

76. 海洋波の方向スペクトルの観測・解析法の高度化に関する研究

濱野 有貴

1. 目的

方向スペクトルは海面を伝わる不規則な波浪を周波数および波向に関するエネルギー分布として表現したものであり、港湾・海岸構造物等の計画・設計・施工や波浪の発達・減衰過程を検討する上でも非常に重要である。観測データをもとに方向スペクトルを推定する方法としては、式(1)に示すクロススペクトルと方向スペクトルの関係式(磯部ら, 1984)を利用する方法がある。ここで、 \mathbf{x}_m は m 番目の波動量 ξ_m の計画座標(x_m, y_m)、 $\Phi_{mn}(\omega)$ は波動量 ξ_m と ξ_n のクロススペクトルである。また、 H_m は水面変動 η から水面変動以外の波動量 ξ_m (水面勾配、水粒子速度、水圧変動等) への伝達関数、 $S(\mathbf{k}, \omega)$ は方向スペクトルである。

$$\Phi_{mn}(\omega) = \int_{\mathbf{k}} H_m(\mathbf{k}, \omega) H_n^*(\mathbf{k}, \omega) \exp\{-i\mathbf{k}(\mathbf{x}_n - \mathbf{x}_m)\} S(\mathbf{k}, \omega) d\mathbf{k} \quad (1)$$

上記の方法では 3 つ以上の波動量間の複数のクロススペクトルが測得されるように配置された観測点での波動量 ξ_m の時系列データが必要である。例えば、全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)の波浪観測に用いられている海象計では図-1 に示すように、鉛直方向の水位変動および、鉛直軸から 30 度傾いた 3 方向における上層 3 点の水粒子速度をもとに複数のクロススペクトルを算出し、方向スペクトルを推定することで波向情報が提供されている。海象計は海底設置型のドップラー式計測器であることから、原理的に多層での水粒子速度が測得可能である。したがって、水粒子速度の多層観測によりクロススペクトルの数を増大させることにより、従来よりも推定精度の良い方向スペクトルを推定可能となることが期待できる。本研究では、多層の水粒子速度を用いることで、方向スペクトル推定を行い、多層データを用いることの有用性について検討した。

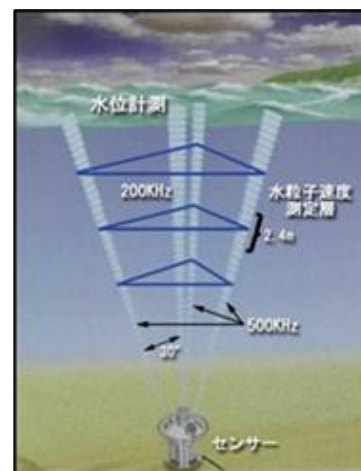


図-1 海象計の測定概念図

2. 内容

2.1 双子実験(数値実験)による検証

双子実験はまず、真値(解)として任意の方向スペクトルを設定する(手順 1)。次いでこの方向スペクトルを有する波浪条件で水面変動および多層での水粒子速度成分間のクロススペクトル $\Phi_{mn}(\omega)$ を式(1)に基づいて算出する(手順 2)。最後に得られたクロススペクトルをもとに方向スペクトルを逆推定し、手順 1 で設定した真値(解)を精度よく逆推定できる事を確認する(手順 3)。方向スペクトル推定法は、ベイズ法(BDM)、拡張最大エントロピー法(EMEP)および拡張最尤法(EMLM)の 3 つを用いて検討した。一例として、方向集中度 100 のうねりを真値として設定したケースについてベイズ法(BDM)(橋本, 1987)を用いて検討した結果を示す。(図-2)

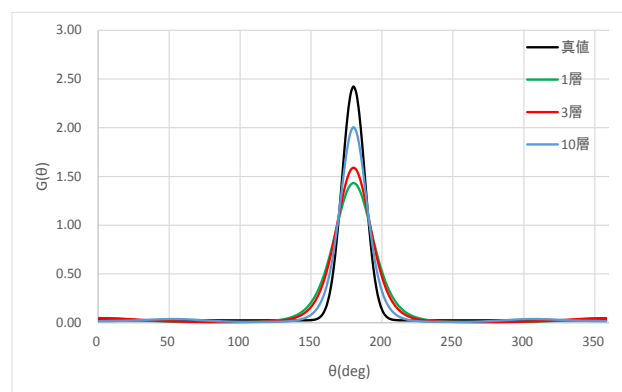


図-2 方向分布の推定結果の一例

例のような 1 方向波浪の場合には、層数を増やすことにより、EMLM では解が不安定になり、EMEP では層数を増やすことで必ずしも精度が高くなるとはいえず、BDM では真値との誤差が小さくなることが確認できた。

2.2 現地データを用いた検証

(1)解析方法 現地観測は下田，秋田，八戸の3地点(図-3)で，2014年11月より開始された．それぞれの地点における観測水深は表-1に示す．3地点における，現地観測データを用いてベイズ法により1時間間隔で解析を行った．

方向集中度 S_{max} については得られた方向スペクトルのうちピークを有する周波数 fp における $G(fp, \theta)$ の分布から半値幅 α ($1/2G(fp, \theta)$ の値をとる θ の幅) を求め，式(2)に α ($\alpha = 2(\theta - \theta_0)$) (θ_0 はピーク波向) を代入することによりを求め，この値を用いて算出した．なお，周波数が $0.2(\text{Hz})$ 以上の場合および，方向スペクトル値が $1(\text{m}^2 \cdot \text{sec}/\text{rad})$ 以下， S_{max} の値が5未満の場合は欠測とした．

$$S_{max} = \log \frac{1}{2} / \log \left(\frac{1 + \cos(\alpha/2)}{2} \right) \quad (2)$$

(2)解析結果 解析結果の例として11月の下田における有義波高および有義波周期の時系列を図-4に示す．表層(1層)，3層(1層，5層，7層)，および10層のデータを用いた11月28日11時(有義波高1.0m，有義波周期10.6s)の方向スペクトルの解析結果を図-5に示す．この時，方向集中度 S_{max} について表層では20.3，3層では16.0，10層では39.0の値を算出し，1層および3層のものと比較すると10層のデータを用いたものは方向集中度 S_{max} は大きくなっていることが確認できた．

3. 結論

数値実験による検証では，1方向波浪に対してBDMでは層数を増やすことで推定精度が向上し， S_{max} が真値に近く推定されることが確認できた．また，観測データをもとにスペクトル推定を行った場合，多層のデータを用いることで S_{max} が大きくなるケースが確認できた．なお，波浪条件によって必ずしも多層のデータを用いた場合に S_{max} が最大にはなっていない．様々な層のデータを組み合わせることで幾通りもの方向スペクトル推定が可能であるため，今後は波浪条件に対応して，どの層のデータを用いることで安定した推定結果を得ることができるか検討していく必要がある．

参考文献

磯部雅彦・近藤浩右・堀川清司：方向スペクトルの推定におけるMLMの拡張，第31回海岸工学講演会論文集，pp.173~177，1984．
橋本典明：海洋波の方向スペクトルの推定法に関する研究，港湾技研資料，No. 722，1992．



図-3 現地観測が行われた地点図

表-1 観測水深(m)

	下田	秋田	八戸
水深	50.0	27.0	27.0
1層	10.0	2.5	2.5
2層	12.5	5.0	5.0
3層	15.0	7.5	7.5
4層	17.5	10.0	10.0
5層	20.0	12.5	12.5
6層	25.0	15.0	15.0
7層	30.0	17.5	17.5
8層	35.0	20.0	20.0
9層	40.0	22.5	22.5
10層	45.0		25.0

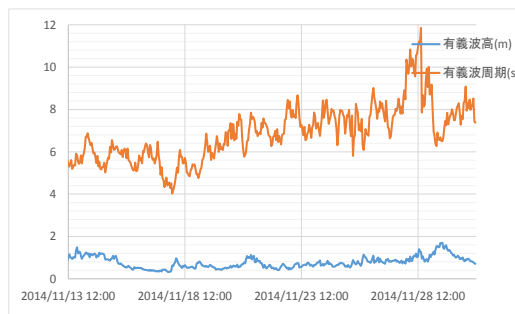


図-4 有義波高および有義波周期(下田)

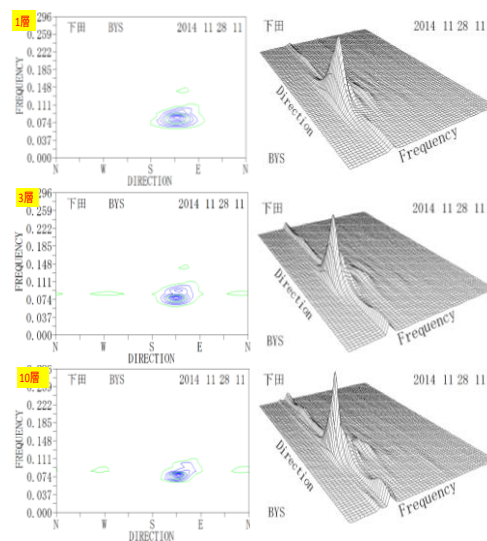


図-5 下田の方向スペクトルの一例