

山地小流域河川における河床堆積物表面微細構造の経時変化

倉 茂 好 匡*

1. はじめに

河床堆積物の運搬と河川の営力との関係、とくに河床堆積物の限界掃流力や掃流土砂量に関して、1960年代までに多くの実験的研究が行われ、これらの成果は高山 (1974) や河村 (1982) などにまとめて紹介されている。しかし、これらの実験式を、実際の河川に存在するような混合粒径の堆積物の掃流運搬にそのまま適用させることは困難であった (高山, 1974, p.105-107 および p.130-133)。その後、広い粒径範囲の混合粒径堆積物の掃流運搬に関する実験的研究 (例えば, Ikeda and Iseya, 1986; Iseya and Ikeda, 1987) や実際の河川における河床堆積物の掃流運搬に関する研究 (例えば, Komar, 1987; Whiting et al., 1988; Ferguson et al., 1989) が行われ、その結果、特に砂質まじりの礫質河床堆積物が掃流運搬されるときの特徴的な挙動が明らかになってきた (例えば, Iseya and Ikeda, 1987; Ferguson et al., 1989)。ところが、実際の河川における掃流運搬機構の研究は、流域面積が数十ないし数百 km², あるいは数万 km² の河川で行われたものが多く、流域面積が数 km² 程度の山地流域における研究は数少ない (Klingeman and Emmett, 1982; Ashworth and Ferguson, 1989)。また、我が国において、流域面積が数 km² 以下の山地小流域における河床堆積物運搬機構の研究は、園田 (1993) が奈良県明日香村の山地流域で斜面からの土砂流出に関連して考察した以外、ほとんど行われていない。

筆者は、札幌市近郊の山地小流域 (流域面積 0.9 km²) において、主に浮流砂の流出機構について研究してきた (Kurashige, 1993a および 1993b)。その一環として河床堆積物の粒径組成や、河床堆積物の堆積状況の調査を行い、この結果の一

部は Kurashige (1993a) に公表済みである。本研究では、既に発表した内容に加え、河床堆積物の堆積状況に関する微細な観察結果を交え、河床堆積物運搬の観点から考察することとする。

2. 調査流域と調査方法

調査流域は、札幌市近郊の冷水沢支川流域 (流域面積 0.9 km²) である (図 1)。この河川の河道幅は 1 ないし 2 m で、幅が約 5 m の谷底部に存在する溪岸堆積物の間を流れている。流域の地質は石英斑岩および安山岩質集塊岩であり、流域斜面の植生は、北側斜面が針葉樹林、南側斜面が広葉樹針葉樹混交林である。この流域には、1987年に幅 5 m の未舗装林道が標高 600 m の地点まで開通し、その後この林道は 1989年には流域の分水界まで延長された。1987年の林道開通以前の河床表面は、一部で基岩が露出している以外は、数 cm 径ないし数十 cm 径の礫で覆われていた。しかし林道開通以降、河床表面の一部には砂質の堆積物がみられるようになった。この河川では、4月上旬から5月下旬にかけての融雪期、および8月中旬から9月下旬にかけての秋季大雨出水期に大きな出水がみられる。なお、この流域のより詳しい特徴は、Kurashige (1993a) に述べられている。

A点では転倒升式雨量計を用いて降水量を測定し、C点ではフロート式水位計を用いて河川水位を測定した (図 1 参照)。またC点では、出水時に流量観測を行い、このデータをもとに水位流量曲線を作成、これよりC点の流量を求めた。

いっぽう、B点からD点までの250 mの区間を河床堆積物観察区間とし、以下のような調査を行った。B点よりD点まで、河岸に10 m 間隔で杭を打ち、B点から上流に向けて河岸に巻き尺を張った。このとき、10 m 間隔で巻き尺の目盛りと杭とが一

* 北海道大学大学院地球環境科学研究科

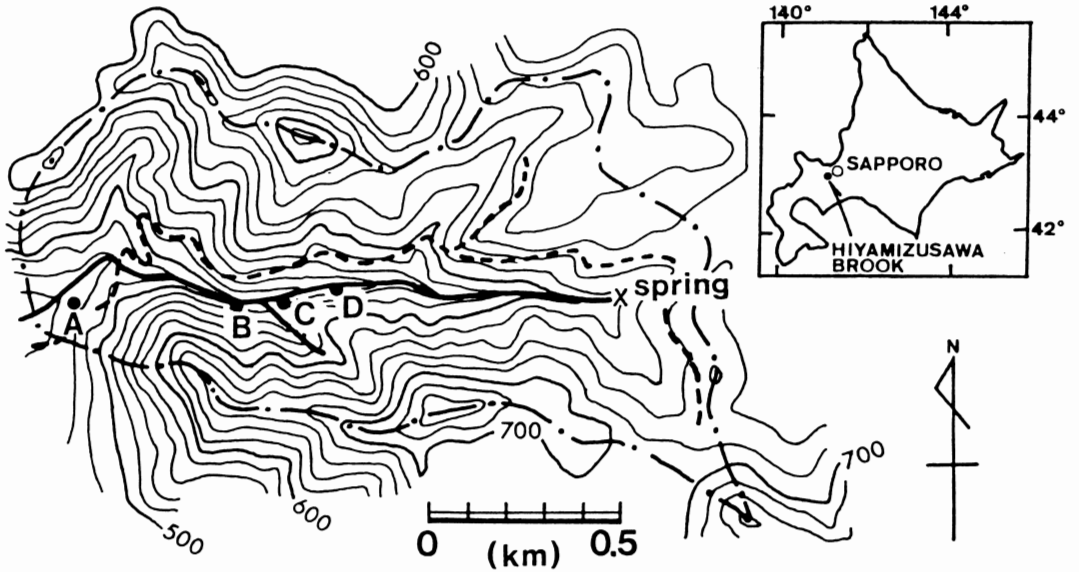


図1 調査流域の地形図および調査地点。等高線は20 m間隔。
一点鎖線：分水界，破線：未舗装の林道(Kurashige, 1993aより引用)

致するようにした。次に、河床表面の堆積状況により、河床形態を1 mごとに① cobble bed (20ないし30 cm径の大礫よりなり、大礫の間を中・細礫や粗砂がうめるもの)、② pebble bed (最大でも10 cm程度の中礫よりなり、この間を細礫や粗砂がうめるもの)、③ sandy bed (河床表面が粗砂および細礫で構成され、これより大きな礫は粗砂の中に埋まっているもの)の3種類に目視で区分した。このとき、河床が淵になっており河床表面を観察できないところはpoolと記載した。また、河床表面に基岩が露出しているところは、bedrock exposureとした。いっぽう、B点を基準に、河床形態の変化する点における河床の比高を水準測量により求め、これをもとに河床の縦断曲線を求めた。ただし、河床形態変化点の位置は、河岸に張った巻き尺の張り具合ならびに変化点を目視で決定していること等のため、 ± 1 m程度の誤差を含んでいる。この調査を、1989年の融雪期終了後である1989年6月1日、1989年の最大流量(0.3 m³/s)を記録した出水終了後の1989年9月6日、秋季大雨出水期終了後の1989年11月8日、および1990年の融雪期終了後である1990年6月6日、の

計4回おこなった。なお、この調査期間中、融雪出水後期には溪岸堆積物の小規模な崩壊がみられたが、それ以外の斜面崩壊現象は観測されなかった。

B点よりそれぞれ1 m上流のcobble bed、40 m上流のpebble bed、および38 m上流のsandy bedでは、1989年7月5日、1989年9月13日、および1990年6月20日の計3回、箱めがねの視野範囲(26 cm×20 cm)における河床表面のスケッチを行った。なお、cobble bedでは、大礫が箱めがねの視野範囲に入りきらないため、大礫と大礫の間で河床表面の観察を行った。

3. 結果と考察

河床の縦断曲線および河床形態のうち、B点から上流側50 mまでの区間のものを図2に示す。河床表面の勾配には、cobble bed、pebble bedおよびsandy bedの間で明確な差異はみられなかった。いくつかの例(例えばB点より16~21 mの区間は、1989年9月以前にはpebble bedと判定されていたが、1989年11月以降はcobble bedと判定されている)を除き、河床形態の時期的変動はみられなか

6 JUNE 1990														
C	P	pl	C	pl	C	pl	P	C	S	P	C			
8 NOVEMBER 1989														
C	P	pl	C	pl	C	pl	P	C	S	P	C			
6 SEPTEMBER 1989														
C	P	pl	C	pl	P	C	pl	C	S	P	C			
1 JUNE 1989														
C	P	pl	C	pl	P	C	P	pl	C	S	C	S	P	C

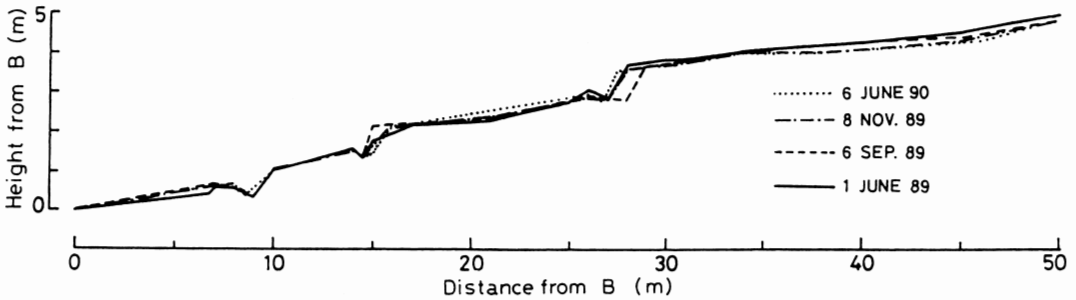


図2 河床堆積物観察区間における河道縦断曲線および河床形態分布の一例。
河床形態は、C：cobble bed, P：pebble bed, S：sandy bed, pl：poolとして表示。

った。河床形態の変化地点は、いくつかの地点でその位置が時期的に1 m程度ずれて記載されているものがある（例えば、1989年6月にはB点より28 mの地点でpoolからcobble bedへと変化しているが、1989年9月には29 m地点で、また1989年11月には28 m地点でそれぞれ変化している）が、それ以外は河床形態変化地点に時期的な移動はみられなかった。

この傾向は、図2に示した以外の観測区間（B点より50 m～250 mの区間）でも同様であった。いっぽう、前述のように、河床形態変化地点の位置は、目視判定のため±1 m程度の誤差を含むものである。このことから、記載された河床形態変化地点のずれは測定誤差の範囲に含まれると判断する。以上から、1989年6月から1990年6月にかけての1年間では、河床堆積物観察区間の河床形態は大局的には変化しなかったといえる。

しかし、河床堆積物表面のスケッチをみると、それぞれの地点における堆積状態の微細構造に変化があったことがわかる（図3参照）。cobble bedおよびpebble bedでは、1989年7月上旬には中礫の間に細礫が多く存在したが、1989年9月中旬に

はこの細礫の量が7月上旬に比べ減少した。その後、この細礫の量は、1990年6月下旬には再度増加した。いっぽう、sandy bedにおいては、1989年7月上旬には礫が砂質堆積物の中に埋まっており、堆積物表面には砂および極細礫のみが存在した。しかし、1989年9月中旬には、砂質の堆積物表面に中礫や細礫が存在するようになり、この中礫や細礫の量は1990年6月下旬にはさらに増加した。

Kurashige (1993b) は、この流域における河床堆積物からの浮流砂流出機構について、以下のように結論した。融雪期初期には、河床堆積物中から巻き上げられた細粒物質が河川の浮流砂となる。しかし、融雪出水後期になると、河床堆積物中の細粒物質がすでに枯渇しており、その融雪期間中に既に出現した最大流量を越える出水がないかぎり、河床からの巻き上げは生じない。いっぽう、融雪出水後期には、溪岸堆積物の小規模な崩壊が凍結融解作用などのために頻繁に生じ、この溪岸堆積物の崩壊により河道内に供給された土砂中から細粒物質が洗い出され、浮流砂として流出する。しかし、溪岸崩壊により供給された土砂からの細

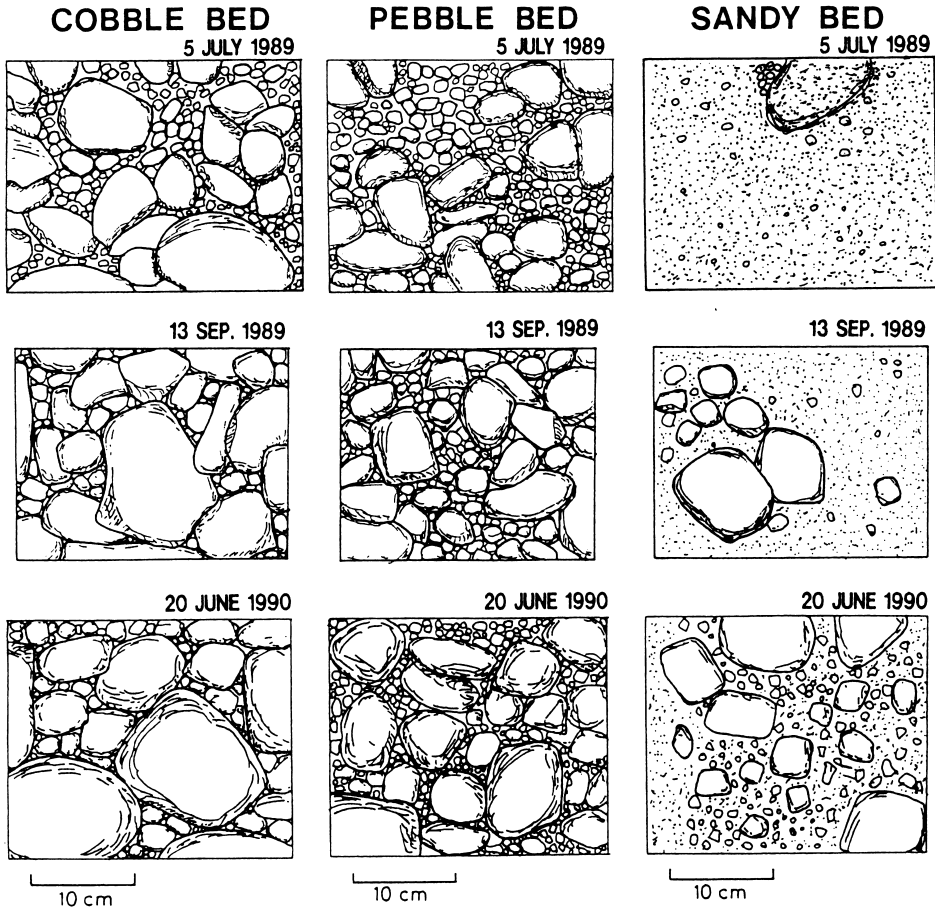


図3 箱めがね視野範囲の河床表面スケッチ

粒物質の洗い出しは、融雪期間中に終了する。したがって、秋季大雨出水期における河床堆積物からの細粒物質の巻き上げは、融雪出水期の最大流量を越えるような出水時にかぎり、融雪期には巻き上げられることができずに残っていた細粒物質が河川水中に供給される時に生じるのみである。

このKurashige (1993b) の結論に基づき、河床堆積物の運搬について以下のように考察する。河床表面に働く剪断応力の大きさは、勾配が一定ならば径深に比例する。いっぽう、調査区間の河床縦断形は、前述のようにほとんど変化しておらず、したがって同一地点における河床勾配はほとんど変化しなかった。このことから、調査区間のある1地点においては、融雪出水期・秋季大雨出水期とも、同じ流量のときに河床に加わる剪断応力は

同じであり、運搬される粒子の粒径も同じである、といえる。すなわち、浮粒砂が河床堆積物から供給されるか否かにかかわらず、出水時の河床堆積物は河床に働く剪断応力の大きさに応じて掃流運搬される。いっぽう、融雪期後期には溪岸堆積物の小規模崩壊により河道中に土砂が供給される。この土砂中の細粒物質は浮流砂として流出するが、それ以外の粒子は河床に取り残される。すなわち、融雪出水後期には、河床に新しく河床堆積物が河道側方より供給されることになる。

河床堆積物のスケッチをみると、cobble bedおよびpebble bedでは、1989年7月から1989年9月にかけて減少した細礫の量が1990年6月には再び増加した(図3参照)。この事実と上述の考察より、1989年7月には河床に存在した細礫は1989年

9月までの出水で選択的に下流へ運搬され、したがって河床表面の細礫量は減少し、その後1990年の融雪出水後期に河岸側方より土砂が供給され、この土砂中の細粒物質のみが洗い流されたため河床に取り残された細礫が1990年6月の河床には存在した、と考える。

いっぽう、sandy bedでは、1989年7月から1990年6月にかけて、河床表面の中礫および細礫の量が一貫して増加した。Iseya and Ikeda (1987)は、礫と砂とを混合させた土砂を掃流運搬させる水路実験を行い、水路内に砂が多く堆積する部分と礫が多く堆積する部分が交互に発生し、また礫堆積部分から掃流運搬された礫粒子は、砂質堆積部の河床表面を滑動し、次の礫堆積部に集積することを見いだした。また、Ferguson et al. (1989)は、アメリカ・ワシントン州のWhite Riverで、礫粒子が砂質堆積部表面を滑動し、礫堆積部に集積する現象を観察している。これらの研究結果から、本調査区間においても、cobble bedやpebble bedから掃流運搬された礫は、sandy bedの表面を滑動し、より下流のcobble bedおよびpebble bedに集積したものと考える。したがって、sandy bedの河床表面にみられた中礫および細礫の多くは、上流側のcobble bedやpebble bedから移動したものが取り残されたのではなく、以前に砂質物質中に埋没していた中礫や細礫が、河床表面の砂質物質が選択的に下流に運搬されて行った結果、河床表面に洗い出されてきたものである、と判断する。これに1990年の融雪出水後期にsandy bed近傍の河道側方より供給された土砂中から取り残された中・細礫が加わり、1990年6月の河床表面状態が形成された、と結論する。

1987年の林道建設以前、本調査流域の河床のほとんどはcobble bedやpebbleの状態であり、sandy bedを形成するような砂質の堆積物は、林道建設以前にはほとんどみられなかった。また、1989年の林道延長直後にも、1989年9月4日の出水(最大流量0.3m³/s)に伴い、新たなsandy bedがD点より上流に形成された(Kurashige, 1993b)。これらのことから、本調査区間の砂質堆積物は、1987年の林道建設に伴う人工改変に起因して河道に土砂が供給された結果生じたものであ

る、と判断する。いっぽう、sandy bedとcobble bedの河床勾配に明瞭な差異が認められないことから、砂質物質が調査区間中の緩傾斜部に選択的に堆積した、とは考えにくい。むしろ、従来礫質粒子で覆われていた河床に砂質物質が供給された、あるいは砂礫が混合した土砂が供給された結果、Iseda and Ikeda (1987)が流路実験で確認したのと同様の砂質粒子と礫質粒子の混合効果が生じ、礫質堆積部と砂質堆積部が交互に発生したものと考えるのが妥当である。いっぽう、Iseya and Ikedaの実験では、人工流路上流端より砂礫混合土砂を供給し続け、そして砂質堆積部・礫質堆積部の両者が流路下流へ移動していくことを確認した。しかし、本調査区間においては、人工改変に伴って土砂のほとんどが供給され、その後の土砂供給は少なかったと思われる。このため、一度形成された礫質堆積部および砂質堆積部は下流に移動することなく同じ地点に存在し、それぞれの河床表面構成物質のうち細粒のものが選択的に下流へ掃流運搬されている、と考える。

4. 結 論

冷水沢支川流域の河床形態には、cobble bed、pebble bed、およびsandy bedの三者があり、その存在位置は調査期間中変化しなかった。cobble bedおよびpebble bedでは、秋季大雨出水期には細礫が選択的に下流へ掃流運搬されていったが、その後の融雪出水後期には溪岸崩壊により河道側方より土砂が供給され、この土砂中の細礫が河床に取り残される現象がみられた。sandy bedでは、砂質粒子が選択的に下流に流し出され、その結果河床表面に細礫や中礫が露出するようになった。

冷水沢支川流域のsandy bedは、林道建設に伴う人工改変により土砂が河道に供給された結果生じたものである。そして、河道に土砂が供給された後、砂質物質と礫質物質の混合効果が生じ、礫質堆積部と砂質堆積部が交互に発生した、と考えられる。

参考文献

- 河村三郎(1982):『土砂地理学1』森北出版, 339ページ
園田美恵子(1993):山地小流域における土砂流出の季節

- 变化. 地形, **14**, 53-70.
- 高山茂美 (1974) : 『河川地形』 共立出版, 304ページ.
- Ashworth, P.J. and Ferguson, R.I. (1989) : Size-selective entrainment of bed load in gravel bed streams. *Water Resour. Res.*, **25**, 627-634.
- Ferguson, R.I., Perstegaard, K.L. and Ashworth, P.J. (1989) : Influence of sand on hydraulics and gravel transport in a braided gravel bed river. *Water Resour. Res.*, **25**, 635-643.
- Ikeda, H. and Iseya, F. (1986) : Thresholds in the mobility of sediment mixtures. in Gardiner V. ed., *International Geomorphology 1986 Part I*, John Wiley, Chichester, 561-570.
- Iseya, F. and Ikeda, H. (1987) : Pulsations in bed-load transport rates induced by a longitudinal sediment sorting: A flume study using sand and gravel mixtures. *Geogr. Ann.*, **69A**, 15-27.
- Klingeman, P.C. and Emmett, W.W. (1982) : Gravel bedload transport processes. in Hey, R. D., Bathurst, J.C. and Thorne, C.R. eds., *Gravel - bed rivers*, John Wiley, Chichester, 141-179.
- Komar, P.D. (1987) : Selective grain entrainment by a current from a bed of mixed sizes: A reanalysis. *Jour. Sed. Petrol.*, **57**, 203-211.
- Kurashige, Y. (1993a) : Mechanism on delayed appearance of peak suspended sediment concentration in a small river. *Trans. Jap. Geomorph. Union*, **14**, 385-405.
- Kurashige, Y. (1993b) : Mechanism of suspended sediment supply to headwater rivers and its seasonal variation in West Central Hokkaido, Japan. *Jap. Jour. Limnol.*, **54**, 305-315.
- Whiting, P.J., Dietrich, W.E., Leopold, L.B., Drake, T.G. and Shreve, R.L., (1988) : Bed-load sheets in heterogeneous sediment. *Geology*, **16**, 105-108.