

白浜海洋観測塔周辺沿岸海域に対する台風8506号の影響

中村 重久・芹沢 重厚

EFFECTS OF THE TYPHOON 8506 TO THE COASTAL AND SHELF WATERS AROUND THE SHIRAHAMA OCEANOGRAPHIC TOWER

By Shigehisa NAKAMURA and Shigeatsu SERIZAWA

Synopsis

Effects of the Typhoon 8506 to the coastal and shelf waters off the south of Kii-Peninsula are studied using the observed meteorological and oceanographical data obtained at the Shirahama Oceanographic Tower and referring to the data from the surrounding other stations observed by the Japan Meteorological Agency and the Maritime Safety Agency. In this study, the meteorological tides (so-called "storm surge") are evaluated to find a specific pattern of the "offshore storm surge" on the coast of the south Kii-Peninsula. The wind effects are also found in the timely variations of the current velocities especially in the surface layer off Ichie. Shears induced by the effects of friction at the sea surface and bottom off Ichie and off Esumi are estimated as averaged values for 24 hours. The current vector trajectories support to confirm the effects of the Typhoon to the waters. The observed water temperatures off Ichie and off Esumi have revealed to find only a little effect of the Typhoon. An existence of significant internal tides is clarified after comparing the tides at Shirahama and the currents 20m above the sea bottom off Ichie and off Esumi. These results surely be the essential data and references for evaluations of the local storm surge induced by any model typhoon in the coastal and shelf zones in order to get an improved prediction and establish a more effective protection work on the coast.

1. 緒 言

白浜海洋観測塔については、昭和36年以降、海象・気象要素の連続的観測を行ない、沖合の海上および海中における固定点での観測記録を得ることに努力してきた。従来、観測船による観測によってのみ沖合の海況を知るといふにとどまっていたが、本観測塔の設置により、さらに高精度の観測記録が沖合でも可能となった点は、当時としては画期的なものであった（国司，1962¹⁾；速水ら，1964²⁾）。それ以来、海洋観測塔を利用した研究がすすめられ、当時の沿岸海洋研究のあり方と問題点が明らかにされてきた。ここでは、その詳細については述べない。ところで、1980年代後半の現在において、人工衛星を利用した海洋の観測研究も多数発表され、新しい技術や手法が観測作業にもとりいれられている。それでもなお、このような間接的撮影や遠隔操作によるデータを補正するためには、海面や海中で基準となるデータとして直接観測記録が必要であり、衛星画像の利用による海面水温分布にあたっても直接観測記録データの併用および補正は不可欠である。

観測塔周辺に対する観測研究の進展は、近年、とくに目ざましいものがある（たとえば、中村ら³⁾，1982；海象（流れ）観測グループ，1983⁴⁾；土屋ら，1983⁵⁾；国司ら，1985⁶⁾；中村ら，1986⁷⁾）けれども、さらに、沖合の広域にわたる観測記録が得られなくては、沿岸・海岸災害の主要因のひとつである台風による高潮の

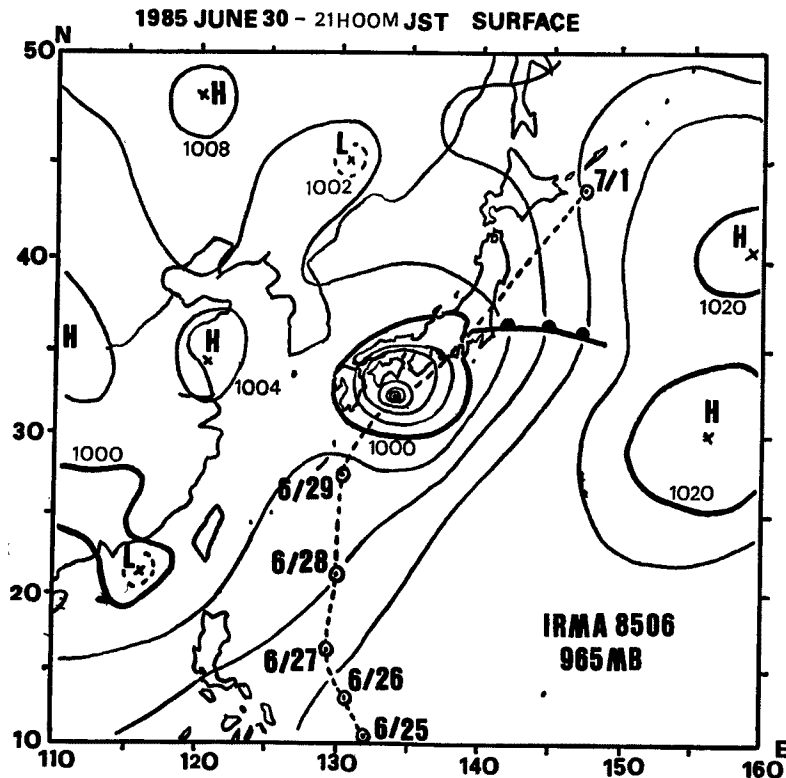


Fig. 1 Weather map (surface) at 21h00mJST on 1985 June 30. Each encircled dot shows the location of the center of the Typhoon 8506 (or IRMA) at 21h00mJST on each day from June 25 to July 1 (with the cautesy of the Japan Meteorological Agency).

より適確な予測や評価が困難であることが、これまでの研究の積みあげによって次第に明らかとなってきた。

ここでは、上述のような経過をふまえて、白浜海洋観測塔およびその周辺における海象・気象観測の記録および資料にもとづいて、とくに台風8506号の紀伊半島南沖通過時にあらわれた変動現象を解析し、外洋高潮とそれにとまう沿岸流動現象の特性を明らかにする。

2. 台風8506号の概要

本文での検討の対象としてとりあげる台風8506号について、以下の観測記録等の解析の基礎データとして、その概要を記す。ここでは、とくに、気象庁の発表ならびにこれを基礎にした毎日新聞の記事から、その要点をとりだした。

2.1 1985年6月30日21時（日本標準時）の地上天気図は **Fig.1** のとおりである。北太平洋赤道域に発生した熱帯性低気圧は6月25日には台風8506号（愛称 IRMA）となり、**Fig.1** の破線のような経路を通過して北上し、6月30日夜半紀伊半島沖を通過、7月1日21時には北海道東方海上に達した。

2.2 1985年7月1日午前0時頃、和歌山県西牟婁郡白浜町湯崎の沖合約1kmに台風6号を避けるため仮泊していたパナマ船籍の貨物船グロリア・フォルチュナ（5,155t）22人乗組が15-20m/sの強い西風と高波で岸に流され、海中展望塔（高さ20m、最大直径11m）をなぎ倒した後浅瀬にのりあげ座礁

した。なお、この船は9月17日離礁後解体されることとなった。

2.3 台風は静岡県御前崎をかすめて7月1日3時に静岡県沼津付近に上陸し、その後は上空の偏西風によってスピードをあげ、関東地方を縦断し、同7時前には福島県沖にぬけた〔昭和46年7月7日の台風13号以来の大型で並みの強さの台風であった〕。

3. 対象水域および観測要素

ここでは、対象水域を Fig.2 に示すような範囲にとった。台風8506号の紀伊半島南沖通過時の海象・気象の時間的・空間的変動に関連して、本文で利用した観測記録および関連資料はつぎのとおりである。

3.1 白浜海洋観測塔（水深約5 m）：現在、風向・風速・気温・水温・塩分（海面下約3 m）、平均波高とその周期、潮位などの要素が観測されている。

3.2 南部町堺漁港（南部）では、白浜海象観測所の圧力式潮位計によって潮位の観測記録が得られていて、強風時に港内セイシュが強制的に誘起したことを示している。

3.3 白浜町細野（白浜）は気象庁所管の検潮儀設置位置であり、潮位記録が得られており、これを利用することができた。

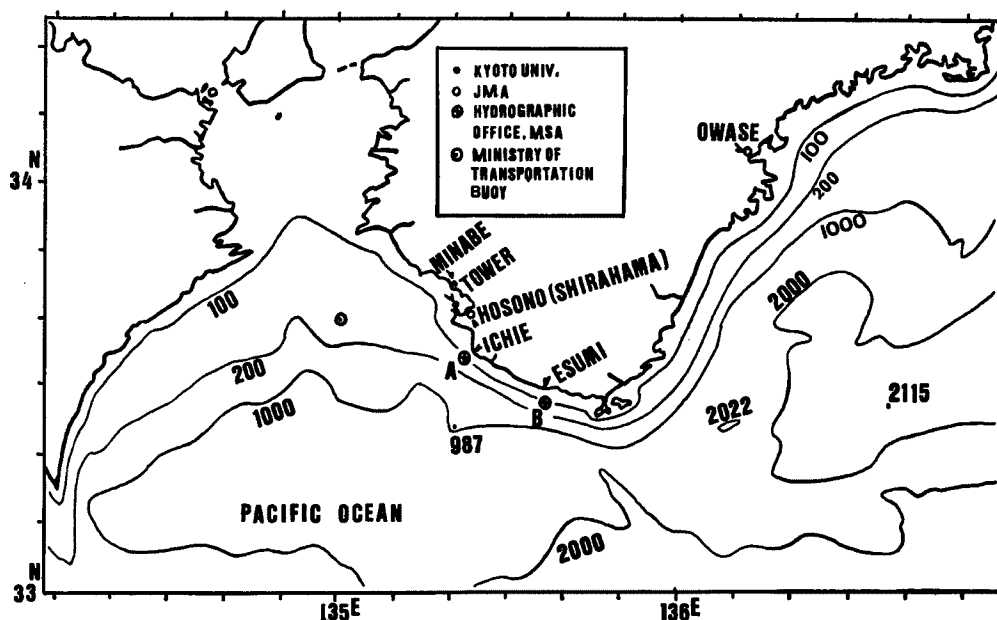


Fig. 2 The topography of the interested area in this work.

- 1) Dots are the stations of Kyoto University (Tower and Minabe).
- 2) Circles are the stations of the Japan Meteorological Agency (Hosono (Shirahama) and Owase).
- 3) Encircled crosses are the stations of the Hydrographic Office, the Maritime Safety Agency (St. A off Ichie and St. B off Esumi).
- 4) Encircled dot shows the location of the wave buoy belonging to the Ministry of Transportation (no data at this station was available in this work).

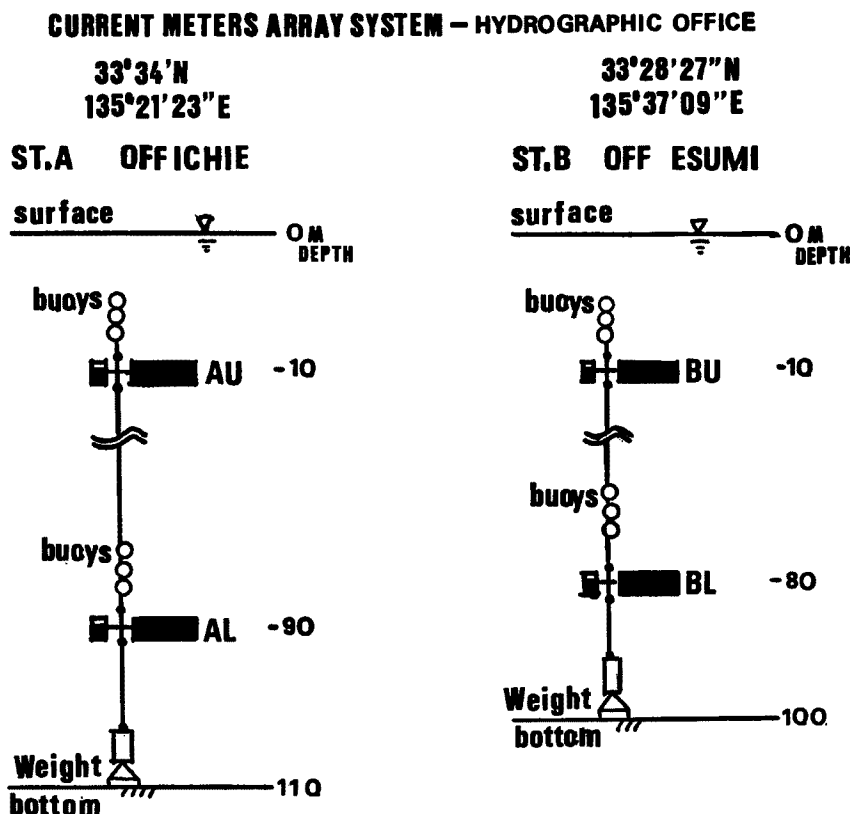


Fig. 3 Current measuring array system at St. A off Ichie and St. B off Esumi (with the courtesy of the Hydrographic Office, the Maritime Safety Agency).

3.4 三重県尾鷲市内の尾鷲測候所では、気象庁の管轄下で、風向・風速・気温などの気象要素のほか検潮記録の利用ができた。

3.5 市江沖 St. A (33°34'10"N, 135°21'23"E) では海上保安庁第5海上保安本部による潮流観測が実施されており、そこでの海面下海底までの深さは110mで、海面下10mと海底上20mにおいて流速と水温との観測記録を利用できる (Fig. 3 参照)。

3.6 江住沖 St. B (33°28'27"S, 135°37'09"E) では、前記市江沖と同様な観測が実施された。水深は100mで、海面下10mと海底上20mとで、流速と水温との計器観測記録が利用できる (Fig. 3 参照)。

4. 田辺湾内の海象

4.1 白浜海洋観測塔の観測記録

白浜海洋観測塔において得られた観測記録を、台風8506号の接近時から台風通過後までについて整理・解析し、その結果を Fig. 4 に示した。図中には、上から下へと、風向 (WD)、風速 (u)、潮位 (z_m)、平均波高 ($\bar{H}$) とその周期 $\bar{T}$ 、水温 T (海面下約3m)、気温、塩分の時間的变化の特徴を示した。観測記録は1分毎に得られているが、ここでは、台風による影響の特長があらわれるように、ややスケールの大きい現象を着目することとし、1時間ごとの記録による図示を考えた。

この図によれば、台風接近時の1985年6月29日朝から ESE-S の風となり、台風から紀伊半島沖約100km

を通過する6月30日夜半には風向は次第にE寄りからNE-Nへと変っている。当時の最接近時頃とみられる6月30日23時にはNNWの最大風速があらわれている。この図のような表示では、瞬間最大風速をとらえることもできず、また、潮位に対する台風の作用をはっきりととえることは困難である。

平均波高は、台風接近とともに増大し、6月30日22時頃に最大となり、それ以後、波高は次第に小さくなっている。この間、平均波高に対する周期は10sec前後であり、台風通過後7-8secの周期がみとめられる。これは風向の変化にともなうフェッチの異なる波のいずれが卓越しているかによって定まるもので、単一波に分けたときに、そのような周期成分が顕著であるかどうかは一般に判断し難い。

観測塔の水温は、台風接近前24℃程度であったが、台風通過後には23.8℃ではほぼ一定している。紀伊半島に台風が最も接近した後10時間以上経過して水温は3-4時間かかって24.3℃に上昇し、さらに、2-3時間後に23.9℃にもどっている。これを観測塔の水温に対する台風の影響とみるべきかどうか、この後の部分で、その他の観測資料と対比して検討することとしたい。

観測塔の気温は、一見複雑な変動を示しているようにみえるが、台風接近時の6月30日には、水温よりも高く（その最高気温は24.8℃）なり、台風の通過にともない気温は低下して、この間に南海からの暖気塊が運ばれてきたことを示す。台風通過後の7月1日1-3時には、21.5℃まで低下しているが、その日の午後には再び24.7℃まで上昇している。一日のうちの最高気温のあらわれ方には日射その他気象学的多くの要因が関連しているものと考えられる。その概略については、Fig. 4 に示された海中固定点での記録を、

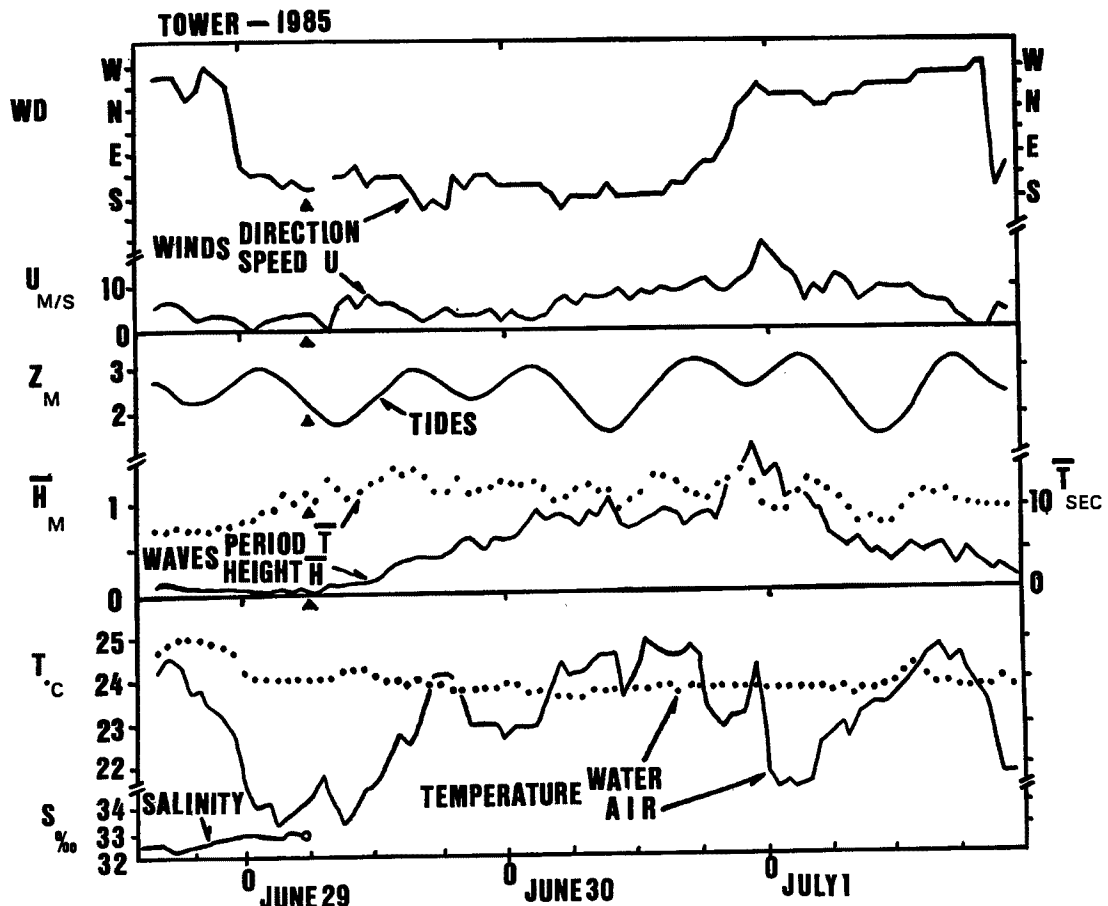


Fig. 4 Observed results at the Shirahama Oceanographic Tower at the passage of the Typhoon 8506.

Fig. 1 の天気図および台風経路図とあわせて検討することによって理解できるであろう。

観測塔の塩分は、台風接近時の6月29日5時過まで正常な記録を得ている。後にみるように、台風通過後の調査の結果からみて、塩分計センサーの海中落失などの損傷がそれ以後の記録を不可能とした原因と考えられ、それは、沖合にあらわれた突発的な海象（とくに流れ）の変動によるものと推測している。

4.2 潮位の偏差と風との関係

台風8506号の接近時から通過後までの、1986年6月30日ー7月1日についての、観測塔および尾鷲の風ベクトルの変化を **Fig. 5** 上段に示した。この図によると、観測塔での1時間ごとの風ベクトルをみると、6月30日の台風接近時にはS寄りの風であるが、次第にE寄りの風となり、22時には風は北寄りとなり、台風通過直後とみられる時刻に最大の風速となっていることがわかる。**Fig. 2** をみてもわかるように、尾鷲は、紀伊半島山地をはさんで観測塔と対称的な地理的立地条件にある。周辺地形の影響も強いようではあるが、尾鷲でも観測塔の変化に対応した風ベクトルの変化を示しているとみてよい。

ここで、**Fig. 5** 中段に、南部と細野（気象庁所管白浜検潮所）および尾鷲の検潮記録から天文潮をとり去って得られる潮位の偏差 z' を図示した。この偏差の時間的変化は主として、いわゆる、気象潮とその他の変動と考えられる。南部では、6月30日23時に偏差は最大となっていて、台風通過とともない約30cmの上昇を示している。また、尾鷲では、7月1日0時に約40cmの上昇を示し、その偏差の時間的変化のパターンは、偏差最大値出現時刻を除けば、南部の例とよく似ている。最大偏差出現時刻の差は、もちろん、台風経路に対する南部と尾鷲との地理的位置の相違によるものである。

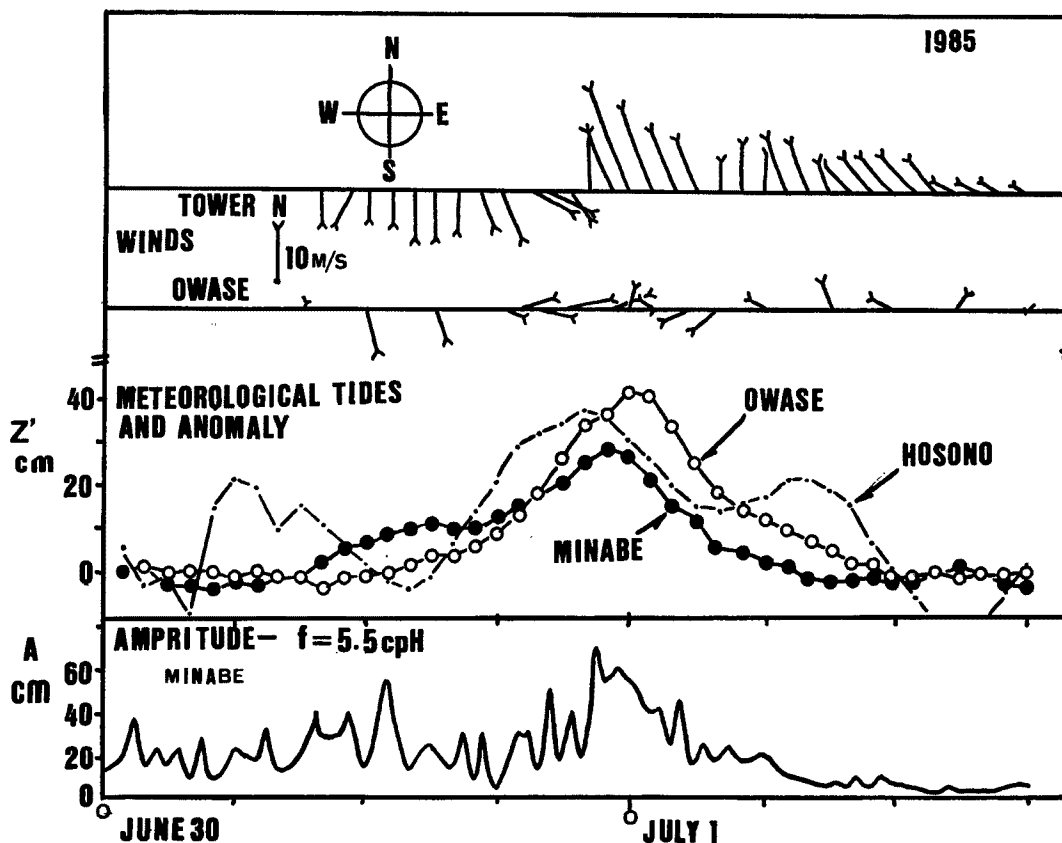


Fig. 5 Winds, meteorological tides and anomalies and amplitude of a wind-forced seiche in a fishery harbor of Minabe.

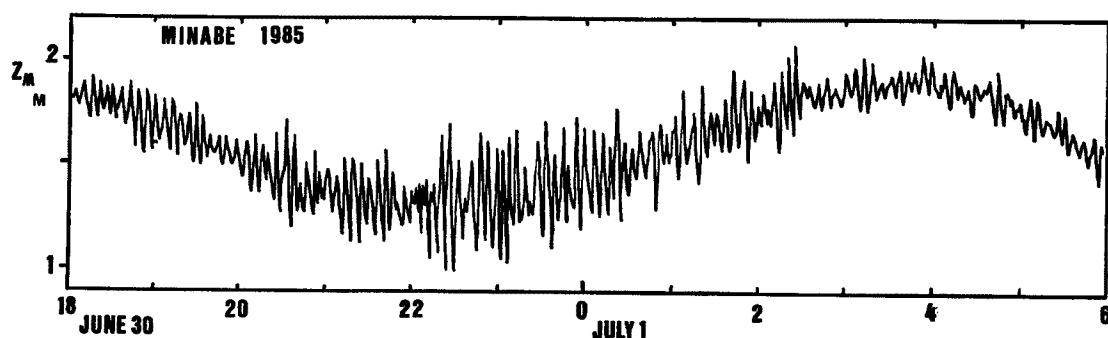


Fig. 6 A part of copied record of the sea-level variations at Minabe, as a demonstrative illustration of a specific response to the local wind actions caused by the Typhoon 8506.

さきに示した **Fig. 1** でもわかるように、6月30日21時、四国沖で台風8506前の中心気圧は965 mb となっている。このことからみても、偏差の大部分は台風による気圧低下によって説明できるものと考えられる。これは、いわゆる外洋性高潮の特徴を示している（たとえば、梶浦, 1961a⁸⁾, b⁹⁾）。すなわち、外洋では台風の規模が如何に大きくても、海岸線による吹き寄せ効果はあらわれず、ほとんど気圧低下に対応した静的海面上昇がみられるにすぎない。これは吹上げ現象として一般に理解されている。一方、台風の強風域内では、高波浪の発生も当然考えられるが、これについては別に検討する。ところで、細野の偏差をみると、最大偏差は6月30日22時にあらわれ、しかも台風接近時から通過時までおよそ9時間の長い周期的変動が重なっているようにみえる。これは、細野からNW方向へ約8km 距っている南部の偏差のパターンとは大変異なっている。南部は外洋に直接面しており、細野は田辺湾内のさらに奥の複雑な地形をもった入江の奥にあるという地理的立地条件の差異のみで、この相異を理解できるであろうか。別の機会にあらためて力学的検討をする必要がある。

また、この機会に、**Fig. 5** 下段には、南部において顕著であったおよそ5.5pH (約11min 周期) の水位変動の振幅の6月30日から7月1日にかけての変化を示した。全体としてみれば、台風が最も接近した時刻を中心として振幅が最大となっていて、田辺湾周辺の風の局所的作用が直接的原因と考えられる。とくに、この図のデータ・ソースとなった南部における潮位記録のなまのものの一部を例として **Fig. 6** に示した。なお、南部漁港では、台風が日本へ向かって北上しはじめると漁船は指定避難港へ回航避難するようにしており、これが、南部における災害を最小限なものとしている主要因である。

5. 陸棚上の海象

5.1 陸棚上の流速

台風8506号が紀伊半島沖を通過する時期を中心として、海上保安庁第5管区保安本部では、市江沖A点と江住沖B点とにおいて流速の係留観測をしている。その位置は **Fig. 2** に示されている。また、A点およびB点の係留測流系の設置状況は概略 **Fig. 3** のようになっている。

A点の海面下10m および海底上20m の流速、 u_{AU} および u_{AL} を、それぞれ流速ベクトルの時間的变化として、それぞれの時刻の基点からの流下方向へ向かう線ベクトル（毎正時）を示したものが **Fig. 7** である。ここでは、とくに、1985年6月28日6時から7月2日12時までを図示した。この図の下段には、参考までに、白浜における潮位の相対的变化もあわせて示した。全般的にみて u_{AU} および u_{AL} のいずれもNNWの流向が卓越しており、その平均流速はおよそ1m/s である。太陽と月による天文潮に対応した変動をする潮流のうち、半日周潮と日周潮とが卓越していて、白浜の潮位の変化におよそ4時間先行した変化がとらえ

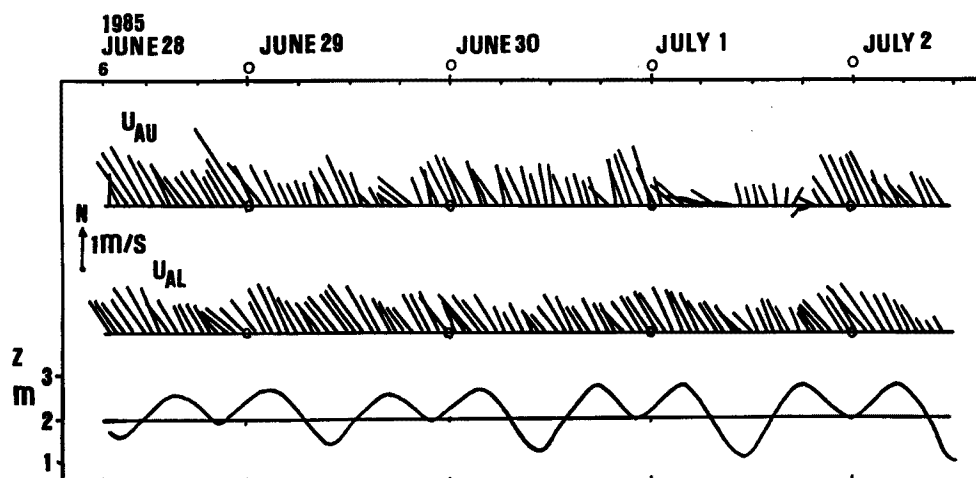


Fig. 7 Hourly variations of the current vectors U_{AU} and U_{AL} at St. A off Ichie from June 28 to July 2, 1985 (with the cautesy of the Hydrographic Office, the Maritime Safety Agency).

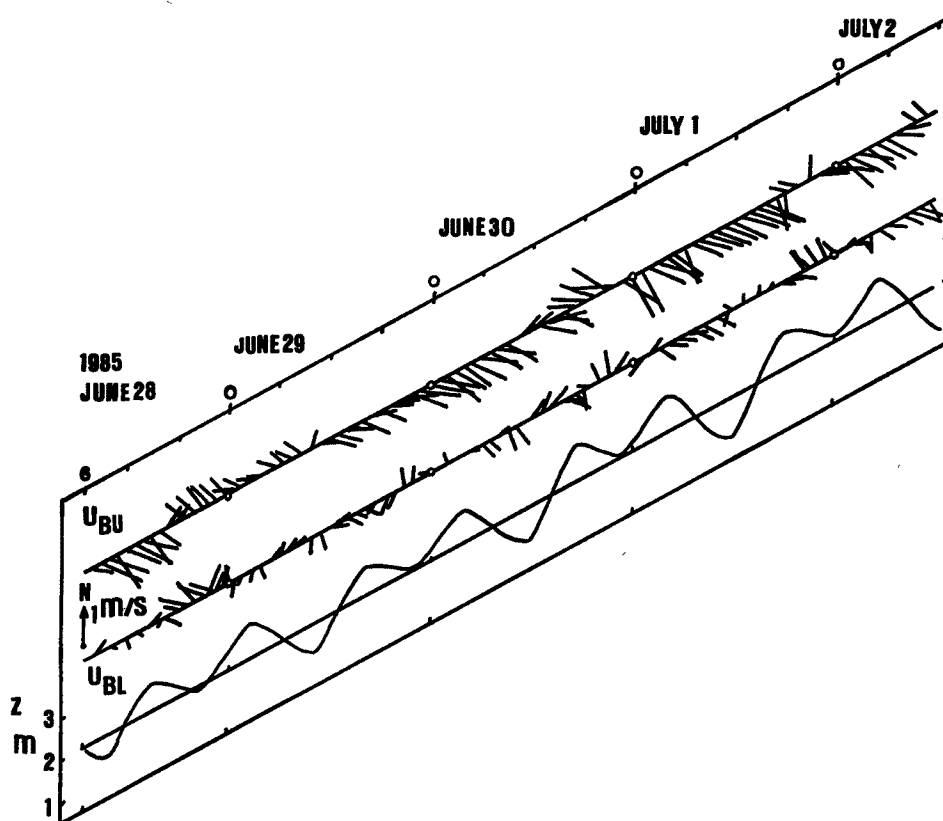


Fig. 8 Hourly variations of the current vectors U_{BU} and U_{BL} at St. B off Esumi from June 28 to July 2, 1985 (with the cautesy of the Hydrographic Office, the Maritime Safety Agency).

られている。とくに、台風通過の影響は7月1日1時から20時にかけてあらわれているようで、 u_{AU} は天文潮から予想される規則的変動から大きくずれている。この場合、台風の影響は流速 u_{AU} を減速するように作用している。6月30日18–23時の場合は加速の効果が台風接近によってみられた。しかし、海底に近い点での流速 u_{AL} では、台風の影響ははっきりしない。6月30日と7月1日との1日間の流速の時間的変化を対比してみてもあまり顕著な差はあらわれていないようにみえる。

つぎに、B点の海面下 10m および海底上 20m の流速、 u_{BU} および u_{BL} を、A点の例と同様に示したのが Fig. 8 である。流速ベクトルの時間的変化をとらえやすくするため、流速ベクトルの時間軸を斜上りにした斜交座標系を用いた。この図によれば、 u_{BU} では日周潮成分（振幅約 1m/s）が卓越しているが、平均として流向は ESE であり、平均流速は 0.2m/s 程度である。しかし、 u_{BL} については、時間的変動成分も 0.5m/s 以下であり、とくに規則的であるとはみえない。図の下段には、Fig. 7 の例と同様、白浜の潮位の時間的変動もあわせて示した。しかし、潮位の変動と u_{BU} および u_{BL} の変動との対応も規則性を示すものではない。

以上にみたようなA点およびB点の流速ベクトルの平均的傾向からみて、黒潮は、四国室戸岬南方沖通過後、紀伊半島へぶつかり、市江と江住との中間地点をよどみ点として、流れを北向きおよび東向きに変えているものとみられる。流速ベクトルの平均からみて、そのよどみ点は江住に近いものと推測するのが妥当であろう。以下に、流速ベクトル関連した問題を、さらに別の面から検討することとしたい。

5.2 流速ベクトル・トラジェクトリ

係留測流系による流速変動に関する観測結果から、流速の時間的変動の総観的特徴をとらえるために、流速ベクトルの時間的積分（時刻 t_0 から時刻 t までの積分）

$$I = \int_{t_0}^t u \, dt \dots \dots \dots (1)$$

を考える。これによって流速ベクトル・トラジェクトリが得られる。

まず、A点における u_{AU} および u_{AL} に対応した流速ベクトル・トラジェクトリを、1985年6月28日から7月2日までについてもとめると、それぞれ Fig. 9 に示されたようなものとなる。とくに、6月30日18時以降、7月1日の午後にか

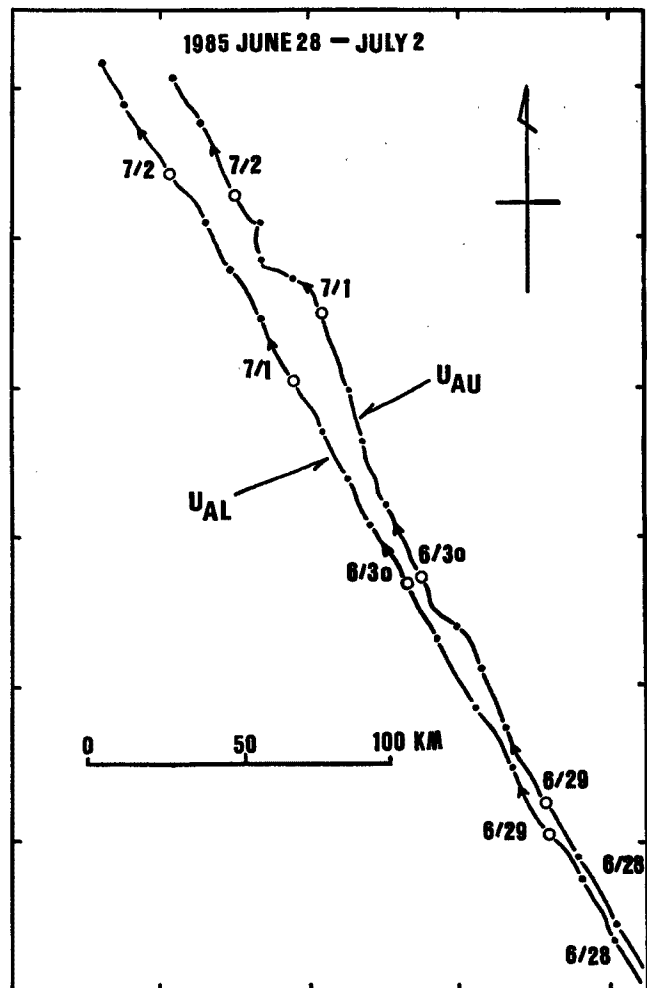


Fig. 9 Current vector trajectories of U_{AU} and U_{AL} at St. A off Ichie.

- 1) Circles and dots show the times of 0h, 6h, 12h and 18h, respectively.
- 2) Circle shows the time 0h on the corresponding day denoted just neighbor of the circle.
- 3) Date is shown as 6/30 for June 30th for example.

けの u_{AL} のトラジェクトリのパターンはその前後の日（台風の影響の強くない日）とは異なっている。これは、すでに Fig. 7 で流速ベクトルの時間的変化について検討して判明したと同じことである。また、 u_{AL} についてみても Fig. 7 で得られたと同様の特徴がとらえられ、6月30日・7月1日・7月2日のいずれも総観的には同様なトラジェクトリを示している。このことは、NNWに向かう平均流が卓越していることを示すと同時に、流速に対する海と風の影響はほとんどないことを示す。

上に示したA点の例と同様な流速ベクトル・トラジェクトリを、B点の u_{BU} および u_{BL} についてもとめると、その結果は Fig. 10 のようになる。この図からは、台風の影響として海と風の作用が、流速ベクトル・トラジェクトリにどの程度及んでいるかはっきりしない。ただ、表層から底層までの間に E-ESE の流向が卓越していて、つねに大きな鉛直流速勾配があり、海面から海底までの間に強いシアアが存在していることがわかる。

ちなみに、Figs. 9 および 10 によって、(1)の適用を u_{AU} , u_{AL} , u_{BU} , u_{BL} に対して考えると、 I_{AU} , I_{AL} , I_{BU} , I_{BL} をもとめることができ、これから、1日あたりの平均流速に対する鉛直シアアが得られる。各点について流速のデータは表層と底層とでしかないの、その間は一様に変化しているものとする、この鉛直シアアは、たとえば、Table 1 のようになる。

ここで、AおよびBの表層(AU および BU) と底層(AL および BL) の測流点の深さの差は、それぞれ

$$\Delta D_A = 0.08 \text{ km} \quad (\text{A点に対して}),$$

$$\Delta D_B = 0.07 \text{ km} \quad (\text{B点に対して}).$$

したがって、1日平均流速の鉛直勾配は、A点およびB点について、それぞれ

$$\Delta u_A / \Delta D_A = (I_{AU} - I_{AL}) / \Delta D_A \div 86400,$$

$$\Delta u_B / \Delta D_B = (I_{BU} - I_{BL}) / \Delta D_B \div 86400.$$

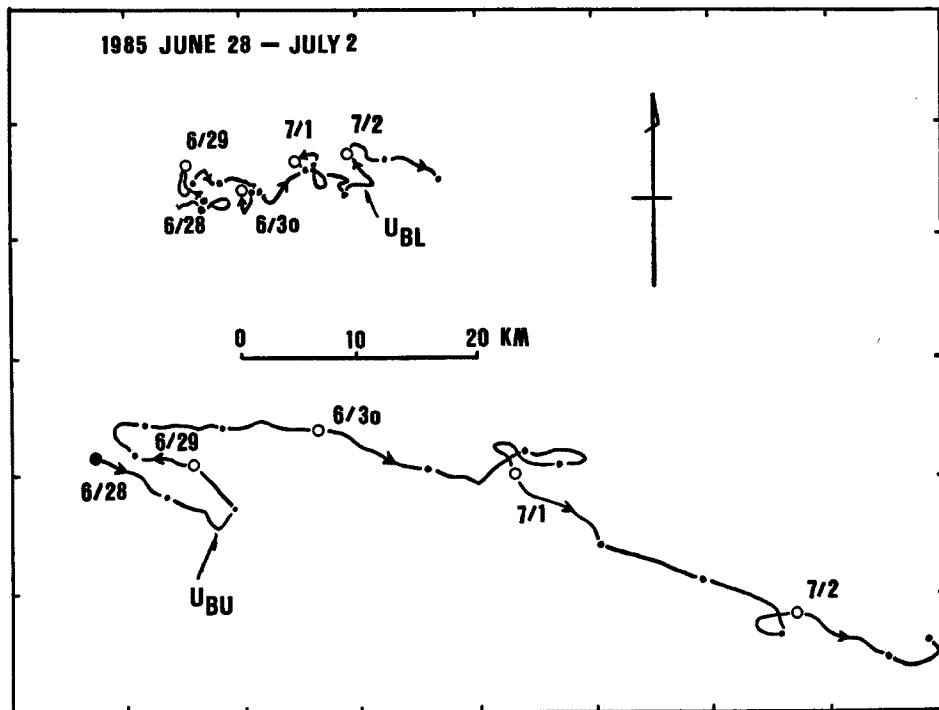


Fig. 10 Current vector trajectories of U_{BU} and U_{BL} at St. B off Esumi.

- 1) Circles and dots show the times of 0h, 6h, 12h and 18h, respectively.
- 2) Circle shows the time 0h on the corresponding day denoted just neighbor of the circle.
- 3) Date is shown as 6/30 for June 30th for example.

Table 1 Vertical shear obtained from the 24-hours-mean values of the observed horizontal currents

Date and time	St. A (off Ichie)			St. B (off Esumi)		
	$ I_{AV} \cdot I_{AL} \cdot \frac{\Delta U_A}{\Delta D_A}$	(km)	(km)	$ I_{BV} \cdot I_{BL} \cdot \frac{\Delta U_B}{\Delta D_B}$	(km)	(km)
1985 June 29 0h						
1985 June 30 0h						
1985 July 1 0h						
1985 July 2 0h						

この計算の結果は、たとえば、Table 1 に示したとおりである。これをみると、A点では、台風通過後、シアアが台風接近時に比較して約8分の1になっていることがわかる。これに対して、B点では、シアアは約2倍になっていることがわかる。このようなシアアは、海面および海底での流れに対する摩擦力と関連を考える必要があり、さらに、動力学的エネルギーの損失あるいはエネルギー授受についての問題を解くカギとして重要である。

ここでは、Table 1 に得られた結果から、A点についてもB点についても、台風の直接的・間接的影響があるかないかにかかわらず、水平流速の1日平均に対する鉛直勾配はおおよそ $10^{-3}(\text{sec}^{-1})$ のオーダーであることを記しておくことを留め、詳細の検討については、別の機会にゆづることとしたい。なお、A点について、6月29-30日の例では、下層の流速が上層の流速よりも大きいため、ここで考えた鉛直勾配はオーダーは同じでも負値である。

5.3 風成表層流

ここでは、風によって生じた表層流の推定とその結果を検討する。

はじめに、その推定に必要な表層流をもとめる便法を考え、その便法が現象論的に妥当と考えられることを、白浜海洋観測塔で記録された海と風との対比によって示す。この対比は全くすべてが風による表層流に対するものとは言えないかもしれない。海底地形の影響もあるであろう。また、ここで考慮にいれることのできなかった因子の効果もあるかもしれない。いづれにしても、ここでは、海と風によって生じた風成表層流について検討する。

一般に、大潮（天文潮）の前後2-3日の例をみれば、着目する潮位の時間的変化は、その前日によく似ていて、満潮時および干潮時が50-60分前日よりもそれぞれおそくなっているようなパターンを示す。この点に留意して、1985年6月30日および7月1日の白浜の潮位を考える。月令からみれば、7月2日が満月であるから、約10cmの潮位差は無視できるものとして全体的傾向をとらえる立場で考えることにする。白浜周辺の潮位に直接関連のある潮流の時間的変化にも同様な特徴があるものとする、その前日は、主として天文潮による流れが観測され、当日は台風による強い海上風の影響を受けた流れがとらえられていたという例も十分考えられる。そのような例のひとつとして、1985年6月30日から7月1日へかけての風成表層流をもとめることを考える。

白浜周辺の潮位に直接関連のある潮流の時間的変化にも潮位の時間的変化と同様な特徴があるものと仮定すると、つぎのような推測法が可能と考えられる。潮位について、台風通過当日とその前日との満干潮の潮位と潮時とが予報されている場合、その両者が重なるようにして予報潮位からの偏差がある程度推定できる。前日の流速ベクトルの時間的変化は主として天文潮によるものであり、当日の流速ベクトルの時間的変化に

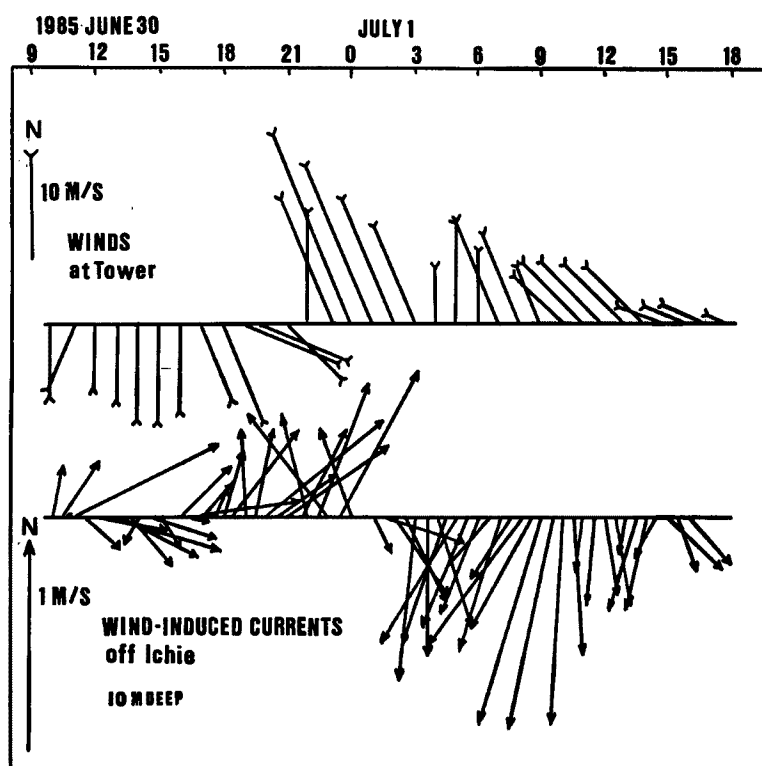


Fig. 11 Wind-induced currents at St. A off Ichie separated out of the observed currents U_{AU} and wind vectors observed at the Tower at the passage of the Typhoon 8506.

- 1) Current vector shows the direction of flow-down.
- 2) Wind vector shows the direction of the wind source.

は顕著な海上風の影響があったとした場合、潮位に対する操作をして重ねあわせて、前日の対応時刻の流速ベクトルと当日の対応時刻の流速ベクトルとの差をもとめれば、これが海上風的作用による風成表層流とみることができる。

このような考え方に立脚して、市江沖A点表層の流速ベクトル u_{AU} を解析してみよう。いま、1985年6月30日9時40分を起点として、それ以後の毎正時の流速ベクトルから、1985年6月29日8時40分を起点とし、それ以後の毎正時の流速ベクトルを引き去ることとする。このようにして得られた1985年6月30日9時以後の流速ベクトルの差は Fig. 11 の下段のようになる。台風が6月30日から7月1日にかけて紀伊半島南沖を通過したことを考えあわせると、Fig. 11 の上段に示した白浜海象観測塔の風速とその下段の流速ベクトルの差の時間的変化には共通したものがある。これは、下段の流速ベクトルの差が主として海上風的作用によって生じた風成表層流であるとみてよいことを示唆しているのではないだろうか。このような顕著な特長は、その他の u_{AL} , u_{BU} , u_{BL} ではとらえ難い。

動力学的にみて、海面での風的作用が海面下10mに及ぶには、それに必要な混合層の形成発達を考えなくてはならない (たとえば, Niiler, 1975¹⁰⁾; Jing et al., 1984¹¹⁾)。この詳細については別の機会にゆずることとする。ここでは、Fig. 11 に示すように、上述の操作によって得られた市江沖の風成表層流を白浜海洋観測塔で観測記録された風速と対比させてみることにする。A点と観測塔とは直線距離にして約17kmの距離である。海上風は半径約20km以内では一様であるとみなせることにすれば、ここで考える風速と風成表層流との間には一定の関係がみられるはずである。Fig. 11 では、観測塔の風向は6月30日S寄りの風が夕

刻SSEとなり、さらに、22時にはN、そして、23時以降はNNWの風となり、その後の平均風速は最大約20m/s（7月1日0時）に達している。これに対して、風成表層流は、6月30日、ESE流の傾向が強かったものが、夕刻よりNNE流に変化し、7月1日1時にはS寄りの流向に変じて、9時頃にはその流速は1m/s以上の値となっている。市江沖の海底地形やその他の要因も考えなくてはならないが、概略の時間的変化の特徴は十分とらえられているものとみてよいであろう。

風速最大の時刻に対して風成表層流（海面下10m）の最大は9時間程度おくられてあらわれている。海上風の作用の下で、海面下の混合層が時間とともに発達して、その層が海面下10mまで到達するためには、この場合、9時間を要したということもできるかもしれない。動力学的解析によれば、さらに詳細な力学的機構や海上風から海水の運動へのエネルギーの移行の過程が明確になるものと考えられる。これについては、機会をあらためて検討したい。

5.4 水温の変動

陸棚上のA点およびB点では、海面下10mの表層水温 T_{AU} 、 T_{BU} および底上20mの底層水温 T_{AL} 、 T_{BL} も観測記録されている。1985年6月28日から7月2日までについて、その時間的変化を図示するとFig.12のようになる。図中、表層の水温 T_{AU} および T_{BU} の変化には、一見したところ規則的変化がないようにみえるが、 T_{AU} には、数分の間に1℃以上の変動もみられる。 u_{AU} がFig.7およびFig.9でみたように、平均としてNNWの流向であることと、周辺の地形条件を考えあわせると、市江沖では日置川からの流出河川水およびその周辺の沿岸水の影響なども考えられる。これは、著者のひとり芹沢の意見ではあったが、和歌山県田辺土木事務所の調査にもとづく日置川の安居の水位およびそれから推算された流量との対応関係は認められなかった。また、 T_{BU} は、6月28日以来約24℃であったものが6月30日台風接近時に25℃に上昇し、台風通過とともに再び24℃に低下している。みなみに、白浜の潮位 z をFig.12中段に示したが、これと T_{AU} や T_{BU} との対応関係もあるようにはみえない。

つぎに、Fig.12下段に示された T_{AL} および T_{BL} をみることにしよう。 T_{AL} の平均的水温は約15℃で、 T_{BL} の平均的水温19℃との差異が目立つが、これは、 T_{AL} が海面下90mの深さであり、 T_{BL} は海面下80

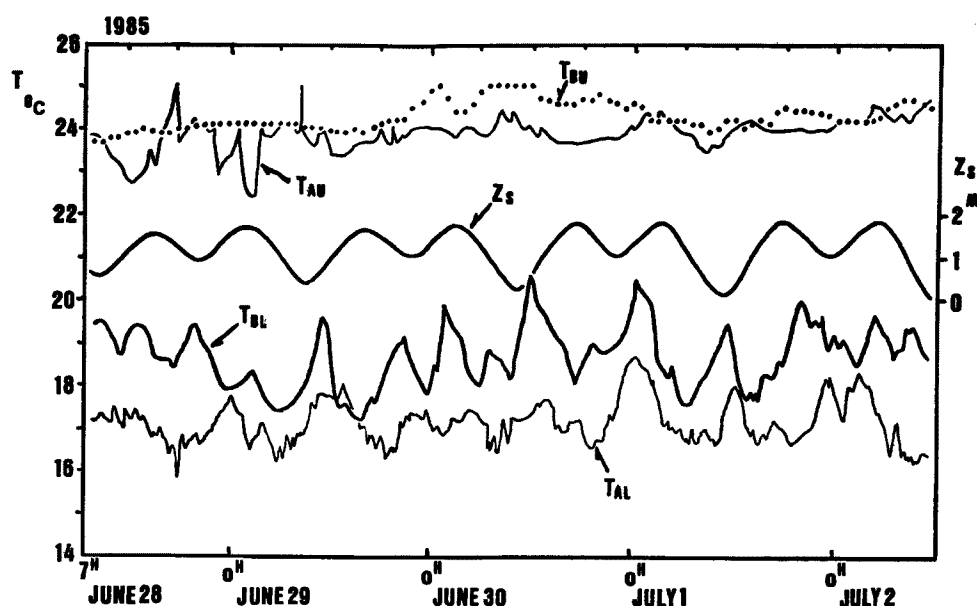


Fig. 12 Timely variations of the water temperature T_{AU} and T_{AL} at St. A off Ichie and T_{BU} and T_{BL} at St. B off Esumi (Tides at Shirahama is denoted by Z_s and shown by a smoothed curve).

mの深さであるという相違によるところが大きい。すなわち、海面付近の混合層より深くなると、水温は深さとともに低くなるという一般的傾向によるもので、水温低下の深さに対する割合は混合層のすぐ下のいわゆるサーモクライン（温度躍層）で最も大きい。

水温の変動についてみれば、 T_{AL} と T_{BL} とはほぼ位相を同じくして、全般的に、白浜の潮位の変動との対応もよいようである。大まかにみれば、干潮時に水温が高く、満潮時に水温が低い。水温の変動振幅は、 T_{AL} は T_{BL} より小さい。 T_{AL} は混合層の直下に近い位置なのであろうと推測される。 T_{BL} はサーモクラインに位置しているものと考えられる。A点およびB点の周辺の水塊は、温度成層の状態を保ちながら潮位変動に対応して昇降しているものとすれば、もちろん、それに対応して等深線も昇降する。水塊の鉛直変位約1.5mに対して T_{BL} では約2℃、 T_{AL} では1℃程度の変動を示すことになる。鉛直方向に表面から底面まで一様な勾配で水温が変化しているものとする、水温の鉛直勾配についておおよその見当をつけることができる。**Fig. 12**のみによって、底層に台風による海上風などの気象擾乱の影響があらわれているかどうかは判定しにくい。

いづれにしても、たとえば、Phillips (1966)¹²⁾が彼の著(p. 158の**Fig. 5.1**)で内部波の典型例として引用しているReid (1956)¹³⁾およびLa Fond (1962)¹⁴⁾の例によく似た水温変動の特徴をもった記録が得られたことは明らかである。ただし、A点における水温の時間的変動幅は台風通過時といえども表層 T_{AU} では顕著ではなかったけれども、底層 T_{AL} では顕著である。これは、すでに**Fig. 12**でみたとおりである。このような内部波の問題は、沿岸水の海洋物理の範囲では、現在、主要な対象とは考えられていない。これは、たとえば、Bowden (1983)¹⁵⁾の著をみればわかる。しかし、沿岸域の変動の原因が沖合にあるかぎり、内部波が沿岸域の諸現象の変動と無関係であるようには考えられない。

暴風（ハリケーン）通過にともなう海面水温の低下の問題やその問題と湧昇との関連などの検討例（たとえば、Greatbatch, 1985)¹⁶⁾などが大西洋海域の問題としてみられる。大まかにいえば、米国東岸で、200mの等深線は海岸線から沖合約1000kmにあり、海谷などの細部を考えなければ、陸棚斜面の平均勾配は5千分の1ということになる。これに対して、紀伊半島沖では、海岸線から10数キロメートル沖で水深200mとなり、陸棚に相当する部分の平均海底勾配は、およそ数十分の一程度である。しかし、北太平洋西部の日本周辺では陸棚の幅がせまいという理由のみによって、沿岸湧昇の問題が重要ではないとは考えられない。この意味では、**Fig. 12**に示された水温変動は、陸棚上の海水の運動を正確に把握し、理解するためにも、最も基礎的な問題の糸口を与えているものと考えている。

なお、最後に、1985年6月29日、観測塔の塩分計が損傷をうけ、それ以後の記録は得られなくなった。その当時は、台風接近時であったが、とくに風や波が強かったわけではなく、塩分計の老朽化による破損とされた。ところで、**Fig. 7**をみると、市江沖A点表層の u_{AL} は6月29日0時頃に約2m/sとなり、その突発的異常変化は10-20分の間にあらわれ、間もなく急速に平常の変化にもどっている。さらに、**Fig. 12**をみると、市江沖A点表層の水温 T_{AU} は6月28日には不規則で異常なとみられる昇降を示している（23-25℃の範囲）。とくに、6月29日1時過ぎには、水温は約1時間のうちに24℃から22.3℃へと低下し、低温の状態は1-2時間続いた後、3時頃に再び24℃にもどっている。これはA点を低温水塊が通過したことを示しているものと解される。その異常変動は、時間的にみて、観測塔の塩分計の損傷に先行して発生している。これは低温水塊が突如として平常の2倍の速さで北上したことを示唆していると同時に、塩分計損傷の要因のひとつであることを推測させる根拠のひとつを与えるものと考えている。この種の異常は、従来、指摘されたことも、観測されたことも、ましてや、解析されたこともなかったもので、今後の検討によって、その動力学的機構を明らかにすることが必要である。

6. 結 言

白浜海洋観測塔および周辺の海象・気象観測データおよび観測塔周辺の資料にもとづいて、台風8506号の

沿岸水および陸棚水への影響を検討した。

(1) 最初に、潮位偏差と風との関係を明らかにし、この偏差が主として台風の気圧低下による高潮で、いわゆる気象潮であることを示し、その時間的变化を南部・白浜・尾鷲について比較検討し、その最大偏差とその出現時刻などを明らかにし、沿岸に対する台風の影響の評価を与えた。

(2) また、すさみ沖および江住沖の水深約 100m の係留式測流ブイシステム（海上保安庁）による観測結果から、台風時の強風の影響が上層で顕著であるが、一方、下層では、主として半日周期の内部波の存在を示すような水温の変動が存在することを示した。この種の内部波の問題は沿岸域の水産漁業に関連した災害とも深い関連がある。

本文で利用した観測記録には、いろいろの現象や条件が関与しているため、個々の現象や条件のすべてにわたって十分な検討をすることはできなかった。この点については、別の機会に動力学的見地に立脚して検討することであろう。

また、本文のような成果が、台風による沿岸・陸棚域の高潮や流動の予測の精度を向上させるために役立つことがあれば幸である。さらに、これが海岸災害防止軽減の一助となれば、著者らの当初の目的は達成されたことになる。一方において、わが国の高潮対策はその効果を十分あげており、台風の予報の精度も高まっているとも言われている。しかし、現在なお動力学的にみて、検討されるべき問題がいまだなお残されていることを否定できない。これは単に海岸災害関連のみに限らず、防災研究の基本的な問題にもかかわることである。

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、気象庁・神戸海洋気象台・和歌山地方気象台・尾鷲測候所・海上保安庁第5海上保安本部・田辺海上保安部・和歌山県田辺土木事務所・和歌山県水産試験場・その他多数の関係機関（以上順不同）および関係者の方々の御配慮により、貴重な観測データや関連資料の利用に便宜をはかっていただいた。また、白浜海洋観測塔における観測は、芹沢重厚・片山富晴両君の助力によって得られたものである。

参 考 文 献

- 1) 国司秀明：海洋観測塔とその測器について，沿岸海洋研究ノート，Vol. 2, No. 2, 1962, pp. 35-41.
- 2) 速水頌一郎・国司秀明・西 勝也：白浜海洋観測塔の設備と二，三の観測記録について，京大防災研年報，No. 7, 1964, pp. 434-453.
- 3) 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，Lamer, Tome 20, No. 4, 1982, pp. 223-230.
- 4) 海象（流れ）観測グループ：田辺湾における流れの長期的連続観測，京大防災研年報，No. 26 B-2, 1983, pp. 637-672.
- 5) 土屋義人・吉岡 洋・棚橋輝彦・市川雅史・土子良治：超音波流速計による長期潮流観測について，第30回海岸工学講演会論文集，1983, pp. 500-504.
- 6) 国司秀明・吉岡 洋・中村重久・市川雅史・森田行司：沿岸海域の係留観測における流速計の相互比較，沿岸海洋研究ノート，Vol. 22, No. 2, 1985, pp. 165-175.
- 7) 中村重久・西 勝也・吉岡 洋・芹沢重厚：白浜海洋観測塔沖の潮流観測，京大防災研年報，No. 29 B-2, 1983, pp. 717-725.
- 8) 梶浦欣二郎：高潮について，海と空，Vol. 37, No. 3, 1961a, pp. 24-31.
- 9) 梶浦欣二郎：高潮について（続），海と空，Vol. 37, No. 4, 1961b, pp. 28-33.

- 10) Niiler, P. P.: Deepening of the Wind-Mixed Layer, Jour. Marine Res., Vol. 33, No. 3, 1975, pp. 405-422.
- 11) Jing, Z. H., J. P. Zhao and G. J. Shen: Study on deepening of the surface mixed layer, Lamer, Tome 22, Nos. 3-4, 1984, pp. 131-136.
- 12) Phillips, O. M.: The dynamics of the Upper Ocean, Cambridge, 1966, 260p.
- 13) Reid, J. L.: Observations of Internal Tides in October 1950, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 37, 1956, pp. 278-286.
- 14) La Fond, E. C.: Internal Waves, in "The Sea (ed. M. N. Hill)", Vol. 1, part 1, NY, Intersci., 1962, pp. 731-751.
- 15) Bowden, K. F.: Physical Oceanography of Coastal Waters, Elles-Horwoon Series in Marine Science, Halsten Press, NY, 1983, 302p.
- 16) Greatbatch, R. J.: On the Role Played by Upwelling of Water in Lowering Sea Surface Temperature during the Passage of a Storm, Jour. Geophys. Res., Vol. 90, No. C6, 1985, pp. 11751-11755.