

연구배경

아문젠해 저기압(Amundsen Sea Low, ASL)이란 170°E ~ 298°E, 80°S ~ 60°S 영역에 존재하는 기후 저기압 시스템으로 이 지역의 저기압은 남반구의 그 어느 지역보다 변동성이 크고, 서남극 기후에 상당한 영향을 주는 것으로 많은 연구들에 의해 알려져 있다 (J.Turner *et al.*, 2012). 대표적으로 ASL은 주로 남북류(meridional winds)를 제어하여 남극반도(Antarctic Peninsula)의 온난화와 벨링스하우젠해(Bellingshausen Sea)지역의 해빙 감소와 로스해(Ross Sea) 지역의 해빙 증가에 영향을 준다 (Turner *et al.*, 2012). Julie M.Jones (2016)의 최근 서남극 기후 보고에 의하면, 남극반도 지역은 온난화 경향을 보이고, 벨링스하우젠해와 로스해 지역은 각각 해빙 감소/증가 경향을 보이고 있다고 말하고 있다.

ASL의 장기 변동에 대한 지금까지의 연구들은 주로 최근 수 십년 동안의 경향에 초점을 두어 진행되었다. 이는 1950년대 후반 이후 폭발적으로 증가한 관측 자료와 1979년부터 시작된 위성 관측이 활용되면서 재분석 자료의 신뢰도가 향상되었기 때문이다. 1950년대 이전을 포함한 ASL의 경향은 20세기 재분석 자료(ERA-20C, NCEP 20C)에 나타나 있으나, 관측이 희소한 기간의 남빙양(Southern Ocean) 해역은 수치모델이 재생산한 지역이어서 이를 관측된 변동으로 받아들이기엔 무리가 있다.

이를 검증하기 위해 가능 가능한 관측 기반 격자 자료(CRUTEM4, HadSLP2, HadSST3)를 사용한 다중선형회귀 기반 통계모델을 구성하여 20세기 ASL의 강도(intensity)를 복원해보고자 한다. 비록 관측 기반 격자 자료도 ASL의 변동을 직접 나타내진 못하나 전 지구적으로 분포한 자료이므로 ASL의 대규모 원격상관(teleconnection) 특성에 근거하여 통계적 복원의 가능성을 연구하였다.

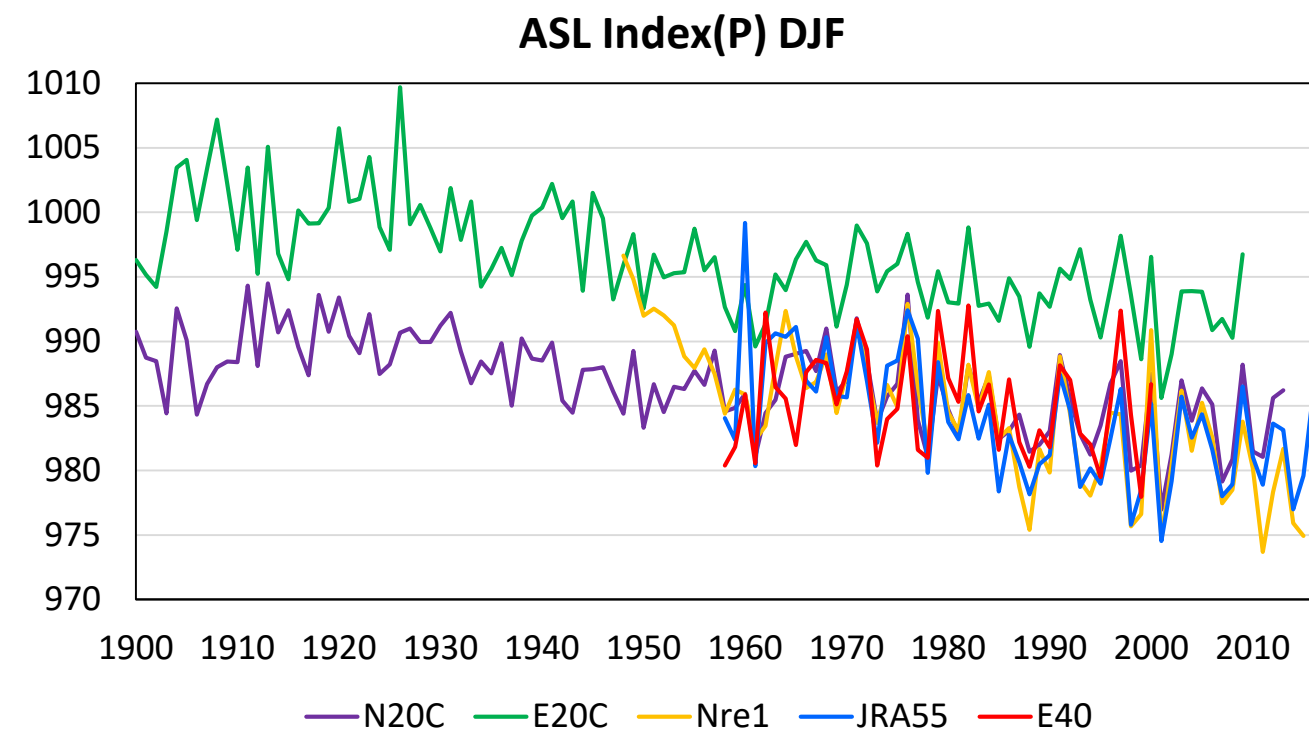
연구방법

❖ ASL 중심기압 지수 산출

ASL index?
- 170°E ~ 298°E, 80°S ~ 60°S 영역에서 가장 낮은 MSLP (J.Turner <i>et al.</i> , 2012)
- 중심기압, 위도, 경도 3가지 항목으로 구성되어 있음
- BAS(British Antarctic Survey)에서 ERA-interim 재분석 자료에서부터 ASL index를 산출하여 제공함

✓ 사용된 재분석 자료

	사용기간	해상도
JRA55	1958 – 2000	1.25° x 1.25°
★ERA-20C	1900 – 2000	1° x 1°
ERA-40	1958 – 2000	2.5° x 2.5°
★NCEP 20C	1900 – 2000	2° x 2°
NCEP Reanalysis 1	1948 – 2000	2.5° x 2.5°



(각 재분석자료로부터 산출된 DJF시즌 ASL 중심기압)

- 위 재분석자료들에서 지역 최솟값 알고리즘(Local minima algorithm)을 사용하여 ASL 중심기압 지수를 산출함
- 각 재분석자료에서 차이는 존재하지만 전체적으로 ASL 중심기압 감소경향이 있다는 것을 확인함

❖ 예측변수 domain 설정

- 통계모델의 예측변수(predictor)로 SAT(Surface Air Temperature), SST(Sea Surface Temperature), SLP(Sea Level Pressure)를 선택
- Met Office Hadley Center에서는 1850년부터 최근까지 장기간 관측자료 기반으로 5° x 5° 크기의 격자자료를 생성하여 제공하고 있음

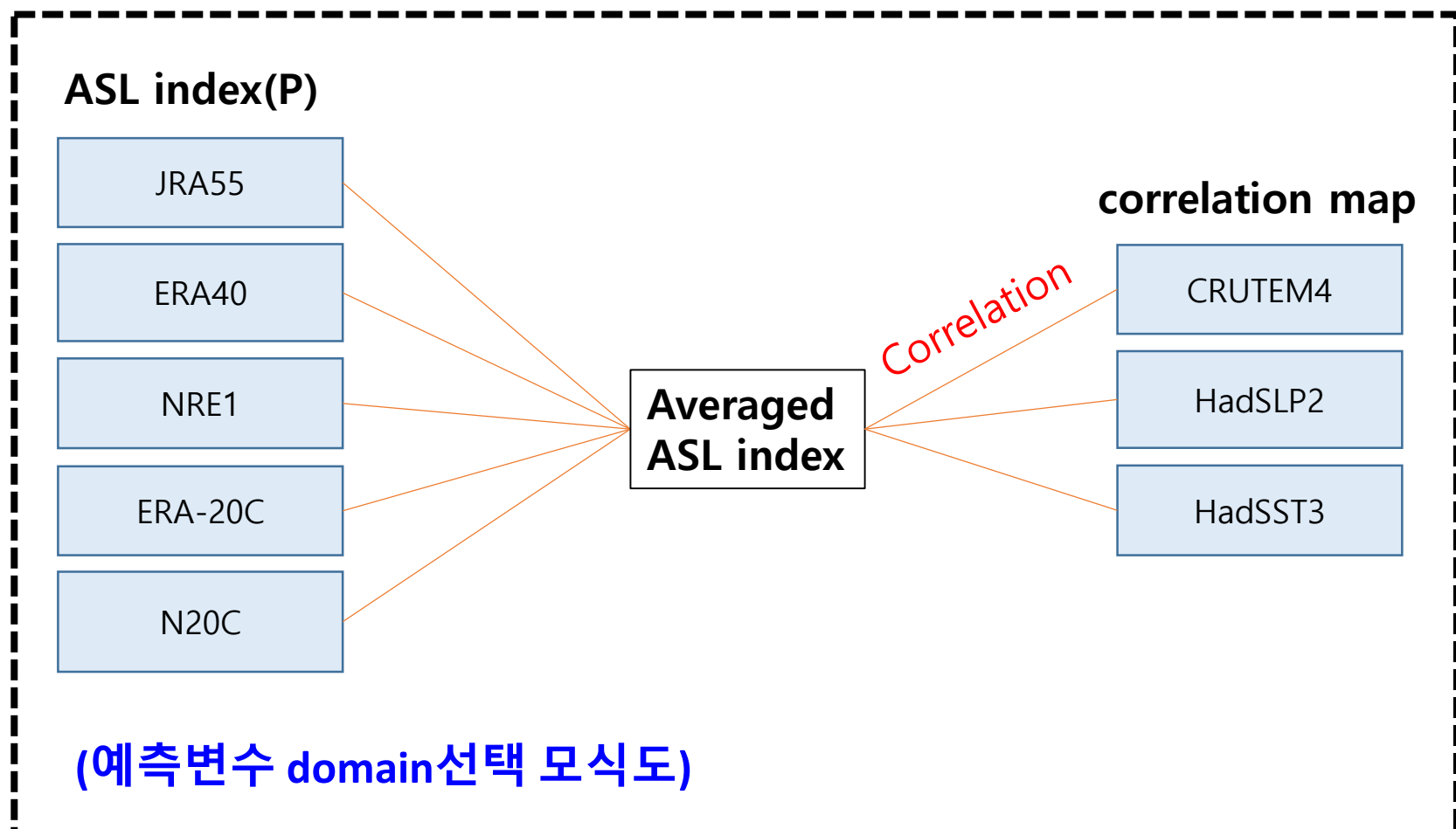
✓ 사용된 관측자료

	사용기간	해상도
HadSLP2	1900 – 2000	5° x 5°
HadSST3	1900 – 2000	5° x 5°
CRUTEM4	1900 – 2000	5° x 5°

- CRUTEM4 : 지상관측소에서 관측된 지표온도의 anomaly
- HadSST3 : 배(ship)또는 부이(bouy)에서 관측된 해수면 온도의 anomaly
- HadSLP2 : 육지와 해양에서 관측된 MSLP

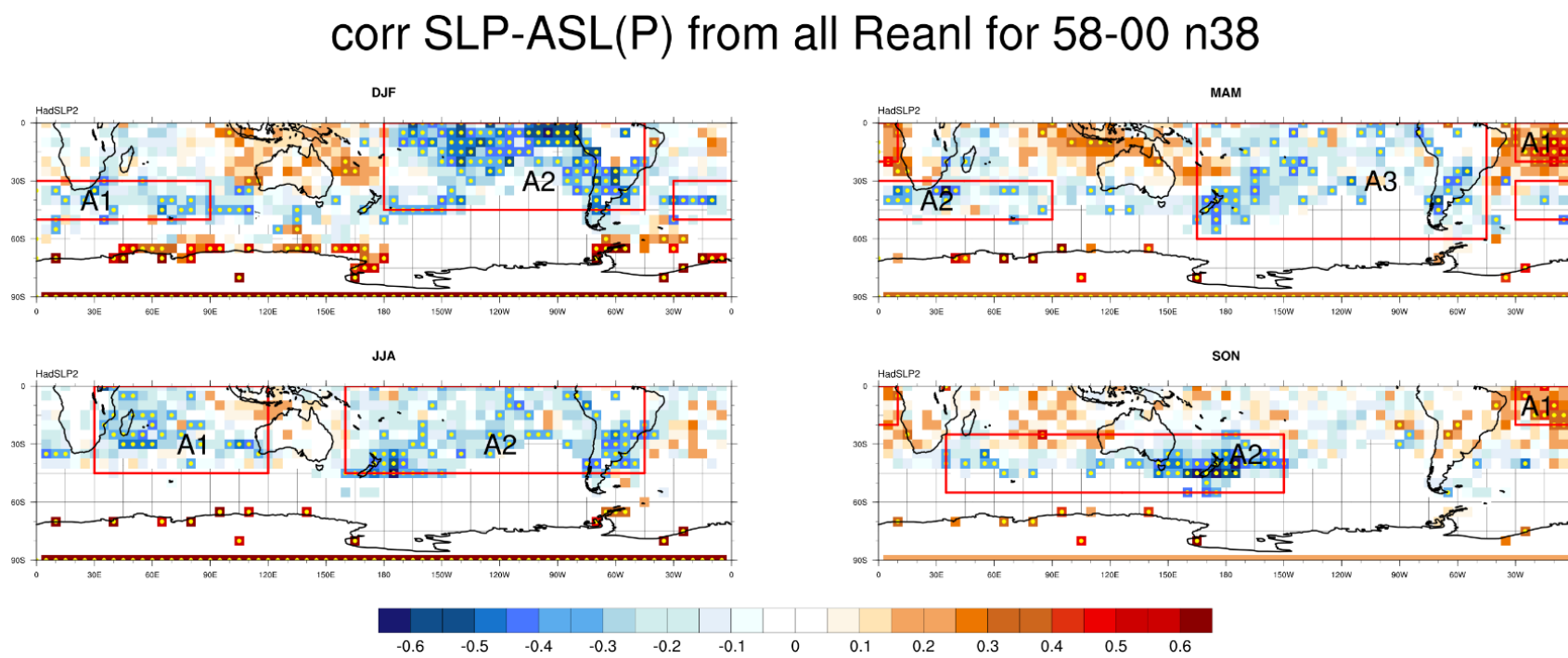
■ 예측변수 domain 선택 과정

- 재분석자료로부터 산출된 ASL index를 1958년 ~ 2000년 기간에 대해서 평균
- 각 관측자료(CRUTEM4, HadSLP2, HadSST3)에서 1958-2000 기간 중 90% (38년 이상) 자료가 존재하는 grid 선택
- 선택된 각 관측자료의 grid와 평균 ASL index의 correlation 계산
- Correlation map에서 유의한 grid 표시
- 각 변수들(SAT, SLP, SST)의 규모를 고려하여 predictor domain 선택
- 선택된 predictor domain에서 |r|>0.1 인 grid 의 data들을 공간 평균하여 domain의 대표 값을 생성

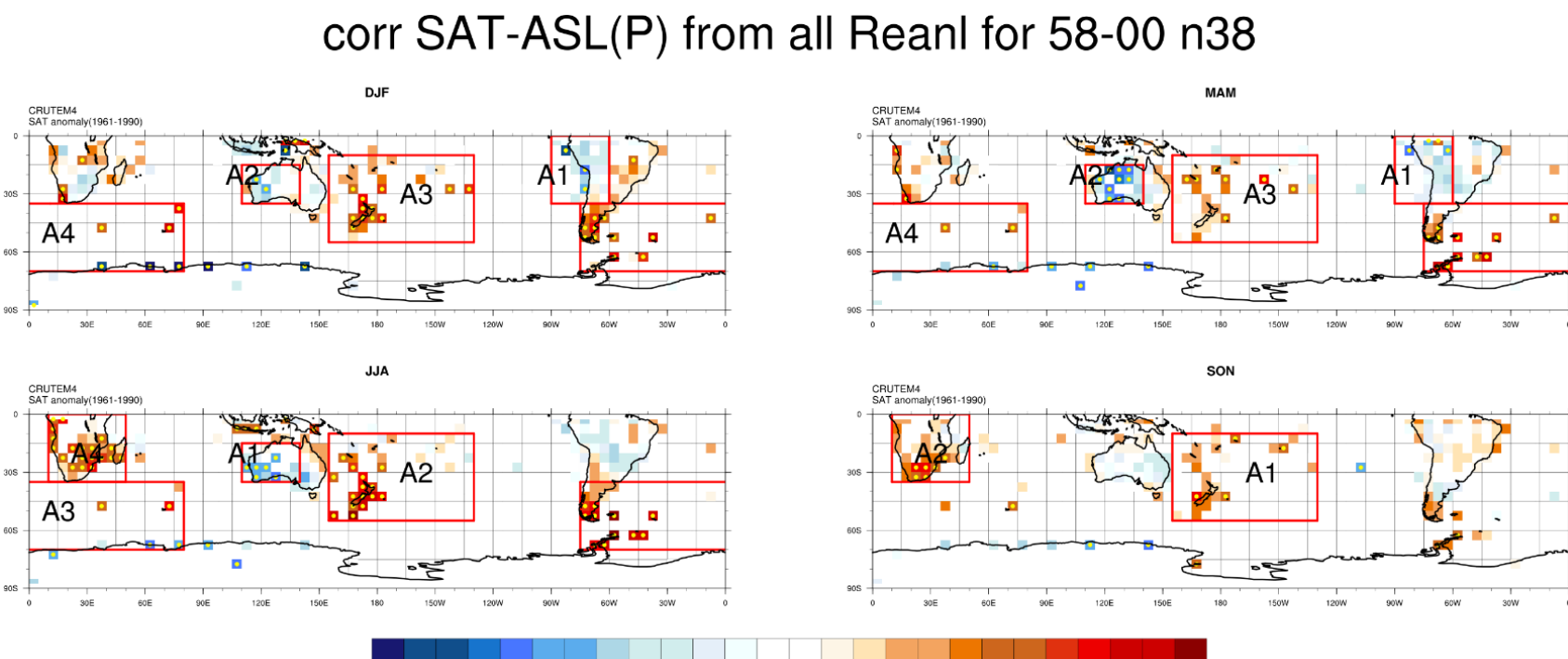


(예측변수 domain선택 모식도)

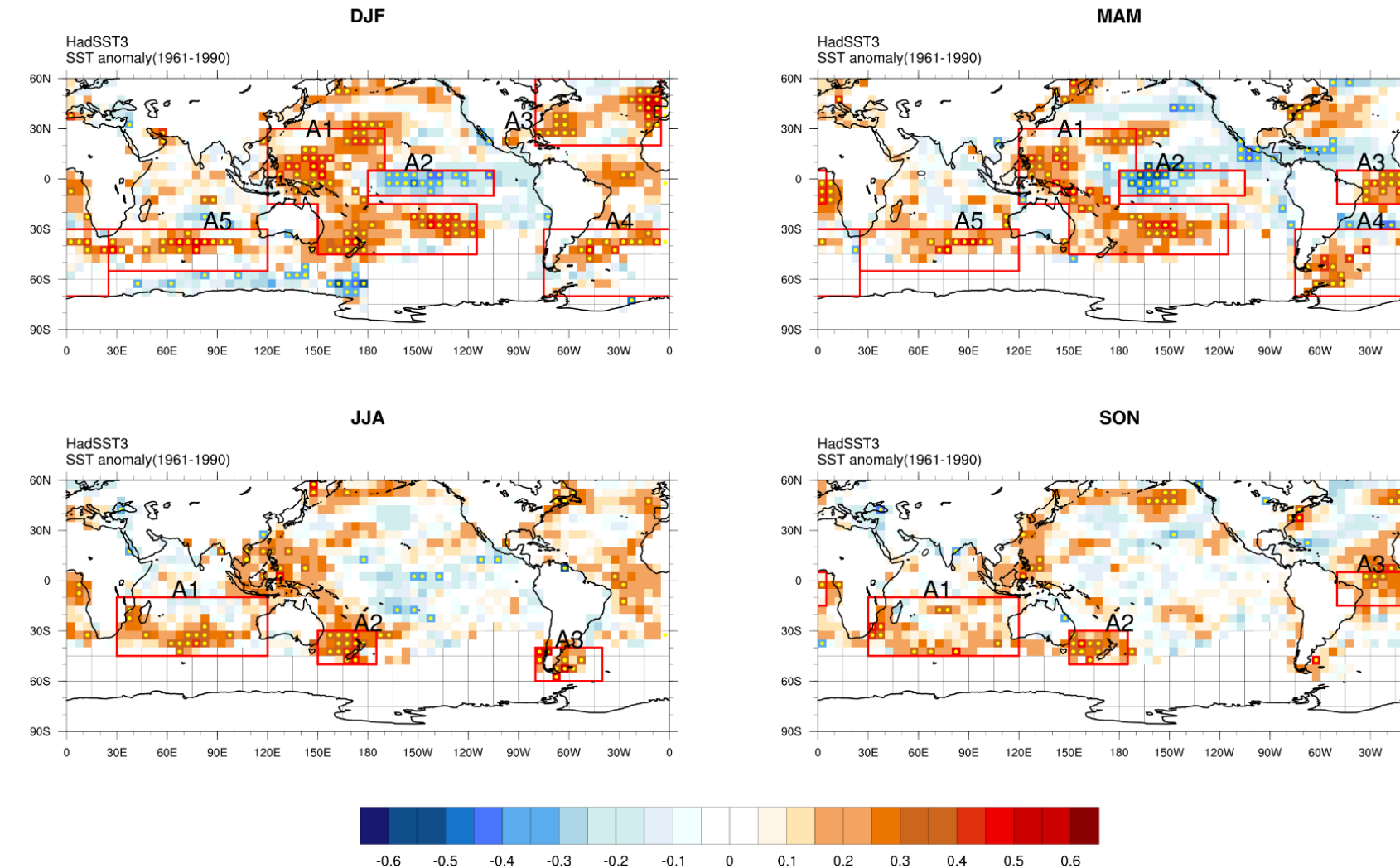
(A)



(B)



(C)



(최종 결정된 예측변수 domain . (A)SLP, (B)SAT, (C)SST)

(예측변수 후보 리스트)

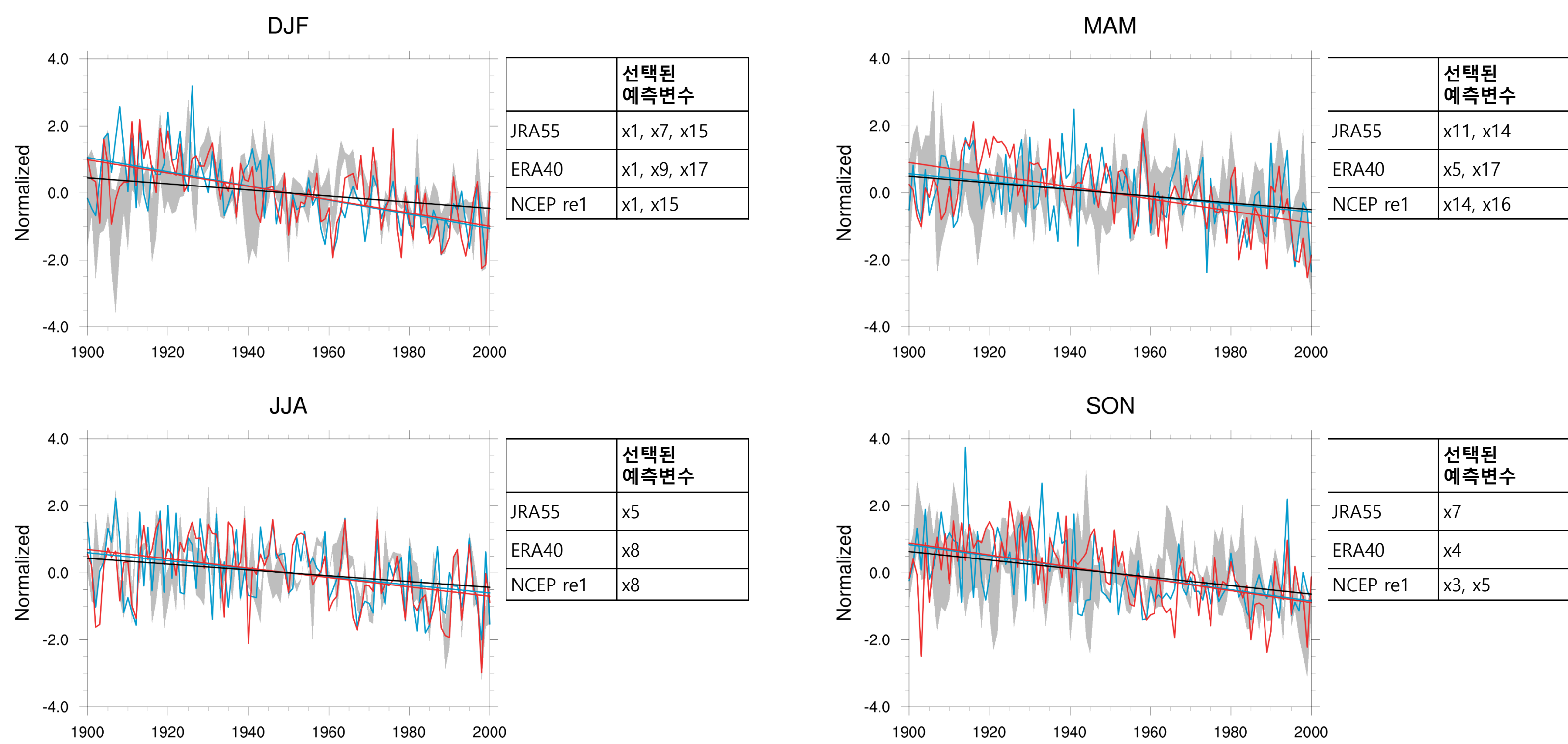
❖ 다중선형회귀모델 구성

다중선형회귀(multiple linear regression)식 :

$$\hat{y} = \alpha_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n$$

- $\hat{y}$ 은 통계모델의 예측 값, $\alpha_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 는 회귀계수, $x_1 \dots x_n$ 이 예측변수
- ASL 중심기압을 예측 값으로, SAT, SST, SLP를 예측변수 인자로 사용함
- Mallow's Cp 지표를 이용한 1958년 ~ 2000년 기간의 회귀모형 구성(JRA55, ERA40, NCEP reanalysis 1)
- 여기서 구한 회귀계수들($\alpha_0, \beta_1, \beta_2 \dots$)을 이용하여 20세기 초반 과거로 회귀함
- 최종적으로 시준당 3개의 회귀모형이 생성됨

결과



20세기 재분석자료와 통계모형에서 복원된 ASL 중심기압
ERA20C(blue line), NCEP 20th (red line), JRA55/ERA40/NCEP reanalysis 1 (filled gray)

- 회색 영역과 검은선은 JRA55, ERA40, NCEP R1의 ASL 중심기압 지수를 이용, 복원한 ASL 중심기압의 범위와 평균 경향
- 원격상관을 통한 통계적 복원 결과, 20세기 재분석자료에 나타난 강화 경향이 나타남

✓ 향후 계획

- 예측변수 추가 : 서남극 빙하코어의 Na+ 양은 아문젠 해 MSLP와 역상관(Anti-correlation)관계를 가진다는 선행연구(Raphael *et al.*, 2016)를 근거로 ASL 중심기압 예측변수로 활용 가능성이 보임
- 통계모델의 검증 : 다양한 통계모형 적합성 검증 방법을 통해 선택된 예측변수들의 적합성 판단
- 큰 수 앙상블 모델 구성 : 예측에 사용한 관측 기반 격자 자료들은 그 자체로 불확실성 범위가 있음. 이 불확실성을 임의 샘플링하여 통계모델을 반복 구성하면 큰 수 앙상블(large number ensemble) 통계모형을 구성할 수 있음

참고문헌

Raphael, M. N., G. J. Marshall, J. Turner, R. L. Fogt, D. Schneider, D. A. Dixon, J. S. Hosking, J. M. Jones, and W. R. Hobbs, 2016 : The Amundsen sea low-Variability, Change, and Impact on Antarctic Climate. Bull. Am. Meteorol. Soc., 97(1), 111–121.

Jones, J.M., Co-authors, 2016 : Assessing recent trends in high-latitude Southern Hemisphere surface climate, Nature Climate Change volume 6, pages 917–926

Turner, J, Tony Phillips, J. Scott Hosking, Gareth J. Marshall and Andrew Orr, 2012 : The Amundsen sea low, Int. J. Climatol. 33: 1818–1829