

## 白浜海洋観測塔とその周辺の海象変動について

中村 重久

### OBSERVED OCEANOGRAPHIC VARIATIONS AT AND AROUND THE SHIRAHAMA OCEANOGRAPHIC TOWER

By *Shigehisa* NAKAMURA

#### Synopsis

A brief report is presented on observations of oceanographic variations at and around the Shirahama Oceanographic Tower as an offshore fixed station in the coastal zone of the Pacific. A definition of the term "anomalous tides" is defined first. Successively, a trend of the annual mean sea level is discussed to know whether seismic threat appears as lowering of the sea level. The monthly mean of the observed factors at the tower shows an annual regular variation of wind, atmospheric and water temperature, or sea level. Difference between the water and atmospheric temperatures shows that seasonal variations of possible evaporation on the sea surface and instability of stratification above the sea. As factors for helping to study causes of hazardous events, recorded solar radiation, evaporation and precipitation are also considered to know their trends. A strong wind in May is also described. Wave climate at the station is introduced to know the properties of wind waves and swells. Lastly, a remark is given about an evaluation of the observations at the offshore fixed tower station.

#### 1. 緒 言

白浜海象観測所における研究課題は“沿岸域の災害に関する基礎的観測研究”である。とくに、台風による高潮および海底地震による津波は、そのなかでも重要な課題である。

白浜海象観測所では、海洋観測塔によって、すでに約30年にわたり海象・気象の観測を実施してきた。当初、海洋観測塔は、海中固定点として、高精度の連続観測を目的として計画された。観測船による調査観測では得ることのできない台風直下の海象・気象を観測できる。人工衛星搭載機器による遠隔計測が可能な現在でもなお、人工衛星では台風直下の海象・気象の観測はできない。海洋観測塔の“防災に関する基礎的研究”における位置づけを、ここに、あらためて考える必要がある。

本文では、白浜海洋観測塔およびその周辺の海象変動観測について、観測船“しらふじ”および観測船“海象”を用いて、これまでに得られた成果の一部をとりまとめ報告する。

## 2. 異状潮位の定義

著者の研究課題として“異常潮位”の問題がある。これが災害とどのように関連しているか、その位置づけを明らかにするために、Fig. 1のような区分を考えた。これ以外にも、各人の立場により各人の分類もあるかもしれない。ただ、白浜海象観測所の地理的立地条件からみて考慮すべき要因は多くの関連分野とのかかわりで考えなくてはならない。また、いわゆる“異常潮位”の概念が不明確である現状からみて、“異常潮位”のひとつの定義をFig. 1に提示し、観測研究の意義を明らかにしようとした。ただ、Fig. 1に示したすべての要因について本文で述べるわけではない。ここでは、その一部について報告をする。

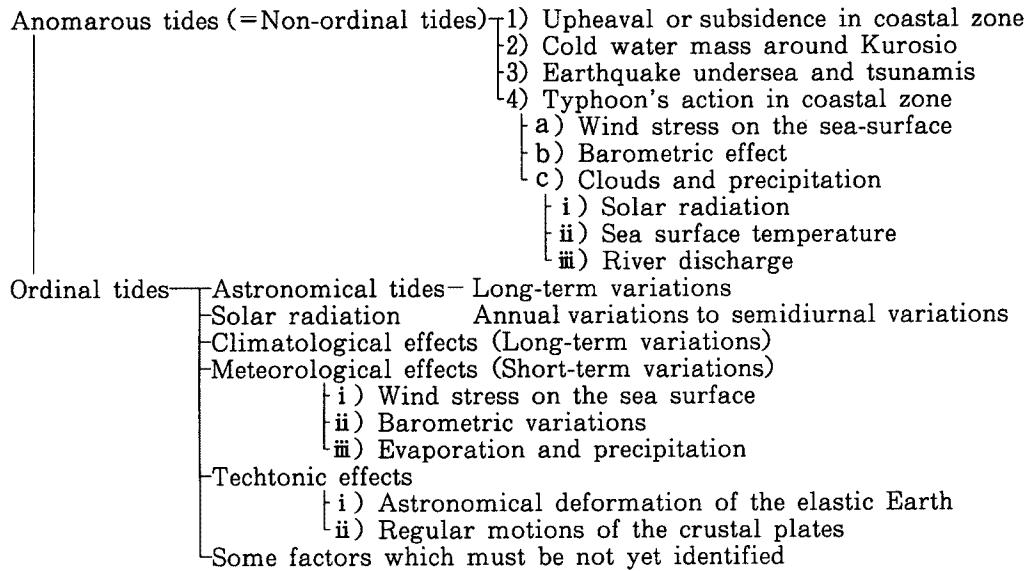


Fig. 1. A classification of anomalous tides on the coast.

## 3. 対象海域

ここで対象とする海域は、白浜海象観測塔を中心とした海域である。大阪湾・紀伊水道・太平洋と観測塔との位置関係はFig. 2に示した。図中、浦神(R)、串本(K)、観測塔(T)、観測所(H)、白浜(S)、内ノ浦(U)、和歌山(W)、神戸(E)および運輸省波浪観測ブイ(G)の位置も示した。とくに、田辺湾については、その拡大図をFig. 3のように示した。

## 4. 津波・高潮・潮汐

津波に関して、著者はこれまでいろいろの面からの検討をしてきた(たとえば、NAKAMURA, 1987)<sup>1)</sup>。また、高潮についても観測記録などにもとづく解析と検討をしてきた(たとえば、中村, 1988)<sup>2)</sup>。さらに、これらの津波や高潮のない場合の状況をとらえるために、潮汐・潮流についても基礎的研究をした(たとえば、NAKAMURA, 1987)<sup>3)</sup>。

ところで、高潮をもたらす台風が、いつ、どこに上陸するかを予測することは現在なお困難である。海底地震による津波が、いつ、どこに被害をもたらすかを予測することも容易ではない。ただ、潮汐については推算や予報が可能となっている(たとえば、小倉, 1934)<sup>4)</sup>。

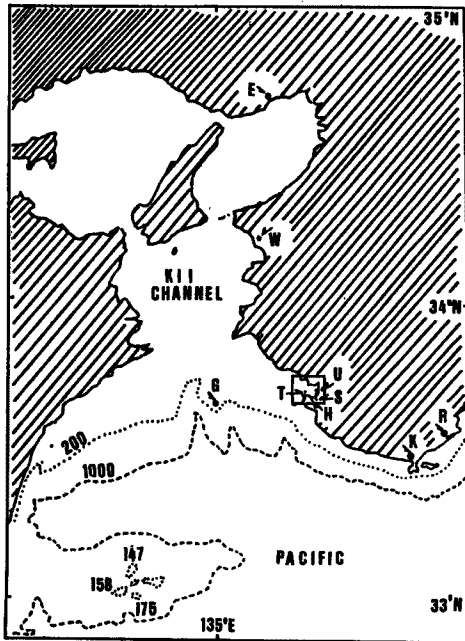


Fig. 2. Coastal and bathymetric configurations around the Shirahama Oceanographic Tower which is located in the coastal zone of the Pacific.

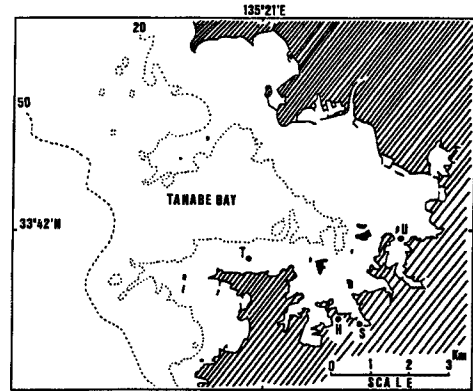


Fig. 3. Coastal and bathymetric profiles around the Shirahama Oceanographic Tower which is located in Tanabe Bay.

それでも、津波・高潮や潮汐がどのようなものを量的に把握しておくことは重要である。ここで、Table 1のように、潮位・潮位上昇速度の最大値のオーダを、津波・高潮・潮汐について示した。ここで、とくに注目すべき点は、潮位の最大値ではなくて、潮位上昇速度の最大値である。

### 5. 年平均潮位

潮位の時間的変動について、まず、年平均潮位の長期的変動を考える。ここでは、気象庁所管の検潮所、浦神、串本、白浜、和歌山、神戸における年平均潮位を Fig. 4 のように相対的潮位として示した。

年平均の操作によって、たとえば、1960年チリ津波や1934年（昭和9年）の室戸台風などの変動は消去されたかの観がある。ただ、ここで注意すべきことは、観測点における潮位上昇はその地盤に相対的なものであるということである。もしも、地盤の隆起があれば、それはみかけ上潮位低下としてとらえられるかもしれない（中村, 1988)<sup>5)</sup>。小倉（1934, とくに, p.230)<sup>4)</sup>によれば、油壺における平均水面は1900年以来徐々に上昇したが1923年9月1日の関東大地震の際に突然約1.3 m海面が下降した。また、

Table 1. Measure of variations on the coast around Shirahama as tsunamis, storm surges and tides

category	max (z)	max (dz/dt)	remarks
tsunamis	0 (10 m)	0 (10 m/s)	yet hard to predict. stochastic. duration for hours or a day.
storm surges	0 (5 m)	0 (1/s)	predictable based on the past data and recent techniques. depending on meteorological conditions
tides	0 (2 m)	0 (0.2 m/s)	predictable on the basis of astronomy for the sun, the moon the earth and the others: semidiurnal and diurnal tides, fortnightly or semimonthly tides, semiannual and annual tides, interannual tides, and etc.

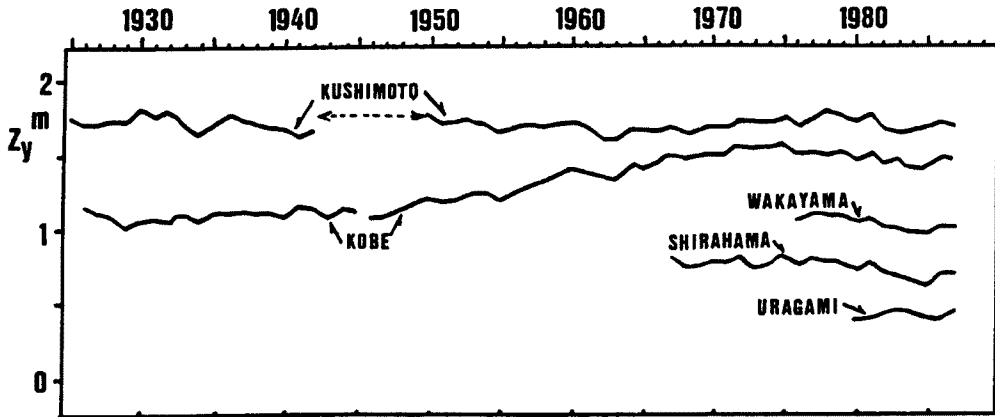


Fig. 4. Time variations of annual mean sea levels.

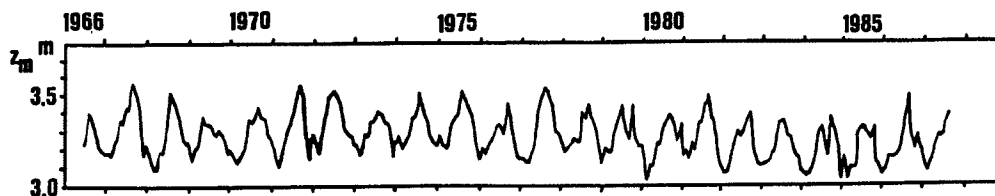


Fig. 5. Monthly mean sea level at Shirahama from 1966 to 1987.

佐々憲三 (1951, とくに, p. 43)<sup>6)</sup> によれば, 三重県松坂港の検潮記録から天文潮・気圧・海水温等の影響を差引いて土地の昇降変化をもとめている。月平均値を平滑すると地震直前直後の模様はよく解らないが, 一日平均値についてみると, 大地震時 (1944年12月7日の東南海地震時) の土地の変動が地震の起る前から既に始まっていることが解る。1946年の南海地震の折にも相似た地変があったことが, 紀伊半島南端の浦神の検潮儀による海水面変動に出ている。

このようなことから, 紀伊半島沿岸の検潮記録にみられる潮位変化は, 大地震の前兆をとらえる要因としても利用できるものとみてよいであろう。なお, 白浜における月平均潮位は, たとえば, Fig. 5 のようになる。この図では年周変化が顕著であることのほかに, いわゆる台風期に月平均潮位が高い例が含まれて1年に2回潮位が高くなることがある。ただし, 白浜の地理的立地条件から, 白浜での高潮としての潮位の偏差は外洋高潮の例に近く気圧低下の効果が大きい, 高々50 cmとみてよい。

## 6. 白浜海洋観測塔の海象の月平均値

白浜海洋観測塔の海象・気象の観測記録は, たとえば, 高潮に関連して (中村, 1988)<sup>2)</sup> 解析したり, その成果をいろいろの面から検討している。ただ, すでによく知られているように (cf. Table 1.), 太陽と月による天文潮は周期成分の合成として考えられる。ここでは, 観測塔における最近の観測記録の月平均値を時系列的にとらえ, Fig. 6 のように示した。図中, 観測塔の風速 ( $u_m$ ) 気温 ( $T_a$ ), 水温 ( $T_m$ ), 水温と気温との差 ( $\Delta T_m = T_m - T_a$ ) にあわせ気象庁所管白浜検潮所の月平均潮位 ( $Z_m$ ) も示した。

この Fig. 6 により, 風速は冬大きく夏小さいことがわかる。また, 水温はほとんど一年を通じて気温より高い。そして, この水温と気温との差は観測塔周辺の海面付近の蒸発や大気の安定度に関係がある (cf. BOWDEN, 1983)<sup>7)</sup>。

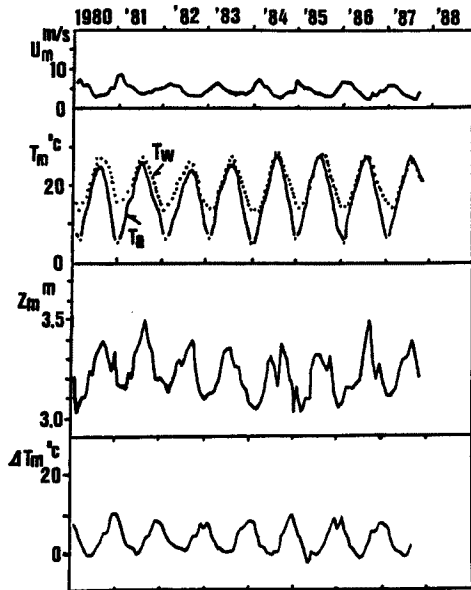


Fig. 6. Monthly mean values of wind speed, atmospheric and water temperature, difference between atmospheric and water temperature and tides.

### 7. 日射・蒸発・降雨

白浜海洋観測塔の月平均値としての気温・水温の年周変動は太陽放射熱の直接的・間接的効果によるものである。また、月平均潮位にあらわれる年周変動の一部は、太陽放射熱の作用によるものと考えられ、単に、太陽と月とが地球に作用する引力のみではない。

ここで、白浜海象観測所構内の露場で、ロビッチ自記日射計によって得た記録から、日最大日射量を Fig. 7 に示した。ここに、日射量は太陽および天空光の水平面における全天幅日射量で、波長 0.36 - 2.0 ミクロンを対称としている。この Fig. 7 は日最大値を図示したが、夏至後の日最大値は大気圏の外での値  $1.96 \text{ Cal/cm}^2/\text{min}^0$  に観測点の緯度を考慮した値と約 2% の差であった。しかし、この日には雲があったし、一見快晴のような晴天でも大気層での散乱・吸収などによると考えられる小さな値があった。これは、たとえば、人工衛星搭載の計器による記録の評価にあたって有用な資料である。

白浜海象観測所構内の露場で得られた日降雨量と日蒸発量とを Fig. 8 に示した。観測塔での記録を得たいと

考えたが現状までのところ、多くの解決すべき問題点が残っている。ところで、蒸発量と降雨量とはどのような関係にあるのであろうか。ここで Fig. 8 に示した例では、7 年間について両者ほぼ同量に近いものであった。野満によれば (1959, とくに, p.33)<sup>9)</sup>、地面蒸発計と露場蒸発計とでは、蒸発量が地面で通年約 50% であった例がある。ただし、Fig. 8 を Fig. 9 のように蒸発と降雨の積算値 (A) として図示すれば、同一の観測点でも、時期が異なれば Fig. 9 の曲線 B のような例もあるので、単純な判断によって現象の特徴をとらえたと考えてはならない。

近年、気候に関する数値シミュレーションやモデル化がみられるようになったが、問題となるところは、パラメータの導入によっている面が強いように見受けられ、パラメータの力学的意義に注意する必要がある。

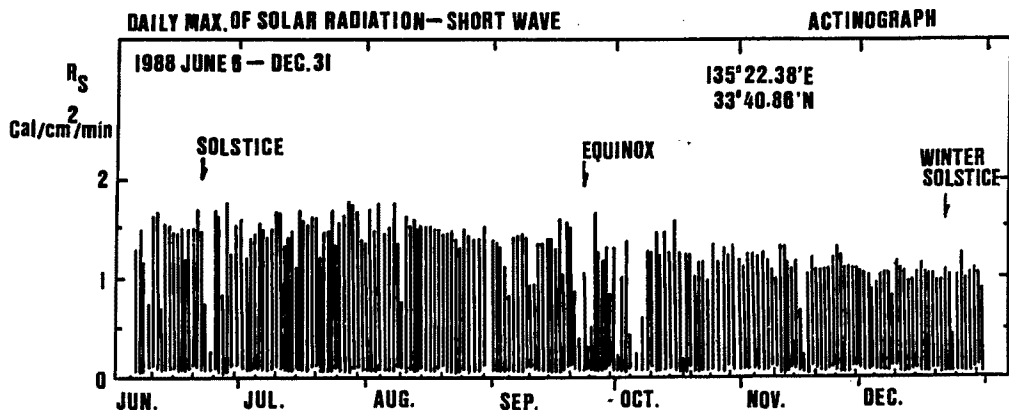


Fig. 7. Daily maximum of the solar radiation at the Shirahama Oceanographic Observatory from 1988 June 6th to December 31st.

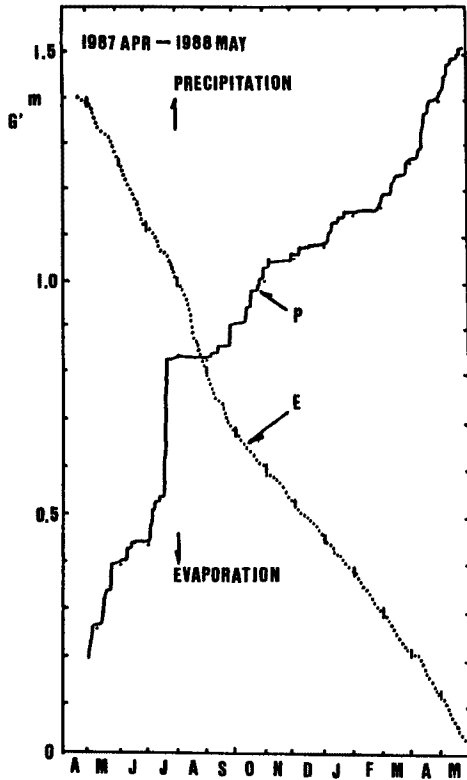


Fig. 8. Evaporation and precipitation observed at the Shirahama Oceanographic Observatory from 1987 April to 1988 May.

### 8. 白浜海洋観測塔で観測した青嵐

太陽放射は、大気に作用して風や雲をなし、海洋に作用して流れや波をもたらす。これは論理的飛躍を含んだ表現のようにも見えるが、経験的事実と矛盾していない。

ここでは、とくに、1988年5月11-12日にみられた低気圧の通過とその後の低気圧の太平洋上における発達ひき起した強風および風浪について述べる。これは、俗に“青嵐”とよばれ、一年のうち5月にみられるものである。

この青嵐を中心とした期間について、観測塔で観測記録された海象・気象の特徴を Fig. 10 に示した。図中には、風速 ( $U$ )、平均波高 ( $\bar{H}$ ) とその周期 ( $\bar{T}$ )、水温 ( $T_w$ ) と気温 ( $T_a$ ) の時間的変化を示すとともに、白浜の潮位 ( $Z$ ) もあわせて図示した。

この図の上半部は、冬の季節風の吹き出しや3月の雪台風の例とよく似たパターンであり、低気圧とそれともなう寒冷前線が観測塔を通過すると、風向が変わって風速も強まり、ほとんど風の変化に対応して平均波高とその周期も変化している。なお、この期間、水温の変動は図からもわかるようにほとんどないかわづかである。そして、気温は水温よりつねに高い。このような場合、海面付近の大気と海水とは、安定成層であるとは考え難い。不安定であれば、現象として、どのようなものがみられるか検討すべきであ

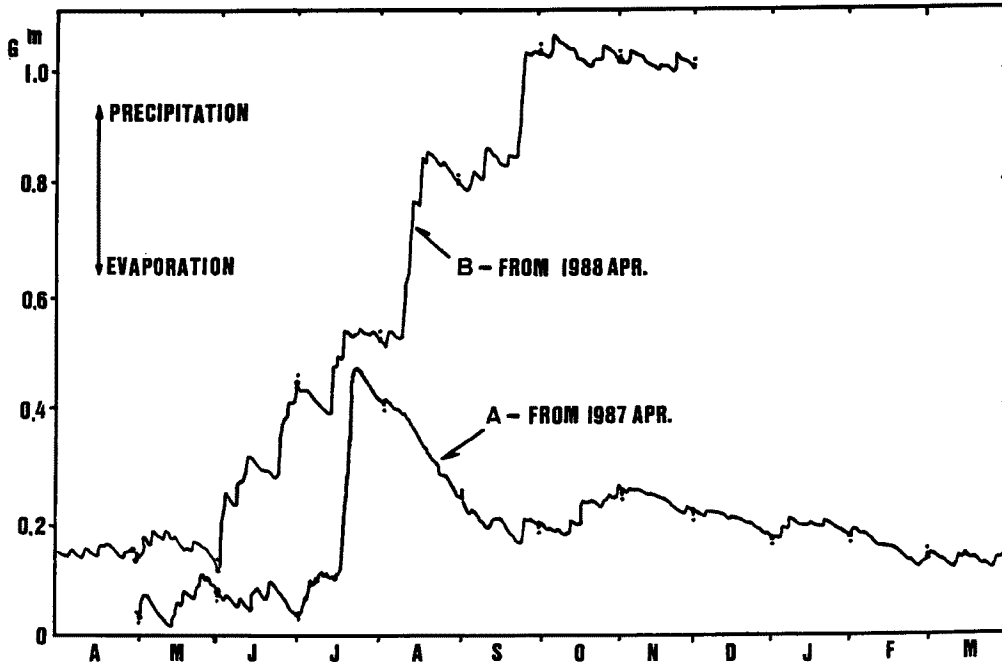


Fig. 9. A static measure of water budget as a sum of evaporation and precipitation.

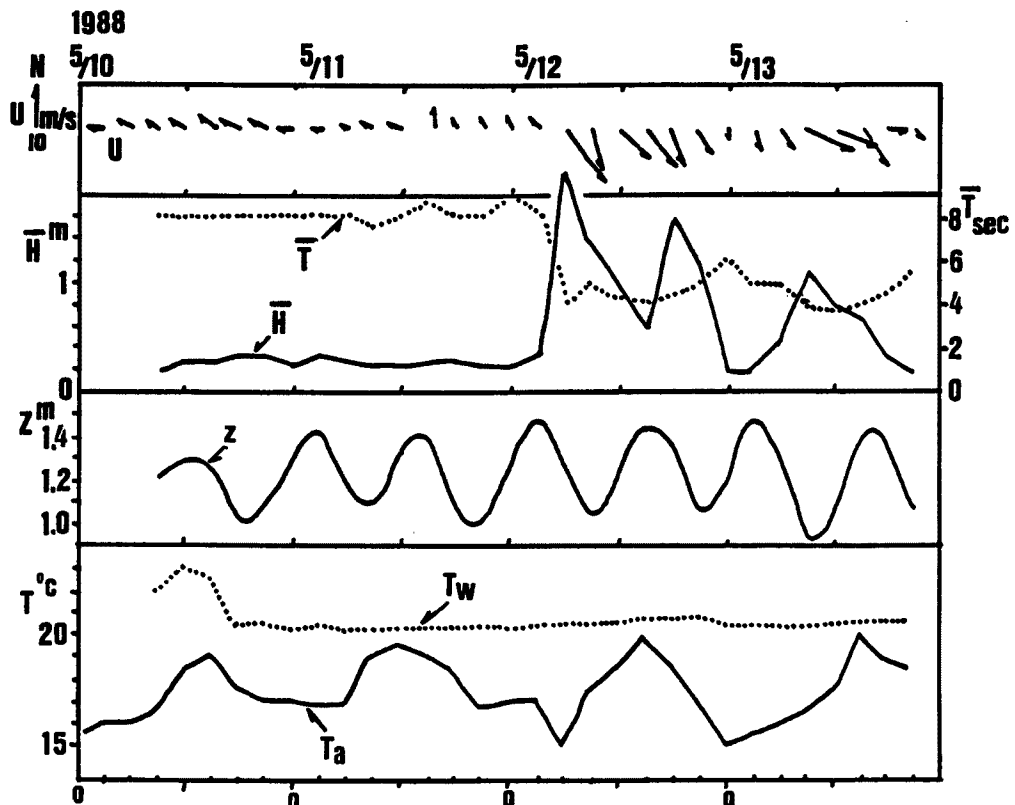


Fig. 10. A specific pattern of strong winds in May, so-called "A-oarashi". Wind vector, mean wave height and its wave period, atmospheric and water temperature, and tides.

ろう。

### 9. 波 候

大気の長期的変動を気候 (climate) とよび気象と区別することが多い。これに対応して、海洋波の長期的変動を“波候 (wave climate)” とよび波動力学とは区別することがある。この“波候”という言葉は、すでに、海洋学や海岸工学で用いられた例もあるようであるが、“波候”についての研究はごくわずかであり、その研究例も古いようであるが、波候の数値モデルや数値シミュレーションの試みはまだまだかかっていなかったようである。

ここでは、白浜海洋観測塔の観測記録にもとづき、月毎に平均波高とその周期とをもとめた結果を、1976年から1988年までについて、Table 2のように示した。月最大値は、風浪による場合とうねりの場合とある。うねりの例についてはとくに星印 (\*) を付して Fig. 11 中に示した。

これによって、風浪があらわれやすい月やうねりのあらわれやすい月をとらえられることができる。一方、年によって、風浪のあらわれる月やうねりのあらわれる月がずれることもわかる。この Table 2 では、4月から10月までの期間にうねりの平均波高の年最大値があらわれる。1年のうち3月までと11月からとは風浪の平均波高の年最大値があらわれる時期である。この点は、単純な時系列論の考え方では十分注意する必要がある。

Table 2. Monthly maximum of observed waves (wind waves and swells)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1976			158 (2.6)					136* (13.6)				
1977									143* (11.5)			189 (5.0)
1978	262 (6.1)							105* (10.2)				
1979	198 (5.6)								124* (10.3)			
1980									392* (15.1)			303 (6.7)
1981				274* (17.1)							349 (4.1)	
1982		299 (6.1)					130* (14.2)					
1983								246* (14.5)				241 (4.7)
1984	203 (6.3)									147* (14.7)		
1985	190 (4.5)					128* (10.0)						
1986	143 (4.6)						221* (12.0)					
1987		250 (5.5)								302* (11.2)		
1988	226 (3.0)					221* (13.2)						

- Remarks: 1. Wave height is shown in cm.  
 2. Wave period is shown in sec under the wave height in parences.  
 3. The mark "\*" means that the wave may be in category of so-called "swell" with wave period in the range of 10 to 20 sec.  
 4. No mark for the wave height may be in category of so-called "wind waves" with wave period in the range of 3 to 9 sec.

## 10. 白浜海洋観測塔の存在意義

白浜海洋観測塔は昭和 35 年、当時理学部教授の速水頌一郎博士によって完成され、昭和 36 年 3 月に現在の位置（平均水深 5.5 m、距岸約 300 m）に設置された。昭和 64 年（平成元年と改元）現在、約 30 年の年月を経過している。すでに老朽化してはいるが、関係者の協力のもとで、なお観測記録を継続している。

ところで、人工衛星を利用した海面水温分布の画像は、直接海面で計測した水温とかならずしも一致しないことがあちこちで指摘されるようになった。この場合、その一致しない原因をつきとめ、定量的に補正することも考えられよう。そのときには、観測塔の長期連続観測を利用しなくてはならないことになるかもしれない。

また、最近、CARTWRIGHT (1988)<sup>10)</sup> は、人工衛星 SEASAT および GEOSAT による高度計測データにもとづく海洋潮汐の研究に着手している。人工衛星による海洋潮汐観測もいつれ可能となることであろう。しかし、そのような場合でも、クロス・オーバ法による場合などにおける位置決定や海面上の大気層の電波伝播への影響など残された問題は多いようである。



一方においては、FILLowら(1988)<sup>11)</sup>のように、海底設置式圧力計で4000 m深の太平洋の潮位観測をし、係留方式潮流観測を併用して、既存の数値モデルとかなりよい一致がみられるという成果をあげている。海中の固定点の観測記録を得ることは相当に困難なことであり、その程度は陸上の観測作業とは比較にならない。

このようにみえてくると、白浜海洋観測塔で今後ひきつづき長期間にわたる海象・気象の観測を継続することは必要不可欠なことであると言える。たとえ人工衛星を利用したとしても、台風直下の海象・気象は得られない。台風直下の海象・気象が沿岸域の高潮やそれに伴う災害と関連するならば、それだけ観測塔の存在意義はある。

## 11. 結 言

以上を要するに、白浜海洋観測塔およびその周辺の海象変動観測について報告した。はじめに、異常潮位の定義についてひとつ考えを述べた。とくに、津波・高潮を潮位のみならず潮位上昇速度によって評価すべきことを指摘した。この場合、潮汐も考慮する必要がある。

長期的変動は年平均潮位によってとらえられる。浦神、串本、白浜、和歌山、神戸を対象として検討し、大地震の前兆との関連についても論及した。

白浜海洋観測塔の海象・気象の月平均値の特徴をみるため、風速・気温・水温・潮位の1980年以降の時間的変動を検討した。気温と水温との差は海面付近の蒸発や大気の安定度と関連して重要である。このような海象・気象と密接な関係にある日射・蒸発・降雨についても考察した。また、観測例の一典型として、観測塔でとらえた1988年の青嵐とその時の海象についてもその特徴を記した。海象のなかでも「波候」について述べ、風浪とうねりの差異についても考えた。

このような白浜海洋観測塔の観測成果や最近の人工衛星利用・海底設置式圧力計・係留方式測流などの技術的進歩をふまえて、白浜海洋観測塔の存在意義についても言及した。

## 謝辞

本文をとりまとめるにあたり、白浜海象観測所長土屋義人教授の御配慮に感謝の意を表す。なお、白浜海洋観測塔および観測船による調査・観測には芹沢重厚・片山富晴両氏があたった。また、気象庁所管の資料の利用に際しては、気象庁・神戸海洋気象台・和歌山地方気象台など多くの関係諸官の御配慮をいただいた。終に、構内における観測のほか本文の完成までに白浜海象観測所以外の多数の方々の御協力を得たことを記さねばならない。

## 参考文献

- 1) Nakamura, S.: A note on numerical evaluation of tsunami threats by simple hydrodynamic and stochastic models referring to historical descriptions, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 37, pt. 1, No. 322, 1987, pp. 1-18.
- 2) 中村重久: 近畿圏沿岸の高潮災害の要因としての黒潮について, 京大防災研年報, 第31号B-2, 1988, pp. 753-773.
- 3) Nakamura, S.: A numerical prediction of semidiurnal current patterns in Tanabe Bay, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 37, pt. 3, No. 326, 1987, pp. 91-105.
- 4) 小倉伸吉: 潮汐, 岩波全書 No. 37, 岩波書店, 東京, 1934, pp. 1-251.
- 5) 中村重久: 紀伊半島沿岸における年周潮  $S_a$  のスペクトルとそのサイド・ローブ, *La mer, Tome* 26, 1988, pp. 76-80.

- 6) 佐々憲三: 大地震, アテネ文庫 No. 161, 弘文堂, 東京, 1951, pp. 1-73.
- 7) Bowden, K.F.: Physical Oceanography of Coastal Waters, Halsted Press, N.Y., 1983, pp. 1-302.
- 8) 山本義一編: 気候変動 (大気環境科学 4), 東京大学出版会, 1979, pp. 1-606.
- 9) 野満隆治 (瀬野錦蔵補訂): 新河川学, 地人書館, 東京, 1959, pp. 1-318.
- 10) Cartwright, D.E.: Tidal detection from satellites, Abstracts of Internat. Conf. on Tidal Hydrodynamics, NOAA, 1988, p.37.
- 11) Filloux, J.H., A.D.Chave and D.S. Luther: Seafloor pressure and barotropic velocity fields in the northeast Pacific: Report on large spacial and temporal scale experiment BEMEX (Barotropic Electro Magnetic and Pressure Experiment), Ocean storm (sea floor pressure part) and EMSLAB, Abstracts of Internat. Conf. on Tidal Hydrodynamics, NOAA, 1988, p.12.