

冬季における 能登半島沖の風と表面流に関する研究

A Correlation Study of Wind and Surface Current of Noto Peninsula in Winter

犬飼直之¹・早川典生²・福嶋祐介³
Naoyuki INUKAI, Norio HAYAKAWA and Yusuke FUKUSHIMA

¹正会員 工修 長岡技術科学大学助手 工学部環境・建設系 (〒940-21 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

²正会員 Ph.D 長岡技術科学大学教授 工学部環境・建設系 (〒940-21 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

³正会員 工博 長岡技術科学大学教授 工学部環境・建設系 (〒940-21 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

A Russian Tanker sank in Japan Sea on February 2, 1997 and the spilled oil is dispersed along the Japanese Coastline. In this incident, the spilled oil flowed west over 300km for 15days. It has been known in the Japan Sea that in winter the wind driven current is dominant over the tidal flow and sea current. This study, therefore, explores the relation between wind and surface current using the measured data off the Noto Peninsula as well as the calculated geostrophic wind. The wind data is analyzed to obtain the predominant wind direction of NW and the deviation from the geostrophic flow. The auto-correlation study of wind and surface current gives the correlation scale of 20h and 13h for wind and current respectively. The cross-correlation study gives the wind-to-current response time scale of 5h.

Key Words : Noto Peninsula, Wind Driven Flow, Auto-Correlation, Cross-Correlation

1. はじめに

1997年1月の日本海重油流出事故では重油は能登半島の西側沿岸を北上し、新潟方向へおよそ300km以上の距離を約2週間かけて漂流した。これは20cm/s以上の平均流速となるが、潮汐流や海流はこの海域では数cm/sの速度であり、この流れは吹送流によるものと考えられる。よって冬季日本海の流動機構を把握するには、まず吹送流の流動機構を解明する必要がある。

本研究では日本海重油事故時に観測された能登半島沖の風と海表面流況データを用いて種々の解析をおこない、冬季の能登半島先端付近における海域の流動機構を解明することを目的とする。

2. 本研究の概要

まず、能登半島沖の舢倉島で観測された風データを用いて頻度特性や風向や風速の関係についてなどの解析をおこなった。次に天気図より求めた能登半島沖の地衡風の計算結果について観測値と比較検討をおこなった。最後に図-1に示す海域の、VHF短波海洋レーダ¹⁾による海表面の流況観測データと風データを利用して、自己相関や相互相関を求め、流動機構の解明を試みた。

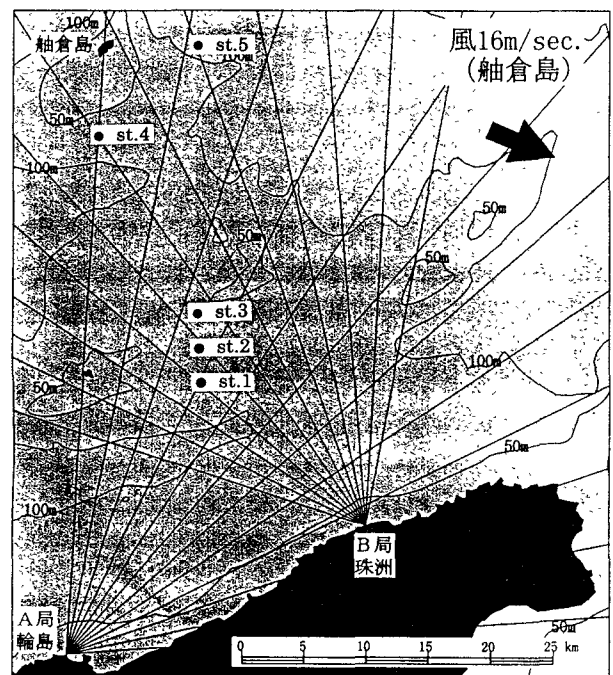


図-1 海域図およびVHFレーダ観測領域

3. 結果と考察

(1) 風データの解析

図-2は能登半島沖の舳倉島灯台で1997年2月1日から28日の期間に2時間間隔で観測された風データのエネルギー特性である。風エネルギーは風速値を2乗し各方位毎に加算して求めた。図によると、期間中の卓越風向はNWである。

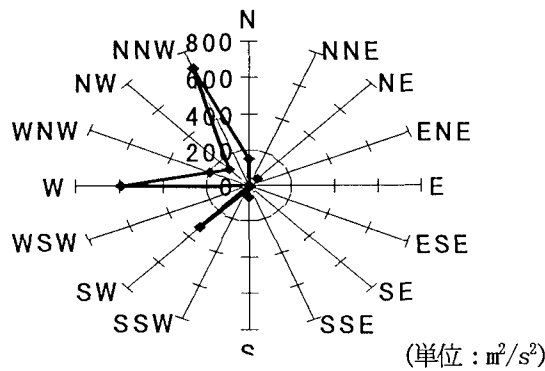
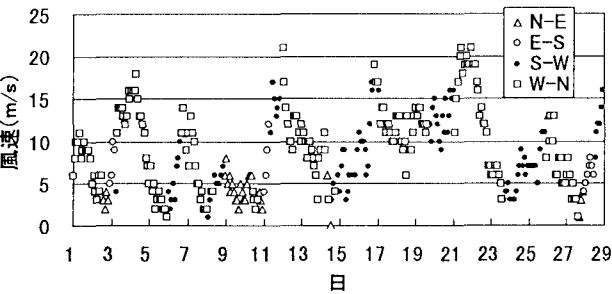
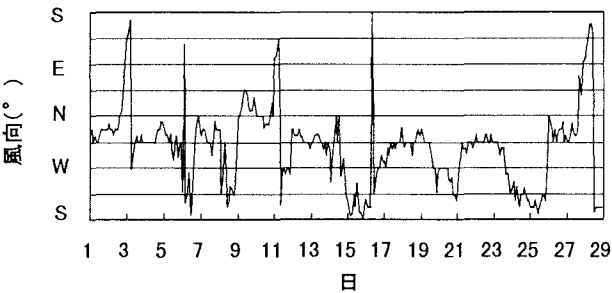


図- 2 風の頻度特性 (舳倉島、1997年2月1日-28日)

次に図-3に風向・風速の時系列を示す。図中、風速は風向によって4種類に分類した。図によると、W-Nからの風向のときは最大風速から減少する。また、S-Wからの風向のときは最小風速から増加する。能登付近では風向は右回転の方向に変化する。



(a) 風速の時間変化 (風向で分類)
(「N-E」はN-E間の風向を示す)



(b) 風向の時間変化 (N→S:0° , 右回り:正)

図- 3 風の時間変化 (1997年2月1日-28日、舳倉島)

(2) 地衡風計算

天気図より能登半島付近の地衡風を計算し、観測結果と比較をおこなった。

ここで、地衡風の計算式は次式で示される。

$$u = -\frac{1}{f\rho} \frac{\partial P}{\partial y}, \quad v = \frac{1}{f\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \tag{1}$$

ここで、u：東西方向風速、v：南北方向風速、f：コリオリ力、ρ：空気密度、P：気圧である。

天気図は1997年2月1日から8日までの6時間毎の気象庁発表の地上天気図を使用し、能登半島付近の気圧勾配を求め風向・風速の計算をおこなった。図-4は計算値と観測値

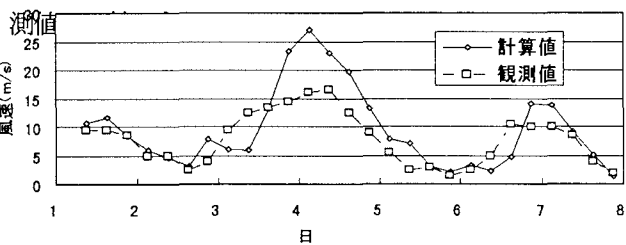


図- 4 風向・風速の比較 (1997年2月1日-8日)

図中、計算値の風向・風速とも観測値よりも大きい。これは地衡風は海(地)表面付近の摩擦で減衰し、さらに進行方向左へ曲がることによる。図によると、観測風速は計算値の平均0.73倍であり、進行方向左へ平均42°の角度差がある。舳倉島は本州から40km以上の沖にあり、更に東西500m×南北1500mの小さな孤島であり標高は13m弱である。よって地形の影響による風向・風速の変化は小さいと考えることができ、日本海全域で上で求めた関係があるものと仮定すると、天気図より日本海全域の地衡風を算定することができる。

(3) 自己相関

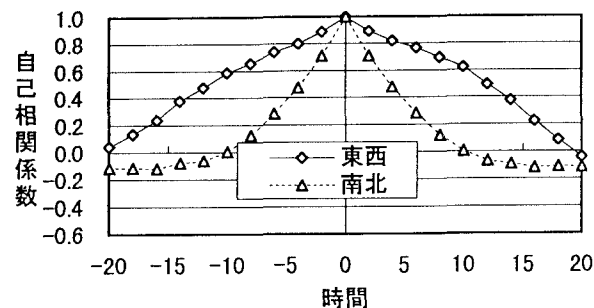
自己相関係数は、1つの不規則変動x(t)とτ時間隔の変動x(t+τ)で定義される。自己相関関数Cと自己相関係数Rは次式で示される²⁾。

$$C(\tau) = \overline{x(t)x(t+\tau)} \tag{2}$$

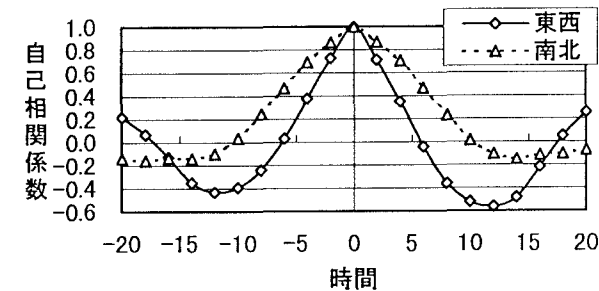
$$R(\tau) = C(\tau)/C(0) \tag{3}$$

本研究では、ある時間における流れは同地点において何時間後まで影響を及ぼすかを調べるためにVHF短波海洋レーダ¹⁾によって観測されたデータのうち連続データが存在している1997年2月1日0時から5日22時までの2時間毎について、観測点全点で自己相関係数を求めた。ここで、 τ を ± 20 時間(± 10 点)とした。

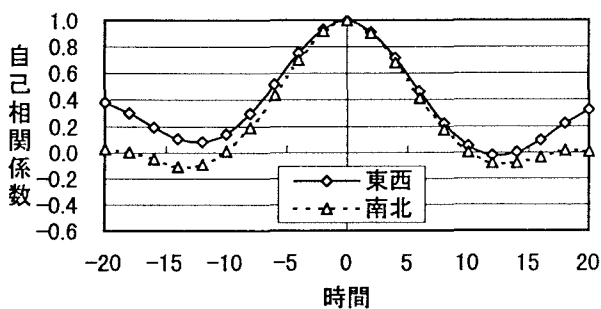
図-5は風と観測点St. 1とSt. 4の流れの自己相関係数の時間変化である。図によると、風の自己相関は東西方向で継続時間が長く、およそ20時間である。流れの自己相関についてはSt. 1は南北方向が継続時間が長く、およそ10時間であり、St. 4では東西および南北方向とも継続時間は10時間である。



(a) 風 (舳倉島)



(b) 流れ (St. 1、能登半島沖18km)



(c) 流れ (St. 4、舳倉島沖9km)

図-5 自己相関係数の時間変化
(1997年2月1日0時-5日22時)

次に、図-6に海域全域における南北方向の流れの自己相関係数の継続時間の平面分布を示す。図によると、海域の西側で継続時間が長く、東側で短い。

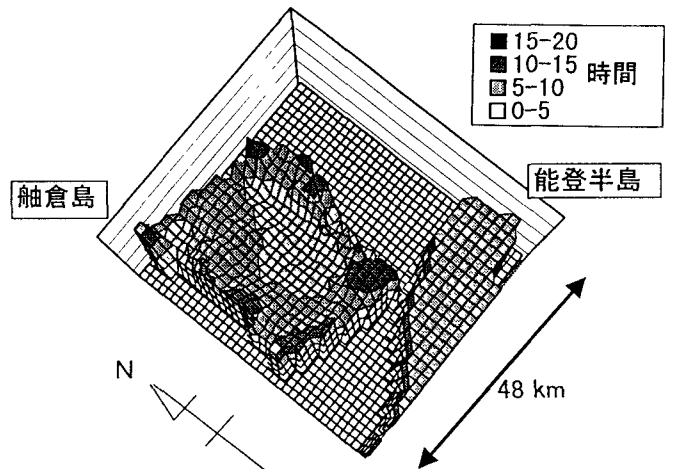


図-6 自己相関継続時間の平面分布 (南北流成分)

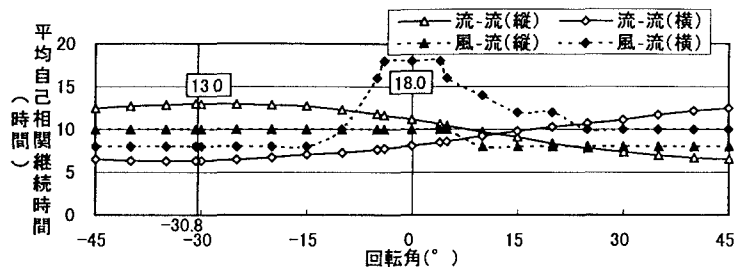


図-7 座標回転による平均自己相関継続時間の変化
(左回転を負)

上述までは、東西・南北の2方向についての自己相関について調べた。次に座標軸を回転させ、この海域で一番継続時間が長くなるように、つまり相関が一番高くなるように自己相関係数を求めた。図-7に結果を示す。図は座標の回転角度と海域の自己相関の平均継続時間の関係である。ここで、継続時間は流れの変化の安易度を示し、時間が長いということは流れが変化をしにくいということを示す。図によると、流れの自己相関の継続時間が最大になるのは、北から西へ 30.8° の回転角度であり、継続時間は13時間である。また風は 0° である。

(4) 相互相関

相互相関係数は2つの不規則変動 $x(t)$ と $y(t)$ で定義される。相互相関関数 C_{xy} および相互相関係数 R_{xy} は次式で示される²⁾。

$$C_{xy}(\tau) = \overline{x(t)y(t+\tau)} \quad (4)$$

$$R_{xy}(\tau) = C_{xy}(\tau) / \sqrt{C_x(0)C_y(0)} \quad (5)$$

本研究では、2点間の流れの応答時間や風と流れの応答時間などを調べるために1997年2月1日0時から5日22時

までの2時間毎のデータについて、各点で相互相関係数を求めた。図-8は舢倉島付近を基準とした南北方向の流れの相互相関係数の最大値の平面分布であり、図-9は相互相関係数が最大になるまでの時間の平面分布である。本稿では東西方向の図は相関が低いので省略する。これらの図によると、舢倉島周辺では相互相関係数が一番大きくなり、距離に反比例して同心円状に減少する。また島周辺では相関は短時間で最大になり、距離に比例して時間が増加する。また、舢倉島と島から約40 km離れた能登半島付近の流れの応答時間は約6時間である。これによると、伝播速度は約7km/hとなる。

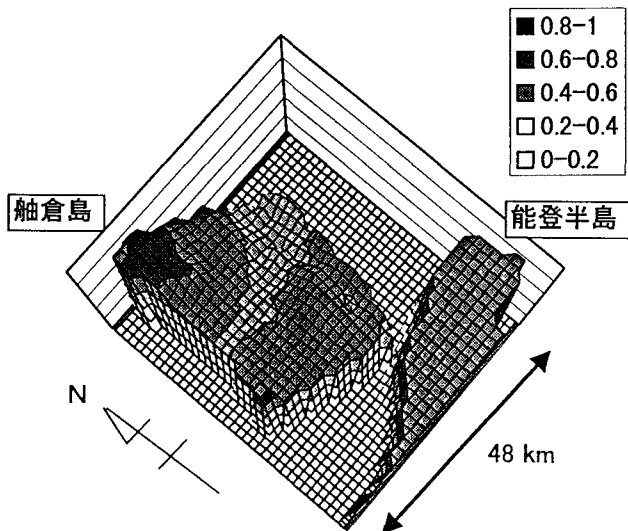


図- 8 流れの相互相関係数の分布 (最大値)
(舢倉島付近の流れを基準, 南北流成分)

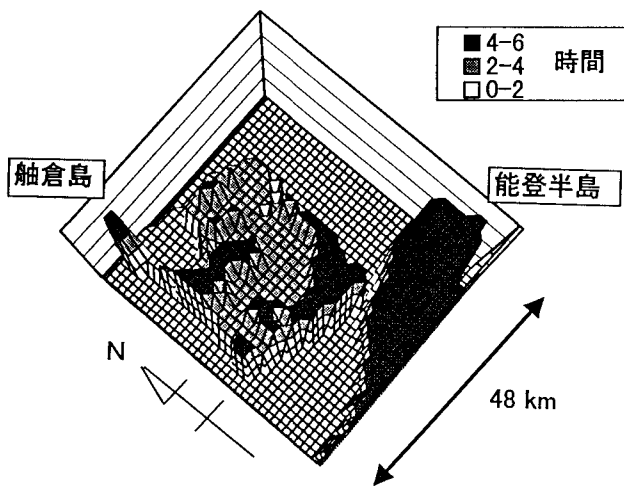


図- 9 流れの相互相関係数が最大値になるまでの時間分布 (舢倉島付近の流れを基準, 南北流成分)

図-10は舢倉島での風と海域の南北方向の流れとの相互相関係数の最大値の平面分布であり、図-11は相互相関係数が最大になるまでの時間の平面分布である。本稿では東西方向の図は相関が低いので省略する。図-10に

よると、島周辺では相関係数は0.5程度であるが、その他の海域では0.7前後で相関がかなり高い。これより、この海域の流れは南北方向の風に強く影響を受けていると言える。また、図-11によると、この海域の南北方向の風と流れの応答時間は約5時間前後であると言える。

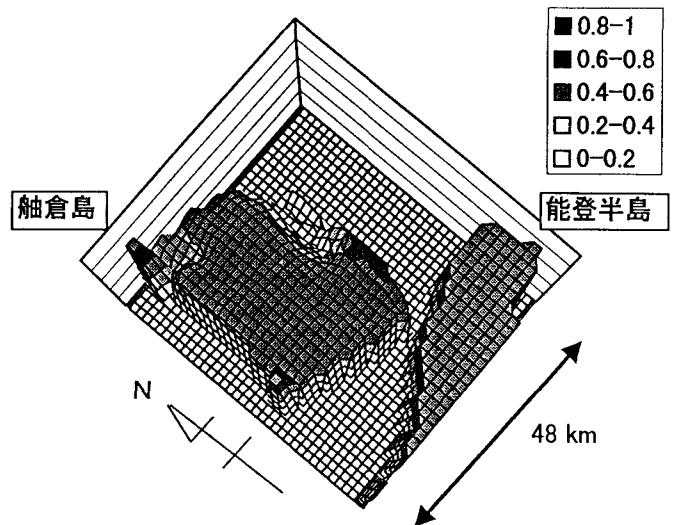


図- 10 風と流れの相関係数の分布 (最大値)

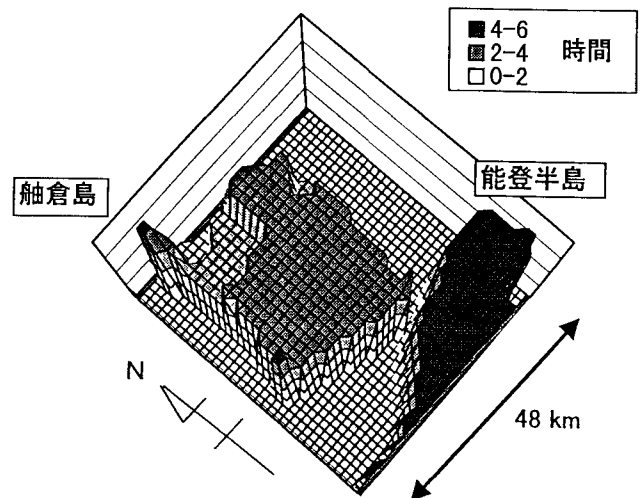


図- 11 風と流れの相互相関係数が最大値になるまでの時間分布 (舢倉島付近の流れを基準, 南北流成分)

上述までは東西・南北の2方向についての風と流れの相互相関について調べた。次に座標軸を回転させ、この海域で相互相関係数が一番高くなる方向を求めた。図-12は座標の回転角度と海域の平均の相互相関係数の関係である。図によると、舢倉島を基準とした流れの相互相関係数が最大になるのは、北から西へ 16.4° の回転角度であり、風と流れの係数は北から西へ 7.0° の回転角度で最大になる。ここでの相互相関係数は、流れが伝播する安易度を示し、係数が高いほど影響を受け伝播し易いことを示す。よって北から西へ 16.4° の回転角度が一番

流れを伝播するというを示す。この海域の卓越風向はNWであり、これからこの海域の流れは非常に強く風の影響を受けていることが分かる。

また、図-13は座標回転をしないと図-12で求めた角度に回転したときのSt. 1とSt. 4での相互相関係数の時間変化である。図によると、基準点である舢倉島に近いSt. 4では応答時間が0に近く、約20km離れたSt. 1での応答時間は約3時間である。これからも伝播速度は約7km/hであることが分かる。また座標を回転させると、St. 1の相関係数が約0.8にまで高くなる。

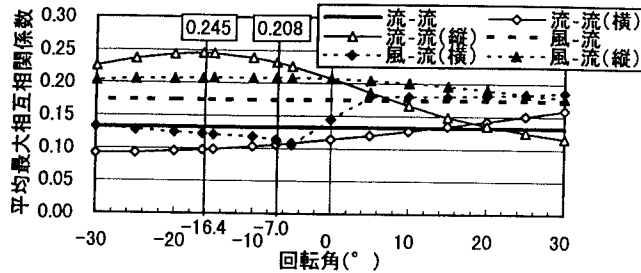
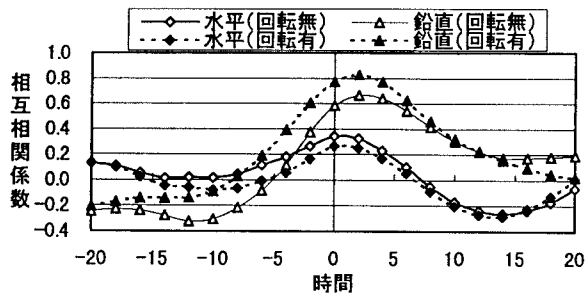
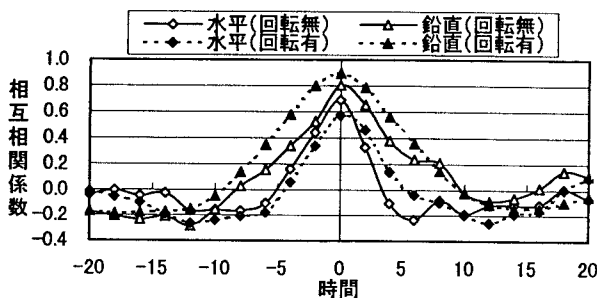


図-12 座標回転による平均最大相互相関係数の変化 (左回転を負)



(a) St. 1 (能登半島沖18km)

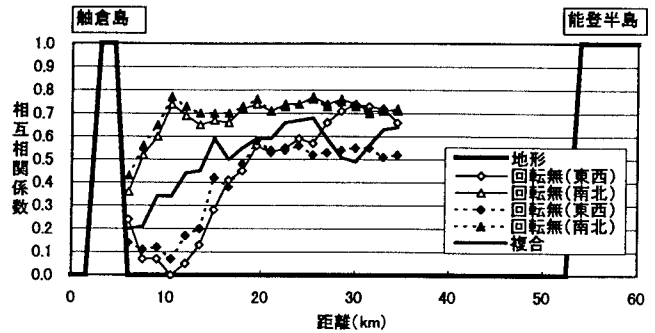


(b) St. 4 (舢倉島沖9km)

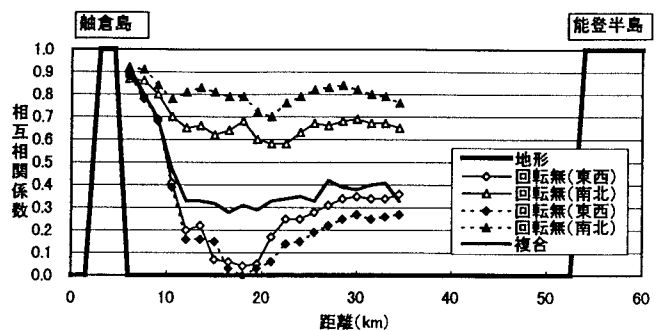
図-13 座標回転による流れの相互相関係数の時間変化 (舢倉島付近の流れを基準, 回転角, -16.4° , 左回転を負)

図-14は座標回転をしないと図-12で求めた角度に回転したときの舢倉島-能登半島間の南北方向の相関係数の断面分布である。図-14(a)によると、回転をしないと、相関は島から15km付近で係数が0に近くなるが、回転をすると0.7以上の高い係数が継続する。また図-

14(b)によると、島付近では風と流れの相関はほとんどないが、島から10km離れた距離あたりから係数が大きくなる。更に座標を回転すると、約0.7の係数が継続する。



(a) 風と流れ (回転角: -7.0°)



(b) 流れ (舢倉島付近の流れを基準, 回転角: -16.4°)

図-14 座標回転による相互相関係数の水平分布の変化 (舢倉島-能登半島, 南北方向断面, 左回転を負)

4. まとめ

本研究では冬季能登半島先端部における風と表面流況の観測結果を用いて風と流れの特性について検討をおこなった。以下に主たる結論を示す。

- (1) 観測データより卓越風向と風速の時間変化について解析をおこなった。これによると、冬季の卓越風向はNWである。また、風向がW-Nになると風速は最大となるが、その後は減少する。また風向がS-Wからになると風速は最小値から増加する。
- (2) 天気図より能登半島付近の気圧勾配を求め、地衡風計算をおこなった。これによると、風速の観測値は平均すると計算値の約0.73倍であり、風向差は平均すると進行方向左へ 42° である。
- (3) 風と流れについて自己相関を求めた。それによると、風の自己相関は20時間継続し、流れは13時間継続する。流れの相関の継続時間は北から西へ 30.8° の方向が一番長く、風の相関の継続時間は北の方向が一番長い。
- (4) 風と流れについて相互相関を求めた。これによると、風と流れの応答時間は約5時間前後であり、流れの伝播

速度は約7km/hである。

また、舳倉島を基準にした流れについての相関が全域で最大となるのは北から西へ 16.4° の回転方向であり、風と流れについては北から西へ 7.0° の回転方向である。
(5) これらの結果より、この海域では表面流は風の影響を非常に強く受けているといえる。

謝辞：本研究では、郵政省沖縄電波観測所より情報を提供していただいた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 徳田正幸・村上和男・渥美泰彦・永松宏：VHF沿岸海洋レーダの開発と流れ観測、海岸工学論文集、Vol. 44, pp. 1276-1280, 1997.
- 2) 日野幹雄 スペクトル解析, 朝倉書店, 1977.
- 3) 宇野木早苗：沿岸の海洋物理学, 東海大学出版会, 1993.

(1998. 9. 30受付)