

流域治水と土砂動態解析

竹林洋史

京都大学防災研究所流域災害研究センター

2019年丸森

土砂・洪水氾濫と流域治水



2017年朝倉

土砂・洪水氾濫とは

土砂・洪水氾濫とは豪雨により上流域から流出した多量の土砂が谷出口より下流の河道で堆積することにより、河床上昇・河道埋塞が引き起こされ、土砂と泥水の氾濫が発生する現象です。土砂とともに上流域から流出した流木が氾濫する場合があります。



(国交省HPより)

気候変動と土砂流出

降水量の増加（変化）

深層崩壊

表層崩壊

土砂・洪水氾濫

斜面崩壊発生場所

短時間高強度の豪雨の増加（変化）

表層崩壊

土砂・洪水氾濫

斜面崩壊発生場所

気温の上昇

植生の変化

表層崩壊

斜面崩壊発生場所

凍結融解特性の変化

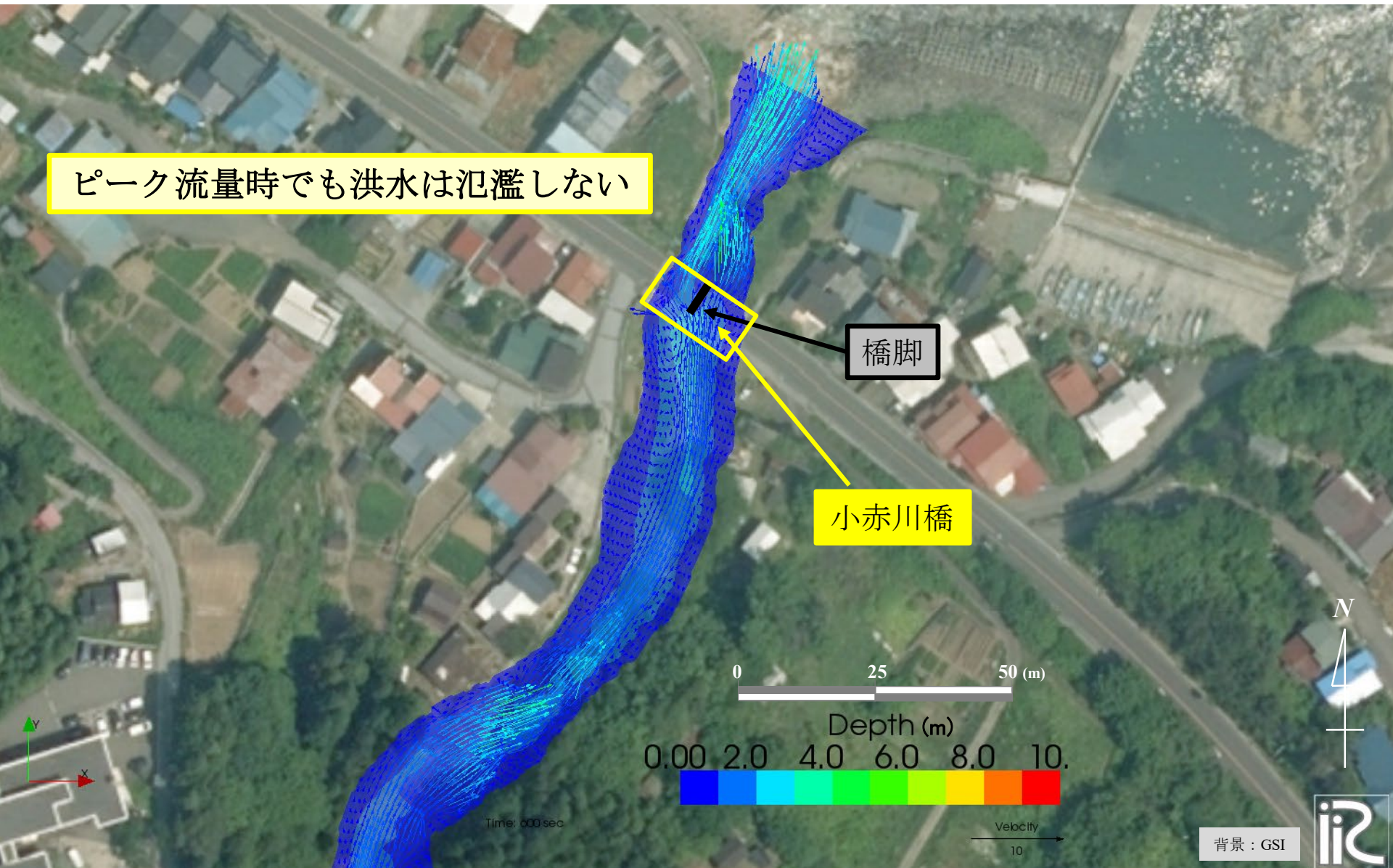
斜面崩壊発生場所

被災直後の小赤川橋周辺の様子

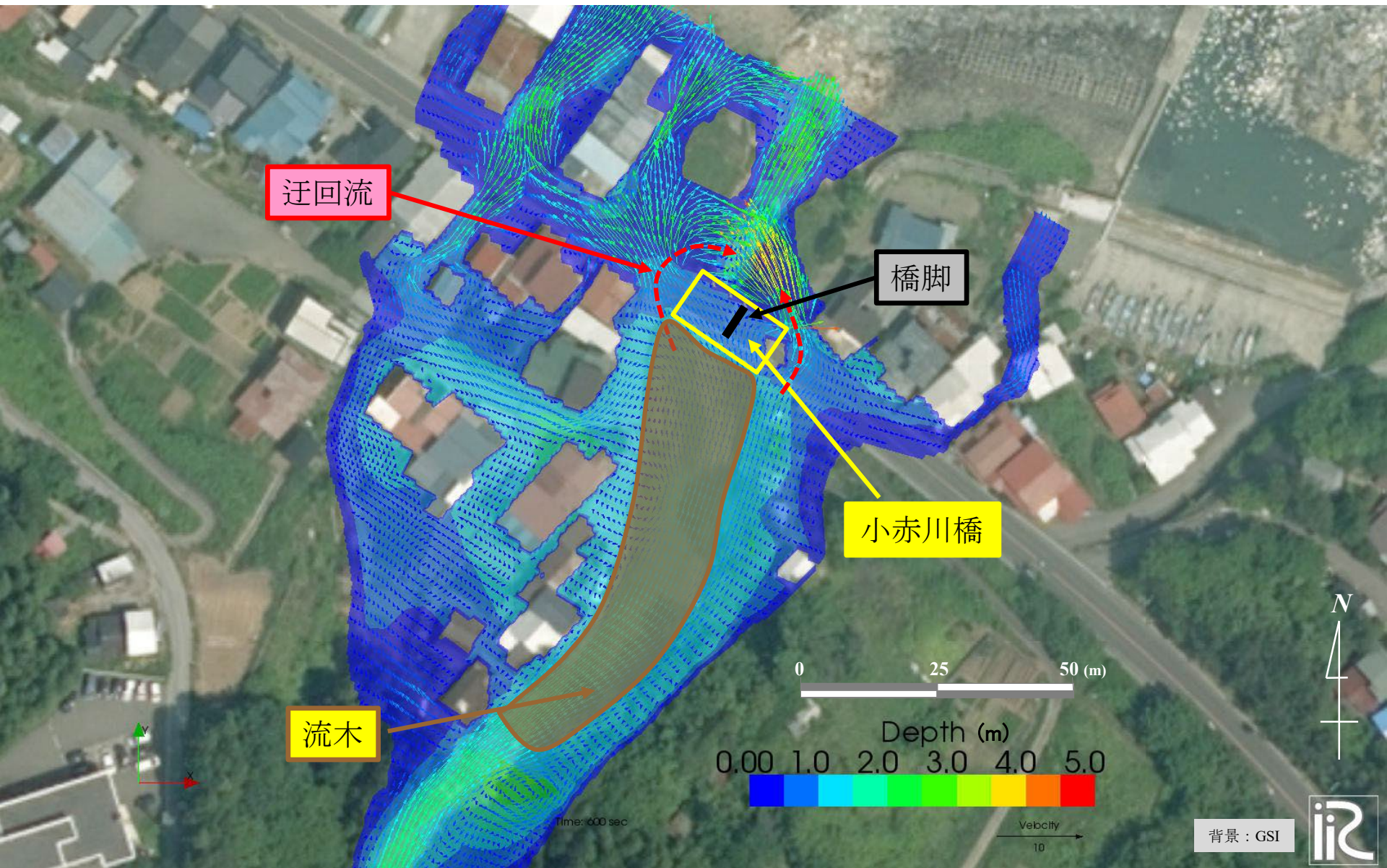


水深と流速ベクトルの平面分布 (Case1)

ピーク流量時でも洪水は氾濫しない



水深と流速ベクトルの平面分布 (Case2)

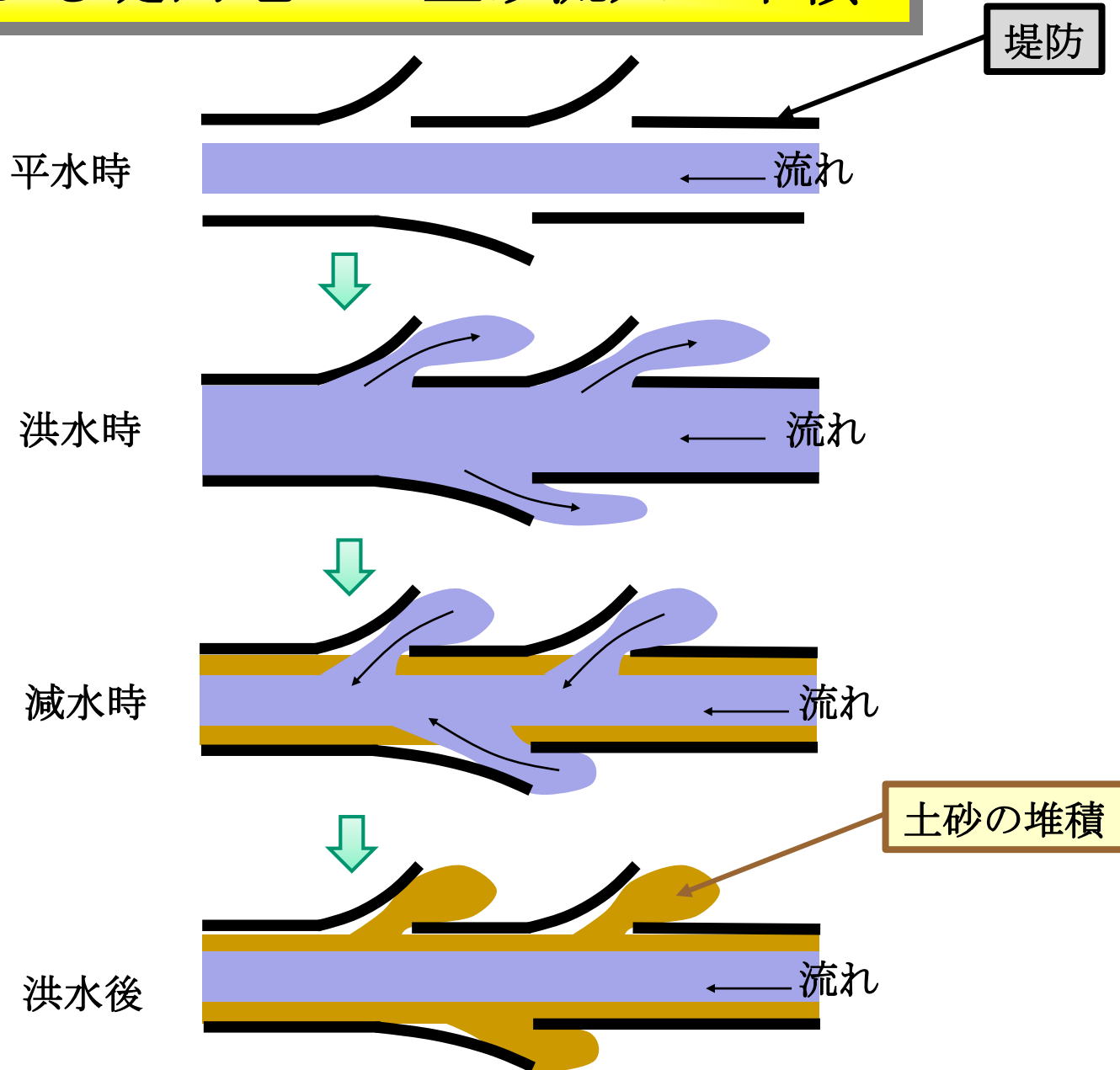


遊水地や堤内地への土砂流入・堆積

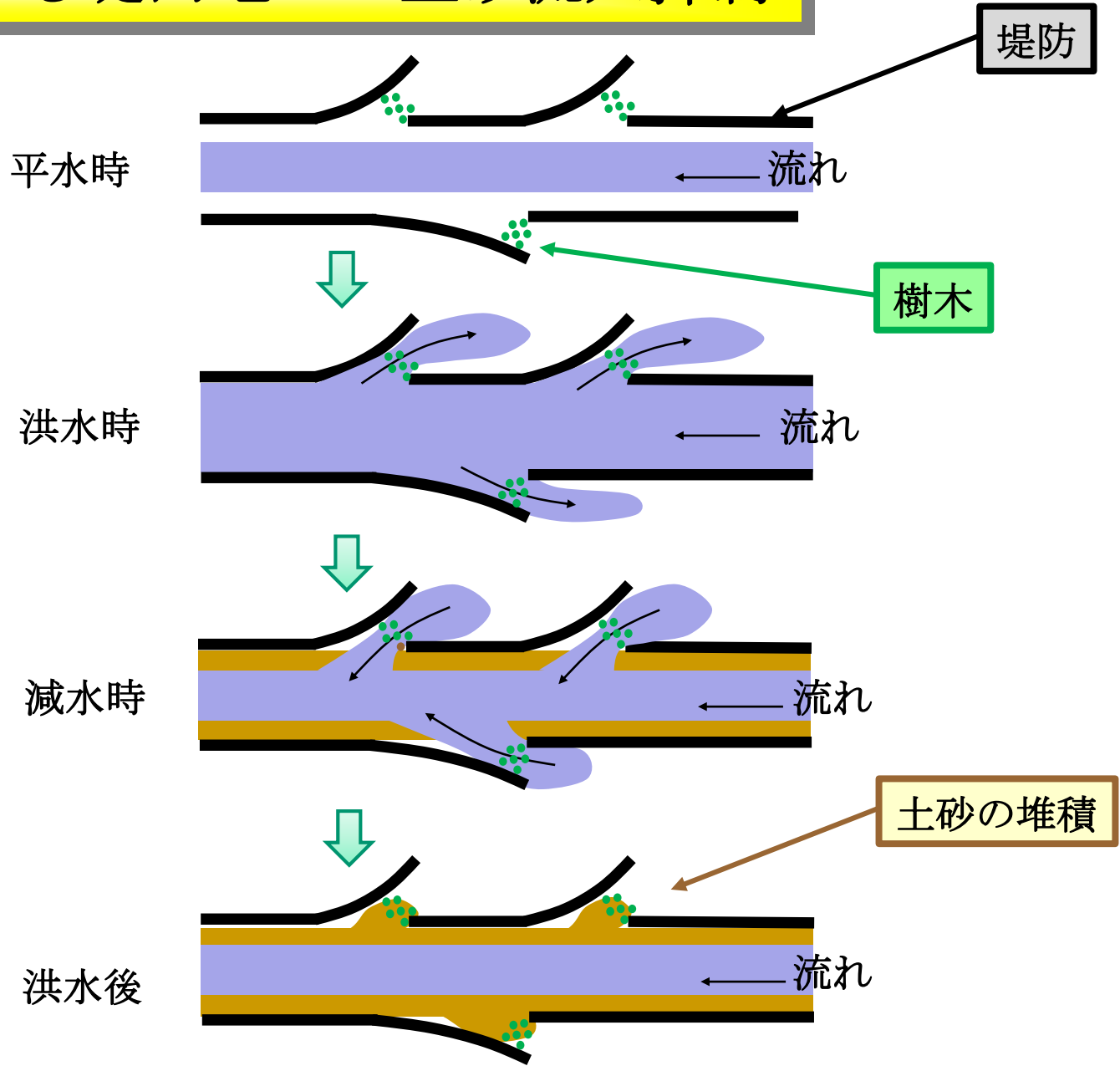


カンボジア・トンレサップ湖

霞堤による堤内地への土砂流入・堆積



樹木による堤内地への土砂流入抑制



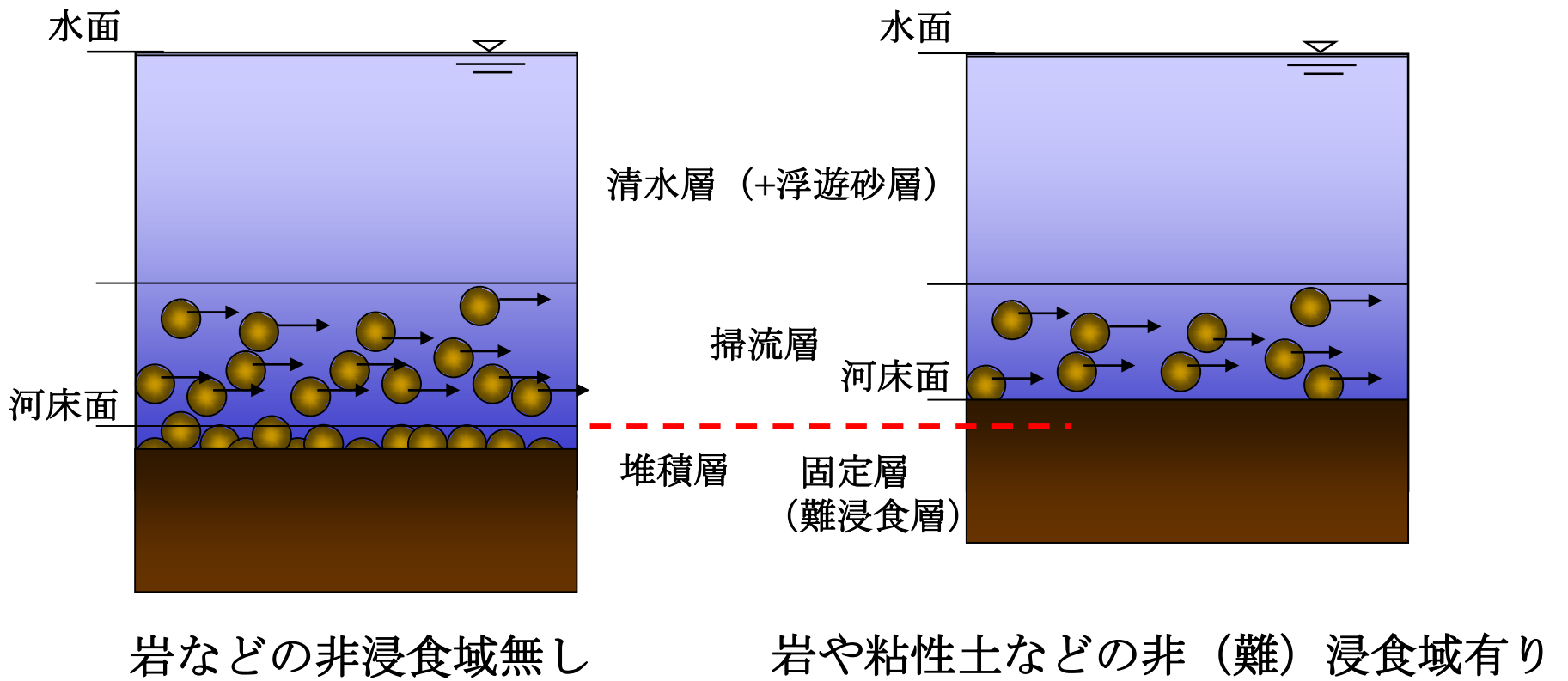
2013年の亀岡市の氾濫解析



亀岡駅周辺の桂川周辺



岩や粘性土上の流砂



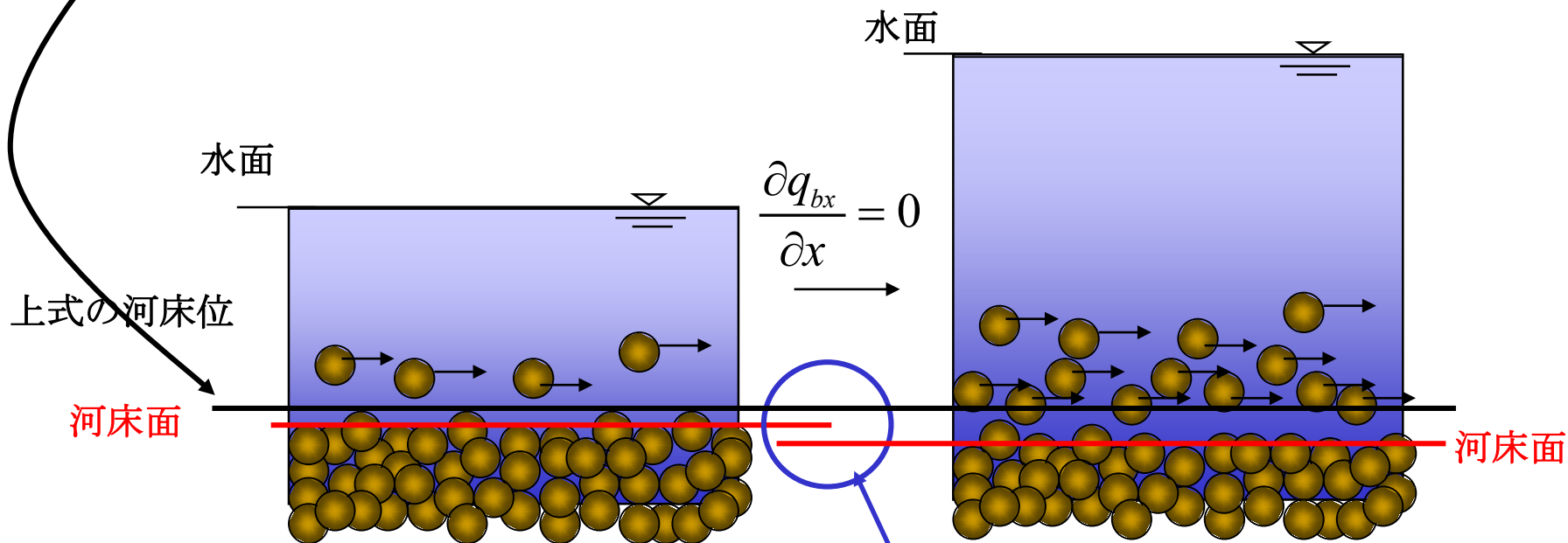
河床はどこ？

河床位方程式（一次元，単一粒径，掃流砂のみ）

$$(1-\lambda) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{bx}}{\partial x} = 0$$

少流量

大流量



$\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} = 0$ にも関わらず 河床が低下した！

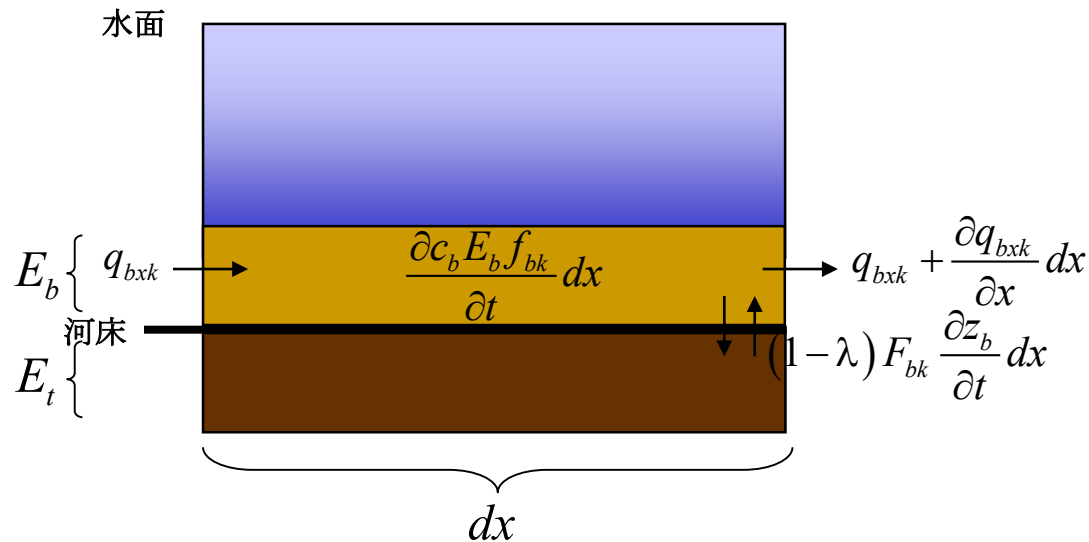
流砂層モデル


流砂層

$$\frac{\partial}{\partial t}(c_b E_b f_{bk}) + (1-\lambda) F_{bk} \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial q_{bxk}}{\partial x} = 0 \quad \begin{cases} F_{bk} = f_{tk}, & \partial z_b / \partial t \leq 0 \\ F_{bk} = f_{bk}, & \partial z_b / \partial t \geq 0 \end{cases}$$

交換層

$$\frac{\partial}{\partial t}(E_t f_{tk}) - F_{tk} \frac{\partial E_t}{\partial t} = 0 \quad \begin{cases} F_{tk} = f_{tk}, & \partial z_b / \partial t \leq 0 \\ F_{tk} = f_{bk}, & \partial z_b / \partial t \geq 0 \end{cases} \quad (\text{注}) \quad F_{bk} \frac{\partial z_b}{\partial t} = F_{tk} \frac{\partial E_t}{\partial t}$$





流域治水が
河床形態と植生の動態に及ぼす影響

「流域治水」の施策について

- 流域治水とは、気候変動の影響による水災害の激甚化・頻発化等を踏まえ、堤防の整備、ダムの建設・再生などの対策をより一層加速するとともに、集水域（雨水が河川に流入する地域）から氾濫域（河川等の氾濫により浸水が想定される地域）にわたる流域に関わるあらゆる関係者が協働して水災害対策を行う考え方です。
- 治水計画を「気候変動による降雨量の増加などを考慮したもの」に見直し、集水域と河川区域のみならず、氾濫域も含めて一つの流域として捉え、地域の特性に応じ、①氾濫をできるだけ防ぐ、減らす対策、②被害対象を減少させるための対策、③被害の軽減、早期復旧・復興のための対策をハード・ソフト一体で多層的に進める。

①氾濫をできるだけ防ぐ、減らすための対策

雨水貯留機能の拡大 集水域
 [県・市、企業、住民]
 雨水貯留浸透施設の整備、ため池等の治水利用

流水の貯留 河川区域
 [国・県・市・利水者]
 治水ダムの建設・再生、利水ダム等において貯留水を事前に放流し洪水調節に活用

[国・県・市]
 土地利用と一体となった遊水機能の向上

持続可能な河道の流下能力の維持・向上
 [国・県・市]
 河床掘削、引堤、砂防堰堤、雨水排水施設等の整備

氾濫水を減らす
 [国・県]
 「粘り強い堤防」を目指した堤防強化等

②被害対象を減少させるための対策

リスクの低いエリアへ誘導/
 住まい方の工夫 氾濫域

[県・市、企業、住民]
 土地利用規制、誘導、移転促進
 不動産取引時の水害リスク情報提供、金融による誘導の検討

浸水範囲を減らす
 [国・県・市]
 二線堤の整備、自然堤防の保全



③被害の軽減、早期復旧・復興のための対策

土地のリスク情報の充実 氾濫域
 [国・県]
 水害リスク情報の空白地帯解消、多段型水害リスク情報を発信

避難体制を強化する
 [国・県・市]
 長期予測の技術開発、リアルタイム浸水・決壊把握

経済被害の最小化
 [企業、住民]
 工場や建築物の浸水対策、BCPの策定

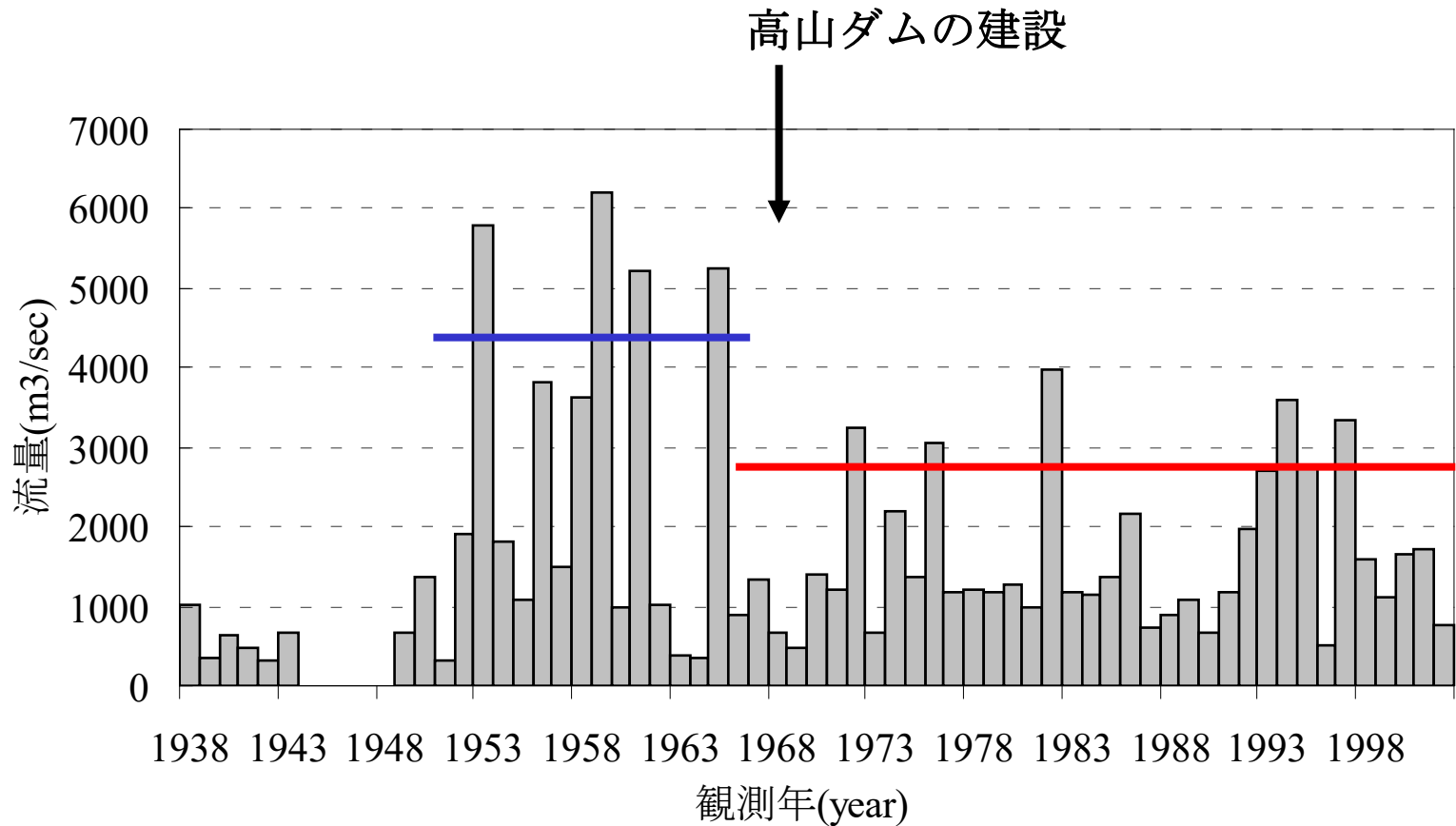
住まい方の工夫
 [企業、住民]
 不動産取引時の水害リスク情報提供、金融商品を通じた浸水対策の促進

被災自治体の支援体制充実
 [国・企業]
 官民連携によるTEC-FORCEの体制強化

氾濫水を早く排除する
 [国・県・市等]
 排水門等の整備、排水強化

県：都道府県 市：市町村 []：想定される対策実施主体

洪水ピーク流量の経年変化



加茂地点における時間平均流量の年最大値

河道内の植生の繁茂（木津川）



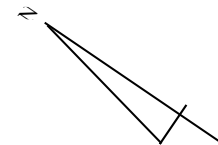
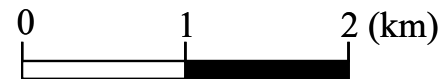
(a) 1948



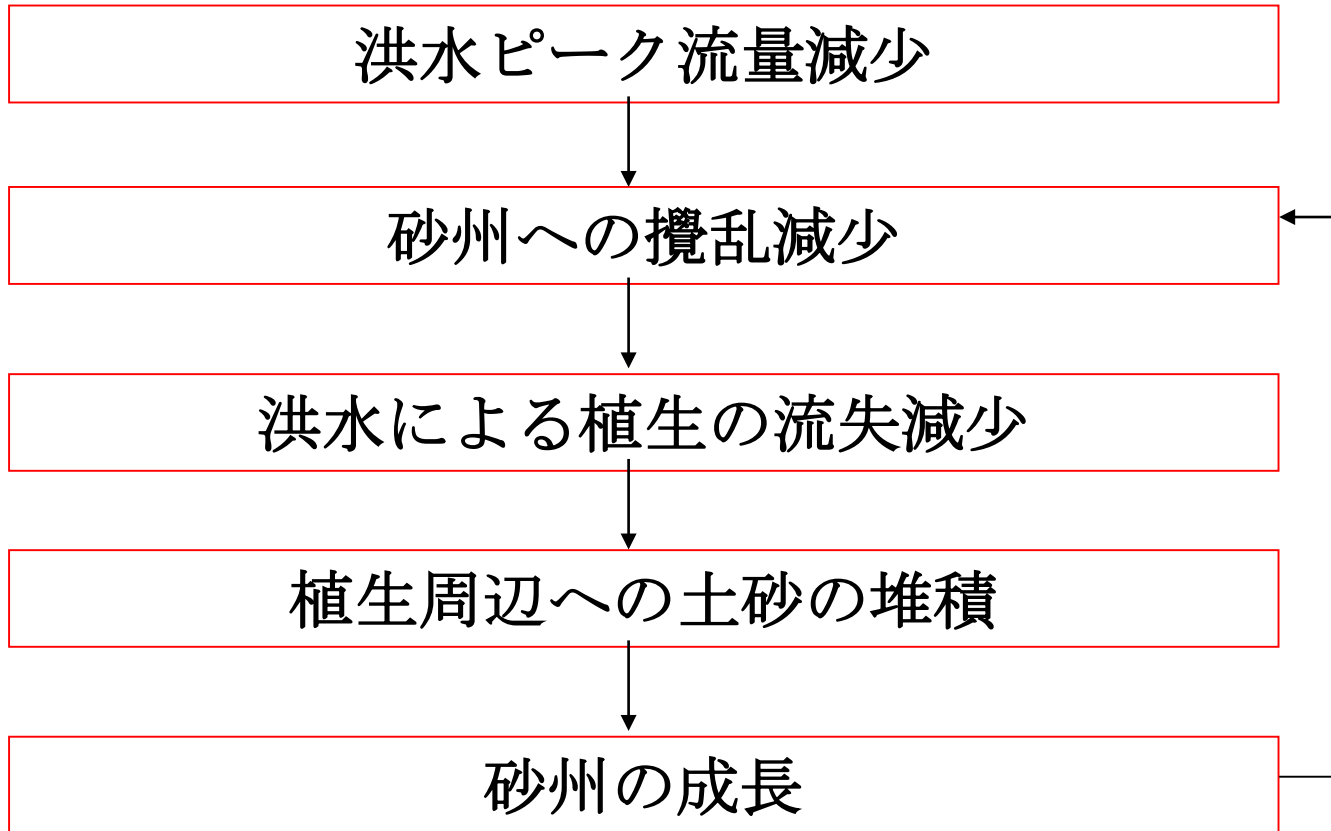
(b) 1981



(c) 2005



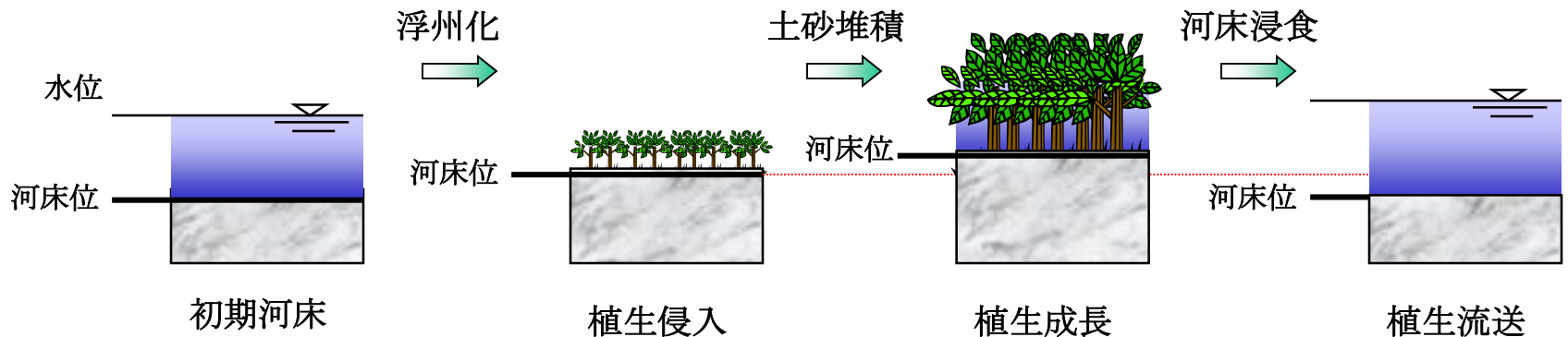
植生繁茂のシナリオの例



植生の動態モデル

植生の密生度は、計算点が陸域となると、最大値が0.05となるように0から線形的に増加を始める。植生の消滅については、河床低下による消滅を想定し、植生侵入時よりも河床位が下がると植生が送流すると見なして密生度を0とした。植生域内の流砂量は有効掃流力を用いて算出する。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho \lambda C_D (u^2 + v^2) h \quad \lambda = 0.05 (t_d / T_f)$$

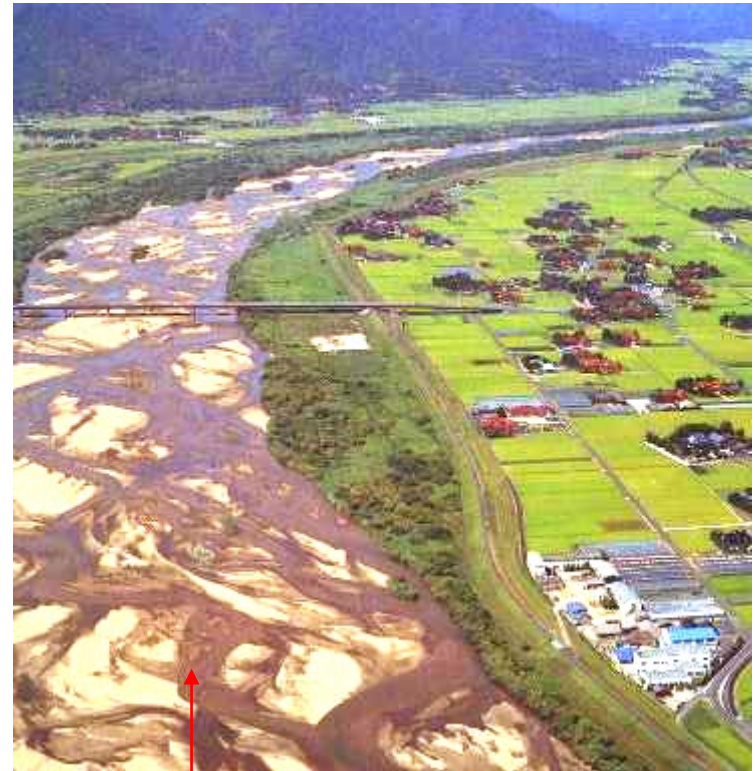


植生の影響 (実河川編1)



蛇行流路

流路周辺は、植生が繁茂



網状流路

流路周辺は、植生が少ない

要旨

流域治水は、気候変動による降雨特性の変化に対応することを想定している。気候変動によって降雨特性が極端化した場合、斜面崩壊及び土石流の発生頻度の増加によって、短時間で大量の土砂が河道に流入しやすくなる。また、降雨特性の極端化は小流域における土砂と流木による河道閉塞とそれに伴う洪水氾濫を助長するため、土砂・洪水氾濫の発生頻度が増加すると考えられる。そのため、土砂・洪水氾濫は、流域治水を進めていくために対応が必要な現象である。

霞堤から氾濫原への洪水流の氾濫は、下流域の洪水ピーク流量低減に寄与するため、流域治水の推進において把握が必要な現象である。霞堤から氾濫原への洪水流の氾濫時には、土砂や流木も氾濫原に流れ込み、洪水後の氾濫原の復旧・復興の大きな足かせとなっている。そのため、氾濫原への土砂や流木の流入対策が必要となる。対策としては、氾濫原と河道の接続部の霞堤に樹林帯を設置することが考えられる。樹林帯は、河道から氾濫原へ流れ込む土砂や流木の多くを捕捉するため、氾濫原での土砂や流木の氾濫を抑制できる。なお、洪水流は樹林帯を通過して氾濫原に流入するため、下流域の洪水ピーク流量低減効果は樹林帯を設置しても大きく低減しない。

流域治水は、流域内の様々な貯水施設を使って下流域の洪水ピーク流量を低減させるものであるが、洪水ピーク流量の低減は下流域の河床形状に大きな影響を与える。そのため、洪水ピーク流量の低減によって下流域の河床形状がどのように変化するかを明らかにする必要がある。