

下仁田町付近の河川堆積物の砂および礫種構成 から見た堆積物流入量解析

中井睦美、石澤杏奈

The rock composition of the fluvial deposits distributed around Shimonita-cho town, Gumma Prefecture, Japan.

Mutsumi NAKAI and Anna ISHIZAWA

Shimonita-cho is located at 36° East longitude, 139° North latitude, is in the western part of Gumma Prefecture in Japan. Two main rivers flow across Shimonita-cho, come together into the Kabura River that flows into the Tone River at Honjyo City, the central Gumma Prefecture. The basin of the Nammoku River is covered with the Paleozoic and Mesozoic rocks, for example chert, limestone, slate, and metamorphic rocks. On the other hand, the basin of the Saimoku River is covered with a lot of volcanic deposits, for example tuff, dacite, and andesite. We studied rocks and sands taken from three positions; the Nammoku River, the Saimoku River, and the Ao-iwa park at the confluence of these two rivers. We studied the composition of these rocks and sand particles, and concluded that the fluvial deposits from the Nammoku River are lager in quantity than that from the Saimoku River.

1. はじめに

今回研究の対象とした地域は、群馬県西部に位置する下仁田町を流れる南牧川と西牧川と2本の川の合流地点である青岩公園付近である。南牧川と西牧川が合流する青岩公園より下流からは、この川は鑛川という名称に変わる。

南牧川流域付近には、砂岩やチャートなどからなる古生界や中生界が分布する。南牧川流域の古生界である秩父中生層は、埼玉県長瀨町に分布するものと同じく、古生代の石炭紀から中生代のジュラ紀までの間に海底に堆積した堆積岩である（高橋ほか，2005）。特に跡倉地域（旧跡倉小学校，現下仁田自然学校付近）で観察できるクリッペ構造の露頭は著名で有り（武井，1992；勸米良・橋本ほか，1992），下仁田地域はジオパークに設定されている。これら下仁田地域に分布する秩父

中古生層の砂岩やチャートは硬いので、流れる際に周りの岩石を削る。そのため川底がえぐれて、V字谷や険しい崖を形成する。その結果、南牧村熊倉ではチャートが作る三段の滝を見ることができ、従って南牧川の礫はほとんど、これら古生層・中生層を代表する様な固い岩石であることが予想される。

一方、西牧川は、妙義山、神津牧場、荒船山を源としている。これら本宿から荒船山にかけての地域では、かつて、新生代後期に、大きな火山活動が起こった。火山活動による噴出物が堆積し、火山活動がおさまったのちは、侵食作用で山は浸食され続けてきた。西牧川は現在も火山噴出物の上を削り続けている。荒船山は火山による堆積物、溶岩が侵食されずに残った部分であり、溶岩流上面の平らな部分が地表に出ており、一方妙義山も同じようにしてつくられ、火山噴出物特有の脆い地盤のため、隆起する際の侵食が激しく、険しい特有の地形を示すようになった(中島・柿沼, 2010)。このように、西牧川の岩石種は、火山活動の影響を受けた安山岩質の黒色に近い火山岩や凝灰岩が多いと推定される(高橋ほか, 2005)。西牧川流域の山地は傾斜が大きいため、流れが速く、侵食量も多い。安山岩質火山岩や凝灰岩は比較的柔らかくけずられやすいため、本流では川幅が広く、南牧川に比べて明るく開けている(高橋ほか, 2005)。

南牧川と西牧川の合流地点が青岩公園であり、合流することによって川の名称が鑄川に変わる。青岩公園は、南牧川と西牧川の合流地点であるため2本の川の砂が混在していると考えられる。筆者らは南牧川で採取した砂、西牧川で採取した砂、青岩公園で採取した砂を用いて粒度別の堆積物の重さや、体積、密度、帯磁率、岩石の構成を分析した(図1)。同時に礫の試料も採取し、礫構成についても解析を行った(図1, 2)。これらを用いて、南牧川か西牧川のどちらの方が堆積物の流入量が多いのかの解析をおこなった。

2. 試料採取

試料は、砂の試料と礫の試料に分けられる。

砂の試料は、合流点に近い箇所以南牧川・西牧川・合流後の鑄川で、それぞれ採取時に川の水域から10mほど離れた場所から川縁にかけて3ヵ所でそれぞれ10試料ずつ採取した(図1-2, 図1-3)。川縁から10m離れた地点で、川に並行して3試料、そこから3,4歩川に近づいた場所で3ヵ所、川に最も近づいた場所で3ヵ所、川の中で1ヵ所の1地点あたり計10ヵ所で砂のサンプルを採取した(図1-4)。砂の試料を採取した3地点は、自動車や重機が侵入できない場所で、はしごや遊歩道でしか渡れない場所である。

下仁田町付近の河川堆積物の砂および礫種構成から見た堆積物流入量解析

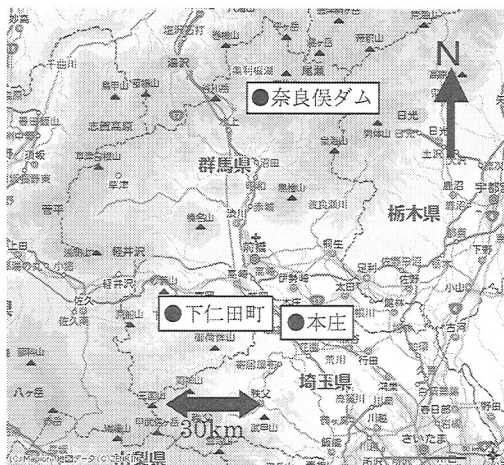


図 1 - 1 礫採取地点

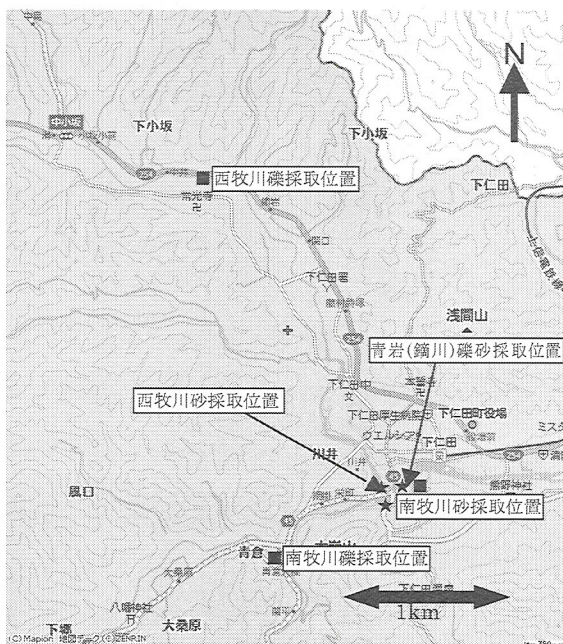


図 1 - 2 砂採取地点

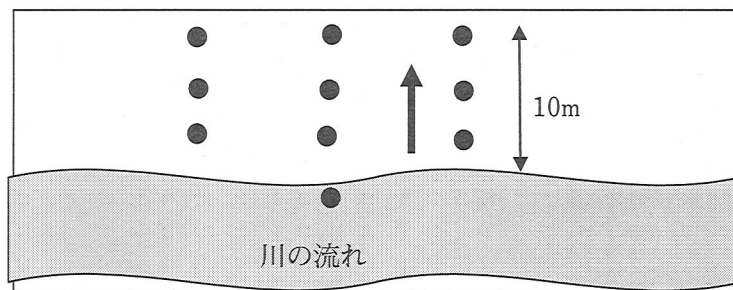


図 1 - 3 砂採取方法 (●が採取位置)

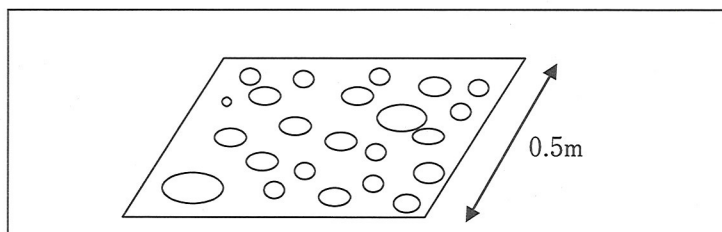


図 1 - 4 礫採取方法

図 1 試料採取位置

■は下仁田町内の砂試料採取位置。★は下仁田町内の礫試料採取位置。●は利根川流域の礫試料採取位置。地図はマピオン・ZENRINを使用。

しかし、この採取位置(図1-2)は、増水した場合、本来それぞれの支流の上流から流れてきた堆積物、特に砂のような小さい堆積物が合流点より上流側に渦や逆流で戻る可能性がある。そこで、礫は南牧川上流、西牧川上流および青岩公園で採取し、さらに鑄川の利根川合流後すぐの位置である本庄市坂東大橋付近でも礫を採取した。また、礫種構成を調べるために、利根川上流部の奈良俣ダム直下でも礫を採取した。河原の礫の採取方法は、図1-4にあるように、河原全体をもっとも代表する様な地点を選択し、0.5m四方の正方形の枠内から大きい方から50~70個の礫を採取した。

3. 研究方法

3-1 砂試料の分析方法

採取した砂の試料は、浅い容器に入れ、約1週間乾かした。

乾燥した後、粒度別(A2.00mm, B1.00mm, C0.5mm, D0.25mm, E0.125mm, F0.063mm, G0.063mm以下)のメッシュのふるいに採取した砂のサンプルを入れ、振動させ砂を粒度ごとに分類した。分類した砂は、それぞれの質量、おおよその体積、帯磁率を測定した。帯磁率の測定は佐藤ほか(2002)の手法に基づくものである。質量は粒度ごとに測定し、粒度分布を求めるのに役だてた。体積は粒度別にメスシリンダーを用いて測定したが、砂の量が少ない場合には7ccのキューブを使い、埋まった部分の高さを測り7ccキューブ中の試料の割合を計算し、体積を測った。帯磁率は帯磁率計を用いて測定した。採取した砂のサンプルの帯磁率は、測る前に箱の中の砂を混ぜ、プラスチックの容器の底に帯磁率計をあてて木の机上で測定した。砂の岩石種構成は、粒径別に分類した中から2.00mmと1.00mmの粒径の試料からランダムに100粒ずつを選び、実体顕微鏡下で、チャート、新生代火山岩類、その他の3種に分類した。チャートを選択したのは、チャートは確実に中生界の岩石であると判定できるので、中生界起源の採砕物であると判定できるからである。

3-2 礫試料の分析方法

大きい方から50個選択した礫の礫種を判定し、砂と同様にチャート・新生代火山岩類(火山岩および凝灰岩類)・その他に分類した。さらに、円磨度も測定し、それをもとに分類した。円磨度はKurmbein(1941)の分類法に従って、0.1~0.9に分類し、さらにその値から0.1~0.2を角礫とし、0.3~0.5までを亜角礫とし、0.6以上を円礫とした。

4. 分析結果

4-1 砂の分析結果

南牧川、西牧川、青岩公園3カ所の砂の調査結果を比較してみると、粒度別の堆積物の質量や、体積、密度、帯磁率、岩石の構成にある程度の傾向が見られた(図2~図5)。

どの地点でも 2.00mm～1.00mmの粒度の堆積物が質量も体積も割合が大きくなっているが、どの河川でも砂の粒度が比較的大きいためであり、図2にあるように、構成比も極めて似通っている。図2の質量分布のデータからは、3つの地点のデータは、極めて似通っていることがわかる。

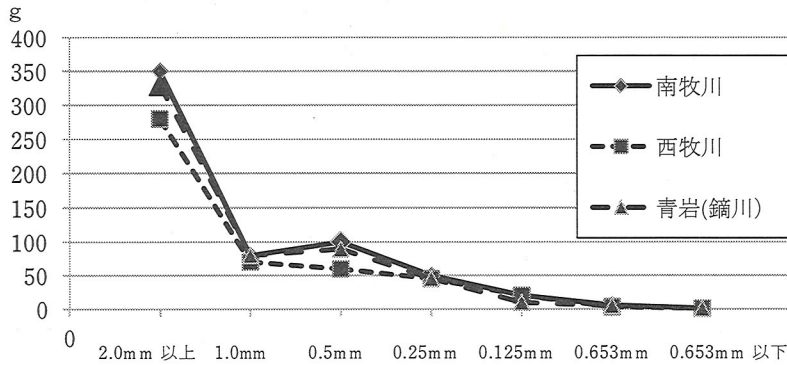


図2 採取した砂の粒度別質量

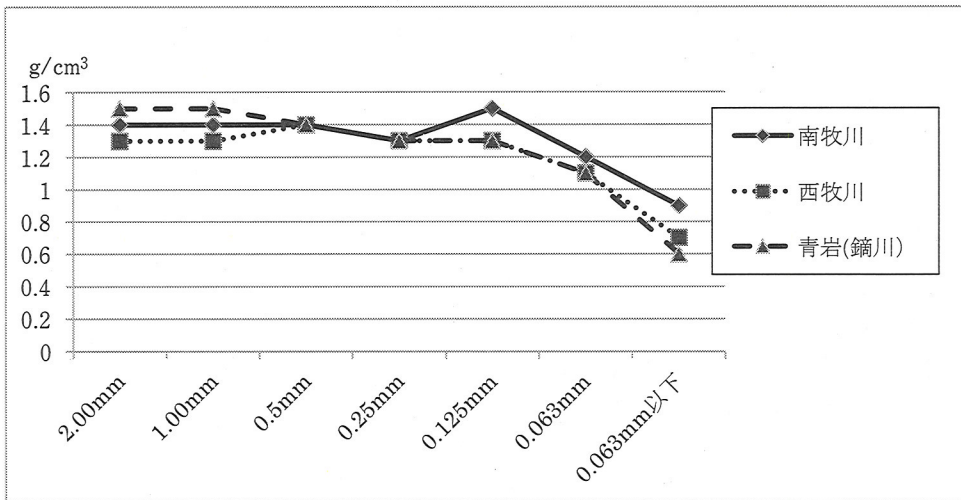
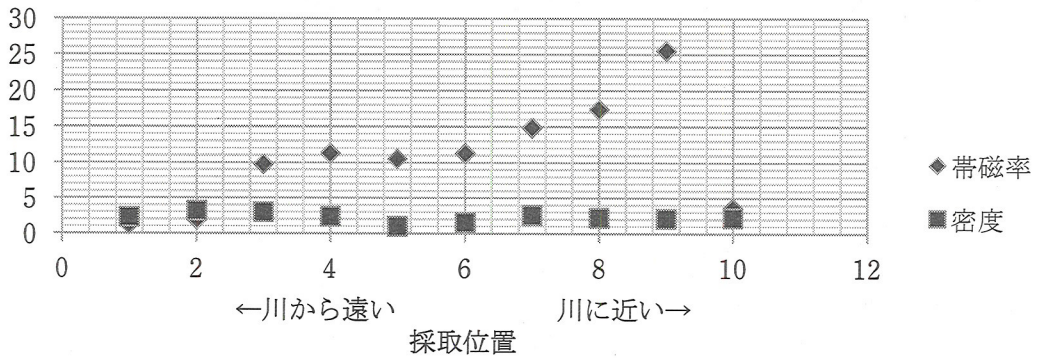


図3 採取した砂の粒度別密度 2.00mmとあるのは、2.00mm以上の粒度の砂である。

体積についても図2の質量と似通った分布が見られたが、得られた体積と質量から計算した密度の粒度ごとの分布が、図3である。図3からも3カ所の堆積物は、密度分布も似通っており、これだけでは区別ができないことがわかる。

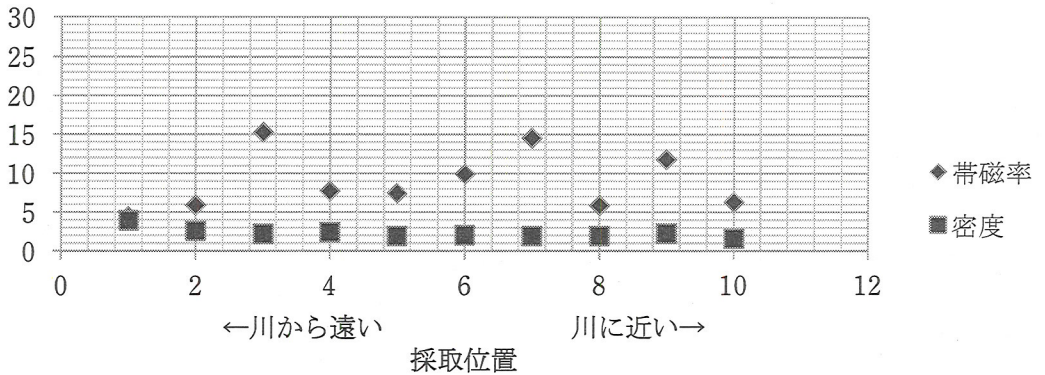
(a) 南牧川

密度(g/cm^3)・帯磁率 ($\times 10^{-4}\text{SIunit}$)



(b) 西牧川

密度(g/cm^3)・帯磁率 ($\times 10^{-4}\text{SIunit}$)



(c) 青岩 (鎬川)

密度(g/cm^3)・帯磁率 ($\times 10^{-4}\text{SIunit}$)

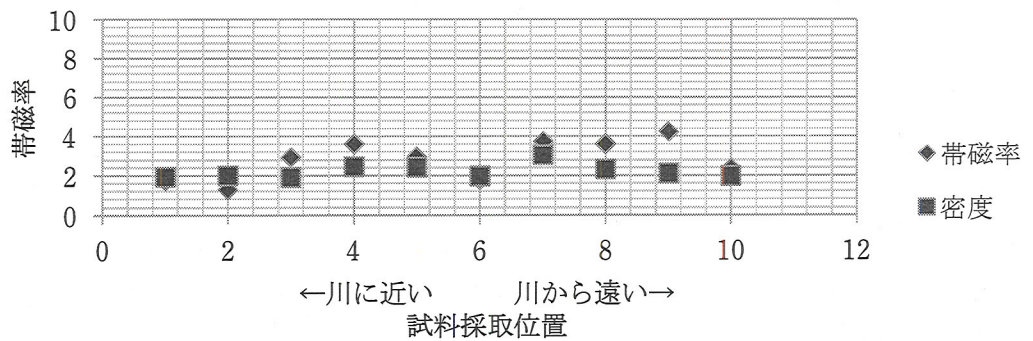


図4 砂の試料の密度と帯磁率 位置10は川の中である。

図4は、砂を採取した地点の密度と帯磁率をグラフにしたものである。横軸の番号は各資料採取地点での資料番号で有り、右の方が川に近いことになる。図4の(a)の南牧川の値からは帯磁率は川の方向に高くなる傾向があり、(b)の西牧川では帯磁率の値は場所によってばらついている。(c)の青岩での帯磁率は極めて低い。

南牧川で採取した砂は、同採取地点でも川に近い場合と遠い場合では、密度には大きな変化は見られないが、帯磁率には大きな変化が見られる。川から遠いほど帯磁率は低くなり、川に近いほど帯磁率が高くなっている(図4)。これは川に近づくほど、比重の重い粒が下に沈み、軽い粒が上に堆積し層状になり、より級化が発達しているためだと考えられる。しかし、川の中で帯磁率が低くなっているのは、いったん堆積物が堆積した後、川の水によって削剥されたためであると考えられる。一方、密度については、南牧川は同地点での10試料が採取位置による大きな変化は見られないが、他の河川(西牧川、青岩)よりは密度が大きい傾向がある。他の2地点(2河川)に比較すると、南牧川の方が比較的密度の高い岩石からできていると考えられ、その結果、南牧川の砂の密度も高くなったと考えられる。

西牧川で採取した砂は、同じ採取地点の川に近い場合と遠い場合では、密度には大きな変化は見られない。帯磁率には変化はあるが、南牧川のような河川からの距離による変化の傾向は見られない。この地点から採取した砂を岩種別に分類した岩種構成からいえば、この地点で採取した砂の岩石種には、安山岩質火山岩の岩石が多い。これらは磁鉄鉱を多く含んでいるため帯磁率が高くなるはずであるが、データはばらつきが大きい。帯磁率の高い試料の岩石構成を観察すると、安山岩質火山岩類の岩石種が多く、そのため帯磁率が高くなっていると考えられる。帯磁率は南牧川のように川から遠いほど低くなり川に近いほど高くなっている傾向は、見られなかった。

青岩公園で採取した砂は、密度はばらばらである。これは、青岩公園は南牧川と西牧川の合流地点であるため、2本の川の岩石粒が入り乱れており、かつ、十分混じり合っていないため、近接した10カ所の採取位置の試料でも、密度がばらばらになっていると考えられる。青岩公園から採取した砂の試料の帯磁率は、全体として低く、ほぼ一定である傾向が見られた。

4-2 礫の分析結果

図5は、3つの河川から採取した(a)2mm以上の砂の岩種構成、(b)1-2mmの砂の岩種構成、(c)礫の砂の岩種構成である。グラフは積み上げ棒グラフで有り、グラフ内の数値はそれぞれの構成割合(%)である。(a)-(c)どのグラフにおいても明確なのは、南牧川では、固い中古生界の岩石を代表するチャートが多く、一方で新生代火山岩類の礫がほとんど見当たらないということ、西牧川では、固い中古生界の岩石を代表するチャートは見当たらず、一方で新生代火山岩類の礫が多いこと、また、両河川が合流する鑄川ではチャートも新生代火山岩類も観察できるという事実である。

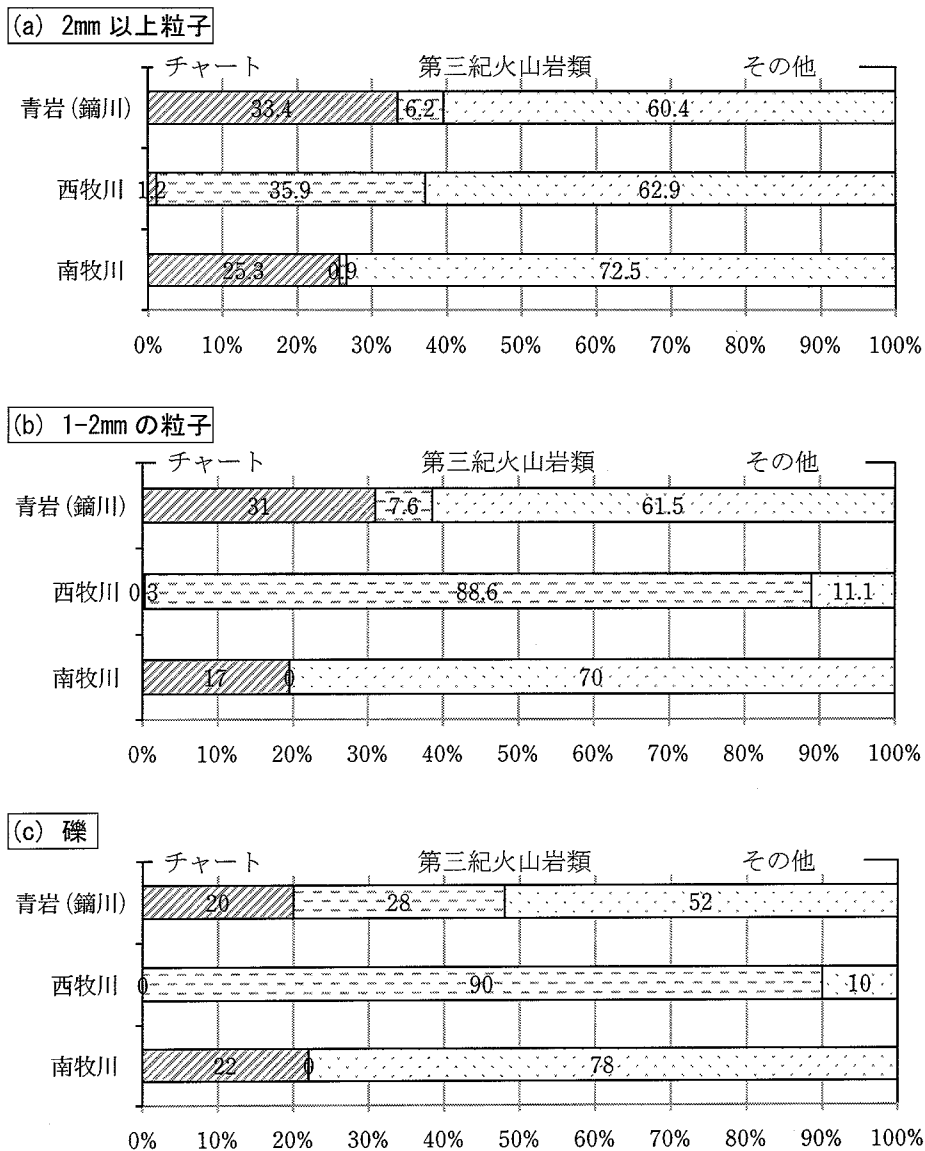


図5 南牧川、西牧川、および、青岩（鎗川）の試料の、(a)は2mm以上の粒子に限った岩石構成（チャート、第三紀火山岩類、その他の三種）(b)は同2-1mmのサイズ、(c)は礫構成である。グラフ中の数字は構成比（%）である。

ただし図5だけでは、鎗川の礫が合流する前のどちらの河川の堆積物に近いかは、明確には判定できない。しかし、(a),(b)の砂の試料はそれぞれの構成比が、10試料の平均であるので、試料ごとのばらつきは、緩和されていると思われる。

5 考察

5-1 河川堆積物の流入量について

佐藤ほか(2002)は、帯磁率を利用して、河川堆積物の流入量を想定した。一定の岩石分布の条件がそろったときには、非常に良い研究手段だと思われる。ただし、常に利用できるとは限らない。帯磁率を用いた環境調査(中井ほか, 2006)、堆積物調査(中井, 2004; 中井, 2011)など、帯磁率調査で報告されているものは、条件がそろった場合のみである。その条件とは、①合流する河川の供給源が顕著に異なること、②供給源の帯磁率が顕著に異なること ③合流する河川から流入する堆積物量に偏りがあることに限られる。本研究の対象となる河川の場合は、①の条件は満足しているので、②を検討し、③を予想するのが研究目的となる。

②供給源の帯磁率が顕著に異なることの検証は、図4にある各々の資料採取位置に関する密度と帯磁率の分布から始める。図4は、南牧川と西牧川の帯磁率はそれぞれ変動が大きいことを示している。

研究当初は、西牧川の砂は、妙義山・神津牧場・荒船山地域を起源としており、これらの地域は火山岩で構成されているので、帯磁率も南牧川より高くなると予想していた。というのも、火山岩は磁性鉱物を多く含むという特徴があるからである。帯磁率は磁性鉱物の量が多くなれば、高くなる。そのため火山岩を多く含む妙義山・神津牧場・荒船山を源流とする西牧川の方が帯磁率が高いと考えたのである。一方、南牧川では、磁鉄鉱をあまり含まない「砂岩(ほとんどケイ酸塩からなる石英)」や、「チャート(同じくケイ酸塩)」が多いため、帯磁率は低くなるであろうと予想していた。ところが図4の結果でわかるように、むしろ南牧川の堆積物の方が高い帯磁率を示す傾向がでた。この原因であるが、南牧川流域には中生代も分布するが、多くの三波川変成岩類も分布しており、これらの中には磁鉄鉱やチタン鉄鋼の結晶が多く見られることにあると思われる。結晶片岩中の磁性鉱物は岩石からはがれやすく、砂鉄になりやすい。事実南牧川では、きれいな砂鉄を採取することができる。これらの砂鉄が堆積時の級化作用によって、図4に示した様な川に近い方に濃集するような帯磁率を示したのだと思われる。西牧川の堆積物では、多くの磁性鉱物は岩石粒の中に含まれたままで、堆積作用の影響を受けないため、帯磁率もばらつきが大きかったと予想される(図4)。さらに、合流部の青岩で帯磁率が低くなる要因は不明である。どちらにしろ、本研究対象の場合、②の条件は満たしていないので、帯磁率を研究対象に用いるのは困難である。

帯磁率以外の方法では、従来よく用いられている基本的な手法として、堆積物の礫や砂の構成から、供給源について予想するという方法がある(公文・立石, 1998; 中井・中井, 2013)。本研究地域の南牧川流域と同様な地層が分布している埼玉県秩父地域や嵐山地域(保科・松井ほか, 2004)では、河原の礫や、地質時代の礫層についての礫種構成を用いた解析例が報告されており、チャートとその他の岩石を区別することによって解析している(加藤ほか, 2004; 中井ほか, 2007)。本研究でも、堆積物流入量調査には、この方法を使用することにした。というのも、チャートは秩父古生層の中生代に多く含まれ、非常に固く礫として残りやすいからである。埼玉県比企

丘陵に分布する、いわゆる「くされ礫」である物見山礫層でも、礫として固いまま残存している岩種は、ほとんどチャートである(中井ほか, 2007)。

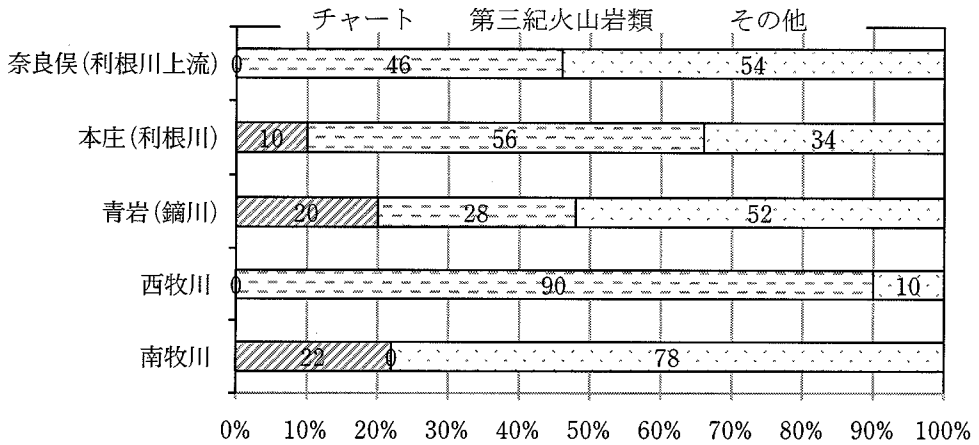


図6 南牧川, 西牧川, 青岩(鎗川)の試料と本庄の利根川, 奈良俣利根川の河原の礫構成との比較。グラフ中の数字は構成比(%)である。

本研究でもチャートと、西牧川に多い新生代火山岩に注目し、礫を分類している(図5, 6)。図4を見ると、条件の①にあたる、合流する前の2つの河川が、まったく異なる地質学的後背地を流れていることが予想され、チャート礫が多く新生代火山岩礫が少ない南牧川と、チャート礫が無く新生代火山岩礫が多い西牧川と、その中間となる両河川が合流した鎗川の礫構成が明確に区別された。ただし、砂粒の1-2mmサイズと2mm以上では、南牧川よりなぜか合流した後の青岩の方が、チャート粒の割合が高くなっている。合流する相手の西牧川ではチャート粒は、ほとんど見られないにもかかわらず、合流後に多くなっているのである。一方で、礫種構成の方は、チャートの割合はほぼ同じで、青岩の方が少ないとも見え、理論的に正しいように思える。但し、数の少ない礫種構成より、100粒×10カ所で、1地点1000粒ずつ調査している砂の解析の方が統計的には正しいより平均的な値を提供できているように思える。このような結果になった要因は、前述の物見山礫層で述べたように、チャートが侵食や風化・碎屑に極めて強く、なかなか砕かれない岩石だということにあるのではないだろうか。それを確認するために、さらに下流の利根川と合流する地点の礫構成、および利根川の上流奈良俣の礫構成と比較した(図6)。

奈良俣の川床礫には、チャート礫は含まれない(図6)。奈良俣と本庄の間の利根川流域には、チャートを含む地層は分布していない(勘米良ほか, 1992)。ほとんどが新生代火山岩類と新生代堆積物である。従って、本庄の利根川川床のチャート礫はほとんどが南牧川起源である。青岩と比較してその存在比は20%台から半分以下の約10%まで減少している。

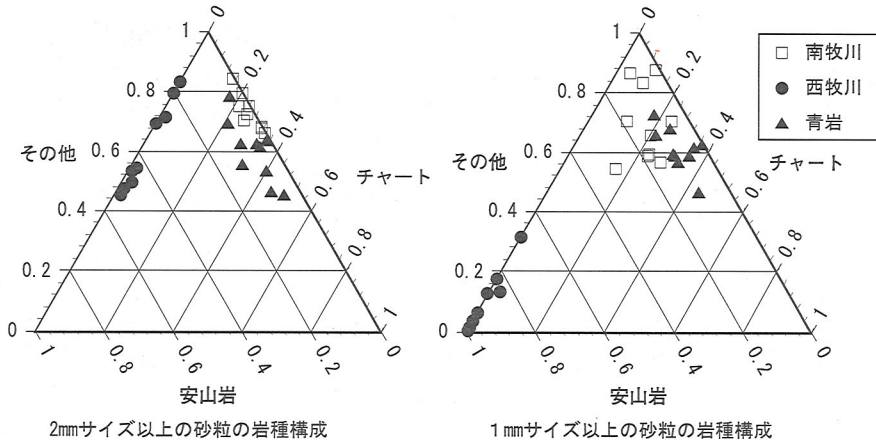


図7 2mm以上および2-1mmサイズの砂の岩石構成の三角ダイアグラム

途中で西牧川と合流することを考えると、約半分になるわけであるから、この存在比は比較的正しい。そのため、このデータだけでは、チャート礫の侵食・碎屑しにくさの解明にはならない。この問題の議論は次項(5-2)で述べる。

図5で説明したように、砂礫構成は明らかであるが、どちらの流域から来る礫や砂が多いかという予想は、図5ではつかなかった。そこで、中井ほか(2007)の手法に従って、チャート・新生代火山岩類・その他に、砂を分類し、その結果を粒度毎(2mm以上, 1-2mm)に三角ダイアグラム上にプロットし、3つの河川について比較した(図7)。2mm以上, と1-2mmで必ずしも同じ分布にはならず、やはり、細くなくなりにくい岩石粒は存在すると予想された。また、分布からいえば、合流後の青岩の砂種構成は、どちらかといえば、南牧川の砂種構成に近い事がわかった(図7)。以上のことから、南牧川と西牧川では合流地点では、南牧川の流入量の方が多いのではないかという結論に達した。地形からも、川床の傾斜は南牧川の方が急であり、流入量が多くなるという条件はそろっている。

5-2 侵食や円磨度に関わる礫の岩質の影響

前項の図5で述べたように、礫構成の解析を現場の地質に応用するには、礫種によって侵食・碎屑の度合いや円磨度が異なることを念頭に入れて議論しなければならない。図5では、チャート粒や礫は、同じ地点から採取しても粒度の大きな堆積物に濃集しやすい傾向が見られた。つまり、チャートと新生代火山岩類では、同じ河川環境で運搬される過程で、同じペースでは碎屑されないという事である。

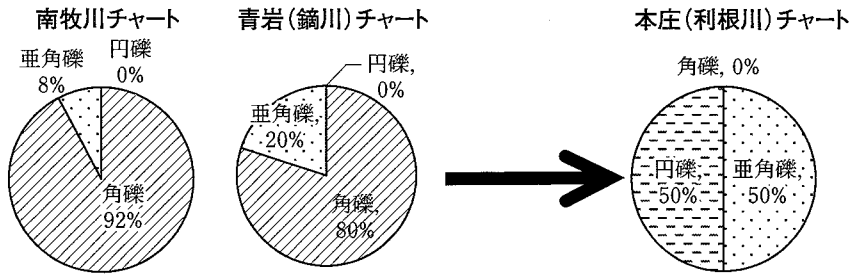


図8 チャート礫の上流から下流にかけての3地点(南牧川→青岩(鎗川)→本庄(利根川))における円磨度構成。チャートは固いため角礫が多いが、下流(本庄)に行くころには、円磨度が増加する。

それでは、チャートや火山岩類と礫種を限定して比較したらどうであろうか？図8は上流から下流に向けて、チャート礫に限って選び、円磨度で分類し(角礫・亜角礫・亜円礫)礫構成を比較したグラフである。チャートの円磨度は下流になると確実に増加する。前述のように、本庄に源岩から供給されるチャートは主として下仁田南牧川からである(注：段丘礫をのぞく)ので、この結果は単純にチャート礫の侵食・碎屑過程と考えてよい。

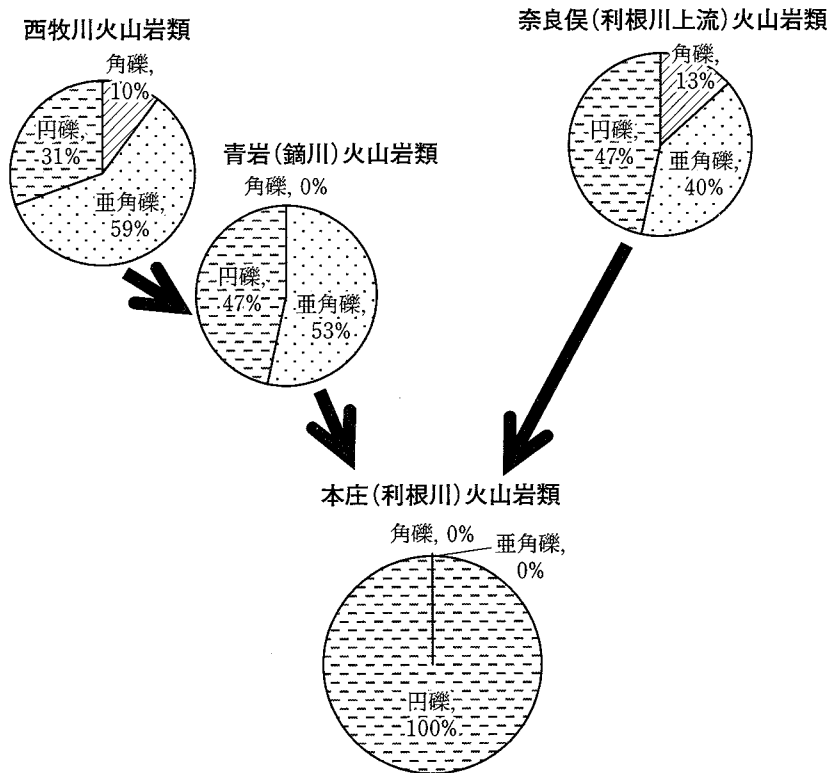


図9 新生代火山岩礫の上流から下流にかけての各地点(西牧川→青岩(鎗川)→本庄(利根川), および、奈良俣(利根川上流)→本庄)における円磨度構成。新生代火山岩類は柔らかく脆いため角礫が少ないが、下流(本庄)に行くころには、円磨度が増加し、ほぼ円礫になっている。

一方、新生代火山岩類の礫は、西牧川から青岩を経由して、利根川へと運ばれる。また、利根川上流から中流の本城に向かって、利根川本流も流れている。これらの流域には、多くの新生代火山岩類が分布しているので（勘米良ほか，1992），それら後背地から、たえず礫は供給し続けられているという環境が考えられる。図9をどう解釈するかは単純ではないが、相対的には、新生代火山岩類も下流に行くに従って円磨度が増加するといっても良いだろう。

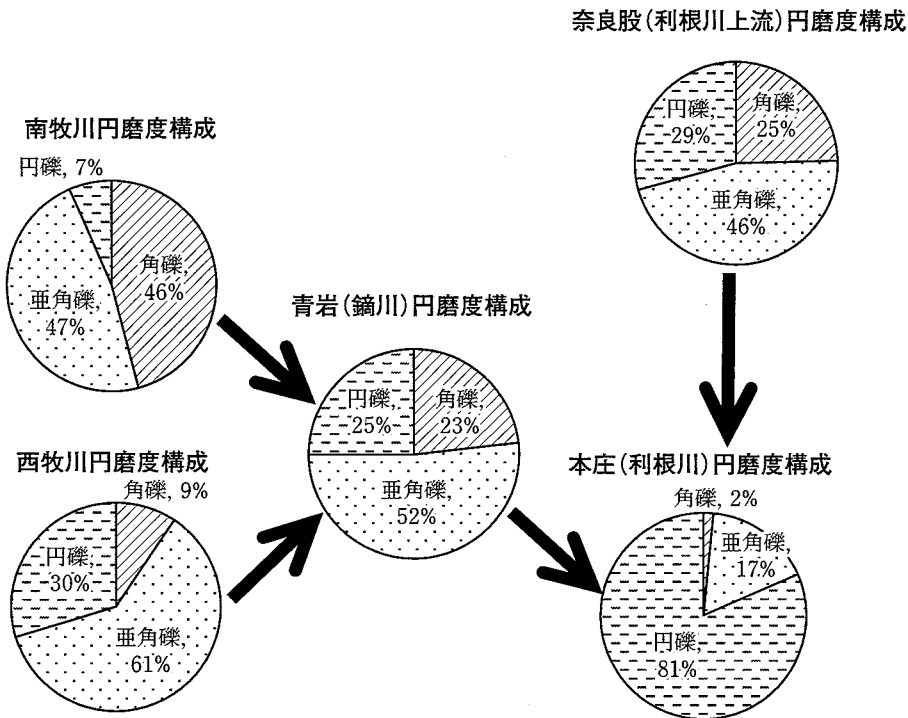


図10 礫の各地点（南牧川・西牧川・青岩（鎭川）・本庄（利根川）・奈良俣（利根川上流））における円磨度構成。下流（本庄）にいくころには、円磨度が増加している。

図8と図9に限れば、岩石種を限定すれば、上流から下流にかけて円磨度が増加することは確実である。私たちが、地層を対象として地質時代の地層中の礫構成を解析する時や、河川の礫調査をするときは、普通は礫種を選ばないで大きい方から礫を選ぶ、あるいは統計学的に1線上から礫を選択するなどの礫の選択の仕方をする。その場合、これら利根川の本流・支流河川の礫の円磨度別構成は、図10の様になる。

図10では、利根川上流の奈良俣から下流の本庄にむけて、確実に円磨度は増加している。この間、利根川流域に分布している岩石は、やわらかい新生代火山岩類と堆積岩類である（勘米良ほか，1992）ので、削剥されて円磨度が増すことは充分予想される。一方、同じく図10の南牧川から青岩（鎭川）さらに下流の利根川との合流点本庄へと礫構成を見ていくと、確実に円磨度は高くなっ

ている。ところが、同じく、西牧川から同じく青岩(鑛川)本庄と連続して上流から下流へと見ていくと、西牧川から青岩へ合流すると逆に円磨度は下がり角礫が増加する。この原因は南牧川の流入にあると思われる。本編の研究によると、南牧川は合流時に西牧川より多量の河川堆積物を鑛川に供給している。このとき、南牧川からチャート礫が多く供給され、同じ河川の条件ではチャート礫は他のより脆い岩石より、円磨度が低く角張っているため、青岩では河川の礫全体の円磨度がいったん上昇する(図10)。その後チャート礫の多い堆積物の流入は無かったので、本庄に流入するころには、確実に礫は丸くなったと思われる(図10)。

以上のように、異なる固さの岩種が分布する地域を河川が後背地として流域に持つ場合には、チャート礫、あるいは新生代火山岩礫といったある程度岩種を限定した礫について、図8、9のような礫種構成の分析を行い、全体の礫種構成(図10)と比較することで、流入量の予測が、容易になる。中井ほか(2007)は、いわゆる飯能礫層と物見山礫層の対比や後背地の予測を行うのに、チャート礫と他の礫を区別し、礫が風化している(いわゆるクサレ礫)物見山礫層では、チャート礫以外は風化したという仮説をたてて、物見山礫層の地質時代の後背地の推定などを試みた。本編の研究および中井ほか(2007)の研究など、条件がそろった場合には、チャート礫を別扱いすることが、礫構成変化の研究を容易にするとと思われる。さらに、教育上の効果を追加して述べれば、チャート礫は地質専門家以外にとっても判定が比較的容易で有るので、河川堆積物の地学教育の教材としても適している。

6. 結論

- ①下仁田町を流れる南牧川と西牧川は、下仁田町青岩で合流するが、河川の礫構成からいえば、南牧川からの流入量の方が多い。
- ②円磨度を、例えばチャート礫と他の礫のように、礫種毎に解析することによって、河川の供給源解析は容易になる。
- ③本地域の場合、砂の帯磁率研究は効果的ではなかった。

文献

- 保科裕, 松井正和ほか(2004) 嵐山町の三波川帯. 嵐山町博物誌調査報告第9集, 嵐山町教育委員会. 1-2.
 勘米良亀齡, 橋本光男, 松田時彦(1992) 日本の地質 関東地方. 岩波書店, 39-41, 47-50.
 加藤禎夫, 小林忠夫, 中井睦美(2004) 嵐山町と周辺の第四系. 嵐山町博物誌調査報告, 9, 70-117.
 公文富士夫, 立石雅昭編(1998) 新版 砕屑物の研究法. 地学双書29, 地学団体研究会.
 Kurbain, W.C.(1941) Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. J. of Sed. Petrol., 11, 64-72.
 中井睦美(2004) ジオロジストのための岩石磁気学. 地学研双書34, 地学団体研究会.
 中井睦美(2011) 磁石のちから 人の中の磁石・自然の中の磁石. ムイスリ出版.
 中井均, 中井睦美(2013) 沖縄県宮古島の海岸砂の特徴とその起源. 都留文科大学研究紀要, 77, 1-14
 中井睦美, 田崎和枝, 渡辺弘明, 朝日隆二, 島崎晴美(2006) 帯磁率をもちいたディーゼルエンジンバス排気汚染調査, 第16回環境地質シンポジウム論文集, 21-24.
 中井睦美, 森岡俊郎, 上野直樹, 佐藤瞳(2007) いわゆる物見山層の礫組成と現河床礫との比較研究—物見山礫層

下仁田町付近の河川堆積物の砂および礫種構成から見た堆積物流入量解析

の起源について. 大東文化大学紀要, 自然科学, 45, 17-27.

中島啓治, 柿沼俊之 (妙義団体研究グループ) (2010) 日本の露頭 奇岩の山—妙義山 地球科学, Vol.54, P.2.

佐藤高晴, 海堀正博, 浜本雄司, 船木実 (2002) 環境磁気学的方法による日野川への大山起源土砂流入の推定. 地

球電磁気・地球惑星圏学会講演会講演予稿集 (C22-P89)

高橋武夫ほか (2005) かぶら川の石図鑑—川原の石の生いたちをたずねて—. 地学ハンドブックシリーズ 17. 地学団体研究会.

武井規朔 (1992) 関東山地北縁部のいわゆる跡倉層の砂岩. 地質学論集. No.38, 249-259.

(2014年9月26日受理)