

話題提供

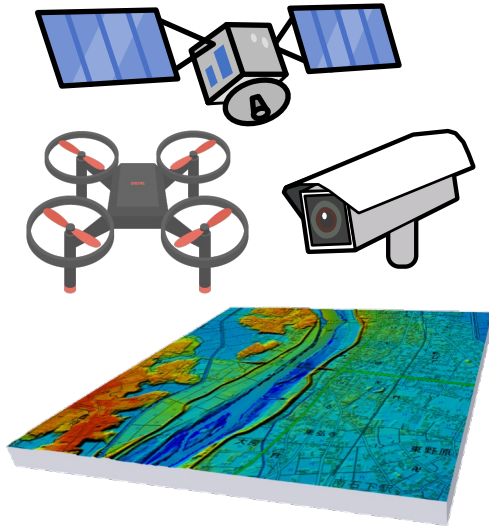
# 3次元計算の世界的なトレンド

国内外の河川流・氾濫流解析モデルのレビュー ～3次元モデルに着目して～

柏田仁 二瓶泰雄

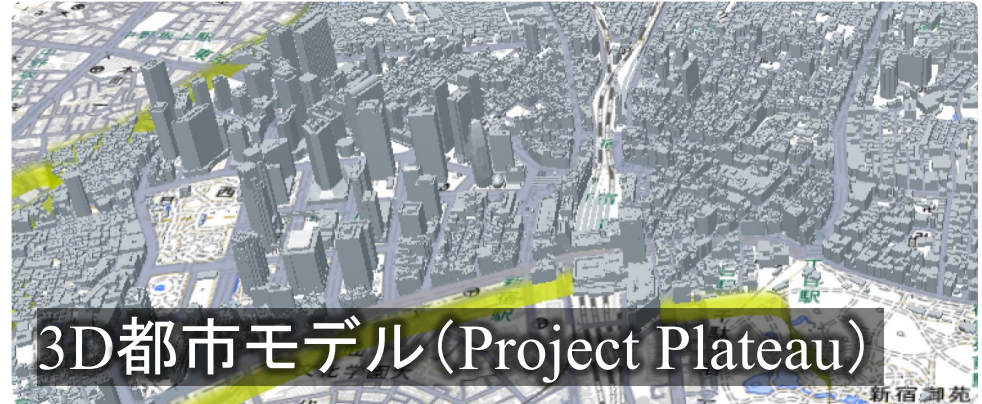
東京理科大学

## 河川観測技術のDX化



人工衛星, ドローン,  
危機管理型水位計,  
ALB, CCTVカメラ  
等の**発展**と**普及**

## デジタルデータのオープン化・3D化



<https://www.mlit.go.jp/plateau/learning/tpc01-1/>

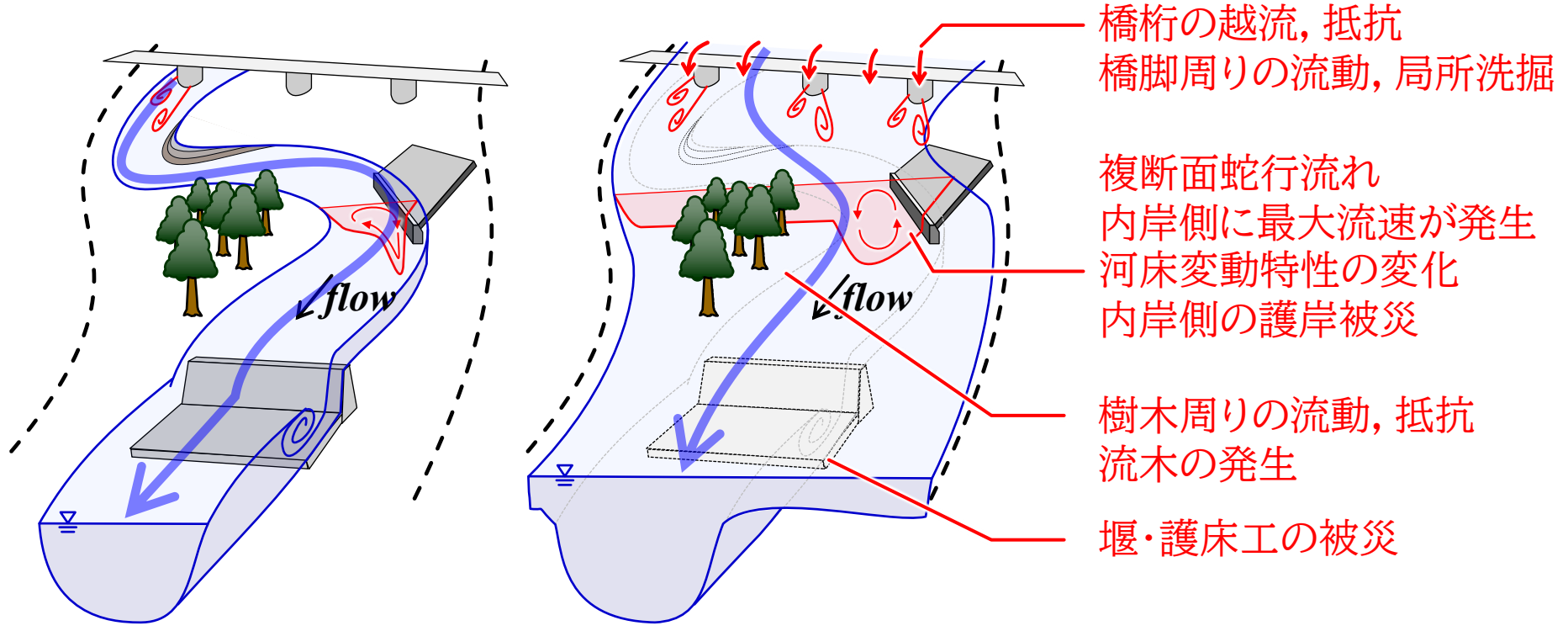


<https://www.ktr.mlit.go.jp/arage/arage01048.html>

**but** 国内の河川流・氾濫流の解析モデルは1D, 2Dが中心

気候変動の進行 ➡ **構造物被災**事例の急速な増大(橋脚, 橋桁, 護岸, 堰, 護床工, etc...)

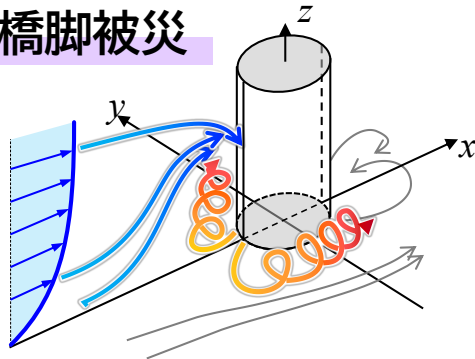
これまで検討不十分な  
河道全体&構造物周りの**三次元性**の影響



従来規模での流動

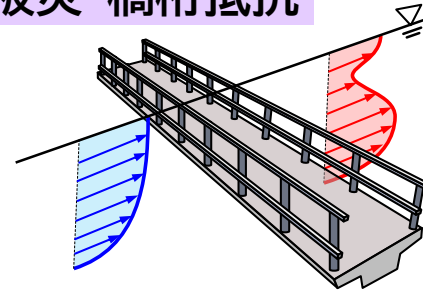
L1~L2規模での流動

## 橋脚被災

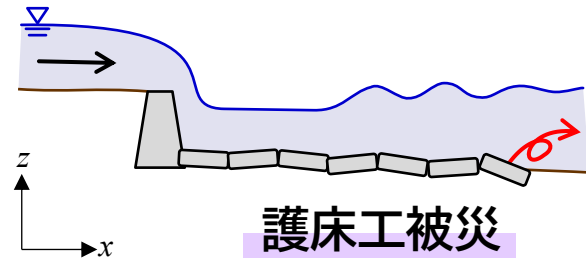
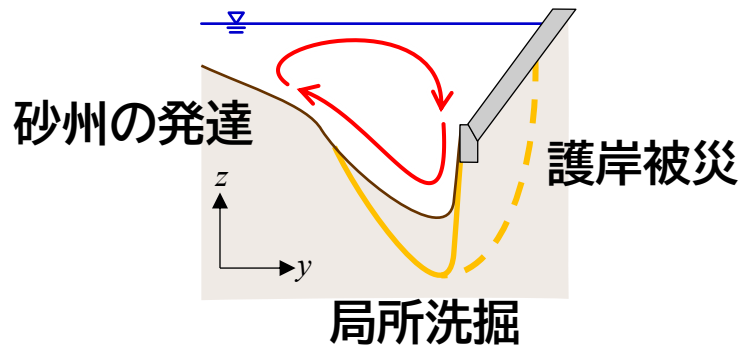


A. Roulund et al.(2005)に加筆

## 橋桁被災・橋桁抵抗

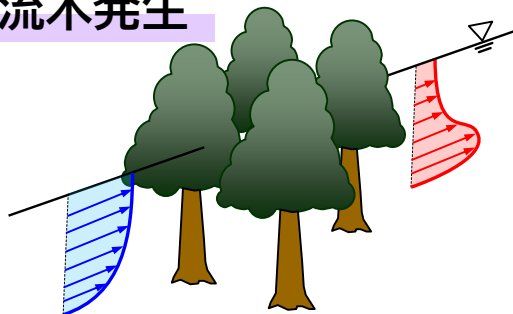


## 二次流に伴う河床変動

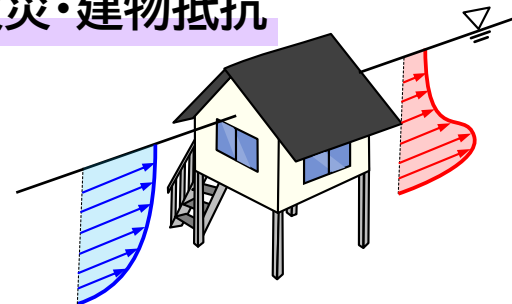


護床工被災

## 樹木抵抗・流木発生

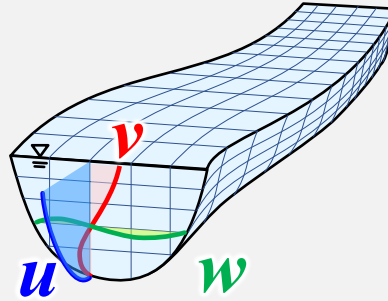


## 建物被災・建物抵抗



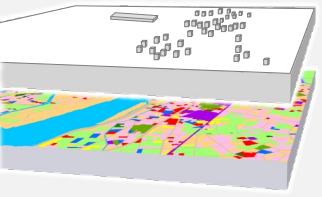
## 3D流動モデル

- ✓ 横断面内の二次流
- ✓ 構造物周辺の複雑な流況
- ✓ それに伴う河床変動



## +3Dデジタルデータ

- ✓ 建物
  - ✓ 被災履歴
  - ✓ 土地利用
- etc...



重点的な河川整備箇所抽出など河川管理の高度化・効率化

## 本研究の目的

## 河川技術DXに資する解析技術の現況を明らかにする

- ✓ 国内外における河川流・氾濫流解析モデルをレビュー
- ✓ 河川流・氾濫流解析に用いられている3Dモデルの概要や適用事例を整理



## 全体検索

1970～2022

river flow simulation/ **one**-dimensional  
river flow simulation/ **two**-dimensional  
river flow simulation/ **three**-dimensional

▶ 1D, 2D, 3Dモデルの論文数 国別の論文数

## 詳細検索

2005～2022

**three**-dimensional / **river** / flow      **SPH** / **river**  
**three**-dimensional / **flood** / flow      **SPH** / **flood**  
**three**-dimensional / **inundation**/ flow      **SPH** / **inundation**

▶ 3Dモデルの論文詳細情報を把握



search on

2005～2022

土木学会論文集, 水工学論文集, 河川技術論文集

▶ タイトルで目星を付け, 論文の中身を確認  
3Dモデルの論文詳細情報を把握

## 流速鉛直分布

直接**解析** 鉛直分布を**仮定**

**3D**

**Q3D**

## 圧力

非静水圧成分を**解析** 静水圧分布を**仮定**

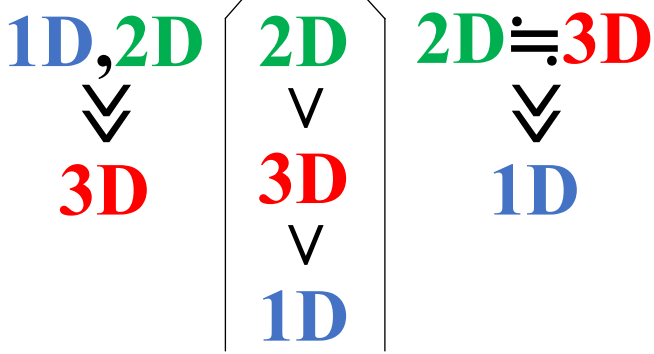
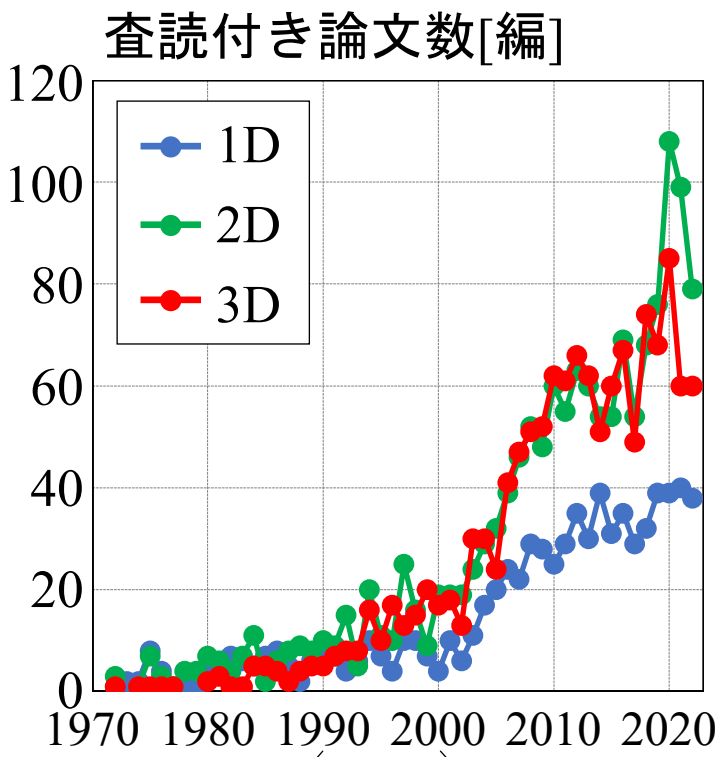
**非静水圧モデル**

**静水圧モデル**

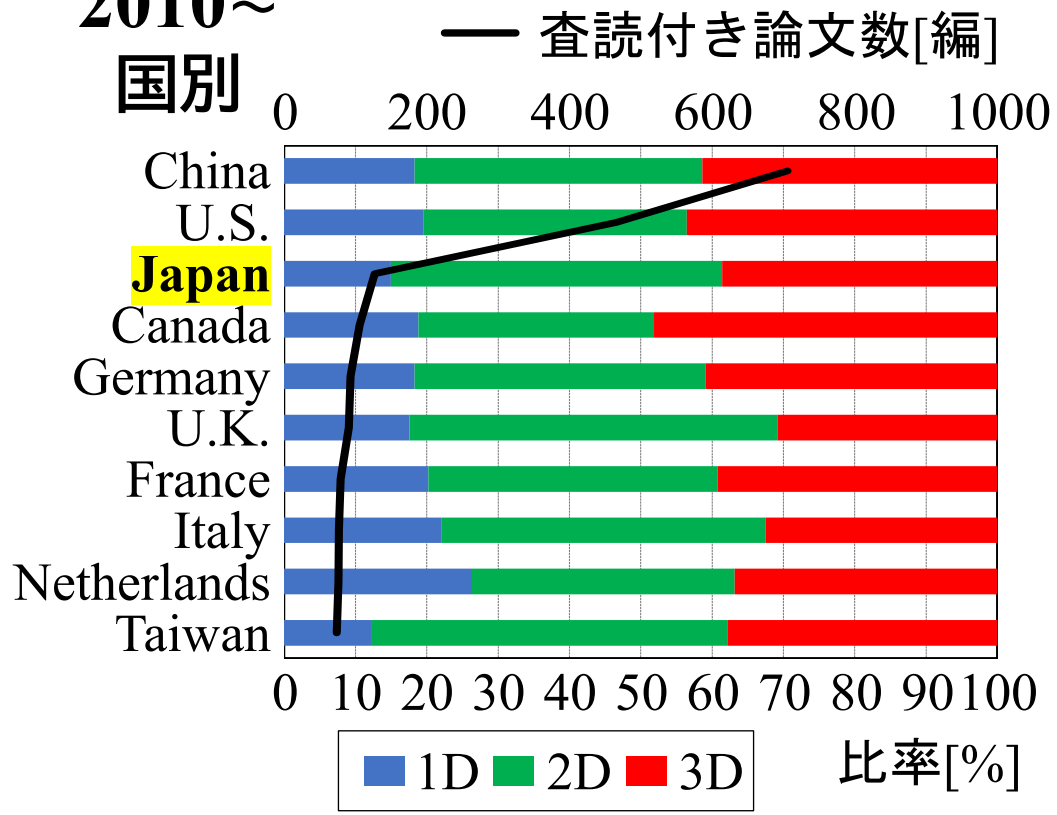




## 全体検索 1970~2022



## 2010~

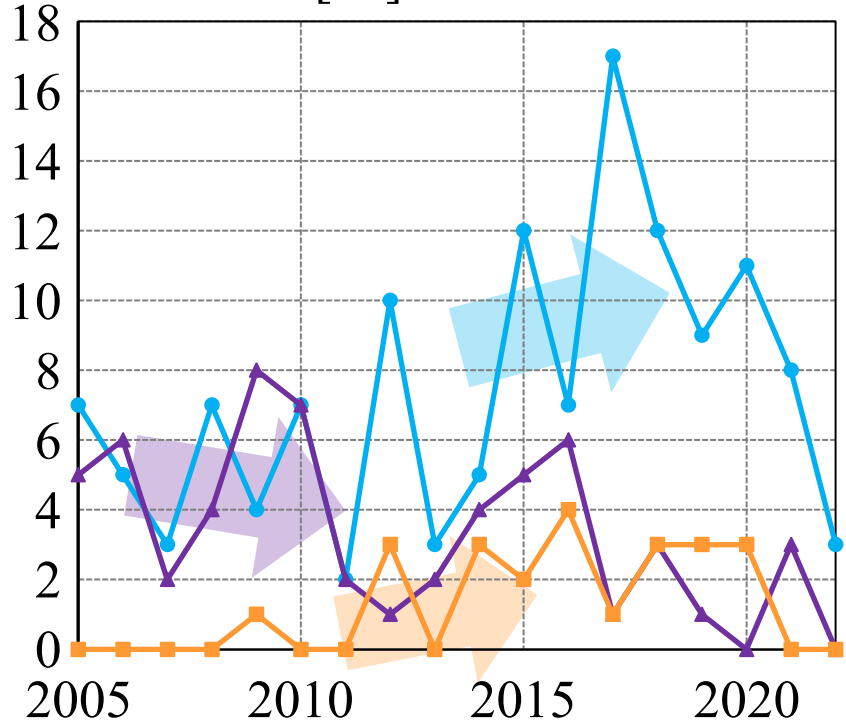


- $2D < 3D$  米国, 中国, カナダ
- $2D \approx 3D$  ドイツ, フランス, オランダ
- $2D > 3D$  **日本**, イギリス, イタリア, 台湾



詳細検索 2005~2022, n=190

年論文数 [編]



河川

増加傾向  
河川流解析の3D化が進む

氾濫域

2011まで:ほぼゼロ  
以降:一定数有り  
氾濫流解析の3D化が進む

河口

塩分遡上等の物質輸送, 水質  
評価の論文が漸減傾向  
論文数が経年的に減少



## 詳細検索 2005~2022, n=190

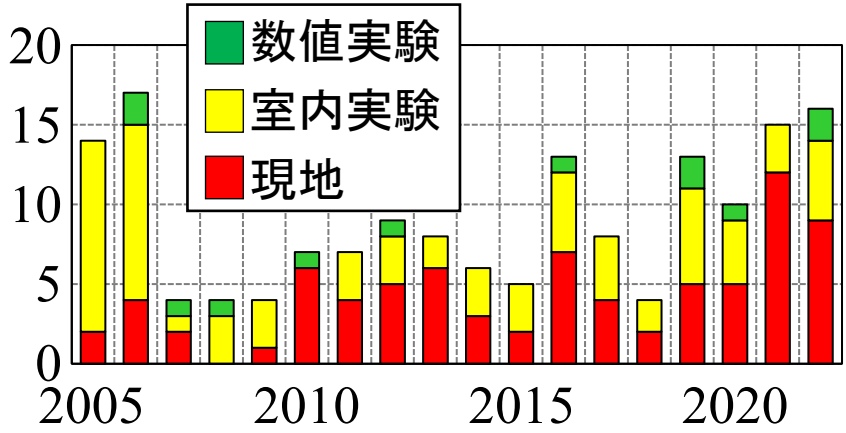
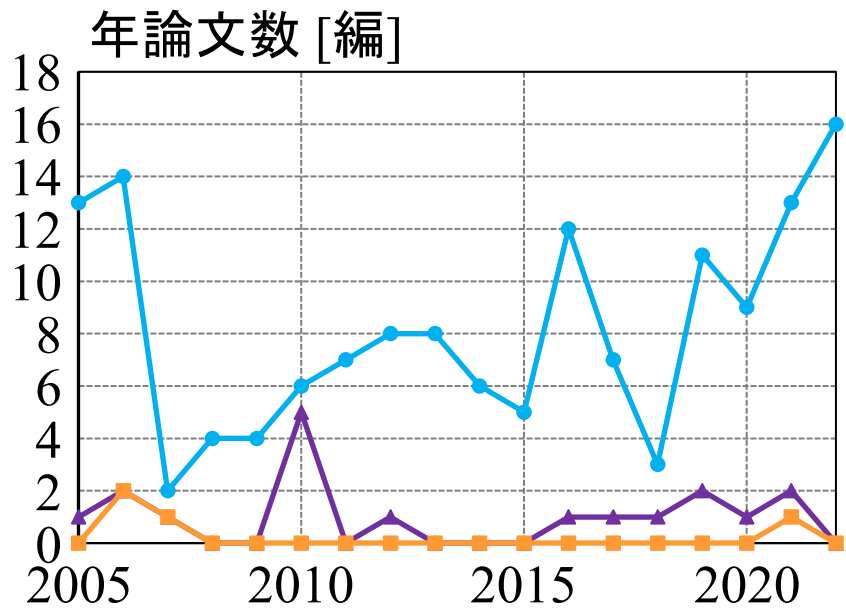
モデルor 第一著者	静水圧			非静水圧			河床 変動	論文総数 (実験)
	文献	適用例	区間長 [km]	文献	適用例	区間長 [km]		
Delft3D	7	Song Hau distributary channel of the Mekong River	85	8	Stillwater Creek in Ottawa, Canada	0.2	●	11(1)
SSIIM	9	River Mosoni-Duna and River Rába	1.3	10	Tanana River	0.7	●	9(4)
FLOW-3D	11	Mississippi River	12	12	Sugar Creek	0.05	●	6(3)
OpenForm	13	Feijão tailing dam	8	/	/	/	●	6(4)
EFDC	14	Chicago River	21	/	/	/	/	2(0)
RSim-3D	15	river Inn	2.5	/	/	/	/	2(0)
Fluent	/	/	/	16	Yellow River	0.06	●	2(0)
McDonald	17	Kootenai River, USA	18	/	/	/	●	/
Sinha	18	Chicago River	21	/	/	/	/	/
Frascati	19	Po River	21	/	/	/	●	/
Munoz	20	Saylorville Dam Break	34	21	Iowa River	18	/	/
Li	22	Poyang Lake	173	/	/	/	/	/
Heer	23	east Don River	41	/	/	/	/	/

適用数  
多

少

**静水圧** 全数の2/3  
長大区間に適用

**非静水圧** 全数の1/3  
限定区間に適用

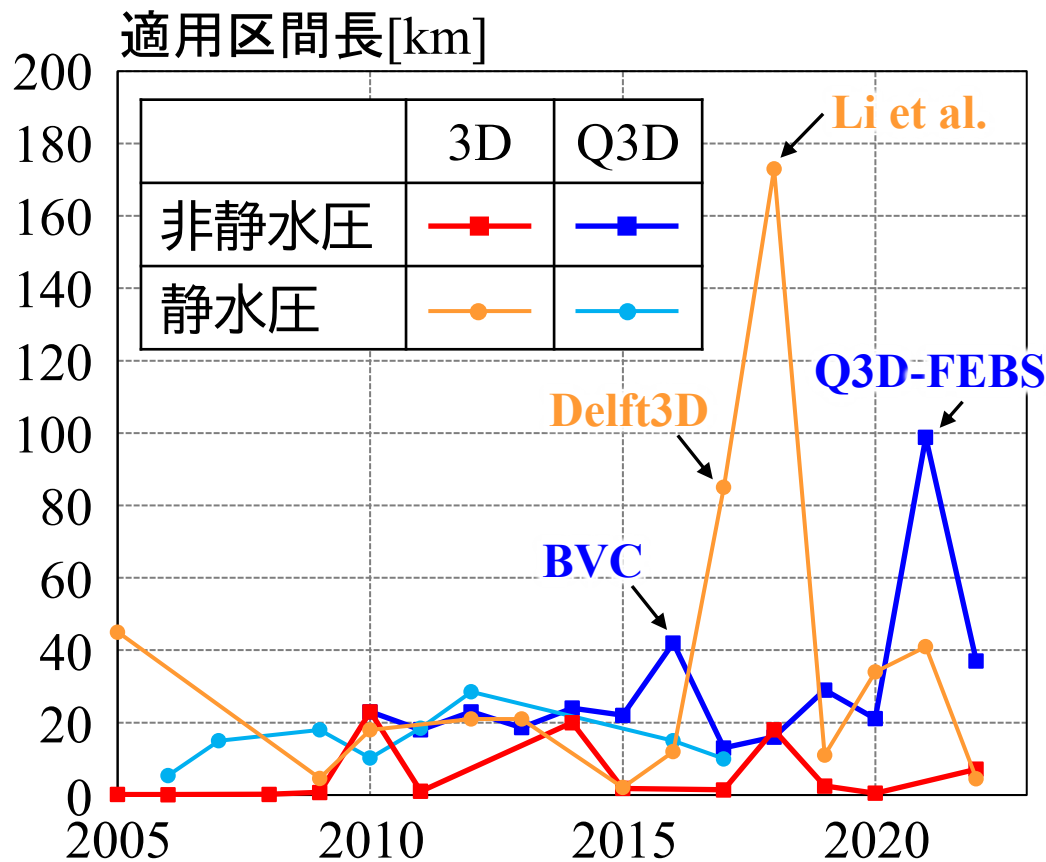


→ 現地への適用が増加

	国内	世界全体
河川	90%	70%
氾濫域	2%	12%
河口	11%	32%

Model	主な開発者・ 使用者	論文数			3D		圧力		土砂		適用例	最大 区間 長 [km]	文献
		総 和	実 験	現 地	Q3D	3D	静水 圧	非静 水圧	掃流 砂	浮遊 砂			
BVC	内田龍彦 (广大), 福岡捷二 (中大)	42	9	33	●			●	●	●	鬼怒川	42	25, 26
NaysCUBE	木村一郎 (富山大学)	12	8	4		●		●	/	/	阿賀野川	20	27, 28
Q3D-FEBS	竹村吉晴, 福岡捷 二, 後藤 岳久 (中 大), 田端幸輔 (国 総研)	12	1	11	●			●	●	●	球磨川	99	29, 30
OpenFOAM	太田 一行 (電中研)	7	5	2		●		●	●	●	仏通寺川	3	31, 32
音田モデル	音田慎一郎, 細田尚 (京大)	5	5	0		●		●	●	●	/	/	33
坂本モデル	坂本洋 (建技), 重枝 未玲, 秋山壽一郎 (九工大)	5	2	3	●		●		●	/	大野川	15	34
CIP-Soroban	吉田圭介 (岡山大), 石川忠晴 (東工大)	5	3	2	●		●		/	/	利根川	18	35
2D-3Dハイブリッ ドモデル	二瓶泰雄, 柏田仁 (理科大)	4	1	3		●	●		/	/	江戸川	45	36

**非静水圧Q3Dモデルの適用例が突出(BVC, Q3D-FEBS)**  
**河床変動解析が世界全体より活発(国内:33%, 海外:11%)**



静水圧  
3D

非静水圧  
Q3D

静水圧  
Q3D

非静水圧  
3D

適用区間長が増大傾向

河床変動計算も連成

BVC:42km

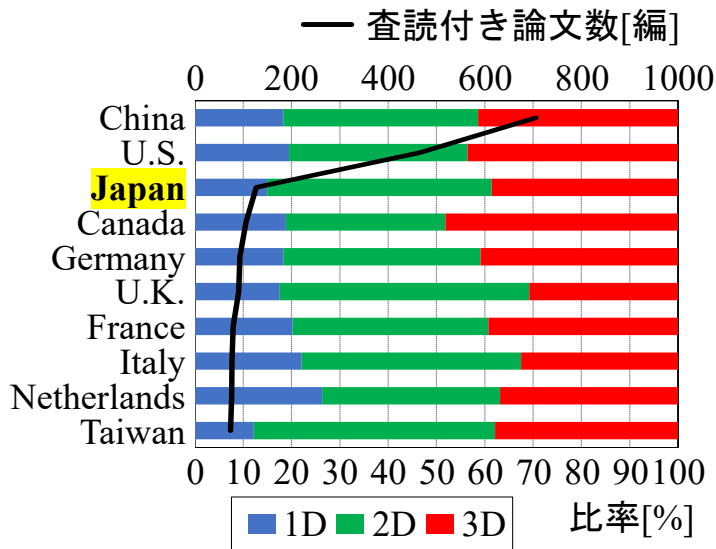
Q3D-FEBS:99km

横ばい傾向

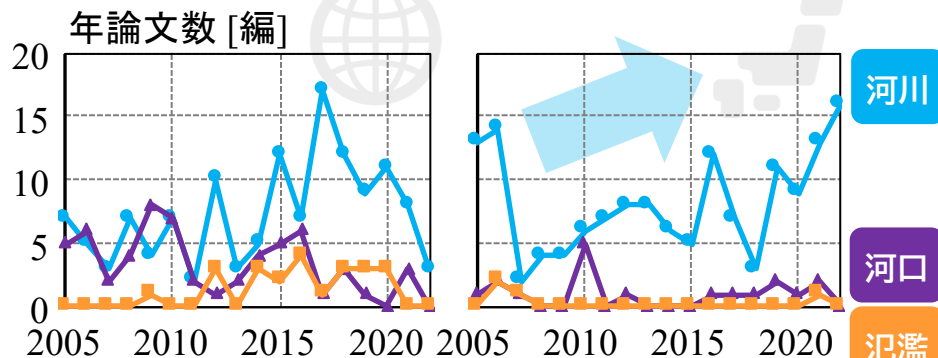
限定的な範囲に適用

モデルの工夫(Q3D)により、非静水圧を考慮する等の高精度を維持しつつ、河川流・氾濫流の広域・大規模3D解析が多く行われている

# 3D観測技術の発展 気候変動による流動の複雑化 各種抵抗の精緻な評価

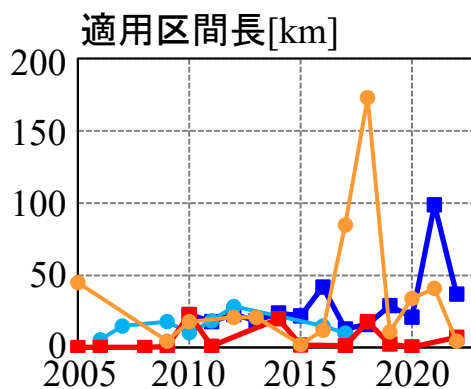


河川流解析の論文数が多い国ほど  
**3D解析が潮流**

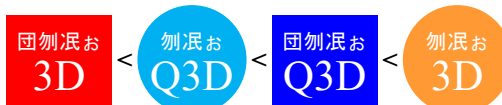


我が国では

**河川流は活発**  
**氾濫流は限定的**



Max 99km  
with 河床変動計算



Q3Dといった工夫により  
**広域・大規模**  
**3D解析が増加**

■ 3D/非静水圧モデル  
適用事例は限定的

Q3Dモデル等のように  
**解析モデル上の工夫や**  
**改良が未だ必要**

**3D解析モデル開発**  
**=ブルーオーシャン**

1. 世界全体では、年と共に3Dモデルの占める割合が増加。  
日本では、実務も含めて1D, 2D計算が主流。  
世界では河川流解析の論文数が多い国ほど、3D解析が潮流になっている。
2. 海外では、適用例として河川は増加、河口は減少傾向であった。また、氾濫域も一定数あり、氾濫流解析の3D化が進んでいる。近年の3Dモデルの適用例の増加は、河川・氾濫域の解析事例の増加が対応した。
3. 国内では、適用エリアとして河川が全体の9割を占め、氾濫域の適用事例が非常に少ない。海外と比べても、氾濫解析の3D化は大きな課題である。
4. 3D/非静水圧モデルの適用区間長は最大20km程度であったが、Q3D/非静水圧モデル(BVC, Q3D-FEBS)はより長区間の河川流解析を河床変動計算も含め実施し、計算効率性と精度の面で優位性が示された。

以上より、我が国における3D解析はさらなる実施が求められるが、世界全体で見ても3D/非静水圧モデルの適用事例は限定的であり、Q3Dモデル等のように解析モデル上の工夫や改良が未だ必要となる。3D解析モデル開発はブルーオーシャンの分野であり、将来的な計算機資源やモニタリングデータの発展を含めて、今後の水工学研究における大いなる展開が期待される。