

## 열대 및 아열대 SST에 관련된 동아시아 강우량의 경년 변동성

하 경 자

부산대학교 대기과학과  
(1995년 9월 15일 접수)

### Interannual variabilities of the East Asia precipitation associated with tropical and subtropical sea surface temperature

Kyung-Ja Ha

*Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Pusan, Korea*  
(Manuscript received 15 September 1995)

#### Abstract

The aim of the present study is to investigate the interannual variabilities of the East Asia monsoon rainfall associated with the global sea surface temperature anomaly(SSTA). For this study, the summer rainfall(from June to August) over the twenty-eight period of 1961-1988 were analyzed with being divided by nine-subregions over East Asia including Korea, China and Japan.

From the analysis of the principal modes explaining the interannual variation, the interannual variabilities of summer rainfalls in South Japan and Korea are larger than those of the other subregions of the East Asia. There is a strong negative correlation between the summer rainfalls of south China and Korea.

In this study, the relationship between the summer monsoon of each subregion and SSTs of the tropical NINO regions, of western Pacific warm pool, and of the subtropical ocean were investigated. The longitudinal sections of the lagged cross correlations of the summer rainfall anomaly in (a) Korea and (b) south China, and the monthly SSTA in the equatorial(averaged from 6S to 6N) Pacific were analyzed. The negative maximum correlation pattern of Korea's summer rainfall and SSTs over the eastern Pacific is transferred to positive maximum correlation over central Pacific region with a biennial periodicity. In South China, the significant positive correlations are found at -12 month lag over the eastern Pacific and maximum negative correlation at +6 month lag over the central Pacific with the quasi-biennial oscillation. But the correlation coefficient reverses completely to that in Korea.

In order to investigate the most prevailing interannual variability of rainfall related to the favored SSTA region, the lagged cross correlations between East Asia rainfall and SSTs over the NINO regions(NINO 1+2(0-10S, 90W-80W), NINO 3(5N-5S, 150W-90W), NINO 4(5N-5S, 160E-150W) and the western Pacific warm pool (5N-5S, 120E-160E) were analyzed. Among the lagged cross-correlation cycles in NINO regions, the maximum correlations for the negative lagged months prevail in NINO 1+2 and NINO 3, and the cross correlations for the positive lagged months NINO 4. It is noteworthy that correlation between the western Pacific warm pool SSTA and the monsoon rainfall in Korea and South China have the maximum value at negative 4 month lag.

The evolution of the correlation between the East Asia monsoon rainfall and SSTA is linked to the equatorial convective cluster and related to northward propagating situation, and raising the possibility that the East Asia monsoon precipitation may be more fundamentally related to the interaction of intraseasonal oscillations and the sub-regional characteristics including the surface boundary conditions and the behavior of climatological air mass.

Key Words : interannual variation of East Asia summer monsoon rainfall, prevailing interannual variation, quasi-biennial oscillation, sub-regional characteristics

## 1. 서 론

아시아 몬순(Asia monsoon)은 지역적으로 인도 몬순, 동아시아 몬순 그리고 남동아시아 몬순으로 나눌 수 있다. 그런데 아시아 몬순은, 동풍 제트, 상층 대류권의 티벳 고기압, 저층의 적도선을 가로지르는 적도 제트들에 의해 지배되고 있다. 그러나 이들은 전구 규모로 보면, Hadley 순환과 Walker 순환과 관련한 전구 물 순환과 에너지 순환의 한 부분이다. 이에 따라 이 연구에서는 동아시아 몬순 지역에 속하는 우리나라, 일본 및 중국의 여름철 강우량의 최근의 경년 변동 구조를 적도 및 아열대 해역의 해수면 온도(sea surface temperature, 이하 SST)의 변동과 관련하여 살펴봄으로써 몬순 순환의 이해에 도움이 되고자 한다. 특히 몬순 전선대는 온도 경도에 비해 습기 경도가 매우 큰 특징이 있고, 종관 규모와 중간 규모 운동의 결합체로 강우지역이 나타난다. 그러나 이러한 준 정체성 강우 전선대의 이동이 우리나라, 일본 그리고 중국에서 매년 현상으로 존재하나 우리가 장마로 느끼듯이 그 세기에 있어 다른 경년 특징을 가지고 있다. 이 연구에서는 강우량의 경년 변동을 곧 몬순에 관련된 장마 전선대의 세기의 경년 변동으로 보고, 동아시아 지역의 지역적 강우 구조를 지배하는 주요 모드들과 이들의 경년 변동, 그리고 강우량의 경년 변동 특징을 적도 및 아열대 SST와 상관시켜 분석함으로써 SST와 관련된 동아시아 몬순 강우량의 주기성을 찾고자 한다.

동아시아 몬순 지역에 속하는 우리나라, 일본, 중국은 공통적인 하계 습윤 기단을 가지나 각 나라의 위도상 위치와 지표의 비균질 특성에 따라 장마대의 출현이 시간적 차이를 나타내고 있다. 이에 대한 연구를 살펴보면, 김성삼 등(1983)은 우리나라의 하계 강우량의 경년 특징은 곧 1년 전체 기간의 강우의 경년 변동을 설명할 수 있다고 하였다. 이동규(1989)는 장마시의 강우량으로, 과우해와 다우해를 구분하여 이와 관련된 북반구 여름 순환의 특징을 극 저기압의 활동과 서태평양에서의 혼합비에 관해서 설명 하였다. 또 임규호(1992)는 우리나라 연강수는 6월말에서 7월초에 집중되

어 나타나며 이와 관련된 강우량 변화가 상층의 대기 변화에 밀접히 관련되어 있음을 지적하였다. 강인식 등(1992)은 우리나라 평균 여름철 강수량과 500 hPa 고도 및 SST 사이의 lag 상관 관계를 구하여 500 hPa 고도와 SST 공간 변동 구조를 우리나라 하계 월강수량의 예측인자로 사용하였다. 그 외에도 하계 강우의 경년 변동에 장마 전선상에서 발달하는 요란의 역할을 강조한 논문(Ninomiya and Akiyama(1971) 등)이 많다. 그러나 동아시아 전체 강우량의 경년 변동을 전구 순환과 관련한 적도 및 아열대 SST의 연 변동과 상관하여 연구한 경우는 드물다.

동아시아 강우량의 경년 변동에 포함된 주기들은 크게 십년 주기 이상의 장주기, ENSO와 관련된 주기, 그리고 준 2년 주기로 나누어 볼 수 있다(Shen and Lau, 1995). 여기서 장주기는 기후 변화와 같은 외부 강제에 대한 진동을 포함할 수 있다. 그리고 ENSO는 적도 지역에 큰 진폭으로 나타나는 수년 주기 진동이며, 이 진동이 가장 뚜렷한 태평양 SST와 동아시아 여름 강우량의 경년 변동이 어떻게 관련되어 나타나는지 살펴보는 것은 매우 중요할 것이다.

SST와 몬순 강우량의 상관 연구는 Fu et al. (1986), Wang and Li(1990), Shen and lau(1995) 등의 연구가 있다. 그들은 중국의 하계 강우량과 적도 지역의 SST와의 상관성을 분석하였는데, 중국에 한정된 강수량 자료로서 동아시아 몬순 강우의 전체를 설명하고 있어 다소 무리가 있다고 여겨진다.

이에 따라 본 연구에서는 동아시아 지역을 위도와 기후 특성에 따라 세분하여 그들의 하계 강우량의 변동성에 대한 남중국해와 태평양에서의 적도 순환과의 관련성을, 구체적으로 이들 지역의 강우량과 적도 동·서태평양 및 아열대의 SST와의 상관 구조로써 조사하였다.

## 2. 자료 및 기본 통계

본 분석에서는 하계 강우량을 매해 4월 1일에서 9월 30일까지의 6개월에 대한 강우량과, 6월 1일

Table 1. The Correlations among the summer rainfall of each climate region over eastern Asia.  
Correlations for the summer(June-August) precipitation among the East Asia monsoon regions

	Korea	Northeast China	North China	Jianghuai China	South China	North Japan	Northeast Japan	Southwest Japan	South Japan
Korea	1.00	.25	-.30	<b>.39</b>	<b>-.46</b>	.03	.18	.09	-.08
Northeast-C	<b>.47</b>	1.00	.23	-.06	-.23	.34	.19	-.24	.00
North-C	.19	.11	1.00	<b>-.54</b>	-.06	.22	-.06	-.17	.00
Jianghuai-C	.35	.35	.12	1.00	.03	.06	.11	.28	-.04
South-C	-.20	-.19	-.03	.21	1.00	-.09	.05	.26	.36
North-J	.05	.04	.24	.00	-.01	1.00	.29	-.02	.00
Northeast-J	.05	-.11	.03	-.06	-.31	.36	1.00	.13	.16
Southwest-J	-.22	-.22	-.31	.11	-.23	.16	.35	1.00	<b>.54</b>
South-J	.08	-.21	-.19	.08	.12	.02	.29	<b>.56</b>	1.00

Correlations for the summertime(April- September) precipitation among the East Asia monsoon regions

에서 8월 31일까지의 3개월 동안의 강우량으로 나누었다. 동아시아 지역들에서 4월부터 9월까지의 6개월에 대한 강우량과 6월-8월까지의 3개월 강우량의 30년 동안의 경년 변화가 매우 유사하여 그 상관관계수가 모두 0.7-0.8을 나타내었다. 이러한 특징은 1961년부터 1990년 까지의 30년간 지속적으로 관측된 14개 관측점(서울, 인천, 울릉도, 대구, 부산, 광주, 목포, 강릉, 추풍령, 포항, 전주, 여수, 제주)의 평균 강우량에서 확실히 보이는데(Fig. 1), 이 그림에서 전체 막대 그래프의 크기에는 4월부터 9월까지의 6개월 강수량, 공백의 막대그래프에는 6월부터 8월의 3개월간의 강우량을 담았다. 두 강수량의 경년 변화에서 상관도는 0.76이었다. 그러므로 6월부터 8월까지 3개월간의 강우량의 분석을 통해 여름철 강우량의 연변동을 설명할 수 있을 것이다.

우리나라, 일본 및 중국에서의 하계 몬순 강우량의 경년 변동 분석을 위해 각 나라 관측지점중 중국의 41개 지점, 일본의 24개 지점과 우리나라의 8개 지점의 1961년부터 1988년의 28년 동안의 하계 강우량이 사용되었다. 선택된 지점들의 위치는 Fig. 2와 같으며, 이 지점들은 비교적 거리상 균질한 분포를 나타내고 있으며 30년 동안 결측없이 지속적으로 관측이 시행된 대표적 지점들이다. 이 지점들 중에 우리나라를 제외한 두나라의 관측점들은 넓은 위도에 걸쳐 있으며 실제로 서로 다른 강우 양태를 나타내고 있어 우리나라 8개 지점

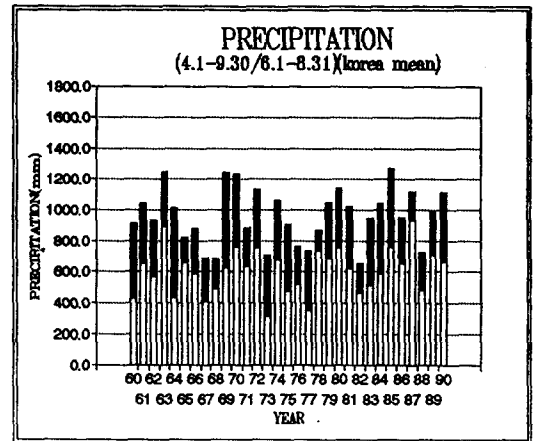


Fig. 1. Plots of summer rainfall(mm) averaged over 14 stations in Korea. Total bars represent total rainfall for six month of April - September. Blank bars represent total rainfall for three month of June - August.

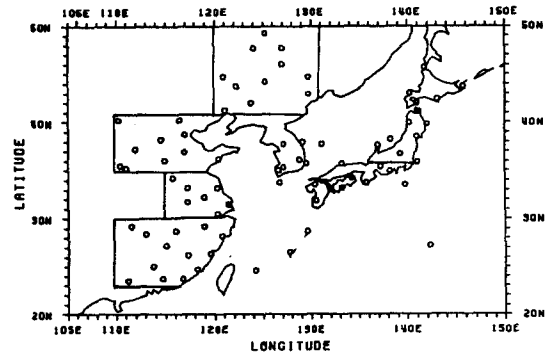


Fig. 2. Station locations of the summer rainfall data over eastern Asia.

(서울, 울릉도, 대구, 광주, 목포, 강릉, 울산, 제주)을 한 군으로 보았다. 또 중국 동부 지역의 41개 지점을 네 지역으로 나누어 중국북동부(41N-50N, 120E 동쪽), 중국북부(35N-41N, 110E-120E), 강회지구(江淮, Jianghuai, 30N-35N, 115E 동쪽) 그리고 중국남부(23N-30N, 110E 동쪽)로 나타내었다. 이들 지역 중에서 가장 많은 여름 강우량을 나타내는 지역은 중국남부이며 가장 작은 강우량을 보이는 지역은 중국북동부이다. 그리고 경년 변동에 있어 중국북부 지역과 강회지구의 강우량의 해마다의 차이에 비해 중국남부 및 중국북동부의 여름 강우량의 차이는 폭이 작았다. 일본 지역은 홋카이도를 중심으로한 일본북부, 일본북동지역(36N이북)과 남서지역, 그리고 큐슈지역 및 서태평양 해역의 지점들을 포함하여 일본남부로 구분 하였다.

Table 1은 우리나라와 중국 및 일본을 각각 4개 지역으로 구분한 총 9개 지역에 대한 28년간의 경년 변동의 유사성을 볼 수 있는 교차 상관 계수를 나타낸 것이다. 표의 대각선의 우측 계수들은 4월 1일부터 9월 30일까지 기간의 강우량에 대한 것이고, 대각선 좌측 계수들은 6월 1일부터 8월말까지의 3개월 동안의 여름철 강우량 끼리의 교차 상관계수를 보인 것이다. 표의 진하게 표시된 계수는 자료의 표본에 대해 95%의 신뢰구간에서 유의한 값(0.39 이상)들이다. 우리나라의 3개월 기간에 대한 여름강우와 가장 관련이 있는 지역은 중국남부로 -0.46의 음의 강한 상관성을 보였으며, 4월부터의 여름 6개월 기간의 강우에 대한 상관도에서는 우리나라 강우량이 우리나라 보다 더 고위도인 중국북동부와 양의 상관성이 나타나고 있다. 이는 우리나라 하계 강우의 기후 구분에서 중국남부와는 음의 상관인 기후 구분으로, 중국북동부와는 같은 기후 구분으로 나눌 수 있는 것을 보이고 있다. 중국대륙동부에 대해서는 중국북부와 강회지구 강우량이 음의 상관성이 나타나 장마전선의 동서 방향의 축이 남북 위도에 대해 경년 변동을 하는 것을 짐작할 수 있다. 일본 내에서는 일본남부와 남서부 지역은 여름철 3개월 동안이나 6개월 동안의 강우량의 경년 변화에 대해 서로 비슷한 모습을 보이는 것을 알 수 있다.

### 3. 동아시아 여름 강우량의 경년 변동

총 74개의 관측지점에 표현된 동아시아 지역의 여름 강우량과 28년에 대한 표준편차로서 경년 변동의 크기를 Fig. 3에 나타내었다. Fig.3.(a)에서 우리나라와 일본남부 지역이 중국대륙과 일본북부에 비해 강우량이 많은 특징이 있음을 알 수 있고, Fig. 3.(b)에서는 비교적 많은 강우 지역에 큰 경년 변화가 있으며 동중국해에 걸쳐서 최대 표준편차가 존재하는 것은 태풍의 출현이 해마다 매우 다르게 나타난 원인도 포함된 것을 알 수 있다. 그리고 일본 남쪽의 태평양상에는 북태평양 고기압의 영향으로 몬순 지역 여름 강우보다 적은 여름 강우의 특성을 나타내며, 특이점으로 나타난 것은 한 점의 관측 자료로서 표시되었기 때문이다.

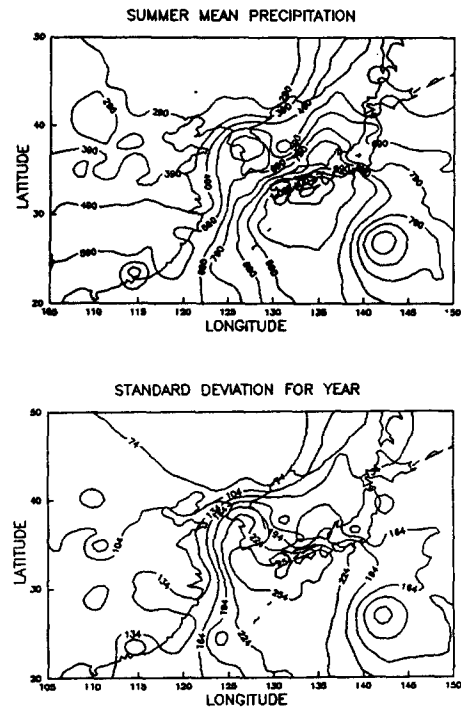


Fig. 3. (a) Mean summer precipitation(mm) of the twenty-eight-year period(1961-1988) over East Asia. (b) Standard deviation of summer precipitation rate over twenty-eight-year averaging period.

9개 기후 지역에 대해 지역 평균의 경년 변동을 Fig. 4의 (a)와 (b)에 각각 시간과 공간 변동의 주 성분 분석을 통해서 묘사하였다. 첫째 주성분(33.0%)은 일본의 남서부에 중심을 둔 경년 변동 모드이고, 우리나라와 중국 강회지구를 포함한 일본 전역이 중국남부와 북부를 합한 지역과 다른

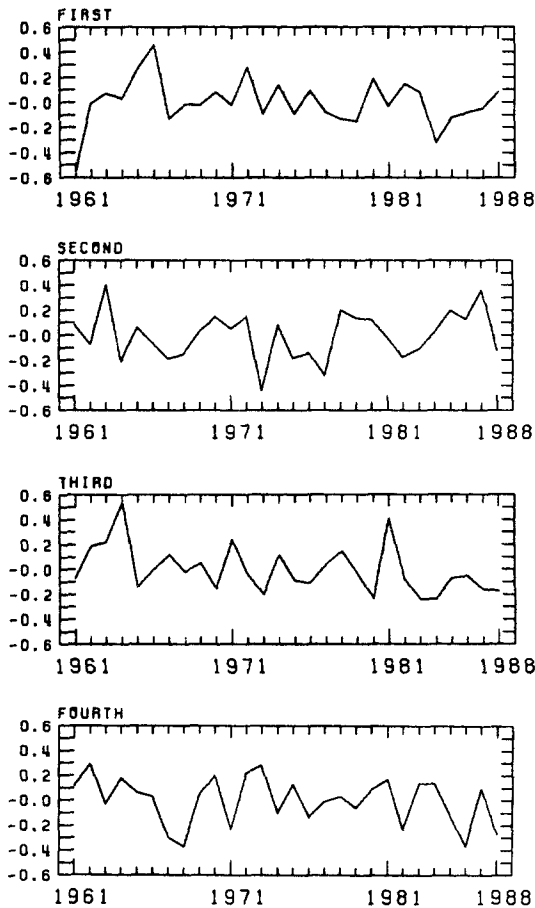


Fig. 4. (a) The first principal modes of nine sub-area mean summer rainfall of East Asia.

강우 기후로 구분되고 있다. 첫째 모드의 시간 구조에서 70년대와 80년대초에 걸쳐 2년 주기로 변하는 특징을 볼 수 있다. 둘째 모드는 우리나라의 경년 변동성이 중국남부와 대조를 이루는 것을 잘 보이는 모드이다. 그리고 세째(13.6%) 및 네째(9.3%)는 대체로 남북으로 기후 특징이 나타나는

모드들이며, 특히 일본의 위도별 특성과 중국의 위도별 특징이 기후 특징으로 나타난 것으로 보인다. 세째 모드의 시간 구조는 28년 동안 서서히 감소하는 경향이 있고 1964년과 1981년에 탁월했던 구조이다.

이제 9개 지역 평균 특성을 배제한 동아시아 74개 지점에 대한 28년 강우량의 시간 및 공간 변동을 주 성분 분석하여 Fig. 5(a)와 (b)에 나타내었다. 이 분석을 통하여 얻은 첫 4개의 주 성분들로부터 51.2%의 총분산을 설명할 수 있었다. Fig.5(a)는 첫 4개의 주 성분들의 시간 구조를 보인 것이고 Fig.5(b)는 첫 4 주 성분들에 연관된 공간 구조들을 보인 것이다. 첫째 주 성분(18.8%)을 살펴 보면 일본남부 및 남서에 중심을 두고 우리나라와 강회지구, 중국북동부 일원을 연결하는 모드이고 중국남부에 음의 패턴이 나타나서 우리나라와 일본 전역의 강우 특성과 음의 상관관을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 이렇게 가장 높은 양의 값이 일본남부 및 우리나라에 걸쳐 나타나는 것에는, 그 주위 해양지역의 빠진 자료로 인한 효과도 다소 가미되어 있을 것으로 생각된다. 그러나 9개 평균에 대한 주 성분 분석 결과인 Fig. 4와 비교해 보면 상당히 일치한다. 그리고 시간 변동 구조에서 2년 주기 변동이 많이 담겨 있는것을 확인 할 수 있다. 둘째 모드(16.2%)는 우리나라 주변과 동중국해 일부 지역을 합한 지역이 주변의 다른 지역과 음의 상관관을 나타냄을 보여준다. 이 모드는 동서 방향의 준정체성 강우대의 남북 이동을 설명하는 것으로 시간 구조에서 보면 1961년에 매우 탁월하였으며 이후 선형적으로 계속 감소하는 경향이 있는 장 주기 형태임을 알 수 있다. 이 모드는 위도별 특성을 가진 장마대의 지속성을 설명하고 있다. 이 모드의 장주기 변화 경향에 영향을 주는 인자로서의 몬순 순환의 파악이 앞으로 매우 중요한 과제가 될 것으로 사려된다. 네째 모드(7.4%)도 다소의 위도별 특성을 나타내고 있으나 여름철 태풍의 주요 경로에 큰 진폭을 보이고 있어 다소간 태풍의 영향이 나타나 있는 것으로 해석할 수 있겠다.

#### 4. 동아시아 몬순 강우량과 SST의 상관 경년 변동성

앞서는 경우이고 양의 lag인 경우는 반대로. 하계  
강우량의 발생 시점이 SST를 앞서는 경우이다.  
그림에서 연한 점으로 표시된 영역은  $-0.30$ 이하의

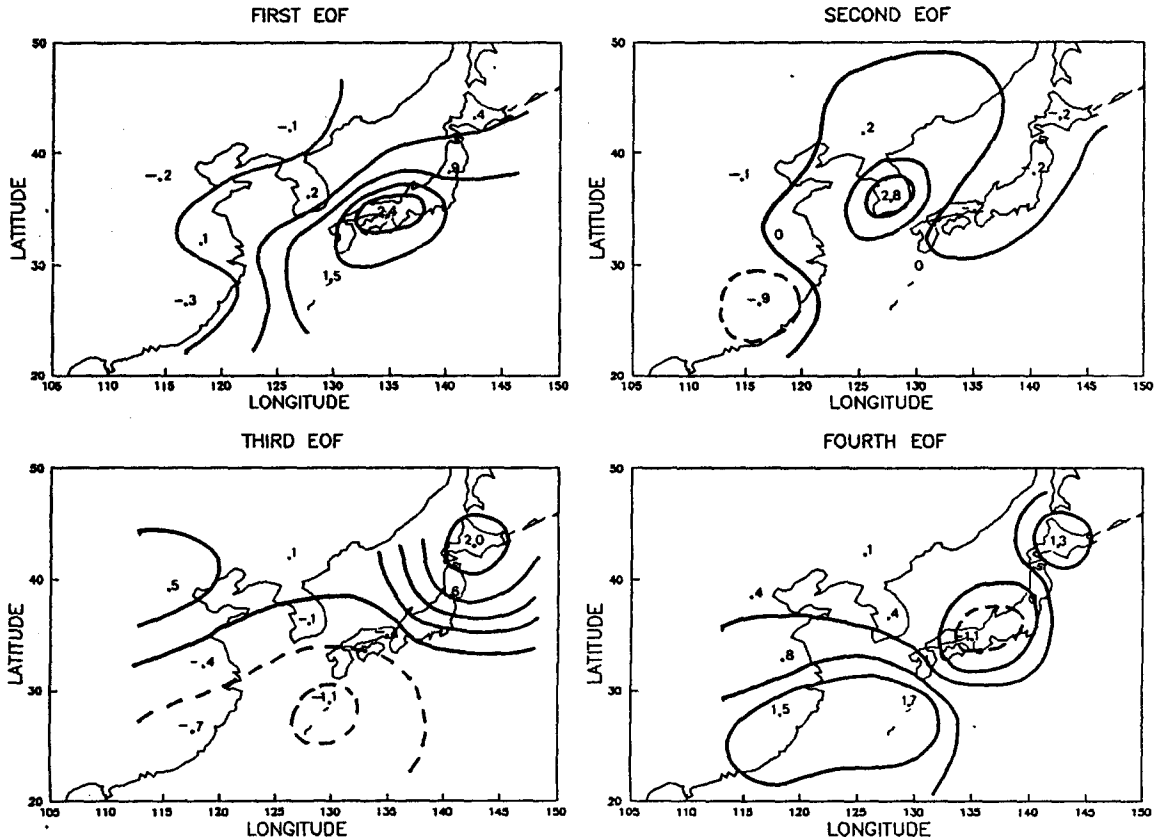


Fig. 4. (b) The first four spatial structures as the associated coefficients of the principal modes(a).

이 연구에서는 동아시아 여름 몬순 강우량과 적도 및 아열대에서의 SST와 상관 관계의 특징을 알아보기 위해 9개 지역으로 구분되는 기후 강우량으로부터 적도(6S-6N) 및 아열대(6N-30N)에 대해 평균된 SST 아노말리와의 교차 상관 계수를 월간 시간 지연(lag)과 경도의 함수값으로 구하였다. 그리고 우리나라 강우량의 경년 변동과 가장 큰 상관 관계를 보인 중국남부 강우량의 시간지연(-18개월에서 +17개월) 및 경도의 함수로 표현된 적도 지역에 대한 평균 SST와의 교차 상관 계수를 함께 Fig.6에 표시하였다. 음의 lag(month)인 경우는 7월에 고정된 평균 하계 강우량을 SST가

음의 상관이 큰 지역을, 진한 점으로 표시된 지역은  $+0.30$ 이상의 양의 상관이 큰 지역을 나타내고 있다. 이들 표시된 지역은 90%의 신뢰수준에서 유의한 지역이다. 우리나라의 경우를 살펴보면 160E 동쪽 지역에 대해 -12개월에 최저 상관계수에서 +12개월에 다시 최저 상관 계수를 보이며, 음과 양의 교차 상관 계수가 2년을 주기로 큰 진폭으로 진동하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 중국남부의 경우는 반대의 양상이 뚜렷하여 -12개월의 시간 지연에 적도 동태평양과 강한 양의 상관이 있으나 +6개월에 강한 음의 상관이 170W 부근의 적도 중앙 태평양에 음의 상관계수의 최대점

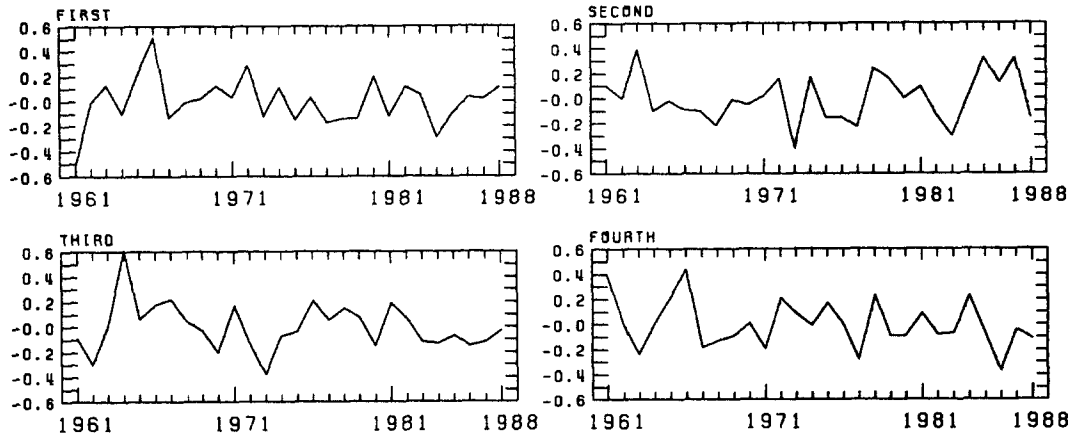


Fig. 5. (a) The first four principal modes of the East Asia summer rainfall rate.

이 나타나고 있어 약 30개월의 준 2년 주기 진동(quasi-biennial oscillation)을 보인다. 우리나라 및 중국남부 강우량의 두 경우, 모두 적도 동태평양에서의 큰 상관 지역이 시간이 지남에 따라 서쪽으로 전이되어 나타나고 있다. 이러한 강수량의 준 2년 주기의 특성은 최근에 Yasunari(1990, 1991), Shen and Lau(1995) 등의 연구에서도 찾을 수 있는데, Yasunari(1990, 1991)의 연구에서는 인도 여름 몬순과 열대 SST와의 2년 주기 관계를 시사하였으며 Yasunari(1991)에서는 늦은 봄이나 이른 여름에 시작하여 12개월로 정의하여 몬순 기후해의 개념을 도입하기까지 하였다. 이러한 적도 해양에서의 SST와 더불어 아열대 SST와의 교차 상관 함수의 특징을 Fig. 7에서 찾으면 적도에서 보다는 다소 약한 듯 하나 중국남부 지역의 여름 강수량과 아열대 중앙태평양과 음의 원거리 상관 형태(teleconnection pattern)가 뚜렷이 나타나고 있다.

적도 동태평양 및 중앙태평양의 SST와 몬순강우의 상관성 분석에서 우리나라와 일본은 유사한 경년 특징이 있었으나(그림으로 보이지 않았음), 중국의 경우 비교적 몬순 강우가 많은 남부 지역과는 NINO지역의 상관성이 역으로 나타나는 특징이 있었다. 중국의 경우, Shen and Lau(1995)의 연구에서 여름몬순과 SST가  $-lag$ 에 양의 상관인,

0 lag와  $+lag$ 에는 음의 상관성이 나타나, ENSO와 음의 상관성을 지적하였던 결과와 일치되고 있다.

SST 경년 변동은 적도 동태평양 및 중앙태평양에서 가장 뚜렷하며 이 지역을 NINO 1+2 지역(0-10S, 90W-80W), NINO 3 지역(5N-5S, 150W-90W), NINO 4 지역(5N-5S, 160E-150W)으로 나눌 수 있다(Reynolds and Smith, 1994). 이 연구에서는 이 NINO 지역에서의 SST와 강우량의 상관성을 살펴보기 위해 Fig. 8에서 적도 태평양의 NINO 지역들에서의 평균 SST와 (a)우리나라 강우량과 (b) 중국남부의 강우량과의 교차 상관계수를 시간 지연 함수값으로 나타내었다. 적도 서태평양에서의 SST와의 상관성을 알아보기 위해 NINO 지역외에 서태평양 온수역(5S-5N, 160E-120E)의 SST가 함께 분석되었다. 여기서 우리나라와 중국남부의 강우량과 SST의 상관계수 변화가 매우 대조적이며  $-lag$ 인 경우 동태평양의 NINO 1+2 지역과 NINO 3 지역에서의 평균 SST와 중국남부는 매우 큰 양의 상관성이, 우리나라는 음의 상관성이 뚜렷하게 나타나며 0 lag를 중심으로 상관함수의 구조는 반대로 바뀌어 나타났다. 이 때 가장 강한 상관을 나타낸 지역이 NINO 4 지역이며, 시간이 지남에 따라 최대 상관 지역이 적도 동태평양에서 중앙태평양으로 전이되면서 반대의 상관구조가 진동하여 나타나는 것을 확인할 수 있다.

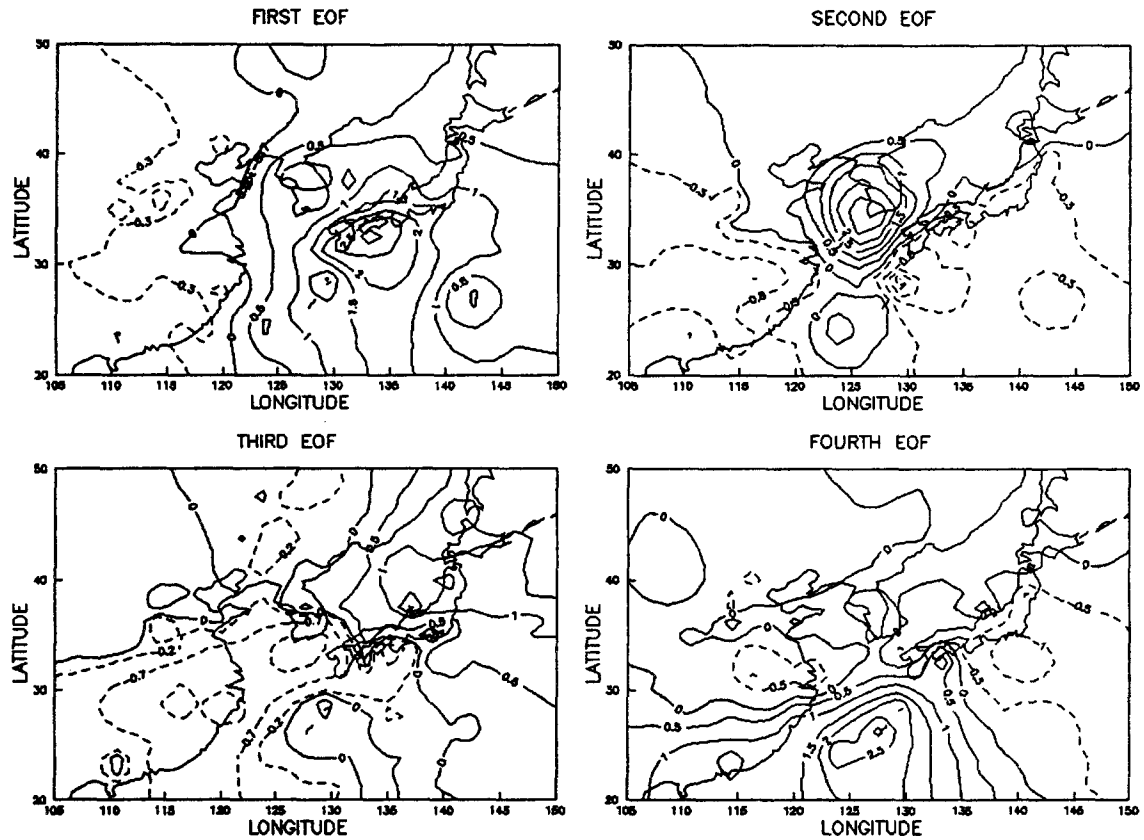


Fig. 5. (b) The first four spatial structures as the associated coefficients of the principal modes of the East Asia summer rainfall rate.

그리고 우리나라 강우량의 경우, 정확하게 최소점이 -12개월에 나타난 것이 +12개월에 반복되는 2년 주기가 탁월한 것을 알 수 있으나, 중국남부의 강우량의 경우는 주기가 2년 보다 다소 길게 나타나는 것을 볼 수 있다. 서태평양의 온수역의 SST와의 상관성은 NINO 지역들에서의 상관성과 대조적 부호를 가지며, 그 크기도 다르게 나타나, 우리나라 경우는 탁월한 양의 상관성이 지속적으로 나타나며, 중국남부의 경우는 -lag인 경우에는 음의 상관성이, +lag인 경우는 양의 상관성이 나타나고 있다. 여기서 특히하게도 -4개월의 시간 지연 상관계수가 아주 유의하게, 우리나라의 강우량과 중국남부의 경우에 반대의 탁월한 모드로 보인다. 이로부터 3월의 서태평양의 SST 아노말리가 중국남부 및 우리나라 여름 강우에 주요 강제인자로 간주

될 수 있을 것으로 사려된다. 중국남부와 우리나라의 강우량에 대해 서태평양 SST와의 탁월한 상관 구조는 Huang and Li(1987), Huang(1990)의 연구에서, 필리핀 해역의 열원에 대응한 대기의 행성 규모파 요란이 북쪽으로 전파되어 동아시아 태평양 원거리 구조(East Asia/Pacific pattern)를 가진다고 설명한 것과 일치하고 있다. 이에 따라 중국남부 및 우리나라 강우량의 경년 구조가 서태평양 온수역의 대류 활동에도 깊이 관련되어 있음을 알 수 있다.

그리고 적도 태평양의 NINO 지역들 중 NINO 1+2지역의 SST와 우리나라와 중국 남부지역의 강우량은 ENSO 주기보다는 오히려 2년 주기로 상관되어 있음을 알 수 있다. 일본의 네 지역에 대한 적도 및 아열대 SST와의 상관성 분석에서는



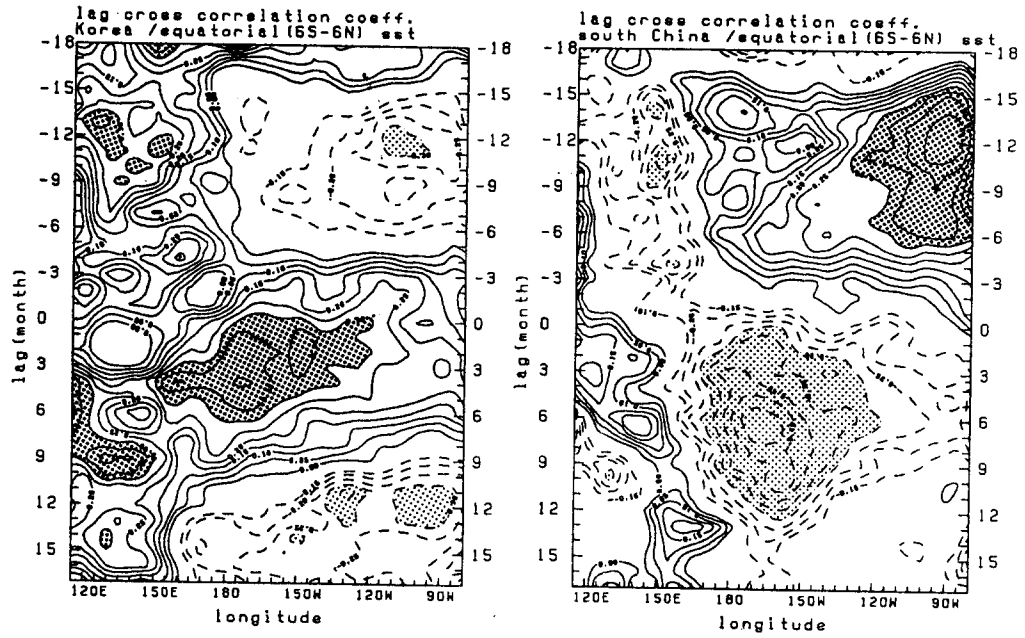


Fig. 6. Time-longitude section of lag cross-correlations between the summer rainfall in (a) Korea, (b) South China and the equatorial (averaged from 6S to 6N) SST from 115E to 80W.

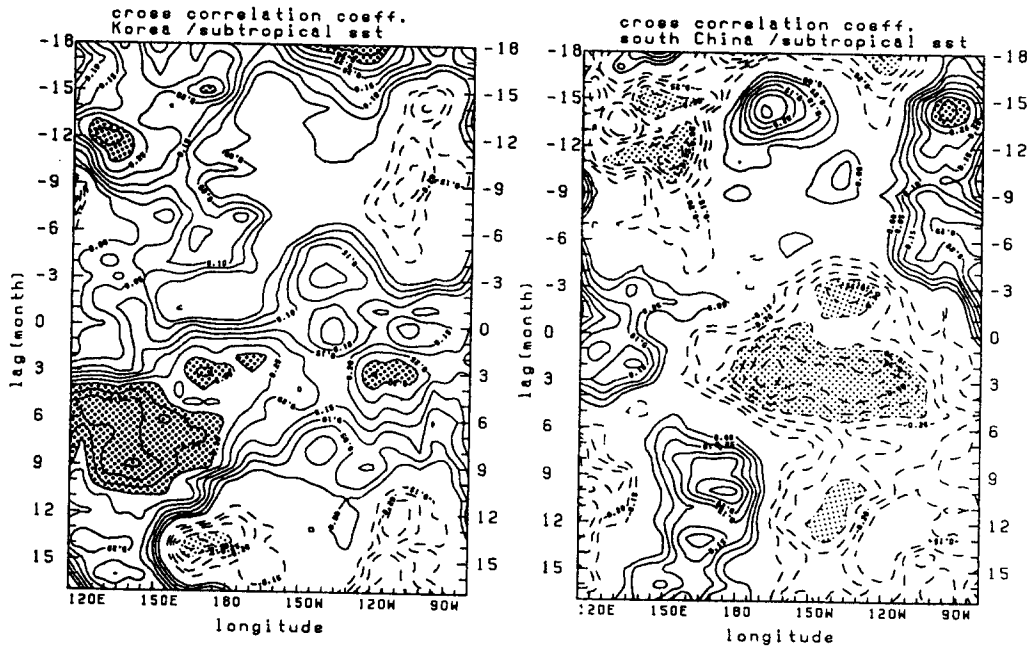


Fig. 7. Same as Fig.6. except for the subtropical (averaged from 6N to 30N) SST.

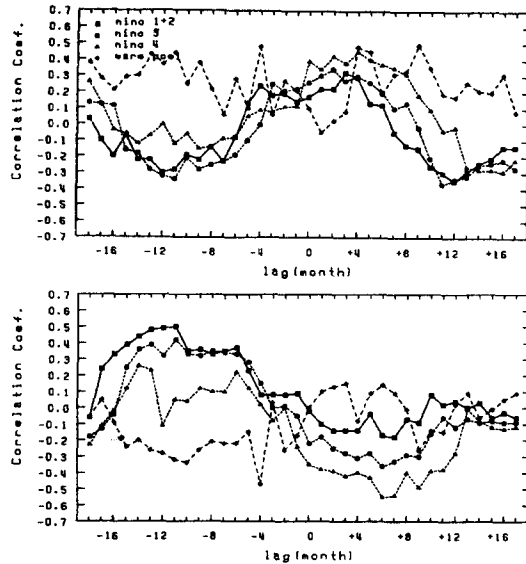


Fig. 8. Lag cross-correlation between summer monsoon rainfall (a) in Korea, and (b) in South China) and the SST at the equatorial NINO regions and western Pacific warm pool regions as a function of lag(month).

적도 동태평양 NINO지역들의 SST의 변동과 가장 관련이 있는 지역이 일본남부로서 Fig.9에 나타내었다. 중앙태평양에서 -2개월에 가장 뚜렷한 양의 상관성이 있으며 서태평양 온수역과는 강한 음의 상관성이 있고, 시간이 지나면서 동태평양과 중앙태평양에 음의 상관성이 뚜렷하게 나타난다. 그러나 상관성이 지속적으로 나타나고 있다. Fig.9.(b)에 나타난 아열대 해역 SST와의 상관에서는 서태평양에서 -5개월 시간 지연에 강한 음의 상관성이 유의하게 나타나 있다.

중국강회의 경우에는 Fig. 10의 (a)와 (b)에 표현하였다. 상관 형태가 일본남부의 경우와 유사하게 나타났으나, 중심점이 NINO 3지역에 있으며 상관 계수가 다소 작게 나타나고 있다. SST와의 상관 형태가 유사하게 나타난 일본남부와 중국강회의 경우에 대해, NINO 지역들과 서태평양 온수역 SST와의 상관성을 Fig. 11에 보였다. 우리나라와 중국남부의 경우와는 다르게 그 상관 형태가 약 4년 기간으로 변하여 ENSO 주기와 관련되어 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 동태평양 적도

지역과의 SST 관련성이 일본남부와 강회지역이 유사한 형태로 나타나고 있는 것은 강우량의 주성분 분석에서 나타났던 위도별 기후 특성으로 볼 수 있을 것이다.

아열대 SST와 관련성이 가장 뚜렷한 동아시아 몬순 기후 지역은 9개 기후 지역중 중국북부와 중국북동부였으며 이들의 특징을 Fig. 12에서 보였다. 중국북부는 +3 lag에 중앙 태평양과 음의 상관성이 강하게 나타나며 중국북동부는 서태평양에서 +4에서 +6 lag 시간에 걸쳐 강한 양의 상관성이 나타나고 있다. 특히 중국북부의 경우 -3 lag 기간 때 양의 상관에서 음의 상관으로 급속히 전환되는 특징이 있다.

Fig. 13은 적도 및 아열대(팔호안의 부호) 해역 SST와의 상관성을 0 lag에 원거리 상관을 교차 상관 함수값으로 동아시아 9개 기후구에 대해 총괄적으로 표현한 것이다. Fig. 13(a)는 적도 동태평양 지역들에 대해 (b)는 서태평양 SST에 대해 나타낸 것이다. 적도 동태평양 SST에 대해, 우리나라와 중국북동부, 중국강회, 홋카이도를 제외한 일본 전역은 적도 NINO 지역들의 SST의 변화와 양의 상관을 가지나 그외 지역은 음의 상관성이 있었다. 여기서 알 수 있는 것은 동아시아 몬순 강우량이 지역적으로 차이를 보이며, NINO 지역 SST와 강우량은 성격적 원거리 상관을 보이는 것이다. 이러한 결과는 동아시아 몬순 지역인 우리나라, 중국, 일본의 하계 강우량 경년 변동 특징이 같은 형태로 나타나지 않고 위도별 특징과 지표 불균질 등의 차이와 함께 지역적 특성을 가지고 있다는 것을 보여준다. 그러므로 적도 동태평양 SST와의 상관을 중심으로 볼 때 우리나라와 일본 남부, 남서부 및 중국북동부 지역과 강회지구를 하나의 공동 기후구역으로 둘 수 있으며, 그 외 지역을 함께 묶어 또 다른 기후구로 나누어 볼 수 있겠다.

## 5. 요약 및 결론

동아시아 하계 몬순 강우량의 경년 변동성을 찾기 위해, 우리나라, 중국 및 일본의 강우 관측지점

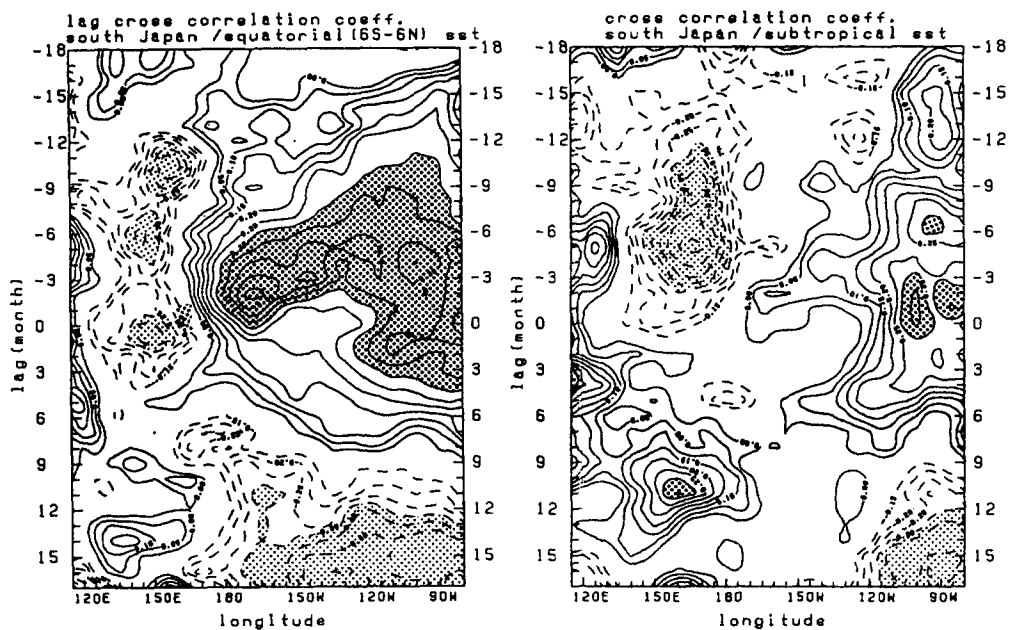


Fig. 9. Time-longitudinal section of lag cross-correlations between summer rainfall in South Japan and (a) the tropical SST. (b) the subtropical SST.

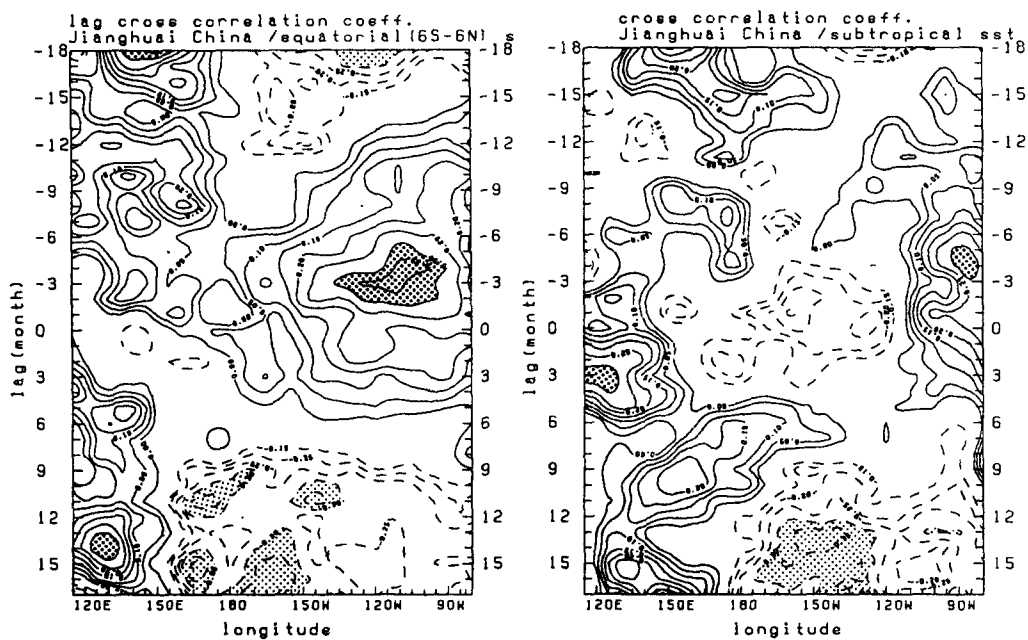


Fig. 10. Same as Fig. 9. except for Jianghuai China.

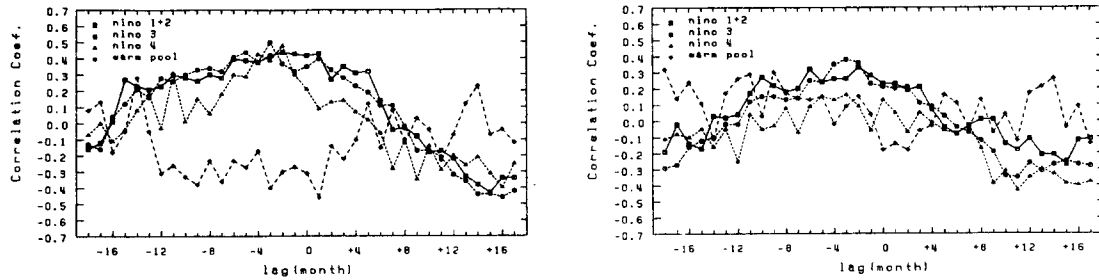


Fig. 11. Same as Fig. 8. except for (a) South Japan, and (b) Jianghuai China.

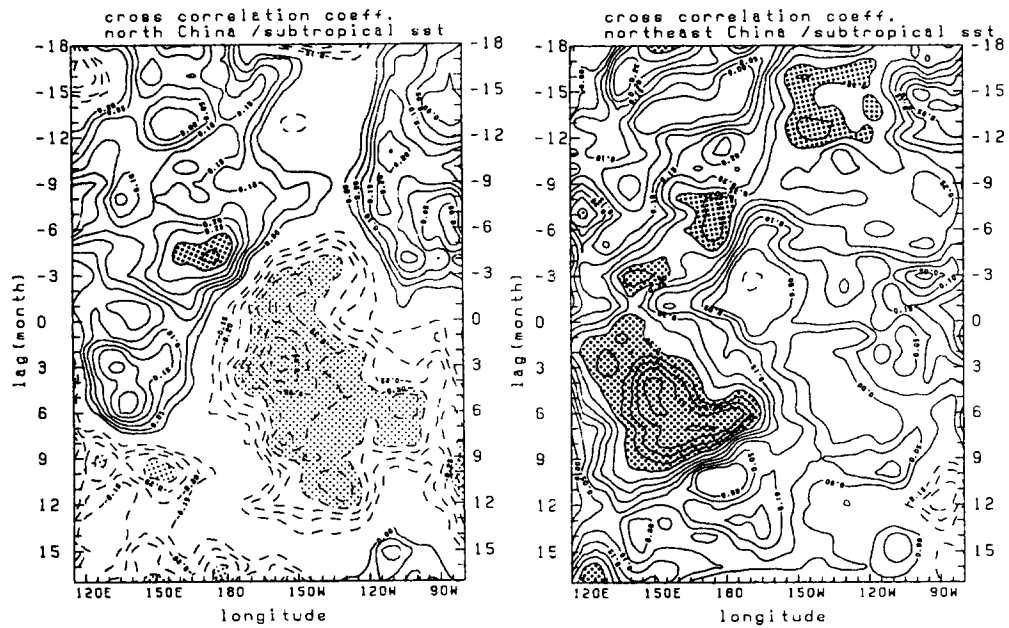


Fig. 12. Time-longitudinal section of lag cross-correlations between summer rainfall in (a) North China, (b) Northeast China and the subtropical (averaged from 6N to 30N) SST from 115E to 80W.

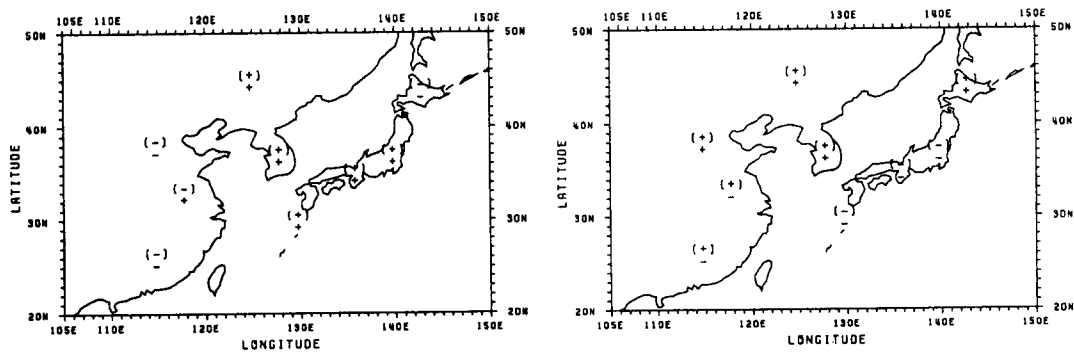


Fig. 13. Plots of correlation sign between summer rainfall over nine subregions of the East Asia and tropical, and subtropical (sign in bracket) SSTA (a) in eastern Pacific and (b) in western Pacific at 0 lag.

중 비교적 균등한 지점간 거리를 갖는 74 지점의 1961년부터 1988년의 28년간의 자료를 분석하였다. 세 나라의 동아시아 권역을 9개의 기후 지역으로 나누어 각 지역들의 강우량을 비교 분석한 결과, 각 지역들의 6월에서 8월까지의 하계 강우량의 경년 변화는 서로 다른 모습을 나타내며, 우리나라의 강우량과 가장 큰 상관을 보이는 기후 지역은 -0.46의 유의한 역 상관을 보인 중국 남부였다. 그리고 9개 기후 지역간의 상관성 분석으로부터 장마전선의 동서 방향의 축이 남북 위도에 대해 경년 변동을 하는 것을 알 수 있었다.

열대 및 아열대 SST에서 가장 경년 변화가 큰 NINO 1+2, NINO 3 및 NINO 4지역들과 서태평양 온수역의 월평균 SST의 변화와 동아시아 9개 기후 지역의 하계 강우량과의 상관성 분석을 통하여 태평양 지역에 대한 시간 지연 상관 함수값을 얻었다. 또한 6S와 6N 사이에 평균된 적도 지역 SST와 6N에서 30N까지 평균된 아열대 SST와 동아시아의 하계 강우량과의 상관함수를, 태평양에서의 동서 방향으로 특징을 찾기위해, 월 간격으로 표현된 시간지연과 경도의 함수로 분석하였다. 이로부터 우리나라 하계 강우량과 적도 태평양 SST와의 교차 상관 함수의 경우, 하계 강우량의 평균을 7월에 두었을 때, 이 시점보다 12개월 앞서는 동태평양 SST가 최대 음의 상관을 나타내었다. 그러나 시간이 지남에 따라 점점 중앙태평양으로 최대 상관 지역이 전이되어 +4개월 지연에 최대 양의 상관이 있었다. +12개월에 다시 음의 최대 상관 지역이 동태평양에 나타나 우리나라 하계 강우량과 적도 SST와의 상관 구조는 ENSO주기보다는 오히려 2년 기간의 탁월 주기가 있었다.

중국남부 강우량과 적도 SST와의 상관 구조는 -12개월에 동태평양에서 최대 양의 상관이 있고, 양의 상관 구조는 +6개월 지연에 다시 중앙태평양에 있었다. 즉, 중국남부 강우량과 적도 SST와의 상관 구조는 우리나라의 상관 구조와 반대의 상관 형태이다. 그러나 주기는 2년보다 긴 특징이 있었다. 그리고 일본남부와 중국강회에서는 ENSO 주기로 관련되어 있음을 알 수 있었다.

서태평양 SST와의 상관의 경우에는, 우리나라와 중국북부 및 북동부, 일본북부등의 부호가 일

치하고 중국강회와 일본남부는 함께 음의 상관으로 나타나 서태평양 온수역과의 동아시아 몬순 강우의 상관 구조가 열파의 북쪽 이동과 연관하여 위도별 특징을 가지는 것을 알 수 있었다.

그리고 아열대 SST의 경우, 중국북부 및 북동부 강우량과 상관이 높았으며, 중국북부에서는 음의 상관이, 중국북동부에서는 양의 상관이 높았다.

## 감사의 글

이 연구는 환경부와 과학기술처가 지원하는 “지구 환경 감시 및 기후 변화 예측 기술 개발”의 일부로 수행되었기에 연구비 지원에 대해 감사 드립니다. 연구의 진행 동안 많은 조언을 해주신 연세대학교 김정우 교수님께 감사드리며, 간과하였던 오류에 대해 상세하게 지적해주신 두 분의 심사위원께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 강인식, 허창희 및 민경덕, 1992 : 한반도 여름철 강수량의 장기예측, 한국기상학회지, 28, 283-292.
- 김성삼, 정창희, 박순웅 및 이병설, 1983 : 다우 장마와 과우 장마시의 장마 전선의 구조적 특징, 한국기상학회지, 19, 12-24.
- 이동규, 1989 : 한반도 다우 및 과우 여름철 관련된 북반구 여름철 순환의 연구. 한국기상학회지, 25, 205-220.
- 임규호, 1992 : 한반도 강수량과 북반구 여름철 대기 순환의 계절변화. 한국기상학회지, 28, 269-282.
- Fu, C., H. F. Diaz and J. O. Fletcher, 1986: Characteristics of response of sea surface temperature in the central Pacific associated with warm episodes of the Southern oscillation. *Mon. Wea. Rea.* 114, 1716-1738.

- Huang, Rong-Hui and Wei-Jing Li, 1987 : Influence of the heat source anomaly over the western tropical Pacific on the subtropical high over East Asia. *Proc. of International Conference on the General Circulation of East Asia*, April 10-15, 1987, Chengdu, 40-51.
- Huang, Rong-Hui, 1990 : The EastAsia/ Pacific pattern teleconnection of summer circulation and climate anomaly in East Asia. The third international summer colloquium on Climate Change and Dynamics and Modelling August 14-20, Beijing, China. 127-140.
- Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1971: The development of medium scale disturbances in the Baiu front. *J. Meteor. Soc. Japan*, 49, 663-677.
- Reynolds, R. W. and T. M. Smith, 1994: Improved global sea surface temperature analysis. *J. Climate*, 7, 929-948.
- Shen, S. and K.-M. Lau, 1995: Biennial oscillation associated with the East Asia summer monsoon and tropical sea surface temperatures. *J. Meteor. Soc. Japan*, 73, 105-124.
- Wang, W. -C. and K. Li, 1990: Precipitation fluctuation over semiarid region in northern China and the relationship with El Niño/Southern Oscillation. *J. Climate*, 3, 769-783.
- Yasunari, T., 1990: Impact of Indian monsoon the coupled atmosphere/ocean system in the tropical pacific. *Meteor Atmos. Phys.*, 44, 29-41.
- Yasunari, T., 1991: The monsoon year.-A new concept of the climate year in the tropics. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 72, 1331-1338.