

長期観測データに基づく 石狩湾沿岸の流動特性

SEASONAL CHARACTERISTICS OF LONG-PERIOD CURRENTS FLUCTUATION IN ISHIKARI BAY

福本 正¹・橋本 剛²

Tadashi FUKUMOTO, Tsuyoshi HASHIMOTO

新山雅紀³・星 秀樹⁴・山下俊彦⁵

Masaki NIYAMA, Hideki HOSHI and Toshihiko YAMASHITA

¹博(工) 西松建設(株)技術研究所 (〒242-8520 大和市下鶴間2570-4)

²正会員 水修 西松建設(株)技術研究所 (〒242-8520 大和市下鶴間2570-4)

³学生会員 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

⁴正会員 工修 北海道電力株式会社 (〒060-8677 札幌市中央区大通東1丁目)

⁵正会員 工博 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

Seasonal characteristics of current velocity with the long period were clarified from field data during the long-term in Ishikari Bay. These long period current have a high velocity even at deep water levels outside breaker zones. The fluctuations of current velocity can be estimated by the storm surge formula that assumes wind stress to be the external force and Coriolis force to be the restoring force. The compensation currents were caused by the effect of above things. These currents are dominated near the bottom layer and are larger in winter than in summer. It is seemed that these phenomena were occurred by the seasonal variations of Tsushima warm current.

Key Words : Wind - induced current, Compensation current, Tsushima warm current

1. はじめに

従来、海岸工学では海岸付近の流れとして砕波帯内に発生する海浜流が主に研究されてきた。しかし、最近では、砕波帯外の水深30m程度の海域に存在する強い流れとその特性についても重要視されている。例えば、佐藤は、北陸沿岸の水深15m地点で海岸に沿って1m/sにも達する強い平均的な流れが存在し、その流れが風応力とコリオリ力によって維持されていることを報告している¹⁾。また、安田らはこのような砕波帯外の強い流れには、風応力のほかに沖合砕波による運動量輸送が重要であることを指摘している²⁾。このような流れは、砕波帯外の水深の深い海域においても大きな流速を持つため、沖合への土砂流出などの漂砂現象および生物の浮遊幼生の移流・拡散等に重要な役割を果たしている。しかしながら、このような流動に関する現地観測の記録は少なく、流れの発生要因も風応力だけでなく沖合砕波、密度差などが複合的に作用しているため、その物理機構、中でも長期的な変動特性は十分に把握されて

いないのが現状である。

そこで本研究では、砕波帯外の固定点において連続観測された長期間の流速データを基に、風を中心とする季節的变化に起因した長期の流動変化をも考慮に入れて、海域の特性を明らかにすることを目的とする。

2. 研究内容

(1) 研究対象

一般に、沿岸域における流れの要因としては、潮汐、風および密度差など様々なものが考えられる。また、開放性の湾では、近傍に存在する海流からも影響を受けているため、湾内の流れを生成する要因は多様であり、流動も複合的な挙動を示すものと推察される。

本研究では開放性の代表的な湾である石狩湾を対象とし、この海域における長期的な流動特性を流れや風等の現地観測データから明らかにする。また、対馬暖流の影響についても若干の考察を加える。

(2) 研究背景

石狩湾における波浪や潮流などの物理環境に関しては、日本海洋学会沿岸海洋環境部会が現地観測結果を中心に石狩新港建設前の流動特性を取りまとめている³⁾。特に、石狩川からの淡水流入とその拡散現象について詳しく述べられている。また、地形や地質並びに底生生物などに関しては、大嶋が詳細に報告している⁴⁾。

その後、新港建設に伴い、港湾管理用としての固定点における波高や流速および気象観測だけでなく、広範囲における海域の流況観測が行われるようになってきた。また、石狩川河口域の流況や水質、さらには融雪期における強い流れの拡散状況についても調査されつつある。

例えば、山下らの成果を踏まえると、夏期においても石狩湾では水温や密度の成層がほとんど発達していないため⁵⁾、石狩川からの淡水流入の影響が及ぶ局所的な領域⁶⁾を除いて、密度差に起因する流れは比較的小さいものと判断される。また、潮汐による往復流は存在しているものの、平均潮位差が約0.4mと非常に小さいため³⁾、潮汐流が湾全域における流れの主成因とは考え難い。

これに対して、水谷・中島は石狩湾大浜海岸における流速観測データと新港での風向・風速データを解析し、強風によって引き起こされる碎波帯沖合いの往復流は、沿岸の地形的要因とセットアップによるものであると推察している⁷⁾。同様に、山下らは水深20m程度の石狩湾沿岸では主に風応力に起因する数日程度の長周期流速変動が卓越し、その時空間的特性を明らかにしている⁸⁾。

これらの観測記録を用いた解析結果から、日周期の海陸風に対応する流況といった比較的短い周期の流動に関しては、その現象を十分に理解できるものと考えられる。しかしながら、石狩湾の季節的な流動の変化、すなわち長期的な流動特性を把握することは難しい。例えば、風の季節的な変動が流れに及ぼす影響などについては、長期間の観測記録を用いた解析が必要不可欠である。また、渡島半島西岸に沿って北上してくる対馬暖流の一部は、夏期と冬期で勢力が異なるものの⁹⁾、吉田らによるとその勢力が最大となる夏期においては、石狩湾の湾奥（水深30m以浅）にまで影響を及ぼしていることが指摘されている⁸⁾。

以上のことを踏まえて、本研究では、数年間にわたる流速データおよび風を中心とした気象データを用いて解析を行い、上述するような季節変動を伴う流動特性を明らかにすることを目的とする。

(3) 長期観測データ

石狩湾沿岸の長期的な流動特性を調べるために、北海道開発局小樽港湾建設事務所観測資料による1990年から1998年までの風と流れのデータを用いて解析を行った。

図-1は石狩湾の概要と観測位置を示したもので

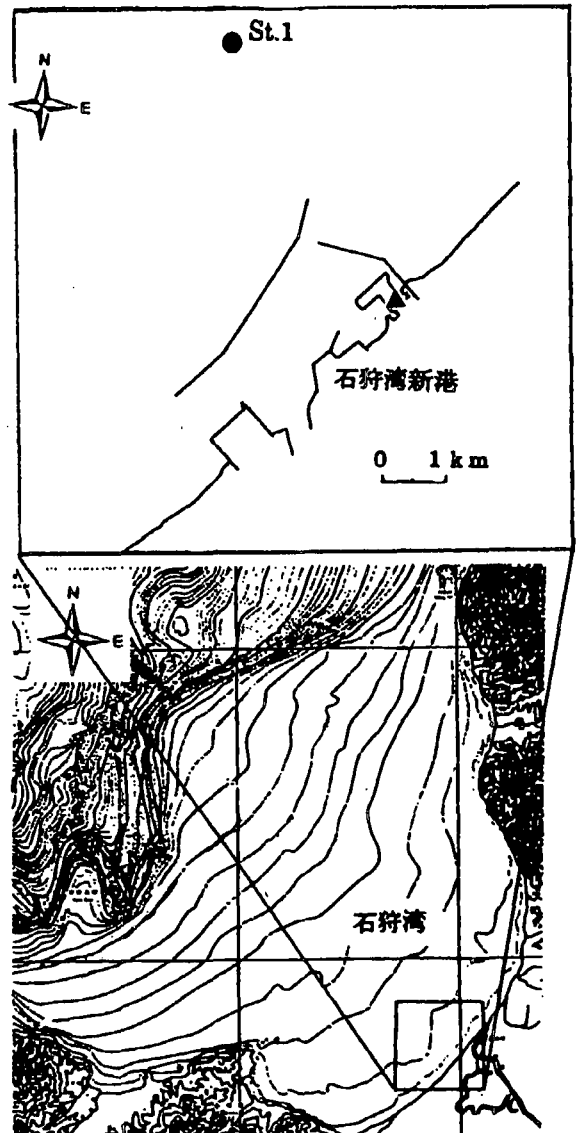


図-1 石狩湾の概要と観測地点

ある。流向および流速は離岸距離4.9km、水深23m地点（図-1中のSt.1；●印）の海底上1mにおいて0.25秒毎計測され、この値を1時間おきに10分間平均し、毎正時の時系列データとして用いた。風向および風速データについては、石狩湾新港（図-1中の▲印）で測定された毎正時の記録を用いた。

3. 解析結果

(1) 風と流れの短期変動

前章(2)で述べたように、石狩湾における流動の主成因は風であると考えられる。特に、冬期の日本海側に特有である季節風は、湾内の流動に及ぼす影響が大きいものと推察される。そこで、連続した観測結果の中から典型的な冬期と夏期における風と流れの記録を取り出した。図-2および図-3には、それぞれ1997年における冬期と夏期の風と流れの記録を示したものである。ここで、各図中の上段に風速ベ

クトル、下段に流速ベクトルをそれぞれ示している。

図-2より北西から西よりの強い季節風が吹くと、計測水深が23mと深いにも関わらず、20cm/sを超える流速が発生していることがわかる（例えば、図中の17日および26日頃）。また、ほとんどの風向に対して流向は時計回りにおおむね270° 傾いていることから、冬期における底層近傍の流動はコリオリ力を介して補償流となっているものと判断される。

一方、図-3に示すように、夏期においては10m/s程度の強い風に対して、底層での流向は風向とほぼ逆向きとなっており、冬期と同様な補償流が発生している（例えば、22日頃）。しかしながら、冬期に比べると全般的に風速が弱く、特に南東風が卓越している時期においては、流向は風向に対して時計回りに45°～90° となる傾向を示しているため、補償流の発生は無いものと考えられる。

次に、これらの変動の周期性について明らかにするために、両者の各月毎の観測記録を汀線に平行方向（北東－南西方向）と垂直方向（北西－南東方向）に分割した。1ヶ月間に相当する約700個のデータについて、長周期の変動成分を精度良く表現できるMEMを適用し⁹⁾、パワースペクトルを求めた。

一例として、図-4(a),(b)に冬期における風速と流速の結果を示す。気圧等の気象観測結果を合わせ見ると、風速は低気圧の通過に伴う5日程度の変動が卓越しており、同様の変動が流速の結果にも見られる。特に、両者の汀線に直角方向の結果（図-4中の破線）は、非常に相関が強いものと判断でき、冬期の季節風は流動に大きく影響していることが再確認される。これに対して、結果の図は省略するが夏期においては、風速は冬期と同様に5日程度の変動が現れているものの、流速は明瞭な周期性が確認されず、両者の相関は弱いものと判断される。

さらに、全ての時系列データから卓越風の最長連吹時間は、冬期で約2日、夏期で約7日となっていることが明らかとなった。

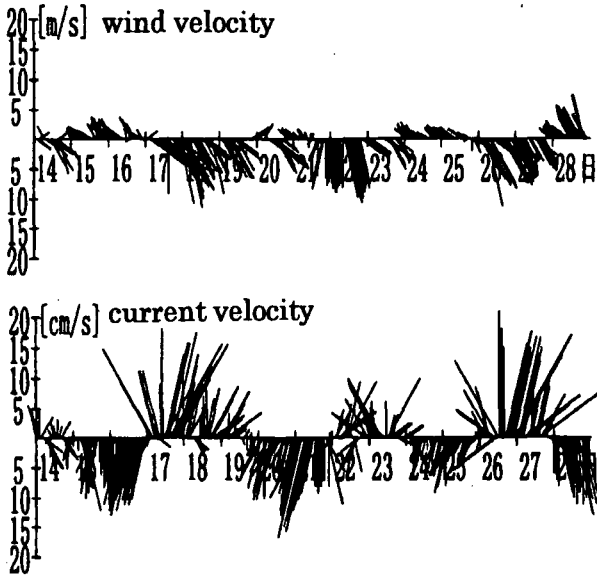


図-2 冬期における風と流れの経時変化
(1997年2月)

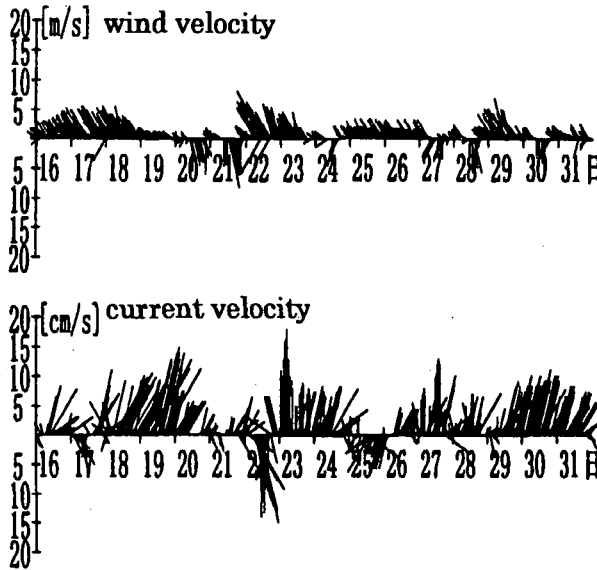
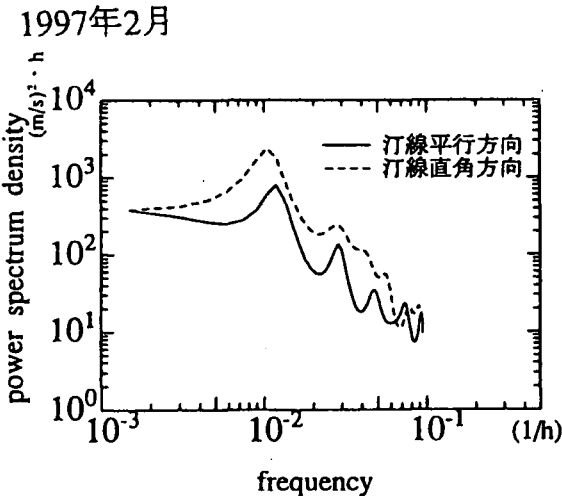
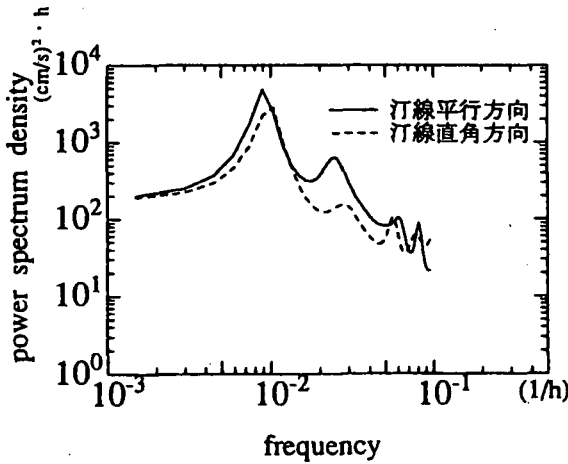


図-3 夏期における風と流れの経時変化
(1997年8月)



(a) 風速の結果



(b) 流速の結果

図-4 冬期における風と流れのパワースペクトル (1997年2月)

これらのことと合わせて石狩湾の地理的位置を踏まえると、夏期における陸域からの卓越風（南東風）は、海水を駆動させるための吹送距離が短いため、連吹時間が長いにも係らず、石狩湾内の離岸距離5kmの位置における流れには、風速が大きい場合を除き、あまり影響を及ぼしていないものと推察される。

(2) 風と流れの季節変動

風は季節的な特性を有していることから、流動についてもそれに対応した変動特性が見られるものと判断される。そこで、長期的な変動を明らかにするために、風と流れの連続観測記録から月平均値を求めた。これらをベクトルとして図化したものが図-5および図-6である。図-5から明らかなように、風は季節変動が強く、冬期には北西から北北西の風、夏期には南東の風がそれぞれ卓越している。また、4月および10月頃は風速が弱く、風向も一定していないことから、それぞれの時期への遷移期となっているように見受けられる。さらに、図-6に示される月平均流速も風の変動に追従した様相となっており、季節変動が明瞭に現れている。すなわち、冬期には南西流、夏期には北東流がそれぞれ卓越しており、春と秋の遷移期には流速も弱まっていることが確認される。したがって、前節で考察した風と流れの短期変動は、各季節変動の上に重なって繰り返し発生しているものと考えられる。

これらのことから、冬期を12月から2月まで、夏期を6月から8月までと区分できると判断される。そこで、それぞれの期間における風と流れの特性について更なる考察を加える。図-7(a),(b)は、風速と流速の絶対値を10の階級に分割し、その発生頻度を示したものである。風速は冬期および夏期とも2～

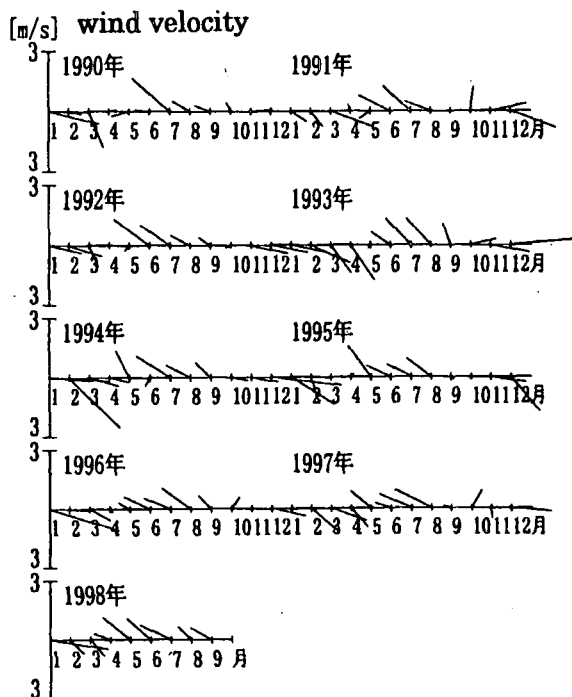


図-5 一ヶ月平均風速(1990 - 1998)

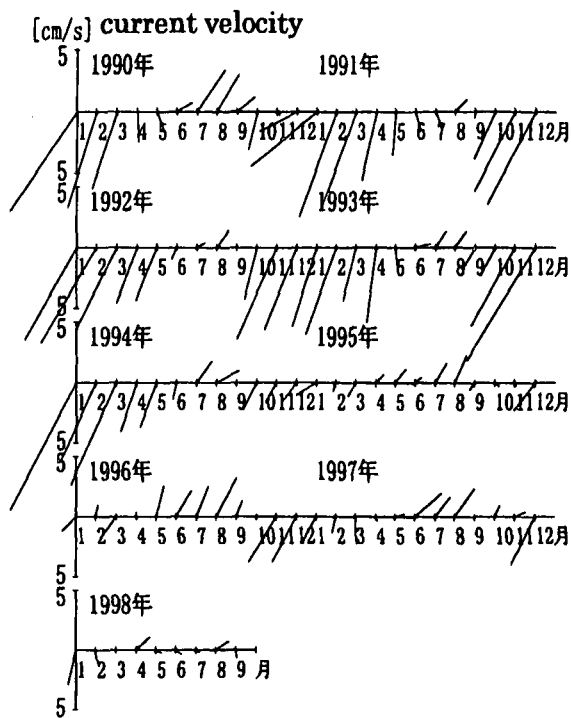
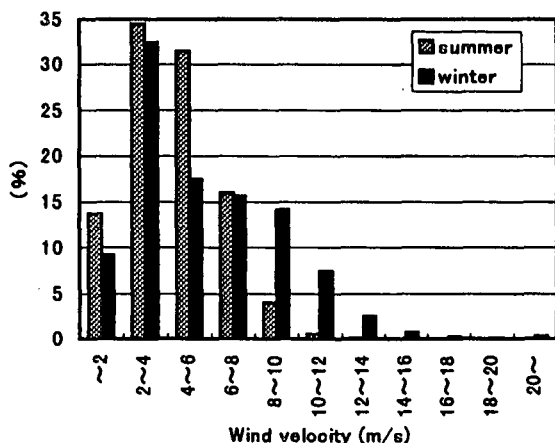
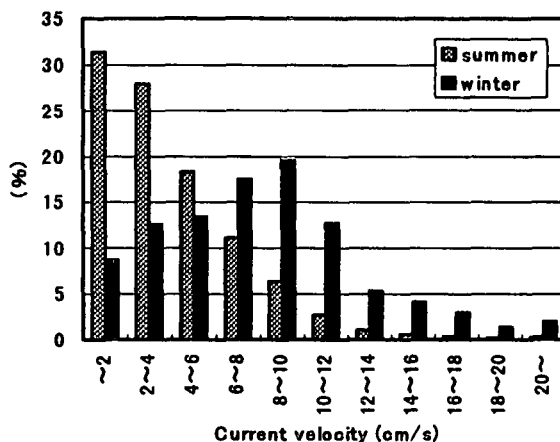


図-6 一ヶ月平均流速(1990 - 1998)



(a) 風速の結果



(b) 流速の結果

図-7 風速と流速の絶対値の発生頻度

4m/sの範囲が最多頻度帯となっており、全般的な分布形状は両期間とも同様な傾向となっている。しかしながら、冬期には20m/sに達する風が現れているのに対して、夏期には10m/s以上の風はほとんど出現していない。この時、冬期季節風の平均風速は約6m/sとなっており、夏期には約4m/sと弱まっていることから、強い風の発生は冬期に集中していることが窺える。

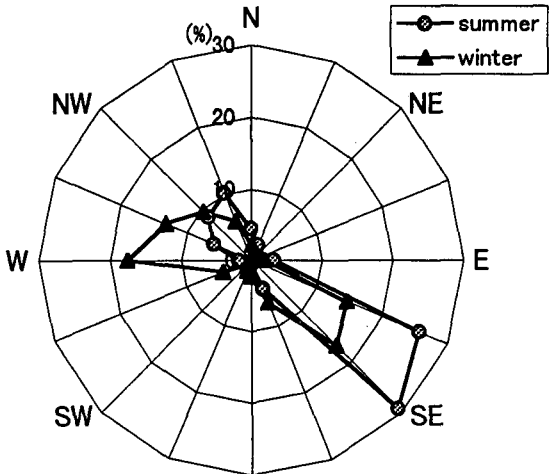
一方、流速は冬期と夏期で分布形状が異なり、最多頻度帯はそれぞれ冬期で8~10cm/s、夏期で0~2cm/sとなっている。また、冬期の平均流速は約9cm/sと大きくものの、夏期には約4cm/sと小さくなっている。夏期の流速は、冬期のそれに比べて小さくなる傾向にあり、10cm/s以上の流れは全体の5%程度しか出現していないことが分かる。

次に、風向と流向の頻度分布を示したものが図-8(a),(b)である。冬期には、西風あるいは南東風が同程度の頻度となっているのに対して、夏期には南東風が卓越していることがわかる。また、流向は冬期に南南西流、夏期に北東流が卓越していることが

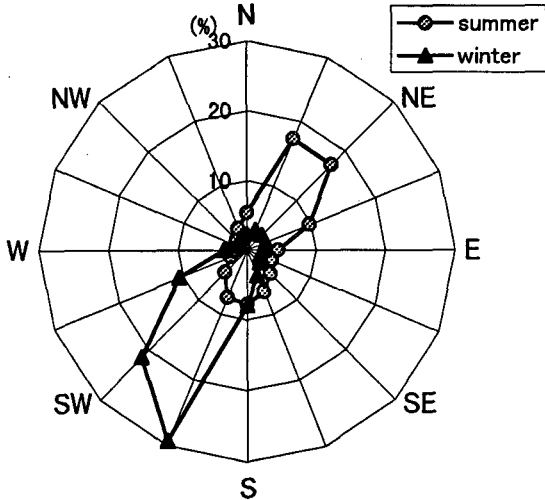
確認される。冬期の西よりの風が南西よりの流れを、夏期の北東よりの風が北東よりの流れをそれぞれ引き起こしているものと考えられる。これらのことは、前節で推察した風向に対する流向の関係を裏付ける結果となっている。

(3) 対馬暖流の影響について

北海道西岸に北上してくる対馬暖流についての明確な観測記録はほとんどないのが現状である。しかしながら、その影響は古くから石狩湾付近にまで及んでいたことが明らかとなっている¹⁰⁾。また、対馬暖流は津軽海峡方向と北海道西岸方向にほぼ2分割され、その後者は、渡島半島西岸の沖合でそのまま沿岸に沿って北上する流れと北西向きの流れに分かれているようである¹¹⁾。さらに、図-9および図-10に示すように、第一管区海上保安本部水路部の海洋速報試料¹²⁾によると、冬期の対馬暖流は夏期に比べて勢力が弱いように見受けられる。夏期の対馬暖流



(a) 風向の結果



(b) 流向の結果
図-8 風向と流向の頻度分布

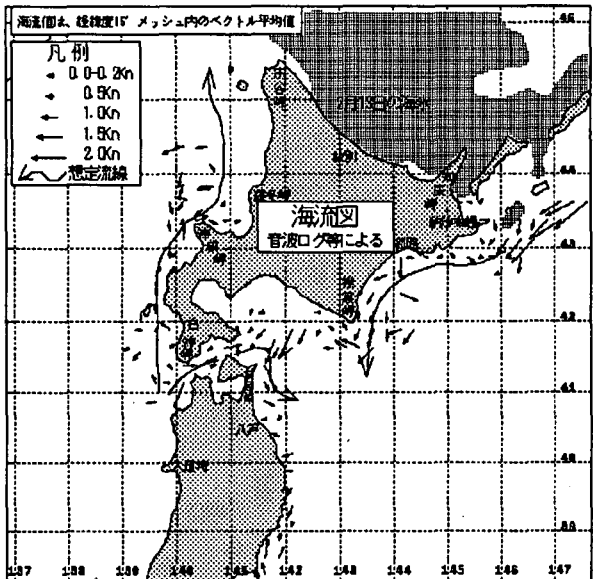


図-9 冬期における海流の概要 (1998年2月)

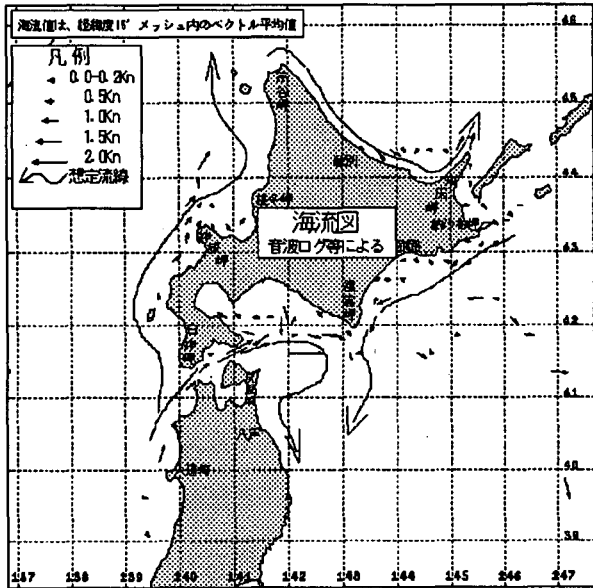


図-10 夏期における海流の概要 (1998年8月)

が宗谷岬を超えてオホーツク海にまで達していることを踏まえると、夏期におけるその影響が周辺海域に及ぼす影響は大きいものと推察される。

これらのことから、石狩湾の流動に及ぼす対馬暖流の影響は無視できないことが確認されるものの、影響の範囲やその流速などの定量的な特性の把握を行うことはできない。また、対馬暖流を含む広範囲での現地観測を実施しても、その結果から流れの各成因を精度良く分離する手法が確立されていない現状を考えると、定量的な評価を行うことは極めて難しいものと考えられる。

4. おわりに

風と流れの連続した長期観測結果から、石狩湾における流動特性の季節変化が明らかになった。特に、冬期は風との相関が強く、湾内の流れは、風の変動にほとんど支配されているものと判断される。今後の解析によって、更なる定量的な特性の把握に努める。

一方、対馬暖流が湾内の流れに及ぼす影響は夏期において大きくなるものの、その定量的な評価には大きな課題が残る。したがって、この課題解決のためには、海流の影響を考慮し得る数値モデルを構築し、感度解析等を行うことが必要となる。今後は、このような数値解析を行い、その結果を基に、対馬暖流の定量的な特性を予測することで、石狩湾の流動に及ぼす影響の評価手法を確立することを目指す。

参考文献

- 1) 佐藤慎司：日本海沿岸で観測された流れの特性，土木学会論文集，No.521，Ⅱ-32，pp.113-122，1995.
- 2) 安田孝志，森 信人，加藤 茂，佐藤慎司：石川海岸沖合の流況特性と碎波の影響について，海岸工学論文集，第42巻，pp.431-435，1995.
- 3) 日本海洋学会沿岸海洋部会編：石狩湾，Ⅱ 物理，pp. 61-80，1985.
- 4) 大嶋和雄：開口性沿岸海域，沿岸の環境圏，フジ・テクノシステム，pp.82 - 97，1998.
- 5) 山下俊彦，木下大也，星 秀樹，鳴海日出人，橋本剛，福本 正，多田彰秀：石狩湾新港周辺の三次元流動特性，海岸工学論文集，第45巻，pp. 391-395，1998.
- 6) 山下俊彦，木下大也，多田彰秀，福本 正，橋本 剛，北原繁志，谷野賢二：石狩湾沿岸の流動特性，海岸工学論文集，第44巻，pp.371-375，1997.
- 7) 水谷夏樹，中島 等：石狩湾における流れの特性について，海岸工学論文集，第44巻，pp. 366-370，1997.
- 8) 吉田喜一，土門和子，渡辺智視：石狩湾沿岸漁場の物理・化学環境、北水試月報，34(4)，pp.1-6，1977.
- 9) 岡内 功，伊藤 学，宮田利雄：耐風構造，丸善，pp.50-74，1977.
- 10) 松島義章：貝は語る対馬暖流は北海道沿岸に流れていた，ホームページ資料.
- 11) 平川和正：第6回パイセス (PICES: 北太平洋海洋科学機関) 年次会合報告，ホームページ資料.
- 12) 第一管区海上保安本部水路部海洋速報のホームページ資料.

(1999. 4. 19受付)