

# 気象と海況に関する研究—I

## 那珂川河口の波浪とその予報 (第1報)

鬼 沢 洋 一

### I. 序

波浪予報と云えば最近では Spectrum analysis の見地から P. N. J. method が有効とされているが、此処では沿岸に於ける現地の風を予報上どの程度利用することが出来るか検討してみた。勿論沿岸波浪の状態は遙か沖合の Storm 発達状態如何によることもあり、当然沖合の fetch なり duration を考慮に入れなければ予報は難しいのであるが現地の風が、すべての場合に於ける波浪と全く無関係ではなく、時には見掛上極めて直接的に大なる影響をもつと思われる場合もあるので度外視することは出来ないと思う。尙此処では一般統計的事項は省いた。

### II. 資 料

沿岸波浪の予報手順としては先づ大洋中の各種波素を求め、次に浅海効果やその他の影響を明らかにしなければならぬ訳であるが、現在利用し得る沿岸観測データが極めて乏しく、しかも散発的でその内容もダグラスの 10 階級 (0~9) を採用しているため、当予報対称海域で利用するには実用上あら過ぎるし、ウネリの階級に於ては尙更問題にならない。(遠距離からの目測なのでやむを得ないかも知れない) 此処では比較的信頼性が高いと思われる昭和 20 年 4 月から 12 月までの 9 カ月間に於ける 264 ケ~ 271 ケ (271 は波高のみ) のデータを用いた。記録に依れば観測場所は当築港導流堤上北側 (第 1 図) 観測回数は毎日 10 時 1 回、観測方法は一定直距離の両端を通過する波頭 (wave-crest) を透視して、周期 (T)、波速 (V)、を測定し粗度 (steepness...) の変化傾向をみる目安として波長 (L) を単弦波公式から計算により求めた。又波高 (H) は目測、各波素は 10 数箇の測定値の中最大のものをとつた。(現在の観測思想とは異なる) 然し之等沿岸観測で得られたデータが大洋中のそれを如何程代表し表現しているか余り明らかでなく、又その処理上も連続記録がないため誤ちをおかしている点が多々あるものと思われる。特に波浪の発達過程に於ける吹続時間 (duration) の取り方や減衰日数の決め方にも疑問があつた。

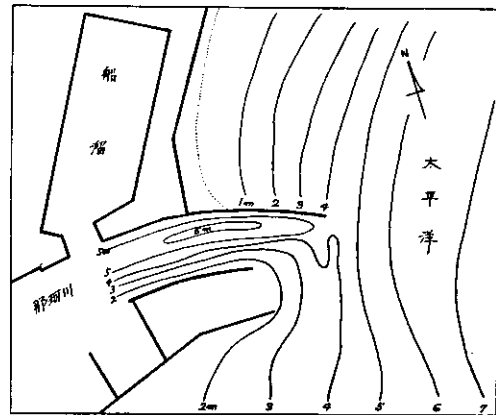
### III. 風 と 波 浪

#### 1. 波浪の発生と発達予報\*)

##### (1) Duration (D) について

沿岸の波浪は一般的に向岸風で発達し、離岸風で減衰することは周知のことであるが、当予報対称海域では第 1 図より明らかな様に NE~SE 系の風は向岸風となり NW~SW 系の風は離岸風と

\*) 現在ルーチン化している波浪予報法として第 3 図を使用する以外に P. N. method や Darbyshire のものがある。特に P. N. J. method はウネリの予報に、Darbyshire のものは 20NM. 沖合に於ける離岸風により惹起された風浪の予報に有効である。尚 20NM. 沖合とは気象業務法により決められた沿岸に於ける予報対称海域の距離的限界である。

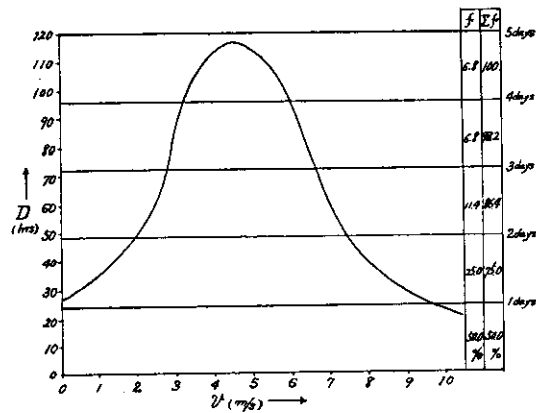


第 1 図 那珂川河口

なる。調査結果によれば河口の波浪は離岸風では決して発達したことはないが、向岸風が連吹しても減衰することもあるので注意しなければならない。(波浪を保持するための最小風速が存在することを意味する)此の点に関しては後述する。予報に利用した Parameter としての風は風速 ( $v$ ) と duration ( $D$ ) で fetch は採用しない。データ処理上 duration の決め方は問題が多く波浪の連続記録がなければ無理なこともあつたが、一応波浪の発生及び発達過程に於いて同一風系が連吹する場合は、その時間を累積し、風速は吹き始めからの平均を求めた。又前日と波高が同じで風速が増加している場合は、前日以前よりの減衰が大體前日で止まつたものと見做されるので、当日は同波高でも発生又は発達過程と考へて duration を算出した。271 ケの観測値の中発生又は発達過程にありと見做されたものは 70 ケその中 44 ケ (63%) は現地の  $v$  と duration から波高を予報可能、残り 26 ケ (37%) は不可能でその中 18 ケは予報値よりも実測値が大きく 8 ケは小さく出た。その他台風によるもの 6 ケと、顯著低気圧 1 ケはウネリの影響が大きく効いてくるので別に取扱つた。

(2) 風速  $v$  (m/s) と Duration ( $D$  (hrs)) との関係

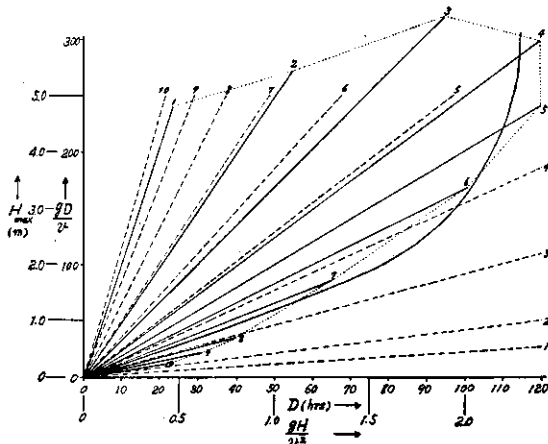
此処では波浪の発達程度を波高 ( $H$ ) によつて代表させ  $H=f(v, D)$  として考へているのであるが今迄の統計は long duration が  $v$  の一定範囲に起つてゐることを示しているので先づ  $v$  と  $D$  との関係を前述の 44 ケのデータをを用いプロットしてみた。(第 2 図) そしてその限界とおぼしきものを目分量で書き右端に  $D$  が 24 時間毎の頻度 ( $f$ ) とその累積頻度 ( $\Sigma f$ ) を % で示しておいた。之によればやはり  $v$  が 4~5m/s の処に duration の max (約 120 時間) が出ており、このことは予報図作成の上重要な事である。



第 2 図

(3) 風速 ( $v$ ), duration ( $D$ ) と波高 ( $H$ ) との関係

次に (2) と同様先づ  $H \sim D$  の関係をプロットすれば  $H = \int_0^x e^{-\frac{2.2}{k}x} dx + k$  と云う積分函数で表わされる様である。(図略) 此処で  $H$  は 5.0m を 1.0,  $x$  は  $D=120^h$  の時を 1.0 とし  $k$  は目分量で入れてみたが勿論  $H$  の実測値が目測なのでオーダーとしてはこれ位で適當ではないかと思う。然しこれでは  $v$  の影響は余り判然とせず特に 1 日以下の short duration の場合や低風速 ( $v < 2.0$  m/s) に於ける hydro dynamically smooth の状態については色々研究を要する問題が残つている。図表中プロットされた点のばらつきは相当 rough で同一 duration 対して  $H$  の差が 1 m 位あるが画かれた curve は  $v$  が 4.0~5.0m/s として使用すれば大方の目安はつく様である。次に  $v$  の影響を更に明らかにさせるため  $v$  と  $D$  を含めた無次元函数  $\frac{gD}{v}$  と  $\frac{gH}{v^2}$  を導入してみた。そして之等の函数関係より  $v$  と  $D$  を Parameter として  $H$  を求める予報図を作成し現業に使用しているので之を第 3 図に示した。



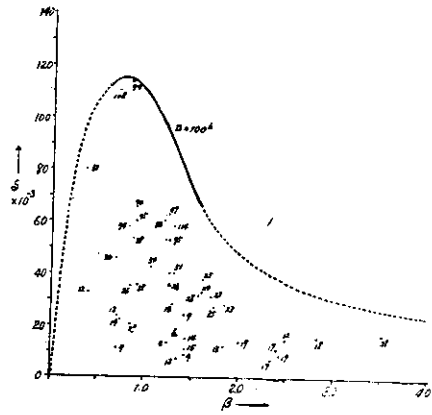
第 3 図

第 3 図に示した。

(4) 波令 ( $\beta$ ) と岨度 ( $\delta$ ) との関係

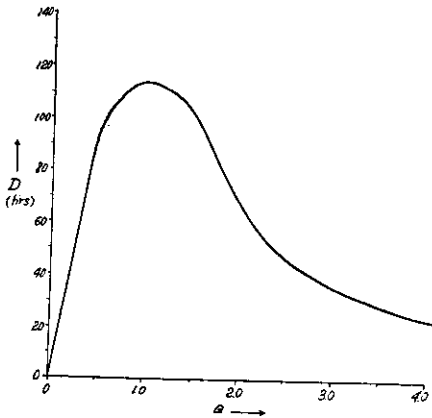
$\beta$  は  $\beta = \frac{V}{v}$ , ( $V$  は波速,  $v$  は風速) で与えられ  $\delta$

との間に  $\delta = f(\beta)$  の関係のあることはすでに Krümmel によつて示唆され、又 Sverdrup, Munk 等は兩者の間々に一定の関係を見出したが、その物理的意義は明らかではない。之等に依れば  $\delta$  が  $\beta$  によつてのみ与えられ fetch や duration を必要としない利点があるといつているが少々疑問がある。そこで前述の 44 例を用いて  $\delta$  と  $\beta$  との関係をプロットしたのが第 4 図であり、之をみると Dr. H. U. Roll 著 菱田耕造訳註の“海の波” p. 59 中の第 5 図や石原藤次郎編“応用水理学Ⅱ” p. 509 中の 2.9.33 図と較べて点のばらつきが大きく、即ち  $\delta$  の小さい程  $\beta$  の拡がりが大きくなっており、兩者の間に特定の関係を一義的に仮定することは出来ない様である。(もつとも前者では深海波のみを取扱い young sea を除いており又変化過程は考慮していない) 従つて  $\delta = f(\beta)$  は  $\delta = f(\beta, D)$  として取扱つた方が明確である様に思われる。但し此処で注意しなければならないことは  $\beta$  と  $D$  との間にも函数関係があり、 $\beta$  の一定値に対して  $D$  の max が



第 4 図

でていることである。之を第 5 図に示す。画かれた curve は各  $\beta$  に対する  $D$  の限界を仮定して日分量で引いたものであるが、これより一応 short duration では出現する



第 5 図

範囲は広く duration が長くなる程  $\beta$  は一定値に近づくことがわかる。従つて第 4 図中に  $D$  に対応する curve を求めるとすれば  $\beta$  の範囲を明らかにさせなければならないわけで Sverdrup や Munk の様に一義的な curve を求めることは無理な様である。このことについては今後更に検討したい。

(5) 予報上の制約について

現地風のみの利用する予報はその方法上かなりの制約があることは自ら明らかなことであるが如何なる場合に予報可能か不可能か之等について天気図上の pattern を極東印刷天気図及び同ミニアチャー天気図からその原因を推定し調べてみた。東経 150 度以東の洋上に於ける気象については明らかでなく不確なことも多いが一応の目安は掴み得た様である。

(a)  $H$  を予報可能な場合の pattern

第 1 表

月	pattern
4	1. 本州を日本海側から太平洋側へ移動するトラフに伴う前線通過の場合 2. 千島方面の高気圧からの NE 風の連吹依る場合(本州南岸又は関東南部に前線又は低気圧がある)
5	1. 4 の 1 と同じ 2. 本州附近又は本州上を低気圧が通過する場合

6	1. 5の2と同じ
7	1. 5の2と同じ
8	1. 台風が東支那海にあり高気圧が三陸沖にあつてNE~SE風が連吹する場合 2. 上記と大体同様であるが四国の南にあつて北上している場合
9	1. 4の1と同じ 2. 4の2と同じ (観測例2回あり)
10	1. 4の1と同じ 2. 5の2と同じ 3. 比較的大きな移動性高気圧の中心が日本海中部から奥羽地方に移動し、その南側の気圧傾度が稍急となりNNE~NE風が連吹する場合
11	1. 4の1と同じ 2. 4の2と大体同じ
12	1. 4の1と同じ

(b) H を予報不可能な場合の pattern

$b_1$ ……予報値<実測値の場合

第2表

月	pattern
4	日本海に顕著なトラフがあり現地の風がS~SWになつている場合 (然しこの風だけにこだわらず天気図上より少し沖合の風に注目すればSE風の連吹があるので予報可能と思われる)
5	日本海よりトラフが本邦を通過しその後高気圧におおわれたが、通過したトラフが東方洋上で深まつた場合
6	1. 本州は南方の高気圧におおわれてはいるが、前々日以来関東東方沖にあつた低気圧が発達しながら東進している場合 2. 気圧配置は典型的梅雨型であり数日前まで波高は当日と同程度であつたが、前日は梅雨前線がN24度位まで南下したせいか波高は減少しており、当日は千島高気圧の当地方近海に於ける気圧傾度が前日に較べ緩かでも波高は2倍以上増加した。この原因は不明
9	オホーツク海低気圧よりSWにのびる前線が房総沿岸を経て四国沖に小さな低気圧をつくつている、関東以北は満州よりSEに張出した高気圧におおわれ気圧傾度緩かで沿岸の風は地形効果をうけて duration のとり方が不正確になる場合 (少な目に見易い)
10	1. 本邦は青森県附近に中心をもつ大きな移動性高気圧におおわれ穏やかで数日前から波高は減衰過程にあり、前日はその低極が現われているので原因不明 2. 日本海よりトラフが本邦を通過、その後黄海方面より高気圧が張出し短時間NE風吹くも前日の海上に於けるSE風 (沿岸ではS風になつていた) を duration に加味していないため之を少く見積つてしまつた場合。 3. 上記の1と同じ (当日の波高は前日の3倍で1.5mに達した)
11	1. 10の1と同じ……遙か沖合で低気圧が発達したらしいが、その割には波高の減衰過程に於いて1日(1回)だけ波高が増加している。原因不明……3回観測例あり。 2. 前日沖繩附近にあつた小さな低気圧が急速に発達して当日は関東南部にあり、その後三陸沖に進んだが、発達の急なためと、等圧線走向の変化により、沿岸に於ける向岸風としての duration が短かかつた為と思われる。 3. 三陸沖に低気圧があり、本州は満州南部に中心をもつ高気圧におおわれ離岸風が多く吹統する気圧配置であるのに低気圧の北側の等圧線走向はNE↔SWとなつているため当沿岸の波浪発達のための有力な fetch を形成している場合。

12	1. 本州は華北方面から張出して来た高気圧におおわれ始めたが北海道東方の低気圧からSWにのびる寒冷前線が房総東方を走っている場合。
	2. 上記の1に同じ
	3. 11の3と大体同じ
	4. 上記の1及び11の3に同じ

$b_2$ ……予報値>実測の場合

第3表

月	pattern
5	前後の日の波高は当日のそれに較べて稍高い(前日は1.0m 翌日は0.5m 高い)が前日より当日にかけて二ツ玉低気圧の間に入り気圧傾度が割合緩やかな為と推定される場合(当日は日本海側の低気圧が太平洋側に出て発達したので翌日の波高が増加した)
6	関東通るか東方洋上(約 E150度)に低気圧があり、発達しつつあるが、沿岸附近の気圧傾度緩く弱い離岸風がある場合。
7	1. 低気圧が朝鮮中部と揚子江下流にあり、高気圧が関東東方沖とフィリピン東方海上にある。前者の低気圧よりSEにのびる温暖前線は之等両高気圧の間を通る。この為当沿岸はSE~Eよりの風が吹いているが関東沖の高気圧の中心が本州に近く、fetchが短いためと思われる場合。 2. 気圧配置は梅雨型で、朝鮮にあつた低気圧が発達しながら本州上を東進し、その後もオホーツク海高気圧よりNE風が吹続しているにも拘わらず波高がその割に増加しない。原因不明
9	1. 銚子東方近海に小さな低気圧が停滞気味で全く発達せず周囲の気圧傾度の緩やかな場合。 2. durationが切れているにも拘わらず連続しているものと見做して過大に見積つた場合(之は波高も波速も小さい場合なので余り問題ではないが、波高の連続記録が利用出来れば判然とする。)
10	9の2と同じ。

上記の(b)について若干の興味ある事柄を得た。即ち  $b_1$  については、この場合前日の観測に較べて  $T, V$  共に大(特に11月);  $T$  大,  $V$  小(11月を除く他の月)となる傾向があり、何れの場合にも  $T$  が大きく出ている。同様に  $b_2$  についてみれば  $T$  小  $V$  大又は同という結果が得られた。之等の有意性を  $\chi^2$  定検してみたが  $b_1$  については  $\alpha < 0.001$ ,  $b_2$  については  $\alpha < 0.01$  で共に有意であつた。これは予報の parameter として沿岸現地の  $v, D$  のみを用いたので当然の結果であると思う。

## 2. 波浪の減衰と消滅の予報

波浪の減衰についてはその発生及び発達過程と同様まだ不明な点が多々ある。例えば向岸風の duration がいくら長くなつても  $v$  が減少すれば  $H$  は減衰時には少例ではあるが  $v$  が増加しているにも拘わらず減衰することもある。

又低気圧や前線等の浪源の通過直後離岸風が卓越すれば、かなり発達した波浪も1日以内に急速に消滅してしまうこともあるので減衰の formation を単に風とだけ関係つけて決めることは困難である。従つて此処では経験的に知られている  $t_D = f(H)$  の関係から検討してみることにした。(大体  $H \leq 1.0m$  のものをこの様に取扱うことは無理な様である) 之は現在の段階ではより実用的の様に思われる。尙減衰の最終日は  $H = 0$  をもつて決めることは必ずしも出来ないので各減衰過程に於ける  $H$  の minimum の日をえらんだ。

### (1) 資料

低気圧又は前線により発達した波浪の減衰例 35 例(その中発達を  $v$  と  $D$  から予報可能のもの 18 例不可能のもの 17 例)、台風によるもの 6 例、計 41 例を用いた。

### (2) 減衰型について

最初は各季節別浪源別にプロットし減衰 curve を作つてみたが、各減衰型の特徴がはつきりしないため之

等を一括して波高別に取扱つてみた。これによると一応直線型指数函数型振動型等があることはわかったが、データ不足のため明確な型を見出すことは出来なかつた。唯一特徴あるものとして少例ではあるが(41例中9例)減衰中  $H$  が再び増加するものがあつた。之については後述する。

(3)  $H$  と  $t_D$  が  $H_{\max}$  より  $H_{\min}$  に至るまでの減衰日数  $t_D$  との関係

上記の様にまだ減衰の formation を決めることが出来ないので  $t_D = f(H)$  として各季節別にプロットしたものを第6図に示す。データも少くはつきりしたことは難しいが、得られた観測値も1日1回だけであり、 $t_D$  もせいぜい1週間位なので少々無理ではあるが、プロットされた点の配置から一応 linear な関係と見做し最小二乗法により係数を求めた。尚8月~10月(3)はデータの都合上台風のものも入れた。下記に季節別の減衰実験式を示す。

- ① (4月~5月)..... $t_D = 0.99H + 1.11$
- ② (6月~7月)..... $t_D = 2.40H + 0.73$
- ③ (8月~10月)..... $t_D = 0.53H + 3.52$
- ④ (11月~12月)..... $t_D = 0.30H + 2.76$

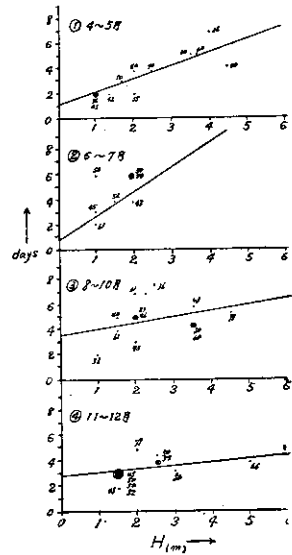
之等によれば  $\frac{dt_D}{dH}$  が一番大きいのは②(6月~7月)の2.4days/mで小さいものは④(11月~12月)の0.3days/mである。尚波長の長いもの程減衰がおそいことは良く知られていることであるが定量的な検討が出来ないので、こゝでは参考の爲各プロット点に波長(m)を附記した。

(4) 浪源の違いによる持続比(Continuity ratio)並びに波高比(Wave height ratio)の比較

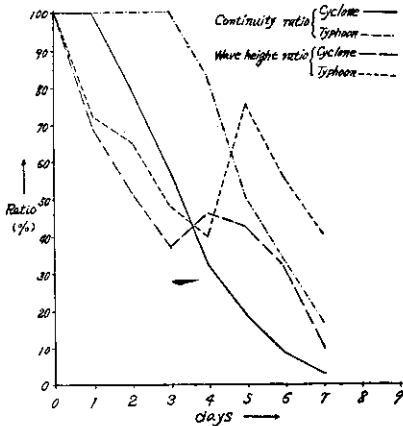
第7図は前記の浪源が低気圧及び前線によるもの35例と台風によるもの6例を用いて持続比(前者の場合には全統計筒数35で減衰日毎の筒数を除したも)及び波高比(最高波高との比)を求め比較したものである。波高比の計算は非常に無理ではあつたが大体の目安を掴む意味で波高別とせず一括して算術平均を求めた。之によれば台風による波浪は最高波が出てから3日後位まではその影響が大なり小なり残ることになる。又台風を浪源とする波浪は他のものに較べて減衰が小さく  $t_D$  も1日位多くなる様である。減衰中に於ける  $H$  の極大が台風では5日後にその他では4日後に出ている。この原因についてはまだ明らかでなくデータも少いため検定もしていない。

(5) 台風を浪源とする波浪の発達と減衰について

減衰過程については上記のことで一応の目安をつけることが出来るが、発生及び発達過程についてはウネリの影響が大きく効いてくるので、現地の風のみを利用して予報することは不可能である。当然 P. N. J. method を用いなければならないのであるがデータが極めて少い為この方法による検討はまだし



第6図



第7図

ていない。

#### IV 結 び

以上は那珂川河口に於ける波浪調査及びその予報研究の第一段階として行われたもので、得られた結果の物理的解釈や検討もしておらず予報手段としては暫定的なものである。勿論 duration を決定する場合や波浪の fully arisen state がどれ位続くかを予想する場合は現地に於ける風の観測値ばかりではなく天気図の助けを

借りなければならない訳であるが、その他予報の爲の補助図として波浪に関する若干の統計図表を作成した。将来は P. N. J. method を磯波の予報にまで発展させなければならないと考えており、更に調査しなければならない点として、波浪の屈折、波砕、波峰長、潮流等の流れによる粗度の変化等があり、又、操業計画や配船計画及び港湾の運営面からは Operation research 的研究が望まれる。

#### V. 文 献

- 1) 石原藤次郎編：応用水理学II，丸善株式会社発行（1958）
- 2) 佐藤清一著：水理学下巻，森北出版株式会社発行（1955）
- 3) 久保時夫 } 共訳：太洋の波の新しい予報法，気象協会発行（1957）  
磯崎一郎 }
- 4) 気予庁：研究時報第 10 卷 第 3 号，気象協会発行（1958）
- 5) “ ”： “ ” 第 11 卷 第 3 号， “ ” （1959）
- 6) H. V. Sverdrup } 海と空 第 28 卷第 5 号，海洋気象学会発行 etc.（1943）  
W. H. Munk }