

ひうち灘魚島における水温変動について

田 中 正 昭

VARIATION OF SEA WATER TEMPERATURE AT UOSHIMA-ISLAND IN HIUCHINADA

By Masaaki TANAKA

Synopsis

Seasonal variation of the heat flux across the ocean-atmosphere interface, diurnal and seasonal variations of the water temperature at the sea surface observed in Hiuchinada are analysed from Oct. 1972 to Oct. 1973.

The main factors determining the water temperature variation in Hiuchinada were not only the heat flux across the ocean-atmosphere interface but also the heat transfer from Akinada, Ithukinada, neighborhood sea area due to tidal mixing. The amount of the heat flux across the ocean surface was two factors larger than that of tidal mixing, and the phase of variation in the heat flux due to tidal mixing was about 3 months earlier than that across the ocean surface.

1. ま え が き

われわれは、瀬戸内海の最も奥まったひうち灘魚島において1972年10月から1973年10月まで、海水温度、日射量、雨量などを測定し、前報で海水温度は1年周期の正弦曲線の変化をなし1年たつと元の値にもどることを示したり。また、大気と海洋間のエネルギー交換量を10日間間隔で計算し、その季節変化を求め、春から夏に大気から海洋に与えられるエネルギー量と、秋から冬に海洋から大気に放出されるエネルギー量とがほぼ等しいことを示した。さらに、海洋に与えられるエネルギーと海水温度の季節変化の振巾と位相差の関係から、ひうち灘は隣接した海域と熱的にクローズドされてはおらず、海水の流れにともなって熱エネルギーが供給されていることを推定した。

この論文では、前報と同じ1年1カ月の魚島の海水温度を解析して、内海最奥部の水温変動特性を、外海に近く近い田辺湾白浜や三陸海岸の水温変動などと対比しながら明らかにする²⁾³⁾⁴⁾。また、種々の水温変動について、その変動を生じせしめている因子は海水自身の動きによるものか、また大気との海面を通しての熱交換によるものであるかを検討する。特にひうち灘の海水温度の年サイクルの形成維持機構について、定量的に論ずる。

2. 日平均海水温の非周期変化

ひうち灘の海水温変動には、周期の長いもの、短いもの、また周期のないものなどいくつかの型があるが、ここでは、比較的急激に水温が変化し、1日たつても元にもどらない非周期な現象をとりあげる。**Fig. 1**に1972年10月から1973年10月の、ひうち灘魚島での日射量、海水温度、日降水量を示した。ここで示した海水温度は日平均値で毎正時に0.1°Cまで読み取った値、24個を単純に平均したものである。温度計の感部は白金測温体よりなり、魚島北岸の沖合20m、平均水深4mの場所に固定したブイに取付けられ海面下20cmないし30cmの位置に常に保持されている。

日平均水温の前日との差が0.5°C以上ある日を水温急変日と定義し、**Fig. 1**に示した水温曲線の上に矢

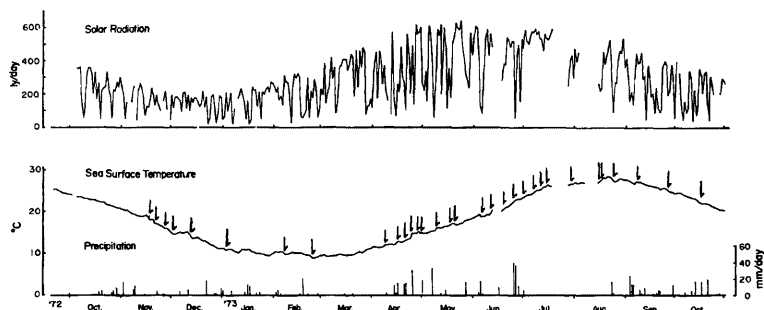


Fig. 1. Seasonal variations of daily solar radiation, daily mean water temperature and daily precipitation observed at Uoshima. Arrows indicate the occurrence of the quick change in the water temperature.

Table 1. Monthly distribution of occurrence of the quick change in daily mean water temperature of more than $0.5^{\circ}\text{C}/\text{day}$.

Month	1972	1973												
Temp Diff.	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
$-0.5 \sim -1.0^{\circ}\text{C}$	0	3	2	1	2	0	1	1	1	0	1	1	1	14
$0.5 \sim 1.0^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	4	2	3	4	2	1	0	16
$1.0 \sim 1.5^{\circ}\text{C}$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
No. of data lack	3	0	0	0	0	0	0	0	4	9	6	0	3	25

印でそれを示した。また **Table 1** に水温急変日の出現頻度を月別、温度差別に示した。期間中、欠測が25例あり、しかも夏季に集中していて、統計量として正確さはやや欠くが、これから水温低下の急変日は年間を通して出現しているのに対し、水温上昇の急変日は春から夏の水温上昇期に集中していることがわかる。

各々の現象について、気象現象との対応を検討する。水温低下の急変日、すなわち前日の日平均水温より 0.5°C 以上低い日平均水温になった日は14例あったが、そのうち9月未から3月までの海水温度が気温より高い期間に出現した10例はすべて、強い風が吹いた日であった。すなわち、平均風速が 8 m/sec 以上の日が6例、 6 m/sec から 8 m/sec の日が3例で、のこりの1例は9月27日で、 4.4 m/sec と他の9例より弱かったが、9月では最大風速の日であった。期間中、日平均風速が 8 m/sec 以上の日は7日、 6 m/sec から 8 m/sec の日は12日であったから、ひうち灘では、9月末から3月の間に、日平均風速で 8 m/sec 程度の風が一日吹き続けられ、海水温度は約 0.5°C 低下することが観測事実として言える。このことは、低温で乾燥した強風が、暖かい海上を吹く場合、海洋から大気へ放出される顕熱、潜熱輸送は、バルク公式からざっと 1000 ly/day 程度が期待されるから、ひうち灘の平均水深が、20 m 前後であることを考え合わせれば、合理的である。

気温が水温より高い4月から8月の期間には、水温低下の急変日は4例で、うち2例（6月6日、8月24日）は、降水が主原因と考えられるが、他の2例（4月30日、5月21日）の原因は明らかでない、いって言えば、前日ないし前々日にかかなりの昇温があった日というのが特長である。降雨による雨、陸水の流入による影響、水温が安定に成層している時季における鉛直混合による影響が表われたためと考えられる。**Fig. 1** をみれば、 0.5°C までは低下していないが水温上昇のあと、かならずいくらかの低下が伴っている。

水温上昇の急変日18例は4月から9月の間にすべて出現している。このうち12例は、水温が安定な成層を

なしていることを考慮すれば、日射量の大きな日に対応し、この程度の昇温は期待できる。しかし **Fig. 1** から明らかなように、日射量が大きい日がかならず昇温しているとはかぎらない。日射量、鉛直の流れ拡散などが複雑に影響し合っていることが推定される。6月26日、7月8日、8月13日の3例は、他の例と異なって10分間程の間に 1°C 以上の水温の急上昇があり、これが一日以上持続したことによるものである。この原因は不明であるが3例とも夜半に出現している。

10月から3月の水温下降期には、 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{day}$ を越える水温上昇はない、しかしそれ以下の昇温は、**Fig. 1** をみてわかるようにいくつかあり、それは急激な水温低下の後に出現している。

3. 海水温度の短周期変動

ひうち灘の海水温度の短周期の変動をみるため、毎正時の水温の読みとり値をそのまま **Fig. 2** に示した。期間は、水温下降期、寒冷期、上昇期、温暖期に対応させて上段から1972年11月21日0時から12月5日24時、1973年2月19日から3月5日、5月22日から6月5日、8月22日から9月5日と四季別に15日間である。図中、縦線で正午を示した。

前節で、日平均海水温は、風、降雨、日射などの気象現象に影響を受けることを確かめた。**Fig. 2** の60日間について、日平均風速 6 m/sec 以上、日降水量 10 mm 以上、直達日射量 500 ly 以上の日を、それぞれ *W*, *R*, *r* の記号で示した。強風と降雨で海水温の低下、日射で上昇の関係が明瞭に表われている。

風の強い日、雨の日を除くと、海水温度は、正午すぎ最高、夜半から早朝最低の、日変化をしている。そしてその振巾は夏季大きくて、冬季小さい。この海水温度の日変化は次節で検討する。海水の動きと、海水温度の関連をみるため、ひうち灘の潮位の目安として、糸崎の満潮の時刻とその潮位を・印で、干潮を×印で **Fig. 2** に記入した、なお魚島の干満は糸崎より約10分遅い。水温下降期と寒冷期に、満潮と海水温の山(上昇)、温暖期に、逆に満潮と海水温の谷(低下)が一致する傾向が認められる。これは潮汐によって熱量

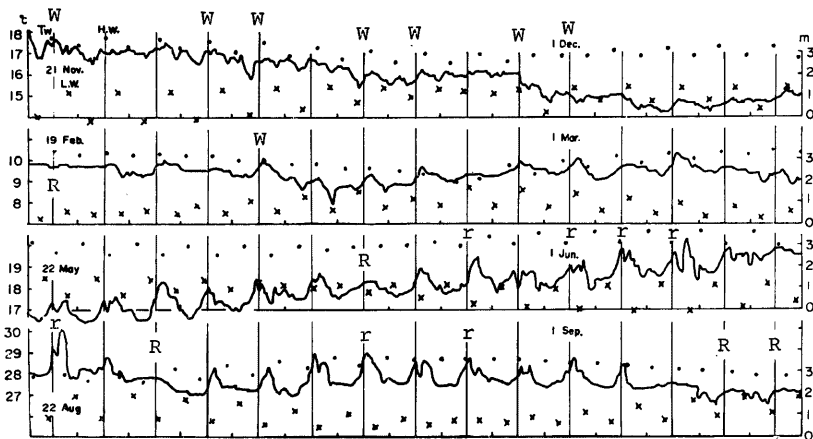


Fig. 2. Examples of variation in sea water temperature observed for the four seasons at Uoshima, from 21 Nov. to 5 Dec., from 19 Feb. to 5 Mar., from 22 May to 5 Jun., from 22 Aug. to 5 Sep..

The dot marks indicate the high water levels at Itozaki and the cross marks the low water ones.

がひうち灘に輸送されていることを示している。

5月末から6月初めの水温上昇期の記録には、正午から夜半までの間に、数10分から数時間の短周期で、振巾が 0.5°C 程度の変動がみられる。この変動は、4月末から8月末まで、晴天の日にごく一般的にみられるものである。**Fig. 3** に、1973年7月10日の魚島で測定した海水温度と、直達日射量のなまの記録を示した。この日、西日本は高気圧におおわれ晴天であった。また半日周期の水温変動と関係深い糸崎の満潮時刻は6時15分と20時5分であった。最上段の曲線が海水温度で、日変化が明瞭に表われ、日変化巾は 4.1°C にも達した。短周期の水温変動は、夜半から11時頃までではなく、水温がかなり上昇した11時頃から1時間程度の変動が現われ始め、14時頃から水温が下降期に入ると、さらに、10分程度の短かい変動が現われ、これが日没後、22時頃まで続いている。この日変化のピーク時から下降する時間帯に表われる短周期の水温変動は、冬季にみられず、4月に表われ始め、その時間帯、振巾とも段々増大し、7月中旬最大となり、8月に入ると減少し9月ではみられなくなる。この短周期の変動は、下降期に表層近くに形成される局所的不安定層と、午後風速が増大することによって生ずる海水の鉛直の動きによって生じたものと思われる。7月10日の魚島山頂での風の記録をみると、早期から正午まで無風、正午から18時まで $2\sim 3\text{ m/sec}$ の風が南から西に変わり、その後翌朝まで西風 $3\sim 4\text{ m/sec}$ が続いた。**Fig. 3** の下段の山型の曲線は日射強度を示し、最高値は12時 $1.3\text{ cal/cm}^2\text{ min}$ である。上から2番目と3番目の曲線は気温の変化を表わしているが、その絶対値に多少問題がある。しかし気温も水温と同様な日変化を示し、短周期の変動(乱れ)は夜間、小さく、午後大きいことがわかる。図のほぼ中央部の直線は、この日降水が無かったことを示している。

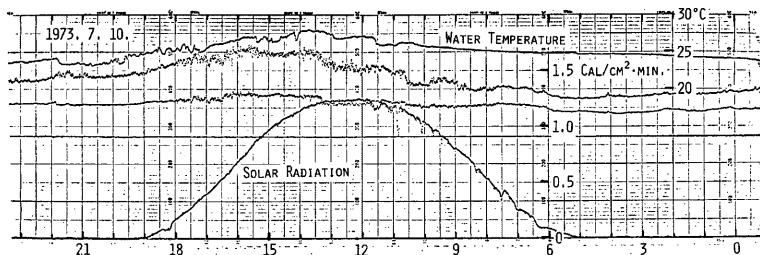


Fig. 3. Records of diurnal variation in water temperature and solar radiation on 10, July 1973 observed at Uoshima.

4. 海水温の日変化

Fig. 4 に、毎正時の読み取り値一日24個の海水温から求めた日較差(日最高水温と日最低水温の差)の10日間平均値を実線で、10日間の日較差の変動値をその上にのった直線で示した。日較差の年間の平均値は、 1.14°C で一般に外海で得られる値や、白浜の値より大きく、三陸沿岸の値と同程度である^{3), 4)}。ただし水温の日変化分の振巾は、あとで述べるように水温計の設置水深と記録の読みとり間隔に依存するから他の数値と比較するときは注意しなければならない。日較差は海水温下降期と寒冷期すなわち9月から3月までは 1°C 以下であり変化しない、しかし水温上昇期から温暖期は急激に大きくなり7月は 3°C 以上にもなる、また日較差の変動巾も同様な傾向をもっている。

Fig. 5 に毎日の日変化を単純に重ね合せて約10日間の海水温の平均日変化を示した。平均した期間は上段から順に、1972年11月21日から30日、1973年2月21日から28日、5月21日から31日、8月21日から31日である。図の右に、水温の日変化を作る主因子である日射の強度を、水温と同様に同期間平均して示した。この平均操作によって一日以下の周期現象はマスクされ一日周期のものが強調される。海水温の日変化は夜半

から早朝最低, 14時ないし15時頃最高となり, その振巾は日射が強い程大きいことが, 11月の日変化を除いた3季の特長である。12時間30分周期の潮汐による熱の輸送の影響は平均された水温の日変化曲線には表われない。11月21日から30日の10日間は Fig. 2 で示したように平均風速 6 m/sec 以上の日が6日間もあり, そのため日変化が不明瞭になったものと思われる。5月の日変化に12時, 8月のそれに14時のところに谷があるが, この原因はわからない。

海水温の日変化分 $\tau(z, t)$ が, 大気と海洋の熱交換だけで決定し, 海洋と大気の熱輸送は乱流拡散により, 日射熱は海面にすべて与えられ, かつ海面では, 水温と気温が等しいとすれば, $\tau(z, t)$ は次式

$$\tau(z, t) = \frac{R_1 \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega}{2K_W}} z\right)}{\sqrt{\omega(C_p^* \rho_a \sqrt{K_a} + C_W \rho_W \sqrt{K_W})}} \times \cos\left(\omega t - \varphi - \sqrt{\frac{\omega}{2K_W}} z - \frac{\pi}{4}\right) \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる⁵⁾。ここで, R_1 , φ は日射量を日変化とみなした場合の振巾と位相角で日射強度が最大の時刻, ω は角速度で $2\pi/1$ day, K_a , K_W , ρ_a , ρ_W は

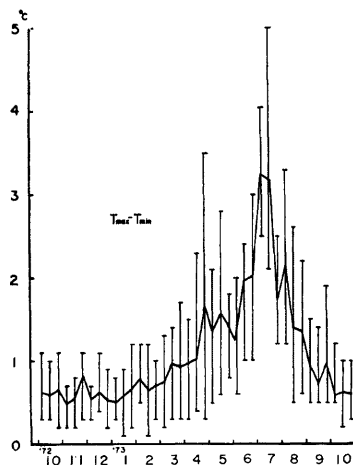


Fig. 4. Yearly cycle in 10-days average diurnal amplitude of sea water temperature $T_{\max} - T_{\min}$. The half-lines indicate the fluctuation in it.

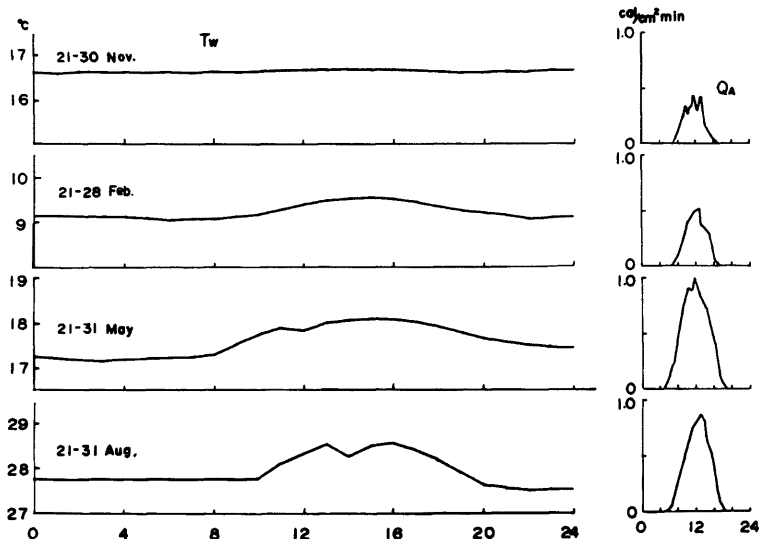


Fig. 5. Examples of diurnal variation in the average sea water temperature T_W and absorbed short-wave radiation Q_A observed for the four seasons at Uoshima, from 21 to 30 Nov., from 21 to 28 Feb., from 21 to 31 May., from 21 to 31 Aug..

空気, 海水の鉛直渦拡散係数および質量, C_p^* は湿潤飽和空気の定圧比熱 (20°C で乾燥空気の3.25倍), C_w は海水の比熱である。

この (1) 式で表現される, 海水温の日変化の振巾が日射強度に比例すること, 表面海水温は日射強度のピーク時より位相が $\pi/4$ すなわち 3 時間おくれることが, さきに述べたひうち灘の海水温の日変化分の特長と一致する。

上記の理論で, ひうち灘の海水温の日変化が形成されているとすれば, われわれは Fig. 4 に示した日較差の季節変化から, 海洋の重要な物理量である鉛直渦拡散係数 K_w の季節変化を次の手順で求めることが可能である。すなわち (1) 式より表面海水温の振巾 A_m は

$$A_m = \frac{R_1}{\sqrt{\omega(C_p^* \rho_a \sqrt{K_a} + C_w \rho_w \sqrt{K_w})}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。ここで $C_p^* \rho_a \sqrt{K_a} / C_w \rho_w \sqrt{K_w}$ の大きさは, $10^{-3} \times \sqrt{\frac{K_a}{K_w}}$ の大きさとなり通常 0.1 以下であるから, 10% 程度の誤差を認めれば,

$$A_m = \frac{R_1}{\sqrt{\omega C_w \rho_w \sqrt{K_w}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

と近似でき, 振巾 A_m と日射強度の振巾 R_1 が与えられれば K_w が計算できる。Fig. 6 に, 海面が吸収する日射強度のピーク 12 時の値の 10 日平均値 Q_A を実線で示した。この Q_A は (3) 式の $2R_1$ に相当し Fig. 4 に示した日較差, $T_{\max} - T_{\min}$ から一日のトレンド ΔT を引いた $T_{\max} - T_{\min} - \Delta T$ は (3) 式の振巾 A_m の 2 倍に相当する。Fig. 6 に点線で $Q_A / T_{\max} - T_{\min} - \Delta T = \frac{2R_1}{2A_m} = \sqrt{\omega C_w \rho_w \sqrt{K_w}}$ なる値, すなわち海水の鉛直渦拡散係数の平方根 ($\sqrt{\omega C_w \rho_w}$ は定数としてあつかえるから) の値の季節変化を示した。

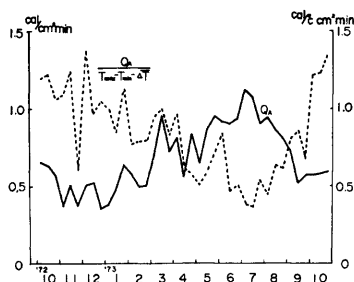


Fig. 6. Yearly cycles in 10-days average intensity of solar radiation Q_A (solid line) and the value of $Q_A / T_{\max} - T_{\min} - \Delta T$ (dotted line).

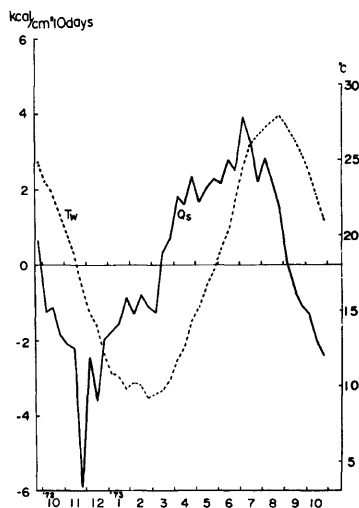


Fig. 7. Seasonal variations of the heat flux across the ocean-atmosphere interface Q_s (solid line) and the water temperature at the sea surface T_w (dotted line).

$Q_A/T_{\max}-T_{\min}-dT=1.0 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{min}$ なる値は妥当な定数を与えれば $K_W=3.8 \text{ cm}^2/\text{sec}$ の拡散係数に相当する、したがって Fig. 6 の点線から、ひうち灘の鉛直渦拡散係数は夏7月最小で $1 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、秋から冬は $8 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、春秋は $5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度であることがわかる。

5. ひうち灘の海水温度の季節変化（年サイクル）

Fig. 7 に、魚島の海水温度の年サイクルを点線で示した。この海水温は、Fig. 1 で示した日平均水温をさらに10日間平均したものである。したがって、この水温曲線では、短周期の変動は除去され、長周期の変動だけが有意に表現され、Fig. 7 に示された年サイクルがひうち灘の全体の様相を現わしていると考えてよいだろう。ひうち灘の海水温の年平均値は 17.8°C で、2月末に最低、8月に最高の1年周期の正弦曲線的变化をしている。これを三角級数で表現すると、

$$T_W=17.8+9.0 \sin\left[\frac{2\pi}{36}(t-14)\right] (^{\circ}\text{C}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。ここで、 t の原点は年の初め、すなわち $t=1$ は1月1日から10日までの期間を表す。

ひうち灘のような沿岸海洋域のある場所での海水温度に影響を与える因子は、海水自身の、水平な流れ、鉛直な流れと拡散、外からの降水（雪）、陸水、海面を通しての太陽と天空からの放射、海洋からの有効逆放射、顕熱、潜熱、その他、海底との熱交換、海水の化学過程による熱放出、などが考えられる。すでに前節までにみたように、降水、陸水はひうち灘の水温の長周期変動に影響を与えない。また海底との熱交換、化学過程による熱放出も、ゼロかあっても他の項に比べて無視できる量と考えてよからう。

ここで、ひうち灘の水深を H とすると、単位水柱の熱量の変化は、

$$\int_0^H C_W \rho_W \frac{\partial T_W}{\partial t} dz = (Q_R + Q_r)|_{z=0} + Q_{ad}. \quad \dots\dots\dots (5)$$

で表現される。ここで、 C_W 、 ρ_W は海水の比熱、質量である。

右辺第1項は、海面での放射 Q_R と、乱流 Q_r による熱フラックスで、前報ですでに計算された Q_r で、Fig. 7 に、その年サイクルを実線で示した。正の値は大気から海洋へのエネルギーの供給を示し、春から夏の間に海洋へ与えたエネルギー総量は $36 \text{ Kcal}/\text{cm}^2$ 、秋から冬の間に海洋から大気へ放出されたエネルギー総量は $34 \text{ Kcal}/\text{cm}^2$ であった。これも水温と同様一年周期の正弦曲線的变化をしていて、 Q_r は、

$$Q_r = 3.5 \sin\left[\frac{2\pi}{36}(t-8)\right] (\text{Kcal}/\text{cm}^2 \cdot 10 \text{ days}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

と表現できる。

(5) 式の、右辺第2項、海水の水平な流れにともなう熱フラックス Q_{ad} を考えてみよう。瀬戸内海の流況を支配している主な因子は、12時間半周期の M_2 潮である。ひうち灘は瀬戸内海の最奥部にあり、東の紀伊水道、西の豊後水道から入った潮流は約5時間を要して、ひうち灘東部で相合する⁶⁾。したがってひうち灘を海水交流の観点から巨視的に見れば、たがいに固有な水塊を形成している、ひうち灘の海水と、その西方に隣接する安芸灘、いつき灘の海水が1日2回交換していると考えることができよう。海域の海水が往復運動をしたとき、隣接した海域の海水とある割合で混合するというのが、潮汐混合すなわち潮汐による海水交流の考え方である。3節の Fig. 2 で指摘したひうち灘の満潮時と水温ピークの関係は、明らかに海水交流による熱輸送のあることを示している。したがって、この海域での流れにともなう熱フラックス Q_{ad} が、すべて潮汐混合によるものとすれば、 t_n 日で、

$$Q_{ad} = \beta \times \Delta H \times d(C_W \rho_W T_W) \times (2t_n) \quad \dots\dots\dots (7)$$

と表現できる。混合の割合すなわち交換率 β は速水・福尾らによって0.13なる値を得ている⁷⁾。 ΔH は、ひうち灘の潮差で平均値は2.2mである。 $d(C_W \rho_W T_W)$ は、ひうち灘と安芸灘いつき灘との単位海水のもつ熱量の差で、両灘の水温差による。安芸灘、いつき灘の海水温度は、愛媛県水産試験場発行の47年度魚況事

業結果報告書によると,

$$Tw = 17.5 + 6 \sin \left[\frac{2\pi}{36} (t-14) \right] (^{\circ}\text{C}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

なる式で近似できる。したがって (7) 式と (4)(8) 式から10日間で期待される熱輸送量 Q_{ad} は,

$$Q_{ad} = 0.13 \times 2.2 \times (-3) \sin \left[\frac{2\pi}{36} (t-14) \right] \times 20 = 1.7 \sin \left[\frac{2\pi}{36} (t+4) \right] \quad \text{(Kcal/cm}^2 \cdot 10 \text{ days)} \quad \dots\dots\dots (9)$$

なる一年周期をもった解を得る。

海水温を形成維持させる, 海面を通して与えられるエネルギーと海水の混合によって与えられるエネルギーの和は (6), (9) 式から

$$Q_s + Q_{ad} = 3.2 \sin \left[\frac{2\pi}{36} (t-5) \right] \quad \text{(Kcal/cm}^2 \cdot 10 \text{ days)} \quad \dots\dots\dots (10)$$

となる。

(5) 式の左辺の水柱の熱量の変化を計算するためには, 水温の鉛直分布の時間変化が必要となるが, その測定はなされていない。ひうち灘の水温の鉛直分布変化を系統立てて測定した資料はないが, 断片的な観測結果をみると, 冬から春までは, 表面から海底まではほぼ等温で, 初夏から秋は表層が暖かく, 安定な成層をなしている⁶⁾。このことは魚島の水温の記録に4月末から8月の期間, 毎日のように午後, 10分から数時間の変動が表われることから推定されることである。左辺の熱量変化を計算するために, かなりの問題を残すが年間を通して等温であるとする, (5) 式の左辺は

$$\int_0^H C_w \rho_w \frac{\partial Tw}{\partial t} dz = \frac{\pi}{2} \times H \times \cos \left[\frac{2\pi}{36} (t-14) \right] = 1.6 \times H \times \sin \left[\frac{2\pi}{36} (t-5) \right] \quad \dots\dots\dots (11)$$

となる。

独立に求めた (5) 式の左辺 (11) 式と, 右辺 (10) 式が, ひうち灘の平均水深 H として, ほぼ妥当な値 20 m をとれば, その振巾, 位相とも, 全く一致する。このことは注目すべきことであり, ひうち灘の水温の年サイクルを形成維持する機構は, 海面からのエネルギーと, 潮汐混合によって西方に接する, 安芸灘につき灘から供給されるエネルギーであることを強く主張している。

Fig. 8 に, 大気と隣接海からひうち灘に供給されたエネルギー輸送の年サイクルを示した。潮汐混合は, 寒冷期に温暖海水温暖期に寒冷海水のかたちで流入し, そのエネルギーの量は海面を通して大気から供給される量の約 $\frac{1}{2}$ である。

6. あとがき

ひうち灘魚島で測定した1年1カ月の海水温度と, 大気・海洋間のエネルギー交換量を解析した結果, 以下の点が明らかとなった。

ひうち灘の海水温記録にみられる水温の急変現象のうち, 持続時間が1日以上になる長いものは, そのときの気象現象から推定される大気・海洋間のエネルギー交換量で説明できた。特に, 9月末から3月末までの気温が海水温より低い期間, 日平均風速 8 m/sec 程度の風が一日吹くと, 日平均海水温度が約 0.5°C 低

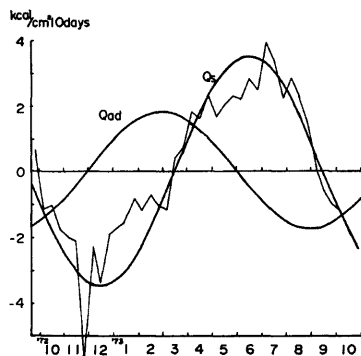


Fig. 8. Yearly cycles of the heat flux at the sea surface Q_s and calculated advective heat flux Q_{ad} according to relationship eq. (7).

下することが観測結果からはっきり示された。

ひうち灘の海水温の年サイクルは、海面を通して大気と、放射、顕熱、湿熱のかたちで交換する一年サイクルのエネルギー輸送と、西方に隣接する安芸灘、いつき灘とひうち灘との海水が潮汐混合することによって与えられるやはり一年サイクルのエネルギー輸送によって形成維持されている。このことは海水温の記録にも表われている、すなわち満潮時と、海水温のピーク時の一致している例がいくつかみられる。両者の供給エネルギーの大きさの比は2対1で、大気からのものの方が大きく、季節変化の位相は、潮汐混合によるものの方が約3カ月早い。

水温の日変化は、冬季を除いて明瞭に表われる、特に夏季、日変化巾が 3°C 以上になることもあり、外海のものより大きい。最高値は14時から15時付近に、最低値は夜半から早朝に出現し、振巾の大きさは日射強度に関連する。この特長は、海面での熱バランスと海中、大気への熱伝導から理論的に推定されるものとよく一致する。この日変化の大きさから求めた、ひうち灘海域のみかけの鉛直渦拡散係数の値は、夏 $1\text{ cm}^2/\text{sec}$ 、冬 $8\text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度であった。

4月末から8月の期間には、晴天日、水温の日変化のピーク時から下降期、すなわち正午から19時頃の間、10分から数時間の周期で 1°C ないし 2°C 程度の大きな振巾をもつ水温変動が出現する。これは期間、安定な成層構造をなしている海水が、風などの作用によって鉛直運動を生じたためと思われる。

参 考 文 献

- 1) 田中正昭・中島暢太郎：ひうち灘の海面における熱収支，京都大学防災研究所年報，第18号B，1975，pp. 589-595.
- 2) 国司秀明・西 勝也・由佐悠紀：白浜海洋観測塔における水温変動について，京都大学防災研究所年報，第8号，1965，pp. 479-493.
- 3) 国司秀明・西 勝也・由佐悠紀：白浜海洋観測塔における水温変動について（第2報），京都大学防災研究所年報，第10号B，1976，pp. 295-303.
- 4) 桜井仁人・永田 豊・関野清成・伊達大喜：宮城県女川湾小乗浜および宮城江の島における水温の変動について，沿岸海洋研究ノート，第11巻，第1号，1973，pp. 53-60.
- 5) Matveev, L.T.: Physics of the Atmosphere, Israel Program for Scientific Translations, 1965, pp. 255.
- 6) 海洋気象学会：瀬戸内海の気象と海象，神戸海洋気象台彙報，No. 177, 1967.
- 7) Hayami, S., Y. Fukuo and D. Yoda: On the Tidal Mixing of Sea Water through Narrow Channels, Rec. Oceanogr. Works in Japan, Vol. 3, 1957, p. 55.