

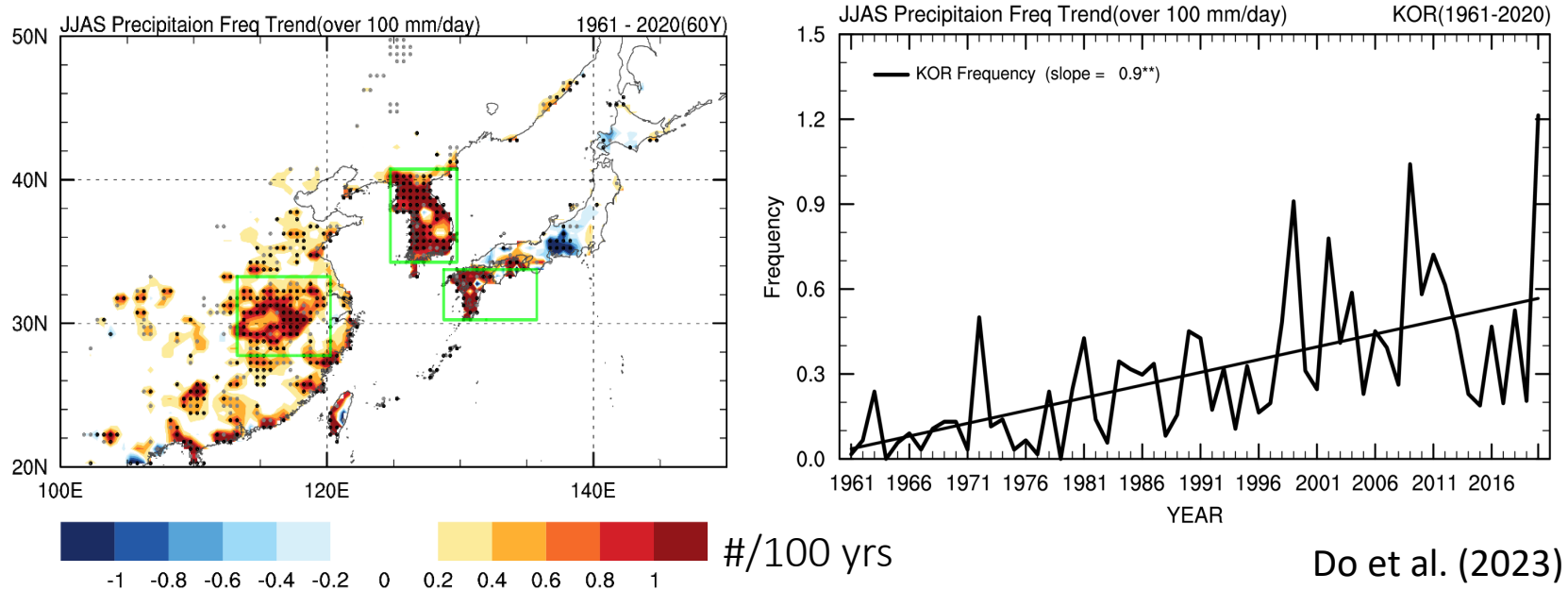
한반도 극한 강수의 장기 변화

손석우, 박찬일, 박시은

서울대학교 지구환경과학부



1961-2020년간 극한 강수(100 mm/day) 빈도 변화



- 동아시아 지역 집중호우 발생은 꾸준히 증가하며, 그 증가 경향은 가까운 미래에 가속화될 것으로 보고됨.
- 그러나 원인에 대한 이해는 여전히 부족함.

극한 강수는 왜 변하는가?

$$P_e = -\epsilon \int \omega \frac{\partial q_{sat}}{\partial p} \frac{dp}{g}$$

Muller and Takayabu (2021)

P_e : 극한 강수량

ϵ : 강수 효율

ω : 연직 운동

dq_{sat}/dp : 포화비습의 연직 변화

극한 강수 변화 원인

극한 강수는 왜 변하는가?

$$P_e = -\epsilon \int \omega \frac{\partial q_{sat}}{\partial p} \frac{dp}{g}$$

Muller and Takayabu (2021)

P_e : 극한 강수량

ϵ : 강수 효율

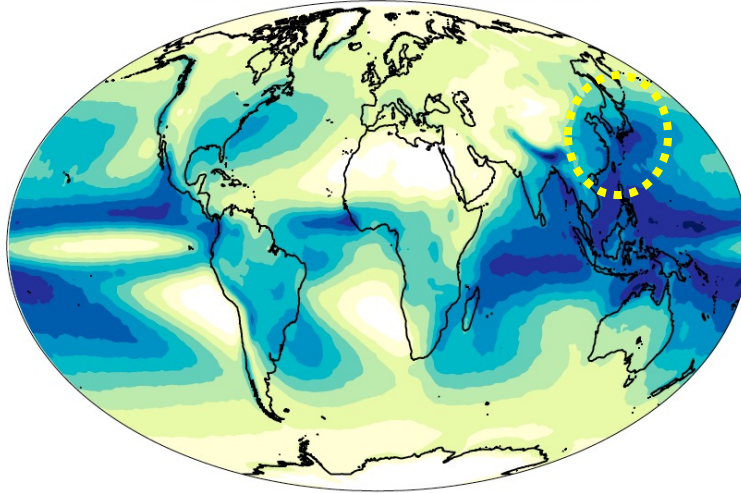
ω : 연직 운동

dq_{sat}/dp : 포화비습의 연직 변화

1981-2000년간 극한 강수량(연중 최대 일 강수량) 기후값과 이론적 추정: CMIP5

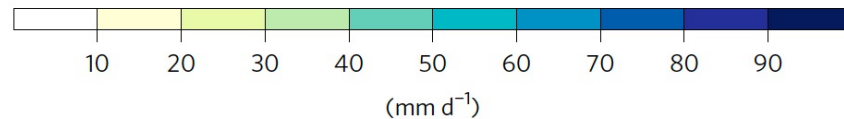
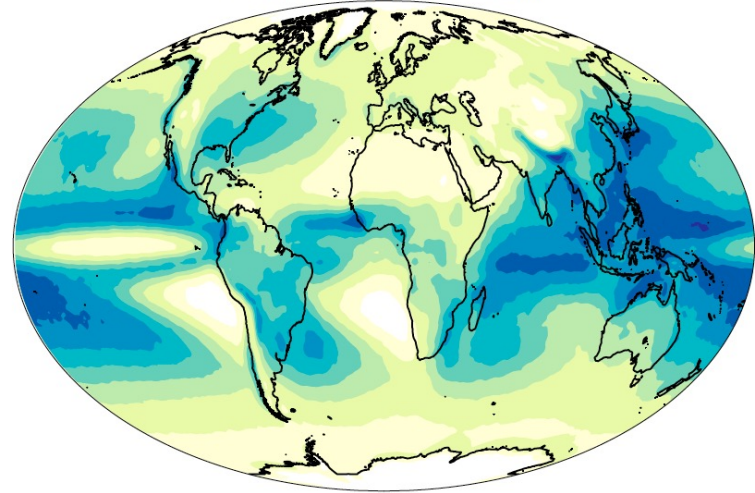
a

Annual maximum precipitation (Rx1day)



b

Precipitation extremes scaling



Pfal et al. (2017)

극한 강수 변화 원인

극한 강수는 왜 변하는가?

$$P_e = -\epsilon \int \omega \frac{\partial q_{sat}}{\partial p} \frac{dp}{g}$$

Muller and Takayabu (2021)

P_e : 극한 강수량

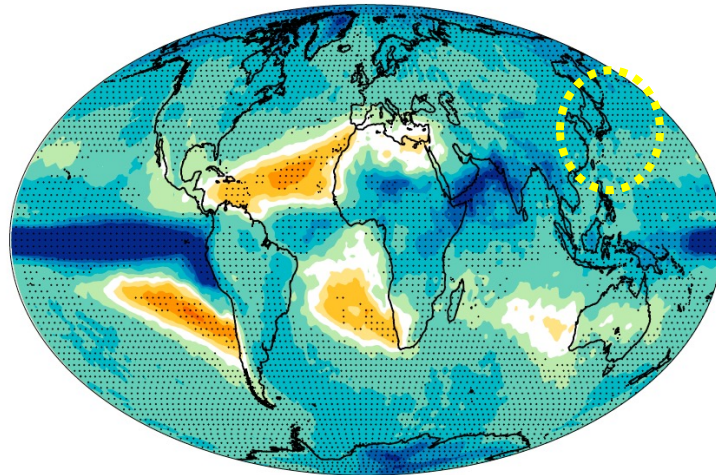
ϵ : 강수 효율

ω : 연직 운동

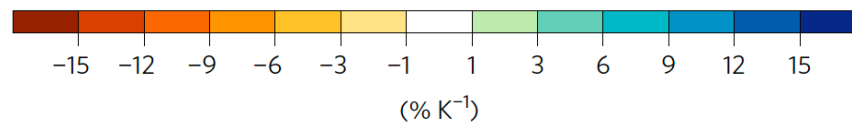
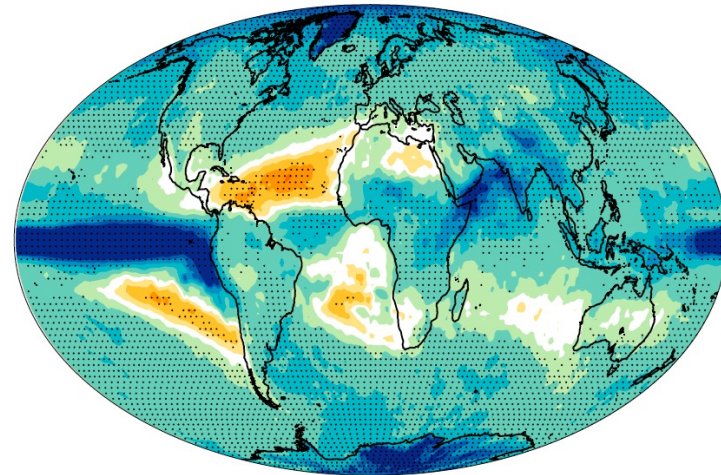
dq_{sat}/dp : 포화비습의 연직 변화

1950-2100년간 극한 강수량(연중 최대 일 강수량)의 장기 변화와 이론적 추정

a Change in annual maximum precipitation (Rx1day)

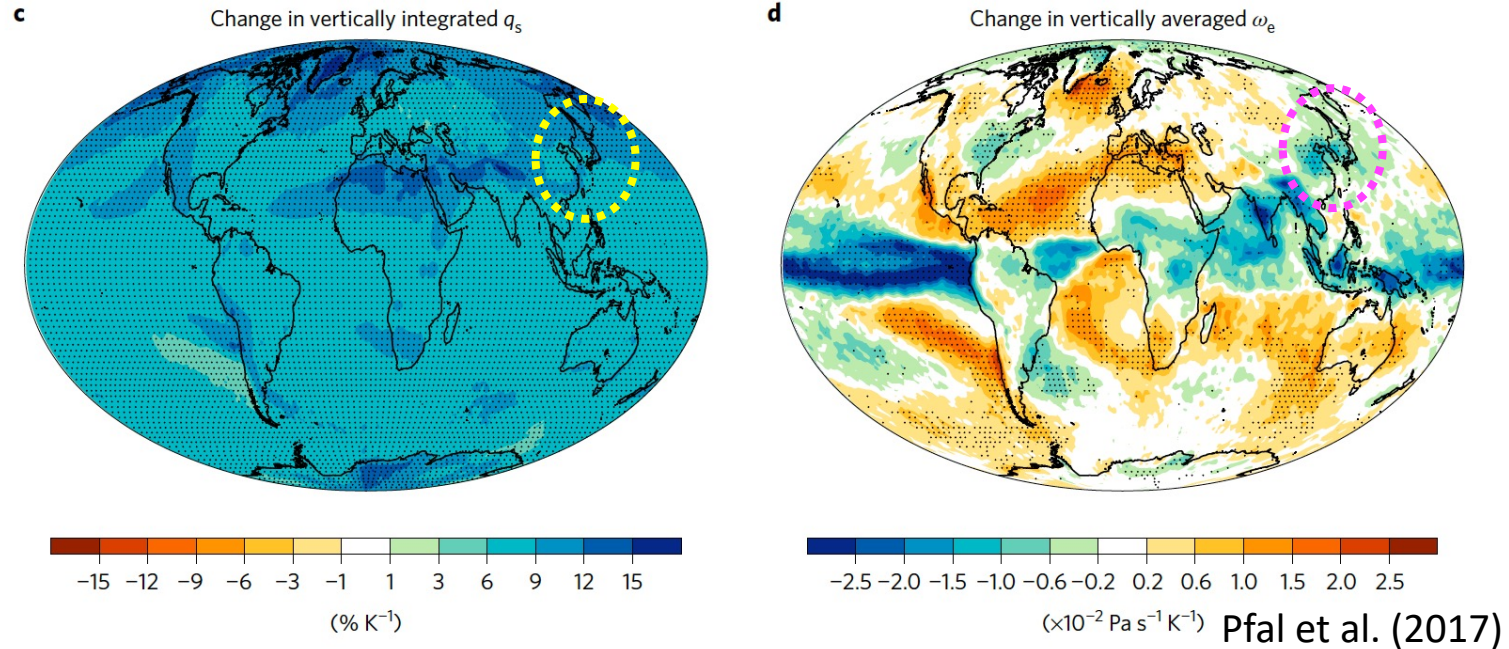


b Change in scaling



Pfal et al. (2017)

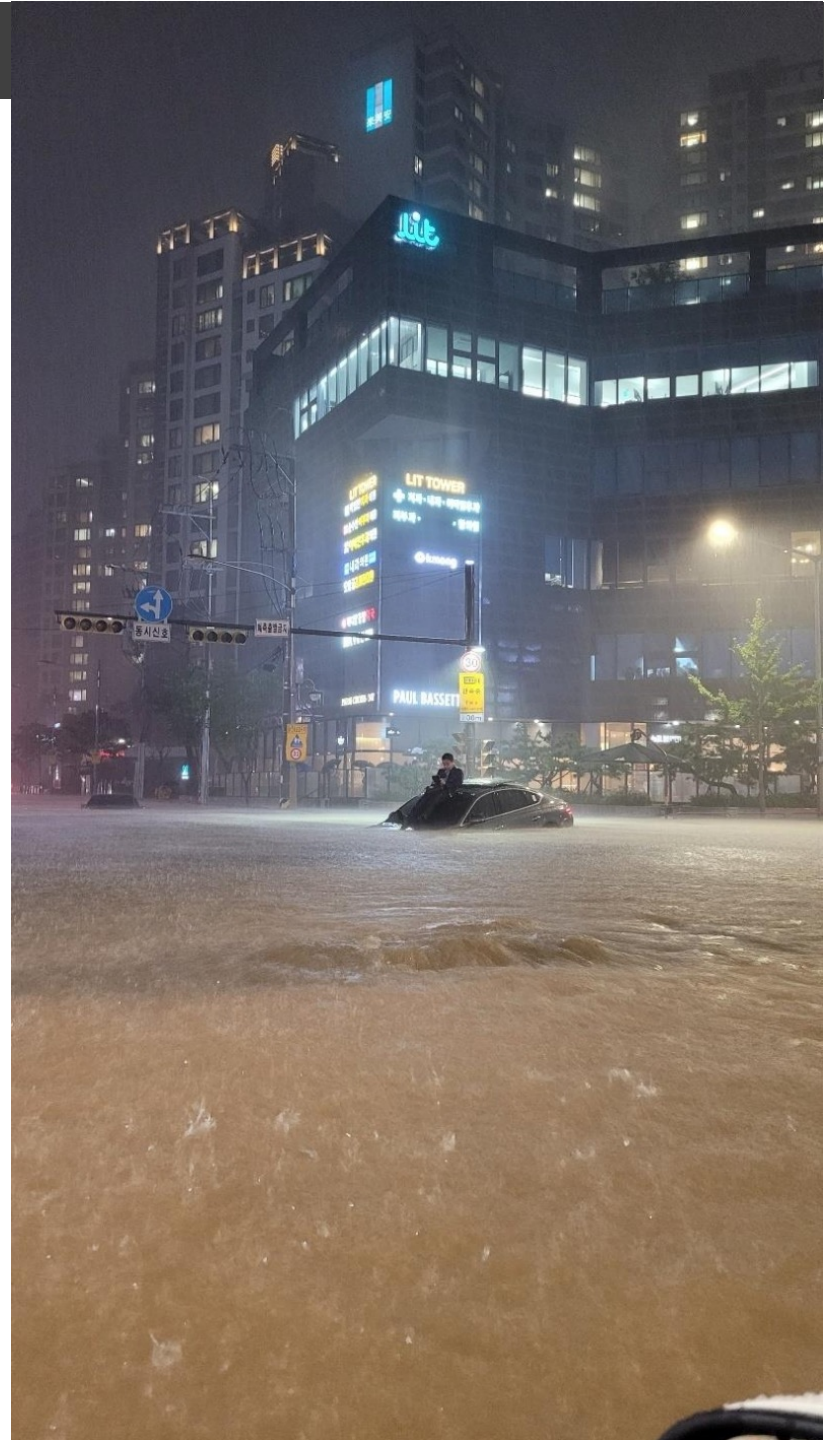
1950-2100년간 포화비습과 상승 운동의 변화



- 미래 극한 강수의 지역적 변화는 상승운동의 변화에 의해 결정됨.
- 미래 **동아시아 극한 강수의 변화는 전반적인 습윤화와 국지적인 상승운동의 강화 때문**으로 추정됨.

한반도 극한 강수

한반도 극한 강수의 변화,
상승운동의 변화가 기여하는가?



한반도 극한 강수의 장기 변화

- 한반도 강수 모의가 가능한 고해상도 기후모형 분석 필요
- 한반도 극한 강수 변화 원인 이해 필요

$$P_e = -\epsilon \int \omega \frac{\partial q_s}{\partial p} \frac{dp}{g}$$
$$\approx -\epsilon \omega_{500} \int \frac{\partial q_s}{\partial p} \frac{dp}{g}$$

P_e : 극한 강수량

ϵ : 강수 효율

ω_{500} : 500hPa 연직 운동

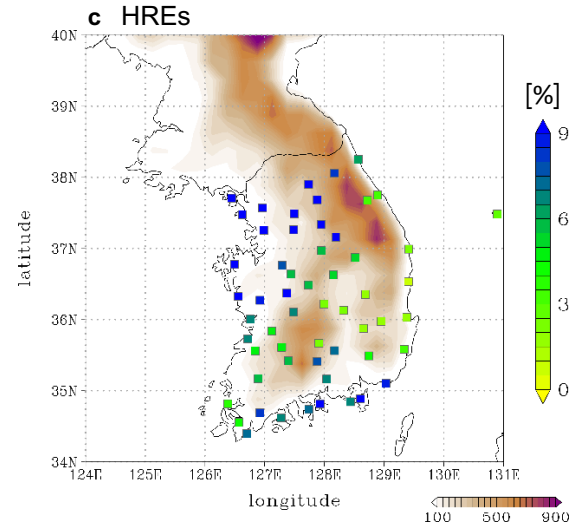
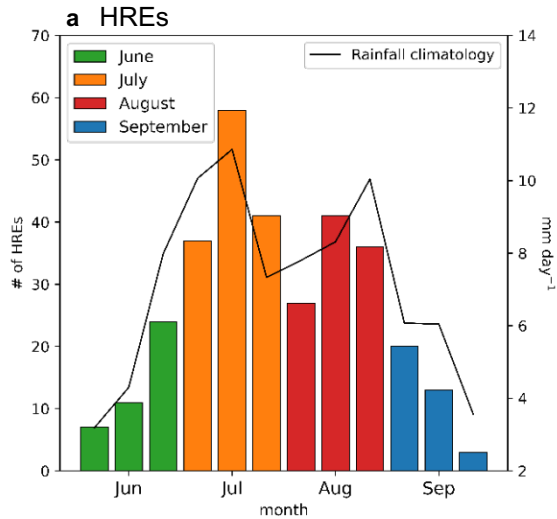
$q_{s,700}$: 700hPa 포화비습

Muller and Takayabu (2021)

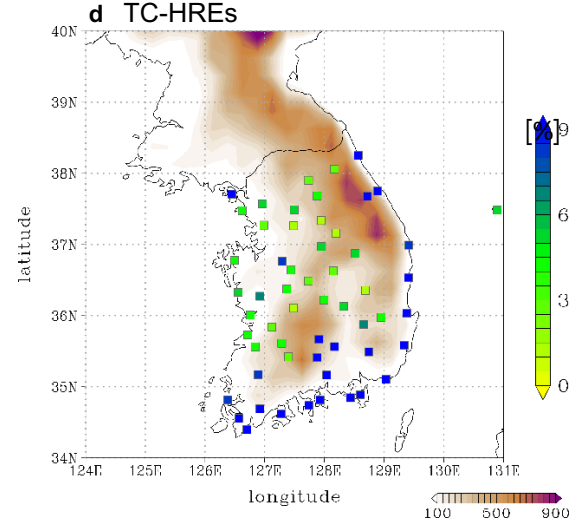
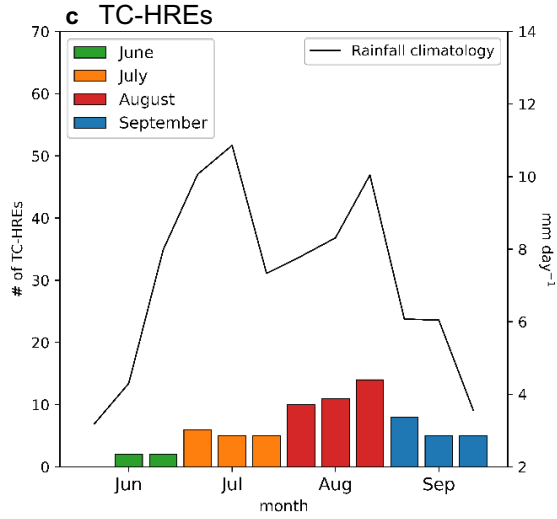
$$P_e \propto -\omega_{500} (q_{s,700} - q_{s,300})$$
$$\approx -\omega_{500} q_{s,700}$$

1979-2018 집중호우(81%) 및 태풍에 의한 집중호우 (19%)

집중호우
(태풍제외)

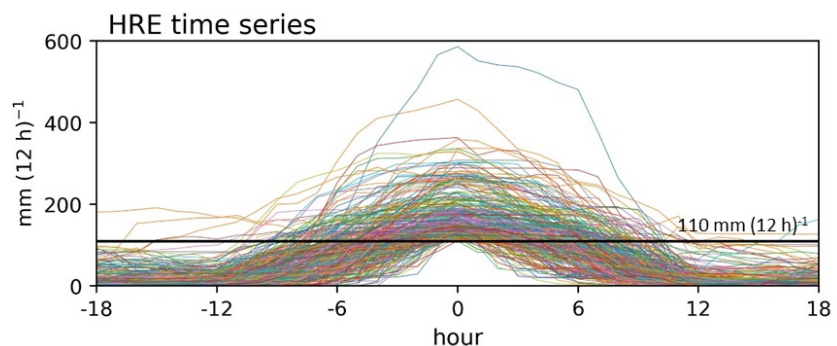


태풍에 의한
집중호우



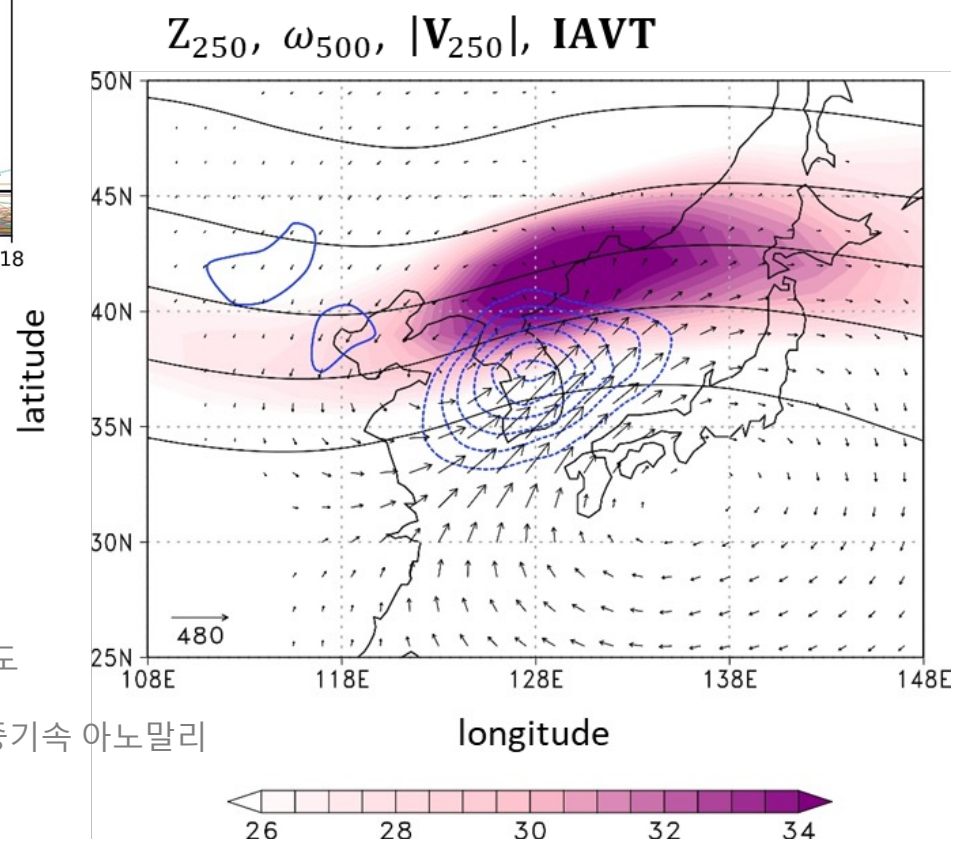
- 집중호우(110mm/ 12hr)로 극한 강수 정의: 약 90%가 여름철에 집중됨.

한반도 극한 강수 (태풍 영향 제외)



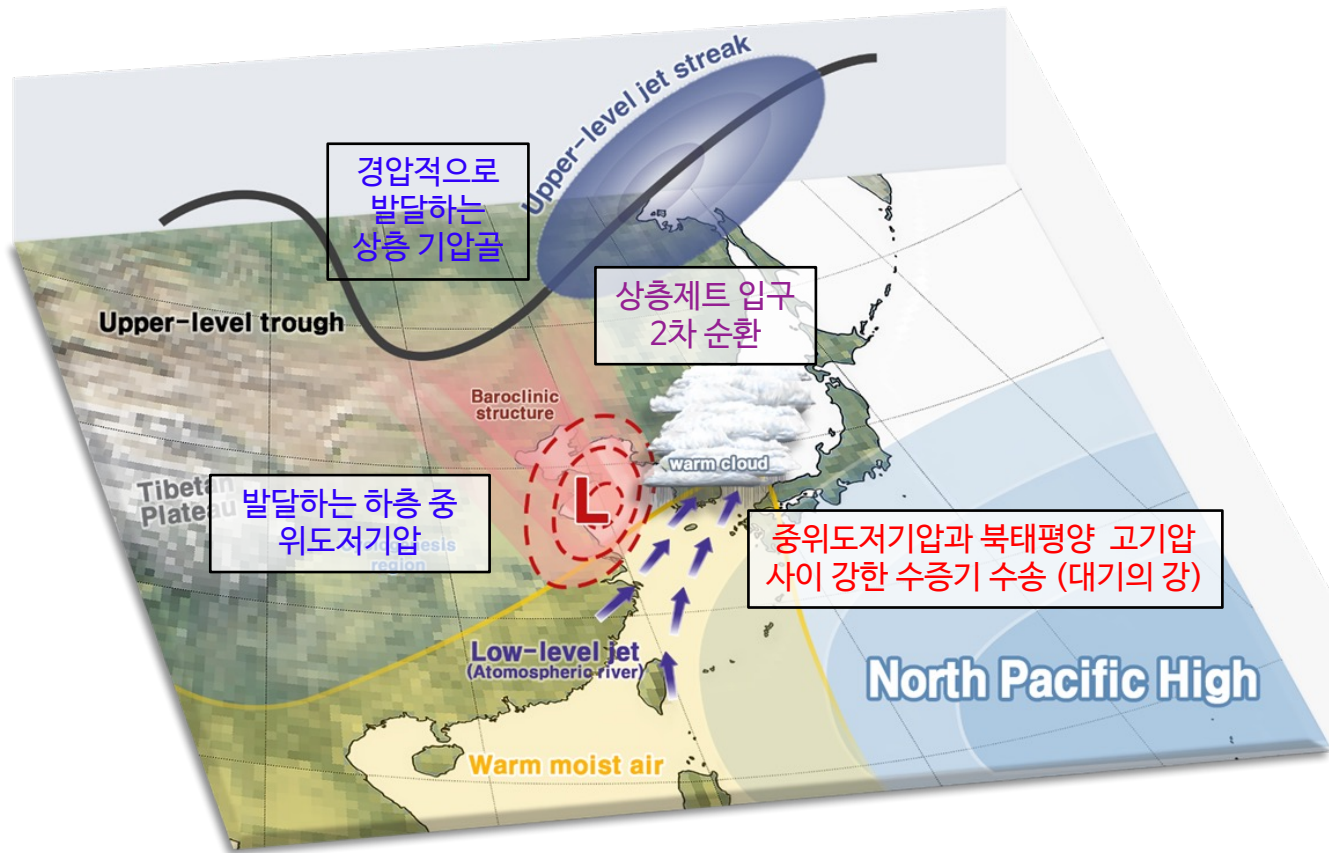
Pack et al. (2021)

음영: 250-hPa 바람
 검은선: 250-hPa 지위고도
 파란선: 500-hPa omega
 화살표: 연직적분된 수증기속 아노말리



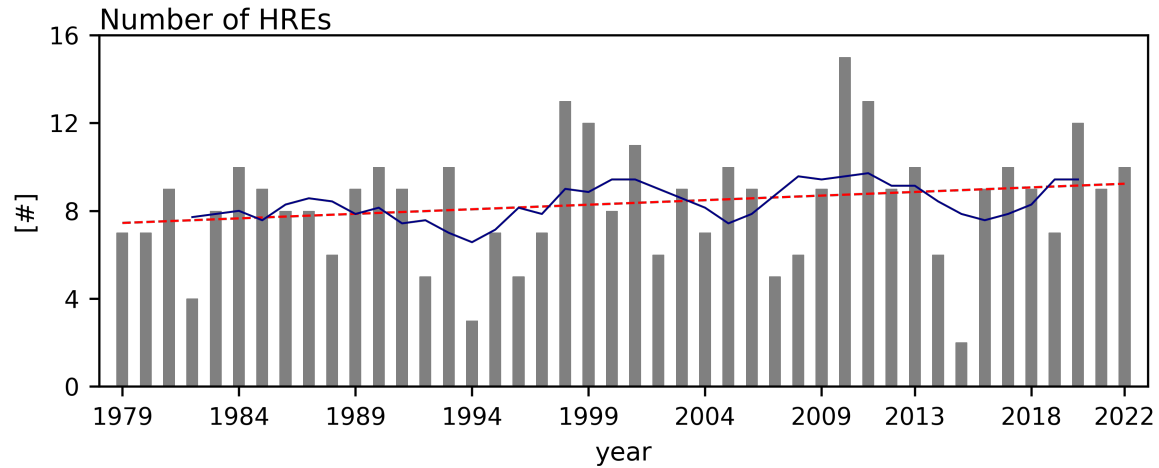
- **역학적 요인:** 상승운동은 2차 순환 뿐만 아니라 상층 기압골의 영향을 받음.
- **열역학적 요인:** 강한 수증기속(하층제트) 아노말리가 상승역과 일치함.

한반도 극한 강수의 구조

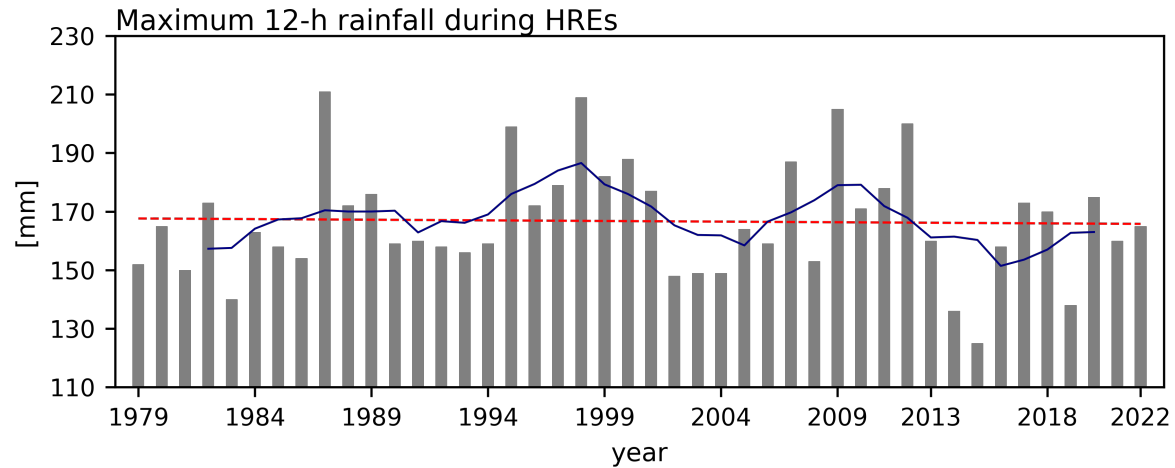


한반도 극한 강수의 장기 변화

집중호우 발생 빈도
(7년 이동평균)



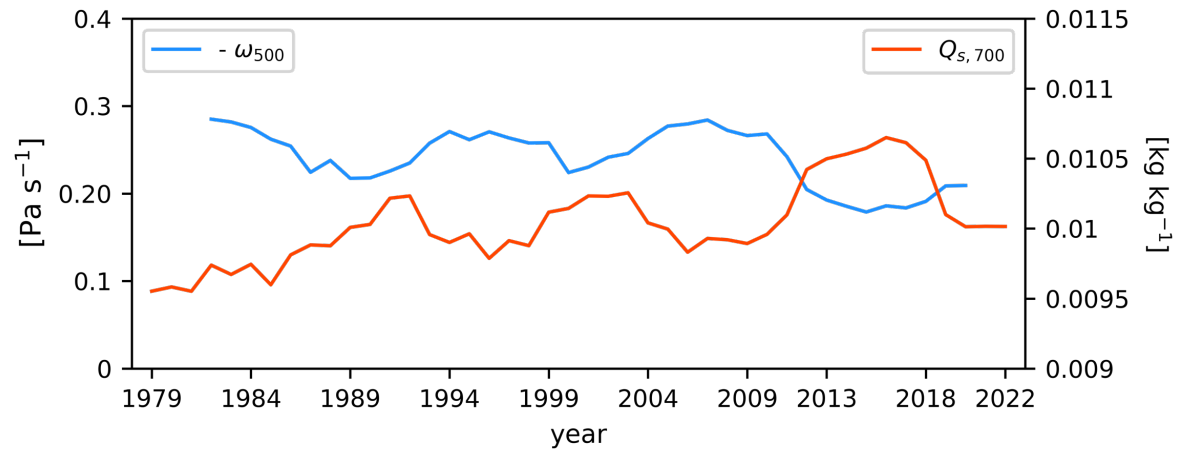
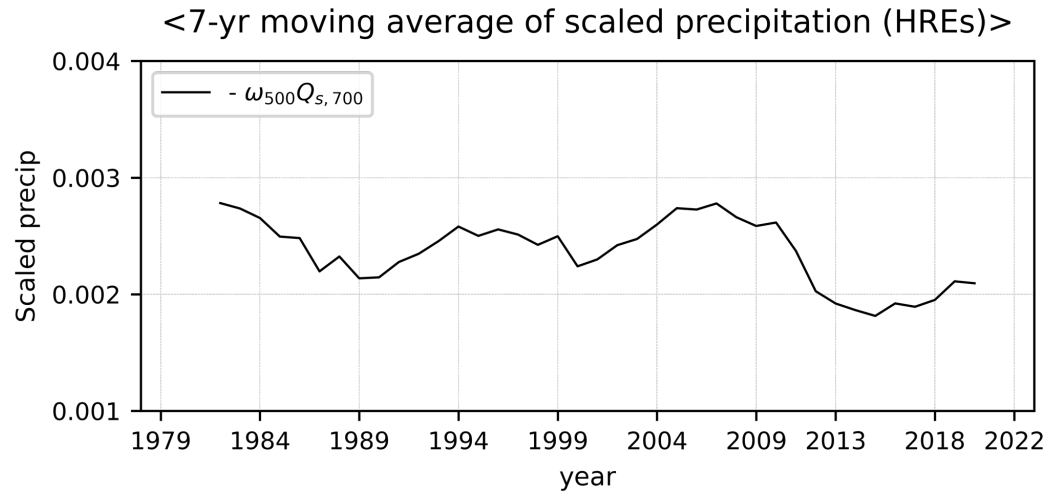
집중호우 평균 강도
(7년 이동평균)



- 집중호우 빈도는 점진적으로 증가함 - 기후모형 결과와 일맥상통함.
반면 강도는 다소 약화되고 있음 (통계적으로 유의하지 않음).

한반도 극한 강수의 장기 변화

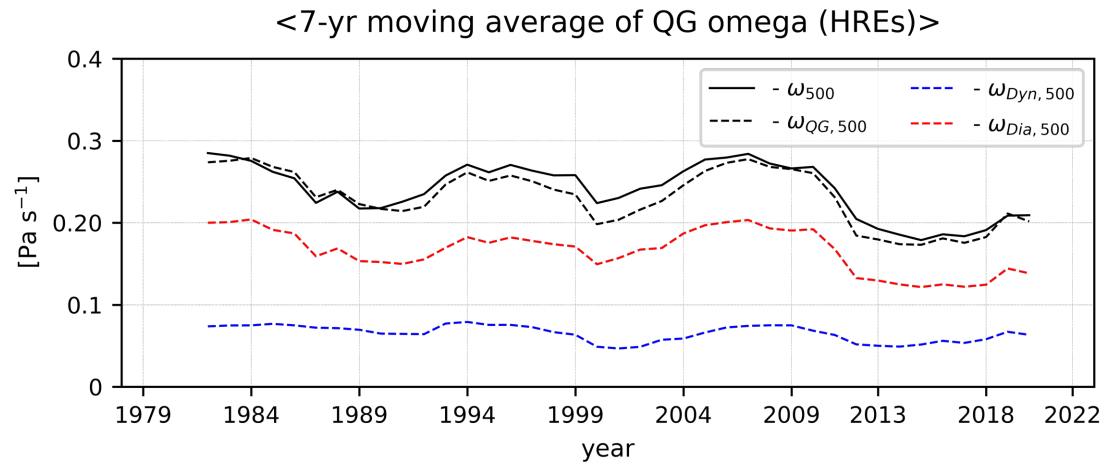
집중호우 발생 빈도
(7년 이동평균)



- 상승운동은 다소 약화되고 있는 반면, 수증기는 증가하고 있음. 인과관계 불분명.

한반도 극한 강수의 장기 변화

상승운동의 변화
(7년 이동평균)



- 상승운동의 장기 변화는 열역학적 상승운동에 의해 지배됨.

- 동아시아 극한 강수(RX1day) 강도와 한반도 집중호우 빈도는 증가하고 있음. 동아시아 RX1day 강도 변화는 수증기의 영향이 지배적임.
- 한반도 집중호우 강도는 다소 약화되고 있으나 통계적으로 유의하지 않음. 강도변화에 영향을 미치는 상승운동은 다소 약화되고 있으나(열역학적 원인), 수증기는 증가하고 있음.
- 향후 보다 정량적인 분석이 필요하며, 고해상도 모델링이 동반되어야 함.