

日本近海上層水温場の構造とその変動の特徴

—気象庁海洋気象ブイロボット資料から—*

矢野善博**・花輪公雄**・鳥羽良明**

Characteristics of the upper ocean thermal structure with its variations around Japan

—from records of Ocean Data Buoys obtained by J.M.A.—

Yoshihiro YANO, Kimio HANAWA and Yoshiaki TOBA

Abstract: Characteristics of the thermal structure and its variations of the upper ocean around Japan were investigated by using the data obtained at three Ocean Data Buoy Stations (Nos. 3, 4 and 6) which had been operated by the Japan Meteorological Agency. Buoy Nos. 3, 4 and 6 are located at 25°40'N, 135°55'E (south of Honshu), 28°20'N, 126°05'E (eastern part of the East China Sea) and 37°45'N, 134°23'E (in the Japan Sea), respectively. Two time series with the length of about one year were selected for each buoy. Though water temperatures were usually measured at three depths shallower than 50 m, depths of the sensors were different case by case. After proper corrections were made for the data, the time series were reproduced and their spectral analyses were made.

Our conclusions are as follows:

(i) Every time series of water temperature shows the abrupt changes which can not be explained as the result of the air-sea heat exchange and/or the vertical mixing in the sea. Therefore, these variations seem to be due to the passage of water masses with sharp fronts. The water masses have various vertical structure and passing time and spatial scales.

(ii) In summer, diurnal variations dominate in sea surface temperature and their maximum amplitude is as much as 0.5°C (at Buoy No. 3). Rapid drops of the temperature in the upper layer are found in the warming season when the wind is strong, but in the lower layer there are considerable variations which are not associated with the storm. At Buoy No. 6, after the storm events, there are sometimes variations with near-inertial periods in the lower layer; inertial gravity waves may be propagating downward.

(iii) Semidiurnal variations are dominant in the thermocline below the mixed layer at Buoy No. 3 and this seems to be the internal tide. At Buoy No. 4 there are temperature variations which are caused by tidal excursion in the upper 50 m.

1. はじめに

近年、気候変動への関心が高まる中で、大気へ直接影響を及ぼす海洋の唯一の状態量である表面水温(SST)の分布と、その時間的変動の実態を明らかにする試みが数

多く行なわれている。特にエル・ニーニョとの関連の中で大規模スケールでの研究が盛んである。

表面水温の形成には様々な物理過程が関与しているが、最近、KURASAWA et al. (1983)は本州南方に位置する Ocean Weather Station T (29°N, 135°E)の海上気象資料、海洋各層観測資料を解析し、海洋上層水温場の成り立ちには、風による混合や日射などの鉛直1次元過程にとどまらず、水平移流や水平混合による熱輸送が重要であることを示した。南方海域に限らず日本近海

* 1984年5月20日受理

** 東北大学理学部地球物理学教室
〒980 仙台市荒巻巻青葉

Department of Geophysics, Faculty of Science,
Tohoku University, Sendai, 980 Japan

は多量の熱を大気に放出しており、SST 形成にはこのような3次元過程が関与していると考えられ、まず熱輸送を担う実態を明らかにすることが重要な課題となっている。

風の応力の印加や浮力の投入といった大気からの強制に直接応答する、変動の激しい上層水温場を考察しうる少ない既存の資料のひとつとして、気象庁が設置している海洋気象ブイロボットの観測資料がある。広い海洋の中での pointwise の資料ではあるが、日本近海に配置されたこれらのブイの資料を観察し、上層水温場の構造やその変動の特徴を捉えておくことは、より詳細な次の段階の考察のために有意義であろう。今回、すでに印刷刊行された資料から水温を始めとする幾つかの観測項目の時系列を再生し、上層水温場の構造とその変動について考察したので、そのスペクトル解析結果も含めて記述する。

2. 海洋気象ブイロボットおよび資料の取扱い

気象観測の洋上での空白域を補って海上気象をリアルタイムで提供しているブイロボットは、試験運用の後、1972年より実用運用が開始された。現在の所 No. 3, 4, 6, 7, 8 の5台が稼働している。これらの設置点を Fig. 1 に示す。観測は3時間ごとに16項目について行なわれ、資料は気象衛星センターへFM送信される。観測値は後に「気象庁海洋気象ブイ・ロボット観測資料」として印刷公表される。ブイは保守点検のために1年に1度の割合で回収されている。したがって、ひと続きの連続資料としては、最長で1年程度である。ブイの仕様やその運用、その他の情報については AKAMATSU (1970), 赤松 (1971, 1972), 河野 (1974a, b) などを参照されたい。また、ブイ資料と観測船による資料との比較検討も行われており、赤松 (1972), 河野 (1975), 沢田 (1983), 羽鳥 (1983) などがある。比較の結果は各観測項目とも概ね良好である。

今回データセットを作成したブイは、No. 3 (本州南方海域), No. 4 (東シナ海東部), No. 6 (日本海) で、水温計測に欠測の少ないものを2シリーズずつ (1シリーズの長さは約1年で、各シリーズを Series I, II と名づけ、SI, SII と略す) を選んだ。Table 1 にブイの位置とデータセットの期間を示す。取扱った観測項目は、風速、風向、気圧、気温、湿球温度、水温 (3水深) である。このうち、風速、風向は10分間の平均値で、気温、湿球温度とともに海面上 7.5 m の所で計測されている。3つの水温センサの水温は、ブイとシリーズごとに異なっており、合わせて Table 1 に示した。

印刷資料の中には明らかに誤記入と思われる部分や、電波伝播状態不良のためと思われる欠測が存在する。これらに対しては、連続2回までの不良および欠測箇所を、両側の有効な資料を用いて線形補間により差し替えあるいは補った。

水温については特に次の手続きで器差補正を行なった。3つの水温センサの水深は 50 m 以内なので、冬

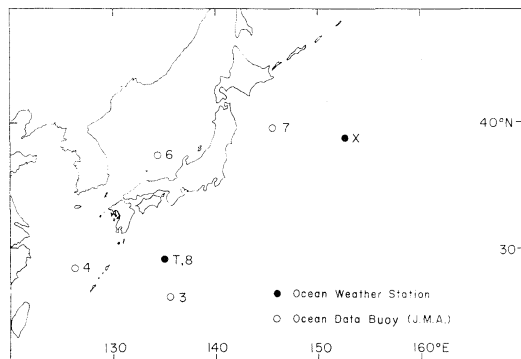


Fig. 1. Location of the Ocean Data Buoy Stations operated by the Japan Meteorological Agency (○) and the old Ocean Weather Stations T and X (●).

Table 1. Location of Ocean Data Buoy Stations, the depths of water at stations, observational periods obtained (a) and used for calculating spectra (b), and the depths of water temperature sensors.

Buoy No.	Location	Depth (m)	Series No.	Observational period		Sensor Depths (m)
				(a)	(b)	
3	25°40'N, 135°55'E	3470	I	1976/10/17-1977/10/13	1977/ 5/ 1-1977/10/13	3, 20, 50
				1981/ 8/26-1982/ 9/17	1981/ 8/26-1982/ 5/ 8	2, 20, —
4	28°20'N, 126°05'E	115	I	1974/ 9/ 5-1975/ 5/ 9	1974/12/ 1-1975/ 5/ 9	3, 10, 25
				1980/10/19-1981/ 8/31	1980/10/19-1981/ 7/ 2	2, 20, 50
6	37°45'N, 134°23'E	2570	I	1978/10/14-1979/ 8/11	1978/10/14-1979/ 4/30	3, 20, 50
				1979/11/ 3-1980/10/30	1979/11/ 3-1980/ 7/15	2, —, 50

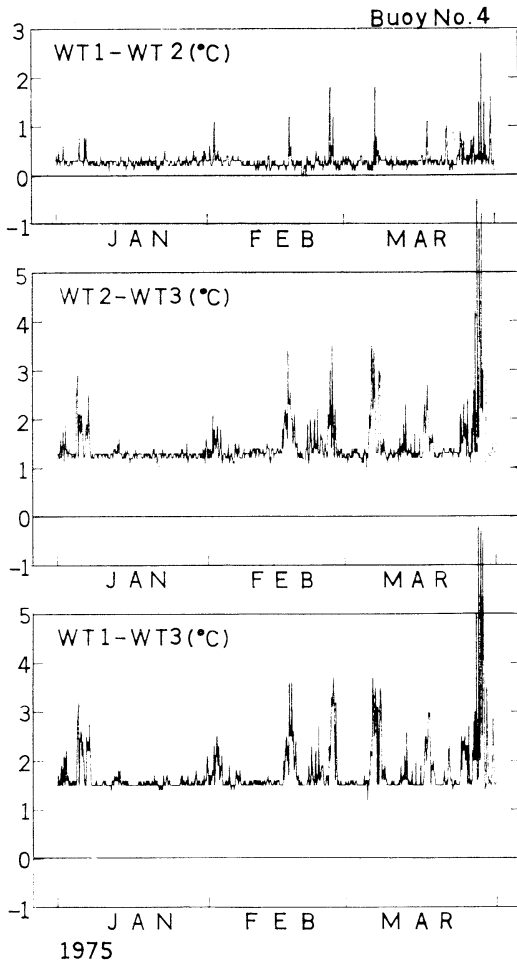


Fig. 2. Temperature differences between three depths at Buoy No. 4 from January to March in 1975 (SI). WT1, 2 and 3 are water temperature at 3m, 10m and 25m depths, respectively.

Table 2. Values of correction for water temperature. Three time series were corrected.

Buoy No. Series No.	WT1 (°C)	WT2 (°C)	WT3 (°C)
3, I	+0.1	—	—
3, II	—	—	—
4, I	—	+0.3	+1.5
4, II	—	—	—
6, I	—	—	—
6, II	+0.5	—	—

季は表層混合層に入る。したがって、3つの水温値はほとんどの観測時刻で同じ値を示すことになる。すなわち、それぞれのセンサの水温差を取ることで器差を見積

ることができる。Fig. 2 に水温差の時系列の一例を示す。この例では少なくとも2つのセンサに器差があり、この期間中にその値は一定と見なせる。水温の絶対値については、諸機関で行なった観測船による資料からブイの設置期間中のものを収集し比較した。これらの資料数は必ずしも十分ではないが、絶対値の精度は $\pm 0.5^\circ\text{C}$ よりは小さいと判断できた。Table 2 に本研究で施した補正值（結果的に3シリーズに対して）を示す。

3. ブイ設置点の海況

それぞれのブイの水温時系列を示す前に、ブイ設置域の海況について簡単に触れる。

No. 3 ブイは本州南方海域、旧 OWS-T のさらに南に位置し、北緯 20~25 度を東向きに流れる亜熱帯反流のやや北方にあたる。反流は 0.1~0.7 m/s の流速を持ち、200~300 m 層まで構造を持つ東西に走る亜熱帯前線を伴う (UDA and HASUNUMA, 1968)。表層の前線部は夏季に北方に移動するといわれている (TAKEUCHI, 1980)。

No. 4 ブイは、南西から北東に伸びる大陸斜面より 50 km 西側の東シナ海東端に位置する。黒潮は琉球舟状海盆西側の大陸斜面に沿って流れ、その西側の前線は春季には頻りに波動状擾乱を伴い、時には渦状水塊として切離することが人工衛星熱赤外面像から観察されている (HUH, 1982; 柴田, 1983)。

No. 6 ブイは日本海中央部よりやや南方に位置する。対馬暖流の第1分枝と、朝鮮半島東岸を北上し東流する第3分枝（東鮮暖流）の間の海域である。TOBA et al. (1984) の示した人工衛星熱赤外面像によると、日本海には東流する第3分枝を境として、北の寒流域にも南の暖流域にも直径 100 km 程度の渦が多数存在している。

4. 上層水温場の構造とその変動

4.1. No. 3 ブイ（本州南方海域）

(1) 全般的記述とスペクトル解析結果

Fig. 3 に No. 3 ブイでの水温と風速の絶対値の時系列を示す。時系列は便宜的に低水温期（混合層が発達している時期、このブイでは12~4月）と高水温期（50 m 以浅に成層がある時期、5~9月）のそれぞれ5カ月のふたつに分けて示してある。この図式化は他のブイについても同じである。

近似的に SST とみなせる最上層水温 (WT1) は、3月下旬まで平均 0.04 (SI)~0.03 (SII) $^\circ\text{C}/\text{day}$ の割合で降温し、 20°C 前後の最低水温となる。以後、昇温に

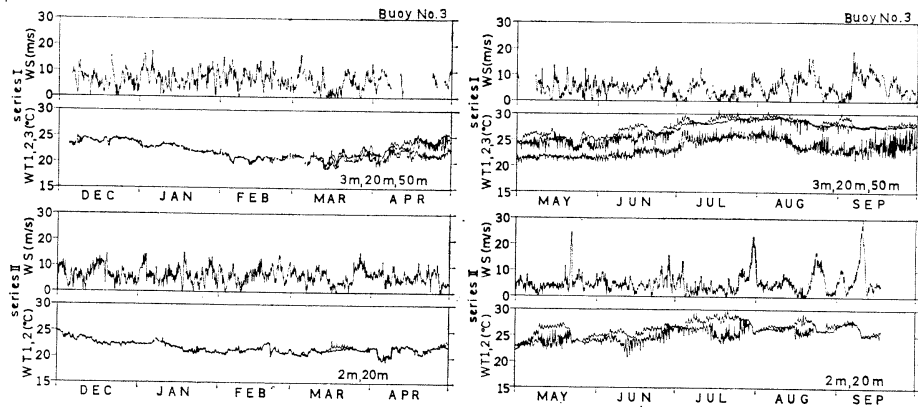


Fig. 3. Time series of wind speed (WS) and water temperature (WT1, 2, 3) at Buoy No. 3 for series I (upper panels) and II (lower). Note that WT3 in SII was not available.

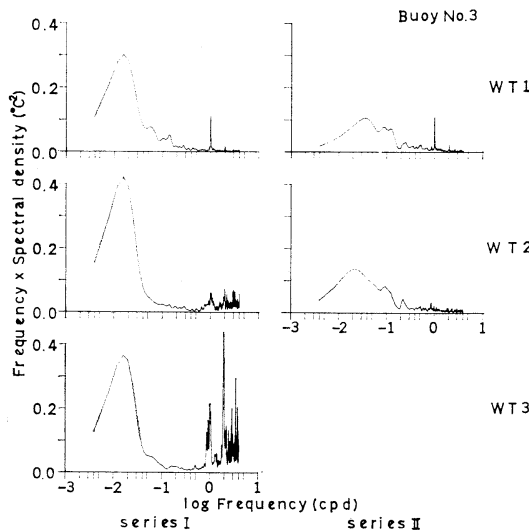


Fig. 4. Spectra of water temperature at Buoy No. 3 for SI and SII. Note that the spectra are variance conserving plots. The period of each series used to calculate the spectra is shown in Table 1. Spectra for SII were obtained from data in which annual and semi-annual variations were removed.

転じ, 7, 8月に約 30°Cの最高水温に達する。冬季の変化は夏季に比べ短周期変動も小さく穏やかである。一方, 夏季の低風速時には 0.5°C 程度の振幅を持つ1日周期の変動がみられ, 日射による加熱と思われる(例えば, SI では7月下旬, 8月下旬などが顕著である)。

以上のことはスペクトル解析にも明瞭に現われている。Fig. 4にSI, SIIの2048個の資料からFFT法

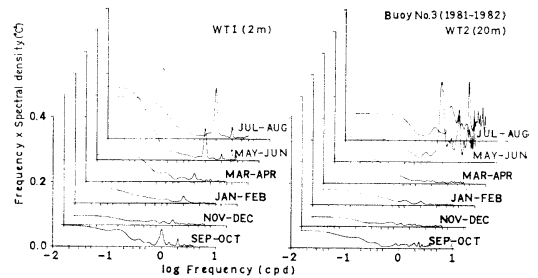


Fig. 5. Evolution of spectra of water temperature at Buoy No. 3 for SII. Spectra are obtained from about two months of data in which the linear trend is removed. Note that the spectra are also variance conserving plots.

で計算した分散保存型のスペクトル(自由度80)を示す。自由度が80の時の95%信頼区間は, 各スペクトル値の72%から134%の区間である。SIIでは, 1年および半年周期の変動をあらかじめ除いてある。また, Fig. 5に2カ月ごと512個の資料から線形トレンドを除いた後計算したSIIのスペクトルを示す。これらから, WT1は夏季(5~8月)に1日周期の変動が顕著であることがわかる。

WT2(20m層)とWT3(50m層, SIIは欠測)の変動は, 冬季はWT1と同じ水温値の変動を示し, 混合層が50m以深に達していることがわかる。夏季はWT1以上に大振幅を持つ短周期変動が卓越する。スペクトルからは, 周期1日・半日の所にピークが存在する。後者は明らかに内部潮汐波動とみなしうる。Fig. 6(a)にSIの1982年5月中旬のWT2の時系列の拡大図を示す。M₂の潮汐周期の変動(18日~19日)とその約2倍

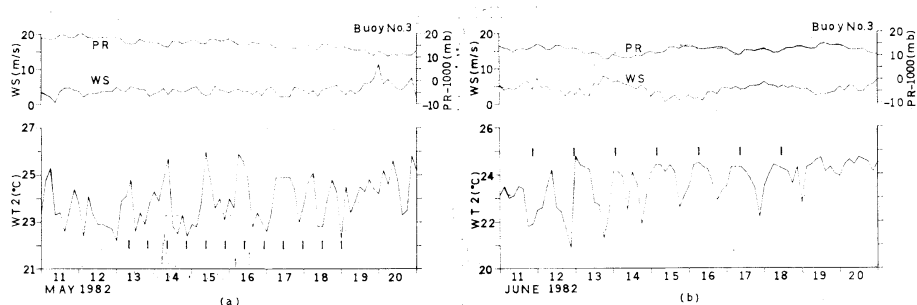


Fig. 6. Enlarged time series at Buoy No. 3, May 11-20, 1982 (a) and June 11-20, 1982 (b). Wind speed (WS) and atmospheric pressure (PR) are shown in the upper panel, and water temperature at 20 m depth (WT2) in the lower panel. Marks at even intervals in the lower panel represent the period of semidiurnal tide (=12.42 hours) in (a) and 95 % of inertial period (=27.7 hours) in (b). Temperature variations with semidiurnal period are dominant in (a), and they are not associated with any storms, as the wind was weak during the period. There is a drop in sea surface temperature (WT1) on June 12 caused by weak wind mixing, and WT2 fluctuations, which have a slightly shorter period than the inertial period, continue for a week (b).

の周期の変動(13日~16日)とが顕著な期間が見られる。MAGAARD and MCKEE (1973) も内部潮汐変動の間欠的な出現を、流速資料の解析から指摘している。この期間中、風は弱く、風に起因する変動ではないと考えられる。

(2) 風の強制に対する水温場の応答

冬季の水温場の変動と風の強制との関係は明確でない。厚い混合層のために、下層低温水のエントレインメントによる上層の水温低下は顕著に現われない。夏季は、風の強制に対して、表層から 20 m 層までの水温低下と一様化が生じる。S II から例をあげれば、5月下旬、7月下旬、8月下旬、9月下旬の応答が顕著である。WT1 の水温低下の大きさは、最大 2°C 程度である。これによって生じた低温は 1 週間程度持続している。したがって、風の強制による水温偏差のライフタイムとして 1 週間程度をあげることができる。

50 m 層、あるいは水温一様層より下にある 20 m 層では、水温の低下のような直接の応答は見られない。S I の 8 月下旬、9 月上旬の強制に対しては、やや遅れて短周期変動の振幅が増大している。風の強制に対する後流(wake)として、慣性周期より数%短かい周期を持つ慣性重力波が生成されるといわれている(GONELLA, 1971; KUNDU, 1976)が、この場合の変動の周期は M₂ の潮汐周期に一致している。慣性周期に近い周期の変動は、S II の 6 月中旬の 20 m 層の水温に現われている(Fig. 6 (b))が、始めの 2, 3 日は慣性周期より 10% 近くも短かいものであった。

(3) 異水塊の通過による水温変動

前のふたつの項で記述した変動の他に、興味深い現象として、海洋側に原因を求めざるをえない急激な昇温・降温がある。例えば、S II の 4 月上旬の急激な降温と 5 日後の昇温は、WT1, WT2 とともに約 2.5°C の変動幅を持つ。この変化が 20 m 層までのものだと仮定しても、 $2 \times 10^4 \text{ J/cm}^2$ の熱量の得失が短時間に生じたことになる。大気海洋間の熱交換による昇降温、あるいは下層水のエントレインメントによる降温では説明できない。このような水温の急変をもたらすものは、KURASAWA et al. (1983) が指摘しているように水温前線を伴う水塊の通過によると判断できる。このような変動は季節によらず頻繁に存在する。S I の夏季の 50 m 層水温では、7 月上旬と 8 月中旬に 2.5°C に及ぶ昇降温が見られる。数日にわたる期間での変化であるが、これも日射などを原因と考えることはできない(注)。

異水塊の鉛直構造もさまざまであることがうかがえる。例えば、S I の 3 月中旬の 2 回の連続した降温・昇温のように 50 m 層までに及ぶものや、5 月下旬の降温・昇温のように 50 m 層は変化がないもの、S II の 7 月中旬のように表層は大きな変化がないのに 20 m 層だけが降温するものもある。

異水塊の通過には周期性はみられない。S II のスペクトル(Fig. 4)では 5 日~100 日周期の所で丘状を呈して

(注) S II の 50 m 層水温が欠測のため、毎年この時期に観測されるかは断定できないが、この変化は 3 節で述べた TAKEUCHI (1980) の指摘する表層亜熱帯前線の夏季の北方への移動を捉えたものかもしれない。

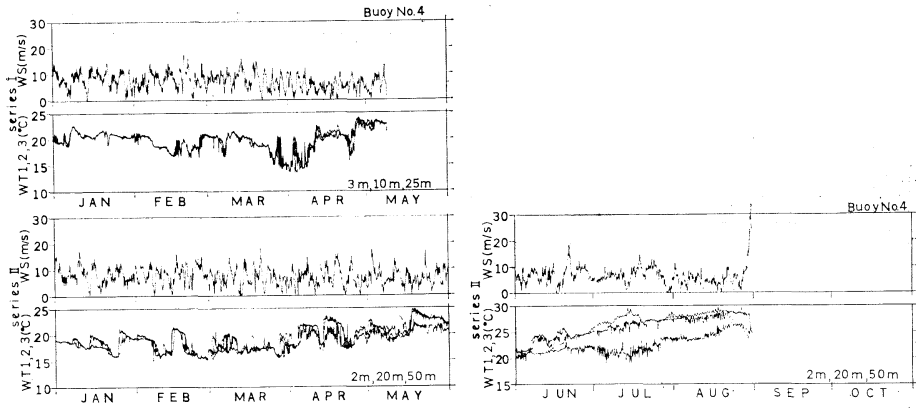


Fig. 7. Time series. Same as in Fig. 3 except for Buoy No. 4. Note that the depths of water temperature are different between SI and SII.

おり、顕著なピークはない。SIのスペクトルの60日周期の所でのピークは、1年と半年周期の変動を抜いていないため、年変化の高調波として現われたことによると思われる。今回の資料では流速資料が有効でないため、異水塊の空間スケールを評価することはできなかった。

4.2. No. 4 ブイ (東シナ海東部)

Fig. 7 に No. 4 ブイでの水温と風速の絶対値の時系列を示す。また、前節の Fig. 5 と Fig. 6 に対応するスペクトルを Fig. 8 と Fig. 9 に示す。Fig. 8 のスペクトルは、短い時系列のために SI, SII とも1年および半年周期の変動は除いていない。

冬季は SI, SII ともに水温差 3~7°C を持つ2つか3つの水塊が数日から10数日の間隔で交互に観測されている。これは、3節で述べた HUH (1982) や柴田(1983) が人工衛星熱赤外面像から示したように、低水温 (3月で 15°C 程度) の東シナ海陸棚水と、高水温 (22°C 前後) の黒潮水、そしてそれらの混合水の3つの水塊がブイ設置点を通過していることの現われであろう。すなわち、黒潮前線の波動や黒潮から切離した渦の通過であり、南大西洋バイトに沿うガルフ・ストリームによく見られる波動と同様のものである。このことは、水温の急変が風の強制と対応がないことも矛盾しない。

黒潮系水の通過の周期性については、柴田 (1983) がラグ相関解析から20日周期を主張しているが、今回の時系列のラグ相関解析 (ここには示さない) では明瞭な周期性はみられず、スペクトル解析でも5日以上周期で全体的にエネルギーが高かった。NAGATA (1983) によるフェリーで観測した吐噺海峡の表面水温変動のスペクトルは、年によって卓越周期がかなり変動することを示している。

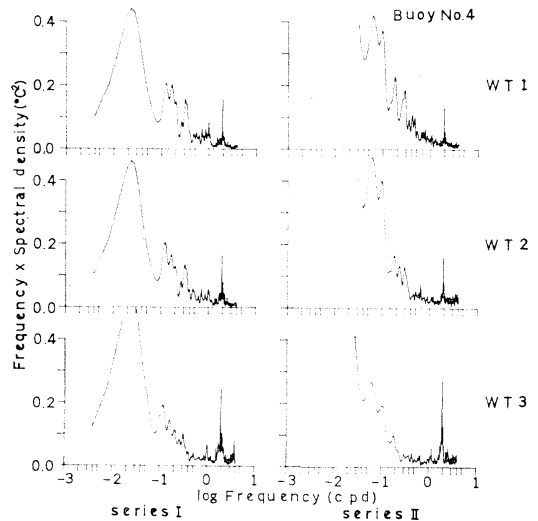


Fig. 8. Time series. Same as in Fig. 4 except for Buoy No. 4. Note that the spectra are variance conserving plots. The period of each series used to calculate the spectra is shown in Table 1.

半日周期の変動は No. 4 ブイでも見られる。しかし、No. 3 ブイでは季節によらず WT1 より WT2, WT3 の変動が大きい内部潮汐であるのに対して、このブイでは春季に全層にわたり顕著である。このことから、このブイの半日周期の変動は順圧潮汐によると判断できる。すなわち、黒潮と東シナ海陸棚水の間水温勾配が存在し、半日周期のタイダル・エクスカージョンにより現われたものである。変動の大きさを Fig. 9 の2カ月ごとのスペクトルからみれば、5・6月以降は WT1 の変動が小さくなる。これは日射による表面加熱のために表層で

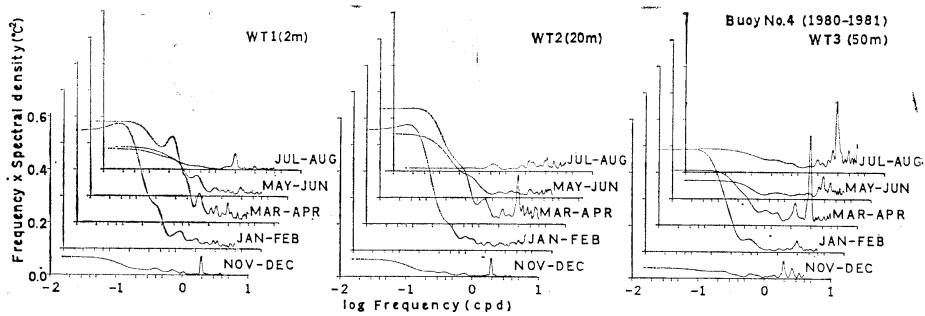


Fig. 9. Evolution of spectra. Same as in Fig. 5 except for Buoy No. 4.

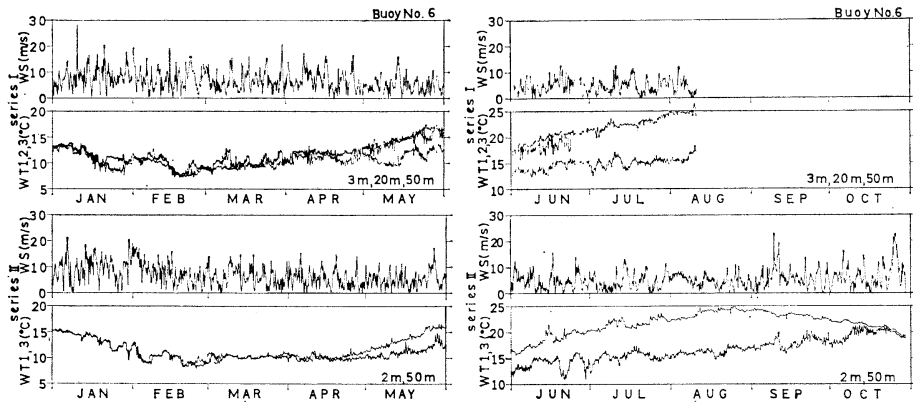


Fig. 10. Time series. Same as in Fig. 3 except for Buoy No. 6. Note that WT2 in SII was not available.

の水温の水平勾配が小さくなったことによる。このことは、日本海洋資料センターがまとめた海洋環境図(1975)の、表面の夏季と冬季の水温分布からも推察できる。

黒潮系の高温水の通過時の記録を詳しく見れば、急な立ち上がりと緩やかな降温、それに続く急な降温が特徴的である。これは水塊の前面前線がシャープであり、後方で混合が生じていることを示している。SIIの時系列から、黒潮系高温水の水塊のほとんどが50m深まで構造を持つていることがわかる。

4.3. No. 6 ブイ (日本海)

Fig. 10 に No. 6 ブイでの水温と風速の絶対値の時系列を示す。また、Fig. 5 と Fig. 6 に対応するスペクトルを Fig. 11 と Fig. 12 に示す。Fig. 11 のスペクトルは、SI, SII ともに1年および半年周期の変動は抜いていない。

SST (WT1) は2月に7~8°Cの最低水温、8月に20°C程度の最高水温を示し、No. 3 ブイより大きな年周変化を示す。夏季の弱風時の変動は、No. 3 ブイと同様、日射による日周変化を示すが、より高緯度のためその振幅は小さい。50m層の最低水温はSSTのそれと同

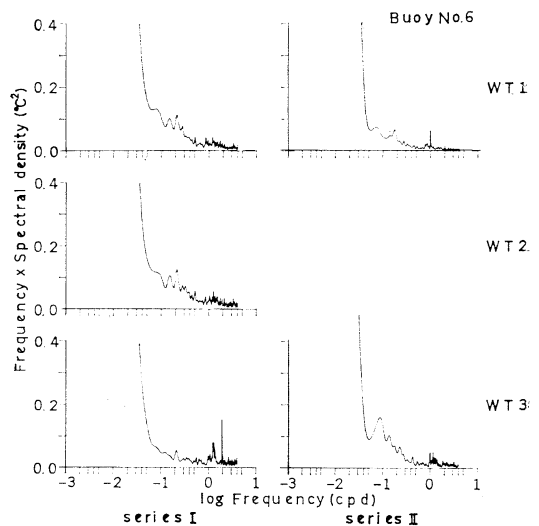


Fig. 11. Spectra. Same as in Fig. 4 except for Buoy No. 6. Note that the spectra are variance conserving plots. The period of each series used to calculate the spectra is shown in Table 1.

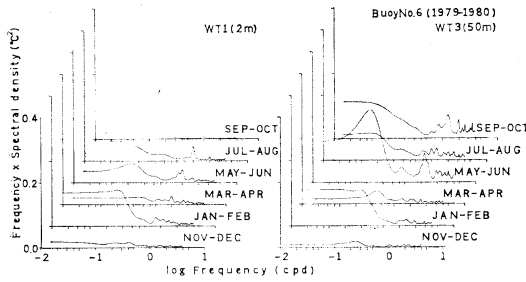


Fig. 12. Evolution of spectra. Same as in Fig. 5 except for Buoy No. 6.

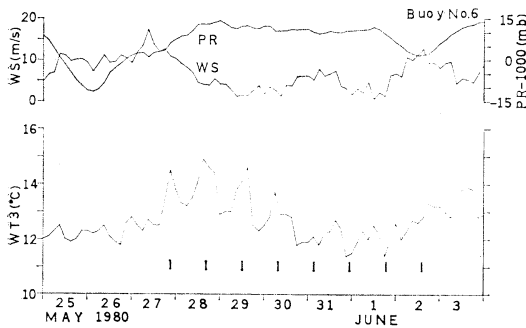


Fig. 13. Enlarged time series of Buoy No. 6 from May 25 to June 3 in 1980. Wind speed (WS) and atmospheric pressure (PR) are shown in the upper panel, and water temperature at 50 m depth (WT3) in the lower panel. On May 26 a depression passed the station and the wind became stronger. Temperature variations which have near-inertial periods are seen after that time. Marks at even intervals in the lower panel indicate the inertial period of 19.7 hours at Buoy No. 6. The near-inertial oscillation was generated by the strong wind on May 27 and continued to May 30. Then, the phase change occurred due to the weak wind on May 30, and the near-inertial oscillation again appeared on May 31.

じであるが、水温は混合層内に入る10月まで昇温している。

風の強制に対する応答も No. 3 ブイと同様であるが、50 m 層の応答に違いがある。No. 3 ブイは半日周期の内部潮汐波動が卓越するが、このブイでは 9・10月のスペクトル (Fig. 12) にその存在は認められるものの、むしろ慣性周期 (1.224 cpd) に近い変動が 5・6月、9・10月にみられる。応答の一例として、S II の 5月下旬の 50 m 層水温の時系列を Fig. 13 に示す。5月27日、31日の風の強制に対して慣性重力波が励起されていることがわかる。

この海域でも冬季・夏季ともに風の強制とは対応のない、異水温を持つ水塊の通過による急激な昇降温が頻繁に存在する。各層の水温の変化のしかたから、表層から少なくとも 50 m 層まで異なる水温構造を持つもの (a)、50 m 層より浅い層に限られるもの (b)、表層は目立たないが 50 m 層で顕著なもの (c) の 3 ケースに分類できる。(a) として、S I の 2月中旬、S II の 1月から2月の変化をあげることができる。(b) として、例えば S I の 1月下旬、2月下旬、3月上旬の変化を、(c) として、S I の 4月から5月の変化、S II の 6月の変化などをあげることができる。

3節に述べた TOBA et al. (1984) の示した 100 km 程度の渦には、幅 10~20 km の高水温帯と低水温帯が渦巻き状の構造をしているのが見られる。上記の水温変動はこのような構造の一部を観測しているものと推察される。

5. まとめ

気象庁海洋気象ブイロボット No. 3 (本州南方海域)、No. 4 (東シナ海東部)、No. 6 (日本海) のそれぞれ約 2年分の時系列を再生し、スペクトル解析結果も含め、上層水温場の構造とその変動の特徴を記述した。主な結果は次の通りである。

(1) いずれのブイ (海域) においても異水温を持つ水塊の通過による急激な昇温・降温が頻繁に存在する。水塊の通過には顕著な周期性はなく、また、鉛直構造も様々であることがわかった。No. 4 ブイの水塊は黒潮系の高温水、東シナ海陸棚水と両者の混合した水塊である。

(2) 風の強制に対する応答は、成層度が強くなる夏季に顕著であり、1回の強制でおよそ 20 m 層までの水温を鉛直に一様化し、SSTの低下をもたらす。低下の大きさは諸条件により異なるが、No. 3 ブイでは最大 2°C に達する。水温一様層より下層の応答は、風の強制よりもやや遅れて短周期内部波動が顕著となる。No. 3 ブイでは成層時に常に見られる半日周期の内部潮汐波動の振幅が増大する。No. 6 ブイでは慣性周期に近い波動が発生することが多い。

(3) 夏季の弱風時の SST は、日射による加熱のため日周変化を示す。No. 3 ブイでは振幅 0.5°C 程度であるが、より高緯度に位置する No. 6 ブイではこれよりもやや小さい。

(4) No. 4 ブイの SST は他のブイでは顕著でない半日周期の変動が存在する。この海域の表層水温の水平勾配と半日周期の順圧潮流のタイダル・エクスカージョン

による変動である。

第1節に述べたように、日本近海の正味の気象海洋間の熱交換量は海洋側の出超であり、海洋内部で熱収束が生じていることを示している。本研究に用いた資料は、本州南方海域や日本海においても、OWS-TにおいてKURASAWA et al. (1983) が指摘したのと同様に水温前線を伴う水塊が熱を輸送する実体であることを示唆している。しかしながら、本資料は pointwise であるので、人工衛星熱赤外資料などと組み合わせて、さらに空間構造を明確にしていく必要がある。

6. 謝 辞

本研究を進めるにあたり気象庁の遠藤昌宏、木村吉宏、佐伯理郎、安藤正の各氏にお世話になった。深く謝意を表す。本研究は文部省科学研究費(課題番号58740183)の援助を受けた。

文 献

- AKAMATSU, H. (1970): The Ocean Data Station Buoys of the Japan Meteorological Agency. *Oceanogr. Mag.*, **22**, 75-94.
- 赤松英雄 (1971): 日本海のブイ・ロボット. 海の気象, **17**, 75-94.
- 赤松英雄 (1972): 改造2号ブイ・ロボットとその運用結果について. 研究時報, **24**, 283-293.
- GONELLA, J. (1971): A local study of inertial oscillations in the upper layers of the ocean. *Deep-Sea Res.*, **18**, 775-788.
- 羽鳥光彦 (1983): 気象庁6号ブイ・ロボットの波浪観測値の吟味. 研究時報, **35**, 119-126.
- HUH, O.K. (1982): Spring season flow of the Tsushima Current and its separation from the Kuroshio: Satellite evidence. *J. Geophys. Res.*, **87**, 9687-9693.
- 海洋資料センター (1975): 海洋環境図 外洋編一北西太平洋. 日本水路協会, 東京, 日本, 164 pp.
- KAWAMURA, H., K. HANAWA and Y. TOBA (1984): On the characteristic structure of horizontal mixing at the northern edge of the Kuroshio and the Kuroshio Extension. *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*. Ed. T. ICHIYE, Elsevier, Holland, 333-346.
- 河野幸男 (1974a): ブイ・ロボット3号機. 測候時報, **41**, 143-150.
- KAWANO, Y. (1974b): Marine meteorological buoy of the Japan Meteorological Agency. *Oceanogr. Mag.*, **25**, 57-71.
- 河野幸男 (1975): ブイ・ロボット(第3号)観測値の吟味. 測候時報, **42**, 278-285.
- 気象庁 (1977, 1978, 1981, 1982, 1983): 気象庁海洋気象ブイ・ロボット観測資料. 第1, 2, 4, 5, 6号.
- KUNDU, P.K. (1976): An analysis of inertial oscillations observed near Oregon coast. *J. Phys. Oceanogr.*, **6**, 879-893.
- KURASAWA, Y., K. HANAWA and Y. TOBA (1983): Heat balance of the surface layer of the sea at the Ocean Weather Station T. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **39**, 192-202.
- MAGAARD, L. and W.D. MCKEE (1973): Semi-diurnal tide currents at 'site D'. *Dee-Sea Res.*, **20**, 997-1009.
- NAGATA, Y. (1983): Variations of the sea surface temperature across the Kuroshio in the Tokara Strait. *IOC Tech. Ser. No. 24*, Time series of ocean measurements, **1**, 35-36.
- 沢田芳夫 (1983): 観測船と海洋気象ブイの比較観測. 海と空, **59**, 19-29.
- 柴田 彰 (1983): 東シナ海大陸棚外縁に沿う黒潮の蛇行. 海と空, **58**, 113-120.
- TAKEUCHI, K. (1980): Numerical study of the Subtropical Front and the Subtropical Countercurrent. Doctoral dissertation, Ocean Res. Inst., University of Tokyo, 45 pp.
- TOBA, Y., H. KAWAMURA, F. YAMASHITA and K. HANAWA (1984): Structure of horizontal turbulence in the Japan Sea. *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*. Ed. T. ICHIYE, Elsevier, Holland, 317-332.
- UDA, M. and K. HASUNUMA (1968): The eastward Subtropical Countercurrent in the Western North Pacific Ocean. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **25**, 201-210.