

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

		氏名 (ふりがな)	所属		役職
①研究代表者		渡部直喜 (わたなべなおき)	新潟大学 災害・復興科学研究所		准教授
②研究 テーマ	名称	河川水の溶存物質・浮遊物フラックスに基づく小規模流域の風化・侵食速度推定技術の開発			
	政策 領域	[分野] 地域課題分野 (砂防)	融合 技術	(水文地質学、水質化学)	
		[公募課題]			
③研究経費 (単位:万円)		平成 年度	平成 年度	平成 年度	総 合 計
※端数切り捨て。		280万円	140万円	77万円	498万円
④研究者氏名		(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏名		所属・役職 (※平成31年3月31日現在)			
古谷 元		富山県立大学工学部・准教授			
高橋俊郎		新潟大学理学部・准教授			
斎藤健志		埼玉大学大学院理工学研究科・助教			
⑤研究の目的・目標		(申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
研究の目標:		本研究は土砂災害の軽減を視野に入れつつ、化学的風化・侵食速度を推定し、小規模流域毎の危険度評価、並びに経時的な危険度の変化を把握するための手法を開発することを目的とする。簡便かつ比較的安価に実測できる限定された項目 (河川水の電気伝導度・濁度、河川水位) かつ最小限の観測点からのデータを利用して化学的風化・侵食速度を推定する手法の開発を目指す。			
研究目的:		①基本的データの収集: 29年度までと同様の野外調査、室内分析、観測、資料収集、データ解析を30年度も実施する。データ解析にあたっては、30年度に追加される各種データを用いて、解析精度の向上を図る。事務所の観測を補完するため、独自に水位計を設置し、観測する。 ②侵食速度の推定: 流域固有の濁度と浮遊物量の相関関係を明らかにする。河川水位 (流量) と濁度の相関関係を評価する。両者の相関関係から流域別の浮遊物の年間排出量を見積もり、侵食速度の指標とする。 ③風化速度と侵食速度の比較: 水質と風化した岩石の成分を比較し、物質収支法に基づく流域別の化学的風化速度 (例えば土壌生産量/km ² /年) を見積もる。風化速度と侵食速度の相対的比較から、風化によって流域で生産された土砂の残留特性 (風化土層の生産量/侵食量の比率) を評価する。			

⑥研究成果

(様式 F-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

1. 泥岩の化学的風化作用にともなう化学成分溶脱量

芋川流域に分布する主に川口層下部の新鮮な泥岩 8 試料と強風化泥岩 6 試料の計 14 試料について全岩化学分析を行い、新鮮な泥岩と強風化泥岩の化学組成を比較した。不溶性のアルミニウム成分を基準にすると、化学的風化作用にともなう可溶性成分の溶脱量を見積もることができる(表-1)。全体として可溶性成分の 9.00%が溶脱されることで強風化泥岩へ化学的風化が進行するといえる。中でも減少率の大きい可溶性成分は、CaO(約 83%減)と Na₂O(約 45%減)であり、それぞれの重量%にして CaO=1.00%、Na₂O=0.79%が溶脱され、イオン濃度にするると新鮮泥岩 1.0 t あたり Ca=7.1kg、Na=13.0kg が溶脱されたことになる。

表-1 新鮮な泥岩と強風化泥岩の主要成分組成と風化にともなう可溶性成分の損出量

主要成分 wt. %	A		B		C		C-A		100*(C-A)/A	
	新鮮泥岩	強風化泥岩	新鮮泥岩	強風化泥岩	強風化泥岩 (Al ₂ O ₃ 規格化)	風化による 溶脱量	風化による 溶脱量	成分減少率 (%)	成分減少率 (%)	
SiO ₂	68.27	68.81	68.27	68.81	62.62	-5.65	-5.65	-8.28	-8.28	
TiO ₂	0.70	0.78	0.70	0.78	0.71	0.01	0.01	1.43	1.43	
Al ₂ O ₃	16.75	18.36	16.75	18.36	16.71	-0.04	-0.04	-0.24	-0.24	
Fe ₂ O ₃	5.94	5.77	5.94	5.77	5.25	-0.69	-0.69	-11.62	-11.62	
MnO	0.05	0.03	0.05	0.03	0.03	-0.02	-0.02	-40.00	-40.00	
MgO	2.15	1.66	2.15	1.66	1.51	-0.64	-0.64	-29.77	-29.77	
CaO	1.21	0.23	1.21	0.23	0.21	-1.00	-1.00	-82.64	-82.64	
Na ₂ O	1.75	1.06	1.75	1.06	0.96	-0.79	-0.79	-45.14	-45.14	
K ₂ O	2.51	2.26	2.51	2.26	2.06	-0.45	-0.45	-17.93	-17.93	
P ₂ O ₅	0.10	0.09	0.10	0.09	0.08	-0.02	-0.02	-20.00	-20.00	
H ₂ O	0.56	0.94	0.56	0.94	0.86	0.30	0.30	53.57	53.57	
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	91.00	-9.00	-9.00	-9.00	-9.00	

2. 芋川の各流域における溶存物質量

河川水に溶存する主要化学成分の全物質量 (mg/L) は、主要溶存イオン (Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、HCO₃⁻、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻) とケイ酸 (SiO₂) の総和である。電離物質である主要溶存イオンの総和 (meq/L) は、電気伝導度と非常に良い相関を示す(図-1)。SiO₂は電気伝導度と無関係の非電離物質であるが、芋川の場合、SiO₂を含む主要化学成分の総和も電気伝導度と良い相関を示す。

後述の強風化泥岩(風化土層)の年間生産量を見積もる関係から、ここでは河川水の電気伝導度と Ca²⁺濃度 (mg/L) との関係を検討する。図-2に見られるとおり、電気伝導度と Ca²⁺濃度 (mg/L) は比較的良い相関を示す。このことは、各流域の水質特性に留意すれば、観測点の電気伝導度データから各流域における Ca²⁺濃度 (mg/L) の近似が可能であることを意味する。

一方、芋川流域から河川を通じて排出される Ca成分の流出量を見積もると、年間約868tとなった。

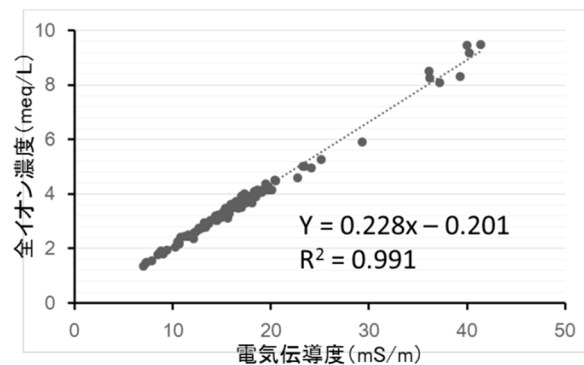


図-1 河川水の電気伝導度と全イオン濃度の相関

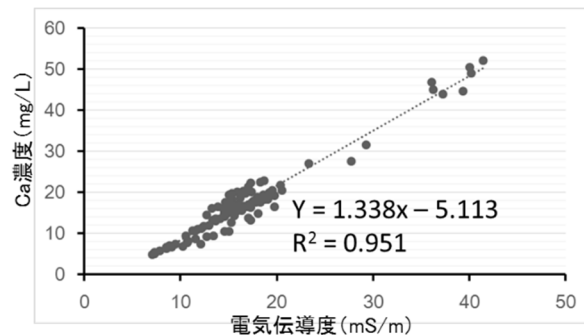


図-2 河川水の電気伝導度と Ca²⁺濃度の関係

⑥研究成果（つづき）

3. 小流域における流量および電気伝導度の推定

3-1. 小流域の流量

ここでは、芋川の年間流量を気象データから見積もる。まず近隣のAMeDASデータ10年分の平均値を流域の年間降水量とした。蒸発散量の推定には種々の方法が提案されているが、本研究ではソーンスウェイト法を用いて蒸発散量を見積もり、次式により年間流量を算出した。

$$\text{年間流量} = (\text{年間降水量} - \text{年間蒸発散量}) \times \text{集水面積}$$

支川小流域の流量は、芋川本流との集水面積の比率で按分する。これを検証するために、河川水の電気伝導度（EC）の混合比と集水面積比の関係を調査した。低水～平水時の支流と合流後の芋川の電気伝導度（EC）を1とした時、合流前の芋川および支流の流量が合流後の電気伝導度（EC）に与える影響を流量寄与率として、以下の連立方程式を解いた。

$$X + Y = 1, \quad aX + bY = Z$$

ここで、X：合流前の芋川の寄与率、Y：支流の寄与率、a=合流前の芋川の電気伝導度、b：支流の電気伝導度、Z：合流後の芋川の電気伝導度である（図-3）。

例として、小芋川と芋川の合流点付近での検証結果を表-2に示す。これにより、

低水～平水時における支川小流域の流量は、芋川本流との集水面積の比率による按分で推定できる。

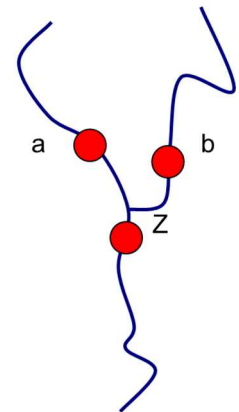


図-3 電気伝導度測定による流量寄与率

表-2 小芋川と芋川の流量寄与率と集水面積比の関係

合流後の芋川	小芋川	合流前の芋川	小芋川	合流前の芋川	小芋川	合流前の芋川
EC (mS/m)	EC (mS/m)	EC (mS/m)	寄与率%	寄与率%	面積比%	面積比%
20.4	10.1	19.7	6.47	93.53	6.5	93.5

3-2. 小流域の電気伝導度の推定

芋川下流の竜光地区で測定された電気伝導度を基準として、各支流の電気伝導度との比を求めた（図-4）。一部の支流（土留川、多間多川）を除き、多くの支流における低水～平水時の電気伝導度は、芋川下流と概ね平行の挙動を示す。各河川の水質、電気伝導度は季節変化を示すが、このことは芋川本流と類似の季節変化を示すことを意味する。言い換えれば、芋川下流の竜光地区で測定された電気伝導度から各河川の電気伝導度の算出が可能であることを意味する。前述のとおり、芋川流域においては、電気伝導度と全イオン濃度、主要イオン（Ca²⁺、Na⁺）、SiO₂を含む全化学成分量との関係がそれぞれ良い相関を示す。

電気伝導度の定点観測によって、小流域の水質変動を監視できる可能性があり、他方で流域の地形・地質特性を把握しておけば、異常値の検出にも繋がると考えられる。図-4で特異な変動を示す土留川と多間多川を注視する必要がある。

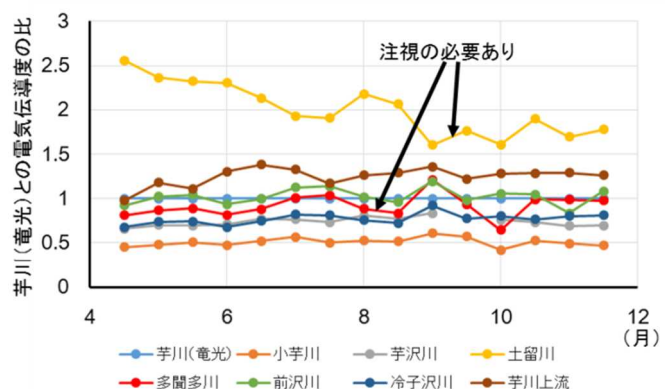


図-4 各小流域の電気伝導度の変動特性

⑥研究成果（つづき）

4. 強風化泥岩（風化土層）の生産量

4-1. 強風化泥岩生産量試算の手順

強風化泥岩の生産量は流域の土砂生産量と密接に関係することから、年間の生産量を試算した。手順の概略を図-5に示す。まず、芋川から排出される年間あたりのCa量を次式により概算する。

$$\text{年間Ca排出量 (868t)} = \text{年間流量 (5,100万m}^3\text{)} \times \text{芋川のCa}^{2+}\text{濃度 (17g/m}^3\text{)}$$

年間流量は前述のとおり、芋川の集水面積（38.14km²）、年間平均降水量（2030mm）に蒸発散量を考慮した値（1340mm）から求めた。

物質収支に着目し、芋川流域の新鮮な泥岩から溶脱されるCa量は上記の年間Ca量（868t）に等しいとおく。次式を用いて、泥岩の化学的風化により生産される年間の強風化泥岩の重量を計算した。

$$\begin{aligned} \text{年間強風化泥岩生産量 (t)} &= \text{年間Ca排出量 (868t)} / \text{泥岩1.0tあたりのCa溶脱量 (7.1kg)} \\ &= 12.2\text{万t (1.0km}^2\text{あたり3,200t)} \end{aligned}$$

新鮮泥岩と強風化泥岩の単位体積重量をそれぞれ1.80tf/m³、1.40 tf/m³とおくと、芋川流域における年間強風化泥岩生産量（m³）＝87,300m³となり、1.0km²あたり約2,300m³と見積もられる。この値を化学的風化作用の垂直進行速度に見立てると、約2.3mm/年となる。各流域における1.0km²あたり年間の強風化泥岩生産量を図-6に示す。

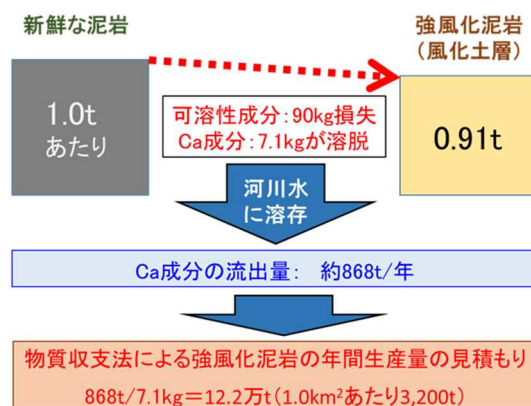


図-5 強風化泥岩の生産量の見積もり

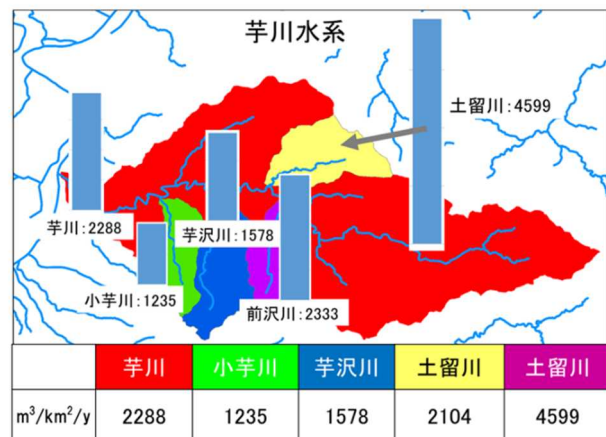


図-6 各小流域の強風化泥岩生産量（m³/y）

4-2. 試算結果の評価

芋川流域の地質についても砂岩泥岩互層が大半を占めており、各流域に分布する泥岩の面積占有率を正確に求めることは困難である。したがって、前節で見積もられた結果は、相対的な比較を行う上では有用であるが、定量的な考察を行う上では精度に弱点がある。

Riebe et al.(2004) は北中米とニュージーランドで化学的風化速度を推定し、化学的風化速度が概ね剝蝕速度（浸食速度）に比例して増加する傾向を示した。1,000年を単位として化学的風化速度、剝蝕速度を扱った研究なので、単純に比較はできないが、13年前の中越地震での崩壊地すべりによる土砂生産を踏まえると、化学的風化作用の垂直進行速度＝約2.3mm/年の値は、合理的な値と考えられる。

⑥研究成果（つづき）

5. 流域の化学的風化/浸食特性の評価

芋川で採取した懸濁水を蒸発乾固して得られた浮遊物質量から、濁度（NTU）を用いて浮遊物質量を求める換算式を得た（図-7）

流域から流出するされる全溶存化学成分量と浮遊物質量との比率から各流域固有の特性が明らかとなる。図-8に芋川本流（竜光地区）と主な支川小流域から流出する単位面積あたりの年間の全溶存化学成分量と浮遊物質量の関係を示す。

図-8より芋川本流と各支流を比較すると、土留川（赤丸）の特異性は顕著である。浮遊物質量に対する全溶存成分量が際立って多い。全溶存化学成分は化学的風化作用によって可溶性成分が河川水に供給され、浮遊物質は浸食作用によって河川水に供給されることを受け入れると、土留川では溶存化学成分の供給が浮遊物質の供給を大きく上回る。すなわち、相対的には、

風化土層の形成 > 浸食量 あるいは、
化学的風化速度 > 浸食速度

である。このことは、流域に土砂が残留蓄積する傾向を示すと考えられる。

2004年の新潟県中越地震の際、芋川流域では数多くの斜面崩壊・地すべりが発生した。中でも土留川（神沢川）流域一帯は大規模な斜面崩壊・地すべりが高密度で発生した流域の1つである。斜面崩壊・地すべりに伴う浸食によって、未風化の新鮮な岩石が露出し、水との接触することで化学的風化が促進される。このことは、土留川の流域特性の評価結果と整合的である。

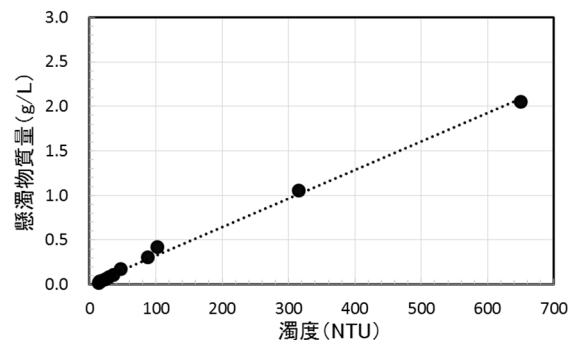


図-7 濁度と浮遊物質量の関係

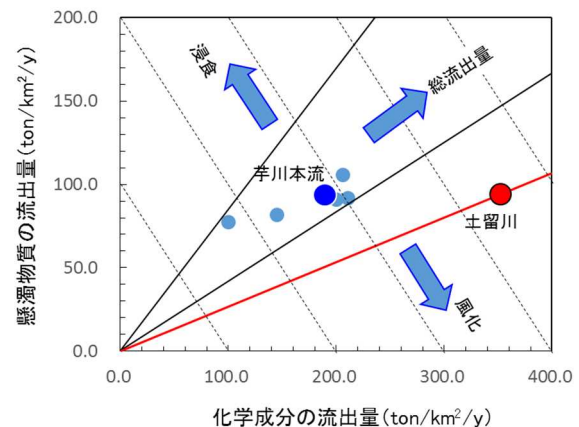


図-8 化学成分と浮遊物質の流出量

⑦研究成果の発表状況

(本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。(以下記入例))

- ・ これまでに発表した代表的な論文：なし
- ・ 著書（教科書、学会妙録、講演要旨は除く）：なし
- ・ 国際会議、学会等における発表状況：なし
- ・ 主要雑誌・新聞等への成果発表：なし
- ・ 学術誌へ投稿中の論文（掲載が決定しているものに限る）：なし
- ・ 究開発成果としての事業化、製品化などの普及状況：なし
- ・ 企業とのタイアップ状況：なし
- ・ 特許など、知的財産権の取得状況：なし
- ・ 技術研究開発成果による受賞、表彰等）：なし

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

流量観測データの欠測によって定量的な考察が不十分である。現在のところ研究成果の社会への情報発信等はできていない。

⑨表彰、受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

該当する受賞、表彰等はない。

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や砂防政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

豪雨時に崩壊、地すべり、土石流といった斜面・土砂災害が発生するか、あるいは単なる出水となるかの差違は、各流域の斜面および河床に残留する不安定土砂量に依存する。中・長期的にみれば、その土砂量は単位期間当たりの流域の土砂生産量に支配されている。本研究は、小規模流域における土砂災害の準備過程（風化/侵食特性）の解明に力点をおいている。これまで、土石流として土砂を排出した流域に新たな土砂が生産され、再び土砂災害の危険度が高まるまでの期間やプロセスは不明であった。本研究は将来的に土砂災害危険度の経時変化あるいは水系内の小流域別の発生危険度評価に貢献できると考える。

芋川流域では水質・電気伝導度の変動が本流と多くの支流で類似しており、各支流固有の係数を設定すれば、異常の検知も含めて、本流の観測点のみのデータから各小流域の状況を把握でき、流域対策の優先順位の評価項目の1つとなり得る。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、砂防政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

小流域において、個別に流域内の不安定土砂量の経時変化を実測・測量等によって把握・追跡することは、時間・労力・費用の面から極めて困難である。迅速かつ簡便に入手可能な指標（例えば、電気伝導度、濁度、河川水位など）により小流域の化学的風化/侵食特性、つまり、小流域内の土砂の残留状況と流域外への土砂の排出状況の特性を評価することができれば、低コストの調査・観測に基づく小流域の特性に合わせた砂防計画の立案に貢献できると考える。

また、小流域の風化/侵食特性の把握は、流域毎のハザード・ゾーニング、危険度評価、延いては流域対策の優先性の評価にも貢献できる。