

Global Hydrodynamics Lab

(Yamazaki Lab @ IIS U-Tokyo)

<https://global-hydrodynamics.github.io/>



Welcome!

Global Hydrodynamics Lab (PI: [Dai Yamazaki](#)) is a part of **Global Hydrology Group** in **Institute of Industrial Science, The University of Tokyo**.

Yamazaki lab is in U-Tokyo Komaba-2 Research Campus in central Tokyo.

Our studies mainly focus on the dynamics of land waters on the global scale, using modelling, remote sensing, and data integration approach.



What is Global Hydrodynamics?

“**Global Hydrodynamics**” is the study of the dynamics of terrestrial waters over the entire Earth.

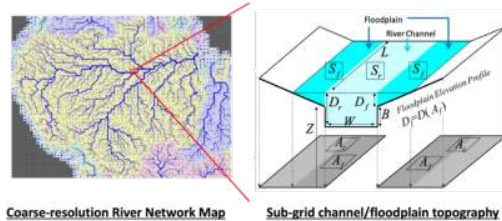
It focuses on the **movement and storage of the surface and sub-surface waters** at multiple temporal and spatial scales from local to global, including rivers, lakes, wetland, soil moisture, and groundwater. It also covers their interactions with related earth surface processes, such as precipitation, evaporation, coastal and ocean dynamics, biogeochemistry, and climate change.

We extensively use **modelling, remote sensing, and data integration approaches** to cover the entire globe, while we also respect in-situ observations to determine important processes in global hydrodynamics and to ensure the robustness of the model conceptualization.

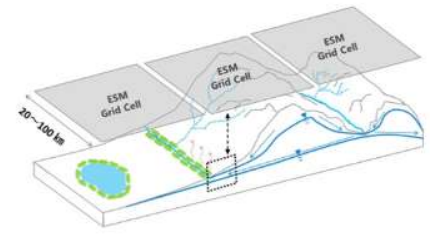
In addition to natural hydrological cycle, we also assess the **impact of the terrestrial water variability to the human well-beings** (e.g. flood, water resources, ecosystem service), and try to understand the reactions of the society (i.e. water resources and hazard management) and their feedback to the global hydrodynamic system.



Global river topography data MERIT Hydro



Global River Hydrodynamics model CaMa-Flood



Sub-grid hydrodynamics approach in Land model

Who are we?

Our lab is one of the world-leading hydrological science bridgeheads, consisting of researchers and students with multiple backgrounds (Earth science, civil engineering, geography, spatial information science, computational science, etc.)

All research staff members belong to [Institute of Industrial Science](#), while we also commit to education in the [Department of Civil Engineering \(Grad School of Engineering\)](#) and in the [Graduate Program of Environmental Sciences \(Grad School of Arts and Sciences\)](#).

How to join us?

We are always looking for new group members with passion, talent and grit. If you love nature and the Earth and want to understand them with data and model, please join us!

You will have the chance to work on frontier science challenges on global hydrodynamics, combining the model, remote sensing and data integration approach. We are happy to work with you to understand, describe and predict the dynamics of land waters across various spatial and temporal scales.

If you are interested in, please contact us by email ([yamadai \[at\] iis.u-tokyo.ac.jp](mailto:yamadai[at]iis.u-tokyo.ac.jp)). We are happy to chat about potential research projects and research life in our group.



Our working space in Komaba-2 campus

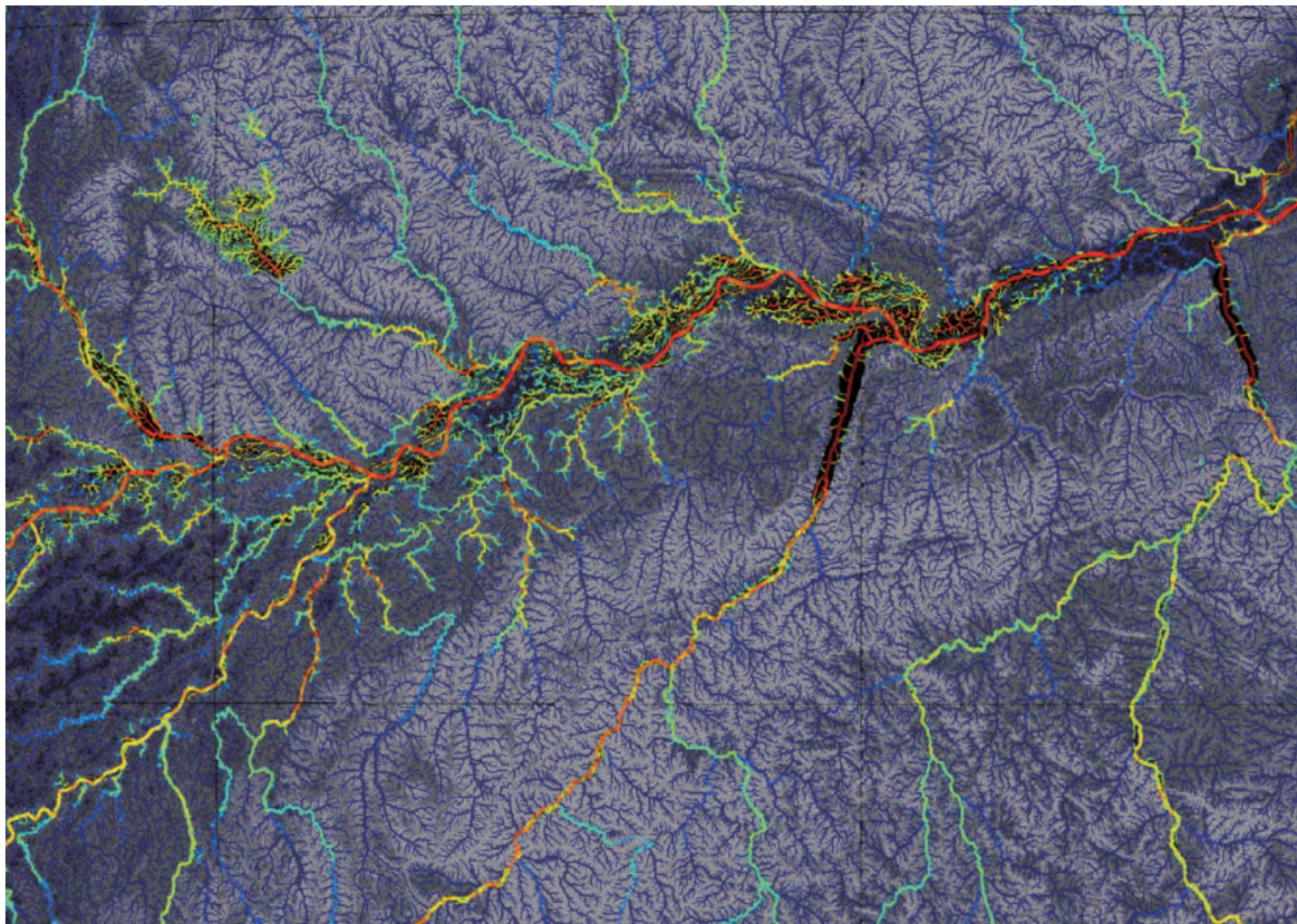
<p>Dai Yamazaki : 山崎 大 PI/Associate professor (Apr 2018-) mail: yamadai [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Global hydrodynamics: modelling, remote sensing, data integration • Personal Website • Google Scholar • ResearchGate</p>	<p>Xudong Zhou : 周 旭东 Project Assistant Professor (Sep 2019-) mail: x.zhou [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Water surface modelling, Human water management • Personal Website • ResearchGate</p>
<p>Megumi Watanabe : 渡辺 恵 JSPS Postdoc (Apr 2019-) mail: megumi [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Climate change impacts on glacio-hydrology, precipitation analysis, hydro-topography data • Personal Website • Google Scholar</p>	<p>Menaka Revell : ৱেল্ল ৱেনাকা Postdoc (Nov 2019-) mail: menaku [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Hydrological data assimilation, Altimetry data on global fresh water, Discharge estimation • Personal Website • Google Scholar • ResearchGate</p>
<p>Gang Zhao : 赵 刚 Postdoc (May 2022-) mail: gangzhao [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Flood hydrology, Hydrological modelling, Machine learning • ResearchGate</p>	<p>Yuki Kita : 北 祐樹 Postdoc (Jul 2022-) mail: yuki.kita [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Atmosphere and Ocean Modelling, Climate Science • ResearchGate • Google Scholar</p>
<p>Taiishi Yazawa : 矢澤 大志 Postdoc (Oct 2022-) mail: yazawa [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Integrated water resources management, Water planning, Environmental education • Google Scholar • ResearchGate</p>	<p>Yuki Kimura : 木村 雄貴 Club Researcher (Oct 2022-) mail: yuki.kimura [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Climate change impact on flood • Google Scholar</p>
<p>Shuping Li : 李 虎平 Ph.D student (Sep 2020-) mail: shuping [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Land surface modelling, hydrology • ResearchGate</p>	<p>Yang Hu : 胡 阳 Ph.D student (Sep 2020-) mail: yong.hu [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Nighttime light data, remote sensing, Flood risk • ResearchGate</p>
<p>Yuki Ishikawa : 石川 悠生 Ph.D student (Oct 2022-) mail: yshikawa [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Water Resources Modeling, At many stations Hydrology, Geometry, Data Assimilation, Remote Sensing • Google Scholar</p>	<p>Youjiang Shen : 沈 友江 Ph.D student (Oct 2022-) mail: yshen2022 [at] rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp • Global Hydrodynamic Modelling, Remote Sensing, Data Assimilation, Surface Water Monitoring • ResearchGate • Google Scholar</p>

Stuff & Ph.D. Students as of 2023 June

Contact:
Yamazaki Lab (IIS Be605)
4-6-1 Komaba, Meguro-Ku
Tokyo, 153-8505, Japan



Global Hydrodynamics Lab
@ IIS U-Tokyo
PI: Dai Yamazaki
[yamadai \[at\] iis.u-tokyo.ac.jp](mailto:yamadai[at]iis.u-tokyo.ac.jp)



磨く

凸凹だらけの地形データを磨く

今日の降水確率は10%、平均気温は14℃。1884年に東京気象台から日本初の天気予報が発表されてから、はや136年。降水の有無の適中率は85%を超えます。実は天気予報も気候変動予測も、高精度な予測には精密な地形データが必要です。しかし、世界ではさまざまな団体が多様な手法で地形を観測しており、地域ごとに精密さはまちまちです。

山崎大准教授は、地形データから複数の誤差成分を自動で取り除くプログラムを世界で初めて作りました。衛星観測情報や世界各地の自治体を持つデータなど、あらゆるデータを集め、磨き、地球全域を対象とした世界最高精度の標高と河川地形のデータを、Google Earth Engineに提供しています。誰でもデータを使えるため、3,000を超える研究機関から相談が殺到。磨かれた地形データは、最先端研究と今後の暮らしを支える、陰の立役者なのです。



機械学習による衛星降水量推定 ML-based Satellite precipitation estimate



坂内 匠



金 炯俊



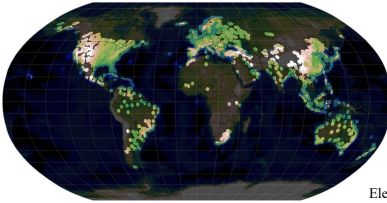
山崎 大



人工衛星を用いた全球降水観測

降水は水循環・水資源や災害管理において重要な役割を担っており、正確な観測が必要です。気象レーダーの設置地域は限定的であり、人工衛星による全球降水観測が期待されています。

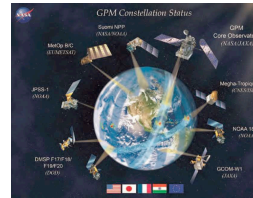
The global weather radar coverage



雨量計・気象レーダーは設置が難しい地域があったり、設置・維持にコストが発生する為、未だに全球の正確な降水量は把握できていません

Elena et al. 2019

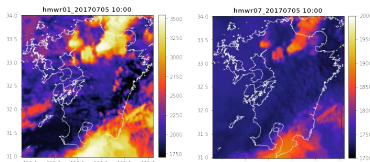
Global Precipitation Measurement



日米を中心とした国際協力の下で進められている全球降水観測計画 (GPM計画)では、世界各国の複数の衛星が連携して、地球の雨や雪を観測しています

衛星観測値を地上降水量へ変換するアルゴリズムはまだ研究段階であり、近年はその複雑な関係性を捉えるために、機械学習を用いた手法が数多く提案されています

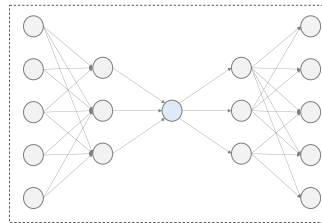
入力 (衛星観測データ)



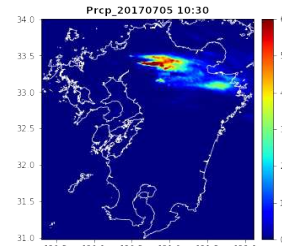
降水量推定に向けた衛星観測データとして、マイクロ波や赤外放射計による観測値が利用されます

機械学習モデル

Neural network



出力 (降水量)



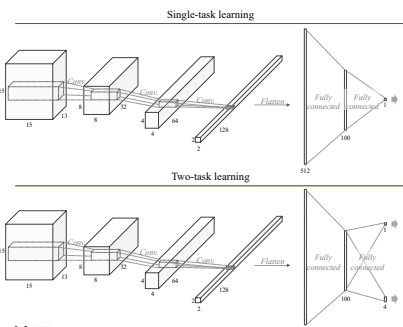
気象レーダーによる観測値をもとに、入出力データの関係性を学習します。空間パターンを効率よく学習するために、CNN(Convolutional neural network)がよく利用されます

雲微物理の降水過程に基づいたニューラルネットワーク設計

全球降水量推定に向けた新たなニューラルネットワークの提案

全球降水観測計画(GPM)における新たな降水量推定アルゴリズムを提案しました。降水量推定に適したニューラルネットワークを設計することで、従来型のニューラルネットワークと比較し、同じ入力データにも関わらず高い推定精度を達成しました

ネットワーク設計

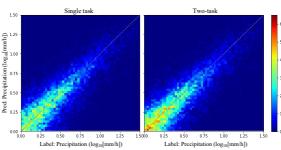


CNNを利用した従来型のモデル(上段)と学習時にRain-rateとRain-maskを同時に考慮することで精度向上を実現したモデル(下段)

損失関数とニューラルネットワークの構成を工夫することにより、同じニューラルネットワークでも最大27%の精度向上を実現

結果

Rain intensity	Indices	Single-task	Two-task	Performance gain
All	RMSE	0.398 ± 0.008	0.377 ± 0.006 *	5.276%
	Area	0.999 ± 0.000	0.999 ± 0.000	0.000%
	CC	0.938 ± 0.005	0.937 ± 0.003 *	1.951%
Weak	RMSE	0.428 ± 0.013	0.342 ± 0.015 *	20.093%
	Area	0.656 ± 0.1	0.811 ± 0.072 *	23.628%
	CC	0.419 ± 0.002	0.523 ± 0.009 *	22.308%
Moderate	RMSE	1.586 ± 0.069	1.416 ± 0.057 *	10.719%
	Area	0.787 ± 0.065	0.812 ± 0.049 *	3.177%
	CC	0.744 ± 0.009	0.765 ± 0.007 *	2.823%
Strong	RMSE	8.869 ± 0.317	8.574 ± 0.267	-0.056%
	Area	0.672 ± 0.039	0.649 ± 0.036	-3.423%
	CC	0.729 ± 0.015	0.73 ± 0.013	0.137%



気象モデルと衛星観測データを組み合わせた降水量推定モデル

静止軌道衛星から取得できる高い時空間解像度のデータを用いた降水量の推定アルゴリズムを提案しました。衛星から取得できる赤外バンドに加えて、気象モデル(ERA5)による雲水データを利用しています。雲水データの情報を効果的に学習できるネットワークを設計し、単純な入力データを追加したモデルより高い精度を実現しました

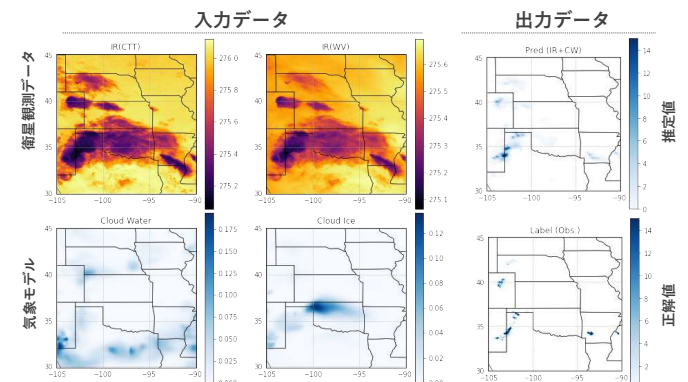
損失関数

$$\arg \min L_{\text{total}}(\text{Precip}_{\text{obs}}, \text{Precip}_{\text{est}}, \text{RainMask}_{\text{obs}}, \text{RainMask}_{\text{est}}, \text{CloudWater}_{\text{obs}}, \text{CloudWater}_{\text{est}})$$

$$L_{\text{total}} = w_1 * \text{Loss}_{\text{MSE}}(\text{Precip}_{\text{obs}}, \text{Precip}_{\text{est}}) + w_2 * \text{Loss}_{\text{BCE}}(\text{RainMask}_{\text{obs}}, \text{RainMask}_{\text{est}}) + w_3 * \text{Loss}_{\text{MSE}}(\text{CloudWater}_{\text{obs}}, \text{CloudWater}_{\text{est}})$$

$$\text{Loss}_{\text{MSE}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \text{Loss}_{\text{BCE}} = - \sum_{i=1}^N y_i \log \hat{y}_i$$

降水量の予測誤差に加えて、雲水の予測誤差も損失関数に追加



衛星(IRバンド)が雲上層部の情報(雲頂高度等)を取得しているのに対して、雲の中下層部の情報として雲水の物理量が有効と想定

Understanding the Substantial Impact of Levees on River Hydrodynamics

河川水動態に堤防が与える影響



Gang Zhao Dai Yamazaki Xudong Zhou

River hydrodynamics change after levee construction

Levees play a crucial role as important infrastructures to mitigate flood hazards worldwide. Over time, the number and standard of levees have been continuously improving to meet the needs of society. However, previous studies have revealed that levee changes river hydrodynamics and flood risk, not only at the levee location but also at its upstream and downstream.



Fig. 1: (a) The levees in New Orleans and (b) the flooding caused by the breach of these levees during Hurricane Katrina.

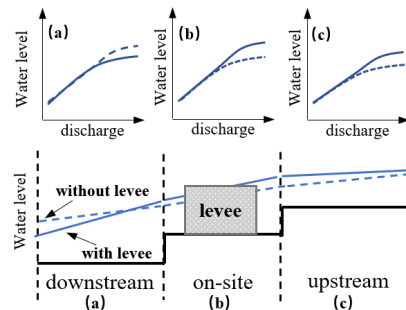


Fig. 2 The change of rating curve (water level-discharge relationship) after levee constructing

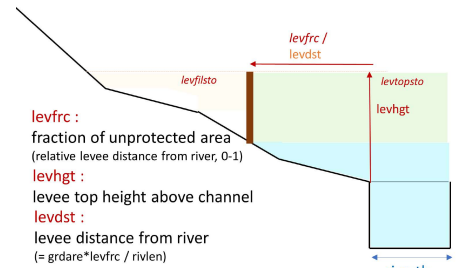


Fig. 3 CaMa-Flood two additional parameters for levee module (we need levfrco and levhgt)

Current global flood models (GFM) have yet to incorporate these levee-induced hydrodynamic alterations, largely due to the challenges presented by the sparse levee data worldwide and the complexity of integrating such process into GFM structures.

Introducing the New Levee Module in the CaMa-Flood River Hydrodynamic Model

Module Parameters

- A simple levee scheme is developed with a minimum required parameter sets

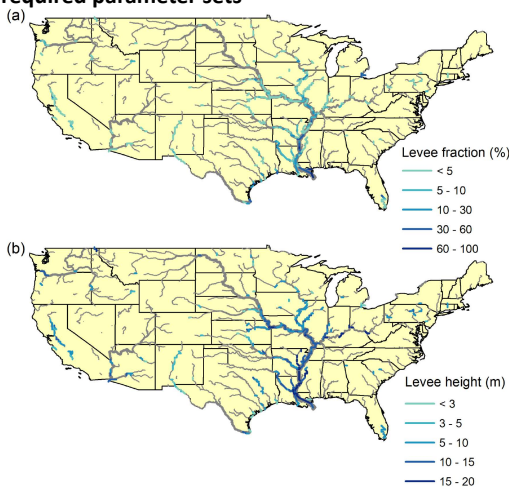


Fig. 4 Levee parameters in the US (a) Levee fraction (levfrco); (b) Levee height (levhgt): These two parameters are derived from the National Levee Database of US

Module Structure

- Four cases are considered in the flood routing

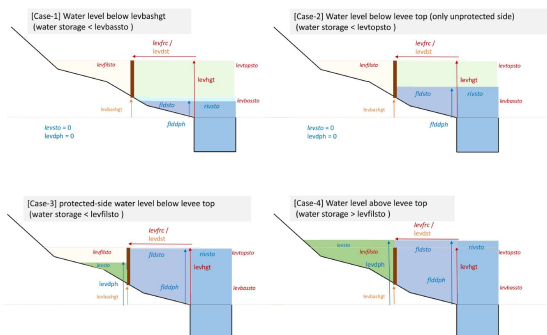


Fig. 5 Calculation of flood stage using the levee module in the CaMa-flood

Simulation Results

- Improving simulation performances by Considering Levees

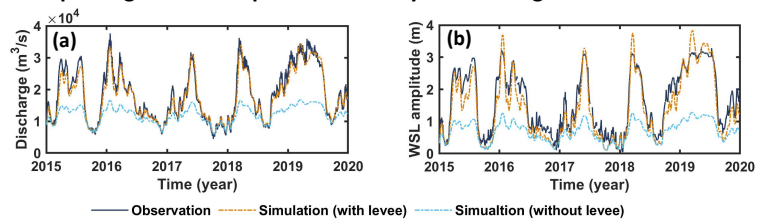


Fig. 6. Simulations from the CAMA-Flood model for a station downstream of the Mississippi River, showing (a) discharge and (b) water surface level (WSL) under two scenarios - considering and not considering the presence of levees.

- How Levees Influence river hydrodynamics across the US

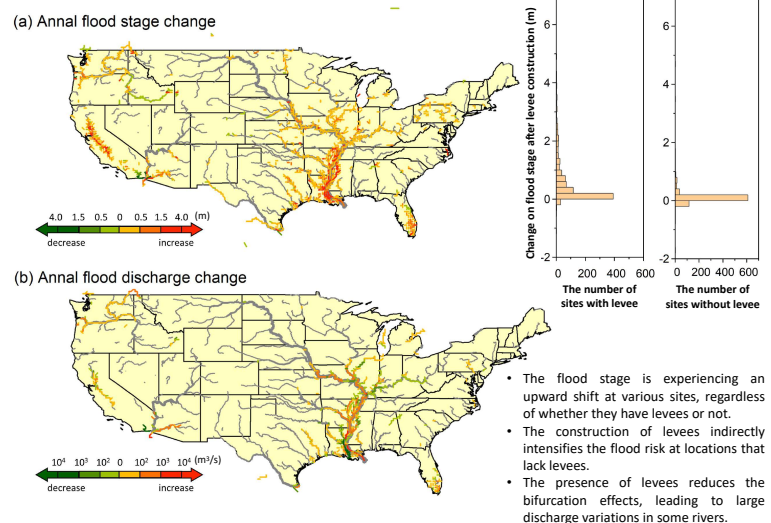


Fig. 7. Annual flood stage (a) and flood discharge (b) variations after the levee construction.

We employ the US to demonstrate our model owing to its rich observational data. Currently, we've developed a method for estimating levee parameters on a global scale. This method can assist in understanding the influence of levees on flood hazards and risks in data-sparse regions worldwide.

(Email: gangzhao@rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp)

金融界で進む気候変動対応 - 気候・災害モデルが果たす役割 -



北 祐樹



木村 雄真



服部 公輔



山崎 大

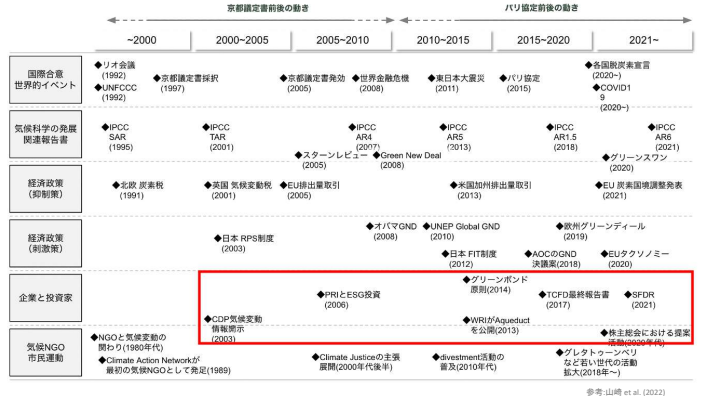
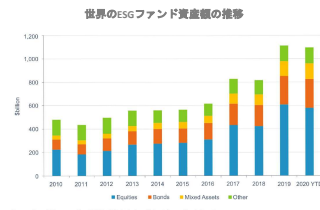
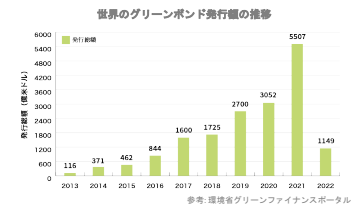


10cm x 10cm

金融界の現状・課題

企業や投資家など金融界で、気候変動リスクの管理を目指す動きが加速しています

2008年のリーマンショックを機に、ESG分野が経済にもたらすリスクが注目され始め、2015年のパリ協定を経て、特に**気候変動リスク対応の重要性が年々増えています**。ESG投資が拡大し、地域や企業の気候変動適応にも新しい資金が拠出されるようになるとともに、グリーンボンドやインパクト投資、サステナビリティ・リンク・ローンなど**新しい金融手法**も次々に登場しています。また、世界の中央銀行では、**気候ストレステスト**が実施され始めています。

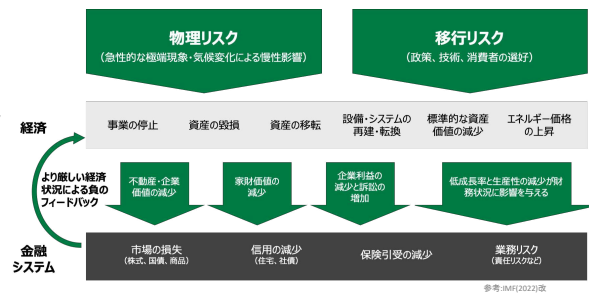


気候変動リスク算定手法の開発や効果的な制度枠組みの整備が課題になっています

最近では、TCFD(気候関連財務情報開示タスクフォース)が提示している枠組みなどを中心に、企業は自身が気候変動に与える影響や、直面する気候変動関連リスクについて**より一層の透明性**が求められています。金融界では特に以下の2種類のリスクに注目しています。

- ・**物理的リスク**: 洪水や台風、極端気象などの急性リスク・長期の温度上昇などの慢性リスク
- ・**移行リスク**: 炭素税政策や消費者選好の変化など脱炭素社会へ移行する際に伴うリスク

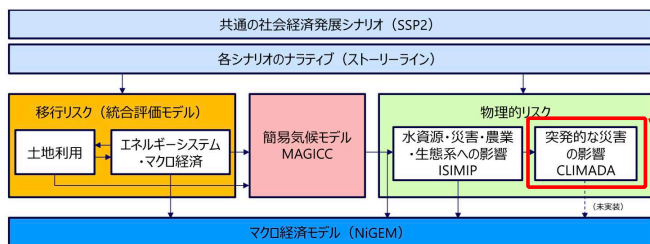
しかし、企業の立地や業種に応じた、物理リスクと移行リスクの算定するのは難しく、**災害シミュレーションモデルや気候モデルと経済・金融影響を結びつける方法の発展**が重要となっています。各国間や大企業と中小企業の間で、**より公平かつ効果的に気候変動対策を進めるための制度的枠組みを整備**することも課題となっています。



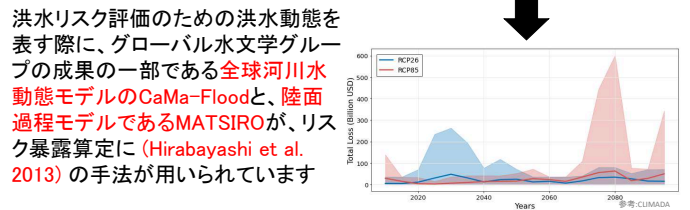
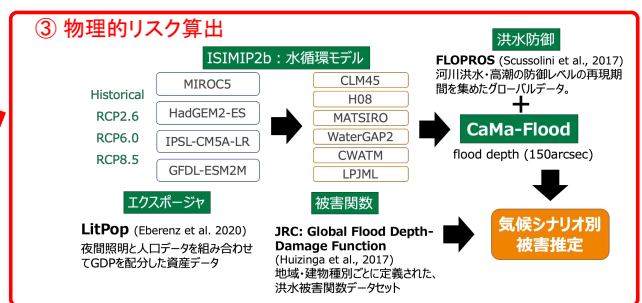
東京大学グローバル水文学グループが果たす役割

グローバル水文学グループの成果は金融界における気候変動対応に活かされています

NGFSによる物理的リスク(洪水影響)の評価方法



※NGFS: Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System
金融界の気候変動リスクに対処するため設置された世界の中央銀行・金融監督当局のネットワーク。日本からは日本銀行や金融庁が参加。



進行中の関連する研究分野

企業の営利活動と脱炭素移行が両立する為の制度設計の検討
企業の気候変動への緩和・適応努力が、企業価値や財務パフォーマンスに影響を与えるメカニズムの分析

Group A: 短期利益優先 Group B: 長期利益優先

$$\pi_1 = p_1(g_1) \cdot q_1 - C_1(q_1, g_1)$$

$$\pi_2 = p_2(g_1 + g_2) \cdot q_2 - C_2(q_2, g_2)$$

・企業の脱炭素行動の影響がサプライチェーンを通じどのように波及するかを表すフレームワークの構築

DSGEモデルを用いて
グリーン選好や規制の影響を捕捉

グリーン規制をかけると影響がどう波及するか? 最適な制度枠組みは?

家計部門 | 金融部門 | 企業・最終生産企業・中間生産企業... | 政府・中央銀行

グローバルな将来の洪水リスク評価を行うための研究

- ・将来の極端な洪水イベントをを表現する上で、不確実性やバイアスをどのように表現し、処理するかについての分析
- ・生成された将来ハザードマップをどのように検証するかについての分析

全球河川土砂・栄養塩モデリング

Global River Model with Sediment and Nutrient Transport



石田 紘大



鳩野 美佐子



山崎 大

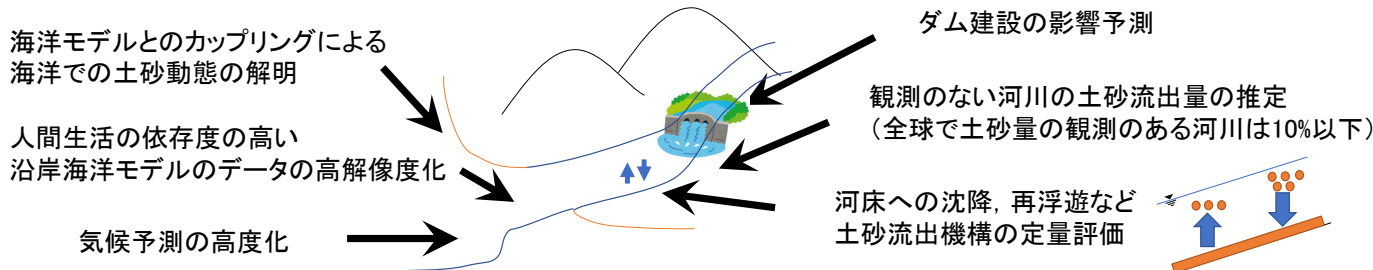


河川は淡水だけでなく、大量の土砂・栄養塩を輸送している

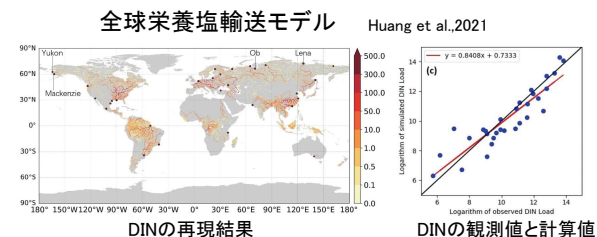
河川由来の土砂・栄養塩は海洋循環・海洋生態系に大きな影響を及ぼしています。

全球の河川から流出する土砂は海洋に堆積するだけでなく、栄養塩も輸送します。その栄養塩は海洋を循環するため全球で大きな影響を与えます。さらに、海洋生態系の変化は将来の気候変動にも影響します。

全球河川土砂・栄養塩動態モデルにより、河川からの土砂・栄養塩流出機構を理解し、海洋への影響を評価できると期待されます。



河川の土砂・栄養塩輸送を定量的に評価し、全球での物質収支を把握する必要がありますが、その手段である**河川での土砂・栄養塩輸送の全球モデル**は発展途上です。



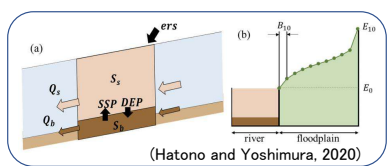
全球土砂・栄養塩輸送モデル構築の課題

- 左図に示すモデルでは、全球で栄養塩輸送を再現していますが、時間解像度が低いです。(年平均値)
- 流域の土砂流入量は、降水・傾斜・土壌・土地利用等から推定しますが、全球でそれらのデータ整備は不十分です。
- さらに、土砂フラックス推定に必要な河川の流速、水深を計算できる全球モデルはほとんど存在しません。

全球河川土砂動態のモデリングとリモートセンシングの融合

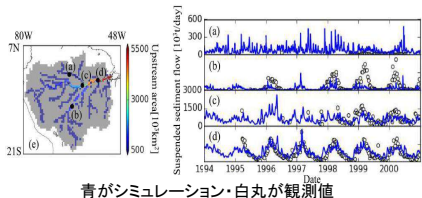
全球河川土砂動態モデル

CaMa-Sediment

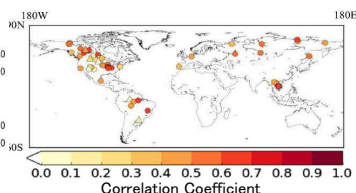


全球陸域モデルILS(Nitta et al., 2020)に組み込むことで、CaMa-Floodの全球での水深・流速を利用して土砂輸送の物理プロセスの詳細を表現するモデルの開発に成功しました。

(1) アマゾン川での周年変動

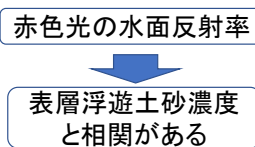


(2) 全球での再現結果

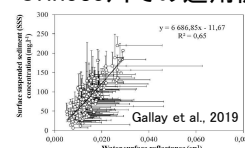


土砂動態のリモートセンシング

衛星による河川土砂濃度の推定



Orinoco川での適用例



アメリカでの河川の色測定

Modal color (~true RGB color) Gardner et al., 2020



反射率と土砂濃度の関係は流域ごとに異なるが、例えば河川の色の時空間分布は測定可能である。

- +
 - +
 -
- 時空間的に整合性の取れた推定が可能
- 再現できない物理現象およびデータの誤差に起因する不確実性

- +
 - +
 -
 -
- 高頻度・広範囲のモニタリング
- 季節変動・空間分布を捉えられる
- 反射率と土砂濃度の関係にばらつき
- 土砂フラックスは求められない

リモートセンシングから推定した季節変動でモデルを拘束することで、時空間的に連続な全球河川土砂動態の解明ができると考えられます

衛星観測を用いた河川流量の空間変化の推定

Estimation of spatial discharge change from satellite



現地観測に頼らずに河川流量の変化を知ることができるのか？

効率的な水資源管理のためには、河川流量の空間変化をモニタリングすることが重要です

人間社会と河川は相互に作用しあっています

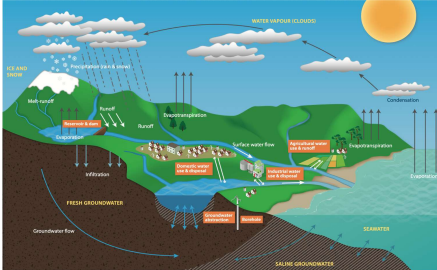


図1: 人間活動を含む地球の水循環

河川を人間が利用しやすいように改変することで(図1のオレンジ部分)、河川の流量・水質・形状は自然な状態から変化します。

- 例1: 発電・灌漑・洪水制御のためのダム・堤防の建設により、河川の流量や流路が変化
- 例2: 農業・産業・生活取水により流量が減少

一方で、河川の状態(図1の白・水色矢印)が変化すると、人間の生活にも様々な影響が生じます。

- 例1: 少雨による流量減少で水不足が発生
- 例2: 都市化による流出速度の増加により洪水の被害が増大

人類の水利用の49%は河川から供給されています

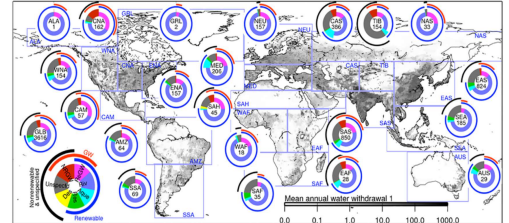


図2: 各補給における取水源の割合 (Hanasaki et al., 2018)

多くの地域では河川が主な取水源(図2の青色部分)となっているため、その管理は人間生活にとって極めて重要です。

人間活動による水資源量の変化を地球規模でどのように正確に把握するかが課題となっています

河川流量の現地観測所は点在・偏在しています

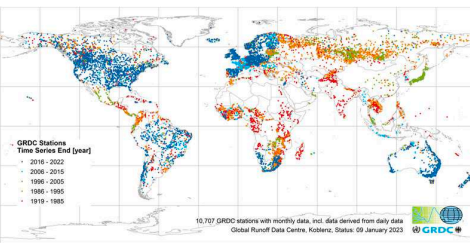


図3: 世界の河川流量観測所の分布 (GRDC)

既存の全球水資源モデルでは、現実の観測情報は限定的にしか考慮されていません

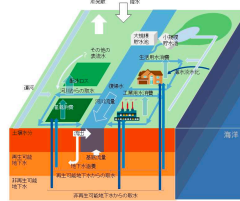


図4: 全球水資源モデルH08 (Hanasaki et al., 2018)

正確な河川に関する情報は流量の現地観測所から得られますが、途上国や自然環境の厳しい地域では設置が難しく、流況の把握が困難です(図3)。

このような未観測流域を含む全球規模の水資源量の推定には、人間活動を含む全球水資源モデルが利用されています(図4)。より正確な推定のためには、現実の観測情報を用いてモデルのパラメータや推定値を補正する必要があります。しかし、

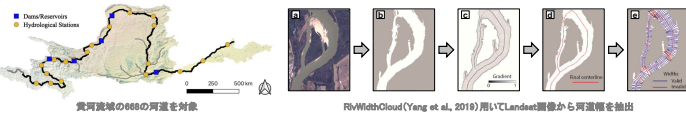
- ◆ 流量を含む水文観測情報の不足
- ◆ モデル・観測の融合スキームの複雑さが原因で、観測情報の考慮は限定的となっています。

このような空間的制約を解決する手段として、世界中どこでも観測できる衛星の活用が進んでいます。そこで、衛星観測データを用いて、流量の変化をどれほど把握できるのか検証してみました。

衛星観測から人間活動が河川流量の空間変化に与える影響を推定

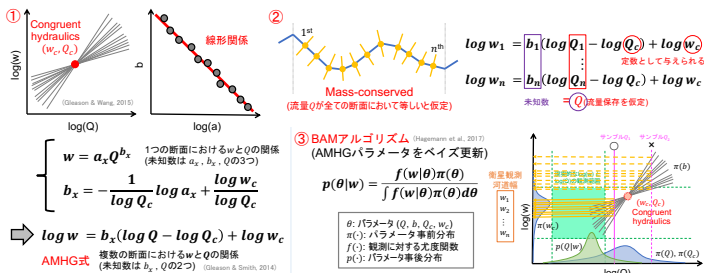
手法・理論

黄河主流を対象に、4010枚のLandsat画像から668の連続した河道(中央値5.6km)における河道幅を500mごとに推定。



RivWebCloud(Yang et al., 2016)を用いたLandsat画像から河道幅を抽出

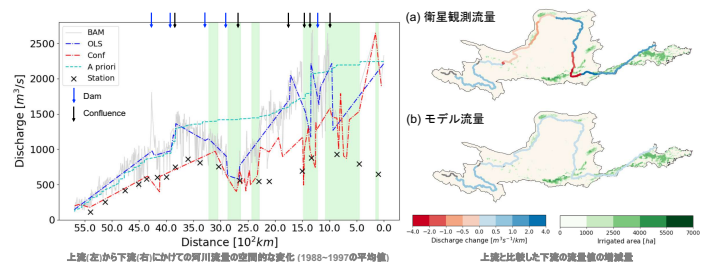
AMHG+McFLIにより、現地観測データに頼らず、衛星観測河道幅から最適化アルゴリズムを用いて河川流量を推定。



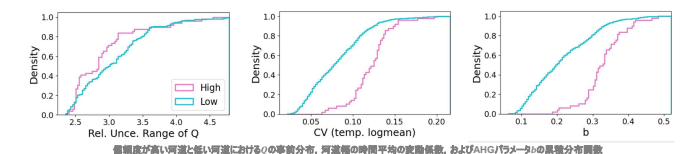
結果

- ・衛星観測流量は観測と一致する流量変化の傾向を示しました。
- ・灌漑が盛んな地域において、流量の減少が確認されました。

→ 人間活動による流量の減少を捉えられることがわかりました。



河道幅の季節変動が大きい河川において衛星観測流量の信頼性が高くなることが明らかになりました。



今後の展望

全球水資源モデルH08への衛星観測流量のデータ同化スキームの構築により、観測情報を反映した取水量の推定を目指します。

河川洪水のインパクト予測

Impact-based forecasting of river flood



神戸 育人

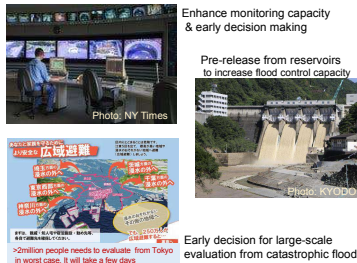


山崎 大



洪水の影響も含めて予測する

本研究課題では、全球河川モデルの高度化により、全球的な汎用性がありながら地域レベルの洪水氾濫を高精度に解く手法を開発し、極端気象による洪水氾濫ハザードのリアルタイム確率的インパクト評価の実現を目指します。



Enhance monitoring capacity & early decision making

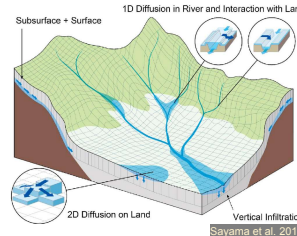
Pre-release from reservoirs to increase flood control capacity



Early decision for large-scale evaluation from catastrophic flood

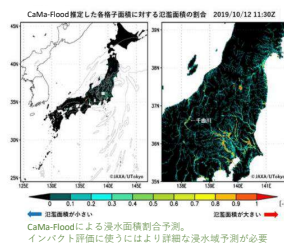
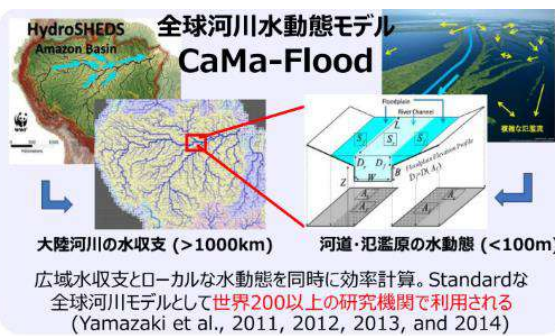
極端気象災害が見込まれる際に経済活動制限や広域避難といった大規模対応の意思決定支援には、雨量や河川流量などのハザード予測に加え、**氾濫発生による人的経済的被害を含む災害影響予測が必要である。** (Impact-based forecasting)

大規模な災害対応は、経済機会損失も含めて様々なトレードオフが発生する。気象予測の不確実性も考慮して、災害影響の包括的な確率予測が求められる。



河川氾濫ハザードの予測は、降雨-流出-河道流下-氾濫のプロセスを一体的に考慮して計算する必要があり、豪雨や熱波などの気象災害より複雑です。

とくに、災害影響を見積もるには氾濫後の浸水深分布の高精度予測が求められます。河川氾濫シミュレーションの精度を担保するにはダムや堤防といった洪水防護設備まで適切にモデルで表現する必要があります。



いつどこで起きるか分からない極端気象について、その災害影響を広域・リアルタイムでモニタリングしつつ、アンサンブル気象予測で「起こりうるすべて」を想定して確率的評価を行うには、**高速・高精度なシミュレーションが可能な全球河川水動態モデルが有用です。**

しかし現状の全球河川モデルでは、洪水防御が十分に反映されていないため、極端気象に対する確率的災害影響評価によって社会的意思決定を支援できるまでの精度はありません。

本研究では、河川洪水のインパクト評価に大きく影響する洪水防護を考慮した広域氾濫モデリングを実現し、大量の気象アンサンブルを用いたリアルタイム洪水氾濫確率予測システムの構築を目指します。

地域ごとの洪水防護を考慮した洪水シミュレーションの実現

〈ダム操作スキームの実装〉

- ダム操作の考慮により流量再現性は改善するか？
- 洪水時の流量や被害にどの程度影響するか？

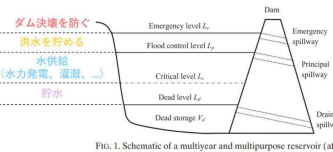
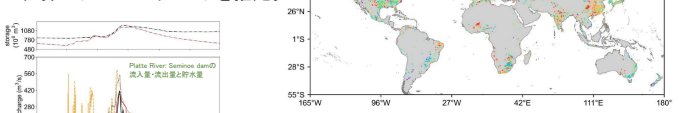


Table 1 Reservoir Operational Rules in This Study to Determine Outflow	
inflow condition/storage area	A. Above design flood discharge $I > Q_d$ $Q = Q_d$
1. Overtopping prevention $F_c \leq F \leq F_{cr}$	$Q = F$
2. Flood control $F_c \leq F \leq F_{cr}$	$Q = 0.5Q_d + \frac{F - F_c}{F_{cr} - F_c} (Q_d - 0.5Q_d)$
3. Water supply $F_c \leq F \leq F_{cr}$	$Q = 0.5Q_d + \frac{F - F_c}{F_{cr} - F_c} (Q - 0.5Q_d)$
4. Water use regulation $F_c \leq F$	$Q = Q_d \times \left(\frac{F}{F_{cr}}\right)$

全球河川モデルの枠組みでダムによる洪水防御を表現するため、さまざまな種類/規模のダムに対応可能な一般的な操作ルールを提案。

衛星観測データなどを用いて世界のダムのパラメータを推定。

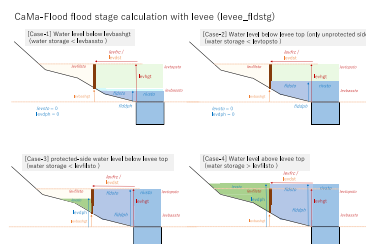


ダム操作を考慮することで、世界の多数の河川で流量の再現性向上が期待できる。

今後は小規模ダムのデータを充実させるとともにダム操作スキームの浸水域や経済被害への影響についても解析をして、リアルタイムの河川氾濫ハザードの災害インパクト評価を実現する

〈堤防情報スキームの実装〉

- 堤防による氾濫抑制を全球河川モデルでどう表現できるか？
- 堤防を考慮した場合に、洪水リスクはどの程度減少するか？

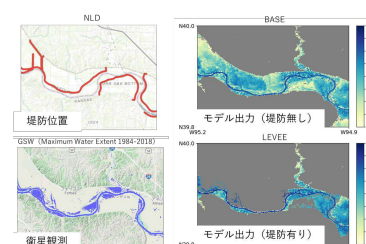


全球河川モデルの枠組みで堤防を考慮した河川水動態を表現する

Unprotected FractionとLevee Heightという2つのパラメータのみで堤防が存在するときの水位と氾濫面積を簡易かつ妥当に推定できる

広域堤防データが存在するアメリカを対象に詳細な堤防形状情報からパラメータを抽出するアルゴリズムを構築。

ミシシッピ川流域の堤防高(m) (田中・山崎, 2019)



堤防による水動態を考慮することで氾濫面積が現実的になることを確認。

今後は堤防データが存在しない地域で、土地利用や人口分布データから適切な堤防位置を推定する。衛星浸水域などとの比較により、堤防スキームの検証とパラメータ最適化に取り組む

Monitoring Surface Waters from Space

宇宙からの地表水モニタリング



Observing Surface Water from Space

--Satellite technology allow us to observe water surface changes--



Figure 1: Landsat images taken over several years showing the drying up of the Aral Sea, once the fourth-largest lake is now 10 percent of its original size (Nasa.gov, 2016). Landsat images showed the shrinking of Aral Sea by 90% in 4 decades.

Observing water surface from space provides the ability to observe long term variations and provides low-cost method for monitoring water cycle

--Available Satellite Observations--

- Satellite remote sensing techniques provide a low-cost method for monitoring the various components of the terrestrial water cycle.
- Radar altimetry missions observe water levels in lakes, rivers, and floodplains along their orbits.
- Electromagnetic spectrum (visible, infrared, microwave, and their combinations) observe the extent and quality of surface water bodies.
- Gravimetry observe total terrestrial water storage

Different remote sensing methods are available for observing different components of water cycle

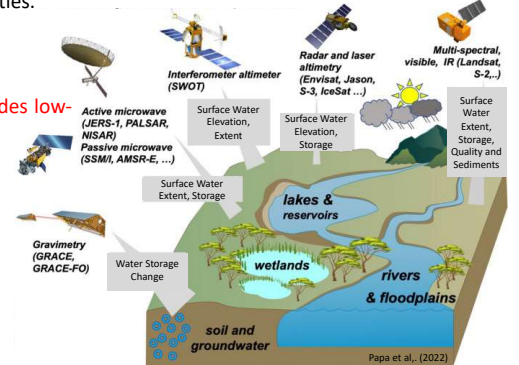


Figure 2: Schematic representation of main sensors/satellites observable variable

The availability of remote sensing observations has aided improving the understanding of hydrological processes and their interactions

Assimilating Satellite Altimetry to improve River Discharge

--Estimating natural and human-induced terrestrial water dynamics--

The overall aim is to transform the global hydrological cycle studies, by fully integrating emerging satellite observations of the Earth.

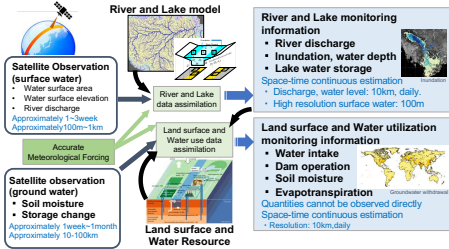


Figure 3: Schematic representation of comprehensive monitoring for the global Terrestrial hydrodynamics in Human-Geosphere

- Assimilate surface water observations from satellites into a global river/lake model.
- Build spatiotemporally continuous river flow, water depth, and inundation area.
- Combine land surface modeling with satellite observations of soil moisture and water storage changes.
- Build a land-based hydrodynamic monitoring system for reservoir operations that cannot be observed directly from satellites.

--Satellite altimetry--

Satellite altimetry measures water surface elevation from space. Satellite altimetry can observe water surfaces directly unlike discharge with low uncertainty compared to inundation extent..

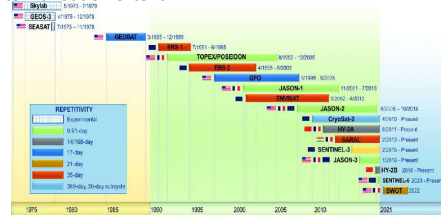


Figure 4: Timeline of satellite altimetry missions

--Data assimilation framework for continuous river discharge estimation--

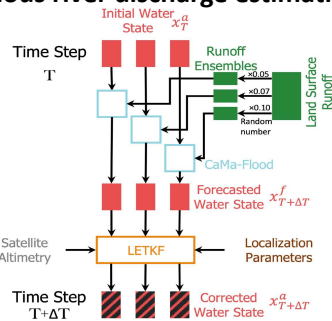


Figure 4: Schematic representation of data assimilation framework

- Data assimilation method was developed to generate spatially and temporally continuous river discharge estimates.
- The CaMa-Flood global river model (Yamazaki et al., 2011) was used as a dynamics core.
- A physically-based adaptive empirical localization method to utilize as many observations as possible (Revel et al., 2019).
- The data assimilation algorithm was used to correct the initial condition of the next time step.
- The satellite altimetry was used as observations.

--Empirical localization--

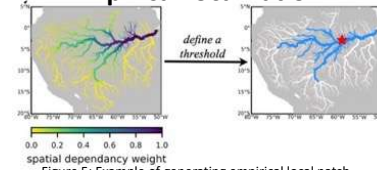


Figure 5: Example of generating empirical local patch

- Physically correlated river reaches were used to acquire observations for data assimilation
- Statistical methods have been used to develop the correlated area ('local patch') for the river network

--Global assimilation efficiency--

- Assimilation efficiency values were strongly influenced by the local state correction and the upstream inflow correction.
- Higher latitude rivers showed higher assimilation efficiency
- Continental-scale rivers also showed higher assimilation efficiency

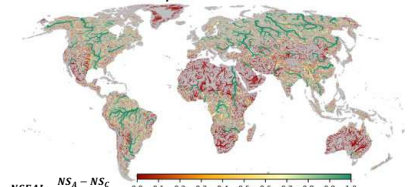


Figure 6: Assimilation efficiency of estimating river discharge

--Potential of data assimilation--

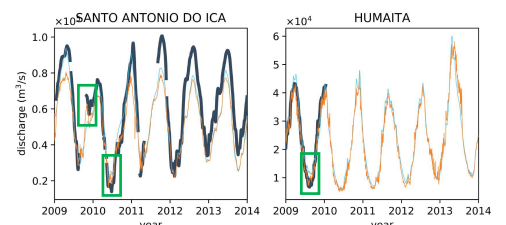


Figure 7: Potential of discharge estimation using data assimilation

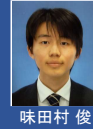
- The data assimilation provides accurate and continuous river discharge
- The data assimilation method is successful in predicting secondary peaks in river discharge
- The data assimilation method is better in characterizing low flow in river discharge

--References--

Revel, M., Ikeshima, D., Yamazaki, D., & Kanae, S. (2021). A Framework for Estimating Global-Scale River Discharge by Assimilating Satellite Altimetry. *Water Resources Research*, 57(1), 1–34. <https://doi.org/10.1029/2020WR027876>

Yamazaki, D., Kanae, S., Kim, H., & Oki, T. (2011). A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model. *Water Resources Research*, 47(4), 1–21. <https://doi.org/10.1029/2010WR009726>

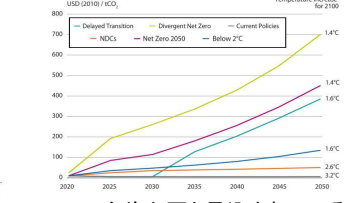
統合評価モデルによるカーボン・プライシング政策の評価 Evaluation of carbon pricing policy through IAM



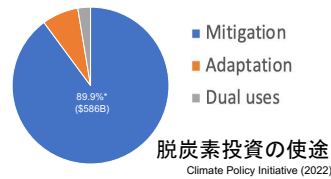
脱炭素社会に向けて:カーボン・プライシング政策と金融界での取り組み

カーボン・プライシング政策は、温室効果ガス排出量を削減し、温暖化抑制に有効とされています。

カーボン・プライシング政策(以下C・P政策)は、企業などの排出する温室効果ガスに「炭素価格」をつけ、それによって排出者の行動の変化を促す政策です。脱炭素を実現するためには今後高い炭素価格が求められます。2022年には、日本でもC・P政策の基盤となる「GXリーグ」を設立するなど、今後世界中でC・P政策は広がると予想されています。



脱炭素技術への投資も地球温暖化の抑制に対して重要な役割を果たします。



TCFD(気候関連財務情報開示タスクフォース)、企業が自身に気候変動が与える影響を投資家に開示するための枠組みが世界中で広がっています。多くの企業はTCFDで求められるC・D政策の変化など脱炭素社会へ移行する際に伴う「移行リスク」に対応するために気候変動の緩和に係る脱炭素技術への投資を進めています。

今後必要と見込まれている炭素価格の水準 NGFS (2022)

カーボン・プライシング政策と脱炭素技術投資の相互作用を経済モデルで考慮し、将来シナリオを分析することで、経済発展と温暖化抑制を両立させる最適な政策を提案できるか?

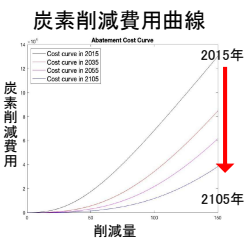
TCFD上の「移行リスク」は将来のC・P政策の影響を受け、脱炭素技術投資にも影響すると考えられます。加えて、C・P政策による高い炭素価格が技術投資への需要を促すことや企業が将来の炭素価格をどう見通すかで、投資の動きが変化することが考えられます。このようにC・P政策と技術投資には密接な関係があり、互いの相互作用を考慮することでより効果的な気候政策の提言につながると期待されます。

統合評価モデルを用いたカーボン・プライシング政策と脱炭素技術投資の分析

気候変動と社会経済活動の相互作用を表す統合評価モデル(IAM)を改良して、C・P政策と脱炭素技術投資の相互作用を議論する。

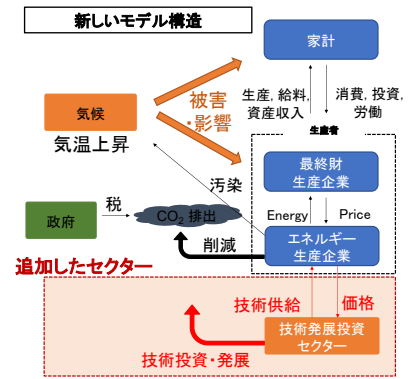
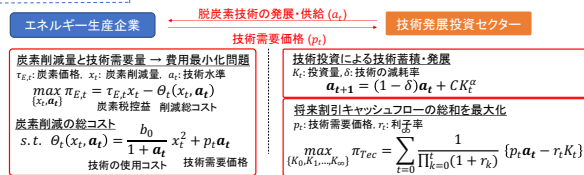
既存のモデルの課題

技術発展が炭素削減費用曲線から外部要因として与えられており、投資と技術発展の関係を表現できていなかった。



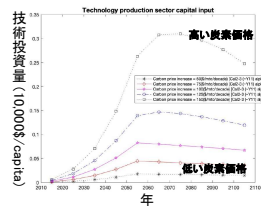
本研究のモデル

技術発展投資セクターをIAMに加えることで、脱炭素技術の発展がIAM内で表現されるようにした。



上式で定式化することで、**経済学における一般的な仮定に基づき、IAMで解ける形で式を設定すること**に成功。結果、**(将来にわたる)炭素価格の技術発展への影響**を統合評価モデルで表現可能にした。

結果 (1)技術投資量

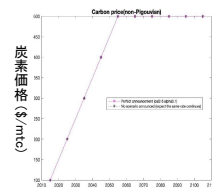


改良したIAMを用いて、炭素価格と技術投資量の関係を分析した。炭素価格が高い方が、技術発展セクターへの投資が進むという関係が適切にモデル化できた。

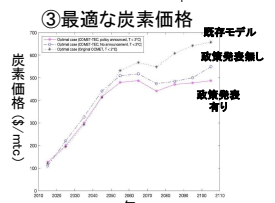
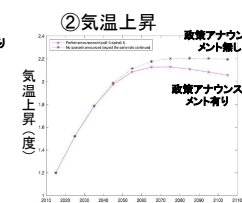
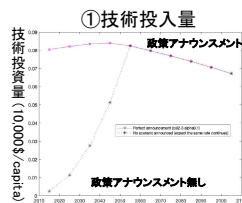
(2) 政策アナウンス効果

← 今までの社会はこちらに近い

- 政策アナウンスメント無し → 新セクターが、現状の炭素価格が今後も続くと思通すと設定
- 政策アナウンスメント有り → 新セクターが、発表(実際)通りの炭素価格を見通すと設定



10年間に炭素価格が100\$/mtCずつ増加するシナリオの下で分析した。



「**政策アナウンスメント効果**」によって、前もって脱炭素技術投資が促進され(①)、**気温上昇に無視できない影響**が現れる(②)。そして、気温上昇を2°Cに抑える上で**最適な炭素価格水準を低く抑える**ことができる(③)。

全世界に広がる洪水の経済被害推定

Global-Scale Assessment of Economic Losses by Flood



温暖化で激化する洪水災害による経済被害

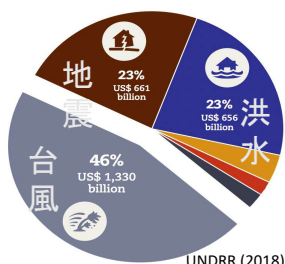
洪水は世界中での発生数が非常に多く地震と並ぶ被害額を及ぼす大災害の一つです。

近年の研究で、温暖化の影響によって今後更に発生が増えることが予測されています。そのため、洪水による経済被害の正確な将来予測が求められています。経済被害を精度良く予測するためには、浸水エリアや人口を算出するだけでなく、資産・経済活動への様々な影響を考慮する必要があります。

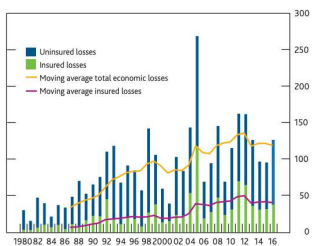
洪水による経済被害の計算はグローバルに行われる必要があります。

その理由は2つあります。

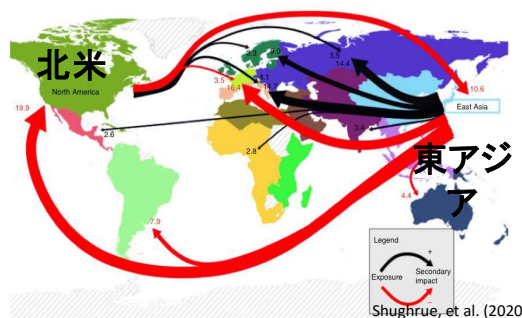
1. 洪水はどこでも起きる可能性があり、どの地域でも使えるような計算の枠組みを作る必要がある
2. 現代社会では世界中の地域が経済的に結び付いており経済被害は地域間を伝播していくため



自然災害の
種類別経済被害額



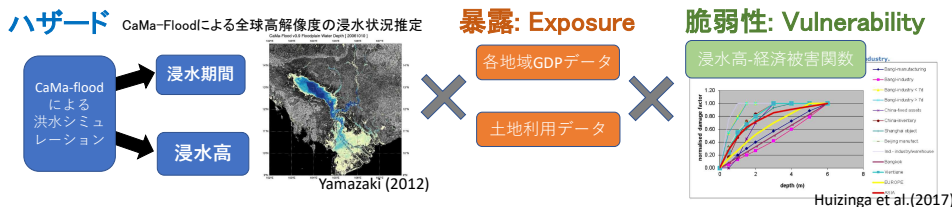
これまでの気候関連災害による
経済損害(黄)の推移



台風による他地域への経済被害伝播

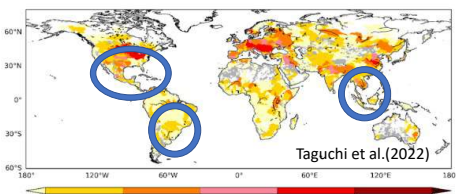
高解像度洪水シミュレーションを用いた将来経済被害予測とその展望

山崎研究室では、全球河川モデルによる高精度洪水ハザード計算に、社会経済データを組み合わせてグローバルな洪水リスク推計に取り組んでいます。

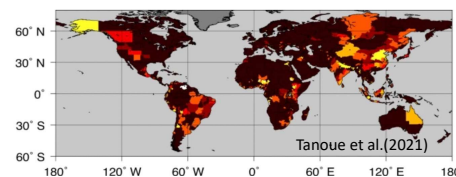


過去・将来における全世界の洪水発生シナリオを想定
洪水経済被害は①直接被害②営業停止損失
③サプライチェーン影響の3つに分けて推計する

- ①直接被害: 洪水により建物や資産が破壊・汚染されることによる被害
- ②営業停止損失: 浸水期間中に経済活動が行えないことによる損失
- ③サプライチェーン影響



将来の営業機会損失による被害額の地域分布



洪水防護策施行後の残留リスク分布

□ 今まで考慮されることの少なかった 営業停止損失による経済被害

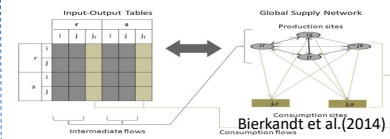
河川勾配の緩い地域で大きくなりやすい特徴
や被害の大きい地域ではGDPの約1%にまで損
害が上ることを示唆

□ 洪水防護策後の洪水リスク

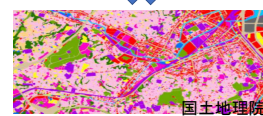
各地域で費用便益が最大になる防護策を行った
場合に、防ぎ切れない洪水によるリスク(残留リ
スク)を推定、インドや中国等では今後防護施設の建
設途中に受ける洪水被害が大きいことを示唆

➤ 今後の取り組み

洪水被害により、ある地域での生産
が停止すると、そこから仕入れていた
中間生産地での資材不足に繋がります。
これにより、企業は調達場所の変更を
迫られ、全体の製造プロセス停止
による甚大な経済被害を被ります。



産業連関表を用いた
サプライチェーンモデリング



高解像度土地利用データ

しかし、その取引ネットワークの複雑さ
やデータ取得の難しさから、サプ
ライチェーンを通じた洪水被害の実態を把握
出来ていません。ローカルな洪水被害と
グローバルな経済活動を繋げる社会
経済モデルや土地利用データを用い
て、被害の推定に取り組んでいきます。



Shuping Li



Dai Yamazaki



Water dynamics can shape land cover distribution at hillslope scale

Why at the hillslope scale?

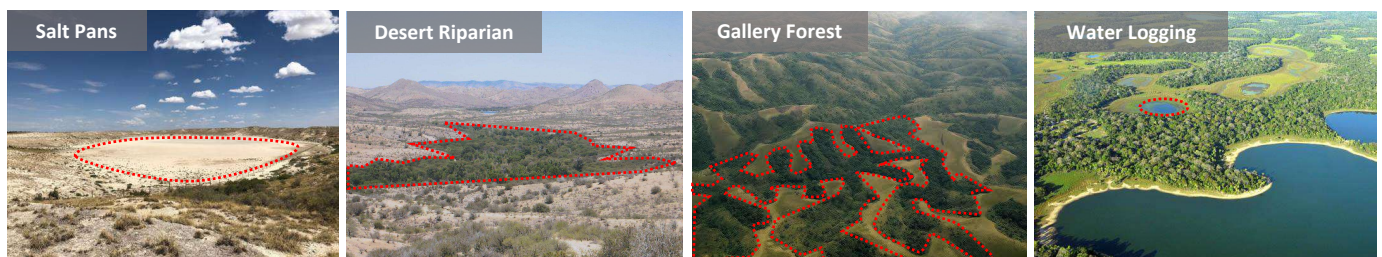
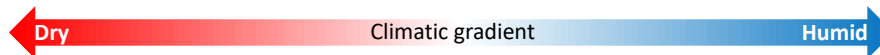
Although the climatic altitude impact has been thoroughly studied, discussions over the hillslope hydrology control on the land cover are still lacking. At the hillslope scale, driven by gravity, water drains from ridge to valley, causing the water availability contrast between highland and lowland.

Represent the heterogeneity in land surface model (LSM)

An accurate representation of the land cover heterogeneity in LSM is important. Although the conventional high-resolution approach can make accurate representation, it also causes huge computation costs. In this concern, a more computationally efficient manner is desired.

Water regulates vegetation growth

Vegetation growth can adapt to different levels of water availability. However, under extremely **dry** or **humid** conditions, the growing process will be greatly suppressed. This leads to the formation of some typical landscapes in the flat regions: a clear boundary exists between vegetation types in the highland and lowland.



In the topographically flat regions, some typical landscapes are assumed to be formed by ridge-to-valley water flow.

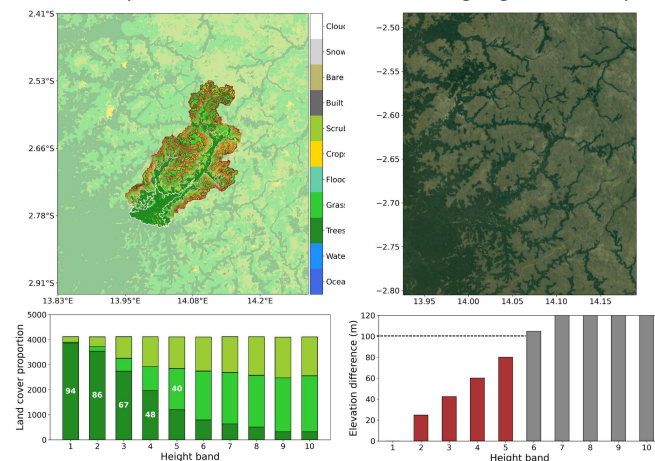
An efficient method to represent the hillslope land cover heterogeneity

A method to efficiently represent hillslope impact on land cover heterogeneity in LSM

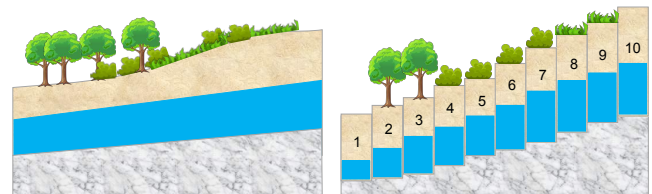
Based on the topographic data MERIT-DEM (Yamazaki et al., 2017), a unit-catchment can be evenly discretized into 10 height bands, each band is represented by the dominant land cover type. The 10 height bands will be used to approximate the realistic land cover distribution.

How to find landscapes affected by hillslope water dynamics: an example of gallery forest

Using the above method, an effective representation of the hillslope land cover heterogeneity is shown in a flat unit-catchment. The lowland area is dominated by the **tree ecosystem**, whereas the highland area is dominated by the **grass ecosystem**. The landscape location is confirmed with the google static map.



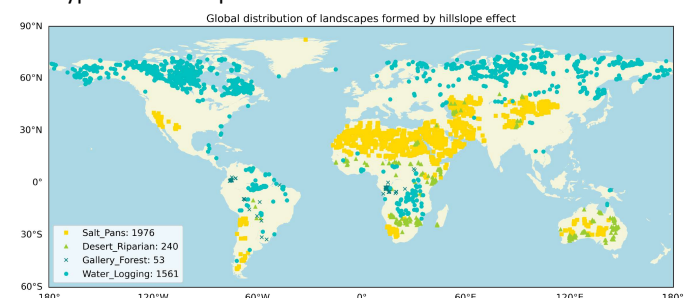
Close view of a unit-catchment identified as gallery forest located in western Congo.



The realistic land cover distribution is represented by 10 height bands.

Search for the hillslope-affected landscapes at the global scale

Overall, the proposed method can accurately search the locations of 4 types of landscape in the world.



The number of locations differs among the 4 landscape types.

Future work

By applying the proposed hillslope method to the LSM, it is expected to simulate the land surface process almost as accurately as the conventional method. In addition to that, the new method is supposed to largely save the computational cost, which makes explicit land surface modeling possible at the continental or global scale.

Impact of Climate Change and Climate Variability on Extreme Flood

気候変化と気候内部変動の極端洪水への影響



Li Ruiqi



Shahab Uddin



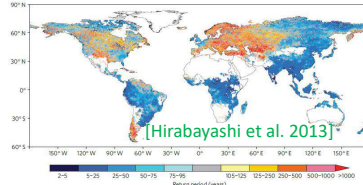
Dai Yamazaki



Does climate internal variability affect extreme flood occurrence?

Flood risk will increase in the future due to global warming.

A large increase in flood frequency is projected in Southeast Asia, Peninsular India, eastern Africa and the northern half of the Andes.



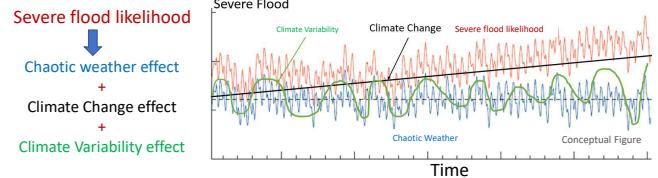
Recently, many severe flood events have happened in the world, including Typhoon Hagibis in Japan.

Total rainfall by Typhoon Hagibis was 10% increased by global warming, according to climate/weather model simulations. [Kawase et al. 2021]



Extreme floods could be enhanced not only by climate change but also by climate internal variability.

Climate variability has a global impact on river flow and flooding. High SSTs play an important role in feeding moisture into storms, assisting in storm intensification and causing heavy rains and then severe flooding. [Trenberth et al. 2015]. South Asian countries, including Bangladesh, are highly vulnerable to floods caused by climate change and climate variability.



Climate change projection studies may not be able to properly determine under what conditions extreme floods may be enhanced. [Zhai et al. 2018]. In this context, **attribution of climate change and climate variability impact on extreme flood occurrence may reveal when and how the risk of flooding increases.**

Here, we qualitatively assess the climate change and climate variability impacts on extreme flood, using **large-ensemble climate simulation datasets.**

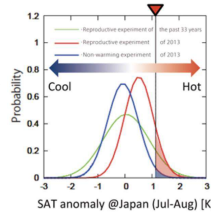
Assessing climate variability impact by large-ensemble climate simulation

<Method>

We used d4PDF large-ensemble climate simulation for attribution

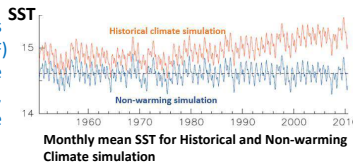
d4PDF has large-ensemble data (60 years * 100 ensemble) to assess the occurrence probability of extreme events. d4PDF is usually used for attributing the impact of climate change, by comparing the historical and non-warming experiment.

Probability distribution by large ensembles enables to assess, for example, how much the occurrence probability of extreme heat wave is increased by climate change.



We found d4PDF was also used for investigating climate variability impact, especially those related to atmospheric response to the SST perturbations.

Sea surface temperature patterns (lower boundary condition of d4PDF) are shared among all ensemble members and all scenarios. So that, El Nino and La Nina years are consistent in all d4PDF simulations.



We compared the occurrence probability of extreme precipitation in El Nino years and La Nina years, and calculated how El Nino enhances the occurrence likelihood of Extreme precipitation events using FAR method.

Quantitatively assessment: Fraction of Attributable Risk (FAR) & its variation

FAR: Originally used to assess the anthropogenic influence on change of extreme events. (Stott et al., 2004)

FAR for Climate Change
 $FAR = 1 - P_{NAT} / P_{HIS(\epsilon)}$
 $PR = P_{HIS(\epsilon)} / P_{NAT}$

3 groups:
 t=1951-1970
 t=1971-1990
 t=1991-2010

FAR for ONI
 $FAR = 1 - P_{NAT} / P_{NAT(ONI)}$
 $PR = P_{NAT(ONI)} / P_{NAT}$

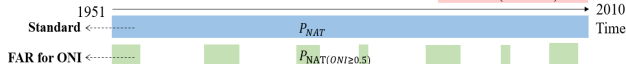
3 groups:
 $ONI \geq 0.5$
 $-0.5 < ONI < 0.5$
 $ONI \leq -0.5$

FAR for ONI + Climate Change
 $FAR = 1 - P_{NAT} / P_{HIS(ONI, \epsilon)}$
 $PR = P_{HIS(ONI, \epsilon)} / P_{NAT}$

9 groups:
 $ONI \geq 0.5$ t=1951-1970
 $-0.5 < ONI < 0.5$ t=1971-1990
 $ONI \leq -0.5$ t=1991-2010

FAR for ONI + Climate Change ← $P_{HIS(ONI \geq 0.5, 1991-2010)}$

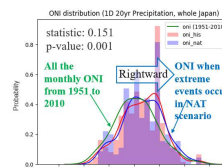
FAR for Climate Change ← $P_{HIS(1991-2010)}$



Scenario (1951-2010)	Historical (HIS)	Non-warming (NAT)
AGCM	100	100

<Result>

First, we assessed the occurrence probability change of extreme precipitation by severe typhoons in Japan regions.



Probability density of ONI index

FAR increased in El Nino years (ONI>0.5), suggesting extreme rainfall is more likely to occur.

Joint impact of climate change and El Nino is also suggested.

Positive ONI and climate change can increase the likelihood of occurrence of extreme precipitation in Japan, respectively. In recent years, climate change plays a larger role, and the joint impact of climate change & ONI ≥ 0.5 can further intensify the risk of extreme precipitation.

Time@ONI	<= -0.5	-0.5 ~ 0.5	>= 0.5	All ONI
1951-1970	-0.007	-0.542	0.281	-0.048
1971-1990	-0.394	0.471	0.390	0.321
1991-2010	-0.416	0.178	0.625	0.399
All Period	-1.038	0.001	0.290	0.267

FAR to climate change: 20-year return period precipitation all over Japan

0.399 FAR for Climate Change in 1991-2010

0.290 FAR for ONI when ONI ≥ 0.5

0.625 FAR for ONI+ Climate Change when ONI ≥ 0.5 in 1991-2010

0.399 > 0.290 : In recent years, climate change plays a larger role in the occurrence of extreme precipitation compared with ONI, while the impact of ONI is also non-negligible.
 0.625 > 0.399 : The joint impact of these two factors can further intensify the risk.

<Ongoing Study>

We are also assessing the impact of climate change and climate variability on large river flood, focusing on Ganges-Brahmaputra basin.

Is a large river flood more difficult to capture compared to precipitation?

Atmospheric processes can spawn heavy/extended precipitation with the potential for flooding, but much of the resulting impact is ultimately controlled by hydrological process [Frei et al. 2000].

For extreme precipitation analysis, the precipitation location and hazard location are the same for any basin.



For large river, the number of tributaries and their flowing timing into a river affects the likelihood of flood. The topographic features and size of the catchment play an essential role in tributary flow timing by affecting the various runoff components (surface and subsurface) and their timing. Moreover, precipitation location and timing and river hazard location and timing are very different.

地球の河川のデジタルツイン

Digital Twin of Earth's Rivers



山崎大



渡辺恵



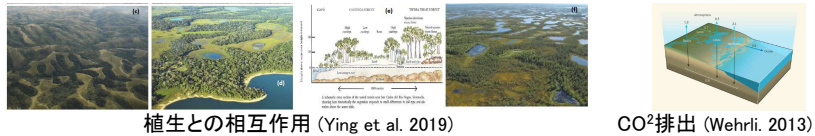
地球上全ての河川をコンピューター上に再現

現実世界から収集した、全球の河川に関するあらゆるデータを、まるで双子であるかのように、コンピューター上で再現。



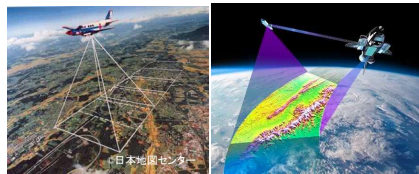
基礎研究から社会実装まで、幅広い分野で役立てられています。

- ・ 地下水動態解析
- ・ 地表と気象や植生との相互作用の解明
- ・ 水面からのCO²排出量の推定
- ・ リアルタイム洪水シミュレーション など

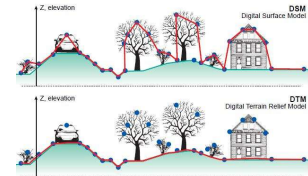


水文地形データは、陸域の水循環モデリングの重要な基盤データ。

航空機観測などに基づく高精度の標高データなどは先進国のみで利用可能。世界では衛星観測による地形・地理データしか手に入らない地域も多数存在。



衛星観測データには多様な不確実性(ノイズやバイアス等)が伴う。洪水氾濫計算などのための補正が必要。



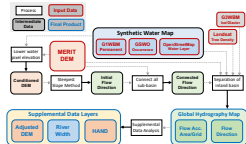
山崎研究室は、複数のリモートセンシング/オープンデータ・統計手法を組み合わせ、水循環シミュレーションに適用可能な、全球河川水文地形データ整備を推進しています。

世界最高水準の水文地形データの開発とそのインパクト

多様な衛星画像をベースとした世界で利用される水文地形データ

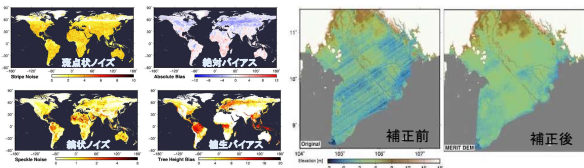
山崎研究室では様々な衛星観測や地理データを組み合わせ、高精度・高解像度な河川地形データの開発に取り組んでいます。

河川地形データの構築プロセス。非常に複雑かつ膨大な計算によって、多数のデータを統合している



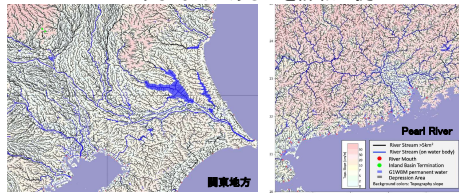
高精度標高マップ MERIT DEM

既存の衛星標高データをもとに、衛星森林データと複数の統計フィルタなどを用い、多様な誤差を分離・除去した



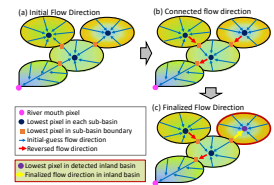
高精度水文地形マップ MERIT Hydro

分解能3秒(約90m)で、地表面が水が流れる方向を地球全域で計算、河川位置を分析するアルゴリズムを開発→どこにどのような河川があるかを詳細に捉えた

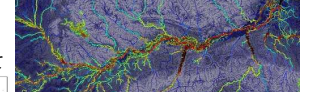


さらに標高や水面のデータをもとに河道幅や氾濫原形状も解析してデータベース化した。

水面マップから河道幅を抽出する幾何計算アルゴリズムを開発



表面流向を計算、生じたサブ流域が「誤差による偽産地」か「実際の内陸河川」かを自動で判定するアルゴリズムを開発。河道データ構築の(ほぼ)自動化を達成



洪水シミュレーションなどの大幅な精度向上につながるためMERIT DEM / MERIT Hydroとともに世界2000以上の研究期間に利用される地球科学の基盤データとなっている

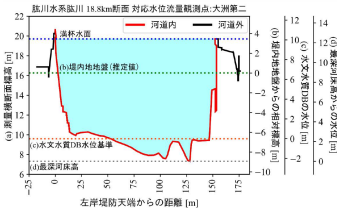
測量や航空写真を利用した更なる高精度化・充実化のための挑戦

衛星では測れない水面下地形を現地観測河川断面データで表現

日本全国で、346河川、8290.4 kmの測量データを整備。これまでは河川モデル上で矩形で表現されていた断面に対し、測量断面を反映させた。広域出水現象での水位の再現精度が向上。

データベースの内容

河川メタデータ	水系名・河川名・河川番号
距離標本	精度経度・構造物フラグ・測量年月日・流心間距離[km]・測点数・距離標本高(左右岸) [m]・水際標本高(左右岸) [m]・法尻標本高(左右岸) [m]・堤内地平均標高(左右岸) [m]
横断面メタデータ	測量に沿った各測点の水平距離[m]、標高[m]



高解像度のデータが得られるRGB画像のみから小河川の水域・川幅を推定

航空写真と水文地形データを基にクラスタリングし、水確率をベイズ推計。既存: 30m→本研究: 60cm解像度に改良。既存のデータでは抽出できなかった中小河川の再現が可能に。

水確率のベイズ推計

$$P(W|C) = \frac{P(C|W) \times P(W)}{P(C|W) \times P(W) + P(C|\bar{W}) \times P(\bar{W})}$$

C : Cluster (HSV and HAND)

W, \bar{W} : Water or not water (Landsat, Open Street Map)

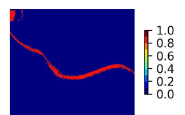
航空写真



既存 Landsat衛星



本研究 航空写真





Xudong Zhou



Dai Yamazaki



Rating-curve: a stable representation of river flow regimes

Simulating flood processes (e.g., discharge, water depth and inundation) is important for assessing flood hazard and risk, and guiding flood mitigation. **River bathymetry** (i.e., underwater river topography) is one fundamental parameter in flood models.

Accurate simulation of hydrodynamic models is **instantaneously** affected by **errors in river bathymetry** (i.e., riverbed elevation) and **bias in runoff inputs**.

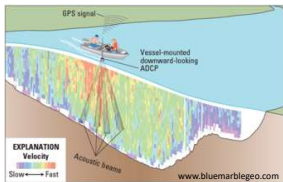


Fig. Conventional method to measure river bathymetry (i.e., underwater river topography)

Error in river bathymetry is static, while measuring large-scale accurate river bathymetry is not feasible through *in-situ* or remote sensing techniques.

We want to avoid simulation results are coincidentally right because of a combination of multiple wrong components!

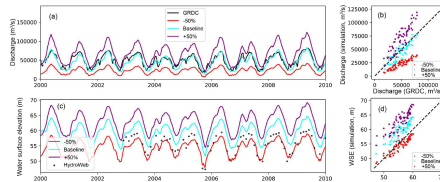


Fig. Comparison of model simulation and observation in time series with corrupted runoff (-50%, 0, +50%).

Bias in runoff is dynamic and varying in time and space and among models. It is unmeasurable and difficult to be eliminated.

Global river bathymetry is calculated with an empirical Power-law equation

$$H = a Q^b$$

H: river channel depth; Q: climatological river discharge; a=0.1, b=0.5

Rating-Curve (stage-discharge relationship)

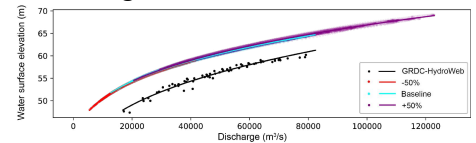


Fig. The rating-curve is stable regardless of runoff biases

Whether bias correction using rating-curve method can **make the correction more robust** and the river model performance more **reasonable**?

Robust estimation of river bathymetry with rating-curve method

... METHODS ...

1. Estimate bias at each virtual gauge (with observations of WSE and discharge)

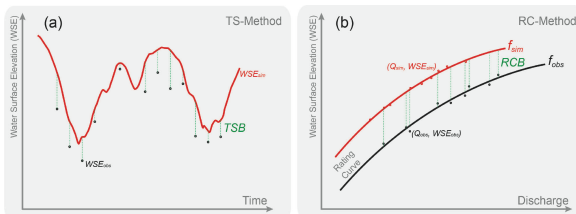


Fig. Calculation of the two biases
Time-series bias (TSB): bias of water surface elevation in time series
Rating-curve Bias (RCB): bias of fitted rating curve

2. Correct bias at gauges and river sections between gauges with linear interpolation.

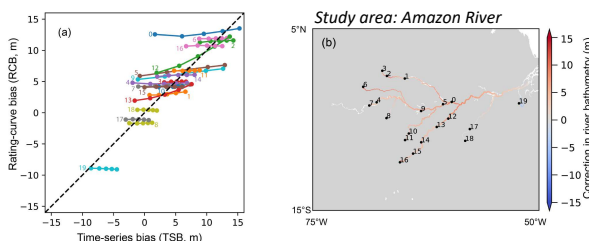


Fig. (a) Comparison of TSB and RCB at 20 gauges in the Amazon River Basin. (b) The bias along the rivers (by linearly interpolation)

3. Evaluate the model parameters/outputs with updated river bathymetry.

Experimental designs:

- EXP1: Corrupted runoff (-50%, -25%, 0, 25%, 50%)
- EXP2: Multi-model runoff (Earth2Observe members)
- EXP3: Observing system simulation experiments (OSSEs, Assumed river bathymetry + Exp2)

... RESULTS ...

1. The correction with RC-Method is efficient because corrected river bathymetry well matches the virtual true river bathymetry.
2. The correction with RC-Method is independent from the runoff bias/errors because river bathymetry converge with different runoff inputs.

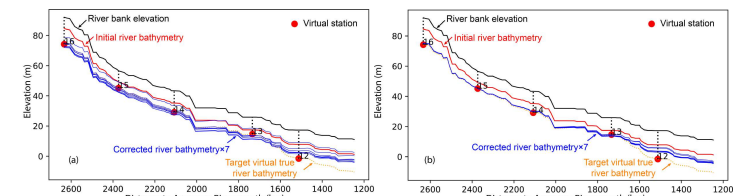
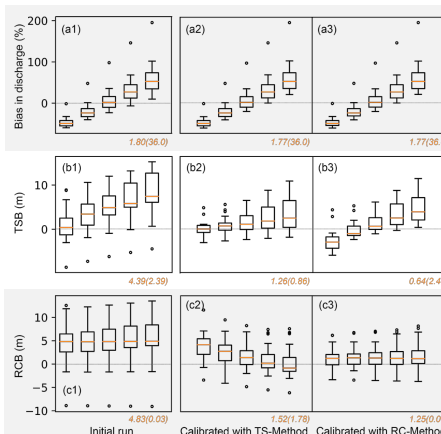


Fig. EXP3. Comparison of corrected river bathymetry (blue) with the virtual true river bathymetry (orange)

Fig. EXP1. Model performance against observations before and after bias correction with corrupted runoff



1. Correction of river bathymetry does not change much the river discharge simulation.
2. New method provide the most **reasonable** results (better result with better runoff).
3. The new method is **robust** (not sensitive) to runoff bias even after bias correction.

Limitations:

- 1) Relying on gauges with observations of WSE and discharge, while gauges are limited, and applicability of the method is limited.
- 2) The method is not well performed where backwater affects.

Zhou, et al. (2022). *Water Resources Research*, doi: 10.1029/2021WR031226
Contact: x.zhou@rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp

Flood impact from nighttime remote sensing data

衛星夜間光による洪水影響モニタリング



Yang Hu



Xudong Zhou



Dai Yamazaki



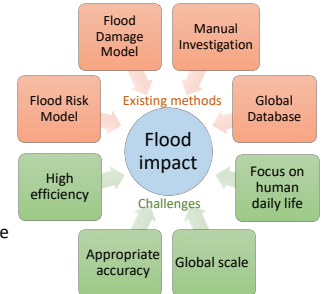
Nighttime light data has the potential of detecting flood impact

Flooding has huge impact on human daily life. Gathering flood impact information on human daily life with appropriate accuracy and high efficiency on global scale is still a challenge.



Flooding can lead to **economic loss and fatalities** which is related to **human daily life**. Understanding such impact **globally** can support **international decision making** on land use, climate change and disaster relief policies.

Previous commonly used methods for assessing flooding impact have their own **shortcomings**. Global flood risk models are not able to estimate **indirect** impact out of inundation area. Flood damage models need much **auxiliary** input data and are with **low robustness** on global scale. Meanwhile, the models' results are simulation impacts which may have **difference with realistic** ones. The local manual investigation and global database need huge amount of time and manual work, which in hence are with **low efficiency and accuracy**.

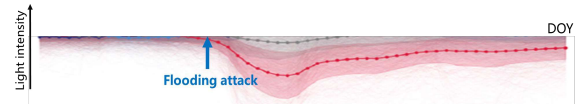


Nighttime light (NTL) remote sensing data provide a unique observation of human activities which can be used for global flood impact assessment.

NTL data records nocturnal artificial light on the Earth's surface. A high-quality global NTL product has been generated by excluding most uncertainties, with a high temporal (daily) and spatial resolution (500m) from 2012 till now. The data can be access easily with about only 10 days' delay.



When flooding happens, many places will face power outages or business interruption. Light intensity will probably decrease compared to normal status, which makes it possible for NTL data to detect flood impact. Compared with other daytime remote sensing data such as optical Landsat or SAR data, NTL is more related to impact on human daily life such as displacement or economic loss.



This study aims to use NTL to assess flood impact on human daily life globally, which can provide a better understanding on how human being affected by flooding.

Flood impact information from NTL

Method:

We aim to evaluate the **potential** of NTL to **detect flood impact** and utilize this data to assess flood impact on **global scale**.

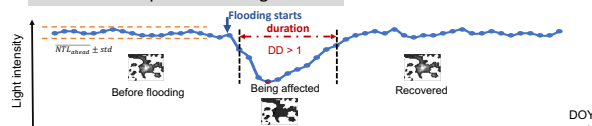
- **Dataset:** NPP/VIIRS Black Marble VNP46A2 NTL product (500m, daily)
Dartmouth Flood Observational database (DFO for short) records **historical flooding cases** with information from news.
- **4 indices** were set to represent flood impact from NTL:

$$\text{Decrease degree (DD)} = \frac{(NTL_{normal} - NTL_i)}{std_{normal}}$$

$$\text{Serious level (S)} = \max(DD)$$

Affect: DD > 1 pixels are affected ones

Duration: time period of being affected



Result:

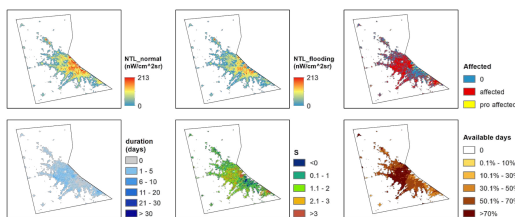


Figure 1 Example of impact layers from NTL for one event in Argentina in 2013(DFO ID: 4046). The city has been reported losing power due to flooding.

NTL can **detect flood impact** and provide **detailed** information including **light intensity of normal status** and **during flooding period**, **affected location and duration**, **serious level** as well as **data availability** during flooding period.

Serious level of impact are **different** among cases, which may be related to the **serious level of flooding** and the **local defense ability**.

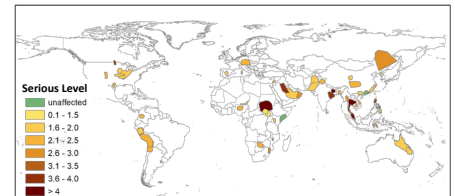


Figure 2 Serious level (S) from NTL for 99 cases recorded in DFO database in 2013.

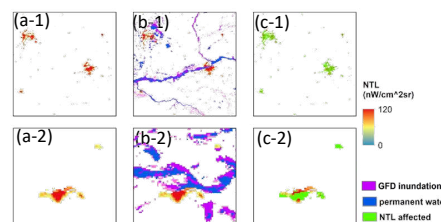


Figure 3 Light intensity of urban area (a) and flood affected location for MODIS inundation (b) and NTL (c) for 2 cases recorded in DFO (case1: id 4083, China, 2013; case2: id 4098, India, 2013).

Both the **location** and **duration** are of large **difference** from NTL and MODIS inundation. NTL focus on **urban area** which is better to reflect the **impact on human daily life**.

NTL impact information is related to **fatalities** which reflects the **impact on human**. DFO database's given duration is that of **inundation** rather than **human life being affected**. NTL has the **potential to fill this gap**.

Table 1. Correlation coefficients for NTL and inundation impact information with database's given properties for 99 cases in 2013.

	R ²	NTL DA	NTL Duration	Inundation Duration
DFO duration	0.023	0.007	0.694	
DFO fatality	0.108	0.159	0.070	

*, **: Significant p<0.05

運河網の水文モデルへの実装 Aqueducts in a hydrological model



余田奈穂



山崎大



渡辺恵



全球水文モデルを用いた水資源量評価

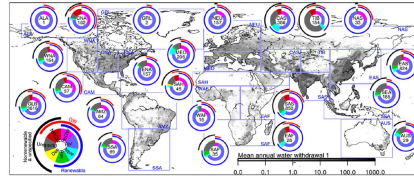
気候変動によって世界の多くの地域で**水ストレスが増加**

今後気温が2度上昇すると、深刻な干ばつなどにより水不足を経験する人口が8~30億人に及ぶと予測されています。

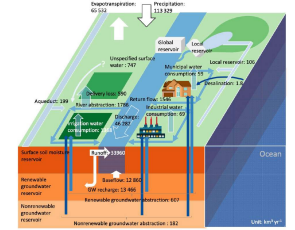
全球水文モデルを用いて利用可能な水資源の量を評価

降雨や河川、地下水など自然の水循環と、灌漑やダムなど人間活動との影響を踏まえて、利用可能な水資源が十分存在するかを評価することができます。

全球に適用できるモデルを使うことで、広範囲にわたる気候変動の影響を組み込んだ推定ができ、途上国など河川水位などの観測データが不十分な地域でも気候の情報からある程度シミュレーションが可能であるなどのメリットがあります。



(花崎ら, 2018)



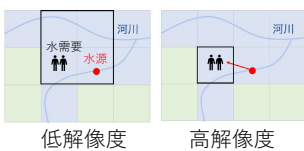
(花崎ら, 2018)

地域レベルの気候変動対策には、より**高解像度**の水資源量評価が必要

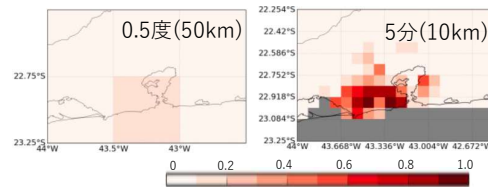
全球水文モデルの計算結果から対象地域の範囲のみを取り出し、空間解像度約2km~10kmの計算が行われています。

高い解像度で信頼性のある結果を得るには、運河網の効果を表現することが必要です。

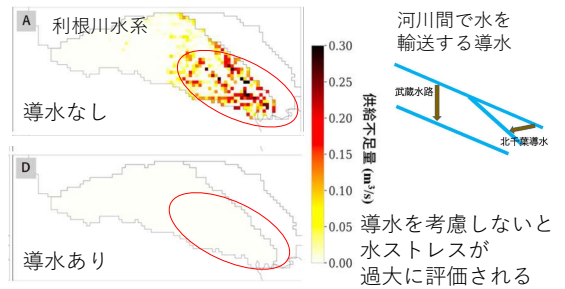
運河網の効果



水ストレス (水需要量/水資源量) (加藤ら, 2021)



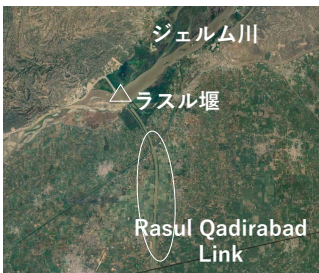
導水を考慮した水ストレス評価(松村ら, 2021)



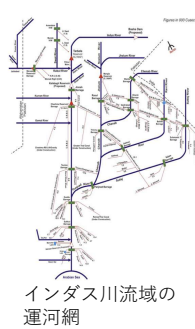
高解像度のシミュレーションでは、水需要地と水源が別のグリッドになります。各需要地にどの水源が対応するかを示した運河網のデータが必要です。

より複雑な運河網を全球水資源モデルで表現する

【手法】 全球水文モデルの一つであるH08を用いて、インダス川流域を対象に運河網の効果を考慮した水資源量の評価をしました。

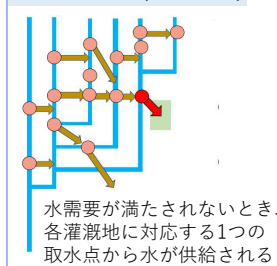


河川を接続する連絡運河が多数あるのが特徴



インダス川流域の運河網

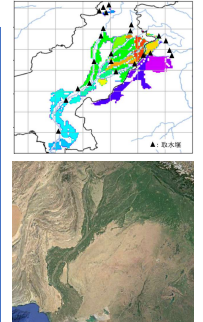
既存スキーム(直接導水)



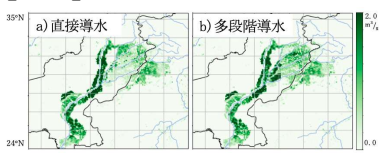
本研究(多段階導水)



モデル上に配置した取水堰と灌漑地



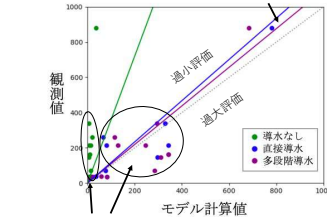
【結果】 年間取水量



- 連絡運河を通して接続している取水堰を全て考慮することで、**東側の地域の取水量が増加**
- 河川流量が不足しがちな東側の灌漑地に水を供給するために建設された連絡運河の効果を表現

観測値とモデル計算値の比較

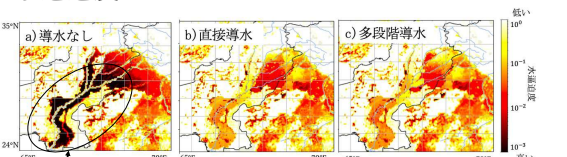
流域全体の平均運河網の効果を入れると観測値に近づいた



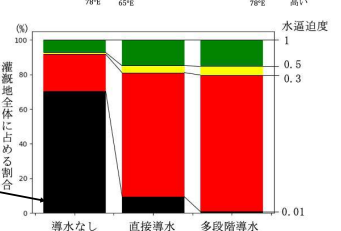
エリアごとの取水量

- 導水なしの場合の過小評価が改善された
- エリアによってばらつきは見られる

水逼迫度 (総取水量のうち、河川や水路、再生可能な地下水によって供給される水の割合)



適切な水供給経路が表現されていないと考えられる灌漑地が1/3程度まで減少した。



多段階導水の効果を考慮することで、より現実的な水資源量評価が可能

Satellite-based global hydrodynamics modeling considering reservoir operations

衛星データを用いた全球河川水動態モデルにおける貯水池スキームの向上に関する研究



Youjiang Shen



Dai Yamazaki



Satellite data has a potential to revolutionize reservoir monitoring and modeling

Reservoir monitoring and modeling are indispensable prerequisites for advancing our understanding of their impacts on river hydrodynamics and effective water resources management.

Actual rivers are not natural rivers

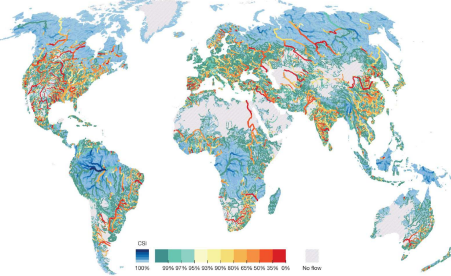


Fig. 1: Connectivity status index of the world's river reaches (Grill, Lehner et al. 2019, Nature).

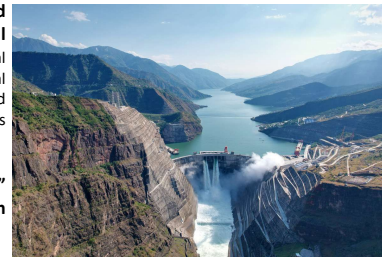
Many parts of world's rivers are now dammed because of an unprecedented surge in global dam construction. Dams impede the flow of essential nutrients, influencing downstream terrestrial and coastal environments. Reservoirs regulate peak flows and hydraulic residence time to mitigate flooding. Reservoirs can also become hotspots for greenhouse gas emission.

Understanding the "real river hydrodynamics" needs to consider the influences of dam construction and management practices.



Solution: Data & Model

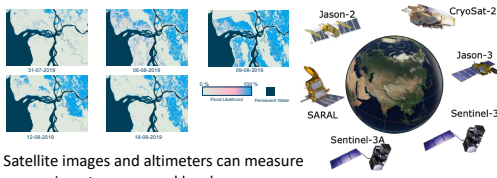
Reservoirs are important natural resources



- Flood Control
- Environmental flow
- Agricultural water (30–40% of irrigation water globally)
- Domestic water
- Industrial Water
- Power Generation (16.6% of the world's electricity)

Fig. 2: Dams and reservoirs are proliferating worldwide because of their manifold societal benefits.

Satellite data provide observation of reservoirs



Satellite images and altimeters can measure reservoir water areas and levels

Model can consider reservoir impacts

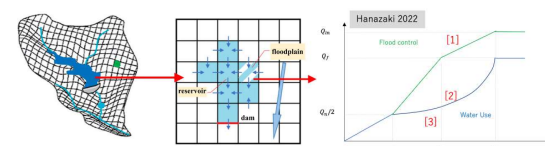


Fig. 3: The schematic diagram of the reservoir modeling approach in the CaMa-Flood model. The current scheme is used for flood control.

Current research gap

- The accuracy and resolution of satellite data are inadequate. Previous studies mainly focused on large reservoirs, highlighting the ongoing need for comprehensive and high-quality satellite-based reservoir data.
- Model simulations have large biases primarily caused by the limited observations for calibration and the complex nature of reservoir operations.

We try to fully utilize satellite-based reservoir monitoring in global river hydrodynamics model for more realistic hydrological simulations.

Integrating satellite data into the CaMa-Flood river hydrodynamic model

New data set, Res-CN

Reservoirs collect water and materials from their upstream. Upstream catchment attributes (see Fig. 3) affect water balance and water quality of a reservoir. These catchment-level data are of great value to support a wide range of applications and disciplines. However, no dataset exists for reservoir-catchment characteristics.

Key point 1: a first known effort to construct catchment-level characteristics of reservoirs in China.



Catchment-level data in six categories:

- Catchment body characteristics
- Topography
- Climate data
- Land cover
- Soil & Geology
- Anthropogenic activity characteristics

Fig. 3: Illustration of the datasets provided in our Res-CN.

Key point 2: a comprehensive and extensive reservoir data set on water level (data available for 20% of 3,254 reservoirs), water area (99%), storage anomaly (92%), and evaporation (98%).

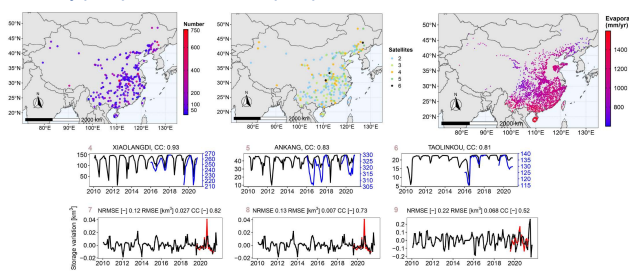
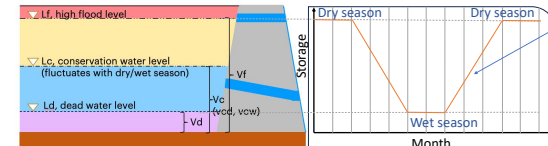


Fig. 4: Illustration of our reservoir water level, evaporation, area, and storage data.

You can freely access to all my Python/GEE/R codes to reproduce this work (data).

New dam module

Reservoirs experience emptying and filling water seasonally. Lc is often fluctuating that is higher around the dry season to store water for irrigation and is lower in the wet season to create more space for flood control. Thus, a dynamic storage-release relationship aligns more closely with the realistic behavior.



Target storage zone is derived from our satellite data). We also reformulate the storage-based releasing equation for stable simulations.

Fig. 6: The schematic diagram of the new dam module. The reservoir has three storage zones, in each zone, a specific storage-release relationship is determined.

Simulation results

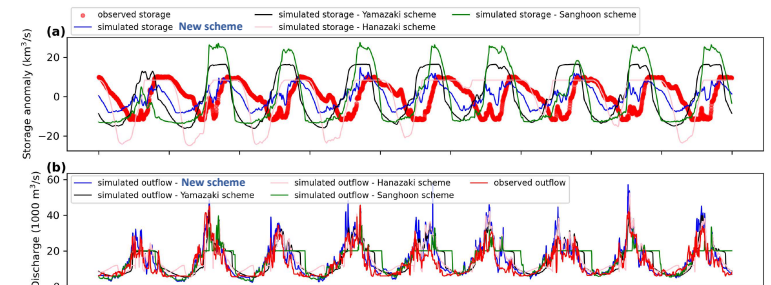


Fig. 7: Comparisons of our new dam module (New scheme) with the previous dam schemes.

Future works:

We are trying to assimilate satellite-based reservoir data, e.g., storage and water level, into the CaMa-Flood.



To read these articles

Youjiang's Homepage