

## 蛍光X線分析を利用した黒部川における土砂礫の追跡可能性に関する基礎的検討

富山県立大学工学部 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

### 1. はじめに

河川を流下する大小様々な土砂は、浸食や堆積を繰り返すことで河床を形成する主要因であり、出水の際には河川災害を引き起こす原因となる。また、河川生態の維持など環境面においても重要な要素である<sup>1)</sup>。そのため、河道を移動する土砂量を定量的に把握することは河川管理上極めて重要である。

本研究では、蛍光X線分析法を利用した化学元素分析から河川を流下する土砂礫の起源推定や追跡の可能性について検討することを目的とする。

### 2. 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する発光分析手法の一つである蛍光X線分析法(以降、XRF)を利用した。本研究ではS1 TURBO LE(BRUKER社製)を利用した。本機の測定可能元素は、マグネシウムからウランまでの80種類である。マグネシウムやアルミニウム等の低エネルギーの元素も高精度に測定できる特徴を持つ。さらに、バッテリーを含めた重量は約2kg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。

XRFは既に海岸分野では適用されている。加藤ら(2012)<sup>2)</sup>はXRFを利用して海浜砂の元素含有量を計測することで、XRFによる土砂の堆積・侵食域評価への適用可能性を実施している。

図-1は著者らがXRFを用いた現場での測定風景の一例である。測定試料は、測定日の水際の砂礫を採取した。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い、(2)水中の試料採取が困難である。本研究では、携帯型測定器であることを活かし、大量の試料を測定した。

### 3. 対象河川

図-2は黒部川流域図である。黒部川は、富山県と長野県の県境に位置する鷲羽岳(標高2,924m)を源とする、幹川流路延長85km、流域面積682km<sup>2</sup>の一級



図-1 蛍光X線分析法を用いた測定風景



図-2 黒部川流域図

河川である<sup>3)</sup>。黒部川流域の地質は、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。花崗閃緑岩類は、河床部付近では切り立った急崖を形成し堅硬な岩盤を呈しているが、高標高部ではマサ状に風化し脆弱となっている。特に祖母谷、祖父谷、小黒部谷、不帰谷等ではマサ状に風化した大崩壊地が形成されており、黒部川の土砂生産源となっている。

本研究では、常願寺川、庄川、小矢部川についても

キーワード 蛍光X線分析, 元素分析, 黒部川, 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 : t117033@st.pu-toyama.ac.jp

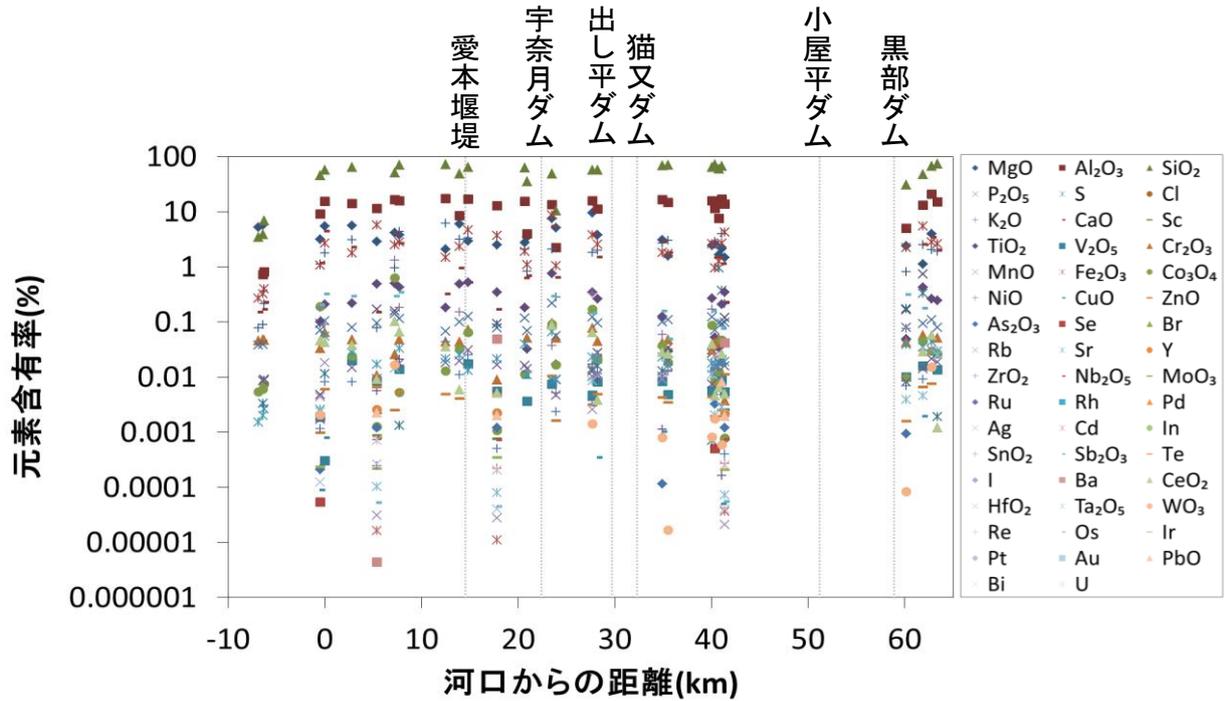


図-3 黒部川の砂礫から検出された元素の縦断分布図

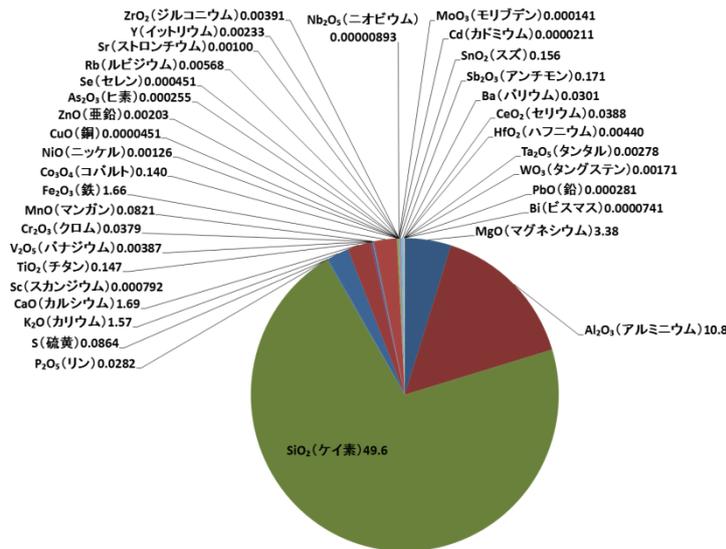


図-4 黒部川の砂礫から検出された元素含有率の平均値

調査を行っているが、今回は黒部川流域のみを対象として報告する。

4. 結果

図-3 は黒部川の砂礫から検出された元素の縦断分布図である。上流は黒部ダム湖に流入するタンボ沢から河口まで 23 か所、海底 3 か所で測定を実施した。環境条件に応じて、1~13 個の砂礫試料を測定した。本図は測定場所ごとに各元素を平均化した値を示している。河口からの距離が負の地点は海底の調査結果、正の地点は河川における調査を示している。河川にお

ける試料は砂もしくは礫、海底は底泥試料を測定した。図中の灰色の縦の破線は、砂礫の移動に影響を与える河川横断構造物の位置を示している。

図-3 から、主要元素(マグネシウム, アルミニウム, ケイ素, カリウム, カルシウム, 鉄)の中でマグネシウムを除く主要元素について、河川域で検出された含有率は海域で検出された元素含有率より 10 倍以上大きかった。一方、マグネシウムについては両者に差はほとんどなかった。また、主要元素の含有率は河川域においては縦断方向に大きな変化はなかった。微細量元

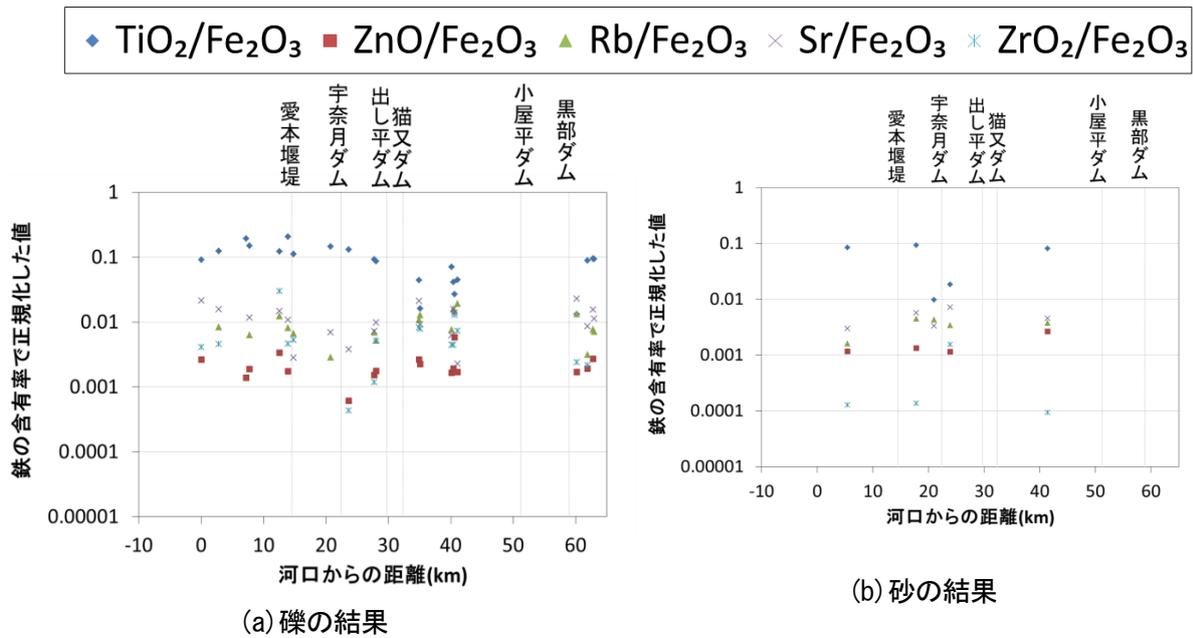


図-5 チタン，亜鉛，ルビジウム，ストロンチウム，ジルコニウムの含有率をそれぞれ鉄の含有率で除して正規化した結果

素(44種類)の中でリン，チタン，バナジウム，クロム，マンガン，コバルト，ニッケル，銅，亜鉛，ヒ素，ルビジウム，ストロンチウム，ジルコニウム，モリブデン，スズ，アンチモン，ハフニウム，タンタル，タングステン，鉛，ビスマスの(21種類)が，場所や試料によって検出・不検出された元素であった。

河川域における礫と砂の元素含有率の相違について検討した。その結果，主要元素のマグネシウムと鉄，微量元素のチタン，ニッケルについてはほとんど差がなかった。それ以外の元素については，大きな差が認められた。

図-4に黒部川においてXRFを実施した全ての砂礫から検出された元素含有率の平均値を示す。ケイ素の含有率が49.6%で最も高く，次いでアルミニウムが10.8%である。また，含有率が1%を下回る微量な元素が29種類検出された。日本の上部地殻の平均値は，ケイ素67.53%，次いでアルミニウム14.67%である<sup>4)</sup>。これらの値と比較すると，黒部川のケイ素，アルミニウムの含有率は低いことがわかる。

微量元素の中でチタン，亜鉛，ルビジウム，ストロンチウム，ジルコニウムの含有率に着目して，指標化の可能性を検討した。図-5(a)，(b)はそれぞれ試料を礫と砂に分け，チタン，亜鉛，ルビジウム，ストロンチウム，ジルコニウムの含有率をそれぞれ鉄の含有

率で除して正規化した結果である。

図-5(a)，(b)を比較すると，砂の結果の方がZrO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が1/10程度小さいことがわかる。ジルコニウムを利用することによって試料の区分できる可能性がある。図-5(a)に着目すると，猫又ダム手前までは各元素の正規化値の幅が小さく，猫又ダムより下流ではその幅が大きくなっている。いずれの元素ともに縦断方向の増減傾向は認められない。正規化することで測定箇所ごとの測定幅は小さくなり，定性的な傾向を掴むことができる。他の微量元素についても検討する必要がある。

第2章で先述した通り，携行型機器であることを活かして大量の分析を実施した。これらのデータ分類するために，階層クラスタ分析を行った。クラスター間のユークリッド距離の計算にはウォード法を用いた。ここでは，階層クラスタ分析に利用するデータによる結果の相違について比較検討した。本研究では，クラスターは3分類(各図中の○，△，□)とした。

全元素含有率データを利用した場合の結果を図-6，微量元素であるチタン，鉄，亜鉛，ルビジウム，ストロンチウム，ジルコニウムの6種類の含有率を利用した結果を図-7，チタン，亜鉛，ルビジウム，ストロンチウム，ジルコニウムの5種類の含有率を利用した結果を図-8，正規化した図-5のデータを利用した結



図-6 全元素含有率データを利用した場合の結果



図-7 チタン, 鉄, 亜鉛, ルビジウム, ストロ  
ンチウム, ジルコニウムの6種類の含有  
率を利用した結果



図-8 チタン, 亜鉛, ルビジウム, ストロ  
ンチウム, ジルコニウムの5種類の  
含有率を利用した結果



図-9 正規化した図-5のデータを利用  
した結果

果を図-9に示す。図-6, 図-7, 図-8, 図-9の全ての結果において、海域は同じ分類となった。全データを用いると(図-6), 同じ測定箇所において複数のクラスターに分類されてしまっていることがわかる。下流部では特に正規化した値を利用することで明瞭に分類できていることがわかる(図-9)。微細量元素を選択しても正規化しないと明瞭に分類できない(図-7, 図-8)。今後、クラスター数が3分類で良いか否かの検討も必要である。

### 5. まとめ

黒部川を試験地として蛍光X線分析を利用した河川の土砂礫の追跡可能性について基礎的な検討を行った。その結果、微細量元素であるチタン, 亜鉛, ルビジウム, ストロ  
ンチウム, ジルコニウムの含有率を指標化

することで、河川の土砂礫を質的に分類できる可能性を示した。

### 参考文献

- 1) 福岡捷二:洪水の水理と河道の設計法, 森北出版, 436pp, 2005.
- 2) 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), Vol. 68, pp. I\_651-I\_655, 2012.
- 3) 国土交通省:黒部川水系河川整備基本方針, 2006.
- 4) Togashi, S., Imai, N., Okuyama-Kusunose, Y., Tanaka, T., Okai, T., Koma, T. and Murata, Y. (2000):Young upper crustal chemical composition of the orogenic Japan Arc, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol.1, No.11, DOI: 10.1029/2000GC000083.