



貯水池土砂動態と河川環境を考慮した 発電用ダムの通砂運用高度化

○森本 晃樹¹・恩田 千早²・角 哲也³・田中 賢治⁴

¹ 電源開発株式会社 土木建築部 佐久間ダム再開発室

² 博士（工） 京都大学 特定准教授 防災研究所水資源環境研究センター

³ 博士（工） 京都大学 特任教授 防災研究所水資源環境研究センター

⁴ 博士（工） 京都大学 教授 防災研究所水資源環境研究センター

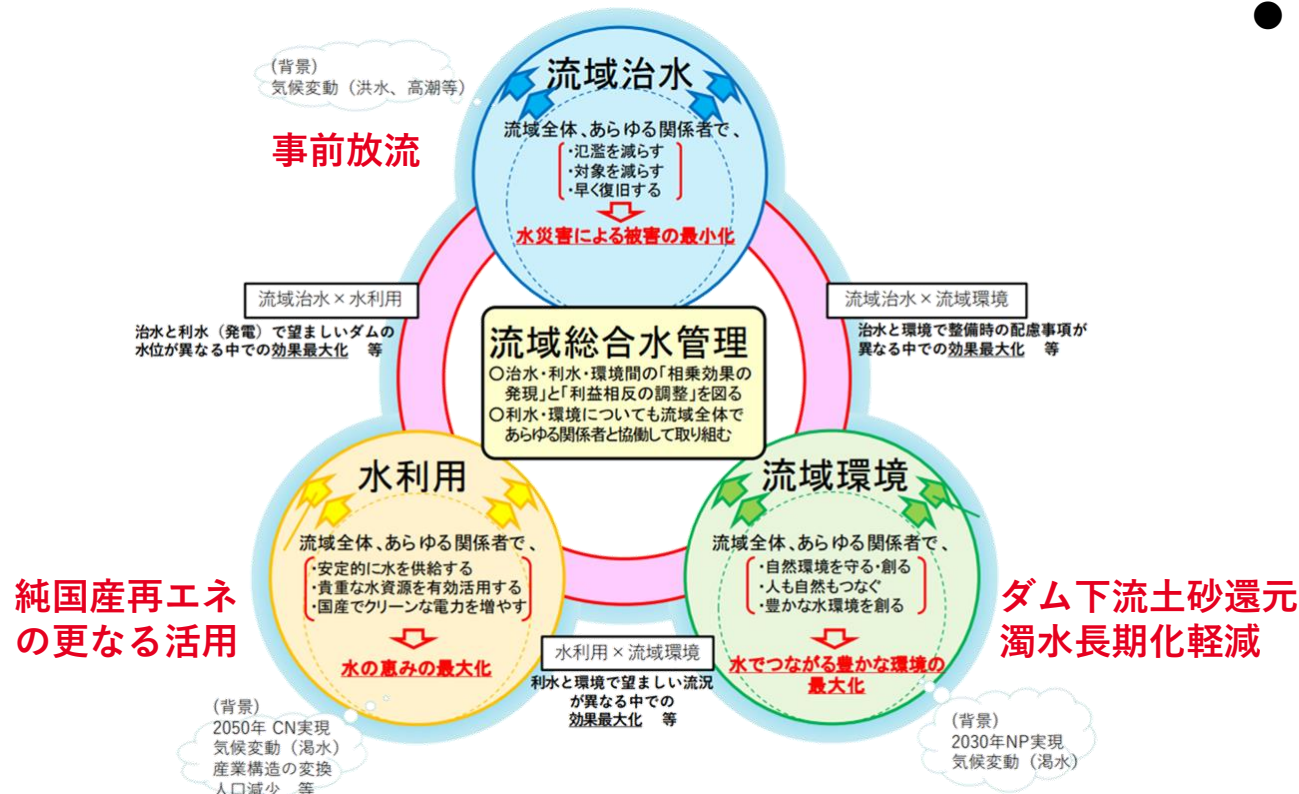
Key Words: *hydropower dam, sediment management, sediment sluicing,
sediment environment restoration, economic evaluations*

2026年度河川技術シンポジウム

背景

流域総合水管理

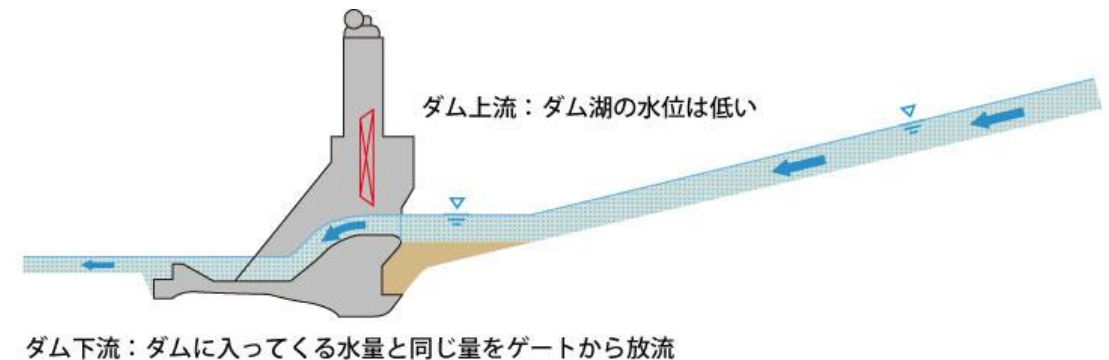
- 我が国では近年、「**流域総合水管理**」が議論
- **発電用ダム**の**高度利用の期待**のより一層の高まり
- 持続可能な水力発電を実現するためには、**貯水池土砂管理**が重要な課題



「流域総合水管理のあり方について」 答申（2025年6月）

通砂運用

- **ダム水位を低下させることで掃流力を高め、流入土砂をダム下流へ通過**
 （自然河川に近い状態にする）
- 発電用ダムの土砂管理手法として有効
- 黒部川水系宇奈月・出し平ダム、耳川水系ダム、球磨川水系瀬戸石ダム等で実施

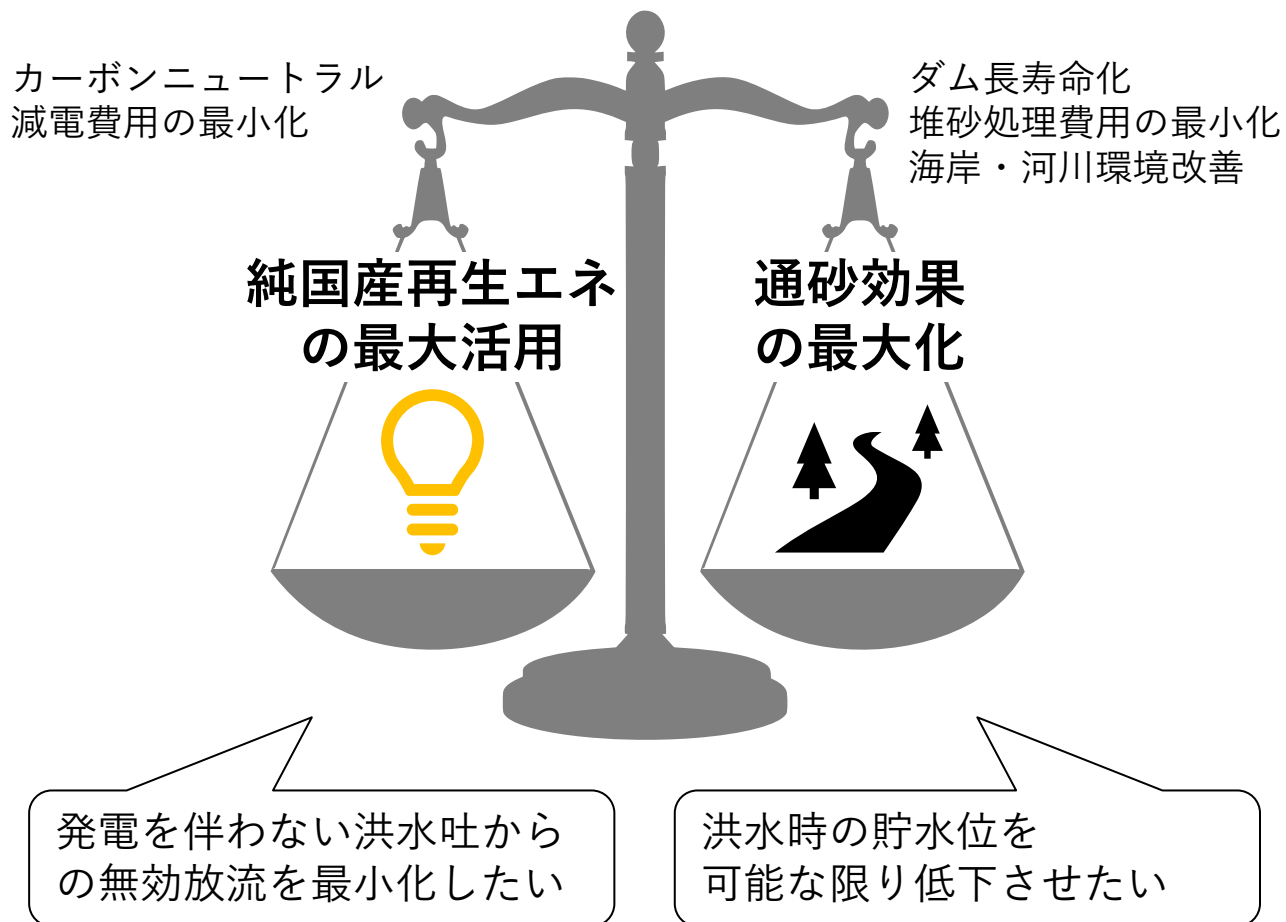


電源開発株式会社：瀬戸石ダム・発電所に関するお知らせ
https://www.jpower.co.jp/bs/renewable_energy/hydro/seto/safety.html

目的

発電用ダムの通砂運用の課題

以下の**トレードオフ**の関係を踏まえた高度化が課題



通砂運用に関する既往検討

通砂運用は、**ダム個別の状況に応じて検討**されている

- 例えば、耳川水系の連携通砂^{吉村ら2018、森ら2023}

発電用ダムにおける最適な通砂運用を**効率的に計画・検討するための体系化**が望まれる

- 適用性の高い土砂管理方法の分類^{奥村ら2012}
- 通砂効果の簡易推定手法^{恩田ら2018}

本検討の目的

放流量の区分と通砂効率に着目して考察し、**発電用ダムの通砂運用高度化手法※の一般化**を検討

※本検討では、河川環境を考慮しつつ、無効放流の最小化と通砂効果の最大化の両立を目指すことをいう

検討方法

検討手順

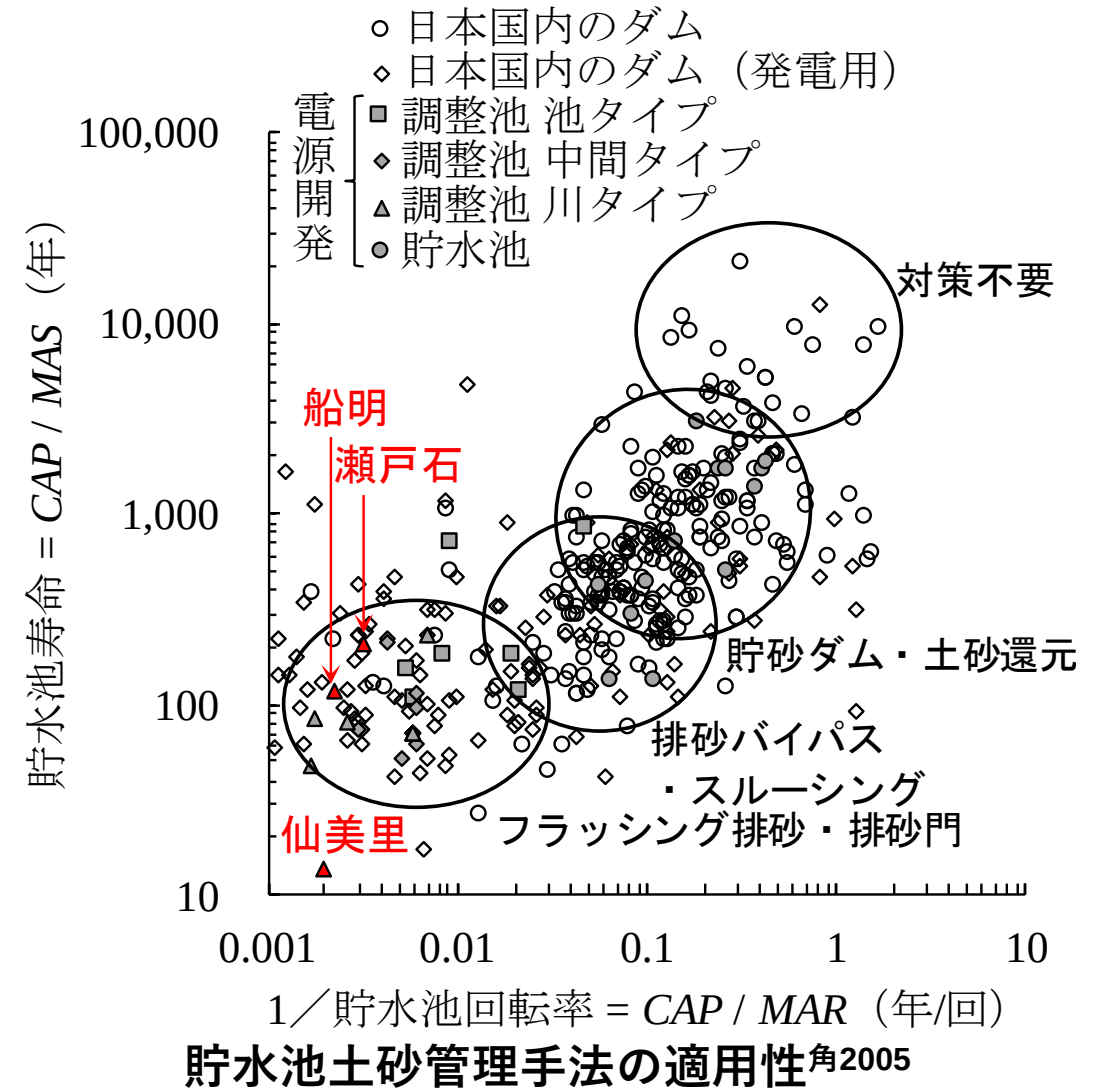
- 通砂運用を導入している3つの発電用ダム（瀬戸石ダム、船明ダム、仙美里ダム）を対象に河床変動数値解析を実施

※上記3ダムは、調整池川タイプ^{奥村ら2012}

- **放流量の区分**と**通砂効率**に着目して解析結果を考察
- 解析結果に基づく経済性評価
→ 主要な費用および便益として、**減電費用、堆砂処理費用、流砂環境再生便益**を算出



発電用ダムの**通砂運用高度化手法の一般化**を検討



→ フラッシング、スルーシングの適用性が高い
（流水の力を利用する土砂管理）

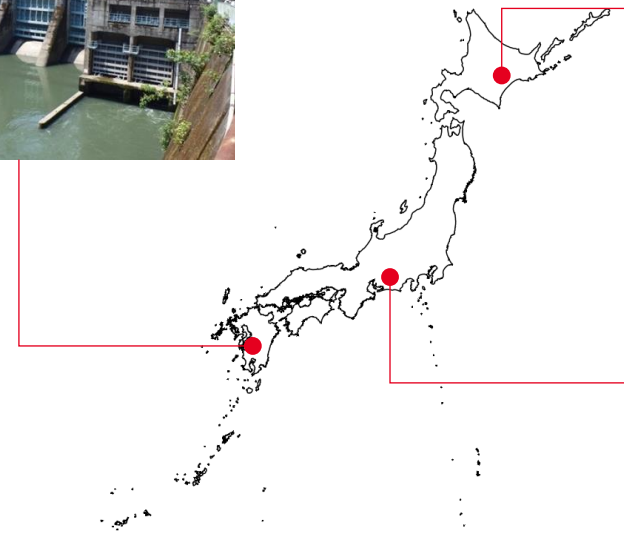
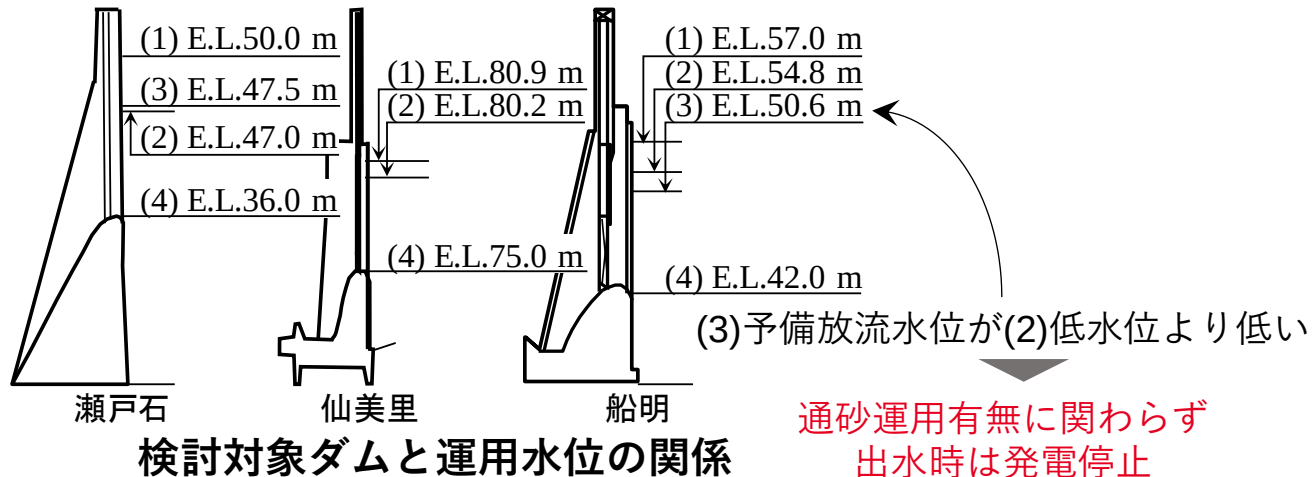
2. 検討方法

検討対象ダム

検討対象ダムの諸元

	瀬戸石ダム	仙美里ダム	船明ダム
水系	球磨川	十勝川	天竜川
発電運用開始	1958年	1962年	1977年
ダム堤高 m	26.5	11.7	24.5
堤長 m	139	363	220.0
集水面積 km ²	1,629	2,463.8	4,895
設計洪水量 m ³ /s	6,000	2,000	11,130
当初総貯水容量 千m ³	9,930	3,100	14,578
堆砂率（2022年） %	5.4	58.9	13.1

(1) 満水位 (2) 低水位 (3) 予備放流水位 (4) クレスト頂高



検討対象ダム位置

水使用率 β_p は、有効貯水容量や流況、設備能力である
最大発電使用水量等に影響を受ける 奥村ら2013

検討対象ダムは、いずれも通砂運用の適用性がある点が
共通しているが、その発電運用に違いがある

発電用ダムにおける放流水量の区分と通砂効率

平均年間放流水量を区分し、MARに対する割合を下式のとおり定義

発電 $\beta_p = \frac{V_p}{MAR}$, 通砂 $\beta_{sr} = \frac{V_{sr}}{MAR}$, 未活用 $\beta_{of} = \frac{V_{of}}{MAR}$

ただし、 $\beta_p + \beta_{sr} + \beta_{of} = 1$

通砂効率（角（2000）の検討を参考）

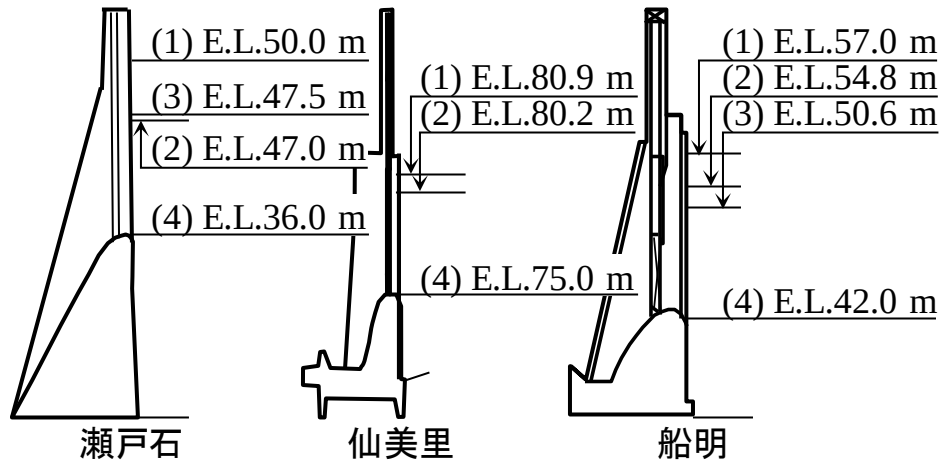
通砂効率 $F_e = \frac{V_s}{V_{sr}}$

CAP : 総貯水容量
MAR : 平均年間流入量
MAS : 平均年間土砂流入量
 V_s : ダムからの流出土砂量
※ $V_p + V_{sr} + V_{of} \div MAR$ とする

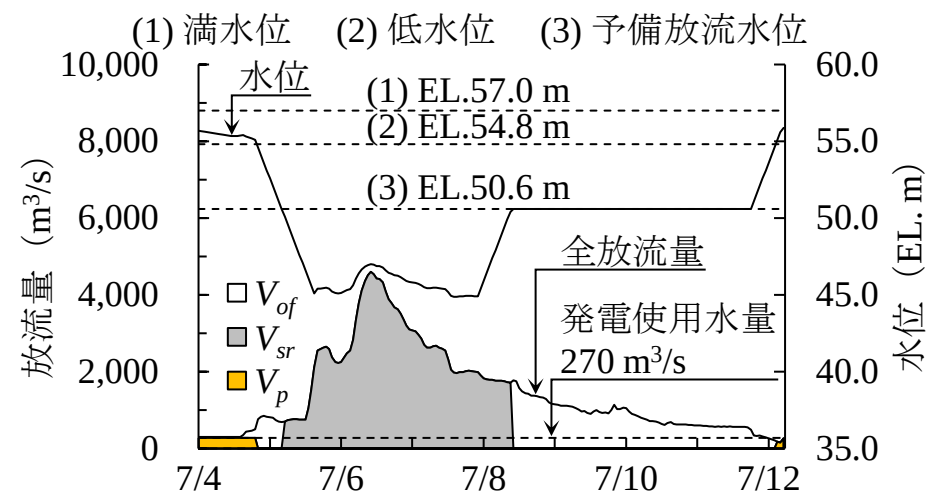
ダムからの平均年間放流水量の区分

区 分	条 件
発 電 V_p	発電（power generation）に使用する水量
通 砂 V_{sr}	通砂（sediment routing）のために、貯水位を低水位以下に低下させた期間において使用する水量 ただし、予備放流水位が低水位以下のダムの場合は、貯水位を予備放流水位以下に低下させた期間において使用する水量
未活用 V_{of}	フル発電可能な状況において、フル発電しても活用できず、洪水吐から放流した未活用（overflow）の水量 ただし、予備放流水位が低水位以下のダムにおいては、貯水位を低水位から予備放流水位まで低下させた期間に放流した水量を含む

(1) 満水位 (2) 低水位 (3) 予備放流水位 (4) クレスト頂高



検討対象ダムと運用水位の関係



放流水量の区分イメージ（船明ダム）

河床変動数値解析と経済性評価

主な解析条件と解析ケース

初期河床、河床材料	堆砂測量結果、各区間の河床材料調査結果
流入土砂量	調整池上部の地形および河床材料粒度、調整池内堆砂量および粒度を基に設定
流量条件	実績流況データを繰り返し入力
予測期間	50年間

河床変動数値解析ケース

ダム	ケース	運用水位	基準流量 (m ³ /s)	
			運用開始	運用終了
瀬戸石	Case 0	通砂運用を実施しない (従来の運用)		
	Case 1	フリーフロー	2,000	800
	Case 2	フリーフロー	1,500	800
	Case 3	フリーフロー	1,000	800
仙美里	Case 0	通砂運用を実施しない (従来の運用)		
	Case 1	フリーフロー	400	300
	Case 2	フリーフロー	300	200
	Case 3	フリーフロー	200	150
船明	Case 0	通砂運用を実施しない (従来の運用)		
	Case 1	E.L. 47.8 m	2,000	2,000
	Case 2	フリーフロー	2,000	2,000

経済性評価

主要な費用および便益を各ケースで算出して比較



堆砂処理費用

$$= \text{年平均堆砂量} \times \text{堆砂処理単価}$$

河床変動数値解析結果
(負の値の場合はゼロ)

各検討対象ダム湖
における施工実績



減電費用

$$= \text{発電に使用した水量} \times \text{電水比} \times \text{kWh単価}$$

Case 0に対する減少量
(年平均、空振りリスク考慮)

スポット市場における
近年の約定価格
(年度平均) を参考



流砂環境再生便益

$$= \text{ダムからの土砂流出量} \times \text{便益の単価}$$

河床変動数値解析結果
Case 0に対する増加量
(年平均)

富田ら (2010) の検討を参考
矢作ダム直下流域で試算した
支払意志額を参考
(各検討対象ダム直下流域の世帯数で補正)

3. 検討結果

河床変動数値解析に基づく経済性評価

β_{sr} に着目した経済性評価

- 各ダムのCase 0の費用の合計を100として、経済性を比較

瀬戸石ダム

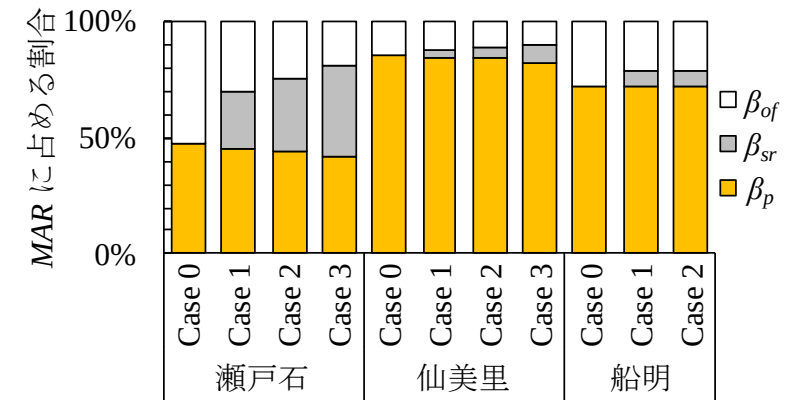
- Case 1～3で堆砂処理費用が減
→ β_{sr} が大きいほど減電費用の影響が大

仙美里ダム

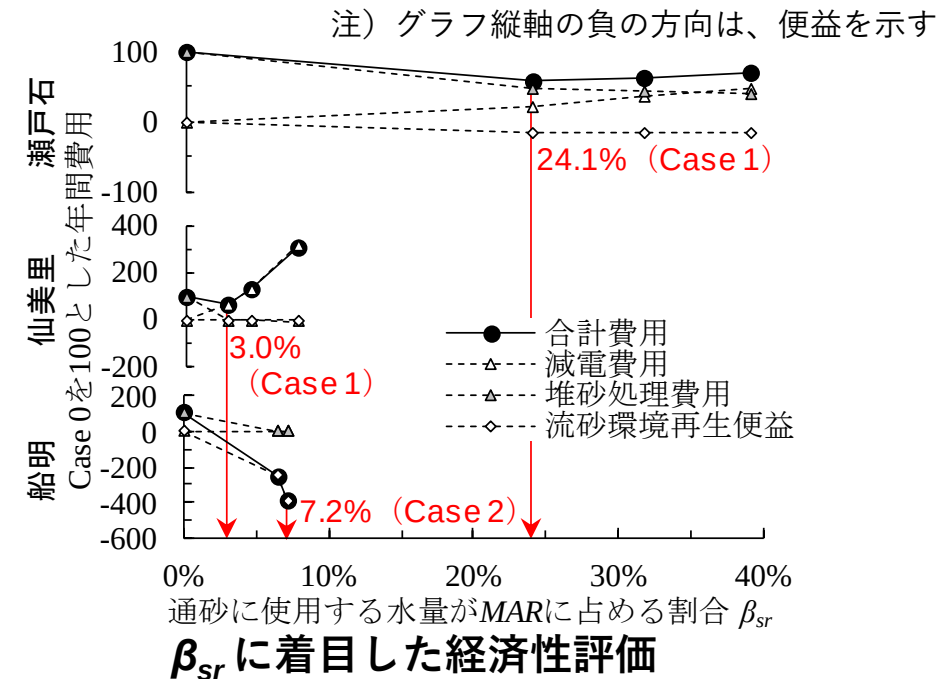
- Case 1～3は、通砂運用により堆砂量が負の値
→ 堆砂処理費用がゼロ、減電費用の影響が大

船明ダム

- Case 1～2は、通砂運用により堆砂量が負の値
→ 堆砂処理費用がゼロ
- 前述のとおり、減電費用もゼロ
- 流砂環境再生便益の影響が大（世帯数に政令指定都市の浜松市を含むため）



各ケースの β_p （発電）、 β_{sr} （通砂）、 β_{of} （未活用）の比較（年平均値）



河床変動数値解析に基づく経済性評価

β_{sr} に着目した経済性評価

- 通砂運用を主要な費用と便益により評価することで、放流水量のアロケーションを減電影響や河川環境を考慮して決定することができる。
- アロケーションの決定要因は、右表に示すとおり各ダムで異なるため、地点毎で評価する必要がある
- 船明ダムのように予備放流水位が低水位以下にあるダムでは、洪水時に通砂運用を実施しても減電の影響が変わることなく便益を大きくすること可能
→ 通砂運用の導入を積極的に検討するべき
- 直列配置された発電用ダム群における連携通砂は、より複雑な評価が必要となる
→ その手法の確立が課題

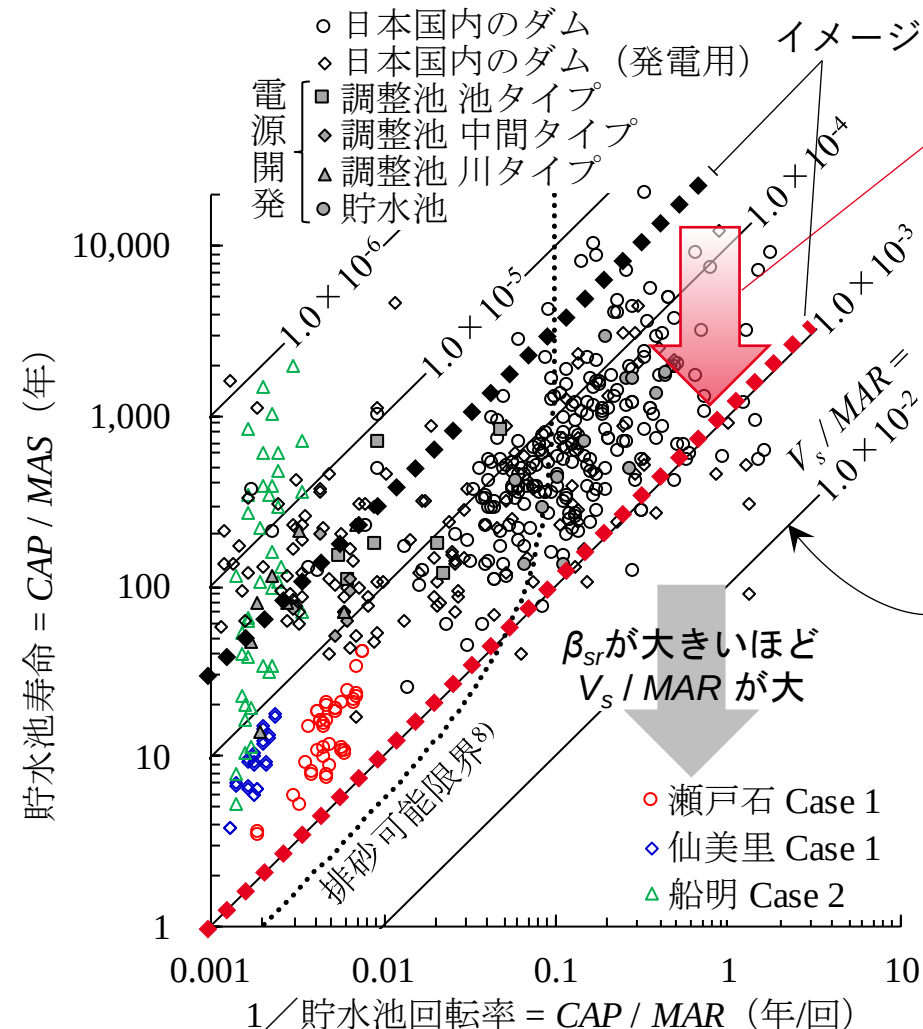
β_p 、 β_{sr} 、 β_{of} のアロケーションの決定要因（例）

区 分	条 件
発 電 β_p	・ 水利使用許可に基づく最大発電使用水量 ・ ダム・発電所のkWh単価，再生可能エネルギーとしての価値 ・ 通砂運用開始の判断に利用する気象予測の精度（空振りリスク）
通 砂 β_{sr}	・ ダム通砂特性（ダム湖の河床勾配，流路長，河床構成材料，比堆砂量，比流量，カスケードダム群の場合はその位置関係等） ・ 施工条件等を考慮した堆砂処理単価，土砂の有効活用方策有無あるいは資源的価値 ・ 流砂環境再生による環境便益価値 ・ 発電や事前放流等のための貯水容量維持・確保の必要性 ・ ダム湖周辺の洪水時冠水懸念リスク低減の必要性 ・ 検討対象ダム下流に配慮した適正量の通砂等の地域特性，制約 ・ 通砂運用中に必要な人件費（ダム下流パトロール，通知通報，ゲート操作等）
未活用 β_{of}	・ ダム流域の出水特性 ・ 予備放流方式を採用しているダムの場合は，予備放流水位と低水位の位置関係

発電用ダムの通砂運用高度化

CAP : 総貯水容量
MAR : 平均年間流入量
MAS : 平均年間土砂流入量
 V_s : ダムからの流出土砂量

貯水池回転率、貯水池寿命および通砂条件式の関係



貯水池回転率、貯水池寿命および通砂条件式の関係

減電の影響を踏まえつつ β_{sr} をいかに大きくするかが、
ダム地点の土砂流出特性 $F_e \cdot \beta_{sr} = \frac{V_s}{MAR}$ を最大化する観点で重要

通砂条件式

$$\frac{V_s}{MAS} \geq 1$$

式を変形

$$\frac{CAP}{MAS} \geq \frac{1}{F_e \cdot \beta_{sr}} \cdot \frac{CAP}{MAR}$$

ただし、 $F_e \cdot \beta_{sr} = \frac{V_s}{MAR}$

F_e は土砂水理学的に決定

地形的因子（地質特性、河川勾配等）、
流況や水利用状況、堆砂の粒度構成、
クレスト／河床水深比^{恩田ら2018等}に依存

β_{sr} は社会的要因を踏まえて決定

再エネや流砂環境再生等の価値に依存

V_s / MAR を大きくする貯水池土砂管理手法

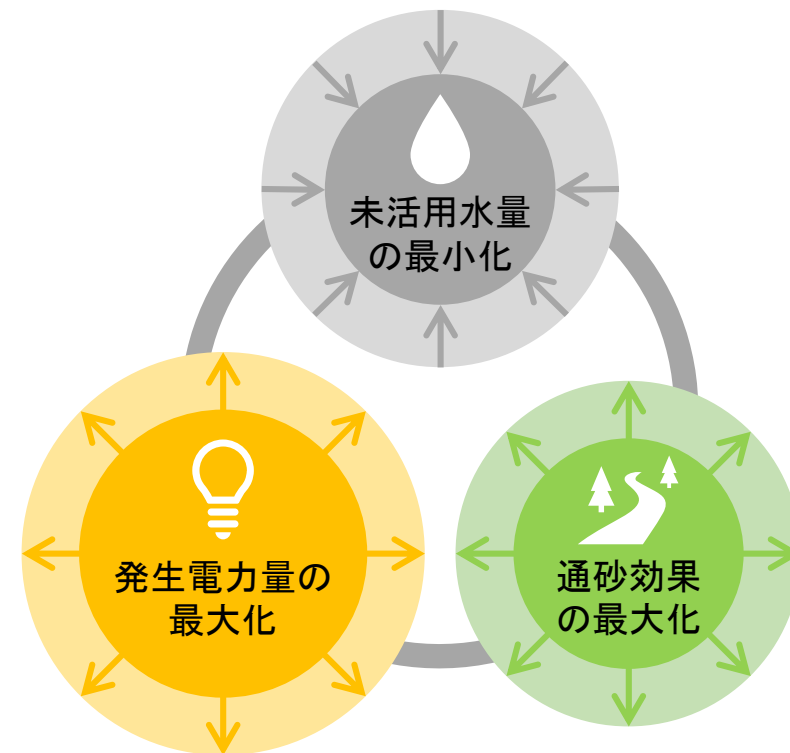
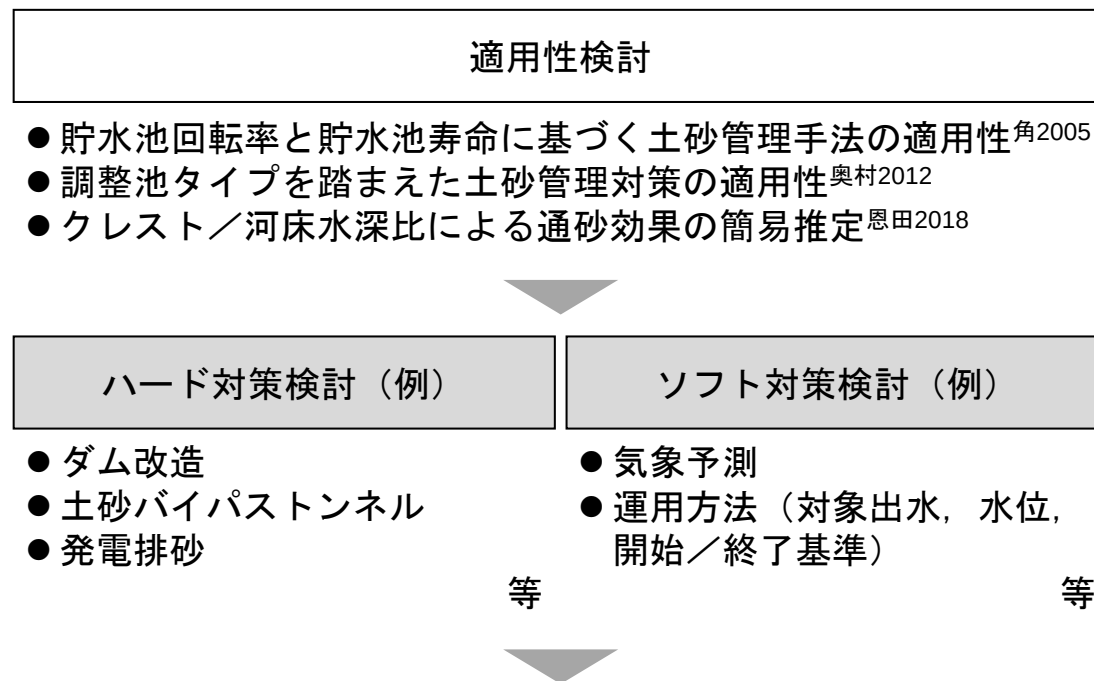
通砂運用の他、ダム改造、土砂バイパストンネル、発電排砂等

β_{sr} を大きくする手法

気象予測の精度向上、通砂運用改善等により減電費用を低減

結 論

- ダムからの放流水量の区分と通砂特性に着目し、**発電用ダムの通砂運用高度化手法を提案**
 - $\beta_p + \beta_{sr} + \beta_{of} = 1$ を制約条件に放流水量の配分を検討し、流入水量の有効活用や社会的な便益を最大化することが重要
- 発電用ダムの通砂運用は、流域総合水管理のうち特に「水の恵みの最大化」および「水でつながる豊かな環境の最大化」を目指すための**「水利用×流域環境」の有効な取組み**



持続可能な水力発電と流砂環境再生を同時に実現

発電用ダムの通砂運用高度化の方向性

今後の課題

通砂運用実績の乏しい調整池川タイプ以外のダム、日本以外のダムの適用性検証

通砂効率 F_e の考察

- F_e は、土砂水理学的に決定できるパラメータ
通砂運用をさらに推進する観点で、 F_e を簡易に推定できる手法の確立が望まれる

流砂環境再生便益の評価

- 本検討では簡易的に、富田ら（2010）が矢作川ダム直下流域で試算した支払意志額に世帯数で補正したものを用いた
- 通砂運用による多面的な効果をよりの確に評価する方法が望まれる

直列配置された発電用ダム群における連携通砂の評価手法

- より複雑な評価が必要であり、その手法の確立が課題