

流域の地質構造と河床材料構成の関係について：
砂礫の元素組成，磨耗・破砕特性からみた
流下方向変化と生態的影響

名古屋大学 大学院環境学研究科
田代 喬

流域の土砂動態：流砂系

山地

気候・地質による生産形態の差異

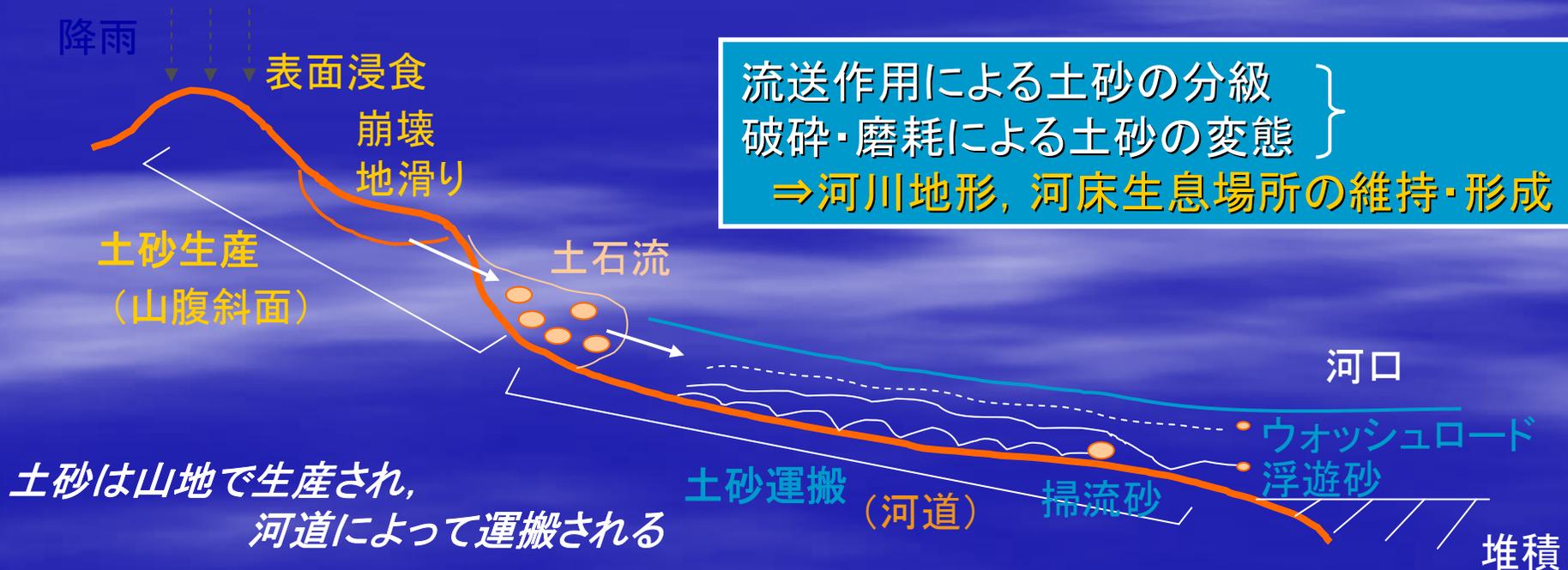
降雨・流出，地質構成，岩石の風化
土地被覆（森林，荒地・・・）

⇒ 土壌浸食，地すべり・斜面崩壊

河道

分級・磨耗・混合による質・量変化

流量変動，生産・供給土砂，水路の合流・分派
⇒ 土石流，掃流砂，浮遊砂，ウォッシュロード



流域の土砂・砂礫に関わる景観の階層性：スクリーニング

背景

中小河川における情報の不足



マクロな情報からミクロな微地形を読み取る必要性

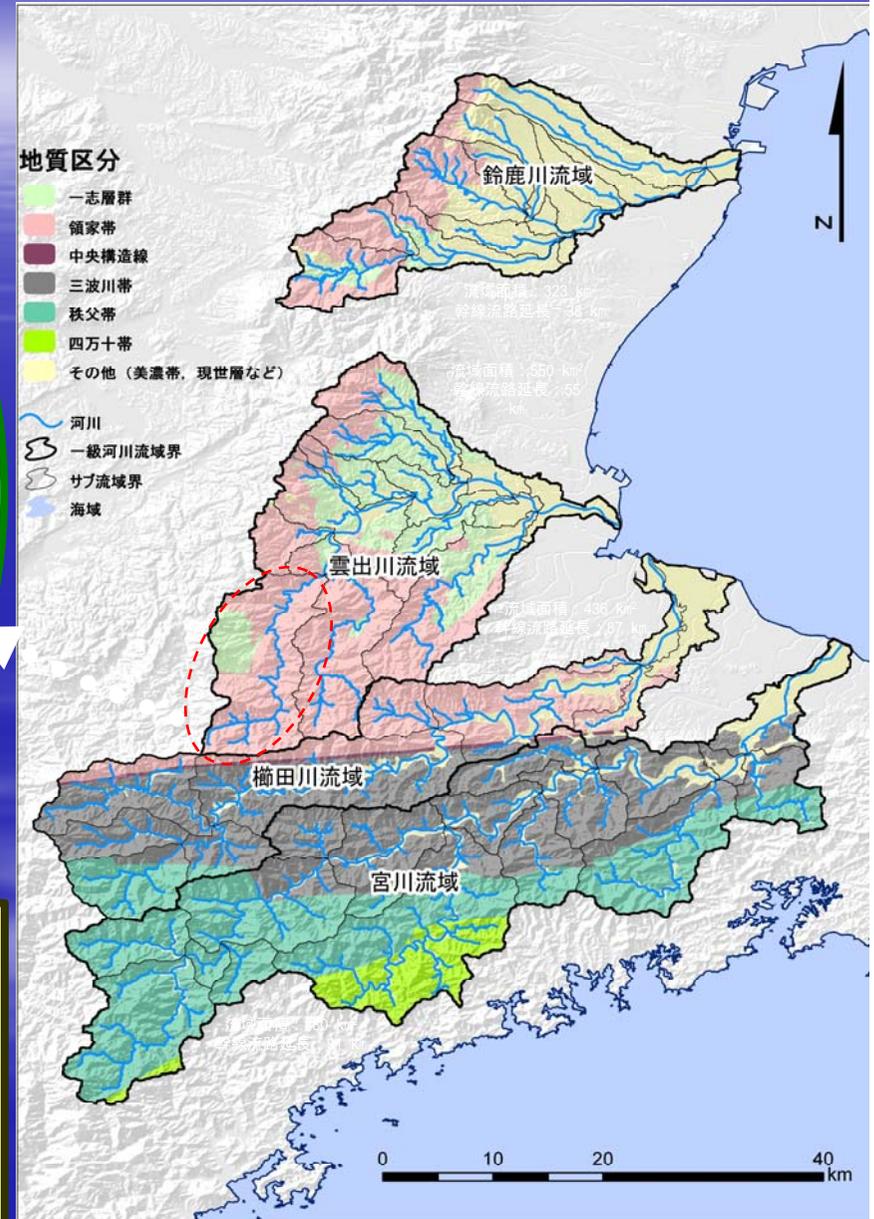
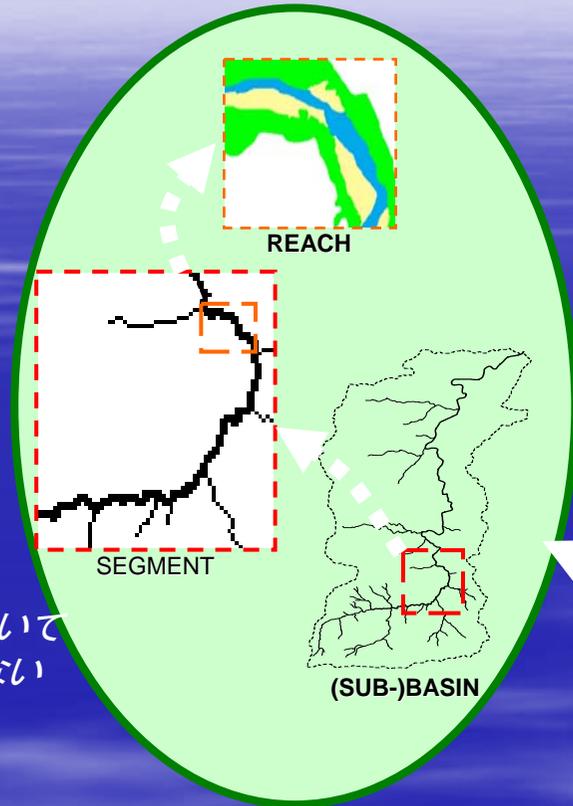


河川景観の階層性への着目

Davies *et al.* (2000), Townsend *et al.* (2003)
~ Landscape Ecology

…表層地質による影響については系統的な整理がされていない

河川景観の階層性



問題設定の第一歩

流域の地質構造

数値地図情報を用いた分析

流域の地形特性



現地観測

- ✓ 河川勾配
- ✓ 河床材料構成

河道特性

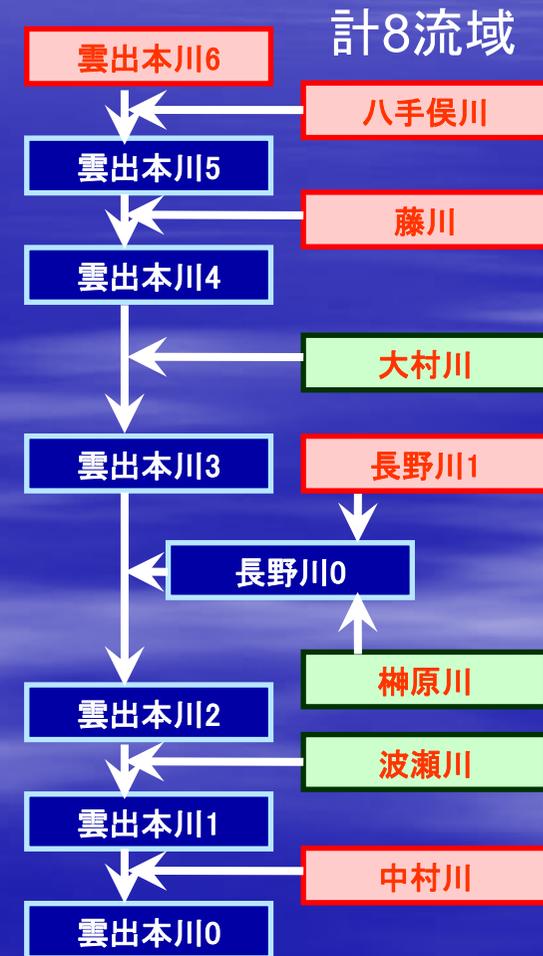
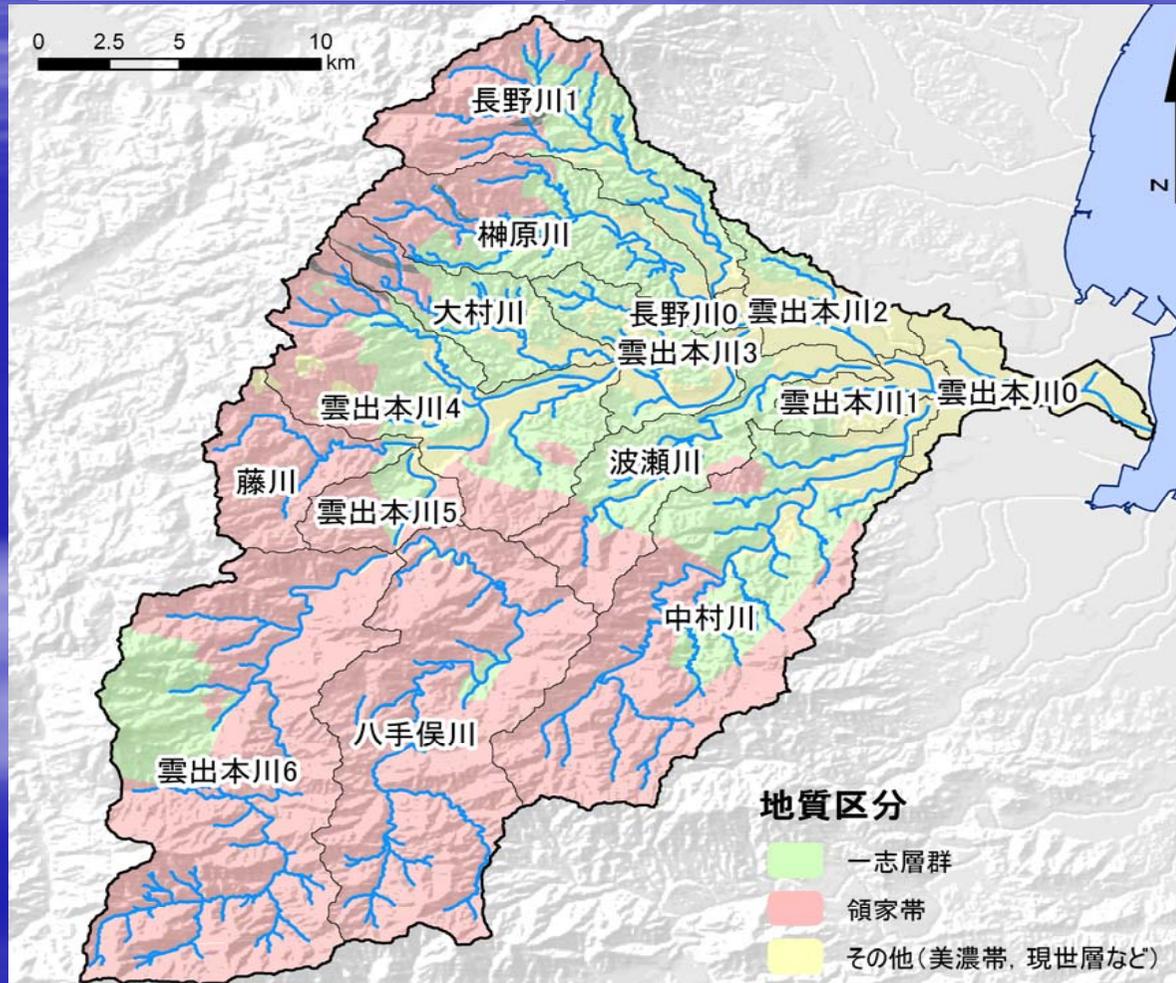


「20万分の1土木地質図(建設省中部地方建設局, 1991)」より改変

表層地質と流域地形

▶流域の地質構造(表層地質)を地形特性と関連付ける

サブ流域への分割(例)



流域地形特性量の算出



H_{max} : 流域最高点

H_{min} : 流域最低点

L_h : 流域最長距離

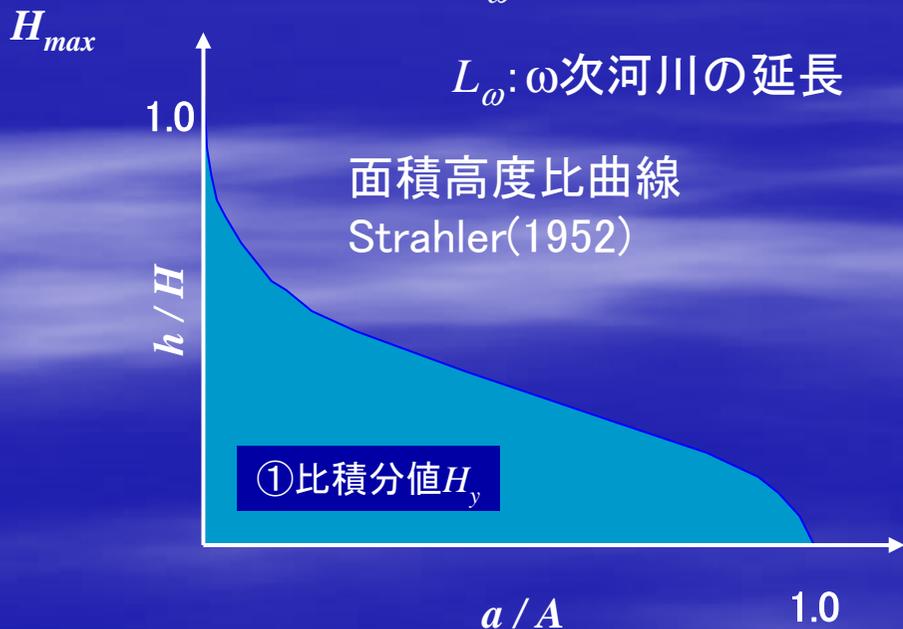
A_b : 流域面積

P_b : 流域周長

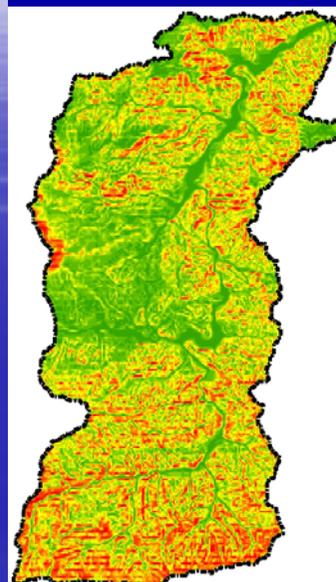
ω : 流路次数

N_ω : ω 次河川の本数

L_ω : ω 次河川の延長



②流域平均傾斜
Slope(%)



③最大起伏

$$R_h = \frac{(H_{max} - H_{min})}{L_h}$$

④円形度

$$R_c = \frac{4 A_b}{P_b^2}$$

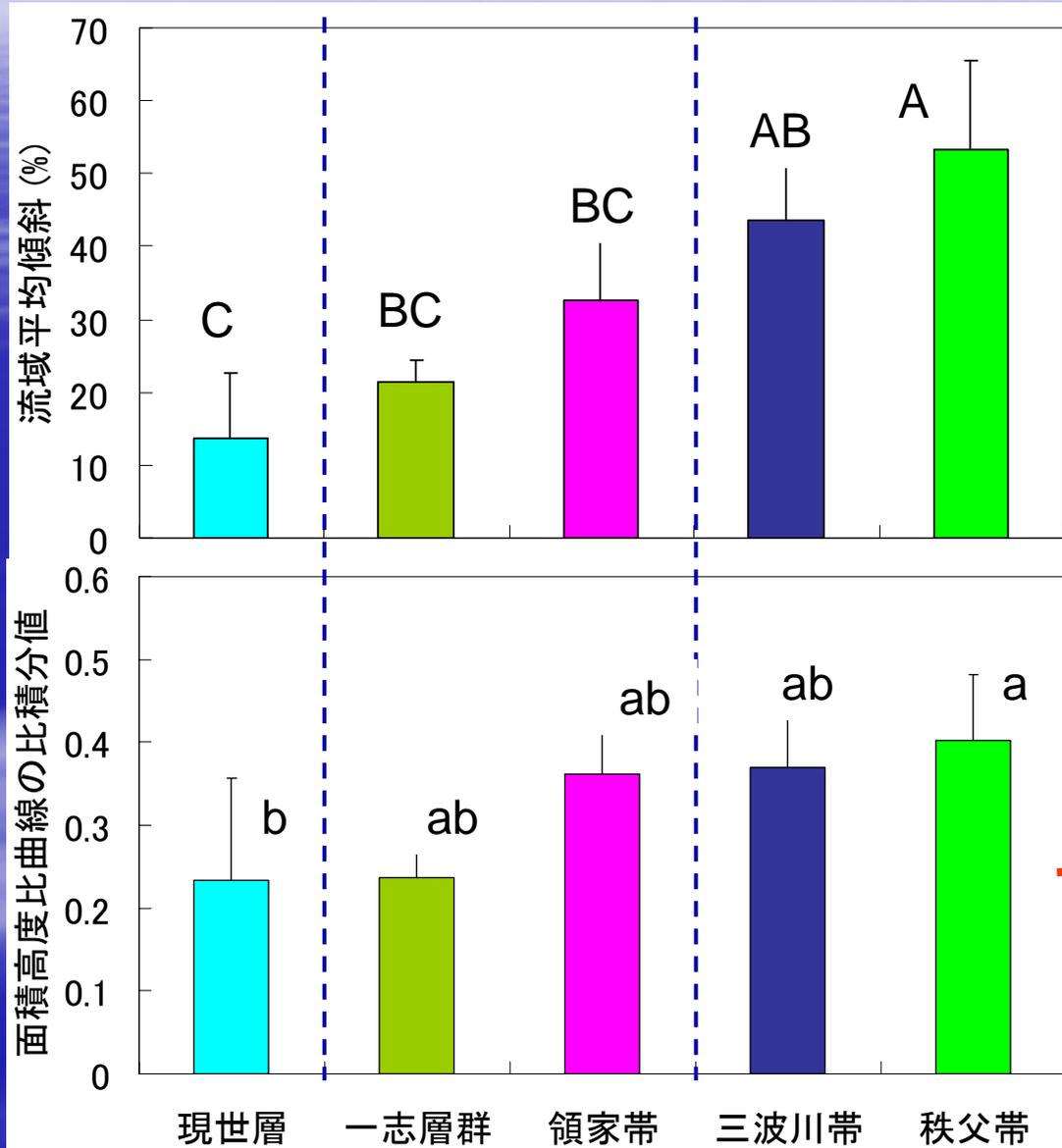
⑤流路密度

$$D = \frac{\sum L}{A_b} \quad (\text{km} / \text{km}^2)$$

⑥流路頻度

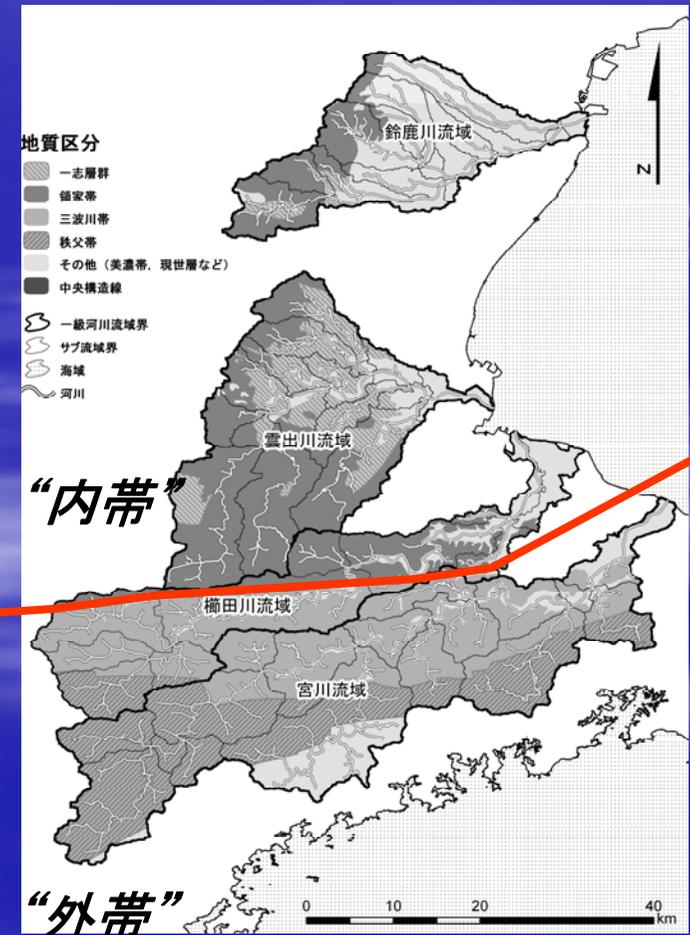
$$F = \frac{\sum N}{A_b} \quad (\text{本} / \text{km}^2)$$

流域の地質構造による地形特性の違い



(英大文字: $P < 0.01$, 英小文字: $P < 0.05$, Scheffe's test)

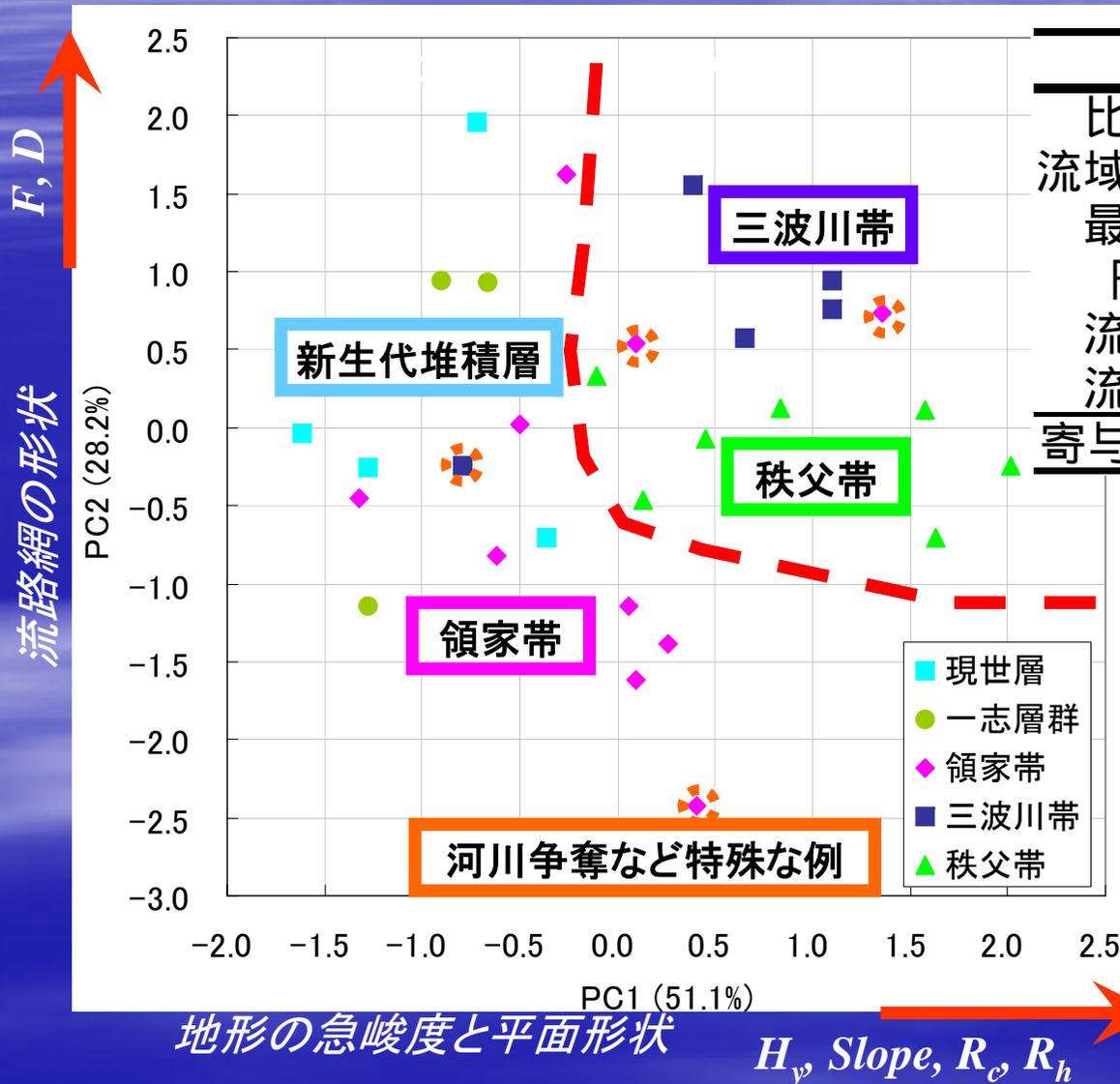
外帯は傾斜が大きいですが、比積分値ではそれほど大きな差はなく、領家帯・三波川帯・秩父帯の河谷の発達と同程度



代表地質の異なるサブ流域を対象とした主成分分析 (括弧内は各主成分の寄与率)

各主成分の因子負荷量と寄与率

	第1主成分	第2主成分
比積分値	0.78	-0.38
流域平均傾斜	0.92	-0.01
最大起伏	0.84	0.19
円形度	0.81	0.16
流路密度	-0.34	0.88
流路頻度	0.37	0.84
寄与率 (%)	51.1	28.2



流路網形状と地形の急峻度、平面形状により類型化が可能
⇒地質構造との関係

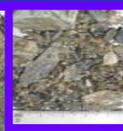
各地質区分の特徴(相澤(2005)にしたがい作成)

地質区分	主な構成岩類	表層状態	斜面崩壊
領家帯	花崗岩, 片麻岩	風化部では真砂, 未風化部では玉石を産出	円弧すべり, ガリー侵食, 落石
三波川帯	結晶片岩	岩片と残積土(粘土)	土石流(アースフロー)
秩父帯	粘板岩, 砂岩	表層は貧弱	山体のブロック崩壊

領家帯



三波川帯



秩父帯



三波川帯: 結晶片岩

- ・層状構造で異方性が高い. 剥離崩壊しやすく, 扁平な材料を産出.
- ・流下する過程で大きく破壊されやすい.

流域地質と河床材料構成

▶ 地質構造と関連付けて河道特性を調査する

① 上流域の地質が一様

② 上流域の流域面積

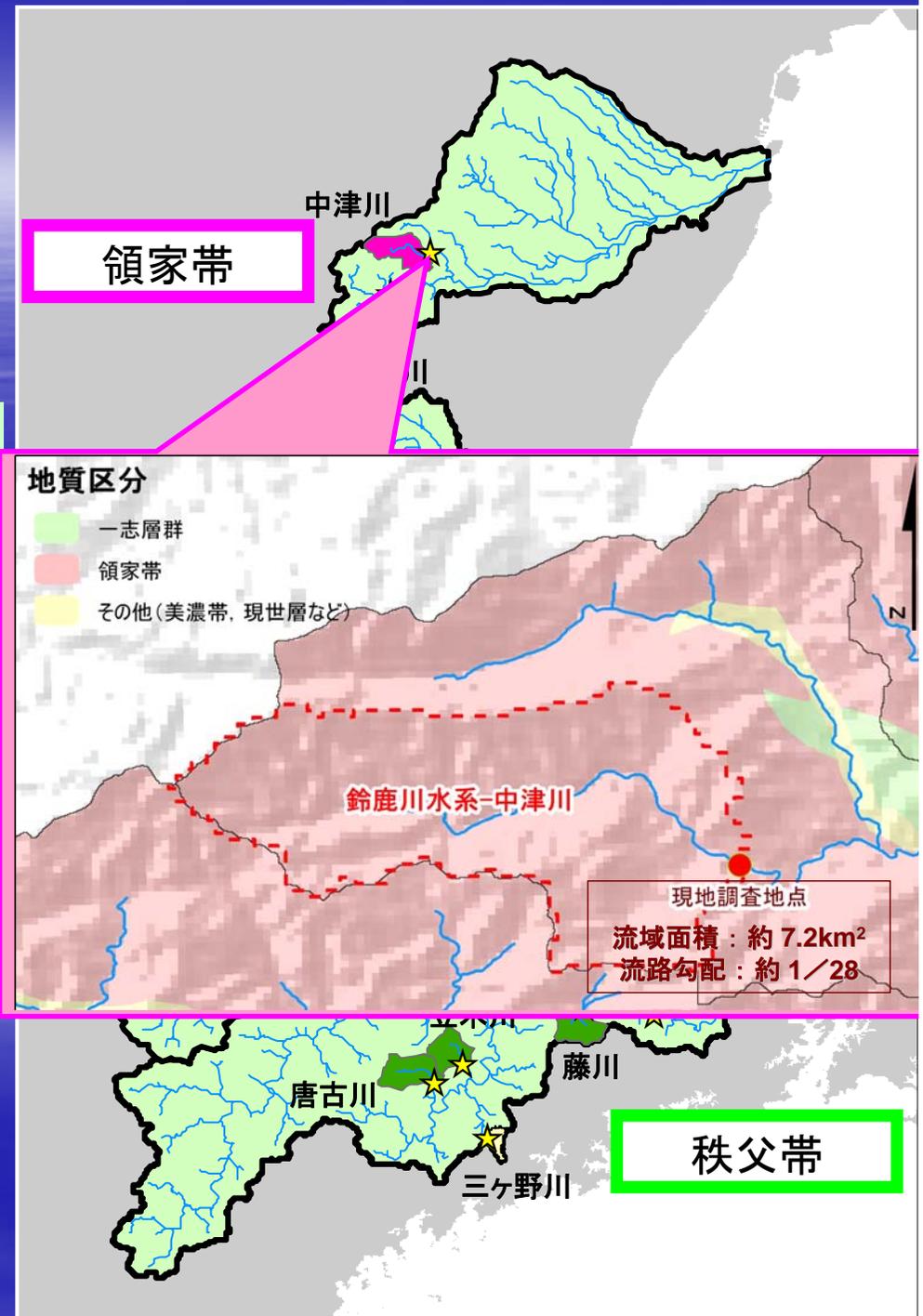
5 km² A_b 10 km²

③ 流路勾配

1/150 $\tan\theta$ 1/10

ダム・砂防堰堤下流, 護岸など人為の影響のある場所は回避.

表層地質による河道特性の違いを検証できるように調査地を選定

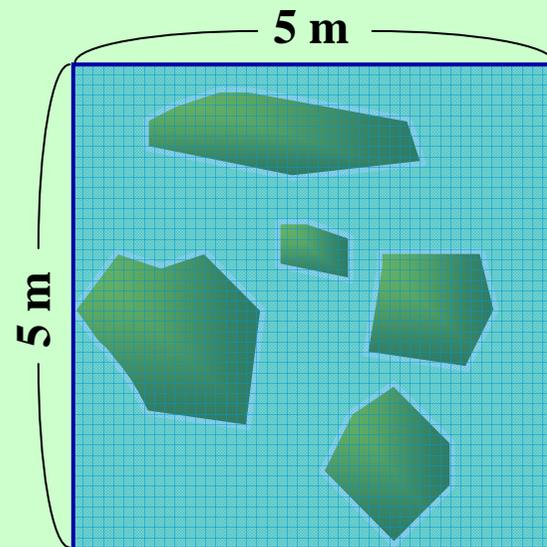


調査内容

①縦断側量の実施 → 水面・河床勾配

②河床材料構成(粗粒分／細粒分)

粗粒分



流路内25 m²方形区で上位5つの巨石の短径・長径を対象(東, 1983を参考に設定)



中間径の平均値を算出

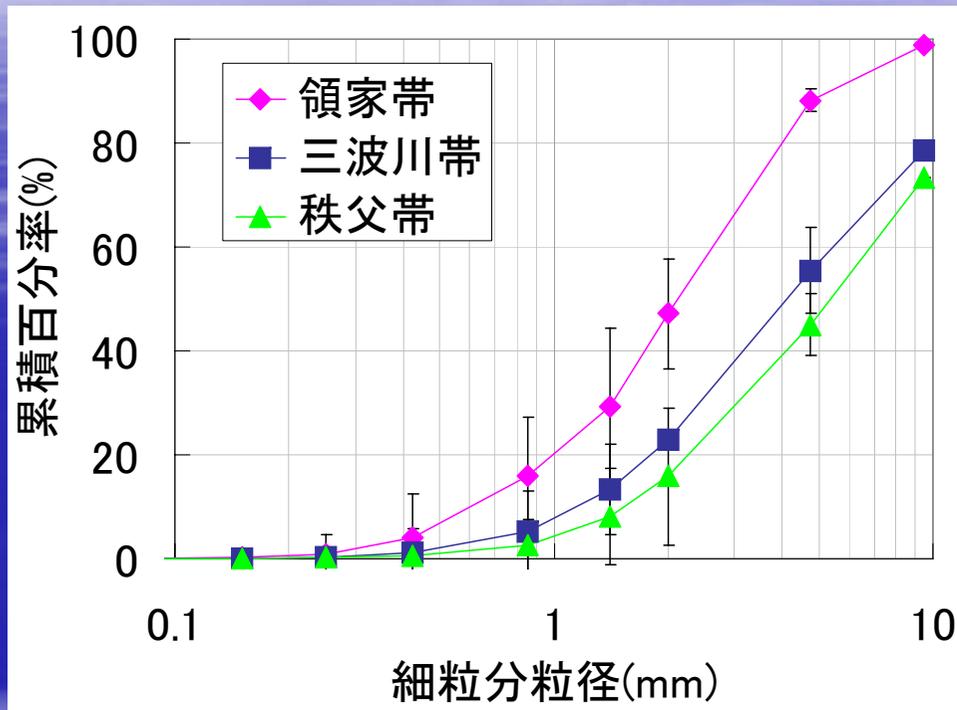
細粒分

淵尻の堆積物から表層5cm厚までの材料を採取し粒度分析

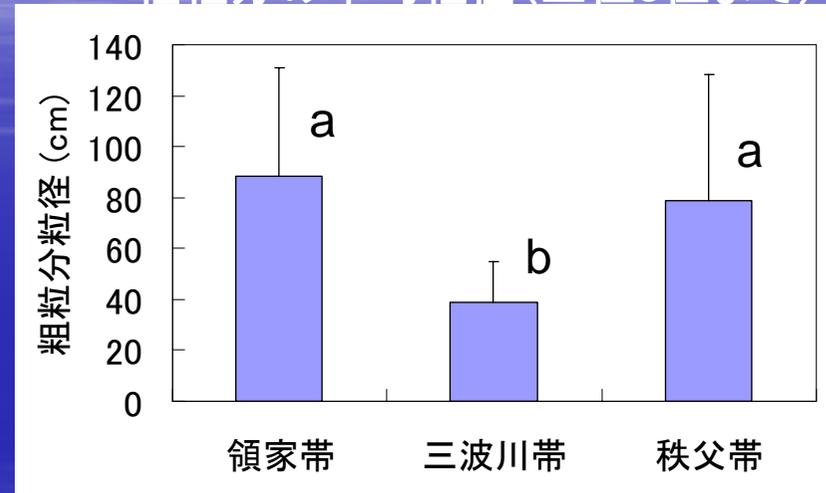
山地河川の河床材料構成

均質な地質条件下での比較(流域面積5~10 km², 水流次数1~2)

領家帯:5河川, 三波川帯:2河川, 秩父帯:5河川



粗粒分の平均粒径(上位5位まで)



河道の勾配には有意な差が無いにもかかわらず,

□領家帯:

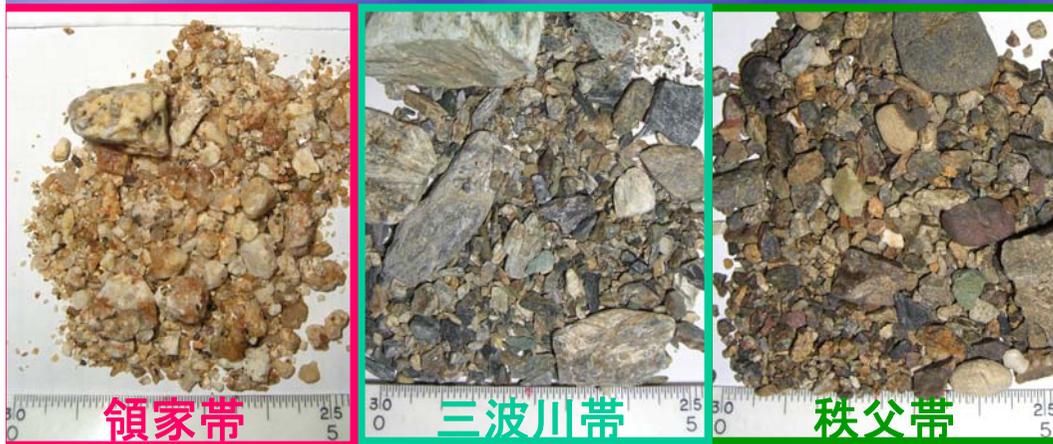
→粗粒分大~細粒分小

□三波川帯:

→粗粒分小~細粒分大

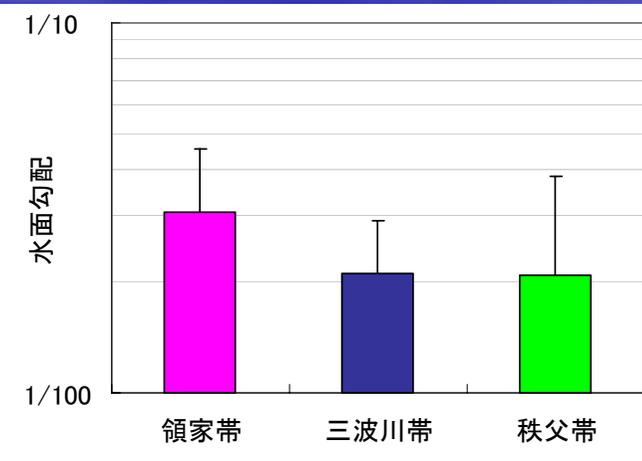
□秩父帯:

→粗粒分大~細粒分大



表層地質，流域地形と河床材料構成

- 流域の地質構造による地形特性の違い
 - * 外帯は傾斜が大きいですが，領家帯・三波川帯・秩父帯の河谷の発達と同程度
 - * 流路網の形状と地形の急峻度，平面形状による流域の類型化は地質構造と対応
- 上流域の地質構造による河道特性の違い
 - * 水面勾配(河道特性，右図)には大きな差が無いにもかかわらず，河床材料構成には大きな違いが見られる



スクリーニングを踏まえた目的・課題抽出

流域の地質構成と河床材料構成の関係について、
その生態的影響を含めて明らかにすること



具体的には・・・

地質構成の異なる流域をもつ河川における河床材料構成
の変化に着目して、**材料の粒度分布**、**破碎・磨耗特性**、**元
素組成**、**底生動物の群集組成**を把握する

櫛田川流域における調査項目の一覧(例)

項目	対象地			目的
	山地 (地質)	河道		
		支川	本川	
粒度分布	○	○	○	粒度の空間分布特性、流 下方向変化を把握
破碎・磨耗特性	○	/	/	流下(運搬)過程での材料 変態特性を記述
元素組成	○	○	○	地質による特徴を把握し、 支川からの流出比推定の ための基礎資料を得る

河床材料構成の流下方向変化

対象河川流域と調査設定

櫛田川流域(三重県松阪市)

幹川流路延長87km 流域面積436km²

地質区分

- 領家帯 本川で6地点, 6つの支川で各3地点
- 三波川帯 2007年11~12月に実施
- 秩父帯
- その他
- 中央構造線

★ 調査地点



領家帯

火成岩(花崗岩)類
(特徴)一般的に基盤として優秀.
マサ化という特殊な風化.

→単相地質流域: 仁柿川



三波川帯

変成岩(結晶片岩)類
(特徴)片理の存在. 層状剥離.

→単相地質流域: 相津川



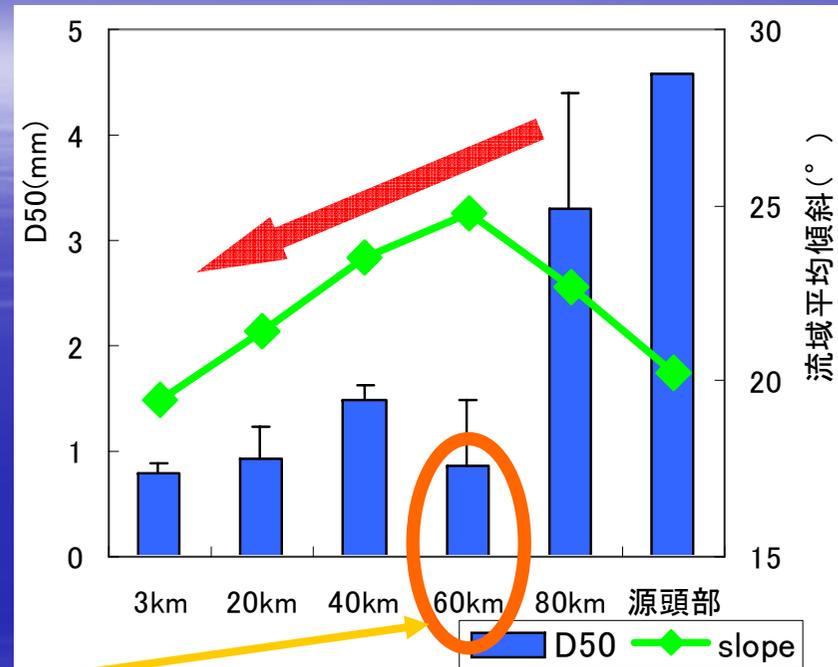
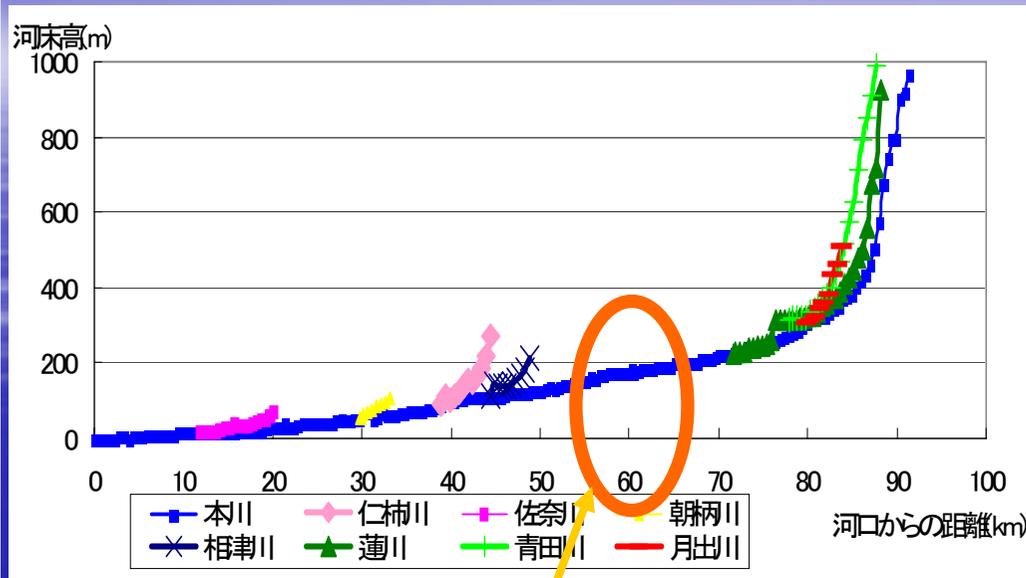
秩父帯

堆積岩類
(特徴)材質は様々. 年代によって
固結度が大きく異なる.

→単相地質流域: 蓮川

※各調査地点の瀬と淵で河床材料をサンプリング(N=4):
瀬で石(64~256mm)を4つ, 淵で礫分(河床表層2L:
20cm×20cm×5cm)を4セットずつ採取(田代ら, 2008).

本川における河床材料粒径の流下方向変化



流域平均傾斜が大きいいため、土砂供給が盛ん。

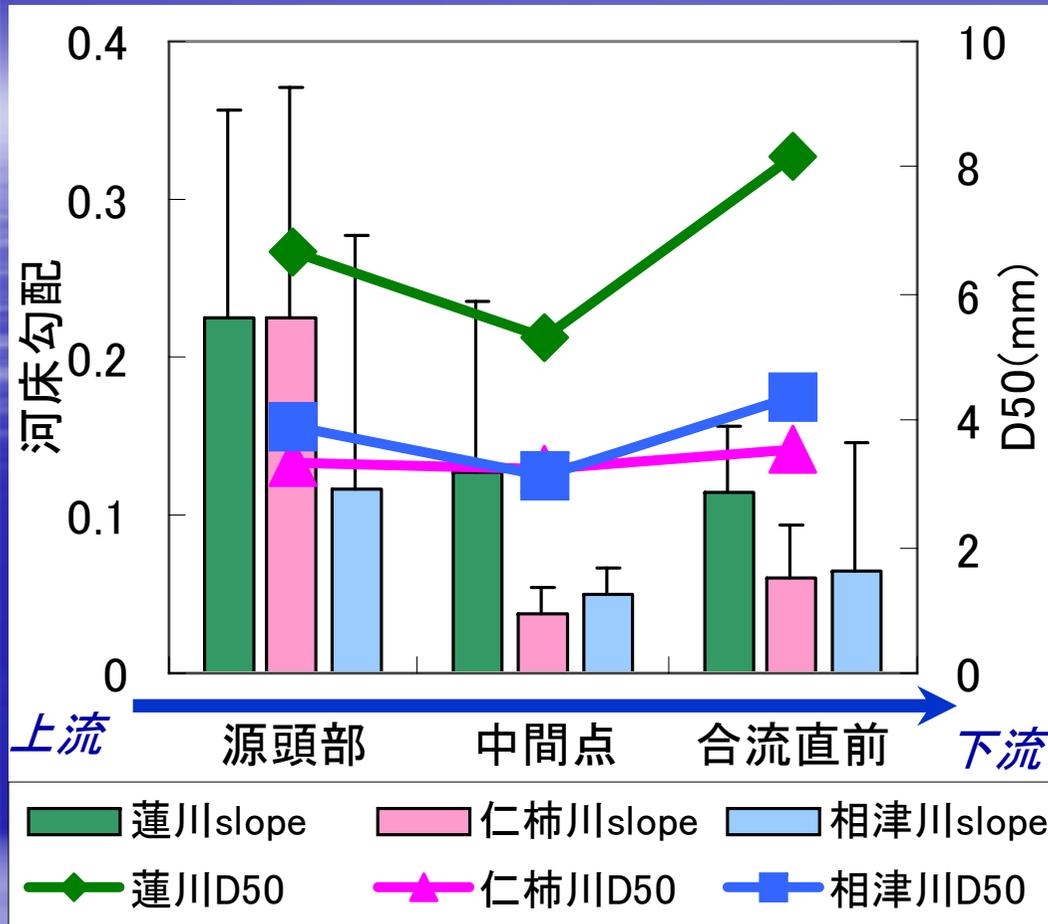
60km地点は上流に比べ、河床勾配が緩やか。



細粒分が流されずに貯められた！？

全体的に、流下によって粒径が減少

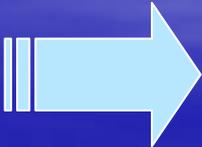
河道特性が粒径の流下方向変化に及ぼす影響



秩父帯と**領家帯**
 源頭部での河床勾配は同様
 ↓
 粒径には差がある



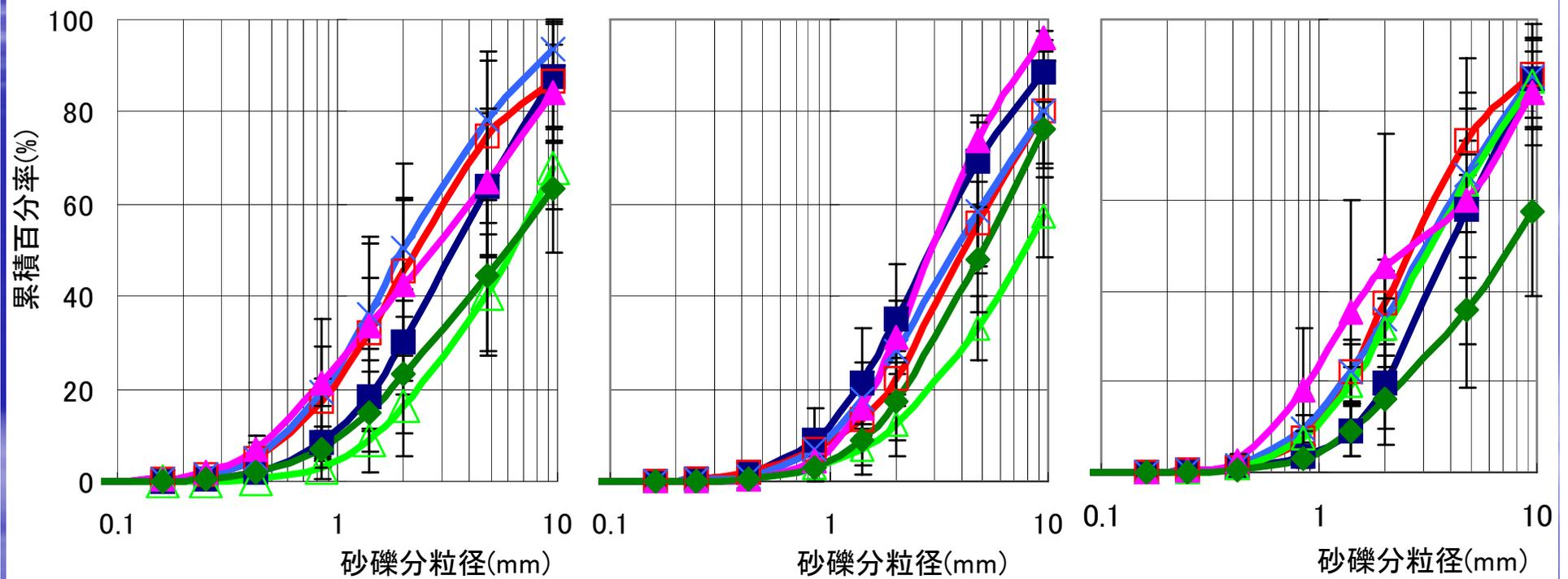
三波川帯と**領家帯**
 粒径は流下によらずほぼ同じ
 ↓
 源頭部で河床勾配に差がある



河床勾配と中央粒径には関連性が無く、河床材料特性は、河道内地形に依存しない

河床材料構成の粒度分布(支川調査地点)

上流 ← 上流 中流 下流 → 下流



- 相津川
- 月出川
- △ 青田川
- × 朝柄川
- ▲ 仁柿川
- ◆ 蓮川

領家帯・・・細粒分が多い

秩父帯・・・粗粒分が多い

河床材料の元素組成分析

地質による元素組成の特徴を把握し、支川からの流出比推定のための基礎資料を得るため、蛍光X線分析(XRF)を実施する。分析した試料中の含有元素を質量割合(weight%)で検出可能。

分析試料・・・粒度分析の結果から得られた各試料中の最細粒分(粒径0.075～0.85mm)を使用



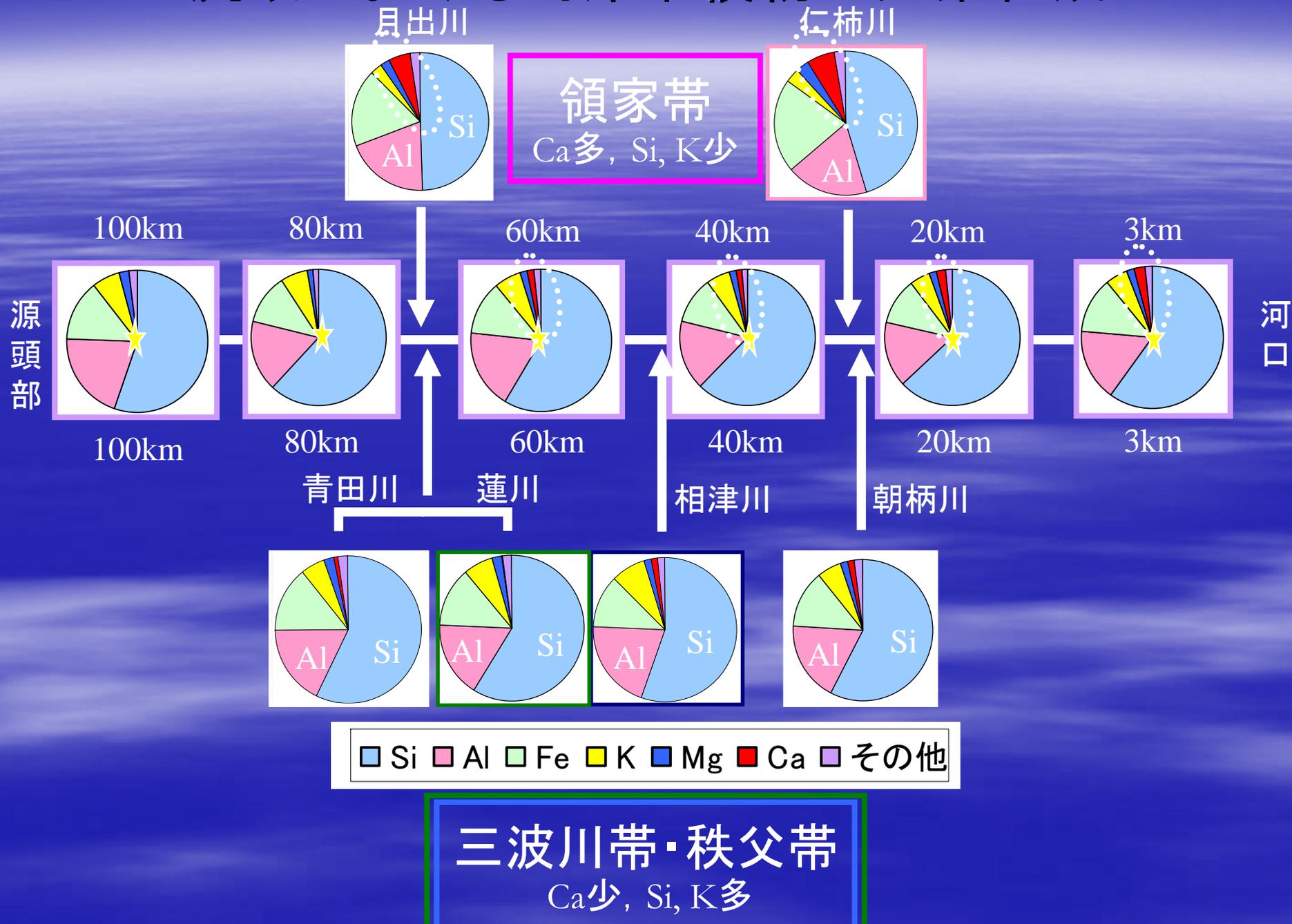
分析装置

分析試料



(直径2.5cm, 高さ2.2cm)

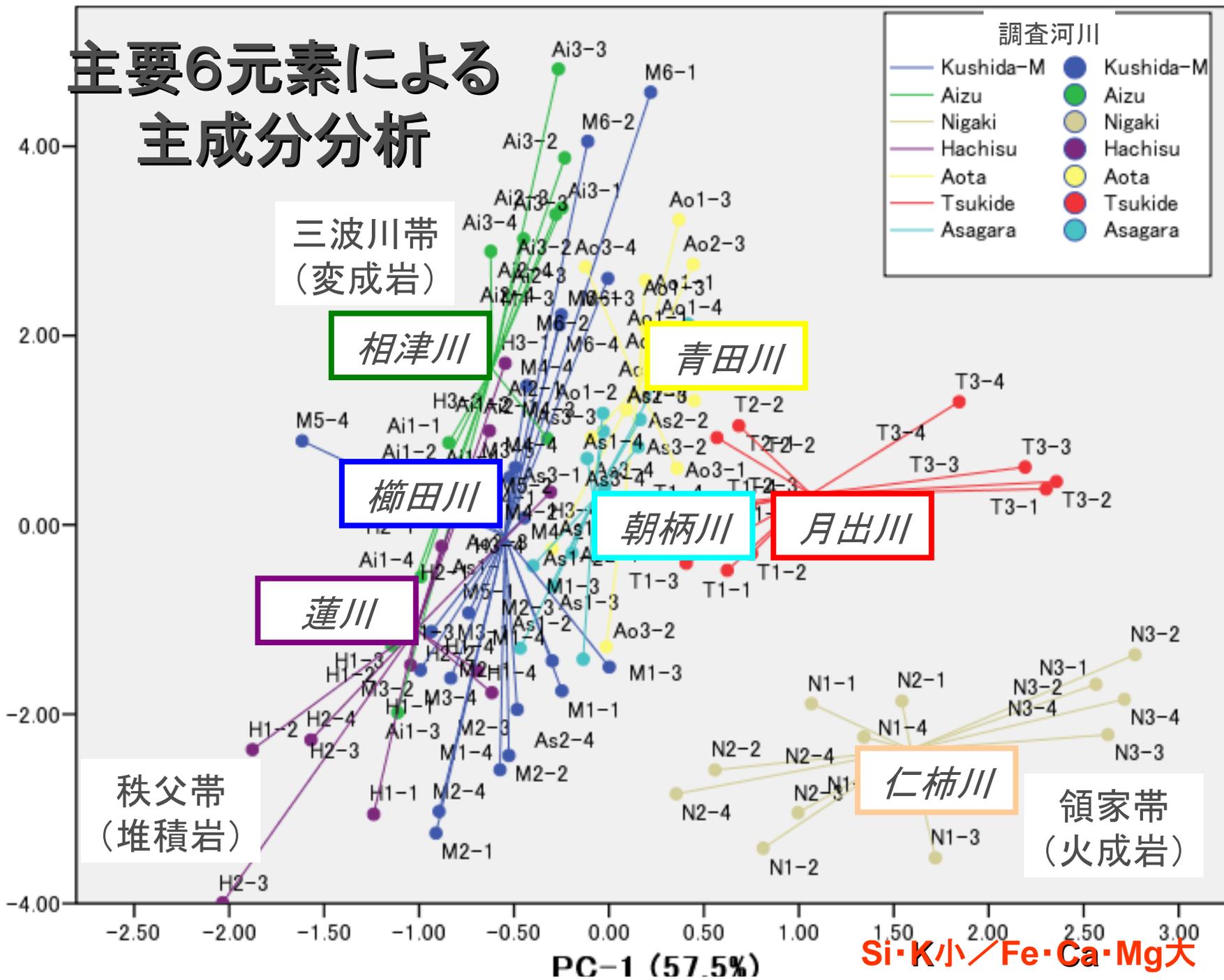
流域における河床堆積物の元素組成



Al大

主要6元素による 主成分分析

PC-2 (23.6%)

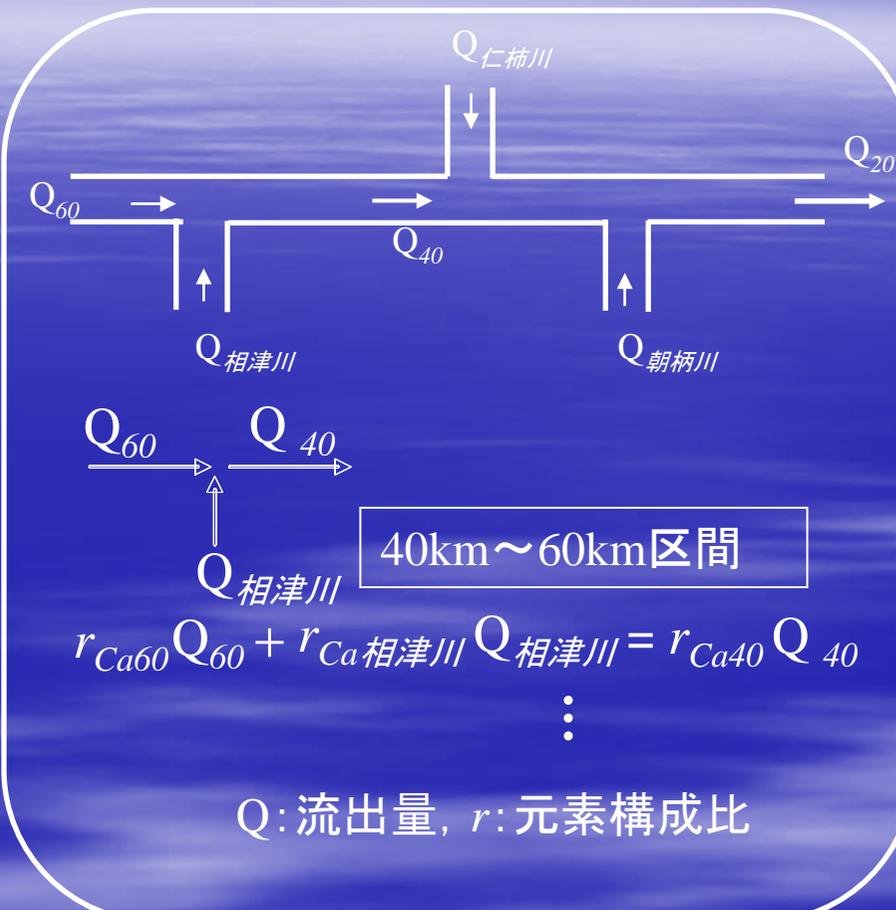
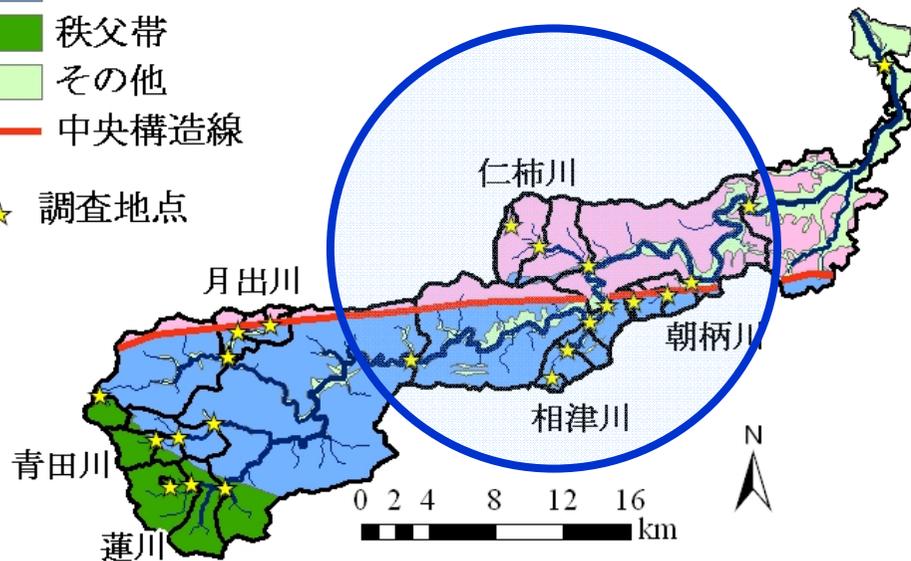


元素構成比を用いた砂礫流出比推定

地質区分

- 領家帯
- 三波川帯
- 秩父帯
- その他
- 中央構造線

★ 調査地点



$$r_{Ca60} Q_{60} + r_{Ca相津川} Q_{相津川} = r_{Ca40} Q_{40}$$

$$\vdots$$

Q: 流出量, r: 元素構成比

目的: 20km地点の砂礫流出量に対する

本川, 支川の流出割合を求める.

仮定: 完全混合であり, 合流点における

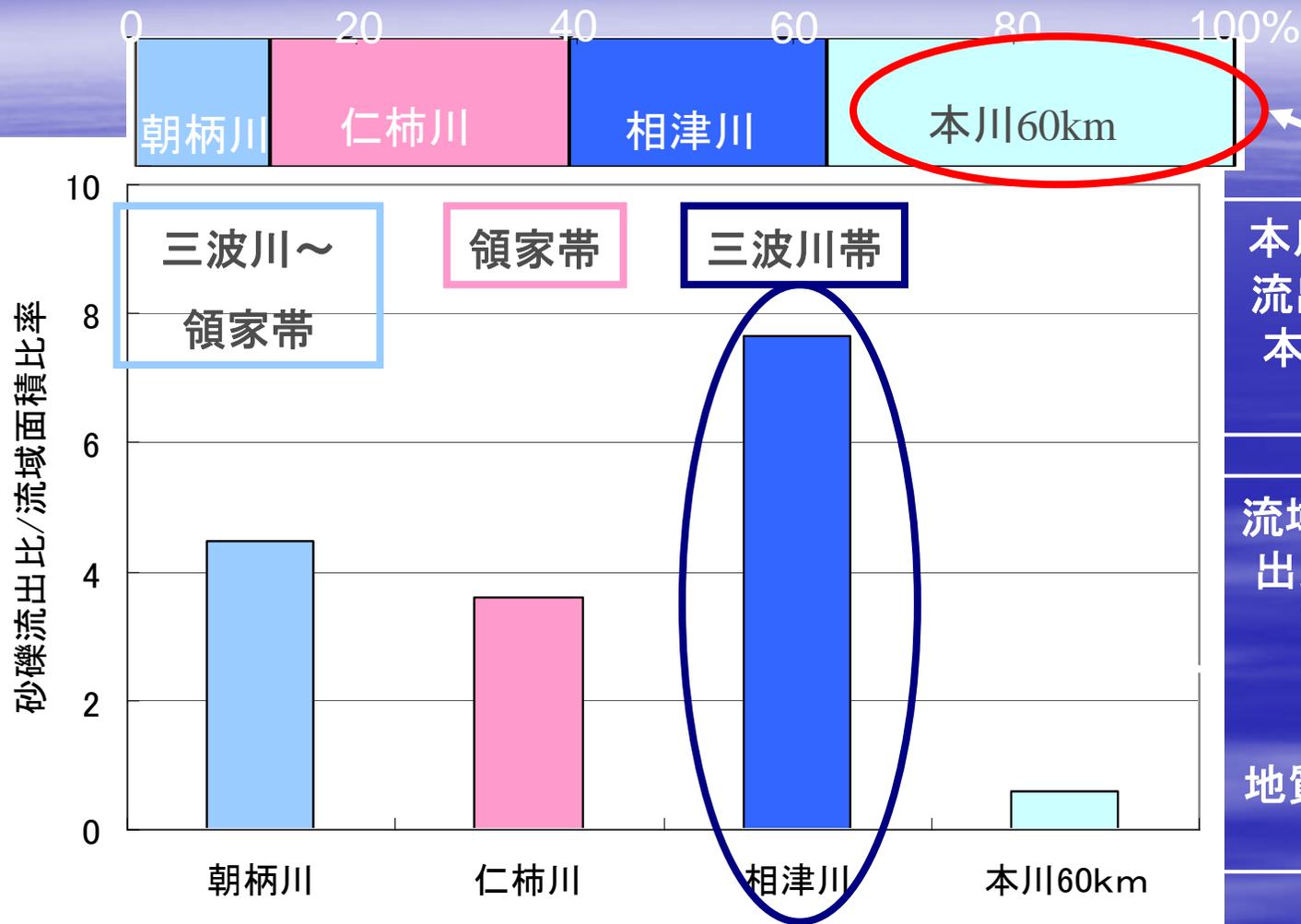
流入土砂と流出土砂は等しい.

使用元素: Si, Al, Fe, K, Ca (93~97%)

(地質に共通な主要構成元素)

上記のモデルは, 礫種構成による砂礫流出比推定(例えば, 砂田ら, 2003)を参考にしたものである.

本川20km地点における砂礫流出比とその標準化



本川20km地点での砂礫流出に対する百分率で、本川からの土砂供給が多いことがわかる。

流域面積に対する砂礫流出比は、相津川(三波川帯)で大きくなった。

↓
地質による比流出量の違いが確認される。

相津川の流出比が大きくなったのは、生産時の粒度が細かいことに加え、流下による破碎磨耗により細粒化するため、生産された土砂が運ばれやすい三波川帯(変成岩)の特徴を表している！？

結論と課題

- ～ 櫛田川は3つの地質の複合体になっている ～
 - ★ 粒度分布～領家帯, 三波川帯で細粒分, 秩父帯で粗粒分が多い
 - ★ 砂礫の堆積量～領家帯では流下に伴う増加が著しい

 - ★ 元素分析～領家帯でCaが多くK, Siが少ない
 - ★ 元素構成比を用いた砂礫流出比推定
 - ～三波川帯(相津川)で比生産土砂が大きい
- ※ 分析試料のサイズ(今回は粒径0.075～0.85mmを対象)
- ※ 試料採取点(～滞留時間)による影響
-
- 生産される土砂の粒度が細かく, 貯留されることなく流出する
 - ⇒ 流下による破碎磨耗によって細粒分が派生! ?

流域の表層地質の生態的影響

対象河川流域と調査設定

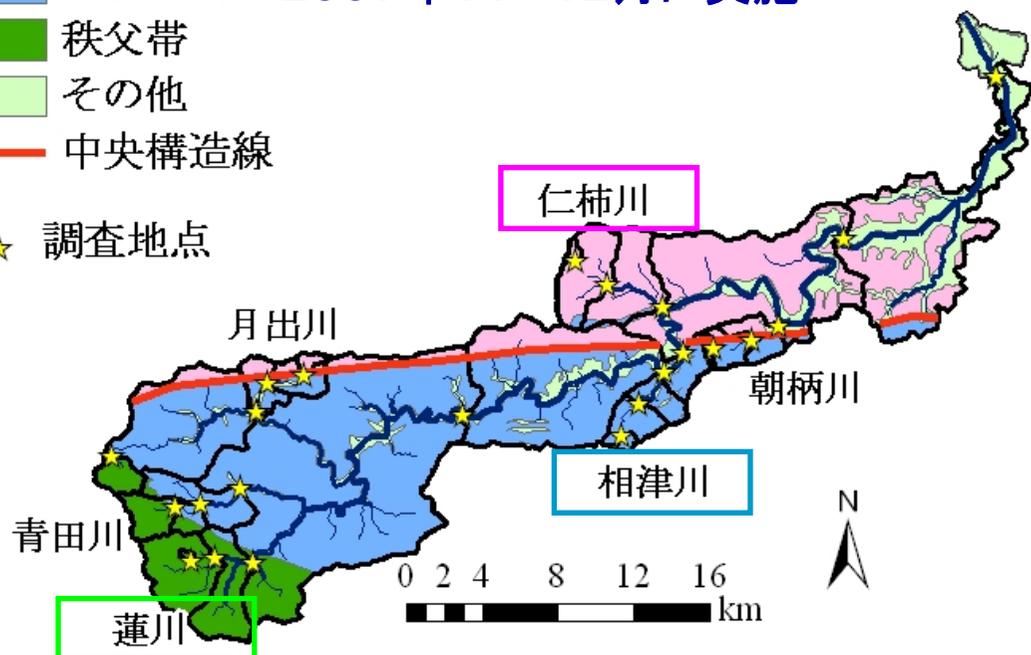
櫛田川流域(三重県松阪市)

幹川流路延長87km 流域面積436km²

地質区分

- 領家帯 本川で6地点, 6つの支川で各3地点
- 三波川帯 2007年11~12月に実施
- 秩父帯
- その他
- 中央構造線

★ 調査地点



領家帯

火成岩(花崗岩)類
(特徴)一般的に基盤として優秀.
マサ化という特殊な風化.

→単相地質流域: 仁柿川



三波川帯

変成岩(結晶片岩)類
(特徴)片理の存在. 層状剥離.

→単相地質流域: 相津川



秩父帯

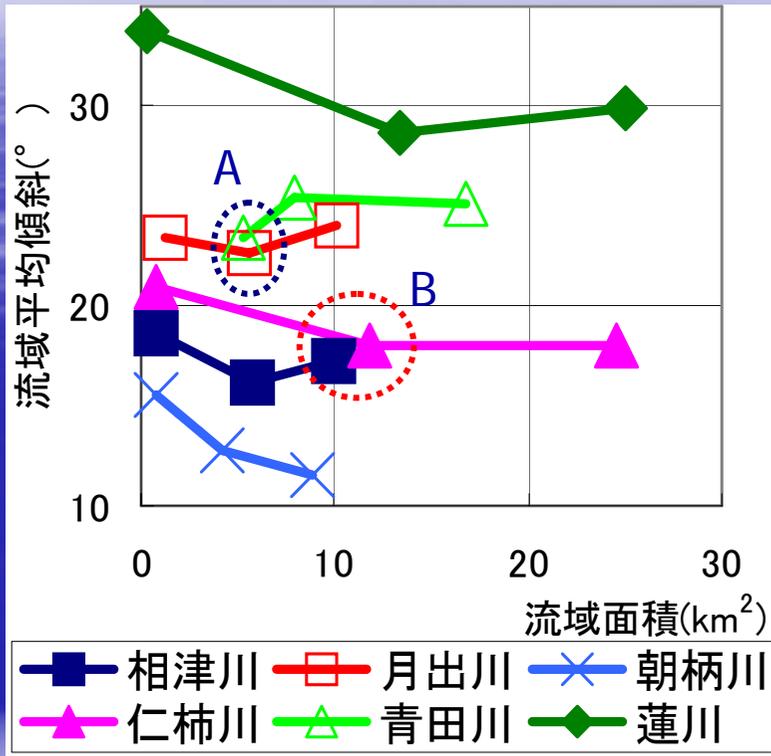
堆積岩類
(特徴)材質は様々. 年代によって
固結度が大きく異なる.

→単相地質流域: 蓮川

※各調査地点の瀬と淵で河床材料をサンプリング(N=4):
瀬で石(64~256mm)を4つ, 淵で礫分(河床表層2L:
20cm×20cm×5cm)を4セットずつ採取(田代ら, 2008).

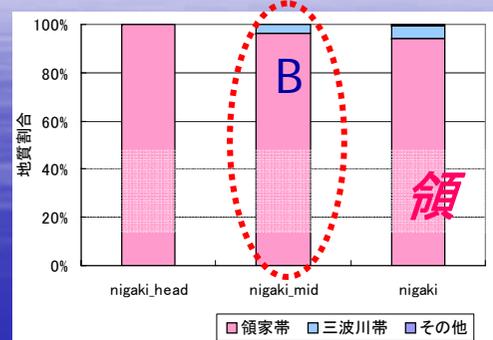
調査地点の地形・地質特性

流域面積 × 流域平均傾斜

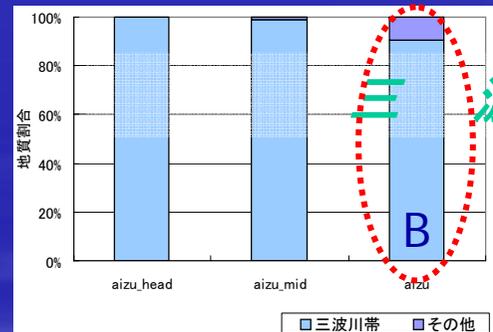


- A 領家・三波川(月出川) × 秩父(青田川)
- B 領家(仁柿川) × 三波川(相津川)

単相地質流域



仁柿川

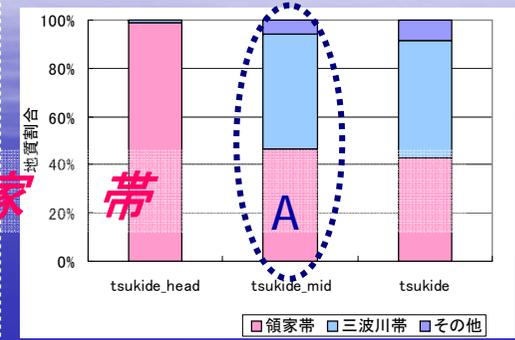


相津川

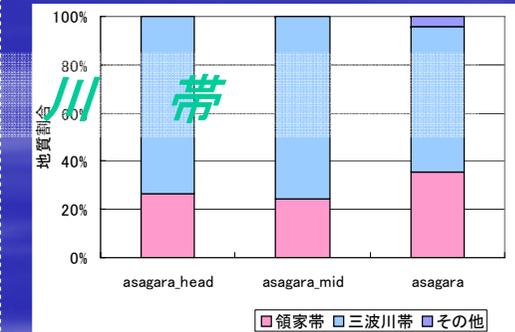


蓮川

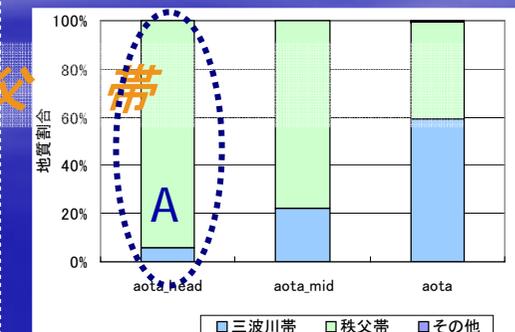
複相地質からなる流域



月出川



朝柄川



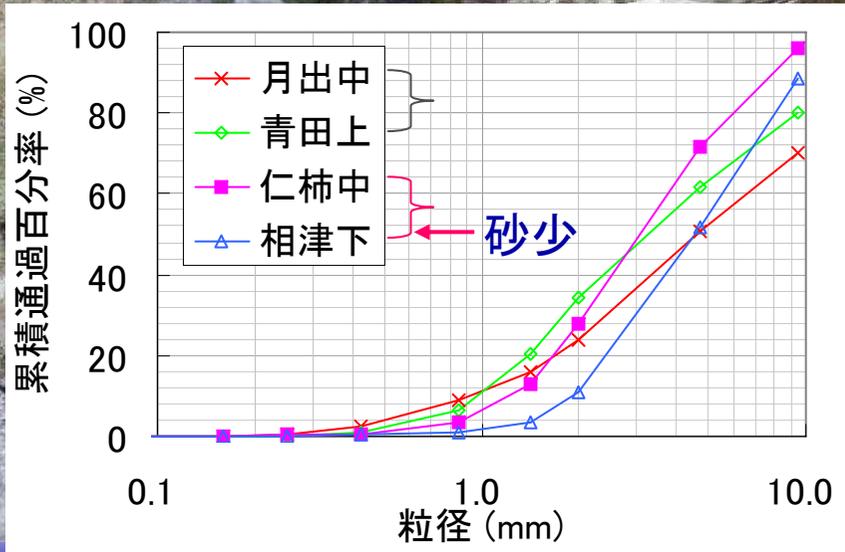
青田川

類似流域地形2地点の河道特性の対比

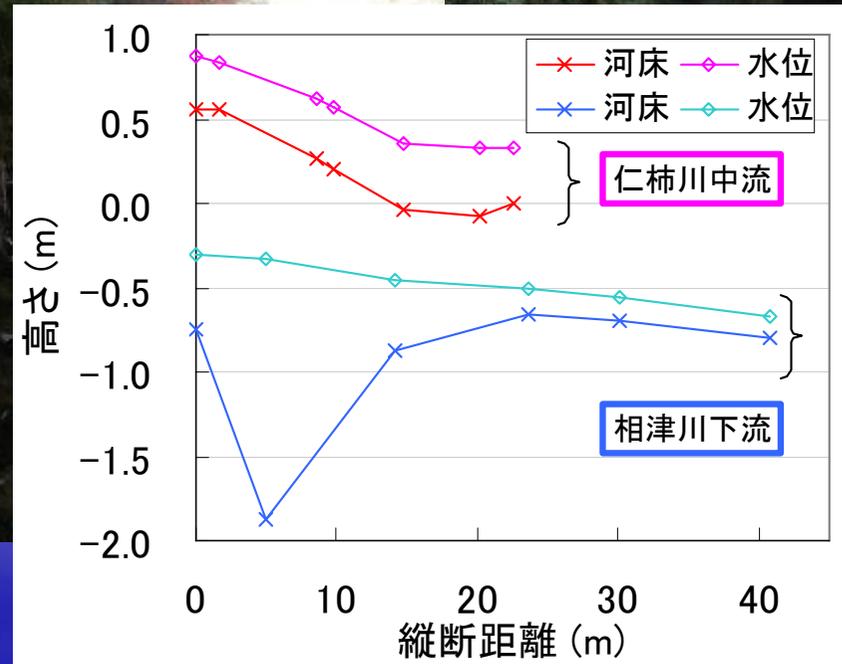
A: 月出川中流 × 青田川上流 B: 仁柿川中流 × 相津川下流

領家・三波川 × 秩父

領家 × 三波川



いずれも1~2mmの砂の量が異なる



※ ただし、ここでの粒度分布は(底生動物分析と対応する)各1地点の情報比較

優占した底生動物

淵の砂礫中

オニヒメタニガワカゲロウ



<http://www.eonet.ne.jp/~suisaikontyu/xonihimetanigawa.htm>

フタスジモンカゲロウ



<http://www.eonet.ne.jp/~suisaikontyu/xonihimetanigawa.htm>

グマガトビケラ



<http://www.city.kaizuka.lg.jp/tkrweb/Browse/material/image/grotup/7/gumagatobikerary100504.jpg>

ヒメドロムシ亜科



<http://sanajiko.exblog.jp/13/>
<http://blog.zaq.ne.jp/insect/archives/200912/1>

瀬の大礫付着

フタバコカゲロウ



<http://www.cgr.mlit.go.jp/yasaka/ikimono/sakana/futabako/futabako.htm>

アカマダラカゲロウ



<http://www.eonet.ne.jp/~suisaikontyu/akamadarakagerou.htm>

ウルマーシマトビケラ



http://blogimg.goo.ne.jp/user_image/Cf/3e/a8779fc637a0aecc2bc67f1e61cfd6e.jpg

ウスバガガンボ属



http://www.fines.pref.fukuoka.jp/news/news55/series_insect.htm

結果と考察：類似流域地形2地点の対比

A: 月出川中流 × 青田川上流 B: 仁柿川中流 × 相津川下流

砂礫中

領家・三波川 × 秩父 (砂多) 領家 (砂多) × 三波川 (砂小)



➤ 流域を構成する表層地質が多様であるほど、多種多様な生物が棲める！？

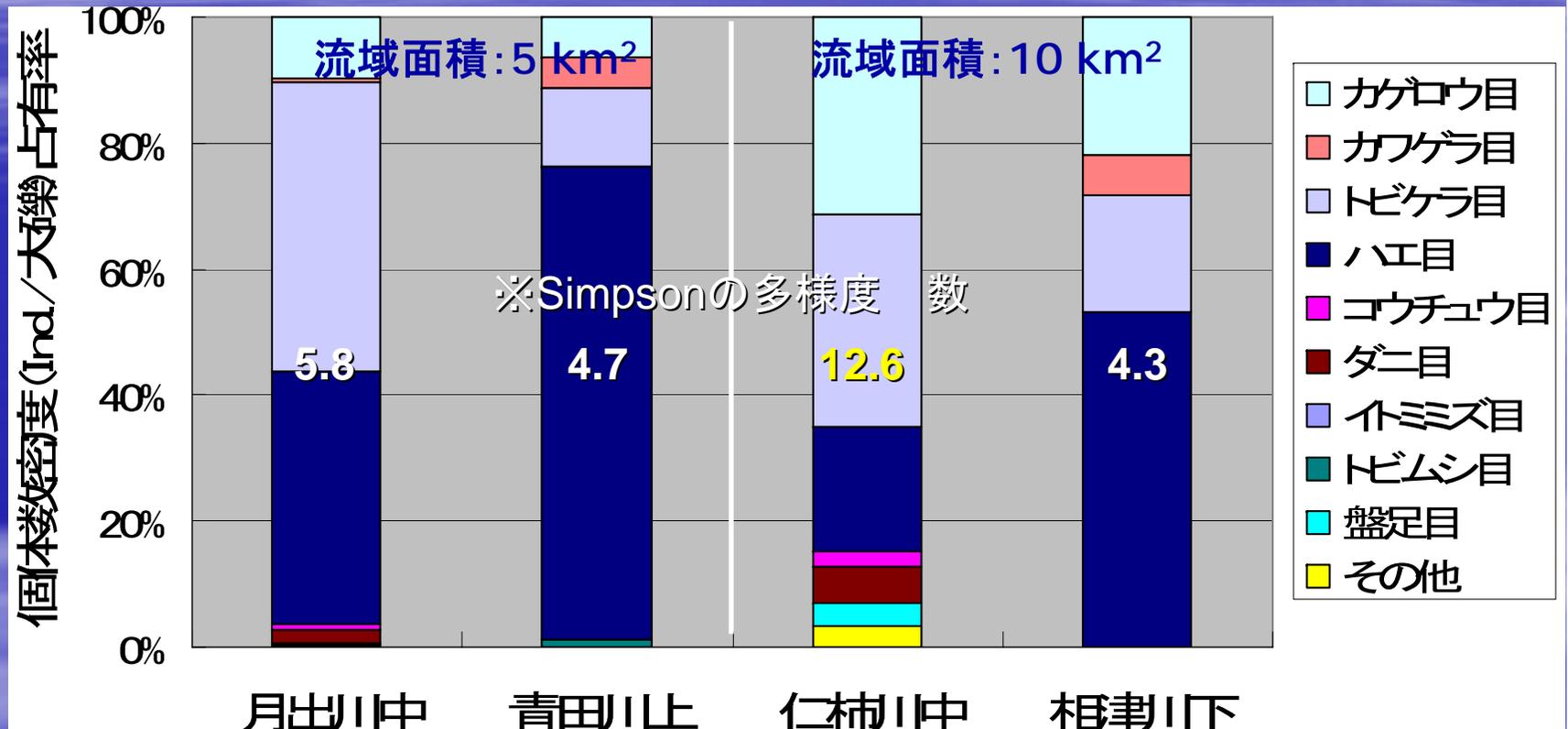
➤ 流れの緩やかな景観においては砂分(1~2mm)が多いほど、多様度が高くなる！？

結果と考察：類似流域地形2地点の対比

A: 月出川中流 × 青田川上流 B: 仁柿川中流 × 相津川下流

大礫付着

領家・三波川 × 秩父 (砂多) 領家 (砂多) × 三波川 (砂小)



- 流域を構成する表層地質が多様であるほど、多種多様な生物が棲める！？
- 流れの い瀬においても淵の砂分(1~2mm)が多いほど、多様度が高くなる！？

分析①: 砂礫中の底生動物

	第1	第2	第3	第4	共通性	
	優占種(個体 数 ース)	地質, 崩壊 性, 粗い材料	河川水の 存 物質	細かな 材の 量, 生物量		
流域特性	領家帯	-0.08	-0.07	0.18	0.87	0.91
	三波川帯	0.13	-0.79	-0.20	-0.41	0.86
	秩父帯	-0.07	0.80	0.03	-0.37	0.87
	流域面積	-0.03	-0.08	-0.10	-0.18	0.82
	流域平均傾斜	0.12	0.83	0.00	-0.29	0.81
河川特性	面積高度曲線の比積分値	-0.23	-0.18	0.06	0.34	0.35
	河川水の 率	-0.11	0.38	-0.64	0.19	0.63
	細粒分の中央粒径d50	0.10	0.58	-0.34	-0.20	0.66
群集特性	個体数合計	0.90	0.28	0.02	-0.22	0.97
	重量合計	0.01	-0.03	0.02	0.62	0.41
	種数	0.92	0.03	-0.03	0.08	0.89
	Simpsonの多様度 数	-0.04	-0.29	-0.31	-0.13	0.71
優占種 (出現頻度 50%)	オニヒメタニガワカゲロウ	0.72	-0.02	-0.04	-0.29	0.86
	フタスジモンカゲロウ	-0.22	0.15	0.82	0.18	0.78
	イロカワカゲロウ	0.02	-0.24	-0.13	-0.04	0.54
	グマガトビケラ	-0.04	-0.14	-0.12	0.45	0.28
	トゲ ガガガンボ属	0.02	0.07	0.91	-0.01	0.84
	モン スリカ亜科	0.43	-0.06	-0.05	-0.32	0.55
	ヒメドロムシ亜科	0.79	-0.20	-0.06	0.08	0.67
	率(%)	3.13	2.79	2.25	2.24	10.42
	16.48	14.69	11.85	11.82	54.84	

※重み無し最小 , バリマックス(直 回)による

分析②: 大礫に付着する底生動物

	第1 地質, 崩壊性	第2 流域の未成 , 生物量, 優占種	第3 河川	共通性	
流域特性	領家帯	0.43	-0.10	-0.13	0.97
	三波川帯	0.56	0.03	0.25	0.79
	秩父帯	-0.84	0.05	-0.14	0.80
	流域面積	-0.04	0.10	0.86	0.86
	流域平均傾斜	-0.79	-0.34	0.10	0.83
	面積高度曲線の比積分値	0.14	0.48	-0.19	0.42
河川特性	河川水の率	-0.02	-0.12	0.06	0.43
	大礫の扁平度	-0.15	0.08	0.14	0.44
	大礫の長短度	-0.02	0.08	0.12	0.59
群集特性	個体数合計	0.30	0.47	0.52	0.97
	重量合計	0.00	0.89	0.39	0.99
	種数	0.25	0.33	0.31	0.96
	Simpsonの多様度数	0.41	0.33	0.03	0.70
	ガダニ属	0.27	0.02	0.51	0.77
	フタバコカゲロウ	-0.17	0.06	0.84	0.91
	シロハラコカゲロウ	0.15	-0.02	-0.07	0.70
	ヒラタカゲロウ属	0.01	0.05	-0.01	0.38
	アカマダラカゲロウ	0.55	0.60	0.02	0.86
	ウルマーシマトビケラ	0.41	0.67	-0.02	0.85
ヒゲガカワトビケラ	-0.25	0.64	-0.05	0.75	
マルトビケラ	-0.12	-0.09	-0.10	0.78	
ウスバガガンボ属	0.11	-0.08	0.64	0.63	
ンマクエリスリカ属	0.19	0.03	0.08	0.62	
エリスリカ属	0.25	-0.10	0.13	0.61	
ガスリカ属	0.60	0.02	-0.09	0.45	
	3.33	2.88	2.86	9.07	
率(%)	13.31	11.52	11.46	36.29	

優占種
(出現頻度 50%)

結論と課題

- 底生動物組成・・・細粒分の有無がいくつかの種の生息 要 であって、複相的な地質区分からなる流域の河川で多様度が高い可能性が された。
- 生息場所の 析・・・流域, 河川, 底生動物に関する 標を用いた 分析により, 瀬, 淵それぞれにおける流域特性に応じた 標種が抽出された。



- 分析を め, 統計手 などにより, 「仮 」の有意性を検証
- 微生物場所特性による影響をどのように して 論するか

河床材料の磨耗・破碎特性

櫛田川流域における生産土砂の破碎・磨耗特性 試

目的・・・**流下(運搬)過程での材料変態特性を把握**

試料・・・**領家帯**(仁柿川)
三波川帯(相津川) } の **単一地質流域**
秩父帯(蓮川)

の **源頭部(山地)** で採取した河床材料

(瀬で採取した **石(64-256mm)** と淵で採取した **砂礫(<64mm)**)



方・・・上記試料をミキサーに入れて混練，回数の経過時間に応じた石の質量変化. 試験前の粒度分布を計測した

破碎・磨耗試 (三波川帯・相津川の例)

試 前砂れき分



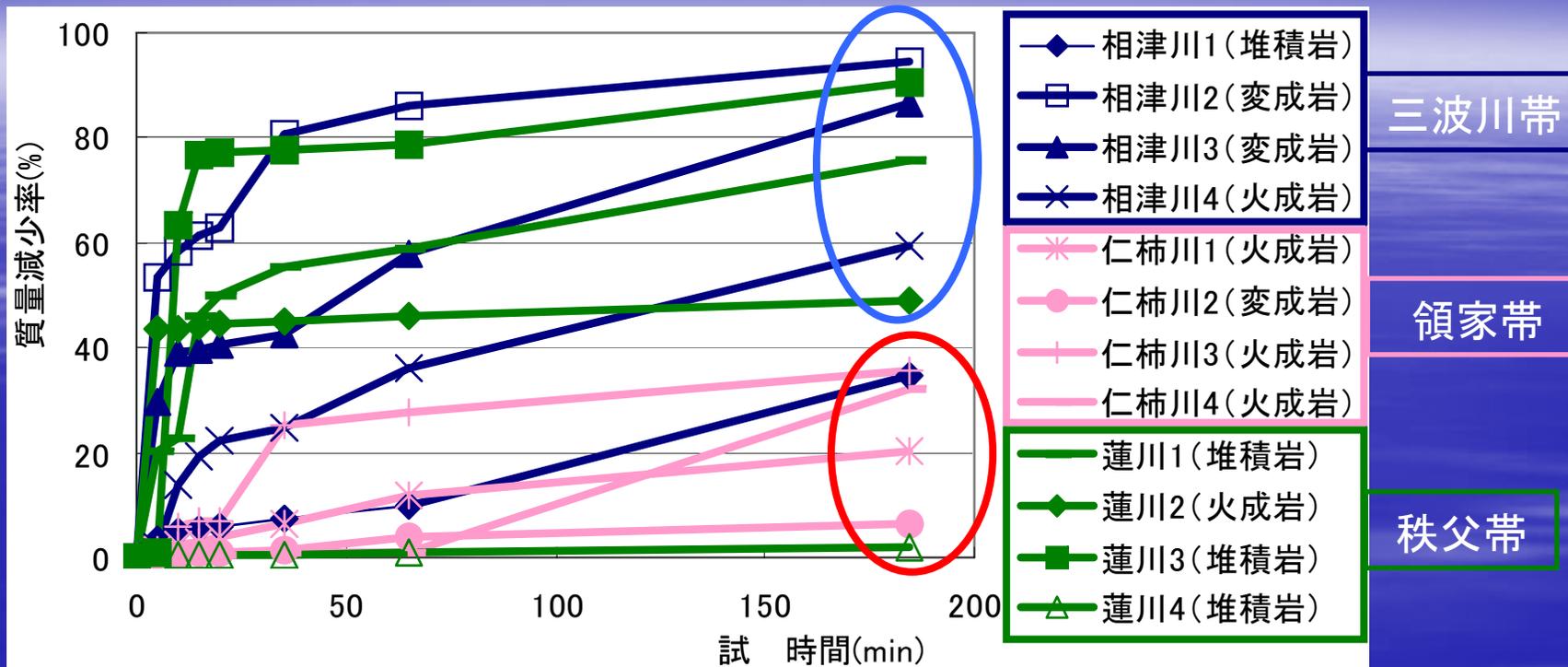
試 前石



試



破碎・磨耗試 による石の質量減少



- ・ 三波川帯, 秩父帯の石は, 50% 上の質量減少
- ・ 領家帯は, 質量減少が30%程度

粒度分析から

- ・ 領家帯, 秩父帯は細砂と礫と2 化
- ・ 三波川帯は, 様々な粒径の土砂を生産

櫛田川流域における生産土砂の破碎・磨耗特性

破碎・磨耗過程による粒度変化の 実

磨耗・破碎試

単相地質の各対象河川の河床材料で2回実施して観察



試料

対象河川の瀬, 淵で採取した河床材料(各4サンプル)
(瀬の石2個 淵の礫分2サンプルを混合してセット)

磨耗・破碎

コンクリートミサーで磨耗・破碎を 現(計180分間)

るいわけ

0分, 10分, 30分, 60分, 120分, 180分に実施

るい目盛(mm): 0.075, 0.16, 0.250, 0.425, 0.85, 1.41, 2, 4.75, 9.5, 19, 75

試 結果の 析

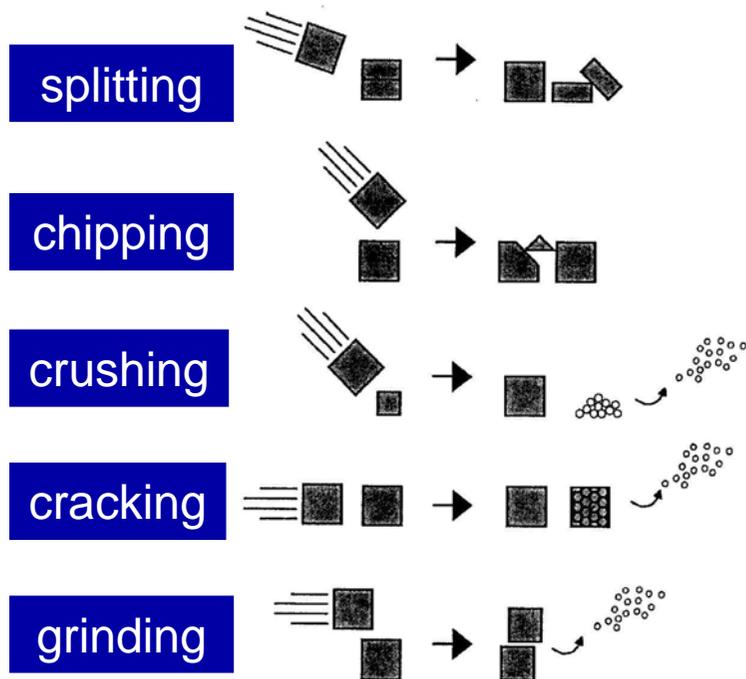
粒度構成の時間的変化をサイズ集 ごとに定量的に

河床粒度構成の推定

試 結果の 析に基 き, 磨耗・破碎による粒度構成
変化推定モデルを構 , 流下に伴う変化を試算

磨耗・破砕試 : 材料の磨耗・破砕プロセス

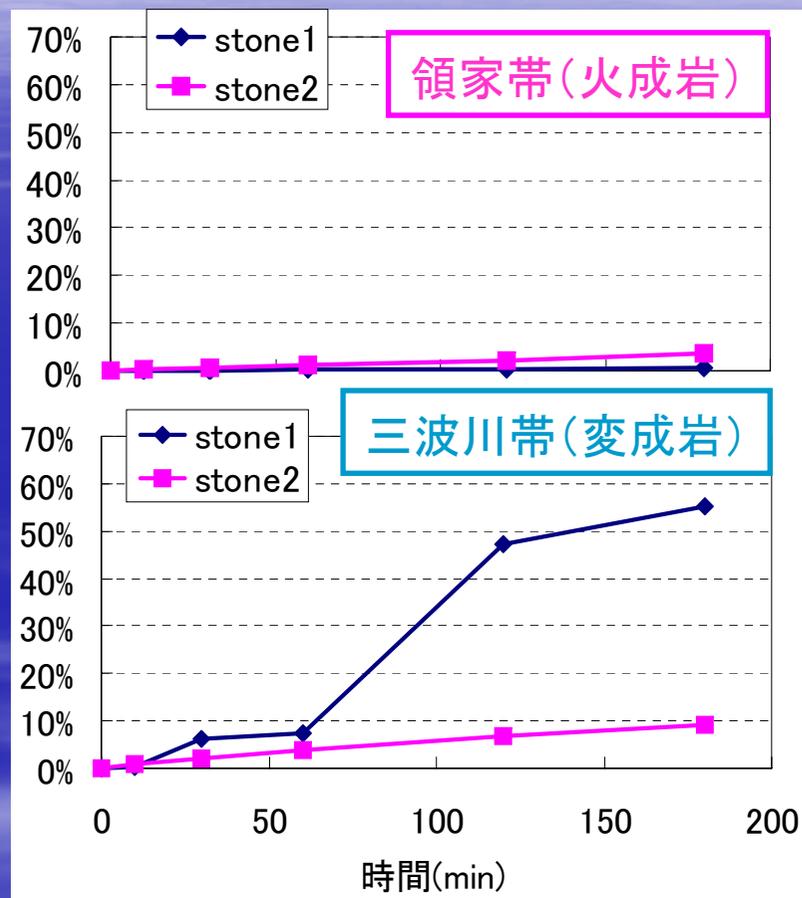
Kuenen (1956)による石(pebble)を対象とした磨耗・破砕区分(用はFrings, 2008)



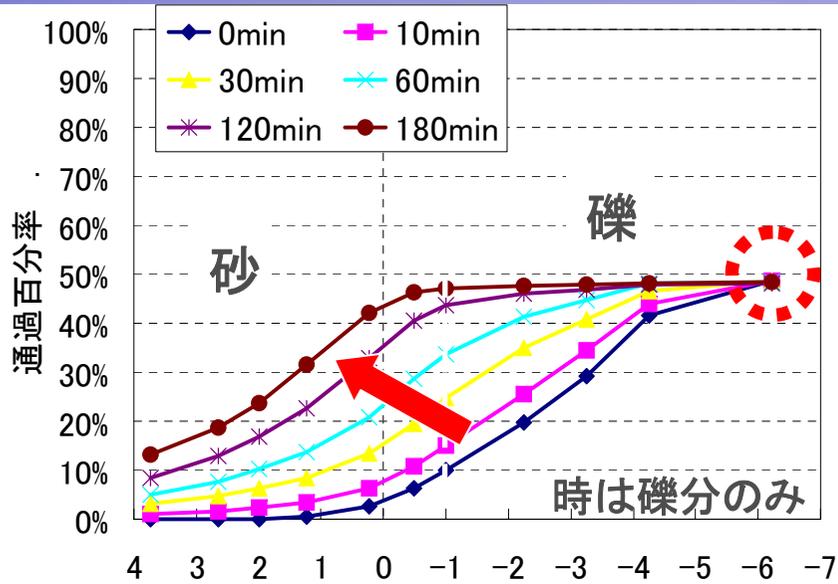
石の質量変化に関する試 結果から...

splitting, chipping : 領家帯, 秩父帯では生じにくく, 三波川帯は高頻度に発生
crushing, cracking : 本試 では観察されず
grinding : 質量減少率は少なく, 粒度構成への影響小

磨耗・破砕試 における石の質量減少率



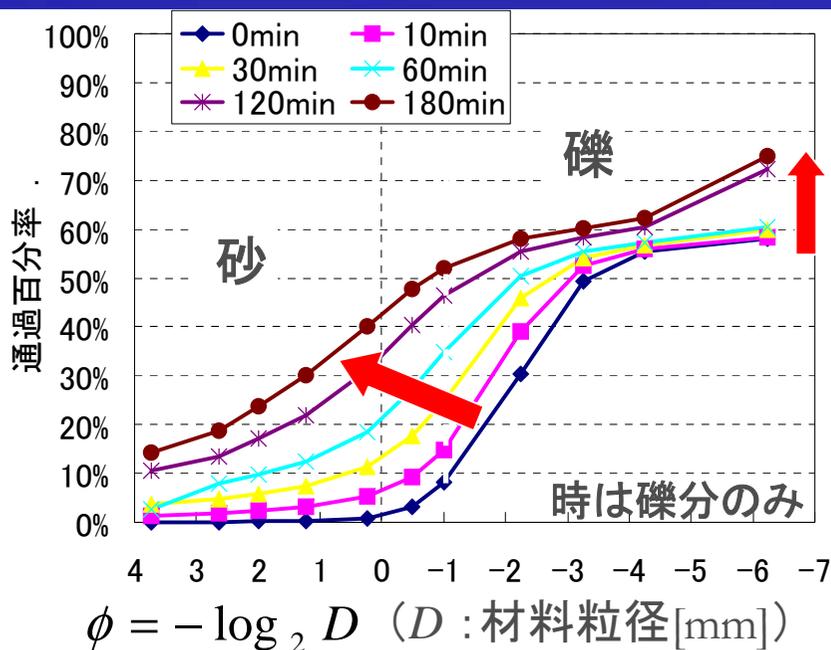
磨耗・破砕試 : 粒度構成の時間的变化



E . A splitting, chippingが未発生

- 1) 最大値はほとんど変化しない
⇒ 石でgrindingのみしか発生しておらず、
粒度分布への影響は微小.
- 2) 礫 小は細かい粒径へ (勾配不変)

領家帯(火成岩)



E . B: splitting, 大 なchippingが発生

- 1) 最大値は大きく増加
⇒ chippingによる増加と
splittingによるス ップ的な増加が
起きて大きく変化.
- 2) 礫 小は細かい粒径へ (勾配緩やかに)

三波川帯(変成岩)

試 結果の 析: サイズ 集 への区分

対数 分布集 への分離 (口・目 , 1974)

実河川の河床材料の粒径加積曲線は2~4つの対数 分布集 が合成されたものとして 明できる.

石集	礫集	粗砂集	細砂集
最も粗い	75mm~2mm ($\phi = 1 \sim 4$)	1mm前 ($\phi = 0$ 前)	最も細かい ($\phi = 1$ 小)
分布集 として わかない	分布集 として う		
構成比変化のみに着目	時において 集 特性を 定	時において集 特性を 定	

数 表

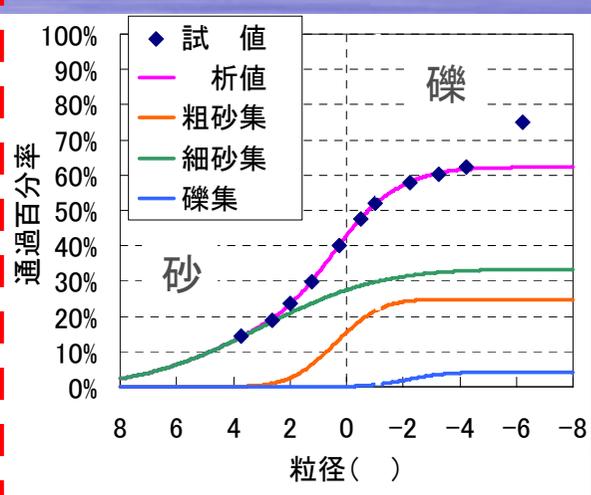
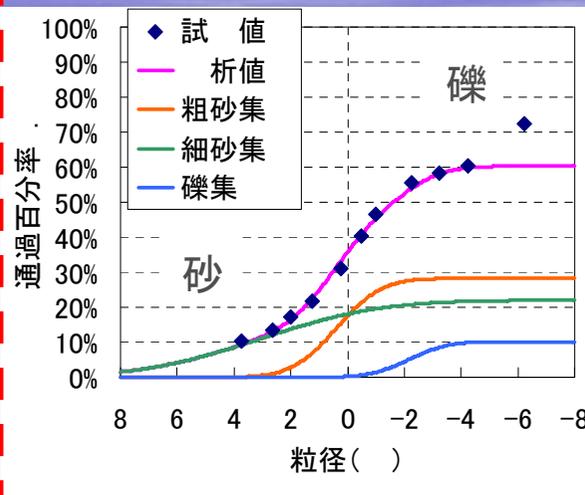
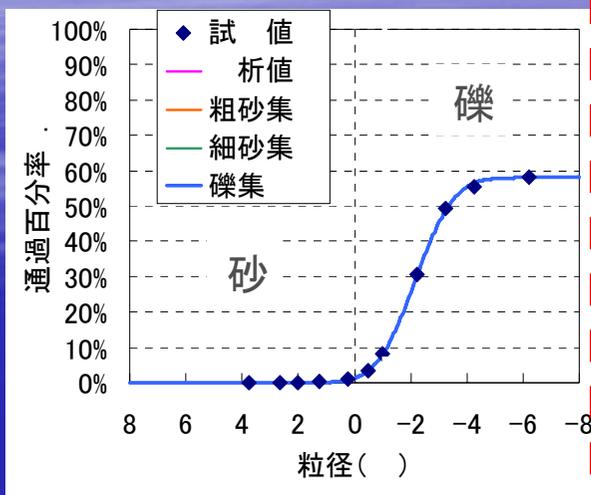
$$P(\Phi \leq \phi) = 1 - \sum_{i=1}^3 \alpha_i \int_{\infty}^{\phi} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left(-\frac{(\phi - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) d\phi$$

i : 集 (g : 礫集 , cs : 粗砂集 , fs : 細砂集), α_i : 集 の構成比, μ_i : 平均値, σ_i : 標準 差

試 結果の 析: 粒度の時間的変化の 析

三波川帯(変成岩)

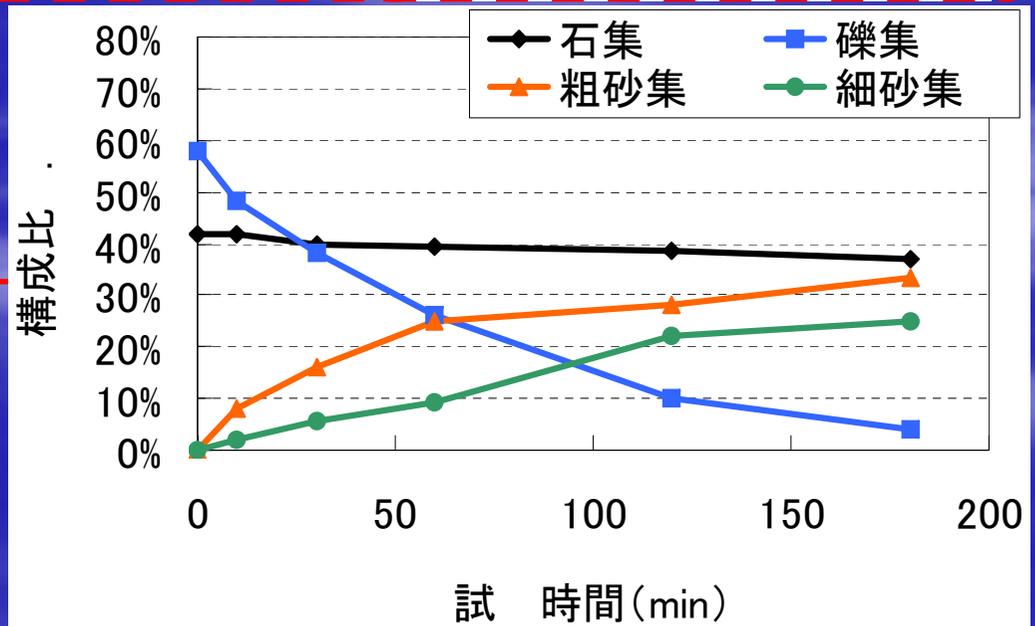
※splittingによる最大値変化は、外して 析



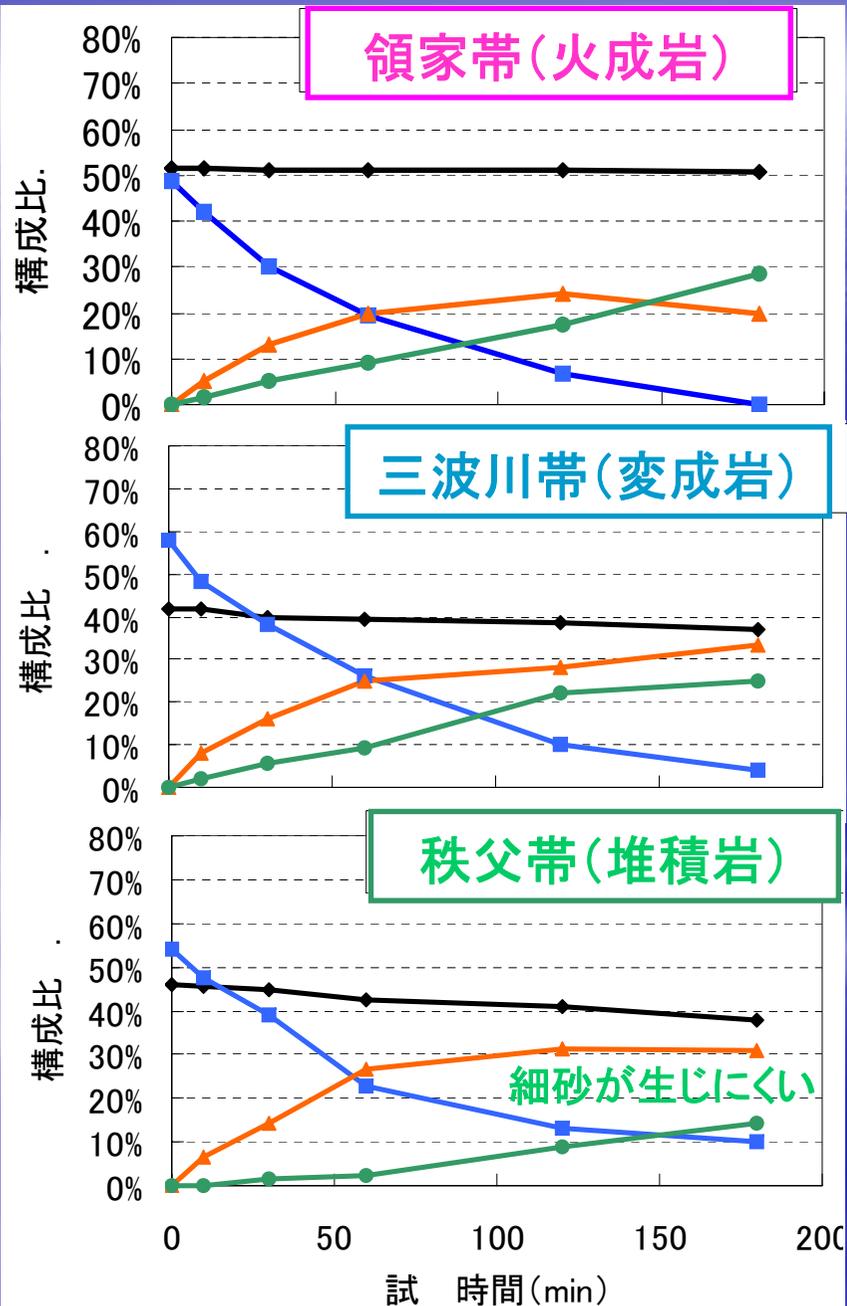
手

1. 状態で礫集 の特性を 定
2. 時に粗砂・細砂集 の特性を 定
3. 1. 2. を基に構成比の時間変化を 析

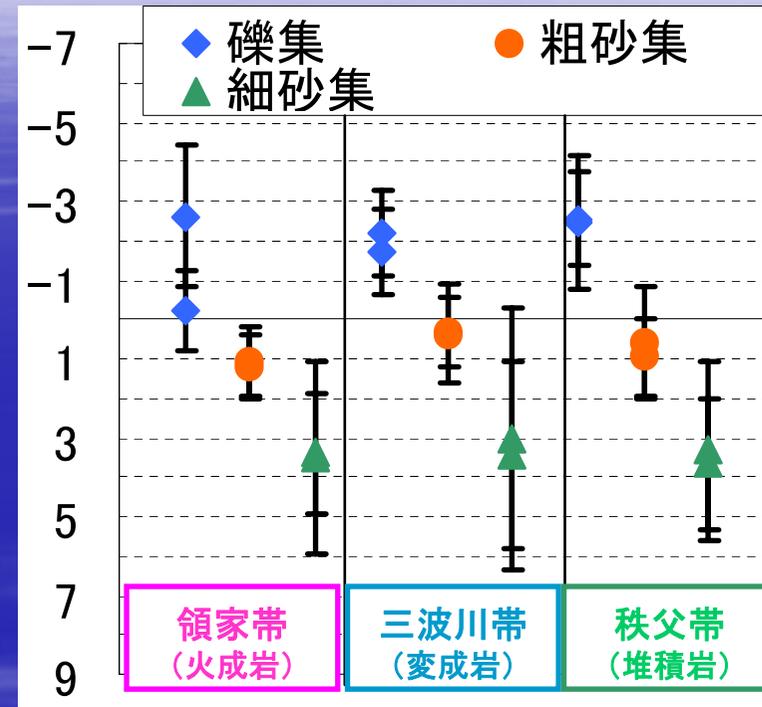
サイズ 集 の構成比変化が 析



試 結果の 析: 粒度の時間的変化の比較



集 特性 (平均粒径・標準 差)



石集

大きく変化しない

礫集

数関数的に減少

粗砂集

構成比変化はケースによって異なる.
集 特性は領家帯は比較的細かい.

細砂集

全ての結果で線形的に増加していく.
細砂集 の集 特性には差がない.

河床粒度構成の推定：構成比変化のモデル化

A. 構成比変化の 似

石集 の変化は かなので本モデルでは考えない
⇒ 礫集 , 粗砂集 , 細砂集 の構成比変化を推定

Type1 : 数関数的に減少する集 (礫集) $\alpha_i = \alpha_{i0} \exp(p_i X)$

Type2 : 線形的に増加する集 (細砂集) $\alpha_{fs} = \alpha_{fs0} + p_{fs} X$

ここで, X : 流下方向距離 (mまたはkm), p_i : 質量減少率 (m^{-1} または km^{-1})

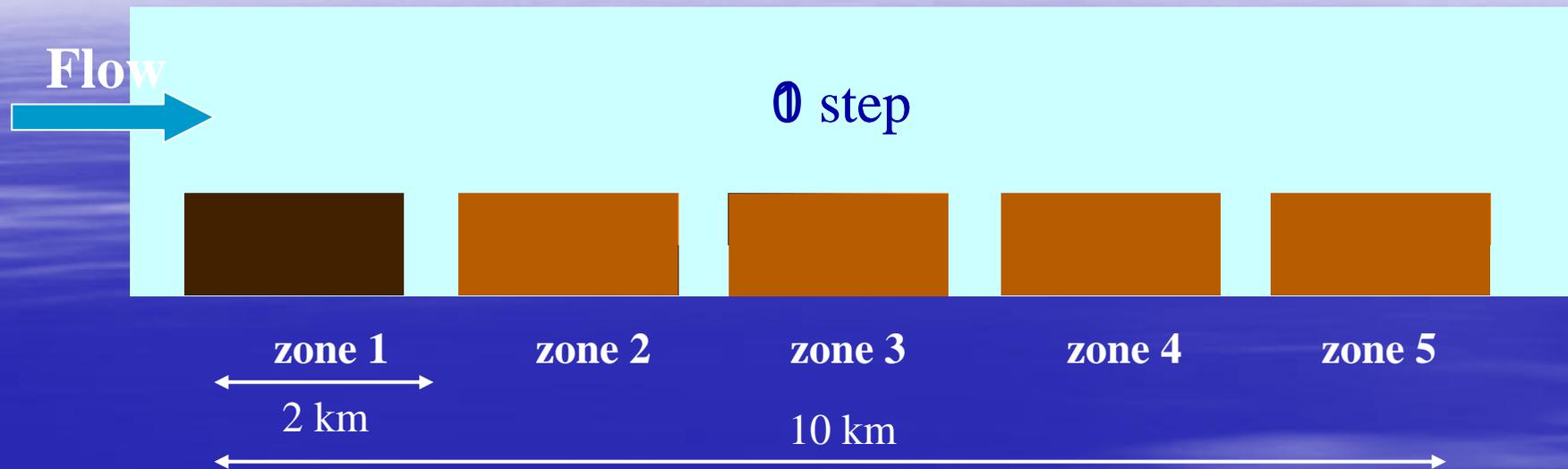
Type3 : 一様の傾向のない粗砂集
⇒ 中 生成物的位置 けであり, 他集 の構成比から定める.

B. 試 時間 流下距離

的に 下を用いて距離に 算する.

算距離 コンクリートミ サーの円周 × 回 度

河床粒度構成の推定:シミュレーションの要



全長10kmの水路を考え、2kmのzoneに分ける。土砂送をzone間のやり取りと考える。
(支川の流路長6km程度) (一度の試算距離程度)

1. 状態を0 stepとし、この状態では全ての区間において礫集のみが存在。
2. 分がするzoneに完全に流下。(分級は考えない)
3. 磨耗・破碎作用より流下土砂の粒度構成が変化
4. 残存していた砂礫分と完全混合され、各zoneの粒度構成が変化。この状態が1 step

河床粒度構成の推定:シミュレーションの要

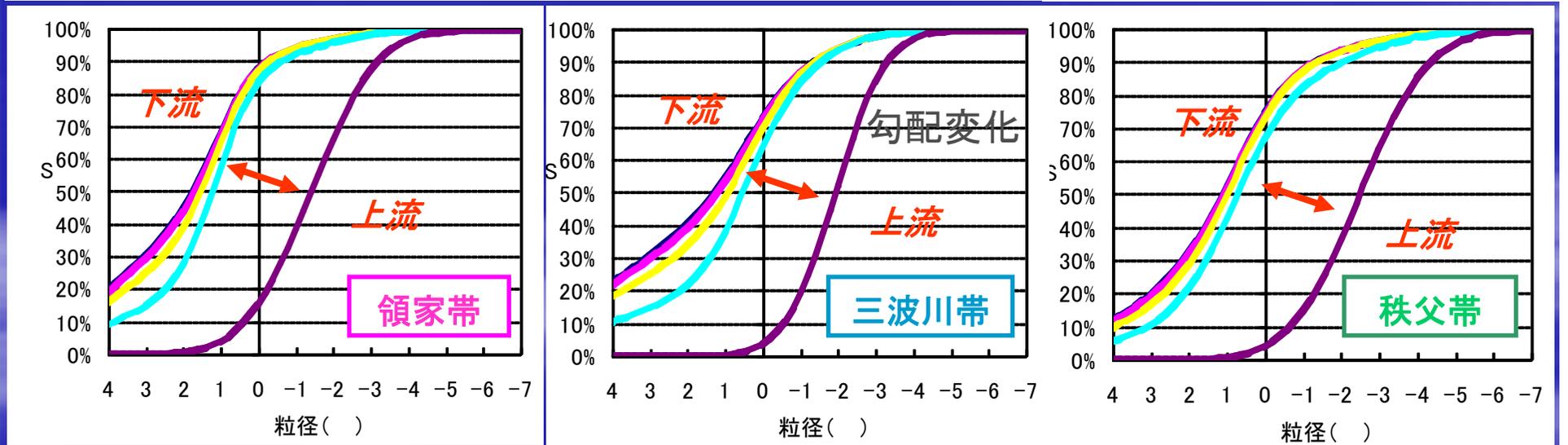
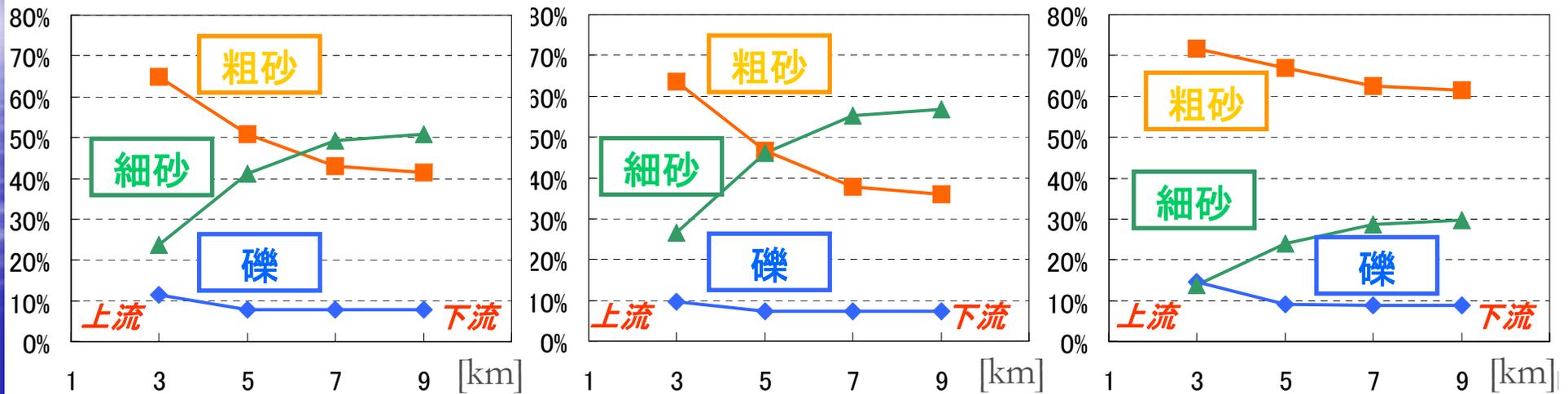


全長10kmの水路を考え、2kmのzoneに分ける。土砂送をzone間のやり取りと考える。
(支川の流路長6km程度) (一度の試算距離程度)

1. 状態を0 stepとし、この状態では全ての区間において礫集のみが存在。
2. 分がするzoneに完全に流下。(分級は考えない)
3. 磨耗・破碎作用より流下土砂の粒度構成が変化
4. 残存していた砂礫分と完全混合され、各zoneの粒度構成が変化。この状態が1 step
5. 同様のことを繰り返す。(2 step)
zone 1からの距離の違いが各zoneに現れる4 stepまで繰り返す。

河床粒度構成の推定：流下に伴う細粒化

(上：サイズ集 構成比変化, 下：粒度分布変化)



磨耗・破碎による河床材料の流下方向の細粒化は地質 にその特徴が異なり, 領家帯・三波川帯は相対的に細かく, 秩父帯は細砂が生じにくいいため粗かった. これは実河川の粒度(田代ら, 2007 2008)と同様の傾向をした.

結論と課題

コンクリートミサーを用いた磨耗・破砕 内試 から・・・

- 1) 石の磨耗・破砕に関する結果から、領家帯、秩父帯は chipping, splittingの発生が**低頻度**であるのに対し、三波川帯では**高頻度**であった。
- 2) 集 特性の 析結果から、粗砂集 帯では**領家帯が比較的細かく**、細砂集 帯では地質による明 かな違いがなかった。
- 3) 秩父帯では**磨耗・破砕による細砂集 帯の派生が少なかった**。

流下に伴う河床粒度構成推定モデルを構 築し、 ばな試算を 行ったところ・・・

- 4) 磨耗・破砕作用による**河床材料の縦断方向変化が地質によって異なる**ことを明らかにした。
- 5) **地質が異なる河川の流下に伴う細粒化の傾向を表現できた**。
⇒実河川の河床粒度構成と同じ傾向(田代ら, 2007 2008)

今 の課題

礫集 帯の特性, splitting, chippingの記述, **流砂モデルへの**

流砂モデルの 発に向けて

➤ 掃流現象は、pick-up rate と step length を用いた stochastic model
中川・ 本・原(1977)によりモデル化

➤ 耗現象は 確率を用いてモデル化

落下土砂が によって 耗が発生し 粒度構成が 確率によって変化



➤ モデル河道



区間数 : $k = 1, kn$

粒径クラス : $i = 1, n$

集 の代表粒径 : $d_{mi} = 2^{-\mu_i}$

表面 出个数 : $n(i, k)$

離 个数 : $m(i, k)$

落下 个数 : $q(i, k)$

計算フロー

分級過程

pick-up rate, step length より離 個数, 落下個数を算定

$$m(i, k) = n(i, k) p_{si} \Delta t$$

pick-up rate

$$q(i, k) = \sum_{l=1}^{k-1} m(i, l) \mu_i (k-l)$$

step length から求められる落下確率

耗過程

落下土砂が 確率により変化 (ただし質量割合 ース)

$$d\alpha_q(i, k) = - \sum_{j=i+1}^n p_{ij} dx \cdot \alpha_q(i, k) + \sum_{j=1}^{i-1} p_{ji} dx \cdot \alpha_q(j, k)$$

浮遊 定

浮遊 を用いて, 一定粒径 下の集 の落下個数を に

浮遊 (粒 が浮遊し める 度)は粒 の 降 度にほぼ等しい
降 度はRubeyの より算定

混合過程

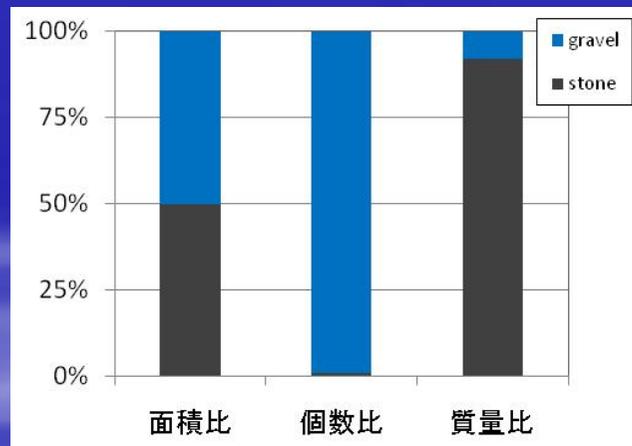
新 出面を考 し, 表面 出個数を 新

離 個数, 落下個数から新 出面を算定
→ 新 出面を 粒度構成で分配 → 表面 出個数を 新

析条件

- 一定勾配, 一定流量, 等流を仮定(Manning)
- 区間のみ落下すると 化
具体的には, step length = dx =1m (D=1cmの礫の平均値に相)とする.
- 最上流区間は 状態のまま不変とする
- 析条件 区間数: $k_n=10000$ (=10km) 計算step: dt=1sec
勾配: $l=0.001, 0.005, 0.01$ 流量: $q=1.0, 2.0$ (m^2/sec)

条件



面積比→個数比

$$n(i) = a_a(i) d_m^2(i) / \sum_j n(j) d_m^2(j)$$

個数比→質量比

$$\alpha_w(i) = n(i) d_m^3(i) / \sum_j n(j) d_m^3(j)$$

- 対象地質: 秩父帯(堆積岩類)→粒径集 の代表粒径, 確率

析結果 (q=1.0, l=0.01の例) ~ 試 中

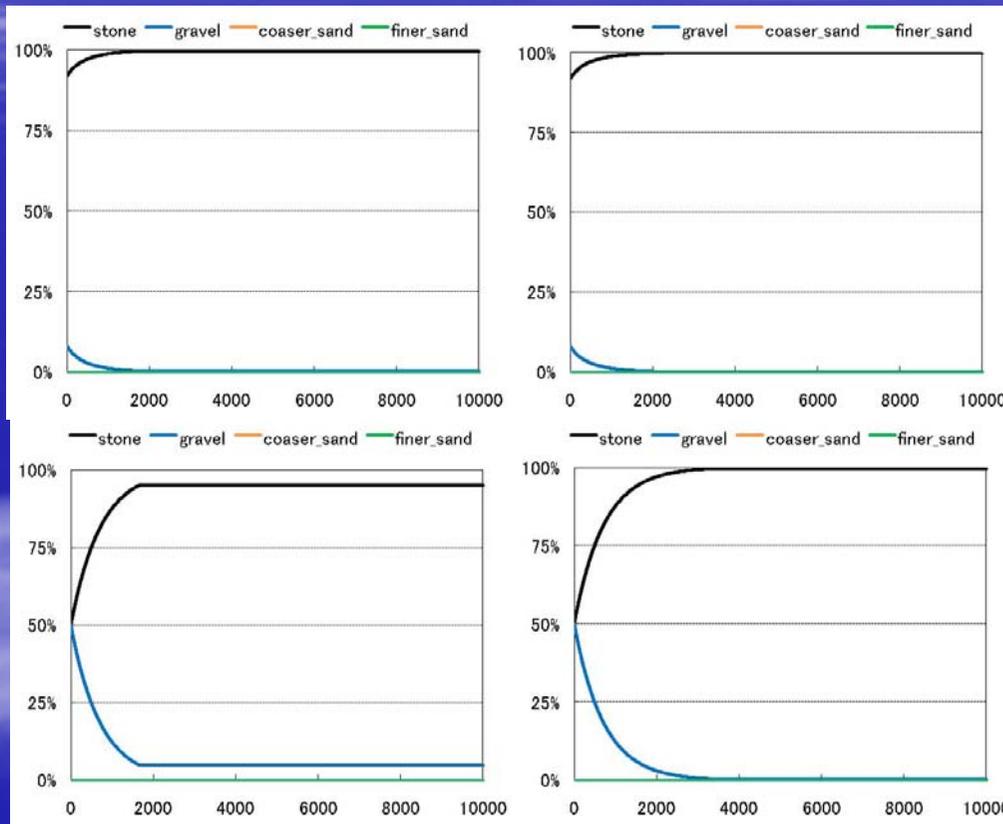
構成比の縦断変化 (上:質量比, 下:面積比)

浮遊砂発生量 (m³/sec)

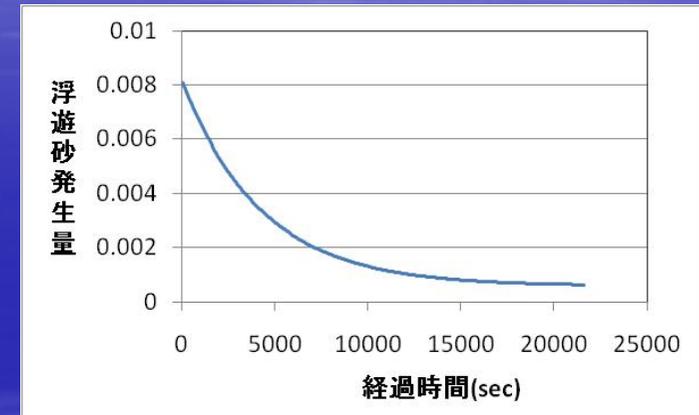
t=10800sec=3hr

t=21600sec=6hr

構成比



流下方向距離 (m)



礫の表面 出个数は、
離 量が落下量と新 出の
を上回るため、減少する。



平 状態と くと、
浮遊砂発生量が一定値に くと。

粒径集 の 検討...

現状

対数 分布に う粒径集 として 集

粒径区分		平均値(mm)
細砂	finer sand	-1
粗砂	coarser sand	1mm前
礫	gravel	2-64mm
石	stone	64mm-

$q=1.00(m^2/s)$, $I=0.001$, 秩父帯

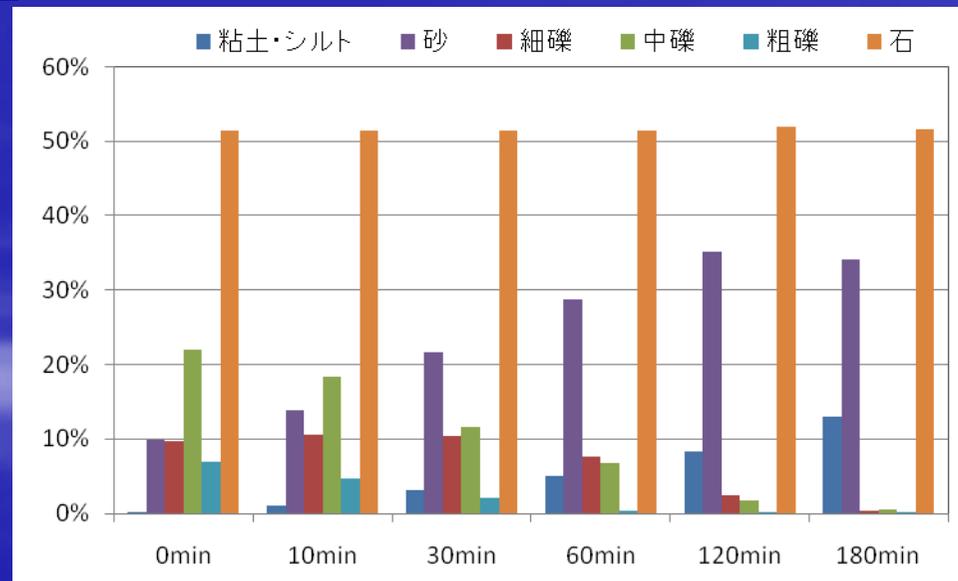
	stone	gravel	coarser_sand	finer_sand
pick-up_rate	0.00	2.32E-02	1.00	1.00
浮遊	しない	しない	する	する

改

モデルの対象: セグメント

⇒礫を細かく区分

粒径区分	粒径(mm)
粘土・シルト	-0.075
砂	0.075-2
細礫	2-4.75
中礫	4.75-19
粗礫	19-75
石	75-



内実 結果例(領家帯)



ご清聴ありがとうございました



地質図は、産 合研究所地質調査 合センターに 供いただき、岩種 定は名古屋
大学大学院環境学研究科のSimon R. Wallis 生に いただいた。

平 (三重県)、 之谷仁大 (東), 土屋 人 (名古屋市)を め
とする名古屋大学水理学研究 には現地調査・分析等を 的に いただいた。