

仙台圏の川砂の鉱物組成とその自然環境教材化

川村寿郎*・菊池 綾**・望月 貴**

River Sands in the Sendai Region: Mineral Compositions and their Applications as Teaching Materials for Natural Environment Education

Toshio KAWAMURA, Aya KIKUCHI and Takashi MOCHIZUKI

要旨：仙台圏の3つの川、七北田川・広瀬川・名取川の全流域の現河床の川砂について、その堆砂状況を調査し鉱物組成を分析した。3つの川では中流域を中心として各々異なる組成を示し、かつ流域による違いも認められる。これは各川の流域に分布する地質系統の違いを強く反映しているとともに、侵食、運搬、風化の各作用の違いも影響している。分析結果を基にして、川の物質移動の役割を知ることをねらいとして、小中学校において川砂を調査対象とした野外学習をすすめるための教具や指導方法を考察した。

キーワード：川砂、鉱物組成、河床、野外学習、仙台圏3河川

1. はじめに

仙台市内を流れる3つの川、名取川・広瀬川・七北田川は、地域の豊かな自然環境の代表であり、古くから流域の人々の生活基盤として、水が利用され管理されてきた。市内中心部を流れる広瀬川では、今でも清流が多くの人々に親しまれており、そうした恵まれた川の自然環境が、流域の学校でも教育素材として活用されてきている。ところが、人口の増加と市街地の拡大に伴う環境の変化とともに、より普遍的な地球環境の問題も加わって、3つの川について、流域全体としてとらえ直すことが必要となってきた。学校の環境教育の中で、環境の変化の影響が及ぶ将来の世代である児童生徒に、現在の身近な川の自然環境の姿とその変化について、よく理解させることがいま求められている。

自然環境教育として川をどのように教えてゆけばよいかについては、最近、建設省（現国土交通省）河川審議会答申（2000年12月）をはじめとして、地方公共団体やNGOなどからも多くの提言がなされている。それらの中で、川を学ぶ際の基本概念として、水の循環と流域の生態系に関連する川の機能が大きく見直されて、環境教育における主要なテーマの一つとみなされるようになってきた。前者は、地球環境問題の一つである気圏

—水圏での広範な水質悪化や水資源の枯渇などとともに、地域環境としても、川の水質汚染による人体への影響などがひんぱんにクローズアップされることから、当然学習すべき内容の一つとして組み入れる必要がある。また、後者の流域の生態系は、多様な生物の存在すべき空間として認識し、川本来の健全な自然環境を知る上でも重要である。実際、これらのテーマに関連した内容は、最近の環境教育の実践事例としても常套的に取り上げられており、普及が進んでいることがうかがえる。しかしながら、そうした一方で、これまでの川の学習内容として主要な一つであった川での物質の運搬に関する内容などは、2002年から始まる新たな学習指導要領でも、相対的にみて後退しつつある。このことは、川が本来持つ機能である物質の移動と流域環境との関係について近年急速に解明されて、「流砂系」というあらたな概念が形成されている¹⁾ことを思うと、きわめて残念な傾向といえる。また、流域に暮らす人間として、川のもう一つの側面である洪水や氾濫についての防災意識が備わらないことから懸念される。こうしたことから、川を正しく知る上で、川のもつ主要な機能としての水の循環、物質の移動、生態系の3つについては、過度に偏った環境意識にとらわれずに、バランスよ

* 宮城教育大学理科教育講座, ** 宮城教育大学生涯教育総合課程自然環境専攻

く教えることが必要であろう。

これまでの学習単元として、川を調べる内容は、小学校では理科（3・4年）、中学校では理科第2分野の中で取り上げられている。実際の授業実践例としては、①川の深さや流速の測定、②川の水生物観察、③川の水質や水温の測定、④河床堆積物の観察や計測、などがよく紹介されている^{2) 3)}。このうち、川の動態と物質の移動を調べる方法としては、④の内容が古くから取り上げられている。特に、河原の礫を対象として、大きさ（粒径）や形（円磨度・淘汰度）、構造（方向性・配列）、分布（不均一性や偏在）などととも、礫の種類（岩石種）を調べて、その供給源を調べることや流水の運搬過程を理解することがよく取り上げられている³⁾。ところが、河川の運搬物質として最も普遍的な砂～泥などの細粒物質については、観察や計測が難しいこともあって、教材として取り上げられることはきわめて少ない。また、河川工学の科学技術分野においてさえも、堆砂の現象や堆砂物そのものの数量的な取り扱いが普通であるのに対して、よりミクロな砂粒の分析による物質科学的な把握は限られており、課題となっている。

一方、2002年度から始まる『総合的な学習』では、体験的な学習内容を多く導入することが標榜されてい

る。その一環で行われるであろう地域の学習として、例えば、川の流域に存立する学校では、学区の自然環境である川において、さまざまな側面から実地的な調査が授業内容として組み込まれるであろう。しかし、現地での実際の調査結果が不十分であったり未公表であるため、授業の展開や学習支援に足る基礎的資料が整備され、提供されているわけではない。また、実際に野外での活動体験を進めるための教材についても、まだ実情に即したものがそろっていないとは言えない。

そこで本研究では、まず基礎研究として、仙台市内を流れる3つの川の全流域における河床の川砂について、鉱物組成の分析結果を示し、その背景を考察する。その上で、川砂を対象とした教材化として、川の物質運搬の役割（機能）を理解することを目的とした小中学校の授業実践において、実施可能な川砂の簡便的な調査方法について考えてみる。

本研究の概要の一部は、すでに環境教育実践研究センター紀要に報告されている⁴⁾が、分析結果や教材開発に関する本質的な部分は未公表のままであった。ここで、その後の教材化に関する見直しも含めて、一括して報告することにする。

2. 試料および分析方法について

(1) 採取試料について

本研究で検討した試料は、1998年10月～1999年1

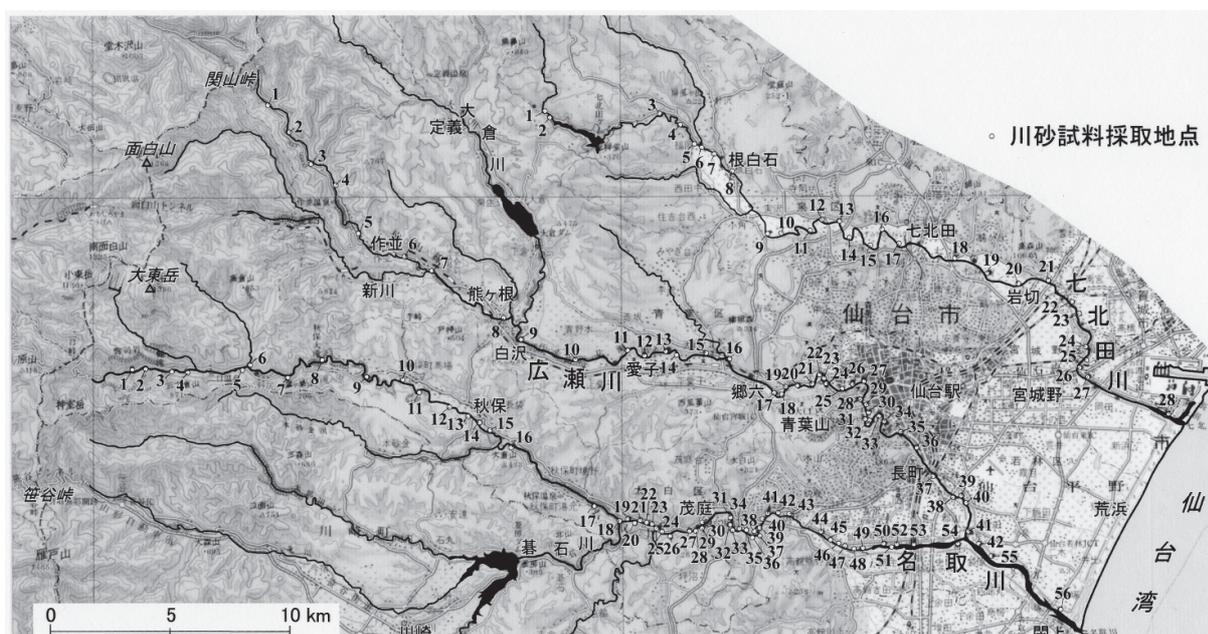


図1 川砂試料の採取地点。国土地理院発行20万分の1地勢図『仙台』および『石巻』を使用。

月に広瀬川の41地点から、および2000年4月～11月に名取川の56地点と七北田川の28地点から、それぞれ河床堆積物から採取した(図1)。試料の多くは、1998年8月、同年9月、および2000年3月の洪水時に運搬され沈積したものである。

現地での川砂の採取は、突州や中州に分布する砂の表層部について、数cm～数10cm四方から集めた。3つの川は、地形的な特徴をもとにして、便宜的に、最上流・上流・中流・下流に4分される(後述)が、今回はすべての流域から試料を採取した。各流域における堆砂状況は、概して以下の通りである。

【最上流】 流路は幅狭く、河岸や河床のほとんどは露岩となっている。河床堆積物は礫～中礫であり、砂は礫間に含まれていることが多い。

【上流】 段丘地形の平坦面を刻下して、河岸に10m以上の高さの侵食崖が続く。流路は直線的なところが多く、やや幅広いところに中州や小規模な突州が発達するが、その多くは洪水時に水没し移動したものである。河床堆積物は中礫～大礫が多いが、突州や中州の一部には砂が集積しているところも見られる。

【中流】 流域では段丘地形がよく発達する。流路は大きく曲流しており、曲流部には幅広い突州がみられるが、下流側では人工堤防や堰堤による流路改修も進んでいる。河床堆積物は、突州や中州の中でも分布に偏りがあり、粒度の変位も大きい。上流側では中礫～大礫が、下流側では砂～中礫が各々卓越する。砂は突州の下流側または突州の上部に集積していることが多い。

【下流】 流路は幅広く、直線的である。流速は低く、よどんでいる。幅広い河川敷をはさんで、流路の両岸は人工堤防で区切られており、流路側の河川敷は畑地や運動場などとして利用されている。河床堆積物は砂～細礫と泥質物であり、砂礫で中州が形成されていることが多い。ただし、人工堤防内には、植生に覆われた過去の堆積物も多く分布している。

(2) 分析方法

一般に、砂粒の鉱物組成を調べるには、砂粒を樹脂封入した薄片を作成して、モード組成を計数・測定することが最も正確とされる⁵⁾。ここでは、その分析方法に基づき試料を調整し、以下のような要領で分析を行った。

①採取試料の水洗と乾燥

②分析用ふるい(メッシュ#20と#28)を使った粗

粒砂(0.25 - 0.75 φ : 0.841 - 0.595 mm)の分取

③4分法で微量(小さじ一杯程度:約200～400粒)に調整した粗粒砂への凝固剤の減圧浸透と封入

④鏡面研磨とスライドガラスへの接着

⑤薄片(厚さ0.03mm程度)研磨とカバーガラス密着

⑥偏光顕微鏡を使った砂粒種の同定と計数

⑦計数データの集計とグラフ化

本研究では、一般にモード組成の分析で用いる中粒砂～細粒砂ではなく、粗粒砂を対象とした。その理由は、事前に異なった粒度の砂粒を比較した結果、岩石種の同定の際に、粒度の大きい方が同定しやすかったことによる。ただし、砂粒の鉱物組成では鉱物種と岩石種の量比が重要である点と、運搬粒子の挙動と粒度との水理学的関係(例えば、Hjulstrom図)を考慮して、粗粒砂とした。後述するように、学校での教材化に資することが目的であることも背景にある。

計数した鉱物種・岩石種は、砂岩の一般的な分類にしたがい、石英、長石類、岩石片、その他(重鉱物など)に大きく分類し、さらに長石類として斜長石・カリ長石、岩石片として酸性火山岩類(流紋岩～デイサイト)・中性火山岩類(安山岩)・塩基性火山岩類(玄武岩)・深成岩類(花崗岩など)・泥岩・凝灰岩・軽石にそれぞれ細分して、計11種とした。火山岩類の分類は、それぞれの一般的な鉱物組合せと石基組織の特徴から判断した。

3. 分析結果

(1) 七北田川

【最上流: 泉区七北田ダムより上流】 試料は少ないものの、酸性火山岩類と軽石の量比が多い。

【上流: 泉区福岡～小角】 石英・斜長石・酸性火山岩類・凝灰岩が多い。

【中流: 泉区実沢～宮城野区岩切】 石英が平均して30%以上を占めることが特徴である。岩石片として軽石や凝灰岩が卓越し、一部で泥岩も多く含まれる。

【下流: 宮城野区田子～蒲生】 石英が卓越し、岩石片として中性火山岩類・塩基性火山岩類が多い。所により軽石片起源の変質岩石片で占められる。

(2) 広瀬川

【最上流: 青葉区関山峠～作並】 酸性火山岩類と中性火山岩類が卓越する。

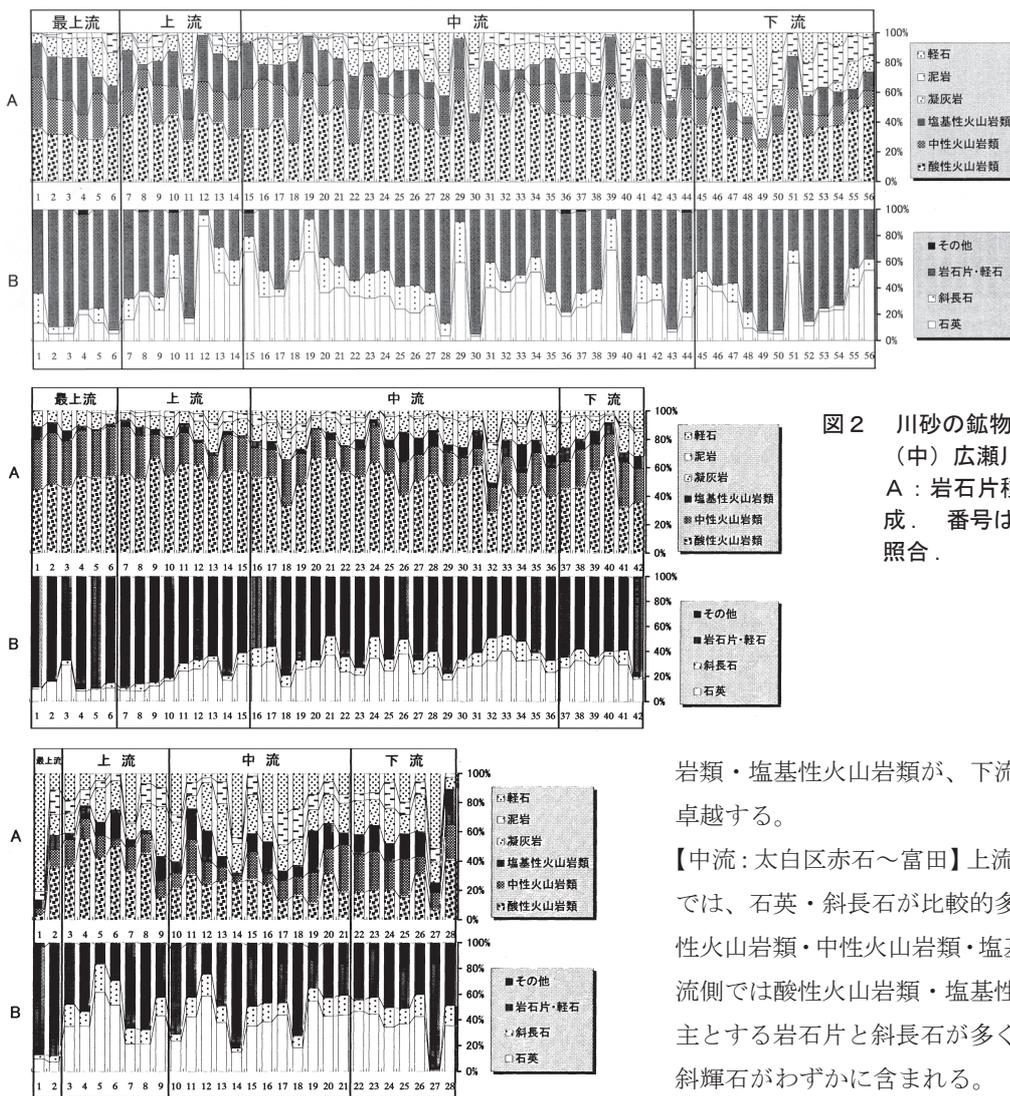


図2 川砂の鉱物組成。(上)七北田川、(中)広瀬川、(下)名取川。
A：岩石片種の組成、B：主鉱物組成。番号は図1の試料採取地点と照合。

岩類・塩基性火山岩類が、下流側では石英・斜長石が卓越する。

【中流：太白区赤石～富田】上流側(太白区人來田まで)では、石英・斜長石が比較的多く、岩石片としては酸性火山岩類・中性火山岩類・塩基性火山岩類が多い。下流側では酸性火山岩類・塩基性火山岩類・泥岩などを主とする岩石片と斜長石が多く含まれる。一部には単斜輝石がわずかに含まれる。

【下流：太白区富沢～名取市閑上】石英の卓越する所と、酸性火山岩類や泥岩を主とする岩石片が卓越する所がある。岩石片の多くは変質して粘土化しており、泥岩や凝灰岩などの岩石片はよく円磨している。粘土化した岩石片の中には微孔や顆粒?もみられる。

(4) 3河川の比較

3つの川とも、概して岩石片の量比が高く、かつ石英が普遍的に含まれている。岩石片としては、火山岩類の量比が大きく、比較的軟質な軽石や凝灰岩も多く含まれることが特徴である。カリ長石と深成岩類は無いが、きわめて少ない。

主要な鉱物組成比である石英/長石類/岩石片の量比で比較すると、全般に七北田川では広瀬川や名取川に比べて石英に富み、名取川では岩石片に富む(図3、図5)。広瀬川では、石英に富むものと岩石片に富むものがある。岩石片としては、3河川とも全体的に酸

【上流：青葉区熊ヶ根～愛子】石英の量比が下流側で多くなる。酸性火山岩類・中性火山岩類・凝灰岩が卓越する。

【中流：青葉区郷六～太白区長町】石英と斜長石で20～40%を占める。岩石片としては、酸性火山岩類と凝灰岩が多いが、一部では中性火山岩類・塩基性火山岩類も多く含まれる。

【下流：若林区郡山～日辺】石英、酸性火山岩類・中性火山岩類が多い。岩石片の多くは変質して粘土化あるいは褐鉄鉱化しており、一部は岩石種を識別できないほどに変質が進行している。

(3) 名取川

【最上流：太白区磐司岩～野尻】岩石片が多く、酸性火山岩類・中性火山岩類・塩基性火山岩類凝灰岩などの岩石片が多い。

【上流：太白区滝ノ原～秋保湯元】上流側では酸性火山

性火山岩類が卓越するが、名取川ではそれに加えて中性火山岩類・塩基性火山岩類の量比もやや高い。七北田川では、他の2つの川に比べて軽石が多い。

3つの川を流域ごとにみた場合、上記のような差異は、特に上流域～中流域で明瞭である。最上流域では、3つの川とも、岩石片の量比が高い。また、下流域では、石英あるいは岩石片が多い点(図4)で類似しており、変質した岩石片や円磨した泥岩が多く含まれることでも共通する。

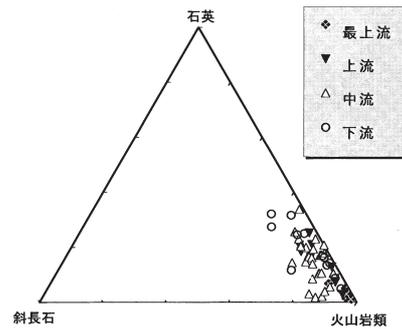


図4 三角ダイアグラムによる名取川各流域の川砂の主鉱物組成の比較。

4. 鉱物組成に関する考察

(1) 供給源の推定

七北田川・広瀬川・名取川の各流域に分布する地質は、工業技術院地質調査所発行地質図幅をはじめとする既存資料^{6) 7) 8) 9)}によれば、各川の上流・中流・下流の流域によって異なっている。各流域に分布する地質系統の岩相と川砂の鉱物組成の特徴との比較・対応から、砂粒が由来するとみられる供給源の地質系統については、以下のように推定される。

a) 七北田川

【最上流】川砂中の岩石片は、河岸に露出する上部中新統定義層の岩相(酸性～中性火山岩類・火砕岩)に合致する。

【上流】川砂中の酸性火山岩類、凝灰岩、泥岩などの岩石片は、流域に分布する上部中新統白沢層の構成岩相(おもに凝灰岩・火砕岩)に対応する。

【中流】流域には上部中新統～鮮新統と段丘および沖積層の堆積物が分布する。川砂に多い石英・斜長石・軽石・酸性火山岩類などは、上部中新統七北田層の構成岩相(おもに砂岩・軽石凝灰岩)に一致する。また、凝灰岩や泥岩などの砂粒は上部中新統白沢層や鮮新統向

山層の岩相(おもに凝灰岩・砂岩)にも対応するとともに、石英や酸性火山岩類の砂粒の一部は段丘堆積物にも由来するとみられる。

【下流】流域には低位段丘または沖積層の堆積物が分布する。石英や変質した岩石片の砂粒は、これらの堆積物とみることができる。川砂の岩石片として多い酸性火山岩類や中性火山岩類は、中流域に分布する七北田層の岩相(前述)のほか、塩釜地域の塩釜層・佐浦町層(中性火山岩・火砕岩など)にも対応可能である。

b) 広瀬川

【最上流】川砂中の岩石片は、流域に分布する下部中新統の四の沢層・奥新川層・荒沢層(おもに酸性火山岩類・凝灰岩)およびそれらを貫く中新世貫入岩(酸性火山岩類)に合致する。

【上流】流域の表層は段丘堆積物が広く分布するが、河岸や河床には、その下位の上部中新統白沢層および鮮新統向山層・大年寺層が露出している。川砂中の石英・酸性火山岩類・泥岩・軽石などは白沢層や向山層の構成岩相によく対応する。

【中流】上流側の川砂で卓越する石英・斜長石・酸性火山岩類などの岩石片は、上流に分布する白沢層・向山層などに由来し、流下したものであろう。上流側には上部中新統三滝層(おもに中性～塩基性火山岩類)が分布し、それに由来する岩石片が下流側の川砂にも多く含まれる。下流側では、河岸や河床に鮮新統竜の口層(おもに泥岩・砂岩)と向山層が露出し、それらを覆って段丘堆積物が広く分布するが、川砂に多い石英・斜長石・酸性火山岩類・凝灰岩は、竜の口層や向山層の構成岩相によく対応する。

【下流】流域は沖積層であり、更新世の自然堤防や放棄流路などの堆積物(おもに砂)と後背湿地の堆積物(お

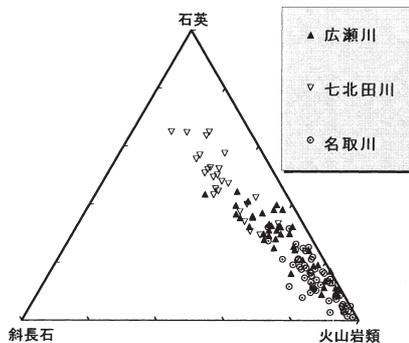


図3 三角ダイアグラムによる3つの川の川砂の主鉱物組成の比較。

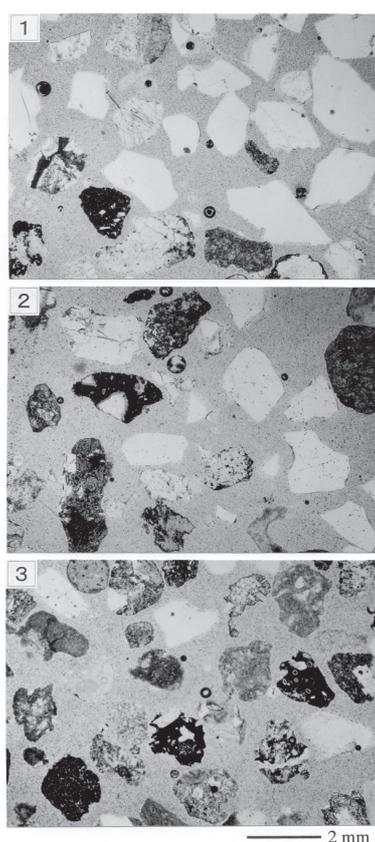


図5 川砂の薄片写真. 1. 七北田川中流、2. 広瀬川中流、3. 名取川中流.

もに泥・砂) からなる。川砂中の石英や変質した岩石片の多くは沖積層に由来するとみられるが、上流側に多い酸性火山岩類や凝灰岩などの岩石片は、中流から流下したものであろう。

c) 名取川

【最上流】川砂の岩石片に多い酸性火山岩類・凝灰岩および中性～塩基性火山岩類は、それぞれ、流域に分布する上部中新統穴戸沢層の岩相（おもに凝灰岩）および鮮新統磐司岩層の岩相（中性～塩基性火山岩類・火砕岩）に対応する。

【上流】上流側の川砂に多い火山岩類は、河岸や河床に露出する上部中新統青根層の岩相（酸性火山岩類・凝灰岩）および鮮新世貫入岩（中性火山岩類）の構成に類似する。下流側の川砂における石英・斜長石の卓越は、流域に広く分布する湯元層の岩相（凝灰岩）に関係する。

【中流】上流側の川砂中の石英・斜長石は、上流の湯元層に由来するもののほか、河岸に露出する下部～中部中新統茂庭層や旗立層の岩相（砂岩）にも出所を求めることができる。また、普遍的に多く含まれる種々の

火山岩類は、流域に広く分布する高館層の岩相（酸性火山岩類・中性～塩基性火山岩類）や貫入岩類（塩基性火山岩類）によく対応する。

【下流】流域は沖積層であり、砂・泥を主とする堆積物からなる。石英や変質した岩石片などの砂粒の多くはこれらの再集積物とみられるが、泥岩や酸性凝灰岩などの岩石片は、中流の河床に露出する向山層から供給された可能性もある。

(2) 川砂の生産と堆積

上述のように、3つの川では、川砂の鉱物組成が、採取した流域の地質を強く反映していることが明らかとなった。このような傾向は、一般的にみて、流路に沿った侵食と運搬の作用がはたらく最上流～中流で強い。しかし、川砂の鉱物組成や砂粒の特徴は、単に供給源の推定ばかりではなく、川砂を生産し堆積する作用の推定においても示唆に富む。ここでは、3つの川において、試料採取時に確認した堆砂状況も加味しながら、砂粒物質の特性からみた川砂の生産と堆積の各作用の要因について考察を加えたい。

a) 侵食作用

最上流～中流では、曲流する流路の攻撃斜面や河床に基岩が露出していることが多く、それが直接、侵食・破碎されて川砂となっていると予想される。しかし、侵食・破碎の程度は、河川流路の流量や流速などを別とすれば、構成する岩相や岩質、あるいは地質構造などの特性によって大きく異なる。特に、基岩の岩石が本来有する粒度・鉱物組成・空隙の程度などに加えて、岩石の固結度（硬度）や割れ目の発達程度などの岩盤特性要素が強く反映していると考えられる。例えば、広瀬川最上流や名取川上流では、強固結岩である貫入岩類や溶岩の分布地で流路に抵抗した滝や早瀬となっているのに対し、凝灰岩の部分では侵食が進んでいる所がある。また、広瀬川中流～上流や七北田川中流では、河床や河岸の露岩の中でも、固結の弱い上位の地質系統の方が下位の地質系統よりも侵食が進んでいる。一方、広瀬川中流や名取川中流では、強固結岩である中性～塩基性火山岩類の溶岩が川砂の岩石片として多く含まれており、地滑り崩落などの機械的な破碎と風化による碎屑物の増産がその原因として予想される。

b) 運搬・沈積作用

前述の供給源の検討から明らかになったように、現

河床の川砂が採取地の流域の地質を強く反映していることは、実は、川砂が侵食後それほどの運搬作用を経していないことを示唆していると言ってよい。このことは、水溶性物質や細粒砂以下の懸濁物質の運搬においてかなりの距離を移動することとは対照的であり、河川流路の物質運搬の一般的認識からみるとやや意外な印象を与えるが、堆積学的視点からはこうした物質移動の違いは至極当然のことである。一般に、河床堆積物の運搬・堆積現象の頻度について、相応の時間間隔でとらえられていないことが多い。すなわち、河川流域に分布する砂（あるいはそれより粗粒の礫）は、相当の時間を経た産物であるという認識が必要である。

一般に、粗粒砂以上の河床堆積物の多くは、洪水時に移動・運搬されることはよく知られている。そのため、川砂の検討には、採取した時期とそれ以前の洪水の時期とを十分確認しておく必要がある。今回検討した川砂のうち、広瀬川のものについてはそれを確認しており、供給源からの運搬や河床堆積物の侵食を引き起こした営力のはたらいた時期が明確である。実際の洪水時の流量・流速と堆砂との関連については検討できなかったが、最上流～中流では流域の地質を強く反映していることから、これらの流域では、粒子の長距離の運搬作用よりはむしろ基岩の侵食作用が進行して川砂が増産されたことが推測される。一方、広瀬川の中流の一部や下流では、侵食による新たな川砂の生産よりは、むしろ上流からの川砂の運搬と沈積の作用がやはり大きかった可能性が高い。このことは下流の川砂が中流域に分布する地質系統の岩石片で占められていることに現れている。

川砂の鉱物組成には、供給源の地質特性ばかりでなく、川砂の運搬過程における淘汰作用が反映されることがあり、堆積学の分野ではよく研究課題として取り上げられる。これは一般的に、掃流時において砂粒となった各鉱物や岩石片が本来有する密度や形状によってそれぞれ沈降速度が異なることや、硬度によって衝突破壊程度がそれぞれ異なることなどに起因する。実際、河床で川砂を採取するにあたって、ある岩石種の砂粒が濃集することが確認されており、ある程度の淘汰作用を受けたことがわかる。特に中流～下流において、岩石片が圧倒的に多いものや重鉱物に富む川砂は、その結果を示しているとも考えられる。

c) 風化作用

川砂の鉱物組成において、運搬・沈積過程での淘汰とともに、堆積後の風化作用による組成の変化があることは、特に陸水環境の場合には無視できない。砂粒の沈積後の風化は、砂粒と陸水との反応による溶解や酸化物の再沈殿、および微生物による分解や細粒化として理解されており、これらは顕微鏡下で変質（粘土化）や汚染として認識される。また、風化過程において、化学的に安定な鉱物（石英や磁鉄鉱など）の残留と増加が進むことにも現れる。実際、今回検討した3つの川とも、下流の川砂では中性～塩基性火山岩類や凝灰岩の変質（赤色化・粘土化）が進んでいる粒子が多く確認されている。また、下流の川砂で石英の量比が比較的多いことは、流域に分布する沖積層の中の砂が、運搬時の淘汰に加えて、堆積後に長石類や岩石片が風化して粘土化した結果、残存した石英が相対的に増え、さらにそのような再侵食・再堆積がくりかえされた結果の現れとみることもできる。

5. 教材化にあたって

川砂の鉱物組成は、上述の基礎研究に示されたように、供給源の地質や侵食・運搬・堆積の作用をよく反映している。これを応用して、川の機能の一つである物質の移動について理解することを目的とした野外学習を行うために、川砂を教材の対象として取り上げてみたい。教材化にあたっては、まず学習のねらいを明確にするとともに、作業を簡略化することによって、児童・生徒が容易に内容を理解できるようにする必要がある。

現地で川砂を調べることによって、「川が自然の中で本来どのような役割（機能）を果たしているのか」を理解することが学習の大きなねらいとなる。しかし、調べることの意義は、学習段階によって認識できるレベルが異なるため、小学校と中学校では当然違ったものとなるだろう。小学校では、基本的に川を移動する物質をまず認識する段階にあり、1地点の川砂や砂粒を観察するにとどまってもよい。それに対して、中学校では把握できる時空範囲も広がり、物質の内容を理解できるレベルにあるため、複数の川砂を観察して比較することや砂粒そのものの種類を識別することも可能である。各川または流域ごとの川砂、さらには海浜砂と川砂とを比較し、相違や類似を認識することによって、

流域のもつ地域性や山—川—海にわたる流砂系について理解することができよう。

また、基礎研究で用いた分析作業は、多くの時間と労力を要するため、同様の手法を小中学校の授業での野外学習として取り入れることは不可能である。そのため、野外での作業として、後述の例のように、児童でも簡単に川砂を採取して観察できる教具や手法を取り入れる必要がある。これによって川砂の物質そのものを見る視点が定まるとともに、川砂の鉱物組成の特徴を容易に識別できる。

さらに、学習支援として、基礎研究で得られた結果や資料について提示することが、理解をうながす上で効果的であろう。各川の流域の景観と堆砂状況、川砂のようす、代表的な砂粒の薄片顕微鏡写真などの画像について、結果や調べ方の手引きなどとともに媒体に収録して配布することや、ホームページ上で公開することが考えられる。また、小中学校で野外学習を行うには時数が限られており、その中でできる限り効果的にしかも多くの事項について体験的な活動を行うことが求められる。そうした条件で川の機能について総合的に学習するためには、水質や水生生物などの調査と並列または順列させて調べるための手順や方法を工夫する必要もあろう。

6. 川砂を調べる方法と学習案

(1) 採取・調整方法

野外学習の中で川砂の砂粒を調べるためには、現地で試料を採取して調整し、すぐに観察することが望ましい。薄片作成や顕微鏡観察・計数を省けば、基礎研究で行った鉱物組成の分析の中で労力を要する作業は、分析ふるいによる一定粒度の砂の分取・調整である。この作業を簡略にするために、ここでは、分析ふるいに代わる用具として、安価（いわゆる100円ショップで市販）でしかも野外で扱いやすいものとして、大小2種の“アクリル”（ステンレス製）を用いる（図6-1）。このアクリルは、大きい方（径10cm）の網目の開きが0.8mm、小さい方（径8cm）のそれが0.6mmであり、2つを重ねて使うことによって粗粒砂（0.33 - 0.74φ）を正確に分取できる。これらと、半分割したペットボトル（2ℓ）とそのキャップ2ヶ、仕切り板（巾25mm、ペットボトルで工作）を用いて、以下の手順で簡単に

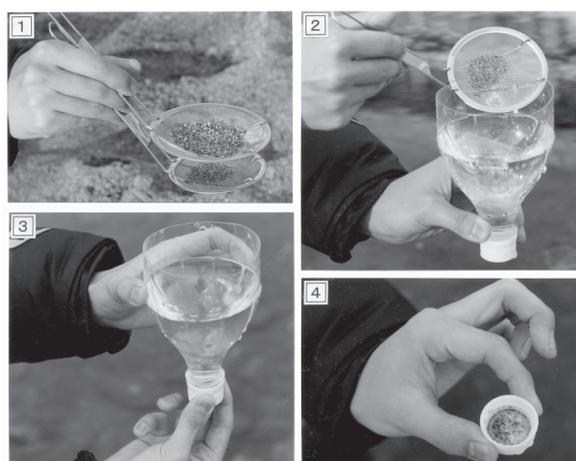


図6 川砂試料の調整方法．手順は本文を参照．

観察試料を採取し調整できる（図6）。

- ①2種のアクリルを取りを重ねて、上段の目の粗いアクリル取りに川砂を入れる。
- ②水中（または空中）で2種のアクリル取りを一緒に揺り動かす（図6-1）。
- ③下段の目の細かいアクリル取りに残った川砂を水の入ったペットボトルに移す（図6-2）。
- ④ペットボトルのキャップを静かにゆるめて水を流し出す（図6-3）。
- ⑤キャップに残る砂が多い場合には、仕切り板で二分したうちの片方の砂を使い、③・④の操作を繰り返して適量にする（図6-4）。
- ⑥キャップに残る水を除き、観察試料とする（図7）。

これらの作業に要する時間は長くて10～15分程度である。なお、最終的に観察に適するキャップ内の砂の量は数10粒程度でよい。そのため、最初の採取試料をあまり多く入れない方が、時間が少なく済む。

(2) 観察方法

上記の手順で調整しキャップに残った砂の観察は肉眼でも可能であるが、できればルーペ（10倍程度）を用いて行う。場合によっては、野外でデジタルカメラやそれを接続したパソコン画面上で拡大してみるとともに、撮影画像を保存するとよい。

観察のポイントは、川砂を種々の鉱物や岩石の破片などの集合物として把握し、さらにその内容として各種の割合（量比）を識別することである。基礎研究で明らかとなったように、川砂鉱物組成として、各川または各流域を特徴づけるものは、石英と酸性火山岩類の量比である。そこで、これらを観察の指標として設

定することが可能である。砂粒の種類としては、まず無色鉱物と岩石片との2種とし、両者の大まかな割合をみることにする。無色鉱物は石英と長石の区別が難しいものの、岩石片については、色の違い・形などを基にして、さらに、酸性火山岩類、中性～塩基性火山岩類、軽石、変質岩を見分けることも可能であろう。

また、今回の基礎研究の分析では除外したが、川砂粒子として植物片（木片）が含まれている所も少ないことから、これを項目として加えてもよい。こうして分類した2～6項目について、それらの大まかな割合を目算する。観察試料は、後で他地域から同様の方法で採取した試料と比較するため、必要に応じて小瓶などに入れて回収する。室内では、実体顕微鏡などを使ってさらに詳しく観察してもよい。

（3）指導案作成にあたって

野外での学習指導として、川での物質の移動を理解させるためには、上記の作業に加えてさらにいくつかの演示や助言が必要である。現地での学習の進め方としては、初めに広い視点から川を捉え、徐々に対象をせばめてから、最後に上記の川砂の観察を取り上げることが最も効果的であろう。野外での学習は、一般的に児童・生徒にとって発散的気分になりがちであるため、最後に砂粒という微小な物質に観察対象を絞ることで、作業に集中させる効果もある。指導順序として、例えば、

- ①地図上での川の流域における砂礫の分布の予測、
- ②現地の地理的位置の確認、
- ③川の曲流、突州・中州の発達状況、植生などの景観の観察、
- ④川の流れや深さのようすの確認、
- ⑤河原（突州）に見られる物の観察、
- ⑥ペットボトルを使った河床堆積物の懸濁と沈降の再現、などが考えられる。このうち、③と⑤は物質の移動という現象面を捉える一方、④や本研究の川砂の観察は物質そのものを捉えることであり、両者をあわせて本質が理解できる工夫をすべきである。その際には、川が懸濁して物を運搬している姿として、洪水時の写真などを示すとよい。その上で、観察した砂粒について、それが移動している物質そのものであり、多くが流域の岩石や地層（あるいは植生）を穿って生産され、今後下流や河口に運搬されてゆくことを助言する。

野外での体験的活動と連続して、教室での事前・事後

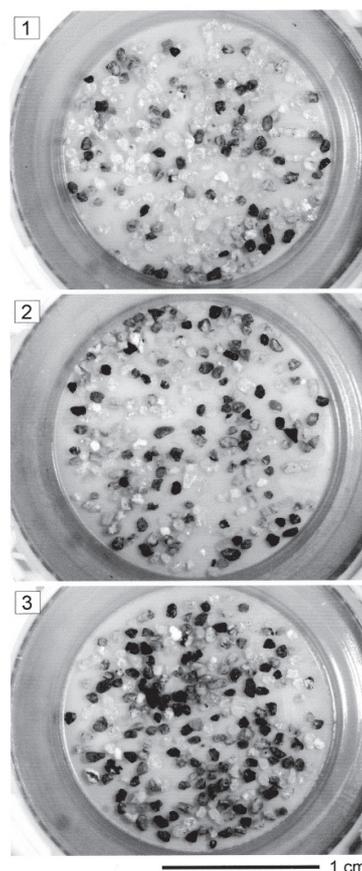


図7 川砂の観察試料の例。1．七北田川中流、2．広瀬川中流、3．名取川中流。各試料は図5と同一。

学習では、川の機能に関連した内容を取り上げる必要がある。川の物質移動について見た場合、これまでの『川の学習』の授業実践報告の中にはすぐれた事例も多く、それらを大いに活用すべきであろう。例えば、小学校理科4年の学習単元「流れる水のはたらき」として紹介される「校庭での流水によるモデル実験」³⁾は、流水の作用、物質の移動、流域の地形の形成などを端的に理解でき、野外活動の事前学習として適当である。また、事後学習では観察事項の復習として、流域の地図を示し、特に上流域での侵食や沖積平野や海岸線の形成について説明してもよい。また、同時に行われる野外学習内容（水質調べや生き物調べなど）と合わせて結果報告しながら、野外学習地点の自然環境を全体として評価することでもよい。いずれにせよ、これには理科の単元にとどまらない展開の工夫が望まれる。

8. おわりに

日本の大都市の中で、源流から河口までのすべての

流域を含む都市はおそらく仙台が唯一であろう。奥山の奥羽脊梁から里山の丘陵地や台地を横切り、仙台市街を通り、宮城野の平野を経て仙台湾に注ぐ3つの川、名取川・広瀬川・七北田川の各流域は、まさしく仙台の自然環境そのものであり、市民の生活の基盤となっている。約400年前に仙台の町が開かれ、その後も発展を続ける中で、さまざまに改変されつつも大切にされてきたこの自然環境をこれからも保全してゆくためにも、川についてよく知ることが望まれる。

名取川・広瀬川・七北田川は、それぞれが特徴のある川である。今回基礎研究として検討した川砂の鉱物組成は、3つの川でそれぞれ異なることと、各川の最上流・上流・中流・下流によっても異なることが明らかとなった。これは、各川の流域に分布する地質系統が異なることを強く反映するとともに、堆砂をもたらす作用の違いも示唆している。すなわち、3つの川では、川の景観や流域の生態系ばかりでなく、それらの基盤となっている河床・河岸の地質とその上の堆積物も、実はかなり変化に富んでいることが認識された。

本研究では、基礎研究での成果を基に、流域の河床に普遍的にみられる川砂を対象とした野外学習を行うための教材開発を行った。学習の目標を明確にし、野外での作業を簡略化するとともに、学習の流れの中で川砂の観察を適切に位置づけることによって、川の物質移動について理解できる。川砂を対象とした実践事例は全国的にも少ないが、教具と指導案を各川の様態に合わせる工夫をすれば、川での野外学習における作業項目の一つとして十分追加可能である。新たな学習指導要領で唱われる体験学習として川での野外学習が実施されれば、さらにその導入が期待される。

仙台市内では、3つの川の流域に多くの学校があり、これまでも各校で川を活かした教育活動が取り組まれている。しかし現代社会では、これまで以上に広域的ないし全球的なスケールでの環境を考慮してゆく必要があり、最近の従来型公共事業の見直しなども絡んで、水環境の新たな考え方も提案されてきている今日¹⁰⁾、人間生活に不可欠な水環境である川については、さらに積極的に各学校で取り組んでゆく必要がある。学校で川について調べることを支援するために、本研究で紹介した内容も含めた教材開発あるいは学習支援の情報系統の整備とともに、河川管理者や地域住民などの

柔軟な理解なども望まれる。また、源流から河口に至る全流域での学校間でネットワークによる情報交流を発展させるなど、学習環境の整備をさらに進めてゆくことで、川全体の理解もより深まったものとなるだろう。

謝 辞

本研究の一部は、環境教育実践センターのプロジェクト研究「仙台市内・広瀬川および名取川流域でのSNC構想の実践」(代表:伊沢紘生教授)の一環として行われた。調査研究の一部に、河川環境管理財団の平成10~11年度河川美化・緑化調査研究助成金および(財)河川情報センターの平成10~12年度研究開発助成金を使用した。平成10年の試料採取に際しては、佐々木一成君(当時、宮城教育大学学生)に協力いただいた。ここに記して感謝する。

引用文献

- 1) 高橋 裕・河田恵照(編), 1998. 岩波講座地球環境学7 水環境と流域環境. 岩波書店. 305 pp.
- 2) 小林 学・恩藤知典・山極 隆(編), 1988. 地学観察実験ハンドブック. 朝倉書店. 374 pp.
- 3) 地学団体研究会(編), 1982. 自然をしらべる地学シリーズ2 水と地形. 東海大学出版会. 215 pp.
- 4) 伊沢紘生ほか8名, 2000. 都市河川を対象とした環境教育教材の開発(I)・(II). 宮城教育大学環境教育研究紀要, 3: 19-44.
- 5) 公文富士夫・立石雅昭(編), 1998. 地学双書29 新版 砕屑物の研究法. 地学団体研究会. 399 pp.
- 6) 北村 信・石井武政・寒川 旭・中川久夫, 1986. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)―仙台地域の地質―, 地質調査所. 134 pp.
- 7) 北村 信(編), 1986. 新生代東北日本弧地質資料集 第3巻. 宝文堂.
- 8) 地学団体研究会仙台支部(編), 1993. せんだい地学ハイキング. 宝文堂. 140 pp.
- 9) 大槻憲四郎・根本 潤・長谷川四郎・吉田武義, 1994. 広瀬川流域の地質―広瀬川の自然環境―. 仙台市: 1-84.
- 10) 天野礼子, 2001. 岩波新書716 ダムと日本. 岩波書店. 231 pp.