

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

中多章文*, 田中伊織*

Seasonal and year-to-year variability of baroclinic volume transport of the Tsushima Warm Current, off the west of Hokkaido

Akifumi NAKATA*, Iori TANAKA*

Hokkaido Central Fisheries Experimental Station has been conducting routine hydrographic observation bimonthly to clarify seasonal and year-to-year variability of baroclinic volume transport of the Tsushima Warm Current off the west of Hokkaido (TWCH). Using the data from October 1988 to August 2001, seasonal mean northward volume transport is shown to have the minimum value (0.85Sv) in April and the maximum value (1.59Sv) in August. The transport in October decreases with sea temperature decrease below 100m depth near the coast. The transport increases once again in December. The annual mean transport is 1.20Sv. Year-to-year variability of the transport of TWCH seems to have 5-6 years period. Long-term trend of the transport is shown to decrease since 1988. Average bifurcation ratio of the transport between TWCH and the Tsugaru Warm Current at the west of the Tsugaru Strait is estimated to be 4:5.

キーワード：対馬暖流, 傾圧流量, 季節変化, 経年変化

1. はじめに

北海道西岸の日本海は、ニシン、スルメイカやスケトウダラといった大きな資源変動を伴う水産資源の漁場となっている。また、磯焼け現象と呼ばれる沿岸域の動・植物相の大きな経年変化も知られている。これらの資源変動と環境変動との関連を調べるためには、日本海の対馬暖流域の海洋環境を長期的に把握する必要がある。一方、北海道を取り囲む日本海、オホーツク海、道東、道南太平洋には、対馬暖流、宗谷暖流、沿岸親潮や道東沿岸流と言った、岸を右手に見て流れる沿岸境界流¹⁾が日本海から北海道を右回りに流れている。これらの沿岸境界流は物理的機構がそれぞれ異なり、移流や混合を経て水温・塩分が次第に変質するものの、物質輸送の観点から流れとして連続していると考えられる。このため北海道の沿岸境界流として最も上流部に位置する北海道西岸の対馬暖流域において、対馬暖流の動態を把握することは、日本海だけでなく北海道を取り巻く下流域の海流系の変動を予測する上でも重要と考えられる。また、この沿岸流の流域は、ホタテやカレイ類の産卵場と

も重複するために、再生産過程における卵稚仔等の輸送に流れの情報が必要とされている。

対馬暖流が東へ収束し、日本海の亜寒帯前線が日本に近くなる津軽海峡西方青森県沖日本海では、比較的短い観測線分で対馬暖流流量を把握できると期待されることから、流量変動に関する研究が多く行われている(例えば、Toba et al.²⁾、赤羽³⁾、中村⁴⁾、佐藤⁵⁾)。しかし、津軽海峡以北も含めた対馬暖流流量については、秦⁶⁾、Onishi & Ohtani⁷⁾の研究があるが、観測例が少ないため、季節変化や経年変化についてはこれまで十分に調べられていなかった。

そこで、北海道立水産試験場では小笠原、田中⁸⁾の指摘に基づき、1989年から北海道周辺で組織的な海洋観測網を整備し、流れとしての対馬暖流を把握するため、観測を行ってきている。ここでは、この観測データから、北海道西岸における対馬暖流の傾圧流量の季節および経年変化を調べた。また、傾圧流量計算に用いた基準面や対馬暖流の幅について過去の知見と比較しながらその妥当性について評価した。

報文番号 A359 (2002年7月22日受理)

*北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Hamanaka-cho Yoichi Hokkaido, 046-8555, Japan)

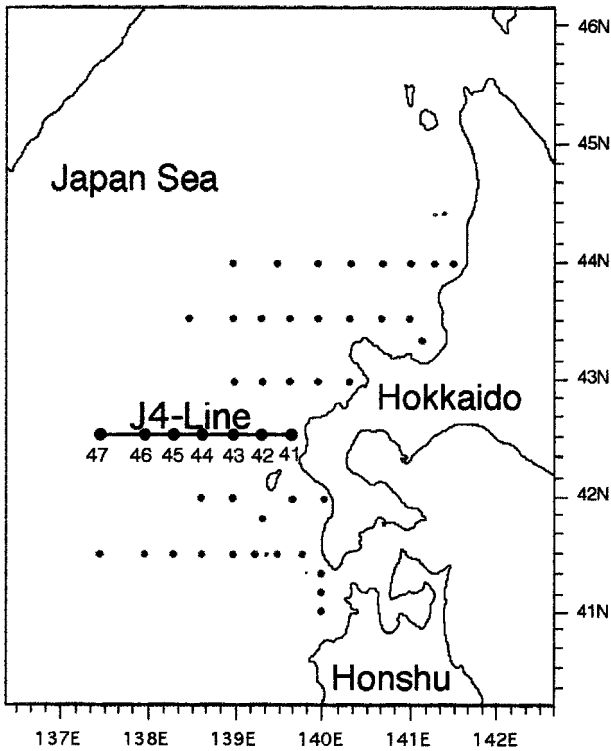


Fig.1 Location of the periodical observation.

2. 資料と方法

北海道立水産試験場発行の1988年10月から1992年3月までの海洋調査要報⁹⁾に、中央水産試験場海洋環境部未印刷資料を加え、2001年8月までの13年間の資料を解析に用いた。対象とした観測断面は Fig. 1 に示す北海道西岸日本海の北緯42度30分上にあり、7観測点が設定されている。この観測線をJ4線と呼ぶ。北海道側から順に西へJ41からJ47まで測点名がつけられ、深さ500mまでのCTD観測が定期観測として行われている。J41とJ46では1997年4月から深さ1000mまでの観測が行われている。Fig. 2に各年毎のJ41の観測日を示す。海洋観測は北海道立水産試験場所属試験調査船おやしお丸で行われた。これらの観測は、調査船の上架整備や荒天の続く2月を除きほぼ奇数月下旬から偶数月月上旬に実施されており、系統的な観測日のずれは見られない。

これらの海洋観測資料の標準層データ(0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300m以深は100m毎)を用い、各観測月の平均水温、塩分、密度断面を作成した。次に、深さ400mを基準面とした力学計算により各測点間の傾圧地衝流量(以降傾圧流量と呼ぶ)を計算した。また、1997年以降は基準面の深さの評価を行うため、J41とJ46の2測点間において深さ1000mを基準面として傾圧流量を計算した。

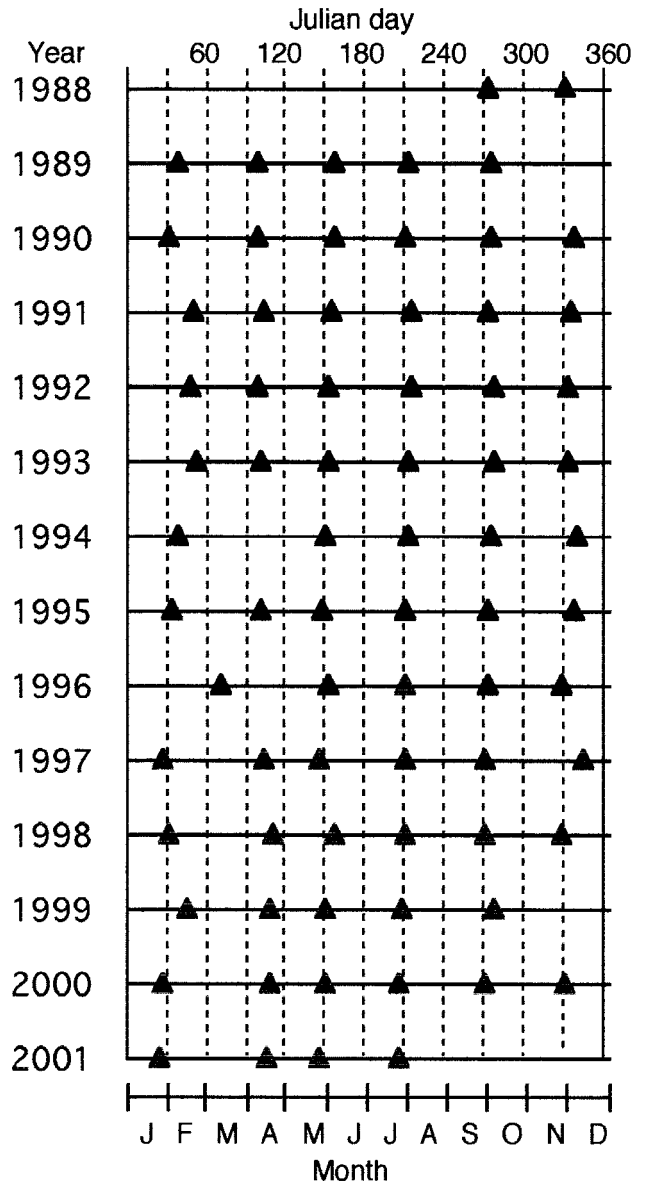


Fig.2 Time-diagram for hydrographic observation date at J41 from 1988 to 2001.

3. 結果

3. 1 基準面の設定と対馬暖流の沖側境界の検討

3. 1. 1 J4線13年平均場

本論文で解析対象とするJ4線において、対馬暖流の水温、塩分および密度構造の季節変化を把握するため、標準層データ(0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500m)を用い、各観測月の平均水温、塩分、密度断面図を作成した。

一例として Fig. 3に4月と10月の平均水温、塩分、密度断面を示す。等温線は北海道(岸側)に近づくにしたがい深くなり、等密度線も同様に岸側で深くなっている。一方、J45以西では等温線、等密度線共に傾きは緩

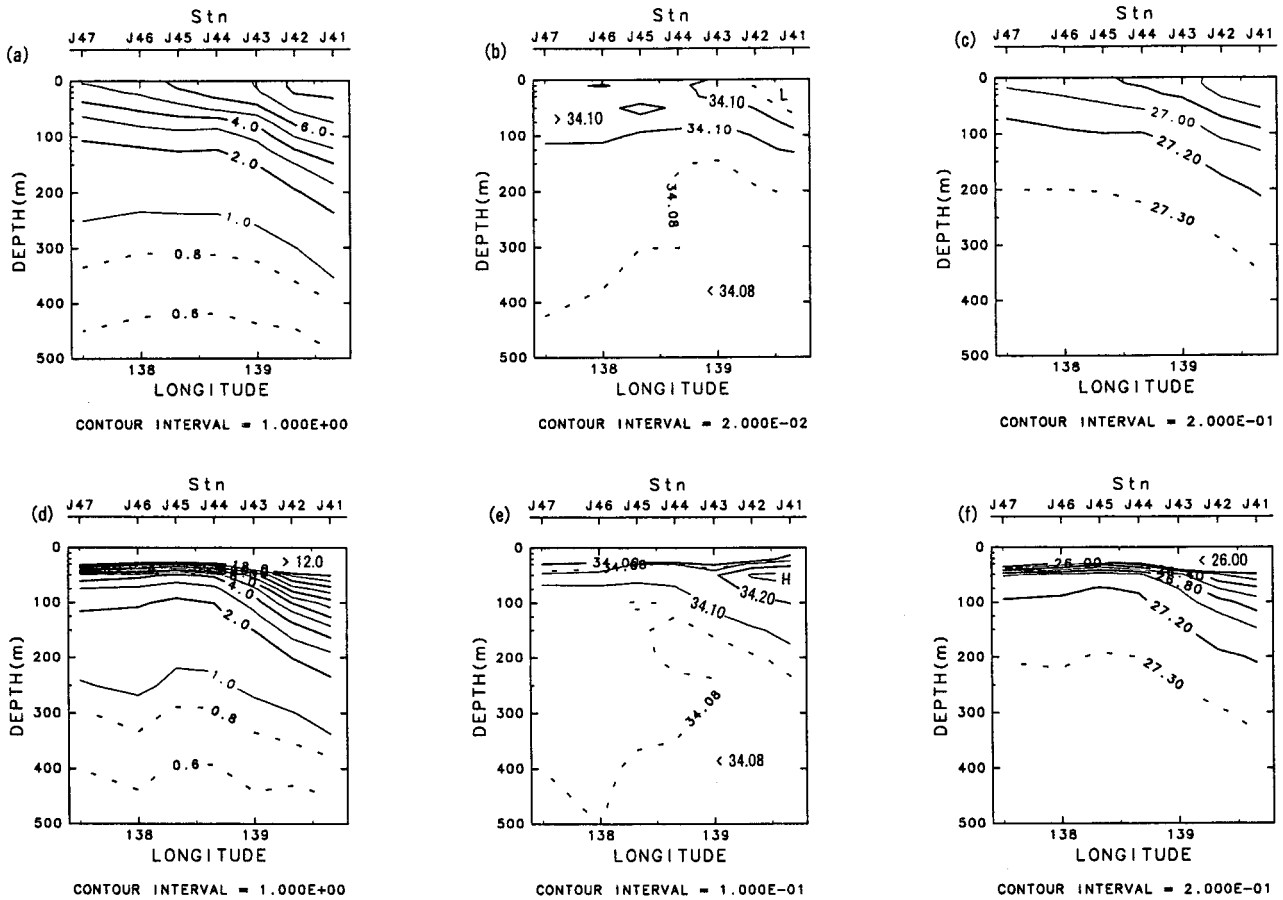


Fig.3 Vertical distributions of temperature, salinity, and sigma-t in April and October.

(a) : temperature(°C), (b) : salinity(P.S.U.), (c) : sigma-t in April
 (d) : temperature(°C), (e) : salinity(P.S.U.), (f) : sigma-t in October.

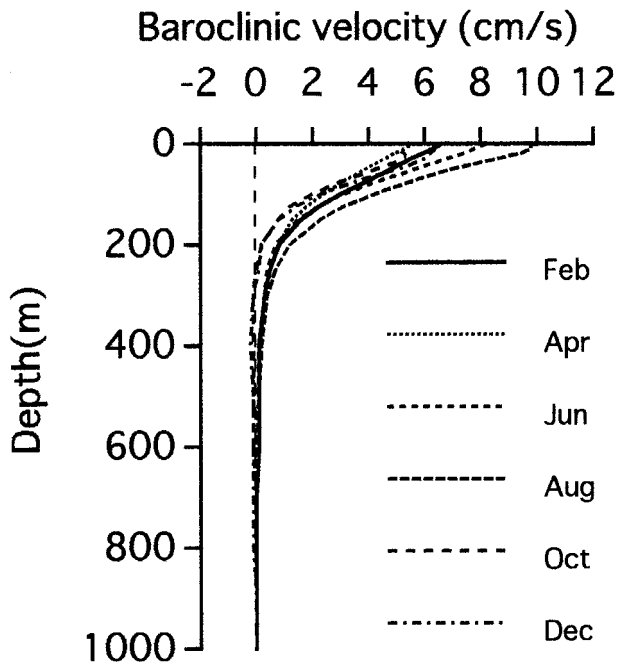


Fig.4 Vertical profiles of northward baroclinic velocity referred to 1000m depth between J 41 - J 46.

やかになっている。また、J 45以西では100m以深で、沿岸側のJ 41では300m以深で、鉛直方向の密度差が小さくなっている。これらは相対的に高温で低密度である対馬暖流が岸側に張り付いて流れる、沿岸境界流としての基本構造が周年維持されていることを示している。

青森県西方および北海道江差西方においては、浅い基準面の設定による傾圧流量の過小評価が指摘されている⁷⁾が、北海道西岸の断面図は、J 45以西や、深さ400m以深では傾圧構造が弱く、流量も少ないことを示している。また、この断面図に見られるように、岸を右手に見て流れる沿岸境界流の場合、観測線が流れの沖側の境界を含むかどうか、または、観測線の沖側にまでぶ渦が存在することによる反流(南下流)を含んでいるかどうかによって、流量の過小・過大評価となる場合が考えられる。そこで、本論文においては、まず基準面の深さの評価を行うとともに、J 4線における観測点間の傾圧流量の分布を調べ、対馬暖流の沖側の境界についても評価を行う。

Table 1 Comparisons of northward transport referred to 1000m depth and 400m depth in each observation month.

	0-1000m (A)	0-400m (B)	Ratio (A-B)/B
	TR* ¹ (n)	TR* ¹ (n)	
FEB	0.96 (3)	0.87 (3)	0.11
APR	0.87 (5)	0.76 (5)	0.14
JUN	1.13 (5)	1.02 (5)	0.11
AUG	1.48 (5)	1.37 (5)	0.08
OCT	0.62 (4)	0.72 (4)	-0.13
DEC	0.73 (2)	0.85 (2)	-0.14
Mean	0.97	0.93	

*¹ : Volume transport in Sv ($\equiv 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)

3. 1. 2 傾圧流速の鉛直分布

Fig. 4にJ41-46間において、1000m以深の観測を行った1997年4月以降について、各観測月の1000mを基準面にした傾圧流速の平均値の鉛直分布を示す。表層0mでの最大流速は8月で約10cm/s、最低は4月の約5cm/sとなっている。表層から深さ200mまでに急速に流速が減少し、深さ200mでは最大で約1cm/sとなり、深さ400mでは8月に最大で0.2cm/sとなっている。10月と12月では、深さ300~600m付近で、わずかに負の流速値とな

り南下流となっている。

3. 1. 3 基準面を変えた場合の傾圧流量

次に、1000m基準面と400m基準面それぞれについて傾圧流量の年間の平均値を求めた (Table 1)。年間の平均では、1000mが0.97Sv ($10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 以降 Svとする)で400mが0.93Svとなった。次に各観測月毎の平均値と比較した。2~8月は400m基準面では最大14%の過小評価となった。300m以深で南下流となる10~12月は逆に最大14%の過大評価となった。

江差西方日本海において、基準面の深さの違いによって、23~26%の過小評価が報告されている⁷⁾。観測緯度や平均する期間が異なるものの、J4線ではこれ程大きな過小評価となっていない。

3. 2 傾圧流量の観測点間の分布

Fig. 5に観測点間毎に計算した傾圧流量の各観測月別の平均値を示す。等密度線の傾きの大きい北海道沿岸側で傾圧流量が多く、等密度線の傾きの小さいJ45より西では岸側に比べ流量は少なくなっている。このことから、

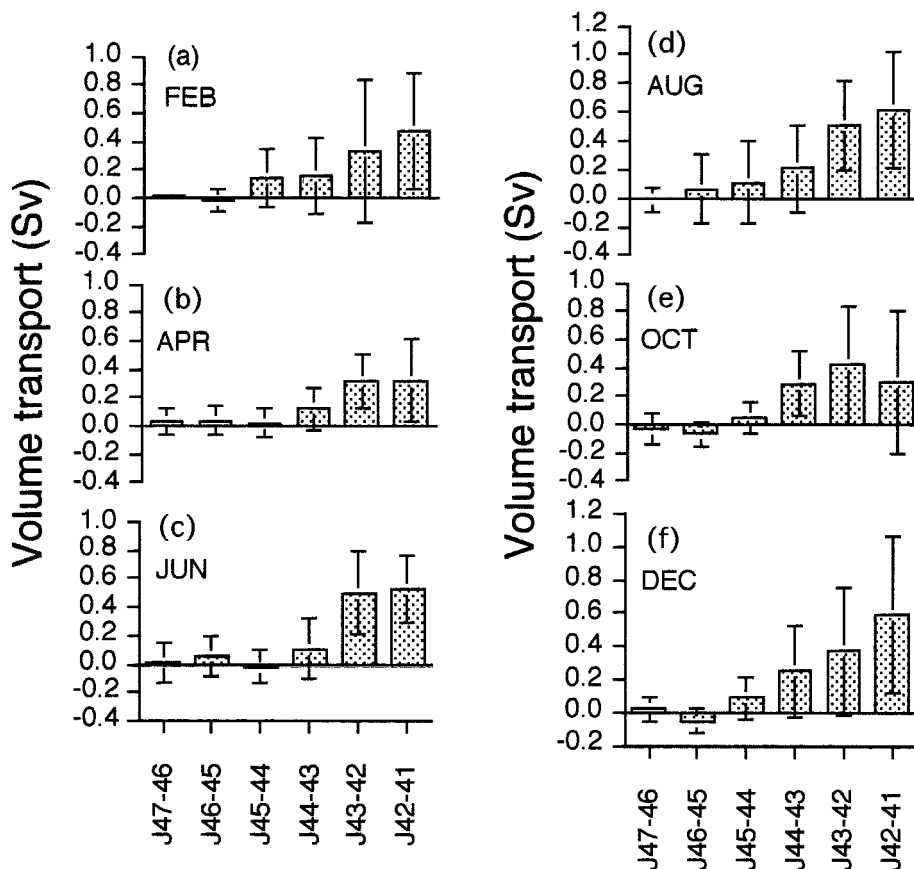


Fig.5 Mean northward transports between each station in each observation month. Vertical bars indicate standard deviations.

(a) : February, (b) : April, (c) : June, (d) : August, (e) : October, (f) : December

Table 2 Comparisons of different summation methods of the northward transport referred to 400m depth in each observation month.

	J 41-47 (A) * ¹	Max (B) * ²	Ratio
	TR * ³ (n)	TR * ³ (n)	(A-B)/B
FEB	1.10(11)	1.12(11)	-0.02
APR	0.82(10)	0.84(10)	-0.02
JUN	1.21(13)	1.28(13)	-0.06
AUG	1.49(13)	1.58(13)	-0.06
OCT	0.92(12)	1.04(12)	-0.11
DEC	1.34(9)	1.40(9)	-0.04
Mean	1.15	1.21	

*¹ : Simple summation of transport from J 41 to J 47.

*² : Residual northward transports without southward transports from J 41 to J 47.

*³ : Volume transport in Sv($\equiv 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)

ここで用いられている観測点の J 41-J 47間は、北海道西岸対馬暖流の幅を十分に横切っていると判断される。

一方、10~2月はJ 45以西において平均値がマイナスとなり、南下流となっていることを示している。これは、沿岸境界流としての対馬暖流の北上流ではなく、沖合の渦などによる反流と考えられる。

北上流の流域までを対馬暖流の幅と考えれば、J 41-47間の流量を単純に積算すると、この南下流量の分が北上流量から減少することになる。そこで、次にこの沖側の南下流の影響を除くため、各観測点間の傾圧流量を沿岸側から積算し、J 47までの積算値のうち最大値（最大積算値）を求めた。

Table 2にJ 41-J 47間の単純積算値としての流量と、上述の最大値を用いた流量を各観測月毎に平均値を求めて示した。J 41-J 47間の積算値では10月には11%の過小評価となるが、その他の月では数%程度の過小評価であった。年間の平均では、J 41-47間の積算値を用いた場合が1.15Svで最大積算値を用いた場合が1.21Svとなった。

また、最大積算値には日本海内部の再循環流の中心部が含まれていることも考えられる。この場合、日本海内の再循環流分が過大評価されることに注意を要する。

このように、基準面や暖流幅の設定によって、過小・過大評価が生じる。しかし過小・過大評価分は後述する各月の平均値に対して十分に小さく、季節変化パターンや経年変化を変えるものではないと判断した。そこで、本論では基準面を400mとし、南下流の影響を除き、日本海の再循環流となる過大評価分を含む沿岸側からの積算値の最大値を対馬暖流傾圧流量として定義した。また、沖合の観測が欠測となった場合は、積算値の最大値

Table 3 Northward volume transports at J 4-Line.

Year	Month	J 41-47 * ¹	Max * ²	Remarks * ³
		TR * ⁴	TR * ⁴	
1988	Oct	0.81	0.87*	
	Dec	1.70	1.78*	
1989	Feb	1.32	1.34*	
	Apr	0.97	0.97	
	Jun	1.32	1.32	
	Aug	1.96	2.04*	
	Oct	1.65	1.77*	
	Dec	—	—	
1990	Feb	1.93	1.93	
	Apr	1.30	1.30	
	Jun	1.25	1.44*	
	Aug	1.61	1.68* J 41-J 46	
	Oct	1.09	1.12*	
	Dec	2.10	2.18*	
1991	Feb	0.61	0.61	
	Apr	0.98	0.98	
	Jun	0.96	1.14*	
	Aug	1.29	1.45*	
	Oct	1.07	1.11*	
	Dec	1.20	1.20	
1992	Feb	1.29	1.29	
	Apr	0.46	0.46&	
	Jun	1.52	1.65*	
	Aug	1.53	1.59*	
	Oct	0.85	0.98*	
	Dec	1.53	1.53	
1993	Feb	1.32	1.38*	
	Apr	0.83	0.83	
	Jun	1.70	1.70	
	Aug	2.04	2.05*	
	Oct	1.56	1.88*	
	Dec	1.69	1.79*	
1994	Feb	1.27	1.33*	
	Apr	—	—	
	Jun	1.17	1.38*	
	Aug	1.11	1.17*	
	Oct	1.56	1.62* J 41-J 45	
	Dec	1.13	1.13	
1995	Feb	0.63	0.79* J 41-J 46	
	Apr	0.76	0.78*	
	Jun	1.09	1.09	
	Aug	1.98	2.08*	
	Oct	0.55	0.70*	
	Dec	1.08	1.17*	
1996	Feb	—	—	
	Apr	0.70	0.74*#	
	Jun	1.03	1.12*	
	Aug	1.09	1.14*	
	Oct	0.68	0.69*	
	Dec	0.73	0.73 J 41-J 45	
1997	Feb	0.60	0.66*	
	Apr	0.38	0.38	
	Jun	0.93	1.01*	
	Aug	1.23	1.29*	
	Oct	0.07	0.12*	
	Dec	1.16	1.16 J 47 is estimated.	
1998	Feb	0.82	0.82 J 47 is estimated.	
	Apr	0.95	0.96*	
	Jun	0.85	0.85	
	Aug	1.62	1.62	
	Oct	0.78	1.09*	
	Dec	1.75	1.75*	
1999	Feb	1.05	1.05 J 41-J 43	
	Apr	0.97	0.98*	
	Jun	1.52	1.55*	
	Aug	1.19	1.35*	
	Oct	0.84	0.89*	
	Dec	—	—	
2000	Feb	0.79	0.79	
	Apr	0.96	0.96	
	Jun	1.43	1.44*	
	Aug	2.22	2.22	
	Oct	1.10	1.22*	
	Dec	-0.11	0.07*	
2001	Feb	1.10	1.10	
	Apr	0.58	0.75*	
	Jun	1.01	1.01	
	Aug	0.57	0.92*	
	Mean	1.14	1.20	
	S. D.	0.46	0.46	

*¹ : Simple summation of transport from J 41 to J 47.

*² : Residual northward transports without southward transport from J 41 to J 47.

*³ : Remarks. Exceptions are shown.

*⁴ : Volume transport in Sv($\equiv 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$)

The reference level is 400m depth except for April,1992.

* : In case of residual transport is larger than simple summation of the transport.

& : The reference level is 200m depth.

: The observation was conducted in March.

は使用できないが, J 47における標準層の水温, 塩分の平均値を用いて, 岸側の観測点との傾圧流量を算出し最大積算値の代わりに用いた。

Table 3にJ 4線上の傾圧流量の観測結果をまとめて示した。*印がついているのは, J 41-J 47の単純積算流量より, 前述の最大値を用いた流量の方が多かった場合を示す。また, 時系列データとしての連続性を確保するため, 最も西側の観測点がJ 47に達しなかった場合や, 基準面が200mとした結果も合わせて脚注を付けて示した。

3. 3 J 4線における対馬暖流傾圧流量の季節変化

Fig. 6に傾圧流量の季節変化を示す。傾圧流量の季節変化を平均値で見ると, 4月に0.85Svの年間最低値を示した後, 8月にかけて増加し, 8月には1.59Svの年間最高値を示した。その後10月に一度減少するが, 12月に再び増加した。年平均値は1.20Svとなった。10月と12月は標準偏差が他の月に比べてやや大きく, またそれぞれの月で最大値と最小値の差が大きくなっていた。特に1997年10月と2000年12月の傾圧流量は, 4月の平均値より低い値を示した。同様に1990年2月の流量は8月の平均値より高い値を示した。年間で傾圧流量が最大値と最小値を示す8月と4月の平均値の差, つまり年較差は0.71Svとなった。また, 各月の平均値から求められる, 年間の傾圧流量の標準偏差が0.25Svとなるのに対し, 10月と12月の傾圧流量の標準偏差がそれぞれ, 0.48Svと0.58Svとなっており, 特に冬季間において季節変化の幅以上の年変化が認められた。

3. 4 J 4線傾圧流量の経年変化

Fig. 7に傾圧流量の時系列を示す。短周期変動成分を取り除き, 長期的な傾向を見るため, 年6回のデータを7回分(1年2ヶ月分), 単純移動平均を施したものを同時に示した。移動平均に際して, 欠測月は欠測月の前後の平均値で補間し, 移動平均の計算に用いている。2000年8月の流量は, 観測開始以来最大傾圧流量(2.22Sv)となっているが, その4ヶ月後の2000年10月には観測開始以来最小の傾圧流量(0.07Sv)となるなど, 近年では比較的短期間に最大, 最小値を更新した。このように短期間での変動が大きく, 2ヶ月毎のデータ時系列では, 先に示した季節変化パターンを読み取るのは困難となっている。移動平均を見ると, 傾圧流量は1989年頃比較的高い値を示していたが, 1990年後半から減少し始め, 1991年に極小値を示した後増加し, 1994年に再び極大値となった。その後1996~1997年にかけて減少し, 1997年に極小値を示した後, 再び増加に転じた。傾圧流量の年平均値と比較すると, 流量の最大値に近い極値を示し

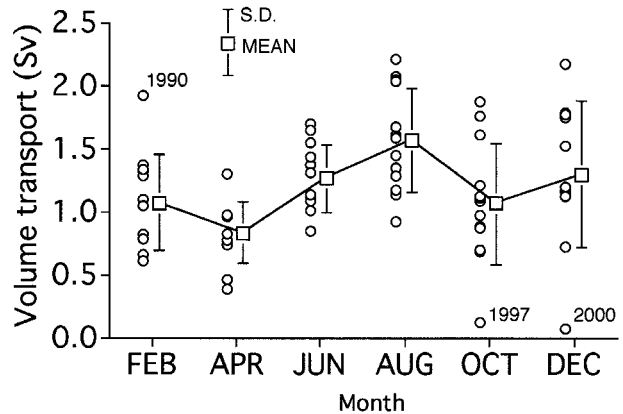


Fig.6 Seasonal variation of northward transport at J 4-Line.

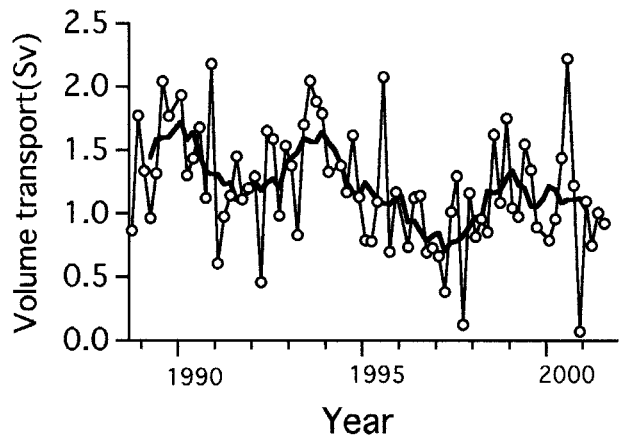


Fig.7 Year-to-year variability of northward transport at J 4-Line. Thick line indicates 14 months running mean.

た1990年は1.61Sv, 1993年は1.60Svとなっているが, 最小値の1997年では0.77Svとなり2倍以上の差を示した。また, 変動の周期は5~6年と見られ, 長期的には減少傾向にあった。

4. 考 察

中村⁴⁾, 佐藤⁵⁾によれば, 青森県西岸日本海における対馬暖流傾圧流量の季節変化は, 傾圧流量は3~5月に少なく, 6月から増大し, 8月または11月に最大となっている。また, 秋季に一度流量が減少することと, 秋季の流量の標準偏差が大きいことが, 共通した特徴としてあげられる。北海道西岸においても, 流量の季節変化について, 春季に流量が少なく, 夏季にかけて流量が増大すること, また, 10月に流量が一度減少することと, 10~12月は年変化が大きく, 標準偏差が大きいことが, 青森県西方の結果とよく一致している。これは, 津軽暖流

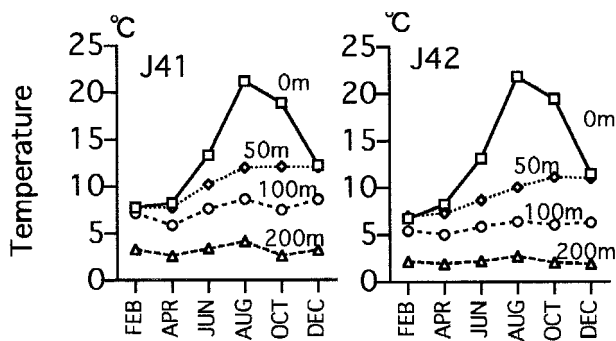


Fig.8 Seasonal variations of mean temperature at 4 standard depth for J41 (left figure) and for J42 (right figure).

量の季節変化が対馬暖流流量の季節変化に比べ小さいため、青森県西方の流量変動が北海道西岸に現れたと解釈できる。

ここで得られた対馬暖流北上流量の年平均値と最近の津軽暖流流量を比較する。1993年から北海道立函館水産試験場と青森県水産試験場が共同でモニタリング観測を行っている津軽海峡西部のADCP観測結果と、深浦一函館間の水位差の関係から求められた津軽暖流平均流量（例えば西田¹⁰⁾は約1.5Svと報告されている。本論で求めた流量との比は、対馬暖流北上流量：津軽暖流流量＝4：5となり、4月と10月の海洋観測から得られた1：1⁷⁾もこれに近い。

経年変化に見られる5～6年の周期については、対馬海峡、日本海中部において顕著な周期変動として報告されている^{12),13)}。また、磯田¹⁴⁾は6年周期変動について、対馬暖流域における沿岸密度流の強弱に関係した変動であると指摘している。一方、日本海中部では寒冬年に沿岸分枝流が強くなる傾向があると指摘されており¹⁴⁾、そのメカニズムは海面冷却駆動流として説明できるとされている¹⁵⁾。しかし、記録的な寒冬年であった2001年の北海道西岸においては、傾圧流量の増加は見られない。日本海南部海域での沿岸分枝流の強化が、傾圧流として北海道西岸に達するまでタイムラグを持つとすれば、2001年以降に北海道西岸の傾圧流量が増加する可能性があり、今後の傾圧流量の変動が注目される。

次に傾圧流量が10月に減少する現象について考察する。

Fig. 8にJ41-42における深さ別の平均水温の季節変化を示す。10月に100m以深での水温低下が見られ、岸側のJ41で水温低下が顕著となっている。この下層での水温低下は、対馬暖流の厚みの減少を意味しており、傾圧構造が弱くなることを示している。10月における各観測点間の傾圧流量について見ると（Fig. 5）、8月や12

月に比べ、J41-42間の流量がJ42-43間より少なくなっており、これは下層の水温低下と一致する。本州の日本海沿岸では秋季に下層の水温が低下する現象が報告されており^{4),16),17)}、北海道西岸でも同様の現象が観測されることから、10月の流量減少は対馬暖流の循環系全域の流動変化と関連していると考えられる。また、J41-46間では10～12月に300m以深でも傾圧流速が南下流となっており、対馬暖流の最下層まで及ぶ循環系全域にわたる関連が示唆される。

ここでは、2ヶ月に1度の海洋観測資料から、北海道西岸の対馬暖流傾圧流量の季節・経年変化を示すとともに、これらの傾圧流量に含まれる、基準面の深さの違いや、暖流の西側境界の決め方の違いによる流量の過小・過大評価分を定量的に示した。傾圧流量にはより短周期の対馬暖流の変動も加わっていると指摘されており¹⁸⁾、これらを明らかにするためには海洋観測の時間・空間分解能の向上が必要となろう。しかし、調査船等の観測資源には限界があることから、当面は係留観測など利用しながら、時間分解能を向上させ、より短周期の対馬暖流の変動を明らかにする必要がある。また、北海道西岸日本海の対馬暖流下層には表層の傾圧流速に相当する年平均値で約7cm/sの順圧流の存在が示されており¹⁹⁾、これら順圧流のモニタリングも含め、系統的な観測の継続が必要であろう。

5. 要約

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について調べた。傾圧流量は4月に最低値（0.85 Sv）になり8月に最高値（1.59Sv）を示した後、10月に一度減少し、12月に再び増加する季節変化を示した。年平均値は1.20Svであった。経年変化としては、5～6年の周期を持ち、1988年の観測開始以来、長期的には減少傾向にあった。津軽暖流との分配比は年平均で対馬暖流北上流量：津軽暖流流量＝4：5と見積もられた。10月の流量減少は沿岸下層での水温低下を伴うもので、対馬暖流系全体の変動との関連が示唆された。

6. 謝辞

ここで用いた海洋観測データの整理にはマリネット北海道のデータベースを使用した。また、作図の一部は地球流体電脳ライブラリーを利用した。

参考文献

- 1) 花輪公雄：沿岸境界流 沿岸海洋研究ノート，22 (1)，67-82 (1984)
- 2) Toba, Y., K. Tomizawa, Y. Kurasawa, and K.

- Hanawa : Seasonal and year-to year variability of the Tsushima-Tsugaru Warm Current System with its possible cause. *La mer*, 20, 41-51 (1982)
- 3) 赤羽光秋：夏季の津軽海峡周辺海域における対馬暖流流量 日本海ブロック漁況海況連絡会議研究発表報告集 第1号, 41-55 (1977)
- 4) 中村俊毅：青森県西方における対馬暖流の挙動 対馬暖流および津軽暖流の変動機構と東北・北海道沿岸における津軽暖流の挙動 文部省総合研究(B)研究報告集 63306014, 31-36 (1989)
- 5) 佐藤晋一：対馬暖流の流勢評価について 青森県水産試験場研究報告 1, 17-26 (2001)
- 6) 秦 克己：北部日本海における輸送水量からみた海況変動 日本海洋学会創立20周年記念論文集 168-179 (1962)
- 7) Onishi M. & K. Ohtani: Volume transport of the Tsushima Warm Current, West of Tsugaru Strait Bifurcation Area *Journal of Oceanography*, vol. 53, 27-34 (1997)
- 8) 小笠原惇六, 田中伊織：日本海沿岸(津軽海峡以北)における対馬暖流の変動 対馬暖流および津軽暖流の変動機構と東北・北海道沿岸における津軽暖流の挙動 文部省総合研究(B)研究報告集 63306014, 37-44 (1989)
- 9) 海洋調査要報 第1～8号 北海道立水産試験場, (1985-1992)
- 10) 西田芳則：深浦の潮位と青森県沖の ΔD の時系列変化 対馬・津軽・宗谷海峡の海況モニタリングと日本海の波浪計測に関する研究集会報告 11AO-S2 九州大学応用力学研究所12-18 (1999)
- 12) Miita T., & S. Tawara: Seasonal and secular variations of water temperature in the East Tsushima Strait. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 40, 91-97 (1984)
- 13) 磯田 豊, 是松弘志：対馬暖流域における水温・塩分・溶存酸素の鉛直断面分布の経年変化 海と空 vol. 71(2), 47-57 (1995)
- 14) 磯田 豊：日本海における冬季海面水温の6～8年スケール変動 海と空 vol. 74(4), 156-164 (1999)
- 15) Isoda Yutaka : Cooling-Induced Current in the upper ocean of the Japan Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 55, 585-596 (1999)
- 16) 小川嘉彦：“沿岸水域における流れの変動と漁場形成”流れと生物と 京都大学学術出版会 1991 271-291
- 17) 中田聡史, 磯田 豊：富山湾沖対馬暖流の季節変化 海と空 vol. 76(3), 145-152 (2000)
- 18) 磯田 豊, 中山智治, 村上 敬, 金 相祐, 大谷清隆：津軽海峡西方海域における対馬暖流の係留観測海の研究, 7, 237-244 (1998)
- 19) 中多章文, 安永倫明, 田中伊織：北海道西岸日本海における係留流速観測 第1報 1999年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集 152 (1999)