

GMS-IR 자료를 이용한 서태평양에서의 운량 일변동에 관한 연구

김영섭, 한경수
부경대학교 대기과학과

On the Diurnal Variation of Cloudiness over the
Western Pacific by Using GMS-IR Data

Young-Seup Kim, Kyung-Soo Han
Department of Atmospheric Sciences, Pukyong National University

Abstract

The western equatorial Pacific Ocean, where sea surface temperature is the warmest on the globe, is characterized by numerous convective systems and large annual precipitation. In this region, the cloudiness data with tops higher than 8 km level obtained from the GMS-IR data are used to investigate the diurnal variation of cloudiness. The amplitude and phase of diurnal and semi-diurnal cycles are mainly investigated to examine details on the temporal and spatial structure of clouds.

Cloudiness variation has typical cycles and each cycle is associated with the air-sea interactive phenomena. Spectral analysis on the cloudiness time series data indicates that 30-60 day, 17-20 day, 7-8 day, diurnal and semi diurnal cycle are peaked. During Northern Winter and Southern Summer, the large cloudiness exists over New Guinea, the adjacent seas of North Australia, and the open oceanic regions east of 160° E. Cloudiness diurnal variability over the lands and their adjacent seas is about 2.0 times larger than that over the open sea regions. That may be due to the difference of specific heat between the land and sea. The maximum and minimum cloudiness appeared at 18:00 and 09:00 hours over the land, and at noon and 21:00 hours over the sea, respectively. The amplitude of diurnal component over the land is 4.7 times larger than that of semi-diurnal component, and 1.5 times over the sea.

요 약

지구상에서 가장 따뜻한 해수면 온도를 가지고 있는 열대 서태평양은 많은 대류 시스템과 큰 연강수량에 의해 특징지워진다. GSM-IR 자료로부터 얻어진 운량자료를 이용하여 이 지역에서의 운량 일변동을 조사하였다. 구름의 시공간적인 분포에 관한 특징은 주로 운량의 일주기 및 반일주기 성분의 진폭과 주기를 통해 조사되었다.

대기-해양의 상호작용에 의해 운량 변동에는 다양한 주기들이 나타났는데, 특히 30~60일, 17~20일, 7~8일, 일주기와 반일주기가 탁월하였다. 북반구 겨울(남반구 여름) 기간 동안 뉴기니아, 호주북부에 인접한 해양 그리고 160°E 동쪽에서 큰 운량이 분포하는 것으로 조사되었다. 육지와 인접 해상에서의 운량 일변동은 외양의 경우에 비해 약 2배 정도 크게 나타났는데, 이것은 주로 해양과 육지의 전형적인 비열차에 기인한 것으로 여겨진다. 운량의 최대치와 최소치는 육상의 경우 18:00시와 09:00시에 나타났고, 외양에서는 정오와 21:00시에 나타났다. 일주기 성분의 진폭은 반일주기 성분에 비해 육상에서 4.7배, 외양에서 1.5배 정도 크게 나타났다.

I. 서 론

열대 서부 태평양은 지구상에서 해수면 온도가 가장 높은 해역들 중의 한곳이며, 그 해수면 온도의 변동은 각종 규모의 대기 및 해양의 현상과 관련되어 있다. 이 해역은 엘니뇨와 편동풍 파동 현상은 물론 시공간 스케일이 서로 다른 많은 종류의 대류계와 이에 수반되는 강수현상 등이 활발히 나타나는 곳이다. 이러한 각종 현상들의 시공간적인 변동은 지구 기후 시스템에 영향을 미치고 있으므로, 이 해역의 수온이나 대류계의 변동 특징을 파악하는 것은 대단히 중요한 의미를 지닌다. 이러한 배경하에 국제 공동 연구 과제인 TOGA COARE (Tropical Ocean Global Atmosphere, Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment)가 제안되어 수행중에 있으며, 여기에는 다른 연구 주제들과 함께 구름과 강수에 관한 내용도 당연히 중요한 자리를 차지하고 있다.

열대 서부 태평양 해역에서의 구름과 강수의 특징은 여러 연구자들에 의해 조사되어 오고 있다. 예를 들어, Christopher and John(1994)은 대류운의 변동성과 해수면 온도 사이의 관계에 대해 조사하였고, Murakami(1975)는 이 해역에서의 deep convection 내에 상당한 연간변동과 계절변동이 있음을 보고한 바 있으며, 이 대규모 연간변동이 편서풍 변동과 관련되어 있음도 보고 되었다(Nitta et al., 1992).

Hartmann et al.(1992)과 Nakazawa(1986)는 각각 대류운의 20~25일, 15~25일 주기성을 발견하고, 이 현상이 열대 저기압 활동과 관계가 있다는 것을 제시하였고, Christopher and

John(1994)은 10~20일 주기현상의 대부분은 일시적인 적도 요란에 의한 것이라고 설명하였다. 이 해역에서 이보다 더 짧은 주기의 진동은 Nakazwa(1986), 淺井·柯(1990), Sui and Lau(1992) 등에 의해 연구된 바 있다. 특히, Asai and Ka는 해양과 육지에서 운량 일변동을 조사하고, 육상의 경우 평균운량이 많은 곳에서 일변동의 진폭이 크고, 반면 해상의 경우는 평균운량이 많은 곳에서 일변동의 진폭이 작다는 것을 밝혔다.

운량 변동의 특성에 관한 연구는 지구 기후 시스템의 주요한 에너지원 역할을 하고 있는 열대 서부 태평양 난수역 지역(Warm Pool region)의 여러 현상들을 이해하는데 상당히 중요한 부분을 차지한다. 본 연구에서는, 이 해역에 있어 대기와 해양의 각종 일변동 현상을 이해하는데 필요한 기초 자료를 제공하기 위하여, TOGA 실험중 GMS 특별관측으로부터 얻어진 적외선 자료를 이용하여 구름의 일주기 및 반일주기 변동의 시공간적인 특징을 조사하였다.

II. 자료 및 방법

이용된 GMS 자료는 일본 기상연구소에서 1993년에 수집·정리한 것으로, 조사 기간은 TOGA COARE IOP(Intensive Observational Period)와 일치하는 1992년 11월부터 1993년 2월까지 4개월 동안이고, 조사 범위는 15°S~15°N, 130°E~180°E의 영역이다. 사용된 TBB(Black Body Temperature) 자료는 0.1° × 0.1°의 간격으로 격자화 되었고, 자료의 시간 간격은 3시간, 즉 1일 8회(00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21(LT))의 자료이다.

위성의 적외선 화상은 운정고도를 결정하는데 유효한데, 적외선 화상의 TBB자료로부터 운정고도를 산출하였다. 구체적 방법은 Guosheng et al.(1995)이 제시한 구름 분류법에 따랐다. 이들에 의하면, 위성에서 얻어진 TBB로부터 운정온도(TCT: Temperature of Cloud Top)를 산출하는 식은 다음과 같다.

$$T_{CT} = T_{BB} + 8 \left(\frac{T_{BB}}{150} - 1 \right)$$

대기중에 있는 각종 가스에 의한 적외복사 때문에 해수면이나 운정의 TBB는 이들의 물리적 온도와는 다른데, TBB의 값이 약 298K 정도일 때 적외화상 내에서 clear-sky 상태였고, UCAR(University Cooperation for Atmospheric Research)의 해수 표면 온도 301~303K 보다 약 8K 정도 더 차갑다는 것이 조사되었다. TBB와 TCT의 차이는 고도가 증가할수록 감소하는데, 이것은 해수면 상부보다 운정에서의 흡수층이 얇기 때문으로 해석되고 있다. 본 연구에서는 TCT가 233K 이하인 상층운(High Top Cloud)에 대해서만 해석하였고, 운량은 각 1° × 1°영역마다 총화소수에 대한 구름의 화소수 비를 10배한 것으로 정의하였다(Kodama and Asai, 1988).

운량의 시계열 자료에 포함된 주기들을 조사하기 위하여 분광분석(Spectrum Analysis)을 실시하였다. 일변화는 다음식과 같이 관측기간 120일 동안 1일 8회의 운량 정규화 편차치

(Standardized Anomalies)를 시각별로 평균하여 나타내었다.

$$N_i = (C_i - C_m) / C_m \quad (i = 1, 2, \dots, 8)$$

여기서 N_i 는 운량 정규화 편차치, C_i 는 각각, 00, 03, ... 21시(LT)의 운량 그리고 C_m 은 일평균 운량을 나타낸다. 1일주기와 반일주기의 진폭과 위상을 보다 자세히 조사하기 위하여 조화분석(Harmonic Analysis)을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 운량변동의 주기성

Figure 1은 1992년 11월에서 93년 2월까지의 월평균 운량 분포를 보여준다. 전체 조사 기간 동안 2.0 이상의 운량은 조사 지역내의 모든 육지 부분과 북반구의 160°E 서쪽지역 일부분을 포함한 주로 남반구에서 보였으며, 이는 전체적으로 Murakami(1983)의 결과와 좋은 일치를 보이고 있다. 0.9 이하의 소운량 지역은 다운량 지역을 사이에 두고 남쪽과 북쪽으로 나누어지며, 흥미로운 것은 이것이 호주대륙 북부와 연결되어 있다는 것이다. 그리고, 다운량 지역의 분포는 Gruber(1972)가 조사·보고한 바 있는 SPCZ (South Pacific Convergence Zone)의 위치와 일치하는 것으로 나타났다.

Figure 2는 조사 지역에 있어서 4개월 동안의 운량 시계열 자료를 분광분석한 것이다. 그림으

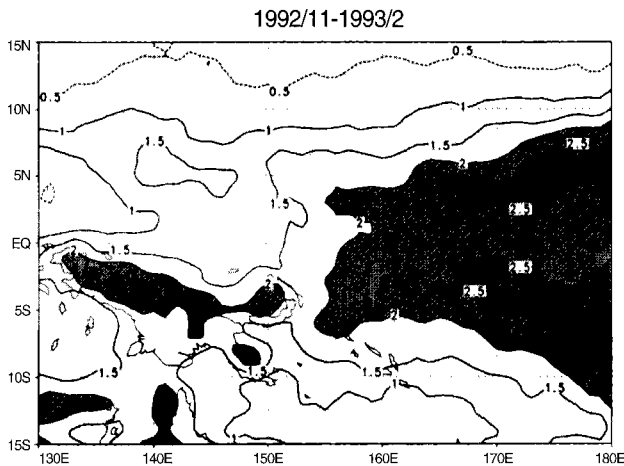


Fig. 1. Mean distribution of cloudiness.

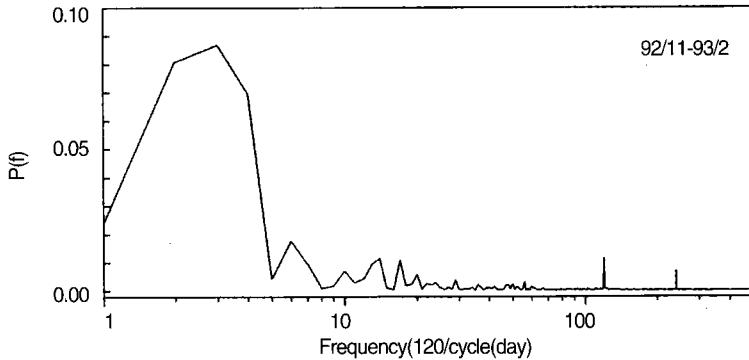


Fig. 2. Power spectra of time series data of cloudiness spatially averaged during 4-months.

로 부터 다양한 주기의 진동이 포함되어 있음을 알 수 있다.

1회의 시계열 자료이긴 하나, 30~60일 주기에 에너지가 집중되어 있음을 알 수 있다. 이것은 Madden and Julian(1971, 1972)에 의해 분석된 바 있는 이른바 MJO(Madden-Julian type Oscillation) 진동에 부합하는 것으로 여겨진다.

다음으로는 18~21일, 12~13일 주기의 변동을 알 수 있다. 이것은 같은 기간 동안의 자료를 해석한 Christopher and John(1994)의 결과와 일치하고 있으며, Nakazawa (1986)와 Hartmann et al. (1992)이 보고한 바 있는 20~25일, 15~25일 주기와 관련되어 있는 것으로 보인다. 그들은 이러한 주기의 진동을 모두 열대 저기압 활동과 관계있는 것으로 해석하였다. 그러나, Christopher and John(1994)은 TOGA COARE IOP 기간 동안 발생한 10개의 열대 저기압 (북반구에 3개, 남반구에 7개)을 해석하여, 12~20일 주기의 대류활동은 대부분 열대 저기압과 직접 관련이 없다고 하였다.

한편, 열대내 대기 현상 중 자주 언급되는 3~5일 주기 진동은 분명하지 않고 대신 7~8일 정도의 주기가 나타났는데, 이러한 차이는 자료의 제한에 의한 것으로 여겨진다. 이른바 편동파로 불리는 이 3~5일 주기의 진동은 Nitta and Yanai(1969), Holton(1971) 등에 의해 조사된 바 있기는 하나, 관측과 확실히 부합되지 않는 사실도 많아 아직 만족스럽지 못한 실정이다 (Kwon and Kwak, 1996). 그리고, 그림에서 본 연구의 대상인 1일 주기와 반일주기가 분명히 나타나고 있음을 알 수 있다.

Figure 3(a)~(e)는 분광분석으로 얻어진 각 주기들의 조사기간에 따른 진폭의 변화를 보여 주고 있다. 이 그림에서도 Fig. 2에서와 같이 30~60일 진동의 진폭이 가장 뚜렷하고, 이 계절내 변동이 1일주기와 반일주기 진동에도 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 즉, 이 진동의 최소치(92년 11월 6일과 93년 1월 10일)에서 1일진동과 반일진동의 진폭이 최소치를 보이고 있다. 일변동의 특징은 월과 함께 변화하고, 이것은 평균 대류활동이 강해지는 월 동안 커진다 (Nitta and Sekine, 1994). 이것은 ENSO와 같은 연별변동과 계절내 변동의 관계에서와 같이 일변동 역

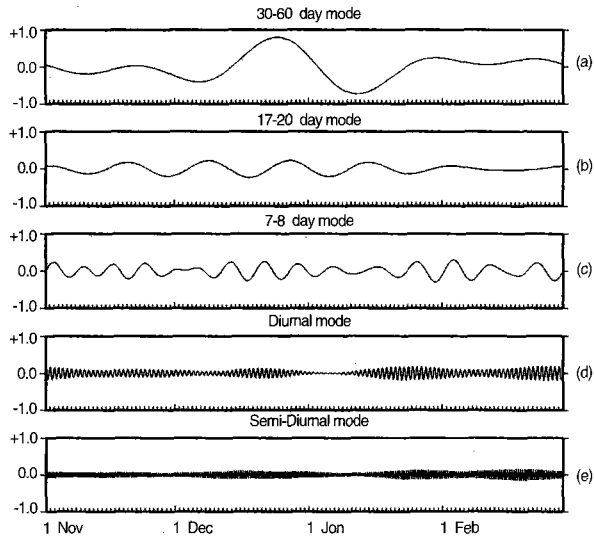


Fig. 3. Principal components of the five physical modes of (a)0-60day, (b)17-20day, (c)7-8day, (d)diurnal, and (e)semi-diurnal.

시 계절내 변동의 위상과 밀접히 관련되어 있음을 추측할 수 있다.

2. 해상과 육상에서의 운량 일변화

운량의 일변화는 1일 8회의 운량 정규화 편차치로 나타내었다. 평균운량은 지역에 따라 차이가 크게 나타나지만, 이 방법을 사용하면 일변동의 특징을 쉽게 파악할 수 있는 잇점이 있다.

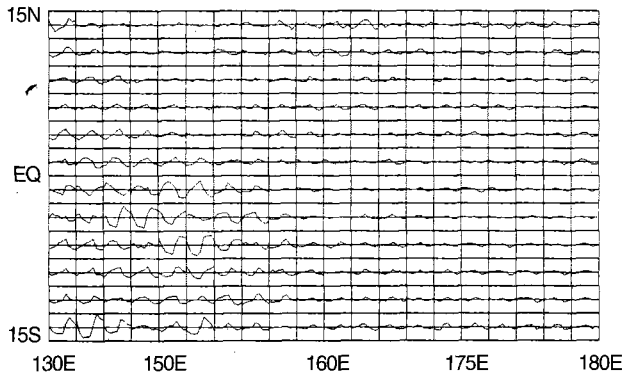


Fig. 4. Diurnal variability of averaged cloudiness during four months for $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ grid.

전체 연구지역에 대해 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 영역 마다의 운량 일변동을 Figure 4에 나타내었다.

우선, 그림에서 쉽게 알 수 있는 것은, 육상에서의 일변동이 해상에서의 그것 보다 크고, 특히 뉴기니아와 호주 북부에서의 일변화가 현저하다는 것이다. 육상에서는 운량이 많은 곳에서 일변동이 크고, 해상에서는 역으로 운량이 많은 곳에서 작았다.

해상과 육상의 일변동을 비교하기 위해, 4개월 동안의 일변동을 시각별로 평균하고, 조사 영역을 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 로 격자화하여 육상에 해당하는 grid와 해상에 해당하는 grid로 분류한 후, 육상과 해상에 대한 운량의 일변동을 정규화 편차치로 표현하여 Figure 5와 6에 나타내었다. 그림에서, 육상에서의 일변동이 해상의 경우 보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 운량 일교차로 보면 육상에서 0.95, 해상에서 0.20이었다. 육상에서는 운량의 최대치가 18시에 출현하고, 최소치는 09시에 출현하였다. 이것은 낮과 밤의 지표가열 및 냉각으로 인한 대류활동의 성쇠와 관련되어 있는 것으로 여겨진다. 그리고, 해상에서는 육상에 비해 시간에 따른 변동이 대단히 작으며, 최대치가 12시경에 최소치는 21시경에 출현하였다. 이와 같이 해상에서의 운량 일변동이 작은 이유

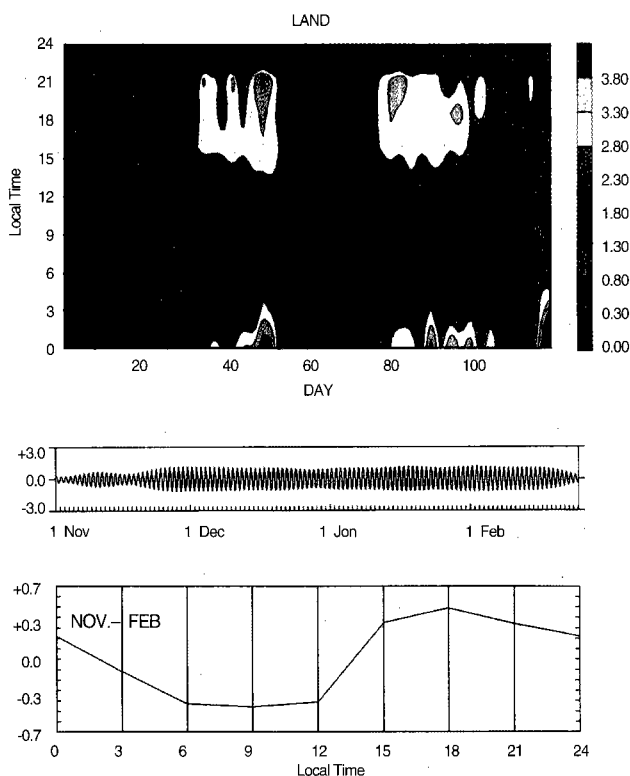


Fig. 5. Local time-day cross section(upper), diurnal mode(middle), and diurnal variability(bottom) of cloudiness over the land.

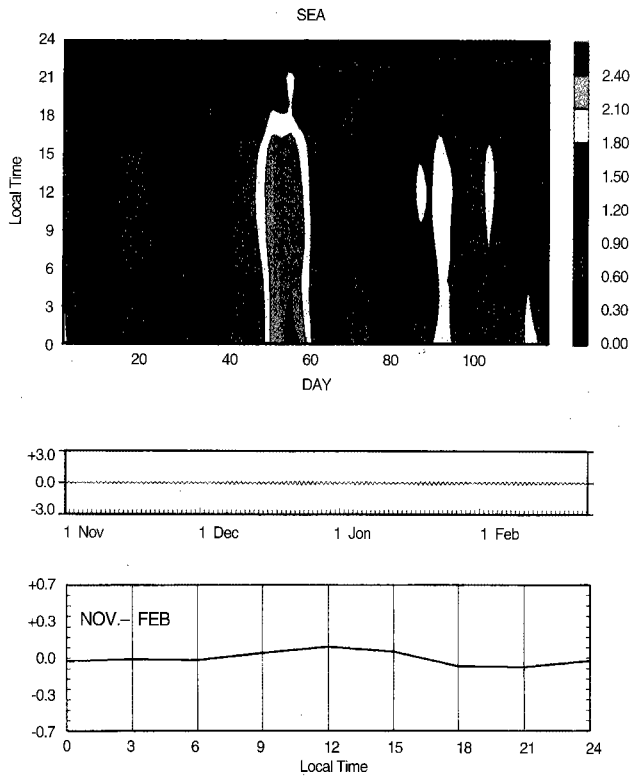


Fig. 6. As in Fig. 5 except for sea. Fig. 5.

는 해수의 큰 열용량으로 수온의 변동이 크지 않기 때문에 여겨진다. 육상과 해상에서의 이러한 운량 일변동의 특징은 지금까지의 조사된 연구결과(Murakami, 1983; 浅井·柯, 1990)와도 대체로 잘 일치하는 사실이다.

3. 1일주기 성분과 반일주기 성분의 영향

일변동의 시 공간적인 구조를 알아보기 위해 조화분석을 실시하여 1일주기 성분에 대한 위상과 진폭을 벡터로 표시한 것이 Figure 7(upper)이다.

연구 기간 동안의 진폭이 0.6 이상으로 큰 곳은 다운량 지역인 뉴기니아, 호주 북부 및 이들의 인접해상에서 나타났다. 다운량 지역이라 하더라도 160°E 동쪽의 적도 부근 해역에서는 진폭이 작게 나타났다. 이로부터 알 수 있는 것은, 육상과 이에 인접한 해상의 다운량 지역의 운량 일변동은 큰데 반해, 해양상에서는 다운량 해역이라 하더라도 운량의 일변동이 작다는 것이다.

운량의 일변동이 최대가 되는 시각은 육상에서는 주로 한 밤중이나 이른 새벽에 나타나고, 해상에서는 정오를 전후로 낮시간에 나타나는 경향이 보이기는 하나 일정하지는 않았다. 육상에서의 비교적 일정한 최대 위상 시각은 낮동안의 강한 대류활동에 의한 영향으로 여겨지며, 해상에서 다소 불규칙하게 나타나는 것은 국지적인 바람의 영향으로 여겨진다.

Fig. 7(bottom)은 조사 기간 동안의 반일주기 성분을 벡터로 표시한 것이다. 전체적으로 일변동의 경우와 마찬가지로 육상에서는 규칙성이 보이나 해상에서는 복잡한 양상을 보였다. Nitta and Sekine(1994)는 9년 동안의 1월의 자료를 해석하여, 뉴기니아 동쪽의 SPCZ 영역에서 큰 반일주기의 진폭을 나타남을 밝히고, 반일주기에 의한 위상이 4~5시 및 16~17시라고 보고하였다. 그러나, 본 조사에서는 이러한 결과가 뚜렷하게 나타나지 않았는데, 이는 해석한 자료의 기간이 짧은 데에 그 원인이 있는 것으로 여겨지나 분명하지는 않다.

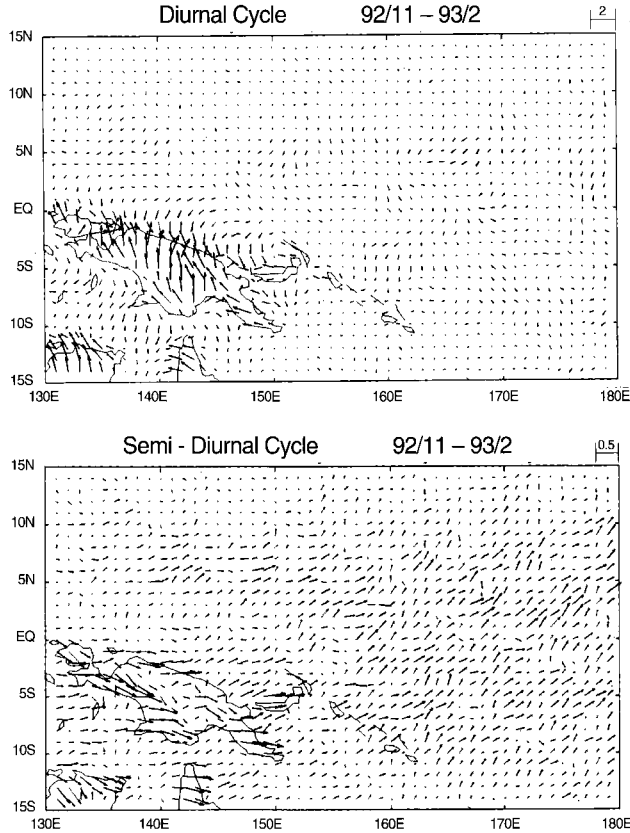


Fig. 7. Amplitude and phases of diurnal(upper) and semi-diurnal(bottom) components of cloudiness represented by vector forms during four months.

Table 1. Amplitude and phase of cloudiness over the land and the sea, for diurnal cycle and semi diurnal cycle.

Region	Month	Diurnal Cycle		Semi-Diurnal Cycle	
		Amplitude	Phase(LT)	Amplitude	Phase(LT)
Land	92/11~93/02	1.23	22:41	0.21	07:10/19:10
Sea	92/11~93/02	0.12	13:28	0.08	03:50/15:50

그림에서 알 수 있는 것은, 육상 영역에서 반일주기 성분이 뚜렷하다 하더라도 이것이 일변화에 큰 영향을 주지는 못한다는 것이다. 왜냐하면, 이 지역에서 1일주기의 진폭이 반일주기의 진폭에 비해 대단히 크기 때문이다. 한편, 해양에서의 운량 일변동을 설명하는데 있어서는 육상과는 달리 반일주기 성분을 충분히 고려해야 할 필요가 있다고 생각된다.

Table 1은 전육상 영역과 전해상 영역에 있어서 운량의 1일 및 반일주기 성분에 대한 조화분석의 결과이다. 표에서 알 수 있는 것은, 우선 1일주기 및 반일주기 모두 육상에서의 값이 해상에서의 값보다 훨씬 크다는 것이다. 즉, 육상의 일주기 및 반일주기의 평균 진폭은 각각 1.23 및 0.21인 반면, 해상에서의 그것은 각각 0.12 및 0.08에 불과하였다. 이것은 Fig. 5와 6의 내용과 같은 것으로, 육지와 해상의 큰 비열차로 인한 대류 강도의 차에 기인하는 것으로 해석된다.

그리고, 일주기 성분과 반일주기 성분의 진폭비를 보면, 육상에서 반일주기의 진폭은 일주기의 17%, 해상에서는 67%로 나타났는데, 이러한 차이가 어떤 원인에 기인하는지 분명하지 않다. 운량 최대치가 출현하는 시각을 육상과 해상에 있어서 비교해 보면, 해상의 경우가 육상에 비해 1일주기가 8~9시간, 반일주기가 3~4시간 정도 빠르게 나타났다.

이상에서 살펴 본, 열대 지방에서의 운량 일변동 문제를 좀 더 자세히 조사하기 위해서는 저기압, 전선, 바람 등에 대한 조사가 병행되는 것이 바람직하고, 아울러 열대 전역을 대상으로 장기간의 자료를 분석하여 연별 변동과 계절내 변동과의 관련성을 조사하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

열대 서부 태평양에서의 운량 일변동을 알아보기 위해 TOGA COARE IOP 동안에 얻어진 GMS-IR 자료를 이용한 조사를 실시하였다. 조사 결과 얻어진 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 뉴기니아, 호주북부 및 인접 해양, 그리고 160°E 동쪽에서 운량이 많고, 30~60일, 17~20일, 7~8일, 일주기 및 반일주기가 우세하게 나타났다.
- 2) 일변동은 평균 운량이 많은 육상이 해상보다 크고, 같은 육상이라면 운량이 많은 곳에서 크고, 해상은 이와 반대의 경향을 보였다.
- 3) 육상의 일주기 반일주기의 평균진폭은 1.23 및 0.21이었고, 해상에서는 0.12 및 0.08이었다.

- 4) 육상에서 운량 일변동의 최대치와 최소치는 각각 18와 09시에, 해상에서는 정오와 21시에 나타났다.
- 5) 반일주기 변동의 진폭은 같은 다운량 지역이라 하더라도 육상이 해상 보다 컸다.

참 고 문 헌

- Christopher S.V., and John A.Y., 1994. Satellite observations during TOGA COARE: Large-scale descriptive overview. *Mon. Wea. Rev.*, 122 : 2,426-2,441.
- Guosheng L., Judith A.C., and Rong-S.S., 1995. Classification of clouds over the western equatorial Pacific Ocean using combined infrared and microwave satellite data. *J. Geophys. Res.*, 100 : 13,811-13,826.
- Gruber, A., 1972. Fluctuations in the position of ITCZ in the Atlantic and Pacific Oceans. *J. Atmos. Sci.*, 29 : 193-197.
- Hartmann, D.L., M.L. Michelsen, and S.A. Klein, 1992. Seasonal variations of tropical intraseasonal oscillations: A 20-25 day oscillation in the western Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 49 : 1,277-1,289.
- Holton, J.R., 1971. A diagnostic model for equatorial wave disturbances: The role of vertical shear of the mean zonal wind. *J. Atmos. Sci.*, 28 : 55-64.
- Kodama, Y. and Asai, T., 1988. Large-scale cloud distributions and their seasonal variations as derived from GMS-IR observations. *J. Meteor. Soc. Japan*, 66 : 87-100.
- Kwon, H. J. and Kwak, C. H., 1996. The characteristics and structure of tropical easterly waves realized in ECMWF data. *J. Korean Meteor. Soc.*, 32(2), 211-222.
- Madden, R. A. and P.R. Julian, 1972. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 29 : 1,109-1,121.
- Madden, R. A. and P.R. Julian, 1971. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28 : 702-708.
- Murakami, M., 1983. Analysis of the deep convective activity over the Western Pacific and Southeast Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, 61 : 60-76.
- Murakami, T., 1983. Analysis of cloud amount over the China Continent and the East China Sea. *J. Meteor. Soc. Japan*, 53 : 87-91.
- Murakami, T., 1975. Interannual cloudiness changes. *Mon. Wea. Rev.*, 103 : 996-1,006.
- Nakazawa, T., 1986. Intraseasonal variations of OLR in the tropics during the FGGE year. *J. Meteor. Soc. Japan*, 64 : 17-34.
- Nitta, T., and S. Sekine, 1994. Diurnal variation of convective activity over the tropical Western

- Nitta, T., and S. Sekine, 1994. Diurnal variation of convective activity over the tropical Western Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 72 : 627-641.
- Nitta, T., T. Mizuno, and K. Takahashi, 1992. Multi-scale convective systems during the initial phase of the 1986/1987 El Nino. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70 : 447-466.
- Nitta, T., and M. Yanai, 1969. A note on barotropic instability of the tropical easterly current. *J. Meteor. Soc. Japan*, 47 : 127-130.
- Sui, C.-H. and K.-M. Lau, 1992. Multiscale phenomena in the tropical atmosphere over the western Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 120 : 407-430.
- 浅井富雄, 柯史釗, 1990. 静止気象衛星から見た東アジア・西太平洋域の暖候期における雲の日変化. Symposium 大気・海洋相互作用と混合層, 48-54.