

「上流・中流・下流の石」と 川の流れの働きについて

～日本の沖積河川の粒径縦断変化における
選択的分級と破碎・摩耗の重要度～



(公財) 河川財団* 河川総合研究所 所長

藤田 光一

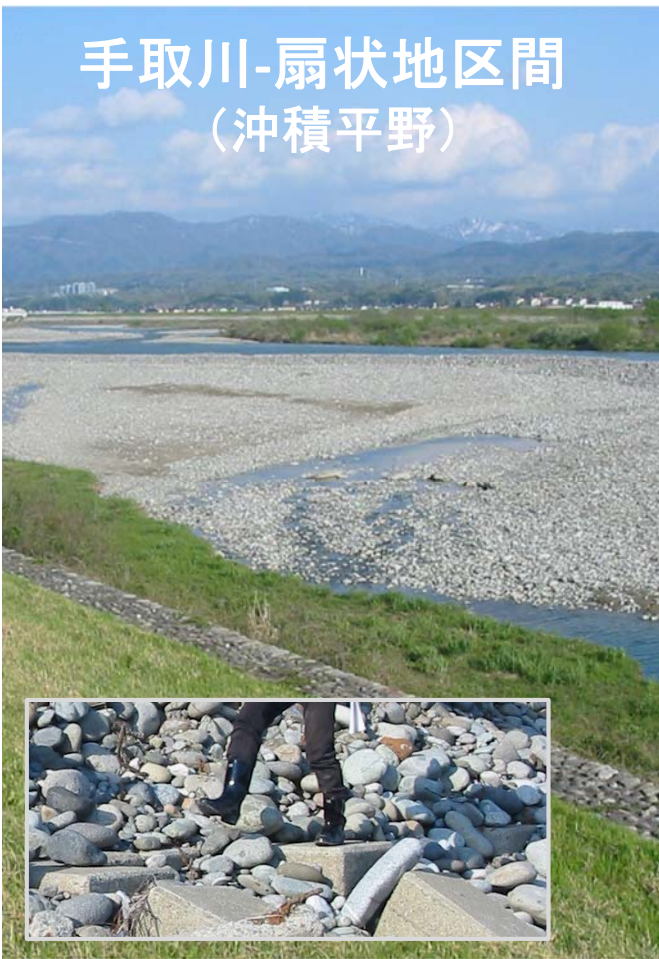
*日本河川教育学会 賛助会員

1



2

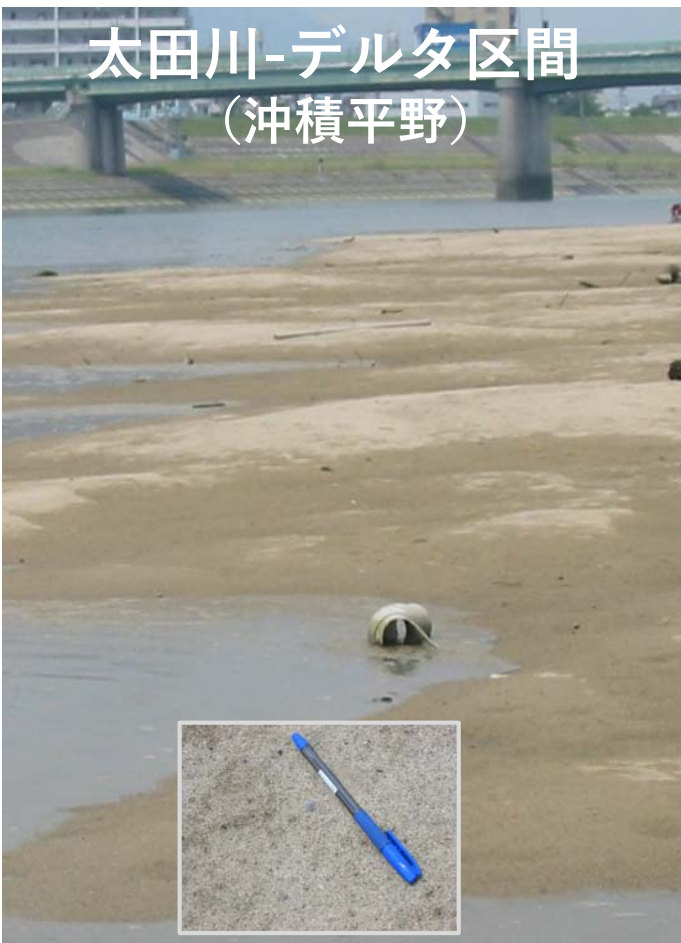
手取川-扇状地区間
(沖積平野)



那賀川-自然堤防帯区間
(沖積平野)

3

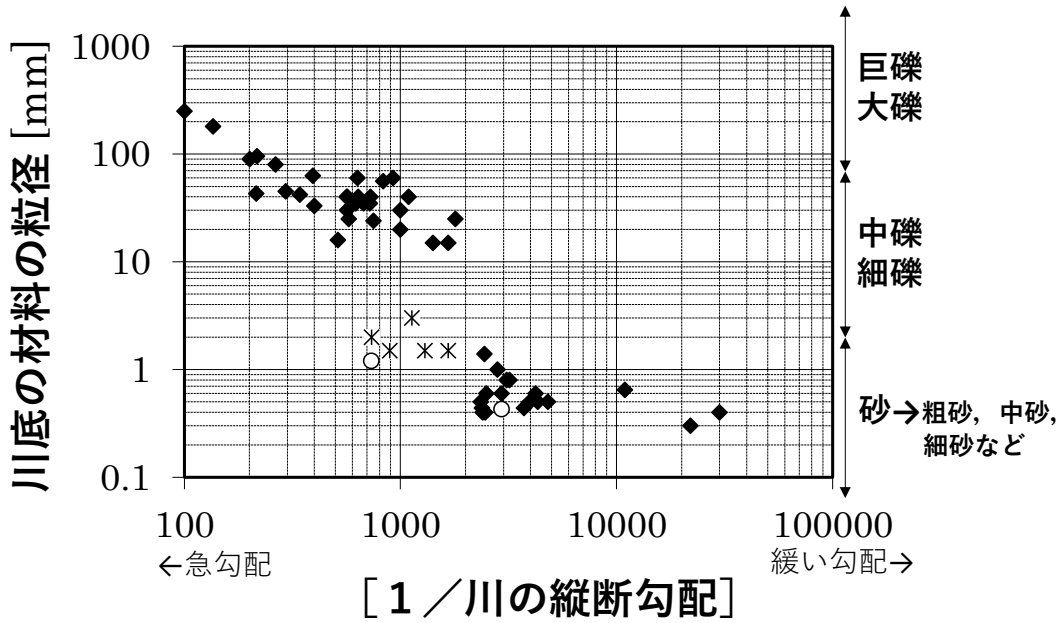
太田川-デルタ区間
(沖積平野)



那賀川-河口
(沖積平野)

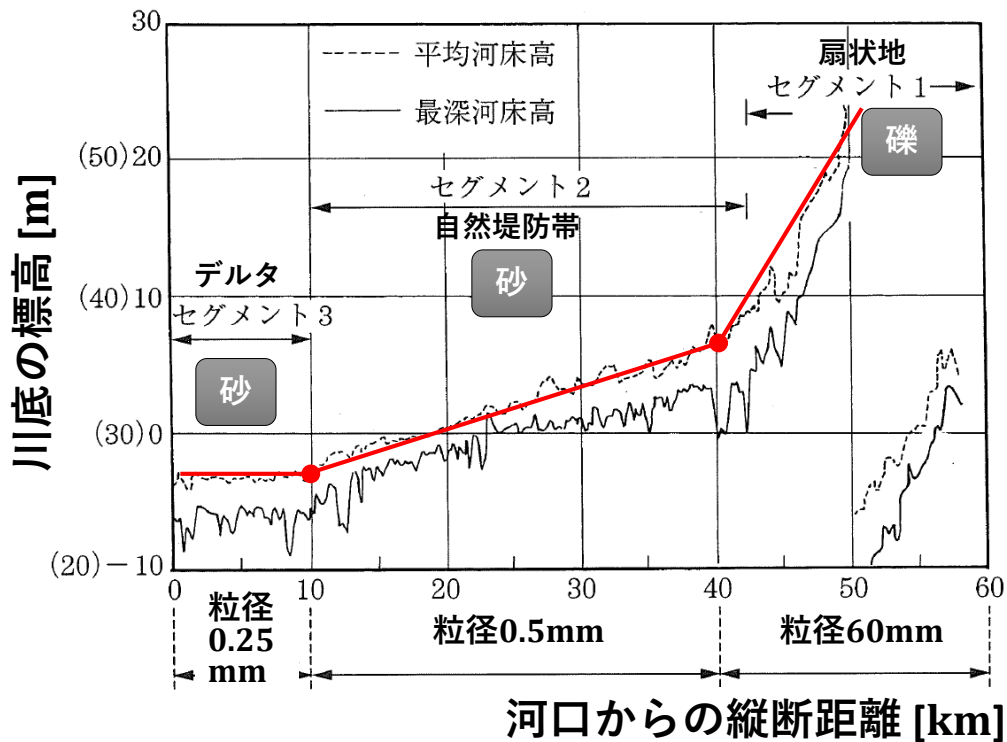


4



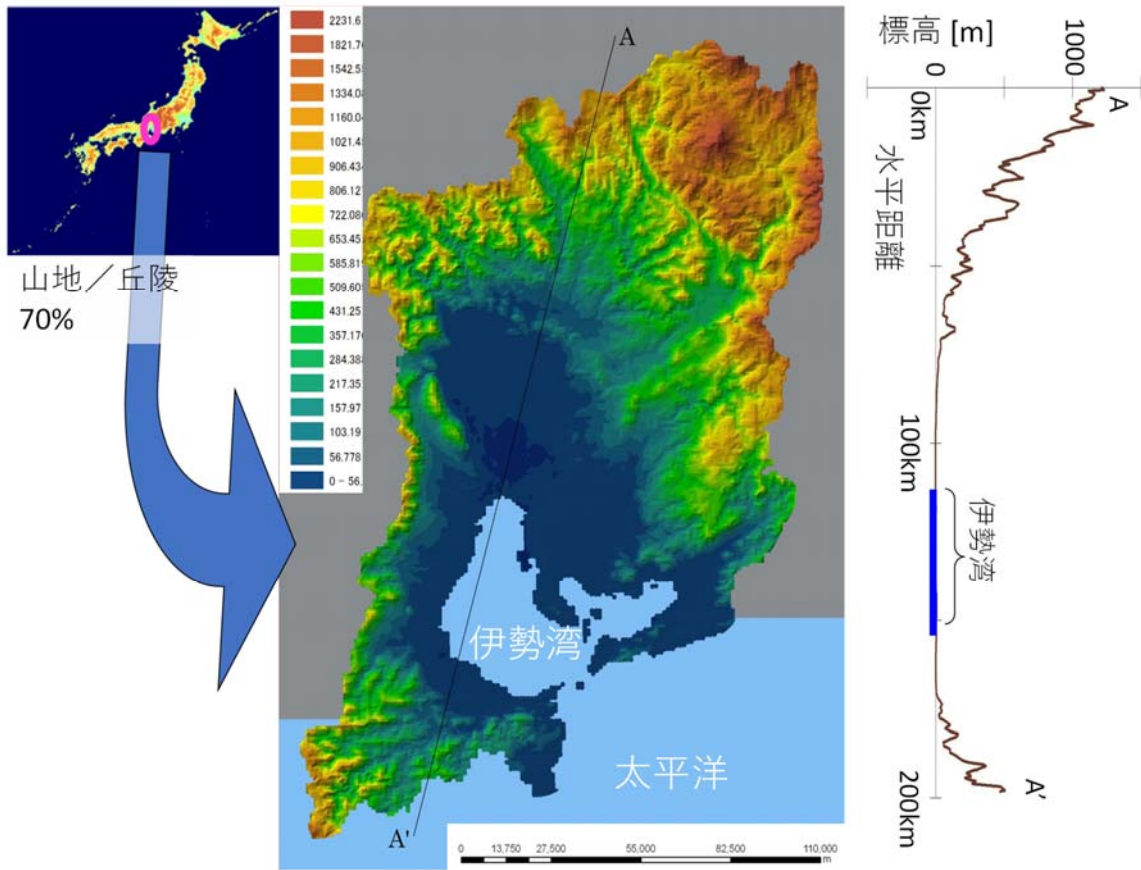
日本の河川について
川の縦断勾配と川底材料の粒径
との関係を整理した例 (沖積河道区間)

藤田ほか (1998) の図-2を一部改変



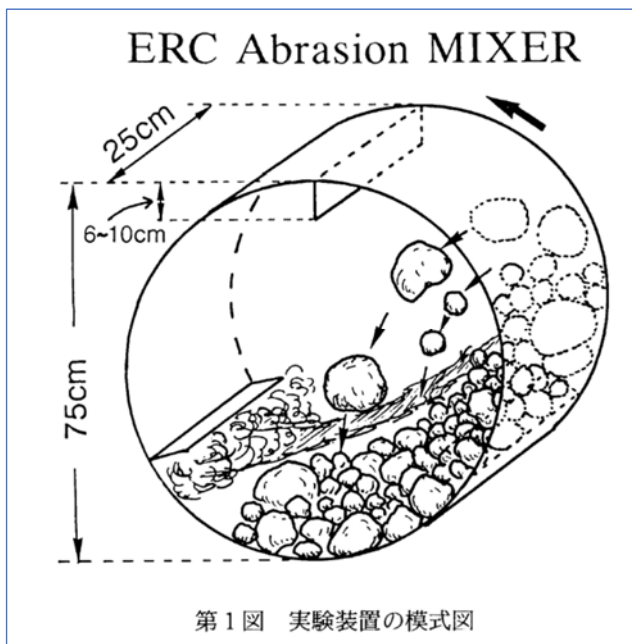
川底標高の縦断形と川底材料の粒径
の代表例 - 木曾川 (沖積河道区間)

山本 (2010) の図-4.1を一部改変



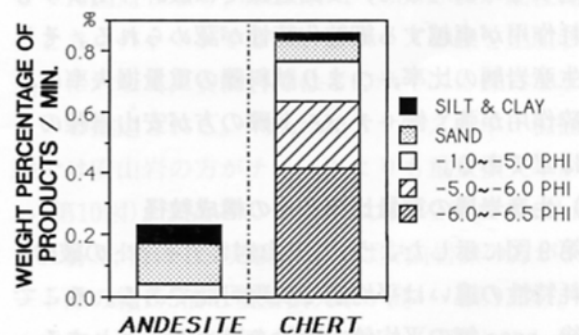
日本の地形と沖積平野の位置づけ（伊勢湾流域を例に）

7



元材料 [Lサイズ] の粒径は、
-7.0 ~ -6.5 PHI

※PHI (φ) の定義：粒径[mm]=2^{-φ}
→ φ=-7なら2⁷=128mm

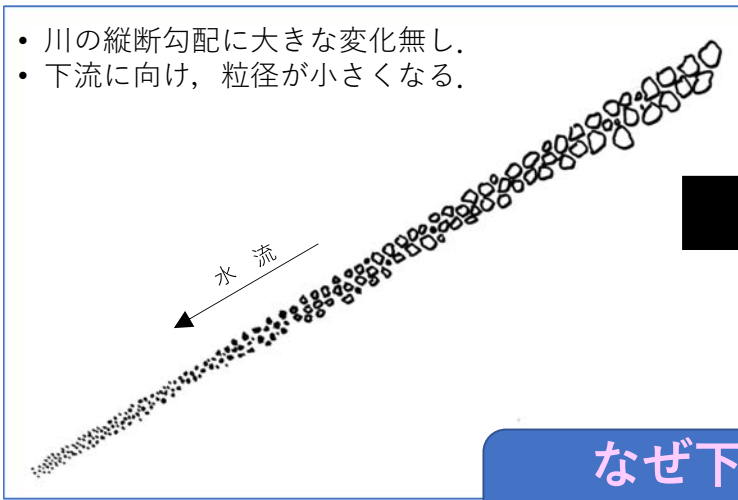


第9図 Lサイズ単一粒径の実験における生産岩屑の重量比率とその構成粒径

川底材料の粒径形成に与える破碎・摩耗の影響に関する研究の例
小玉(1990)の第1図, 第9図から

8

- 川の縦断勾配に大きな変化無し.
- 下流に向け, 粒径が小さくなる.

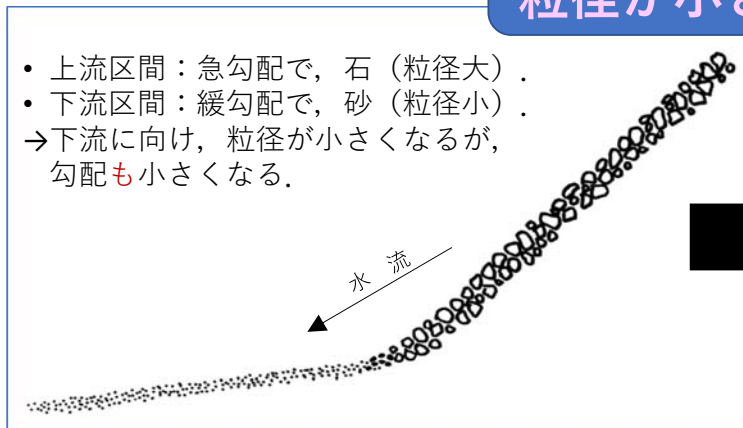


「石が下流に流送される過程で**破碎・摩耗**が起こり, 下流に行くほど粒径が小さくなる」の説明が非常に有力.

→ **破碎・摩耗説**

なぜ下流に行くと粒径が小さくなるのか？

- 上流区間：急勾配で, 石 (粒径大).
 - 下流区間：緩勾配で, 砂 (粒径小).
- 下流に向け, 粒径が小さくなるが, 勾配も小さくなる.



「石も砂も山から供給されていて, 石は急勾配の区間にしか, 砂は緩勾配の区間にしか落ち着けない」という説明も有力に.

→ **選択的分級説** 9

ふつう, 下流に向け川の縦断勾配は小さくなる. → **ここ重要!**

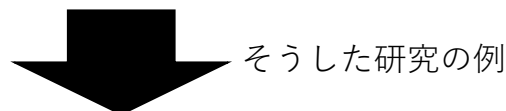
→ **破碎・摩耗説と選択的分級説**について, いきなり

「どちらが正しいか?」という問いを立てるのは無意味.

→ ある対象について, 「どちらがどう重要か?」

「それぞれの寄与度は?」という問いを立てるのが

科学的な態度. その先に, 寄与度を支配する普遍法則の追求がなされるであろう.

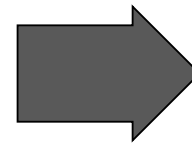


Selective Sorting and Abrasion of River Gravel. I: Theory
 Selective Sorting and Abrasion of River Gravel. II: Applications
 By G. Parker(1991)

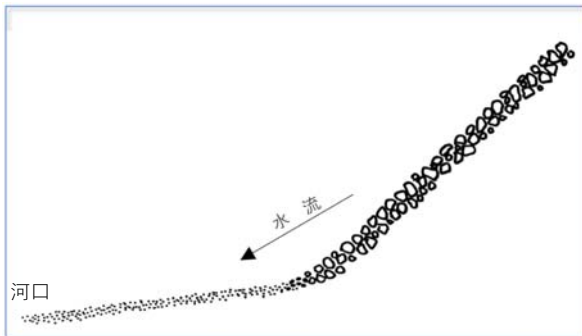
「河床材料の破碎・摩耗作用が粒度変化に及ぼす影響」
 By 山本晃一 (2010)

そこで、

急勾配で礫の区間から緩勾配で砂の区間に変化する
 というパターン（下図）について、
 その形成機構を検討した研究を紹介し、
 どちらの説が有力か？を示していく。



この
 講演
 の主題



このパターンを選んだ理由

- ・日本の河川の代表的類型
 - ・沖積平野の規模が大きい
 (“元気な川”が多い) 傾向.
- 例：岩木川, 利根川, 信濃川,
 木曾川, 淀川, 斐伊川,
 太田川, 筑後川

留意すべき大事なポイント

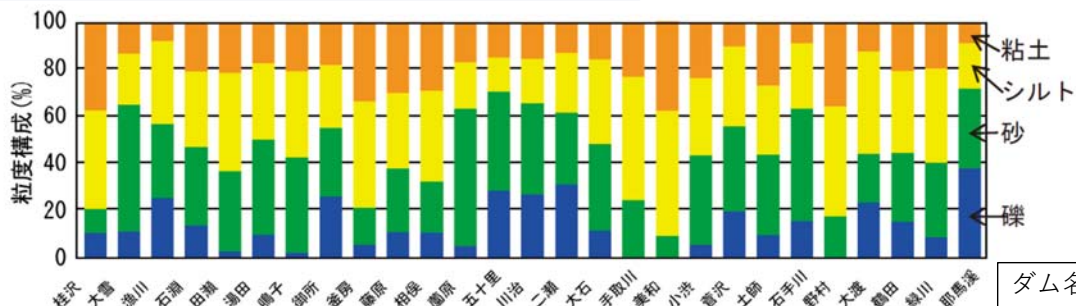
研究対象は、沖積河川＝沖積平野にある河川区間。



粒径の決まり方だけでなく、沖積河川の縦断形形成ひいては
沖積平野形成のプロセスと一体的に考えなければならない。

11

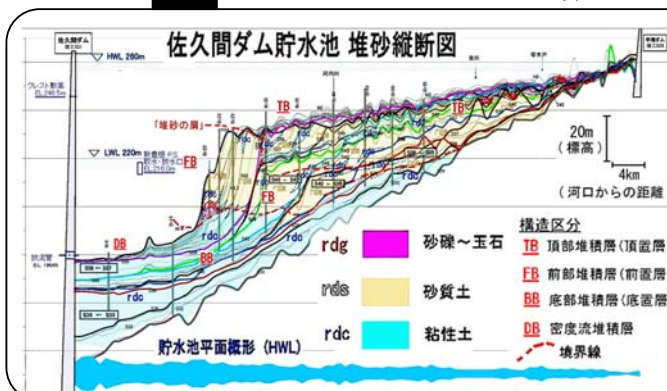
問い1：山で生産され、沖積平野に出てくる
 土砂の量と粒径は？



大きな貯水容量を持つダムに堆積した土砂の粒径範囲ごとの割合
 櫻井ほか(2003)の図-7より



このようなデータを整理して算定したもの

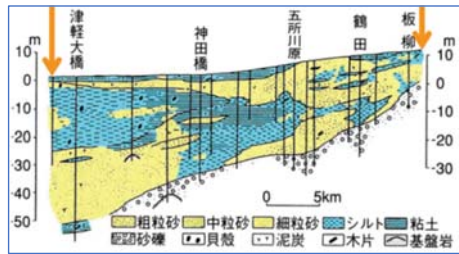
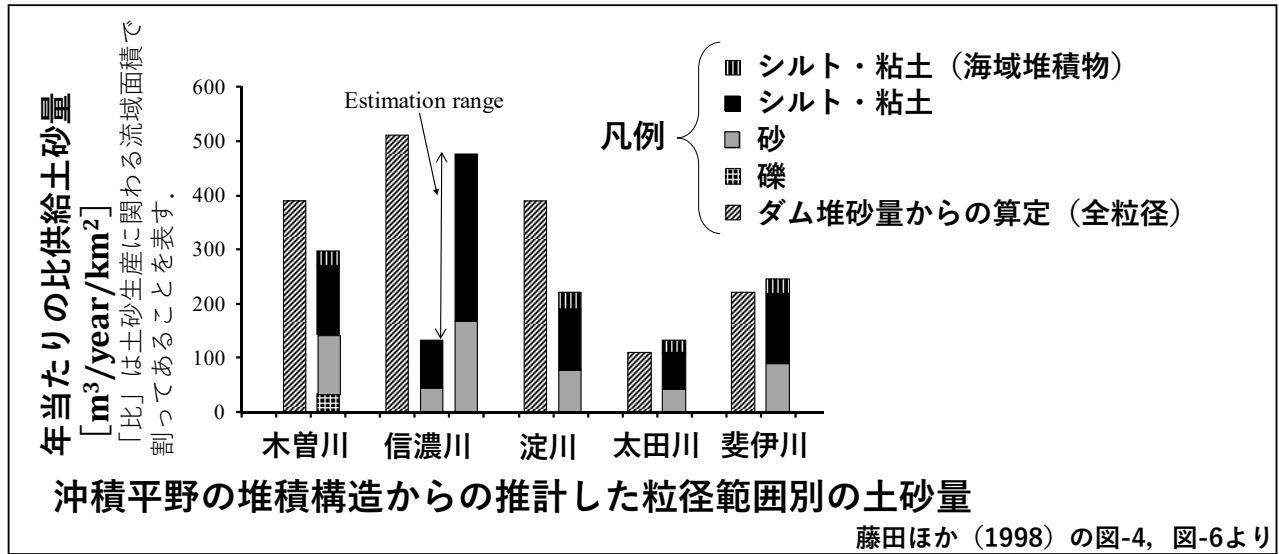


ダムに堆積した種々の土砂
 の分布をボーリングデータ
 から把握した例
 (天竜川佐久間ダム)

国総研資料第521号／土木研究所資料
 第4140号(2009)の図2.3-3より

12

問い1：山で生産され、沖積平野に出てくる土砂の量と粒径は？



主な沖積平野については、地形・地質図が用意され、そこから粒径範囲別に総ボリュームを算定することが可能。

13

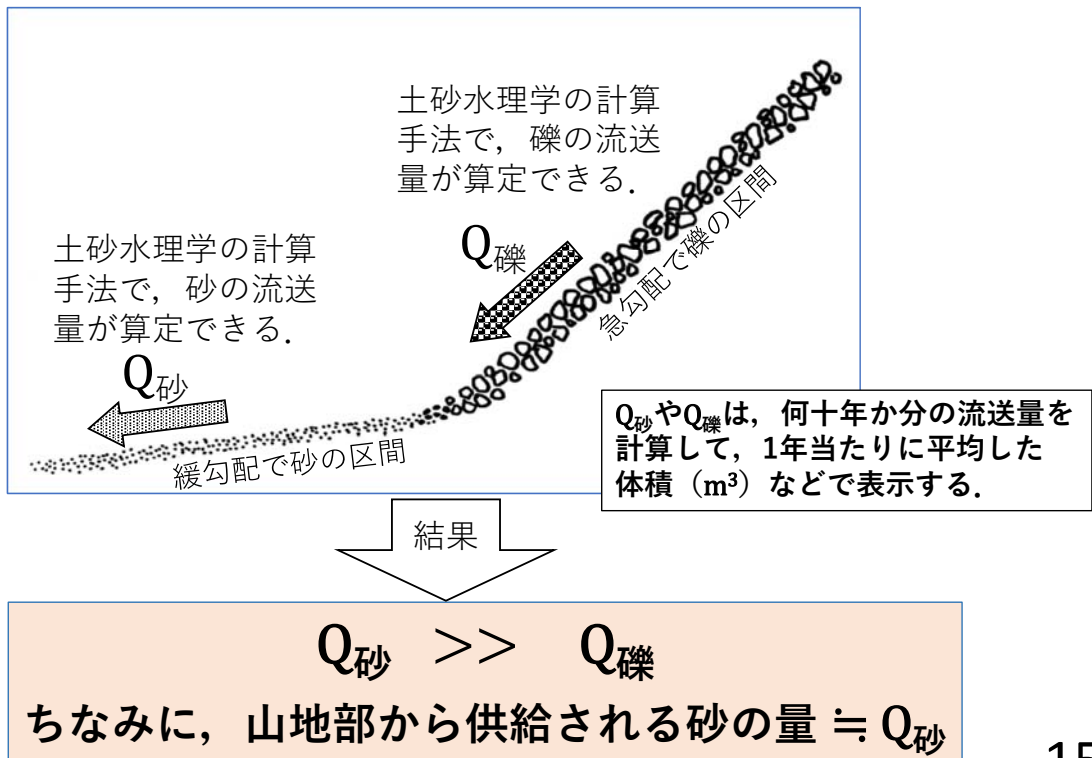
問い1：山で生産され、沖積平野に出てくる土砂の量と粒径は？

まとめ

- シルト・粘土，砂の占める割合が大きい。礫の割合は小さい。
 - 【シルト・粘土：砂：礫】が，ざっと
【50～65%：35～40%：～15%】といったところ。
 - 量も，この3つの種類（粒径範囲）間の割合も，沖積平野に出る前に“大体決まっていそう”。
- シルト・粘土も砂も，山地部にある間に既に大方“できている”。

14

問い2：「礫が、破碎・摩耗の作用によって、砂やシルト・粘土に変わる」というシナリオで、砂やシルト・粘土の供給量が説明できるか？



15

問い2：「礫が、破碎・摩耗の作用によって、砂やシルト・粘土に変わる」というシナリオで、砂やシルト・粘土の供給量が説明できるか？

まとめ

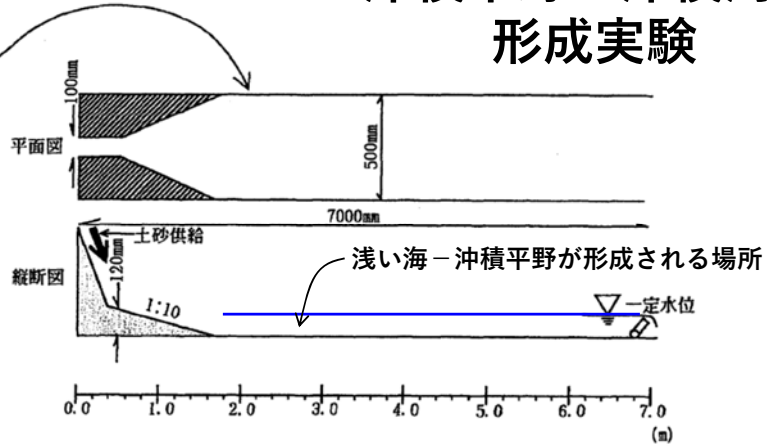
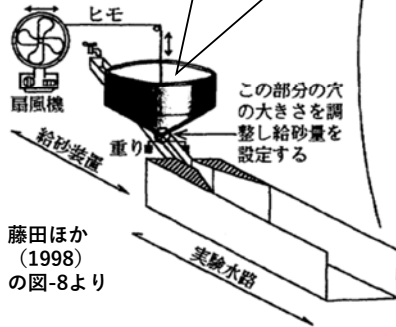
- 礫区間で流送される礫が全て砂に変わったとしても、砂区間で流送される砂の量には大幅に足りない。
- シルト・粘土の流送量は、砂の流送量よりもさらに多い。
- 無から物質は生まれない。
- したがって、問い2に関する結論は「説明できない」。

16

問い3：では、なぜ、どのようにして、礫の区間と砂の区間が形成されるのか？
 礫の区間と砂の区間が分かれる理由は？

沖積平野・沖積河川 形成実験

礫→粒径2mmの粗砂
 砂→粒径0.3mmの石炭粉
 (水中比重が通常の1/3)
 礫と砂の供給量は1:4

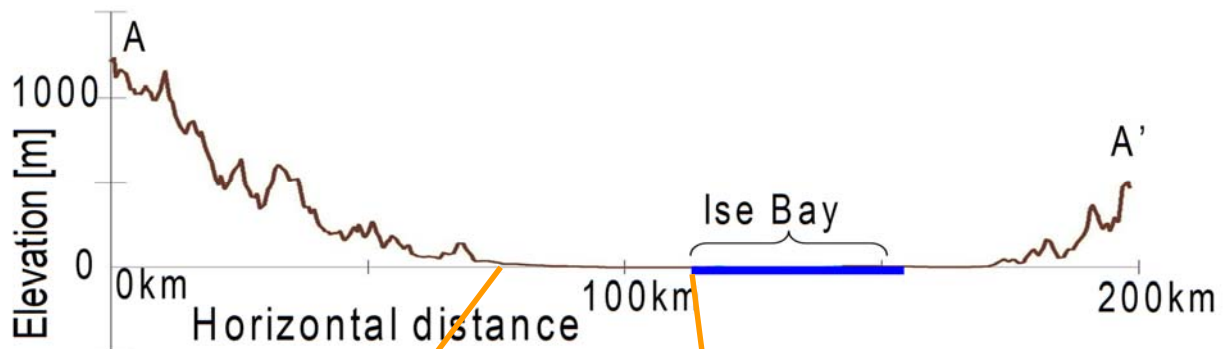


実験のデザイン における重要 ポイント

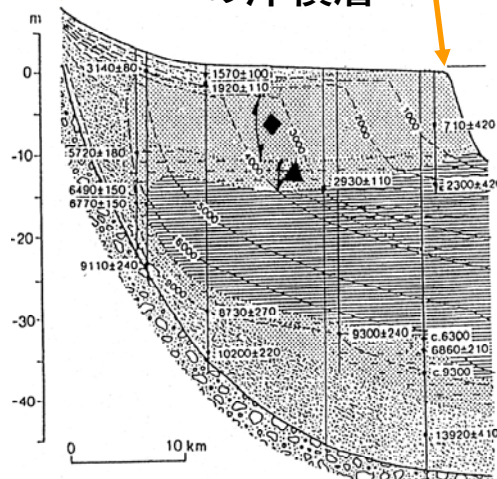
実際の状況を定性的に反映することを重視

- ✓ 沖積層の堆積環境 (→浅い海) を設定.
- ✓ 沖積層基底礫層を設定→その上に沖積層が形成される.
- ✓ 沖積層, 沖積平野, 沖積河川の形成を一体的に再現.
- ✓ 礫に相当する材料と砂に相当する材料を水とともに混合して投入.
- ✓ 礫相当材料の量 << 砂相当材料の量 として供給.
- ✓ 砂相当材料は, 礫相当材料に対し, はるかに動きやすいものにする→実際, 水流に対して砂は礫より百倍も動きやすい.

17

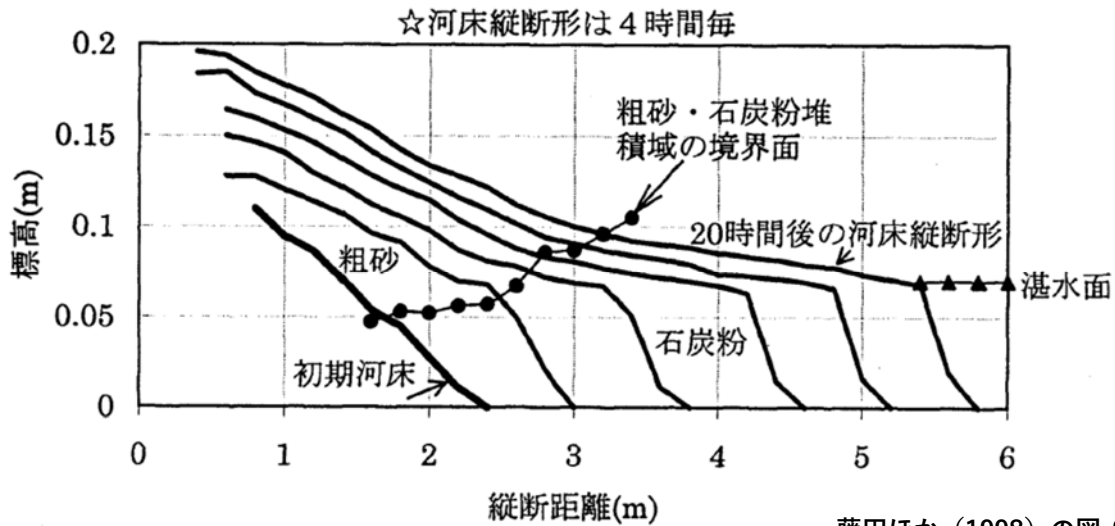


濃尾平野 の沖積層



海津正倫(1992) より

18



実験の結果

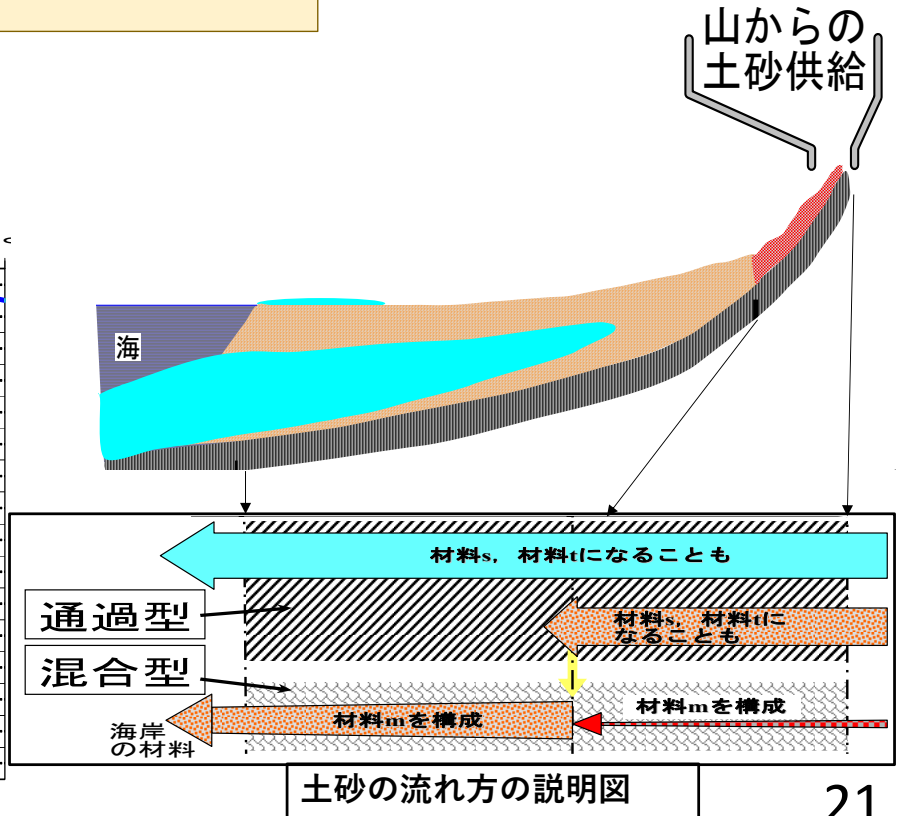
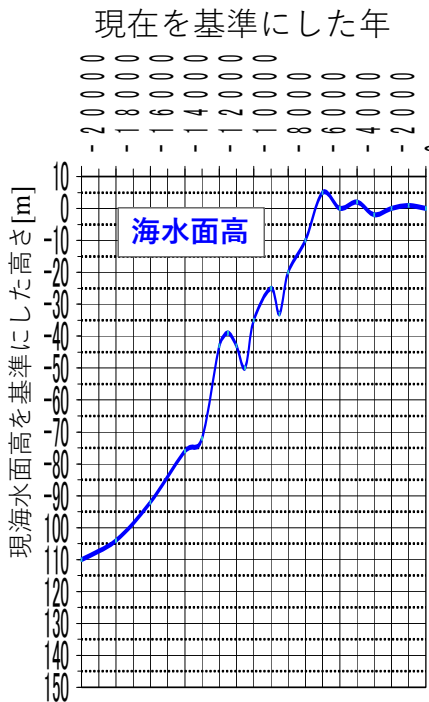
- 礫（実験は粗砂）と砂（実験は石炭粉）の堆積域にきれいに分かれる。
- これに伴い、河川も礫区間と砂区間にきれいに分かれ、両者の勾配の違い（礫区間で急で、砂区間が緩い）も明瞭に現れる。
- これらは、浅い海での土砂堆積の進行による沖積層・沖積平野の形成に連動して起こる。
- 上記に伴い、河川は、礫区間・砂区間とも全体的に徐々に上昇する。 19

問い3：では、なぜ、どのようにして、礫の区間と砂の区間が形成されるのか？
礫の区間と砂の区間が分かれる理由は？

まとめ

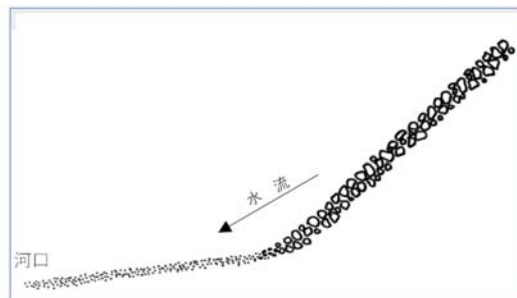
- 沖積層基底礫層の勾配は、少なくとも山裾付近ではかなり急。
- その勾配は、砂がまとまって川底にとどまるには大きすぎる
→流れによって大部分が吹き飛ばされてしまう。
- このため、そこでは、礫の隙間の奥を埋める形でしかとどまれない。
- 一方、砂の供給量は礫の供給量よりもはるかに大きいので、「礫の隙間の奥を埋める」程度では、砂の供給量を礫区間では受け止めきれない。
- このため、供給された砂の大部分が、礫区間を通過する形で、下流に運ばれることになる。
- こうして下流に運ばれた砂が浅い海の縁まで行くと、海を埋め立てる形で、ようやくそこにとどまれるようになる。
- こうして起こる砂の堆積が進行し、砂が落ち着けるような緩い勾配の河川区間が形成され、伸長する→砂区間の誕生と成長。
- 逆に、礫が流送されるには砂区間の勾配は緩すぎるので、礫がまとまって砂区間に進むことはできない。

沖積河川の縦断形形成と川底材料の縦断分布形成のプロセスを説明する模式図



p11に提示した問い (→主題) に対する、紹介してきた研究成果に基づくまとめ

- 急勾配で礫の区間から緩勾配で砂の区間に変化する という日本の河川の代表的パターンの形成機構を合理的に説明できるシナリオは、選択的分級説に沿ったものである。
- このパターンを破碎・摩耗説で合理的に説明することはできない。



附言

破碎・摩耗が粒径形成に与える影響は、礫の区間内（山地部を含む）においては、有意性を持つようになると考えられる。ただし、選択的分級の影響が無くなるとは考えにくく、多くの場合、両方の影響が合わさって粒径形成がなされていく、と考えるべきであろう。

最後に、議論の触媒になるかもしれない材料を書いてみます。

・上流の川底材料は大きい（石，岩）
・下流行くと材料は小さくなる（砂にまで）

観察→気づき

とっつきやすい。しかし、ここからの推論がベストなものを導くとは限らない

・割れた石，割れたばかりの石がある。
・石を叩くと割れる・欠ける。石によっては，ザラメのような粒が出る。
・下流に行くほど角が取れて丸くなった石が多い感じがする。
・石の色や表面の質感などによって，尖り方が違う感じがする。

観察，簡単な実験→気づき

ギャップ

・洪水流が運ぶ土砂の量，種類（粒径範囲）ごとの量
・山から平野に供給されている土砂の量，種類ごとの量

土砂観測（一般に難易度高い），ダム堆積土砂や沖積層の調査・分析

・洪水流が運ぶ時々刻々の土砂の量，種類ごとの量

工学的的手法（土砂水理学に基づく），洪水流量と粒径分布に関するデータ

・破碎・摩耗作用による粒径変化の定量的特性

（良くデザインされた）実験あるいは現場計測＋地質学の知見

・沖積平野，沖積層の形成過程の理解

地形学，堆積学，地理学などからの知見

1つのゴール

沖積河川の縦断形と縦断的粒径変化の形成システムの理解と定量記述

時空間スケールを拡大し（一万年，数百キロ），様々な時空間スケールを重畳させ，階層化して現象を捉えること

各分野の知見，手法，情報の俯瞰と，それらの横断的・統合的投入

統合シミュレーション技術

ギャップ

以上です。
ご清聴ありがとうございました。

引用文献

- 海津正倫(1992)：木曾川デルタにおける沖積層の堆積過程、堆積学研究会報、第36号、pp.47-56.
- 小玉芳敬(1990)：ERC-ABRASION-MIXERによる渡良瀬川の河床礫の破碎・摩耗実験、筑波大学水理実験センター報告、N0.14、pp.115-130.
- 海岸侵食対策と利水ダムの機能の維持・回復のための土砂管理対策委員会（委員長：辻本哲郎）(2004)：河川と海岸が一体となった総合的な土砂管理対策のための基本的な手法～天竜川をモデルケースとして～
- 国土技術政策総合研究所 環境研究部、土木研究所 水環境研究グループ・自然共生センター(2009)：ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方、国総研資料第521号／土木研究所資料第4140号.
- 櫻井寿之、柏井条助介、大黒真希(2003)：ダム貯水池の堆砂形態、土木技術資料、第45巻3号、pp.56-61.
- 藤田光一、山本晃一、赤堀安宏(1998)：勾配・河床材料の急変点を持つ沖積河道縦断形の形成機構と縦断形変化予測、土木学会論文集、No.600/II-44、pp37-50.
- 村山磐・松本秀明・宮城豊彦（1984）：津軽平野の沖積層およびその周辺の地形、東北学院大学東北文化研究所紀要、第16巻、pp.200-206
- 山本晃一(2010)：沖積河川－構造と動態－，図-4.1，第8章5節，(財)河川環境管理財団・企画，技報堂出版.
- Parker G.(1991): Selective Sorting and Abrasion of River Gravel. I: Theory, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, Issue 2, pp.131-149.
- Parker G.(1991): Selective Sorting and Abrasion of River Gravel. II: Applications, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, Issue 2, pp.151-171.

25

粒径の分類と呼称

国総研資料第521号／土木研究所資料第4140号(2009)の表1.6-1より

日本で使用されている名称*		Udden-wentworth scale**	AGUの分類		粒径範囲(mm)	
巨 礫	巨 礫	巨 礫	boulders	very large boulders large boulders medium boulders small boulders		4096~2048 2048~1024 1024~ 512 512~ 256
玉 石	大 礫	大 礫	cobbles	large cobbles small cobbles		256~128 128~ 64
砂 利	中 礫 (pebbles)	中 礫 (pebble)	gravel	very coarse gravel coarse gravel medium gravel fine gravel very fine gravel		64~32 32~16 16~ 8 8~ 4 4~ 2
	細 礫	小 礫 (gravel)				
砂	極粗砂	極粗砂	sand	very coarse sand	2~1	2~1
	粗砂	粗砂		coarse sand	1~1/2	1~0.5
	中砂	中砂		medium sand	1/2~1/4	0.5~0.25
	細砂	細砂		fine sand	1/4~1/8	0.25~0.125
	微細砂	微細砂	very fine sand	1/8~1/16	0.125~0.062	
シルト	粗粒シルト	シルト	silt	coarse silt	1/16~1/32	0.062~0.031
	中粒シルト			medium silt	1/32~1/64	0.031~0.016
	細粒シルト			fine silt	1/64~1/128	0.016~0.008
	微細粒シルト			very fine silt	1/128~1/256	0.008~0.004
粘土	粗粒粘土	粘土	clay	coarse clay	1/256~1/512	0.004~0.002
	中粒粘土			medium clay	1/512~1/1024	0.002~0.001
	細粒粘土			fine clay	1/1024~1/2048	0.001~0.0005
	微細粒粘土			very fine clay	1/2048~1/4096	0.0005~0.00024

* 主として河川工学の分野で使用されている。土質工学の分野では、礫(2.0mm以上)、粗砂(2.0~0.42mm)、細砂(0.42~0.074mm)、シルト(0.074~0.005mm)、粘土(0.005~0.001mm)、コロイド(0.001mm以下)として分類している。

** 元々は地質学の分野で使用されていたが、Cummins(1962)が河川生態学の分野に採用した。

*** φ尺度 φ = -log₂d (d:土砂粒子の大きさ(mm))

26