

Characteristics of the location of chang-ma
according to El Nino types

엘니뇨 유형에 따른 장마전선 위치 변화

제 1장 서론

엘니뇨는 지난 2015·2016년 엘니뇨는 21세기 들어 가장 강력했던 엘니뇨로 분류되었다. 관측이후 이른 바 슈퍼 엘니뇨로 분리된 해는 1982/1983, 1997/1998, 2015/2016년이며 특히, 2015년은 전지구 온도가 관측이래 가장 높았던 해로 기록되었다. 일부 연구자들은 2015년에 발생한 강력한 엘니뇨가 8~10%정도 지구를 온난화시키는데 기여했을 것으로 추정하여 상승 기온을 대략 0.07도로 보았다. 엘니뇨라는 변수를 제외하여도 2015년은 굉장히 따뜻한 해로 기록되었을 것이다. 지구온난화가 가속화되면서 엘니뇨의 강도도 증가할 것이라는 연구도 나오고 있는 상황이다.

엘니뇨에도 현재까지 알려진 유형으로 동태평양 엘니뇨와 중태평양 엘니뇨가 있다. 중태평양 엘니뇨의 경우 동태평양 엘니뇨와는 달리, 따뜻한 물이 표면에 충분히 쌓이지 않아도 발생하며, EP El-Nino시기 보다 상대적으로 세계 불 때 켈빈과보다 바람의 영향을 더 많이 받는다. 최근에는 2~3년을 주기로 자주 발생하는 추세이며, 엘니뇨의 반작용으로 인한 라니냐의 발생 가능성과 세기는 감소하는 추세이다.

2019년 장마전선이 예년에 비해 북상이 다소 늦은 까닭은 북쪽의 찬공기의 세력으로 인해 북태평양고기압의 확장을 막았기 때문인 것도 있지만 현재 엘니뇨의 발달에 의한 원인도 있다.

작년 2018년의 경우에는 북서태평양의 대류, 열대지역 대류가 가장 강하게 나타났는데 이것이 꼭 온난화 때문인 것인지는 밝혀지지 않은 상태다. 2017년을 제외하고 최근 연이어서 마른장마가 나타나고 있는 상태인데, 동아시아의 여름철 강수특성이 엘니뇨와 라니냐와의 상관성에 대한 연구는 많이 진행되어 있으나 그 현상의 유형들에 따른 강수 특성 차이는 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구는 지금 시점인 장마전선과 엘니뇨 유형과의 어떠한 특성 차이가 있는지를 연구하고, 더 나아가 동아시아의 전반적인 강수분포 패턴 및 패턴을 보이는 원인들을 연구해나가고자 하였다.

제 2장

2-1. 연구자료 및 방법

엘니뇨 유형을 구분하기 위해 예상욱·윤진희(2009) 연구 방법을 참고하여 Nino3과

Nino4 구역을 선택하여 각 구역의 SST를 비교하였다. 먼저, 0.5℃이상 되는 해를 선택한 후 Nino3 구역과 Nino4구역 중 Nino3 구역의 SST가 더 높게 나타날 경우, 동태평양 엘니뇨로, Nino4구역의 SST가 더 높게 나타날 경우, 중태평양 엘니뇨로 구분하였다. 그 결과 1982·1983·1987·1991·1997·2009·2012·2014·2015년으로 총 9개 년이 분류되었고, CP엘니뇨는 1994·2002·2004년으로 샘플 수가 적었다. 그러므로 재 분석 자료를 이용하여 시기를 1958년으로 늘리려 하였으나 실측이 아닌 데이터 값 이 포함되어 있어, 1979년~2018년의 기간 중 선택하였다. 표층 수온 자료는 HadISST(Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temp)를 이용하였다. 또한 엘 니뇨 유형에 따른 북태평양고기압의 확장정도를 보기 위해 NCEP 재분석 고도자료 를 이용하였고, 850hPa의 고도 편차 및 바람장 등도 마찬가지로 재분석 자료를 이 용하였다.

2-2. 연구동향

국종성 등은 강한 엘니뇨의 발생시 한반도의 경우, 여름철 강수량은 평년에 비해 증가하고 기온은 하강하는 경향이 있다고 하였다. 하지만 일부 연구에서는 엘니뇨 가 나타나는 구역과 우리나라는 굉장히 원거리에 위치해 있어, 간접적인 영향을 받 거나 혹은 주변의 기후시스템 등에 의해 뚜렷한 영향이 나타나지 않음을 제시하였 다. 따라서 엘니뇨 혹은 라니냐와 동북아시아의 기상변화를 이해하기에는 아직까지 여러 변수들을 고려해야 하는 실정이므로 명확한 메커니즘이 규명되지 않은 상태 다.

엘니뇨 유형의 연구들은 90년대 말부터 등장하기 시작하였는데, 그 전까지 동태평 양엘니뇨로 알려진 유형뿐만 아니라 중태평양의 수온이 동태평양 수온 보다 높은 중태평양 엘니뇨 또는 워풀엘니뇨 로 새로운 유형이 등장하였다. 특히, 90년대 말부 터 중태평양 엘니뇨의 발생횟수가 많아지고 있는 추세이며, 최근 20여년 간 태평양 두 구역 모두 평년보다 고수온이 나타나는 혼합형 엘니뇨가 나타나는 등 여러 가지 유형으로 분류해야함을 강조하는 연구도 이루어지고 있다. 지금까지 받아드려진 두 가지 유형의 엘니뇨가 한반도 및 그 주변지역을 어떤 기상변화를 야기 시키는지에 관한 연구도 이루어져왔다. 먼저, 동태평양 엘니뇨의 경우, 필리핀 부근의 고기압이 뚜렷하게 존재하고 우리나라 부근으로 저기압이 자주 지나가면서 강수량이 평년보 다 많다. 중태평양 엘니뇨의 경우, 봄철 동아시아지역의 기온이 평년보다 낮아지는

경향이 있다. 또한 필리핀해 고기압이 매우 약하게 발달하고, 북태평양 부근의 저기압성 흐름이 커지는 경향을 보이나 한반도 및 그 주변의 강수량은 뚜렷한 변화를 보이지 않는다(장마백서, 2011).

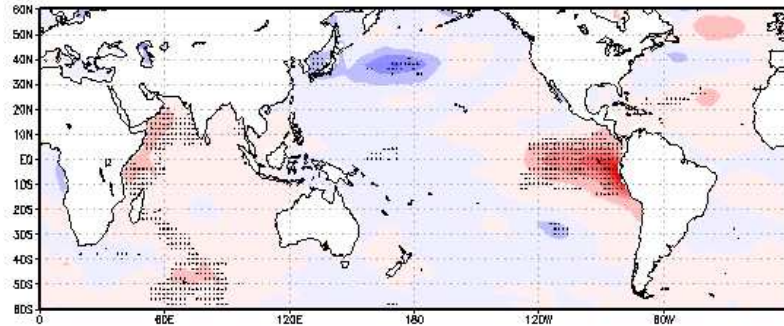
지구온난화에 따라 엘니뇨의 강도는 더 강해지고 자주 나타날 것이라는 예측에 관한 연구도 이루어지고 있다. ENSO amplitude는 1970년 후반 이후 증가했으며 엘니뇨, 라니냐는 1997년 이후 서쪽으로 조금씩 옮겨진 것으로 확인되었다. 엘니뇨현상의 진폭은 90년대 후반에서 21세기 초반 약해졌다.

CMIP3 또는 5 모두 위커순환이 앞으로 약해질 것으로 예측. 따라서 약한 기류의 상승이 주로 나타나고 열대 해양의 열구조와 실질적인 순환의 변화로 엘니뇨와 같은 조건을 형성. 대체로 라니냐보다 엘니뇨의 강도가 더 센 것으로 알려져 있는데, 국종성, 예상옥 등 연구에 의해 앞으로 엘니뇨 강도가 더 강해질 경우, 한반도 및 주변 지역의 집중호우 등과 같은 자연재해의 빈도도 증가할 위험이 있을 것이다. 예를 들어, 1998년 8월, 서울에만 7일 남짓한 기간에 1000mm에 가까운 비가 내려 홍수가 발생한 적이 있다. 이는 당시 강력한 엘니뇨가 나타났던 동태평양과 중태평양에서 에너지를 해소하는 과정에서 많은 수증기가 동아시아 부근으로 유입되었을 것으로 보인다.

앞에서 살펴보았듯이 우리나라를 포함한 동아시아 지역은 엘니뇨에 의한 강수패턴이 어떻게 변화할 것인가에 초점을 맞춘 연구들이 많이 이루어져왔다. 하지만 여름철 강수 중 상당 부분을 차지하는 장마전선의 위치 특성과 엘니뇨 유형 간의 연구는 이루어지지 않은 것으로 판단하여 본 연구에서 진행하였다.

제 3장 엘니뇨 유형에 따른 장마전선 위치 및 특성 차이

3-1. EP El-Nino와 CP El-Nino의 SST 차이

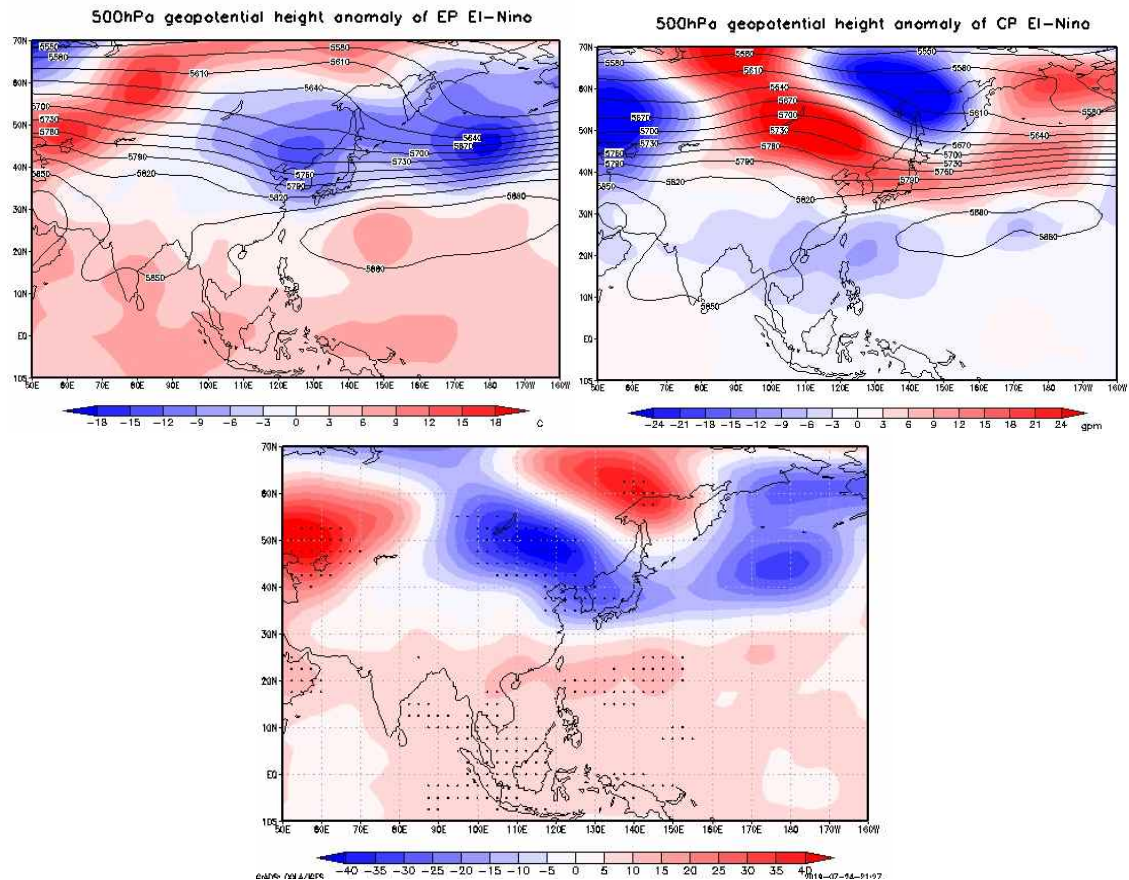


3-1. EP El-Nino와 CP El-Nino의 SST 차이

동아시아의 장마전선의 형성 원인은 매우 다양하다. 예를 들어, 북태평양고기압과 시베리아고기압, 또는 오호츠크해 고기압, 티벳고기압, 극기단 등이 전선 형성에 해당한다. 그 중 일반적으로 북태평양고기압의 세력에 따라 장마전선의 시작과 종료되는 시기가 다르게 나타나므로 EP엘니뇨 시기와 CP엘니뇨 시기의 SST의 차이를 통해 북태평양고기압 발달 위치와 일치하는지를 보았다.

그림 3-1처럼 동태평양 부근에서 유의한 결과가 나타났고, 북태평양보다 좀 더 북쪽의 해역 및 우리나라 동해 부근에서 SST가 상대적으로 감소하였고 유의하였다. 따라서 EP엘니뇨 발생시 우리나라 부근의 해양과 북태평양에서의 북쪽 해양에서 SST가 하강하는 경향이 있는 것으로 판단할 수 있다. 이 밖에도 인도양의 서쪽에서 남북방향으로 유의한 곳들이 나타났다.

3-2. 500hPa 지위고도 편차장 차이



3-2. 500hPa 지위고도 EP El-Nino 와 CP El-Nino 차이(유의한 지역)

EP엘니뇨 시기에 북태평양의 북쪽 해양에서 SST가 상대적으로 크게 감소하였고, 대개 날짜변경선을 경계로 서쪽 부근의 태평양의 수온이 약간 낮은 경향을 보이고 있다. SST가 낮게 나타나는 해역이 북태평양고기압의 위치와 일치하는지를 보기 위해 6~7월 500hPa 지위고도 편차장을 분석하였다. 그 결과 북태평양고기압의 중심선인 5880gpm이 EP엘니뇨 시기에 CP엘니뇨 시기보다 상대적으로 확장영역이 컸고 경계값이라 할 수 있는 5850gpm이 동서로 더욱 확장한 모습을 볼 수 있었다. 단, 남북 간의 차이는 거의 없었다. EP엘니뇨 시기에는 동북아시아의 경우, 음의 고도 편차가 나타나며 이는 저기압이 자주 통과했을 가능성이 있다. 또한 북위 30도 이남 지역들에서 양의 고도 편차가 나타난다. 고도 편차는 주로 온도에 의해 발생하는 것이므로 우리나라 부근의 상대적으로 차가운 공기와 남쪽의 따뜻한 공기가 만나 6~7월 평균 장마전선이 화중지역~한반도 남쪽~규슈남부 일대에 걸쳐 있을 가능성이 있다. 반면, CP엘니뇨 시기에는 시베리아 지역에서부터 동북아시아를 거쳐 알

류산 열도 부근까지 양의 고도편차가 크게 나타나고 있다. 오호츠크 해 부근에서는 음의 고도 편차가 강하게 나타나고 있고, 북위 30도 이남 지역들에서는 EP엘니뇨 시기와는 다르게 약한 음의 고도 편차를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 다만, CP엘니뇨의 경우, 해당 년의 개수가 워낙 작아, 1994년 7월 폭염의 영향이 상당한 비중을 차지할 것으로 사료된다.

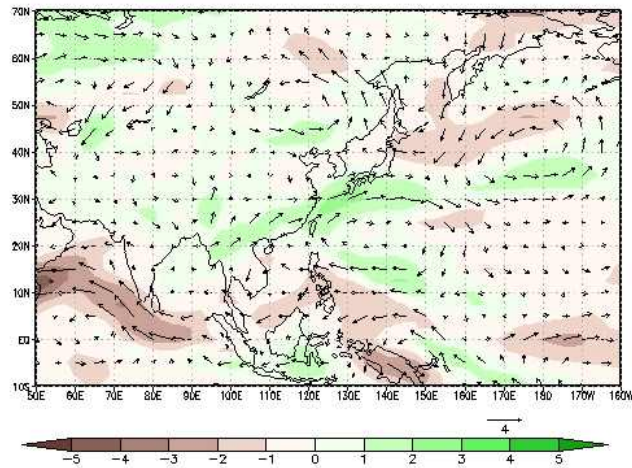
그림 3-4는 EP엘니뇨 시기와 CP엘니뇨 시기의 6~7월 평균 고도의 차이를 나타낸 그림이다. EP엘니뇨 일 때 북서태평양에서 양의 편차가 나타났고 이는 유의하였다. 이는 북서태평양 대류가 약해지고 고기압이 강화되었음을 판단할 수 있다. 그리고 Gill-type 대기반응에 의해 한반도 주변 지역은 저기압성 흐름을 가지게 되는 것이다. 따라서 EP엘니뇨 시기에 한반도 남쪽으로 고기압이 발달하고, 우리나라 주변으로는 저기압이 발달할 것으로 예상할 수 있다. 한반도 주변의 음의 고도 편차는 EP엘니뇨 시기에 유의하였으며, 남쪽의 양의 고도 편차 또한 유의한 지역이 많았다.

500hPa 고도 편차로 본 결과를 토대로 지표의 장애물의 영향을 잘 받지 않는다고 판단되는 850hPa의 바람장을 그림 3-5에 제시하였다. 적도에서 북위 10도 부근까지는 저기압성 순환이 나타나고 있으나 북위 10도~30도 부근까지는 고기압성 순환이 EP엘니뇨 시기일 때 강하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 고기압성 순환이 나타나는 지역을 기준으로 우리나라 부근인 북서쪽에 약한 저기압성 흐름과 알류산 열도 남쪽으로도 저기압성 순환이 두드러지게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이 고기압성 순환에 의해 한반도 남쪽으로 남서풍이 상대적으로 강하게 유입되고 있음을 볼 수 있다. 이는 우리나라 남동쪽 부근에 고기압성 흐름이 존재하고, 그 흐름에 의해 우리나라 및 주변지역으로 습윤한 남서풍이 강하게 유입될 수 있음을 의미한다. 즉, 수증기의 공급이 많아지면서 장마전선이 위치해있을 경우, 전선을 발달시켜 호우현상으로 인해 강수 증가를 일으킬 수 있다. 또한 우리나라 서북서쪽 및 북쪽 지역에는 저기압성 순환이 나타나는 것으로 나타났으며 이 또한 한반도 및 그 주변 지역의 강수 증가를 일으키는 역할을 할 것으로 판단된다. 이는 앞서 제시한 500hPa의 EP엘니뇨와 CP엘니뇨의 고도 편차와 유사한 패턴을 보이고 있음을 알 수 있다.

3-3. 850hPa wind difference

앞에서 제시한 그림들과 같이 적도~북위 10도 부근에서는 저기압성 흐름, 북위10

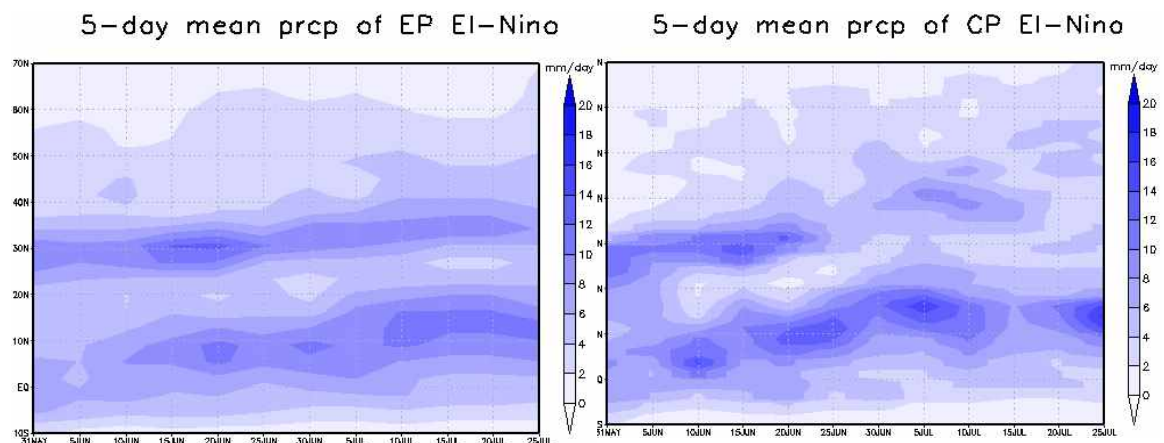
850hPa wind difference of EP EI - CP EI



3-3. 850hPa wind difference

도~30도 부근은 고기압성 흐름, 그 위쪽으로는 편서풍 영향으로 휘어진 방향으로 저기압성 흐름이 EP엘니뇨 시기에 상대적으로 강하게 나타남을 확인하였다. 이러한 기압배치의 영향으로 강수대가 어떻게 변화하는지 살펴보기 위해 기간을 세부적으로 5일 평균하여 5월31일~7월 25일까지 확인하였다. 이를 위해 EP엘니뇨 시기와 CP엘니뇨 시기를 구분하여 경도 115~145도를 평균한 후, 위도 -10~70도의 공간을 설정하였다.

3-4. 5-day mean prcp of El-Nino



먼저, EP엘니뇨 시기에는 평균적으로 적도 부근에서의 주요 강수대가 나타나고 있다. 앞서 제시한 850hPa 바람장과 같이 저기압성 순환이 나타나고 있는 위도대 일치한다. 그리고 7월 초부터 ITCZ 가 북위 20도 가까이 북상했음을 알 수 있다. 이와 반대로, 북위 10도~북위 30도 부근은 평균적으로 강수가 상대적으로 약한 분포

를 보이고 있으며, 이 일대의 고기압성 순환이 나타나기 때문인 것으로 풀이된다. ITCZ 북상뿐만 아니라 저기압성 순환을 보이는 지역에서 약간 북동쪽으로 고기압성 순환이 나타나는 지역도 조금 북상하는 경향이 있으며, 그 위쪽으로 북위 25도~북위 40도 부근 사이 중위도 장마전선이 천천히 북상함을 알 수 있다. EP엘니뇨 시기에는 6월 중순부터 하순까지 비교적 강한 강수가 나타나고 있으며, 이후 조금 약해진 상태로 지속적으로 북위 30도~40도 사이에 영향을 주고 있음을 확인할 수 있다. CP엘니뇨 시기에는 EP엘니뇨 시기와 마찬가지로 중위도 지역의 강한 강수대가 비슷한 시기에 출현한다. 다만, 주요 강수대가 지속적이지 않고 단절되어 있는 경향을 보이며 저위도에 위치한 강수대도 EP엘니뇨 시기에 비해 강하게 나타나는 시기가 있으나 단절적으로 나타난다. 또한 6월 하순이 시작되면서 ITCZ의 북상속도 증가율이 EP엘니뇨 시기보다 이른 시기에 나타났다. 한반도의 경우, 북위 33도~43도 부근의 지리적인 위치로 인해 본격적인 장마 시작은 두 유형 엘니뇨에서 6월 하순에서 7월 초순으로 나타나 평년에 비해 좀 더 늦게 시작한 것으로 확인된다. 하지만, EP엘니뇨 시기의 장마특성은 지속적인 강수가 나타나, 7월 25일을 전후로 약해지는 특성을 보이고, CP엘니뇨 시기에는 장마전선이 6월 25일경까지 활성화되었다가 7월 5일경까지 약 10일간 약해지는 특성을 보인다. 또한 7월 15일을 전후로 강수가 약해지는 것으로 보아 전선의 세력이 약해짐을 짐작할 수 있다. 대신, 장마가 시작하는 동시에 다소 강한 비가 짧은 기간에 집중되다 EP엘니뇨 시기에 비해 일찍 종료되는 경향을 보이고 있다. 이는 CP엘니뇨 발생시 동아시아에 평년보다 건조한 여름을 수반한다는 연구결과와 일치한다.

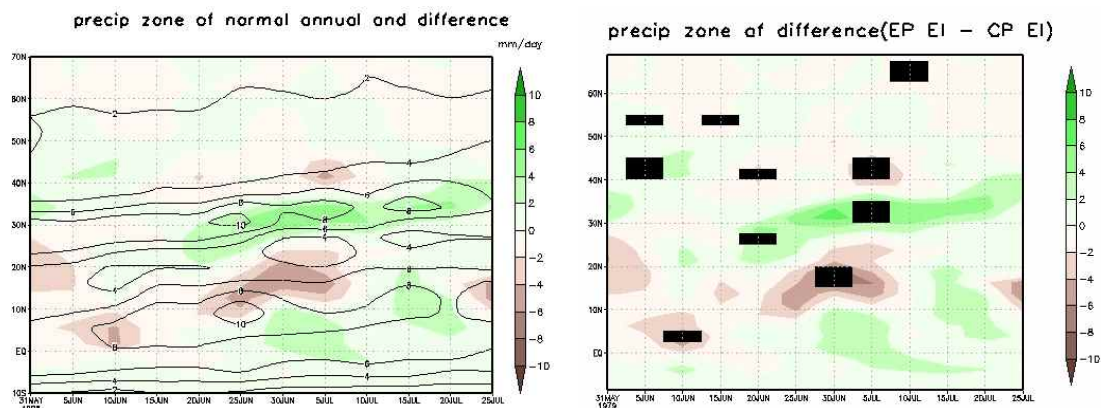
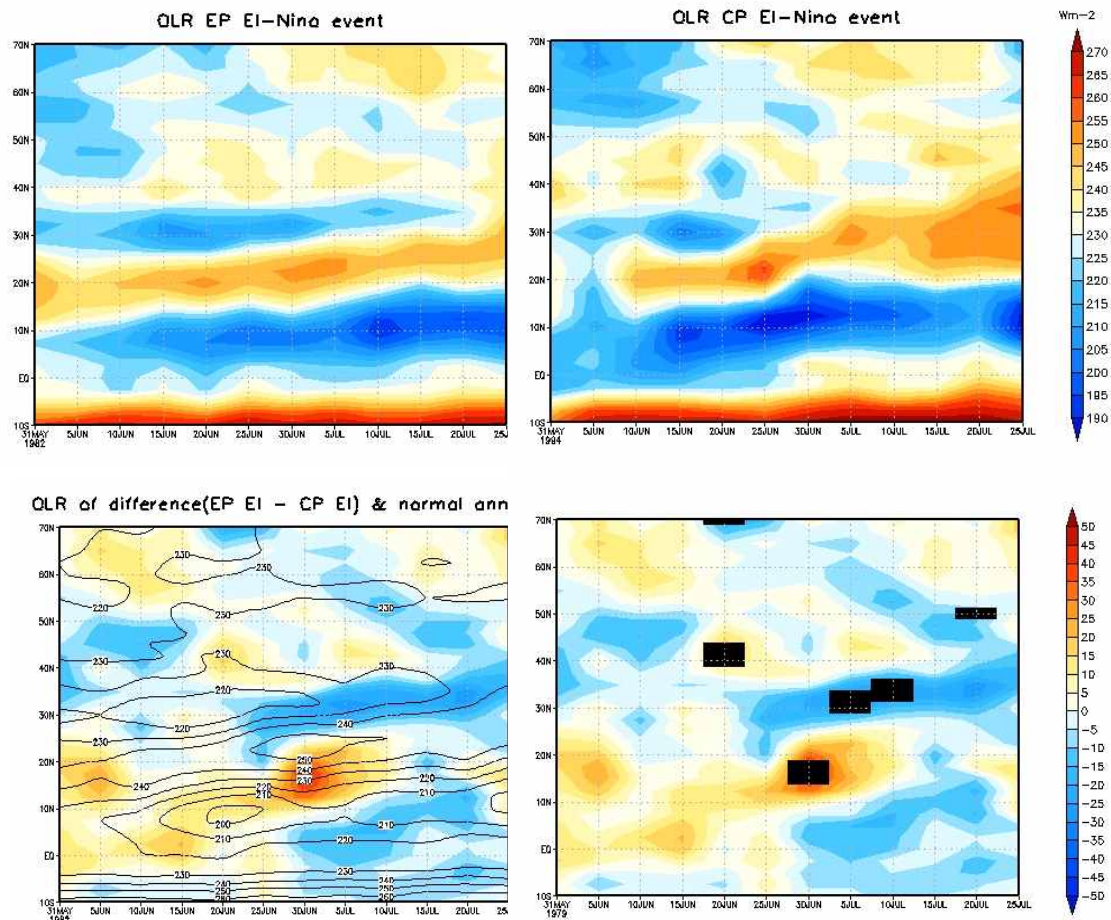


그림 3-6과 3-7은 강수대의 평년 위치를 선으로 나타내고, EP엘니뇨 일 때를 초록색, CP엘니뇨 시기일 때를 갈색으로 나타낸 것이다. 북위 30도 부근에서 EP엘니

노 시기에 CP 엘니뇨 시기보다 강수가 더 강해지는 경향이 있으며 이는 7월 초순 북위 30도대와 40도대에서 유의하였다. 또한 CP엘니뇨 시기에는 6월 하순에서 7월 중순 무렵, 북위 10도~20도 부근에서 ITCZ의 이른 북상으로 대류가 활발하게 나타난 것으로 보이며 강수 증가의 경우 유의하였다. 정리하면, EP엘니뇨 일 때 평년에 비해 장마전선 북상이 약간 느리고, 저위도의 주 강수대도 마찬가지였다. CP엘니뇨의 경우, 저위도 주 강수대가 평년에 비해 다소 북상한 경향을 보이며, 중위도지역의 장마전선은 평년에 비해 다소 북상하고, 짧고 굵게 나타나는 특성이 있다. CP엘니뇨 시기에는 중태평양의 수온이 예년보다 더 높은 상태이므로 열대 서중태평양 지역의 높은 해수면 온도로 동반된 강한 대류 강제력이 나타나는 반대편에 북태평양 고기압을 강화시키는 특성이 있는 연구와 비슷한 맥락으로 보인다.

3-5. OLR 차이

부가적으로, EP엘니뇨 시기와 CP엘니뇨 시기의 850hPa 바람장 차이를 그린 결과 저위도지역부터 북동쪽 방향으로 저기압성 순환, 고기압성 순환, 저기압성순환이 순차적으로 나타났는데 엘니뇨 유형에 따른 강수 패턴 변화를 통해서도 비교적 일관



성 있게 잘 나타나고 있다.

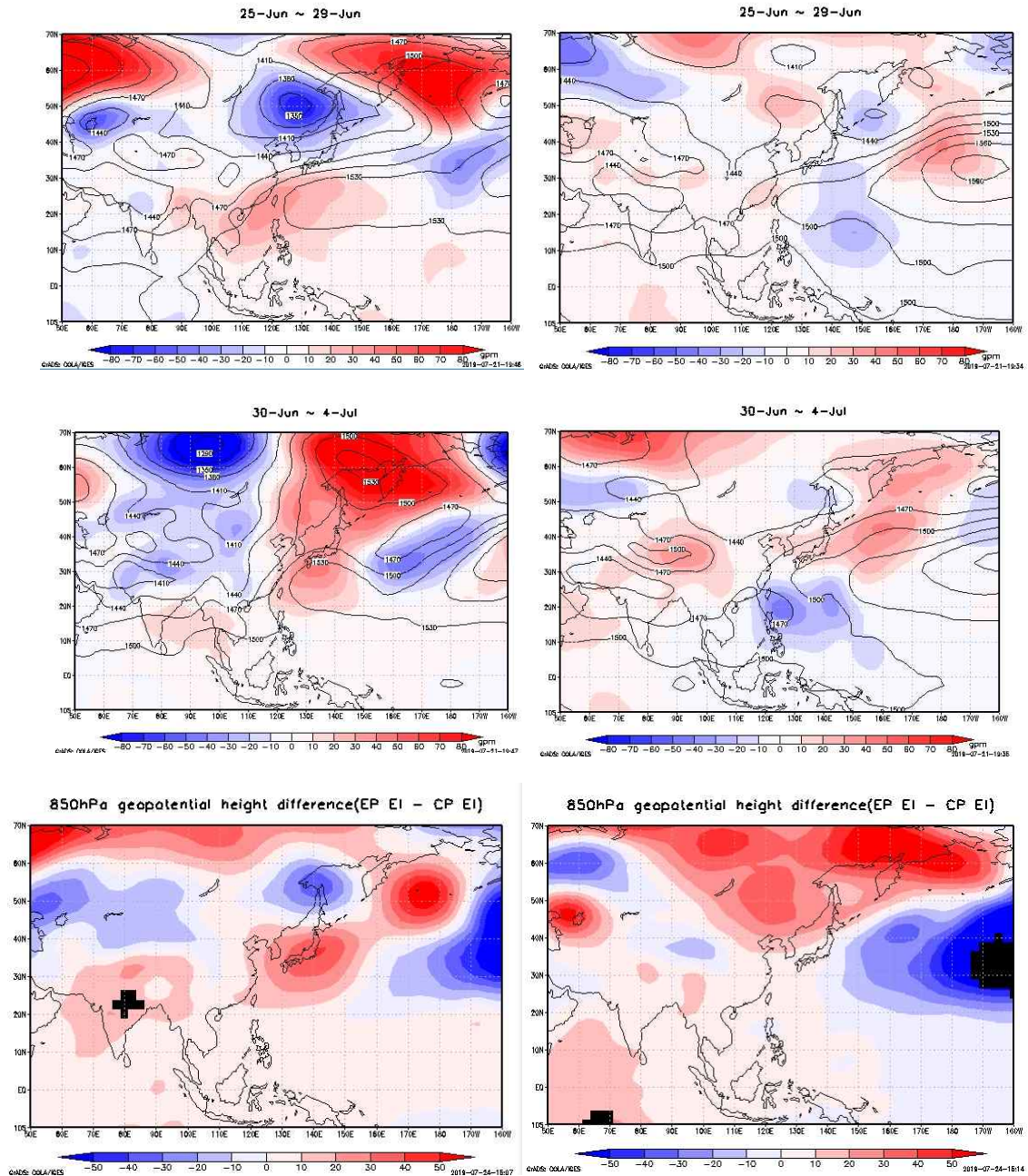
저위도지역부터 EP엘니뇨 시기에 기압패턴 ‘저-고-저’, 강수의 ‘양-음-양’의 일치 여부를 확인해 보기 위해 OLR(Outgoing Longwave Radiation) 차이를 그림3-9에 제시하였다. OLR은 지구복사에너지의 양을 계산한 것으로 적색계열에 갈수록 운량이 적어, 복사량을 많이 관측하게 되고, 청색계열에 갈수록 운량의 증가로 복사량을 적게 관측하게 되는 특성을 지니고 있다. 마찬가지로 북서태평양 대류를 동시에 파악하기 위해 이 지역의 공간 경도 115~145도를 평균하였고 위도는 -10~70도로 나타내었다.

그림3-9의 EP엘니뇨 시기일 때, 북서태평양 대류가 7월 중순경 가장 활성화되었으며, 강수패턴변화와 비슷하게 OLR의 음의 값이 지속적으로 느리게 북상함을 알 수 있었다. CP엘니뇨 시기의 경우, 6월 15일경부터 7월 10일 정도까지 북서태평양의 대류가 활성화되었고 특히, 6월 25일경부터 7월 5일 사이 가장 강력하게 나타났다. 이후, 둔화되었다가 7월 하순 무렵(25일)부터 2차적으로 활성화가 되기 시작한다.

850hPa 편차장

CP엘니뇨 시기의 OLR과 강수대 위치를 본 결과 6월 25일~7월 5일 사이, 강수대가 일시적으로 끊겨있는 모습을 확인할 수 있다. 그러므로 850hPa 지위고도 편차장과 EP엘니뇨 시기와 CP엘니뇨 시기의 지위고도 차이를 구하여 북태평양 고기압의 확장정도를 살펴보았다. 그 결과 CP엘니뇨 시기의 경우, 북태평양 고기압의 중심이 EP엘니뇨 시기보다 상대적으로 서쪽에 위치한 경향을 보였다. 또한 동아시아 주변의 지위고도 편차가 EP엘니뇨 시기보다 상당히 작음을 알 수 있었다. 6월30일~7월 4일 경은 북태평양 지위고도가 CP엘니뇨 시기에 더 높고 크게 확장하여 이 기간동안 고기압 세력의 강화로 강수가 일시적으로 중단되었을 가능성이 있는 것으로 파악된다.

3-6. 850hPa 지위고도 차이



4. 결론

동아시아의 장마의 경우, EP엘니뇨 시기와 CP엘니뇨 시기 모두 예년보다 늦게 시작하는 경향이 있다. 다만, EP엘니뇨 시기에는 적도부근과 중위도의 주요 강수대가 지속적으로 나타나면서 천천히 북상하는 특성이 있으나, CP엘니뇨 시기에는 북태평

양 고기압이 이른 시기에 크게 확장하면서 주요 강수대의 북상 속도를 높여, 장마가 예년보다 일찍 종료되는 특성이 있는 것으로 파악된다. 이를 통해 850hPa 지위 고도 및 500hPa 지위 고도 편차장을 통해서도 확인할 수 있었다. 또한 850hPa의 바람장과 OLR, 강수대 등 EP엘니뇨 시기와 CP엘니뇨 시기의 차이들을 통해 EP엘니뇨 시기에 적도 부근~북위 10도에서 저기압, 북서태평양의 고기압, 동북아시아 부근에 저기압성 순환이 관찰되면서 Gill-type과 유사한 기압계 패턴을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 엘니뇨 유형에 따른 장마전선의 위치 특성 변화뿐만 아니라 전반적인 동아시아 6~7월 강수 특징을 다룬 의의도 포함되어 있다. 그러나 데이터 분석 기간이 1979년~2018년으로 짧아, 분석 기간을 늘리기 위해서는 재분석 자료를 이용해야 할 것이다. 또한 CP엘니뇨 해의 개수가 3개로 매우 적어, t검정을 하기에 무리가 있다. 그러므로 분석 기간을 늘리는 방안을 고려해야 할 필요가 있다. 850hPa 바람장과 OLR, 강수대 분석을 통해 Gill-type과 유사한 패턴을 보는 과정에서 북위 10도~30도 사이의 고기압성 흐름은 순압구조로 이루어져야 하는데 300hPa의 바람장과 지위고도를 보지 못한 아쉬움이 있다. 장마전선의 변화 특성을 보기 위해서는 앞서 연구한 변수들뿐만 아니라 상당온위, 하층의 수분속 등 고려해야 할 변수가 많다. 특히, 여름철 태풍이 지나가는 길목의 경우, 고도편차가 크게 나타날 가능성이 있으므로 신중히 그러한 트렌드를 제거하고 연구를 보완해 나가야 할 필요성이 있다.

5장 참고문헌

- Changes in Independency between two types of El Nino events under a Greenhouse warming seenario in CMIP5 Models /정예림
- What Controls ENSO Teleconnection to east asia? Role of western north pacific precipitation in ENSO teleconnection to east asia/ 국종성, 김선용
- The Long-Term Variability of Changma in the East Asian Summer Monsoon System: A Review and Revisit/윤경숙, 김주홍, 서경환 등
- 장마백서, 2011
- 2016 엘니뇨 백서/기상청
- 엘니뇨/라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 관한 연구/차은정, 전종갑, 전효상
- 엘니뇨가 한반도 기후에 미치는 영향/국종성, 김선용, 손혜영

-서로 다른 두 유형의 엘니뇨와 동아시아 인근 해역 표층 온도 상관성 연구/윤진
희, 예상욱