

# 韓國 東岸의 海水流動 研究

(Dynamics of the coastal water along the East coast of Korea)

1981. 12.

研究責任者：承永鎬(海洋物理室 前任研究員)

研究員：李東探(海洋物理室)

韓國科學技術院  
海洋研究所



## 要 約

본 연구에서는 1979 - 1980 年에 걸쳐 해양연구소에서 울진 沿岸域에서 행한 長期定点 海洋觀測(海流, 水温)을 토대로하여, 수로국의 조석관측자료 및 중앙기상대의 기상관측자료를 보완하여 통계적 분석에 의하여 東海沿岸의 해수 유동 특성을 파악하는 데에 그 목적이 있었다. 연구결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 1) 沿岸水는 평균적으로 南流하고 있으나 많은 運動에너지를 갖는 長週期成分의 海流에 대하여 그 원인이 밝혀져야겠다.
- 2) 沿岸水의 溫度는 여름철에 最低로 나타나는데 이는 시베리아 東端에 자주 발생하는 強大한 低氣壓에 의한 바람의 영향이 南下하여 일어나는 듯 하다.
- 3) 포항 以南에서는 주로 半日週潮에 의한 海面변화가 우세하나 포항 以北 특히 포항에서는 그 원인이 잘 밝혀져 있지 않은 長週期成分의 海面 변화가 중요하게 나타난다.
- 4) 局地風에 의한 바람의 영향은 靜壓效果에 의한 氣壓의 영향에 비해 미약하나 數日週期에서 뚜렷하며 이때 바람에 의한 外力과 海底面에 의한 마찰력 사이에 평형이 유지되고 있으며 이 평형상태는 바람이 분 후 0.5 ~ 1日 後에 나타난다.
- 5) 東海岸의 大陸棚波의 存在는 밝혀지고 있지 않으나 氣壓系의 北進에 따른 長週期 海面變化의 位相의 北進은 뚜렷하다.
- 6) 南海 및 西海에서의 潮汐波는 進行波와 定常波의 혼합 形으로 漲潮流 後에 潮高의 最大가 나타나나 東海의 경우는 이와는 判異하게 달라 붙잡힌 양상을 보이고 있다.



## ABSTRACT

The objective of this study was to understand the dynamics of the coastal water along the east coast of Korea. The data used in this study are from the observations performed by KORDI during 1979-1980 by using current meters (Aanderaa) and temperature profilers (Aanderaa) moored near Uljin. Also included are the data of sea level change and atmospheric variables (wind and atmospheric pressure) collected by Hydrographic Office and Central Meteorological Office respectively. Results were obtained by performing the statistical analysis and may be summarized as follows:

- 1) The mean current of coastal water is southward however the long-period motion which has much kinetic energy should be identified.
- 2) The water temperature is lowest in summer and this may be due to the coastal trapped, forced internal Kelvin waves generated in the North by the strong longshore wind and propagating southward along the coast.
- 3) Semi-diurnal tide appears the major source of sea level change in the South of Pohang. In the North, especially at Pohang, the long-period variation is important in changing the sea level.
- 4) Effects of local wind are generally negligible compared with the barometric effect. Effects of local wind are clear at periods of several days. The wind stress and the bottom friction are in balance each other and the balance is reached 0.5-1 day after the wind starts to blow.
- 5) The continental shelf wave was not proved to exist whereas, at long periods, Phases of sea level propagate in the North as an image of the northward propagating atmospheric pressure system.

- 6) Along the South and West coast of Korea, tidal waves present in a mixed form of progressive and standing waves in which flood current appears before high water. Along the east coast, however, they behave differently showing a coupling of vertical and horizontal motions in more complex way.

# 目 次

序 文 .....	1
第 1 章 資 料 .....	4
第 2 章 気象條件 .....	7
第 3 章 水温分布 .....	13
第 4 章 海流分布 .....	18
第 5 章 海面變化 .....	28
5 . 1 分散量 ( Variance ) .....	28
5 . 2 気圧 및 바람의 영향 .....	30
5 . 3 海面變化豫報에 관한 考察 .....	34
5 . 4 気圧補正 海面變化와 局地風의 영향 .....	36
5 . 5 海面變化의 空間分布 .....	40
第 6 章 北에서 生成된 海水流動의 南進 .....	44
第 7 章 結論 및 提言 .....	53
附錄： 韓國 東岸에서의 沿岸長波에 대한 考察 .....	55
参考文献 .....	61





# 表 目 次

## LIST OF TABLES

Table 1.	Results of stepwise multiple regression analysis between the measured temperature at 19 m depth (dependent variable) and the winds of K days earlier (independent variables). . . . .	48
Table 2.	Results of stepwise multiple regression analysis between the observed adjusted mean sea level (dependent variable) and the winds of K days earlier (independent variables). . . . .	51
Table 3.	Characteristic length scales of bottom topography along the east coast of Korea. . . . .	58

# 圖 目 次

## LIST OF FIGURES

- Fig. 1. Topographic chart of the considered area on which are shown tidal and meteorological stations (▲) and measurement site of current and temperature (●). Two hydrographic sections were obtained: one in the South (—) by Fisheries Research and Development Agency and another in the North (---) by Fisheries Experimental Station earlier in 1938. .... 2
- Fig. 2. Locations of moorings of current meter (Aanderaa) and temperature profiler (Aanderaa) at the measurement site. .... 5
- Fig. 3. Measurement period of current, temperature profile, sea level height and meteorological variables. Current meter moorings are classified according to the mooring point (alphabetic) and time (numeral). .... 6
- Fig. 4. A typical example of local cyclones passing across the coastline in summer. .... 8
- Fig. 5. A typical example of large-scale low pressure cells developing in the east Syberia in late spring/early summer. .... 9
- Fig. 6. Daily-mean values of the observed winds measured at 5 coastal meteorological stations: Sokcho, Gangleung, Uljin, Uilleung Is. and Pohang. .... 10
- Fig. 7. Spectral characters (kinetic energy and ellipse orientation and stability) of the measured wind at Gangleung (a) in winter and (b) in summer by using the method of rotary-component spectral analysis (Gonella, 1972), 80% confidence interval and 90% significance level is shown. .... 11
- Fig. 8. Daily-mean values of the measured temperature profiles. Isoleths are contoured every 2°C and the dashed area corresponds to temperature lower than 10°C. .... 14
- Fig. 9. Mean profiles and variances of the measured temperature corresponding to 5 continuous measurement periods. .... 15

Fig. 10.	Results of cross-spectral analysis between temperature at 19 m depth and the sea level height at Mukho for periods of (a) May 25 - June 14 and (b) June 16 - Aug. 7. Positive phase means that sea level height leads temperature. ....	16
Fig. 11.	The cumulative spectrum of temperature measured at 21-23 m depth presented in percentage. ....	17
Fig. 12.	Daily-mean values of the measured current at each mooring point. At point A, currents were measured both at 11 and 18 m depths. ....	18
Fig. 13.	Longshore component (N-S component) of mean currents computed for each mooring. ....	19
Fig. 14.	Kinetic energy of the fluctuating part of current computed for each mooring. ....	20
Fig. 15.	Spectral characters of the measured current for moorings (a) C1, (b) A1N, (c) C3 and (d) D5. ....	21
Fig. 16.	Percentages of Kinetic energy contained in frequency range lower than 0.1 Cycle Per Day. ....	22
Fig. 17.	Results of cross-spectral analysis of current between mooring points: (a) A1M-A1N, (b) E1-A1M, (c) D2-C3, (d) D4-H3 and (h) D4-H3. ....	24
Fig. 18.	Results of cross-spectral analysis between longshore component of current and sea level height during the periods corresponding to moorings (a) A1N, (b) C5, (c) D4 and (d) C7. Positive phase means that sea level leads current. ....	25
Fig. 19.	(a) Results of cross-spectral analysis between cross-shelf components of current and temperature at 19 m depth. (b) Continuous change of phase difference between current and temperature as a function of frequency counted from 0.15 Cycle Per Hour. ....	27
Fig. 20.	Cumulative distribution of variance of sea level change as a function of frequency. Values are averaged over two adjacent stations: Pohang and Ulsan, and Sokcho and Mukho. ....	29

Fig. 21.	Longshore distribution of variance of sea level changes contained in long-period, diurnal and semidiurnal components. ....	30
Fig. 22.	Results of cross-spectral analysis between negative pressure and sea level height at Sokcho and Pohang. Positive phase indicates that sea level leads negative pressure. Straight lines are drawn to emphasize the linear decrease of phases. ....	31
Fig. 23.	Estimated in-phase barometer factors along the coast presented as a function of frequency. ....	33
Fig. 24.	Variance of sea level changes explained by pressure and wind effects and the combined effect of the two along the coast. Also shown are the variance and percentage error in sea level prediction when only tides (semi-diurnal and diurnal) and barometric effect are considered in prediction. ....	35
Fig. 25.	Distribution of variance of adjusted mean sea level in frequency domain presented in such a way that the area under the curve is proportional to the variance contained in considered frequency band. ....	37
Fig. 26.	Results of cross-spectral analysis between adjusted mean sea level and pressure (a) in Winter and (b) in Summer. Positive phase means that pressure leads sea level. ....	38
Fig. 27.	Results of cross-spectral analysis between non-adjusted sea levels measured at Sokcho and Pohang. Positive phase means that sea level at Sokcho leads that at Pohang. A trend of linearly decreasing phase is marked by a straight line. ....	41
Fig. 28.	Results of cross-spectral analysis between adjusted mean sea levels measured at Sokcho and Pohang. Positive phase means that sea level at Sokcho leads that at Pohang. ....	42
Fig. 29.	A cross-correlation function made between adjusted mean sea levels at Sokcho and Pohang. Positive time lag means that sea level at Pohang leads that at Sokcho. ....	43

Fig. 30.	Time-latitude distribution of longshore component of wind estimated from the atmospheric pressure charts. ....	45
Fig. 31.	Fluctuation of measured isotherms compared with longshore component of wind which has blown 16 days earlier in the region North of 40°N. ....	49
Fig. 32.	Progressive vector diagram of currents measured at mooring points D3 and D4. A through H correspond to periods when significant risings of lower cold water occurred. ....	50
Fig. 33.	Hydrographic sections obtained near the measurement site (Uljin) in June and August 1980 by F.R.D.A. For the purpose of comparison, hydrographic section obtained earlier (1938) in the north is presented. For locations of observations see Fig. 1. ....	57
Fig. 34.	Dispersion relation of possible continental shelf waves along the east coast of Korea. Time and space variables are non-dimensionalized with respect to $f^{-1}$ (Coriolis parameter) and $L$ (width of shelf-slope region). $\delta_B$ (characteristic scale of shelf region) is assumed to be $0.3L$ . ....	59



## 序 文

본 研究의 주요목적은 東海沿岸의 物理學的 海洋特性을 규명함에 있다. 一般的으로 海洋에서는 沿岸으로부터 外洋으로 감에 따라 大陸棚이 존재하는데 이는 地形에 따라 다소 차이는 있으나 비교적 淺海域을 말하며 대체적으로 연안으로부터 50 - 150 km까지 分布하고 있다. 大陸棚上의 海底面의 傾斜는 완만하며 水深 약 200 m 정도에서부터 경사가 급격히 커져서 大陸斜面을 형성하게 되며 大陸斜面이 끝나는 곳부터 大洋底에 접하게 된다. 우리나라 南海 및 西海의 대부분은 大陸斜面이 없는 大陸棚만으로 형성되어 있으나 東海는 이와는 판이하게 다른 海底地形을 보이고 있다. 대부분의 東海底는 水深이 2,000 m 이상의 大洋底로 되어 있으며 우리나라 沿岸쪽으로는 비교적 좁은 大陸棚과 급한 大陸斜面이 발달하고 있다는 것이 特徵이라 하겠다. (Fig. 1)

大陸棚 및 大陸斜面 上에서의 海水流動은 地球自轉, 海水密度的 垂直分布, 外洋에서의 海流條件, 海底의 傾斜度 및 沿岸線의 分布에 큰 영향을 받고 있다. 특히 沿岸線과 淺海底 形狀이 海水流動에 미치는 영향으로 인하여 沿岸流의 特性은 外洋의 그것과는 판이하게 달라진다고 하겠다. 大陸棚上에서의 海洋物理學的 (海水流動, 海水性質) 條件이 미치는 영향은 여러 방면에 걸쳐서 크다고 하겠다. 예를들어, 海洋의 중요한 基礎生産은 비교적 榮養塩이 풍부한 大陸棚水에서 이루어지고 있으며 이러한 生物學的인 現象은 海수의 力學的인 過程에 크게 좌우되고 있다. 堆積物의 移動이나 汚染物質의 擴散등도 이러한 海水流動과 밀접히 연관되어 있으며 기타 효과적인 國土防衛를 위하여서도 沿岸域의 海洋物理學的 研究는 중요하다 하겠다.

현재까지 알려진 바로는 東海에는 성질이 서로 다른 두개의 水塊가 각각 다른 방향으로 움직이고 있는데 하나는 北 혹은 北東쪽으로 흐르는 東韓暖流이며 다른 하나는 沿岸을 따라 南流하는 北韓寒流라 하겠다. 이러한 사실은 다년간에 걸친 海洋觀測 結果의 해석에 근거하고 있으나 실제로 流速計





를 이용한 장기간의 관측으로 입증되어야 하겠다. 한편 東海岸에서는 여름철에 冷水의 出現이 수시로 관측되어 왔는데 이의 정확한 원인은 아직 밝혀지고 있지 않으나 여러 학자들(林과 張, 1969 ; 安, 1974 ; 承, 1974)에 의하면 底層을 흐르는 北韓寒流의 表面浮上일 것으로 思料되고 있다.

海面變化에 대하여는 다년간에 걸친 교통부 수로국의 관측(수로연보)이 누적되어 있으나 東海岸의 海面變化는 南海 및 西海岸과는 달리 潮汐外의 要因에 기인한 변화가 많아서 이의 豫報를 어렵게 하고 있다.

기타 수산진흥원의 年例海洋調査를 제외한 해양물리학적 조사는 거의 全無한 상태여서 海洋學的인 諸般現象의 이해를 위하여는 앞으로 이의 資料축적이 절실히 요망되고 있다.

본 연구에서는 최근 수년간 동해안에서 수집된 각종자료를 토대로 하여 아직껏 밝혀지고 있지 않은 연안해수의 유동에 관한 제반 물리학적인 현상을 규명하려 노력하였다. 대부분의 관측은 특정현상의 규명을 위하여 계획되어 있지 않았던 관계로 본 연구에서는 자료분석 결과의 해석 및 토의에 중점을 두었다. 第2章에서는 해수유동에 크게 영향을 미치는 바람에 대하여 논하였는데 연안측후소에서 관측된 바람의 해양물리학적 利用價值에 중점을 두었다. 第3章에서는 시간에 따른 수온분포의 변화를 통계적으로 기술하였으며 수온변화는 계절적 요인보다는 해수의 力學的인 요인에 더 좌우됨을 보였다. 第4章에서는 관측된 연안류의 평균방향, 운동에너지의 분포, 수온 및 해면변화와의 관계, 해저면에서의 마찰력등에 대하여 논하였다. 제5章에서는 해면의 변화요인을 살펴 보았으며 조석 및 기압에 의한 변화양상, 바람에 대한 해면의 応答을 고찰하였고 해면변화 예보에 따른 오차를 推算하였다. 한편 大陸棚波의 有無에 관해서도 本節에서 고찰하였다. 第6章에서는 第3章에서 본 沿岸冷水 현상을 설명하려 했으며 북쪽에서 바람에 의하여 생긴 内部 沿岸波 (coastal trapped internal wave)의 南進의 가능성에 대하여 고찰해 보았다. 마지막으로, 본 연구에서 나타난 혹은 제기된 여러가지 사실들은 차후 본격적인 해양물리학적 연구에 많은 지침이 되고 또한 이들 연구에 의하여 명확히 되기를 바라는 바이다.

## 第 1 章 資 料

해양연구소에서는 1979 - 1980 년 동안 동해안의 울진근해에서 流速計 (Aanderaa 타입) 및 溫度記錄計 (Aanderaa 타입) 의 繫留에 의한 海流 및 水溫의 수직분포를 조사하였다. 계류위치는 연안에서부터 3 km 이내의 수개 定 點으로 유속계는 대부분 해면하 3 m, 수온기록계는 해면하 3 m에서부터 2 m 간격으로 하여 해면하 23 m 까지 위치하게끔 하였다. (Fig. 2). 해류의 측정은 매 10 분 간격으로 하였으며 수온은 매 10 분 (10 월 2 일 - 27 일) 혹은 20 분 간격으로 하였다. 이들 얻어진 자료는 후에 每時間資料로 환산하였는데 이는 해면변화 및 기상관측자료와 비교하기 위해서이다. 이들 해류 및 수온관측은 해양연구소의 연안해양환경조사 사업 (KORDI, 1980) 의 일환이었음을 밝혀둔다. 氣象 (風向, 風速 및 氣壓) 과 해면변화 관측자료는 중앙기상대 및 교통부 수로국으로부터 제공받았다. 기상자료는 속초, 강릉, 울진, 울릉도 및 포항의 5개 관측소에서 행했으며 해면변화의 관측은 Fuess 형 檢潮儀를 사용하여 속초, 묵호, 포항 그리고 울산의 4개 검조소에서 행하였다. (Fig. 1) 이들 자료들은 매 시간마다 얻어졌으며 단지 기압만은 6시간마다 기록되었다. 기압자료는 서로 다른 자료들과 비교하기 위하여 interpolation 을 통하여 每時間資料로 바꾸어졌다. 해면변화의 매시간 자료는 대기압 및 조석의 영향을 제거시키기 위하여 후에 다소의 변형을 加했다. 상술한 자료들은 본 연구의 토대가 되고 있는데 Fig. 3 은 이들 자료들이 얻어진 기간을 일목요연하게 보여주고 있다. 그림에서 해류관측자료들은 그 계류위치 (알파벳 문자) 와 시간 (아라비아 숫자) 에 따라 구분되었다.

하여 계산된  $\delta_B$ 와  $L$ 의 값을 위도에 따라서 표시해 놓은 것이다.  $\delta_B$ 의 값은 실제 수심을 指数函数曲線에 맞추어 구했다. 表에서 보인바와 같이 本海域은 비교적 좁은 大陸棚으로 이루어지고 있으며  $L$ 과  $\delta_B$ 의 값들도 연안을 따라 상당히 변화하고 있다. 한가지 흥미 있는 사실은 이러한  $L$ 과  $\delta_B$ 의 값의 비  $\delta'_B$ 는 비교적 一定한 ( $\sim 0.3$ ) 값을 보이고 있다는 것이다. 편의상 시간과 공간의 변수를  $f^{-1}$ 과  $L$ 에 대하여 나누어 無次元의 변수로 하였다. 그렇게함으로써 式(11)에 표시된 관계식은 단지  $\delta'_B$ 만의 함수로 다음과 같이 표시될 수 있겠다.

$$\begin{aligned} \omega_n' &= 4e' \delta_B' / \{ 1 + 4\delta_B'^2 (e'^2 + K_n'^2) \} \\ K_n' \cos K_n' &= - \left( \frac{1}{2} \delta_B'^{-1} + e' \right) \sin K_n' \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 프라임(')으로 표시된 값들은 無次元으로 환산된 변수를 의미하고 있다. Fig. 34는 式(13)에 의하여  $\delta'_B = 0.3$ 이라 하여 구한 大陸棚波의 週波数관계식 (dispersion relation)을 보이고 있다. 그림에 의하면 本海域

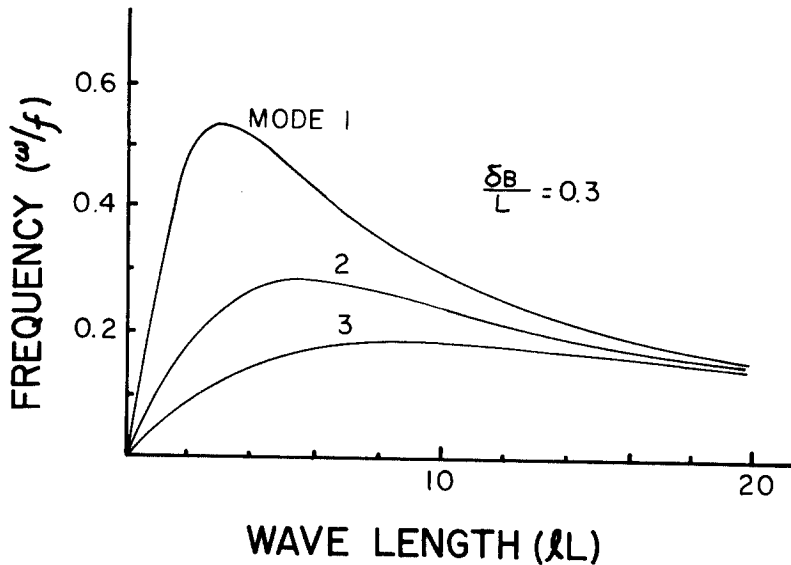


Fig. 34. Dispersion relation of possible continental shelf waves along the east coast of Korea. Time and space variables are non-dimensionalized with respect to  $f^{-1}$  (Coriolis parameter) and  $L$  (width of shelf-slope region).  $\delta_B$  (characteristic scale of shelf region) is assumed to be  $0.3L$ .

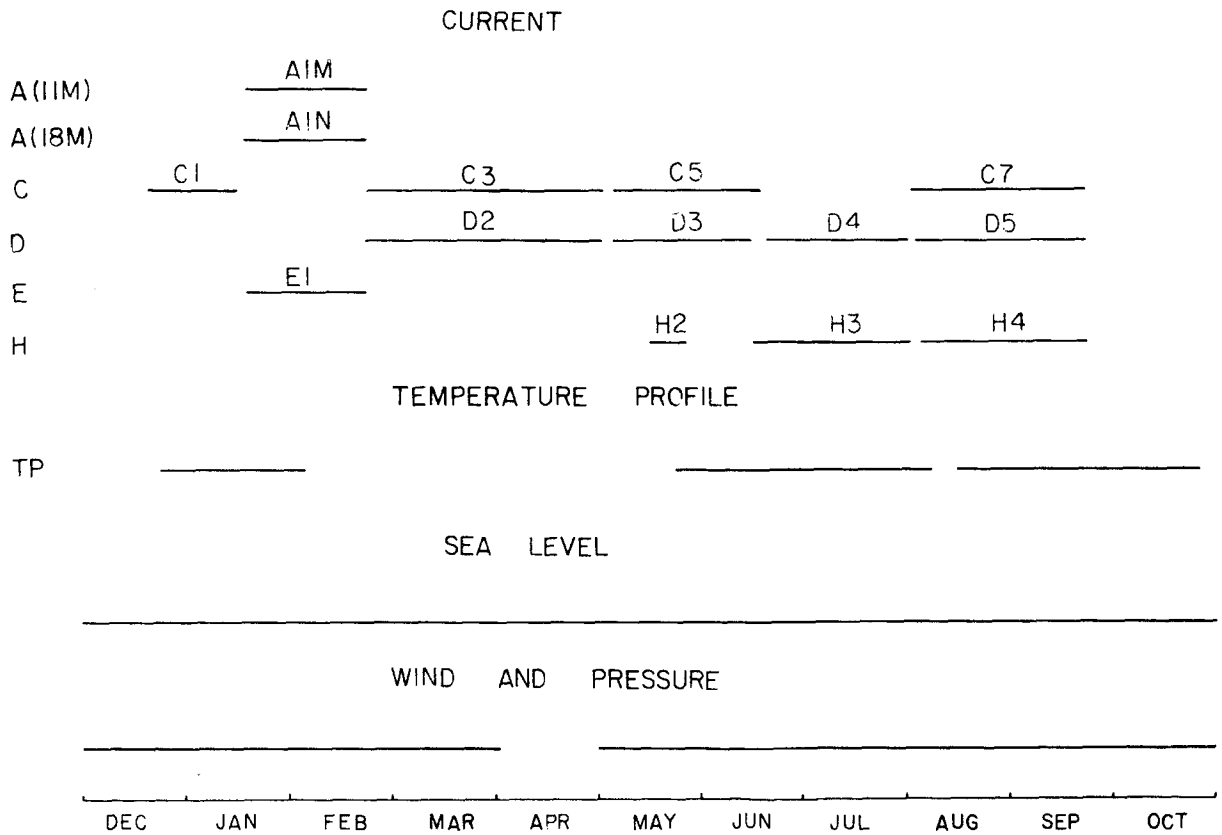


Fig. 3. Measurement period of current, temperature profile, sea level height and meteorological variables. Current meter moorings are classified according to the mooring point (alphabetic) and time (numeral).

## 第 2 章 氣 象 條 件

본 지역의 가장 두드러진 현상은 기압배치의 相異에 따른 탁월한 계절풍이 존재한다는 점이라 하겠다(金等, 1973). 겨울에는 대륙의 중심부에 강한 고기압이 발생하고 한국의 북동쪽에 위치한 오호츠크근해에서는 잘 발달된 저기압이 발생한다. 여름에는 일본 남동쪽의 해상에 고기압이 형성되며 대륙의 중앙부에는 반대로 저기압이 발달하게 된다. 冬季의 기압배치는 아주 잘 발달이 되어 있기 때문에 이 기간 동안에는 탁월한 북서풍이 불게된다. 반면 여름에는 그렇지 못하여 바람이 겨울만큼 강하지 못할뿐더러 변화도 더욱 심하다. 몇몇 열대성 폭풍(태풍)의 통과를 제외하고는 夏季의 해수 유동에 영향을 미치는 바람의 대부분은 연안선에 수직하게 東進하는 온대성저기압(Fig. 4)에 의하여 생긴다. 흥미있는 것은 늦은 봄 혹은 이른여름 시베리아 東端에 強大한 저기압이 자주 발생한다는 것이다.(Fig.5) 이들 저기압에 수반되는 바람은 해당지역에 湧昇現象을 일으키기에 적합하다 하겠으며 이 문제에 대하여는 6章에서 자세히 언급하기로 하겠다. 本章의 주요 목적은 실제 관측된 바람이 外海의 기상조건을 잘 나타낼 수 있을가에 대한 해답을 구하는 것이다. Fig.6은 5개의 기상관측소에서 관측한 바람의 일평균치를 보여준다. 속초를 제외하고는 바람은 대부분 北 혹은 北東向하고 있음을 알 수 있다. 위에서 언급한 바와 같이 겨울철에 강한 北 혹은 北西 계절풍이 예상되나 실제 관측된 바로는 대부분 남풍임을 보여주고 있으며 이는 아마도 지역적인 특성에 기인한 것인듯 하다. 이들 관측된 바람에 로타리 콤포넌트 스펙트럼 분석방법(Gonella, 1972)을 적용시켜 週期에 따른 바람의 특성을 알아 보았다. 이 방법에 의하면 벡터시계열자료는 반시계방향(양의 방향)과 시계방향(음의 방향)을 따라서 분석되며 분석결과는 운동에너지(kinetic energy) 벡터타원의 주방향(ellipse orientation) 및 그의 안정도(ellipse stability)로 표시된다. 여기서  $0^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$  혹은  $360^{\circ}$  를 갖는 타원 방향은 남북 방향으로의 유동을 나타내고 있음을 미리 밝혀둔다. 각각의 측후소에서 연

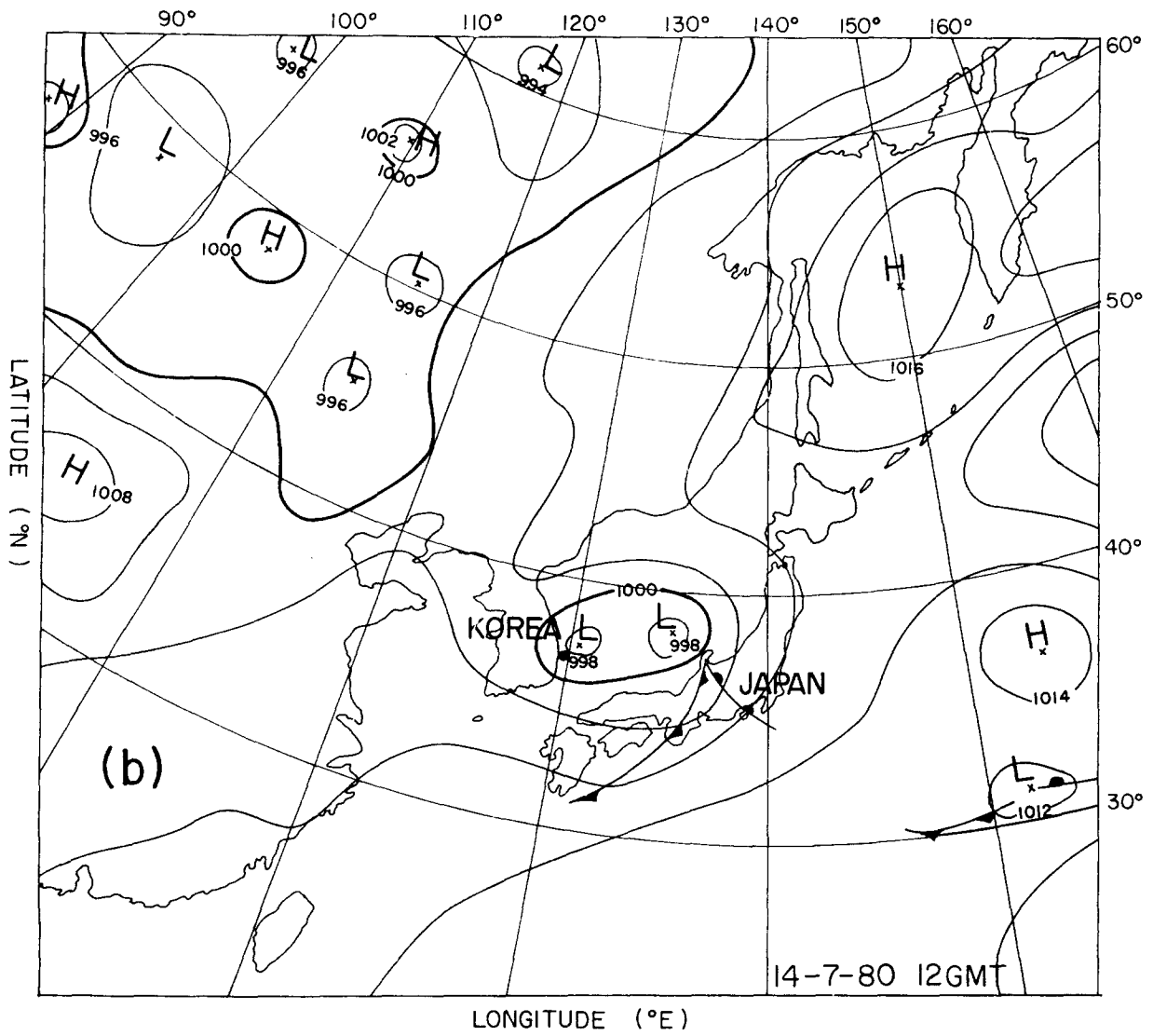


Fig. 4. A typical example of local cyclones passing across the coastline in summer.

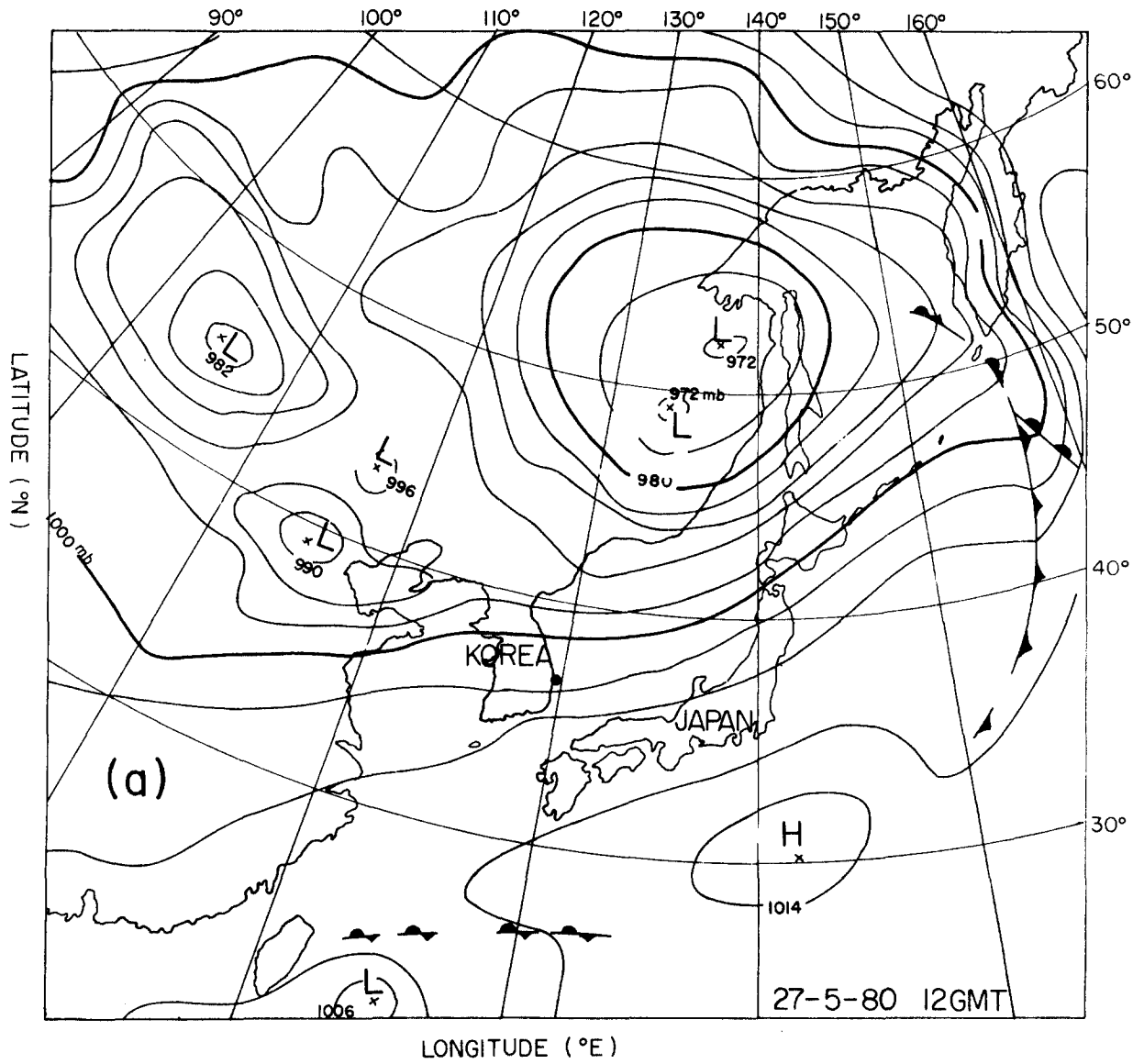


Fig. 5. A typical example of large-scale low pressure cells developing in the east Syberia in late spring/early summer.

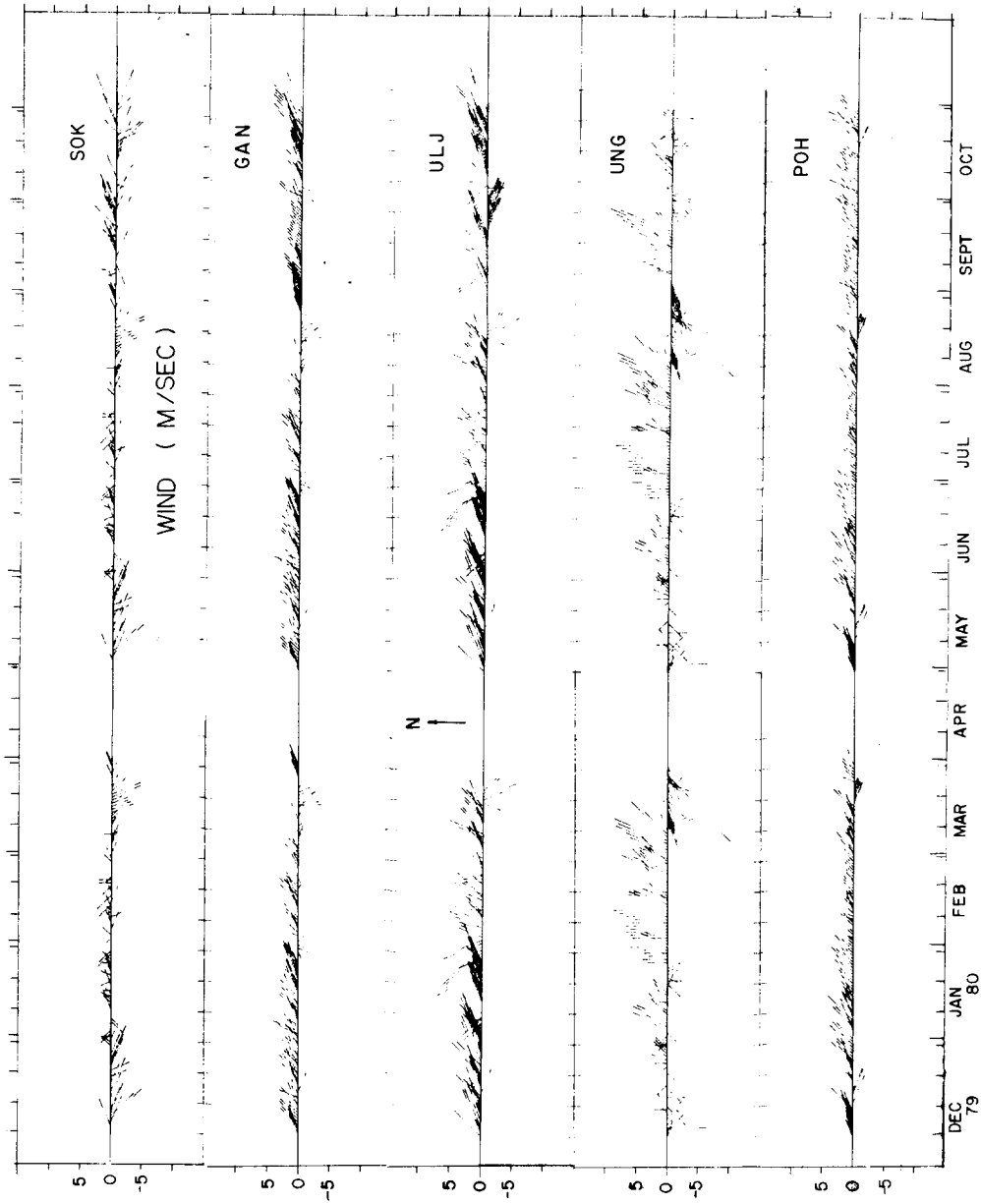


Fig. 6. Daily-mean values of the observed winds measured at 5 coastal meteorological stations: Sokcho, Gangleung, Uljin, Ulleung Is. and Pohang.



어진 결과들은 서로 비슷한 양상을 보이고 있는데 本章에서는 강릉에서 얻어진 것만을 보이기로 한다. (Fig.7a와 b) 스펙트럼 분석은 전체자료를 2部分으로 나누어 각 部分이 겨울 및 여름에 해당하도록 하여 행하였다. 겨울은 1979년 12월 - 1980년 3월, 여름은 1980년 5월 - 1980년 10월로 가정하였다. 분석을 위한 모든 入力자료는 다시 수개 (보통 10개 이상)의 区間을 정하여 각각의 구간에 대하여 얻어진 결과를 평균하며 최종적인 결과를 얻었다. 본 연구에서 행한 모든 스펙트럼 분석은 이러한 과정을 거쳤는

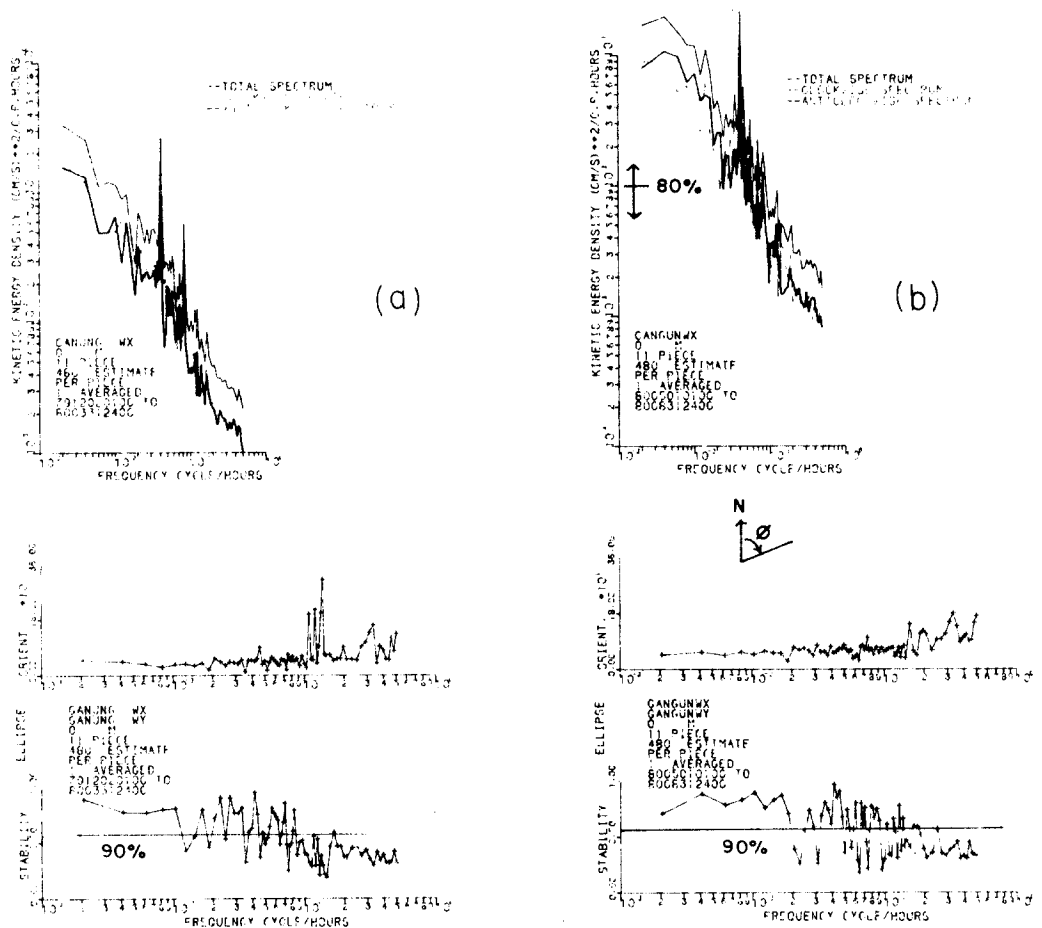


Fig. 7. Spectral characters (kinetic energy and ellipse orientation and stability) of the measured wind at Gangleung (a) in winter and (b) in summer by using the method of rotary-component spectral analysis (Gonella, 1972). 80 % confidence interval and 90 % significance level is shown.

데 이는 분석 결과에 가능한 많은 自由度 ( degree of freedom )를 부여하기 위한 것으로 自由度가 많을 수록 신빙성이 높은 결과를 얻을 수 있기 때문이다. 따라서 長週期成分에 대한 신빙성있는 결과를 얻기 위하여는 長期間에 걸친 자료가 요구된다. 하겠다. 울릉도를 제외한 전 沿岸域에서 여름 ( Fig. 7 a )과 겨울 ( Fig. 7 b ) 共히 日週期 근방에서 에너지의 最大가 존재하며 겨울의 경우는 半日週期에서도 비슷한 현상을 보이고 있다. 이들 週期를 갖는 바람태원의 主軸은 연안선에 거의 수직 ( 북동 - 남서 )한 방향으로 나타나고 있다. 이는 연안지방에서 강하게 나타나고 있는 海陸風에 의한 듯하나 半日週風에 대하여는 이러한 설명이 곤란하다 하겠다. 관측점 간의 바람의 相関度는 울진과 포항을 제외하고는 미약하게 나타나고 있는데 울진과 포항 사이에는 5日 以上の 週期에서 좋은 相関關係가 나타나고 있다. 또한 각 관측점에서 행한 스펙트럼 분석에서 바람과 기압은 서로 無關하게 나타나고 있다. 上記의 결과들을 토대로 하여 아래와 같은 사실들을 열거할 수 있겠다.

- 1) 측정된 바람은 調査海域의 全体的인 風系를 잘 나타내고 있지 못한 것으로 思料된다.
- 2) 측정된 바람은 大氣压外의 요인에 크게 좌우되고 있는 듯하다.
- 3) 定点 기압 관측에 의하여 바람의 방향에 대한 정보는 얻을 수 없다는 不利한 점이 있으나 海水流動의 연구를 위하여는 측정된 바람보다는 오히려 기압을 이용하는 것이 妥當할 것 같다.

### 第 3 章 水 温 分 布

Fig.8은 日平均資料에 의한 수온의 수직분포를 보이고 있다. 一見하여, 本海 域에서는 특히 여름철(6월 - 10월)에 있어서 왕성한 内部垂直流動이 나타나고 있는 듯하다. 每 10分(20分) 資料를 5개의 연속관측자료에 대하여 통계분석하여 평균치 및 分散値를 구했으며 그 결과가 Fig.9에 표시되어 있다. 수온의 평균수직분포를 보면 계절에 따른 온도의 차이는 약  $10^{\circ}\text{C}$  정도에 그치고 있다. 온도 군배는 깊이에 따라 거의 일정하며( $\sim 0.1^{\circ}\text{C}/m$ ) 계절에 따른 변화가 미비하게 나타나고 있으나 겨울철에는 약간 弱化되는 듯하다. 本海 域에서 관측된 염분치를 보면 겨울에 최대로 약 34.2‰. 여름에 최소로 약 33.0‰로 나타나고 있다(KORDI, 1980). 이들 염분치가 수온의 연속 관측기간 동안에 일정하게 유지된다고 가정하여 계산된 浮力週波數(Buoyancy frequency)는 약  $0.015 \text{ sec}^{-1}$ 로 나타나는데 이는 약 8分程度の 週期에 해당하고 있다. 흥미있는 사실은 最低水温이 여름에 나타난다는 것이다. 이러한 하계냉각현상은 等温線의 상승으로 인하여 일어나고 있는 듯하다. 分散(Variance)의 最大치도 역시 이 기간에 일어나고 있는데 이는 本海 域에서의 온도변화가 대기와의 열교환에 의한 것 보다는 海水의 力學的 條件에 의하여 더 좌우됨을 의미하는 듯하다. 통계분석에 의하면 水温의 변화와 여타 측정된 물리량(기압, 해류 및 해면변화)와는 어떠한 관계도 갖고 있지 않은 것으로 나타나고 있으나 해류의 경우 실제 관측이 너무 연안에 접근해 있는 관계로 本海 域의 力學條件을 충분히 나타내지 못하는 데에도 그 원인이 있을 것으로 思料된다. 이들 内部流動 현상에 대하여는 후에 제 6章에서 더 자세히 언급하기로 한다. 상술한 기간 동안에 조석과 결부되어 일어나는 波動 현상이 조석의 조화진동수(tidal harmonics) 부근에서 자주 관측되었다. Fig. 10a와 b에 표시한 바와 같이 묵호에서의 해면변화와 19m 깊이에서 관측된 온도와의 사이에는 좋은 상관 관계가 있음이 나타나고 있다. 週波數 0.2 CPH(Cycle per Hour) 부근에서 해면의 높이와 등온선의 높이는 약  $30^{\circ}$

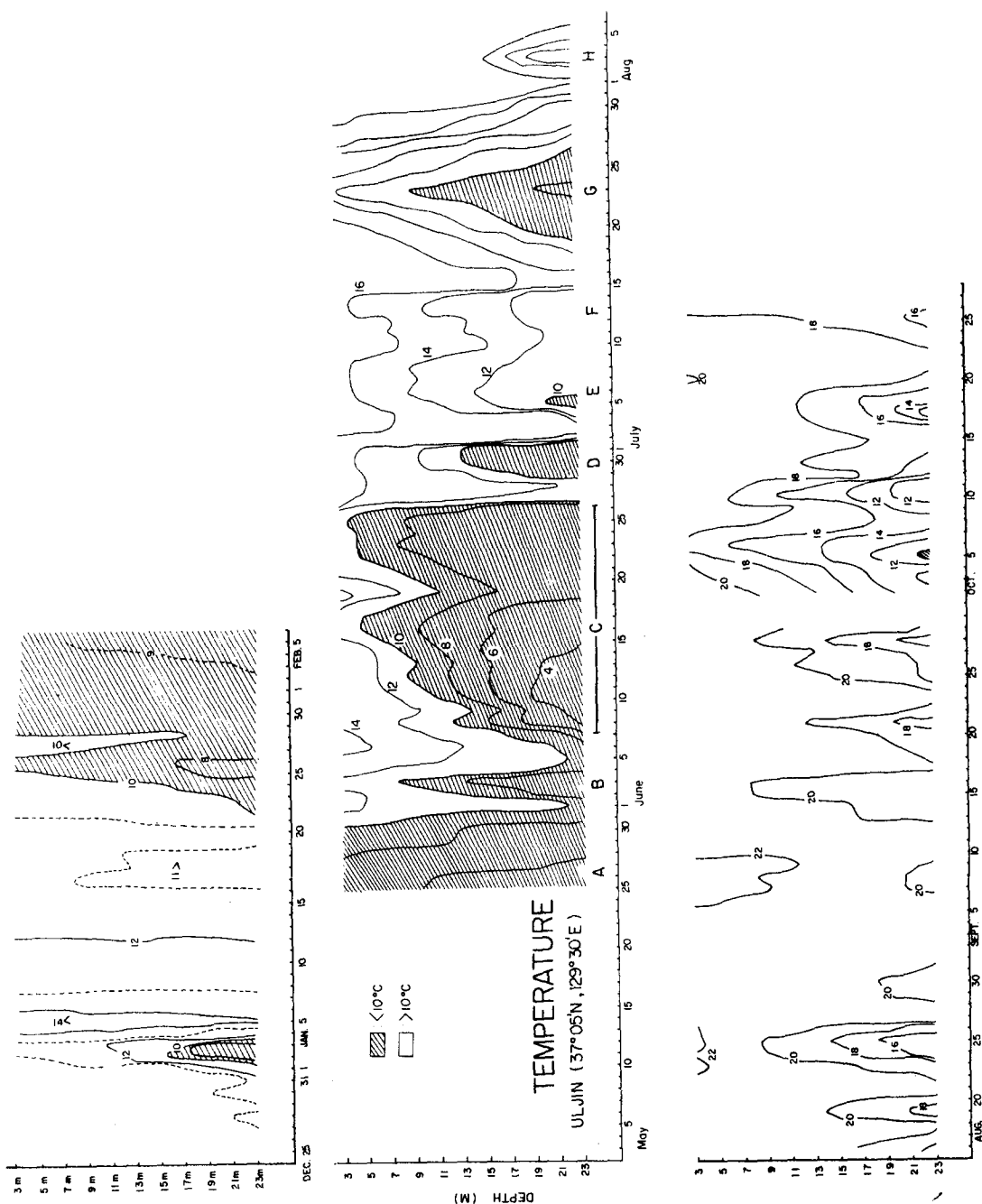


Fig. 8. Daily-mean values of the measured temperature profiles. Isoleths are contoured every 2°C and the dashed area corresponds to temperature lower than 10°C.

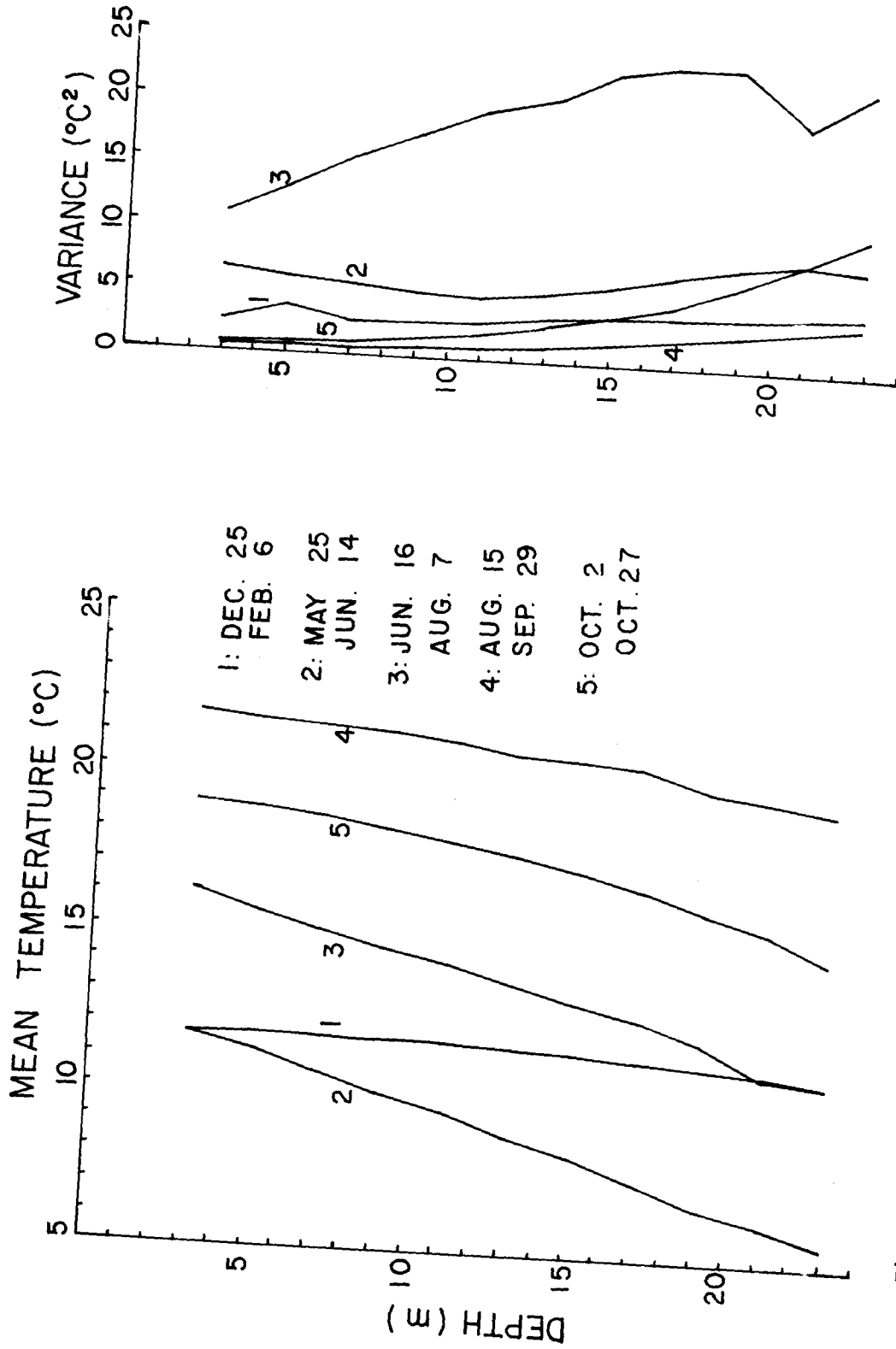


Fig. 9. Mean profiles and variances of the measured temperature corresponding to 5 continuous measurement periods.

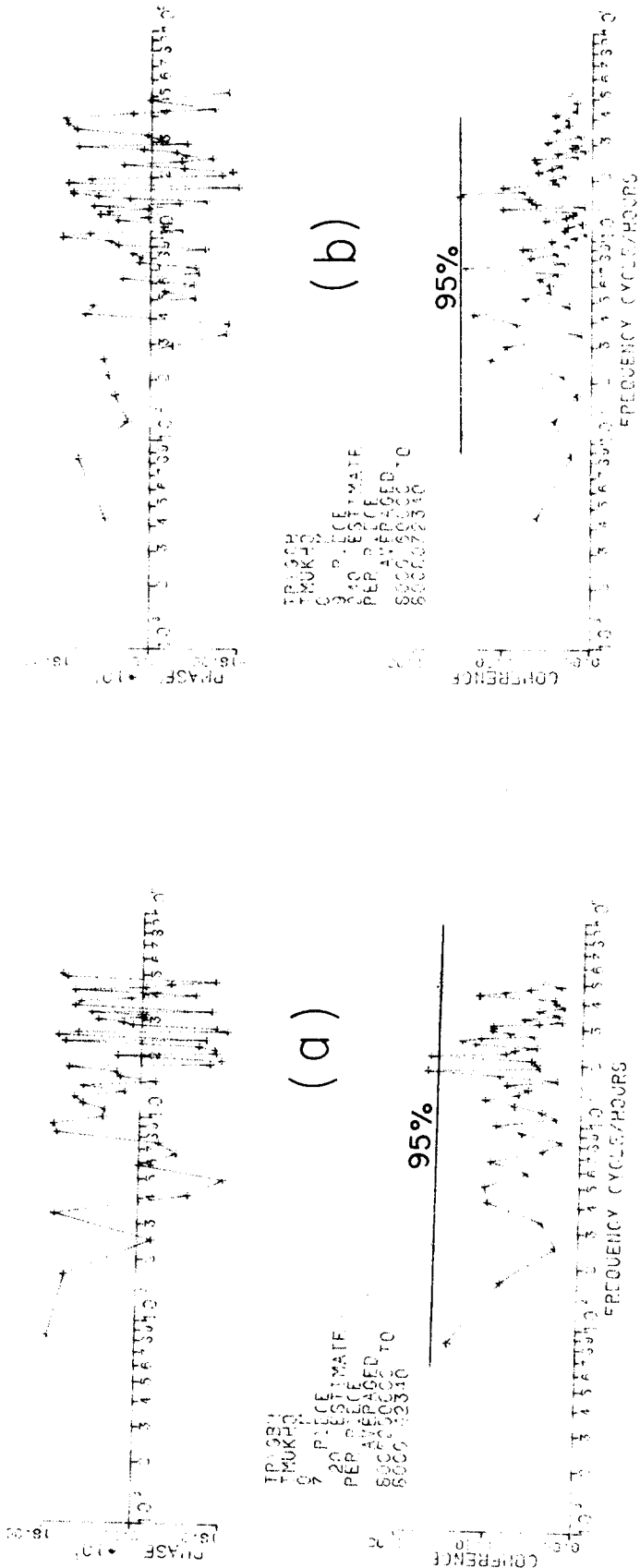


Fig. 10. Results of cross-spectral analysis between temperature at 19 m depth and the sea level height at Mukho for periods of (a) May 25 - June 14 and (b) June 16 - Aug. 7. Positive phase means that sea level height leads temperature.

의 位相差를 보이고 있는데 이는 약 30分에 해당하는 시간만큼 해면이 먼저  
 높아짐을 의미한다. Fig. 11은 수심 21 m와 23 m에서 관측된 온도변화의  
 누적 스펙트럼 분포를 보이고 있다. 관측 가능한 週波數帶內에서 특별히 큰  
 에너지를 갖는 成分은 나타나고 있지 않다. 5개의 연속 관측에 나타나는 공  
 통된 점은 全体 分散量의 50% 이상이 주기가 1日 이상에 해당하는 長週  
 期成分 (Subtidal band)에 포함되어 있다는 것이다.

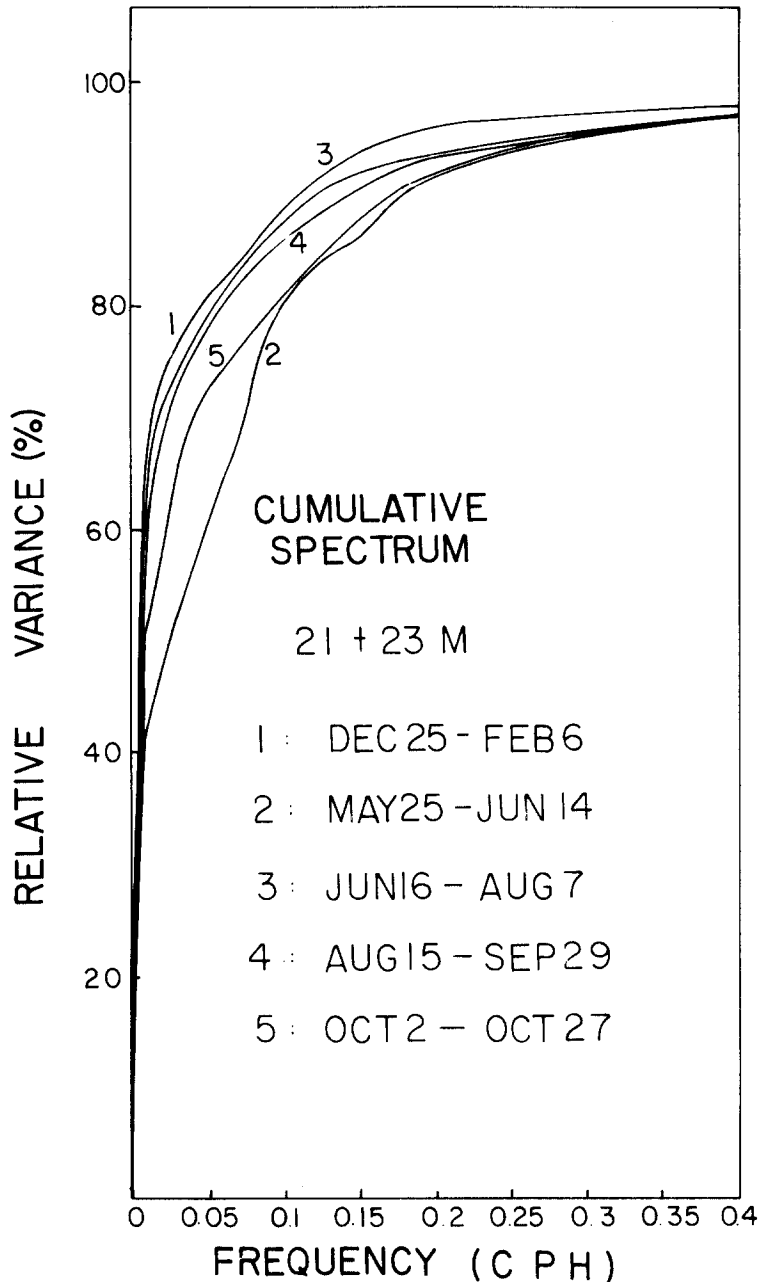


Fig. 11. The cumulative spectrum of temperature measured at 21-23 m depth presented in percentage.

## 第 4 章 海 流 分 布

관측해류의 日平均値가 Fig. 12에 표시되었다. 本海域에서 밝혀져야 될 사실 중의 하나는 아마도 해수가 남쪽으로 흐르는가 혹은 북쪽으로 흐르는가 하는 점이나 Fig. 12로서는 이의 해답을 구하기가 어려운 듯하다. 그림에 의하면 해류는 다소 불규칙적으로 방향을 바꾸고 있는 듯하다. 연안선 자체가 하나의 流線을 형성하기 때문에 연안근처에서 측정된 해류는 연안선에 평행(거의 남북방향)하게 흐를 것이다. 따라서 해류의 남북성분속도의 평균치를 각각

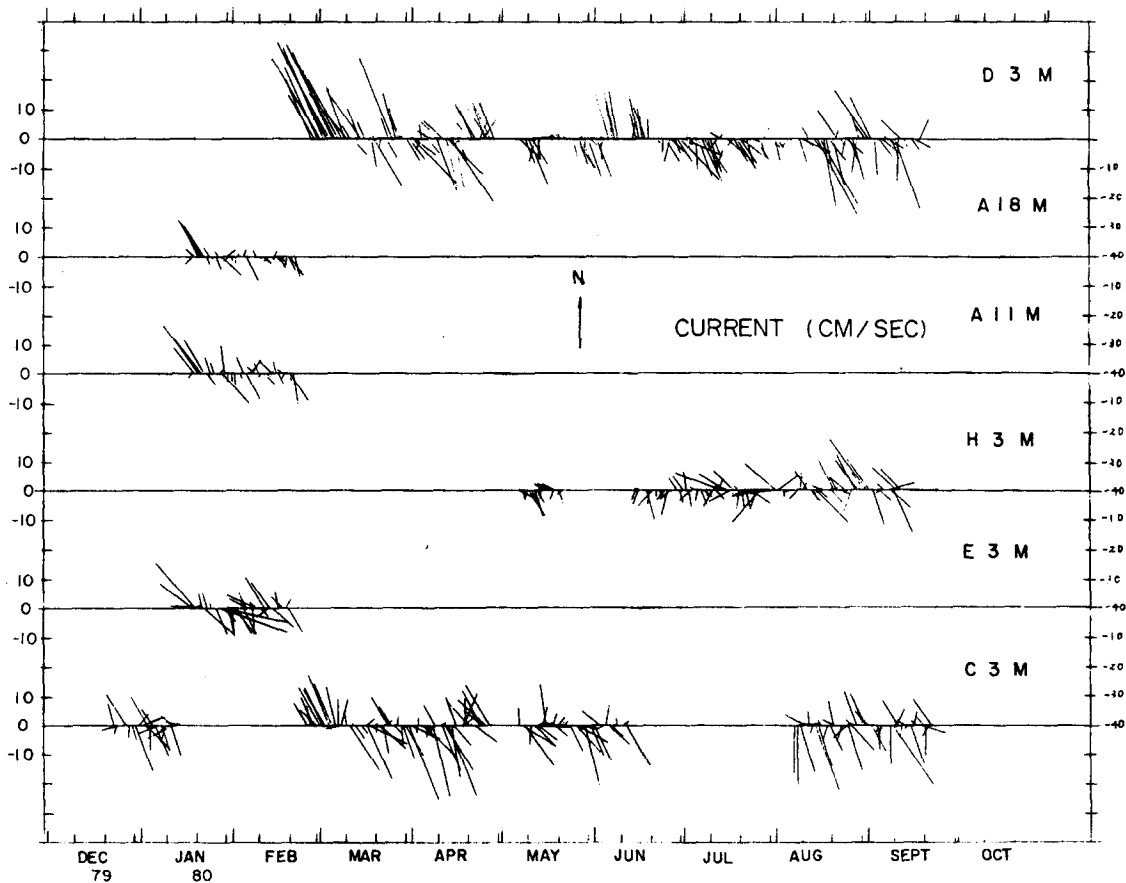


Fig. 12. Daily-mean values of the measured current at each mooring point. At point A, currents were measured both at 11 and 18 m depths.



의 연속관측에 대하여 계산하여 그 결과를 Fig. 13에 표시하였다. 본 해역의 평균해류는 뚜렷하게 정의되고 있지 않으나 대체로 남쪽 방향의 해류가 우세하게 나타나고 있는 듯하며 해류의 속도는 대략 數  $cm/sec$  정도라 할 수 있겠다. 表層以深에서의 해류관측은 A 정점의 11 m ( A1M )와 18 m ( A1N ) 깊이에서 행한 것 밖에 없는 관계로 심층의 평균해류의 정의는 다소 不可하다 하겠다. 측정된 해류의 운동에너지의 양을 계산한 결과가 Fig. 14에 표시되어 있는데 대체적으로 數百  $cm^2/sec^2$ 로 나타나며 해류의 속도로 환산 했을 때 약 10  $cm/sec$ 에 해당하는데 이는 평균 해류속도의 약 10 배에 달하는 값이다. 로

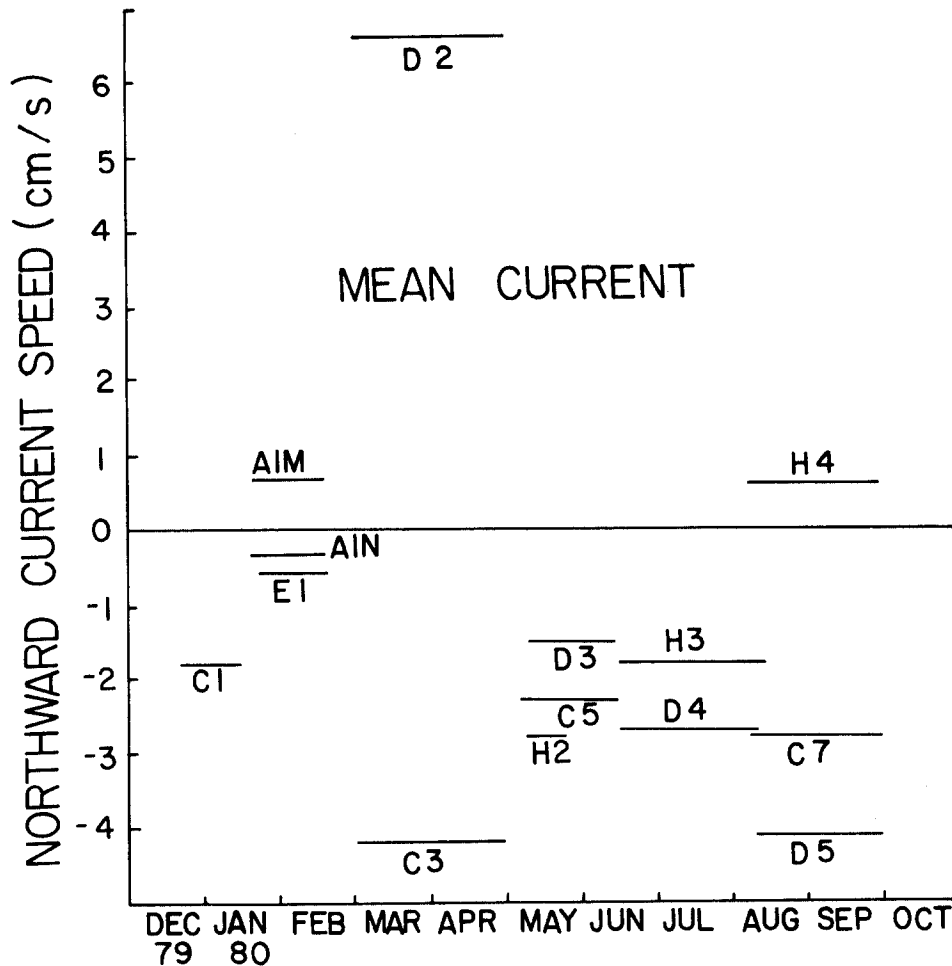


Fig. 13. Longshore component (N-S component) of mean currents computed for each mooring.

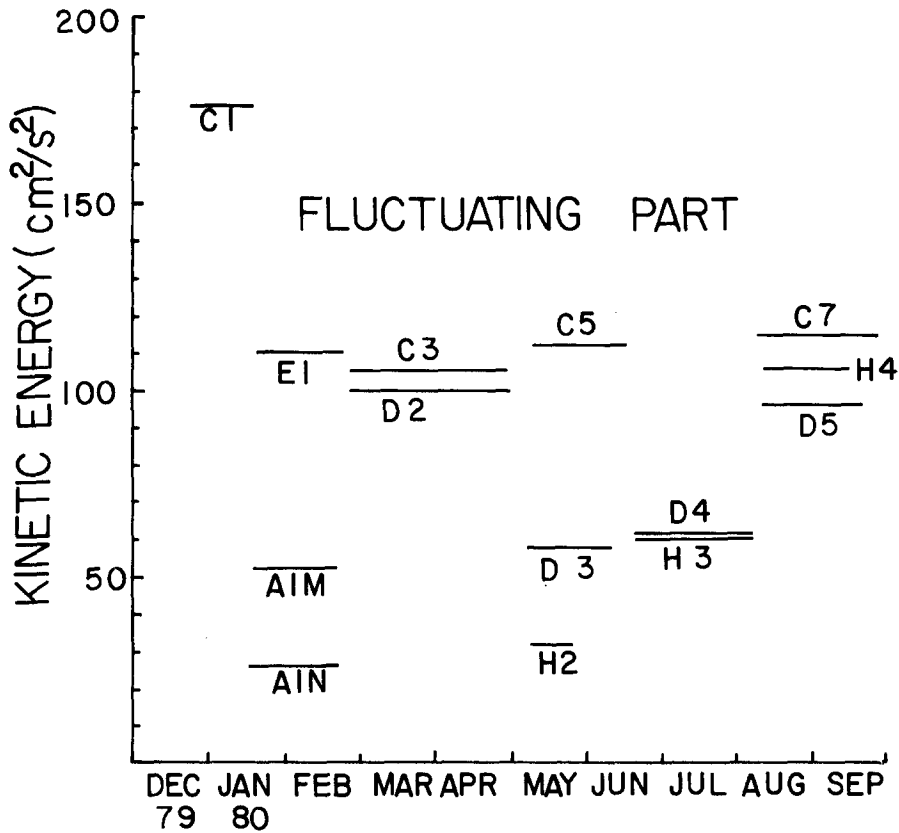


Fig. 14. Kinetic energy of the fluctuating part of current computed for each mooring.

타리 스펙트럼분석에 의하여 운동에너지의 週期別 분포를 계산하였는데 4개의 대표적인 해류관측에 대해서 Fig.15a에서 d까지 표시하였다. 時計方向 및 反時計方向으로 변하는 해류성분의 에너지양은 서로 비슷한 분포를 보이고 있는데 이는 해수의 유동이 거의 일직선 상에서 일어나고 있음을 말한다. 일반적으로 週波數 0.1 CPH 以下の 운동은 연안선에 평행한 방향으로 일어나고 있으며 그 이상의 週波數를 갖는 유동은 연안선과 수직인 방향으로 일어나고 있는 듯하다. 이들 높은 週波數의 운동은 대체로 有意水準 95%에 미달하는 해류타원 안정도(ellipse stability)를 갖고 있는데 이는 해수유동의 방향이 항상 한 방향으로 일정하지는 않다는 것을 말해 주고 있다. 운동에너지의 분포에 의하면 특별히 많은 양의 에너지를 갖고 있는 成分이 존재하고 있지는 않은 듯하다. 日週成分 근처에 약간의 에너지가 축적되어 있는 듯 하

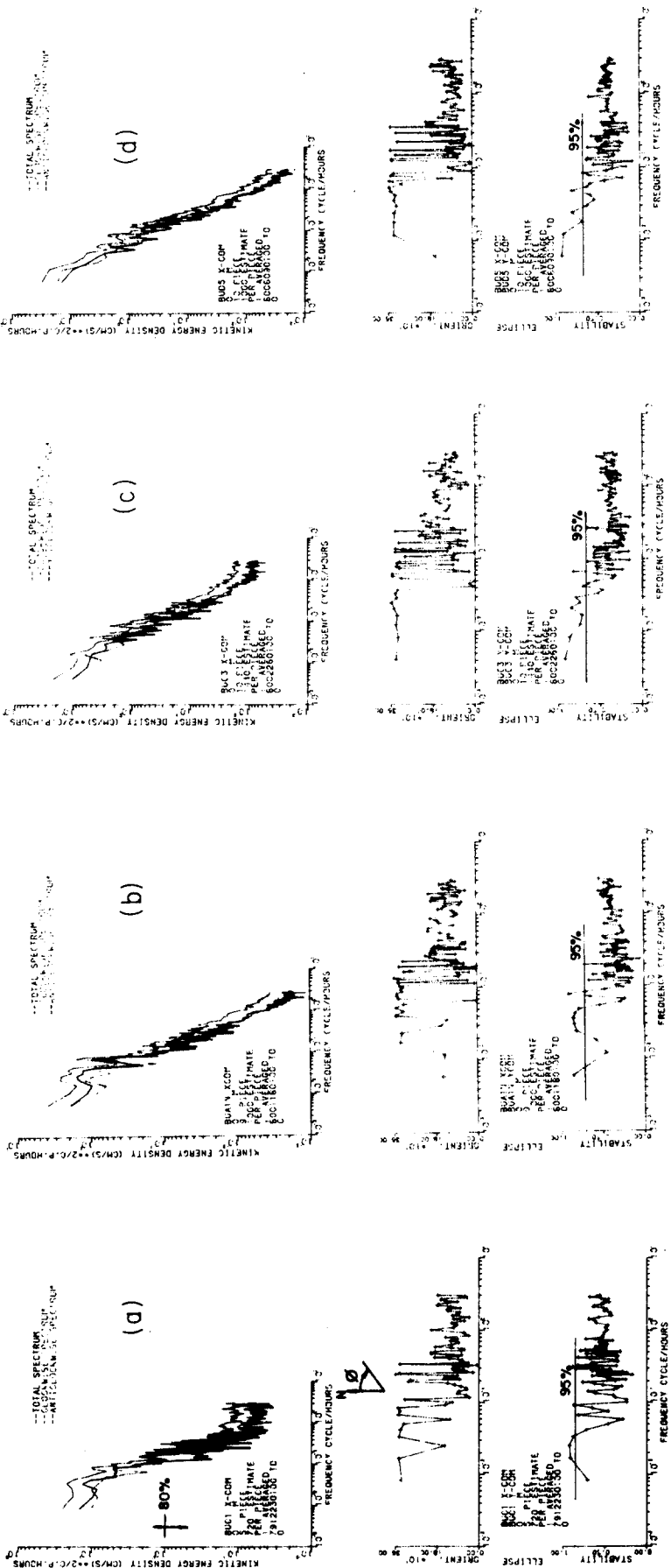


Fig. 15. Spectral characters of the measured current for moorings (a) C1, (b) A1N, (c) C3 and (d) D5.

나 그림에 표시된 80% 신뢰구간을 크게 벗어나지 못하고 있다. 대부분의 에너지는 長週期 즉 낮은 週波數를 갖는 成分에 포함되어 있는 듯하다. 여기서 어느 週期 이상의 것을 장주기로 하는가 하는 문제가 다소 애매하나 25時間 이상의 주기 즉 0.04 CPH 이하의 주파수를 갖는 성분을 장주기 운동이라고 하자. 이렇게 임의로 정해진 장주기성분의 에너지 占有率 (percentage)을 계산한 결과가 Fig. 16에 표시되어 있다. 여기서 전체의 에너지 양은 週波數가 0.5 CPH (주기는 2시간) 이하의 成分에 포함된 것을 합한 것이다. 그림에 의하면 대략 50% 이상의 에너지가 이 長週期成分에 포함되어 있다 하겠다. 長週期成分 이외에 포함된 나머지 에너지의 양은 日週 혹은 半日週期를 갖는 潮流, 慣性流 (inertial current), 潮汐의 조화진동수 (tidal harmonics)에 해당하는 운동, 기타 알려져 있지 않은 短週期運動

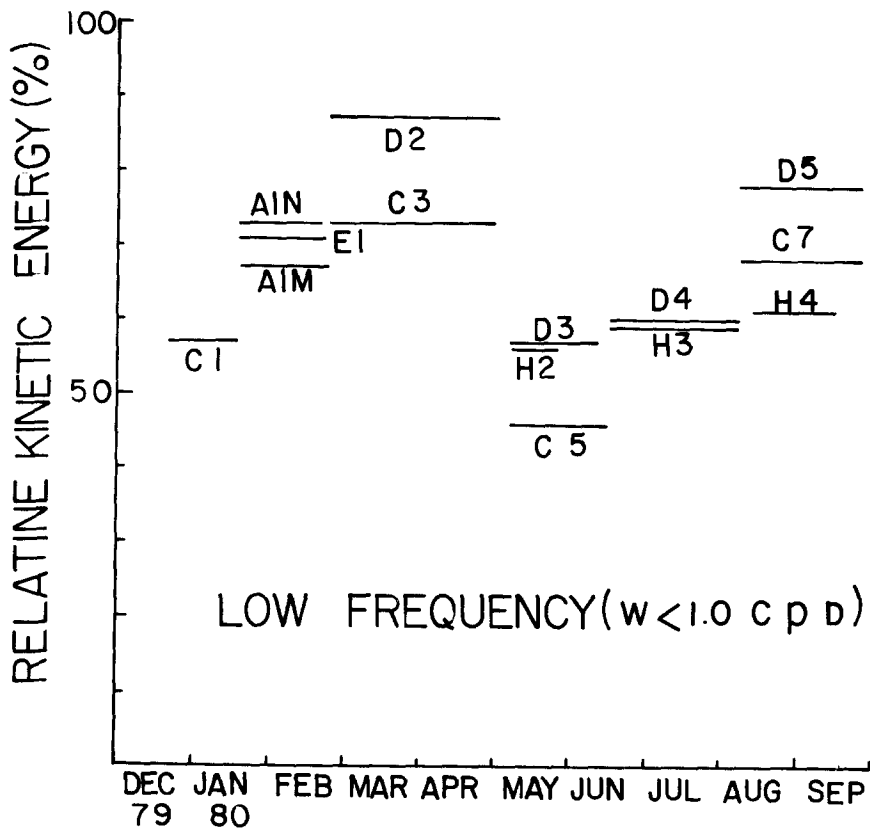


Fig. 16. Percentages of Kinetic energy contained in frequency range lower than 0.1 Cycle per Day.

혹은 雜波 ( noise )로 구성되어 있다. 각 定点간의 해류의 相關度를 로타리 스펙트럼방법에 의하여 계산하였으며 몇몇 결과가 Fig. 17a에서 e에 표시되었다. 相關關係는 항상 좋게 나타나고 있지는 않으며 대체적으로 측정 장소나 시간에 따라 다르게 나타나고 있는 듯하다. 定点C와 D의 해류는 日週 혹은 半日週潮流와 長週期운동에서 상관관계가 거의 항상 좋게 나타나고 있는 듯하다 ( Fig. 17c ). A 定点의 11 m 깊이와 18 m 깊이에서 측정된 해류도 서로 같은 양상으로 변하고 있으나 ( Fig. 17a ) 이들 表面下에서 측정된 해류와 同期間동안 定点E의 表層에서 측정된 해류는 潮流成分을 제외하고는 대체적으로 關連性이 없게 나타나고 있다 ( Fig. 17b ). 이러한 현상이 定点A와 E의 相違에 기인한 것인지는 알려져 있지 않다. 定点D와 H와의 사이에도 潮流를 제외한 다른 성분은 서로 無關하게 나타나고 있다 ( Fig. 17d ) 상술한 바와 같이 해류가 調査海域과 같이 좁은 장소안에서도 서로 判異한 양상을 보이고 있다는 것은 다소 예상밖의 일이라 할 수 있겠다. 海底地形의 영향이 이에 크게 작용하리라 생각되나 어떠한 과정을 거쳐서 운동에 영향을 미치는 지도 더 많은 조사를 통하여서만 가능하리라 생각된다. 측정해류가 나타내고 있는 현상중 한가지 흥미있는 것은 연안에서 外洋으로 감에 따라 해류의 位相差異가 생기고 있다는 것이다. 週波數  $\omega$ 를 갖고 反時計方向 ( $\omega > 0$ ) 혹은 時計方向 ( $\omega < 0$ )으로 회전하는 해류벡터  $\vec{U}_\omega$ 가 一定時間  $\tau$ 만큼의 時間 遲延現象을 보이고 있다고 하면

$$\vec{U}_\omega \propto e^{i\omega(t-\tau)}$$

로 표시될 수 있겠다. 이때 位相差  $-\omega\tau$ 는 週波數  $\omega$ 에 비례하여 감소하게 된다. Fig. 17c와 17e에서 相關度가 높은 成分의 位相差는 이러한 현상을 보이고 있는 듯하다. Brink와 Allen(1978)도 海底와의 마찰로 인하여 생기는 해류의 位相差에 대하여 論한 바 있는데 이때 外洋의 해류는 연안쪽의 해류보다 一定時間만큼의 遲延을 나타내게 되며 遲延의 量  $\tau$ 는 海底面의 경사에 의하여 결정됨을 보였다. 본 연구에서는 時間遲延이 3 - 6시간으로 나타나고 있는데 定点間的 거리가 약 1.5 km에 불과하다는 사실을 고려해 볼 때 이보다 큰 거리에서는 더욱 큰 時間遲延現象이 기대된다 하겠다. 本海

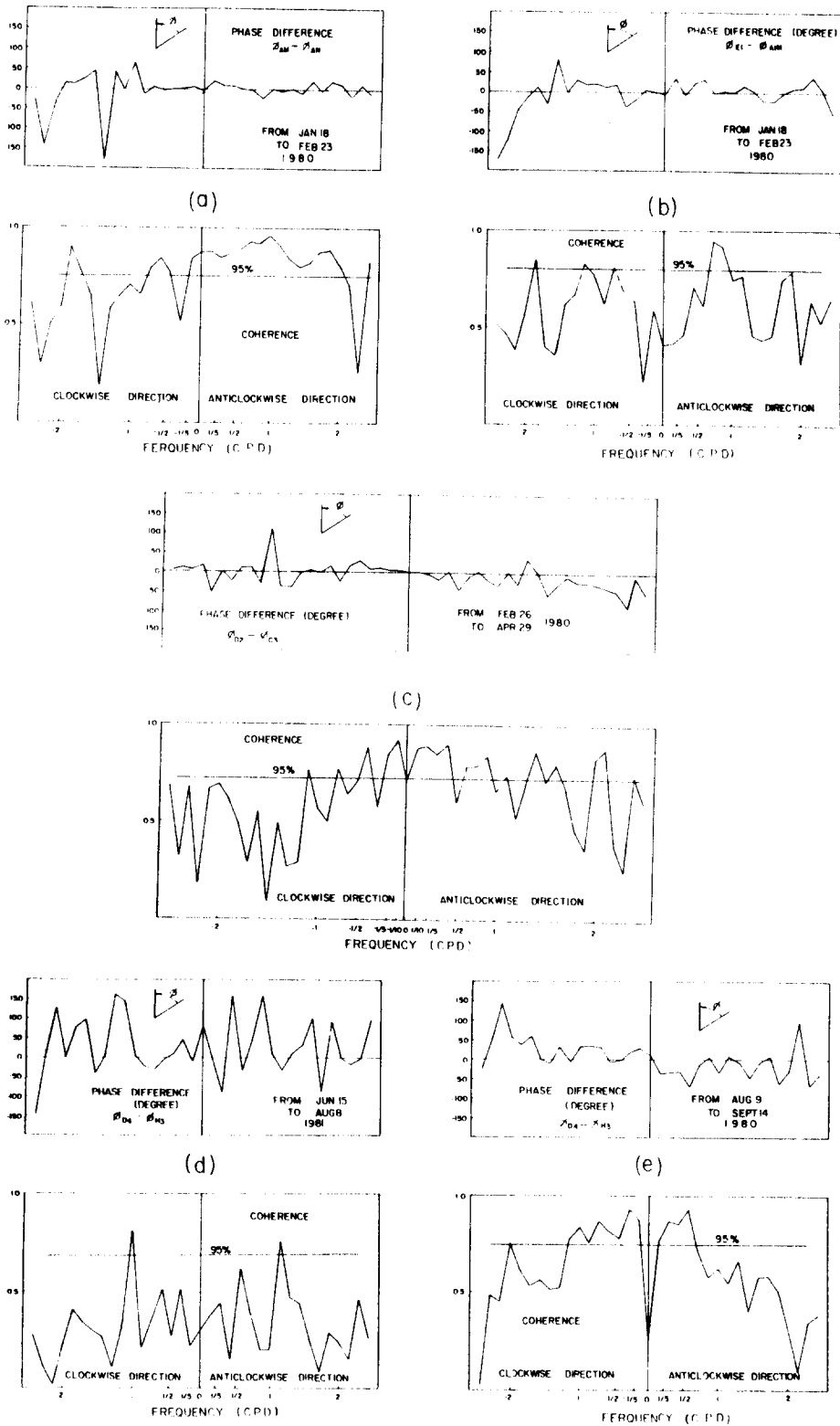


Fig. 17. Results of cross-spectral analysis of current between mooring points: (a) A1M-A1N, (b) E1-A1M, (c) D2-C3, (d) D4-H3 and (e) D4-H3.

域에서 마찰력이 크게 작용하고 있다는 사실은 第5章에서 論한 海面 변화에서도 나타나고 있다는 것을 밝혀준다.

Fig. 18a 에서 d까지는 해류와 海面 변화와의 상관관계를 알아보기 위한 스펙트럼분석 결과이다. 相關度는 日週 혹은 半日週期에서 일반적으로 높게 나타나고 있다. 位相差는 北向流가 海面의 높이보다 0 - 160° 정도 앞서고 있다. 本海域에서의 潮汐波는 南進하고 있기 때문에 (Ogura, 1933) 漲潮流는 南向일 것

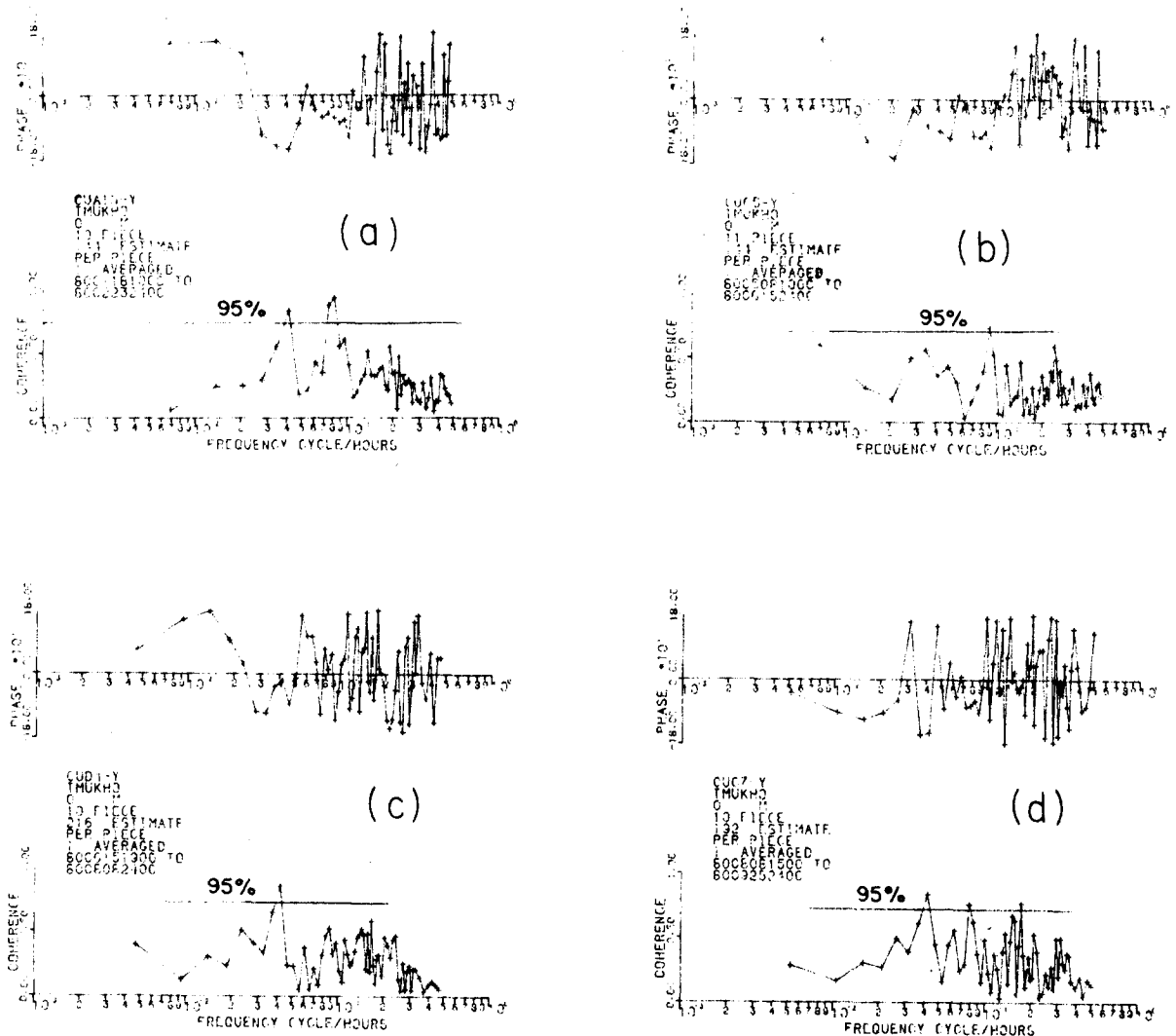


Fig. 18. Results of cross-spectral analysis between longshore component of current and sea level height during the periods corresponding to moorings (a) A1N, (b) C5, (c) D4 and (d) C7. Positive phase means that sea level leads current.

으로 思料된다. 일반적으로 進行波의 경우 漲潮流와 해면의 높이와는 그 位相이 일치하고 定常波 (standing wave)의 경우 漲潮流가 해면의 높이보다  $90^\circ$  앞서고 있다 하겠다. 한국 南海 혹은 西海와 같은 곳에서는 潮汐流는 進行波와 定常波와의 혼합된 形態로 나타나는데 이때 漲潮流는 해면의 높이보다  $0-90^\circ$  앞서게 된다. 東海岸의 경우에 있어서는 이와는 判異하게 다른 形象을 보이고 있다 하겠다. 本海域의 경우, 다른 沿岸域과는 달리 大陸棚이 매우 좁고 급격한 大陸斜面이 발달하고 있는 점이 특이하다 하겠다. 따라서 이곳에서의 潮汐波는 大洋에서 일어나는 波의 성격을 띄고 있으며 大陸棚上에서는 波의 變形이 예상된다 하겠으나 그 변형의 과정이 어떻게 일어나고 있는지는 아직껏 알려지고 있지 않다.

Fig. 19a 에는 연안에 수직하게 外洋으로 향하는 해류성분과 19 m 깊이에서의 水溫의 변화와의 상관관계가 나타나 있다. 0.18 과 0.30 CPH의 週波數를 갖는 곳에서 비교적 좋은 相關關係가 나타나고 있다. 이 부근의 주파수에서 位相差는 급격히 감소하여 0.15 CPH 동안  $720^\circ$  가까이 이르고 있는데 ( Fig. 19b ) 이는 海流와 水溫과의 사이에 16 시간의 時間遲延에 해당한다고 하겠다. 短週期운동 ( ~수시간 주기 )에 이렇게 큰 時間遲延이 있다하는 사실은 쉽게 이해가 가지 않는 바 없지 않다. 이러한 사실은 강한 바람에 따라서 일어나는, 연안에 수직한 방향으로의 海水流動 혹은 연안에서의 等溫線의 수직유동과 밀접히 연관되어 있는 듯하다. 이 경우 水平運動 (연안에 수직한 방향으로) 과 垂直運動과의 사이에는  $90^\circ$ 의 位相差가 존재하게 된다. 연안 근처에서는 연안에 수직한 방향으로의 유동은 거의 소멸하여 버리나 단지 短週期운동의 경우는 沿岸線의 有無에 관계없이 常存한다. 만약 바람에 의하여 발생하는 大規模 垂直 및 水平운동과 함께 이러한 短週期유동이 派生된다면 위에서 ( Fig. 19b ) 본 바와 같은 長時間遲延도 있을 수 있다 하겠다.



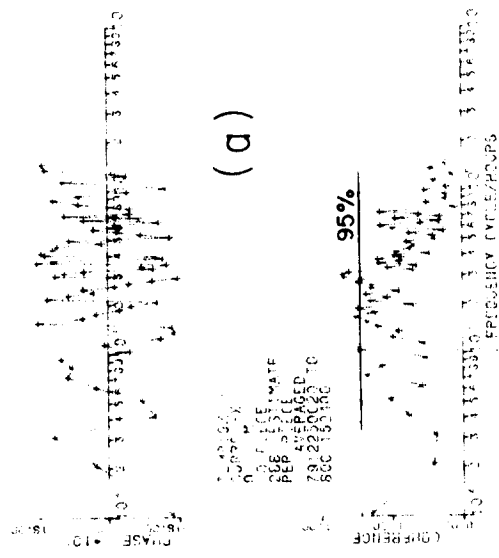
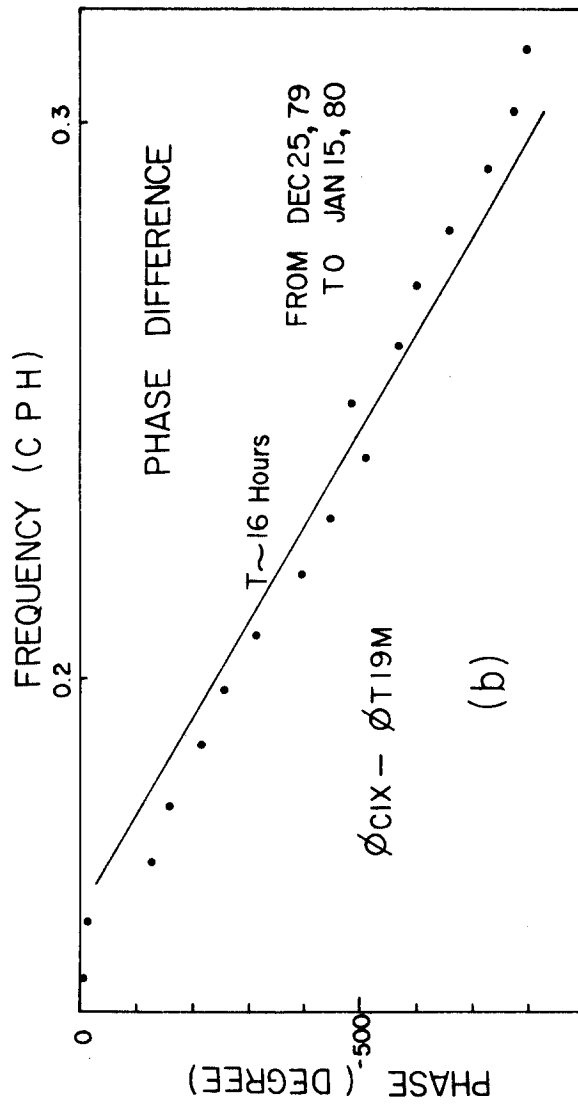


Fig. 19. (a) Results of cross-spectral analysis between cross-shelf components of current and temperature at 19 m depth. (b) Continuous change of phase difference between current and temperature as a function of frequency counted from 0.15 Cycle Per Hour.

## 第 5 章 海 面 變 化

### 5.1 分散量 ( Variance )

每時間 觀測된 海面變化의 자료는 第 2 章에서 행한 바와 같이 2 部分으로 나누어 각각 겨울과 여름에 해당하는 기간 동안에 대하여 스펙트럼분석을 하였다. 入力자료는 여러개의 区分으로 나뉘어져 있기 때문에 最大 약 1 달 이내의 週期를 갖는 성분에 대한 결과만이 나타나 있으나 李 ( 1967 ) 에 의하여 考慮된 季節에 따른 力學的深度 ( steric effect ) 등과 같은 長週期 海面變化에 대한 연구도 역시 중요하다 하겠다. 그에 의하면 力學的深度 ( steric effect ) 에 의한 分散量은 목호의 경우 약 16 cm 에 이르고 있는데 이는 후에 言及할 기압의 영향에 의한 분산량 ( ~ 20 cm ) 에 비하여 약간 작다고 하겠다. Fig. 20 은 해면변화의 累積스펙트럼을 인접한 2 개의 檢潮所 ( 속초와 목호, 포항과 울산 ) 에 대하여 平均하여 보인 것인데 週波數에 대한 分散量으로 表視되어 있다. 대부분의 分散量은 半日週潮, 日週潮 및 長週期成分 ( 2 일 이상의 주기 ) 에 包含 되어 있음을 알 수 있다. 각각의 성분에 包含되어 있는 分散量의 季節 및 地域別 분포는 Fig. 21 에 나타나 있다. 이 그림에 의하면 다음과 같은 몇가지 사실이 지적될 수 있겠다.

1) 長週期波에 包含되어 있는 많은 分散量 ( ~ 30 cm )

2) 겨울에 비하여 여름에 더욱 큰 分散量

3) 地域에 따른 分散量의 차이는 주로 半日週潮에 의하여 생기고 있다.

上記의 長週期成分은 南北으로 거의 均一하게 분포하고 있으며 겨울보다 여름에 더욱 크게 나타나고 있다. 이러한 長週期成分이 全體 分散量에서 占有하는 比率이 本海域에서 상당히 크게 나타나고 있음은 주목할 만한 사실이라 하겠다. 특히 포항의 경우는 전체의 65 % 에 이르고 있는데 이러한 長週期成分에 대한 理解가 없이는 本海域에서 해면변화에 대한 예보는 不可하다 하겠다. 東海岸에서의 潮汐現象에 대한 연구는 交通部 수로국 ( 1978 ) 에서 계속적으로 행해오고 있으나 分散量의 분포에 대하여 본절에서 몇가지 사실을 言

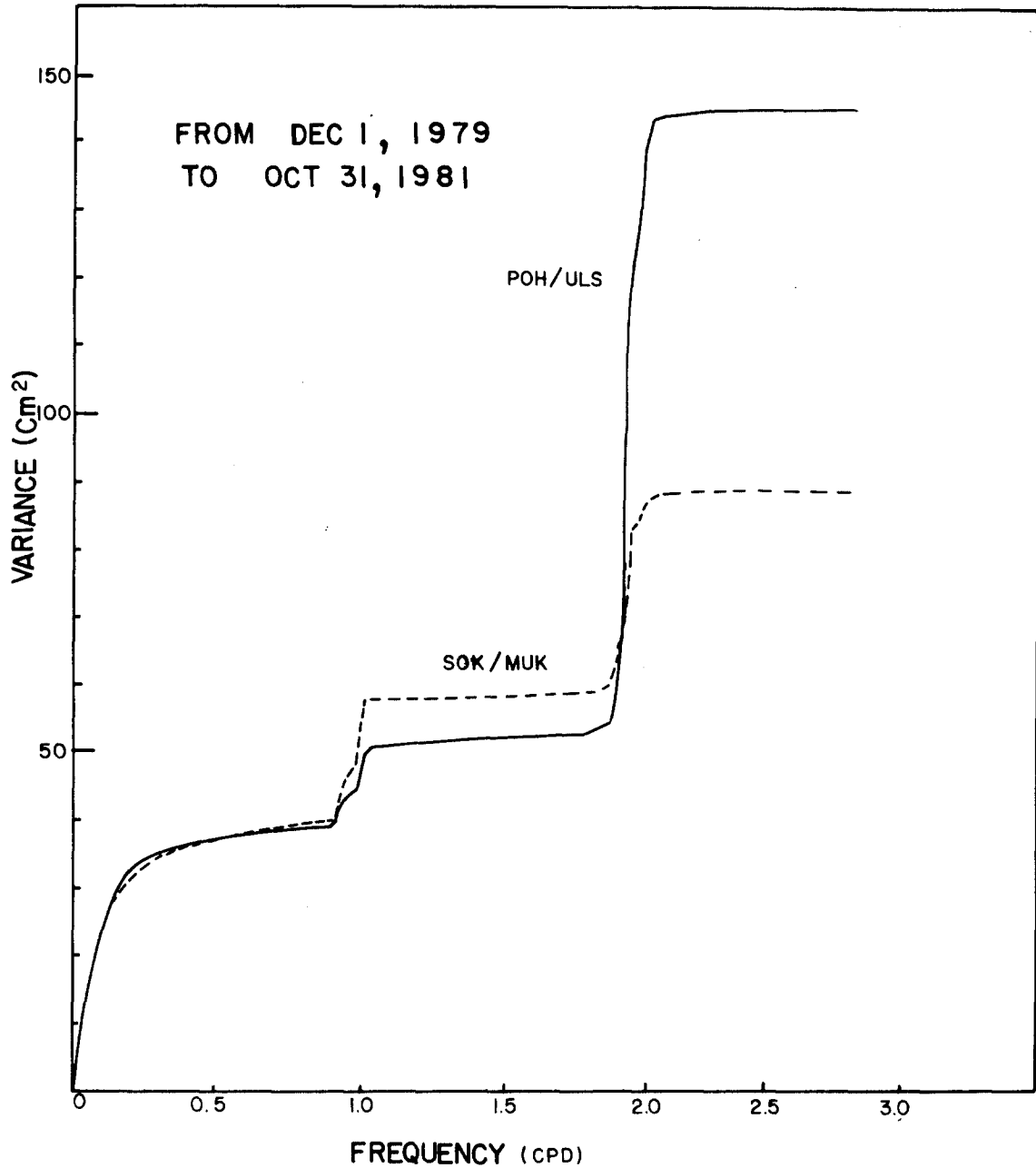


Fig. 20. Cumulative distribution of variance of sea level change as a function of frequency. Values are averaged over two adjacent stations: Pohang and Ulsan, and Sokcho and Mukho.

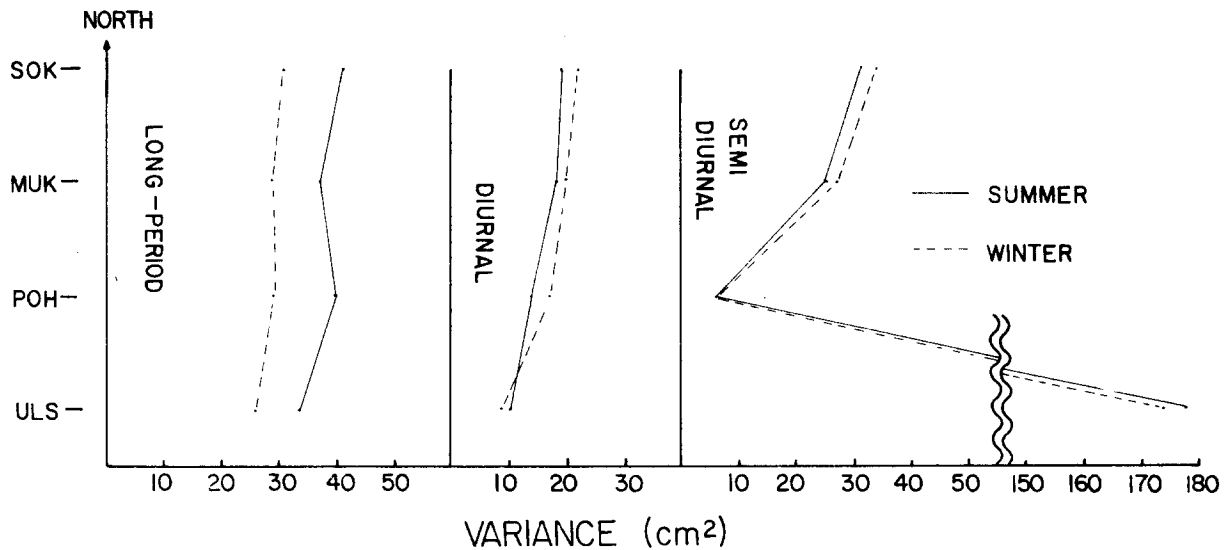


Fig. 21. Longshore distribution of variance of sea level changes contained in long-period, diurnal and semi-diurnal components.

及해 보고자 한다. Fig. 21에서 보인 바에 의하면 半日週潮波의 節線 (nodal line)은 포항 근처에 있으며 日週潮波의 節線은 울산 남쪽에 있는 듯하다. 울산에서의 半日週潮는 상당히 커서 전체 分散量의 약 70%를 차지하고 있다.

## 5.2 氣压 및 바람의 영향

Fig. 22는 스펙트럼 분석에 의한 負氣压과 해면변화와의 相關關係를 각각 여름과 겨울에 걸쳐서 구한 결과를 보여준다. 분석은 속초와 포항에 대하여만 행하였는데 이들 두 곳은 全海域을 충분히 代表할 수 있으리라 思料되기 때문이다. 負의 氣压을 택한 이유는 일반적으로 해면은 기압변화에 반비례하여 1 mb 증가 당 1 cm 하강하기 때문이다. 여름철에는 週波數 0.35 CPD (Cycle per Day) 이하의 長週期에서, 겨울철에는 이보다 다소 높은 0.15 CPD 이하에서 좋은 相關關係를 나타내고 있다. 位相差는 일반적으로 週波數에 비례하여 감소하는데 여름철의 경우 약 10시간, 겨울철의 경우 약 2시간에 해당하는 만큼 해면의 높이가 負氣压보다 늦다고 하겠다. 이러한 現

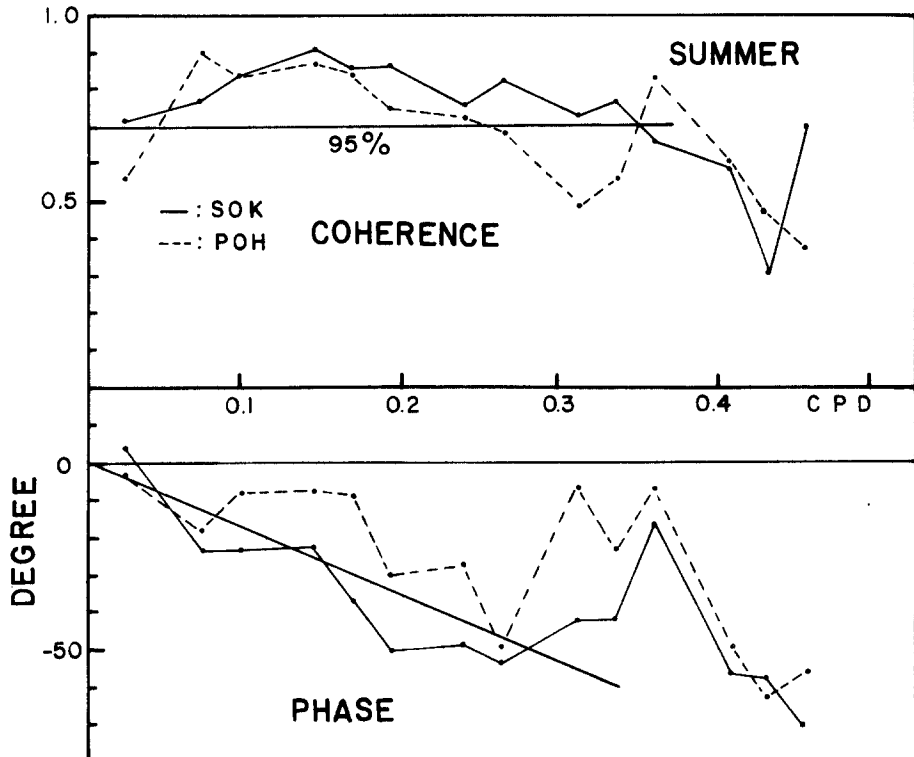
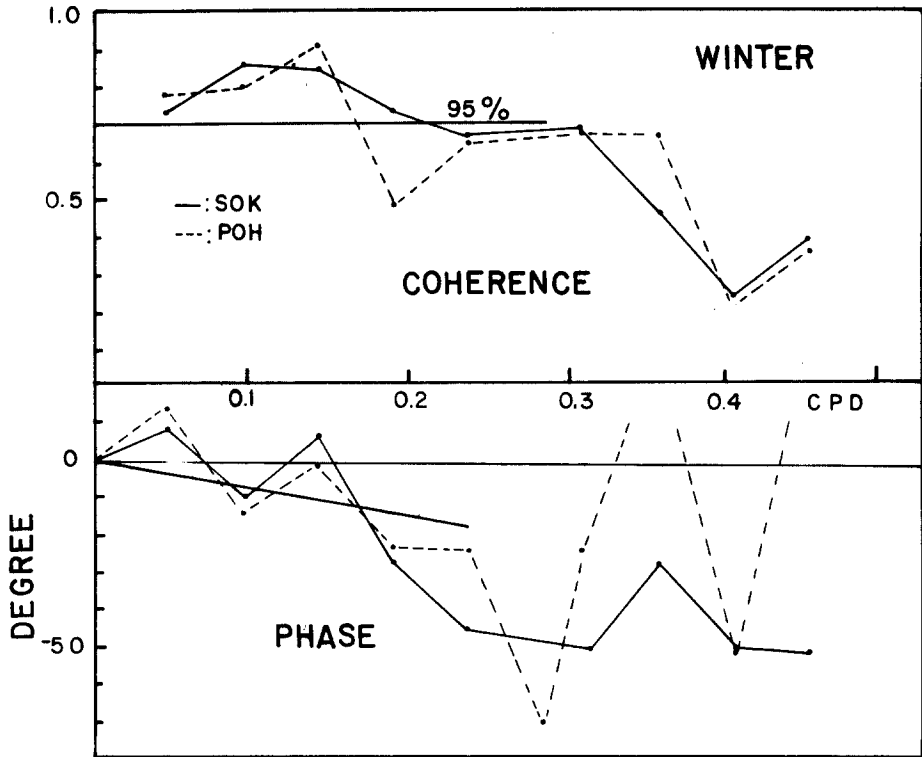


Fig. 22. Results of cross-spectral analysis between negative pressure and sea level height at Sokcho and Pohang. Positive phase indicates that sea level leads negative pressure. Straight lines are drawn to emphasize the linear decrease of phases.

象은 겨울철보다는 여름철에 더 뚜렷이 나타나고 있는 듯 하나 어떠한 이유에 기인한 것 인지는 아직 밝혀져 있지 않다. Hamon ( 1979 )도 오스트레일리아 근해에서 똑같은 현상을 관측한 바 있는데 그에 의하면 風波에 의하여 생긴 스파이크 ( Spike )에 기인하는 것 같다 하겠다. 氣圧係數  $b(\omega)$  는 다음과 같이 週波數  $\omega$  의 함수로 주어진다.

$$b(\omega) = X_{ZP}(\omega) / X_{PP}(\omega) \quad (1)$$

여기서  $X_{ZP}(\omega)$ 는 해면높이  $Z(t)$ 와 負氣圧  $P(t)$  사이의 cross - spectrum 値이며 複素數로 주어지고  $X_{PP}(\omega)$ 는 負氣圧의 스펙트럼을 나타낸다. 氣圧係數  $b(\omega)$ 는 負氣圧  $P(t)$ 를 入力値로 하고 海面높이  $Z(t)$ 를 出力으로 하는 定係數線形系 ( constant parameter linear system )의 振動応答函數 ( frequency response function )라 할 수 있다 :

$$X_Z(\omega) = b(\omega) X_P(\omega)$$

여기서  $X_Z(\omega)$ 와  $X_P(\omega)$ 는 週波數座標系에 투영된  $Z(t)$ 와  $P(t)$ 이다. 等相 ( in-phase ) 氣圧係數  $b(\omega)$  는 식 (1)에서 계산된 값의 절대치를 택 함으로써 구해질 수 있다. 계산된  $b(\omega)$  의 값 ( Fig. 23 )은 週波數 0.15 CPD 이상에서는 1.0보다 작게 나타나고 있다. 해면이 기압에 따라 변화하지 않는 요인중의 하나로서 바람의 영향을 들 수 있는데 이 바람 역시 기압자체의 영향을 받고있다 하겠다 ( Hamon, 1966 ) 따라서  $Z'(t)$ 를 기압의 靜圧效果 자체와 바람의 영향이 混合된 것에 의하여 생긴 것이라하면 이러한 두가지 영향에 의하여 생긴 해면변화  $Z'(t)$ 의 分散量은

$$\sigma_z^2 = \int |b(\omega)|^2 X_{PP}(\omega) d\omega \quad (2)$$

로 표시될 수 있는데 여기서  $\sigma_z^2$ 은  $Z'(t)$ 의 分散量을 나타낸다. 만약 해면이 靜圧效果만에 의하여 변화한다 할때 氣圧係數  $b(\omega) = 1.0$ 의 관계가

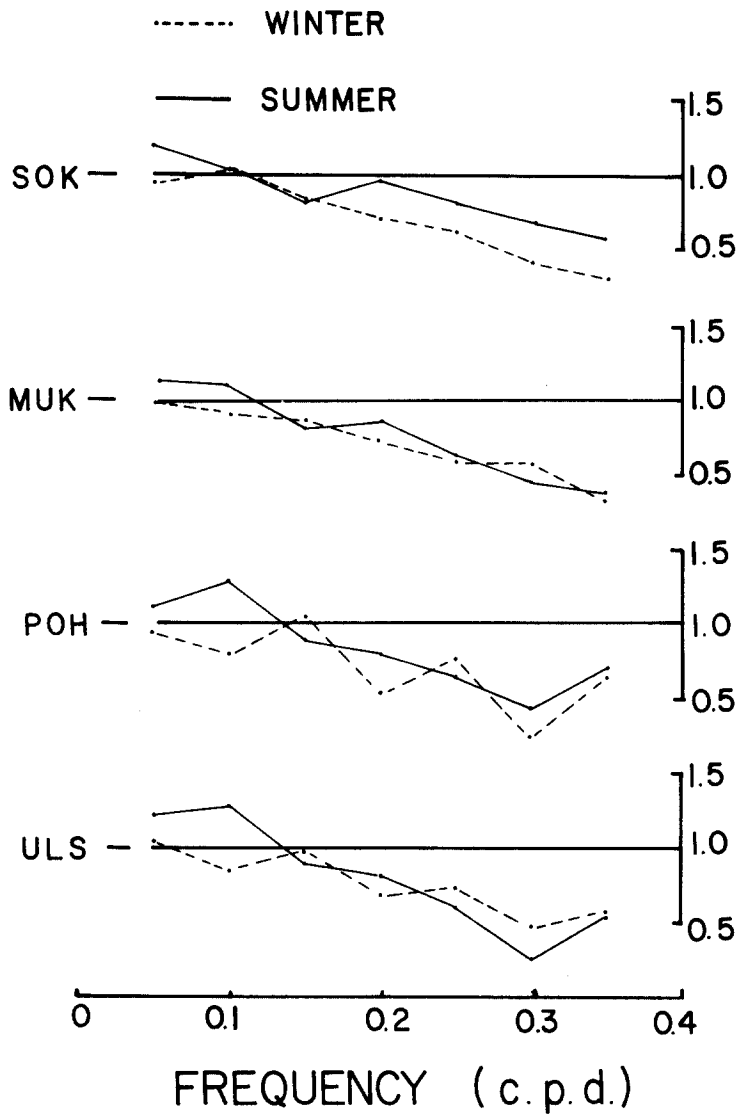


Fig. 23. Estimated in-phase barometer factors along the coast presented as a function of frequency.

성립되므로 이때 해면변화의 分散量은 氣壓의 分散量과 같게 된다.

$$\sigma_{z''}^2 = \int X_{PP}(\omega) d\omega \quad (3)$$

여기서  $Z''(t)$ 는 靜壓效果만에 의하여 생긴 해면변화를,  $\sigma_{z''}^2$ 은 그 分散의 量을 나타낸다. 따라서 바람의 영향만에 의한 해면변화의 分散量은 다음과 같이 계산될 수 있겠다.

$$\sigma_{z''-z'}^2 = \int |b(\omega) - 1.0|^2 X_{PP}(\omega) d\omega \quad (4)$$

여기서  $Z'(t) - Z''(t)$ 는 단지 바람에 의하여만 생긴 해면변화,  $\sigma_{Z'-Z''}^2$ 은 이의 分散量을 나타낸다. 静压效果, 바람만의 영향, 그리고 이들 두 요소가 결합되었을때의 해면변화의 分散值를 식 (3), (4) 및 (2)를 이용하여 계산하였다. 계산에서 묵호와 울산의 氣压은 각각 울진 및 포항에서의 氣压과 같다고 가정하였는데 기상현상의 스케일 ( $\sim 0(10^3 \text{ km})$ )이 조사해역에 비하여 훨씬 크다는 사실에 비추어 위의 가정은 타당성이 있다 하겠다. 계산의 결과는 Fig. 24에 표시되어 있는데 그림에 의하면 바람만에 의한 영향은 기압만에 의한 영향 즉 静压效果에 비하여 무시될 수 있다 하겠다.

### 5.3 海面變化豫報에 관한 考察

해면변화에 대하여 論하는 제제에 本海域에서 문제가 되고 있는 해면변화예보에 관하여 잠시 考察해 보기로 한다. 앞서 이미 言及한 바와 같이 東海岸의 경우는 해면변화에 차지하는 天文潮의 영향이 南海나 西海에 비하여 그다지 높지 않다 하겠다. 만약 해면변화예보가 静压效果와 天文潮에만 대하여 행해진다 하면 예보에 따른 誤差는 이들 영향을 除外한 殘存成分에 의하여 생길 것이다.

해면의 높이를  $\eta(t)$  라 하면

$$\eta(t) = Z_T(t) + Z'(t) + Z_\epsilon(t)$$

로 주어지는데 이때  $Z_T(t)$ 와  $Z_\epsilon(t)$ 는 각각 天文潮(통상 潮汐)와 其他 알려져 있지 않은 成分에 의하여 생긴 해면의 변화를 나타낸다. 따라서 豫報誤差  $\delta(t)$ 는

$$\delta(t) = \eta(t) - \{ Z_T(t) + Z''(t) \}$$

로 주어진다. 여기서  $\delta(t)$ 는 殘存成分 즉 潮汐의 영향을 제거한 후 氣压補正을 행한 해면변화를 나타낸다.  $\delta(t)$ 를 얻기 위하여 먼저 半日週潮와 日週潮의 영향을 Doodson의  $X_0$  필터를 사용하여 제거시켰으며 후에 氣压補正을



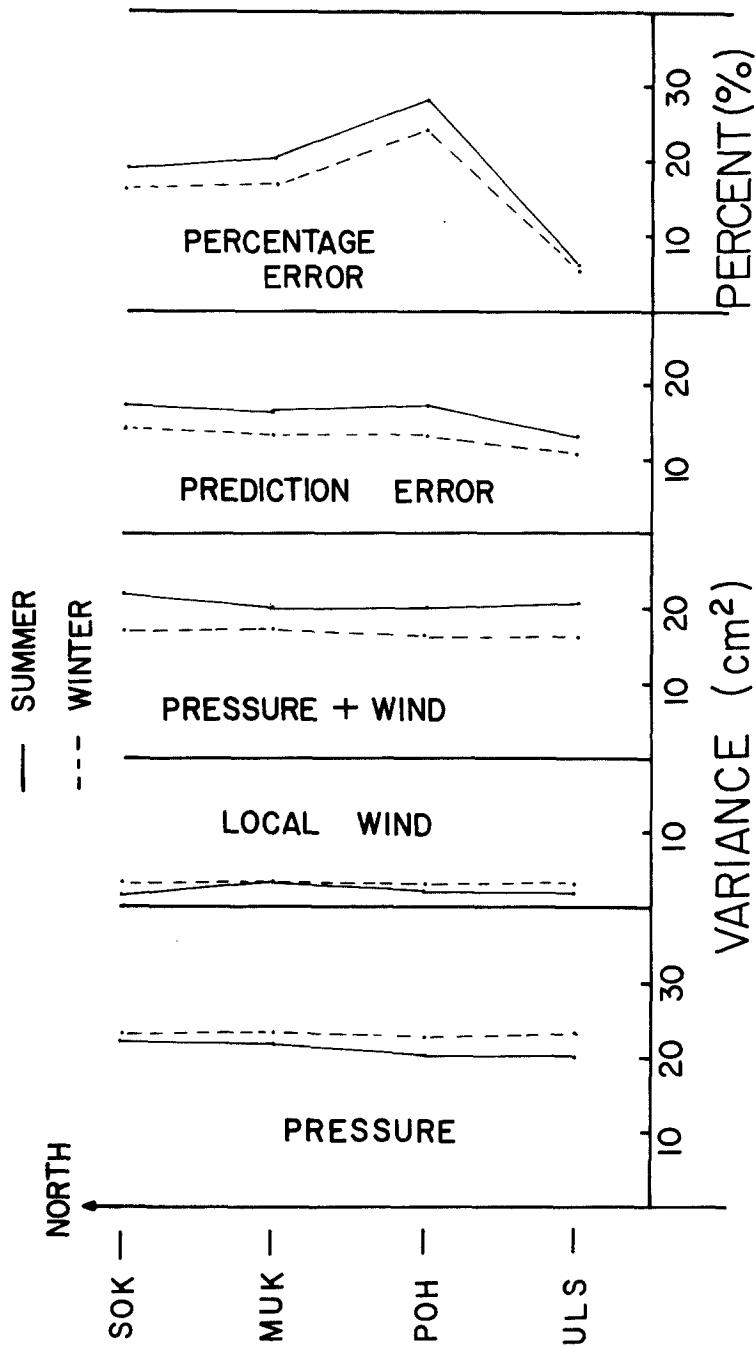


Fig. 24. Variance of sea level changes explained by pressure and wind effects and the combined effect of the two along the coast. Also shown are the variance and percentage error in sea level prediction when only tides (semi-diurnal and diurnal) and barometric effect are considered in prediction.

위하여 1013 mb에 대한 氣圧増分을  $cm$ 로 환산하여 海面의 높이에 加算하였다.  $\delta(t)$ 의 變化要因에 대하여는 후에 자세히 言及하기로 하고 여기서는 이의 分散量에 대하여만 論하기로 한다. 最低週波數에서부터 출발하여 0.5 CPD까지에 해당하는 구간에서 累積스펙트럼을 얻어서 이를 分散量으로 표시했는데 (Fig. 24) 이는 대부분의 海面變化가 上記 週波數帶에서 일어나고 있기 때문이다. 오차는 分散量으로 환산하여 全地域에서 15  $cm$ 에 이르고 있다. 全分散量에 대한 오차의 비율 (percentage)이 역시 Fig. 24에 표시되어 있는데 地域間的 차이가 심하여 포항에서 最大로 약 25% 울산에서 最小로 약 5%에 이르고 있다. 分散量으로 하여 25%라 함은 海面 높이로 했을 때 50%에 해당하는 값이 된다.

#### 5.4 氣圧補正 海面變化와 局地風의 영향

본 節에서는 氣圧補正 海面變化에 대하여만 論하므로 이를 簡略히 海面變化로 표기하기로 한다. 海面變化의 週波數別 分散量의 분포를 보기 위하여 스펙트럼 분석을 하였으며 그 결과가 Fig. 25에 표시되었다. 그림에서 橫軸은 週波數의 對數值  $\log \omega$ 를 나타내고 縱軸은 스펙트럼 밀도  $F(\omega)$ 에  $\omega$ 를 곱한치 즉  $\omega F(\omega)$ 를 나타낸다. 따라서  $\omega F(\omega)$ 곡선이 이루는 면적은 바로 분산량과 같게 된다. 즉

$$\int \omega F(\omega) d(\log \omega) = \int F(\omega) d\omega$$

분산량의 분포는 단 2개의 代表的인 點에 대하여만 계산되었고 울진에서의 氣壓의 분산량도 함께 표시하였다. 겨울에는 0.3 CPD 부근에 海面과 氣壓變化의 最大值가 存在함을 알 수 있다. 반면 여름에는 海面變化의 分散量이 보다 폭넓은 분포를 보이고 있으나 0.2~0.3 CPD에 분산량이 다소 크게 나타나고 있으며 이때 氣壓變化에서는 같은 類型의 分散分布를 보이지 않는다는 점이 특이하다 하겠다. 위의 사실로 미루어 海面의 바람 (氣壓으로 표시되었음)에 대한 応答은 週波數帶 0.2~0.3 CPD에서 가장 민감하다고 할 수 있겠

으나 이에 대한 원인은 잘 알려져 있지 않다. 이에 관하여 Brooks(1978)
 는 海面이 바람에 대하여 選別応答 (selective coupling) 을 하고 있으며 이
 때의 応答週波數는 群速度 (group speed) 가 零이 되는 점 즉 ZGS週波數 (Zero
 Group Speed frequency) 가 됨을 보인 바 있다. 本海域에서 ZGS週波數는 1
 次, 2次와 3次모-드에 대하여 각각  $\omega \simeq 0.6$  CPD ( $0.52f$ ),  $\omega \simeq 0.3$  CPD
 ( $0.28f$ ) 와  $\omega \simeq 0.2$  CPD ( $0.19f$ ) 에서 생기고 있다 (부록의 Fig. 34참
 조). 결국 이들 週波數는 각각의 모-드에 있어서 最大可能한 값이 된다.
 따라서 Fig. 25에서 考慮되고 있는 週波數 (0.2 ~ 0.3 CPD) 는 2次와 3次
 모-드의 ZGS週波數에 걸쳐있는 部分이라 할 수 있겠다. Fig. 26의 a와
 b는 氣圧과 海面變化와의 相關關係를 週波數別로 보인 것이다. 上述한 週波
 數帶 0.2 ~ 0.3 CPD에서의 상관관계는 비교적 좋게 나타나고 있으며 이때 海

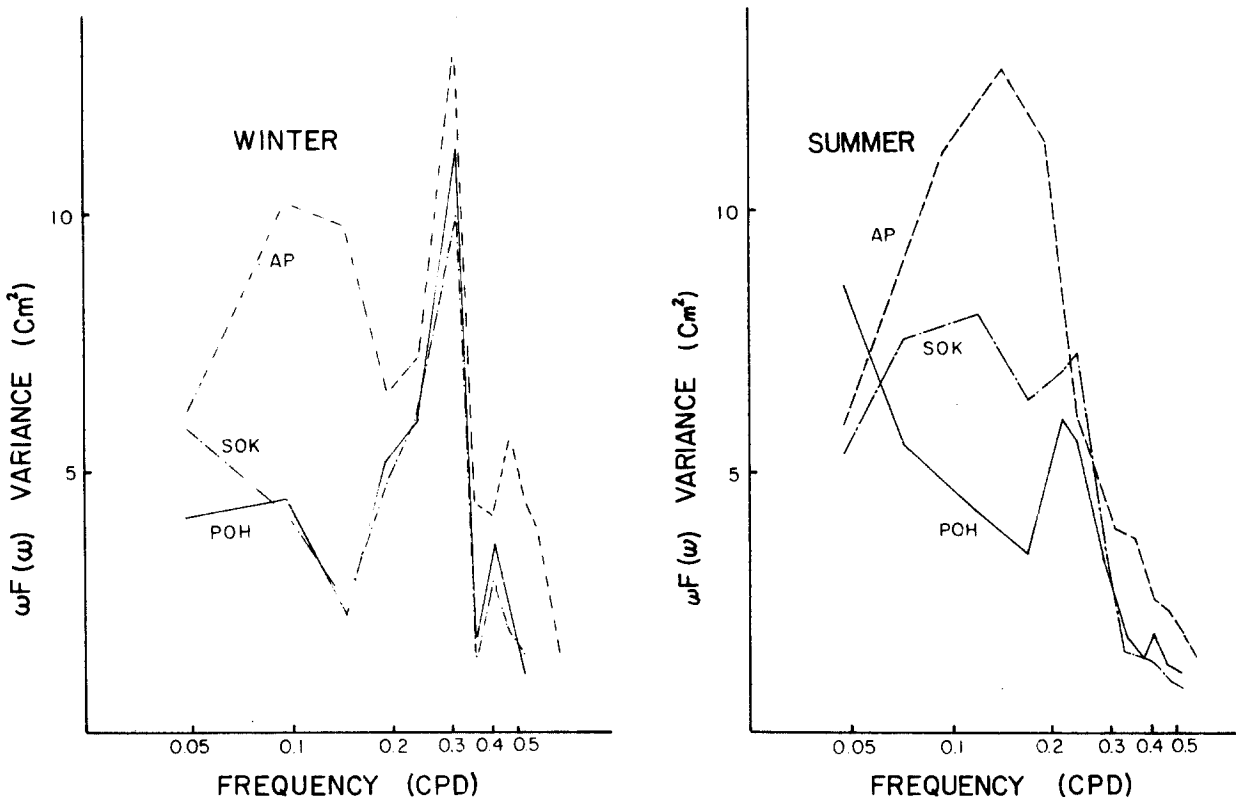


Fig. 25. Distribution of variance of adjusted mean sea level in frequency
 domain presented in such a way that the area under the curve is
 proportional to the variance contained in considered frequency
 band.

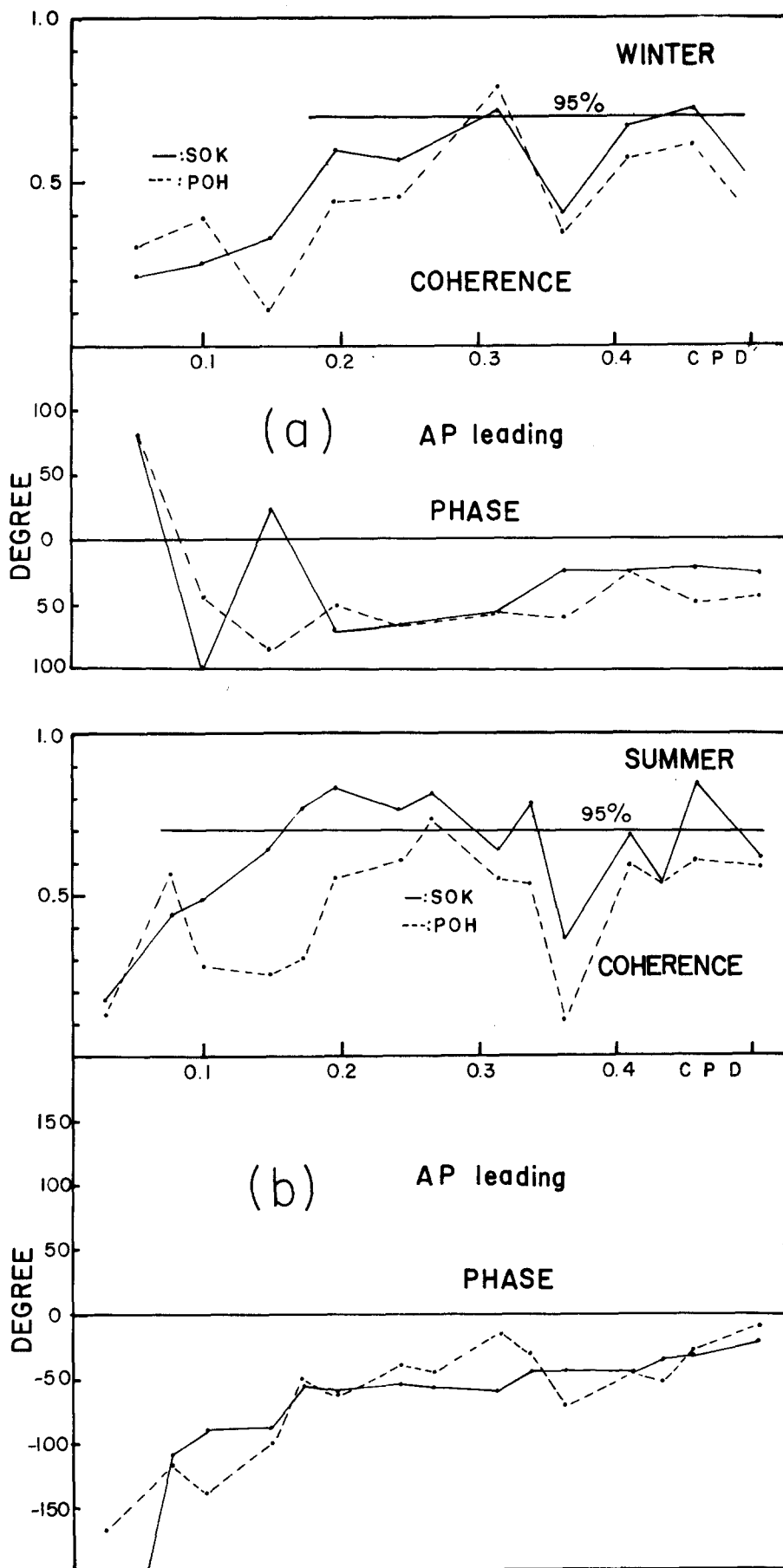


Fig. 26. Results of cross-spectral analysis between adjusted mean sea level and pressure (a) in winter and (b) in summer. Positive phase means that pressure leads the sea level.

面높이의 位相은 氣圧의 그것을 약  $50^\circ$  앞서고 있다. 이러한 현상은 다음과 같이 해석될 수도 있으리라 思料된다. 일반적으로 본 해역에서는 氣圧系가 해안선에 수직한 方向으로 東進하고 있다. 이러한 상황하에서 만약 바람이 순수한 地衡風이라 할때 北風은  $90^\circ$ 만큼의 位相差를 갖고 氣圧에 앞서고 있으리라 생각된다. 그러면 北風은 海面의 높이보다  $40^\circ$ 만큼 앞서게 된다. 北風과 海面높이와의 位相差는 海水의 流動에 關係하는 各種 要素들을 考察함으로써 쉽게 이해될 수 있다. 연안에 수직한 方向으로 地衡流關係가 성립하고 평행한 方向으로는 바람의 応力, 摩擦力 및 加速度가 作用하는 간단한 바로트로픽 (barotropic) 모델을 생각해 보기로 하자. 수학적인 편의를 위하여 摩擦力이 속도와 線形關係에 있다하면 摩擦力  $\tau_b$  는

$$\tau_b = \rho r V$$

로 주어진다. 여기서  $r$ 은 常數로 마찰계수를,  $\rho$ 는 해수의 밀도,  $V$ 는 연안에 평행한 해류의 성분을 나타낸다. 이에 對應하는 운동방정식은

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{rV}{H} = \frac{\tau_y}{H\rho} \quad (5)$$

$$fV = g \frac{\partial \eta}{\partial X} \sim -g \frac{\eta_0}{L} \quad (6)$$

와 같이 표시된다. 이때  $\eta$ 은 해면의 높이를 나타내는데 연안에서는  $\eta_0$ 가 된다.  $\tau_y$ 는 연안에 평행한 바람에 의한 応力,  $H$ 는 水深을 나타낸다. 上記式에서 택한 右手직각 좌표계 ( $x, y$ )는  $x$ 축이 外洋을 향하도록 하였다. 式(6)에서  $\eta$ 는 大陸棚이 끝나는 점 즉  $X=L$ 에서 일정하다고 가정하였다. (5)式과 (6)式으로 부터

$$\frac{\partial \eta_0}{\partial t} + \frac{r}{H} \eta_0 = - \frac{fL}{gH\rho} \tau_y \quad (7)$$

을 얻는데 (7)式은  $\eta_0$ 의  $\tau_y$ 에 대한 關係를 말해주고 있다. 式(7)에서  $\frac{H}{r}$  ( $= \tau_f$ )는 시간의 단위를 갖고 있으며 마찰소멸시간 (frictional decay

time) 或은 균형도달시간 (balancing time)이라고도 할 수 있겠다. 바람에 의한 해수유동에너지는 바람이 그친 후  $t_f$  정도 후에는 없어지게 되며 마찬가지로 바람이 불기 시작하여  $t_f$  정도의 시간이 흐른 후 바람과 마찰의 힘은 서로 균형을 유지하여 一定 상태의 해수유동이 유지될 것이다. 시간에 따라 변화하는  $\tau v$ 에 대하여는  $\tau v$ 와  $\eta_0$  사이에 位相差가 생기게 되는데 아주 작은 마찰력 或은 高週波帶 ( $\omega \gg \frac{r}{H}$ )에서는  $\eta_0$ 가  $-\tau v$ (北風)보다  $\frac{\pi}{2}$  ( $= 90^\circ$ )늦게 되며 반대로 커다란 마찰력 或은 底週波帶 ( $\omega \ll \frac{r}{H}$ )에서는  $\eta_0$ 가  $-\tau v$ 와 같은 位相을 보일 것이다.  $\omega = \frac{r}{H}$ 인 경우는 加速度와 마찰력이 서로 같아져서 位相差는  $\frac{\pi}{4}$ 가 된다. 따라서 位相差가  $\frac{\pi}{4}$ 가 되는 경우에  $t_f$ 를 다음과 같이 推算할 수 있다.

$$t_f = \omega^{-1} = \frac{T}{2\pi}$$

여기서  $T$ 는 位相差  $\frac{\pi}{4}$ 를 갖는 성분의 주기를 나타낸다. Fig. 26에서 상관관계가 비교적 좋은  $\omega = 0.2 \sim 0.3$  CPD 부근에서의 位相差가 거의  $\frac{\pi}{4}$ 에 가깝게 나타나므로 이 週波數帶에서 加速度와 마찰력 사이에 平衡상태가 유지되고 있다 하겠다.  $t_f$ 와  $r$ 의 값은 각각  $t_f$ 가 0.5 ~ 1日,  $r$ 가 0.02 ~ 0.03 cm/sec로 Winant와 Beardsley(1979)가 Chesapeake 灣과 南加州沿岸에서 얻은 마찰계수와 비슷한 값을 보이고 있다.

### 5.5 海面變化의 空間分布

海面變化의 沿岸에 平行한 方向으로의 分布樣相을 보기 위하여 300 km의 水平거리를 갖는 속초와 포항에 대하여 相關關係를 보았다. Fig. 27은 週波數 0.5 CPD 이하를 갖는 성분에 대한 결과를 보인 것인데 여름보다 겨울에 있어서의 相關關係가 좋게 나타나고 있으며 상당히 적은 位相差를 보이고 있다. 일반적으로 속초의 位相이 포항보다 앞서고 있는 듯 하나 底週波數帶에서는 이와는 반대로 포항의 位相이 속초보다 앞서고 있는데 이는 北進하는 氣壓系의 영향이 海面에 반영되는 때문인 듯 하다. 본 해역에서의 氣壓系는 東進

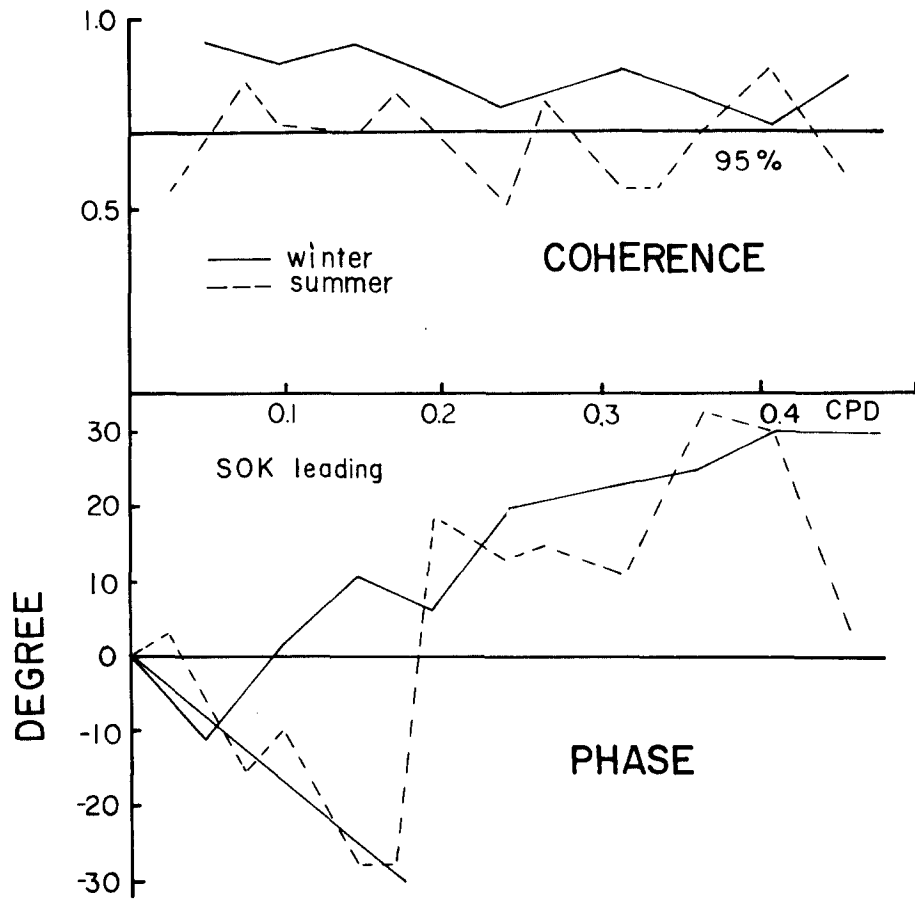


Fig. 27. Results of cross-spectral analysis between non-adjusted sea levels measured at Sokcho and Pohang. Positive phase means that sea level at Sokcho leads that at Pohang. A trend of linearly decreasing phase is marked by a straight line.

或은 東北東進하고 있기 때문에 약한 北쪽 성분의 速度가 있다 하겠으며 또한 底週波帶에서의 海面變化는 거의 靜圧效果에 의하여 일어나고 있음은 이미 앞에서 言及한 바 있다. 底週波帶에서 겨울철의 位相差는 거의 週波數에 비례하여 감소하고 있는데 이는 약 10시간의 時間遲延 즉 海面變化의 北進速度 약  $720 \text{ km/day}$ 에 해당한다 하겠다. 이보다 높은 週波數帶에서의 位相의 南進現象은 海面變化의 氣壓補正值를 살핍으로써 더욱 정확하게 알 수 있겠다.

Fig. 28은 氣圧補正平均海面變化에 대한 속초와 포항 사이의 相關關係를 보이고 있다. 氣圧補正을 행하지 않은 해면변화에 있어서와 마찬가지로 겨울의 相關關係가 여름보다 높게 나타나고 있다. 氣圧補正海面變化의 主要原因이 바람에 있다 할때 上記 사실로 부터 다음과 같은 결과를 얻을 수가 있겠다. 즉 겨울철의 風系는 잘 발달되어 있는 관계로(第2章) 이의 영향에 의한 海面變化도 空間上에서 잘 분포되어 있다. 氣圧補正을 행하지 않은 것에 비하여 속초-포항間의 位相差는 적게 나타나고 있으며 일반적으로 10°를 넘지 않고 있다. 위에서 나타나고 있는 海面變化의 南進現象은 本海域에서의 大陸棚波의 存在여부와 잘 附合되고 있다 하겠다. 大陸棚波의 非發散特性(non-dispersive character)에 의하면 두 地点間의 位相差(時間遲延)는 週波數에 無關하게 항상 一定하게 나타나야 한다. 이러한 경우 位相差는  $\omega = 0$  일때 零에

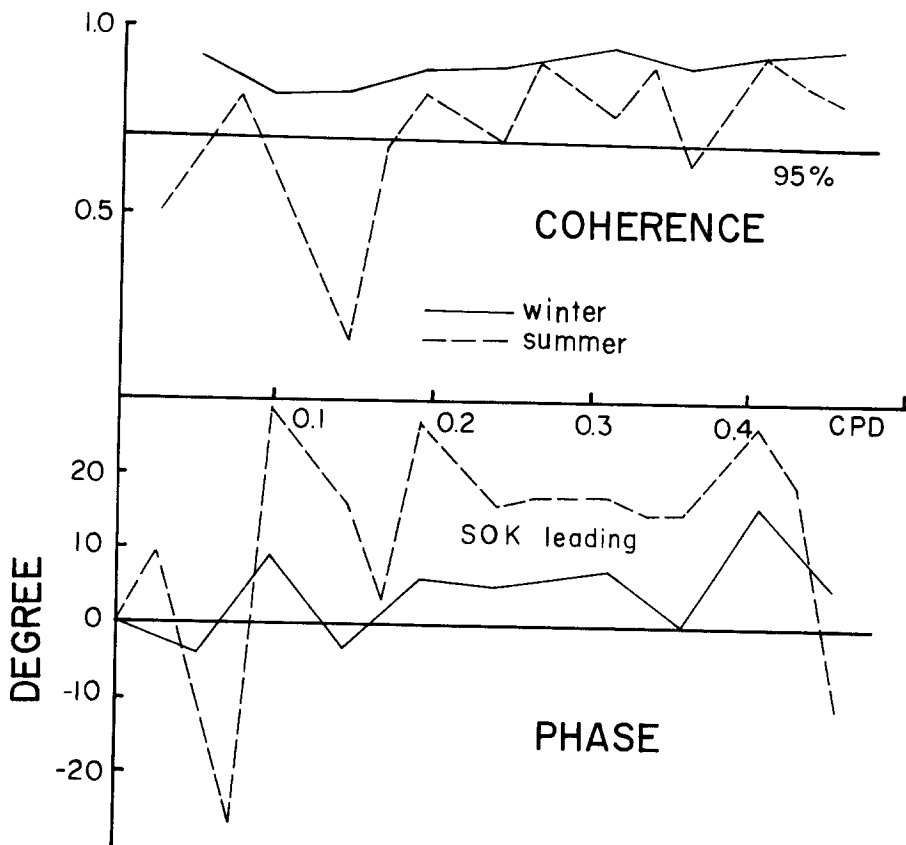


Fig. 28. Results of cross-spectral analysis between adjusted mean sea levels measured at sokcho and Pohang. Positive phase means that sea level at Sokcho leads that at Pohang.



서 부터 시작하여 週波數에 비례하여 변화하여야 한다. Fig. 28에서는 이러한 현상이 잘 나타나고 있지 않으나 겨울철에 있어서 가장 타당한 時間遲延은 약 1.7 時間이라 하겠으며 이때 波의 進行速度는 약  $4,200 \text{ km/day}$ 에 해당하는데 이는 부록에서도 볼 수 있는 바와 같이 理論值보다 훨씬 크다 하겠다. 週波數에 無關한 一定時間遲延은 時間座表에서 행한 交互相關函數(cross-correlation function)에 의해서도 잘 나타날 수 있는데 Fig. 29는 이의 每時間海面資料(氣圧補正值)에 해당하는 결과를 나타내고 있다. 그림에 의하면 最大相關度는 겨울에 약 1 時間遲延, 여름에 약 3 時間遲延에 나타나고 있으며 이러한 數時間정도의 遲延만으로는 이론치에 부합되는 결과에 크게 미달하고 있다 하겠다.

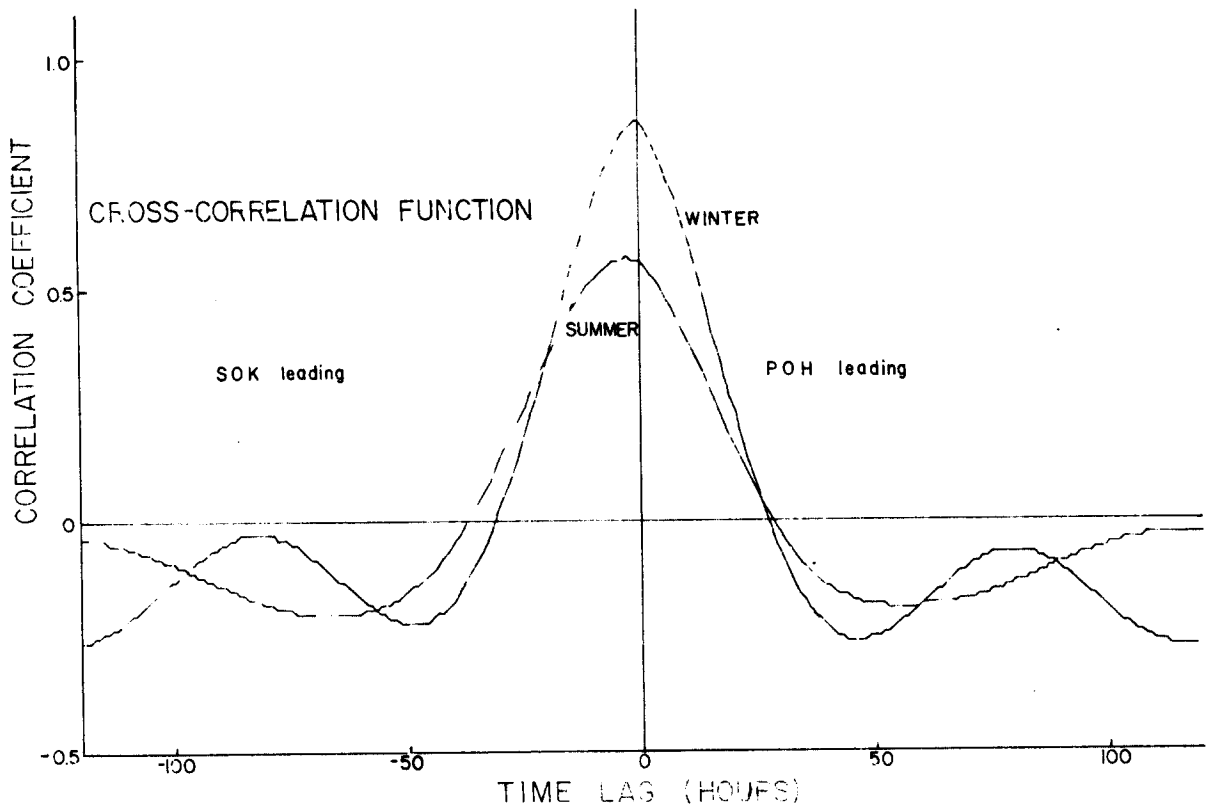


Fig. 29. A cross-correlation function made between adjusted mean sea levels at Sokcho and Pohang. Positive time lag means that sea level at Pohang leads that at Sokcho.

## 第 6 章 北에서 生成된 海水流動의 南進

부록의 式 (9)에서 보인 바와 같이 遠海에서 바람에 의하여 생긴 海水流動은 沿岸長波 (coastal trapped wave)의 形態로 다른 곳으로 전파될 수 있다. 앞서 제 2장에서 언급한 바와 같이 늦은 봄과 이른 여름에 걸쳐 大規模 低氣壓 中心部가 研究海域의 北쪽 즉 시베리아 東端에 위치하여 이곳에 湧昇을 일으킬 수 있는 條件을 형성하고 있다. 반면에 研究海域 부근에서 沿岸에 수직하게 東進하는 小規模 온대성 저기압은 그 規模가 작고 변화가 심하기 때문에 해수에 미치는 영향이 비교적 작다 하겠다. 本章에서는 上述한 북에서의 바람과 관측된 해수유동과의 관계를 沿岸長波의 側面에서 고찰하기로 하겠다. 3장에서 보인 바와 같이 관측된 内部流動 (baroclinic motion)은 局地風 外의 요인에 의하여 생겼으리라 思料되므로 이 점에 대하여 보다 중점을 두기로 하겠다.

연안선에 평행한 성분의 바람은 日本氣象庁에서 발간되는 天氣圖에 의하여 계산되었는데 이때 바람은 地衡風이며 그 방향은 低氣壓中心으로 약  $15^\circ$  정도 편향한다고 가정하였다. 실제 관측된 바람자료는  $38^\circ\text{N}$  以北에서 全無한 형편이고 以南에 대해서도 2장에서 본 바와 같이 신빙성이 없는 관계로 天氣圖를 이용한 推算은 不可避할 수 밖에 없었다. Fig. 30은 계산된 바람의 日平均値를 시간과 위도에 대한 분포로 표시한 것이다. 북쪽 방향의 바람 즉 湧昇現象을 일으킬 수 있는 바람을 陽의 값으로 택하였다. 바람은  $40^\circ\text{N}$ 를 경계로 하여 北과 南에서 서로 다른 양상을 보이고 있는데 이는 두 地域에서 연안선의 배열이 서로 다르기 때문인 듯 하다. 두 地域의 연안선은 거의 수직을 이루어  $40^\circ\text{N}$  부근에서 서로 만나고 있기 때문에 서로 다른 연안선에 평행한 바람성분을 만들고 있다. 北에서의 바람은 南쪽 보다 강하여  $20\text{ m/sec}$ 에 이르고 있으며 地域的으로도 균일하게 분포하고 있는데 대부분 陽의 방향으로 불고있다. 負의 방향에 해당하는 바람이 미약한 원인은 강한 低氣壓에 対応하는 강한 高氣壓이 발달되고 있지 못한 때문인 듯 하다. 南쪽

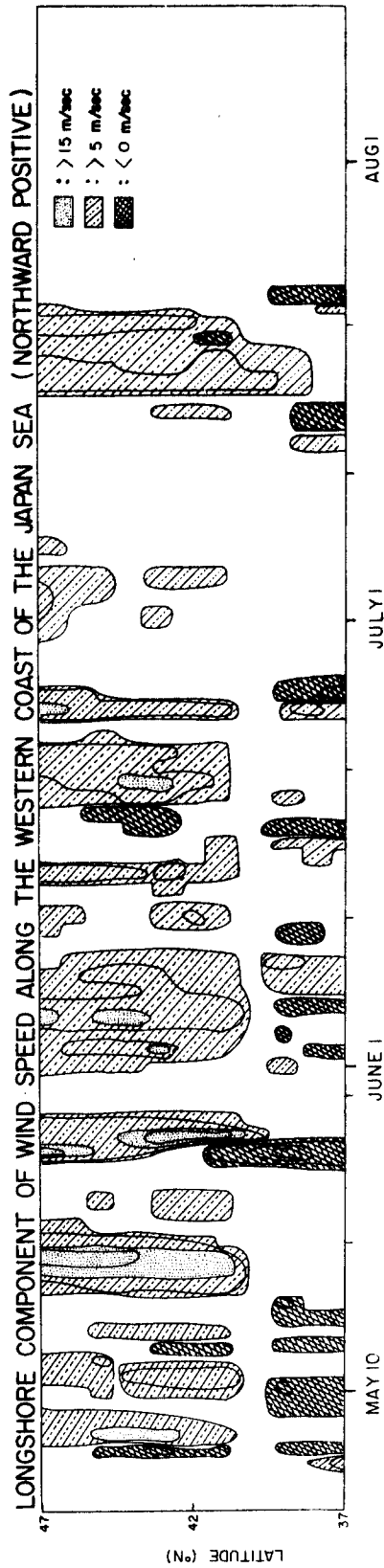


Fig. 30. Time-latitude distribution of longshore component of wind estimated from the atmospheric pressure charts.

에서는 주로 온대성저기압이나 前線에 의하여 바람이 생기게 되며 이 때문에 陽과 負의 바람이 한 쌍을 이루어 나타나는 경우가 많다. 온대성 저기압의 規模가 작은 관계로 즉 等圧線의 曲率이 크기 때문에 推算된 바람의 속도도 실제보다 크게 나타나리라 생각되나 관측자료 ( Fig. 6 )에서도 잘 나타나고 있지 않은 바람의 방향에 대한 정보는 비교적 정확하리라 思料된다.

北쪽에서 推算된 바람이 관측된 水温變化를 어느정도 잘 설명해 주고 있는가 하는 것은 관측수온을 종속변수 推算風速을 독립변수로 하여 段階多變回帰分析 ( Stepwise multiple regression analysis )을 통하여 알수 있겠다.

이들 간의 상호관계는 수학적으로

$$T_n = \bar{T}_n + \sum_{k=m_1}^{m_2} \alpha_k W_{n-k}$$

라 놓을수 있는데 여기서  $T_n$ 은 임의의 시간을 기준으로 하여  $n$ 日後의 水温値,  $\bar{T}_n$ 은  $n$ 日後의 平均水温,  $W_{n-k}$ 는  $(n-k)$ 日後 즉 수온에 비하여  $k$ 日前的 바람을,  $\alpha_k$ 는  $k$ 日前的 바람의 영향을 나타내는 定數를 나타낸다. 이들  $n$ 개의 代数方程式을 풀어 가장 적합한  $\alpha_k$ 를 결정하게 된다. 계산초기에는 모든 독립변수들이 포함되고 각각의 段階에서 1개씩의 변수가 제거되어 결국 모든 변수가  $F$ -分布上에서 10% 有意線을 넘게 될 때까지 계속된다. 각각의 段階에서 제거되는 변수는 기여도가 가장 작은 것이 된다. 위의 계산에서는 19 m 깊이에서 측정된 水温이 종속변수, 7 - 26 日前的 바람자료가 독립변수로 사용되었으며 (  $m_1=7$ ,  $m_2=26$  )  $40^\circ N$ 以南의 바람은 無視되었다. 理論 ( 부록의 (8)式 )에 의하면  $W_{n-k}$ 는 시간상으로는  $k$ 日前, 空間上으로는 沿岸長波 ( kelvin 内部波 )가 관측점에서  $k$ 日동안 가는 거리만큼 떨어진 곳에서의 바람을 나타내게 된다. 本研究의 경우에 있어서는 바람이 空間上에서 거의 균일하게 분포하고 있기 때문에 空間에서의 평균치  $W_{n-k}$ 를 사용하였다. 따라서  $W_{n-k}$ 의 위치 결정에 따른 난점이 제거될 수 있다. 실제로  $W_{n-k}$ 의 위치결정을 위하여는 정확한 波束을 알아야되나 이 또한 場所에 따라 조금씩 변하고 있기 때문에 쉽지않다 하겠다. 1~6 日前的 바람이 無視된 이유는 바람이 강한 地域의 南端인  $40^\circ N$ 에서 관측점 (  $37^\circ N$  )까지 沿岸長波가 진행하는 시

간이 약 6日정도 걸리기 때문이다. 上記 地域의 수평거리가 약 400 km이고 波速이 약 60 km/day (부록참조)이기 때문에 進行波가 이 地域을 통과하는 時間은 약 6.7日정도 걸리게 된다.

11번째 段階에서 回歸分析이 끝났으며 그 결과가 Table.1에 나타나 있다. 10% 이상의 有意性을 보이는 9개의 殘存獨立變數는 14-26日前的 기간에 해당하는 바람으로 나타나 있다. 이들은 모두 종속변수인 水温과 負의 相關關係를 보이고 있는데 이는 北쪽에서 陽의 바람이 분 10일이상 後에 관측에서는 冷水가 上昇하였다는 것을 의미하고 있다. 水温變化의 分散量의 약 50% 정도가 이러한 바람에 의하여 설명되고 있다 하겠으며 이들 바람에 해당하는  $\alpha_k$ 는  $-0.1 \sim -0.2$  사이에서 변화하고 있다. 이들 바람중 가장 두드러진 영향을 보이고 있는 것은 16日前的 바람으로 나타나 있기 때문에 Fig. 31에서는 관측된 水温의 垂直分布와 16日前的 바람(空間平均直)을 직접 비교하였다. 실제로 下層冷水의 上昇과 바람과는 잘 일치하고 있는 듯이 보이고 있다. 특히 A에서 H까지 표시된(Fig. 31) 下層冷水의 上昇은 관측된 해류와도 관련이 있는듯이 보이는데 Fig. 32에서 보인 바와 같이 下層冷水의 上昇時에 南向하는 平均海流에 對抗하여 北向流가 나타나고 있음은 흥미있는 일이라 할수 있다. D와 G에서는 이러한 現象이 나타나고 있지 않으나 C(6월 5~27일)의 경우를 보면 현저하여 下層冷水의 上昇이 持續的으로 일어남에 따라 海流도 계속 北向하고 있음을 알수 있다. 연안선에 평행한 방향으로의 海流는 거의 地衡流라 할수 있으므로 冷水의 上昇時에 下層의 海流는 南向하리라 기대되며 바로크리닉(baroclinic) 海水流動에 있어서는 上層水는 반대로 北向하게 될 것이다.

같은 分析方法을 목호에서의 海面變化(氣壓補正值)에 적용하였는데 이때 0-19日前的 바람을 독립변수로 하였다. 이는 大陸棚波(barotropic wave)의 진행속도가 위에서 고찰된 内部波의 것보다 크기 때문에 일정 구간을 통과하는 波의 진행시간도 짧으리라 思料되기 때문이다(부록 참조). 분석결과는 Table.2에 나타나 있으며 단지 3개의 독립변수만이 10% 有意性을 넘고 있

Table 1. Results of stepwise multiple regression analysis between the measured temperature at 19 m depth (dependent variable) and the winds of K days earlier (independent variables).

STEP	R SQUARE	C(P)	MEAN SQUARE	F	PROB F
11	0.49915977	=	3.66609566		
	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F	PROB F
REGRESSION	9	454.77836476	50.53092942	5.87	0.0001
ERROR	53	456.30940667	8.60961145		
TOTAL	62	911.08777143			
	B VALUE ( $\alpha_k$ )	STD ERROR	TYPE II SS	F	PROB F
INTERCEPT ( $\bar{T}$ )	17.19648862				
K=14	-0.11428028	0.05318239	39.75487724	4.62	0.0362
16	-0.18091239	0.05166804	105.55437353	12.26	0.0009
18	-0.10473187	0.05464112	31.63021032	3.67	0.0607
19	-0.12991665	0.05986321	40.55021586	4.71	0.0345
20	-0.11211516	0.05967476	30.39000856	3.53	0.0658
21	-0.10520292	0.05999646	26.47207130	3.07	0.0853
22	-0.12840232	0.05624824	44.86538808	5.21	0.0265
24	-0.10569078	0.04979902	38.78074285	4.50	0.0385
26	-0.08897503	0.04799081	29.59400655	3.44	0.0693

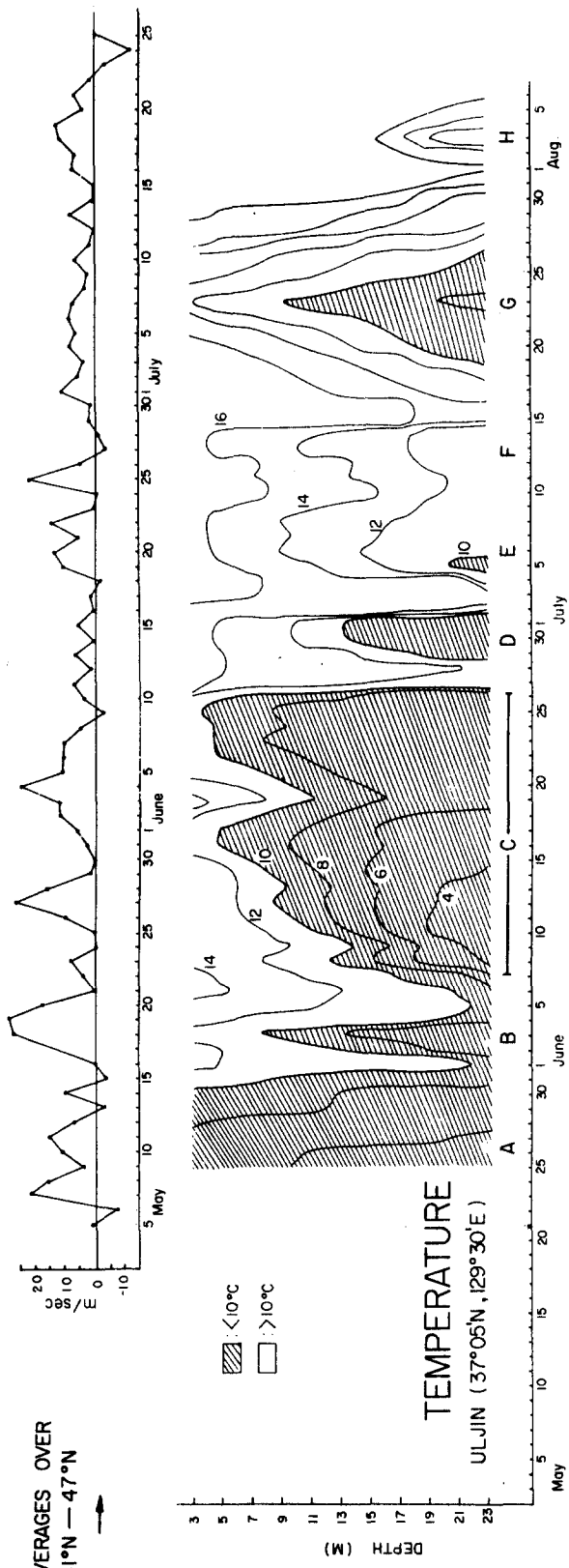
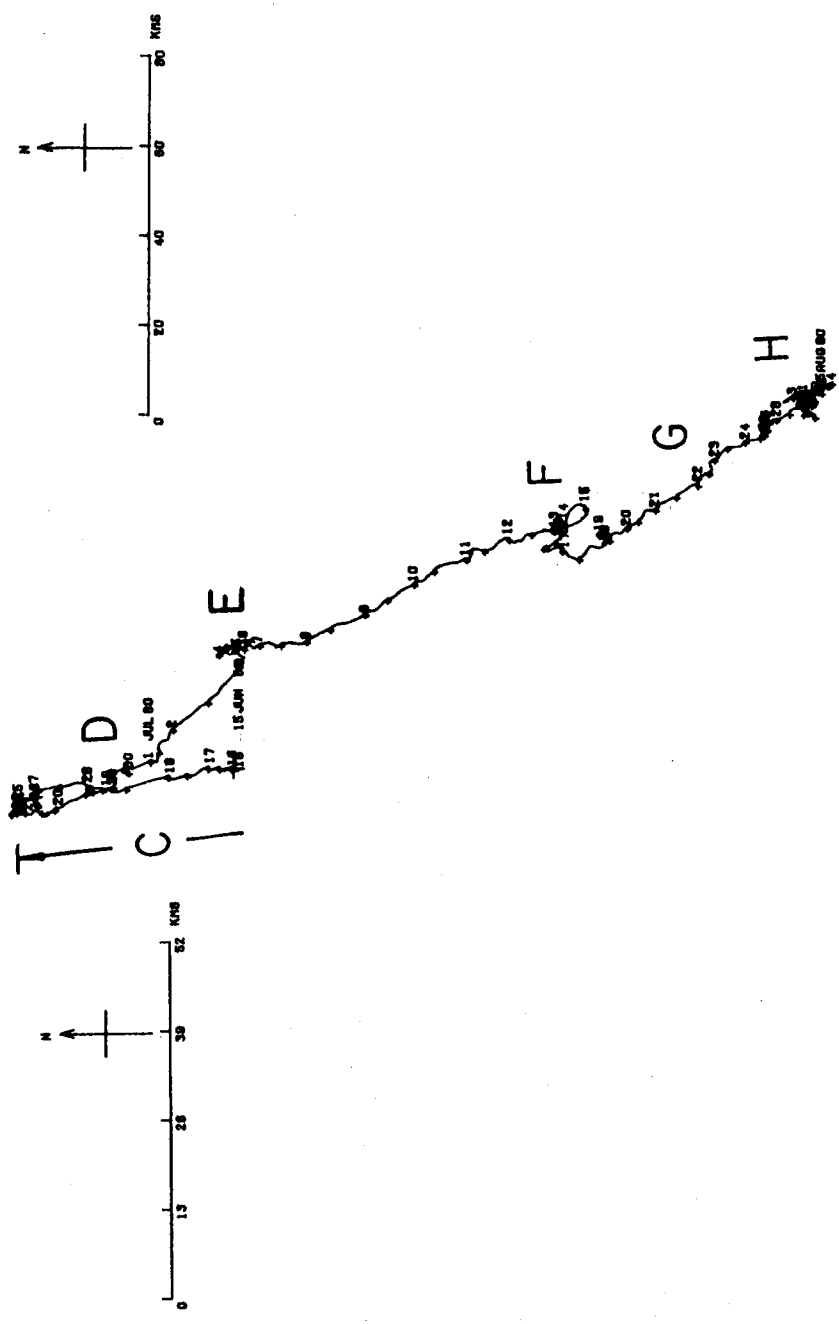


Fig. 31. Fluctuation of measured isotherms compared with longshore component of wind which has blown 16 days earlier in the region North of 40°N.



PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM BU800604C10S

Fig. 32. Progressive vector diagram of currents measured at mooring points D3 and D4. A through H correspond to periods when significant risings of lower cold water occurred.



Table 2. Results of stepwise multiple regression analysis between the observed adjusted mean sea level (dependent variable) and the winds of K days evrlrier (independent variables).

STEP 16	R SQUARE = 0.19189197	C(P) = -6.45632153				
	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F	PROB F	
REGRESSION	3	203.30644323	67.76881441	4.59	0.0061	
ERROR	58	856.17742774	14.76157979			
TOTAL	61	1059.48387098				
	B VALUE( $\alpha_k$ )	STD ERROR	TYPE II SS	F	PROB F	
INTERCEPT (Z)	27.42362642					
K=0	-0.16015684	0.07414056	68.88348374	4.67	0.0349	
13	-0.12353719	0.06566350	52.25962056	3.54	0.0649	
18	-0.15926616	0.06365295	92.41569710	6.26	010152	

다. 이들 3개의 독립변수는 0, 13 그리고 18日前의 바람으로 모두가 해면변화와 負의 相關關係를 갖고 있다. 負의 상관관계는 陽의 바람에 대하여 海面이 下降한다는 理論的인 사실에 附合되고 있으나 이들 바람이 단지 해면변화의 分散量의 19% 만을 설명하고 있다는 점과 바람의 영향이 계속적으로 일어나고 있지 않다는 점은 觀측된 海面變化가 北에서 生成되어 轉파되어 오고 있다는 사실을 크게 뒷받침하고 있지 못하다 하겠다.

Table 2. Results of stepwise multiple regression analysis between the observed adjusted mean sea level (dependent variable) and the winds of K days evrlrier (independent variables).

STEP 16	R SQUARE = 0.19189197	C(P) = -6.45632153				
	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F	PROB F	
REGRESSION	3	203.30644323	67.76881441	4.59	0.0061	
ERROR	58	856.17742774	14.76157979			
TOTAL	61	1059.48387098				
	B VALUE( $\alpha_k$ )	STD ERROR	TYPE II SS	F	PROB F	
INTERCEPT ( $\bar{z}$ )	27.42362642					
K=0	-0.16015684	0.07414056	68.88348374	4.67	0.0349	
13	-0.12353719	0.06566350	52.25962056	3.54	0.0649	
18	-0.15926616	0.06365295	92.41569710	6.26	010152	

다. 이들 3개의 독립변수는 0, 13 그리고 18日前의 바람으로 모두가 해면변화와 負의 相關關係를 갖고 있다. 負의 상관관계는 陽의 바람에 대하여 海面이 下降한다는 理論的인 사실에 附合되고 있으나 이들 바람이 단지 해면 변화의 分散量의 19% 만을 설명하고 있다는 점과 바람의 영향이 계속적으로 일어나고 있지 않다는 점은 관측된 海面變化가 北에서 生成되어 轉파되어 오고 있다는 사실을 크게 뒷받침하고 있지 못하다 하겠다.

## 第 7 章 結 論 및 提 言

가. 沿岸水의 溫度는 겨울보다 여름철에 더욱 낮게 나타나며 강한 垂直流動을 동반하고 있다. 이 수직유동에는 조석의 주기 혹은 조화주기 (tidal harmonics)를 갖는 것들이 수시로 관측되고 있다. 통계분석에 의하면 冷水出現은 東海北部에서 부는 강한 바람에 의하여 生成되어 南으로 전파되어오는 듯이 나타나고 있으며 이때 表面海流는 北向하는 것으로 나타난다. 沿岸冷水의 形成 및 이에 수반되는 해수유동은 연근해 어업, 기타 연안환경 및 국방등에 중요한 요소로 나타나고 있는만큼 앞으로 더욱 명확히 규명되어야 하겠으며 이를 위하여 정밀해양관측이 절실히 요망되고 있다.

나. 本海域의 평균해류는 명확히 정의되고 있지는 않으나 대체적으로 南流하는 경향을 보이고 있다. 海水의 운동에너지분포를 보면 長週期運動이 우세하게 나타나고 있으나 이의 「미캐니즘」에 대하여는 아직껏 밝혀져 있지 않다. 연안에서의 해류는 외양쪽에서의 해류보다 數時間정도 앞서고 있는데 이는 마찰력에 의한 것으로 思料된다. 潮汐주기에서의 海流는 南海 및 西海에서 通常관측되고 있는 것과는 판이하여 北向流가 潮高보다 位相이  $0 - 160^\circ$  앞서고 있다. 南海 및 西海의 경우 潮汐波는 進行波와 定常波 (standing wave)와의 혼합형태로 나타나서 漲潮流가 潮高보다  $0 - 90^\circ$  앞서고 있다. 東海의 海底地形은 南海 및 西海와는 판이하게 다르며 따라서 潮汐波의 양상도 크게 다르리라고 思料되나 現象규명을 위하여는 海流 및 潮高를 측정할 수 있는 計器를 연안에 수직한 방향으로 일정간격을 유지하여 繫留시킴으로써 명확히 밝혀질 수 있겠다. 本研究에서의 해류관측은 연안선에 너무 근접하여 행하였던 관계로 전반적인 海水의 力學的構造를 파악할 수가 없었다. 따라서 차후 沿岸海水流動의 연구에서는 外海의 해수유동 특성에 대한 것도 동시에 밝혀져야 하겠다.

다. 本海域에서의 해면 변화에는 포항 以南에서는 半日週潮, 포항 以北에서는 潮汐外에도 長週期變化가 중요하게 나타나고 있다. 長週期 해면 변화에는 靜圧效

果에 의한 氣壓의 영향이 가장 크며 바람의 영향은 無視될 수 있을 정도로 작게 나타나고 있다. 바람의 영향은 數日週期에서 민감하게 나타나며 이때 海底面에 의한 마찰력과 바람에 의한 外力과는 거의 평형상태를 유지하고 있다. 海流를 포함한 海面變化資料의 분석결과에 의하면, 本海域에서의 마찰소멸시간 (frictional decay time) 혹은 마찰에 의한 균형도달시간 (frictional balancing time)은 0.5~1日 정도로 나타난다. 靜壓效果에 의한 해면변화는 약 7日以上の 週期에서 명확하게 나타나고 이때 해면변화의 位相은 약 720 km/day의 속도를 갖고 현저하게 北進하고 있는데 이는 氣壓系 자체의 北進에 따라 일어나는 것으로 思料된다. 반면에 주기 7日 以下에서는 位相이 다소 南進하고 있는데 이때의 南進速度는 약 4,200 km/day에 달하여 理論이 제시하는 大陸棚波의 進行速度보다 훨씬 크게 나타나고 있다. 本海域에서 해면변화에 대한 예보를 조석과 기압의 영향(靜壓效果)만을 고려하였을 경우 생기는 오차는 포항 以北의 경우 비교적 커서 포항에서 最大 약 50%에 달하고 있다. 따라서 정확한 해면변화의 예보를 위하여는 本海域에서의 長週期 해면변화에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되어야 하겠다. 더욱 나아가서 해면변화와 기타 海況과의 관계를 규명함으로써 비교적 쉽게 관측될 수 있는 해면변화를 外海의 海況변화예보에 이용할 수도 있겠다.

라. 연안 기상관측소에서 얻은 바람자료의 해양물리학적 이용에 주의를 요하는 바이다. 관측된 바람은 局地的인 영향이 강하게 나타나는 듯하며 보다 유용한 바람의 측정을 위하여 海上氣象觀測網을 新設함이 바람직하다.

附錄 : 한국 東岸에서의 沿岸長波에 대한 考察

氣象 錯亂에 의한 沿岸海水의 바로트로픽 (barotropic) 혹은 바로크리닉 (baroclinic) 運動에 대한 연구는 각각 個別的으로 행하여져 왔다. 대부분의 바로크리닉 운동에 대한 연구는 垂直한 연안과 水平한 海底面을 가정하였으며 이는 결국 바로크리닉 운동이 海底地形의 영향을 받지 않고 있다는 가정과 같다하겠다. 반면에 바로트로픽 운동의 경우는 海底地形의 변화에 따른 해수의 渦度 (vorticity) 변화에 의하여 일어나기 때문에 海底地形이 중요하다하겠다. 따라서 海水流動의 空間規模 (연안에 수직한 방향으로)를 결정하는 요소로서 바로크리닉 운동의 경우 Rossby Deformation Radius  $\delta_R$ , 바로트로픽 운동의 경우는 海底地形의 거리특성 규모 (characteristic length scale)  $\delta_B$ 가 중요하게 나타나고 있다. 이들 特性值들을 다음과 같이

$$\delta_R = N H c / f = C_R / f$$

$$\delta_B = H / H_x$$

로 주어지게 되는데 여기서  $N$ 은 浮力週波數 (Buoyancy frequency),  $H_c$ 는 바로크리닉 운동의 特性水深 (characteristic depth),  $f$ 는 코리올리 상수 (Coriolis parameter),  $C_R$ 은 内部波의 진행속도,  $H$ 는 水深이며  $H_x$ 는 이의  $x$ 에 대한 변화율을 나타낸다. 여기서 택한 좌표계 ( $x, y$ )는 右手直角座表계로서  $X$ 축은 外洋으로 향하여,  $Y$ 축은 연안선에 평행하게 놓여져 있다. 따라서  $\delta_B$ 는 海底水深의 變化가  $H$ 만큼 되기 위하여 필요한 만큼 움직여야 할 수평거리에 해당한다 하겠다. 이들 바로크리닉과 바로트로픽 沿岸長波 (coastal trapped waves)는 모두 같은 類의 時空間 變化 樣相을 나타내고 있는데 (Gill과 Schumann, 1974 : Gill과 Clarke, 1974)  $n$ 번째 모드에 해당하는 波의 경우

$$C_n^{-1} \phi_{n,t} - \phi_{n,y} = b_n \tau^y \quad (8)$$

로 주어지게 된다. 여기서  $\phi_n(y, t)$ 는 해면의 높이 (等密度面의 높이)에 비례하는 값이며  $C_n$ 은  $-y$  방향으로 진행하는 波의 速度,  $\tau^y$ 는 연안선에 평행

한 바람의 応力,  $b_n$  은  $n$  번째 모-드에 대한 定數를 나타낸다. 式(8)에서  $\phi_n(y, t)$  는 水圧에 비례하는 관계로 沿岸에서의 海流에 반비례 한다고도 할 수 있겠다.

式(8)을 特性線 (characteristic line)  $dy = -C_n dt$  를 따라서 積分하면  $\phi_n$  에 대한 解는 다음과 같이 求할 수 있다.

$$\phi_n(t_0, y_0) = \phi_n(t_s, y_s) + b_n \int_{y_s}^{y_0} C_n \tau^y(\xi, t_0 - \frac{\xi - y_0}{C_n}) d\xi \quad (9)$$

여기서  $y_0$  는  $\phi_n$  이 측정되는 점을,  $t_0$  는 이 点에서의 時間을,  $(t_s, y_s)$  는  $\phi_n$  의 初期値가 주어지는 時間 및 場所를 나타내며  $\xi$  는  $y_s$  에서  $y_0$  사이에서 변하는 積分變數를 나타내고 있다. 式(9)가 의미하는 바는 遠海에서 바람에 의하여 生成된 海水流動은 沿岸長波의 形態로 연안선을 따라 전파될 수 있으며 이때 一定点에서 관측된 海水의 流動은 관측점에 도달하기 전에 進行波가 받은 모든 바람의 影響에 의하여 결정되고 있다 하겠다.  $b_n$  의 값은 大陸棚波의 경우 陰의 값, 内部波의 경우 陽의 값을 갖게 되므로 陽의 바람 ( $\tau^y > 0$ ) 이 불었을 경우 海면의 하강 혹은 等密度面의 上昇이 일어나게 된다. 波速  $C_n$  은 内部波의 경우 密度成層 (stratification) 의 정도, 大陸棚波의 경우는 海底地形에 의하여 결정된다. 二層海 (two-layer ocean) 에 있어서 内部波의 波速  $C_R$  은

$$C_R = \sqrt{g \frac{\Delta\rho}{\rho_0}} H_c \quad (10)$$

로 주어지게 되는데 여기서  $g$  는 地球重力加速度,  $\Delta\rho$  는 上下層에서의 密度差,  $\rho_0$  는 平均海水密度를 나타낸다. 제 3 장에서 본바와 같이 本海域에서  $N \approx 0.015$  c.g.s 로 나타나는데 이는  $\Delta\rho \approx 5 \times 10^{-4}$  에 해당한다 하겠으나 外洋으로 감에 따라 다소 증가하는 경향이 있다. 연안과 外洋에 걸쳐서 行한 定線海洋觀測 成果 (朝鮮總督府水産試驗場, 1930-1942 ; 국립수산진흥원, 1964-1976) 에 의하면  $\Delta\rho \sim 2 \times 10^{-3}$  이며  $H_c$  는 北에서 20 m, 南으로 향하여 다소 증가하여  $36^\circ N$  에서 약 50 m 까지 이르고 있다 (Fig. 33). 따라서 本海域에서  $\Delta\rho \sim 2 \times 10^{-3}$ ,  $H_c \sim 25$  m 라 했을 때  $C_R \sim 61$  km/day,  $\delta_R \sim 8$  km 가 된다.



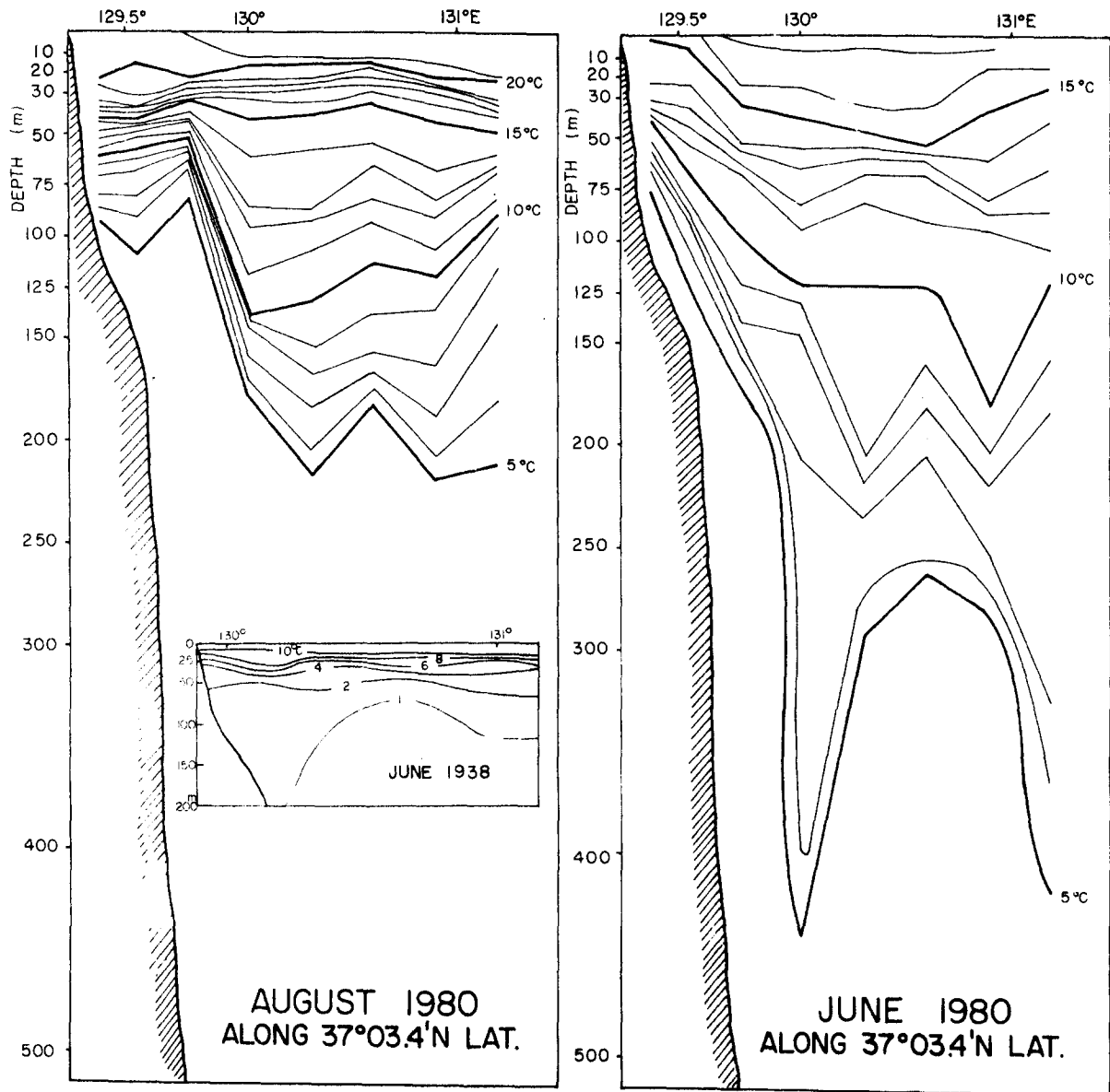


Fig. 33. Hydrographic sections obtained near the measurement site (Uljin) in June and August 1980 by F.R.D.A. For the purpose of comparison, hydrographic section obtained earlier (1934) in the north is presented. For locations of observations see Fig. 1.

大陸棚波의 경우 波速은 항상 일정하게 주어지지 않으며 時空間上에서의 週波數關係式 ( dispersion relation )에 의하여 결정되는데 Allen (1975)에 의하면

$$\omega_n = 4\ell\delta_B f / \{1 + 4\delta_B^2 (\ell^2 + K_n^2)\}$$

$$K_n \cos(K_n L) = - \left(\frac{1}{2}\delta_B^{-1} + \ell\right) \sin(K_n L) \quad (11)$$

로 주어질 수 있다. 여기서  $\omega_n$ 은 n번째 모드 波의 週波數,  $\ell$ 은 연안에 평행한 방향으로의 波數 ( wave number ),  $K_n$ 은 n모드-의 연안에 수직인 방향으로의 波數, L은 大陸棚과 大陸斜面이 이루는 海底地形의 폭을 나타내고 있다. 海底水深이 指數함수로 주어지는 경우 즉

$$H = H_0 e^{2\lambda x} \quad (12)$$

와 연안에 평행한 방향으로의 波長이 상당히 큰 경우 즉

$$\ell \ll K_n$$

式 (12)는

$$\omega_n = \frac{2\lambda f \ell}{K_n^2 + \ell^2}$$

로 되어 Gill과 Schumann(1974)의 결과와 같아진다. 實測水深으로부터  $\delta_B$ 를 구하는 문제는 그리 간단하지가 않으리라 생각되나 式 (12)에서와 같이 指數函數로 주어지는 海底地形에서는 간단히 구할 수 있다. Table.3은 本海域에 대

Table 3. Characteristic length scales of bottom topography along the east coast of Korea.

Latitude							
$^{\circ}$ N	36	37	38	39	40	41	42
L (km)	24	60	24	50	58	42	56
$\delta_B$ (km)	7	18	8	12	17	3	11
$\delta'_B = \delta_B/L$	0.29	0.30	0.33	0.24	0.29	0.07	0.20

하여 계산된  $\delta_B$ 와  $L$ 의 값을 위도에 따라서 표시해 놓은 것이다.  $\delta_B$ 의 값은 실제 수심을 指数函数曲線에 맞추어 구했다. 表에서 보인바와 같이 本海域은 비교적 좁은 大陸棚으로 이루어지고 있으며  $L$ 과  $\delta_B$ 의 값들도 연안을 따라 상당히 변화하고 있다. 한가지 흥미 있는 사실은 이러한  $L$ 과  $\delta_B$ 의 값의 비  $\delta'_B$ 은 비교적 一定한 ( $\sim 0.3$ ) 값을 보이고 있다는 것이다. 편의상 시간과 공간의 변수를  $f^{-1}$ 과  $L$ 에 대하여 나누어 無次元의 변수로 하였다. 그렇게함으로써 式(11)에 표시된 관계식은 단지  $\delta'_B$ 만의 함수로 다음과 같이 표시될 수 있겠다.

$$\begin{aligned} \omega_n' &= 4e'\delta_B' / \{ 1 + 4\delta_B'^2 (e'^2 + K_n'^2) \} \\ K_n' \cos K_n' &= - \left( \frac{1}{2} \delta_B'^{-1} + e' \right) \sin K_n' \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 프라임(')으로 표시된 값들은 無次元으로 환산된 변수를 의미하고 있다. Fig. 34는 式(13)에 의하여  $\delta'_B = 0.3$ 이라 하여 구한 大陸棚波의 週波数관계식 (dispersion relation)을 보이고 있다. 그림에 의하면 本海域

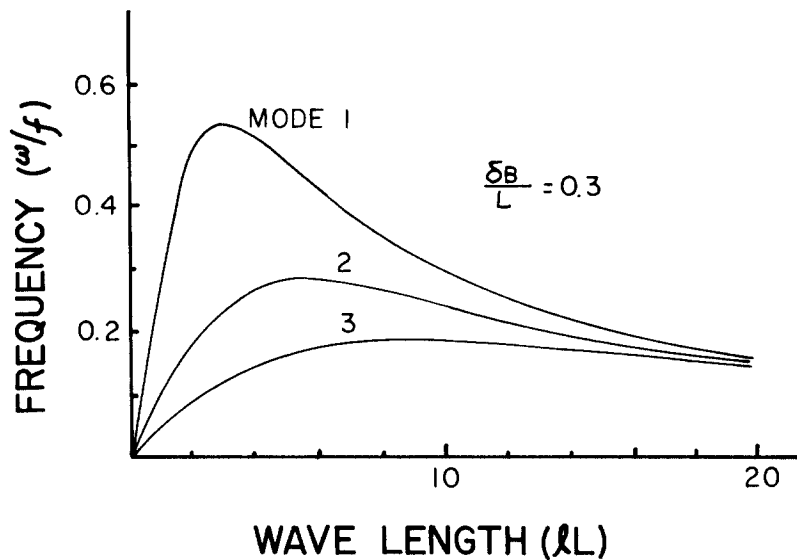


Fig. 34. Dispersion relation of possible continental shelf waves along the east coast of Korea. Time and space variables are non-dimensionalized with respect to  $f^{-1}$  (Coriolis parameter) and  $L$  (width of shelf-slope region).  $\delta_B$  (characteristic scale of shelf region) is assumed to be  $0.3L$ .

에서의 大陸棚波는 주기 38 시간 ( $\omega_n = 0.53 f$ ) 이상에 대하여 언제나 可能하게 나타나고 있다.  $\delta'_B = \delta_B/L$ 을 一定하게 놓은 관계로 低週波帶에서의 波速은  $L$ 의 크기에 의하여 결정될 것이다. 一例로 가장 폭이 좁은 大陸棚 즉  $L = 20 \text{ km}$ 일 경우 첫번째 모-드의 波速은 약  $55 \text{ km/day}$ 가 되고 最大 波速은  $L = 60 \text{ km}$ 일 때  $160 \text{ km/day}$ 가 된다. 실제로 沿岸域은 密度成層 (stratification)과 海底面의 경사를 동시에 갖고 있어서 위에서 각각 고찰한 바 있는 内部波와 大陸棚波가 共存하거나 혹은 混合形態로 存在할 것으로 思料된다. 密度成層이 비교적 약한 경우 ( $\delta_R \ll \delta_B$ ) 沿岸長波는 主로 大陸棚波의 성격을 띄고, 密度成層이 海底面의 경사에 비하여 강할 경우 ( $\delta_R \gg \delta_B$ )는 沿岸長波는 内部波의 성격을 띄게 될 것이다. 실제 대부분의 湧昇現象 (内部波)은 赤道地域과 같이 大陸棚의 폭이  $2\delta_R$ 보다 작은 沿岸域에서 관측되었다 (Huthnance, 1981) 韓國東岸의 경우는  $\delta_R$ 과  $\delta_B$ 의 크기가 서로 비슷하여 이들 두 종류의 波中 어느 한 가지가 뚜렷하게 존재할 수 있는 조건이 되지 못하는 것 같고 Allen (1975)에 의하여 論議된 바와 같이 이들 두 波의 혼합된 形態로 존재할 수도 있겠다. 이에 대한 연구는 아직 잘 되어 있지 않은 관계로 더 이상 언급하지 않기로 한다.

## 參 考 文 獻

- 交通部 水路局, 1978. 수로기술연보 No. 1101: 19-23.
- 국립수산진흥원, 1964-1976. 해양조사연보, 12-24.
- 金光植 等, 1973. 한국의 기후: 62-90.
- 承永鎬. 1974. 8月的 韓國東岸에서의 水温分布에 關한 力學的 考察.  
한국해양학회지, 9: 52 - 58.
- 李錫祐. 1967. 韓國 沿岸의 月平均 海面의 變化에 對하여. 한국해양학  
회지, 2: 24 - 33.
- 朝鮮總督府水産試驗場. 1930-1942. 朝鮮近海海洋圖.
- Allen, J.S. 1975. Coastal trapped waves in a stratified ocean. J. Phys. Oceanogr., 5: 300-325.
- An, H.S. 1974. On the cold water mass around the southeast coast of Korean peninsula. J. Ocean. Soc. Korea, 9: 10-18.
- Brink, K.H. and J.S. Allen. 1978. On the effect of bottom friction on barotropic motion over a continental shelf. J. Phys. Oceanogr., 8: 919-922.
- Brooks, D.A. 1978. Subtidal Sea Level Fluctuations and Their Relation to Atmospheric Forcing along the North Carolina Coast, 8: 481-493.
- Gill, A.E. and A.J. Clarke. 1974. Wind-induced upwelling, coastal currents and sea-level changes. Deep Sea Res., 21: 325-345.
- Gill, A.E. and E.H. Schumann. 1974. The generation of long shelf waves by the wind. J. Phys. Oceanogr., 4: 83-90.
- Gonella, J. 1972. A rotary component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series. Deep Sea Res., 19: 833-846.

- Hamon, B.V. 1966. Continental shelf waves and the effects of atmospheric pressure and wind stress on sea level. *J. Geophys. Res.*, 71: 2883-2893.
- \_\_\_\_\_. 1979. Mean sea level at Norfolk island and Lord Howe island. Rep. 11, SCIRO, Div. Fish. Oceanogr.
- Huthnance, J.H. 1981. Waves and currents near the continental shelf edge. *Prog. Oceanogr.*, 10: 193-226.
- KORDI. 1980. Oceanographic studies for Uljin Nuclear Power Plant. BSPI 00022-39-1.
- \_\_\_\_\_. Current and temperature data near the Buku site. Part 1 and 2. BSPI 00022-39-1.
- Lim, D.B. and S.D. Chang. 1969. On the Cold Water Mass in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 9: 10-18.
- Ogura, S. 1933. The tides in the seas adjacent to Japan. *Hydr. Bull. Dep. Imp. Jap. Navy* 7.
- Winant, C.D. and R.C. Beardsley. 1979. A comparison of shallow currents induced by wind stress. *J. Phys. Oceanogr.*, 9: 218-220.