

## 11.1 積雪寒冷地における流域からの濁質流出と環境への影響評価・管理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水環境・寒地  
河川）

研究担当者：矢部浩規、渡邊和好、水垣滋、丸山政  
浩、西原照雅、林田寿文、阿部孝章

### 【要旨】

山地から海への土砂流出・堆積特性を明らかにすることを目的に、山地小流域の濁質流出特性、中・下流域の土砂及び栄養塩の流出特性と収支、及び海岸砂の粒径の時空間変化特性と生産源を調べた。2011年及び2012年の山地小流域における融雪期（4～5月）のSS流出量は通年（4～11月）の75%及び91%を占めることがわかった。鶴川及び沙流川流域の中・下流域では、SS、総窒素及び総リンの流出応答や収支は地点ごとに異なる季節変化特性を示すことがわかった。鶴川海岸の粒径特性は、港では含まれた区間において河口からの距離と波浪・河川流量の季節変化による細粒分の挙動で説明することができ、その主要な生産源が鶴川・沙流川の中・上流域であることがわかった。

キーワード：SS、栄養塩、海岸砂、粒径、生産源寄与

### 1. はじめに

水・森林資源開発や高度な土地利用開発、治水対策といった人口増加に伴う流域の改変は、河川を通じた水・土砂・物質の動態を変化させ、少なからず河川的环境に影響を与えてきた。またゲリラ豪雨に代表される気候変動の影響によって崩壊や地すべりといった大規模な土砂生産・流出が各地で頻発し、長期的な濁水の発生をもたらしている。北海道においても、高濃度の濁水は、水道取水の停止や漁獲量の減少、サケやシシャモの産卵床の減少など、さまざまなインパクトを与えている。

一方、1950年代以降、全国的に顕著な海岸侵食が指

摘されており、鶴川河口周辺では1948年から2004年までに約500mの汀線の後退が認められ（図-1）、2006年には下水処理場の越波被害が報告されている。鶴川河口域は、北海道でも最大規模の河口干潟があり、渡り鳥の重要な休息の場として、北海道を代表する自然環境を形成するが、海岸侵食に伴い干潟が消失するなど、国土保全だけでなく生態系保全の観点からも海岸侵食の防止が求められている。

流域からの流出土砂のうち大部分を占める浮遊土砂は、河川高水敷や干潟・沿岸域を構成する成分として適切な土砂供給が求められている。一方、シルト・粘土などの微細粒分が過剰な場合、水質・生態系に大

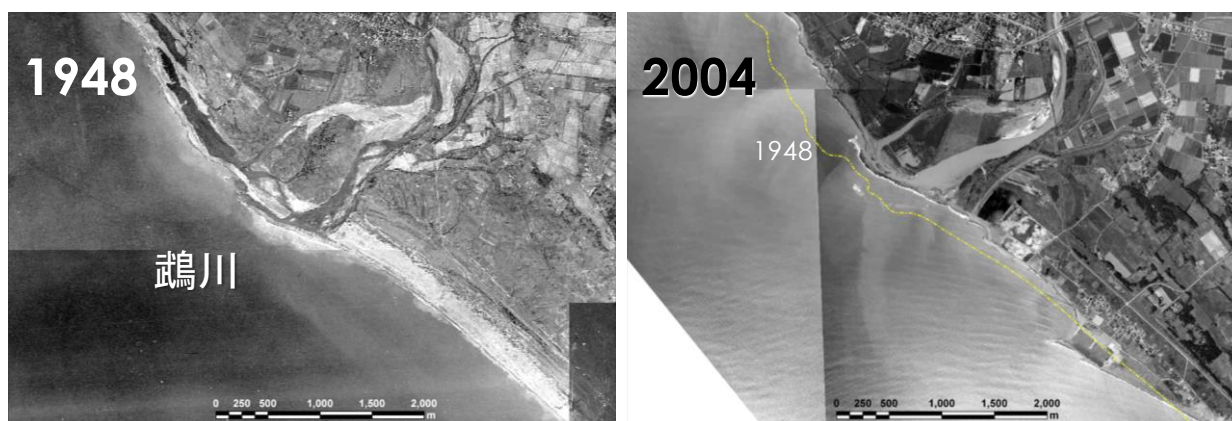


図-1 鶴川河口周辺の汀線変化

きな影響を与える可能性がある。浮遊土砂は、大半が山地から海域まで河床にとどまることなく流下するため、生産源における対策が重要となる。これまでに、流域や沿岸域での土砂動態については、各領域・関係機関において様々な調査・解析が行われてきており、近年になって河川上流域から海域まで一貫した研究事例がみられるようになった<sup>2)</sup>。しかし、これもダムを上流端とした流砂系での事例であり、土砂の生産源(流域)から堆積域(氾らん原・沿岸・海岸)を一連のシステム(流砂系)として捉えて検討された事例はほとんどみられない。

また、鵜川及び沙流川沖の沿岸流による土砂動態については、これまでも多くの調査・研究が行われてきた<sup>3),4),5)</sup>。しかし、これらの研究は短期的な土砂流出イベントについて検討したものであり、長期的な流域の土砂動態と連動して検討された事例はみられない。干潟や海岸といった海岸地形の保全を考えるためには、流域と沿岸域の長期的な土砂動態を把握し、連動して検討することが重要である。

本研究の目的は、山地から沿岸域までを一連の系とした浮遊土砂・濁質動態の把握手法の開発、及び河道・海岸の堆積・侵食や水質・生態系への影響評価手法を開発することである。本年度は、さまざまなスケールでの土砂の流出・堆積の季節変化特性を明らかにすることを目的に、①山地流域の濁質流出特性、②流域の土砂及び栄養塩の流出特性と収支、③海岸砂の粒径の時空間変化特性を調べた。

## 2. 方法

### 2.1 研究対象流域

調査対象流域は、北海道中央部の鵜川流域及び沙流川流域とした(図-2)。鵜川は、流域面積 1270 km<sup>2</sup>、幹川流路延長 135 km の一級河川である。北海道勇払郡占冠村の狩振岳(1323 m)に源を発し、パンケシユル川、双珠別川、穂別川を合わせて、むかわ町市街地を経て太平洋に注いでいる。河床勾配は、上流域で 1/150 以上、中流域で約 1/100~1/1000、下流域で約 1/1000 である<sup>6)</sup>。

沙流川は、流域面積 1350 km<sup>2</sup>、幹川流路延長 104 km の一級河川である。日高山脈の熊見山(1175 m)に源を発し、ウエンザル川、パンケヌシ川、千呂露川、額平川等の支川と合流し、ほぼ南西方向に流下して日高町富川にて太平洋に注いでいる<sup>7)</sup>。河床勾配は、上流で 1/130~1/50、中流域で約 1/190、下流域で 1/500~1/800 である<sup>8)</sup>。

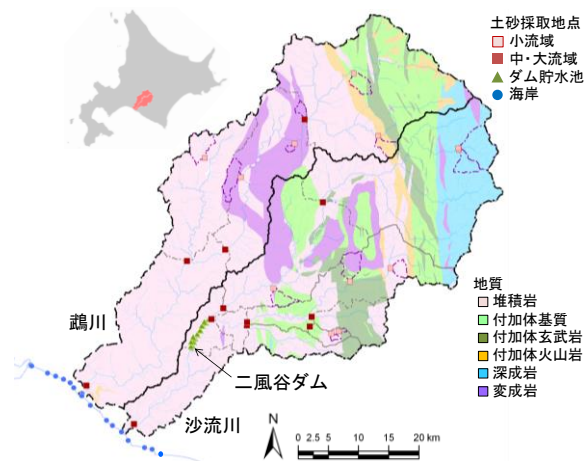


図-2 研究対象流域

年平均降水量は、鵜川流域では上流域の占冠で 1300 mm、下流域の鵜川(むかわ)で 1000 mm、沙流川流域では、上流域の日高で 1353 mm、下流域の日高門別で 975 mm である<sup>8)</sup>。地質はきわめて複雑に入り組んでいる。鵜川流域の最上流域では、白亜紀から古第三紀の堆積物および変成岩類・深成岩類などが日高山脈を構成する。上流域にはジュラ紀~白亜紀の砂岩・泥岩が主に分布し、軟質で開析の進んだ山地を形成する。また一部に蛇紋岩などの変成岩類が含まれ、地すべりや斜面崩壊を起こしやすい。上流から下流に広く分布する新第三紀の堆積岩類は、礫岩・砂岩・泥岩からなり、比較的軟質で、起伏の少ない山地を形成している<sup>9)</sup>。

沙流川流域では、古生層の一部を除き主に白亜紀層と新第三紀層の堆積岩や貫入岩で形成されている。貫入岩帯は主稜部に発達し、火成岩類では斑糲岩、カンラン岩、変成岩では結晶変岩・変麻岩が多い。層群では水系の東側より、黒色粘板岩・細砂岩のなかに硅質岩・輝緑凝灰岩を介在又は互層する日高累層群、砂岩・泥岩を主とする富良野層群、輝緑凝灰岩を主に硅質岩・粘板岩等を含む空知層群(この層群には蛇紋岩が振内北部から左岸にかけて分布する)などが南北に帯状に連なり、そしてその両側には滝の上層・川端層から成る新第三紀層が連なっている。地表は一般に砂礫を混入した砂壤土・植壤土でおおわれているが、川に面する急斜地では基岩の露出している箇所が多い。下流部においては、土砂の堆積等で土壌も厚いが、表層には樽前火山灰が 5~20 cm 程度堆積している<sup>8)</sup>。

土地利用は、ほとんどが森林に覆われている。鵜川流域は森林、農地及び市街地がそれぞれ 82%、5%及び 13%であり、沙流川流域ではそれぞれ 88%、6%及び

6%となっている。

## 2. 2 研究方法

さまざまなスケールでの土砂の流出・堆積の季節変化特性を明らかにするため、山地上流域を対象に高濃度濁度計を用いて濁度の連続観測を行い、SS濃度の季節変化特性を調べることにした。また、中・下流域を対象に複数の観測地点において出水時の河川水を採取し、水、SS、栄養塩の流出特性と収支を調べた。さらに海岸砂について、鷓川及び沙流川の河口を含む海岸線で粒径特性のモニタリングと生産源の推定を行い、それらの時空間分布特性を検討した。

## 3. 濁度計を用いた融雪出水期の浮遊土砂観測

### 3. 1 調査の目的

山地から沿岸までを流砂系とした総合的な流域土砂管理において、山地流域から流出する浮遊土砂の流出特性を把握することは、基礎的かつ重要な課題である。流域からの浮遊土砂流出特性は、SS濃度と流量のべき乗回帰式で評価されることが多いが、山地小流域では、SS濃度と流量との決定係数は必ずしも高くなく、ヒステリシスを示すことが多い<sup>9)</sup>。またSS濃度は降雨特性や季節によって変化すること<sup>10)</sup>、とくに積雪寒冷地域では年間の土砂流出量における融雪出水の寄与が60%以上に達する場合があること<sup>11)</sup>から、年間を通じて長期的にかつ高い時間分解能でSS濃度を計測する必要がある。本研究の目的は、濁度計を用いて積雪寒冷地域における山地流域の浮遊土砂流出特性を明らかにすることである。

### 3. 2 調査方法

#### 3. 2. 1 調査地及び野外調査

調査流域は、北海道南部に位置する一級河川沙流川水系額平川の支川、総主別川流域(16.75 km<sup>2</sup>)とした

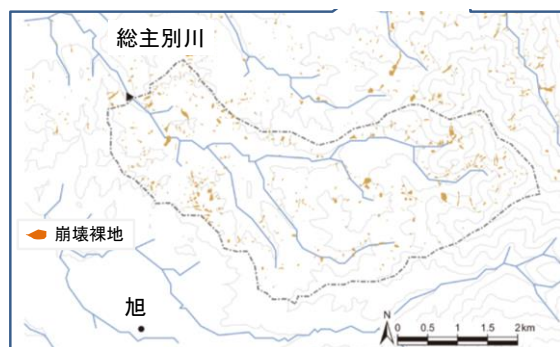


図-3 研究対象流域

(図-3)。地質は主に白亜紀堆積岩、付加体玄武岩ブロック及び付加コンプレックスで構成され、全域が森林で覆われている。2003年8月の台風イベントで崩壊が多発し、流域内に崩土が多く残存している(図-3)。流域末端部に水位計(応用地質 S&DL mini)及び後方散乱式濁度計(JFEアドバンテック Infinity Turbi)を設置し、2010年10月から2012年10月まで2年間、水位及び濁度を10~20分間隔で記録した。また、2011年及び2012年の融雪出水及び夏・秋期の降雨出水時に流量観測及び表面採水を行った。

### 3. 2. 2 分析・解析方法

観測された流量と自記式水位計の水位から、水位-流量曲線を作成し、流量の連続データを得た。濁度データは、バッテリー切れや土砂による埋積、河床低下に伴う浮き上がりなどによる明らかな異常値・ノイズを除外した後、原因不明のスパイクを除去するために前後30分の移動平均値を採用し、毎時データを抽出した。濁度データ(ppm)からSS濃度(mg/L)を推定するため、2011年及び2012年の融雪出水次及び降雨出水時に表面採水を行い、SS濃度を測定した。

## 3. 3 結果と考察

### 3. 3. 1 濁度とSS濃度

濁度からSS濃度に換算するため、河川水のSS濃度と、採水と同時刻の濁度との関係を調べた(図-4)。SS濃度は10~10,000 mg/Lのオーダーで濁度と高い相関がみられ、べき乗式で回帰すると極めて高い決定係数を得られた。このことから、濁度計によりSS濃度を幅広い範囲で精度よく推定できることが示された。濁度が100 ppm以下ではSS濃度が濁度に対して低くなる傾向がみられたが、高濁度ではほぼ1:1のライン上にプロットされた(図-4)。後方散乱式の濁度計は濁質の粒径が大きいほど散乱強度が小さくなり濁度の応答が低下することから<sup>12)</sup>、流況によって濁質の粒径が変化していることが示唆される。

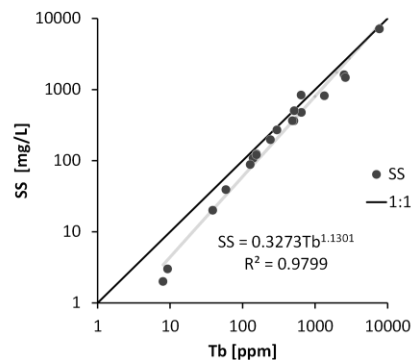


図-4 濁度とSS濃度の関係

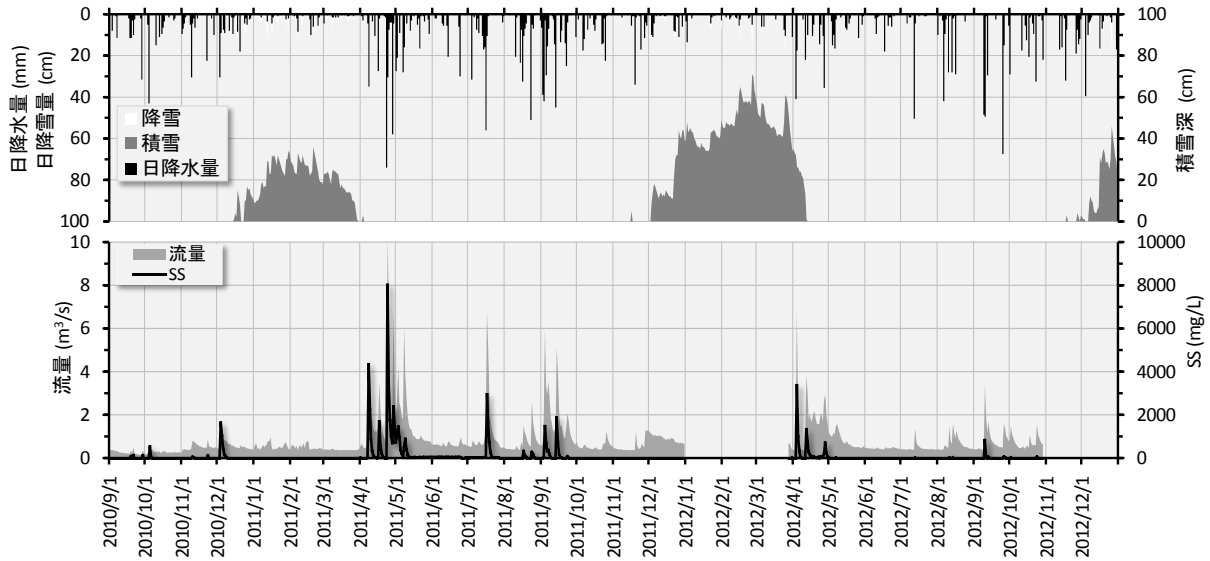


図-5 観測期間中の降水量・降雪量・積雪深（気象庁・旭）と流量・SS濃度（毎日1時の瞬間値）

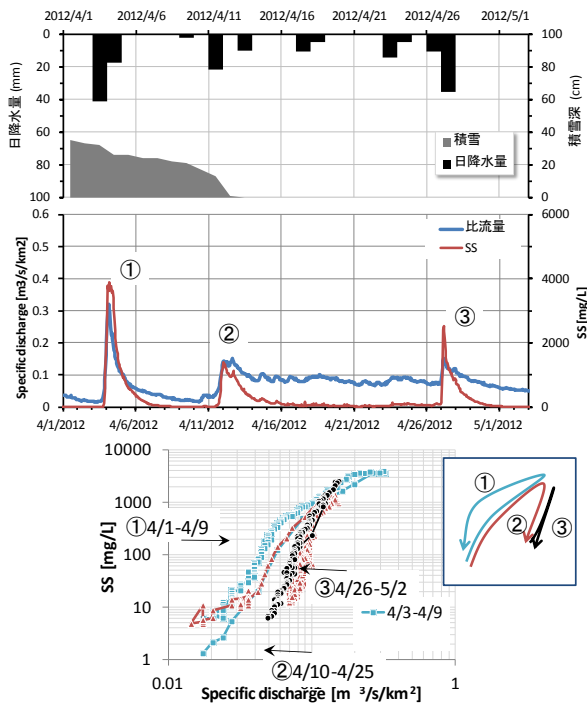


図-6 2012年融雪期におけるSS濃度とヒステリシス

### 3. 3. 2 融雪期のSS流出量

濁度計からSS濃度を推定し、観測期間中の時系列変化を図-5に示した。2011年、2012年ともに4月～5月の融雪出水時に極めて高濃度の濁水が継続して発生しており、夏・秋の降雨出水よりも流量・SS濃度ともに高かった。SS濃度と流量を乗じてSS流出量を算出したところ、2011年及び2012年の融雪期（4月～5月）は、それぞれ通年（4月～10月）の75%及び91%と高

い割合を占めることがわかった。積雪寒冷地域では融雪期の土砂流出量の評価が極めて重要であることが示された。

### 3. 3. 3 SS濃度のヒステリシス

出水中のSS濃度は、出水ごとにさまざまなヒステリシス（履歴現象）を示す<sup>10)</sup>。2012年の融雪出水時に観測された3つの明瞭な出水ピークでも異なるヒステリシスパターンが認められた（図-6）。融雪初期のピーク①（4/1～4/9）では反時計回りのループを示し、続くピーク②では時計回りのループ、最後のピーク③では流量とほぼ一価の関係を示した。このことから、融雪期の浮遊土砂生産・流出プロセスが流域内の積雪状態によって大きく異なることが示唆される。

## 4. 鶴川・沙流川流域における融雪期の土砂・物質流出特性

### 4. 1 調査の目的

沿岸域の自然環境には、そこに寄与するさまざまな河川流域の水・土砂・物質流出特性が大きく関与している。とくに積雪寒冷地域である北海道では、年間の水・栄養塩流出負荷にしめる融雪期の割合が60%以上に達するとの報告もあり<sup>11)</sup>、水・土砂・物質の流出が陸域・海域の自然環境の形成に重要な役割を果たしている。したがって、陸域・海域の自然環境を保全するためには、沿岸域に寄与する複数の流域の水・土砂・物質流出特性の理解がかかせない。

一般にSS濃度は流量に対して増加傾向を示すが、窒素やリンの濃度は溶存態か懸濁態かによって流量に

## 11.1 積雪寒冷地における流域からの濁質流出と環境への影響評価・管理手法に関する研究

対する応答が異なる<sup>9), 13), 14)</sup>。また、これらの濃度特性は流域の土地利用や地質<sup>15), 16)</sup>、降雨特性や季節<sup>17), 18)</sup>によっても異なる。流域の土砂・物質流出特性を把握するには、観測地点において水文観測や採水、水質分析などを一定の期間継続し、物質濃度の流量に対する応答特性、任意期間の総流出負荷量や収支を評価する必要がある。

しかし、複数の流域において上流域から下流域までの同時観測を単独機関で実施することは、コスト面や労力的な面で困難である。一方、水文観測地点を設けているさまざまな関係機関が出水時の観測を連携して実施すれば、多地点における同時観測データの蓄積と総合的な解析が可能となる。本研究の目的は、複数流域における水・土砂・栄養塩の流出特性を明らかにすることである。寒地土木研究所及び室蘭開発建設部が連携して、融雪出水時<sup>19)</sup>に加えて及び降雨出水時に多地点において水文・水質の同時観測を実施し、SSや栄養塩の流出特性や収支について検討した。

### 4.2 調査方法

研究対象流域は、北海道中央部～南部で隣接している鶴川及び沙流川流域とした(図-7)。流域面積及び幹川流路延長はそれぞれ鶴川流域で1270 km<sup>2</sup>、135 km、沙流川流域で1350 km<sup>2</sup>、104 kmであり、ともに一級河川である。観測地点は鶴川流域に4地点、沙流川流域に10地点、合計14地点とした(図-1)。採水は2012年4月から5月にかけて発生した融雪出水と、2012年9月から10月にかけて発生した降雨出水を対象に、可能な限り水位上昇時、ピーク時、逓減時を網羅するようにそれぞれ3回ないし7回行った。なお、鶴川流域の栄水位流量観測所の流量データについても解析に利用した(図-7)。

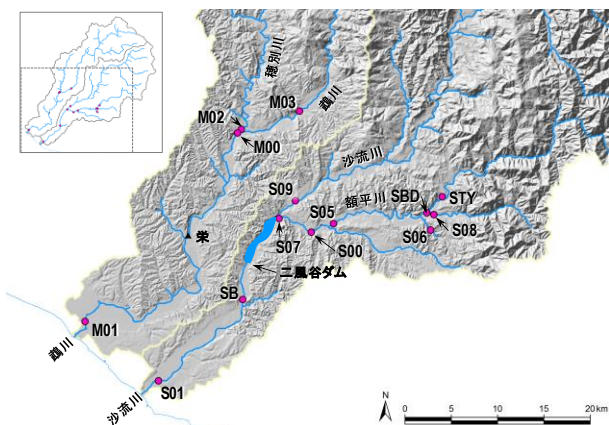


図-7 調査地位置図

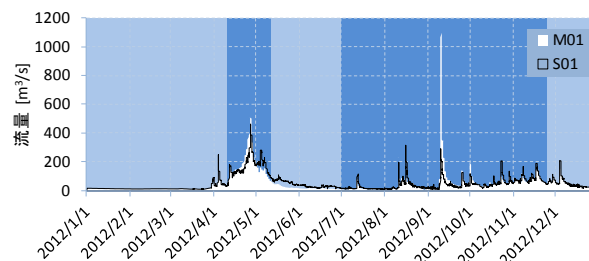


図-8 2012年鶴川・沙流川の流量変動と解析期間

濃い網掛けの期間が融雪出水期及び降雨出水期

採取した水試料について、SS、総窒素、溶存態窒素、総リン、溶存態リンの濃度を測定した。SS濃度の測定にはポアサイズ1 μmのフィルターを用いた。また懸濁態窒素及び懸濁態リンの濃度は、それぞれ総窒素濃度と溶存態窒素濃度、総リン濃度と溶存態リン濃度の差からもとめた。

SSや栄養塩の流出特性については、それぞれの濃度や流出負荷量を流量または比流量に対して散布図上にプロットし、累乗式で近似したときの係数や決定係数をもって流出特性を論じられることが多い。しかし、かならずしも決定係数は高いとは限らず<sup>9)</sup>、流出負荷量をより精度よく推定するには、近似式を累乗式に限らず、さまざまな式形やそれらの場合分けも検討する余地がある。本研究では、流出負荷量を推定するために、各地点のSS、総窒素及び総リンの濃度、流出負荷量と比流量との関係を検討し、より決定係数が高くなる式形を採用することとした。

流域のSS及び栄養塩の収支について、観測地点ごとに観測対象期間の流出負荷量を積算してもとめた。解析対象期間は融雪出水期と降雨出水期とし、2012年4月10日1時から5月11日24時までを融雪出水期、7月1日から積雪直前の出水イベントが終了する11月22日までを降雨出水期とした(図-8)。なお、本研究で用いた流量データについては速報値を用いている。検証後の確定値により再評価が必要であることを付記しておく。

### 4.3 結果と考察

#### 4.3.1 SS、栄養塩と流量との関係

融雪出水期と降雨出水期において、SSや窒素、リンの流出応答を調べるため、SS濃度、総窒素濃度及び総リン濃度(C: 単位はそれぞれmg/L)について比流量(Q/A: m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>)との関係を観測地点ごとにプロットしたところ、観測地点によって様々なパターンが認められた(図-9)。このパターンは、おおむね3つのタイ

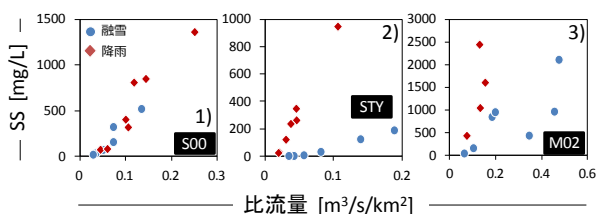


図-9 SS濃度と比流量の関係の例

ブに分類できる。すなわち、1) 融雪出水期と降雨出水期で流量に対する SS 濃度の関係がほぼ同じ曲線で近似できるもの (S00, S06, S07)、2) 融雪出水期よりも降雨出水期で SS 濃度が高くなり、異なる曲線で近似しうるもの (M03, M00, M01, STY, S09)、3) 融雪出水期あるいは降雨出水期のイベント中に、流量に対する SS 濃度の傾きに変化が見られるもの (M02, S08, SBD, S05)、である。SB 及び S01 に関しては、降雨出水期の傾向が不明瞭であるが、採水のタイミングが流量の少ないときに集中したこと、また SS 濃度に大きなばらつきが見られなかったことによると推察される。ただし、M02 や S05 のように降雨出水期に流量が小さくても大幅な SS 濃度の上昇が認められる地点もあることを考えると、SB 及び S01 については、1) のパターンに属する可能性があるかと推察される。

これらの流量と SS 濃度との関係において、地点による違いが見られることは、土砂供給・輸送特性が地点や季節（出水イベント）によって異なることを示している。1) のパターンのように流量と SS 濃度との関係に季節変化が少ない場合は、SS 濃度が河川の水量によって規定されていると推察される。2) や 3) のパターンでは、河川の水量だけでなく、斜面や河床からの土砂供給量に季節性や降雨イベントの履歴効果といった時間的不連続性が影響しているものと推察される。また、総窒素濃度及び総リン濃度の流出応答は、SS 濃度と同様の傾向が認められたことから、SS と同様の挙動をしているものと考えられる。

#### 4. 3. 2 栄養塩の流出特性

総窒素、総リンの濃度と流量との関係を地点ごとに調べたところ、いずれも流量に対して増加傾向が認められ、図-9 で示したように SS 濃度と同様の、地点によって異なる 3 つのパターンが認められた。そこで、SS 濃度と栄養塩濃度との関係を調べたところ、融雪出水期や降雨出水期にかかわらず、SS 濃度に対して単調に増加することが認められ、地点ごとに単一の曲線で近似しうるということがわかった(図-10)。これらことから、総窒素及び総リンの濃度変化は SS 濃度に依存してい

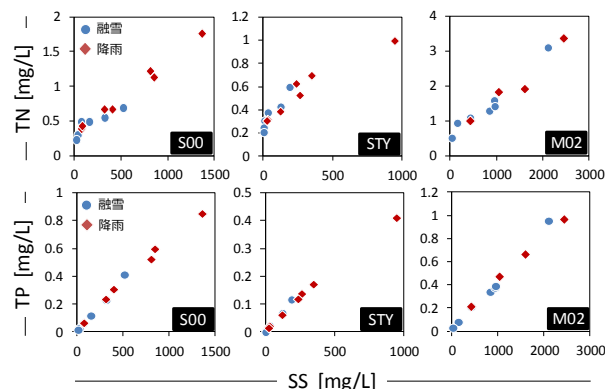


図-10 SS濃度と総窒素濃度及び総リン濃度との関係

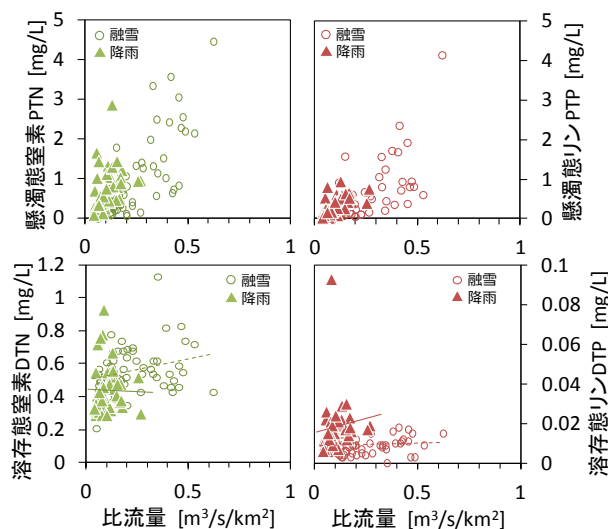


図-11 比流量と懸濁態・溶存態の窒素・リン濃度との関係

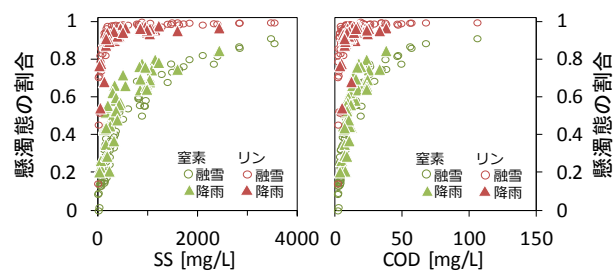


図-12 窒素・リンの懸濁態割合とSS濃度・CODの関係

ると考えられる。

河川水における総窒素や総リンは存在形態によって懸濁態と溶存態に区分され、流出特性が異なる可能性がある。そこで、懸濁態と溶存態の窒素及び懸濁態リンの濃度と比流量との関係を調べた。懸濁態の窒素及びリンの濃度は流量に対して増加傾向が見られ、やや降雨出水期の方が融雪出水期よりも高いように見えるが、季節による違いも明瞭でない(図-11)。これは、懸濁態の窒素及びリンはそれぞれ懸濁物質 (SS) 中の有機物、鉱物中に多く含まれるため、SS 濃度と同様の

挙動をしていることに起因すると考えられる。一方、溶存態の窒素及びリンの濃度は比流量に対して明瞭な増加傾向は認められないが、溶存態窒素は融雪出水期で、溶存態リンは降雨出水期で高い（図-11）。溶存態の窒素及びリンの濃度の季節による違いは、水の流出過程の違いを反映している可能性がある<sup>20)</sup>。

総窒素及び総リンの濃度特性は流量よりもSS濃度に強く依存し、SS濃度との応答に季節による違いは見られなかった（図-10）。一方、溶存態の窒素及びリンの濃度は流量に対する増加傾向は認められないが、季節による違いが見られた（図-11）。これらのことから、窒素やリンの濃度において、懸濁態と溶存態の割合が季節によって異なる可能性がある。融雪出水期の観測結果では、懸濁態の窒素及びリンの割合がSS濃度の関数で近似できることが報告されており<sup>19)</sup>、SS濃度によってこれらの割合が変化することを示唆している。そこで、SS濃度と総窒素及び総リン濃度における懸濁態の割合との関係を融雪出水期と降雨出水期に区分して調べた（図-12）。その結果、降雨出水期における懸濁態窒素の割合は融雪出水期よりも高い範囲で大きくばらつき、一方、懸濁態リンの割合は融雪出水期よりも若干低くなることがわかった。これは、図-11で認められたように、溶存態の窒素・リン濃度が季節によって異なることに起因していると考えられる。ちなみに、ばらつきの大きかった懸濁態窒素の割合は、COD濃度を横軸にとるとばらつきが小さくなり、季節的な違いが小さくなる（図-12）。このことは、窒素がSS中の有機物や溶存態有機物に多く含まれる可能性を示

唆しており、SSの構成物質が季節的に変化している可能性がある。

#### 4. 3. 3 SS・栄養塩の流出負荷量と流量との関係

一般にSSや栄養塩の流出負荷量を評価するには、流量の累乗式を用いて推定する場合が多い。しかし、図-9や図-11で示したように、SSや栄養塩の濃度は流量に対してばらつきがあり、必ずしも累乗式が最適な近似式とはかぎらないものと推察される。そこで、各観測地点においてSS、総窒素、総リンの総流出負荷量を算出するため、比流出負荷量(L: kg/s/km<sup>2</sup>)と比流量(Q/A: m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>)との関係を累乗式、2次式、3次式で回帰し、もっとも決定係数の高いものを採用した。その際、単一の回帰式では流出負荷量がマイナスとなる場合や、あきらかに相関係数が低い場合は、流量や季節別に回帰式をあてはめ、決定係数が改善した場合はそれらを採用した。その結果、SS、総窒素及び総リンの流出負荷量に関する推定式の決定係数は、それぞれ0.82~1.00、0.73~1.00及び0.71~1.00であった（表-1）。ただし、決定係数が0.90未満の地点では、かならずしも十分な推定精度が得られたとは言いがたい。

#### 4. 3. 4 水・SS・栄養塩の収支

融雪出水期及び降雨出水期の流域における水、SS、総窒素及び総リンの収支について、表-1の推定式より観測期間中の流出負荷量を積算し、観測地点の流量及び総流出負荷量と観測地点間の増減を評価した。

##### a) 水収支について

表-1 SS濃度及び栄養塩濃度と比流量によるL-Q式と決定係数

コード	河川名	観測地点	流域面積 [km <sup>2</sup> ]	SS		TN		TP		備考
					R <sup>2</sup>		R <sup>2</sup>		R <sup>2</sup>	
M02	穂別川	中島橋	199.9	2次	0.89	2次	0.93	2次	0.95	
M03	鵠川	富内橋	722.5	2次	0.98	3次	0.84	2次	0.86	
M00	鵠川	穂別橋	949.5	累乗	0.75	3次	0.99	3次	0.99	
MSK	鵠川	栄和橋	1069.2							
M01	鵠川	鵠川橋	1238.8	3次	1.00	3次	1.00	3次	1.00	
S08	宿主別川	宿主別橋	63.9	3次	0.98	3次	0.98	2次	0.98	
STY	額平川	豊糠橋	167.2	累乗/3次	0.98	2次/累乗	0.92	累乗/3次	0.98	***
SBD	額平川	平取ダムサイト	236.0	累乗	0.86	2次	0.73	累乗	0.83	
S06	総主別川	町道1号橋	16.8	3次	0.94	3次	0.97	3次	0.94	
S05	額平川	貫気別橋	290.5	累乗	0.89	2次/累乗	0.96	累乗	0.80	
S00	額平川	貫気別観測所	373.0	2次	0.86	3次	0.88	2次	0.71	
S07	額平川	額平橋	383.5	累乗	0.82	2次	0.88	累乗	0.84	*
S09	沙流川	長知内橋	784.5	3次	0.90	3次	0.97	3次	0.98	**
SB	沙流川	平取橋	1215.0	3次/累乗	0.99	3次/累乗	0.96	3次/累乗	0.97	
S01	沙流川	沙流川橋	1333.0	累乗	0.93	2次	0.98	3次/累乗	1.00	

\*: 貫気別観測所の流量データを使用

\*\* : 幌毛志橋の流量データを使用

\*\*\*: 融雪期・降雨出水期それぞれ別のL-Q式を適用

水収支は、通常、下流の観測地点ほど総流量が大きくなると考えられるが、融雪出水期及び降雨出水期ともに下流の総流量が上流よりも小さくなる(逆転する)区間が認められた。鵜川流域では、穂別川中島橋(M02)、鵜川富内橋(M03)の総流量の合計は、合流後の鵜川穂別橋観測所(M00)の総流量よりも大きく、流下過程で水が減少していることになる(図-13)。沙流川流域では、額平川貫気別橋(S05)と額平川貫気別観測所(S00)の総流量がほぼ同程度であり、貫気別川からの総流量がほとんどないことになる。水が減少する原因として、一般にダムや発電、農業用水等による取水が考えられるが、本調査地ではそれらのみが原因であるとは考えにくく、水位や流速、流量の観測誤差が影響している可能性がある。SS、総窒素及び総リンの収支は流量に大きく依存しているため、これ以降、水収支の逆転が生じたこれらの区間を含まない地点間において比較・検討を行うこととする。

流域から海域への総流量は、融雪出水期は鵜川(M01)と沙流川(S01)でほぼ同程度であったが、降雨出水期は鵜川のほうが沙流川より大きかった(図-13)。これは9月の出水イベント時の降水量が鵜川流域で大きく、沙流川流域では大規模な出水とならなかったためである。

鵜川流域の総流量は、中・上流域の鵜川(M03)は穂別川(M02)に比べて、融雪出水期で4.5倍、降雨出水期で4.1倍大きい。流域面積は鵜川(M03)が穂別川(M02)より3.6倍大きく(表-1)、鵜川本川の方が比流量が大きいことになる。中・下流域では、穂別(M00)、栄(MSK)地点の融雪出水期及び降雨出水期の総流量は、それぞれ流域末端(鵜川; M01)のそ

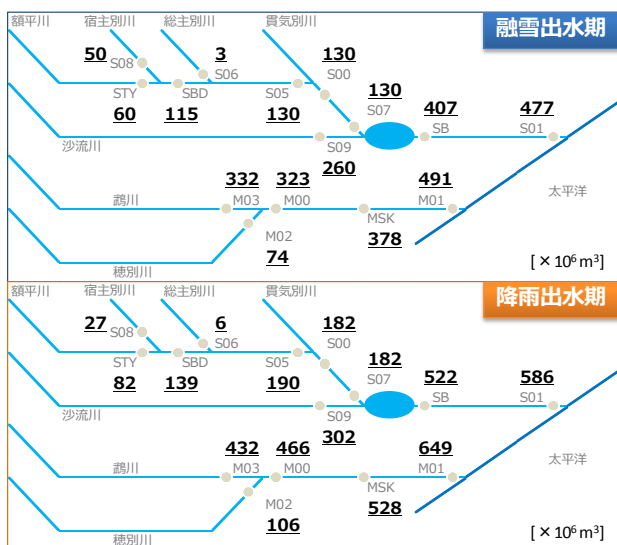


図-13 鵜川・沙流川流域における水収支

れぞれ 65.8~71.8%、及び 77.0%及び 81.4%であった。M01 に対する流域面積率は M00、MSK でそれぞれ 76.6%、86.3%であり(表-1)、中・下流域からもそれなりの寄与がある。

沙流川流域の総流量は、二風谷ダム貯水池に流入する沙流川本川(幌毛志; S09)が額平川(貫気別観測所; S00)より融雪出水期で約2倍、降雨出水期で約1.7倍大きかった。沙流川本川(S09)の流域面積は額平川(S00)流域面積より約2倍大きく、比流量は融雪出水期は同程度、降雨出水期は額平川流域で大きかったといえる。下流域では、平取(SB)における融雪出水期と降雨出水期の総流量はそれぞれ流域末端(S01)の85%及び89%であった。流域面積率が91%であることから、下流域の比流量は中・上流域に比べて若干低い。額平川流域では、宿主別川(S08)と額平川上流(豊糠; STY)において融雪出水期と降雨出水期に顕著な違いがあるのが特徴的である。特に融雪出水期のS08では総流量が大きい。

#### b) SS 収支について

流域から海域へのSS流出量は、融雪出水期、降雨出水期ともに鵜川(M01)の方が沙流川(S01)よりも大きかったが、とくに降雨出水期で約7倍と顕著であった(図-14)。これは、9月の降雨イベントがおもに鵜川流域で発生したためであり、流量ピークの違いに起因する(図-8)。鵜川流域のSS流出量は、中・上流域の鵜川(M03)と穂別川(M02)は融雪出水期と降雨出水期で同程度であり、M02に比べてM03は約1.2~1.5倍大きかった。中・下流域では、穂別(M00)から流域末端(鵜川; M01)の区間において、融雪出水期及び降雨出水期ともに約2倍に増加している。降雨

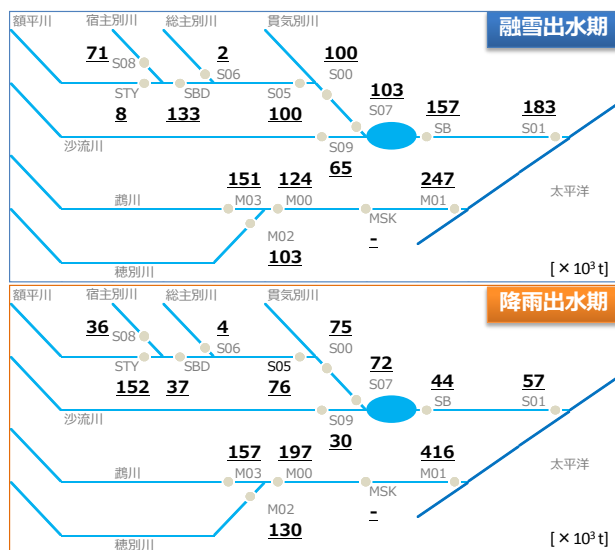


図-14 鵜川・沙流川流域におけるSS収支



出水期の SS 流出量は融雪出水期の 1.6 倍以上大きく、降雨出水による土砂生産・供給量が融雪期より大きく、中・下流域の寄与が大きいことを示している。

沙流川流域の SS 流出量は、二風谷ダム貯水池に流入する額平川（額平橋；S07）が沙流川本川（長知内橋；S09）より融雪出水期で約 1.6 倍、降雨出水期で約 2.4 倍大きく、水収支とは逆転している（図-14）。下流域では、平取（SB）における融雪出水期と降雨出水期の SS 流出量はそれぞれ流域末端（S01）の 86% 及び 77% であった。額平川流域上流域の宿主別川（S08）と額平川上流（豊糠；STY）で SS 流出量を比較すると、融雪出水期は S08 が約 9 倍大きく、一方、降雨出水期は STY が約 4 倍大きい。これは、水収支のみならず SS 濃度の応答に季節性があることに起因していると考えられる（図-9）。

### c) 総窒素収支について

流域から海域への総窒素流出量は、融雪出水期、降雨出水期ともに鶴川（M01）の方が沙流川（S01）よりも大きかったが、とくに降雨出水期で約 5.4 倍と顕著であった（図-15）。これは、SS と同様、9 月の降雨イベントがおもに鶴川流域で発生したためであり、流量ピークの違いに起因する（図-8）。

鶴川流域の総窒素流出量は、中・上流域において鶴川（M03）は穂別川（M02）よりも融雪出水期で 4.3 倍、降雨出水期で 4.7 倍と大きかった（図-15）。中・下流域では、穂別（M00）から流域末端（鶴川；M01）の区間において、融雪出水期では約 30% 増加したが、降雨出水期では約 2.5% しか増加しなかった。このことから、総窒素については中・上流域の寄与が大きく、降雨出水期は下流域からの寄与が極めて小さいことを

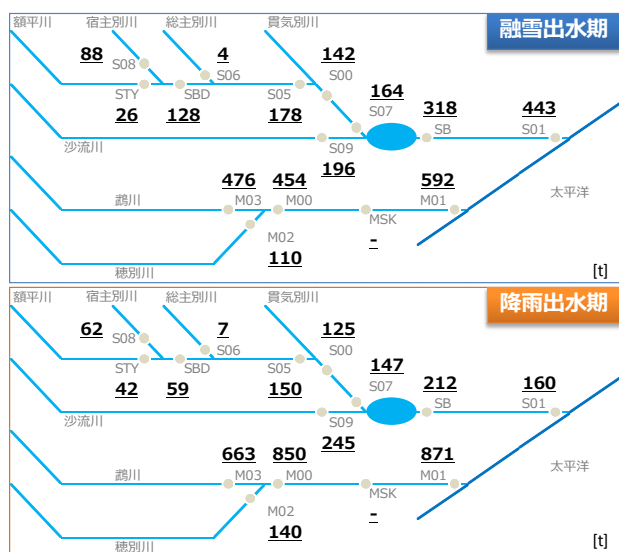


図-15 鶴川・沙流川流域における総窒素収支

示している。

沙流川流域の総窒素流出量は、二風谷ダム貯水池に流入する沙流川本川（長知内橋；S09）が額平川（額平橋；S07）より融雪出水期で約 1.2 倍、降雨出水期で約 1.7 倍大きく（図-15）、水収支とは同じ傾向であったが、SS 収支とは逆転していた。下流域では、平取（SB）における融雪出水期と降雨出水期の総窒素流出量はそれぞれ流域末端（S01）の 72% 及び 133% と、降雨出水期には下流域で減少していた。額平川流域上流域では、宿主別川（S08）の総窒素流出量が額平川上流（豊糠；STY）に比べて融雪出水期で約 3.4 倍、降雨出水期で約 1.5 倍大きかった。

### d) 総リン収支について

流域から海域への総リン流出量は、融雪出水期は沙流川（S01）の方が鶴川（M01）より約 1.2 倍大きかったが、降雨出水期は鶴川（M01）の方が約 3.6 倍大きかった（図-16）。これは、SS と同様、9 月の降雨イベントがおもに鶴川流域で発生したためであり、流量ピークの違いに起因する（図-8）。

鶴川流域の総リン流出量は、中・上流域において鶴川（M03）は穂別川（M02）よりも融雪出水期で約 2.1 倍、降雨出水期で約 1.9 倍と大きかった（図-16）。中・下流域では、穂別（M00）から流域末端（鶴川；M01）の区間において、融雪出水期では約 33% 増加したが、降雨出水期では約 7% しか増加しなかった。このことから、総リンについては、総窒素と同様に、中・上流域、特に鶴川本川の寄与が大きく、降雨出水期は下流域からの寄与が極めて小さいことを示している。

沙流川流域の総リン流出量は、二風谷ダム貯水池に

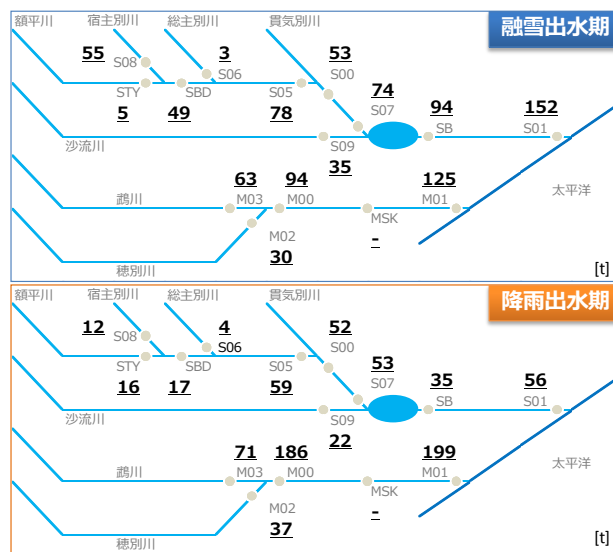


図-16 鶴川・沙流川流域における総リン収支

流入する額平川（額平橋；S07）が沙流川本川（長知内橋；S09）より融雪出水期で約 2.1 倍、降雨出水期で約 2.4 倍大きく（図-16）、SS 収支とは同じ傾向であったが、水・総窒素収支とは逆転していた。下流域では、平取（SB）における融雪出水期と降雨出水期の総リン流出量はそれぞれ流域末端（S01）の約 62%及び約 57%であり、下流域からの寄与も大きい。額平川流域上流域では、宿主別川（S08）の総リン流出量が額平川上流（豊糠；STY）に比べて融雪出水期で約 11 倍大きかったが、降雨出水期は約 0.75 倍と小さかった。

#### 4.4 おわりに

多地点で同時観測された水質試験結果から、SS や栄養塩の流出特性・収支を融雪出水期と降雨出水期において比較することで、流域内の物質流出特性を季節性も含めて把握することができた。また、観測・試験におけるさまざまな誤差による影響があることも明らかにできた。今回は各関係機関が実施した業務の速報成果を用いて水・土砂・物質の流出特性をとりまとめたため、多少の誤差は含まれる。とくに水収支に損失が認められた鶴川流域の M03 富内橋～M00 穂別橋間や、額平川流域の S05 貫気別橋～S00 貫気別観測所間については、水位-流量曲線の精査や観測方法の再検討が必要であろう。

今回は 2012 年の融雪出水期と降雨出水期のデータについて検討した。L-Q 式は見かけ上決定係数は 0.90 以上とよく見える地点でも、とくに降雨出水期の高水時のデータが少ないことから、今後もデータの蓄積が望まれる。SS 濃度が流量によって規定され、季節性が影響しない地点においては、ある程度のデータ蓄積によって C-Q 式の堅牢性を確認することで、信頼における流出負荷量の評価が可能となるかもしれない。ただし、C-Q 特性は地点によってばらつきがあることから、流量のみから SS 濃度や SS 流出量の評価をするには、大きな誤差が含まれることを認識しておく必要がある。濁度計による SS 濃度の連続観測等でより精度の高い SS 濃度の流出特性や SS 流出量の評価が望まれる。

今回明らかとなった SS 濃度と総窒素及び総リン濃度の関係や、懸濁態の窒素及びリン濃度との関係は、地点ごとにデータが蓄積されれば、流量と SS 濃度のみから栄養塩の流出負荷量を評価できる可能性を示している。したがって、濁度計による SS 濃度観測が可能となれば、SS 流出負荷量だけでなく、栄養塩についても存在形態別に流出負荷量を精度よく評価できる可能性がある。

流砂系を考慮した総合的な流域土砂管理の必要性が謳われる一方で、より効率的・経済的な観測の継続が望まれている。今後も複数の機関による観測の分担・協力と収集データの総合的な解析をすすめることで、流域のより詳細な水・土砂・物質動態が明らかにされることが期待される。

### 5. 鶴川海岸の土砂生産源と粒径の季節変化

#### 5.1 目的

北海道南部の太平洋側に位置する鶴川沿岸域では、過去数十年の間に汀線が大きく後退した結果、越波被害や河口干潟の消失が生じており、国土保全と生態系保全の観点から長期的な海岸保全策が求められている。長期的な海岸保全を行うためには、陸域の山地上流域から河口・沿岸域まで一貫した「流砂系」として捉えた総合的な土砂管理が重要であり、近年、流砂系をとおした調査・研究事例が報告されている<sup>2)</sup>。本研究の目的は、鶴川周辺海岸（鶴川海岸と呼ぶ）を構成する土砂の生産源、粒径特性及びその変動特性を明らかにすることである。流域内及び海岸のさまざまな地点において浮遊土砂・堆積土砂を採取し、放射性同位体トレーサを用いた土砂生産源の推定を行った。また海岸土砂の粒径特性をモニタリングした。

#### 5.2 調査地概要

調査地は、北海道中央部の鶴川及び沙流川流域及び周辺海岸とした（図-17）。上流の小流域から本川の中流域、河口の大流域まで 25 地点において、浮遊土砂サ

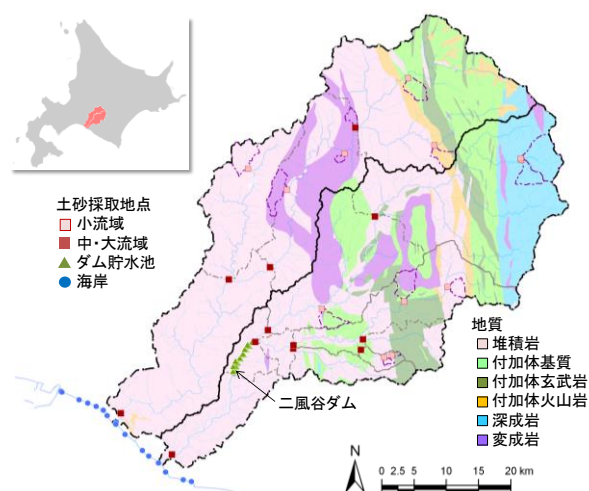


図-17 調査地位置図

ンプラーや表面採水により浮遊土砂を採取した（2009年～2010年、138試料）。また、二風谷ダム貯水池の底質を24地点で採取した（2010年6月及び11月で2回、48試料）。鶴川及び沙流川河口を含む約27 kmの海岸沿い17地点で表層堆積土砂を採取した（2010年11月～2012年10月まで21回、314試料）。採取した土砂（φ0.5 mm以下）について、ガンマー線分析により放射性同位体（ $^{212}\text{Pb}$ 、 $^{228}\text{Ac}$ 、 $^{40}\text{K}$ ）濃度を測定し、地質（岩石）で6区分した生産源の寄与を評価した<sup>21)</sup>。フルイ試験及びレーザー回折式粒度分布測定装置により土砂の粒径組成を測定し、比表面積を算出した。

### 5.3 結果と考察

浮遊土砂の生産源は堆積岩、変成岩の寄与が高く、ダムの底質は付加体基質、海岸土砂は付加体基質及び深成岩の寄与が高かった（図-18）。推定された土砂生産源の寄与と比表面積との関係を調べたところ、付加体基質の寄与は負の相関が、堆積岩と変成岩の寄与は正の相関が認められた（図-19）。これらのことから、流域から流出する土砂は、粒径に応じて流域内の土砂生産源が異なり、海岸土砂の主要な生産源は鶴川・沙流川流域の上流域であると考えられる。

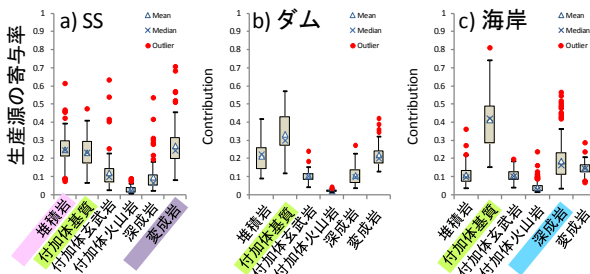


図-18 SS・ダム底質・海岸土砂の生産源寄与

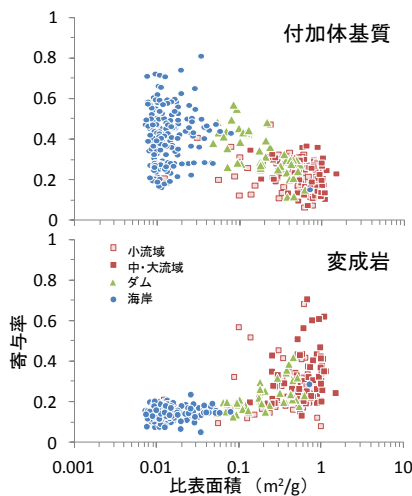


図-19 生産源寄与と比表面積の関係

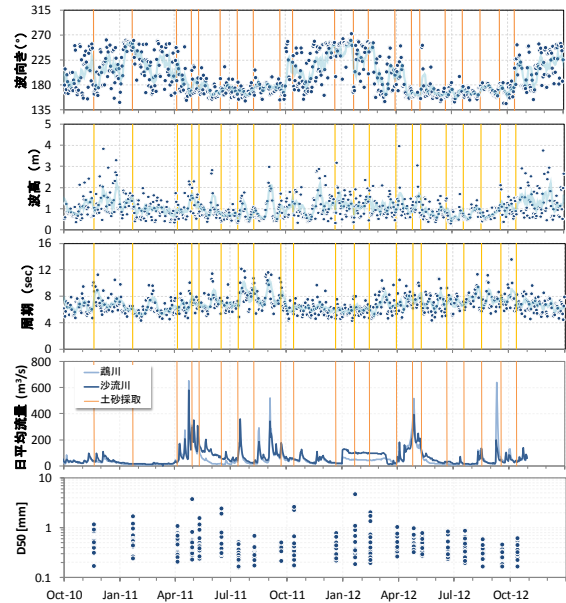


図-20 観測期間中の波向き・波高・周期（様似）、流量（鶴川・沙流川）及び海岸土砂の平均粒径（ $D_{50}$ ）

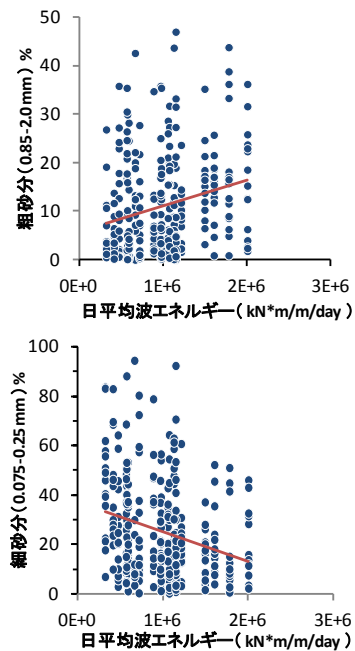


図-21 波エネルギー粗砂分（上）・細砂分（下）との関係

海岸土砂の平均粒径は0.30 mm～0.76 mmの範囲で、地点・季節によるばらつきが見られた（図-20）。様似沖の日平均波エネルギーと粒径指標（平均粒径 $D_{50}$ 、最大粒径、粗砂%、細砂分%）とで相関分析を行ったところ、粗砂分は有意な正の相関（ $r = 0.232$ 、 $p < 0.001$ 、 $n = 314$ ）を、細砂以下%は有意な負の相関（ $r = -0.271$ 、 $p < 0.001$ 、 $n = 314$ ）を示した（図-21）。また波向きごとの日平均波エネルギーに対して、冬に卓越する南南西～西の波エネルギーは細砂分と負の相関を、 $D_{50}$ 、最大粒径、粗砂分は正の相関を示したが、春から秋に

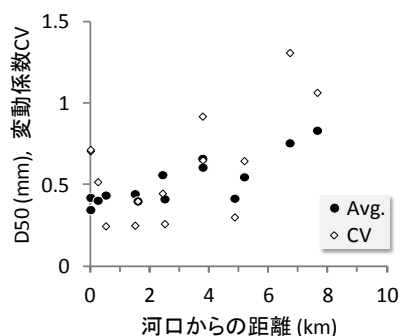


図-22 河口からの距離と平均粒径及び変動係数

卓越する南～南東の波エネルギーはいずれの粒径指標とも相関が認められなかった。これらのことから、主に冬期間の波エネルギーは細粒分を流失させ、海岸土砂を粗粒化させているものと考えられる<sup>22)</sup>。

春から秋は波エネルギーが比較的小さく、河川出水による土砂供給量が多いことから、河口からの距離に応じて粒径が変化するものと考えられる。平均粒径 $D_{50}$ 及び $D_{50}$ の変動係数 (CV) は河口から漂砂の卓越方向 (南東→北西) の距離に対して増加傾向が認められた (図-22)。このことから、鵜川周辺の海岸地形を構成する土砂は、主に鵜川・沙流川流域の上流域から供給され、河口付近では安定的に堆積するもの、河口から遠いほど冬期の高波浪により細粒分が沖合に流失し不足するものと推察される。河川上流域から沿岸域まで土砂の連続性を確保する重要性を示している。

#### 5. 4 おわりに

鵜川海岸における粒径モニタリングと放射性同位体トレーサによる鵜川・沙流川流域における生産源推定の結果、粒径特性の時空間分布は港ではさまれた区間において河口からの距離と波浪や河川流量の季節変化による細砂分の挙動で説明することができた。また、海岸土砂の主要な生産源は、鵜川・沙流川の中・上流域に分布する付加コンプレックス (メランジュ基質・堆積岩) と深成岩の地域であると推定された。これらの結果は、鵜川海岸の長期的な保全には河川上流域から沿岸域まで土砂の連続性を確保することが重要であることを示している。

#### 謝辞

北海道開発局室蘭開発建設部には水質同時観測において多大なるご協力をいただいたほか、流量及び水質データを提供いただいた。ここに記して謝意を表しま

す。

#### 参考文献

- 1) 大東淳一, 須田誠, 村上泰啓: 日高・胆振地方の海岸変遷と保全の取り組み. 第 51 回 (平成 20 年度) 北海道開発技術研究発表会, 環-47, 2008 年 2 月
- 2) たとえば佐藤慎司, 宇多高明, 岡安徹也, 芹沢真澄: 天竜川-遠州灘流砂系における土砂移動の変遷と土砂管理に関する検討. 海岸工学論文集, 51, 571-575, 2004 年
- 3) 船木淳悟, 新目竜一: 鵜川河口海域における洪水後の土砂拡散について. 水工学論文集, 43, 449-454, 1999 年 2 月
- 4) 山崎真一, 奈良俊介, 宮下将典, 新山雅紀, 山下俊彦: 鵜川河口海域における流動と底質の堆積・移動特性. 海岸工学論文集, 47, 646-650, 2000 年
- 5) 山下俊彦, 宮下将典, 山崎真一, 渡邊康玄: 河川から供給された物質の河口沿岸域での挙動. 海岸工学論文集, 47, 1026-1030, 2000 年
- 6) 北海道開発局: 鵜川水系河川整備計画. p1, 2009 年 2 月
- 7) 北海道開発局: 明日につなぐ、川づくり沙流川流域の未来へ向けた河川整備-沙流川水系河川整備計画 [変更] (直轄管理区間). 2007 年 3 月
- 8) 国土交通省河川局: 沙流川水系流域及び河川の概要. 沙流川水系河川整備基本方針, 2005 年 11 月
- 9) 倉茂好匡: 浮流土砂の測定および解析方法. 恩田裕一, 奥西一夫, 飯田智之, 辻村真貴 (編) 水文地形学-山地の水循環と地形変化の相互作用一, 古今書院, 東京, 132-142p, 1996 年
- 10) Abe T, Mizugaki S, Toyabe T, Maruyama M, Murakami Y, Ishiya T. 2012. High range turbidity monitoring in the Mu and Saru river basins: All-year monitoring of hydrology and sediment transport in 2010, *International Journal of Erosion Control Engineering* 5(1): 70-79.
- 11) 橋治国, 安藤正治, 大森博之, 飯田真也, 梅本延彦: 融雪期における山地森林域河川からの栄養塩流出. 衛生工学研究論文集, 27, 33-44, 1991 年
- 12) 横山勝英. 2002. 濁度計の粒径依存特性と現地使用方法に関する考察. 土木学会論文集 698: 93-98.
- 13) Williams, G. P. 1989. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. *Journal of Hydrology* 111, 89-106.
- 14) Ide, J., Haga, H., Chiwa, M., Otsuki, K. 2008. Effects of antecedent rain history on particulate phosphorus loss from a small forested watershed of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). *Journal of Hydrology* 352: 322-335.

## 11.1 積雪寒冷地における流域からの濁質流出と環境への影響評価・管理手法に関する研究

- 15) 村上泰啓, 中津川誠, 高田賢一. 2004. 流域条件と土砂・水質成分の流出特性について. 水工学論文集 48: 1105-1110.
- 16) 横山勝英, 藤塚慎太郎, 中沢哲弘, 高島創太郎. 2008. 多点濁度観測による筑後川水系のSS流出・輸送特性に関する研究. 水工学論文集 52: 553-558.
- 17) 吉川泰弘, 渡邊康玄. 2005. 物質輸送に与える大規模洪水の影響. 北海道開発土木研究所月報 628: 2-17.
- 18) Ide J, Nagafuchi O, Chiwa M, Kume A, Otsuki K, Ogawa S. 2007. Effects of discharge level on the load of dissolved and particulate components of stream nitrogen and phosphorus from a small afforested watershed of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). Journal of Forest Research 12, 45-56.
- 19) 水垣 滋, 吉川 契太郎, 旭 峰雄. 2013. 鶴川・沙流川流域における融雪期の土砂・物質流出特性. 第56回(平成24年度)北海道開発局技術研究発表会 KK-19.
- 20) 福島武彦, 張朝. 2008. 森林の種類による栄養塩流出の違い. 恩田裕一(編). 人工林荒廃と水・土砂流出の実態. 岩波書店, 東京, 100-109p.
- 21) Mizugaki S, Abe T, Murakami Y, Maruyama M, Kubo M. 2012. Fingerprinting Suspended Sediment Sources in the Nukabira River, Northern Japan. International Journal of Erosion Control Engineering 5: 60-69.
- 22) 佐藤慎司・前田亮・磯部雅彦・関本恒浩・笠井雅広・鳥居謙一・山本幸次 (2000) : 鹿島灘南部海岸の地形形成機構に関する現地調査, 土木学会論文集, 第 663 卷, II -53, pp. 89-99.

**ASSESSMENT OF SUSPENDED SEDIMENT DYNAMICS AND ITS IMPACT ON  
ENVIRONMENT FOR WATERSHED MANAGEMENT IN COLD REGION**

**Budgeted :** Grants for operating expenses

General account

**Research Period :** FY2011-2015

**Research Team :** Watershed Environmental  
Research Team, River  
Engineering Research  
Team

**Author :** YABE Hiroaki

WATANABE Kazuyoshi

MIZUGAKI Shigeru

MARUYAMA Masahiro

NISHIHARA Terumasa

HAYASHIDA Kazufumi

ABE Takaaki

**Abstract :**

To elucidate the sediment and nutrient dynamics from mountain to coast, their runoff and budget were investigated at various watershed scales in the Mukawa and Sarugawa watersheds. Suspended sediment and nutrient showed the seasonal variation in runoff and budgets, in which the snowmelt flood played the important role. The source and particle size of coastal sediment were also investigated. The particle size of coastal sediment, which originated mainly in upstream area, increased with distance from river mouth between the ports.

**Key words:** suspended sediment, nutrient, coastal sediment, particle size, sediment source