

携行型蛍光 X 線分析を利用した土砂礫元素の局所的分布特性

富山県立大学大学院 学生会員 ○南優平
 富山県立大学大学院 正会員 手計太一, 畠俊郎
 富山大学理学部 非会員 丸茂克美

1. はじめに

最近、蛍光 X 線分析を利用した土砂礫や河川底質物の分析や海岸砂の動態などの研究が進められている。例えば、蛍光 X 線分析を利用して、沿岸域や河口干潟における海浜砂の化学元素含有率を計測することにより、土砂の堆積・浸食の把握、移動追跡の可能性の検討を行い、海浜状態の評価を実施している^{1), 2)}。また、蛍光 X 線分析による鉱物の組成判定とクラスター分析を用いて富士川流域全体における土砂生産源を推定し、支川ごとの影響を検討する方法が提案されている³⁾。

しかしながら、測定した 1 標本の土砂礫の元素の計測値が空間的代表性を持つのか否かが全く不明である。本研究では、この点に着目し、試験地として黒部川と常願寺川の 2 河川を対象とし、携行型蛍光 X 線分析を利用して、土砂礫元素の局所的分布特性について検討した。

2. 携行型蛍光 X 線分析

本研究では、分析試料が放出する電磁波を利用して元素分析をする発光分析手法の一つである蛍光 X 線分析法(X-Ray-Fluorescence-Analysis; XRF)を利用した⁴⁾。本研究では、エネルギー分散型装置である S1 TURBO LE(BRUKER 社製)を利用した。本機の測定可能元素は、マグネシウム(Mg)からウラン(U)までの 81 種類である。さらに、バッテリーを含めた重量は約 2 kg で、持ち運びが容易であり、現場測定が容易である。そのため、大型試料や固定構造物の測定も可能である。一般に、岩石の蛍光 X 線分析ではファンダメンタルパラメータ法(FP 法)を利用して含有率を算出するが、本研究では含有率ではなくスペクトル強度で解析を進めた。

測定試料は、測定日における河川水際の砂礫を採取、分析した。その理由は次の 2 点である。(1)河川中の試料は水分が付着していると正確に測定できな

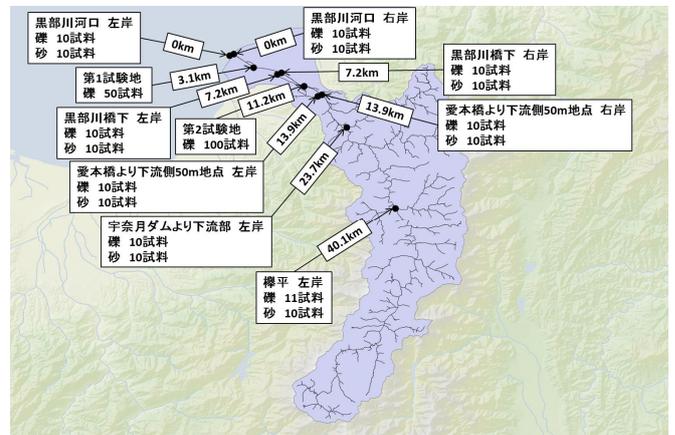


図-1 黒部川流域における測定地点

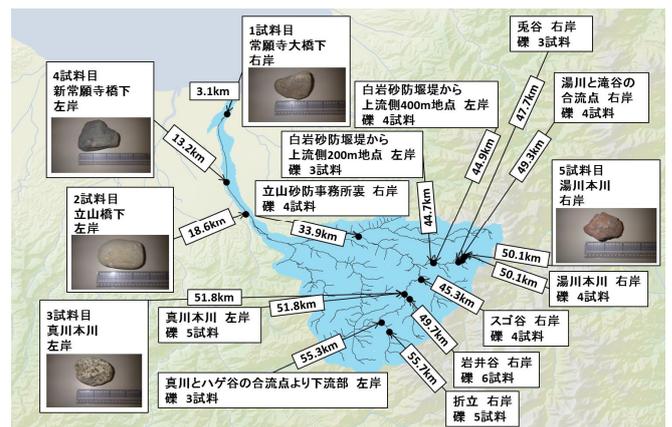


図-2 常願寺川流域における測定地点

い、(2)水中の試料採取が困難である。

本研究で用いた試料は、礫については粒径範囲が 4 ~ 64 mm の中礫土砂と 64 ~ 256 mm の大礫土砂である。砂については、0.0625 ~ 2 mm の粒径を対象とした。

3. 対象河川

(1) 黒部川

黒部川は、幹川流路延長 85 km、流域面積 682 km² の一級河川である⁵⁾。流域の地質は、主に古生代~中生代の古期花崗閃緑岩類(船津花崗岩類)及び新第三紀の新时期花崗閃緑岩類からなり、愛本から河口にかけては、第四紀完新世の砂礫層が分布し巨大な扇状地を形成している。図-1 に黒部川流域における測

キーワード 蛍光 X 線分析, 元素分析, 黒部川, 常願寺川, 富山県

連絡先 〒939-0398 富山県射水市黒河 5180 富山県立大学 TEL. 0766-56-7500 E-mail : t557010@st.pu-toyama.ac.jp

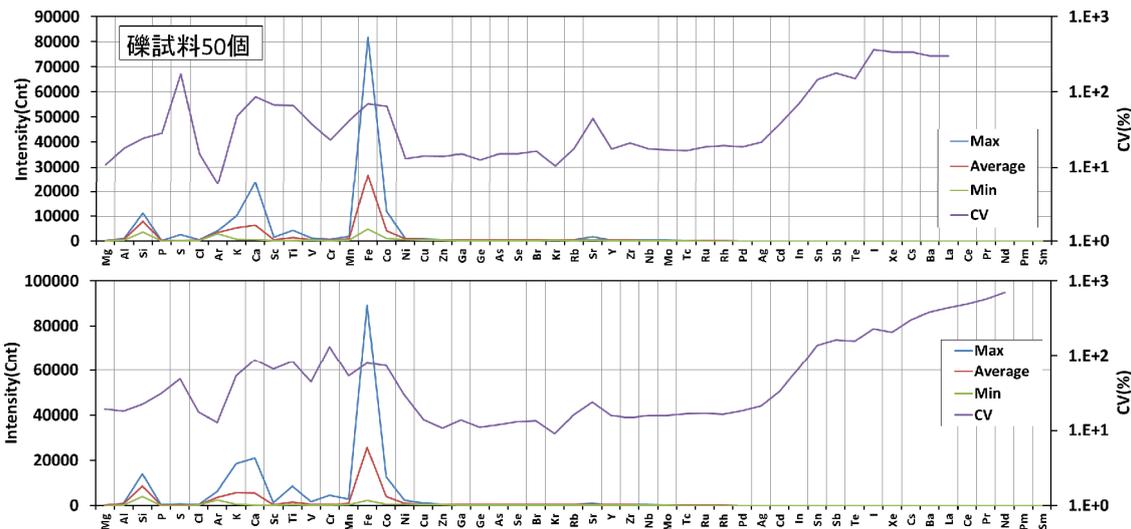


図-3 礫試料 50 個と 100 個のスペクトル強度の最大値、平均値、最小値、変動係数の比較

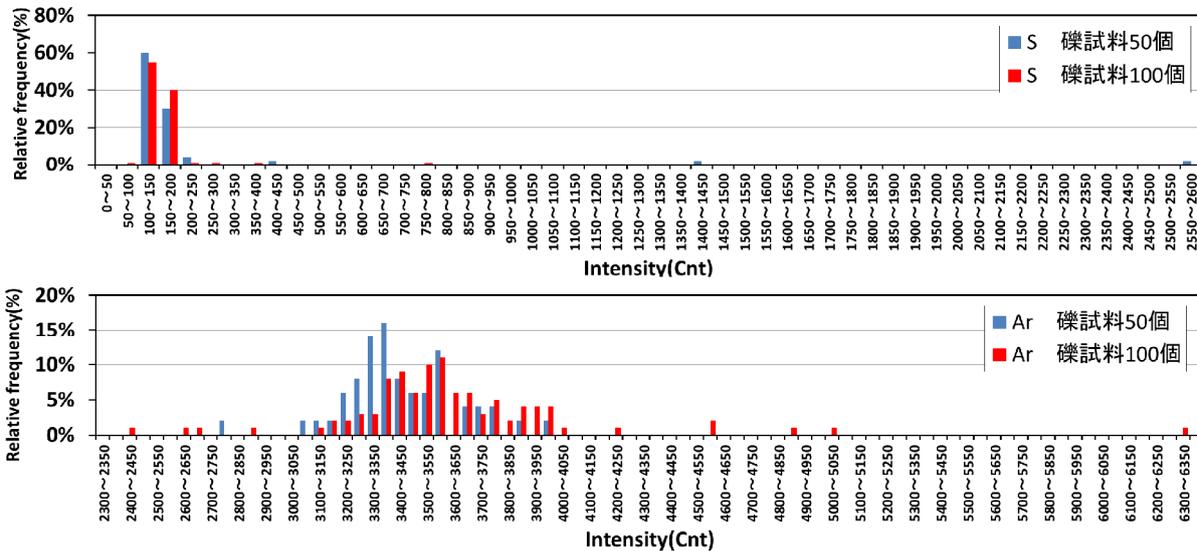


図-4 礫試料 50 個と 100 個の硫黄(S)とアルゴン(Ar)のスペクトル強度の相対頻度分布

定地点を示す。

(2) 常願寺川

常願寺川は、幹川流路延長 56 km, 流域面積 368 km² の一級河川である⁶⁾。地質は中生代や新生代新第三紀の岩層、立山火山の噴出物等の変化に富みかつ脆弱である。そのため、崩壊地が多数存在し、中でも立山カルデラ内には現在も膨大な崩壊土砂が堆積している。図-2 に常願寺川流域における測定地点を示す。

4. 空間分布特性

(1) 10m×5m, 10m×10m 空間分布特性

空間代表を検討するために、黒部川の河岸において 10 m×5 m, 10 m×10 m の空間を設定し、それぞれ 1 m×1 m 内の中心の石礫をサンプルとして抽出し、蛍光 X 線分析を行った。

図-3 は礫試料 50 個と 100 個のスペクトル強度の最大値、平均値、最小値、変動係数を比較したもので

ある。測定可能元素はマグネシウム(Mg)からウラン(U)までの 81 種類であるが、測定されたスペクトル強度がマグネシウム(Mg)からサマリウム(Sm)までの 51 個であるため、それ以降の元素は図に表示をしていない。礫試料 50 個, 100 個ともに鉄(Fe)が最も高いスペクトル強度である。次いで、カルシウム(Ca), カリウム(K), シリカ(Si)と続く。これは、日本の主要な地質と一致している。

変動係数に着目すると、例えば、50 個, 100 個ともに硫黄(S)の変動係数が大きい。また、カドミウム(cd)以降の元素の変動係数が非常に大きい。これは検出・未検出元素の影響が反映している。一方、アルゴン(Ar)の変動係数は最も小さく、安定的に検出されている。

ここで特徴的であった硫黄(S)とアルゴン(Ar)のスペクトル強度の相対頻度分布を図-4 に示す。まず、

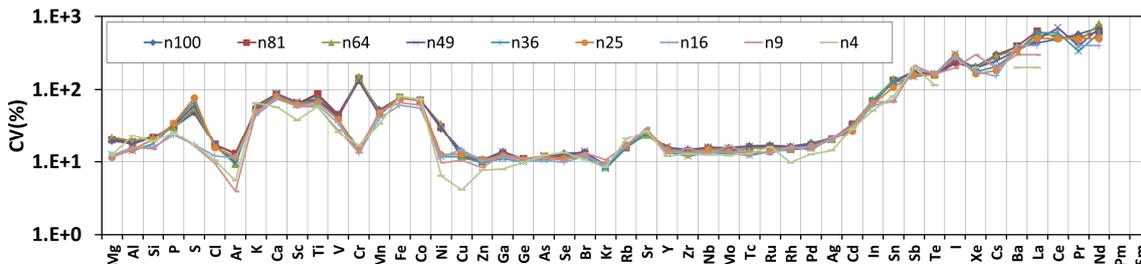


図-5 礫試料 100 個を利用した統計サンプル数を変化させた結果

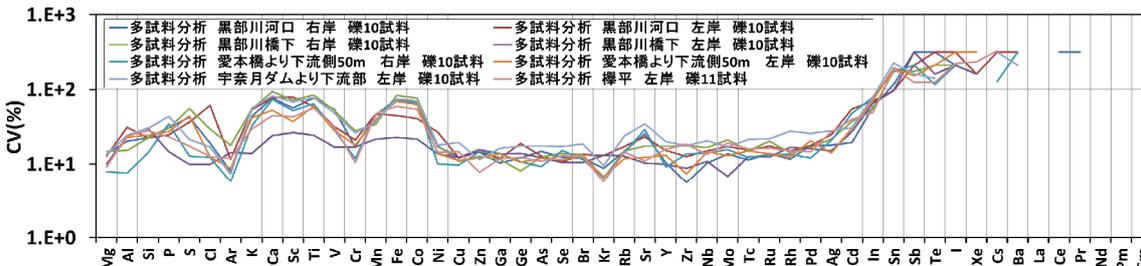


図-6 黒部川における礫の多試料元素分析によるスペクトル強度の変動係数の比較

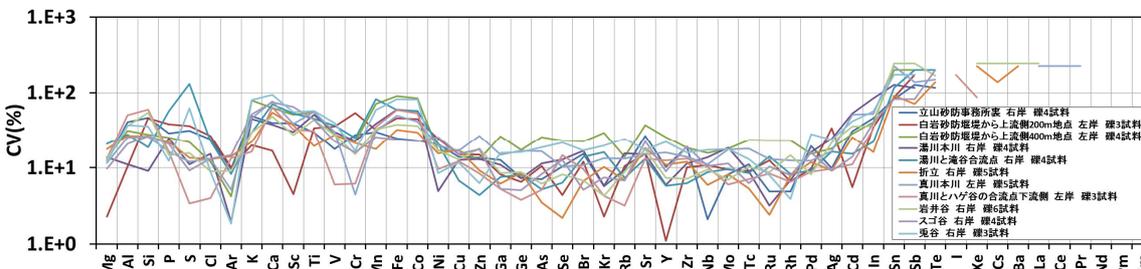


図-7 常願寺川における礫の多試料元素分析によるスペクトル強度の変動係数の比較

硫黄(S)については、50 個試料のうち 60 %、100 個試料のうち 55 % の試料において、硫黄(S)のスペクトル強度は 100~200 Cnt と推定されているが、例えば 50 個試料のうちの 1 個の試料が 2566 Cnt を記録したため、変動係数が極端に大きくなった。

アルゴン(Ar)のスペクトル強度の相対頻度分布は、正規分布に近い形をしており、3200~4000 Cnt の範囲で安定的に測定されている。

両者の頻度分布形状が空間代表性を議論するには非常に重要であることがわかる。

図-5 は 100 個試料の試験地の中で、統計サンプル数を 100~4 個に変化させて示した図である。例えば、アルゴン(Ar)は 9 個、4 個になると変動係数は非常に小さく、安定的に検出されることがわかる。また、銅(Cu)も 4 サンプルになると変動係数がとても小さい。一方、クロム(Cr)は 49 個と 36 個の間を境に変動係数が大きく変化している。これは、一部の試料による影響である。

(2) 局所的な分布特性

黒部川、常願寺川の両河川において、同地点で複

数の試料をサンプリングし、元素分析を行った。

図-6 は黒部川における礫の多試料元素分析によるスペクトル強度の変動係数を比較したものである。8 地点で各地点 10~11 個の試料を分析した。定性的には、いずれの地点とも変動係数の傾向はほとんど同じである。黒部川橋下においては、他 7 地点よりも変動係数が小さく、全体的に安定的に検出されている。

図-7 は常願寺川における礫の多試料元素分析によるスペクトル強度の変動係数を比較したものである。11 地点で各地点 3~6 個の試料を分析した。全体的に各元素間、地点間の変動係数の幅が大きい。図-6 の黒部川の分析結果と比べても、変動係数の挙動が大きい。これは常願寺川で測定した試料数が少ないことが一因であると考えられる。

図-8 は黒部川における砂の多試料元素分析によるスペクトル強度の変動係数を比較したものである。8 地点で各地点 10 個の試料を分析した。変動係数が 100 % を超える元素が多く、平均化して空間を代表することは困難であると考えられる。

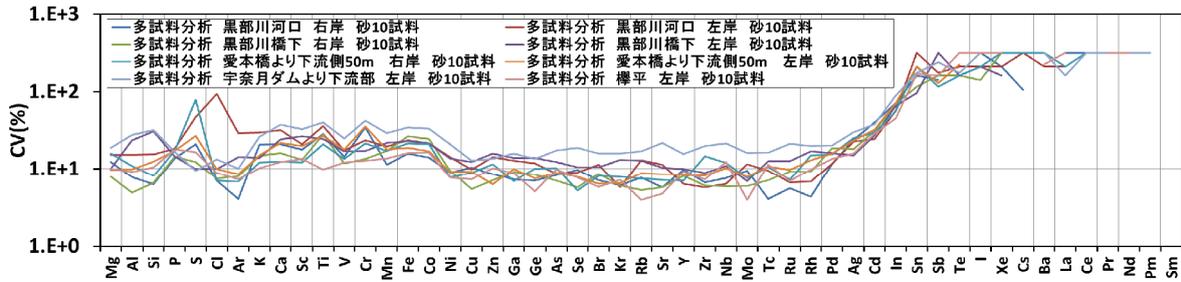


図-8 黒部川における砂の多試料元素分析によるスペクトル強度の変動係数の比較

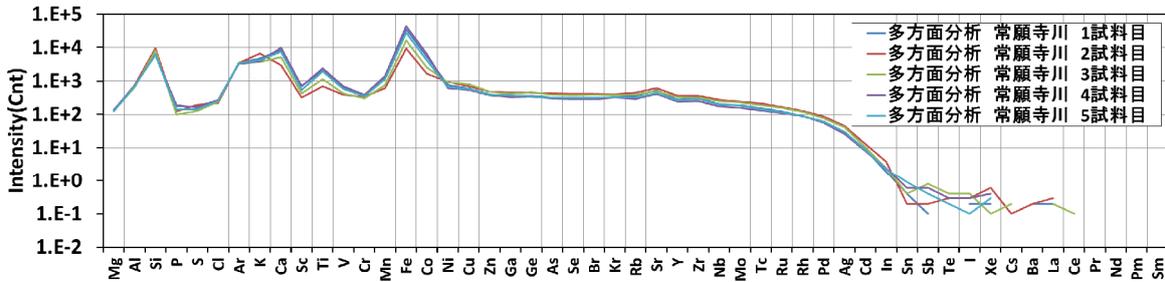


図-9 常願寺川における礫の多方面元素分析によるスペクトル強度の平均値の比較

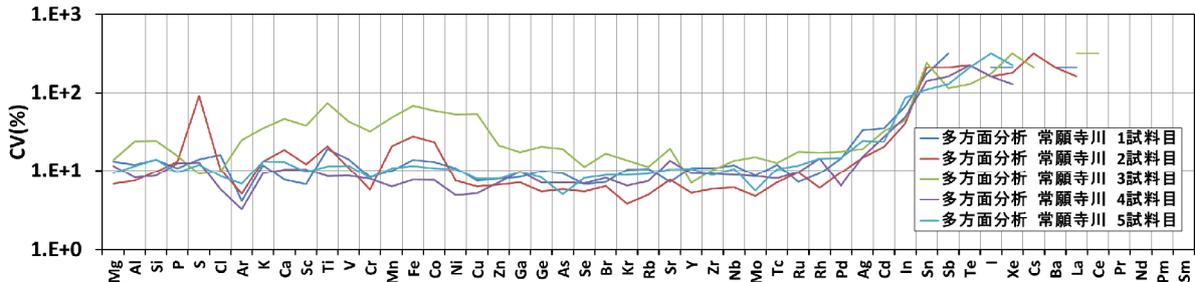


図-10 常願寺川における礫の多方面元素分析によるスペクトル強度の変動係数の比較

5. 単一試料の持つ元素計測値の幅

礫のどの面を計測する必要があるのか、また複数面の計測が必要か否かについて検討を行った。1 試料につき 10 面の計測を 5 試料実施した。

図-9 は常願寺川における礫の 1 試料多面元素分析によるスペクトル強度の平均値を比較したものである。5 試料ともにマグネシウム(Mg)からインジウム(In)まではいずれも定性的にほぼ同じ挙動を示している。スズ(Sn)からサマリウム(Sm)まではバラつきが大きい。

図-10 は常願寺川における礫の 1 試料多面元素分析によるスペクトル強度の変動係数を比較したものである。3 試料目は他 4 試料と異なり全元素の変動係数が大きい。硫黄(S)は 2 試料目とその他で変動係数に大きな差があるが、全て 100%を超えており、1 個の試料の中でもバラつきが非常に大きい。前述と同様に、アルゴン(Ar)の変動係数は小さく、1 面だけでも計測値は安定していると考えられる。

謝辞：本研究の一部は、河川砂防技術研究開発公募と公益財団法人河川財団の助成を受けている。国土

交通省富山河川国道事務所、同黒部川河川事務所、同立山砂防事務所から有益な情報とデータの提供をいただいた。ここに合わせて謝意を表す。

参考文献

- 1) 加藤茂, 光山英典, 岡辺拓巳, 青木伸一: 沿岸域での土砂堆積・侵食域調査における蛍光X線分析の適用に関する検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 第 68 巻, pp.651-655, 2012.
- 2) 加藤茂, 岡部拓巳, 光山英典, 中垣聡: 着色砂調査と蛍光X線分析を併用した河口干潟での土砂移動調査, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 第 69 巻, pp.576-580, 2013.
- 3) 大石哲, 砂田憲吾, Dian Sisingih, 宮沢直季: 鈹物組成を用いた富士川流域における土砂生産源推定に関する基礎研究, 水工学論文集, 第 54 巻, pp.673-678, 2010.
- 4) 国土交通省: 黒部川水系河川整備基本方針, 2006 年.
- 5) 国土交通省: 常願寺川水系河川整備基本方針, 2005年.