

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：水環境保全チーム・寒地河川チーム

研究担当者：浜本聡、矢部浩規、西原照雅、水垣滋、林田寿文、丸山政浩、村上泰啓、阿部孝章

【要旨】

流域及び河口・海岸の浮遊土砂生産源を明らかにするために、濁度計による SS 濃度推定手法の構築とトレーサによる土砂生産源推定法の検証を試みた。また流域の浮遊土砂、河口・海岸の堆積土砂の粒径組成と生産源を比較した。SS 濃度は濁度に加えて流量をパラメータに組み込むことで精度よく推定され、浮遊土砂流出量の定量評価が可能となった。同時に放射性同位体トレーサにより推定した浮遊土砂の生産源寄与から土砂生産量を地質別に評価でき、地質による土砂生産量の違いを地すべり地や崩壊地、傾斜の分布特性で説明することができた。また浮遊土砂、河口・海岸の堆積土砂の生産源は粒径組成に大きく依存する可能性が示された。

キーワード：濁度計、SS、生産源推定、放射性同位体、粒径組成

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、少なからず河川の環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2006

年までに約500 mの汀線の後退が認められ（図-1）、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¹⁾、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

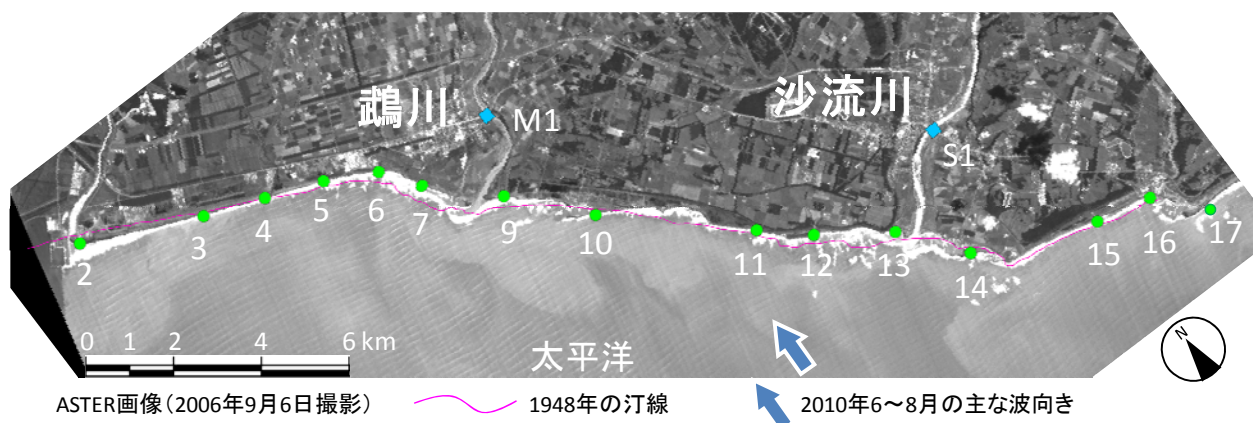


図-1 鶴川河口周辺の汀線変化とサンプリング地点

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²⁾。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、鶴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^{3), 4), 5)}。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、流域の土砂生産源の推定手法を開発するため、濁度計によるSS濃度推定手法の構築及び放射性同位体トレーサによる土砂生産源推定を行った。また、流域から海岸・沿岸域に流出する土砂の生産源推定を行った。

2. 方法

2.1 研究対象流域

調査対象流域は、北海道中央部の鶴川流域及び沙流川流域とした(図-2)。鶴川は、流域面積 1270 km²、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⁶⁾。

沙流川は、流域面積 1350 km²、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⁷⁾。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⁸⁾。

年平均降水量は、鶴川流域では上流域の占冠で 1300 mm、下流域の鶴川(むかわ)で 1000 mm、沙流

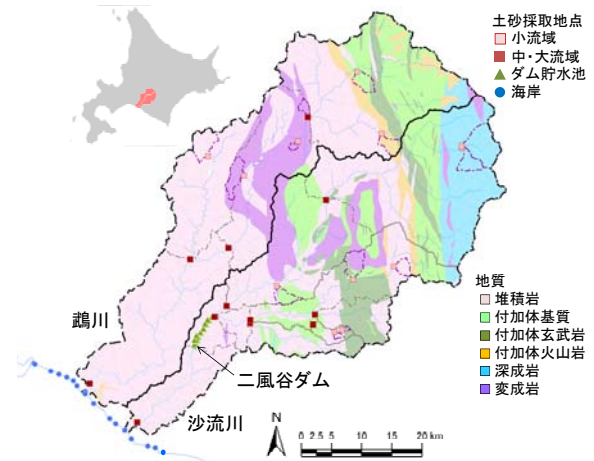


図-2 研究対象流域

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⁸⁾。地質はきわめて複雑に入り組んでいる。鶴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⁶⁾。

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、火成岩類では斑禰岩、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⁸⁾。

土地利用は、ほとんどが森林に覆われている。鶴川流域は森林、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

浮遊土砂の流出量を定量的に評価するため、濁度計による濁度の連続観測を行い、SS 濃度推定法の構築を行った。また、構築した SS 濃度推定法を用いて出水イベントによる浮遊土砂流出量を定量評価し、生産源推定と土砂生産量の評価を行った。推定された生産源毎の土砂生産量の妥当性について、地すべり地や崩壊地、地形特性といった潜在的な土砂生産源の分布特性と比較検討することで検証した。さらに、管理が必要な浮遊土砂の生産源を明らかにするため、構築された土砂生産源推定手法を用いて流域の浮遊土砂、ダム堆積土砂及び海岸土砂の生産源を推定した。

3. 濁度計による SS 濃度推定法

3. 1 調査の目的

近年、流域一貫した土砂管理の重要性が認識されている。山地部で生産された土砂は流域内で、貯水池容量の圧迫、生態系への影響、海岸線の後退など様々な問題を引き起こしている。これらの問題は流域を通して流下する浮遊土砂が原因であるものが多く、浮遊土砂の生産及び移動実態の把握が課題となっている。

こうした研究に見られる浮遊土砂輸送量の適切な評価のためには、土砂濃度の連続観測が重要になる。浮遊土砂輸送を定量的に観測する手法は数多くあるが、中でも濁度計は河道内に設置しておくだけで長期間の連続観測が可能で、土砂動態のモニタリング装置として広く普及しつつある。

一般的に用いられる濁度計は、濁水中の赤外後方散乱強度を測定して濁度に変換するもので、2000 NTU (カオリン濃度で 2000 mg/L 程度) を測定限界とするものが多い^{9), 10)}。そのような条件では濁度と浮遊土砂濃度 (以下、SS 濃度) は線形関係があり、濁度から SS 濃度を精度よく推定できる。しかし近年、数千～数万 ppm をこえる高濃度の濁水の観測事例が報告されており^{11), 12)}。このような高濁度領域では SS 濃度に対して線形関係は満たされることが指摘されており^{13), 14), 15)}、同じ濁度値であっても SS 濃度で 4 倍以上の開きが確認されるケース¹⁵⁾も報告されている。後方散乱強度は粒子比表面積に影響を受けるため¹³⁾、出水による濁水中の粒径組成の変化が SS 濃度の推定精度に影響を及ぼす可能性がある。

実河川では、降雨出水時の流量増大に伴い高濃度の濁水が発生するが、SS 濃度の推定精度が低ければ

流出土砂量の評価に大きな誤差が生じる恐れがある。濁度計による計測濁度の粒径依存性は実験によって確かめられた事例はあるが¹³⁾、実河川における濁質の特性を考慮した浮遊土砂濃度推定式はいまだ構築されていない。

本調査の目的は、降雨出水時の流出する高濃度濁水を対象に、濁度計を用いた SS 濃度推定式を構築することである。高濃度濁度計を用いて濁度の通年観測を実施し、濁度計のキャリブレーションに基づき、計測濁度に基づく SS 濃度の実用的な推定手法を検討した。

3. 2 調査方法

調査地は、鶴川流域に 2 地点、沙流川水系額平川流域に 3 地点、合計 5 地点とした (図-3、表-1)。各調査地点で流量及び浮遊土砂濃度を観測するため、自記式水位計 (応用地質; S&DL mini) 及び濁度計 (JFE アドバンテック: ATM3-8M, ATM75W-USB) をステンレス保護ケースに挿入して河川内に設置した (図-4)。所有機材の都合により、比較的低い濁度が見込まれる M3 地点にのみ ATU3-8M (測定範囲 0~20,000 ppm) を設置した (表-1)。これらの濁度計の測定原理は赤外後方散乱方式であるが、センサー部の仕様は異なっている。濁度値は、メーカーによりカオリン (中央粒径 6 μm ; JFE アドバンテック私信) で校正され、ppm の単位で出力される。

水位及び濁度の測定時間間隔は 10 分とし、2010 年の 1 年間実施した。各観測地点において平水時及び出水時に流速測定を行い、あらかじめ水位-流量曲線を作成し、流量の時系列データを得た。濁度計の観測生データから異常値を除去するため、濁度計が水面上にでていた期間、土砂埋積が考えられる期間、

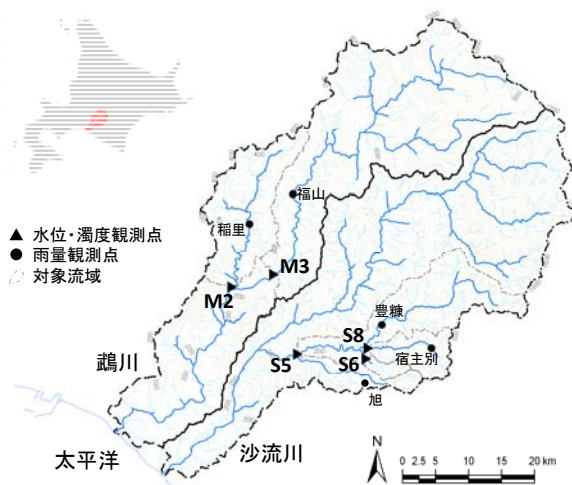


図-3 調査地点位置図

表-1 調査地点・濁度計諸元

水系	鶴川		額平川	沙流川	宿主別川
対象流域	穂別川	鶴川	貫気別橋	総主別川	宿主別川
調査地点	中島橋	富内橋		町道1号橋	宿主別橋
地点コード	M2	M3	S5	S6	S8
流域面積	200	723	290	17	64
年平均降水量 (mm)	1418	1521	1286	1668	1728
雨量観測所	稲里	福山	豊糠	旭	宿主別
濁度計型式	ATU75W-USB	ATU3-8M	ATU75W-USB	ATU75W-USB	ATU75W-USB
測定限界 (ppm)	100,000	20,000	100,000	100,000	100,000

無降雨時や河川結氷期間など土砂流入による濁度上昇が想定されない期間のスパイクデータを棄却した。その上で、前後 30 分 (7 点) の移動平均値を濁度データとした。

濁度から SS 濃度を算出するため、各地点において融雪出水時に 4~5 回、夏期の降雨出水時の水位ピーク時に 1~2 回、橋上より左岸、流心、右岸の 3 箇所河川水の表面採水を実施した。各地点の各箇所における採水量は約 8 L とした。

採取した河川水の一部を吸引ろ過し、フィルター上の残留物の乾燥重量を水試料量で除して、SS 濃度を算出した。各地点の SS 濃度は、左岸、流心及び右岸 3 箇所の平均 SS 濃度とした。濁度成分の粒度分析について、各地点の 3 箇所採取した河川水を等量ずつ混合し、濁質成分を十分に静沈させ上澄みを除去した後、絶乾したものを分析試料とした。乾燥した濁質試料は、ふるい試験を行い、0.5 mm 以下の成分についてはレーザー回折式粒度分布測定装置 (島津 SALD-3000S 及び SALD-2000J) により粒度分布を調べた。レーザー分析には、30%過酸化水素水で有機物分を除去したものを分析試料とした。比表面積は、等価球体を仮定した粒子の比表面積とし、粒度試験結果を用いて次式によって算出した。すなわち、

$$SSA = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{6}{\rho \sqrt{d_i d_{i+1}}} p_i \quad (1)$$

である。ここに、SSA は比表面積 (m²/g)、n は粒径階数、d_i は粗い方から i 番目のメッシュサイズ (m)、p_i は粒径階 i の存在割合、ρ は粒子密度 (g/m³) である。ただし本研究では、粒子密度を 2.6 × 10⁶ g/m³ とした。比表面積は、粒度が粗いほど小さくなる。

3.3 結果と考察

SS 濃度は数千 mg/L 以上の高い値が得られ、とくに S5 地点と S8 地点では SS 濃度が 10,000 mg/L 以上の超高濃度の濁水が確認された。SS 濃度を濁度値から推定するため、採水と同時刻の濁度と SS 濃度との関係を調べた (図-5)。河川水の濁質がカオリンと同じ性質であれば、河川水の SS 濃度は濁度と同じ値をとるはずであるが、全体的にばらつきが大きかった。M3、S5 及び S8 地点の SS 濃度について地点ごとに濁度のべき乗関数で回帰したところ、決定係数は 0.71 ~ 0.85 程度であった。これらのことから、濁度から

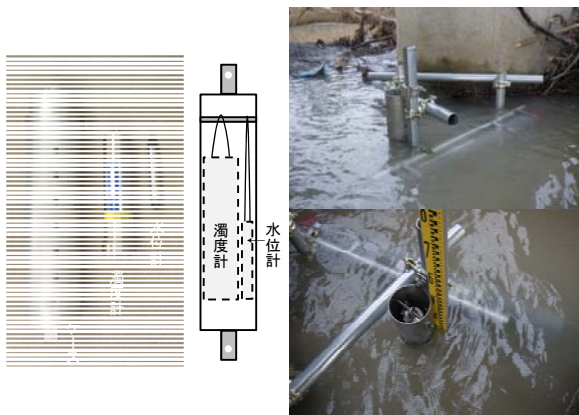


図-4 水位・濁度計の設置例

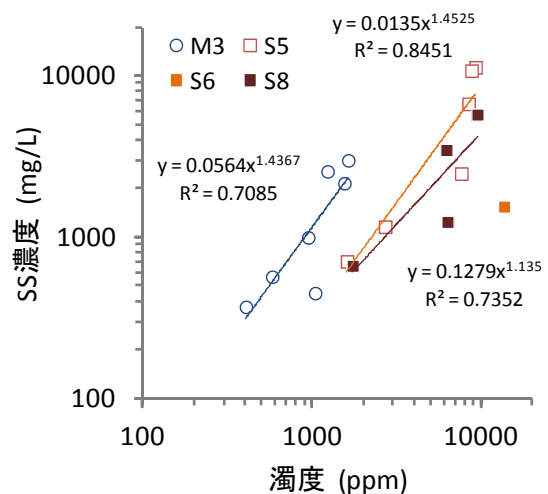


図-5 濁度と SS 濃度の関係

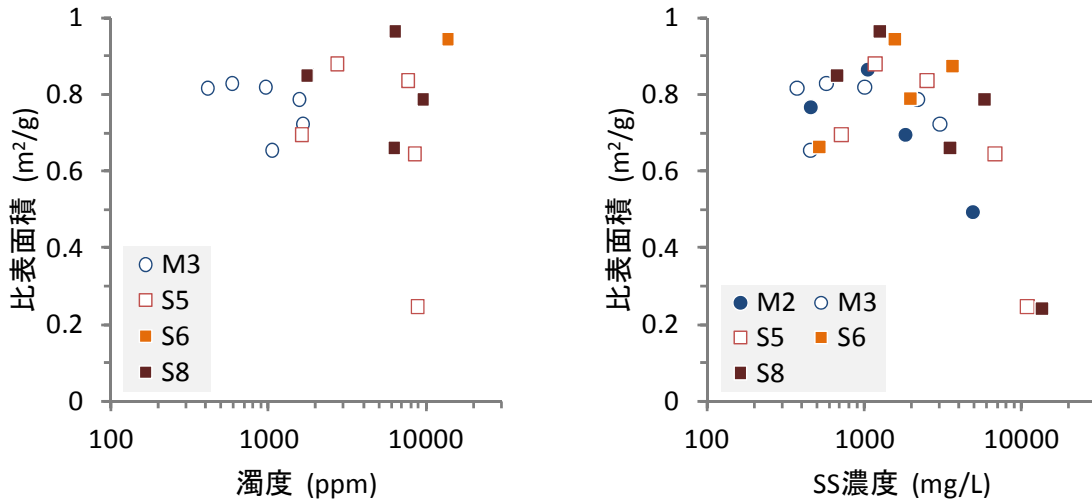


図-6 濁度、SS濃度と比表面積との関係

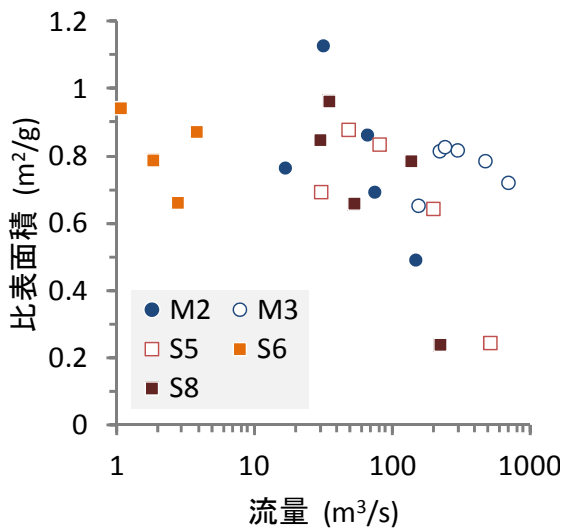


図-7 流量と比表面積の関係

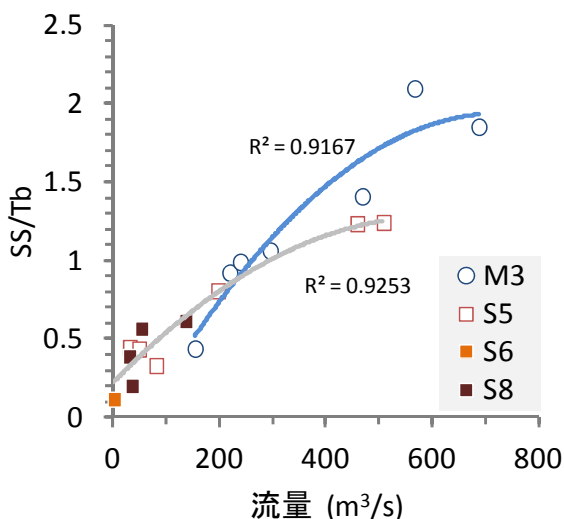


図-8 流量とSS/Tbの関係

SS濃度を単純な換算式で精度良く推定することができないことがわかった。このことは、濁度成分の

性質が均一でなく、濁度計の機種や地点や流況によってSS濃度に対する濁度の応答が異なる可能性を示唆している。

濁度及びSS濃度に対する濁質成分の粒径組成による影響を調べるため、濁度及びSS濃度と比表面積との関係を調べた(図-6)。比表面積は濁度との間に明瞭な傾向は認められないが、SS濃度に対して明瞭な減少傾向が認められた。比表面積は、その値が大きいほど粗粒分が多く、微細粒分が少なくなることを意味していることから、SS濃度が高いときは濁質成分として粗粒分が大きく混入している可能性がある。

流量と比表面積との関係を調べた(図-7)。M2、M3、S5及びS8地点では、融雪出水時初期の流量が最も小さいときを除いて、比表面積は流量にともない減少傾向を示した。S6地点は、最も流量が大きい時を除いて、比表面積は流量に対して減少傾向を示した。これらのことから、濁質の粒度組成が流量によって変化していることが示唆された。

濁質の比表面積は流量に対して、明瞭ではないが減少傾向を示しており(図-7)、流量にともなうSS/Tbの増加が期待できる。そこで、SS/Tbと流量との関係を調べたところ、鶴川流域(M3: ATU3-8M)及び額平川流域(S5, S6, S8: ATU75W-USB)において、それぞれ(2a)式及び(2b)式によって回帰できた(図-8)。

$$\frac{SS}{Tb} = (-4 \times 10^{-6})Q^2 + 0.0062Q - 0.3398$$

$$R^2 = 0.9167 \quad (2a)$$

$$\frac{SS}{Tb} = (-3 \times 10^{-6})Q^2 + 0.0035Q - 0.2198$$

$$R^2 = 0.9253 \quad (2b)$$

ここに SS は土砂濃度 (mg/L)、Tb は濁度 (ppm) 及び Q は流量 (m³/s) である。これらの式を SS 濃度について一般化すると、

$$SS = Tb(aQ^2 + bQ + c) \quad (3)$$

となる。ここに、a、b 及び c は係数である。

本研究で行った濁度計による SS 濃度の推定は、出水時の表面採水により SS 濃度を算出している。一般的に水深方向には流速分布が存在するため¹⁶⁾、水面付近の浮遊土砂の粒径分布と濁度計設置高さでの粒径分布は異なる可能性がある。しかし、鶴川流域における実測例では、SS 濃度の鉛直方向の変化は認められなかった¹⁷⁾。そのため、SS 濃度の鉛直分布の濁度に与える影響は小さいものと考えた。濁度と流量データを用いた (3) 式による SS 濃度推定式は、濁度-SS 濃度式 (図-6) よりも決定係数が高いことから、高濃度の SS 濃度をより精度良く推定できると考えられる。

4. 浮遊土砂生産源の推定手法

4.1 調査の目的

浮遊土砂は、豪雨による地すべりや崩壊といった大規模な土砂生産が発生した後も、引き続き降雨によって継続して流出する。沙流川流域では 2003 年 8 月の台風によって観測史上最大の洪水イベントが発生し、とくに支川の額平川流域では全域にわたって崩壊や地すべりが同時に多発した。土砂流出の長期化は、濁水の発生を伴い、ダム貯水池の埋積や下流

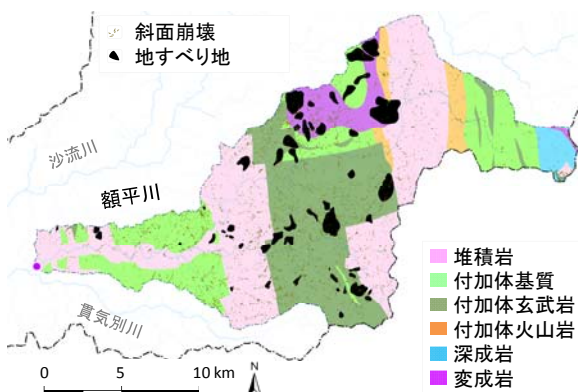


図-9 調査対象流域



図-10 観測された出水イベント中の濁水 (2010/8/12)

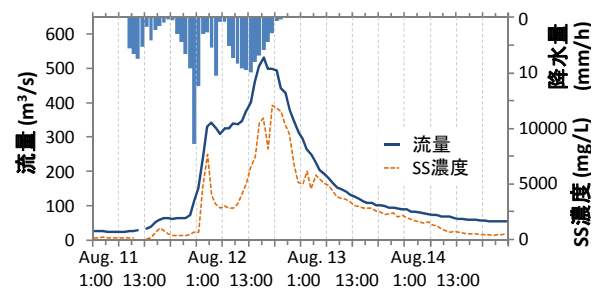


図-11 出水イベント中の流量及び SS 濃度

域の河川生態系や水産資源に影響を及ぼす。流域一貫した土砂管理を考える上で、このような濁質の生産源を把握することは極めて重要となる。本調査の目的は、トレーサを用いて浮遊土砂の生産源を明らかにすることである。

4.2 調査方法

調査流域は、沙流川水系額平川流域 (貫気別橋地点: 流域面積 290 km²) とした (図-9)。2010 年 8 月 11 日から降雨出水イベントが発生し、総雨量 202 mm、最大時間雨量 38 mm/h であった。貫気別橋に水文定点観測点を設け、水位計及び濁度計を設置し、流量及び SS 濃度の連続観測を行った。流量ピーク時に表面採水を行い、浮遊土砂の抽出を行った。また、浮遊土砂サンプラーを設置し、出水期間中の浮遊土砂を捕捉・回収した。

出水イベント中の流出土砂の生産源を推定するため、Mizugaki et al. (2012)¹⁸⁾にしたがい、放射性同位体特性 (²¹²Pb, ²²⁸Ac, ⁴⁰K) による生産源推定を行った。浮遊土砂の放射性同位体特性は、γ線スペクトロメトリーにより定量評価し、地質 (岩種) により区分された 6 種の土砂生産源 (堆積岩、付加体基質、付加体玄武岩、付加体火山岩、深成岩、変成岩) とのマハラノビス距離を計算し、それぞれの寄

与率を算出した。

また、生産源寄与の妥当性を評価するため、潜在的な生産源の指標として地すべり地¹⁹⁾及び崩壊地²⁰⁾の分布密度、傾斜及び起伏量を6つの生産源地域ごとにGIS (ESRI; ArcGIS9.3.1, Spatial Analyst)を用いて集計した。

4.3 結果と考察

観測された降雨出水イベントでは、流量は最大531 m³/s、浮遊土砂濃度は最大約12000 mg/Lを記録した(図-10, 11)。出水期間中の浮遊土砂流出量は約293,000t、土砂生産量は1,010t/km²であり、2003年8月の額平川流域の土砂生産量の約30%程度である。

放射性同位体トレーサによる生産源寄与は、変成岩、堆積岩及び付加体基質がそれぞれ31%、30%、24%と高く、これらの生産源グループで85%を占める(図-12)。寄与率と土砂流出量を乗じ、各生産源グループの面積で除すことによって、各生産源グループごとに土砂生産量を算出した。その結果、変成岩が最も土砂生産量が高く(4,700 t/km²)、深成岩がそれに次いで高かった(図-12)。

地すべり地や崩壊地は変成岩地域で密集しており(図-9, 13)、土砂生産量の高さが伺える。一方、深成岩は地すべり地や崩壊地は少ないものの(図-9, 13)、地形が急峻であり(図-14)、土砂生産ポテンシャルは高いものと推察される。一方、付加体玄武岩は崩壊地が密集しているが(図-9, 13)、土砂生産量は小さく評価された(図-12)。崩壊時に発生した土石は粒径が大きく、風化を受けにくいため²¹⁾、浮遊土砂生産源としての寄与が小さくなったと推察される。

水文観測による流出土砂量の定量評価と、放射性

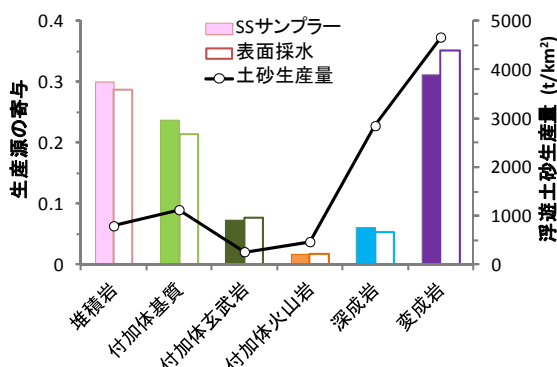


図-12 出水イベント中の濁質に対する生産源グループの寄与と土砂生産量

同位体トレーサによる土砂生産源推定手法を組み合わせることで、地質毎の土砂生産量を推定することができた。推定された地質毎の土砂生産量は、地質による土砂生産・流出プロセスの違いを反映している可能性があり、これらの手法による生産源評価手法は有効であると考えられる。

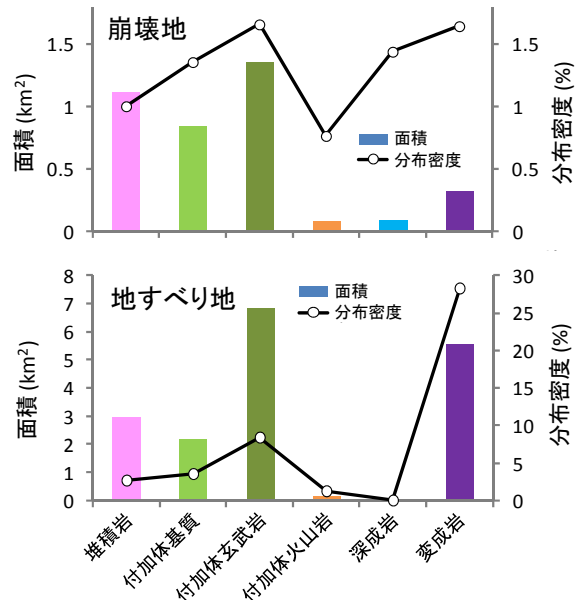


図-13 崩壊地、地すべり地の面積と分布密度

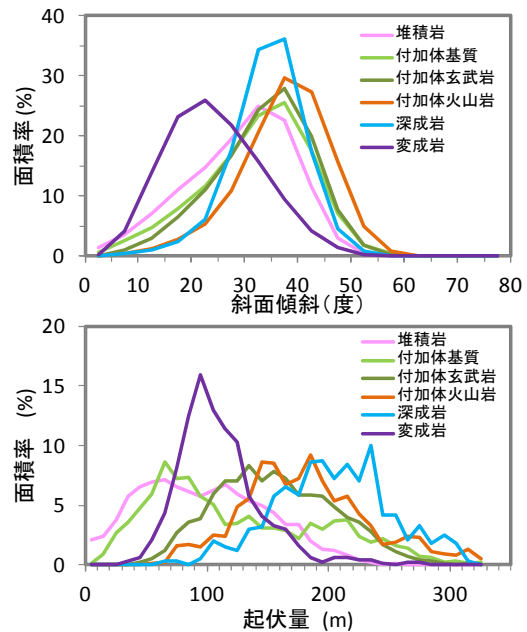


図-14 地質別にみた斜面傾斜と起伏量

5. 土砂生産源の粒径依存性

5.1 調査の目的

崩壊や地すべりといった大規模な土砂移動により

生産された土砂の大部分は流域内に堆積し、引き続き降雨により浮遊土砂として流出するため、ダム湖の埋積や下流域・沿岸域における濁水の長期化など、水資源や生態系に深刻な影響をもたらす。一方、過度な砂利採取や人工構造物による土砂移動の遮断は河床低下や海岸侵食の主要因とされている。流域一貫した土砂管理（流砂系）のためには、浮遊土砂の生産源対策が必要であり、流域内の生産源の特定が重要となる。本研究の目的は、大流域スケールでの浮遊土砂の生産源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。

5.2 調査方法

調査地は、北海道中央部の鶴川及び沙流川流域とした(図-2)。上流域から河口まで26地点において、浮遊土砂サンプラーや表面採水により浮遊土砂を採取した。また、二風谷ダム貯水池の表層堆積土砂を採取した。鶴川及び沙流川河口周辺の海岸17地点で表層堆積土砂を採取した。

採取した土砂(φ0.5mm以下)について、ガンマ線分析により放射性同位体(²¹²Pb, ²²⁸Ac, ⁴⁰K)濃度を測定した。Mizugaki et al. (2012)¹⁸⁾にしたがい、流域の地質(岩石)で6区分した生産源(堆積岩、付加体基質、付加体玄武岩、付加体火山岩、深成岩及び変成岩)からの浮遊土砂に対する寄与を、トレーサ濃度のMahalanobis距離を用いて計算した。フルイ試験及びレーザー一回折式粒度分布測定装置により浮遊土砂及び堆積土砂の粒径組成を調べ、等価球体を仮定した比表面積を算出した。

5.3 結果と考察

浮遊土砂、ダム堆積土砂、海岸砂の粒径組成を比較した(図-15)。浮遊土砂は明らかにダム堆積土砂

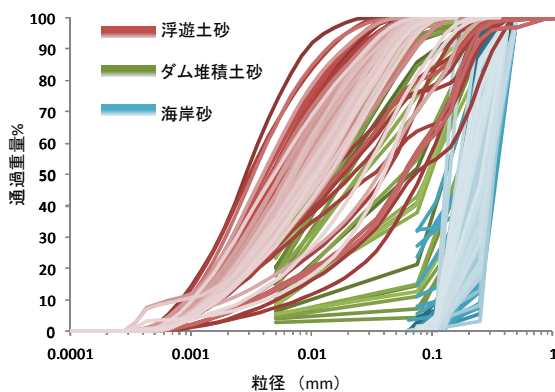


図-15 浮遊土砂、ダム堆積土砂、海岸砂の粒径組成

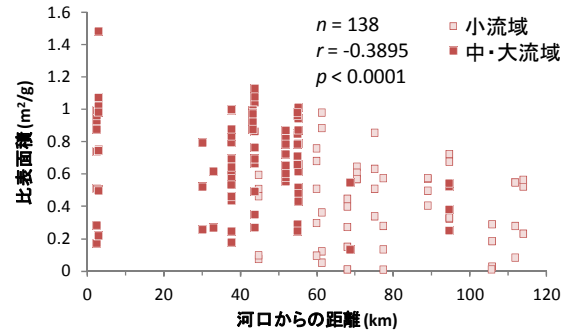


図-16 河口からの距離と浮遊土砂の粒径(比表面積)との関係

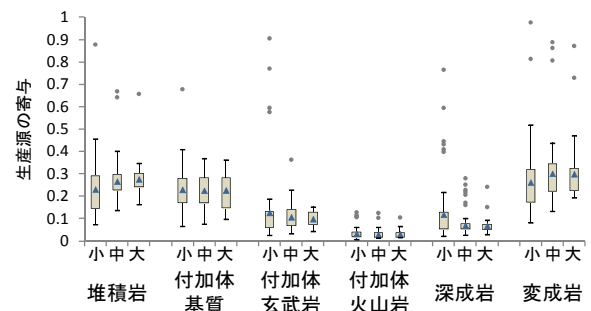


図-17 流域スケール別にみた浮遊土砂の生産源寄与

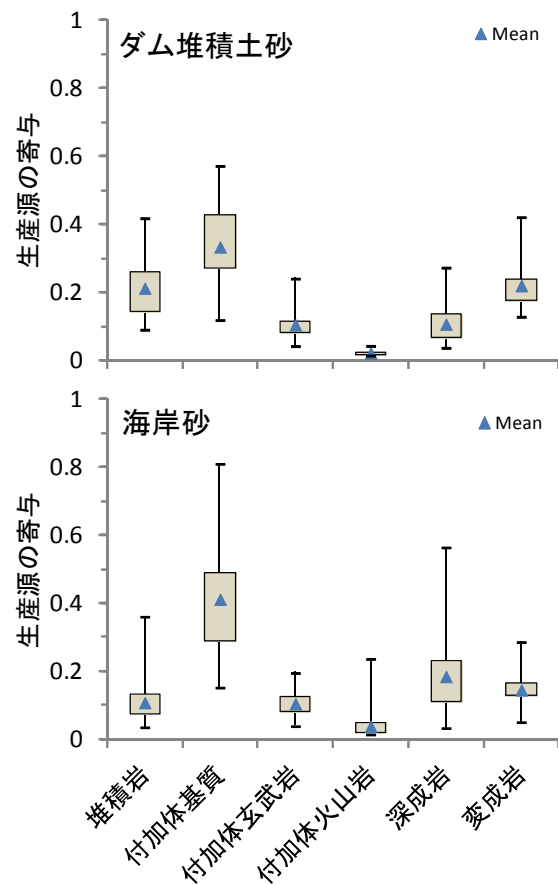


図-18 ダム堆積土砂(上)、海岸砂(下)の生産源寄与

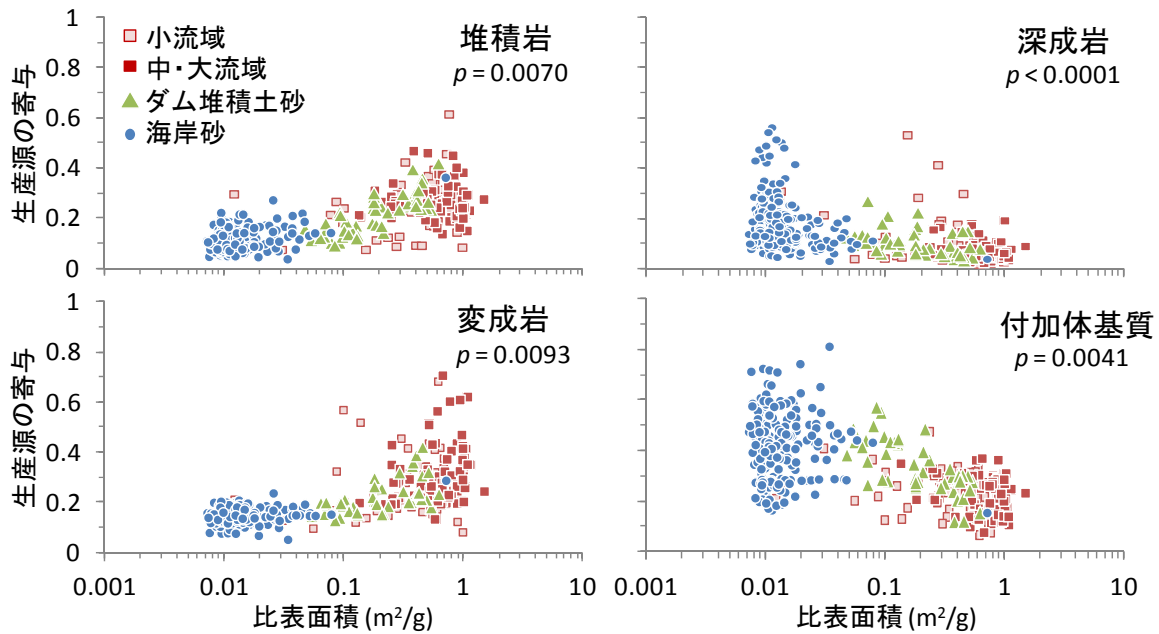


図-19 粒径組成（比表面積）と生産源寄与との関係

や海岸砂よりも微細土砂分が多く含まれており、海岸砂はほぼ粒径が揃っている。ダム堆積土砂は、浮遊土砂と海岸砂の中間程度の粒径組成であることがわかる。浮遊土砂の比表面積は河口からの距離と有意な正の相関があり、下流域ほど分級作用で細粒化したと推察された（図-16）。

浮遊土砂の生産源は、流域スケールによるばらつきの違いはあるものの、平均して堆積岩、変成岩の寄与が高かった（図-17）。一方、海岸土砂の生産源は、付加体基質、深成岩の寄与が高かった（図-18）。海岸土砂は浮遊土砂より粒径が大きく、土砂生産源の粒径依存性が示唆された。浮遊土砂・堆積土砂の生産源寄与と比表面積について、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、流域の土砂生産源は粒径依存性が強いこと、流域の場所によって粒径が異なることで、その生産源が変化すると考えられた。土砂生産源の粒径依存性は、地質による土砂生産特性を反映している可能性がある。放射性同位体トレーサを用いて土砂生産源を推定することで、粒径に応じた生産源対策を講じるなど、流域土砂管理に役立つことが期待される。

6. まとめ

高濃度濁度計を用いて出水中の濁度を連続観測し、SS濃度との関係を検討した結果、流量に応じて粒径

組成が異なることが明らかとなり、SS濃度-濁度比と流量との関係式から、SS濃度を推定できる可能性が示された。このことにより、浮遊土砂流出量の定量評価が可能となり、土砂生産量を算出することができた。また、放射性同位体トレーサによる生産源推定手法と組み合わせることにより、地質別の土砂生産量を評価できた。地質による土砂生産量の違いは、地すべり地や崩壊地の分布密度、地形特性や風化特性といった潜在的な土砂生産強度の地質による違いによって説明することができ、この土砂生産源推定手法の有効性が示唆された。さらに、流域から流出する浮遊土砂の生産源は、粒径に大きく依存している可能性が示され、ダム貯水池の堆積土砂や海岸砂、沿岸に拡散する濁質など、粒径に応じた土砂生産源対策の必要性が示唆された。

これまでに得られた知見は、限られた地点、地域における調査結果に基づいており、データ不足の感否めない。研究成果の一般性を検証するためには、今後もデータの蓄積とさらなる検討が必要である。

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

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

- 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)、p1、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) たとえば Lewis J. : Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation, *Water Resources Research*, 32, 2299-2310, 1996
 - 10) 山口甲, 三田村一弘, 渡辺浩司: 大河川における濁度観測値による土砂輸送量の計算、水工学論文集、44、401-406、2000年
 - 11) 石田哲也, 中山恵介, 大西健史, 夏井皓盛, 大森未音, アイヌルアブリズ, 丸谷靖幸, 岡田知也: 融雪期における高濁度水発生機構と細粒土砂輸送、水工学論文集、54、433-438、2010年
 - 12) Abe T, Mizugaki S, Toyabe T, Maruyama M, Murakami Y, Ishiya T. : 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), in press
 - 13) 横山勝英: 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 (II-58)、93-98、2002年
 - 14) 横山勝英: 河川の土砂動態が有明海沿岸に及ぼす影響について—白川と筑後川の事例—、*応用生態工学*、8(1)、61-72、2005年
 - 15) 横山勝英, 藤塚慎太郎, 中沢哲弘, 高島創太郎: 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、2008年
 - 16) 横山洋, 喜澤一史, 長谷川和義: 鵜川洪水における水位変化と水理量の関係について、土木学会第55回年次学術講演会、II-102、2000年
 - 17) 鳥谷部寿人, 山下彰司, 喜澤一史, 長谷川和義: 平成9年8月鵜川洪水における現地観測の結果とその解析、土木学会北海道支部論文報告集、54、145-150、1998年
 - 18) Mizugaki S, Abe T, Murakami Y, Maruyama M, Kubo M. : Fingerprinting suspended sediment sources in the Nukabira River, northern Japan, *International Journal of Erosion Control Engineering*, 5(1), in press
 - 19) 山岸宏光: 北海道の地すべり地形分布図とその解説、北海道大学図書刊行会、札幌、pp.392、1993年
 - 20) 村上泰啓, 中津川誠: 斜面崩壊・土砂生産・流木発生、平成15年台風10号北海道豪雨災害調査団報告書、土木学会水工学委員会(編)、土木学会、東京、46-56、2004年
 - 21) 村上泰啓, 鈴木雄介, 池島剛: 航空レーザー測量結果を用いた沙流川流域の微地形判読と基盤岩の土砂生産特性について、*河川技術論文集*、14、127-132、2008年

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

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

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

Author : HAMAMOTO Satoshi

YABE Hiroaki

NISHIHARA Terumasa

MIZUGAKI Shigeru

HAYASHIDA Kazufumi

MARUYAMA Masahiro

MURAKAMI Yasuhiro

ABE Takaaki

Abstract :

To elucidate the sources of suspended sediment in watershed and deposited sediment in estuary and coastal area, two methods associated with assess of sediment dynamics were developed: the estimation of suspended sediment concentration (SSC) using turbidity meter and fingerprinting technique using radionuclide tracers. Particle size composition and sediment sources were also investigated for suspended sediment in watershed and deposited sediment in estuary and coastal area. SSC was found to be well estimated by incorporating turbidity and discharge into regression function as parameters. This function can provide flux of suspended sediment during flood event. Furthermore, fingerprinting technique could provide the suspended sediment yield for each geological source area discriminated by bedrock type, which could be represented by the density of landslides and/or slope failures and steepness of terrain. Sources of suspended and deposited sediment in watershed, estuary and coastal areas showed significant correlation with specific surface area of sediment, suggesting that the source area may depend on particle size.

Key words: Turbidity meter, suspended sediment, fingerprinting, radionuclide, particle size distribution