

津軽海峡の流量調査

(青函交流プロジェクト)

佐 藤 晋 一

目 的

津軽暖流の絶対流量の測定手法を確立し、津軽暖流の流量の季節変動や経年変動を把握する。

背 景

日本海は、対馬海峡、関門海峡、津軽海峡、宗谷海峡、間宮海峡の5海峡で外海と連絡しており（図1）、対馬暖流のほぼ全流量は対馬海峡から流入し、そのほとんどが津軽海峡と宗谷海峡から流出すると考えられる。したがって、3海峡の流況が、日本海を出入りする魚類等に与える影響は小さくないと推測される。

しかしながら、海峡をはさむ両岸は対馬海峡、宗谷海峡では国が異なるため、調査は容易ではない。これに対し、津軽海峡は両岸とも本邦であるため支障がない。

一方、船舶が航行しながら流向流速を実測するADCPと呼ばれる測機が近年開発され、このデータの活用に努めているところである。

以上の状況の中で、青函交流プロジェクトの共同研究テーマとして、「ADCPによる津軽暖流の流量調査」が提案された。

方 法

津軽暖流の流向流速の測定は金星丸（函館水試）と東奥丸に搭載されているJRC社製のADCPを使用した。測流定線は海峡西口のADCPの対地モードがとれる浅い海域（図2）に設定した。

津軽暖流の流量は、ADCPから得られた流向流

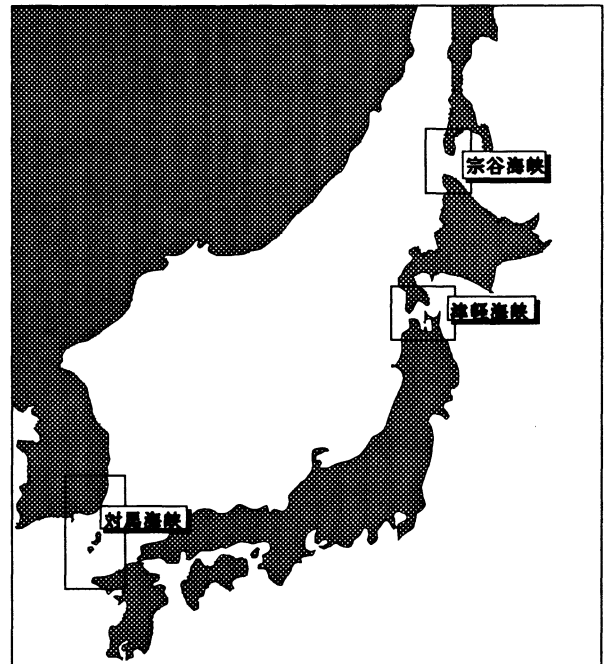


図1 日本海全容図

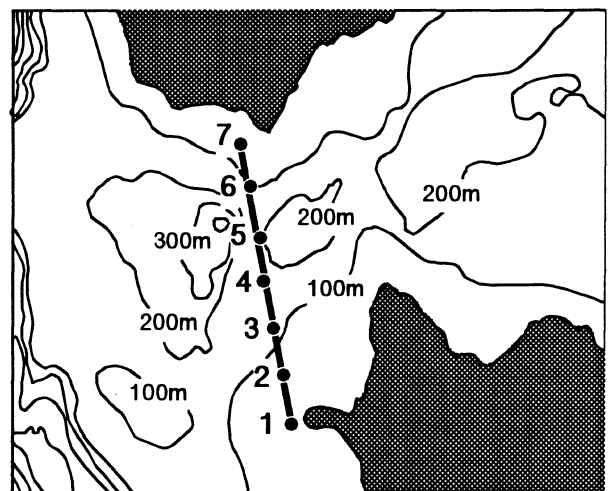


図2 観測定線図

※本報告は函館水試との共同調査の一部である。北海道側の担当者は下記のとおり。

函館水試：西田 芳則・鹿又 一良、北海道中央水試：田中 伊織

速データの定線垂直方向成分から潮流成分を除去した平均流速と定線断面積（図3）との積とした。

潮流成分の除去は、定線上を24時間50分で4往復し、各横断（計8回）から得られた各位置における流速値を平均することで行った。

定線上の任意の測点を通る8回の観測時刻は、半日（12時間25分）あるいは1日（24時間50分）の潮汐周期で互いに相殺する位相となるように計画した。

結 果

1. 流 向 流 速

平成8年8月28～29日、試験船東奥丸により調査を実施した。測流水深は10・50・90m層に設定し、1分間隔でデータを収録した。図4には、各層ごとのデータを第1から第8横断ごとに流向流速をベクトル表示として示した。

流速は概ね、第2横断がピークで第7横断が最も弱い傾向で推移した。とりわけ、第7横断から第8横断では10m層と50m層の北側（北海道側）で比較的強い西向きの流れが観測された。また、水深別にみると、最下層の90m層で海峡の中央部に流速のピークがみられたが、50m層、10m層と水深が浅くなるにつれてピークがふたつになり、両岸寄りに移動しているように思われた。この流速の推移は24時間50分周期の潮汐に基づくものと考えられた。奇数番目の横断は北上、偶数番目の横断は南下をしており、1横断には約3時間を費やしている。最高流速は10m層

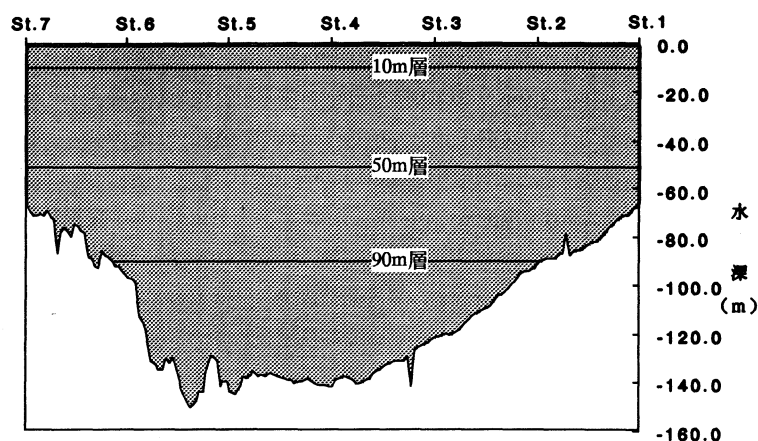


図3 定線断面図

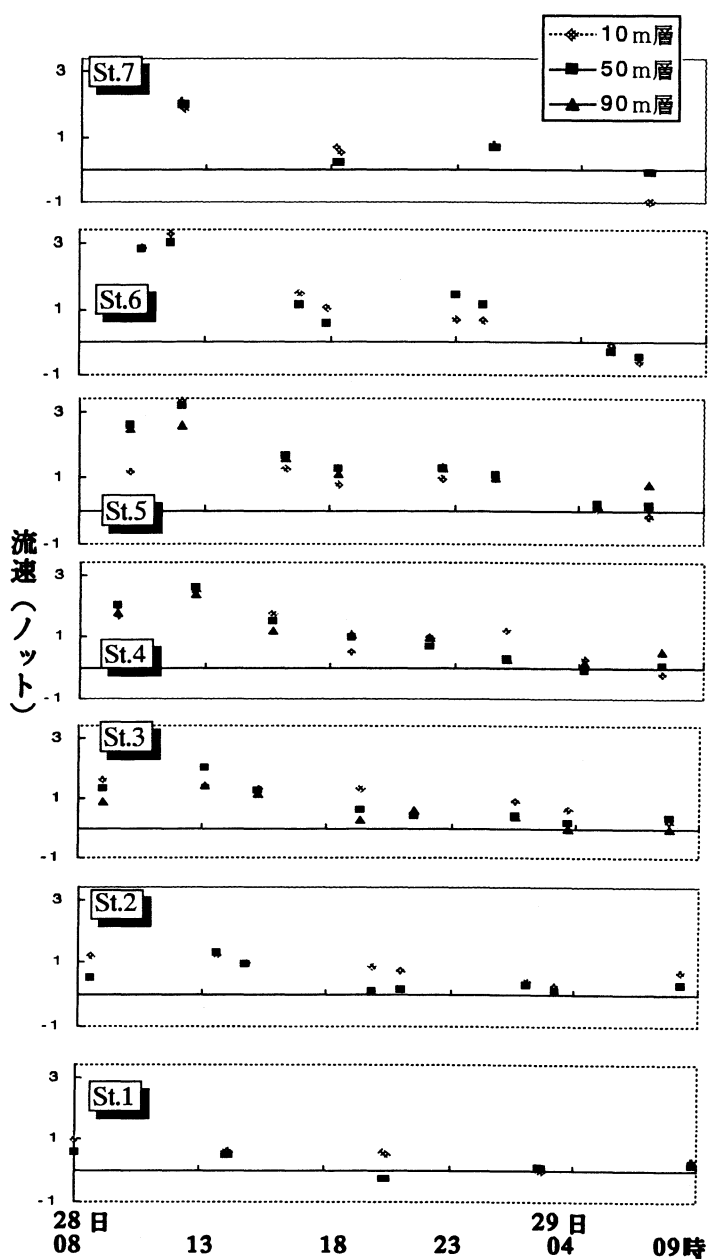


図5 定点別流速の経次変化

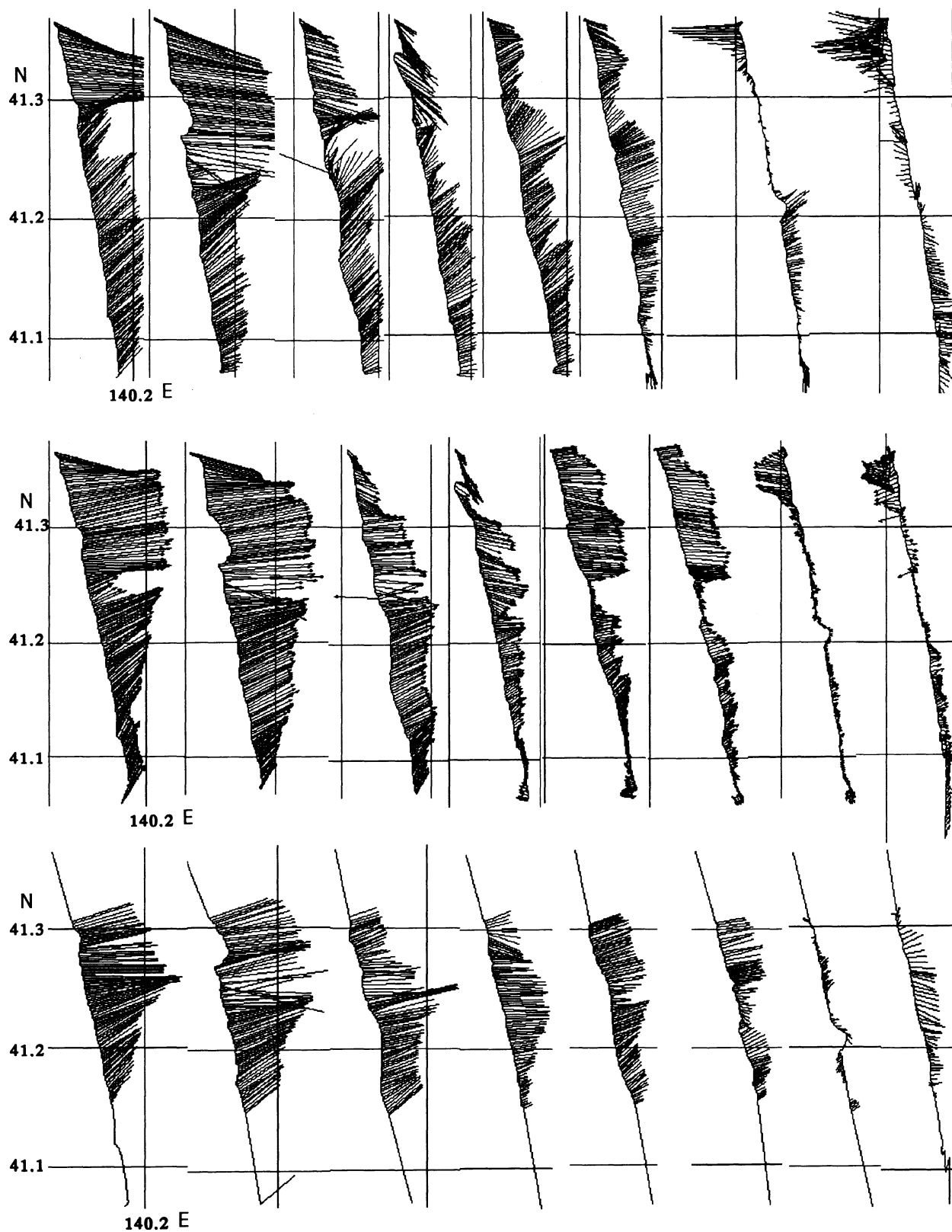


図4 8回の横断で観測された津軽暖流の流向流速
 上から10m層、50m層、90m層の流向流速のベクトル図を示す。
 各層とも左から第1横断、第2横断・・・第8横断を示す。

で3.8ノット、50m層で3.4ノット、90m層で3.3ノットだった。

流向は、ほぼ-90~90度（以後、方向は北を0度として時計方向に回る度分秒で示す）の範囲内にあった。

流量を算出するため、流速は流量計算に関与しない定線方向（170度）成分と定線に直交する方向（80度）成分に分解し、定線に直交する方向（80度）成分を以後の流量解析に使用した。

2. 定点別流速の経時変化

定線に直交する方向の流速変化を定点別に図5に示した。流速の変化は、St.4~6で大きくSt.1・St.2は比較的小さかった。流速の変化は、どの定点でも1日（24時間50分）周期の潮汐の影響を示していると考えられ、位相はどの定点ともほぼ一致していた。

8月28日の10~12時にはSt.6~St.2において各層ともに東向きの流速のピークがみられた。その後、17~19時にはいったんSt.7~St.3において流速の極小がみられ、29日の05~07時にはSt.7~St.4において、主に10m層を中心に西向きの流れがみられた。

3. 潮流成分の除去

潮流成分を除きたいわゆる海流の流速は、各定点においてそれぞれ8回測定された流速を平均することによって求められる。

また、観測運航で各定点間に費やした時間は30分間であり、1分間毎に収録されたデータによると、各定点間における29点の位置は、8回の横断で誤差が小さかった。そこで、これらの点も定点とみなしてこれらの定点で8回観測した流速の平均値を求め、各緯度における各層の平均流速として図6に示した。

潮流成分を除いた平均流は、90m層では海峡の中央部にピークがみられたが、50m層、10m層と浅くなるにつれてピークがふたつに分かれ、それぞれのピークが海峡の両岸に近づくようにみえた。この傾向は前回（平成6年9月）の調査結果と同様であった。

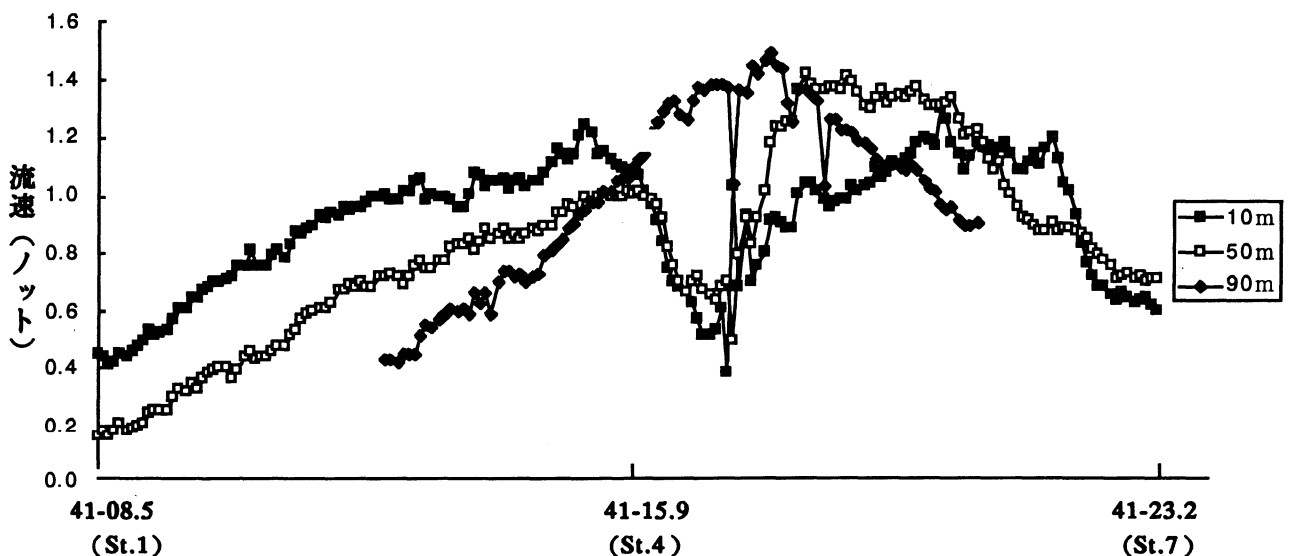


図6 各緯度における潮流成分を除いた平均流速

4. 流 量 計 算

流量は定点間断面の水深別平均流速を求め、断面積との積により算出した。

(1) 層別定点間平均流速

各定点間の平均流速は表1のとおりで、流速を定点間で層別に平均して算出した。流速は、1ノットを1852m/hとして、cm/secに換算した。

これによるとSt.5～6の50m層の平均流速が最も大きく68.47cm/sec、St.1～2の50m層の平均流速が最も小さく15.79cm/secであった。

(2) 水深別流速の推定

水深ごとの流速は、観測した3層の流速から直線補間することにより算出した。定点間平均流速から算出した水深別流速を表2に示した。定線断面における津軽暖流の流速は、海峡中央の最深部で大きく、両岸の底層で小さい結果となった。

表1 層別定点間平均流速と定点間距離

St	距離 (km)	水深 (m)	平均流速 (cm/sec)		
			10m層	50m層	90m層
1～2	4.55	79.4	30.82	15.79	
2～3	4.70	106.9	48.56	33.70	26.08
3～4	4.52	132.8	55.77	46.51	40.80
4～5	4.55	138.9	40.90	46.40	67.44
5～6	4.55	131.0	56.28	68.47	56.90
6～7	4.89	80.4	47.07	44.60	

表2 水深別平均流速・定点間断面平均流速及び定点間流量

	7～6	6～5	5～4	4～3	3～2	2～1
5m	47.4	54.8	40.2	56.9	50.4	32.7
15m	46.8	57.8	41.6	54.6	46.7	28.9
25m	46.1	60.9	43.0	52.3	43.0	25.2
35m	45.5	63.9	44.3	50.0	39.3	21.4
45m	44.9	67.3	45.7	47.7	35.6	17.7
55m	44.3	67.0	49.0	45.8	32.7	13.9
65m	43.7	63.9	54.3	44.4	30.8	10.2
75m		61.2	59.6	42.9	28.9	6.4
85m		58.3	64.8	41.5	27.0	
95m		55.5	70.1	40.1	25.1	
105m		52.6	75.3	38.7	23.2	
115m		49.7	80.6	37.2		
125m		46.8	85.9	35.8		
135m			91.1			
平均流速 (cm/s)	45.2	58.4	60.4	45.2	34.8	19.6
水平距離 (km)	4.89	4.55	4.55	4.52	4.70	4.55
水 深 (m)	80.4	131.0	138.9	132.8	106.9	79.4
区間流量 (Sv)	0.18	0.35	0.38	0.27	0.17	0.07

(3) 定点間鉛直断面平均流速

定点間鉛直断面の平均流速は、水深別流速を平均することにより算出した(表2)。定点間鉛直断面平均流速は、St.4～5で最も大きく60.4cm/sec、St.1～2で最も小さく19.6cm/secであった。

(4) 流 量

定点間流量は、定点間鉛直断面平均流速と定点間平均水深と定点間距離との積として算出した(表2)。

定点間流量はSt.4～5で最も多く0.38Sv、St.1～2で最も少なく0.07Svであった。

津軽暖流の流量は、定点間流量の和として1.41Svと算出された (Sv: $10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$)。

表 3 1 横断ごとの流量 (左は平成 6 年度、右は 8 年度)

横断	年月日	開始時刻	終了時刻	流量 (Sv)	横断	年月日	開始時刻	終了時刻	流量 (Sv)
1	1994/9/26	1100	1400	1.41	1	1996/8/28	0753	1053	2.63
2		1407	1707	1.20	2		1100	1400	3.23
3		1714	2014	0.45	3		1407	1707	1.86
4		2021	2321	0.44	4		1714	2014	1.10
5	1994/9/27	2329	0229	1.93	5		2022	2322	1.26
6		0236	0536	2.86	6	1996/8/29	2329	0229	1.04
7		0543	0843	2.30	7		0236	0536	-0.04
8		0850	1150	1.78	8		0543	0843	0.22
平均				1.55	平均				1.41

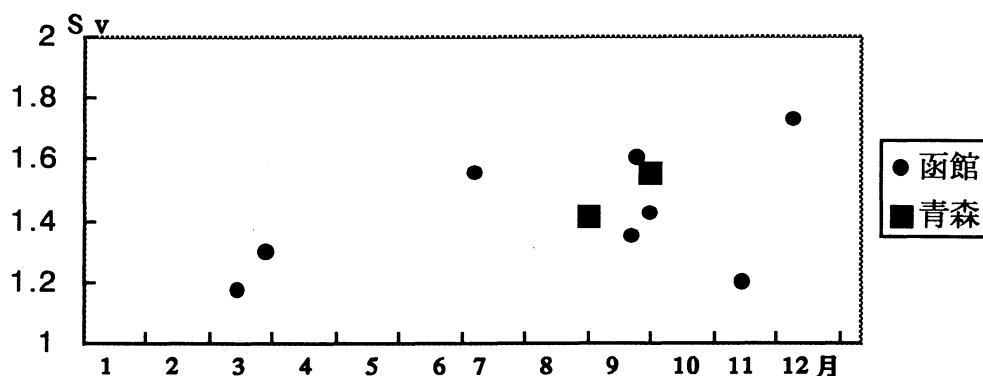


図 7 津軽暖流の流量 (1993~1996年 函館水試・青森水試)

考 察

平成 5 ~ 8 年度に青函プロジェクトで測定された観測結果をまとめて表 4 に示した。これらの結果から季節変動等を考える前に、金星丸と東奥丸の ADCP に差異がある可能性が残されているので、今後、2 船で同時観測を行って、その差異を検証しておく必要がある。

1993 年 11 月から 1996 年 8 月までに計 9 回行われた観測結果からは、津軽暖流の流量は最大で 12 月に観測された 1.73 Sv、最小で 3 月の 1.17 Sv で、平均 1.43 Sv と算出された。季節変動の幅は従来いわれていた 1 ~ 4 Sv に比べれば小さいということがいえる。

しかしながら、季節変動を見ると、3 月に少なく夏場に多く 12 月にも多いなど、対馬暖流の影響がないとはいえない。今後は調査回数を増やして、季節変動を明らかにしていく必要がある。

また、これらの結果は青森県沖を北上する対馬暖流と北海道西岸沖を北上する対馬暖流の地衡流量差として求めた津軽暖流流量値に近い値を示しているということがいわれている。日本海の定線観測時には ADCP による測流も行っているがデータの妥当性に問題があり、測流水深もせいぜい 100 m までで対馬暖流の流量を算出するには不十分である。青森県沖の対馬暖流の地衡流量やその分布と北海道西岸沖の地衡流量、さらに、津軽暖流の流量との間で整合性を求めていくことは今後の課題となると思われる。また、津軽海峡の東口でも対地モードがとれる浅い海域があると予想されるため、この

表 4 津軽暖流の流量 (1993~1996 年)

調査年月日	流量 (Sv)	摘 要
1993/11/10~11	1.20	金星丸 (函館水試)
1994/ 7/ 5~ 6	1.55	金星丸 (函館水試)
1994/ 9/21~22	1.60	金星丸 (函館水試)
1994/ 9/26~27	1.55	東奥丸 (青森水試)
1995/ 3/14~15	1.17	金星丸 (函館水試)
1995/ 9/18~19	1.35	金星丸 (函館水試)
1995/12/ 4~ 5	1.73	金星丸 (函館水試)
1996/ 3/28~29	1.30	金星丸 (函館水試)
1996/ 8/28~29	1.41	東奥丸 (青森水試)

海域でも A D C P による測流を行い、海峡の東西での比較を行って、津軽海峡を中心とした海域の流量の収支を検討しておく必要がある。

津軽海峡の流量はこの他に、水位差や電位差の測定を行うことによっても算出されている。すなわち、北海道松前－函館の水位差に比例するという報告や深浦－函館、または竜飛－吉岡（北海道）の水位差に比例するという報告がある。また、北海道の福島と今別間に設置された海底ケーブルによる電位差と流量にもよい相関があるという報告もある。これらは、それぞれ気象や地磁気の影響による問題点をかかえてはいるものの、A D C P による実測による方法との関連付けをさらに検討しておく必要がある。

本報告で使用された東奥丸の A D C P は測流可能な層が水深 100m までの 3 層のみで、3 層以外の水深の流速は直線的な補間をせざるを得なかった。このため、津軽海峡の深部や各層ごとの流れを確認するため、開運丸に搭載された多層式の A D C P で調査をしていきたいと考えている。

参 考 文 献

- 岩尾尊徳（1992）：津軽海峡の流れについて（2）. 月刊海洋, 24（4）, 226－229.
- 大西光代・大谷清隆（1994）：北海道西岸の対馬暖流北上流流量の変動と渦構造. 1994年日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 205－206
- 塩脇清一（1994）地電位差観測による津軽海峡の海潮流モニタリングの研究. 平成7年度弘前大学大学院修士論文
- 四竈信行（1994）：海底設置型 A D C P により実測された津軽海峡内の流量変動. 月刊海洋, 26（12）, 815－818.
- 田中伊織（1995）：A D C P で測定された津軽海峡内の流れの構造と流量（ORIGINAL）. 北海道中央水試、海洋ゼミ 要旨
- 長沼光亮・市橋正子（1993）A D C P による津軽海峡西口の横断測流. 1993年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨
- 西田芳則・鹿又一良・田中伊織・松原 久（1995）：津軽暖流の流量変動. 1995年日本海洋学会秋季大会講演要旨
- 西田芳則・鹿又一良・田中伊織・松原 久（1996）A D C P により実測した津軽暖流流量と水位差との相関
- 松原 久・西田芳則・鹿又一良・田中伊織（1996）：津軽暖流の流量について. 青森県水産試験場事業報告
- 力石國男・長沼光亮（1992）：津軽暖流と対馬暖流北上流の流量の分配機構. 海と空, 68（2）, 67－78

(付表) 各定点の海洋観測結果

St.No.		7	6	5	4
位 置	N	41-23.2	41-20.6	41-18.2	41-15.8
	E	140-10.4	140-11.0	140-11.7	140-12.4
月日・時間		8/29 06:20	8/29 06:40	8/29 07:00	8/29 07:20
天 候		C	C	C	C
雲 量		10	10	10	10
風向・風力		E 4	E 4	E 4	E 4
気 温		19.5	19.8	19.7	19.7
気 圧		1009.5	1009.7	1009.5	1009.5
波 浪		4	4	4	4
ウネリ		3	3	3	3
海 深		42	108	126	138
測 器		C T D		C T D	
		水温 (℃)	塩分	水温 (℃)	塩分
0		22.0	34.242	21.9	34.190
10		22.15	34.083	22.16	34.026
20		21.57	34.072	21.61	34.037
30		21.23	34.065	18.20	34.160
50	(35m)	20.85	34.069	13.37	34.369
75				11.29	34.304
100			(96m) 10.17	11.16	34.345
150				(116m) 9.65	34.274

St.No.		3		2		1	
位 置	N	41-13.4		41-10.9		41-08.5	
	E	140-13.0		140-13.6		140-14.3	
月日・時間		8/29 07:45		8/29 08:15		8/29 08:55	
天 候		C		R		R	
雲 量		10		10		10	
風向・風力		E 4		E 3		E 4	
気 温		19.4		19.5		19.6	
気 圧		1009.3		1009.2		1009.3	
波 浪		4		3		3	
ウ ネ リ		3		2		3	
海 深		119		81		67	
測 器		C T D		C T D		C T D	
		水温 (℃)	塩分	水温 (℃)	塩分	水温 (℃)	塩分
0		22.6	34.040	22.6	34.044	22.7	33.985
10		23.05	33.879	23.03	33.893	23.21	33.857
20		23.06	33.881	23.03	33.891	23.10	33.885
30		22.78	33.808	22.85	33.911	22.38	33.778
50		16.45	34.403	16.16	34.410	16.05	34.458
75		14.15	34.459	(71m) 13.61	34.479	(58m) 15.92	34.468
100		11.24	34.336				
150		(111m) 10.59	34.344				

※表面は採水测温・塩検による

※C T Dの塩分値は未補正