

기후예측(시스템)의 이해

김형진*, 유진호, 김유진

APEC 기후센터



목차

- 기후예측이란
- 기후예측 방법
- 다중모델 앙상블(MME) 기술
- APEC기후센터 기후예측시스템
- 기후예측 기술의 미래

기후

- 특정 기간 동안 기대(~평균)되는 날씨 상태
 - Climate is what you expect,
Weather is what you get
 - 특정 기간 : 2016년 여름, 2020~30년 겨울 등
- 고정된 값이 아니라 변화함
 - 기후 변동, 기후 변화

기후 = 기대(믿음)

- 사회는 기후에 적응하고 있음
 - 주요 행사 시점의 선정 (영화제, 불꽃 축제..)
 - 방재 시설 (제설장비 : 서울 1216, 부산149)
 - 건물의 냉난방 효율, 주거 형태
 - 특정 기간 : 2016년 여름, 2020~30년 겨울 등
 - 공공자원(전력, 수자원 등) 수급 계획 수립
 - 의류, 계절 상품 판매/재고 관리 계획 수립

기후예측(Climature Prediction)

- 특정 기간 동안 기대되는 날씨 상태에 대한 예측
 - 과거에서 기대할 수 있는 날씨 상태에 비해 미래의 날씨 양상이 어떠할 것인가?
 - 많은 경우 “장기예보(~1년)”와 같은 의미로 쓰임
- 예측: 현재 상태와 알려진 변동 규칙을 이용해 미래를 전망

기후예측이 가능한가?

단기 예보 (1일~3일)

- 각 시점의 날씨 상태

중기 예보 (~ 10일)

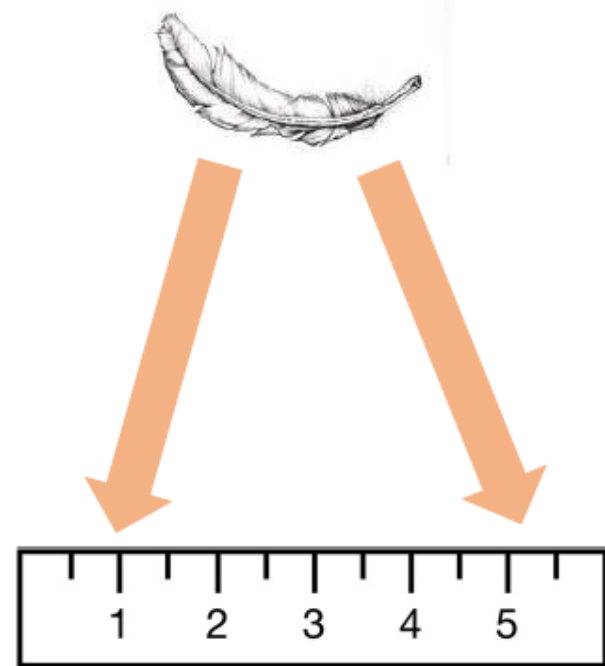
- 하루 동안 (12시간) 대표적인 날씨상태

장기 예보 (1~3개월)

- 1개월/3개월 동안 평균적인 날씨상태

기후변화 전망

- 수 십년의 평균 날씨상태

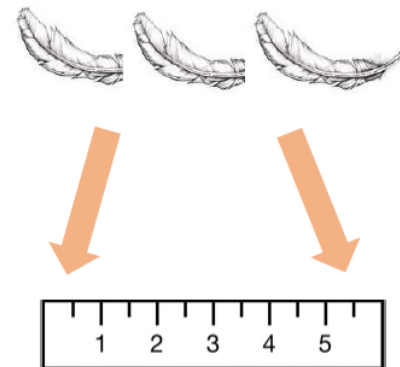
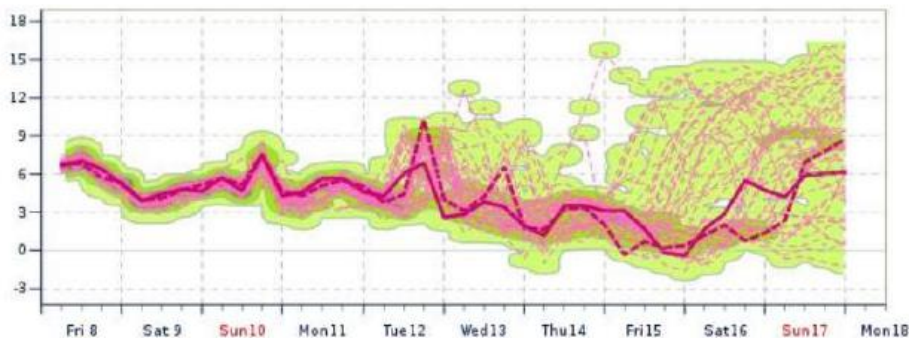


기후예측이란

나비효과(카오스)

- 전 지구의 현재 기상상태를 완벽하게 알 수 없음
 - 현재 상태라고 간주할 수 있는 미세한 차이를 갖는 상태들이 여럿 존재
 - 이 미세한 차이는 시간이 지나면서 성장(나비효과)
- 날씨를 결정하는 물리법칙 역시 밝혀지지 않은 부분이 있음

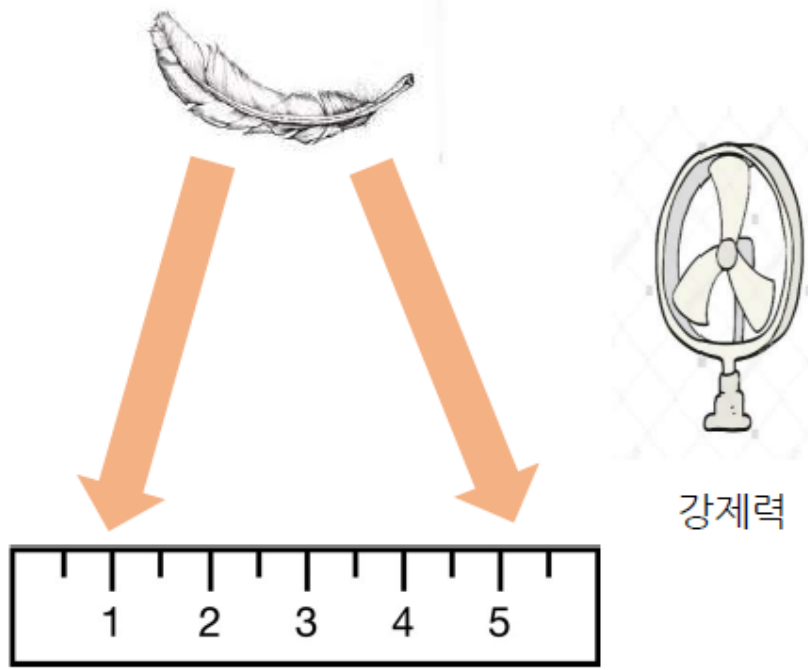
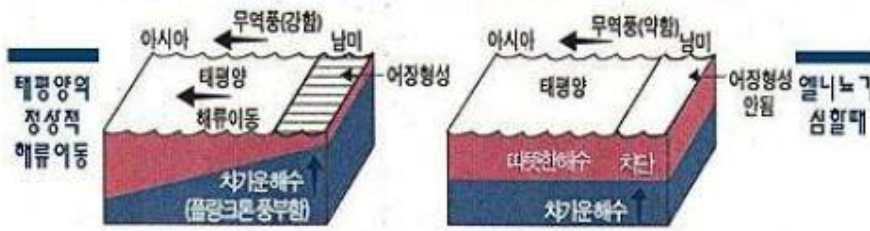
→ 현재시점에서 예측가능한 미래 상태는 하나가 아님(앙상블 예측)



기후예측이란

기후 강제력(Climate Forcing)

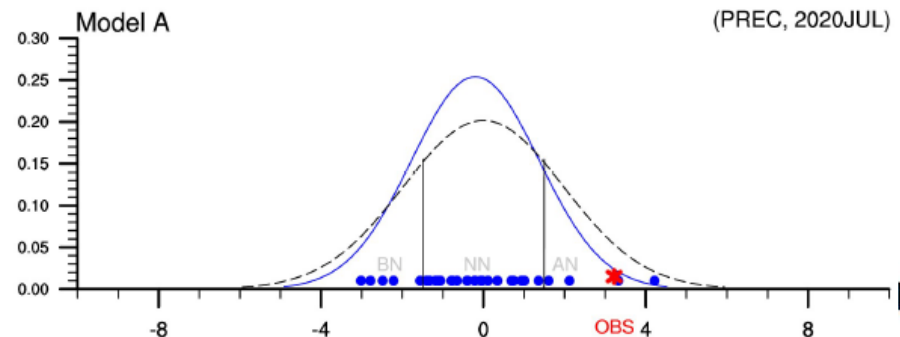
- 대기운동에 비해 느리게 (수개월~수년) 변화하는 지구의 기후변동들
 - 엘니뇨/라니냐(해수면 온도)



기후예측(Climature Prediction)

- 특정 기간 동안 기대되는 날씨 상태에 대한 예측
 - Predict seasonal statistics of weather
 - What determine this weather statistics?
 - : large-scale low frequency variability
- 발생 가능한 여러 상태를 고려한 확률적 정보로 제공
 - 가장 발생 확률이 높은 상태
 - 특정 범위 이상으로 발생할 확률(평년 이상, 미만)

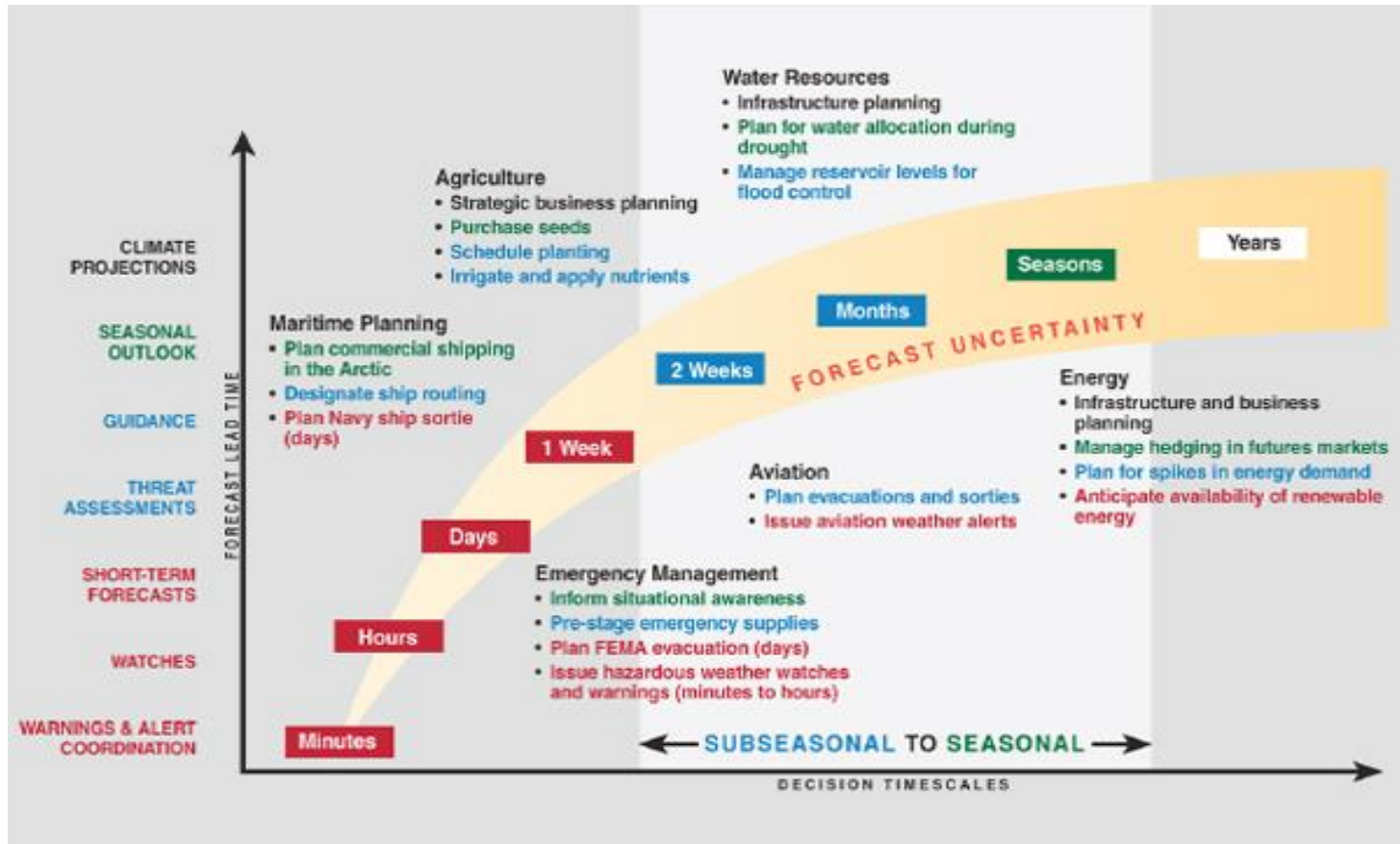
2020년 7월 한반도 강수예측 및 관측



기후예측이란

☑ 기후 예측은 왜 필요한가?

- 날씨예측, 중기예측, 장기예측의 활용 범위



기후예측 방법

경험적 (통계적) 방법 $\vec{X}(t_0 + \tau) = A\vec{X}(t_0) + b$

- 과거 자료를 이용해 대상지역 기후변동과 관련있는 인자를 추출
. 이를 이용한 예측 (예: 라니냐 → 건조한 가을)
- 모든 경우에 적용이 가능하지 않음, 가용 자료의 한계, 기후변화에 취약



역학적 방법 $\vec{X}(t_0 + \tau) = \vec{X}(t_0) + \int_0^\tau F'(\vec{X}(t), a'(t)) dt$

- 대기/해양의 움직임을 나타내는 물리방정식을 컴퓨터 프로그램 (기후모델)을 통해 해석, 미래를 예측
- 기후모델이 완벽하지 않음 (초기조건, 모수화, 해상도 등)

기후예측 기술의 변천

경험적 방법
(관측, 통계)

역학적 방법
(모델, 컴퓨터)

과학적 기반
연구
(1960, 70년대)

최초의
해수온 장기
예측 (1986)

기후모델 이용한
예측 시작
(90년대 후반)

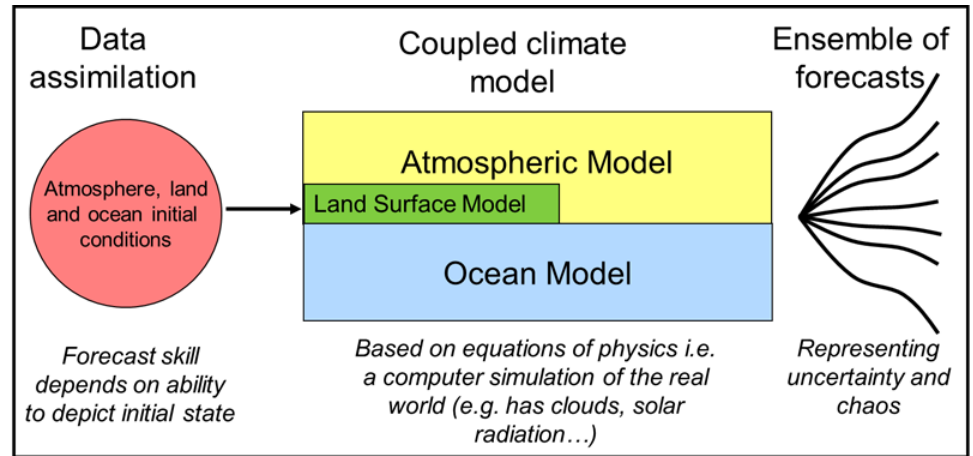
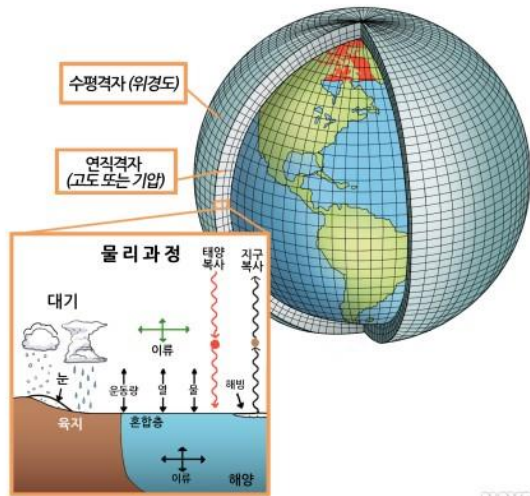
전 세계
20여개 모델
운영 중(현재)

기상모델을
이용한 일기예보
(50년대)

※ 컴퓨터모델을 이용한 기후예측은 상대적으로 늦게 시작한 예보 기술이나 현재 기후예측의 주류 기술

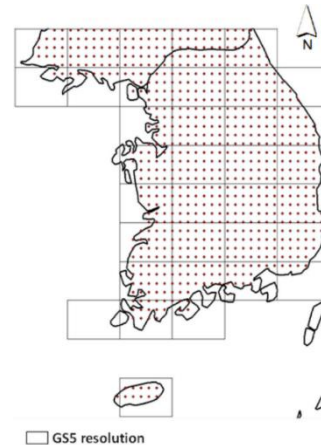
기후예측 방법

기후예측 모델

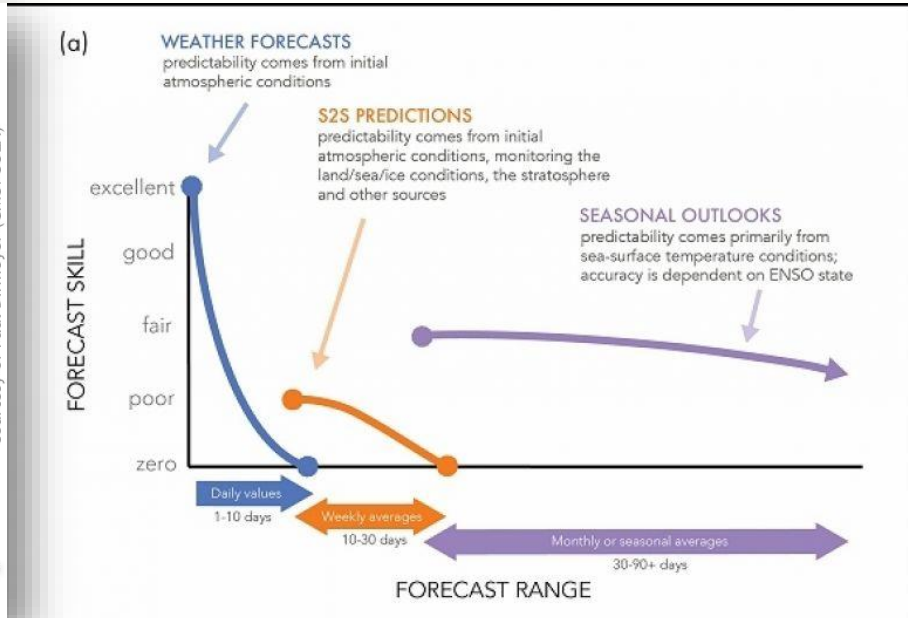
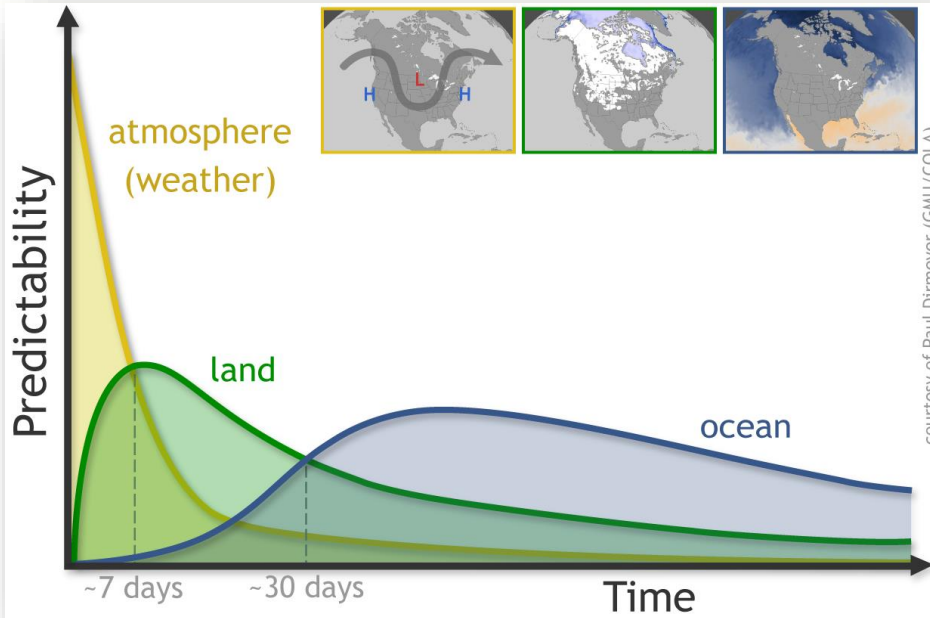


대기와 해양 등 기후에 관련된 변화를 설명하는 방정식을 지구의 각 격자점 별로 풀어내는 컴퓨터 프로그램

- 현재 온도 -> 15분 뒤 온도 -> 30분 뒤 온도 ...



기후예측 방법



☑ 날씨와 기후 예측의 소스는?

- 날씨예측(10일 이내): 대기의 상태
- 장기예측(30일 이후): 해양의 상태
- 중기예측(2주-4주): 대기, 육지, 해양의 상태

☑ 날씨와 기후 예측의 정확도는?

- 날씨예측(10일 이내): 높음
- 장기예측(30일 이후): 중간
- 중기예측(2주-4주): 낮음

일기예보 모델 vs 기후예측 모델



- 일기예보 모델에 비해 기후예측 모델은 해양, 해빙 등 더욱 많은 요소들을 고려
새로운 발견에 따라 더욱 많은 과정을 포함하는 추세 >> 지구시스템모델
- 더욱 복잡한 상호작용, 낮은 해상도, 긴 예보시간에 따른 오차 발생 가능성 증가

Signal, Noise, and Error

- OBS : $X = X_s + X_n$
 - Model FCST : $Y = Y_s + Y_n = X_s + E + Y_n$
 - X_s 를 완벽히 알 수 없기 때문에 “E” 도 알 수 없음.
 - 그러나 여러 개의 Y 를 합치면(즉, 여러 모델의 예측을 종합하면) 모델간 오차의 상쇄로 “E” 가 줄어든다는 사실 발견
- 다중모델 앙상블(Multi-Model Ensemble)

다중모델 앙상블(MME) 기술

MME를 하면 좋아지는가?

Correlation skill
of a single model

$$R_i = \frac{\overline{xy_i}}{\sqrt{V(x)V(y_i)}}$$

Correlation skill
of MME

$$R_{MM} = \frac{\overline{x\langle y \rangle}}{\sqrt{V(x)V(\langle y \rangle)}}$$

$$\langle y \rangle = 1/M \sum_{i=1}^M y_i$$

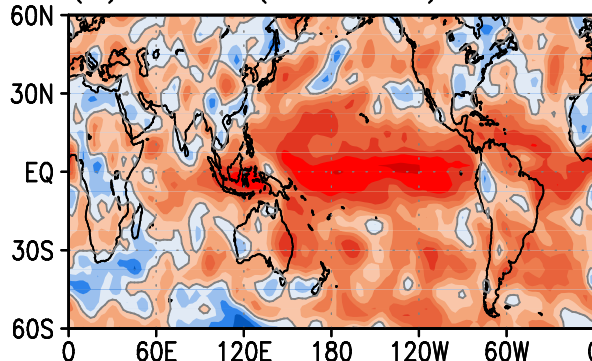
$$R_{MM} = \frac{\langle R \rangle}{\sqrt{\langle r \rangle}}$$

$$\langle R \rangle = \frac{1}{M} \sum_i R_i$$

$$\langle r \rangle = \frac{1}{M^2} \sum_i \sum_j \frac{\overline{y_i y_j}}{V}$$

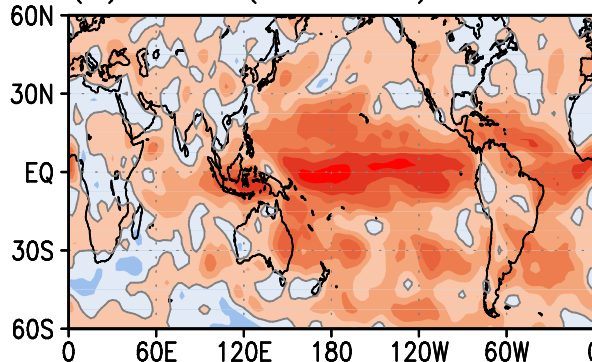
- 개별모델의 예측성이 좋을수록
 - 모델간 독립성이 클수록
- MME의 예측성능이 좋아짐

(b) Rmm (DEMETER)



Multi-model
ensemble
correlation skill

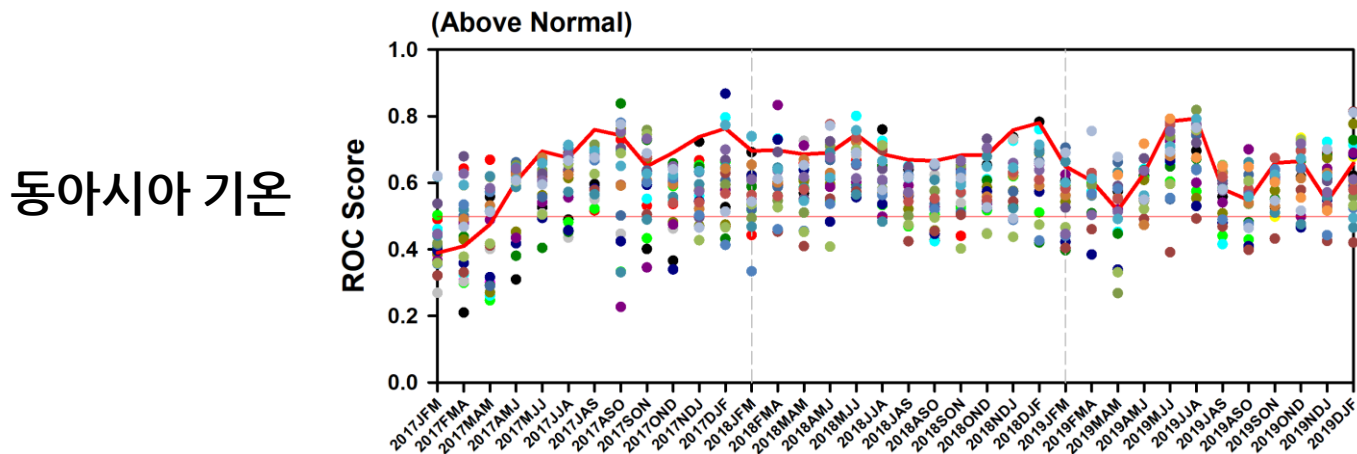
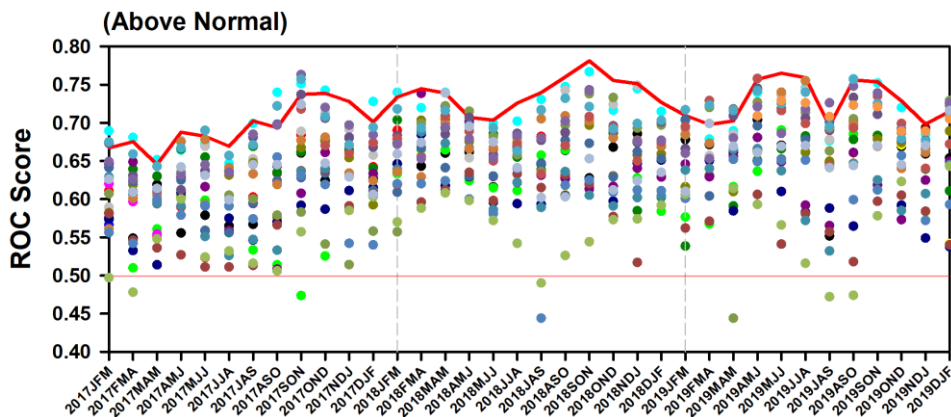
(d) Rbar (DEMETER)



Mean
correlation skill
of individual
models

다중모델 앙상블(MME) 기술

MME를 하면 좋아지는가?



다중모델 앙상블(MME) 기술

단정 MME (Deterministic MME) 기법

SCM

Simple Composite Method:

Simple composite of individual forecast with equal weighting.

$$P = \frac{1}{M} \sum_i F_i'$$

MRG

Multiple ReGression method:

Optimally weighted composite of individual forecasts.
The weighting coefficient is obtained by SVD based regression.

$$P = \sum_i a_i F_i'$$

SPM

Stepwise Projection Method :

Simple composite of individual forecasts, after correction by statistical downscaling.

$$P = \frac{1}{M} \sum_i \hat{F}_i'$$

SSE

Synthetic Super Ensemble method:

Weighted combination of statistically corrected multi model output based on minimization using EOF.

$$P = \frac{1}{M} \sum_i \alpha_i \hat{F}_i'$$

다중모델 앙상블(MME) 기술

확률 MME (Probabilistic MME) 기법

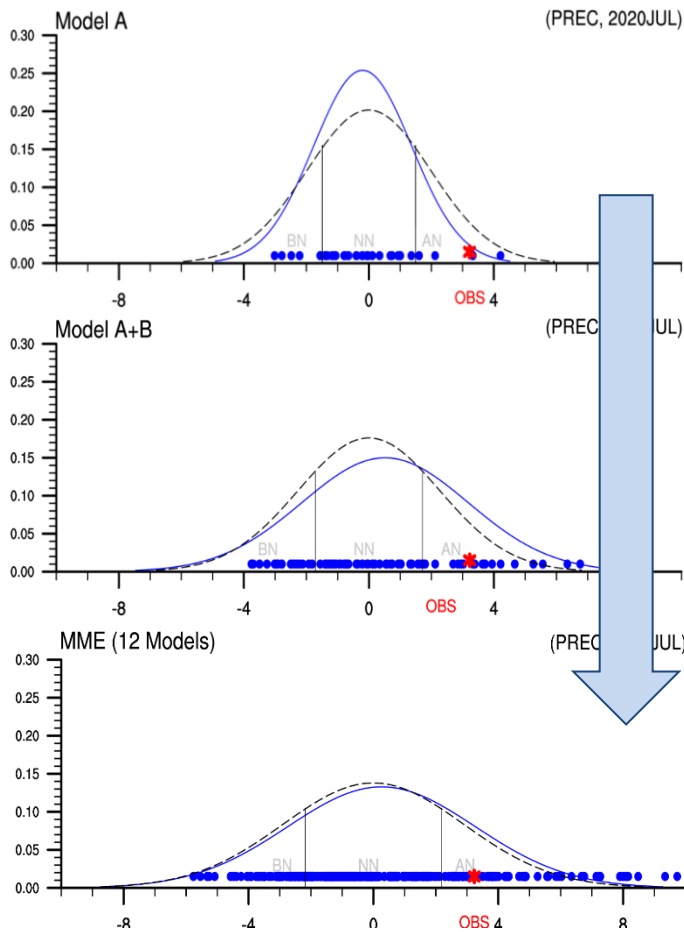
- (1) **Gaussian approximation** to estimate tercile-based categorical probabilities (above-, near-, and below-normal)
- (2) **Multi-model combination** with model weights proportional to the square root of the ensemble size
- (3) **Tercile map** based on three category probabilities applying Pearson's chi-square test

MME 예측의 장단점

- 높은 수준의 예측성능이 안정적으로 유지
 - 단, 한 개의 매우 우수한 모델보다 낫다는 보장은 없음 (현재까지는 평균적으로 MME가 우수)
 - 모델 생태계의 문제
- 약점은 없나?
 - 예보가 모두 나쁜 경우 더 큰 오류 (집단광기)
 - 변수간 물리적 상관성이 낮을 수 있음
 - 그리고...

다중모델 앙상블(MME) 기술

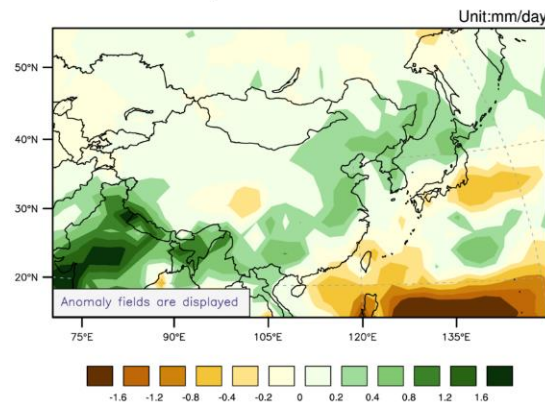
MME 예측의 장단점



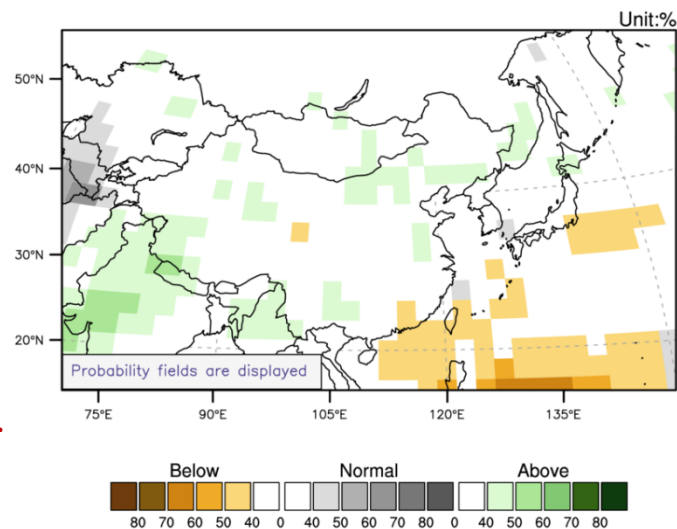
모델예측의 앙상블이
증가하면서 점차 고르게
분포하는 경향

관측

Precipitation for JUL 2020



Precipitation for JUL 2020

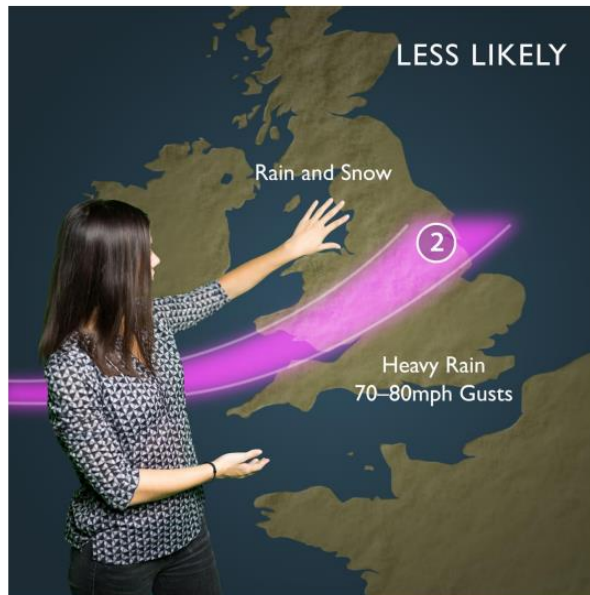
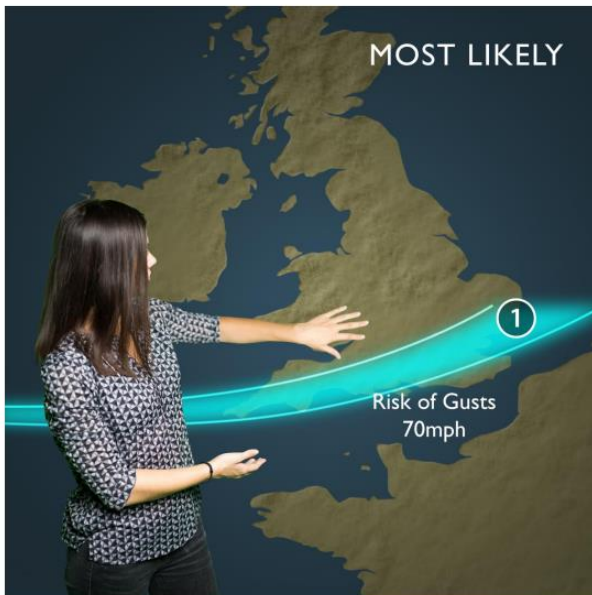


MME
너무
신중함

MME 예측의 활용

- 다수의 모델이 공유/산출하는 예측 시그널을 표출 (단정예보)
- 예상 가능한 모든 시나리오를 포함 (확률예보)
 - 다만, 실제로 그렇게 해석되는지는...

Alternative scenarios

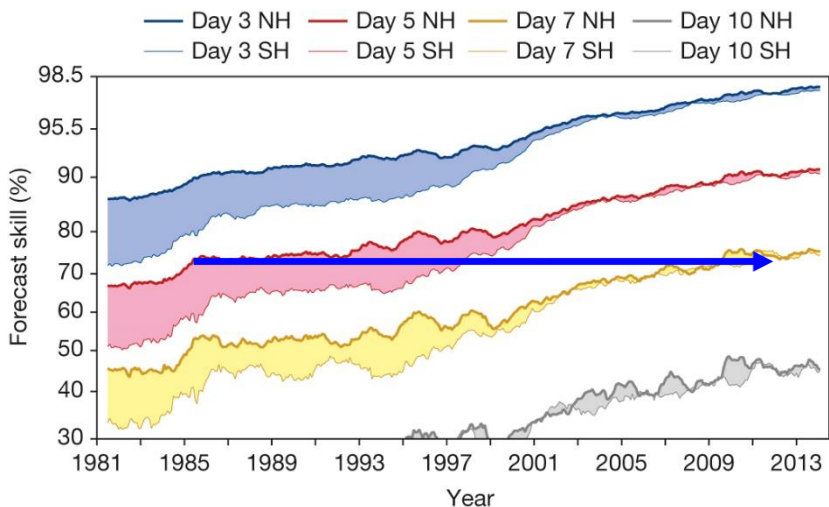


다중모델 앙상블(MME) 기술



☑ 예측 정확도는 개선되고 있는가?

- 날씨예측: 지난 30년 간 1일/10년 증가
- ✓ 현재 7일 후 예측정확도 = 20년 전 5일 후 예측 정확도



※ 60% 이상 유용한 예측, 80% 이상 높은 정확도

• 중기예측: ECMWF는 향후 10년 간 10% 증가를 목표

- ✓ 2-3주 예측성공률 2016년 60% → 2025년 70%

(chance forecast의 예측성공률은 50%)

※ ECMWF 로드맵 2016-2025

• 장기예측: 지난 10년 간 대략 1%/년 내외 증가

| Field | Lead (months) | S3 mean | S4 mean | S4 wins |
|--------------|---------------|---------|---------|---------|
| Tropics T850 | 1 | 0.573 | 0.605 | 12/12 |
| Tropics T2m | 1 | 0.601 | 0.635 | 12/12 |
| NH Z500 | 1 | 0.246 | 0.270 | 7/12 |
| NH T850 | 1 | 0.266 | 0.306 | 10/12 |
| NH T2m | 1 | 0.345 | 0.375 | 10/12 |
| Tropics T850 | 4 | 0.443 | 0.509 | 11/12 |
| Tropics T2m | 4 | 0.431 | 0.492 | 12/12 |
| NH Z500 | 4 | 0.167 | 0.221 | 11/12 |
| NH T850 | 4 | 0.192 | 0.249 | 11/12 |
| NH T2m | 4 | 0.240 | 0.287 | 10/12 |

Table 4.2.1 Area-mean of grid-point anomaly correlations for different variables, regions and lead times, averaged over the 12 start dates. For scores computed in individual start dates, the last column shows in how many cases (i.e. initial months) ACC is higher for S4 than for S3.

※ ECMWF 기후예측모델 정확도(상관계수) 개선(2007-2011)

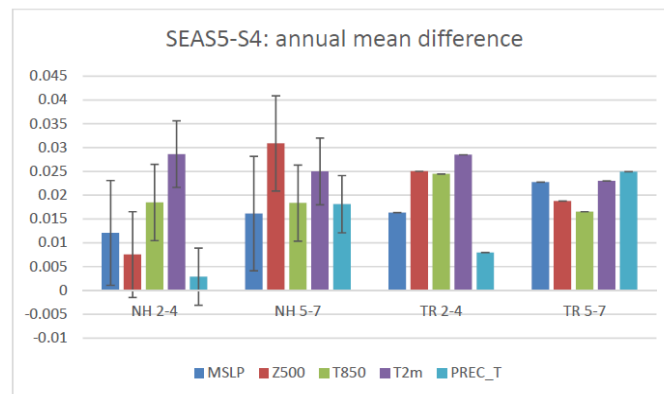


Figure A 4: Annual mean of SEAS5 - S4 differences in aggregated anomaly correlation over NHEX (NH) and TR30 (TR), for re-forecasts verifying at 2-4 month and 5-7 months, based on 1981-2010 15 member re-forecasts. Bars for NH indicate the 1 sigma sampling uncertainty in the correlation difference.

※ ECMWF 기후예측모델 정확도(상관계수) 개선(2011-2017)

APEC기후센터 기후예측시스템

☑ 전세계 다중모델앙상블 기후예측

| APCC | WMO(KMA/APCC 운영) | NMME | C3S |
|---|--|--|---|
| 15개 모델 | 13개 모델 | 5개 모델 | 8개 모델 |
| BCC_CSM1.1m BOM_ACCESS_S1 CMCC_SPS3 HMC_GCM JMA_JRA55 KMA_GLOSEA5 ECCC_CANSIPsv2.1 NASA_GEOS5 NCEP_CFSv2 UKMO_GLOSEA5 METEOFRACTANCE_MFSys8 | BCC_CSM BOM_ACCESS_S1 HMC_GCM JMA_JRA55 KMA_GLOSEA5 ECCC_CANSIPsv2.1 NCEP_CFSv2 UKMO_GLOSEA5 METEOFRACTANCE_MFSys8 | ECCC_CANSIPsv2.1 NASA_GEOS5 NCEP_CFSv2 | CMCC_CPS3 JMA_JRA55 ECCC_CANSIPsv2.1 NCEP_CFSv2 UKMO_GLOSEA5 METEOFRACTANCE_MFSys8 |
| APCC_SCOPS CWB_TCWB1Tv1.1 PNU_CGCMv2.0 MGO_MGOAM2 | CPTEC_GCM DWD_GCFS2 ECMWF_SEAS5 SAWS_EPS | GFDL_SPEAR NCAR_CCSM4 | DWD_GCFS2 ECMWF_SEAS5 |

1.0×1.0

매월 15일

6개월 선행

2.5×2.5

매월 20일

6개월 선행

1.0×1.0

매월 9일

6개월 선행

1.0×1.0

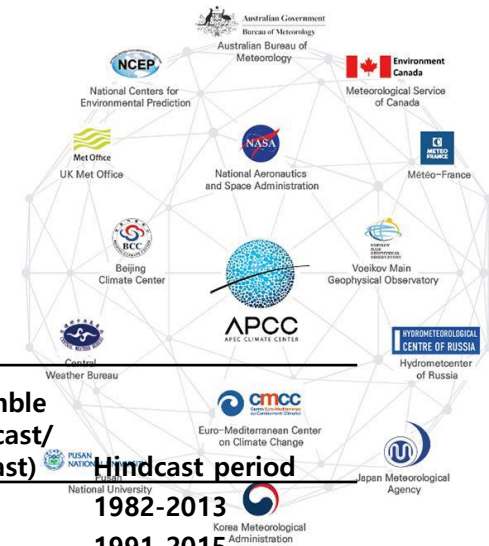
매월 13일

6개월 선행

APEC기후센터 기후예측시스템

☑ APEC 기후센터 다중모델앙상블 기후예측시스템

- 전 세계 11개국 15개 기관의 기후예측모델 자료 수집
- 다중모델앙상블 기법을 통해 기후정보 생산
- APEC기후센터 홈페이지를 통해 제공
(<https://apcc21.org/ser/global/outlookSummary.do?lang-ko>)

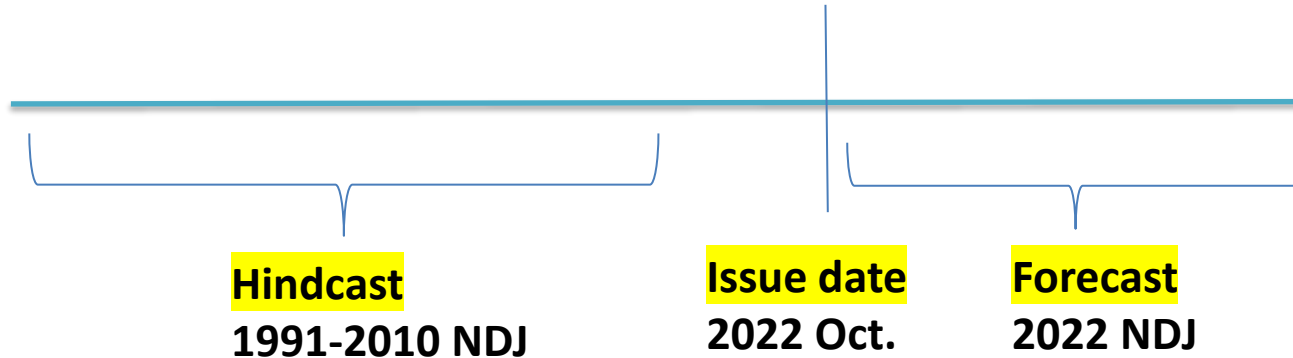


| Institute | Country | Model | Resolution (Atmospheric) | Resolution (Ocean) | Ensemble (hindcast/forecast) | Hindcast period |
|-----------|----------------|--------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| APCC | Korea | SCoPs | T159L31 | 0.3-0.5x1.0 L40 | 10 | 1982-2013 |
| BCC | China | CSM1.1m | T119L40 | 1x1/3 | 24 | 1991-2015 |
| BoM | Australia | ACCESS-S2 | N216L85 | 0.25 L75 | 11 | 1982-2018 |
| CMCC | Italy | SPS3.5 | 1x1, L46 | 1/4x1/4, L50 | 20 | 1993-2016 |
| CWB | Chinese Taipei | TCWB1Tv1.1 | T119L40 | 1x1 | 30 | 1982-2019 |
| HMC | Russia | SL-AV | 1.125x1.40625 L28 | | 10/20 | 1981-2010 |
| JMA | Japan | MRI-CPS2 | TL159L60 | 0.3-0.5x1.0 L53 | 10/51 | 1979-2014 |
| KMA | Korea | GloSea5GC2 | N216L85 | ORCA025L75 | 12/42 | 1991-2016 |
| METFR | France | MF Sys8 | TL359 | 0.25 L75 | 25/51 | 1993-2016 |
| MGO* | Russia | MGOAM-2 | T42L18 | | | 1979-2004 |
| MSC | Canada | CanSIPsv2 | 1.4x1.4 T63L35 | 1.40x0.94 | 20 | 1981-2010 |
| NASA | USA | GEOS-S2S-2.1 | 0.5 | 0.5 | 4-10 | 1982-2016 |
| NCEP | USA | CFSv2 | T126L64 | 0.25-0.5x0.5 L40 | 20 | 1982-2010 |
| PNU | Korea | PNU CGCMv2.0 | T42L18 | 2.8125 | 35 | 1990-present |
| UKMO | UK | GloSea5 | N216L85 | ORCA025L75 | 28/42 | 1993-2016 |

APEC기후센터 기후예측시스템

☑ APEC 기후센터 다중모델앙상블 기후예측시스템

- Hindcast (Retrospective forecast): 평년기간, climatology
- Forecast(real-time forecast) : 실제 예측



- 단정 MME 예측 (Deterministic MME Forecast)
 - 편차(anomaly)로 제공
 - 편차(anomaly): 예측값과 기후값 (또는 평년값) 과의 차이
- 확률 MME 예측 (Probabilistic MME Forecast)
 - 3분위 확률값 제공(평년보다 낮음, 평년과 비슷, 평년보다 높음)
 - 1991-2010 기간의 hindcast를 기준으로 3분위 범주 산정

APEC기후센터 기후예측시스템

☑ APEC 기후센터 다중모델앙상블 기후예측시스템

사용할 만한 정보란? (properties of usable information)

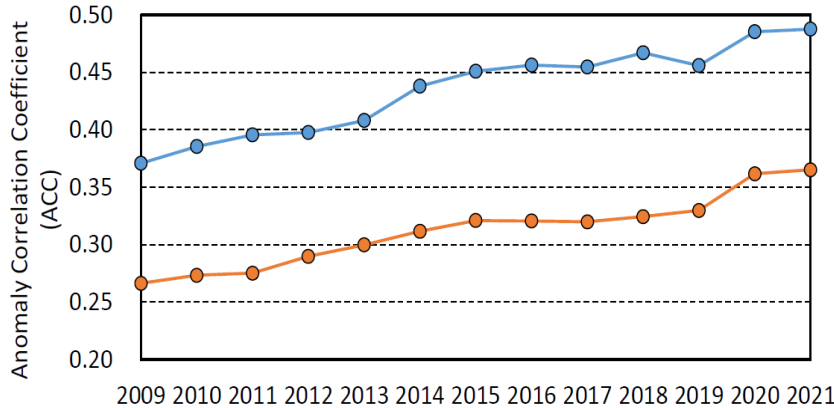
- **Credibility (신뢰성) : 믿을 만 한가?**
 - 정보의 품질 + 정보 제공 주체의 권위
- **Saliency (중요성) : 사용자의 필요와 상황에 적합한가?**
 - Scale, Variables, Products
- **Legitimacy (정당성) : 투명하고 왜곡없이 만들어졌는가?**
 - 객관성, 재현가능성, Openness

APEC기후센터 기후예측시스템

☑ APEC 기후센터 다중모델앙상블 기후예측시스템

• Credibility (신뢰성)

Global 3month mean Precip. and 2m Temp. hindcast skill

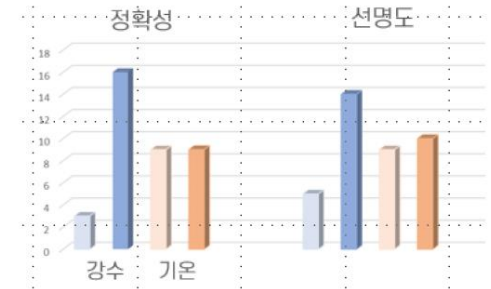
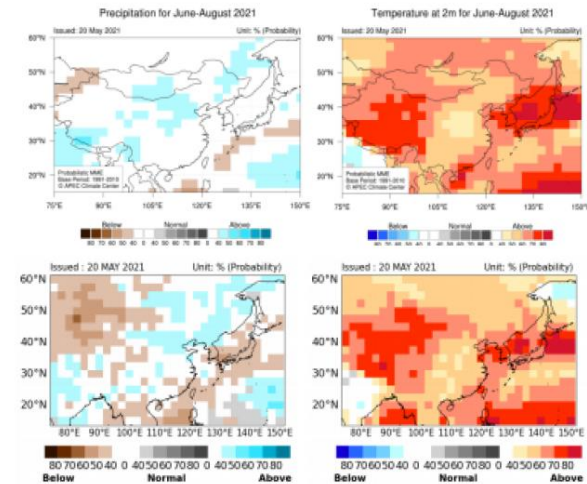


Individual models' improvement
+
Increased diversity
(8 countries → 11 countries)

Real time forecast skill during last 3 years (19-21), ROC score

| Source | APCC | WMOLC | ECMWF | NCEP | UKMO | JMA | Avg |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temp | 0.695 | 0.692 | 0.671 | 0.642 | 0.663 | 0.684 | 0.670 |
| Prec | 0.584 | 0.582 | 0.575 | 0.576 | 0.562 | 0.585 | 0.576 |

동아시아 특화 모델 선별 MME

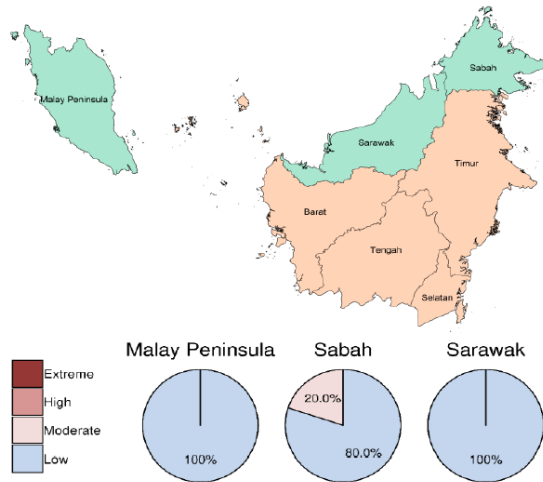


APEC기후센터 기후예측시스템

☑ APEC 기후센터 다중모델앙상블 기후예측시스템

- **Saliency (중요성)**

동남아시아 산불 경보 시스템

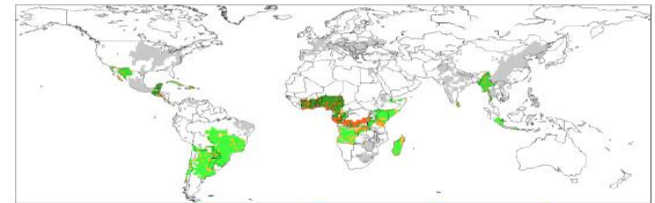


국제공동연구 (미국, 인도네시아, 일본 등)
&
Data tools

전지구 곡물생산량 예측

• Global Map of Yield Anomalies for Maize

Maize yield for coming harvest from Dec 2022 to Mar 2023 predicted using APCC MME (SCM) forecasts from Oct 2022 to Mar 2023



Lower-than-previous-year: 3-month lead, 4-month lead, 5-month lead, 6-month lead
Higher-than-previous-year: 3-month lead, 4-month lead, 5-month lead, 6-month lead
Other legends: No crop forecast is available, Maize is rarely produced

Experimental, limited access

CLIK (Climate information toolkit)

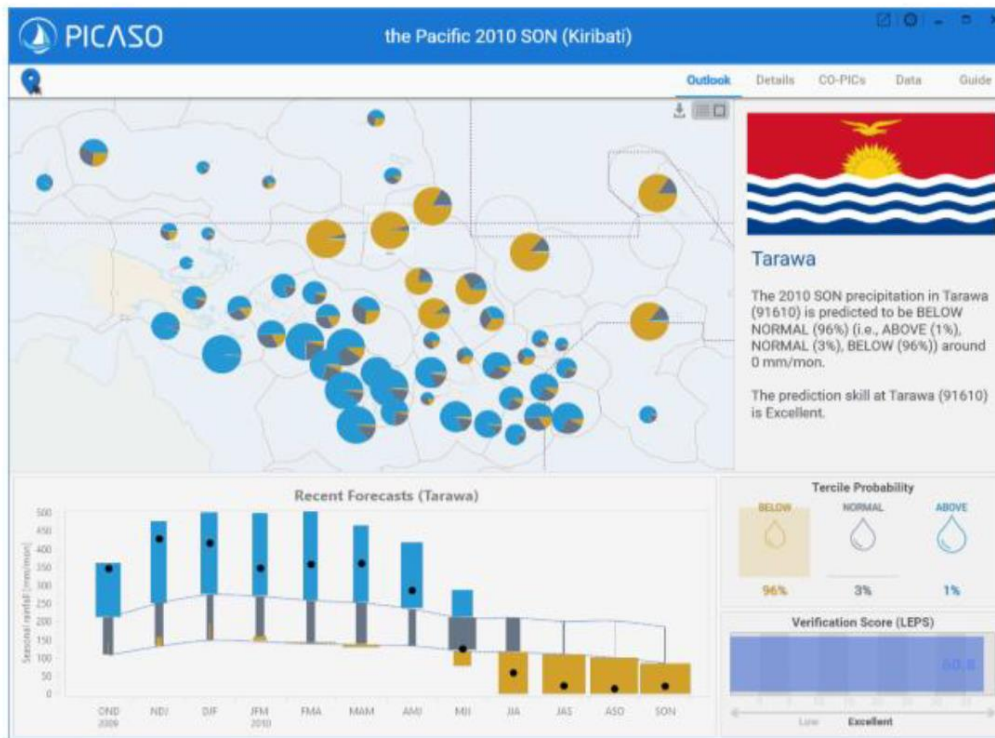
APEC기후센터 기후예측시스템

☑ APEC 기후센터 다중모델앙상블 기후예측시스템

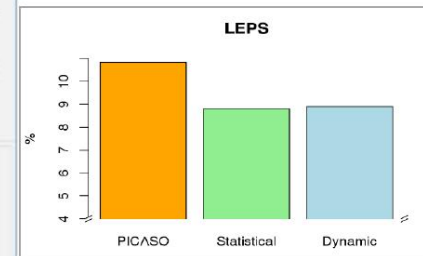
- **Credibility (신뢰성) + Saliency (중요성)**

PICASO

(Pacific Islands Country Advanced Seasonal Outlook)



Convert MME forecast to local forecast for Pacific islands



APEC기후센터 기후예측시스템

☑ APEC 기후센터 다중모델앙상블 기후예측시스템

- Legitimacy (정당성)

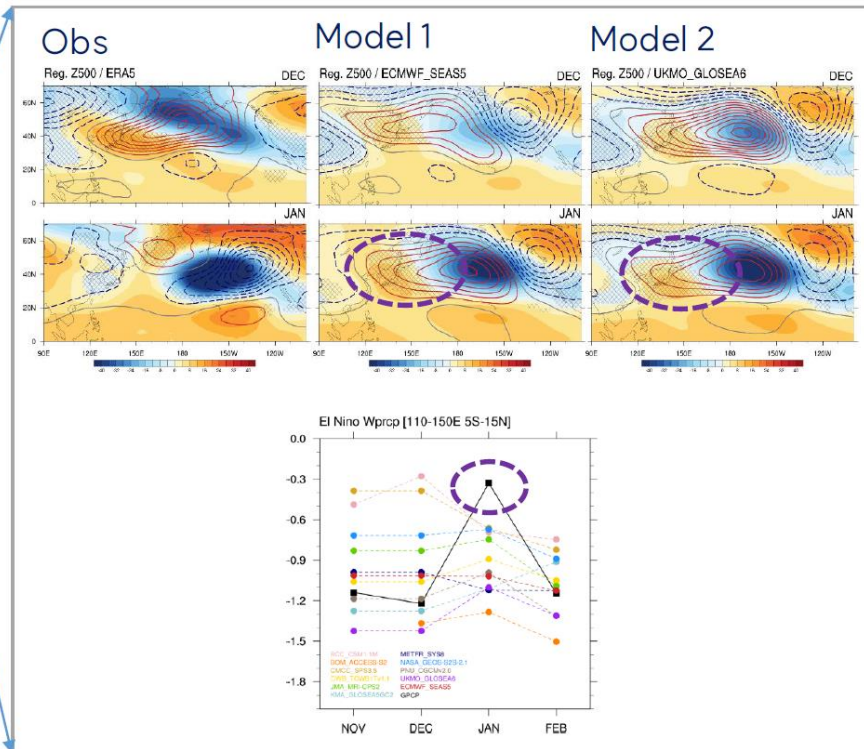
- 예보 객관화 (In the era of TMI)

✓ 예보 recipe



Systematic, Unmanned process

R2O



기후예측 기술의 미래

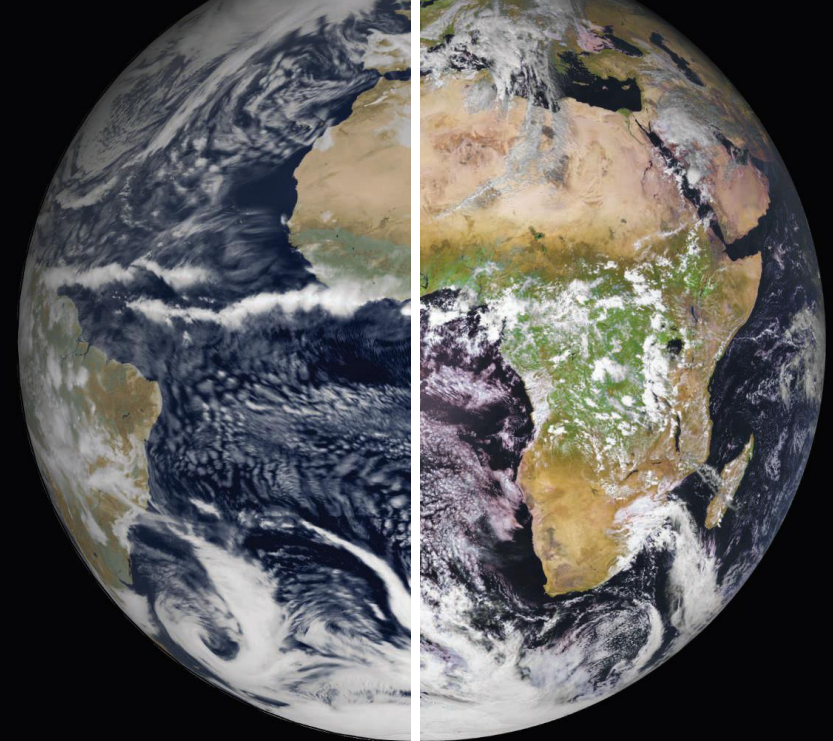
☑ 이음새 없는(seamless) 기후예측 기술 개발

- 세계기상기구, 선진국은 예측성 향상을 위해

이음새 없는 예측기술의 구현을 추구

- ✓ WMO : 지구시스템 예측 향상을 위해
이음새 없는 예측을 전략 목표로 설정
- ✓ 유럽(ECMWF): 증기예보 성능의 향상을 위해
지구시스템모델을 이용한
이음새 없는 예측을
발전 전략으로 설정
- ✓ 영국 : 이음새 없는 대기 및 해양예측시스템과
환경 예측시스템 개발을 전략 목표로 설정
- ✓ 미국 : 기상 및 기후예보 정확도 개선을 위한
이음새 없는 예측시스템 구축을 목표로 설정
- ✓ 호주 : 지구시스템 수치예보 역량 강화를 위해
이음새 없는 모델시스템을 주요 목표로 설정
- ✓ 독일 : 모든 시간규모에서의 이음새 없는 예측을
개발전략으로 설정

Europe builds 'digital twin' of Earth to hone climate forecasts (Science, 2020.10)

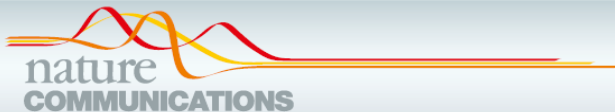


수일에서 수년 예측을 위해 개발되고 있는 기후모델이 거대연산(exascale) 자원을 이용하여 1km의 정밀도(resolution)로 재현한 결과(좌측)와 관측(우측)과의 비교

기후예측 기술의 미래

APCC

기후예측 모델 개선: 1년 후의 몬순 성공적 예측



ARTICLE

Check for updates

<https://doi.org/10.1038/s41467-021-22299-6>

OPEN

Skilful predictions of the Asian summer monsoon one year ahead

Yuhei Takaya¹, Yu Kosaka², Masahiro Watanabe³ & Shuhei Maeda⁴

The interannual variability of the Asian summer monsoon has significant impacts on Asian society. Advances in climate modelling have enabled us to make useful predictions of the seasonal Asian summer monsoon up to approximately half a year ahead, but long-range predictions remain challenging. Here, using a 52-member large ensemble hindcast experiment spanning 1980–2016, we show that a state-of-the-art climate model can predict the Asian summer monsoon and associated summer tropical cyclone activity more than one year ahead. The key to this long-range prediction is successfully simulating El Niño–Southern Oscillation evolution and realistically representing the subsequent atmosphere–ocean response in the Indian Ocean–western North Pacific in the second boreal summer of the prediction. A large ensemble size is also important for achieving a useful prediction skill, with a margin for further improvement by an even larger ensemble.

Yuhei T. et al.,
**Skilful predictions
of the Asian
summer monsoon
one year ahead,**
Nature
Communications,
2021. 4

기후예측 기술의 미래

☑️ **신기술(AI, 딥러닝 등)을 이용한 기후예측 기술 개발**

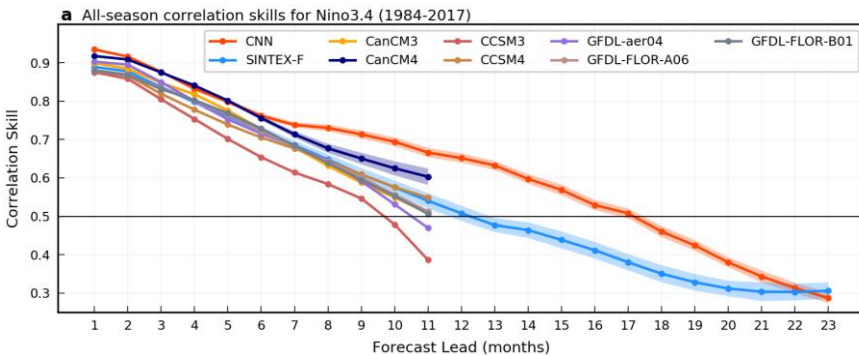
- 선진국은 인공지능 기술을 기후예측에 접목하기 위한 기술 개발을 적극적으로 추진하고 있음
 - ✓ 미국 : 국가기관 및 대학 등에서 인공신경망 기법을 이용한 강수의 확률 중기예측 기법, 머신러닝을 이용한 기온과 강수의 중장기 예측 기법 등을 개발 중
 - ✓ 유럽: 국가기관 및 대학에서 머신러닝을 이용한 기온 등의 확률 중기예측 기법, 딥러닝을 이용한 중기예측의 오차보정 기법 등을 개발 중
 - ✓ 중국 : 일부 대학에서 머신러닝을 이용한 기온의 장기예측 기법 등을 개발 중
 - ✓ 일본 : 출연연구소에서 머신러닝을 이용한 기온의 장기예측 기법 등을 개발 중
- IBM, Microsoft 등의 글로벌 기업 역시 인공지능 기술을 이용한 기후예측 기술개발을 추진 중
 - ✓ Microsoft: 머신러닝 기법에 기반한 장기예측시스템을 개발하고 미국에서 운용 중인 기후예측모델과 비교
- 국내에서는 일부 대학, APCC 등이 기계학습, 딥러닝 등을 이용한 중장기 기후예측 기술개발 추진 중

기후예측 기술의 미래

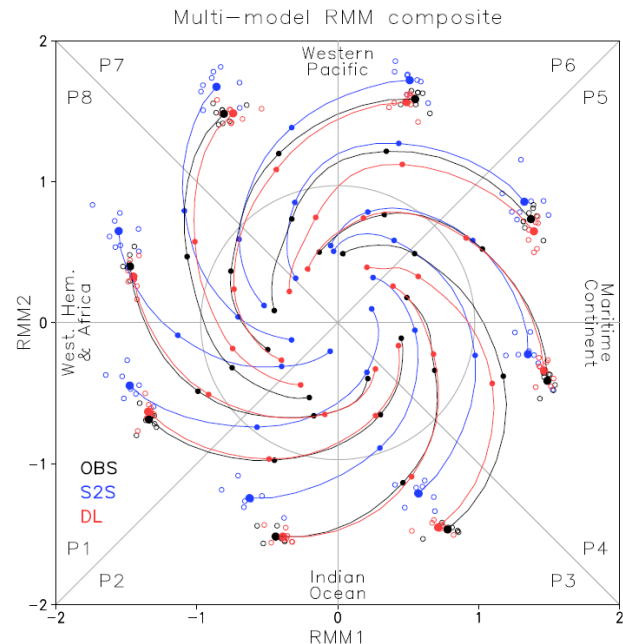
DL을 이용한 기후예측 개선

- DL을 이용한 ENSO 예측
 - 약 18개월 전에 ENSO 예측 가능

- DL을 이용한 MJO 예측
 - 기후예측 모델의 오차 보정 효과 : 강도 90%, 위상 77%



(Ham et al., Nature, 2019)



(Kim et al., Nature, 2021)

기후예측 기술의 미래



☑ 지역맞춤형 기후예측 기술 개발

- 다중모델앙상블 기후예측을 이용하여 특정지역에 대한 역학-통계 모형 구축
- 전문가 선정 예측인자 가이드에 AI 알고리즘을 적용 → 예측인자 자동 선정, 기후전망 자동 생성

ESPreSSO v3.0.6 Patent#10-1901311, Copyright 2018, W.Kim @ Team ESPreSSO by WonMoo Kim (WonMoo.Kim@apcc21.org)

Climate Outlook for September [Lead+1] Tmean 2019:

The ESPreSSO™ thinks the Eastern Pacific 2 m air temperature through teleconnection is important aspect to consider in APCC MME when predicting September [Lead+1] Tmean in Korea.
In September 2019, the 2 m air temperature is predicted to be exceptionally positive in APCC MME.
As a result, the ESPreSSO™ predicts the September Tmean to be AN (AN: 44%, NN: 36%, BN: 20%). The mode of Tmean is predicted to be 20.6°C, with the Highest Density Intervals (HDIs) of 50% and 90% are expected to be 20.0 ~ 21.2°C and 19.2

① 특정지역(ex. 우리나라)에 대한 기후예측 전망 제시

ESPreSSO v3.0.6 Patent#10-1901311, Copyright 2018, W.Kim @ Team ESPreSSO by WonMoo Kim (WonMoo.Kim@apcc21.org)

Conceptual Diagram of Climate Drivers and Responses:

Above conceptual diagram shows that the September [Lead+1] Tmean is moderately positively related to the Eastern Pacific 2 m air temperature as defined by t2m [170°W-110°W, 10°N-25°N] for some stations through teleconnection.

③ 선택된 예측인자와 특정지역(ex. 우리나라) 기후 사이의 관련성, 영향 정도, 의미를 모식도로 제시

Predictor information:

Specifically, September [Lead+1] Tmean in Korea is moderately positively related to the Eastern Pacific 2 m air temperature as defined by t2m [170°W-110°W, 10°N-25°N] for some stations through teleconnection.
In September 2019, the 2 m air temperature is predicted to be exceptionally positive in APCC MME.
As a result, the ESPreSSO™ predicts the September Tmean to be AN (AN: 44%, NN: 36%, BN: 20%).
Note that the prediction skill of ESPreSSO™ for September [Lead+1] Tmean is high (HSS 29.1%)

Map:

② 기후예측 전망에 이용된 예측인자 제시 + 권역별 상세 예측 제시

Verification Information: ④ 예측성능의 검증 결과 제시

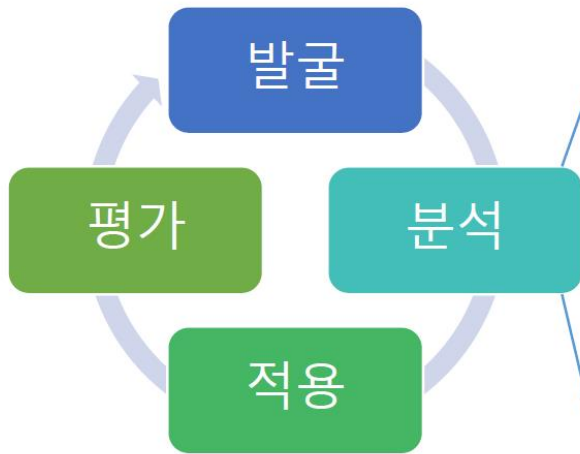
| Lead | Cast | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 | ALL | -4.6 | -2.6 | 32.9 | -2.6 | 23.6 | 23.0 | 10.8 | 18.9 | 29.1 | 35.1 | 12.8 | 10.8 |
| | HIND | 0.9 | -4.5 | 49.1 | -1.8 | 26.8 | 15.2 | 8.9 | 22.3 | 30.4 | 33.0 | 19.6 | 17.0 |
| | FORE | -20.0 | 2.5 | -12.5 | -5.0 | 13.9 | 47.2 | 16.7 | 8.3 | 25.0 | 41.7 | -8.3 | -8.3 |
| 2 | ALL | 3.3 | 3.3 | 28.9 | 15.1 | 31.8 | 29.7 | 14.9 | 4.7 | 31.1 | 20.9 | 12.8 | 23.0 |
| | FORE | 3.6 | -1.8 | 43.8 | 19.6 | 39.3 | 23.2 | 14.3 | 8.9 | 27.7 | 27.7 | 11.6 | 19.6 |
| 3 | ALL | 15.1 | 9.2 | 19.1 | -0.7 | 33.1 | 34.5 | 20.9 | 6.8 | 29.1 | 6.8 | 10.8 | 16.9 |
| | HIND | 17.0 | 8.9 | 22.3 | 6.2 | 33.0 | 24.1 | 25.0 | 11.6 | 22.3 | 11.6 | 14.3 | 27.7 |
| | FORE | 10.0 | 10.0 | 10.0 | -20.0 | 33.3 | 66.7 | 8.3 | -8.3 | 50.0 | -8.3 | 0.0 | -16.7 |

기후예측 기술의 미래

☑ 예보객관화 기술 개발

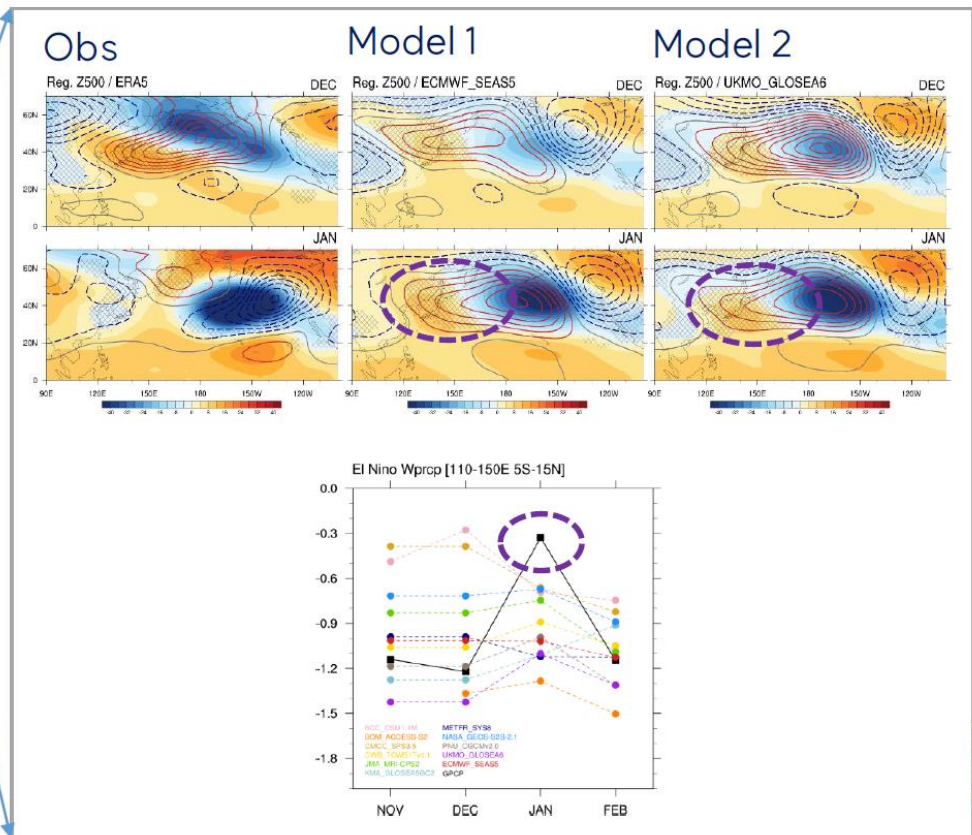
- 예측 인자 발굴, 분석, 적용, 평가 등의 예보 생산 과정을 무인시스템화

✓ 예보 recipe



Systematic, Unmanned process

R2O





감사합니다.



APCC Deterministic MME

- **SCM**: simple averaged MME with equal weight

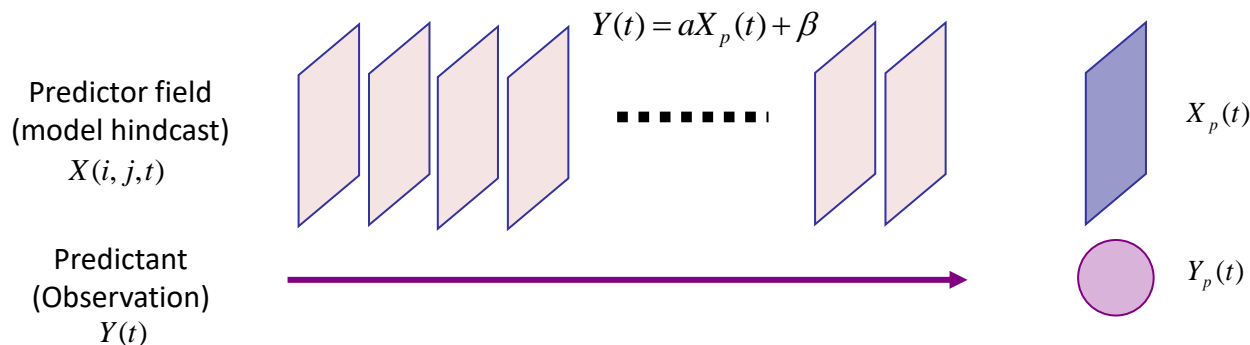
$$P = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M F_i$$

M: number of forecast models
 F_i : forecast of i^{th} model

- **SPM**: simple composite of individual model forecasts, after statistical correction (downscaling) by **pattern projection method** (Kug et al. 2008)

$$P = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \hat{F}_i$$

\hat{F}_i : corrected forecast of i^{th} model



APCC Deterministic MME

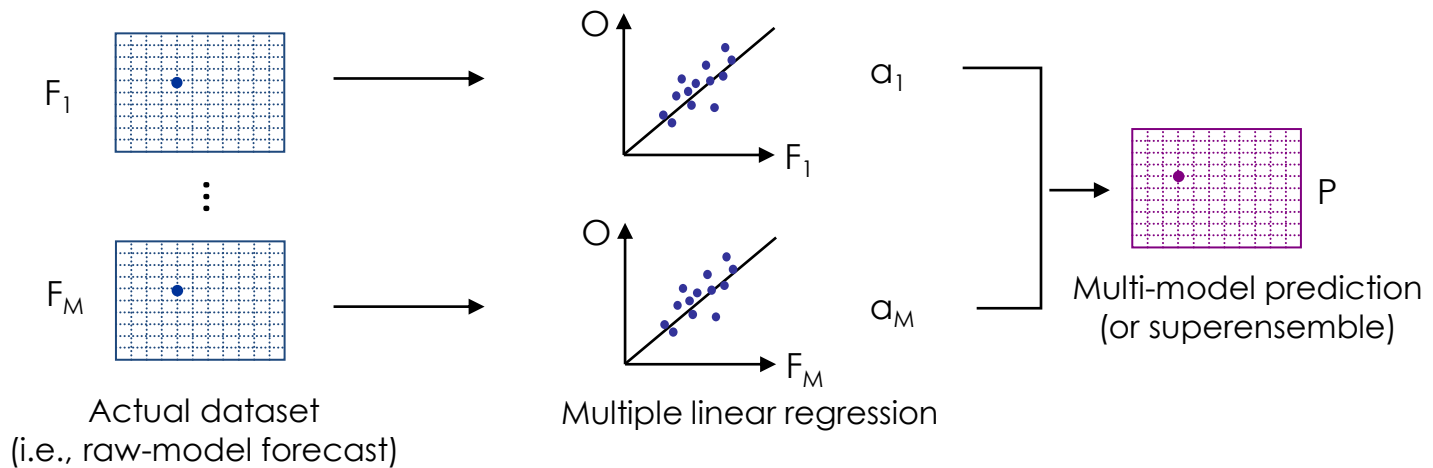
- **MRG: empirically weighted MME** with regression coefficients (Yun et al. 2003)

$$P = \sum_{i=1}^M a_i F_i$$

M : number of forecast models

F_i : forecast of i^{th} model

a_i : regression coefficients during the training period



APCC Deterministic MME

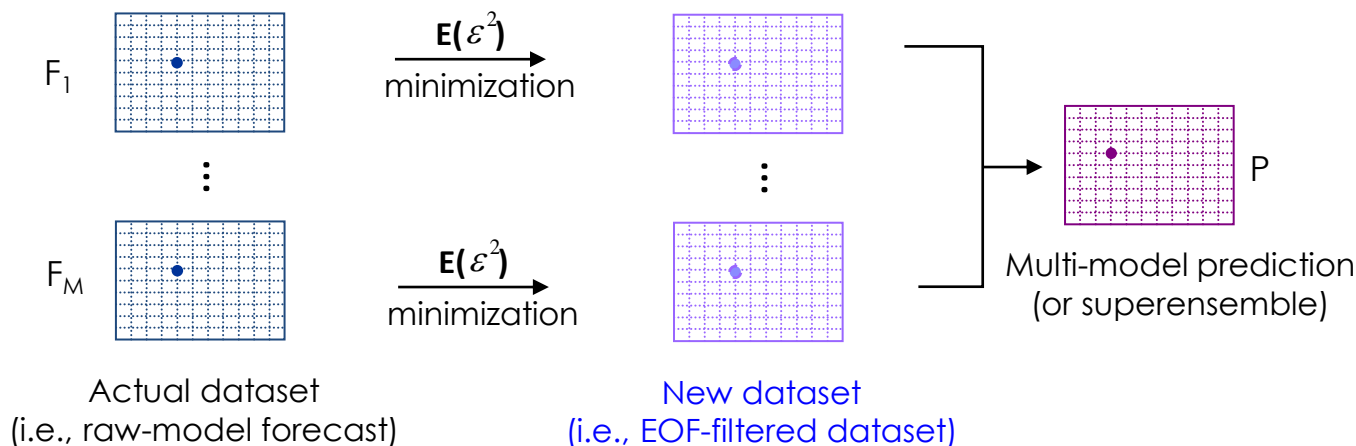
- **SSE: empirically weighted MME** with **EOF-filtering of the actual dataset** by finding a consistent spatial pattern between the observed and individual model forecast (Yun et al. 2005)

$$P = \sum_{i=1}^M a_i \hat{F}_i$$

M: number of forecast models

\hat{F}_i : corrected forecast of i^{th} model

a_i : regression coefficients during the training period



다중모델 앙상블(MME) 기술

단정 MME (Deterministic MME) 기법

• SCM (Simple Composite Method)

: Simple composite of bias-corrected individual forecast with equal weighting.

$$S_t = \bar{O} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_{i,t} - \bar{F}_i)$$

$F_{i,t}$: i^{th} model forecast at time t

\bar{F}_i, \bar{O} : Climatology of the i^{th} forecast and obs.

N : the number of forecast models involved

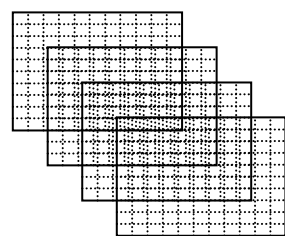
• MRG (Multiple Regression Method)

: Optimally weighted composite of individual forecasts.

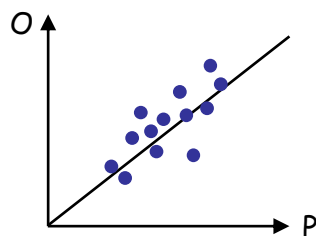
The weighting coefficient is generated using point-wise regression technique.

$$S_t = \bar{O} + \sum_{i=1}^N a_i (F_{i,t} - \bar{F}_i)$$

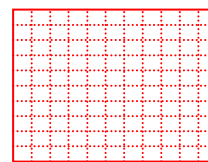
a_i : regression coefficients obtained by SVD



Actual Data Set (N)



Regression → SVD



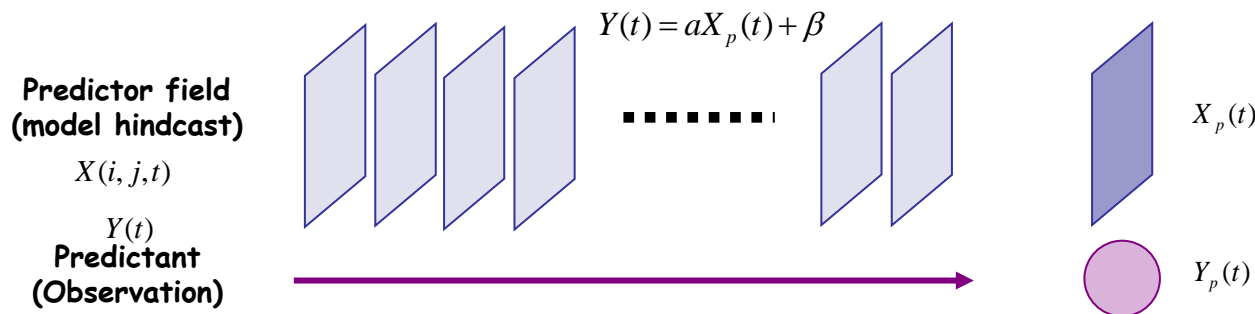
Prediction

다중모델 앙상블(MME) 기술

단정 MME (Deterministic MME) 기법

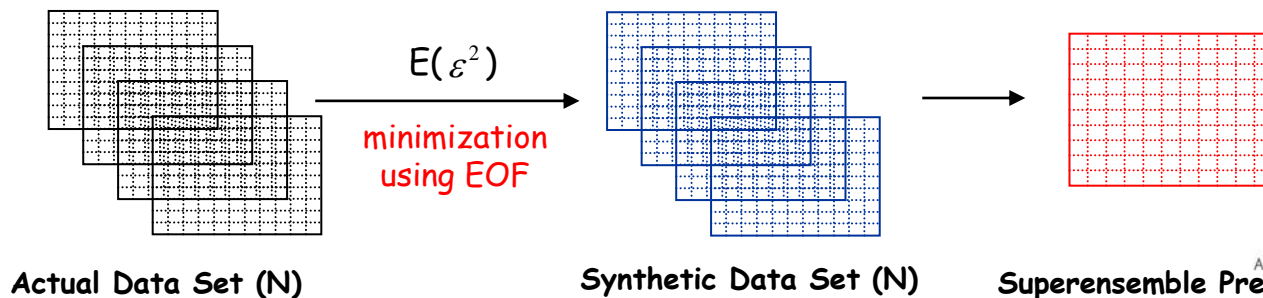
• CPPM (Coupled Pattern Projection Method)

: Statistical downscaling forecast in which an optimal forecast field is projected onto the observation at the target point



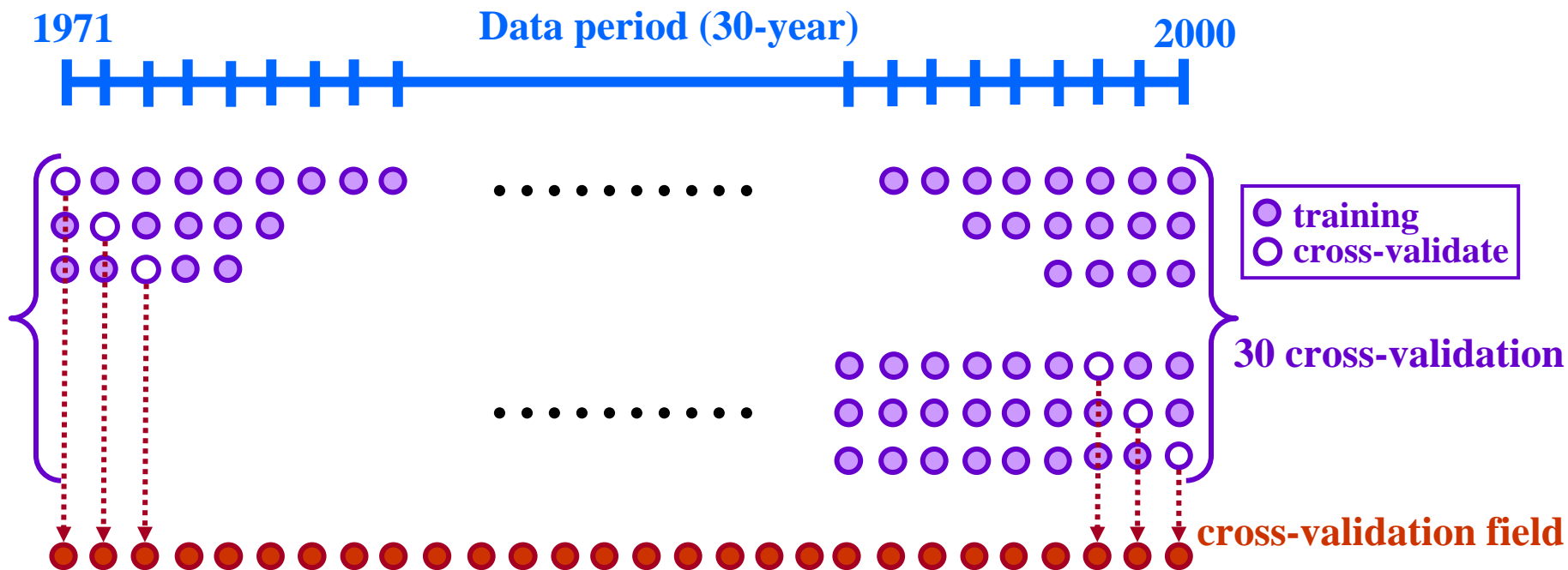
• SSEM (Synthetic Multi-Model Super Ensemble Method)

: Weighted combination of statistically corrected multi-model output.



다중모델 앙상블(MME) 기술

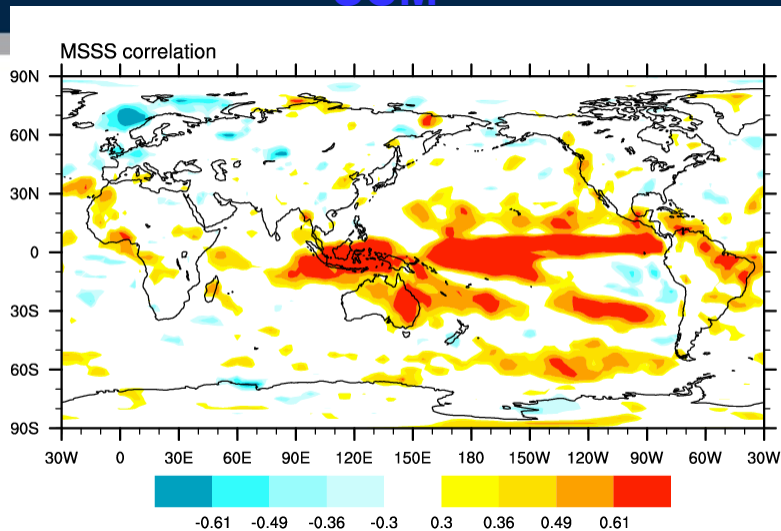
교차 검증(Cross Validation)



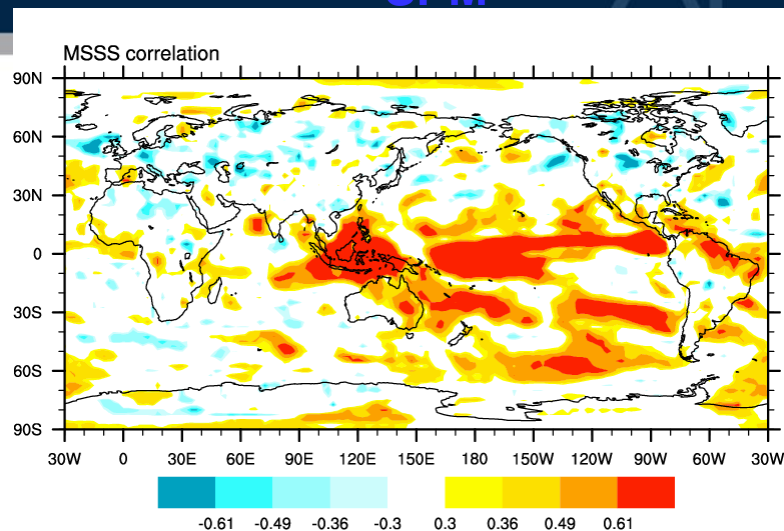
- Taking out one sample out of the whole data period.
- Building statistical model with the rest of the period and applying the model to the sample taken out.
- Repeating this procedure until the whole cross-validation field completed.

MSSS correlation (Prec)

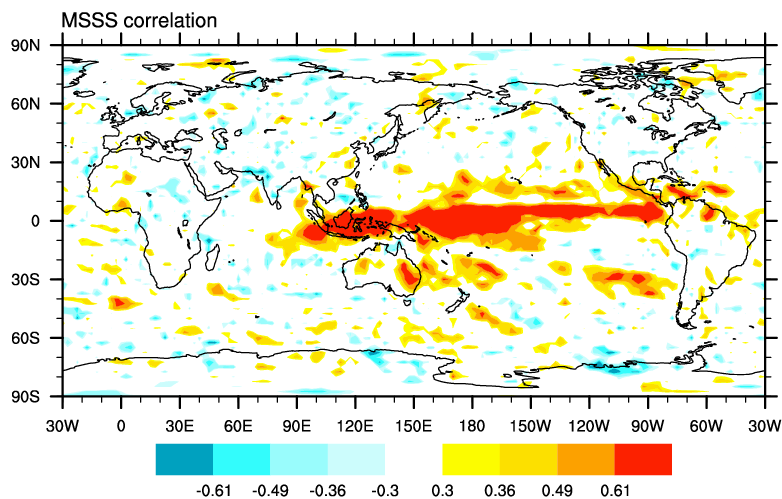
SCM



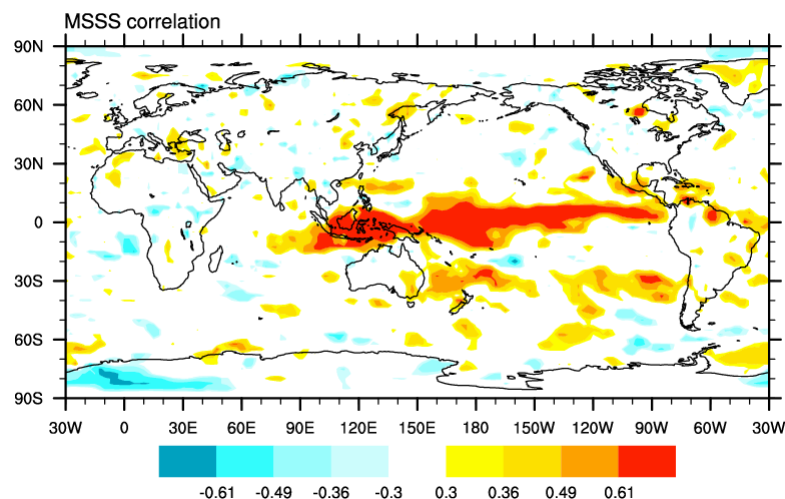
SPM



MRG



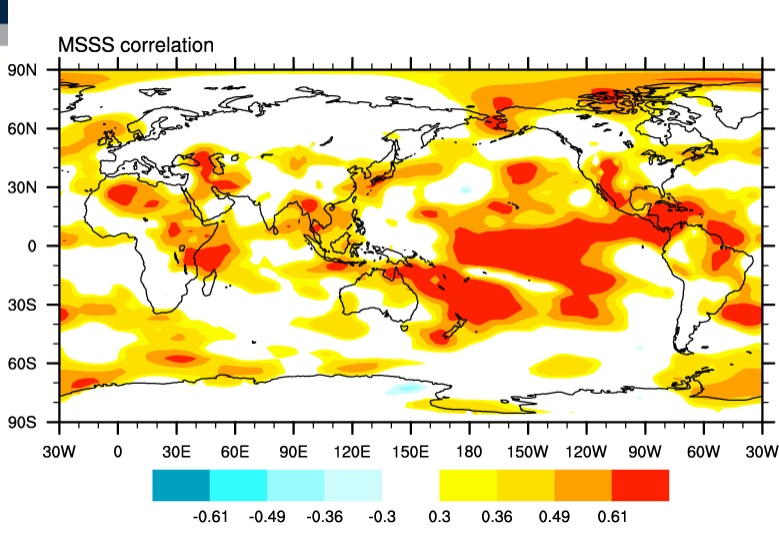
SSE



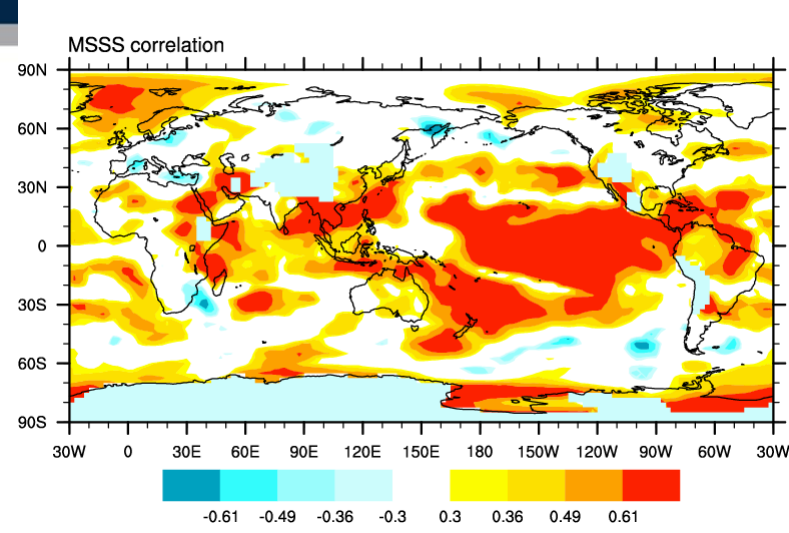
MSSS correlation (T850)



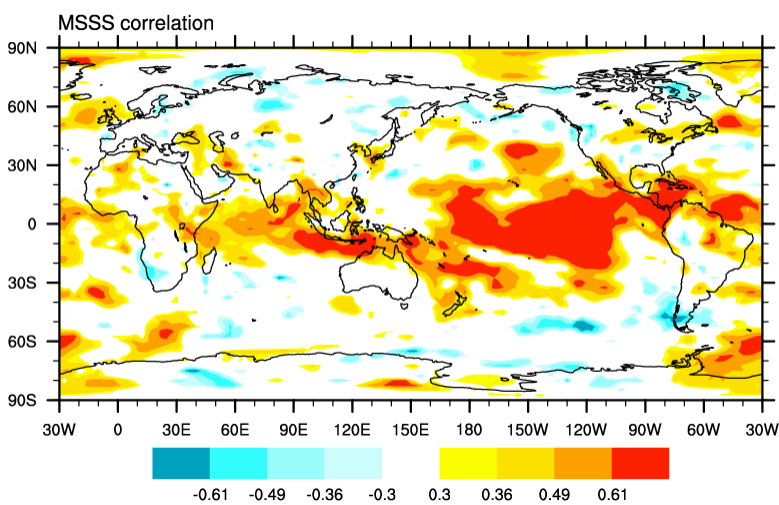
SCM



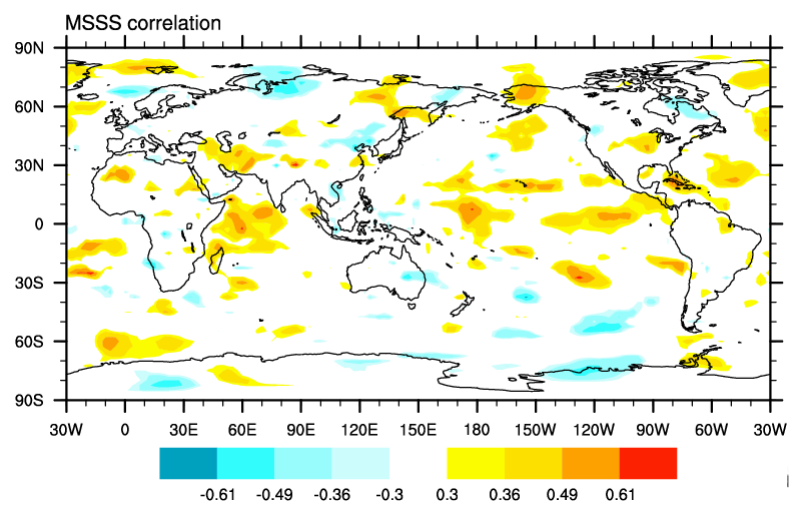
SPM



MRG

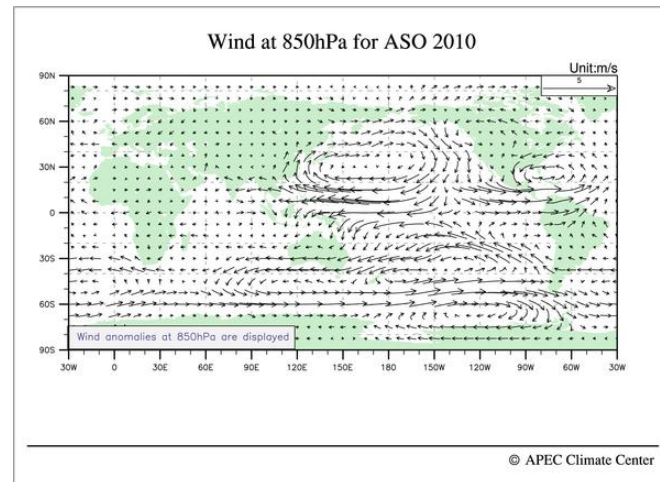
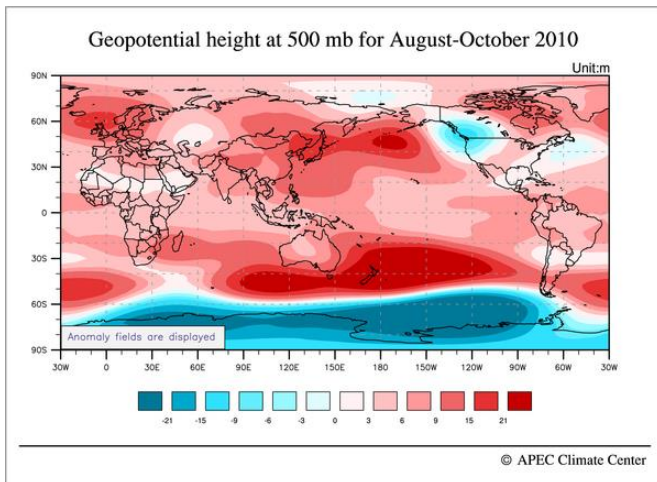
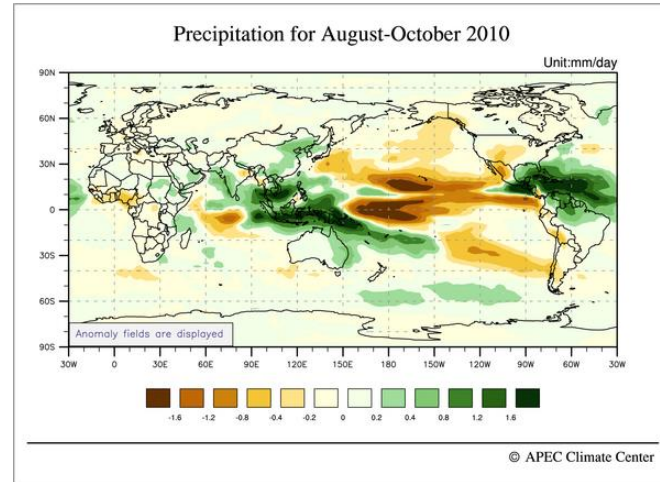
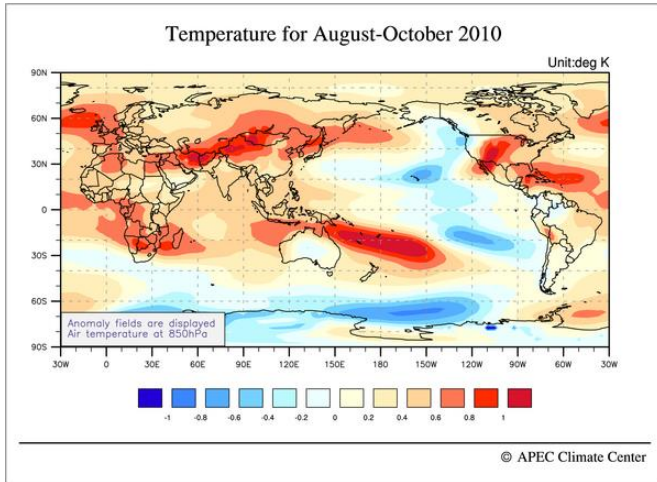


SSE



다중모델 앙상블(MME) 기술

단정 MME (Deterministic MME) 기법



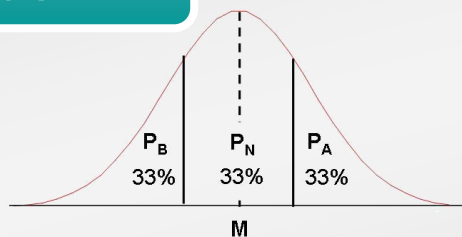
다중모델 앙상블(MME) 기술

APCC

확률 MME(Probabilistic MME) 기법 **Gaussian approximation**

Defining terciles

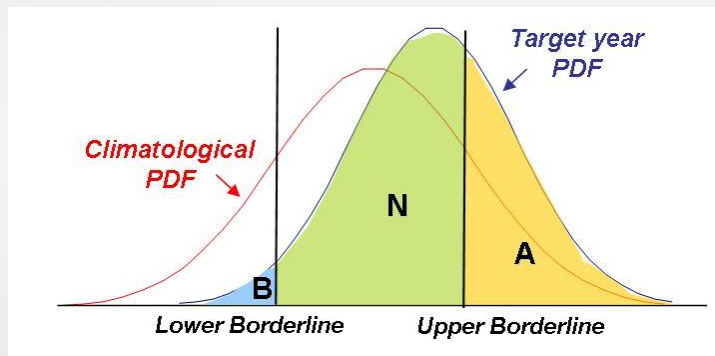
Normal fitting method



- For the middle/upper tercile boundary :
mean plus 0.43 times the standard deviation
→ $\mu + 0.43\sigma$
- For the lower/middle tercile boundary :
mean minus 0.43 times the standard deviation
→ $\mu - 0.43\sigma$

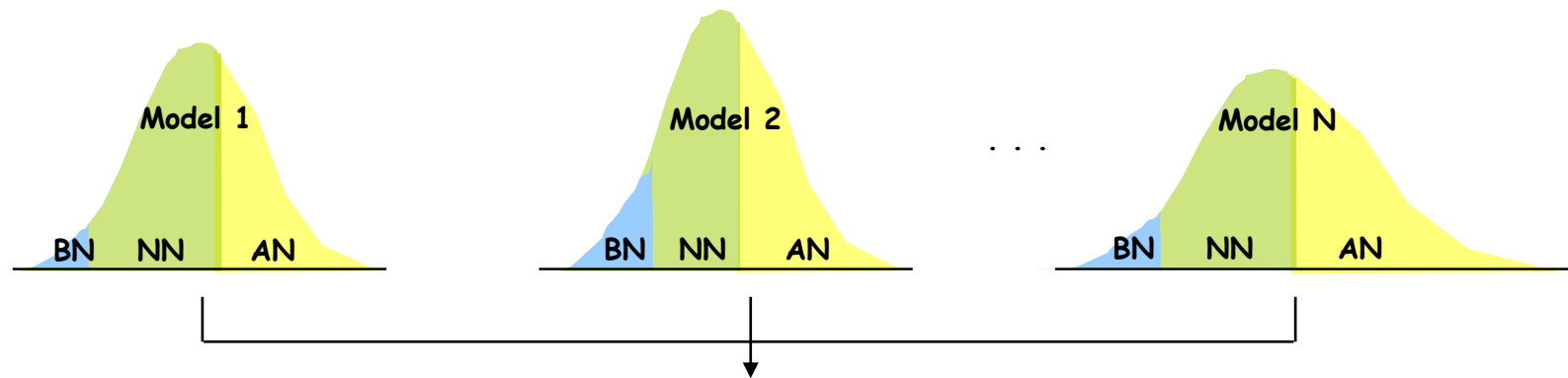
Forecast probability

- A** Probability of Above-normal
- N** Probability of Near-normal
- B** Probability of Below-normal



다중모델 앙상블(MME) 기술

확률 MME(Probabilistic MME) 기법 Multi-model combination



“ Probabilistic Multi-Model Ensemble “

$$P(E) = \sum_{i=1}^M P(Model_i) \times P(E / Model_i)$$

model weight forecast probability of an event

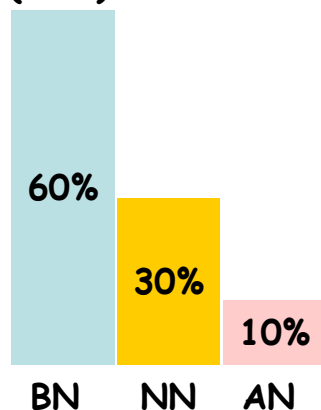
$$P(E) = \frac{1}{\sum_{i=1}^M \sqrt{n_i}} \sum_{i=1}^M \sqrt{n_i} P(E / Model_i)$$

→ Weight for each model is proportional to the square root of the ensemble size of **Model_i**

다중모델 앙상블(MME) 기술

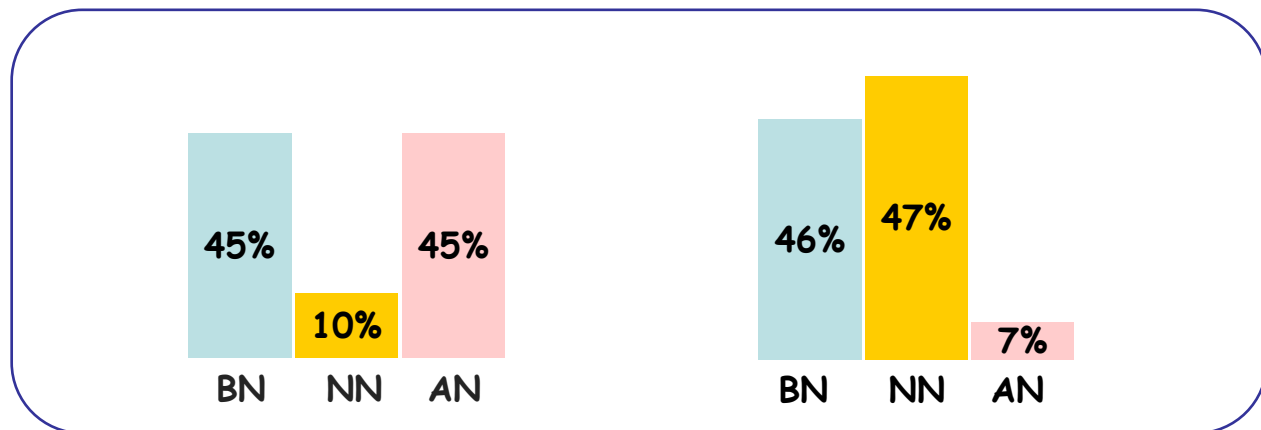
확률 MME(Probabilistic MME) 기법 Tercile map

(EX1)



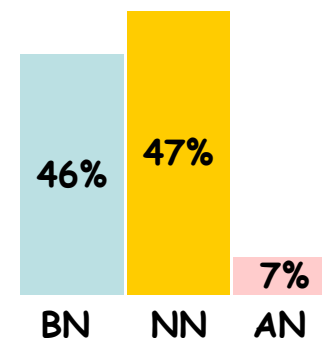
“ Below Normal “

(EX2)



“ ??? “

(EX3)



“ Near Normal ??? “

“ Chi-square Test ”

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k (O_i - E_i)^2 / E_i$$

k : number of categories
 O : observed frequencies in forecast
 E : expected frequencies

If differences are not significant at 5% sig. level.

→ **UNCERTAINTY!!!!**

다중모델 앙상블(MME) 기술

확률 MME (Probabilistic MME) 기법

Temperature at 850hPa for 2006 JJA

