

# 阿武隈川における出水時の水質特性に関する検討

## Water Quality Conditions of a flood in Abukuma River

長林久夫\*・真野明\*\*・小林紀幸\*\*\*

By Hisao NAGABAYASHI, Akira MANO, Noriyuki KOBAYASHI

### 1. はじめに

河川における物質輸送は海域をも含む広範囲の領域における水質特性を特徴づけるものであり、物質輸送現象を定量的に評価するシステムを構築することは水質の維持、管理及び制御において重要である。流路延長の長い河川においては種々の物理量の輸送過程が存在しており、例えば出水時の土砂や濁質は主として流域や河道に堆積した非点源負荷の影響が大きく、平水時及び退水時は点源負荷が主体的な役割を演ずること推定できる。さらに本川における水質状況は支川の特性を反映するものであり、これらの物質輸送を検討するためには広領域を対象とした検討が望まれる。本研究は河川における濁質や栄養塩の輸送過程を定量的に評価するシステムを構築することを目的としており、流域を一環とした物質輸送を計測する体制を設け出水時の観測を実施した。1 出水の事例ではあるが阿武隈川における出水時の物質負荷特性と水質項目間の相関関係さらに支川の流入考慮した栄養塩輸送の検討を行いその特性について述べる。

### 2. 流域と計測の概要

阿武隈川は流域面積 5400km<sup>2</sup>、流路延長 239km であり、福島県西白河郡朝日岳（1853m）を源流として、白河市、須賀川市、郡山市、二本松市、福島市、角田市を経て宮城県亘理の仙台湾へと注いでいる。流域および計測地点の概要を図-1 に示す。本川上にある○番号印は計測地点であり、①の岩沼を除いて下流側より白石川、広瀬川など比較的大きな支川が合流する地点を測点に定めて、支川と本川にて採水を行った。対象は1996年9月22日から23日にかけての台風17号による出水<sup>1,2</sup>である。計測は、計測点①から⑤までを東北大学、計測点⑥から⑨までを日本大学が担当した。各計測点では、橋梁上から深度計付きの採水機<sup>3</sup>にて水深を変えて2ないし3点で採水をする。特に、計測点①の岩沼と⑦の阿久津は出水の増水期から低減までの水質の時系列変化を観測するための定点とした。残りの地点はピーク流量時の水質の空間分布特性を対象としたもので、上流から下流に向かって計測する移動観測点とした。採水の水質試験項目はT-N、T-P、BOD、SSで分析法は上水道試験法にもとづいて行った。それにECとpHを計測している。



(○番号印は計測点を示す)

図-1 阿武隈川流域概要

キーワード：阿武隈川、出水、流域、物質輸送、kinematic-wave

\*日本大学工学部 助教授 (〒963-8642 郡山市田村町徳定中河原1, nagabaya@civil.ce.niohn-u.ac.jp) , \*\*\*日本大学大学院工学研究科

\*\*東北大学大学院工学研究科 教授

### 3. 結果および考察

#### 3.1 阿武隈川の出水特性

台風 17 号による阿武隈川における本川と支川の流量の推移は図-2 のようであり、上流の白河では 22 日 20 時頃から出水は低減傾向となるが、その他の流量観測点では同日 22 時頃にほぼ同時に流量ピークを向かえる。また最下流の岩沼では 23 日 5 時頃がピークである。この出水は福島から下流の支川の流出が早いのが特徴である。最大流量は阿久津で約 1000  $\text{m}^3/\text{s}$ 、岩沼では約 2000  $\text{m}^3/\text{s}$  であり、阿久津では高水敷を 2m 程度越えた中規模の出水であった。

#### 3.2 負荷特性の検討

定点観測における阿久津と岩沼の水質項目の時系列特性を図-3 に示す。図-3(a) の阿久津における物質濃度は減水期に比べて増水期が高く、洪水時に観測された他の河川における濁度や SS の傾向と同様な過程を示している。例えば、T-N、T-P は濃度に約 6 倍程度の差はあるもののその時系列的な推移はほぼ同様な変化過程を示し、流量のピーク以前に最大値を迎えている。また、図にはないが BOD は低減期間の減衰率が T-N に比較して若干早いものの、変化の過程は T-N の変化特性に類似している。

一方、図-3(b) の岩沼では T-N、T-P、SS 濃度ともに出水初期に高い値を示すがピークに向かって減少し、ピーク直後に再び増加を示し 9 月 23 日 11 時頃に第 2 のピークを有しており阿久津とは異なる分布傾向を示している。

出水期間中に阿久津と岩沼の 2 地点を流下したの総負荷量は物質濃度に流量を掛けて 1 時間当たりの負荷量を求めて出水期間中について積分したもので、阿久津では T-N が 180t、T-P が 50t、そして岩沼では T-N が 790t、T-P が 210t 程度であると推定された。

移動計測における水質項目の空間分布特性を図-4 に示す。この計測は流量ピーク時における各地点の水質の空間分布特性を対象にしたものであるが、移動計測のために開始から終了までの時間差は上流では 6 時間、下流では 8 時間を要しており、下流の計測点③、②、①では流量の低減期における計測となった。その結果特に本宮と福島の間で濃度変化が認められ、本川河道上にある連続した 2 つの低ダムからの高い物質フラックスであることが推定される。

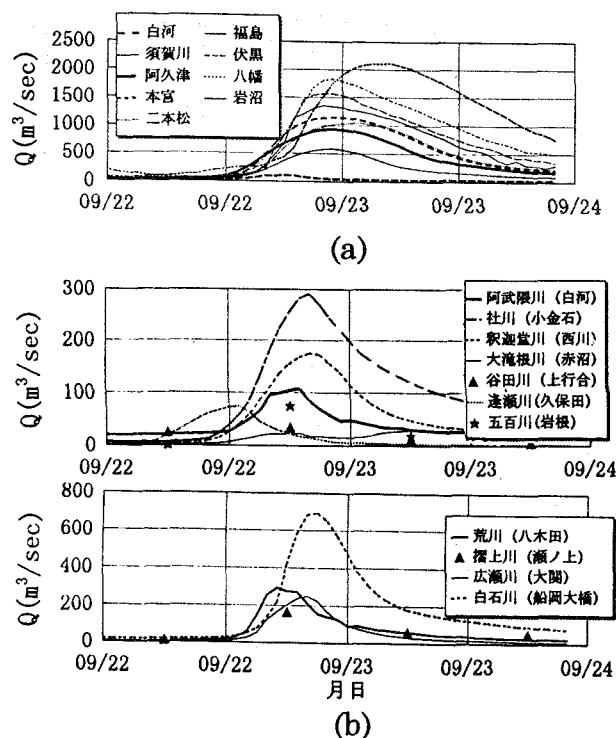


図-2 台風 17 号による出水特性

(a) 本川, (b) 支川

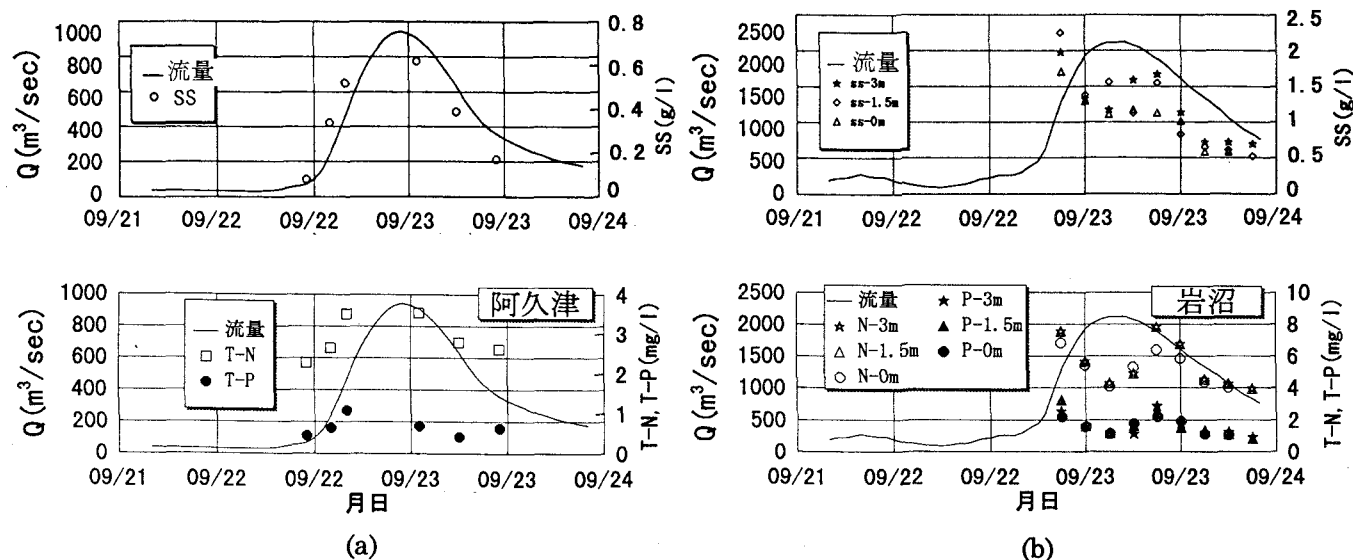


図-3 流量と SS、T-N、T-P の時系列変化

(a) 阿久津, (b) 岩沼

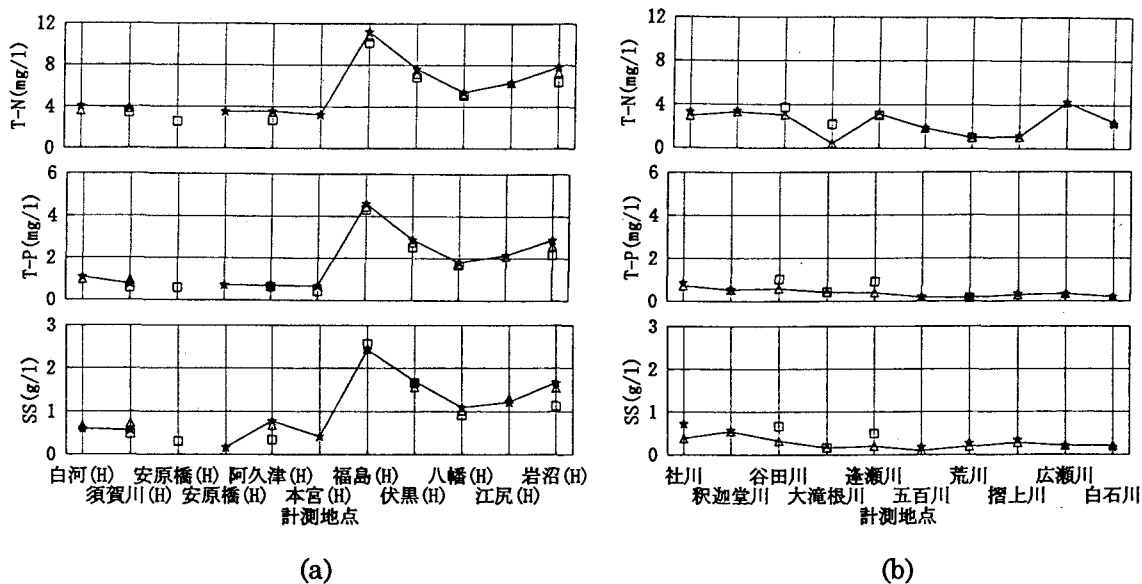


図-4 ピーク流量付近における物質空間分布特性 (a) 本川, (b) 支川

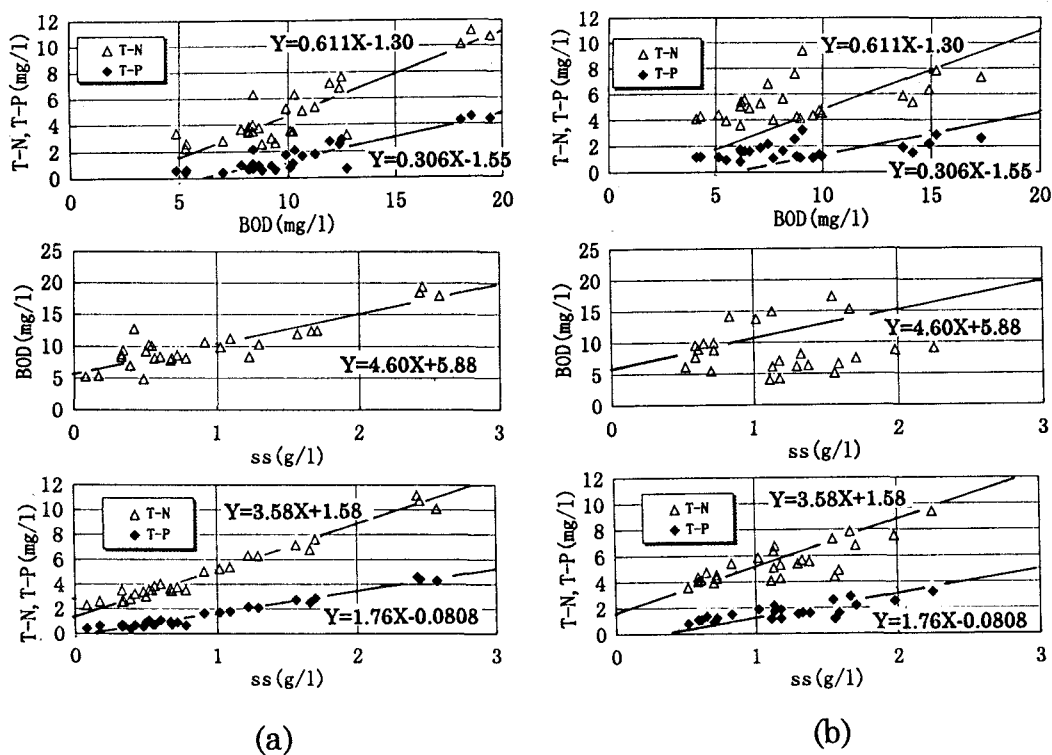


図-5 水質項目間の相関関係 (a) 岩沼を除く本川, (b) 岩沼

### 3.3 水質項目間の相関

出水時の水質項目間の相関関係を図-5 に示す。図-5(a)は岩沼を除く本川上のものであり、T-N、T-P に対する SS との相関関係がもっとも高く、ついで BOD に対する T-N、T-P の相関が認められた。高い濃度は福島でその次が伏黒地点であるがこれらの濃度もこの相関に従っている。図-5(b)は岩沼のみを抽出したものであり、T-N、T-P と SS および BOD と SS において図-5(a)の回帰線より下方にはずれるもの、さらに T-N、T-P と BOD の関係では回帰線を上回る分布がみられている。この範囲の値は図-3(b)において増水につれて濃度が減少した22日21時から23日6時の間のものであり、SSに比較してはT-N、T-PそしてBOD濃度は低く、BOD濃度に対してはT-N、T-P濃度が高い傾向を有している。そして、その後の流量低減期の濃度は再び本川の相関関係に再なることが確認された。

次に支川における水質項目間の相関関係を検討する。これらは河川の周辺環境により固有の関係を有することが期待され、洪水期の特徴を示すものとして重要である。図-6 のように須賀川上流(社川, 釈迦堂川)と郡山(大滝根川, 谷田川, 逢瀬川, 五百川)そして福島下流(荒川, 摺上川, 広瀬川, 白石川)の3地域に支川の特徴を大別し、SS と T-N, T-P では須賀川上流と郡山が本川の相関式に適合している。しかし福島下流はこの関係を下回る傾向が認められた。これより、図-3(b)の岩沼における第1ピーク後の濃度の減少期には福島より下流の支川の影響が強いことが示唆される。

### 3.4 水質特性に及ぼす本川河道上にある低ダムの効果の検討

ダム湖や貯水池への濁水の流入や貯水池内部の挙動については多くの事例が報告・検討されている。しかし、流域を一環とした場合の物質輸送に関するダム湖や貯水池の効果については良く把握されていない。福島県は定期的な水質観測を県内の標本点にて定期的実施している。平水時の阿武隈川における水質の過去4年間の平均<sup>9)</sup>を図-7に示す。SS と T-N の負荷は白河から郡山へと都市域において次第に増加している。しかし、本宮と福島の間では負荷の減少が見られている。その時の支川の状況は図-8 のようであり、移川や女神川は水量が少なく、濃度を低下させるほどではない。したがってこの間における負荷の減少はダムによる沈降効果を示すと考える。一方、T-N はダムを通過しても濃度はさほど減少しないことが平水時の負荷の特徴である。

さらにダム底質のSSに付着する栄養塩を調査したものを図-9に示す。これよりT-N/SSは3.5から4.0 (mg/l/g/l)であり、図-5(a)のウオシュロードに含有される栄養塩濃度より若干低い値を示す。ちなみに、福島から八幡までの間におけるSSの低下は八幡付近にある狭窄部においてせき上げによる沈降作用であることが著者のひとりによって試算<sup>10)</sup>されている。ここではT-N, T-P も共に減少しており出水時の物質輸送機構の特性を示すものとして重要である。

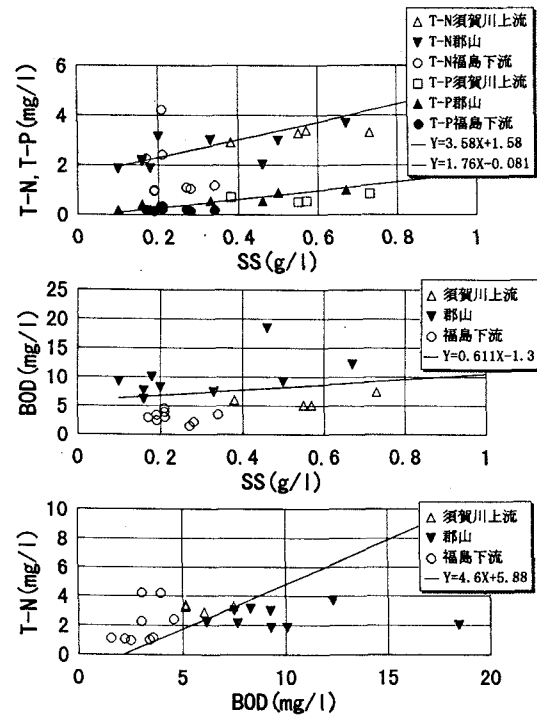


図-6 支川における水質項目間の相関関係

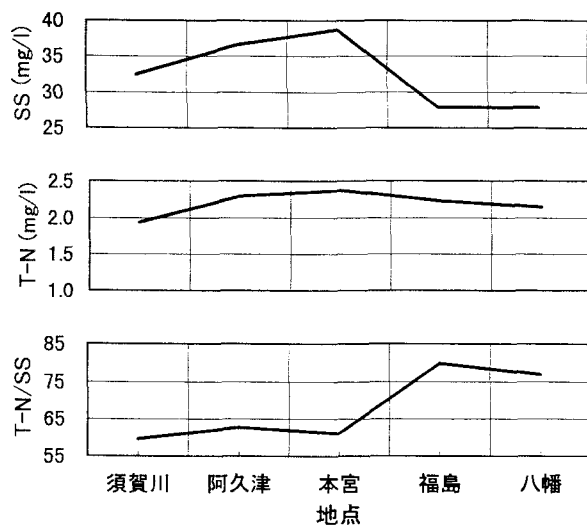


図-7 平水時における阿武隈川水質分布(福島県)

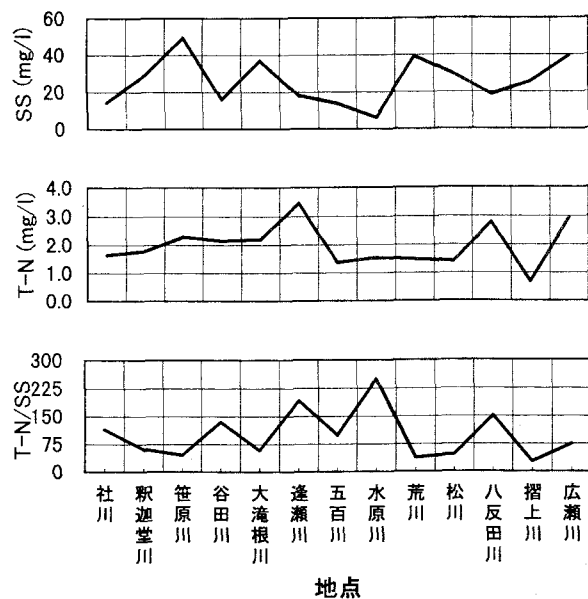


図-8 平水時における支川水質分布

### 3.5 Kinematic-wave 法を用いた水質時系列分布の検討

本出水の岩沼における栄養塩の時系列分布は特徴的な傾向を示している。これは、流域の負荷状況と河道特性によるものであるが、この分布を特徴づける直接的な要因は見あたらない。そこで、河道を簡略な形状にモデル化して Kinematic-wave 法による T-N 分布の解析を試みた。河道断面に広長方形を仮定して、洪水の移動速度  $\omega$  を Kleitz-Seddon に従い  $\omega=5/3v$  で与えた。支配方程式を次式に示す。

$$\frac{1}{\omega} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

ここで  $x$ : 流下方向距離,  $t$ : 時間,  $Q$ : 流量,  $\omega$ : 洪水波の伝播速度である。流量計算は阿久津の実測データを初期条件として、流れに等流を仮定して Mannig 式より平均流速を求めて、式(1)により計算を行った。支川合流部では時間に対応して実測流量を加えたが、時間流量のない五百川、摺上川等の支川には近似的な流量分布を与えた。さらに流量の移流に対応して物質も同時に輸送されるものと仮定して、T-N の時系列特性を推定した。T-N の初期濃度は阿久津の分布を補間して求めた。各支川の T-N の時間分布は得られていないので、移動観測の流量に対する阿久津における濃度の割合を求めて流量ピークまでの時間差により、阿久津の無次元分布に対応させて換算した。ダムから排出される T-N

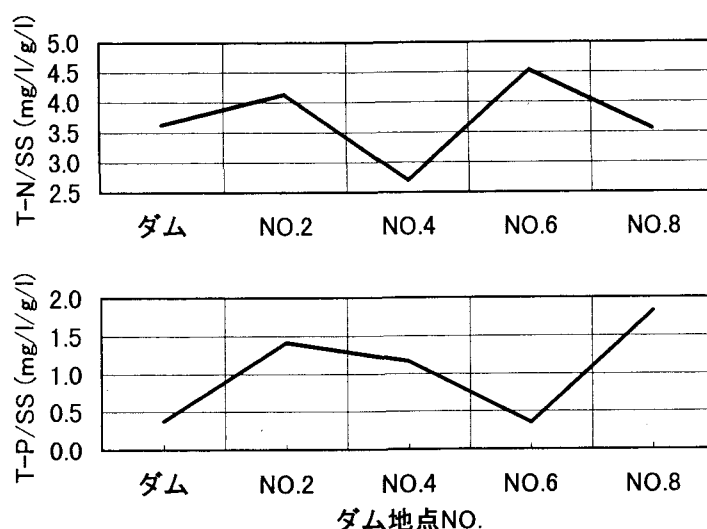


図-9 本川河道上ダムの底質物に付着する栄養塩分布

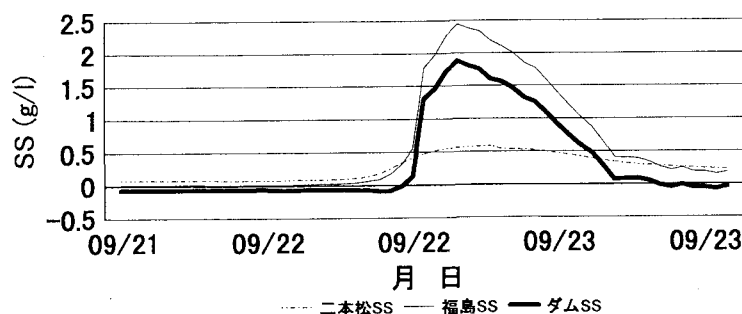


図-10 本川河道上ダムの SS 流出分布の推定

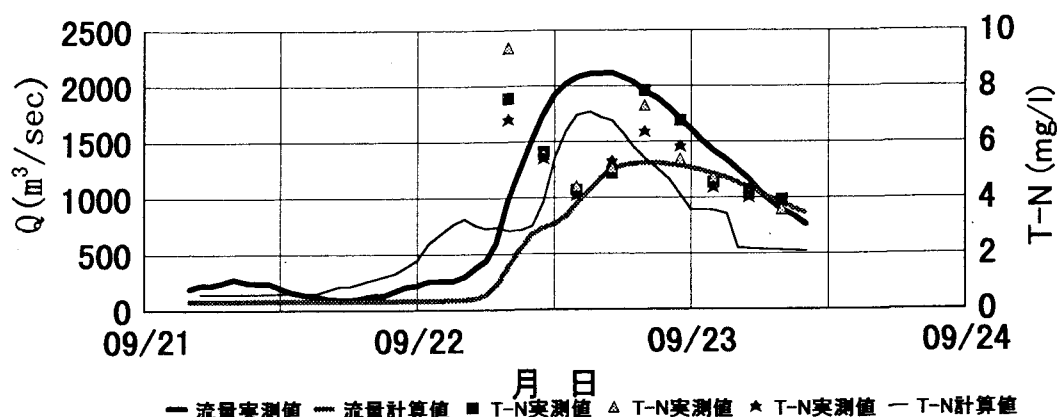


図-11 Kinematic-wave 法による岩沼における流量と T-N の実測値と推定値の比較

の時系列分布を阿久津から本宮と、八幡から福島地点をそれぞれに推定して両者の差をとったものとして算出し図-10に示す。出水初期において負荷量が負になるのはダムへの堰上げによる堆積を意味している。ちなみに、小出水における計測では福島地点のT-N濃度は阿久津のそれよりも低い濃度であることが観測されている。流量が約400m<sup>3</sup>/secを過ぎたあたりから、ダムからのフラックスが観察される。

岩沼におけるT-Nの推定結果を図-11に示す。2つのピークを持つ分布が再現されており、第2ピークにおける濃度の上昇が顕著に示されている。これよりダムからのフラックスが影響することが示された。しかし、この計算は実測流量を用いた簡易的な試算であること、すべての流域の流出を網羅していないことにより、精度の点では十分ではないが本出水の特性を良く示している。

#### 4. おわりに

平成8年9月22日から23日にかけての台風17号による阿武隈川の出水を上流域から下流域まで計測して、流量の変化に対応した時系列的な物質濃度の負荷特性と空間的な水質の分布特性を検討した。主要な結論を以下に要約する。

- (1)岩沼における栄養塩濃度の時系列分布は2つのピークを有する特徴ある分布が得られた。
- (2)流域に配備した観測点におけるピーク流量時の計測からは流域中間点にある、ダムからのSS、T-Nなどの高い物質負荷が計測された。
- (3)洪水期間中の本川のSS濃度に対する栄養塩濃度は一義的な相関関係が認められ、平水時とは異なる傾向である。しかし、支川の相関関係は流域の周辺環境により異なる相関を示す。
- (4)物質間の相関及び栄養塩輸送の検討により、岩沼におけるT-N時系列分布の初期には福島から下流の支川の影響が第2ピークにはダムからのフラックスの影響が強いことが推定された。

本研究を行うにあたり建設省仙台工事事務所、福島工事事務所そして福島県ならびに東北電力からは貴重な資料をご提供頂いた。本研究は日本大学総長指定研究地球環境と人間との調和「水環境と人間」の援助を受けたことを付記する。

#### 参考文献

- 1)長林・真野・木村ら：出水時における阿武隈川の水質特性，東北地域災害科学研究33巻，pp.141-149,平成9年3月
- 2)長林・木村・真野：出水時における阿武隈川の水質特性に関する検討，土木学会52回年次学術講演会，pp.296-297，平成9年9月
- 3)真野，杉木：洪水用浮遊式採水機の試作と現場試験，水工学論文集，第39巻，pp.887-890
- 4)高橋ら：ダム流域における出水時の水質特性に関する2，3の検討，東北地域災害研究，第34巻，pp.83-86,平成10年3月
- 5)福島県：水質年報，福島県(1970-1993)
- 6)杉木・真野：阿武隈川における出水時の流送土砂の分布特性，土木学会東北支部技術研究発表会，pp.96-97，平成9年3月