

## 白浜海洋観測塔沖の潮流観測

中村 重久・西 勝也  
吉岡 洋・芹澤 重厚

### AN OBSERVATION OF TIDAL CURRENTS OFF SHIRAHAMA OCEANOGRAPHIC TOWER

by *Shigehisa* NAKAMURA, *Katsuya* NISHI, *Hiroshi* YOSHIOKA  
and *Shigeatsu* SERIZAWA

#### Synopsis

Tidal currents were observed at a station (32 m deep) off the Shirahama Oceanographic Tower by using a mooring system of a current meter (13.5 m above the sea bed) and a tide pressure recorder (1.5 m above the sea bed). The site of the station was located in the area where the continental shelf is connected to a wide-open bay, Tanabe Bay. The observed results were analysed to find time variations of currents, comparing those in tide levels, water temperature and salinity. Significance was semi-diurnal variation which was caused mainly by the action of the astronomical tides. A little effect of breeze was notified and a little resonant mode of the bay was found. Any internal wave with estimated stability obtained from the observed salinity and water temperature, can not be a possible cause of the resonant mode. The observed currents were scarcely affected by the distant Typhoon 8507.

#### 1. 緒 言

白浜海洋観測塔においては、昭和36年以降、海象・気象の連続的観測を行ってきた。この間、いろいろの現象がとらえられ、その解析もいろいろの面からすすめられてきた。一方、観測塔の沖合の観測も実施され、その成果も逐次発表されてきた。

ここでは、白浜海洋観測塔沖、田辺湾口の測点で、昭和60年(1985)7～8月、係留ブイ方式による潮位・潮流観測の成果について、その概要をとりまとめて報告する。

はじめに、係留観測による流速の時間変化を、沿岸の潮位の時間的変化と対応させ、また、係留観測点での水温・塩分にあわせて観測塔の風向・風速、潮位および水温の時間的変化を示す。つぎに、それらの時間的変化の周期的特性を把握するために、とくに、潮位・流速の東向および北向成分のほか、水温・塩分について振幅スペクトルをもとめ、いずれも半日潮周期成分が卓越していることを示す。また、潮位および流速の変動と水温・塩分ダイヤグラムを利用して、半日周潮および日周潮を中心とした変動における田辺湾口の海水の鉛直構造の力学的特性を検討し、沖合の内部波による田辺湾固有の水位変動の可能性をみる。さらに、流速ベクトル・トラジェクトリから、田辺湾口の流速に3～7日を周期とする変動があることを示し、それが局地的な風や遠くの台風あるいは黒潮との関連があるかどうかを考える。

#### 2. 対象水域と観測方法

1985年7月18日～8月21日の約1ヶ月間、紀伊半島南西部に位置する田辺湾の湾口付近の測点(中島ブイの東方約100m、水深32m)において、係留ブイ方式による潮位・潮流観測を実施した。この観測では、

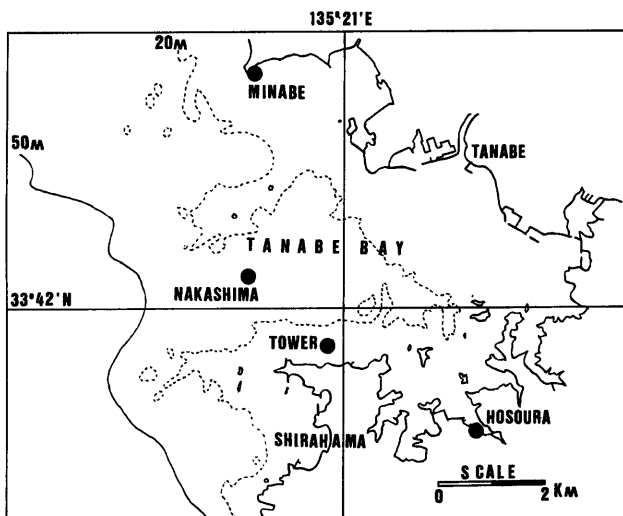


Fig. 1 Location of station in Tanabe Bay.

圧力式潮位計およびアンデラ流速計を使用し、潮位（1分毎）、流速（5分毎）のほか水温および塩分の記録（5分毎）も得ることができた。なお、この観測に用いた圧力式潮位計は、西を中心として製作されたもので、水深約 270 m までの水圧に対して使用でき、分解能は  $\pm 2$  cm, 1 分毎の記録の場合、約40日間海底に設置して連続記録が可能である。

この観測期間も、観測塔においては、風および潮位の記録（1分毎）が得られている。また、細浦（気象庁所管白浜検潮所）および南部（南部町堺漁港）では、記録紙にペン書きで、それぞれ潮位のアナログ記録が得られている。それぞれの観測点の位置および田辺湾の地形の概略は Fig. 1 に示した。

観測点における係留ブイ・システムの構成および設置状況は Fig. 2 のようになっている。すなわち、流速計を海底上 13.5 m に、潮位計を海底上 1.5 m に設置した。この係留ブイ・システムの設置・回収作業には、白浜海象観測所観測船“海象”（1985年3月竣工）が当たった。設置にあたってはブイ先方式によった。回収時の係留ブイ・システムの状態をみると、流速計のロータ周辺に海藻や貝などの生物が付着していて、約1ヶ月の期間のうち後半の流速記録は信頼できるとは考えられないと判断された。ロータには特殊塗料による塗装がほどこされているが、その周辺の流速計本体にも同様な塗装をほどこして、可能なかぎりの生物付着を防ぐようにする必要がある。

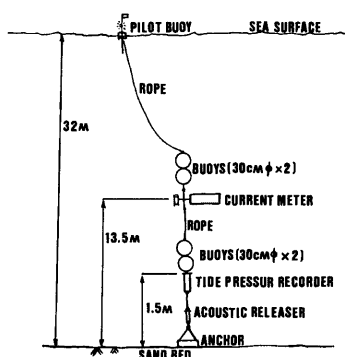


Fig. 2 Schema of mooring system for current observation.

### 3. 観測結果とその解析

#### 3.1 時間的変化

ここでは、まず、1985年7月19日から7月28日までの記録のうち、5分毎に得られた流速のデータに注目する。ここで、東向流速成分  $u_E$  と北向流速成分  $u_N$  とのそれぞれの1時間移動平均によって平滑化したものを Fig. 3 中段に示した。これにあわせて、流速計で同時に記録された水温 ( $t$ )・塩分 ( $s$ ) の時間的変化を示した。図中、最上段の曲線は、観測塔におけるおよそ海面下 3 m (海底上 2 m に固定) の水温変動である。上から2段目の曲線は、中島ブイの測点で、流速計内蔵のセンサーが記録した水温である。そして、図の3段目は流速計内蔵センサーが記録した塩分である。

とくに、潮位記録については、田辺湾口観測点、細浦、南部、観測塔の4測点の記録があるが、そのうち、細浦以外は圧方式であって、基準面の高さの決定ができていないため、ここでは変動のみに着目することとし、各測点の記録を対比することとした。この対比によってみても、4測点相互に  $\pm 5$  cm 以下の差で変動しているので、小さい変動を考えないならば、記録は  $\pm 5$  cm 以下の精度で一致しているものとみなしうる。Fig. 3 の4段目には、観測塔の潮位の時間的変化を示した。観測期間を通して、従来田辺湾固有の周期的変動(たとえば、中村ら, 1982)<sup>1)</sup>。として知られている約40分周期の変動は、振幅としてみれば 5 cm あるいはそれ以下であった。Fig. 3 下段には、観測塔における風向・風速(毎時平均風速)の時間的変化も示したが、概略の傾向としてみても、図示された期間の風速は、最大 10 m/s 以上となることはほとんどない。平均してみても 5 m/s 程度でしかない。この程度の風の作用が流速 ( $u_E$  および  $u_N$ ) に直接的影響を及ぼしているとは考え難い。このほか、沖合の黒潮あるいは内部波的な影響も考えられるが、これについては、あらためて検討することとした。

#### 3.2 スペクトル特性

ここでは、1985年7月19日0時から24日7時までの間128時間の毎時記録に対する振幅スペクトルを、流速

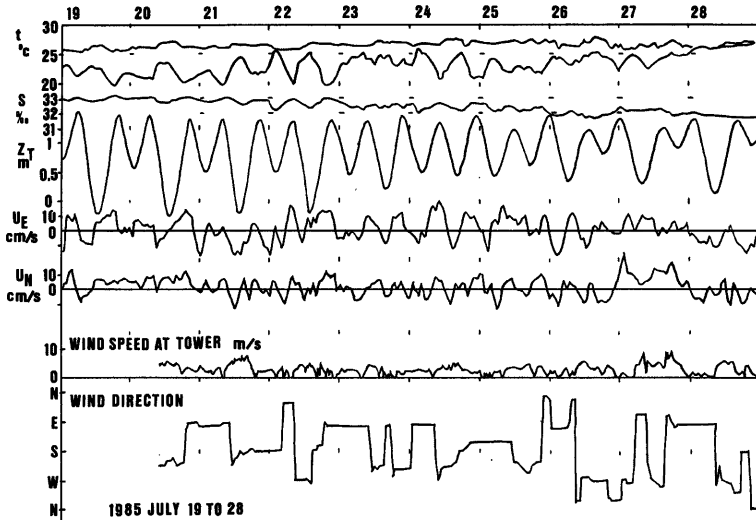


Fig. 3 Time series of observed results.

( $u_E$  および  $u_N$ )、観測塔の潮位 ( $Z_T$ )、水温 ( $t$ ) および塩分 ( $s$ ) についてそれぞれとめ、その結果を Fig. 4 に示した。この図をみると、半日周期の天文潮 (主として  $M_2$  分潮および  $S_2$  分潮) に対応して12.8時間を周期とする成分に、流速・潮位・水温・塩分のいずれの要素にも共通して顕著でシャープなピークが認められる。

流速についてみれば、この半日周期成分では、 $u_N$  (振幅 3.5 cm/s) よりも  $u_E$  (振幅 1.5 m/s) の方が1/2以下となっているが、平均流速は、計算結果からみて、 $u_E$  (0.59 cm/s) よりも  $u_N$  (2.97 cm/s) の方がはるかに大きい。この半日周期成分に対応して、水温および塩分の振幅最大がみとめられ、それぞれ 0.6°C および0.075%となっている。

### 3.3 鉛直構造

観測データにもとづいて、田辺湾口の流速に対応した水温・塩分および安定度の特性を検討しよう。ここでは、水温塩分ダイアグラムを利用した。Fig. 3 をみると、とくに、水温・塩分が潮位や流速と位相がよく対応して変動している顕著な例として、たとえば、1985年7月19日、22日、24日、27日をあげることができる。それぞれの日について得られたデータのうち毎正時のデータを水温・塩分ダイアグラムに示すと、Figs. 5, 6, 7 および 8 (白丸印) のようになる。すなわち、全般に共通している傾向は、満潮時 (HW) に低温・高塩分であり、干潮時 (LW) に高温・低塩分であるということである。(Table 1 参照) これは、海面から海底まで

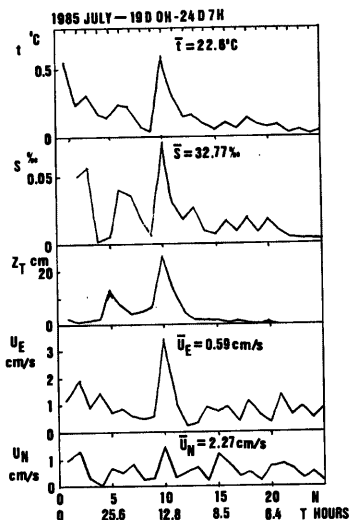


Fig. 4 Amplitude spectra.

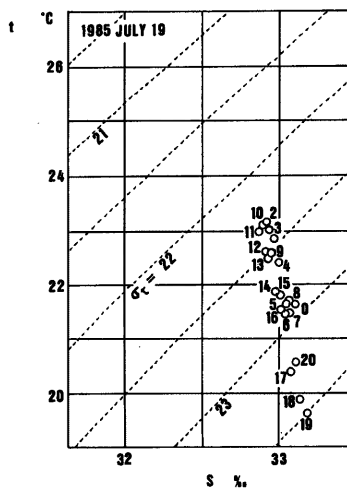


Fig. 5 T-S diagram for tidal stratification on 19 July 1985.

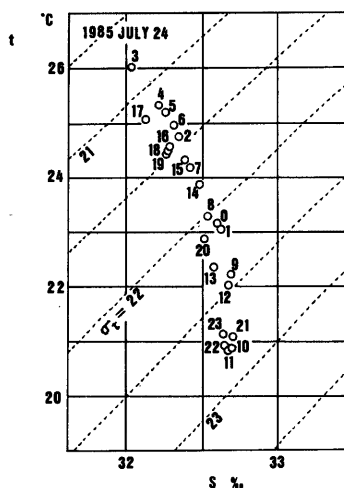


Fig. 6 Same as Fig. 5 except on 22 July 1985.

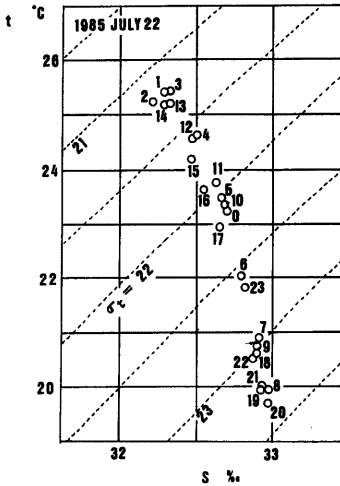


Fig. 7 Same as Fig. 5 except on 24 July 1985.

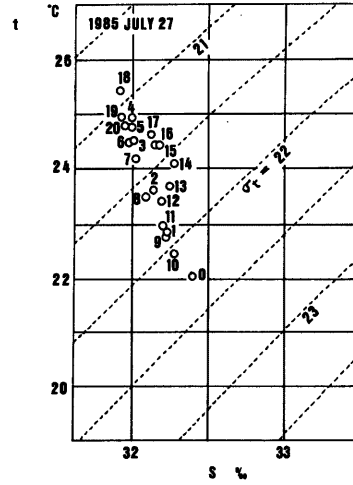


Fig. 8 Same as Fig. 5 except on 27 July 1985.

の水温・塩分の鉛直分布のなかでも、とくに、流速計の位置の周辺では、流速計より海面に近い層は高温・低塩分であり、海底に近い層は低温・高塩分であるという一定のパターンがあって、そのパターンが海底斜面に沿って、上げ潮時には湾内へ、下げ潮時には湾外へ向かうという変動現象であると考えようまかつじつがある。この考え方は Figs. 5-8 に海水密度のパラメータ、シグマ  $t$  (破線) を考慮にいれても矛盾しない。すなわち、図に示されたデータの得られた日の成層状態は、流速計周辺では安定であったと解釈される。

この時期の風は、Fig. 3 をみてもわかるように、比較的弱く、海水の成層状態を乱すほどではなかったとみられるが、梅雨期の降雨と河川水の湾内流出などの影響をうけて、海水は稀釈を受け、塩分は7月19日には 32.8-33.2‰ であったものが、22日には 32.2-33.0‰、24日には 32.0-32.7‰ となり、さらに、27日には 31.9-32.4‰ と全般に減少する傾向を示している。また、水温は、夏期の日射の影響によって次第に上昇する傾向を示し、7月19日には、干潮時 22.6°C、満潮時 19.6°C であったものが、22日には 25.4°C および 19.6°C となり、表層の昇温が著しく、24日には 26.0°C および 20.9°C と上・下層共昇温の傾向であり、28日には 25.4°C および 22.0°C となって、上・下層の水温差は小さくなってきている。ここで、干潮時の水温は、塩分と同様、表面水の条件によるものと考えられ、また、満潮時の水温は底層水あるいは外海水の条件によるものと考えられる。

海洋において、水温・塩分の鉛直分布に対して与えられる密度の鉛直分布は、海水の運動とも関連しており、そして、海水の運動を特徴づける。いま、 $z=z_1$  および  $z=z_2$  の深さの差  $\Delta z$  に対して、深い方の密度が浅い方よりも  $\Delta \rho$  だけ大きいとする。平均の密度を  $\rho$ 、重力加速度を  $g$  とすると、このような密度分布に対する海水の安定度  $N^2$  を次式によってもとめることができる。すなわち、

$$N^2 = -\frac{g}{\rho} \cdot \frac{\Delta \rho}{\Delta z} \dots \dots \dots (1)$$

このようにして得られた  $N$  は、可能と考えられる海洋内部波の周期特性と関連づけられている (たとえば、Phillips, 1966<sup>2)</sup>, pp. 158-197; Gill, 1982<sup>3)</sup>, p. 129)。ここで、観測によって得られた係留観測点の水温・塩分の鉛直分布にもとづいて、流速周辺の海水の鉛直安定度をもとめることを考えた。満潮時との潮位差を

Table 1 Stability of water at Nakashima (13.5 m above sea bed)

| Date         | time     | Relative elevation<br>(cm) | $N^2 = -\frac{g}{\rho} \frac{\Delta \rho}{\Delta z}$<br>(sec <sup>-2</sup> ) | $T_N = \frac{2\pi}{N}$<br>(sec) |
|--------------|----------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1985 July 19 | 7h (HW)  | 100                        | 0.01927                                                                      | 45.24                           |
|              | 12h (LW) | -60                        |                                                                              |                                 |
|              | 19h (HW) | 100                        |                                                                              |                                 |
| 1985 July 22 | 8h (HW)  | 70                         | 0.10948                                                                      | 18.98                           |
|              | 14h (LW) | -90                        |                                                                              |                                 |
|              | 20h (HW) | 70                         |                                                                              |                                 |
| 1985 July 24 | 3h (LW)  | -5                         | 0.1718                                                                       | 15.15                           |
|              | 10h (HW) | 60                         |                                                                              |                                 |
|              | 17h (LW) | -10                        |                                                                              |                                 |
| 1985 July 27 | 22h (HW) | 95                         | 0.11897                                                                      | 18.21                           |
|              | 0h (HW)  | 85                         |                                                                              |                                 |
|              | 6h (LW)  | -20                        |                                                                              |                                 |
|              | 13h (HW) | 75                         | 0.1282                                                                       | 17.54                           |
|              | 20h (LW) | 40                         |                                                                              |                                 |
|              |          |                            |                                                                              |                                 |

$\Delta z$  とし、これに対するシグマ  $t$  の変化分から  $\Delta \rho$  をもとめ、この  $\Delta z$  および  $\Delta \rho$  を上の(1)に入れる。得られた結果を Table 1 に示した。

この Table 1 をみると、いずれの例でも、(1)を用いて得られた  $N$  およびこれから導びかれる Brunt-Vaisälä 周期  $T_N$  は、それぞれ、0.01-0.18 sec<sup>-2</sup> の範囲内および 15-46 sec の範囲内にある。したがって、この時期の測点付近の鉛直密度成層は、田辺湾の固有の水位変動としてみとめられている約40分周期の変動に関係のある要因とは考えられない。

いま、周期  $T_A=40$  min の変動が、もし、密度成層下の内部波に起因するものとするれば、

$$N=2\pi/T_A=0.0026$$

したがって、

$$N^2=6.85 \times 10^{-6}$$

という数値が得られる。ここで、 $g=980$  cm/s,  $\rho=1.002$ ,  $\Delta z=-1.5$  m とすると、(1)より

$$\Delta \rho = \frac{N^2 \cdot \rho \cdot \Delta z}{-g} = 1.07 \times 10^{-6}$$

と計算される。すなわち、深さ 1 m あたり  $1 \times 10^{-6}$  程度の海水密度鉛直こう配がなくては周期40分の変動の誘因であるとは考え難い。このような周期40分の変動が内部波に起因する条件を満たす例は Table 1 にはみとめられない。このような点からみても、田辺湾口でとらえられる約40分周期の流速変動は、田辺湾のスケールよりもっと大きく、その沖合まで考慮にいれなければ説明できない現象であると考えられる。

### 3.4 長周期変動

ここでは、1日より長い周期の変動について考える。

田辺湾口の1測点における潮位・潮流の観測結果から田辺湾全域の流れの状況を推察することは容易ではないが、あえて試みようとするならば、若干の仮定を設定する必要がある。ここでは、係留観測点における1ヶ月間の観測記録によって数日程度を周期する変動現象の検討をする。

係留観測点の流速計で得られたデータにもとづいて流速ベクトル・トラジェクトリをもとめると Fig. 9 のようになる。すなわち、Fig. 9 は1985年7月19日0時から7月31日23時までの水粒子の動きを示す。この図では、潮汐の特長としての半日周期や1日周期の変動は Fig. 3 におけるほどははっきりしない。しか

し、Fig. 9 のトラジェクトリから判断して、3～7日を1周期とする長周期変動が顕著にあらわれていることがわかる。この長周期変動のスケールは、Fig. 9 からみて、3-6 km 程度と考えられ、田辺湾における天文潮の代表的な成分、半日潮周期成分の変動のスケール、約 2 km、に比較するとその大きさは2～3倍とみられる。Fig. 3 では、時々刻々の流速値を示したが、その流速値は 10 cm/s 程度にすぎない。Fig. 3 では長周期変動はうまくとらえることができないが、表示の方法をかえて Fig. 9 のようにすると数日を周期とする変動も明瞭にとらえることができる。

ここで、Fig. 9 に示された時期の海上風を、観測塔の記録によってみると、さきにみたように、全般的に 5 m/s 程度であり、風は強いとはいえない。Fig. 9 に対応して風速ベクトル・トラジェクトリをもとめてみる。その結果を表示すると Fig. 10 のようになる。この図では、1985年7月20

日から7月31日までの観測塔の風の例を示したが、これによって、空気粒子は全般に NE ないし E 方向に移動していることがわかる。この Fig. 10 のパターンは、Fig. 9 のパターンとは全く異っていて、両者の比較からみて相互に関係がないと考えられる。したがって、Fig. 9 によってとえられた数日を周期と

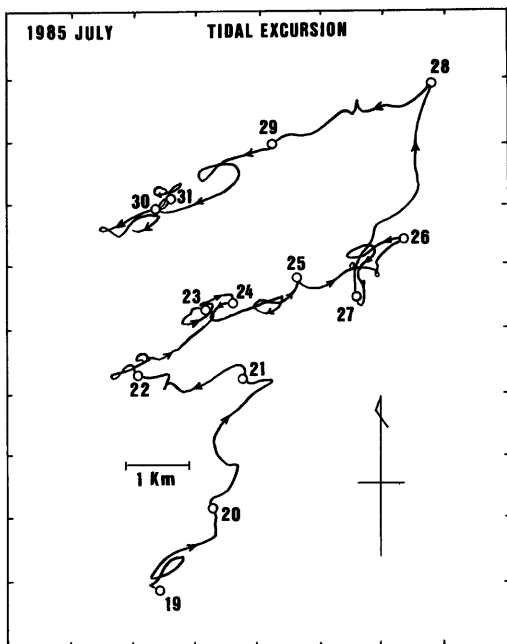


Fig. 9 Current vector trajectory.

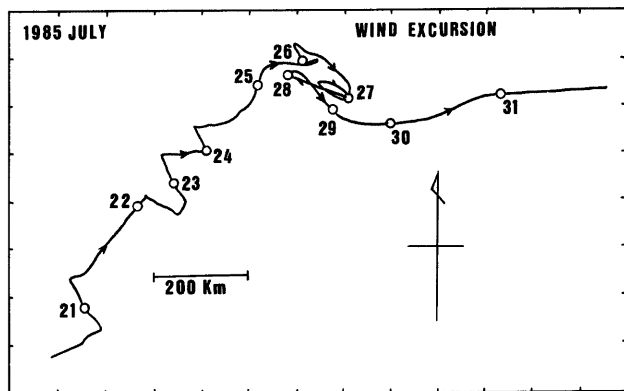


Fig. 10 Wind vector trajectory.

する長周期変動は局所的海上風以外の要因によるものとみなくてはならない。

それでは、この数日を周期とする長周期変動は何によってひき起されているのであろうか。ちなみに、田辺湾沖陸棚 200 m 深までの幅を 20 Km 程度とし、陸棚幅  $L=20$  Km において平均水深  $h=100$  m と考え、これに Merian の式

$$T = \frac{4L}{\sqrt{gh}} \dots\dots\dots (2)$$

を適用すると、陸棚との岸沖方向の振動の周期は

$$T=2530 \text{ sec}=42 \text{ min}$$

程度にしかならない。このことを考えにいと、3～7日を周期とする変動は紀伊半島沖の黒潮の挙動に関連した現象である可能性が高いと考えざるを得ない。これは、従来指摘されていたように、“観測塔における水温変動について、田辺湾に対する外洋の影響を反映しているだけでなく、紀伊水道全域の海況変動を反映している”と言われていることと符合している（たとえば、海象（流れ）観測グループ<sup>4)</sup>, 1983; 吉岡ら<sup>5)</sup>, 1977）。

### 3.5 台風の径路

ちょうどこの観測を実施した時期に、紀伊半島はるか南方洋上 1000 Km 以上の距離に台風8507号があった。1985年7月21日18時(日本標準時)には太平洋赤道域に発生した熱帯性低気圧は台風となり、Fig. 11 の破線のような径路をたどって、8月1日には東支那海で温帯低気圧となった。この間、この台風の直接的影響が田辺湾周辺の潮位や流速にあらわれたとは考え難い。

## 4. 結 言

白浜海洋観測塔沖、田辺湾口の測点で、保留パイ方式による潮位・潮流観測を昭和60年(1985)7月～8月の約1ヶ月間実施した。その観測結果を解析して、つぎのようなことが明らかになった。

- (1) 観測期間の海上風の直接的作用が流速の時間的変化にあらわれているとは考え難い。
- (2) 流速・潮位・水温・塩分の時間的変化を FFT によって、振幅スペクトルをもとめてみると、いずれの要素にも共通して、半日周期に対応した12.8時間を周期とする成分に顕著なピークがみとめられた。
- (3) 水温・塩分の記録から、水温・塩分の鉛直分布や海水密度の鉛直分布を推定したところ、田辺湾口では連続的成層がみられ安定であることがわかった。ただし、この安定成層での内部波として田辺湾にみられる約40分周期の変動を考えるわけにはいかない。
- (4) 流速ベクトル・トラジェクトリから、3～7日を周期とする流速変動がとらえられていることがわかった。しかし、これは風速ベクトル・トラジェクトリと対応しないことから、この流速変動は海上風と関係がないものとみられる。
- (5) 観測点から 1000 Km 以上隔った径路を台風8507号が移動しているが、台風が観測結果に直接的影響を及ぼしているとは考えられない。

この観測について、白浜海洋観測塔沖陸棚上における高潮時の潮位・潮流観測が白浜海象観測所長土屋義人教授を中心として計画されている。この計画が推進され、外洋高潮の機構が究明され、さらに、これが高潮の予測と海岸災害防止軽減に役立つことになれば幸である。

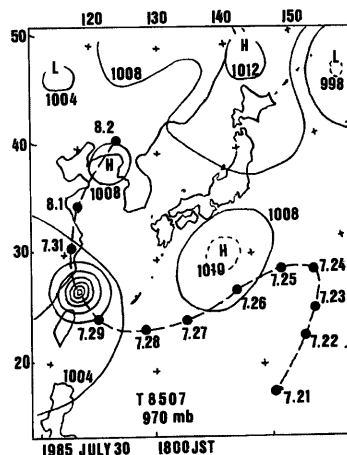


Fig. 11 Track of Typhoon 8507 on the surface weather chart at 1800 JST on 30 July 1985, issued by Japan Meteorological Agency (Each dot shows the location of the Typhoon's center at the time of 1800 JST on each day).

## 謝 辞

本観測の実施にあたり、片山富晴君の誠実で積極的な協力を得た。また、観測実施までには、田辺海上保安部をはじめ、田辺・白浜・南部町・湊浦・新庄・堅田各漁業協同組合など多くの関係各位の御配慮をいただいた。さらに、観測結果の解析・検討にあたっては、気象庁・海上保安庁水路部および和歌山県水産試験場の資料を利用した。

## 参 考 文 献

- 1) 中村重久・吉岡 洋・芹沢重厚：白浜海洋観測塔周辺の水位変動, *La mer*, Tome 20, No. 4, 1982, pp. 223-230.
- 2) Phillips, O. M.: *The dynamics of the upper ocean*, Cambridge, 1966, 261 p.
- 3) Gill, A. E.: *Atmosphere-ocean dynamics*, International Geophysics Series, Vol. 30, Academic Press, 1982, 662 p.
- 4) 吉岡 洋・中島暢太郎・国司秀明：紀伊水道の oceanic front の変動, 京大防災研年報, No. 20 B-2, pp. 513-527.
- 5) 海象（流れ）観測グループ：田辺湾における流れの長期連続観測, 京大防災研年報, No. 26 B-2, pp. 637-672.