戦-75. 河口域環境における物質動態評価手法に関する研究

研究予算:運営費交付金 研究期間:平21~平23 担当チーム:水環境保全チーム 寒地技術推進室 研究担当者:浜本聡、矢部浩規、水垣滋、鳥谷部寿人、林 田寿文、石谷隆始、丸山政浩

【要旨】

流域及び河口・海岸の土砂生産源を明らかにするため、放射性同位体分析と統計解析により地質別に生産源を 判別できるトレーサを探索した。またトレーサを用いた土砂生産源の推定法を構築し、浮遊土砂および海岸土砂 の生産源を推定した。岩石起源の天然放射性同位体(²¹²Pb、⁴⁰K、²²⁸Ac)をトレーサとすると、岩石種を基準に 土砂生産源を6グループに判別できることがわかった。トレーサ特性の平均値と分散を考慮した距離(マハラノ ビスの距離)を用いた生産源寄与率の算出法を構築し、ダム堆積物に対する生産源からの寄与を推定したところ、 堆積岩や変成岩といった細粒化しやすい地質からの寄与が高いことが示された。同様に、海岸土砂に対する生産 源寄与を推定したところ、付加体基質、深成岩といった上流域の寄与が高かった。一方、流域下流端の浮遊土砂 の生産源は、ダム堆積物と同様に堆積岩や変成岩の寄与が高かった。浮遊土砂と海岸土砂では粒径が異なるため、 粒径によって土砂生産源が異なる可能性が示唆された。

キーワード:浮遊土砂,土砂生産源推定,放射性同位体トレーサ,鵡川,沙流川

1. はじめに

河川の河口域における干潟やその近傍の湿地は、 渡り鳥の重要な休息の場であり、北海道を代表する 自然環境を形成する。近年、海岸の侵食に伴う干潟 の消失が指摘されており、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。海岸の侵食や河口域の干潟形成には、河川流域 の流況(融雪出水の影響を含む)や土砂生産・流出 過程とともに、沿岸の漂砂環境が大きく影響する。 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¹⁾。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。海岸や 干潟を保全していくためには、流域から沿岸域まで の流砂系において、長期的に土砂動態を把握する必 要がある。

鵡川河口域は、北海道でも最大規模の河口干潟が



図-1 鵡川河口周辺における汀線変化とサンプリング地点

あった。鵡川河口周辺では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)、干潟が 消失、越波被害なども生じている²⁾。流域での土地 利用開発や河川改修、河床での砂利採取などが河 口・沿岸域への土砂流出量に大きく影響している可 能性がある。また、近年の気候変動による豪雨の増 加傾向は北海道でも認められており³⁾、積雪地域に 特徴的な融雪による土砂生産・流出は極めてインパ クトが大きい⁴⁾。したがって、流域の土砂動態を把 握することが河口沿岸域の土砂動態や地形変化を把 握する上で重要である。また、土砂流出イベントが 生じる春から秋にかけての鵡川沖の波向きは主に南 から北方向であり(図-1)、北西から南東へとほぼ直 線に延びた海岸線では漂砂が主に東から西へと移動 するため、鵡川流域だけでなく沙流川流域からの流 出土砂が大きく関わっている可能性がある。

鵡川及び沙流川沖の沿岸流による土砂動態につい ては、これまでにも多くの調査・研究が行われてい る^{5,6,7)}。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、健全な干潟の形成・維持手法の 提案に資するため、流域及び河口・沿岸域の土砂動 態を長期的に把握すること、また山から海まで一貫 した土砂動態の新たな調査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構築 するため、ダム堆積物を用いて長期的な土砂生産源 推定を行った。また、海岸土砂に対する流域からの 寄与を明らかにするため、海岸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、北海道中央部の鵡川流域及び沙 流川流域とした(図-2)。鵡川は、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 シュル川、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



図-2 研究対象流域

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⁸⁾。

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⁹。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¹⁰。

年平均降水量は、鵡川流域では上流域の占冠で 1300 mm、下流域の鵡川(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¹⁰⁾。地質はきわめて複雑 に入り組んでいる。鵡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⁸⁾。

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壌土・植壌土でおお 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¹⁰⁾。

土地利用は、ほとんどが森林に覆われている。鵡 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

山地から河口・沿岸域に到達する土砂の生産源を

把握する手法を構築するため、様々な地質流域で採 取した生産源土砂の放射性同位体特性を調べ、有効 トレーサの探索と地質による生産源区分を行った。 また、流域の流出土砂について長期的な流出土砂の 生産源を評価するため、ダム堆積物の生産源推定を 行った。さらに、海岸土砂に対する流域の生産源か らの寄与を把握するため、海岸土砂の生産源推定を 行った。

3. 浮遊土砂のトレーサ探索と生産源推定

3.1 調査の目的

地殻活動が盛んな日本では河川流域からの土砂生 産が活発であるため、山から海まで水系一貫した土 砂管理が必要である。とくに浮遊土砂は山地から海 域まで一気に流下するため、生産源における対策が 重要である。浮遊土砂を大量に河川に供給する地す べりや斜面崩壊といった大規模な土砂生産は地質に 大きく依存する可能性があり¹¹⁾、浮遊土砂の生産源 を把握するには、異なる地質を判別できる浮遊土砂 トレーサが必要となる。

近年、放射性降下物をトレーサとした浮遊土砂生 産源の推定が行われている¹²⁾¹³⁾。放射線量は岩石に よって異なることが知られており¹⁴⁾、天然放射性同 位体を用いて異なる地質の浮遊土砂生産源を判別で きる可能性がある。本章の目的は、異なる地質流域 の浮遊土砂生産源を推定する手法を構築すること、 また長期的な土砂生産源を評価することである。そ のために、異なる地質流域における崩壊裸地斜面の 表層土壌と浮遊土砂を採取し、γ線分析により天然 放射性同位体を定量評価し、統計解析を用いて判別 可能な生産源の地質区分とトレーサを探索した。ま た、生産源土壌のトレーサ特性について、分散を考 慮した距離(マハラノビスの距離)を用いた生産源 寄与率の算出法を構築し、生産源の推定を試みた。



図-3 ダム貯水池のボーリングコア採取地点

3.2 調査方法

3.2.1 調查地及び野外調查

調査対象流域は鵡川(1270 km²)及び沙流川流域



図-4 分析用試料(右)とγ線波高分析装置(左)



図-5 生産源と堆積土砂のマハラノビスの距離の 概念図

(1350 km²)とした(図-2)。異なる地質の放射性同 位体を調べるため、GISと1/20万シームレス地質図 (産総研地調総合センター)を用いて13の小流域を 調査地とし、崩壊裸地斜面の表層約5 cmから土壌試 料を採取した。流域の浮遊土砂に対する生産源の寄 与を長期的に推定するため、流域からの浮遊土砂が 蓄積されているダム貯水池の堆積物に着目した。本 研究では、沙流川水系の二風谷ダム流域(1998年3 月完成、流域面積1215 km²)を対象とし、ダム貯水 池の3地点で採取されたボーリングコア試料¹⁵⁾を深 度別に採取し、分析試料に供した。

3.2.2 分析方法

採取した土砂試料は、35~40°Cで風乾した後、生 産源土壌については 500 μ m メッシュのふるいで篩 別した後、ボーリングコア試料は分取してそのまま ポリエチレン容器(ϕ 15 mm、高さ 50 mm、容積 5 ml) に充填し、密閉後 21 日以上静置したものを γ 線測定 試料とした(図-4)。 γ 線分析には、高純度 Ge 井戸 型検出器付き γ 線波高分析装置(Ortec GWL-120-15; SEIKO EG&G MCA7600)を用い(図-4)、標準線源 でエネルギー校正及び効率校正を行った。放出され る γ線を1試料につき8時間以上測定し、天然放射 性同位体のウラン-238系列、トリウム-232系列、ウ ラン-235系列、カリウム-40、及び人工放射性同位体 セシウム-137と放射性降下物の過剰鉛-210の13種 類について定量分析した。

<u>3.2.3 解析方法</u>

生産源土壌の採取地点を、地質図により3種類の 基準(地質紀、岩石、小流域)で分類した。異なる 基準の分類グループを判別できるトレーサの組合せ を抽出するため、Walling ら¹⁶⁾の統計解析方法にした がいノンパラメトリック(Kruskal-Wallis)検定及び 判別分析を行った。さらに抽出されたトレーサ組合 せを用いて浮遊土砂に対する生産源の寄与を推定す るため、各生産源グループと堆積土砂の同位体濃度 からマハラノビスの距離¹⁷⁾を計算した(図-5)。堆積 土砂の生産源からの寄与は、マハラノビスの距離が 短いほど大きく、距離が長いほど小さいと考えられ るため、生産源からの寄与が距離の逆数に比例する ものと仮定し、以下の式で生産源からの寄与を算出 した。

$$p_i = rac{rac{1}{d_i}}{\sum_{i=1}^n rac{1}{d_i}}$$
 , $\sum_{i=1}^n p_i = 1$

ここに *pi* は堆積土砂に対する生産源 *i* からの寄与、 *di* は生産源 *i* と堆積土砂とのマハラノビスの距離で

表-1 判別分析によるトレーサの組合せ

_	Period (8)		Geology (10)		Rock (6)*		
	Cumulative % Tracer classified			Cumulative %	Cumulative 9		
	Tracer	classified	Tracer	classified	Tracer	classified	
	property	correctly	property	correctly	property	correctly	
	Pb-212	33.33	Pb-212	33.33	Pb-212	50.00	
	K-40	36.11	K-40	40.28	K-40	66.67	
	Bi-212	44.44	Ac-228	40.28	Ac-228	72.22	
	Ac-228	43.06	Pbex	45.83			
	Pbex	43.06	TI-208	51.39			
	TI-208	56.94	Bi-214	55.56			
	Pb-214	61.11	Pb-214	58.33			
			Dh 210	61 11			



図-6 各生産源グループのトレーサ特性



図-7 ボーリングコア試料の生産源寄与

左から KP4.4, KP3.6, KP2.0 地点(柱状図は室蘭開発建設部二風谷ダム管理所・日本工営¹⁵⁾を改変)

ある。

推定した土砂生産源の寄与の妥当性を検討するため、土砂生産・流出の誘因の主要因となる降雨量の 空間分布を整理した。降雨量は、北海道開発局の雨 量観測所12 観測所における雨量データ(1998-2007) を用い、Thiessen 法で決定した各観測所の対象範囲 ごとに生産源グループ別の降水量(m³)として算出 し、ダム流域全体で集計した。

3.3 結果と考察

定量分析を行った 13 種の放射性同位体について ノンパラメトリック検定を行った結果、8~9種の放 射性同位体についてグループ間で有意差が認められ た。有意差が認められた同位体を対象に判別分析を 行ったところ、正答率が最も高かったのは岩石区分 を鉛-212 (²¹²Pb),カリウム-40 (⁴⁰K) 及びアクチニ ウム-228 (²²⁸Ac)を用いて判別した場合(72.22%) であった(表-1)。鵡川及び沙流川流域を6つの生産 源グループで区分すると、堆積岩が全体の47.1%と もっとも大きな割合をしめし、付加体基質(15.8%)、 変成岩(12.1%)、付加体玄武岩(8.8%)、深成岩(7.1%)、 付加体火山岩 (3.6%)、その他 (5.5%) と続く (図-2)。 各生産源グループの同位体濃度は図-6のように、3 核種ともグループごとに異なることがわかる。この ように、天然放射性同位体を用いて流域の土砂生産 源を6つの岩石区分に判別できることがわかった。

ダム貯水池のボーリングコア試料について同位体

を測定し、各生産源グループとのマハラノビスの距離をもとに生産源の寄与を推定した(図-7)。生産源寄与率は層ごとにバラツキがみられるものの、概ね堆積岩、付加体基質及び変成岩の寄与が大きい傾向が認められる。堆積岩の寄与率が高いのは、ダム流域における各生産源グループの面積割合と降水量割合はほぼ同じであるが、生産源の寄与は付加体基質や変成岩で面積や降水量の割に大きく、堆積岩や深成岩で小さいことがわかった(図-8)。これらのことから、地質によって土砂生産量や流出率(輸送率: Sediment Delivery Ratio)が異なることが示唆される。 堆積岩ではスレーキングなどにより細粒化しやすく、変成岩では粘土化した微細粒子の流出が確認されており^{11),18)}、ダム堆積物に対するこれらの地域の寄与が高いという結果を支持している。このような地質



与の比率(年降水量は冬季12~3月を除く)

による風化特性の違いが土砂生産・流出量に反映し ている可能性があり、地形や水文流出特性とともに 検討していく必要がある。

4. 海岸土砂の生産源推定

4.1 調査の目的

海岸の侵食や河口域の干潟形成には、沿岸の漂砂 環境とともに、河川流域の流況(融雪出水の影響を 含む)や土砂生産・流出過程が大きく影響する。と くに 1950 年代からの全国的に見られる海岸侵食が 顕著となり、流域と海岸・河口域での構造物の建築 による土砂生産・輸送の抑制や砂利採取といった直 接的な土砂量の減少が主要な要因として指摘されて いる¹⁹⁾。長期的な視点で海岸保全を考えるためには、 沿岸の漂砂環境を明らかにするだけでなく、流域の 生産源からの土砂供給を把握する必要がある。本章 の目的は、海岸土砂の生産源を明らかにすることで ある。そのために、海岸土砂と流域下流端の浮遊土 砂を採取し、放射性同位体を測定し、流域の土砂生 産源の寄与を算出した。

4. 2 調査方法

<u>4.2.1 調查地及び野外調查</u>

鵡川・沙流川河口をふくむ、西は厚真川河口、東 は日高門別川河口までの海岸線約25km区間を調査 対象とし、1~3km間隔で14調査地点を設定した(図 -1、2)。海岸土砂の放射性同位体濃度および粒度特 性を把握するために、2010年6月4日及び8月11 日の2回、調査地点の土砂を採取した。土砂試料の 採取は、各調査地点の波打ち際沿いを10m間隔で5 箇所から行い、各採取箇所では最表層をごく薄くと り除いた後、表層5cm程度の土砂をスコップで採取 した(図-9)。5箇所で採取した土砂を混合して1試 料とした。

流域から沿岸への流出土砂について放射性同位体 濃度及び粒度特性を把握するため、鵡川及び沙流川 流域の下流端に位置する北海道開発局鵡川水位観測



図-9 海岸土砂と浮遊土砂のサンプリング

所及び富川水位観測所(それぞれ M1, S1)に浮遊土 砂サンプラーを設置した(図-2、9)。2009年11月 以降、2010年1月10日(S1は3月10日)、6月10 日及び8月10日に捕捉された浮遊土砂を回収した。 <u>4.2.2</u>分析及び解析方法

採取した土砂試料について、3.2.2 と同様の手順で ガンマー線分析を行い、²¹²Pb、⁴⁰K 及び²²⁸Ac を定量 評価した。また、海岸土砂についてはふるい試験、 浮遊土砂についてはふるい試験とレーザー回折式粒 度分布測定装置により粒度分布を調べた。なお、レ ーザー分析は、過酸化水素処理で試料中の有機物を 除去した試料について実施した。

4.3 結果と考察

海岸土砂の生産源の寄与率は、地点によってバラ ツキが認められるが、概ね付加体基質及び深成岩の 寄与が高い傾向が見られた(図-10)。火山岩の寄与 が最も小さく、堆積岩、付加体玄武岩、変成岩の寄 与も小さい。浮遊土砂の生産源寄与について、鵡川

(M1)の1月~6月の融雪出水を含む期間で変成岩 の寄与がとくに高かったが、その他は堆積岩、変成 岩、付加体基質の寄与が大きかった。深成岩、火山 岩の寄与はいずれも小さかった(図-11)。

海岸土砂と浮遊土砂の粒度分布は明らかに異なっ ており、海岸土砂はほとんどが粒径 0.1~0.5 mm の 砂で構成される一方、浮遊土砂は 0.001~0.05 mm 程 度のシルト・粘土で構成されている(図-12)。海岸 土砂と浮遊土砂の生産源寄与は明らかに異なってい たが、粒度の違いが影響している可能性がある。そ こで、海岸土砂の粒度指標(D10、D30、D50、D60) と生産源寄与率との間で相関分析を行った。その結 果、堆積岩や付加体玄武岩の寄与と D50 との間に有 意な負の相関が認められ、変成岩の寄与も有意では



図-10 海岸土砂の生産源寄与



図-12 浮遊土砂と海岸土砂の粒度分布

ないが D50 と負の傾向を示した(表-2)。このこと は、海岸土砂の粒度が細かいほど堆積岩、変成岩、 付加体玄武岩の寄与が高くなる可能性を示唆してい る。浮遊土砂は海岸土砂よりも粒度が細かく堆積岩 や変成岩の寄与が高いことから、流出土砂は粒径に よって生産源が異なる可能性が考えられる。

5. おわりに

岩石起源の天然放射性同位体を用いることで、流 域の土砂生産源を6つの岩石種で判別できるトレー サ特性を抽出できた。生産源土壌のトレーサ特性に ついて、分散を考慮した距離(マハラノビスの距離) を用いた生産源寄与率の算出法を構築し、ダム堆積 物に対する生産源からの寄与を推定した。その結果、 堆積岩、変成岩といった細粒化しやすい地質からの

表-2 海岸土砂の生産源の寄与と粒度分布の相関

寄与が高いことが示された。

海岸土砂に対する生産源寄与を推定したところ、 付加体基質、深成岩といった上流域の寄与が高かっ た。一方、流域下流端の浮遊土砂の生産源は、ダム 堆積物と同様に堆積岩や変成岩の寄与が高かった。 風化やスレーキングといった生産源土壌の細粒化特 性が、海岸や浮遊土砂の生産源寄与の違いに影響し ている可能性が示された。すなわち、流出した土砂 の生産源は粒径によって異なる可能性(土砂生産源 の粒径依存性)があることが示唆された。

浮遊土砂といった微細な土砂のみならず海岸土砂 などの比較的粗粒な土砂にも、放射性同位体をトレ ーサとして生産源を推定できる可能性が示された。 放射性同位体をトレーサとした生産源推定法の確実 性を保証するためには、今後、地すべりや崩壊地と いった土砂生産源の分布特性と生産源寄与との関係 を検証すること、トレーサ濃度への粒径効果の影響 を検討することが必要である。その上で、沿岸に拡 散・堆積した土砂の生産源が堆積岩や変成岩由来で あることが確認できれば、山地からの沿岸までの土 砂動態において、土砂生産源の粒径依存性を支持す る根拠を示すことができるであろう。河口、海岸及 び沿岸域の堆積土砂の生産源を流域の地質によって 推定できれば、放射性同位体特性を用いた土砂生産 源推定手法は、長期的な河口・沿岸域の保全を目指 した総合的な流域の土砂管理に極めて有効なツール となり得る。

謝辞

国土交通所北海道開発局室蘭開発建設部より、現 地観測データ及びボーリングコア試料を提供いただ いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

 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

	Sedimentary rock		Accretionaly complex		Volcanic Rock		Pultonic Rock		Metamorphic Rock		Accretionaly Basalt	
	r	р	r	р	r	р	r	р	r	р	r	р
D10	-0.170	0.353	0.152	0.407	0.004	0.981	-0.021	0.910	-0.062	0.736	-0.280	0.120
D30	-0.325	0.069+	0.209	0.250	0.173	0.344	0.018	0.921	-0.245	0.177	-0.427	0.015*
D50	-0.406	0.021*	0.180	0.323	0.234	0.198	0.099	0.589	-0.308	0.087+	-0.454	0.009**
D60	-0.409	0.020*	0.170	0.351	0.241	0.183	0.106	0.564	-0.306	0.089†	-0.438	0.012*

n = 32 **: p < 0.01 *: p < 0.05 †: p < 0.10

理に関する検討. 海岸工学論文集 51:571-575.2004 年

- 2)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**月
- 3) 菊地渉,村上泰啓,石谷隆始 (2008) 北海道内の豪雨傾向の地域・経年特性について.北海道開発局技術研究 発表会概要集 平成 20 年度: AA-22
- 新目竜一,船木淳悟: 鵡川における SS 流出負荷特性について. 土木学会年次講演会概要集 平成 10 年度: 141-142.1998
- 5) 船木淳悟, 新目竜一: 鵡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. 1999.2.
- 6)山崎真一,奈良俊介,宮下将典,新山雅紀,山下俊彦: 鵡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.
- 1)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.
- 8) 北海道開発局:鵡川水系河川整備計画, p1, 2009年2月.
- 9) 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
- 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
- たとえば村上泰啓: 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
- Collins AL, Walling DE, Leeks GJL (1997) Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. Catena 29: 1-27
- 13) Mizugaki S, Onda Y, Fukuyama T, Koga S, Asai H, Hiramatsu S: Estimation of suspended sediment sources using Cs-137 and Pb-210(ex) in unmanaged Japanese cypress plantation watersheds in southern Japan. Hydrological Processes 22: 4519-4531. 2008.
- 松田秀晴, 湊進: 日本における主な岩石中の放射能.
 Radioisotopes 48: 760-769. 1999.
- 15) 室蘭開発建設部二風谷ダム管理所・日本工営.2008. 平 成20年度二風谷ダム貯水池堆積物調査業務報告書.
- 16) Walling DE, Owens PN, Leeks GJL. 1999. Fingerprinting suspended sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire, UK. Hydrological Processes 13: 955-975.
- 17) 石村貞夫. 1994. すぐわかる統計処理. 東京図書, 東京.224p.

- 18) 村上泰啓,山下彰司.2007.山地流域における地質成因 に着目した土砂生産と河道堆積土砂の移動実態につい て、水工学論文集 51:919-924.
- 19) 宇多高明. 1997. 日本の海岸侵食. 山海堂, 東京. 442p.