

田辺湾の長期波浪特性に関する研究

CHARACTERISTICS OF WAVES OBSERVED AT TANABE BAY FOR 5 YEARS

芹澤重厚¹・吉岡 洋²・高山知司³・松本昌章⁴

Shigeatsu SERIZAWA, Hiroshi YOSHIOKA, Tomotsuka TAKAYAMA and Masaaki MATSUMOTO

1 京都大学助手 防災研究所白浜海象観測所（〒649-2201 和歌山県西牟婁郡白浜町）

2 正会員 理博 京都大学助手 防災研究所海岸海域分野（〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄）

3 フェロー工博 京都大学教授 防災研究所海岸海域分野（〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄）

4 京都大学大学院 工学研究科（〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄）

We have observed waves, tide, winds and temperatures at the tower named Tanabe-Nakajima Storm Surge Observation Tower standing at the mouth of Tanabe-Bay in Wakayama Prefecture. After removing many kind of noise in the original data by a special filter, significant wave heights and periods are calculated from Dec. 1994 to Aug. 1999. Comparing between wind and wave conditions, characteristics of seasonal and yearly variations are analyzed. In winter season, wind waves are dominant and there is an upper criterion of wave height restricted from wave slope. In summer season, swell become predominant. Yearly maximum wave heights are generated by typhoons so that the yearly variation is bigger than mean seasonal one.

Key Word: Tanabe bay, Observation tower, Statistics of wave condition

1. はじめに

海岸災害のほとんどは波を伴うものである。とくに暴風時の波浪は出現確率は小さいが平常時とはけた外れの破壊力を持っているので、高波の発生確率の算定は海岸防災上もっとも必要な情報である。太平洋に面した海域では、暴風高波は主に台風によって起こされ、ときには高波は高潮を伴うことがある。

京都大学防災研究所付属白浜海象観測所では、1971年に紀伊水道に面した和歌山県の田辺湾湾口南端部に設置された白浜海洋観測塔を使用して、沿岸海象の長期観測を実施しており、とくに、台風来襲時には強風高波浪状態の異常海象を観測してきた¹⁾。その後、1993年9月に田辺湾の湾口の中心に田辺中島高潮観測塔が設置され、沿岸海上固定観測地点として、観測研究が同年12月より開始された。

観測塔設置以来、海上風・波浪・流れなど必要に応じて様々な観測が行われてきた²⁾。特に、波浪と海上風は海上固定点の特性を生かして長期高精度観測が実施されており、1999年でほぼ6年間の波浪データが蓄積された。長期間の現地波浪データは、海岸防災対策に必須の資料であり、とくに太平洋に面した緊急避難港でもある田辺湾の暴風時の波浪特性は、きわめて重要であることを考え、統計資料としてはまだ観測期間に不足な面もあるが5年を区切として波浪特性の解析を行った。

2. 目的

田辺中島高潮観測塔で観測された、1993年12月から1999年8月までの毎時20分間の波浪データから有義波高・周期および最大波高・周期を求め、風のデータと比較しながら、太平洋に面した沿岸波浪の季節変化、経年変化などを明らかにする。

3. 観測および解析方法

(1) 田辺中島高潮観測塔

田辺中島高潮観測塔は水深約30mの平坦な海底に囲まれた急峻な礁の上（水深10m）に設置されているので、海上風、潮流、風波がほとんど地形の影響を受けずに塔に達する。塔本体には気温、露点などの気象測器や、潮位、水温、塩分などの海洋測器が取り付けられるが、風、波および流れは塔から離して計測する必要がある。そこで海上風の計測用に塔から5m離して海上風観測柱が、また標識灯檣の上に観測用マストが取り付けられ、そこで風が計測される。波は通常は塔本体から4m離れたテラスで計測しているが、同時に、波や流れの計測は塔から30mはなれた海底に設置した測器で行い、信号を塔の計測室に取り込んでいる。

観測塔は図-1（写真-1）に示すように、鋼製で、直径2mの鋼管に支えられた観測室とその屋上の太陽電池パネルおよび観測檣を兼用した標識灯、観測用支柱から構成され、観測室床面下の鋼管内には蓄電池室（12V, 6000AH）が設けられている。観測塔の基部は水深10mの礁の頂上にあり、そこから観測塔最頂部（海面上23m）まで33mの高さがある。観測室は平均海面上12.5mの高さにあり、発電室および計測室に分かれている。塔の設計波浪は波高14.8m、周期15sであり、これは紀伊水道沿岸海域での再現期間約百年の波浪に相当している。

観測用電力は、通常時には太陽電池によってDC12V,200Wが供給され、これによりルーチン観測が維持される。高潮等の集中観測時には多くの計器を配置してより大電力を必要とするので発電機（AC100V,3.5KW）が設置されており、3日間の連続稼動が可能である。観測塔と白浜海象観測所本館とはテレメーター（400Hz,4800/1200bps）によって交信し、通常は観測所から観測塔の設備のモニタリングや観測データの取り込みを行い、集中観測時には発電機や計測装置の稼動停止を遠隔操作する。

観測塔では通常観測として、気温、露天温度、平均風向、平均風速、潮位、波高、水温を計測している。また超音波風速計が海面上20mの高さに設置され、海上風の乱れを通年にわたって計測している。

表-1 観測塔で使用してきた波高計

機種名	計測可能距離	取付け場所
空中発射式超音波波高計 ケネック社製	10m	海面上7m
KAIJO社製	15m	海面上8m
水中発射式超音波波高計 KAIJO社製	50m	水深10m
水晶発振型圧力式水位計 明星電機社製		水深5m

（2）波浪観測方法

波の観測は表-1に示す機種で行われてきた。

通常の波高観測には、維持作業が容易な空中発射式超音波波高計が使用されている。観測塔設置当初から使われてきたのは、ケネック社製品で計測可能距離が10mである。田辺湾では潮位差が2m以上あり、台風の直撃を受ければ10mの波がきてもおかしくない。千潮時に10mの波がきたとき、波の谷まで計測でき、満潮時に10mの波がきたとき波をかぶらないためには、最低12m、現実的には15mの到達距離が必要である。当初平均海面上7mに設置された波高計は、台風直撃時には波または波しぶきを受けて損傷してしまった。1994年にKAIJO社製空中発射式超音波波高計が試作され、その性能テストを観測塔で行った（写真-2）。観測精度はケネック社製品

と同等でありながら、計測可能距離が15mであるところが本塔での使用に適していたので、テスト終了後1998年からは、塔の通常波高観測機種はこれに切り替えられ、平均海面上8mの高さで、塔の壁から5m離して計測している。

海底設置型超音波波高計はセンサーの設置回収にダイバーが必要なので、白浜海象観測所が特別観測を実施するときだけ設置されてきた。1997年以来、夏季（7-9月）には、高潮および海面境界過程の集中観測が実施され³⁾、海底設置式波高計の記録が得られている。碎波による気泡が大量に発生したとき（すなわち暴風時）には計測不能になる欠点がある。

圧力式水位計にはハイドローリックフィルターがかかっているのみならず、塔の壁に密着して波の陰に取り付けてあるため、波形が崩れているので、測定精度に問題がある。他の機種がすべて損傷を受けた場合にのみ波高推定に用いられている。

いずれの機種も計測時は毎時に20分間、10Hzのサンプリングで記録がとられて、テレメーターで4km離れた白浜海象観測所に送られ、バイナリーデータの形でMOディスクに保存されている。

（3）解析方法

データ解析は以下の手続きで行われた。

- 1) バイナリーデータに記録されている電圧値から物理量のテキストデータに変換する。
- 2) ノイズを取り除く。
- 3) 平均波高・周期、有義波高・周期、1/10波高・周期、最大波高・周期などを計算する。

データにはさまざまな種類のノイズが含まれていた。計測時に拾ってしまうもの（水面以外の反射を拾っていた）、テレメーターで転送されてMOディスクに記録される間に紛れ込んだ電気信号雑音などである。通常はパルス的なノイズが多いので、異常値をその直前の正常値に置き換えたり、フーリエ変換して高周波数成分を捨てて逆変換するノイズ処理が用いられてきた。しかし、そのような簡単な方法では除去できないノイズが存在し、しかも高波時にノイズが多い傾向があるので、より有効なノイズ除去方法が必要になった。今回使用したノイズ除去プログラムは、目視でノイズを選び除去して補間する作業ができるだけ忠実に模倣したもので、以下の手続きをふまえている。

- 1) 全体（20分、12000個）の平均と標準偏差を求め、隣同士の値の差が指定しきい値（今回は標準偏差をしきい値とした）以下である状態が指定区間（今回は10個(1sec)とした）以上連続すれば正常とみなす。全て正常であれば終了する。
- 2) 異常値はそれを挟む正常値で線形補間する。
- 3) 異常値がのぞかれたデータを1に戻す。

ほとんどのノイズ入りデータも1回で除去できたが、たまに2回以上繰り返したケースもあった。

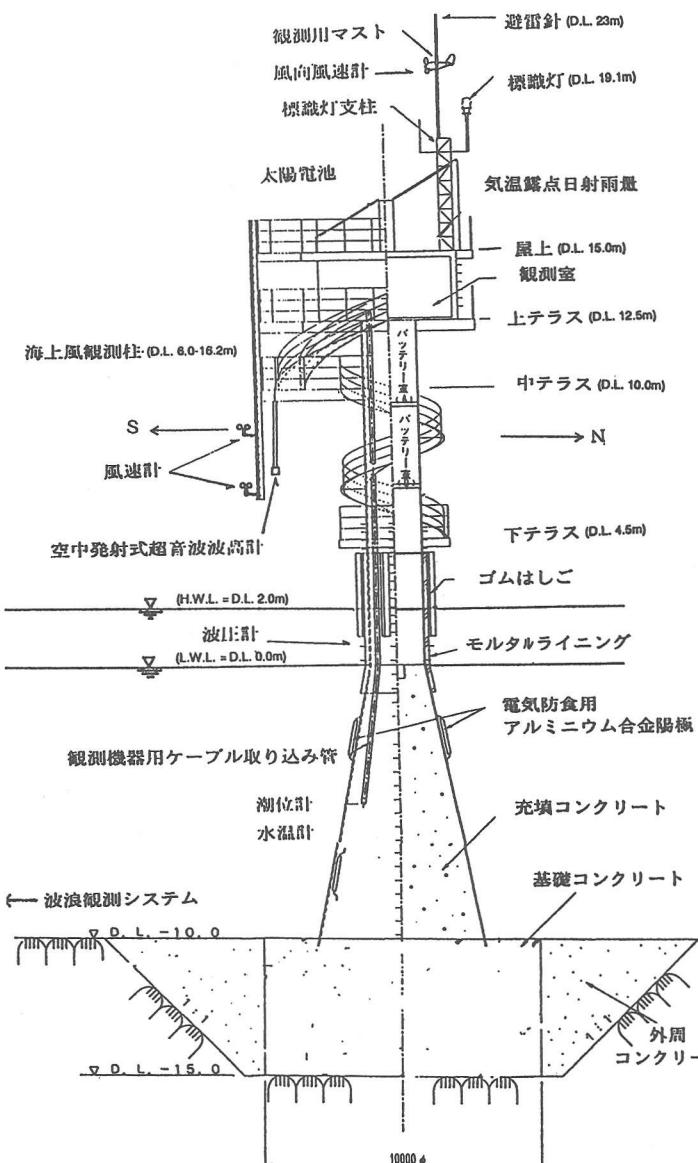


図-1 田辺中島高潮観測塔断面図

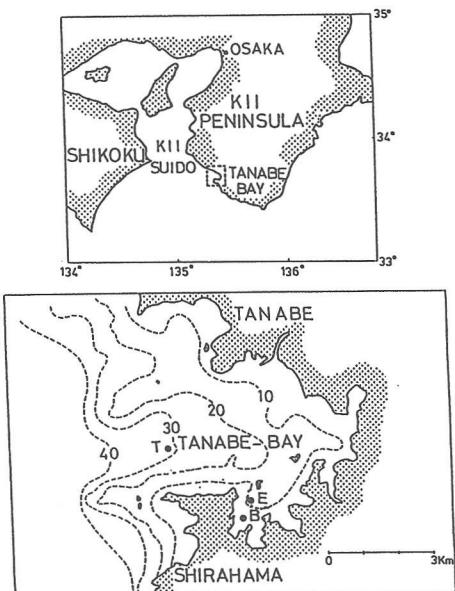


図-2 田辺湾地形図 (T : 観測塔)



写真-1 田辺中島高潮観測塔全景



写真-2 空中発射式超音波波高計

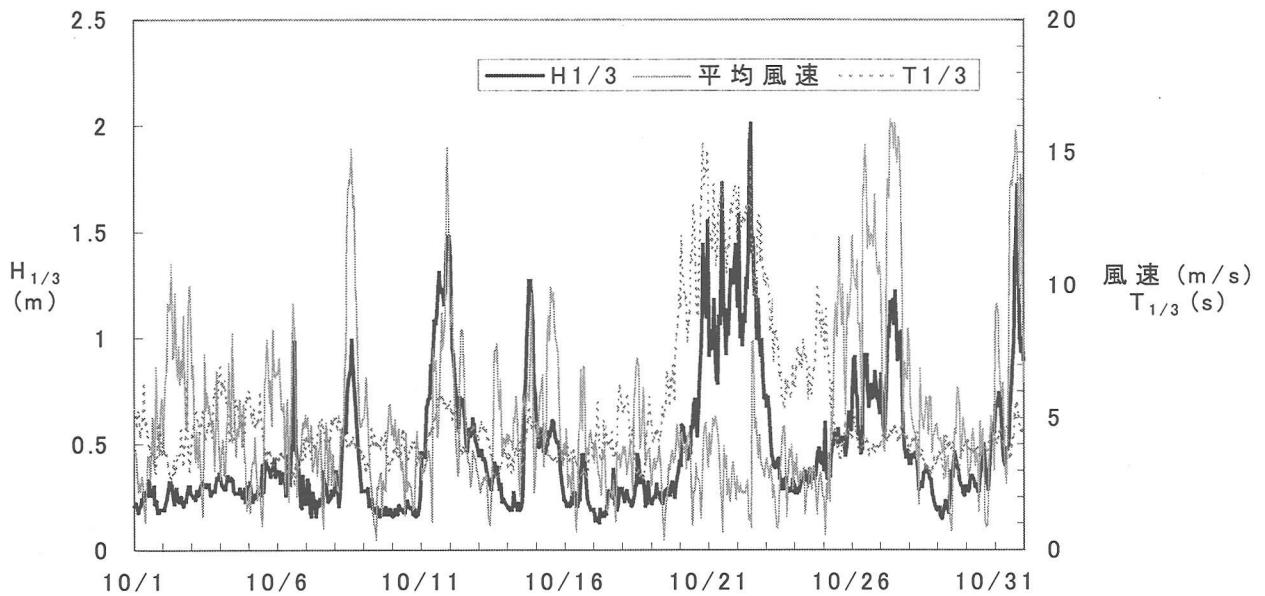


図-3 有義波高・周期および風速の経時変下(Oct.1997)

4. 考察

(1) 季節変化

通常は春夏秋冬を3-5月、6-8月、9-11月、12-2月に割り当てている。一方、田辺湾の水温が2月に最低となり、気温より約1ヶ月遅れているように、海洋環境の季節変化は気象に基づく季節変化より遅れがある。しかし波は風に関係しているので季節変化は気象のそれに近いので、本節では季節区分は通常の割り当てを用いる。

観測塔は田辺湾の入口に位置しており、東は湾奥の陸から5kmしか離れていないが、西は紀伊水道に面して対岸の四国は70kmの距離にある。田辺湾は北西から南東にのびる紀伊半島西岸の一角に位置するので北から東にかけての風は吹送距離5km足らずで陸風といつてもよい(図-2)。冬季の季節風が吹いてくる北西方向は、鳴門海峡まで吹送距離は80km程度であり、したがって有義波周期は7秒程度となる。一方、西から南西にかけて対岸距離は大きくなり、100km離れた室戸岬をすぎると100km以上の太平洋が広がっている。ただ南には2km離れて田辺湾の南端の岬およびその沖の磯島があるので、南から南東にかけての方向から来る波は回折して塔に達する。夏季には有義波周期10秒以上という波が頻繁に観測されており、太平洋からのうねりの影響を強く受けている。塔で計測されている海上風と波との対応を見ると、冬季は季節風の吹き出しとともに風波が速やかに発達して、対応がよいが、他の季節は海上風と波高との対応はよくない。具体例として、図-3に、1997年10月の波と風の対応を紹介する。10月2日に風が吹いても波が発達しないのは、風が陸風の時である。10月8日と12日および27-28日は風が吹くと波が発達するが周期は5秒程度である。このときは北西の風が吹き、風波の発達が起こった。

10月19-22日は、風はほとんど吹かないのに周期の長い波が発達したが、これは沖合を台風が通過したためである。

冬季(1-2月および12月)には5日から10日の間隔で季節風の吹き出しが起こるたびに、波高2m、周期7秒程度の風波が起こる。この時期の波高・周期の相関の両対数グラフを見ると、周期に対して周期に比例する波高に上限があるような直線的な分布が特徴的である。上限の線はほぼ勾配2の直線に平行であり、波高は周期の2乗に比例することが分かる。すなわち波形勾配の上限を表している(図-4)。

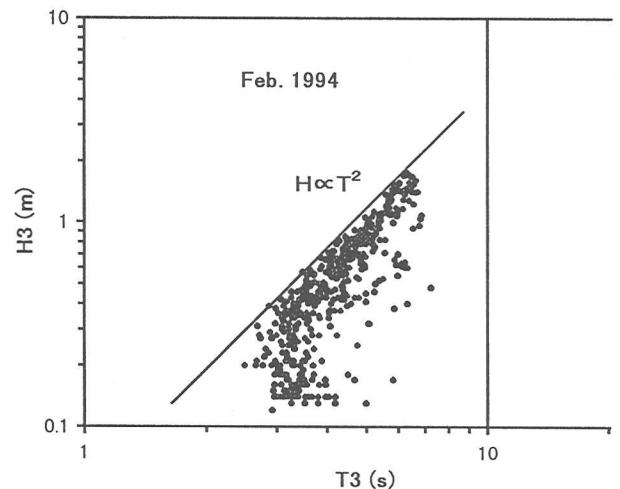


図-4 冬季有義波高と周期の関係

春季(3-5月)は冬季に比べて周期はあまり変わらないが波高が小さい。冬季に見られた波高の上限線は見られず、周期の長くて波高の小さい波(うねりと言うほど長くはない)がかなり存在し、いわゆる春の海らしい穏やかな情景をしのばせる。

夏季(6-8月)のうち6月はまだうねりも見られずむしろ春の海に近い。7月になるとうねりが卓越して、周期が10秒を越える日が珍しくない。ただ波高は台風の当たりはずれによって極端に高くなったり、非常に低くなったりと2極化の傾向にある。

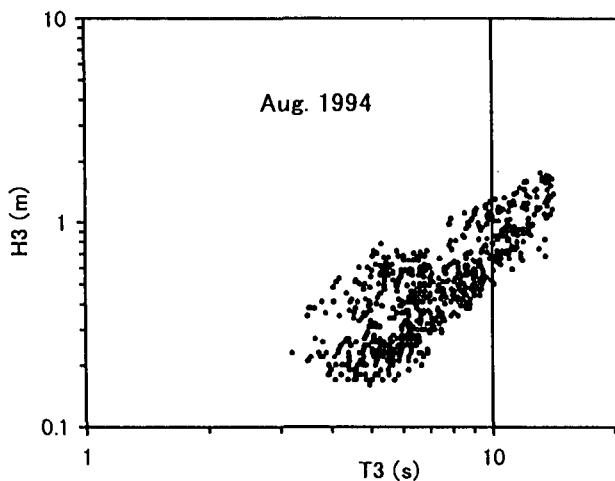


図-5 夏季有義波高と周期の関係

秋季(9-11月)のうち9月は海象状態は夏に近い。その後も台風の影響を受けてうねりが卓越する日もあって、長周期傾向が続くが、ときおり冬型の気圧配置になって北西の風が吹くと、風波が発達する。冬季以外は波と風との対応がよくないのは、風向きが関係している。

有義波および最大波の月平均をとると、図-6に示すように、波高に関してはあまり顕著な変化はないが、周期には明瞭に冬季の短周期と夏季の長周期が区別される。4月から6月にかけて波高が小さく周期もあまり長くないいわゆる穏やかな海象が特徴的である。

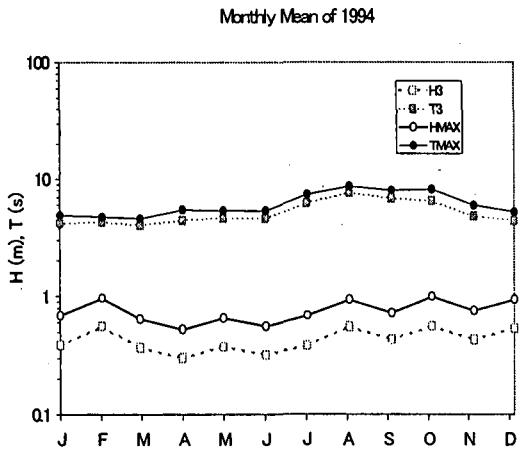


図-6 月平均有義波高周期および最大波高周期

この年の最大波高は台風の直撃を受けた9月に起ったが、台風上陸日前後以外はほとんど波がなく、月平均値では最大波高の月ではなくになっている。

(2) 経年変化

月平均有義波高を94年から99年まで並べてみると(図-7)，季節変動よりも経年的な変化の方が大きかった。これは夏季の台風の襲来の当たりはずれがその年の季節変化を大幅にかえるためであり、台風の影響のない冬季は経年変化がほとんど見られない。

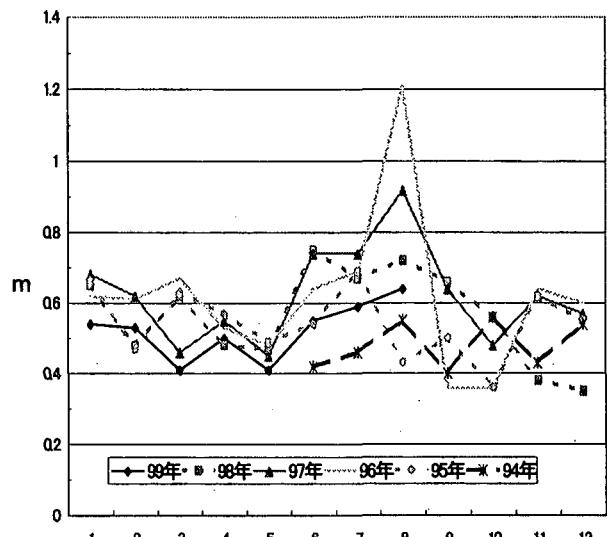


図-7 月平均有義波高の経年変化

次に月最大有義波高の経年変化を見る(図-8)と、季節変動より経年変化の方が圧倒的に大きい。夏季のそれは台風の当たりはずれによるが、冬季においてもかなり変動しており、4月と5月だけが毎年同じくらいの値を示している。

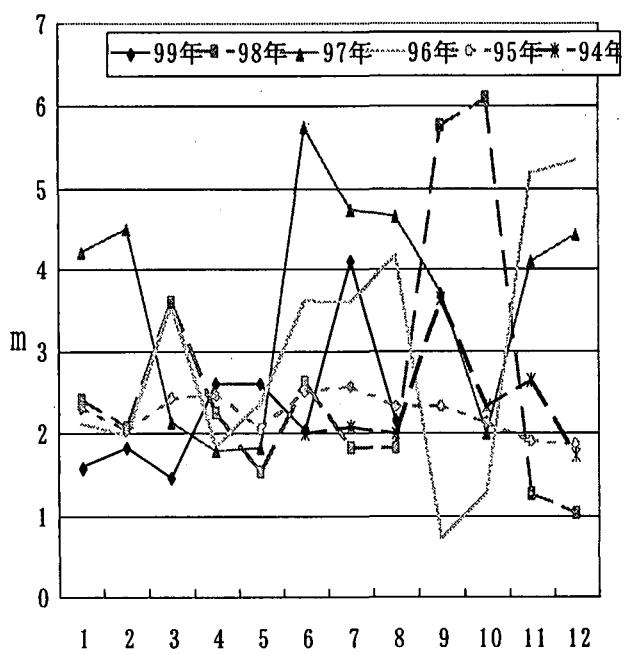


図-8 月間最大有義波高の経年変化

また月平均有義波周期の経年変動を見ると(図-9), 冬季から春期にかけては経年変化はほとんどなく(季節変化も小さいが), 夏季及び秋季に経年変化が大きい. ここにも台風の当たりはずれが影響している.

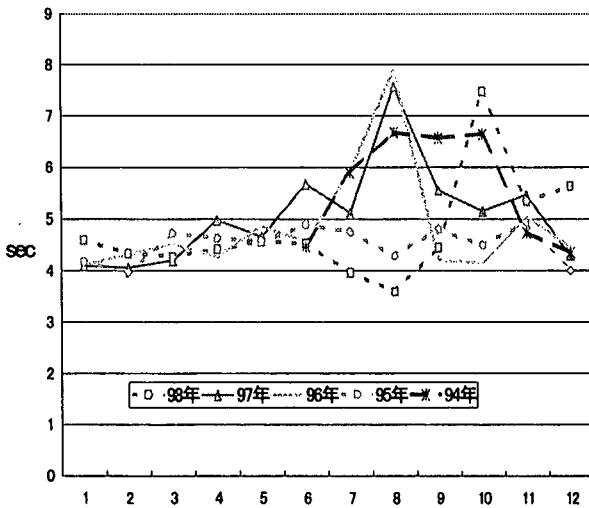


図-9 月平均有義波周期の経年変化

波浪情報とはどのくらいの高波浪が出現するかを予測することだけでなく、どのくらいの期間、波の小さい状態が続くかと言うことも、港湾作業可能条件の予測として重要である。そこで有義波高 0.5m以下の発生確率を求めたのが、図-10 である。

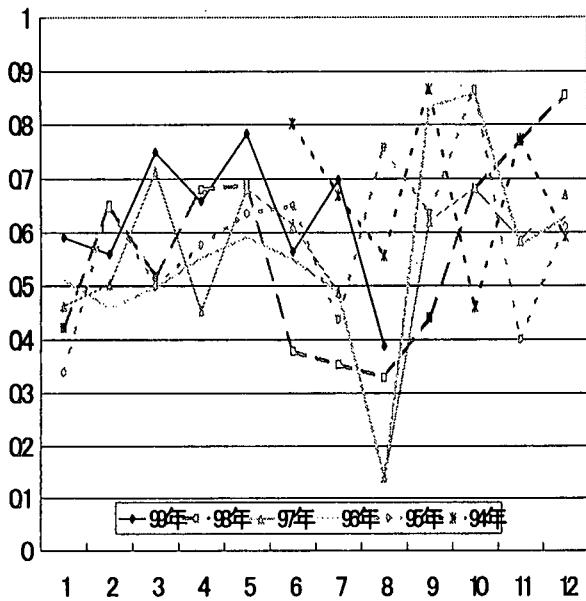


図-10 有義波高 0.5m 以下の発生確率

冬季は季節風が絶え間なく吹いて、波のない日はほとんどないが、夏季は台風がこない限り、べたなぎが期待できると思われているが、実際は季節変化はほとんどなく、経年変化が卓越しているのに意外な感じがする。夏季は8割以上波が小さい年もあれば、2割以下の年もある。後者は立て続けに台風が襲来したのである。いかに海上作業の環境がリスクを伴う予測しにくいものであるかを実感させる。

5. 結論

6年間の波浪資料を解析してみると、波の発生状況は非常に複雑で、単純な季節変化では理解できない。潮位の規則正しさは例外としても、水温や水質などは季節変化が卓越しており、1年間の記録が取れればほぼ特性を把握できるが、波浪に関してはとても1年では変化の一部しか把握できない。風では季節変化が経年変化より卓越しているのに、波浪がこのように経年変化が大きいのはなぜであろうか。ほとんどの大きな変化は台風の当たりはずれに起因しているので、太平洋に面した沿岸の波浪場はどこでもこのような非常に複雑な出現特性があると思われる。そういう意味で6年間の観測は貴重ではあるが、まだ不足の感がある。今後一層の長期観測励行が期待される。

参考文献

- 1) 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，26B2，pp. 637-672, 1983.
- 2) 吉岡 洋・中村重久・芹沢重厚・山下隆男・土屋義人：台風9426号による高潮について，京大防災研年報，38B2, PP. 545-562, 1995.
- 3) 吉岡 洋・芹沢重厚・高山知司：超音波による海面境界層の観測(風波碎波による気泡の取り込み)，海岸工学論文集，45, PP. 71-75, 1998.