

## Winter and Summer Temperature variability over Korean Peninsula associated with ENSO

경북대학교 지구시스템과학부 김다슬

참여 연구실 : 기후시스템 연구실

지도교수 : 국종성 교수님



### 1. Introduction

라니냐는 열대 동태평양과 중태평양의 해수면 온도가 평상시보다 낮은 상태로 수개월 이상 지속되는 현상으로 열대 태평양의 해양-대기 상호작용 결과 발생한다. 라니냐 시기에는 적도 태평양의 무역풍 증가에 의한 찬 해수의 용승현상으로 적도 태평양의 수온이 낮아지고, 서태평양의 해수면과 수온은 상승한다. 라니냐 최성기에 해당하는 북반구 겨울철에는 열대 서·중 태평양에서 강수의 감소가 나타나며 Maritime continent 지역에서는 뚜렷한 강수 증가 현상이 나타난다. 또한 유라시아 북부 및 캐나다 북부지역을 제외하고 북반구 거의 모든 지역에서 평상시보다 낮은 기온 분포를 보인다. 라니냐는 열대 태평양 지역에 국한되어 나타나는 현상이지만 대기와 해양의 원격상관을 통해 전 지구 기상 및 기후에 영향을 미치게 된다. 마찬가지로 라니냐는 우리나라가 속한 중위도 지역에도 영향을 끼치며 이 영향은 지역과 계절에 따라 매우 다르게 나타난다. 본 보고서는 이를 바탕으로 겨울철 라니냐와 관련된 쿠로시오 저기압이 한반도의 겨울철 기온과 여름철 기온에 어떠한 영향을 주는지를 알아보았으며, 그중에서 한반도의 겨울철 기온이 평년보다 낮고 이듬해 여름철 기온이 평년보다 높은 사례를 중점적으로 살펴보았다.

### 2. Data

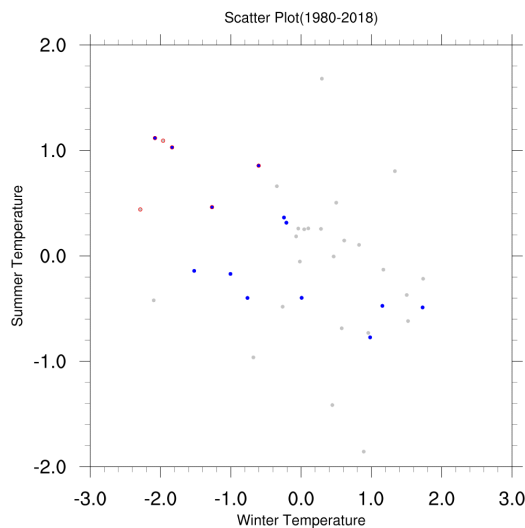
연구에 사용된 data는 National Centers for Environmental Prediction(NCEP)이 제공하는 1980-2018 월평균 Geopotential height(850hPa, 300hPa), u wind(850hPa, 300hPa), v wind(850hPa, 300hPa), precipitation, SST(Sea Surface Temperature), SLP(Sea Level Pressure)자료와 한국 기상청이 제공하는 47개 관측소의 1980-2018 월평균 기온 자료이다. 월평균 기온 자료는 계절별 cases를 나누는데 사용되었다. 모든 자료는 계절별로 trend(경향성)와 mean(평균)을 제거하여 anomaly를 생성한 후 활용하였다. Trend는 자료가 장기적으로 변화해가는 큰 흐름으로, 정상적 시계열에 나타나는 다른 변동요인들을 찾기 위해 제거하였다.

### 3. Method

|    | case1(cold winter->hot summer) | La Nina | La Nina in case1 |
|----|--------------------------------|---------|------------------|
| 1  | 1981                           | 1984    | 1984             |
| 2  | 1984                           | 1985    | 1985             |
| 3  | 1985                           | 1989    | 2012             |
| 4  | 2012                           | 1996    | 2018             |
| 5  | 2013                           | 1999    |                  |
| 6  | 2018                           | 2000    |                  |
| 7  |                                | 2001    |                  |
| 8  |                                | 2006    |                  |
| 9  |                                | 2008    |                  |
| 10 |                                | 2009    |                  |
| 11 |                                | 2011    |                  |
| 12 |                                | 2012    |                  |
| 13 |                                | 2018    |                  |

**Table 1** List of cases years

겨울철 기온은 DJF(12월, 1월, 2월 이동평균 값)를 사용하였으며, 여름철 기온은 JJA(6월, 7월, 8월 이동평균 값)를 사용하였다. 추운 겨울, 더운 겨울, 추운 여름, 더운 여름 cases를 선별하기 위해 계절별로 39개년(1980-2018)에 대한 표준편차를 계산하였다. anomaly값이 표준편차\*0.43보다 큰 경우를 더운 case, anomaly값이 표준편차\*-0.43보다 작은 경우를 추운 case로 구분하였다. 라니냐 해는 NINO3.4지수 값이 표준편차\*-0.5보다 작은 경우를 기준으로 하여 선별하였다. NINO3.4지수는 열대 동태평양 지역(위도 5°S~5°N, 경도 120°W~170°W)에서 평균된 SST(sea surface temperature)의 anomaly값이다. 추운 겨울에서 더운 여름으로 가는 경우를 case1로 정의하였으며 case1, 라니냐, case1중에 라니냐에 해당되는 해를 **Table 1**에 나타내었다.

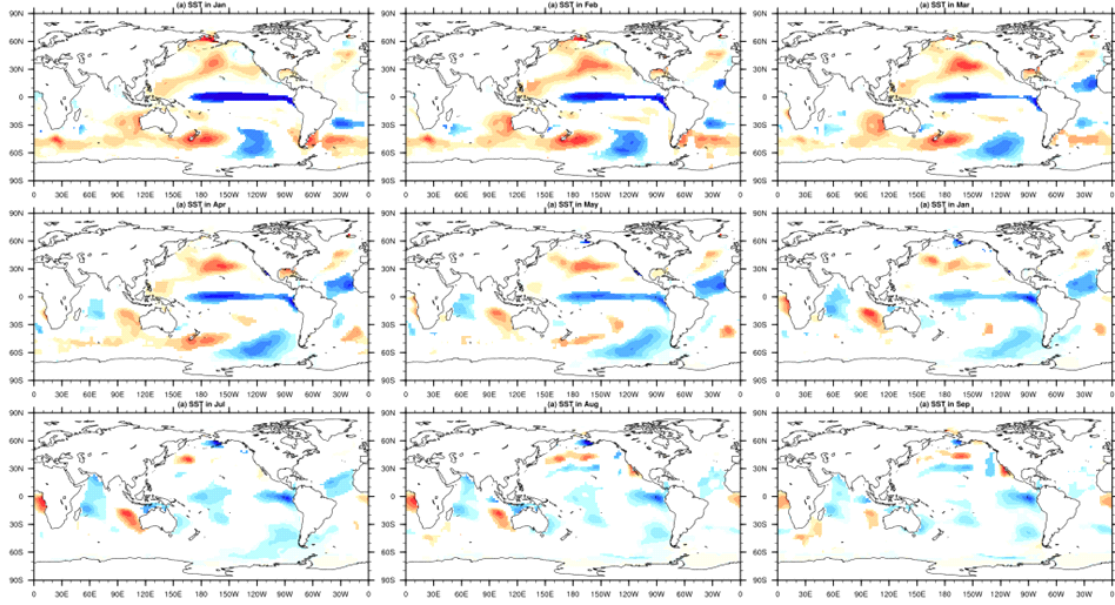


겨울철 기온(DJF)과 여름철 기온(JJA)의 상관성을 알아보기 위하여 correlation을 계산하였다. 겨울철 월평균 기온과 여름철 월평균 기온의 correlation은 -0.396으로 98.7% 유의수준으로 유의미한 음의 상관관계를 보였다. **Fig.1**은 이러한 음의 상관관계를 나타내는 Scatter Plot이다. 이 중 라니냐 해를 파란색 점으로 표시하였으며, case1의 경우 빨간색 원으로 표시하였다. case1에 해당하는 6개 해 중에서 4개가 라니냐 해로 나타났다. 이를 통해 평년보다 낮은 한반도의 겨울철 기온이 라니냐의 영향을 받았음을 유추할 수 있다.

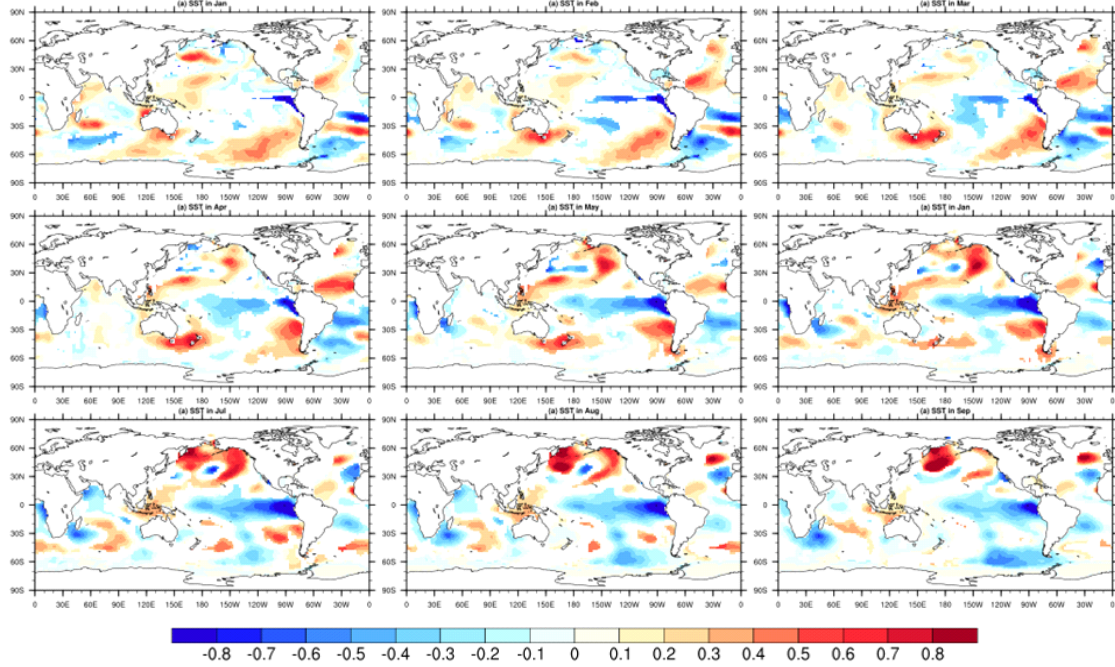
**Fig.1** Negative correlation between winter temperature and summer temperature

### 3.1. Relationship between ENSO and seasonal variability

(a) La Nina in case1

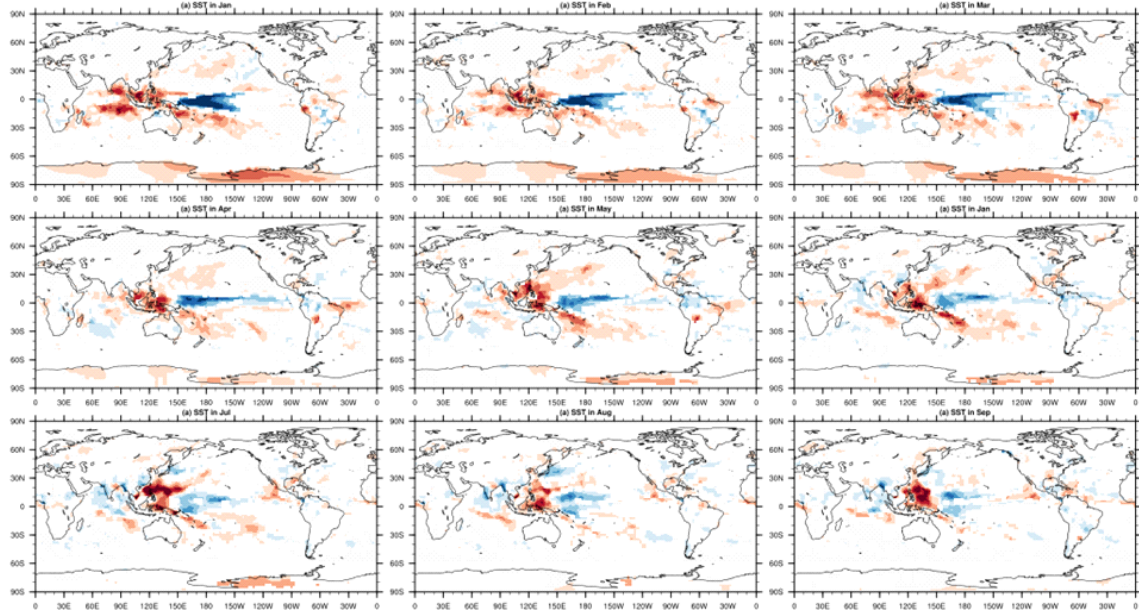


(b) Case1 except La Nina

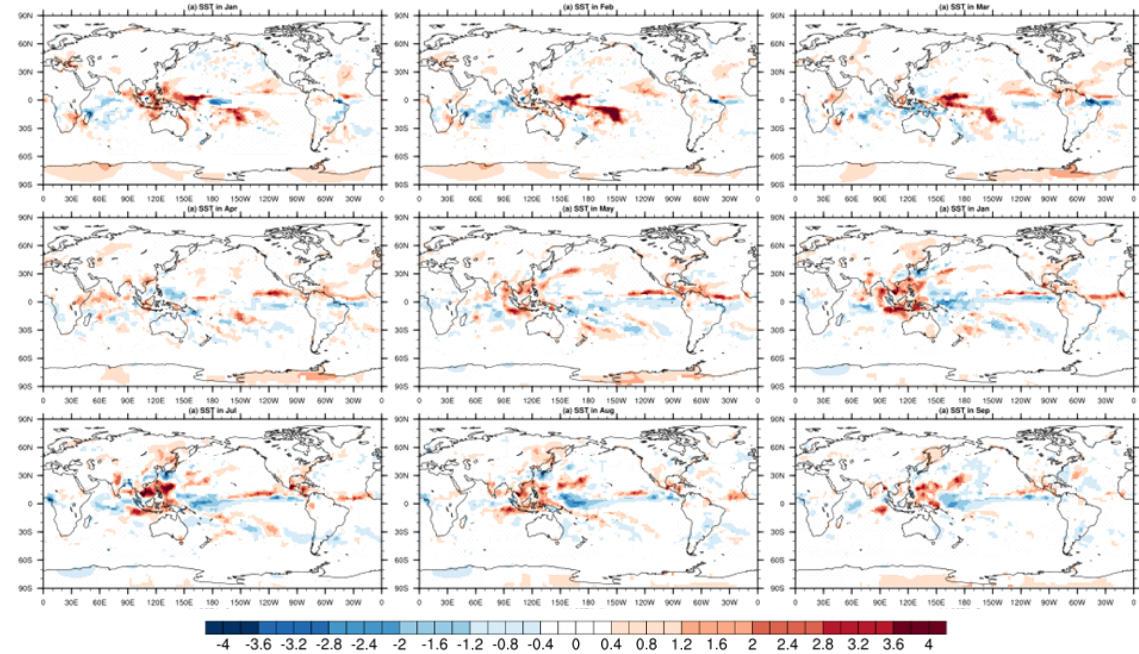


**Fig.2** Anomaly of monthly(Jan-Sep) SST during 1980-2018. Color indicates the region exceeding the 95 % confidence level.

(a) La Nina in case1



(b) Case1 except La Nina



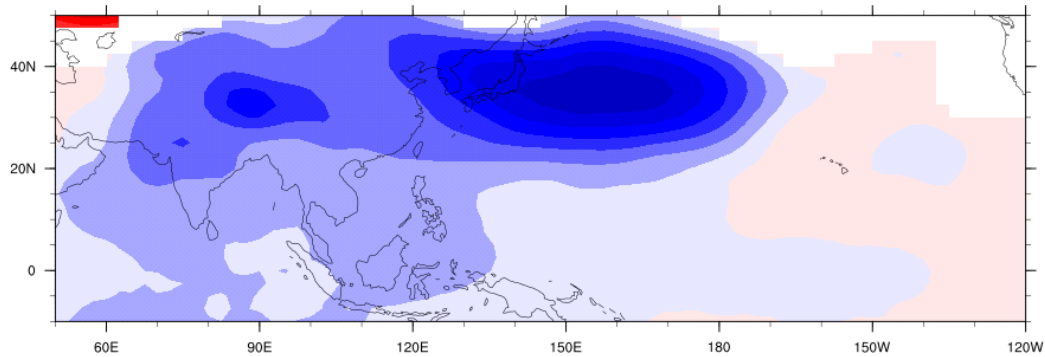
**Fig.3** Anomaly of monthly(Jan-Sep) precipitation during 1980-2018. Color indicates the region exceeding the 95 % confidence level.

SST와 precipitation의 anomaly값이 95% 유의 수준으로 유의미한 경우를 각각 Fig.2와 Fig.3에 나타내었다. Case1중에 겨울철 라니냐가 발생했던 해(a)와 그렇지 않은 해(b)를 비교하기 위하여 각각의 SST와 precipitation자료를 분석하였다. (a)의 경우 열대 동태평양과 중태평양의 SST가 평상시보다 낮은 현상이 겨울철에 눈에 띄게 나타났으며 이러한 음의

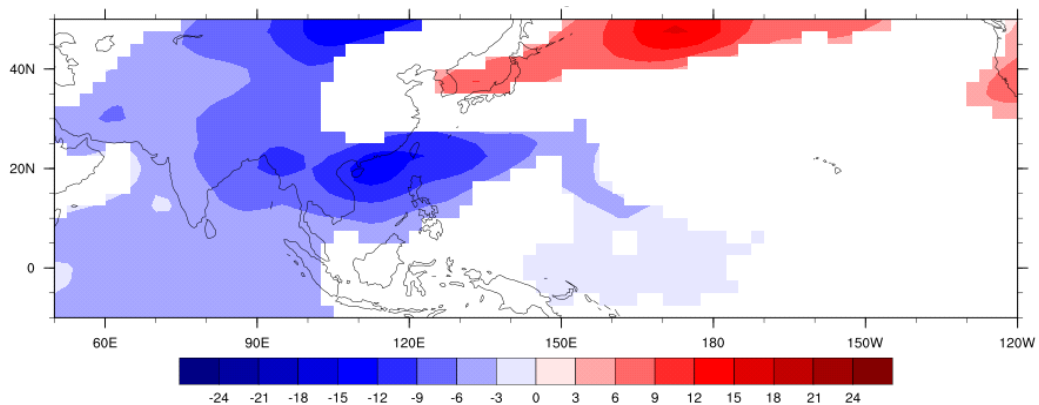


anomaly가 여름철까지 약하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. (b)의 경우 겨울철 음의 anomaly는 (a)에 비해 약하지만 여름철로 갈수록 음의 anomaly가 점차 증가하는 것을 확인할 수 있다(Fig.2). 또한 (a)의 경우 겨울철 발생한 서태평양의 강수증가가 여름철까지 유지되는 경향이 확인되며, (b)의 경우 봄철 강수의 anomaly는 약해지지만 여름철에 다시 강해지는 경향이 확인된다. 따라서 (a)와 (b) 모두 겨울철과 여름철 서태평양에 양의 강수 anomaly가 있음을 확인할 수 있다(Fig.3). 이러한 양의 anomaly는 서태평양에 필리핀 해 저기압이 위치하기 때문이다. case1의 겨울철과 여름철 850hPa GPH를 Fig.4에 나타내었다. 겨울철과 여름철 모두 서태평양에 필리핀 해 저기압이 위치함을 확인할 수 있다. 반면에 한반도 주변에서 겨울철에는 쿠로시오 저기압이, 여름철에는 쿠로시오 고기압이 위치함을 확인할 수 있다(Fig.4). 겨울철의 GPH값은 NDJ(11, 12, 1월의 이동평균 값)를 사용하였으며, 여름철의 GPH 값은 JJA(6, 7, 8월의 이동평균 값)를 사용하였다. NDJ는 JJA보다 한 해 전의 값으로 NDJ(-1)로 표시하였다.

(a) Winter(NDJ(-1)) in case1



(b) Summer(JJA) in case1



**Fig.4** Anomaly of GPH at 850hPa during 1980-2018. Color indicates the region exceeding the 90% confidence level.

### 3.2. Rossby wave propagation

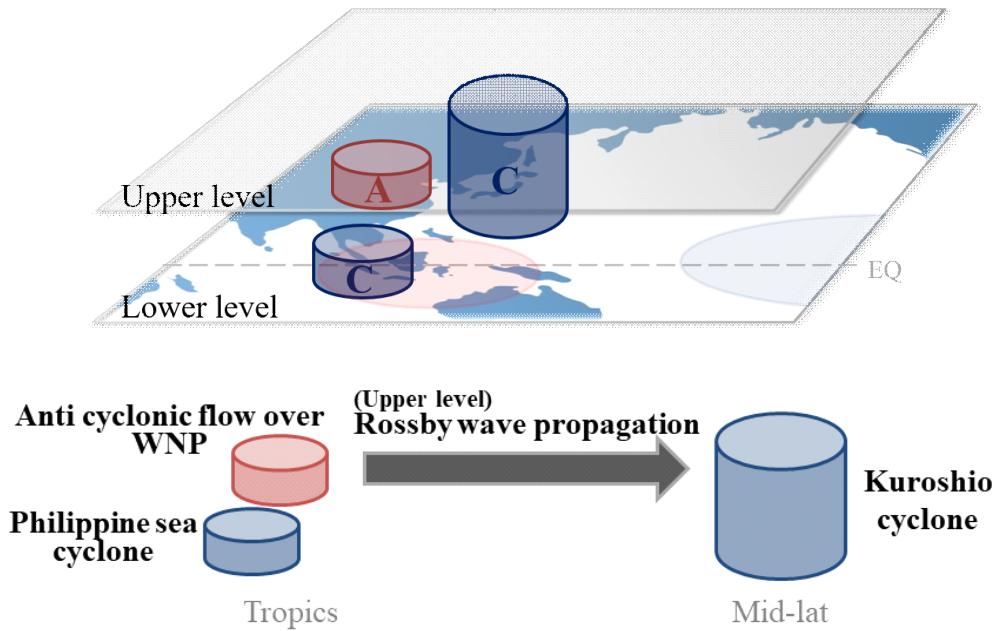


Fig.5 Rossby wave propagation in winter(Son et al. 2014)

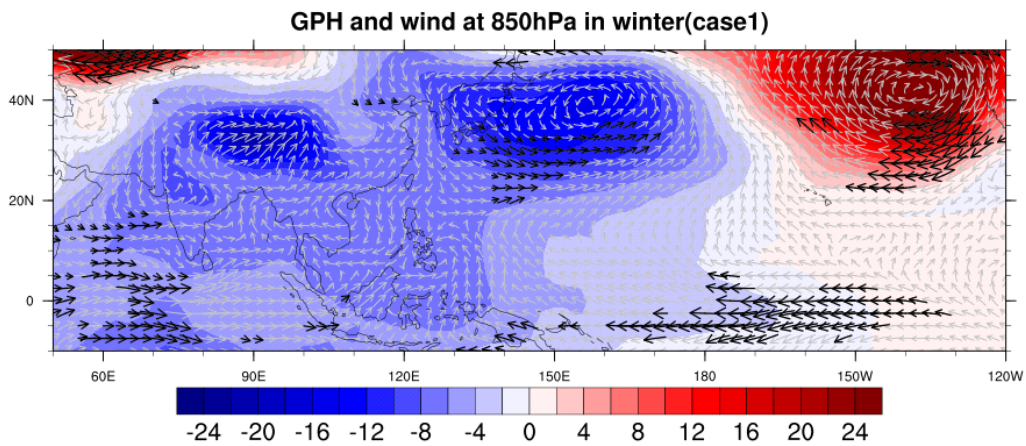


Fig.6 Anomaly of GPH and wind at 850hPa in winter during 1980-2018. Black wind vector indicates the region exceeding the 80 % confidence level.

겨울철의 경우 상층제트가 남하하기 때문에 중위도 상층의 gradient가 크다. Potential vorticity gradient는 큰 방향으로 전파되므로 로스비파 전파는 gradient가 큰 상층에서 이루어진다. 이러한 로스비파 전파로 겨울철 서태평양 하층(850hPa) 저위도 지역에 필리핀 해 저기압이 위치하고, 중위도 지역에 쿠로시오 저기압이 위치하는 원인을 설명할 수 있다(Fig.5).

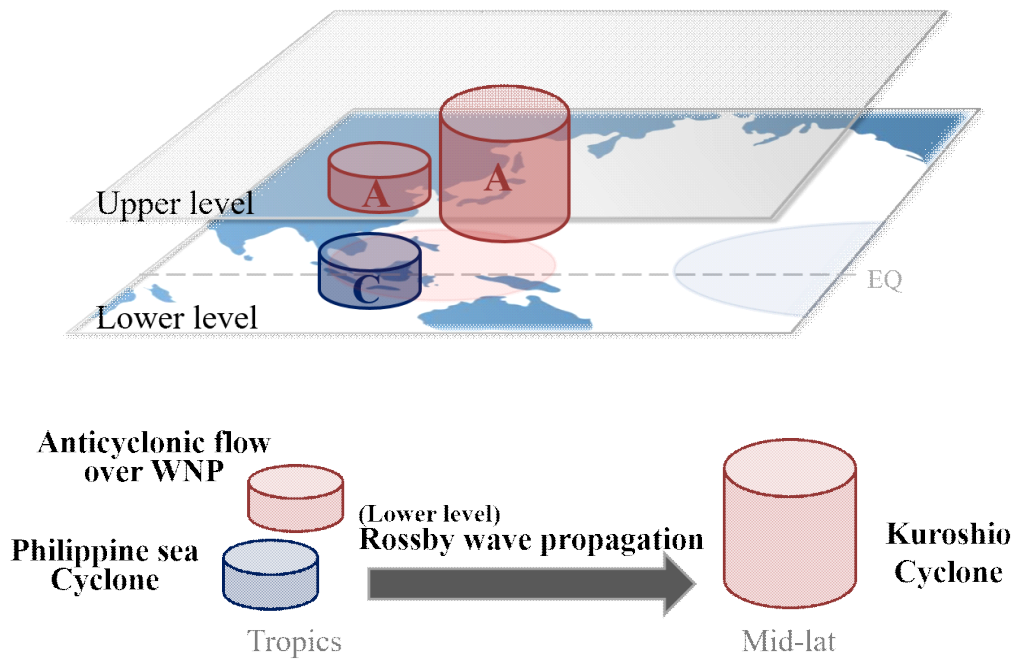


Fig.7 Rossby wave propagation in summer

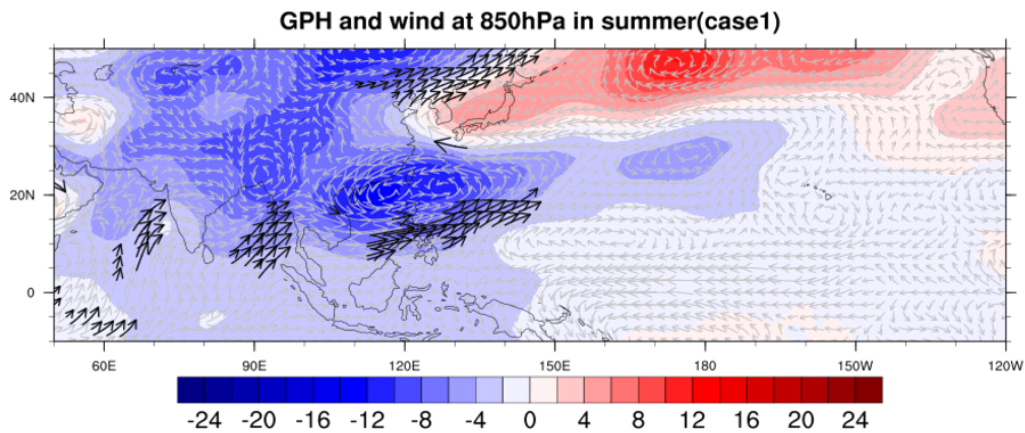


Fig.8 Anomaly of GPH and wind at 850hPa in summer during 1980-2018. Black wind vector indicates the region exceeding the 80 % confidence level.

여름철의 경우 상층제트가 남하하기 때문에 중위도 상층의 gradient가 작다. 따라서 로스비파가 상층으로 전파되지 못하고, monsoon flow가 있어 gradient가 큰 하층으로 전파된다. 이러한 로스비파 전파로 여름철 서태평양 하층(850hPa) 저위도 지역에 필리핀 해 저기압이 위치하고, 중위도 지역에 쿠로시오 고기압이 위치하는 원인을 설명할 수 있다.(Fig.7)

#### 4. Summary and Discussion

본 연구에서는 한반도에 평년보다 추운 겨울이 발생하였을 때 이듬해 평년보다 더운 여름이 발생할 상관관계와 그 과정에서 ENSO의 영향에 대해 알아보았다. 한반도에 추운 겨울이 발생하고 이듬해 더운 여름이 발생하는 경우를 case1로 정의하였다. SST와 precipitation anomaly 자료를 통해 case1일 때, 열대 동태평양과 중태평양의 SST가 평상시보다 낮은 현상과 서태평양의 강수가 평상시보다 많은 현상을 겨울철과 여름철 모두에서 확인할 수 있었다. 서태평양의 강수가 평상시 보다 많은 이유는 서태평양에 자리 잡은 필리핀 해 저기압의 영향 때문이다. 이러한 필리핀 해 저기압은 로스비파 전파를 통해 중위도 지역으로 전파된다. 겨울철의 경우 로스비파가 상층으로 전파되기 때문에 한반도 주변에 쿠로시오 저기압이 위치하게 된다(Fig.5). 이로 인해 고위도 지역으로부터 차가운 공기가 유입되어 한반도에 평년보다 추운 겨울이 발생한다. 반면 여름철의 경우 로스비파가 하층으로 전파되기 때문에 한반도 주변에 쿠로시오 고기압이 위치하게 된다(Fig.7). 이로 인해 저위도 지역으로부터 따뜻한 공기가 유입되어 한반도에 평년보다 더운 여름이 발생한다. 따라서 겨울철 열대 동태평양과 중태평양의 SST 감소와 서태평양의 강수 증가가 여름철까지 유지되는 경우 서로 다른 역학 과정에 의해 평년보다 추운 겨울과 더운 여름이 발생할 수 있다.