

陸奥湾湾口部における流動構造の不定性に関する研究

西田修三* ・中辻啓二** ・西尾岳裕***
福島博文**** ・西村和雄***** ・田代孝行*****

1. はじめに

本研究が対象とする陸奥湾は、本州最北青森県に位置し、幅約 10 km の湾口狭窄部 (平館海峡) を介して津軽海峡に繋がる閉鎖性の強い湾である。陸水の集水域は湾面積の約 1.4 倍にとどまり、湾内水の水交換は主として津軽海峡の外海水によって行われている。これまで関係機関による定線観測が実施されてきたが、流況データの不足から未だ湾内水の流動と水交換の実体は明らかにされていない。また、湾内の水質は東京湾などの都市隣接海域と比較すると未だ良好な状態を保っているが、流動および塩分・水温の急激な変化がしばしば発生し、ホタテ貝の養殖など湾内漁業への影響が懸念されている。しかし、その原因も特定されておらず、水交換の実態把握とともにその発生要因の究明と予測が望まれている。

筆者らは、過去 4 年にわたり湾口断面における潮汐残差流と物質輸送に関する現地観測を実施してきた。その結果、湾口部の流動とフラックス構造は時空間的に大きく変動し、海峡部における気象海象の変化が陸奥湾の水交換に大きく作用している可能性が唆された。

そこで本研究では、湾口部における流動構造の時空間的不定性の原因を明らかにすることを目的として、

(1) 湾外に観測域を広げた現地観測を実施するとともに、(2) 津軽海峡を含む広域の潮位観測データをもとに海面変動の特性を解析し、あわせて、(3) ノア衛星データを用いて特異な流動パターンの抽出を行った。

2. 現地観測の内容と観測結果

(1) 現地観測の内容

1998 年 8 月 23 日と 24 日に、図-1 に示した 5 測線 (計 29 測点) において、ADCP による流況とクロロフィルセンサー付き STD を用いた水質の縦横断観測を実施した。

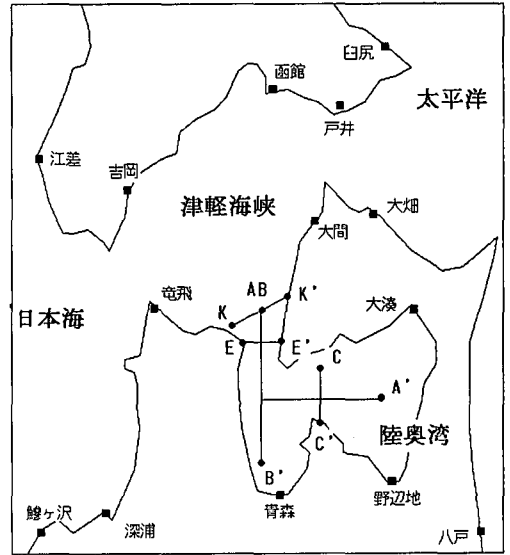


図-1 対象海域と観測線

1997 年以降、湾口から海峡にかけての流況と密度構造の特性を明らかにするため、A および B 縦断測線を湾外へ約 5 km 延長し、さらに K 横断測線を設けた観測を実施している。

(2) 観測結果

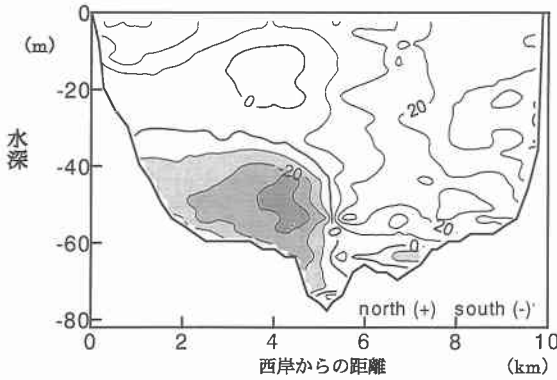
ここでは観測結果のうち、特に湾口部における流動構造等の時空間的不定性について報告する。

図-2(a)~(c) に、湾口部 E 測線における南北方向流速の横断面分布を過去 3 カ年の観測結果と比較して示す。湾口部における観測は、各年とも湾内青森港における潮位が上げ潮および下げ潮最盛時に実施しているが、図には下げ潮最盛時の観測結果を示している。白抜き部分が北向き、つまり湾外への流出成分を表している。1996 年は 9 m/s におよぶ強い東風、1997 年は微風、1998 年は西風連吹時の観測であり、風況はそれぞれ異なっていた。湾内 (青森) で観測された潮差は約 45 cm~65 cm と振幅の差異はあるが、日潮不等が小さい半日周期の潮汐が卓越していた。観測された流速を基に計算された全断面平均流速も 5.6~9.8 cm の範囲にあった。このように平均流速および断面通過流量に大きな違いがないにもかかわらず

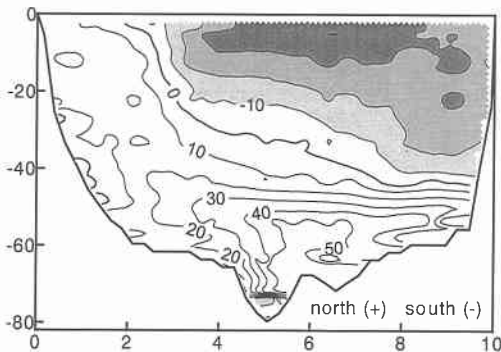
* 正会員 大阪大学大学院助教授 土木工学専攻
** 正会員 大阪大学大学院教授 土木工学専攻
*** 学生会員 大阪大学大学院 土木工学専攻
**** 正会員 (株)建設技術研究所 大阪支社 情報技術部
***** 正会員 東和科学(株) 海洋技術部
***** 正会員 総合科学(株) 環境評価第二部

らず、流況の断面構造は大きく異なっている。

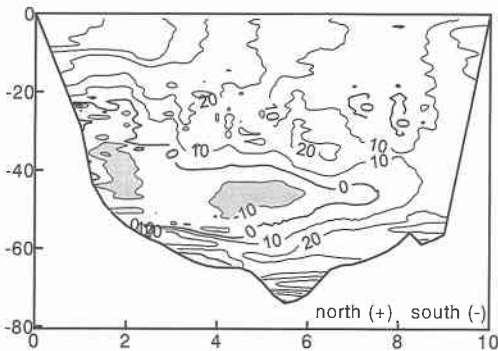
湾口横断面における流動構造の特徴は、下げ潮最盛時にもかかわらず比較的大きな流速をもつ湾外からの流入(網掛け部)が認められる点である。特に1997年には東岸上層に流速40 cm/sを越える大きな流入成分がみられ、他年の観測結果と比較すると極めて特異な流況を示している。一方、1998年と1996年の観測結果には、西岸の水深50 m付近を中心とした領域からの流入がみられ、共



(a) 1998年8月23日7時



(b) 1997年8月30日17時



(c) 1996年8月31日8時

図-2 過去3カ年の湾口横断面における南北流速分布

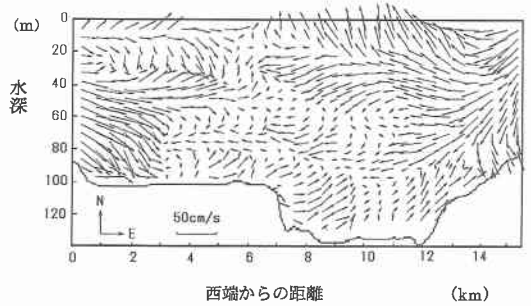


図-3 K測線における横断面流速ベクトル (1998年)

通した分布特性が認められる。同様に上げ潮最盛時の観測結果にも両年の断面流速構造には類似性が認められた。

湾口部の流況に大きな影響を及ぼす湾外域の流動構造を把握するために行った観測結果を図-3に示す。湾口部E測線における横断面観測(図-2(a))の直後、干潮時にK測線で観測された流速ベクトルである。表層中央部に海峡へ抜ける流出成分、測線両端では大きな流速を有する湾内への流入成分が確認できる。この測線両端にみられる流入ベクトルは湾口部E測線の中央付近に向かい、これが湾口部で観測される大きな内部変動を誘起しているものと考えられる。湾外域のこの複雑な流況と、測線両端の卓越した流動の強弱が、湾口部の流況に大きな影響を及ぼし、断面構造の不定性の一因となっているものと考えられる。

3. 海面変動特性の解析

非常に複雑で時空間的な不定性をもつ湾口部の流動構造は、津軽海峡の流動構造と深く関わっていると考えられる。津軽海峡の流動は、基本的に太平洋と日本海の水位のバランスにより決定される。平均水位は日本海側が太平洋側よりも高く、東向きの流れが卓越している。日本海と太平洋の潮汐はほぼ同位相の M_2 分潮が卓越するが、 K_1 分潮には大きな位相差があり、その結果津軽海峡の潮流は K_1 分潮の影響を顕著に受け、日周期変動が卓越すると言われている(宇野木, 1993)。しかし、流動構造の詳細は観測データの不足から未だ十分には明らかにされていない。

そこで、観測基準面高が明らかとなっている日本海から太平洋に至る、図-1に示す津軽海峡沿岸14地点の潮位データを基に海面高の計算を行い、その時空間的変動特性について解析する。

日本海、津軽海峡内、陸奥湾内、太平洋の各水域における変動特性を把握するため、それぞれ深浦、函館、青森、臼尻を代表地点として計算された1998年の観測日における潮位を図-4に示す。値はTP 0 m(東京湾平均海

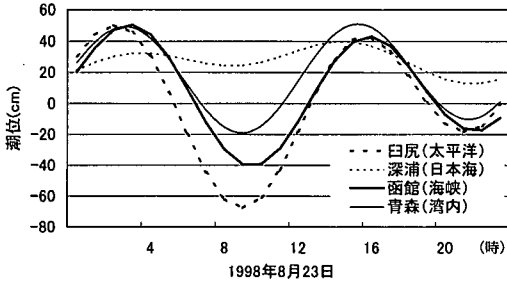


図-4 対象海域代表地点の潮位変動

面)を基準としている。

日本海側の潮位は振幅が比較的小さく、かつ高い水位を保っているのに対し、太平洋側では1mを超える振幅を有し、日潮不等も大きいことがわかる。また、干潮時には日本海側と太平洋側で大きな水位差を生ずるが、満潮時には水位差が小さく水位の逆転もみられる。

図-5(a)~(c)は前述の1996~1998年に実施した湾口横断観測時における海面高の計算結果である。

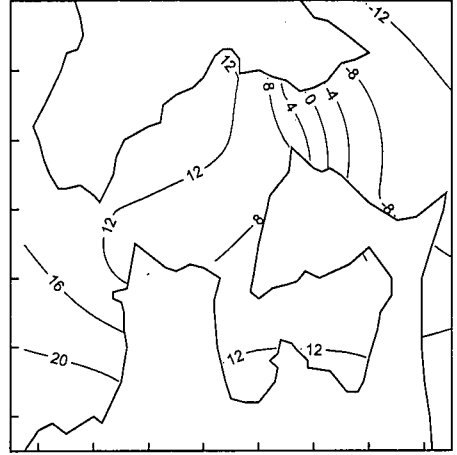
湾口部における流動構造の類似がみられた1996年と1998年の海面高分布は、海峡両端で海面勾配の差異はみられるものの、そのパターンは類似し、特に陸奥湾に繋がる海峡中央部では水面勾配もほぼ同程度の値を示している。一方、1997年の海面高分布をみると、太平洋側に向けて水位が上昇し逆勾配を有するとともに、海峡内の等値線パターンも大きく異なっている。1997年は、太平洋側の下げ潮にともなう水位の低下量が小さかったため、湾口から太平洋まで海峡の水位勾配が緩やかになり、さらに海峡部の海面高は半日周期のパターンを示していた。これに対し、1996年と1998年の海面高は日周期変動を示し、観測時に太平洋側の水位が大きく低下したことにより、海峡東側では大きな水位勾配が現れている。また、海峡中央では等値線が東西に延びているのに対し、1997年は南北方向を示し、湾口付近で異なった流動が生じていることがうかがえる。

このように各地点における潮位の位相差と、特に太平洋側の日潮不等の影響により、津軽海峡付近の海面高分布は大きく異なり、半日周期と日周期のパターン変化が生じる。その結果、同じ潮時であっても海峡部の流動構造は図-2のように大きく変化するものと考えられる。

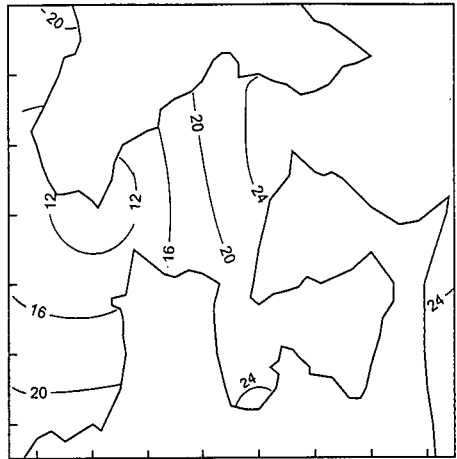
4. 流動に及ぼす気象の影響

湾口部西岸寄りに設置された自動観測ブイより得られた1995年の流速データを基に、特異な流動現象の抽出と解析を行った。

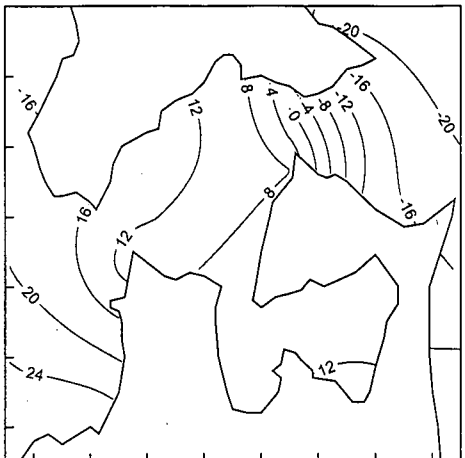
図-6(a)は1995年6月の観測結果である。流速は南北成分の変動を表し、正が北流(流出)を示す。また、上層流速と下層流速の計測水深は、それぞれ海面下15m



(a) 1998年8月23日7時



(b) 1997年8月30日17時



(c) 1996年8月31日8時

図-5 観測時の海面高分布

と海底上2~3m(水深約45m)である。

成層化の影響により上下層で流速は大きく異なるとともに、上層流速には半日および日周期の潮流振幅約15cmを上まわる大きな長周期変動がみられる。これほど大きな流速と長周期変動の出現は他の期間にはほとんどみられず、特異な流動と考えられる。

この流動の発生要因を明らかにするために、気象との関連を調べてみた。図-6(b)~(d)は、日平均上層流速とその期間中の風速、さらに太平洋と日本海の気圧差を示したものである。風速は湾中央で計測された海上風の東西成分(東風が正)を、また気圧差は太平洋側(八戸)と日本海側(深浦)における海面気圧の差を表し、太平洋側が高い場合を正とした。ちなみに、この期間は東西方向の風が卓越していた。図からいずれも高い相関を有

することがわかる。気圧差によって発生した東風が長時間連吹すると、その吹き寄せによって西岸でセットアップが生じる。この吹き寄せられた上層水が湾口西岸より流出するため、東風時に北流が長時間継続したものと考えられる。西風時には西岸水位が低下するため、上層水の流入つまり南流が生じることになる。さらに、気圧差は海面位の変化をもたらす。日本海に比して太平洋側の気圧が低ければ太平洋側の水位が上昇し、特に水位差の小さい満潮時には、微妙な水位バランスで決定される津軽海峡の流況に変化を生じさせる可能性がある。

5. 衛星データでみられた急潮現象

津軽海峡を取り巻く海域の流動と水温構造を把握するためにノア衛星データを用いた解析を行った。ここでは特異な水温変化が観測された1997年6月の結果について述べる。

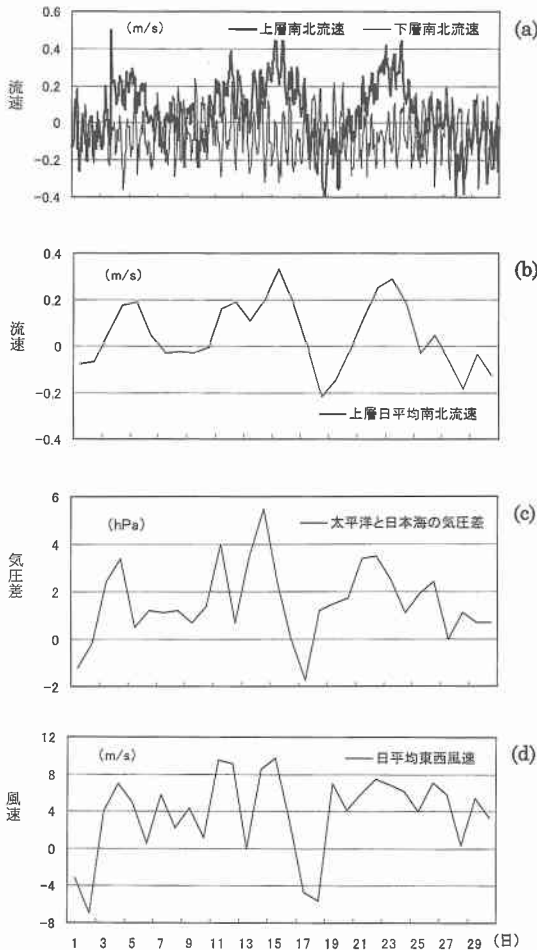


図-6 湾口部における南北流速と気象変動(1995年6月)

- (a) 湾口部パイ観測より得られた南北流速
- (b) 上層の日平均流速変動
- (c) 太平洋と日本海の気圧差
- (d) 湾中央における東西風速の変動

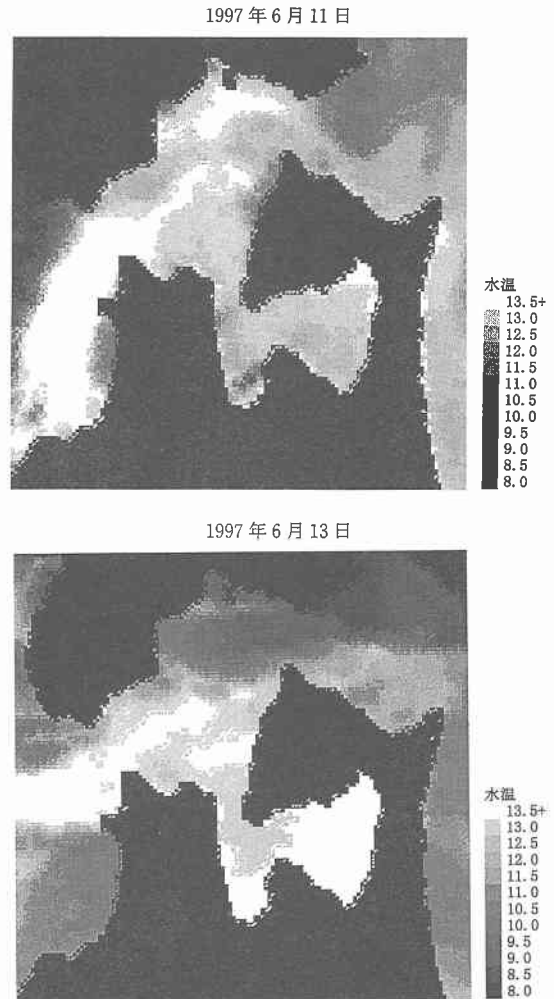


図-7 NOAA衛星画像による津軽海峡の水温分布

1997年のノアの衛星データ(JAIDAS)を入手し, ch. 2の可視画像を用いて, 雲が少なく解析可能な画像を検索抽出し, 陸奥湾を中心に128 pixel×128 pixel (16384画素)のサイズに切り出しを行った。次に自動観測ブイによって観測された実測表層水温をもとに, 輝度温度を補正し, 海面温度を算定した。

図-7は短期間に水温分布が大きな変化を示した1997年6月のNOAA画像である。6月11日には, 南西から津軽海峡を通り, 太平洋まで水温13.5°C以上の暖流水が延びているが, 6月13日には北海道沿岸東方から津軽海峡に寒流水が流入し, 押される形で陸奥湾に暖流水が流入した状況が把握できる。このような状況は今回解析を行った他の画像にはみられず特異な現象であった。前述のように水位が逆転し, 太平洋の水塊が津軽海峡に流入することは少ない。逆転しても満潮時のわずか数時間であるため, この画像に認められるような海峡中央まで進入する可能性は極めて低く, 気圧等の気象的作用によるものと考えられる。そこで, この時の気圧変化を調べたところ, 6月10日に1000 hPaの低気圧を記録した後, 13日には1015 hPaまで急激な上昇を示していた。天文潮位と気圧的作用により, 太平洋側の水位が上昇した結果生じたものと推測されるが詳細は明らかでない。なお, 衛星画像の解析からは津軽海峡への太平洋からの寒流水の流入が数例認められたものの, 6月13日ほどの流入はみられず, また, 陸奥湾内への流入も認められなかった。

6. おわりに

本研究の主たる結果を以下にまとめる。

(1) 湾口断面で観測された流動構造は, 1997年の観測結果とは全く異なったパターンを示し, 1996年の流動パターンと定性的に一致していた。またブイデータの解析により, 湾口部における特異な流動変化は津軽海峡周辺海域の気圧配置とそれに伴う風に大きく影響を受けていることがわかった。

(2) 湾口断面の流動パターンに類似性が認められた1996年と1998年は, 津軽海峡における海面高の分布パ

ターンも類似し, また, その変動周期も同じく半日周期を示していた。一方, 流動構造が全く異なったパターンを示した1997年には海面高の分布パターンも大きく異なりその変動は日周期を示していた。

(3) 湾内における潮位の卓越周期が半日であっても, 津軽海峡における海面高の空間分布は日周期の変動パターンを示すことがある。このような海面高の分布パターンと変動周期の違いは, 主として振幅の大きい太平洋の潮位変動によるもので, これが湾口部における流動構造の不定性の一要因と考えられる。

(4) 衛星画像には大きな気圧変化にともない, 東方から寒流水が津軽海峡北部に進入し, 海峡部の暖流水が押される形で陸奥湾に流入し, 湾内水温を上昇させた特異な流動が認められた。津軽海峡では, 発生頻度は低いものの, 急激な気象海象の変化により大規模な流動水質変化が生じ, 陸奥湾にも影響が及ぶことが確認された。

謝辞: 本研究を進めるにあたり, 青森県水産増殖センターには海況データの御提供と, 現地観測に際して御高配を頂いた。またデータの収集と解析には八戸工業大学環境工学講座の学生諸君の多大な助力を得た。記して感謝の意を表する次第である。

なお, 本研究の一部は文部省科学研究費(基盤研究C, No. 11650258)の補助により実施できたことを付記する。

参考文献

- 宇野木早苗(1993): 沿岸の海洋物理学, 東海大学出版会, 672 p.
 崔 成烈・入江政安・福島博文・西田修三・中辻啓二(1997): 陸奥湾湾口部における流動密度構造, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 381-385.
 中辻啓二・崔 成烈・西田修三・福島博文・湯浅泰三(1996): 陸奥湾湾口部における密度構造と流れ, 水工学論文集, 第40巻, pp. 467-472.
 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編(1992): 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, pp. 137-207.
 福島博文・崔 成烈・西田修三・中辻啓二・湯浅泰三(1996): 陸奥湾湾口部における物質輸送機構, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 326-330.