

2022年12月3日  
京都大学防災研究所 一般研究集会

## 穂高砂防観測所での40年、 研究素材をいかに料理するか。



NPO法人山の自然文化研究センター  
京都大学防災研究所附属流域災害研究センター  
藤田 正治

## NPO法人山の自然文化研究センター

Since 2005

<https://nporcnm2004.wixsite.com/homepage>

### ・ 初代理事長

観測所先代所長の澤田豊明先生

### ・ 活動の目的

飛騨山脈の恵まれた自然と山麓地域に触れ、自然・文化の調査・研究を行い、それに基づき自然環境の保全、山岳文化の継承と創造、安全・安心な地域作り等の公益の増進に寄与することを目的

### ・ 事業

自然環境、文化資源の調査研究

防災、環境保全と活用の仕組みづくり

自然環境教育、防災教育の実施

安全登山等、野外活動技術の向上

森林ボランティア、自然公園ボランティア等の活動

小中高校生等の後継者の育成

研究発表会及び定期刊行物の発行

## NPOの砂防仲間の活動

宮本邦明(日本工営), 里深好文(立命館大学), 堤大三(三重大学), 宮田秀介(京都大学), 山野井一輝(京都大学), 辻本浩史(日本気象協会)(敬称略), 藤田正治

- 奥飛騨砂防・土木技術者研修会の実施(2007年から)
- 砂防技術や砂防研究の伝承(今後の予定)  
シニアから若手研究者・技術者に伝えたいことの講演  
将来的には技術者対象の夏季研修会

## なぜ, このようなタイトル?

### 横大路砂防人語録

- 料理は芸術の一つである.
- いい料理は人に感動を与える.
- 料理は料理人の感性を表す高尚な手段である.
- 研究は芸術のようなもので, 論文は芸術作品たれ!
- いい芸術作品, いい論文は読者に感動を与える.
- 芸術作品としての論文は作者の考えを伝える高尚な手段である.

## ここで、北大路魯山人語録

料理に一番大事なことといえばそれは材料の良よしあしを識ることである。材料のさかなあるいは蔬菜など優れてよいものを用いる場合は料理はおのずから易々たるものである。よほど頓馬な真似をしないかぎり、美味しい料理のできるのが当然である。料理の美味不味は十中八九まで材料の質の選択にある。

「魯山人の食卓」角川春樹事務所より引用

## それに対し、横大路砂防人語録

研究に一番大事なことといえばそれは材料の良よしあしを識ることである。材料の実験結果あるいは観測結果など、優れてよいものを用いる場合は、研究はおのずから易々たるものである。よほど頓馬な真似をしないかぎり、いい研究のできるのが当然である。研究の出来不出来は十中八九まで材料の質の選択にある。

いい材料からいい研究を作るのは研究者の腕の見せ所であるが、何れもハイテクな計測器で得られたデータがいい研究素材であるとは限らない。偽りのない丁寧な心のもちたデータならローテクでも十分である。そのようなデータからいい研究を生み出すことが研究者冥利につきる。

## 学生時代(1979年から7年間に学んだ 研究手法の極意

- 3回生(1979年)のとき, 土木工学セミナーの勉強のため**防災研究所砂防研究部門(芦田和男教授, 高橋保助教授, 江頭進治助手, 澤井健二助手, 澤田豊明助手)**に行く.
- 澤田先生(穂高砂防観測所)は時々美味しい土産を持って, 穂高から宇治に来られる. **観測所はいいところらしい.**
- 4回生(1980年)で正式に芦田研に配属. 卒論は, スリットダムの土砂流出調節機能に関する研究, 澤井先生が指導.

## 学生時代(1979年から7年間に学んだ 研究手法の極意

- 修士課程(1981年, 1982年)では, 微細砂の浮遊砂, 掃流砂に関する研究, **徳島大学の岡部健士先生(内地留学)**が指導教員. **木製の水路(40cm×10m)作り**から始まった. 水路から作るとは思わなかった.
- **博士課程(1983-1985年)**では, 砂礫の浮遊機構と浮遊砂量の算定方法に関する研究.

## 学生時代(1979年から7年間に学んだ 研究手法の極意

研究素材の料理法の基礎は芦田先生, 江頭先生, 澤井先生, 澤田先生から教わった.

「現象の理解を大事にし, 現象の本質を見抜くことが大切.  
それがいい研究素材になり, いい研究へ発展する. したがって, いい観測, 実験が必要である」

## 観測研究で大事なこと(澤田先生語録)

穂高砂防観測所の観測データを利用したいという研究者から電話で依頼があった. 電話後, 澤田先生「**現地にちゃんと来ないとだめだよね**」とぼつんと呟かれた.

### 研究素材の吟味は大事

- 数値計算や解析にデータは必要だが, どこでどのようにしてとったデータか知らないと気持ち悪い
- 他人のデータは疑いながら使うべき
- 自ら観測することが望ましいが, できないならせめて現地にきて, どんなデータか確かめる姿勢は必要

## 観測研究で大事なこと(澤田先生語録)

澤田先生「出水時の採水による濁度は、その立ち上がりから測るのが難しいんだよ。その立ち上がりが大事なんだよ」

ある日の晩、観測所で御飯中、雨が強くなってきた。

澤田先生「それそろヒル谷が濁りだすよ」

藤田「なぜ、おわかりで...」

澤田先生「降雨強度が10mm/hを超えた。採水しに行くぞ！」

藤田「先生、もう一杯...」

晩御飯中断して、暗闇の中で採水。

立ち上がりからわかる質のいい濁度変化のデータが取れた。  
研究者は食欲より研究欲、かくあるべきだと思った。

## 穂高砂防観測所周辺は素材の宝庫

観測所で夕方に、

藤田「澤田先生、今日の晩御飯は何にしますか？」

澤田先生「じゃあ、今から取りに行こう！」

藤田「え？」

晩はてんこ盛りの山菜の天ぷらであった。自給自足の楽しさは、現地観測研究ならではの。楽しみや楽しむ余裕がないといい研究はできない、と思う。

藤田「じゃあ、明日は僕がイワナを釣ってきます」

研究素材だけではなく、食材もごろごろころがっている。

## Charsは研究素材なんや！

砂防学会英文誌の執筆要領から引用

**Table 1** Summary of chars which was caught by Prof. M. F. for last six years.

Year	Number	Maximum size [cm]
2001	17	28.5
2002	11	25.0
2003	7	26.5
2004	5	23.5
2005	15	31.0
2006	12	29.5

Charsは研究素材なんや！



滋賀県安曇川上流江賀谷のイワナ(char), 2022年6月

料理法を間違えるとせっかくの大物が台無し。この大きさなら、ムニエル、骨酒がいい。イワナ汁も美味しい。塩焼きは大きすぎてだめです。

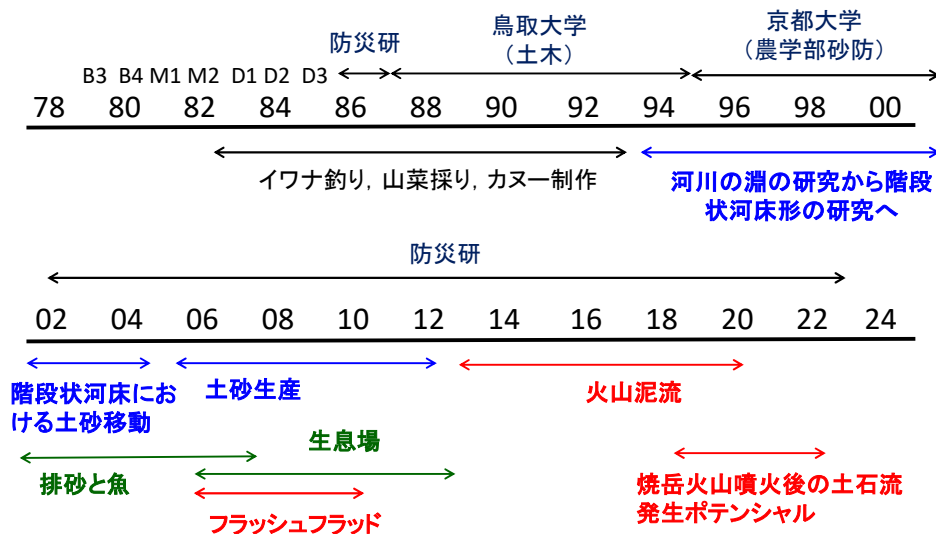
実は、ヒル谷のイワナは食材ではなく、真に研究材料です。

## 簡単な地図



Google Earth

## 穂高砂防観測所における研究

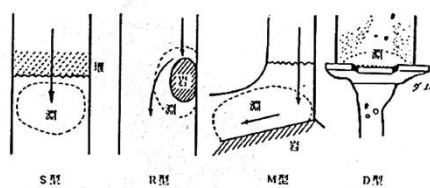




## 研究と趣味を兼ねた河川の淵の研究

- 河川の淵周辺はアマゴやイワナ釣りの好場である。
- 鳥取大学土木工学科在職中，道上先生「藤田君は川遊びが好きだから，河川環境のことを研究したらどうか」
- 藤田「そうだ，河川の淵の研究をしよう！」  
**河川生態学的な淵の分類**では河道の設計に使えない。  
**土砂水理学的な知見**で淵を研究する必要。

### 河川生態学の淵の分類



可児藤吉先生による

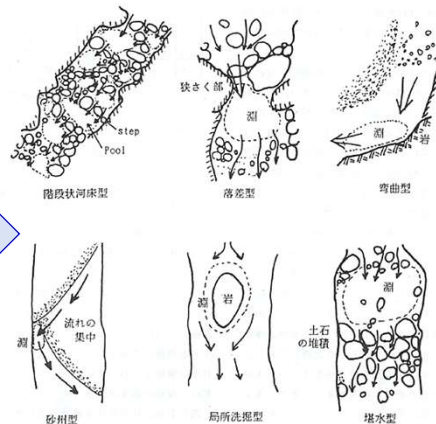
不明確

水理量や河床材料  
の条件との関係

明確

河床形態の土砂  
水理学的知見

### 土砂水理学的な淵の分類



## 同じ溪流に足しげく通ったときの疑問

- 溪流に度々食材探しに歩くと、階段状河床形態は**非常に安定**していて、あの淵の次はこの淵、この淵では食材に出会った、のようにほぼ覚えてしまう。
- 本当に**淵瀬構造**は**変化**しないのか？変化するときはどのような条件か？

水理量と河床形状の関係を鳥取県の千代川で調べ、  
研究を神通川の蒲田川へ展開

## 淵の研究から階段状河床形態の研究への展開

### 階段状河床形態は好研究素材

- 山に行けば階段状河床はいくらでも見つけれられる。
- 階段状河床形態の理論的背景（江頭先生らの先駆的な研究）がある。
- ただし、渓流域では水文データがほとんどない。

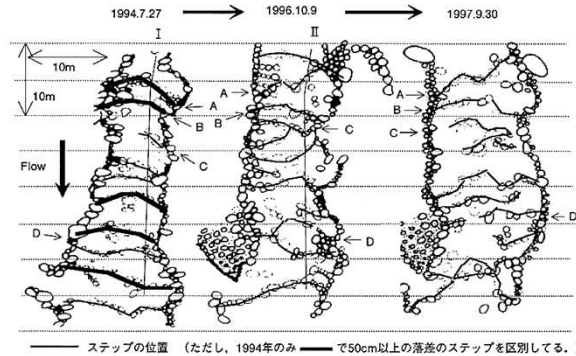
### 背景

- 当時、多自然型川づくりはブームだった、その場にマッチしない人工的な景観には違和感があった。
- また、そのような構造物は洪水に弱い。

### 研究方針

- 個々の場所に適した淵瀬構造の設計
- 淵瀬構造の時系列変化と洪水流量
- 階段状河床のマイクロな構造
- リアルな階段状河床形態の描画

## 蒲田川の淵瀬構造の時系列変化と洪水流量



- 5年確率の洪水流量に対する波長が基本骨格
- 2, 3年確率の洪水の時, 小骨格が形成
- 10年確率程度の洪水で変形
- 数十年確率程度の洪水で破壊



溪流河川  
の設計に

## ハビタットロジーとの出会い

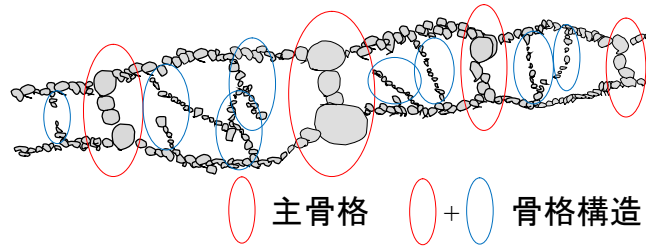
- 京大防災研竹門康弘先生と意気投合
- 水生生物の生息場を科学することの重要性
- 溪流の水生生物物理環境の評価やインパクトの影響, 環境改善のためのインパクトの与え方などは, ハビタットロジーの考え方が不可欠.
- 排砂を行っているヒル谷は好研究素材
- これまでの土砂水理学的研究がどこまで河川生態学の領域に入り込めるか?

## 生息場物理環境の構造骨格の形成, 変形, 破壊

河床形態  
河床形状  
粒度分布の空間分布

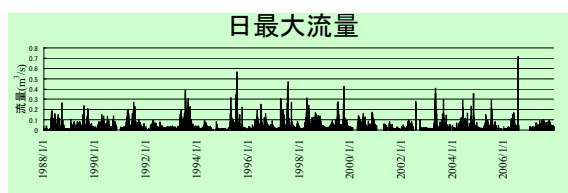
← 土砂水理学の研究

鈴木裕一郎さんの修論



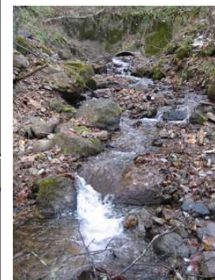
階段状河床構造は様々なスケールの河床波の重ね合わせ  
構造骨格の形成, 変形, 破壊(前述)

## ヒル谷の階段状河床のステップ数, 波長の変化



鈴木裕一郎さんの修論

河床条件	B	C	D
区間長(m)	72	73	19
平均勾配	0.18	0.08	0.14
1999年のステップ数	36	12	6
2007年のステップの数 (形成が明確なもの)	15	12	6
2007年のステップの数 (不明確なもの含む)	27	26	7
2008年のステップの数 (形成が明確なもの)	23	27	8
2008年のステップの数 (不明確なもの含む)	52	43	9
平均波長(m)	B	C	D
2007年 (明確なもののみ)	4.8	6.1	3.1
2007年 (不明確なものも含む)	2.6	2.8	2.7
2008年 (明確なもののみ)	3.1	2.7	2.4
2008年 (不明確なものも含む)	1.4	1.7	2.1



## ヒル谷の階段状河床形の主骨格

### 江頭先生らの形成条件の研究

混合砂であること  
射流であること  
分級現象がかなり活発に起こること  
最大径程度の礫が移動しないこと

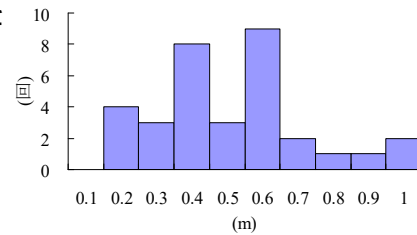
計算値 5年確率流量

→平均波長は0.78m

実測値 1999年:明確な主骨格

→平均波長は1m程度

鈴木裕一郎さんの修論

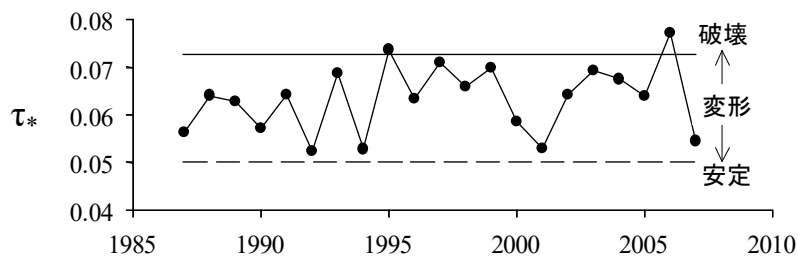


平均波長の頻度分布

主骨格形成の支配流量は5年確率程度

## 骨格構造の変動評価

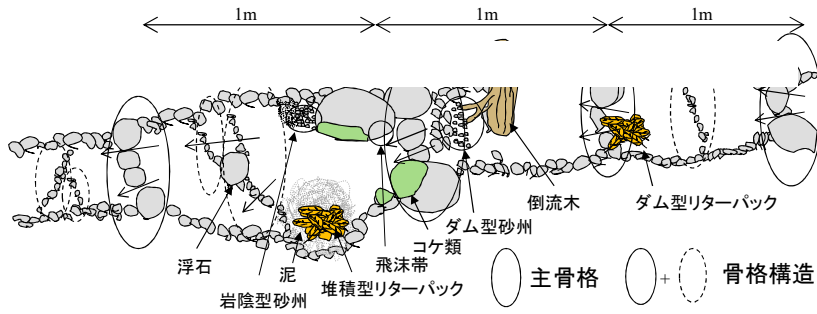
鈴木裕一郎さんの修論



各年の最大流量における無次元掃流力

10~15年に一度、大きな攪乱

## ハビタット構造と河床構造



階段状河床に付随する  
マイクロハビタット構造

竹門, 野村の研究を参考

鈴木裕一郎さん作

## リアルな階段状河床形態を描画

これまでの研究成果を使って, 科学的にリアルな階段状河床形を描画

手法:

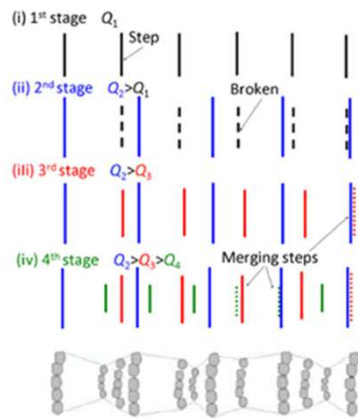


Fig.5 Procedure of drawing step-pool formation

### I. 多重スケールのステップ群の位置

(i) 第1段階: 流量 $Q_1$ に対する連続ステップの間隔は, Kennedyの式<sup>1)</sup>

$$F_F^3 = \frac{2+k_1 \tanh k_1}{k_1^2 + 3k_1 \tanh k_1}, \quad k_1 = \frac{2\pi h}{\lambda}$$

ここに,  $\lambda$ : 波長,  $h$ : 水深,  $F_F$ : フルード数  
幅は, レジーム則  $B = \varepsilon \sqrt{Q}$

(ii) 第2段階:  $Q_2 < Q_1$  のときは, 流量 $Q_2$ による第2シリーズのステップがオーバーラップ。ただし, ステップ同士が限界値より近くなるとそれらをマージ。  $Q_2 > Q_1$  のときは第1シリーズのステップは破壊(破壊流量を定義してもよい)。

(iii) 第 $n$ 段階: もし,  $Q_n < Q_1, Q_2, \dots, Q_{n-1}$  なら, 第 $n$ シリーズのステップがオーバーラップ。限界値より近いものはマージ。もし,  $Q_n$  がそれまでの流量のどれかより大きければ,  $Q_n$  より小さい流量に対するステップは破壊。

### II. プールの平面形状

自動的に決定  
→ 妥当性の検証 (Fig 4)

### III. ステップ構成材料の粒径

Egiazaroffの式<sup>2)</sup>により, 形成流量時の移動限界粒径

### IV. プール内の流れのパターン

流れ込み条件を統計的に与えると, 流れのパターンはFig.6のようになる。

### V. マイクロハビタット

調査による経験則により, マイクロハビタットごとの適性地にハビタットを張り付ける (Fig.1 and Fig.2を参照)。

## 階段状河床形態描画手法

それらしい絵が描かれていますか？

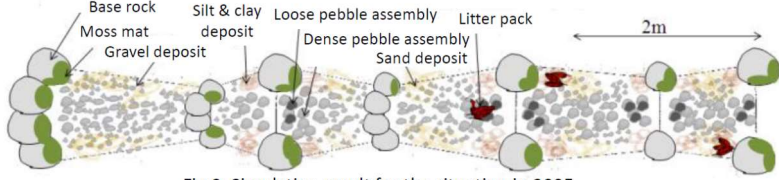


Fig.9 Simulation result for the situation in 2005

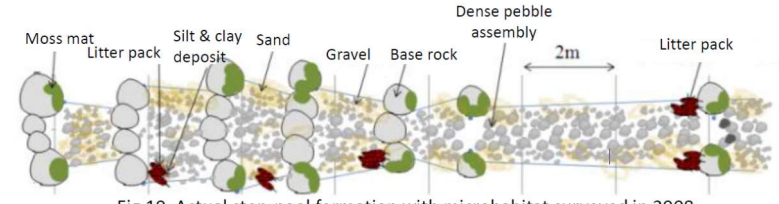


Fig.10 Actual step-pool formation with microhabitat surveyed in 2008

鈴木裕一郎さん修論

## RGBを使った生息場環境の表現

色を見れば環境がすぐに  
わかると便利では

村上秀香さんの修論



図1 流域概要図

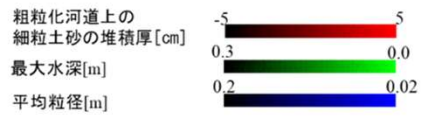
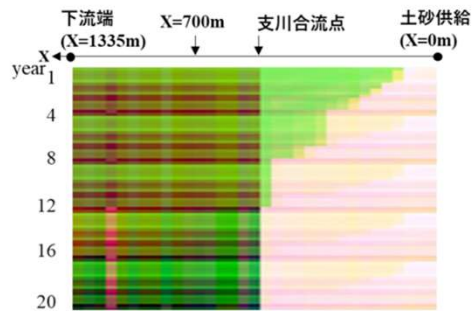


図6 20年間の生息場の季節変動

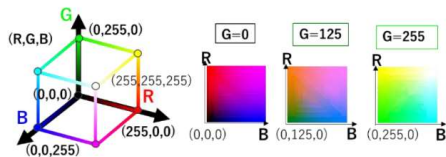


図7 RGBモデルによる色分布

## ヒル谷試験堰堤からの、いわゆる土砂出し

- 流量や流出土砂量の観測のためのヒル谷試験堰堤は、毎年**排砂**(我々は**土砂出し**と呼ぶ)が必要
- 澤田先生、志田さんの排砂作業を手伝う。
- **大変な作業**であることが分かった。
- **こんな面白い現象**を独り占めするのはもったいない。研究者、技術者にぜひ体験してもらおう。
- 人が集まれば作業が楽になる。
- その後、NPOの行事(**川は生きているシリーズ**)として実施。
- さらにこれを研究材料にしないのはもったいない！

## 土砂出しの様子＋土砂投入実験





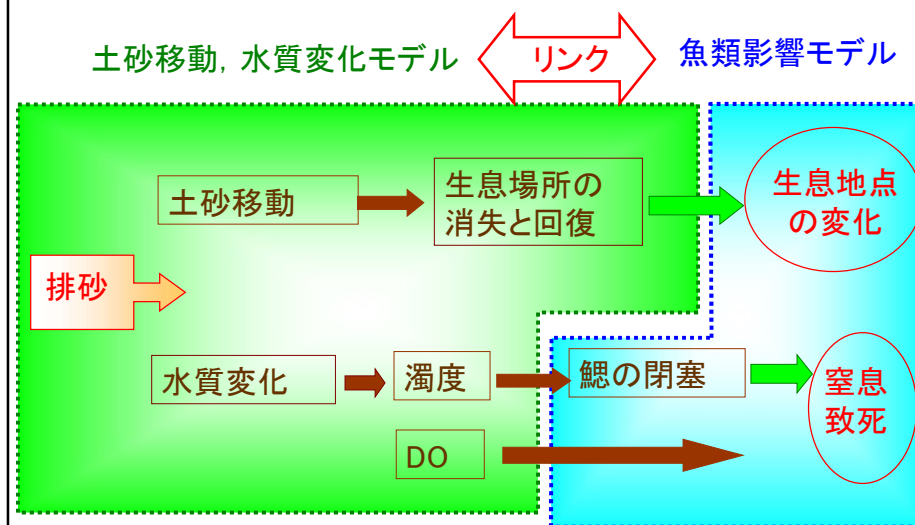
## 何を研究するのか？

- 排砂のとき, **カワゲラ**が浅瀬を逃げ回っていた.
- **川虫**にとっては排砂は災害, 人災だ.
- **イワナ**はどうなるのか？
- **イワナ**の住処への影響
- **イワナ**への**インパクト**. 流される？窒息死する？**致死率**は？**窒息率**は？

### ヒル谷の排砂の土砂移動とイワナへのインパクト

木下篤彦氏の卒論, 修論, 博論

## 考え方



## アーマーコートの発達した瀬における土砂堆積と侵食



- 土砂は瀬の部分のアーマーコートを埋めながら移動する。
- 堆積厚さは流量と粒径に依存し、完全にアーマーコートが埋没する場合もあれば、礫が頭を出した状態もある。
- 排砂が終わると徐々に回復する。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{B\lambda_r(1-\lambda)} \frac{\partial}{\partial x} (B_s q_B) = 0$$

$x$  = 流下方向の軸;  $z$  = 土砂の堆積厚;  $B$  = 水路幅;  $B_s$  = 流れ幅;  $q_B$  = 掃流砂量;  $\lambda$  = 空隙率

## プールへの土砂堆積と回復



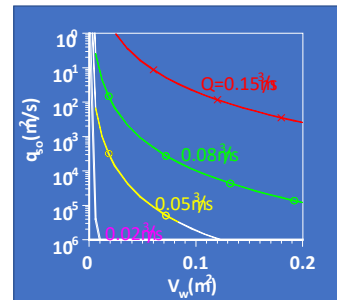
- 土砂はプールを一つ一つ埋めながら下流に伝播する。プルの堆積厚は粒径と流量に依存する。
- 排砂が終わると徐々に回復する。

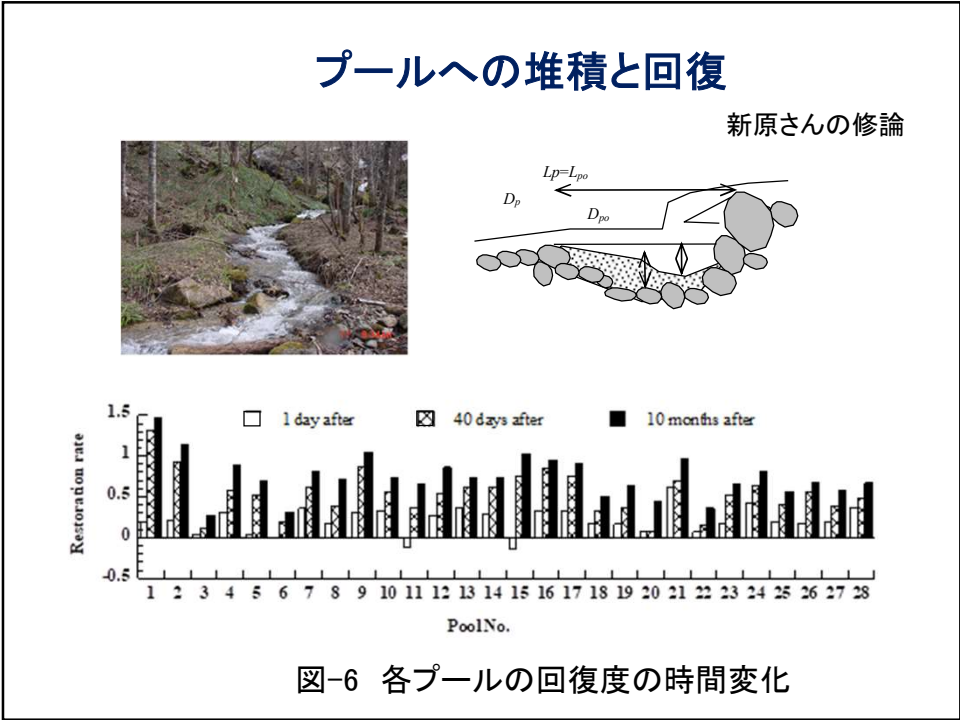
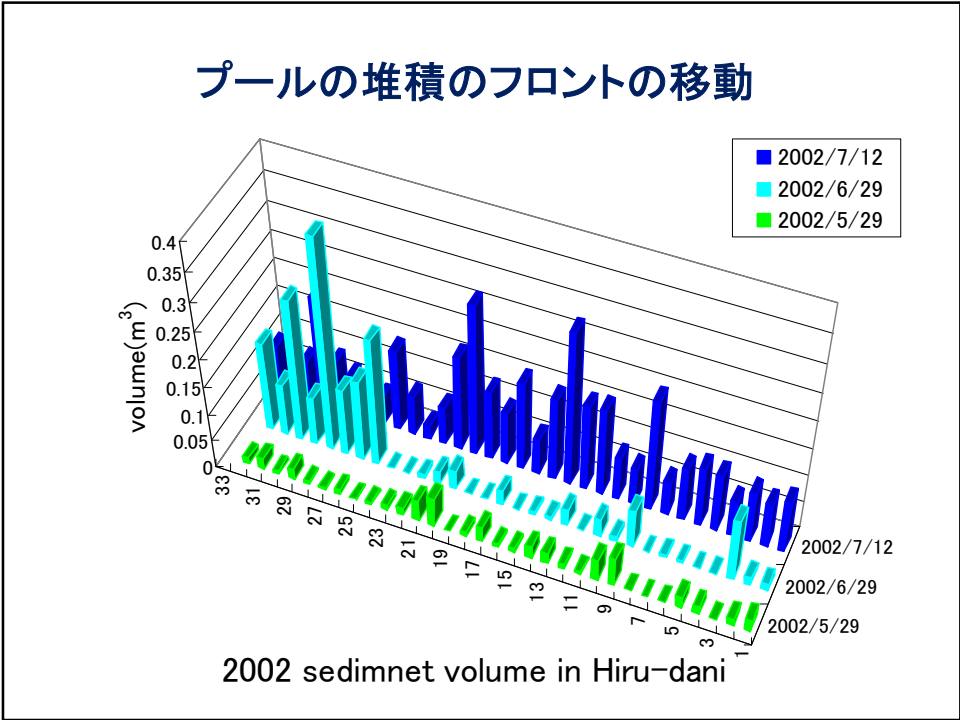
$$\frac{q_{so}}{\sqrt{sgd^3}} = A \left\{ \frac{7.207\alpha^2 q^{4/3}}{sgd(0.745V_w^{1/2} + 0.37q^{2/3})} \right\}^{6.62}$$

(m-sec単位)

$A$  = 係数;  $q$  = 単位幅流量,  $s = \sigma/\rho - 1$ ;  $Q$  = 流量;  $B_{in}$  = プールの入り口幅;  $d$  = 砂の粒径;  
 $\sigma$  = 砂の密度;  $\rho$  = 水の密度;  $g$  = 重力加速度

プールからの流出土砂量





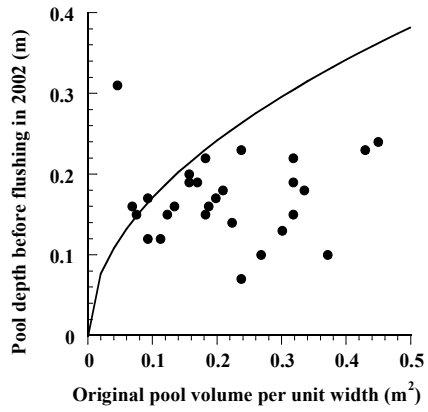


図-9 排砂前のプールの深さ

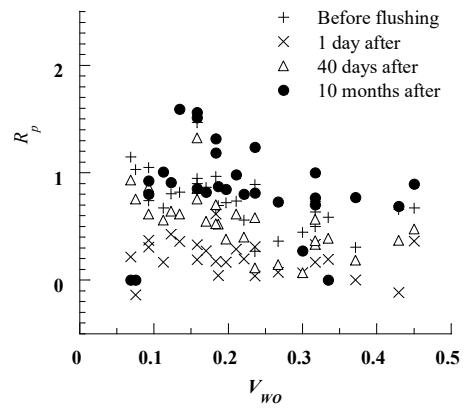


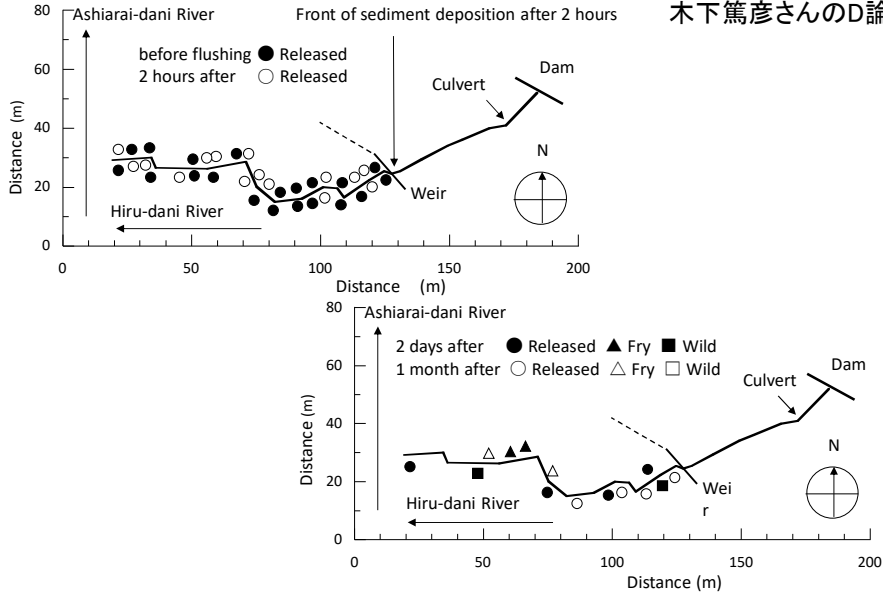
図-10 排砂後のプールの回復率

## 避難場所と頑張るイワナ



## 流されたイワナと避難できたイワナ

木下篤彦さんのD論

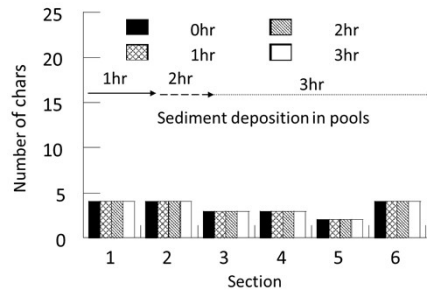
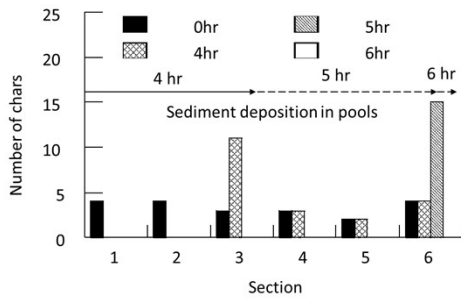


## イワナの個体数変化のシミュレーション

木下篤彦さんのD論

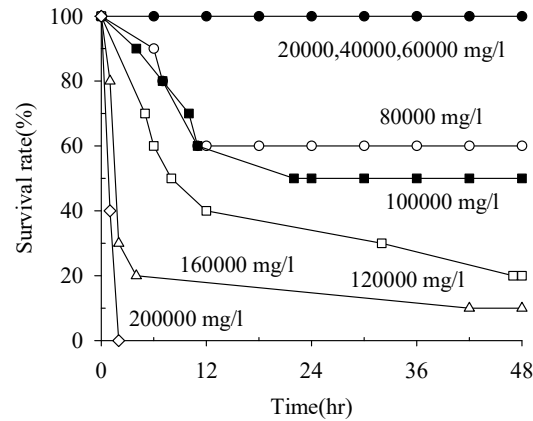
流量 = 0.049 m<sup>3</sup>/s

流量 = 0.100 m<sup>3</sup>/s



## 濁水の中でイワナはどれくらい生き延びられるのか？（とても残酷な実験）

木下篤彦さんのD論



生存率の時間的变化

## 濁水による致死率, 窒息率

木下篤彦さんのD論

イワナの鰓の有効面積  $S$   $\frac{dS}{dt} = -pS$   $p = p_o(C_s - C_{cr})$

$p$ : 単位時間あたりに鰓全体面積に対する濁質の堆積面積率,  $C_{cr}$ : 洗浄運動によって排砂可能な浮遊物質濃度,  $p_o$ : 比例係数

鰓の閉塞



見かけ上の溶存酸素濃度

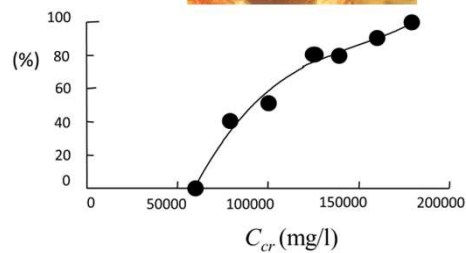
$$C_{ox} = r_t(t)r_g(t)C_{oxo}$$

$$r_g(t) = S/S_o$$

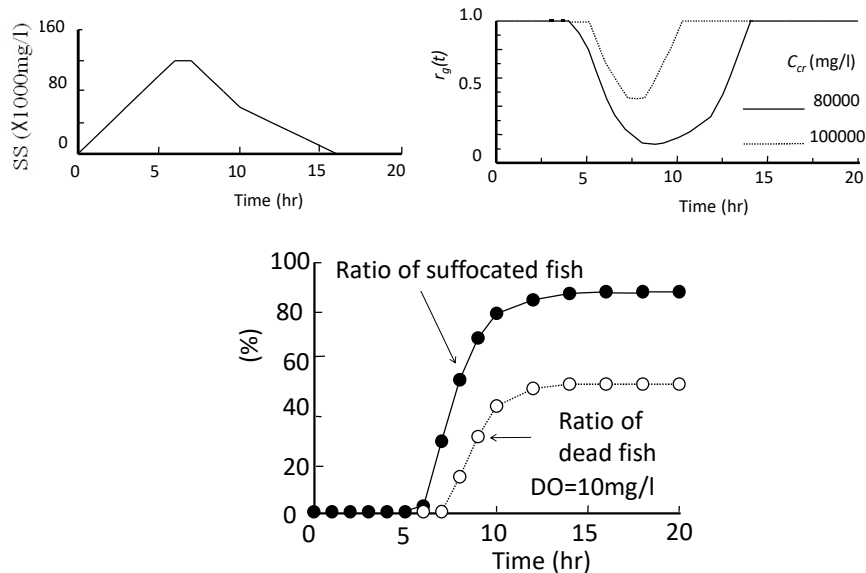
$$r_t(t) = 1 - C_s$$

窒息条件:  $C_{OX} < 1.7\text{mg/l}$

即死条件:  $C_{OX} < 0.5\text{mg/l}$



## 排砂時のイワナの致死率, 窒息率



## ヒル谷源頭部の土砂生産と土砂流出

澤田先生「ヒル谷の流砂量と流量の関係は一対一対応ではないんだよ。同じ流量でも流砂量は季節的に異なるんだよ」

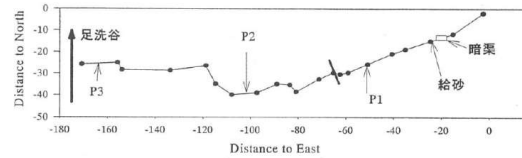
藤田「流砂理論と違いますね」

澤田先生「ヒル谷の源頭部から堰堤まで、濁りと自分自身とどちらが早く到着すると思う？」

藤田「濁りの方が早く到着すると思います」

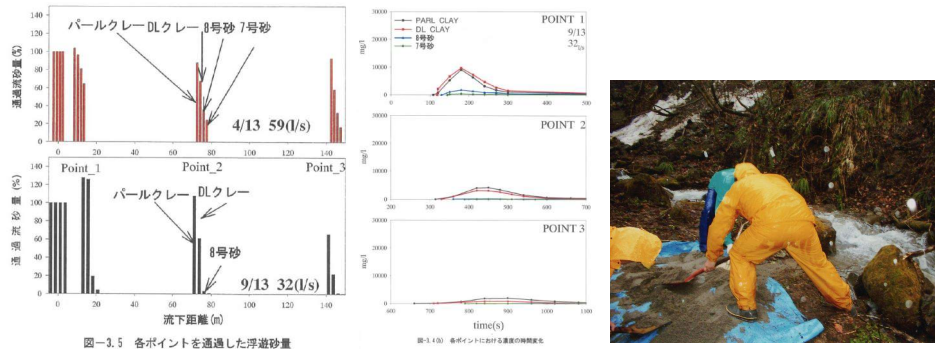
澤田先生「自分自身だよ」

## ヒル谷での濁水の伝搬実験



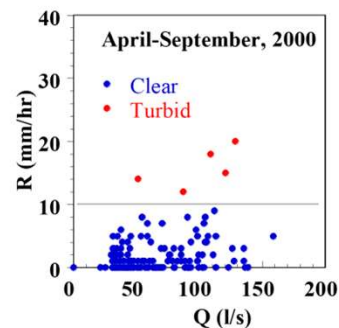
滝口さんの修論

図-3.1 ヒル谷



## ヒル谷源頭部の土砂生産と土砂流出

- 澤田先生「ヒル谷では降雨強度が **10mm/h**程度になると濁りだす」
- 濁りが発生するとき**源頭部**で何が起**こっている**のか？見てみたーい。ちむ**どんどん**してきた。
- 学生と映像ケーブルとカメラの遠隔操作のケーブルを約1kmにわたり設置。
- 澤田先生「ケーブルをみんなで持って、一緒に動けば簡単に張れる」, 参加者「ケーブルが動かない。下のやつがさぼっているに違いない」





### ヒル谷の概要



### 源頭部の裸地



早春

晩秋



### 支川合流点



### 堰堤上流



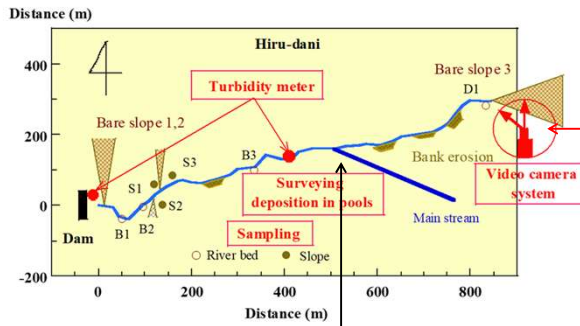
### 階段状河床形



# 堰堤下流



# 観測システム



監視カメラ (源頭部)



いわゆる伊藤小屋 (中継基地)

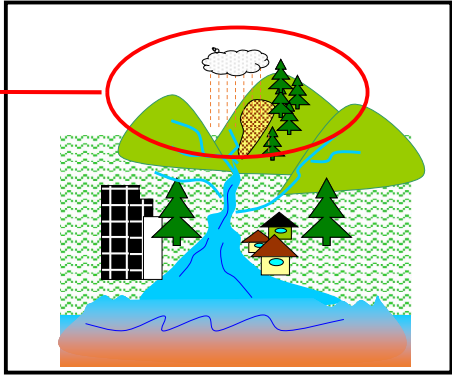


監視カメラ (中流)



# 土砂動態のモニタリング

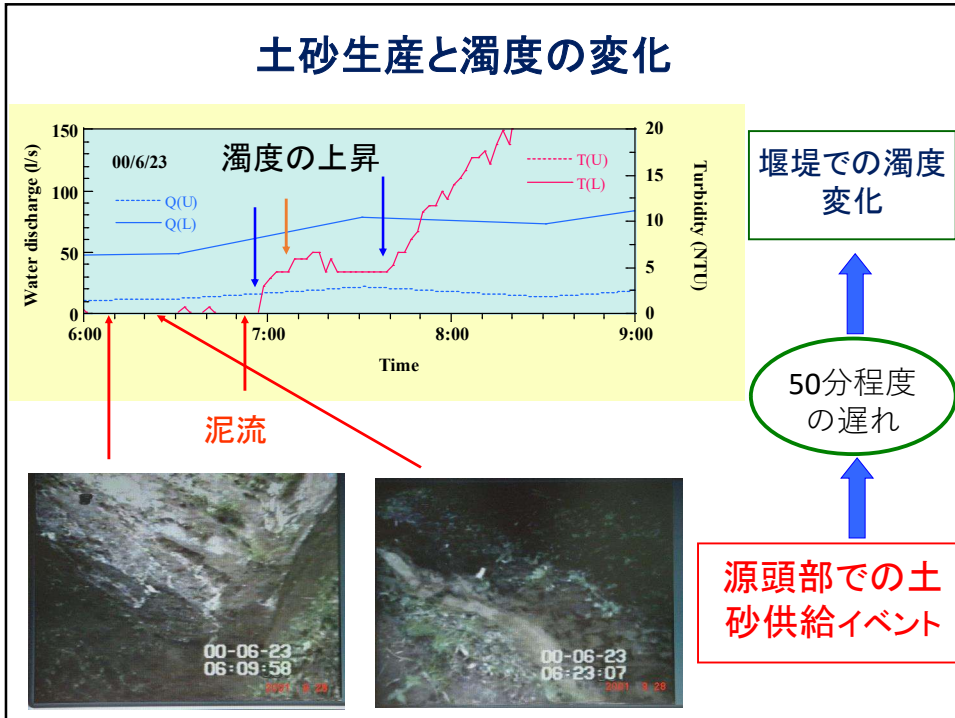
山地流域の  
土砂動態, 水動態  
をいかに知るか



濁度の変化で何がどこまでわかるか？

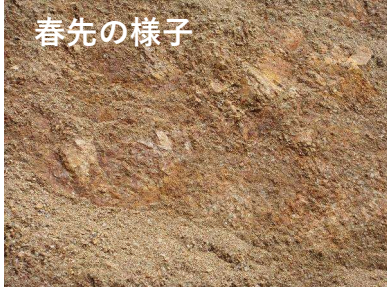
# こんなものも





## 凍結融解による土砂生産

春先の様子



## 2009年12月凍結融解観察キャンプ

ヒル谷源頭部裸地の凍結融解現象を見てみたーい。



夜, 0度以下になり, 昼0度以上になる必要があるが, そうは簡単にそういう日に遭遇しない.



## 凍結融解現象の撮影成功

田上山(滋賀県)での, 伊藤元洋さん(M1)と堤先生の成果  
凍結して融解する状況を見るタイミングは大変難しい.

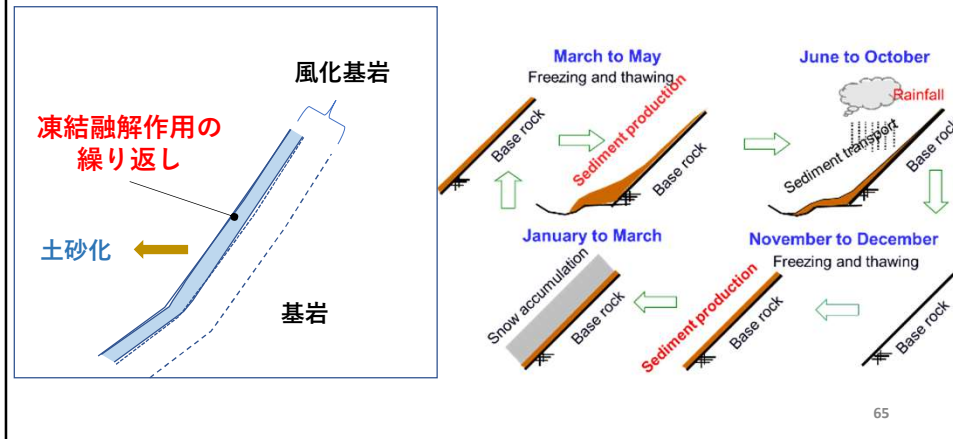




## 凍結融解モデルへと発展

### 凍結融解作用による風化基岩の土砂化モデル

堤先生, 泉山寛明氏(博論), 手島氏(修論)

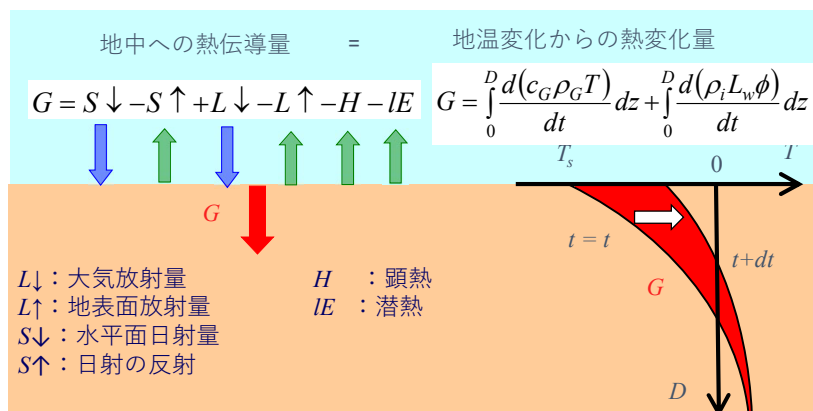


65

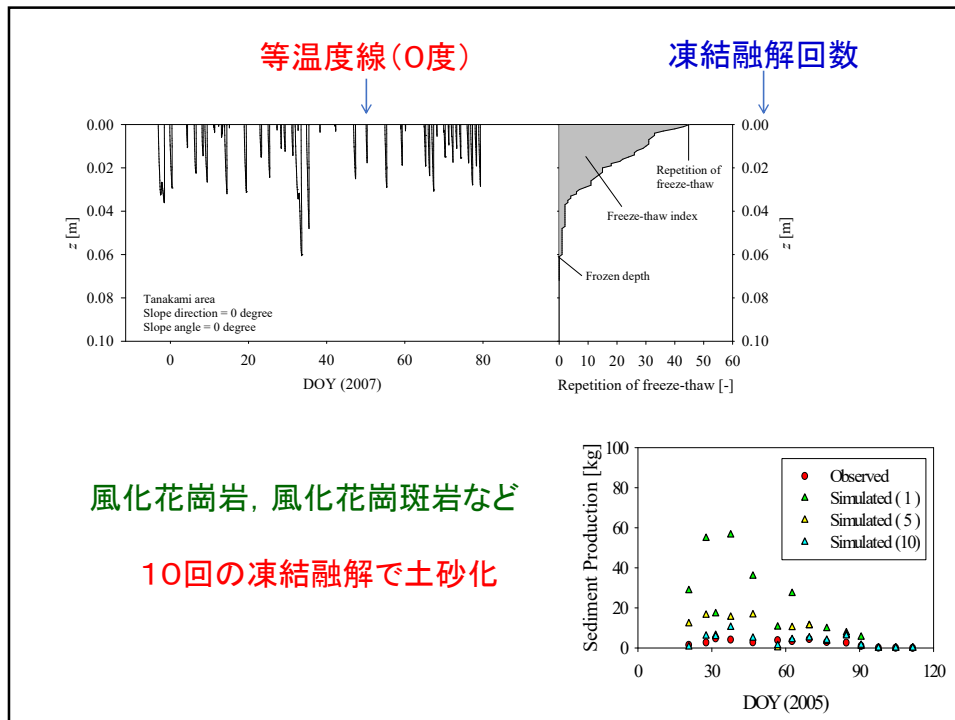
## 凍結融解現象の解析

### 地中温度分布

$$\rho_G c_G \frac{\partial T_G}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_G \frac{\partial T_G}{\partial z} \right) + \rho_i L_w \frac{\partial \phi}{\partial t}$$



$$\int_0^D \frac{d(c_G \rho_G T_G)}{dt} dz + \int_0^D \frac{d(\rho_i L_w \phi)}{dt} dz = S \downarrow - S \uparrow + \sigma T_s^4 - \sigma T^4 - c_p \rho C_H U (T_s - T)$$



## フラッシュフラッドに遭遇した体験を活かす

**年月:** 1994年8月

**場所:** 高原川支流双六谷

**遭遇者:** 志田氏, 辻本氏, 藤田

**背景・状況**

- 極端な渇水年. 30mほどの谷幅に1mくらいの流水
- 遠雷はあったが, 現地は曇り, または雨がパラパラ



図 4.2 神通川水系双六川～金本戸川流域

## このような状況が災害を生む



By Chisato

### 経過

- 志田さん(右岸林道側)「増水が来たぞ！」の声
- 藤田, 辻本(左岸斜面側)「え..」
- 上流から段波がそこまで, 土石流が来たら横方向に逃げる. 日ごろの知識が功を奏して, すぐに斜面を駆け上がる. 数秒後, 谷幅いっぱいの濁流
- 減水には時間がかかることを実感, 3, 4時間待機
- 夕方大きな石が見えだし, 何とか渡渉

### 解析

- 藤田「原因は何か. 水理学は役に立たない. これを研究しよう」
- あの時遭遇したフラッシュフラッドを再現したい. 宮田先生に託す.....



## なぜ、フラッシュフラッドが起こったのか？

- 源頭部の遠雷＝源頭部に強い雨  
→ レーダー雨量データが有効
- 流域の植生の違い  
→ 源頭部はハイマツの自生地で、土層厚が小さい
- 本川に各支川からの洪水が集中しやすい特性
- 人工構造物の影響



小林弘尚修論

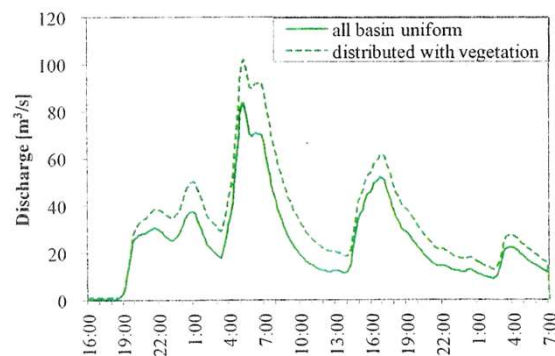


図 4.59 広河原地点でのハイドログラフ

まだ、あの時遭遇したフラッシュフラッドとは違う。

## おわりに

- 現象の本質を探る，理解する.
- 本質を見つけるため観測や調査，実験を行う.
- 原理原則の基礎式の中で，その本質を表現するようなモデルを考える.
- 研究以外の楽しみをもって，余裕のある活動を行う.

フィールドには研究材料がころがっている！



昔から研究会は密です。



研究仲間はとても密です。



## 2026年は60周年記念



京都大学防災研究所穂高砂防観測所創立50周年記念式典 2016年10月17日

砂防研修会は研究者、技術者、学生でとても密です。



澤田先生と学生たち



ご清聴ありがとうございました。  
これまで一緒に研究をしてきた皆さんに、感謝申し上げます。

藤田正治