

冬季의 熱收支와 黃海冷水와의 關係

韓 英 鎬* · 張 善 德*

Relation between the Heat Budget and the Cold Water in the Yellow Sea in Winter.

Young Ho HAN · Sun-duck CHANG

Abstract

To study the fluctuation of the cold water in the East China Sea in summer heat budget of the Yellow Sea in winter was analysed based on the oceanographic and meteorological data compiled from 1951 to 1974.

The minimum value of insolation was observed in December (150~190 ly/day), while the maximum in February (250~260 ly/day). The range of the annual variation was found to be less than 50 ly/day. The value of the radiation term ($Q_s - Q_r - Q_e$) was remarkably small (mean 20 ly/day) in winter. It was negative value in December and January, and a positive value in February.

The minimum total heat exchange from the sea (Q_{h+c}) was found value (471 ly/day) in February 1962, and the maximum (882 ly/day) in January 1963.

The annual total heat exchange was minimum (588 ly/day) in 1962, and maximum (716 ly/day) in 1968.

If the average deviation of mean water temperature at 50m depth layer were assumed to be the horizontal index (C_h) of cold water, C_h is

$$C_h = \frac{\sum_i A_i T_i}{\sum_i A_i}$$

where A_i denotes the area of isothermal region and T_i the value of deviation from mean sea water temperature. The vertical index (C_v) of cold water can be expressed similarly.

Consequently the total index (C) of cold water equals to the sum of the two components, *i. e.* $C = C_h + C_v$.

Taking the deviation of mean sea surface temperature ($T'w$) in the third ten-day of Novembers in the Yellow Sea as the value of the initial condition, the following expressions are deduced:

$$C - T'w = 32.06 - 0.049 Q_T$$

$$C_h - T'w/2 = 12.20 - 0.019 Q_T$$

$$C_v - T'w/2 = 18.07 - 0.027 Q_T$$

where Q_T denotes the total heat exchange of the sea. The correlation coefficients of these regression

* 釜山水産大學, National Fisheries University of Busan.

이 論文은 1977年度 釜山水産大學에 이학박사 학위 청구 논문임.

equations were found to be greater than 0.9.

Heat budget was 588 ly/day in winter, and minimum water temperature of cold water was 18° C in summer of 1962. The isotherm of 23°C extended narrowly to southward up to 29° N in summer. However, heat budget was 716 ly/day, and minimum water temperature of cold water was 12°C in summer of 1963. The isotherm of 23°C extended widely to southward up to 28°30'N in summer.

As a result of the present study, it may be concluded that the fluctuation of cold water of the East China Sea in summer can be predicted by the calculation of heat budget of the Yellow Sea in winter.

序 論

동서의 寒冷乾燥한 시베리아 氣團은 比較的 溫暖한 黃海를 지날때, 海面으로부터 大氣中으로 顯熱과 水蒸氣를 供給받게 된다.

이 結果 寒冷乾燥한 시베리아 氣團의 下層部는 不安定해지고 濕度도 높아진다. 한편 海洋에서는 放熱로 인하여 水溫이 점점 下降하여 12月 이후에는 冷수에 의한 水溫이 上下 窄은 構造로 바뀌고 冷水塊의 特성을 띠게 된다.

이 冷水塊는 冬季에 大氣와 海洋間의 熱交換에 따라서 그 性質이 決定되기 때문에 冬季의 黃海에서의 熱收支는 海洋學的으로도 매우 重要한 意味가 있다.

大氣와 海洋間의 熱交換에 관한 理論的인 研究는 McEwen(1937), Sverdrup(1937, 1940, 1951)에 의하여 試圖되었고, 그후 Jacobs(1942, 1951), Laevastu(1956), Hishida(1959), Hishida and Nishiyama(1972), Kondo(1972) 등에 의하여 海洋에서의 顯熱放出量과 蒸發量을 算출하기 위한 推定式이 發表되었다. 또한 最近에는 Paulson, Leavitt and Fleagle(1972), Hill(1972), Stegen(1973), Kaiser and William(1974), Ling and Kao(1976) 등이 世界 海洋에서의 觀測과 模型 實驗을 통하여 海洋에서의 蒸發量과 顯熱放出量에 關於 研究를 하였다.

Wyrtki(1966)는 熱收支方程式을 用하여 北太平洋에서의 月別 熱收支를 計算 발표하였고, Masuzawa(1951), Manabe(1957, 1958), Ninomiya(1964), Fujita and Honda(1965), Matsumoto and Ninomiya(1966), Matsumoto(1967), Kondo(1964, 1969), Harami(1974) 등은 日本 周邊 海域 특히 日本海에서 bulk method에 의하여 蒸發量과 顯熱放出量을

調査하여 주로 氣團變質에 關於 研究를 하였다.

또한 Ninomiya(1968, 1972)는 高層氣象觀測資料를 이용하여 海洋에서의 蒸發量과 顯熱放出量을 算출하여 氣團變質과 日本氣候에 미치는 影響을 研究하였다. 또 Min(1974)도 같은 방법으로 黃海에서 2個月間의 熱收支를 調査하였으나 이것도 氣團變質에 關於 研究였다. Laevastu(1960)와 Lee and Chang(1976)은 熱收支와 水溫變動에 關於 研究를, Han(1970, 1972)은 海洋에서의 熱收支와 冷水의 消長에 關於 研究를 하였다.

그러나 黃海 全海域에서 氣候學的인 bulk method에 의하여 顯熱量과 蒸發量을 算출하기에는 海洋 및 氣象資料가 부족하여 지금까지 調査 報告된 것은 단片적인 것에 불과하다고 본다.

한편 水溫變動에 關於해서는 Koizumi(1964), Asaoka and Moriyasu(1966), Moriyasu(1957, 1959, 1967, 1968), Sawara(1971) 등이 東支那海의 表面 水溫變化에 關於하여 발표하였고, Shell(1972)은 北西 太平洋에서의 表面水溫의 變動에 關於하여 研究하였다. 또한 沿岸 冷水塊의 變動에 關於 研究는 Uda(1949), Fukuoka(1960) 등이 실시하였고, 黃海 冷水에 關於하는 Otsuka(1964), Kang(1974) 등에 의한 若干의 試圖가 있었다.

本 論文에서는 13年 동안(1961~1974年)의 冬季의 顯熱放出量과 蒸發熱量, 日射量과 海面日射量을 算출하여 黃海에서의 熱收支를 算출하였다. 또, 黃海 冷水를 調査하기 위하여 14年間 8月의 東支那海의 水溫分布圖를 作成하여 底層 黃海 冷水 指數를 求하였다.

이러한 資料를 綜合하여 冬季 黃海에서의 熱收支와 夏季 東支那海의 黃海 冷水와의 關係를 調査하여 黃海 冷水의 消長을 豫測하는 方法을 마련하여 보았다.

資料 및 方法

1. 熱收支 方程式

기술된 黃海에서의 熱收支의 總量을 Q_T 라 하면

$$Q_T = Q_s - Q_b - Q_r - Q_k - Q_e \dots (1)$$

로 表現될 수 있다. 여기서 Q_s 는 日射量, Q_r 은 日射量의 海面 反射量, Q_b 는 海面輻射量, Q_k 는 顯熱放出量, Q_e 는 蒸發熱量이다.

(1)의 中에 Q_s 는 우리나라 部分의 氣象條件에 依하여 算出된 Han(1977)의 式

$$Q_s = 0.0124 H_r T_d (1 - 0.04 C^{1.3}) \dots (2)$$

을 使用하고, Q_b 는 Watanabe(1955)의 式

$$Q_b = 0.109 \times 10^{-7} (273.2 + t_w)^6 (0.50 - 0.04 \sqrt{e_a}) (1 - 0.0033C) \dots (3)$$

Q_r 은 Laevastu(1960)의 式

$$Q_r = 0.17 Q_s - (0.01 Q_s)^2 \dots (4)$$

를 用하여 算出하였다.

그리고 bulk method에 의하여 顯熱放出量과 蒸發熱量을 算出하기에는 資料가 부족하여 Ninomiya (1968, 1972), Min(1974)에 의해서 示도되었던 方法을 使用하면 되는 式으로 表現된다.

$$Q_k + Q_e = \frac{1}{\alpha_s} \left(\frac{1}{g} \int_{500mb}^{ps} (C_p \frac{\delta}{\delta t} T + L \frac{\delta}{\delta t} q) dp + \int_{500mb}^{ps} Q_R^* dp - \alpha_L (Q_L + LE_L) \right) \dots (5)$$

여기서 $\delta/\delta t T$ 는 individual temperature change, $\delta/\delta t q$ 는 individual moisture change이고, Q_R^* 는 純輻射冷却, C_p 는 定壓比熱, L 은 氣化熱, α_L 과 α_s 는 陸地에 대한 陸地와 海洋의 面積比이다. Q_L 과 LE_L 는 地面에서의 顯熱放出量과 蒸發量이다.

2. 熱收支 計算

冬季 黃海에서 1961년부터 1974년까지 (1966年은 除外) 13年間의 熱收支 計算에는 (1)式을 使用하였다. (1)式中 日射量은 Han(1977)의 式을 使用하였는데 이 式中의 雲量은 Fig. 1에서와 같이 7海域은 Peking, 2海域은 Shenyang, 3海域은 平壤, 4海域은 Tsingtao, 5海域은 仁川, 6海域은 Shanghai, 7海域은 木浦에서 觀測된 月平均值을 使用하였고, 낮의 길이와 太陽의 南中高度는 각 海域 中心위도에서의 값을 使用하였다.

日射量의 海面反射量은 (4)式에 의하여 求하였고 海面長波輻射量은 (3)式에 의하여 計算하였는데,

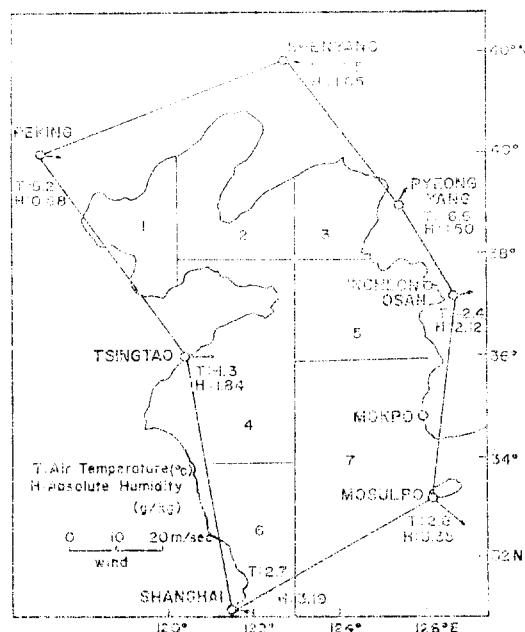


Fig. 1. The network of aerological stations used in the analysis. The heat budget calculations are made over the polygonal area in the Yellow Sea region. The distributions of the mean temperature, moisture and wind for January 1968.

(3)式中의 雲量과 蒸氣壓은 7個 高層氣象觀測所의 平均值을, 水溫(T_w)은 格列幾島, 紐島, 靑島, 於靑島, 竹島에서의 觀測值을 平均하여 使用하였다.

顯熱放出量과 蒸發熱量은 (5)式과 같이 Fig. 1에서와 같이 黃海를 둘러싸고 있는 韓國의 木浦, 高山, 平壤과 中國의 Shenyang, Peking, Tsingtao, Shanghai를 연결하는 高層氣象觀測所를 利用하여 觀測하여서 매일 1200GMT에 觀測된 冬季(12月, 1月, 2月)의 地面, 850mb面, 700mb面, 500mb面의 氣溫, 露點溫度, 風向, 風速 資料의 月別 平均值을 使用하였다.

(5)式의 各 項을 計算하기 위하여 平均水平速度發散(mean horizontal velocity divergence) 平均水平水蒸氣發散(mean horizontal moisture divergence) 및 平均水平熱流發散(mean horizontal heat flux divergence) 등은 Ninomiya(1972)의 方法으로 다음과 같이 구하였다.

$$\nabla \cdot \bar{V} = \frac{1}{S} \oint V_{ni} ds = \frac{1}{S} \sum_i V_{ni} \cdot L_i \dots (6)$$

$$\nabla \cdot \bar{V}q = \frac{1}{S} \oint V_{ni} q_i ds = \frac{1}{S} \sum_i V_{ni} \cdot q_i \cdot L_i \dots (7)$$

$$\nabla \cdot VT = \frac{1}{S} \int V_n T ds = \frac{1}{S} \sum_i V_{ni} \cdot T_i \cdot L_i \dots (8)$$

여기서 S는 선정된 觀測地點으로 둘러싸인 面積, i는 觀測所開의 邊의 數, L_i는 觀測所開의 길이, V_{ni}는 觀測所를 연결하는 直線에 직각 方向의 平均 方向成分, q_i와 T_i는 觀測所開의 q와 T의 平均値이다.

(5)식에서 陸地에서의 顯熱과 蒸發量은 Budyko (1958)가 推定한 Shanghai에서의 값 E=1.2mm/day Q_L=35 ly/day를 이용하였고, 黃海上에서 空氣의 輻射冷却率(Q_R*/C_p)는 Katayama(1967)가 123°E 35°N에서 구한 120 ly/day을 이용하였다.

앞에서 선정된 觀測所로 둘러싸여있는 陸地지역의 全面積은 table 1과 같고, 海洋 面積은 全面積의 78%, 陸地는 22%이다.

Table 1. Dimensions of the Yellow Sea where the heat budget analysis is made.

(km ²)		
Total area	Sea area	Land area
75.62(100) ²	59.02(100) ²	16.60(100) ²
	78%	22%

3. 黃海冷水의 消長

夏季(8月) 東支那海에서의 水溫分布과 黃海冷水의 消長을 조사하기 위하여 日本 氣象廳發行 海洋氣象 觀測資料中 1961년부터 1974년까지 14個年의 것을 使用하여, 東支那海域(38°N~32°N, 125°E~12°E)의 水平, 垂直 水溫分布圖를 작성하였다. 여기서 水平面에서는 緯度와 經度를 나란히 30' 간격으로 基準點을 잡고 垂直斷面에서는 經度를 30' 간격으로 하여 水深을 表面 10m, 20m, 30m, 50m, 75m, 160m 點을 基準點으로 잡아 32°N 經의 垂直斷面과 50m層의 水平面의 各 基準點에 14年間 平均水溫分布圖를 작성하였다. 그 平均値에 대한 偏差 半年別差를 算出하여 分布圖를 작성하고, 단위 面積당 積算 溫度(∑A_iT_i/∑A_i=C)를 구하여 冷水 指數와 하였다.

4. 熱收支와 冷水 消長과의 關係

冷水 指數와 熱收支와의 關係를 조사하기 위하여 初期條件인 黃海에서의 11月 下旬의 水溫은 海洋調查年報(1960~1973)에서 취하였고, 비교 검토를 위한 氣象資料는 氣象月報와 氣象年報의 資料를 使用

하였다. 冷水 指數와 水溫(11月 下旬)의 熱收支와 의 相關關係式은 最少自乘法에 의하여 分析하였다.

結果 및 考察

1. 冬季의 熱收支

겨울철 黃海에서 13年間의 日射量, 海面 反射量 및 海面 輻射量을 計算한 結果는 Fig. 2와 같다.

日射量은 겨울철 3個月中 12月이 가장 낮았으며, 1, 2月로 갈수록 增加하였다. 이것은 12月이 낮의 길이 가 가장 짧고, 太陽의 高度가 낮기 때문인 것으로 해석된다. 이 期間中 2月은 最低가 157 ly/day(1966)이며, 最高는 189 ly/day(1973)이다.

1月은 最低가 167 ly/day(1969), 最高는 220 ly/day(1974)이며, 2月은 最低가 219 ly/day(1969), 最高는 276 ly/day(1963)이다.

겨울철 月間 日射量의 各 年度別 差는 약 50 ly/day 以下인 것으로 나타났다. 이것은 겨울철에는 日射量의 年別變化가 작은 것을 의미한다.

日射量의 海面 反射量도 日射量의 약 15%정도로 그 年別 變化量은 10 ly/day 以下로 나타났다. 日射量에서 海面 反射量을 뺀 有效 日射量(Q_{net})의 年別變化量은 日射量의 變化量보다 약간 작은 값을 나타냈다.

海面에 對의 長波 輻射量은 有效 日射量 보다 12月에 30~70 ly/day 정도 크게 나타났다.

즉, 겨울철 중에 12月과 1月에는 海面 輻射量이 日射量보다 다소 크게 나타났고, 2月 무렵에는 日射量의 增加로 因하여 다소 작게 나타났다.

겨울철에는 日射量에서 海面 反射量과 海面 輻射量을 뺀 값(Q_{net})과 年別 變化量이 적어서 水溫과 水溫 年別 變化量에 미치는 影響이 매우 작다고 생각된다.

黃海 주변 7개의 高層 氣象觀測所의 1200GMT 資料를 使用하여 13年間 黃海에서의 顯熱放出量과 蒸發熱量을 計算한 것은 Table 2와 같다.

顯熱 放出量과 蒸發熱量을 합친 값(Q_{net})은 (5)식에 의하여 얻어졌다. 이 기간동안 最高는 882 ly/day(1963年1月)이고, 最低는 471 ly/day(1961年2月)이다. 月別로 1月과 12月이 2月보다 比較的 큰 값을 나타내는 바 이것은 2月이 가장 水溫이 낮아 氣溫과 水溫의 差가 작기 때문인 것으로 해석 된다.

12月은 最高가 776 ly/day(1967)이고 最低가 542

冬季의 熱收支와 黃海冷水와의 關係

Table 2. The heat budget in ly/day of the Yellow Sea in winter, 1961-1974.

		Q_s	Q_l	Q_b	Q_{hre}	Q_r	Mean
1960	Dec.	170.8	22.7	203	701	756	
	61 Jan.	187.2	24.6	197	606	641	
	61 Feb.	257.7	32.0	193	471	438	612
1961	Dec.	176.7	23.4	208	610	664	
	62 Jan.	196.1	25.6	204	658	692	
	62 Feb.	257.6	32.0	193	477	444	588
1962	Dec.	183.7	24.2	210	542	592	
	63 Jan.	205.6	26.6	252	882	918	
	63 Feb.	275.7	33.8	215	519	546	685
1963	Dec.	169.7	22.6	180	603	636	
	64 Jan.	175.7	23.3	182	543	572	
	64 Feb.	222.9	28.5	177	521	604	604
1964	Dec.	178.1	23.5	210	606	752	
	65 Jan.	194.4	25.4	210	705	716	
	65 Feb.	254.4	31.7	196	642	620	706
1966	Dec.	157.4	21.1	205	724	793	
	67 Jan.	202.6	26.3	222	660	705	
	67 Feb.	258.5	32.1	207	562	542	680
1967	Dec.	179.3	23.7	236	776	857	
	68 Jan.	191.3	25.0	212	612	858	
	68 Feb.	259.3	32.2	189	672	634	716
1968	Dec.	147.1	19.9	159	599	631	
	69 Jan.	166.9	22.3	172	645	672	
	69 Feb.	218.6	28.0	163	606	578	627
1969	Dec.	173.4	23.2	207	688	743	
	70 Jan.	195.7	25.5	212	724	766	
	70 Feb.	247.6	31.0	182	641	676	705
1970	Dec.	182.5	24.0	215	628	684	
	71 Jan.	195.7	25.5	221	724	766	
	71 Feb.	252.2	32.0	192	612	579	655
1971	Dec.	182.7	24.1	229	651	721	
	72 Jan.	181.0	23.9	176	699	718	
	72 Feb.	237.1	29.9	185	668	646	696
1972	Dec.	177.9	23.5	209	645	700	
	73 Jan.	191.7	25.1	201	691	725	
	73 Feb.	255.0	31.8	201	638	616	680
1973	Dec.	189.3	24.8	238	582	656	
	74 Jan.	219.9	28.2	231	681	720	
	74 Feb.	260.7	32.3	199	567	537	638

Table 3. The monthly mean air temperature and deviation of the meteorological station (Mokpo, Incheon and Cheonju).

Month		1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	Mean
Dec.	T	1.2	2.3	3.7	3.5	2.8	1.1	-0.2	-1.7	5.4	0.8	1.5	1.4	2.2	-0.1		1.7
	σ	-0.5	0.6	2.0	1.8	1.1	-0.6	-1.9	-3.4	3.7	-0.9	-0.2	-0.3	0.5	-1.8		
Jan.	T		-2.0	-0.9	-4.8	1.5	-1.5	-1.5	-2.1	-1.2	-1.2	-2.3	-0.8	2.5	1.7	-0.8	-1.0
	σ		-1.0	0.1	-3.8	2.6	-0.5	-0.5	-1.1	-0.2	-0.2	-1.3	0.2	3.5	2.7	0.2	
Feb.	T		0.9	1.5	-1.0	-1.2	0.4	1.8	-0.5	-2.7	-0.2	1.5	0.6	0.6	1.9	-0.2	0.2
	σ		0.7	1.3	-1.2	-1.4	0.2	1.5	-0.7	-2.9	-0.4	1.3	0.4	0.4	1.7	-0.4	

T: Temperature (°C)

σ : Deviation

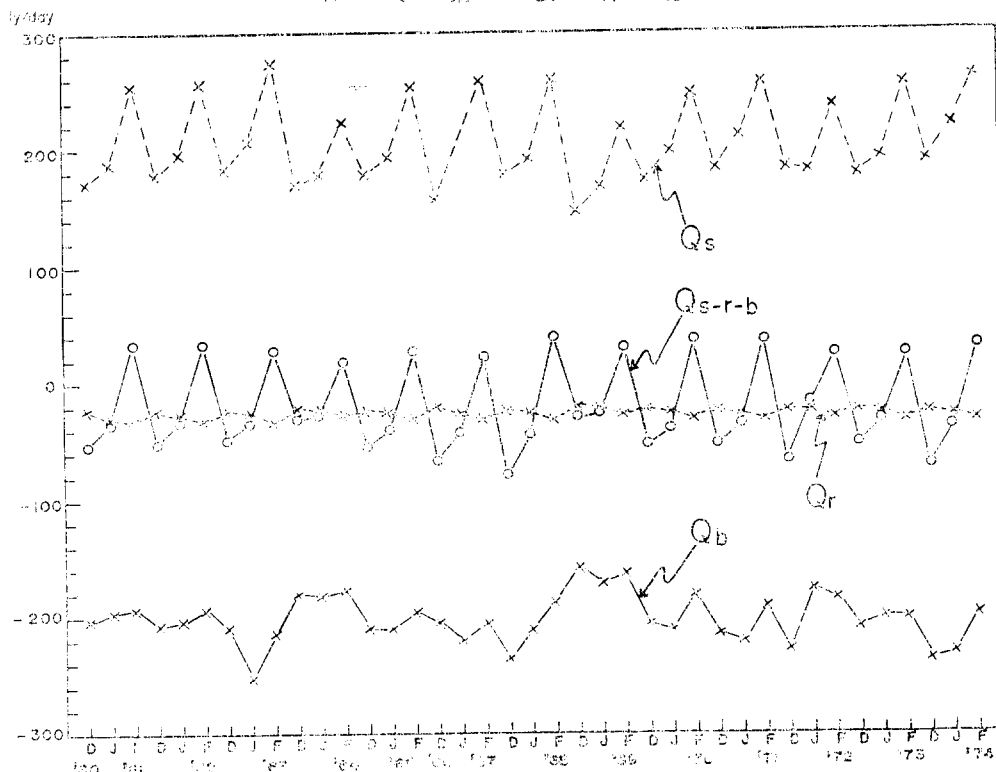


Fig. 2. The variations of the insolation (Q_s), reflection back radiation (Q_r) and effective back radiation (Q_b) in the Yellow Sea in winter, 1961-1974.

ly/day(1962)이다. 그런데 유라시아의 西海岸 地方의 12月 平均氣溫은(Table 3.) 1963년에는 -0.2°C 였고, 1962년에는 3.7°C 였다. 따라서 氣溫의 낮았을 때에 顯熱放出量과 蒸發熱量을 합한 값이 크게 나타났다. 1月の 顯熱放出量과 蒸發熱量을 합한 값은 最高가 1963年(882 ly/day, -1.8°C)이고, 最低는 1964年(543 ly/day, 1.6°C)으로 나타났다. 2月中에는 最高가 1968年(672 ly/day, -2.7°C)이고, 最低는 1961年(471 ly/day, 0.9°C)으로 나타났다. 즉 1月과 2月에도 12月の 경우와 같이 비교적 氣溫이 낮을 때 顯熱放出量과 蒸發熱量의 값이 크게 나타났다. 이것은 水溫과 氣溫의 差가 클수록 熱交換이 잘 되는 것으로 해석되나 水溫도 熱交換의 한 要因이 나므로 氣溫만으로는 그 增減을 정확히 알 수 없는 것이다.

(2)식에 의한 겨울철 黃海에서의 熱交換量은 Table 2.와 같다. 겨울철 黃海에서 잃어버린 總熱量을 月別로 區分하여 보면 最高가 1963年 1月(918 ly/day), 그 다음이 1967年 12月(857 ly/day)이고, 最低가 1961年 2月(438 ly/day)과 1962年 2月(441 ly/day)이다. 이것은 1月に 氣溫이 가장 낮고 深度도 낮아 海面에서 供給되는 熱량이 가장 높기 때문이며, 2월에는 1

月보다 比較的 氣溫은 높고 水溫은 낮기 때문에 結果的으로 水溫과 氣溫의 差가 작고 또 日射量에서 海面反射量과 海面輻射量을 뺀 값도 (+)로 나타나기 때문이다.

겨울철의 平均熱收支는 1962년이 588 ly/day로 가장 적으며 1968년이 716 ly/day로 가장 많다. 이것은 氣溫의 差와 1961年 12月에는 0.6°C , 1962年 1月에는 0.1°C , 1962年 2월에는 1.5°C 로 平年보다 氣溫이 높아 海面에서의 熱損失이 적었던 것으로 해석되며, 1967年 12월에는 -3.4°C , 1968年 1월에는 -0.2°C , 1968年 2월에는 -2.9°C 로서 平年보다 낮은 氣溫이 낮아 海面에서의 熱損失이 많았던 것으로 해석된다.

이런것을 고려하면, 比較的 추운 겨울에는 黃海에서의 熱損失量이 많고 더운 겨울에는 熱損失量이 적다고 볼 수 있다. 그러나 다른 要素 즉 水溫, 氣溫, 風速 등에 따라 달라질 수도 있다.

2. 黃海 冷水의 消長

東支那海까지 진출하는 冷水의 性質을 알아보기 위하여 黃海 및 東支那海의 觀測點 A, B, C, D, E, F,

冬季의 熱收支와 黄海冷水水の 關係

Salinity (‰)

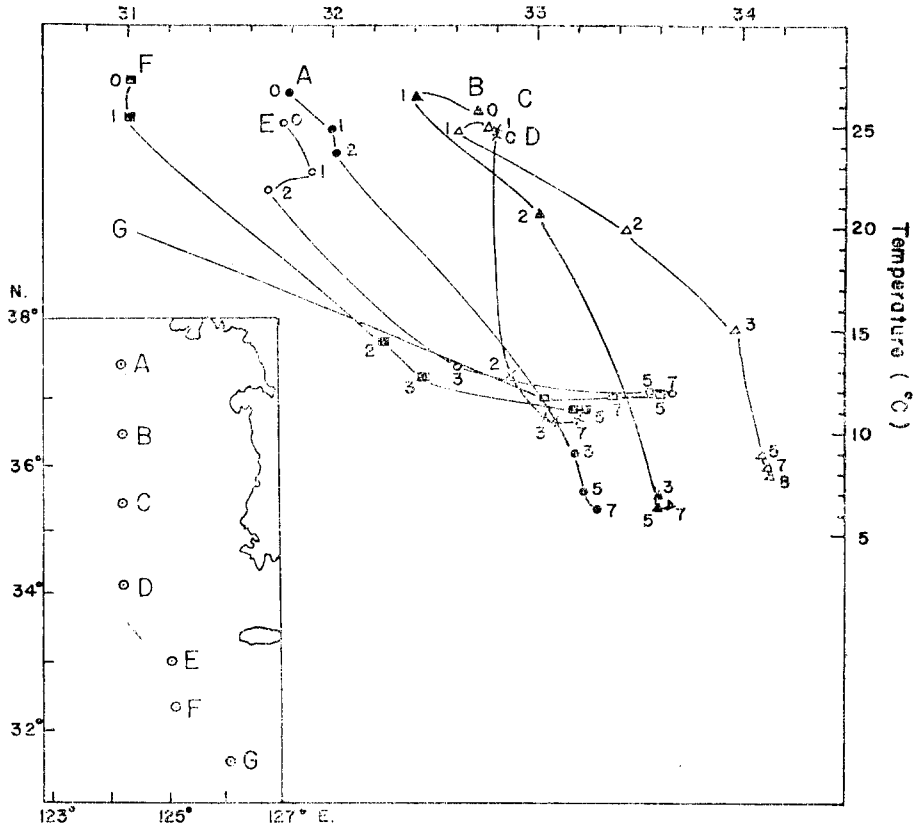


Fig. 3. T-S diagram in the Yellow Sea in August, 1971.

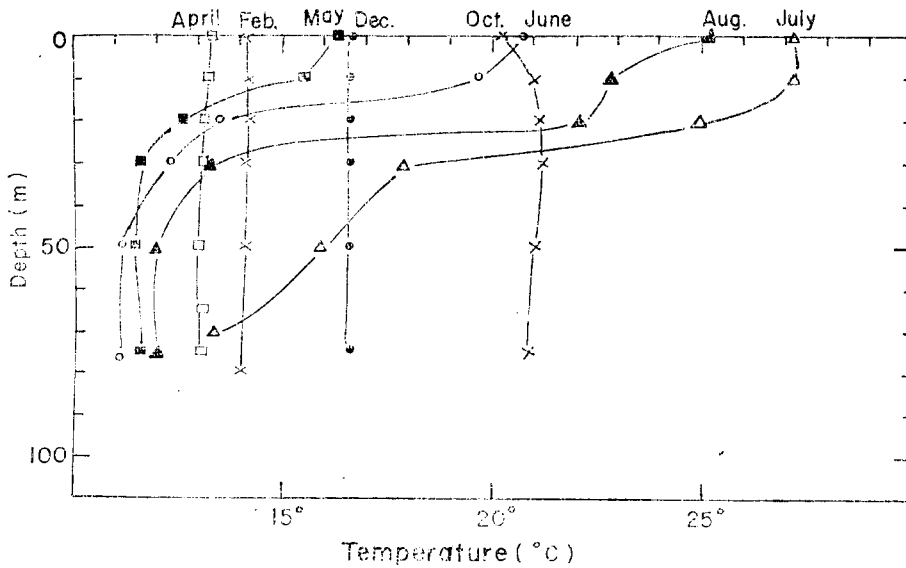


Fig. 4. Monthly variation of vertical water temperature profiles at the station F in 1971.

G에서의 1971年 8月の T-S 曲線圖을 作成하였다 (Fig. 3). 이것에서 表層水의 性質이 여러가지로 分類되어 지나 30m 以深에서는 水溫이 6.4~13.2°C, 鹽分이 33.17% 以上으로서 多같이 低溫의 性質을 띠고 있다. 이것은 東支那海에 진출한 冷水도 黃海冷水의 一部임을 의미 한다고 볼 수 있다. 또한 冷水의 季節別 水溫變化와 垂直 水溫 變化를 調査하기 위하여 1971年 F點의 水深에 따른 水溫變化를 月別로 나타낸 것이 Fig. 4와 같다.

2月과 4月에는 表層에서 底層까지 거의 같은 水溫 (13.0°~14.2°C)이 나타났고 5月과 6月에도 30m 以深에서는 2, 4月과 거의 같은 水溫分布를 나타냈다. 그러나 7月에는 30m 以深에서 6月보다 약간 높은 水溫을 나타냈으며 8月에는 30m 以深에서 7月보다 水溫이 다소 낮아져서 5, 6月과 거의 같은 分布를 보였다.

이러한 現象은 4月까지는 海面에서의 熱損失에 의한 水溫 下降現象이 일어나고, 5月부터 8月까지는 受熱量이 많아서 表層에서 底層까지 水溫 上昇現象이 일어나며 더우기 Tsushima 暖流 影響을 많이 받아 성기는 것으로 해석된다. 그러나 8月이 7月보다 30m 以深에서 더 低溫現象을 나타내는 것은 黃海로부터 冷水가 流入되기 때문인 것으로 해석된다. 이것으로 보아 東支那海에서는 黃海冷水의 影響이 8月 頃에 가장 強하게 나타나는 것으로 해석된다.

여름철에 東支那海까지 진출한 黃海 冷水를 調査하기 위하여 1961년부터 1974년까지 14年間의 水溫 平均値를 사용하여 50m層의 平均 水溫分布圖과 32°N에서의 平均 垂直分布圖을 作成하였다.

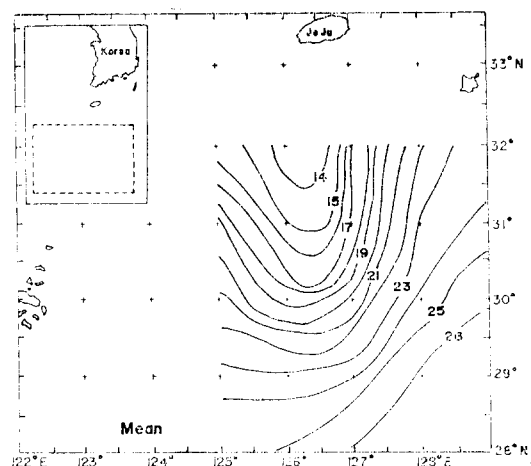


Fig. 5. The distribution of mean water temperature at the depth of 50m in August, 1961-1974.

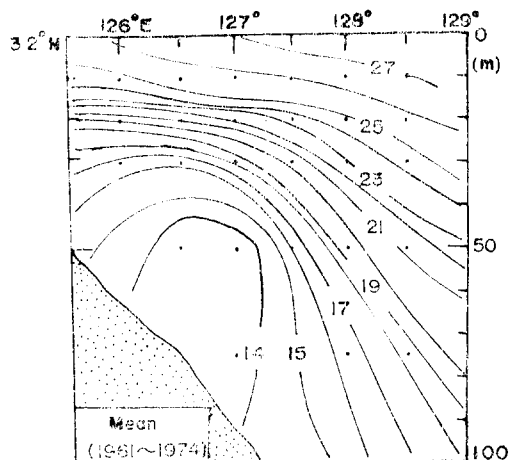


Fig. 6. Mean vertical water temperature along the latitude of 32°N in August, 1961-1974.

(Fig. 5, Fig. 6). 平均 水溫 分布는 最低가 14°C 以下の 冷水가 32°N, 126°E 부근 海域으로 부터 最高는 약 23°~24°C로서 29°N 域海까지 진출한 것으로 나타났다. 平均 垂直分布는 最低가 14°C로서 126°~127°E의 50m 以深에 낮은 層으로 나타났다. 水溫 躍層은 126°E 부근 海域에서 20m 内外에 나타났다. 東쪽으로 갈수록 깊어져서 129°E에서는 거의 存在하지 않는다. 이와같은 50m 以深에서의 低溫現象은 黃海冷水의 影響으로 나타나는 것이며, 東쪽으로 갈수록 躍層의 깊이가 깊어지는 것은 Tsushima 暖流 影響인 것으로 해석된다.

또 東支那海에 진출한 黃海冷水의 勢力을 알아보기 위하여 50m層과 32°N의 垂直斷面에서 每年 8月の 14年 平均値로 부터의 偏差값의 分布를 作成하였다 (Fig. 7, 8). 50m層의 水平 水溫偏差는 1962년에는 0°~6°C이고 대부분 (+)로서 冷水 勢力이 가장 弱하게 나타났다. 1968년에는 -3°~1°C이고 대부분이 (-)로서 冷水 勢力이 가장 強하게 나타났다. 垂直偏差 도역시 1962년에는 대체로 크고 126°~127°E의 30~40m層에서 8°C로서 最大이다, 10~50m層에서도 대부분 (+)로 나타났다. 1968년에는 대체로 작고 20m 以深에서 대부분 (-)로 나타났다. 이것으로 비추어 보아 冷水의 勢力이 1962년에는 弱했고, 1968년에는 強했던 것으로 해석된다.

偏差의 分布圖에서 冷水의 勢力을 指數로 表示하기 위하여 50m層의 水平偏差와 32°N, 20m 以深의 垂直偏差의 單位 面積當 積算水溫 平均을 冷水指數(index of cold water)라 하고, 이것을 1961년부터

冬季의 熱收支와 黄海冷水와의 關係

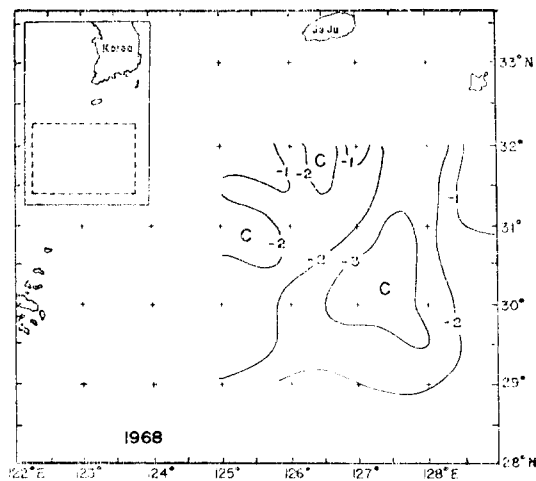
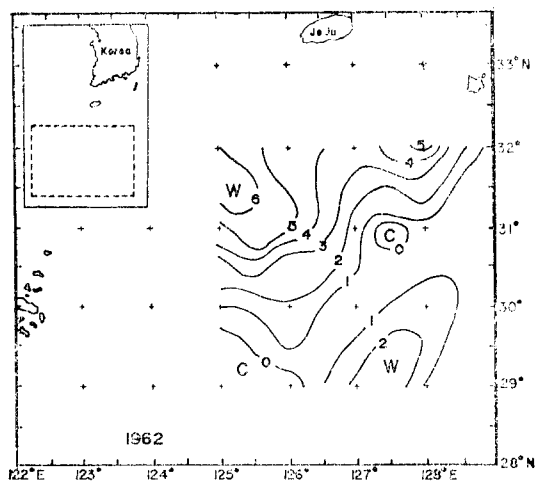


Fig. 7. The anomaly of water temperature (°C) from mean water temperature at the depth of 50m layer in August.

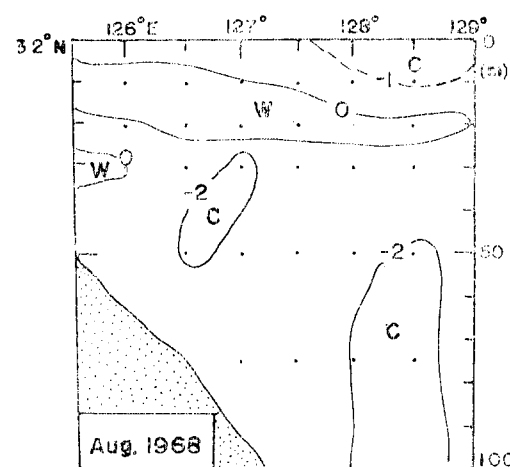
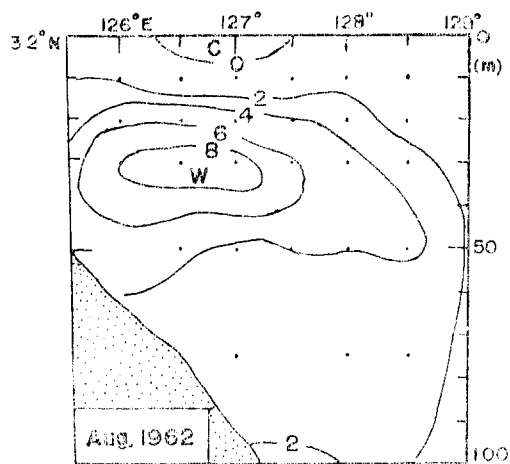


Fig. 8. The anomaly of water temperature from mean water temperature along 32°N. in August.

Table 4. The index of cold water in August, 1961—1974.

Index	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Horizontal index	1.48	1.86	-0.17	1.25	-1.19	0.86	-0.33	-1.91	-0.61	-1.08	-0.32	-0.42	-0.32	-0.18
Vertical index	2.20	3.18	-1.46	1.70	-0.90	2.44	-0.95	-1.30	/	-0.91	-0.59	-0.48	-0.71	-0.42
Total index	3.68	5.04	-1.63	2.95	-2.09	3.30	-1.28	-3.21	/	-1.99	-0.91	-0.90	-1.03	-0.60

터 1974년까지 14年間을 計算한 結果는 Table 4. 와 같다. 이 指數가 (+)이면 冷水의 勢力이 平均勢力 (Fig. 5 및 6) 보다 弱한 것이고, (-)이면 平均勢力보다 強한 것을 의미한다. 1962年은 水平指數(C_h)가 1.86, 垂直指數(C_v)가 3.18로서 冷水指數(C)는 5.04이므로 冷水의 勢力이 가장 弱했던 해이고, 1968年에는 水平指數가 -1.91, 垂直指數가 -1.30으로 冷水指數는 -3.21로서 冷水의 勢力이 가장 強했던 해임을 의미한다.

그러면 冷水가 가장 強했던 1968年과 가장 弱했던

1962年을 水溫 分布圖로서 比較하여 보면 Fig. 9와 같다. 冷水의 勢力이 弱했던 1962年에는 50m層에서의 最低水溫이 18°C인데 反하여, 強했던 1968年에는 12°C로서 그 差가 6°C있고, 23°C 等溫線이 1962年에는 幅이 좁게 29°N까지 밖에 미치지 않았으나 1968년에는 幅이 넓게 28° 30'N까지 擴張되었다. 垂直構造는 1968年에는 32°N, 120°E에서 水溫躍層이 15m層에 強하게 나타났으나, 1962年에는 40m層에 弱하게 나타났다.

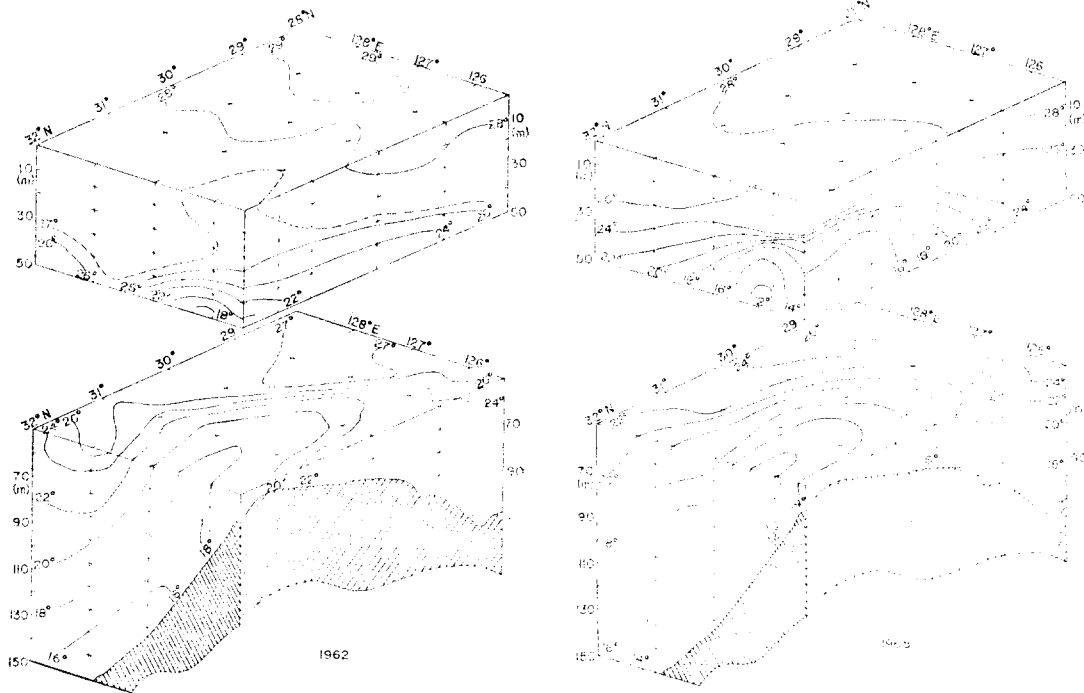


Fig. 9. 3-dimensional distribution of water temperature (°C) in the East China Sea in August.

3. 冬季의 熱收支와 冷水 消長과의 關係

앞에서 論議한 바와같이 겨울에 黃海에서 形成된 冷水가 여름에 東支那海까지 진출하게 된다. 그리고 이 冷水의 消長은 熱收支와 깊은 關係가 있다고 볼

수 있다. Table 2.는 12月에서 2月까지의 熱收支를 計算한 것인데, 이것에서 熱收支와 冷水消長과의 相關關係를 구하기 위하여, 黃海에 位置한 5개의 觀測點(缶島, 於青島, 格列飛島, 紅島, 竹島)의 水溫偏差를 初期條件으로 해서 冷水指數 C 에서 初期條件

Table 5. The surface water temperature (°C) of the third ten-days of November in the Yellow Sea 1961-1974 (Chuk do, Hong do, Eochung do, Kyognyolbi do and Pu do).

Year	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Water Temperature	14.5	14.9	12.8	13.9	13.8	12.3	12.8	13.2	13.1	13.2	11.1	13.3	12.5	12.0
Deviation	1.4	1.8	-0.3	0.8	0.7	-0.8	-0.3	0.1	0.0	0.1	-2.0	0.7	-0.6	-1.1

冬季의 熱收支와 黃海冷水와의 關係

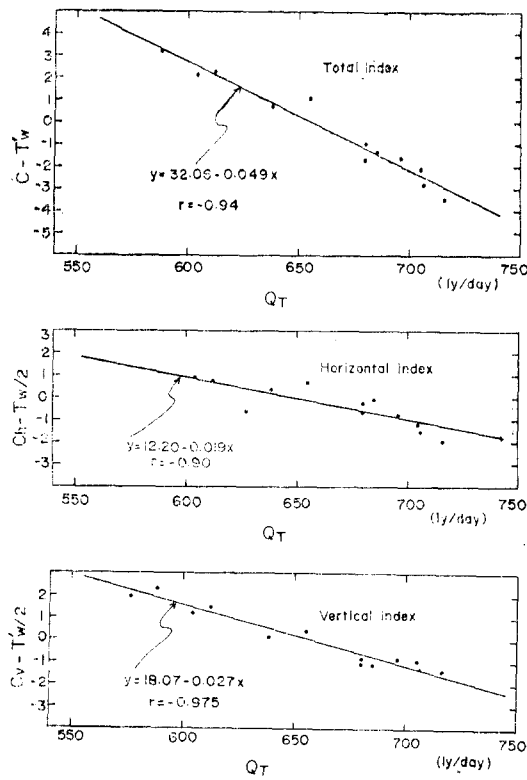


Fig. 10. Relation between the heat budget and the index of cold water of the Yellow Sea in winter.

$T'w$ 를 뺀 값 $C - T'w$ 와 Q_T 와의 關係를 나타내면 Fig. 10와 같고, 水平指數에서 初期條件을 뺀 값 $C_h - T'w/2$, 垂直指數에서 初期條件을 뺀 값 $C_v - T'w/2$ 와 熱收支와의 關係는 Fig. 10과 같다. 이 結果, 冷水指數에서 初期條件을 뺀 $C - T'w$ 와 熱收支와의 關係는

$$C - T'w = 32.06 - 0.049Q_T$$

이고, 相關係數는 0.94이다.

또한 水平指數에서 初期條件을 뺀 $C_h - T'w/2$, 垂直指數에서 初期條件을 뺀 $C_v - T'w/2$ 와 熱收支 Q_T 와의 關係는

$$C_h - T'w/2 = 12.20 - 0.019Q_T$$

$$C_v - T'w/2 = 18.07 - 0.027Q_T$$

이고, 相關係數는 각각 0.90와 0.97이다.

이 結果로 보아 겨울철 黃海에서의 熱收支와 여름철 東支那海의 黃海 冷水의 勢力과는 밀접한 相關關係가 있으며, 겨울철 熱收支를 計算하고, 初期條件인 11月 下旬의 黃海의 水溫을 알면 여름철 東支那

海에서의 黃海 冷水의 勢力을 豫測할 수 있을 것이며, 漁場 선정에 많은 도움이 되리라고 생각된다.

要 約

冬季 黃海에서 1961年 부터 1974년까지 (1966年除外) 13年間의 熱收支를 算出하고 이 期間동안 夏季 東支那海에서의 黃海 冷水 勢力과의 關係를 分析한 結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) 黃海上의 日射量은 冬季中 12月이 가장 낮아 약 160~190 ly/day이고, 1月과 2月로 갈수록 점차 增加하여 2月에는 250~260 ly/day로서 12月에 比하여 70~90 ly/day가 컸다. 冬季 日射量의 年別變化量은 약 50 ly/day 以下인 것으로 나타났다.

(2) 海面에서의 長波輻射量이 有効日射量 보다 12月에는 30~70 ly/day, 1月에는 27~46 ly/day정도 크게 나타났으나, 2月에는 反對로 20~30 ly/day정도 작게 나타났다.

(3) 日射量에서 海面反射量과 海面輻射量을 뺀 값은 100 ly/day 以下이고, 12月과 1月에는 (-), 2月에는 (+)로 나타나며, 3個月間의 平均은 약 -20 ly/day정도이다.

(4) 顯熱放出量과 蒸發熱量을 합한 값은 1963年 1月이 最高였고 (882 ly/day), 1961年 2月이 最低였다 (471 ly/day).

(5) 冬季 黃海에서 잃어버린 總熱量은 1962年이 平均 588 ly/day로서 最低이며, 1968年에 716 ly/로서 最高였다.

(6) 1971年 8月에 黃海와 東支那海의 表層水는 여러 층류로 分類되나, 20m 以深에서는 水溫이 6.4°~13.2°C, 鹽分이 33.17% 以上으로서 나같이 低溫의 性質을 띠고 있다.

(7) 平均 水溫分布圖에서 單位面積當 積算水溫을 冷水指數 50m層의 指數를 水平指數, 32°N의 20m 以深層의 指數를 垂直指數라 하면, 1962年의 경우 水平指數가 1.86, 垂直指數가 3.18로서 冷水指數가 5.04였고, 1968年의 경우에는 冷水指數가 -3.21였다.

(8) 冷水指數에서 11月 下旬 黃海의 水溫의 標準偏差를 뺀 값 $C - T'w$ 와 冬季熱收支와의 關係는

$$C - T'w = 32.06 - 0.049Q_T$$

이고, 그 相關係數는 0.94이다.

또 水平指數에서 初期條件을 뺀 값 $C_h - T'w/2$, 垂直指數에서 初期條件을 뺀 값 $C_v - T'w/2$ 와 熱收支와의 關係는

$$C_A - T'w/2 = 12.20 - 0.019Q_r$$

$$C_v - T'w/2 = 18.07 - 0.027Q_r$$

이고, 그 相關係數는 各各 0.90 및 0.97이다,

이 結果로서 冬季 黃海에서의 熱收支와 夏季 東支 那海의 黃海 冷水勢力과의 相關係數가 높음이 밝혀졌으므로, 冬季熱收支를 計算하고, 11月 下旬의 黃海水溫만 알면 夏季 黃海의 冷水勢力을 豫測할 수 있어 漁場 선정에 많은 도움이 되리라고 생각된다.

謝 意

本 論文을 처음으로 끝까지 指導와 鞭撻을 베풀어 주신 李秉鎬 教授님께 深甚한 謝意를 드리오며, 資料수집에 노고를 아끼지 않으신 氣象研究所 崔熙承, 洪性吉 課長과 空軍 氣象戰隊關係人, 資料 整理를 도와준 李和云, 朴海壽, 孫連淑, 金永淑嬢과 柳青魯 君에게 감사의 뜻을表하는 마입니다.

References

- Asaoka, O. and S. Moriyasu (1966): On the circulation in the East China Sea and the Yellow Sea in winter. *Oceanogr. Mag.*, 18 (1-2), 73-81.
- Budyko, M. I. (1956): The heat balance of the earth's surface. *Hydrometeor. Pub. House, Leningrad*, 253.
- Fujita, T. and T. Honda (1965): Observational estimation of evaporation and sensible heat transfer from the Japan Sea in winter. *Tenki*, 12, 204-213 (in Japanese).
- Fukuoka, J. (1960): An analysis on the mechanism of the cold water mass appearance in the Enshunada. *Oceanogr. Mag.*, 11 (2), 127-143.
- Han, Y.H. (1970): On the estimation of evaporation and sensible heat transfer in the south eastern part of the Yellow Sea in the month of January. *Jour. Korean Meteor. Soc.*, 6 (2), 83-87 (in Korean)
- Han, Y. H. (1972): Heat budget over the south western part of the Japan Sea in the month of January and cold water mass in the Korea Strait. *Jour. Ocean. Soc. Korea*, 7(1), 19-23 (in Korean).
- Han, Y. H. (1977): On the estimates of radiation on horizontal surface during winter in Korea. *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.*, 13 (1), 7-10 (in Korean).
- Harami, K. (1974): On the amount of evaporation in Kii Channel in winter. *Umi to Sora*, 49(4), 115-124 (in Japanese).
- Hill, R. H. (1972): Laboratory measurement of heat transfer and thermal structure near on air-water interface. *Jour. Phys. Oceanogr.*, 2, 190-198.
- Hishida, K. (1969): Summary on problems in the synoptic heat exchange. *Umi to Sora*, 45 (2), 77-85 (in Japanese).
- Hishida, K. and K. Nishiyama (1972): On the diagram for evaluating the amount of heat exchange at the sea surface. *Umi to Sora*, 48 (1), 23-38 (in Japanese).
- Jacobs, W. C. (1942): On the energy exchange between sea and atmosphere. *Jour. Mar. Res.*, 5, 37-66.
- Jacobs, W. C. (1951): Large scale aspects of energy transformation over the oceans. *Compend. of meteor., Am. Met. Soc.*, 1057-1070.
- Kaiser, J. A. C. and K. G. Williams (1974): Measurements of the vertical heat Flux in the upper ocean layer. *Jour. Phys. Oceanogr* 4(2), 137-144.
- Kang, C.J. (1974): A study on the seasonal variation of the water masses in the southern sea of Korea. *Bull. Fish Research and Develop. Agency*, 12, 107-121 (in Korean).
- Katayama, A. (1967): On the radiation budget of the troposphere over the northern hemisphere (3). *Zonal cross section and energy consideration. Jour. Meteor. Soc. Japan*, 45, 26-39.
- Koizumi, M. (1964): On the standard deviation of the surface temperature of the East China Sea. *Studies on Oceanography, Hidaka Jubilee Committee, Tokyo*, 140-144.

- Kondo, J. (1964): Evaporation from the Japan Sea in winter monsoon season. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5 Geophys., 15, 67—75.
- Kondo, J. (1972): Applicability of micrometeorological transfer coefficient to estimate the long period means of fluxes in the air-sea interface, Jour. Meteor. Soc. Japan, 50(6), 570—576.
- Laevastu, T. (1960): Factors affecting the temperature of the surface layer of the sea. Centraltryckerief, Helsinki, 9—66.
- Lee, D. Y. and S. D. Chang (1976): Sea-air energy exchange in the eastern Yellow Sea. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 12(2), 37—42.
- Ling, S. C. and T. T. W. Kao (1976): Parameterization of the moisture and heat transfer process over the ocean under Whitecap Sea states. Jour. Phys. Oceanogr., 6, 306—315.
- Manabe, S. (1957): On the modification of air mass over the Japan Sea when the out burst of cold water predominates. Jour. Met. Soc. Japan Ser. 2, 35(6), 311—326.
- Manabe, S. (1958): On the estimation of energy exchange between Japan Sea and the atmosphere during winter based upon the energy budget of both the atmosphere and sea. Jour. Met. Soc. Japan, Ser. 2, 36(4), 123—134.
- Masuzawa, J. (1951): The heat exchange between sea and atmosphere in the southern sea of Japan. Jour. Oceanogr. Soc. Japan, 7(3—4).
- Matsumoto, S. and K. Ninomiya (1966): Some aspect of the cloud formation and its relation to the heat and moisture supply from the Japan Sea surface under a weak winter monsoon situation. Jour. Meteor. Soc. Japan, 44, 60—75.
- Matsumoto, S. (1967): Budget analysis on the sea effect snow observed along the Japan Sea coastal area. Jour. Meteor. Soc. Japan, 45, 53—63.
- McEwen, G. F. (1937): Some energy relations between the sea surface and the atmosphere. Jour. Mar. Res., 1(3), 217—238.
- Min, K. D. (1974): Heat and water budget over the Yellow Sea in winter season and their influence on the Siberian cold air mass. Jour. Korean Meteor. Soc., 10(1), 1—10.
- Moriyas, S. (1957): An attempt to forecast oceanographic conditions south of Honshu. Oceanogr. Mag., 9(1), 12—17.
- Moriyasu, S. (1958): On the fluctuation of the Kuroshio south of Honshu (2). Mem. Kobe Mar. Obs., 12(2), 1—6.
- Moriyasu, S. (1959): Supplementary note on the dynamical property of the cold water region. Oceanogr. Mag., 11(1), 13—19.
- Moriyasu, S. (1967): On the anomaly of the sea surface temperature in the East China Sea (1). Oceanogr. Mag., 19(2), 201—220.
- Moriyasu, S. (1968): On the anomaly of the sea surface temperature in the East China Sea (2). Oceanogr. Mag., 20(2), 121—132.
- Ninomiya, K. (1954): Water-substance budget over the Japan Sea and the Japan Islands during the period of heavy snow storm. Jour. Meteor. Soc. Japan, 40, 317—329.
- Ninomiya, K. (1968): Heat and water budget over the Japan Sea and the Japan Islands in winter season. Jour. Meteor. Soc. Japan, 46, 343—372.
- Ninomiya, K. (1972): Heat and water budget over the East China Sea in the winter season. Jour. Meteor. Soc. Japan, 50, 1—17.
- Otsuka, K. (1964): On the unusual low temperature in the East China Sea in winter of 1963 discussed from the heat balance. Jour. Meteor. Res., 16(6), 326—333.
- Paulson, C. A., Leavitt and R. G. Fleagle (1972): Air-sea transfer of momentum, heat and water determined from profile measurements during OMEX. Jour. Phys. Oceanogr., 2, 487—497.
- Sawara, T. (1974): On the sea surface temperature in the East China Sea for the years 1953—1972. Oceanogr. Mag., 26(2), 17—36.

- Schell, I. I. (1972): Large-scale sea ice, sea surface temperature anomalies in the north-western North Pacific and their significance for foreshadowing the weather in northern Japan and for eastern USSR. *Jour. Meteor. Soc. Japan*, 50(6), 542—557.
- Stegen, G. R. (1973): Measurements of momentum and sensible heat fluxes over the open ocean. *Jour. Phys. Oceanogr.*, 3, 86—101.
- Sverdrup, H. U. (1937): On the evaporation from the ocean. *Jour. Mar. Res.*, 1, 3—14.
- Sverdrup, H. U. (1940): On the annual and diurnal variation of the evaporation from the oceans. *Jour. Mar. Res.*, 3, 93—104.
- Sverdrup H. U. (1951): Evaporation from the oceans. *Compend. of Meteor., Am. Met. Soc.*, 1071—1081.
- Uda, M. (1949): On the correlated fluctuations of the Kuroshio current and the cold water mass. *Oceanogr. Mag.*, 1, 1—12.
- Watanabe, N. (1955): Hydrographic conditions of the north-western Pacific. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, 11(3), 111—121.
- Wyrki, K. (1966): Seasonal variation of heat exchange and surface temperature in the North Pacific ocean. *Hawaii Institute of Geophys.*, 1—8.