



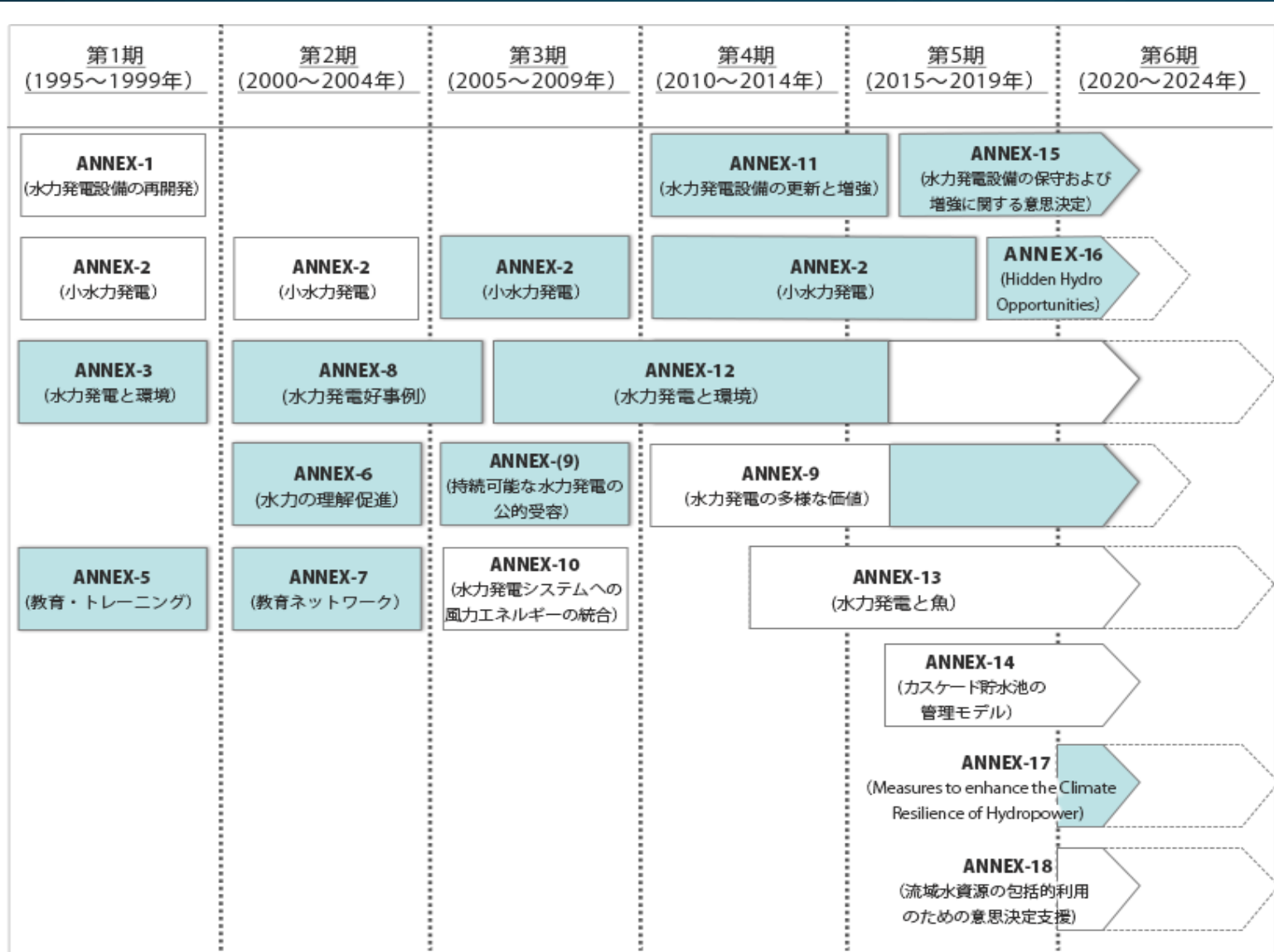
# 持続可能な水力発電に向けて —気候変動，土砂管理，環境対策—

京都大学防災研究所水資源環境研究センター 角 哲也

- 近年のダムをめぐる動き
- 気候変動対策とダム堆砂対策
- ダム通砂のすすめ
- 排砂バイパス技術の拡大
- カスケード方式ダムの取り扱い
- 土砂還元と河床地形管理（砂州形成）の連携
- 今後に向けて（電力ダムの持続的管理）



# IEA 水力実施協定



**ANNEX-O** 日本が参加した専門部会  
(ただし、第4期の2011年度、日本はAnnex-2へは参加していない。)

• 本日の話題との関連性

• ANNEX-12

(土砂管理と環境)

• ANNEX-13

(土砂管理と環境)

• ANNEX-14

(カスケードダム of 土砂管理)

• ANNEX-17

(気候変動対策と堆砂対策)

<https://www.nef.or.jp/ieahydro/>

# ダムによる洪水調節と異常洪水への対応



H30 西日本豪雨  
R1 東日本台風  
R2 球磨川水害

洪水時操作（緊急放流）

守られている社会  
限界を超える場合  
の情報発信

水力発電は重要な  
国産再生可能  
エネルギー  
あって当たり前  
になっていないか？

ダムに対  
する過信  
と不信

降雨激化  
気候変動

防災 &  
カーボン  
ニュートラ  
ル

インフラ  
老朽化  
持続的  
管理

**ダム再生の目指すところ**

洪水調節機能の向上と  
再エネ（水力）拡大

ダムの長寿命化と  
環境対策

**永く、賢く、  
増やして使う**

**グリーンなダムに**

菅首相施政方針演説（1/18）

- ・ 災害対策・国土強靱化 → 大雨予測の精緻化、ダムの事前放流
- ・ グリーン社会の実現 → デジタル技術によりダムの発電を効率化

# ダムの資産を次世代に良好につなぐために

治水  
利水（上水・農水・  
工水・発電等）

ダムは水を貯める器  
社会のニーズに応じて  
適応・再編可能  
水利権・コスト  
アロケーション

利水ダムの治水  
協力(事前放流)

構造的  
安定性

ダム本体  
コンクリート・ロックフィル  
ゲート設備（鋼構造物）  
機械設備（開閉装置）  
電気設備（ダムコン）

持続可能  
なダムの  
条件

社会的  
適合性

環境  
適合性

ダム堆砂  
ダム湖水質  
生物の縦断連続性

ダムの体力（外力増大に対する耐力（気候変動・地震）  
ダムの健康度（経年劣化）

**ダムのアセットマネジメント**

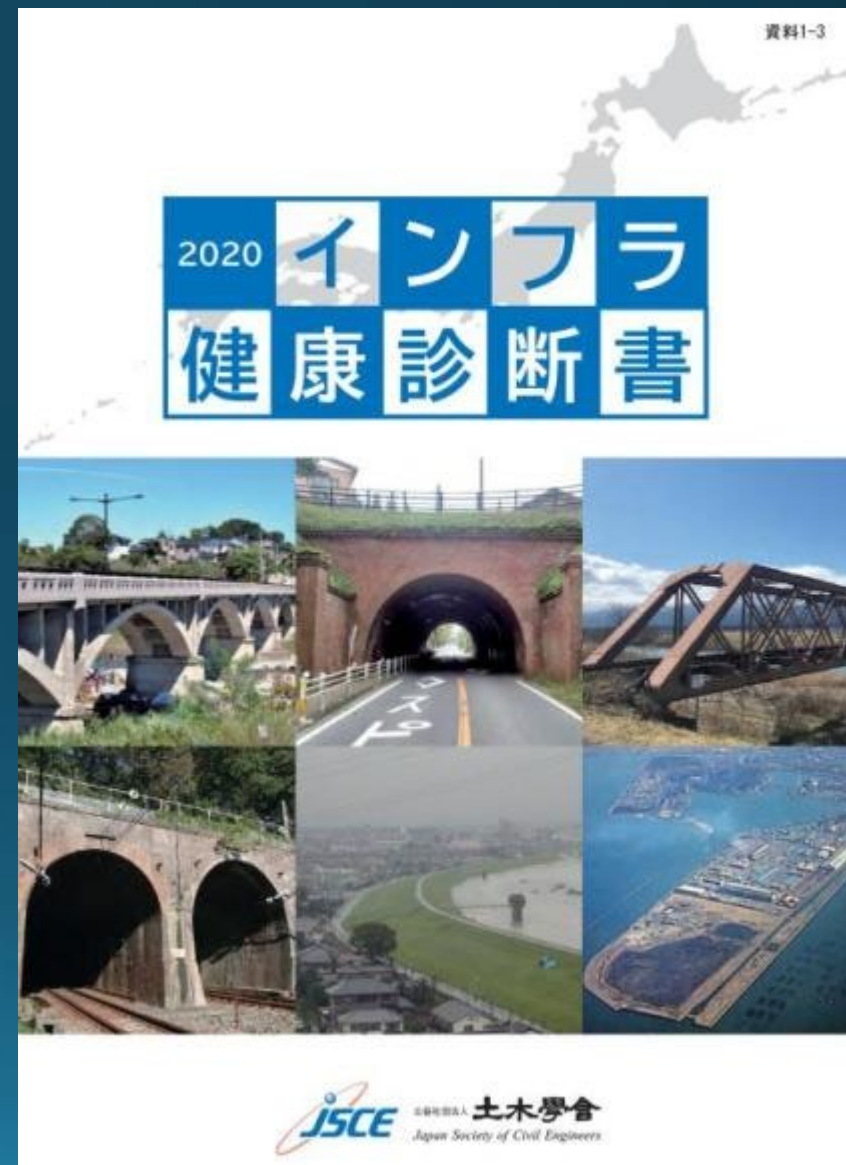
# 土木学会「インフラ健康診断」

## • 背景と目的：

- インフラ整備および管理の重要性から、米国や英国では各国の土木学会による社会インフラ全般の現状評価が行われ、その結果は社会で広く認知（大統領年頭教書で引用）
- 土木学会が、第三者機関として社会インフラの健康診断を行い、その結果を公表し解説することにより、社会インフラの現状を広く国民に理解してもらい、社会インフラの維持管理・更新の重要性や課題を認識してもらうこと

## • これまでの経緯：

- 2016.5「道路部門試行版」公表
- 2017.8.7「河川、下水道部門試行版」、「道路部門FU版」公表
- 2020.4「道路、河川、下水道に加えて、鉄道、港湾、上水道が追加」、農業農村工学会と連携して、農業水利施設の健康診断の情報交換
- 今後、新分野（電力・ガス・通信など）を検討



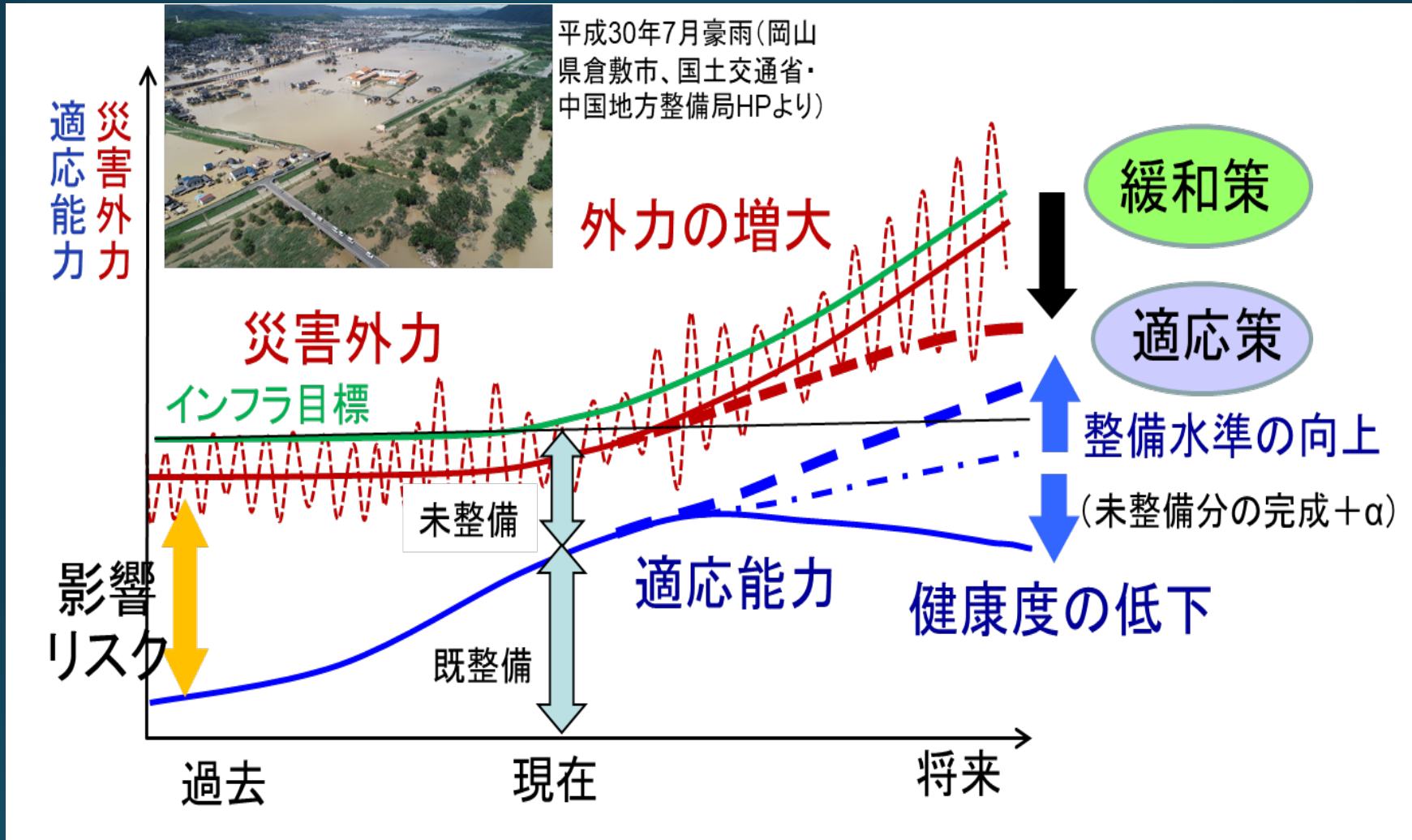
# 河川部門の健康診断の読み方

- 河川部門の評価対象施設
  - 「堤防」, 「河川構造物（水門, 樋門・樋管）」, 「ダム本体」
- 本健康診断書では維持管理のみを評価
  - 本来は以下2つのバランスと改善（向上）が必要
    - 「整備水準の向上」= **体力**（気候変動適応）
    - 「適切な維持管理」= **健康度**
- 河道の変化や貯水池の堆砂にも注意が必要
  - 河川やダムの機能発揮には,
    - 構造物としての堤防やダム本体, に加えて
    - 洪水を流す空間である河道, 水を貯める空間であるダム貯水池の維持管理も重要
  - 河道内樹林, 堆砂, 水質管理も極めて重要



# 気候変動の緩和策・適応策のイメージ

(出典：土木学会インフラ健康診断)



必要となる緩和策をとった場合でも、災害外力は増加することが予測されており、リスクを軽減、回避、分散する適応策を進めるとともに、健康度を低下させないことが重要

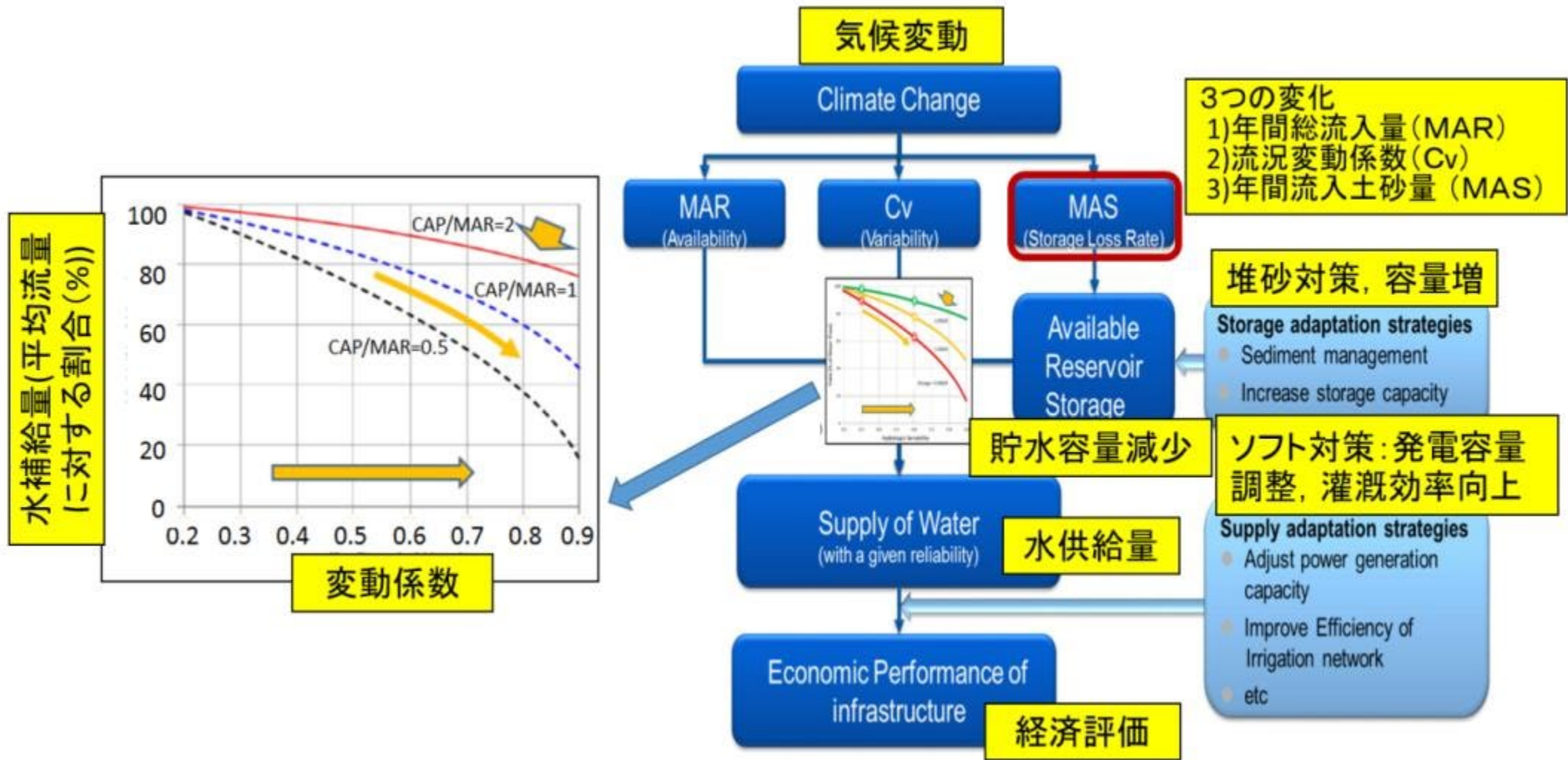
# 気候変動対策とダム堆砂対策

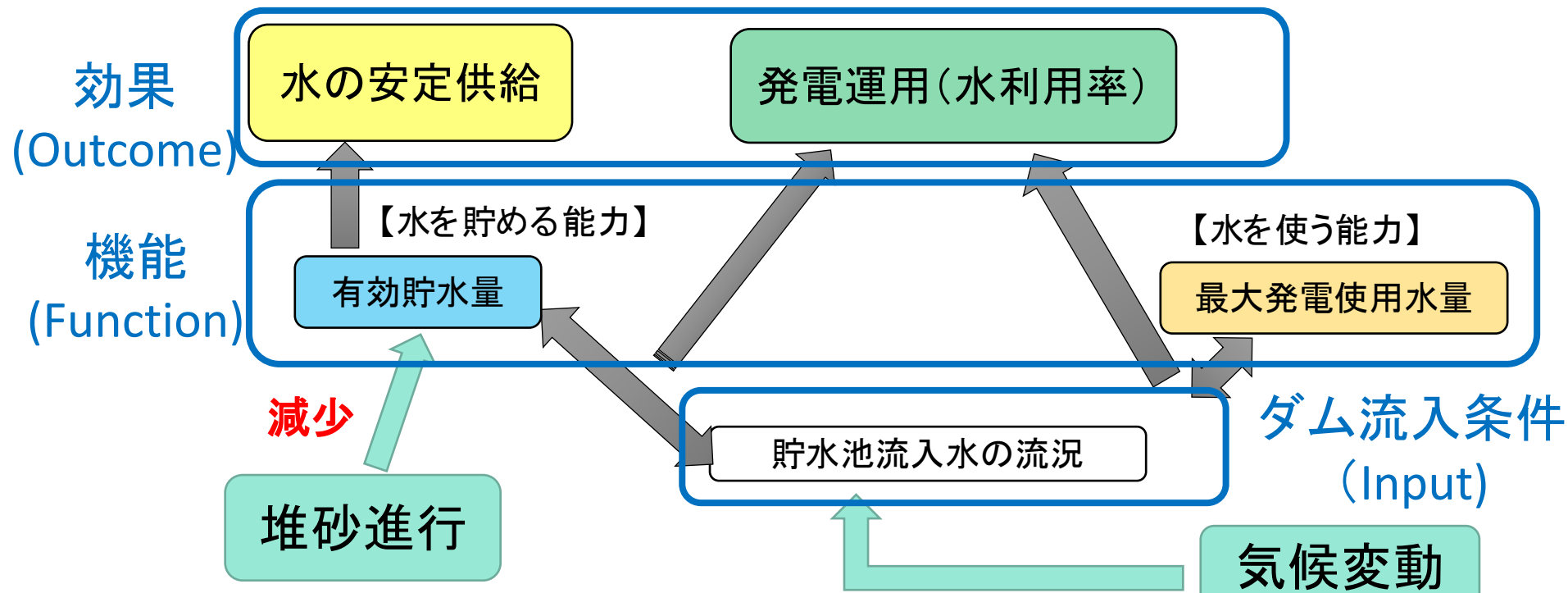
- 気候変動が100年スケールの課題であれば、ダム堆砂にも影響あり
- 気候変動は、日本では異常豪雨に伴う水災害の増大。世界的には降水量減少によって異常渇水リスクが増大する地域あり。
- G.Morrisが提案した図式：
  - 気候変動により、1)年間総流入量 (MAR) が変化、2)その変動 (Cv) が増大。一方で、3)降雨強度変化によって年間土砂流入量 (MAS) が変化
- G.Morrisは、その適応策として、
  - 土砂管理を行って堆砂進行を遅らせたり、嵩上げなどを行って貯水容量を増やしたりするハード対策を提案
  - それでも難しい場合には、発電運用の工夫や灌漑用水網の効率向上などによって水供給量の最適化を行うソフト対策が必要
  - 最終的には、ハード、ソフトの適応策の効果を経済性を踏まえて総合評価



# 気候変動適応策としてのダム堆砂対策

(Climate Change Analysis for Supply of Water (Morris 2017)に加筆)



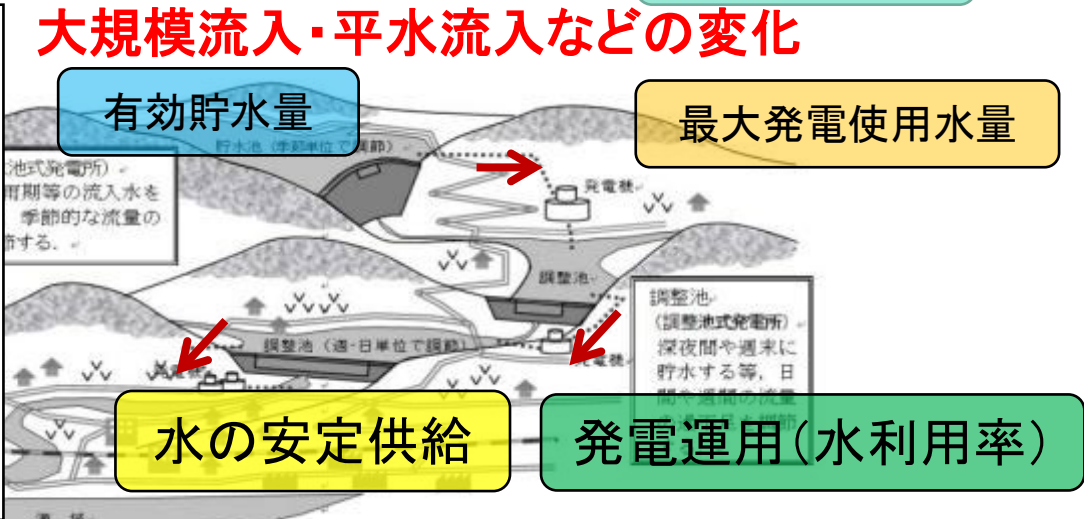


**長期的なダムによる水資源管理の問題点**

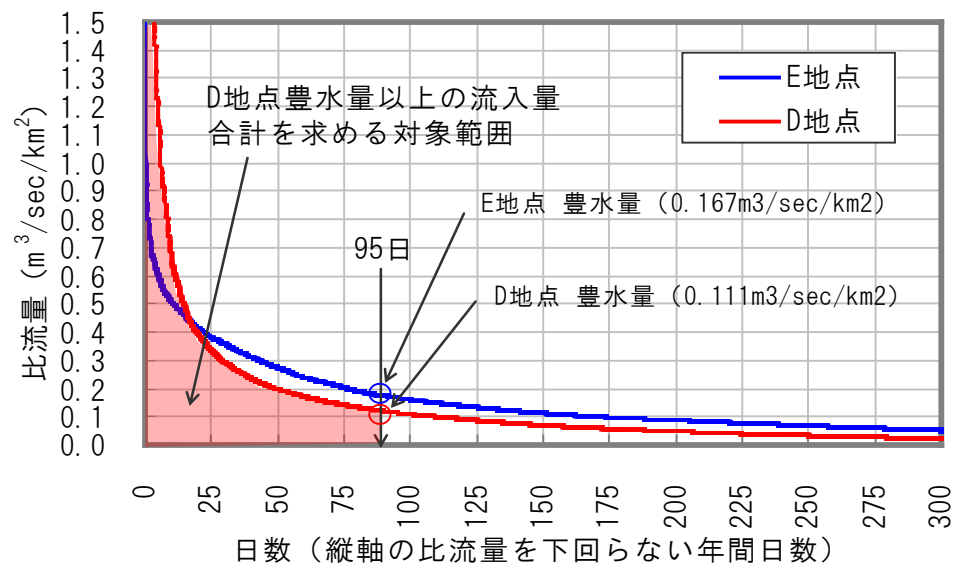
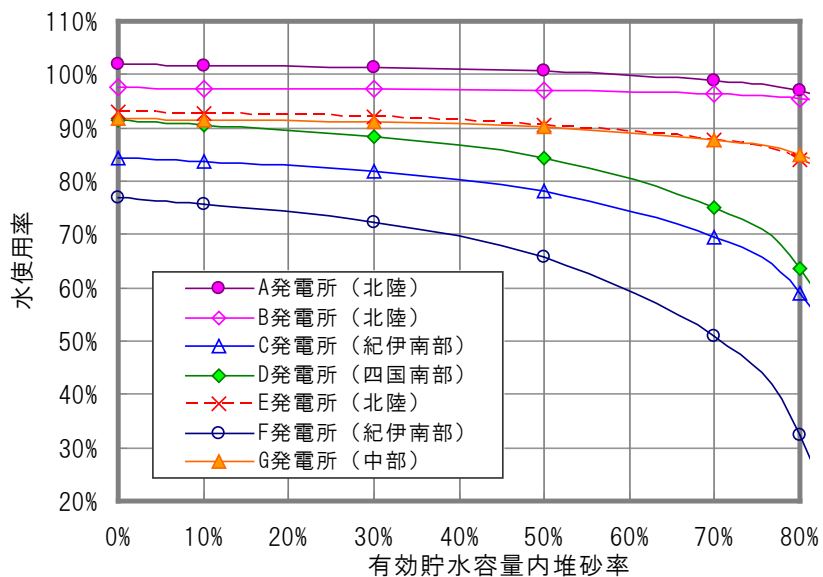
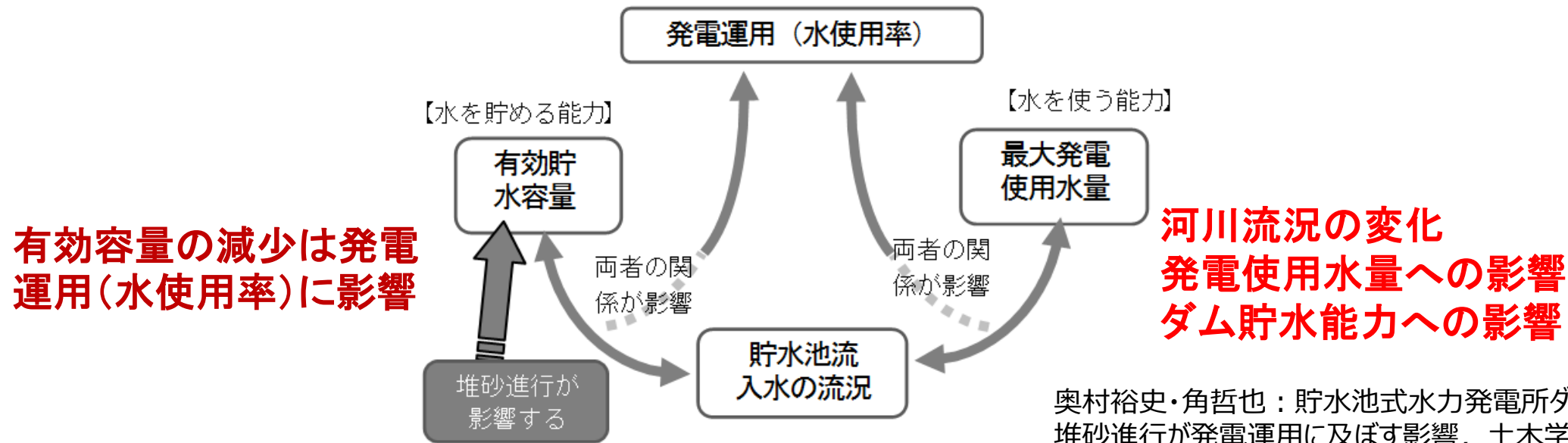
**ダム堆砂** → 有効容量の減少

**気候変動** → 降雪・融雪の時期・量, および, 梅雨・台風による降水の変化

貯水池流入流況の変化と、これを調節する機能の両面で、影響顕在化 (これらの複合的評価が必要)

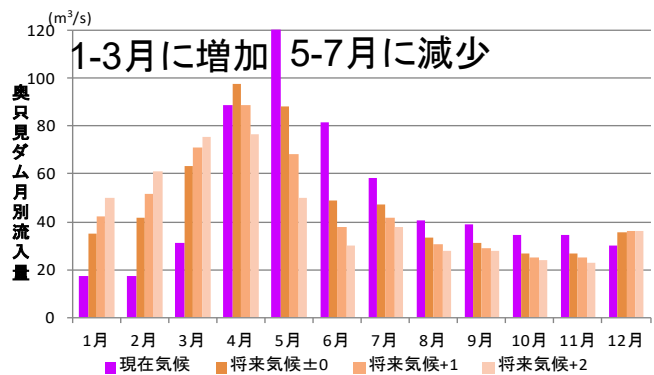


# 水力発電システムに対する長期的変動要因

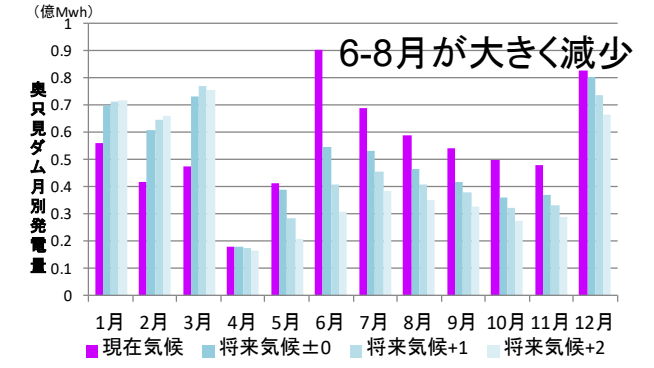


# 奥只見ダムの将来変化

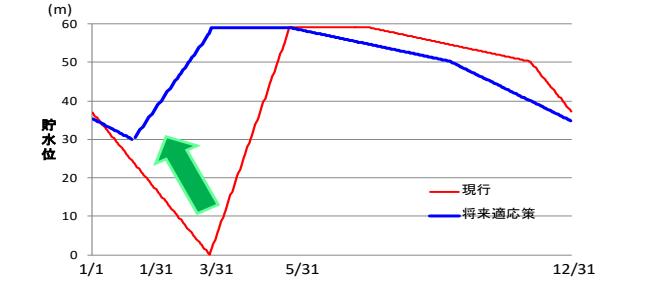
## 流入量への影響



## 年間発電量への影響



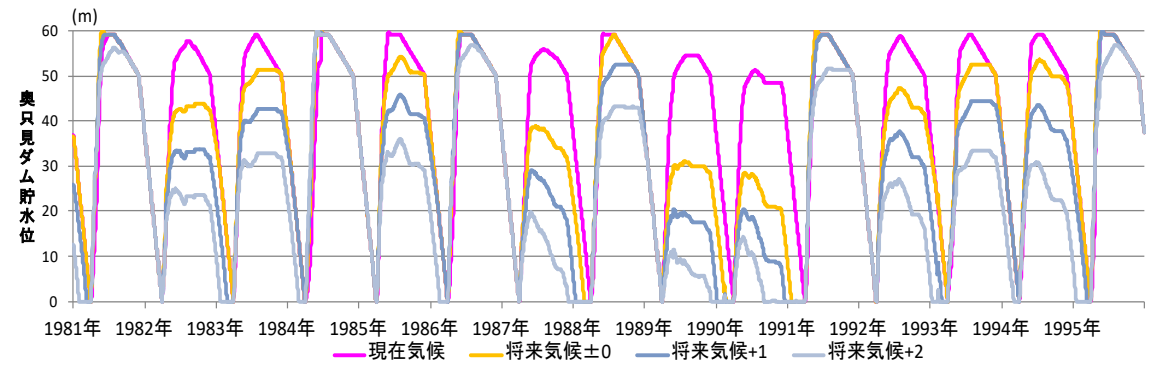
## 貯水池運用変更による適応策



超高解像度GCM (MRI-AGCM3.2S) → 気温, 降水量  
 SVATモデル → 蒸発散, 融雪  
 Hydro-BEAM(HBM) → 流出  
 現在気候(1981~2010年)と将来気候(2081~2110年)の流入量の比率を計算, これを月ごとに実測値に乘じ将来気候下の流入量を計算, シナリオ通りに温暖化が進行した場合(将来気候±0), さらに気温が1°C, 2°C上昇した場合(将来気候+1, 将来気候+2)の3パターン

## 奥只見ダムの貯水位の将来変化

貯水位が回復しない年が増加

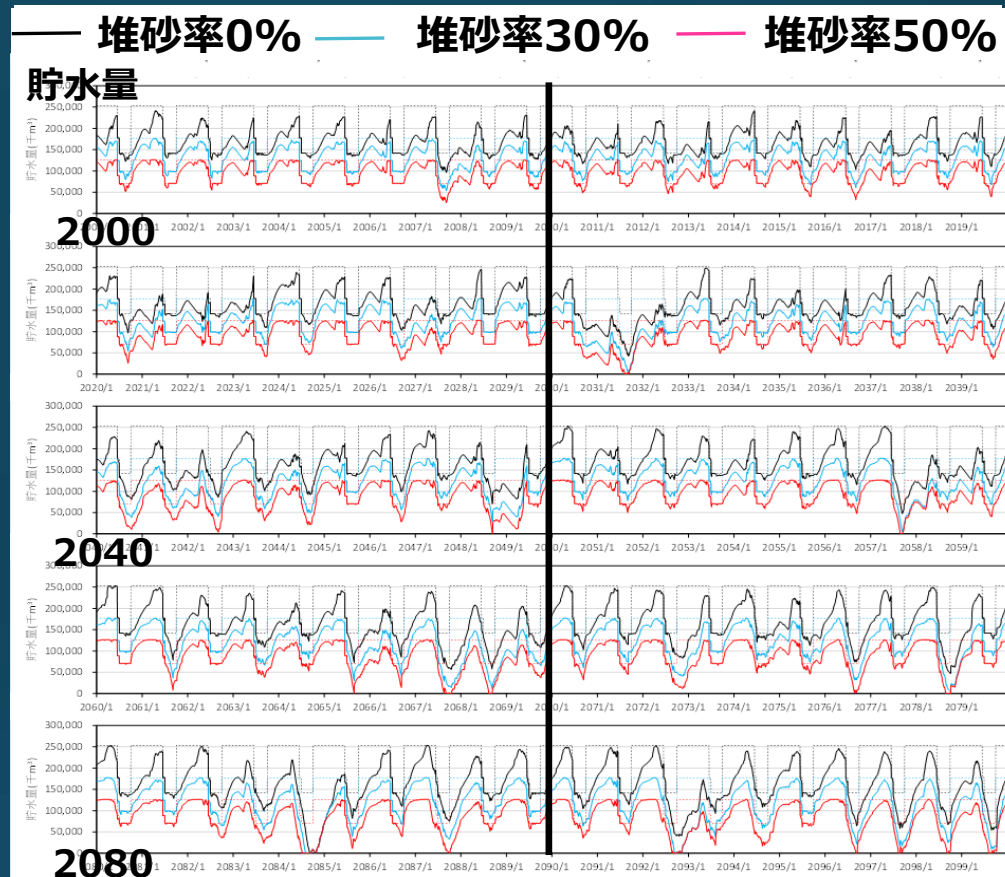


- **流入量への影響**は, 降雪量減少・降雨量増加のため, 1-3月に増加し, 4-6月に減少,融雪の早期化
- **年間発電量への影響**は, 気候変動に伴って減少し, 期別では冬期の増加, 夏期に減少
- **貯水位の将来変化**は, 融雪期前(3月末)に最低水位まで下げる現行運用では貯水位回復が困難化
- **貯水池運用変更による適応策**として, 早期流出に合わせて水位低下量とタイミングの変更が考えられる

# 気候変動影響と堆砂進行の複合影響 (文科省統合プロ)

- 関東地方の多目的ダム群 (Aダム群) の100年タイムスライス影響評価
- 温暖化進行×堆砂進行でダムが枯渇する日数が増大
- 特に、堆砂率30%以上で急激に利水安全度が低下

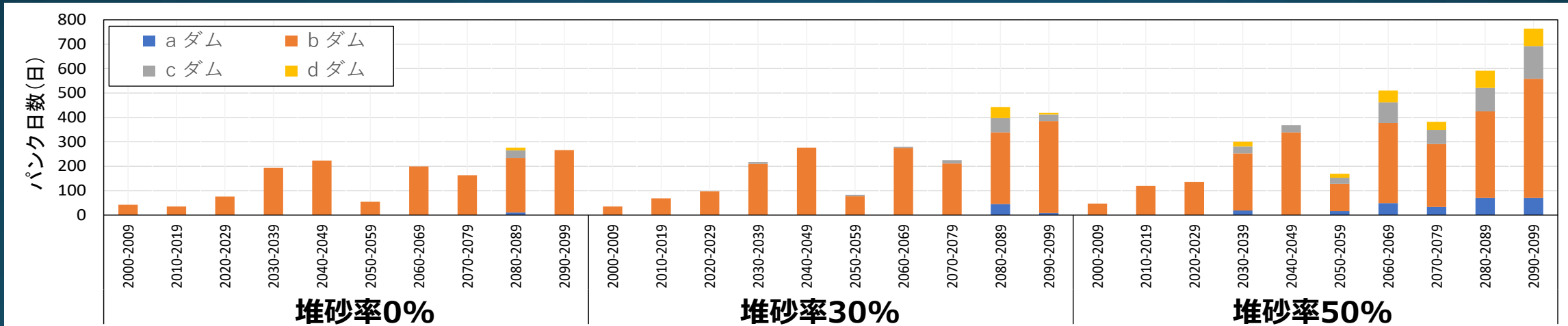
## Aダム群のパンク日数 (10年毎のタイムスライス)



Aダム群の100年間の貯水量変動曲線

気候変動及び堆砂進行を考慮

小島裕之ら：気候変動と堆砂進行がダムの利水機能に及ぼす影響とその適応策に関する検討，河川技術論文集，27，(2021) 643-648.



# 貯水池土砂管理（ダム堆砂対策）の分類

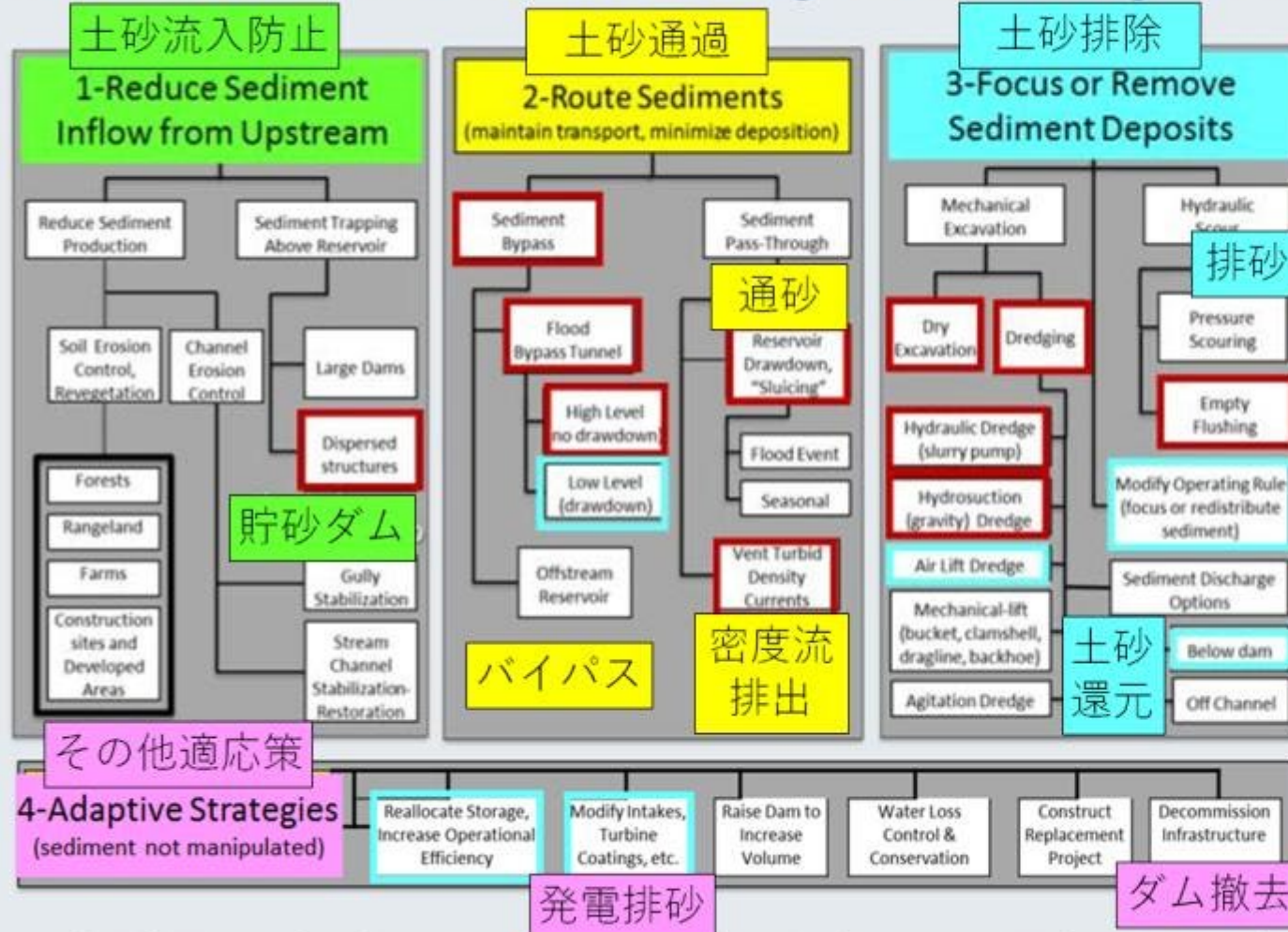
ICOLD 2018 - 26<sup>th</sup> Congress - 86<sup>th</sup> Annual Meeting - 1 - 7 JULY, VIENNA

ICOLD AUSTRIA 2018  
http://www.icoldaustria2018.com

CIGB 2018 - 26<sup>th</sup> Congrès - 86<sup>th</sup> Réunion Annuelle - 1 - 7 JUILLET, VIENNE

## Classification of sediment management strategies for reservoirs

貯水池土砂管理方策

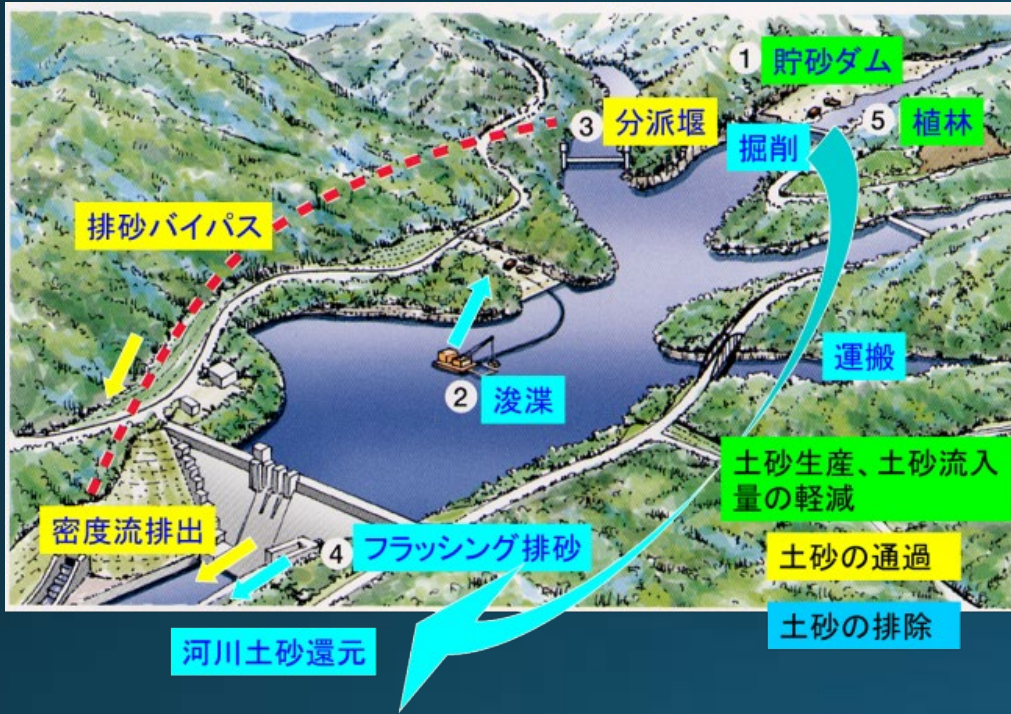


Sediment supply (augmentation) (Source: Sumi)

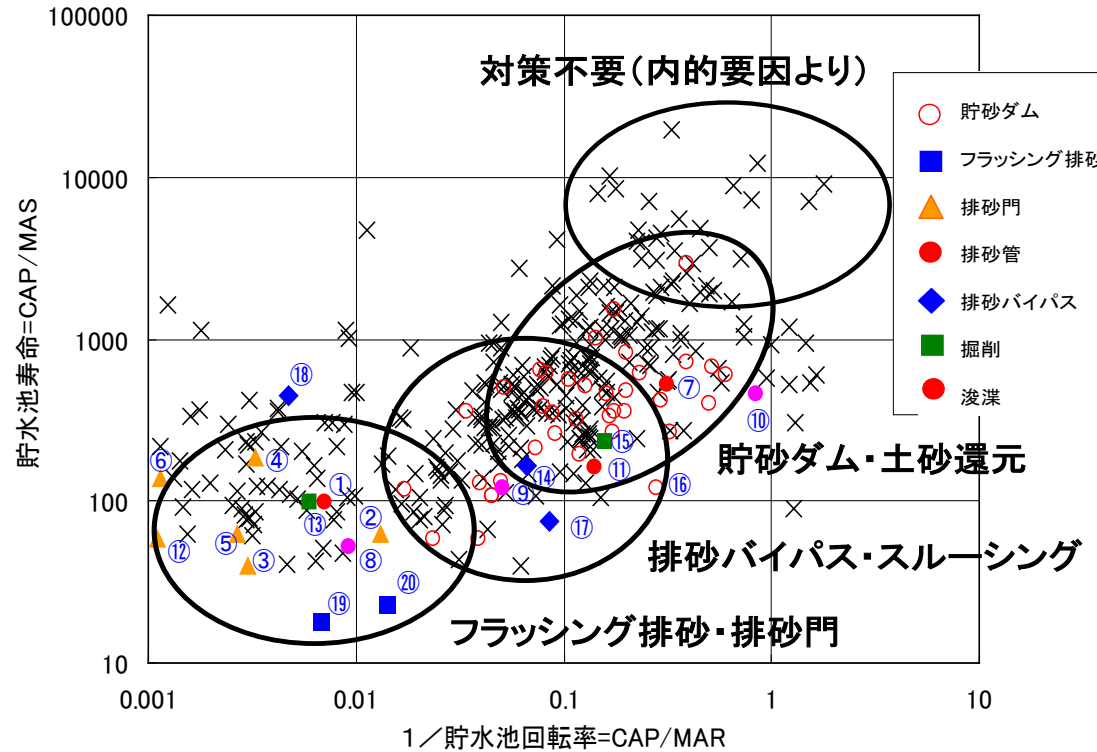
- (i) **Reduction of sediment input** by controlling erosion and trapping upstream sediment loads
- (ii) **Routing sediments** by bypass, off stream reservoirs, sediment sluicing (drawdown routing) and as well as venting of turbid density currents
- (iii) **Sediment removal** by dry excavation, dredging, drawdown /pressure flushing and Hydro-suction Sediment Removal System.
- (iv) **Adaptive strategies** by reallocate storage, dam heightening, operational control and dam decommissioning<sup>4</sup>

Classification of sediment management strategies for reservoirs (Morris, 2015)

# ダム堆砂対策の技術と適用性



CAP: 総貯水容量, MAR: 年間総流入量, MAS: 年間総流入土砂量



1	大井	D, SP
2	千頭	SG
3	泰阜	SG, D, PF
4	笠置	SG, PF
5	大間	SG, PF
6	常盤	SG
7	三浦	SP
8	平岡	D, PF
9	佐久間	D
10	八久和	E, D
11	井川	SP, E, D, PF
12	山口	SG, PF
13	秋葉	E, D, PF
14	美和	B, E, D, CD
15	牧尾	E, D, CD
16	小洪	E, CD
17	松川	B, E, CD
18	旭	B
19	出し平	F
20	宇奈月	F
		CD : 貯砂ダム
		F : フラッシング排砂
		PF : 洪水吐きフラッシング
		SG : 排砂門
		SP : 排砂管
		B : 排砂バイパス
		E : 陸上掘削
		D : 浚渫

キーファクター:

貯水池規模, 貯水池回転率, 土砂堆積速度 (貯水池寿命), 粒度分布, 貯水池形状, 主要な支川流入の数, 水位低下の容易性, 放流設備構成・放流能力, 上下流のダムの連続性 (カスケード), 上流の砂防事業との連携, 下流河川の治水安全度, 社会・環境的条件など

# ダム通砂のすすめ

## • 黒部川連携排砂の正しい理解が必要

- 出し平ダムの排砂開始から既に30年経過。宇奈月ダムが加わり連携排砂にバージョンアップ。さまざまな改良により、供給土砂が海岸線の回復にも貢献
- にもかかわらず、当初の排砂による水質汚濁のイメージから脱却できていない
- 現在では、融雪によるベースフローと追加降雨により増水が期待される梅雨期にの「**連携排砂**」と、その後の洪水時の流入土砂を貯めこまない「**連携通砂**」

## • 排砂（Flushing）と通砂（Sluicing）

- 国際大ダム会議（ICOLD）は、堆積土砂を下流へ排出する排砂（Flushing）と、洪水時の流入土砂をそのまま下流に通過させる通砂（Sluicing）を区別
- 今後の方向性として、より環境適合性が高いこの通砂の適用拡大を提唱
- 日本でも、**耳川ダム群**、**瀬戸石ダム（球磨川）**などで実装。

## • これを実現させるための課題

- 1) 水位低下レベルと通過可能な土砂粒径の関係、2) 洪水波形に対する水位低下スケジュール（事前放流の有無）、3) 既存ゲートの改良有無による通砂効果比較、4) 水位低下を効果的に実施するための降雨・流出予測との連携
- 先進事例の情報共有により、より効果的な通砂操作方法の確立を目指す

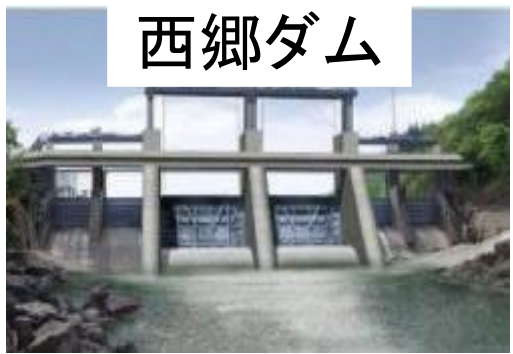
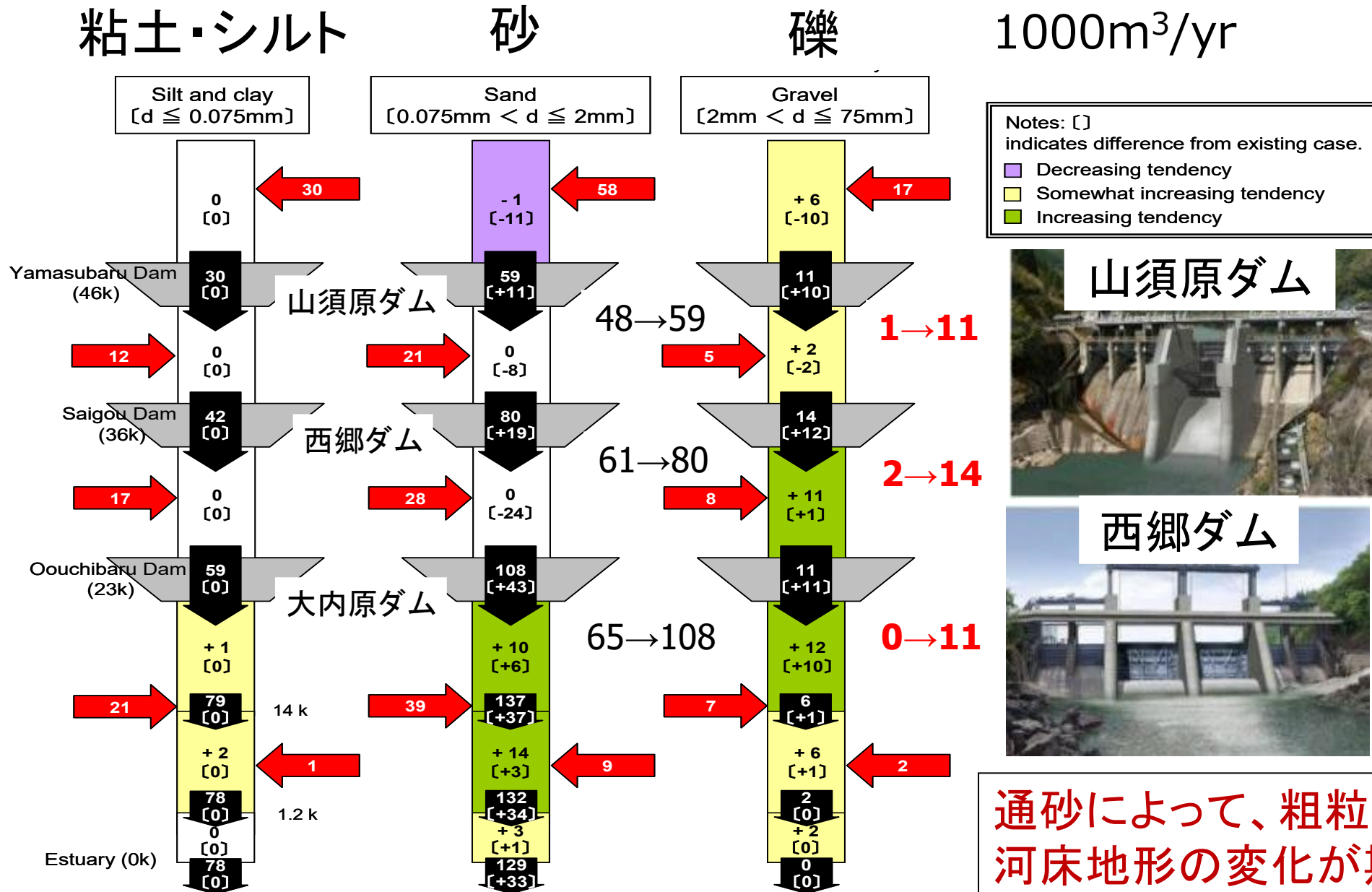


# 土砂還元の方法と下流に対する効果

置土	バイパス排砂	フラッシュ排砂/ 通砂	流水型ダム	ダム撤去
<p>国交省や水資源機構の多くのダム</p>	<p>美和、小渋、松川(長野)、旭(奈良)、布引五本松(兵庫) スイス6ダム、台湾3ダム</p>	<p>黒部川のダム(富山)、耳川のダム(宮崎)</p>	<p>辰巳(石川)、益田川(島根)、西ノ谷(鹿児島) 世界の多くのダム</p>	<p>荒瀬(熊本) 米国の多くの小ダム</p>

各土砂還元事業の特徴	置土	バイパス	フラッシュ/通砂	流水型ダム	ダム撤去
土砂輸送量	△	○	◎	◎	◎
輸送土砂の質	△	○	△	◎	○
排砂時の水質	△	○	△	◎	○
ダム機能維持	◎	◎	○	△	×

# 通砂後の土砂収支変化 (九州電力耳川)

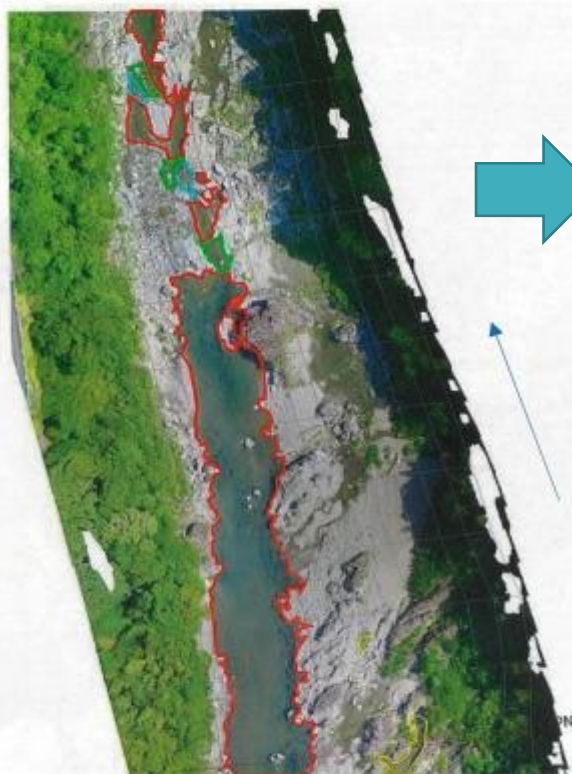


通砂によって、粗粒土砂が通過  
河床地形の変化が期待

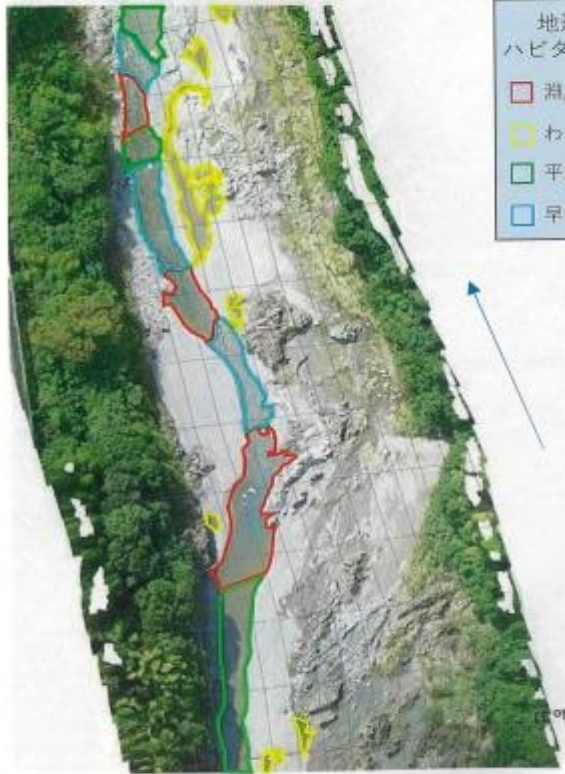
# ダム通砂後の河床地形変化（西郷ダム）

ハビタットの多様性向上  
（淵のみ→砂州形成，瀬淵構造再生）

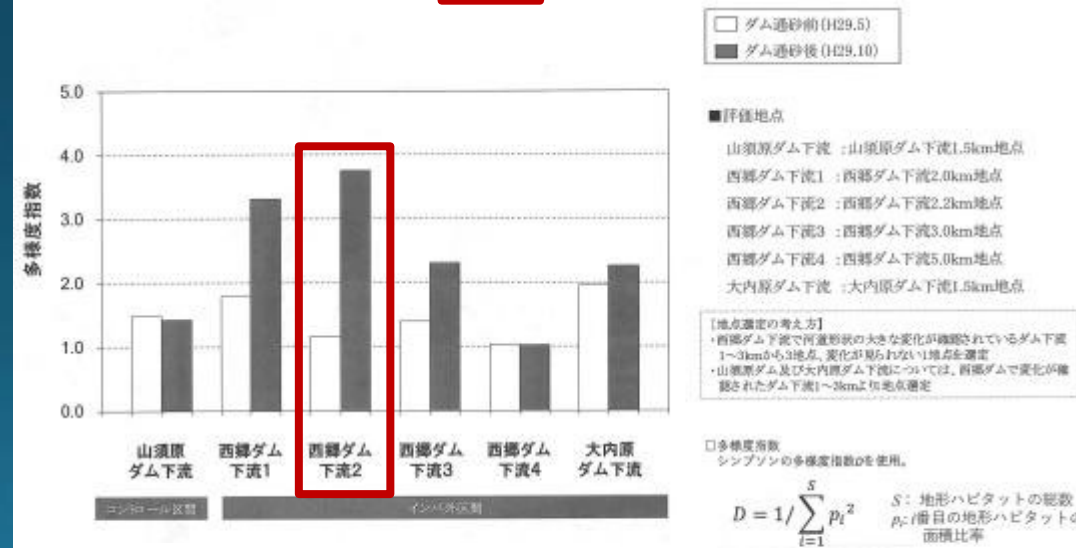
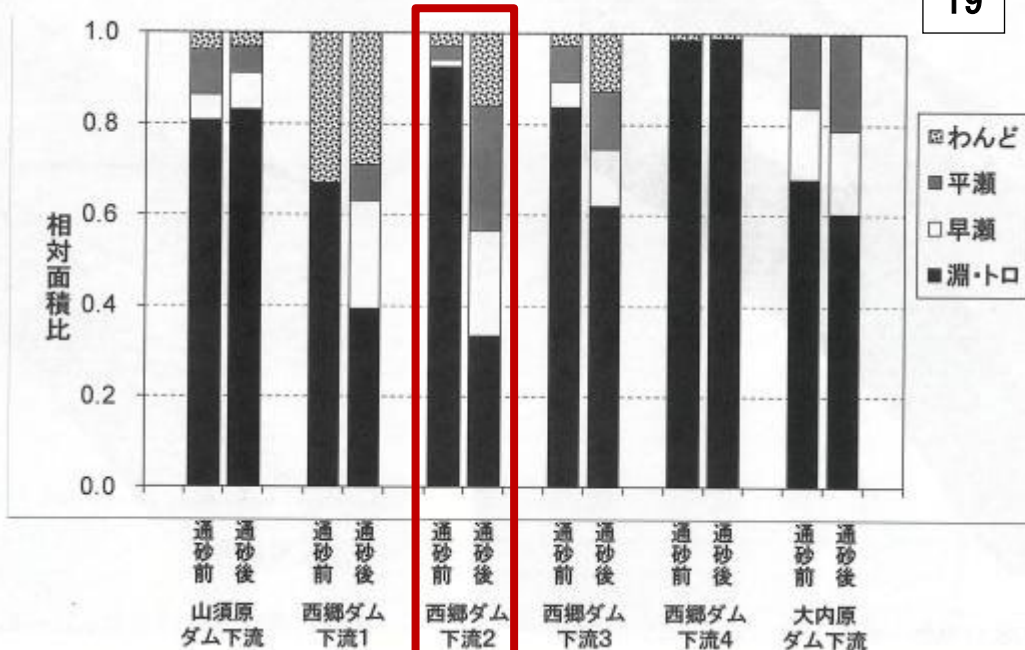
■評価地点：西郷ダム下流2（ダム下流2.2km地点）



H29.5撮影（維持流量0.21~0.24m<sup>3</sup>/s）



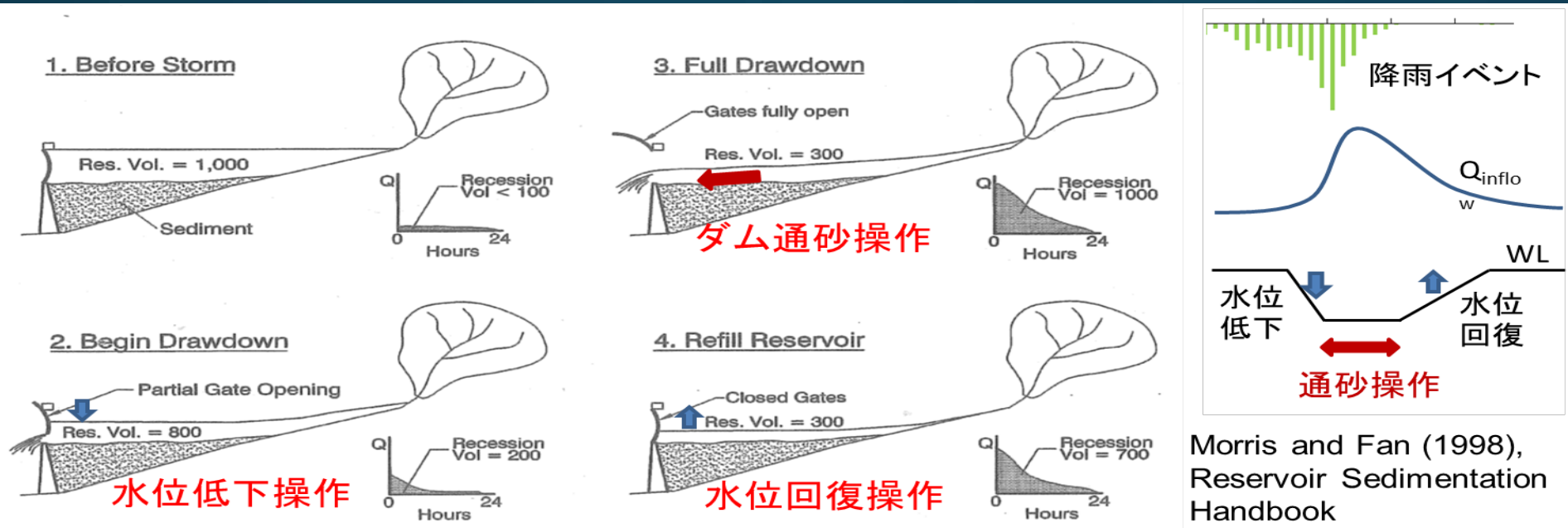
H29.10撮影（維持流量0.33~0.35m<sup>3</sup>/s）



n: 存在し得る地形ハビタットの最大数  
 $\sum NT_{GU}$ : 対象区間に存在する地形ハビタットの数

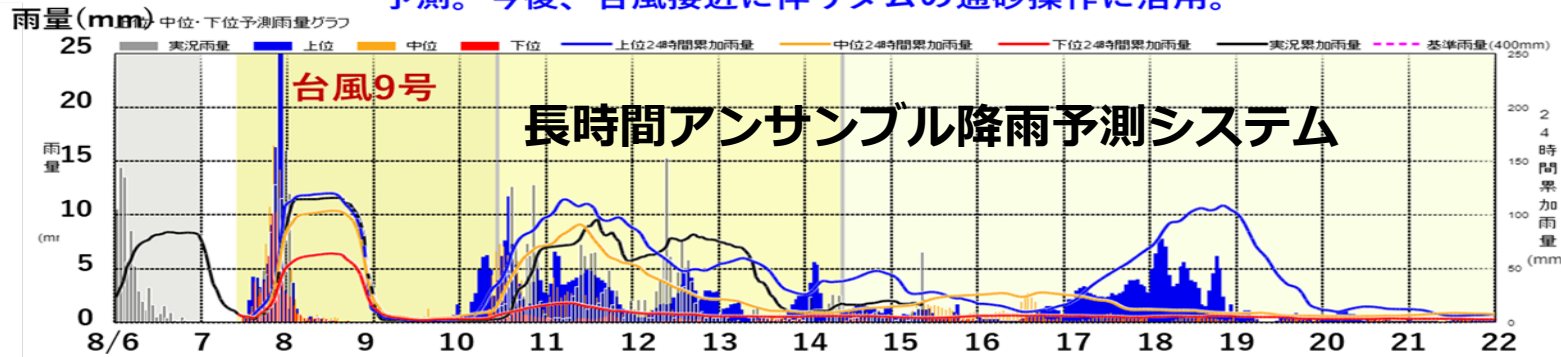
$$GUSI-R = \sum NT_{GU} / n$$

# 降雨予測を活用した水位低下 + ダム通砂



## 九州電力耳川下流域

2021.8.7より配信開始。8/8-9の台風9号、その先の前線性降雨を同時に予測。今後、台風接近に伴うダムの通砂操作に活用。



SIP「国家レジリエンス（防災・減災）の強化 テーマVI：スーパー台風被害予測システムの開発（河川・ダム of 長時間洪水予測・防災支援システムに関する研究開発）（京都大学, (独)水資源機構, (一財)日本気象協会, 関西電力(株), 中部電力(株), 九州電力(株)）」

# 排砂バイパス技術の拡大

## • 神戸市水道局の布引五本松ダム

- 日本最古の重力式ダム。1900年のダム完成8年後にバイパストンネルが造られ、その後、堆砂対策としてのバイパス機能が長年にわたって有効に活用
- 約25年で貯水池満砂の推定を、容量的に千年以上の長寿命化が実現

## • 土砂を貯水池から迂回させる代表的な技術（Sediment Routing）

- 国際大ダム会議では、通砂（Sluicing）と、密度流を利用した土砂排出（Density Current Venting）と、バイパス技術（Sediment Bypass）を位置付け

## • 「排砂バイパス国際会議」

- 日本は、欧州のスイスとともにこの分野をリード。旭ダム、美和ダム、小渋ダム、松川ダムなどで実装され、今後も、矢作ダムなどで導入予定。

## • 今後の課題

- 1) バイパス技術の適用条件の明確化、2) 初期コスト（トンネルや分派構造の構築）および維持管理コスト（トンネル摩耗対策）の低減化、3) 洪水調節や利水運用とバイパス運用の連携・最適化、4) バイパス運用を効果的に実施するために降雨・流出予測との連携、などが必要。

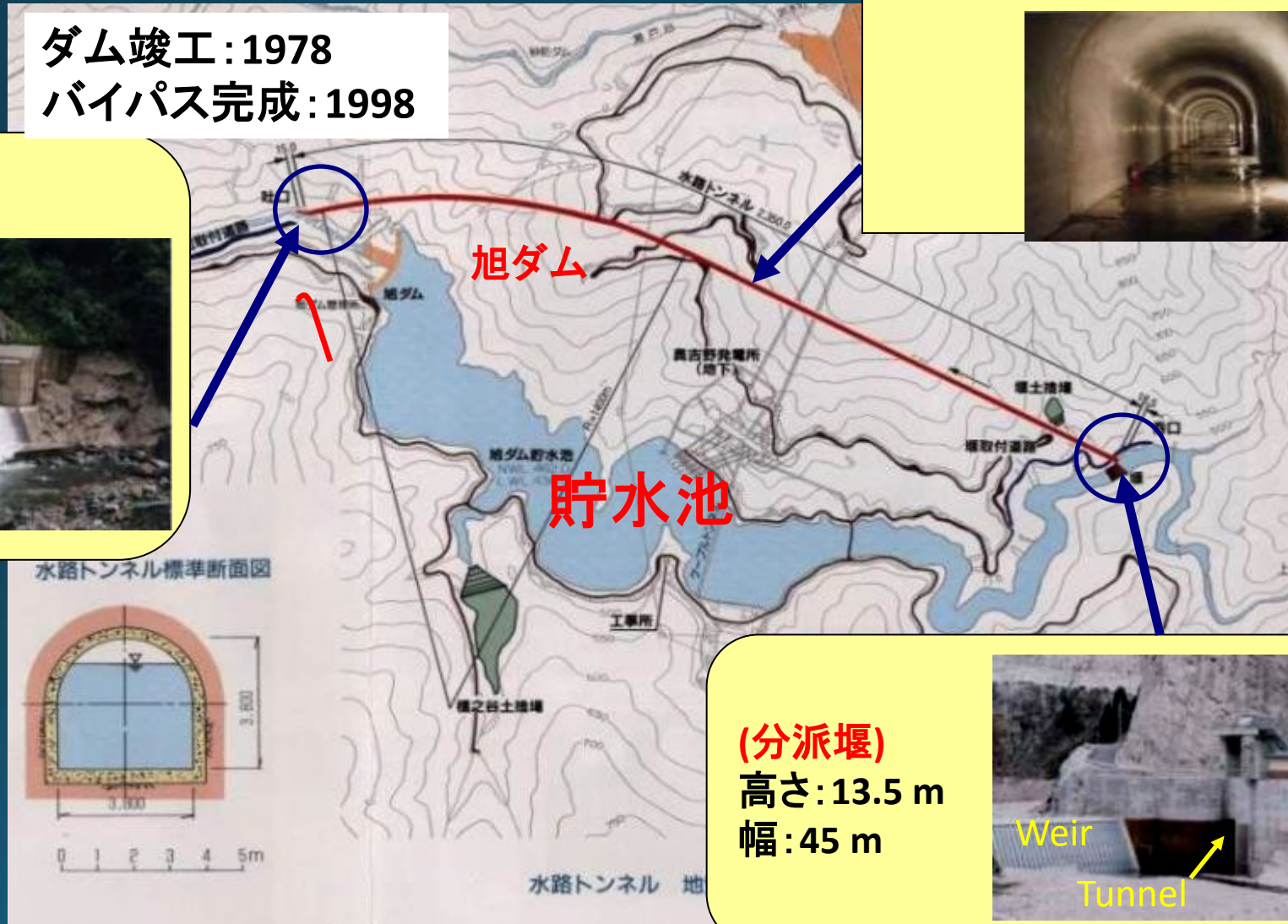
# 旭ダム排砂バイパス (関西電力(株))

ダム竣工:1978  
バイパス完成:1998

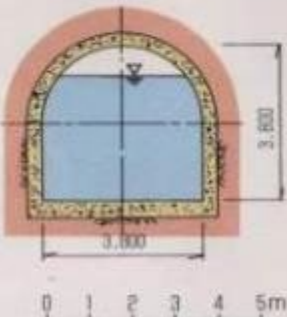
(排砂バイパストンネル)  
長さ:2350m 勾配:1/34  
幅:3.8m、高さ:3.8m



(トンネル出口)



水路トンネル標準断面図



水路トンネル 地

(分派堰)  
高さ:13.5 m  
幅:45 m

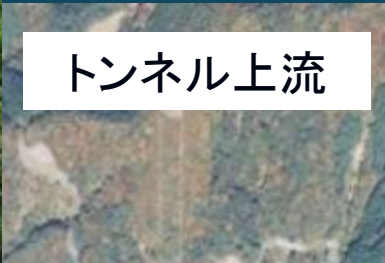


# バイパス上下流の河床環境

バイパストンネル出口



トンネル上流



旭ダム



バイパス



トンネル下流

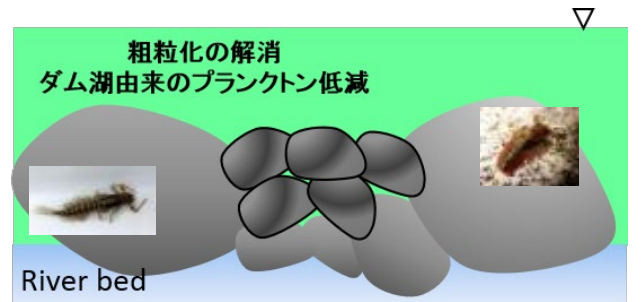
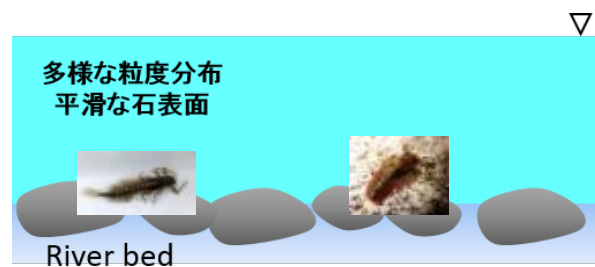
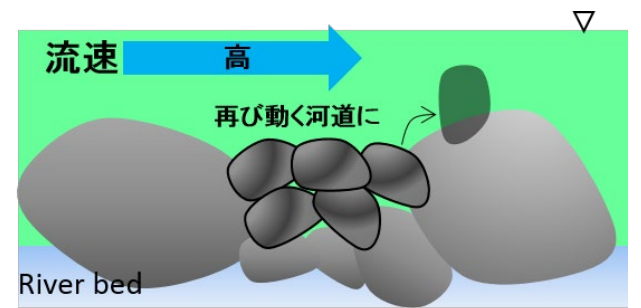
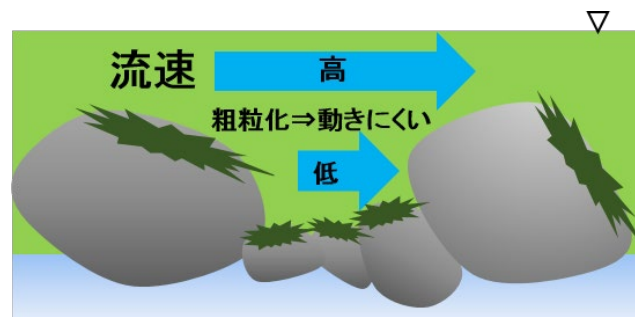
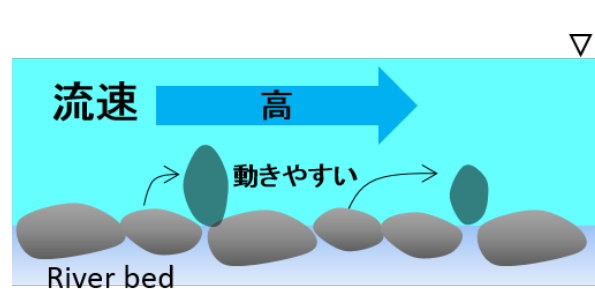


ダム直下～トンネル出口まで

**下流河道の様子**

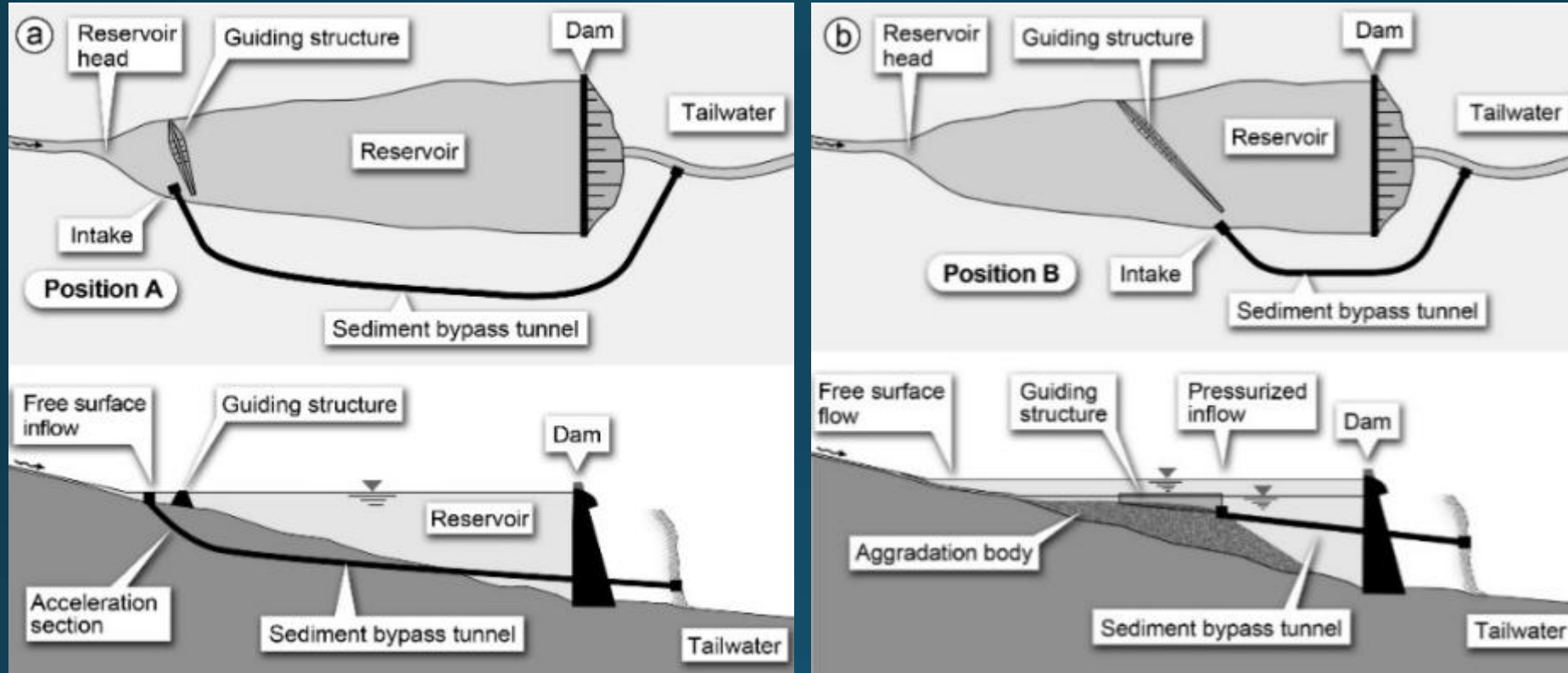
清流が維持されている  
 ダム上流の白い石が多く供給され、川の白さが回復してきている(地元評価)  
 河床構成材料のバランスがよく、軟らかい河床  
 アカザなども生息

# 旭ダム上下流の河床環境の変化（模式図）





# 排砂バイパストンネルの2つの類型



	Type A : 全区間バイパス	Type B : 水位低下 + 一部区間バイパス
日本	旭, 美和, 小渋, 松川 矢作, 幌加, 裾花・奥裾花	二津野
スイス	Palagnedra, Pfaffensprung, Egsi, Runcahes, Rempen	Solis
備考	操作は単純 トンネル延長が長くコスト高	水位低下のための洪水予測が重要 事前放流 (治水目的) も付加可能

# 二津野ダム・バイパストンネル計画（案）

出典：J-Power

26

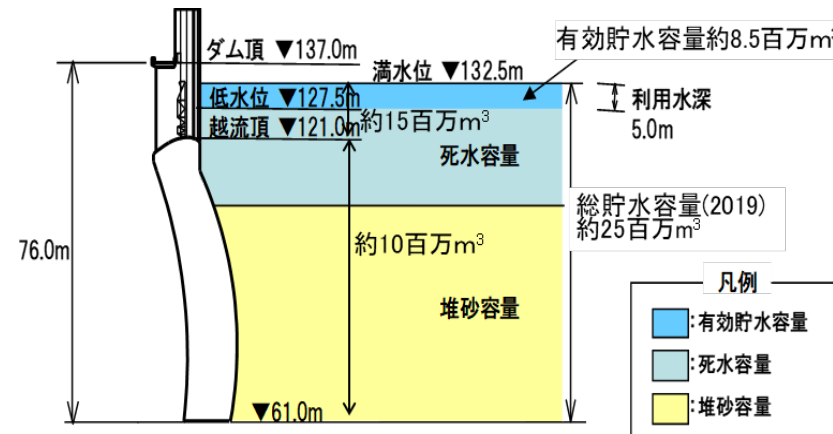
## ●バイパストンネルによる効果

- 出水中の流入濁水及び土砂通過①、②
- 放流量増加により最大流入量時の貯留可能容量が増大し、ピークカット量が増加③※1
- 流砂系総合土砂管理の観点から、土砂供給増により河川環境が改善

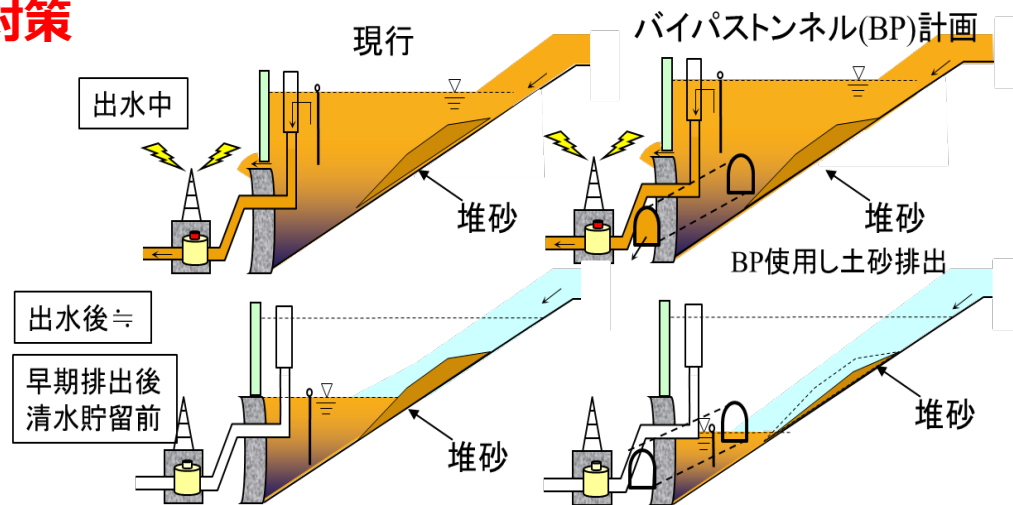
①濁水長期化軽減対策

②堆砂対策

③治水効果



## ②堆砂対策

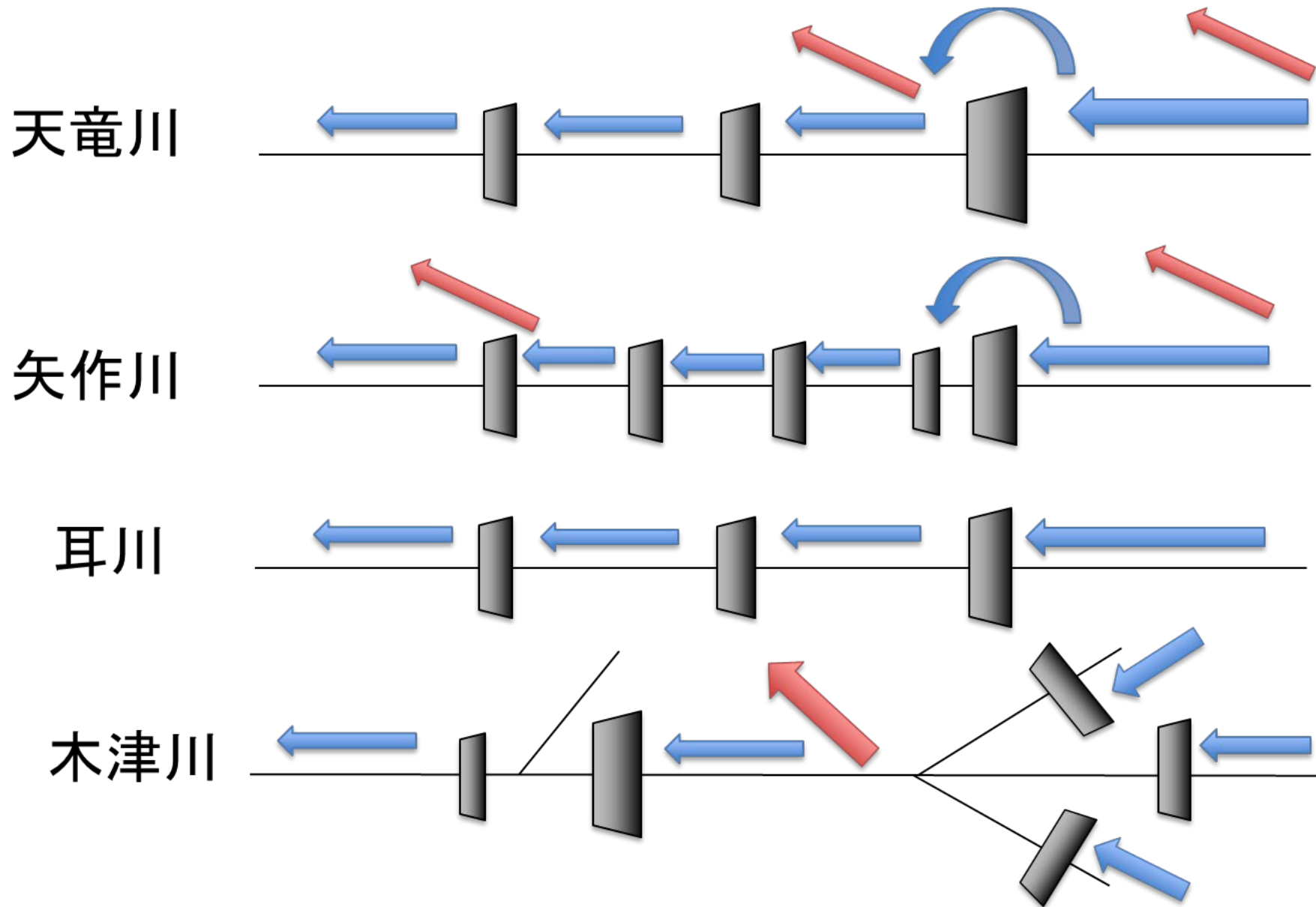


- 出水期間中に流入堆積する土砂を、バイパストンネルを利用してダム下流へ排出
- 水位低下により調整池中流部の掃流力が増加し堆砂量が減少

# カスケード方式ダム取り扱い

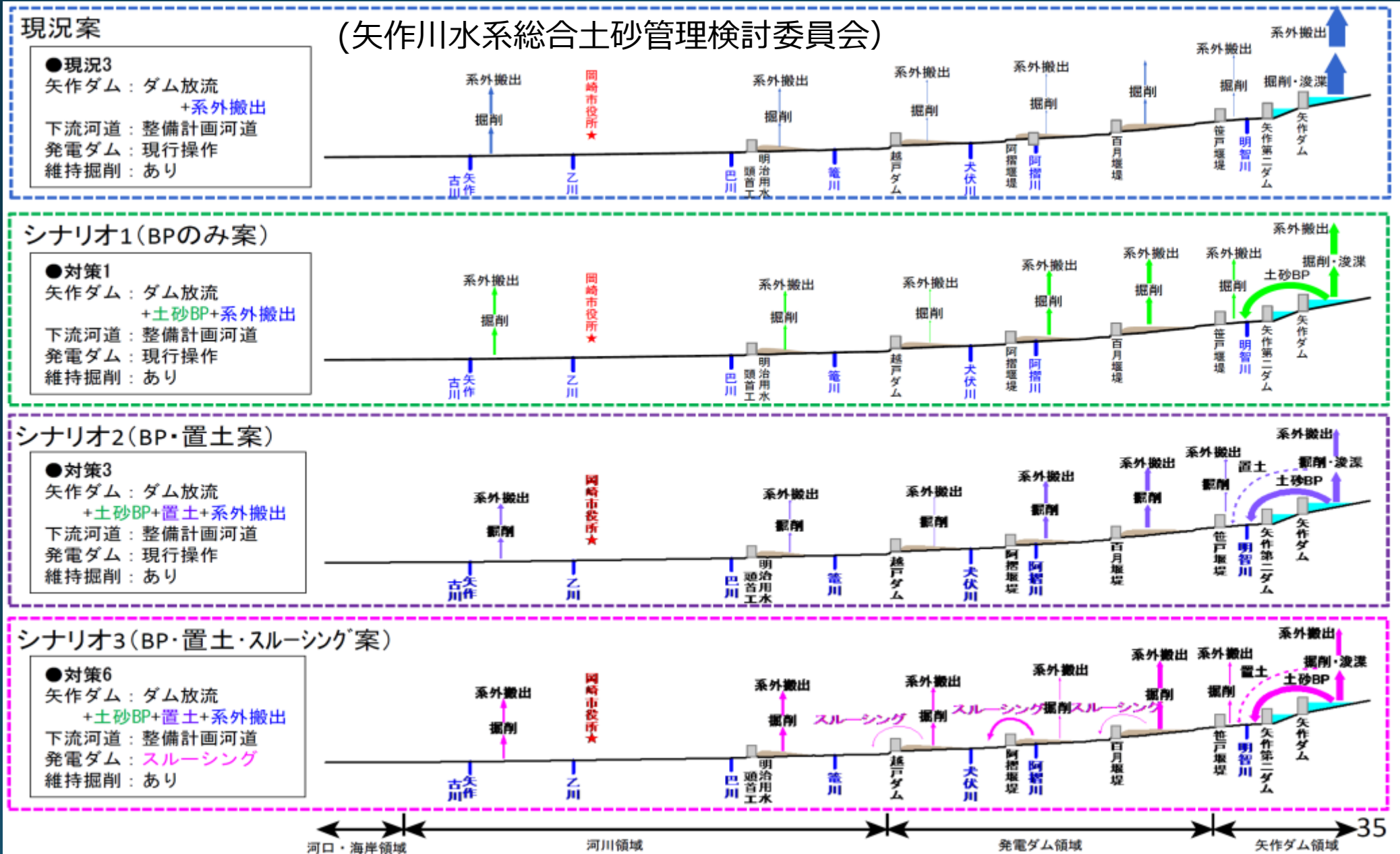
- 土砂管理の上下流問題は世界共通の課題
  - 黒部川や矢作川のように、河川には複数の管理者の異なるダムが設置
  - 上流のダムが「通砂」、「バイパス」などのアクションを取る場合の下流ダムに対する影響評価と、これらダム間の連携操作の検討・導入が必要。
- 基本的な考え方
  - 「上流ダムが加害者、下流ダムが被害者」という構図を作らない
  - 「これまで上流ダムが引き受けてきた土砂を、河川のダム関係者全体で受け止める」意識を醸成することと、その中で、「**部分最適**」ではなく、流域全体が「**全体最適**」となる解を、関係者が連携して導くことが重要。
- 調整の枠組みが必要
  - 影響を受ける下流ダムに発生する合理的なダム改造については、必要な整備を促進する実施主体や費用負担などに係る枠組みづくりが必要。

# 縦列ダムにおける土砂管理の種類





# 土砂管理シナリオごとのメニュー比較

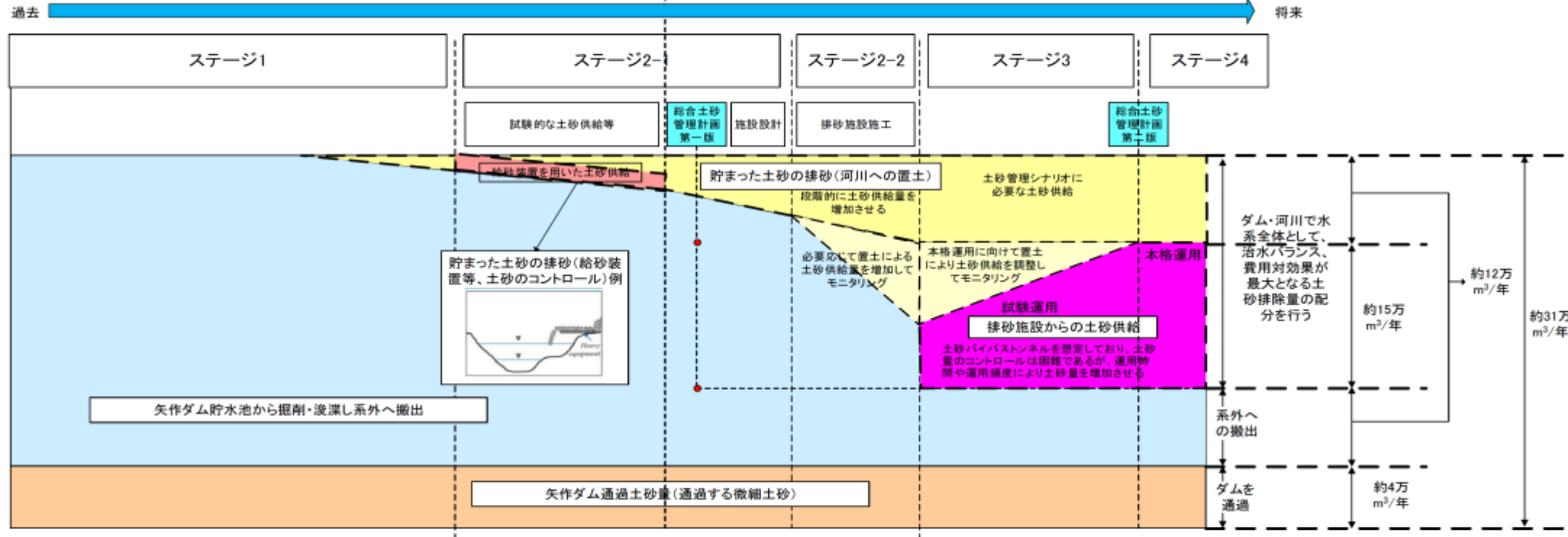


# 土砂供給量の段階的なステップアップ

(矢作川水系総合土砂管理検討委員会)

↓現在

現時点



全流入土砂量を排砂するための内訳

- 凡例
- 矢作ダム貯水池から掘削・浚渫し、系外へ運搬する土砂量
  - 矢作ダムを通過する土砂量
  - 河川への直接投入量(置き土)(例:干潟再生のための土砂導入など)
  - 排砂施設運用影響を把握するための直接投入量(置き土)
  - 給砂装置を用いた供給土砂量
  - 排砂施設による矢作ダムからの排砂量
  - ※流入土砂量は毎年変化するため、上記は長期間の平均的なイメージである
  - ※期間、各土砂量の割合はイメージである。

持続可能な対策として、系外への搬出から系内での処理にできる限り移行する。河道への排砂と河道堆積のバランスのとれた矢作ダム排砂量、河道対策量等を段階的に検討する。

※この数値については暫定値であり、今後の検討により変更になる場合がある。

段階的に供給土砂量を増やし、**順応的管理**を実施  
 土砂還元(置き土)による準備段階から、土砂バイパスによる本格排砂に**ステップアップ**  
 土砂バイパスも作って終わりではなく、その運用方法の変更が可能 (**評価・改善による向上**)

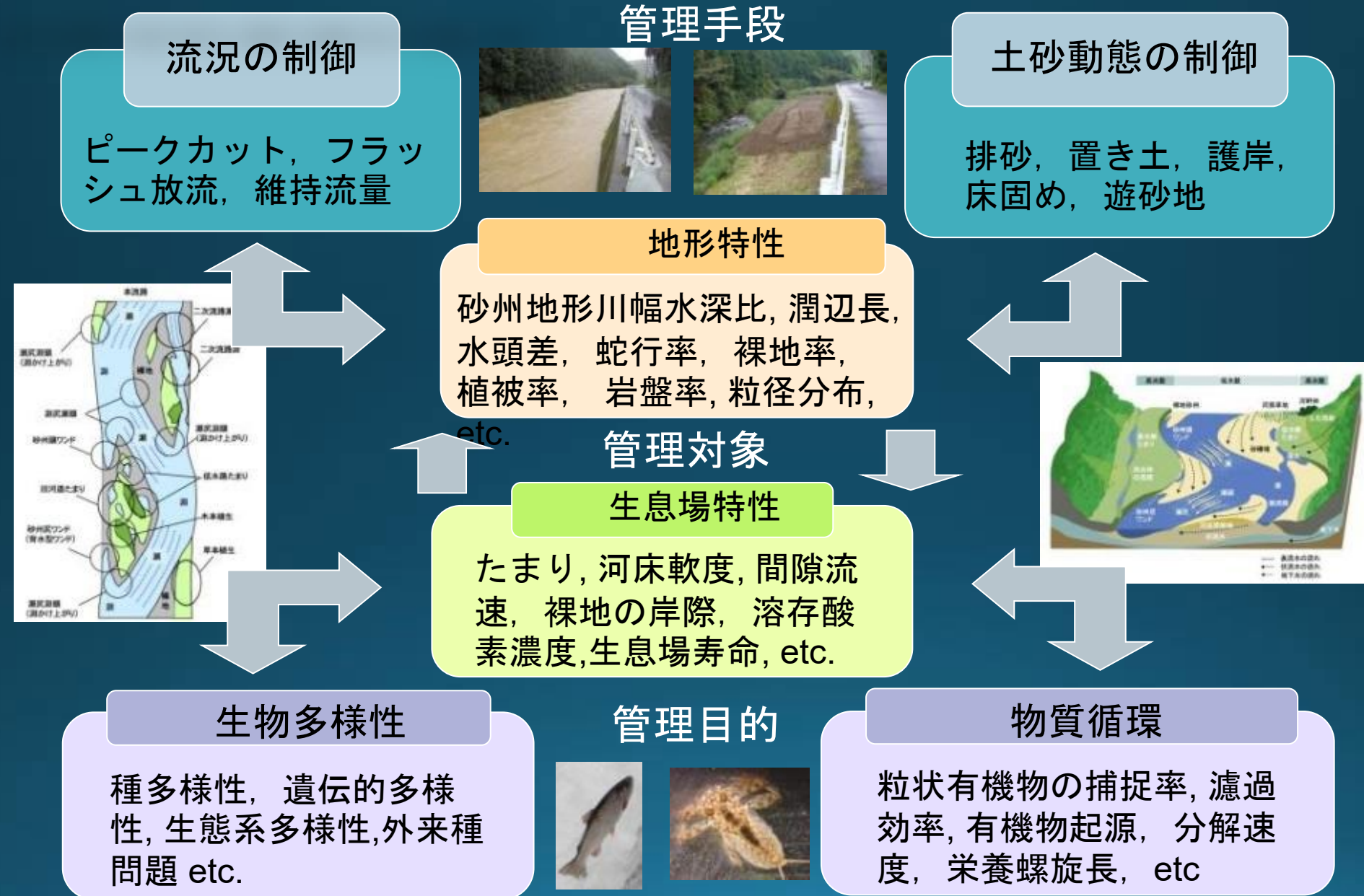
# 土砂還元と河床地形管理（砂州形成）の連携

- 伏流水（Hyporheic Flow）
  - 土砂供給は、河床礫表面の平滑化（クレンジング）や粗粒化の緩和に貢献
  - 近年の調査では、アユ産卵環境の再生に、小砂利（30-50mm）と酸素を十分に含んだ清澄な水の供給が重要
  - そのために、砂州が年数回の洪水で常にリフレッシュし、砂州内間隙を流れる伏流水（Hyporheic Flow）が健全に維持されることが重要
  - これが汚濁物質（濁水や粒状有機物）のフィルタリングと浄化に寄与
- ダム撤去が行われた荒瀬ダム（球磨川）
  - 河床までダムを切り下げた結果、ダム上流から粗粒土砂が流出してダム直下に新鮮な砂州が形成され、新たな湧水環境が創出
  - 下流の砂州では近年にないアユの産卵数が確認
- 通砂を行っている耳川
  - 同様な好適な砂州の形成
- 土砂還元と河床地形管理（砂州形成）の連携
  - 関係者への理解を進めていく必要あり



# 河床地形管理の視点

(出典:竹門)



# 全国の河川で土砂還元が行われている



## 電力ダムの事例

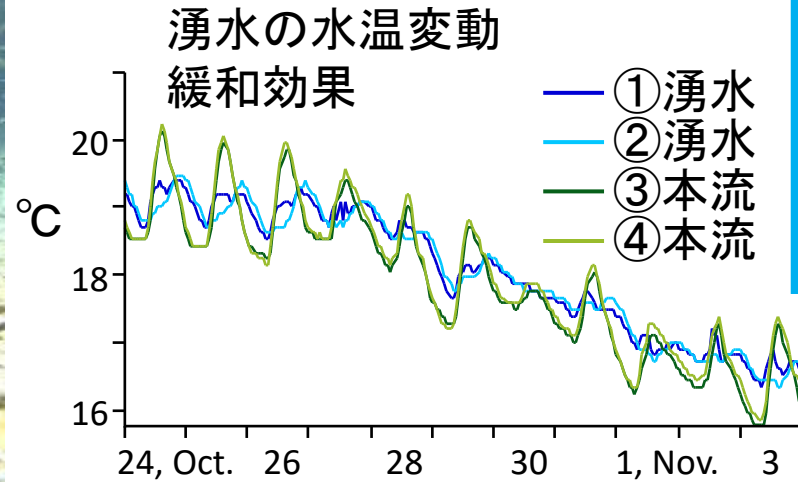
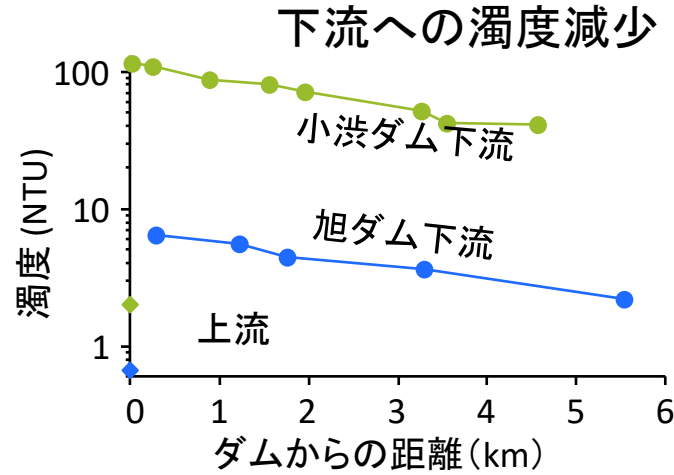
電源開発(佐久間, 秋葉, 船明ダム)  
中国電力(浜原ダム) など

事例は限定的(多目的ダム中心で、電力ダムは少ない) 河川管理者との連携が必要

# 砂州発達の効果 多様な生息場の創出, フィルタリング

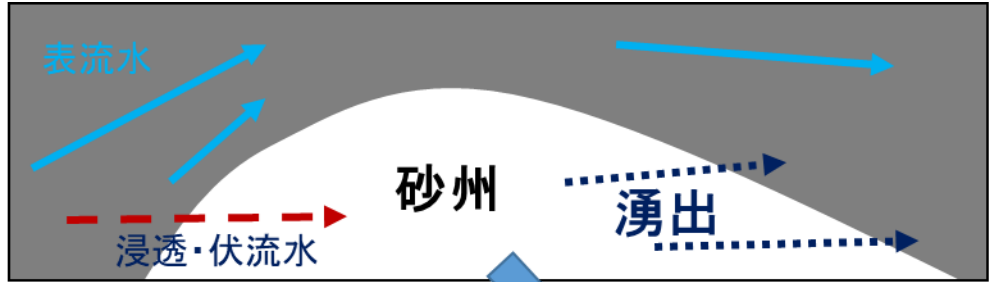


濁りに弱い魚の避難場  
産卵場となる

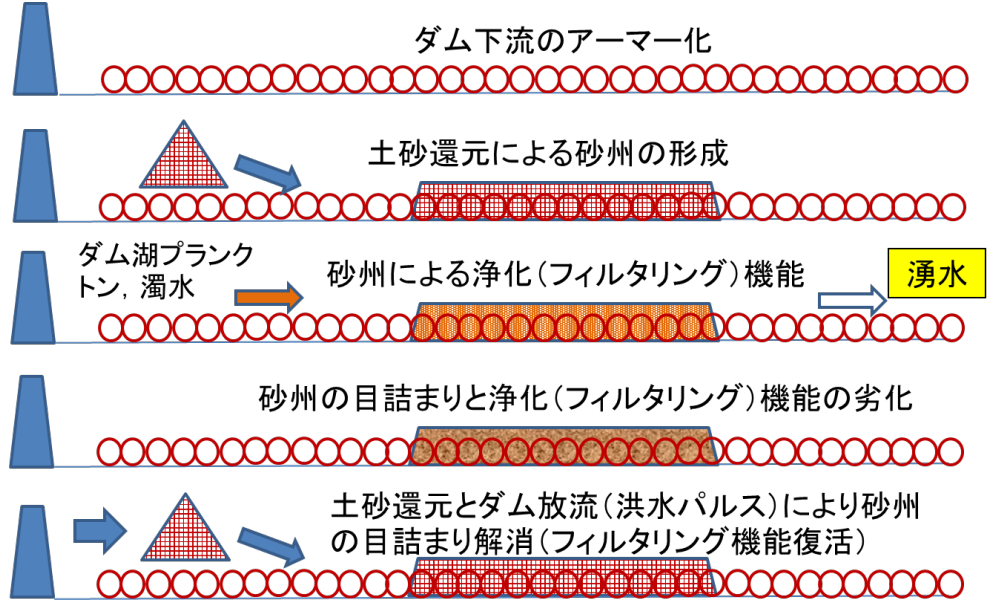
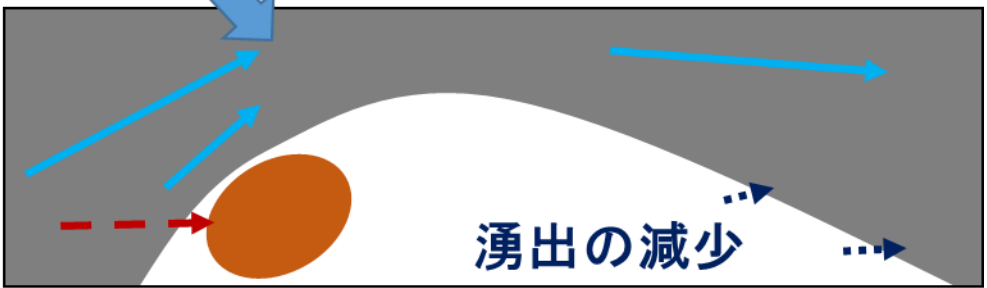


湧水 → 水質浄化、水温変動緩和効果が期待される

# 砂州のフィルタリング効果の時間的な変化



出水による  
細粒成分フラッシュ  
砂礫の交換



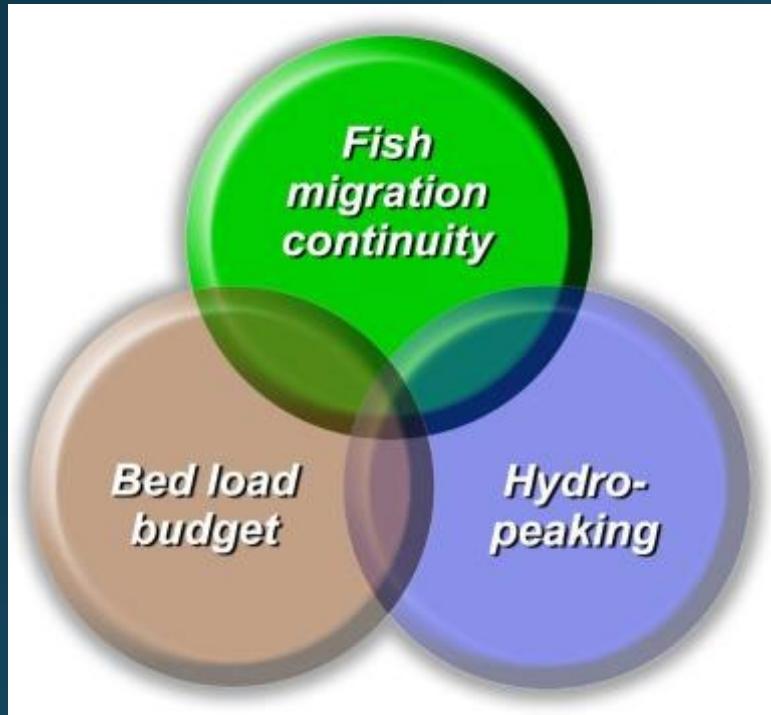
砂州には時間とともに細粒成分が詰まり機能が落ちると考えられる  
機能が回復するには、砂州がリフレッシュ(土砂交換／フラッシュ)が必要

# Federal legislation on the Protection of Waters

## スイス連邦の水環境保全法(2011)

魚の遡上・降下

実施に向けたスケジュール



Deadline	Rehabilitation	Hydro-peaking	Bedload budget	Fish migration
2014	Planning flowing waters	Planning	Planning	Planning
2018	Planning lakes			
	Regular update			
2030		Implemented	Implemented	Implemented
2080	Implemented			

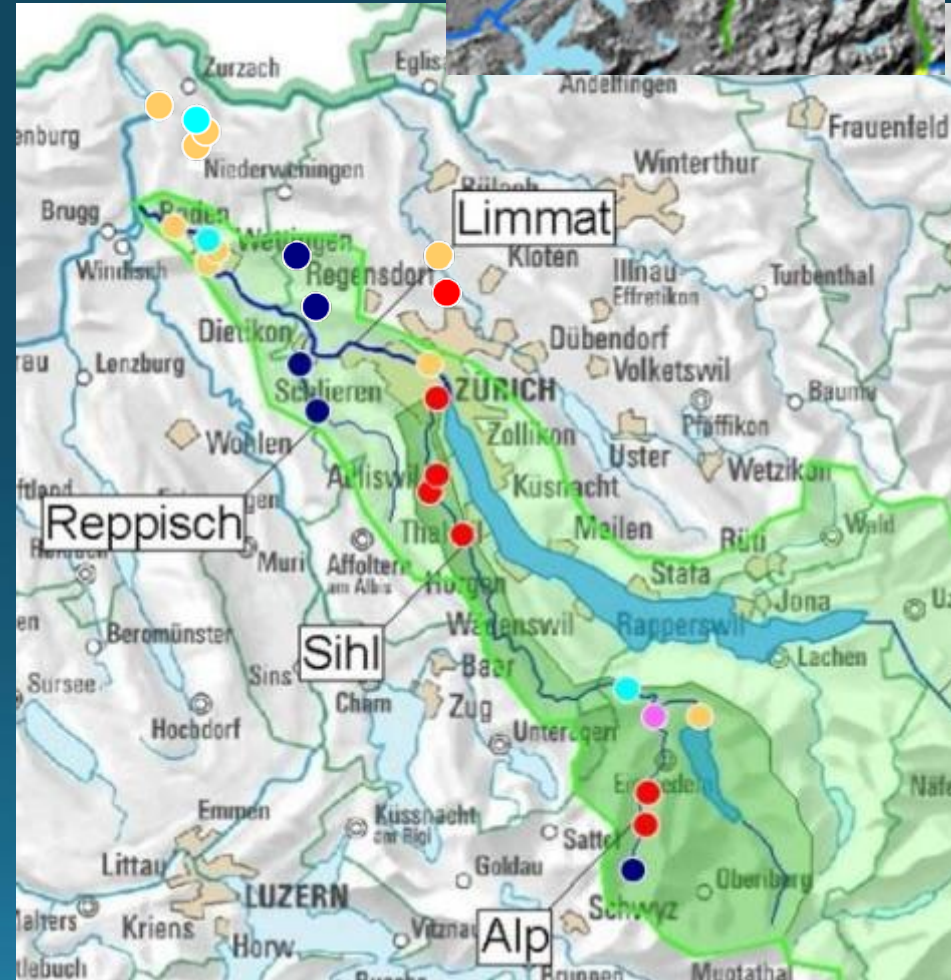
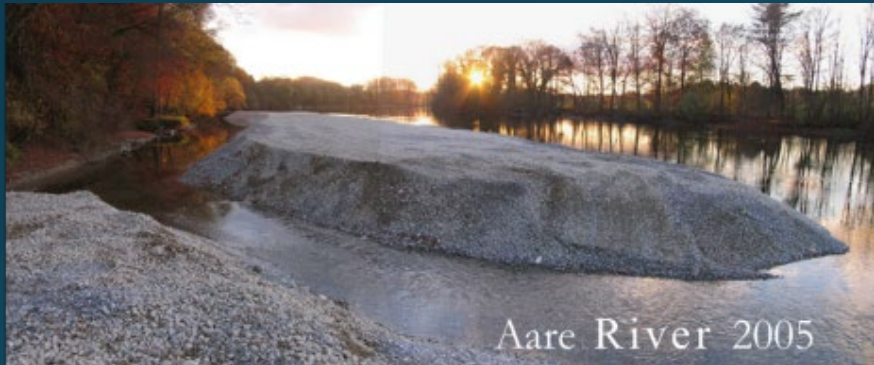
掃流砂の  
土砂収支

発電による  
水位変動の調整

# 土砂管理対策

(出典: Hunziker)

- Adjuste managment of gravel traps
- Reduce excavation
- Extract and dump (土砂還元)
- Modify weirs
- Lower water level at weirs during floods



# フランスの土砂連続性確保に関する法律

## 法律：L.214-17 (2006) および施行 (2013)

魚類の生息場を維持するために十分な土砂輸送量を確保  
ここで対象とする土砂は粗粒土砂

L.214-17の主な目標は、河川に生息する水生生物群集(魚類、底生動物、植生)の生存の保証

河床表層の厚さ、粒度分布、アーミング程度、土砂移動頻度などを平均的/長期的にいかに保証するかが、対象とする水生生物の種の生存にとって重要

“A list (list 2) of streams, parts of streams or channels in which it is necessary to assure sufficient sediment transport and circulation of migratory fishes” In this law, sediment means coarse sediments

The primary goal that is targeted by the article L.214-17, is to guarantee the survival of aquatic communities (fishes, invertebrates, vegetation), habitats of which are subordinate in the alluvial substratum.

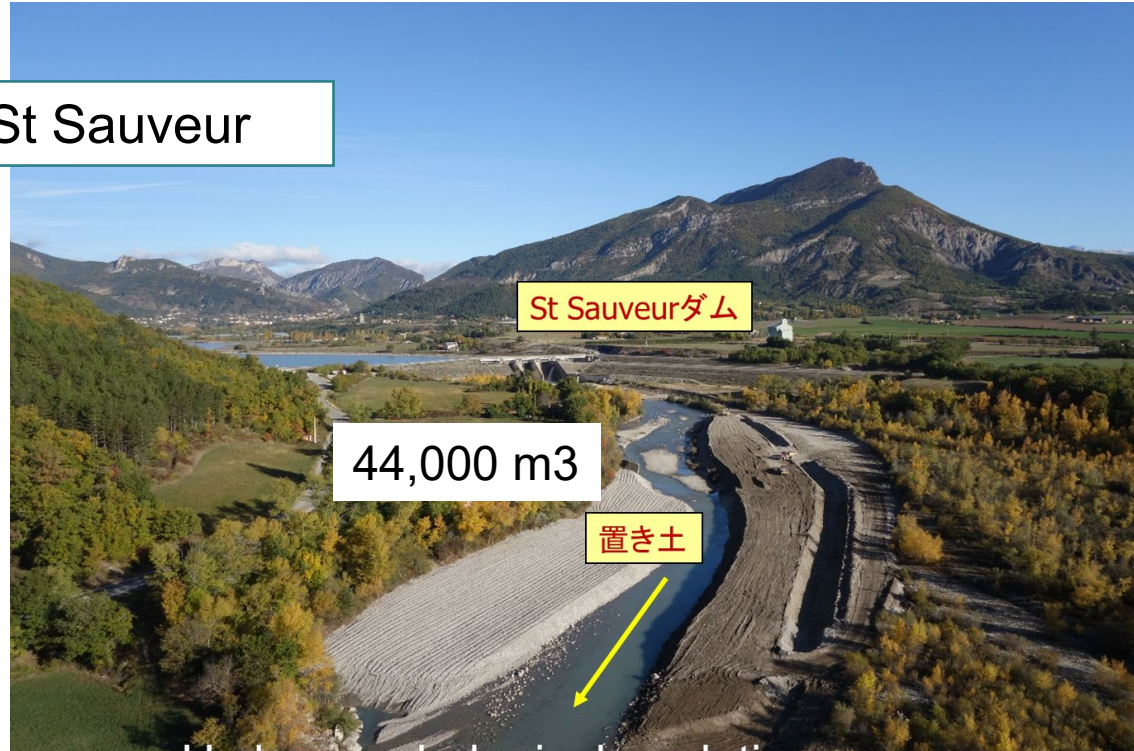
It is a question of insuring, on the average/long term,

surface, thickness, gravel size distribution, layout (weak armoring), frequency of movement of alluvial substratum, allowing for the survival of the species of the aquatic communities inside the considered reach.

# 土砂還元による土砂供給（フランスにおける試み）



Buech à St Sauveur



44,000 m<sup>3</sup>

St Sauveurダム

置き土

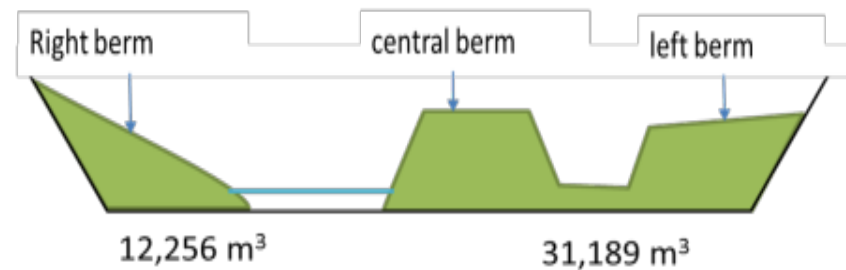


Fontaulière à Pt de Veyrière

Hydromorphological evolution

日本の文献を参照  
(Ock et al.2013, HRL )

« Point bar stockpile method » (Ock et al.. 2013)





# International Symposium on Bedload Management 2021

**International Symposium on Bedload Management Preliminary program**

**8.11.2021**

**Why and how is bedload restoration done?**

8.15 Registration and welcome coffee

9.30 Welcome  
*t.b.d.*

9.40 Introduction to Swiss bedload restoration  
*Dr. Manuel Nitsche, FOEN*

9.50 River restoration – quo vadis? - The role of sediment and sediment dynamics in the aquatic environment  
*Dr. Christoph Hauer, BOKU*

10.15 The importance of substrate heterogeneity for ecological diversity  
*Dr. Kate Mathers, Loughborough University*

10.40 Coffee & Snacks

11.10 Gravel augmentation activities and strategies worldwide  
*Keynote Prof. Dr. Mathias Kondolf, University of California*

11.50 Sediment re-injection in the Buëch downstream of the Saint-Sauveur dam. From monitoring to management tool.  
*Dr. Guillaume Brousse, Electricité de France*

12.15 Management of coarse sediment fluxes and morphological dynamics of alpine rivers: lessons learned from South Tyrol  
*Prof. Dr. Francesco Comiti, Free University Bolzano*

12.40 Challenges on sediment replenishment below dams in Japan  
*Prof. Dr. Tetsuya Sumi, Kyoto University*

13.05 Lunch

14.35 Introduction to Workshop series

14.45 Workshops - Series 1

16.00 Workshops - Series 2

17.15 Summary Day 1

17.30 End day 1 / free time

19.00 Social dinner

**9.11.2021**

**What are current concepts and solutions for the future?**

8.15 Registration and welcome coffee

9.00 Welcome  
*t.b.d.*

9.10 How to deal with the rolling stones  
*Ruedi Bösiger, WWF Switzerland*

9.35 Effect of sediment supply on morphodynamics in river widenings  
*Cristina Rachely, ETH Zürich*

10.00 Influence of bed load transport on channel width  
*Dr. Ueli Schächli, Flussbau AG*

10.25 Coffee & Snacks

11.55 Balanced sediment regimes in an alpine context  
*Keynote Prof. Dr. Ellen Wohl, Colorado State University*

11.35 Innovative morphological restoration efforts  
*Prof. Dr. Silke Wieprecht, University of Stuttgart*

12.00 Hardrock Cafe Oberhasli - Sediments from an ecological and hydropower perspective  
*Dr. Steffen Schweizer, Kraftwerke Oberhasli AG*

12.25 Are we doing restoration right in the face of climate change?  
*Prof. Dr. Stuart Lane, University of Lausanne*

12.50 Lunch

14.20 Workshops - Series 3

15.35 Panel discussion: How to succeed or fail in bedload restoration?

16.50 Introduction to excursions

17.10 Summary Day 2

17.25 End day 2

**10.11.2021**

**Excursions Start 08:30**

1. Bed load management and restoration in the Aare headwaters Gadmertal and Halsital (Canton Bern)

2. Ecomorphological effects of artificial floods in the Sarine floodplain (Canton Fribourg)

3. Sediment management at Spiez hydropower plant and river widenings at the Simme and Kander flood plains (Canton Bern)

**Workshops (8. & 9.11.2021)**

**Series 1**

1.1 What are measures for sediment continuity at dams and weirs and proof of concept?

1.2 What is the role of bed load transport intensity for morphodynamics and ecology?

1.3 What are new tools for predicting and monitoring bed load transport and depositions?

1.4 How to approach risks and uncertainties of bedload restoration measures?

**Series 2**

2.1 How to restore bedload transport at a cascade of installations?

2.2 How to deal with fine sediments in the context of bed load restorations?

2.3 What are simple sediment management strategies in small catchments?

2.4 How to plan and predict bed load additions?

**Series 3**

3.1 How to design and plan an environmental flow?

3.2 How can we prove the ecological success of bed load restoration?

3.3 What are important research gaps for successful projects?


3.4 How to improve bed load field measurements?

International Symposium on Bedload Management 2021

**PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BEDLOAD MANAGEMENT 2021**

**8-10 NOVEMBER, INTERLAKEN, SWITZERLAND**

*Suggested citation: Wyss C.R., De Cesare G., Lane S.N., Marti C., Nitsche M., Pauli M., Schweizer S., Weitbrecht V. (Editors), 2021. Proceedings of the International Symposium on Bedload Management 2021, 8-10 November 2021, Interlaken, Switzerland. Wasser-Agenda 21. DOI: 10.3929/ethz-b-000513088.*



WASSER-AGENDA 21 Forum Chriesbach Überlandstrasse 133 CH-8600 Dübendorf Tel. +41 58 765 54 27 info@wa21.ch www.wa21.ch

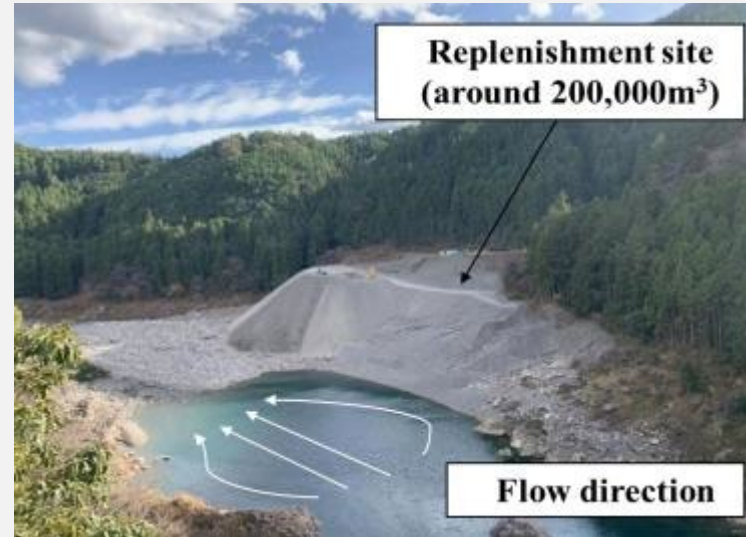
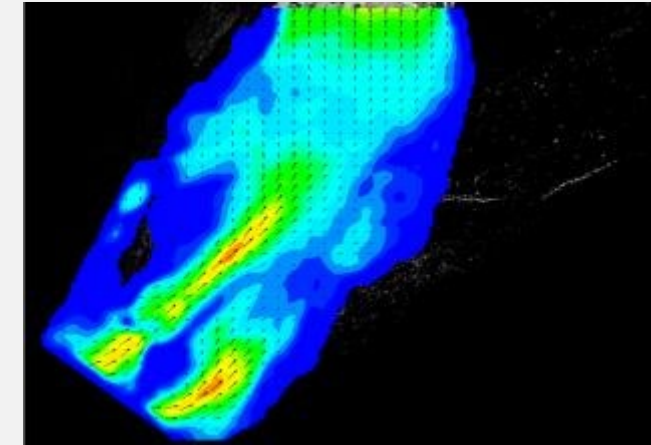
<https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/513098>



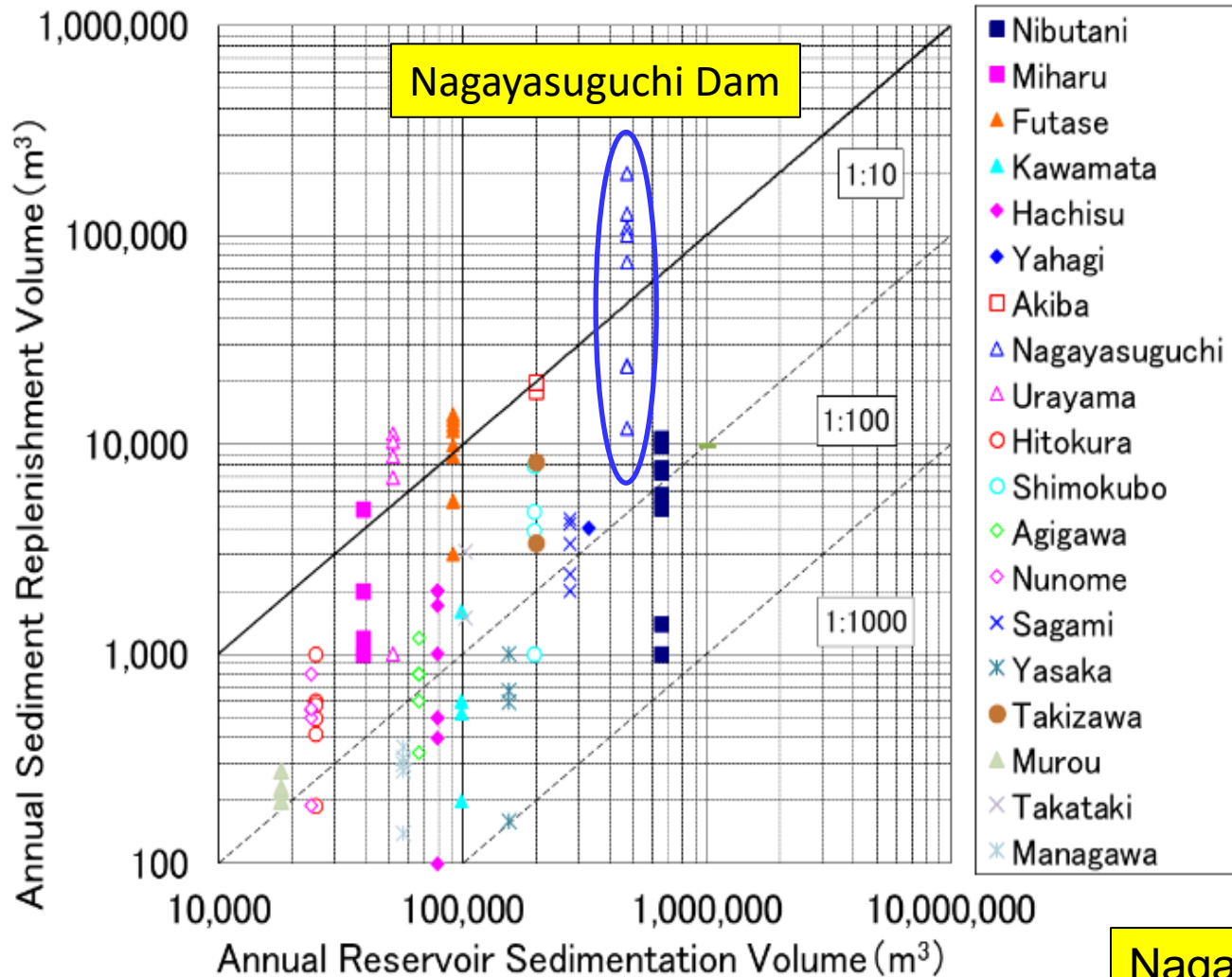
# ***Comprehensive Assessment Approach on Sediment Replenishment below dams in Japan***

**Tetsuya SUMI, Jiaqi LIN, Sameh KANTOUSH**

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University



# Comparison between annual sediment replenishment and reservoir sedimentation volumes



- In Japan, many sediment replenishment (SR) have been conducted. Annual target volume is ranging around 1-10% of annual reservoir sedimentation volume.
- However, detailed study of the characteristics of SR, flow conditions and downstream effects are limited.
- Previous research mainly focused on morphological and ecological aspects.
  - **Morphology:** channel width, depth, grain size distribution of bed materials or geomorphic unit variations
  - **Ecology:** habitat quality including water temperature, water quality, POM

Nagayasuguchi Dam is the largest SR volume in Japan.



# Flow chart of the comprehensive assessment of sediment replenishment in Naka River

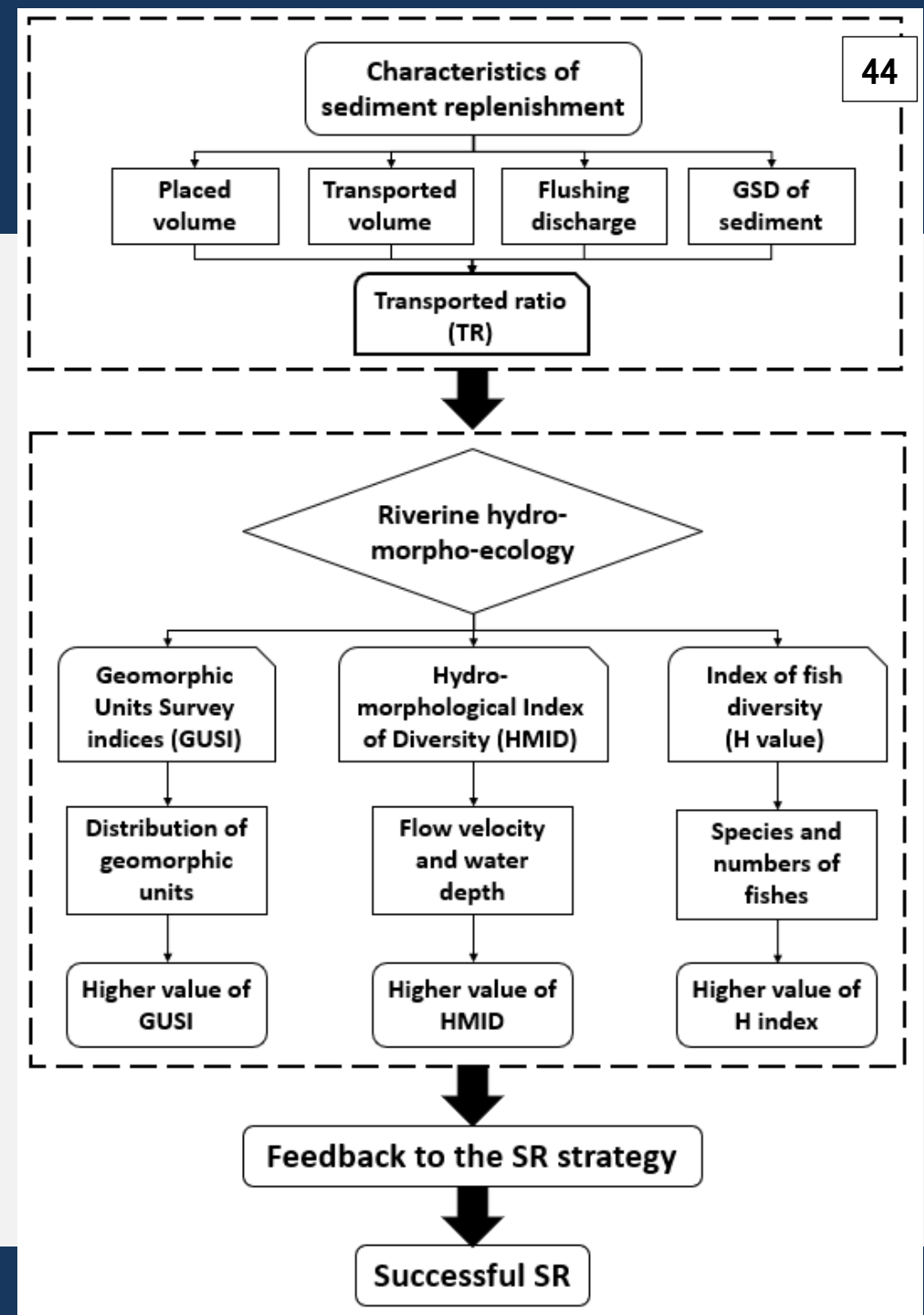
Several indices for riverine assessment, such as

- **GUS (Geomorphic Units Survey)**
- **HMID (Hydro-morphological Index of Diversity)**
- **H Value (Fish Diversity Index)**

have been quantified for multiple SR projects.

Key factors are the placed sediment volume, transported rate, and flushing flow discharge.

The developed approach has been applied for **Nagayasuguchi Dam in Naka River**, based on collected data of topography, sedimentation, flow regime, morphology and water quality.

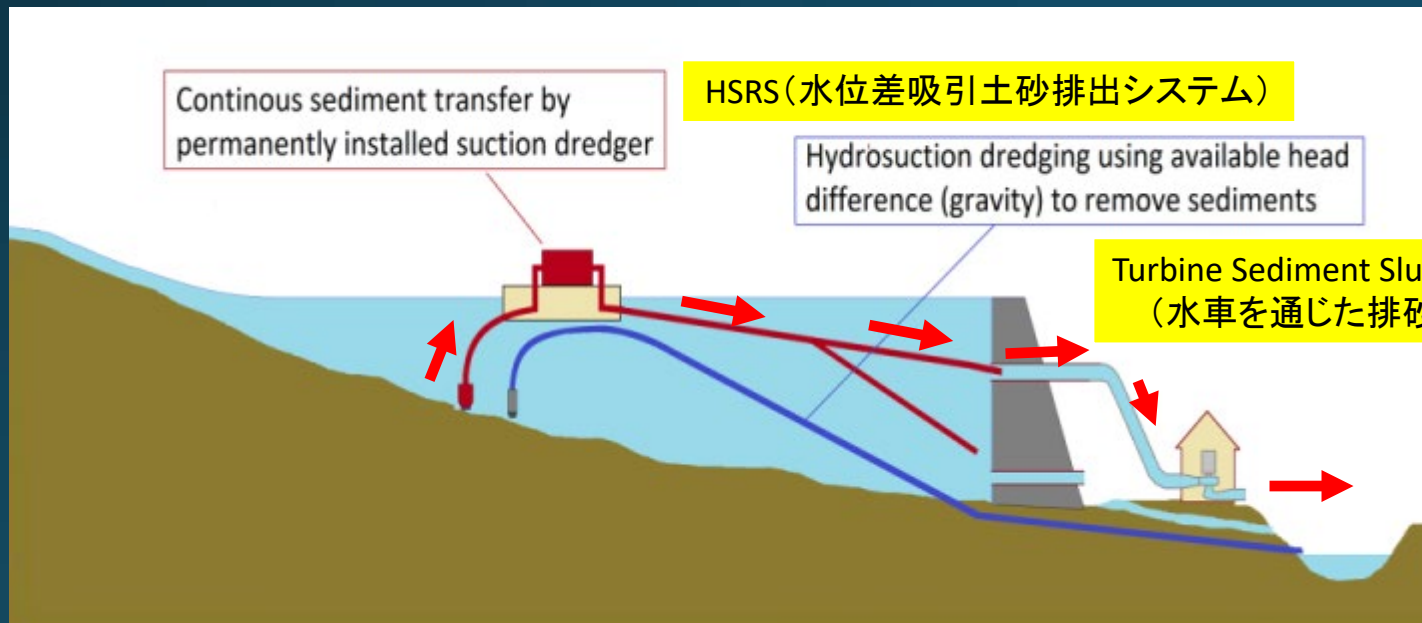
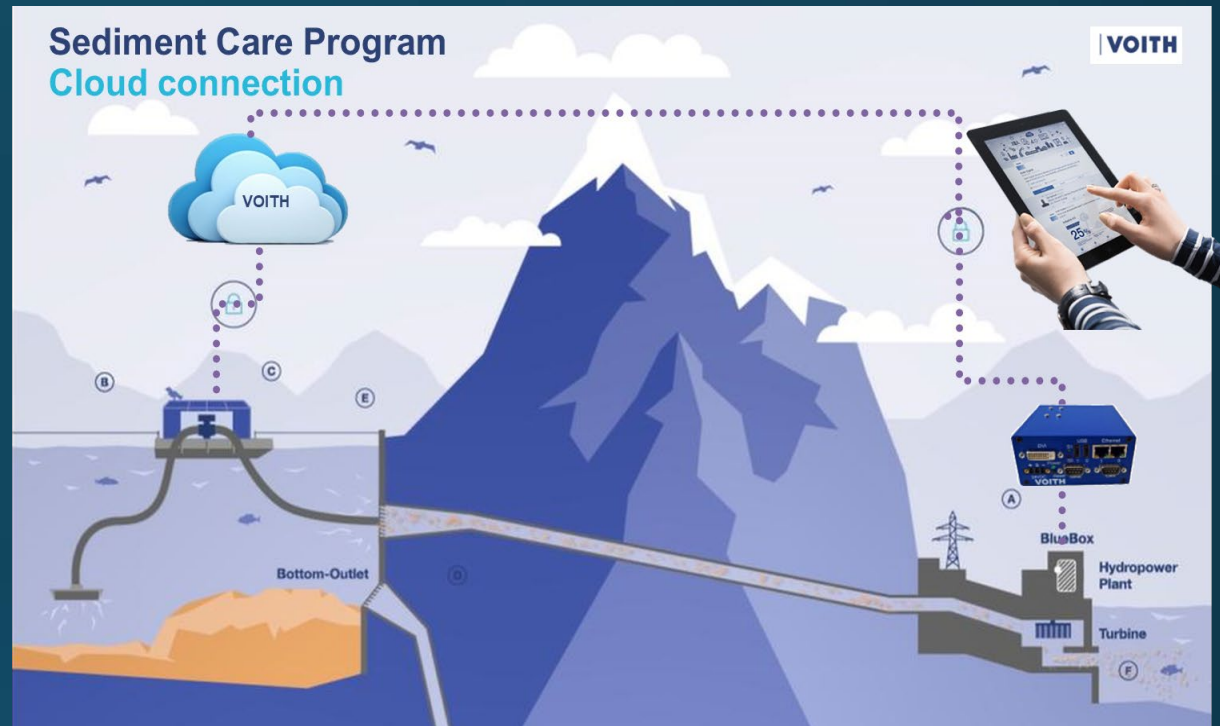


# 今後に向けて（電力ダムの持続的管理）

- 大きな環境変化（近年の異常洪水の頻発化、将来の気候変動影響、カーボンニュートラル）
  - 既設ダムの洪水調節機能の再評価が重要、将来は災害外力が増大
  - 電力ダムも治水協力（事前放流）を実施
- ダム再生のすすめ（災害対策・国土強靱化、カーボンニュートラル（CN）への貢献）
  - 永く使う(長寿命化)：堆砂対策（下流環境改善にも貢献、総合土砂管理）
  - 賢く使う(ソフト対策)：降雨・流出予測高度化、事前放流、発電高度運用
  - 増やして使う(ハード対策)：嵩(かさ)上げ、放流能力向上(洪水吐トンネル等)
- 世の中の大きな誤解
  - ダムは外部コスト（環境影響）が大きい、持続可能ではない、グレーインフラである
  - マスコミは、水力のことを全く知らない（再エネのメニューに登場しない）
- では、どうするか？
  - 治水(多目的)ダムと一緒に、流域の貯留施設の最適利用の説明（流域治水、CN、調整電源機能でも）
  - ダム再編を含めて、ダム再生を推進
  - その際に、洪水管理＋土砂管理の発想を持ち込む（ラストチャンス）、グリーンなダムに転換
  - そのための堆砂対策を加速化（通砂、カスケード問題、河床地形（砂州）管理、河川維持土砂量）
  - 経済性の説明も必要（経営論理）、社会的意義、外部コストの最小化など

# 発電排砂（通砂）

- 欧州において、残されたフロンティアである水力発電水車を通じて土砂を排出する技術開発が検討
- 水資源の有効活用の観点から大変興味深い取り組み
- 土砂吸引～導流～水車摩耗対策～環境対策
- スマートインフラに合致（堆砂対策DX）



下流の土砂濃度をモニタリングしながら、土砂吸引量にフィードバック、細砂程度までは許容可能

国際大ダム会議ICOLDレポート

Sediment Bypassing and Transfer (土砂のバイパスと移送)

## Case studies of fine sediment turbining in European Alps

- 1) HPP Kubel,  $P=15$  MW,  $H=97$  m, Gübsensee Reservoir (SAK), Switzerland
- 2) HPP Walgauwerk,  $P=86$  MW,  $H=160$  m, compensation basins Rodund (Illwerke), Austria
- 3) HPP Langenegg,  $P=74$  MW,  $H=280$  m, Bolgenach Reservoir (Illwerke), Austria
- 4) HPP St. Anton,  $P=72$  MW,  $H=596$  m, Wangen Reservoir (Eisackwerk), Italy
- 5) HPP Aussois,  $P=30$  MW,  $H=860$  m, Plan d'Aval Reservoir (EDF), France
- 6) PSP Cheylas-Breda,  $P=250$  MW,  $H=250$  m, Le Flumet Reservoir

 (EDF), France  
Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology



1) to 4): References see Felix D., Albayrak I., Boes R. (2021), Proc.6th IAHR Europe Congress 2020, [https://iahr2020.pl/wp-content/uploads/2021/03/IAHR\\_2020\\_book\\_of\\_abstracts\\_final.pdf](https://iahr2020.pl/wp-content/uploads/2021/03/IAHR_2020_book_of_abstracts_final.pdf)  
5) and 6): Caffo S. & Couzon P.-Y. (2019). Characterizing the impact of the transit of fine sediment through hydraulic units. Hydro Conf., Porto.

# Which suspended sediment concentration (SSC) to select?

どのような土砂濃度を選択すべきか？

Required

Target for sustainable operation  
(**maintain** active storage):  
SSC  $\approx$  sediment input / turbine water volume

目標: ダムの有効容量の維持・回復

To **regain** active storage (during limited time)

Acceptable

Erosion of mainly turbine parts and potential clogging:

制約条件: 水車の摩耗・閉塞

Turbines and HPPs not ... towards end of their life time (larger damage acceptable)  
specifically designed for sediment Turbines and HPPs designed for high  
sediment loads (coated parts)

水車の摩耗対策(コーティング)

Aquatic ecology downstream (long term):

similar to pre-dam conditions, site-specific,  
typically higher SSC in wet season

下流河川の受容性(ダム建設前との  
比較、雨期の高濃度特性利用など)

低濃度





# 今こそ問う水力発電の価値

## 水力発電の恵みを次世代に引き継ぐための3つの課題と10の解決策



### 課題1: 水力発電が有する価値の発信

- 解決策1: 電力価値の発信
- 解決策2: 環境価値の発信
- 解決策3: 社会的価値の発信

### 課題2: 地方創生に資する水力の推進

- 解決策4: 多分野にわたる技能を持った水力発電技術者の養成
- 解決策5: 地方創生に資する新たな事業スキームの提案
- 解決策6: 河川環境と発電の両立
- 解決策7: ハイブリッド方式への貢献

### 課題3: 既設ダムの総合活用

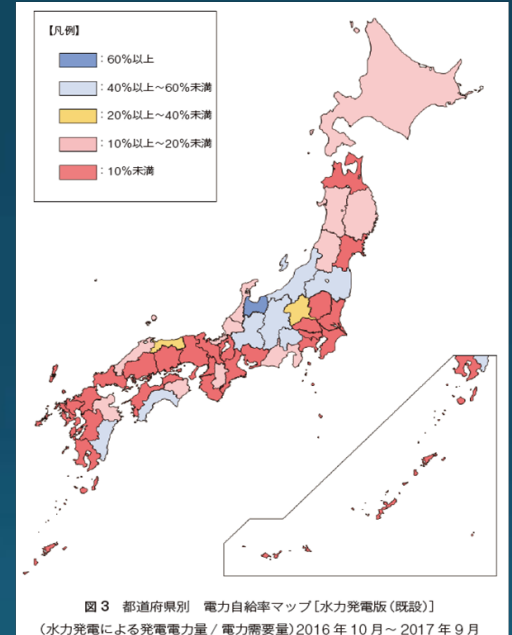
- 解決策8: ダム運用の高度化
- 解決策9: ダムの嵩上げ
- 解決策10: ダムの維持管理の技術革新

監 修 角 哲也・井上素行・池田駿介・上阪恒雄  
 編 集 国土文化研究所  
 執 筆 水力発電価値評価研究会  
 出版社 技報堂

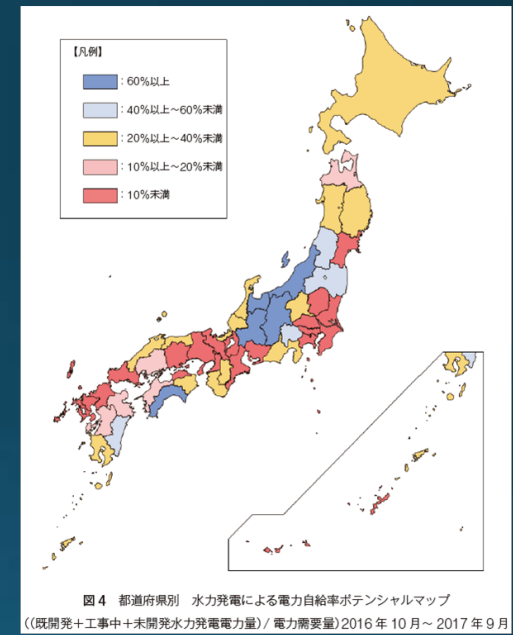
## どこまで水力エネルギーで自給可能か？

水力で60%以上賄える地域: 富山県  
 水力で40%以上賄える地域: 新潟県, 福島県, 長野県, 山梨県, 岐阜県, 高知県, 宮崎県

水力で60%以上賄えるポテンシャルのある地域: 富山県, 新潟県, 長野県, 岐阜県, 高知県  
 40%以上: 山形県, 福島県, 山梨県, 宮崎県



電力自給率マップ[水力発電版(既設)]



水力発電による電力自給率ポテンシャルマップ

- ①ダムと河川環境
- ②日本の土砂環境とダム
- ③堆砂対策と土砂還元
- ④土砂還元の効果



ダム環境問題における土砂に関する事項一覧