

# 山崎研究室

## [陸域水動態のモデリング・モニタリング]

生産技術研究所 人間・社会系部門

Department of Human and Social Systems

全球陸域水動態

工学系研究科 社会基盤学専攻

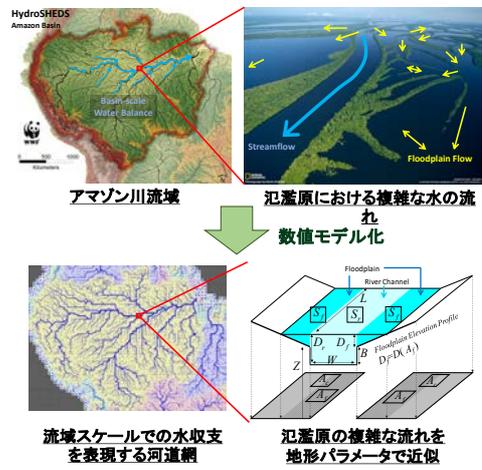
<https://global-hydrodynamics.github.io/>

### 複雑な大陸河川の流れを計算する

How can we simulate the complex water flow in continental rivers?

洪水は、世界的に対策が望まれる重要な災害の一つです。数値モデルによる洪水シミュレーションは、洪水リスク定量化やリアルタイム予測を実現するために必要なツールです。しかし、アマゾン川やメコン川といった大陸河川では、数千kmスケールの水収支と数mスケールの地形とを同時に考慮しなければ洪水時の複雑な流れを計算できず、大陸河川流れの数値シミュレーションは地球水循環研究にとって長年の課題でした。

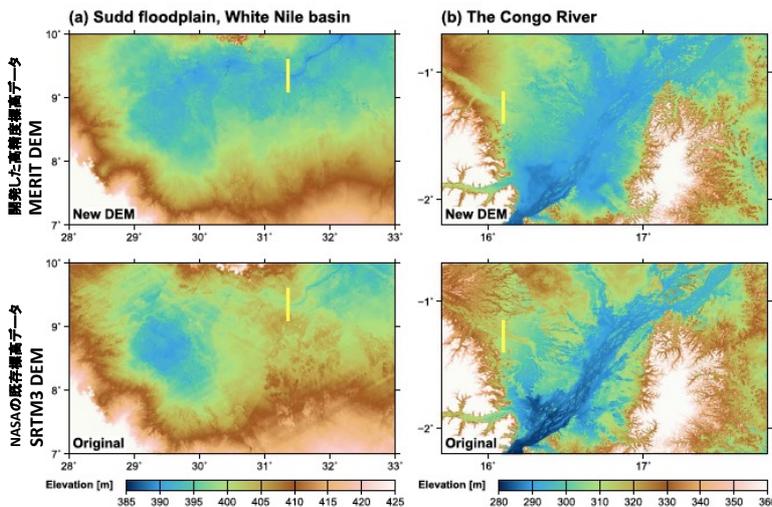
当研究室では、最新の高分解像度衛星観測データを活用して、地球規模で広域洪水シミュレーションを実現する枠組みを開発しています。(右図) さらに気象予測やビッグデータ解析技術を組み合わせて、リアルタイム洪水予測や気候変動に伴う洪水リスク評価などを行い、大規模洪水による被害の軽減を目指して研究に取り組んでいます。



### 世界最先端の高分解像度地形データ

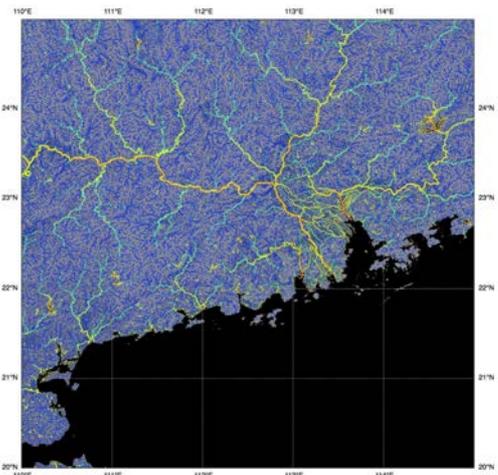
High-resolution & high-accuracy global topography datasets

洪水シミュレーションの精度向上には、高精度の地形データが必要不可欠です。しかし、既存の衛星観測データには多くの誤差が含まれるため、そのままでは洪水シミュレーションに利用できません。当研究室では、高度なビッグデータ処理技術に基づき、高精度かつ高分解像度の全球地形データ整備を進めています。開発した高分解像度地形データは、洪水シミュレーションに用いられるだけでなく、地球科学分野の基盤データとして全世界のさまざまな研究機関で活用されています。



#### 複数誤差成分の分離除去による高精度標高データMERIT DEM

既存衛星標高データに含まれる各種ノイズ等を除去するアルゴリズムを開発。水文学以外でも、生態学・考古学など様々な研究分野で活用されている。



#### 全球河道幅データ GWD-LR

衛星水面データから河川の幅を自動計算した。世界初の「河川の幅」をまとめた地図データ。



# Global Hydrodynamics Lab

(Yamazaki Lab @ IIS U-Tokyo)

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



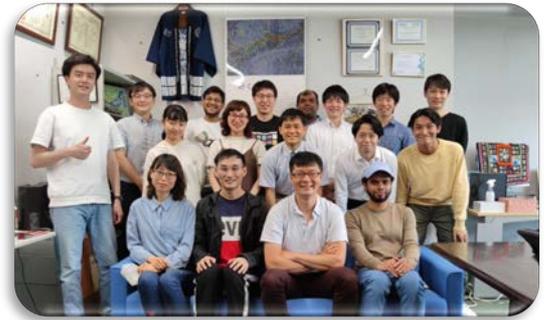
東京大学  
生産技術研究所  
Institute of Industrial Science,  
The University of Tokyo

## Welcome!

**Global Hydrodynamics Lab** (PI: [Dai Yamazaki](#)) is a part of U-Tokyo [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.



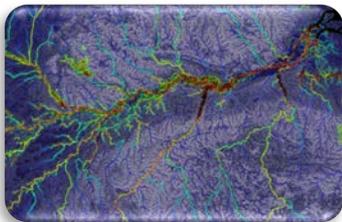
## What is Global Hydrodynamics?

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

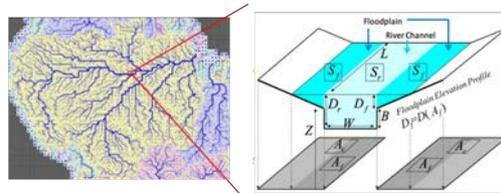
**It focuses on the movement and storage of the surface and sub-surface waters** at multiple temporal and special scales from local to global, including rivers, lakes, wetland, soil moisture, and groundwater. It also covers their interactions with related earth surface processes, such as precipitation,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

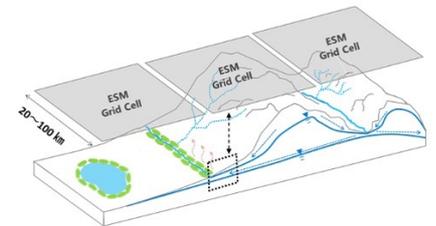


Global river topography data MERIT Hydro



Coarse-resolution River Network Map

Sub-grid channel/floodplain topography



Sub-grid hydrodynamics approach in Land model

## Who are we?

**Our lab is one of the world-leading hydrological science bridgeheads**, consists 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 it with data and model, please consider to 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.

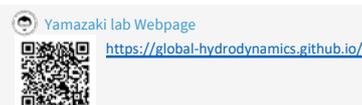


Our working space in Komaba-2 campus

<p><b>Dai Yamazaki</b>   山崎 大 PI, Associate professor (Apr 2018 - ) email: <a href="mailto:yamadai[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp">yamadai[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Global hydrodynamics, modelling, remote sensing, data integration • Personal Webpage • Google Scholar</p>	<p><b>Kudong Zhou</b>   周 旭东 Project Assistant Professor (Sep 2019 - ) email: <a href="mailto:k.zhou[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp">k.zhou[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Water surface modelling, Human water management • Personal Webpage • Research Gate</p>
<p><b>Jida Wang</b>   王 逸潇 Visiting Scholar (Apr 2022 - ) email: <a href="mailto:jidawang[at]iis.u-tokyo.ac.jp">jidawang[at]iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Associate Professor @ Kansas State University, Hydrological remote sensing: lake dynamics, hydrophere-cryosphere interaction, human impacts. • WebPage</p>	<p><b>Megumi Watanabe</b>   渡辺 恵 JPS Postdoc (Apr 2019 - ) email: <a href="mailto:megumi[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp">megumi[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Climate change impacts on glacio-hydrology, precipitation analysis, hydro-topography data • Personal Webpage • Google Scholar</p>
<p><b>Menaka Revel</b>   ১৯০৬ ৯০১৫ Postdoc (Nov 2019 - ) email: <a href="mailto:menaka[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp">menaka[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Hydrological data assimilation, Altimetry data on global fresh water; Discharge estimation • Personal Webpage • Research Gate</p>	<p><b>Gang Zhao</b>   赵 刚 Postdoc (May 2022 - ) email: <a href="mailto:gongzhaor[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp">gongzhaor[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Flood hydrology; Hydrological modelling; Machine learning • Research Gate</p>
<p><b>Yuki Kita</b>   北 祐樹 Postdoc (Jul 2021 - ) email: <a href="mailto:yukita[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp">yukita[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Atmosphere and Ocean Modelling, Climate Science • Research Gate • Google Scholar</p>	<p><b>Yuki Kimura</b>   木村 雄貴 Collab Researcher (Oct 2023 - ) email: <a href="mailto:ykimura[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp">ykimura[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Climate change impact on flood • Google Scholar</p>
<p><b>Prakati Modi</b>   ১৯৯৮ ৩০৫১ Ph.D student (Sep 2019 - ) email: <a href="mailto:modi[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp">modi[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Hydrological and hydrodynamic Model Evaluation • Personal Webpage • Research Gate • Google Scholar</p>	<p><b>Shuping Li</b>   李 晟平 Ph.D student (Sep 2020 - ) email: <a href="mailto:shuping[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp">shuping[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Land surface modelling, ecophysiology • Research Gate</p>
<p><b>Yang Hu</b>   胡 阳 Ph.D student (Sep 2020 - ) email: <a href="mailto:yang_hu[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp">yang_hu[at]rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp</a> • Nighttime light data, remote sensing, flood risk • Research Gate</p>	

Stuff & PhD Students as of 2022 May

**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)



# 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

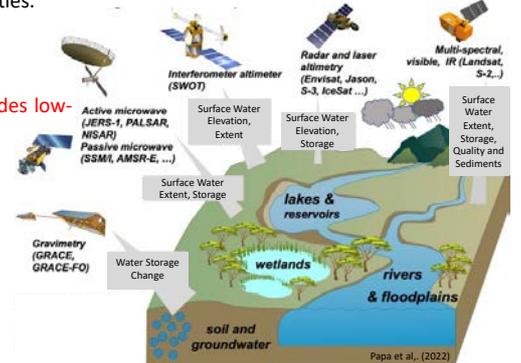


Figure 2: Schematic representation of main sensors/satellites observable variable

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.

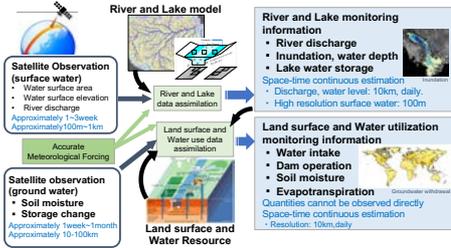


Figure 3: Schematic representation of comprehensive monitoring for the global Terrestrial hydrodynamics in Human-Geosphere

- 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--

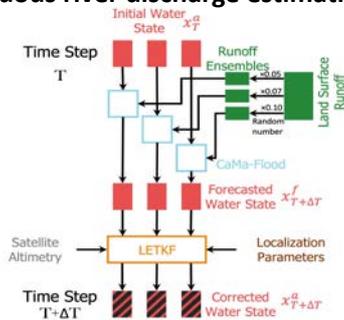


Figure 4: Schematic representation of data assimilation framework

- 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--

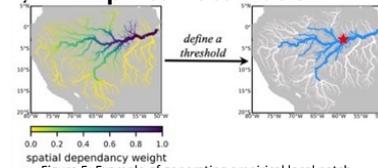


Figure 5: Example of generating empirical local patch

- 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

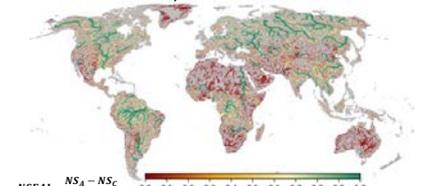


Figure 6: Assimilation efficiency of estimating river discharge

--Potential of data assimilation--

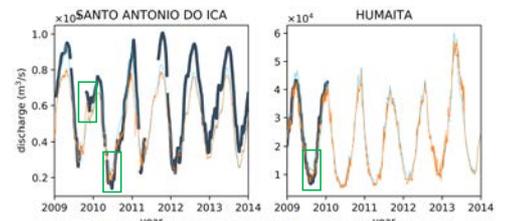


Figure 7: Potential of discharge estimation using data assimilation

- 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>

# Robust estimation of underwater river topography using satellite

衛星観測を用いた河川水面下地形のロバストな推定



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**.

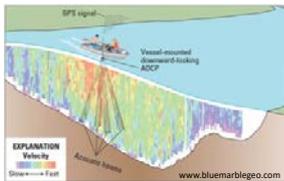


Fig. Conventional method to measure river bathymetry (i.e., underwater river topography)

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!

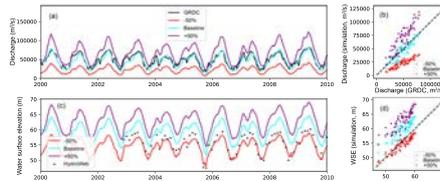


Fig. Comparison of model simulation and observation in time series with corrupted runoff (-50%, 0, +50%).

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

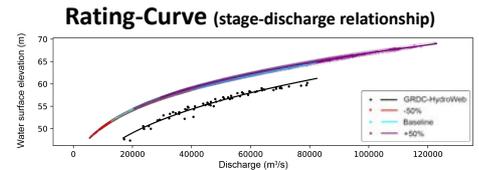


Fig. The rating-curve is stable regardless of runoff biases

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)

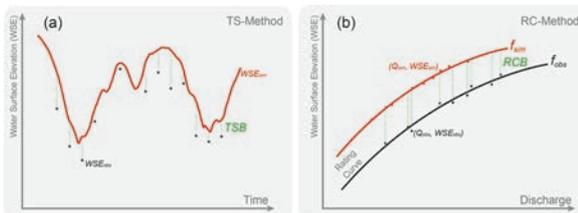


Fig. Calculation of the two bias  
Time-series bias (TSB): bias of water surface elevation in time series  
Rating-curve Bias (RCB): bias of fitted rating curve

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

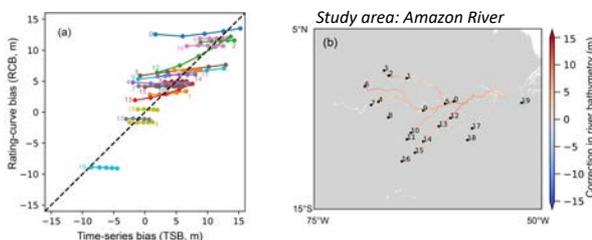


Fig. (a) Comparison of TSB and RCB at 20 gauges in the Amazon River Basin. (b) The bias along the rivers (by linearly interpolation)

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.

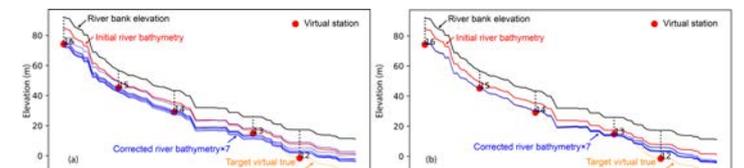
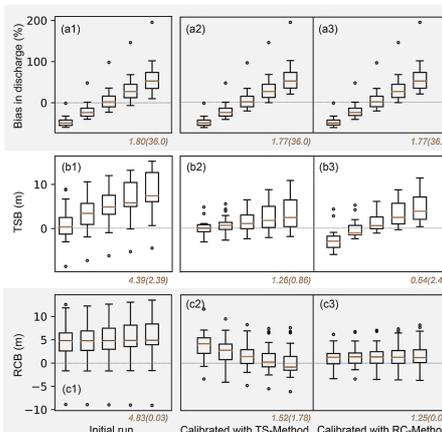


Fig. EXP3. Comparison of corrected river bathymetry (blue) with the virtual true river bathymetry (orange)

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

# 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

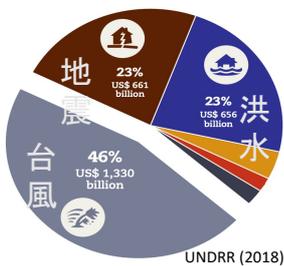
洪水は世界中での発生数が非常に多く地震と並ぶ被害額を及ぼす大災害の一つです。

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。

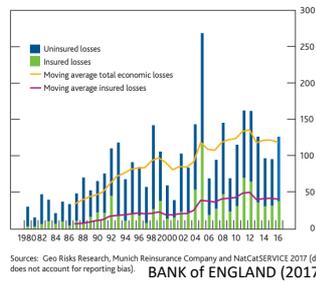
洪水による経済被害の計算はグローバルに行われる必要があります。

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



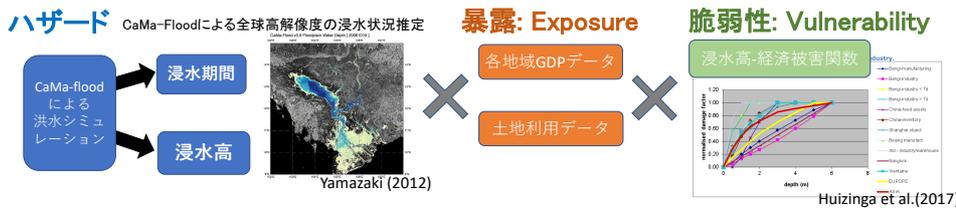
これまでの気候関連災害による  
経済損害(黄)の推移



台風による他地域への経済被害伝播

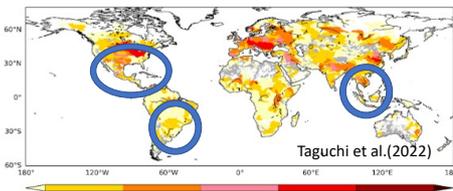
### 高解像度洪水シミュレーションを用いた将来経済被害予測とその展望

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。

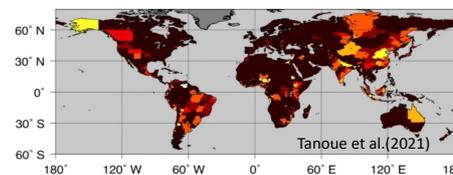


過去・将来における全世界の洪水発生シナリオを想定  
洪水経済被害は①直接被害②営業停止損失  
③サプライチェーン影響の3つに分けて推計する

- 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

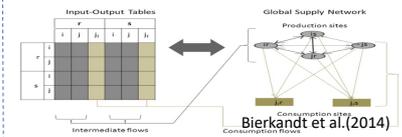
河川勾配の緩い地域で大きくなりやすい特徴  
や被害の大きい地域ではGDPの約1%にまで損  
害が上ることを示唆

#### □ 洪水防護策後の洪水リスク

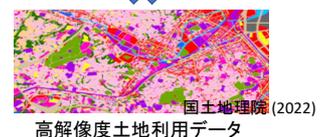
各地域で費用便益が最大になる防護策を行った  
場合に、防ぎ切れない洪水によるリスク(残留リ  
スク)を推定、インドや中国等では今後防護施設の建  
設途中に受ける洪水被害が大きいことを示唆

#### ➤ 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。

# 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



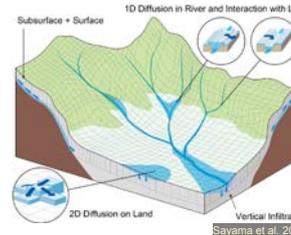
### 洪水の影響も含めて予測する

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。



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。



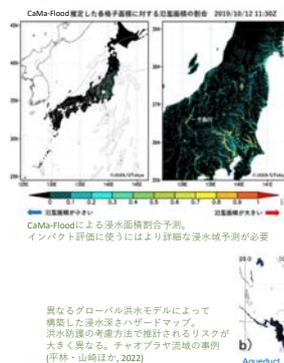
河川氾濫ハザードの予測は、降雨-流出-河道流下-氾濫のプロセスを一体的に考慮して計算する必要があり、豪雨や熱波などの気象災害より複雑です。

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。

### HydroSHEDS 全球河川水動態モデル CaMa-Flood

大陸河川の水収支 (>1000km) 河道・氾濫原の水動態 (<100m)

広域水収支とローカルな水動態を同時に効率計算。Standardな全球河川モデルとして**世界200以上の研究機関で利用される** (Yamazaki et al., 2011, 2012, 2013, and 2014)



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。**

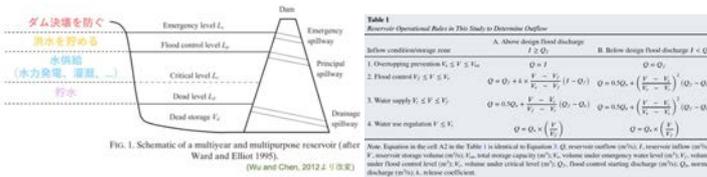
しかし現状の全球河川モデルでは、洪水防御が十分に反映されていないため、極端気象に対する確率的災害影響評価によって社会的意思決定を支援できるまでの精度はありません。

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

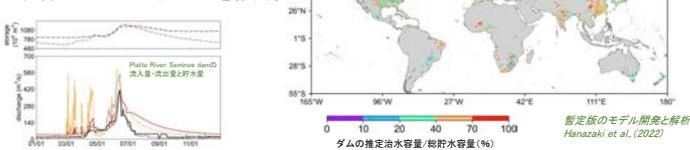
### 〈ダム操作スキームの実装〉

- 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？



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。

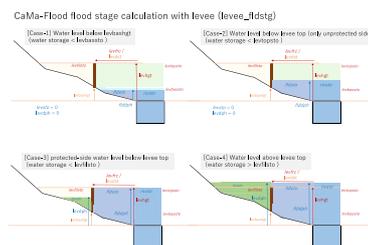


ダム操作を考慮することで、世界の多数の河川で流量の再現性向上が期待できる。

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？

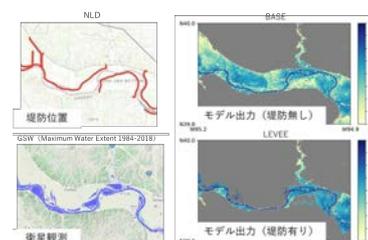


全球河川モデルの枠組みで堤防を考慮した河川水動態を表現する

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

# 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 雄貴



服部 公輔



山崎 大

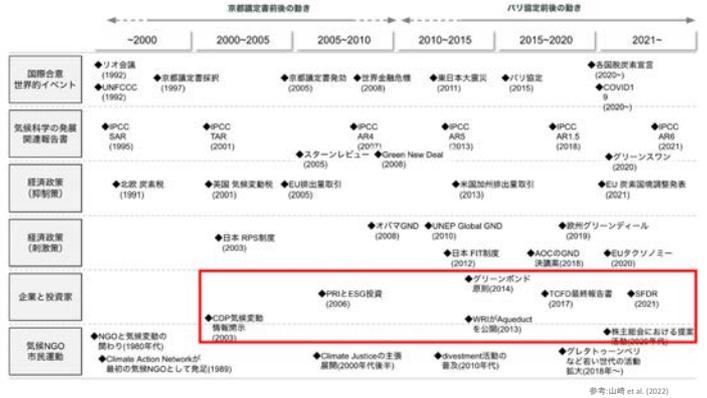


10cm x 10cm

## 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、世界各国の中央銀行では、**気候ストレステスト**が実施され始めています。

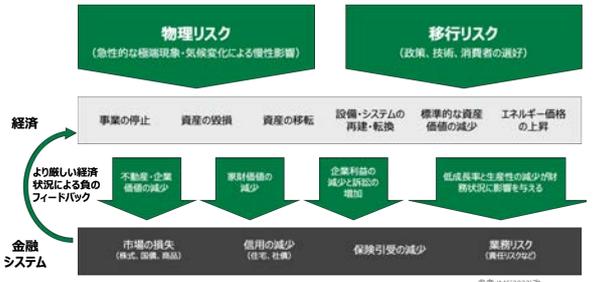


### 気候変動リスク算定手法の開発や効果的な制度枠組みの整備が課題になっています

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

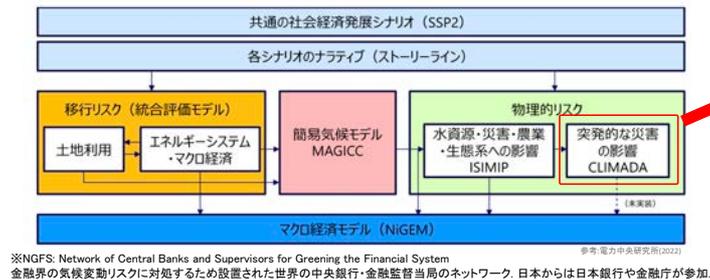
しかし、企業の立地や業種に応じた、物理リスクと移行リスクの算定するのは難しく、**災害シミュレーションモデルや気候モデルと経済・金融影響を結びつける方法の発展**が重要となっています。各国間や大企業と中小企業の間で、**より公平かつ効果的に気候変動対策を進めるための制度的枠組みを整備**することも課題となっています。



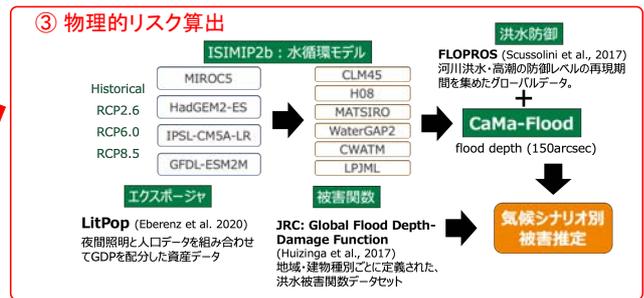
## 東京大学グローバル水文学グループが果たす役割

### 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

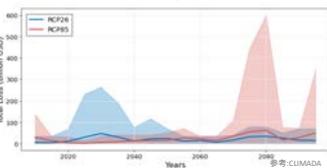
#### NGFSによる物理的リスク(洪水影響)の評価方法



※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。



洪水リスク評価のための洪水動態を表す際に、グローバル水文学グループの成果の一部である**全球河川水動態モデルのCaMa-Floodと、陸面過程モデルであるMATSIRO**が、リスク暴露算定に(Hirabayashi et al. 2013)の手法が用いられています



#### 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  
各期の利得関数  $\pi_1 = p_1(g_1) \cdot q_1 - C_1(q_1, g_1)$   
 $\pi_2 = p_2(g_1 + g_2) \cdot q_2 - C_2(q_2, g_2)$

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・最終財生産企業・中間財生産企業... | 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

# 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



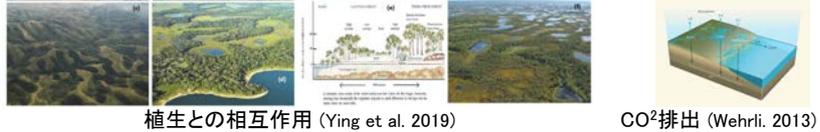
### 地球上全ての河川をコンピューター上に再現

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。



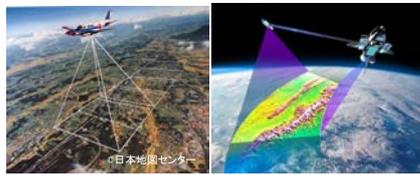
基礎研究から社会実装まで、幅広い分野で役立てられています。

- ・ 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CO<sup>2</sup>排出量の推定
- ・ リアルタイム洪水シミュレーション など

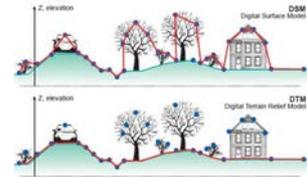


水文地形データは、陸域の水循環モデリングの重要な基盤データ。

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。



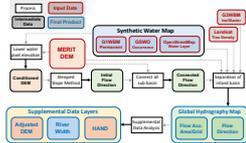
山崎研究室は、複数のリモートセンシング/オープンデータ・統計手法を組み合わせ、水循環シミュレーションに適用可能な、全球河川水文地形データ整備を推進しています。

## 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

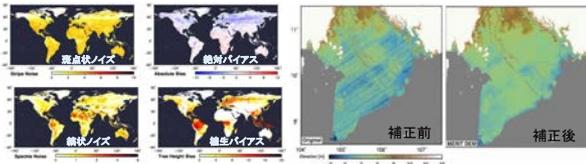
山崎研究室では様々な衛星観測や地理データを組み合わせ、高精度・高解像度な河川地形データの開発に取り組んでいます。

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



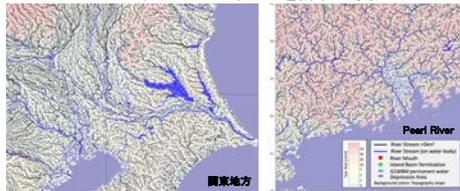
#### 高精度標高マップ MERIT DEM

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



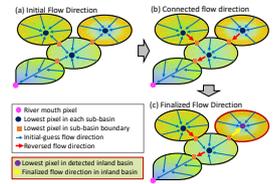
#### 高精度水文地形マップ MERIT Hydro

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

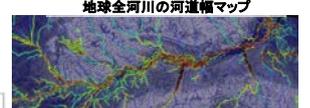


さらに標高や水面のデータをもとに河道幅や氾濫原形状も解析してデータベース化した。

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」が「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

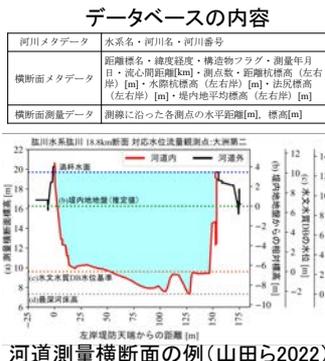


洪水シミュレーションなどの大幅な精度向上につながるため MERIT DEM / MERIT Hydroともに世界2000以上の研究機関に利用される地球科学の基盤データとなっている

### 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。



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

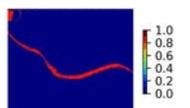


既存 Landsat衛星



水面検出できず

本研究 航空写真



# Using nighttime light for flood impact monitoring

## 衛星夜間光による洪水影響モニタリング

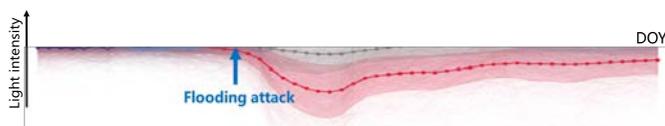


### Nighttime light data has the potential of detecting flood impact

**Nighttime light (NTL)** data record nocturnal artificial light on the Earth's surface and provide a unique observation of human activities. The recently released NTL product, enhances the **temporal (daily)** and **spatial resolution (500m)**, making it suitable for monitoring **human reactions toward short-term events**.

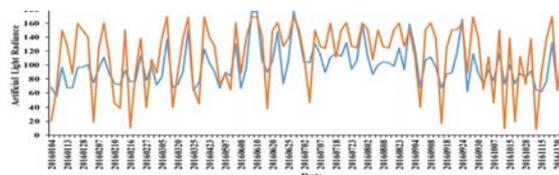


When flooding happens, many places will **face power outages** caused by the strong wind, heavy rain or water inundation. **Light intensity** will probably **decrease** compared to normal status, which makes it possible for NTL data to **detect flood impact**.



	SAR	MODIS	Nighttime Light Data
Temporal Resolution	2 ~ 16 days	Daily	Daily
Spatial Resolution	1~100m	30m	130m/500m/1km
Concentrate flood information	Inundation area	Inundation area	Human settlement
Data access	👍	👍👍👍👍	👍👍👍👍

Compared with MODIS and SAR remote sensing data, **NTL has a better reflectance on human settlement**. Thus, it may be able to **detect human reaction and quantify economic loss** for flood events.



However, the original NTL dataset suffers the problem of **unexpected large daily variation** limiting its application. **Preprocessing** should be applied before using NTL to detect flood impact.

### Generation of high quality nighttime data for flood detectability

#### Method:

- Two **remaining errors** lead to NTL data's daily inconsistency:



Observational coverage mismatch      Satellite view angle's affect(16 days' cycle)

- Self-adjusting method with Filtering and Angle Correction (SFAC)** for excluding the errors:

$$\text{Observed NTL} = A * \text{Ground truth NTL} + \text{error}_{\text{mismatch}} + \epsilon$$

Step2. Angle effect coefficient generation: Step1. Spatial Gaussian filter

- Separate daily intensity to 16 days as one group and normalize ---  $n_{ij}$
- For each angle  $j$ , exclude 10% outlier and calculate mean of  $n_{ij}$  as  $A$

#### Result:

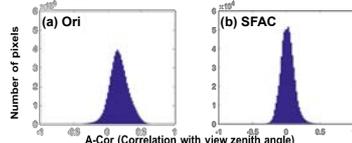


Figure 1. The angle correlation(A-Cor) frequency distributions of (a) an original NTL image, (b) an SFAC-corrected image.

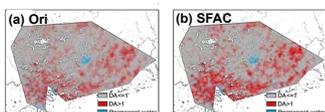


Figure 2. The detectability(DA) spatial distributions of (a) the original NTL and (b) the SFAC-corrected images.

Table 1. Summed light comparisons of the original NTL data and the SFAC data in the flood-affected area.

	2013			2014		
	SOLannual	SOL-flood	Δ	SOLannual	SOL-flood	Δ
Ori	1269707.4	1097411.4	-14%	1285161.0	1278824.1	-0.5%
SFAC	1272518.9	794611.6	-38%	1275782.7	1202107.2	-5.8%

The light intensity's correlation with angle has been excluded (Fig.1) for most pixels indicating that light intensity is less or not affected by view angle. Meanwhile, the results for chosen flood event(Fig.2, Table.1) proved the **nighttime light data has the ability of detecting flood impact and the signal has been strengthened after calibration with our method**.

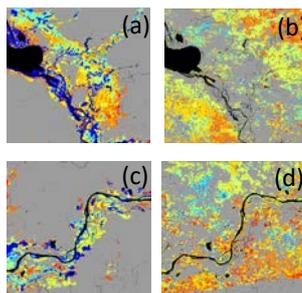


Figure 3 Flood duration (unit: days) result for MODIS (a,c) and NTL (b,d).. Permanent water is shown as black.

Both the flood affected area and duration for MODIS and NTL data are different (Fig.3). NTL reflect flood impact on human settlement rather than inundation area as MODIS. Thus, **NTL has the potential of detecting flood impact for human activities as well as economic loss or fatalities** which is difficult to reflect from MODIS.



Shuping Li



Dai Yamazaki



## Water dynamics can shape land cover distribution at hillslope scale

### Why at the hillslope scale?

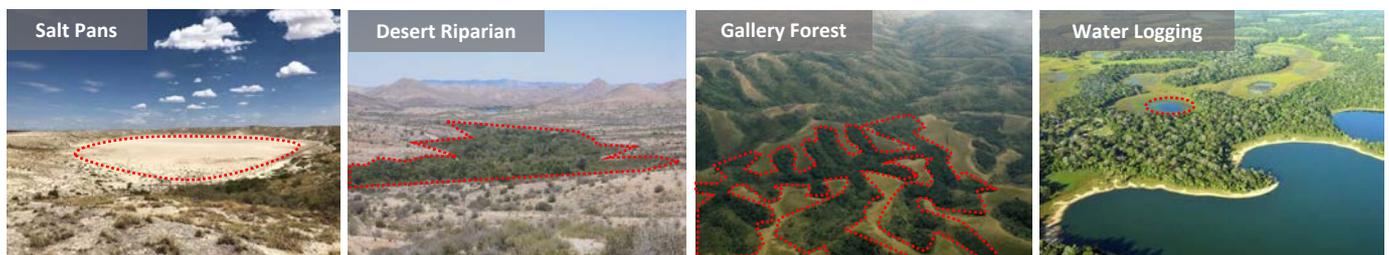
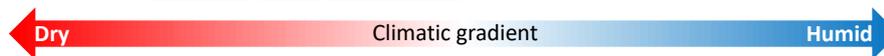
Although the climatic altitude impact has been thoroughly studied, discussions over the hillslope hydrology control on the land cover are still lacking. At the hillslope scale, driven by gravity, water drains from ridge to valley, causing the water availability contrast between highland and lowland.

### 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.

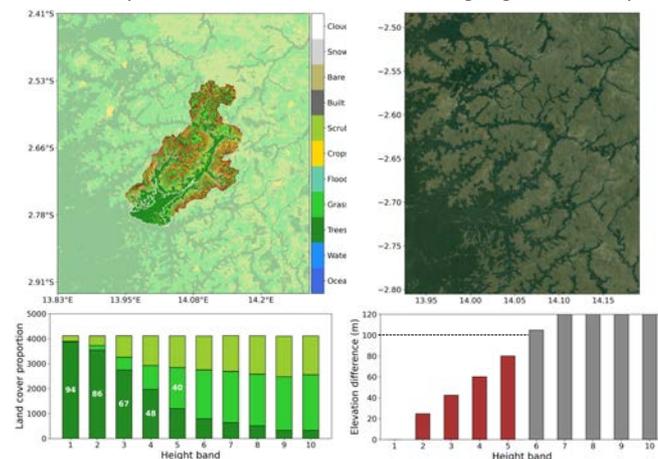
## An efficient method to represent the hillslope land cover heterogeneity

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

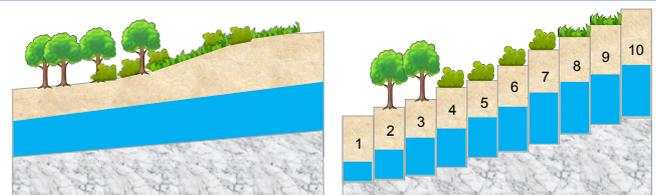
Based on the topographic data MERIT-DEM (Yamazaki et al., 2017), a unit-catchment can be evenly discretized into 10 height bands, each band is represented by the dominant land cover type. The 10 height bands will be used to approximate the realistic land cover distribution.

### 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.

# 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

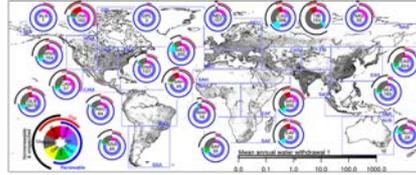
気候変動によって世界の多くの地域で**水ストレスが増加**

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。

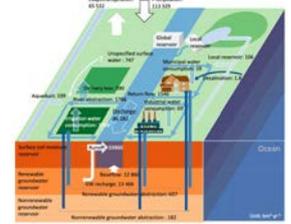
**全球水文モデル**を用いて利用可能な水資源の量を評価

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)



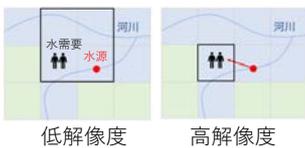
(花崎ら, 2018)

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

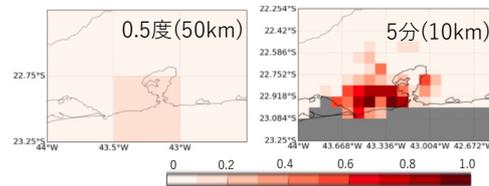
全球水文モデルの計算結果から対象地域の範囲のみを取り出し、空間解像度約2km~10kmの計算が行われています。

**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。**

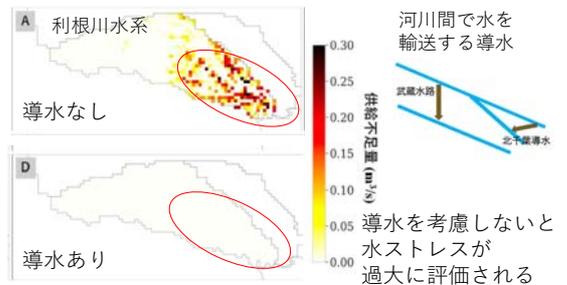
運河網の効果



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



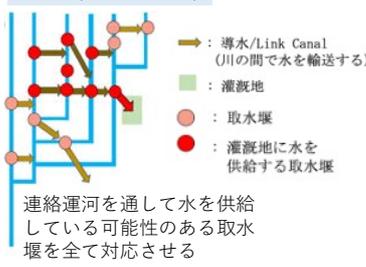
インダス川流域の運河網

既存スキーム(直接導水)



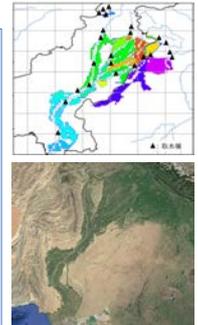
水需要が満たされないとき、各灌漑地に対応する1つの取水点から水が供給される

本研究(多段階導水)

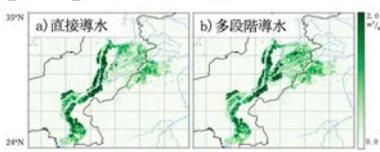


連絡運河を通して水を供給している可能性のある取水堰を全て対応させる

モデル上に配置した取水堰と灌漑地



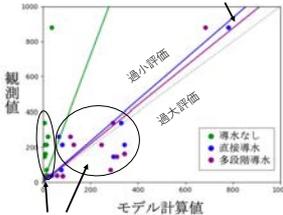
【結果】 年間取水量



- 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

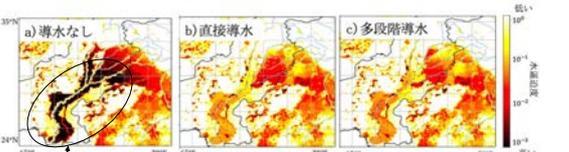
流域全体の平均  
運河網の効果を入れると観測値に近づいた



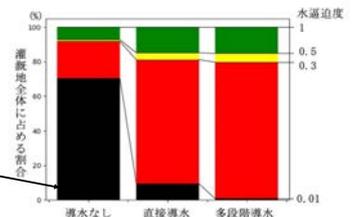
エリアごとの取水量

- 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

# 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



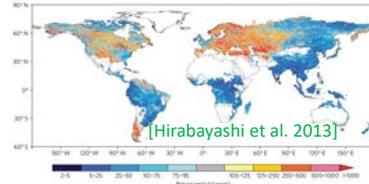
Dai Yamazaki



## 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.



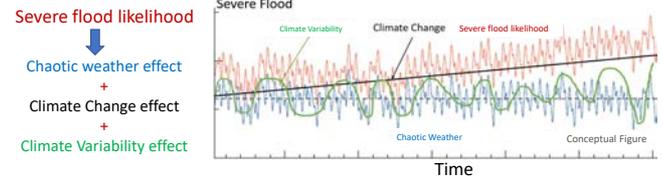
**Recently, many severe flood events have happened in the world, including Typhoon Hagibis in Japan.**

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.**

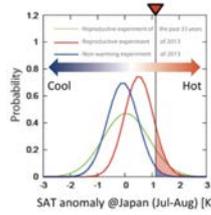
## Assessing climate variability impact by large-ensemble climate simulation

### <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

$$FAR = 1 - P_{NAT} / P_{HIS(t)}$$

$$PR = P_{HIS(t)} / P_{NAT}$$

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

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

$$PR = P_{HIS(ONI)} / P_{NAT}$$

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

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

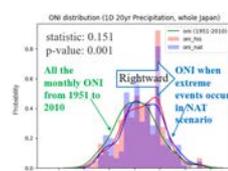
$$FAR \text{ for Climate Change} \leftarrow P_{HIS(1991-2010)}$$



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  $\geq 0.5$  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

0.267 FAR for Climate Change in 1991-2010

0.321 FAR for ONI when ONI  $\geq 0.5$

0.625 FAR for ONI + Climate Change when ONI  $\geq 0.5$  in 1991-2010

0.625 > 0.321: 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 > 0.267: 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.

# 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



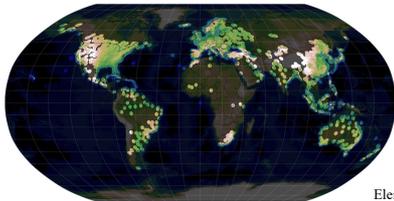
山崎 大



## 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

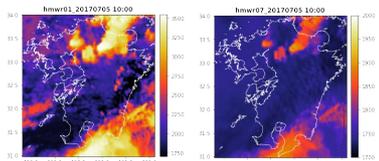
### Global Precipitation Measurement



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

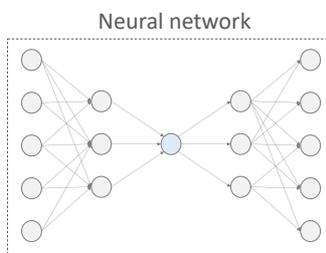
衛星観測値を地上降水量へ変換するアルゴリズムはまだ研究段階であり、近年はその複雑な関係性を捉えるために、機械学習を用いた手法が数多く提案されています

#### 入力 (衛星観測データ)

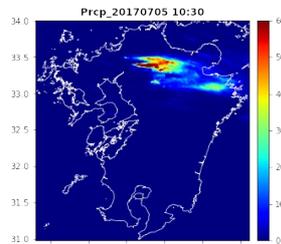


降水量推定に向けた衛星観測データとして、マイクロ波や赤外放射計による観測値が利用されます

#### 機械学習モデル



#### 出力 (降水量)



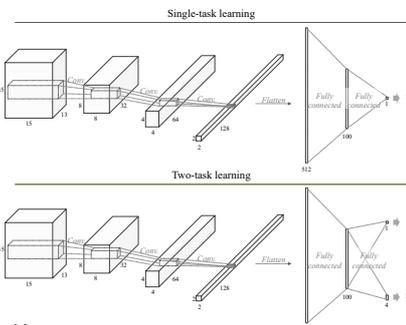
気象レーダーによる観測値をもとに、入出力データの関係性を学習します。空間パターンを効率よく学習するために、CNN(Convolutional neural network)がよく利用されます

## 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

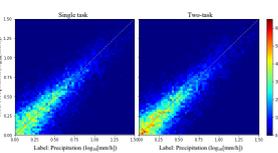


CNNを利用した従来型のモデル(上段)と学習時にRain-rateとRain-maskを同時に考慮することで精度向上を実現したモデル(下段)

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	0.934 ± 0.003 *	1.351%
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 *	22.208%
Moderate	RMSE	1.286 ± 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	-0.956%
	Area	0.672 ± 0.039	0.649 ± 0.036	-3.423%
	CC	0.729 ± 0.015	0.73 ± 0.013	0.137%



従来型モデル (Single-task) と提案モデル (Two-task) のパフォーマンス比較。統計指標 (RMSE, Area, CC) と Scatter-density plot により2つのアルゴリズムを比較

### 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

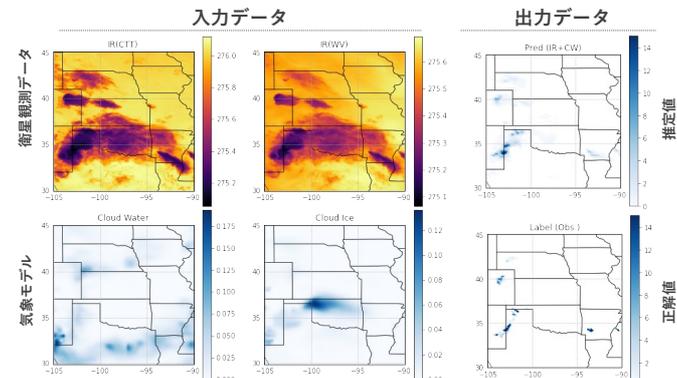
#### 損失関数

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

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

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

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



## Our Mission

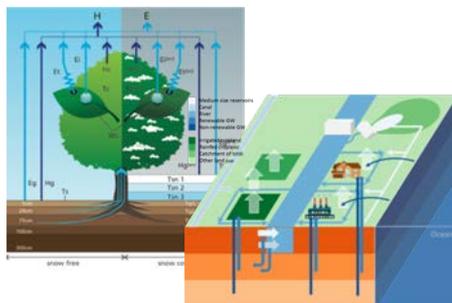
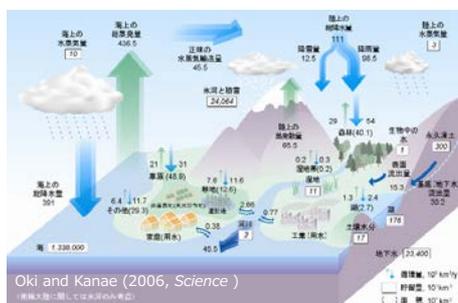
自然環境と人間社会において不可欠な資源である地球上の水について理解を深めることは、気候変動や洪水・干ばつなど水に関わる様々な課題を解決する上で重要です。グローバル水文学グループでは「水に関する学問の継承発展と社会への貢献」を使命に掲げ、水循環・水資源とそれらの人間活動との相互作用に関する最先端の研究を行っています。

## Research Interest

ローカルからグローバルまでの多様な時空間スケールで幅広い領域にまたがる「水文学」の研究を実施しています。

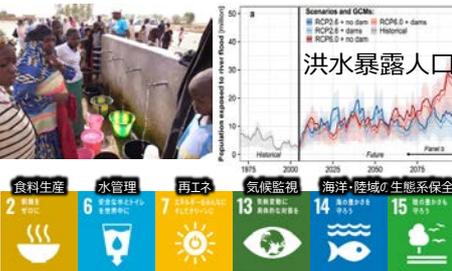
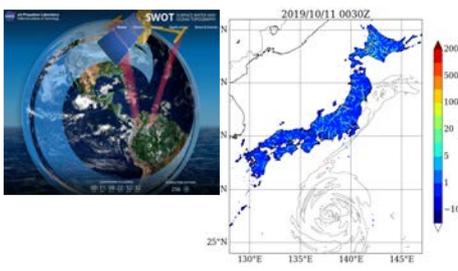
地球上のどこにどのくらいの水がどのような形態で存在し、それらが季節的・長期的にどう変動しているのか？

その変化/変動を支配するプロセスは？人間活動や気候変動の影響は？



地球規模の水循環の変動をモニタリングできるか？過去の気候を復元し、将来を予測できるか？

水循環と気候システムや人間社会との関わりは？どのように持続可能な社会を構築できるか？



**水文学**とは地球上の水を扱う科学です。水の発生、循環やこの惑星上での分布、水の物理的ならびに化学的特性、そして物理的・生物的環境と水との相互作用を対象とし、人間活動に対する水の応答を含みます。水文学は地球上の水循環の経路全体をそっくりそのまま取り扱う分野です。

ワークショップ・イベントも実施しています！



水循環を見る  
フィールドワーク@伊豆



柏サイエンスキャンプ



陸面モデル  
ハッカソン

### 研究アプローチ

- データマッピング
- 機械学習
- 現地観測
- データ統融合
- 数値モデル
- モニタリング
- 衛星
- シナリオ分析

## Member



沖大幹  
教授



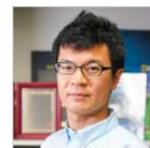
芳村圭  
教授



沖一雄  
特任教授



木口雅史  
特任教授



山崎大  
准教授



金炯俊  
特任准教授



吉兼隆生  
特任准教授

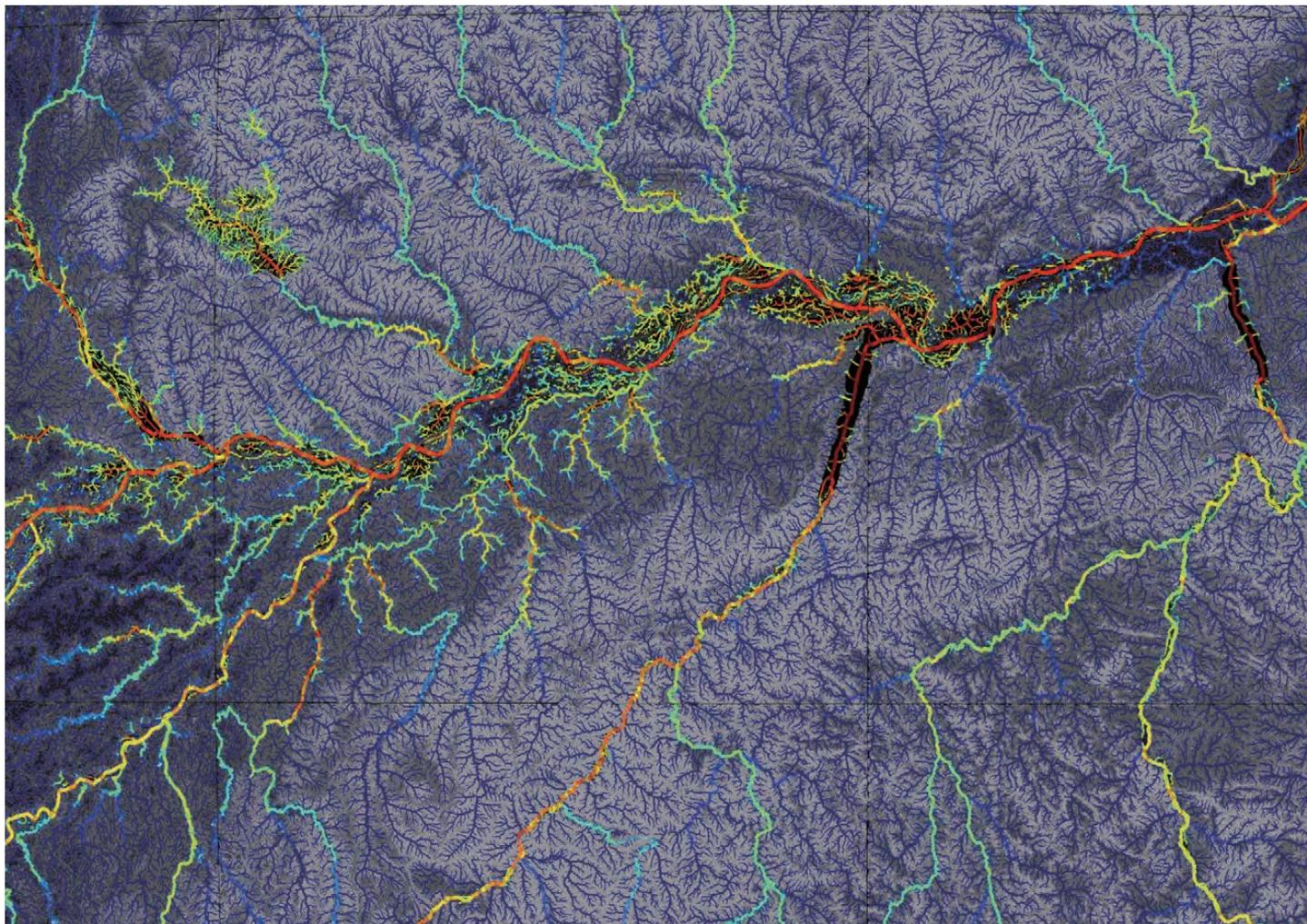


新田友子  
特任講師

本郷・駒場・柏の3キャンパスに拠点を置き、総勢50名以上の研究員・学生が所属しています。

当グループへは様々な専攻・プログラムから参画が可能です。興味のある方は、各教員のホームページ(QRコード)をご確認ください。





# 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。

