

外海域での流動と拡散特性

和田 明*・石橋 道生**

1. 目的

沿岸海洋過程の研究分野においては、海洋の動的な状態を把握し、海洋構造を支配する多くの素過程の役割を明らかにすることが一つの大きな研究目標となっている。それは流動にせよ、密度構造にせよ、海洋の物理的素過程そのものが時間的・空間的にかなりの変動性をもっているからである。本文では太平洋浜通り海域で実施された水温、流動の連続観測資料の統計解析結果に基づいて、比較的大きいスケールの現象を対象として流動の短周期および長周期変動特性ならびに水温の変動特性について検討した結果を述べたものである。

2. 現象の規模と観測データの評価

海域には海流、吹送流、潮流などならびにそれらからエネルギーを与えられた大小さまざまな渦が存在し、対象とする時間・空間スケールによってその性質は異なるであろう。従って拡散現象を把握するに当っては、対象とする現象の時間・空間スケールを考慮した現地観測が不可欠であるものと考えられる。たとえば数 km の空間スケールを対象とする場合には、これを支配する乱れの時間スケールは約 1~2 日程度と考えられ、その程度のスケールの乱れは約半月間の観測期間でもって十分把握できるものと考えられる。

しかし、外海に直接面した海域では海流からの分枝流、風などの影響を受け、数日以上長周期の変動成分が流れのなかに含まれることがある。従って、大きなスケールの拡散現象を考える場合には長周期成分をどのように考え、拡散モデルのなかに取りこむかが重要な検討事項となる。

3. 沿岸流の長周期変動

外海に面した沿岸域では 2 日~1 週間におよぶ長周期流速変動が普遍的に存在している。数 10 km 以上のスケールを持ち、数 km/hr の位相速度で前進する流れで、

その長周期変動が海洋学上の陸棚波に近い性質を示すことがあるといわれている。太平洋浜通り海域にあっては北流、南流の交番現象を示すことが多い。

観測した流速データは理論的な陸棚波とは若干異なった種々の特性を示す。その原因として陸地境界の影響を受けた沿岸境界層を形成するためと考えられる。境界層の幅は離岸数 km 程度であり、この範囲の浅海域では沖合とは異なった流れの特徴が現われている。現象論的には碎波帯の沖側より離岸 1~2 km (流速分布が急激に変わる領域)、それより沖側の領域、碎波帯内の 3 つの領域に分けられる。この現象として、温排水拡散パターンで沿岸方向のスケールと岸沖方向のスケールとの比が大きくなる場合があり、拡散分布の沖合への拡がりには沿岸境界層の幅と同程度かそれ以下になる場合がある。つまり、温排水塊と環境水との境界は数 °C の温度差のある明確なフロントを形成してはいわゆる entrapment 現象を示すことがある。

沿岸の流れに周期性のない外海域において、例えば 1 日程度の拡散現象を考えると、1 日以下の短周期変動は乱れとして拡散過程に作用し、長周期変動は移流効果(恒流成分)として寄与するものと考えることができる。恒流成分を推定する方法として次の方法が考えられる。それは対象とする現象の時間スケールで流速変動記録を移動平均すると、その時間スケール以下の高周波成分の乱れは除去され、それ以上の長周期成分のみが残ってくる。この移動平均された流速変動より対象海域における代表的な恒流成分を決定する。そのためには、移動平均された流速変動成分の頻度分布を計算し、最も頻度の高い成分を恒流成分として採用するのも一つの方法である。この場合、この恒流成分の継続時間についても十分検討する必要がある。

4. 浜通り海域の長周期変動特性

(1) 流況観測の内容

図-1 は太平洋浜通り海域における流動の長周期変動特性を調べるための観測点の配置を示す。観測点は 19 点であり、そのうち ST. A, ST. B および ST. C では通年観測を行ない、その他の測点では主として 4 シーズ

* 正会員 工博 財団法人 電力中央研究所 土木技術研究所環境水理部長

** 工修 東京電力株式会社 技術開発研究所

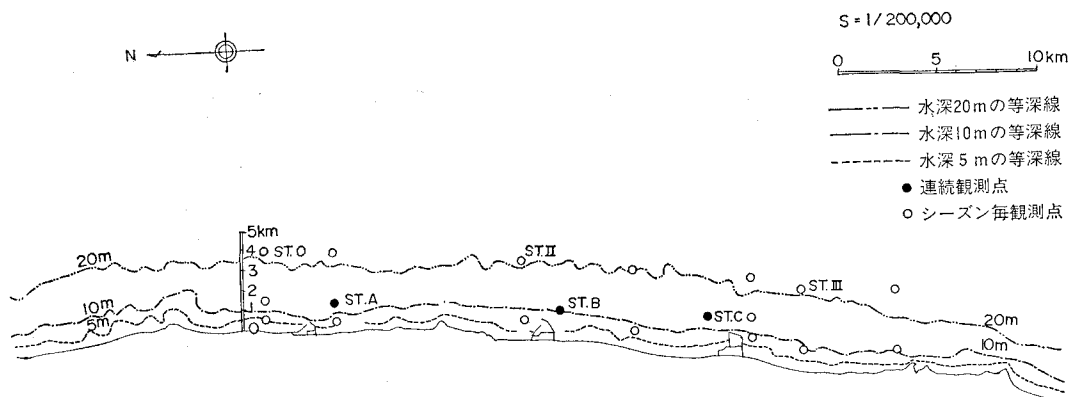


図-1 観測点位置

ンの季節ごとの観測を行っている。観測に使用した流向流速計はベルゲンモデルⅣであり、観測層は水面下 2 m である。

(2) 流動の変動特性

観測点のうち ST. A では約 1 年にわたる連続観測記録が得られている。長期的な変動特性を概括的に把握するために、このデータに 24 時間の移動平均処理をして 1 日以下の短周期成分を除去したものの流動ベクトル図を描き、概略的な変動特性を検討した。

この海域の流動は北流と南流がほぼ 2 日から長い時で 6 日程度の間隔で交互に転流するというパターンであり、このパターンは年間を通じて同様である。この転流は規則的なものではなく、また必ずしも南北と交代するわけでもなく、時には南流、停滞、南流（あるいはその逆）も見られる。一方向への流れの継続時間は南流の方がやや長いようであり、それも秋から冬にかけては他の季節に比べて長い傾向がある。

(3) 流速変動を構成する周期成分

以上の傾向をふまえて流動の連続観測記録をもとに、長周期の流動成分の検討を行なった。15 日間の流動観測記録からは、数日の変動周期を有する現象を明確に把握することは困難であるが浜通り海岸沖合地先における約 10 ケ月の流動観測記録からは、長周期の流速変動現象を比較的明確に把握することが可能である。図-2 はその流速変動のエネルギースペクトルである。

流れの基本的エネルギーは数日以上の変動周期を有する低周波域に集中しており、潮汐運動による 1 日および半日周潮のスペクトルのピークの他に、約 16 日、7 日、5 日、3 日程度の周期にスペクトルのピークが認められる。

図-3 は ST. B でのそれぞれ約 3 ケ月の連続観測記録を用いて季節別の流動エネルギー特性を示したものである。図から、短周期領域（1 日以下）ではそのレベルは汀線に平行な成分と直角成分とも同じであるが、それより長い周期ではレベルに半オーダーの差が認められ

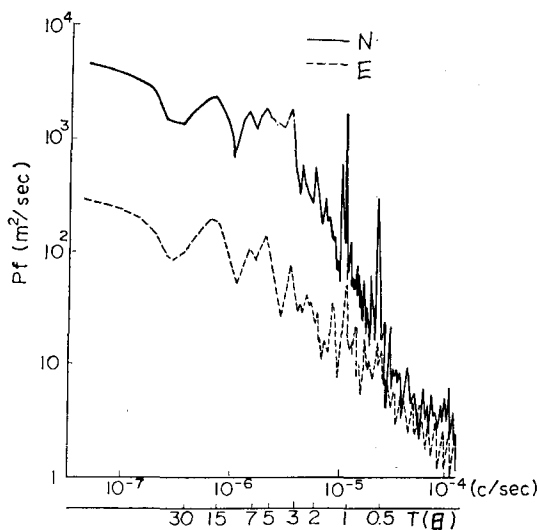


図-2 流速変動のエネルギースペクトラム (10 ケ月連続観測記録)

る。また天文潮の周期にピークが認められるほかは顕著なピークはない。ただ 3 日～5 日の周期のところ若干の凸部が見られるのは 図-2 と同じである。

以上を要約すると流動のエネルギーは長周期成分に集中しており、半オーダー程度の異方性で南北流が卓越している。特にエネルギーが集中する周期成分はなくランダムな変動であるが、3～5 日の周期成分に若干の集中が見られる。

(4) 流速変動の場地的特性

流速変動の空間的ひろがり調べるため、汀線に直角方向ならびに平行方向における現象の相関を各観測点間の相互相関から検討した。観測期間は昭和 54 年度の夏季～秋季、秋季～冬季、昭和 55 年度冬季のものをを用いた。図-4 は汀線に平行な流速成分の相互相関係数を表わし、最も間隔の長い 2 点間（測点間距離 24 km）に対するものである。この結果から、主流方向である沿岸方

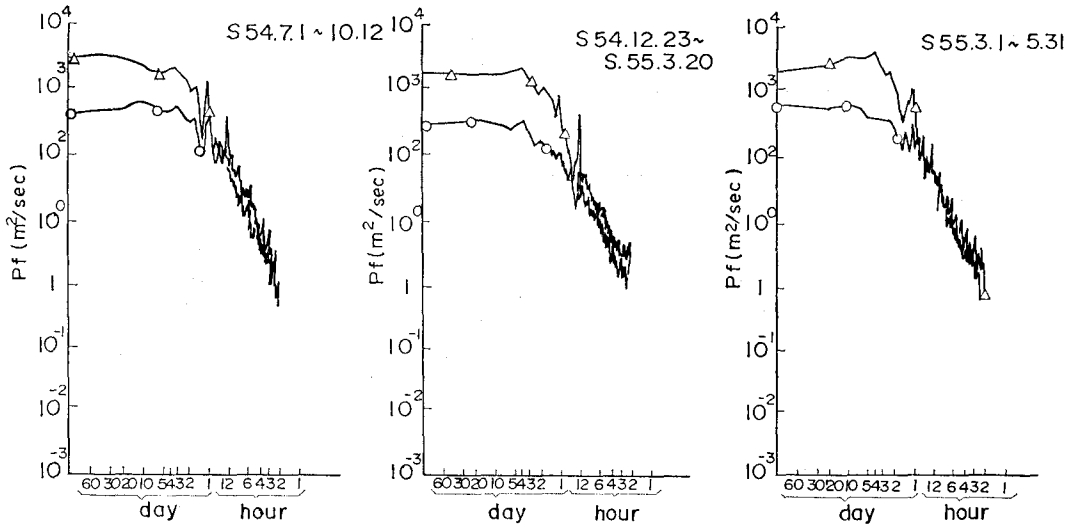


図-3 季節別の流速変動エネルギースペクトル (ST. B)
(—△—△—: 汀線に平行な方向, —○—○—: 汀線に直交な方向)

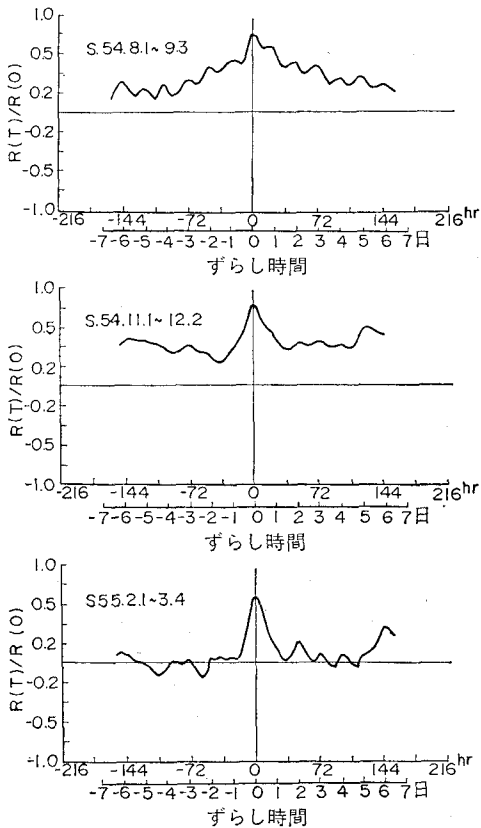


図-4 沿岸平行方向流速成分の相互相関係数 (測点間距離約 24 km)

向の流速成分の時間的なずれはなく、全体的に同じパターンで同時に転流しているが、岸沖方向成分は場所に無関係にランダムに変動することが分った。

5. 流動の長周期変動原因

福島沖合における数日周期の変動を陸棚波との関連で論じられているが、現段階では十分な結論に達していない。図-5 は気象要素として風を選び、図-1 の ST. A

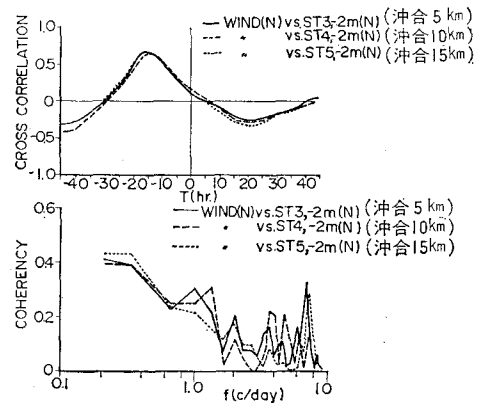


図-5 風と流れとの相関¹⁾

より北側約 15 km 地点の沖合 5 km, 10 km および 15 km での流速変動との相互相関を計算した結果である。

この結果によれば、浜通り沖合海域の数日周期の流速変動と風の変動との間には比較的良好な相関関係が認められるが、相互相関の最大は遅れ時間約 15 時間付近に生じており、各観測点における流動現象が風に対して遅れすぎているように思われる。

浜通り沖合海域における長周期変動の発生過程には、風の変動のみならず他の諸気象要素や、海流構造の変動などが要因として作用するものと考えられ、現象の発生

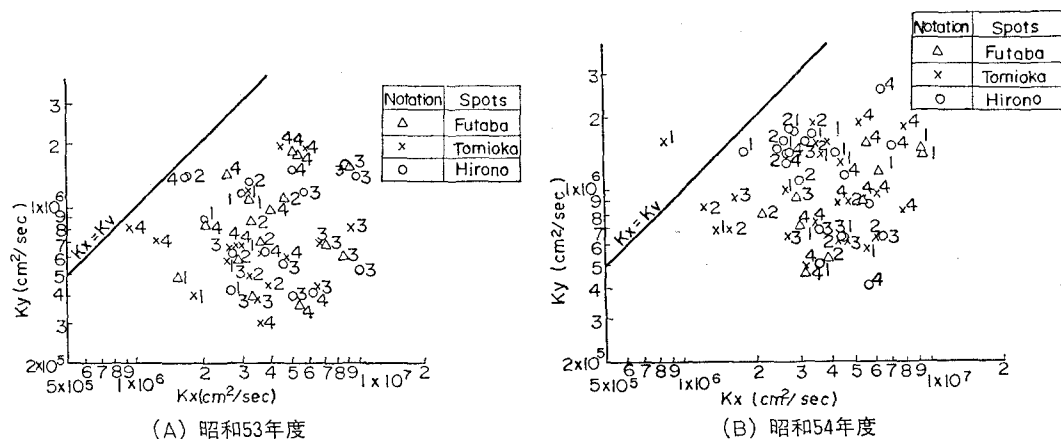


図-6 96 時間に対応した拡散係数 (図中の数字, 1: 春季, 2: 夏季, 3: 秋季, 4: 冬季)

機構の解明に当ってはさらに詳細な検討が必要である。

6. 流動の短周期変動と拡散係数の推定

短周期流動の季節的な特徴を把握するために、各月別のエネルギースペクトルを求めた。スペクトル形状は各月で若干の相違はあるが、ほとんど同じ形状でエネルギーも同一レベルにある。このことから短周期変動の統計的特性の季節的変動は比較的小さいものと考えられることができる。

本海域では流れのエネルギーは長周期成分に集中しており、そのなかでも 3~5 日の周期成分にエネルギーの集中が見られたので、ここでは 4 日周期成分に着目して、原データからこの周期以上の周期成分を除去した流れについて拡散係数を求めた。図-6 は各月データの 4 日以下の高周波成分による拡散係数 K_x (汀線に平向な方向), K_y (岸沖方向) の値を季節的にプロットしたものである。図-6 から拡散係数値の分布傾向には、年度間においても、季節間においても、また地点間においても、顕著な差はなく一様であることが認められる。拡散場の異方性の程度は半オーダーとみなされる。一方、拡散係数の変動は半オーダーないしは 1 オーダー程度で空間的にも変動は少ない。

7. 水温変動の特性

特に冬季における浜通り沿岸海域の水温変動について検討した。図-7 に示すスペクトル分布から判断されるように、12 時間周期に昼夜変動成分によるわずかなピークが認められるほかは、長周期成分になるほどスペクトルのレベルは漸増する傾向にあり、非常に長い時間スケールの季節変動的なものが卓越しているものと思われる。また、この海域では水温は場所的にほぼ均一でまた変動も同時に生じており、2 け年にわたり同様な傾向を示すことから、少なくとも冬季に海域内での極端な異水温

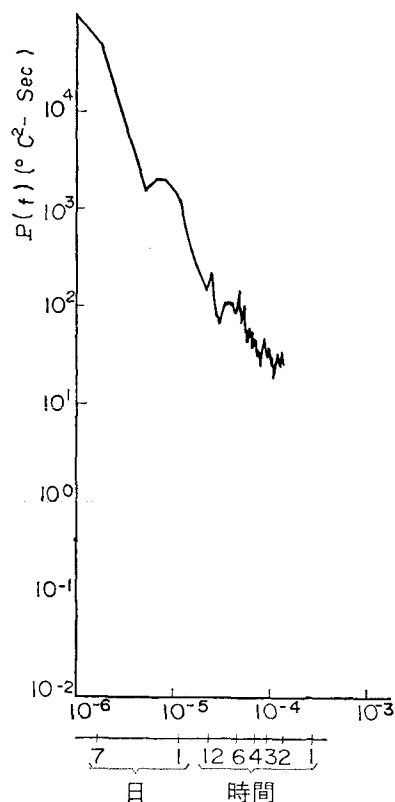


図-7 水温変動のエネルギースペクトルの 1 例 (昭和 55 年 2 月観測記録)

域の混在はないと考えられる。この水温変動を数値的に把握するために標準偏差を求めた結果、その値は 2 け年とも小さく、変動幅を 3σ で定義すると $\pm 1^\circ\text{C}$ 程度で変動していることが分った。

8. む す び

沿岸海域における海洋環境変動の予測を展開する場

合, 対象とする海域ならびに問題に対してどのような現象が基本的であるかを評価するのは極めて重要であり, そのためには現地観測データが不可欠であり, また現象に応じて異なる流動・拡散モデルを考えることが大切であらう.

参 考 文 献

- 1) 加藤正進・和田 明・角湯正剛: 福島沖合海域における流動と拡散特性, 第 22 回水理講演会論文集, 1978.
-