

# 津軽海峡の流量調査

(青函交流プロジェクト)

高橋 進吾・佐藤 晋一・今村 豊

## 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、各試験船には航行しながら流向流速を実測する超音波式流向流速計（以下「ADCP」という。）と呼ばれる測機が搭載されており、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。

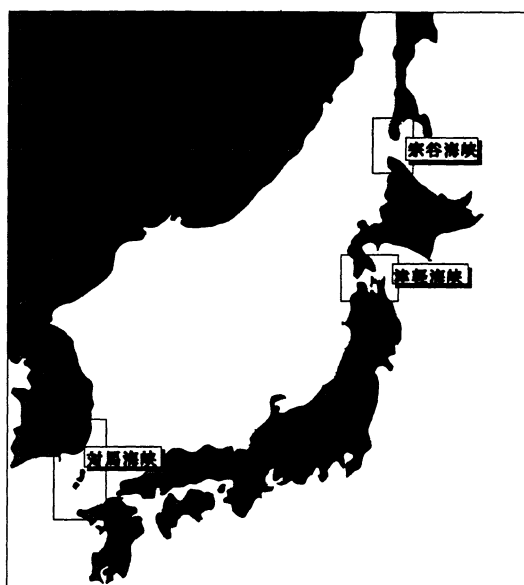


図1 日本海全容図

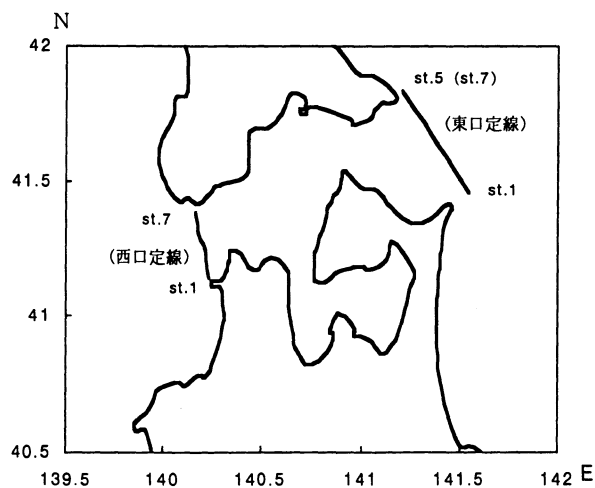


図2 観測定線図

※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

## 材料と方法

津軽暖流の流向流速の測定は、青鵬丸（RDI 社製）、東奥丸（JRC 社製）及び開運丸（RDI 社製・JRC 社製）の ADCP を使用し、図 2 に示す海峡西口、及び東口の観測定線について、4 往復横断観測を行った。

調査はこれまでと同様に、定線上を 24 時間 50 分で 4 往復し、定線上の任意の測点を通過する 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。また、海洋構造を把握するため、各調査（両定線とも 7 定点）で任意の 1 横断時に CTD による海洋観測を実施した。

測流水深は、3 層式 ADCP による西口定線での場合は 10・50・90 m 層に、東口定線での場合は 10・50・100 層に設定、そして多層式 ADCP の場合、開運丸は 8 m ごと、青鵬丸は 7 月は 4 m ごと、9 月は 8 m ごとに設定した。データ収録間隔は、青鵬丸の多層式 ADCP の場合は 1 分平均のデータを 1 分間隔で、東奥丸及び開運丸の 3 層式 ADCP の場合は 8 分平均のデータを 1 分間隔で、そして開運丸の多層式 ADCP の場合は 3 分平均のデータを 3 分間隔で、FD または MO に収録した。

津軽暖流の流量は、3 層式 ADCP、及び青鵬丸の多層式 ADCP の場合は流向流速データの定線垂直方向成分から定点間ごとの深度別平均流速を求め、断面積との積により算出した。開運丸の多層式 ADCP の場合は、基本的には収録ソフトで自動的に計算される 1 横断ごとの値（流量）を使用した。

卵稚仔の輸送や海流の勢力等を把握するためには、潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した平均的な流れとして捉えることが必要であり、そのため、潮流成分を除去した津軽暖流の流量（流速）の算出は、4 往復で得られた 8 回分の流量（流速）を平均することで求めた。

## 結 果

### 流向流速データ収録状況

ADCP による 4 往復横断観測は、表 1 のとおり各試験船により年 5 回の調査を実施した。

なお、9 月の青鵬丸による調査では、機器不調（音波の送受信を制御するデッキユニットの基盤の故障）により収録データが不良であったため、良好なデータとしては西口定線で 3 回、東口定線で 1 回の計 4 回分であった。

表 1 流向流速データ収録状況

| 調査年月日         | 調査船名 | 調査定線 | ADCP機種名     | 測定層            | 収録状況 |
|---------------|------|------|-------------|----------------|------|
| 1999. 7. 7～ 8 | 青鵬丸  | 西口   | RD-10201300 | 多層(層厚4m)       | 良好   |
| 1999. 9. 1～ 2 | 青鵬丸  | 〃    | 〃           | 多層(層厚8m)       | 不良   |
| 1999.11.19～20 | 東奥丸  | 〃    | JRC JLN-615 | 3層(10・50・90m)  | 良好   |
| 2000. 2.14～15 | 東奥丸  | 〃    | JRC JLN-615 | 3層(10・50・90m)  | 良好   |
| 1999.11.18～19 | 開運丸  | 東口   | RD-9HP075P  | 多層(層厚8m)       | 良好   |
|               |      |      | JRC JLN-615 | 3層(10・50・100m) | 良好   |

### 西口定線

#### 1 流向流速

1 横断（約 3 時間 6 分）ごとに得られる津軽暖流の平均流速（定線に直交する東向きの流速成分を 1 横断平均）の時間変化を測流層別に図 3 に示した（東向きの流れを正（西向きの流れを負）とした）。

7 月の多層式 ADCP（青鵬丸）では、層厚 4 m（層数 32 層）の設定でデータ収録したが、良好なデータは第 1 層の 8m から 112m までの 27 層であり、このうち代表 5 層の時間変化について図示した。

7月 は 4～5横断目に流れが一旦弱まり、以降は再び強まる時間変化を示した。8横断目は機器不調により収録データの異常値が多かったため使用しなかった。最高流速は、3層式とほぼ同じ測流層で見ると12m層で178cm/s、52m層で161cm/s、92m層で157cm/s（いずれも7横断目）であった。

11月 は各測流層とも流速の変動幅は小さく、大部分で1 knot（約50cm/s）以上の流速を示していた。最高流速は10m層で177cm/s（8横断目）、50m層で144cm/s（5横断目）、90m層で114cm/s（8横断目）であった。

2月 は3～4横断目に流れが強まり、以降は徐々に弱まる時間変化を示した。最高流速は10m層で175cm/s（3横断目）、50m層で154cm/s（3横断目）、90m層で133cm/s（4横断目）であった。

流速の変動幅が小さい11月は、上層の流速が中下層に比べ若干速い傾向にあるが、各調査とも総じて流速の上中下層間の極端な差はみられず、時間変化も同様に変動し、これまでの結果と同様、鉛直方向での流速の変化は小さいものと考えられる。

## 2 潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した津軽暖流の平均流速（恒流）及び流量

定線に直交する東向きの流速成分について、1横断ごとに測流層の定点間ごとの平均流速を算出し、3層式の場合は測流層が3層のため、それを直線補

完して深度別（10mごと）の平均流速を求め、多層式の場合は4mごとの流速を平均し深度別の平均流速を求めた。このようにして算出した定点間ごとの深度別の平均流速を8横断平均（7月のみ7横断平均）して潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した平均流速（恒流）を算出した（図4）。

各調査とも平均流速としては全体的に東向きの（津軽海峡に流入する）流れがみられ、北海道側の表層で流れがやや強い傾向にあった。なかでも11月は平均流速の時間変化からも分かるように、他の2回の調査に比べ、全体的に20～30cm/s程度、流れが強かった。

一方、平均流速に断面積を乗じて求めた1横断ごとの津軽暖流の流量の時間変化を図5に示した。流量は1横断平均の測流層別流速と同様の変動を示し、7月は0.88～2.94Sv（Sv： $10^6\text{m}^3/\text{s}$ （＝每秒百万トン））、11月は1.53～2.84Sv、2月は0.02～2.95Svの範囲で変動した。なお、7月の8横断目は収録データの異常値が多かったため、収録された流速値は使用せずに後述する深浦と函館の水位差と算出した1～7横断の各流量との関係式から流量を推定し、その値を用いた。

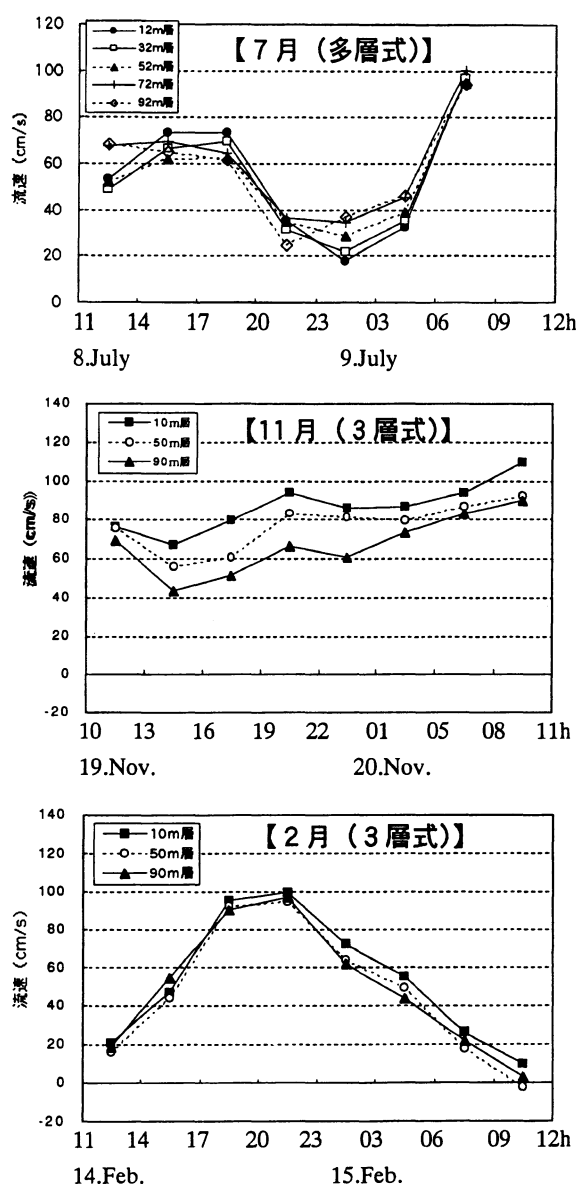


図3 1横断平均の測流層別流速の時間変化（上図から7月、11月、2月）

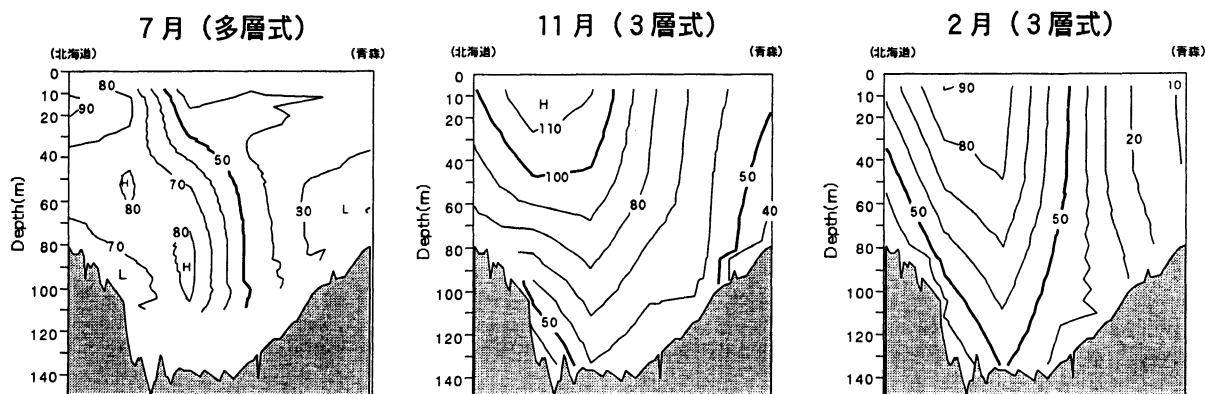


図4 潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した津軽暖流の平均流速（恒流）の鉛直分布（単位：cm/s、左図から7月、11月、2月）

潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した津軽暖流の流量は、7月 1.72Sv、11月 2.24Sv、2月 1.46Sv であった。11月はこれまでの調査の中で最も多い流量となった。

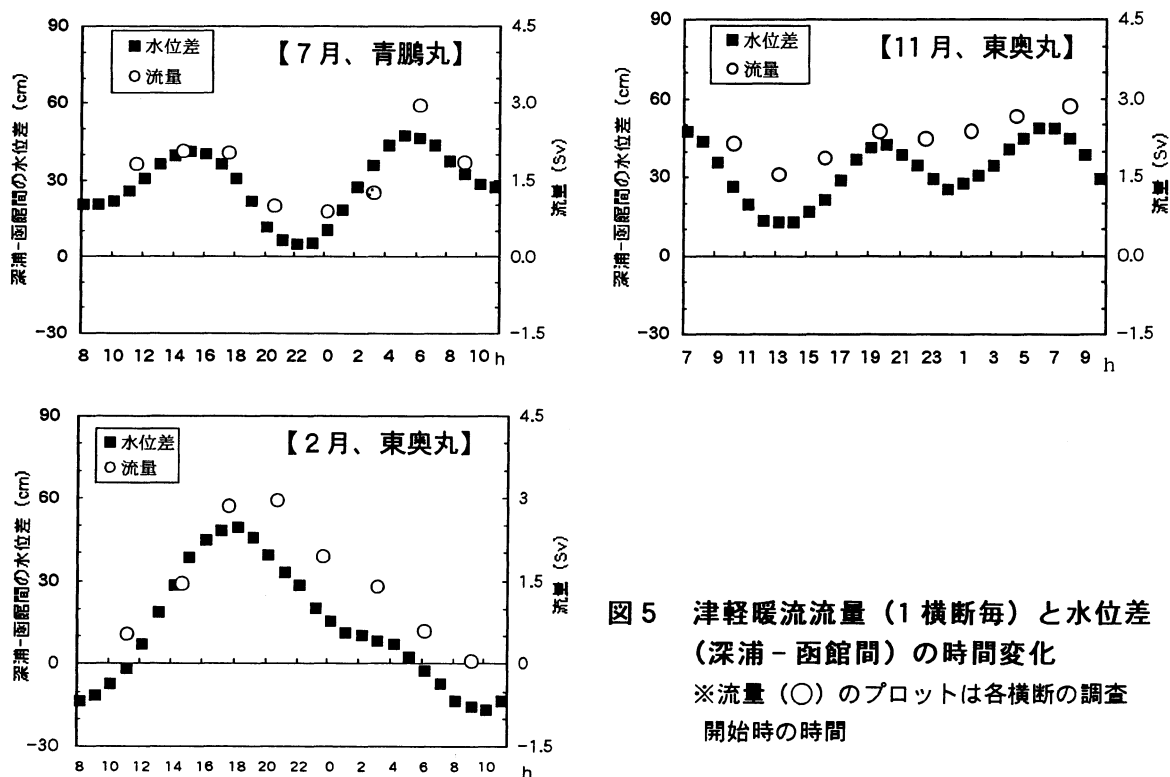


図5 津軽暖流流量（1横断毎）と水位差（深浦－函館間）の時間変化  
※流量（○）のプロットは各横断の調査開始時の時間

### 3 水位差（深浦 - 函館間）と津軽暖流流量の関係

西田ら<sup>10)</sup> は津軽暖流流速と深浦と函館の水位差の時間変化が一致し、また、流速の鉛直分布が順圧的であることから、この水位差と津軽暖流流量の関係を求め相関が高いことを明らかにし、両者の関係式から津軽暖流流量の経年変動等を推定している。

このように深浦と函館の水位差と津軽暖流流量の相関が高いことから、各調査ごとに深浦と函館の水位差の時間変化も合わせて図5に示した。各調査における両者の時間変化は一致し、また、相関関係も高かった（図6）。

このことから、今後さらにデータを蓄積していけば、深浦と函館の水位データから津軽暖流の流量を継続的にモニタリングできる可能性が高いものと考えられる。

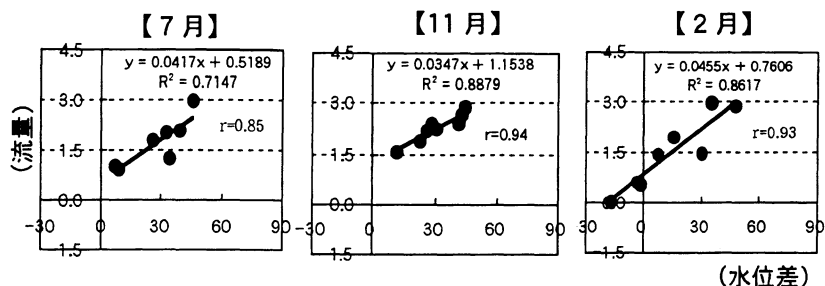


図6 横断開始時の水位差（深浦－函館間）とその時の1横断で得られた津軽暖流流量の関係

## 東口定線

### 1 流向流速

1横断（約3時間6分）ごとに得られる津軽暖流の平均流速（定線に直交する東向き流速成分を1横断平均）の時間変化について、3層式と多層式ADCPの機種ごとに図7に示した（東向きの流れを正（西向きの流れを負）とした）。

多層式ADCPでは、層厚8m（層数32層）の設定でデータ収録したが、海象がやや時化模様ということもあり、良好なデータは第1層の8mから160mまでの20層であり、このうち代表4層について図示した。

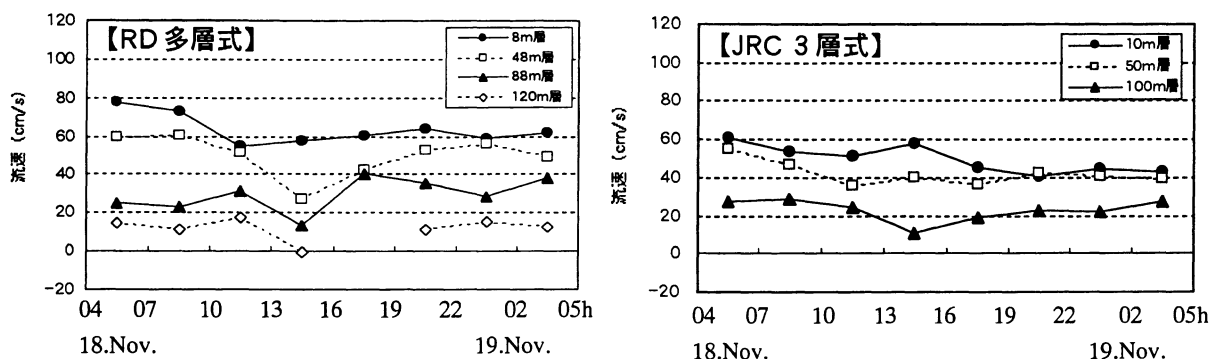


図7 1横断平均の測流層別流速の時間変化（左図からRD多層式、JRC3層式）

※ RD多層式の5横断目の120m層は異常値や欠測が多いため割愛した。

両機種とも3～4横断目に一旦流れが弱まり、以降は再び強まる時間変化を示しているが、各測流層とも流速の変動幅は小さく、昨年11月と同様の傾向がみられた。また、各測流層間の流速差は西口定線に比べてやや大きい、時間変化はほぼ同様の変動をしていた。

機種ごとに平均流速を比較すると、多層式の方が10～20cm/s程度、流れが強い場合がみられるが、これは収録データの平均時間の設定（3層式8分、多層式3分）等の違いによるものと考えられ、特に機種による大きな差はないものと思われる。最高流速を3層式の結果からみると、10m層で190cm/s（2横断目）、50m層で174cm/s（5横断目）、100m層で128cm/s（5横断目）であった。

### 2 潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した津軽暖流の平均流速（恒流）及び流量

定線に直交する東向きの流速成分について、各横断における定点間ごとの深度別平均流速を求め、これを8横断平均して、潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した平均流速（恒流）を算出した（図8）。

前述の平均時間の違い等の要因から多層式の方が20cm/s程度、流れが強い分布となっているが、両者とも

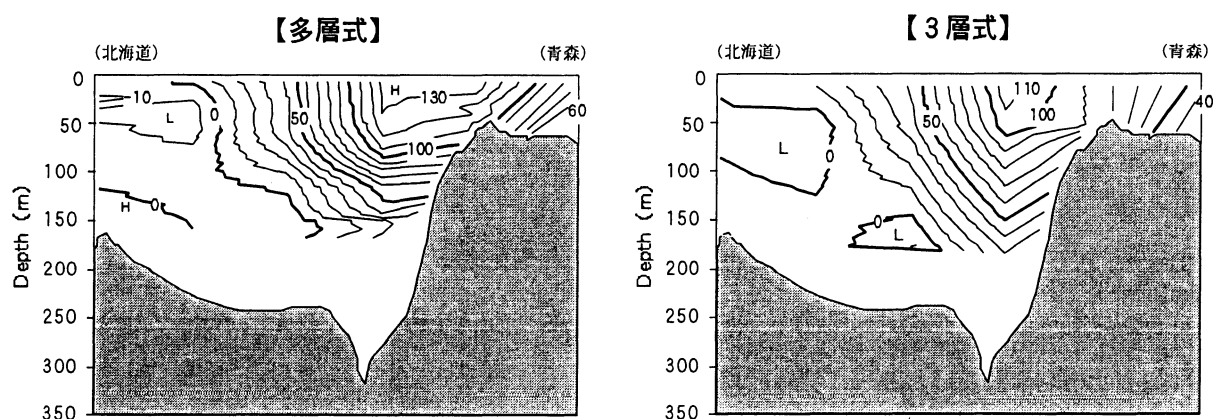


図8 潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した津軽暖流の平均流速（恒流）の鉛直分布（単位：cm/s、左図から多層式、3層式）

東向き（津軽海峡から流出する）強い流れは青森寄り（海峡南部）にみられ、一方、北海道寄り（海峡北部）では西向き（海峡に流入する）弱い流れがみられた。昨年（11月上旬に調査）は、平均流速の東向きの強い流れは海峡中央部に分布しており、今年は昨年に比べ南側に強流部が分布しているという特徴があった。

一方、1横断ごとの津軽暖流の流量は、多層式は収録ソフトによる自動計算値、3層式は平均流速に断面積を乗じて求め、その時間変化を図9に示した。流量は1横断平均の測流層別流速とほぼ同様の変動を示し、多層式は1.90

～2.97Sv、3層式は2.03～3.24Svの範囲で変動した。平均流速とは逆に3層式の方が若干流量が多い変動をしているが、これは3層式の場合は直線補完により水深200mまでの深度別平均流速を使用しているのに対し、多層式の場合は自動計算ソフトにより比較的良好な水深160m程度までの流速を使用して、流量を算出していることから、3層式の方がより深い水深帯の分を加味していること等が考えられる。

潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した津軽暖流の流量は、多層式は2.52Sv、3層式は2.67Svで両者の差は0.15Svと小さかった。このことから3層式の10・50・100m層の流速値から直線補完した方法でも特段問題ないものと思われる。

### 3 水位差（深浦 - 函館間）と津軽暖流流量の関係

西口定線と同様に、深浦と函館の水位差の時間変化も合わせて図9に示した。両者の時間変化は一致し、相関係数は多層式は $r=0.91$ 、3層式は $r=0.82$ と比較的高かった（図10）。このことから、海峡東口も西口とほぼ同じような位相で流速が変化しているものと推察されるが、今後さらにデータを蓄積し確認していきたい。

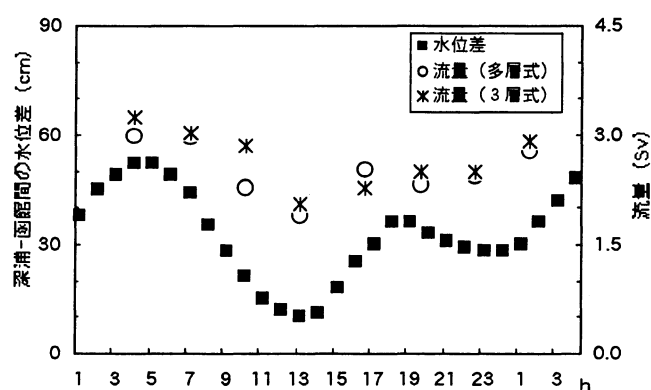


図9 津軽暖流流量（1横断ごと）と水位差（深浦 - 函館間）の時間変化  
※流量のプロットは各横断の調査開始時の時間

機種ごとの相関係数の差は、多層式は水深約160mまでの実測流速を使用しているのに対し、3層式は水深200mまでの直線補完による推定した流速を使用して流量を算出していることが主な要因と考えられる。当然、実測流速を使用している多層式の方が精度が高い訳であるが、3層式でも相関係数が0.8以上あり、何らかの理由で多層式の収録が思わしくなかった場合は3層式の値を使用しても特段差支えないものと思われる。

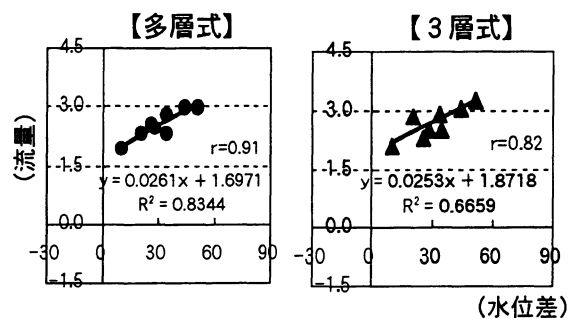


図10 横断開始時の水位差（深浦-函館間）とその時の1横断で得られた津軽暖流流量の関係

## 考 察

1993（平成5）～1999（平成11）年度に青函交流プロジェクトで測流され、流量が算出された西口定線における調査結果を表2に、東口定線の結果を表3に示した。

西口定線における潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した津軽暖流の流量は、最大で11月（1999年）に観測された2.24Sv、最小で3月（1995年）の1.17Svで、平均は1.56Svであった。

東口定線における潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した津軽暖流の流量は、約2週間のずれはあるが、今年の方が0.43Sv流量が多く、海峡西口と同様、1999年11月は昨年より流量が多めだったと考えられる。

表2 潮流成分を除去した津軽暖流の流量（西口定線）

| No. | 調査年月日 |    |    |       | 流量 (Sv) | 調査機関     | ADCP機種 |
|-----|-------|----|----|-------|---------|----------|--------|
| 1   | 1993  | 11 | 10 | ～ 11  | 1.20    | 函館水試 金星丸 | JRC    |
| 2   | 1994  | 7  | 5  | ～ 7   | 1.55    | "        | "      |
| 3   |       | 9  | 21 | ～ 22  | 1.60    | "        | "      |
| 4   |       | 9  | 26 | ～ 27  | 1.55    | 青森水試 東奥丸 | "      |
| 5   | 1995  | 3  | 14 | ～ 15  | 1.17    | 函館水試 金星丸 | "      |
| 6   |       | 9  | 18 | ～ 19  | 1.35    | "        | "      |
| 7   |       | 12 | 4  | ～ 5   | 1.73    | "        | "      |
| 8   | 1996  | 3  | 28 | ～ 29  | 1.30    | "        | "      |
| 9   |       | 6  | 12 | ～ 13  | 1.33    | "        | "      |
| 10  |       | 8  | 28 | ～ 29  | 1.41    | 青森水試 東奥丸 | "      |
| 11  |       | 9  | 3  | ～ 4   | 1.47    | 函館水試 金星丸 | "      |
| 12  |       | 12 | 2  | ～ 3   | 1.83    | "        | "      |
| 13  | 1997  | 5  | 12 | ～ 13  | 1.63    | 青森水試 青鵬丸 | FURUNO |
| 14  |       | 6  | 11 | ～ 12  | 1.54    | 函館水試 金星丸 | JRC    |
| 15  |       | 6  | 30 | ～ 7/1 | 1.99    | 青森水試 青鵬丸 | FURUNO |
| 16  |       | 9  | 1  | ～ 2   | 1.84    | " 東奥丸    | JRC    |
| 17  |       | 9  | 1  | ～ 2   | 1.83    | 函館水試 金星丸 | "      |
| 18  |       | 11 | 4  | ～ 6   | 1.44    | 青森水試 開運丸 | TDI    |
| 19  | 1998  | 3  | 2  | ～ 3   | 1.22    | 函館水試 金星丸 | JRC    |
| 20  |       | 6  | 9  | ～ 10  | 1.62    | 青森水試 青鵬丸 | FURUNO |
| 21  |       | 7  | 23 | ～ 24  | 1.62    | 函館水試 金星丸 | JRC    |
| 22  |       | 8  | 5  | ～ 6   | 1.54    | 青森水試 青鵬丸 | FURUNO |
| 23  |       | 10 | 6  | ～ 7   | 1.60    | 函館水試 金星丸 | JRC    |
| 24  |       | 11 | 26 | ～ 27  | 1.40    | "        | "      |
| 25  | 1999  | 3  | 7  | ～ 8   | 1.40    | "        | "      |
| 26  |       | 7  | 6  | ～ 7   | 1.70    | "        | "      |
| 27  |       | 7  | 7  | ～ 8   | 1.72    | 青森水試 青鵬丸 | TDI    |
| 28  |       | 9  | 16 | ～ 17  | 1.40    | 函館水試 金星丸 | JRC    |
| 29  |       | 11 | 19 | ～ 20  | 2.24    | 青森水試 東奥丸 | "      |
| 30  | 2000  | 2  | 14 | ～ 15  | 1.46    | 青森水試 東奥丸 | "      |
| 平 均 |       |    |    |       | 1.56    |          |        |

表3 潮流成分を除去した津軽暖流の流量（東口定線）

| No. | 調査年月日           | 流量 (Sv) | 調査機関     | ADCP機種 |
|-----|-----------------|---------|----------|--------|
| 1   | 1998 11 5 ~ 6   | 2.09    | 青森水試 開運丸 | JRC    |
| 2   | 1999 11 18 ~ 19 | 2.52    | "        | RDI    |
|     | 平均              | 2.31    |          |        |

海峡西口定線における津軽暖流流量の月別変化について図11に示した。今年度は、11月を除きほぼ近年並みで推移したと思われる。

調査時における海洋構造を把握するため、各調査の任意の1横断時に行った海洋観測結果から、西口定線における水温・塩分分布を図12～13に示した。

日本海定線観測における水温・塩分分布図（「海洋構造変動パターン解析技術開発試験事業」の中で図示）と比較すると、その分布形態から、海峡西口では、これまでの結果と同様、本県沖日本海の沿岸域の水塊が津軽海峡に流入しているものと推察される。

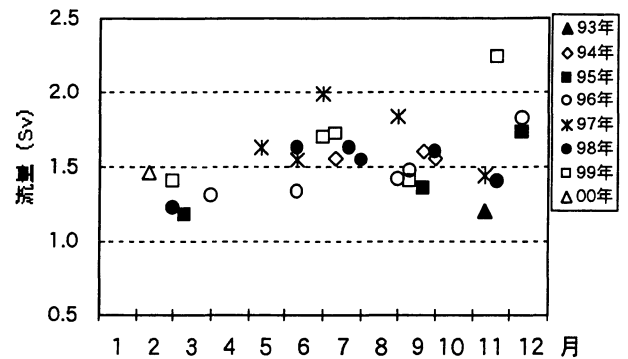


図11 潮流成分（日周潮、半日周潮流）を除去した津軽暖流流量の月別変化（西口定線）

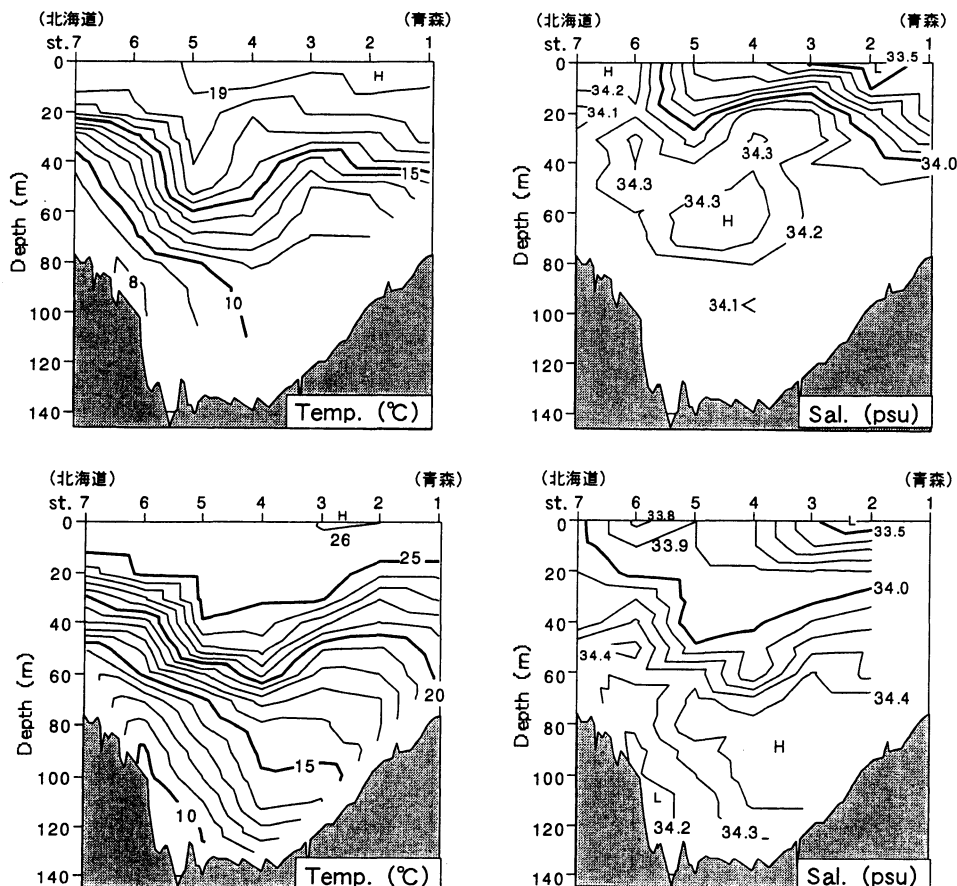


図12 西口定線における水温・塩分分布図  
上図から7月（1横断面観測）、9月（1横断面観測）

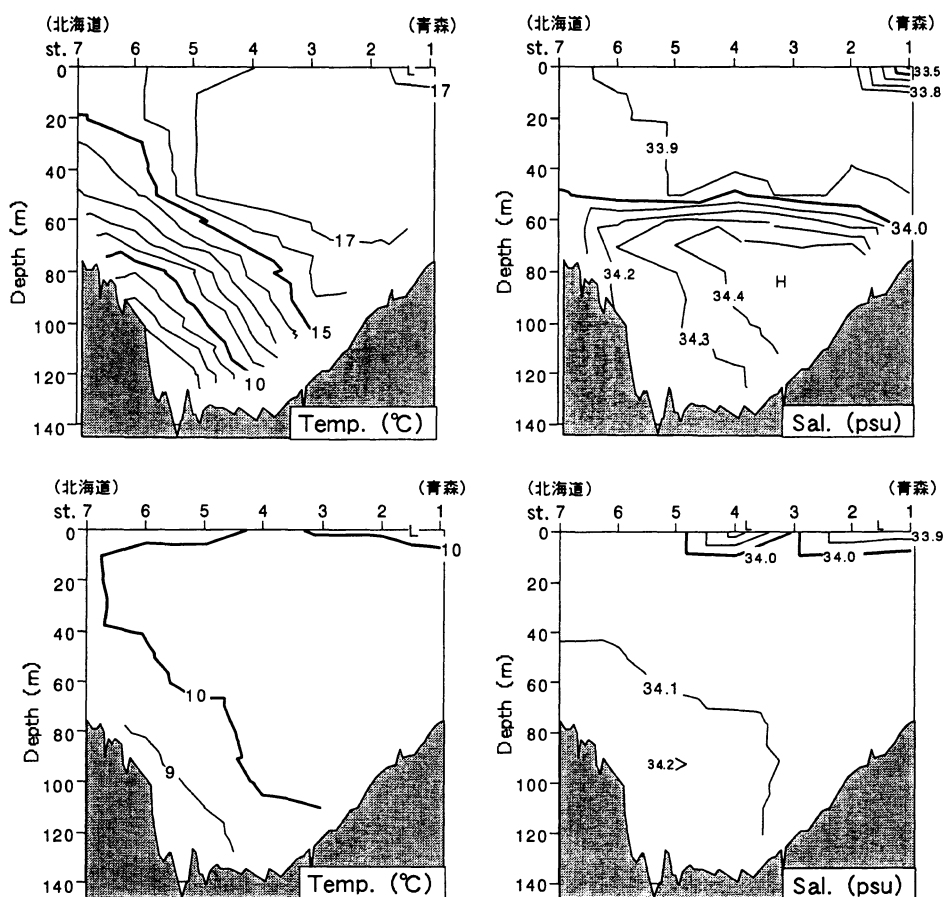


図13 西口定線における水温・塩分分布図  
上図から11月（8横断面観測）、2月（8横断面観測）

その中で、流量の多かった11月に注目し、過去の結果と比較してみる。1997年11月（上旬）調査時の水温・塩分分布は水温15～18℃台、塩分33.3～34.0psu台の範囲と高低差は小さく、鉛直混合が始まりつつあるような分布であった。一方、1999年は約2週間遅い11月下旬の調査であったが、水温6～17℃台、塩分33.4～34.4psu台の範囲で高低差は大きく、また50m深付近には塩分躍層が形成され、鉛直混合がまだ始まっていないような分布を示しており、両年で鉛直混合の時期的なずれが認められる。

また、各年11月上旬の日本海の水温水平分布（図14）をみると、1997年は舳作崎線（40-32N）、十三線（41-00N）における暖流幅（100m層5℃等温線の岸からの離岸距離）は平年並～やや狭めで、水温水平分布は岸にほぼ平行な分布形態をしていた。一方、1999年は舳作崎線の暖流幅は平年よりかなり広めであるのに対し、十三線での暖流幅は平年よりやや狭く、つまり対馬暖流の下流側で急に狭くなるような分布形態をしていた。

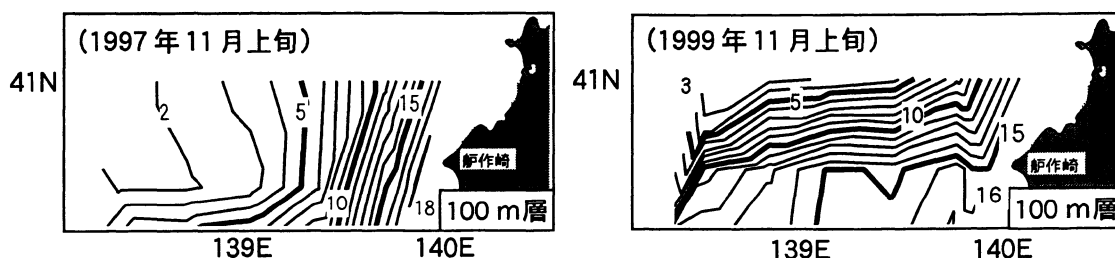


図14 1997年、1999年11月上旬日本海の水温水平分布図

このような海洋構造が津軽暖流の変動に関係しているかどうかは不明であるが、上流側の対馬暖流の変動とともに、津軽暖流の変動する機構について、これら海洋構造やその他の要因（海象：低気圧の接近や風の影響など）等がどのように影響しているのか、知見を収集し、検討していきたい。

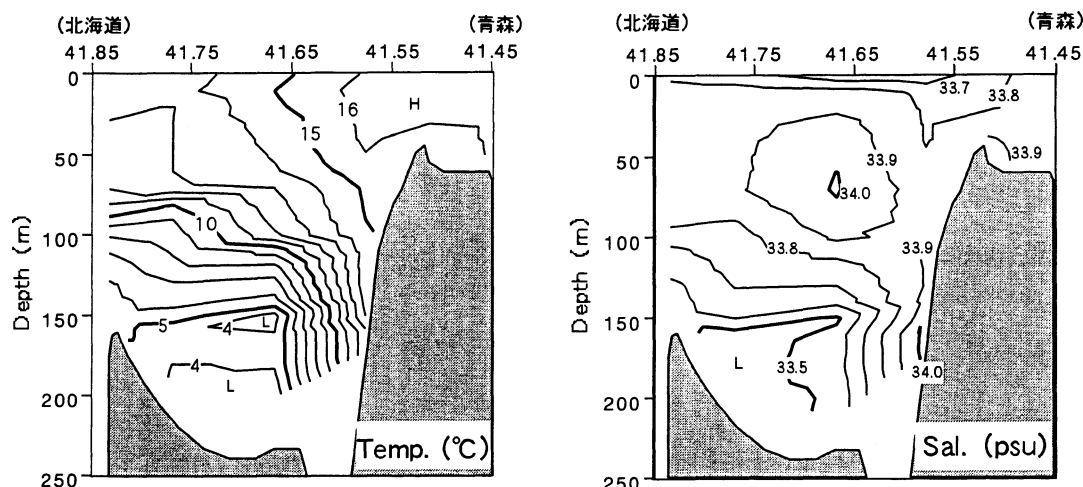


図15 東口定線における水温・塩分分布図  
11月（3～4横断面観測）

東口定線における水温・塩分分布について図15に示した。昨年と比べると、表層水温は約1℃低めであったが、中層（30～100m深付近）高塩分域の塩分は約0.1psu高く、また、水温（14℃等温線）、塩分（33.9～34.0台の高塩分域）の分布は、流速（東向流）の分布と同様に青森寄り（海峡南部）に分布している特徴がみられた。このような特徴の違いが太平洋に流出した時にどのような変化として現れてくるのか、1998、1999年11月の各調査時期における津軽暖流の太平洋側（尻屋崎東方）への張り出し位置（図16：（社）漁業情報サービスセンター発行の海況速報）から推測してみた。

1998年の張り出しは東経143度付近（水温18℃等温線の張り出し位置）までみられ、いわゆる「渦モード」（津軽海峡から襟裳岬まで大きく張り出した後、南下する形態で夏～秋季にみられる）の終期頃にあたり、一方、1999年は東経141度45分付近（水温16℃等温線の張り出し位置）までで、いわゆる「沿岸モード」

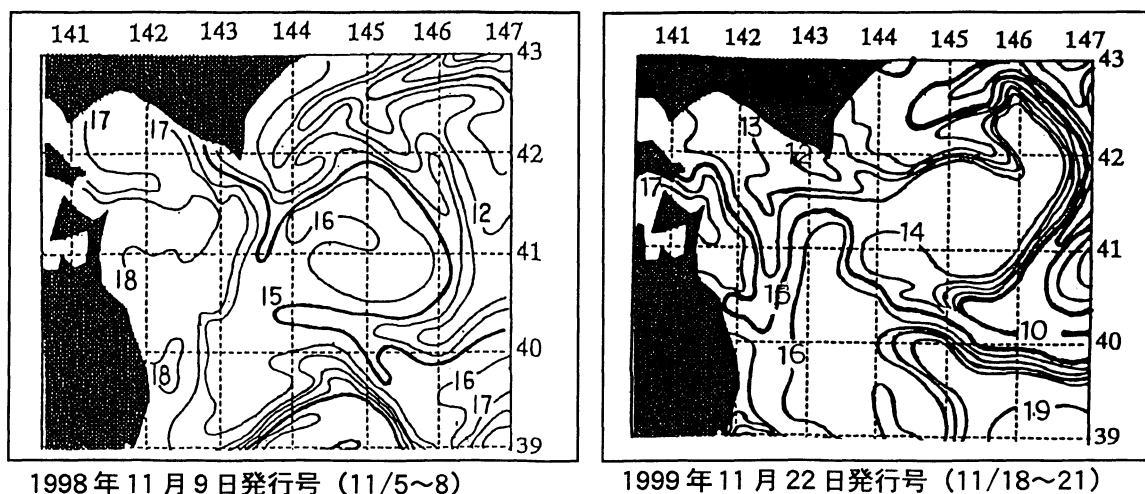


図16 1998年、1999年11月調査時期の太平洋の表層水温分布図  
資料：（社）漁業情報サービスセンター発行の海況速報

(津軽海峡から岸沿いに南下する形態で冬～春季にみられる)の始期頃にあたるものと思われる。つまり、海峡東口における東向流の強流部の分布は、「渦モード」の時期は海峡中央部にみられ、「沿岸モード」の時期は海峡南部(青森寄り)にみられることが予想されるが、今後、調査を重ね、このような現象の関連性等について検証していきたい。

また、これら海洋構造の特徴の把握とともに、津軽暖流の変動が水産生物に与える影響(移動・回遊等)などについても、関連情報を収集し、考察していきたい。

## 謝 辞

深浦及び函館の毎時の水位データは函館海洋気象台から提供していただいた。ここに記して感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 天野勝三(1986) 青森県沖合の海況変動に関する研究その2. 青森県水産試験場
- 2) 石川孝一・柴田誠司・宮尾 孝(1987) 津軽海峡の海洋構造. 月刊海洋, 19(1):34-39.
- 3) 加藤 修(1988) 超音波式潮流計による残差流の推定. 水産庁西海区水産研究所研究報告, 66:59-67.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 四竈信行(1994) 海底設置型 ADCP 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.
- 8) 田中伊織(1995) ADCP 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
- 9) 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年度日本海洋学会秋季大会講演要旨
- 10) 西田芳則・鹿又一良・田中伊織・松原 久(1996) ADCP により実測した津軽暖流流量と水位差との相関. 1996年度日本海洋学会秋季大会講演要旨
- 11) 佐藤晋一(1998) 青森県舳作崎西方における対馬暖流の地衡流量について. 平成9年度青森県水産試験場事業報告:179-200.
- 12) 中多章文・田中伊織(1998) 北海道西岸における対馬暖流傾圧地衡流量について. 1998年度日本海洋学会春季大会講演要旨
- 13) 西田芳則・鹿又一良・田中伊織・松原 久・佐藤晋一・高橋進吾(1999) 津軽暖流の流量変動. 第48回東北海区海洋調査技術連絡会議事録:45-47.