

尾駁沼の尾駁川を通じた海水淡水の流出入量

坪野 考樹^{1*}・三角 和弘¹・津旨 大輔¹・芳村 毅²

¹一般財団法人電力中央研究所 環境科学研究所（〒270-1194千葉県我孫子市我孫子1646）

²北海道大学 大学院環境科学院（〒060-0810 北海道札幌市北区北10条西5丁目）

* E-mail: tsubono@cripi.denken.or.jp

尾駁沼および尾駁川において2017年10月から12月8日までの水位および流速を計測し、尾駁沼から海への流出入量について検討を行った。尾駁沼は潮汐影響を受けて、尾駁川を通して海水が流入出しており、M2分潮成分が卓越していた。観測期間を通じた尾駁沼から海への平均流出量は $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$ となり、二又川だけではなく他の小河川からの淡水流入の影響が示唆された。また、潮汐成分を除いた水位・流速の残差成分は大潮・小潮の潮周期で変化することが示された。

Key Words : Lake Obuchi, ADCP, water level, volume transport

1. はじめに

青森県の下北半島の太平洋側の付け根に位置する尾駁沼（図-1）は、尾駁川により北太平洋と接続している。尾駁沼は二又川等から流入する陸水と尾駁川からの潮汐により流出入する海水の影響を受けて、汽水域となっている。汽水域における物質（炭素等）循環を検討するためには、陸水・海水の混合の影響が多いことから、これらの流出入量の把握が重要となる。本研究では、これらの流出入量の把握を目的に、尾駁沼および尾駁川に水位計、および尾駁川に流速計を設置して、水位・流速の計測を実施した。

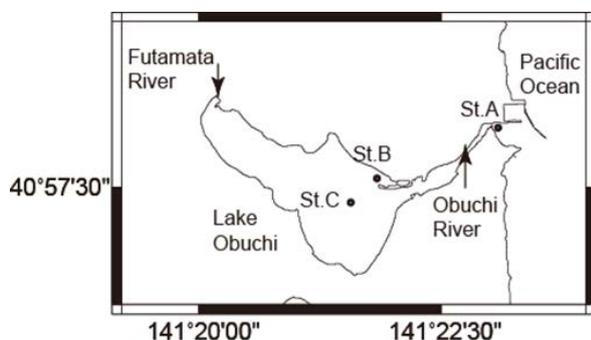


図-1 観測地点（尾駁沼）

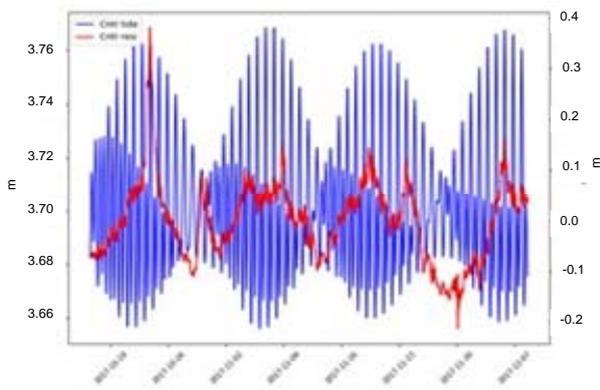
2. 観測の概要

(1) 調査水域の概要

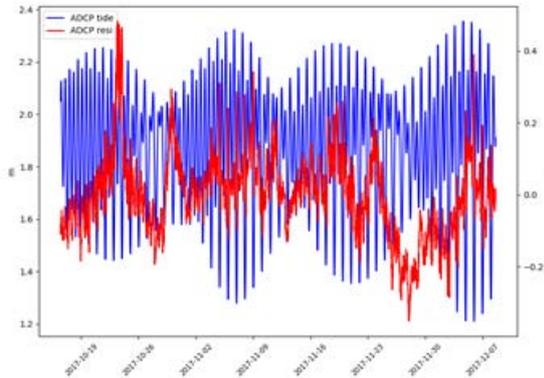
尾駁沼（図-1）は東西に細長い形状を持ち、面積が約 3.7 km^2 と小さく、平均水深 2.5 m （最深部でも 4.5 m ）と浅い沼となっている。尾駁沼の主な陸水の流入河川は湾の最西側に位置する二又川である。また、東側に尾駁川があり、平均的には尾駁沼の水は海側へ流出する。尾駁川の川幅は約 $25\text{--}40 \text{ m}$ であり、尾駁沼との接合部での水深は 1 m 以下と非常に浅い。

(2) 水位観測

水位の調査地点は、尾駁沼中央の水深 4 m の位置（図-1 St. C）、尾駁沼北東岸近く（図-1 St. B）および尾駁川河口付近の川中央位置（図-1 St. A）とした。水位は、自記型水位計（HOBO, U20 水位、水温ロガー）を用いて10分間隔で計測した。St. CとSt. Aの水位計は、アンカー上部に固定して最深部に設置した。ここに、それぞれの設置水深は約 4 m 、 2 m である。St. Bの水位計は、杭を設置して水面下に固定するとともに、大気圧を測定するために、杭最上部にも水位計を設置した。以降で記載する水深は、各水面下で得られた水圧から、大気圧を差し引いた値から得た水深を示す。計測期間は、2017年10月16日12時から12月8日13時まで実施した。



(a) St. C



(b) St. A

図 - 2 水位の潮汐成分 (青) と残差 (赤)

(3) 流速観測

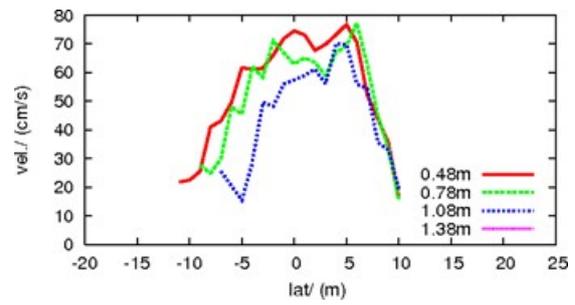
St. Aの最深部において、常に上向きとなるジンバルに ADCP (Teledyne RD Instruments 1,200kHz) を固定して海底設置し、流速の鉛直分布を計測した。計測は水位計の計測時間と同時刻となるように10分間隔で実施し、鉛直方向10cm間隔で実施した。計測期間は、水位観測と同じである。

定点継続測定を実施する前に、尾駱川の横断方向の流速分布を計測した。St. Aを通る川の横断方向にロープを張り、定点継続測定と同じADCPをリバーボートに下向きに設置し、リバーボートを川の両側を往復させることにより、流速の横断面分布を計測した。横断観測は、2017年6月27, 28日, 8月30, 31日4日に実施し、9往復分の流速を計測した。またこの横断観測によりSt. Aを通る水深分布を計測した。

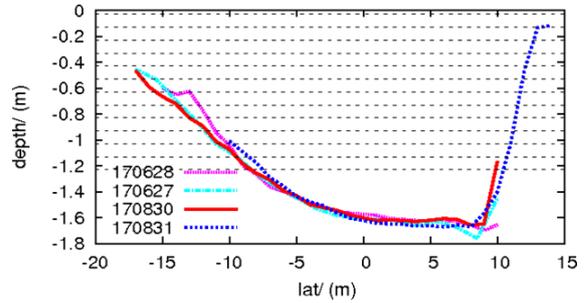
3. 観測結果

(1) 水位

St. Bの大気側に設置した水位計 (水圧計) でSt. C, B, Aの水圧から水位変動 (図 - 2) について、4分潮の調和解析を実施した。振幅は、どの地点もM2分潮がもっとも大きくなり、St. C, Bで約2cm, St. Aで約24cmであった。またM2分潮の位相は、St. Aが水位最大となった後、約



(a) 628の横断観測



(b) 横断ラインの深浅図

図 - 3 尾駱川のライン観測結果 (横軸の負正は横断ラインの南北)

73度 (2時間半) 遅れてSt. C, Bの水位が最大となった。

水位変動の潮汐成分を際し引いた残差 (図 - 2の赤線) は、大潮時に水位が高くなり、小潮で小さくなる様子が見られた。この残差成分をスペクトル解析をしたところ、約13.3日の周期で最大となり、大潮・小潮の潮周期に近い周期で変動していることが分かった。これは、大潮時に、尾駱沼で水位が上昇する傾向を示し、小潮で解消されることを意味する。

尾駱川と尾駱沼の接合部の水深が非常に浅く入り込んだ水が抜け切る前に潮位が上がることで、また尾駱沼と尾駱川の下流の高度差の関係で、このような周期で水位に残差が現れたと考えられる。

(2) 流速

尾駱川の横断するラインが概ね南北方向であったことから、横断方向の東西流速の結果 (図 - 3 (a)) を見ると、流速変化は、横断方向にほとんどなく、鉛直方向にも底面付近を除いて小さかった。また、横断方向の流速観測から深浅測量の結果 (図 - 3 (b)) より、水深は北側で急激に深くなり、その後しだいに浅くなっていた。

St. Aに設置したADCPによる流速の鉛直分布 (図 - 4) を見ると、鉛直方向にほぼ一定となっており、潮汐により順圧的に流れていることが分かる。また、水位が高い時に西向き流れ (尾駱沼に流入)、低い時に東向き流れ (尾駱沼から流出) していた。

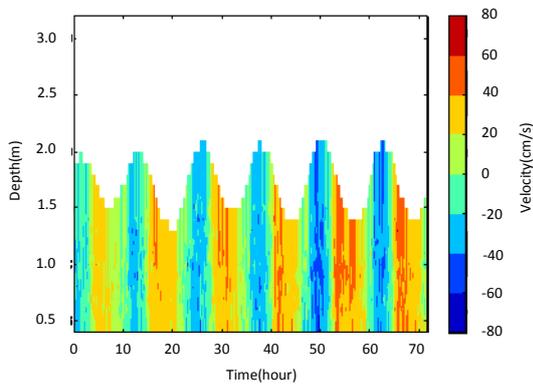


図 - 4 ADCPによる流速結果
(正負は尾駁沼からの流出, 流入)

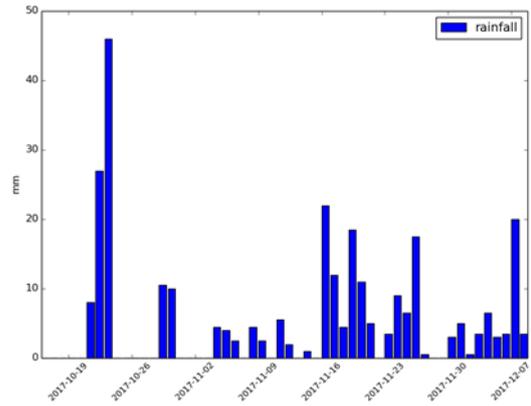


図 - 7 尾駁沼北側の観測期間中の日降水量

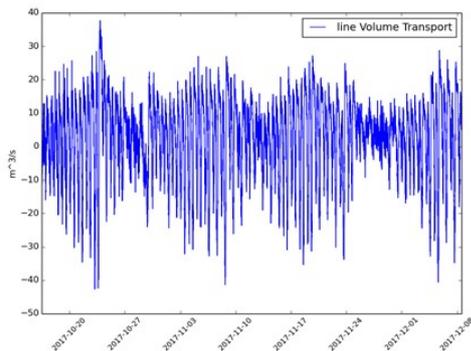


図 - 5 尾駁川の断面通過流量
(正負は尾駁沼への流入, 尾駁沼から流出)

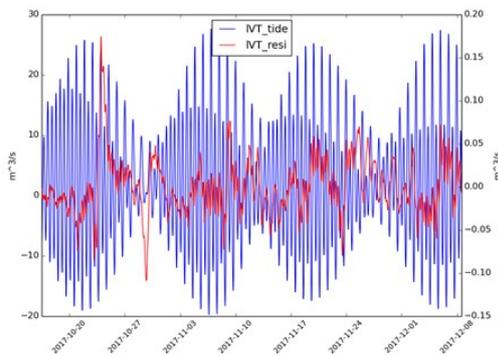


図 - 6 尾駁川の断面通過流量の潮時変化と残差流
(正負は尾駁沼への流入, 尾駁沼から流出)

図 - 4の流速の鉛直分布が横断方向に同じ流速と仮定して、図 - 3 (b)の横断方向の水深結果と組み合わせ、断面通過流量を計算した(図 - 5)。ここに、流速の正(負)は、尾駁沼への流入(尾駁沼からの流出)を示す。水位の解析(図 - 2)と同様に、調和解析を実施した(図 - 6)。通過断面流量の振幅は、M2分潮がもっとも大きくなり、約12.4 m³/sであった。またM2分潮の位相は、St. Aが水位最大となった後よりも約1.2時間はやく尾駁沼への流入が最大となった。

断面通過流量から潮汐成分を差し引いた残差(図 - 6の赤線)の変化は、St. Cの水位の潮汐成分を差し引いた残差(図 - 2の赤線)と同様な変化を示し、相関Rは0.72となった。

調和解析と同時に平均流量を計算したところ、尾駁沼から海への流出量は約2.7 m³/sとなっていた。

4. 考察

(1) 平均通過断面流量

通過断面流量の平均値は、尾駁沼から海へ流出する量が約2.7 m³/sとなっていた。植田ら(2002)によると、尾駁沼の湾奥部に位置する二又川の1998年4月から1999年3月の年平均流量は0.9 m³/sとなり、月毎平均流量は、10月に最大となり、1.9 m³/sとなることが示されている。また、この10月の月降水量は294mmであることも示されている。

尾駁沼の北側に位置する公益財団法人環境科学技術研究所の敷地内の観測期間中における日降雨量(図 - 7)をみると、10月20日から22日に大きな降水量があったが、日平均流量の30日間分は160mmであった。植田ら(2002)の月降雨量と比較して、今回の観測期間中の降雨量が小さかったにもかかわらず、今回得られた断面通過流量は、植田らが示した二又川の流量よりも大きくなった。これは、尾駁沼に流入する河川は、小さいながらも二又川以外にいくつか存在することから、これらの寄与があったものと考えられる。このことから、今回得られた尾駁川を通した平均流出量は、尾駁沼に流入する淡水量を表すことから、尾駁沼に流入する淡水フラックスを検討する上で有用な結果であると考えられる。そして、植田らは、二又川の流量が、年間で0.4(5月)から1.9 m³/s(10月)と変化することを示しており、今回の検討結果が2017年の10月から12月の結果であることから、今

後、他期間の尾駱沼の通過断面流量の平均値を計測することが重要となると考えられる。

ADCPによる流速計測（二瓶ら，2008）では，ADCPの音波を放出する面より下部の流速が計測出来ず，水表面・底面付近において流速データに異常値が生じることが報告されている。今回はそのような異常値について考慮せずに，ADCPが計測できる最下層の流速を計測出来なかった水深の流量として流量を計算した。

試算として最下層（この位置の変動が大きい）に一つ上の計測層の流速値に入れ替えて，さらに水面から3つ目までの層の流速値を，水面から4つ目から7つ目の流速値の中央値に入れ替えて流量を計算したところ（図4はこの結果），平均流出量は約2.7 m³/sとなり，潮汐成分のみが約1割程度大きくなった。4つの層を入れ替えて流量を計算した結果とそのままの結果がほとんど変化しない結果となったが，異常値がホワイトノイズとして表れているため，平均操作で得られる平均値や潮汐成分には変化が無かったと考えられる。

二瓶ら（2008，2010）では，鉛直流速について，異常値や欠測値の補間に，流速のべき乗則に当てはめて流量値を算定する方法を提案しており，これにより得られる流量がよい推定値を得られていることを示している。今後この手法を採用し，断面観測および連続観測の結果の当てはまり具合や流量推定を実施する必要があると考えられる。

（2）潮周期変動

水位および流速の平均と潮汐成分を差し引いた残差成分のスペクトルが最大となる周期が13.3日程度となり，潮周期（14.8日）と同程度の周期で変動していた。残差成分のスペクトルのうち13.3日が最大となり，これは潮周期よりも小さいが，これは時系列が短いためと考えられる。尾駱沼の水位が潮周期で変動していることについては，尾駱川と尾駱沼の接合部が狭く，さらに浅いために海との交換においてボトルネックになっており，大潮時の満潮時で海から尾駱沼に流入した水が干潮時において完全に抜けきらず，次の満潮時に海から流入することが原因と考えられる。植田ら（2002）は，潮汐成分と尾駱沼の塩分躍層の特性について検討しているが，潮周期

について検討しておらず，また，今回の観測期間が十分ではないため，さらなる観測が必要と考えられる。さらに，残差成分の時系列（図-2，4）をみると降水量（図-7）と関係性が見られ，特に10月20日前後は正の関係が見られることから，潮周期および降水量を用いて残差成分を評価できると考えられる。このことについても，他期間の観測結果と合わせて実施する必要があると考えられる。

4. まとめ

尾駱沼・尾駱川において2017年10月から12月8日まで，水位および流速を計測し，尾駱沼から海への流入量について検討を行った。尾駱沼は潮汐影響を受けて，尾駱川を通して海水が流入出しており，M2分潮成分が卓越していた。尾駱沼から海への平均流出量は2.7 m³/sとなり，二又川だけではなく他の極小河川からの淡水流入の影響が示唆された。水位および流速の時系列から潮汐成分を差し引いた残差成分は，大潮・小潮の潮周期の影響が示唆され，大潮時に海から尾駱沼への流入する様子が見られた。

謝辞

本調査を進めるにあたり，日本エヌ・ユー・エス株式会社の服巻辰則様，株式会社セレスの前田義明様，川芳昭様に観測を実施していただきました。また，環境科学技術研究所の植田真司様に気象観測結果を提供していただきました。心より厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 植田真司，川端一史，久松俊一，稲葉次郎，細田昌広，横山瑞江，近藤邦男：陸水学会雑誌，63，125-134，2002
- 2) 二瓶泰雄，色川有，井出恭平，高村智之：超音波ドップラ一流速分布径を用いた河川流量計測法に関する検討，土木学会論文集B，64，99-114，2008.
- 3) 二瓶泰雄：ADCPやH-ADCPによる河川流量計測，河川流量観測の新時代，1，25-33，2010.