

変調不安定に起因する現地風波のスペクトル特性と波群特性に関する研究

京都大学工学部 正 員 岩 垣 雄 一

京都大学工学部 正 員 間 瀬 肇

京都大学工学部 学生員 ○長谷川 順一

1. まえがき これまで、数多くの現地観測や室内実験によって、波浪のスペクトル特性が研究されてきた。しかしながら、観測時間が限られ、分解能が悪いため、スペクトルの細部構造についてはあまり調べられておらず、スペクトルの相似形についての研究が多かった。本研究は、変調不安定に起因する現地風波のスペクトル特性（中でもスペクトルの細部構造）と波群特性について考察するものである。Hatori(1984)による fetch 方向の風波の発達の実験結果に見られるような、エネルギー Spektral のピーク付近のスパイクの存在について考察を加えたのち、現地風波の発達期のスペクトル特性を解析し、変調不安定による特徴が現われているかどうか検討する。最後に、著者ら(1985)の波群特性を調べた結果について述べる。

2. 解析に用いた波浪観測資料 本研究で解析に用いた波浪観測資料は、岩垣・土屋を中心とする京大観測グループによって観測された資料の一部、すなわち彦根愛西地区における1975年10月5日11時27分から5時間の連続記録である。これらの記録はサンプリング間隔 0.05 秒で A-D 変換され、磁気テープにファイルされている。スペクトルの計算にあたっては、推定精度を増すために以下のようにした。3 台の波高計の波浪記録（記録が信頼できるものを選んだ）からそれぞれ計算されるスペクトル密度を $S_1(j/T)$ 、 $S_2(j/T)$ および $S_3(j/T)$ とし、これらのアンサンブル平均と、 j の前後 n 個のスペクトル密度の移動平均をとり、スペクトル密度の推定値を次のように計算した。

$$S(\frac{j}{T}) = \frac{1}{(2n+1)} \sum_{k=j-n}^{j+n} \left\{ S_1(\frac{k}{T}) + S_2(\frac{k}{T}) + S_3(\frac{k}{T}) \right\} \quad (1)$$

実際には、 $N = 8192$ 、 $\Delta t = 0.05 \text{ sec}$ 、 $T = 409.6 \text{ sec}$ 、自由度 $30(n=2)$ および分解周波数は 0.012 Hz とした。図-1 は有義波高、有義波周期、平均波高および平均周期を示したものである。

3. スペクトル特性に関する考察 Hatori はスペク

トル成分間の非線形相互作用の観点から風波 Spektral の細部構造を調べ、次のような結果を示した。(1) スペクトルがピークとなる周波数 f_0 付近に有意なスパイクが存在している。(2) このようなスパイクのうち、スペクトルの極大を含む 3 つの卓越モードが、共鳴条件 $2f_0 = f_1 + f_2$ を満足している (f_1 と f_2 はそれぞれ高周波数モードと低周波数モードの周波数)。また 2 つのモードの周波数差 $f_1 - f_0$ と $f_0 - f_2$ は約 $0.1f_0$ である。(3) スペク

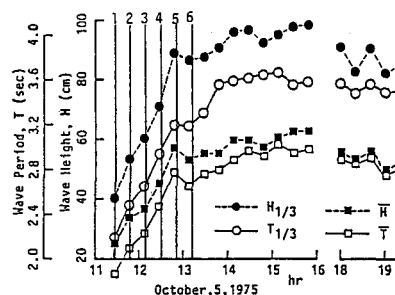


図-1 有義波高、有義波周期、平均波高および平均周期の時間変化

Yuichi IWAGAKI, Hajime MASE and Junichi HASEGAWA

ルのフェッチ方向への変化過程では、ピーク周波数モード f_1 のエネルギー密度が減少し、モード f_2 がモード f_0 と入れかわりスペクトル密度が極大となる。このことを模式的に示したのが図-2である。このようなスペクトルの両側のスパイクの存在は、まさに波の変調不安定によるものと考えられる。規則波の場合にもこうした現象が現われる (Yuen-Lake (1977))。図-3は琵琶湖の風波の発達期における波

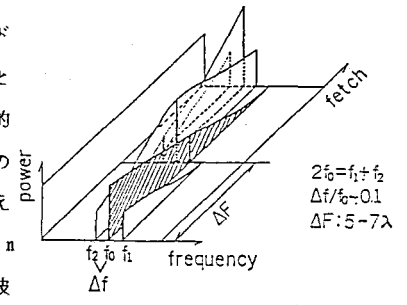


図-2 スペクトルの発達過程の模式図 (Hatori (1984) 刊)

浪スペクトルの変化 (1975年10月5日11時27分から約20.5分ごとのスペクトル) を示したものである。縦軸はエネルギー密度の $\log$ を取り、またスペクトルの図が重ならないように順次2だけ上にずらしてプロットしてある。この図よりスペクトルの密度が極大となる付近に有意なスパイクが存在していることが見出せる。スパイクは統計的変動によるものであるという可能性もあるが、図ではピーク周波数 f_0 のエネルギー密度が減少するとともに低周波数モード f_2 のエネルギー密度が増加し、モード f_2 がモード f_0 と入れかわりスペクトルの極大となる組織的な相互関係が見られ、スパイクは単なる統計的

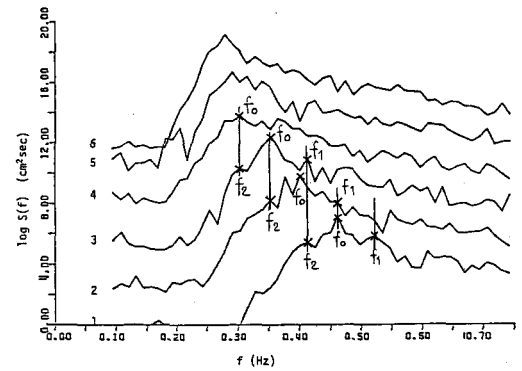


図-3 琵琶湖の風波の発達期におけるエネルギー・スペクトルの変化

変動によるものではないことがわかる。表-1に、1から3までのスペクトルのスパイクが現われる周波数 f_0, f_1, f_2 および無次元周波数差 $(f_1 - f_0)/f_0, (f_0 - f_2)/f_0, \Delta$ を示した (Δ は搬送波として平均波を用い Zakharov 方程式で算定した計算値である)。これより、 $(f_1 - f_0)/f_0$ と $(f_0 - f_2)/f_0$ は若干異なるが、その値は概ね等しく、 $2f_0 = f_1 + f_2$ という関係が成り立っていること、またそれらの値と Δ の値は概ね一致していることがわかる。しかし詳細に見ると、実測値の $(f_0 - f_2)/f_0$ や $(f_1 - f_0)/f_0$ は風波の発達とともに増大するのに対し、計算値の Δ は減少していくという相違が見られる。

表-1 ピーク周波数および side band モードの周波数

	f_2 (Hz)	f_0 (Hz)	f_1 (Hz)	$(f_1 - f_0)/f_0$	$(f_0 - f_2)/f_0$	Δ (平均値)
CASE 1	0.413	0.481	0.522	0.132	0.104	0.119
CASE 2	0.352	0.400	0.461	0.153	0.120	0.118
CASE 3	0.303	0.352	0.413	0.173	0.139	0.108

著者ら (1985) は、こうした変調不安定に起因する振幅変調が見られるのではないかという観点のもとに、 $T_g = 1 / \Delta f_0$ と SIWEH から求めた振幅変調周期を比較・検討した。その結果を図-4に相対水深 kh (k : 波数、 h : 水深) の大小に分けて示した。この図から、計算結果は概ね良く一致していること、特に kh が大きい場合には両者の一致はかなり良いことがわかる。

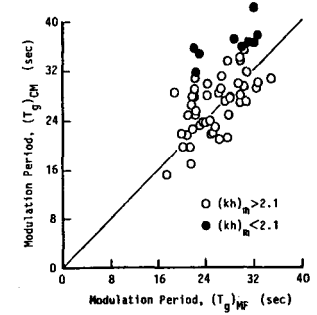


図-4 振幅変調周期に関する観測結果と計算結果の比較