

# 地域素材を活用した地学の学習 (8)

— 芦田川の河床礫と中国地方南部の地形特性 —

山崎博史・梶原周作<sup>1</sup>・吉富健一

(2018年10月4日受理)

Geoscience Teaching Using Local Geological Materials (8)

— Features of composition, shape, and size of river bed gravels of the Ashida-gawa River in Hiroshima prefecture from the aspect of terrain property in the southern part of Chugoku district —

Hirofumi Yamasaki, Shusaku Kajiwara<sup>1</sup> and Kenichi Yoshidomi

**Abstract:** The significance of conservation of geodiversity in global environmental conservation has found attention in Japan in recent years. The water and rock cycles, as a part of the supracrustal cycle of materials, have a crucial role in the formation and conservation of geodiversity. The 5th grade science curriculum includes a description of an ideal model on the function of running water in rivers, where it is theorized that gravel in the river become smaller and rounder as they travel farther from the river head. However, the situation of many rivers in this respect do not fit well into the ideal model. Therefore, in the light of the need to acquaint students with actual conditions in rivers, it is necessary to collect actual data on the effect of running river water on gravel, for inclusion in these curriculums. In this study, we determined the compositions, grain sizes, and shapes of river gravels at seven localities along the Ashida-gawa River in the eastern part of Hiroshima Prefecture. We explored the relationship between the features of the gravels and the geology and geomorphology of the river basin. The results indicate the following: 1) Channel morphology can affect gravel composition; 2) the size and roundness of gravel varies as a function of channel slope; and 3) it is necessary to consider that huge boulders are transported by running water only with difficulty and are, thus, rounded on site by sediment particles suspended in the running water. The topography of the southern part of the Chugoku region, through which the Ashida-gawa River runs, is characterized by a stepped terrain, unlike that in an ideal model. Therefore, the features of the gravel in the Ashida-gawa River are typical examples of those of bed sediments of a river running through a stepped terrain.

Key words: Ashida-gawa River, stepped terrain, river sediment, function of running water

キーワード：芦田川，階段状地形，河床堆積物，流水の働き

## 1. はじめに

地球環境の保全を考えると、生物多様性の保全とともに地圏の多様性を意味するジオ多様性（ジオダイ

バーシティ、地形・地質の多様性とも呼ばれる）(Gray, 2013など)の保全の重要性が日本でも指摘されるようになってきた(グレイ, 2005; 渡辺, 2005; 竹之内, 2016)。しかしながら、一般にはまだジオ多様性の保全の重要性あるいはジオ多様性概念そのものの認識の広がりはいささか小さい。学校教育においても、例えば、大地

<sup>1</sup>広島大学大学院教育学研究科教科教育学専攻

が様々な地質で成り立ち、それらが地表でさまざまな地形を呈していることは扱われるが、そのことを多様性の保全という視点から捉えたり多様であることの意味を考えることは希である。

ジオ多様性は、「地質学的(岩石、鉱物、化石)の特徴、地形学的(地表面形態、地形プロセス)の特徴、および土壌の性質・特徴の自然な分布様態(多様性)」であり、「これらの異なる要素の構成、相互関係、属性、解釈、系(システム)を含むもの」である、と定義される(グレイ、2005)。このようなジオ多様性の形成に地球表層付近での水循環と岩石循環が密接に関連していると考えるのは容易であろう。

地球は地圏、水圏、気圏、生物圏の各要素から構成される一つのシステム(Earth System)と捉えられ(例えば、Ernst ed., 2000)、要素間の相互作用により地球環境は動的バランスを保ってきたと考えられている。要素間や各要素内での相互作用は物質の移動や循環を伴うことがある。例えば、水循環は、水が状態変化を伴いながら移動する4要素間の相互作用の枠組みの中で、また、岩石循環は地圏表層の主要な構成物である岩石がマグマ、火成岩、風化生成物、堆積岩、変成岩と形を変えながら循環する地圏内での要素間の相互作用の枠組みの中で捉えられる。

水循環のうち陸上の地表面付近での主要な水の移動は、降水が地下浸透や表面流出により地圏構成物と相互作用しながら、河川水や地下水として海洋へ移動する過程として捉えられる。その他、一部の水は直接あるいは生物を介して大気中へ移動する。一方、岩石循環からみると、地表付近での水の移動は、岩石の風化、侵食、運搬、堆積という一連の作用に大きく関わっている。このように河川に代表される地表での水の移動は、地球表層での水循環と岩石循環の枠組みの中で物質循環・再配置の一部を担っており、河川的作用を理解することはジオ多様性の理解にも繋がる。

ところで、これら2つの循環はともに非常に長い時間をかけて進行する。そのため、物質、特に岩石が形を変えながら地球表層付近で循環していることを実感するのは容易ではない。一方で、2つの循環の一翼を担う河川による物質移動は現在進行形の現象である。そのため、川原を観察することにより、河川的作用によって運搬された風化生成物等が堆積し、その結果として地層が形成されつつあることを実感できる(牧野、2006; 山崎・吉富、2014)。河川的作用を通して地層の形成過程の一端を理解することは、地層と地球表層での物質循環とを関連づけて考えることに繋がり、さらには物質循環や地球システムの理解を深めることに繋がることが期待される。

理科教育では、物質の移動や循環に関連する様々な事象や現象が取り扱われており、小学校では河川による物質移動が取り扱われる。小学校学習指導要領解説理科編(文部科学省、2017)によれば、小学校第5学年の「B 生命・地球、(3) 流れる水の働きと土地の変化」において、侵食、運搬、堆積などの水の働きや、雨の降り方と流水の速さや水量の関係、増水と土地の様子の変化などについて学習する。この単元では、野外での直接観察などを行い、土地の変化の様子や流れる水の働きを調べる観察、実験の結果と実際の川の様子を関連付けて捉えることが求められている。また、「川を流れる水の速さや量に着目して、それらと川原の石の大きさや形とを関係付けて、川の様子の違いを調べる。これらの活動を通して、石の大きさや形と流れる水の働きとの関係についての予想や仮説を基に、解決の方法を発想し、表現するとともに、川の上流と下流によって、河原の石の大きさや形に違いがあることを捉えるようにする。」とある。

以上のように、学習指導要領において河川の観察を通して学習することを求められる、理想モデルとしての河川堆積物の特徴は以下の様に整理される(廣木・牧野、2014)。すなわち、(1) 上流の石(礫)は角張っており、下流の石(礫)は丸みがあること、(2) 上流の石(礫)は大きく、下流の石(礫)は小さいこと、である。

ところが板場ほか(2000)で指摘されているように、河床礫の変化様式は、一般化できる特徴とその河川固有の特徴があり、上流に大きな角張った石が見られ、下流には小さな丸みのある石が見られるといったように単純にとらえることはできないことが多い。このため、教科書に記載されているような河川の理想モデルと合わない河川においては、理想モデルと合わないことをもとにその理由を考察する学習プログラムも提案されている(廣木・牧野、2014)。したがって、河床堆積物の教材化のためには、まず個々の河川の特徴を把握し、その上でその特徴と理想モデルの違いを活用した学習を展開することが必要である。以上のことから、本研究では、広島県東部を流れる芦田川の河床礫について、物質移動を考える教材として活用するための基礎資料として、その組成(岩石種)、礫径及び形態(円磨度)について報告する。また、その特徴と中国地方南部の地形との関連を考察する。

## 2. 日本の河川の基本的特徴と中国地方南部地形概要

### 1) 日本の河川の基本的特徴(概要)

日本の河川の流域面積は、平地よりも山地のほうが

はるかに広く、大陸の大河川は逆に山地に比べて平地の面積が広い（秦・長，1993）。また、日本の河川は流路延長が短く、上流から下流への河床勾配が急であり、山から海まで一気に流れるのが特徴である。そのため、一度雨が降ると急に増水し、短時間で洪水のピークとなりやすい（国土交通省，2005）。

このような水の流れは、上流域では深い谷を刻み、中流域では河岸段丘や谷底平野を作りながら流下し、谷の出口に扇状地をつくって平坦な下流域へと移動する。下流域では土砂の堆積により流れを変化させることで氾濫平野や自然堤防などの地形を形成し、さらに河口域では三角州をつくり海に至る（国土地理院，図1）。このように河川の特徴は、一般に、上流、中流、下流という流域毎に記述され、それらと河床勾配との対応が示されている（国土技術総合技術研究所）。また、河川は、流れる場所の地形により、山地河川と平地河川に区分されることもある。

前述した河床堆積物の理想モデル（廣木・牧野，2014）は、図1の源流域から河口域までの河川形態の基本形を基に想定される。一方、鈴木（2015）は、関東や中部地方では基本形に分類される形態の河川が多いが、関西では盆地や山地を横断する河川も存在し、そのような河川では河川形態の基本形とは異なり河床勾配が頻繁に増減し、その遷急点を境に礫径変化が繰り返して起こることを指摘している。

## 2) 中国地方南部の地形概要

中国地方の地形については長い研究史の中で、侵食平坦面の特徴付けられることについて及びその侵食平坦面が隆起準平原であることを前提とした発達史について多様な議論が行われ、その概要が明らかにされている（太田ほか編，2004；日本地質学会編，2009）。以下では、主として前空（2009）を参考に中国地方の地形の特徴の概要を述べる。

河川区分	河川形態 <sup>1)</sup>	流域区分と河床勾配 <sup>2)</sup>
山地河川		上流 1/100以上
		中流 1/100～1/1,000
平地河川		下流 1/1,000～1/5,000

1) 村本ほか(1998)

2) [http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/yougo/words/006/html/006\\_main.html](http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/yougo/words/006/html/006_main.html)

図1 河川の流域区分と河床勾配

日本列島は新第三紀中新世の日本海裂開に伴って形成された島弧である。中国地方はこの日本列島の構成要素の一つである西南日本弧に属している。そこでは日本列島形成以前、大陸の縁辺部に位置していた時代に形成された古い地形から、ほぼ現在の位置で第四紀の気候変動と地殻変動によって形成されつつある新しい地形まですべてがみられる（前空，2009）。

中国地方の中央部には1,000～1,500m程度の高度をもつなだらかな中国山地（脊梁山地）が東西に連なり、その南北両側には数段の侵食平坦面が分布し、さらにその外側（海側）には主要な河川の下流域に沖積平野が広がっている。藤原（1996）は、侵食平坦面が脊梁山地面、吉備高原面、世羅台地面、瀬戸内面の4段に大別されるとした。本論では、中国地方の地形の特徴として、侵食平坦面とその外側の沖積平野を含め、平坦面と急斜面の組み合わせからなる数段の階段状を呈していることを前提とする。

## 3. 芦田川の河床礫調査

### 1) 芦田川の流れと流域の地形・地質

芦田川は広島県三原市大和町大字蔵宗（標高570m）付近から流れ出て世羅町下川尻付近まで東流した後、三川ダム、八田原ダム及び河佐峠を経て南流し、府中市父石町で御調川と合流する（図2）。その後さらに北に向きを変えて府中町に入った後は東流し、続いて福山市北部の狭窄部で南に向きを変え高屋川と合流して瀬戸内海に注いでいる。このように芦田川は所々で流路の向きを大きく変える屈曲の多い河川で、幹流流路延長86km、流域面積860km<sup>2</sup>の一級河川である。

松浦ほか（2002）及びシームレス地質図（産業技術総合研究所，図3）によると、芦田川流域の地質の概略は、上流から下流に向かって以下の通りである。源流部から三川ダム・八田原ダムを経て河佐峠付近までの流域には主に中生代花崗岩類が分布し、その他ペルム紀付加体の舞鶴帯を構成する泥岩や玄武岩類及び中生代デイサイト・流紋岩類や安山岩類が点在する。その下流には府中町まで舞鶴帯の玄武岩、はんれい岩及び泥岩が分布する。さらに下流では主に中生代花崗岩類がデイサイト・流紋岩類を伴って分布し、福山市北部の狭窄部では舞鶴帯泥岩が分布する。また、流路が屈曲する部分では、流路の方向とほぼ平行して断層が認められることもある。

図4に芦田川の河床縦断面と河床勾配の値を示す。河床縦断面は国土地理院の数値地図データを使用し、フリーソフトのカシミール3D（ダン杉本）により描画した。図中、河口から42～45kmと55～58km間は



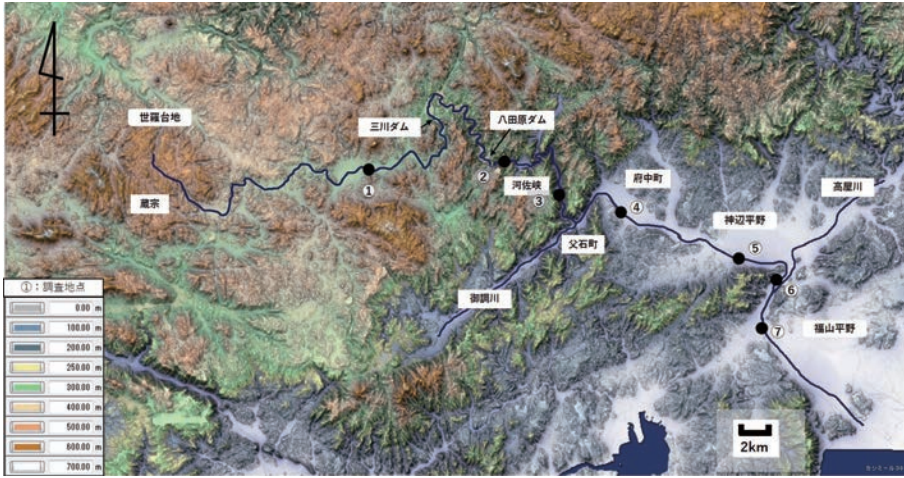


図2 芦田川流域の地形イメージ (カシミール3Dにより作成)

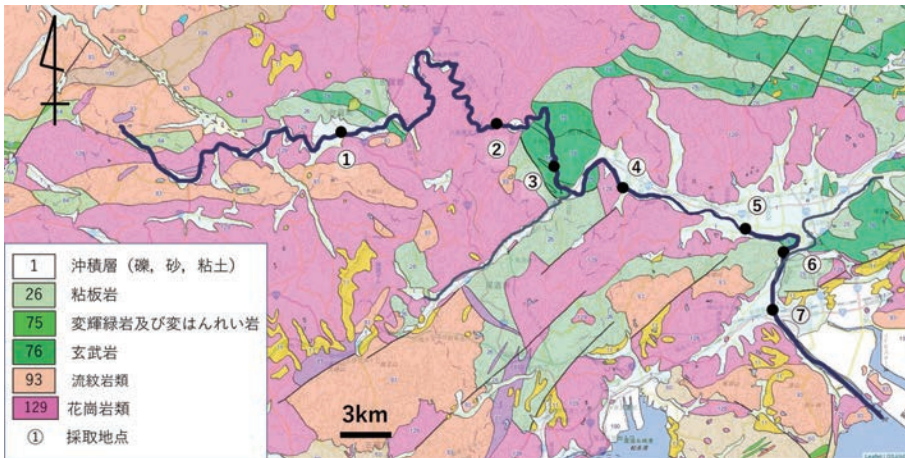


図3 芦田川流域の地質図 (シームレス地質：産業技術総合研究所に基づく)

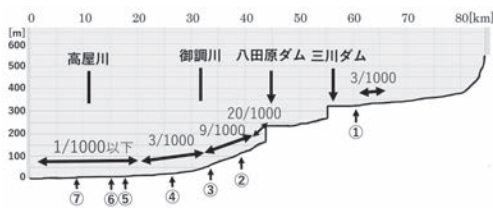


図4 芦田川の河床縦断面と河床勾配

上述した2つのダムの位置に対応している。また河床勾配は、八田原ダムより下流域については河川整備基本方針：芦田川水系（国土交通省）で示された値を用い、三川ダムの上流については地理院地図を基に算出した。

河床縦断面を上流から下流にみていくと、河口から

概ね58kmと31kmの地点に主な遷急点が想定される。58km遷急点では、その上流側の河床勾配は3/1,000、下流側では20/1,000となり、下流側が急勾配となっている。一方31km遷急点では、上流側が9/1,000、下流側が3/1,000であり、この地点よりさらに下流に向かって勾配が緩く1/1,000以下となっている。以上から、芦田川の流れは以下の様に整理される。源流部から58km遷急点まで世羅台地面を構成する世羅台地上を、河床勾配を減少させながら上流域から中流域（図1）の様相を呈して流下する。58km遷急点から31km遷急点の間は世羅台地の南縁、階段状地形の急斜面部に当たり、河床勾配の細かな変化を伴いながらも9/1,000～20/1,000を示す。ここでは河佐峡など山間の狭窄部を流れる上流域の様相を再び呈し、早瀬や淵が連続する蛇行した流れとなる（図2）。31km遷急

点は、概ね山地河川と平地河川との境界部に位置する。この地点付近から瀬戸内面相当の侵食平坦面を侵食しながら、河床勾配3/1,000程度で流下し、続く神辺平野・福山平野では1/1,000以下へと概ね単純に減少させ、河川の中流域から下流域の様相を呈す。以上のように、河床縦断面および河床勾配は下流に向かって単調に変化していないことが明らかである。

## 2) 河床礫の調査地点と調査方法

### a. 調査地点

芦田川流域の河床縦断面と地質図を参考にして調査地点を7点設定し、上流から順に地点番号を①～⑦とした(図2, 3, 4)。①は世羅台地上に、②は河佐峡に、③は②の下流で河床勾配が最大となる、主に玄武岩とはんれい岩が分布する場所に選定した。④と⑤は平地に出た河川の河床勾配がそれぞれ3/1,000程度と1/1,000以下となる場所を選定した。⑥と⑦は高屋川と合流する前後の地点とした。なお、御調川は③と④の間、高屋川は⑥と⑦の間で芦田川へと流入する。

### b. 調査方法

礫の採取にあたっては、河川内に形成された州の下流側において礫が粗粒な場所を選定し、1m四方の正方形の枠を設け、その枠内の礫を見かけ上大きい方から順に100個を目安に採取した。なお、②、③では礫の採取が困難であったため、その場で礫種と円磨度を判定し、巻き尺で長軸の長さを測定した。

研究室に持ち帰った礫について、礫種(岩石種)、礫径、円磨度を調査した。礫種は、汚れを落とした礫表面あるいはハンマーで割った面を観察する肉眼鑑定によった。ノギスを用いて長軸、中軸、短軸の長さを測定し、長軸の長さを礫径とした。礫径は、長軸の値を対数尺度( $\phi$ )でグラフに表した。

$$\phi = -\log_2 a \quad (a: \text{長軸 mm})$$

この尺度では、数値が小さいほど礫径が大きく、数値が大きく0に近いほど礫径が小さいことを表している。円磨度は、Krumbein (1941)の円磨度印象図を用いて9段階に分類した。この指標では、数字が大きいほど礫の角が丸くなっていることを示す。

## 3) 河床礫の調査結果

現地調査は2017年12月と2018年1月に合計3回行った(表1)。

### a. 礫組成

図5に調査地点毎の礫の岩石種の割合を示す。なお、②は調査した礫の数が5個と少ないことを考慮する必要がある。また、「その他の火成岩」には、玄武岩やはんれい岩など塩基性岩を中心とした花崗岩類・流紋

表1 試料採取状況

地点	採取日	採取数(個)	地点	採取日	採取数(個)
①	2017年12月27日	99	⑤	2017年12月8日	98
②	2017年12月27日	5(現地で計測)	⑥	2017年12月27日	100
③	2018年1月16日	15(現地で計測)	⑦	2017年12月27日	99
④	2017年12月27日	100			

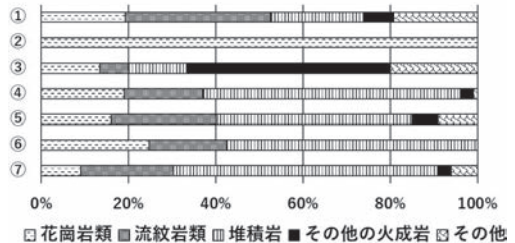


図5 地点毎の礫組成(岩石種の割合)

岩類以外の火成岩を含む。

①では流紋岩類が3割程度を占める。②は全て花崗岩類で、③では「その他の火成岩」が最も多くを占める。④、⑤、⑥、⑦では堆積岩が最も多く4～6割、花崗岩類や流紋岩類が2割前後を占める。

### b. 礫径

図6に各調査地点の最大礫径と礫径分布(礫径毎の割合)を示す。最大礫径は①に比べ②で極端に大きくなる。③から⑥までは下流側へ向かうほど礫径は小さくなっていく。しかし⑦では⑥より大きくなる。同様に、礫径分布も①より②で明らかに大きな礫が多くなり、③から⑥にかけてより礫径が小さな礫の割合が多くなる。特に③と④では礫径の違いが明瞭である。

### c. 円磨度

図7に円磨度の値の変化を示す。なお、②については巨礫5個の判定結果である。平均円磨度の値は岩石種毎に見た場合とそれらをまとめて全体的に見た場合とではほぼ同様の変化を示す。すなわち、①に比べ②で大きくなるが、その下流の③で最小になる。また、③から⑥までは下流側へ向かうほど大きくなっていくが、次の⑦では⑥に比べて小さい。

## 4. 考察

### 1) 河床礫と地形・地質との関連

#### a. 礫組成と流域の地質

図5のとおり、どの地点でも、流域に広く分布が認められる花崗岩類と流紋岩類が2割前後含まれており、礫組成が流域の地質(図3)を反映していることが想定される。また、④～⑦では堆積岩が最も高い割合を占めていることと③で「その他の火成岩」の割合が突出していることは、流域の中でも特に近傍の地質

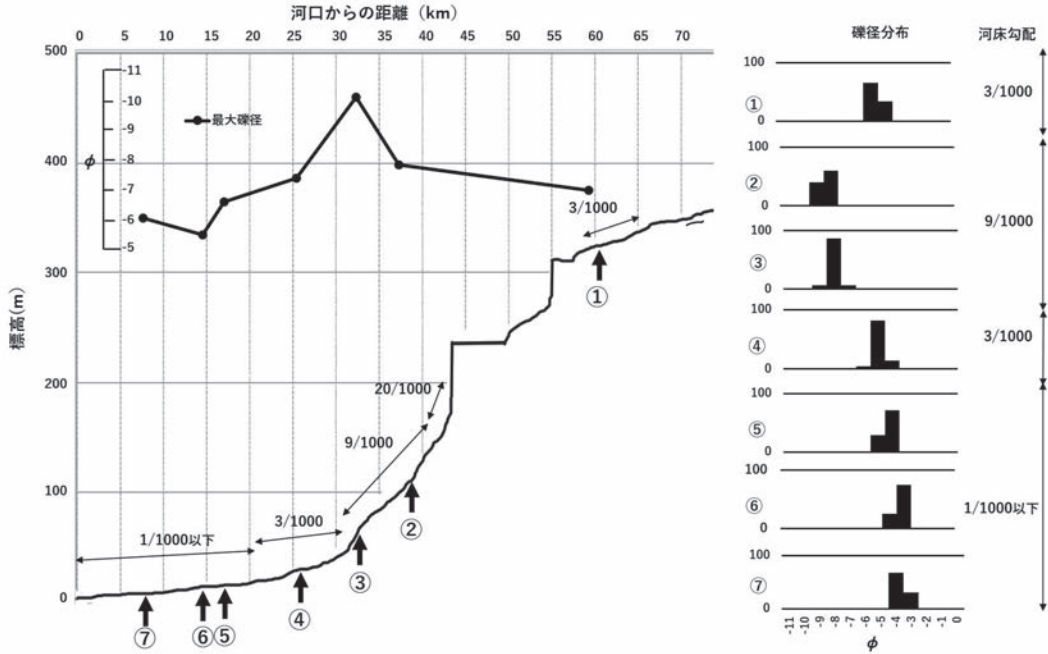


図6 最大礫径と礫径分布の変化と河床勾配

が河床の礫組成に強く反映される場合のあることを示唆している。この点は、大和川の河床礫の礫種組成でも指摘されていることである（廣木・牧野，2014）。

**b. 河床礫と河床勾配**

図8は河川の理想モデルと大和川モデルの比較図（廣木・牧野，2014）に本論の調査結果を芦田川モデルとして加えたものである。この図には河床勾配は示されていないが、河床縦断面と河床勾配は概ね対応することを前提して議論する。

芦田川の①から②にかけて河床勾配が3/1,000から9/1,000へと急になると、最大礫径は極端に大きくなる（図6）。②は八田原ダムの堰堤に近い河佐峡にあり、河川の両側に山の斜面が迫っている（図2）。この状況から、②で見られる巨礫の多くは、この地点より上流側から運ばれてきたものではなく、周囲の山の斜面から供給されたものと考えられる。③付近は12/1,000の河床勾配を示し、②と同様、河川の両岸に山が迫る峡谷内にある。また、礫径分布も②と類似している。ゆえに、③で見られる礫の多くも周囲の山から供給されたものであると考えられる。このことは、礫組成からも支持される。③の周辺は主に玄武岩やはんれい岩が分布しているが（図3）、そこでの礫組成は「その他の火成岩」が主体で、周辺の地質を反映していると考えられる。このように巨礫の分布が供給源近傍に限られることは山地河川の一般的特徴（池

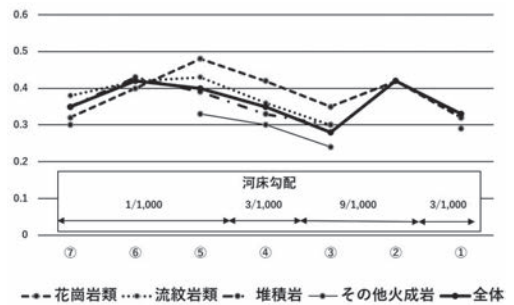


図7 礫の円磨度の変化と河床勾配

田，2000）と一致し、また周辺からの供給による礫の粗粒化は大和川モデル（図8）でも指摘されていることである。

礫の円磨度をみると、③は全ての調査地点の中で最も低い値を示す（図7）。さらにその中でも「その他の火成岩」は花崗岩や流紋岩類に比べて低い。円磨度が河川の運搬作用に関連しているという理想モデル（図8）に従うと、この地点の礫は河川の上流域の特徴と重なる。実際にはこの地点の上流部には①が位置する世羅台地上の中流域的河川状況が存在し、理想モデルのような単調な地形変化を示していない。世羅台地面と下位の瀬戸内面との地形的段差の部分で河床勾配が増し、河川状況も上流的な性質を示すようになる。



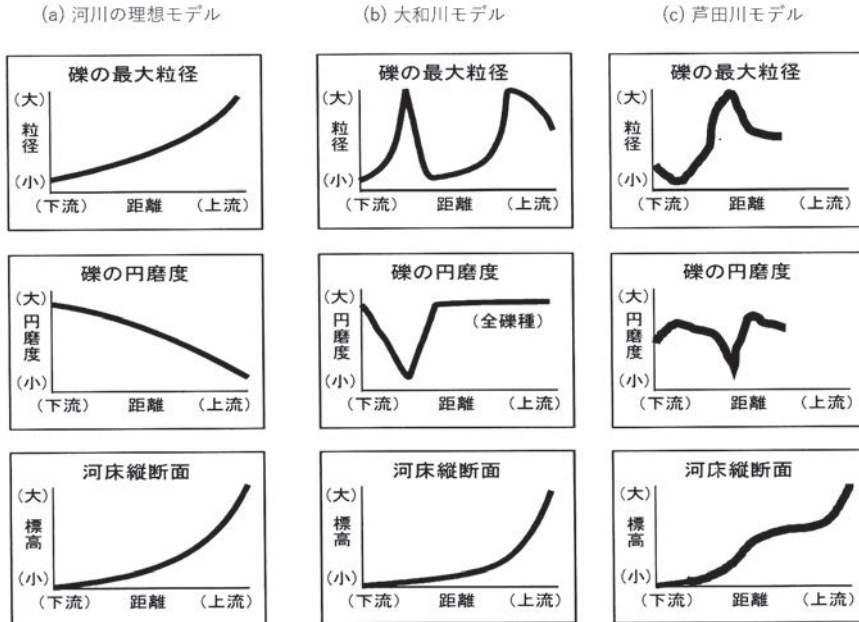


図8 河川の理想モデル、大和川モデルと芦田川モデルの比較（廣木・牧野，2014に加筆）

また、③の礫は周囲の山の影響を受けているが、そのような場の礫の円磨度が低下することが大和川モデルでも認められる（図8）。

③から④へと、河床勾配が12/1,000から3/1,000へと緩やかになると、礫径は明らかに小さくなる。その後、④から⑤へと、河床勾配が3/1,000から1/1,000以下へと緩やかになるが、わずかに礫径分布が小さく変化する程度であり、⑤から⑦にかけては、河床勾配が1/1,000以下と大変緩やかであり、礫径分布は類似しており変化は小さくなる。

ところで、②の礫の円磨度は他の調査地点と比べて高く、下流の⑥と同程度を示す。それぞれの地点の河床勾配に基づくと、上流域と下流域の礫の円磨度が同程度ということになる。②は河佐峡にあり、上述の通り、ここで見られる巨礫の供給源は近傍にあると考えられる。これほど大きい巨礫は容易には運搬されないと考えられるため、運搬される際に他の礫と衝突して円磨されたものとは考えにくい。むしろ、礫は増水時にその場で水没し、流水中を浮遊・転動する粒子が礫にぶつかることで円磨されたと考えられる。このことから、礫の円磨度は必ずしもその礫が運搬されることにより高くなるのではないことが示唆されるが、今後、測定数を増やして検証される必要がある。

また、③から⑥にかけては、下流側へ向かうにつれて円磨度が高くなっていくのが分かる。これは、下流側ほど石が丸くなるという理想モデルと合致する。し

かし、⑥から⑦にかけて円磨度は減少している。このことの原因は、まず、⑥と⑦の間で流入する高屋川などの支川からの礫の流入が予想される。円磨度の高い礫が、支川より流入することで本川である芦田川の河床礫の形態も変化することが考えられ、今後の検討が必要である。なお、礫径分布に大きな差がないものの最大礫径が⑦で大きくなることも（図6）支川の影響を示唆する。

ところで、礫種ごとの円磨度の変化（図7）を見ると、花崗岩類の円磨度は③から⑤までは流紋岩類や堆積岩の円磨度を上回り続けているが、⑥と⑦において急に減少している。このことに関連して、秦・長(1993)は、中粒の花崗岩礫の場合、ある程度円磨を受けるが、花崗岩礫を構成する鉱物の物理的・化学的な性質を反映し、くぼみのできやすい部分が生じ、それが亀裂へと発展する場合が多いと述べている。現時点では調査地点も少なく芦田川での花崗岩礫の円磨度が低下する状況の詳細は不明であるが、構成鉱物等に由来する花崗岩独特の細片化の過程が影響している可能性が指摘される。

以上のように、芦田川の河床礫の特徴は河川の理想モデルとは単純には対応しないことが明らかである。また一方で、同様に理想モデルとの違いが明瞭な大和川モデルとは類似点とともに相違点も認められる。そのため本論では、河床礫の礫径や円磨度が河床縦断面、すなわち河床勾配の変化に対応して変化を繰り返す河

川を芦田川モデルと呼んで区別した。芦田川の河床縦断面は中国地方に特徴的な階段状地形を反映している。中国地方には同様の河床縦断面を示す河川も多い。今後事例研究を重ねて、鈴木（2015）の指摘も考慮しながら、芦田川モデルの詳細な特徴把握が必要である。また、大地を刻み、物質を運搬するという河川の働きが水循環や岩石循環の一端を担っていること、さらに結果としてジオ多様性を支えていることを意識した学習文脈を考えるための素材として、河川の基礎的情報が活用されることが望まれる。

## 【文献】

- Ernst, W. G. ed. (2000) *Earth Systems: Processes and Issues*, Cambridge University Press, UK, 566p.
- 藤原健蔵（1996）中国地方の侵食平坦面，その多元的発達。藤原健蔵（編）地形学の新フロンティア，大明堂，東京，47-70。
- 池田宏（2000）山から海までの土砂礫の移動と粒径変化，月刊地球，32，151-155。
- グレイ，ムレイ（2005）ジオダイバーシティ：地球・環境科学における新たなパラダイム。地球環境，10，127-134。
- Gray, M. (2013) *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley Blackwell, UK, 495p.
- 秦明徳，長和博（1993）河床礫教材化の視点—花崗岩地帯を流れる川「斐伊川」を例として—，日本理科教育学会研究紀要，34，1-9。
- 廣木義久，牧野泰彦（2014）理想モデルと合致しない河川における「流水の働き」学習のための野外実習プログラム：大和川を例として，地学教育，67，111-122。
- 板場修，馬場勝良，小荒井千人，松川正樹（2000）自然の多様性から生じる児童の認識の違い—太平洋側と日本海側にある3つの河川の河床礫の特徴を例として—，地学教育，53，9-24。
- 国土交通省（2005）河川事業概要2005，1。
- Krumbein, W. C. (1941) Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles, *Journal of Sedimentary Petrology*, 11, 64-72.
- 前杵英明（2009）地形概観。日本地方地質誌6 中国地方，朝倉書店，東京，2-9。
- 牧野泰彦（2006）台地を刻む河川の教材化を探る，地学教育，59，137-144。
- 松浦浩久・栗本史雄・吉田史郎・齋藤文紀・牧本博・利光誠一・巖谷敏光・駒澤正夫・広島俊男（2002）20万分の1地質図幅「岡山及丸亀」，産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 文部科学省（2017）小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編（文部科学省HPよりダウンロード）。
- 村本嘉雄，栗田秀明，瀬田雄一，中川一，細田尚，道奥康治（1998）川のなんでも小事典—川をめぐる自然・生活・技術，講談社，東京，341p。
- 日本地質学会（編）（2009）日本地方地質誌6中国地方，朝倉書店，東京，536p。
- 太田陽子，成瀬敏郎，田中眞吾，岡田篤正（編）（2004）日本の地形6 近畿・中国・四国，東京大学出版会，東京，383p。
- 鈴木一久（2015）河床勾配の変化にともなう大和川河床礫の粒度変化，堆積学研究，74，113-122。
- 竹之内耕（2016）ジオパークの視点を導入した学校教育と社会教育の進展—糸魚川ユネスコ世界ジオパークを例に—，地学雑誌，125，795-812。
- 山崎博史，吉富健一（2014）第9章 地学教材の開発と学習指導，『第15巻中等理科教育』，教師教育講座，協同出版，東京，255-279。
- 渡辺悌二（2005）ジオダイバーシティ保全とバイオダイバーシティ保全，地球環境，10，207-216。
- 【参照ウェブサイト】
- ダン杉本：カシミール3D，<http://www.kashmir3d.com/index.html>
- 国土地理院：山から海へ川がつくる地形，<[http://www.gsi.go.jp/CHIRIKYOUIKU/kawa\\_1-1.html](http://www.gsi.go.jp/CHIRIKYOUIKU/kawa_1-1.html)>，2018年9月参照。
- 国土技術総合研究所：河床勾配，<[http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/yougo/words/006/html/006\\_main.html](http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/yougo/words/006/html/006_main.html)>，2018年9月参照。
- 国土交通省：河川整備基本方針・芦田川水系<[http://www.mlit.go.jp/river/basic\\_info/jigyo\\_keikaku/gaiyou/seibi/ashida\\_index.htm](http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/ashida_index.htm)>，2018年9月参照。
- 産業技術総合研究所：シームレス地質図，<<https://gbank.gsj.jp/seamless/maps.html>>，2018年9月参照。

## 【謝辞】

本研究の一部は日本学術振興会科研費JP16K00966，JP17H00820の助成を受けて行われた。