향, 확률 예보 보정으로 인한 예측성 향상 등)을 소개하였다. 또한 NMME가 당면하고 있는 앙상블 크기, 확률 예보, 해상도 등과 관련된 이슈를 발표하였다.

C3S 또한 모든 예측 정보가 공개될 예정임을 소개하고, 관련 계절 예측 활동을 소개하였다. C3S는 현재 5개 기관의 예측시스템에서 제공하는 약 50개 앙상블로 구성되어 있으며, 향후 비유럽권(예, 일본) 예측시스템의 참여 확대에 대해서도 언급하였다.

IRI는 NMME에 기반한 MME 자료를 제공하고 있으며, 과거 시스템과 현재 개선된 시스템의 예측성 비교 결과를 소개하였다. 현 IRI 확률 계절예측 정보는 8개 NMME 모델의 예측정보를 통계적으로 재보정하여 제공하고 있으며, IRI 데이터 라이브러리에서는 NMME 및 C3S의 자료를 모두 제공할 예정임을 알렸다.

APCC와 NMME 예측 시스템에는 공통 요소가 존재하며, 상호간의 정보 공유 등 협업 가능성이 논의되었다. 전 세계에 다양한 기후예측 모델이 존재하며, 개별 기관의 인적·기술적 자원이 한정되어 있는 상황에서 다양한 모델의 예측정보를 처리하는 것은 쉬운 일이 아니고, 사용자 커뮤니티가 이러한 기후정보를 사용할 수 있도록 기후예측 정보 제공 기관에서 방안을 제시할 필요성이 논의되었다. 따라서 기후예측 정보를 제공하는 여러 기관간의 협업 및 정보 공유를 통해 방대한 양의 모델을 직·간접적으로 처리하여 보다 유용한 정보를 사용자에게 전달하는 것이 향후 중요한 과제가 될 것이다.

세션 2에서는 기후모형의 한계점 및 개선사항에 대한 발표가 있었다(Table 31). 호주, 대만, 미국, 한국에서 4가지 기후모델의 현안 및 이슈 등이 논의되었고, 새롭게 개발된 호주의 기후예측시스템의 개선점 및 특징이 소개되었다. 또한, 기후모델링에서 주요 기후변동성의 모의 성능을 개선하기 위한 중요 강제력(forcing) 및 피드백, 기후모델에서 적용할 수 있는 최신의 모델 기법 및 물리과정/결합과정 등 모델링의 관점에서 예측성을 높이기 위해 개선될 수 있는 부분이 논의되었다.

11) North American Multi-Model Ensemble(NMME) ; 미국 기상청(NOAA NWS) 기후예측센터(Climatic Prediction Center) 운영
12) Copernicus Climate Change System (C3S) : 유럽중기예보센터(ECMWF)에서 운영

Table 31. Speaker and presentation title of session 2

연번	이름	소속	발표제목
1	Aihong Zhong	호주 기상청 해양시스템 책임자	호주 기상청 계절예측시스템 개발 및 개선
2	Huang-Hsiung Hsu	대만 환경변화연구소 책임연구원	고해상도 해양혼합층 모델 및 대기 모델 결합으로 인한 MJO 모의 개선
3	Andreas Prein	미국 국립대기연구소 (NCAR) 연구원	NCAR 기후모델에 따른 S2S 및 기후예측에 대한 개선점 및 향후과제
4	박래설	한국형수치예보모델 개발사업단 예측본부장	한국형 통합모델(KIM)의 물리모듈간 상호작용 및 일관성

세션 3의 주제는 “모델의 후처리 : 검증 및 보정” 으로 계절 및 계절내 예측 자료에 대한 평가, 예측력 향상을 위한 보정기법 및 MME 기법 등 기후예측에 있어서 다양한 영역의 최근 연구적 성과 및 기술 개선에 대한 발표가 있었다(Table 32). APCC, 대만기상청, 미국 국제기후사회연구소, 네덜란드 왕립기상연구소에서 수행하고 있는 MME 현업을 위한 각 기관의 노력이 소개되었고, ENSO 및 MJO의 계절내 예측성에 영향을 미치는 주요 패러다임이 소개되었다. 또한, WMO S2S 모델을 이용한 APCC의 계절 예측 연구, 대만의 극한기후 현상 예측 연구, 모델 오차(bias)에 관한 이슈 등이 소개되었다.

Table 32. Speaker and presentation title of session 3

연번	이름	소속	발표제목
1	이윤영	APCC 예측기술과 선임 연구원	계절내 예측성 - 모델간 비교 및 다중모델앙상블 성능
2	Timothy DelSole	미국 조지메이슨대 대기과학과 교수	계절내 예측의 예측성 및 성능 비교
3	Andrew Robertson	미국 국제기후사회연 구소(IRI) 선임연구원	S2S 및 SubX DB부터의 계절내 앙상블 예측의 검증 및 보정
4	Ming-Dean Cheng	대만 기상청 차장	대만기상청의 계절내 예측
5	Mong-Ming Lu	대만 국립대학교 대기 과학과 교수	대만기상청 계절 및 계절내 다중 모델앙상블 예측 시스템의 검증
6	Cheng-Ta Chen	대만 사범대학교 대기 과학과 교수	극한 계절기후를 예측하는 것이 더 쉬운가?
7	Swadhin Behera	일본 해양과학기술센터 응용연구실 실장	기후 응용을 위한 SINTEX-F 예측시스템
8	Andrea Alessandri	네덜란드 왕립기상연 구소 기후연구원	그랜드 MME 계절예측 현황 : 예측력 극대화 및 잠재적인 경제적 가치

연구적인 측면에서 기후예측성 향상을 위해 고해상도 자료의 사용 및 MME에 개별 모델을 계속 추가하는 것에 대한 논의가 이루어졌으며, 개별 모델을 MME로 결합하는 다양한 방법이 존재해 왔으나 아직까지 최선의 방법론이 나오지 않은 이유는 다양한 변수를 가지고 있는 기후 모델에 상호 검증(cross-validation)을 적용하기 어렵기 때문이라는 의견이 있었다. 또한, 많은 기관에서 자료와 모델 코드(code)를 공개하는 것과 마찬가지로, 예보 과정도 일반인에게 공개하자는 의견이 있었다.

패널토론에서는 기후예측분야 전문가 5인(Table 33)이 계절내 및 계절예측 MME 현업에서 공통적으로 당면하고 있는 문제점, 기후모델링 분야의 한계점 및 이슈, S2S 현업의 가능성 및 관련 이슈 등을 주제로 논의를 진행하였다.

Table 33. Panel list

연번	이름	소속
1	유진호	APCC 기후사업본부장
2	Arun Kumar	미국 기상청 기후예측센터 선임연구원
3	Francisco Doblas-Reyes	바르셀로나 슈퍼컴센터 본부장
4	Huang-Hsiung Hsu	대만환경변화연구소 책임연구원
5	Timothy DelSole	미국 조지메이슨대 대기과학과 교수

전 세계적으로 다양한 MME 제공 기관과 많은 양의 자료가 존재함에도 불구하고, 각 모델의 성분 및 구성이 다양하고, hindcast와 forecast의 초기장 불일치 이슈, 그리고 모델별로 상이한 해상도 때문에 기후예측분야에서 최적의 기법으로 수렴(convergency)되지 못하는 이슈가 발생한다. 또한 수년간 다중모델시스템의 예측성이 크게 개선되지 못한 점이 지적되었고, 이를 해결하기 위해 현 다중모델시스템에 대한 체계적이며 강도 높은 평가를 실행하고, 그 결과에 따라 향후 재원을 적시·적소에 배치할 것을 권고하였다. 이의 일환으로 APCC에서는 NMME, IRI, C3S 등 다른 MME 제공기관과 긴밀한 협조를 통하여 현 시스템에 대한 종합적인 평가를 진행할 수 있음을 제안되었다.

예측성 향상을 위해서는 예측자료 생산만을 위한 앙상블 기법보다 모델 개선을 위한 앙상블 생산 기법을 설계하고, 예측성에 기인하는 다양한 인자들을 발굴하며, 예측성에 관한 체계적인 기법을 연구할 것이 제안되었고, 기후예측 정보의 사용 및 활용성을 제고하기 위해서는 전 세계에 존재하는 많은 기후예측정보를 사용자가 실질적으로 활용할 수 있도록, 무엇을(what), 어떻게(how) 사용할지, 혹은 사용하지 말아야 할지에 대한 가이드를 기후예측분야 전문가가 제공해야 한다는 의견이 있었다. 또한, 기후변화 혹은 기상예보 분야와 달리 기후예측 분야는 기후예측의 가치를 가시적으로 충분히 홍보하지 않으므로, 이를 해결하기 위해 기후예측 관계자는 다양한 분야의 과학자, 전문가, 정책결정자 등과 상호 협력하여, 사회 현상에 긴밀히 접근할 필요가 있다는 제언이 있었다.

이러한 발표들과 함께 기후예측에 관련된 기관별 연구 현황에 대한 포스터 발표 세션이 있었으며, 발표자와 발표 내용은 Table 34과 같다.

Table 34. Speaker and presentation title of poster session

연번	이름	직함	소속기관	발표제목
1	김선태 * 현장 발표자 이윤영 선임연구원	선임연구원	APEC 기후센터	Major Climate Variability and the Associated Inter-Basin Relationship Predicted by APCC SCoPS
2	임아영 * 현장 발표자 함수련 선임연구원	연구원	APEC 기후센터	Seamless Coupled Prediction System (SCoPS): Assessment of the APCC in-house model seasonal forecast
3	Mingyue Chen	기상연구원	미국 기상청 기후예측센터	The Utility of Seasonal Hindcast Database for the Analysis of Climate Variability: An example
4	Jau Ming Chen	교수	국립카오슝 과학기술대학교	ISO Modulations on TC Movements from the Western North Pacific into the South China Sea
5	Chi-Cheng Hong	교수	타이페이 대학교	Ans Assessment of CWB Global Ensemble Prediction System Extended-Range Forecast
6	Meng-Pai Hung	교수	중국문화 대학교	A New Intraseasonal Oscillation Index Based on Cloud-Sat Observed Cloud Regimes
7	Yen-Wei Li	연구원	대만사범 대학교	Statistical Postprocessing of Ensemble Forecasts for Monsoon Precipitation in Western North Pacific: Calibration of 204 week forecasts
8	Yun-Lan Chen	기술전문관	대만기상청	MJO Forecast Verification for CWB GEPS and CWB 1-Tier Coupled Model
9	Jen-Her Chen	선임기상관	대만기상청	CWB CFS 1 Tier Result Analysis
10	Ching-Teng Lee	연구원	대만기상청	The Spring Rainfall Forecast System in Taiwan
11	Enya Ren-Feng Liu	기술전문관	대만기상청	Development of An Integrated Statistical-Dynamical Forecast Model to Seasonal Temperature Prediction in Taiwan
12	Tzu-Ting Lo	기상관	대만기상청	Preliminary Evaluations of the Extended-Range Tropical Cyclone (TC) Forecasts from the ECMWF S2S Forecasts
13	Chien-Han Tseng	기상관	대만기상청	The CWBGFS Ensemble Prediction System and Downscaling Experiment

APCC는 APCC MME 기후예측시스템에 참여하는 개별 참여기관의 자료 생산·제공 현황 및 검증 결과 공유를 통해 개별 참여 모델을 정확히 파악하고, APCC MME 모델제공기관에 대한

소속감 고취 및 자발적 참여 유도를 위하여 2014년부터 APCC MME MPM(Model Provider Meeting) 회의를 격년에 한 번씩 개최해왔다(제1차 회의('14년 8월), 제2차 회의('16년 5월)).

제1차 회의에서는 APCC MME 모델제공기관 출범에 따른 ToR을 작성하였으며, 제2차 회의에서는 APCC MME 기후예측시스템 향후 운영 방향 논의 및 APCC MME 기후정보를 바탕으로 한 기후정보 서비스 활용성 제고에 대한 논의가 이루어졌다. 그리고, 2018년 대만기상청 관계자의 APCC 방문('18. 4. 24-26) 이후 양 기관 국제협력에 관한 활발한 논의에 따라 제3차 APCC MME MPM은 모델 참여 기관 중 하나인 대만기상청과의 상호협력을 통해 '19년 6월 대만에서 개최하는 것으로 결정되었다.

이 회의를 통해 APCC MME 참여모델들의 최근 개선 사항과 향후 계획을 공유하고, APCC MME 예측시스템의 향후 운영 방향에 대한 자문 및 예측정보 활용성 증대를 위한 의견 수렴함과 동시에, MME 모델 제공 기관과의 정기적 네트워킹을 통해 APCC MME 시스템 위상 강화 및 기관 간 우호적 협력 관계를 구축하는 데에 목적이 있다.

제3차 회의에는 APCC MME 모델제공기관 담당자 10명, 대만기상청 관계자 등 14인과 APCC 내부 관계자 6인이 참석하였다. 사전에 참여 모델제공기관 대상 모델 정보에 대한 개요서(model description)와 자료 제공 동의서를 배포/수령(※ 14개 기관 중 불참기관인 NASA, UKMO 2개기관 제외 사전 수령 완료)하고, 세션 1의 발표내용 및 세션 2의 토론 주제가 공유되었다. 제 3차 모델제공기관 회의의 프로그램은 Table 35와 같다.

Table 35. Program of the 3rd APCC MME model providers' meeting

프로그램	시 간	내 용	
[1일차] 2019년 6월 5일 (수)			
등록	09:00-09:30	참가자 등록	
개회식	09:30-09:35	개회사	권원태, APEC기후센터 원장
	09:35-09:40	기념사진 촬영	
세션1	09:40-12:40	예측시스템 현황 및 개선사항	
		좌장	민영미, APEC기후센터 예측운영과장
		연사	민영미, APEC기후센터 예측운영과장
			양유빈, APEC기후센터 예측운영과 선임연구원
			아이홍 중, 호주 기상청 국가현업센터 해양시스템 책임자
			라이언 문캐스터, 캐나다 기상청 기상연구과 연구원
			실비오 구알디, 유럽지중해기후변화센터 기후모의및예측실 실장
타카시 야마다, 일본 기상청 지구환경해향부 선임연구원			
함수련, APEC기후센터 예측기술과 선임연구원			
오찬	12:40-14:00	오 찬	
세션1	14:00-17:00	연사	이선용, 국립기상과학원 지구시스템연구과 연구관
			조세라, 부산대학교 기후예측연구실 연구원
			블라디미르 크리조프, 러시아 수문기상센터 선임연구원
			바딤 마추겐, 러시아 지구물리관측소 역학기후과 책임연구원
			주웬 휴, 대만 기상청 기상연구개발센터 연구원
			밍규 첸, 미국 기상청 기후예측센터 기상학자
[2일차] 2019년 6월 6일 (수)			
세션2	09:00-11:20	APCC MME 예측시스템 개선방안 논의	
		좌장	유진호, APEC기후센터 기후사업본부장
		그룹 토의	

프로그램	시 간	내 용	
		Co-vice-chair 선출	
폐회식	11:20-11:30	폐회사	권원태, APEC기후센터 원장

세션 I 은 예측시스템 현황 및 개선사항을 주제로 현재 APCC MME 기후예측시스템에 참여하고 있는 현재 모델 버전(version)에 대한 자세한 설명, 현재 모델의 예측성 평가 결과, 최근 모델 개선사항 또는 향후 계획 등이 공유되었다. 세션 I의 발표자와 발표제목은 Table 36과 같다.

Table 36. Speaker and presentation title of session 1

연번	이름	소속	발표제목
1	민영미	APCC 예측운영과 과장	APCC MME 모델제공기관회의 개요
2	양유빈	APCC 예측운영과 선임 연구원	APCC MME 예측시스템 개요
3	함수련	APCC 예측기술과 선임 연구원	APCC 계절예측시스템 현황
4	Aihong Zhong	(BoM)호주기상청 해양 시스템 책임자	호주 기상청 계절 예측 시스템 - POAMA & ACCESS-S
5	Ryan Muncaster	(MSC)캐나다기상청 연구원	캐나다 계절 및 계절내 예측시스템 버전 2(CanSIPS-v2)
6	Silvio Gualdi	(CMCC)유럽지중해기후 변화센터 기후모의및예측실 실장	CMCC 계절예측활동: 현황 및 향후 개발사항
7	Takashi Yamada	(JMA)일본기상청 지구 환경해양부 선임연구원	JMA 계절앙상블예측시스템 현황 및 향후 계획
8	이선용	(NIMS)국립기상과학원 지구시스템연구과 연구관	KMA 기후예측시스템 현황 및 계획
9	조세라	(PNU)부산대학교 기후 예측실 연구원	PNU 40 멤버 앙상블 장기 예측 시스템 소개
10	Vladimir Kryjov	(HMC)러시아 수문기상 센터 책임연구원	HMC 장기에측 현황 및 계획
11	Vadim Matyugin	(MGO)러시아 지구물리 관측소 책임연구원	MGO 계절예측모델 현황
12	Jyh-Wen Hwu	(CWB)대만기상청 기상 연구개발센터 연구원	CWB 기후예측시스템 현황
13	Mingyue Chen	(NCEP)미국기상청 기후 예측센터 기상연구원	NCEP 기후예측시스템 : 현업 예측 성능 평가 및 향후 버전 개발 계획

각 기관의 발표내용은 다음과 같다.

- (APCC) 지난 10여 년간 APCC MME 예측성이 많이 개선되었으며, 이는 각 참여 모델의 자체 예측성 향상, 참여 모델의 다양화, 그리고 품질 관리(quality control)의 결과임. 또한 APCC에서 현재 진행하고 있는 전 세계 MME 제공 그룹(NMME, WMO LC-LRF MME) 과 APCC MME 예측시스템의 예측성 비교 연구를 소개하였고, 초기 결과로 APCC MME 예측시스템의 예측성이 다소 높음을 공유함.
- (BOM) 기상과 계절 예측의 간극을 줄이기 위하여 호주 기상청은 새로운 계절예측시스템인 ACCESS-S1을 개발, 2018년부터 운영 중임. ACCESS-S1의 주요 개선점은 해양 동화, 대기 및 지면 초기화 개선, 앙상블 기법에 있음. 또한, 향후 자료 동화, hindcast 기간 연장, 적분 기간 연장 등을 개선한 모델 ACCESS-S2를 2020년 중반부터 운영할 예정임.
- (MSC) 캐나다 기상청은 2019년 8월부터 새로운 계절 예측 모델인 CanSIPsv2를 운영할 예정이며, 새로운 모델은 기존 모델인 CanSIPsv1에 비해 해빙 예측성이 특히 뛰어남을 소개함. 또한 새로운 모델의 예측성 개선과 관련된 자세한 사항은 차기 APCC MME 모델제공기관회의에서 소개할 예정이며, 또한 현재 시스템에서 CanSIPsv2로 바꾸기 전에 APCC에 hindcast 자료 제공 예정임.
- (CMCC) 2016년부터 운영 중인 CMCC-SPSv3은 해상도(과거 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 에서 현재 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$) 및 초기화 방법 개선, 앙상블 멤버 증가(9개→50개) 등으로 과거 모델보다 향상된 예측성을 보여줌. 또한, 대기 해상도가 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 인 CMCC-SPSv3.5가 곧 현업 운영될 예정이며, 향후, 계절내 예측에서 장기(decadal) 예측까지 포함한 CMCC-SPSv4를 개발할 계획임
- (JMA) 일본 기상청은 2022년부터 새로운 앙상블 예측 시스템인 JMA/MRI-CPS3을 현업 운영할 예정이며, 주요 개선사항으로는 해상도 개선(대기 55km 및 해양 0.25°), 해양 자료 동화 시스템 개선, 새로운 해빙 자료 동화 적용 등이 있음. 또한 일본 기상청은 2020년부터 매 5일 간격으로 6개월 예측 자료를 생산 예정이며, APCC 현업일정에 따라 가장 최근의 예측정보를 제공할 예정임
- (APCC) APCC는 2017년부터 새로운 자체 모델인 SCoPS로부터 6개월 계절예측 정보를 제공함. 새로운 모델은 기존에 현업으로 사용하던 CCSM3에 비해 동아시아 몬순을 포함한 계절 기후변동성에 높은 예측력을 보임. SCoPS의 연직 해양 온도의 오차를 줄이기 위한 방법으로 해양모델내의 연직확산계수 조정 방법을 제안함
- (KMA/NIMS) GloSea5의 최근 개선점(한국 기상청의 해양 자료 동화 시스템에 기반한 해양해빙 초기화 향상, 지면 초기화 기법 개선 등)에 관해 전반적으로 소개하였고, 이에 따라 열대 해수면 온도, MJO(Madden-Julian Oscillation) 모의, 열대 저기압 발생 및 경로 모의 등의 예측성이 향상되었음을 소개함
- (PNU) PNU CGCMv2.0은 PNU CGCMv1.1에 비해 북반구 고위도 지역의 기온에 대해 현저한 예측력 향상을 보이며, 40개 앙상블 멤버에 기반한 계절 예측 정보를 올해부터 APCC에 제공할 계획임
- (HMC) 현재 러시아 수문기상센터 예측 시스템은 2012년 4월부터 운영 중이며, 해상도를 개선하고 오존 화학요소를 개선한 계절 예측 결합 모델이 현재 시험 운행 중이며, 수년 내

현업 운영될 예정임

- (MGO) MGOCM은 과거 모델(MGOAM)에 비해 열대 지역과 러시아를 포함한 북반구 온대성 지역에서 향상된 예측성을 보임. 또한 향후 해상도를 T63L25까지 개선하고 모델 물리과정과 초기 장을 개선할 예정임
- (CWB) 대만 기상청에서 운영하는 계절 예측 시스템에는 대기모델을 활용한 MME 예측 시스템(TCWBT2)과 대기-해양 접합모델을 활용한 MME 예측 시스템(TCWBT1)이 있으며, 각각의 예측성을 소개함. 또한, 최근 개선된 대기-해양 접합모델이 올해 말까지 완성될 계획이며, APCC에 내년부터 제공할 계획임
- (NCEP) 현재 현업으로 운영 중인 NCEP CFSv2에 대한 전반적인 예측력을 소개함. 또한 계절내부터 계절까지 이음새 없는(seamless) 통합모델(Unified model)과 같은 새로운 커뮤니티 모델을 개발할 예정이며, 향후 2-3년 동안은 현재 CFSv2의 운영이 계속될 것이라고 언급함.

세션 II에서는 APCC MME 예측시스템을 개선하기 위해 APCC 기후전망 조기 배포, 모델 해상도 개선, hindcast 기간 확장, 개별 모델 자료 제공, 멤버간 협업 가능성 등을 논의하였다. 논의된 내용을 요약하면 아래와 같다.

- (APCC 기후전망 조기 배포) 현재 APCC 기후전망(climate outlook)은 매달 25일에 배포되고 있으나, 여러 유관기관에서 조기 자료 제공을 요청함에 따라 향후 APCC 기후전망 배포일을 앞당기고자 하며, 이를 위해 참여모델기관에 개별 모델 자료의 조기 제공을 요청함. 참가자의 전원 동의에 따라 APCC 기후전망을 올해 안에 매달 20일에 배포하는 것으로 결정하였으며, APCC는 참여모델기관에 공식 서한을 송부하는 등 내부 처리를 하고자 함
- (모델 해상도 개선) 현재 APCC MME 예측자료는 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 이며, 참여모델기관의 동의를 거쳐 점차적으로 해상도를 개선하고자 함. 참가자 전원은 APCC에 hindcast 및 forecast의 원시 해상도 자료를 보낼 것에 동의하였으며, APCC 및 참여모델기관의 내부 절차 등을 고려하여, 각 기관에서 향후 계획된 모델 개선 시기에 맞추어 모델 자료를 APCC에 보낼 때 점차적으로 고해상도 자료를 송부하기로 함
- (Hindcast 기간) 현재 APCC에서 사용하고 있는 hindcast 기간은 1983-2010 (28년)으로 고정되어 있음. 반면 최근 개선/개발된 예측력 높은 모델은 hindcast 기간을 최근으로 이동시키고 있으며, 따라서 APCC MME 예측시스템에 예측력 높은 최신 모델을 적용시키지 못하는 문제가 발생함. 이를 해결하기 위해 APCC에서는 상이한 hindcast 기간에 따른 민감도 테스트를 시행하였고, 그 결과를 공유함. 향후 APCC 연구 결과에 따라 hindcast 기간 선정 및 참여모델 확대를 위한 방안이 결정된 후 참여기관에 안내하기로 함
- (자료 제공 정책) 참여기관을 대상으로 사전 조사를 수행한 결과, 일본 기상청을 제외하고 모든 기관에서 비상업적(연구, 교육, 현업) 목적으로 hindcast 및 forecast 자료 제공에 동의함
- (멤버십 변경) 기존 멤버 중 IRI는 2017년부터 자체 역학적 계절예측자료 생산을 중단하였

고, COLA 역시 예측정보 생산을 중단하여 APCC에 자료를 제공하지 못하게 됨에 따라 APCC MME 모델제공기관에서 제외됨을 안내함

- APCC MME 모델제공기관 간의 연구적 협업을 제고하기 위하여 2015/16 엘니뇨 예측성에 관한 사례 조사, hindcast 및 forecast의 초기장 불일치(discrepancy) 이슈, hindcast 및 forecast 예측성 비교를 위한 연구 및 사례 조사 등과 같은 다양한 협력 연구 주제 및 방안이 논의됨
- APCC MME 예측시스템이 전 세계에서 우위를 점할 수 있도록, 계절내(subseasonal) 및 계절(seasonal) 예측자료를 APCC MME 예측시스템으로 현업화 하는 방안이 제안 되었고, 검증(verification) 방법을 홈페이지 게시 등을 통해 공개하는 방안이 제안됨. 또한, 지역 특성을 고려한 APCC MME 예측정보 생산이 제안되었으며, 이와 관련하여 APCC에서 추진하고 있는 지역 특화된 APCC MME 예측정보 제공에 관한 계획이 공유됨
- APCC는 회의 내용을 바탕으로 향후 멤버간 협업이 가능한 주제를 우선순위와 함께 나열하여 참여기관에 공유하고 지속적인 후속조치를 진행할 예정임
- 참가자 전원이 동의하여 제4차 APCC 모델제공기관회의의 공동부의장(Co-Vice Chair)은 대만 기상청의 Jyh-Wen Hwu로 선정됨

제3차 APCC MME 모델제공기관 회의가 끝난 후에는 14개 참여모델의 모델 개요서(model description)를 홈페이지를 통해 공개하였고, APCC MME 기후전망의 배포 시기를 앞당기기 위해 참여 모델의 데이터 조기 제공을 공식 요청하는 서한을 송부하였다. 또한, 2019년 변경/확대된 모델에 대한 정보와 APCC 및 타기관 MME 비교 연구 결과를 공유하는 2019 annual report on seasonal forecast(appendix 1)를 발송하여 제3차 회의에서 논의되었던 내용들을 다시 환기시켰다.

4. 요약 및 결론

신뢰도 높은 기후예측정보의 안정적인 생산 및 제공을 위한 노력의 일환으로, 본 과제에서는 3개의 주제로 과제가 수행되었다. APCC에서 생산되는 예측정보를 다양한 측면에서 개선하였고, APCC 기후 예측시스템의 안정적이고 효율적인 운영을 목적으로 현 감시/검증시스템의 구조를 개선하고 효율적으로 개선시키는 작업이 수행되었으며, 고품질의 MME 정보를 제공하기 위한 기반 연구가 진행되었다.

2019년에는 다양한 방식으로 APCC 예측시스템의 개선이 있었다. 그동안 부분적으로 제공되었던 개별모델 예측정보에 대해 제공 범위를 확대하여 다양한 개별모델 정보를 홈페이지에 게시하기 시작했으며, 매달 배포되는 기후전망에서도 가독성과 정보의 다양화 면에서의 개선이 있었다. APCC 누리집을 통해 제공되는 기후감시에서는 기후 평년값을 APCC MME와 동일한 기간에 대하여 변경하고, 제공이 중단된 관측 자료에 대하여 대체 가능한 관측 자료로 교체하여 해당 기후감시 정보 서비스를 재개하였다. 이와 더불어 개별모델의 편차 계산시에도 MME와 동일한 기간의 기후값을 사용하여 편차값을 계산하도록 시스템을 수정함으로써 감시정보와의 비교를 용이하게 하였으며, 그래픽 측면에서도 통일성 있는 정보를 줄 수 있도록 하였다.

국문 홈페이지에서는 동아시아 계절예측 정보를 줄 수 있는 메뉴를 신설하여 국내 기여도를 높일 수 있는 발판을 마련하였으며, 모델제공기관의 서비스 정책을 갱신함에 따라 개별모델 예측정보를 홈페이지에 제공할 수 있게 되었다. 또한, 개별모델에 대한 정보를 게시함으로써 MME 혹은 개별모델 데이터의 사용자의 이해도를 높일 수 있게 되었다. 2019년 여름부터 기상청 기후정보포털에 APCC ENSO 예측정보를 제공하기 시작했으며, Monsoon Online 페이지에서는 APCC에서 제공하는 BSISO 정보를 사용하여 예측정보를 제공하고 있어 APCC 기후정보데이터의 활용도를 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 기 개선된 APCC MME 예측시스템과 함께 감시 및 검증시스템의 개선을 통해 보다 안정적이고 효율적인 예측시스템을 구축하고자 하였으며, 당해연도에는 감시 및 검증시스템의 문제점을 파악하고 개선하였다. 감시 및 검증시스템의 개선에 앞서 MME 예측시스템의 운영환경 변경에 따른 안전성 및 효율성 평가를 수행하였으며, 그 결과 개선된 시스템이 현재 현업시스템과 시·공간적으로 동일한 자료를 산출함은 물론 시간적으로 높은 효율성을 보인다는 것을 확인하였다. 기술적 측면에서의 시스템 개선과 더불어 계절예측시스템의 효율적 운영을 위해 다양한 MME 기법들에 대한 현업적 효용성을 평가하여 예측정보 조기 제공의 발판을 마련하였으며, 그 결과 매월 25일에 제공해오던 계절예측정보를 20일로 앞당겨 제공하게 되었다.

APCC가 MME를 활용한 계절예측정보를 제공하기 시작한 2005년에 비해, 현재 많은 현업기관에서 APCC와 유사하게 다양한 기관의 모델자료를 수집하여 MME를 수행하고 있다(예, WMOLC, NMME, C3S 등). 또한 MME에 참여하고 있는 개별 모델들이 점차 중복되고 있는 시점에서 세계유수 현업기관과의 차별성 및 우위확보를 위해 좀 더 다양한 모델 자료를 활용하기 위한 노력이 필요하다. 따라서, MME를 개선하기 위한 기반 연구로 올해는 MME의 전반적

인 예측성을 분석하였다. APCC MME의 예측 수준을 파악하기 위해 세계 유수의 기관에서 제공하는 MME 자료를 수집/표준화하고 데이터베이스화 시키는 작업을 완료하였으며, 예측성 분석의 객관성을 확보하기 위해 관측자료에 대한 민감도를 조사하였다.

각 기관에서 검증시 사용하는 관측데이터들로 민감도를 살펴보았을 때, 관측데이터에 따라 예측점증값이 크게 바뀌는 지역이 있으나, MME에 따라 변동의 방향이 다르지 않았고, 특히 우리의 관심지역인 동아시아는 관측데이터에 민감하지 않은 지역인 것으로 조사되었으므로 동일한 조건에서 예측성을 비교한다면 객관적 비교가 가능하다고 판단되었다.

APCC와 다른 기관의 MME를 동일한 조건에서 비교하기 위해 네 기관 hindcast의 공통 기간인 1993년부터 2009년까지 17년간의 개별모델 자료들에 Simple Composite Method (SCM) 기법을 적용하여 MME set을 구성하였다. 지표기온과 강수, 해수면온도에 대한 예측성 비교가 이루어졌으며, APCC와 다른 기관의 MME들은 지역별, 계절별로 유사한 예측성 변동 추이를 보이는 것으로 나타났다. 많은 수의 참여모델이 동일한 APCC와 WMO MME는 예상한 바와 같이 유사한 예측성을 보였고, 동일한 개별모델이 없는 NMME와 C3S의 경우에도 예측성 변동 양상은 유사한 것을 확인하였다. 이는 MME를 구성하고 있는 역학 모델의 대부분이 유사한 강점 혹은 약점을 가지고 있기 때문이라 생각된다.

흥미로운 것은 다양한 모델로 구성되어 있는 APCC, WMO MME에 비교해서 적은 수의 모델로 이루어진 C3S MME의 예측성이 떨어지지 않는다는 것이다. APCC와 WMO의 경우 10개 이상의 다양한 모델의 조합이므로 개별모델 예측성의 범위 또한 넓고, 다중모델앙상블 기법의 적용을 통해 불확실성이 줄어드는 효과가 크게 나타났다. 반면, C3S의 경우에는 개별모델들이 보이는 예측성 자체가 평균적으로 높은 편에 속해 이들의 조합인 MME 또한 높은 예측성을 보였으며, 개별모델의 예측성은 선행시간이 길어질수록 MME의 예측성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나, 참여모델 수가 적으므로 그 중 한 두개 모델의 예측성이 떨어지는 경우 MME 예측성이 낮아질 수 있으며, 계절에 따라 예측성의 변동성이 커 안정적인 예측 측면에서 약점이 될 수 있음을 보였다.

이러한 결과를 바탕으로 내년 연구에서는 각 기관 MME 특징에 기반한 차이점을 분석하고 민감도 실험을 수행하여 APCC MME 예측력의 원인과 한계점을 파악하려고 하며, 추후에는 APCC MME의 예측성을 향상시키기 위한 방안을 제시하고자 한다.

사사

본 연구는 APCC의 지원을 통해 수행되었습니다.

References

- Banzon, V., T. M. Smith, T. M. Chin, C. Liu, and W. Hankins, 2016: A long-term record of blended satellite and in situ sea-surface temperature for climate monitoring, modeling and environmental studies. *Earth Syst. Sci. Data*, **8**, 165–176, doi:10.5194/essd-8-165-2016.
- Dee and co-authors, 2011: The ERA-interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, **137**, 553–597.
- Gleckler, P. J., K. E. Taylor, and C. Doutriaux, 2008: Performance metrics for climate models. *J. Geophys. Res.*, **113**, D06104, doi:10.1029/2007/JD008972.
- Huang, B., P. W. Thorne et al. 2017: Extended reconstructed sea surface temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validation, and intercomparisons. *J. Climate*, doi:10.1175/JCLI-D-16-0836.1.
- Huffman, G. J. and co-authors, 1997: The global precipitation climatology project (GPCP) combined data set. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 5–20.
- Janowiak, J. E. and P. Xie, 1999: CAMS-OPI: A global satellite-rain gauge merged product for real-time precipitation monitoring applications. *J. Climate*, **12**, 3335–3342.
- Kalnay and co-authors, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437–470.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002: NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2), *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631–1643.
- Lawrimore, J. H., M. J. Menne, B. E. Gleason, C. N. Williams, D. B. Wuertz, R. S. Vose, and J. Rennie, 2011: An overview of the global historical climatology network monthly mean temperature data set, version 3. *J. Geophys. Res.*, **116**, D19121.
- Reynolds, R. W., T. M. Smith, C. Liu, D. B. Chelton, K. S. Casey, and M. G. Schlax, 2007: Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. *J. Climate*, **20**, 5473–5496, doi:10.1175/JCLI-D-14-00293.1.
- Xie, P. and P. A. Arkin, 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2539–2558.

부록 A. 동아시아 계절예측 정보 생산을 위한 일괄 처리 프로그램 소스 코드

o A-1: 동아시아 결정론적 강수 및 850hPa 바람 3개월 예측 그림 생산 프로그램

```

; -----
;   EA_SCM_PREC_UV850_3mon.ncl : SCM 3-mon prec & 850 wind for East-Asia Outlook
;                                     APCC / Chang-Mook Lim
;
;   completed : 16 Dec 2019 (Ref. Sang-Myung Oh)
;   modified (1) :
;   modified (2) :
; -----

load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"

begin

  FYEAR1      = stringpoint(systemfunc("date -d '1month' +%Y"))
  FYEAR2      = stringpoint(systemfunc("date -d '2month' +%Y"))
  FYEAR3      = stringpoint(systemfunc("date -d '3month' +%Y"))
  FMON1       = (systemfunc("date -d '1month' +%b | tr a-z A-Z"))
  FMON2       = (systemfunc("date -d '2month' +%b | tr a-z A-Z"))
  FMON3       = (systemfunc("date -d '3month' +%b | tr a-z A-Z"))
  FMONTH1     = (systemfunc("date -d '1month' +%B"))
  FMONTH2     = (systemfunc("date -d '2month' +%B"))
  FMONTH3     = (systemfunc("date -d '3month' +%B"))
  SEAS1       = (systemfunc("date -d '1month' +%b | cut -c1"))
  SEAS2       = (systemfunc("date -d '2month' +%b | cut -c1"))
  SEAS3       = (systemfunc("date -d '3month' +%b | cut -c1"))
  SEAS4       = (systemfunc("date -d '4month' +%b | cut -c1"))
  SEAS5       = (systemfunc("date -d '5month' +%b | cut -c1"))
  SEAS6       = (systemfunc("date -d '6month' +%b | cut -c1"))
  SEASON      = SEAS1 + SEAS2 + SEAS3
  FULLSEAS    = SEAS1 + SEAS2 + SEAS3 + SEAS4 + SEAS5 + SEAS6

  MON         = (systemfunc("date -d '0month' +%b"))
  YEAR        = stringpoint(systemfunc("date -d '0month' +%Y"))

  if ( FYEAR1 .ne. FYEAR3 ) then
    SEA       = FMONTH1 + " " + FYEAR1 + "-" + FMONTH3 + " " + FYEAR3
  else
    SEA       = FMONTH1 + "-" + FMONTH3 + " " + FYEAR3
  end if

  FillValue   = 1e+20

  dir = "/data11/OPER/AFS/DATA/3-MON/"

  InFileFp    =
  addfile(dir+"MME_OUT/FORECAST/SCM/"+FMON1+"/"+SEASON+"/"+FYEAR1+"/prec.nc","r")
  InFileFu    =
  addfile(dir+"MME_OUT/FORECAST/SCM/"+FMON1+"/"+SEASON+"/"+FYEAR1+"/u850.nc","r")
  InFileFv    =
  addfile(dir+"MME_OUT/FORECAST/SCM/"+FMON1+"/"+SEASON+"/"+FYEAR1+"/v850.nc","r")
  P_tmpF     = InFileFp->prec
  U_tmpF     = InFileFu->u850
  V_tmpF     = InFileFv->v850

; -----
;   FIGURE

```

```

; -----
; wtyp = "eps"
; wtyp = "x11"
outdir = "/data11/OPER/AFS/FIG/EA_OUTLOOK/" + FYEAR1 + FULLSEAS + "/"
latlon=(-20,60,60,200/)
pltfil = outdir+"SCM_" +FYEAR1+SEASON+ "_prec_uv850"

wks = gsn_open_wks(wtyp,pltfil)

clevs=(-1.6,-1.2,-0.8,-0.4,-0.2,0,0.2,0.4,0.8,1.2,1.6/)
colors = (/ (255,255,255/), (/0,0,0/), \
          (/100,050,002/), \
          (/128,070,004/), \
          (/192,104,008/), \
          (/206,131,012/), \
          (/239,171,039/), \
          (/244,197,055/), \
          (/254,227,137/), \
          (/255,235,180/), \
          (/255,255,220/), \
          (/243,255,230/), \
          (/200,240,195/), \
          (/160,220,155/), \
          (/130,200,115/), \
          (/090,160,070/), \
          (/060,130,040/), \
          (/040,100,020/), \
          (/020,080,015/), \
          (/010,050,010/)) *1.0
colors = colors/255. ; normalize (required by NCL)

mag=3 ;m/s
len=0.1

gsn_define_colormap(wks, colors) ; generate new color map

res = True ; plot mods desired

res@gsnDraw = False
res@gsnFrame = False

res@vpXF = 0.2
res@vpYF = 0.8
res@vpHeightF = 0.6
res@vpWidthF = 0.6

res@gsnMajorLatSpacing = 20
res@gsnMajorLonSpacing = 30

res@cnLevelSelectionMode = "ExplicitLevels"
res@cnLevels = (/ -1.6, -1.2, -0.8, -0.4, -0.2, 0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 /)
i = NhlNewColor(wks,0.6,0.6,0.6) ; Grey60
j = NhlNewColor(wks,0.28,0.24,0.55) ; SlateBlue4
k = NhlNewColor(wks,1.0,1.0,0.0) ; Yellow
l = NhlNewColor(wks,1.0,0.2,0.7) ; Maroon1
m = NhlNewColor(wks,0.55,0.45,0.33) ; BurlyWood4
n = NhlNewColor(wks,0.95,0.95,0.95) ; Grey95
res@gsnSpreadColorEnd = -7 ; don't use added gray

res@gsnAddCyclic = False
res@mpMinLatF = latlon(0)
res@mpMaxLatF = latlon(1)
res@mpMinLonF = latlon(2)
res@mpMaxLonF = latlon(3)
res@mpCenterLonF = (res@mpMinLonF+res@mpMaxLonF)/2.

res@lbLabelBarOn = True
res@cnSmoothingOn = True
res@cnFillOn = True

```

```

res@cnLinesOn                = False
res@cnLineLabelsOn           = False    ; turn off line labels
res@gsnScalarContour         = True
res@cnLineColor              = "black"
res@cnInfoLabelOn           = False
res@gsnContourNegLineDashPattern = 1 ;
res@gsnSpreadColors          = True
; res@mpDataBaseVersion      = "MediumRes"
res@mpLandFillColor          = -1
res@mpOutlineBoundarySets    = "National"
res@mpNationalLineColor      = "Black"
res@mpGeophysicalLineColor   = "Black"

MainTitle = "Precipitation and Wind at 850 hPa for " + SEA
unit = "mm/day & m/s"

; MAP GRID RESOURCES
res@mpProjection              = "CylindricalEquidistant"
res@mpLimitMode               = "LatLon"

res@gsnLeftString             = " "
res@gsnLeftStringFontHeightF = 0.014
res@gsnLeftStringOrthogonalPosF = 0.01
res@gsnRightString            = "Unit:" + unit
res@gsnRightStringFontHeightF = 0.014
res@gsnRightStringOrthogonalPosF = 0.01
res@tiMainFont                = "times-roman"
res@tiMainFontHeightF         = 0.02

res@mpOutlineOn               = True
res@mpOutlineBoundarySets     = "Geographical"
res@mpOutlineBoundarySets     = "National"
res@mpGeophysicalLineColor    = "Black"
res@mpGeophysicalLineThicknessF = 1.2
res@mpNationalLineColor       = "Black"
res@mpNationalLineColor       = "Black"
res@mpNationalLineThicknessF = 1.2
res@mpUSStateLineColor        = "Black"
res@mpUSStateLineThicknessF   = 1.2

res@vcRefMagnitudeF           = mag      ; define vector ref mag
res@vcRefLengthF              = len      ; define length of vec ref
res@vcRefAnnoOrthogonalPosF   = -1.0    ; move ref vector
res@vcRefAnnoArrowLineColor   = "black" ; change ref vector color
; res@vcRefAnnoArrowUseVecColor = False  ; don't use vec color for ref
res@vcMinDistanceF            = 0.025

res@vcGlyphStyle              = "CurlyVector" ; turn on curly vectors
res@vcLineArrowColor           = "black"      ; change vector color
; res@vcLineArrowThicknessF    = 1.0         ; change vector thickness
res@vcLineArrowThicknessF      = 1.2         ; change vector thickness
res@vcVectorDrawOrder          = "PostDraw"   ; draw vectors last

res@tiMainString               = MainTitle

res@tmYROn                     = False
res@tmXTOn                     = False

res@tmXBMinorOn = False
res@tmYLMinorOn = False
res@tmXTOn      = False
res@tmYROn      = False
res@tmXBOn      = True
res@tmYLOn      = True
res@tmXBLLabelFontHeightF = 0.01
res@tmYLLLabelFontHeightF = 0.01

res@lbLabelBarOn = True

```

```

res@lbLabelAutoStride = True
res@lbBoxMajorExtentF = 0.75
res@lbPerimOn = False
res@lbLabelFontHeightF = 0.01

res@pmLabelBarOrthogonalPosF = 0.09

; INSIDE TEXT SETTING
insidetext = "Anomaly fields are displayed ~C~"

resInsideText = True
amres = True

resInsideText@txPerimOn = True
resInsideText@txPerimColor = "Black"
resInsideText@txPerimThicknessF = 1.0
resInsideText@txPerimSpaceF = 1.0

resInsideText@txBackgroundFillColor = "Grey95"
resInsideText@txFont = "simplex_roman"
resInsideText@txFontColor = "SlateBlue4"
resInsideText@txFontHeightF = 0.007
amres@amParallelPosF = -0.499 ; This is the right edge of the plot.
amres@amOrthogonalPosF = 0.497 ; This is the bottom edge of the plot.
amres@amJust = "BottomLeft"

; POLYLINE SETTING
resOutBox = True
resOutLine = True

sres = True
txres = True
dxres = True

intxres = True
amres = True

; TEXT CONTENTS
bottomsymbol = "c"
bottomtext = "APEC Climate Center"
issuedate = systemfunc("date +%d")
issuemon = systemfunc("date +%b")
issueyear = systemfunc("date +%Y")
creatdate = "Issued: 20 " + MON + ", " + YEAR
; creatdate = "Issued: " + issuedate + " " + issuemon + ", " + issueyear

; POLYLINE SETTING
resOutBox@gsLineColor = "Gray"
resOutBox@gsLineThicknessF = 2.0

resOutLine@gsLineColor = "Black"
resOutLine@gsLineThicknessF = 2.0

; TEXT SETTING
txres@txFont = "times-roman"
txres@txFontHeightF = 0.0135

dxres@txFont = "times-roman"
dxres@txFontHeightF = 0.013

sres@txFont = "text-symbols"
sres@txFontHeightF = 0.012

; POINTS LOCATION FOR POLYLINE
bxpts = (/0.02, 0.98,0.98,0.02,0.02/)
bypts = (/0.10, 0.10,0.80,0.80,0.10/)
lxpts = (/0.04, 0.96/)
lypts = (/0.16, 0.16/)

```

```

symbolxpt=(/0.755/)
simbolypt=(/0.1397/)
textxpt=(/0.86/)
textypt=(/0.14/)
datexpt=(/0.131/)
dateypt=(/0.14/)

; OUTSIDE BOX PLOTTING
gsn_polyline_ndc(wks,bxpts,bypts,resOutBox)
gsn_polyline_ndc(wks,lxpts,lypts,resOutLine)

; BOTTOM TEXT PLOTTING
gsn_text_ndc(wks,bottomsimbol,symbolxpt,simbolypt,sres)
gsn_text_ndc(wks,bottomtext,textxpt,textypt,tres)
gsn_text_ndc(wks,creatdate,datexpt,dateypt,dxres)

plot=gsn_csm_vector_scalar_map_ce(wks,U_tmpF(0,,:),V_tmpF(0,,:),P_tmpF(0,,:),res)
intext = gsn_create_text(wks, insidetext, resInsideText)
annoid = gsn_add_annotation(plot, intext, amres)
; gsn_text_ndc(wks,bottomsimbol,symbolxpt,simbolypt,resBottomSimbol)
; gsn_text_ndc(wks,bottomtext,textxpt,textypt,resBottomText)

draw(plot)
frame(wks)

delete(wks)
delete(plot)

if ( wtyp.eq."eps" ) then
  system("convert -trim -density 300 -geometry 1200X960 "+pltfil+".eps "+pltfil+".png")
  system("rm -rf "+pltfil+".eps")
end if

end

```

o A-2: 동아시아 결정론적 강수 및 850hPa 바람 6개월 예측 그림 생산 프로그램

```

; -----
; EA_SCM_PREC_UV850_6mon.ncl : SCM 6-mon prec & 850 wind for East-Asia Outlook
;                                     APCC / Chang-Mook Lim
; completed : 16 Dec 2019 (Ref. Sang-Myung Oh)
; modified (1) :
; modified (2) :
; -----

load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"

begin

FYEAR1 = stringpoint(systemfunc("date -d '4month' +%Y"))
FYEAR2 = stringpoint(systemfunc("date -d '5month' +%Y"))
FYEAR3 = stringpoint(systemfunc("date -d '6month' +%Y"))
FMON   = (systemfunc("date -d '1month' +%b | tr a-z A-Z"))
FMON1  = (systemfunc("date -d '4month' +%b | tr a-z A-Z"))
FMON2  = (systemfunc("date -d '5month' +%b | tr a-z A-Z"))
FMON3  = (systemfunc("date -d '6month' +%b | tr a-z A-Z"))
FMONTH1 = (systemfunc("date -d '4month' +%B"))
FMONTH2 = (systemfunc("date -d '5month' +%B"))
FMONTH3 = (systemfunc("date -d '6month' +%B"))
SEAS1  = (systemfunc("date -d '1month' +%b | cut -c1"))
SEAS2  = (systemfunc("date -d '2month' +%b | cut -c1"))
SEAS3  = (systemfunc("date -d '3month' +%b | cut -c1"))

```

```

SEAS4      = (systemfunc("date -d '4month' +%b | cut -c1"))
SEAS5      = (systemfunc("date -d '5month' +%b | cut -c1"))
SEAS6      = (systemfunc("date -d '6month' +%b | cut -c1"))
SEASON     = SEAS4 + SEAS5 + SEAS6
FULLSEAS   = SEAS1 + SEAS2 + SEAS3 + SEAS4 + SEAS5 + SEAS6

```

```

MON        = (systemfunc("date -d '0month' +%b"))
YEAR       = stringpoint(systemfunc("date -d '0month' +%Y"))

```

```

if ( FYEAR1 .ne. FYEAR3 ) then
SEA        = FMONTH1 + " " + FYEAR1 + "-" + FMONTH3 + " " + FYEAR3
else
SEA        = FMONTH1 + "-" + FMONTH3 + " " + FYEAR3
end if

```

```

FillValue  = 1e+20

```

```

dir = "/data11/OPER/AFS/DATA/6-MON/"

```

```

InFileFp
addfile(dir+"MME_OUT/FORECAST/SCM/"+FMON+"/"+SEASON+"/"+FYEAR1+"/prec.nc","r") =
InFileFu
addfile(dir+"MME_OUT/FORECAST/SCM/"+FMON+"/"+SEASON+"/"+FYEAR1+"/u850.nc","r") =
InFileFv
addfile(dir+"MME_OUT/FORECAST/SCM/"+FMON+"/"+SEASON+"/"+FYEAR1+"/v850.nc","r") =
P_tmpF = InFileFp->prec
U_tmpF = InFileFu->u850
V_tmpF = InFileFv->v850

```

```

; -----
; FIGURE
; -----

```

```

; wtyp = "eps"
; wtyp = "x11"
outdir = "/data11/OPER/AFS/FIG/EA_OUTLOOK/" + FYEAR1 + FULLSEAS + "/"
latlon=(/-20,60,60,200/)
pltfil = outdir+"SCM_" + FYEAR1+SEASON+ "_prec_uv850"

```

```

wks = gsn_open_wks(wtyp,pltfil)

```

```

clevs=(/-1.6,-1.2,-0.8,-0.4,-0.2,0,0.2,0.4,0.8,1.2,1.6/)

```

```

colors = (/ (255,255,255/), (0,0,0/), \
           (/100,050,002/), \
           (/128,070,004/), \
           (/192,104,008/), \
           (/206,131,012/), \
           (/239,171,039/), \
           (/244,197,055/), \
           (/254,227,137/), \
           (/255,235,180/), \
           (/255,255,220/), \
           (/243,255,230/), \
           (/200,240,195/), \
           (/160,220,155/), \
           (/130,200,115/), \
           (/090,160,070/), \
           (/060,130,040/), \
           (/040,100,020/), \
           (/020,080,015/), \
           (/010,050,010/)) *1.0

```

```

colors = colors/255. ; normalize (required by NCL)

```

```

mag=3 ;m/s
len=0.1

```

```

gsn_define_colormap(wks, colors) ; generate new color map

```

```

res = True ; plot mods desired

```

```

res@gsnDraw          = False
res@gsnFrame        = False

res@vpXF            = 0.2
res@vpYF            = 0.8
res@vpHeightF       = 0.6
res@vpWidthF        = 0.6

res@gsnMajorLatSpacing = 20
res@gsnMajorLonSpacing = 30

res@cnLevelSelectionMode = "ExplicitLevels"
res@cnLevels            = (/ -1.6, -1.2, -0.8, -0.4, -0.2, 0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 /)
i = NhlNewColor(wks, 0.6, 0.6, 0.6)          ; Grey60
j = NhlNewColor(wks, 0.28, 0.24, 0.55)      ; SlateBlue4
k = NhlNewColor(wks, 1.0, 1.0, 0.0)         ; Yellow
l = NhlNewColor(wks, 1.0, 0.2, 0.7)         ; Maroon1
m = NhlNewColor(wks, 0.55, 0.45, 0.33)      ; BurlyWood4
n = NhlNewColor(wks, 0.95, 0.95, 0.95)      ; Grey95
res@gsnSpreadColorEnd = -7                  ; don't use added gray

res@gsnAddCyclic = False
res@mpMinLatF    = latlon(0)
res@mpMaxLatF    = latlon(1)
res@mpMinLonF    = latlon(2)
res@mpMaxLonF    = latlon(3)
res@mpCenterLonF = (res@mpMinLonF + res@mpMaxLonF) / 2.

res@lbLabelBarOn      = True
res@cnSmoothingOn     = True
res@cnFillOn          = True
res@cnLinesOn         = False
res@cnLineLabelsOn    = False          ; turn off line labels
res@gsnScalarContour  = True
res@cnLineColor       = "black"
res@cnInfoLabelOn     = False
res@gsnContourNegLineDashPattern = 1 ;
res@gsnSpreadColors   = True
; res@mpDataBaseVersion = "MediumRes"
res@mpLandFillColor   = -1
res@mpOutlineBoundarySets = "National"
res@mpNationalLineColor = "Black"
res@mpGeophysicalLineColor = "Black"

MainTitle = "Precipitation and Wind at 850 hPa for " + SEA
unit = "mm/day & m/s"

; MAP GRID RESOURCES
res@mpProjection      = "CylindricalEquidistant"
res@mpLimitMode       = "LatLon"

res@gsnLeftString     = " "
res@gsnLeftStringFontHeightF = 0.014
res@gsnLeftStringOrthogonalPosF = 0.01
res@gsnRightString    = "Unit:" + unit
res@gsnRightStringFontHeightF = 0.014
res@gsnRightStringOrthogonalPosF = 0.01
res@tiMainFont        = "times-roman"
res@tiMainFontHeightF = 0.02

res@mpOutlineOn       = True
res@mpOutlineBoundarySets = "Geographical"
res@mpOutlineBoundarySets = "National"
res@mpGeophysicalLineColor = "Black"
res@mpGeophysicalLineThicknessF = 1.2
res@mpNationalLineColor = "Black"
res@mpNationalLineThicknessF = 1.2

```

```

res@mpUSStateLineColor      = "Black"
res@mpUSStateLineThicknessF = 1.2

res@vcRefMagnitudeF         = mag           ; define vector ref mag
res@vcRefLengthF           = len           ; define length of vec ref
res@vcRefAnnoOrthogonalPosF = -1.0    ; move ref vector
res@vcRefAnnoArrowLineColor = "black"    ; change ref vector color
; res@vcRefAnnoArrowUseVecColor = False    ; don't use vec color for ref
res@vcMinDistanceF = 0.025

res@vcGlyphStyle           = "CurlyVector" ; turn on curley vectors
res@vcLineArrowColor      = "black"        ; change vector color
; res@vcLineArrowThicknessF = 1.0          ; change vector thickness
res@vcLineArrowThicknessF = 1.2           ; change vector thickness
res@vcVectorDrawOrder     = "PostDraw"    ; draw vectors last

res@tiMainString          = MainTitle

res@tmYROn                = False
res@tmXTOn                = False

res@tmXBMinorOn = False
res@tmYLMajorOn = False
res@tmXTOn      = False
res@tmYROn      = False
res@tmXBOn      = True
res@tmYLOn      = True
res@tmXBLabelFontHeightF = 0.01
res@tmYLLLabelFontHeightF = 0.01

res@lbLabelBarOn      = True
res@lbLabelAutoStride = True
res@lbBoxMajorExtentF = 0.75
res@lbPerimOn         = False
res@lbLabelFontHeightF = 0.01

res@pmLabelBarOrthogonalPosF = 0.09

; INSIDE TEXT SETTING
insidetext              = "Anomaly fields are displayed ~C~"

resInsideText          = True
amres                  = True

resInsideText@txPerimOn      = True
resInsideText@txPerimColor  = "Black"
resInsideText@txPerimThicknessF = 1.0
resInsideText@txPerimSpaceF = 1.0

resInsideText@txBackgroundFillColor = "Grey95"
resInsideText@txFont                = "simplex_roman"
resInsideText@txFontColor           = "SlateBlue4"
resInsideText@txFontHeightF         = 0.007
amres@amParallelPosF                = -0.499 ; This is the right edge of the plot.
amres@amOrthogonalPosF              = 0.497 ; This is the bottom edge of the plot.
amres@amJust                         = "BottomLeft"

; POLYLINE SETTING
resOutBox      = True
resOutLine     = True

sres           = True
txres         = True
dxres         = True

intxres       = True
amres         = True

```

```

; TEXT CONTENTS
  bottomsymbol   = "c"
  bottomtext     = "APEC Climate Center"
  issuedate      = systemfunc("date +%d")
  issuemon       = systemfunc("date +%b")
  issueyear      = systemfunc("date +%Y")
  creatdate      = "Issued: 20 " + MON + ", " + YEAR
;   creatdate    = "Issued: " + issuedate + " " + issuemon + ", " + issueyear

; POLYLINE SETTING
  resOutBox@gsLineColor      = "Gray"
  resOutBox@gsLineThicknessF = 2.0

  resOutLine@gsLineColor     = "Black"
  resOutLine@gsLineThicknessF = 2.0

; TEXT SETTING
  txres@txFont      = "times-roman"
  txres@txFontHeightF = 0.0135

  dxres@txFont      = "times-roman"
  dxres@txFontHeightF = 0.013

  sres@txFont       = "text-symbols"
  sres@txFontHeightF = 0.012

; POINTS LOCATION FOR POLYLINE
  bxpts = (/0.02, 0.98,0.98,0.02,0.02/)
  bypts = (/0.10, 0.10,0.80,0.80,0.10/)
  lxpts = (/0.04, 0.96/)
  lypts = (/0.16, 0.16/)

  symbolxpt=(/0.755/)
  symbolypt=(/0.1397/)
  textxpt=(/0.86/)
  textypt=(/0.14/)

  datexpt=(/0.131/)
  dateypt=(/0.14/)

; OUTSIDE BOX PLOTTING
  gsn_polyline_ndc(wks,bxpts,bypts,resOutBox)
  gsn_polyline_ndc(wks,lxpts,lypts,resOutLine)

; BOTTOM TEXT PLOTTING
  gsn_text_ndc(wks,bottomsymbol,symbolxpt,symbolypt,sres)
  gsn_text_ndc(wks,bottomtext,textxpt,textypt,txres)
  gsn_text_ndc(wks,creatdate,datexpt,dateypt,dxres)

  plot=gsn_csm_vector_scalar_map_ce(wks,U_tmpF(0,,:),V_tmpF(0,,:),P_tmpF(0,,:),res)
  intext = gsn_create_text(wks, insidetext, resInsideText)
  annoid = gsn_add_annotation(plot, intext, amres)
;   gsn_text_ndc(wks,bottomsymbol,symbolxpt,symbolypt,resBottomSymbol)
;   gsn_text_ndc(wks,bottomtext,textxpt,textypt,resBottomText)

  draw(plot)
  frame(wks)

  delete(wks)
  delete(plot)

  if ( wtyp.eq."eps" ) then
    system("convert -trim -density 300 -geometry 1200X960 "+pltfil+".eps "+pltfil+".png")
    system("rm -rf "+pltfil+".eps")
  end if

end

```

o A-3: 동아시아 결정론적 해수면 온도 3개월 예측 그림 생산 프로그램

```

-----
;
;   EA_SCM_SST_3mon.nc1  : SCM 3-mon SST for East-Asia Outlook
;                                     APCC / Chang-Mook Lim
;   completed : 16 Dec 2019 (Ref. Bong-Geun Song)
;   modified (1) :
;   modified (2) :
;
-----

;===                                     1st                                     block
=====

load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"

begin

  FYEAR1      = stringpoint(systemfunc("date -d '1month' +%Y"))
  FYEAR2      = stringpoint(systemfunc("date -d '2month' +%Y"))
  FYEAR3      = stringpoint(systemfunc("date -d '3month' +%Y"))
  FMON1       = (systemfunc("date -d '1month' +%b | tr a-z A-Z"))
  FMON2       = (systemfunc("date -d '2month' +%b | tr a-z A-Z"))
  FMON3       = (systemfunc("date -d '3month' +%b | tr a-z A-Z"))
  FMONTH1     = (systemfunc("date -d '1month' +%B"))
  FMONTH2     = (systemfunc("date -d '2month' +%B"))
  FMONTH3     = (systemfunc("date -d '3month' +%B"))
  SEAS1       = (systemfunc("date -d '1month' +%b | cut -c1"))
  SEAS2       = (systemfunc("date -d '2month' +%b | cut -c1"))
  SEAS3       = (systemfunc("date -d '3month' +%b | cut -c1"))
  SEAS4       = (systemfunc("date -d '4month' +%b | cut -c1"))
  SEAS5       = (systemfunc("date -d '5month' +%b | cut -c1"))
  SEAS6       = (systemfunc("date -d '6month' +%b | cut -c1"))
  SEASON      = SEAS1 + SEAS2 + SEAS3
  FULLSEAS    = SEAS1 + SEAS2 + SEAS3 + SEAS4 + SEAS5 + SEAS6

  MON         = (systemfunc("date -d '0month' +%b"))
  YEAR        = stringpoint(systemfunc("date -d '0month' +%Y"))

  if ( FYEAR1 .ne. FYEAR3 ) then
    SEA        = FMONTH1 + " " + FYEAR1 + "-" + FMONTH3 + " " + FYEAR3
  else
    SEA        = FMONTH1 + "-" + FMONTH3 + " " + FYEAR3
  end if

  OutDir      = "/data11/OPER/AFS/FIG/EA_OUTLOOK/" + FYEAR1 + FULLSEAS + "/"
  ofilename   = OutDir + "SCM_" + FYEAR1 + SEASON + "_sst"

;===                                     2nd                                     block
=====

  infile = addfile("/data11/OPER/AFS/DATA/6-MON/MME_OUT/FORECAST/SCM/" + FMON1 + "/"
+ SEASON + "/" + FYEAR1 + "/sst.nc", "r")
  FSST = infile->sst

  p_type = "eps"

  wks = gsn_open_wks(p_type, ofilename)

  res = True

  res@cnFillMode = "CellFill"

  res@mpProjection = "LambertEqualArea"
  res@pmTickMarkDisplayMode = "Always"
  res@gsnDraw = False
  res@gsnFrame = False

```

```

res@cnFillOn = True
res@cnLinesOn = False

res@mpGridAndLimbOn      = True
res@mpMinLatF            = 10
res@mpMaxLatF            = 55
res@mpMinLonF            = 110
res@mpMaxLonF            = 185
; res@mpMinLatF          = 15
; res@mpMaxLatF          = 60
; res@mpMinLonF          = 70
; res@mpMaxLonF          = 150
res@mpCenterLonF = (res@mpMinLonF+res@mpMaxLonF)/2.
res@vpXF                = 0.2
res@vpYF                = 0.8
res@vpHeightF           = 0.6
res@vpWidthF            = 0.6

res@mpLandFillColor     = "gray"
; res@mpLandFillColor   = "white"
res@mpGridAndLimbOn     = True
res@mpGridLineDashPattern = 2
res@mpGridLineColor     = "grey60"
res@mpGridLatSpacingF   = 20
res@mpGridLonSpacingF   = 15
res@mpGridMaskMode      = "MaskLand"

res@mpNationalLineThicknessF = 1.2
res@mpGeophysicalLineThicknessF = 1.2
; res@mpDataBaseVersion     = "MediumRes"
res@mpOutlineBoundarySets   = "National"
res@mpNationalLineColor     = "Black"
res@mpGeophysicalLineColor  = "Black"
res@mpLimitMode              = "LatLon"

; res@mpPerimOn = False
; res@mpFillOn = False

res@tmXBMinorOn = False
res@tmYLMinorOn = False
res@tmXTOn      = False
res@tmYRON      = False
res@tmXBOn      = True
res@tmYLOn      = True
res@tmXBLabelFontHeightF = 0.01
res@tmYLLabelFontHeightF = 0.01

res@lbLabelBarOn      = True
res@lbLabelAutoStride = True
res@lbBoxMajorExtentF = 0.75
res@lbPerimOn         = False
res@lbLabelFontHeightF = 0.01

; res@pmLabelBarOrthogonalPosF = 0.09
; res@pmLabelBarOrthogonalPosF = 0.02

res@gsnMajorLatSpacing = 10
res@gsnMajorLonSpacing = 10

;===
=====
----- SST Anomaly -----

res@tiMainFont      = "times-roman"
res@tiMainFontHeightF = 0.02
res@tiMainString    = "Sea Surface Temperature for " + SEA

```

```

res@gsnRightStringFontHeightF = 0.014
res@gsnRightStringOrthogonalPosF = 0.01
res@gsnRightString = "Unit: ~S~o~N~C"

res@gsnLeftStringFontHeightF = 0.014
res@gsnLeftStringOrthogonalPosF = 0.01
res@gsnLeftString = ""

res@cnLevelSelectionMode = "ExplicitLevels"
res@cnLevels = (/ -1.8,-1.4,-1.0,-0.6,-0.2,0,0.2,0.6,1.0,1.4,1.8 /)
res@cnFillColors = (/ (/000,097,128/), \
                    (/000,161,191/), \
                    (/000,191,224/), \
                    (/000,224,255/), \
                    (/204,252,252/), \
                    (/255,255,255/), \
                    (/255,255,255/), \
                    (/252,252,000/), \
                    (/252,192,000/), \
                    (/252,129,000/), \
                    (/252,063,000/), \
                    (/128,000,000/) /) /255.

```

```

;-----

```

```

plot = gsn_csm_contour_map(wks, FSST(0,:,:), res)

```

```

;-----

```

```

;=== 4th block
=====

```

```

; POLYLINE SETTING

```

```

resOutBox = True
resOutLine = True

sres = True
txres = True
dxres = True

intxres = True
amres = True

```

```

; TEXT CONTENTS

```

```

bottomsymbol = "c"
bottomtext = "APEC Climate Center"
issuedate = systemfunc("date +%d")
issuemon = systemfunc("date +%b")
issueyear = systemfunc("date +%Y")
creatdate = "Issued: 20 " + MON + ", " + YEAR
creatdate = "Issued: " + issuedate + " " + issuemon + ", " + issueyear

```

```

; POLYLINE SETTING

```

```

resOutBox@gsLineColor = "Gray"
resOutBox@gsLineThicknessF = 2.0

resOutLine@gsLineColor = "Black"
resOutLine@gsLineThicknessF = 2.0

```

```

; TEXT SETTING

```

```

txres@txFont = "times-roman"
txres@txFontHeightF = 0.0135

dxres@txFont = "times-roman"
dxres@txFontHeightF = 0.013

sres@txFont = "text-symbols"
sres@txFontHeightF = 0.012

```

```

; POINTS LOCATION FOR POLYLINE
  bxpts = (/0.02, 0.98,0.98,0.02,0.02/)
  bypts = (/0.10, 0.10,0.80,0.80,0.10/)
  lxpts = (/0.04, 0.96/)
  lypts = (/0.16, 0.16/)

  simbolxpt=(/0.755/)
  simbolypt=(/0.1397/)
  textxpt=(/0.86/)
  textypt=(/0.14/)
  datexpt=(/0.131/)
  dateypt=(/0.14/)

; OUTSIDE BOX PLOTTING
  gsn_polyline_ndc(wks,bxpts,bypts,resOutBox)
  gsn_polyline_ndc(wks,lxpts,lypts,resOutLine)

; BOTTOM TEXT PLOTTING
  gsn_text_ndc(wks,bottomsimbol,simbolxpt,simbolypt,sres)
  gsn_text_ndc(wks,bottomtext,textxpt,textypt,txres)
  gsn_text_ndc(wks,creatdate,datexpt,dateypt,dxres)

; INSIDE TEXT SETTING
  insidetext          = "Anomaly fields are displayed ~C~"

  resInsideText      = True
  amres              = True

  resInsideText@txPerimOn      = True
  resInsideText@txPerimColor   = "Black"
  resInsideText@txPerimThicknessF = 1.0
  resInsideText@txPerimSpaceF  = 1.0

  resInsideText@txBackgroundFillColor = "Grey95"
  resInsideText@txFont                = "simplex_roman"
  resInsideText@txFontColor           = "SlateBlue4"
  resInsideText@txFontHeightF        = 0.01
  resInsideText@txFontHeightF        = 0.007
;
  amres@amParallelPosF              = -0.499 ; This is the right edge of the plot.
  amres@amOrthogonalPosF            = 0.497 ; This is the bottom edge of the plot.
  amres@amJust                       = "BottomLeft"

  intext = gsn_create_text(wks, insidetext, resInsideText)
  annoid = gsn_add_annotation(plot, intext, amres)

;-----
  draw(plot)
;-----

  frame(wks)
  delete(wks)

  if p_type.eq."eps"
    system("convert -trim -density 300 -geometry 1200X960 " + ofilename + ".eps " +
ofilename + ".png")
    system("rm -f " + ofilename + ".eps ")
  end if

end

```

o A-4: 동아시아 결정론적 해수면 온도 6개월 예측 그림 생산 프로그램

```

-----
;
;   EA_SCM_SST_6mon.nc1  : SCM 6-mon SST for East-Asia Outlook
;                                     APCC / Chang-Mook Lim
;
;   completed : 16 Dec 2019   (Ref. Bong-Geun Song)
;   modified (1) :
;   modified (2) :
;
-----

;===
;                                     1st
;                                     block
=====

load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"

begin

  FYEAR1      = stringpoint(systemfunc("date -d '4month' +%Y"))
  FYEAR2      = stringpoint(systemfunc("date -d '5month' +%Y"))
  FYEAR3      = stringpoint(systemfunc("date -d '6month' +%Y"))
  FMON        = (systemfunc("date -d '1month' +%b | tr a-z A-Z"))
  FMON1       = (systemfunc("date -d '4month' +%b | tr a-z A-Z"))
  FMON2       = (systemfunc("date -d '5month' +%b | tr a-z A-Z"))
  FMON3       = (systemfunc("date -d '6month' +%b | tr a-z A-Z"))
  FMONTH1     = (systemfunc("date -d '4month' +%B"))
  FMONTH2     = (systemfunc("date -d '5month' +%B"))
  FMONTH3     = (systemfunc("date -d '6month' +%B"))
  SEAS1       = (systemfunc("date -d '1month' +%b | cut -c1"))
  SEAS2       = (systemfunc("date -d '2month' +%b | cut -c1"))
  SEAS3       = (systemfunc("date -d '3month' +%b | cut -c1"))
  SEAS4       = (systemfunc("date -d '4month' +%b | cut -c1"))
  SEAS5       = (systemfunc("date -d '5month' +%b | cut -c1"))
  SEAS6       = (systemfunc("date -d '6month' +%b | cut -c1"))
  SEASON      = SEAS4 + SEAS5 + SEAS6
  FULLSEAS    = SEAS1 + SEAS2 + SEAS3 + SEAS4 + SEAS5 + SEAS6

  MON         = (systemfunc("date -d '0month' +%b"))
  YEAR        = stringpoint(systemfunc("date -d '0month' +%Y"))

  if ( FYEAR1 .ne. FYEAR3 ) then
    SEA       = FMONTH1 + " " + FYEAR1 + "-" + FMONTH3 + " " + FYEAR3
  else
    SEA       = FMONTH1 + "-" + FMONTH3 + " " + FYEAR3
  end if

  OutDir      = "/data11/OPER/AFS/FIG/EA_OUTLOOK/" + FYEAR1 + FULLSEAS + "/"
  ofilename   = OutDir + "SCM_" + FYEAR1 + SEASON + "_sst"

;===
;                                     2nd
;                                     block
=====

  infile = addfile("/data11/OPER/AFS/DATA/6-MON/MME_OUT/FORECAST/SCM/" + FMON + "/" +
SEASON + "/" + FYEAR1 + "/sst.nc","r")
  FSST   = infile->sst

  p_type = "eps"

  wks = gsn_open_wks(p_type, ofilename)

  res = True

  res@cnFillMode = "CellFill"

  res@mpProjection = "LambertEqualArea"
  res@pmTickMarkDisplayMode = "Always"
  res@gsnDraw = False

```

```

res@gsnFrame = False

res@cnFillOn = True
res@cnLinesOn = False

res@mpGridAndLimbOn      = True
res@mpMinLatF            = 10
res@mpMaxLatF            = 55
res@mpMinLonF            = 110
res@mpMaxLonF            = 185
; res@mpMinLatF           = 15
; res@mpMaxLatF           = 60
; res@mpMinLonF           = 70
; res@mpMaxLonF           = 150
res@mpCenterLonF = (res@mpMinLonF+res@mpMaxLonF)/2.
res@vpXF                 = 0.2
res@vpYF                 = 0.8
res@vpHeightF            = 0.6
res@vpWidthF             = 0.6

res@mpLandFillColor      = "gray"
; res@mpLandFillColor     = "white"
res@mpGridAndLimbOn      = True
res@mpGridLineDashPattern = 2
res@mpGridLineColor      = "grey60"
res@mpGridLatSpacingF    = 20
res@mpGridLonSpacingF    = 15
res@mpGridMaskMode       = "MaskLand"

res@mpNationalLineThicknessF = 1.2
res@mpGeophysicalLineThicknessF = 1.2
; res@mpDataBaseVersion     = "MediumRes"
res@mpOutlineBoundarySets   = "National"
res@mpNationalLineColor    = "Black"
res@mpGeophysicalLineColor = "Black"
res@mpLimitMode             = "LatLon"

; res@mpPerimOn = False
; res@mpFillOn  = False

res@tmXBMinorOn = False
res@tmYLMinorOn = False
res@tmXTOn      = False
res@tmYROn      = False
res@tmXBOn      = True
res@tmYLOn      = True
res@tmXBLabelFontHeightF = 0.01
res@tmYLLabelFontHeightF = 0.01

res@lbLabelBarOn      = True
res@lbLabelAutoStride = True
res@lbBoxMajorExtentF = 0.75
res@lbPerimOn        = False
res@lbLabelFontHeightF = 0.01

; res@pmlabelBarOrthogonalPosF = 0.09
; res@pmlabelBarOrthogonalPosF = 0.02

res@gsnMajorLatSpacing = 10
res@gsnMajorLonSpacing = 10

;===
=====
;--- SST Anomaly -----

res@tiMainFont      = "times-roman"
res@tiMainFontHeightF = 0.02

```

```

res@tiMainString      = "Sea Surface Temperature for " + SEA

res@gsnRightStringFontHeightF = 0.014
res@gsnRightStringOrthogonalPosF = 0.01
res@gsnRightString    = "Unit: ~S~o~N~C"

res@gsnLeftStringFontHeightF = 0.014
res@gsnLeftStringOrthogonalPosF = 0.01
res@gsnLeftString      = ""

res@cnLevelSelectionMode = "ExplicitLevels"
res@cnLevels = (/ -1.8,-1.4,-1.0,-0.6,-0.2,0,0.2,0.6,1.0,1.4,1.8 /)
res@cnFillColor = (/ (/000,097,128/), \
                    (/000,161,191/), \
                    (/000,191,224/), \
                    (/000,224,255/), \
                    (/204,252,252/), \
                    (/255,255,255/), \
                    (/255,255,255/), \
                    (/252,252,000/), \
                    (/252,192,000/), \
                    (/252,129,000/), \
                    (/252,063,000/), \
                    (/128,000,000/ /) /255.

;-----

plot = gsn_csm_contour_map(wks, FSST(0,,:), res)

;-----

;===                                     4th                                     block
=====

; POLYLINE SETTING
resOutBox      = True
resOutLine     = True

sres           = True
txres          = True
dxres          = True

intxres        = True
amres          = True

; TEXT CONTENTS
bottomsymbol   = "c"
bottomtext     = "APEC Climate Center"
issuedate      = systemfunc("date +%d")
issuemon       = systemfunc("date +%b")
issueyear      = systemfunc("date +%Y")
creatdate      = "Issued: 20 " + MON + ", " + YEAR
; creatdate    = "Issued: " + issuedate + " " + issuemon + ", " + issueyear

; POLYLINE SETTING
resOutBox@gsLineColor      = "Gray"
resOutBox@gsLineThicknessF = 2.0

resOutLine@gsLineColor     = "Black"
resOutLine@gsLineThicknessF = 2.0

; TEXT SETTING
txres@txFont      = "times-roman"
txres@txFontHeightF = 0.0135

dxres@txFont      = "times-roman"
dxres@txFontHeightF = 0.013

```

```

sres@txFont          = "text-symbols"
sres@txFontHeightF  = 0.012

; POINTS LOCATION FOR POLYLINE
bxpts = (/0.02, 0.98,0.98,0.02,0.02/)
bypts = (/0.10, 0.10,0.80,0.80,0.10/)
lxpts = (/0.04, 0.96/)
lypts = (/0.16, 0.16/)

simbolxpt=(/0.755/)
simbolypt=(/0.1397/)
textxpt=(/0.86/)
textypt=(/0.14/)
datxpt=(/0.131/)
dateypt=(/0.14/)

; OUTSIDE BOX PLOTTING
gsn_polyline_ndc(wks,bxpts,bypts,resOutBox)
gsn_polyline_ndc(wks,lxpts,lypts,resOutLine)

; BOTTOM TEXT PLOTTING
gsn_text_ndc(wks,bottomsimbol,simbolxpt,simbolypt,sres)
gsn_text_ndc(wks,bottomtext,textxpt,textypt,txres)
gsn_text_ndc(wks,creatdate,datxpt,dateypt,dxres)

;-----

; INSIDE TEXT SETTING
insidetext          = "Anomaly fields are displayed ~C~"

resInsideText      = True
amres              = True

resInsideText@txPerimOn      = True
resInsideText@txPerimColor  = "Black"
resInsideText@txPerimThicknessF = 1.0
resInsideText@txPerimSpaceF = 1.0

resInsideText@txBackgroundFillColor = "Grey95"
resInsideText@txFont              = "simplex_roman"
resInsideText@txFontColor         = "SlateBlue4"
resInsideText@txFontHeightF       = 0.01
;
resInsideText@txFontHeightF       = 0.007
amres@amParallelPosF              = -0.499 ; This is the right edge of the plot.
amres@amOrthogonalPosF            = 0.497 ; This is the bottom edge of the plot.
amres@amJust                       = "BottomLeft"

intext = gsn_create_text(wks, insidetext, resInsideText)
annoid = gsn_add_annotation(plot, intext, amres)

;-----

draw(plot)

;-----

frame(wks)
delete(wks)

if p_type.eq."eps"
system("convert -trim -density 300 -geometry 1200X960 " + ofilename + ".eps " +
ofilename + ".png")
system("rm -f " + ofilename + ".eps ")
end if

end

```

o A-5: 동아시아 관측된 강수 그림 생산 프로그램

```

;===                                     1st                                     block
=====

load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"

begin

  MON       = (systemfunc("date -d '0month' +%b"))
  NMON      = (systemfunc("date -d '0month' +%m"))
  YEAR      = stringpoint(systemfunc("date -d '0month' +%Y"))

  BMON      = (systemfunc("date -d '-1 month' +%b"))
  BNMON     = (systemfunc("date -d '-1 month' +%m"))
  BYEAR     = stringpoint(systemfunc("date -d '-1 month' +%Y"))
  LASTDAY   = (systemfunc("date -d '" + YEAR + "-" + NMON + "-01 -1 day' +%d"))

  FYEAR1    = stringpoint(systemfunc("date -d '1month' +%Y"))
  SEAS1     = (systemfunc("date -d '1month' +%b | cut -c1"))
  SEAS2     = (systemfunc("date -d '2month' +%b | cut -c1"))
  SEAS3     = (systemfunc("date -d '3month' +%b | cut -c1"))
  SEAS4     = (systemfunc("date -d '4month' +%b | cut -c1"))
  SEAS5     = (systemfunc("date -d '5month' +%b | cut -c1"))
  SEAS6     = (systemfunc("date -d '6month' +%b | cut -c1"))
  FULLSEAS  = SEAS1 + SEAS2 + SEAS3 + SEAS4 + SEAS5 + SEAS6

  infile = addfile("/data11/CIS/NEW_CMS_beta/DATA/precip." + BYEAR + "-" + BNMON + "-01."
+ BYEAR + "-" + BNMON + "-" + LASTDAY + ".daily.anomaly.nc", "r")

  var = infile->precip

  OutDir   = "/data11/OPER/AFS/FIG/EA_OUTLOOK/" + FYEAR1 + FULLSEAS + "/"
  system ("mkdir -p " + OutDir)

;===                                     2nd                                     block
=====

  p_type = "eps"

  wks = gsn_open_wks(p_type, OutDir + "OBS_prec.eps")

;--- "olr" variable colors -----

  colors = (/ (/255,255,255/), (/0,0,0/), \
            (/100,050,002/), \
            (/128,070,004/), \
            (/192,104,008/), \
            (/206,131,012/), \
            (/239,171,039/), \
            (/244,197,055/), \
            (/254,227,137/), \
            (/255,235,180/), \
            (/255,255,220/), \
            (/243,255,230/), \
            (/200,240,195/), \
            (/160,220,155/), \
            (/130,200,115/), \
            (/090,160,070/), \
            (/060,130,040/), \
            (/040,100,020/), \
            (/020,080,015/), \
            (/010,050,010/)) *1.0

```

```

colors = colors/255.

gsn_define_colormap(wks, colors)

;===
-----
block

res = True

res@gsnDraw = False
res@gsnFrame = False

; X-Y LABEL and TICKMARK

res@tmXBLLabelFont = "simplex_roman"
res@tmYLLLabelFont = "simplex_roman"
res@tmXBLLabelFontHeightF = 0.008
res@tmYLLLabelFontHeightF = 0.008

res@tmXBOn = True
res@tmYLOn = True
res@tmXTOn = False
res@tmYROn = False

; MAP BOUNDARY

res@mpOutlineOn = True
res@mpOutlineBoundarySets = "National"
res@mpNationalLineColor = "Black"
res@mpNationalLineThicknessF = 1.2

; MAP GRID

res@mpGridAndLimbOn = True
res@mpGridLineDashPattern = 2
res@mpGridLineColor = "Grey60"
res@mpGridLatSpacingF = 20
res@mpGridLonSpacingF = 30
res@mpGridMaskMode = "MaskLand"

; CONTOUR and LABELBAR

res@cnSmoothingOn = False
res@cnFillOn = True
res@cnLinesOn = False
res@cnLineLabelsOn = False
res@cnInfoLabelOn = False
res@gsnSpreadColors = True

res@lbLabelBarOn = True
res@lbBoxMajorExtentF = 0.70
res@lbBoxMinorExtentF = 0.25

;--- "east_asia" region -----
RegionName = "EastAsia"
res@mpProjection = "LambertEqualArea"
res@mpLimitMode = "LatLon"
res@pmTickMarkDisplayMode = "Always"

res@mpMinLatF = 15
res@mpMaxLatF = 60
res@mpMinLonF = 70
res@mpMaxLonF = 150
res@mpCenterLonF = (res@mpMinLonF+res@mpMaxLonF)/2.

res@vpXF = 0.2
res@vpYF = 0.8
res@vpHeightF = 0.6
res@vpWidthF = 0.6

```

```

;===
                                     5th
=====
;--- "olr" variable -----
    res@cnLevelSelectionMode = "ExplicitLevels"
    res@cnLevels              = (/ -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 /)

    res@tiMainFont            = "times-roman"
    res@tiMainFontHeightF    = 0.021
    res@tiMainString         = "Precipitation Anomaly"

    res@gsnRightStringFontHeightF = 0.014
    res@gsnRightStringOrthogonalPosF = 0.01
    res@gsnRightString        = "Unit: mm"

    res@gsnLeftStringFontHeightF = 0.014
    res@gsnLeftStringOrthogonalPosF = 0.01
    res@gsnLeftString           = BMON + " 01 " + BYEAR + " - " + BMON + " " +
LASTDAY + " " + BYEAR
;===
                                     6th
=====

;-----
    plot = gsn_csm_contour_map(wks,var(:,:),res)
;-----

; POLYLINE SETTING
    resOutBox      = True
    resOutLine     = True

    sres          = True
    txres         = True
    dxres         = True

    intxres       = True
    amres         = True

; TEXT CONTENTS
    bottomsymbol  = "c"
    bottomtext    = "APEC Climate Center"
    issuedate     = systemfunc("date +%d")
    issuemon      = systemfunc("date +%b")
    issueyear     = systemfunc("date +%Y")
    creatdate     = "Issued: 20 " + MON + ", " + YEAR

; POLYLINE SETTING
    resOutBox@gsLineColor      = "Gray"
    resOutBox@gsLineThicknessF = 2.0

    resOutLine@gsLineColor     = "Black"
    resOutLine@gsLineThicknessF = 2.0

; TEXT SETTING
    txres@txFont      = "times-roman"
    txres@txFontHeightF = 0.0135

    dxres@txFont      = "times-roman"
    dxres@txFontHeightF = 0.013

    sres@txFont       = "text-symbols"
    sres@txFontHeightF = 0.012

; POINTS LOCATION FOR POLYLINE

```

```

bxpts = (/0.02, 0.98,0.98,0.02,0.02/)
bypts = (/0.10, 0.10,0.80,0.80,0.10/)
lxpts = (/0.04, 0.96/)
lypts = (/0.16, 0.16/)

simbolxpt=(/0.755/)
simbolypt=(/0.1397/)
textxpt=(/0.86/)
textypt=(/0.14/)
datexpt=(/0.131/)
dateypt=(/0.14/)

; OUTSIDE BOX PLOTTING
  gsn_polyline_ndc(wks,bxpts,bypts,resOutBox)
  gsn_polyline_ndc(wks,lxpts,lypts,resOutLine)

; BOTTOM TEXT PLOTTING
  gsn_text_ndc(wks,bottomsimbol,simbolxpt,simbolypt,sres)
  gsn_text_ndc(wks,bottomtext,textxpt,textypt,txres)
  gsn_text_ndc(wks,creatdate,datexpt,dateypt,dxres)

;-----

  AnnoTitle = "DataSource : " + "CPC_PRCP" + "~C~"

  AnnoTitle = AnnoTitle + "Climatology : " + "1992 - 2011"

; BOTTOM TEXT SETTING
  resInsideText      = True
  amres              = True

  resInsideText@txPerimOn      = True
  resInsideText@txPerimColor   = "Black"
  resInsideText@txPerimThicknessF = 1.0
  resInsideText@txPerimSpaceF  = 1.0

  resInsideText@txBackgroundFillColor = "Grey95"
  resInsideText@txFont                = "simplex_roman"
  resInsideText@txFontColor           = "SlateBlue4"
  resInsideText@txFontHeightF        = 0.01

  amres@amParallelPosF = -0.499      ; This is the right edge of the plot
  amres@amOrthogonalPosF = 0.497    ; This is the bottom edge of the plot
  amres@amJust          = "BottomLeft"

  intext = gsn_create_text(wks, AnnoTitle, resInsideText)
  annoid = gsn_add_annotation(plot, intext, amres)

;-----

  draw(plot)
  frame(wks)

  delete(wks)

  if p_type.eq."eps"
    system("convert -trim -density 300 -geometry 1200X960 " + OutDir + "OBS_prec.eps" + "
" + OutDir + "OBS_prec.png")
    system("rm -f " + OutDir + "OBS_prec.eps")
  end if

end

```

o A-6: 동아시아 관측된 기온 그림 생산 프로그램

```

;===                                     1st                                     block
=====

load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_code.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/gsn_csm.ncl"
load "$NCARG_ROOT/lib/ncarg/nclscripts/csm/contributed.ncl"

begin

  MON       = (systemfunc("date -d '0month' +%b"))
  NMON      = (systemfunc("date -d '0month' +%m"))
  YEAR      = stringpoint(systemfunc("date -d '0month' +%Y"))

  BMON      = (systemfunc("date -d '-1 month' +%b"))
  BNMON     = (systemfunc("date -d '-1 month' +%m"))
  BYEAR     = stringpoint(systemfunc("date -d '-1 month' +%Y"))
  LASTDAY   = (systemfunc("date -d '" + YEAR + "-" + NMON + "-01 -1 day' +%d"))

  FYEAR1    = stringpoint(systemfunc("date -d '1month' +%Y"))
  SEAS1     = (systemfunc("date -d '1month' +%b | cut -c1"))
  SEAS2     = (systemfunc("date -d '2month' +%b | cut -c1"))
  SEAS3     = (systemfunc("date -d '3month' +%b | cut -c1"))
  SEAS4     = (systemfunc("date -d '4month' +%b | cut -c1"))
  SEAS5     = (systemfunc("date -d '5month' +%b | cut -c1"))
  SEAS6     = (systemfunc("date -d '6month' +%b | cut -c1"))
  FULLSEAS  = SEAS1 + SEAS2 + SEAS3 + SEAS4 + SEAS5 + SEAS6

  infile = addfile("/data11/CIS/NEW_CMS_beta/DATA/air.2m." + BYEAR + "-" + BNMON + "-01."
+ BYEAR + "-" + BNMON + "-" + LASTDAY + ".daily.anomaly.nc", "r")

  var = infile->air

  OutDir   = "/data11/OPER/AFS/FIG/EA_OUTLOOK/" + FYEAR1 + FULLSEAS + "/"
  system ("mkdir -p " + OutDir)

;===                                     2nd                                     block
=====

  p_type = "eps"

  wks = gsn_open_wks(p_type, OutDir + "OBS_t2m.eps")

;--- "t2m" variable colors -----

  colors = (/ (255,255,255/), (/0,0,0/), \
            (/035,000,215/), \
            (/060,134,255/), \
            (/085,175,255/), \
            (/117,210,255/), \
            (/187,248,255/), \
            (/234,255,255/), \
            (/255,255,221/), \
            (/255,240,187/), \
            (/255,213,153/), \
            (/255,120,085/), \
            (/255,044,000/), \
            (/215,020,046/) /) *1.0

  colors = colors/255.

  gsn_define_colormap(wks, colors)

;===                                     3rd                                     block
=====

```

```

res = True

res@gsnDraw = False
res@gsnFrame = False

; X-Y LABEL and TICKMARK

res@tmXBLLabelFont      = "simplex_roman"
res@tmYLLLabelFont      = "simplex_roman"
res@tmXBLLabelFontHeightF = 0.008
res@tmYLLLabelFontHeightF = 0.008

res@tmXBOn = True
res@tmYLOn = True
res@tmXTOn = False
res@tmYRON = False

; MAP BOUNDARY

res@mpOutlineOn          = True
res@mpOutlineBoundarySets = "National"
res@mpNationalLineColor = "Black"
res@mpNationalLineThicknessF = 1.2

; MAP GRID

res@mpGridAndLimbOn      = True
res@mpGridLineDashPattern = 2
res@mpGridLineColor      = "Grey60"
res@mpGridLatSpacingF    = 20
res@mpGridLonSpacingF    = 30
res@mpGridMaskMode       = "MaskLand"

; CONTOUR and LABELBAR

res@cnSmoothingOn      = False
res@cnFillOn           = True
res@cnLinesOn          = False
res@cnLineLabelsOn     = False
res@cnInfoLabelOn      = False
res@gsnSpreadColors    = True

res@lbLabelBarOn       = True
res@lbBoxMajorExtentF = 0.70
res@lbBoxMinorExtentF = 0.25

;--- "east_asia" region -----

res@mpProjection      = "LambertEqualArea"
res@mpLimitMode       = "LatLon"
res@pmTickMarkDisplayMode = "Always"

res@mpMinLatF        = 15
res@mpMaxLatF        = 60
res@mpMinLonF        = 70
res@mpMaxLonF        = 150
res@mpCenterLonF     = (res@mpMinLonF+res@mpMaxLonF)/2.

res@vpXF              = 0.2
res@vpYF              = 0.8
res@vpHeightF         = 0.6
res@vpWidthF          = 0.6

;===                               5th                               block
=====

;--- "t2m" variable -----

res@cnLevelSelectionMode = "ExplicitLevels"

```



```

simbolxpt=(/0.755/)
simbolypt=(/0.1397/)
textxpt=(/0.86/)
textypt=(/0.14/)
datexpt=(/0.131/)
dateypt=(/0.14/)

; OUTSIDE BOX PLOTTING
gsn_polyline_ndc(wks,bxpts,bypts,resOutBox)
gsn_polyline_ndc(wks,lxpts,lypts,resOutLine)

; BOTTOM TEXT PLOTTING
gsn_text_ndc(wks,bottomsimbol,simbolxpt,simbolypt,sres)
gsn_text_ndc(wks,bottomtext,textxpt,textypt,txres)
gsn_text_ndc(wks,creatdate,datexpt,dateypt,dxres)

;-----

AnnoTitle = "DataSource : " + "NCEP_SFC" + "~C~"

AnnoTitle = AnnoTitle + "Climatology : " + "1992 - 2011"

; BOTTOM TEXT SETTING
resInsideText      = True
amres              = True

resInsideText@txPerimOn      = True
resInsideText@txPerimColor   = "Black"
resInsideText@txPerimThicknessF = 1.0
resInsideText@txPerimSpaceF  = 1.0

resInsideText@txBackgroundFillColor = "Grey95"
resInsideText@txFont                = "simplex_roman"
resInsideText@txFontColor           = "SlateBlue4"
resInsideText@txFontHeightF        = 0.01

amres@amParallelPosF = -0.499      ; This is the right edge of the plot
amres@amOrthogonalPosF = 0.497    ; This is the bottom edge of the plot
amres@amJust         = "BottomLeft"

intext = gsn_create_text(wks, AnnoTitle, resInsideText)
annoid = gsn_add_annotation(plot, intext, amres)

;-----

draw(plot)
frame(wks)

delete(wks)

if p_type.eq."eps"
  system("convert -trim -density 300 -geometry 1200X960 " + OutDir + "OBS_t2m.eps" + " "
+ OutDir + "OBS_t2m.png")
  system("rm -f " + OutDir + "OBS_t2m.eps")
end if

end

```

부록 B. APCC MME 참여모델별 기후 평년값의 차이에 대한 통계적 유의성 평가 결과

o 1983-2010년과 1991-2010년의 기후 평년값의 차이에 대한 t-test 유의성 평가

(a) NCEP_CFSv2

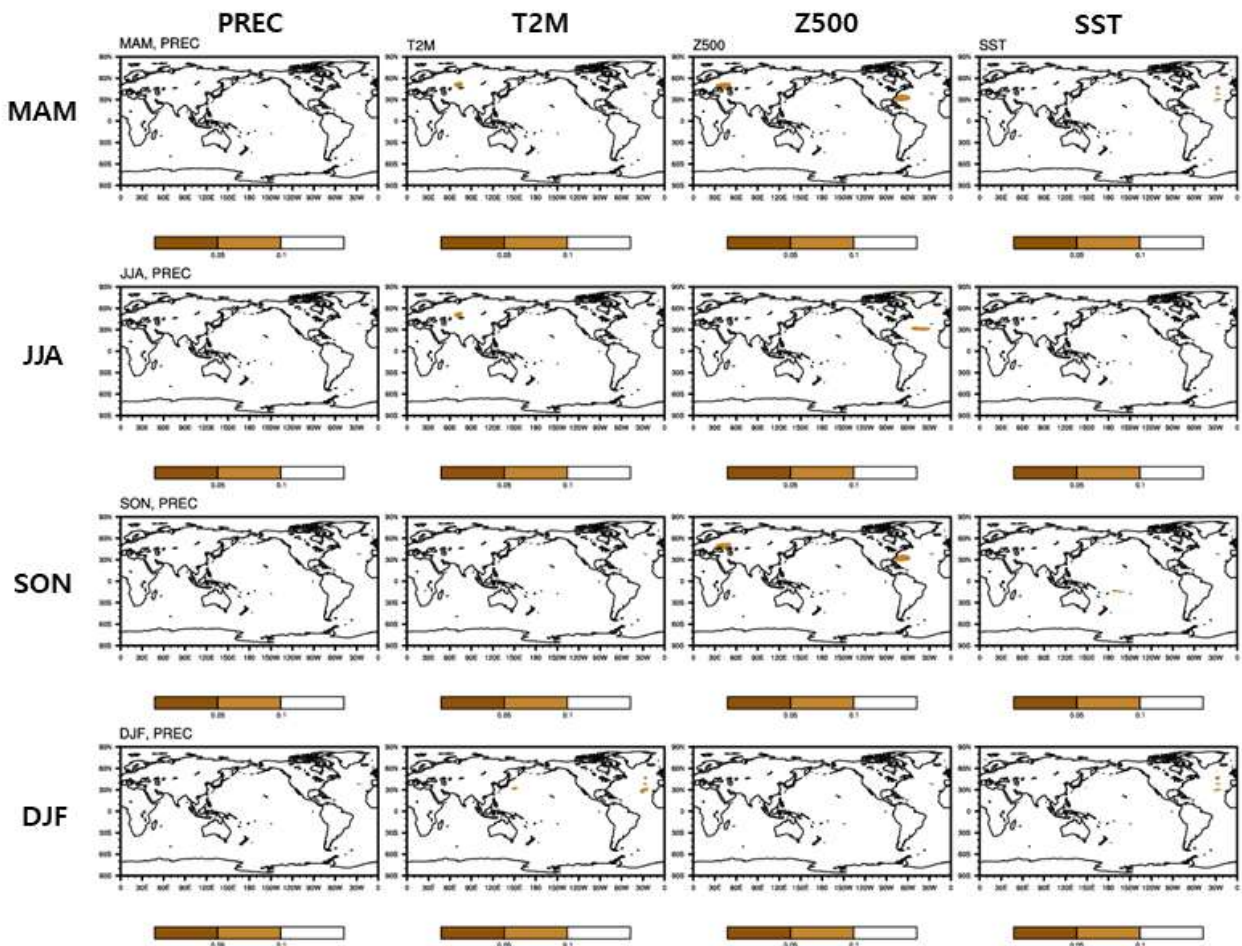


Figure B1. T-test between two climatologies for 1983-2010 (clim1) and 1991-2010 (clim2) of predicted seasonal mean precipitation, 2m temperature, geopotential height at 500 hPa and sea surface temperature by each individual models (a-g) for 4 season (MAM, JJA, SON, DJF). Shaded areas are the regions where the clim1 and clim2 statistically differ at the 5%, 10%, and 20% significance levels.

(b) CWB_GFST119

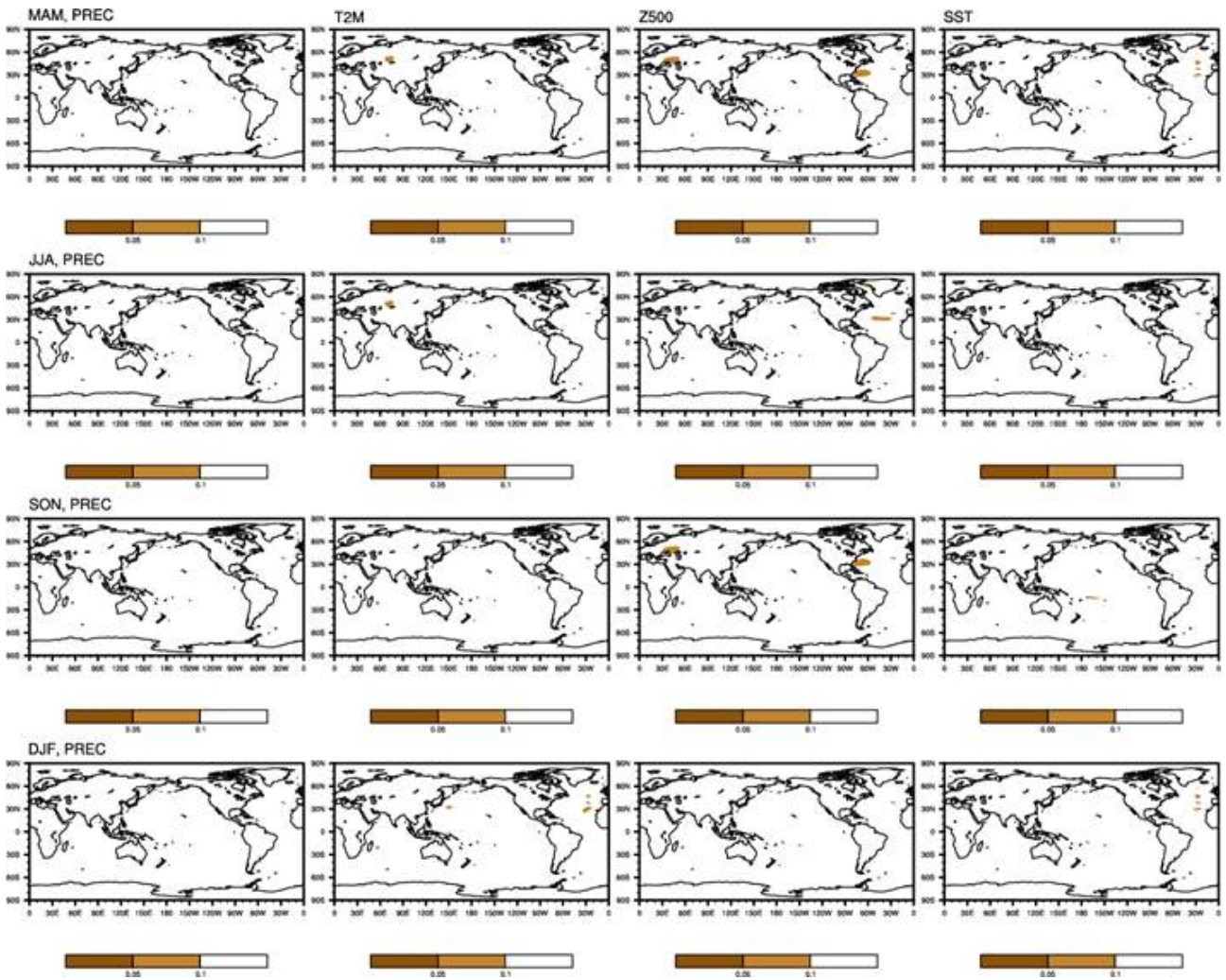


Figure A1. (Continued)

(c) JMA

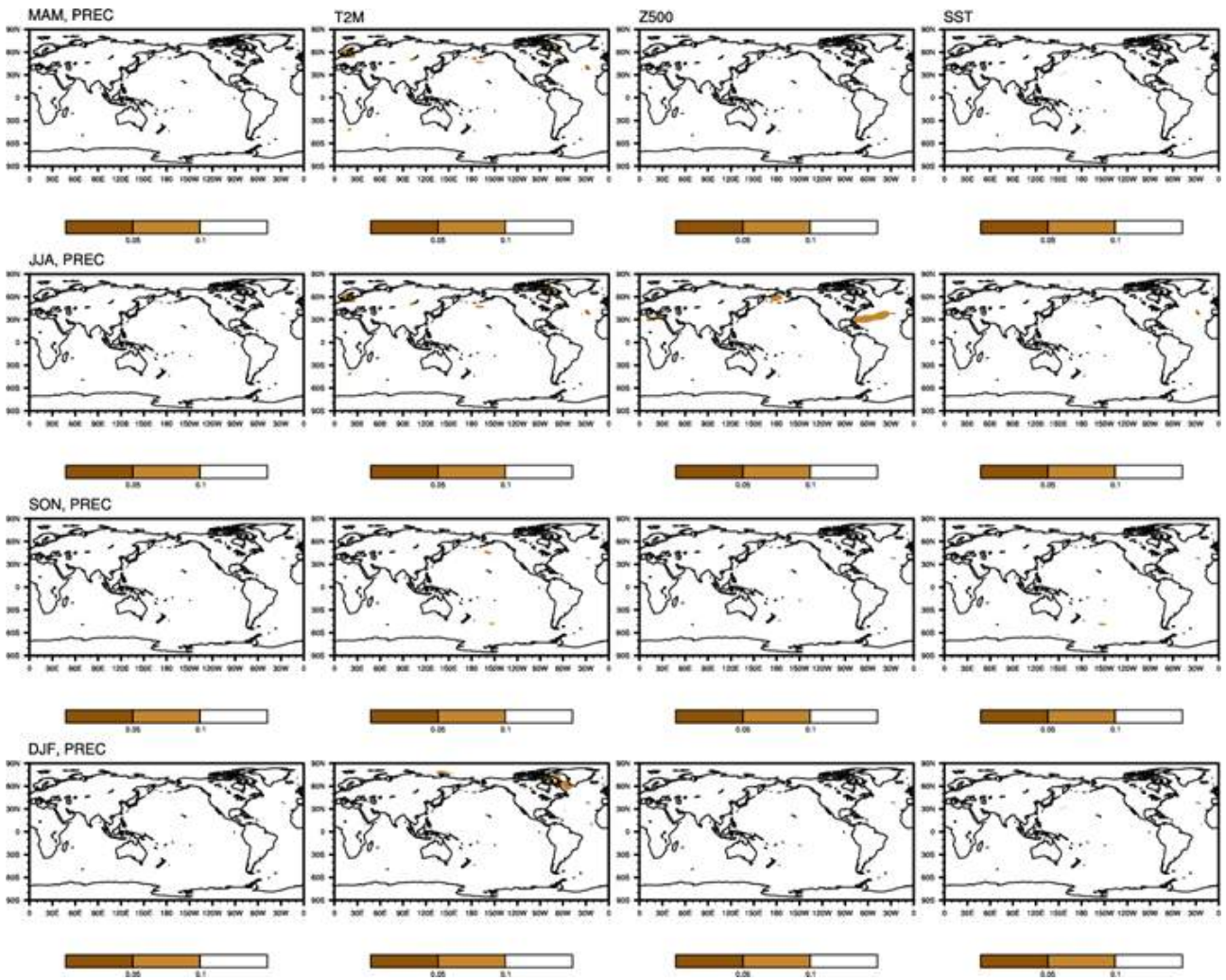


Figure A1. (Continued)

(d) MSC

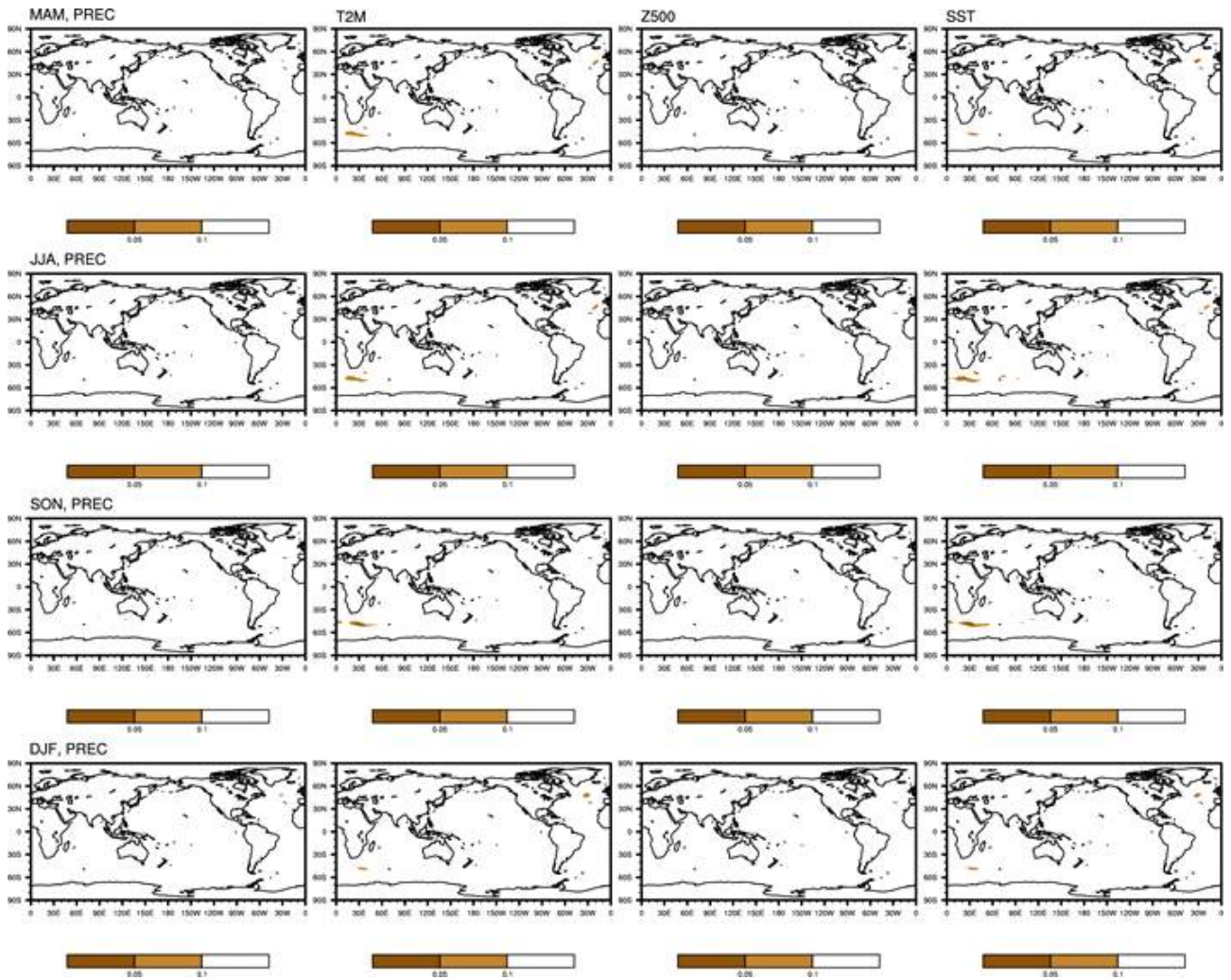


Figure A1. (Continued)

(e) NASA

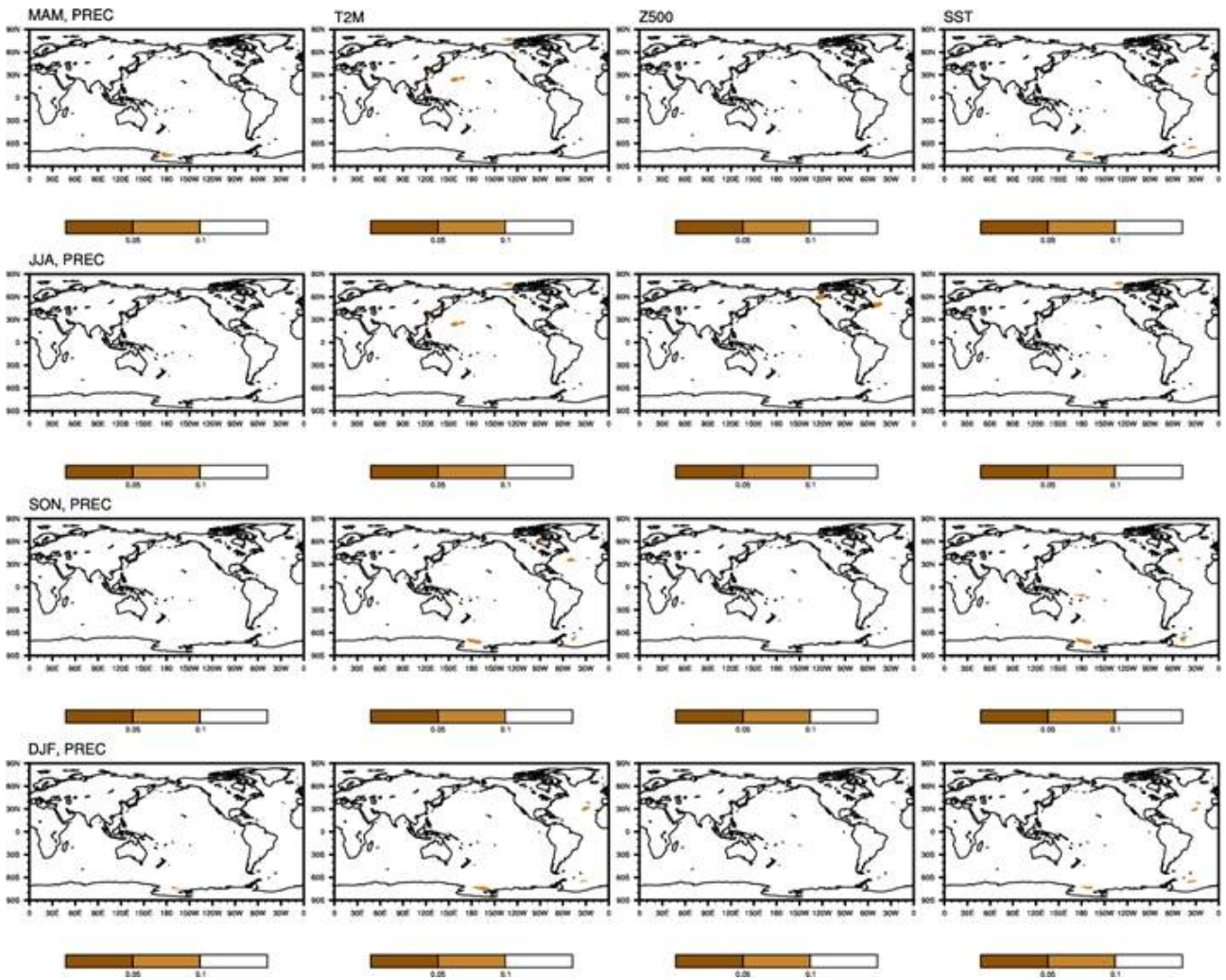


Figure A1. (Continued)

(f) PNU

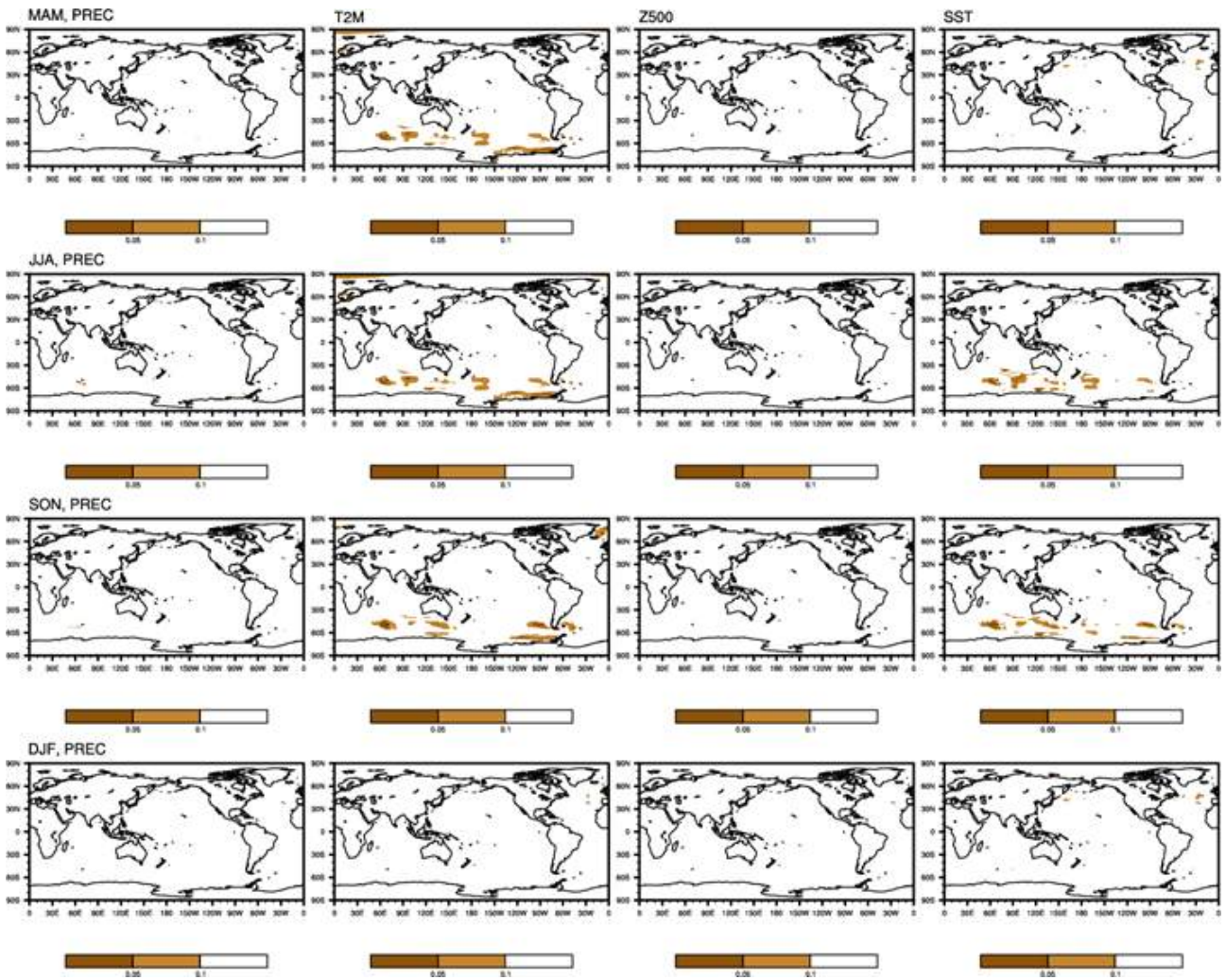


Figure A1. (Continued)

(g) POAMA

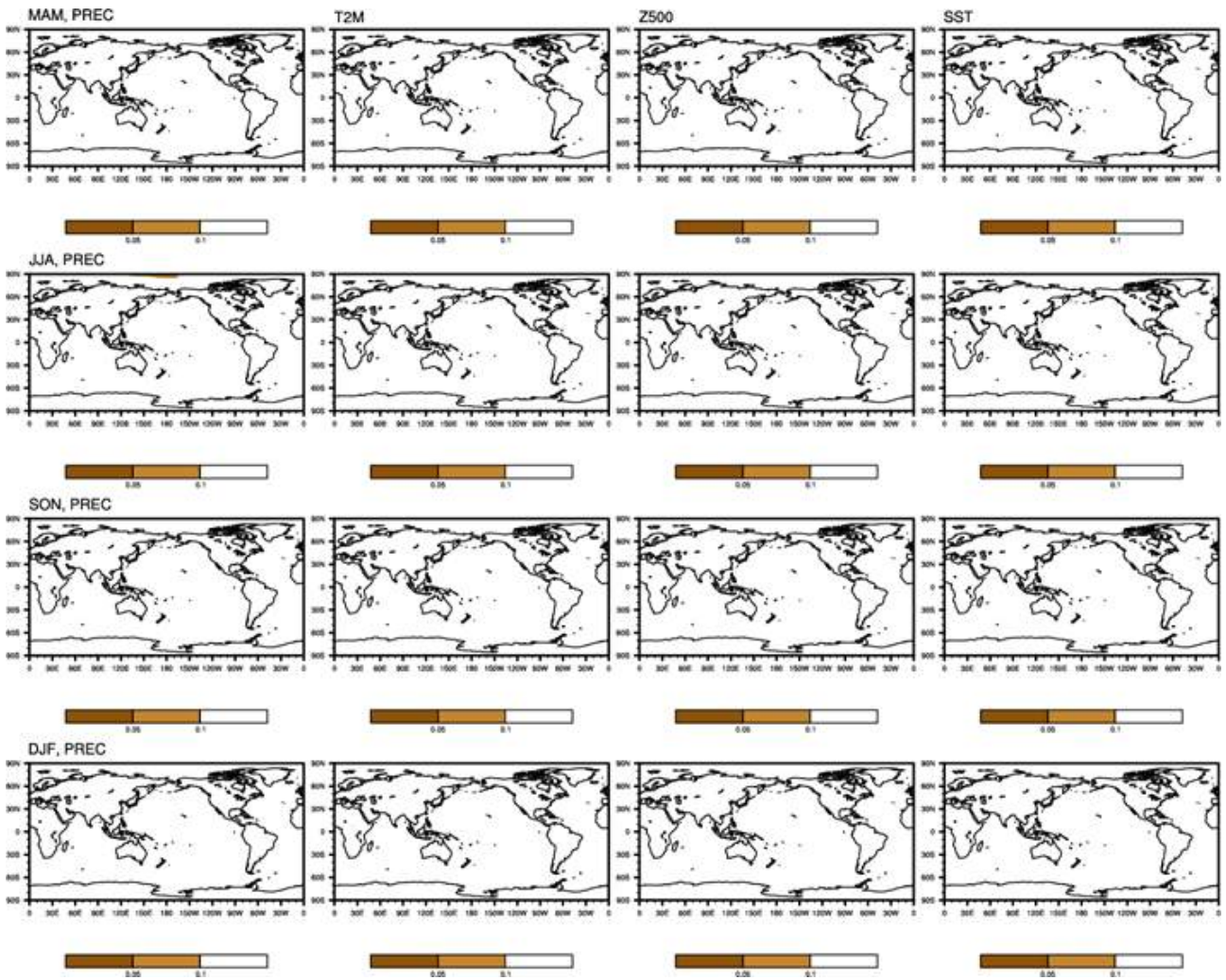


Figure A1. (Continued)

o 1983-2010년과 1991-2010년의 확률분포에 대한 KS-test 유의성 평가

(a) NCEP_CFSv2

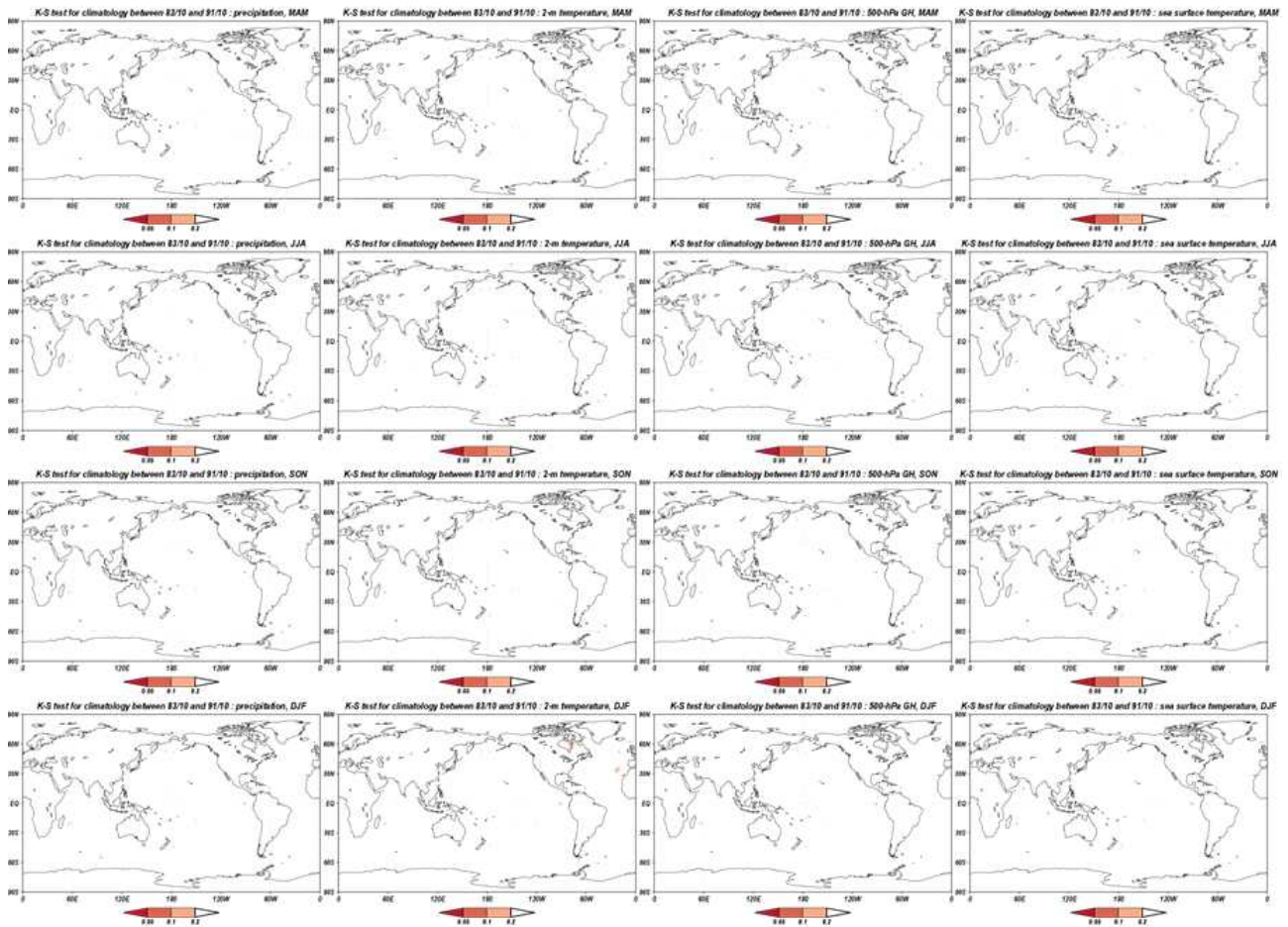


Figure B2. Same as Figure B1 except for KS-Test.

(b) CWB_GFST119

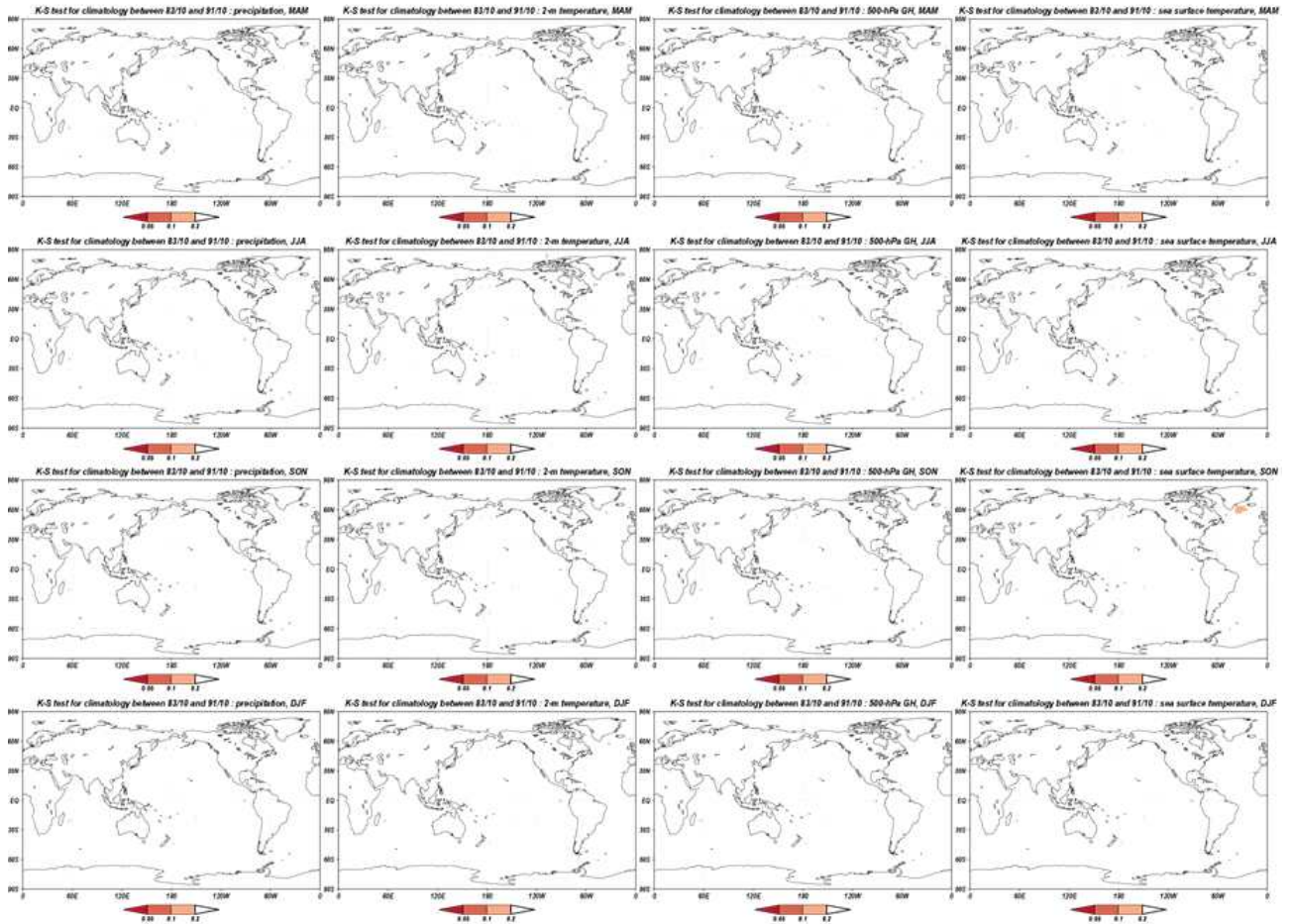


Figure B2. (Continued)

(c) JMA

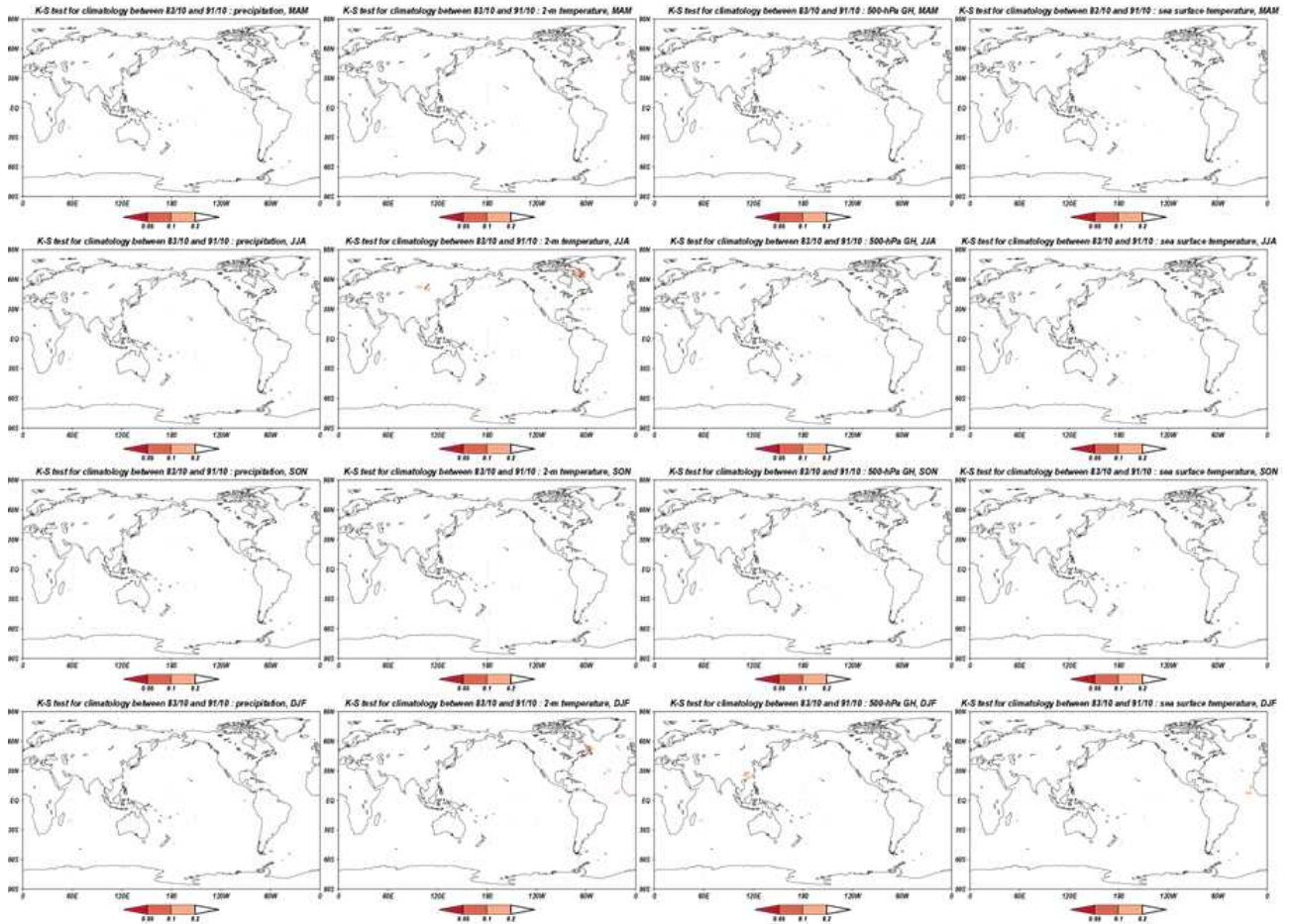


Figure B2. (Continued)

(d) MSC

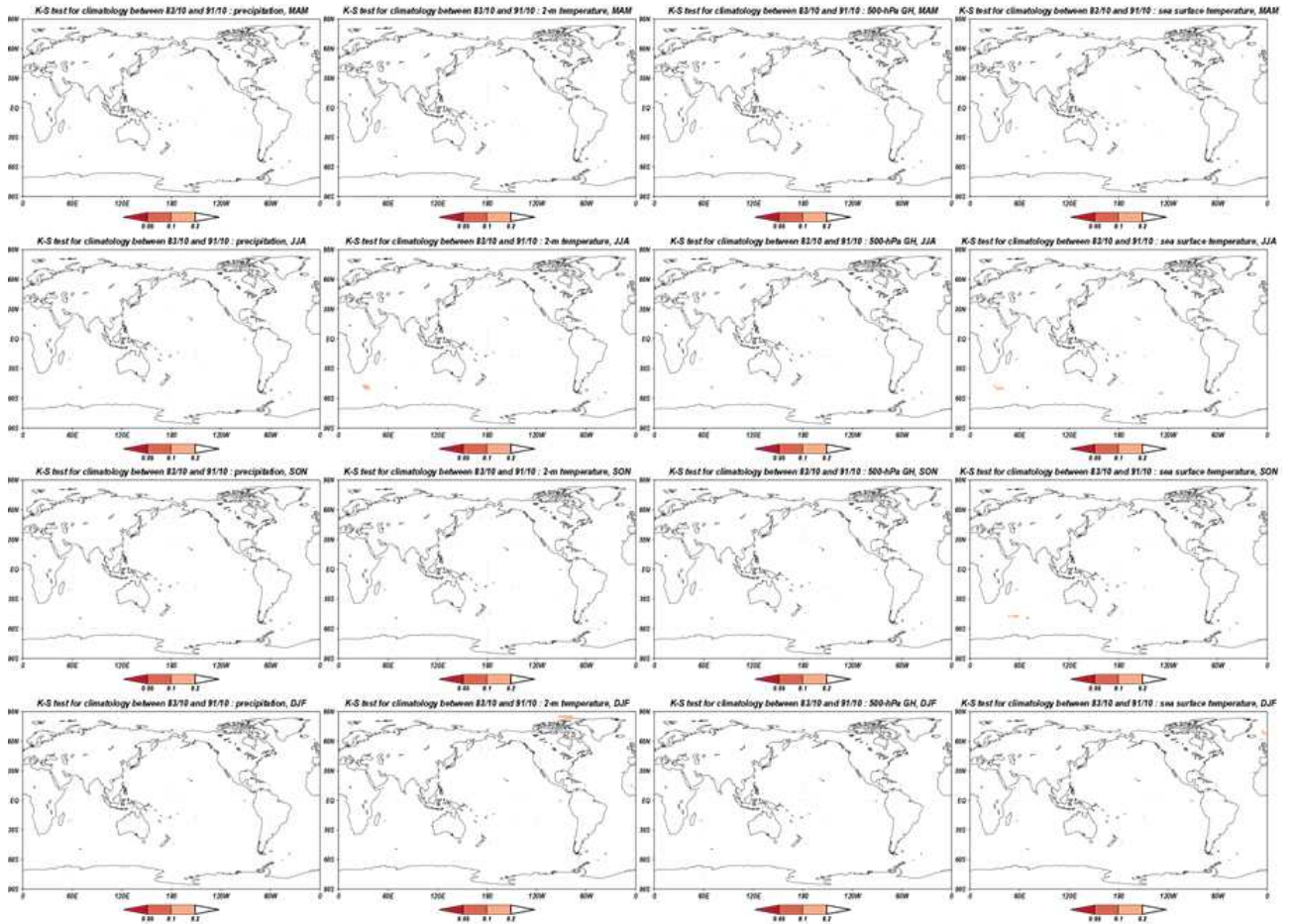


Figure B2. (Continued)

(e) NASA

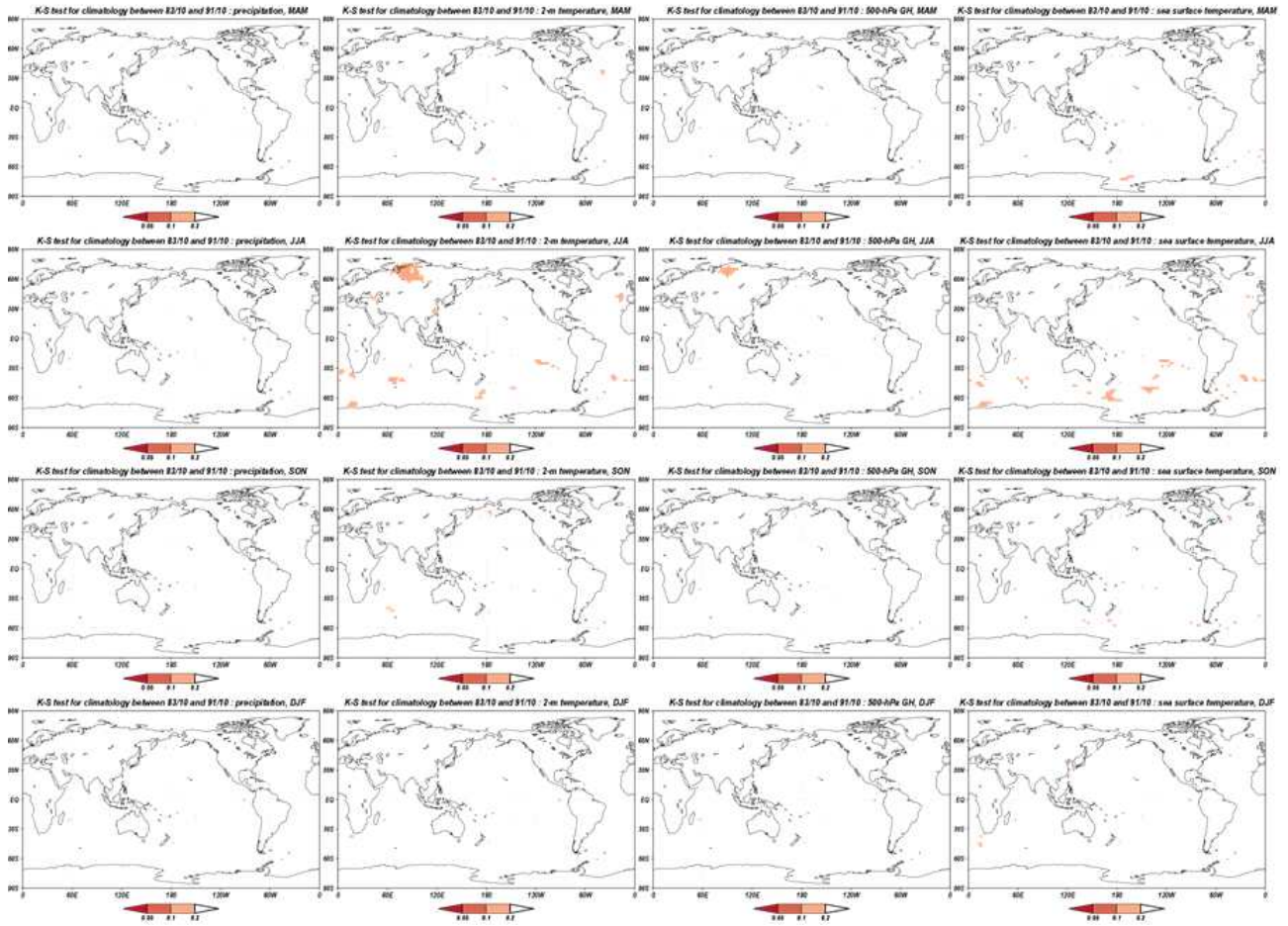


Figure B2. (Continued)

(f) PNU

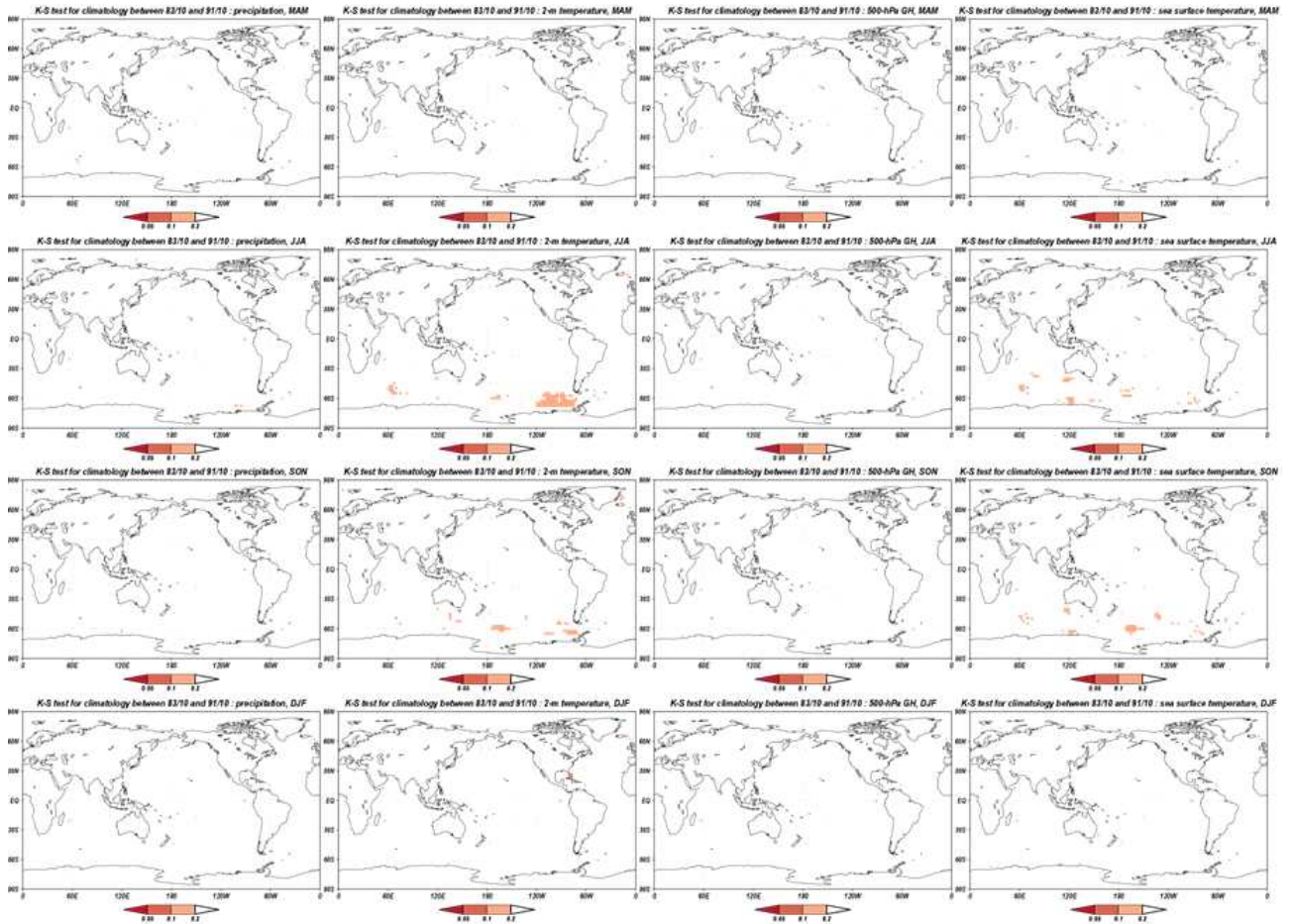


Figure B2. (Continued)

(g) POAMA

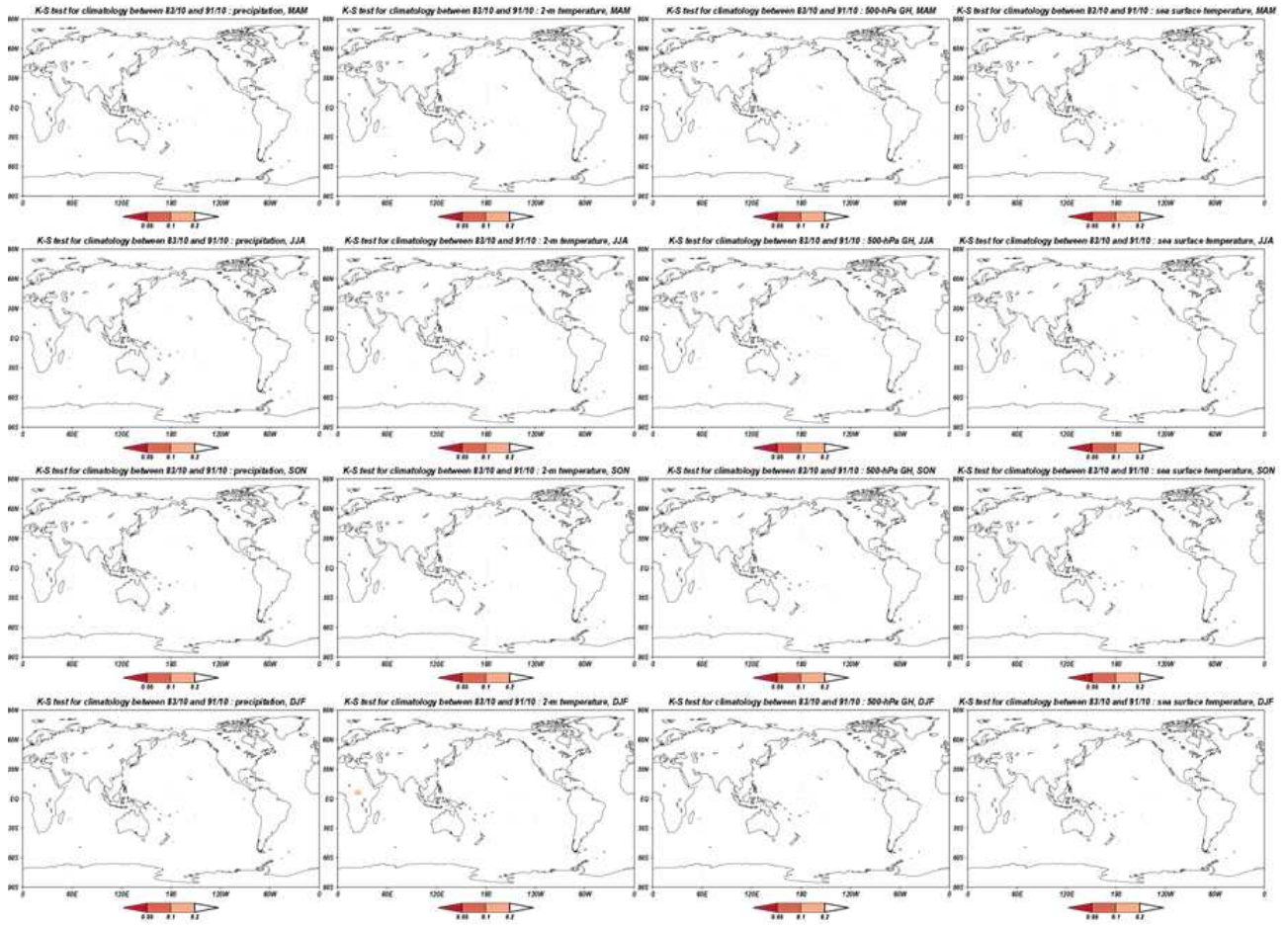


Figure B2. (Continued)

부록 C. APCC Annual Report on Seasonal Forecast

2019

APCC Annual Report on Seasonal Forecast

Climate Prediction Department
APEC Climate Center



1 News and Notice

1.1 Earlier Seasonal Climate Outlook

Starting from November 2019, APCC has changed the official seasonal climate outlook release date from the 25th to the 20th of every month by courtesy of the agreement of all of the APCC Multi-Model Ensemble (MME) Producing Centers (PCs) on the earlier release at the 3rd APCC MME Providers' Meeting (MPM). The change of the official seasonal climate outlook release date is aimed to promote the harnessing of APCC's climate information and strengthen its competitiveness with other MME groups. APCC could even more advance the outlooks release date as early as the middle of the month if PCs send the forecast data to APCC a few days ahead in near future.

1.2 New Hindcast Period

APCC has changed the hindcast period for the APCC MME from 1983-2010 to 1991-2010 since the forecast for January - June 2020 this month. APCC collects climate forecast information from 14 climate forecasting centers/institutes, and only 8 climate models whose hindcast periods encompass the period 1983-2010 were participating in the MME until recently. This new hindcast period makes the newly developed/advanced models join the MME and increases the total number of MME participating models, which facilitates the improvement of APCC MME skill.

1.3 The 3rd APCC MME Model Providers' Meeting

APCC held the 3rd APCC MPM at the Central Weather Bureau in Taipei, Taiwan between 5 and 6 June 2019. The APCC MPM was attended by representatives of the 11 climate prediction institutes (model providers) from 8 countries around the world that provide climate prediction models for APCC.

The climate prediction experts in the meeting shared and discussed issues related to the performance and improvements of their seasonal climate prediction systems as well as early release of the Climate Outlook and possibility of PCs' earlier provision of their data. In addition, the discussion focused on making resolution of MME data higher and shifting hindcast period to the recent one to secure competitiveness of APCC's climate information.



Figure C1. Representatives of Model Providers in Central Weather Bureau in Taipei, Taiwan, 5-6 Jun 2019.

1.4 APCC Climate Data Service

The APCC Data Service System (ADSS; <https://adss.apcc21.org>), which offers traditional download methods such as FTP and OPeNDAP, has changed the structure of directories and file names since December 2019 to make it easier for users to handle the data.

APCC is planning to open a new data service, APCC Climate Data Service (ACDS), in January 2020. ACDS will provide digitized APCC MME, individual models and truncated CMIP5 data using advanced technology, Open API, to allow users to apply their program directly. The users will be able to obtain and handle selected data easily and quickly.

2 New models for MME and BSISO

2.1 MME seasonal forecast

2.1.1 ACCESS-S1, SPS3, CanSIPsv2: Advanced models for the APCC MME forecast

The Euro-Mediterranean Center on Climate Change (CMCC) started providing data of its new model SPS3 from March 2019. ACCESS-S1 of Bureau of Meteorology (BoM) and CanSIPsv2 of Meteorological Service of Canada (MSC) data were provided from July and August 2019, respectively. The spatial resolutions of three new models are higher compared to that of old ones, and the hindcast periods of ACCESS-S1 and SPS3 were shifted to include recent years (Table C1).

Table C1. Summary of old and new models of BoM, CMCC, and MSC.

Organization System name	BoM		CMCC		MSC	
	POAMA	ACCESS-S1	SPS2	SPS3	CanSIPS	CanSIPsv2
Atmospheric model/ resolution	BAM(Spectral) / T47L17	The Unified Model(UM6)/ N216-60k and L85	ECHAM5.3/ T63L19	CAM5.3/ ~1°x1° L46	CanAM3/ T63L31 CanAM4/T63L3 5	CanAM4/T63L35(1hPa) GEM 4.8-LTS13/ 1.4x1.4deg(L79) (0.075hPa)
Ocean model/ resolution	ACOM2/ 2deg in zonal direction L25	NEMO ORCA25/ 0.25 deg, L75	OPA8.2/ ORCA2	NEMO3/ 1/4°x1/4° L50	CanOM4/T63L4 0	CanOM/1.40x0.9 4deg(L40) NEMO3.6/1x1deg (L50)
Ensemble size (forecast/hindcast)	33/33	11/11*	9/9	20/20	20/20	20/20
Hindcast period	1983-2011	1990-2012	1981-2005	1993-201 6	1981-2010	1981-2010

Real-time forecast anomaly fields are produced by the APCC's graphic system after being extrapolated to 2.5° x2.5° grid system (Figure C2). Forecast anomalies of three models are calculated based on the APCC MME hindcast period, 1991-2010.

All of three models show the improvement of hindcast skill (Anomaly Correlation Coefficient; ACC) for 2m temperature over the tropics all year round (Figure C3). The highest skill improvement is shown in BoM's models (0.44 of POAMA→0.55 of ACCESS-S1). The improvement of ACCs of SPS3 during spring and summer is more significant compared to the improvement during autumn and winter.

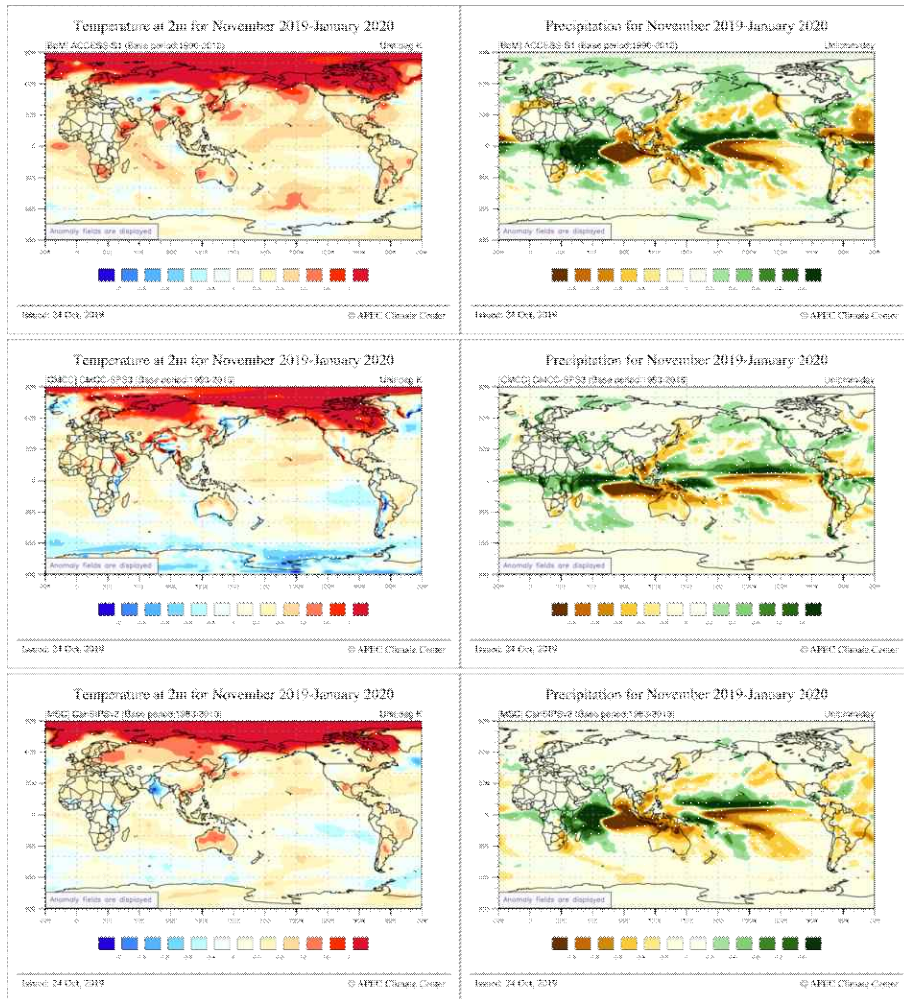


Figure C2. Forecasts of 2m temperature (left column) and precipitation (right column) anomalies of each model for November 2019 – January 2020.

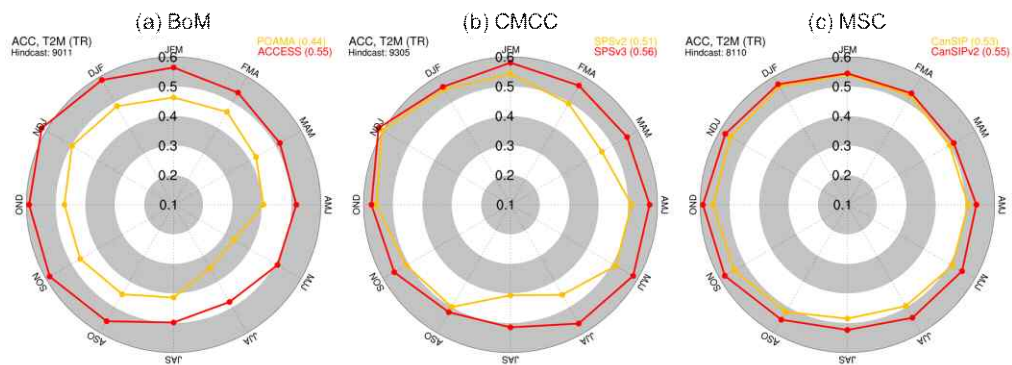


Figure C3. Anomaly correlation coefficients of hindcast of old (yellow) and new (red) models for 2m temperature over the tropics.

Compared to the average skill of other models participating in the APCC MME forecast, the hindcast skills of ACCESS-S1, SPS3, and CanSIPsv2 rank higher in most of the regions and seasons (Figure C4). It is notable that all of three models rank highest for both temperature and precipitation globally during JJA season. These newly developed/advanced models' participation in the APCC MME could contribute to improving the MME forecast skill.

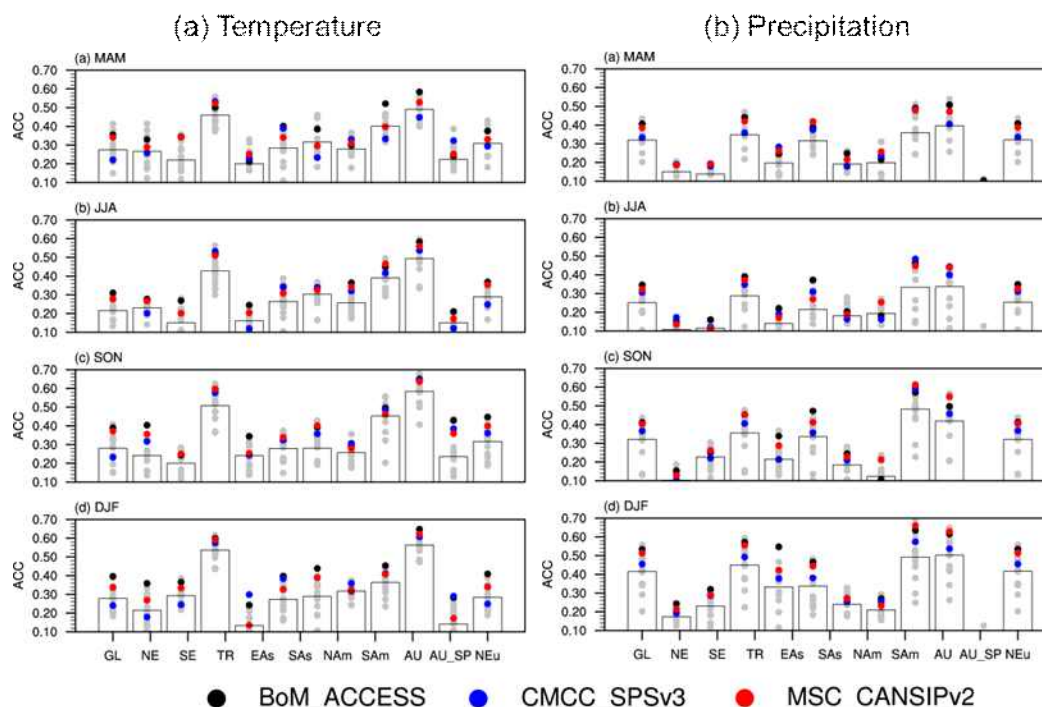


Figure C4. Anomaly correlation coefficients of hindcast of the APCC MME participating models (gray), ACCESS-S1 (black), SPS3 (blue), and CanSIPsv2 (red). Bars denote average ACC of APCC MME participating models (except for three models).

2.1.2 SINTEX: A new model for the APCC ENSO MME forecast

SINTEX of Japan Agency for Marine–Earth Science and Technology (JAMSTEC) has joined the APCC MME ENSO forecast since November 2019. APCC has been trying to increase MME participating models, and encouraged JAMSTEC to provide APCC with SINTEX data in the 2019 International Workshop on Climate Prediction which was held in Taiwan between 3 and 6 June 2019. JAMSTEC agreed on the cooperation with APCC MME ENSO forecast and started providing their ENSO related data to APCC.

SINTEX predicts a number of sea surface temperature indices e.g., Niño3.4, Indian Ocean Dipole, El Niño Modoki Index, Atlantic subtropical dipole model index, South Indian subtropical

dipole mode index, Atlantic Niño index, Ningaloo Niño index, California Niño index, and Dakar Niño index with 33 ensemble members (9 from SINTEX-F1, 12 from SINTEX-F2, and 12 from SINTEX-F2-3DVAR).

APCC exploits Niño3.4, IOD, and EMI out of them and uses Niño3.4 in the ENSO probability forecast as well. The forecasts of time series of Niño3.4 and ENSO probability with SINTEX data for December 2019 – May 2020 were officially issued on November 2019. The forecast of IOD and EMI as a time series for January – June 2020 was also issued this month.

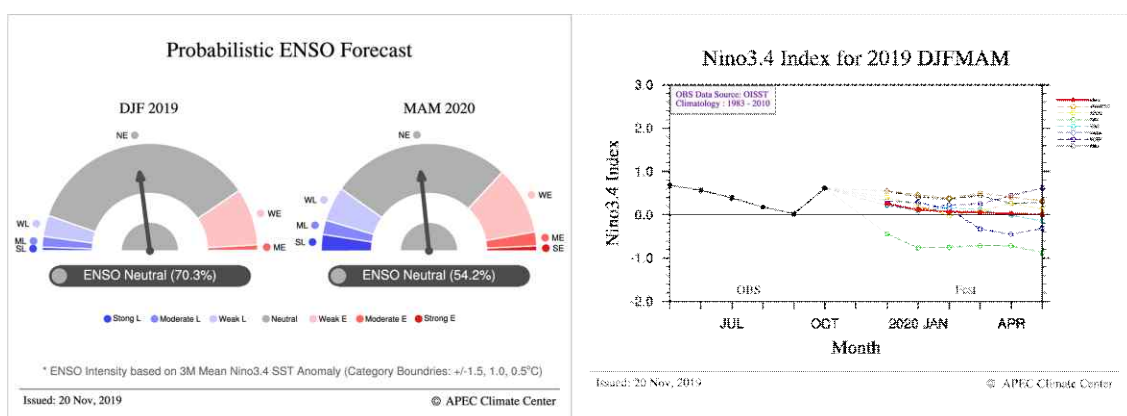


Figure C5. Probabilistic ENSO forecasts (left) and Niño3.4 index forecast (right) with SINTEX for December 2019 – May 2020.

2.2 BSISO forecast

One of the participating institutions, BoM has upgraded POAMA with a new forecasting system referred to as ACCESS-S1. Table C2 highlights some of the major differences between POAMA and ACCESS-S1. The BSISO forecasts from ACCESS-S1 model have been updated on our website (<https://apcc21.org/ser/casts.do?lang=en>) every day since September 10th, 2019 (Figure C6).

Table C2. Summary of old and new model of BoM.

Organization System name	BoM	
	POAMA	ACCESS-S1
Resolution(H/V)	T47/L17	N216/L85
Ensemble	33	33
Forecast Period (Day)	40	40
Update frequency	3-5 day	Daily

We are pleased to provide phase diagram, spatial fields of OLR (Outgoing long-wave radiation) anomalies, heavy rainfall probability, and their verification for BSISO indices. In addition, APCC has a plan to provide the various composite and anomaly fields related to BSISO impact next year. We are looking forward to our collaboration to provide reliable and useful forecasts by generating BSISO information. If you want to participate in the BSISO forecast, please contact us (BSISO@apcc21.org).

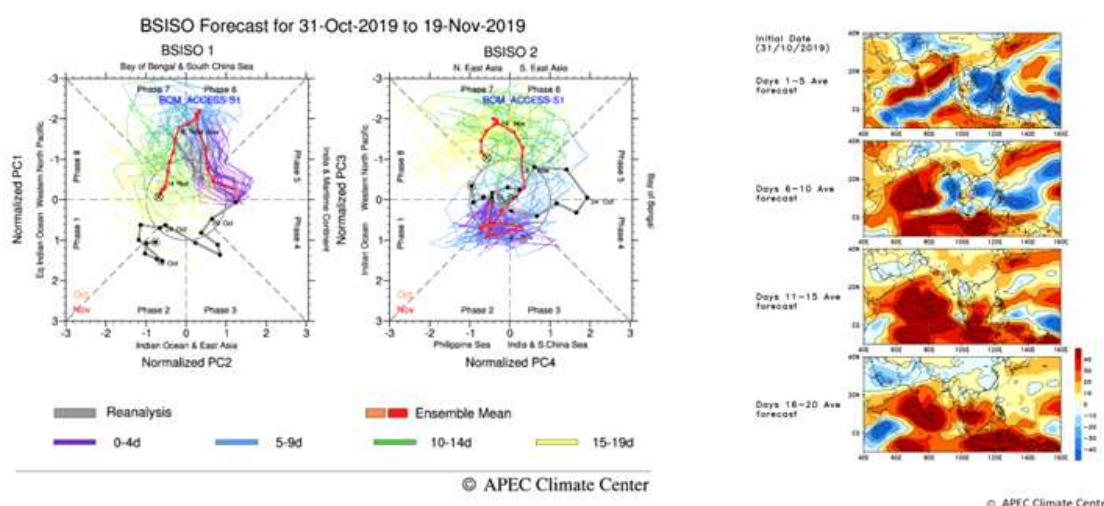


Figure C6. Phase diagram of BSISO1 and BSISO2 (left) and OLR anomaly field from ACCESS-S1 up to 20 forecast days (right) serviced on website.

3 Current status of APCC MME

3.1 MMEs from various prediction centers

The MME technique has been considered an effective way of improving seasonal forecasts so that various MME prediction systems are currently utilized at major operational centers around the world. It is time to examine prediction skill of APCC MME compared to other MMEs. We collected other institution's MME data from WMO (World Meteorological Organization Lead Center), NMME (North American Multi-Model Ensemble), and C3S (Copernicus Climate Change Service). Table C3 summarizes APCC and other MMEs' current status. Four forecast centers have different hindcast period and resolution. In this study, MME hindcasts are evaluated for common period from 1993 to 2009. We present the overall performance of MMEs for 3-month mean temperature and precipitation with 1 month lead time. The prediction skill is evaluated by comparing the model hindcast with the 2m

temperature of the NCEP/DOE reanalysis II (Kanamitsu et al. 2002), precipitation of CAMS-OPI (Janowiak and Xie 1999), and sea surface temperature (SST) of NOAA Optimum Interpolation SST V2 (OISST; Reynolds et al. 2002). Observations and model data are interpolated to a 2.5° x2.5° grid to reduce uncertainty associated with different resolutions.

Table C3. Summary table of different MME groups' characteristics. Models in parentheses were not used for SST analysis due to Tier-2 model or no SST data.

	APCC	WMO	NMME	C3S
Hindcast period	1983-2010	1993-2009	1982-2010	Feb1993-2016
Participating models	14 (11) models BCC_CSM BOM_POAMA CMCC_CM2 (HMC_GCM) JMA_JRA55 KMA_GLOSEA5 MSC_CANCM NCEP_CFSv2 UKMO_GLOSEA5 NASA_GEOS5	12 (10) models BCC_CSM BOM_POAMA (HMC_GCM) JMA_JRA55 KMA_GLOSEA5 MSC_CANCM NCEP_CFSv2 UKMO_GLOSEA5 DWD_GCFS2 ECMWF_SEAS5	5 (4) models MSC_CANCM NCEP_CFSv2 (NASA_GEOS5)	5 models CMCC_CM3 UKMO_GLOSEA5 DWD_GCFS2 ECMWF_SEAS5
	APCC_SCOPS (CWB_CWB) (MGO) PNU_CGCM	(CPTEC_GCM) SAWS_EPS	GFDL_FLORB NCAR_CCSM4	MF_SYS6
	Resolution	2.5°x2.5°	2.5°x2.5°	1°x1°

3.2 Seasonal hindcast skill

We applied simple composite method (SCM) to models collected from four MME groups for common hindcast period from 1993 to 2009. Figure C7 and C8 shows temporal and anomaly correlation coefficients of 2m temperature from four different MMEs. A comparison of variables and regions suggests that the forecast skill is generally higher for the tropics and boreal winter than for the extratropics and summer. This is consistent with previous studies on the skill of seasonal forecasts (e.g., Hagedorn et al. 2005; Min et al. 2014; Becker and Van Den Dool 2016). The overall performance of APCC and WMO MMEs are quite comparable because 60% of participating models in APCC and WMO MMEs are identical.

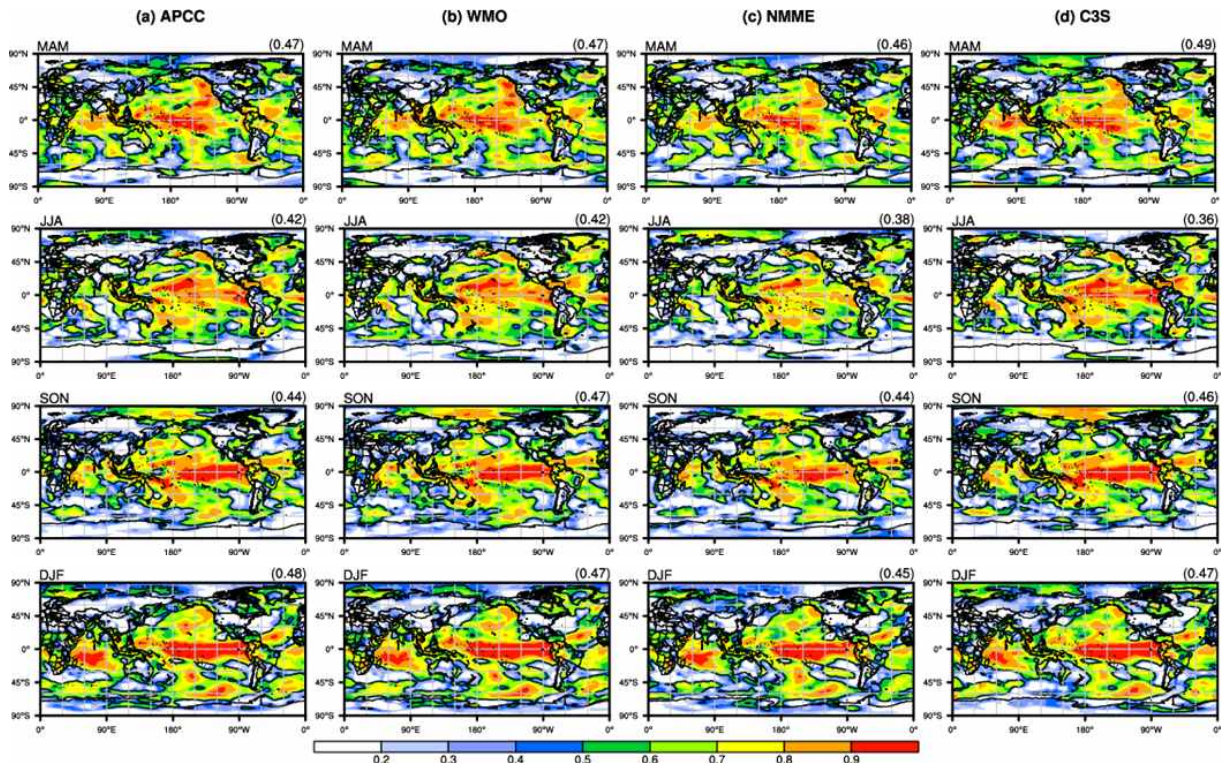


Figure C7. Temporal correlation coefficient of 2m temperature for (a) APCC, (b) WMO, (c) NMME, and (d) C3S. The area-averaged scores are displayed above the panels. Contour lines indicate that correlation coefficients are statistically significant at the 95% confidence level using Student’s t-test.

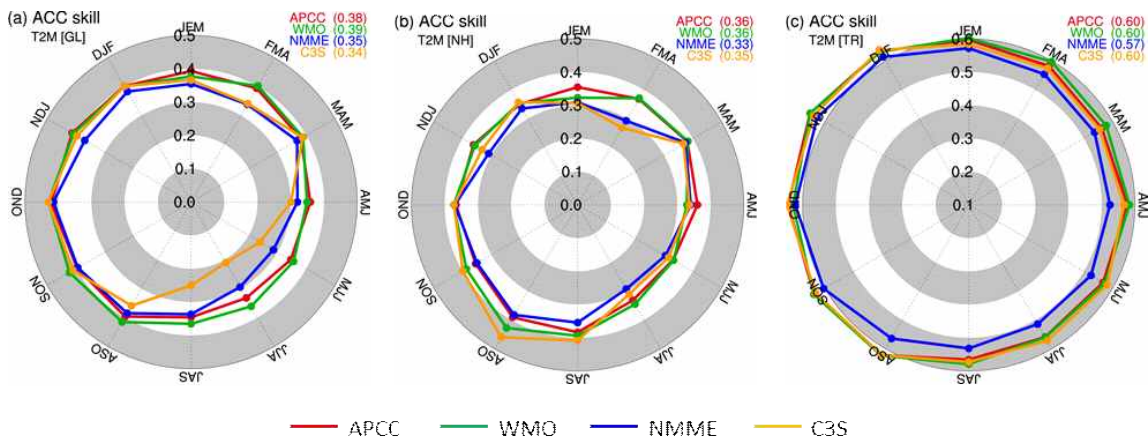


Figure C8. Anomaly correlation coefficient of 2m temperature for (a) globe (90S-90N, 0-360E), (b) northern extratropics (20N-90N, 0-360E), and (c) tropics (20S-20N, 0-360E).

General features of precipitation are similar to those of 2m temperature. Figure C9 summarizes the regional dependencies of anomaly and temporal correlations for precipitation. It is found that higher skills are shown in tropics (TR), Australia (Aus), and South Pacific

(SPac) which are oceanic and equatorial regions, while lower skills in northern Eurasia (NEu). The overall performance of APCC MME is comparable to WMO and C3S across regions. Meanwhile, APCC MME shows stable skill (small box) regardless of season, which is an important point in operational perspective to provide the consistently high-quality information.

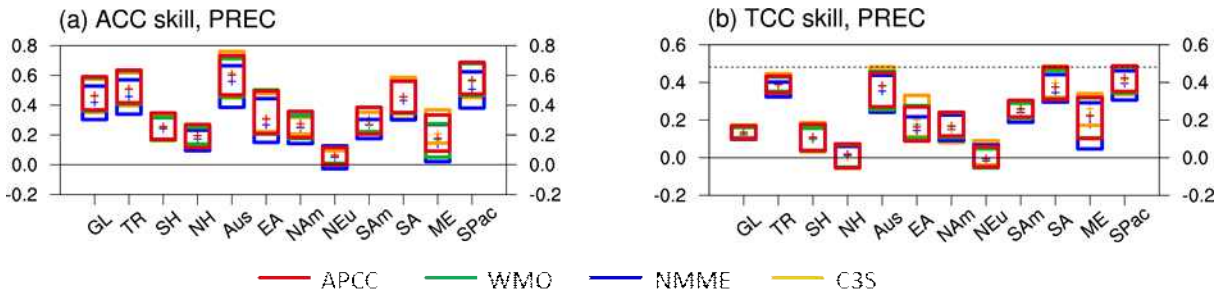


Figure C9. (a) Anomaly correlation coefficients and (b) temporal correlation coefficients of precipitation. A box consists of the highest (top), lowest (bottom), and mean (cross mark) value during 12 seasons.

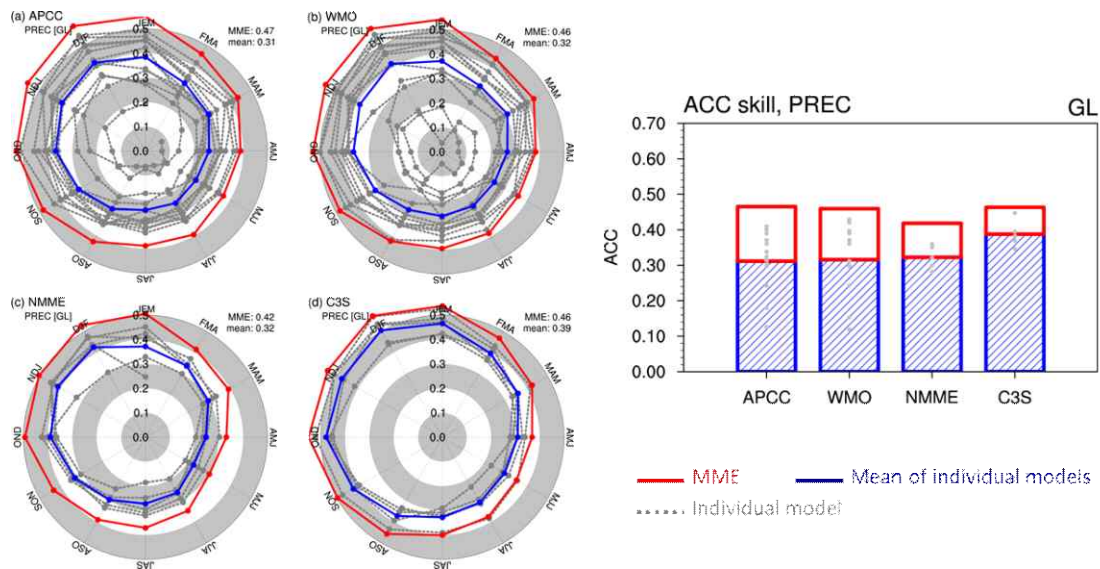


Figure C10. Anomaly correlation coefficient of precipitation for (a) APCC, (b) WMO, (c) NMME, (d) C3S, and (e) their mean of 12 seasons over the globe. Red line is MME skill, blue is mean of individual models, and gray lines are individual models.

In Figure C10, MME (red) shows higher ACCs than individual models (gray), although this is not always true (Min et al. 2017). The MME efficiency, defined by the difference between the MME skill and averaged skill of individual models (Wang et al. 2009), is dependent on individual model prediction skill and inter-model independency (Yoo and Kang 2005). The

spread of the individual model correlation skills of APCC and WMO is generally larger than those of NMME and C3S because of more participating models. In spite of few models, C3S MME shows comparable skill to APCC and WMO because a prediction skill of individual model is highly ranked. In the APCC MME, MME efficiency is most significant in terms of global precipitation prediction due to the diversity of the participating models. MME technique is more effective for precipitation than temperature, mainly due to the mutual independence of the individual models' precipitation forecasts (e.g., Yoo and Kang 2005; Wang et al. 2009) or, more accurately, due to the independence of the individual model's errors in precipitation forecasts (Min et al. 2017).

To identify the spatial structure of the MME bias, seasonal mean difference of sea surface temperature between four MMEs and observation (OISST) are analyzed in Figure C11. All MMEs exhibit cold biases over northwestern Pacific during the boreal spring, while warm biases over the northern part of North Pacific in the boreal summer are evident. Many studies show that these biases or drifts in SST are evident in the current general circulation models, which are commonly linked with the Atlantic meridional overturning circulation (Wang et al. 2014; Zhang and Zhao 2015).

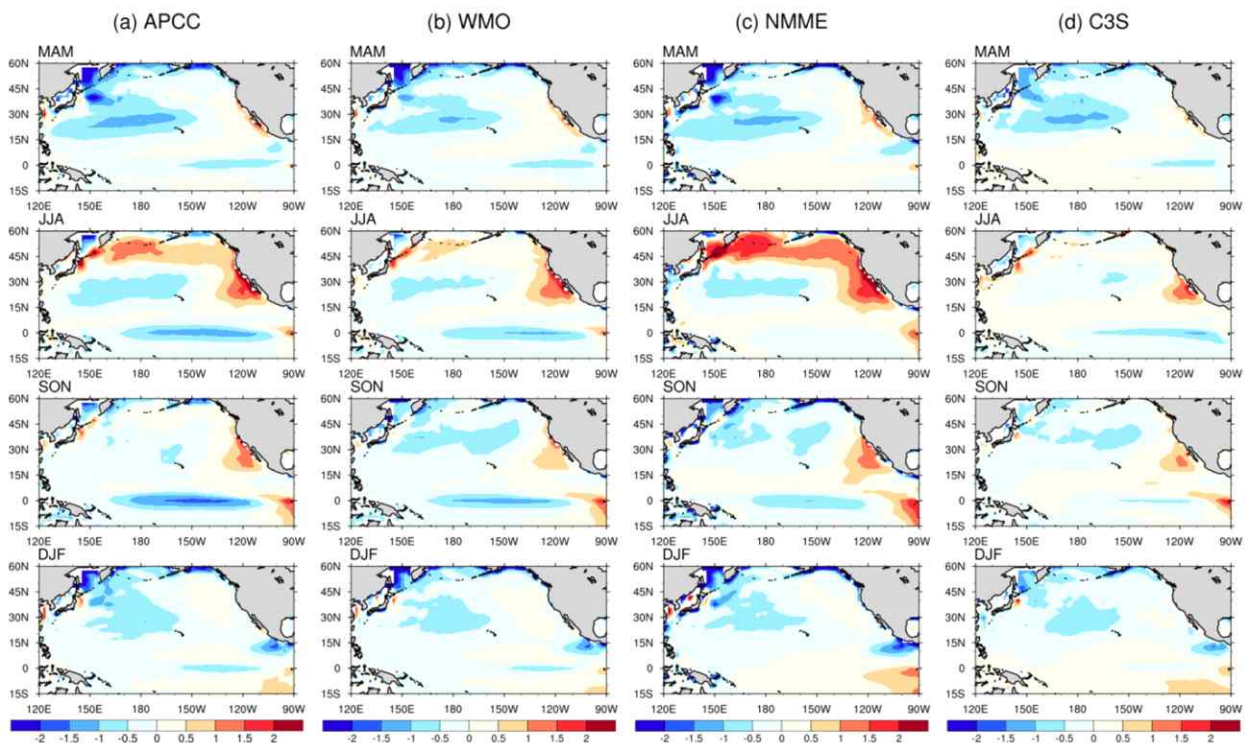


Figure C11. Seasonal mean bias (MME-OISST) of sea surface temperature from (a) APCC, (b) WMO, (c) NMME, and (d) C3S.

As shown in precipitation, the averaged correlation of individual models is highest in the C3S MME, while the best skill in MME is shown in APCC MME for Nino index (Figure C12).

Again, we can find the MME efficiency of APCC MME derived from intermodel dependencies.

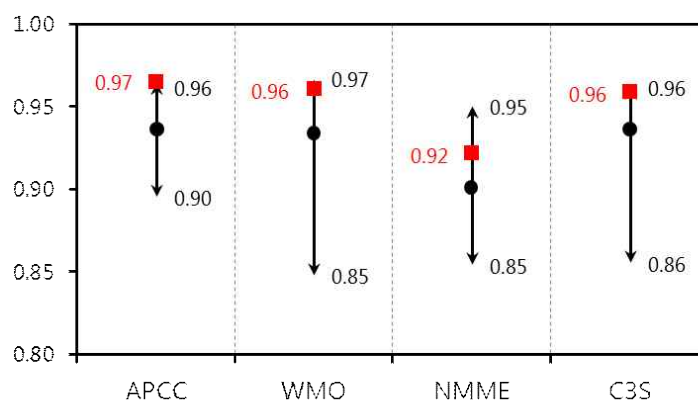


Figure C12. Temporal correlation coefficients of MME (red square), mean of individual models (black circle), and skill range of participating models (arrow) for Niño 3.4 index.

In summary, the level of prediction skill for temperature and precipitation of APCC MME is comparable to the other MMEs of major operational centers. Interestingly, C3S MME shows comparable performance, even though relatively few participating models, owing to skillful individual models. On the other hand, APCC MME shows an advantage of the MME technique over a single model based on diversity of the model errors and their mutual offset. In addition, forecast skill is generally more stable than the other MMEs.

Reference

- Becker, E. and H. Van Den Dool, 2016: Probabilistic seasonal forecasts in the North American multi-model ensemble: A baseline skill assessment. *J Climate*, **15**, 3015–3026. doi:10.1175/JCLI-D-14-00862.1.
- Doblas-Reyes, F. J., R. Hagedorn, and T. N. Palmer, 2005: The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting: II. Calibration and combination, *Tellus Ser. A*, **57**, 234–252.
- Hagedorn R., F. J. Doblas-Reyes, and T. N. Palmer, 2005: The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting: I. Basic concept. *Tellus Ser A*, **57**, 219–233. doi:10.1111/j.1600-0870.2005.00103.x.
- Janowiak, J. E. and P. Xie, 1999: CAMS-OPI: A global satellite-rain gauge merged product for real-time precipitation monitoring applications. *J. Climate*, **12**, 3335–3342.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002: NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2), *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631–1643.

- Min, Y.-M., V. N. Kryjov, and S. M. Oh, 2014: Assessment of APCC multimodel ensemble prediction in seasonal climate forecasting: Retrospective (1983–2003) and real-time forecasts (2008–2013). *J. Geophys. Res.*, **119**, 12132–12150.
- Min, Y.-M., V. N. Kryjov, S. M. Oh, and H. -J. Lee, 2017: Skill of real-time operational forecasts with the APCC multi-model ensemble prediction system during the period 2008–2015. *Clim. Dyn.*, **49**, 4141–4156.
- Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes, and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, **15**, 1609–1625.
- Wang, B., and Coauthors, 2009: Advance and prospectus of seasonal prediction: Assessment of the APCC/CliPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980–2004). *Climate Dyn.*, **33**, 93–117, doi:10.1007/s00382-008-0460-0.
- Wang, C., L. Zhang, S.-K. Lee, L. Wu, and C. R. Mechoso, 2014: A global perspective on CMIP5 climate model biases. *Nature Clim. Change*, **4**, 201–205.
- Yoo, J.-H., and I.-S. Kang, 2005: Theoretical examination of a multi-model composite for seasonal prediction. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L15711, doi:10.1029/2005GL023513.
- Zhang, L., and C. Zhao, 2015: Processes and mechanism for the model SST biases in the North Atlantic and North Pacific: A link with the Atlantic meridional overturning circulation. *J. Adv. Model. Earth. Syst.*, **7**, 739–758.

Acknowledgement

The authors acknowledge that the APCC Multi Model Ensemble (MME) Producing Centers for making their data available for analysis.