

流木研究の現状と 流れとの関係について

2018.7.24 第3回流砂河床変動の若手勉強会

愛知工業大学 赤堀良介



2003年 沙流川水系出水時の被災状況

初田直彦，赤堀良介，清水康行：蛇行流路の流体場と流木の挙動に関する
実験と数値解析，応用力学論文集，第15巻，pp. I.415-I.422，2012.

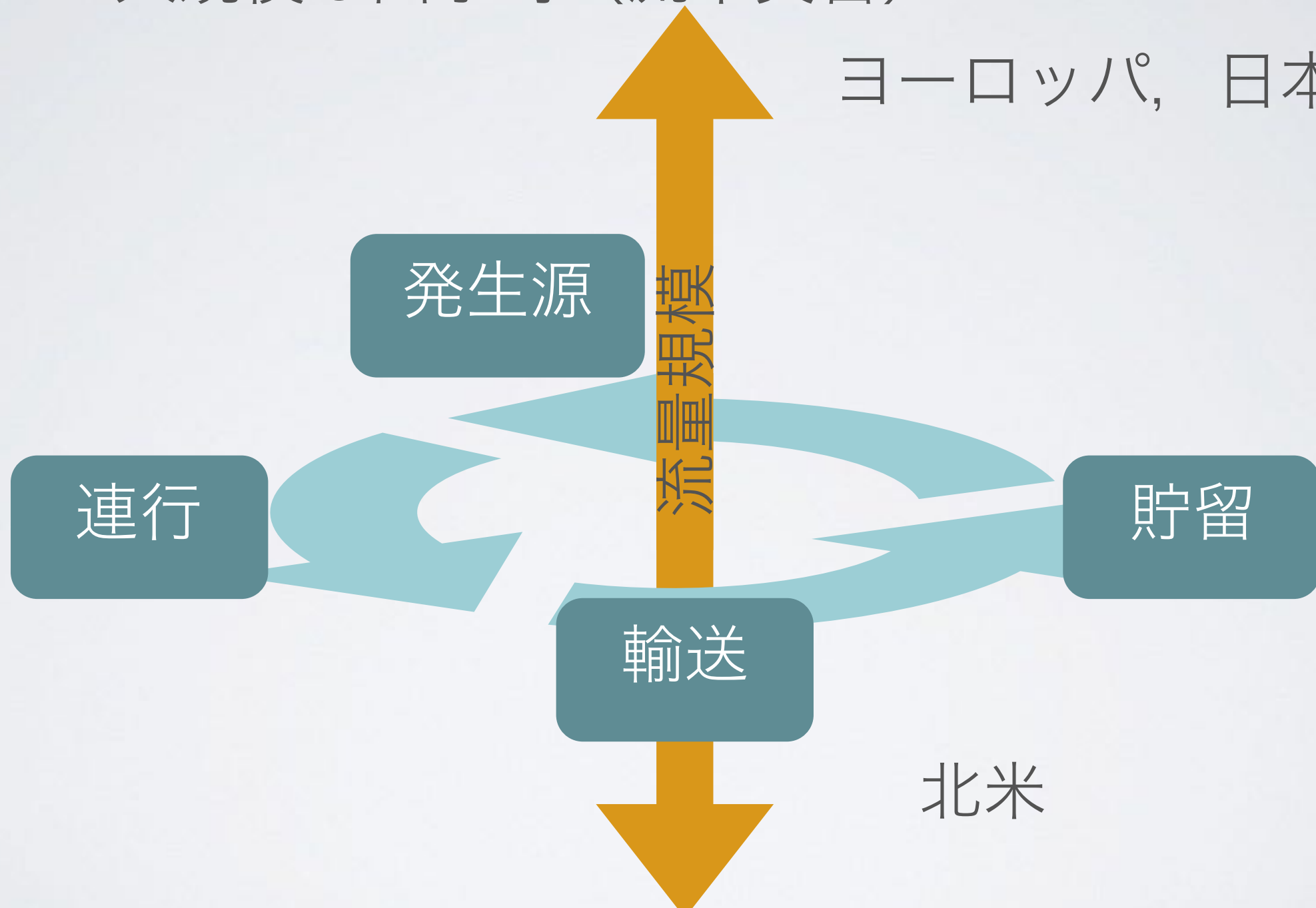


2016年8月 東北豪雨災害の被災状況
岩手県岩泉町（2017年5月撮影）

流木研究の分野

大規模な出水時（流木災害）

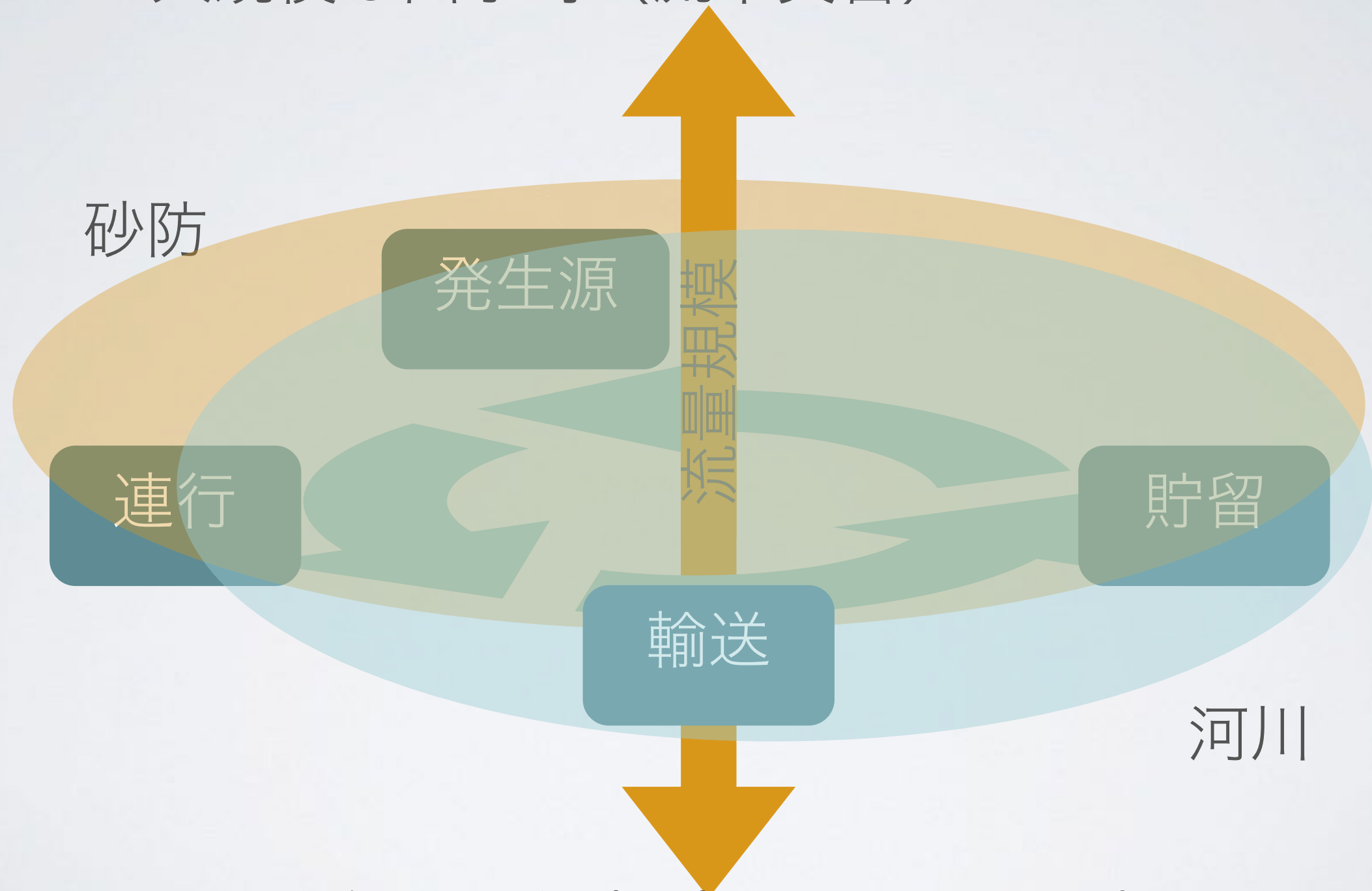
ヨーロッパ，日本など



平水時～平均年最大程度（地形変化，環境への影響）

流木研究の分野

大規模な出水時（流木災害）



平水時～平均年最大程度（地形変化，環境への影響）

流木研究の進展

- 足立・大同（1957） 「流木に関する実験的研究」：京都大学防災研究所年報第1号
- スパン等での整理

流木研究の進展

- 石川・水山・福澤（1989）「土石流に伴う流木の発生及び流下機構」：新砂防，Vol.42， No.3
- 土石流に伴う流木の移動， 停止， 狭窄部での捕捉

流木研究の進展

- 中川・井上・池口・坪野（1994） 「流木群の流動と堰止めに関する研究」：水工学論文集， 38巻
- 流木に働く運動方程式を記述， さらに2分した要素に対し回転運動を記述

流木研究の進展

- Braudrick, C.A., Grant, G.E.: When do logs move in rivers?, Water Resources Research Vol. 36, No.2, pp.571-583, 2000 .
- 流木の移動条件を決定する力について整理

流木研究の進展

- 阿部・渡邊・長谷川（2005）：「2003年台風10号出水における沙流川での橋梁被害」
河川技術論文集，第11巻
- 2003年沙流川出水時の流木による橋梁被害などの報告

流木研究の進展

- 清水・長田（2007） 「流木形状を考慮した個別要素法による橋脚周辺の流木集積過程に関する数値実験」：水工学論文集， 51巻
- 個別要素法により流木を記述， 座標修正法による剛体の移動計算

流木研究の進展

- 後藤・五十里・酒井・奥（2007） 「山地橋梁の流木閉塞過程の3次元シミュレーション」：
水工学論文集，51巻
- 剛体モデルつきMPS法の応用
- 固液混層の3次元解析

流木研究の進展

- 渋谷・香月・大隅・石川・水山 (2011) 「円柱モデル個別要素法による捕捉工の流木捕捉解析」：
土木学会論文集A2(応用力学), Vol. 67
- 円柱型要素に対する個別要素法
- ONE-WAYモデル, 水理情報は単純化されたモデルで算出

流木研究の進展

- 長谷川・中谷・里深・藤田 (2016) 「山地河川における流木の流下と橋梁集積に関する検討」：第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集
- 広葉樹を想定した大きい比重

流木研究の進展

- 矢野・土橋・堂藺・笠間・北隆

(2016) 「流木発生ポテンシャルの概念に基づく花月川の
橋梁における流木災害リスク評価」：土木学会論文集B1
(水工学) vol.72, no.4

- GISベースのポテンシャル評価
- 生産域での発生量と橋梁ごとの捕捉率から到達域や堆積量を評価

流木研究の進展

- 山上・岡本（2016）「流木の挙動安定性と橋梁閉塞に及ぼす影響に関する基礎的研究」：土木学会論文集B1（水工学） vol.72, no.4
- 流木に働くヨーイング、ピッチングの計測

流木研究の最近の事例

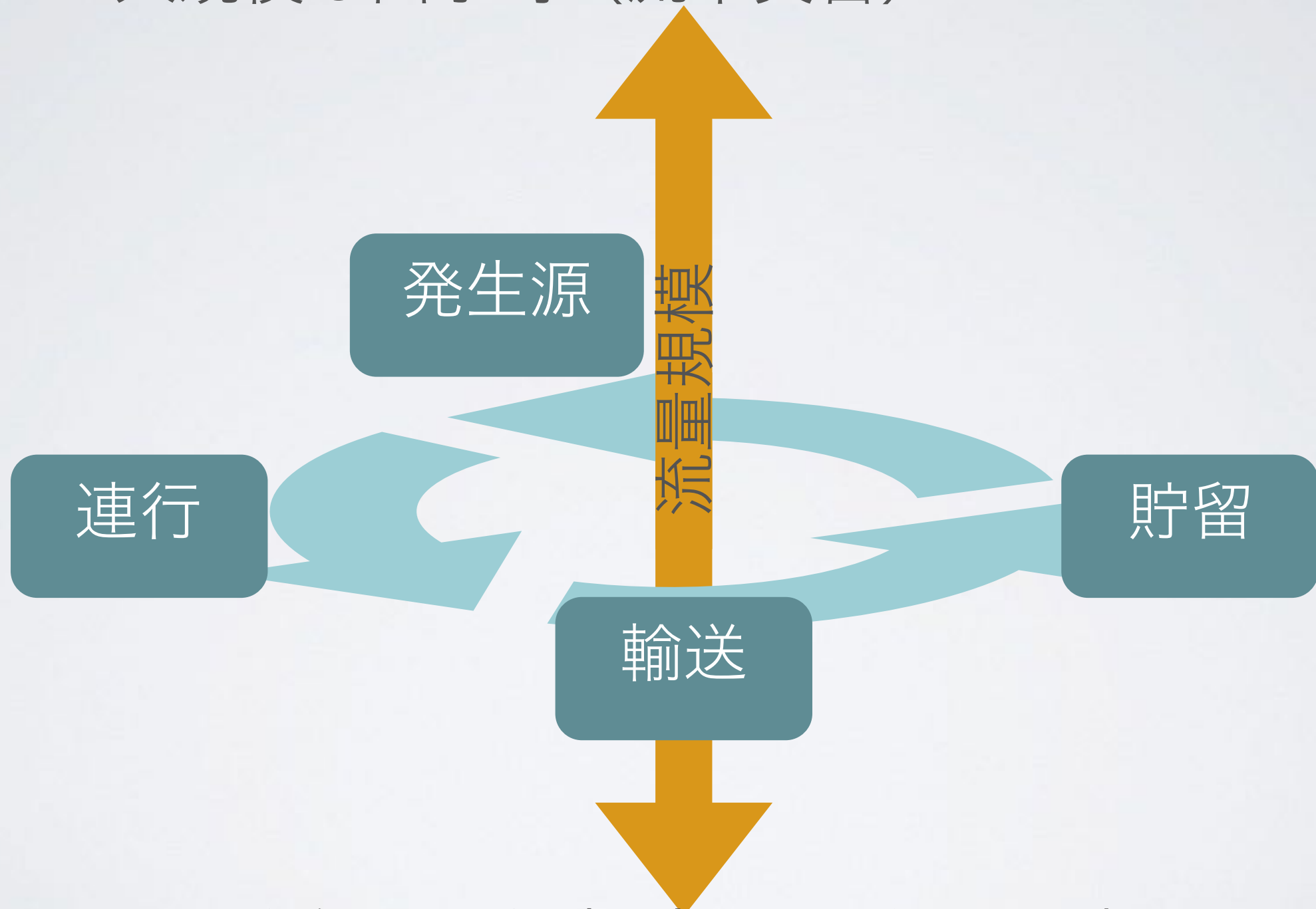
- 水工学論文集 第62巻 (2018)
- 岡本隆明・山上路生・檀原義信：遊水域を利用したアクティブな流木捕捉システムに関する実験的研究
- 赤堀良介：橋脚周辺における流木の3次元集積に関して
- Taeun KANG, Ichiro KIMURA, Yasuyuki SHIMIZU：STUDY ON ADVECTION AND DEPOSITION OF DRIFTWOOD AFFECTED BY ROOT IN SHALLOW FLOWS
- 長田健吾・清水義彦：流木群の曲げ変形を伴う堆積過程を説明する数値解析法の開発
- 原田大輔・江頭進治：流砂・流木を伴う洪水流の解析 —2017年7月九州北部豪雨による赤谷川洪水を対象として—
- 「水災害・防災・減災」セッション
- 矢野真一郎・土橋将太・笠間清伸・竹村 大・富田浩平・楊 東・津末明義：気候変動による降水量変化が河川流域の流木災害リスクへ与える影響に関する評価

流木研究の最近の事例

- 河川技術論文集, 第24巻 (2018)
- 鈴木 湧久 : 空撮画像を用いたダム貯水池の流木捕捉量の推定手法の開発
- 木下篤彦 : 流木の挙動と巨礫による河床上昇に着目した、平成23年台風12号による那智川流域井関地区の氾濫メカニズムの検討
- 永野 博之 : 2017年九州北部豪雨により発生した朝倉市白木谷川流域の 流木・土砂・水混相流の流出規模に関する研究
- 山崎 祐介 : 豪雨に伴う土砂・流木生産と流下過程に関する研究
- 加藤 一夫 : 小本川の流木捕捉施設設計に関する水理模型実験による検討
- 原田 大輔 : 移流拡散方程式に基づく流木の解析
- 原田 紹臣 : 流木の流出特性を考慮した流木対策に向けた提案

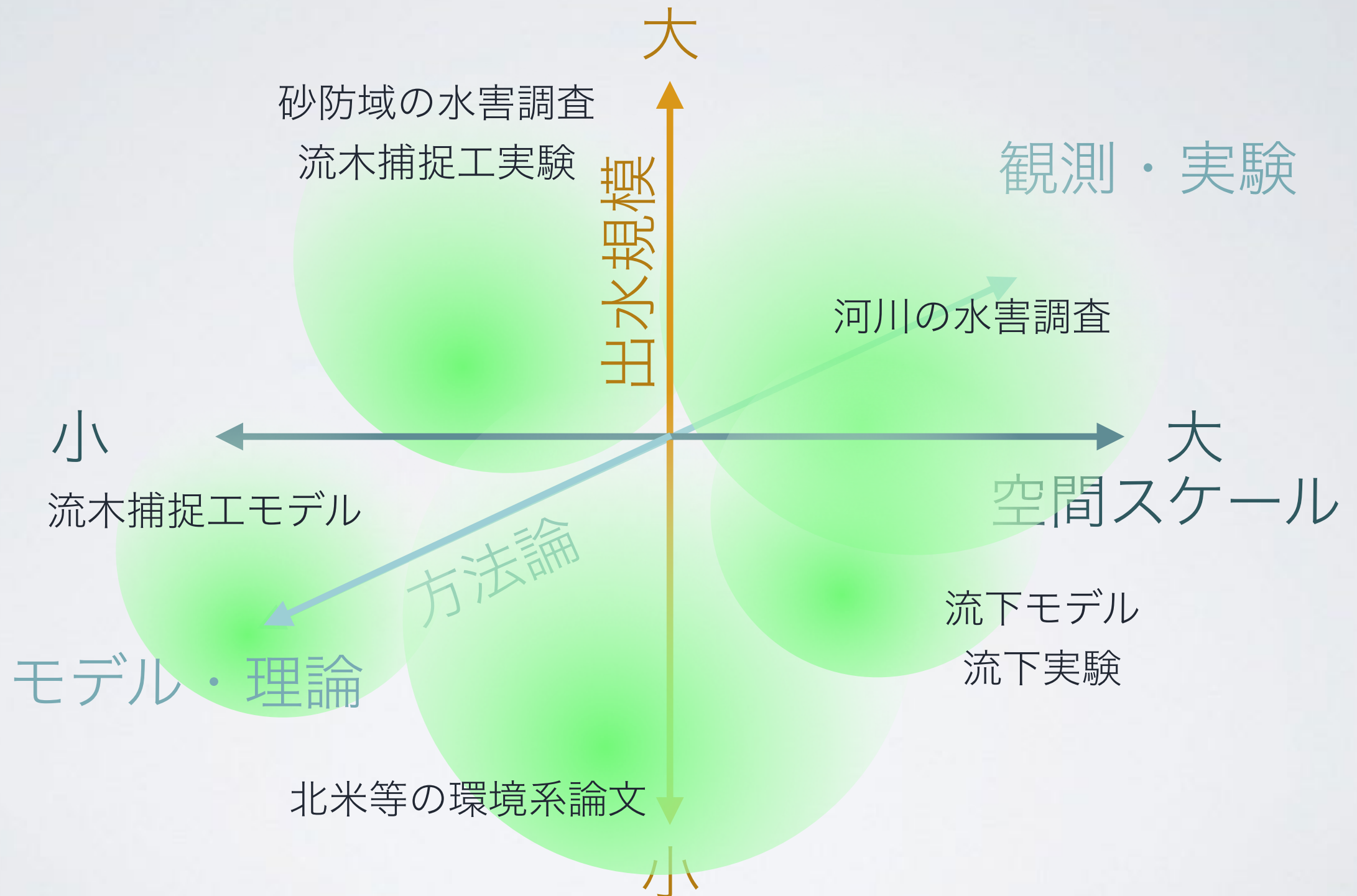
流木研究の分野

大規模な出水時（流木災害）



平水時～平均年最大程度（地形変化，環境への影響）

現時点での研究のボリューム



水理的な興味の対象は？

- セグメント 1 前後あるいはそれより下流
- 流木の被害の位置， 範囲に空間的な分布の考慮が必要となる状況
- 水理量あるいは流れの状況により流木の物理的な応答が異なり得る場所

発表者グループの研究経緯



2003年 沙流川水系出水時の被災状況

初田直彦，赤堀良介，清水康行：蛇行流路の流体場と流木の挙動に関する
実験と数値解析，応用力学論文集，第15巻，pp. I.415-I.422，2012.

流木研究の進展

- 阿部・渡邊・長谷川（2005）：「2003年台風10号出水における沙流川での橋梁被害」 河川技術論文集，第11巻
- 2003年沙流川出水時の流木による橋梁被害などの報告

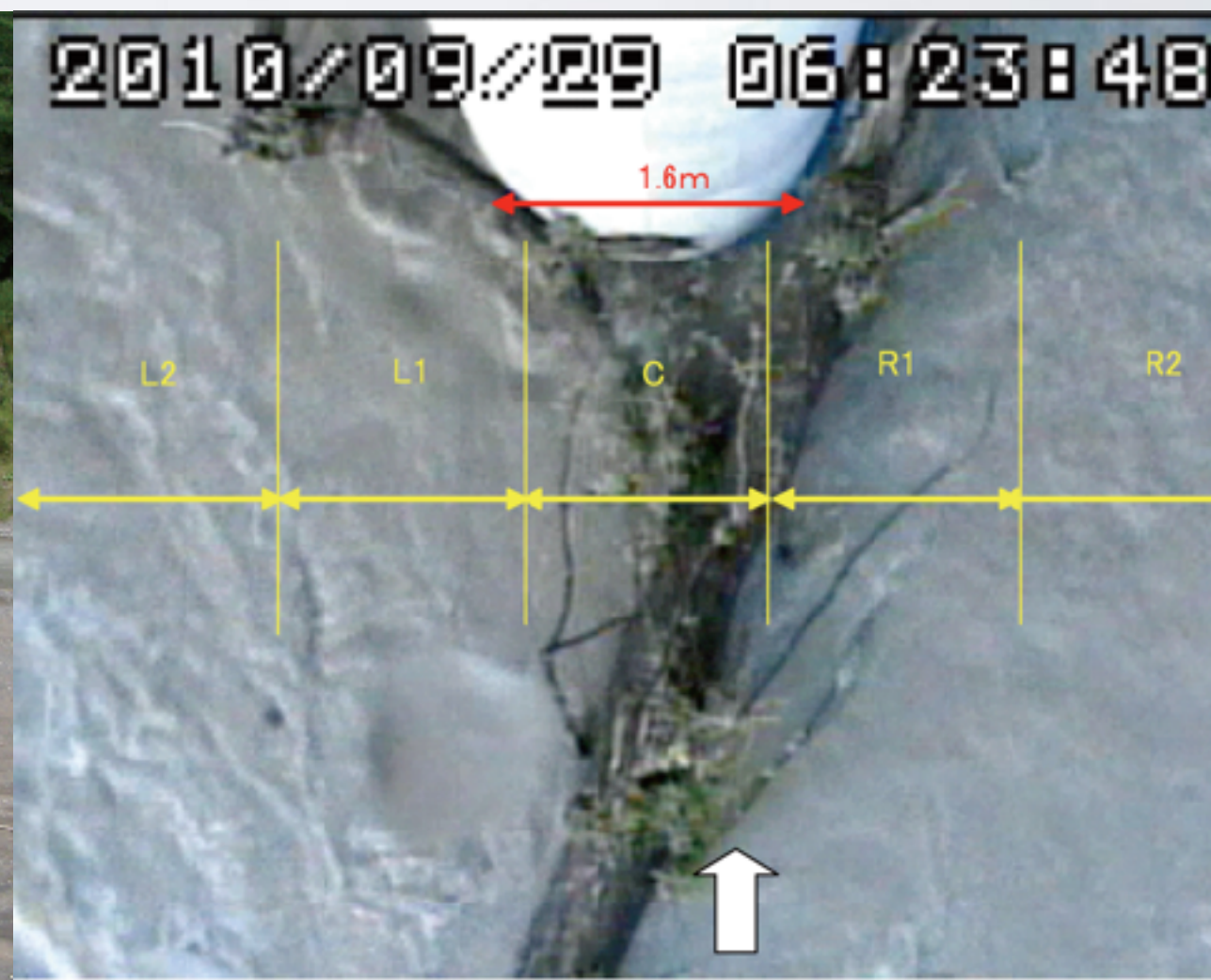
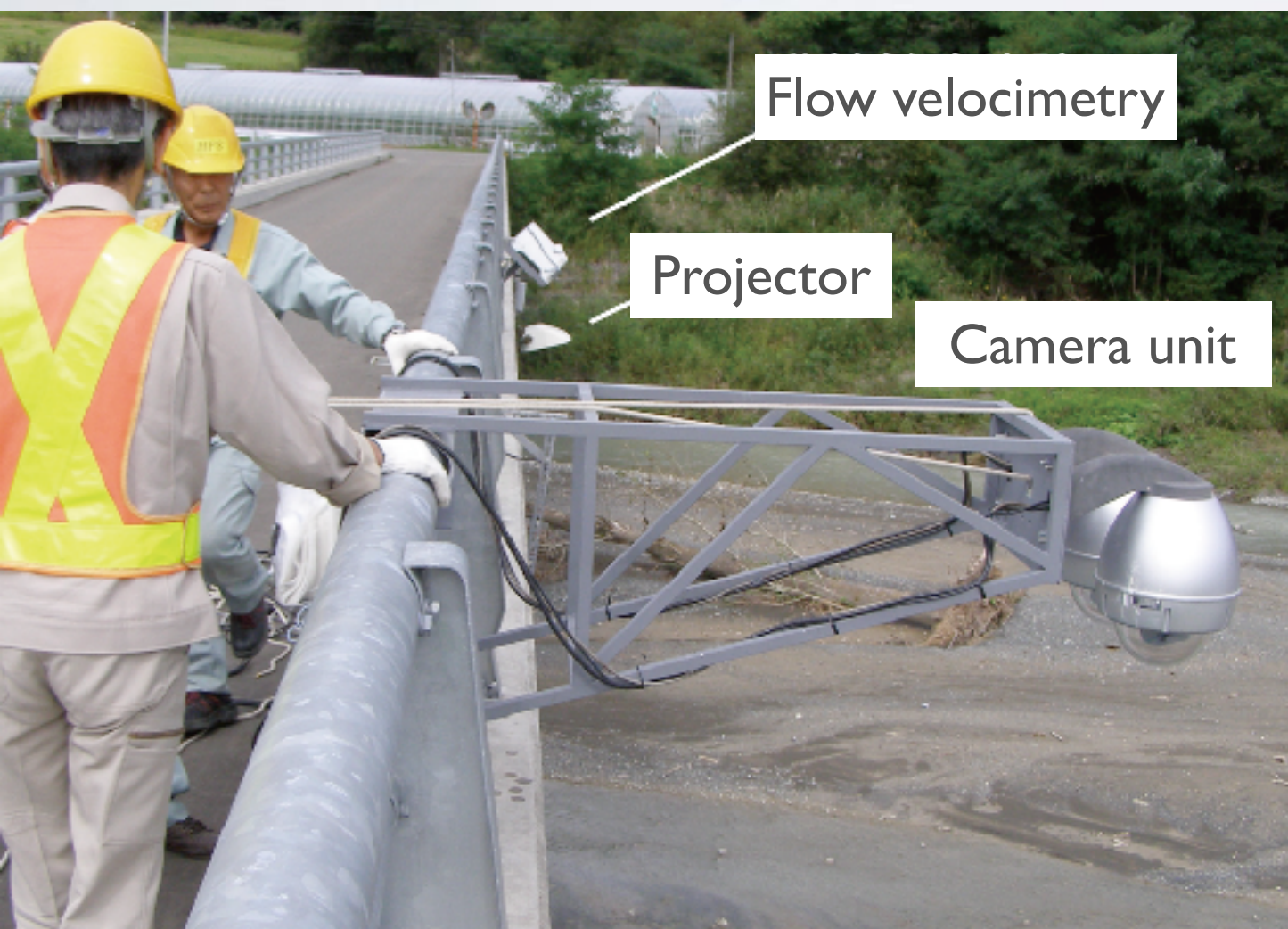
河川技術論文集, 第17巻, 2011.

簡易型システムによる橋脚周辺および 発生源における流木挙動の観測調査

赤堀 良介¹・村上 泰啓²・土田 宏一³・白井 博彰⁴

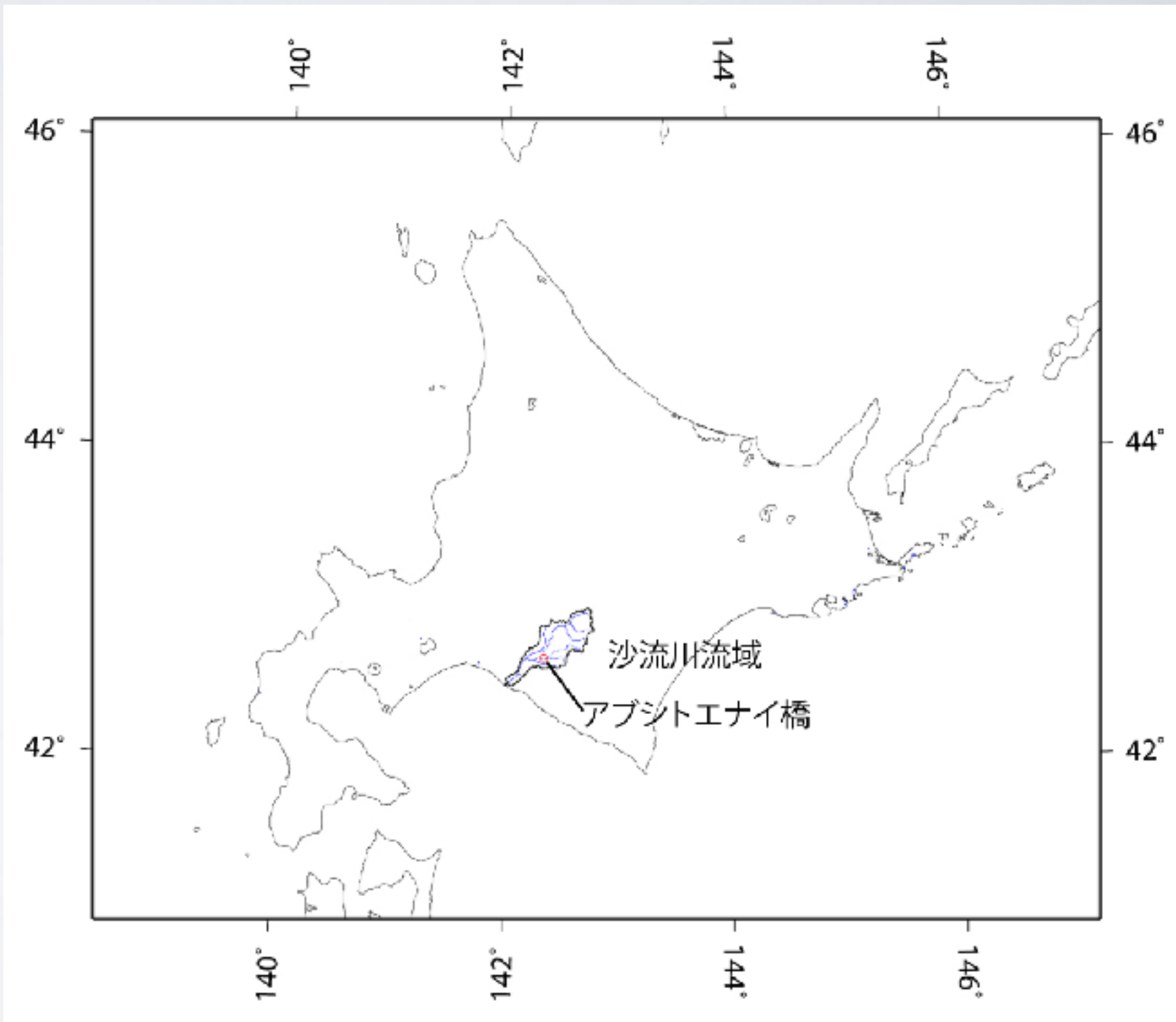
既往の観測

- ・ 2006年から北海道内の複数河川に対して流木流下状況の画像撮影によるモニタリングを行った



対象地域

- 北海道沙流郡
平取町,
沙流川水系
額平川
- アブシトエナ
イ橋



対象地域

北海道沙流郡平取町， 沙流川水系額平川，
アブシトエナイ橋



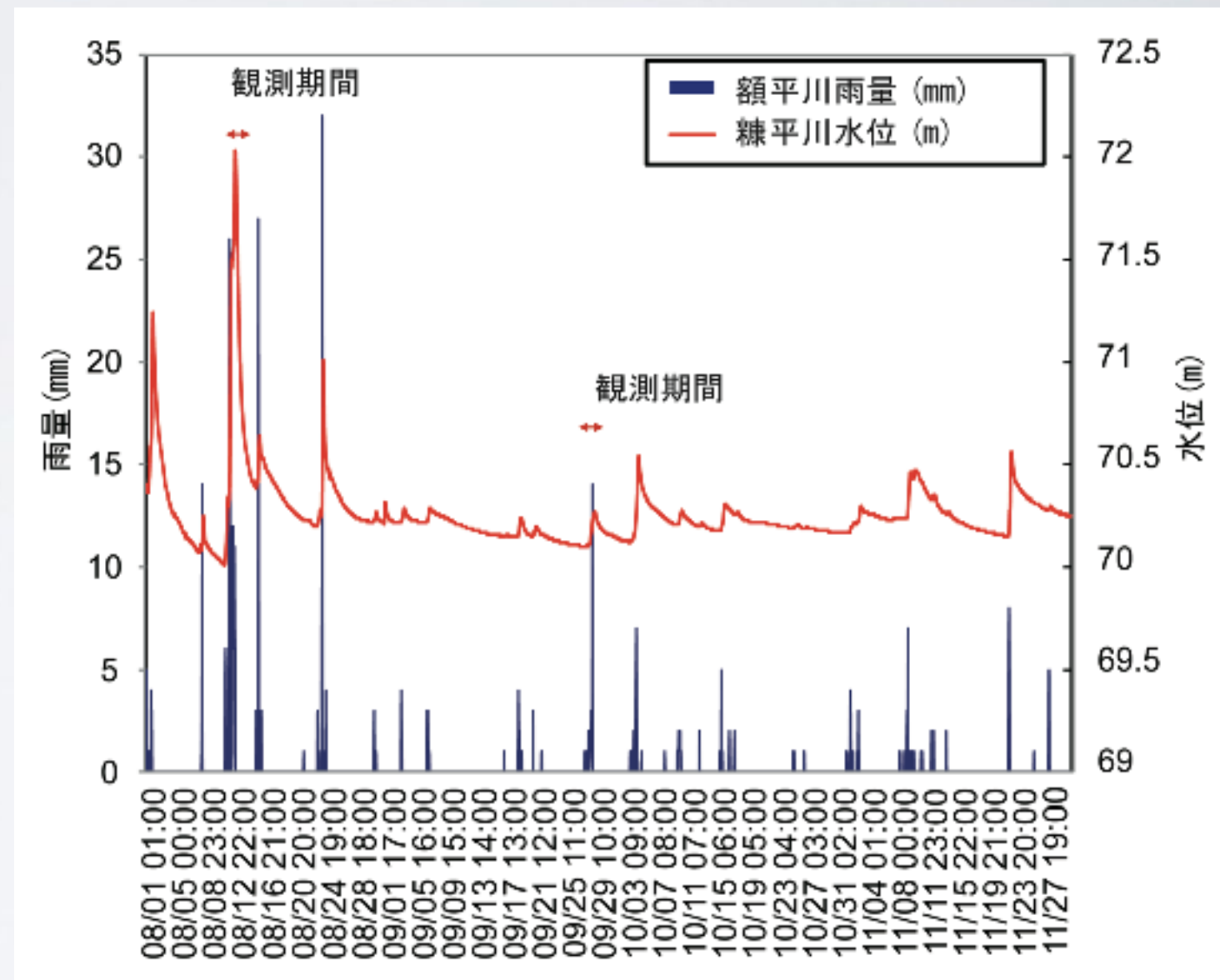


研究手法

- 流木流下の時系列的データを，流木の流下位置，流木のサイズで整理する

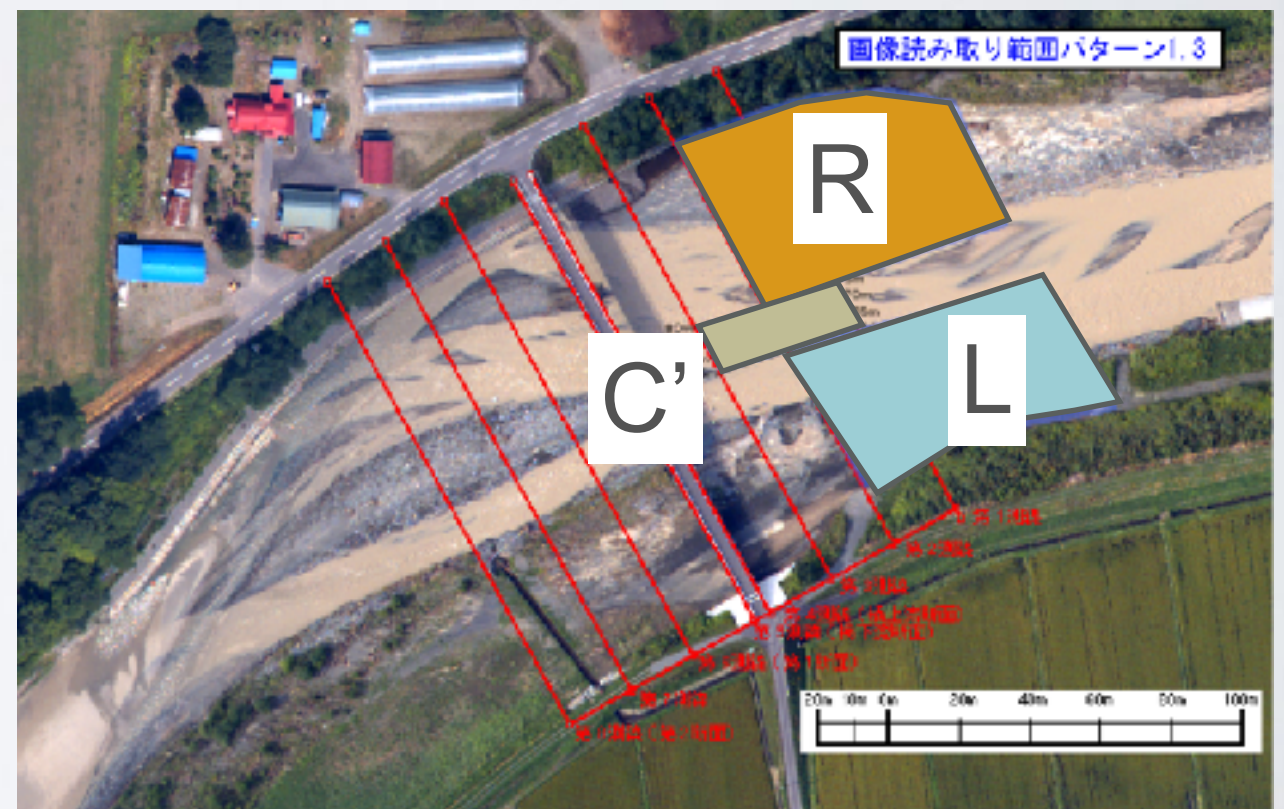
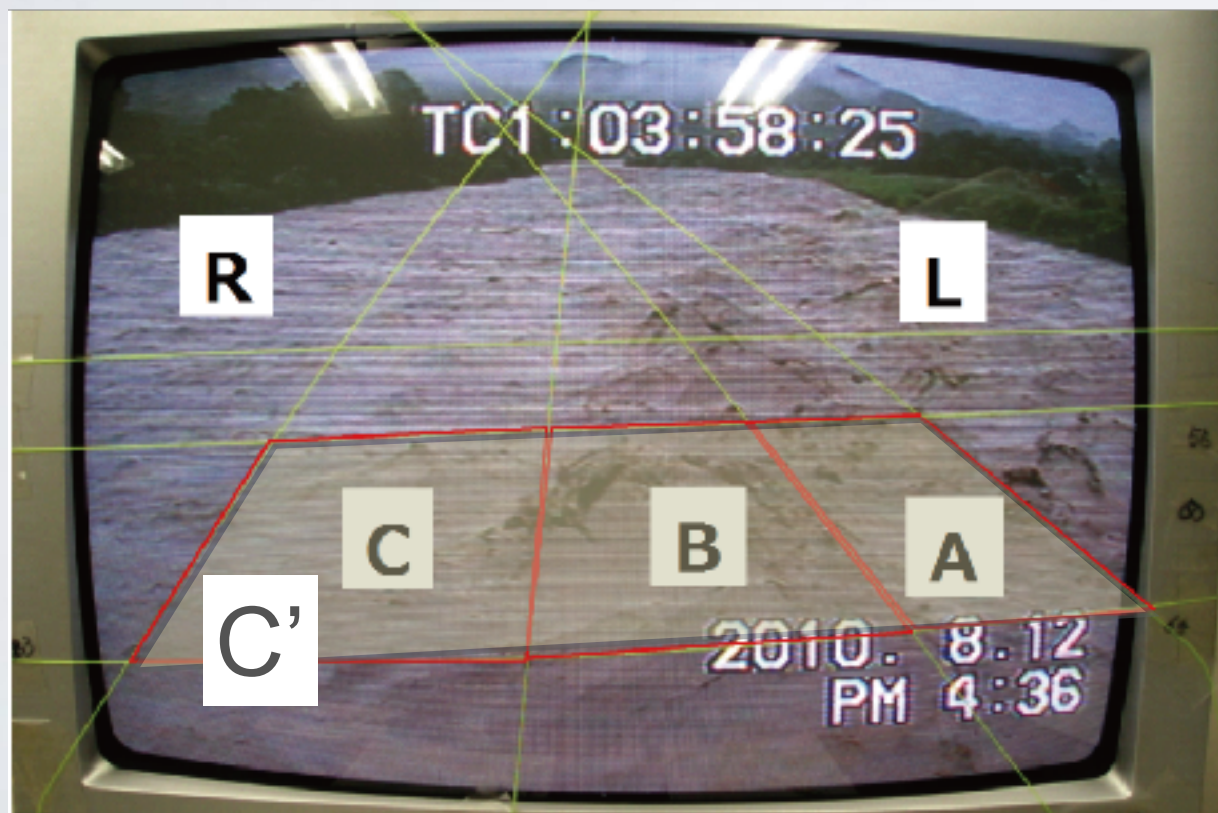
研究手法

- 観測期間：2010年
8月12日-13日
- 流木流下状況を橋
上のビデオカメラ
により撮影



寒地土木研究所提供データに おける計数手法

- 橋上からの撮影画像を元に目視により計数

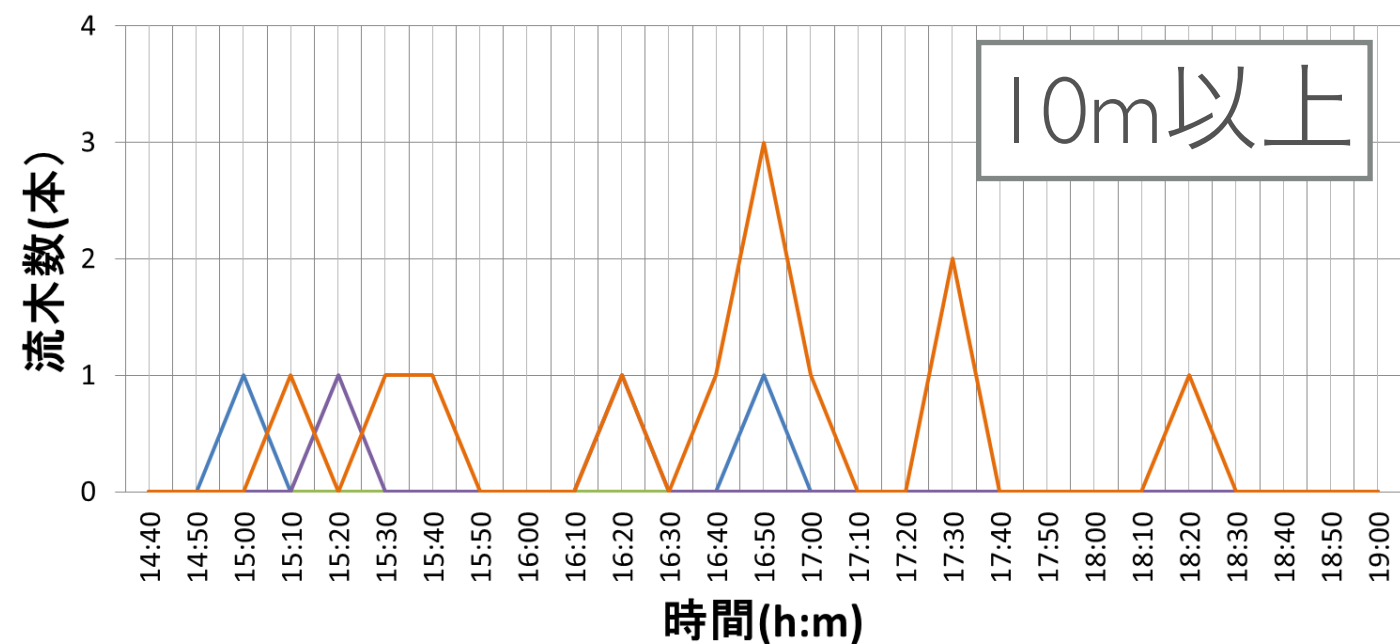
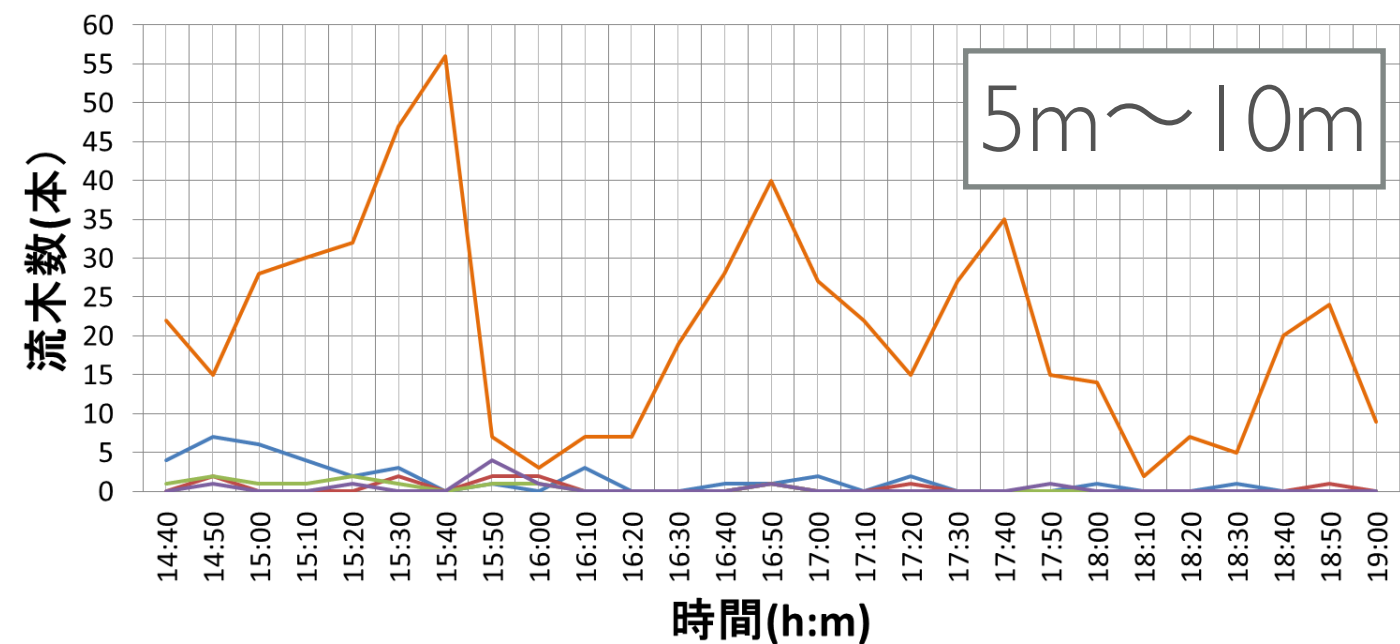
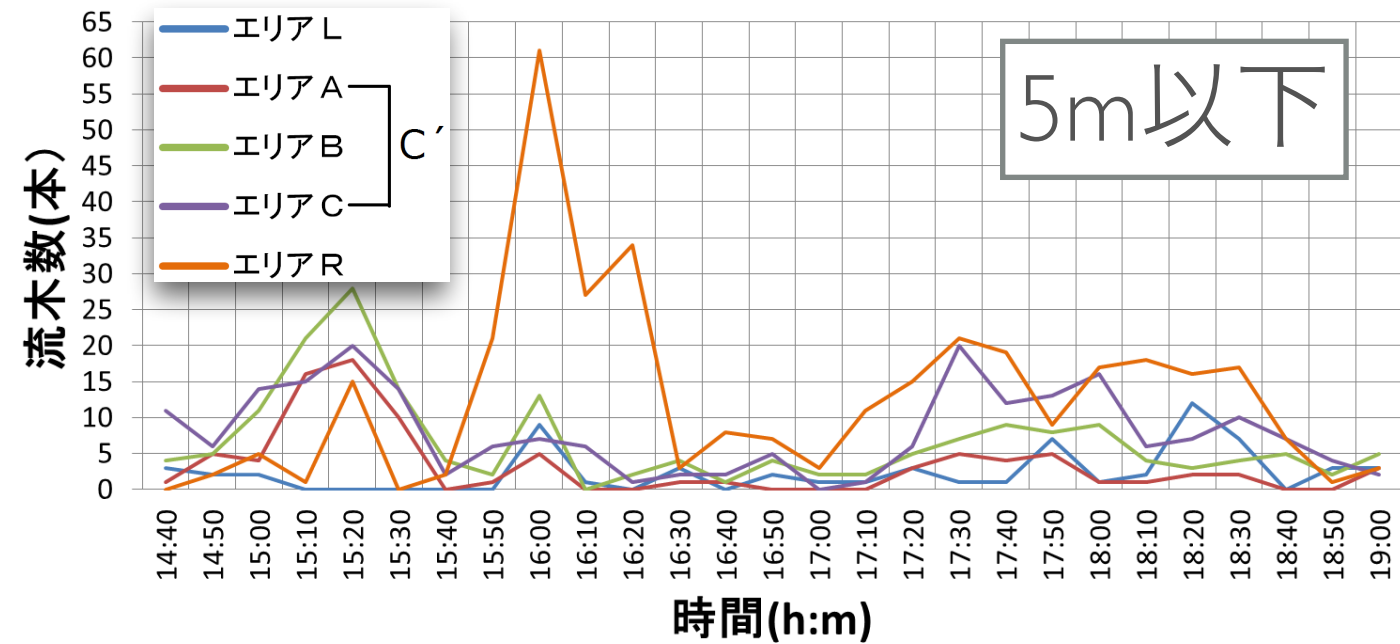
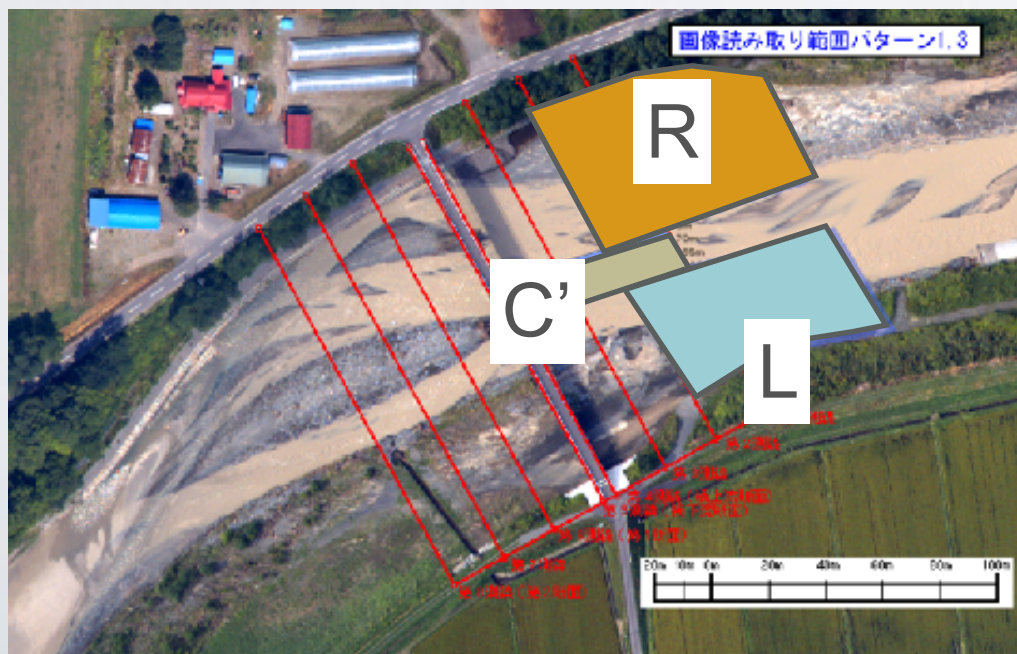


アブシトイナイ橋での2010年8月出水時撮影画像と計数時の領域分割

左：橋上からの撮影画像， 右：航空写真で見た該当位置

エリアごとの 流下数の変化

- 空間的な特性を検討
するためエリアごと
に先のデータを整理



2011年全国大会
複断面蛇行流路における
流木の挙動に対する面的計測

赤堀良介*, 渡邊康玄**

*独立行政法人 寒地土木研究所

**北見工業大学教授 社会環境工学科

発表者：初田直彦***

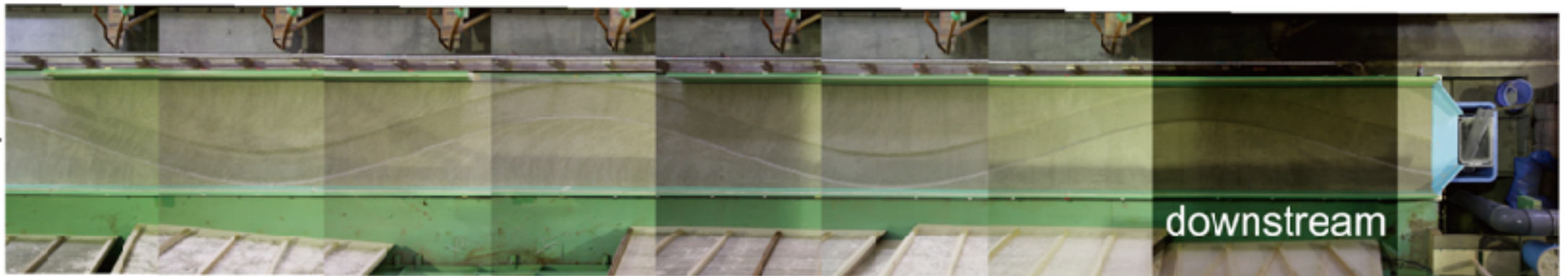
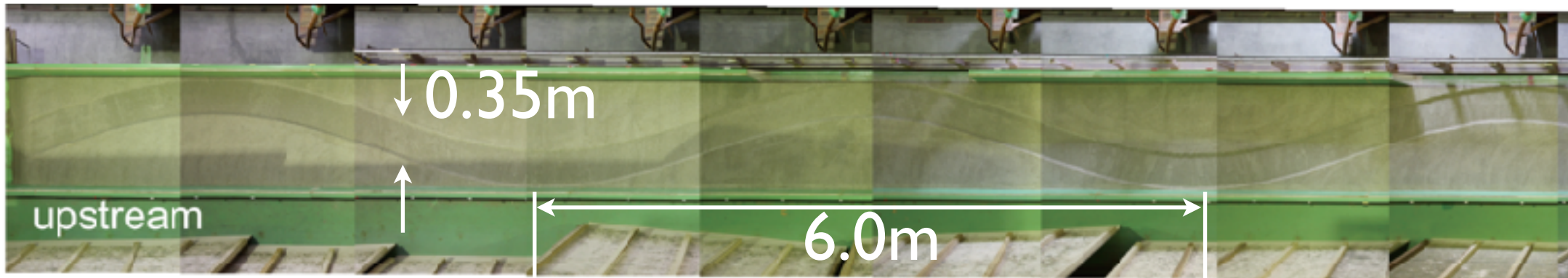
***北海道大学 大学院工学院 環境フィールド工学専攻

背景

- 流木の流下と集積の背後にあるメカニズムの把握が必要とされる
- リーチスケールの流れ場の構造に対する流木の挙動などに主眼を置いた研究例は少なく、これまでのところ現象が十分に解明されたとはいえない

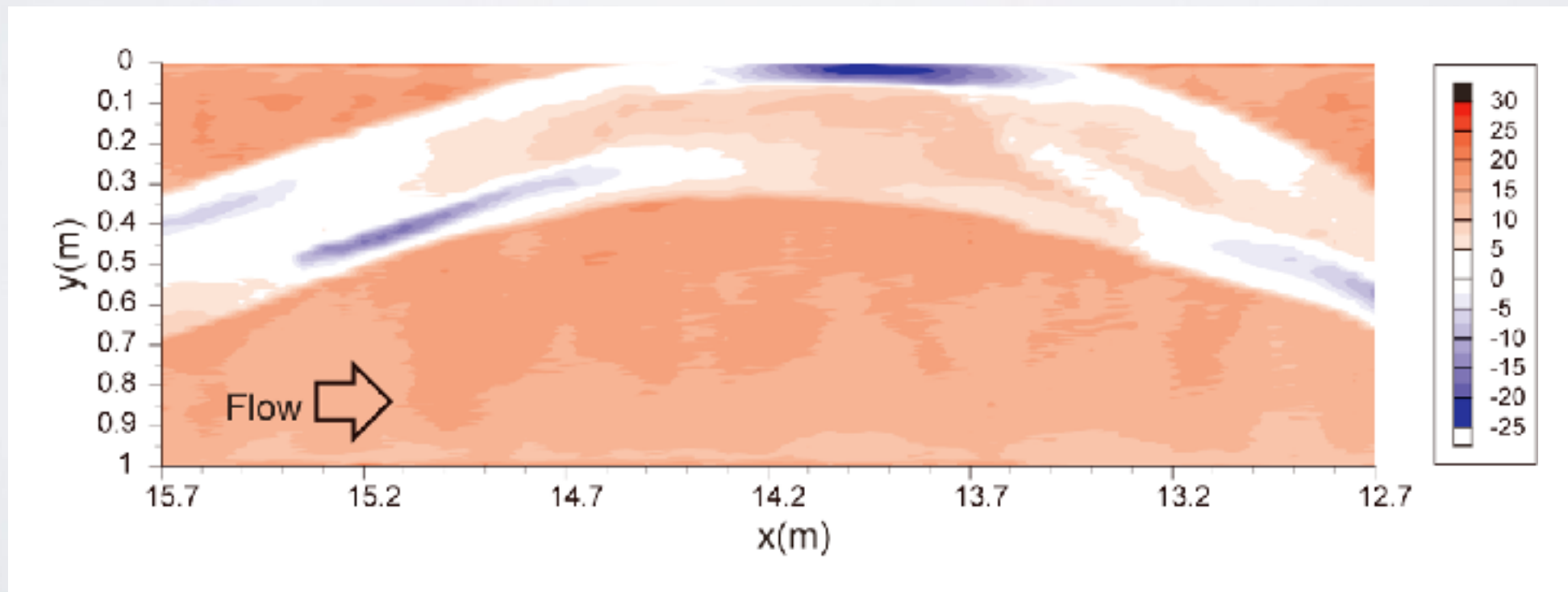
実験の概要

- ・ 直線水路, 水路長 : 30m, 幅 : 1m, 勾配 : 1/150
- ・ 0.76 mm粒径の砂により, 蛇行した低水路部を形成



実験の概要

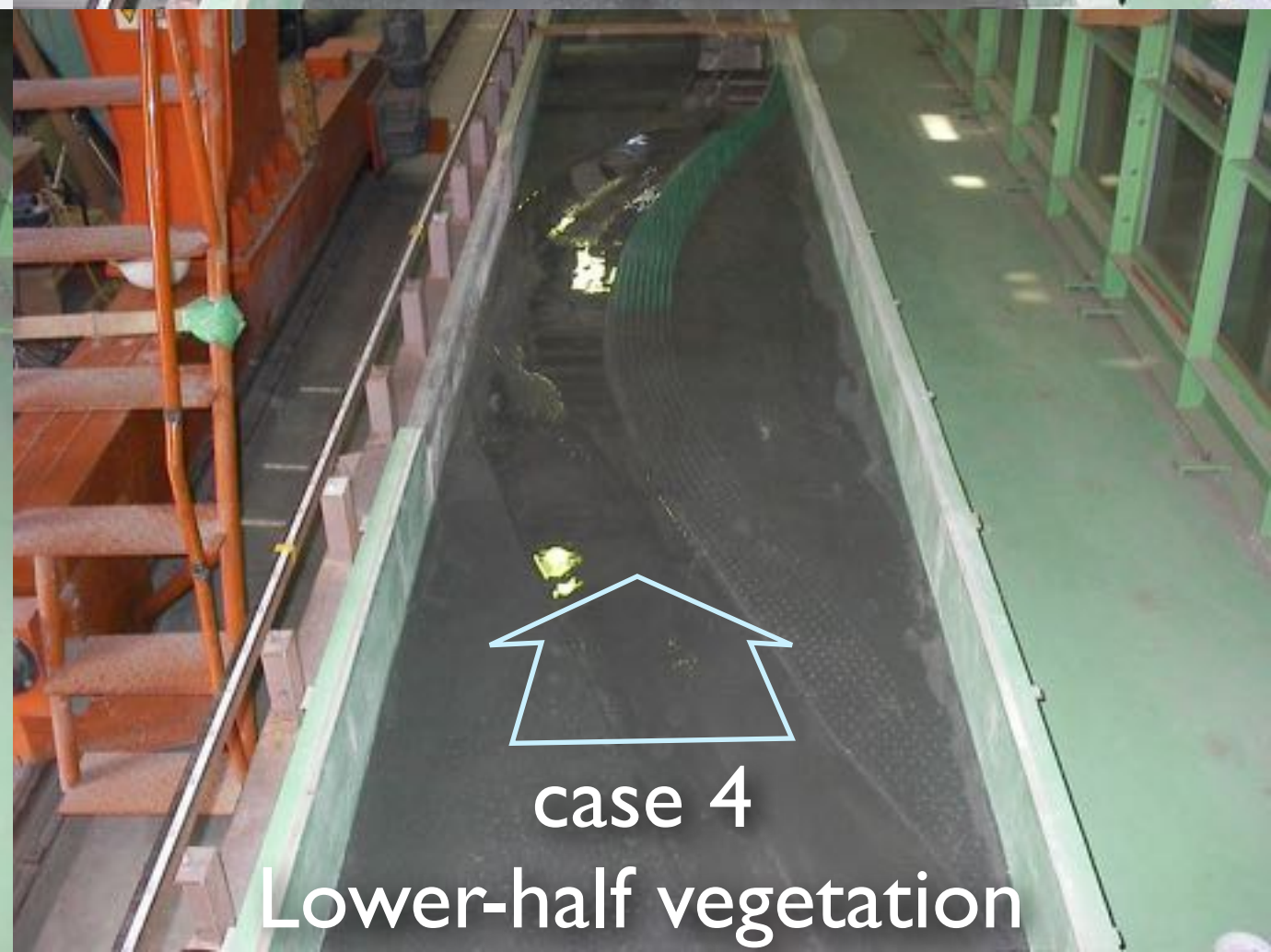
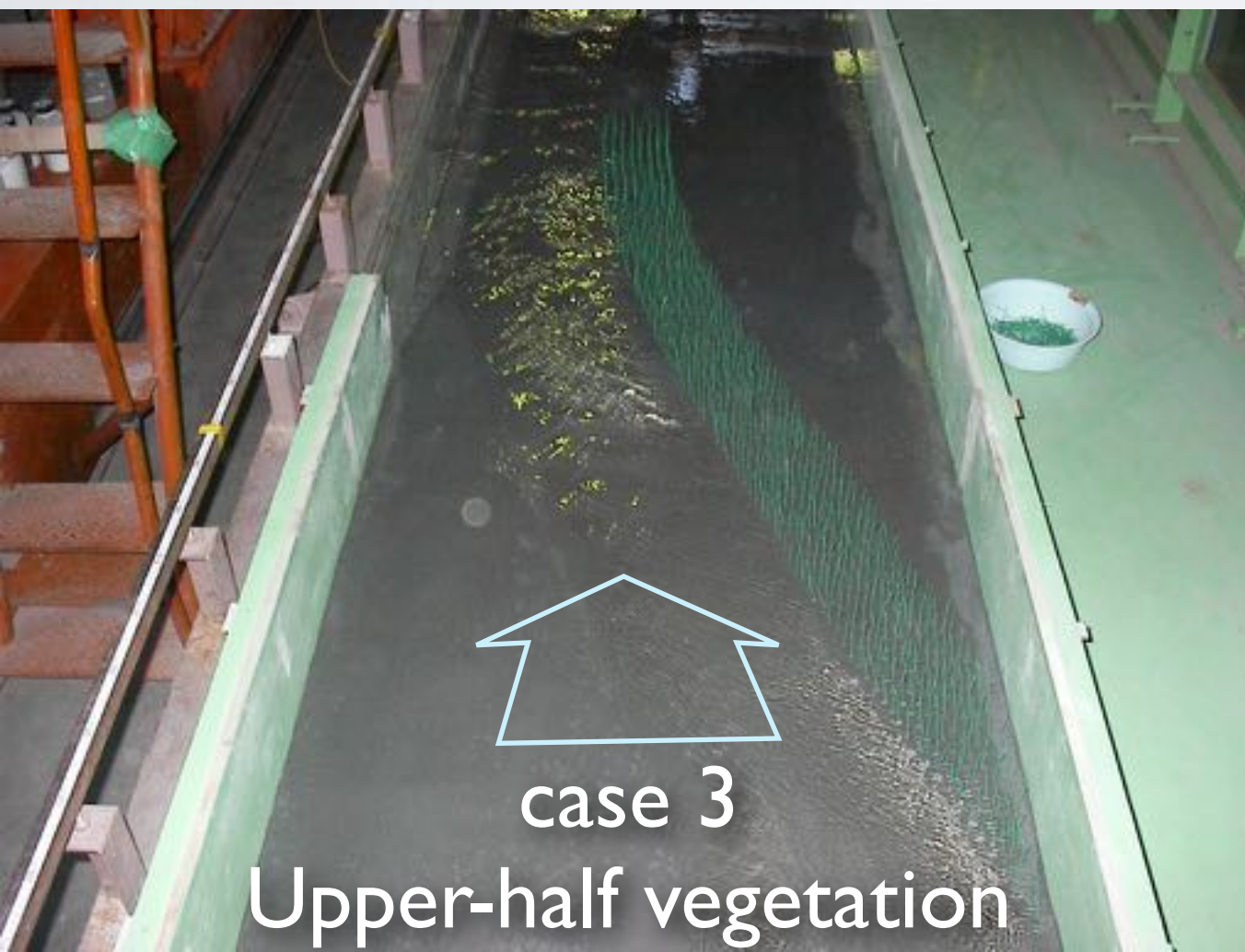
- 低水路満杯流量にて予備通水を行い，砂州を形成
- 形成された河床形状はセメントにより固定化



bed elevation deviation (mm)

実験の概要

- Cases 2～4に対し模擬
植生を設置



実験ケース

Case No.	Vegetation	Discharge (l/s)	Cross-section
1-1	Non	2.50	
1-2	Non	1.88	
1-3	Non	1.33	
2-1	Full	2.50	
2-2	Full	1.88	
3-1	Upper-half	2.5	
4-1	Lower-half	2.5	

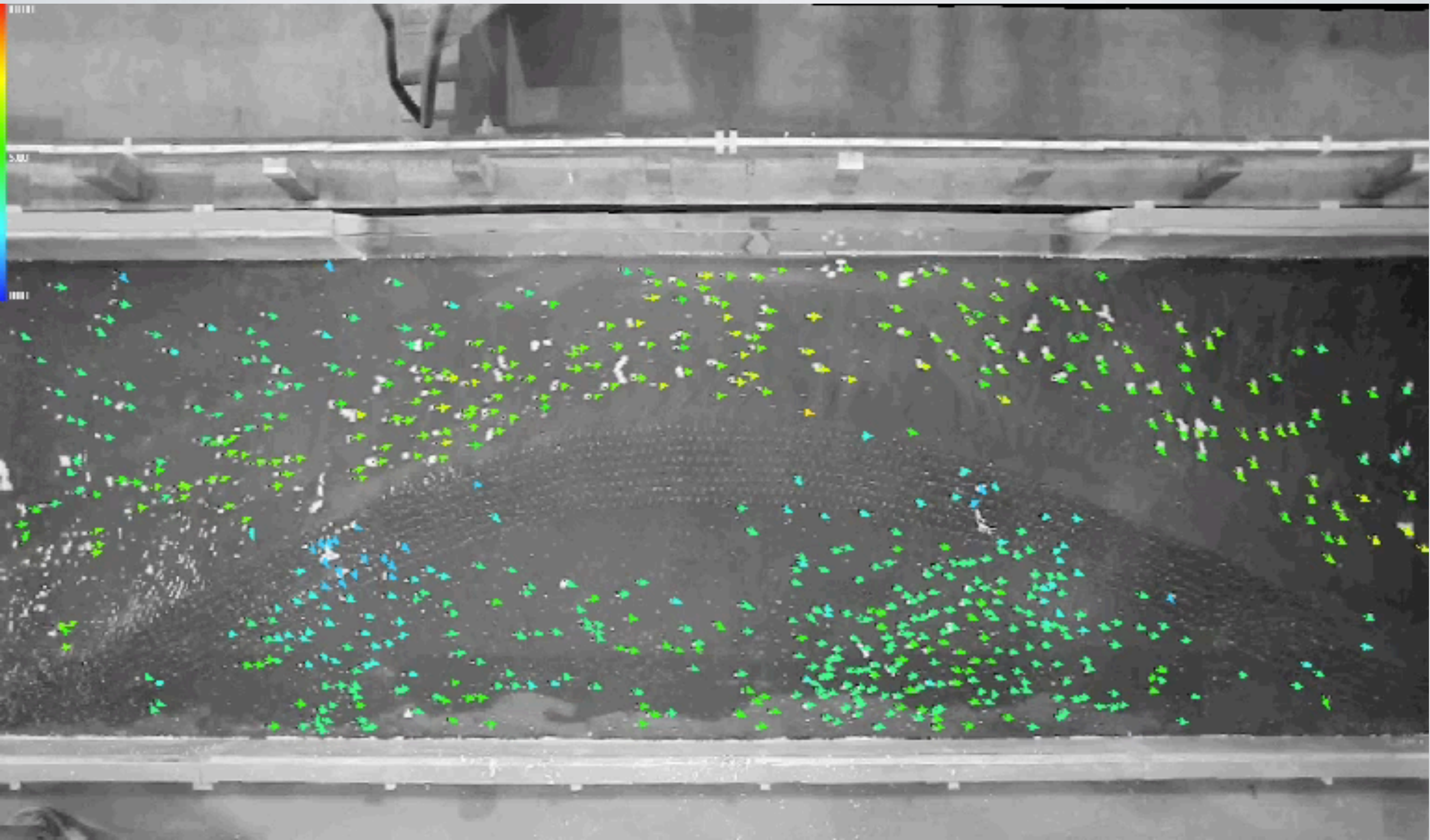
Particle Tracking Velocimetry

- 流れ場の計測と流木の流下状況の計測に関してPTV による画像解析を用いた
- PTVにより個々の追跡粒子に対する流速の計測が可能
- 市販の解析アプリケーションを利用 (Dipp-Flow; Ditect Co., Ltd.) , 解析アルゴリズムには二値化相関解析を利用(植村ら, 1990)

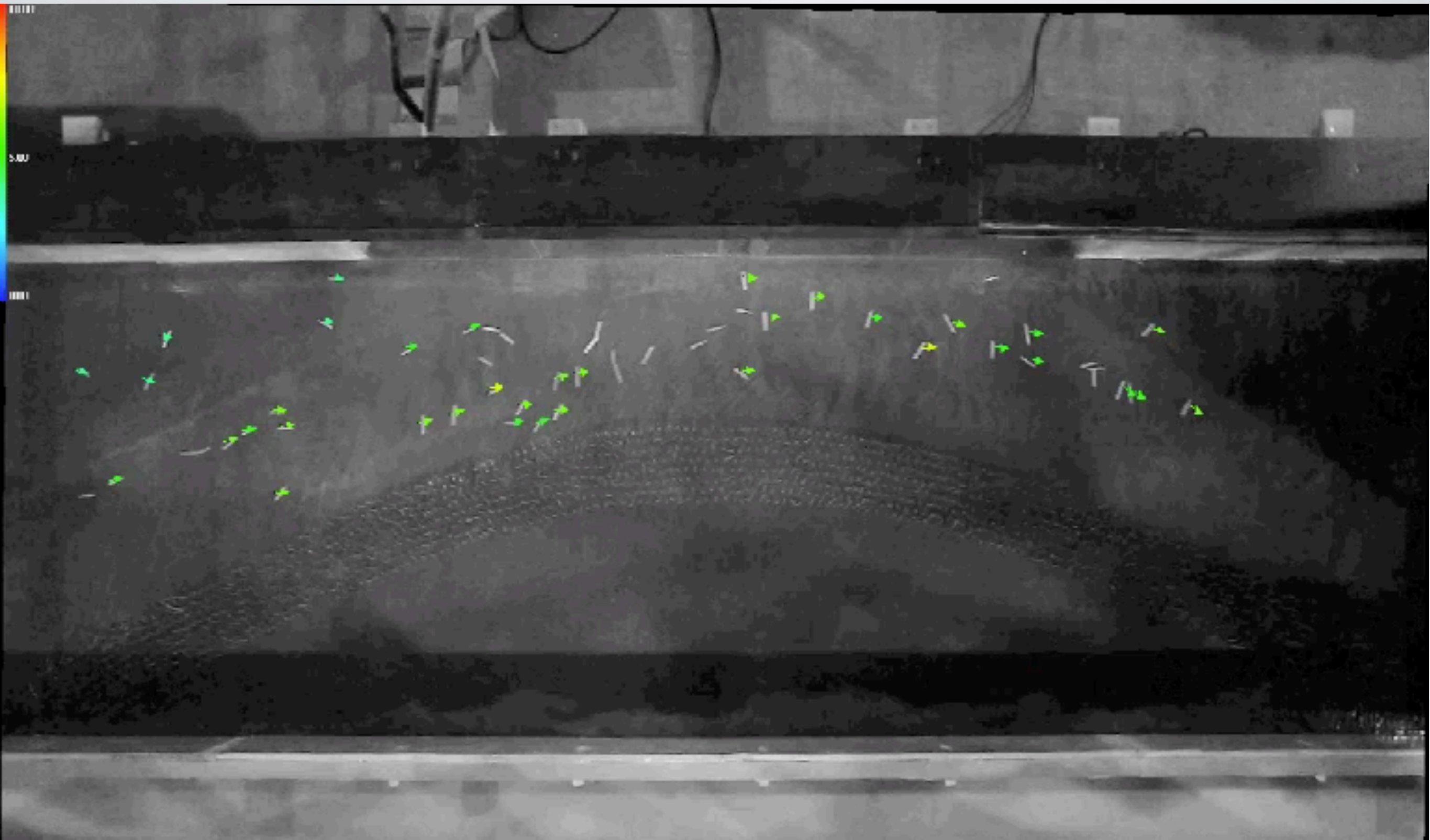
Particle Tracking Velocimetry

- 水路直上から30 fps の動画を撮影 (EOS 5D Mark II; Canon)
- 表面流のトレーサー：スチレン球 (3 mm)
- 流木模型：木材(長さ40 mm, 直径1 mm)

PTV解析例：表面流(case 2-1)



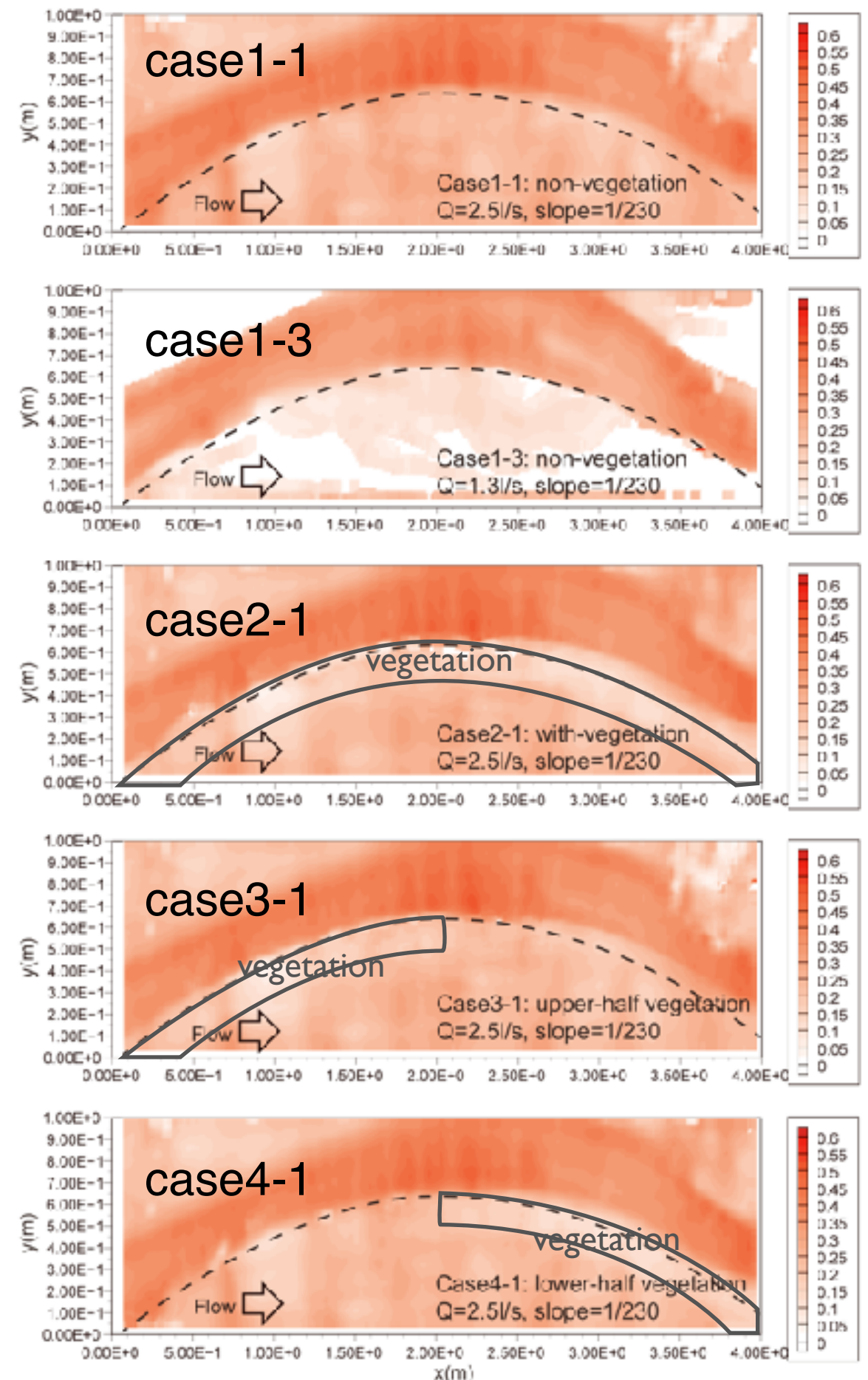
PTV解析例：流木(case 2-1)

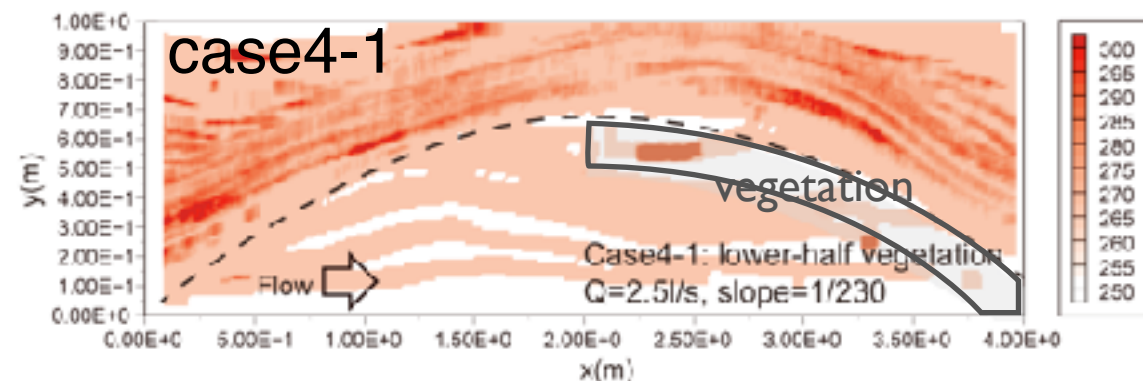
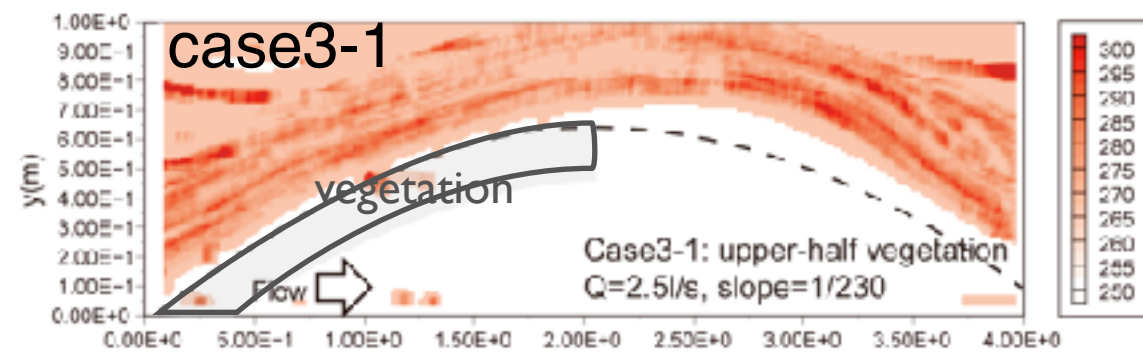
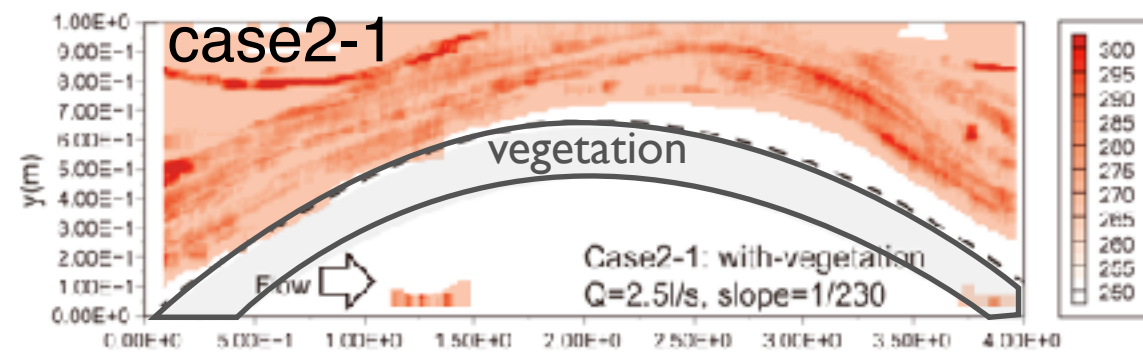
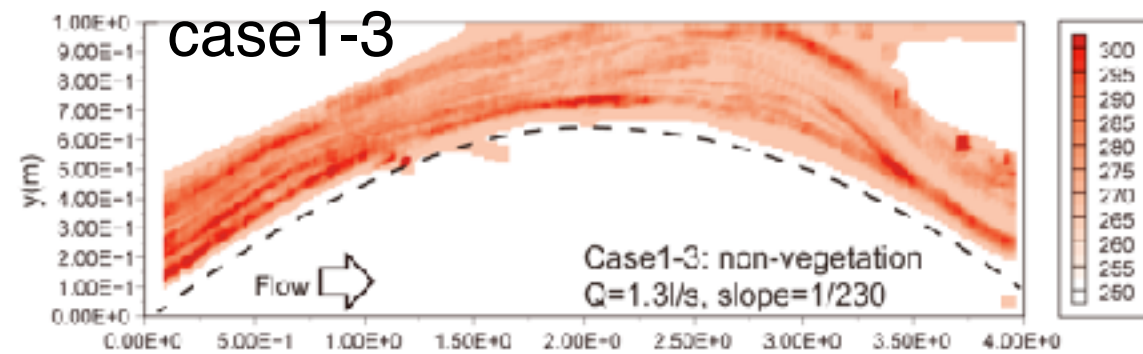
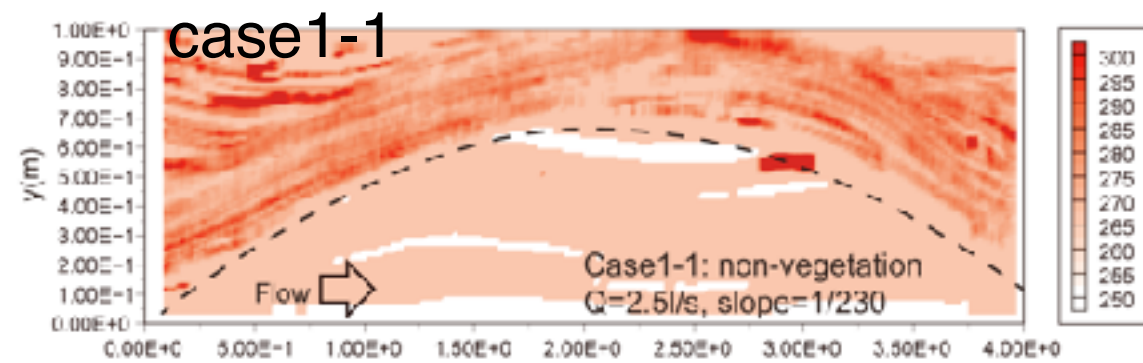


実験結果

流速分布 (m/s)

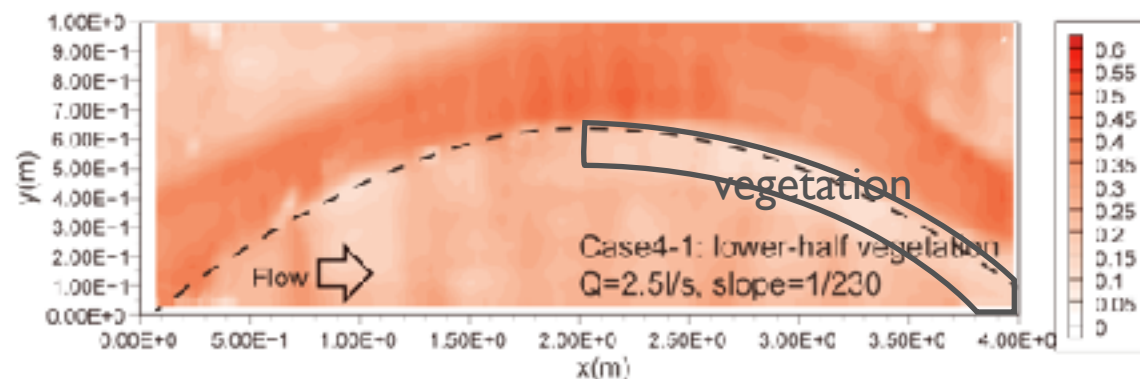
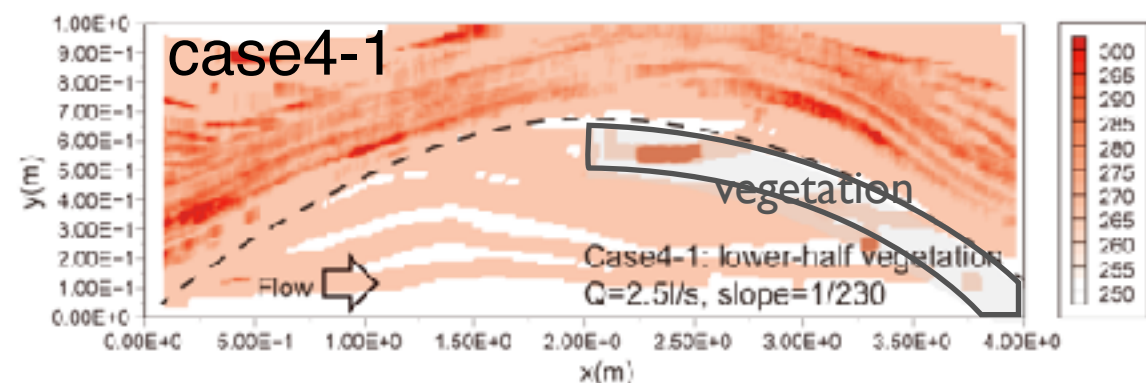
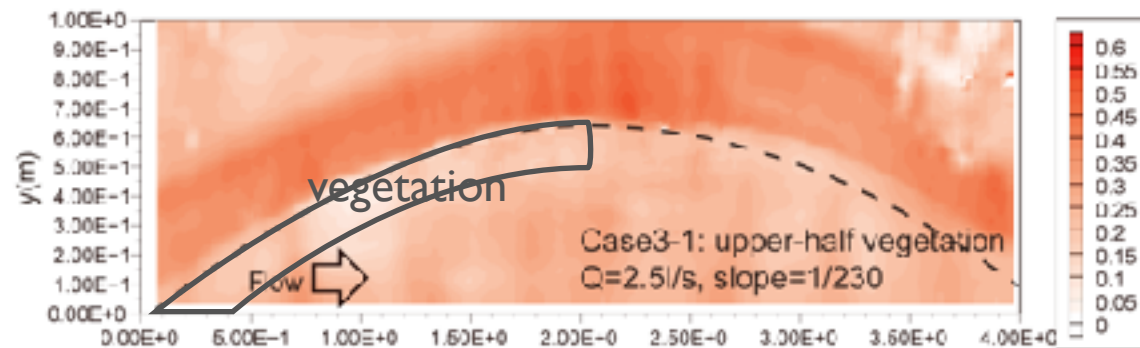
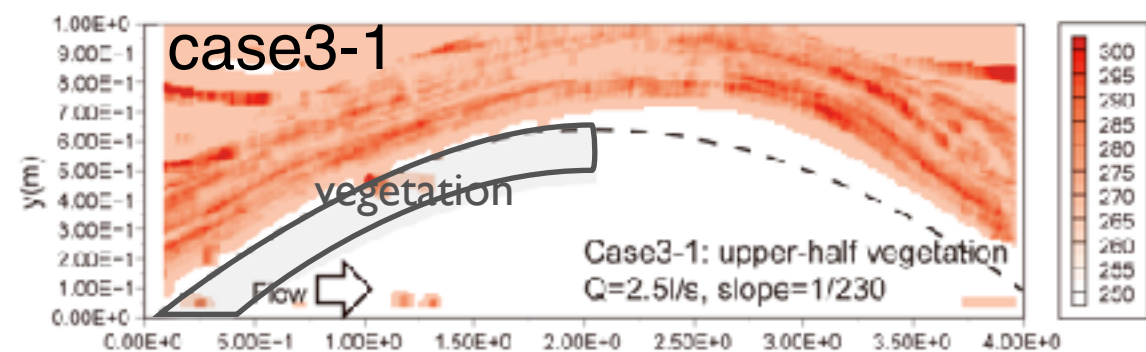
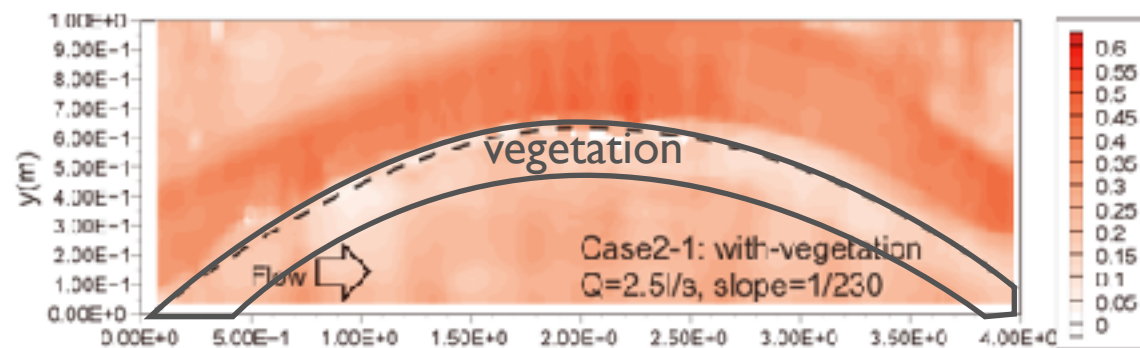
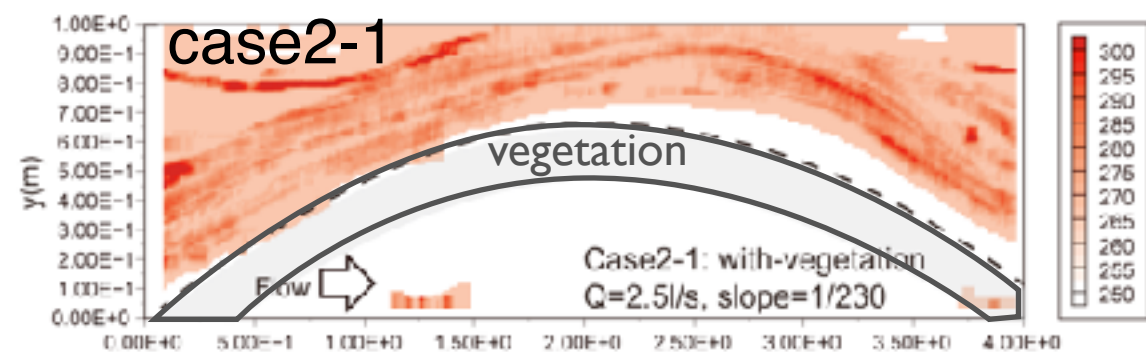
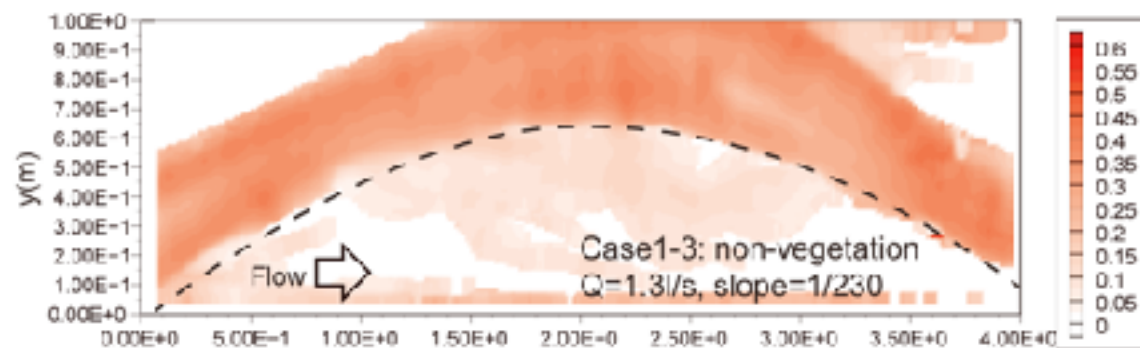
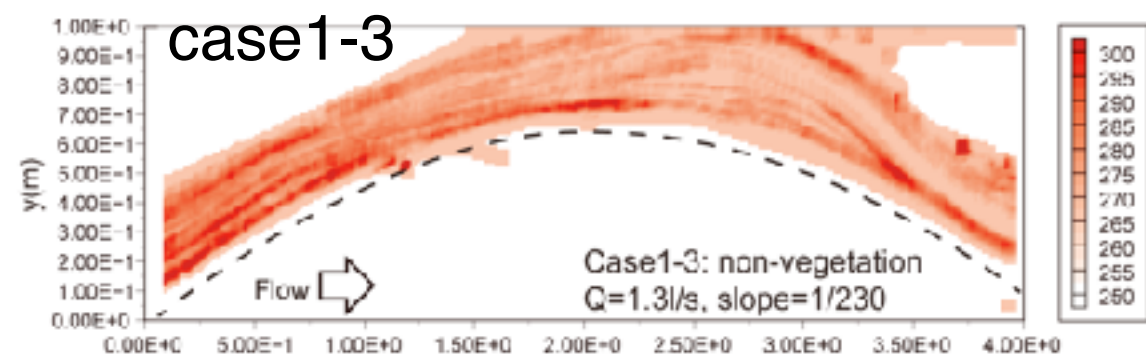
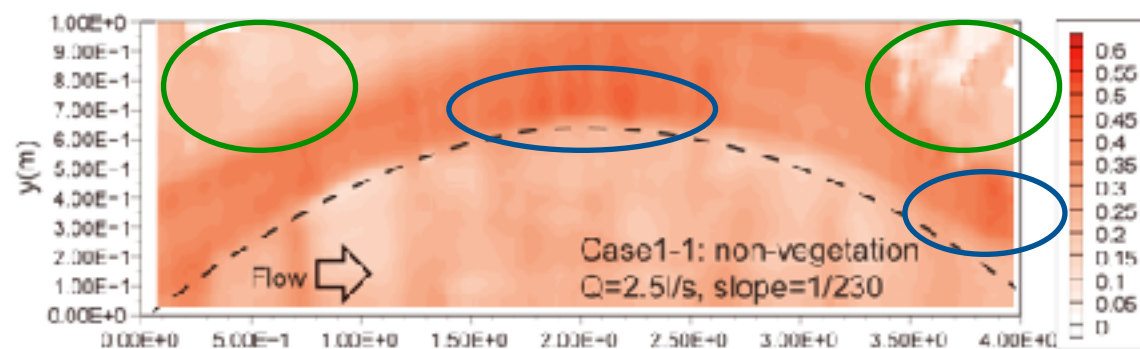
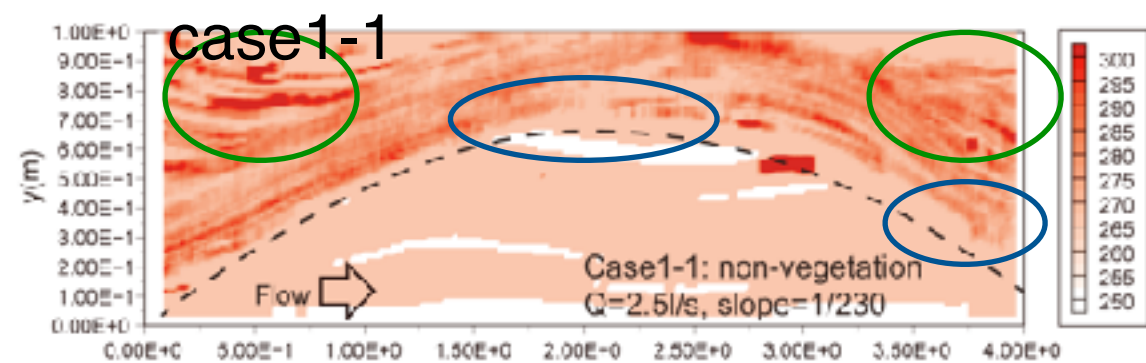
- 右図は流速の絶対値の分布を示す

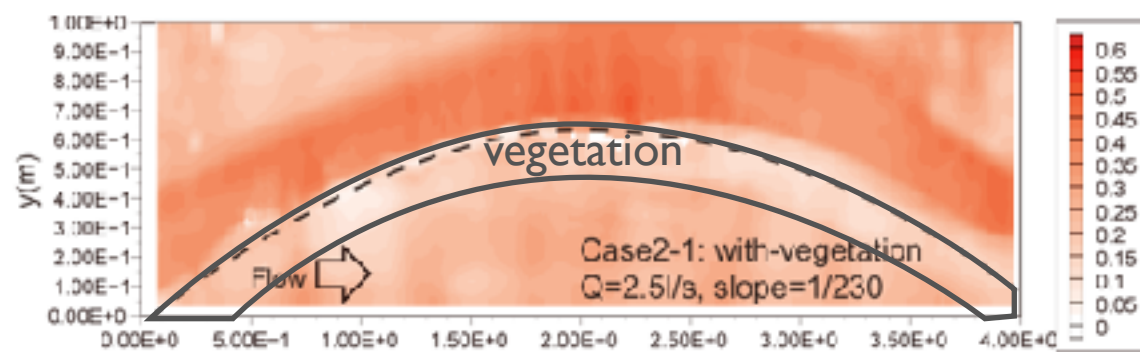
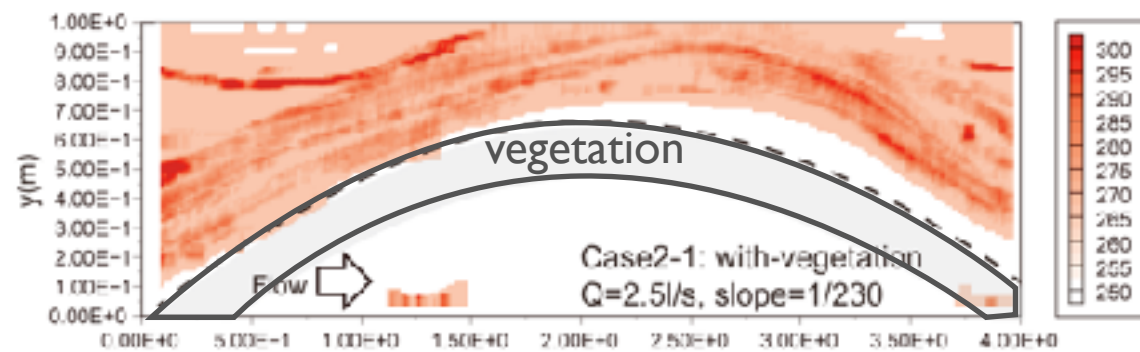
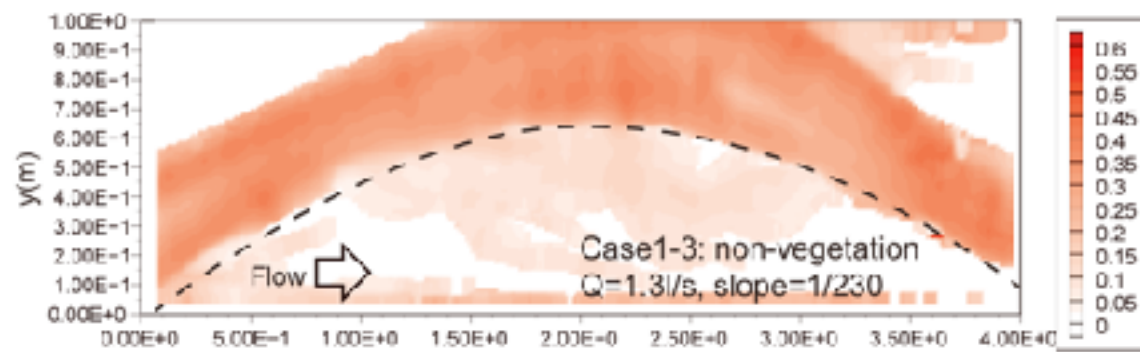
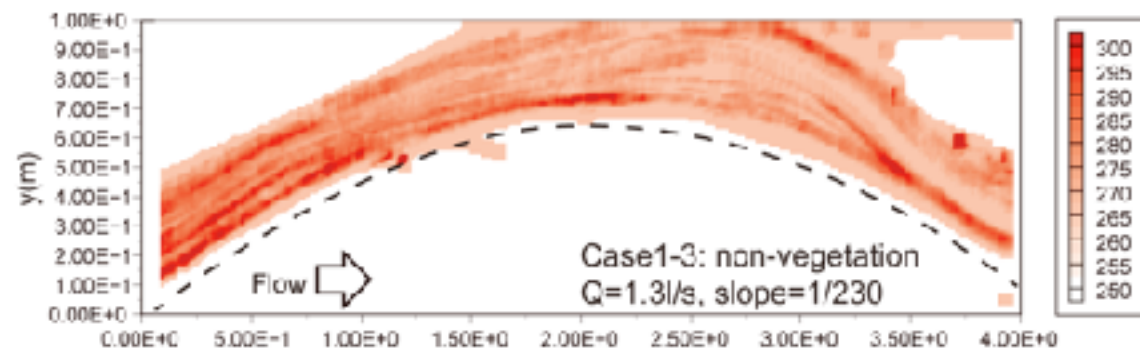
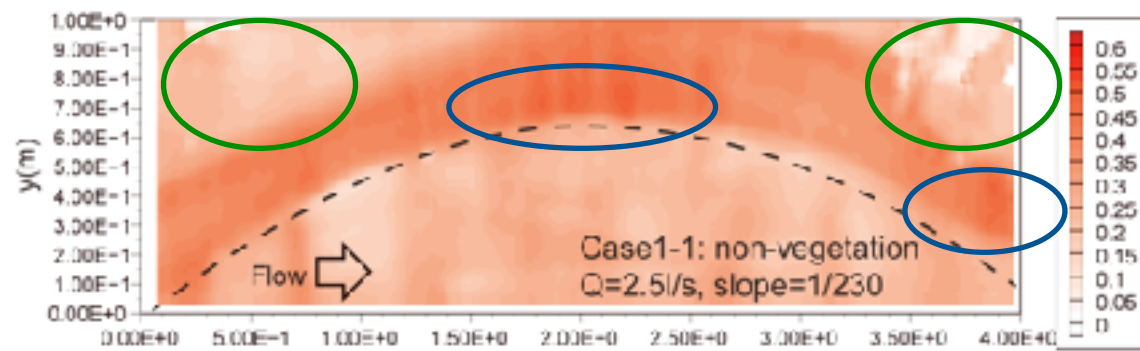
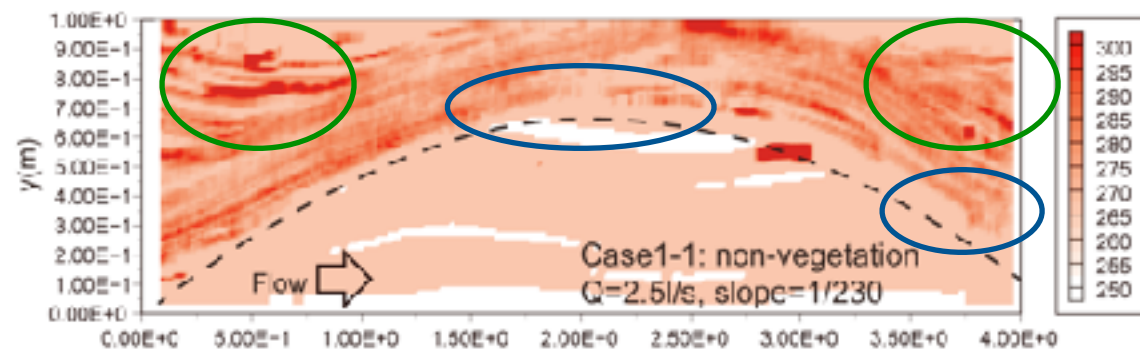




流下流木の濃度に関する アンサンブル平均

- 左図は時間平均された
単位面積あたりの流下
流木本数を示す



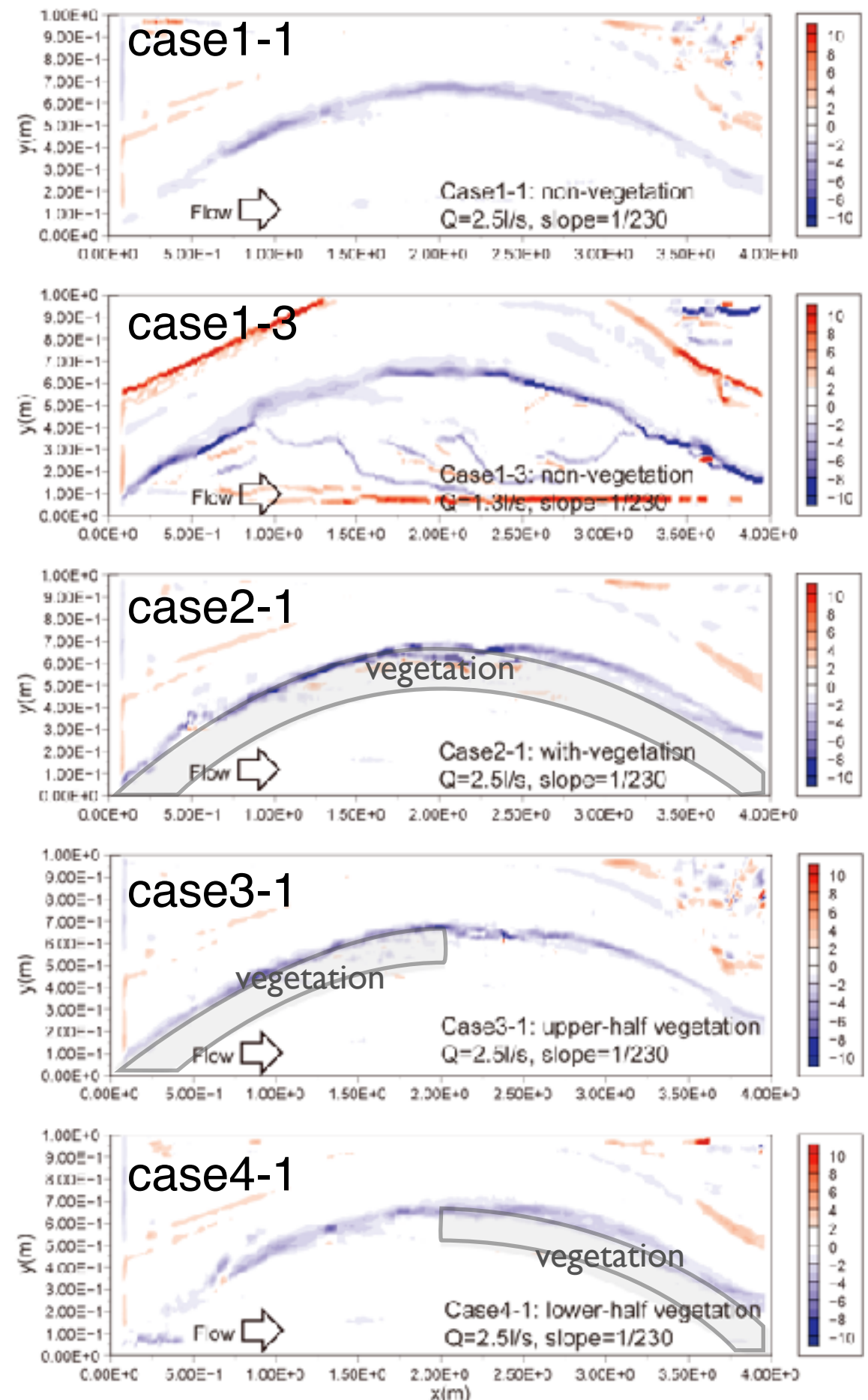


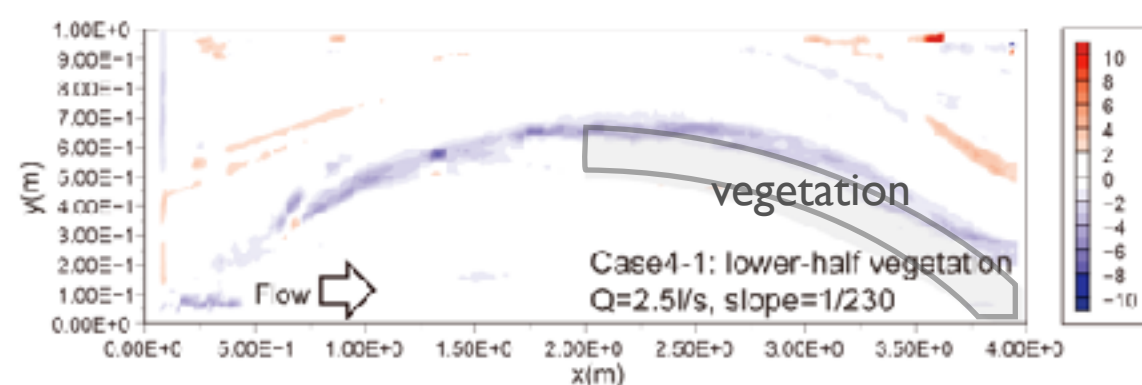
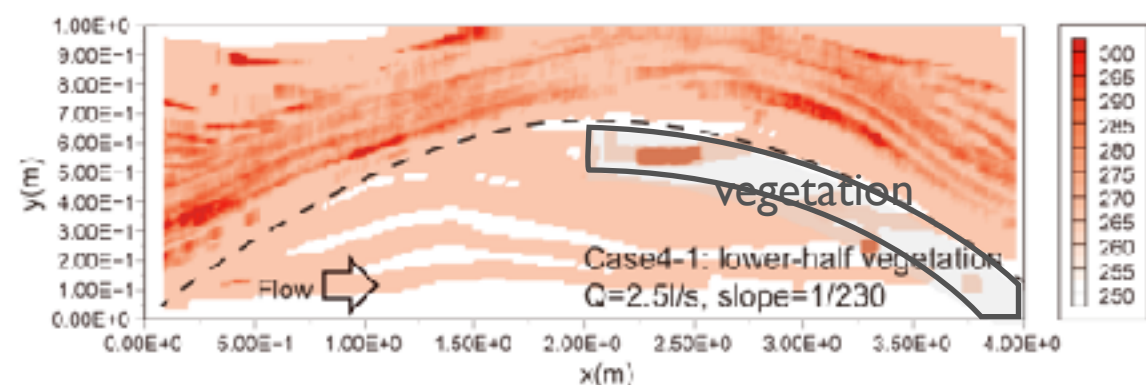
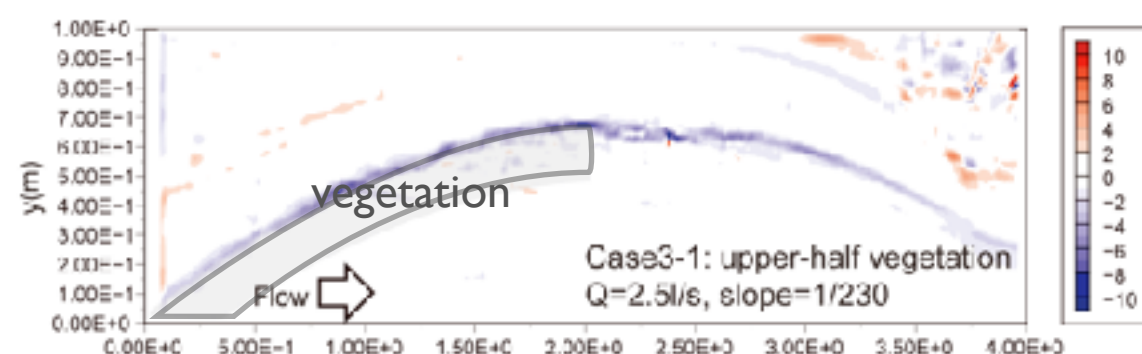
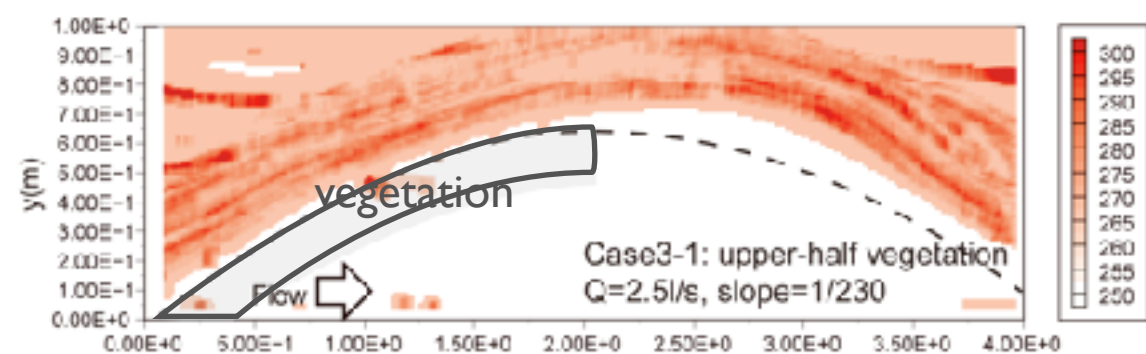
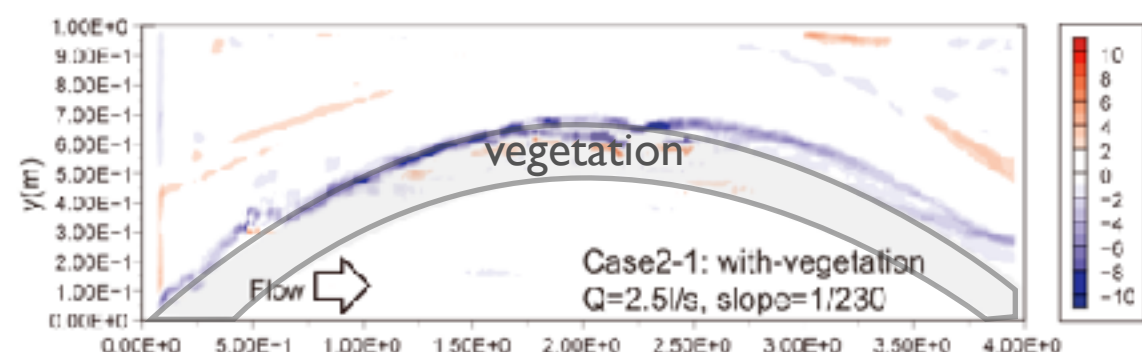
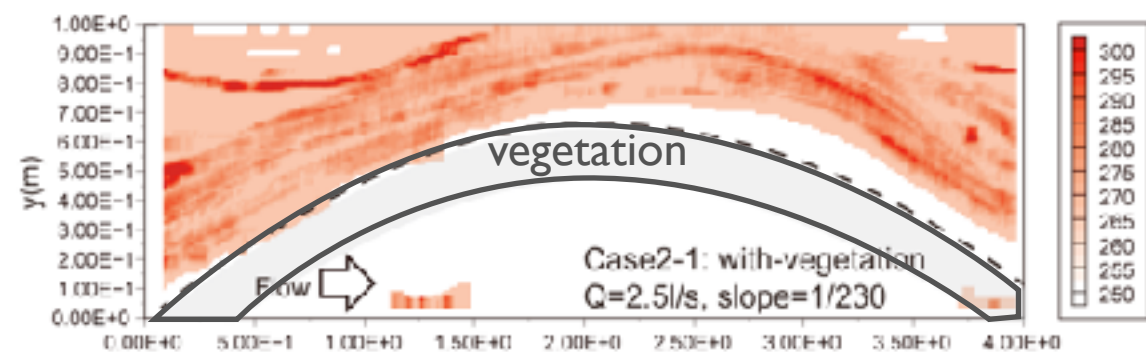
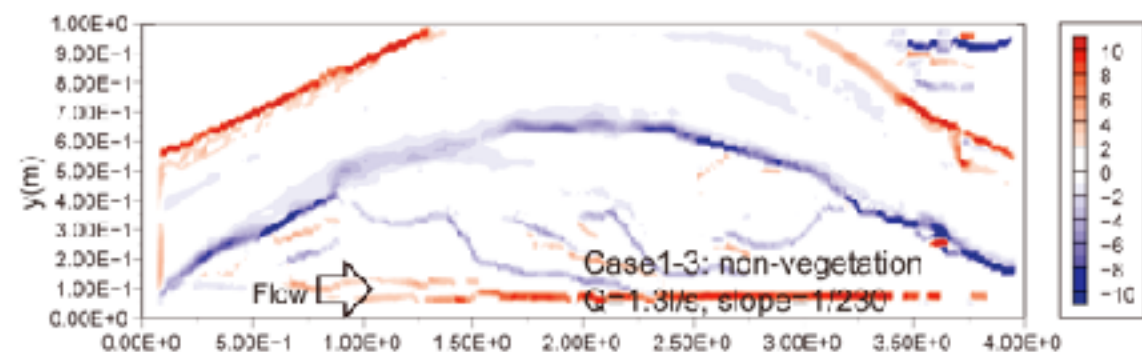
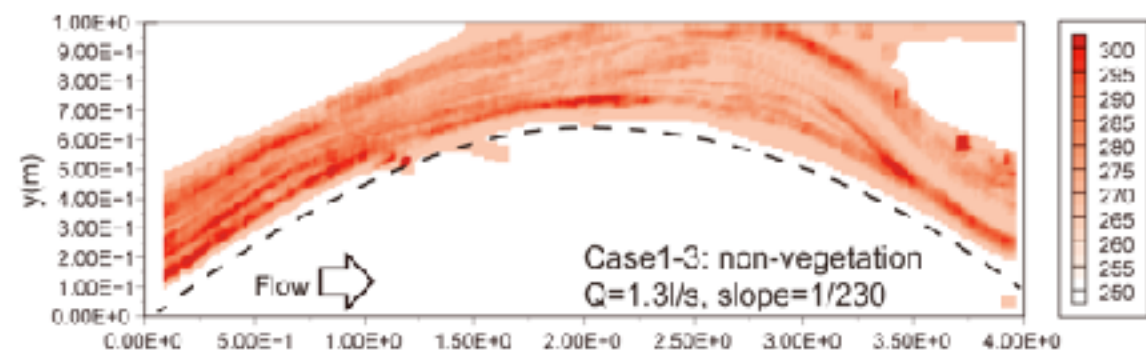
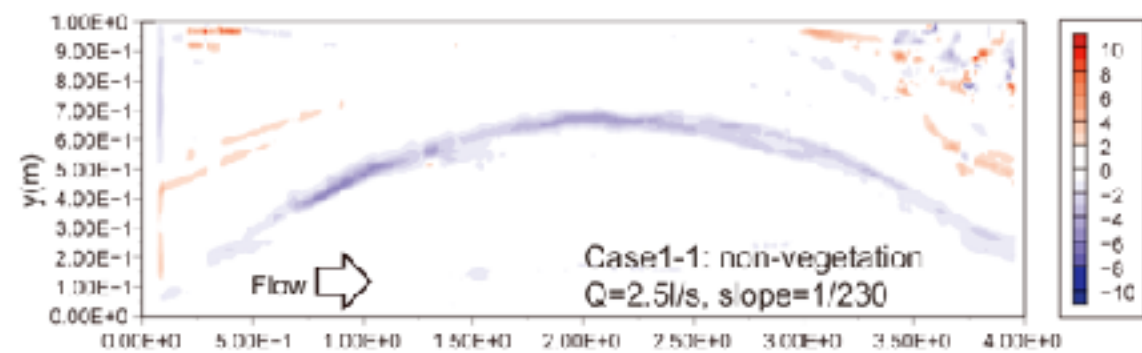
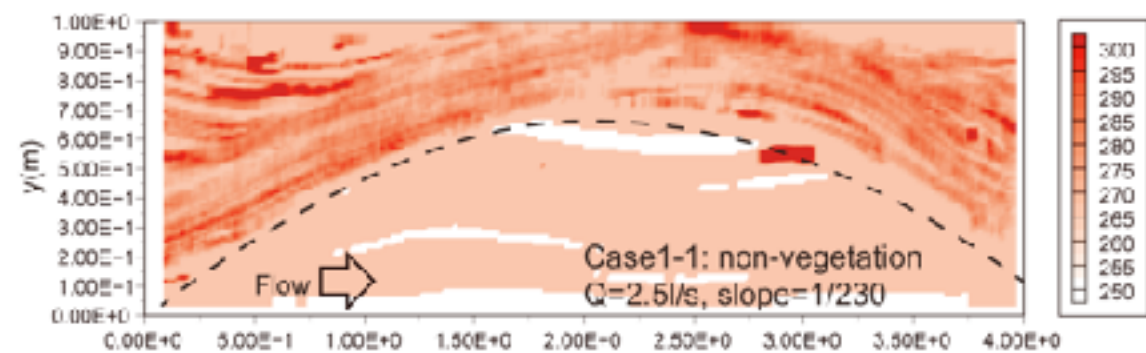
- 目視では流木は流速の速い領域に集中するように観察された。

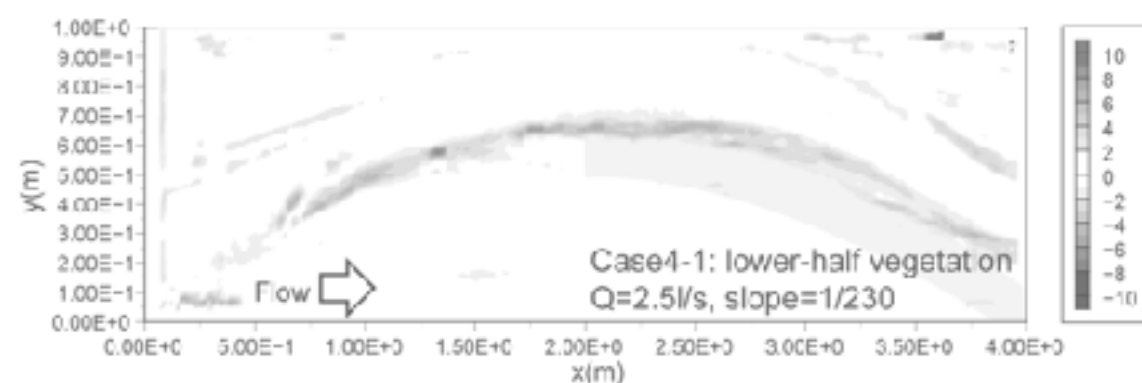
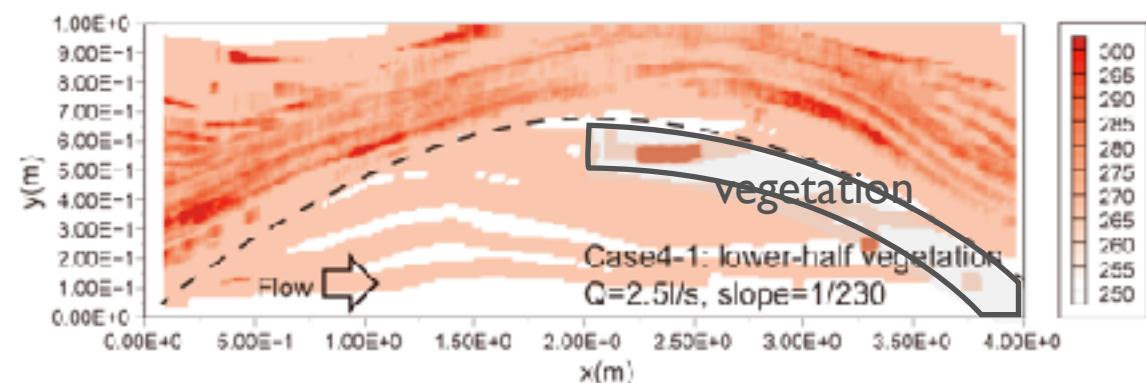
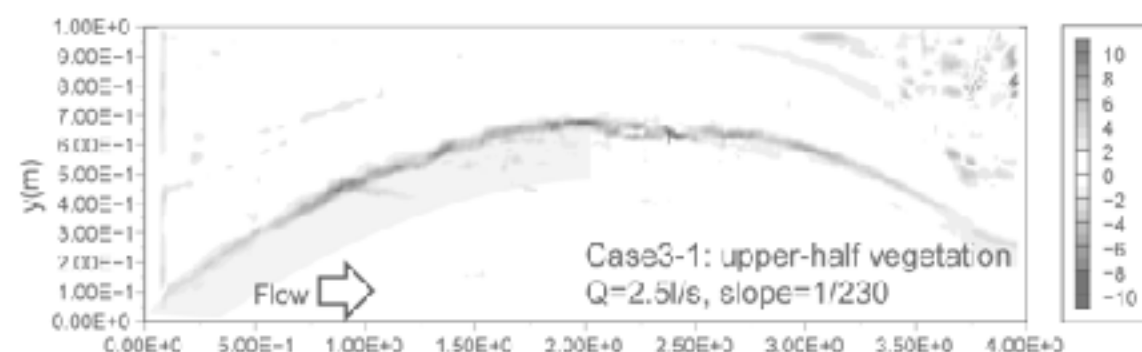
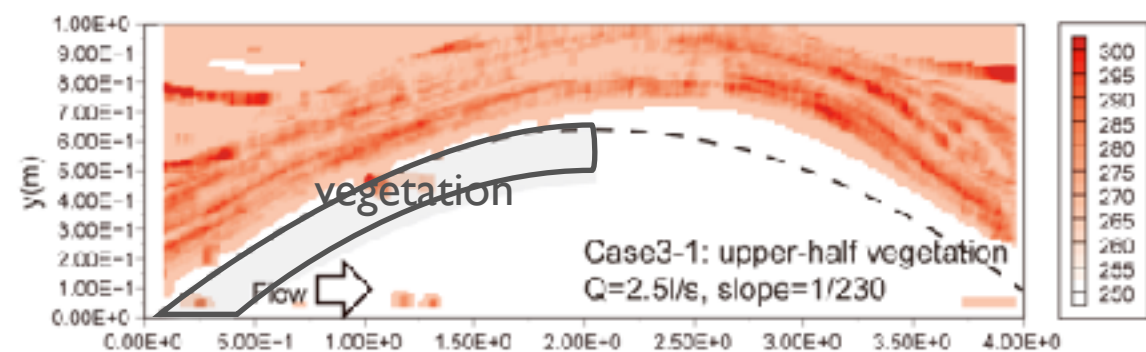
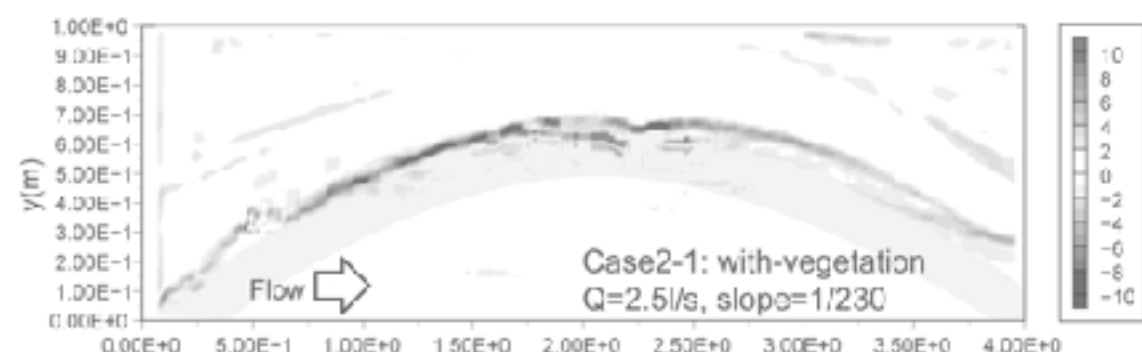
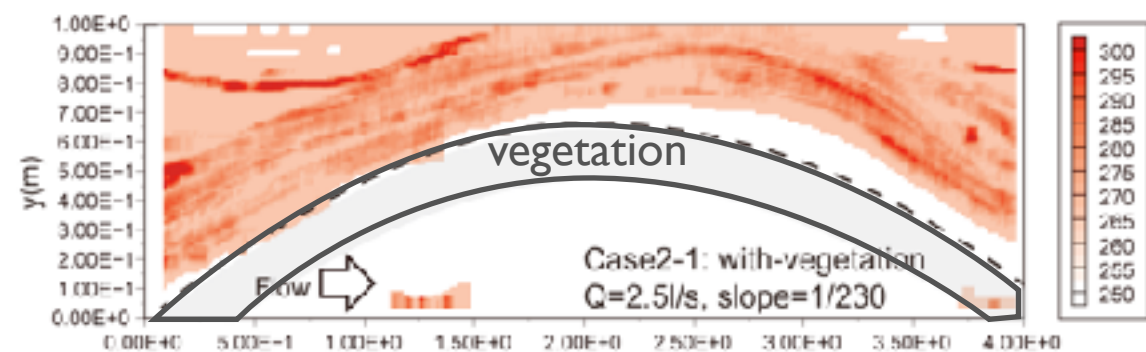
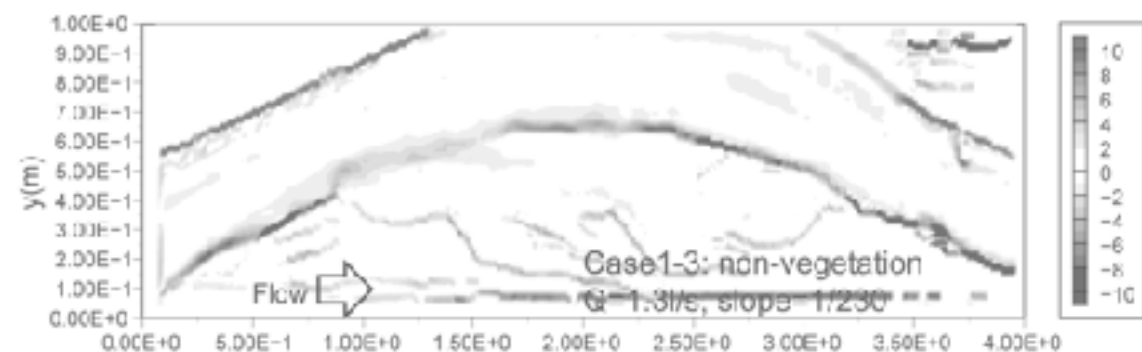
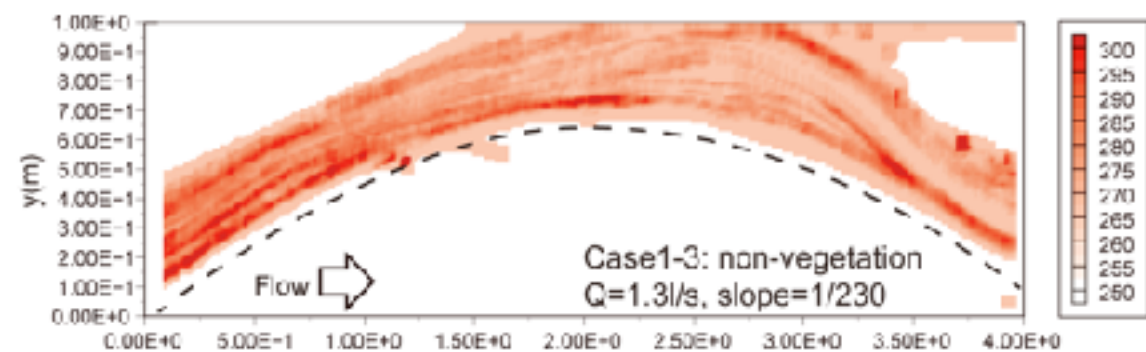
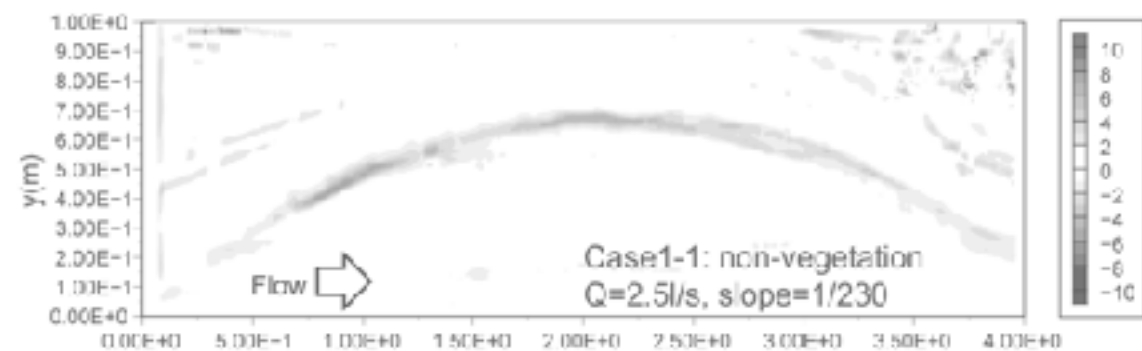
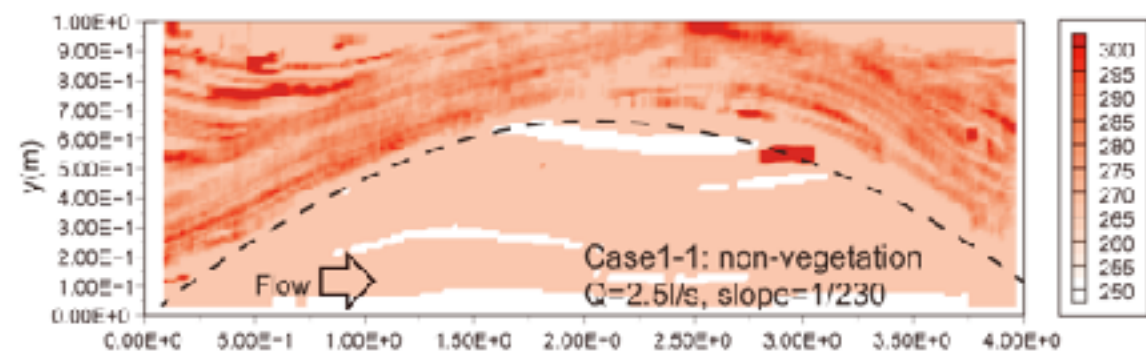
- しかしながら，上記の比較から流下流木密度の高い領域と流速の速い領域が必ずしも一致しないことが確認された。

垂直軸周りの渦度の分布 (1/m)

- 右図はアンサンブル平均された流速分布から渦度を算出したもの







2012応用力学論文集

蛇行流路の流体場と流木の挙動に関する実験と数値解析

EXPERIMENTAL STUDY AND NUMERICAL ANALYSIS ON FIELD
ON MEANDERING CHANNEL AND MOVEMENT OF WOODY
DEBRIS

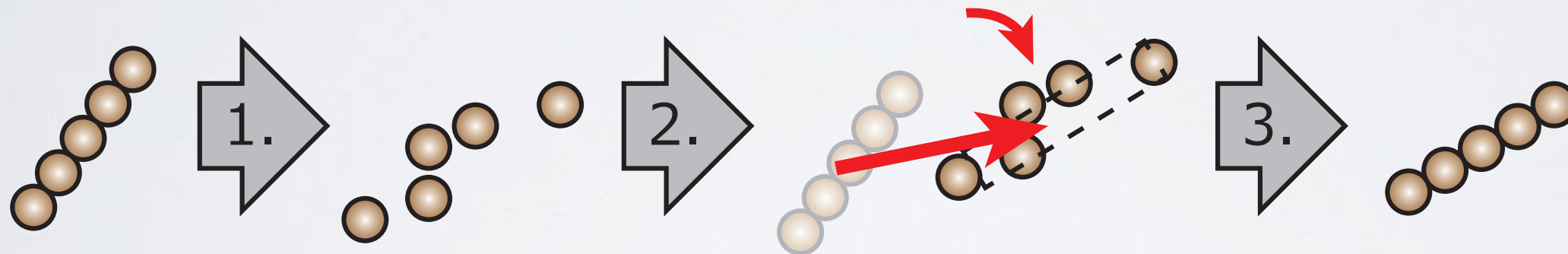
初田直彦*・赤堀良介**・清水康行***

NAOHIKO HATTA, RYOSUKE AKAHORI AND YASUYUKI SHIMIZU

拘束条件モデルによる 流木流下機構の検討

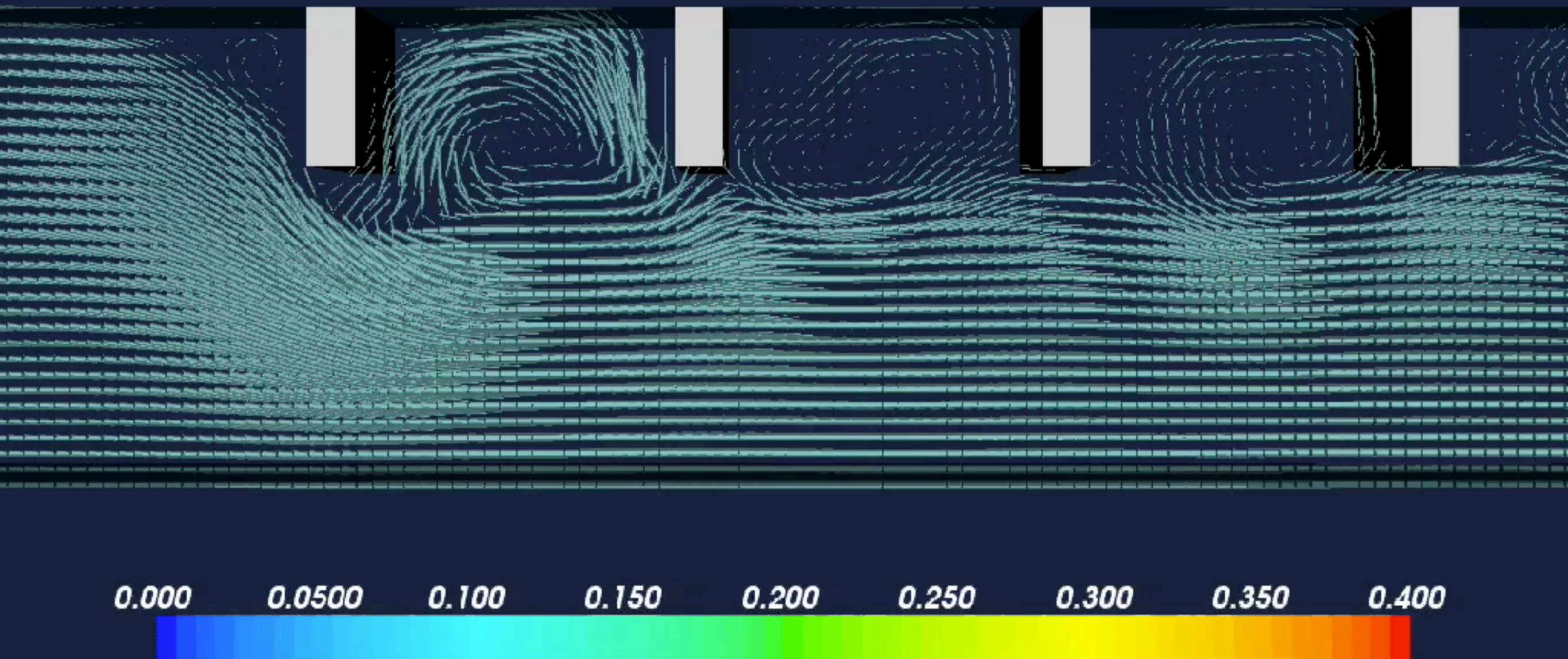
1. 個々の粒子の移動を
粒子の運動方程式から解く

3. 先のステップで得られた情報から
改めて粒子を移動させる



2. 粒子の移動に関し重心の
移動ベクトルと回転モーメントを得る

該当モデルでの計算例



モデル間での 比較

- トレーサーモデル、単一球形粒子型運動方程式モデル、多粒子拘束条件モデル
- 拘束条件モデルの再現性が一番良好
- 球形粒子でのモデル化では流木の拡散が再現されない

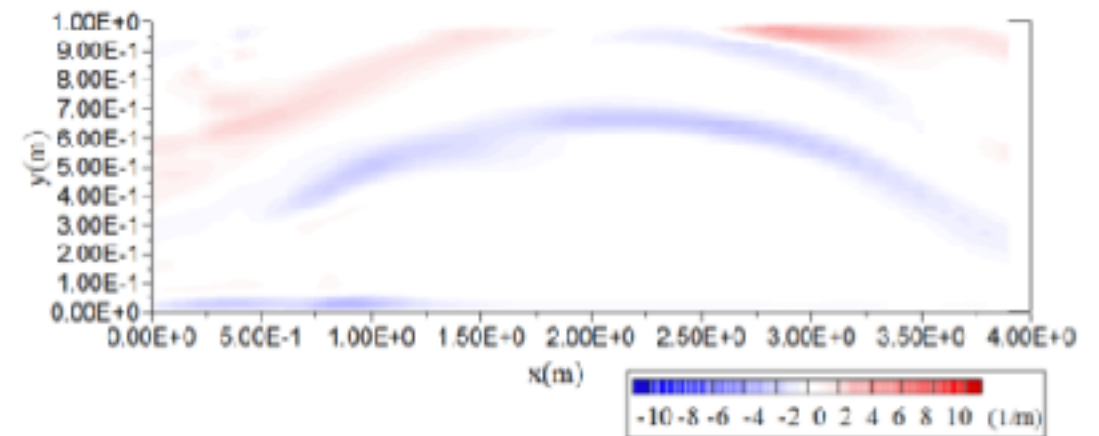


図-18 数値計算結果の平均流速分布から算定した渦度

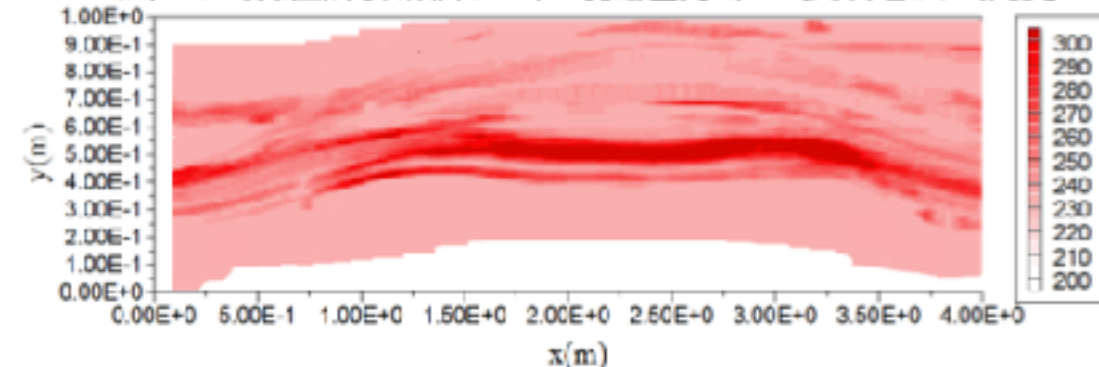


図-19 トレーサー粒子の
流木流下時の単位面積あたりの本数(本/m²)

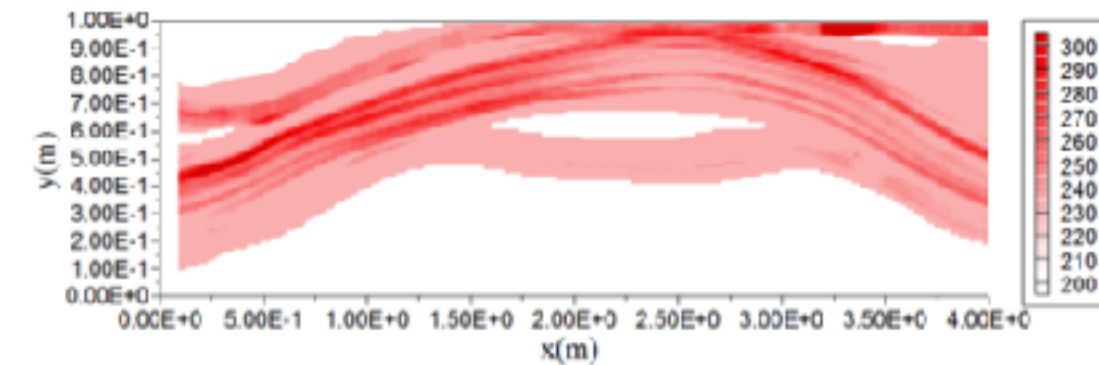


図-20 球形粒子の運動方程式型モデルの
流木流下時の単位面積あたりの本数(本/m²)

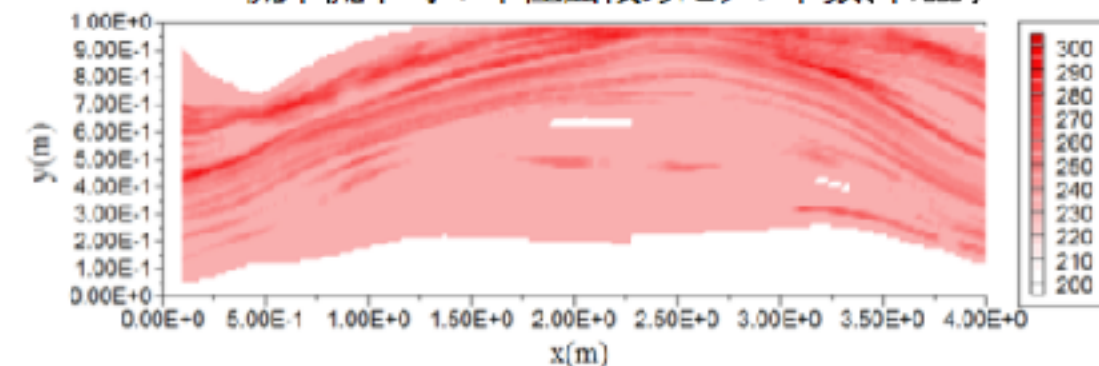


図-21 拘束条件モデルの
流木流下時の単位面積あたりの本数(本/m²)

水工学論文集, 第 58 卷 2014 年 2 月

水理構造物周辺の 流れの構造に対する流木の応答

赤堀良介¹・初田直彦²・清水康行³・伊藤 丹⁴

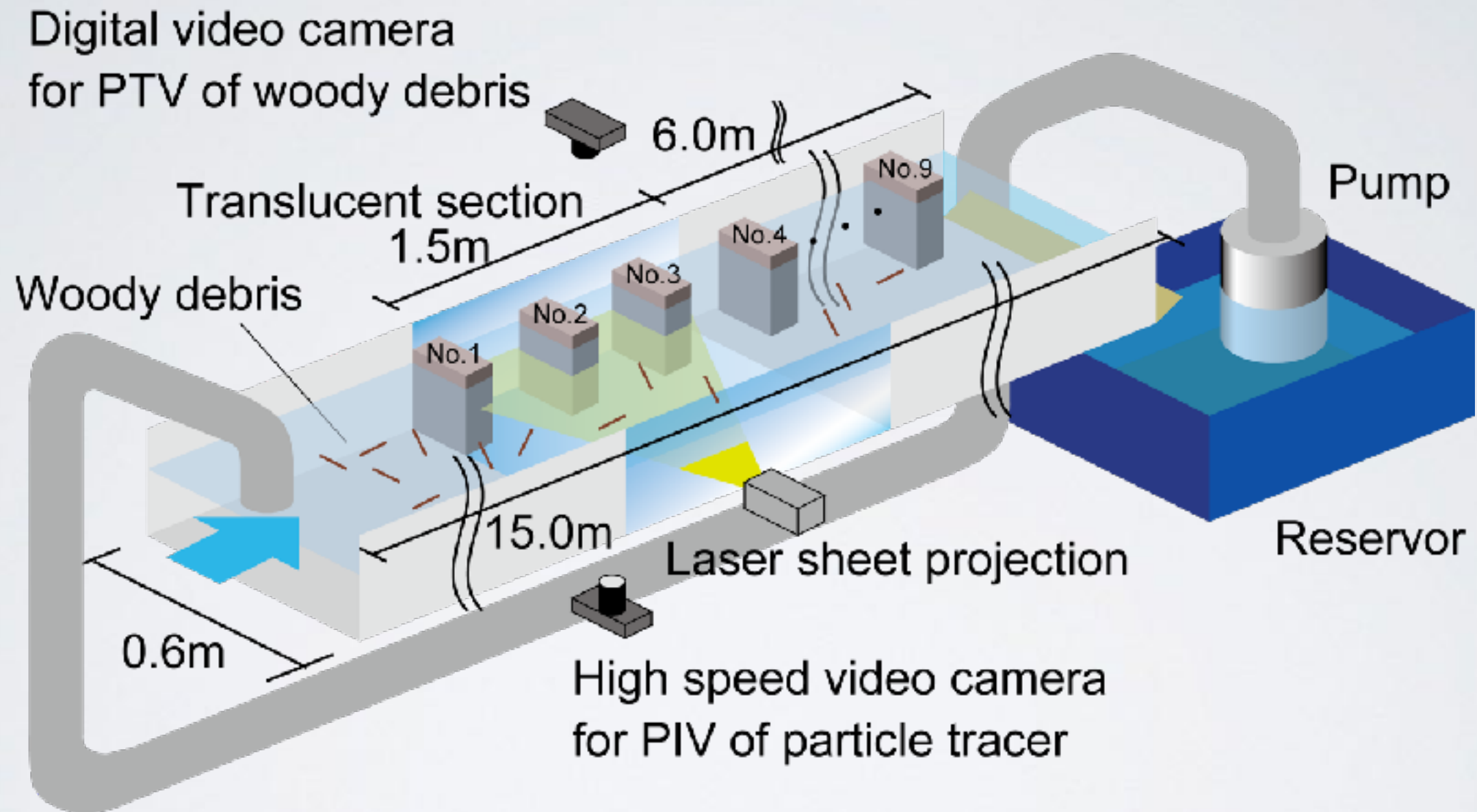
¹ 正会員 Ph.D. 愛知工業大学 工学部都市環境学科(〒 470-0392 豊田市八草町八千草 1247)

² 非会員 工修 東京ガス株式会社 エネルギーソリューション本部(〒 105-8527 東京都港区海岸 1-5-20)

³ フェロー 工博 北海道大学教授 大学院工学研究院(〒 060-0808 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

⁴ 正会員 工修 上席研究員 寒地土木研究所 寒地河川チーム(062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34)

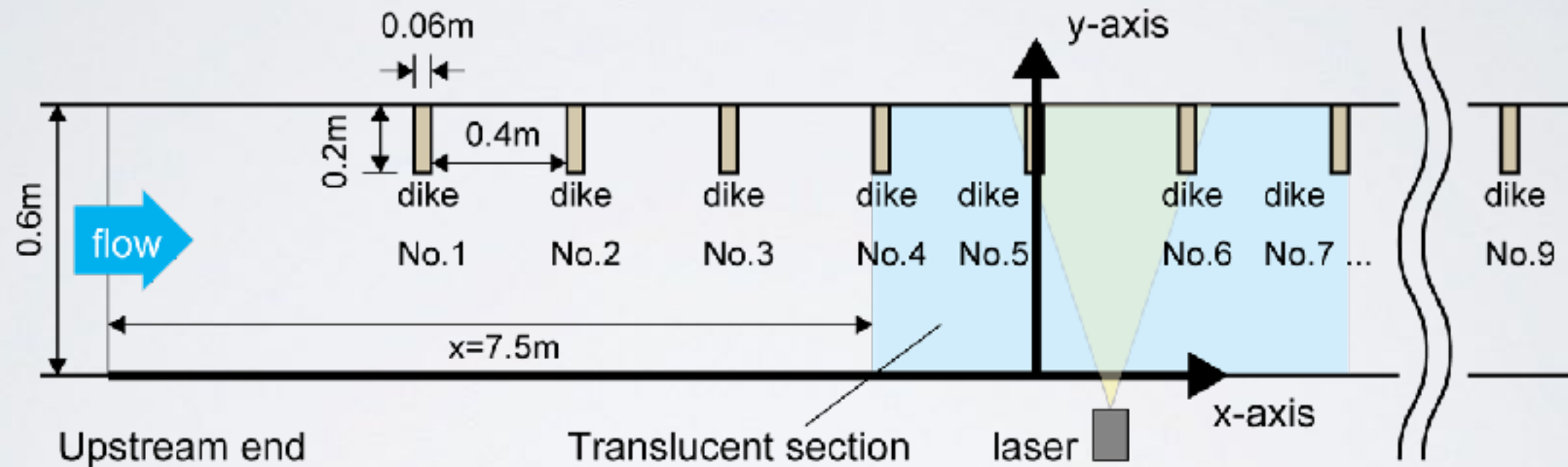
実験水路概要



- PIV用にはレーザーシートを照射して粒子を撮影
- 流木模型のPTV用には、半透明のパネルを透過させたハロゲン光により上空から撮影

実験条件（水路）

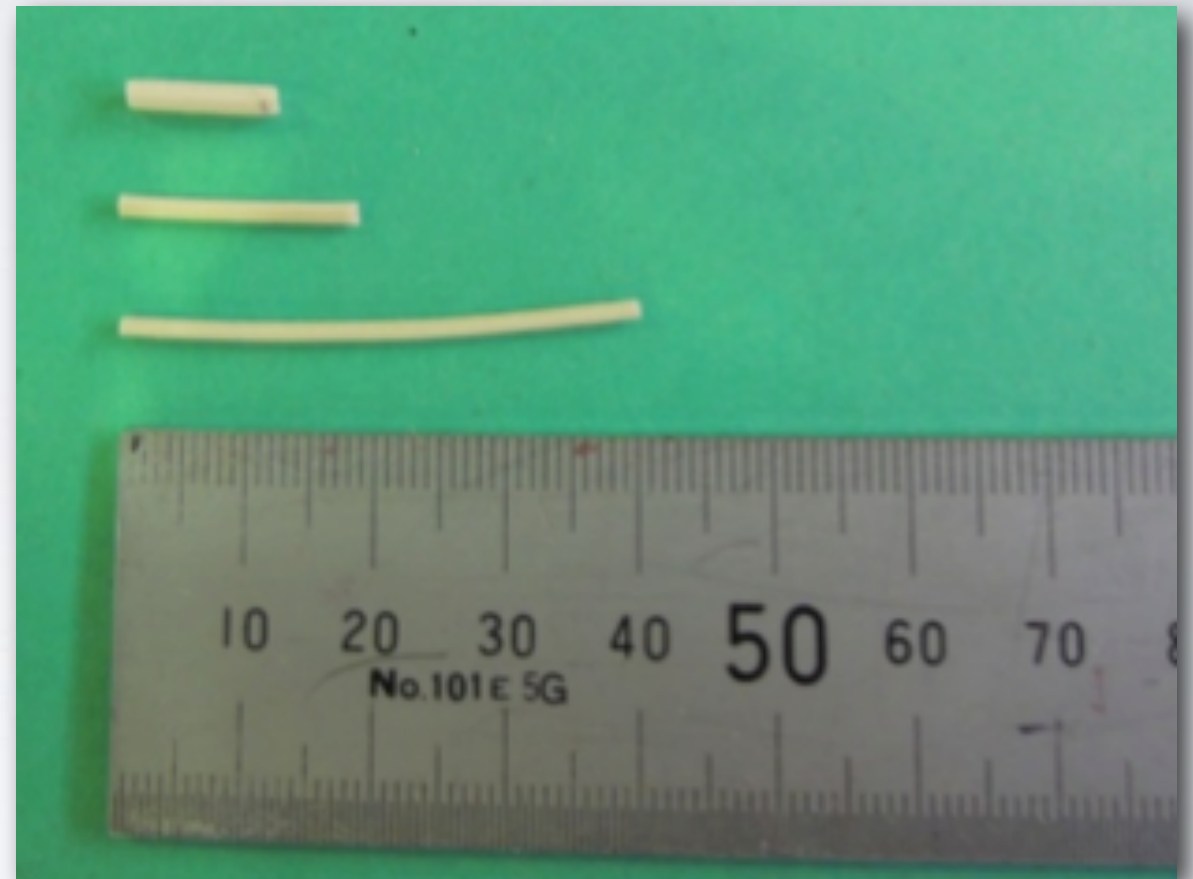
L	Width	slope	ave. depth	discharge
15 m	0.6 m	1/2000	0.093 m	10.4 l/s



- 中立粒子として比重1.01， 粒径 0.49mmの樹脂製粒子 (三菱化学製 HP20)を使用
- 第5, 第6水制間にPIV解析を適用

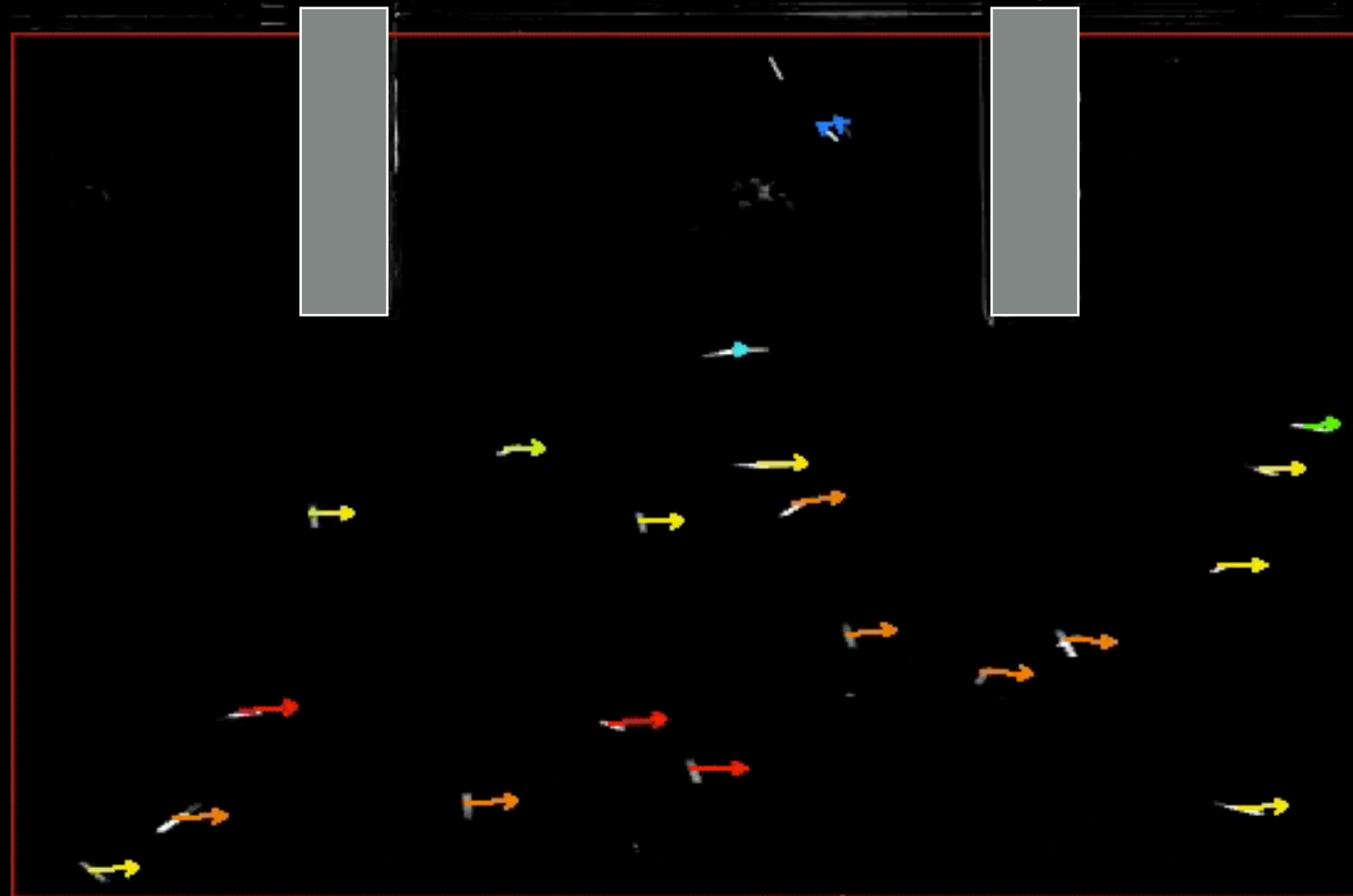
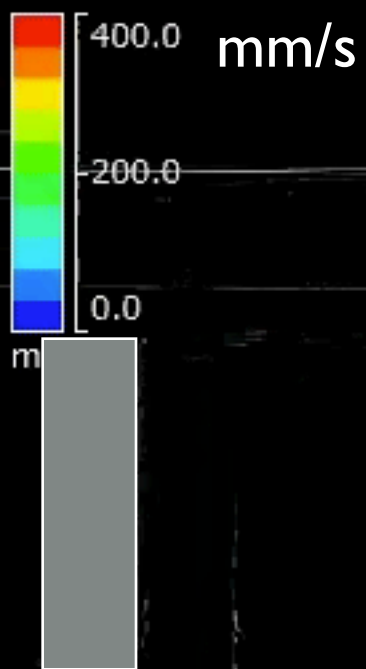
実験条件（流木模型）

case	length(m m)	diameter (mm)	volume(mm ³)
Case 1	10	2	31.4
Case 2	17.8	1.5	31.4
Case 3	40	1	31.4



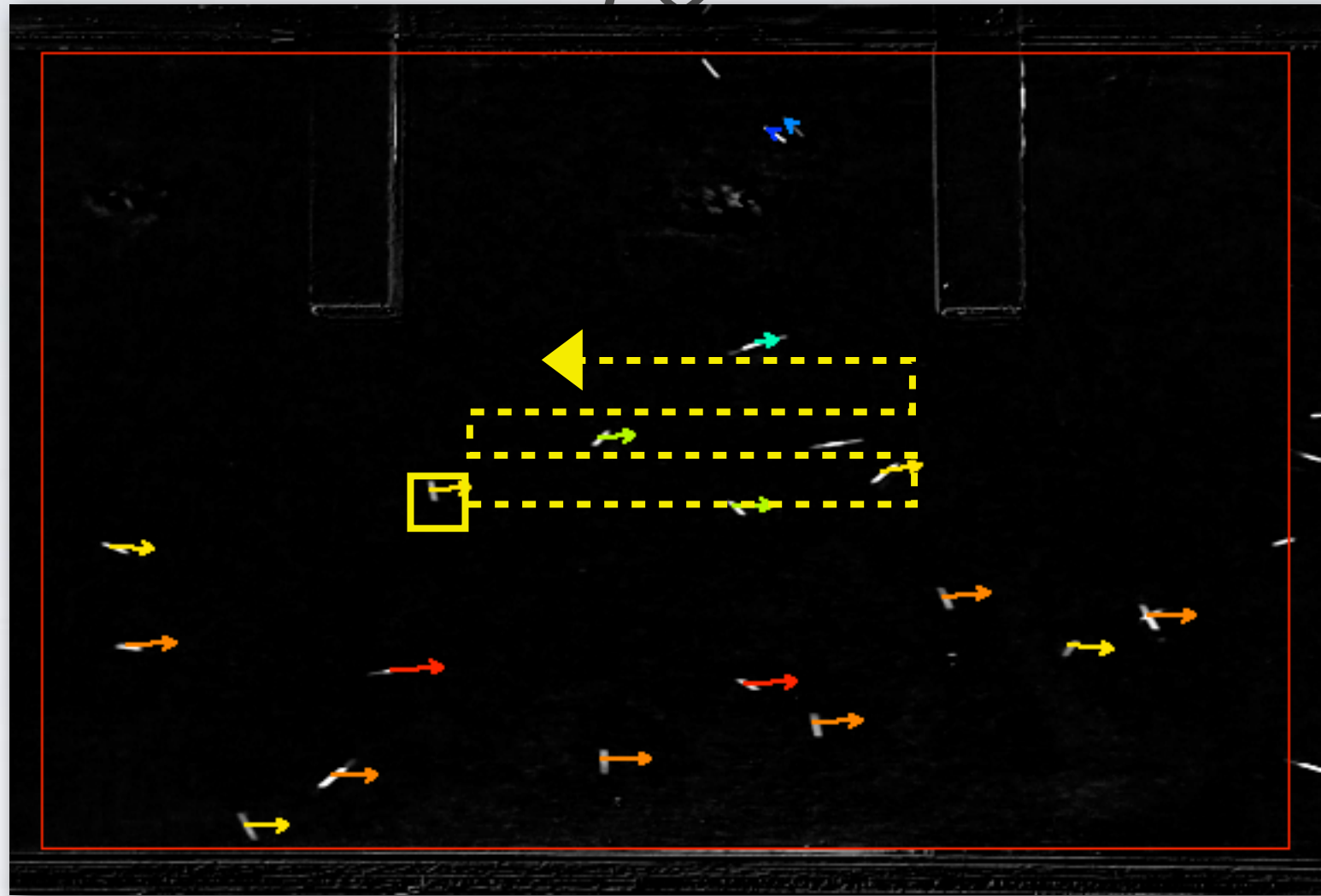
- 異なる形状であっても質量は等しい
- 慣性以外の影響を検討する

40mm流木模型の例



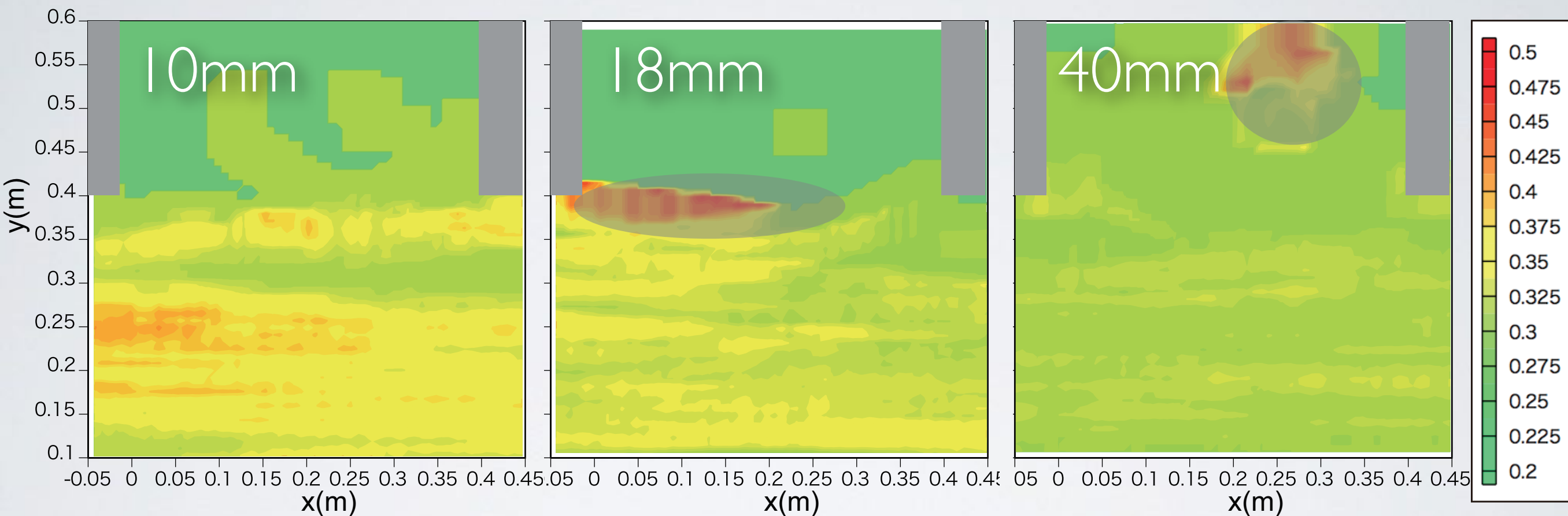
流木模型に対するPTV解析（2値化相関解析）の適用

流下時における局所的流木密度



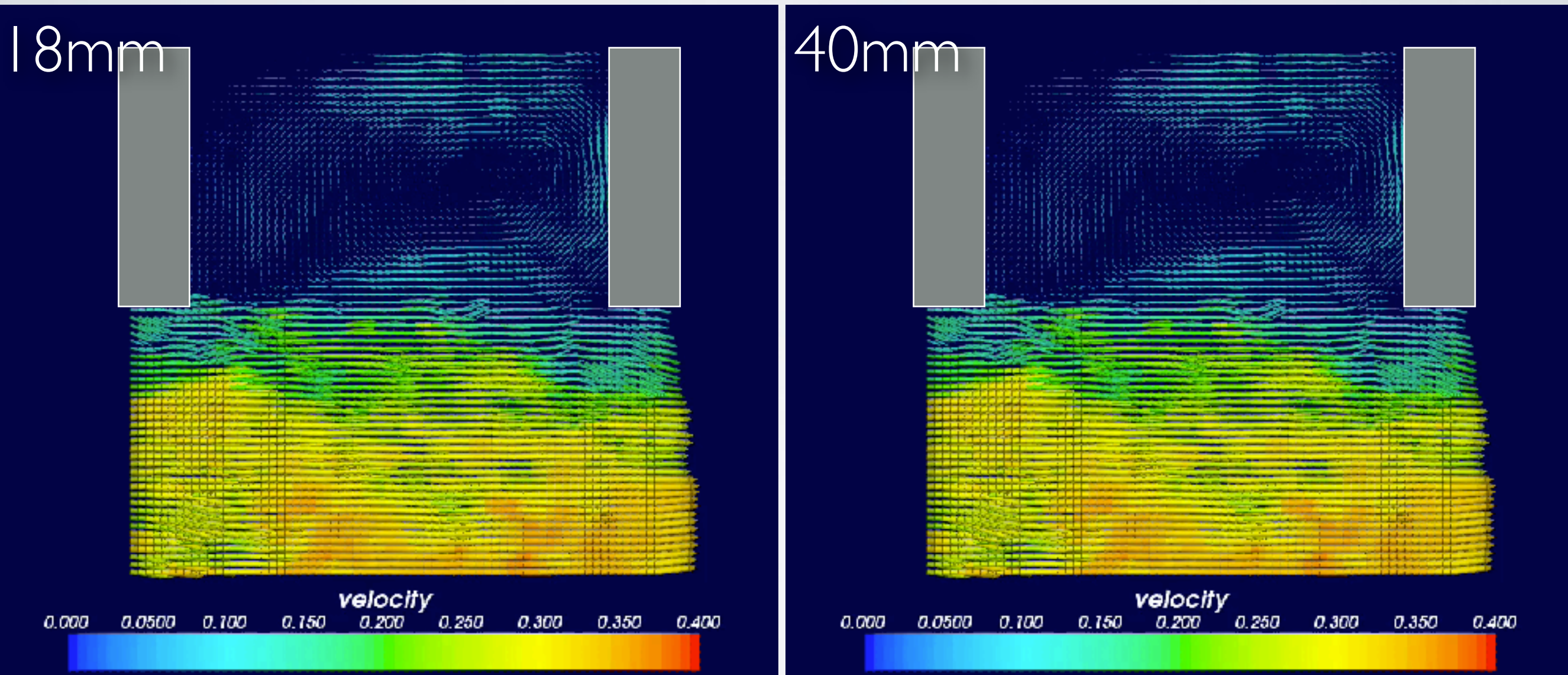
- 5cm四方の流木密度を移動平均
- 投入本数で基準化

流木流下時濃度の 異なる長さの実験ケース間での比較



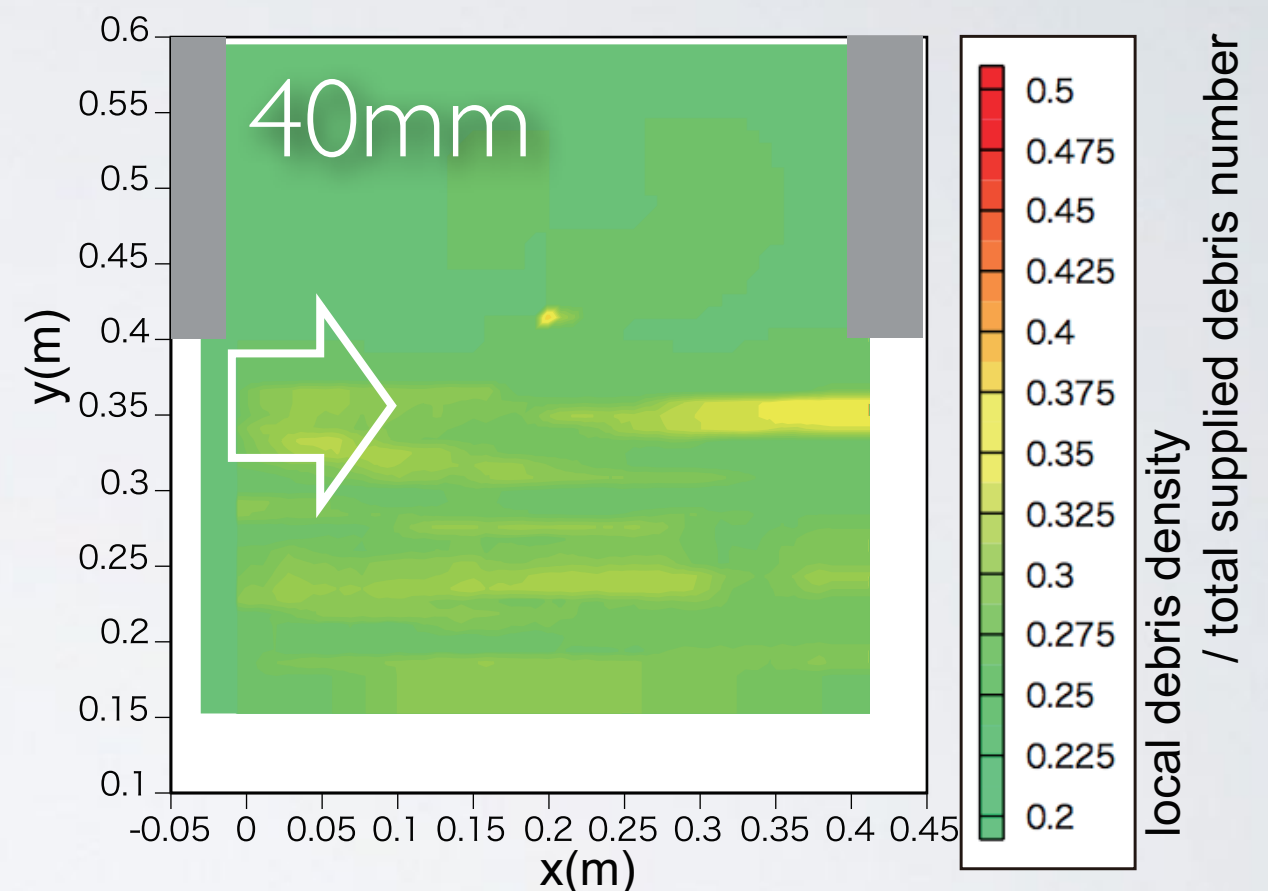
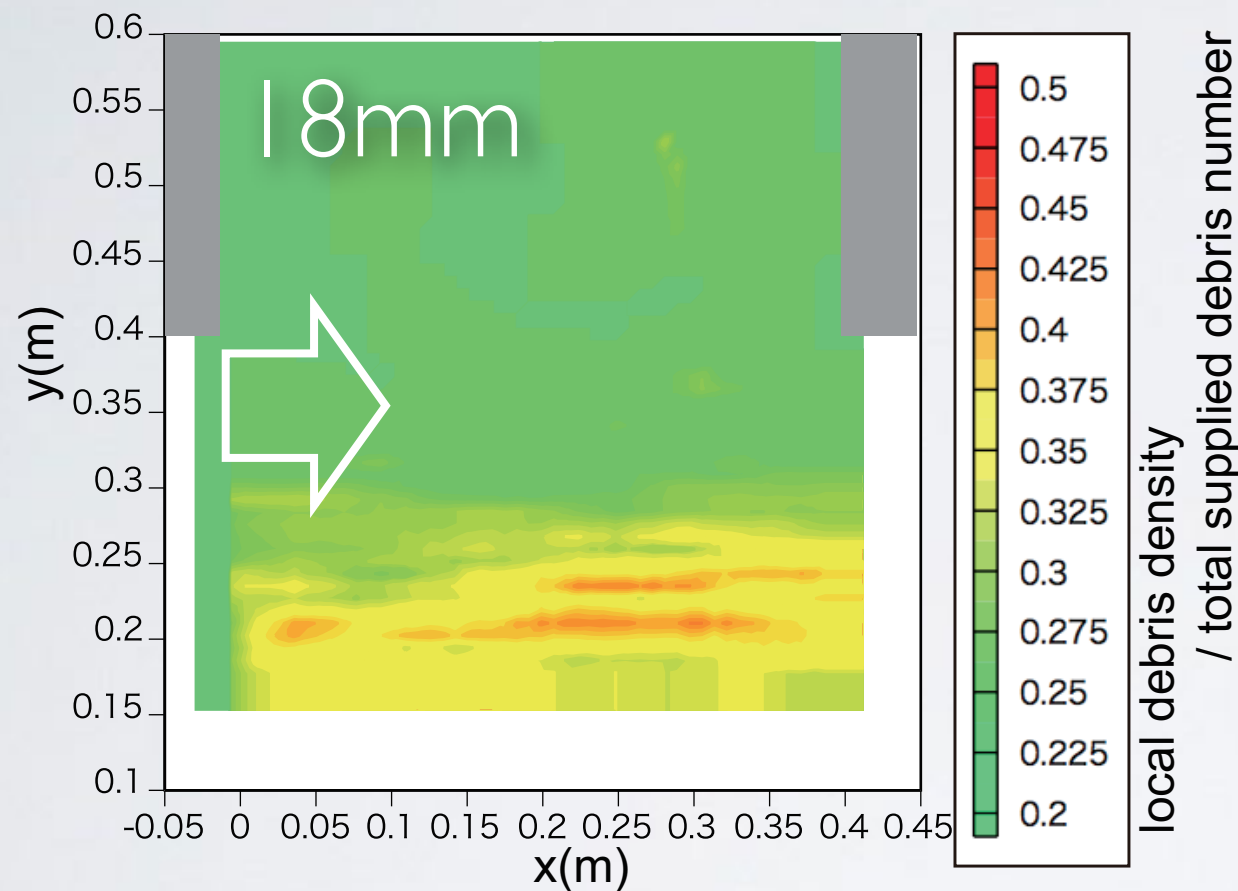
- 流木長が長くなるにつれ、主流域への流木の集中化が緩和される

拘束条件モデルによる 異なる長さの流木の挙動の再現



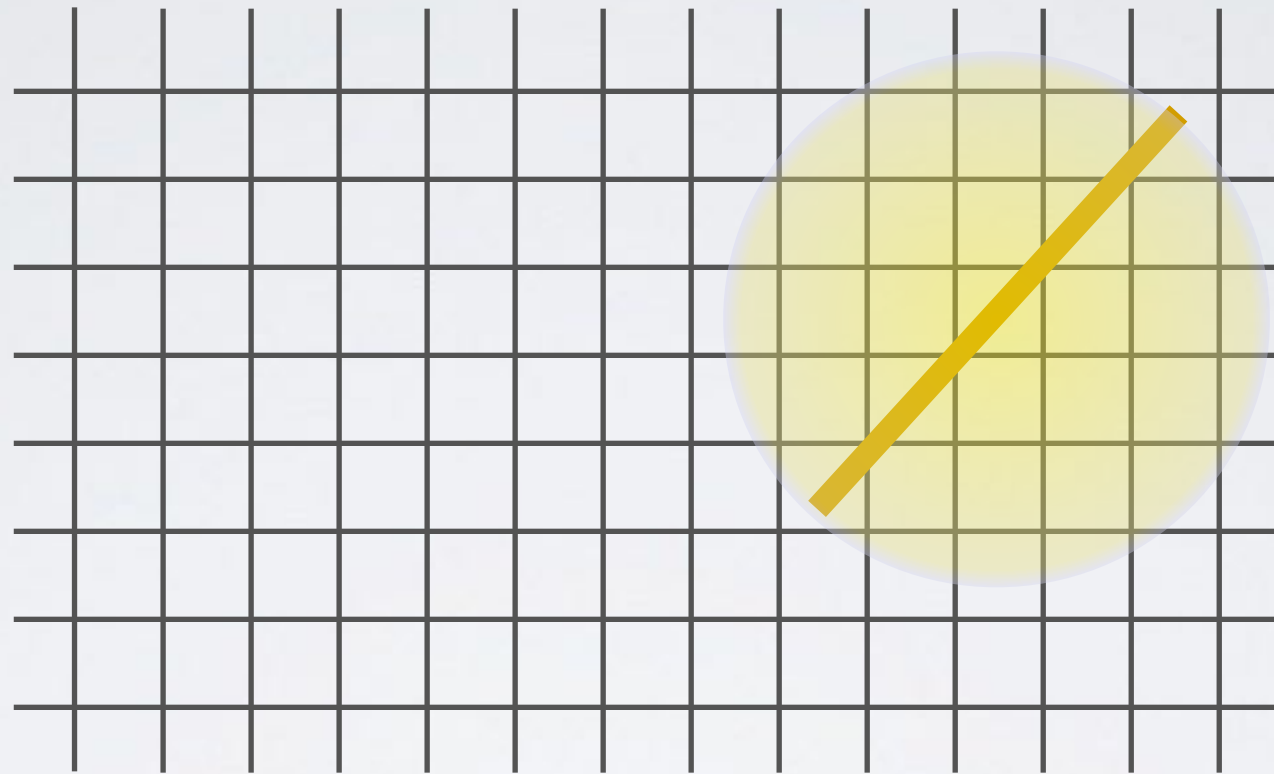
- PIV解析により得られた流れ場に拘束条件モデルを適用
- 流木に対しては周期境界条件を適用

流下時における局所的流木密度の異なる長さの計算ケース間での比較



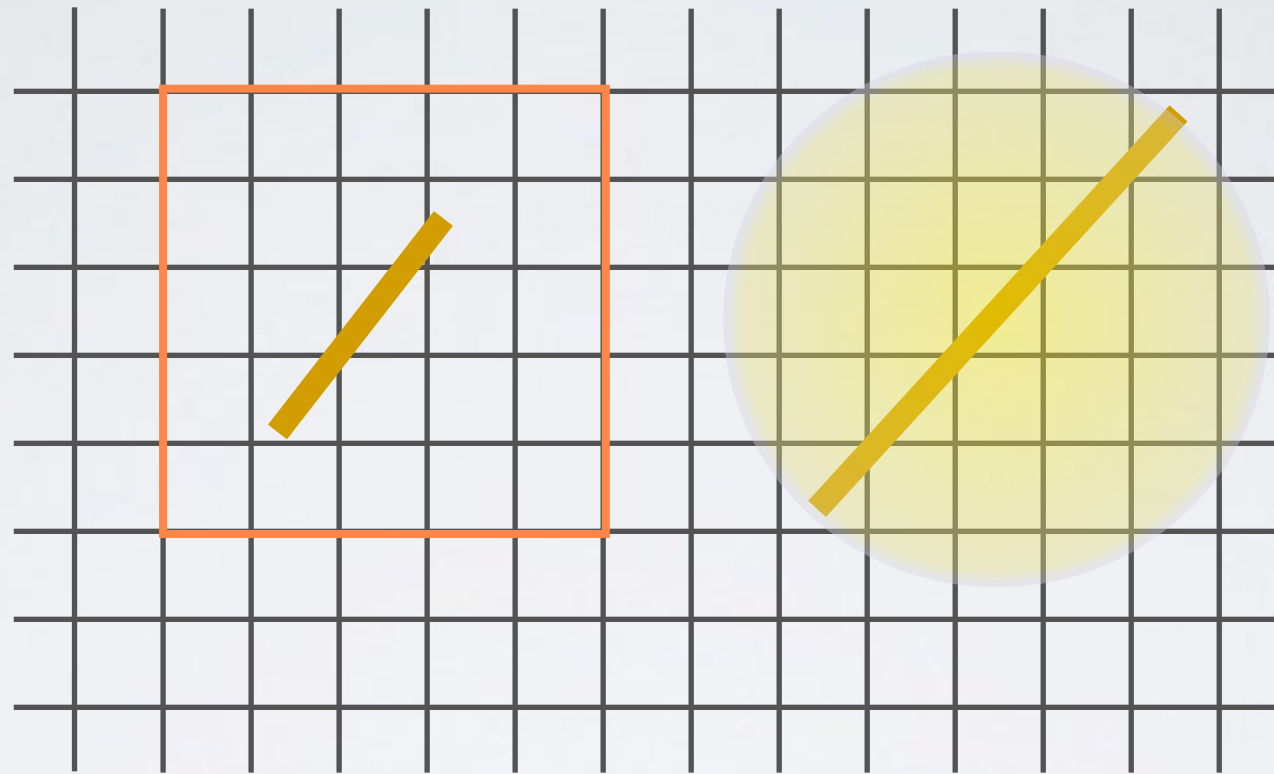
- 流木流下時3巡目から5巡目での流木の密度を移動平均・時間平均し，投入本数で基準化
- 実験と同様に短いケースほど主流域に集中している

空間フィルター効果の検討



- 18mmの流木に対する計算に， 約40mmの範囲（5×5グリッド）で移動平均した（空間フィルター的な操作を行った）流れ場を用いる

空間フィルター効果の検討



- 18mmの流木に対する計算に， 約40mmの範囲（5×5グリッド）で移動平均した（空間フィルター的な操作を行った）流れ場を用いる

橋脚周辺における 流木の3次元集積に関して

THREE-DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF WOODY DEBRIS JAM
AROUND BRIDGE PIERS

正会員 愛知工業大学 工学部土木工学科 赤堀 良介

Ryosuke Akahori, Aichi Institute of Technology

既往研究 preceding study

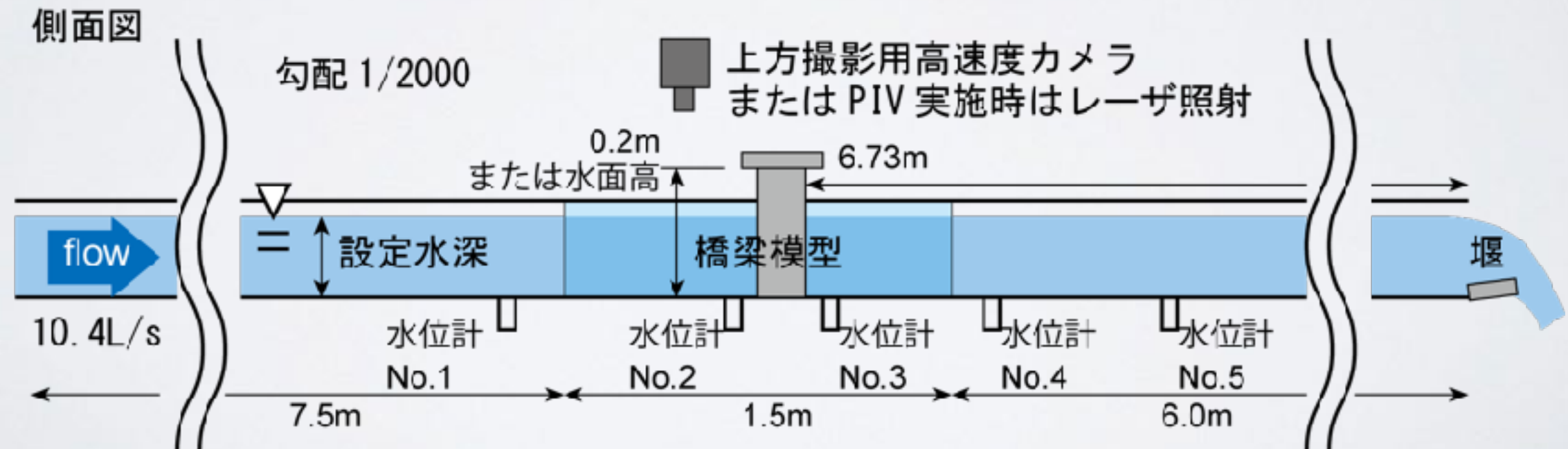
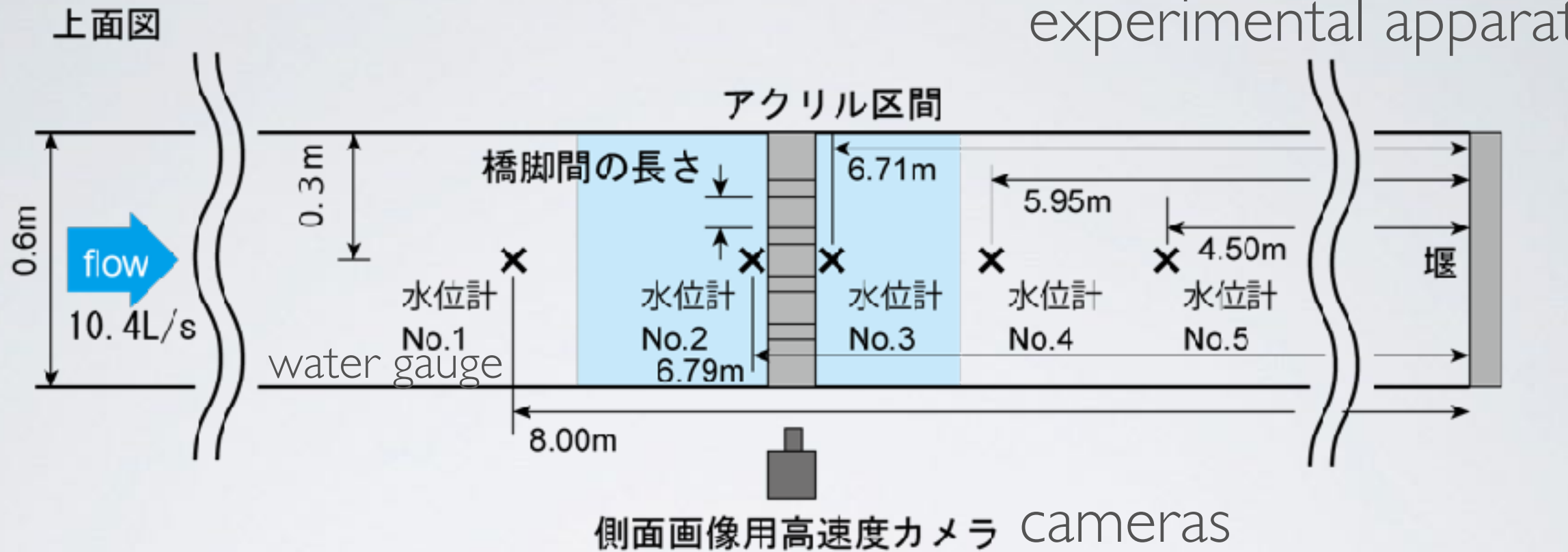
- 面的挙動から立体的挙動へと変遷していく状況に関する、近年の例
 - ピッチングやヨーイングモーメントの詳細な計測（山上・岡本, 土木学会論文集B1（水工学）, Vol. 72, No. 3, 2016.）
 - 流木リチャードソン数による浮力と慣性力の関係からの集積現象の整理（北園・木村, 土木学会第72回年次学術講演会, 2017.）

目的 purposes

- 立体的な集積へと遷移していく過程での流木群に対する機構的な説明が必要
- 橋梁模型を設置した開水路に流木模型を投入し、流れの水理的条件に基づく橋脚周辺での流木集積機構の変化について一般化を試みた

実験水路の概要

experimental apparatus



- 流量は一定，水路の下流側に堰を設け水深と流速を変更

実験の概要 experimental apparatus



- 流木模型：長さ10cm， 直径0.6cmの木材， 比重0.68
- 流木は小分けし， 上流側から手作業により5s間隔でランダムに散布
- 橋脚間距離を変化， 橋脚間/流木長の比率を変化

実験条件（実験Ⅰ）

experimental conditions

Fr	水深 (cm)	投入数 (本/5s)	橋脚間/ 流木長 (%)
0.19	9.4	2, 5, 10, 20, 40	80, 100, 120
0.38	6	5, 10, 20, 40, 80, 120	80, 100, 120

- 2種類の水理条件，橋脚間長さと流木長との比率（以下，橋脚間/流木長比），流木投入量の変化に着目
- 計32ケース（Fr=0.38, 80%, 120 本/5s は未実施）

実験条件（実験2）

experimental conditions

Fr	水深 (cm)	投入数 (本/5s)	橋脚間/ 流木長 (%)
0.19	9.4	2, 5, 10, 20, 40	80, 100, 120
0.38	6	5, 10, 20, 40, 80, 120	80, 100, 120

一部でPIV実施

- 鉛直縦断面のPIV計測を実施，流れの鉛直的な構造の影響について検討
- 実験 1 の条件のうち明瞭な変化のあるケースのみ実施

実験条件（実験3）

experimental conditions

Fr	水深 (cm)	表面流速 (m/s)	投入数 (本/5s)	橋脚間/ 流木長 (%)
0.19	9.4	0.22	5, 10, 20, 40	80
0.22	8.6	0.25	5, 10, 20, 40	80
0.26	7.7	0.28	5, 10, 20, 40	80
0.31	6.9	0.32	5, 10, 20, 40	80
0.38	6	0.38	5, 10, 20, 40	80

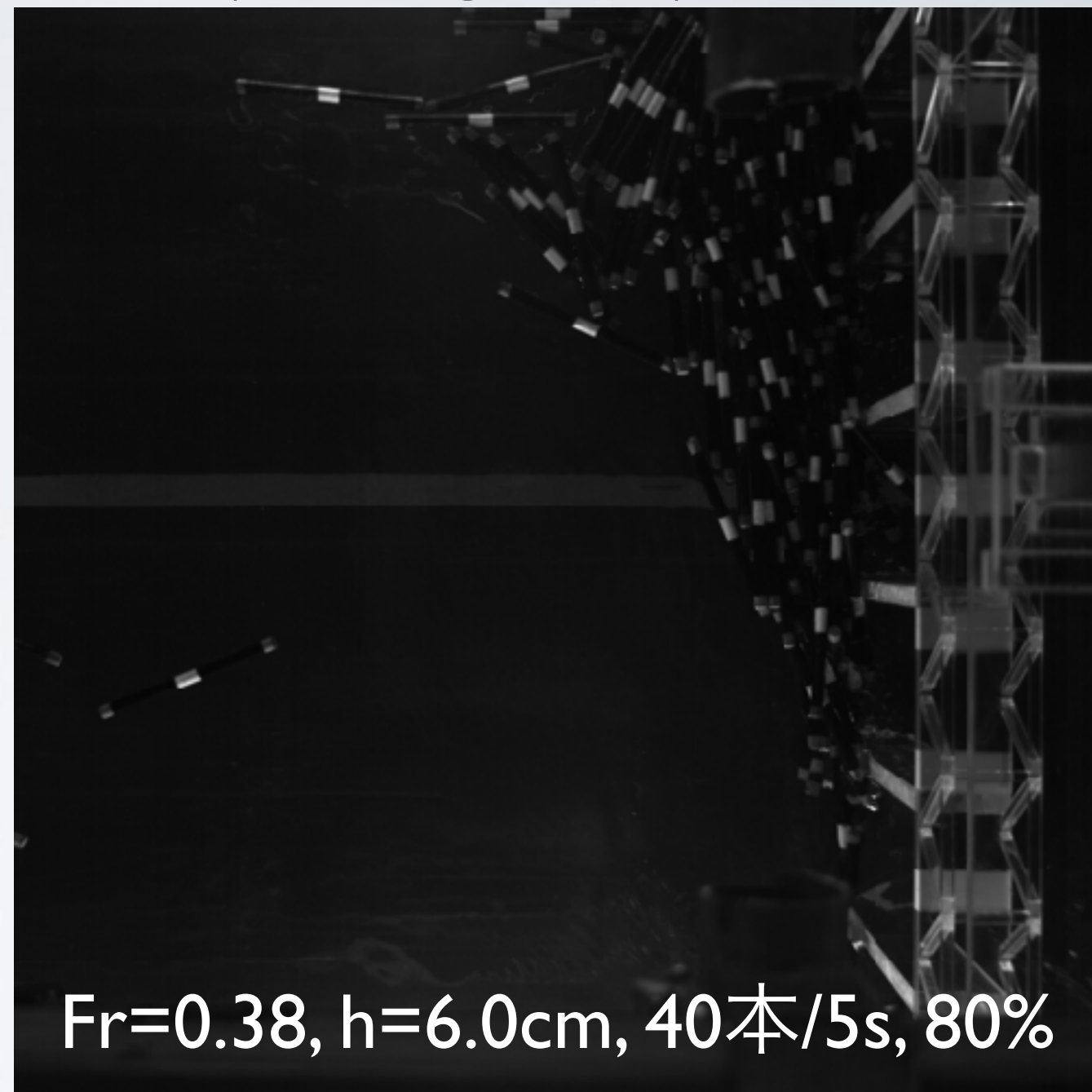
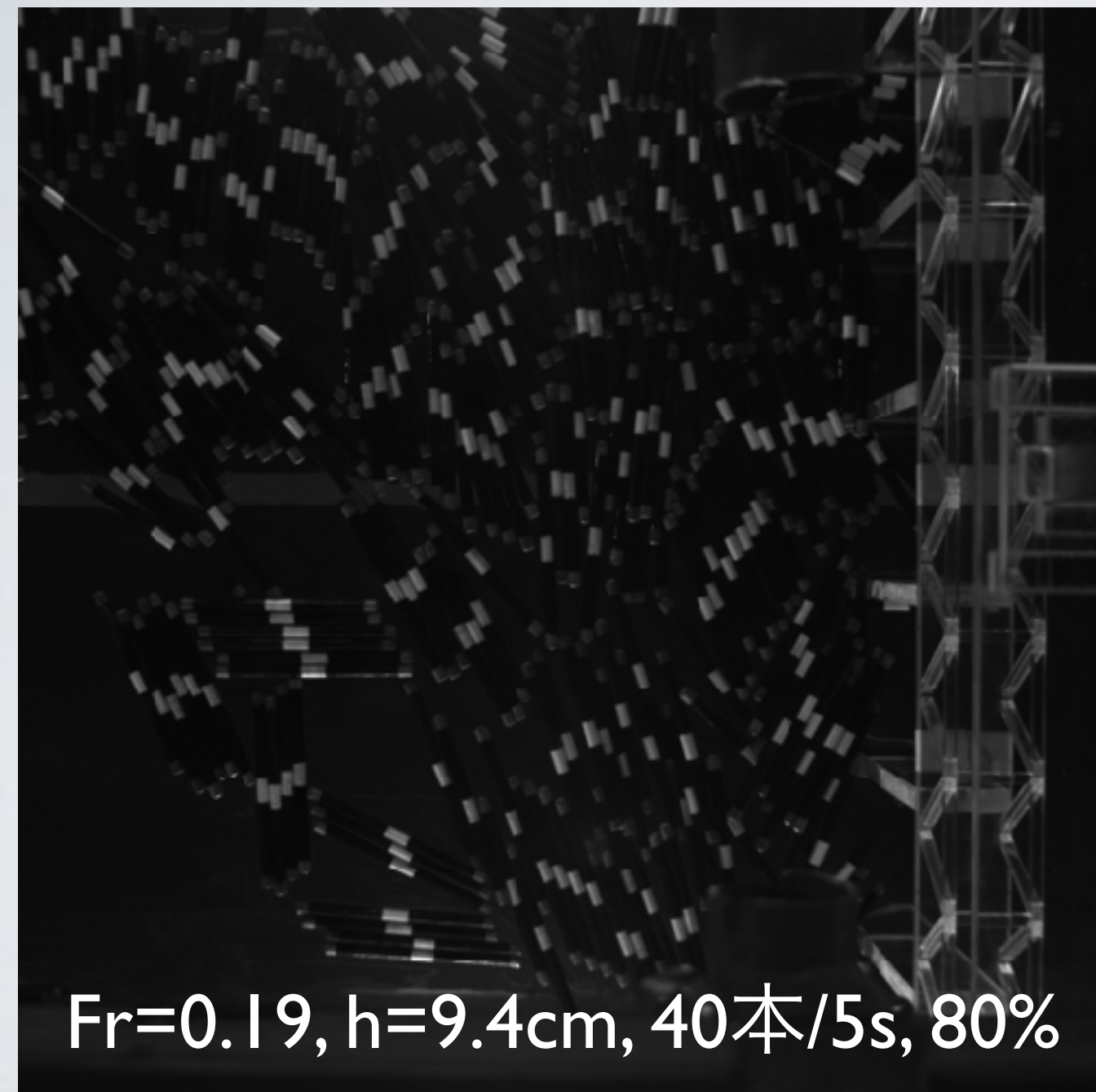
- 橋脚間/流木長比は一定とし水理量の変化に着目した検討
- 計20ケース

実験結果

実験Ⅰ結果：上空からの撮影画像比較

（60S後の橋脚上流側での集積）

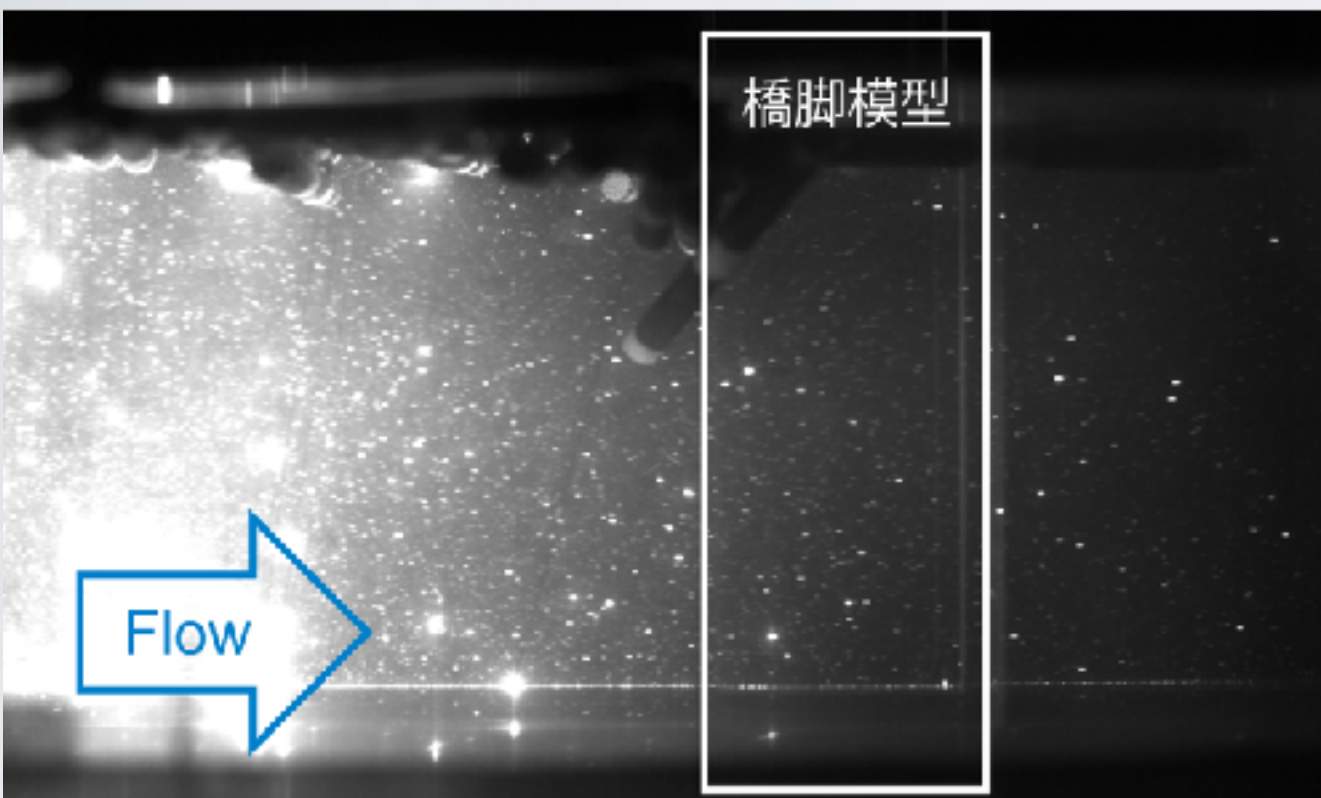
temporal images of experimental results



- Fr=0.19のケースでは水面上に広がり， Fr=0.38のケースでは水面下にもぐり込む

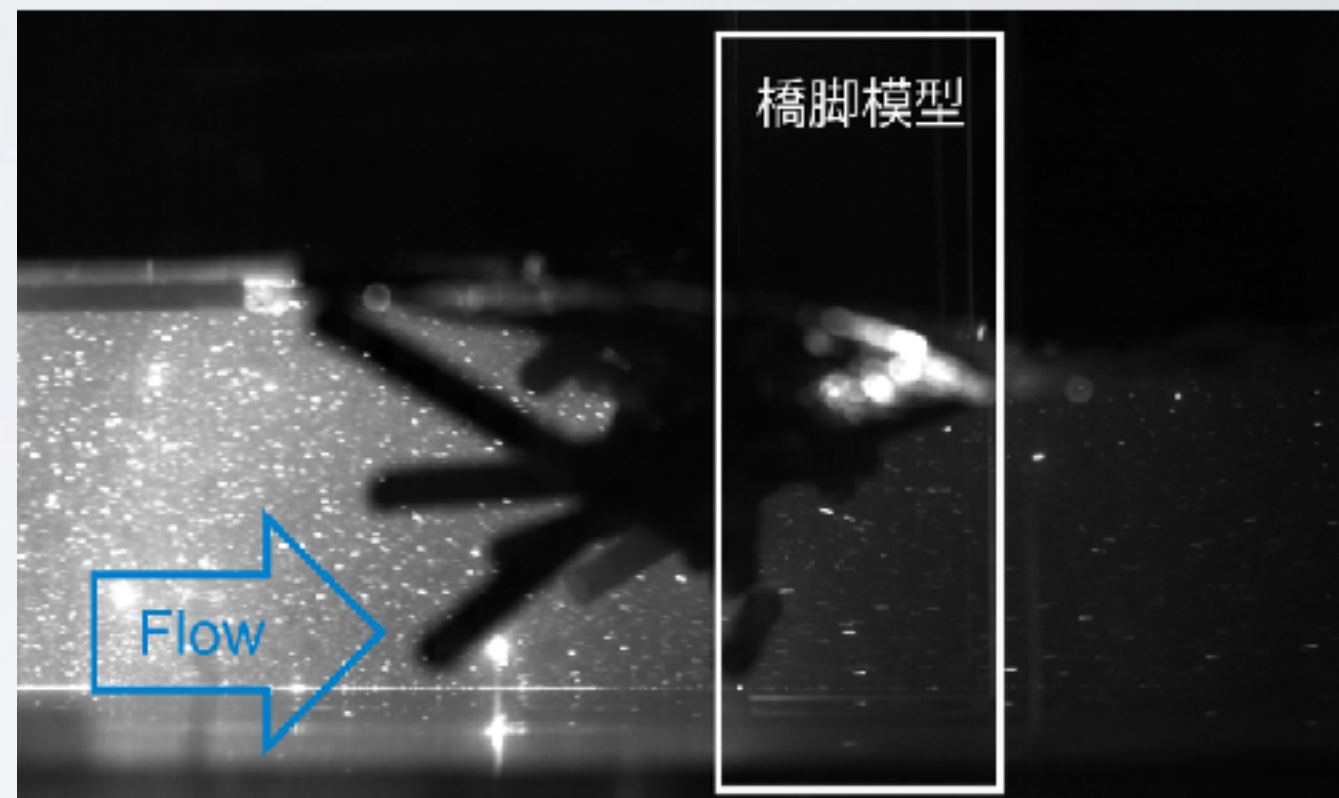
実験2結果：側面からの撮影画像比較 (集積開始直後の橋脚上流側での集積)

temporal images of experimental results



$Fr=0.19$, $h=9.4\text{cm}$, 40本/5s, 80%

平面的



$Fr=0.38$, $h=6.0\text{cm}$, 40本/5s, 80%

立体的

- $Fr=0.19$ のケースでは水面上に広がり, $Fr=0.38$ のケースでは水面下にもぐり込む

実験Ⅰ結果：捕捉率の比較

comparison of deposition ratio (ratio of deposition to total) of experimental results

投入量 (本/5s)	橋脚間 / 流木 80%	橋脚間 / 流木 100%	橋脚間 / 流木 120%
2	0.17	0.1	0
5	0.42	0	0.02
10	0.81	0.72	0.4
20	0.91	0.86	0.75
40	0.93	0.9	0.88

投入量 (本/5s)	橋脚間 / 流木 80%	橋脚間 / 流木 100%	橋脚間 / 流木 120%
5	0.1	0	0.02
10	0.05	0.01	2
20	0.13	0.01	0.01
40	0.33	0.02	0.01
80	0.58	0.01	0
120		0.01	0.01

$Fr=0.19$, $h=9.4\text{cm}$, 40本/5s, 80%

$Fr=0.38$, $h=6.0\text{cm}$, 40本/5s, 80%

- $Fr=0.19$ のケースでは捕捉率が高く, $Fr=0.38$ のケースでは低い

実験Ⅰ結果：上流側水位上昇値の比較

comparison of water level rise on upstream section

投入量 (本/5s)	橋脚間 / 流木 80%	橋脚間 / 流木 100%	橋脚間 / 流木 120%
2	0.0cm	0.0cm	0.0cm
5	0.0cm	0.0cm	0.0cm
10	0.0cm	0.0cm	0.0cm
20	0.0cm	0.1cm	0.0cm
40	0.0cm	0.0cm	0.0cm

投入量 (本/5s)	橋脚間 / 流木 80%	橋脚間 / 流木 100%	橋脚間 / 流木 120%
5	0.2cm	0.1cm	0.0cm
10	0.2cm	0.1cm	0.0cm
20	1.6cm	0.2cm	0.0cm
40	2.0cm	0.1cm	0.1cm
80	2.8cm	0.1cm	0.2cm
120		0.3cm	0.0cm

$Fr=0.19$, $h=9.4\text{cm}$, 40本/5s, 80%

平面的

$Fr=0.38$, $h=6.0\text{cm}$, 40本/5s, 80%

立体的

- $Fr=0.19$ のケースでは水位上昇が低く, $Fr=0.38$ のケースでは高い

実験条件（実験3）

experimental conditions

平面的
↕
立体的

Fr	水深 (cm)	表面流速 (m/s)	投入数 (本/5s)	橋脚間/ 流木長 (%)
0.19	9.4	0.22	5, 10, 20, 40	80
0.22	8.6	0.25	5, 10, 20, 40	80
0.26	7.7	0.28	5, 10, 20, 40	80
0.31	6.9	0.32	5, 10, 20, 40	80
0.38	6	0.38	5, 10, 20, 40	80

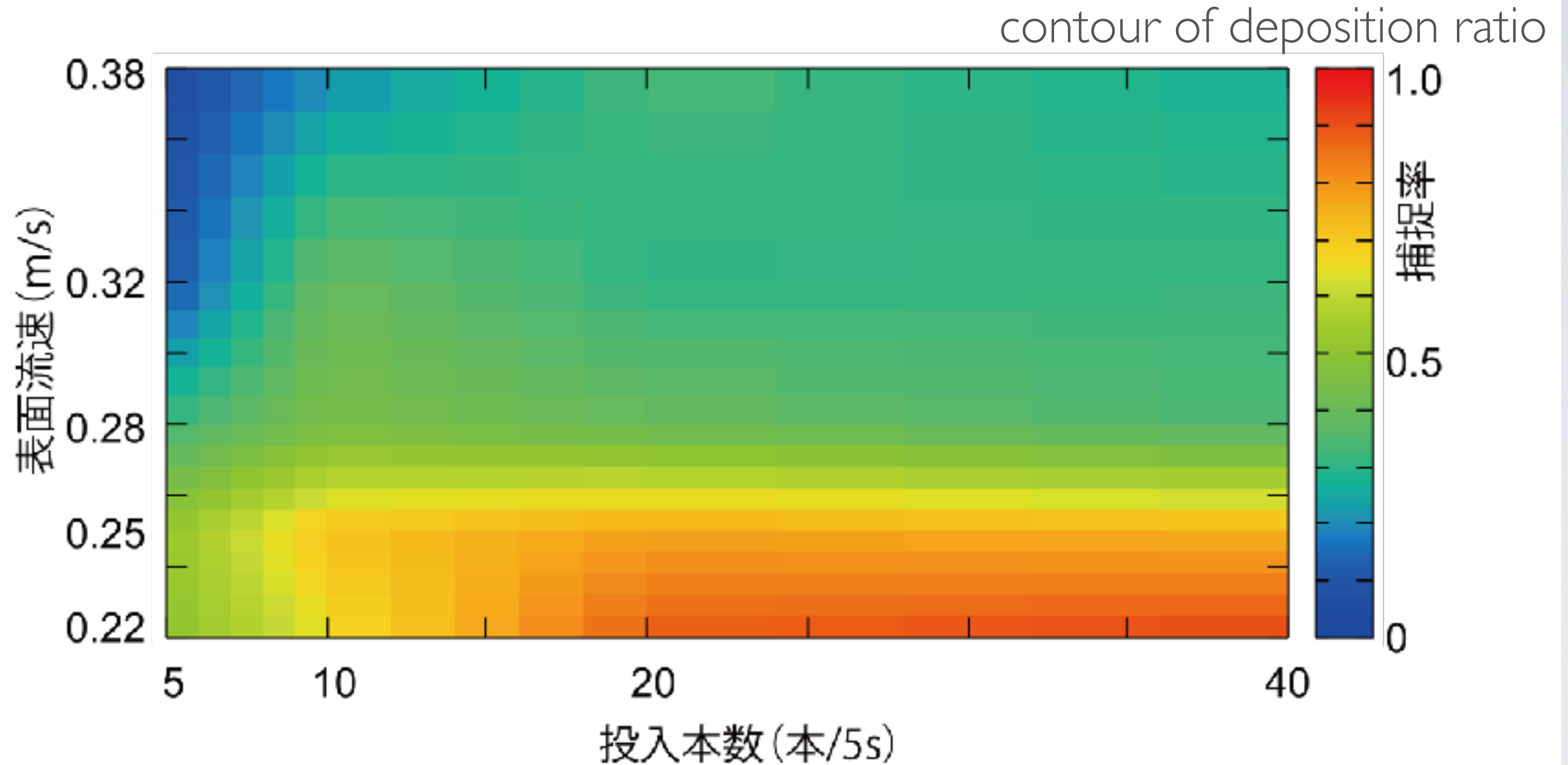
- これ以降, Frにかわり表面流速を用いる（実験2のPIV実測値と断面平均流速の関係を用いて表面ごく近傍の流速を換算）

実験3結果：橋脚間/流木長80%

投入本数と表面流速の関係：捕捉率コンター

平面的 ←→ 立体的

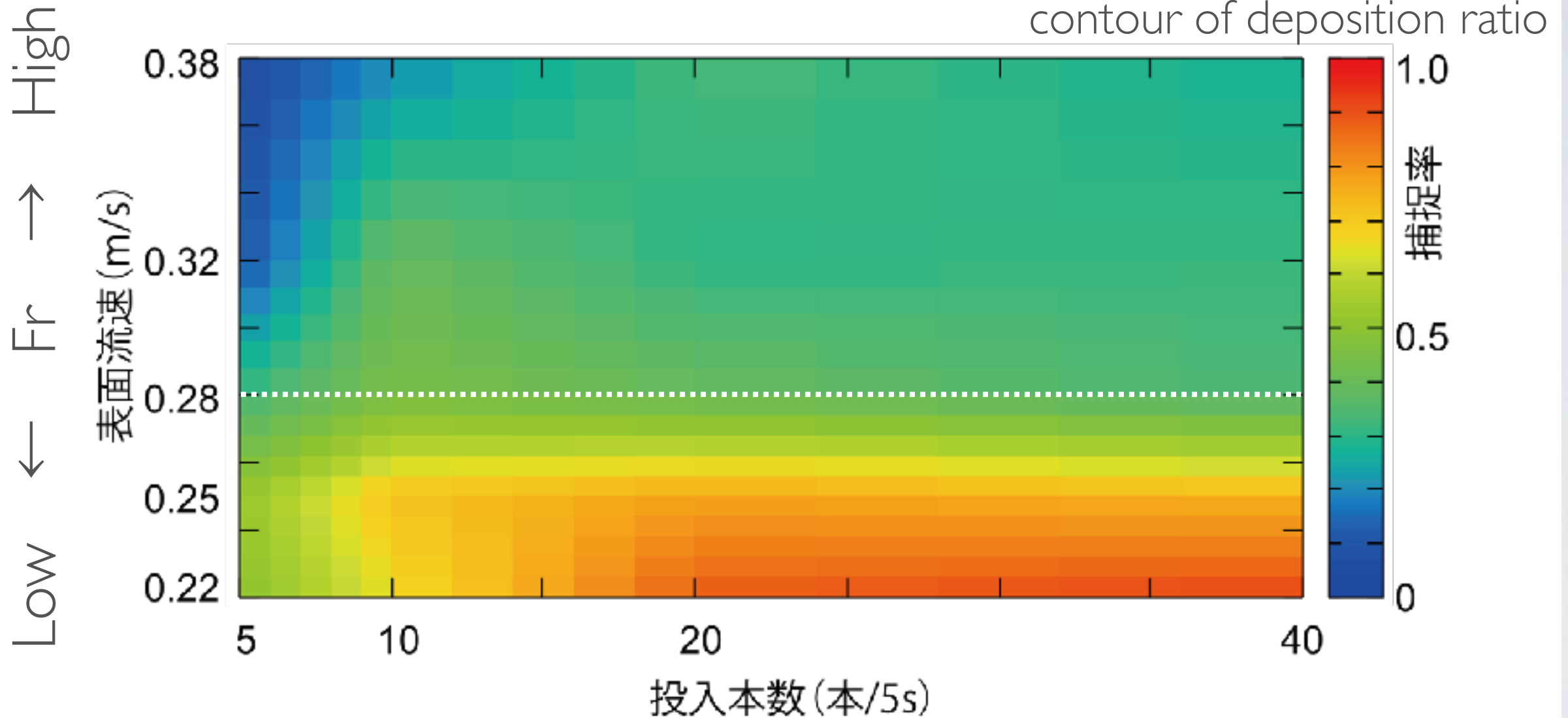
Low ← Fr → High



実験3結果：橋脚間/流木長80%

投入本数と表面流速の関係：捕捉率コンター

平面的
↔
立体的

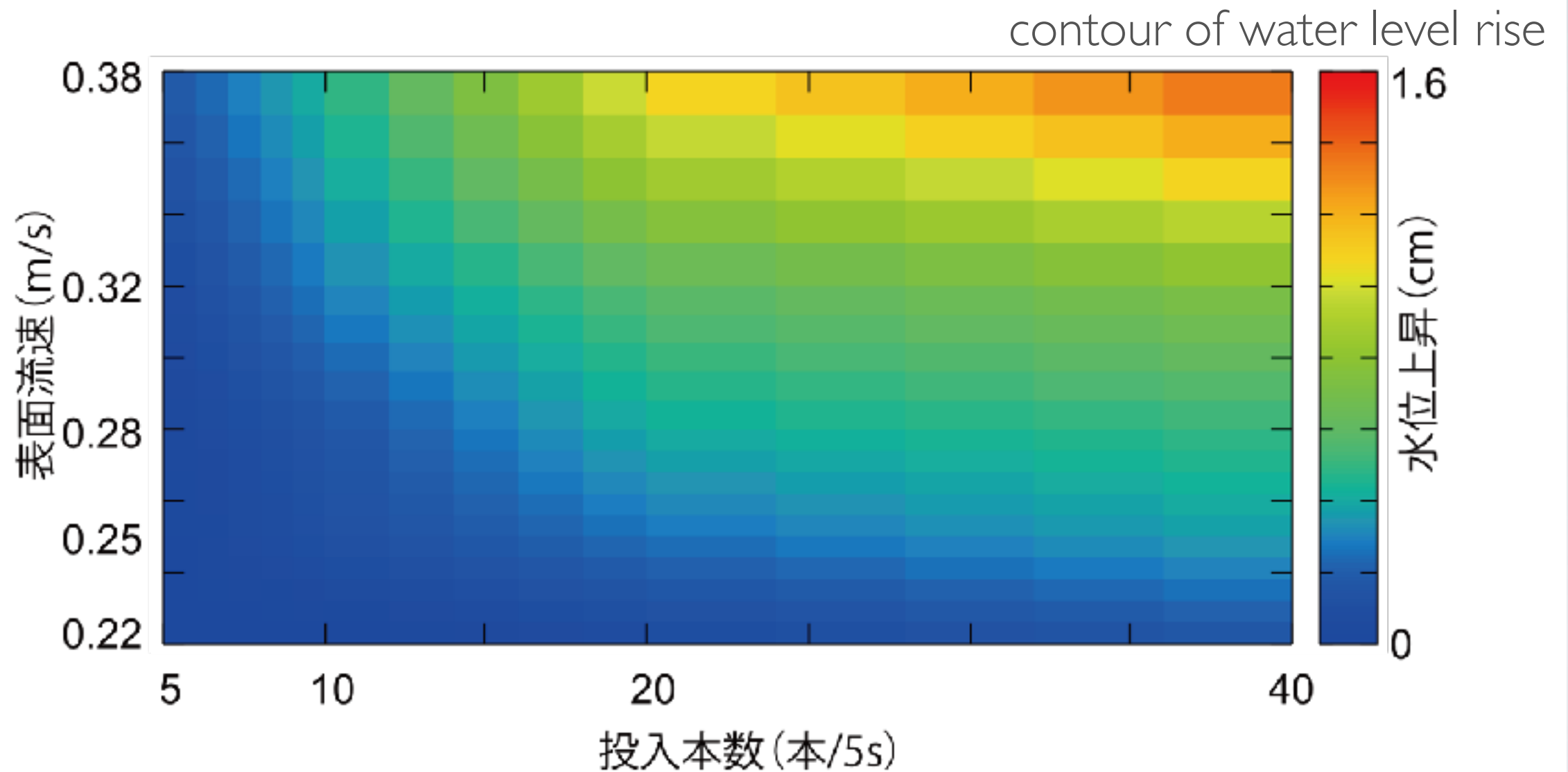


実験3結果：橋脚間/流木長80%

投入本数と表面流速の関係：水位上昇コンター

平面的 ←→ 立体的

Low ← Fr → High

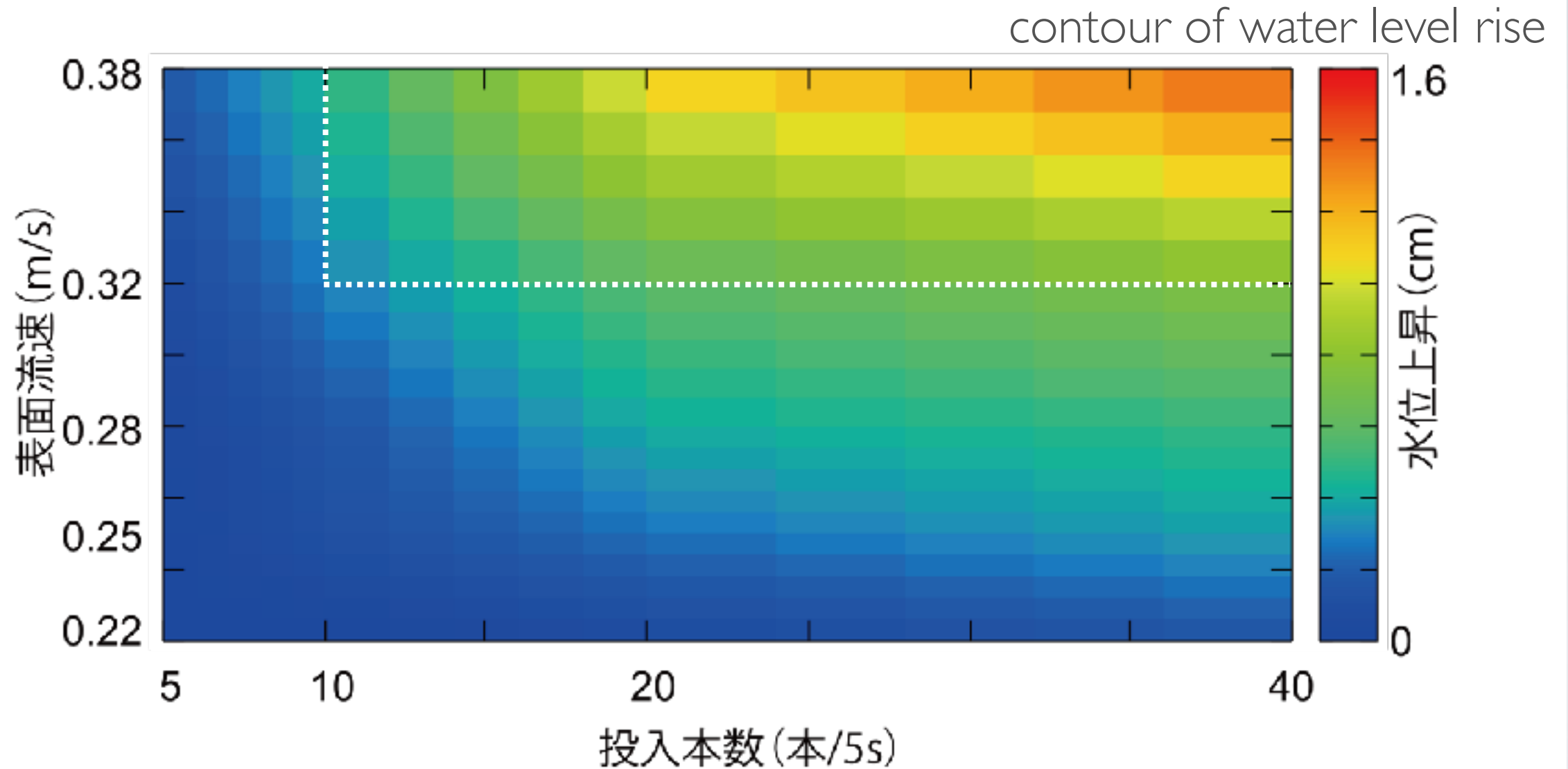


実験3結果：橋脚間/流木長80%

投入本数と表面流速の関係：水位上昇コンター

平面的
↔
立体的

Low
←
Fr
→
High

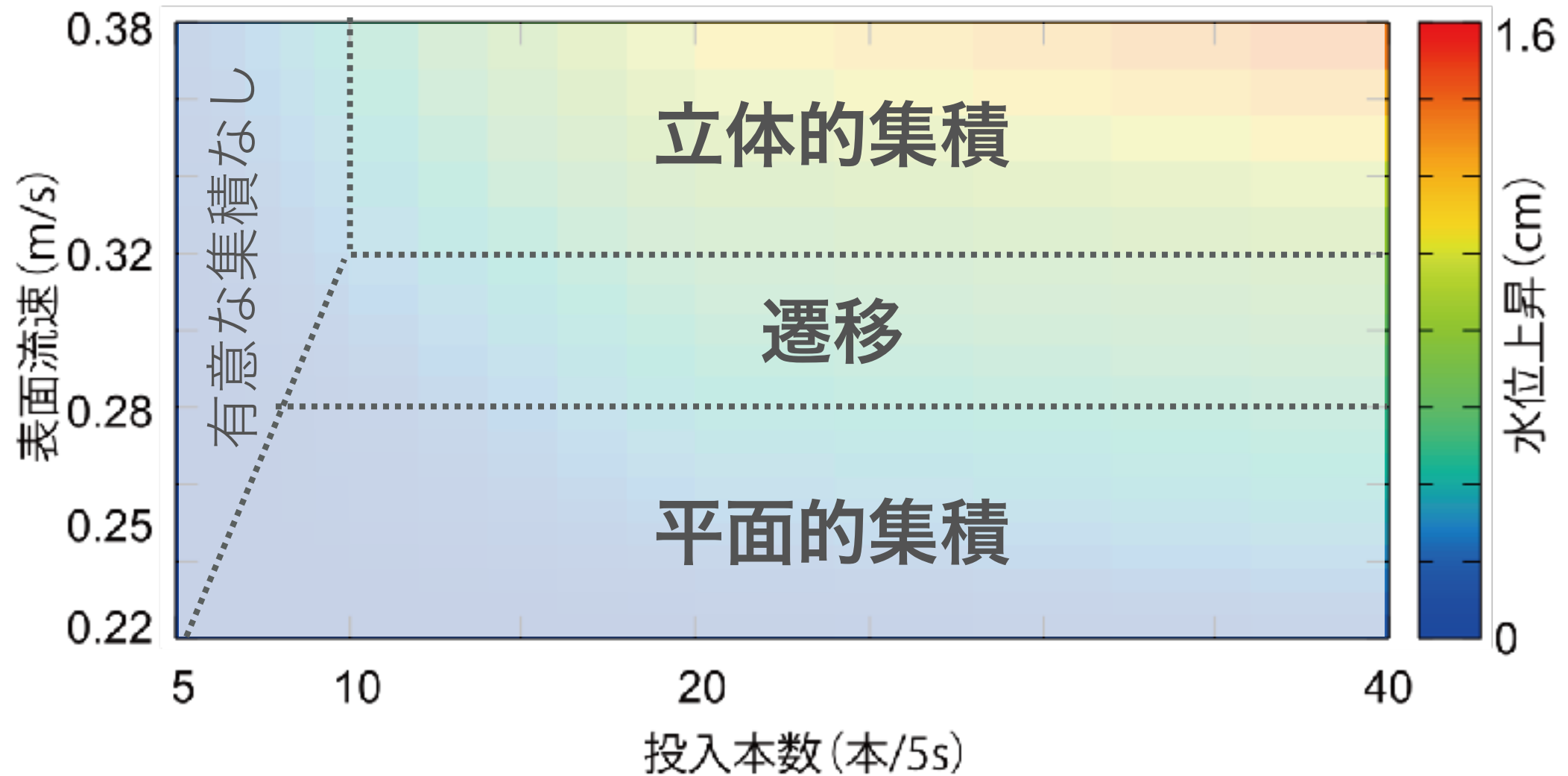


実験3結果：橋脚間/流木長80%

集積の性質を示す概念図

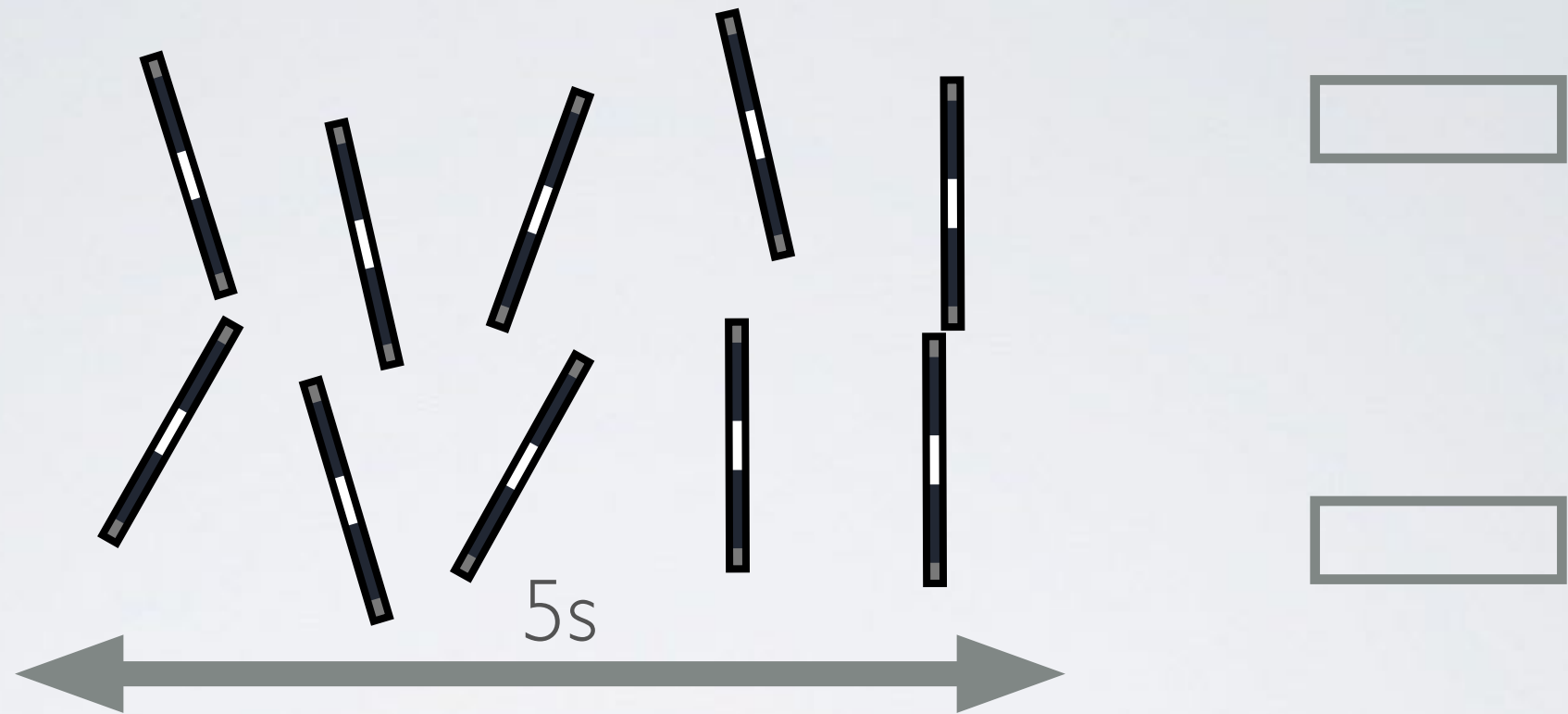
平面的 ←→ 立体的

Low ← Fr → High



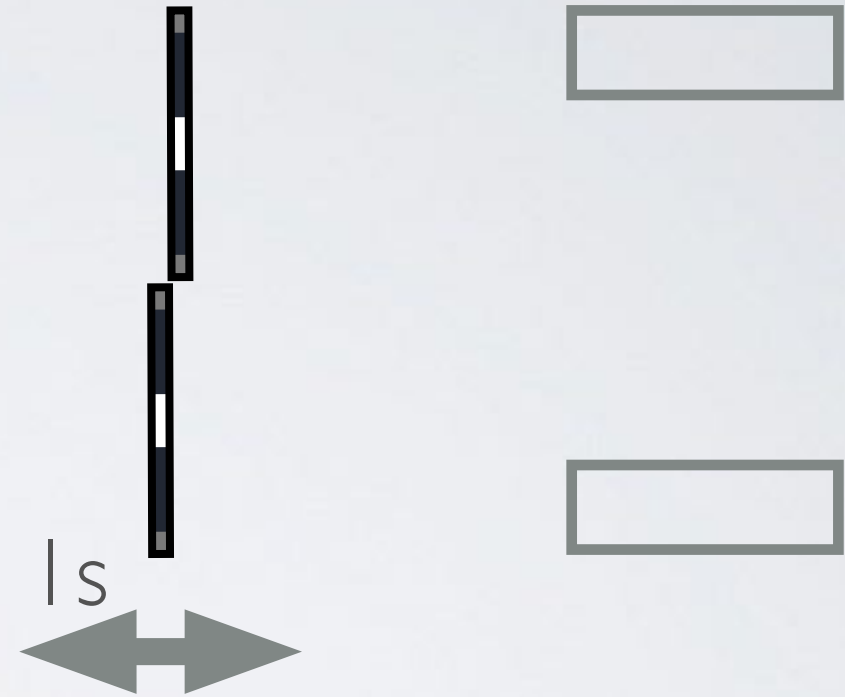
集積機構の考察

平面的集積 流木「群」の単位時間での最大値



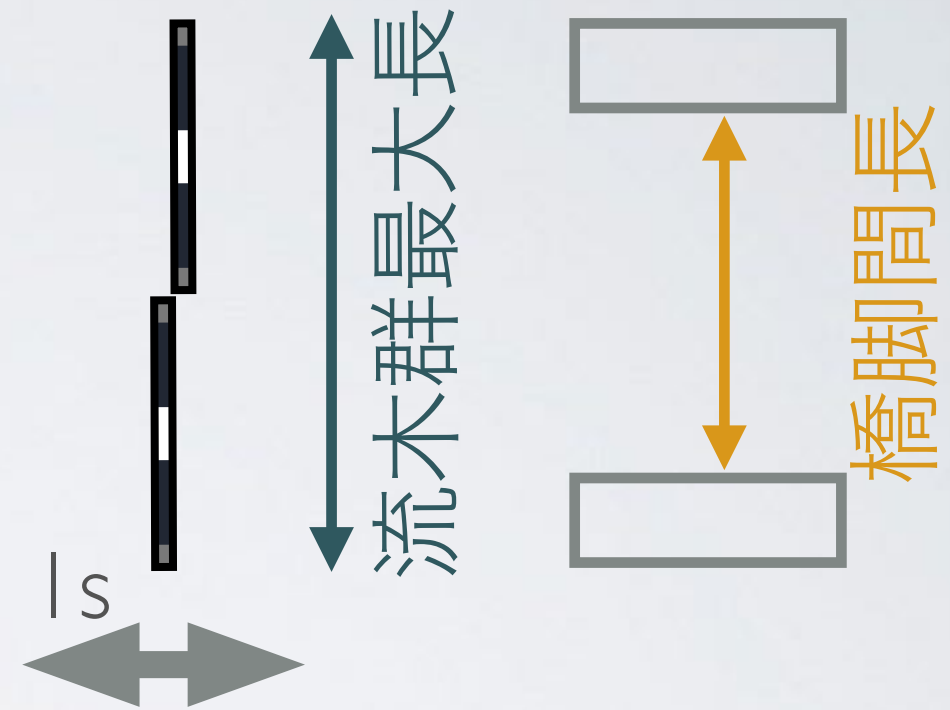
- 単位時間の投入本数を算出（例：10本/5sのケース）
- $10\text{本}/5\text{s} \div 5\text{s} = 2\text{本}$
- 上記本数 $\times$ 流木長＝単位時間に取り得る最大の流木群の長さ

平面的集積 流木「群」の単位時間での最大値



- 単位時間の投入本数を算出（例：10本/5sのケース）
- $10\text{本}/5\text{s} \div 5\text{s} = 2\text{本}$
- 上記本数 $\times$ 流木長＝単位時間に取り得る最大の流木群の長さ

平面的集積 流木「群」の単位時間での最大値



- 単位時間の投入本数を算出（例：10本/5sのケース）
- $10\text{本}/5\text{s} \div 5\text{s} = 2\text{本}$
- 上記本数 $\times$ 流木長＝単位時間に取り得る最大の流木群の長さ

平面的集積 実験Ⅰ結果：Fr=0.19, h=9.4cm

流木「群」最大長と橋脚間距離の比

ratio of woody debris groupe diameter to span length

投入量 (本/5s)	橋脚間/流木 80%	橋脚間/流木 100%	橋脚間/流木 120%
2	0.50	0.40	0.33
5	1.25	1.00	0.83
10	2.50	2.00	1.67
20	5.00	4.00	3.33
40	10.00	8.00	6.67

- 流木「群」最大長：単位時間あたりの流木投入数に流木長を掛けたもの

平面的集積 実験Ⅰ結果：Fr=0.19, h=9.4cm

流木「群」最大長と橋脚間距離の比

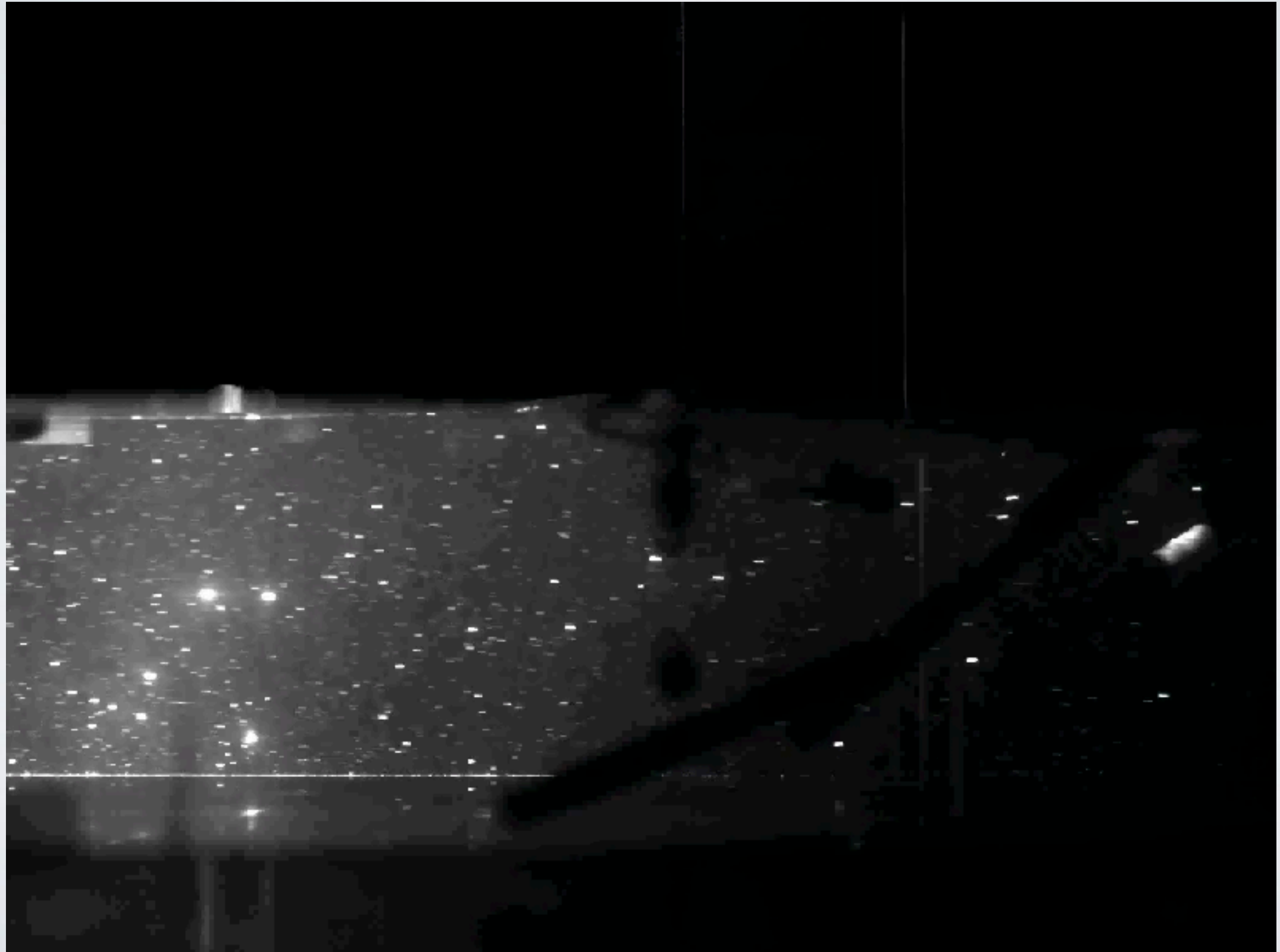
投入量 (本/5s)	80% 捕捉率	100% 捕捉率	120% 捕捉率
2	0.17	0.1	0
5	0.42	0	0.02
10	0.81	0.72	0.4
20	0.91	0.86	0.75
40	0.93	0.9	0.88

- 比率が1.0を超えるケースでは捕捉率が高い
- 流木群のサイズが橋脚間距離を超えた場合, いずれ集積が始まる

立体的集積

実験2結果： $Fr=0.38$, $h=6.0\text{cm}$, 40本/5s, 80%

側面から見た流木の動き

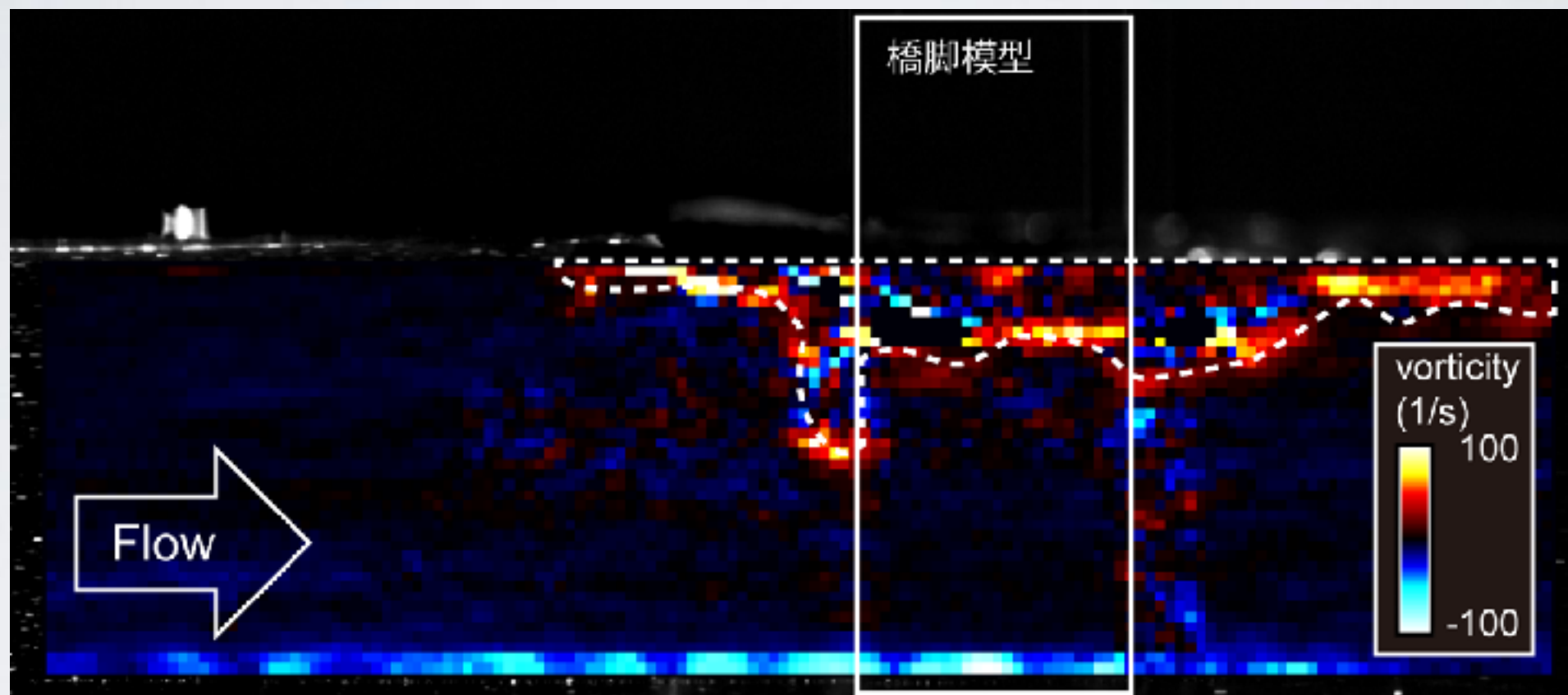


立体的集積

実験2 : $Fr=0.38$, $h=6.0\text{cm}$

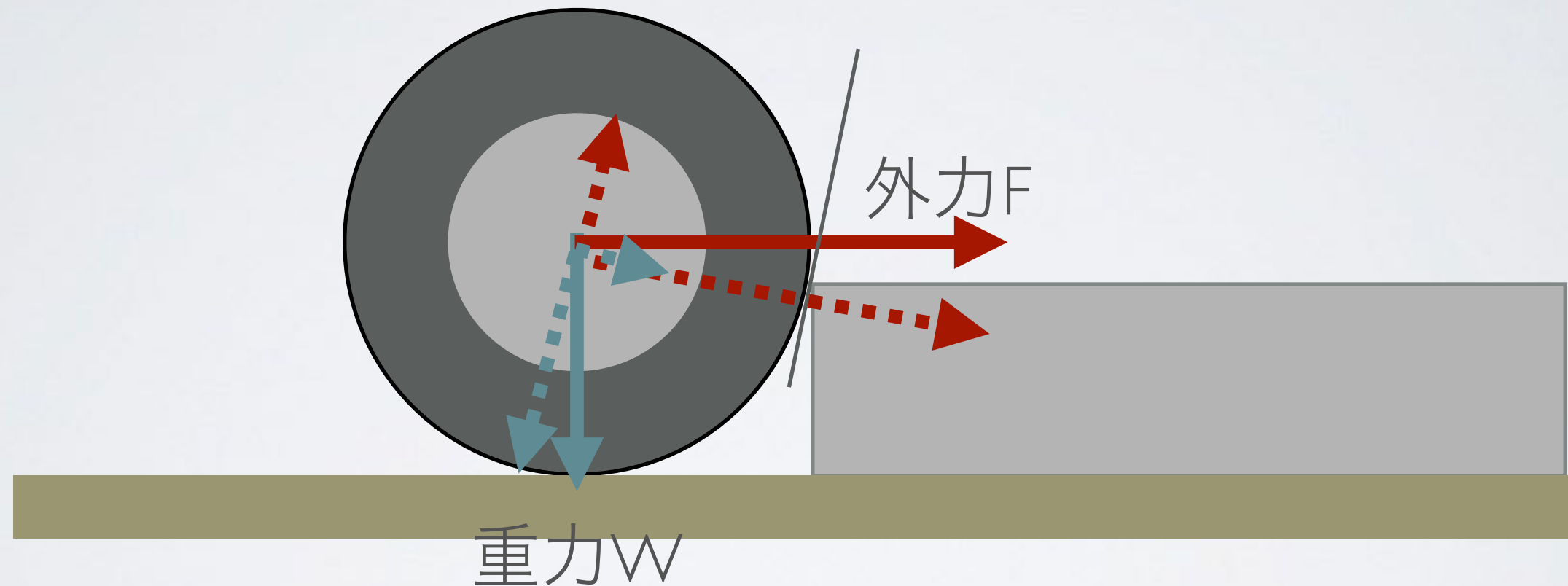
渦度コンター図 (40本/5s, 80%)

contour of vorticity



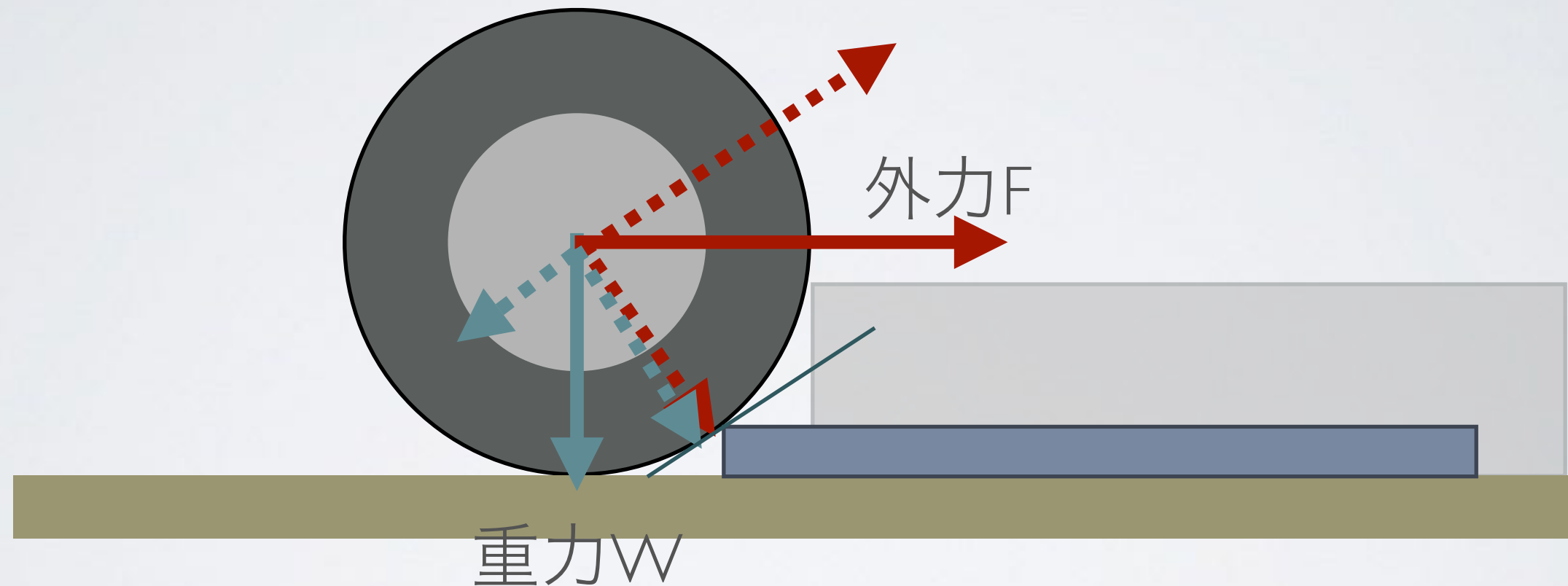
- 渦度が卓越する領域は底面や既に集積した流木の近傍
- 水面付近を移動してきた流木に対してはせん断の影響は少ないと推測される
- 水面下への引き込みは水面ごく近傍での流れから説明する必要あり

車輪の乗り越え問題からの類推



- 障害物の頂点まわりでの重力と外力のそれぞれの接線方向モーメントの大小

車輪の乗り越え問題からの類推

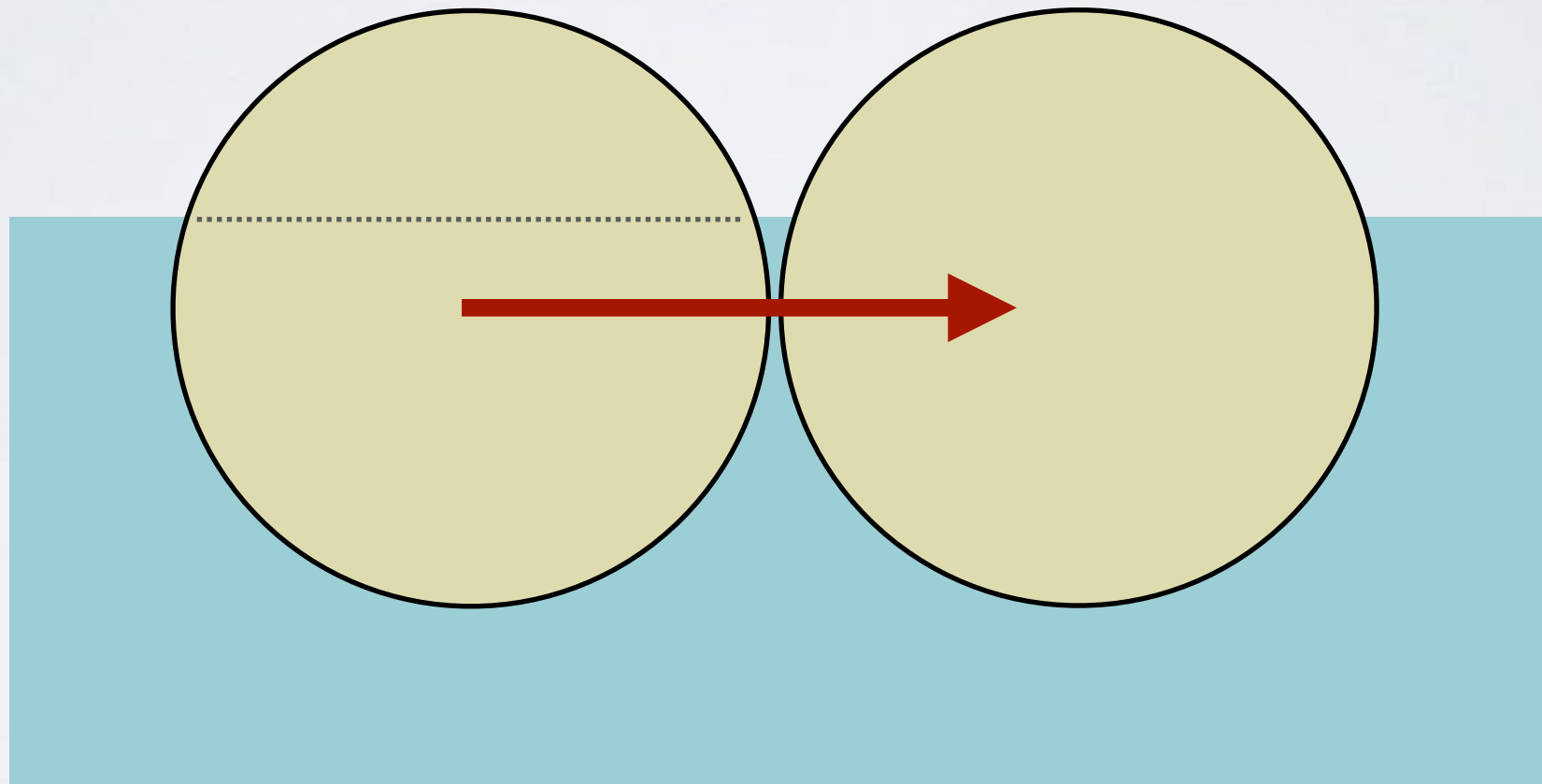


- 障害物の頂点まわりでの重力と外力のそれぞれの接線方向モーメントの大小

車輪の乗り越え問題からの類推

到達した後発の流木

静止した先行する流木



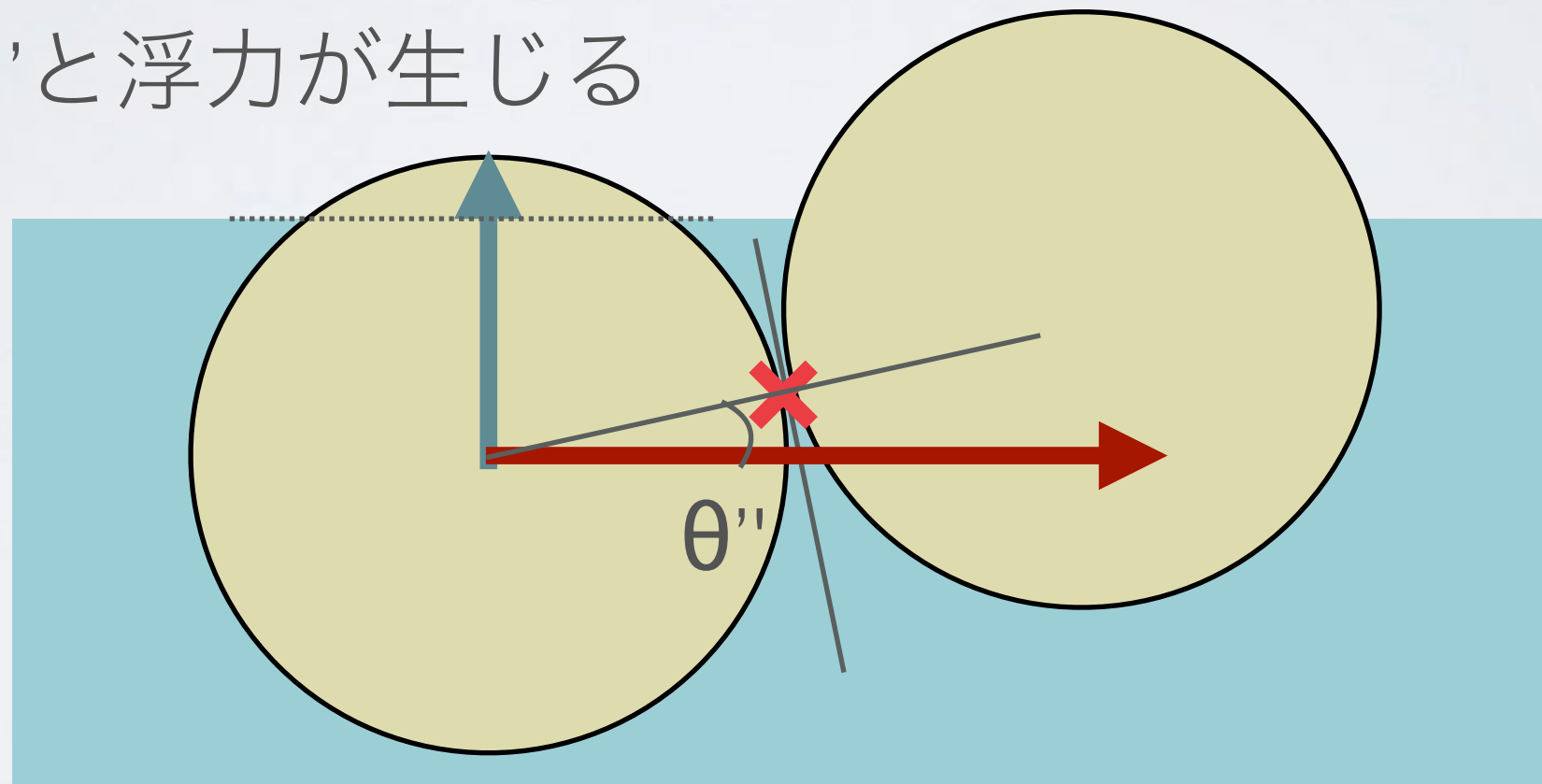
車輪の乗り越え問題からの類推

到達した後発の流木

静止した先行する流木

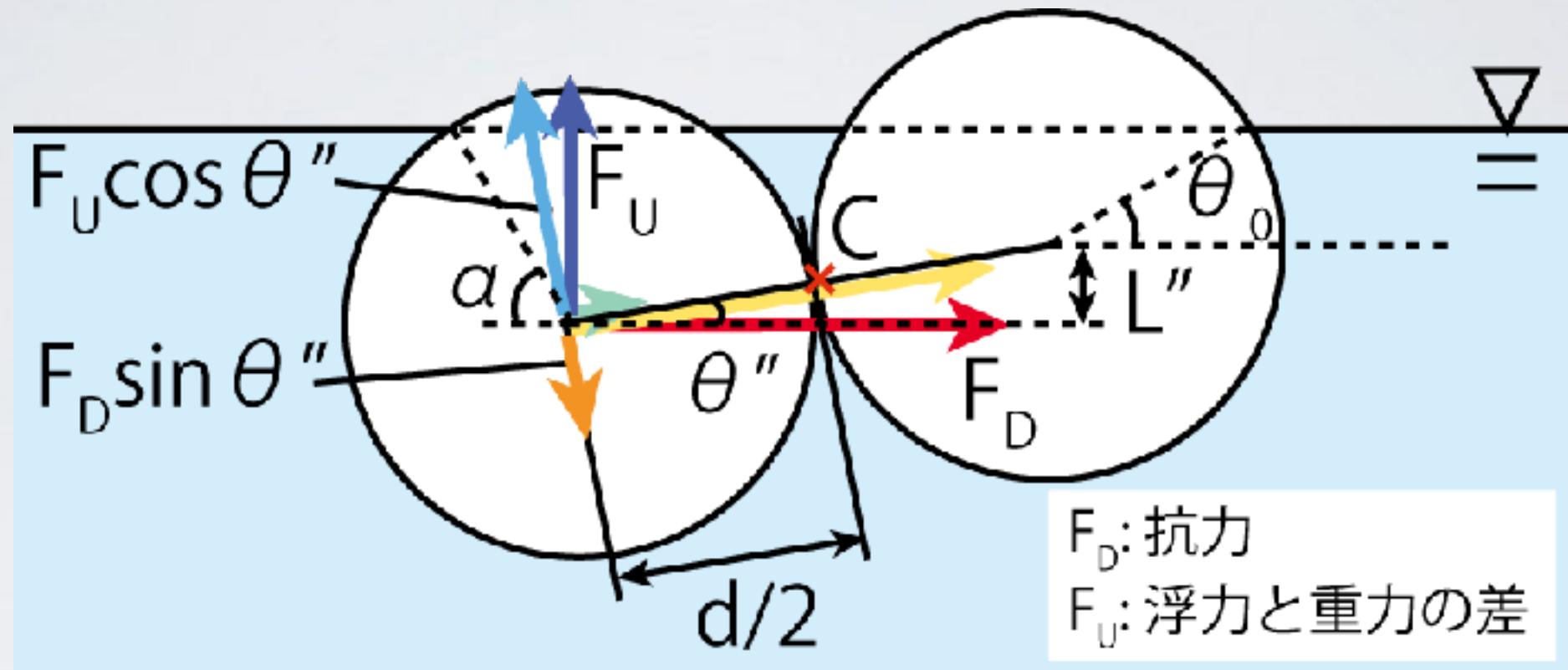
少し沈み込んだ場合に

接触角 θ'' と浮力が生じる



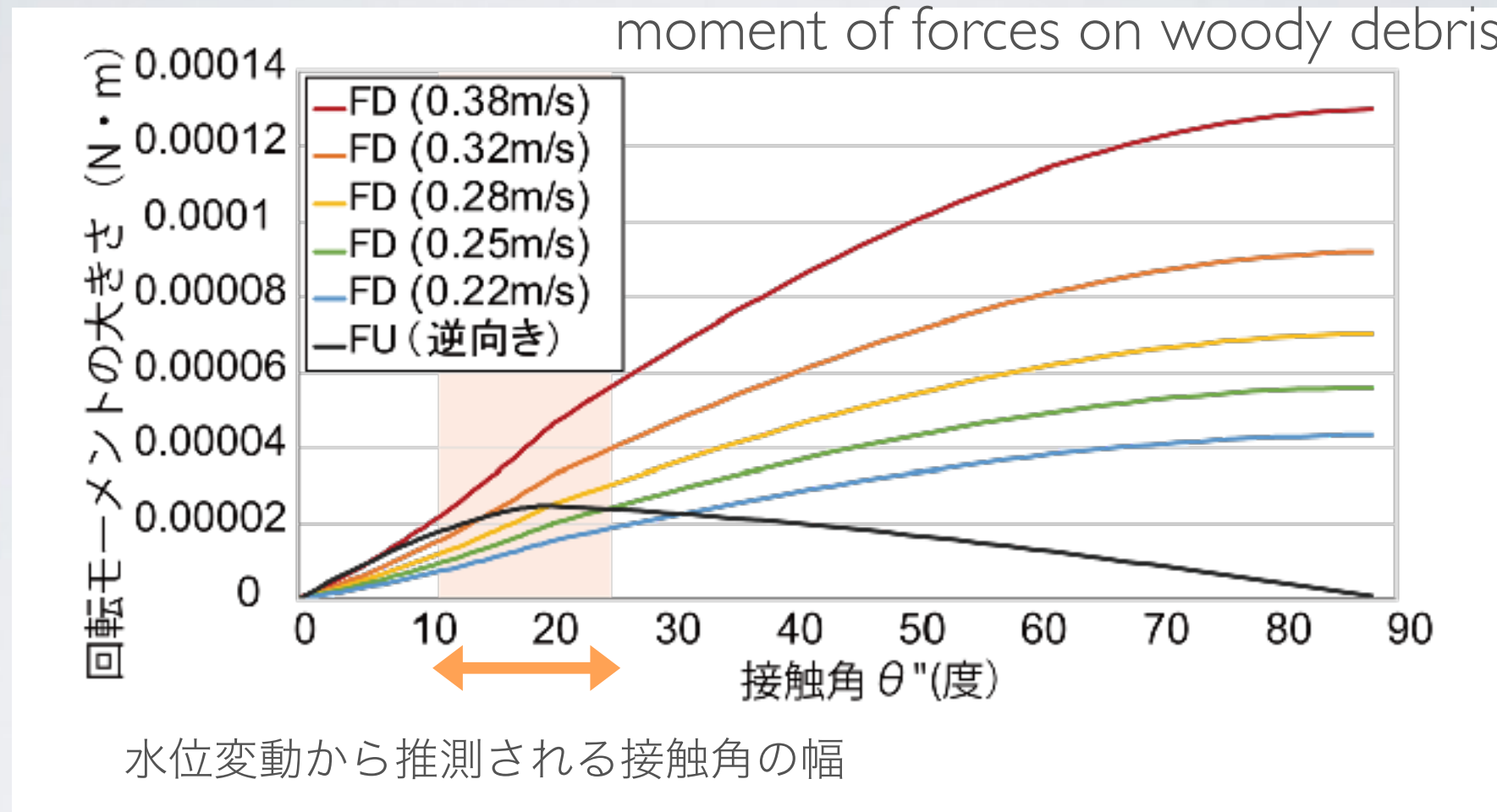
立体的集積の条件である引き込みが生じる際の 横断面模式図

diagram of forces acting on woody debris

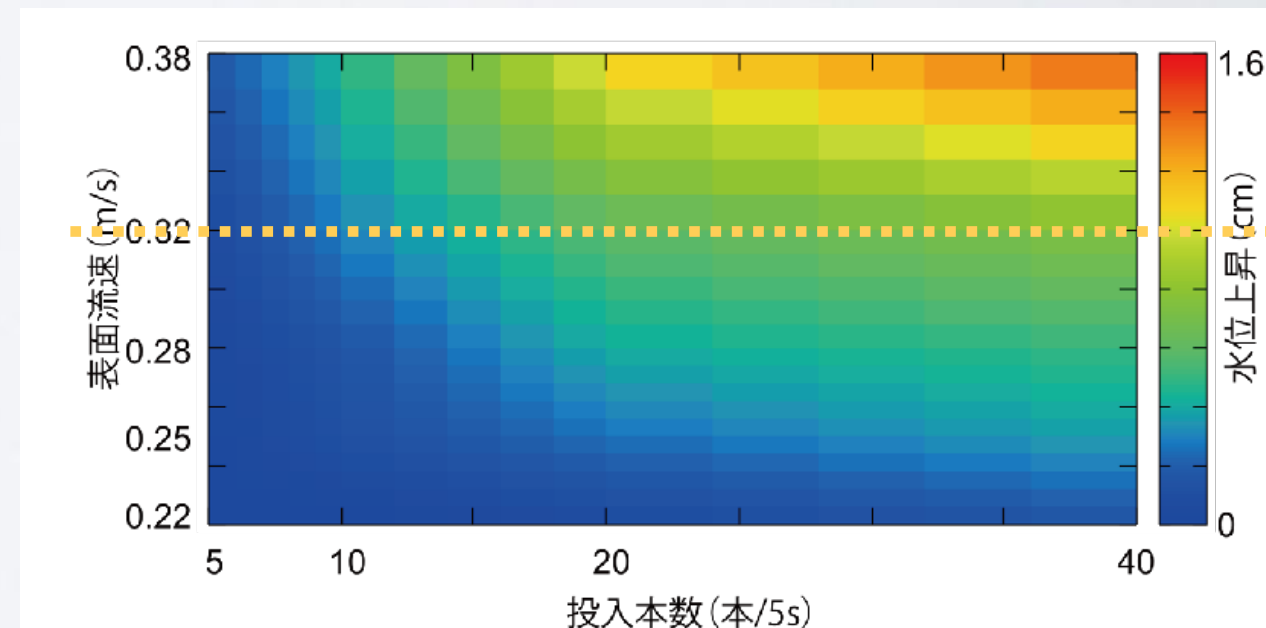


- $F_D = 1/2 \cdot \rho C_D U^2 A$ (C_D : 円柱の抗力係数, A : 流木の水面下投影面積, U : 表面流速)
- θ_0 : 静止した先行流木断面図心と水面との角度 (既知), 任意の α から θ'' を得る
- 引き込みが生じる条件 → $F_D \sin \theta'' \cdot d/2 > F_U \cos \theta'' \cdot d/2$

接触点周りのモーメントの比較



- $U=0.32\text{m/s}$ ($Fr=0.31$ に対応)を超えた程度から F_D モーメントが F_U モーメントを上回る
- 実験3の水位上昇値コンターにおける結果 (水位上昇が生じる表面流速) とほぼ一致



まとめ conclusions

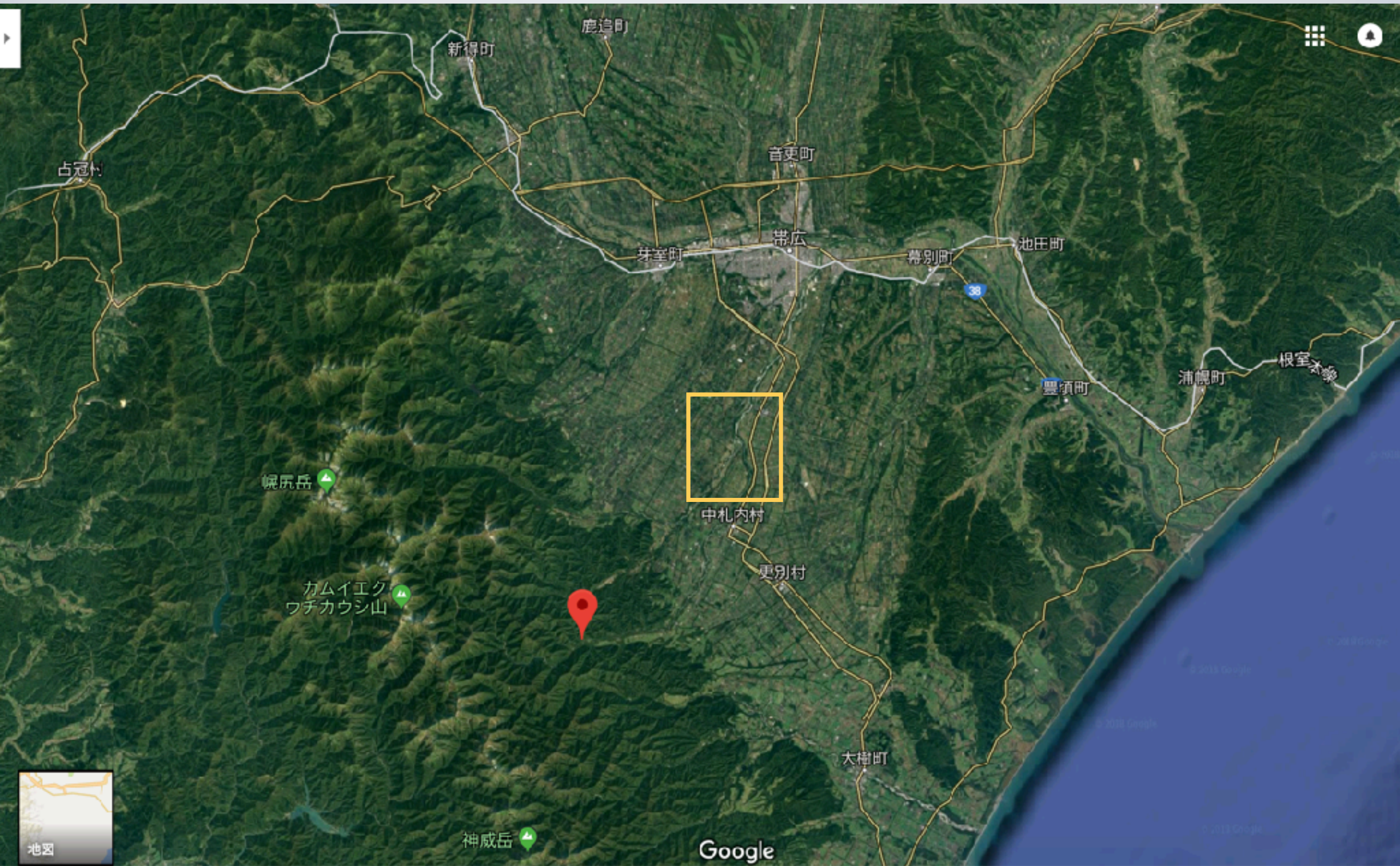
- 浮力を有する流木の集積は、表面流速に応じて平面的な集積から立体的な集積へと変化し、後者は河道の閉塞をもたらす
- 平面的な集積は流木塊の最大長と橋脚間距離の比が1.0を超えた場合にいつでも生じ得る
- 立体的な集積条件に関しては、流下方向の抗力と、水面に留まらせる力が、流木同士の接触点を介して生じさせるモーメントによって検討可能である

H29北海道河川財団研究助成

「植生環境長期変動を考慮した河川シミュレーターの開発」

北海道大学 特任准教授 久加朋子

愛知工業大学 准教授 赤堀良介



GISと 数値解析による 検討

国土交通省北海道開発局 帯広
開発建設部：

2016年8月（出水後）

オルソ画像とLPデータ，

2013年のオルソ画像とLPデータ



出水後LP

流木, 植生を含む



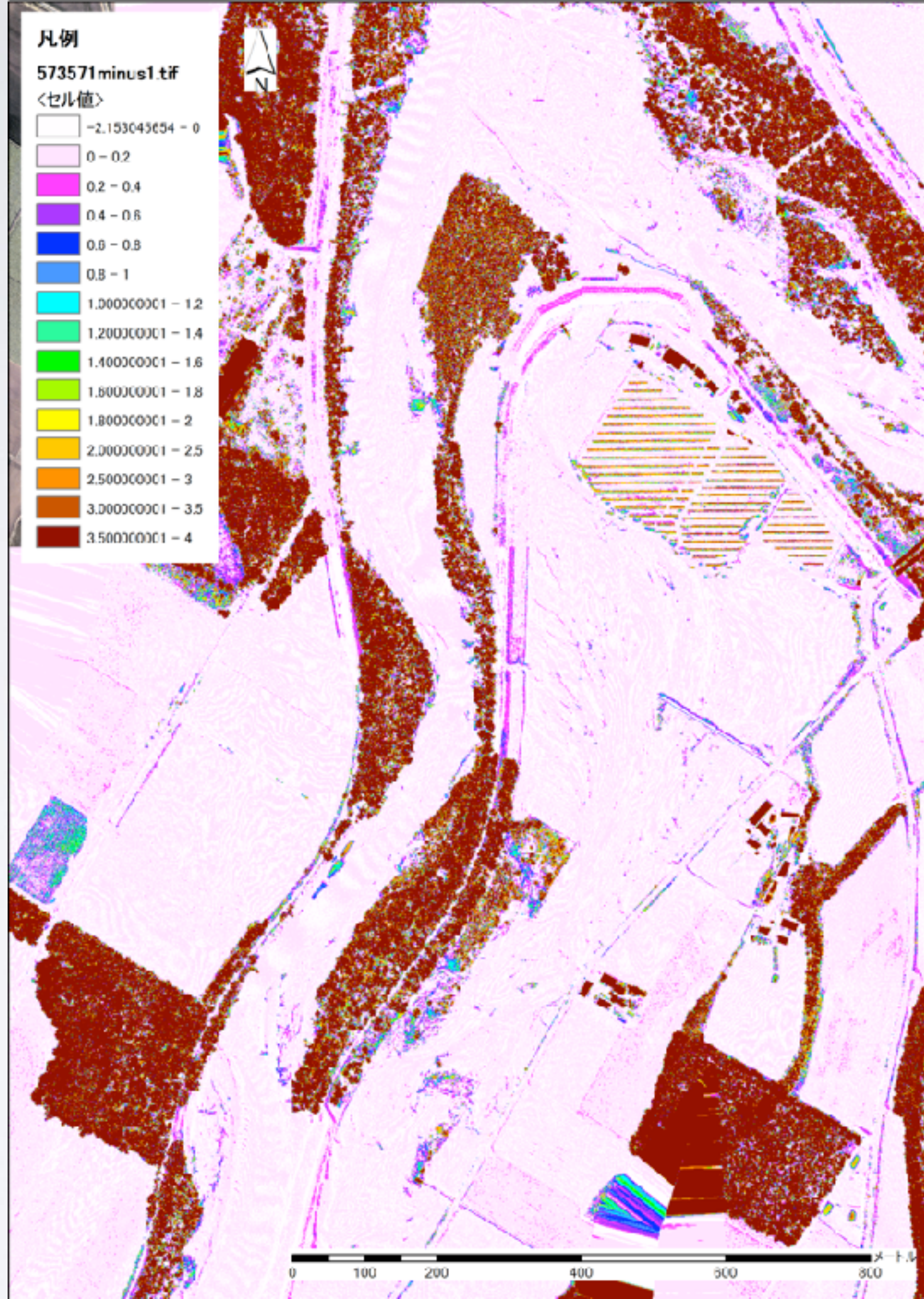
出水後LP

植生，流木を除去



LP差分

先のデータの差分から植
生高さおよび流木堆積高
さを算出



LP差分

先のデータの差分から植
生高さおよび流木堆積高
さを算出



LP差分から得た 流木堆積高さ

流木の堆積高さは0.2mから2.0m
の範囲と想定される

差分データから該当箇所を抽出

1m以上を色分け



数値解析結果 (流速コンター)

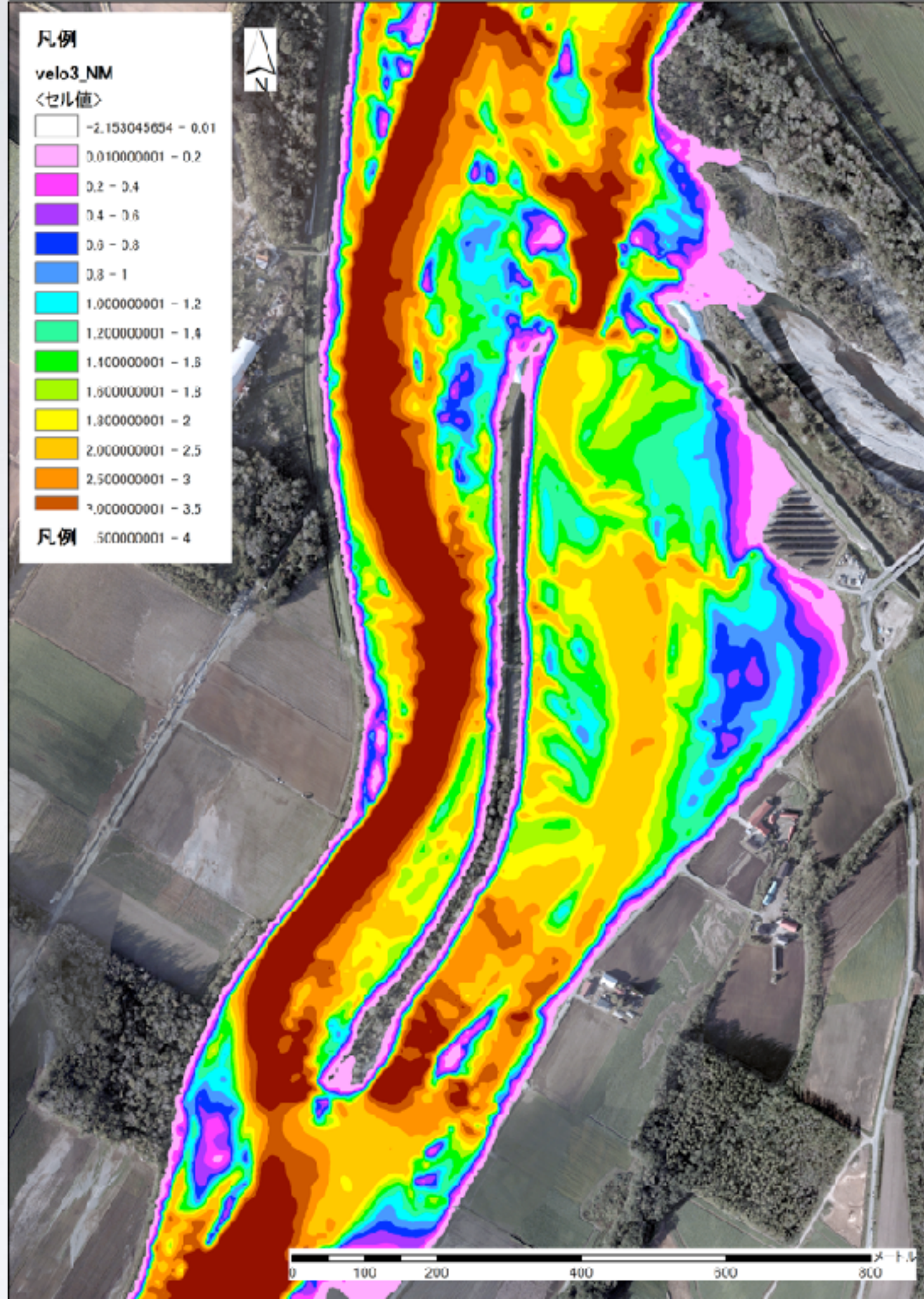
石田ら（2017）の研究データを参考

流量：1500m³/s（ピーク流量）

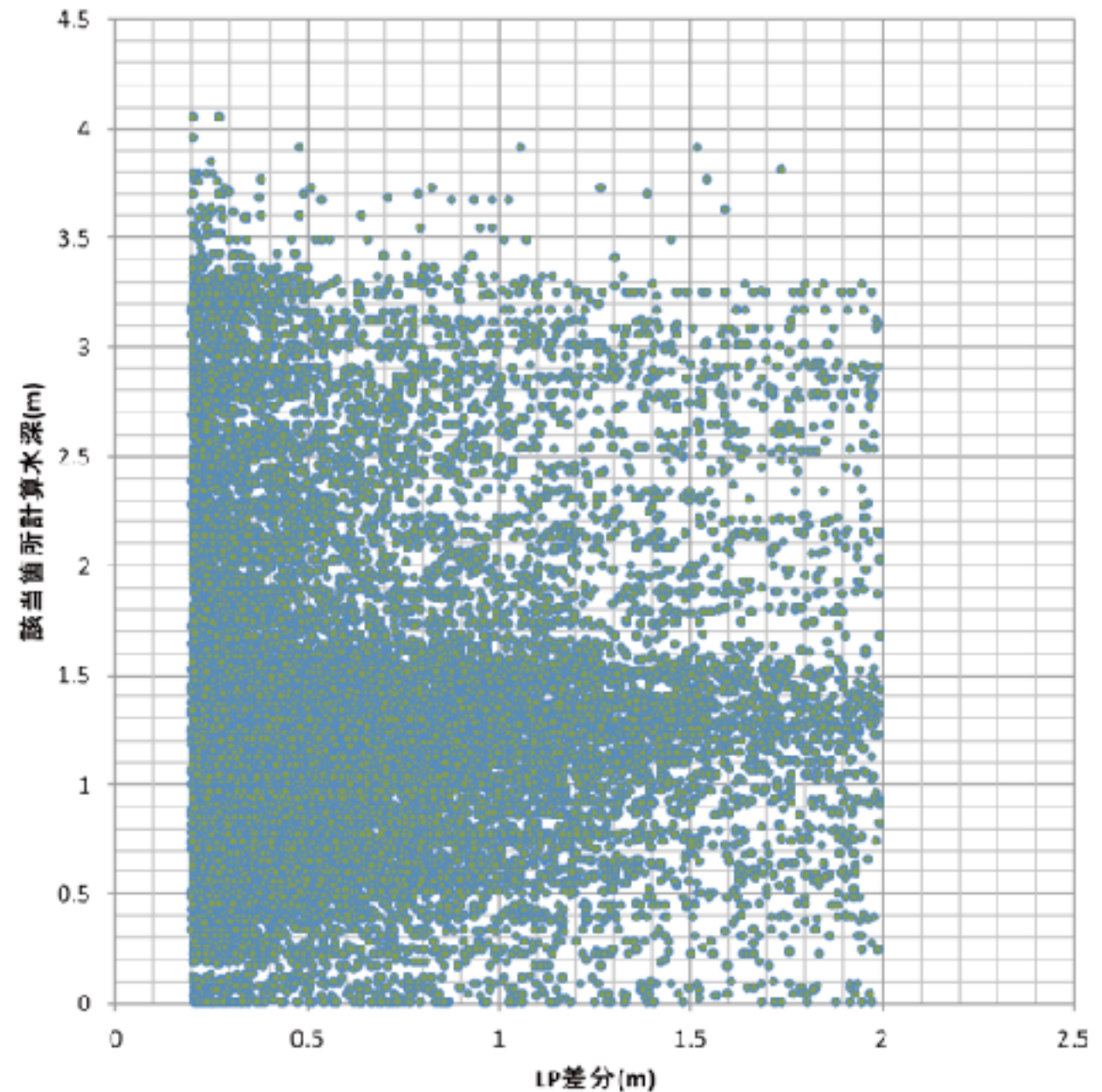
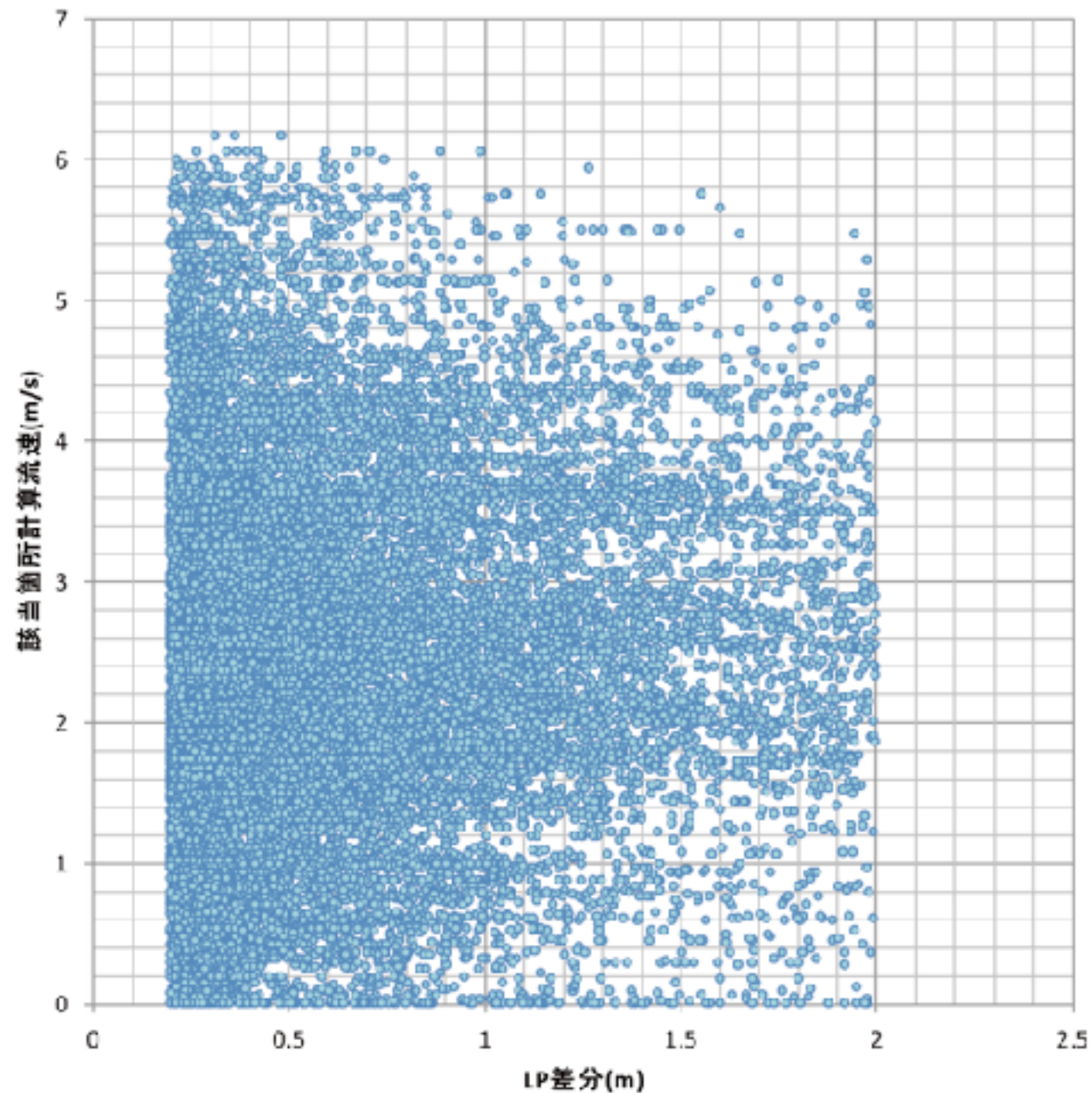
iRIC2.1のNays2Dの改良ソルバー

マンニングの粗度係数：0.03

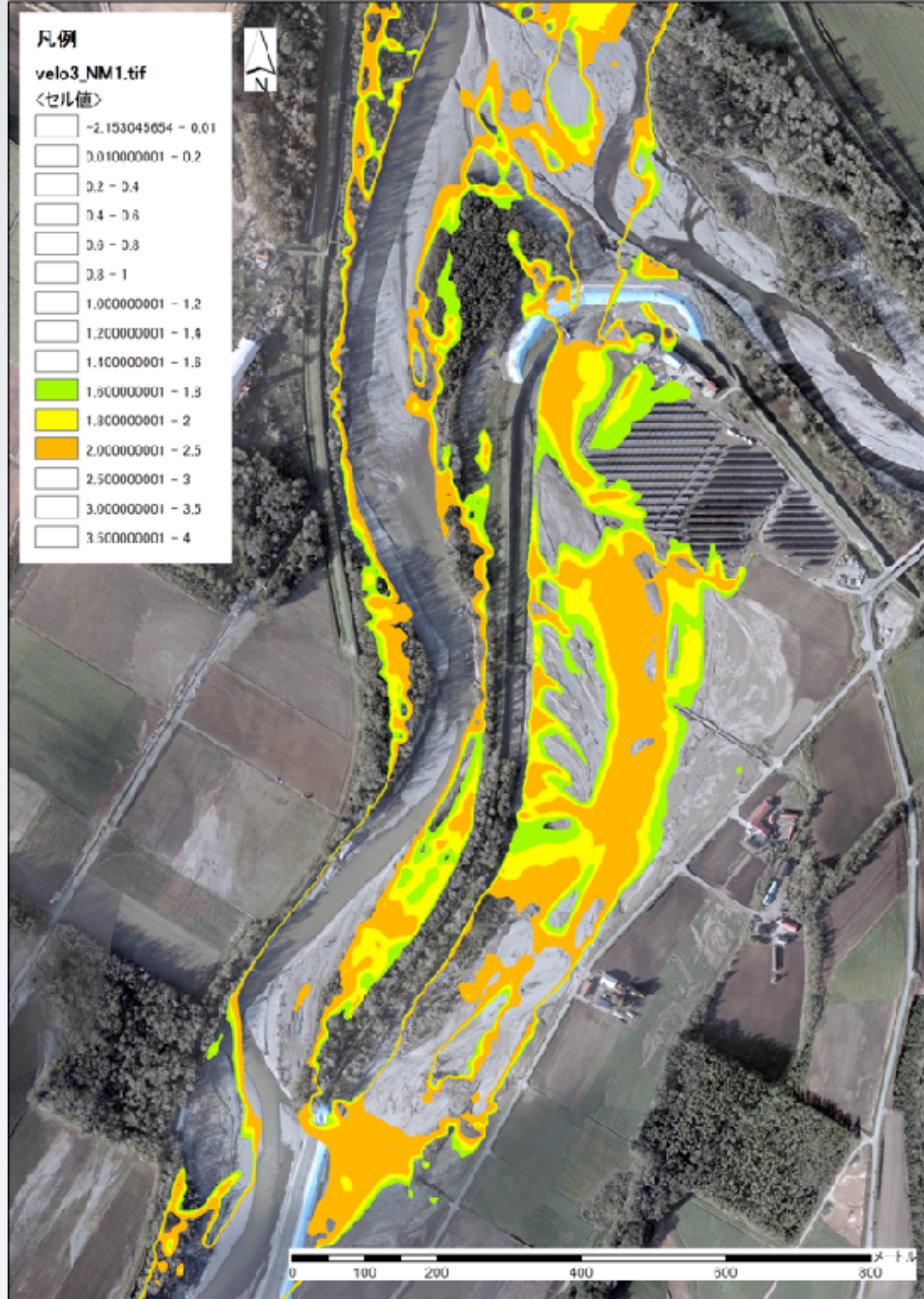
地形：出水後のLPデータから仮堤防高さ
部分を除去したデータを元に計算格子を作
成



流木集積箇所における水理量 (計算値)



数値解析結果 (流速コンター) 流速1.6m/sから2.5m/sのみ 抽出

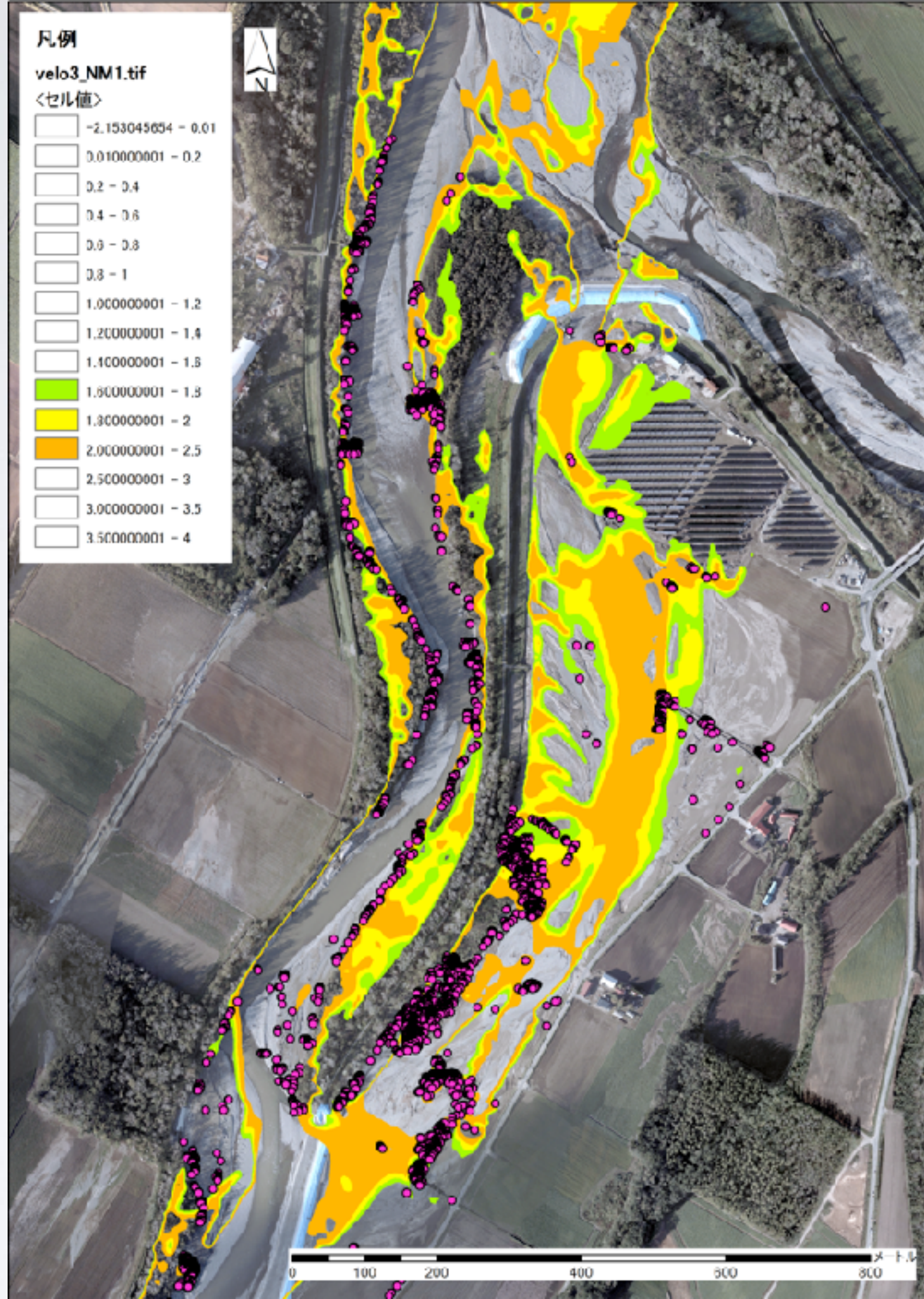


数値解析結果 (流速コンター)

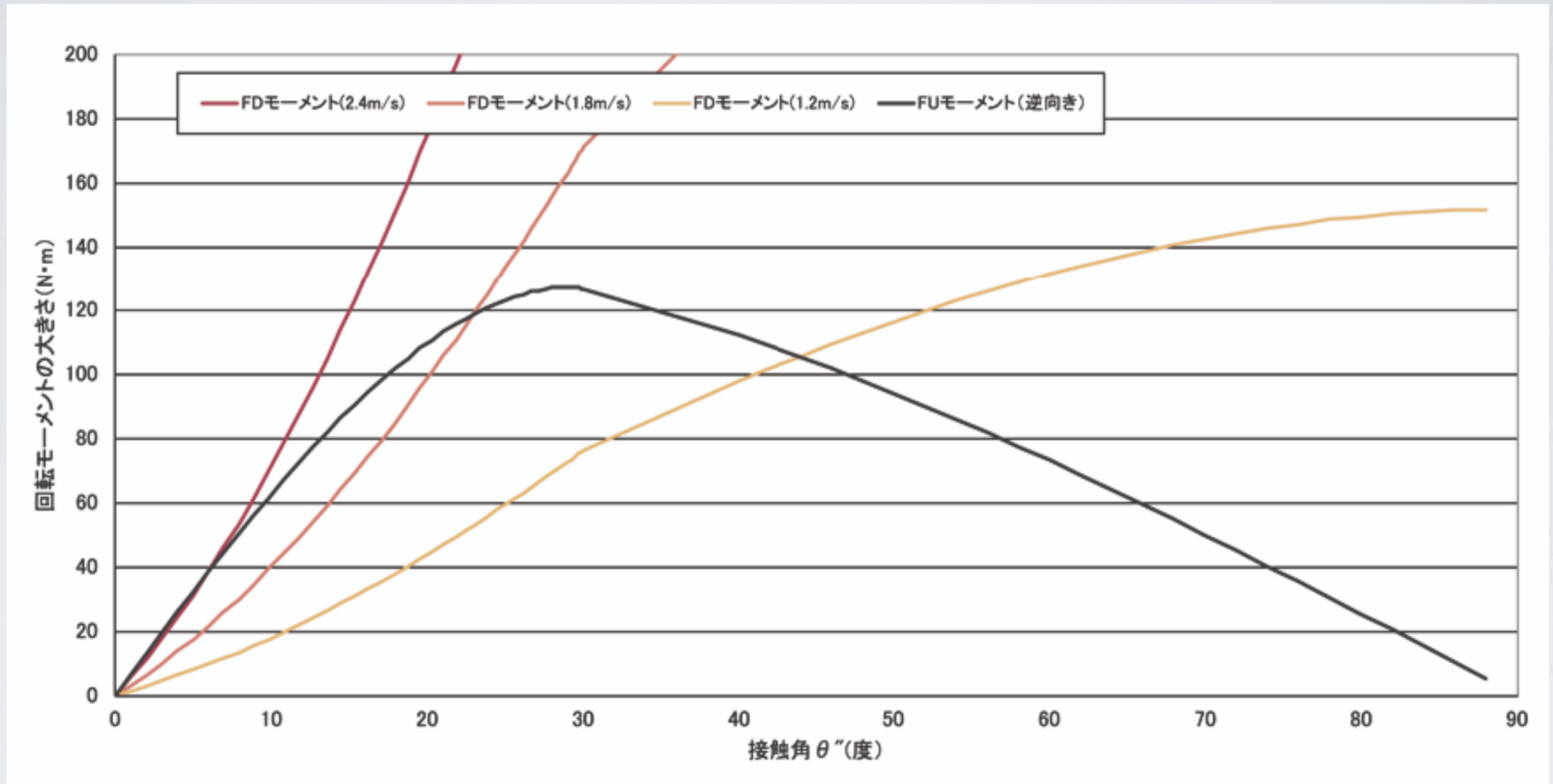
流速1.6m/sから2.5m/sのみ抽出

流木集積高さ1.0m以上のエリア
と重ねる

流木集積高さが高いエリアでは
水深平均流速が2.0m/s程度

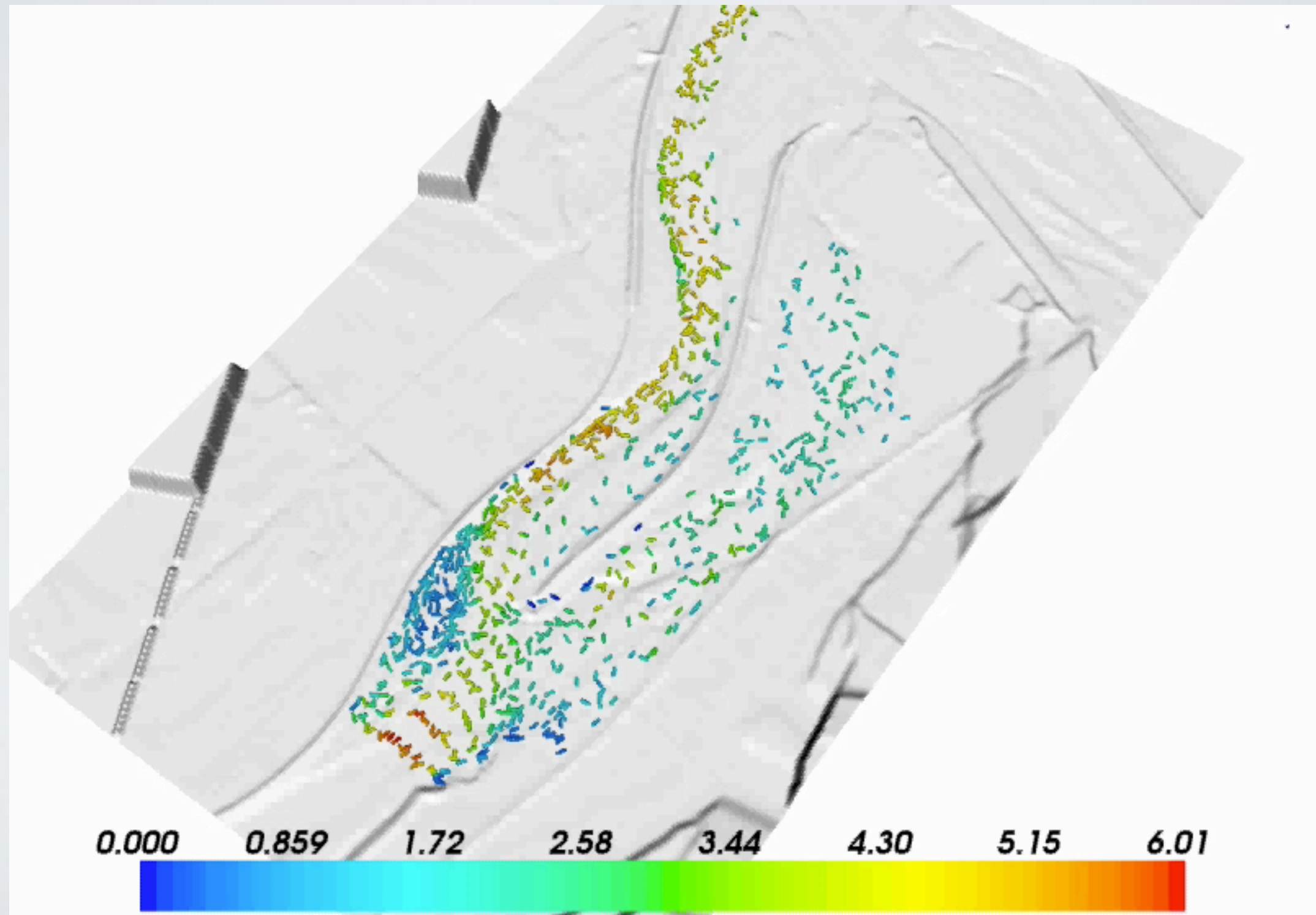


接触点周りのモーメントの比較



- $U=2.4\text{m/s}$ (水深平均値で 2.0m/s 程度)を超えたあたりから F_D モーメントが F_U モーメントを上回る

拘束条件モデルによる 流木の流下状況の計算



拘束条件モデル による流下 状況の計算

流木長：13m

太さ：18cm

比重：0.5

- ・ 概ね移動速度，移動経路，透過性
構造物（樹林，ソーラーパネルなど）
の有無で集積箇所の推測が可能か？

