

## 日本海由良沖の波の特性 (第2報)

### —— 風 と 波 高 ——

緑川弘毅\*<sup>1</sup> 高橋賢一\*<sup>1</sup>

山形県由良沖の波高と風との関係を調べるため、風速とその吹続時間に対する有義波高を求めた。それらはノイマンスペクトル理論に基づいて得られた波高の予報曲線との比較を行った。西風、または北西風による波の発達は Sverdrup - Munk の曲線等に対しても良好な値である。

冬期の波高のスペクトル解析の結果、4日間隔の明瞭な周期性が現れた。これは日本海に生ずる季節風によるものと考えられる。

## Characteristics of Waves in the Japan Sea (Report II)

### Relationship between Wind and Waves

Koki Midorikawa\*<sup>2</sup>, Kenichi Takahashi\*<sup>2</sup>

From the data obtained approximately 3 km offshore of the Yura coast in Yamagata, significant wave height as a function of wind speed and its duration were plotted.

Discussion on wave height was performed in relationship to the wave forecasting curve found in the Neuman Spectral Theory.

The wave height developed by the wind blowing from the west or north-westwardly nearly accorded with the Sverdrup-Munk curve.

There was a longer variation period of wave height. The spectrum obtained during the September 1978-February 1979 period showed periods of approximately 4 days whose time interval was thought to relate to the occurrence of the seasonal wind during winter.

---

\*<sup>1</sup> 海洋利用技術部

\*<sup>2</sup> Marine Exploitation Technology Department

## 1. 風と波の概況

1979年9月～1980年3月に山形県由良沖で、波と風の観測データを得た。

3時間ごとの平均風速をまとめ、方向別分布の整理を行った。

9月の風は、数m/sec以下が多く、10m/secを超える風は二、三度だけである。N風はほとんどなく、W～SWの風とE風である。

10月の風は、弱いSW-風からW～WNW風に変わりつつある。時折、10m/secを超えるW～WNW風が吹き、その割合は7.6%である。

11月になると、NW-風が強くなって来る。10m/sec以上のNW-風が12%で、SW-WSW風が6%である。すなわち、10%以上の風はSW-NWの範囲に限られ、その値は18%となった。

12月の強風は、NWに方向に集中し、特に300°～330°の狭いセクターに納まっている。10m/sec以上のNW風が20%であった。その他の10m/secの風

が吹いたのはW-SW風が3回だけであった。

1月には、NW方向を中心に(240°～330°)のセクターに入る10m/sec以上の風が32%に達している。

10m/sec以上のWSW～SWの風も4.5%あった。

表1はゼロクロッシングによる有義波高、並びに周期の各月の平均値、その他の統計値を示した。測得率は55～94%である。

高波、周期共に11月から急に大きく、計測期間の平均値を越え、1月には最大値に達している。

1月には波高は2.8m、周期8.7secで最大になっている。3月には期間の平均値に落ち、1.8m、7.3secとなっている。

波高3m以上の出現頻度(各月の出現時間の百分率)は有義波高と同様に11月から大きくなり、1月にはさらに前の月の2倍になっている。すなわち、1月には1箇月間の半分近くが3m以上の波高になっていることになる。

表1 各月の波の統計値  
Statistical value of the wave

| 項 目<br>item                                                 | 期 間<br>month | 9 月<br>Sep. | 10月<br>Oct. | 11月<br>Nov. | 12月<br>Dec. | 1 月<br>Jan. | 2 月<br>Feb. | 3 月<br>Mar. | 期間平均<br>mean |
|-------------------------------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 月ごとの平均波高<br>mean value of significant<br>wave height (m)    |              | 1.0         | 1.3         | 2.0         | 2.0         | 2.8         | —           | 1.8         | 1.8          |
| 月ごとの平均周期<br>mean value of period (sec)                      |              | 6.1         | 7.0         | 7.5         | 7.8         | 8.7         | —           | 7.1         | 7.3          |
| 波高3m以上の頻度<br>frequency above 3m of<br>wave height (%)       |              | 0           | 8           | 23          | 22          | 47          | —           | 15          | 19           |
| 周期10sec以上の頻度<br>frequency above 10sec of<br>wave period (%) |              | 0           | 6           | 8           | 10          | 15          | —           | 4           | 7.2          |
| 最も長い期間<br>maximum value of wave<br>period (sec)             |              | 8.5         | 13          | 11          | 12          | 12          | —           | 11.5        | —            |

10月から10sec以上の周期が現われ、次第にその出現頻度を増し、1月には最大の15%になった。12月には10%で、最も長い周期は12secであった。12月の最多頻度をもつ波は、波高2mで周期8.7sec程度である。

冬期における卓越波の周期は12secがほぼその限度であると考えられる。10月における13sec周期は、台風の近接所通過によるものである。

11月頃から波高が大きくなり、その平均は2mを越え、1月になると3m弱になっている。WNWの10m/secを越える強風は、11月には14%で

あり、1月になると、30%、すなわち、時間的には約3日に1日、この方向から強い風が吹いている。

## 2. 酒田港の波高

図1に酒田港における昭和47～51年（1972～1976）の有義波高をプロットした。

資料は2時間ごとの有義波高を月別にまとめて平均したものである。折線グラフは、さらに5年間の各月ごとの平均値を示す。この図によれば、年間を通じ、波高の変動は、夏期には小さく、秋から冬にかけて大きくなる。

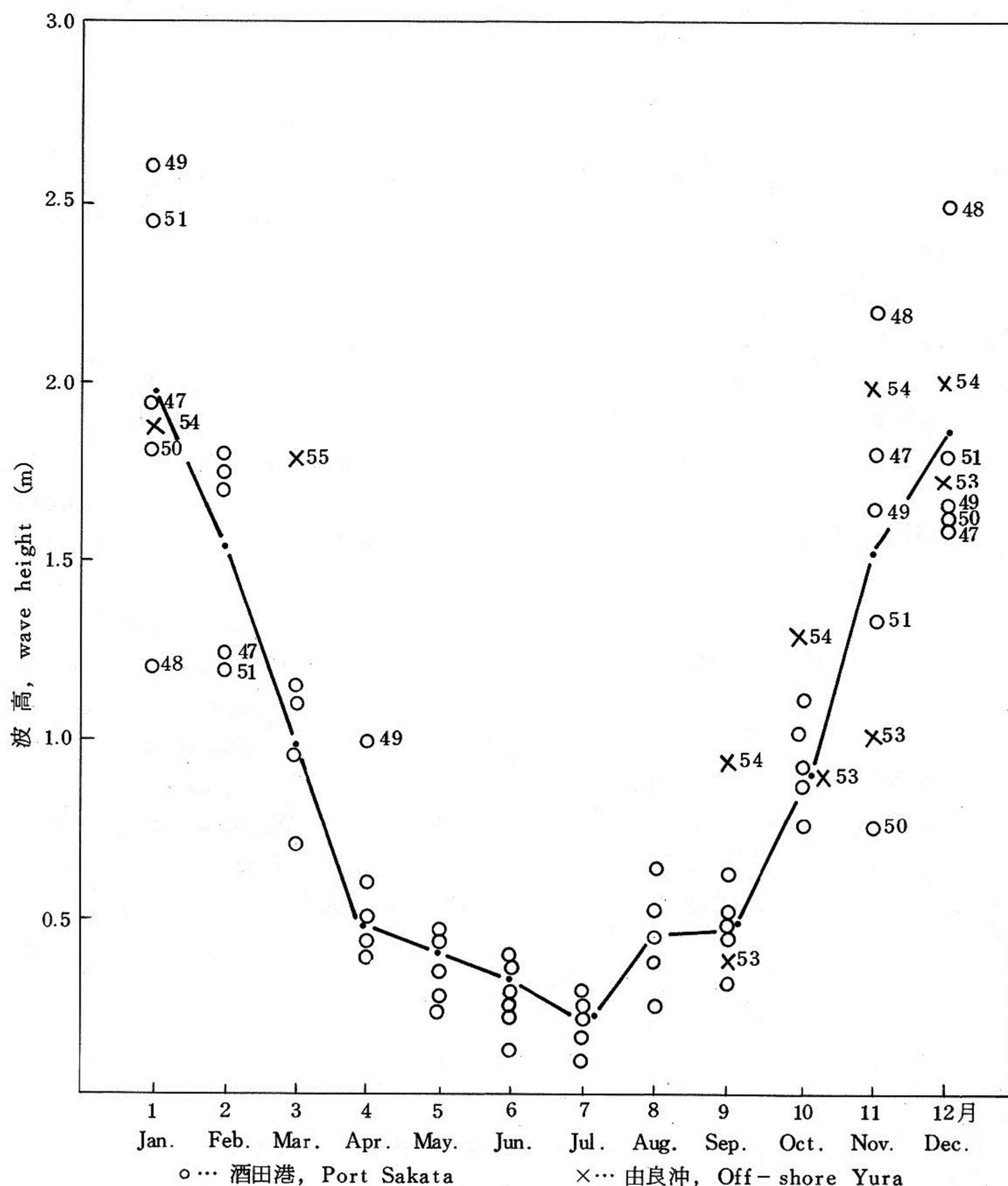


図1 月別の有義波高  
Significant wave height

図1中に示す数字は、測定時の昭和年数を示す。

昭和48年11月および12月の値は平均値に比して大きく、1月は小さくなっている。昭和51年は昭和48年とは逆に11月および12月は小さく、1月に大きくなっている。

冬期の波高は全般に高い年と低い年がある。例えば、昭和49年に高く、昭和50年には低い。

図中の×印は由良沖の海明の位置で測定した有義波高で、昭和53年9月～昭和55年3月における期間の秋から冬の値である。測定海域が異なるため、入射波の回折によるエネルギーの発散、または浅海による波高の増大の影響を考慮しなければ比較はできない。しかし、ある傾向は現われているようである。

昭和54年9月～昭和55年3月(第二次海明実験期間)の波高は酒田港の平均値よりも、かなり高く、昭和53年9月～12月の由良沖の値は反対に低かった。

### 3. 風と波の関係

一定の風速で十分に発達した波とは、そのスペクトルがすべての振動数成分を含み、それぞれの成分が最大限のエネルギーを持っている。またそのようなスペクトルを全振動数にわたって積分すれば、全エネルギーが得られる。

このようなことから発達した波の全エネルギーと波高との関係式は多くの研究者(Longuet-Higgins<sup>2)</sup>(1952), Barber<sup>1)</sup>(1950))によって試案されている。

有義波高を $H_{1/3}$ 、全エネルギーを $E$ とすれば、次の関係が成立つ。

$$H_{1/3} = 2.83 \sqrt{E} \dots\dots\dots(1)$$

最近では、(1)式の係数はもっと大きい値、たとえば4ぐらいが使われている。

平均風速と全エネルギーとの関係は諸種の説がある。Sverdrup-Munk<sup>7)</sup>(1947)によれば、上式から次の関係が導かれている。

$$H_{1/3} = 2.67 \times 10^{-2} \times U^2 \dots\dots\dots(2)$$

また、Pierson Neuman and James<sup>5)</sup>(1955)によれば、

$$H_{1/3} = 7.07 \times 10^{-2} \times U^{5/2} \dots\dots\dots(3)$$

となり、これらを図示すれば、図2の曲線のようになる。

この図の中の符号は、昭和54年10月～昭和55年3月(ただし、2月は1～3日と29日のみ)の

測定資料から、平均風速と有義波高との関係を示したものである。吹続時間は3段階に区分、風向は8方位に分け、強風はもれなく記入した。

図2中のプロットのうち、両曲線と比較検討し得るものは、黒丸印で、これらはほぼその風速で10時間以上の吹続時間のものである。これらはSverdrup-Munkの曲線、またはNeumannの曲線の近傍か、または上方に分布している。

特に15m/secの西風が10時間程度吹いたとき7～8mの波高の4点が目立っている。次に10m/secの西または北西の風で、両曲線よりはかなり高い値の5～6m波高になっていることが特徴的である。

吹続時間が5～10時間(白丸印)のものでも、その大半が両曲線の近傍に分布している。ただ、吹続時間の5時間に満たないもの(三角印)だけが、両曲線よりも、かなり低い波高値になっている。

風によって波が十分に発達し、定常状態になるまでの時間は、吹走距離にも依存するといわれている。

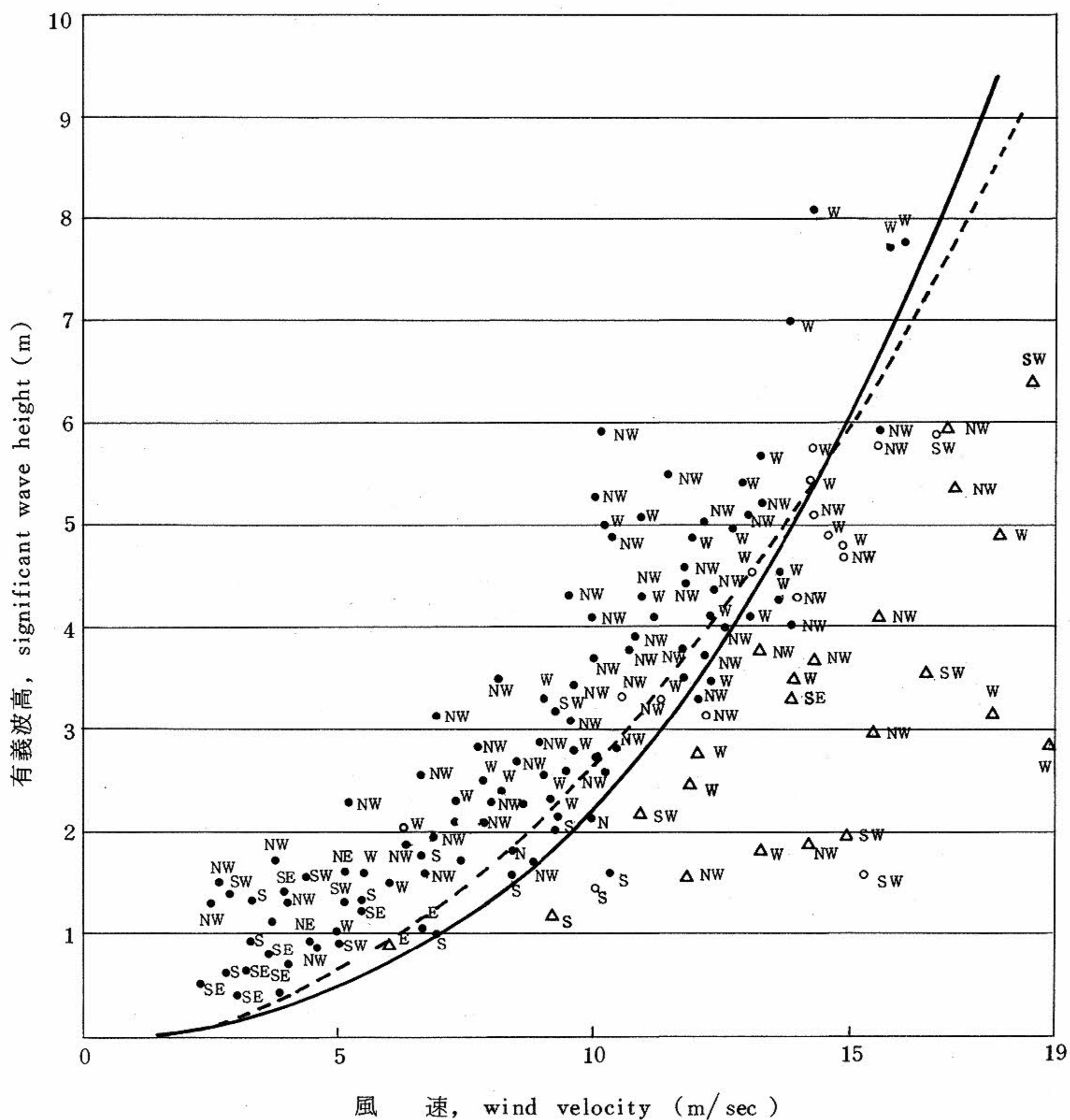
海面上を一定の速度の風が吹くとき、ある時間では岸からの距離と共に波高は大きくなり、それよりも風下側では一定波高である。この一定波高の領域は吹続時間が増せば、波高はさらに発達する。一方、風上側では風速が変わらない限り、波高は変化せず、定常状態である。これによると、図2の黒丸のプロットは、吹続時間の最も長いものでも、15時間に満たないので、吹走距離が長ければ、それに対応しさらに発達する可能性があることを意味している。Saville<sup>6)</sup>(1955)は各種の理論式を検討し、一定風速、一定吹続時間の場合の吹送距離に対する波高を調べた。図3は彼のSverdrup-Munk-Bretshneiderからの例である。

由良の観測点の場合、吹走距離はW-方向へ950km、NW-方向へ700km、さらに北寄りに増加する場所に位置している。

したがって、Savillの図の曲線を考え合わせるとある程度の長さの吹続時間を持つ風が吹いた場合、それが10m/secであれば5～6m、15m/secならば8m程度の有義波高になると推定される。

### 4. まとめとあとがき

山形県由良沖で得たデータの測点は、水深が浅いため(約40m)、波は海底の影響を受け、伝播速度が少し遅くなっているとともに、波高が大きくなっ



- 吹続時間, duration;
- : 10時間以上, 10 hours up
  - : 5～10時間, 5～10 hours'
  - Δ : 5時間未満, under 5 hours

図2 有義波高と風速との関係  
Wave height as a function of wind velocity

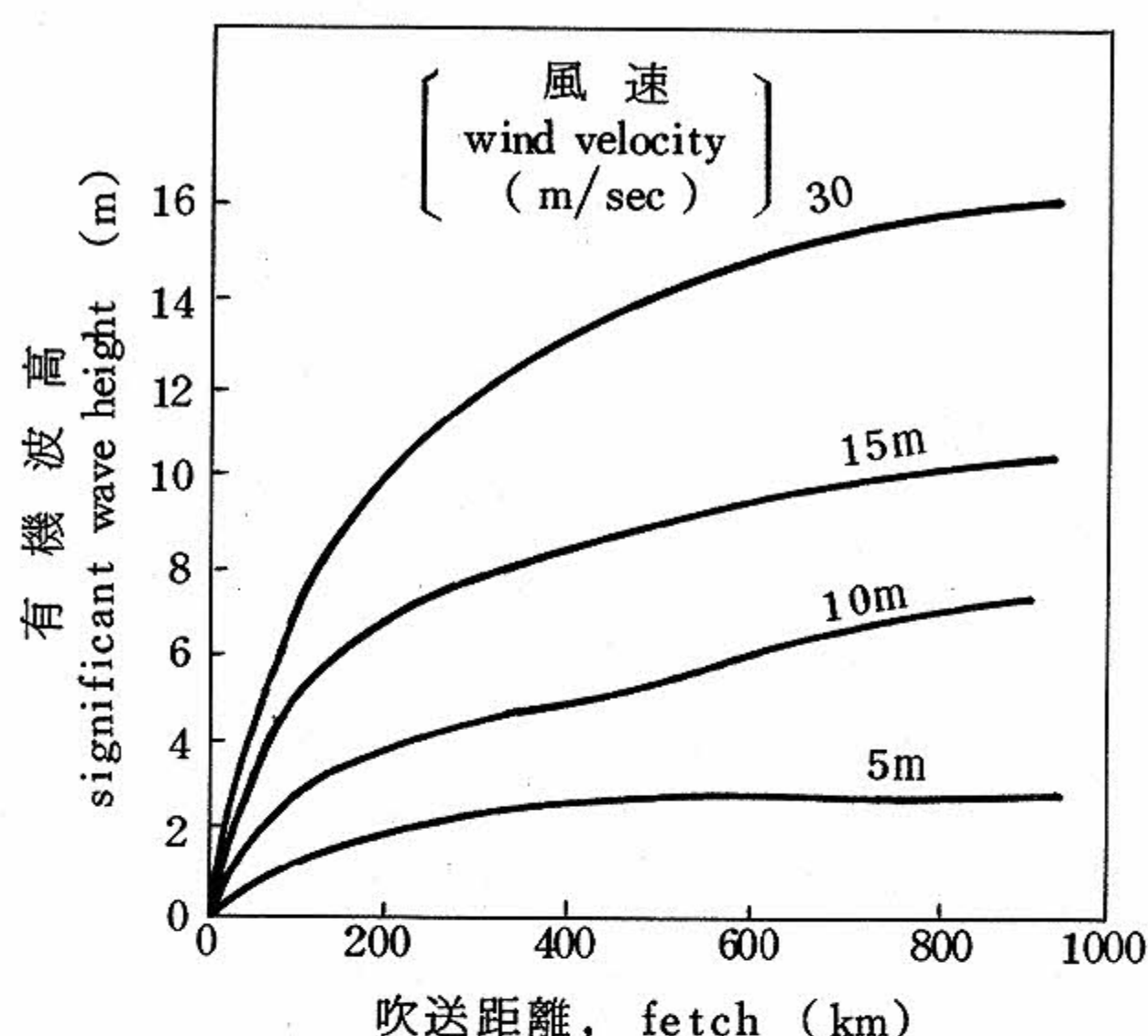


図3 吹送距離と有義波高  
Wave height as a function of fetch

ていると考えられる。

しかし、W-方向またはNW-方向には、吹走距離が十分に長いので、それらの方向から風が吹けば、波は吹続時間に対応して発達するものと考えられる。事実、この測点では、冬期はW-風、NW-風に対する波は発達している。

ノイマンスペクトルの理論に基づいて導かれた、Sverdrup-Munkの風による波の予報曲線に対し、吹続時間が10時間もあれば、ほとんどその曲線の上方に至る波高が期待される。

風と波の統計分布から冬期の由良（日本海）では、3～5日ごとに強風が吹くことがわかった。さきに、著者らは（1981a, 1981b, <文献bのスペクトル単位 cycle per hour が  $H_z$  にミスプリントされているので訂正する>），昭和53年9月～54年1月の約半年間の波高データのスペクトルから4日間の周期性が現われていることを示した。これは大陸からの季節風がこの周期を持っていることを意味している。

WunschとGill<sup>8)</sup>（1976）は赤道付近のいくつかの島における水位の長周期スペクトルを求めた。それによると、たとえばカントン島における水位のスペクトルには3.97日周期、オーシャン島では3.94日周期のピークが現われている。それぞれにおける風を調べたところ、相当する3～4日間程度の周期になっていた。そこで彼らはこの現象を局所的な赤道風（Local Meridional Wind）によるものと結論づけている。

赤道付近や大陸で同じ周期成分を持った風が吹く

のであれば、その間の貿易風や偏西風は、そのような周期成分を持っているかも知れない。

本研究は波浪発電実験に伴って行われたもので、日本海の波の特性、主としてその変動の性質を調べようとしたものである。波浪発電では波の特性を調べることは、タービンはもちろん、構造物等の研究によって波のエネルギー変換効率を上げることは重要な問題である。同時に、波浪エネルギーの変動の問題、電力の使用方法等の関連技術と同等程度に大切なことと考えられる。たとえば、波の長・短の周期的変動を知ることによって電力の平滑化、または蓄電などについての可能性が考えられる。本報告の作成中、古い受信機等の半波整流管 12 F や 80 BK 等による脈流がインダクタンスとコンデンサーによって整流されることを想像していた。

本報告“日本海の波の特性”第2報は、風と波についてまとめることになったため、第1報とは少し趣を異にした。

酒田港の資料は、運輸省港湾技術研究所海洋観測資料研究室の高橋智晴室長から拝借し、そのご好意に感謝します。また資料の整理には、当センター波浪発電関係の若手の諸氏にご協力をいただき、それらの方々にお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Barber, N.F. "Ocean waves and swell Instn. of Civil Engrs.", (1950), London
- 2) Longuet-Higgins, M.S., 1952 "On the statistical distribution of the heights of sea waves.", Jour. Marine Res. 11(3) 245-266
- 3) Midorikawa, K., K. Takahashi, "Characteristics of waves in the Japan Sea", 8th Ocean Energy Conference (予稿集) (1981), Marine Technology Society.
- 4) 緑川弘毅, 高橋賢一 (Midorikawa, K., K. Takahashi), 1981, "日本海由良沖の波の特性 (第1報)", JAMSTECTR(7) 33～39
- 5) Pierson, W.J., Jr., Neuman, G., R.W. James, R.W., "Practical methods for observing and forecasting ocean waves by means of wave spectra and statistics.", (1955) U. S. Navy Hydrographic Office pub. No. 603 (reprinted

1960). pp 284

6) Saville, Thorndike, Jr. "The Engineering Foundation Council on wave research., wave forecasting", (1955), Proc. First Cont ships and waves, Berkeley, Calif. pp 78

7) Sverdrup, H. U., Munk W. H., "Wind sea and swell, theory of relations for forecasting" (1947), U. S. Navy Hydrographic Office Pub. No. 601 pp 44

8) Wunsch, C., Gill, A. E., 1976, Observations of equatorially trapped waves in Pacific sea level variations " Deep sea Res., 23 371-390