

1999年大雨によって女鳥羽川河床に発達した  
深掘れ地形と碎屑物収支

村越直美・1999年度地球システム解析学実習履修生\*

信州大学理学部物質循環学科

**Deep channel erosion and sediment balance in  
Metoba River during heavy rainfall in 1999**

Naomi MURAKOSHI and the students in Practical Training  
in Earth Science II, FY1999

Department of Environmental Sciences,  
Faculty of Science, Shinshu University  
(Received May 1, 2002)

**Abstract**

A deep channel was developed in the Metoba River during strong rainfall in September 11-12, 1999. Riverbed was strongly eroded along the eastern side of Shinshu University, truncating from Akebono Bridge toward the upstream for over 200 meters. The resulted channel was straight, several meters wide, over one meter deep, having flat bottom and vertical walls, and it extends for over several hundred meters. The riverbed, not subjected to truncation, remains as the terraces on both side of the channel.

Since the river flows through the most urbanized area of Matsumoto City, the channel have been reconstructed and its morphology is strongly controlled artificially, lower part in particular. The river is rejuvenated by the lowering of river mouth, because the bottom in river mouth area was excavated about two meters by the reconstruction of multiterraces. Stream power is the function of its water discharge and slope, so that the power of Metoba River have been increased due to the lowering of river mouth; moreover, the sediment transport system in the river has been intermitted by many dams for tens of years. The river has already reached erosive condition potentially, once the discharge increased by heavy rain the damage appears obviously.

**Key words :** *deep channel erosion, sediment balance, Metoba River, heavy rainfall*

---

\*内田浩彰・遠藤充雄・岡田拓也・奥野容未・加藤忠裕・倉元隆之・小浦知之・柴野香織・  
瀬川伸・巽一造・長沼将吾・永藪祐作・畠山貴光・堀内昇・宮川徹

## はじめに

現在の日本の川のほとんどが人為的地形改変の影響を受けている。松本市を流下する女鳥羽川は1592年に現在の位置に瀬替え工事が行われ、現在ではコンクリート護岸堤防や堰堤が各所に設けられている。また下流側の市街地区間では1991年から「女鳥羽川ふるさとの川整備事業」が始まり、治水および親水目的の大規模な工事が下流から上流にむけて順次行われてきている。工事が行われた区間の河床は河床断面積確保のため河床が掘り下げられて河道が平坦化・直線化された。兩岸の高水敷に親水地域が設けられたことによって流路幅が狭まり、さらに河床の材料は中礫大のほぼ一様粒径の礫床に改変されている。

一方、上流側では1999年6月の大雨による流量の急激な増減によって、信州大学旭キャンパスの東側を流れる女鳥羽川の一部の河道内に急激な地形変化がおこった。それまで植生が発達して比較的安定して平坦だった河床面を直線的に深く洗掘して削り込んだ侵食地形が出現した。この急激な地形の変化がおこった要因と形成過程を解明するため、まず河床地形の測量を行いその特徴を明らかにした。さらに河道内の堆積土砂量と侵食土砂量を算定し、流路内の土砂収支の点からこの地形変化を詳細に検討した。なお、現地調査および測量の一部は信州大学理学部物質循環学科の地球システム解析学実習の一環として行われた。

## 一夜にして出現したミニキャニオン

1999年6月23日から30日にかけて松本市周辺地域には183.5mmの断続的降雨があった(気象庁月報, 1999)。とくに6月29日から30日には総雨量126.5mm, 最大時間降雨量16.5

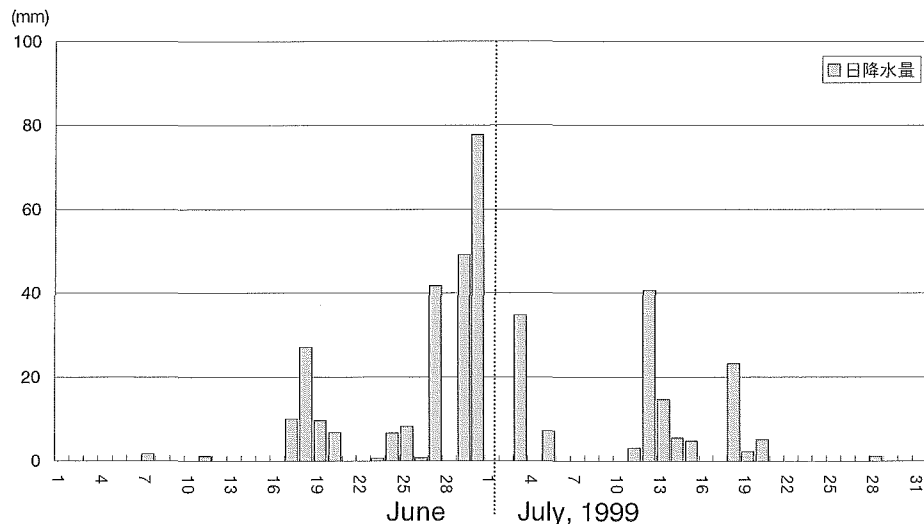


図1 1999年6月～7月の降水量(データは気象庁月報, 1999による)。6月23日から30日にかけて松本市周辺地域には183.5mmの断続的降雨があった。とくに29日から30日には総雨量126.5mm, 最大時間降雨量16.5mmを記録している。

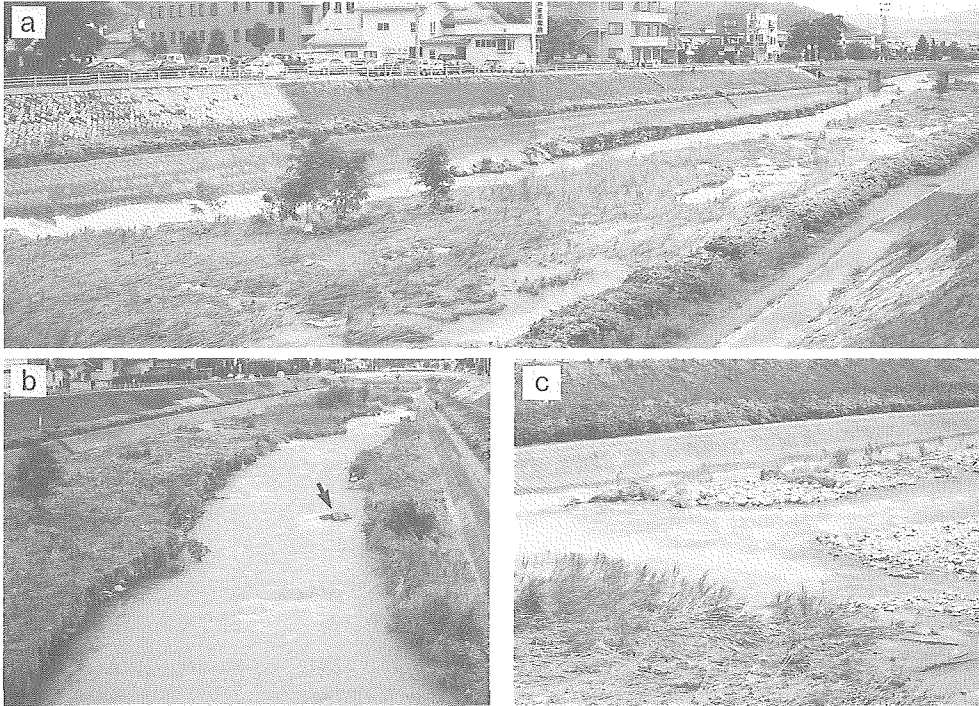


図2 女鳥羽川河床に発達した深掘れ地形。a：上流から堰橋方向（右奥）をみたところ。流れは左から右。河床の平坦面を侵食して一段低い新しい谷が形成されている。b：堰橋から上流をみたところ。流れは奥から手前へ。河床が侵食されて箱形の直線的な流路が掘れたことがわかる。流路内には洗い出された護岸用ブロックが運搬され、堆積物として残されている（矢印）。このようなブロックが動き出すと侵食力が増大する。流路奥の白く波立っているところが顕著な遷急点で、上流へ移動しながら侵食が進みつつある。c：堰橋下流の堰堤付近の様子、流れは左から右。堰堤より下流（右上）では砂礫堆が発達し、堆積域となっている。

mmを記録している（図1）。この降雨の影響を受けて河川流量が増し、女鳥羽川がほぼ低位河岸満水流量の状態になるまで増水した。翌7月1日の水位低下期には信州大学旭キャンパス周辺の女鳥羽川の河床では顕著な地形の変化がみられた。とくにそれまでの河床面を1 m以上の深さ、数mの幅で直線的に深く削り込んだ谷地形が大きく発達した（図2 a, b）。谷頭部は侵食フロントとなっており、流水が落水となって流れていた。また谷の側方に侵食されずに残ったそれまでの河床面上にはシート状の流れが発生しており、ツルヨシが水流によって倒され、その上を大きい物では人頭大の礫が流されていた。

侵食されてできた谷地形は数百mに渡って伸びており、谷壁が切り立ったほぼ垂直な崖をつくり、谷底は比較的平坦に侵食されている。谷幅が流下方向にはほぼ一定の箱形の地形をして、まるでグランドキャニオンのミニチュアのようなようだった。このような急激な河床の侵食・低下によって発達した谷地形は小峡谷とか深掘れ地形と呼ばれ、釜無川の例が報告されている（小山ほか、1983；池田、1998）。女鳥羽川の深掘れ地形の断面形は以前の平

坦な河床面を箱形に削り込んだ谷地形をしているため前河床面は段丘化し、谷壁にはそれまで河床を構成していた堆積物が露頭となって露出している。

また深掘れ地形の下流側では、植生がついた旧河床面を覆って真新しい砂礫堆群が発達していた（図2c）。この砂礫堆群を構成している材料はおもに中礫～大礫からなり、深掘れ地形を発達させた侵食作用によって生産された土砂が直上流から供給され堆積したと考えられる。

## 地形と堆積物

大雨による顕著な地形変化がみられた信州大学松本キャンパス東側の南浅間橋～旭橋までの深掘れ地形と砂礫堆群が顕著な区間を調査対象地域として（図3）、河道にはほぼ直交する方向に数m～十数m間隔で側線を設定し、河道横断形をオートレベル、レーザーレベル、セオドライト等を使用して水準測量した。現地測量の際には河床材料や植生の有無などの河床の底質表面の様子を詳細に記録し、侵食域と堆積域の判断に使用した。

得られた断面図を流下方向に並べてパネルダイアグラムにすると3次元的な地形としてとらえることができる（図4）。調査地域内の河道のほぼ中間地点にある堰堤をおよその境界として上流側と下流側とでは発達している地形が異なることがわかる。上流側では新しく形成された侵食地形である深掘れ地形が顕著に発達しており侵食地形が卓越した侵食域となっている。下流側では新しく形成された堆積地形である大小の砂礫堆が数カ所で発



図3 調査位置。数字は測線番号。5万分の1地形図幅「松本」を使用。

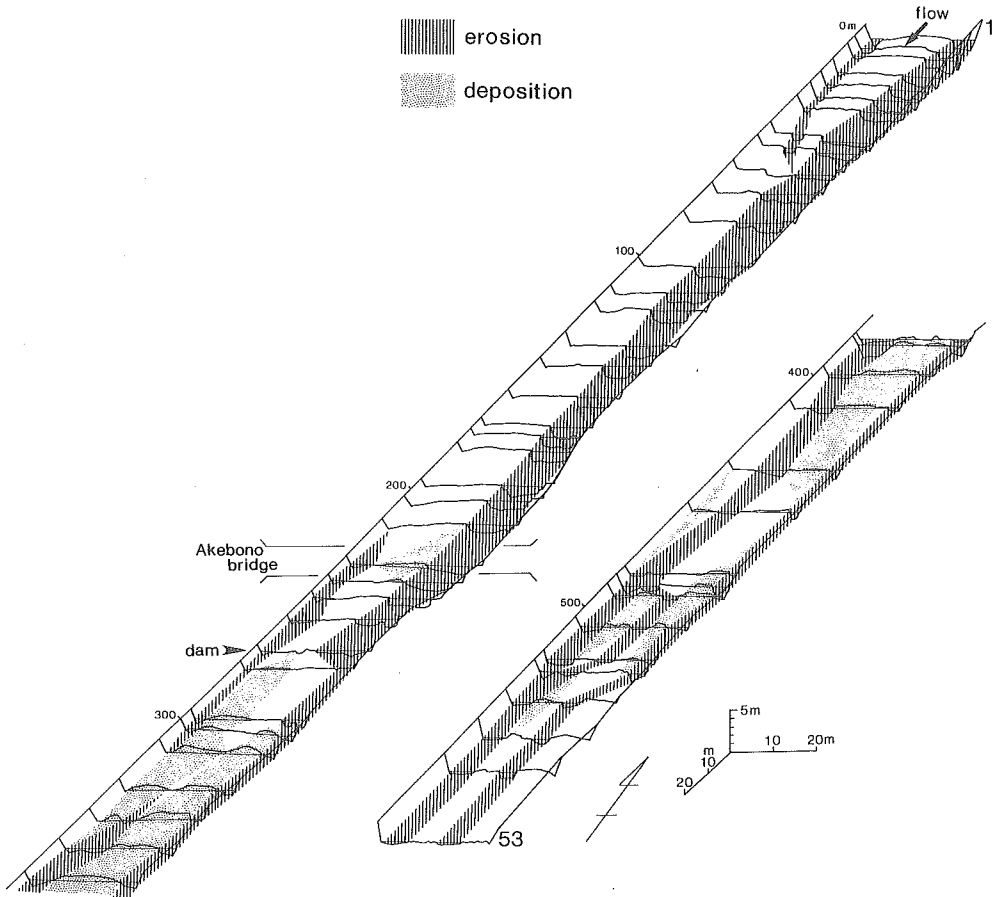


図4 調査区間の測量結果をまとめたパネルダイアグラム。縦線部分は侵食域，砂目部分は堆積域を示す。流路右の数字は測線番号。曙橋下流の堰堤を境界として，上流は深掘れ地形が顕著な侵食域，下流は砂礫堆群が顕著な堆積域となっている。

達しているのが特徴的な堆積域となっている。

侵食域は河床断面形をみると以前の平坦な河床面を箱形に削り込んだ谷地形をしている。このため前河床面は段丘化している。谷地形は特徴的な箱形をしており，流下方向と平行に直線的に発達している（図2，図4）。谷壁の露頭に見られる堆積構造からは上方細粒化を示す流路を埋積している堆積物および土壌層が確認でき，河床堆積物が数回の流路変遷を記録した堆積物から構成されていることがわかる（図5）。

堆積域で卓越している新しい砂礫堆の堆積物は植生がついた旧河床面を覆って発達しており，その表面は裸地となっているので新しい堆積物であることが判りやすい。そこでこれらの分布域では深さ1m程度のトレンチを掘って詳細な堆積柱状図を作成し，砂礫堆堆積物の厚さを求めた。増水時に発達した砂礫堆堆積物を同定するとき，もちろん最上位に発達していることがその条件となるが，さらに下位に発達している増水以前の堆積物と区

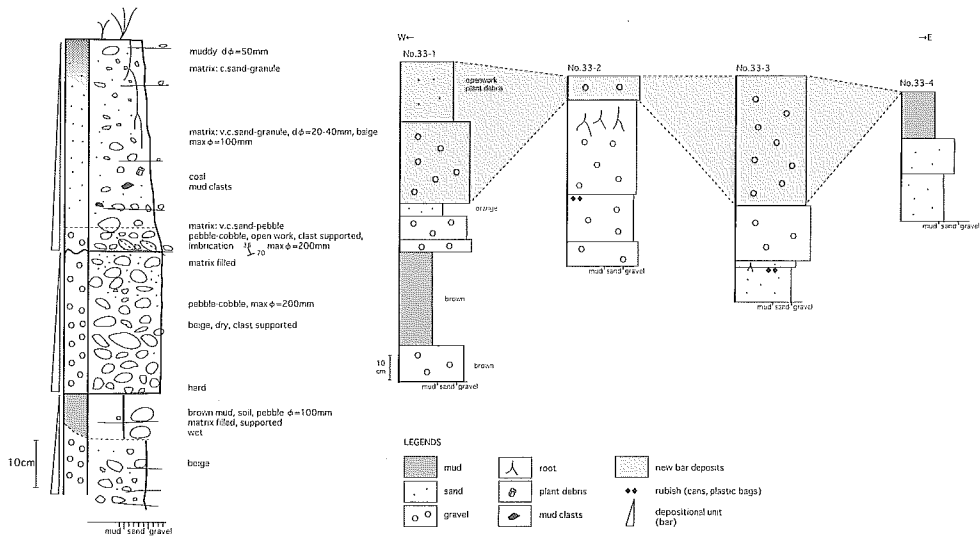


図5 河床堆積物の柱状図。左に女鳥羽川河床で観察される河床堆積物の模式図を示す。砂礫～泥からなる上方細粒化する堆積ユニットが重なっている。このユニットは河床での砂礫堆の移動ともなって形成される。No.33-1～No.33-4の柱状対比図は、堆積域の測線No.33における砂礫堆（薄影部分）を示す。

別する必要がある。この場合、(1)明らかに下位層を侵食している境界、(2)下位層に比べて粒度がシャープに変わる（多くの場合粗粒化する）境界、(3)土壌や植生が発達した層（旧河床面であったことを示す指標）との境界、(4)飲料の缶やパッケージ屑類などが挟まる境界、を手がかりとして、深掘れ地形の谷壁で観察された流路埋積堆積物に類似した上方細粒化を示すような最上位の砂礫堆堆積物を識別した（図5）。

### 侵食および堆積量の推定

測量で得られた断面図、堆積域で得られた柱状図およびパネルダイアグラム（図4）をもとにして、侵食量と堆積量を求めた。侵食量を求めるには、まず各測線で得られた断面図中で右岸と左岸に残っている旧河床面を侵食前の元の地形面とし、谷地形として削られている部分の面積を求めた。つぎに隣り合った断面図間で連続した谷地形の断面積の相加相乗平均に断面図間距離をかけて体積を算出し、これを各断面図間の侵食堆積とする。各断面図間の侵食体積の総和を調査区間の全侵食量とした。

地形の変化量のうち堆積量を推定するには、増水時に形成された新しい砂礫堆堆積物の平面分布とその厚さを求める必要がある。堆積量はまず柱状図から新しい砂礫堆を構成している堆積物の厚さを読みとり、さらに各断面図中でこの堆積物の面積をもとめた。つぎに侵食量を求めたのと同様に隣り合った断面図間で体積をもとめ、その総和を全堆積量とした。

測量データからの算定からえられた全侵食量は約2,500m<sup>3</sup>、全堆積量は約600m<sup>3</sup>となった（表1）。侵食量が堆積量のおよそ4倍の体積となり、オーダーが一桁違うという大きな

表1 測量結果から得られた碎屑物収支。

測線No	堆積域面積 Sd	侵食域面積 Se	測線区間	区間距離 L	堆積域体積 Vs	侵食域体積 Ve
1	0.000	7.250	1～2	3.0	0.000	21.840
2	0.000	7.310	2～3	1.9	0.000	16.363
3	0.000	9.983	3～4	4.0	0.000	38.962
4	0.000	9.500	4～5	3.4	0.000	29.468
5	0.000	7.860	5～6	3.1	0.000	28.559
6	0.000	10.635	6～7	3.2	0.000	36.167
7	0.000	11.983	7～8	7.3	0.000	64.392
8	0.000	6.000	8～9	3.8	0.000	27.322
9	0.000	8.450	9～10	7.1	0.000	49.149
10	0.000	5.500	10～11	6.3	0.000	45.225
11	0.000	9.000	11～12	8.0	0.000	67.389
12	0.000	7.860	12～13	13.2	0.000	128.631
13	0.000	11.760	13～14	7.8	0.000	87.443
14	0.000	10.670	14～15	4.4	0.000	44.931
15	0.000	9.760	15～16	8.5	0.000	77.326
16	0.000	8.450	16～17	7.2	0.000	59.213
17	0.000	8.000	17～18	9.1	0.000	73.255
18	0.000	8.100	18～19	7.7	0.000	70.300
19	0.000	10.200	19～20	3.1	0.000	28.945
20	0.000	8.500	20～21	3.8	0.000	35.333
21	0.000	10.120	21～22	10.2	0.000	106.572
22	0.000	10.780	22～23	4.8	0.000	53.581
23	0.000	11.550	23～24	6.5	0.000	68.136
24	0.000	9.450	24～25	10.5	0.000	81.571
25	0.000	6.201	25～26	5.2	0.000	40.993
26	0.000	9.695	26～27	4.7	0.000	48.140
27	0.000	10.800	27～28	7.1	0.000	68.389
28	0.000	8.510	28～29	8.2	0.000	50.189
29	0.000	4.010	29～30	4.8	1.008	8.220
30	0.630	0.210	30～31	13.4	8.240	30.428
31	0.600	5.525	31～32	2.9	4.954	12.531
32	3.150	3.220	32～33	5.8	45.277	10.680
33	13.700	0.750	33～34	11.3	122.103	13.028
34	8.150	1.610	34～35	8.6	82.809	15.906
35	11.188	2.100	35～36	8.3	61.539	35.749
36	4.200	6.990	36～37	9.5	52.637	41.550
37	7.000	2.205	37～38	13.7	49.403	45.989
38	1.075	4.660	38～39	0.9	1.286	7.652
39	1.815	13.050	39～40	8.5	32.394	49.643
40	6.250	0.950	40～41	9.7	44.048	21.218
41	3.025	3.730	41～42	17.4	34.717	73.179
42	1.120	4.700	42～43	11.6	9.657	41.062
43	0.575	2.495	43～44	18.0	3.450	33.981
44	0.000	1.340	44～45	2.2	0.000	11.094
45	0.000	10.108	45～46	2.4	2.520	15.748
46	3.150	3.570	46～47	10.0	22.803	46.355
47	1.510	5.790	47～48	9.7	4.882	58.858
48	0.000	6.350	48～49	3.4	0.000	21.317
49	0.000	6.190	49～50	8.3	2.075	43.362
50	0.750	4.315	50～51	8.0	2.000	26.265
51	0.000	2.350	51～52	10.0	0.000	36.150
52	0.000	5.050	52～53	19.0	0.000	222.775
53	0.000	20.060		合計	587.802	2470.522

差が特徴的である。上流側で侵食された土砂のうち、より細粒な碎屑物が調査区間のさらに下流側に流出したと考えられるが、区間内の土砂収支の点からいけば増水時の侵食作用によって河床が削られた分が上流から運ばれて堆積する土砂には十分に補われていないというのが現状である。このことは調査地域の河道が侵食的な状態にあるということが数字の上から端的に証明されたといえよう。

### 点の視点から線の視点へ

今回の調査区間での土砂収支はマイナス傾向となった。今後の地形変化を予測するには流域全体でこのような傾向にあるかを推定する必要があるが、女鳥羽川流域の野外観察では堆積的な特徴、すなわち砂礫堆が発達し活発に流路が移動する現象はみられない。このことから全体的な土砂移動の点からみるとけて活発な状態ではないと考えられる。侵食傾向が流域全体にみられる傾向であるかどうかは今後の地形変化の推移を長期的にモニターし定量化する必要があるだろう。また深掘れ地形が、もっとも侵食が進む遷移点の上流への移動現象の結果として生じることから、今後も大きな増水のたびに侵食作用が上流へと移動拡大していくと予想される。

一般に河床低下の原因として、その地点に立てば河床に供給され運搬される土砂量の減少があげられる。一方、流域の縦断形を考えると、河口が下がる、河床の粗度が下がるといった原因が考えられる。川の仕事率としてのストリームパワーは流量と河床勾配に比例する関数として表現される (Bagnold, 1966)。河口を下げるということは河床勾配を一時的に増大させる方向に働く。河口が下がったことによって生じた河床勾配の急変、すなわち遷移点では侵食が復活し次第に上流へ移動して(河道の若返り)谷中谷が発達していく。また河床を平坦化して粗度を下げるとことは、河床底面の摩擦抵抗を低下させ、水流のエネルギー消費率が減少する。いずれにしろ川の流れが持つエネルギーが増大し、増大したエネルギーは河床材料の運搬や侵食作用に使われることになる。現在の女鳥羽川では、河積を大きくするため下流域で河床を掘り下げる工事が行われている。このことはちょうど河口を下げることに相当し、河道の侵食作用が復活している原因の一つとして十分に考えられる。

さらにいったん谷中谷として流路が固定されてしまうと、それ以後河川水はその流路を選別的に流れるので、河畔と河床との環境の分離がますます進むことになる。土砂が十分に供給され砂礫堆が発達する河道内を蛇行しながら流下するような河川では、大きな洪水のたびに河床と河畔が擾乱を受けるため環境のリセットによる河床の若返りがおこるが、流路が固定化した河床や河畔の環境は若返りすることなく環境が単調に変遷することになる。

河川流域内での運搬・堆積作用によっておこる地形変化は土砂の生産・移動プロセスとの結果である。大雨による流量の急激な増加や上流から供給される土砂の量・性質・粒径の変化が要因となって、河床面が削られたり堆積したりといった急激な地形変化がおこる。流域内の土砂の生産や移動を定量的に把握することは地形変化を研究する上での基本的な課題である。河川流域の侵食量・堆積量を定量的に算定することができれば、河川地形の形成プロセスや流域環境を考える上での具体的な変数の1つとなる。実際に碎屑物の



移動量を推定するには、現地調査による計測が難しいことからダム堆砂量からの推定などの方法で見積もることが多いが、このようにして推定された量は“流域から生産され、ダムによってすでに移動を停止した”碎屑物の量（取量）であって、この中にはさらに移動を繰り返して最終的には海にまで運ばれるべき碎屑物も含まれている。本来の碎屑物の移動量を求めるには“インプットとアウトプットのバランス”としての碎屑物の収支を検討する必要がある。

## 引用文献

- Bagnold, R. A., 1966, An approach to the sediment transport problem from general physics. U. S. Geological Survey Professional Paper 422-I, I1-I37.
- 池田宏, 1998, 軟岩と河川地形—デブリ・コントロールの見方—. 日本地形学連合編, 地形工学セミナー 2, 水辺環境の保全と地形学, 37-58, 古今書院.
- 気象庁月報 (CD-ROM), 1999, Vol.2, (財) 気象業務支援センター.
- 小山彰・飛田健二・内山高・菅野匡・趙哲済・富樫均, 1983, 釜無川河床に出現した小峡谷と活断層. 地球科学, No.37, i-iii.