

発達過程にある風波の方向スペクトル特性について

愛媛大学工学部 正 員 ○山口 正隆
 総 島 泉 木島 正尚

1. 緒 言：著者らは、最近エネルギー平衡方程式に基づく有限風域場での波浪予知法を開発してきた。その数値計算結果によれば、発達過程にある風波の方向スペクトルには3つのピークが見出される。これはもちろん風波の発生項として方向に関して3つのピークをもつ表示式を採用したためであるが、この結果が妥当であるかどうかを観測結果との比較に基づいて検討する必要がある。ところで、最近MLM(最尤法)が波浪の方向スペクトルの推定に適用されはじめている。そこで、ここではMLMの方向スペクトル推定への適用性を考察するとともに、琵琶湖における観測結果に基づいて、とくに風波の発達に伴う方向スペクトルの変化特性を詳細に検討する。

2. 方向スペクトル計算法：波高計アレイによる波浪記録を用いて方向スペクトルを推定する方法として、従来より多くの方法が提案されているが、このうち、MLMに関してその概要を述べるとつぎのようである。すなわち、波数周波数スペクトルと共役クロススペクトルの関係式において周波数を固定して考えると、方向スペクトルは共役クロススペクトルをあるフィルターを通して得られる出力と考えることができる。そこで、ある波数成分の波は振幅を減少させずに通過させ、その他の波数成分の波をできるだけ排除するようなディジタルフィルターを資料ごとに設計してやれば、より適切な方向スペクトルが得られるはずである。Caponは、そうした考えのもとにMLMによる方向スペクトル推定式を次式のように導いた。

$$E(\theta) = \left\{ \sum_{m,n=1}^N Q_{mn}^{-1}(f) e^{-i k l_{mn} \cos(\theta - \beta_{mn})} \right\}^{-1}$$

ここに、 l ：波高計間距離、 β ：波高計を結ぶ線と基準方向とのなす角、 Q_{mn}^{-1} ：共役クロススペクトル行列の逆行列、 k ：波数および N ：波高計の台数、である。

3. 分解能の検討：ここでは、まず方向スペクトルとクロススペクトル間の関係式を用いる方法により、観測に使用した図-1の波高計アレイの分解能の検討を行う。図-2はMLMにより得られた方向分布関数と入力として与えた方向分布関数(円正規分布)を比較したものである。図に2例を示すように、MLMによると、方向分布関数のエネルギー集中度が高い場合、低周波数ほど出力としてsharpな方向分布関数が得られるのに対し、エネルギー集中度が低い場合には、方向分布関数の推定結果にかなりの凹凸が出現し、形状のsharpさもかなり平滑化される。以上のように、MLMは元来雑音の混在した入力信号の中に含まれる単一平面波(方向分布関数はDiracの δ 関数)の抽出を判定原理としているので、波浪のようにかなり広い方向分布幅をもつ方向分布関数の推定には不適切であると考えられる。なお、こうした検討方法ではBorgman法による出力方向分布関数は、Fourier級数の近似精度の範囲内で当然入力関数と近似的に一致する。つぎに、ディジタルフィルター法による2次元不規則波浪のシミュレーション結果から、Borgman法によって推定した方向分布関数と入力関数との比較の1例を示したのが図-3である。Borgman法はその適用範囲内では、Fourier級数の項数を方向分布関数のエネルギー集中度に応じて適切に選択するならば、入力方向分布関数を近似的に再現することができる。図-4はBorgman法を使用した場合の本研究のアレイの適用範囲を図示したものである。図中の白丸は分解能が良好なことを、黒丸は分解能

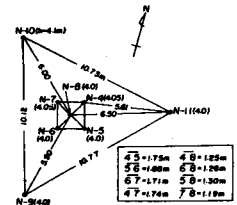


図-1

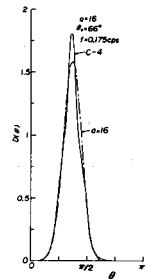
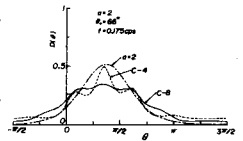


図-2

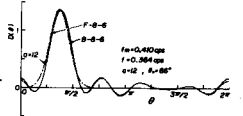


図-3

がやや劣ることを表わし、また数字はそれぞれ波高計台数およびFourier級数の項数を示す。図より明らかなように、アレいの適用範囲は、エネルギーの集中度が増大するほど狭くなる。しかし、現地波浪の方向スペクトル特性を考慮すれば、本研究のアレイは琵琶湖での波浪特性に対し、十分な分解能をもつと考えられる。

3. 解析方法: ここで解析した資料はストームの来襲に伴い、ほぼ静穏状態にあった湖面で風波が急激に発達した10月5日11

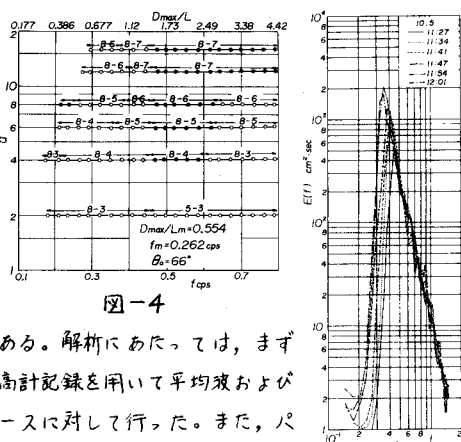


図-4

時27分~12時49分までの82分間の考根受面湖岸における記録である。解析にあたっては、まず82分間の資料を12ケース(410秒)に分割したのち、No. 10の波高計記録を用いて平均波およびskewness, kurtosisなどの計算を $\Delta t = 0.1 \text{ sec}$, $N = 4100$ の条件で各ケースに対して行った。また、パワースペクトルおよびクロススペクトルは、 $\Delta t = 0.2 \text{ sec}$, $N = 2048$ の資料をFFT法で解析

図-5

することにより得られた。4. 解析結果および考察: 図-5は周波数スペクトルの発達を示したものである。図から明らかなように、風波はスペクトル形状をあまり変えずに高周波側で飽和状態を保ったまま発達するという特性が明確に現われている。図-6は周波数をパラメーターとしてスペクトル密度の時間的な発達を示したものである。この図によれば、発達初期にピーク周波数付近であった $f = 0.469 \text{ cps}$ より高周波側のスペクトル値は飽和状態に達しているの、時間とともにあまり変化しないのに対して、低周波側では、飽和状態に達するまで増大している。しかも、その増加率は低周波側ほど小さい傾向にある。図-7はBorgman法によって推定した方向スペクトルの発達を $f = 0.293 \text{ cps}$ の場合に対して示したものである。この場合、方向スペクトルは常に発達状態にあるので、方向スペクトルの絶対値が増大するとともに、方向分布幅もおおむね狭くなっていく。つぎに、図-7の各時刻における方向スペクトルの最大値を示す方向を基準(0°)として、方向をパラメーターに方向スペクトル密度の時間的な変化を示したのが図-8である。この図において気づくことは、発達初期の20分間とそれ以降の発達率が異なることである。これは、図-7から明らかなように発達初期とそれ以降では、方向スペクトルの分布幅が著しく相違するためである。そして発達初期

