

高精度な方向スペクトル推定法の改良に向けた検討

九州大学大学院工学府 学生会員 ○山本健太郎

九州大学大学院工学研究院 フェロー 橋本典明

株式会社ソニック 三井正雄

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 正会員 川口浩二 藤木峻

1. はじめに

波浪の本質的な構造を表す方向スペクトルの推定法として幾つかの方法が提案されてきた. しかしながら, 何れの方法にも長短があり, 更なる精度向上に向けた改良が必要である. 全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS) では図-1 に示すドップラー式海象計により水面変動 η と水粒子速度 U_i が観測されている. 本研究では, それらの観測データを用い, 方向スペクトル推定法の精度向上に向けた検討を行った.

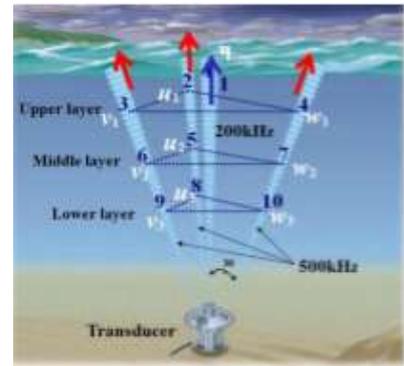


図-1 多層型超音波ドップラー式海象計

2. 研究内容

方向スペクトルを推定するための基礎式には水位変動 η と水粒子速度 U_i の関係を表す伝達関数が含まれており, 一般に線形理論から導かれる伝達関数が用いられる. 本研究では, 観測データから推定した伝達関数を新たに導入して, 拡張最尤法 (EMLM), 拡張最大エントロピー原理法 (EMEP), ベイズ法 (BDM) を用いて方向スペクトルを推定した. また, EMEP, BDM における最適解の推定には, これまで用いられてきたニュートン法に加えて, 準ニュートン法を用いた推定法の適用性についても検討した. 準ニュートン法は制約なし最適化問題に対する最も有効な方法の一つとされており, 大域的最適解を導き出すことができるとされている.

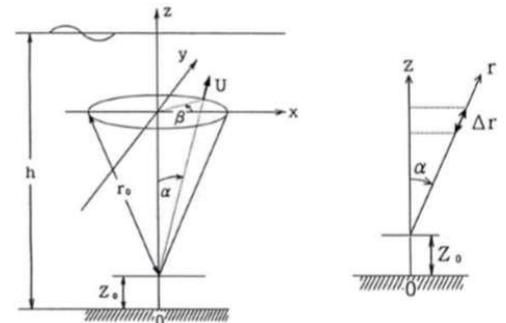


図-2 流速測定位置の極座標表示

観測データから推定したドップラー式海象計の新しい伝達関数は次式で示される.

$$H_{New}(f, \theta) = [(H_u(f) \cos(\theta - \beta) + iH_w(f))] \times \exp[i(kr \sin \alpha \cos(\theta - \beta) - \omega \Delta t)]$$

ここに, θ は波向, Δt は各波動量の計測時間差, α, β は図-2 に示す通りである. また, H_u, H_w は以下の式で表される.

$$H_u(f) = \sqrt{\frac{4\sqrt{S_1^2(f) + S_2^2(f) + S_3^2(f)} - S_1(f)S_2(f) - S_2(f)S_3(f) - S_3(f)S_1(f)}{3(\sin \alpha)^2}}$$

$$H_w(f) = \sqrt{\frac{(S_1(f) + S_2(f) + S_3(f)) \pm 2\sqrt{S_1^2(f) + S_2^2(f) + S_3^2(f)} - S_1(f)S_2(f) - S_2(f)S_3(f) - S_3(f)S_1(f)}{3(\cos \alpha)^2}}$$

ここに, $S_i(f) = S_\eta(f)/S_{U_i}(f)$ であり, $S_\eta(f)$ は水位変動 η のスペクトル, $S_{U_i}(f)$ は水粒子速度成分 U_i のスペクトルである.

BDM では次式に準ニュートン法を適用し, E の最小化を行うことにより方向スペクトルを推定した.

$$E = \sum_{i=1}^N \left\{ \Phi_i - \sum_{k=1}^K \alpha_{ik} \exp(x_k) \right\}^2 + u^2 \left\{ \sum_{k=1}^K (x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2})^2 \right\}$$

EMEP では次式に準ニュートン法を適用し、 E の最小化を行うことにより方向スペクトルを推定した。

$$E = \sum_{i=1}^M \left[\frac{\int_0^{2\pi} \{\Phi_i - H_i(\theta)\} \exp\{\sum_{n=1}^N (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta)\} d\theta}{\int_0^{2\pi} \exp\{\sum_{n=1}^N (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta)\} d\theta} \right]^2$$

これらの式の詳細は参考文献²⁾³⁾を参照されたい。

3. 検討結果

図-3 は 2015 年 2 月 1 日 0 時における八戸港の観測データを解析した例である。(A)~(D)の各図の 3 つの方向スペクトルは左からそれぞれ EMLM, EMEP, BDM で解析した結果である。(A)~(D)は線形理論を用いた旧伝達関数と観測データから推定した新伝達関数を用いた例および EMEP, BDM の最適解を推定する際に、ニュートン法あるいは準ニュートン法の何れを用いたのかの 4 ケースを比較したものである。

(A)と(B)あるいは(C)と(D)を比較すると、新伝達関数を用いた場合には、旧伝達関数を用いた場合に比べて、方向スペクトルの方向に関する集中度が増大することがわかる。また、(A)と(C)あるいは(B)と(D)を比較すると、上記と同様に、方向スペクトルの方向に関する集中度が増大することがわかる。(A)~(D)中の 4 つのケースでは、新伝達関数と準ニュートン法を用いた(D)の BDM の方向スペクトル推定値の方向集中度が著しく増大している。これらの方向スペクトル推定値の内、どの方向スペクトル推定値が最も真値に近いのかは现阶段では不明である。ドップラー式海象計では、元々、図-1 に示すように 3 層での水粒子速度成分を観測していることから、今後さらに多層の水粒子速度速度の観測データを用いて方向スペクトル推定することにより、方向スペクトルの推定精度に関する検討を行う必要がある。

4. おわりに

本研究では方向スペクトルの推定において従来から用いられてきた線形理論から導かれた伝達関数のみならず、観測データから推定した伝達関数を用いて EMLM, EMEP, BDM の 3 つの方法の精度の検討を行うことができた。EMEP, BDM では、その最適解の推定に準ニュートン法を用いることにより従来よりも方向スペクトルの方向に関する集中度が高い推定値を推定する傾向があることが示された。今後、多層の水粒子速度の観測データを用いて方向スペクトルの推定値の高精度化について更に研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 三井正雄, 橋本典明, 河合弘泰, 横田雅紀, 北村康司: 高度化した海象計による海洋波の方向スペクトル推定精度向上に関する研究, 土木学会論文集B2 (海岸工学) Vol. 66, No.1, 2010, 1446-1450
- 2) 橋本典明: ベイズ型モデルを用いた方向スペクトルの推定, 港湾技術研究所報告, 第26巻, 第2号, pp.97~125, 1987
- 3) 橋本典明, 永井紀彦, 浅井正, 菅原一晃: 海洋波の方向スペクトルの推定における最大エントロピー原理法 (MEP) の拡張, 港湾技術研究所報告, 第32巻, 第1号, pp.3~25, 1993

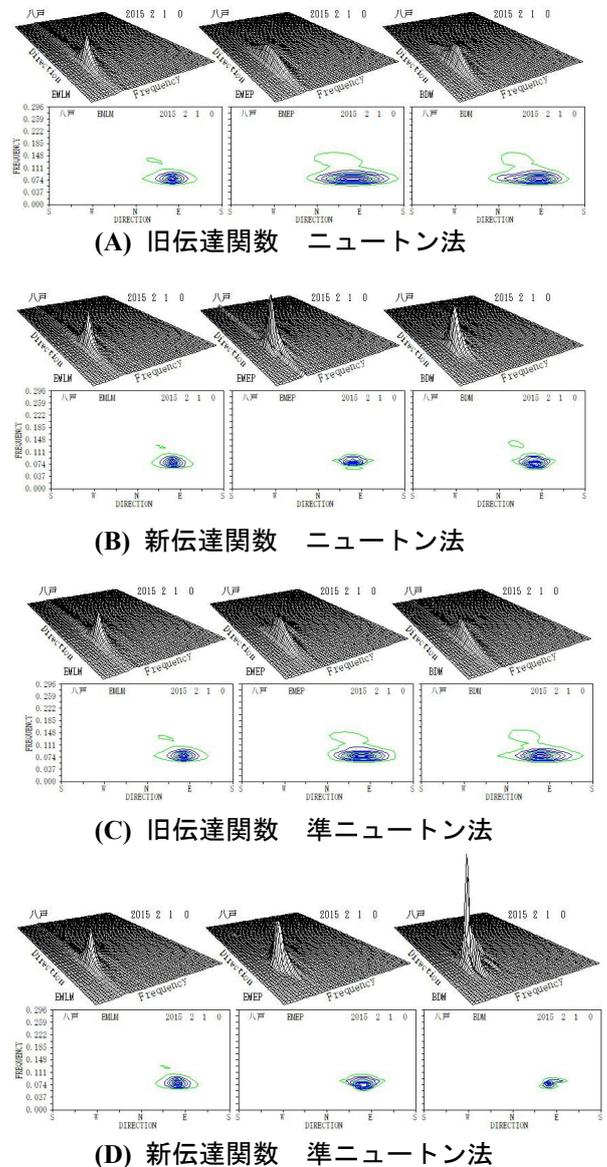


図-3 八戸港における現地観測データの方向スペクトル解析例