

大阪大学 工学部 非会員 崔 成烈
 (株)建設技術研究所 正員 福島博文
 八戸大学 工学部 正員 西田修三
 大阪大学 工学部 正員 中辻啓二

1. はじめに

青森県北端に位置する陸奥湾の地形的特徴は、閉鎖性湾で唯一幅10kmの狭窄部で津軽海峡に繋がっている。また湾内には一級河川が無く、中小河川の流量も少ない。湾内への水供給と水交換は主として湾口部で生じている。湾内ではほたて貝等の養殖が盛んでおり、水質悪化が懸念されている。ADCPおよびSTDによる縦断方向ならびに横断方向の計測を1995年8月29日～30日に陸奥湾湾口部で行った。重要な計測結果として、潮汐内部波の存在、断面内流速成分の複雑さ、そして湾内の夏期の強い成層化等がすでに知られている。本研究では、湾口部での物質輸送の究明をを目的に、断面内塩分フラックスの算出を通じて、①塩分フラックスの流入出パターン、②塩分フラックスの収支、そして③塩分フラックスの各成分の寄与等について検討してみた。

2. 計測内容

計測は日潮不等の小さい大潮期に実施した。観測時の気象は無風あるいは北よりの微風で、波浪もなく風状態であった。29日には湾口断面に直交する縦断計測を湾外から湾内に向かって、また、翌30日に湾口部横断面計測を約一潮汐間連続して行った。流速測定にはADCP(600kHz)を用い、水深ピッチ1mでデータのサンプリングを行った。また、水温と塩分の測定はSTDを用いて、水深0.2mピッチの計測を行った。ADCPの流速データは250m間で平均化し、これらの不等間隔データを等間隔のデータに変換して扱っている。

3. 海水交換—塩分フラックス

塩分フラックスは単位時間に単位断面を通過した塩分量と定義される。したがって、塩分フラックス(F)は以下のように塩分(Salinity; S)と流速(Velocity; V)の積として与えられる。また、流速および塩分はその変動周期によって三つの成分に分けられる。

$$F = s \cdot v \quad v = \bar{v} + V + v' \quad s = \bar{s} + S + s' \quad (1)$$

ここで、流速と塩分の右辺第一項は時間平均成分(残差流)、第二項は潮汐周期成分、そして第三項は乱れ成分である。本研究で用いたデータの計測期間は半日周期間であり、計測データの平均値は残差流とは異なってくるので、残差流の計算には杉山ら(1994)の方法にしたがった。さらに、これらの各項を空間平均(<>で表す)とそれからの偏差(添字dで表す)に分解すると、上記の流速・塩分は各六つの成分に分けられる。

$$v = \langle \bar{v} \rangle + \bar{v}_d + \langle V \rangle + V_d + \langle v' \rangle + v'_d \quad s = \langle \bar{s} \rangle + \bar{s}_d + \langle S \rangle + S_d + \langle s' \rangle + s'_d \quad (2)$$

一潮汐間湾口断面を通過した塩分フラックスの時間空間平均、<F>は

$$\langle \bar{F} \rangle = \langle \bar{v} \bar{s} \rangle = \langle \bar{v} \rangle \langle \bar{s} \rangle + \langle \bar{v}_d \bar{s}_d \rangle + \langle V \rangle \langle S \rangle + \langle V_d S_d \rangle + \langle v' \rangle \langle s' \rangle + \langle v'_d s'_d \rangle \quad (3)$$

と表すことができる。上式の右辺第一項は移流項であり、他の項は分散項である。さらに、分散項は第二項の残差流シア項、第三項の表面潮汐項、第四項の内部潮汐項、第五項および第六項の乱れ項に定義される。

4. 考察および結論

塩分フラックスの流入出パターン～図-10(a)～(e)は9時、11時、13時、15時および17時での塩分フラックスの断面内分布を示しており、これらの図から塩分フラックスの流入・流出パターンに対して次のようにまとめられる。まず、下げ潮初期には断面全体で流出しているが、湾口断面の左半分の中央部の

表面（A）と水深25m以下（B）に流入成分が残っており、この水表面の流入成分は時間経過とともに湾断面中央部に広がっていく様子が見られる（図-1(a)）。図には示さないが、続く10時には、この傾向がだんだん広がるにつれて東岸でも流入が始まり、11時には図-1(b)のように両領域が繋がる流入分布（C）になる。このような分布は領域を広げながら下げ潮の終盤まで続き、上げ潮になると13時の図-1(c)のように湾中央部の40m付近の流出領域（D）を除いては全領域が流入域になる。そして、15時になると、わずかながらE、F、G領域に流出成分が出てくる（図-1(d)）。上げ潮の終盤になるにつれて湾口断面の右半分の中央部の表面（H）の流出領域は湾断面の中央部に広がっていき（図-1(e)）、図-1(a)の西岸の流入パターンとは対称的な形となる。この時の流入領域は下げ潮が始まる時の分布と同等であり、上述した塩分フラックスの挙動が周期的に繰り返していると言える。結論的に、陸奥湾湾口部での海水交換は西岸から湾口断面中央部にかけての流入と東岸から湾口断面中央部にかけての流出が潮汐との時間遅れを生じながら行われていると言える。

塩分フラックスのバランス～図-2は断面内総塩分フラックスの経時変化を南北成分に分けて示している。正の北成分は湾口流出を、また負の南成分は湾口流入を示す。流出成分が卓越しているはずの下げ潮期においても流出成分に匹敵する流入成分が見られるのに反して、上げ潮期には流出の北流成分がほとんど見られないことが分かる。したがって、一潮汐間の総塩分フラックスは流入量が4750 ($\text{psu} \cdot \text{m/s}$)、流出量が2470 ($\text{psu} \cdot \text{m/s}$)で、結局流入がそうとう上回っている。塩分の断面内分布は経時的にそれほど変化しないので、このような結果は断面流速の経時的ばらつきが原因であると言える。

塩分フラックスの各成分の寄与率～表-1は、塩分フラックスを時空間平均して得られる式(3)で示した分散項を南北成分と東西成分に分けた内訳を表している。記号①～④はそれぞれ残差流のシア、表面潮汐、内部潮汐、および乱れによる分散フラックスである。湾口部断面での分散は東西・南北ともに残差流のシアによる分散が支配的であり、乱れ成分の貢献も認められる。しかし、表面潮汐と内部潮汐による分散の寄与はほんのわずかであることがわかる。

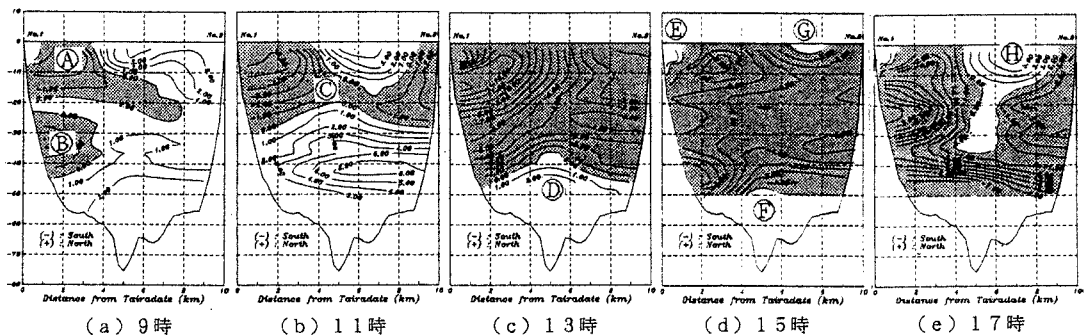


図-1 各時間帯における塩分フラックスの断面内分布

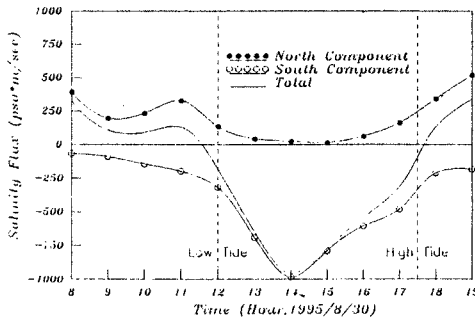


図-2 塩分フラックスの断面収支

表-1 塩分フラックス成分の比較($\text{psu} \cdot \text{cm/s}$)

成分	東西		南北	
	西向	東向	流入	流出
① 残差シア		0.1887	0.6587	
② 表面潮汐	0.0013			0.0063
③ 内部潮汐		0.0160		0.0098
④ 乱れ	0.0084			0.0624