

BSPE 00367-683-1

東中國海의 月平均 海上風 計算

Monthly Mean Sea Surface Winds over the East China Sea

1994. 4.

韓國海洋研究所

# 提 出 文

## 韓國海洋研究所長科 貴下

本 報告書를 “東中國海의 月平均 海上風 計算” 사업의 研究報告書로  
提出합니다.

1994년 4월 일

주관연구기관명 : 한국 해양 연구 소

연구 책임 자 : 이 홍 재 (해양물리연구부)

연구 원 : 나 정 열 (한양대학교 지구해양학과)

한 상 규 ( “ ” )

서 장 원 ( “ ” )

## 要 略 文

수치모델에 의한 해상풍자료를 분석하여 해상풍의 시·공간적인 분포특성을 파악하였다. 해면기압과 해상풍과의 역학적인 관계를 이용하여 해상풍을 계산하였으며 자료입력 및 계산에서 발생하는 공간적인 오차를 최소화하기 위하여 인접한 8 개점에서의 해상풍자료를 이용하여 평활화하고 2일 주기 이하의 고주파 signal을 제거하여 1일 간격으로 자료를 재구성하였다.

겨울철 동해의 wind stress ( $1.0 \text{ dyne/cm}^2$  이상)는 북풍이나 북서풍이 강하고 curl은 양의 부호를 나타내며 ( $10 \text{ dyne/cm}^3$  이상), 황해의 stress (약  $1.0 \text{ dyne/cm}^2$ )는 북풍이 비교적 우세하고 curl은 음의 부호를 가지며 (약  $10 \text{ dyne/cm}^3$ ), 동중국해에서는 동풍이 우세하지만 (약  $1.0 \text{ dyne/cm}^2$ ) curl은 약하다 ( $\pm 5 \text{ dyne/cm}^3$  이하). 여름철 동해와 황해의 stress는 매우 약하고 ( $0.2 \text{ dyne/cm}^2$  이하) curl은 음의 부호를 보이지만, 동중국해에서는 stress와 curl이 태풍의 영향으로 매우 강하게 나타난다. 또한 바람장의 연 변화가 매우 심하다. 남북성분의 스펙트럼 특성은 1년 주기에 에너지가 집중되어 있으나 동서성분은 6개월 주기에서 큰 에너지가 나타난다. 회전스펙트럼은 전해역에서 1년 주기에서는 반시계방향이며, 6개월 주기에서는 시계방향의 회전성이 우세하다는 것을 보인다. 해역별 바람장의 상관성과 위상차이는 이동성저기압의 영향을 잘 나타내고 있으며 동중국해의 전체적인 바람장이 황해, 동해와는 다른 분포 모습을 보인다.

계산한 해상풍과 동해 남부에 설치된 부이에서의 관측바람은 에너지가 큰 1과 2 cpy 주파수대에서 상관성이 높으며 위상차이도 크지 않아 계산한 바람이 해상풍의 시공간적인 분포를 비교적 잘 반영한다고 볼 수 있다. 한편 대기의 수직안정성이 불안정한 여름-가을철에 두 바람사이에 무시할 수 없을 정도의 오차가 발생되기도 하지만 두 바람의 시간변화 특성은 서로 잘 일치한다.



## Summary

The spatio-temporal distribution of wind fields was investigated by analyzing calculated sea surface winds. Sea surface wind was calculated from synoptic surface pressure data, based on the dynamical relationship between sea surface wind and atmospheric pressure at sea surface. The calculated wind data were smoothed out by using data at eight neighbouring points to minimize the spatial errors, occurred due to data input and computation, and then filtered out to remove high-frequency signals above 0.5 cpd.

In winter, the prevailing winds in the East Sea are northerly or northwesterly (more than  $1.0 \text{ dyne/cm}^2$ ) and its curl is found to be positive (more than  $10 \text{ dyne/cm}^3$ ). In the Yellow Sea, the northerly wind is relatively dominant (about  $1.0 \text{ dyne/cm}^2$ ), but its curl is negative with values of about  $10 \text{ dyne/cm}^3$ . In the East China Sea the easterly wind is prevailing (about  $1.0 \text{ dyne/cm}^2$ ), but the magnitude of curl becomes weaker (less than  $\pm 5 \text{ dyne/cm}^3$ ). In summer, the wind stress is very weak (less than  $0.2 \text{ dyne/cm}^2$ ) with negative curl in the East Sea and Yellow Sea. However, both of the wind stress and its curl are strong due to the frequent passage of Typhoons over the East China Sea. The wind fields in the study area show a strong annual variation. The spectral analysis shows that the spectral energy of v-component is concentrated mostly at a frequency band of 1 cpy (cycles per year) and that of u-component has two dominant peaks at 1 and 2 cpy. The rotary spectrum displays that the anticlockwise spectral energy at 1 cpy is more dominant, but the clockwise peak at 2 cpy appears to be significant. The correlation analysis suggests an eastward movement of low atmospheric pressure system over the Yellow and East Seas. Wind fields of the East China Sea are somewhat different from those of the Yellow and East Seas.

A comparison between calculated wind and observed wind at a buoy station in the East Sea shows that the coherence at the frequency bands of 1 and 2 cpy, where the high spectral energy is concentrated, is significantly high with relatively

small phase difference. This means that the calculated wind fields properly reflect the real wind fields in time and space domain considered here. However, there exists a relatively large difference between the two winds during the season of summer-autumn when the vertical stability of air column is low, but their temporal trend is very similar each other.

# 목 차

요 약 문	3
영문요약문	5
표목차	11
그림목차	13
제 1 장 서 론	17
제 2 장 자료 및 분석방법	19
제 3 장 해상풍 분석결과	21
제 1 절 대표 격자점에서 평균바람과 분산	21
제 2 절 Wind Stress의 공간분포	21
제 3 절 Wind Stress Curl의 공간분포	37
제 4 절 해상풍의 시간변화 특성	45
가. 동 해	45
나. 황해 및 동중국해	58
제 5 절 해상풍의 스펙트럼 분석	58
가. 동 해	65
나. 황해 및 동중국해	65
제 6 절 해상풍의 회전스펙트럼 특성	71
가. 동 해	71
나. 황해 및 동중국해	77
제 7 절 해역별 상관관계	77
가. 동 해	83
나. 황해 및 동중국해	83
다. 황해 및 동해	84
제 8 절 부이관측바람과 계산한 해상풍과의 비교	84
제 4 장 결 론	89
참 고 문 헌	91





# CONTENTS

<b>Summary</b>	5
<b>List of Tables</b>	11
<b>List of Figures</b>	15
<b>Chapter 1. Introduction</b>	17
<b>Chapter 2. Data and processing method</b>	19
<b>Chapter 3. Results of surface wind analysis</b>	21
1. Mean wind speed and standard deviation at selected grids	21
2. Spatial distribution of wind stress	21
3. Spatial distribution of wind stress curl	37
4. Time variation of surface wind	45
a. East Sea	45
b. Yellow Sea and East China Sea	58
5. Spectral analysis of wind stress	58
a. East Sea	65
b. Yellow Sea and East China Sea	65
6. Rotary spectral analysis of wind stress	71
a. East Sea	71
b. Yellow Sea and East China Sea	77
7. Correlation analysis of wind stress	77
a. East Sea	83
b. Yellow Sea and East China Sea	83
c. Yellow Sea and East Sea	84
8. Comparison of calculated wind with observed wind at a buoy	84
<b>Chapter 4. Conclusion</b>	89
<b>References</b>	91



# 表 目 次

表 1. 대표 격자점의 위치 및 각 격자점별 바람의 동서, 남북성분의 10년 평균과 분산, 1978-1987. ----- 22

# List of Table

Table 1. Location of selected grids, and mean and variance of wind (u: east-west component; v: north-south component), 1978-1987. ----- 22



# 그림 목차

그림 1.	해상풍 계산 격자망과 분석대상 대표 격자점.	-----	18
그림 2.	Wind stress (dyne/cm <sup>2</sup> )의 장기평균과 표준편차, 1978-1987.	-----	23
그림 3.	Wind stress (dyne/cm <sup>2</sup> )의 월평균, 1978-1987.	-----	25
그림 4.	Wind stress (dyne/cm <sup>2</sup> )의 월별 표준편차, 1978-1987.	-----	31
그림 5.	Wind stress curl (10 <sup>-9</sup> dyne/cm <sup>3</sup> )의 장기평균과 표준편차, 1978-1987.	--	38
그림 6.	Wind stress curl (10 <sup>-9</sup> dyne/cm <sup>3</sup> )의 월평균, 1978-1987.	-----	39
그림 7.	Wind stress curl (10 <sup>-9</sup> dyne/cm <sup>3</sup> )의 월별 표준편차, 1978-1987.	-----	46
그림 8.	동해의 대표정점에서 동서성분 (u) 바람의 시간변화곡선.	-----	52
그림 9.	동해의 대표정점에서 남북성분 (v) 바람의 시간변화곡선.	-----	55
그림 10.	황해 및 동중국해의 대표정점에서 동서성분(U) 바람의 시간변화곡선.	--	59
그림 11.	황해 및 동중국해의 대표정점에서 남북성분(V) 바람의 시간변화곡선.	--	62
그림 12.	동해의 대표정점에서 해상풍의 스펙트럼.	-----	66
그림 13.	황해 및 동중국해의 대표정점에서 해상풍의 스펙트럼.	-----	68
그림 14.	동해의 대표정점에서 해상풍의 회전스펙트럼.	-----	72
그림 15.	황해 및 동중국해의 대표정점에서 해상풍의 회전스펙트럼.	-----	74
그림 16.	동해의 E3 정점과 타 정점사이 해상풍의 상관성과 위상.	-----	78
그림 17.	황해의 W2 정점과 타 정점사이 해상풍의 상관성과 위상.	-----	80
그림 18.	황해와 동해의 정점사이 해상풍의 상관성과 위상.	-----	82
그림 19.	계산한 해상풍과 부이 (# 6) 관측 해상풍의 시간변화곡선, 1985-1987.	--	86
그림 20.	E8 정점에서 계산한 해상풍과 부이 (# 6) 관측 해상풍 사이 스펙트럼.	--	87
그림 21.	E8 정점에서 계산한 해상풍과 부이 (# 6) 관측 해상풍 사이 상관성과 위상.	-----	88



# List of Figures

Fig. 1.	Grid network for calculation of sea surface wind and location of representative grids for analysis. -----	18
Fig. 2.	Long-term mean of wind stress ( $\text{dyne/cm}^2$ ) and its standard deviation, 1978-1987. -----	23
Fig. 3.	Long-term monthly means of wind stress ( $\text{dyne/cm}^2$ ), 1978-1987. -----	25
Fig. 4.	Standard deviation of monthly mean wind stress ( $\text{dyne/cm}^2$ ), 1978-1987. -----	31
Fig. 5.	Long-term mean of wind stress curl and its standard deviation ( $10^{-9}\text{dyne/cm}^3$ ), 1978-1987. -----	38
Fig. 6.	Long-term monthly means of wind stress curl ( $10^{-9}\text{dyne/cm}^3$ ), 1978-1987. -----	39
Fig. 7.	Standard deviation of monthly mean wind stress curl ( $10^{-9}\text{dyne/cm}^3$ ), 1978-1987. -----	46
Fig. 8.	Time series of u-component wind at selected grids in the East Sea. --	52
Fig. 9.	Time series of v-component wind at selected grids in the East Sea. --	55
Fig. 10.	Time series of u-component wind at selected grids in the Yellow Sea and the East China Sea. -----	59
Fig. 11.	Time series of v-component wind at selected grids in the Yellow Sea and the East China Sea. -----	62
Fig. 12.	Spectra of wind components at selected grids in the East Sea. -----	66
Fig. 13.	Spectra of wind components at selected grids in the Yellow Sea and the East China Sea. -----	68
Fig. 14.	Rotary spectra of wind at selected grids in the East Sea. The solid, dashed, and dotted lines correspond to total, clockwise, and anticlockwise spectra, respectively. -----	72

Fig. 15. Rotary spectra of wind at selected grids in the Yellow Sea and the East China Sea. The solid, dashed, and dotted lines correspond to total, clockwise, and anticlockwise spectra, respectively. ----- 74

Fig. 16. Coherence and phase difference for wind between different grids in the East Sea. The solid and dashed lines correspond to u-component and v-component, respectively. ----- 78

Fig. 17. Coherence and phase difference for wind speed between different grids in the Yellow Sea and the East China Sea. The solid and dashed lines correspond to u-component and v-component, respectively. ----- 80

Fig. 18. Coherence and phase difference for wind between grids in the Yellow Sea and the East Sea. The solid and dashed lines correspond to u-component and v-component, respectively. ----- 82

Fig. 19. Time series of observed wind at Buoy # 6 and calculated wind at E8, 1985-1987. ----- 86

Fig. 20. Spectra of observed wind at Buoy # 6 and calculated wind at E8. The solid and dashed lines correspond to u-component and v-component, respectively. ----- 87

Fig. 21. Coherence and phase difference between observed wind at Buoy # 6 and calculated wind at E8. The solid and dashed lines correspond to u-component and v-component, respectively. ----- 88



# 제 1 장 서 론

해수순환의 역학적 구조를 이해하기 위하여 해수의 물리적 특성 및 해류의 구조 파악이 필요하지만 해류의 형성 및 이동, 표층해수의 순환 및 열구조에 큰 영향을 미치는 해상풍에 대한 이해도 반드시 필요하다. 그러나 해상에서 해상풍의 연속관측은 부이시스템에 의해 가능하나 경제적, 기술적인 면에서 충분한 수의 부이 운영이 용이치 않아 연안관측이나 국지적인 선상관측에 의존하고 있는 실정이다.

한국 근해역에서 이용 가능한 자료로는 연안 측후소에서 1시간 간격으로 관측한 바람자료가 있으며 국립수산진흥원에서 정선관측시 조사한 해상풍자료가 있다. 또한 일본기상청에서 운영하고 있는 기상부이 # 6 (동해, 37° 45' N, 134° 23' E)과 부이 # 4 (동중국해, 28° 20' N, 126° 05' E)에서 3시간 간격으로 조사되는 자료가 있다.

이와 같이 제한적으로 조사되는 해상풍 자료로부터 시공간적인 변화가 큰 해상풍의 특성을 파악하기는 어렵다. 특히 연안측후소에서 조사한 자료는 국지적인 영향이 커서 이를 이용하여 외해의 해상풍을 추정하는 것은 곤란하며, 국립수산진흥원 정선관측자료는 격월마다 조사되었기 때문에 자료의 연속성이 없어 이를 이용하여 해상풍의 시공간적인 분포특성을 파악 할 수는 없다. 또한 일본 기상청 Buoy 관측자료는 해상풍의 시간변화 특성 파악에는 이용할 수 있으나 광역해역에 대한 공간적인 분포특성을 파악 할 수가 없다.

광역해역의 해상풍을 추정하는데 가장 널리 이용하는 자료는 해면기압이다. 즉, 해면기압과 해상풍과의 역학적인 관계로부터 간단한 모델을 이용하여 해상풍을 추정하는 것이다. 본 연구에서는 황해, 동해는 물론 동중국해 전역에서 수치모델을 이용하여 해상풍을 계산한 후 기본적인 통계분석을 실시하여 한반도 근해역에 대한 해상풍의 시공간적인 분포특성을 검토하였다.

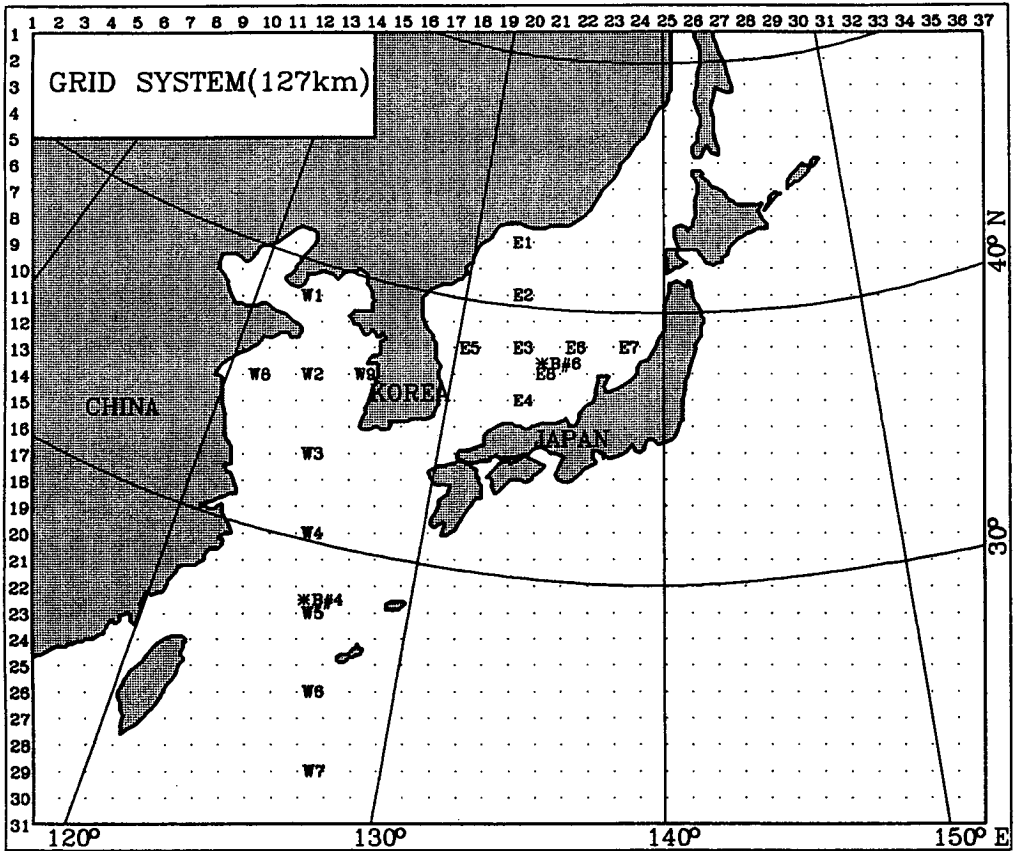


Fig. 1. Grid network for calculation of sea surface wind and location of representative grids for analysis.

## 제 2 장    자료 및 분석방법

한국 근해역을 비롯하여 동중국해에 대한 해상풍의 연속관측 자료는 거의 전무한 실정이나 해면기압과 해상풍과의 관계를 이용한 Cardone 모델로 한반도 주변해역의 해상풍 자료를 산출한 바 있다 (나 등, 1992). 나 등은 일본기상청에서 12시간 간격 (09시, 21시)으로 발행한 1978년부터 1987년까지의 10년간 천기도를 이용하여 북위 30° - 50° , 동경 120° - 150° 해역을 대상으로 127 km 등간격 격자점에서 해상풍 (해면위 10m)을 계산하였다. 본 연구에서는 나 등의 바람을 기본으로 하고 대상해역을 남으로 북위 20° 까지 확장하여 해상풍을 계산하였다.

모델에 의해 계산된 해상풍은 천기도 작성, 자료입력 (기압, 기온, 해수면 수온) 및 계산과정에서 발생하는 오차를 포함하고 있다. 이러한 공간적인 오차를 최소화하기 위해 일차 계산한 해상풍을 식 (1)에 따라 평활화 (smoothing)하였다.

$$F(0,0) = \frac{1}{36} \{ 16f(0,0) + 4[f(1,0)+f(-1,0)+f(0,1)+f(0,-1)] + [f(1,1)+f(-1,1)+f(1,-1)+f(-1,-1)] \} \quad ( 1 )$$

여기서, F는 평활화된 계산치이며 f는 평활화하기 전 계산치이다. 즉, 격자점 (0,0)에서 F를 얻기 위해 f(0,0)와 8개 인접 격자점에서 f를 이용하였다. 식 (1)에 의해 재구성된 풍향, 풍속자료로 부터 bulk formula를 사용하여 각 격자점에서 wind stress를 계산하였다.

$$\tau = \rho C_D U |U| \quad ( 2 )$$

여기서,  $\tau$  = wind stress (dyne/cm<sup>2</sup>),  $\rho$  = 공기밀도,  $C_D$  = 용력계수,

U (m/sec)는 바람이다. 바람의 용력계수  $C_D$ 는 아래와 같은 Garrett(1977)의 식을 이용하였다.

$$C_D = (0.75 + 0.067 |U|) \times 10^{-3}$$

본 연구에서는 해륙풍의 특성이 강한 2일 이하의 단주기 시간변동을 제거하기 위해 저주파필터를 적용하여 1일 간격의 자료로 전환하여 기본적인 통계분석과 스펙트럼 분석을 하였다. 바람의 기본적인 특성을 파악하기 위해 wind stress로부터 curl을 계산한 후 각각에 대해 10년 평균치와 표준편차, 그리고 월평균치와 표준편차를 구하였다. 또한 해상풍의 주파수 특성과 공간 구조를 파악하기 위하여 동해, 황해, 동중국해를 동·서와 남·북으로 횡단하는 격자점 16개 (동해 7점, 황해 및 동중국해 9점)를 선정하여 바람의 동서성분과 남북성분의 시계열 자료를 대상으로 스펙트럼, 회전스펙트럼 (Gonella, 1972, Mooers, 1973), 상관관계와 위상을 분석하였다.

또한, 계산된 해상풍자료와 일본기상청의 부이자료와 비교하였다. 일본기상청 부이 자료는 3시간 간격으로 조사된 자료임으로 계산한 해상풍과 시간을 일치시키기 위하여 연속된 5개의 자료에 식 (3)과 같은 필터를 적용하여 09시, 21시에서 평활화된

$$F(t) = \frac{1}{10} \{ 4f(t) + 2[f(t-3)+f(t+3)] + [f(t-6)+f(t+6)] \} \quad ( 3 )$$

자료를 계산한 후 2일 주기 이하의 단주기 변화를 제거하기 위하여 식 (1)과 같은 저주파필터를 사용하여 1일 간격의 자료로 전환하였다. 이와 같이 처리한 관측 해상풍자료를 격자점 E8 (37° 21' N, 133° 48' E)에서 계산한 해상풍과 비교하였다.

## 제 3 장 해상풍 분석결과

### 제 1 절 대표 격자점에서 평균바람과 분산

표 1은 동해, 황해, 동중국해의 대표 격자점에서 10년간 자료로부터 계산한 바람의 동서  $u$  (양은 서풍에 해당)와 남북  $v$  (양은 남풍에 해당) 성분의 장기평균과 분산이다. 바람의 동서성분은 동해와 황해에서 서풍이 우세하나 동중국해에서는 오히려 동풍이 우세하고, 동해남부와 동중국해 남부해역에서 변동이 크다. 한편, 남북성분은 정점 W7을 제외한 모든 점에서 북풍이 우세하고 동해에서는 남으로 갈수록 감소하고 황해에서는 증가하며, 동해북부 연안역과 동중국해에서 변동이 크다. 이를 종합하면 동해와 황해에서는 북서풍 계열의 바람이, 동중국해에서는 북동풍 계열의 바람이 강한 것으로 나타나는데 이는 겨울철의 대륙성 고기압이 여름철의 해양성 고기압보다 바람장의 장기 평균분포에 더 큰 영향을 미치는 것으로 해석된다. 동중국해에서  $V$ 의 변동이 타 해역보다 큰 이유는 서태평양에서 생성된 태풍이 주로 동중국해를 통과한데 기인한 것으로 판단된다.

### 제 2 절 Wind Stress의 공간분포

wind stress의 공간분포의 일반특성을 파악하기 위해 10년 장기 평균분포를 보면 (Fig. 2a) 전해역에서 약  $0.4 \text{ dyne/cm}^2$  (이하  $\text{dyne/cm}^2$ 는 생략)으로 나타난다. 동해북부 연안해역에서 약 0.5로 북풍이 우세하고 동해 남부해역과 일본 흑가이도

Table 1. Location of selected grids, and mean and variance of wind (u: east-west component; v: north-south component), 1978-1987.

Position No.	Latitude	Longitude	Mean (m/s)		Variance(m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )			
					$\frac{1}{N} \sum X_i^2$		$\frac{1}{N} \sum (X_i - \bar{X})^2$	
			U-comp	V-comp	U-comp	V-comp	U-comp	V-comp
E-1	42° 13'	131° 40'	0.451	-2.092	6.385	20.514	6.181	16.137
E-2	40° 12'	132° 04'	0.566	-1.465	6.857	11.979	6.537	9.833
E-3	38° 13'	132° 25'	1.055	-0.885	10.836	8.353	9.722	7.570
E-4	36° 16'	132° 43'	0.888	-0.772	11.718	7.602	10.929	7.007
E-5	37° 55'	129° 55'	0.931	-1.434	11.112	10.842	10.246	8.786
E-6	38° 26'	134° 55'	1.275	-0.663	10.689	7.963	9.064	7.524
E-7	38° 34'	137° 28'	1.505	-0.627	10.169	8.848	7.903	8.456
W-1	38° 23'	121° 58'	0.451	-0.667	5.589	7.613	5.385	7.168
W-2	35° 35'	123° 04'	0.178	-1.133	5.386	10.704	5.355	9.419
W-3	32° 50'	124° 03'	-0.355	-1.713	7.197	13.394	7.071	10.461
W-4	30° 08'	124° 56'	-1.071	-2.046	9.688	18.086	8.541	13.901
W-5	27° 30'	125° 43'	-1.939	-1.435	15.589	16.131	11.828	14.071
W-6	24° 56'	126° 29'	-2.285	-0.413	16.578	10.615	11.356	10.444
W-7	22° 25'	127° 04'	-1.957	0.364	16.073	9.729	12.243	9.597
W-8	34° 59'	120° 49'	0.109	-0.275	4.934	4.179	4.922	4.103
W-9	36° 07'	125° 23'	0.187	-1.714	5.386	14.041	5.351	11.102

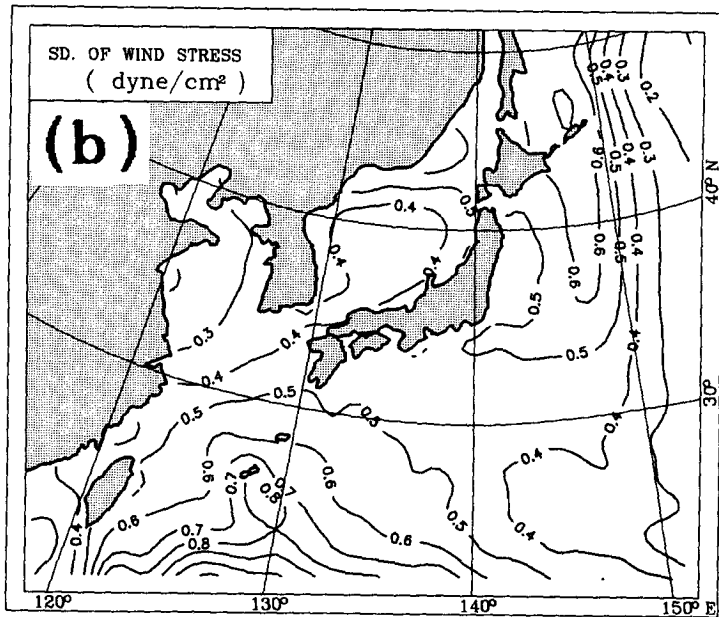
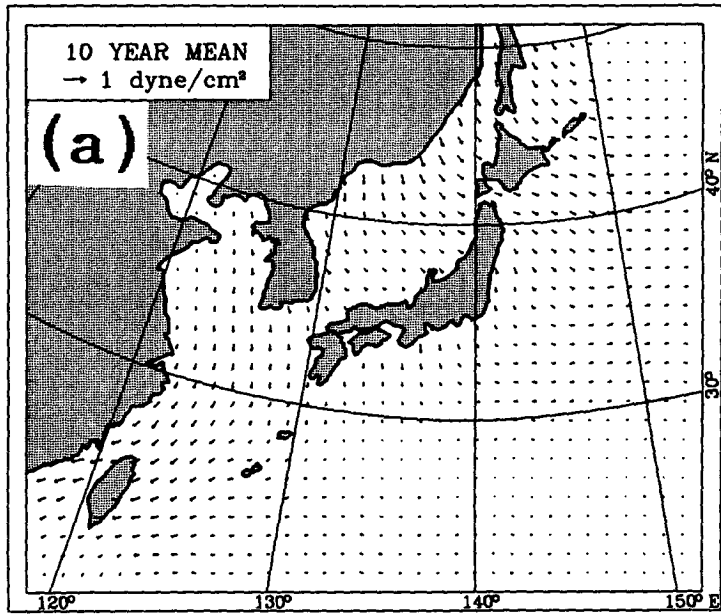


Fig. 2. Long-term mean of wind stress ( $\text{dyne/cm}^2$ ) (a), and its standard deviation (b), 1978-1987.

동쪽해역에서는 약 0.4 이하로 북서풍이 우세하다. 황해에서도 북풍이 우세하나 대만해역에서는 u 성분이 -0.5로 동풍이 우세하다. 월평균치의 표준편차는 한국 주변해역인 동해와 황해에서 0.2-0.6 으로 변화가 크고 일본 후카이도 동쪽해역이 0.6 이상으로 최대치를 보인다. 한편, 황해 및 동중국해에서는 남쪽으로 갈수록 증가하여 대만 동부해역에서 0.6 이상으로 최대편차가 나타나는데 이는 동중국해의 남부해역이 여름철에 빈번히 통과하는 태풍의 직접적인 영향권에 속해 있기 때문이다 (Fig. 2b).

wind stress의 월평균 분포 (Fig. 3)는 겨울철인 12월-2월에 동해에서 wind stress가 전반적으로 1.0 이상이다. 동해 북부해역에서 최대로 나타나는 북풍계열의 바람이 남쪽으로 내려 올수록 약해지며 북서풍으로 풍향이 바뀐다. 일본 동부해역에서는 약 1.0 정도의 북서풍에서 동으로 갈수록 서풍으로 전환된다. 황해에서는 북풍이 우세하고 그 크기는 1.0 이하이나 동해와는 달리 남으로 갈수록 북풍이 계속 우세하며 크기도 증가한다. 늦봄-초여름에는 전해역에서 해상풍이 0.2 이하로 대단히 약해진다. 한편 대만해역에서는 여름철인 7월부터 바람이 강해져 8, 9월에는 동중국해 거의 전해역에서 0.5 이상으로 커진다. 10월부터 전해역의 wind stress가 다시 증가하기 시작하면서 겨울철의 바람특성을 보인다.

wind stress의 표준편차의 공간분포 (Fig. 4)는 wind stress의 분포형태와 매우 유사하다. 0.3 이상의 최대편차가 동해와 일본 후카이도 동쪽해역에서 12월부터 4월까지 나타나나 황해와 동중국해는 0.3 이하이다. 5월과 6월에는 동해와 황·동중국해 전해역이 0.3 이하로 연중 최소편차를 보인다. 7월부터 10월까지 편차가 동해에서는 0.4 이하인데 황해 및 동중국해에서 크게 증가한다. 여름철 1.0 이상의 최대편차가 동중국해에서 나타나 이 해역에서 바람의 시간변화가 대단히 심하다는 사실을 알 수 있는데 이는 태풍이 빈번하게 동중국해를 통과하기 때문이다.



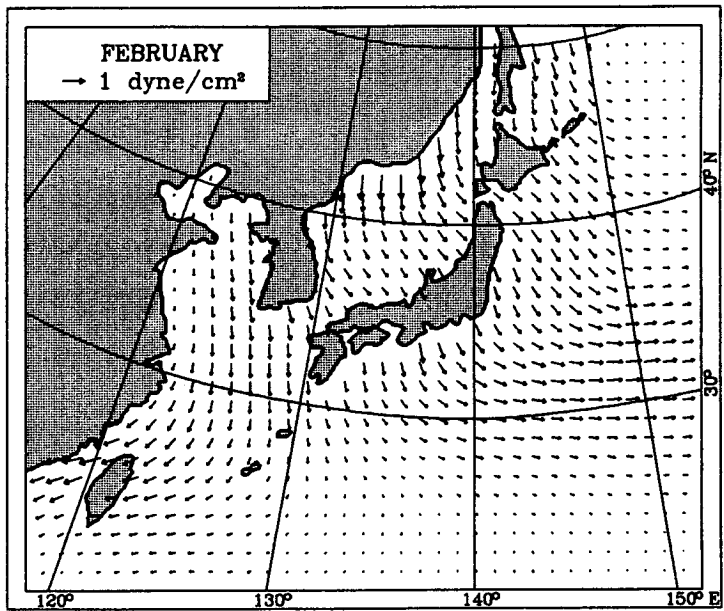
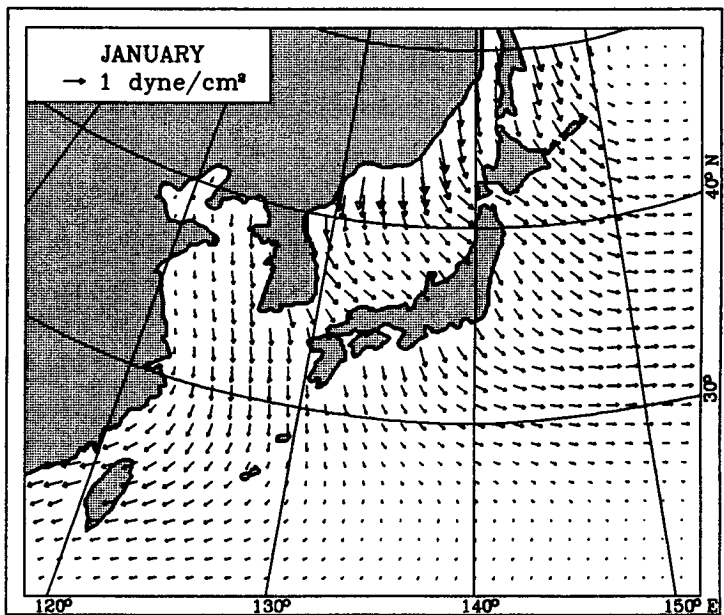


Fig. 3. Long-term monthly means of wind stress (dyne/cm<sup>2</sup>), 1978-1987.

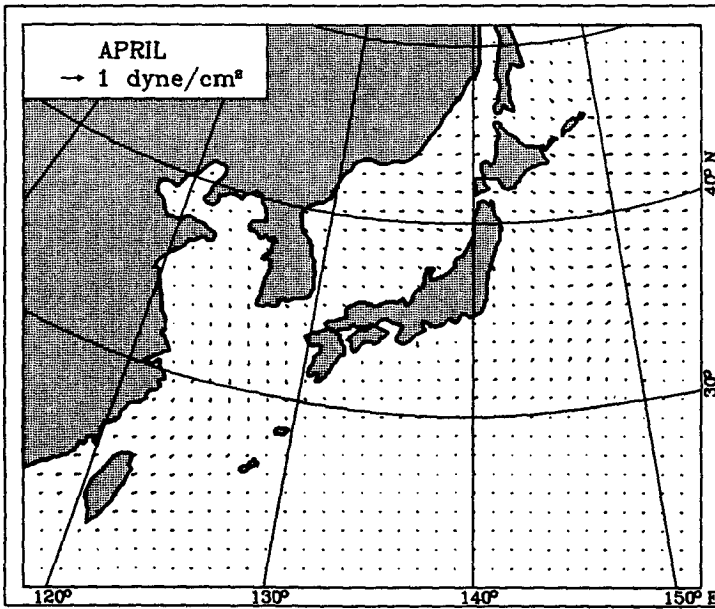
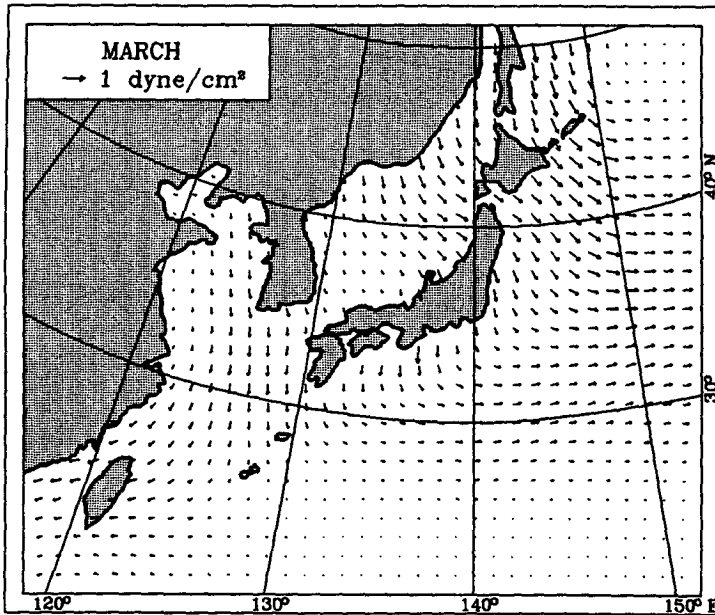


Fig. 3. (Continued)

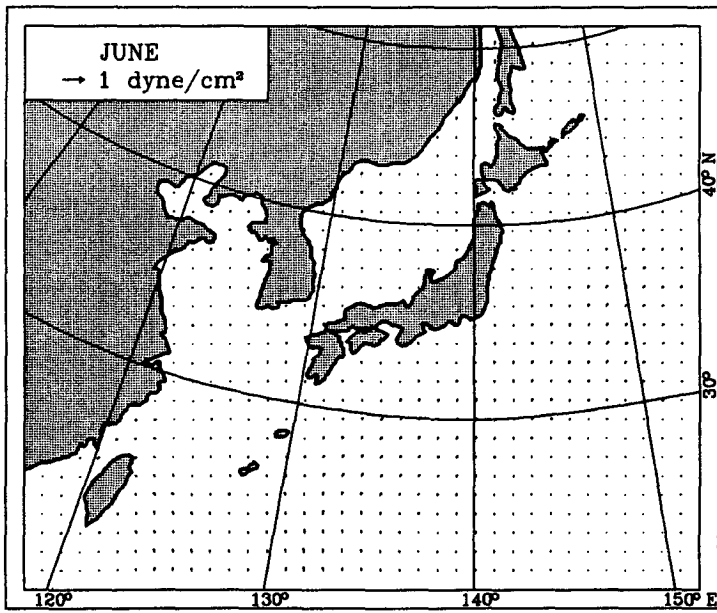
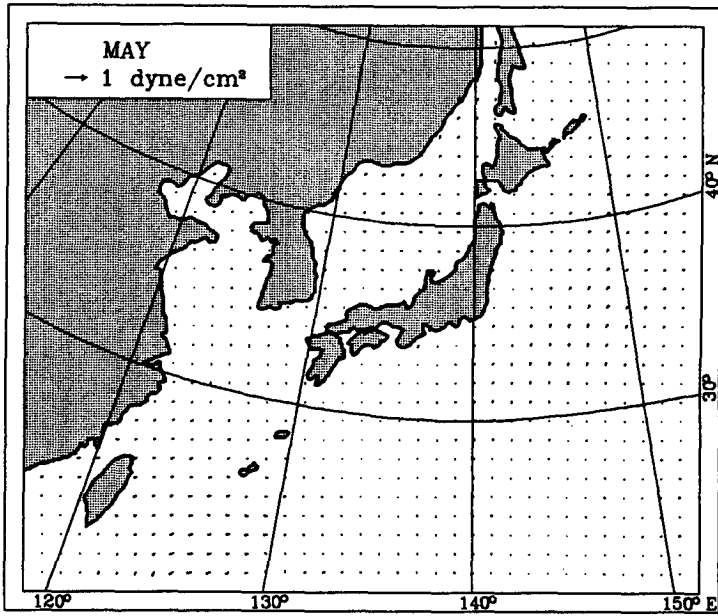


Fig. 3. (Continued)

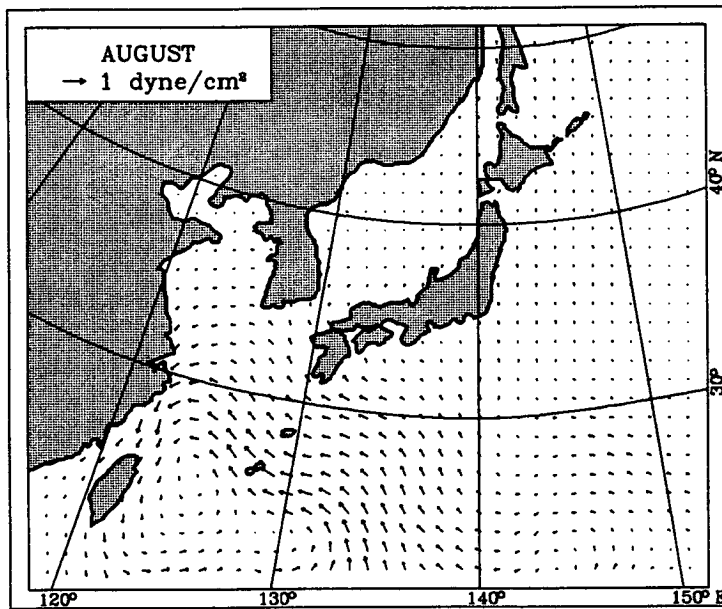
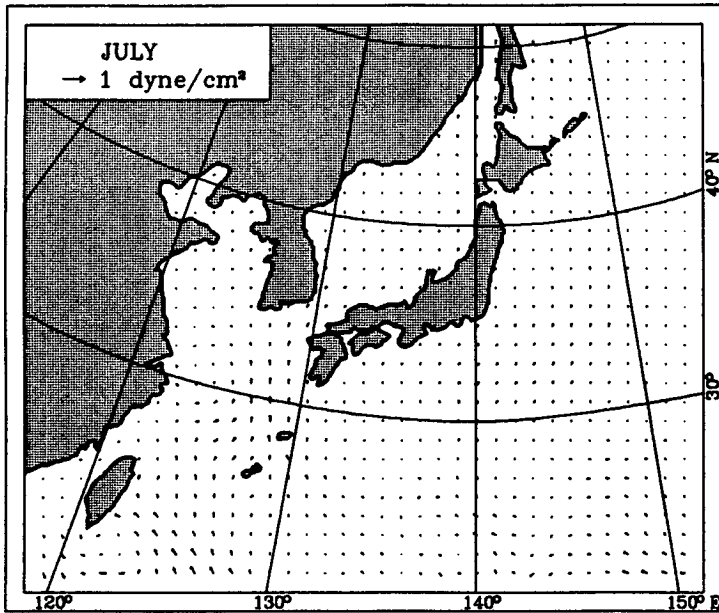


Fig. 3. (Continued)

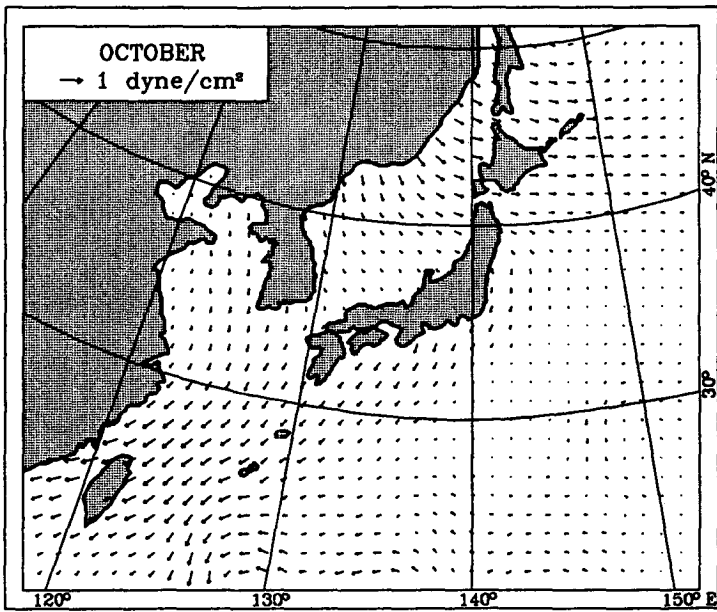
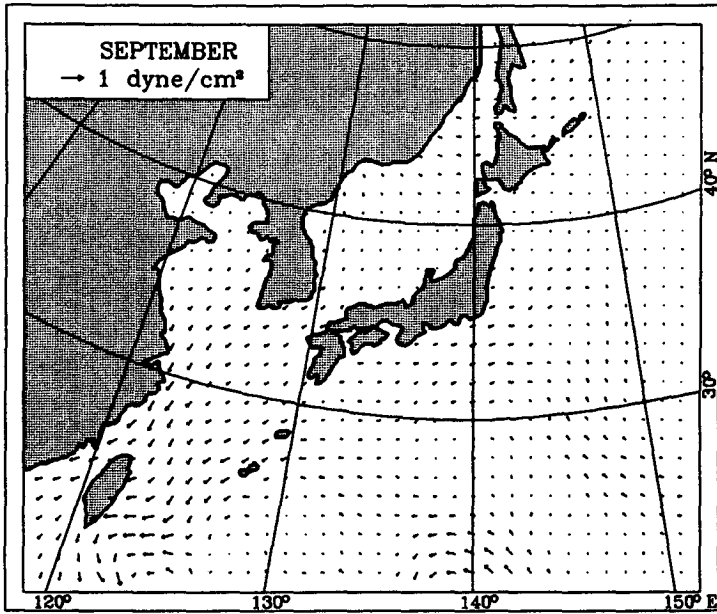


Fig. 3. (Continued)

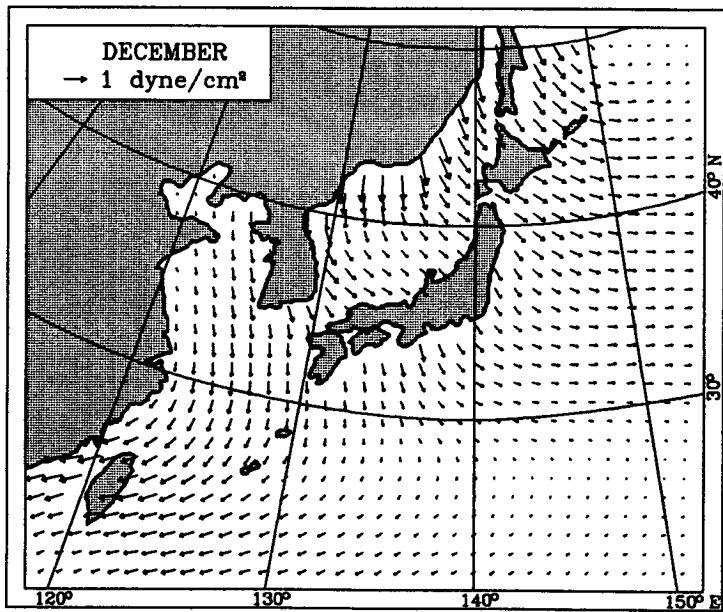
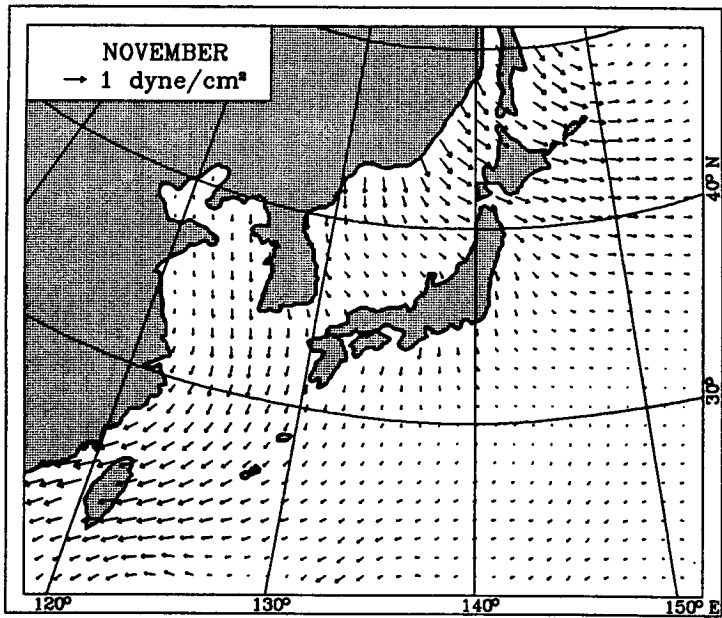


Fig. 3. (Continued)

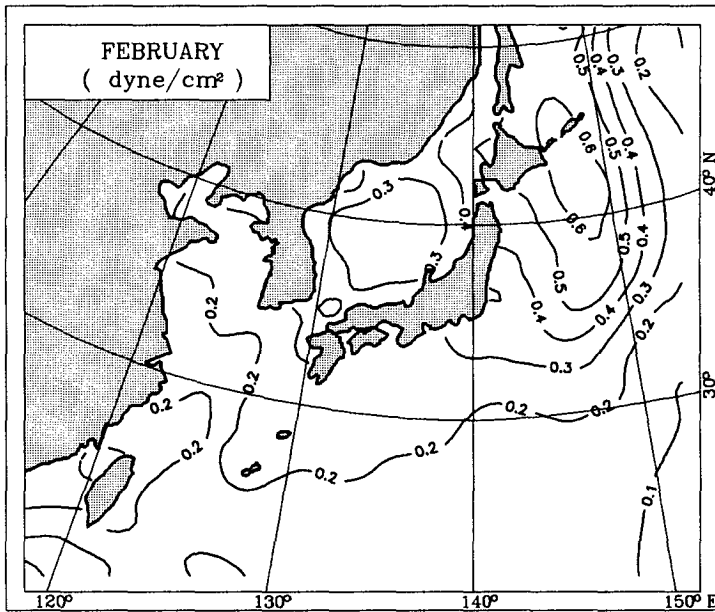
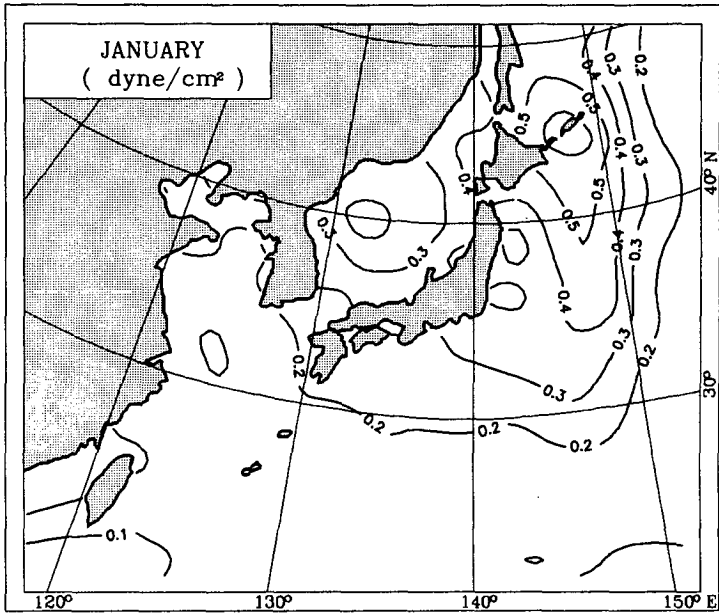


Fig. 4. Standard deviation of monthly mean wind stress (dyne/cm<sup>2</sup>), 1978-1987.

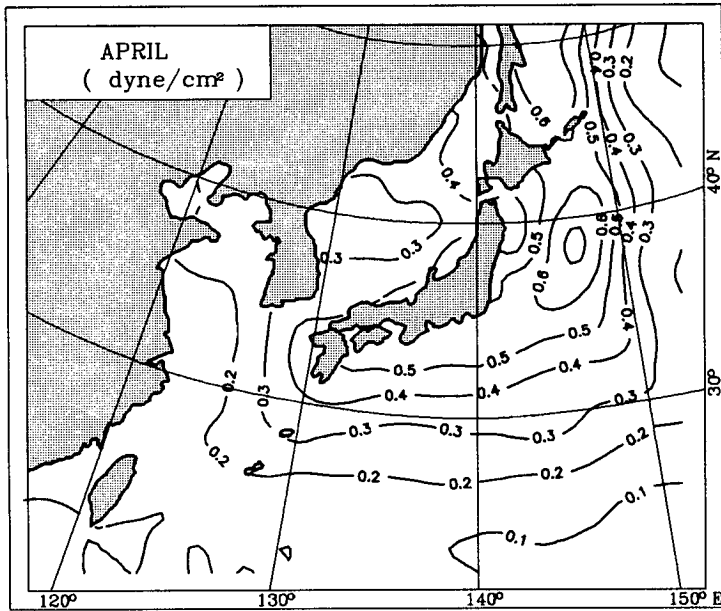
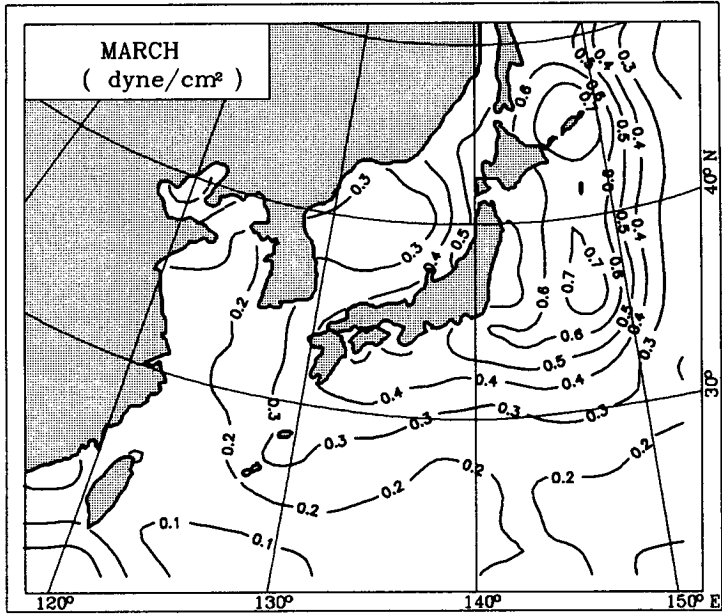


Fig. 4. (Continued)



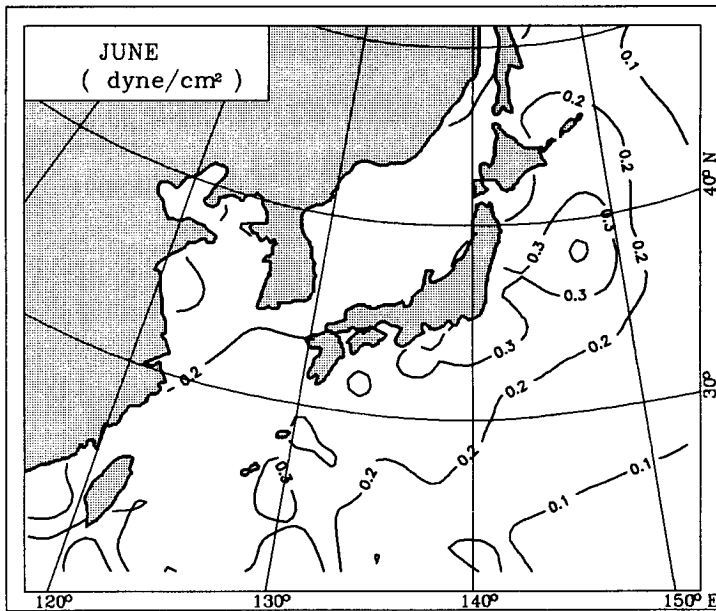
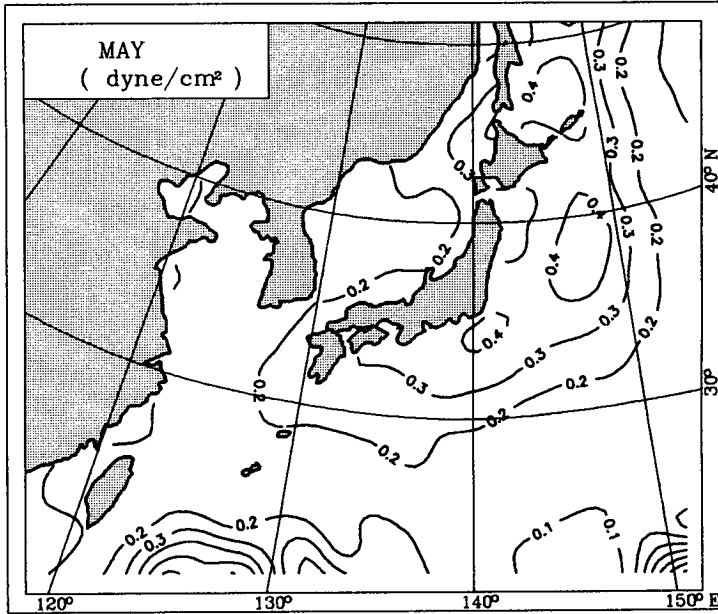
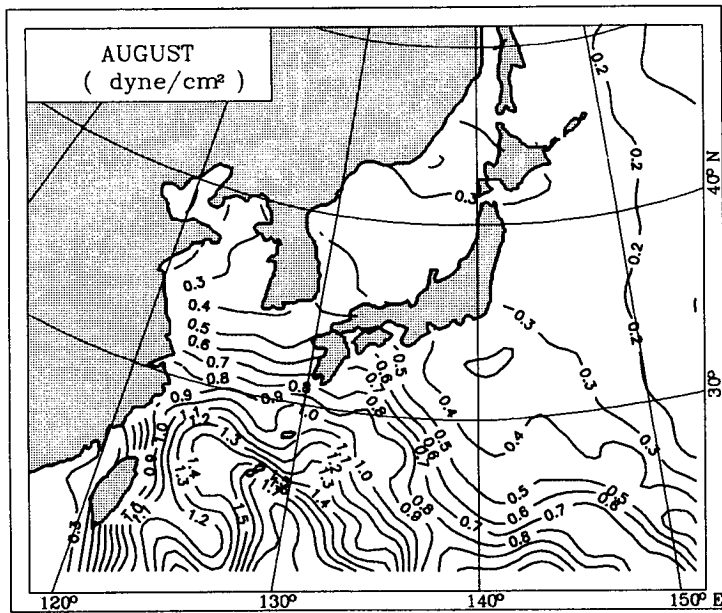
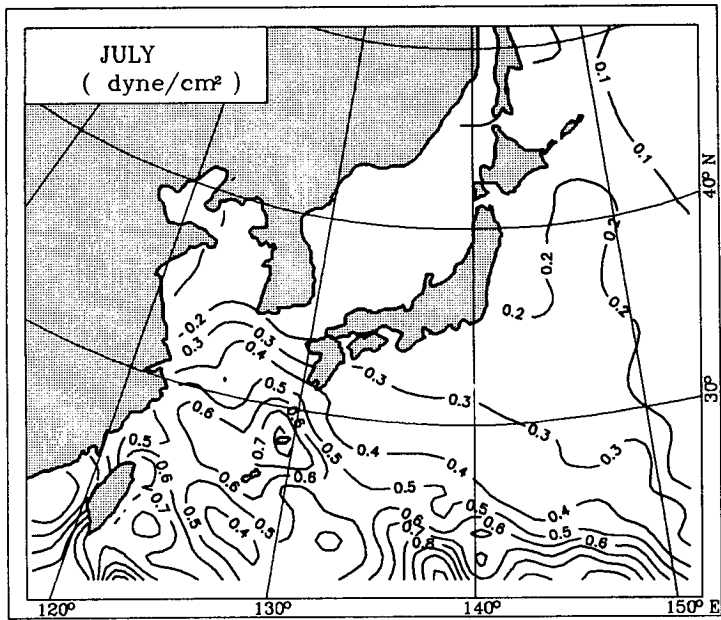


Fig. 4. (Continued)



**Fig. 4. (Continued)**

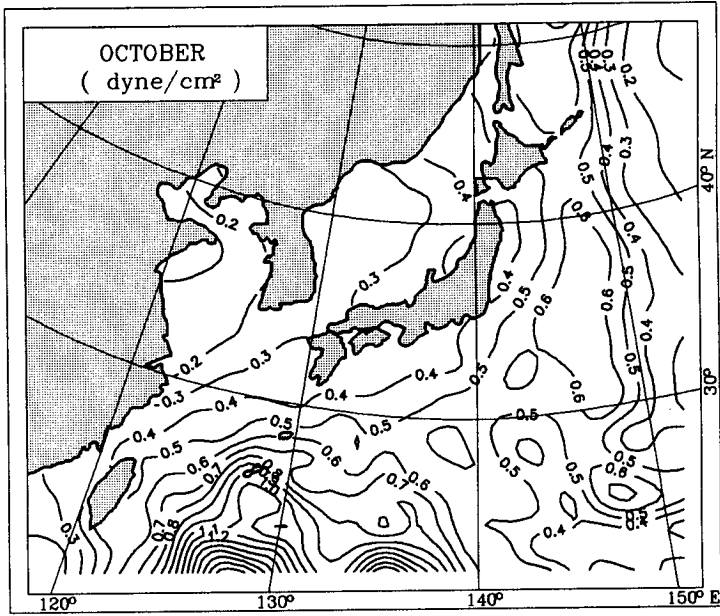
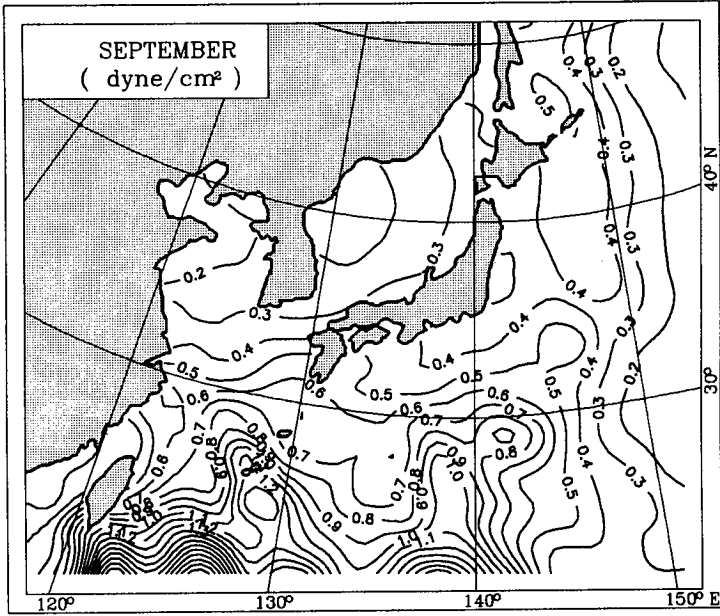


Fig. 4. (Continued)

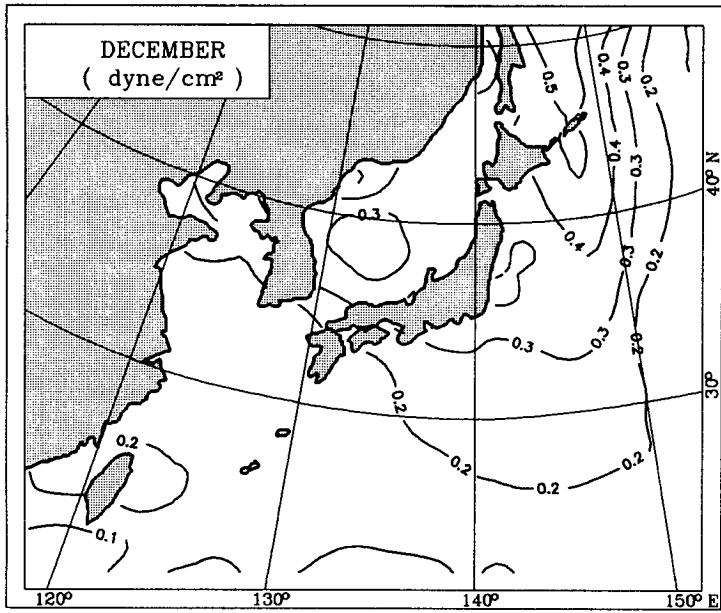
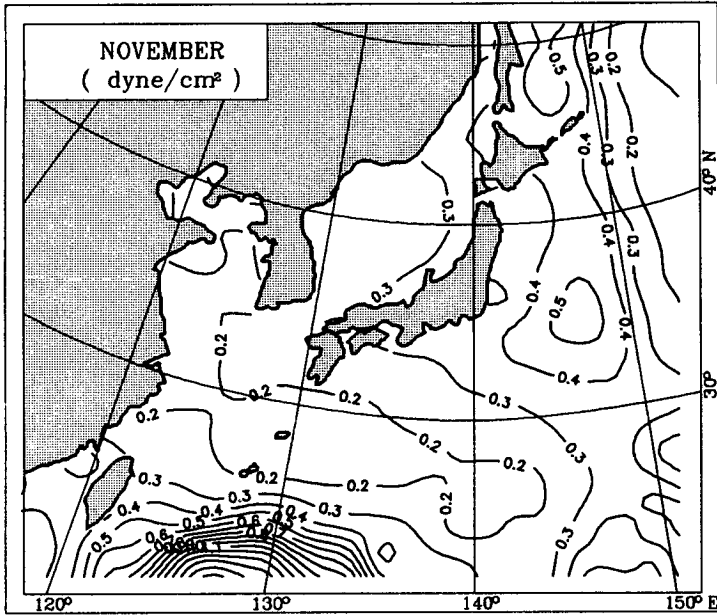


Fig. 4. (Continued)

### 제 3 절 wind stress curl의 공간분포

wind stress curl의 10년 장기 평균분포는 Fig. 5a 와 같다. Honshu 연안역을 제외한 동해 전해역과 일본 동부 연근해역에서는 양의 curl이, 그러나 황해 및 Kyushu 서부역을 제외한 동중국해 전역에서는 음의 curl이 나타나 상호 좋은 대조를 이룬다. 동해 북동해역과 원산만에서  $5 \times 10^{-9}$  dyne/cm<sup>3</sup> (이하  $10^{-9}$ dyne/cm<sup>3</sup>는 생략) 이상의 최대 평균치를 보인다. 또한 대만 남부해역에서도 2-7 정도의 큰 양의 값을 갖는다. 그러나 산둥반도와 양자강 하구역 사이 중국 동부연안역에서 약 -5의 curl의 최소치가 나타나며 황해와 동중국해에서 curl의 공간변화는 크지 않다. 표준편차 (Fig. 5b)는 전해역에서 10 이상으로 시간변동이 대단히 큼을 알 수 있다. 동해 및 황해에서는 편차가 15 이하로 비교적 낮으나 동중국해에서는 남으로 갈수록 편차가 커져 대만 동부해역에서 20 이상에 달한다.

wind stress curl의 월평균 분포 (Fig. 6)는 겨울철 몬순이 지배하는 11월부터 2월까지 같은 모양의 공간분포를 갖는다. 장기 평균분포에서와 같이 Honshu 연안역을 제외한 동해 전해역에서 curl이 양으로 나타나는데 황해와 Kyushu 서부역을 제외한 동중국해에서는 curl이 음의 값을 갖는다. 동해에서는 원산만과 동해 북동해역에서 curl이 10 이상으로 최대이나 Honshu 연안역에서 최소이다. 반면 황해 및 동중국해 중서부해역에서 curl의 등치선이 대체로 남-북방향에 평행하며 황해의 중국 연안역에서 -10 이하의 최소치 (음의 curl)가 나타난다. 3월에는 curl이 약해지기는 하나 공간분포는 겨울철과 비슷하다. 4월부터 6월까지는 한국 주변 전해역에서 크기가 작은 음의 curl이 나타나고 분포도 단순화된 양상을 보인다. 여름철 몬순이 탁월한 7월-9월에는 전해역에서 양의 curl이 우세하고 동해에서의 curl이 동중국해에 비해 약하다. 태풍 발생빈도가 높은 8월-9월에 curl이 동중국해 남부해역에서 최대로 전형적인 여름분포 형태를 가지나 10월부터 curl이 급격히 약해진다. 또한 4월-6월에 걸쳐 보인 과도기적 바람장의 분포가 가을에는 뚜렷하지

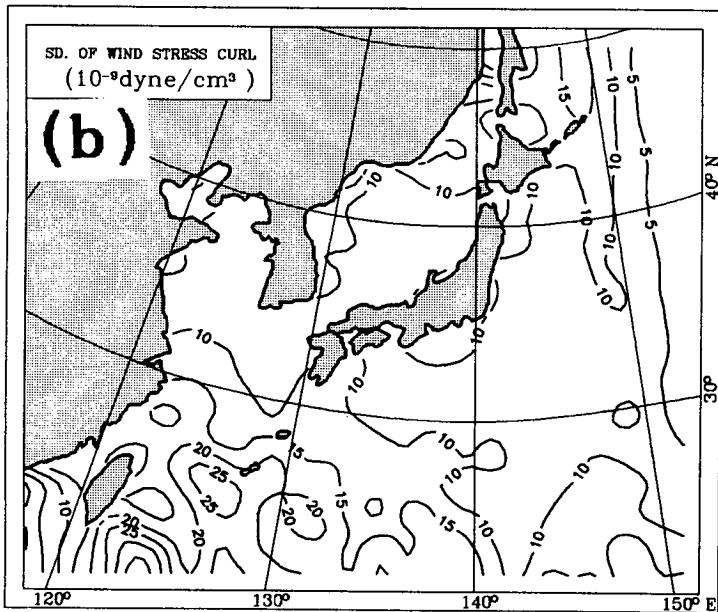
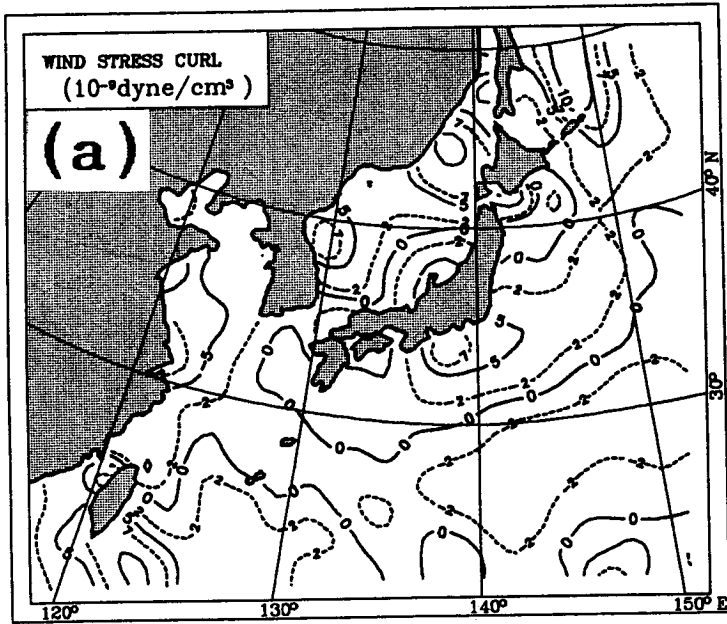


Fig. 5. Long-term mean of wind stress curl (a), and its standard deviation ( $10^{-9}$  dyne/cm<sup>2</sup>) (b), 1978-1987.

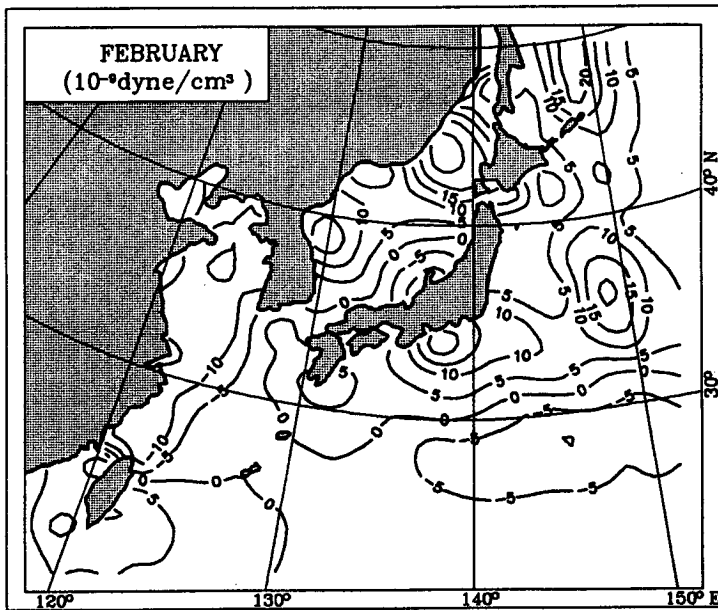
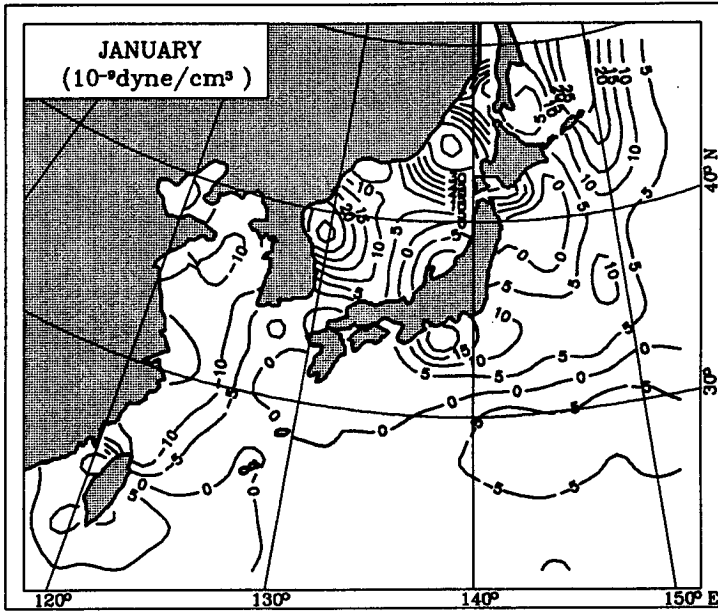


Fig. 6. Long-term monthly means of wind stress curl ( $10^{-9}$ dyne/cm<sup>2</sup>), 1978-1987.

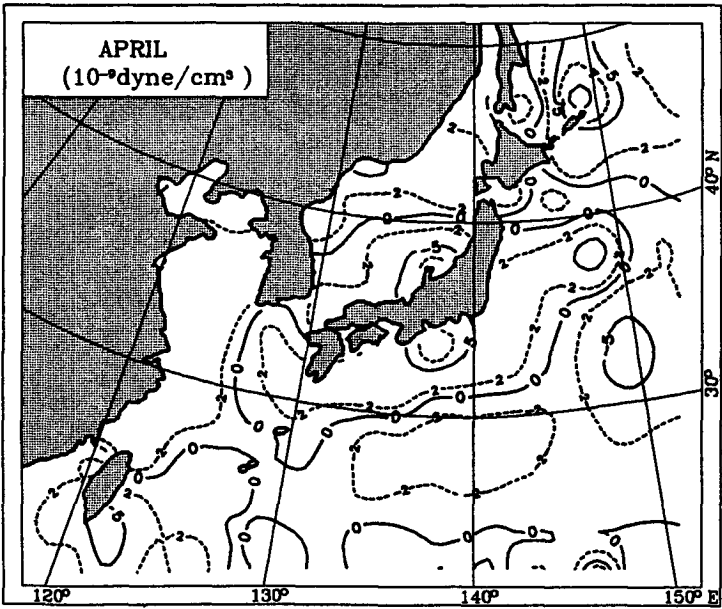
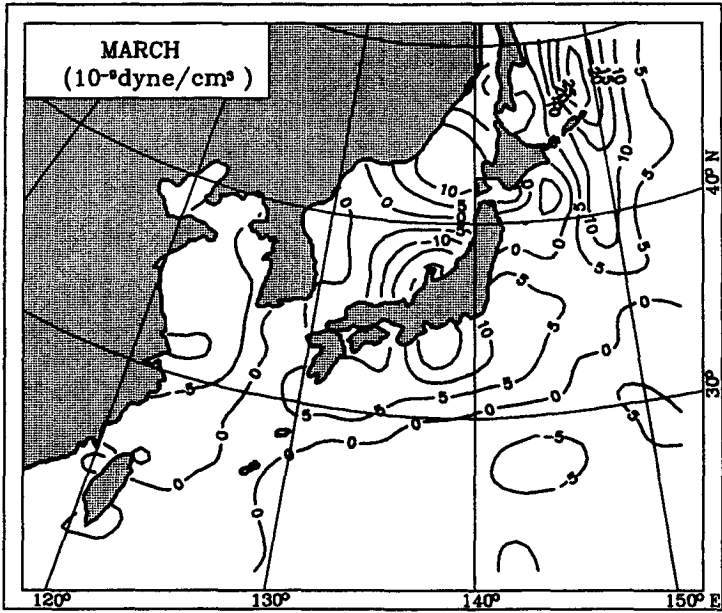


Fig. 6. (Continued)



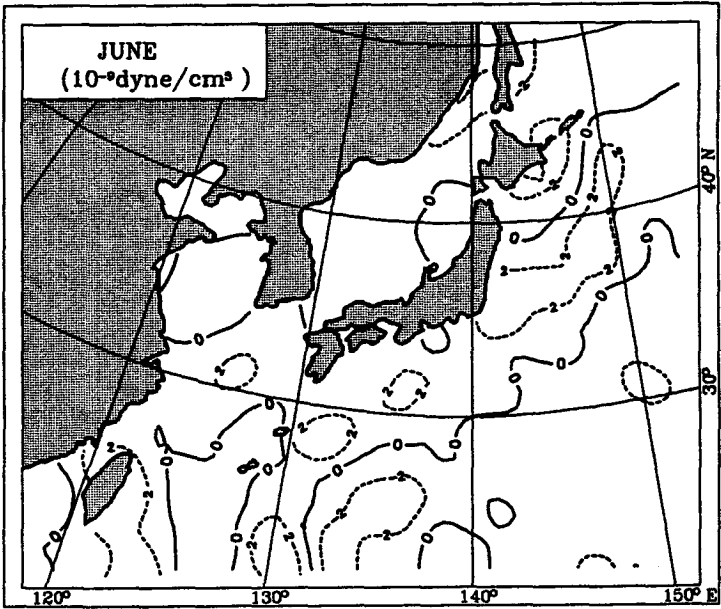
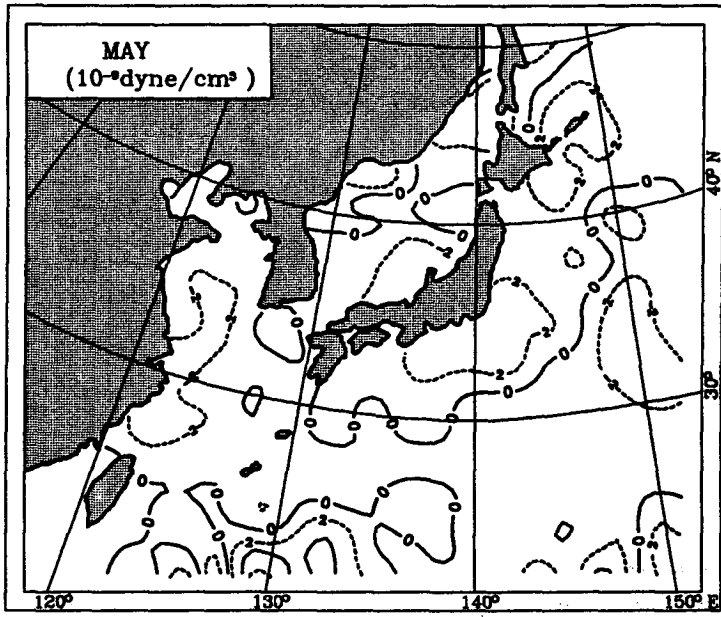


Fig. 6. (Continued)

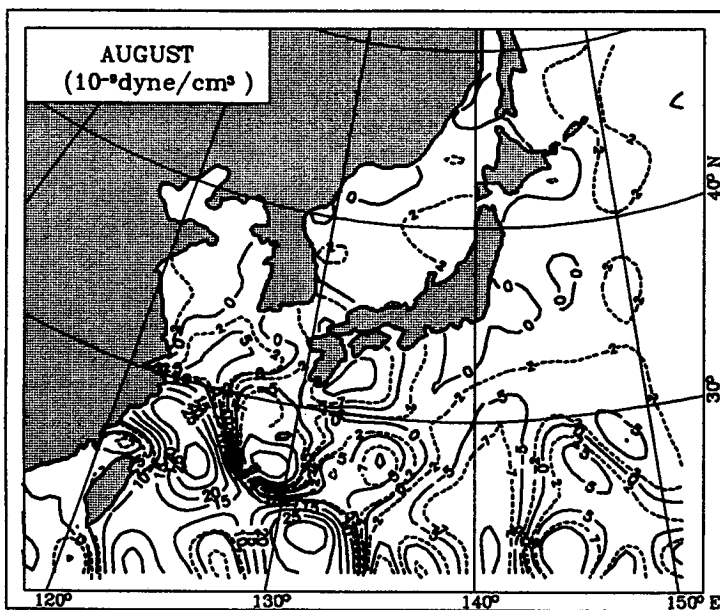
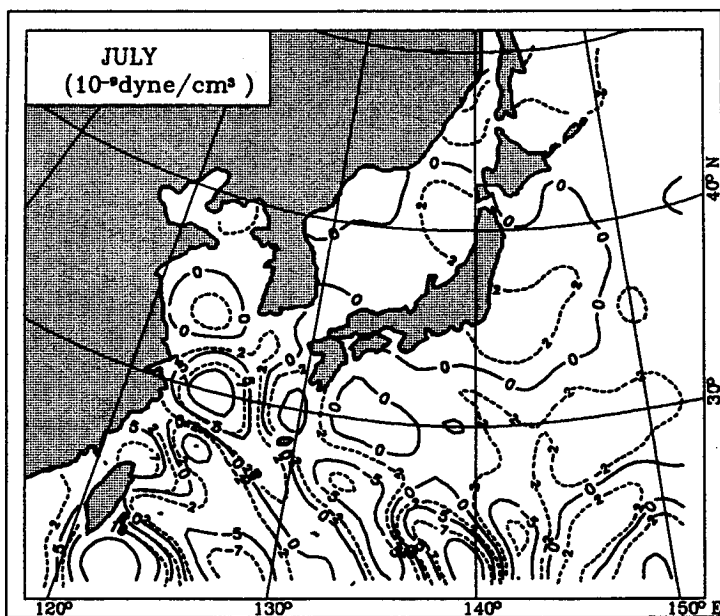


Fig. 6. (Continued)

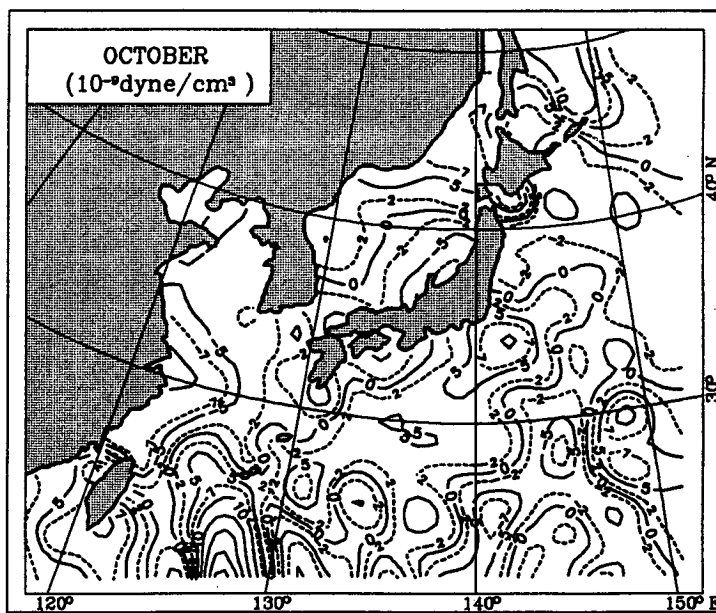
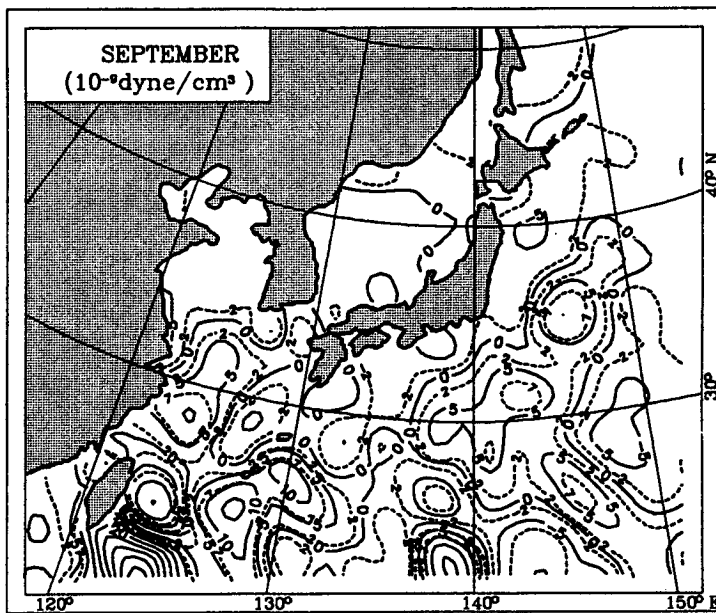


Fig. 6. (Continued)

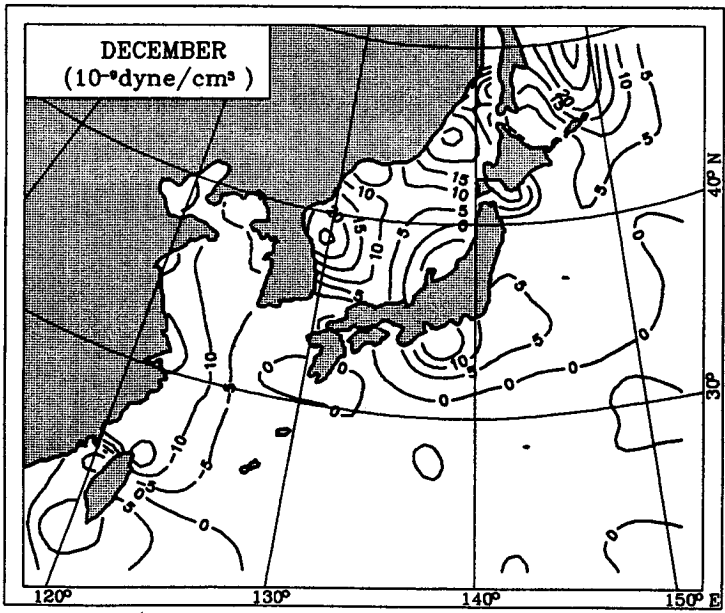
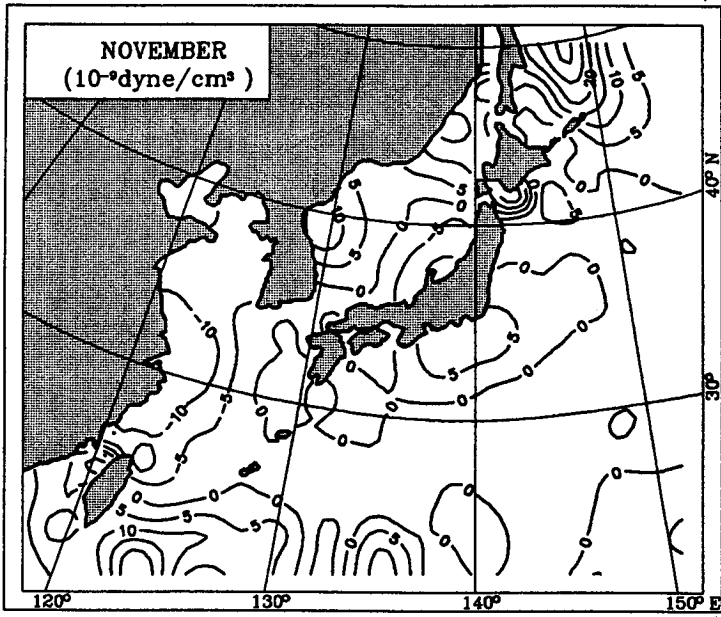


Fig. 6. (Continued)

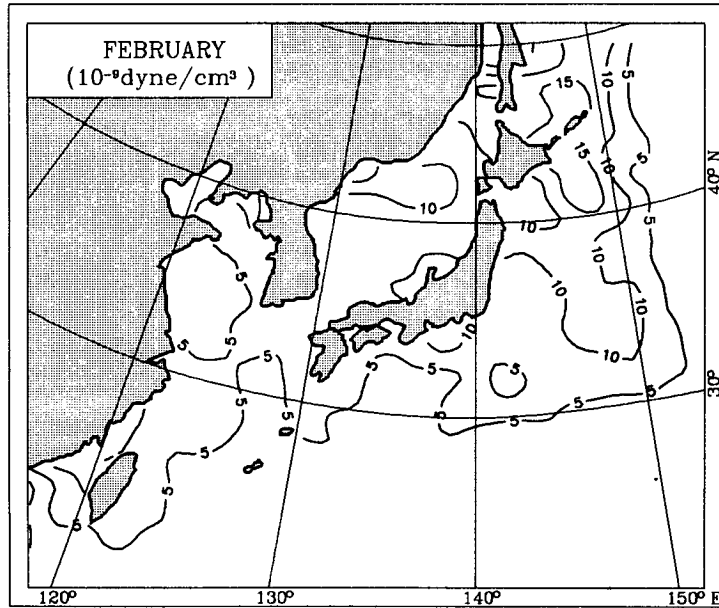
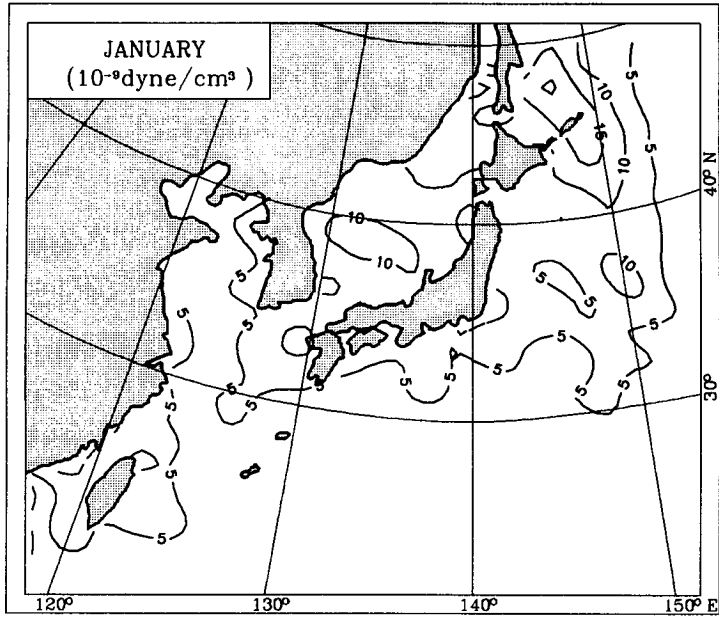
않다.

wind stress curl 월평균치의 표준편차는 (Fig. 7)는 curl의 절대치가 큰 해역에서 크다. 그러나 표준편차가 월평균 보다 2 배정도 큰 경우도 있어서 월별 curl 장이 심한 정년변화를 갖고 있음을 알 수 있다. 겨울철 (12월-3월)에는 동해와 흑가이도 동부해역에서 10 이상의 최대편차를 보이나 여름철 (7월-9월)에는 태풍의 영향권인 동중국해를 비롯한 아열대해역에서 20 이상의 최대편차를 보인다. 여름철 동중국해와 아열대해역에서 최대편차가 나타나는 것은 앞에서 지적한 바와 같이 매년 발생하는 태풍의 진로와 그 세력이 다르기 때문이다. 한편 태풍 발생빈도가 낮은 과도기에 해당하는 봄철에는 편차가 작고 한반도 주변 대부분해역에서 편차가 6 이하로 된다.

## 제 4 절 해상풍의 시간변화 특성

### 가. 동 해

동해를 남북으로 횡단하는 선상에 위치한 정점 E1에서 E4, 그리고 동서로 횡단하는 선상에 있는 정점 E5에서 E7에서 바람의 동서성분과 남북성분의 시간변화곡선은 Figs. 8과 9와 같다. 동서성분은 겨울철에 변화가 비교적 크고 여름철에는 작고 그 크기도 10 m/sec 이하이다. 동해 남부와 북부에 위치하는 E4, E6, E7에서 서풍이 우세하나 그의 정점에서는 계절성이 뚜렷하지는 않다. 반면 남북성분은 E7을 제외한 모든 점에서 뚜렷한 계절변화를 보인다. 겨울철에는 매우 강한 북풍이, 여름철에는 약하긴 하지만 남풍이 탁월하다. 북풍의 세기도 연해주 연안에 위치한 E1에서 최대이나 남으로 갈수록 약해지며 또한 서에서 동으로 갈수록 약해진다.



**Fig. 7. Standard deviation of monthly mean wind stress curl ( $10^{-9}$ dyne/cm<sup>3</sup>), 1978-1987.**

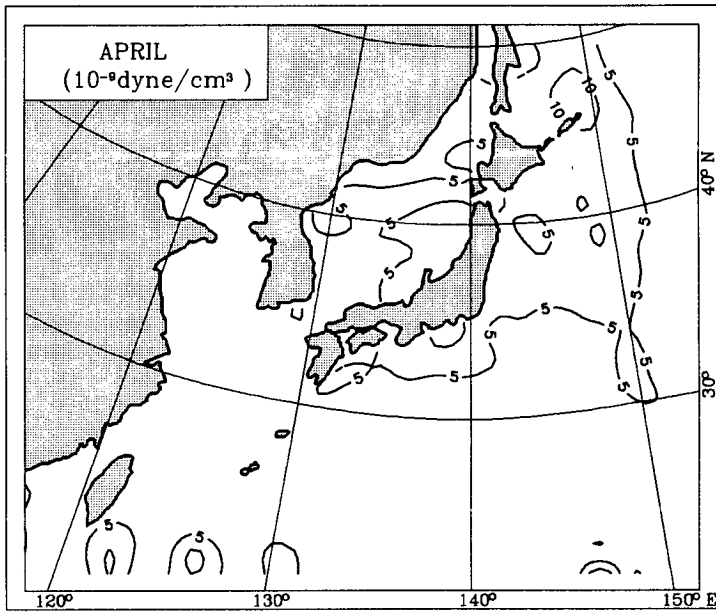
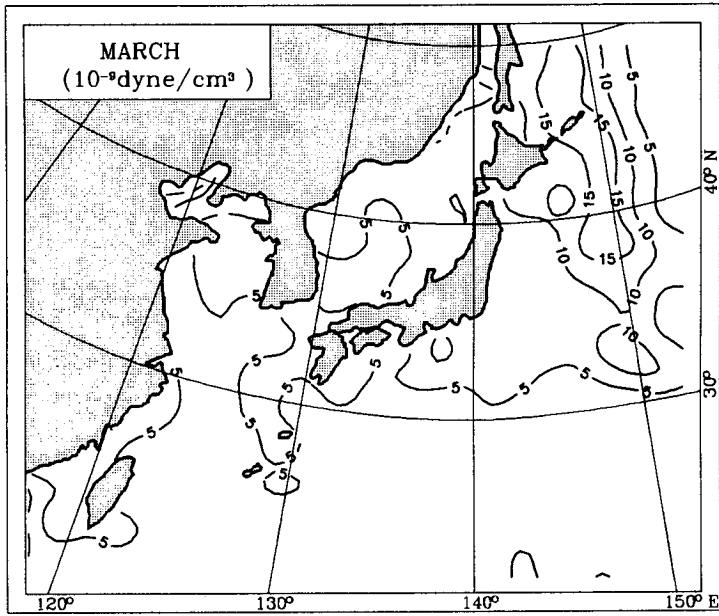


Fig. 7. (Continued)

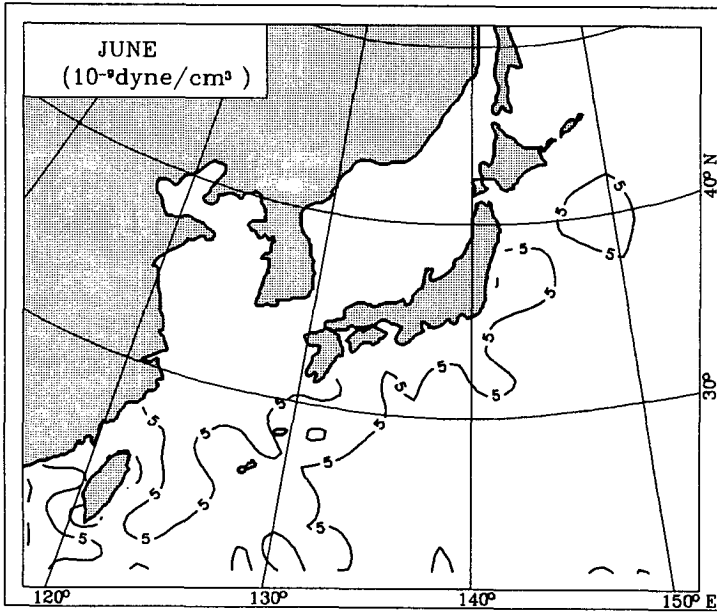
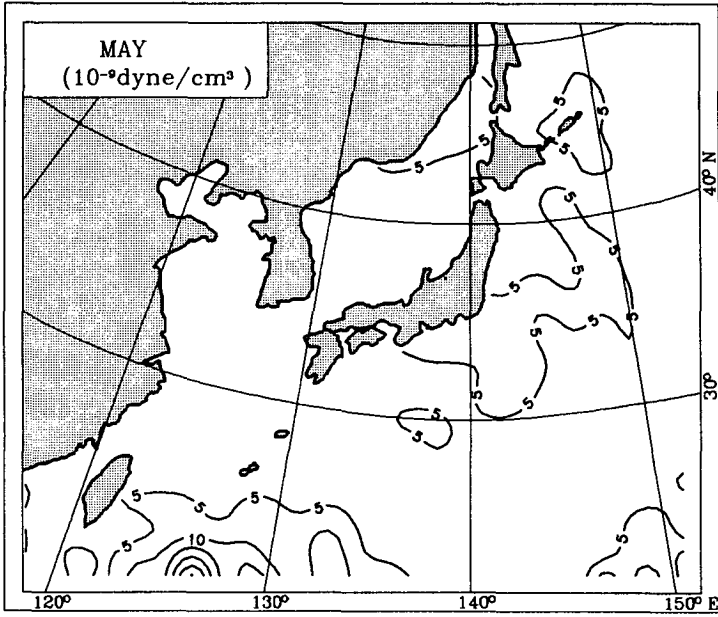


Fig. 7. (Continued)



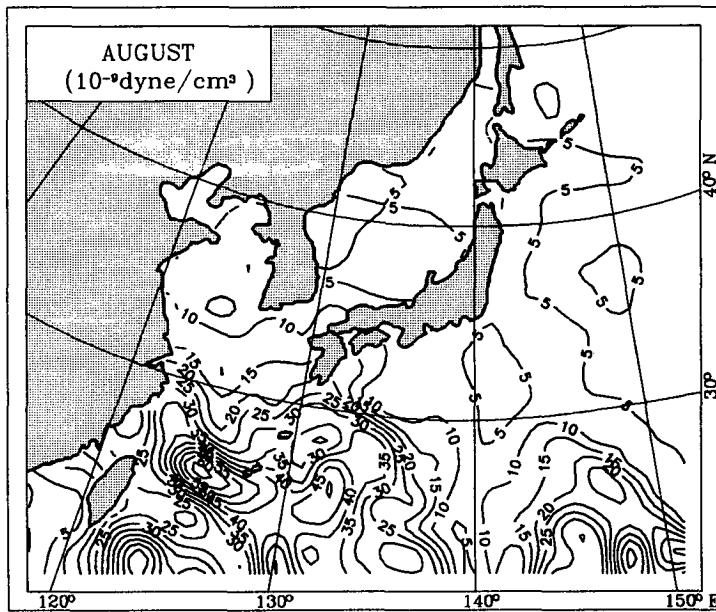
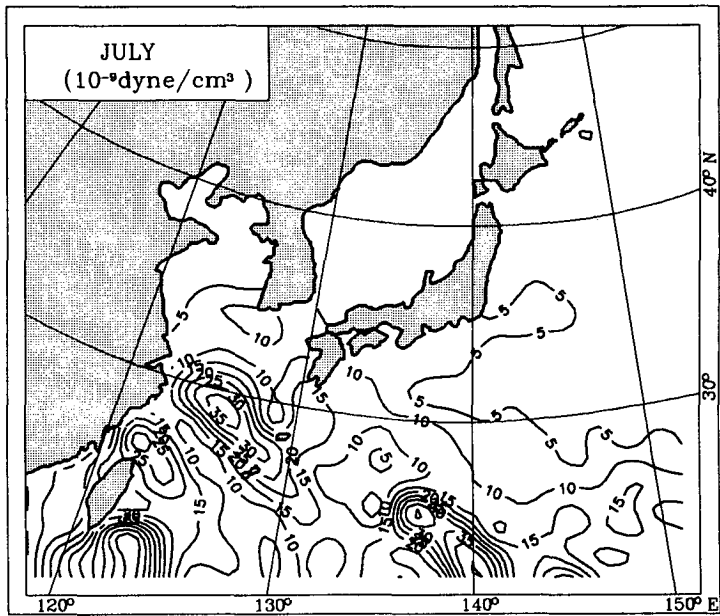


Fig. 7. (Continued)

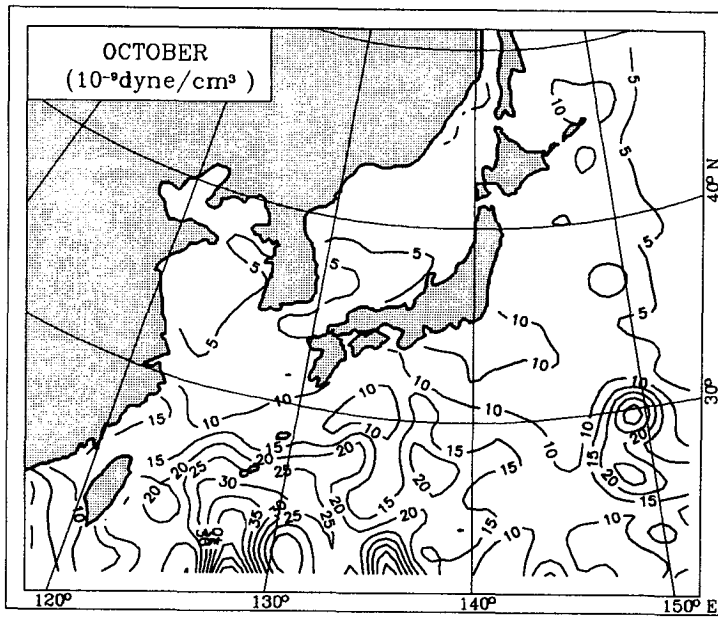
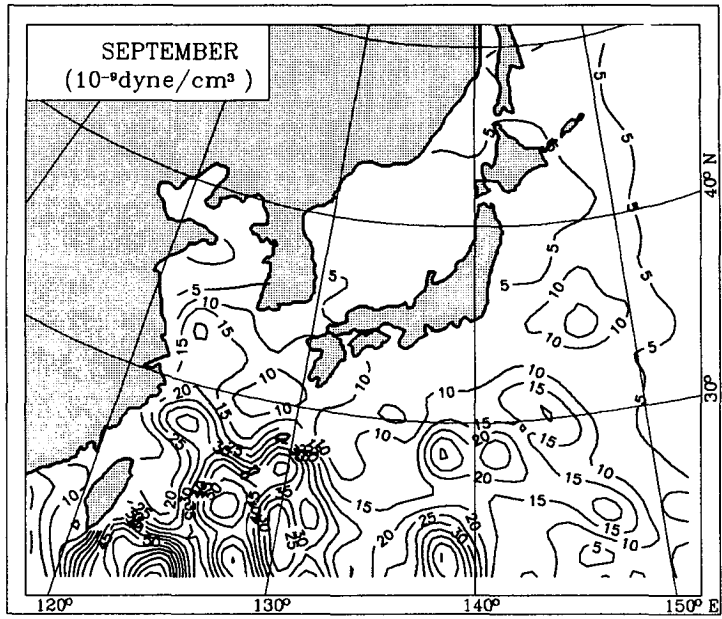
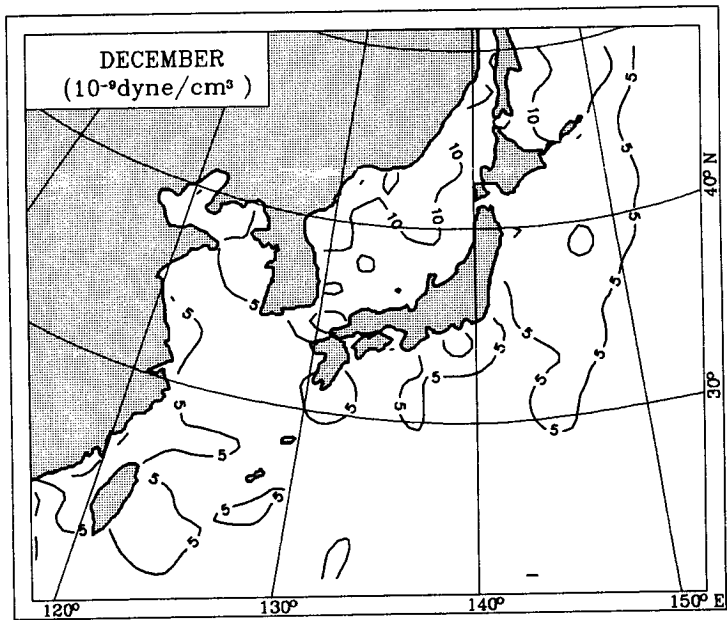
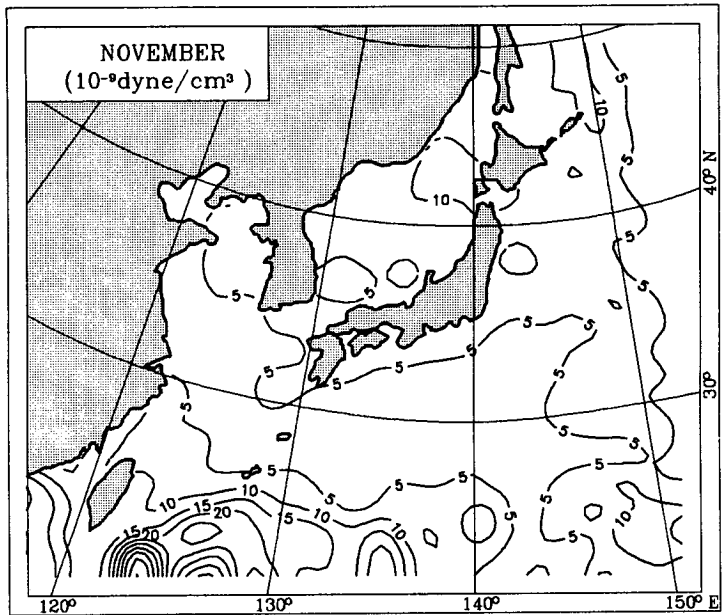


Fig. 7. (Continued)



**Fig. 7. (Continued)**

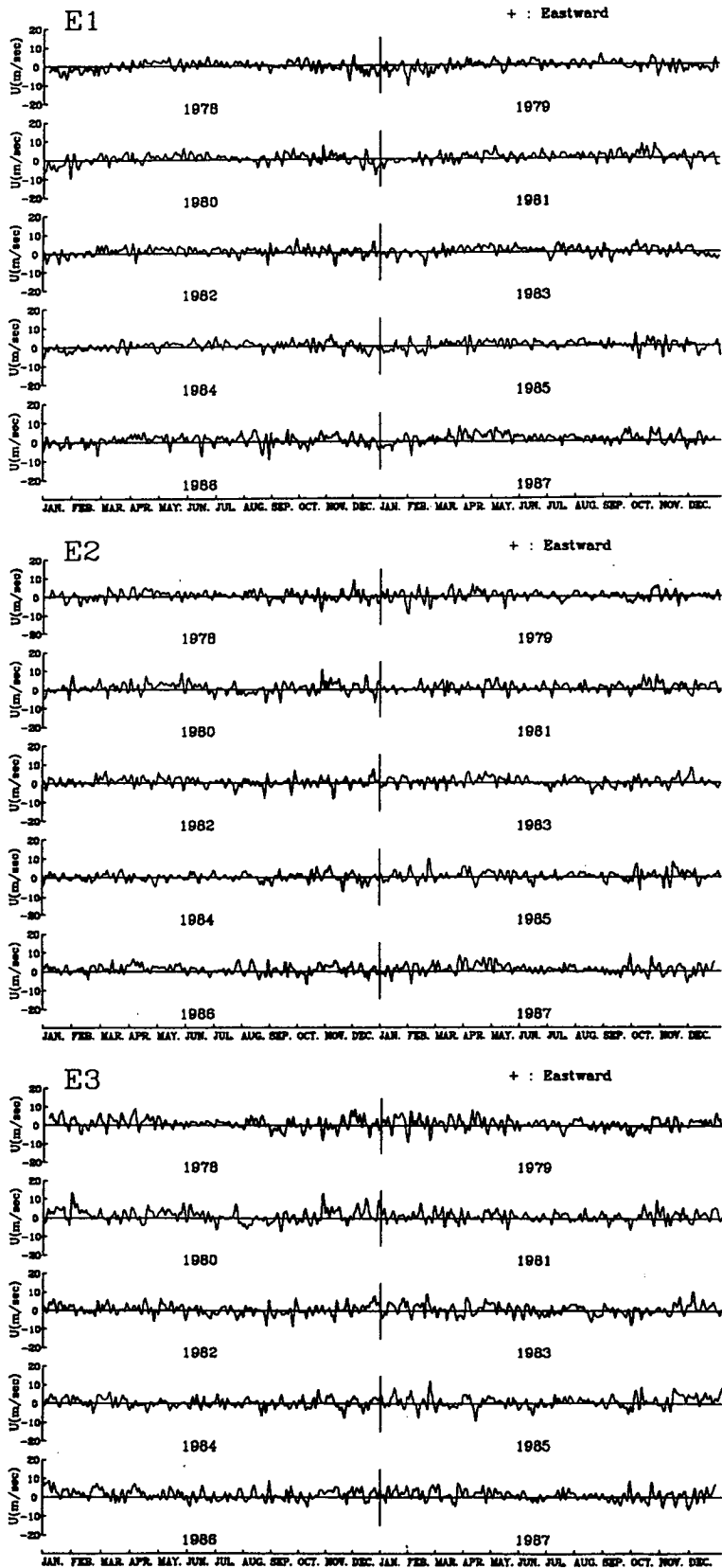


Fig. 8. Time series of u-component wind at selected grids in the East Sea.

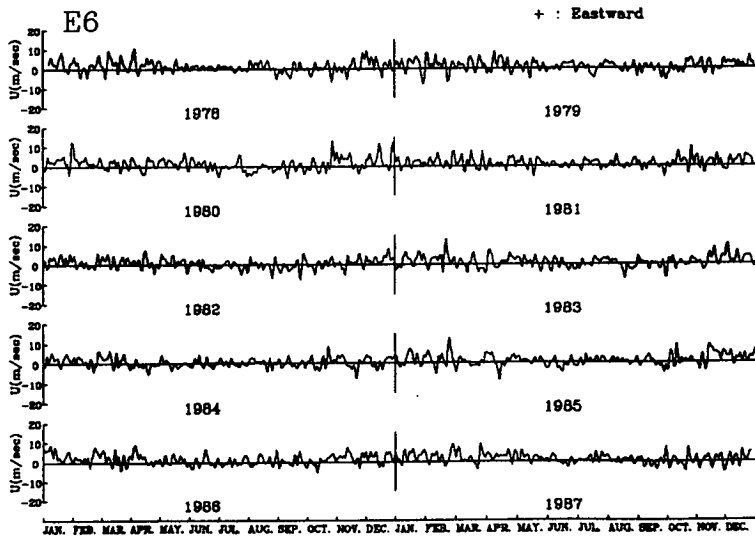
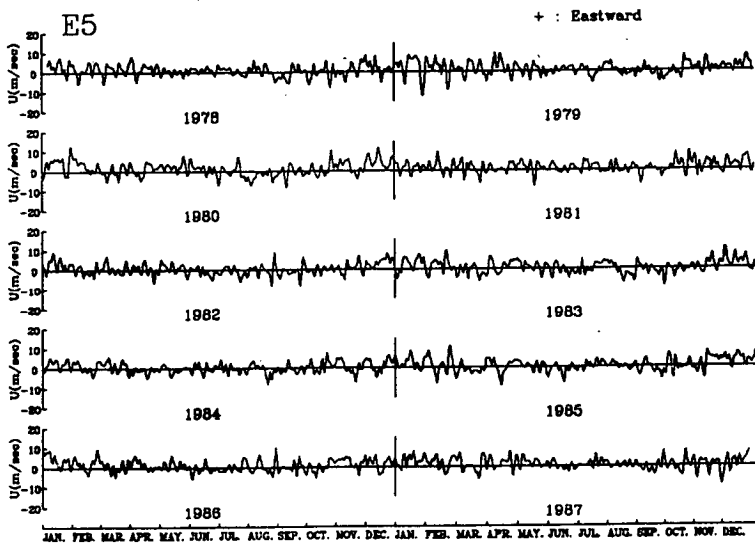
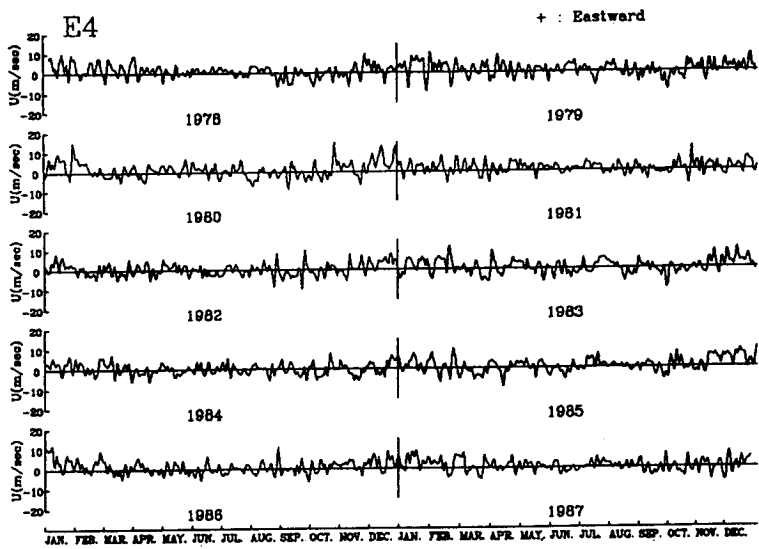


Fig. 8. (Continued)

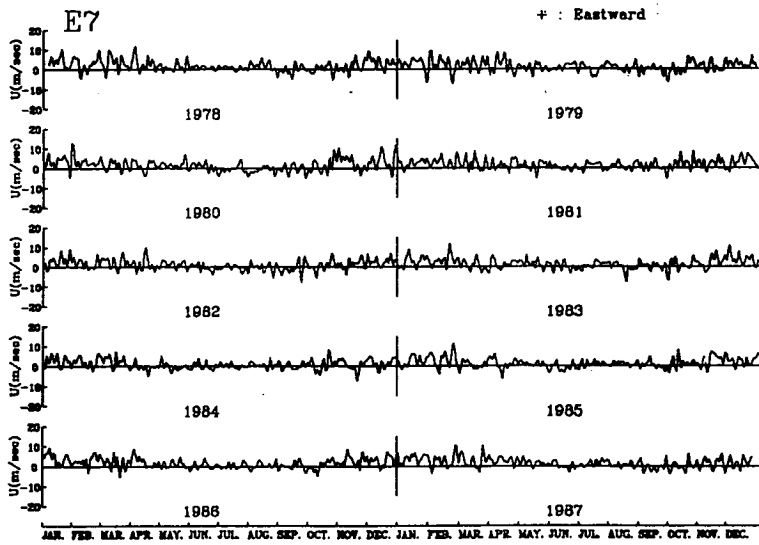


Fig. 8. (Continued)

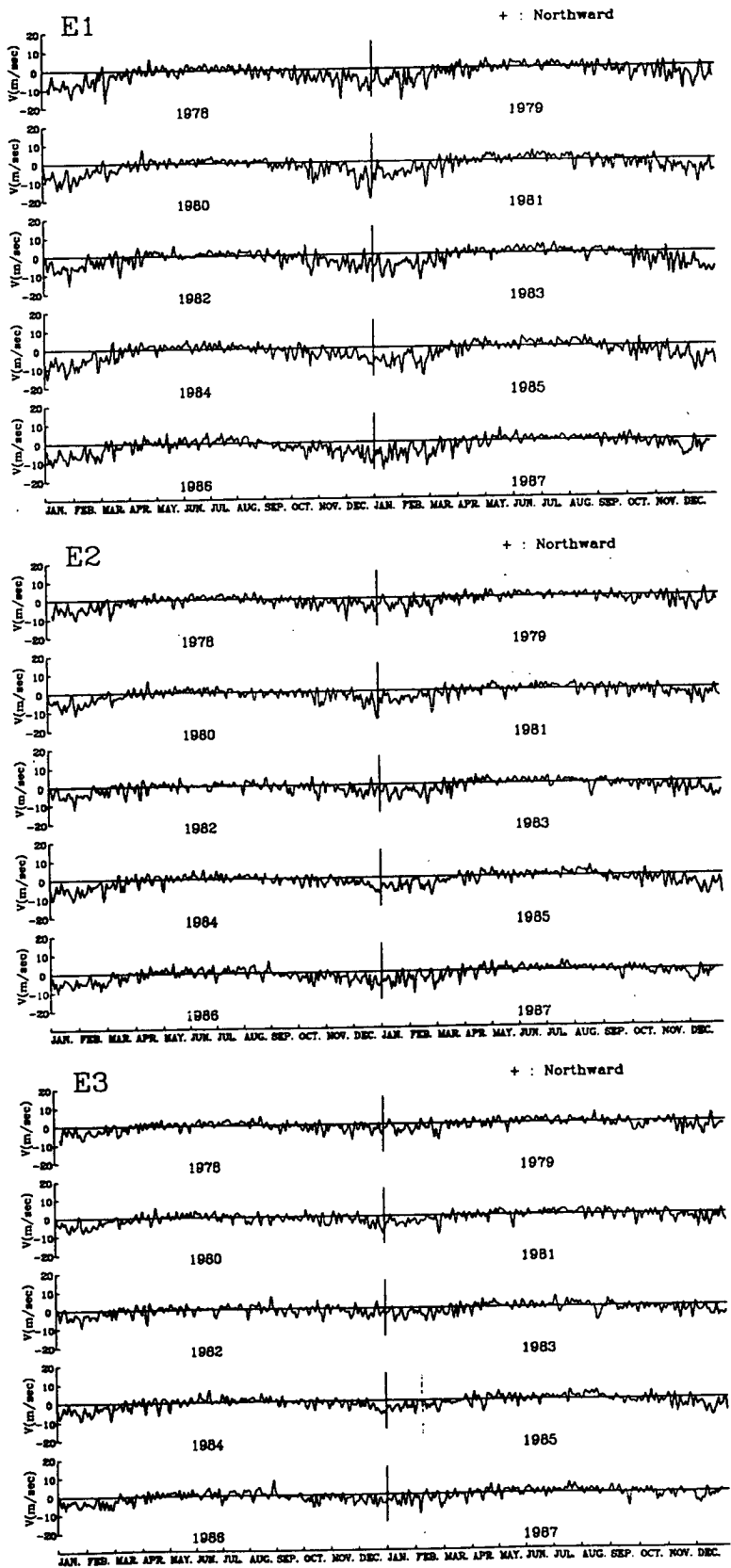


Fig. 9. Time series of v-component wind at selected grids in the East Sea.

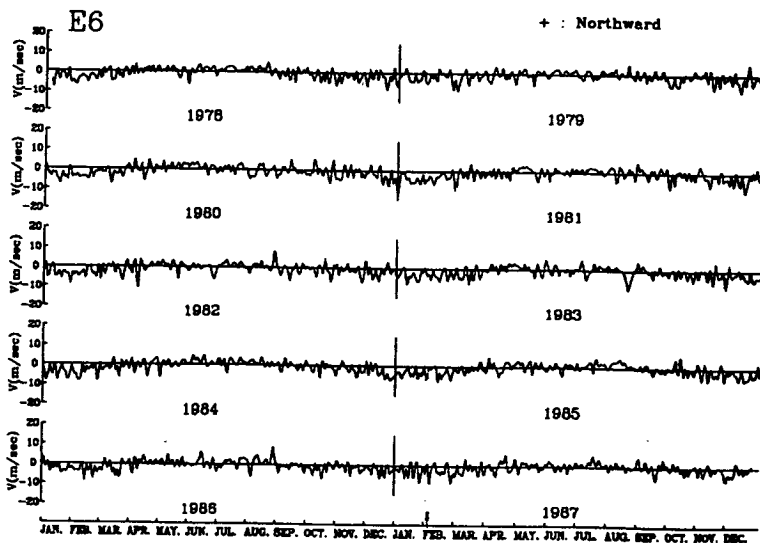
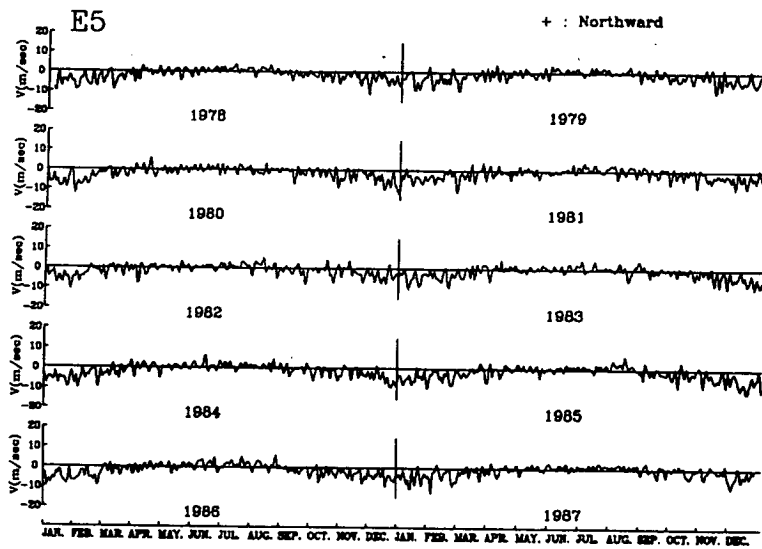
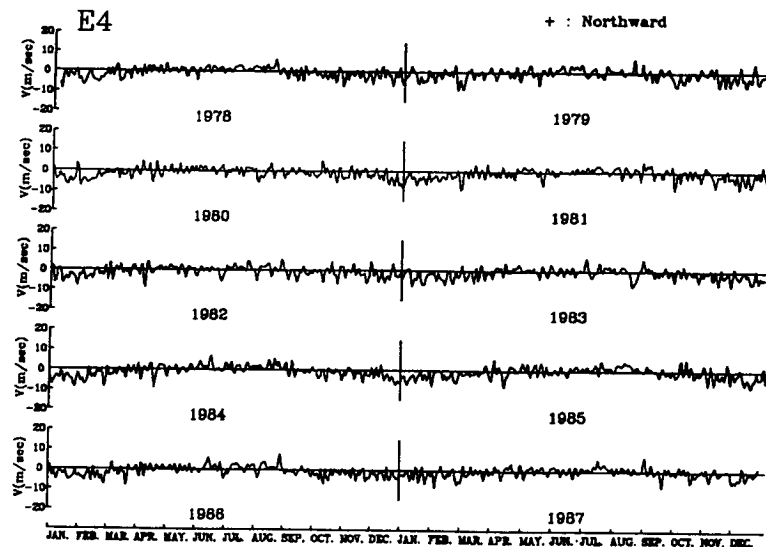


Fig. 9. (Continued)



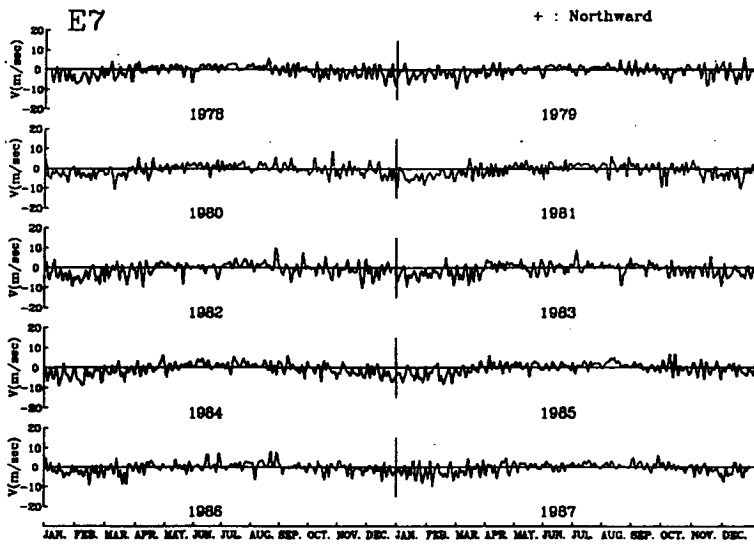


Fig. 9. (Continued)

## 나. 황해 및 동중국해

황해 및 동중국해를 남북으로 횡단하는 W1-W7, 황해를 동서방향으로 횡단하는 W8, W2, W9에서 바람의 시간곡선은 Fig. 10, 11과 같다. 동서성분을 보면 황해내부에 위치한 정점에서는 동해와 같이 겨울철에 변화폭이 약간 커지기는 하지만 대부분 그 크기가 10 m/sec 이하이다. 그러나 황해남부에 위치한 W3 부터 여름철에 pulse 형의 급격한 변화를 보인다. 이는 열대성 저기압이 통과할 때 발생된 것이다. W5-W7에서는 겨울철에 동풍이 탁월하게 나타난다. 남북성분의 경우 W7을 제외한 모든 점에서 겨울에는 북풍이 여름에는 남풍이 우세하다. 그러나 황해 중부와 북부해역에서는 오히려 북풍이 황해남부와 동중국해보다 약한 것으로 나타나고 있다. 특기할 만한 사항은 황해서부 (중국연안)에 위치한 W8과 동부인 한국연안 정점 W9에서 남북성분의 시간변화는 매우 상이하다. W8에서는 바람도 약하고 변화도 매우 작으나 W9에서는 강하고 변화도 크다.

## 제 5 절 해상풍의 스펙트럼 분석

바람의 시간변화를 정량적으로 분석하기 위하여 스펙트럼을 계산하였다. piece-average 방법 (Gonella, 1972 ; 이 등, 1983) 으로 스펙트럼을 구하였는데 piece의 길이는 3년, 즉 1095개의 일자료가 포함되도록 하였으며 자유도 (degree of freedom)를 증가시키기 위해 중첩 (overlapping) 방법을 선택하였다. 스펙트럼 밀도는 FFT로 계산하였으며 주파수대에 따라 window의 갯수를 조정하였으며 신뢰구간을 스펙트럼에 표시하였다.

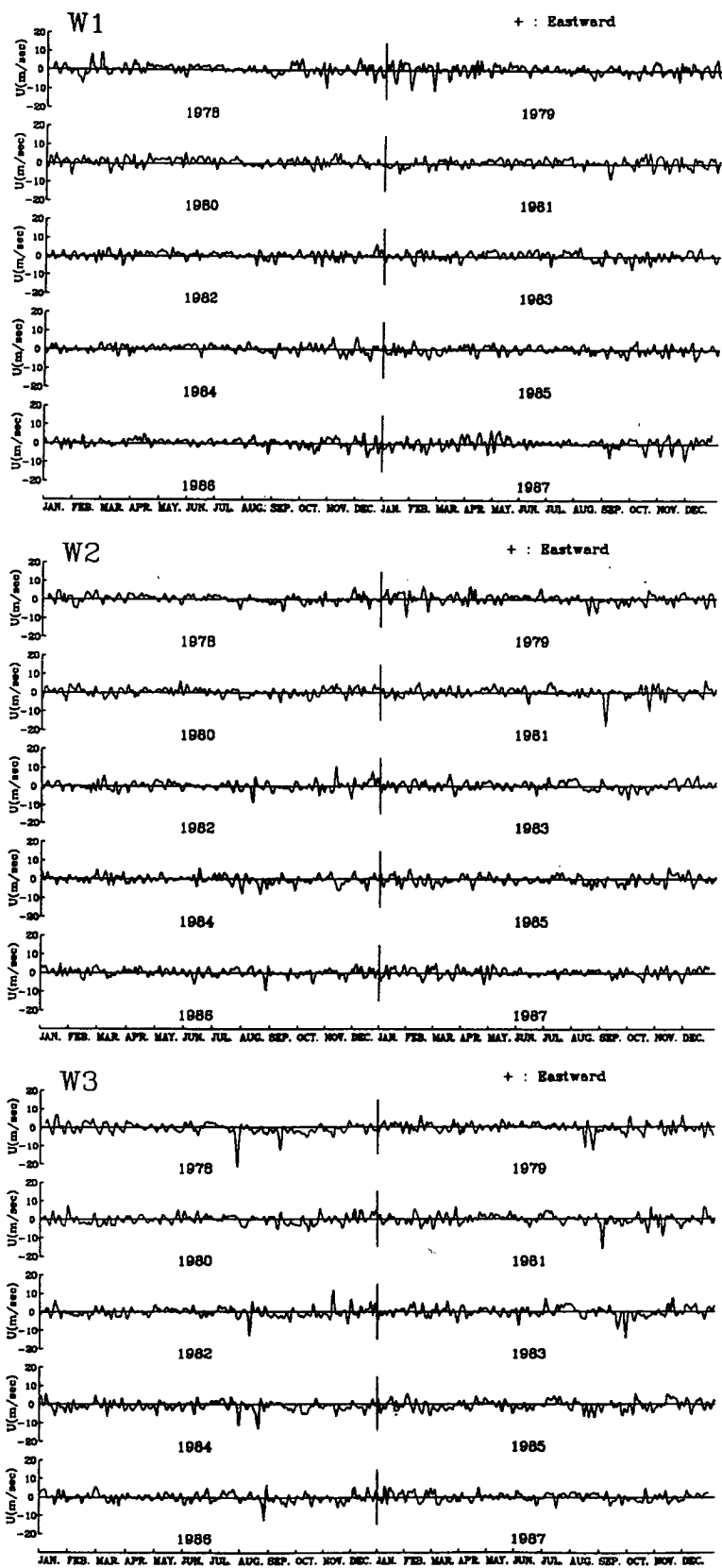


Fig. 10. Time series of u-component wind at selected grids in the Yellow Sea and the East China Sea.

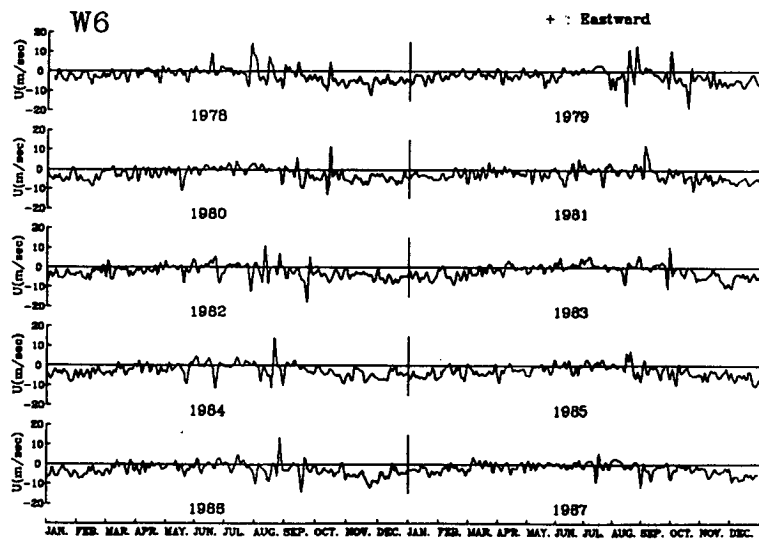
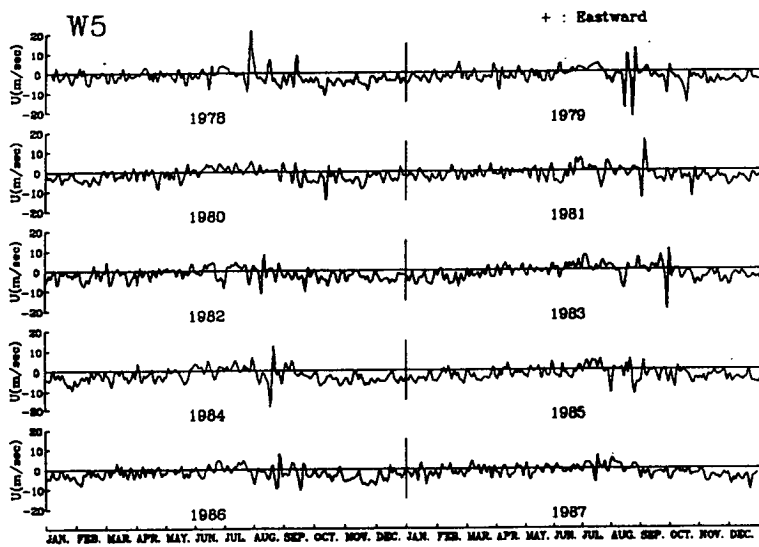
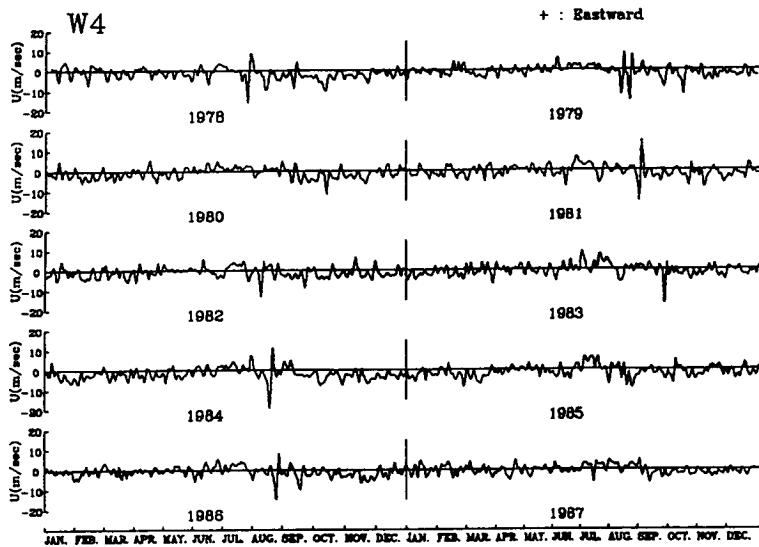


Fig. 10. (Continued)

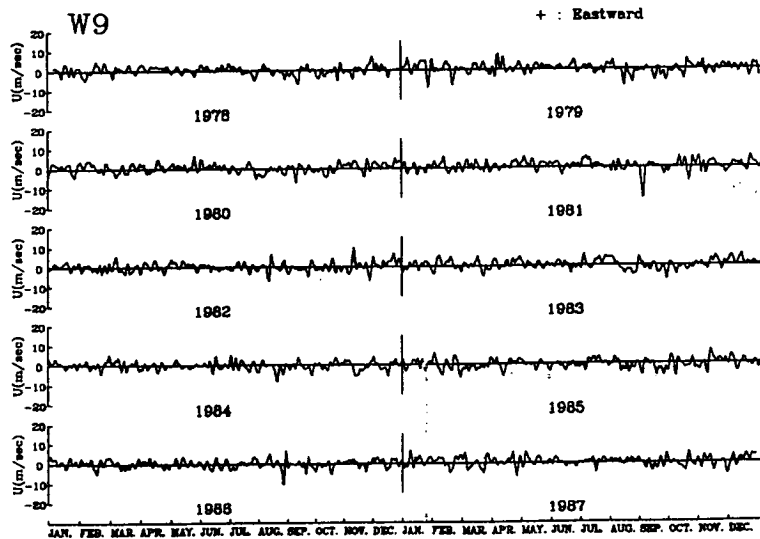
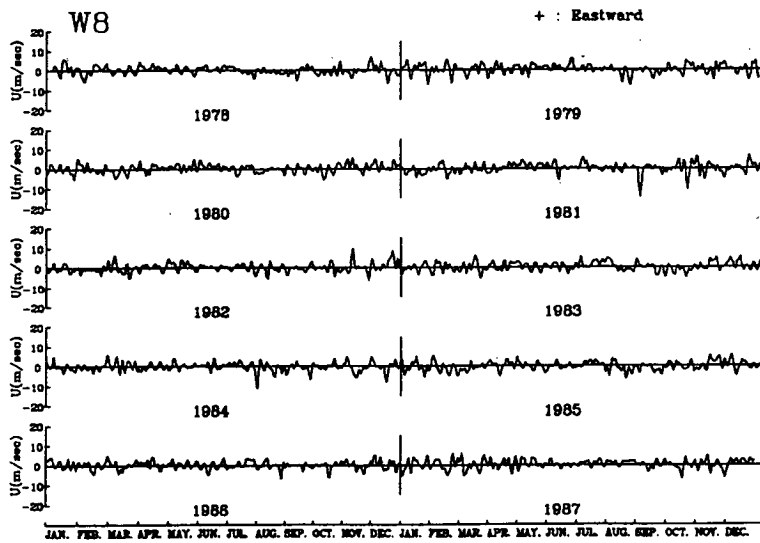
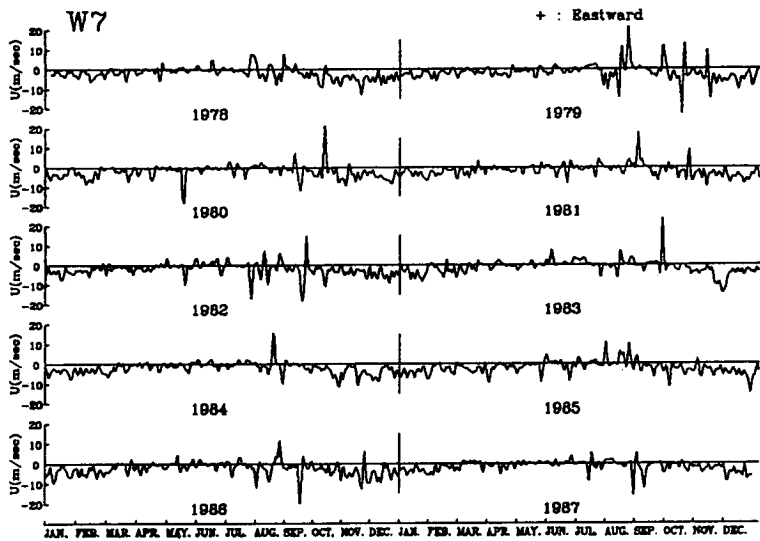


Fig. 10. (Continued)

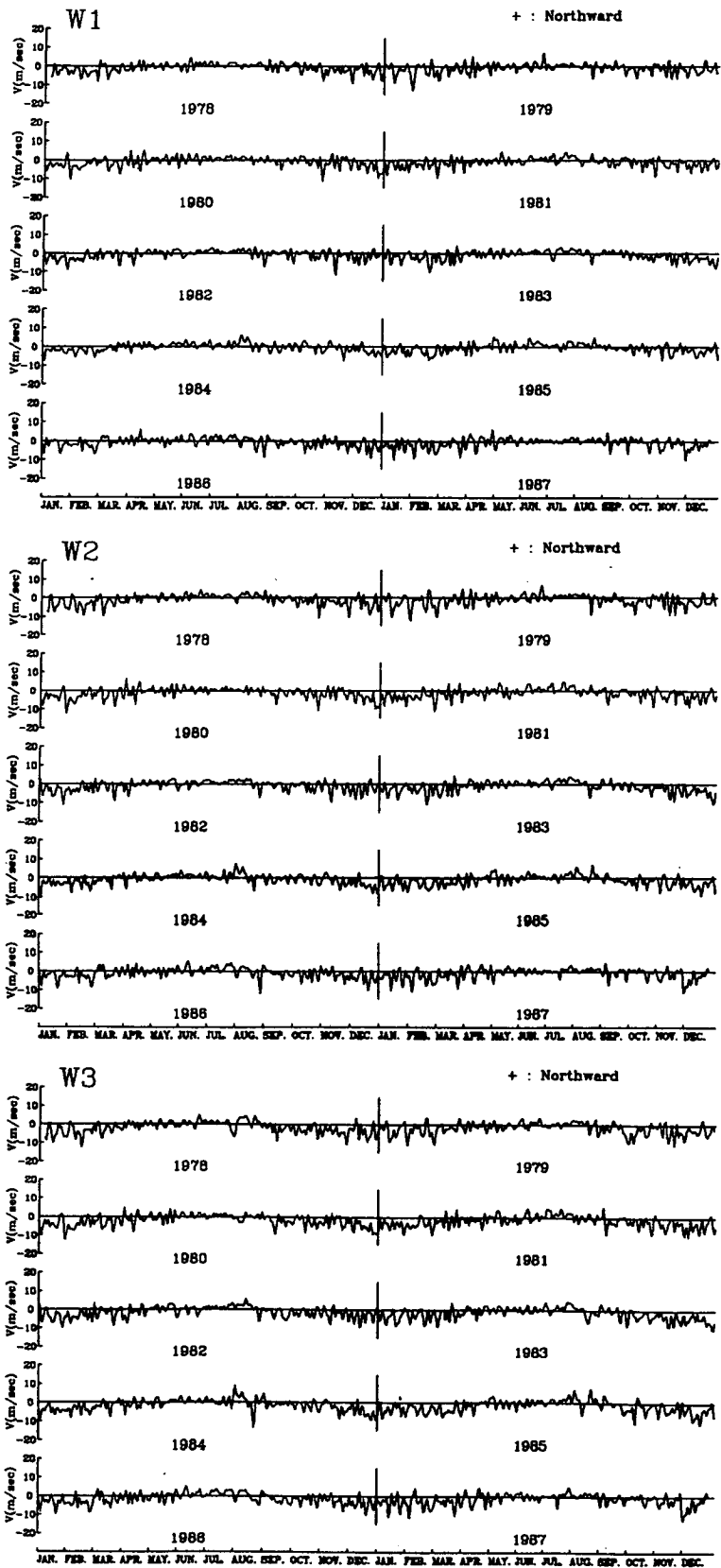


Fig. 11. Time series of v-component wind at selected grids in the Yellow Sea and the East China Sea.

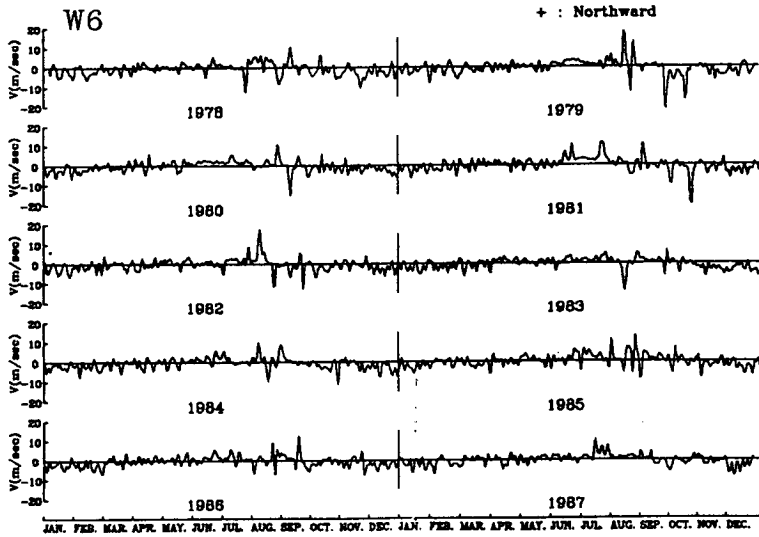
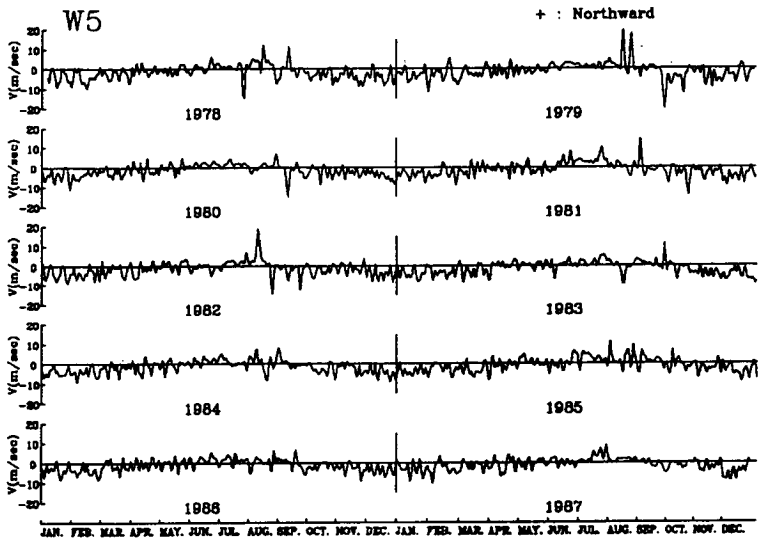
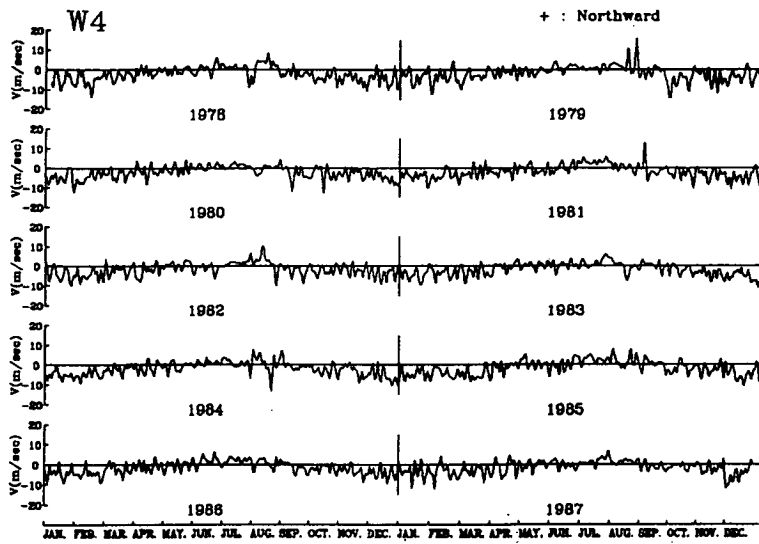


Fig. 11. (Continued)

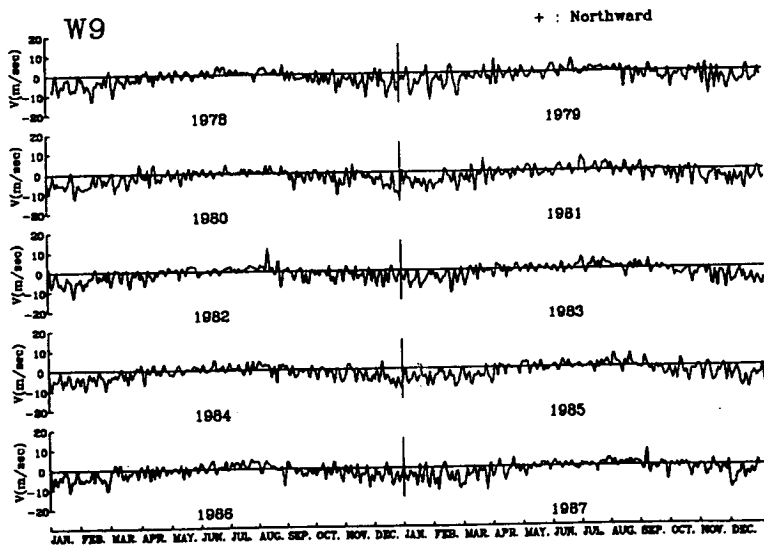
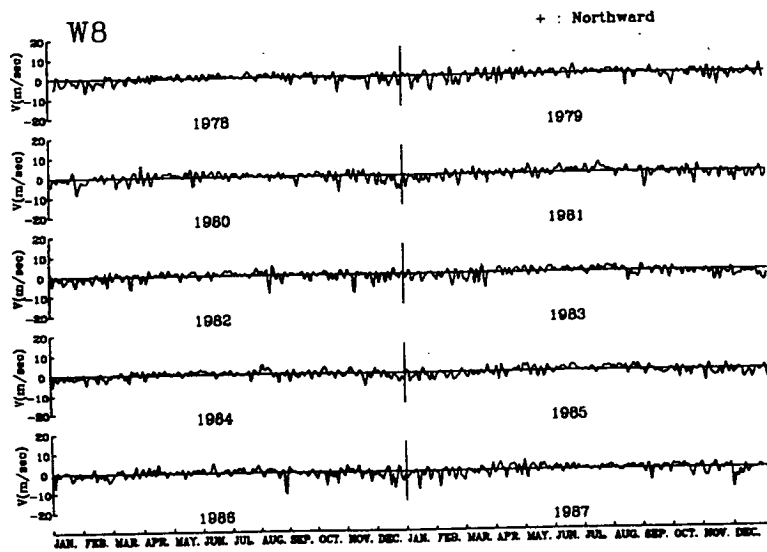
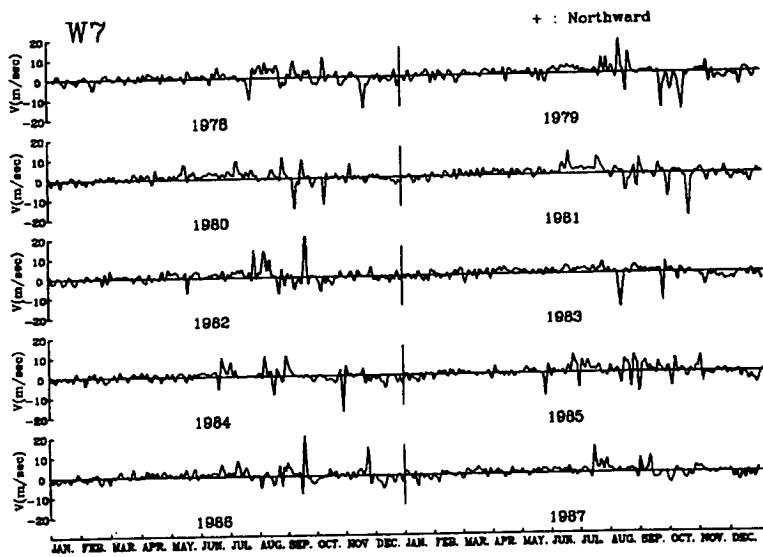


Fig. 11. (Continued)



## 가. 동 해

Fig. 12는 동해의 대표정점에서 바람의 스펙트럼이다. 모든 정점에서 신뢰구간보다 큰 의미있는 스펙트럼 피크가 나타나는 주기는 1년과 6개월이다. 남북성분의 스펙트럼 에너지는 1년 주기 (1cpy)에 집중되어 있으며 6개월 주기 (2cpy)의 피크는 90% 신뢰구간을 넘지 못하고 있다. 반면에 동서성분의 경우 1년과 6개월 주기의 피크가 E6과 E7을 제외한 모든 점에서 뚜렷하게 나타난다. 1년 주기에서는 남북성분의 스펙트럼 에너지가 동서성분 보다 크지만 정점 E3, E4, E5에서 6개월 주기의 동서성분의 스펙트럼 에너지가 오히려 남북성분 보다 크다.

또한 1 cpy에서 v성분의 스펙트럼 에너지가 E1에서 약  $3.5 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}^2/\text{cpd}$  (이하  $\text{m}^2/\text{s}^2/\text{cpd}$  생략) 으로 최대이나 남으로 갈수록 감소한다. u의 경우 1cpy의 에너지가 정점 E2를 제외하고  $3-5 \times 10^2$  정도다. 그러나 2 cpy에서 u 에너지가 연안 정점인 E1, E4, E5에서 크고 다른 점에서는 1 cpy에 비해 대단히 작는데 그 원인에 대해 보다 면밀한 검토가 필요하다.

## 나. 황해 및 동중국해

Fig. 13은 황해와 동중국해의 대표정점에서 스펙트럼이다. v 스펙트럼은 동해에서와 같이 1 cpy에 에너지가 집중되어 있다. 그러나 최대에너지는 최북단 정점인 W1이 아니라 동중국해 정점인 W4 혹은 W5에서 나타난다. 황해 서부(정점 W8)과 동부(정점 W9)의 스펙트럼을 비교하면 W9에서의 에너지가 8-9배 정도 커서 황해 동부해역에서의 바람이 서부해역보다 대단히 강하다는 것을 알 수 있다. u 스펙트럼은 황해 내부에서는 1과 2 cpy에서 두개의 피크를 보이나 동중국해에서는 2 cpy 피크가 1 cpy 피크에 비해 대단히 작다. 특히 황해에서 2 cpy의 피크가 1 cpy 보다 크다는 것은 주목할 만하다.

스펙트럼 에너지 수준을 보면 v의 경우 정점 W8을 제외하고 황해 및 동중국해에서 약  $10^3$ 의 높은 값을 보인다. v의 에너지가 황해에서는 u 보다 훨씬

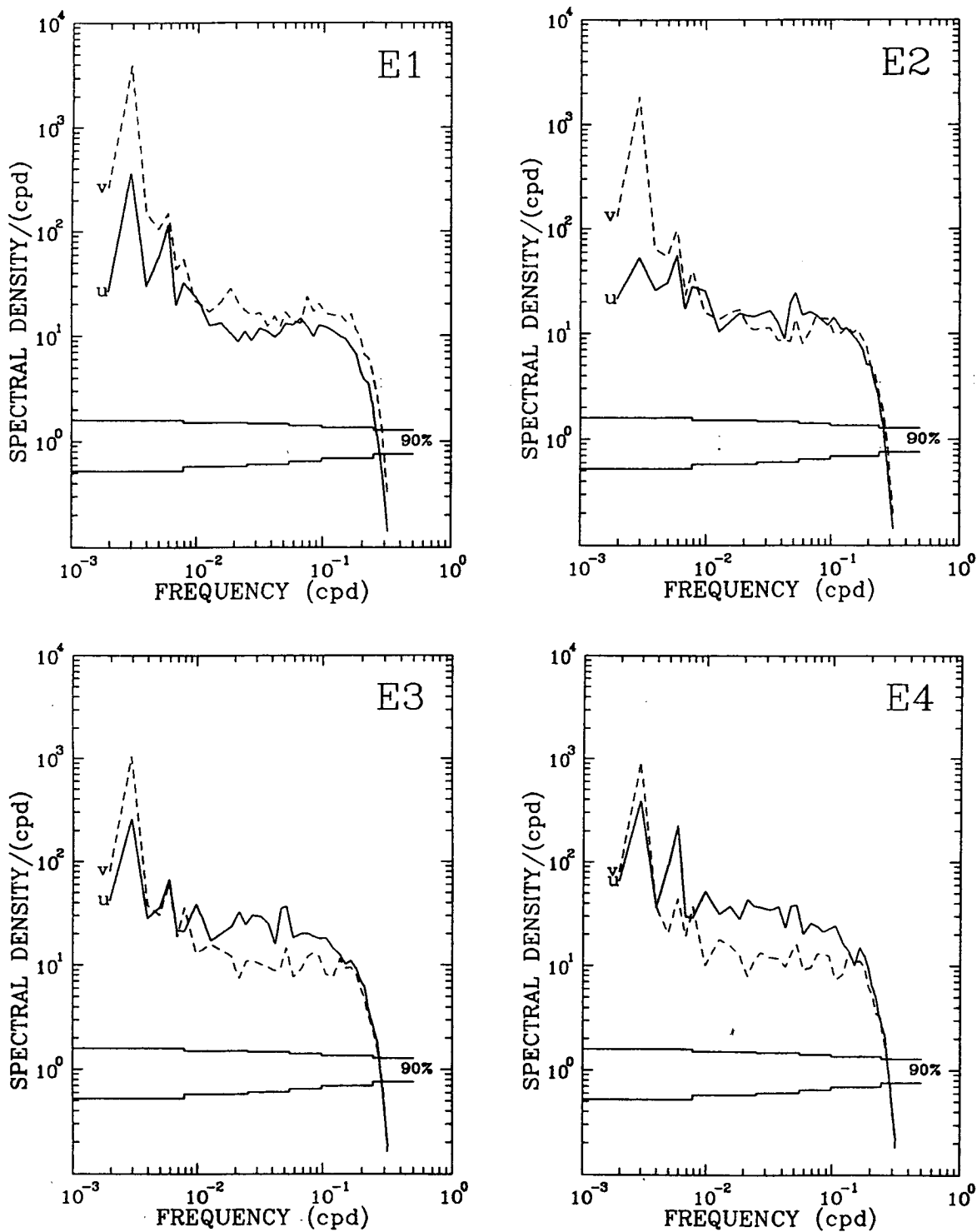


Fig. 12. Spectra of wind components at selected grids in the East Sea.

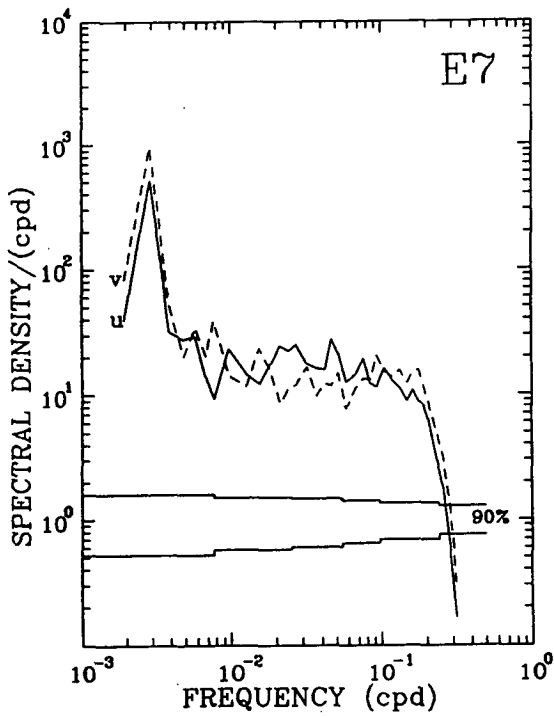
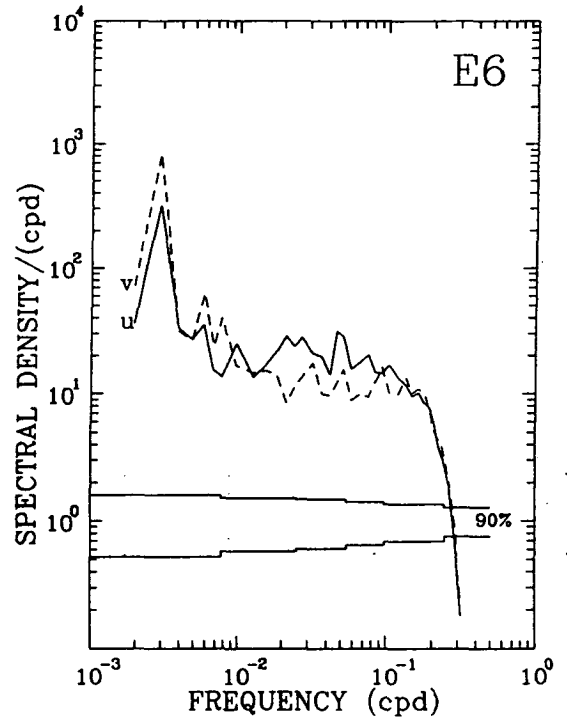
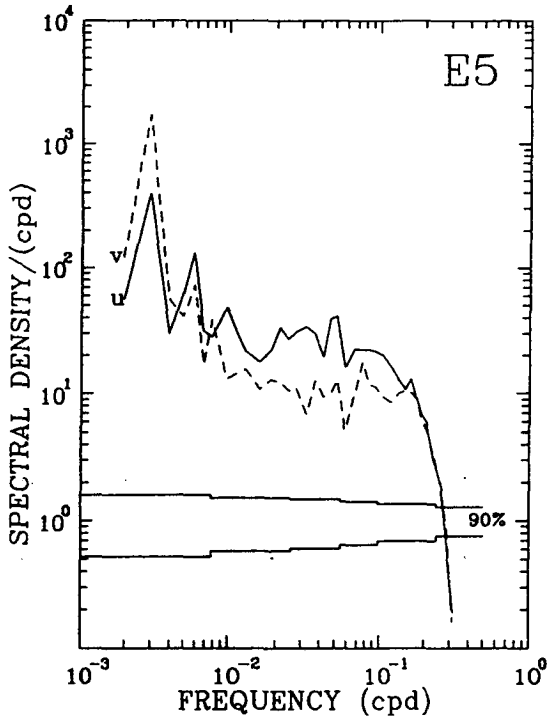


Fig. 12. (Continued)

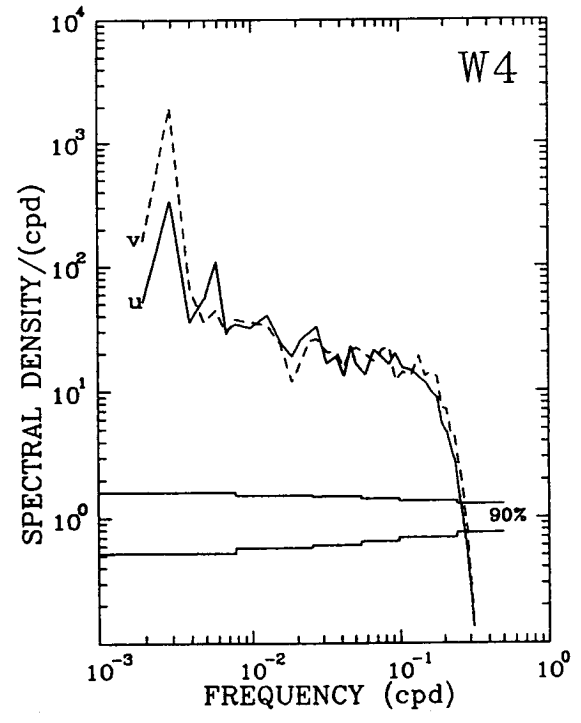
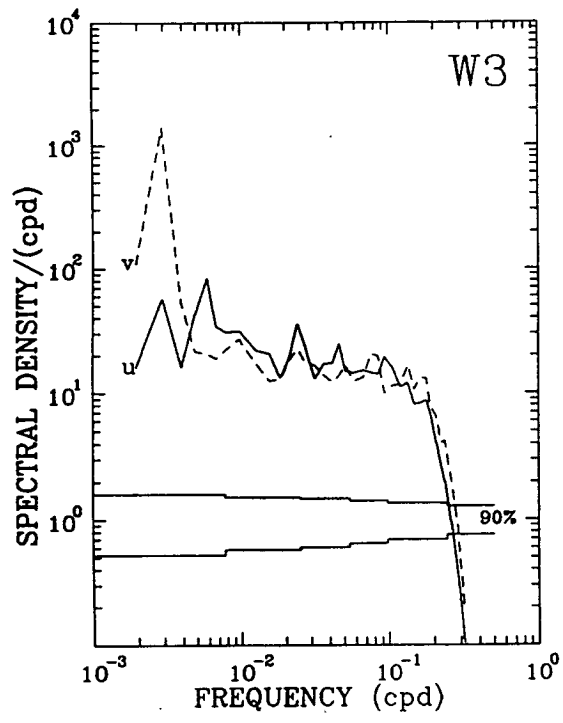
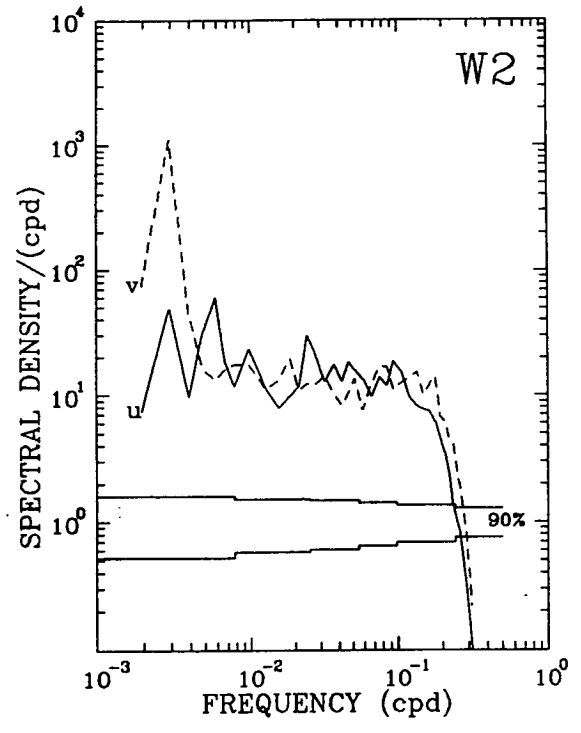
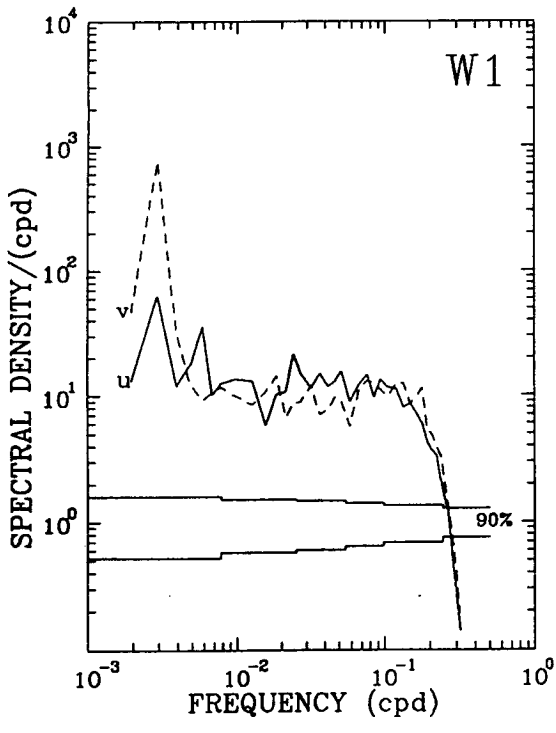


Fig. 13. Spectra of wind components at selected grids in the Yellow Sea and the East China Sea.

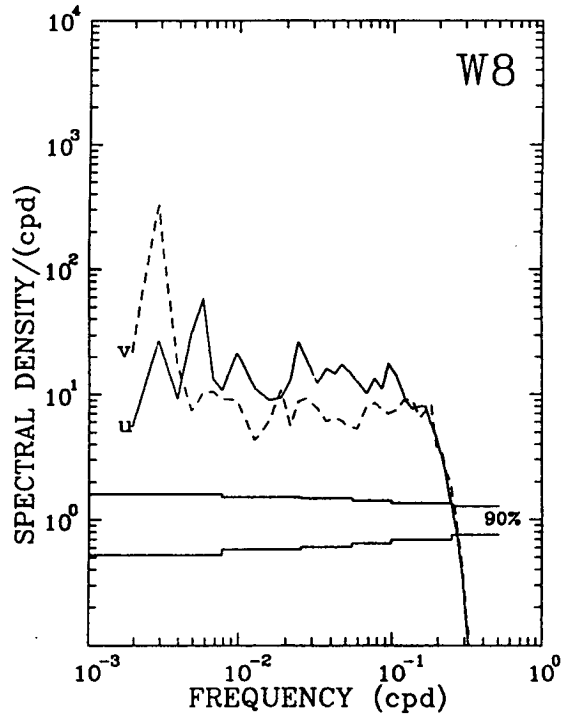
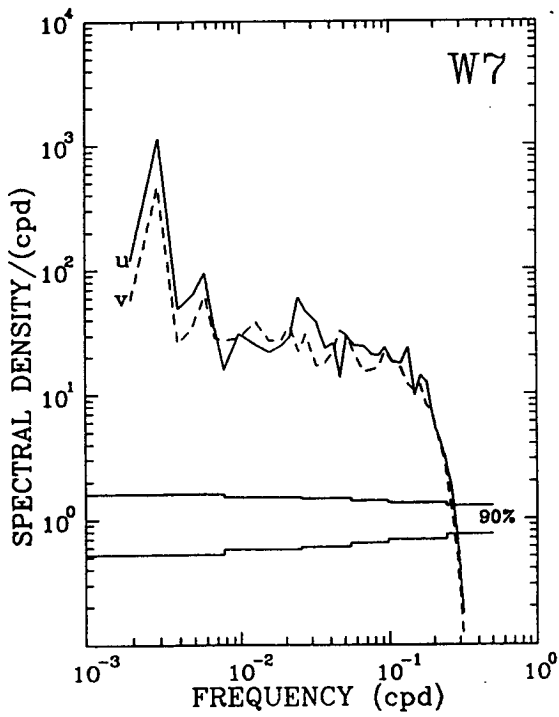
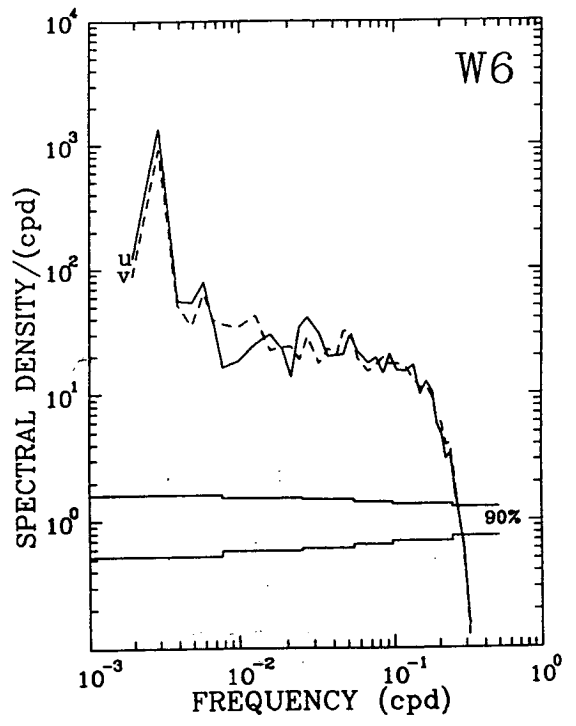
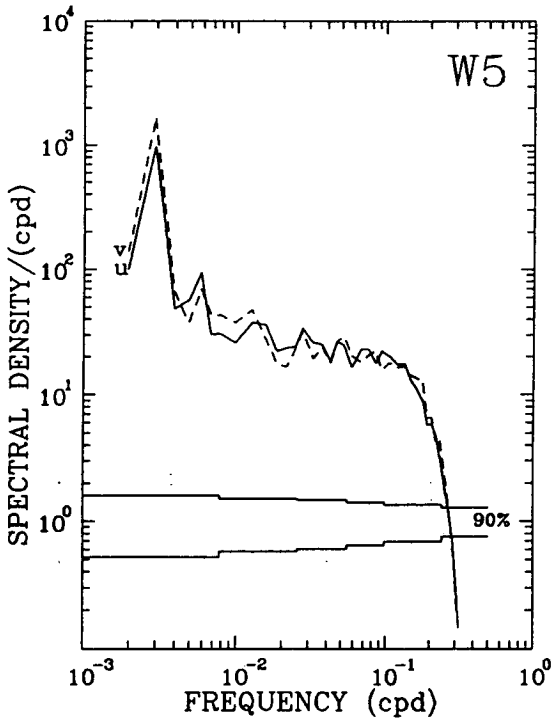


Fig. 13. (Continued)

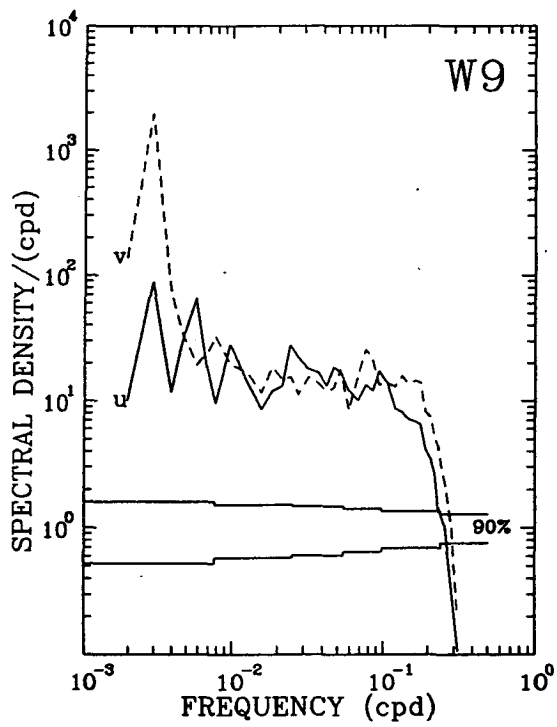


Fig. 13. (Continued)

크나 쿠로시오 유역과 대만 동부해역에서는  $u$ 와  $v$ 의 에너지 수준이 비슷하다. 이는 겨울 몬순이 이 지역에까지 영향을 미치지 못하고 열대성 저기압에 의해 바람장이 형성되기 때문이다.

## 제 6 절 해상풍의 회전 스펙트럼 특성

해상풍의 회전성분을 분석하기 위해 회전스펙트럼 (rotary spectrum) 분석을 하였다. 시계열자료 정리는 스펙트럼의 경우와 같이 piece-average 방법을 택하였다. 각 piece의 길이는 3년으로 정하였고 piece를 중첩시켜 piece 수를 증가시켰다. 회전스펙트럼은 전스펙트럼 (total spectrum), 시계방향 (clockwise)과 반시계방향 (anticlockwise) 스펙트럼으로 분리하여 Fig. 14과 15에 제시하였다.

### 가. 동 해

전스펙트럼 (St)은 스펙트럼에서와 같이 1 cpy 주파수대에 에너지가 집중되어 있으며, 모든 정점에서  $10^3$  이상이다. 또한 St는 동해 동부인 E6과 E7을 제외한 정점에서 2 cpy의 뚜렷한 피크를 보인다. 1 cpy에서는 시계방향 스펙트럼 (clockwise spectrum, 이후 Sc)과 반시계방향 스펙트럼 (anticlockwise spectrum, 이후 Sa)이 모두 피크를 보이나 Sa가 Sc 보다 에너지가 크다. Fig. 5에 제시한 wind stress curl의 공간분포는 동해에서 반시계방향의 회전성이 우세함을 보였다.

스펙트럼으로부터 1 cpy의 변화가 분산(variance)에 크게 기여하는 것을 알았으며 동해에서 wind stress curl이 양이 되는 것은 1 cpy에서 바람벡터의 Sa가 Sc보다 우세한데 기인한다. 2 cpy에서는 Sc의 피크가 더욱 뚜렷하며 Sa보다도 에너지가 크다. 따라서 2 cpy의 주기성은 겨울철 몬순에 의한 1 cpy의 주기성과 발생과정이 다름을 알 수 있다. 또한 Sc는 E5에서 E7으로 갈수록 감소한다. 이 두가지 사실로부터 2 cpy의 주기성은 동으로 이동하는 이동성 저기압과 깊은 관련이 있는 것으로

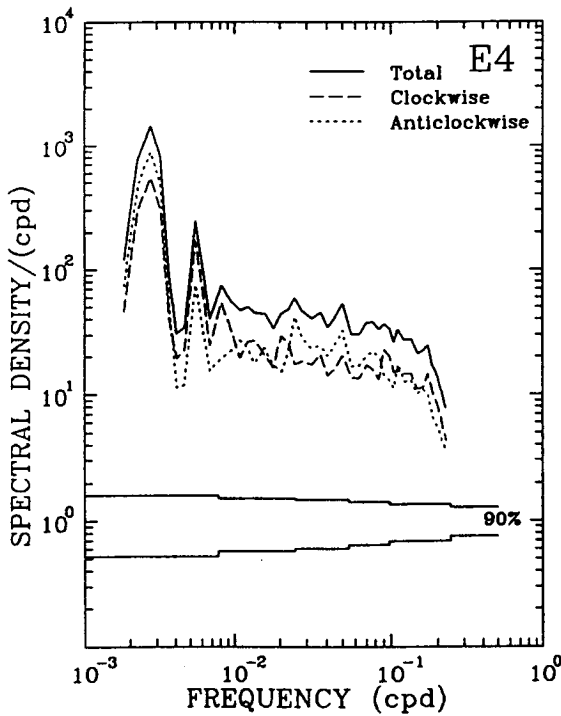
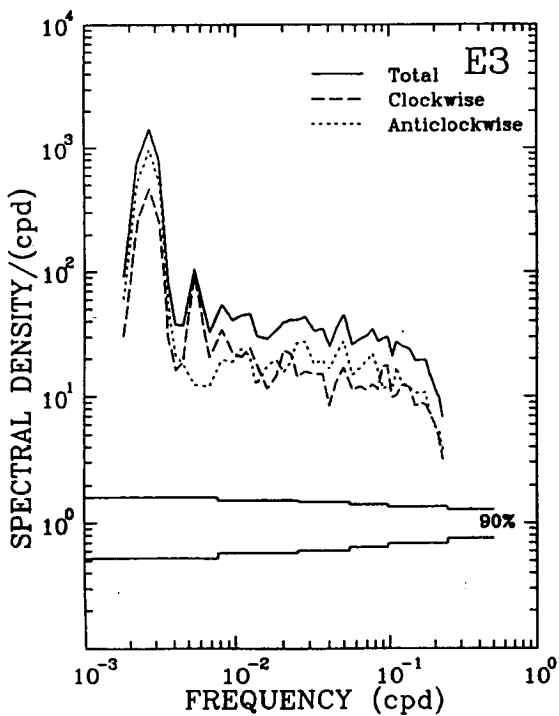
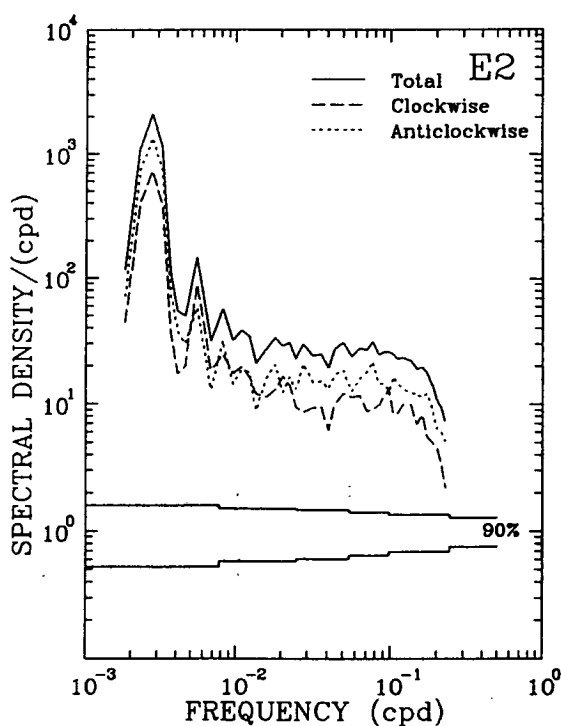
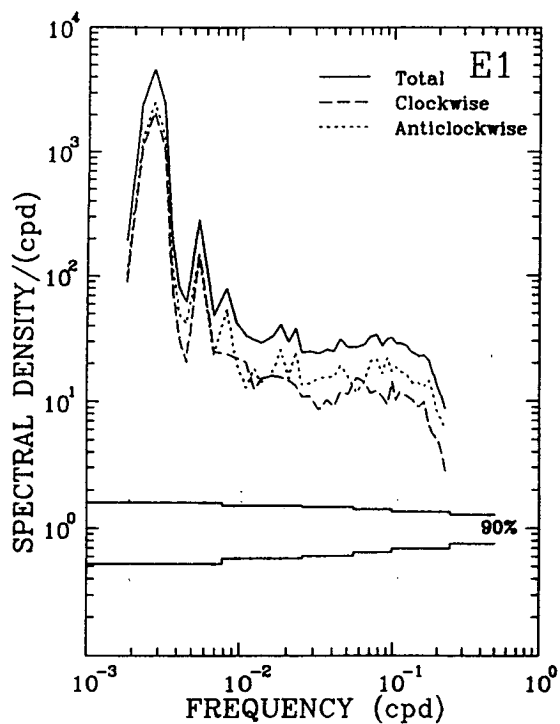


Fig. 14. Rotary spectra of wind at selected grids in the East Sea. The solid, dashed, and dotted lines correspond to total, clockwise, and anticlockwise spectra, respectively.



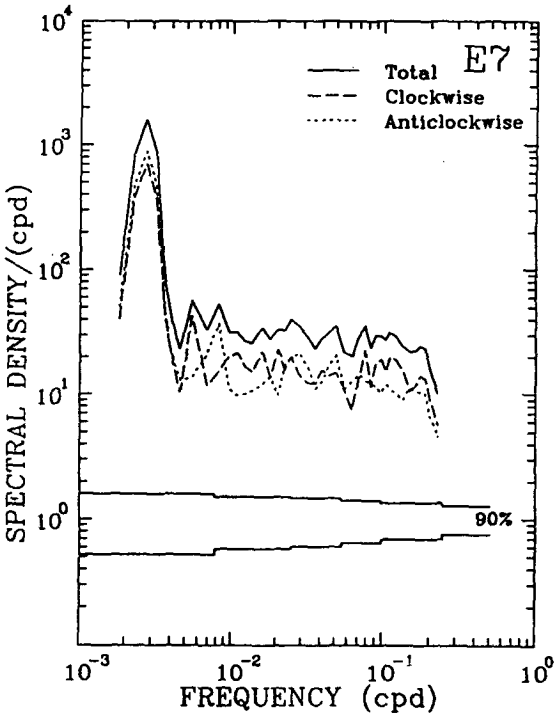
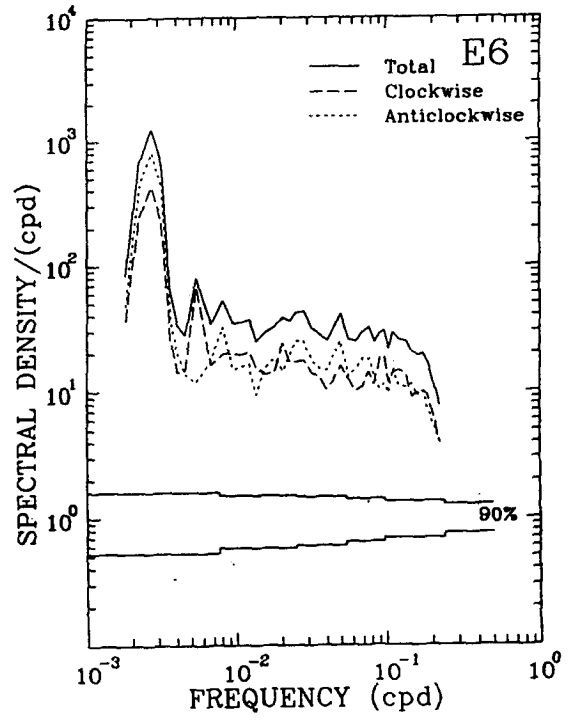
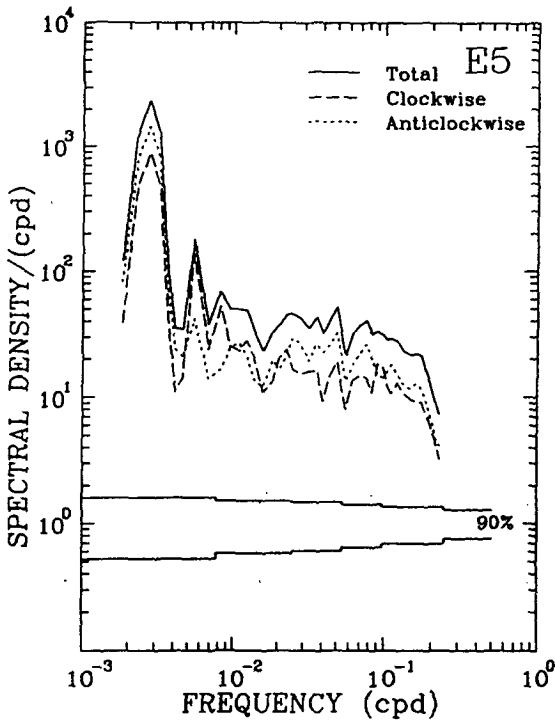


Fig. 14. (Continued)

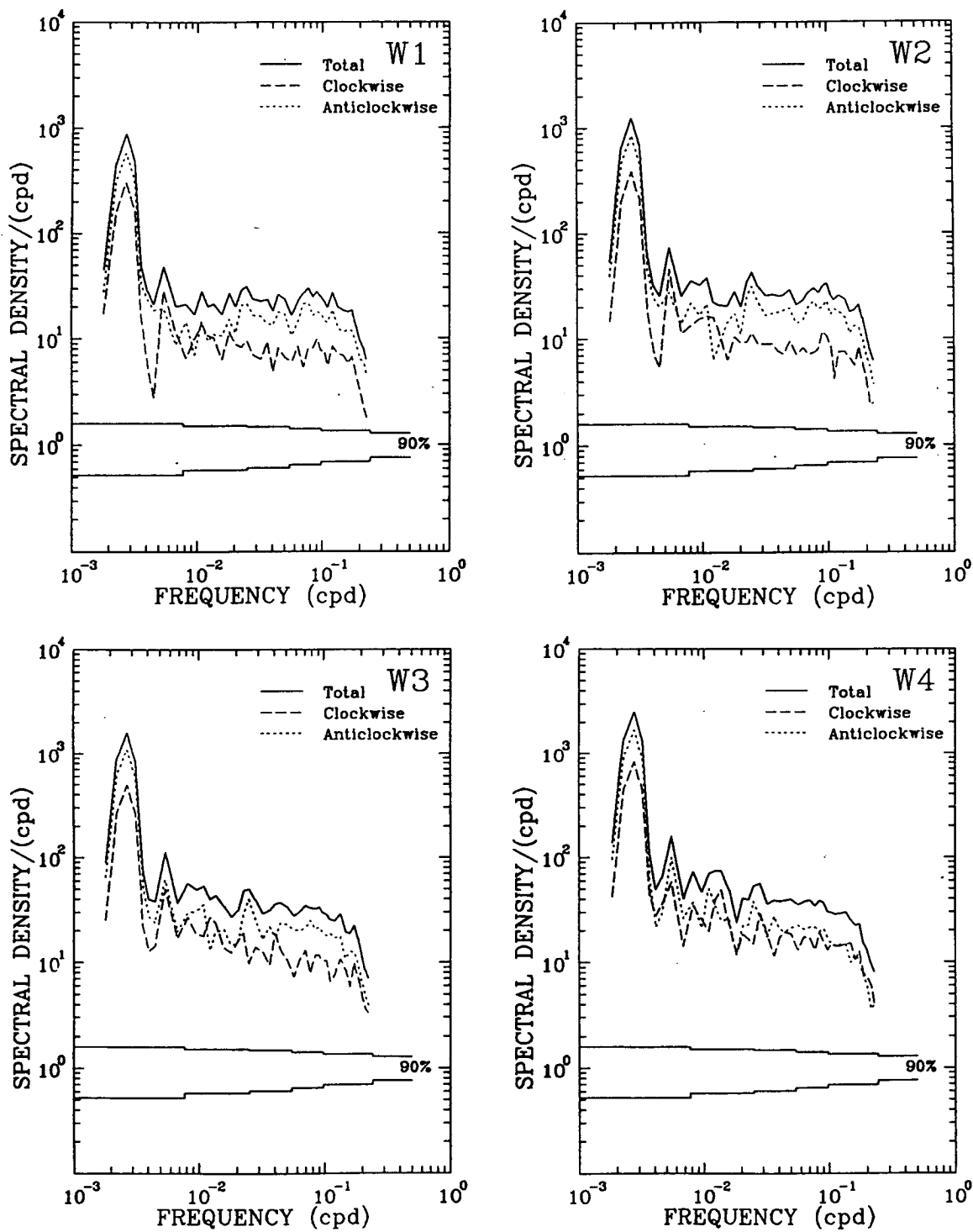


Fig. 15. Rotary spectra of wind at selected grids in the Yellow Sea and the East China Sea. The solid, dashed, and dotted lines correspond to total, clockwise, and anticlockwise spectra, respectively.

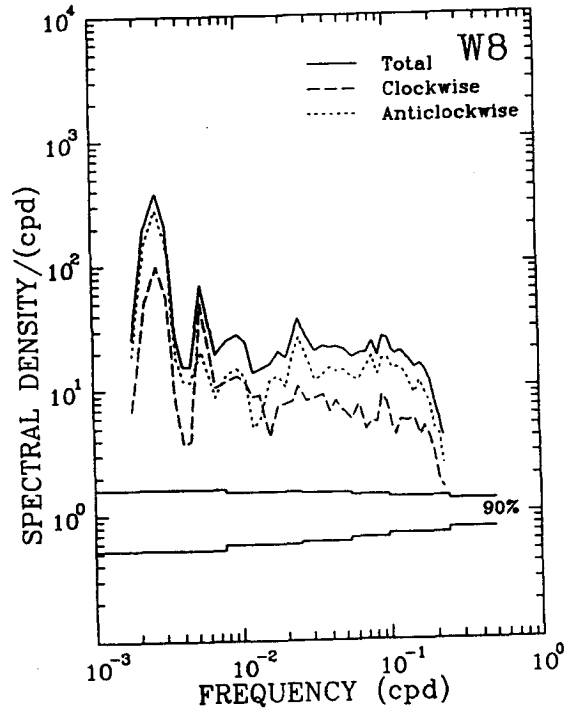
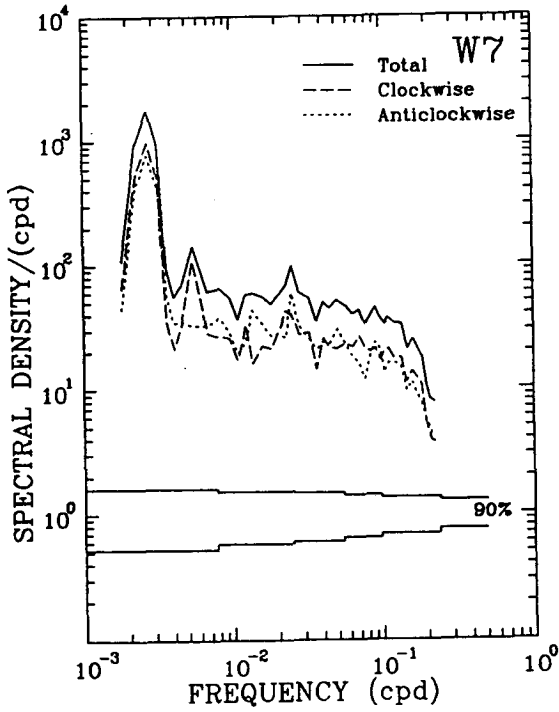
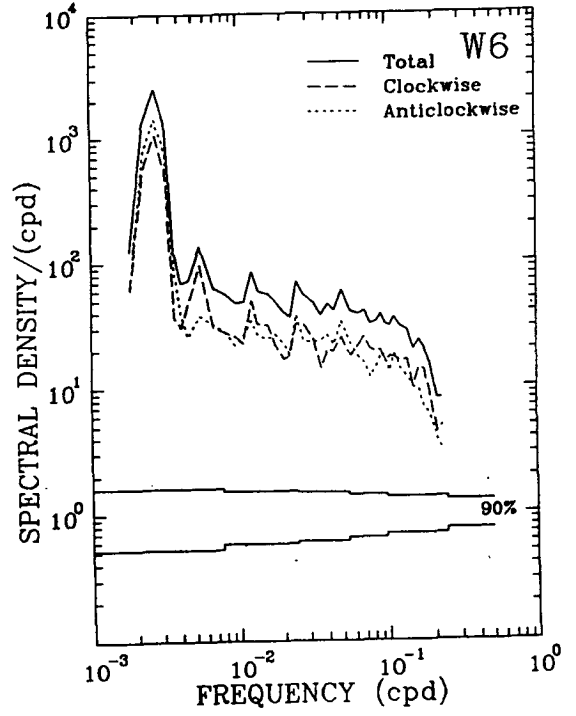
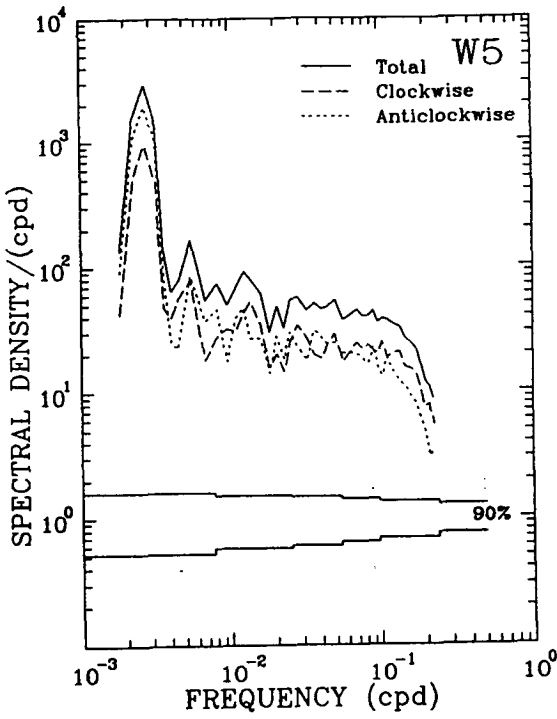


Fig. 15. (Continued)

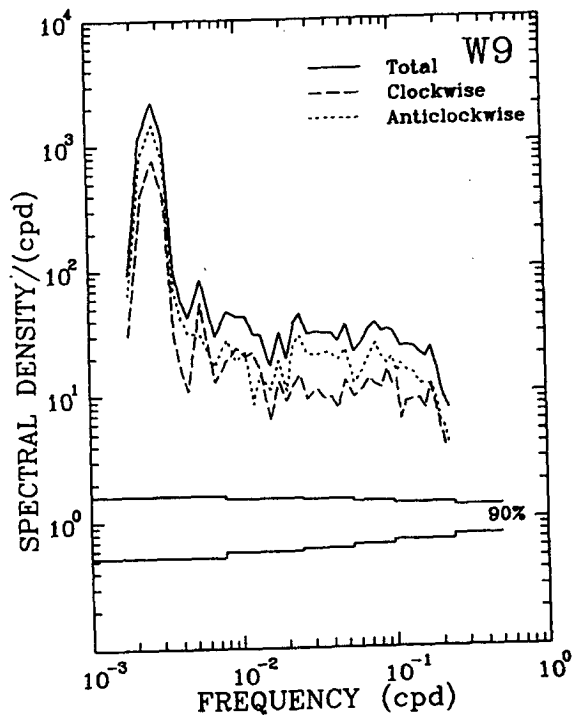


Fig. 15. (Continued)

판단된다.

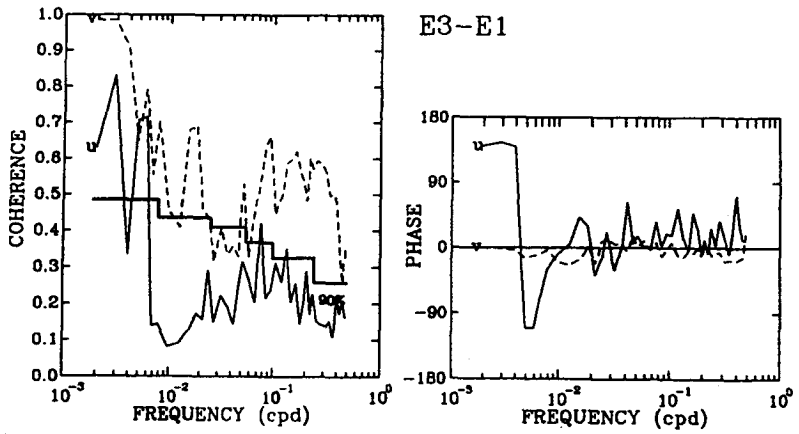
## 나. 황해 및 동중국해

모든 정점에서 St는 동해와 같이 1 cpy 에서 에너지가 큰 피크를 갖고 있다. 특히 정점 W4, W5, W6에서 에너지가 동해와 같은 수준을 보인다. 따라서 Sa가 Sc 보다 우세하여 양의 wind stress curl 장이 형성된다. 부차적인 스펙트럼 피크가 2 cpy에서도 나타난다. 황해에서는 Sc가 Sa 보다 우세하나 반대로 동중국해에서는 Sa가 Sc 보다 우세하거나 같다. 한편 대만 동부해역에서는 Sc가 Sa 보다 크다. 따라서 2 cpy 피크의 형성은 대상해역 전체 기상 시스템 보다는 국지적인 현상에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

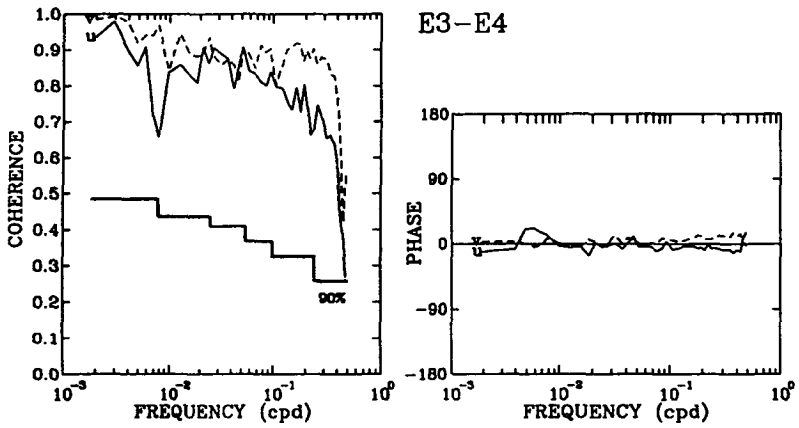
주목할 만한 사실은 황해 중국연안 (정점 W8)에서 2cpy의 Sc 피크가 1 cpy 피크와 비슷한 에너지를 갖고 있다는 것이다. 이는 주로 봄, 가을에 황해를 동-서방향으로 빈번하게 통과하는 이동성 저기압에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

## 제 7 절 해역별 상관관계

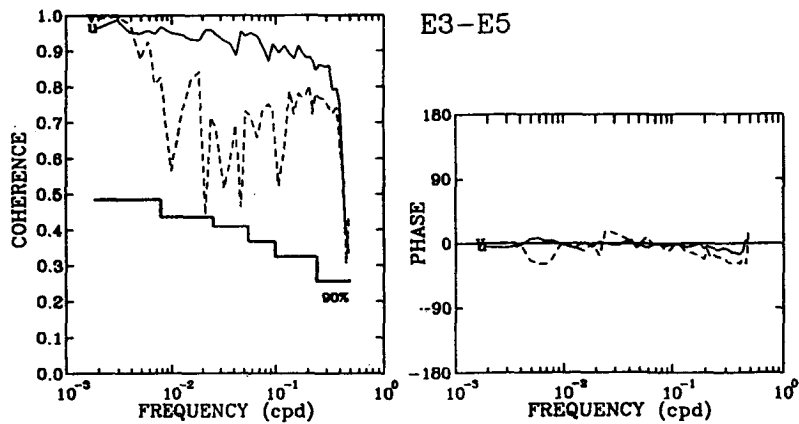
해역별로 해상풍의 공간특성을 파악하기 위하여 상관성 (coherence)과 위상 (phase)을 계산하였다. 동해와 황해 중앙해역에 위치한 정점 E3과 W2를 기준으로 각 해역의 동-서-남-북 정점 사이의 상관성을 검토하였고 또한 동해와 황해사이 바람의 관계를 살펴 보았다. 분석을 위한 시계열자료는 스펙트럼 분석과 동일하게 piece의 길이를 3년으로 정하였으며 자료를 중첩하여 자유도를 증가시켰다. Fig. 16-18에 90% 상관성의 신뢰한계를 표시하였다.



A



B



C

Fig. 16. Coherence and phase difference for wind between different grids in the East Sea. The solid and dashed lines correspond to u-component and v-component, respectively.

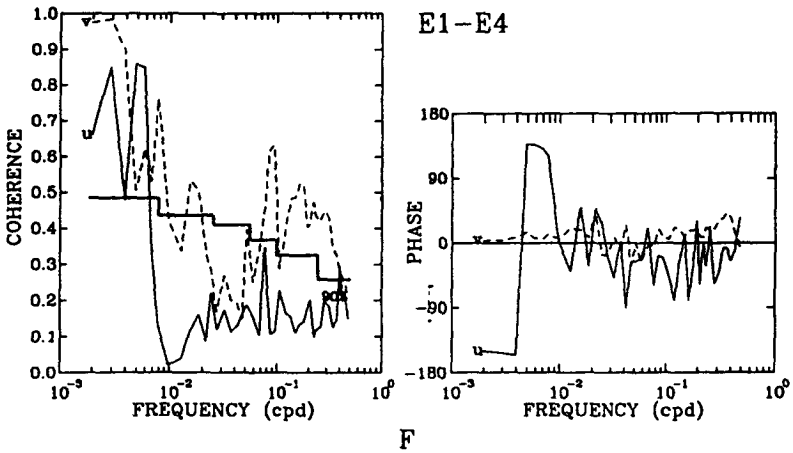
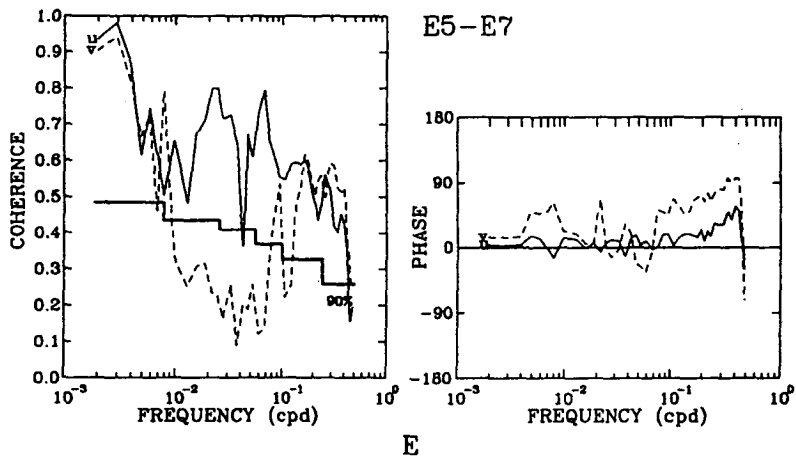
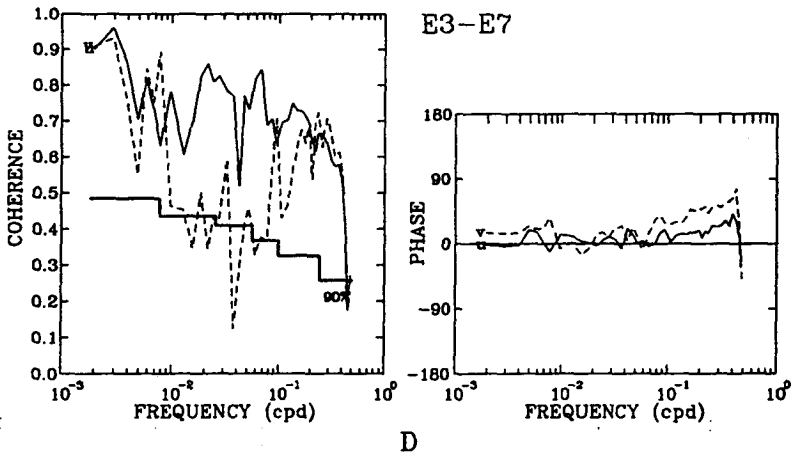
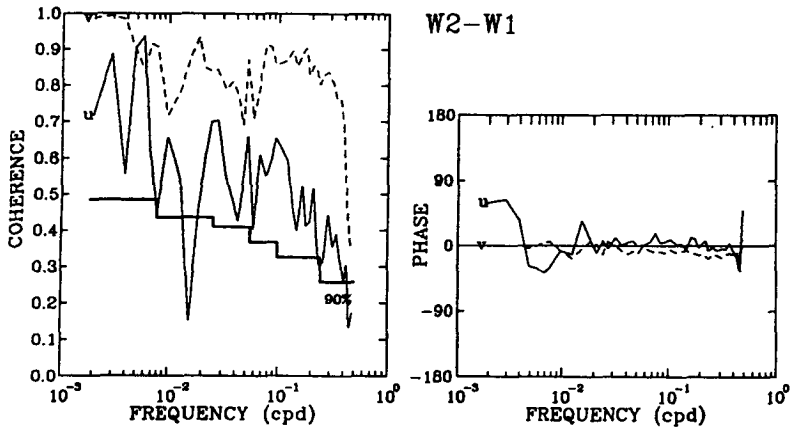
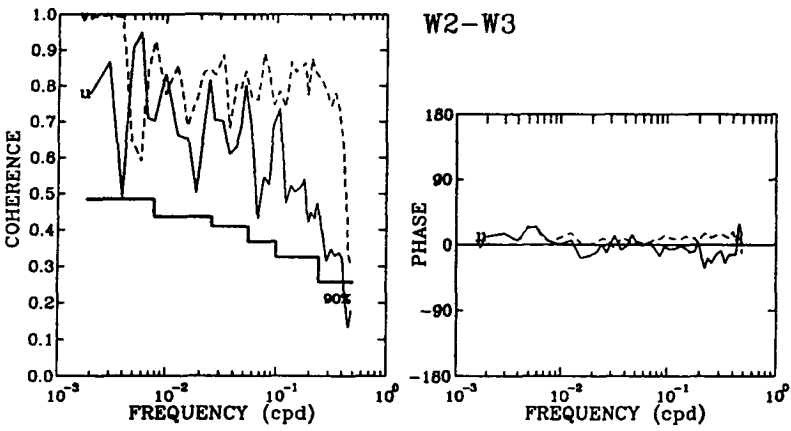


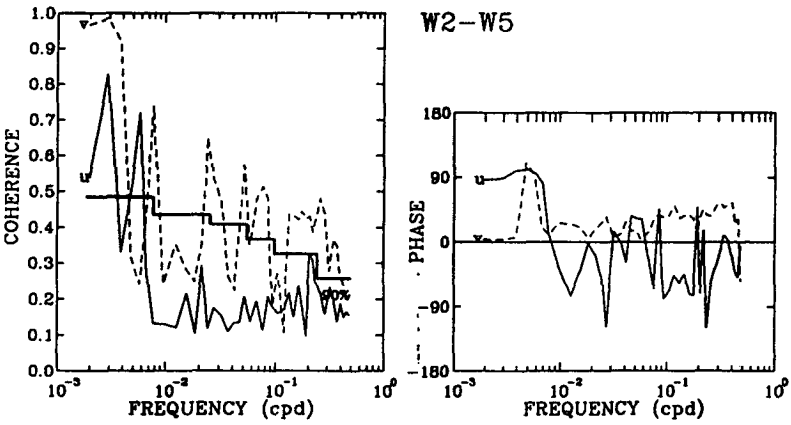
Fig. 16. (Continued)



A



B



C

Fig. 17. Coherence and phase difference for wind speed between different grids in the Yellow Sea and the East China Sea. The solid and dashed lines correspond to u-component and v-component respectively.



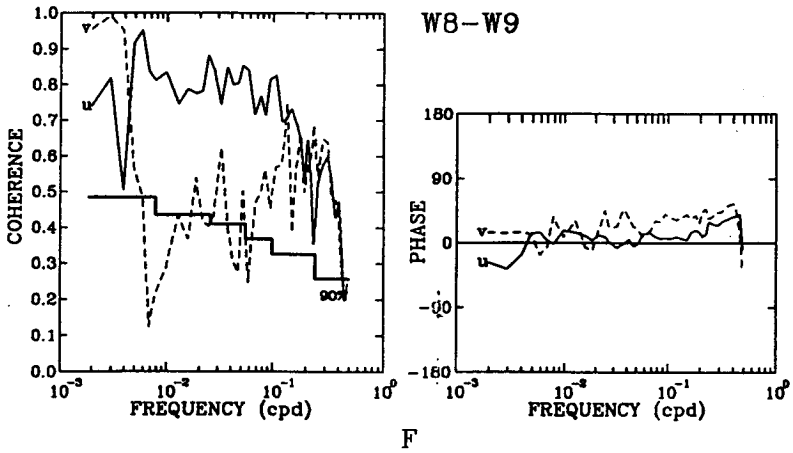
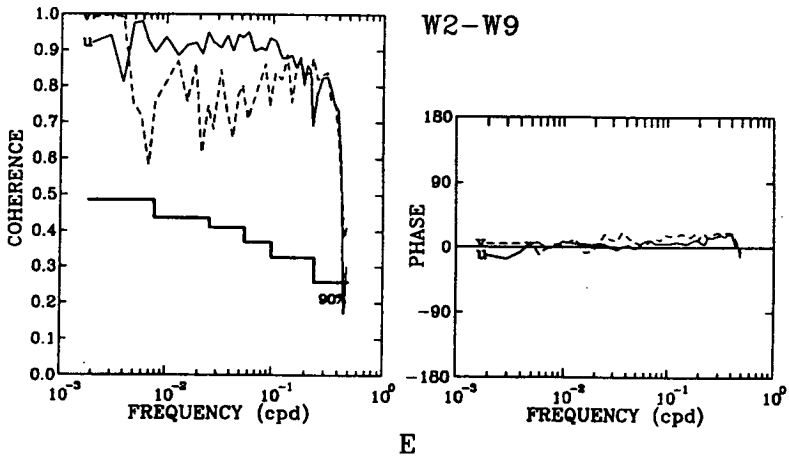
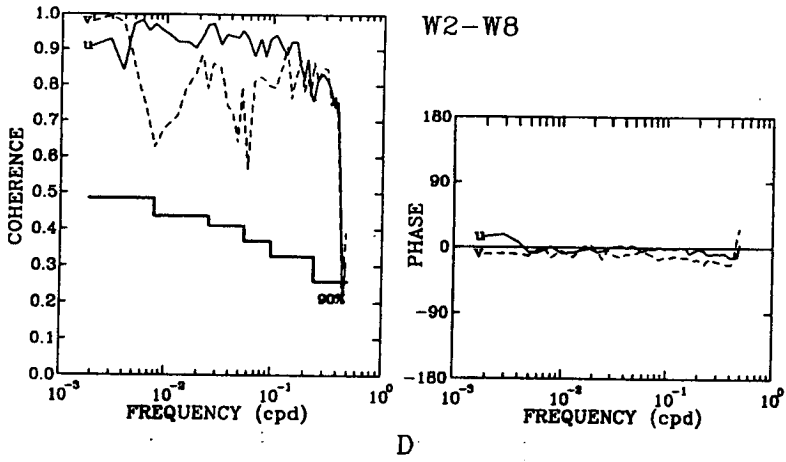
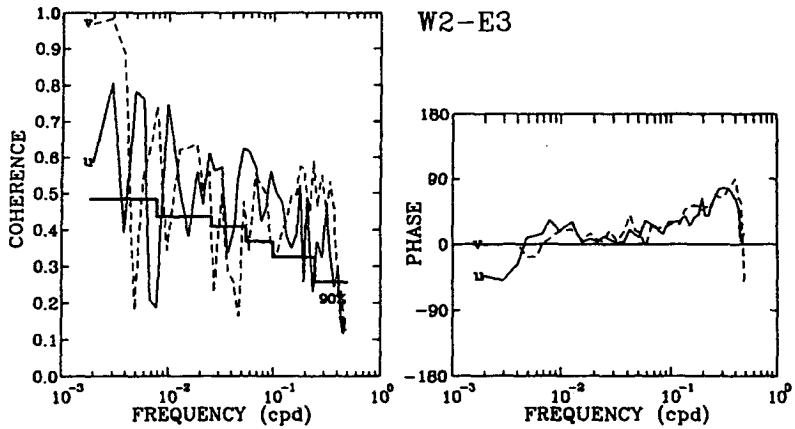
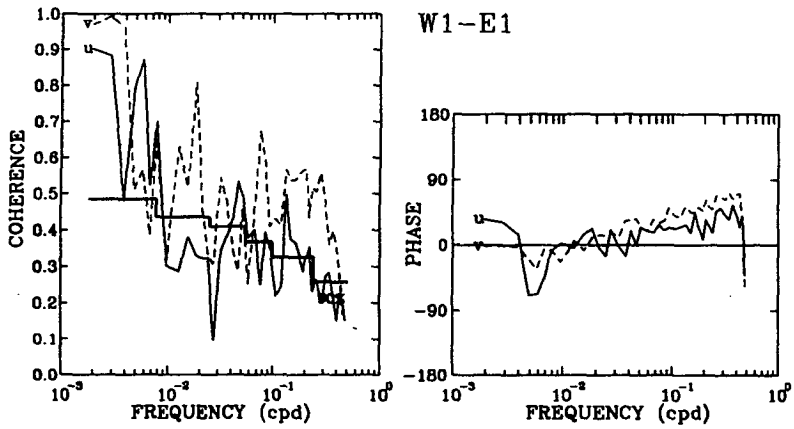


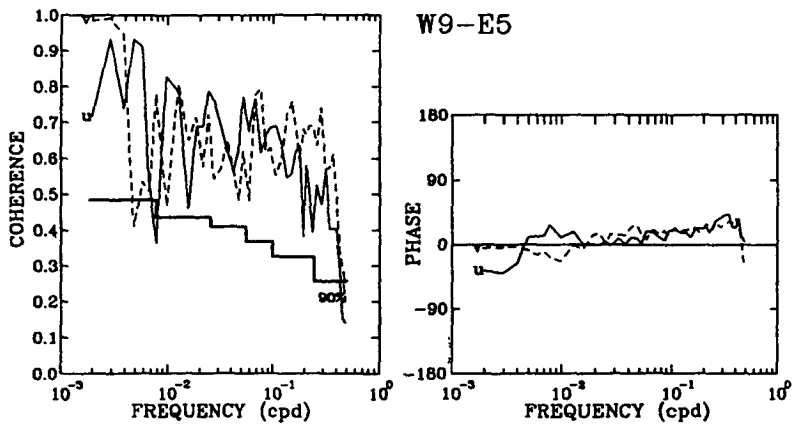
Fig. 17. (Continued)



A



B



C

Fig. 18. Coherence and phase difference for wind between grids in the Yellow Sea and the East Sea. The solid and dashed lines correspond to u-component and v-component, respectively.

## 가. 동해

동해 정점사이 바람의 상관성과 위상을 Fig. 16에 제시하였다. 동해 중부 (정점 E3)와 북부 (정점 E1)에서 해상풍은 1, 2 cpy에서 상관성이 높다. 1 cpy에서  $v$ 의 위상차이가 매우 작으나  $u$ 의 경우 약 140도 정도 차이가 나며 2 cpy에서  $u$ 의 위상차이는 약 120도 정도 된다. 따라서  $u$ 의 경우 E1과 E3에서 방향이 서로 반대가 된다. 정점 E3-E4 (남부) 사이 전 주파수대에서 상관성이 신뢰한계보다 높으며 위상차이도 작아 해상풍의 매우 유사함을 알 수 있다. E3-E5 (서부), E3-E7 (동부)에서도 상관관계가 매우 좋으며  $u$ 의 상관성이  $v$  보다 크다. 2 cpy에서 E3-E5사이  $u$  위상이 음인데 비해 E3-E7 사이에는 양으로 나타나는데 이는 이동성저기압이 서에서 동으로 이동하는 것을 잘 반영한다고 볼 수 있다.

E1 (북부)-E4 (남부)와, E5 (서부)-E7 (동부) 사이 1 cpy에서  $v$ 의 위상차이는 매우 작는데 비해 2 cpy에서는  $u$ 의 경우 E5-E7에서는 작고 E1-E4에서는 크다. 따라서  $u$ 의 방향이 위도에 따라 크며 바뀔을 알 수 있다.

## 나. 황해 및 동중국해

황해와 동중국해 정점사이 상관성과 위상은 Fig. 17과 같다. 황해 중부 (정점 W2)와 북부 (정점 W1) 사이  $v$ 는 저주파대에서 상관성이 높고 위상차이가 없다. 반면에  $u$ 는 높은 상관성을 갖고 있지만 위상차이는 크다. W2-W3 (황해남부)의 경우 저주파에서  $u$ ,  $v$  모두 상관성이 높고 위상차이도 작으나 W2-W4의 경우  $u$ 의 위상차이가 1 cpy에서는 0에 가깝고 2 cpy에서도 약 100도 정도 차이가 있다. 한편  $u$ 의 경우 위상차이가 약 두 주파수에서 모두 90도로 나타난다. W2와 W5에서  $u$  스펙트럼을 보면 (Fig. 13) 스펙트럼 에너지 분포가 매우 다르다. 따라서 이 두 정점에서  $u$ 가 같은 system이라고 보기는 어렵다. W2-W8 (황해서부), W2-W9 (황해동부)에서는  $u$ 와  $v$ 의 상관성이 전 주파수대에서 신뢰한계 보다 훨씬 높고 위상차이도 매우 작다. 2 cpy에서  $u$ 의 위상이 W8이 W2 보다 빠르고 W9가 W2 보다

느리며 스펙트럼도 비슷한 분포를 보인다. 이는 황해 중부역의  $u$ 가 같은 시스템이며 서에서 동으로 이동하는 저기압의 존재를 입증한다. 특히 W8과 W9 사이  $u$ 의 위상은 동으로 이동하는 저기압의 존재를 재확인해 주고 있다.

## 다. 황해와 동해

황해 중부 (정점 W2)와 동해 중부 (정점 E3) 사이 바람의 상관성과 위상차이는 Fig. 18a와 같다.  $v$ 의 상관성이 1 cpy에서는 높으나 2 cpy에서는 신뢰한계보다 낮다. 그러나  $u$ 의 경우 두 주파수대에서 모두 높으나 위상이 1 cpy에서는 음, 2 cpy에서는 양으로 나타난다. 이는 1 cpy의  $u$  성분이 동해에서 황해로 전파되나, 2 cpy에서는 반대로 황해에서 동해로 전파된다. 그러나 대륙 가까이 위치한 북부 정점 W1-E1 사이 (Fig. 18b)  $u$ 의 위상이 W2-E3와 반대가 된다. E3-E1 사이  $u$ 의 위상에서 보았듯이 (Fig. 16) 동해북부와 중부역의  $u$ 의 방향이 매우 다른데 기인한 것이지 W1과 W2의 바람이 다르기 때문은 아니다. 또한 황해와 동해 연안에 위치한 정점 W9-E5 사이의 상관성 (Fig. 18c)은 W2-E3보다 좋으며 위상은  $v$  성분의 경우 1 cpy에서는 음으로 영에 가깝고 2 cpy에서는 음이 약간 커지고,  $u$  성분의 경우는 1 cpy에서는 음, 2 cpy에서는 양으로 나타난다. 이는 1 cpy의  $v$  성분은 황해와 동해가 시간차이 없이 나타나며 2 cpy에서는 황해에서 동해로 전파된다.  $u$  성분은 W2-E3 사이와 유사한 전파를 보이며 위상이 약간 작게 나타난다.

## 제 8 절 부이 관측 바람과 계산한 해상풍과의 비교

일본기상청 부이 # 6 (위치:  $37^{\circ} 45' N$ ,  $134^{\circ} 23' E$ )에서 조사된 관측자료와 부이의 남서쪽에 위치한 E8 ( $37^{\circ} 21' N$ ,  $133^{\circ} 48' E$ )에서 계산한 해상풍을 비교하여 계산한 해상풍의 신뢰성을 검토하였다. 부이자료가 연속적으로 획득되지 못하였기 때문에 관측이 비교적 잘 이루어진 1985년-1987년 3년간 자료를 사용하였다.

계산한 해상풍과 부이관측자료의  $u$ ,  $v$  성분 시간변화 곡선은 Fig. 19과 같다. 동서성분의 경우 1986년 9월-12월 사이에 부이자료는 동풍인데 비해 계산치는 서풍으로 나타나긴 하나 부이 자료와 계산치는 서로 같은 변화추세를 보인다. 남북성분의 경우는 계산치가 관측치보다 조금 약하지만 1987년 6월-9월을 제외하고 전 기간동안 비교적 서로 잘 일치한다. 계산치와 관측치 사이의 오차는 주로 여름-가을에 발생하는데 오차발생의 주 원인은 대기압의 수평경도가 매우 약하고 해수면 수온과 기온의 차이도 매우 작은데 기인하다. 보다 정확한 해상풍을 계산하기 위해 12 시간 간격의 해수면 수온자료가 필요하나 관측자료가 없어 10일 평균 해수면 수온자료를 사용한 것도 계산치의 오차를 증가시키는 2차 원인이 된다.

스펙트럼은 3년 자료로 구하였으며 주파수대에 따라 window 갯수를 조정하여 Fig. 20에서 보는 바와 같이 신뢰구간을 표시하였다. 정점 E8에서는 남북성분의 경우 1년 주기에 에너지가 집중되어 있으며 1년 주기 이하에서 에너지가  $10^2$  이하이지만 3개월 주기에서도 피크를 나타낸다. 동서성분은 대체로 남북성분과 같은 에너지분포를 보이며 1년 주기와 6개월, 3개월 주기에서 피크를 갖는다. 부이 자료의 스펙트럼은 1년 주기 이하에서도 에너지가  $10^2$  이상이며  $v$  스펙트럼 에너지가 1 cpyd에 집중되어 있는 반면에  $u$  스펙트럼의 1 과 2 cpy 에너지 크기는 비슷하다. 한편  $v$  성분의 경우 2 cpy의 에너지 피크가 4 cpy보다 더 크다.

수치모델로 계산한 해상풍과 실제 관측한 해상풍과의 주기별 상관관계는 Fig. 21에서 보는 바와 같이 에너지가 집중되어 있는 1과 2 cpy에서 0.7 이상으로 비교적 높다.  $v$ 의 위상은 1 cpy에서 양의 값을 가지나 2 cpy에서는 거의 0에 가깝다.  $u$ 의 위상은 1과 2 cpy에서 모두 음의 값을 가지나 그 크기는 작다. 따라서 스펙트럼 에너지가 큰 1과 2 cpy에서 관측 바람과 계산 바람이 높은 상관성을 가지며 위상차이가 작은 것은 모델에 의해 계산한 바람장이 실제 바람장을 잘 반영하고 있다는 것을 입증한다.

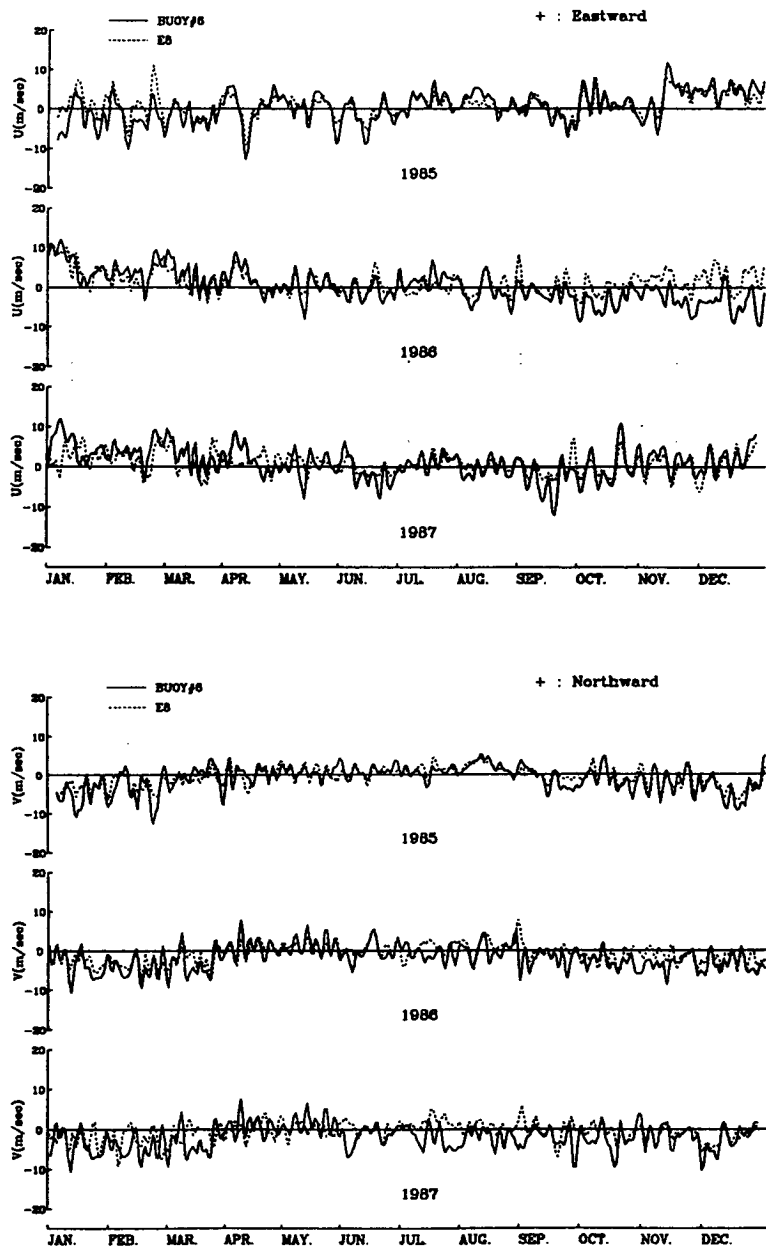


Fig. 19. Time series of observed wind at Buoy # 6 and calculated wind at E8, 1985-1987.

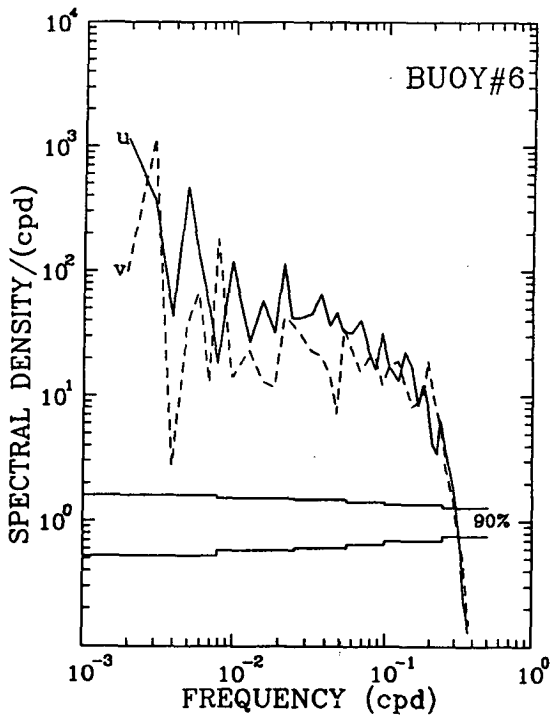
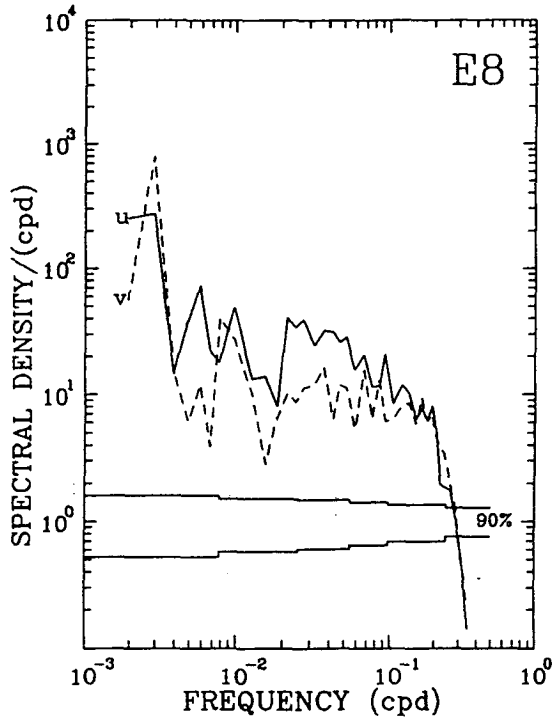


Fig. 20. Spectra of calculated wind at E8 and observed wind at Buoy # 6. The solid and dashed lines correspond to u-component and v-component, respectively.

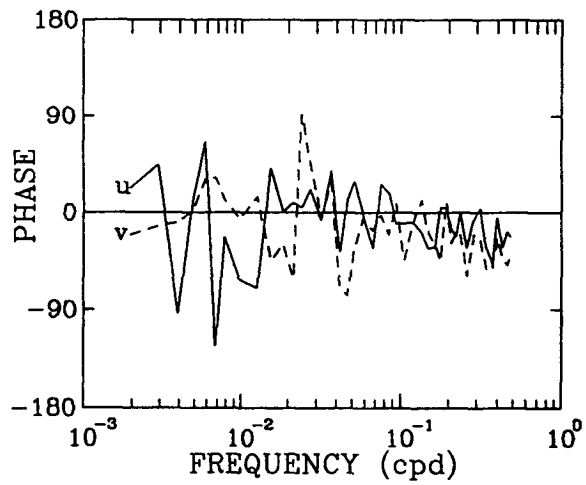
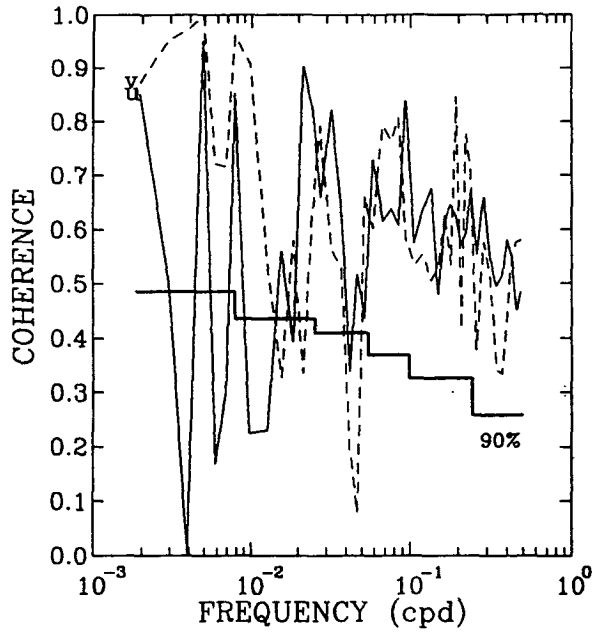


Fig. 21. Coherence and phase difference between observed wind at Buoy # 6 and calculated wind at E8. The solid and dashed lines correspond to u-component and v-component, respectively.



## 제 4 장 결 론

해면기압과 해상풍과의 역학적인 관계를 이용하여 계산한 해상풍 자료를 이용하여 한국 주변해역 및 동중국해에서 해상풍의 시공간적 특성을 분석하였다. 자료입력 및 계산에서 발생하는 공간적인 오차를 최소화하기 위하여 인접 8개 격자점에서의 해상풍자료를 사용하여 평활화하였고 2일 주기 이하 고주파 signal을 제거하여 1일 간격의 시계열자료로 전환하여 통계 및 스펙트럼 분석을 하였다.

동해의 바람장은 이미 알려진 바와 같이 겨울철에는 북풍과 북서풍이 우세하고 반시계방향의 회전성을 보이나 여름철에는 남풍계열의 바람장이 우세하며 시계방향의 회전성을 나타낸다. 황해의 바람장은 동해에서와 같이 겨울에는 북풍계열이, 여름철에는 남풍계열의 바람이 우세하다. 그러나 wind stress curl은 연중 시계방향의 회전성이 우세한 것으로 나타난다. 동중국해의 바람장은 겨울철에 동풍 내지 북동풍이 우세하나 여름철에는 태풍의 영향으로 바람장의 시.공간 변동이 매우 심한 것으로 나타나며 wind stress curl의 공간분포도 매우 복잡한 형태를 갖게 된다.

스펙트럼 분석은 모든 해역에서 바람이 1 cpy 주파수대에서 큰 에너지를 갖고 있어 1년 주기성이 매우 뚜렷한 것으로 나타난다. 또한 2 cpy의 스펙트럼 에너지는 해역별로 큰 차이가 있기는 하나 동해와 황해 중부와 남부해역, 그리고 동중국해 북부와 중부해역에서 큰 것으로 나타나며 일부 해역에서는 동서성분의 에너지가 남북성분보다 크다. 이러한 6개월 주기성의 바람은 서에서 동으로 전파되며 이는 한국주변해역을 서에서 동으로 통과하는 이동성 기압대의 영향이라고 해석된다. 회전스펙트럼은 스펙트럼과 같은 주기성을 보이며 대체로 1년 주기성의 바람은 반시계방향의 회전성을, 6개월 주기성의 바람은 시계방향의 회전성을 갖고 있음을 보여 1 cpy와 2 cpy의 바람장의 회전특성이 다름을 잘 나타내고 있다.

또한 해상풍의 상관성 분석에 의하면 동해의 경우 중부해역의 정점사이에서는 상관성이 높으나 연안역과 외해역, 북북해역과 남부해역 정점사이 상관성은 높지 않으며 위상차이도 크다. 황해의 경우도 황해 중부해역과 남부해역에서는 높으나

연안역과 외해역 사이 상관성이 낮다. 이는 바람의 공간 변동이 크다는 사실을 나타내는 것이다. 한편 황해 중부해역과 동중국해사이 상관성은 낮으나 황해와 동해의 중부와 남부해역에서는 상관성이 높으며 위상차이도 규칙적이어서 이 해역에서는 동일 바람장이 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

분석결과를 종합하면 바람장은 1년과 6개월의 뚜렷한 주기성을 갖고 있으며 겨울철 북풍계열의 바람과 여름철 남풍계열의 바람은 1년 주기성을, 봄과 가을철의 이동성 저기압은 6개월 주기의 시간변화를 발생시킨다. 1년 주기성은 반시계 방향의 회전성을, 6개월 주기성은 시계방향의 회전 특성을 갖고 있다. 한편 여름철 동중국해 중부 이남해역에서 바람장은 북상하는 태풍에 의해 결정된다. 따라서 한국 주변해역에서의 바람장의 시.공간 분포특성은 몬순과 이동성 저기압, 그리고 북상하는 태풍에 의해 결정된다.

모델로 계산한 바람과 동해에 설치된 일본기상청 부이에서 관측된 바람은 에너지가 큰 1과 2 cpy 주파수대에서 상관성이 높으며 위상차이도 무시할 수 있을 정도다. 그러나 10일 평균 해수면 수온을 이용하여 해상풍을 계산하기 때문에 대기의 수직안정성이 불안정한 시기에 두 바람사이에 무시할 수 없을 정도의 오차가 발생할 수 있다. 그러나 본 연구의 분석결과를 종합하면 시간규모가 1개월 이상이며 공간규모가 수 백 km 이상인 바람장의 시.공간 분포특성이 여기서 제시한 방법에 따라 계산한 바람장의 특성과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

## 참고문헌

- 나정열, 서장원, 한상규, 1992. 한국근해의 월평균 해상풍. *한국해양학회지*, 27(1), 1-10.
- 이흥재, 방인권, 육상섭, 이천우, 1983. 한국 연안 해역에서 기상자료의 처리및 분석. 해양연구소 보고서 BSPE00053-74-1, 108 pp.
- Garratt, J. R., 1977. Review of drag coefficients over oceans and continents. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 915 - 929.
- Gonella, J., 1972. A rotary-component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series. *Deep-Sea Res.*, 19, 833 - 846.
- Mooers, C. N. K, 1973. A technique for the cross spectrum analysis of pairs of complex-valued time series, with emphasis on properties of polarized components and rotational invariants. *Deep-Sea Res.*, 20, 1129 - 1141.