

# Spread of river water influenced by wind in Otsuchi Bay

Sep.2022 Marine Environmental Dynamics 47-206771 Yoojun Kim

Supervisor: Associate Professor Kiyoshi Tanaka

Keywords: Otsuchi Bay, river water, wind, Earth's rotation

## 1. Introduction

The Sanriku Ria coast in northeastern Japan is characterized by complex topography where various water masses meet. Otsuchi Bay is one among there, with the width and length are 2km and 8km, respectively. In the bay, low-salinity water generally exists on the south coast, which may be due to the effect of the earth's rotation. When the influence of the earth's rotation is large, the river water flows with the coast to the right while being confined within the internal Rossby deformation radius (here after,  $iRd$ ). Such circulation forms a meridionally positive salinity gradient pattern (north high, south low salinity). Therefore, the gradient is related to the  $iRd$ , which is the length scale of the geostrophic adjustment caused by Earth's rotation.

According to Otake et al. (2009), northwesterly wind may enhance estuary circulation, which is closely related to material circulation that affect aquaculture (Kishi et al., 2003). Therefore, wind is also an important element of circulation in the bay.

Sakamoto et al. (2017) performed numerical simulations of the circulation in the bay, take the effects of river, wind, and the Earth's rotation into consideration. As a result, they reproduced the counterclockwise circulation and positive salt gradient pattern similar to the observations. The  $iRd$  in their study varies from 1000 m to 2000 m with season. However, the  $iRd$  from observation varies from 300 m to 4980 m (e.g., Tanaka et al., 2017). Therefore, there may be a different pattern of circulation in the bay than the ones considered so far.

Therefore, we conducted both analysis of high-resolution observation data that has never been seen before and numerical experiments under conditions that have not been examined yet, to investigate river water spread in the bay with the effect of wind and the Earth's rotation.

## 2. Material and methods

We used the high-resolution monthly observed temperature and salinity data. We focused on the distribution of the sea surface salinity. We applied Kuragano and Kamachi (2000) objective analysis method which can take anisotropic spatial distribution of the observed variables into consideration to produce maps of regularly-gridded sea surface salinity.

Numerical experiments were performed to investigate the dynamics of circulation in the bay, with monthly-averaged river discharge, wind, and the Earth's rotation effect.

## 3. Result and discussion

According to theoretical studies, river water tends to flow to the right of the coast in the northern hemisphere when the effect of Earth's rotation is great. This means that in the bay, a

positive salt gradient pattern is formed. Indeed, in Otsuchi Bay, such positive gradient patterns were often occurred, but sometimes negative salinity gradient pattern occurred in real sea.

Therefore, we present the following hypothesis based on the observation results, considering the relationship between the salinity gradient and the iRd. That is, first, when the river discharge is zero (or close to it) and homogenous, no salinity gradient is generated, and the iRd is also zero. On the other hand, as the river discharge increases, the iRd and salinity gradient increase. However, when the iRd exceeds a certain threshold, the half width of the bay, then the river water begins to spread throughout the bay, causing the salinity gradient to begin to decrease. Indeed, large positive values of the salt gradient occurred when the iRd was between 1000 m and 2000 m, while negative salt gradients occurred when the iRd was above 2000 m.

However, there was large variance in the relationship of iRd and salinity gradient, suggesting that the salinity gradient can be influenced not only by river flow but also by other factors. Therefore, we conducted a numerical experiment considering the effect of wind. We examined the positive salt gradient pattern on November 6, 2015. It was founded that northwesterly winds strengthened estuary circulation and increased salt flux from the Pacific. In addition, up / downwelling was enhanced on the north / south coasts, respectively. As a result, a positive salinity gradient reproduced which cannot be reproduced by river discharge alone.

A comprehensive study of the effects of river discharge and northwesterly winds on circulation by conducting many experimental cases showed that the salinity gradient was not monotonously related with river discharge, supporting the above hypothesis. On the other hand, regarding the northwest wind, there was a monotonous relationship that the salinity gradient increased as the wind was stronger.

## References

- Kishi, M. J., Hisashi, N., Takagi, M., Sekiguchi, K., Otobe, H., Furuya, K., and Aiki, T. (2003) : Effect of aquaculture on material cycles in Otsuchi Bay, Japan. *Otsuchi marine science*, 28: 65-71
- Kuragano, T., and Kamachi, M. (2000) : Global statistical space-time scales of oceanic variability estimated from the TOPEX/POSEIDON altimeter data. *Journal of geophysical research*, 105: 955-974
- Otobe, H., Onishi, H., Inada, M., Michida, Y., and Terazaki, M. (2009) : Estimation of water circulation in Otsuchi Bay, Japan inferred from ADCP observation. *Coastal marine science*, 33(1): 000000
- Sakamoto, T. T., Urakawa, S., Hasumi, H., Ishizu, M., Itoh, S., Komatsu, T., and Tanaka, K. (2017) : Numerical simulation of Pacific water intrusions into Otsuchi Bay, northeast of Japan, with a nested-grid OGCM. *Journal of oceanography*, 73: 39-54
- Tanaka, K., Komatsu, K., Itoh, S., Yanagimoto, D., Ishizu, M., Hasumi, H., Sakamoto, T., Urakawa, S., and Michida, Y. (2017) : Baroclinic circulation and its high frequency variability in Otsuchi Bay on the Sanriku ria coast, Japan. *Journal of oceanography*, 73: 25-38

# 大槌湾において風の影響を受けて広がる河川系水

2022年 9月 海洋環境動態学分野 47-206771 金裕竣  
指導教員 田中潔 准教授

キーワード：大槌湾、河川系水、風、地球の自転の効果

## 1. はじめに

日本北東部の三陸リアス式海岸は、さまざまな水塊が出会う複雑な地形が特徴である。大槌湾はその1つで、湾の幅は約2km、長さは約8kmである。

大槌湾では低塩分水は南海岸に存在することが多いが、これは地球の自転の効果が効いている可能性が考えられる。すなわち、地球自転の影響が大きい時、川の水は海岸からロスビーの内部変形半径内に閉じ込められながら、海岸を右側に見て流れることが示唆される。こうした低塩水の循環は、子午線方向に正の塩分勾配パターン（北高塩分、南低塩分）を形成する。したがって、その勾配の空間スケールは、地球の自転による地衡風調整の長さスケールである内部ロスビー変形半径に関連すると考えられる。

また、Otoibe et al. (2009) によると、北西風が河口循環を強化する可能性があり、これは水産養殖に影響を与える物質循環と密接に関連している (Kishi et al., 2003)。したがって、風も湾内の循環の重要な要素である。

Sakamoto et al. (2017) は湾内の循環について、河川、風、および地球の自転の影響を考慮して数値シミュレーションを実施した。その結果、彼らは観測と同様の反時計回りの循環と正の塩分勾配パターンを再現した。ただし、数値シミュレーションで考察した内部ロスビー変形半径の大きさは1000 mから2000 mであったので、実際の大槌湾の内部ロスビー変形半径である300 mから4980 m (例：Tanaka et al., 2017) を全て考察したわけではない。従って、実際の湾には、これまで検討されてきた循環とは別のパターンの循環が存在する可能性がある。

そこで、本研究ではこれまでに無い多くの現場観測データの分析と、まだ検討されていない条件化での数値実験の両方を実施して、風と地球の自転の影響で湾内に広がる河川水の拡がりかたを調べた。

## 2. 材料と方法

海面塩分の分布に注目するために、毎月観測された高解像度の水温と塩分データを使用した。観測変数（水温・塩分）の異方性空間分布を考慮して、Kuragano and Kamachi (2000) が提案した最適内挿法を適用し、格子化された海面塩分の分布図を作成した。

数値実験については、月平均の河川流量と風を評価したものを実験の境界条件として与え、地球の自転効果も考慮して、海洋循環モデルを用いて実施した。

## 3. 結果と考察

従来の理論的考察によれば、地球自転の効果が大きいときは、川の水は北半球では海

岸を右側に見て流れる傾向がある。これは大槌湾では、子午線方向に正の塩分勾配パターンが形成することになる。実際の大槌湾では、そうした正の勾配パターンが形成されることが多かったが、負の塩分勾配パターンが発生した時もあった。

そこで、塩分勾配と内部ロスビー変形半径の関係について、観測結果に基づいて以下のような仮説を提案する。すなわち、まず、河川流量がゼロの場合（もしくはそれに近い場合）、塩分勾配は作られず、内部ロスビー変形半径もゼロである。一方、河川流量が増加するに伴い、内部変形半径と塩分勾配は増加する。ただし、内部ロスビー変形半径が特定のしきい値を超えると、内部ロスビー変形半径が湾の幅を超えて、川の水が湾内全域に拡がるようになるため、塩分勾配が減少し始める。その結果、塩分勾配の大きな正の値は、内部ロスビー変形半径が1000 mから2000 mの間のときに生じる一方、2000 mを超えると負の塩分勾配が生じる。

しかし、この関係（内部ロスビー変形半径と塩分勾配）には大きなばらつきがあり、これは塩分勾配が河川流量だけでなく、別の要因によっても影響される可能性があることを示唆する。そこで、風の効果にも着目するために数値実験を実施した。2015年11月6日の正の塩分勾配パターンのときの北西風の役割を調べると、北西風は河口循環を強化し、太平洋からの塩分フラックスを増加させた。さらに、湾の北海岸/南海岸では、それぞれ上向き/下向きの鉛直流が強化された。それらの結果、河川流量だけでは再現されない、強い正の塩分勾配が再現された。

多数の実験ケースを実施することで、河川流量と北西風が循環に与える影響を包括的に検討したところ、塩分勾配は河川流量とは単調ではない関係があり、上記の仮説を支持した。一方、北西風については、風が強いほど塩分勾配が増加する関係があった。

## 引用文献

Kishi, M. J., Hisashi, N., Takagi, M., Sekiguchi, K., Otobe, H., Furuya, K., and Aiki, T. (2003) : Effect of aquaculture on material cycles in Otsuchi Bay, Japan. *Otsuchi marine science*, 28: 65-71

Kuragano, T., and Kamachi, M. (2000) : Global statistical space-time scales of oceanic variability estimated from the TOPEX/POSEIDON altimeter data. *Journal of geophysical research*, 105: 955-974

Otobe, H., Onishi, H., Inada, M., Michida, Y., and Terazaki, M. (2009) : Estimation of water circulation in Otsuchi Bay, Japan inferred from ADCP observation. *Coastal marine science*, 33(1): 000000

Sakamoto, T. T., Urakawa, S., Hasumi, H., Ishizu, M., Itoh, S., Komatsu, T., and Tanaka, K. (2017) : Numerical simulation of Pacific water intrusions into Otsuchi Bay, northeast of Japan, with a nested-grid OGCM. *Journal of oceanography*, 73: 39-54

Tanaka, K., Komatsu, K., Itoh, S., Yanagimoto, D., Ishizu, M., Hasumi, H., Sakamoto, T., Urakawa, S., and Michida, Y. (2017) : Baroclinic circulation and its high frequency variability in Otsuchi Bay on the Sanriku ria coast, Japan. *Journal of oceanography*, 73: 25-38