Ⅱ－65　陸奥湾の海洋環境についての一考察

八戸工業大学　　○本川知明、広山貴則
八戸工業大学　正会員　竹内貴弘
八戸工業大学　正会員　佐々木幹夫

1. はじめに

陸奥湾は閉鎖性水域であるため、湾内への海水交換は主として、湾口部（平舘海峡）からの外界水によってなされており、自然浄化作用は緩慢である。そして、青森市、むつ市、野辺地町からの生活排水の流入、汚水処理場の整備不足、除排雪した雪などの陸奥湾への投棄、などを考慮すると、将来的な水質の悪化や、地域を代表するホタテ養殖漁業など水産業への影響も懸念される[1),2)]。このために、長期的な視点から陸奥湾の海洋環境を維持していく対策の一つとして、下北半島の水路開削構想を取り上げ、構想の有効性を検討してきた。それは、水路の存在が、１）陸奥湾内水の流況改善、２）水路の舟運としての利用が海上ルートの short-cut につながるため副次的に二酸化炭素の排出量やエネルギーコストの削減、さらに、３）八戸港から陸上輸送されていた貨物を水路を経て青森港から陸上輸送にした場合には物流コストが削減されること、の利点をもたらす[3)]。本研究では、さらに水路の有無が陸奥湾内水の海水交換へどのような効果をもたらすかの検討を行ったのでこれらの結果を報告する。

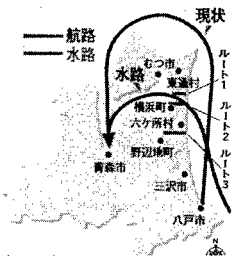

図１　水路の想定位置

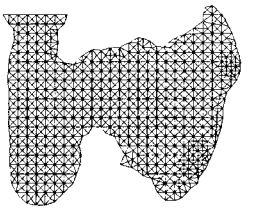

図２　計算領域と Mesh 図〔水路無し〕

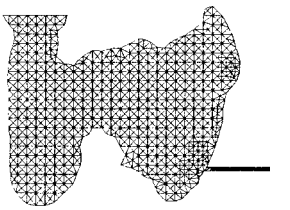

図３　計算領域と Mesh 図〔ルート３〕

2. 潮流計算及び粒子追跡計算

図１に示す位置に水路を設けた場合と現況の水路が無い場合についての潮流解析を有限要素法（図２、３）で行った。ここで検討する水路位置は、既に太平洋側と連結している鷹架沼のあるルート３であり、水深一定で水路幅（W）を変化させた場合とし、それらの結果から、潮流場を１周期平均することにより潮汐残差流をもとめた。さらに、湾内にマーカー粒子を放出させ、これらの計算結果と乱流拡散の効果を表す乱数成分を考慮してマーカー粒子の移動をラグランジェ的に追跡することにより、時間経過の伴い湾内に残留するマーカー粒子数の初期放出マーカー粒子数に対する割り合いを残留率（R）とし、海水交換の効果を検討した。潮流計算に用いた基礎方程式は、（１）～（３）式である。

＜連続の式＞　$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}[(h+\zeta)u]+\frac{\partial}{\partial y}[(h+\zeta)v]=0 \quad \text{-(1)}$$

＜運動方程式＞　X方向：$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}-fv+g\frac{\partial \zeta}{\partial x}+\frac{gu\sqrt{u^2+v^2}}{(h+\zeta)C^2}-A_h\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)=0 \quad \text{-(2)}$$

Y方向：$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+fu+g\frac{\partial \zeta}{\partial y}+\frac{gv\sqrt{u^2+v^2}}{(h+\zeta)C^2}-A_h\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)=0 \quad \text{-(3)}$$

ここで、u,vは流速を水深方向へ積分した平均流速のｘ、ｙ方向成分、ｇは重力加速度、ｈは平均水面、ζは水面からの鉛直変位（H=h+ζ）、Ｃは粗度係数、A_hは渦動粘性係数である。ｆはコリオリ係数で角速度（ω）と緯度（φ）により計算される。また、マーカー粒子の追跡計算は、早川ら(1995)[4]の研究を参考に、追跡計算時間($\Delta T = T_1 - T_0$)におけるマーカー粒子のｘ、ｙ方向移動成分⊿ｘ、⊿ｙを（４）と（５）式から計算した。

$$\Delta x = \left[\frac{u'^{0}\left(1-\frac{1}{2}\frac{\partial v}{\partial y}\Delta t\right)+\frac{1}{2}v'^{0}\frac{\partial u}{\partial y}\Delta t}{\left(1-\frac{1}{2}\frac{\partial u}{\partial x}\Delta t\right)\left(1-\frac{1}{2}\frac{\partial v}{\partial y}\Delta t\right)-\frac{1}{4}\frac{\partial u}{\partial y}\frac{\partial v}{\partial x}(\Delta t)^2} \right] \Delta t + \sqrt{2K\Delta t}\gamma \quad -(4)$$

$$\Delta y = \left[\frac{v'^{0}\left(1-\frac{1}{2}\frac{\partial u}{\partial x}\Delta t\right)+\frac{1}{2}u'^{0}\frac{\partial v}{\partial x}\Delta t}{\left(1-\frac{1}{2}\frac{\partial u}{\partial x}\Delta t\right)\left(1-\frac{1}{2}\frac{\partial v}{\partial y}\Delta t\right)-\frac{1}{4}\frac{\partial u}{\partial y}\frac{\partial v}{\partial x}(\Delta t)^2} \right] \Delta t + \sqrt{2K\Delta t}\gamma \quad -(5)$$

ここで、Ｋは乱流拡散係数、γは平均０で分散１の正規乱数とし、表-１に示す計算条件において解析を行った。

表-１　計算条件

項目	記号	数値
Time Step（潮流計算）	D_t	20(s)
Time Step（追跡計算）	⊿t	60(s)
潮位の周期	T	12(hour)
平舘海峡の潮位	A1	0.4(m)
水路の潮位	A2	0.7(m)
コリオリ係数	$f=2\omega\times\sin(\phi)$	$\phi=40.5(^\circ)$ $\omega=2\pi/(60\times60\times24)$
水路の水深	h	10(m)
粗度係数	$C=(1/n)\times h^{1/6}$	n=0.024
渦動粘性係数	A_h	30(m^2/s)
乱流拡散係数	K	30(m^2/s)
水路幅	w(ルートあり)	w=600,1000,2000(m)

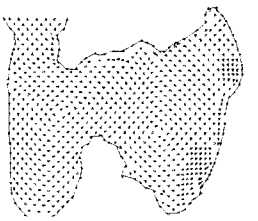

図４　潮汐残差流〔水路無し〕

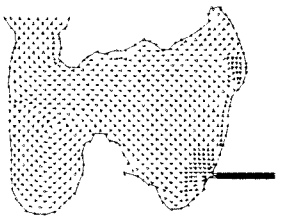

図５　潮汐残差流〔ルート３〕

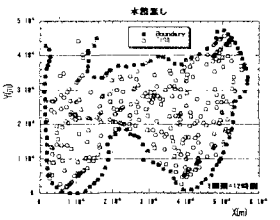

図６　マーカー粒子分布〔水路無し〕
T=30 周期後

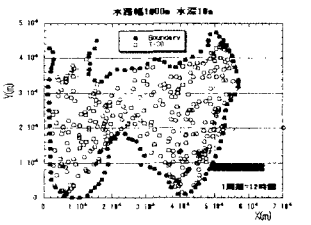

図７　マーカー粒子分布〔水路あり〕
T=30 周期後

3.海水交換の検討

水路がある場合と無い場合の潮汐残差流の計算結果を図４と５に示す。水路や海峡側では、僅かではあるが外海側への流速成分が卓越している。また、周期 T=30 でのマーカー粒子の分布を図６と７に示す。これらをもとに時間経過（周期 T）とマーカー粒子の残留率（R）との関係を図８に示す。水路が無い場合の残留率（R）は 60 周期後までの計算では 0.95 とほぼ一定になるのに対して、水路がある場合の 30 周期までの計算では水路幅（W）の違いによる明確な差異は現れていないが、徐々にではあるが残留率（R）が減少していく傾向を示していた。

4.まとめ

水深一定１０ｍで水路幅を変化させた条件（鷹架沼でのルート）での計算結果から、水路の存在は僅かではあるが海水交換の効果が得られるようである。さらに、計算周期の増大、他ルート、水深変化などの効果を検討する必要がある。

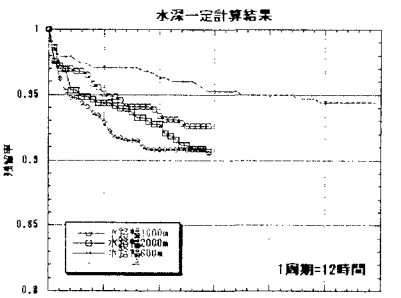

図８　残留率（R）と周期（T）の関係

＜参考文献＞1) 青森県気象月報，1995－1997。2) 青森県自然災害誌，1995－1997。3)岡野ら：「水路開削構想に伴う陸奥湾内水域の流況変化と環境、物流への効果について」、海洋開発論文集 Vol.16、pp.111-116、2000 年。4)早川ら：「ラグランジェ的粒子追跡計算による広島湾湾奥部の海水交換に関する研究」、海洋開発論文集 Vol.11、pp103~108、1995 年。