

46. 出水時・非出水時における阿武隈川河口での栄養塩濃度特性

Nutrient Density Characteristics in Flooding and Nonflooding Flow at the Abukuma River Mouth

金野 修* ・ 真野 明*
Osamu KONNO*, Akira MANO*

ABSTRACT ; Terrigenous nutrients and turbidity transported by rivers are important sources to affect the water quality in the neighboring coastal area. However the behavior near river mouths are not well known because of the physical and chemical influences by seawater intrusion. To get better understandings of the behavior, this study executed field observations at the Abukuma River mouth. The measurements show a thin mixing layer on the saltwater wedge, the change of the thickness by the intrusion distance and the tidal phase, and the distributions of turbidity having peaks near the mixing layer. Major part of nitrogen and phosphorus during flood is found in fine particles in the flow.

KEYWORDS ; river mouth, nutrients, mixing

1.はじめに

近年、沿岸域における富栄養化が問題となっているが、河川からは、集水域の農耕地、工場排水、家庭排水、などから窒素やリン等の栄養塩が供給される。河口感潮域においては上流から供給される栄養塩の流動は塩水遡上の影響により複雑になり、どのような挙動を示すのかについてよく知られていない。本研究は、阿武隈川河口部の流動、塩水混合、栄養塩の挙動、また出水時・非出水時でこれらがどのように異なるのか調べることを目的とし現地調査を行ったものである。対象河川の阿武隈川は、流域面積 5,400km² をもち仙台湾に注ぐ 2 番目に大きな川であり、湾域に対する水や土砂などの流入が最も大きい川である。塩水は、最大で河口上流 11km まで遡上するが、通常は河口 10km 地点にある阿武隈大堰によりせき止められる。阿武隈川は河口近くで左右に蛇行しており、滞筋はさらに大きく蛇行するため、平面形状、横断形状、縦断形状とも複雑で、河口砂州による急拡と合わせて海水混合の要因となる。図 1 に阿武隈川河口周辺図を示す。

濁質や栄養塩については高橋¹⁾が阿武隈川中流域や上流域において浮遊土砂量と流量の関係や T-N, T-P の特性について報告している。小田²⁾らは濁質のフロック形成による沈降について報告している。

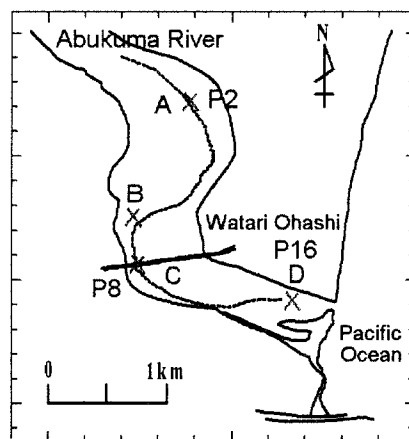


図 1 阿武隈川河口周辺図

*東北大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Tohoku University

2. 調査方法

2.1 流動調査

観測は大潮を選び1999年11月6日と同23日に行った。流動調査は23日の上げ潮時と高潮時に行い、滞筋方向に測線を設け、船の側舷に ADCP を設置し低速で走らせ、流速の鉛直及び水平方向の分布を測定した。また水質観測を6日の上げ潮時と高潮時、23日の上げ潮、高潮、下げ潮時に行い、塩分濃度 (psu : practical salinity unit), 水温 (°C), 濁度 (mg/l), クロロフィル ($\mu\text{g/l}$) の各項目の鉛直分布を16ヶの測点(P1~P16)を設け各測点で船を止め、測定器を下ろしながらメモリーに記憶させた。河口砂州の沖にはテラス地形が発達していて、その上では波が砕けていることから、船が砂州から外に出ることは危険であり、河口最小開口部付近が最も沖側の観測点となる。また上流は浅くなっているため、河口から5km付近までを観測範囲とした。

2.2 出水時の水質調査

観測は出水時(2000年7月8日の台風時)に亘理大橋において行い、また台風から一週間後(7月15日の大潮)に図1の(A)~(D)で定点観測を行い、それぞれ採水による水質分析をした。調査を行った項目はSS(mg/l), 塩分濃度(psu), T-N(mg/l), 無機態窒素(硝酸性窒素, 亜硝酸性窒素, アンモニア性窒素), T-P(mg/l), 無機態リン(mg/l)である。8日の観測は午前8時から1時間おきに18時まで11回行い、各観測時刻において河床近くと水表面近くの2つの深さで採水を行った。15日の観測は下げ潮時, 干潮時, 上潮時, 高潮時に行いそれぞれ水表面付近, 河床付近, またこれらの中間付近の採水を行った。

3. 結果

3.1 流動特性

図2に滞筋上の上潮時と高潮時の流速分布を示す。横軸は測線に沿った河口からの距離で、縦軸は水面からの深さを表している。また流速は測線に沿う方向の成分を示し海に流出する方向を正としてある。上潮時には河口距離150m以上で陸側に向いて流れているが、それより河口よりでは冲向きの流れとなっており位相がずれている。高潮時になると河口付近の広い範囲で下層塩水層は河口外に流出するのがわかる。全体に流速は小さくなり止りかけているが、1250m付近では上流に向かう流れがある。

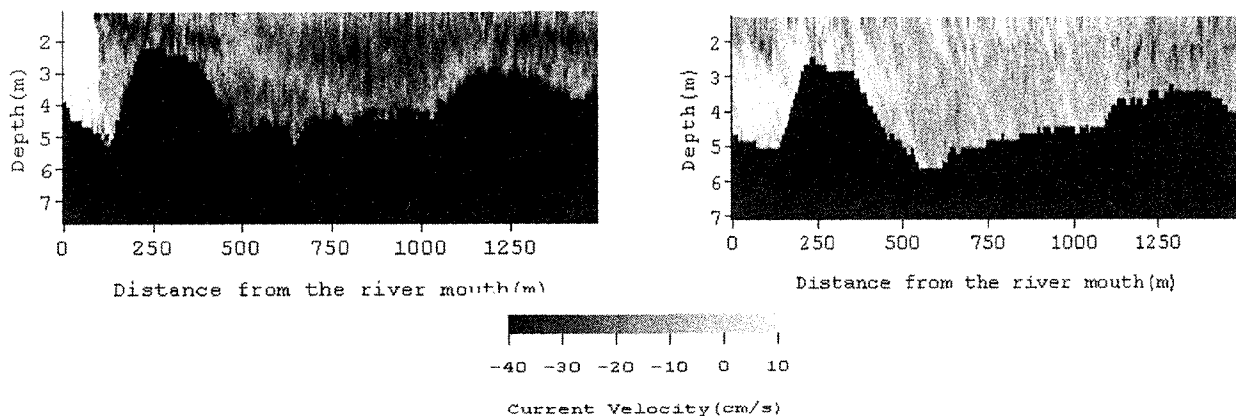


図2 滞筋に沿う流速分布 上潮時(左) 高潮時(右)

3.2 塩分濃度と混合の特性

図 3 に河口近く(P16)、中地点(P8)、上流地点(P2)での各位相の鉛直塩分濃度分布を示す。横軸の単位は psu である。縦軸は各位相での水面からの深さである。上潮時に河口近くでは薄い混合層が形成されており、弱混合で海水が侵入していることが分かる。中地点では混合層が厚くなり、数個の階段状の混合層が見られる。この地点は滞筋の曲がりの変曲点近くにあり、河口から見ると浅瀬を越えた地点である。混合層における階段状の分布は地形的な影響によるものと考えられる。上流地点では混合層は再び薄くなり、最高塩分濃度も下がっている。階段状分布の上の部分が逆上してきた分布と考えることができる。

高潮時になると河口近くでは混合層が急に厚くなる。この時下部は沖向きに流れており、混合層下面が低下して混合層が厚くなっている。中地点では、混合層の厚さは変わらないが、混合層全体で濃度が高くなり、段も明瞭になる。上流地点でもほぼ同様の傾向が見られる。引潮時には、河口で再び混合層が薄くなる。中地点では、階段状の分布が消え、上部は鋭い濃度変化をし、下は緩やかに変化する。上流地点では、濃度分布は上潮時のものに近くなる。

混合層の厚さに注目し、上から下までの濃度変化の 10%の点を混合層上縁(upper), 90%の点を混合層下縁(lower)とし、各位相でのこれらの量の空間的な変化を図 4 に示す。上潮時には上流に向かって混合層がほぼ単調に厚くなっていることが分かる。この中でも特に浅瀬を過ぎる P6 付近では、急に厚くなっており地形の影響で混合が進んだものと考えられる。高潮時や下潮時には、混合層厚の空間的な変化は単調でなく、流れの影響による移流効果が複雑に現れているものと考えられる。

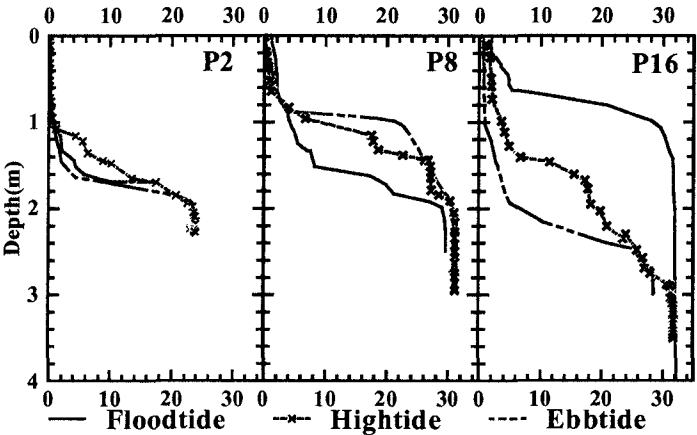


図 3 塩分濃度分布

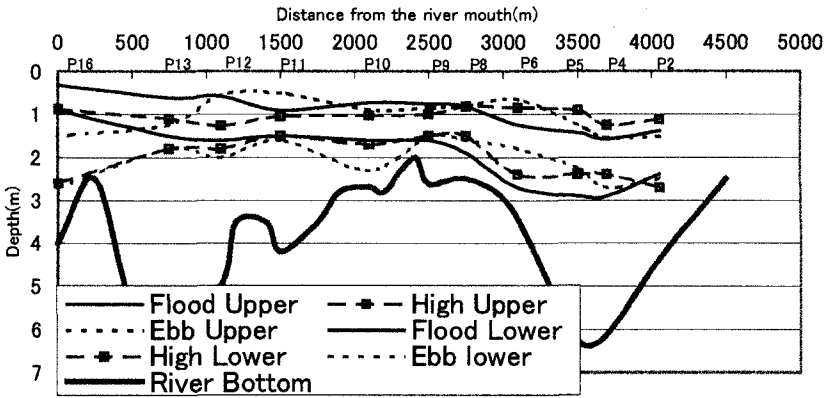


図 4 各位相における混合層の空間分布

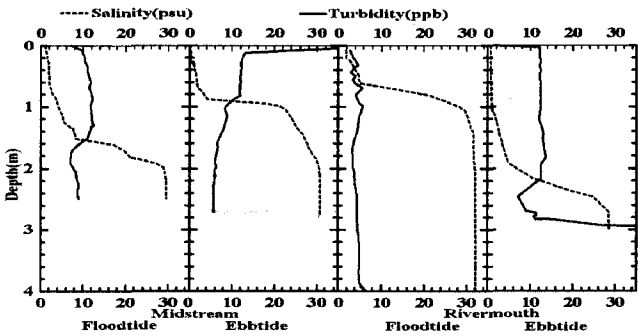


図 5 濁度と塩分濃度分布

濁度と塩分の同時分布を図 5 に示す。縦軸に水面からの深さ(m)を表し、横軸はそれぞれ濁度(ppm)と塩分濃度(psu)を表す。濁度は上層の方が下層より値が大きく、また上層では一様な値を示す。界面の中央部にピークが見られその後値が減少し、河床付近で再び増加する。濁度は河川からのものであり上層ではよく混じっているために一様な値を示し、ピークが現れるのは界面付近に沈降するためと考えられる。

クロロフィル a と塩分の同時分布を図 6 に示す。クロロフィル a は海水の方が濃度が高く、海水起因と考えられる。塩水混合層の中の分布は複雑である。濁質、クロロフィル a に共通して界面付近でピークが見られる。

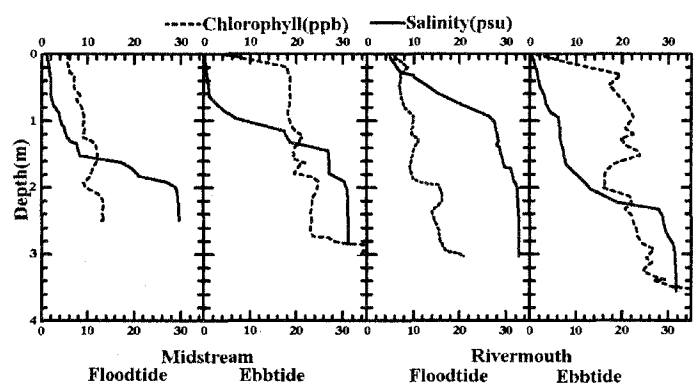


図 6 クロロフィル a と塩分濃度分布

3.3 台風出水時における水質特性

図 7 に 7 月 8 日の出水時の岩沼流量観測所の流量 $Q(m^3/s)$ と $SS(g/l)$ の経時変化を示す。流量は徐々に増加していくのに対して SS は 12 時頃に急増している事がわかる。また 15 時以降は流量が増加するのに対して SS はやや減少している。

7 月 8 日の亘理大橋におけるサンプルで塩分は全く検出されなかった。このことより今回の出水時には塩水の先端は押し流され亘理大橋より下流に位置するもしくは全く遡上していなかったことがわかる。

図 8 に 7 月 8 日における T-N(mg/l) と無機態窒素 (IO-N: mg/l) [硝酸性窒素, 亜硝酸性窒素, アンモニア性窒素の総量] の経時変化を示す。ここで無機態窒素は $0.45 \mu m$ のフィルターを通過した分の溶解性窒素とした。T-N に対して溶解分である無機態窒素の割合が少ないため窒素はそのほとんどが濁質に付着する形で存在している事がわかる。図 7 と比較して観測開始時刻から 10 時までは低濃度の SS (g/l) に対して T-N が高い値を示すが、11 時以降は SS と T-N の増減に相関が見られる。これにより 10 時以前と 10 時以降では出水に含まれる濁質の種類が違うものと考えられ 10 時以前の濁質にはそれ以降の濁質より窒素が多く付着している。

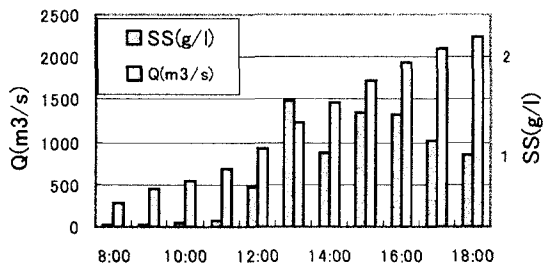


図 7 出水時の SS と岩沼における流量の経時変化

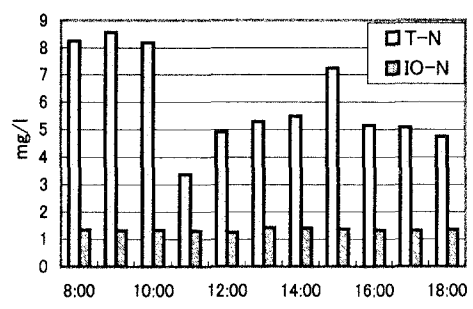


図.8 出水時 Total-Nitrogen と Inorganic Nitrogen の経時変化

同様に図 9 に 7 月 8 日における T-P(mg/l) と無機態リン(IO-P: mg/l)の経時変化を示す。T-P が時刻によって大きく変動するのに対して無機態リンにも変動が見られる。T-P に対して無機態リンは 10%弱であり、窒素同様に多くが濁質に付着している。

図 10 に 7 月 15 日の調査における塩分濃度(%)と T-N(mg/l)の分布を示す。T-N は塩分濃度が増加するにつれ徐々に減少するという相関が見られた。これは河口近くで塩分濃度が高くなるとフロックの形成により SS が減少し T-N が少なくなるためと考えられる。一方 T-P に関しては塩分との相関はほとんど見られなかった。

図 11 に無機態窒素を構成する硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素それぞれの占める割合を示す。図 11(a)は出水時 7 月 8 日 13 時のものである。(b)、(c)は非出水時 7 月 15 日のものであり(b)は B 地点水面付近、(c)は D 地点のもので下げ潮時のものである。共に塩分がほとんどないサンプルである(a)と(b)を比べると出水時のものは無機態窒素のうち硝酸性窒素の量が少ないためアンモニア性窒素の割合が大きくなるものと考えられる。また非出水時の地点が違う(b)と(c)を比較すると河口付近(c)で塩分の影響を受ける場合では、硝酸性窒素の量が減少しアンモニア性窒素や亜硝酸性窒素の割合が大きくなるものと考えられる。

図 12 に出水時 12 時の粒径加積曲線を示す。横軸は粒径を縦軸は体積百分率を表す。出水時の粒径については 8 時から 10 時までは水表面のサンプルと深さ 3m のサンプルとを比較して分布に違いが見られ、深さ 3m のものの方が粒径がやや大きくなっていた。11 時以降のものは水表面と深さ 3m の粒度分布はほぼ等しくなり 20 μ m 位の粒径が最も多く平均粒径も 20 μ m 付近である。水表面のものは 10 時のものから 18 時まで、深さ 3m では 11 時以降はほぼ同じ分布を示した。平水時は上流から河口へ向かうにつれて徐々に粒径が大きくなる。これは塩分濃度増加によるフロック形成のためと思われる。台風時のものと平水時のものを亘理大橋において比較すると、台風時のものは平水時における河床付近のものとの粒度分布に近かった。

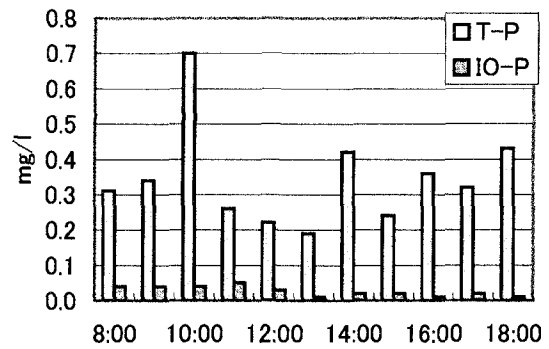


図 9 出水時 Total-Phosphorus と Inorganic-Phosphorus の経時変化

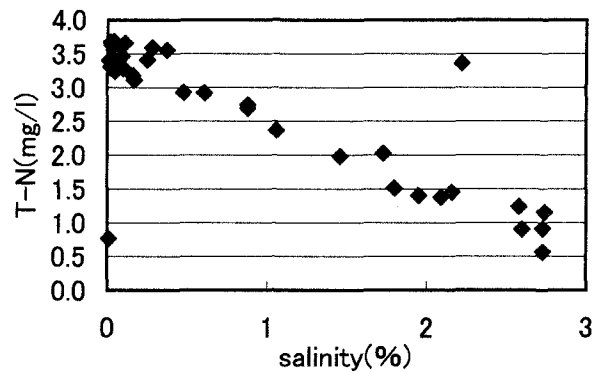


図 10 非出水時塩分濃度と Total-Nitrogen の分布

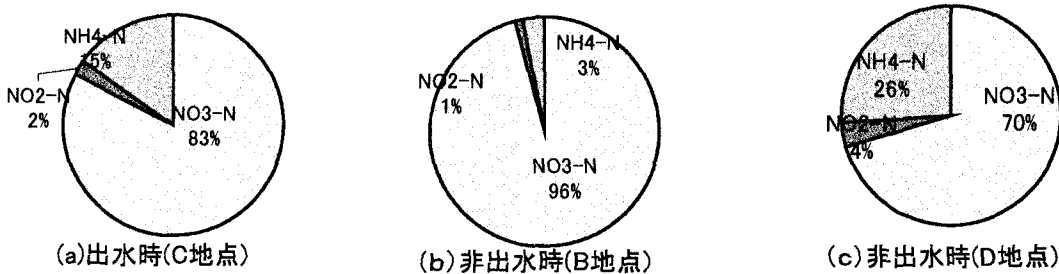


図 11 出水時・非出水時の無機態窒素の構成

4. 結論

阿武隈川の塩水侵入は、塩水楔に近い形で起こり、地形による混合がみられる。また、河口近くと遡上先端付近で位相差があり、高潮時や下潮時には混合層は複雑な分布になる。濁度分布やクロロフィル a の分布は塩水混合に関係した分布となっている。また台風出水時には採水による水質分析を実施し窒素、リンの形態について調査を行った。窒素やリンなどの栄養塩類の輸送形態は、微細土粒子等濁質の表面に付着しているものが多く、また出水時には性質の違う濁質を伴う流出が見られた。窒素濃度と塩分濃度の間には相関が見られた。

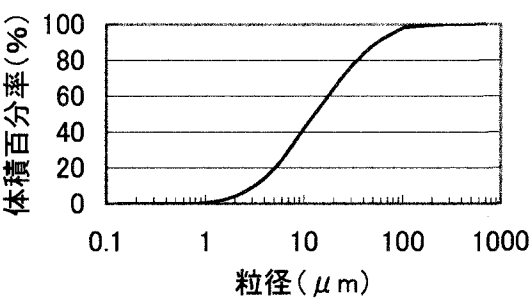


図 12 出水時 12 時における粒径加積曲線

謝辞: 本研究を行うにあたり貴重な資料を提供していただいた国土交通省東北地方整備局仙台工事事務所に深く感謝いたします。

参考文献 :

1) 高橋迪夫 : 阿武隈水系ダム流域における洪水時の土砂輸送と汚濁負荷の特性, 平成 11 年度河川整備基金報告書, pp11-22, 2000.

2) 小田一紀・宋元平・芝村圭・農本充 : 塩水中における微細土粒子の凝集・沈降過程に関する研究, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp981-985, 1999.