

## 北海道西岸日本海における対馬暖流の直接測流と暖流流量の再評価

中多章文<sup>\*1</sup>, 田中伊織<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道立総合研究機構中央水産試験場, <sup>2</sup> 元北海道立総合研究機構中央水産試験場

Direct measurement and re-evaluation of volume transport of the Tsushima Warm Current off western Hokkaido, Japan

AKIFUMI NAKATA<sup>\*1</sup> and IORI TANAKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Central Fisheries Research Institute, Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido, 046-8555,

<sup>2</sup> Formerly: Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

To precisely evaluate the volume transport and velocity of the Tsushima Warm Current in the western Hokkaido Japan Sea, we conducted direct current measurements using one-mooring with three instruments at three depths at three points (M1: 1998–1999, M2: 1999–2000, and M3: 2001–2002) in the Tsushima Warm Current area. The comparisons between the current velocities observed by the current meter and geostrophic calculation showed a good relationship in the absence of extraordinary sea conditions such as a passing mesoscale eddy. Deep currents approximately 2100 m at the M1 and M3 mooring points showed a dominant northward current, and the annual mean velocity was 7.5 cm/s and 1.7 cm/s at M1, and M3, respectively. A weak westward current was observed at M2. The underestimation of volume transport above the reference level (500 m) caused by these deep currents was approximately 1.1 Sv.

キーワード：係留観測, 深層循環, 順圧流速, 対馬暖流流量

本道西岸を北上する対馬暖流は, その沿岸境界流 (花輪, 1984) としての特徴ゆえ本道西岸日本海からオホーツク海を経て道東太平洋にいたる本道沿岸海域としての源流部に位置付けられる。このため本道沿岸の漁場環境の変動や特徴を把握し, 気候変動に伴う海洋環境の変化や資源生物への影響をいち早く捉えるため, この源流域である道西日本海において, 対馬暖流の流量や水温塩分特性, 栄養塩や動物プランクトンのモニタリングを継続して実施してきている (吉田ら, 2004)。このうち海流のモニタリングでは, 海洋観測から得られる海水の密度分布から, J4 線 (42.5° N) における傾圧地衡流量を対馬暖流の北上流量として求め, その流量変化を評価してきた (中多・田中, 2002)。一方で海流の流速成分には 2 つあり, さきに述べた傾圧成分だけでなく, 海面の高低差から生じる順圧成分も存在し, 傾圧成分だけの流量では十分とは言いきれない。少なくとも, 傾圧地衡流を計算す

る際の基準面 (流速をゼロと仮定する深度) でどのくらいの流速が実際に存在するのか, またどの程度流量計算に影響するのかを確認が必要である。

1990 年代に J4 線より南方で津軽海峡以南の青森県へナシ崎西方の日本海において対馬暖流の係留観測が行われ, 傾圧地衡流に加えて流速 10 cm/s 程度の北上順圧流の存在が確認された (磯田ら, 1998; 森ら, 2001)。また, 10 cm/s の流速値は J4 線の表層傾圧流速と同程度で単純に流速が倍になる流速であり, 海洋生物の卵稚仔の移流や拡散への影響は無視できない流速と考える。さらに, 森ら (2001) も指摘しているように, 日本海の深層循環や本道西岸の深層流はいまだ不明な点が多く, 表層の対馬暖流との関係もよく分かっていない。そこで, 現行の傾圧地衡流量のモニタリングで用いている基準面での流速と暖流下層の深層流の水平分布を明らかにするため, 本道西岸の複数地点において係留観測を実施した。

報文番号 A640 (2024 年 10 月 25 日受理)

\*Tel: 0135-23-7451. Fax: 0135-23-3141. E-mail: nakata-akifumi@hro.or.jp

## 試料及び方法

Fig. 1 に係留地点と海底地形を示す。観測に用いる係留系は3台の流速計 (RCM8 Aanderaa 社製, Norway) を上, 中, 下層に配した1系で, 1998年6月から1999年6月にM1地点, 1999年10月から2000年8月にM2地点, 2001年6月から2002年6月にM3地点において, 北海道立中央水産試験場所属 (当時) の試験調査船おやしお丸 (2012年3月用途終了廃船) により設置回収を行った。下層の流速計は当時の日本海深層流の係留観測結果 (磯田ら, 1998; 森ら, 2001) を参考に深度約2000mを各係留地点で共通した測流深度とし, 上・中層の2層では対馬暖流ならびに沖合冷水域の直接測流を目的とした深度設定を行った。Fig. 2 に係留観測以前の約15年間 (1988~2003年) の偶数月毎の定期海洋観測で得られた水温の平均断面図にM1からM3の係留地点と流速計の深度を重ねて示した。M1, M2の地点は定期海洋観測線上 (J4線 42° 30' N) にあるが, M3はJ41点の北方約10マイルの地点にあり, これを断面図にはJ41-42間と見なして書き込んでいる。流速計の測定間隔は1時間とし, 10ヶ月から1年間の連続観測とした。これらの1時間毎の

流速データを統計処理し位置情報や深度をまとめ, Table 1 に係留観測の基本情報を示した。各地点での係留観測期間中には, 2ヶ月に一度の定期海洋観測時にCTD (SBE 9/11plus SeaBird Electronics, Inc., USA) による観測深度を通常より深くまで延長した (800~1000m深まで) 観測を行い, 流速計の設置深度に合わせた基準面の設定を可能にした他, 過去の観測データ (海洋調査要報, 1999) および Fig. 1 の△表示点で実施されている偶数月月上旬に実施されている定期海洋観測の未印刷資料を用いた。流れや流れの向きとその季節変化を調べるため, 1時間毎の原データから30日毎に○印を付した進行ベクトル図を作成した。また, 卓越する流速の南北成分について進行ベクトルと合わせて30日毎の平均と偏差を求め季節変化を調べた。流れの周期変動を調べるため, スペクトル解析 (FFT法) を行い, 流速データに慣性振動が卓越していることをスペクトル解析から確認した上で, 生データから慣性振動を除くため, タイドキラーフィルター (花輪・三寺, 1985) を施し, 24時間に1回の再サンプリングを行って流速ベクトル図を作成した。

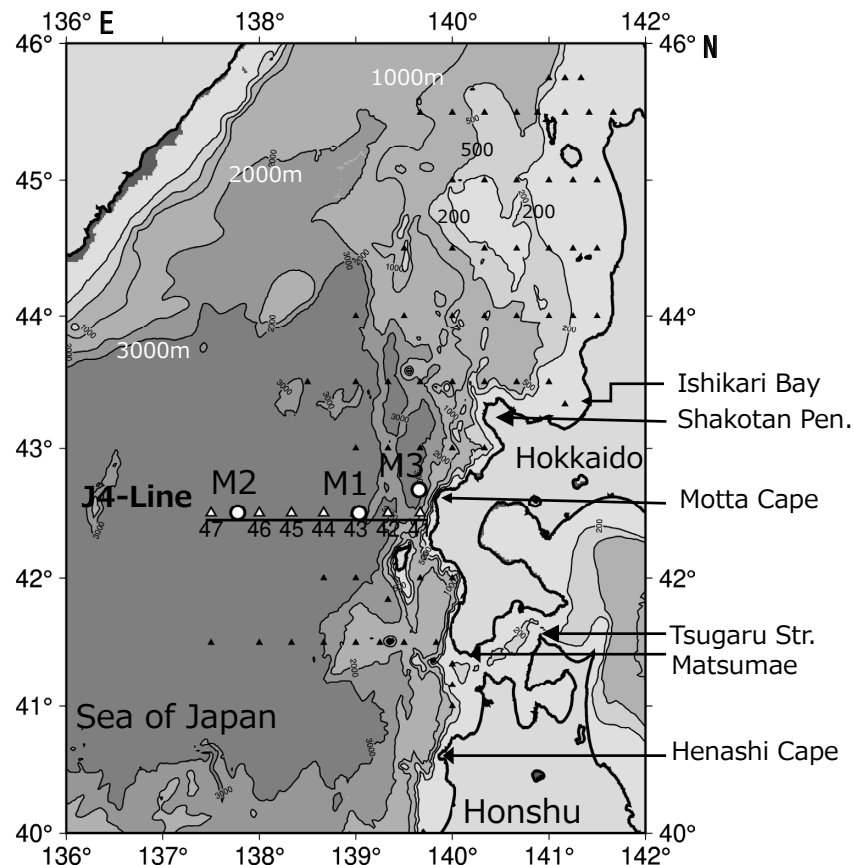


Fig. 1 Location of the periodical observation, three mooring points and sea bottom topography.

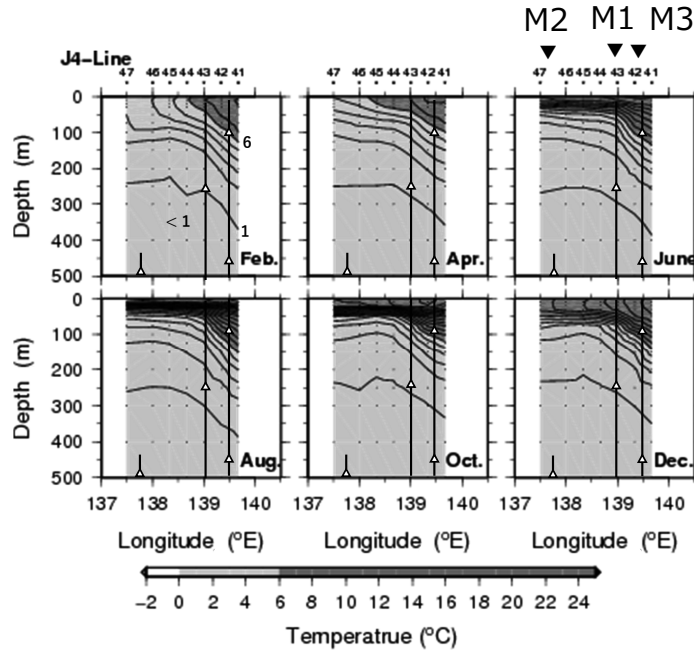


Fig.2 Vertical distributions of long-term (1988–2003) mean temperature and currents measuring points on the J4-Line.

Table 1 Basic mooring point characteristics and statistical results.

Mooring	Latitude degreeN	Longitude degreeE	Instrument depth(m)	Bottom depth(m)	Date	Mean(cm/s)		Variance(cm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )		CM-S/N
						N-Scomp.	E-Wcomp.	N-Scomp.	E-Wcomp.	
M1	42-30.0N	139-02.0E	250	3400	9-Jun-1998	6.3	-1.0	26.0	24.0	S/N10046
			600		8-Jun-1999	5.6	-0.8	11.1	7.1	S/N10047
			2100			7.5	-0.8	8.0	1.6	S/N11511
M2	42-30.2N	137-46.6E	500	3700	20-Oct-1999	0.2	-0.7	7.5	7.6	S/N10046
			1100		24-Aug-2000	0.0	-0.4	1.7	2.0	S/N10047
			2100			0.2	-0.4	1.7	2.2	S/N11511
M3	42-41.1N	139-39.3E	100	3200	5-Jun-2001	10.6	1.0	245.5	215.9	S/N10046
			450		11-Jun-2002	2.0	0.6	6.4	3.7	S/N10047
			2200			1.7	0.0	3.4	1.1	S/N11511

## 結果

**測流結果** Table 1の平均流速について見るとM1地点の南北流速成分（+は北向き）の平均は上層から順に6.3, 5.6, 7.5 cm/sで北向きに、東西流速成分では（+は東向き）-1.0, -0.8, -0.8 cm/sとなって弱い西向きの流れとなっており、全体として北向きの流れが卓越していた。M2地点では各層で流れが弱いいずれも1.0 cm/s以下で、南北流速成分の平均は上層から0.2, 0.0, 0.2 cm/sとなり、東西流速成分では-0.7, -0.4, -0.4 cm/sと南北成分より東西成分の流れがやや大きく、全体として西向きの流れとなっていた。M3地点の南北成分流速は上層で

10.0 cm/sを超える北向きの強い流れとなっており、中層、下層でも2.0, 1.7 cm/sの北向きの流れとなっていた。東西流速成分は上、中層で1.0, 0.6 cm/sと東向きの、下層でほぼ0.0 cm/sと全体として北からやや東よりの流れとなっていた。観測年は異なるが期間と（1年間）深度がほぼそろっているM1とM3の下層（約2100 m深）の南北成分の平均流速を比べると沖側のM1地点の流速が大きく、岸側M3地点との差はおよそ6 cm/sに達していた。また、中、下層の南北成分の流速について見るとM1では中層より下層が大きいが、M3では中層より下層が0.3 cm/sとわずかに小さい差があるもののほぼ同じ流速となっていた。

**スペクトル解析** スペクトル解析によって求めた南北・東西流速成分のスペクトル密度と回転スペクトル密度を Fig. 3 に示す。両スペクトル密度ともにおよそ 18 時間付近にピークがあり、回転スペクトルでは右回りに大きな密度のピークが認められた。これらのピークは係留点の慣性周期 17.7 時間 (42.5° N) であり右回りの慣性振動であることが確認できた。

**進行ベクトル図からみた流れの特徴** 1 時間毎の原データから作図した進行ベクトル図を Fig. 4 に示す。30 日毎に○印を付けその日付を表示した。M1 (Fig. 4a) では、流向は 3 層ともに年平均で北から約 10 度西に傾いている。各層について見ると、下層 (2100 m 深) は年間で見ると最も北よりの向きとなっており、上 (250 m 深)、中層 (600 m 深) と比べて月単位の流向の変化は少ないが、12 月以前と以降で流向がやや北寄りに変化していることが分かる。上層を見ると、6~7 月に流向の急激な変化 (JM1A1) が見られ、中層でも同じ時期に流向の変化は見られるが、下層では流向の変化はあまり見られない。1999 年 4 月中~下旬に上層で右回りに流向が変化しており (矢印 M1A3)、同時期中層でわずかに痕跡が見えているものの、やはり下層では見られない。

Fig. 4 の流程上の○印の間隔に注目すると隣り合う○の間隔が広くなったり狭くなったり変化している期間がいくつか見える。そこで、隣合う○印の期間 (30 日間) 毎に卓越する南北成分流速の平均と標準偏差を月別に図示した。M1 (Fig. 5a) の各層の平均流速は年間を通して見ると類似した変化を示し、中でも 7 月と 12 月に各層で流速が減少していた。進行ベクトル図 (Fig. 4a) で先に指

摘した 7 月 (JM1A1) の他に、12 月でも (JM1A2) 上層で東西に大きく流向が変化していることが分かる。平均流速は下層で 8 月に年間の最大値 10.9 cm/s となり、中層で 7.9 cm/s となるが、上層の最大値は 6 月の 9.2 cm/s と中・下層とは異なる月に最大となった。

M2 (Fig. 4b) では、係留当初の 10 月は 3 層ともに北向きであったが、1999 年 10 月末から 2000 年 1 月末までは西~南向きの流れに変化した。その後の 3 ヶ月は流れが弱く流程としても同じようなところに留まっていた。2000 年 4 月中旬に西から北西に向かう流れとなっており、流向には各層で同様の変化があるように見える。南向きの流れとなっている 11~1 月の南北成分は南向きに 1~0.5 cm/s であり、西~北西に向かう 4~8 月の東西成分は西向き 1 cm/s となっていた。

M3 (Fig. 4c) では流速が年平均値で一桁異なるため、上層と中・下層で軸の縮尺を変えて表示している。M1, 2 と比較すると主体となる流向が各層で異なっているように見えるが、これは M3 地点から岸側に至る測流深度の等深線の方向と流向はほぼ一致していることから海底地形の影響によるものと考えられる。10 月以降、上層と中層の流向が北から北北東寄りに約 15 度傾いてほぼ同じになっている。各層についてみると、下層では流れが北向きを主体としつつ、数ヶ月周期で東西に振動しているように見える。中層では係留開始直後は下層と類似した西よりの北上流となったが、その後は短周期の流向変化を流程上の棘のように見せながら一貫して北北東寄りに流れていた。M3 の上層では、6 月の係留開始直後は北東方向であったが、南、西、北向きと右回りに円を描くよ

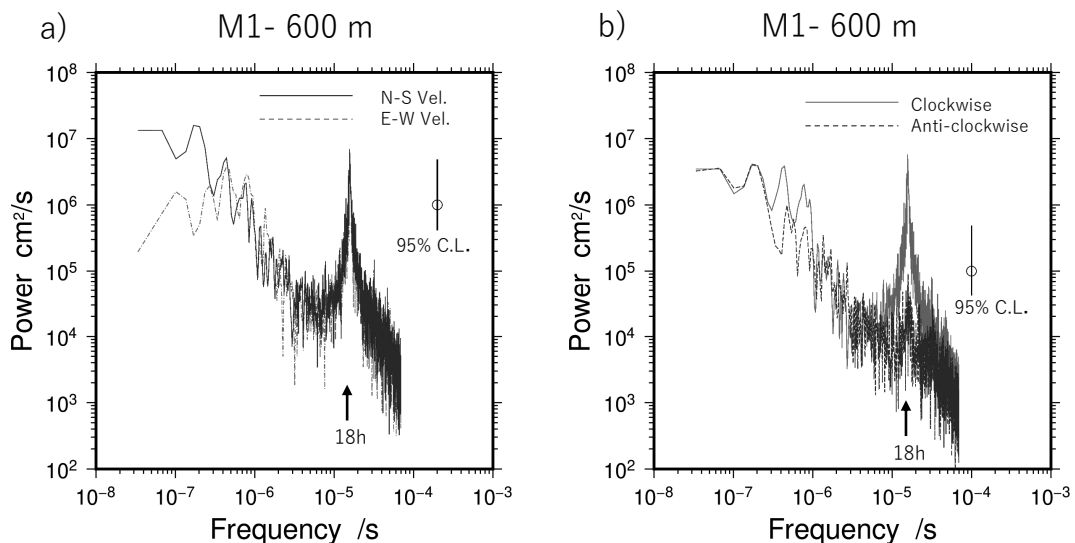


Fig. 3 Spectra (a) and rotary spectra (b) of the observed current velocity at M1 (depth 600 m) during from June/1998 to June/1999.

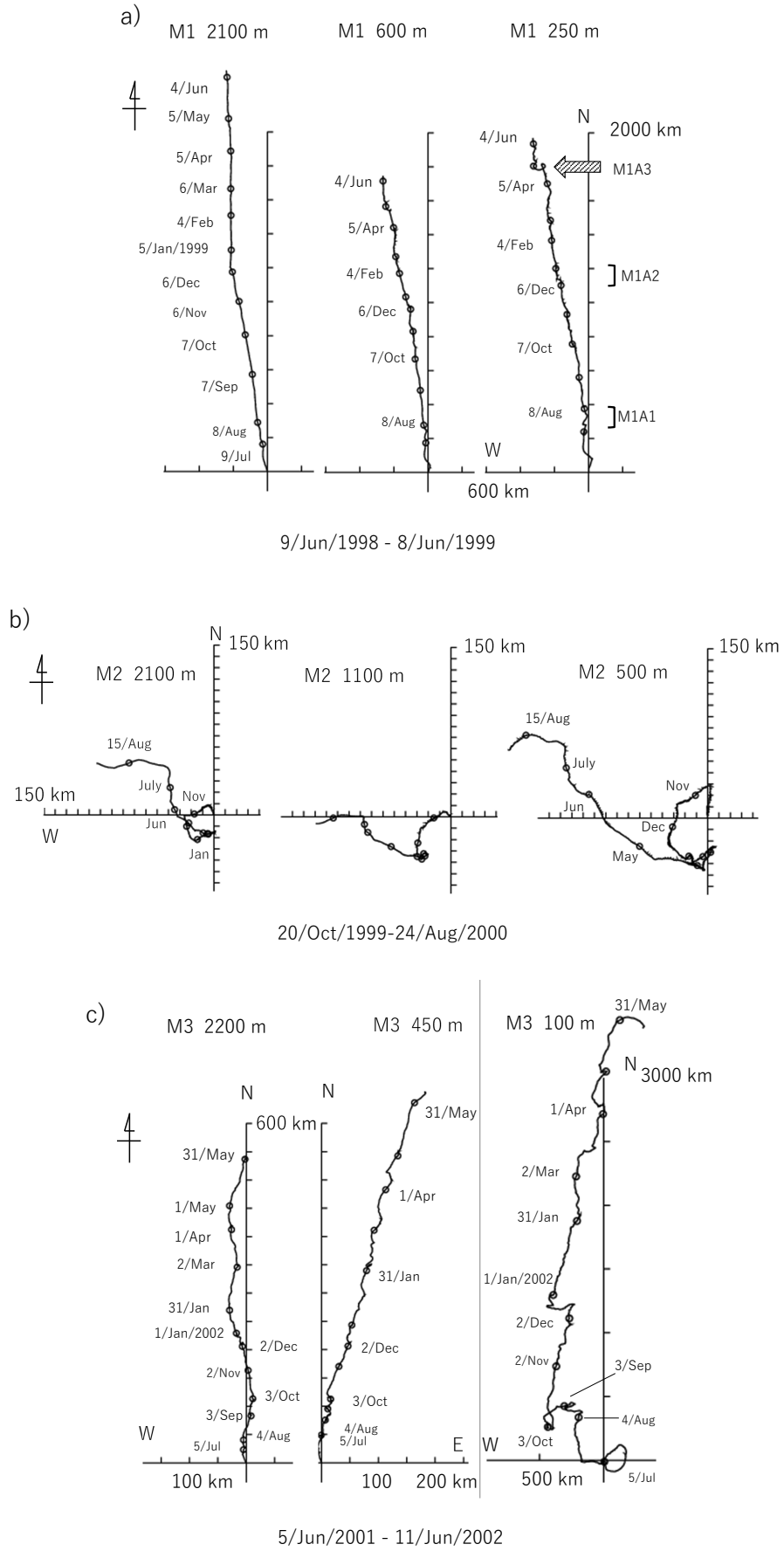


Fig.4 Progressive vector diagrams at M1 (a), M2 (b), and M3 (c).

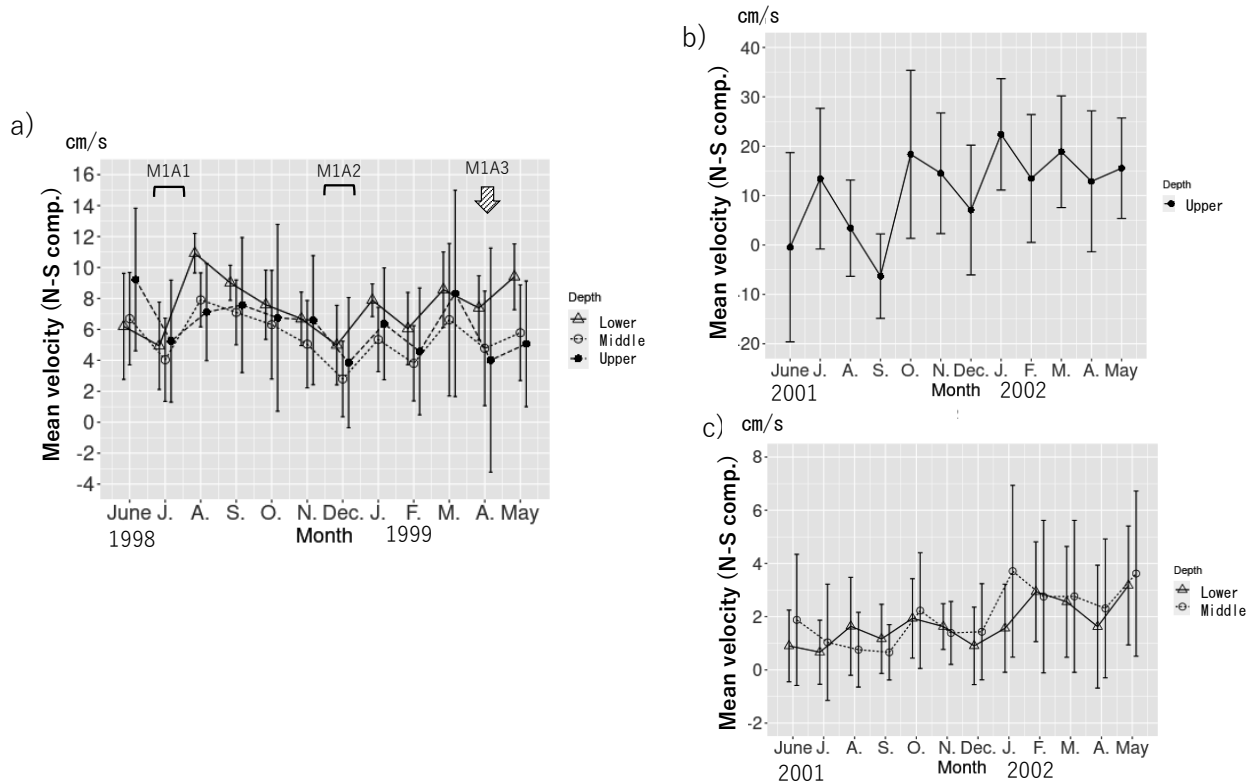


Fig.5 Monthly changes in the 30day average velocity of the observed north-southward current at three layers at M1 (a), upper layer at M3 (b), and middle and lower layers at M3 (c).

うに流向を変えた後、進行ベクトル図の原点付近でも小さく右回りし、その後西向きに流れた。7月中旬に北向きの流れとなったが、8月以降は10月始めまで北向きの流れは少なく、むしろ南向きの流れが多くなった。10月以降、ようやく北向きの流れが主体となり、流向は中層とほぼ同じ向きで北よりの流れになった。12月中旬にも西向きの流れになったが下旬には再び北よりの流向に戻った。

M1 同様に 30 日間毎に求めた M3 の南北成分流速の平均の月変化を Fig. 5b, c に示す。上層は設置水深が浅く流速値が大きいため図を分けて示す (Fig. 5b)。中・下層について見ると、流速は年平均でも差が無く、月変化もほぼ同じように見える。係留年が異なる M1 と共通するのは、下層で 7, 12 月に流速が低下することと、6 月も低い流速で始まっていることである。中層では 8, 9 月に下層より流速が小さくなり下層の最低値並の 0.66 cm/s となっていたが、10 月以降増加し 1 月に年間最大の 3.71 cm/s を示した後、5 月まで高く推移した。下層も 1 月以降増加傾向となり 5 月に 3.17 cm/s と年間最大値を示した。上層では 6, 9 月に 30 日平均値で南下流 (マイナス) を示すなど低流速であったが、10 月以降は流速が増加傾向となり 1 月に 22.40 cm/s と最大値を示し、5 月まで 15 cm/s 程度で推移した。

**流速ベクトル図から見た流れの特徴** 各地点の流速ベクトルを Fig. 6 に示す。M1 と M3 中層の上部にある逆三角形は係留系を挟む両側の測点で海洋観測が行われた日付を示している。M1 では下層から上層まで北向きの流れが卓越しており、ほぼ順圧的な流れとなっている。中下層と比べ、上層では流向の変動がやや大きくなっており、進行ベクトル図に見られたように 1999 年 4 月には暖水渦の通過とみられる時計回りの流向の変化が見える (矢印 M1A3)。1998 年 7 月と 12 月に 3 層ほぼ同時期に流速低下が見られており (M1A1, M1A2)、下層の流速低下が上中層より若干先行しているように見える。この 12 月の流速低下を境に、下層では流向がやや北寄りに変化し、中・上層では流速が減少していることが分かる。

M2 では流速が小さく分かりにくいですが、10 月から 1 月までは 3 層で南向きの流れが多く、5 月以降は北から西よりの流れとなっており、流向に季節変化が見られた。

M3 では上層の流速、流向の変動が最も大きく、中下層のそれは小さい。タイドキラーフィルターを施す前の生データ (1 時間毎) で上層では測定値の最大は 58 cm/s (流向 357°) を記録 (2001/10/27 03 時) している。渦の通過とみられる流向の変化が投入直後の 2001 年 6 月下旬から 10 月まで頻繁に見られ、12 月に比較的大きな流速で西向きの流れが続き、その後の 1 月以降は比較的小

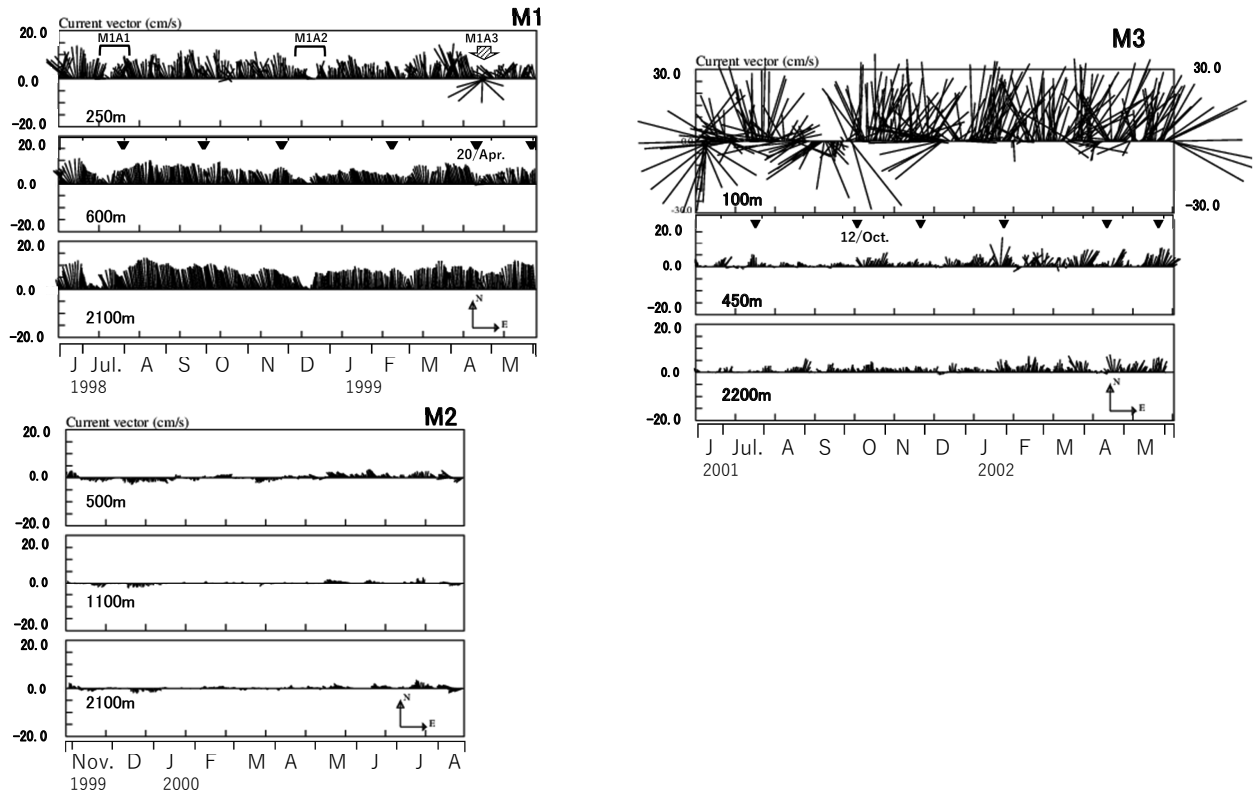


Fig. 6 Stick diagram of the M1, M2, and M3 mooring points using a 48-hour tide-killer filter and plot at time 00:00 of a day. Inverted triangles plotted in the middle layer indicates the date of oceanographic observation for computation of geostrophic velocity at the M1 and M3 mooring points.

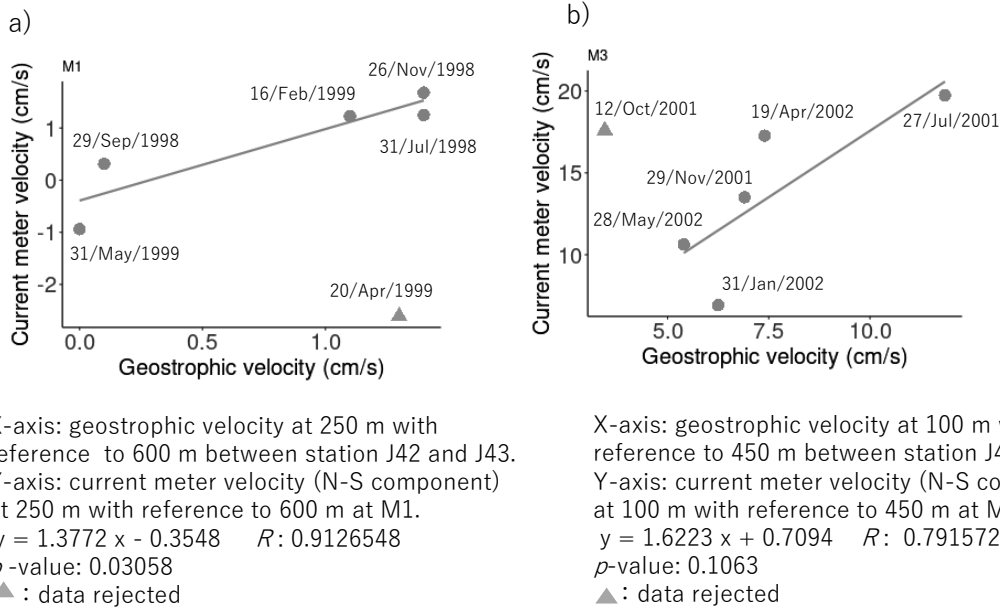


Fig. 7 Relationship between the geostrophic and direct measurement current velocities at 250 m with reference to 600 m at M1 (a) and at 100 m with reference to 450 m at M3 (b).

よりの流れが多くなっていた。係留期間の最後の6月になって、渦の接近を示唆する流速ベクトルの右回りの変化を見せている。

傾圧地衝流速と直接測流流速との相関 比較する流速は

M1 では係留測流地点を東西に挟む海洋観測地点 (Fig. 1) の J43 と J42 の水温塩分分布から傾圧地衝流速分布 (基準面深度は 800 m) を算出し、M1 の流速計係留深度である上層 250 m 深の傾圧地衝流速から中層 600 m 深の傾圧

地衡流速を差し引き、中層基準の上層の相対地衡流速(北向きを正)を求めた。M3では係留測流地点がJ4線よりおよそ10マイル北側にあるが、ほぼ同一水深の海洋観測地点であるJ41とJ42の水温塩分分布からM1と同様に基準面深度を800mとして求めた傾圧地衡流速分布から中層(450m深)基準の上層(100m深)の相対地衡流速を求めた。これらの傾圧地衡流速に対し、流速計データからは毎時の南北成分流速について傾圧地衡流速と同様に上層と中層の差をとり中層基準の上層の流速を求め、これを毎時の流速差データとした。既存の知見(磯田ら, 1998)を参考に毎時データを25時間移動平均し、1日1回09時の再サンプリングを行って日平均データとして、さらにこれを11日間の移動平均をかけた時系列データから海洋観測実施日のデータを用いた。想定される相関関係から大きく外れている点を除いた相関係数(R)はM1の上中層間の速度差(深度250mと600m間の速度差)で0.913, M3の上中層間の速度差(深度100mと450m間)で0.792となった(Fig.7)。深度差や地点差にかかわらず、傾圧地衡流速値が一桁異なるM1とM3の両地点ともに直接測流の流速値と高い相関を示したことから、傾圧地衡流速で鉛直方向の相対的な流速分布を代表できることが示された。

## 考 察

**道西日本海の深層流の分布と特徴** 長期係留観測から得られた本道西岸日本海の2000m深付近の南北流速成分の年平均値は、北海道沿岸側から順にM3で1.7cm/s, M1で7.5cm/s, 沖合M2で0.2cm/sとなっており、東西方向の平均流速値に大きな差があった。また、M3では12月を境に流向や流速に変化が見られたが、M1では非常に安定した季節変化の少ない北上流であるなど異なる特徴を示した。森ら(2001)の青森県西方日本海の測流結果(以降AM2と呼ぶ)と比較すると、M3下層の南北流速成分の年平均はAM2の測流結果の1/3, M1下層の1/4の流速値となっていた。これらの係留観測は同時期に行われたものではなく経年変化分を考慮できないため、直接の比較やその解釈には注意が必要であるが、日本海の深層循環が青森県西方と北海道西方と連続して流れているとすれば、AM2とM1の下層2000m深の北上流速は同程度であり矛盾しない。やや岸に近いM3下層では奥尻島や海底・海岸地形の影響を受け、AM2やM1の下層より小さい流速となっていると考えられる。

次に流れの特徴について見ると、周期的な変化のある流れのAM2に対して流れの変化が少ないM1下層との違いは、AM2の設置地点が陸棚斜面上の水深2500m付近

に対し、M1では南北に連なる奥尻海嶺の西端付近の海嶺の緩やかな斜面上水深3400m付近であり設置地点の水深が異なる上、陸棚斜面と海嶺斜面の違いがある。このような隣接する海底地形の違いで流れの特徴が異なっている可能性がある。M1のあるJ4線(42.5°N)では対馬暖流が東側に収束し、周年安定した主流部を形成している(中多・田中, 2023)が、このM1地点の北上深層流の存在が主流部の安定に関与しているかもしれない。

西側沖のM2では10ヶ月の係留期間で年平均には期間が不足しているが、流れの特徴として南北より東西方向の流速が大きく平均値で-0.4cm/sと弱い西向きの流れになっており、Takematsu *et al.* (1999)の日本海盆北部の係留結果と比較すると同程度の値となっていた。しかし流れの特徴は少し異なっており、M2では秋から冬は南下流であったが春4月以降は西よりの流れとなっていた。これは春から夏は北西向きの弱い深層流の存在を示唆していると考えられる。観測に用いた流速計RCM8では低流速時に流向がばらつく特性が報告されている(中野ら, 2008)。しかし、M2の回転スペクトルの慣性周期にピークが検出されていることから、ローター等の故障や機能不全ではなく低流速でも計測可能な範囲であったと考えられる。

**傾圧地衡流速と実測流速の相関と例外の検討** 基準面からの相対流速である傾圧地衡流速は、基準面と同じ深度の流速計による移動平均を施した実測流速値と高い相関関係を示した。この際に外れ値と見なしたデータについてその妥当性を検討する。M1の1999年4月20日の外れ値については、ベクトル図(Fig.6)の該当期間(M1A3)をみると、1週間程度の時間規模の渦の通過の直前の時期に該当し、移動平均による20日以降の流速値に渦の影響が含まれるため、この影響を受けた外れ値と見なした。M3の2001年10月12日の外れ値については、この年の6, 8, 10月の100m深水温分布(海況速報)を(Fig.8)見ると、積丹半島西方から檜山沖にかけての道西日本海の対馬暖流は、積丹半島西方で暖・冷水渦を形成して例年より東西の蛇行が大きく、10月には茂津多岬西方J4線では100m深6℃以上の等温線が南北につながらない程の対馬暖流の流量が減少していることが分かる。このため岩内西方のJC1線(43°N)とJ4線間では等温線が東西に延び、例年の南北ではない西向きの流れとなっていることが分かる。この時M3の係留地点はJ4線の約10マイル北側にあるので、この西向きの流れを測流していることになり、進行ベクトルFig.4cに見られる8~9月末までの滞留、不安定な流向や西よりの流れはこれら暖流流量の減少とそれに伴う擾乱を捉えていたと考えられる。Fig.4cの進行ベクトル図とFig.6のM3のベクトル



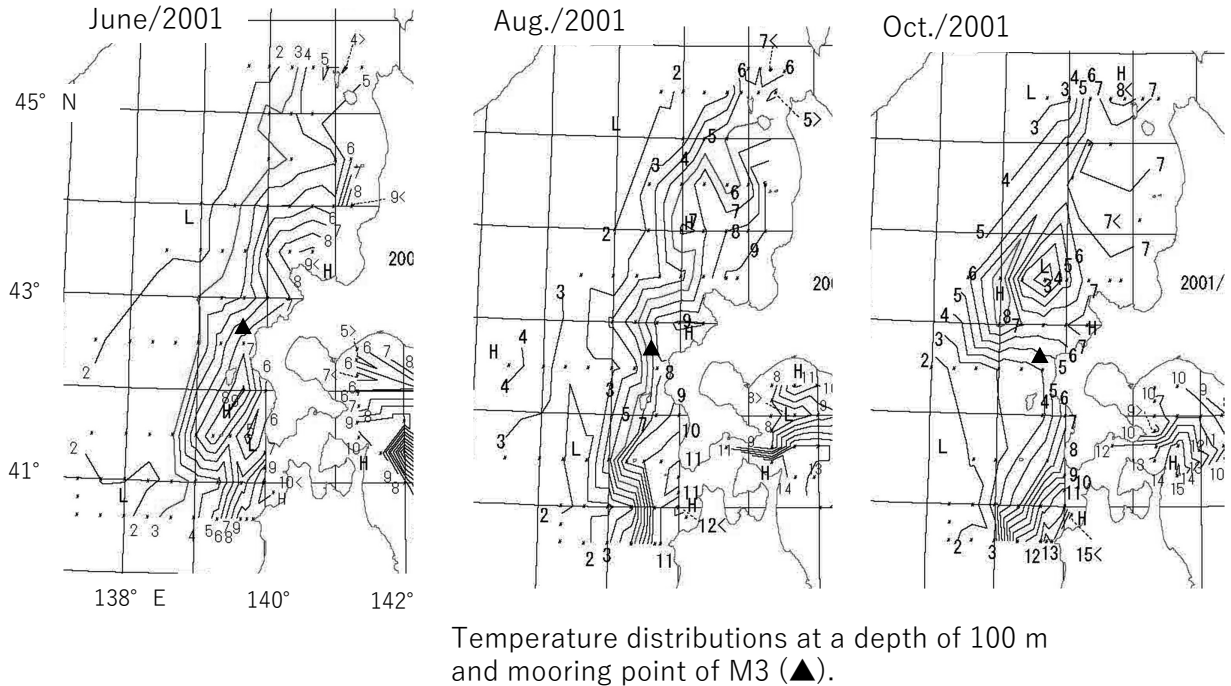


Fig.8 Temperature distributions at a depth of 100 m based on observations of the *Kaikyou-Sokuhou* by the HRO Fisheries Research Institute during June to October in 2001. Triangles indicate the mooring position of M3.

を見ると、10月上旬の前後で卓越する流向流速の変化が見える。2001年10月12日の観測値による傾圧流速値はこの流向流速の大きな変化が見られた時期と近く、外れ値と見なした。一方、2001年7月27日については、進行ベクトル図 (Fig. 4c) でも順調に北上している期間に該当しており外れ値とは見なしていない。

**道西日本海の傾圧流と対馬暖流の北上流量** 傾圧流速として求められる上下2層間 (下層が基準面) の流速差と、同じ深度の実測流速差には高い相関があることが分かった。このことは傾圧地衡流が成立していることを示している。一方で基準面での実測流速について見ると、M1中層で5.6 cm/s、M3中層で2.0 cm/sの年平均値となっており、年平均値が約12 cm/sの表層の傾圧地衡流速と比べると無視できない流速値となっている。M3の中・下層の年平均実測流速値はほぼ同じで Fig. 4c を見ると中層と下層の30日平均流速の月変化は類似している。M1では下層の流速が中層より1.9 cm/s大きいが、M3同様に中層と下層の30日平均流速の月変化は類似しており (Fig. 5a)、また Fig. 6 のベクトル図を見るとM1の中・下層では順圧的な流れが支配的であると見ることができる。これらの特徴からM1、M3における中層の実測流速を傾圧流と仮定し、対馬暖流の北上傾圧流量を見積ると、深さを500 mとし、流れの幅はこの観測線における対馬暖流の主流部に相当 (中多・田中, 2023) するM3をJ42-43間、M1をJ41-42間に対応させると合わせて約1.1 Svと

見積もられる。道西日本海の対馬暖流北上流量は傾圧流だけで約1.2 Svと見積もられており (中多・田中, 2002)、ほぼ同じ量が過小評価されている可能性が示された。

## 謝 辞

北水試初となる深海係留観測を3度にわたり無事に設置回収をやり遂げた当時のおやしお丸の歴代船長をはじめ、乗組員各位にあらためて敬意を表するとともに深く感謝申し上げます。また、深海係留のノウハウやデータ処理ツールの情報提供およびご教示を頂いた、当時の北海道大学水産学部海洋学気象学講座の先生方、大学院生の皆さんにも感謝申し上げます。前例のない観測計画にかかわらず、実施決定をなされた当時の部長、場長の皆様方に深く敬意を表するとともに、調査にご協力いただいた当時の同僚職員に心よりお礼申し上げます。最後に有益なコメントを頂いた査読者の皆様にお礼申し上げます。

## 引用文献

- 花輪公雄. 沿岸境界流. 沿岸海洋研究ノート 1984;22: 67-82.  
花輪公雄, 三寺史夫. 海洋資料における日平均値の作成について. 沿岸海洋研究ノート 1985;23:79-87.

- 磯田豊, 中山智治, 村上敬, 金相裕, 大谷清隆. 津軽海峡南西海域における対馬暖流の係留観測. 海の研究 1998 ; 7(4) : 237-224.
- 北海道立水産試験場 海況速報 No.80~82 2001 <https://www.hro.or.jp/fisheries/research/central/section/kankyou/sokuhou.html>(2024/10/25).
- 北海道立水産試験場 海洋調査要報 第1~13号 余市, (1985-1997).
- 北海道立水産試験場 海洋調査要報 第14~15号 余市, (1998-1999) <https://www.hro.or.jp/fisheries/research/central/section/kankyou/youhou.html> (2024/10/25).
- 森康輔, 磯田豊, 村上敬, 大谷清隆. 津軽海峡南西海域における深層流の長周期変動. 海の研究 2001 ; 10(1) : 1-13.
- 中野俊也, 石崎廣, 四竈信行. 長期係留による4種類の流速観測結果の比較. 気象研究所技術報告 2008 ; 55 : 1-22.
- 中多章文, 田中伊織. 北海道西岸における対馬暖流傾圧流量の季節および経年変化. 北海道立水産試験場研究報告 2002 ; 63 : 1-8.
- 中多章文, 田中伊織. 道西日本海における対馬暖流流量分布の季節および経年変化. 北海道立水産試験場研究報告 2023 ; 105 : 29-36.
- Takematsu M, Nagano Z, Ostrovskii A.G., Kim K., Volkov Y.. Direct measurements of deep currents in the Northern Japan Sea. *J. Oceanogr.* 1999 ; 55 : 207-216.
- 吉田英雄, 中多章文, 浅見大樹, 田中伊織. 北海道における海洋環境モニタリングの現状・成果と今後の取り組み. 月刊海洋 2004 ; 36(1) : 5-10.