

回転スペクトル解析による新潟沿岸の潮流特性

早川典生*・平田 守**・中田喜三郎***

1. はじめに

沿岸水域の潮流および乱れ速度の特性は、近年多くの観測解析例が報じられ、次第に明らかにされてきている^{1)~4)}。これら既往の研究例では、潮流調和常数值とその変動、パワースペクトルの形状とその変動、平均流(恒流)の変動、拡散係数などが主として取り扱われている。一般に潮流のパワースペクトルは、潮位のパワースペクトルに比べて卓越ピークが鮮明ではなく、倍潮成分も必ずしも小さくないことが知られており、これは潮位が主としてバロトロピック運動を反映するのに対し、潮流はバロクリニックな運動をも反映するためであるといわれている⁵⁾。こうした密度流的特性がどのように働らくかは、特に潮汐周期程度の時間スケールの変動の把握にとって重要である。また拡散係数を求めるにあたっての潮流乱れ速度の抽出方法も、必ずしも確立されたものではないように思われる。

国内における潮流観測解析例としては、瀬戸内海^{1),2),6)}、東京湾⁷⁾、伊勢・三河湾⁸⁾などの内海域、福島沖、遠州灘沖、新潟沖などの外海域⁴⁾に分けられる。内海域の潮流の特性は一般に半日周潮流成分が大ききことである。その潮流楕円は扁平であり、長軸は岸線に平行であることが多い。湾・灘などの内海部ではその地形に主として起因すると思われる潮汐残渣流(平均流)の存在の認められるところがあるが、季節、観測期間、淡水流入量により大きく左右されとも報じられてもいる⁹⁾。外海域では海流、風などの影響を強く受け、数日以上スケールの流れが観測される。また季節による著しい変動も報じられている⁶⁾。

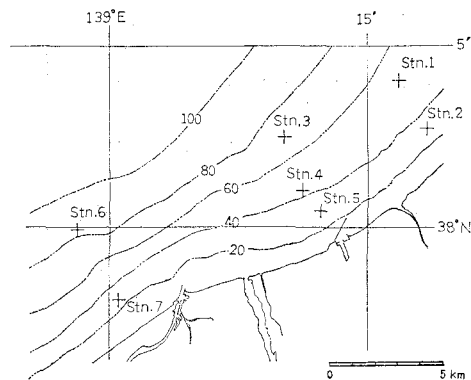
沿岸水域における潮流の特性は、外海の影響を受ける条件であるが、米国沿岸において研究が進んでいる。Winant⁵⁾はカリフォルニア沖の潮流解析から、10 cpd 以上の高周波数領域では岸沖方向が卓越し、岸方向に伝播する内部波である可能性を示唆した。また、Winant・

Olson⁹⁾はバロトロピックな運動は沿岸方向で、バロクリニックな運動は岸沖方向であると報じている。

このような潮流特性を解明するには、普通に用いられる潮流調和常数值や各方向成分のパワースペクトルのみに頼るのは不十分であり、回転スペクトルを用いてより適切な情報を得ることができる。本報告では従来潮流解析の報じられた例の少ない新潟沿岸において、通商産業省が1981年に実施した潮流連続観測資料を用いて、主として回転スペクトルを用いて潮流特性を明らかにしようとするものである。

2. 観測資料

観測資料は、通産省が新潟東港地区産業公害総合事前調査の一部として、1981年7月8日から8月8日までの期間に行った潮流の連続観測データである。測点は図一1に示す7測点であり、測定水深は表面下5m、測点4



図一1 測点図(図中水深は m)

については、底上5mにおいても測定(以下測点4'とする)が行われた。測定機器はいわゆるベルゲン型流速計であり、表面ブイを使用して門型に保留した。底上5mの測定にあたっては、海底から吊り上げる方法を採用した。データは、 $\Delta t = 10$ 分間隔で得られ、データ個数 N は測点1, 5を除いては4096 ($N\Delta t = 28.44$ 日)、測点1では2700個 ($N\Delta t = 18.75$ 日)、測点5では3645個 ($N\Delta t = 25.31$ 日)であった。

* 正会員 Ph.D. 長岡技術科学大学教授 工学部建設系

** 学生会員 長岡技術科学大学大学院

*** 通商産業省工業技術院公害資源研究所主任研究員

3. 解析方法

各測点について、10分間隔で得られた東方分速 u_i 、北方分速 v_i のデータ処理の手法を述べる。各分速データから、FFTによりパワースペクトルの“生の”測値を求める。一般にはこの“生の”予測値は、自由度を上げるために平滑化を行う¹⁰⁾。しかしながら、全周波数領域にわたって同一自由度を採用すると、分解帯幅も一定になり、全周波数帯にわたっての傾向を読み取ることが困難になる場合がある。こういった観点から、パワースペクトルの推測誤差が十分小さい範囲内で、分解帯幅を周波数と同一傾向に変化させるような平滑化を行った。本報では、最小の周波数 $f=1/N\Delta t$ から12個のデータについては3個の移動平均、次の12個は5個の移動平均と平滑化の方法を変化させた。ただ

し、処理能力上 $f=1.7\times 10^{-4}$ Hz (周期=1.6 hr) でこの方法は中断し、それより高周波数域では、128個のデータ9組をFFT変換し、その平均値を推測スペクトル値とした。すなわち $N=4096$ の場合自由度は最小周波数 $f=4.07\times 10^{-7}$ Hz で6, $f=1.7\times 10^{-4}$ Hz で142, それ以上 $f=8.33\times 10^{-4}$ Hz までは18である¹⁰⁾。

スペクトル推測値について反時計まわりスペクトル、時計まわりスペクトル、主軸方向、主軸方向の安定度、回転係数を求めた¹¹⁾。

4. 回転スペクトル

図-2(a)~(d)に測点3, 4, 4', 5の反時計まわりおよび時計まわりパワースペクトルを示す。図-3(a)~(d)には各周波数成分の主軸方向を示す。図-2より測点3の5日以上周期成分を除いては、時計まわりスペクトル

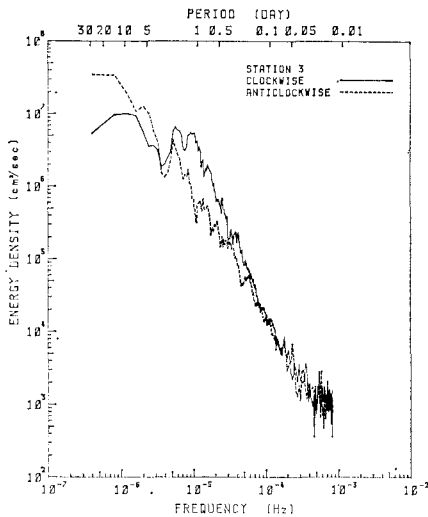


図-2(a) 回転スペクトル (測点 3)

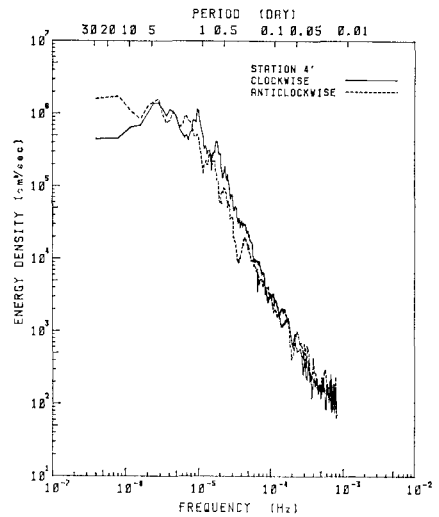


図-2(c) 回転スペクトル (測点 4')

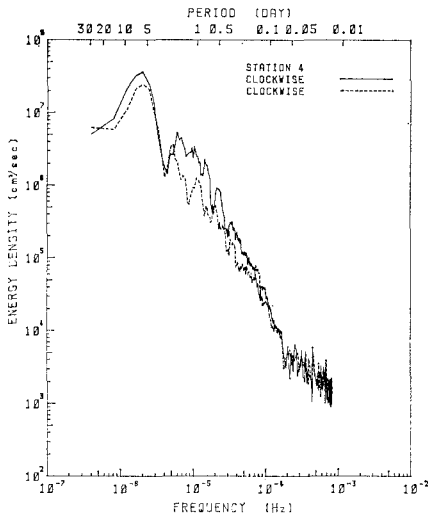


図-2(b) 回転スペクトル (測点 4)

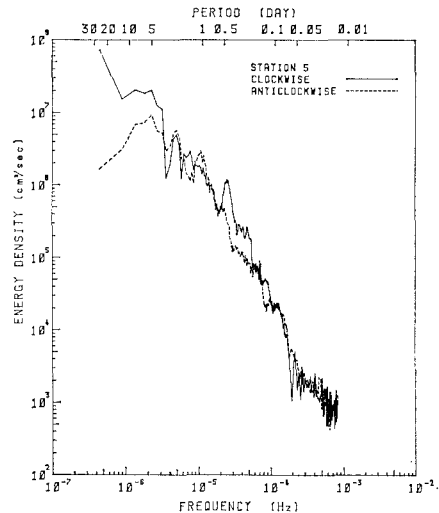
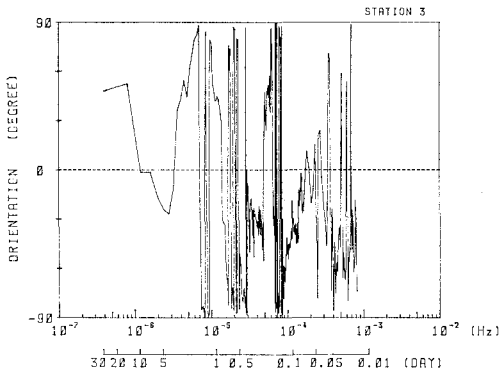
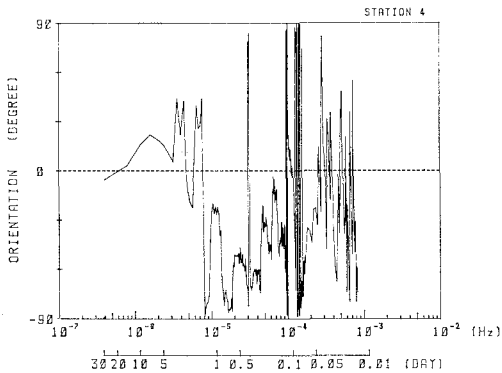
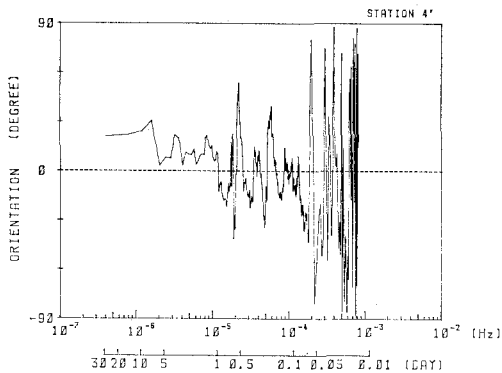
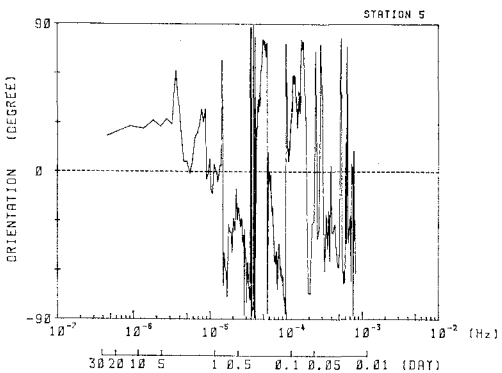


図-2(d) 回転スペクトル (測点 5)


 図-3 (a) 主軸方向 (測点 3, $0^\circ=E$, $90^\circ=N$)

 図-3 (b) 主軸方向 (測点 4, $0^\circ=E$, $90^\circ=N$)

 図-3 (c) 主軸方向 (測点 4', $0^\circ=E$, $90^\circ=N$)

 図-3 (d) 主軸方向 (測点 5, $0^\circ=E$, $90^\circ=N$)

成分が一般に大きく、両スペクトルに差が見られる（従ってホドグラフが楕円を描く）のは、 0.2 日以上周期であり、それ以下の周期の高周波成分には、両スペクトルの差に明瞭な差が認められない。これを 図-3 (a)~(d) で見ると、この領域の流向は一定していなく、計算により求めた安定性も低い。Winant⁵⁾ はカリフォルニア沖のデータから、高周波成分は岸沖方向であるとしているが、本資料にはそのような傾向はなかった。いずれにせよ、主軸方向と安定性から 10 cpd 以上の高周波成分が乱れであると考えられ、これは Winant の観察に一致している。

半日周期成分と 1 日周期成分には明瞭な傾向が見られる。すなわち半日周期成分は、沖合の測点 3 では卓越していないが岸側の測点 5 では卓越している。これとは対照的に 1 日周期成分は沖合測点 5 で最も卓越している。またその主軸方向も、半日周期成分ではほぼ岸沖方向であり、 1 日周期成分ではむしろ等深線に沿っている。本水域は日周潮の卓越する水域であるが、日周潮流と半日周潮流にはこのように著しい差がある。前述の Winant・Olson⁹⁾ の観察では、沿岸方向の運動はバロトロピックであり、岸沖方向はバロクリニック的である。この時期に水温塩分の観測が行われており、表層から 20 m の深さで水温 4°C 低下、塩分 10‰ 上昇を観察しており、バロクリニック運動の発生する可能性が高い。

測点 4' の回転スペクトル (図-2 (c)) は、他の測点に比べて数倍小さい値を示している。またその回転方向も時計まわりが優勢、主軸方向もほぼ 0° と表層と異なった傾向を示している。

図-4 (a)・(b) には測点 3, 5 の回転係数を示す。回転係数は 1 で円運動を、 0 で直線運動を示す。図中の破線は時計まわりと反時計まわりに同じ力が働いたと仮定した時の線形解であり、沖合の測点 3 では線形解と同一の傾向が認められるが、岸側の測点 5 では全く傾向を異にする。すなわち、沖合の流れは地球自転の影響を受けているが、岸側では全く受けていないものと思われる。

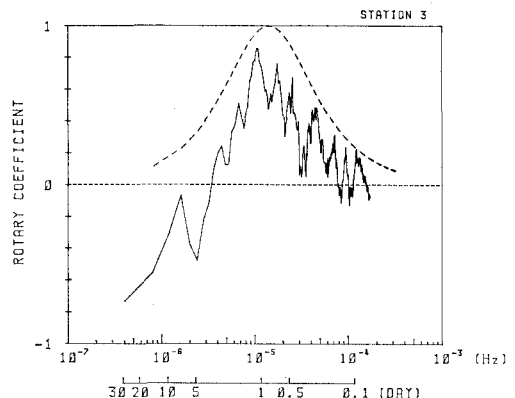


図-4 (a) 回転係数 (測点 3)

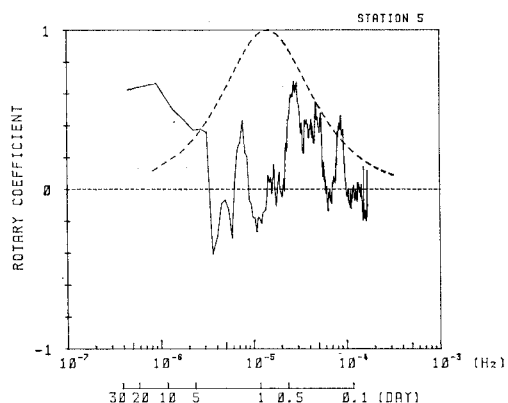


図-4(b) 回転係数(測点 5)

測点 1, 2, 5, 6 のデータについてもここで述べられたと同様な結果が得られた。なお本水域の特徴として 1 日以上成分の存在も認められ、主として気象的要因によるものと思われるが、本報では解析の対象外とした。

5. 潮位と潮流の相関

本水域の潮汐は、表-1 に主要 4 分潮の調和常数を示すように、日周潮が卓越しており、新潟における潮型指数 $(K_1 + O_1)/(M_2 + S_2) = 1.32$ である。潮汐振幅には各検潮所ごとの有意差は認められない。日周潮 K_1 は、両津・新潟・酒田間ほとんど同位相であり、半日周潮 M_2 は両津・新潟間で 18° の遅れがあるが、沿岸方向の位相差は明確ではない。以上の観察より半日周潮流が岸沖方向的

表-1 新潟周辺の潮汐調和常数

		K_1		O_1		M_2		S_2	
		H	κ	H	κ	H	κ	H	κ
輪	島	5.2	346	5.2	320	6.0	80	2.1	107
直	江	4	338	5	324	6	81	2	106
新	潟	5.0	355	5.3	327	5.7	87	2.1	120
酒	田	5.2	353	5.6	324	5.5	91	1.9	124
両	津	6	354	5	309	6	74	2	140

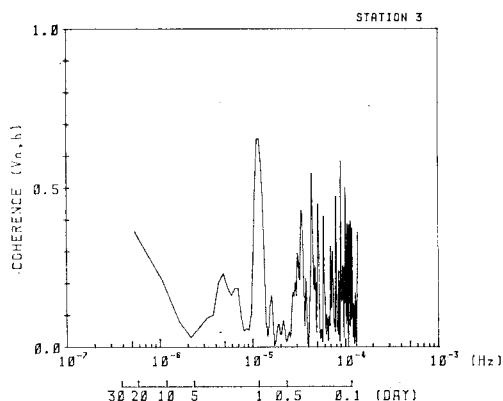


図-5(a) コヒーレンス(北方分速=潮位, 測点 3)

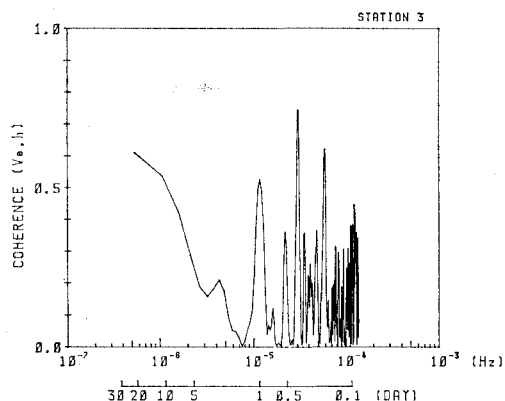


図-5(b) コヒーレンス(東方分速=潮位, 測点 3)

であるのはある程度説明がつくが、日周潮流が沿岸方向的であるのは説明し難い。そこで潮流の各成分と新潟東港潮位とのコヒーレンスを求めた。図-5(a)・(b)はそのうち測点 3 のおのおの北方成分・東方成分と潮位とのコヒーレンスを示したものである。図より日周潮流は潮位と相関が高いが、半日周潮流は東方成分に若干相関性は見られるものの、全体として潮位との相関は低い。すなわち日周潮流はバロトロピックな運動である潮位変動によってひき起されるが、半日周潮流は潮位変動に直接起因する成分だけでなくバロクリニックな運動によってもひき起されている可能性が高い。

6. 結 語

新潟沿岸の潮流連続観測資料を、回転スペクトルの手法を用いて解析し次の結論を得た。

- 1) 本水域の潮汐は日周潮型であるが、沖合測点では日周潮流が卓越し、岸近くでは半日周潮流が卓越している。
- 2) 各測点で反時計まわりパワースペクトルが時計まわり成分より大きく、両スペクトルに差があるのは 0.2 日以上周期成分である。
- 3) 0.1~0.2 日周期より短い、高周波成分は流向も一定していなく不安定であるので乱れとして考えられる。
- 4) 半日周潮流は岸沖方向であることが多く、日周潮流は沿岸方向であることが多い。潮位・潮流の相互相関解析からは、日周潮流は潮位と相関が強いが、半日周潮流は相関が弱い。従って日周潮流はバロトロピックであり半日周潮流はバロクリニックである可能性が高い。
- 5) 底層流のパワースペクトルは、表層流の値に比べて数倍小さく、回転性も少ない。

参 考 文 献

- 1) 和田 明: 海洋環境変動予測のための観測とその評価, 第 23 回水講演文集, 1979.
- 2) 和田 明: 沿岸付近の物質拡散, 1978 年度水工学シリー

- ズ, 78-B-6, 土木学会水理委員会, 1978.
 - 3) Nakajima, H. and N. Hayakawa: A cross-correlation analysis of tidal current, water temperature and salinity records, *J. Ocean. Soc. Japan*, Vol. 38, No. 2, pp. 52~56, 1982.
 - 4) 和田 明・石橋道生: 外海域での流動と拡散特性, 第 29 回海岸工学講演会論文集, pp. 589~593, 1982.
 - 5) Winant, C. D.: Coastal circulation and wind-induced currents, *Annual Rev. Fluid Mech.*, Vol. 12, pp. 271~301, 1980.
 - 6) 村上和男・森川雅行・坂口達也・早川典生: 大阪湾潮流観測データの解析, 第 29 回海岸工学講演会論文集, pp. 624~628, 1982.
 - 7) 市原正史・大村哲夫・福代倫男・野沢良一: 東京湾の潮流観測とシミュレーション, 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp. 448~452, 1980.
 - 8) 中島幹夫・森脇敏雄・村田 繁・馬場孝博・菅谷 勇: 伊勢湾水理模型実験と現地調査 (第 4 報), 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp. 918~922, 1979.
 - 9) Winant, C. D. and J. Olson: The vertical structure of coastal currents, *Deep Sea Research*, Vol. 23, pp. 925~936, 1976.
 - 10) Bendat, J. S. and A. G. Piersol: *Random data: Analysis and Measurement Procedures*, Wiley-Interscience, 1971.
 - 11) Gonella, J.: A rotary-component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series, *Deep-Sea Research*, Vol. 19, pp. 833~846, 1972.
-