

河床堆積物の下流方向にかけての細粒化について どのように教えているのか ——指導案分析を通して——

教育学科 平田 豊誠

白鷗大学 小川 博士
兵庫大学 安部 洋一郎

抄録

本研究では47都道府県、20政令指定都市の教育委員会が所管する教育センター等が提示している学習指導案を対象に、小学校理科第5学年の単元「流れる水の働きと土地の変化」の指導において、河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因として、破碎・摩耗説か選択運搬説のどちらの指導内容を採用しているか調査・分析した。その結果、当該単元に関する指導案が57編確認でき、河床堆積物の下流方向にかけての細粒化を扱っていた指導案は13編あり、成因について扱っていた指導案は12編だった。そのうち破碎・摩耗説のみを扱っていたのは9編、選択運搬説のみを扱っていたのは2編、両方を扱っていたのは1編だった。分析から、石やスポンジの摩耗実験は、破碎・摩耗を補強するために用いられていること、砂の形成に関する誤解に基づく指導がなされている可能性のあることが見いだされた。

Key Words : 流れる水の働きと土地の変化, 選択運搬作用, 破碎・摩耗作用, 河床堆積物, 小学校理科

1. 問題の所在と研究目的

河床堆積物における粒径の下流方向への細粒化には、多く要因が関わっているが、これまで第一要因には、次の2つの対立要因が挙げられてきた(山本, 1994) :

- ・流送砂礫の破碎・摩耗作用(破碎・摩耗説)
- ・流水による砂礫の選択運搬作用(選択運搬説)

破碎・摩耗説として、小玉ほか(1989)があげられ、選択運搬説として山本(1994: 115 - 125)があげられる。山本(1994)では、日本の河川において、上流から下流に向かって礫が細粒化するのは、流水による砂礫の選択運搬作用による原因が大きく、流送砂礫の破碎・摩耗作用や化学的風化作用による粒径変化はほとん

どないとしている。廣木(2019)では堆積環境において形成される地層はその水理学的エネルギー(流速の変化の範囲)によって決まるとし、河川における選択運搬作用の重要性を指摘している。同様の主張は平田ほか(2022)でも示されている。これらから、筆者らは、第一要因は流水による砂礫の選択運搬作用(選択運搬説)であると考えている。

河床堆積物における粒径の下流方向への変化の学習は小学校第5学年でなされる。平田ほか(2022)では8割を越える児童・生徒が破碎・摩耗説をその第一要因として認識しているが、小学校教員では、第一要因として破碎・摩耗説を57.1%、選択運搬説を36.7%と認識していることを報告し、教員と児童に第一要因について

の認識のズレが生じていることを指摘している。

加えて平田ほか(2022)では、6社中5社の教科書では選択運搬説が取り扱われておらず、選択運搬説のみを取り扱っている教科書は0との報告もなされている。

授業では教科書が主教材として用いられるが、教員は事前に学習内容を解釈し授業計画等を立てている。そのため、授業計画等がまとめられた指導案を分析することで、河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因について、教員がどのように認識・解釈し、児童に指導しているのかを把握できると考えた。そこで、本研究では47都道府県および20政令指定都市の教育委員会が所管する教育センター等のホームページに掲載されている指導案について、河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因に関する内容をどのように取り扱っているのかを調査・分析することを目的とする。

2. 学習指導要領の内容および教科書記述の内容

2.1. 学習指導要領解説理科編

2017年告示の小学校学習指導要領解説理科編(文部科学省, 2018)において小学校第5学年の単元「流れる水の働きと土地の変化」における学習の内容は次のように示されている。

(3) 流れる水の働きと土地の変化

流れる水の働きと土地の変化について、水の速さや量に着目して、それらの条件を制御しながら調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する。ア 次のことを理解するとともに、観察、実験などに関する技能を身に付けること。

(7) 流れる水には、土地を侵食したり、石や土などを運搬したり堆積させたりする働きがあること。

(イ) 川の上流と下流によって、川原の石の大きさや形に違いがあること。

(ウ) 雨の降り方によって、流れる水の速さや量は変わり、増水により土地の様子が大きく変化する場合があること。

イ 流れる水の働きについて追究する中で、流れる水の働きと土地の変化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、表現すること。

続く内容の解説において、アの(イ)について次のように示されている(下線筆者加筆)。

(イ) 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、川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。また、上流から下流まで、川を全体として捉え、上流では侵食の働きがよく見られ、下流では堆積の働きがよく見られることなど、流れる水の働きの違いによる川の様子の違いを捉えるようにする。

ここでは、「川の上流と下流によって、川原の石の大きさや形に違いがあることを捉える」とあるように、石の大きさや形に違いが生じる成因は学習内容として求められていない。

2.2. 教科書記述の内容

平田ほか(2022)では、小学校第5学年理科の教科書(2015年および2020年発行の6出版社の教科書)の河床堆積物の粒径の下流方向への変化に関わる記述内容について、破碎・摩耗

説と選択運搬説のどちらが採用されているかを分析している。それらの報告結果をまとめると表1のように示すことができる。

表1 小学校第5学年理科教科書の単元「流れる水の働きと土地の変化」における河床堆積物の下流方向への粒径の変化に関わる記述内容(平田ほか, 2022をもとに筆者作成)

成因の説明	2015年 検定教科書	2020年 検定教科書
破碎・摩耗説 の説明有り	5/6 (83.3%)	4/6 (66.7%)
選択運搬説 の説明有り	2/6 (33.3%)	1/6 (16.7%)
両論併記	2/6 (33.3%)	1/6 (16.7%)
破碎・摩耗説のみ の説明	3/6 (50.0%)	3/6 (50.0%)
選択運搬説のみ の説明	0/6 (0.0%)	0/6 (0.0%)
成因の説明なし	1/6 (16.7%)	2/6 (33.3%)

教科書において破碎・摩耗説のみの記述内容の例を次に示す(有馬ほか, 2020)(下線筆者加筆)。

山の中を流れる川の石は大きく角ばった石が多く、平地を流れる川の石は小さくて丸みをもった石が多い。これは流れる水のはたらきによって、石がわれたり、けずられたりして形を変えたからである。

次に、破碎・摩耗説と選択運搬説の両論併記の記述内容の例を次に示す(養老ほか, 2020)(下線とカッコおよびカッコ内の解釈は筆者加筆)。ただし、1文目は教科書本文に相当する記述であるが、2文目は資料として記述されている部分に相当する。

川の上流では角ばった大きい石がよく見られ、川の下流では丸い小さい石がよく見られる。

川の上流では角ばった大きい石がよく見られ、川の下流では丸い小さい石がよく見られます。これは、石が流されるうちに、ぶつかって角が取れたりわれたりして、しだいに丸く小さくなるからです。[破碎・摩耗説]

小さい石は、より遠くへと流されるので、長い川ほど、川の下流では小さい石やすなだろが多く見られるようになります。[選択運搬説]

最後に、成因の説明が無かった記述内容の例を次に示す(石浦ほか, 2020)。

山の中では、大きくて角ばった石が多く見られ、平地や海の近くでは、小さくて丸い石やすなが多く見られる。

学習指導要領において、石の大きさや形に違いが生じる成因に関しての学習は求められていないが、6社中4社はその成因についての記述が認められ、破碎・摩耗説と読み取れる記述内容をその全てで採用していた。選択運搬説による成因の説明がなされていたのは両論併記していた1社のみであった。ただし、その記述場所も教科書本文に相当する部分ではなかった。このように、教科書によって成因に関する取り扱い方が異なっており統一されていない。平田ほか(2022)は、現状では教授者及び学習者にとって第一要因が選択運搬説であることが認識されにくいと危惧されるため、これらの対立要因をどのように扱うのかについて地学教育界におけるさらなる議論の必要があると指摘している。

3. 調査対象

3.1. 調査対象

47 都道府県および 20 政令指定都市の教育委員会が所管する教育センター等のホームページにおいて公開、掲載されている小学校第 5 学年「流れる水の働きと土地の変化」の単元についての指導案を対象とした。

3.2. 調査時期

2018 年 10 月から 11 月にかけてと 2021 年 10 月から 11 月にかけて予備調査を行った。この情報を基に、2023 年 3 月から 6 月にかけて再度調査を行った。

3.3. 調査方法

調査は次の手順として行った。

- ① 47 都道府県および 20 政令指定都市の教育委員会が所管する教育センター等のホームページにおいて指導案が公開されているか否かを調査した。
- ② 公開されており、閲覧可能であれば、当該単元である小学校第 5 学年「流れる水の働きと土地の変化」についての指導案が掲載されているかを調べた。
- ③ 当該単元の指導案の中で、河床堆積物の下流方向にかけての細粒化を取り扱った指導案を抽出した。
- ④ 抽出した指導案の中で、河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因に関する記述があったものについて文言の分析を行い、「破碎・摩耗説」、「選択運搬説」のどちらの記述がふくまれているのか、または含まれていないのかを判別した。

4. 調査結果

調査①と②の結果の一覧を表 2 に示す。47 都道府県、20 政令指定都市の教育委員会もし

くは教育センターのホームページに指導案が公表されているのは 24 都道府県 6 都市であった(方法①)。そのうち単元「流れる水の働きと土地の変化」に関する指導案が公表されていたのは 14 府県 3 都市であり、指導案 57 編が確認できた(方法②)。ただし、このうち 22 編は横浜市で確認された。

57 編のうち河床堆積物の下流方向にかけての細粒化に関する指導内容を扱っていたのは 13 編あった(方法③)。

そのうち、河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因に関する文言を確認できたのは 6 府県 2 都市の指導案 12 編であった(方法④)。指導案に記述されていた河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因に関する文言および実験方法等を表 3 にまとめた。

12 編の指導案のうち、「破碎・摩耗説」のみ記述の指導案は 9 編、「選択運搬説」のみ記述の指導案は 2 編、「破碎・摩耗説」「選択運搬説」の両論併記の記述の指導案は 1 編だった。

なお表 3 にある実験内容の、石の摩耗実験とは、防犯用の砂利や滑石などを容器に入れ、よく振ることで角が取れて丸くなることを示すような実験のことであり、スポンジの摩耗実験とは、生け花用の吸水スポンジを 2cm 角程度に切り分け、ある程度の数を入れたら振り、振る回数を増やすと小さく丸くなっていくことを確認するような実験のことである。

7 番の指導案の文言には、「下流にある石が小さくて丸い」や「石と石がぶつかりあったり、こすれあったりすることによって丸みをおびて小さくなる」といった表現が見受けられるが、「下流へ流され」や「運ばれ」といった、石が流される過程で破碎や摩耗が起きているという直接的な表現が見受けられないため下線を引いていない。しかし指導案の指導過程では、スポンジの摩耗実験を通して、スポンジがだんだん小さくなり丸くなっていったこと、削られて小

表2 47 都道府県および20 政令指定都市の教育委員会が所管する教育センター等のホームページ上の指導案サイトの有無と、「流れる水の働きと土地の変化」の単元についての指導案の数

○：サイト有りで一般に公開，△：サイトは存在するが関係者のみが閲覧可能，×：サイト無し

	自治体	指導案サイトの有無	当該単元の有無	指導案の数		自治体	指導案サイトの有無	当該単元の有無	指導案の数
1	北海道	×	-	-	35	山口	○	×	-
2	青森	△	-	-	36	徳島	○	×	-
3	岩手	○	有	5	37	香川	△	-	-
4	宮城	○	有	3	38	愛媛	○	有	1
5	秋田	△	-	-	39	高知	×	-	-
6	山形	△	-	-	40	福岡	○	有	3
7	福島	△	-	-	41	佐賀	○	-	-
8	茨城	○	有	4	42	長崎	△	-	-
9	栃木	○	×	×	43	熊本	×	-	-
10	群馬	○	×	×	44	大分	×	-	-
11	埼玉	○	有	1	45	宮崎	×	-	-
12	千葉	○	有	3	46	鹿児島	○	-	-
13	東京	○	×	-	47	沖縄	×	-	-
14	神奈川	×	-	-	1	札幌市	×	-	-
15	新潟	○	有	2	2	仙台市	×	-	-
16	富山	×	-	-	3	さいたま市	×	-	-
17	石川	△	-	-	4	千葉市	×	-	-
18	福井	×	-	-	5	横浜市	○	有	22
19	山梨	○	有	3	6	川崎市	○	有	1
20	長野	△	-	-	7	相模原市	×	-	-
21	岐阜	○	有	1	8	新潟市	○	×	-
22	静岡	△	-	-	9	静岡市	×	-	-
23	愛知	○	×	×	10	浜松市	×	-	-
24	三重	×	-	-	11	名古屋市	×	-	-
25	滋賀	△	-	-	12	京都市	△	-	-
26	京都	○	-	-	13	大阪市	△	-	-
27	大阪	○	有	1	14	堺市	×	-	-
28	兵庫	△	-	-	15	神戸市	×	-	-
29	奈良	○	有	1	16	岡山市	○	×	-
30	和歌山	×	-	-	17	広島市	○	×	-
31	鳥取	△	-	-	18	北九州市	×	-	-
32	島根	○	-	-	19	福岡市	○	有	2
33	岡山	○	有	1	20	熊本市	×	-	-
34	広島	○	有	3		合計	30	17	57

表3 指導案に記述されていた河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因に関する文言および実験方法等の抽出と成因に関する分類 (下線筆者加筆)

番号	成因	実験内容	記述内容
1	破碎・ 摩耗	石の摩耗 実験	実験の工夫点：川原にある石の形状が川の上流と下流とで異なる原因を考えさせ、実験によって確かめさせる。 まとめ：川を流れる水によって、石が山の中から平地まで運搬される途中で、石同士がぶつかり、形が丸く、大きさは小さくなる。
2	破碎・ 摩耗	石の大き さ比較	石は、運ばれながら角がけずられ、だんだん小さく丸くなってつもる。
3	破碎・ 摩耗	石の摩耗 実験 石の大き さ比較	学習課題：上流の石と下流の石のちがいはどのようにしてできたのだろうか。 まとめ：上流の石と下流の石のようすがちがうのは、流れる水のはたらきによって、石が流されたり、われたりけずられたりして、形を変えたからである。
4	破碎・ 摩耗	スポンジ 摩耗実験	めあて：なぜ、川原の石は下流に向かって小さく、丸くなっていくのだろうか。 まとめ：川原の石は、水で運ばれる間に、ぶつかり合っ、けずられていくため小さく丸くなる。
5	破碎・ 摩耗	映像資料	考察での追質問：川の上流、下流によって、石の大きさや形に違いがあるのはどうしてか考える。 まとめ：上流と下流の石の大きさや形が違うのは、流れる水のはたらきによって、石が流されていくうちに、われたりけずられたりして、形を変えたからである。
6	破碎・ 摩耗	スポンジ 摩耗実験	指導観：石が上流から流れていく過程で衝突を繰り返し、小さく丸くなっていくというを理解するためには、時間的・空間的な見方を働かせることが求められるが、それは難しいと考えられる。そこで、瓶に生け花用スポンジを入れて振ると、スポンジが小さく丸くなったり、割れたりする実験を取り入れることで児童の実感を伴った理解につなげたい。 めあて：なぜ、上流・中流・下流の石には、大きさや形に違いがあるのだろうか。 結論：上流にある大きくて角張った石が、中流、下流へと運搬される間に、川岸や川底にぶつかったり、石同士がぶつかったりする。そのときに、石が割れたり、こすれたりして小さく丸くなるため、下流に向かっていくほど、小さく丸い石が多くなる。
7	破碎・ 摩耗	スポンジ 摩耗実験	学習問題：下流にある石が小さくて丸いのはなぜか？ まとめ：下流にある石が小さくて丸いのは、石と石がぶつかりあったり、こすれあったりすることによって丸みをおびて小さくなるからである。
8	破碎・ 摩耗	スポンジ 摩耗実験	学習問題：どうして下流の石は丸くて小さいのだろうか？ 実験考察：上流の石と下流の石に違いが見られるのは、流れる水のはたらきによって石が下流に流され、石が削られていくから。 まとめ：流れる水のはたらきによって、石が流されていくうちに、丸く小さくなっていく。 めあて：中流にある石はどうして角が丸くなっているのかな？ 実験考察：石も流れる水によって運ばれ、石同士がぶつかって砕けていく。上流にあった大きな石も運ばれるうちに角がとれてどんどん小さくなって下流には砂しかなくなる。だから海は砂浜しかない。教師の支援：石が砕けて砂になっていることに気づくよう、取り出した水の中にある小さな石のかけらや元の石をよく観察するよう声をかける。 まとめ：上流から流されてきた石はぶつかって角が取れ、中流で小さく丸い石になったり、下流で砂になったりして積もっている。
9	破碎・ 摩耗	石の摩耗 実験	川原にある石は、流れる水のはたらきを長い年月受け続けることによって、互いにこすれたりしながら、割れたり角が丸くなったりする。小さくなった石は、川が増水した時に下流に流されていく。この時にもこすれたりするので、石の角がとれてより丸くなる。川の流れが緩やかになると、運ばれてきた石は積るので、上流より下流の石の方が小さく、角がとれて丸くなっている。
10	選択 運搬	滑石摩耗 実験	問題把握：上流の石は大きいね。中流・下流とだんだん小さくなっていくようだ。流れる水が運搬する力と、石の大きさに関係がありそうだね。 仮説：川の上流と下流で河原にある石の大きさがちがうのは、運搬する力が関係しているのではないだろうか。小さい石には、運搬する力がたくさんはたらき、大きい石には、運搬する力があまりはたらかないのではないかな。 実験計画：大きさの違うものを水で流せばいいよね。上流、中流、下流の石の大きさをそれぞれ何に見立てればいいかな。 結果：やっぱり小さいものほど遠くまで流されているね。だから下流の河原の石は小さいんだね。下流にある石は長い時間をかけて長い道のりを流れてきたんだね。
11	選択 運搬	流速の違 いによる 大きさの 異なる石 の流れ方 の比較	学習問題：〇〇川の底にある砂は上流からどのように変化してきたのだろうか。 実験結果：石はだんだん小さくなり、丸くなっていった。ぶつかり合ったことで削られていくのではないかな。削られて小さくなった砂は瓶の底にたまった。 実験まとめ：上流にある大きな石は、運ばれながら石同士がぶつかり合っ角が削られ、小さく丸くなっていく。削られた砂は運搬されて堆積していく。 川の様子と実験結果との考察：大きい石はあまり流されないため、〇〇川の上流は大きな石が多く残っている。削られた石は小さくなりながら流れる水の働きによって運搬されていく。削られて小さくなった砂は、流れる水の働きによって遠くまで運搬されていく。
12	両論 併記	石の摩耗 実験	学習問題：〇〇川の底にある砂は上流からどのように変化してきたのだろうか。 実験結果：石はだんだん小さくなり、丸くなっていった。ぶつかり合ったことで削られていくのではないかな。削られて小さくなった砂は瓶の底にたまった。 実験まとめ：上流にある大きな石は、運ばれながら石同士がぶつかり合っ角が削られ、小さく丸くなっていく。削られた砂は運搬されて堆積していく。 川の様子と実験結果との考察：大きい石はあまり流されないため、〇〇川の上流は大きな石が多く残っている。削られた石は小さくなりながら流れる水の働きによって運搬されていく。削られて小さくなった砂は、流れる水の働きによって遠くまで運搬されていく。

さくなくなったスポンジが瓶の底にたまっていたこと、などから考察させていく授業の流れとなっており、破碎・磨耗説と判断している。

5. 考察

5.1. 成因についての指導内容

河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因について取り扱っていた12編の指導案には、河床堆積物の上流と下流の違い、下流方向にかけての細粒化に関する記述がなされているため、上流には大きな石が多く見られ、下流になるにつれて石の大きさが小さくなる、という小学校学習指導要領（文部科学省、2018）の求める「(イ)川の上流と下流によって、川原の石の大きさや形に違いがあること。」という認識を持つことができると考えられる。

破碎・磨耗説として述べられている指導案では「めあて：なぜ、川原の石は下流に向かって小さく、丸くなっていくのだろうか。」と成因についての課題（問題把握）を提示していた。そして磨耗実験等を通して、「まとめ：川原の石は、水で運ばれる間に、ぶつかり合っ、けずられていくため小さく丸くなる。」といった結論としている。ここで提示されているまとめの内容は、教科書記述に準ずるものであり、破碎・磨耗説として学習されている可能性を指摘できる。

選択運搬説の指導案では、「上流と下流で河原にある石の大きさがちがうのは、運搬する力が関係しているのではないだろうか。」(11番)といった仮説設定や、「小さくなった石は、川が増水した時に下流に流されていく」(10番)といった流量、流速に関連した運搬力と関連付けた説明がなされている。これらは廣木(2019)で解説されている、堆積環境において形成される地層はその堆積環境の水理学的エネルギー（流速の変化の範囲）によって決まり、河川の上流と下流における礫の大きさの違いはその堆

積環境における水理学的エネルギーの違いによって説明できるという、河川における選択運搬作用を押さえた学習内容となっている。

12番は両論併記としているが、石については破碎・磨耗説をとっている一方、砂については選択運搬説をとっている。しかしながらこの指導内容は「砂の形成」についての誤解にもとづくものとなっている。詳しくは5.3節において考察する。

5.2. 磨耗実験の取り扱い

今回調査した指導案のうち10番を除いた、石やスポンジの磨耗実験は、「[石は下流へ運搬される過程で削られて丸くなる]という見通し]をもとに行われ、角が取れる、丸くなるに加え、削れる、小さくなる、割れる、といった現象の観察結果から、「石は川の中で流水によって運ばれる間に、ぶつかり合っ、削られて小さく丸くなる」といった破碎・磨耗を印象づけるために用いられている。実際の河川の礫を用いた実験を行った場合、実験で用いたような軟らかい石や削れやすいスポンジとは違い、角がサンドペーパーをかけたように、少しは角がなめらかになることが見受けられるが、削られて小さくなることや、割れて小さくなるといったことは（端の破片が生じることを除いて）、ほとんど観察されない。実際の河川の礫でも、こすれて（磨耗して）小さくなるということはほとんど想定されていない。

これらから、磨耗実験は、あくまでも、礫が丸みを帯びる成因を理解させるために適したものとして捉えておくことが肝要である。この考え方を上手く用いているのが10番の指導案である。ここでは磨耗実験はあくまでも角が取れていく、丸みを帯びていくこと、に用いられており、小さくなった石は、川が増水した時に下流に流されていく、というように選択運搬説とは別の要因として用いられている。

5.3. 砂形成との混同

河川に供給されている砂のそのほとんどは、地表の岩石が風化されることにより形成され、主に山の斜面において土壌（土）としてあったものが大雨等により土砂崩れをはじめとする流水のはたらきにより河川に供給され、河床堆積物中に砂として含まれることとなる（廣木ほか、2011；川村・田口、2011；小瀧・川村、2014）。すなわち、地質学の定義としての砂は、もともと山地に砂として存在していたものが河川に供給され、運搬されてきたのであり、礫などが摩擦したり、破碎したりして砂ができていないわけではない。（ただし、河川に供給されている砂のうち少量は、小さい礫が摩擦したり、礫が摩擦してすり減った部分だったり、破碎した小さい破片部分からできていることはある。）しかしながら、廣木ほか（2011）や川村・田口（2011）では、砂が河川内での侵食や破碎・磨耗によって形成されるという誤解が、教師や児童、生徒に多く見受けられることを指摘している。今回の指導案では4、9、12番の指導案で、砂の形成について摩擦実験を用いて説明がなされている。

4番の指導案では、表3に挙げた指導案の文言には記述はされていなかったが、指導の成果物として次のような児童の記述を取り上げている（下線は筆者加筆）。

150回以上振ると、スポンジは丸くなる。また、砂みたいな大きさで、こなごなになる。川で言うと、上流から下流の間で石同士がたくさんぶつかり合ってこなごなになることと同じ。

ここでは礫の破碎・磨耗作用が砂の成因となっていることを認めている。

また9番の指導案では、教師の支援として、

石が碎けて砂になっていることに気づくよう、取り出した水の中にある小さな石のかげらや元の石をよく観察するよう声をかける。（下線は筆者加筆）

と述べられており、実験考察においても、

石も流れる水によって運ばれ、石同士がぶつかって碎けていく。上流にあった大きな石も運ばれるうちに角がとれてどんどん小さくなって下流には砂しかなくなる。だから海は砂浜しかない。（下線は筆者加筆）

と考察され、まとめでは、

上流から流されてきた石はぶつかって角が取れ、中流で小さく丸い石になったり、下流で砂になったりして積もっている。（下線は筆者加筆）

とまとめられている。このように砂が破碎・磨耗によって形成されるという誤解を招く指導内容が提示されている。本論の趣旨とは外れるため詳しくは触れないが、「下流には砂しかない」や「海は砂浜しかない」といった誤解も述べられている。

12番の指導案では、授業のテーマとして掲げている学習問題には、「砂は上流からどのように変化してきたのだろうか」とあり、砂の成因を主として授業展開を講じている。そのため、「削られて小さくなった砂は瓶の底にたまった」といった実験結果を導出し、「削られた砂は運搬されて堆積していく」「削られて小さくなった砂は、流れる水の働きによって遠くまで運搬されていく。」と砂の形成と移動（運搬）の授業内容となっている。この指導案では（5.1で述べた通り）、石が削られたことによってできた「砂」は流れる水の働きで運搬されて堆積し

ていくといった選択運搬説での説明をとっている。しかし、「石」については破碎・摩耗説での理解を求める授業として進められている。

これら「砂は河川において、浸食や破碎・摩耗によって形成される」という課題設定（めあての設定）がなされているということは、河川礫の細粒化の成因と砂形成の成因を混同してしまっていることに起因している。すなわち、教師が砂形成に関する誤解を保持しているということである。小瀧・川村（2014）は、教科書記述にある礫の粒径変化プロセスを砂の形成プロセスに適用するような理論を児童は採用したとの報告をしている。今回のような指導案の提示がなされていることに鑑みると、河川における礫（石）の粒径変化の教科書記述の影響が、児童と同じく教師にも及んでいることが想定される。

これら河川砂形成の誤解については、河床堆積物の下流方向への細粒化の成因が破碎・磨耗か選択運搬かといった本論が議論している本筋ではないものの、深刻な問題だと捉えることができ、教師側の誤解の解消を講じる必要がある。

5.4. 流速と流量と侵食、運搬、堆積の3作用との乖離

2017 告示の小学校学習指導要領解説理科編（文部科学省，2018）では、上流で大きい石が多く見られ下流では小さい石が多く見られるといった違いや現象について捉えさせることとなっており、成因まで理解させることは求められていない。そのため2社の教科書では本文に現象の成因に関する記述がないが、破碎・摩耗によって成因を説明しているものが4社ある。教員は教科書をもとに授業を実施していくとなると、その成因に関して、破碎・摩耗をより重点的に指導していくことになるかと推察される。

本単元において河川の浸食・運搬・堆積の3作用を学習し、流速と運搬力の関連についても

学習する。例えば、川のモデル実験を通して、流れる水の働きには、土を削る働きの侵食、土を運ぶ働きの運搬、土を積もらせる働きの堆積がある、ということ学ぶ。次に流す水の量を変えた実験より、水の量が増えると、侵食、運搬の働きが大きくなり、流れの遅い所では堆積する土の量が増える、ということ学ぶ。そしてカーブした川の実験より、外側は流れが速く、侵食や運搬の働きが大きくなり、内側は流れが遅く、堆積の働きが大きくなる、ことを学ぶ。加えて洪水の時の（土砂の）運搬力についても学習している。これらの学習展開は選択運搬説である。これらで学ぶ内容（学習指導要領アの(7)(ウ)と、河床堆積物の下流方向への細粒化の学習内容（学習指導要領アの(4)）との関連付けがうまくなされておらず、乖離している現状がある。この乖離を解消し、選択運搬説による河床堆積物の細粒化の認識を持つことができるような取り扱いや授業方法を検討していく必要がある。

6. 提言

教科書における河床堆積物の下流方向への細粒化の成因に関する記述は基本的には破碎・摩耗説による記述であるため、教師の指導方針である指導案においても破碎・摩耗での展開が多くなされている。そのため児童の理解も破碎・摩耗説となっていると推察される。この現状から、選択運搬説の理解につながるような授業方針を次にのべる。

6.1. 選択運搬説の理解を促す実験

摩耗実験は礫が丸みを帯びる成因を理解させるために適したものであり、下流方向にかけての細粒化の成因を意図したものではない。そのため、河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因を意図した選択運搬説に関する実験を行う必要がある。調査した指導案では10番がこ

の内容に沿ったものとなっている。ここからは、平田 (2018) や静岡県総合教育センター (2006) をもとに提案する。

川原にある石の形状が川の上流と下流とで異なるのはなぜか、という疑問から川原の石に着目させ、大きさや形の違いを注目させる。この時に、「大きさ」と「形」の違いができる要因を分けて考えるようにする。大きさの違いができるのは主に運搬力の違いであり、形が丸みを帯びていくのは石どうしによる相互研磨や流されるときにの研磨作用などによることを踏まえ、授業での扱いを2つ分けて行うようにする。

例えば、疑問1: 上流と下流の石の大きさの違いはなぜできるのだろうか、疑問2: 川原の石の形が丸みを帯びているのはなぜか、というように要因を分けると良い。そして、疑問1では、河川の3作用のうち、運搬作用を認識できる実験を行う。すなわち、上流にはもともと大きい石と小さい石があったのだが、小さい石が選択的に下流へ運ばれていくということを認識するための、流速の違いによる運搬力の違いのモデル実験を行う。疑問2では、石やスポンジの摩耗実験を用いると良い。その際、流水の働きで石が丸みを帯びていく過程である実験での「振る」という作業が、礫が河川に供給されてからの「長い年月」に相当するということをつかむ。破碎・摩耗によって小さくなったものは、その大きさによるふるい分けを受け、流速(運搬力)に従って下流へと運ばれる。

このように、河床堆積物の下流方向への細粒化に関する授業においても、従来の実験や観察をそのまま用いることが可能であり、留意点として摩耗実験を礫が小さくなることや砂の形成に用いずに、丸みを帯びることの実験として適切に用いること、流速(運搬力)の違いの実験を礫のふるい分け作用(選択運搬説)として用いることがあげられる。

6.2. 河川の3作用と関連した指導

河川の3作用については河川の蛇行や河床勾配、洪水時における例や実験等で学習している。すなわち運搬力の授業は実施されている。あとはこれに関連付けて河床堆積物の下流方向への細粒化を運搬力による選択運搬の指導となるような方策をとると良い。河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因についても、河川の3作用と関連した指導が望まれる。

これは、5.4でも述べた通り、この単元で学ぶ内容(学習指導要領アの(7)(ウ))と、河床堆積物の下流方向への細粒化の学習内容(学習指導要領アの(イ))との関連付けを強化し、学習者が選択運搬による河床堆積物の細粒化の認識を持つことができるような取り扱いや授業方法を検討していく必要があるということである。

7. まとめ

本研究の目的は、47都道府県および20政令指定都市の教育委員会が所管する教育センター等のホームページに掲載されている指導案について、河床堆積物の下流方向にかけての細粒化の成因に関する内容をどのように取り扱っているのかを調査・分析することであった。

その結果、指導案が公表されているのは24都道府県6都市、そのうち単元「流れる水の働きと土地の変化」に関する指導案が公表されていたのは14府県3都市57編、河床堆積物の下流方向にかけての細粒化に関する指導内容を扱っていたのは13編あり、成因に関する文言を6府県2都市の指導案12編で確認できた。12編の指導案のうち、「破碎・摩耗説」のみ記述の指導案は9編、「選択運搬説」のみ記述の指導案は2編、「破碎・摩耗説」「選択運搬説」の両論併記の記述の指導案は1編だった。

授業では石やスポンジの摩耗実験が多く取り入れられていたが、破碎・摩耗説の指導においてその説を補強するために用いられていた。ま

た砂が河川内での侵食や破碎・磨耗によって形成されるという誤解に基づいた指導が行われていることも見いだされた。

今後は 河川の 3 作用についての学習内容を河床堆積物の下流方向への細粒化の成因へも拡張した授業を行い、摩耗実験や、水量・流速（運搬力）の実験を適切に用いた授業を行っていく必要がある。

付記

本研究は平田豊誠、辻本直也、小川博士(2022)「河床堆積物の下流方向にかけての細粒化についてどのように教えているのか－指導案分析を通して－」(日本地学教育学会第 76 回全国大会 島根大会)をもとに情報を精査し大幅に加筆修正したものである。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K02505 の助成を受けて実施した。

引用文献

- 有馬朗人ほか 58 名 (2020): たのしい理科 5 年、大日本図書、東京、192p
- 平田豊誠・別所良馨・片井ふく実・小川博士 (2022): 河床堆積物の細粒化についての認識—小学生・中学生・大学生・小学校教員への調査—, 地学教育, 75, 59-66
- 平田豊誠 (2018): 深い学びをさそう授業づくり (地球編), 山下芳樹・平田豊誠 (編), 新しい教職教育講座教科教育編 4「初等理科教育」, ミネルヴァ書房, 141-161
- 廣木義久・山崎 聡・平田豊誠 (2011): 砂の形成に関する小・中・大学生の理解と風化の学習における問題点, 理科教育学研究, 52, 47-56
- 廣木義久 (2019): ユールストロームダイアグラム—流水による碎屑物からなる地層の形成

の理解—, 地学教育, 71, 97-107

- 石浦章一ほか 106 名 (2020): わくわく理科 5, 啓林館, 大阪, 195p
- 川村教一・田口瑞穂 (2011): 児童の河川砂成因認識への野外学習による影響の検討—河床よび岩石露頭での学習例をもとに—, 秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要, 33, 59-66
- 小玉芳敬・池田 宏・伊勢屋ふじこ (1989): 渡良瀬川における粒径別岩種構成比の縦断的变化—沖積礫河川における礫の破碎・磨耗効果の重要性. 筑波大学水理実験センター報告, 13, 13-25
- 小瀧健吾・川村教一 (2014): 児童の河川砂成因認識に対する教科書記述の影響—児童への質問紙調査をもとに. 秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要, 36, 11-20
- 文部科学省 (2018): 小学校学習指導要領解説 理科編. 東洋館出版社, 東京, 176p.
- 静岡県総合教育センター (2006): 小学校理科 観察・実験集, https://www.center.shizuoka-c.ed.jp/page_20220810015817 (最終アクセス: 2023 年 6 月 15 日)
- 山本晃一 (1994): 沖積河川学. 山海堂, 東京, 470p.
- 養老孟司ほか 30 名 (2020): 未来をひらく小学 理科 5. 教育出版, 東京, 228p.
- 指導案を参照した自治体の URL
最終アクセス: 2022 年 6 月 15 日
岩手: https://www1.iwate-ed.jp/05sien/db/db2/sid_data/es_rika2.html
宮城: <https://www.edu-c.pref.miyagi.jp/midori/science/jugyo-sien/jugyouan/5nen.html>
茨城: <https://www.center.ibk.ed.jp/%E6%95%99%E8%82%B2%E6%83%85%E5%A0%B1/%E6%95%99%E8%82%B2%E6%83%85%E5%A0%B1/%E5%AD%A6%E7%B>

- F%92%E6%8C%87%E5%B0%8E%E6%A
1%88%E9%9B%86
- 埼玉 : https://www.center.spec.ed.jp/b8f4d5f7eaa637df8391fec3c00474d9/page_20210921081438
- 千葉 : https://ap.ice.or.jp/_wakaba2013/index.php
- 新潟 : <https://www.nipec.nein.ed.jp/edu/index.html>
- 山梨 : <http://cdb.kai.ed.jp/search.php>
- 岐阜 : <https://www.gifu-net.ed.jp/gec/kyoka.html>
- 大阪 : https://www.osaka-c.ed.jp/category/plan/pdf/13_01_A_05_004_04a.pdf
- 奈良 : <http://www.e-net.nara.jp/kenkyo/index.cfm/16,2678,64,1.html>
- 岡山 : <https://www.pref.okayama.jp/page/687128.html>
- 広島 : <http://www.hiroshima-c.ed.jp/web/an/>
- 愛媛 : https://center.esnet.ed.jp/shiryo_top/shourika
- 福岡 : http://www.educ.pref.fukuoka.jp/bunsho/pub/default.aspx?c_id=14
- 横浜市 : <https://www.edu.city.yokohama.jp/tr/ky/hamaup/theme04/lesson-plan2.htm>
- 川崎市 : <https://kawasaki-edu.jp/9/2kenkyukai/index.cfm/7.html>
- 福岡市 : <http://edu.fuku-c.ed.jp/edudb/shidouan.htm>
- (ひらた とよせい 教育学科)
(おがわ ひろし 白鷗大学)
(あべ よういちろう 兵庫大学)