

南三陸長面浦における海水交換機構に関する研究

Numerical Study on Water Exchange Mechanism in Nagatsura-ura Lagoon

Purwanto Bkti Santoso¹・田中 仁²・金山 進³・高崎みつる⁴・山路弘人⁵

Purwanto Bkti SANTOSO, Hitoshi TANAKA, Susumu KANAYAMA
Mitsuru TAKASAKI and Hiroto YAMAJI

Nagatsura-ura Lagoon is a semi enclosed brackish water body actively used for aquaculture of oyster. In summer of recent years, however, deaths of oysters occur and are in deep concern among stakeholders of the aquaculture. Therefore, field observation was carried out to identify important physical characteristics in the lagoon. Some conclusions on water exchange characteristic have been drawn based on analysis of the data obtained. In this study, a simple Lagrangian tracer technique was used to further investigate the water exchange mechanism. Tracer's velocities were based on the flow field resulted from a calibrated three-dimensional hydrodynamic numerical model. Analyses were carried out through examination of behavior of single-tracer and multiple-tracers releases.

1. はじめに

浦や内湾などの閉鎖性水域は養殖場などに利用されるが、一方で水が滞りやすく、水質悪化を助長させる一面を持つ。対象地域である南三陸長面浦は、図-1 に示すとおり追波湾と水深の浅い狭水路で結ばれる閉鎖性の強い汽水域であり、その静穏さを活かしてカキの養殖が行われている。しかし、近年、貧酸素水塊の発生と酸欠によるカキの斃死が問題となっている。浦内の水質は海水交換と密接な関わりを持ち、既存の研究により、狭水路を通して流入する海水は浦内の等密度の層へ貫入すること、流入水塩分は隣接河川である北上川流量の影響を受けて変動することなどがわかっている(岡島ら, 2004)。

そこで、本研究では流入水の塩分に着目し、三次元密度流シミュレーション手法を用いて、流入水塩分に依存した海水交換率の定量的検討を行った。

2. 長面浦の概要

調査対象である長面浦の概要を図-1 に示す。長面浦は宮城県石巻市の北上川河口近くに位置する海跡湖であり、追波湾と狭水路でむすばれた汽水域である。長面浦の周囲は約 8 km, 浦面積は 1.41 km² である。最大水深は約 10 m であるのに対して、狭水路の長さは約 1.7 km, 最大水深は約 2 m と、水深の浅い入り口をもつ閉鎖性の強い水域である。また、浦内には海水交換を促進するための藩筋がある。長面浦には数本の沢を通じて淡水の流入が

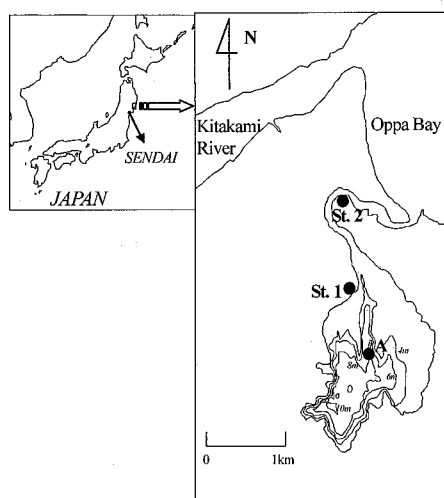


図-1 長面浦の概要と観測位置

あるが、その流量は微少であり、浦内の流動特性は潮汐による狭水路からの入退潮により大きく支配されている(高崎・田中, 2004)。カキの養殖が行われている浦奥部では 7 m から 10 m の水深を有するが、5 m 以深では夏季に溶存酸素の不足によるカキの斃死が確認されている。

3. 調査内容

外海とつながる水域において、潮汐による水位の変動と水域内の流動・水質特性とは、密接な関係がある。よって、狭水路によって追波湾とむすばれている長面浦においても、水位変動を考慮することは不可欠である。そこで図-1 において浦内にあたる St.1 と狭水路にあたる St.2 に自記式水位計を設置し、浦内外の水位を連続的に測定している。

また、水質環境の悪化が懸念される夏季の 2005 年 7

1	Ph.D.	Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia
2	フェロー 工博	東北大学教授 大学院工学研究科
3	正 会 員 博(工)	(株)五洋建設技術研究所
4	正 会 員 工博	石巻専修大学教授 理工学部
5	正 会 員	東北大学助手 大学院工学研究科

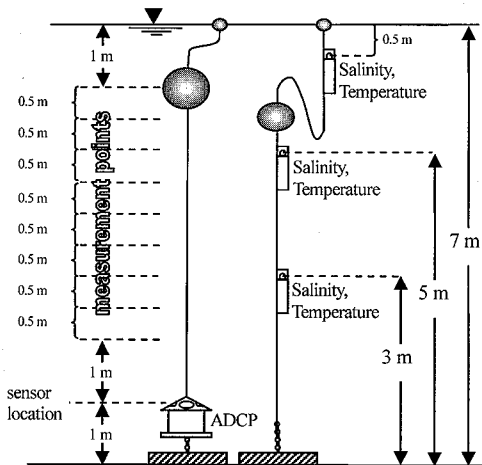


図-2 観測機器の設置状況

月 21 日から 8 月 15 日にかけて集中観測が行われた。図-1 に示す滞筋上に位置する測点 A において、図-2 の様に ADCP (Workhorse Sentinel 1200 kHz, RDI 社) および塩分・水温計を設置して連続的な観測を行った。ADCP は浦内の底面に設置され、図-2 に示す様に、底面から 1 m の高さから 0.5 m 間隔で流速を計測した。

4. 数値計算

浦内において実測された流動の再現および仮想的な条件下での数値実験を目的として、三次元密度流シミュレ

ーションの適用を検討した。

ここで採用したモデルは、静水圧近似およびブシネスク近似に基づくものであり、空間に固定された層分割により鉛直方向の離散化を行うレベルモデルである。水平方向の計算格子 Δx , Δy はともに 20 m とした。鉛直分割については、静水面 -0.5 m を浅を表層第 1 層とし、それ以深は 0.25 m 間隔で層を設定した。浦内の最大水深は平均潮位を加えると 11 m 程度であることから合計 40 層となる。

数値計算に際しては佐藤ら(1993)により提案された差分法を用いた。数値計算の詳細に関しては、Purwanto et al. (2005) を参照されたい。

5. 結果と考察

(1) 観測結果

図-3 には鮎川（長面浦より南に約 30 km）での潮位・浦内水位変化とともに、ADCP による流速観測結果（南北成分）を示した。破線に見られるように、上げ潮時に 1 m から 5 m 程度の深さの中層において南に向かう強い流れが観測されている。同様な中層貫入の観測事例としては、大船渡湾における岡田ら（2000）、日比野ら（2002）、佐藤ら（2005）による報告がある。

(2) 数値計算と観測結果との比較

計算結果を図-3 に実線で示した。数値計算は下方にスパイク状に現れる中層での貫入現象を良好に再現していることが分かる。

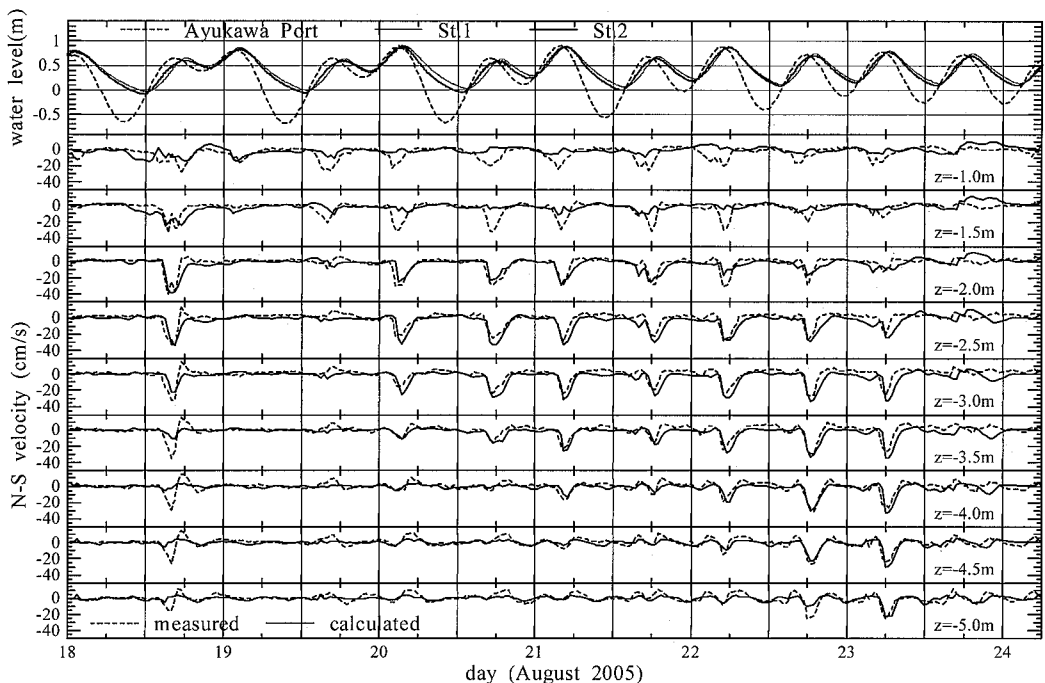


図-3 ADCP による流速計測

(3) トレーサーを用いた海水交換機構の検討

図-4は、長面浦に流入する海水の塩分 S の変動例を示したものである(岡島ら, 2004)。同図には、北上川河口から上流17.2 kmに位置する北上大堰地点における河川流量 Q 、潮位・浦内水位 η の変動も示している。図より明らかなように、長面浦に流入する塩分には北上川の河川流量の増減に呼応した変動が明瞭に認められる。このような流入水密度の変動に応じて、浦内での中層貫入の生じる高さが変動する。このことから、海水交換により溶存酸素濃度が上昇する層の高さは、流入水の塩分に大きく依存していると結論づけられる。

そこで、今回再現計算によりその精度検証がなされた数値モデルを用いて、閉鎖性水域内に置かれたトレーサーの動きを追跡することにより、海水交換に対する流入塩分の影響に関する詳細な検討を行うこととする。ただし、トレーサーは計算で得られる流速に従って移流する

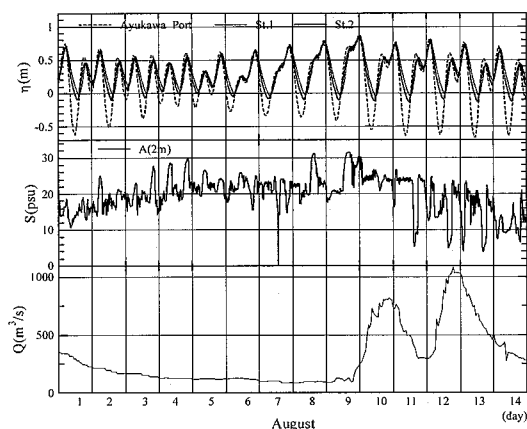


図-4 浦内に流入する塩分の変動(岡島ら, 2004)

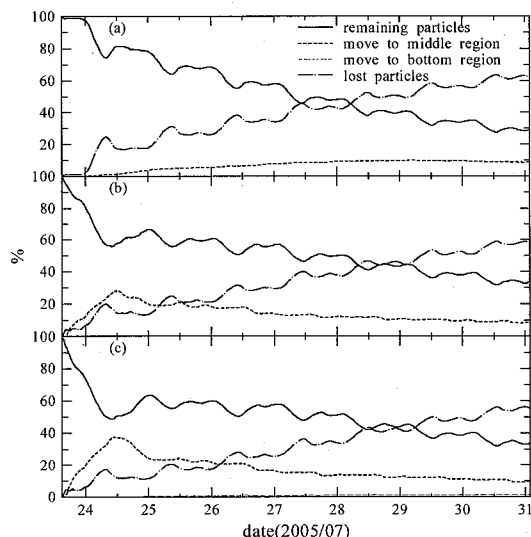


図-5 上層におけるトレーサー粒子数の変化

ものとし、乱れ・浮力などは加味しない。

夏季には鉛直成層が顕著であることから、鉛直混合過程に関する検討を行った。まず、長面浦内の水域を鉛直方向に三分割し、「上層」、「中層」、「底層」とした。「上層」とは水表面から3 mまでの層と定義する。中層はこれより下の6 mまでの領域である。これより下の層を「底層」とした。

流入する海水の塩分に関しては、図-4などの過去に実施された観測結果を参考に、14 psu, 28 psu, 33 psuの三種に設定し、これを計算領域入り口端の感潮狭水路における境界条件として与えた。なお、浦内の塩分・水温に関しては図-3に示した実測時のものを与えた。

トレーサー粒子は計算対象水域における各格子点の位

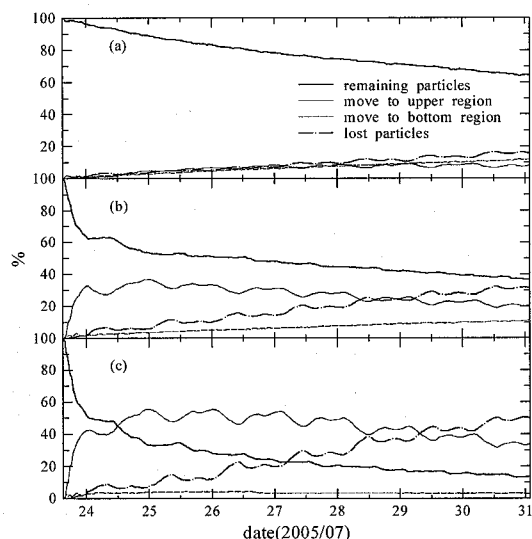


図-6 中層におけるトレーサー粒子数の変化

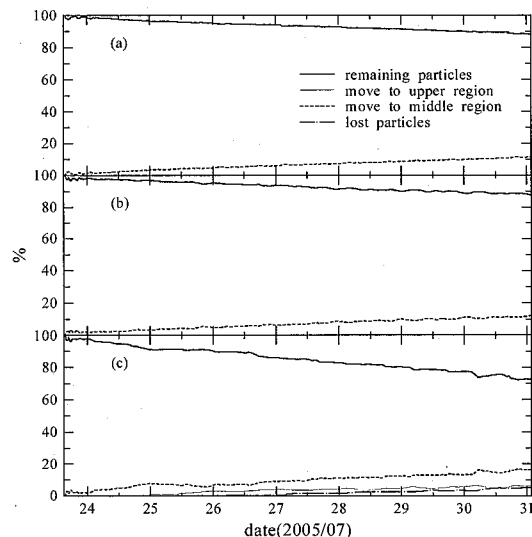


図-7 下層におけるトレーサー粒子数の変化

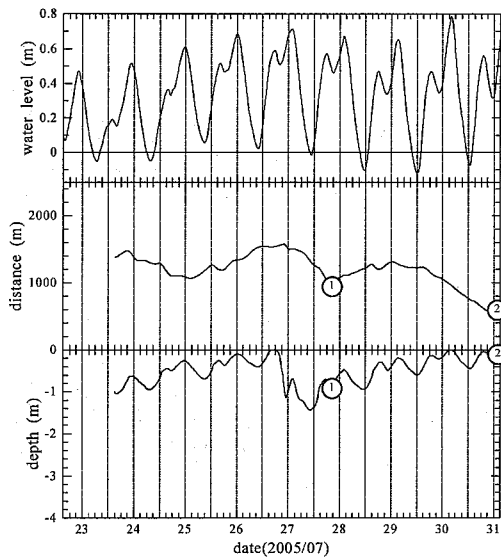


図-8 トレーサーの軌跡 (14 psu の海水が流入する場合)

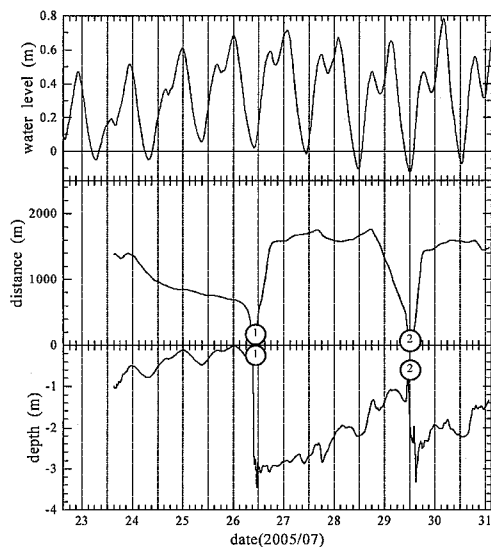
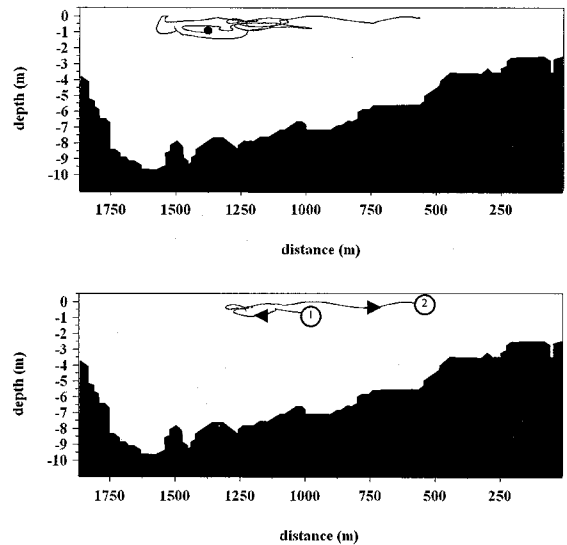
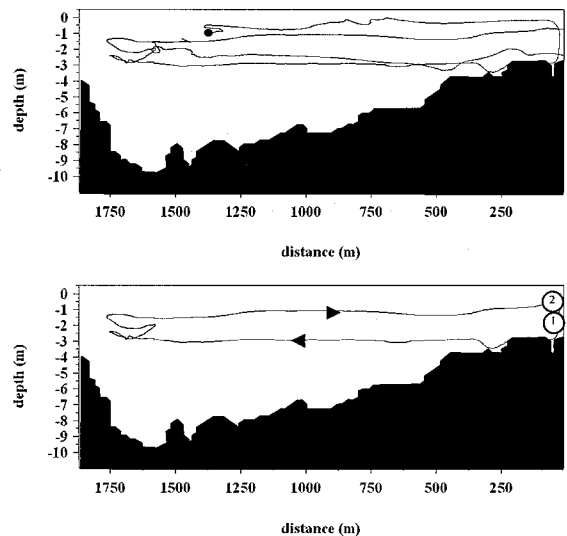


図-9 トレーサーの軌跡 (28 psu の海水が流入する場合)



置に配置し、その個数は、上層：19,190 個、中層：10,515 個、底層：5,658 個である。このトレーサー個数の相違は、それぞれの領域の容積の差を反映している。計算においては、感潮狭水路から流入する塩分を上記の三種に変化させ、上層、中層、底層のそれぞれの領域内でのトレーサーの残存率、下方・上方への移動個数などの経時変化を調べた。

図-5 は上層における計算結果を示し、上段から (a), (b), (c) はそれぞれ流入塩分が 14 psu, 28 psu, 33 psu のケースである。いずれの場合も表層では迅速な海水交換が生じることが分かる。ただし、3つのケースの

中では、もっとも低い流入塩分の図-5 (a) のケースにおいて下層への移動が少なく、計算領域外に出る粒子が多い。図-6 は中層における計算結果を示している。より高い塩分の流入により、海水交換が急速に進むことが確認される。図-7 は底層における計算結果を示している。3種の流入塩分の中では、もっとも濃い塩分の時に、もっとも迅速な海水交換が生じる。ただし、上層・中層に比べて停滞が著しく、底層付近において貧酸素化が生じやすいことが確認された。

次に、個々のトレーサーについてラグランジュ的な軌跡を追跡した。図-8 は 14 psu の海水が流入するケース

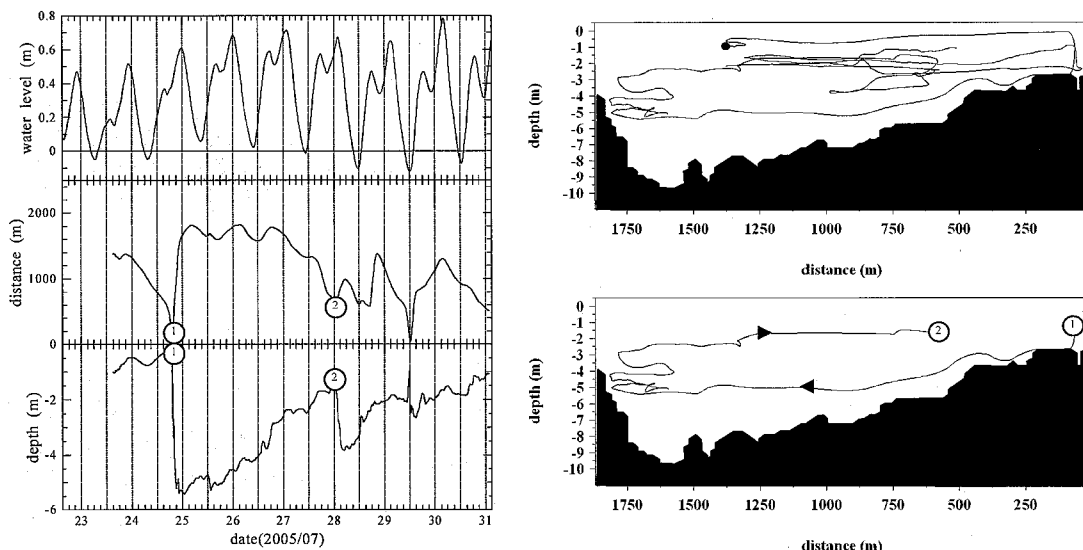


図-10 トレーサの軌跡 (33 psu の海水が流入する場合)

である。左図には浦内水位、および注目する粒子の水平座標 (distance)・鉛直座標 (depth) を示し、右図上段にトレーサの軌跡を図示した。これからある時間帯の動きを取りだして下段に示しており、その数字は左図の数字の時刻・位置に対応している。図-8 に示した低塩分のケースでは、水粒子の動きは表層付近に限定されており、鉛直方向の動きが極端に少ない。このことから、低塩分海水の流入時には底層付近の海水の交換が進まないことが理解される。

図-9 は 28 psu の海水流入に対する計算結果を示している。まず、水粒子は水深 3 m 付近に貫入し、その後、鉛直方向に移動しつつ、水平方向の振動運動を繰り返す。図-8 に示した低塩分のケースに比べて、より大きな鉛直方向の移動に特徴がある。

以上の二ケースに比べて、33 psu の海水が流入する図-10 のケースでは、より深い層への貫入を見ることが出来る。その後、大きな鉛直方向の運動が認められる。

以上より、より高い密度の海水が流入することにより、底層の海水交換が活発化し、水質の浄化にも良好な効果をもたらすことが確認された。

6. おわりに

南三陸に位置する長面浦における水理特性に関する検討の結果、以下のことが判明した。

- (1) 成層構造が発達する夏季には、狭水路を通じて流入した海水は中層に貫入する。これは、北上川の河川水などの影響を受けて、通常の海水よりも低い塩分を有するためである。
- (2) 三次元シミュレーションにより、実測された上記の

ような中層貫入現象を再現することが出来た。

- (3) 数値シミュレーションにより、流入塩分と海水交換との関係について、定量的な評価を行った。貫入する高さの変化に応じて、浦内において海水交換によって水質が改善される層の高さが変化することを確認した。

謝辞：本研究の実施にあたり、国土交通省北上川下流河川事務所より貴重な現地データの提供を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 岡島直也・田中 仁・金里 学・高崎みつる・山路弘人 (2004)：長面浦における溶存酸素の変動機構，海岸工学論文集，第 51 巻，pp. 936-940。
- 岡田知也・中山恵介・日比野忠史・細川恭史・古川恵太 (2000)：大船渡における底層 DO 濃度の変動に及ぼす湾外の影響，海岸工学論文集，第 47 巻，pp. 1041-1045。
- 佐藤勝弘・松岡道男・小林一光 (1993)：効率的な 3 次元潮流計算法とその適用性について，海岸工学論文集，第 40 巻，pp. 221-225。
- 佐藤博信・高橋研也・柏館信子・野村宗弘・沢本正樹 (2005)：大船渡湾における密度貫入が中層 Chlorophyll-a 濃度に及ぼす影響，海岸工学論文集，第 52 巻，pp. 876-880。
- 高崎みつる・田中 仁 (2004)：南三陸長面浦における溶存酸素濃度の変動に関する現地調査，水工学論文集，第 48 巻，pp. 1411-1416。
- 日比野忠史・駒井克昭・鶴谷広一・岡田知也 (2002)：湾口における高密度水塊の貫入機構のモデル化と海水交換量の推定，海岸工学論文集，第 49 巻，pp. 976-980。
- Purwanto, B.S., Tanaka, H., Kanayama, S., Takasaki, M. and Yamaji, H. (2006)：Transport mechanism in Nagatsura-ura Lagoon, Proceedings of 2nd International Symposium on Estuary and Coast, pp. 615-622。