

オホーツク海沿岸における 流水形状・移動状況の現地観測

SEA ICE PROFILE AND DRIFT MEASUREMENT AT THE COAST OF OKHOTSK SEA

山本泰司¹・先川光弘²・本間大輔³・梅沢信敏²

Yasuji YAMAMOTO, Mitsuhiro SAKIKAWA, Daisuke HONMA and Nobutoshi UMEZAWA

¹正会員 工修 北海道開発土木研究所 環境水工部 港湾研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3)

²正会員 北海道開発土木研究所 環境水工部 港湾研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3)

³ 北海道開発土木研究所 環境水工部 港湾研究室 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3)

Drift and draft of the sea ice and currents were measured successfully by IPS and ADCP at a point of 2.4km off from the shoreline of the Okhotsk coast where the water depth is -18 m, from January to March 2001. It was observed that the largest ice draft was 3.6 m. Among ice draft measurements whose value were 0.5 m or above, 99.7% of the drafts were 2.5 meters or less. The average ice drift velocity of ice was 0.2 m/s, with the fastest exceeding 1.0 m/s. The ice drift correlated with the wind and current, and the wind strongly affects ice movements. Using the data set of ice drift and draft, underside profiles of the sea ice were tried to describe.

Key Words : ice floe, ice draft, site survey, ADCP, IPS

1. はじめに

オホーツク海は流水の南限海域として知られ、北海道オホーツク海沿岸には1月から4月にかけて流水が来襲する。防氷堤等の一部の沿岸構造物を除き、防波堤などのコンクリート構造物の場合は流水による氷圧力よりも波力が大きいため、施設的设计においては一般的に氷荷重は考慮されない。近年、混成堤や傾斜堤に高天端マウンドを付加した環境配慮型の防波堤の建設が各地で進められている。このような構造物を氷海域に建設する場合、高天端マウンドの設計には流水の影響を考慮する必要があると考えられる。また、海洋深層水の取水パイプライン等の埋設構造物に対しては、流水による海底地盤のscouringを考慮する必要がある。これら流水による氷力の推定には、流水の喫水深や移動速度が重要な要素となる。さらに、最近のサハリン沖の油田開発に伴って、オホーツク海域における油流出事故等が懸念され、流水期における油回収技術の開発が求められている。しかしながら、北海道沿岸のオホーツク海域において流水の現地観測を行った例は極めて少ない。本研究は、オホーツク海に面した紋別市沖に

において流水観測を行い、流水の喫水や移動状況の特性を取りまとめたものである。

2. 調査方法

(1) 調査概要

北海道紋別市沖約2.4kmの水深-18m地点にドップラー式多層流速計(アメリカ RD Instrument 社製 WH-ADCP. 以下, ADCP という)およびアイス・プロファイリング・ソナー(カナダ ASL 社製 IPS-4. 以下, IPS という)を各1基設置し, 2001年1月30日から3月31日までの期間, 観測機器上の海面を通過する流水の喫水深および移動速度を連続的に観測した。ADCP および IPS はともに超音波を使用した計測器であり, 互いが発信した超音波の干渉を避けるため図-1 に示すように約 250m の距離において設置した。

(2) 観測機器

a) ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

ADCP は鉛直上方から30度の角度で4方向に超音波を発信し, 水中のプランクトン等からの反射波を

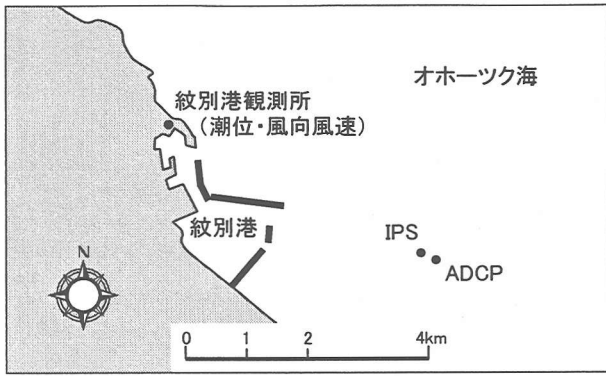


図-1 観測地点位置図

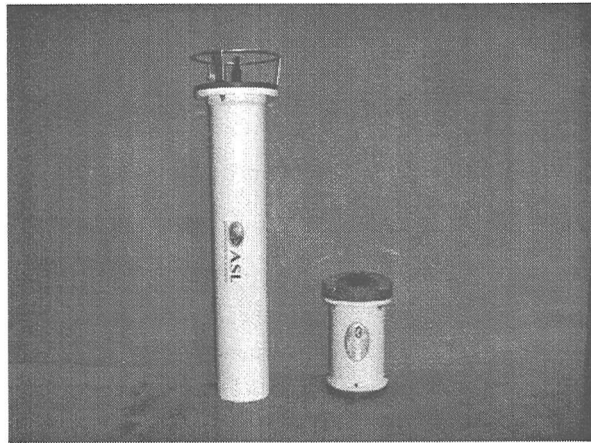


写真-1 観測機器 (左から IPS, ADCP)

受信し、ドップラー効果による周波数の変位量から、各測定層の流向、流速を測定する。任意の測定層を何層にも設定でき、連続して計測が可能である(ただし、各測定層厚は一定とする必要がある)。また、水温、水圧および本体の傾斜を内臓センサーにより同時に測定し、これらの影響を補正する。音波の周波数は測定水深にあわせて 300~2400kHz の製品があるが、今回は 1200 kHz のものを使用した。本体はジンバル付きの架台に取り付け海底に設置した。写真-1 に観測機器を示す。

ADCP にはボトムトラッキング機能を追加できる。この機能は、船底に装備した船舶搭載型 ADCP に一般的に利用されており、海底地盤に対する船舶の相対速度を測定することにより、移動中の船舶からでも潮流を観測できるものである。今回は、この機能

を利用して、流水の移動方向および速度を計測した。

b) IPS (Ice Profiling Sonar)

IPS は本体から鉛直上方に周波数 430kHz の超音波を発信し、流水下面からの反射波の到達時間から距離を計測すると同時に、内臓の水圧計により水面までの距離を計測する。流水の喫水はこれらの差で求められる。また、水温および本体の傾斜を内臓センサーにより同時に測定しデータを補正する。

IPS は本体に 4 個の浮き球を固定し、海底面から約 1.5m 上方に浮き吊り方式で設置した。

(3) 潮位および風向風速

本報中で使用されている潮位および風向風速データは、観測地点から約 5km 北西に位置する、紋別港港奥部において観測されたものである(図-1 参照)。

表-1 に本報中で使用する各データの計測方法および処理法をまとめる。

表-1 計測方法

項目	機器・型式	測定位置	測定間隔	データ処理
流水喫水	IPS	---	1 秒	10 秒平均値
流水移動	ADCP	---	10 分	10 分平均値
潮流	ADCP	-6.25m	10 分	10 分平均値
風向風速	超音波式	+18m	1 時間	10 分平均値
潮位	フース型	---	1 時間	1 時間平均値

3. 観測結果

(1) 流水喫水深の測定精度

流水喫水は、先に述べたように、水圧計により計測される水面までの距離 D_w と、音波により計測される流水下面までの距離 D_k の差により求められる。図-2 は、2月12日に観測された D_w と D_k の生データである。図には、紋別港内で観測された潮位記録もあわせて示してある。

潮位記録と水圧データより求められた D_w はほぼ完全に一致しており、水位計測の精度は良好といえる。

D_k は水温および IPS 傾斜角により補正される。沿岸部まで密に流水が来襲した場合は、波による水面変動は小さく、IPS が傾斜、動揺することはないもの

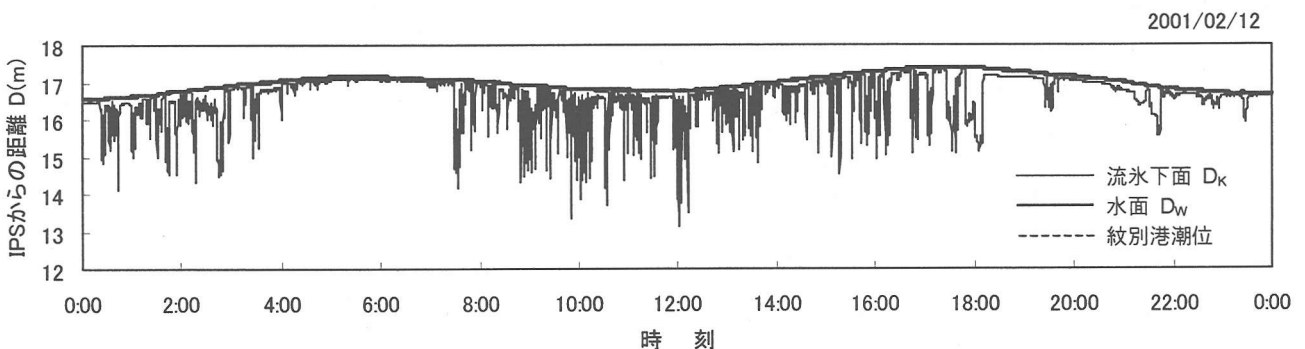


図-2 IPS による観測データ例 (2001年2月12日)

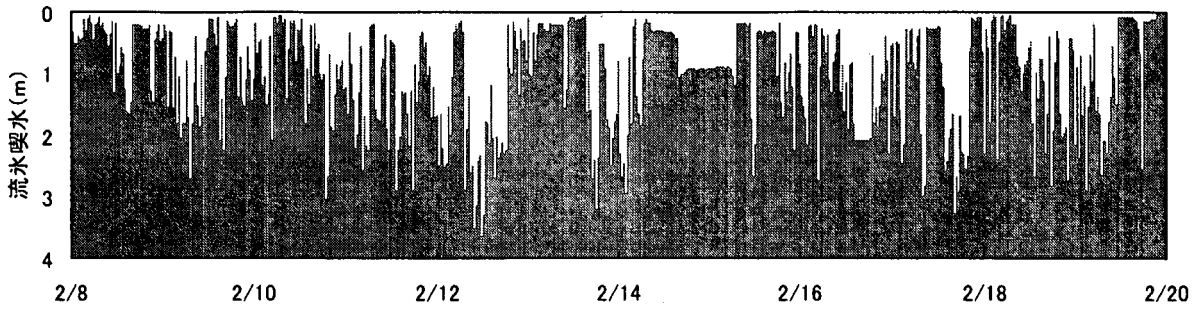


図-3 流水喫水深 (2001年2月8~19日)

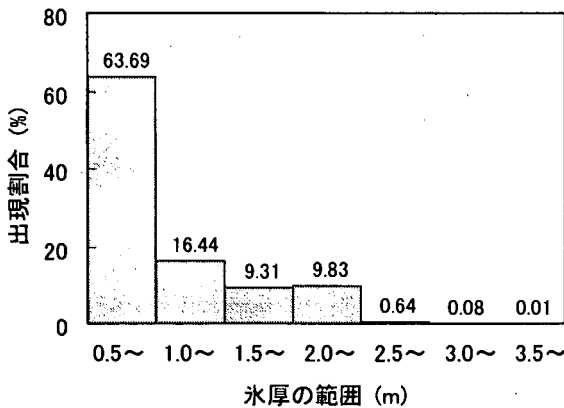


図-4 流水喫水深別の出現頻度 (0.5m以上)

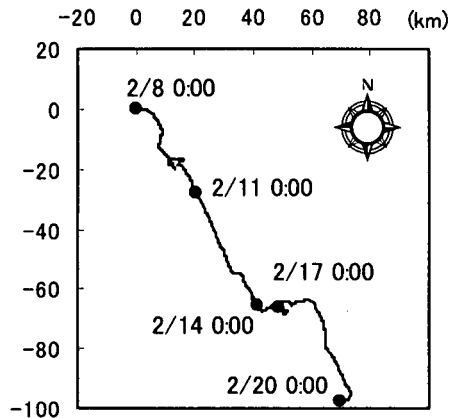


図-5 流水の移動軌跡

と考えられる。2月12日の有義波高は平均0.2m程度であった。水温補正は、本体位置で計測された水温を使用するため、海底から海面にかけて温度勾配があれば測定誤差が生じる。しかし、一般的に浅海では流水下の水温分布はほぼ一定と考えられるため、誤差は小さいと思われる。

IPSは流水下面だけではなく開水面からの反射も捕らえてしまうため、流水が存在しているか否かの判断が重要である。Donaldら¹⁾によれば、ADCPの有する4個の音波センサーのうち、対角上の1対のセンサーにより計測された鉛直流速と、もう一方の対による鉛直流速の差により開水面を判断できている。今回の観測では水面下付近の流速の欠側が多く、こうした検討はできなかったが、オホーツク海沿岸における流水来襲状況は、北海道大学低温科学研究所並びに第一管区海上保安本部流水情報センターがそれぞれインターネット上に公開しており、観測地点に流水が存在するか否かをおおまかに判断できる。

(2) 流水の喫水深

図-3は、観測地点に流水が存在していると思われる、2001年2月8~19日に観測された流水喫水深の時系列である。なお、2月20日以降はIPSによるデータの取得はできなかった(原因は不明)。

観測期間中の最大喫水は3.6mであり、2月12日に観測された3mを越えるものは数回観測されている。

0.5m以上の喫水を示すデータに着目すると、期間

中19,129回(18.6%)記録されており、喫水深別の出現頻度分布は図-4に示すとおりである。同図から、2.5m以上の出現確率は0.7%程度であり、きわめて少ない。Hayakawaら²⁾による2000年2月の観測では最大6mに達する喫水も記録されており、2.5m以上の喫水の出現頻度も今回の観測よりもやや大きい。これは、流水来襲状況の年変動によるものと思われる。また、國松ら³⁾は、オホーツク海沿岸に遡上した氷塊の厚さは最大で1.2m程度であると報告しているが、沖合ではかなり厚い氷塊が存在していることがわかる。

(3) 流水の移動特性

図-5は、ADCPにより測定された流水の移動速度および方位から、移動軌跡を平面的に表したものである(流水の移動を空間的に示したものではない)。図より、この期間の流水はオホーツク沿岸に沿って南下していることがわかる。

図-6は、流水の移動速度、水深-6.25mにおける潮流および風速の時系列である。流水の移動速度は平均0.2m/s程度である。2月10日および18日には1.0m/sを超える値が計測されたが、同時刻に風速も10m/s前後に達していることから、強風が流水の移動に影響していると考えられる。一方、潮流の流速と流水の移動速度の関係はあまり明確ではない。

図-7は流水移動、潮流および風の方角を示しており、北から南へ移動する場合を0°、時計回りを正としている。流水は、前述したように主として沿岸を南下する方向に移動しているが、潮流も同様の方

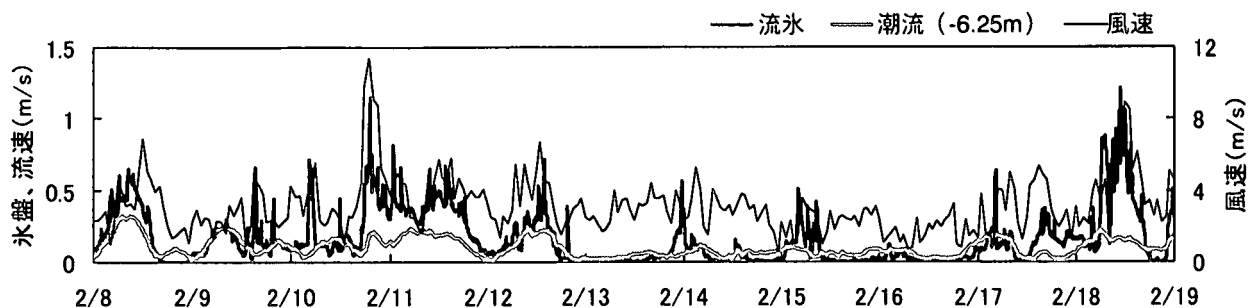


図-6 流水の移動速度，潮流および風速

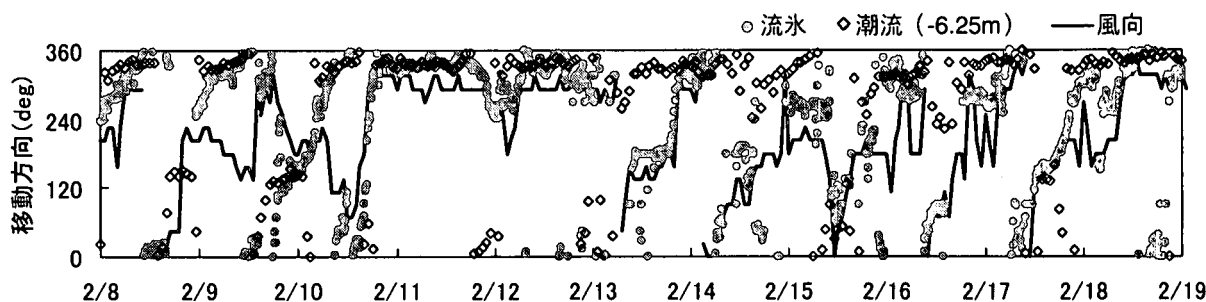


図-7 流水の移動方向，潮流および風向

向に主として流れている。また、流水は1日に1回程度時計回りに旋回する動きをみせているが、風向の変化に伴って移動方向を変えている。流水の移動には潮流および風の両者が影響していると考えられるが、風の影響がより強く現われているようである。

(4) 流水の底面形状

流水を外力として構造物を設計する場合、噴水深や移動速度が重要なパラメータとなるが、氷海域で油流出事故が発生すれば、油の拡散挙動に対しては、流水の分布や下面形状などが影響するものと考えられる。

ここでは、観測機器上を通過した流水の底面形状をトレースしてみる。使用するデータは2月12日の8:40~12:10の3時間半のもので、図-8に示すように流水の移動方向はNNW方向でおおむね一定しており、移動速度は0.3m/s程度である。図-9は、流水の移動速度に時間を乗じて求めた積算距離を横軸にとり、縦軸に流水噴水を用いて簡易的に流水の底面形状を表したものであり、下段の図は、水平距離200mの範囲を拡大して示したものである。3時間半で積算距離およそ3.4kmの流水が機器上を通過したこととなる。なお、移動方向については、ほぼ一定であるので補正は行っていない。

同図より、オホーツク沿岸の流水の断面形状は平

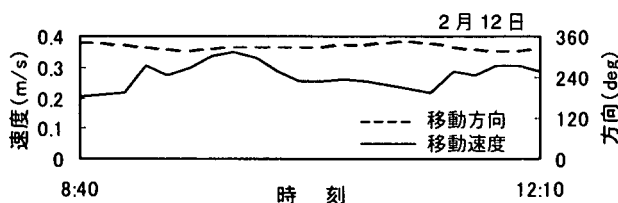


図-8 流水移動 (2月12日 8:40~12:10)

坦ではなく、起伏が非常に大きいことがわかる。また、下段拡大図に示すように、hummock iceと思われる大小の変形氷が観測されている。このような氷盤底面の起伏形状は、海底地盤のscouringや流出油の拡散に大きな影響を及ぼすと考えられる。

4. 主な結論

以上より要点をまとめると以下の通りとなる。

- ① 今回の観測においては流水噴水の最大値は3.6mであった。また、前年度の観測結果と比較して小さかった。
- ② 流水噴水深が0.5m以上の観測値中、2.5m以下が99.3%を占めていた。
- ③ 流水移動速度は平均0.2m/s、最大値は1.2m/sであった。
- ④ 流水の移動には風の影響が強く現われている。
- ⑤ 流水の断面形状は平坦ではなく、起伏が非常に大きい。

5. あとがき

本調査は、ADCP及びIPSによる同時観測を行うことにより流水の移動、形状特性の把握を試みたものである。今回は観測の初年度であったが、概ね計画どおりに調査を行うことができた。流水の来襲状況は年変動が大きいので、今後も同様の調査を継続し、データの蓄積をしていきたいと考えている。なお、本研究は運輸施設整備事業団基礎研究制度による共同研究の一環として実施されたものである。

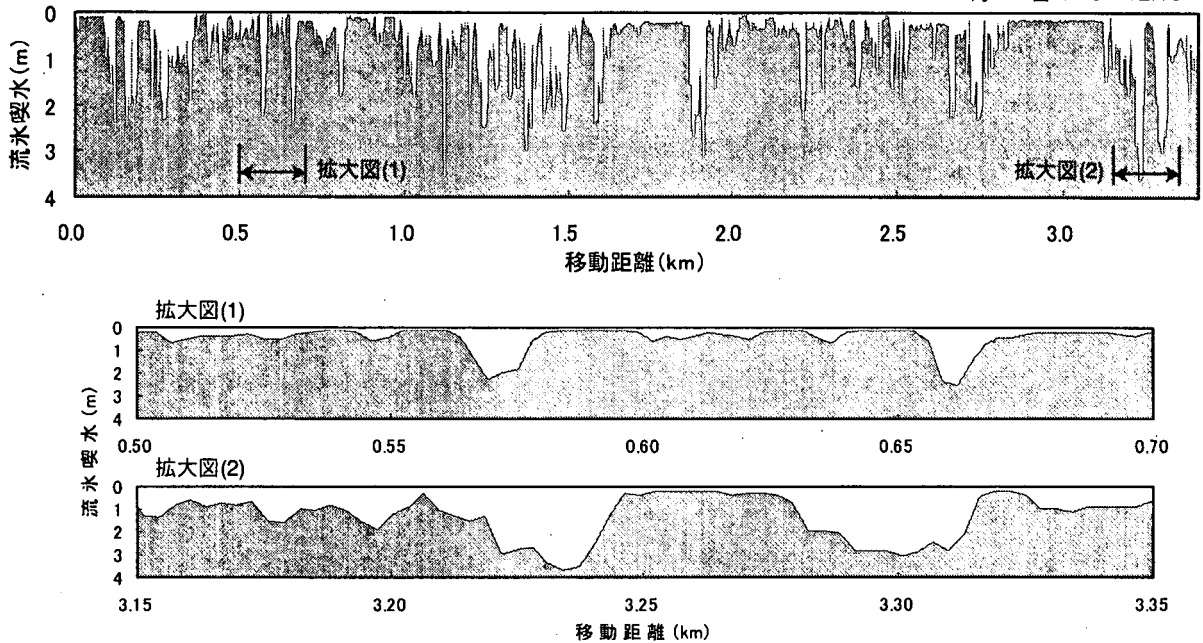


図-9 流水の底面形状 (2月12日の8:40~12:10)

謝辞：国土交通省北海道開発局紋別港湾建設事務所からは風向風速および波浪観測データを提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Donald J. Belliveau, Helen Hayden, Simon Prinsenberg: Ice Drift and Draft Measurements from Moorings at The Confederation Bridge, *Proceedings of the 16th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, Vol. 1, pp. 349-358, 2001.
- 2) Hayakawa, T., Yamamoto, Y., Umezawa, N.: Characteristics of Ice Thickness on the Japanese Coast of the Okhotsk Sea, *16th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice*, pp.265-269, 2001.
- 3) 國松靖・原文宏・高橋良正・佐伯浩・榎国夫・今泉章：オホーツク海沿岸部の流水盤の大きさに関する研究，海洋開発論文集，VOL.9，pp.95-100，1993.
- 4) Sakikawa, M., Yamamoto, Y., Homma, D.: Underside Profile of Sea Ice on the Okhotsk Coast, *17th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice*, pp.163-168, 2002.