

## 最上川流域の雪融け出水に伴う懸濁物質の輸送

Suspended Substance Carried by Snow Melt Runoff  
in the Mogami River Basin

真野 明・杉木基泰\* (東北大学大学院工学研究科)

Akira MANO・Motoyasu SUGIKI Graduate School of Engineering, Tohoku University

前川勝朗\*\* (山形大学農学部)

Katsuro MAEKAWA Faculty of Agriculture, Yamagata University

The Mogami River basin enclosed by high mountains of Asahi, Iide and Ohu, has snow melt runoffs which begin at the middle of March and last about two months. The total outflow of the runoffs occupies about 40% of the annual outflow, becoming a major resource of the water supply. The runoff also transports huge amount of various materials suspended or solved in the water. Illuminating the suspended substance in the runoff, this study analyses the temporal and spatial characteristics of the concentration and the total flux of the transport.

The observation was performed on May 2, 1996 by using hand made samplers specially designed for the high speed flow, covering the confluence of five major branches. NOAA AVHRR data, and time sequential data of the discharge and turbidity have been collected to examine the snow covered area, and temporal characteristic, respectively.

Spatial distributions of concentration and sediment transport indicate that the catchment of Nagasaki, which includes Iide and Asahi mountains having wide snow covered area, yields dominant amount of the wash load.

Time sequences of the concentration and discharge at Shimono result in the suspended substance transport integrated in April and May 1996 of about 1.5E8kg. It is shown that the concentration is proportional to 1.44 power of the discharge, but the coefficient of proportionality decreases for the later runoff. This phenomena may be interpreted that the decrease of wash load material in the basin by washout influences the concentration. This mechanism is modeled to reproduce the concentration by using only the time history of the discharge.

Key words: Mogami River basin, Snow melt runoff, Wash load, Suspended substance

最上川流域は、朝日山地、飯豊山地、奥羽山脈などの山並みに囲まれており、これらの山間部に、降り積もった雪が3月中旬より融けだし、約2ヶ月間続く雪融け出水をもたらす。この期間の流出量は年間流出量の約40%を占め、この地方における主要な水資源となっている。同時に、この出水は中にさまざまな物質を懸濁あるいは溶解し、流域から河口へと輸送している。本研究は、この中の懸濁物質に着目し、輸送量の把握、濃度の時空間的な特性を調べることを目的として、観測・資料収集・解析を行った。

観測は、筆者らが開発した簡易採水器を用いて、1996年5月2日に最上川中流部の須川合流地点から、下流の鮭川合流地点までの主要5合流地点で行った。また、筆者らの観測データの他に、NOAAの衛星データ、建設省の流量・濁度の連続観測データなどを集め、雪域や時系列の特性を解析した。

本川の流下方向の濃度分布と流量分布を調べた結果、朝日山地や飯豊山地が含まれる、長崎の集水域で生産される濁質が支配的であることがわかった。この地域では、4月の下旬においても雪域が広く残っていることが衛星データより確認されている。また流量・濃度の連続観測記録を検討した結果、両者には相関があり、濃度は流量の1.44乗に比例することがわかった。その比例係数は時期が遅くなるに従って小さくなり、流域に存在する細粒分が洗い流されたために濃度が小さくなったものと解釈される。これを物質収支を考えてモデル化し、流量の時系列データだけから濃度を予測する方法を提案した。

キーワード：最上川流域、雪融け出水、ウォッシュロード、物質輸送

\*東北大学大学院工学研究科 〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉  
Graduate School of Engineering, Tohoku University, Aza Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-77, Japan

\*\*山形大学農学部 〒997 山形県鶴岡市若葉町1-23  
Faculty of Agriculture, Yamagata University, 1-23, Wakaba-machi, Tsuruoka, Yamagata Pref., 997, Japan

## I. はじめに

最上川の流域は、朝日山地、飯豊山地、奥羽山脈等の高い山並みに囲まれ、冬季に降り積もった雪が3月中頃より融けだし、約2ヶ月間続く雪融け出水を生み出す。この間に流出する水量は年間流出量の約40%をしめ、文字どおりこの地域を潤している。

この出水は同時にシルト、窒素・リン等の栄養塩類、流域の植生が生産した有機物など様々な物質を流れの中に懸濁あるいは溶解させ輸送している。しかも、雪融けは長い年月に渡って恒常的に起こっているため、流域や河口から続く海域における上記物質の存在は、この輸送に大きく依存していると考えられる。

流域と海域を含めた、広域の水環境を考える場合には、支川から本川に出、河口を通して海域に抜けていくこれら物質の輸送量を把握する事が重要であるが、従来このような視点に立った観測や解析はほとんど行われていなかった。物質輸送は出水時に大部分が生じるが、このとき使える適当な観測機器が無かったことも観測を行う上で一つの障害になっていた。

著者らは洪水用の簡易浮遊砂採水器を開発し(真野・杉木, 1995; 真野・杉木・澤本, 1996) これを阿武隈川の過去4回の出水に適用し、細粒土砂の粒径分布や空間分布特性などを明らかにしてきた(杉木・真野, 1996, 1997)。

本研究は、この採水器を最上川の雪融け出水に適用し現地観測したものであり、懸濁物質に着目し輸送の空間的な分布を調べた。また、建設省や気象庁など他機関が実施している観測データを収集し、流量と濁度の関係を解析したものである。

## II. 流域の概要と観測方法概要

最上川は流域面積7,040km<sup>2</sup>、流路延長229kmの一級河川であり、図-1に示すように、流域の内陸部分は東端の奥羽山脈、北端の神室山地、丁岳山地、南端の飯豊山地、西端の朝日山地に囲まれた地域であり、1,000mから2,000mの高さの山々が境界に連なっている。このため冬季に降り積もった大量の雪が、3月中旬ころより融けだし、雪融け出水をもたらす。

本川は標高2,035mの西吾妻山を源流とし、米沢盆

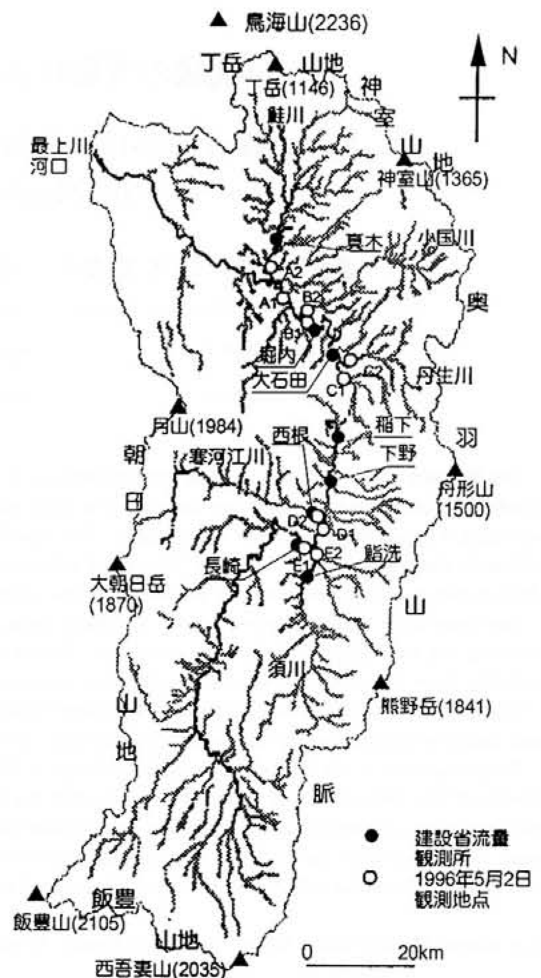


図-1 最上川流域概要

地、長井盆地、山形盆地、新庄盆地を流下し、庄内平野に入り日本海に出る。各盆地の下流端には河合、荒砥、大淀、最上の各峡谷があり、粒径の大きな礫は各盆地で堆積し、峡谷を越えた輸送は少ないことが、大矢(1993)により示されている。

本川に合流する主な支川には、須川、寒河江川、丹生川、小国川、鮭川、立谷沢川がある。現地観測は5本の支川(須川、寒河江川、丹生川、小国川、鮭川)を選び、これらと本川の合流部分で行った。筆者らが開発した洪水用簡易浮遊砂採水器は瞬間採水型の装置であるが、軽量で持ち運びが楽であり、しかも高流速の流れの中で深部の採水ができ、その位置を

表一 採水地点

合流支 川名	本川側橋名 および記号	支川側橋名 および記号
鮭川	大蔵橋、A1	向居橋、A2
小国川	堀内橋、B1	長者原橋、B2
丹生川	大橋、C1	丹生川大橋、C2
寒河江川	村山橋、D1	溝延橋、D2
須川	長崎大橋、E1	中野目橋、E2

知ることができるという特徴を有している。橋の下流側より採水器を下ろし、採水器が適当に潜ったところで採水器の蓋を閉じるための、錘を放つという方法で採水する。採水地点は合流点より上流側に架かる本川と支川の橋とした。表一に採水地点の橋の名前を記す。表中の記号と図一の記号は対応しており、番号の1が本川、2が支川を表す。

採水は川のほぼ中央部で、橋脚によって生じる後流の影響の少ない場所を選んで行った。鉛直方向には、上層、中層、下層の3点の採水としたが、支川で水深の小さな流れでは、鉛直方向の採水個数を適宜減らした。

観測は山形大学と東北大学の共同で行い、それぞれ観測チームを1つずつ出し、下流部と中流部を担当することにした。1996年の5月2日の早朝に大石田地点に集合し、そこからそれぞれ下流側、上流側に向かって観測を開始し、日没前に終了した。

採取した試料は、フィルターで濾過し質量を電子天秤で測り、質量濃度を求めた。また、一部の試料については、コールターカウンターで粒度分布を計ったがいずれも30 $\mu$ m以下の細粒分で構成されていた。底質の採取は行っていないが、粒径からウォッシュロードが大部分を占めるものと考えられる。

### III. その他の観測データの収集

本研究で対象とする最上川流域は広く、また雪融け出水は長期間続く現象であるので、筆者らの観測結果だけでは、空間的にも時間的にもデータが限られてしまい、全体的な様子を知ることができない。そこで、他機関がこの流域で実施している様々な観測データを収集し、総合的に解析することにした。

まず最初に重要な情報は、雪域の情報であり、東北大学の大型計算機センターで公開している人工衛星NOAAのAVHRR画像データベースJAIDASにアクセスしチャンネル2の可視画像を得た。



図一 1996年3月16日(NOAA Channel 2)



図一 3 1996年4月24日(同上)

特に雲の少ない、1996年3月16日と4月24日の画像を各々図一2、図一3に示す。アルベド値0~35%が256階調のグレースケールで表されており、白い部分がほぼ雪域に対応している。3月中旬には奥羽山脈から西側一帯が雪に覆われているのに対して、4

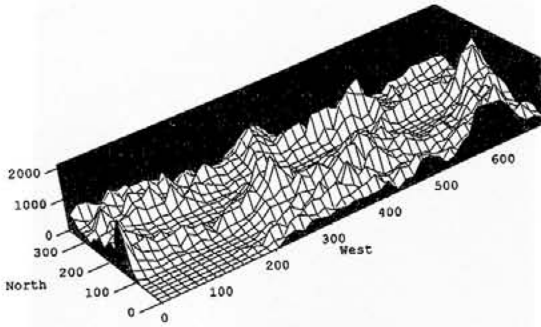


図-4 最上川流域鳥瞰図

月の下旬では山岳地帯に限られ、この中でも、朝日山地や飯豊山地の雪域が広く、奥羽山脈では主稜線に沿った細長い領域に雪が残っているだけである。月山、大朝日岳、飯豊山などの高い山が特に白くなっており、これを目印に、雪域の分布をさらに詳しくみると、朝日山地では東側斜面、飯豊山地では北側斜面に多くの残雪が読み取れる。

つぎに、建設省国土地理院の数値地図を利用して、描いた流域地形の鳥瞰図を図-4に示す。最上川流域の北西方向の日本海上空に視点を与えて描いたものである。手前の鳥海山から朝日山地を通過して飯豊山に至る山並みと、奥の奥羽山脈の2本の系列が南北に伸びている。飯豊山の北は少し低い鞍部となっており、小国街道とJR米坂線が通っている。雪を運ぶ北西の季節風はこの鞍部を通過して、飯豊山地の北側斜面に大量の雪をもたらしていると考えることができよう。

このほかに、建設省が実施している最上川での流量観測データや水質データ、さらには気象庁が実施している流域の積雪深のデータを収集した。これらについては以下の節で述べることにする。

#### IV. 空間分布特性

筆者らが実施した観測結果をもとに、空間的な分布特性を述べる。図-5は本川上の各観測点における懸濁物質(SS)の質量濃度の鉛直分布を調べたものである。村山橋で、上層の濃度が高くなっているが、その他の地点では下層濃度が高くなっており、通常の浮遊砂の濃度分布と同じような分布を示す。ここでは、懸濁物質の粒径が小さいこと、また鉛直方向の濃度差が小さいことから、各観測地点の濃度の代表値として、鉛直方向に測定したデータの平均値を用いることにする。

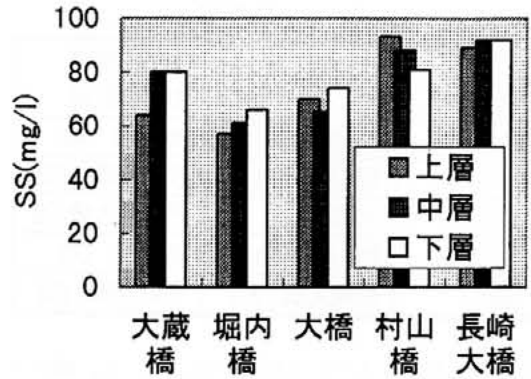


図-5 最上川本川における濃度の鉛直分布

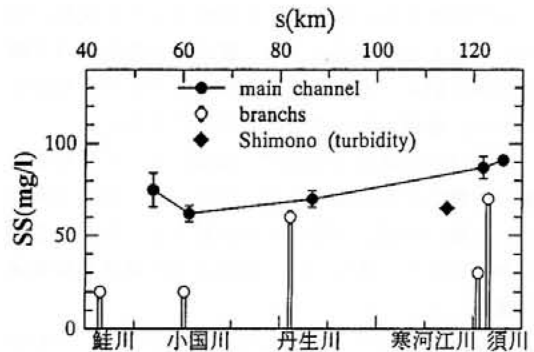
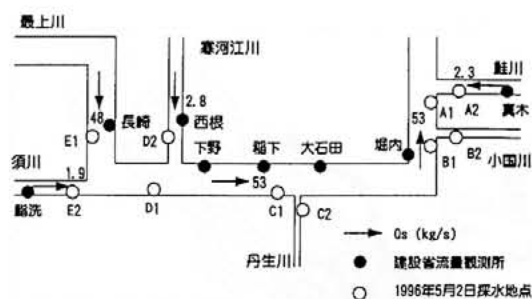


図-6 質量濃度の流下方向分布

流下方向の濃度分布を図-6に示す。横軸の上のスケールは河口からの距離を表している。黒丸が本川上の平均値であり、上下のエラーバーは標準偏差を示している。上流の91mg/lから、小国川合流地点の62mg/lまで単調に減少してきている。本川に流入する支川の観測値は白丸で示してある。支川の中では須川と丹生川で濃度が比較的高いが、いずれも本川の濃度以下である。

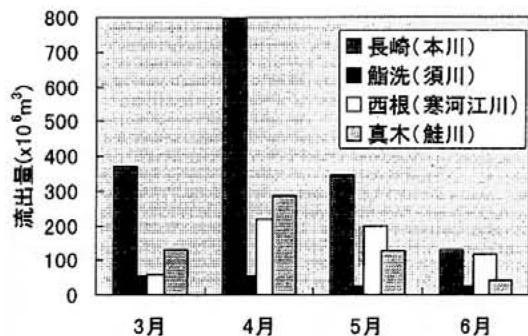
すなわち本川の流下に伴う濃度の低下は、濃度の低い支川の合流によって薄められているためと考えられる。支川の中で建設省による流量観測が行われているのは、須川、寒河江川、鮭川の3支川であるが、5月2日は寒河江川の流量が多く、濃度が低い寒河江川の希釈効果が本川の濃度低下に支配的である。本川の鮭川合流前で濃度が少し上がる原因は明らかでない。また、図中の菱形は、建設省が下野で連続観測している濁度のデータである。光の透過量を計って濃度を求める濁度計は、通常小粒径のカオリンを使って検定するので、懸濁物質の粒径が小さい雪融け出水の資料を直接濾過して、質量を測定し



図一七 濁質輸送量(1996年5月2日)

表一2 流域面積

地点名 (支川)	長崎 (本川)	鯨洗 (須川)	西根 (寒河江川)	真木 (鮭川)
流域面積 (km <sup>2</sup> )	2147	422	478	618



図一八 月間流出量(1994年)

た本観測値と近い値を示しているものと考えられる。

次に、濃度に流量をかけて、濁質の輸送量を各支川、本川と比較したものが図一七である。ここで、黒丸が建設省の流量観測所、白丸が採水地点であるが、本川の寒河江川・丹生川合流地点の間では下野、稲下の流量の平均値を用い、次の丹生川、鮭川合流地点の間では、大石田と堀内の流量の平均値とA1とB1の濃度の平均値を用いた。輸送フラックスの有効数字は2桁程度と考えられる。

寒河江川は上で述べたように、流量は大きいが高濃度が低いために、輸送量は小さいし、逆に須川は濃度が高いが、流量が小さいために輸送量が小さくなっている。鮭川も寒河江川と同様な傾向にある。丹生川と小国川では流量観測が行われていないので、輸送量は求められないが、いずれも奥羽山脈の西側斜面に積もった雪が源となっており、衛星データのところでふれた様に、この時期奥羽山脈には雪はあまり残っていないことを考えると、流量は小さく、輸送量も小さいものと考えられる。

本川上の輸送量を見ると寒河江川の合流点の下流で、須川と寒河江川の輸送量分だけ増加しており、さらにその下流では一定になっている。すなわち、

輸送量の連続が成立していることが確かめられる。

結局、本川最上川の長崎地点での輸送量が支配的であり、この流域で雪域が広がっている飯豊山地北側斜面や朝日山地東側斜面が濁質の主要な発生源と推測される。

次に、雪融け期間全体での流出量の特徴を見てみよう。1994年の流量年表から主な支川と本川長崎の月間総流出量を図一八に、また、それぞれの流域面積を表一2に示す。3つの支川、須川、寒河江川、鮭川はほぼ同程度の流域面積を有しているが、流出特性はかなり異なっている。蔵王を中心とし、奥羽山脈の西側斜面を流域とする須川は、3月から5月までのいずれの期間を通じても流出量は小さい。神室山地、丁岳山地の南側斜面を流域とする鮭川は4月に流出のピークをもち、3支川の中で最大となる。また、月山から大朝日岳に至る、朝日山地の北部東側斜面を流域とする寒河江川は、5月にも顕著な流出を示し、衛星データの4月下旬でも雪域が広く残っていることと対応している。本川長崎の流出量は流域面積が広いこと、また朝日山地の南部や飯豊山地を流域としていることから、流出量も多い。

### V. 時間分布特性

建設省が下野で自動観測している、流量と濁度の時系列データを用いて時間的な分布特性を考察する。下野は図一1に示すように、寒河江川の合流地点の本川下流部にある。図一9に1996年4月と5月の流量、濁度の時系列を示す。濁度の観測値は数時間程度の欠測が数カ所あるが、線形補間を行って補修した。図の横軸は3月31日からの経過日数をとってある。4月の初め、4月18日頃、4月27日頃、5月6日頃、5月9日頃と全部で5回程度の大規模な出水のピークがある。流量Qの増加に伴って、濁度の濃度Cも増加していることが分かる。

そこで、流量から濃度を評価する事を考え、両者の相関を調べた(図一10)。両者は両対数軸上でほぼ線形の関係にあり、最小自乗法を用いて回帰すると、

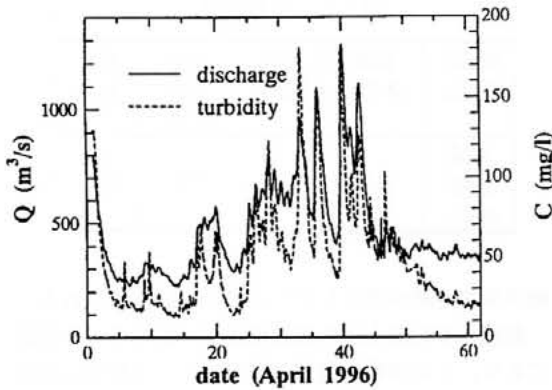


図-9 流量・濁度の連続観測記録

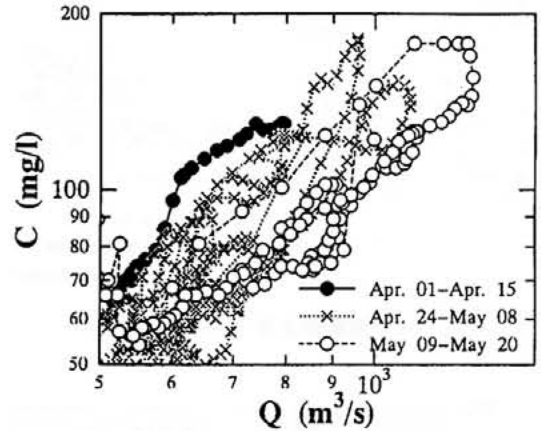


図-11 流量と濁度の相関関係(小期間別)

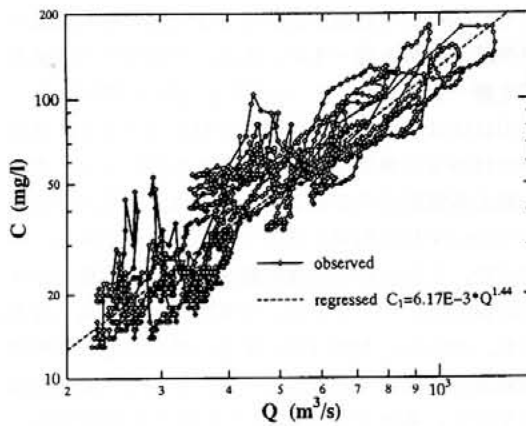


図-10 流量と濁度の相関関係

次の様な関係が求められる。

$$C_1 = 6.17E-3 \times Q^{1.44} \quad (1)$$

この式の比例係数は次元を有しており、流量と濃度に図中の単位を用いたときに当てはまる。この式を図中に破線で示してある。ばらつきは大きいが高濃度から低濃度までほぼこの1本の直線で近似でき、流量の約1.4乗に比例して濃度が増加している。

次に、このばらつきを小さくすることを考える。図-9で示した期間を出水と出水の間で区切って、さらに小期間に分け、特に流量・濃度の高くなる、4月1日～4月15日、4月24日～5月8日、5月9日～5月20日の各期間を取り出し、流量の大きな所で比べたのが図-11である。いずれの期間とも、 $Q-C$ 関係の傾きはあまり変わらないが、時間経過とともに濃度が小さくなっていることが分かる。これは流域から懸濁物質が出水の度に大量に流れ出し、流域に残っている量が減ったために、それが濃度に反

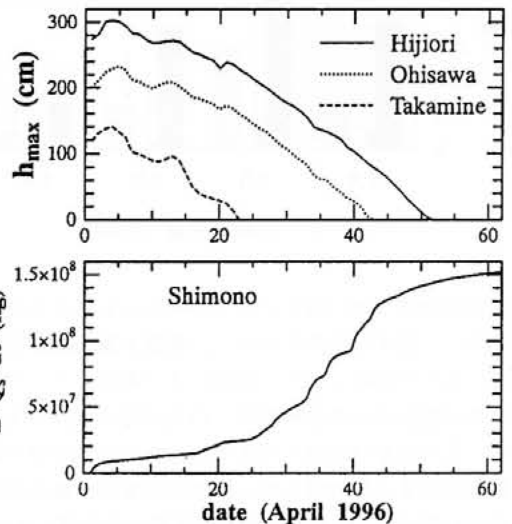


図-12 下野における積算輸送量(下)と最上川流域の積雪深の経日変化(上)

映して、後ろの方の出水ほど濃度が小さくなる現象と解釈することができよう。

次節で詳しいモデル化に入る前に、どの程度の物質が輸送されたのか、またこれは雪融けとどのような関係にあるのかを簡単に見ておこう。流量と濃度を掛けると、物質輸送量(輸送率) $Q_s$ が求められるので、これを時間を追って積分した物質輸送の積算量を図-12に示す。同図の上には、AMeDASのデータから、最上川流域の最も標高が高い3観測地点の、日最大積雪深の経日変化を示す。肘折(最上郡大蔵村、標高365m)、大井沢(西村山郡西川町、同440m)、高峯(西置賜郡飯豊町、同250m)は、場所が離れているが、標高

は同程度である。3地点で最大積雪深の初期値は異なるが、積雪深の減少速度はほぼ同一であり、4月の下旬から、5月の中旬にかけて最も積雪深減少の速度が大きくなっている。

これに対応して、濁質の輸送量もこの期間に急激に増加している。下野地点を4月と5月の2ヶ月間に通過した濁質の質量は、約1.5億kgとなった。

### VI. 濃度評価モデル

ある観測地点での流量 $Q$ の時系列が与えられた時に、濃度 $C$ を評価するモデルを考える。最も簡単なモデルは式(1)で得られる関係を使うもので、これを少し一般的に書くと、

$$C = \alpha \cdot Q^{\beta-1} \quad (2)$$

これを、**Model 1**と呼ぶことにする。係数は $\alpha = 6.17E-3$ 、 $\beta = 2.44$ であり、これで得られる濃度を $C_1$ とする。

あるいは、少し書き換えて物質輸送量に直すと次式となる。

$$Q_s = C \cdot Q = \alpha \cdot Q^{\beta} \quad (3)$$

次に、このモデルを基本にして、もう少し高次のモデルを考える。これは出水毎に懸濁物質が運ばれるので、流域では濁質が経時的に少なくなりこれが濃度に影響するというモデルである。流域に濁質が無くなれば、雪融けによる流量が増加しても、濃度は0であるので、この条件を満たす最も簡単な仮定は、濃度が流域に存在する懸濁物質の量 $M_s$ に比例するというものである。一方、同じ条件の流域が複数個あって、それが合流する場合を考えると、同じ濃度の水が各流域から出てくるので、合流前と合流後で濃度は変わらないはずであり、単純に $M_s$ に比例するというのでは不都合が生じる。これを解消するには、仮定を次の様に修正すればよい。

濃度は流域に存在する懸濁物質の存在割合 $R(t)$ に比例する。

式で書くと、

$$C \propto R(t) \equiv M_s(t) / M \quad (4)$$

ここで、濁質が雪融け水に取り込まれる機構は分かっていないので、単純に流域の流れに接している場所の物質だけを考え、 $M_s$ と $M$ はそれぞれ、そこでの濁質の量および全土砂量と定義する。また観測値が質量濃度であるので、これらの量はすべて質量ベースで考えることにする。さらに $M_s \ll M$ を考えれば、懸濁物質量が時間的に変化しても、全土砂量は一定と見なすことができる。

次に、懸濁物質に関する物質収支を考えると、次式が得られる。

$$\frac{dM_s}{dt} = -Q_s \quad (5)$$

これを時刻 $t_0$ を初期時刻として積分すると、

$$M_s(t) = M_s(t_0) \left[ 1 - \frac{1}{M_s(t_0)} \int_{t_0}^t Q_s dt \right] \quad (6)$$

右辺の積分の項が時間によって変化する補正項になる。補正項の近似には低次のモデルを使っても全体の精度には影響を及ぼさないで、被積分関数の $Q_s$ に式(3)の関係を使うと、

$$M_s(t) = M_s(t_0) \left[ 1 - \frac{1}{M_s(t_0)} \int_{t_0}^t \alpha \cdot Q^{\beta} dt \right] \quad (7)$$

存在割合に直すと、

$$R(t) = R(t_0) \left[ 1 - \frac{1}{M_s(t_0)} \int_{t_0}^t \alpha \cdot Q^{\beta} dt \right] \quad (8)$$

式(2)、(3)から

$$C \propto \alpha \propto R \quad (9)$$

であるので、式(2)の $\alpha$ の中に式(8)で示す存在割合の平均値が入っていると考えられる。すなわち、 $\alpha = bR$ の関係がある。高次のモデルでは式(8)をそのまま使い、

$$\begin{aligned} \alpha &= bR(t) \\ &= bR(t_0) \left[ 1 - \frac{1}{M_s(t_0)} \int_{t_0}^t \alpha \cdot Q^{\beta} dt \right] \\ &= \alpha' \left[ 1 - \frac{1}{M_s(t_0)} \int_{t_0}^t \alpha' \cdot Q^{\beta} dt \right] \end{aligned}$$

結局次のようにモデル化される、

$$C_2 = \alpha' \cdot \left[ 1 - \frac{1}{M_s(t_0)} \int_{t_0}^t \alpha' \cdot Q^{\beta} dt \right] Q^{\beta-1} \quad (10)$$

これを、**Model 2**とする。濃度の添え字はモデルの番号を表している。ここで新たに未定定数 $M_s(t_0)$ が出てくるが、これはモデルと実測値の偏差を最小にするように決めればよい。得られた定数を表-3にまとめてある。

各モデルの適合度を調べたのが図-13、14である。横軸が濃度の観測値、縦軸がモデルで推定した濃度

表-3 モデル定数

	Model 1	Model 2
$\alpha, \alpha'$	6.17E-3	7.40E-3
$\beta$	2.44	2.44
$M_s(t_0)$ (kg)	nil	5.88E8

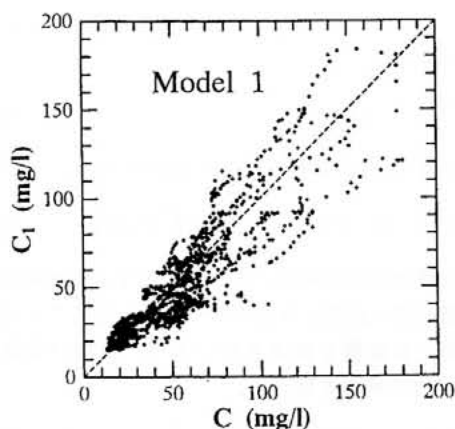


図-13 モデルの適合度(Model 1)

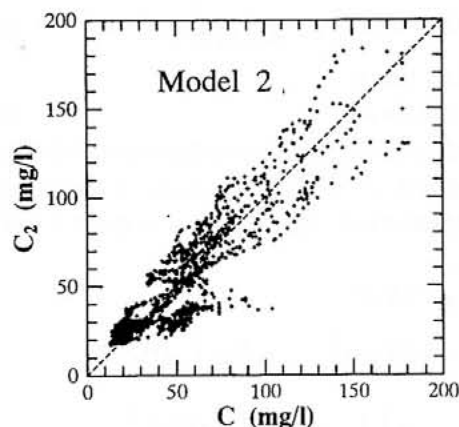


図-14 モデルの適合度(Model 2)

である。1つの出水をとって考えてみると、同じ流量に対して、増水時に濃度が増加し、減水時に濃度が低下する。このため、流量・濃度平面に、出水を時間を追って描くとループを描くことになる。Model 1では、このループの軸が出水毎にずれていたが、Model 2ではその軸が一致し、これにより、出水時の観測とモデルの差が小さくなっている。

Model 2の係数 $\alpha$ は時間の経過とともに単調に減少するので、1つの出水でループを描くが、その程度は実測値よりはるかに小さく、出水の増水期と減衰期の濃度の違いを生み出す、さらに別の機構が存在するものと思われる。

図-15は実測濃度とModel 2による予測濃度の時系列の比較を示す。各出水毎の濃度のピーク値が全体的にモデルにより良く再現されている。しかし、5月4日や5月17日の実測値の濃度ピークの予測は不

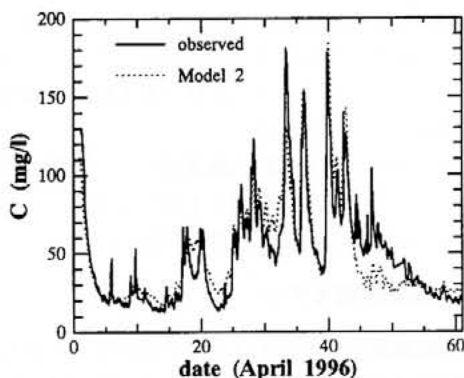


図-15 実測濃度とModel 2濃度の時系列

十分である。最小自乗法で定数を決定するときに濃度の高いところの重みが大きくなるので、濃度の低いところの適合度はあまり良くない。

Model 2で同定された流域における濁質の初期質量 $5.88E8\text{kg}$ と4月5月で流出した懸濁物質の質量 $1.5E8\text{kg}$ を比較すると、流域に在った濁質の約1/4が流失したことになる。このような量を経年的に調べることにより、流域における濁質物質の変動やその補充等の情報が得られるものと考えられる。雪融け水の挙動や濁質の発生機構がよく分かっていない現在、これらを理解するためには、多面的なアプローチが必要であり、マクロ的な視点から流域内部を推定した、本研究のような手法も有効であろう。

式(3)の形の相関関係については、他にもいくつか観測値を使って同定されたパラメータが報告されている。山梨ら(1994)は石狩川中流部の流域面積 $0.14\text{km}^2$ の試験地で雪融け時の濁度の観測を行い、 $\alpha=747$ 、 $\beta=2.2$ を得ている。指数の値は本研究で同定した2.44と近いが、係数 $\alpha$ は大きな違いがある。

また、雪融け以外の出水では、全土砂を対象とした観測値から同定された指数が本間(1967)に、また全国諸河川で実施された浮遊土砂(浮遊砂とウォッシュロード)の観測結果が村本ら(1975)に、まとめられているが、 $\beta$ の値はいずれも2.0前後の値を示しており、雪融け出水は、それ以外の出水に比べて指数が少し大きい。

$\beta$ が2となることについては、吉川(1952)による考察がある。Laneら(1939)の基準点濃度式とEinsteinの流砂量式を用い、前者に含まれる外力に関する指数を調整する事により2が得られることを示した。

さらに村本ら(1973)は流域面積 $187.9\text{km}^2$ の大戸川流域でウォッシュロードの観測を行い、これを予測



するモデルを提案している。斜面での流出土砂の評価にBrown式を用いて、中間流が無視できるような大流量のところで、 $\beta=1.5$ を得ている。これは、さらに低めの値である。これら2つの解析が示唆するように、指数 $\beta$ は濁質発生の機構と結びついている。

本研究で同定した係数 $\alpha$ と、指数 $\beta$ は流量から濁質の輸送量を算定するためのパラメータであるが、同時に流域の内部で生じていることを推定するための重要な情報でもある。

## VII. 結論

本研究で得られた結論をまとめると次の通りである。

- (1) 須川合流地点から鮭川合流地点まで本川上の濃度変化を調べた結果、流下につれ濃度が下がることが分かった。雪域の分布や河川流量と併せて考えると、最上川における雪融け時の懸濁物質の主要な供給源は本川長崎の流域にある。
- (2) 懸濁物質の輸送は4月下旬より顕著に増加し、1996年の4月5月の2ヶ月間で下野を通過した質量は1.5億kgとなった。
- (3) 流量から懸濁物質の濃度を算定する2つのモデルを提案した。この中のModel 2は流域の濁質が流出して、濃度が徐々に小さくなる象を説明するモデルであり、これを下野の観測結果に適用し実測値をよく説明することができた。またこの結果から、流域に在った濁質の1/4が2月間に流出したものと推算される。

謝辞：本研究を行うにあたり、建設省東北地方建設局山形工事事務所、新庄工事事務所より貴重なデータをいただいた。また試料の分析には東北大学大学院環境生態学分野の分析装置を使わせていただき、NOAAの衛星データについては東北大学の大型計算機センターのデータベースを利用した。最後に本研究をまとめるに当たり、東北大学大学院澤本正樹教授より貴重な意見をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 真野 明・杉木基泰(1995)：洪水用簡易浮遊砂採水器の開発と現場試験，水工学論文集，第39巻，pp. 887-890.
  - 2) 真野 明・杉木基泰・沢本正樹(1986)：洪水用簡易浮遊砂採水器の開発，東北地域災害科学研究，第32巻，pp. 69-78.
  - 3) 杉木基泰・真野 明(1996)：阿武隈川から海域への流送土砂の観測と解析，地球環境シンポジウム，第4巻，pp. 169-174.
  - 4) 杉木基泰・真野 明(1997)：阿武隈川における細粒土砂の観測と時空間分布，水工学論文集，第41巻，pp. 783-788.
  - 5) 大矢雅彦(1993)：河川地理学，古今書院，253p.
  - 6) 山梨光訓・藤田睦博・清水康行・長谷川和義・水戸聡・平山大輔(1994)：小流域の融雪期における河川水の濁度増加に関する研究，水文・水資源学会1994年研究発表会要旨集，pp. 114-115.
  - 7) 建設省河川局編，日本河川協会(1996)：流量年表，第47回，平成6年，pp. 92-106.
  - 8) 本間 仁(1967)：水理学—技術者のための流体の力学—，丸善，pp. 198-199.
  - 9) 村本嘉雄・河田恵昭・藤田裕一郎・中村行雄(1975)：ウォッシュロードに関する研究—大戸川の観測結果について—，京都大学防災研究所年報，第18号B，pp. 541-549.
  - 10) 吉川秀夫(1952)：浮遊流砂量に関する二、三の考察，土木研究所報告，第83号の2，pp. 1-13.
  - 11) Lane, E.W. and Kalinske, A.A. (1939)：The relation of suspended to bed material in rivers, Transactions, American Geophysical Union, pp. 637-641.
  - 12) 村本嘉雄・道上正規・下島栄一(1973)：大戸川における微細砂の流送過程について，京都大学防災研究所年報，第16号B，pp. 1-15.
- (受付：1997年2月14日，受理：1997年5月19日)

水文・水資源学会誌  
 J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.  
 Vol. 10, No. 5 (1997) pp. 416-425

## グローバルな河川流路網情報(TRIP)を利用した 年流量による地表面数値モデルの検証について

### Validating Estimates of Land Surface Parameterizations by Annual Discharge using Total Runoff Integrating Pathways

沖 大幹\* (アメリカ航空宇宙局ゴッダード宇宙飛行センター)  
 Taikan OKI USRA NASA/Goddard Space Flight Center

西村照幸\*\* (東京大学気候システム研究センター)  
 Teruyuki NISHIMURA CCSR, University of Tokyo

ポール・ディルマイヤー\*\*\* (海洋陸面大気研究センター)  
 Paul Dirmeyer Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies

Land surface parameterizations (LSPs) are embedded in atmospheric numerical models and express the exchange of water and energy at the land surface. Under Global Soil Wetness Project (GSWP), the water balances in 1987 and 1988 were estimated by a few LSPs with common forcing data, such as precipitation and radiation. The estimates were validated by discharge data using the global river channel network, which was named Total Runoff Integrating Pathways (TRIP). As a result, the LSPs were found to calculate annual water balance fairly well where the forcing precipitation was estimated from enough density of raingauge observations ( $\geq 30/10^6 \text{km}^2$ ).

Key words: Global River Channel Network, Soil Moisture, River Discharge, Global Precipitation

陸面数値モデル(LSP)は大気数値モデルなどに組み込まれて地表面での水とエネルギーの交換を表現している。全球土壌水分プロジェクト(GSWP)において、いつかのLSPにより1987年および1988年の水収支が、共通の降水量や放射強度に対して算定された。ここでは、全球1度グリッドメッシュで作成された河川流路網情報(TRIP)を利用し、河川流量データによってそれらLSPによる年水収支算定値を検証した。その結果、十分な降水観測(雨量計密度 $\geq 30$ 個/ $10^6 \text{km}^2$ )に基づいて入力降水量が算定されている領域ではLSPは適切に年流出高を算定していることがわかった。

キーワード：世界河川流路網、土壌水分、河川流量、グローバルな降水量

#### I. はじめに

渇水にともなう数ヶ月先の水資源量や、温暖化などの地球環境変化にともなう水資源賦存量を予測す

るためには長期の気象・気候予測が必要である(沖, 1992)。そうした比較的長期の気象・気候予測のための大気数値モデルには、下部境界条件である海洋や陸地の表面状態が適切に与えられねばならない。そ

\*アメリカ航空宇宙局ゴッダード宇宙飛行センター、平成7年度日本学術振興会海外特別研究員  
 Taikan Oki, Code 913, NASA/Goddard Space Flight Center' Greenbelt, MD 20771, USA

\*\*東京大学気候システム研究センター 〒153 東京都目黒区駒場4-6-1

Teruyuki Nishimura, Center for Climate System Research, Univ. of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153, Japan

\*\*\*Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies

4041 Powder Mill Road, Suite 302, Calverton, MD 20705-3106 USA