

レーダによる波浪データからの流れの分離

小野房吉 : 海洋研究室

Calculation Method of Current from Ocean Wave Data by Rader

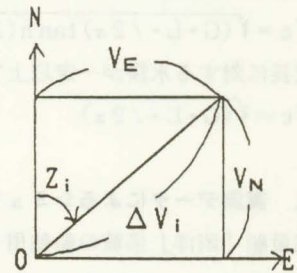
Fusakichi Ono : Marine Research Laboratory

1. まえがき

海洋における波浪の進行速度は、波の波長とその地点の水深によって決る一定の値を持つと言われている。これが正しいとすると波浪観測における観測波速と理論波速の差が海水の流れに対応すると考えられる。最近船舶用レーダ電波の波浪によるリターン信号をA-D変換し、デジタル集録したデータをFFT（高速フーリエ変換）解析することによって波の波長、波速、波高等を測定する装置が開発され、これらの波浪データが取得できるようになったので、このデータからあらに「流れ」を分離する一手法について考察し、電算プログラム化すると共に、実測データに適用しシミュレーションを行ったので報告する。

2. 原 理

小舟で川岸に直角にコースをとると、船の速度と川の流速とが合成されて、岸辺からは小船が斜めに流されているように見る。レーダで観測される波速・波向も海流があれば、当然これに乗った合成波として観測される。海洋では、特定の狭い海域では流れはほぼ一定であり、波向の異なった二組以上の波浪データに含まれる流れ成分から海流を分離することができる。勿論これには流れがないときの波速が、その地点の水深と波の波長によって決る一定の値を持つとしている。そこでいま波浪A, B, C, ……の波速, 波向観測値(ジャイロスコープ基準)及び理論波速を $V_{oi}, Z_{oi}, V_{ci} (i=A, B, C, \dots)$ とし、 $\Delta V_i = V_{oi} - V_{ci} (i=A, B, C, \dots)$ を計算すると、これが流れの波の進行方向成分である。したがって測地座標の東西南北方向速度成分をそれぞれ V_N, V_E とすれば、これと ΔV_i を結びつける観測方程式が次のように書ける。



第1図 方程式の図解

$$\left. \begin{aligned} \Delta V_A &= V_N \cdot \cos Z_A + V_E \cdot \sin Z_A \\ \Delta V_B &= V_N \cdot \cos Z_B + V_E \cdot \sin Z_B \\ \Delta V_C &= V_N \cdot \cos Z_C + V_E \cdot \sin Z_C \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta V_i &= V_N \cdot \cos Z_i + V_E \cdot \sin Z_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

この方程式で未知数は V_N, V_E の二つであるからデータは最低二つで解けるが、それ以上あれば最小二乗法を適用してより精度の高い解が得られる。すなわち、

(1)式の $\cos Z_i, \sin Z_i, \Delta V_i$ をそれぞれ a_i, b_i, c_i とおき、 $[a_i a_i], [a_i b_i], [a_i c_i], [b_i b_i], [b_i c_i]$ の積和を計算して次の正規方程式をつくる。

$$\left. \begin{aligned} V_N [a_i a_i] + V_E [a_i b_i] &= [a_i c_i] \\ V_N [a_i b_i] + V_E [b_i b_i] &= [b_i c_i] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

解は

$$V_N = D \cdot \begin{bmatrix} [a_i c_i] [a_i b_i] \\ [b_i c_i] [b_i b_i] \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$V_E = D \cdot \begin{bmatrix} [a_i a_i] [a_i c_i] \\ [a_i b_i] [b_i c_i] \end{bmatrix} \quad (4)$$

これには、波を観測したレーダが船舶に装備されていて、動きながら観測したデータであれば船速成分も含まれるから、さらに船速補正を行う。すなわち、他の航法装置から得られる船首方位を Z_s 、対地速度を V_s とすれば、この測地座標に対する速度成分 V_{sN} 、 V_{sE} は

$$\left. \begin{aligned} V_{sN} &= V_s \cdot \cos Z_s \\ V_{sE} &= V_s \cdot \sin Z_s \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

これを (3)、(4) 式から差引いた

$$\left. \begin{aligned} V_{CN} &= V_{sN} - V_N \\ V_{CE} &= V_{sE} - V_E \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

が流れの測地座標に対する速度成分である。

これから流れの絶対値 V_A 、流れの方向 Z_A は

$$V_A = \sqrt{V_{CN}^2 + V_{CE}^2} \quad (7)$$

$$Z_A = \cos^{-1} (V_{CN} / V_A) \quad (8)$$

これにより、船舶用レーダで航行中に取得した波浪データから流速を分離することができる。

なお、理論波速 V_c は、それぞれ重力定数、波長、水深を G 、 L 、 H とすれば

$$V_c = \sqrt{(G \cdot L \cdot / 2\pi) \tanh(2\pi H/L)} \quad (9)$$

波長に対する水深が一定以上では、 \tanh の項を “1” としてよく

$$V_c = \sqrt{(G \cdot L \cdot / 2\pi)} \quad (9)'$$

3. 実測データによるシミュレーション

測量船「昭洋」搭載の船舶用レーダに付設した、波浪データ取得装置により取得したデータに提案の方法で解析を試みた。第1表がその波浪データである。取得海域は紀伊半島東南方の熊野灘、表中 V_c は波長と水深から求めた計算値。

レーダ波浪計で取得されるデータ範囲は、当該レーダを中心とした一定距離の水平面内 360° であるが、一回に取得される範囲はそれをさらに4分割した1象限である。測定データは、さらにその象限を21分割し、その領域毎の波向、波長、波高、波速等を与える。一つの領域で観測される有意波種4つまでが計算され表示される。流れ成分の分離にはこのうち波向、波長、波速を用い、一回の計算に用いる最大データ数は 21×4 個である。水深は海底地形図から概略与えた。レーダ画面上の測定値の分布図を第2図に示した。

測定結果

日 時：昭和63年9月20日

場 所：136.2°E 33.3°N, 水深：約2000 m

流れの分離計算結果

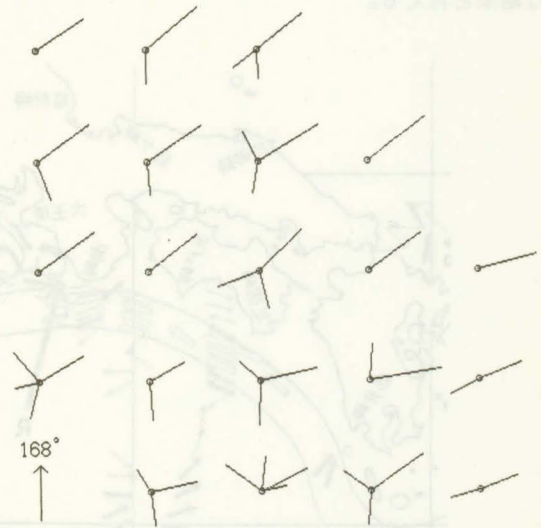
流れの方向：91 (°)

速度：1.1 (kn)

第1表 波浪観測データ 昭和63年9月20日14時

各单位 波向：船首方向から右回りに測った
度，波長：m，波速：m/s，波高：単位なし

波向	波長	波高	観測波速	計算波速
227	197	144	14.9	17.5
003	68	110	10.6	10.3
127	66	116	11.5	10.1
066	53	129	7.3	9.1
223	209	198	20.2	18.1
223	218	208	18.7	18.4
328	84	163	11.5	11.4
225	239	230	17.0	19.3
246	182	150	13.5	16.8
135	85	158	7.6	11.5
341	62	141	10.1	9.8
343	78	138	11.4	11.0
221	206	222	17.4	17.9
224	196	218	18.6	17.5
344	73	158	9.7	10.7
218	244	136	19.2	19.5
348	82	97	9.8	11.3
232	173	244	14.9	16.4
244	61	173	7.4	9.8
175	56	158	9.9	9.3
114	83	177	12.7	11.4
246	177	185	16.9	16.6
349	67	134	12.9	10.2
121	81	141	8.1	11.2
214	184	189	17.1	16.9
334	64	130	11.2	10.0
059	100	166	12.8	12.5
227	207	186	20.5	18.0
358	72	129	9.5	10.6
141	63	119	9.6	9.9
220	182	130	16.9	16.8
345	67	83	8.5	10.2
041	56	77	8.6	9.3
224	191	240	18.5	17.3
112	81	181	9.8	11.2
353	66	142	10.0	10.1
250	215	227	21.1	18.3
173	64	126	10.4	10.0
223	211	179	18.7	18.1
222	191	147	20.9	17.3
063	90	175	9.1	11.8
237	160	174	13.3	15.8
050	89	169	9.5	11.8
244	168	148	17.9	16.2

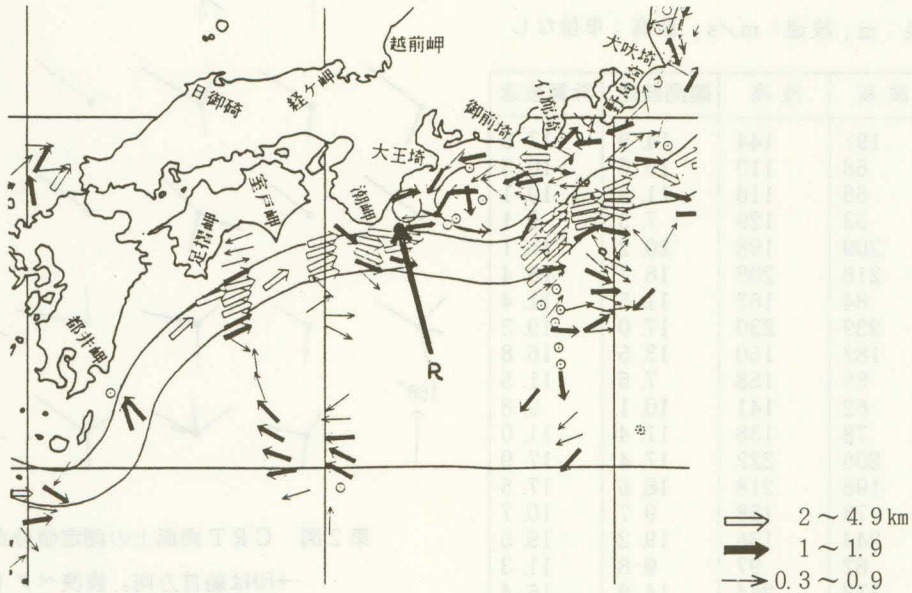


第2図 CRT画面上の測定値分布図

→印は船首方向。波浪ベクトルは○印
に向う方向で大きさは1cmが18m/s
象限：第1象限

4. 他の測定との比較

当日を含む期間の海洋速報を第3図に示す。シミュレーションに用いたデータは、この図と日時が多少ずれていて完全な比較にはならないが、この海域の短時日の間の海流変化は少ないので概況においてほぼ妥当な結果と言える。



第3図 当日を含む期間の海流図

海上保安庁海洋速報 昭和63年第19号

観測期間9月15日~10月5日 R: レーダー観測点

5. 結 び

その海域の流れがほぼ一様と考えられる場合は4つの象限のデータ全部、また流れの時間的変化が殆どない場合は長時間のデータを蓄積し、まとめて計算するとより精度の高い結果が期待できるだろう。このシミュレーションで用いたデータは、船舶がCTD観測のため停船しているときのものです。船速補正がされていないが航走中でも一セットのデータ取得期間中定速定方向のものであれば、原理的に流れの分離は可能である。

参 考 文 献

中嶋 逞・岡田 貢・寄高博行: 沿岸流検知演算システム, P. 71~78 (1989)

日本無線技報: 船舶用波浪観測レーダー, P. 16~21 (1985)

報 告 者 紹 介



Fusakichi Ono

小野 房吉 平成元年11月現在,
本庁水路部企画課海洋研究室研究官