

## SSM/I 대기물수지 변수를 이용한 1994-95년 하계 몬순의 특성 연구

손병주\* · 김도형\* · 김혜영\*\* · 서애숙\*\*

서울대 지구과학교육과\* · 기상청 기상연구소\*\*

### Characteristics of 1994-95 Summer Monsoon Inferred from SSM/I-derived Water Budget Parameters

Byung-Ju Sohn\*, Dohyeong Kim\*, Hye-Young Kim\*\*, and Ae-Sook Suh\*\*

Department of Earth Sciences, Seoul National University\*, Remote Sensing Research Laboratory, METRI\*\*

### Abstract

Microwave brightness temperature data measured from the Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) aboard Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) satellite are used to investigate the characteristics of hydrological features of the East Asian summer monsoon during 1994 and 1995. The analyzed parameters include total columnar water vapor, cloud liquid water, and rain rate. These are estimated from SSM/I brightness temperature data for the two summer seasons (June, July, August) of 1994 and 1995 over the Asian monsoon region ( $0^{\circ}$ - $60^{\circ}$ N,  $45^{\circ}$ - $180^{\circ}$ E). Results indicate that there are periodic westward movement of dry air over the  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$ N latitudinal belt with about 20-30 day period. Considering that the location of the North Pacific high is closely linked to the evolution of the monsoon activities over East Asia, the westward expansion of the North Pacific high may be the one important element modulating the monsoon intensity.

Keyword : SSM/I, microwave, water budget parameters, North Pacific high, monsoon.

### 요 약

미국 군사기상위성 프로그램의 SSM/I 센서에서 관측한 마이크로파 복사자료를 이용하여 대기

---

1997년 11월 14일 접수 : 1998년 4월 27일 수리.

수문변수 (수증기량, 구름수적량, 강수량)를 추정하였으며, 이 자료를 동아시아 하계몬순의 특징을 파악하기 위해 활용하였다. 한반도를 포함한 중국 북동부, 일본 지역에 가뭄현상이 나타났던 1994년과 정상적인 몬순활동을 보였던 1995년의 6, 7, 8월을 사례로 선택하였으며 분석영역은 ( $0^{\circ}$ - $60^{\circ}$ N,  $45^{\circ}$ - $180^{\circ}$ E)의 아시아몬순 지역이다. 분석 결과 북위  $20$ - $30^{\circ}$  위도대에서 날짜변경선 부근으로부터 동아시아 몬순지역으로 건조한 영역 (적은 수증기 영역)의 서쪽이동이 약  $20$ - $30$ 일 주기로 나타나고 있다. 건조지역의 서쪽 이동은 북태평양고기압의 동아시아몬순 지역으로의 확장을 의미하며, 결과적으로 동아시아 몬순지역에 수증기의 공급 등 대류활동을 증진시키는 요인을 제공하여 북태평양고기압의 세력확장은 몬순의 진행에 영향을 주는 중요한 요인의 하나로 파악된다.

## 1. 서론

동아시아에 인접한 북태평양은 동아시아 몬순지역에 수증기의 주요 공급지역으로 알려져 있다 (Sohn and Han, 1995). 그러므로 북태평양 고기압의 변동성은 장마의 강약과 직접 연관되어, 동아시아 몬순순환을 이해하고 장마예측을 위한 정보를 얻기 위해서는 북태평양 고기압지역을 포함하는 해양지역에서의 기상변수관측이 매우 중요하다. 그러나 광범한 해양지역을 포함하는 종관관측은 불가능하므로 해양지역에서의 기상자료 확보 수단으로 인공위성 관측자료의 사용이 필요하다.

대기의 물 순환은 대기의 운동과 에너지 수지를 이해하는 주요 요소로 파악되고 있다 (Peixoto and Oort, 1992). 수증기가 응결할 때 잠열이 방출될 뿐 아니라 수증기가 수직, 수평 이동을 통하여 열수송에 기여하고 있으며, 대표적인 온실기체로서 지구에너지 수지에 영향을 주고있기 때문이다 (NASA, 1993). 뿐만 아니라, 수증기의 응결과정에서 발생한 구름은 복사과정을 통하여 지구의 복사수지에 영향을 주어 대기의 순환계를 변화시키고 있기 때문이다 (Slingo and Slingo, 1988; Sohn and Smith, 1992). 따라서 강수량과 증발량의 변화, 수증기의 수렴과 이동 등 물순환의 시간적, 공간적 관측과 연구는 일기 뿐 아니라 기후문제를 다루는데 있어 필수적 요소이다.

미국 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) 위성에 탑재된 SSM/I (Special Sensor for Microwave/Imager) 마이크로파 관측은 이러한 대기 수문순환의 연구를 위해 활용되고 있다 (Grody, 1993). 마이크로파가 적외선 복사에 비하여 구름에 덜 민감하여 구름층 깊숙이 침투할 수 있어, 구름내부에 존재하는 수적에 의한 마이크로파의 방출 또는 산란 시그널로부터 강수량을 추정할 수 있는 물리적 배경을 제공하고 있기 때문이다. 뿐만 아니라 적외선 관측에 비해 정확하고 맑은 대기 (clear-sky atmosphere)에 편향되지 않은 수증기의 분포를 얻을 수 있으며, 구름 내부에 존재하는 물의 양 (구름수적량)을 추정할 수 있어 대기물수지 연구에 기여하고 있다.

이 연구에서는 동아시아 몬순현상에 초점을 두고 미국 DMSP 위성에 탑재된 SSM/I 밝기온도 자료를 이용하여 몬순순환의 변화에 따른 대기물수지 변수의 특징을 파악하고자 한다. 사례로서 장마활동이 약하여 심각한 가뭄현상이 나타났던 1994년의 하계 (6, 7, 8월)와 정상적인 장마활동을 보였던 1995년 하계를 선택하여, SSM/I 자료로부터 추정한 대기 물수지변수 (총수증기량, 구름수

적량, 강수율)를 이용하여 여름동안 나타난 대기 수문현상의 특징이 몬순활동과 어떻게 관련되는지 파악한다.

## 2. SSM/I 자료

SSM/I는 DMSP 인공위성 F-8에 처음으로 탑재되어 1987년 6월에 발사되었으며 860±25 km 고도에서 98.8도의 경사각으로 일 14.1회 선회하며 주기는 102분이다. 관측폭은 1400 km로 Fig. 1에 주어진 것과 같은 하루동안의 공간영역을 커버하고 있다. SSM/I는 4개의 주파수 (19.35, 22.235, 37.0, 85.5 GHz) 영역에서 복사량을 측정하며 22.235 GHz에서는 수직편광 밝기온도만을 나머지 세 주파수 영역에는 각각 수직, 수평편광 밝기온도를 측정한다. 이들의 공간 분해능은 Table 1에 제시한

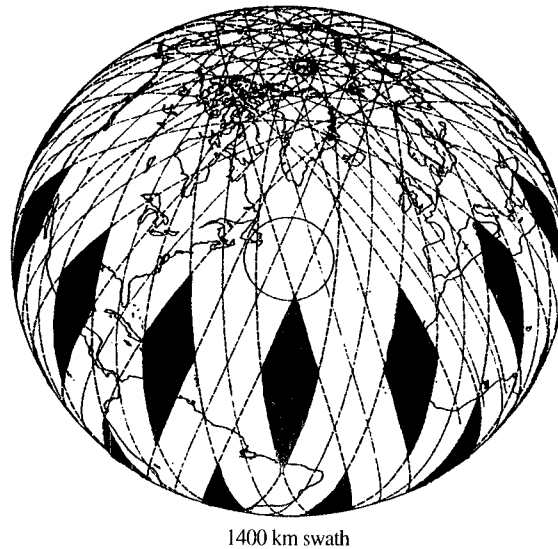


Figure 1. Global coverage of SSM/I measurements over 24 hours.

Table 1. Characteristics of SSM/I Instrument

Frequency [GHz]	Polarization	Resolution		Spatial sampling [km]
		along-track [km]	cross-track [km]	
19.35	V, H	69	43	25
22.235	V	50	40	25
37.0	V, H	37	28	25
85.5	V, H	15	13	12.5

것처럼 85.5 GHz에서 (15×13km)로 가장 자세하며 19.35 GHz에서 (69×43km)로 가장 낮다. SSM/I에 관한 보다 자세한 정보는 Hollinger et al. (1987), Wentz (1991)에서 찾을 수 있다.

본 연구에서는 1994년과 1995년 여름동안 서태평양 및 아시아 지역에 나타난 대기물수지 변수의 특징을 조사하기 위해 F-10 위성의 SSM/I 밝기온도 자료를 이용하였다.

### 3. 관측 알고리즘

#### 1) 수증기 관측

마이크로파는 얇은 구름층을 투과할 수 있어 특히 구름 낀 지역에서 적외선 방법이 갖는 단점을 크게 보완하고 있다. 이러한 장점은 구름과 수증기와의 관계를 연구하는데 이용되고 있다 (Gaffen and Elliot, 1993; Sohn, 1994). 그러나 마이크로파를 이용한 수증기 측정은 육지상에서 거의 1에 가까운 지면 복사방출율로 인하여 그 측정이 용이하지 않아 SSM/I 자료를 이용한 총수증기량의 추정 은 해양지역에 국한되고 있다.

SSM/I 자료를 이용한 수증기 추정 알고리즘은 크게 복사전달 모델의 전도된 형태의 방정식을 통해 SSM/I 밝기온도로부터 수증기량을 추정하는 물리적 방법과 실제 관측된 총수증기량과 SSM/I 밝기온도 사이의 회귀식을 이용하는 통계적 방법으로 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 기존의 수증기 추정 알고리즘의 비교에서 물리적 방법보다는 통계적 방법이 우세함을 보이고 있다 (Sohn, 1996).

이 연구에서는 수증기추정 알고리즘의 개발을 위해 미국 NCAR (National Center for Atmospheric Research)로부터 얻은 1987년부터 1990년 기간의 라디오존데 관측(RAOB) 자료를 이용하였다 (Wentz, 1995). SSM/I 자료를 이용한 추정은 육지의 오염효과를 제거하기 위해, 일기관측선이나 면적이 400 km<sup>2</sup> 이하의 작은 섬에서 관측된 라디오존데 관측 자료를 이용하였다. 라디오존데 관측을 기준으로 동위치 동시간에 측정된 SSM/I 자료를 선택하기 위해 SSM/I 관측픽셀이 라디오존데 관측지점으로부터 60km 이내에, 라디오존데 관측시간을 기준으로 하여 6시간 이내에 관측값이 존재할 때, 라디오존데와 SSM/I 관측이 동위치에서 동시에 이루어졌다고 가정하였다. 품질관리를 통해 RAOB 자료에서 불완전하고 기후값에서 크게 벗어난 이상값을 제거하였다. 각 라디오존데 탐측자료는 관측한 고도면에서 기압, 온도, 습구온도 관측치를 포함하고 있다. 이 중 어느 한 값이라도 관측되지 않는 경우는 자료에서 그 고도면 값을 삭제하였다. 자세한 품질관리 방법은 Wentz (1995)에 기술되어 있다.

1987-1990년 사이의 여름동안 아시아-북서태평양지역 (90°E-170°E, EQ-50°N)에서 품질관리 과정을 거친 RAOB 자료로부터 계산한 총수증기량과 동시간, 동위치에서 관측된 SSM/I 밝기온도 자료를 이용하여 총수증기량(TWV)을 생산하는 다음과 같은 알고리즘을 얻었다.

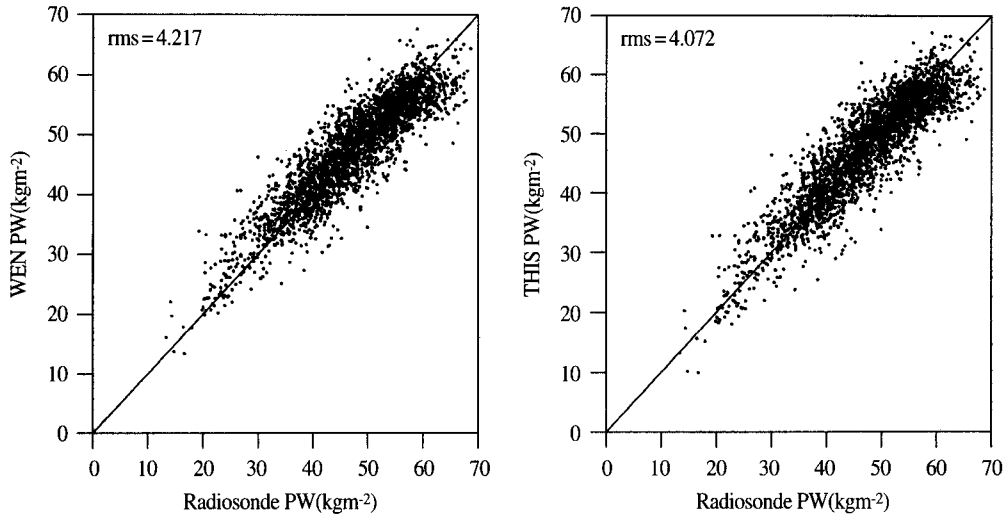


Figure 2. Scattergram of total water vapor between satellite retrievals and radiosonde data for the period from July 1978 to December 1990, for Wentz(left panel) and this method(right panel).

$$\begin{aligned}
 \text{TWV} = & 132.2 + 1.471 \ln(286 - \text{TB}_{19V}) - 43.268 \ln(286 - \text{TB}_{22V}) \\
 & + 13.018 \ln(286 - \text{TB}_{37H}). \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

식 (1)에서 TB는 밝기온도를 나타내며 19, 22, 37은 각각 19.35, 22.235, 37.0 GHz 주파수를, H와 V는 각각 수평과 수직 편광성분을 의미한다. 이 알고리즘의 정확도 정도를 파악하기 위해 식 (2)에 제시한 Wentz (1995) 알고리즘에 의해 구한 수증기량을 서로 비교하여 Fig. 2에 제시하였다.

$$\text{TWV} = 88.76 + 43.286 \cdot \ln(290 - \text{TB}_{19V}) - 62.217 \cdot \ln(290 - \text{TB}_{22V}) \dots\dots\dots (2)$$

Fig. 2에서 왼쪽 그림은 식 (2)의 Wentz 알고리즘에 의한 결과를, 오른쪽 그림은 식 (1)의 알고리즘에 의한 결과를 나타낸다. 새로운 알고리즘은 RAOB 자료와 비교된 오차의 크기에 대해 Wentz의 4.217 kgm<sup>-2</sup> rms 차이보다 작은 4.072 kgm<sup>-2</sup> rms 차이를 보이고 있으며, 종합적으로 SSM/I 자료를 이용한 총수증기량 추정은 라디오존데 관측치와 비교하여 약 10%에 해당하는 오차를 보이고 있다.

## 2) 구름수적량

구름내부에 존재하는 액체상태의 구름입자량 (구름수적량: CLW)의 추정은 유럽중장기예보소 (ECMWF) 분석자료와 마이크로파 전달모델을 이용하여 대기상부에서 SSM/I 채널 관측치에 대응하는 밝기온도를 계산하고, 이를 ECMWF 구름수적량에 회귀시켜 얻은 Loju et al. (1994)의 방법을 이용하였다. 즉,

$$CLW = 085.3 - 29.38 \ln(280 - T_{B19H}) - 191.7 \ln(280 - TB_{19V}) + 92.94 \ln(280 - TB_{22V}) \\ - 49.61 \ln(280 - TB_{37H}) - 51.44 \ln(280 - TB_{37V}) \dots\dots\dots (3)$$

이 알고리즘은 SSM/I 관측과 공간적, 시간적으로 일치하는 라디오존데 관측자료를 이용하여 그 타당성이 검증되었다.

### 3) 강수량 추정

강수량의 추정에서는 마이크로파가 얼음 입자나 큰 물방울에 의해 산란되는 성질을 이용한 Ferraro and Marks (1995)의 알고리즘을 사용하였다.

$$RR_L = 0.00115 \cdot SI^{2.16832} \dots\dots\dots (4)$$

$$RR_O = 0.00513 \cdot SI^{1.9468} \dots\dots\dots (5)$$

여기에서  $RR_L$ ,  $RR_O$ 는 각각 육지와 해양에서의 강수율을 나타내며, 산란지수  $SI$ 는 85 GHz 마이크로파의 구름내부 수문입자에 의한 산란정도를 나타낸다. 이 지수는 강수현상이 존재하지 않는다 가정했을 때 (산란이 없는 경우) 나타날 수 있는 85 GHz 밝기온도와 실제 관측된 85 GHz 마이크로파의 밝기온도의 차를 정의된다. 식 (4)와 (5)는 강수지역에서 산란지수와 지상레이더 자료를 관련시켜 얻은 알고리즘이다.

## 4. 결 과

### 1) 총수증기량

수증기의 공간적 분포가 동아시아 몬순의 강약과 관련이 있음을 고려할 때 (Sohn and Han, 1995) SSM/I 자료로부터 얻은 총수증기량 자료를 이용하여 동아시아 몬순 또는 장마의 연구가 가능하리라 생각한다. 이 장에서는 한반도와 중국북부에 한발과 고온현상이 계속되었던 1994년 하계 (Park and Schubert, 1997)와 1995년의 하계동안에 나타난 동아시아 몬순활동의 특징을 분석하고자 한다.

식 (1)을 적용하여 얻은 1994년과 1995년의 하계 월별(6, 7, 8월) 평균 총수증기량을 Figs. 3-4에 각각 제시하였다. 두 해의 총수증기량 분포의 공통적인 특징으로 여름이 진행됨에 따라 서태평양-인도양 지역에서 큰 값을 보인 총수증기량의 분포가 점차 고위도 지역으로 확장되는 것을 볼 수 있다. 즉, 동아시아 몬순지역에서 6월 동안 140°-180°E 경도대의 20°N 이남에서 나타나던 총수증기량 45 kg/m<sup>2</sup> 이상의 지역은 7월에는 북서태평양에서 약 30°N까지 확장되고 있다. 우리나라에서 정상적인 장마활동을 보인 1995년의 경우 이러한 특징이 뚜렷이 나타난다. 1995년 6월중 대만 북쪽

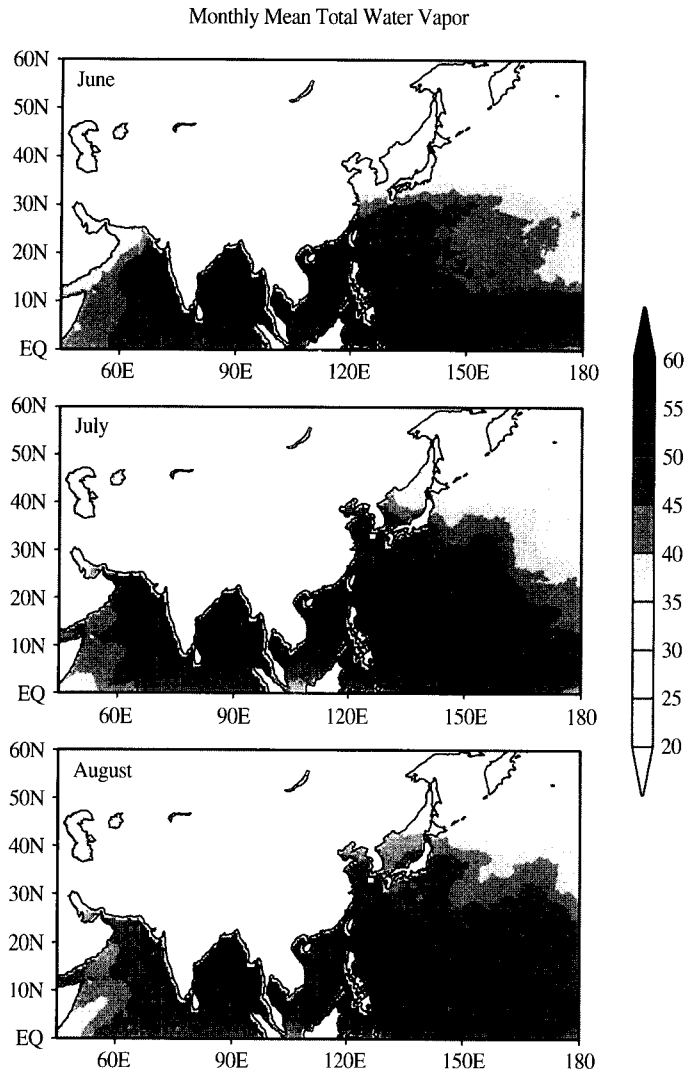


Figure 3. Total water vapor for June, July and August of 1994. Units are in  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

해상에서 동쪽으로 뻗어있는 습윤지역은 몬순전선을 의미하며, 이 전선은 7월 동지나해역에서 일본열도를 잇는 지역에서 나타나고 있다. 이러한 이동의 특징은 한지원·손병주 (1996)의 열수지 분석 결과에도 잘 나타나고 있다. 그들은 1980-1991의 12년 평균 걸보기 열원의 월변화를 분석한 결과 동아시아 몬순지역에서 걸보기 열원의 최대치는 5, 6, 7월 각각  $25^{\circ}\text{N}$ ,  $30^{\circ}\text{N}$ ,  $35^{\circ}\text{N}$ 에 나타나 월 4-5도의 이동속도로 북상함을 보이고 있다. 따라서 1995년의 경우 동아시아 몬순활동이 정상적으로 이루어졌음을 추정할 수 있으며, 수증기의 관측과 추적은 몬순활동을 감시할 수 있는 도구가

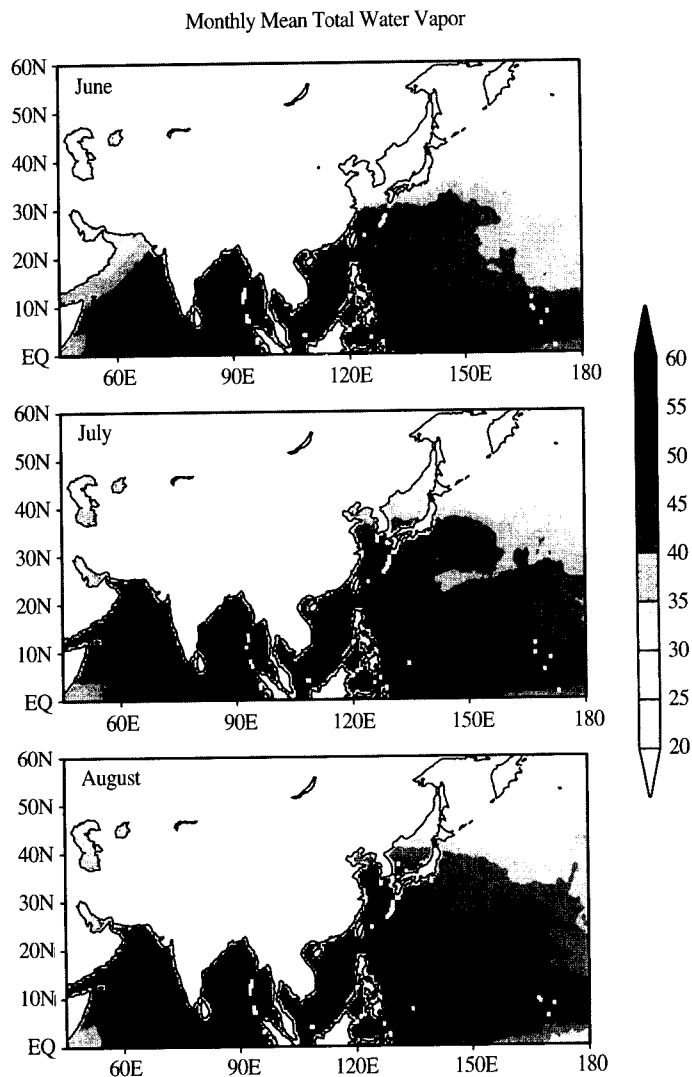


Figure 4. Same as in Fig. 3 except for 1995.

되고 있음을 시사하고 있다.

동북아시아에 한발과 고온현상을 보였던 1994년의 경우, 1995년과 비교하여 7월의 총수증기량 분포에서 가장 큰 차이를 보이고 있다. 1994년 7월의 경우 1995년 8월에 나타난 분포와 유사하여 1995년에 나타난 정상적인 몬순전선의 북상이 이루어지지 않았음을 알 수 있으며, 따라서 동아시아 몬순활동이 비정상적으로 진행되었다고 할 수 있다. 특히하게 7월에 나타난 남지나해역으로부터 날짜변경선의 적도 중앙태평양으로 뻗어있는 55 kg/m<sup>2</sup> 이상의 습윤대가 8월에는 나타나지 않



고 있음을 들 수 있다. 결과적으로 1994년의 수증기 분포경향은 6월과 7월의 많은 비를 내리는 하계몬순순환이 6월의 활동 이후 7월 동안 정상적인 순환을 갖지 않은 채 기후치에서 나타나는 전형적인 8월의 순환형태로 이동하였음을 명확히 보여주고 있다. 이와는 달리 인도양에서의 수증기의 변화는 두 해의 비교에서 뚜렷한 차이가 나타나지 않아, 1994년에 나타났던 몬순의 변동성은 북태평양 고기압의 확장과 이동에 크게 영향 받고 있음을 시사하고 있다.

총수증기량의 시간에 따른 동서방향의 변화경향을 살펴보기 위해 20°-30°N, 35°-45°N 위도구간에서 평균한 총수증기량을 Figs. 5-6에 각각 나타내었다. 이 때 육지상에서의 수증기 분포를 나타

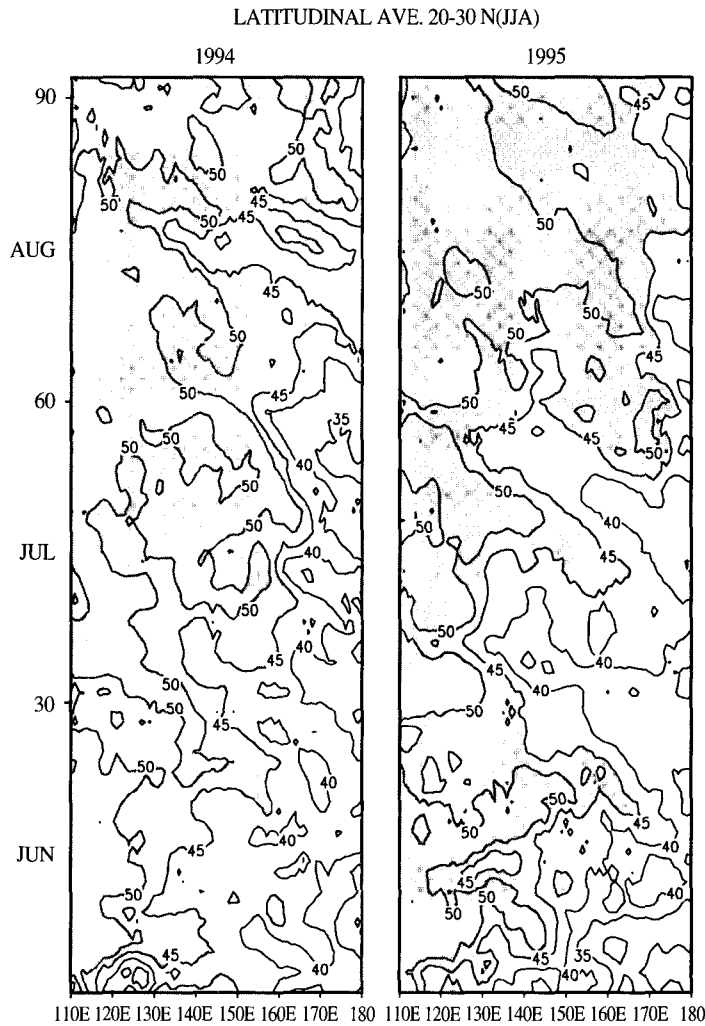


Figure 5. Hovmöller diagram of total water vapor averaged over latitude band of 20°-30°N. Units are in  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

내기 위해 TOVS 수증기 자료를 이용하였다. 동아시아 몬순이 매우 약하게 나타났던 1994년의 경우, 6월 동안 동경 140° 동쪽영역에서 45 kg/m<sup>2</sup> 이하의 건조한 공기가 존재하고 있으며, 이 건조지역은 점차 동쪽으로 이동하는 경향을 보이고 있다. 동경 140° 동쪽영역의 건조한 지역이 여름이 진행됨에 따라 북상하는 북서태평양 고기압입과 고려할 때, 건조지역이 6월에서 7월에 걸쳐 점차 북동쪽으로 이동하고 있음을 의미하고 있다.

이와는 대조적으로 1995년의 경우 1994년과 비교하여 매우 다른 양상을 보이고 있다. 즉, 건조공기 구역이 약 20-30일 주기로 서쪽으로 이동하고 있음을 보여 주고 있다. 특히 서쪽에서의 이동이

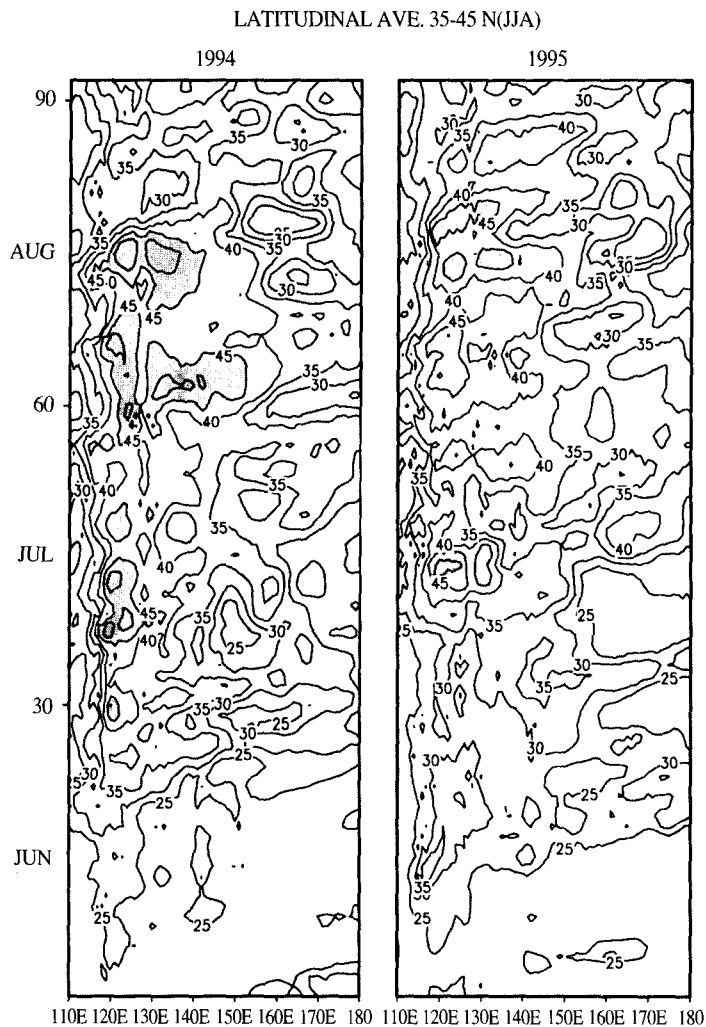


Figure 6. Same as in Figure 5 except the latitude band of 35°-45° N.

활발하게 나타난 7월 동안 동경 130° 동쪽 해양에서 45 kg/m<sup>2</sup> 이하의 총수증기량 영역이 지배하여 한국에 평년 강수량을 보였던 1995년의 경우 6월말에서 7월말까지 북태평양 고기압이 서쪽으로 팽창되었음을 시사하고 있다. 1995년의 규칙적인 서진현상에 비교하여 1994년의 경우 6월과 7월 사이에 나타난 서진현상은 불규칙적으로 이루어졌으며 동경 160° 동쪽에 국한되어 나타나고 있다. 그러나, 7월말 이후 비교적 규칙적인 양상을 되찾고 있다. 한편, 1995년 8월 동안 20°-30°N 위도대에서 서태평양 전역이 45 kg/m<sup>2</sup> 이상의 수증기량을 보이고 있는데 이러한 현상은 8월 동안 북서태평양 북위 25° 부근에서 증가된 수증기 수렴을 보이는 기후치 분포(Park and Schubert, 1997)와 유사하다.

북위 35°-45° 구간에서 평균한 경도-시간별 총수증기량 분포(Fig. 6)는 20°-30°N 위도대에 나타났던 북태평양 고기압지역으로부터의 건조공기의 서쪽이동은 나타나지 않고 있다. 따라서 건조공기 또는 북태평양 고기압의 서쪽 이동은 20°-30°N 위도대에 국한되어 나타남을 알 수 있다. 특이한 분포로서 동경 120°-140° 구간에서 나타나는 습윤공기 영역의 변화를 들 수 있다. 정상적인 동아시아 몬순활동이 나타났던 1995년의 경우 7월 말까지 비교적 건조한 공기가 존재했던 반면, 8월에는 습윤공기의 증가를 보여주어, 장마전선의 북상 이후 열대공기가 이 지역을 감싸는 모습을 보여준다 (Fig. 4의 총수기량 참조). 그러나 앞서 지적한 것처럼 1994년의 경우 7월 초부터 이러한 다습현상이 나타나고 8월까지 계속되었음을 알 수 있다.

북태평양 고기압 지역이 대규모 하강기류와 관련된 건조구역임을 고려할 때, 총수증기량의 위도별 평균변화는 북태평양 고기압의 확장과 위치가 동아시아 몬순활동에 직접 관련되어 있을 가능성을 유추할 수 있다. 1994년의 경우 북위 20°-30°대에서 건조공기 영역은 7월초까지 130°E까지 미치고 있으나 이후 160°E 동쪽 태평양상에 위치하고 있다. 이것은 1994년 장마가 평년에 비해 15-17일이 빠른 7월초를 기점으로 끝나는 것과 거의 일치하고 있다 (Fig. 6). 한편, 1995년의 경우 장마전선의 북상과 7월초의 고기압의 확장시기 (건조공기의 서쪽 이동시기)가 거의 일치하며, 7월 중순경 장마전선이 소강상태를 보이는 시기와 이후 장마전선이 북상 및 남하가 20°-30°대에서 존재하는 건조공기의 동서방향 이동과 일치하여 나타나고 있다. 이러한 일치는 고기압 주변부를 따라 시계 방향으로 수증기의 수렴이 형성되어 고기압의 서쪽 이동이 장마전선 지역에 다량의 수증기가 공급될 수 있는 여건을 마련하기 때문이라 생각된다.

## 2) 구름수적량

SSM/I 밝기온도로부터 식 (3)을 이용하여 계산한 1994년과 1995년의 구름수적량 분포를 Fig. 7과 8에 각각 제시하였다. 이로부터 수적량의 분포가 대기순환 형태와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 강수활동이 강한 인도몬순지역, 서태평양 난수역, 동아시아 몬순지역 등에 0.5 kg/m<sup>2</sup> 이상의 구름수적량이 나타나는 한편 저위도에 나타난 최저치 지역은 아열대 고압부와 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 구름내부의 수적량은 이처럼 지구규모 순환의 양상에 따라 분포될 뿐 아니라 지역규모와 중간규모 순환에 의해 발달된 강수대나 전선 등 구조화된 기상현상을 잘 기술하고 있다. 특히 수증기의 분포에서 나타났던 북태평양 고기압의 이동을 보다 극명하게 파악

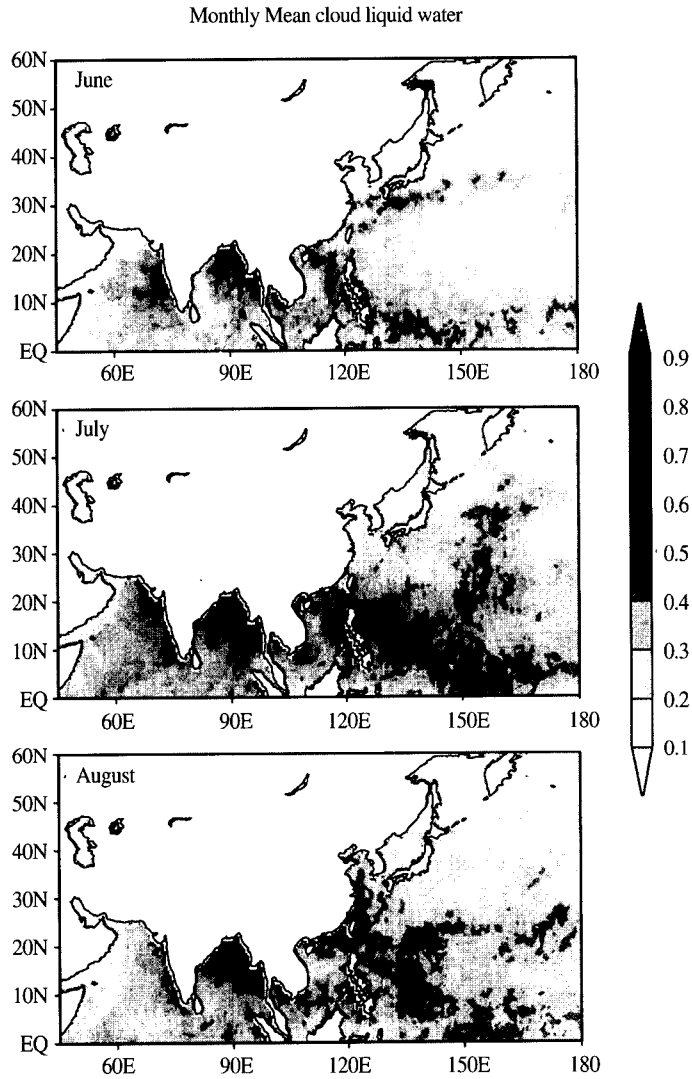


Figure 7. Monthly mean cloud liquid water ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) derived from SSM/I data for June, July and August of 1994.

할 수 있는데 이것은 북태평양 고기압주변에서 발생하는 구름이 비교적 다량의 구름수적량을 포함하고 있기 때문이다. 1995년의 경우 6월에서 7월 동안 북태평양 고기압의 북서쪽 이동이 뚜렷하다. 한편 1994년의 경우 6월 동안 1995년의 분포와 거의 유사한 양상을 보이고 있으나, 7월에는 전형적으로 나타나는 북태평양 고기압의 북서쪽으로의 이동이 교란되고, 북서태평양 지역에서 구름수적량을 다량 포함한 구름이 발생하는 등 아열대 동아시아 몬순활동이 정상에서 벗어나 있음을

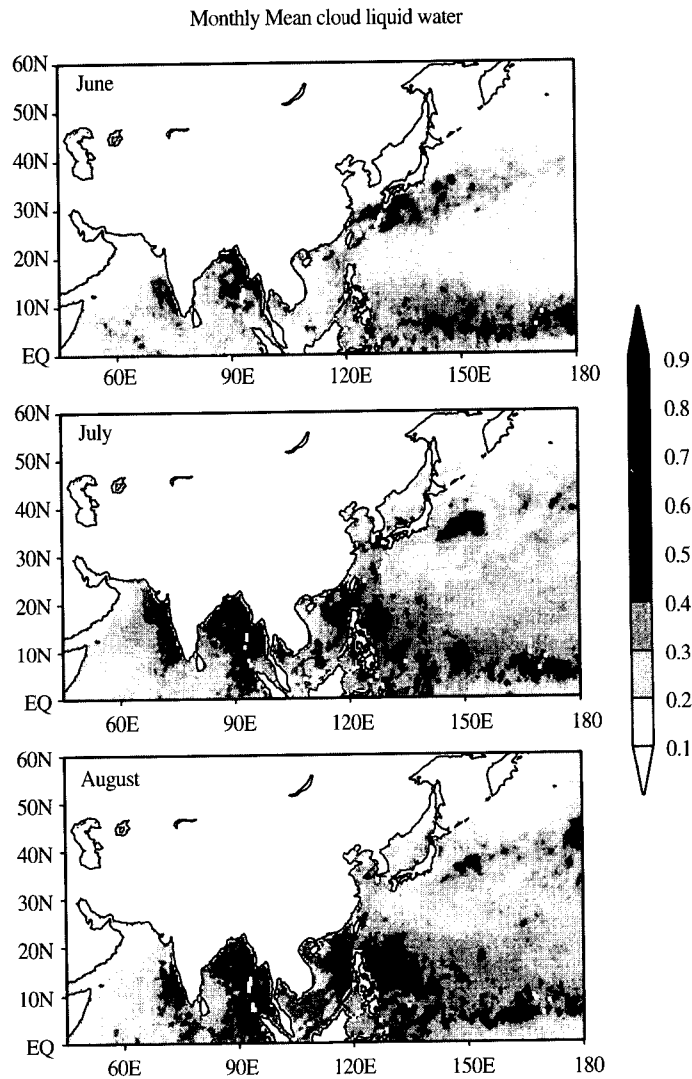


Figure 8. Same as in Fig. 7 except for 1995

보이고 있다. 이러한 양상은 강수율 분포에서 더욱 뚜렷이 나타나고 있다.

1994년과 1995년 하계에 나타난 강수율의 분포(구름수적량과 거의 일치하는 분포로서 이 논문에서는 제시하지 않았음)에서 6월에는 강수구역이 인도몬순 지역과 북태평양 고기압 지역의 남쪽에 위치한 난수역에서 주로 나타나고 있다. 두 해를 비교할 때 가장 큰 차이를 보이고 있는 달은 7월로서 총수증기량과 구름수적량 분포에서 밝혀진 것과 일치한다. 1994년의 경우 1995년에 나타난 북

태평양 고기압의 동아시아 쪽으로의 발달은 나타나지 않고 있으며, 따라서 동아시아 몬순과 관련된 강수대는 거의 나타나지 않고 있다. 대신 필리핀 지역에서 남동쪽으로 적도지역으로 뻗어있는 강수대의 발달이 명백하다 (Fig. 7의 구름수량 참조). 1994년 8월의 경우, 우리나라를 포함하여 일본열도 일원과 중국 북동부에 강수율이 낮게 나타나 이 지역에 가뭄이 계속되고 있음을 알 수 있다. 한편 7월과 8월에 인도차이나 반도와 필리핀, 남지나 해역에서 오히려 많은 강수가 나타난다. 이러한 양상은 Huang and Sun (1992)의 중국 대륙의 여름철 강수량과 서태평양 난수역에서의 대류활동 사이에 나타나는 상관관계에 관한 연구결과와 유사하다. 그들은 난수역의 SST가 평년보다 낮을 때 서태평양 난수역에 존재했던 고온의 해수역은 적도지역 날짜변경선 부근까지 확장되어 필리핀 주변에서 약화된 대류활동과 더불어 날짜 변경선 부근에서 강화된 대류활동이 존재하며, 동시에 양쯔강 지역과 화남 지역에서 평년보다 높은 강수량이 나타난다고 주장하고 있다. 반대로 서태평양 난수역의 SST가 평년보다 높을 때 필리핀 부근에서 증가된 대류활동과 동아시아 몬순의 일반적인 약화를 보여주고 있다. 강수율의 분포에서 동아시아 몬순활동이 약했던 1994년의 경우 필리핀 해역과 서태평양 난수역에서 대류활동의 증가가 뚜렷하며, 1995년의 경우 일반적으로 약화된 대류활동이 나타나고 있다. 그러나 일반적인 경향을 도출하기 위해서는 보다 장기간의 자료 분석이 필요하다 생각한다.

## 5. 요약 및 결론

이 연구에서는 동아시아 몬순활동이 비정상적으로 진행되어 한반도와 일본 그리고 중국 북동부에 한발과 고온현상을 초래했던 1994년 하계(6, 7, 8월)와 정상적인 장마활동을 보였던 1995년 하계를 선택하여 미국 DMSP 인공위성에 탑재된 SSM/I 밝기온도 자료로부터 대기의 물수지자료를 추정하였다. 추정한 총수증기량, 구름수량, 강수율의 물수지자료를 이용하여 1994년과 1995년 동아시아 하계몬순순환의 특징을 북태평양 고기압의 이동과 위치변동의 관점에서 조명하였다.

1994년과 1995년 하계동안 나타난 물수지 변수의 비교는 동아시아 몬순활동의 연변화가 북태평양 고기압의 확장 이동에 크게 영향받고 있음을 시사하고 있다. 즉, 6월과 7월 동안 북태평양 고기압의 북서쪽 이동이 존재하는 경우 고기압 주변에 위치한 동아시아 몬순 지역에 대류활동을 증진시킬 수 있는 수증기의 공급이 원활하게 되어 이 지역에 강수량을 증진시킬 수 있는 여건을 제공하고 있다고 생각된다. 그러나, 1994년과 유사하게 북태평양 고기압의 북서쪽 확장 없이 북동쪽으로의 이동이 진행되는 경우, 인도양에서 발원한 수증기와 아열대고기압의 주변부의 고기압성 순환에 기인한 수증기의 합류가 이루어지기 어려운 여건이 형성되어 동아시아 지역에 가뭄현상이 초래될 수 있음을 유추할 수 있다. 따라서 동아시아 몬순활동 특히 장마의 예측을 위해 북태평양 고기압의 이동에 관한 감시가 도움이 되리라 생각된다. 북태평양 고기압의 감시는 인공위성 관측과 분석이 가장 효과적인 방법이므로 이에 대한 지속적인 연구와 개발이 필요하다. 특히 북태평양 고기압지역은 하강기류와 관련되어 상층의 수증기량이 적으므로 NOAA와 GMS를 이용한 상층수

증기량의 관측은 북태평양 고기압의 효과적인 감시가 가능하여 몬순활동의 감시 및 예측에 공헌 하리라 생각한다.

## 감 사

이 연구는 과기처 특정연구개발사업 “기상연구개발”과 과학재단 지원 핵심전문연구 (961-0405-017-2)로부터 지원 받았다.

## 참고문헌

- 한지원, 손병주, 1996: 열수지와 관련된 동아시아 몬순의 기후특성, 한국기상학회지, **32**, 619-633.
- Ferraro, R. F., and G. F. Marks, 1995: The development of SSM/I rainrate retrieval algorithms using ground-based radar measurements. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **12**, 755-770.
- Gaffen, D. J., and W. P. Elliot, 1993: Column water vapor content in clear and cloudy skies. *J. Climate*, **6**, 2278-2287.
- Grody, N. C., 1993: Remote sensing of the atmosphere from satellites using microwave radiometry. *Atmospheric Remote Sensing By Microwave Radiometry*, M. A. Janssen ed, 259-334.
- Hillger, D. W., and T. H. Vonder Haar, 1981: Retrieval of high resolution moisture and stability fields from Nimbus 6 HIRS radiances in pre-convective situations. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1788-1806.
- Hollinger, J., R. Lo, G. Poe, R. Savage, and J. Pierce, 1987: Special Sensor Microwave/Imager User's Guide. NRL Tech. Rpt., Naval Research Laboratory, Washington, D.C. 120pp.
- Huang, R.H., and F.Y. Sun, 1992 : Impacts of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 243-256.
- Lojou, J. Y., R. Bernard, and L. Eymard, 1994: A simple method for testing brightness temperatures from satellite microwave radiometers. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **11**, 387-400.
- NASA, 1993: *EOS, Earth Observing System*, edited by K. Bergmann, 145pp.
- Park, C.K., and S. D. Schubert, 1997: On the nature of the 1994 East Asian summer drought, *J. Clim.*, **10**, 1056-1070.
- Peixoto, J.P., and A.H. Oort, 1992: *Physics of climate*, American Institute of Physics, New York, 520pp.
- Slingo, A., and J. M. Slingo, 1988: The response of a general circulation model to cloud longwave radiative forcing. I: Introduction and initial experiments. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **114**, 1027-1062.
- Sohn, B.J., 1996: Intercomparison of SSM/I-derived column water vapor over the global ocean. *Proceedings of International Symposium on Remote Sensing*. EMSEA and KSRS, Oct. 24-25, 1996, Cheju, 159-164.
- Sohn, B. J., 1994: Diagnosing temperature-moisture biases in ECMWF analyses based on clear-sky longwave

- simulations constrained by SSM/I and MSU measurements and comparisons to ERBE estimate. *J. Clim.*, **7**, 1707-1718.
- Sohn, B. J., and E. A. Smith, 1992: The significance of cloud-radiative forcing to the general circulation on climate time scales - A satellite interpretation. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 845-860.
- Sohn, B. J., and J. W. Han, 1995: Some climatological features associated with extremes of East Asian summer monsoon. *J. Korean Meteor. Soc.*, **31**, 477-488.
- Wentz, F. J., 1991: User's manual: SSM/I antenna temperature tapes, revision 1, *RSS Tech. Rpt. 033190*, Remote Sensing Systems, Santa Rosa, Ca, 69pp.
- Wentz, F. J., 1995: A well calibrated ocean algorithm for SSM/I, *RSS Tech. Rpt. 101395*, Remote Sensing System, Santa Rosa, Ca.