

# 東海 南西部 海域의 水溫 年變化의 海域別 特性에 關한 研究

尹 鍾 輝

## On the Regional Characteristics of the Annual Variation of Water Temperature in the Southwestern part of the East Sea

Jong-Hwui Yun

### Abstract

Characteristics of annual variation of water temperature in the southwestern part of the Japan Sea were analyzed using bimonthly temperature data for 16 years(1973~1988) issued by Fisheries Research and Development Agency of Korea. The study area can be divided into 3 regions such as cold region, warm region and warm core region according to annual variation of water temperature. In the cold region, influence by one-year period at surface is higher, while that at subsurface is rather lower, and change of phase with increase of depth is larger comparing with those of other warm regions. In the warm region and warm core region, the surface is mainly influenced by components of one-year period, while subsurface layer contains fluctuation of half a year period considerably and phase lag with increase of depth in the warm core region is smaller than that in the warm region.

### 1. 序 論

동해는 평균 수심이 약 1500m로 반폐쇄적인 지형을 갖고 있는 깊은 바다로써 이곳에는 연직적으로 상층부에는 대한해협을 통하여 유입되는 고온고염한 쓰시마 난류수와 한국 동해연안을 따라 남하하는 북한한류수가 분포되어 있고, 그 하부

에는 동해 전 체적의 약 90%를 차지하고 있는 1°C 이하, 34.0~34.1%의 동해고유수가 분포되어 있다. 그리고 한국 동해안 외해에서는 동해안을 따라 북상하는 쓰시마난류의 지류인 동한난류가 중·저층의 동해고유수나 북한한류수와 접촉하여 수직적으로는 약층을, 수평적으로는 극전선을 형성한다. 또한 동한난류 유층의 서쪽인 한국 남동 해역의 연안역에 때때로 주위보다 현저히 찬 물이 출현하여 냉수역을 이루며 시공간적으로 다양한 변동을 나타내고 있다(조, 1990).

한편 해수의 수온은 해양생물의 환경 요인의 하나이며, 해황 변동의 지표로써 널리 사용되고 있다. 한국 동해안 외해 상층수의 수온 연변화에 관한 Kang and Kang(1987)에 의하면, 연직적으로 수온 연변화의 진폭은 해역별로 다소 차이가 있지만 대체적으로 표면에서 크고 수심이 증가할수록 점차 감소한다. 그리고 최대수온의 출현시기는 표면에서 8월경, 50m에서 9~10월, 100m에서 10~11월로써 수심이 증가하면서 위상이 늦어진다. 이와같은 수온의 연변화는 기본적으로 대기와의 열교환 및 해류에 의한 열수송 등의 연변화에 영향을 받는다. 대기와의 열교환은 해면을 통해서 일어나며, 해양 내부에서는 전도, 대류, 와동 및 상승류 또는 하강류에 의해 연직적으로 열이 이동하여 점차 중·저층수의 수온에 영향을 주게 되고, 수평적으로는 주로 쓰시마난류수의 이류에 의해 열이 이동된다(Naganuma, 1987). 이와같이 수온 변화는 해수의 운동을 반영하므로 수온의 시공간적 변화를 조사하면 해역별 해황을 구명할 수 있을 것으로 생각된다. 이에 대한 연구로는 공(1967), Kang and Choi(1985), Kang and Kang(1987) 및 Kang and Kang(1991)등이 있는데 이들은 대부분 연안역, 표면수온 및 1년 주기 성분의 수온 변화에 대하여 취급하고 있다. 그러나 수온 연변화에는 1년주기뿐 아니라 다른 주기 성분도 포함되어 있기 때문에, 본 연구에서는 수온 연변화에 포함되어 있는 각 주기 성분을 분석하여 해역별 수온 연변화의 특성을 알아보았다.

## 2. 資料 및 方法

본 연구에 사용된 자료는 국립수산진흥원(Fisheries Research and Development Agency of Korea) 발행의 해양조사연보(1973-1988) 중의 수온 자료이며 대상 해역은 대한해협 서수도(207-Line)에서 속초(107-Line) 연안역까지 총 72개 정점이

다(Fig.1).

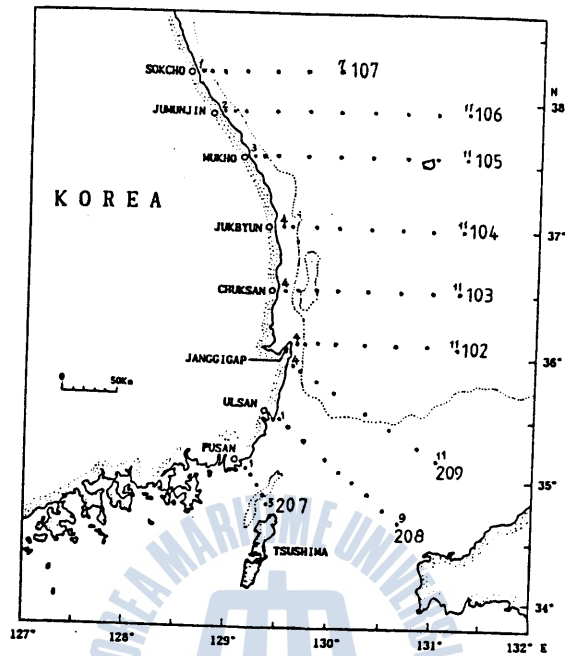


Fig. 1. Oceanographic station in the southwestern part of the East Sea. Dashed lines denote 200m isobath.

먼저 16개년의 격월별 평균수온의 연변화를 각 정점에 대하여 조화분석하여 수온의 연변화 양상을 조사하였다. 각 정점의 수온의 연변화는 다음과 같은 함수로 표현할 수 있다.

$$T(t) = T_0 + T_1 \cos(\omega t - \phi_1) + T_2 \cos(2\omega t - \phi_2)$$

단,  $T_0$  : 연평균수온(°C)

$T_1, T_2$  : 1년 주기 및 1/2년 주기 성분의 진폭(°C)

$\phi_1, \phi_2$  : 1년 주기 및 1/2년 주기 성분의 위상(deg.)

수온 연변화에는 1년, 1/2년, 1/3년, 4/1년 및 1/5년 주기 성분이 합성되어 있지만, 1/3년 주기보다 짧은 주기 성분의 진폭은 대단히 적기 때문에 본 연구에서는 1년과 1/2년 주기 성분만 분석하였다. 상기 식에 있는 5개의 조화상수  $T_0, T_1, T_2, \phi_1, \phi_2$ 를 최소자승법(Least Square Method)로 구하여 표면, 50, 100, 200m에

서의 각 상수의 수평분포도를 작성하여 해역별 특성을 조사하였다. 그리고 대한해협 서수도의 중앙부(St.207-4), 대한해협 출구(St.209-6), 난수역(St.104-10) 및 한류역(St.106-4)의 4정점을 택해, 정점별 1년 주기성분의 진폭 및 위상의 연직적 변화 곡선을 그려서 상호간의 차이를 조사하였다. 또한 1년 주기 성분의 위상과 1/2년 주기 성분의 위상차를 조사하여 계절 변화 곡선의 왜곡 정도를 알아 보았다.

### 3. 結果

#### 3.1 年平均 水温

Fig.2는 표면, 50m, 100m 및 200m에서의 연평균 수온의 분포를 보여주고 있다. 표면 수온은 서수도에서 18~19℃로 가장 높고 북쪽으로 갈수록 점점 감소하여 속초 연안에서 약 14℃로 가장 낮으며 남쪽과 북쪽의 수온차는 4℃ 정도이다. 그리고 등온선은 한국 동해안 연안 부근을 제외하면 대략 동~서로 분포되어 있다. 50m와 100m에서는 서수도에서 대략 15℃로 가장 높고 북쪽으로 갈수록 감소하는데, 외해쪽에서는 수온이 천천히 감소하여 표면 수온의 감소률과 비슷하지만, 연안 부근에서는 급격히 하강하여 남쪽과 북쪽의 수온차는 각각 10℃, 12℃로 표면 보다 훨씬 큰 것으로 나타났다. 그리고 장기갑 이북 해역에서는 등온선이 연안쪽에서는 동해안과 평행하게 분포되어 있고 외해쪽에서는 동~서로 분포되어 있어 장기갑~묵호 간에는 200m 등심선을 중심으로 서쪽의 냉수와 동쪽의 난수 사이에 전선이 형성되어 있고 묵호 이북 해역에는 묵호에서 북동쪽으로 전선이 형성되어 있다. 200m에서의 수온은 그 상부층의 분포와는 달리 등온선이 남~북으로 분포되어 있고 연안쪽에서 외해쪽으로 갈수록 수온은 증가하며, 연안과 외해 사이의 수온차는 약 4℃ 정도로 비교적 적은 것으로 나타났다. 그리고 이 층에서는 울릉도 남쪽 해역에 주위보다 따뜻한 5℃ 이상의 물이 분포되어 있다.

연평균수온 분포에 의하면 수평적으로는 200m 등심선을 따라서 전선이 형성되어 있고 또한 묵호~울릉도를 잇는 선의 북쪽에 약한 전선이 형성되어 있다. 이 전선을 중심으로 연안쪽에는 표면에서 50m 사이에 강한 약층이 형성되어 있고 그 이심에는 저온수가 존재한다. 반면에 외해쪽에는 뚜렷한 약층은 보이지 않으며,

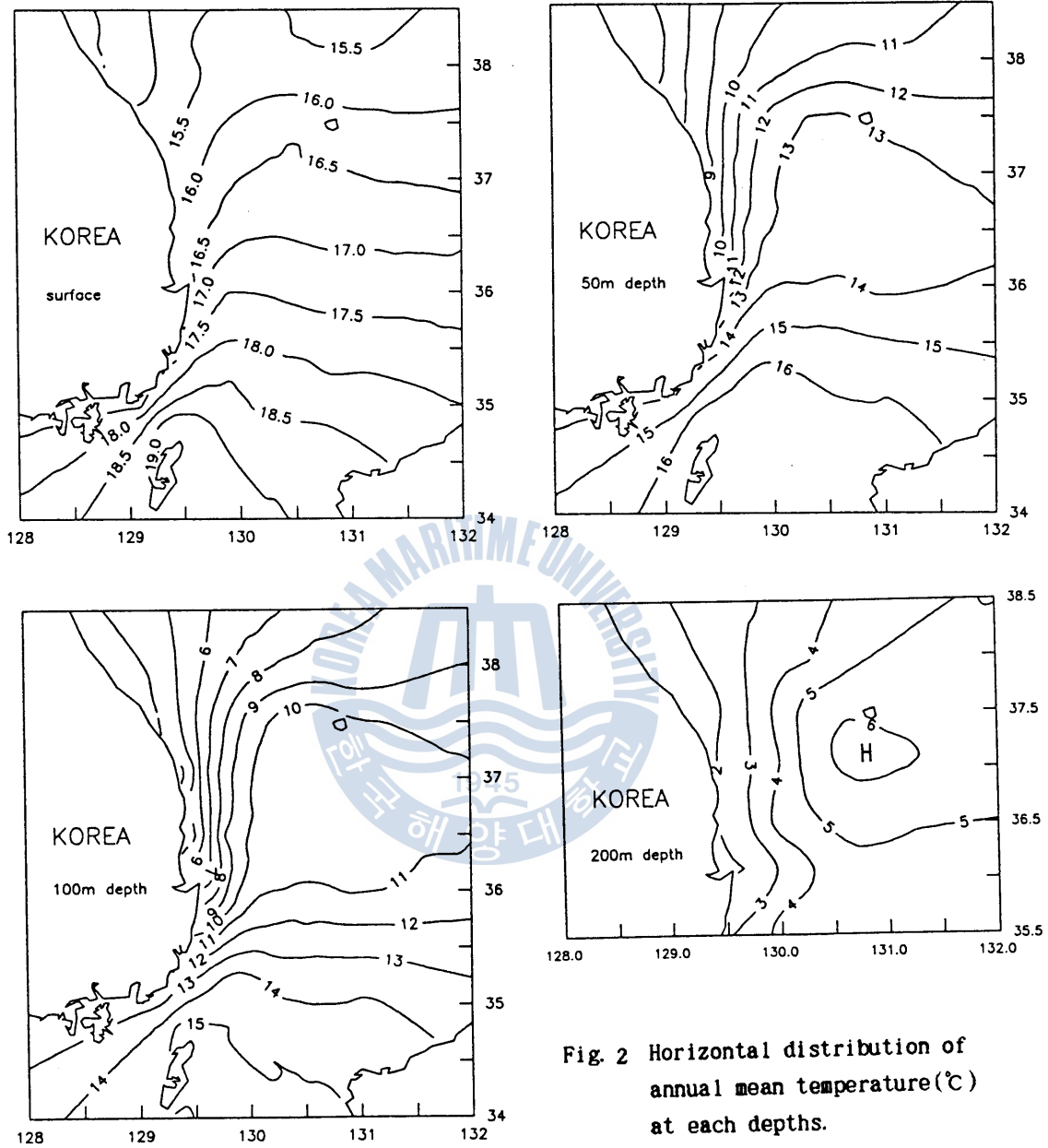


Fig. 2 Horizontal distribution of annual mean temperature(°C) at each depths.

100m 이천에는 전반적으로 10°C 이상의 고온수가 분포되어 있다. 특히 울릉도 남쪽 해역에는 200m까지 주위보다 따뜻한 물이 존재하는데, 이러한 수괴를 Na(1988)는 난수괴라 하였으며, 난수괴는 계절과 동한난류의 복상에 관계없이 존재한다고 하였다.

### 3.2 1年 週期 成分의 振幅 및 位相

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 1년 주기 성분의 진폭과 위상의 표면, 50, 100 및 200m에서의 수평분포도이다. 1년 주기의 진폭은 표면에서 5.5~8.0°C, 50m에서 2.0~3.5°C, 100m에서 2.0~1.0°C, 200m에서 0.4~0.8°C이며, 진폭은 표면에서 대한해협과 축산 사이의 연안에서 적고 북쪽으로 갈수록 증가하는 경향을 보이며, 특히 묵호 이북의 한류역에서의 진폭이 가장 큰 것으로 나타났다. 50m와 100m에서는 연안쪽의 진폭은 각각 2.5°C, 1.5°C 이내로 비교적 적은 편이며, 외해로 갈수록 점점 증가하는 경향을 보인다. 200m에서의 진폭은 전반적으로 1°C 미만으로 해역별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

수온의 연변화에서 수온최대치가 나타나는 시기인 1년 주기의 위상은 표면에서는 대한해협 서수도~축산에서 대략 238~240°, 축산~묵호 해역에서 236°, 그 이북 해역에서 대략 234°로 북쪽으로 갈수록 위상이 약간 빨라지는 경향을 보이고 있다. 50m와 100m에서는 대한해협 서수와 200m 등심선을 따라 형성되어 있는 전선의(Fig. 2) 이동 해역에서 각각 280°, 300~330°인 것이 연안쪽으로 접근할수록 위상은 340°, 360°로 늦어져, 외해와 연안역 사이에서 수온최대치가 나타나는 시기는 대략 1~2개월 정도의 차가 있는 것으로 나타났다. 200m에서는 연안쪽에서 위상이 0~40°로 수온최대치는 동계에 나타나고 외해로 갈수록 점점 늦어져 울릉도 부근 해역에서는 320° 정도로 11월 중순에 수온최대치가 나타났다. 이 층에서의 연안과 외해역 사이의 위상차는 그 상부층에 비해 매우 큰 것으로 나타났다.

Fig. 5는 1년 주기 성분의 진폭 및 위상의 연직적인 변화를 해역별로 비교해 보기 위하여 대한해협 서수도 및 동해 입구 부근, 울릉도 남쪽의 난수역 및, 주문진 부근의 한류역에서 각각 1개씩의 정점을 택하여 정점별로 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200m 수심에서의 1년 주기의 진폭과 위상을 프로트한 것이다. 4개 정점 모두 표면에서 진폭이 6.0~7.5°C로 가장 크고 수심이 깊어지면서 대략 지수함수적으로 감소하여 200m에서는 0.2~1.0°C로 매우 적은 것으로 나타났다. 수심에 따른 수온감소율은 표면~50m 층에서는 정점 106-4에서 특히 현저하고, 그 이심에서는 4개 정점 모두 비슷한 감소율을 보이고 있다. 위상의 변화

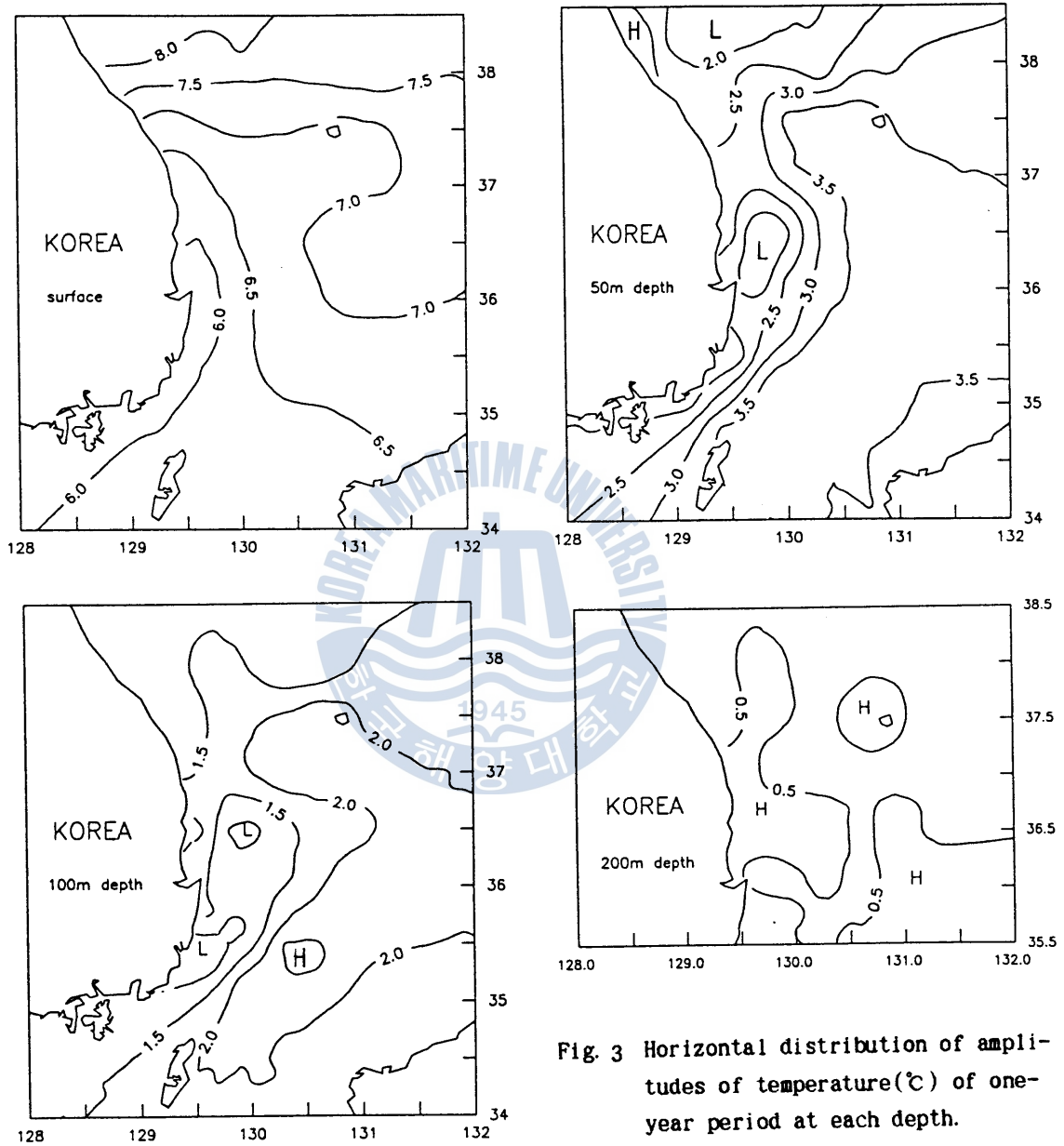


Fig. 3 Horizontal distribution of amplitudes of temperature( $^{\circ}$ C) of one-year period at each depth.



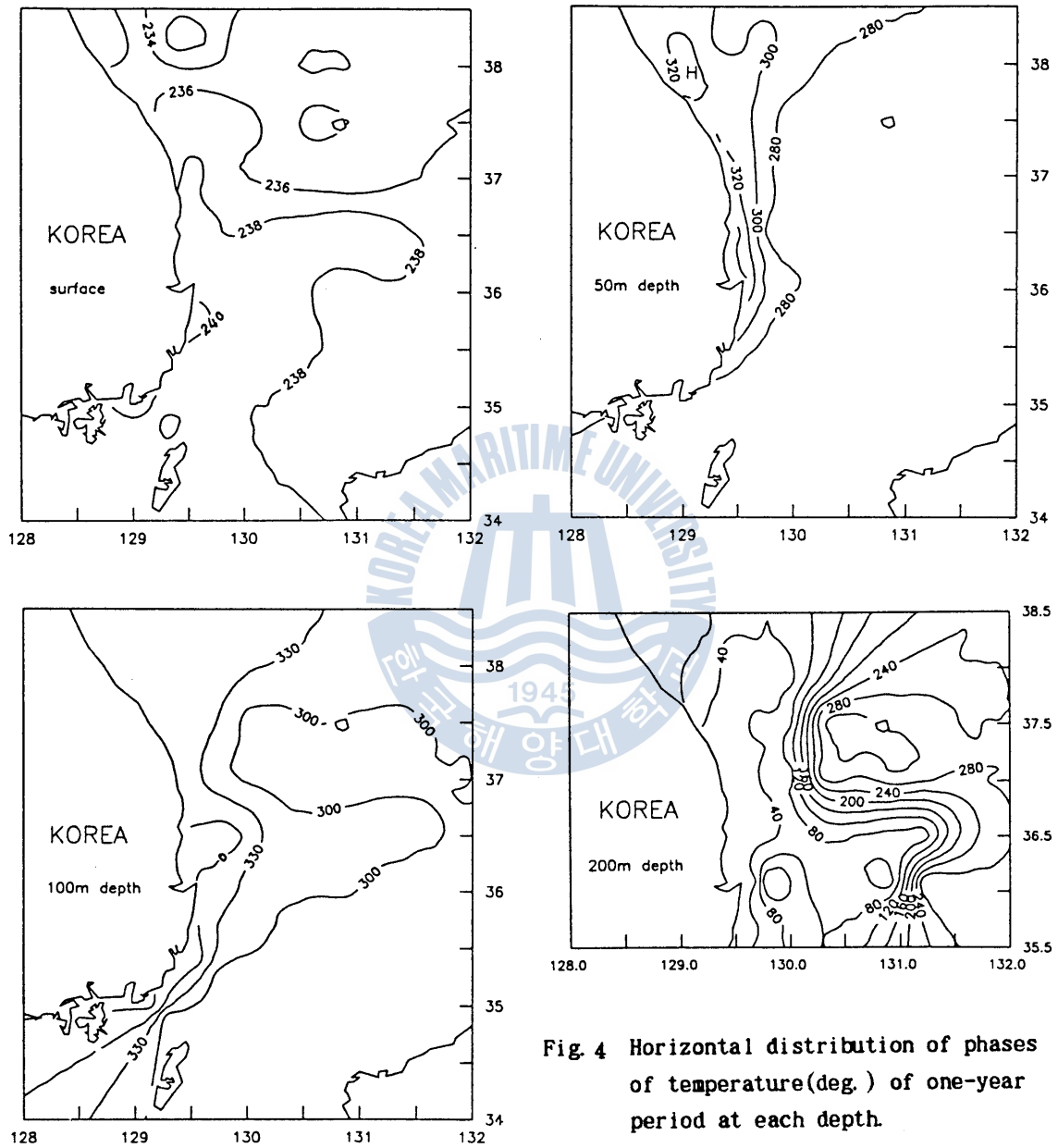


Fig. 4 Horizontal distribution of phases of temperature(deg.) of one-year period at each depth.



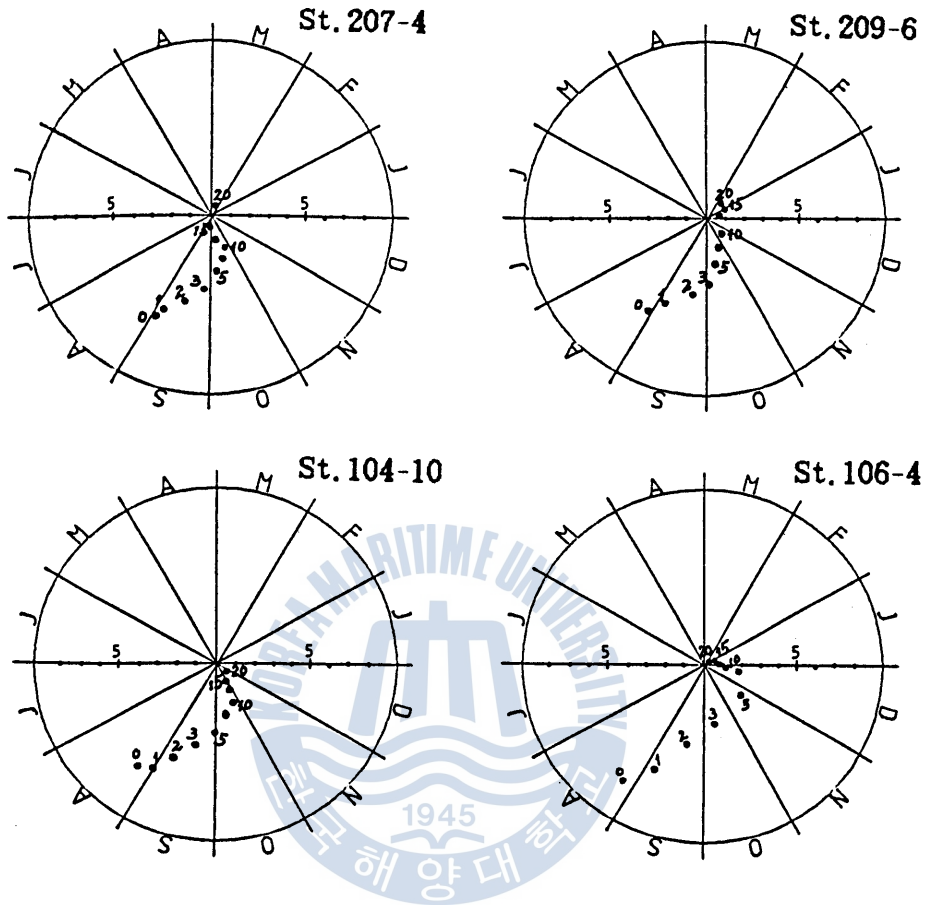


Fig. 5 Vertical change of amplitude and phase of one-year period at 4 stations.

를 살펴보면, 정점 207-4, 209-6 및 104-10에서는 표면에서 수온최대치가 8월말~9월초에 나타나며, 표면에서 100m까지는 대략 선형적으로 지연되어 100m에서는 수온최대치가 10월말~11월초에 나타났다. 수심 100~200m에서의 위상 변화는 정점별로 다소 차이를 보이는데, 정점 207-4에서는 100m에서 150m까지 오히려 위상이 약간 빨라졌고, 200m에서는 3월 중순에 수온최대치가 나타났다. 정점 209-6에서는 그 상층과 같이 계속 위상이 조금씩 지연되면서 200m에서 수온최대치는 2월 중순에 나타났다. 정점 104-10의 100~150m 층에서는 100m와 위상 변화가 거의 없는 10월 말경에 수온최대치가 나타났고, 200m에서는 약간 늦어져 11월 말경에

나타났다. 정점 106-4에서 표면수는 최대치는 8월 말경에 나타났고 그 이심에서는 수심이 깊어지면서 위상은 점점 늦어져, 200m에서는 2월 중순경에 수온최대치가 나타났다. 이 정점의 표면에서부터 100m까지 위상의 지연률은 다른 정점에 비해 훨씬 큰 것으로 나타났다.

### 3.3 1/2年 週期 成分의 振幅 및 位相

Fig.6 및 Fig.7은 각각 1/2년 주기 성분의 진폭 및 위상의 표면, 50m, 100m 및 200m에서의 수평분포도이다. 1/2년 주기의 진폭은 표면, 50m 및 100m에서 0.5~1.5°C인데, 1년 주기의 진폭은 해역에 상관없이 수심의 증가에 따라 감소하지만, 1/2년 주기의 진폭은 주문진 이북 해역을 제외한 나머지 해역에서는 오히려 표면의 진폭이 그 이심의 진폭보다 적은 것으로 나타났다. 50m와 100m에서의 진폭은 대한해협, 축산~목호 연안 및 울릉도 남쪽의 난수역에서 1°C 이하로 비교적 적고 목호~울릉도를 잇는 선의 북쪽 해역이 1.0~1.5°C로 가장 큰 것으로 나타났다. 200m에서의 진폭은 0.2~0.8°C로 1년 주기 성분의 진폭과 비슷하며, 대략 장기갑 이남 해역과 울릉도 남쪽의 난수역에서 크고, 한류역에서 적은 것으로 나타났다.

1/2년 주기의 위상은 표면에서 90~150°, 50m에서 240~320°, 100m에서 280~360°이며, 대체적으로 외해쪽에서 연안쪽으로 갈수록 늦어지며, 특히 장기갑~죽변 연안 부근에서 가장 늦은 것으로 나타났다. 200m에서는 울릉도 남쪽 해역에서 위상이 가장 늦고 한류역에서 빠른 경향을 보이고 있다.

Fig.8은 표면, 50, 100 및 200m에서의 1년 주기와 1/2년 주기의 위상 차 ( $\phi_1 - (\phi_2/2 + 180^\circ)$ )의 수평 분포도이다.

여기에서 (+)역은 1/2년 주기 성분의 효과가 1년 주기 성분의 최대치의 시기를 빠르게 하는 작용을 하고, (-)역은 반대로 1년 주기 성분의 최대치 출현 시기를 지연시키는 작용을 한다. 그리고 두 값이 같을 때에는 두 성분의 최대치의 출현 시기가 동일함을 의미한다. 표면에서는 장기갑~목호 연안 부근에서만 (-)역이고 그 이외의 해역은 모두 (+)역이며, 그 값은 연안쪽에서 외쪽으로 갈수록 약간씩 증가하는 경향을 보이지만, 연안과 외해간의 차는 약 20일 이내로 비교적 적은

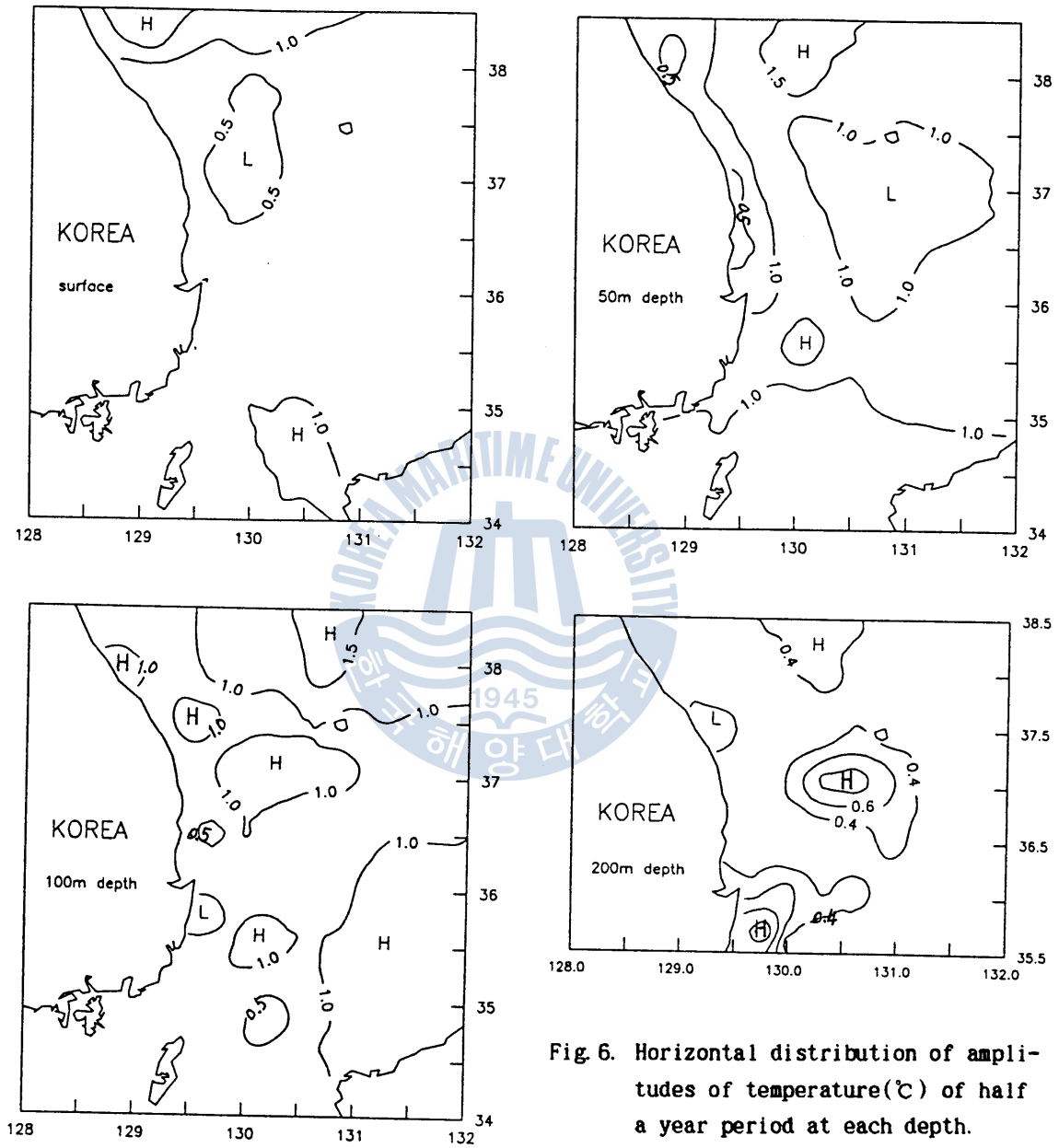


Fig. 6. Horizontal distribution of amplitudes of temperature( $^{\circ}$ C) of half a year period at each depth.

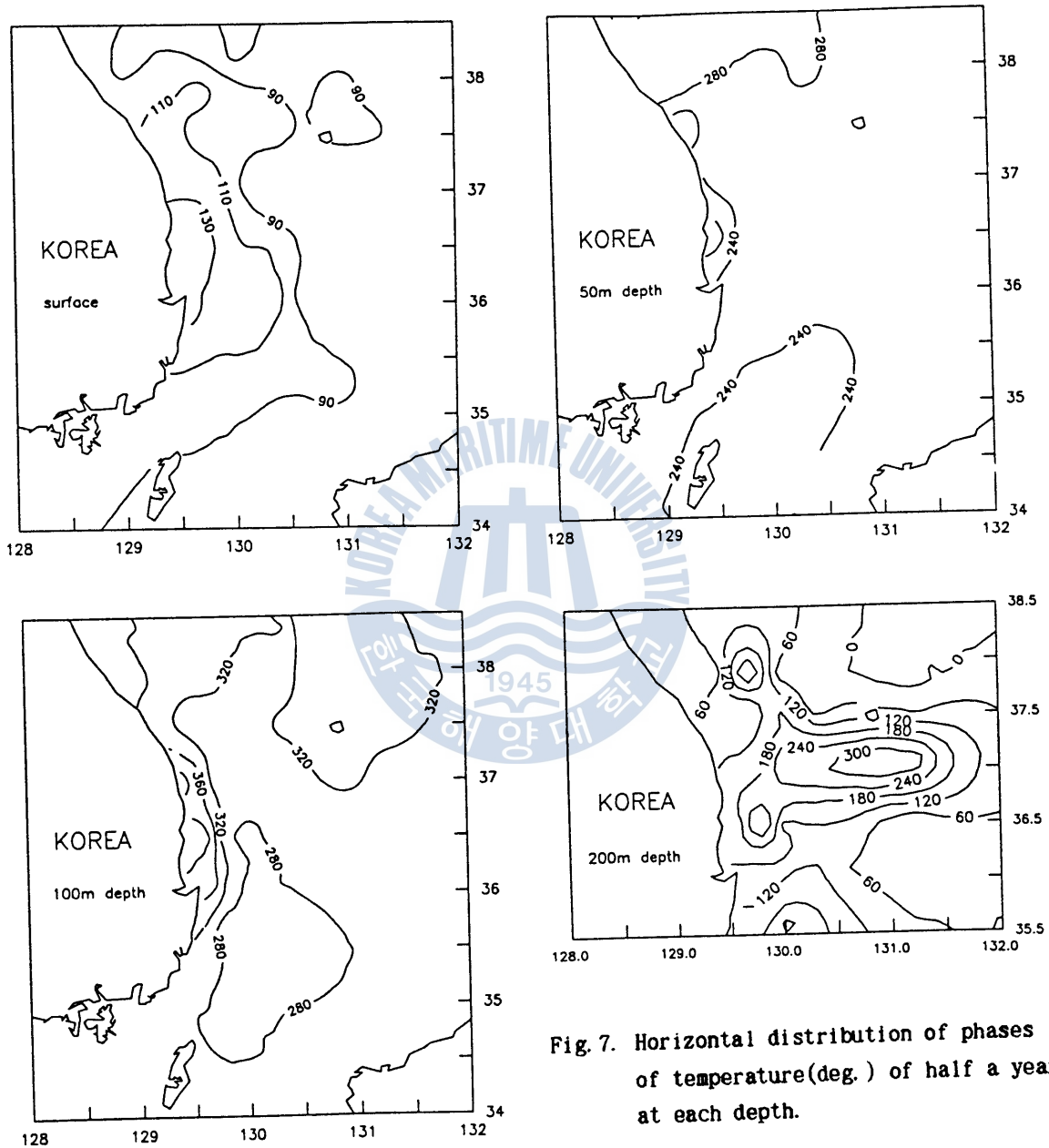


Fig. 7. Horizontal distribution of phases of temperature(deg.) of half a year at each depth.

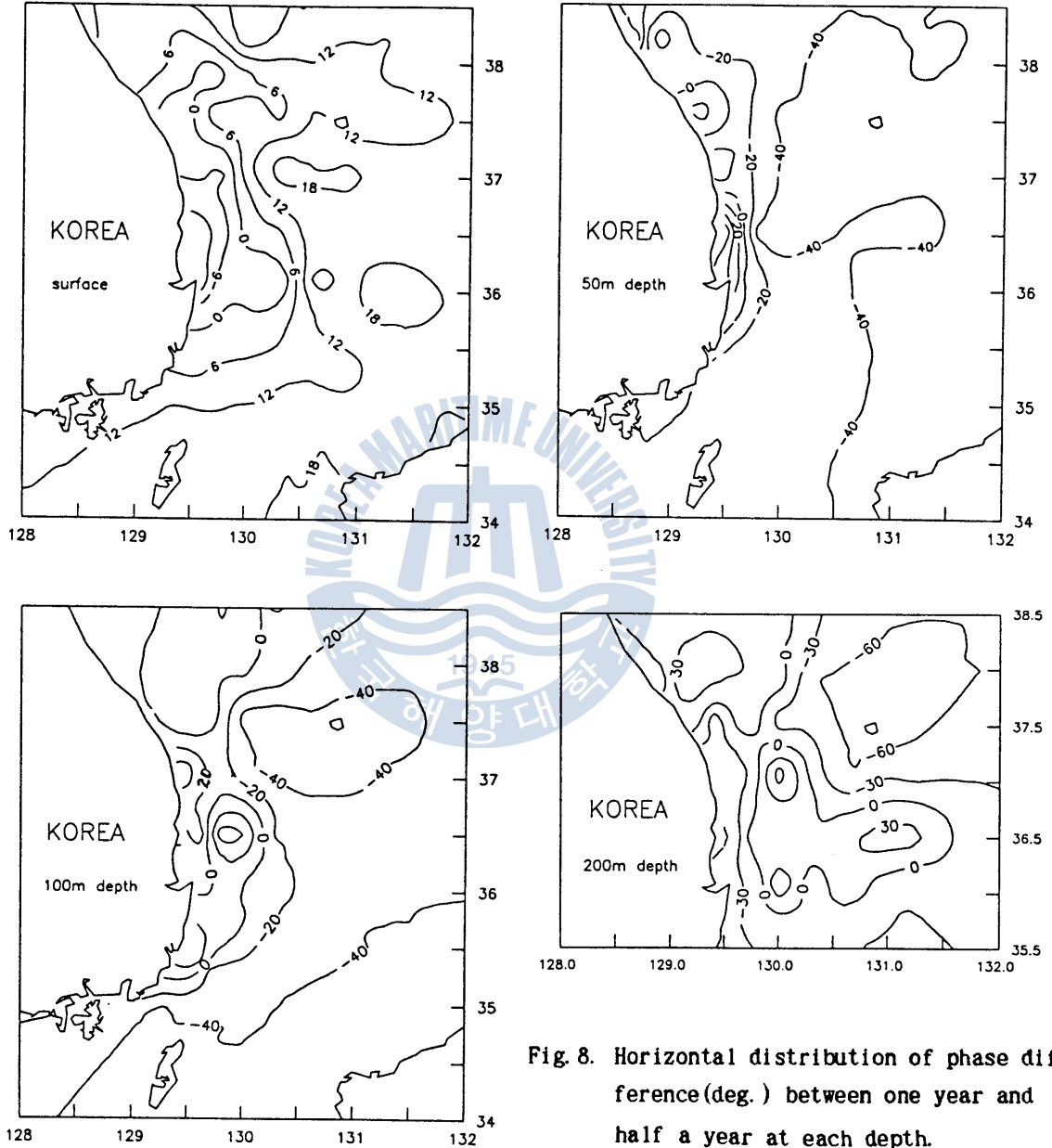


Fig. 8. Horizontal distribution of phase difference(deg.) between one year and half a year at each depth.

102050

것으로 나타났다. 50m와 100m에서는 대략 장기갑~죽변 연안 부근과 묵호 부근 해역은 (+)역이고 그 이외 해역은 (-)역으로 (-)역에서는 그 깊이 연안에서 외해 쪽으로 갈수록 점점 증가하고 있다. 반면에 200m에서는 연안 및 울릉도 북동 해역은 (-)역, 울릉도 남쪽 해역은 (+)역인 것으로 나타났다.

#### 4. 考察 및 結論

국립수산진흥원에 의한 16개년(1973-1988)의 격월별 수온 자료를 이용하여 동해 서남부 해역인 한국 동해안 외해의 상부 200m 층의 수온 연변화를 분석하여 해역별 특성을 조사하였다. 수온 연평균치 분포에 의해 연구해역을 Fig.9와 같이 냉수역, 난수역 및 난수괴역으로 구분할 수 있는데, 냉수역은(CR) 200m 등심선을 중심으로 형성되어 있는 전선의 서쪽 해역으로, 연직적으로 수온 감소율이 급격

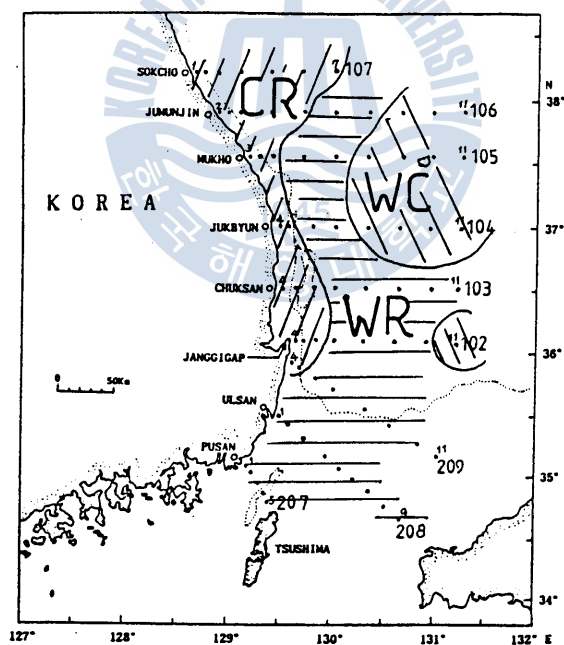


Fig. 9. Schematic representation of division of region by annual variation of temperature in upper 200m in the southwestern part of the East Sea. CR denotes cold region, WR warm region and WC warm core.

하다. 난수역은(WR) 전선의 동쪽 및 남쪽 해역으로, 100m 이천의 표면 부근에만 비교적 따뜻한 10℃ 이상의 고온수가 분포되어 있다. 그리고 난수괴역(WC)은 난수역 중 울릉도 남쪽 해역으로 수심 200m까지 두터운 난수괴가 존재하는 수역이다.

1년 주기 성분의 진폭과 위상의 해역별 특성은 냉수역에서는 표면의 진폭이 다른 해역에 비해 큰 반면, 표면 이심의 진폭은 다른 해역보다 적다. 수온최대치는 표면에서 8월 중순에 나타나며, 수심에 따라 점차 지연되어 200m에서는 2월 중순에 나타난다. 난수역에서 진폭은 수심의 증가에 따라 감소하다가 100m 층에서 최소를 보인 후 다시 약간 증가한다. 그리고 수온최대치는 8월 중순~말경에 나타나며, 수심에 따라 점점 지연되어 200m에서는 2월 중순에 나타난다. 난수괴역에서 진폭은 수심이 깊어지면서 감소하지만 표면~100m 층에서의 진폭은 다른 해역에 비해 큰 값을 보인다. 그리고 수온최대치는 표면에서 8월 중순에 나타나고, 다른 해역에 비해 위상의 수심에 따른 지연률은 적으며, 200m에서 수온최대치는 10월말~11월 중순에 나타난다. 1년 주기의 진폭과 위상에 의하면, 냉수역의 표면은 다른 해역의 표면보다 대기와의 열교환에 의한 영향을 더 많이 받으며, 또한 냉수역에서는 표면 부근에 형성되는 강한 수온약층에 의해 연직방향으로의 열전도가 난수역보다 완만한 것으로 생각된다.

1/2년 주기 성분의 진폭은 냉수역의 일부 해역을 제외하면 수심에 따라 약간 증가하는 경향을 보인다. 각 수심별 1년 주기 진폭에 대한 1/2년 주기 진폭의 비는 표면과 50m에 비해 100m와 200m에서 더 크며, 특히 난수괴역의 200m에서는 1/2년 주기의 진폭이 오히려 1년 주기 성분보다 더 크게 나타나서, 100m와 200m에서의 수온의 연변화는 1/2년 주기 성분의 영향을 많이 받는 것으로 생각된다.

1년 주기와 1/2년 주기 성분의 위상차에 의한 수온 연변화 형태는, 표면에서는 해역별로 비교적 비슷한 형태를 보이지만, 50m와 100m에서는 축산~목호 연안 해역은 수온최대치의 급상승형, 그 이외 해역은 급하강형을 보이며, 200m에서는 한국 동해안 연안과 울릉도 북동 해역은 급하강형, 난수괴역은 급상승형을 나타낸다.



參考文獻

- 孔泳(1967) : 沿岸水溫의 季節變動에 關하여, 國立水產振興院 研究報告 第 3號, pp59~79.
- 曹圭大(1990) : 韓半島 近海 海流別 海水의 物理的 性質, 韓國科學財團, KOSEF87-0616, pp47~48.
- Kang Y.Q, S.W.Choi(1985) : Annual and interannual Fluctuations of Coastal Water Temperatures in the Tsushima current and the Kuroshio Regions, Bull.Korean Fish.Soc.,18(6), pp497~505.
- Kang Y.Q, O.G Kang(1987) : Annual Variation of water Temperatures in the Upper 200m off southeast Coast of Korea, J.Oceanol.Soc.Korea,22(2), pp71~78.
- Kang Y.Q, H.E kang(1991) : Long term Fluctuations of Water Temperatures in the Upper 200m off the Southeast Coast of Korea, Bull.Jorean Fish.Soc.,24(6), pp450~458.
- Na J.Y(1988) : Wind stress distribution and its application to the upper-layer structure in the East Sea of Korea, Sci.Tech.Tokyo Univ.Japan, Spec.No.190-369.
- Naganuma K(1987) : Some Areas of fluctuations of the Seasonal Water Temperature in the Tsushima Warm Current region in the Japan Sea, Bull.Jap.Sea Reg.Fish.Res.Lab.,37, ppl~11.