

## 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.



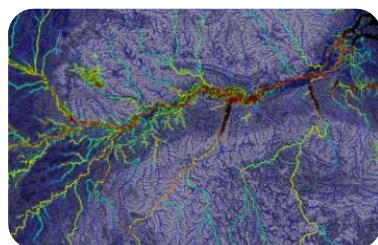
## What is Global Hydrodynamics?

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

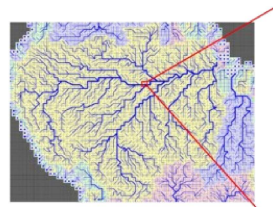
It focuses on the movement and storage of the surface and sub-surface waters at multiple temporal and spatial scales from local to global, including rivers, lakes, wetland, soil moisture, and groundwater. It also covers their interactions with related earth surface processes, such as precipitation, evaporation,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

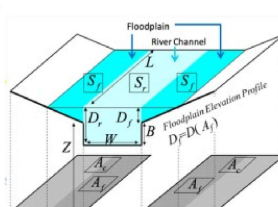
In addition to natural hydrological cycle, we also assess the impact of the terrestrial water variability to the human well-beings (e.g. flood, water resources, ecosystem service), and try to understand the reactions of the society (i.e. water resources and hazard management) and their feedback to the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



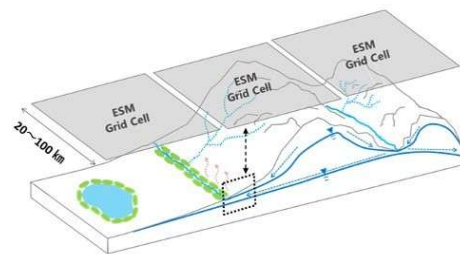
Global river topography data MERIT Hydro



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, 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.

 <p><b>Dai Yamazaki</b> 山崎 大 PI, Associate professor (Apr 2018) mail: <a href="mailto:yamadai@iis.u-tokyo.ac.jp">yamadai@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Global hydrodynamics: modelling, remote sensing, data integration</li><li>Personal Webpage</li><li>Google Scholar</li></ul>	 <p><b>Hiroyasu Yasuda</b> 安田 浩保 Project Associate professor (Apr 2020) mail: <a href="mailto:hiroyasu@iis.u-tokyo.ac.jp">hiroyasu@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>River Flow Physics</li></ul>
 <p><b>Taishi Yazawa</b> 矢澤 大志 Assistant Professor (Oct 2022) mail: <a href="mailto:yazawa@iis.u-tokyo.ac.jp">yazawa@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Water resources management, Citizen science, Water, sanitation and hygiene, Environmental education</li><li>Google Scholar</li><li>Researchmap</li><li>Personal Webpage</li></ul>	 <p><b>Dhruv Sehgal</b> 望月 唯晴 Postdoc (Nov 2022) mail: <a href="mailto:dhruv@iis.u-tokyo.ac.jp">dhruv@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Sediment transport and global modelling, River and sediment monitoring</li><li>Google Scholar</li><li>Research Gate</li></ul>
 <p><b>Swarup Dattaraj</b> 水野 大志 Postdoc (Feb 2024) mail: <a href="mailto:swarupd@iis.u-tokyo.ac.jp">swarupd@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Hydrological modelling, Human-water systems, Remote sensing, Climate change</li><li>Google Scholar</li><li>ResearchGate</li></ul>	 <p><b>Jiaohan Chen</b> 陈 家焯 Postdoc (Oct 2023) mail: <a href="mailto:jchen@iis.u-tokyo.ac.jp">jchen@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Global hydrology, Flood hazard, Climate change, Hydrological modelling</li><li>ResearchGate</li><li>Google Scholar</li></ul>
 <p><b>Hong Wang</b> 王 泓 Postdoc (Mar 2025) mail: <a href="mailto:hongw@iis.u-tokyo.ac.jp">hongw@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>River flow regimes, Water temperature, Hydrothermal modeling, Riverine carbon emissions</li><li>Google Scholar</li><li>Research Gate</li></ul>	 <p><b>Katsura Hikiie</b> 日置江 桂 Collab Researcher (Jul 2025) mail: <a href="mailto:hikiie@iis.u-tokyo.ac.jp">hikiie@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Flood forecasting, Flood impact of climate change</li><li>Visiting from WeatherNews</li></ul>
 <p><b>Haruya Yoshikawa</b> 吉川 晴夫 Collab Researcher (Oct 2025) mail: <a href="mailto:hyoshika@iis.u-tokyo.ac.jp">hyoshika@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Climate change impact on flood</li><li>Visiting from NSGAD InterRisk Research &amp; Consulting</li></ul>	 <p><b>Xiaoyu Sun</b> 孙 小勇 Ph.D student (Oct 2024) mail: <a href="mailto:sunxiaoyu@iis.u-tokyo.ac.jp">sunxiaoyu@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Climate change impact on hydrological cycle in basins</li><li>Research Gate</li></ul>
 <p><b>Yuanzhe Zhang</b> 张 远哲 Ph.D student (Apr 2025) mail: <a href="mailto:nyuanzhe@iis.u-tokyo.ac.jp">nyuanzhe@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Hydrological Model Calibration, Remote Sensing, Machine Learning</li></ul>	 <p><b>Leslie Modie</b> Ph.D student (Oct 2024) mail: <a href="mailto:leslie@iis.u-tokyo.ac.jp">leslie@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Analyzing climate change impact on river flow regime</li><li>Research Gate</li></ul>
 <p><b>Dialya Jacobo Rodriguez</b> Ph.D student (Apr 2026) mail: <a href="mailto:jacobod@iis.u-tokyo.ac.jp">jacobod@iis.u-tokyo.ac.jp</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Flood early warning system using satellite data</li></ul>	 <p>We are looking for new members!</p>



Our working space in Komaba-2 campus

Staff & Ph.D. Students as of 202 6 May

# Global Hydrology Group

東京大学Global Hydrology Group (GHG)は、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「水文学」の幅広い要素を扱う、東京大学の先端的研究基盤です。

東京大学内の様々な組織(生産技術研究所、工学系研究科・社会基盤学専攻、新領域創成科学研究科、大気海洋研究所、総合文化研究科・国際環境学コースなど)にまたがる研究グループで、地球水循環に関わる幅広い研究と教育に取り組んでいます。



## 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。Global Hydrology Group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。

<p><b>地球水循環の把握</b> 地球上どこにどのくらいの水があるのか? どのような形で存在し、それらが季節的・長期的にどう変動しているのか? 観測やデータ解析で捉えます。</p>	<p><b>地球水循環のモデリング</b> 地球水循環の変化/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? 水循環のモデリングを通して、そのメカニズムを理解します。</p>	<p><b>地球水循環の予測</b> 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? シミュレーションやデータ統合アプローチで水循環の実態に迫ります。</p>	<p><b>地球水循環と社会</b> 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? 地球規模課題に対処するための解決策を探ります。</p>
--	--	--	--

## Member

<p><b>沖大幹 教授</b> 工学系・社会基盤学専攻 (本郷) WebSite +</p>	<p><b>芳村圭 教授</b> 生産技術研究所 (柏) WebSite +</p>	<p><b>山崎大 准教授</b> 生産技術研究所 (駒場) WebSite +</p>
<p><b>木野佳音 講師</b> 生産技術研究所 (柏) WebSite +</p>	<p><b>沖一雄 特任教授</b> 生産技術研究所 (駒場) WebSite +</p>	<p><b>花崎直太 客員教授</b> 工学系・社会基盤学専攻 (本郷) WebSite +</p>
<p><b>徳田大輔 特任講師</b> 生産技術研究所 (柏) WebSite +</p>	<p><b>木口雅司 上席研究員</b> 工学系・社会基盤学専攻 (本郷) WebSite +</p>	

## Research Topic

各研究室ごとに様々な最先端の研究テーマを扱っています。

<p><b>リアルタイム水循環予測</b> Real-time hydrological prediction</p>	<p><b>全球河川動態モデルの開発</b> Global river hydrodynamics model</p>
<p><b>水同位体を用いた水循環解析</b> Water isotope for hydrological studies</p>	<p><b>気候変動影響と洪水リスク評価</b> Climate change impact on flood risk</p>

## 研究室の雰囲気

数値シミュレーションやデータ分析が中心の研究室ですが、地球水循環をより深く理解するための現地視察や、国際的・学際的なワークショップなど、様々な研究アクティビティを行っています。



合同ゼミ @ 白子

海外大学教授を招いたセミナー

フィールド調査 @ 館山

## GHGに参加するには?

Global Hydrology Groupは東京大学の3キャンパスに拠点があります。芳村研究室(柏)、山崎研究室(駒場)、沖研究室(本郷)で参加方法が異なるので、詳しい情報は各研究室のWeb Pageを見てください。

### 同位体水文気象学研究室(芳村研究室: 柏キャンパス)

芳村研究室では、水循環システムの理解や気候予測、そして水災害の抑止に貢献する研究に取り組んでいます。主な手法は地上及び衛星観測と水循環モデリング、そして両者を融合するデータ同化です。特に水同位体比情報を用いたグローバルな水循環研究や、地球システムモデル用の陸域モデルの開発で世界をリードする成果を出しています。近年では、機械学習による気象予測や古気候復元など、幅広いトピックも扱っています。

### 全球陸域水動態研究室(山崎研究室: 駒場2キャンパス)

山崎研究室は、河川・湖沼・湿地・地下水など陸域のあらゆる水動態が研究対象で、モデリング・衛星観測・データ分析を主な研究ツールとしています。グローバルな河川モデルによる水動態シミュレーションで世界をリードしており、気候モデル開発・気候変動影響評価・衛星水循環モニタリングにも取り組んでいます。陸域水動態モデリングの世界的研究拠点で、海外からの学生・スタッフ・ビジターも多数集まる国際的な研究室です。

### 地球人間圏研究室(沖研究室: 本郷キャンパス)

私たちの研究室では、自然と人間社会の基本原則の総合的な理解のために研究を行っています。水に関する学問の継承と社会への普及を社会的使命として掲げており、河川水文学、地球規模水循環システム科学、世界ならびに日本の水問題解決に関する研究に取り組んでいます。さらに水を対象とした研究だけでなく、社会科学や経済学、心理学などさまざまな学問を駆使し、社会に大きく貢献するもの、長期的に有用・有意義なもの、新たな学問体系の構築に資するものを幅広く研究対象としています。多様な人材を包摂し、様々な分野で世界最先端の研究開発に触れることが可能な研究室です。

グローバル水文学グループWebページ  
http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp



# 高精度・高効率な全球河川水動態モデルの開発 CaMa-Flood: Global river hydrodynamics model



山崎 大

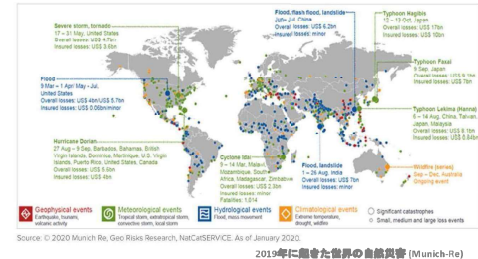
## 地球規模で河川の流を理解する

地球規模での河川流れのシミュレーションを実現することが、気候予測の精緻化や災害リスク評価にとって重要です



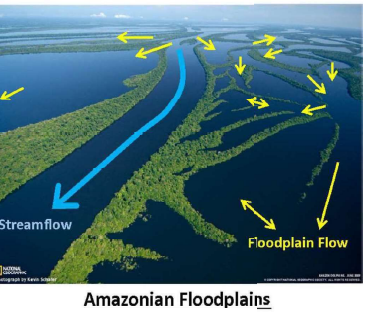
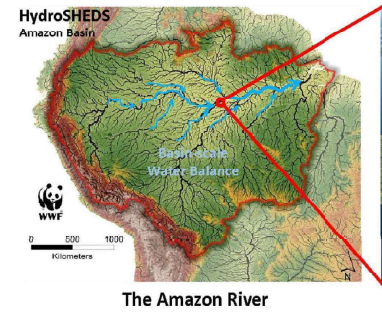
河川は、大気・海洋・陸域をめぐる地球水循環の重要な要素です。  
 ・陸域から海洋への淡水や栄養塩の輸送  
 ・河川とつながる湖沼や湿地におけるCO2やメタンなどの物質循環など通して、地球の気候システムに影響を与えています。  
**気候システムの一要素としての河川の役割を理解するには、地球上すべての河川を対象としたモデリングが必須です。**

World Natural Catastrophes, 2019

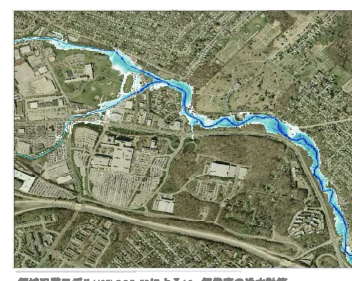


また、河川流況に関連する洪水や渇水などの自然災害は、世界各地で毎年のように発生しています。  
**いつどこで発生するか分からない災害に備えるには、広域を対象としたモニタリングと予測が必要です。**

## 全球河川モデルでは、詳細な水動態をどうやって広域で効率よく計算するかが課題です



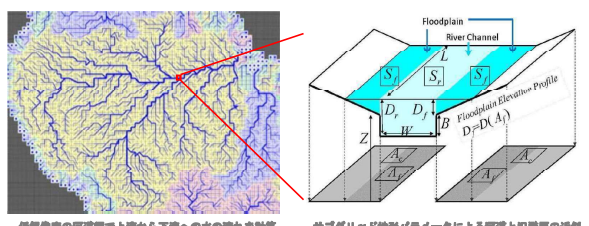
アマゾンやメコンなどの大陸河川では、  
 ・数1000kmスケールの河川流域の水収支  
 ・数mスケールの地形に規定される水動態  
 という異なる空間スケールに跨る現象を同時に考慮する必要があります。  
 個々の河川を対象にした流域規模モデルでは高解像度格子を用いることで、詳細な水動態を記述することが可能です。  
**しかし、全球河川モデルで高解像度格子を用いることは現実的ではありません**



山崎研究室では、リアルタイム洪水予測や気候モデルとの結合といった先端的研究のために地球全域を対象に高精度・高効率で河川の水動態を計算できるモデル開発に取り組んでいます

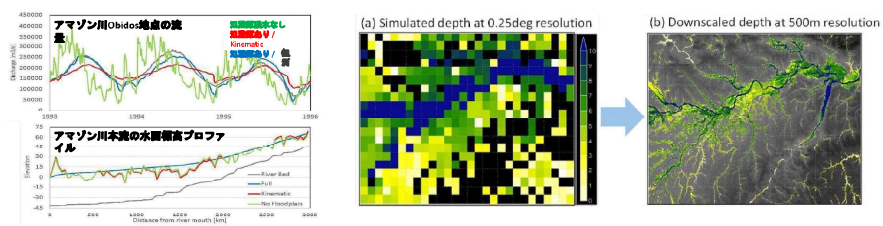
## 全球河川水動態モデルCaMa-Floodにおける工夫とその利点

### サブグリッド地形表現による複雑な水動態の近似



・低解像度の河道網に沿って水収支を計算  
 ・氾濫原の水動態は、水位は一律と仮定して地形情報から近似というアプローチをとることで、大陸河川の流を効率よく表現した。

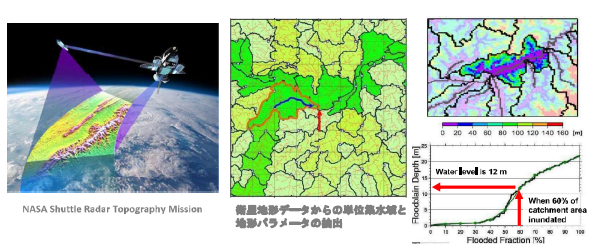
### 従来の全球河川モデルと比較して、大幅に河川水動態の表現が改善



氾濫原浸水と浅水波方程式の導入で従来モデルより流量と水位が現実的に

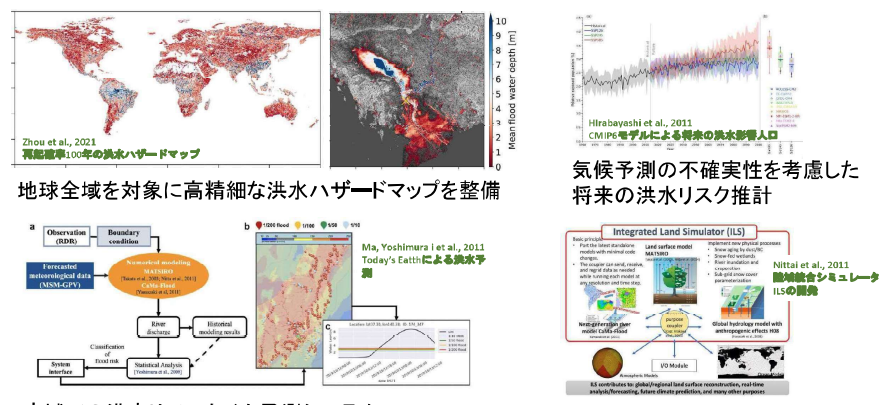
サブグリッド地形情報を活用することで、低解像度シミュレーションを診断的にダウンスケールできる

### 衛星データから現実的な地形パラメータの同定



高解像度の河川地形データに、河川地形解析アルゴリズムFLOWを適用することで、低解像度の河道網・単位集水域・氾濫原地形などの地形パラメータを抽出する。  
 貯水量-水位-浸水域の関係を実地形をもとに定めることで、全球モデルの枠組みで水位や浸水域の高精度計算が可能になった。

### 高精度・高効率の河川シミュレーションにより多様な応用研究が実現



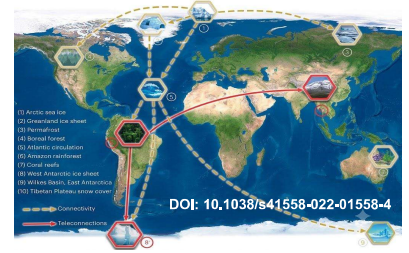
広域での洪水リアルタイム予測システム

陸域モデルの一部として気候モデルと結合

## The Needs & Challenges of Global Flood Simulations

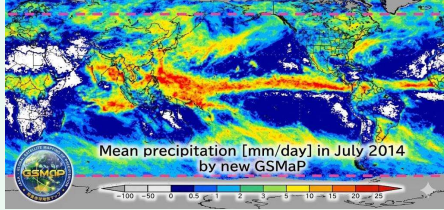
### A unified physical framework for globally connected floods

The water cycle operates as a planetary system. Ocean temperatures drive evaporation; atmospheric circulation determines where storms form; snowmelt in mountain ranges controls river discharge months later. Understanding the macroscale patterns of flood risk, how it varies across regions, how it responds to a changing climate, and where it will intensify in the future, requires simulating these planetary-scale processes within a single, coherent physical framework.



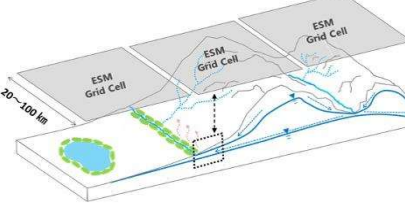
Global hydrological modelling is done through a cascade of different models, each bringing their own errors and uncertainties. We need to address them to improve accuracy, efficiency and uncertainties in hydrological modelling.

### Meteorological Modelling



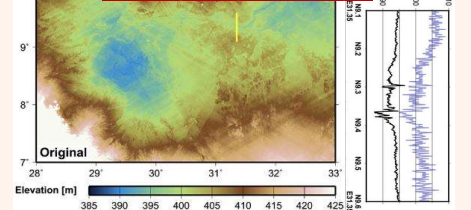
Meteorological variables serve as the forcing data for flood simulations. Their prediction and projection rely on corresponding models; however, simplified simulation schemes and sensitivity in initial conditions introduce biases and uncertainties into the simulated results.

### Hydrodynamic Representation



Solving flow equations is computationally demanding, especially at the global scale. Topography, a key boundary condition, must also be represented efficiently over large domains.

### Topography Accuracy

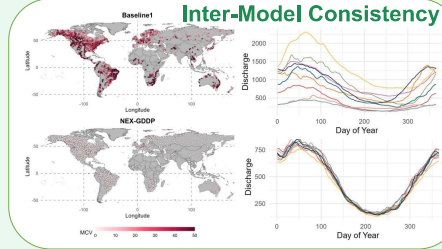
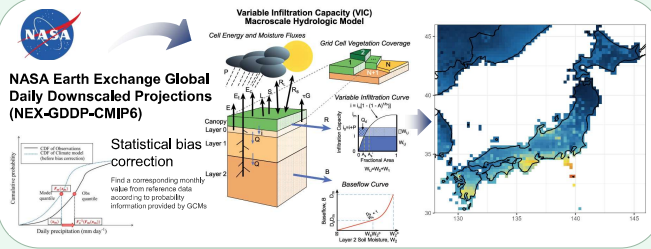


Large-scale topography is mainly derived from satellite observations and is affected by errors such as absolute bias, stripe noise, speckle noise, and tree-height bias, which can compromise the accurate simulation of flow routing and flood inundation.

## Rigorous Bias Corrections & Elegant Simplification Scheme

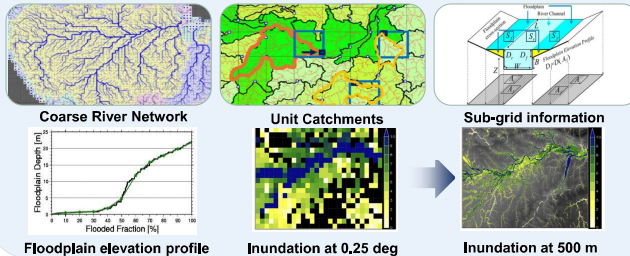
Global flood modeling is fundamentally a trade-off between accuracy and efficiency. We seek to reduce errors in the data while embracing necessary simplifications to develop efficient representations that retain the key physics of flood processes.

### Bias corrected runoff data for climate change impact studies



Structural differences among global climate models lead to divergent future projections, complicating the identification of robust climate change trends. By constraining model outputs with reanalysis data and generating runoff through a land surface model, we significantly improved consistency across flood simulations.

### Catchment-based Macro-scale Floodplain Model



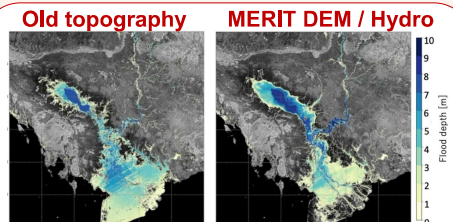
### Efficient global hydrodynamic representation scheme

- Unit Catchments + Grid-Vector Network:** Represents fine-scale river networks within coarse grids, enabling efficient global simulations without losing key hydrological connectivity.
- Sub-grid Floodplain Parameterization:** Compresses high-resolution terrain into sub-grid parameters, preserving inundation dynamics without explicit fine-scale computation.
- Local Inertial Solver:** Captures essential hydrodynamics, including backwater effects, at a fraction of the cost of full dynamic-wave models.
- FLOW Upscaling Method:** Automatically derives river networks and hydraulic parameters from high-resolution terrain while retaining critical topographic information.

### Bias corrected topography products (MERIT DEM / Hydro)

#### More accurate DEM & hydrography maps for flood simulations.

- MERIT DEM** identifies the major sources of elevation error and corrects them through the integration of multiple remote sensing datasets.
- MERIT Hydro** builds upon MERIT DEM by incorporating multiple hydrographic datasets to constrain flow directions, while using long-term satellite observations to identify river locations and widths, thereby deriving a more realistic representation of global river networks.
- These advancements provide a more reliable topographic and hydrographic foundation, leading to improved accuracy and credibility in global flood simulations.



# 河川モデルのための水文地形データの整備

Development of Baseline Topographic Data for River Model



三保 宇翔

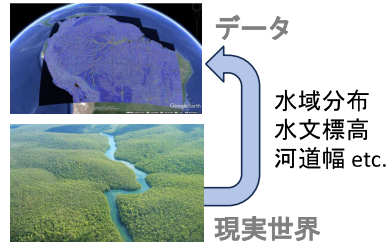


山崎 大

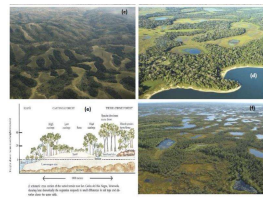


## 地球上全ての河川をコンピューター上で再現する

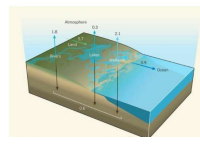
現実の河川をコンピューター上で忠実に再現することは、洪水予測や気候変動研究から防災・インフラ整備まで、基礎研究と社会実装の両面にわたって重要です。



水文地形データは、陸域の水循環モデリングにおける重要な基盤データである。地下水動態解析、地表面と気象・植生との相互作用解明、地球システム研究・気候変動予測、洪水氾濫シミュレーションなど、基礎研究から社会実装に至る幅広い分野において不可欠とされている。

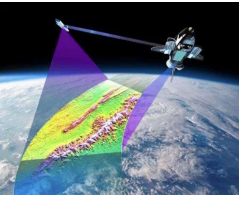


植生との相互作用 (Ying et al. 2019)



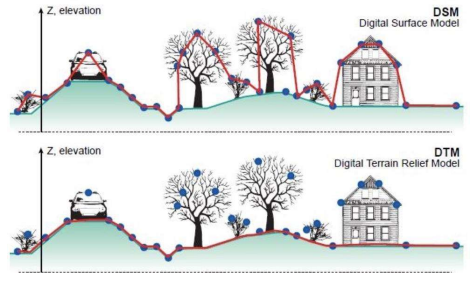
陸水からのCO<sub>2</sub>の放出 (Wehrli. 2013)

水文地形データの整備においては、高精度・高解像度なデータをいかに地球全域で取得・構築するかが、依然として大きな課題となっています。



航空機観測等に基づく高精度標高データは先進国においてのみ整備されており、世界の多くの地域では衛星観測由来の地形・地理データのみが利用可能な状況にある。

衛星観測データにはノイズ・バイアス等、多様な誤差・不確実性が内在しており、洪水氾濫計算等への応用には適切な補正処理が不可欠である。

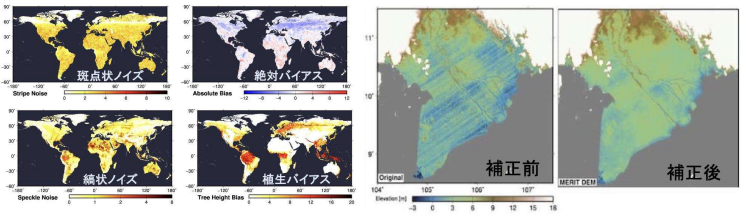


山崎研究室では、複数のリモートセンシングデータ・オープンデータと統計的手法を組み合わせることで、水循環シミュレーションに適用可能な全球河川水文地形データベースの開発・整備に取り組んでいます。

## 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

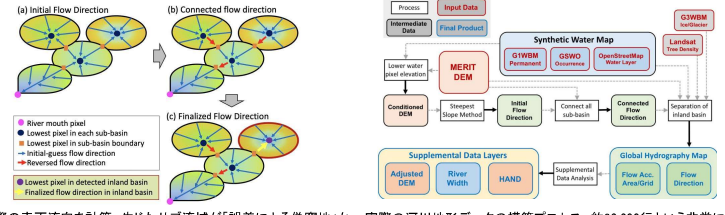
### 高精度標高マップ MERIT DEM

既存の衛星標高データを基に、衛星由来の森林被覆データと複数の統計的フィルタリング手法を組み合わせることで、地形・植生・水面など多様な誤差要因を体系的に分離・除去した。



### 高精度水文地形マップ MERIT Hydro

空間解像能3秒角(約90 m)において、地表流下方向の全球推定と河川位置の自動抽出アルゴリズムを開発



実際の表面流向を計算、生じたサブ流域が「誤差による偽流域」か「実際の内陸河川」かを自動で判定するアルゴリズムを実装。実際の河川地形データの構築プロセス。約30,000河川という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。

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6000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

### 今後の展望：多様な河川関連データの統合

現在、河川関連データは多様な形式・座標系のもとで個別に整備されている。流域治水が進む昨今、上流から河口までを統合的に扱えるデータ基盤は不可欠である。相互参照可能な形でのデータ整備が実現すれば、流域治水の議論や洪水リスクモデルの精度はさらに向上するだろう。

計算した河道データ (ラスト)

あくまで河川モデル作成用  
属性情報なし

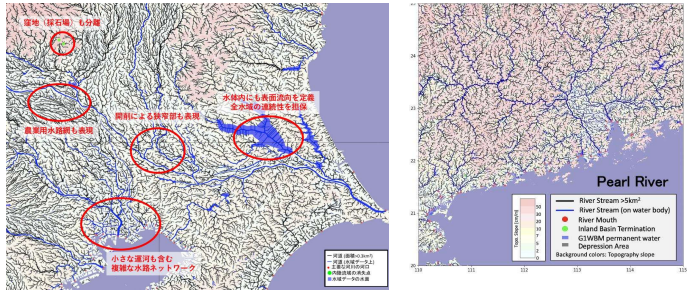
地理院地図(国土地理院)

地図データ(位置は極めて正確)  
属性情報なし

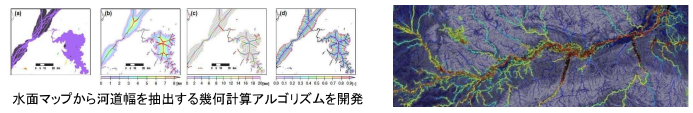
距離標 / 断面データ / 河川データ (国土交通省)

属性情報あり  
河川管理用のデータ

→地球全域にわたる詳細な河川網を構築した



さらに、衛星標高データおよび水面情報に基づき、河道幅・氾濫原形状の解析を行い、データベースとして整備した





Youjiang Shen



Gang Zhao



Dai Yamazaki



## Regulation of rivers by human beings are not well represented in global models.

### Dams

More than 2.8 million dams worldwide have already transformed rivers from natural to managed systems.



Dams store water during rainy seasons and release it gradually, reducing floods and maintaining dry-season flow. They provide enormous benefits, but fundamentally change the amount or seasonality of river discharge

### Levees

Tens of thousands of kilometers of levees protect cities and farmland from flooding around the world.



Levees are walls built along a river bank. It keeps water in the channel until the level rises above the levee crest, at which point the protected area floods suddenly. Levees. They change the river width, river depth and whether the flood happens.

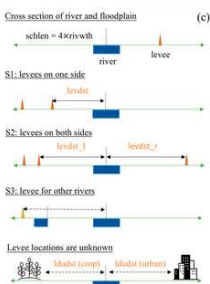
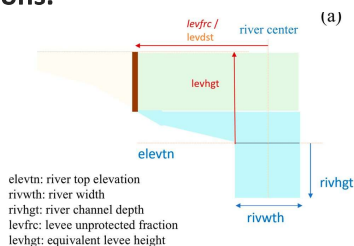
The river discharge regulated by humans is largely different from natural one. However, traditional global model did not consider the human intervention.

## Representing human regulation in global river model

### Levee Protection Scheme

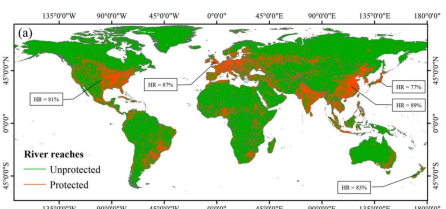
We developed a globally-applicable levee protection scheme for CaMa-Flood by simple parameterization and global estimation of levee locations.

The levee is represented in a simple physical scheme in a global river model CaMa-Flood. Only 2 parameters are required; levee height from the river top elevation and the distance from the river centerline to the levees. The levee height is estimated from flood frequency analysis.

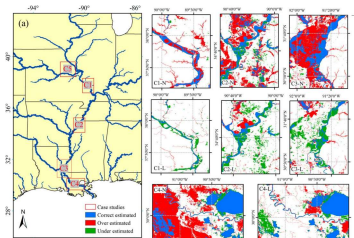


The distance between rivers and levees is decided depending both on observational data and other proxies. To extract the distance from rivers to levees even in the regions where the observation is not sufficient, we propose using the distance from the edges of urban and cropland areas to the river centerline (named land-use distance) as a proxy for the distance from levee locations to the river centerline

The model now correctly distinguishes protected areas from truly flood-prone ones globally. For example, the fraction of levee-protected river reaches was 81% in U.S., 87% in U.K., 89% in China, 83% in New Zealand, Japan 77%.



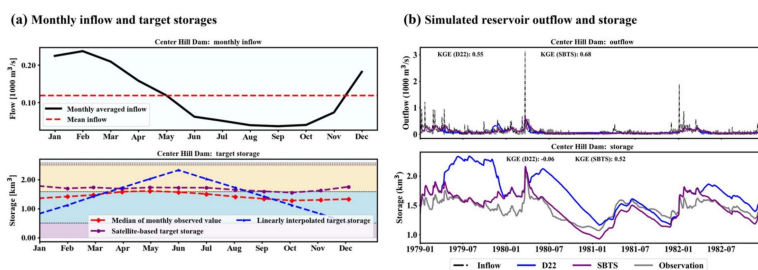
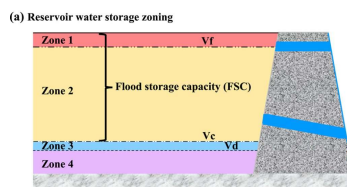
With levees, flood maps become more realistic. Flood hazard maps in the US shows with levees (C-L) the model correctly identifies protected areas while without levees (C-N) vast areas are wrongly predicted as flooded (red).



### Reservoir Operation Scheme

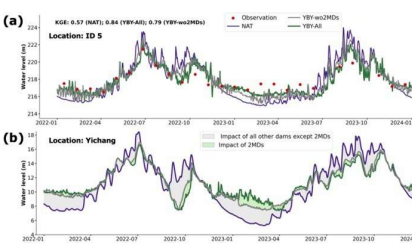
We developed a Satellite-Based Target Storage (SBTS) reservoir scheme for CaMa-Flood that works for any dam worldwide, using satellite images and machine learning instead of inaccessible operational data.

The dam storage was separated into three areas and estimated in different ways. Storage is divided into Flood Control, Water Supply, and Dead Storage zones. Machine learning estimates flood storage capacity for any dam. Monthly satellite images of water area provide seasonal storage targets, no in situ data needed.



Adding SBTS brings simulated discharge in line with what is actually observed downstream, while without dam operations in the model, floods are overestimated and dry-season flows are too low, because the model treats rivers as if no dams exist. The example is in Center Hill Dam, U.S. Without adequate reservoir representation (D22, grey) simulated discharge diverges from observation (black). SBTS (purple) closely tracks real storage and outflow.

Two new Yangtze mega-dams were assessed without any public operational data. The two mega dams reduced high water levels by 1.2–6.0% and increased low-season levels by 11.0–36.2%, flood control impact comparable to Three Gorges Dam due to the upstream position intercepting headwater runoff.



# 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



THE INSTITUTE OF INDUSTRIAL SCIENCE  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

## 全球水文モデルを用いた水資源量評価

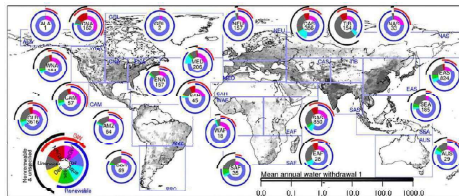
気候変動によって世界の多くの地域で**水ストレスが増加**

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。

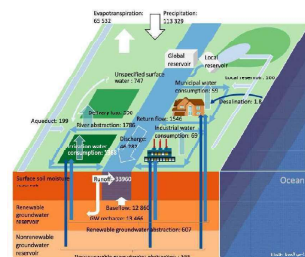
**全球水文モデル**を用いて利用可能な水資源の量进行评估

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)



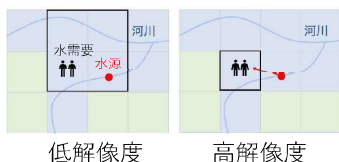
(花崎ら, 2018)

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。**

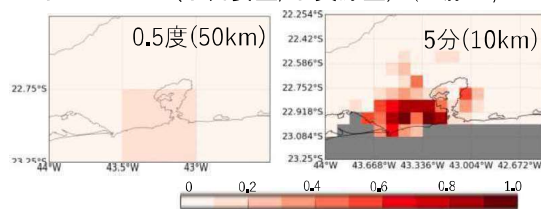
運河網の効果



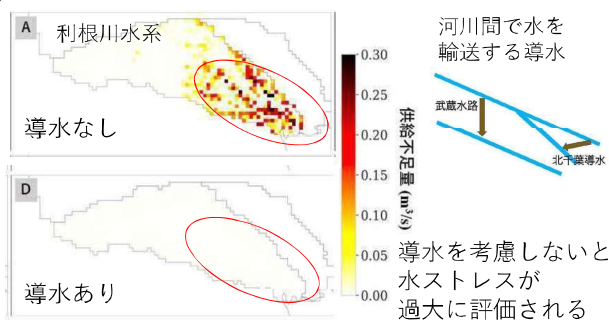
低解像度

高解像度

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。

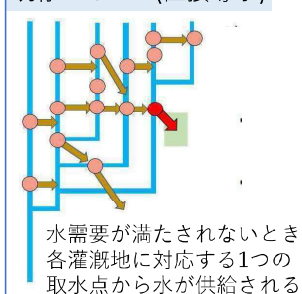


河川を接続する連絡運河が多数あるのが特徴



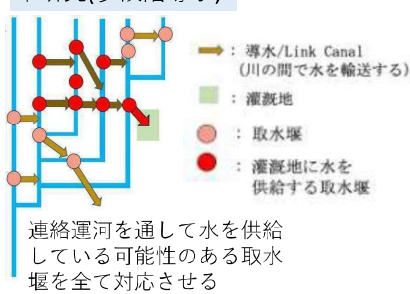
インダス川流域の運河網

既存スキーム(直接導水)



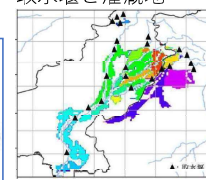
水需要が満たされないとき、各灌漑地に対応する1つの取水点から水が供給される

本研究(多段階導水)

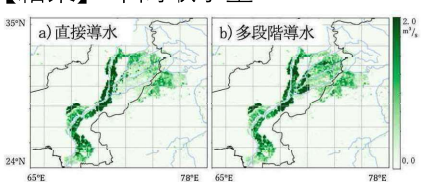


連絡運河を通して水を供給している可能性のある取水堰を全て対応させる

モデル上に配置した取水堰と灌漑地

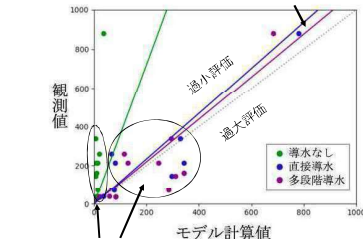


【結果】 年間取水量



観測値とモデル計算値の比較

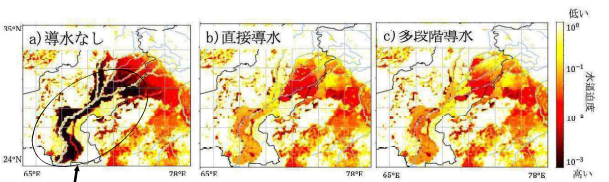
流域全体の平均  
運河網の効果を入れると観測値に近づいた



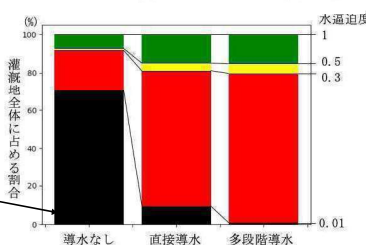
エリアごとの取水量

- 導水なしの場合の過小評価が改善された
- エリアによっては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

### 河川の水の流れを高速かつ正確に再現・予測するには？

#### 河川流下モデル

河川流下モデルは、格子間の水のやり取りを経験式や物理式に基づいて計算することで、河川の流れを空間・時間方向に連続的に再現するモデルです。河道ネットワークを上流から下流へと枝分かれした樹状構造として表現する1次元モデルでは、数キロメートル程度の粗い格子解像度を採用することにより、全球・大陸スケールにおける河川流量を効率的にシミュレートすることが可能です。Yamazaki et al., (2011) は、このようなアプローチに基づき、不規則な形状の格子セルを特徴とするCaMa-Floodモデルを開発しました。しかし、モデルの簡略化やパラメータ・入力データに含まれる誤差の影響により、シミュレートされた流量にはしばしば無視できない不確実性が生じます。

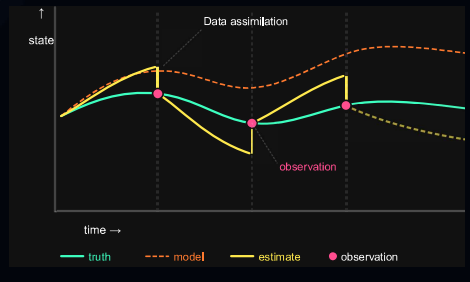
#### 衛星による河川の観測

衛星リモートセンシングは、Landsat (1972年～) や Sentinel (2014年～) などの光学・レーダーミッションにより、浸水域や川幅といった河川に関する様々な情報をもたらしてきました。また TOPEX/Poseidon の打ち上げ (1992年) 以降は水面標高の観測も可能となりました。2022年に打ち上げられた SWOT 衛星は、水面標高や川幅などをさらに高頻度・高精度に観測することを可能にし、これらの観測データと水理方程式を組み合わせることで河川流量の推定も実現しました。衛星観測は現地観測と比較して空間的なカバレッジに優れ、比較的高い精度での観測が可能です。一方で、観測頻度は向上しているものの、衛星の回帰周期に起因する時間的な断続性が依然として残された課題となっています。



#### データ同化：モデルと観測を融合する数理的的手法

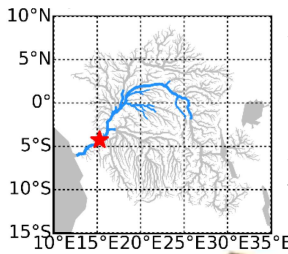
観測データと数値モデルを統計的に融合することで、両者の長所を最大限に活かす手法がデータ同化です。観測は現実の状態を直接捉えられる一方、その空間・時間的なカバレッジには限界があります。一方、数値モデルは時空間的に連続した情報を提供できるものの、パラメータや入力データの誤差が蓄積し、現実からの乖離が避けられません。データ同化はこの両者の弱点を相互に補完する枠組みであり、各情報源の不確実性に応じた最適な重み付けのもとで観測値をモデルの内部状態変数の修正に活用します。これにより、観測単独では到底カバーしきれない広域的な空間情報と、モデル単独では達成し得ない高い推定精度を同時に実現することが可能となります。



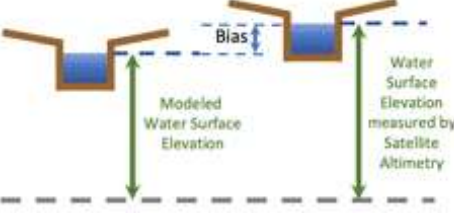
### 河川モデルへの衛星観測の同化に関する当研究室での取り組み

#### 衛星観測水面標高の同化

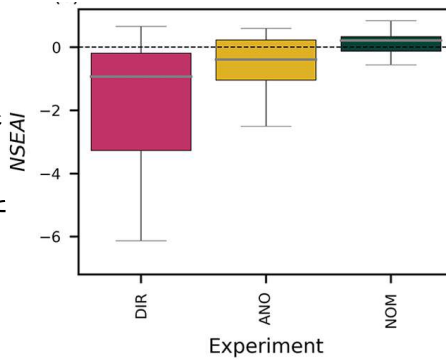
Revel et al. (2019, 2023) は、水面標高の空間相関に基づく経験的局所化パッチと水面標高の正規化を組み合わせた同化スキームを開発し、全球河川モデル CaMa-Flood への衛星観測標高の同化を実現しました。このスキームでは、衛星によって観測された地点と空間的な相関を持つ格子の貯留量を更新することで、以降のタイムステップにおける水面標高や河川流量を真値へと近づけます。



経験的局所化パッチは、ある観測点の影響範囲を適切に制限し、空間的に離れた格子の状態を誤って修正することを防ぐために導入されました。



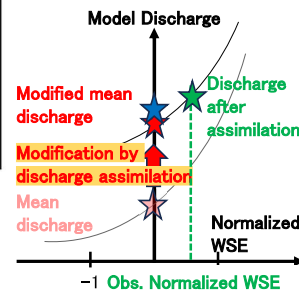
モデルの河床標高にはバイアスが含まれるため、観測水面標高からそのまま河川の貯留量を推定することはできません。そこで、標高バイアスの影響を回避しつつ平均状態からの偏差を同化に活用するために、水面標高を正規化 (平均を引いて標準偏差で割る) したうえで同化を行います。



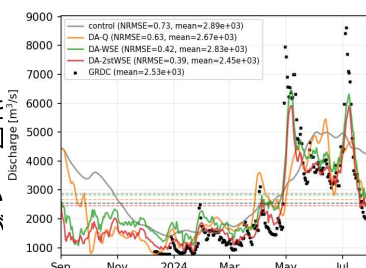
NSEAI はモデルの非同化コントロール実験からの性能改善量を表しており、「DIR」「ANO」「NOM」はそれぞれ水面標高の直接同化、水面標高アンマリーの同化、正規化アンマリーの同化を行った実験を示しています。箱ひげ図より、正規化アンマリーを用いた同化 (NOM) は、大多数の検証地点においてモデル性能の改善をもたらすことが確認されました。

#### 衛星観測からの推定流量の同化

正規化水面標高同化では、水面標高や流量の平均値・振幅に関する情報が失われます。そのため、モデルの平均流量にバイアスが存在する場合、同化後の流量にもそのバイアスが残存してしまいます。この問題を解決するため、Kojima et al. (in prep.) は、第1段階として衛星観測流量を同化することで水面標高の平均値と振幅を補正したうえで、正規化水面標高同化を行う手法を提案しています。



1周目で衛星観測流量を同化することでモデルの平均流量および水面標高を補正し、2周目ではその補正された平均値・振幅を基準として正規化水面標高アンマリーの同化を実施します。



ハイドログラフは、流量同化によるバイアス補正の効果を示しています。補正なし (緑) と補正あり (赤) の比較から、平均値・振幅の修正が流量推定精度の向上に寄与していることが確認できます。



# 衛星を用いた河川水面下地形の推定

## Estimation of underwater river topography using satellite



Xiaoyu Sun



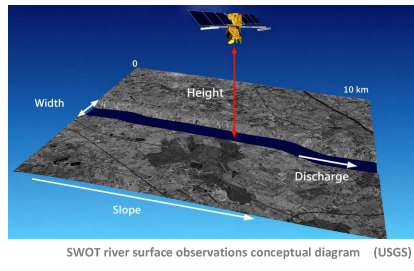
Dai Yamazaki



### Hydrodynamic models help satellites “see” hidden river variables

Satellites observe the river surface from space.

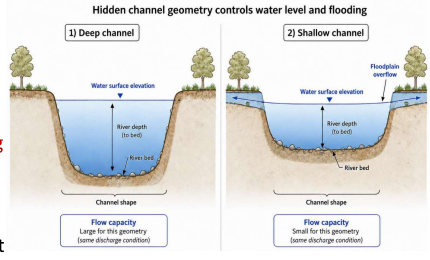
Hydrodynamic models translate these surface signals into hidden river variables below the water.



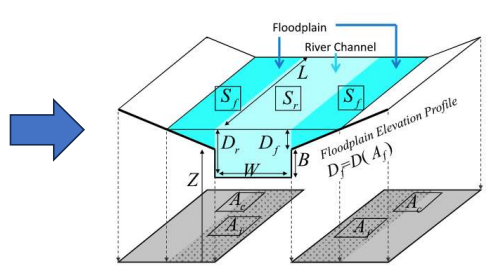
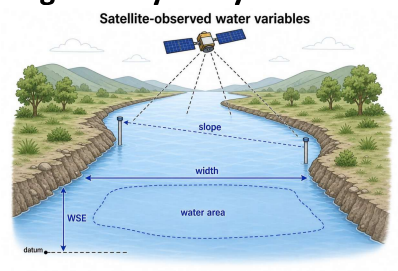
SWOT river surface observations conceptual diagram (USGS)

Recent satellite development has produced an increasing number of river surface observation products.

- These products provide **surface variables** such as water surface elevation, river width, and water surface slope.
- Advantage:** Dense spatial coverage across large river systems
- However, satellites cannot directly observe below-surface information; by using hydrodynamic models, these surface observations can be transformed into estimates of hidden river variables such as bathymetry.**
- Bathymetry controls the relationship between water level, storage, and discharge, which are important for flood hazard and water resource assessment



### Inferring the under surface variables through scale-mismatched satellite observations is a big challenge in global hydrodynamic model.



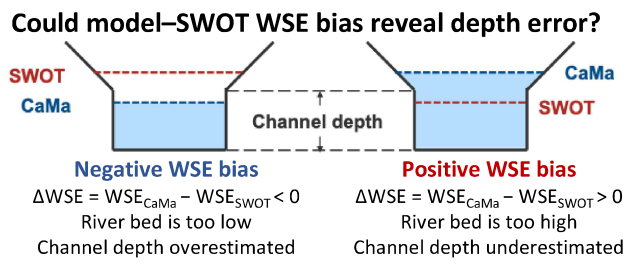
#### Challenges

- Inverse Problem:** River bathymetry variables can't be directly calculated by simply reversing the hydrodynamic model equations.
- Scale Mismatch:** Satellite observations are measured at fine river nodes or reaches, while global hydrodynamic models represent rivers using coarse grid cells, often around 10 km.
- Simplified Model Channel:** Real rivers have complex cross-section shapes, but global models often use simplified channel shapes.

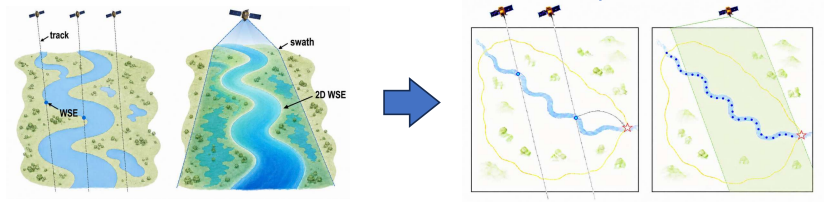
To improve our understanding of global below-water river variables, this study uses global hydrodynamic models to estimate hidden river bathymetry from satellite observations.

### Constraining effective channel depth with SWOT water surface elevation

This research aims to constrain the channel depth parameter of CaMa-Flood model (*global hydrodynamic model for river discharge and water level dynamics*) at sub-basin scale using SWOT (*high-precision global observations of surface water variables*).

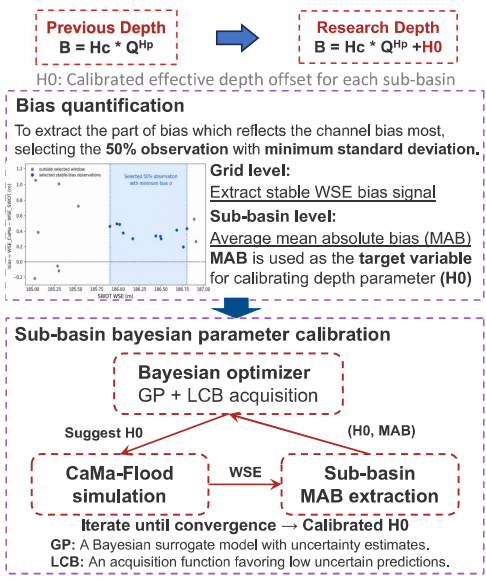


#### Dense SWOT supports reliable matching

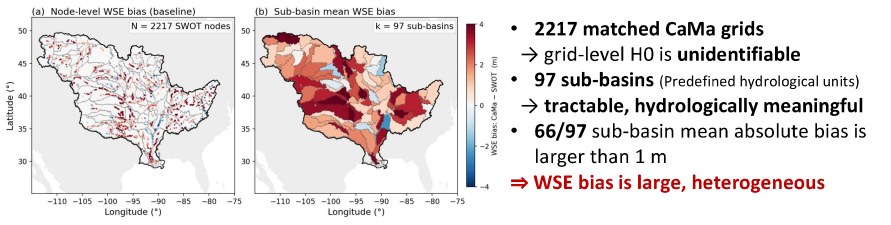


**Previous satellite products:** Track-based observations  $\Rightarrow$  Nearest point may be far  
**SWOT:** Wide-swath 2D observations  $\Rightarrow$  Nearest point must be close (reduced mismatch)  
**SWOT reduces matching uncertainty, enabling more representative matching to outlet.**

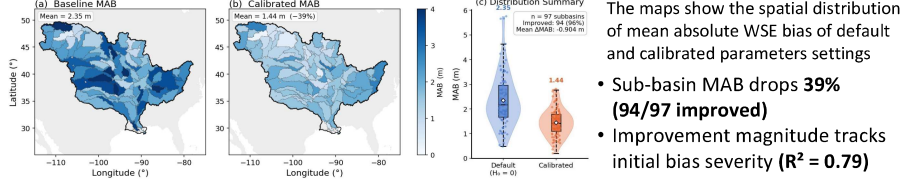
#### WSE bias guides sub-basin depth calibration



#### Large WSE bias remains in default CaMa-Flood simulation



#### SWOT-based channel depth calibration substantially reduces WSE bias



**Future work:** Improve the identifiability of satellite-constrained channel depth by separating geometry effects from other variables influence.

# Detecting Human Impacts on River Discharge Using Satellites

## 衛星を用いた河川流量への人間活動の影響の検出



Link to paper



石川 悠生



山崎 大



Mairead Williams



THE UNIVERSITY OF TOKYO

## Why is it important to understand human impact on rivers?

### Human Activity Reshapes the Global Water Cycle

To ensure sustainable water resource management, it is important to understand when, where, and how much water people are using.

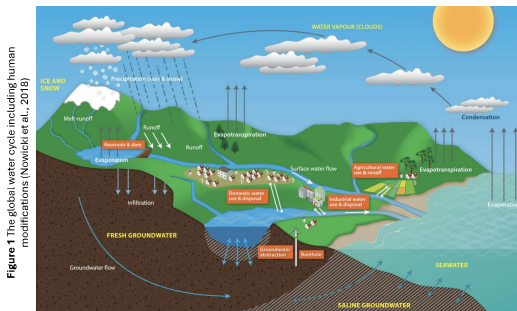


Figure 1 The global water cycle including human modifications (Nowicki et al., 2019)

### Human society and the water cycle interact with one another.

By modifying the water cycle to make it more accessible for human use (orange sections in Figure 1), river flow rates, water quality, and morphology deviate from their natural state.

- Construction of dams and levees for power generation, irrigation, and flood control alters river flow rates and channels.
- Water flow decreases due to water withdrawals for agriculture, industry, and domestic use.

Changes in the water cycle (white and light blue arrows in Figure 1) also have various impacts on human life.

- Water shortages occur due to reduced flow caused by low rainfall.
- Flood damage increases due to higher runoff rates resulting from urbanization.

### Why Monitoring Human Impact on River Flow is Difficult Using Traditional In-Situ Methods

#### Practical reasons:

- Sparsely distributed networks - in situ gauging stations are unavailable for many regions.
- Global availability of gauging stations is in decline
- Using standard hydrological gauge stations is time-consuming and labor-intensive.

#### Model uncertainty:

- Simplified physics and poorly constrained parameters introduce errors in discharge estimates.

#### Political reasons:

- Geopolitical tensions may limit cross-border sharing of data.

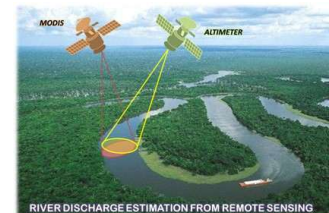
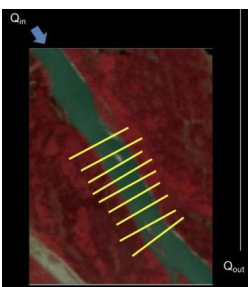


Figure 2 Satellite-based river discharge estimation from remote sensing (JPL/ CNRS)

**An opportunity: Satellites provide spatially dense and global coverage and could bridge these gaps in ground-based measurements and models.**

## Can we detect changes in river discharge caused by human activity without relying on in-situ observation?

### Surface observations to Discharge using Satellites: McFLI



While satellites are limited to surface observations, McFLI enables estimation of river discharge below the water surface.

- Simultaneous consideration of space and time.
- For every p cross-sections there is a single conserved discharge (Q) at each time.
- Reduces Q unknowns from p to 1 at each time.

for any p cross sections, we can write e.g.

$$Q(t) = \frac{1}{n_1} (A_{01} + \delta A_1(t))^{5/3} W_1(t)^{-2/3} S_1(t)^{1/2}$$

$$Q(t) = \frac{1}{n_2} (A_{02} + \delta A_2(t))^{5/3} W_2(t)^{-2/3} S_2(t)^{1/2}$$

$$Q(t) = \frac{1}{n_3} (A_{03} + \delta A_3(t))^{5/3} W_3(t)^{-2/3} S_3(t)^{1/2}$$

$$\dots$$

$$Q(t) = \frac{1}{n_p} (A_{0p} + \delta A_p(t))^{5/3} W_p(t)^{-2/3} S_p(t)^{1/2}$$

Figures 3 and 4 McFLI applies the Manning equation simultaneously across p cross-sections (yellow lines), with a single conserved Q at each time step (Courtesy of Mike Durand, OSU & Colin Gleason U-mass)

McFLI (**Mass-conserved Flow Law Inversion**) estimates river discharge by inverting satellite observations across multiple cross-sections along a reach, without gauge data.

- Satellites measure river width at each cross-section. With SWOT, water-surface elevation change, and slope also become directly observable.
- The unobserved low-flow channel geometry is solved simultaneously with discharge through the inversion.
- Mass conservation links all cross-sections. McFLI applies this alongside the Manning equation to reconstruct discharge from surface signals alone.

### Study: Using Landsat to Estimate River Discharge and Detect Human Impact

Satellite-derived discharge has the potential to capture human-driven flow changes along the Yellow River without in-situ data.

Ishikawa et al. (2025) applied BAM (Bayesian AMHG-Manning), a McFLI-based algorithm, to satellite-observed river width extracted at ~500 m intervals to assess whether satellite-based discharge estimates can capture natural and anthropogenic streamflow variations in the Yellow River, without in-situ calibration.

- Fig. 5a-b: BAM discharge estimates closely match gauge observations, capturing both discharge increases at tributary confluences and declining trends in irrigated sections.
- Fig. 5c-e: Spatial discharge change maps reveal a downstream decline between S2-S16, co-located with major irrigation districts.
- Reliability is greater in reaches with high seasonal width variability, where anthropogenic signals are more distinguishable from natural variation.

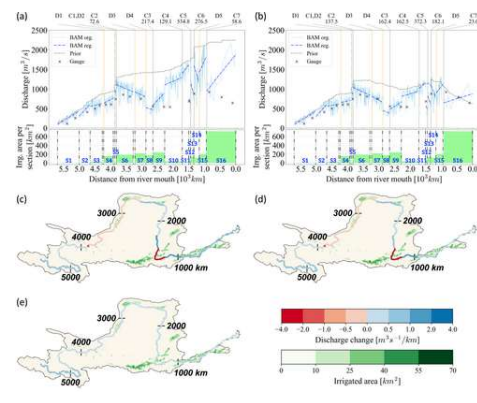


Figure 5 Longitudinal discharge profiles (a-b) and spatial discharge change maps (c-e) along the Yellow River (Ishikawa et al., 2025)

### Expanding the Future of Satellite Detection of Human River Impact with SWOT

SWOT, launched in 2022, can extend this approach globally, monitoring reach-scale discharge changes in regions with no ground-based gauges.

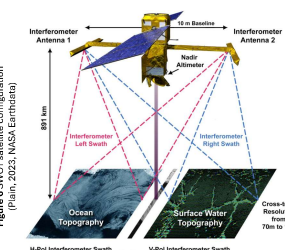


Figure 6 SWOT satellite configuration (Plain, 2023, NASA Earthdata)

- SWOT measures:
  - 2D water surface elevation at high resolution (10–100 m)
  - Water level, slope, and area estimated simultaneously
- First satellite specifically designed for river measurement
- Revisit period of 21 days; global coverage
- Uses radar (SAR), not optical, so works through clouds
- No previous satellite could directly measure discharge; SWOT provides it at the product level

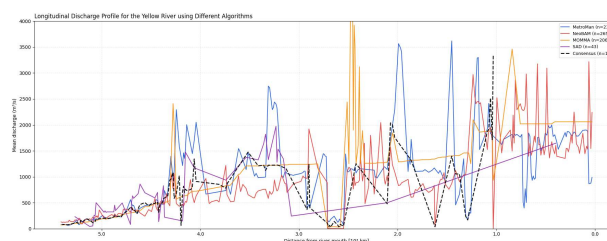


Figure 7 Longitudinal discharge profiles for the Yellow River using different SWOT algorithms (Williams, unpublished)

# Hydrodynamic controls on river biogeochemistry

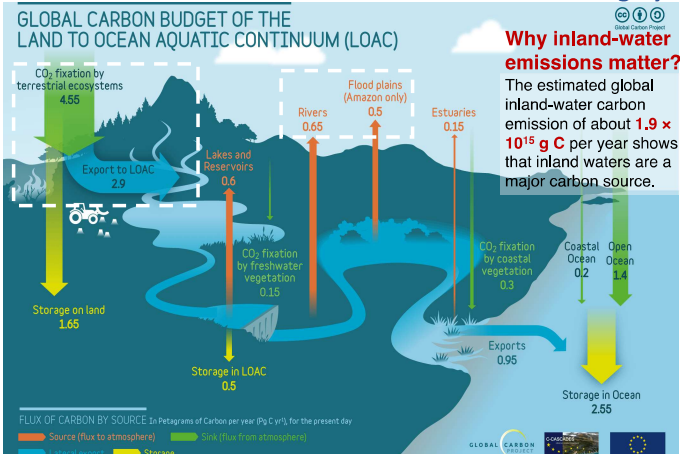
## 河川生物地球化学の水動態的制御



Hong Wang Dai Yamazaki

### Rivers are active reactors emitting huge amount of carbon to the atmosphere.

Global inland water emissions of carbon  $\approx 1.9 \times 10^{15}$  gC yr<sup>-1</sup>



**Why inland-water emissions matter?**  
The estimated global inland-water carbon emission of about  $1.9 \times 10^{15}$  gC per year shows that inland waters are a major carbon source.

### Rivers, lakes, reservoirs, estuaries, and floodplains process terrestrial carbon CO<sub>2</sub> to the atmosphere.

These emissions are comparable to major human-related emission benchmarks, highlighting their global environmental importance.

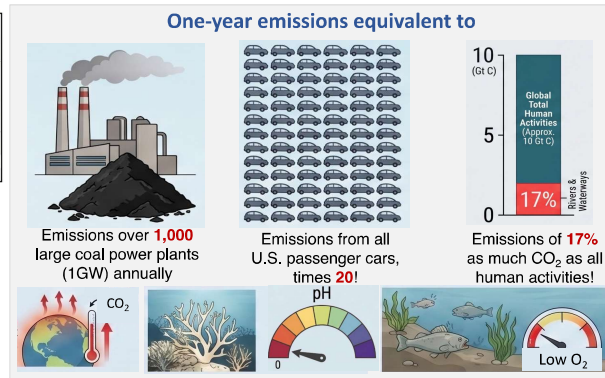
Inland-water CO<sub>2</sub> emissions influence climate, acidity, and oxygen dynamics, with important consequences for aquatic ecosystems and the services they provide.

### Wet Season Transforms the Zambezi River



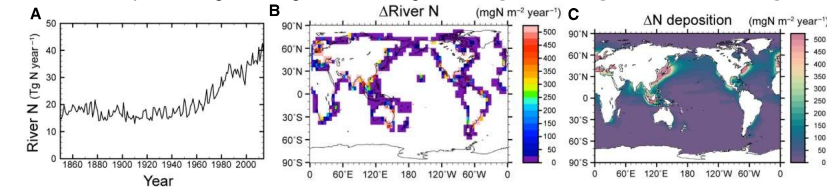
Satellite and Google map images showed the Zambezi River spills onto floodplains during the rainy season, creating large open water surface for carbon emissions.

We aim to provide a more realistic global representation & estimate of carbon emissions from rivers

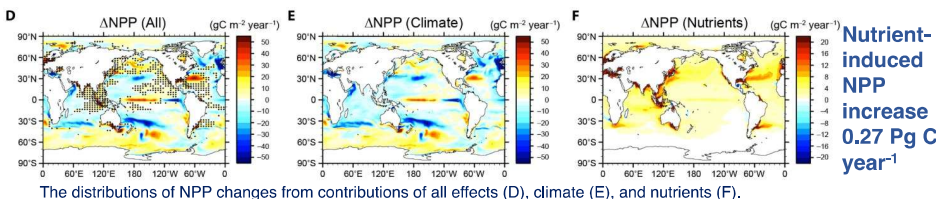


## Integrating a carbon routing module into the CaMa-Flood river hydrodynamic model

Anthropogenic inputs from land can substantially influence downstream nutrient cycling through rivers, with impacts large enough to alter regional to global biogeochemical budgets.



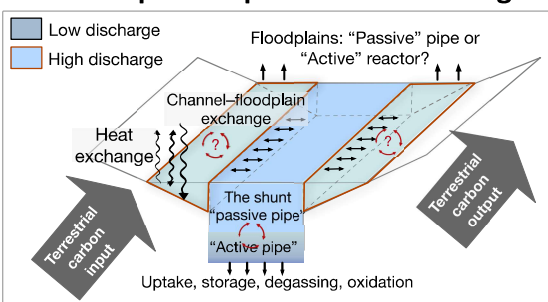
Time series of the globally inputs of riverine nitrogen (A), changes in riverine nitrogen export (B), and nitrogen deposition in the ocean (C).



The distributions of NPP changes from contributions of all effects (D), climate (E), and nutrients (F).

However, the fate of riverine inputs depends strongly on inland-water processes, including river-floodplain connectivity, transient storage, mixing, and in-transit transformation. Therefore, representing hydrodynamic controls explicitly is essential for realistic simulation of river biogeochemistry and land-to-ocean carbon transfer.

### New floodplain-explicit carbon routing model



**Key point 1: Hydrodynamic representation (water depth) of DOC decomposition**

$$dDOC/dt = -k_{DOC}DOC; k_{DOC} = vf/d$$

**Key point 2: Hydrodynamic representation (velocity & slope) of air-water gas exchange**

$$F_{CO_2} = k_{600}(P_{CO_2,water} - P_{CO_2,air})A\Delta t$$

1. Turbulent-diffusive exchange ( $S \leq 0.01$ )

$$k_{600} = 2,841 * S * V + 2.02$$

2. Bubble-mediated gas exchange ( $S > 0.01$ )

$$\ln k_{600} = 1.18 \ln(eD) + 6.43; eD = g * S * V$$

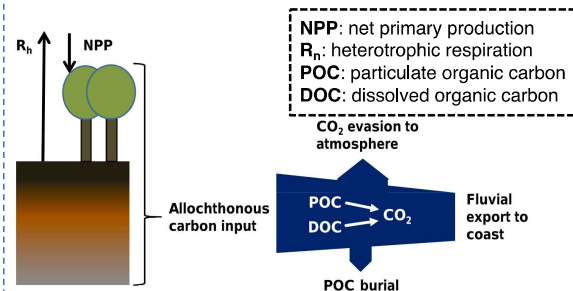
**Key point 3: Routing rules of CO<sub>2</sub> and DOC**

- Lateral DOC/CO<sub>2</sub> input from runoff
- Downstream DOC/CO<sub>2</sub> advection (bidirectional)
- Local channel and floodplain DOC/CO<sub>2</sub> exchange

A: water surface area	S: riverbed slope
d: water column depth	eD: energy dissipation
vf: uptake velocity	k <sub>DOC</sub> : decomposition rate
V: flow velocity	k <sub>600</sub> : gas exchange velocity

A, d, V, S differ in river and floodplain, leading to distinct k<sub>DOC</sub> and k<sub>600</sub>, and therefore different F<sub>CO<sub>2</sub></sub>

Current representation of carbon exports from terrestrial ecosystems through the land-ocean aquatic continuum.



**Terrestrial ecosystem**  
DOC enters rivers from runoff leaching from soils and is transported through the inland water network. During transport, DOC decomposes into CO<sub>2</sub>, which accumulates in river water. When dissolved CO<sub>2</sub> becomes supersaturated relative to the atmosphere, it is emitted through air-water gas exchange.

**Knowledge gap:** Existing large-scale river carbon models do not explicitly resolve floodplain connectivity, transient storage, water temperature, or channel-floodplain exchange.

# 広域・長期を対象とする土砂輸送物理モデル

The Development of the Macro-scale Sediment Model

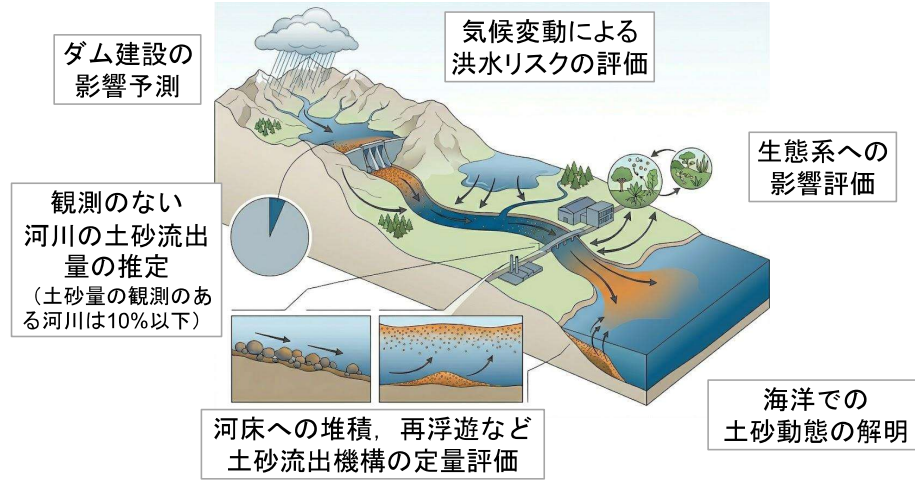


## 川は「水」だけでなく「土砂」も運んでいる

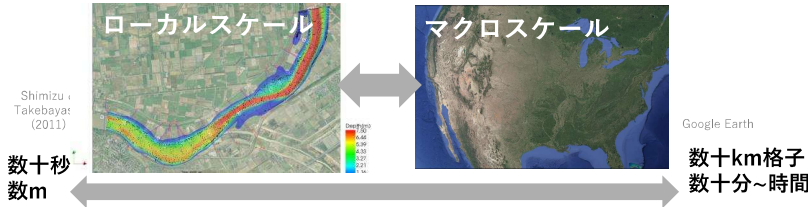
### 川・海の未来を考えるには、土砂の流れと地形変化を広域で理解する必要があります

河川は、水とともに砂や礫を運び、河床や地形を変化させています。この土砂の動きは、洪水リスク、ダムの影響評価、海岸侵食、生態系にまで広く影響します。しかし、大陸規模の河川では、すべての場所で観測を行うことはできません。そのため、水・土砂・地形変化をまとめて計算する「マクロスケール土砂モデル」が必要になります。

これまでも大陸規模で土砂輸送を再現する研究は行われてきましたが、多くは年平均や季節変動の再現に留まっていた。一方、実際には大規模な洪水が土砂輸送や地形変化に大きな影響を与えます。そのため、こうした日単位の現象を再現しつつ、長期的な土砂動態を扱える物理モデルが求められています。



### 土砂の動きのスケールは小さく、広域シミュレーションで再現するのは難しい

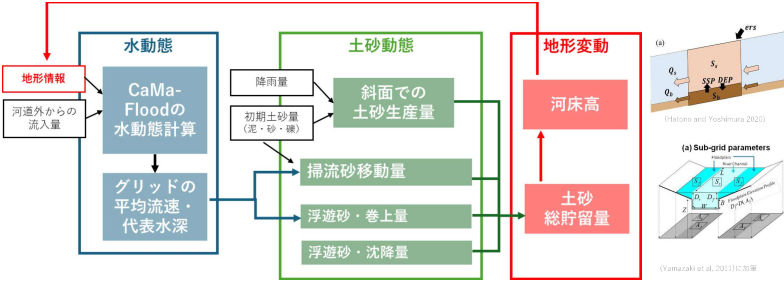


土砂の動きは本来数メートル・数十秒といった小さなスケールで決まりますが、世界や大陸全体を扱うモデルでは、数十キロメートル・数時間といった大きなスケールで計算せざるを得ません。広域シミュレーションにより土砂の動きを再現するには、このようなスケールの違いをうまく取り入れる必要があります。

## 全球河川モデルを応用した土砂動態のモデリング

### 全球河川土砂動態モデルCaMa-SED

(Hatono et al., 2020)



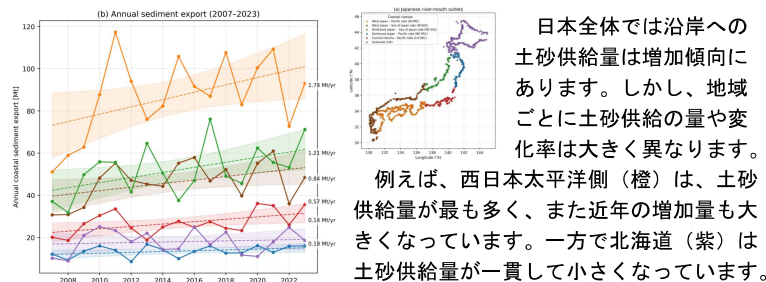
CaMa-Floodで計算した水深・流速を利用して、流域や大陸スケールでの土砂輸送の物理プロセスを再現するモデルの開発に成功しました。

### 「いつ・どこで・どれくらい土砂が流れるか」

CaMa-SED を用いると日本全体の土砂供給の特徴やイベント依存性など広域的に重要な傾向を捉えることができます。

### 土砂の流れ方は地域ごとに異なる

(Sehgal et al., 2026)

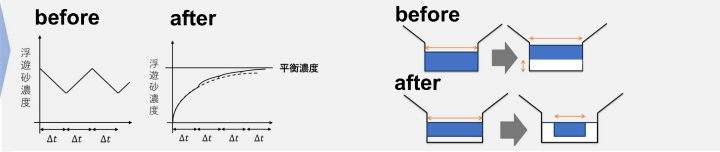


日本全体では沿岸への土砂供給量は増加傾向にあります。しかし、地域ごとに土砂供給の量や変化率は大きく異なります。例えば、西日本太平洋側 (橙) は、土砂供給量が最も多く、また近年の増加量も大きくなっています。一方で北海道 (紫) は土砂供給量が一貫して小さくなっています。

### より正確に・安定した土砂計算を行う

CaMa-SEDは、時間刻みによって結果が変わる数値的不安定性に加え、本流でも土砂が滞留して閉塞する問題があり、長期の計算は不可能でした。

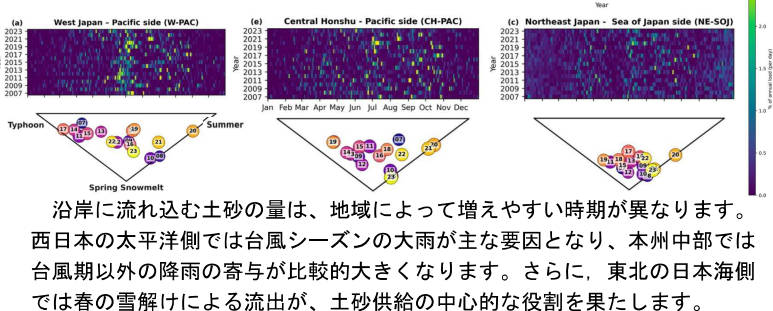
マクロスケールに適した工夫を入れ、計算を安定化  
平衡濃度スキーム：タイムステップに依存しない土砂濃度  
流路集中スキーム：川が自ら流れやすい形になる応答を再現



2つの新しいスキームを導入したモデルでは、土砂で川が詰まりにくくなり、より長期で安定的に計算可能になりました。

※「土砂で川が詰まる」とは？  
堆積により、河川の高さパラメータがゼロ以下になること

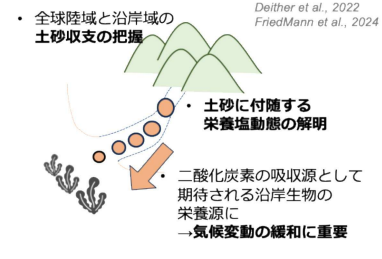
### イベント集中と多様な降雨の寄与



沿岸に流れ込む土砂の量は、地域によって増えやすい時期が異なります。西日本の太平洋側では台風シーズンの大雨が主な要因となり、本州中部では台風期以外の降雨の寄与が比較的大きくなります。さらに、東北の日本海側では春の雪解けによる流出が、土砂供給の中心的な役割を果たします。

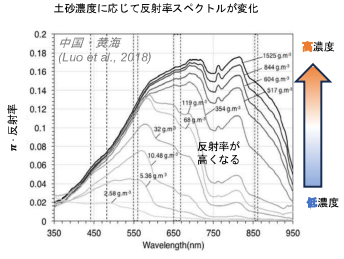
# 衛星画像解析による全球土砂動態モニタリングの重要性

陸域と沿岸域での土砂収支把握、土砂に付随する栄養塩流出と海洋生態系への影響解明などのために、グローバルスケールでの土砂動態モニタリングが求められている。



継続的に浮遊土砂濃度観測が行われている河川は全球で1割にも満たない。衛星を用いた未観測流域にも適用できる浮遊土砂濃度の推定手法の構築が求められている。

衛星が観測する反射率から浮遊土砂濃度を逆推定する取り組みが行われてきた。しかし、反射率は溶解有機物CDOM(黄~茶色)、植物プランクトン(緑)などの物質の影響も受け、さらに土砂のミネラル組成・粒径分布・有機物の割合で浮遊土砂の反射特性が異なる。どの河川でも汎用的に使える土砂濃度推定アルゴリズムはなかった



# 土砂物性を考慮し、衛星観測のみから浮遊土砂濃度を推定する手法を構築

浮遊土砂濃度から反射率を計算するフォワードモデルを作成し、衛星反射率から浮遊土砂濃度を逆推定する

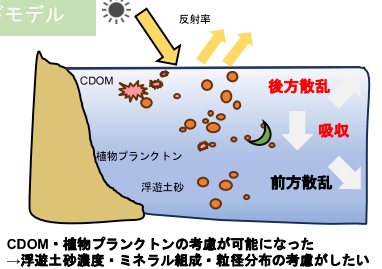
## 1. 濃度から反射率を計算するフォワードモデル

1.1. 生物光学モデルにより波長ごとの反射率を河川水の吸収( $a$ )・後方散乱係数( $b_b$ )で表現

$$Rrs(\lambda) = f(a(\lambda), b_b(\lambda))$$

1.2. 吸収・後方散乱係数は各物質の和で表される

水	CDOM	植物プランクトン	浮遊土砂
$a_w(\lambda)$	$a_{CDOM}(\lambda)$	$a_{phy}(\lambda)$	$a_{SS}(\lambda)$
$b_{bw}(\lambda)$	$b_{bCDOM}(\lambda)$	$b_{bphy}(\lambda)$	$b_{bSS}(\lambda)$



1.3. 物質の吸収・後方散乱係数は濃度に比例

$$a_{SS}(\lambda) = a_{SS}^{mass}(\lambda) \cdot SSC$$

$$b_{bSS}(\lambda) = b_{bSS}^{mass}(\lambda) \cdot SSC$$

単位質量あたり吸収・後方散乱係数は物性で変化する

$a_{SS}^{mass}(\lambda), b_{bSS}^{mass}(\lambda)$ : 波長ごとの単位質量あたり吸収・後方散乱係数  
SSC: 浮遊土砂濃度(Suspended Sediment Concentration)

## 2. 浮遊土砂以外の影響除去

$$Rrs(\lambda) = f(a(\lambda), b_b(\lambda))$$

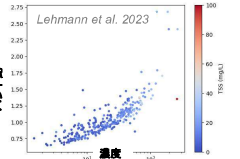
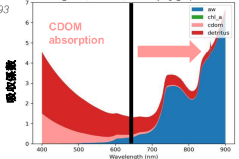
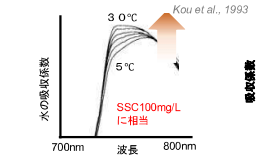
$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{CDOM}(\lambda) + a_{phy}(\lambda) + a_{SS}^{mass}(\lambda)SSC$$

$$b_b(\lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bCDOM}(\lambda) + b_{bphy}(\lambda) + b_{bSS}^{mass}(\lambda)SSC$$

- 水(w): 文獻値を考慮した
- 水温の水の吸収係数への影響も
- 気候値を考慮した

CDOM: 665nm以下の波長を用い影響を除去

植物プランクトン(phy): 既往研究のモデルを用いた



他の物質の影響を取り除き、各波長の反射率を浮遊土砂に関する物理量のみで表現する

$$Rrs(\lambda) = f_i(SSC, a_{SS}^{mass}(\lambda), b_{bSS}^{mass}(\lambda))$$

## 3. 浮遊土砂の物性を吸収・散乱係数の自由度として考慮

拘束条件より未知数を少なくし、逆推定可能な形にする

未知数を減らす単位質量あたり吸収係数 $a_{SS}^{mass}(\lambda)$ は665nm以降で変化しない

$$Rrs(\lambda) = f_i(SSC, a_{SS}^{mass}, b_{bSS}^{mass}(\lambda))$$

拘束条件を増やす必要がある

Nバンドでの未知数はN+2

(アイデア)

波長ごとの後方散乱係数は、Mie散乱理論を用いることで粒径分布の関数となる



浮遊土砂の後方散乱係数

単位質量あたり変換

Wozniak and Stramski 2004

$$b_{bSS}^{mass}(\lambda) = g(F(D))$$

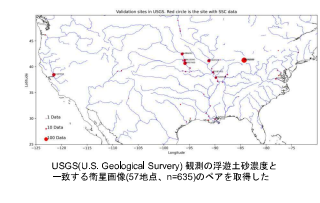
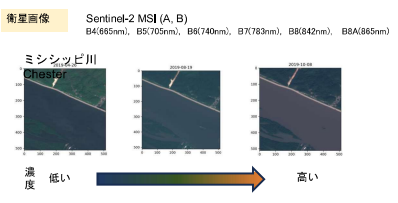
$$b_{bSS}^{mass}(\lambda) = \frac{\int_{D_{min}}^{D_{max}} Q_{ext}(x, D, \lambda) F(D) dD}{\int_{D_{min}}^{D_{max}} F(D) dD}$$

バンド数N ≥ 3  
拘束条件2N ≥ N + 3 未知数が成立、逆推定が可能に

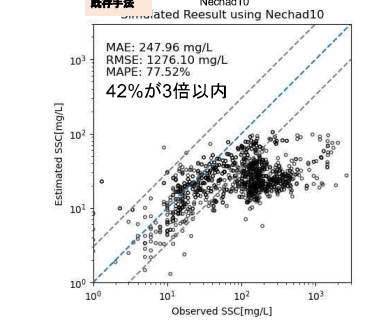
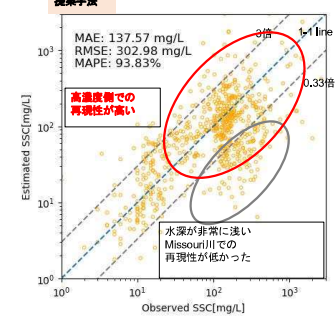
バンド数	N	未知数N+3	SSC	1
粒径分布と	N	$b_{bSS}^{mass}(\lambda)$	$a_{SS}^{mass}$	1
$b_{bSS}^{mass}(\lambda)$ の関係g	N	粒径分布F(D)		

Sentinel-2の近赤外バンドを用いて、衛星観測反射率から土砂濃度の逆推定を試みた

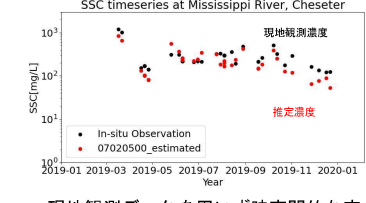
## USGS観測地点での検証



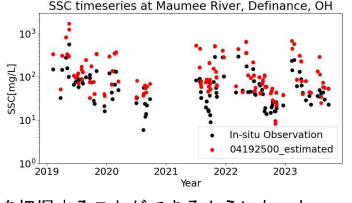
河川の物性(粒径分布・大きい粒径の変動を考慮することで、高濃度側の再現性が高くなった  
現地観測データなしでも70%の推定値が3倍以内の誤差に収まった



## Mississippi River



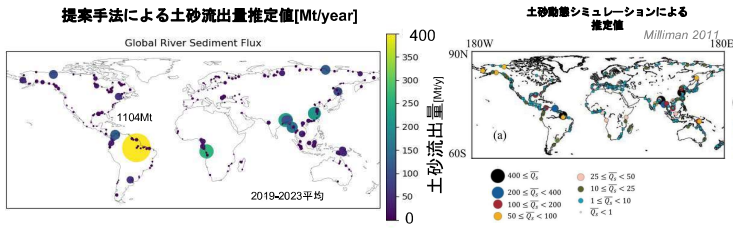
## MauMee River



現地観測データを用いず時空間的な変化を把握することができるようになった

## 全球河川での浮遊土砂フラックス推定

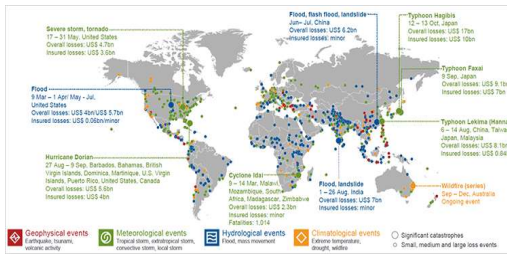
全球534河川の河口部でアルゴリズムを適用  
全球河川水動態シミュレーションCaMa-Flood(Yamazaki et al., 2011)の河川流量と本研究で推定された濃度をかけ合わせ土砂流出量を推定



洪水は、世界中の人々の生活・経済・生態系に影響を与える世界的な課題であり、地球規模での洪水リスクを評価することの重要性が高まっています

洪水は世界中のいたるところで発生しています

豪雨や洪水は湿潤地域だけでなく世界の様々な地域で発生します。アフリカ、アジア、北アメリカ、そしてヨーロッパでは、洪水の発生がさらに激化し、より頻繁になると予測されています。あらゆる地域で洪水リスク評価が必要とされています。

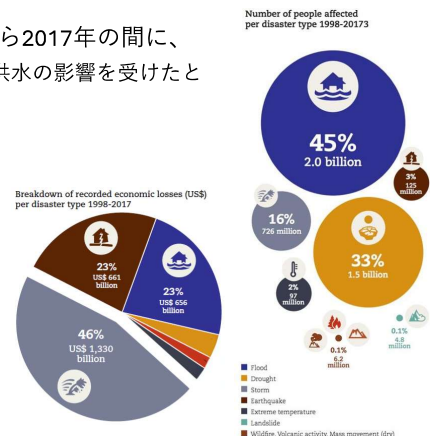


出典: Munich Re (2020), Geo Risks Research, NatCatSERVICE

洪水は、世界で最も危険な自然災害の一つです

UNDRRは、1998年から2017年の間に、20億人を超える人々が洪水の影響を受けたと報告しています。

同期間における洪水関連の経済被害の総額は約104兆円にもなります。



出典: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)

経済のグローバル化により、局地的な災害であっても「波及効果」によって地球規模の影響を及ぼす可能性があります

アジア域の災害の世界への二次的影響



出典: Shughrae, Nature Sustainability, 2020.

二次的影響を含めた洪水のリスク把握には地球規模での分析が必要です。

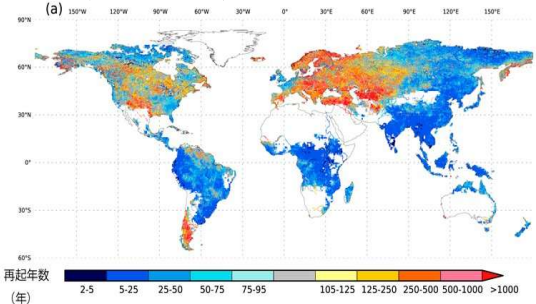
- ・ リスクはどこに存在するのか？
- ・ サプライチェーンを通じて、どのように他の地域に影響を及ぼすか？
- ・ 将来、それはどう変化するか？

世界各地で起こる洪水のリスクや被害を低減するには、グローバルなシミュレーション・モニタリング・予測の枠組みによる備えが必要です。

### 山崎研究室における地球規模の洪水リスク評価へのアプローチ

#### 気候変動下における将来の洪水リスク評価

洪水に関する予測される変化が人間社会に及ぼす影響は、現在および将来、洪水の危険にさらされる人口によって測ることができる。

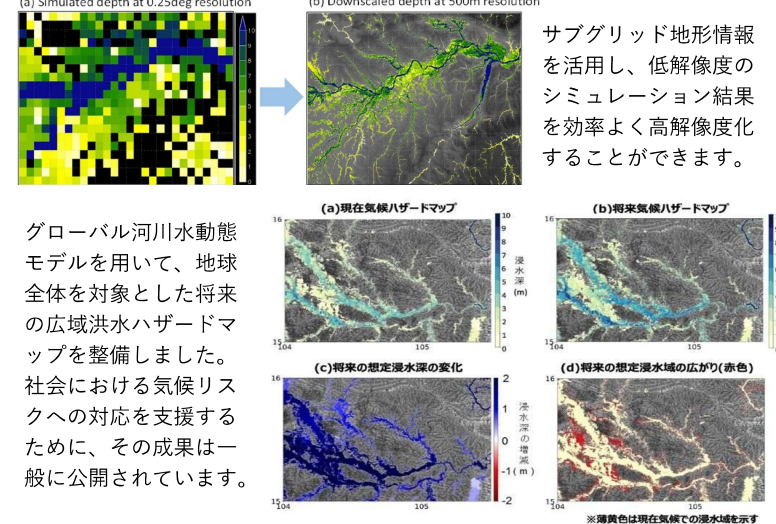


CaMa-Floodは、従来の全球河川モデルと比較して、河川流量の時間的変動やピークをより適切に再現していました。

4つの異なる将来想定に基づく大規模な解析の結果、地球規模でみると、気温上昇の程度が大きいくほど洪水の影響を受ける人口は増加する傾向が確認されました。一方で、洪水リスクは年ごとの変動が大きく、短期的にも顕在化し得るため、顕著な温暖化が進行する前の段階から、計画的に対策を講じる必要があります。

#### 高精度な広域洪水ハザードマップの開発

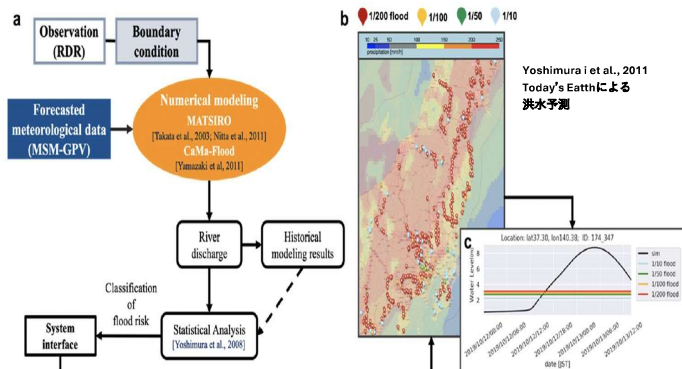
高解像度地形データを入力とした水動態モデル「CaMa-Flood」により、広域洪水ハザードマップを作成することができます。



サブグリッド地形情報を活用し、低解像度のシミュレーション結果を効率よく高解像度化することができます。

グローバル河川水動態モデルを用いて、地球全体を対象とした将来の広域洪水ハザードマップを整備しました。社会における気候リスクへの対応を支援するために、その成果は一般に公開されています。

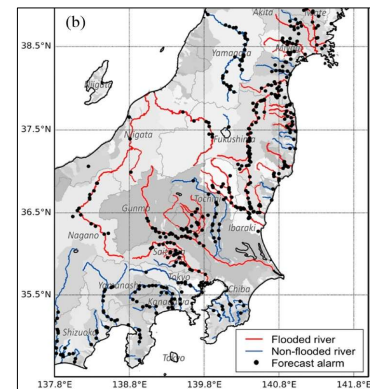
#### リアルタイムでの洪水リスクシミュレーション



広域リアルタイム洪水予測システム

河川モデルとしてCaMa-Floodを用いるリアルタイム洪水モニタリングシステム「Today's Earth」は、30時間以上前から氾濫の予測が可能です。

2019年の台風19号を対象とした検証において、洪水予測システムToday's Earth-Japanは、142か所の堤防決壊地点のうち130か所（検知率約91%）で災害発生前に警戒情報を発出可能であった。



台風19号による予測警報と主要河川の洪水に関する空間分布。

# Impact of Climate Change and Climate Variability on Extreme Flood

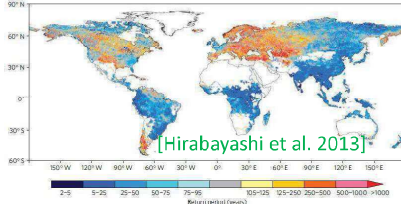
気候変化と気候内部変動の極端洪水への影響



## 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]

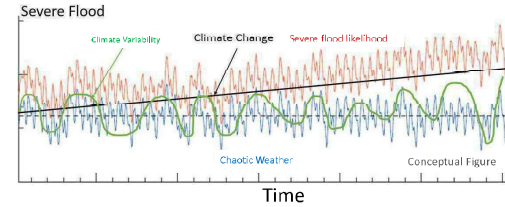


### Extreme floods could be enhanced not only by climate change but also by climate internal variability.

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.

#### Severe flood likelihood

Chaotic weather effect  
+  
Climate Change effect  
+  
Climate Variability effect



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.

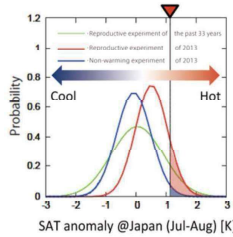
## Assessing climate variability impact by large-ensemble climate simulation

### <Method>

We used d4PDF large-ensemble climate simulation for attribution

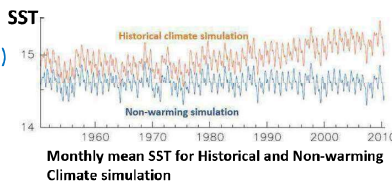
d4PDF has large-ensemble data (60 years \* 100 ensemble) to assess the occurrence probability of extreme events. d4PDF is usually used for attributing the impact of climate change, by comparing the historical and non-warming experiment.

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

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

$$PR = \frac{P_{HIS(t)}}{P_{NAT}}$$

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

#### FAR for ONI

$$FAR = 1 - \frac{P_{NAT}}{P_{NAT(ONI)}}$$

$$PR = \frac{P_{NAT(ONI)}}{P_{NAT}}$$

3 groups:  
ONI ≥ 0.5  
-0.5 < ONI < 0.5  
ONI ≤ -0.5

#### FAR for ONI + Climate Change

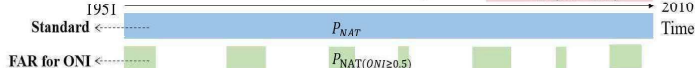
$$FAR = 1 - \frac{P_{NAT}}{P_{HIS(ONI,t)}}$$

$$PR = \frac{P_{HIS(ONI,t)}}{P_{NAT}}$$

3 groups:  
ONI ≥ 0.5  
-0.5 < ONI < 0.5  
ONI ≤ -0.5  
t=1951-1970  
t=1971-1990  
t=1991-2010

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

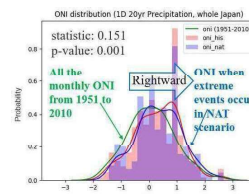
$$FAR \text{ for Climate Change} \leftarrow P_{HIS(1991-2010)}$$



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 ≥ 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.

# Global Floodwave Duration Dynamics

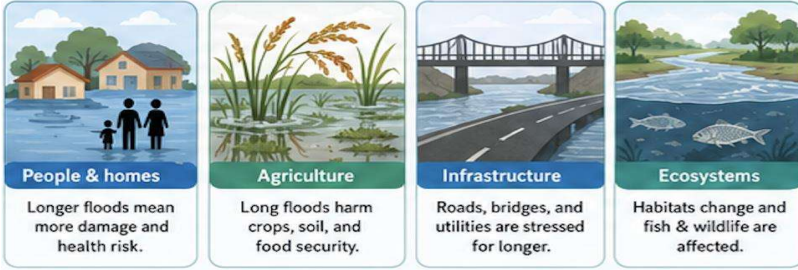
## Application of a wavelet based and scalable algorithm.



### A flood is more than just how high the water rises

#### Flood risk is not only controlled by peak discharge.

When we picture a flood, we usually think about how high the water gets. But the floodwave **duration** (how long the water stays high) matters just as much. A floodwave that drains in two days and one that lingers for months affect people very differently even if they reach the same peak. We present a floodwave duration extraction framework, applicable to **all rivers around the world** using a single **automated and scalable method**.



Historic flash long flooding along the Guadalupe River in Ingram, Texas. Credit: Anadolu via Getty Images

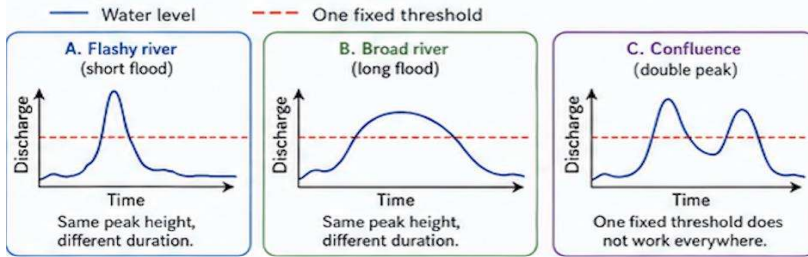
#### Why floodwave duration matters?

The length of time that river flow stays high controls how long communities, farms, infrastructure, and ecosystems remain under stress. Measuring duration helps us understand flood impacts that peak-based metrics alone can miss.

#### Why floodwaves are hard to define?

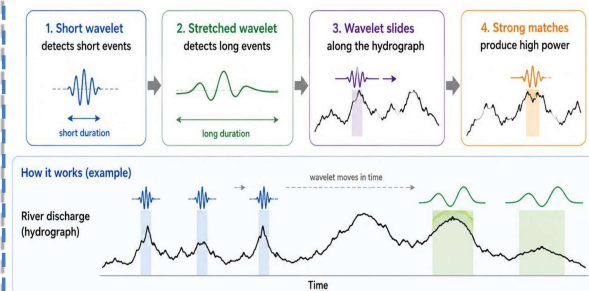
Rivers have different floodwave shapes. Some respond quickly to rainfall and return to normal within days, while large lowland rivers may remain high for months. A single **fixed threshold** can identify high flow, but it cannot fully describe the **timing, shape, and persistence** of floodwaves.

**Our key idea: We use wavelets to separate short-term flow noise from the slower seasonal flood signal. This allows the start, peak, and end of each individual floodwave to be detected automatically and consistently at global scale.**



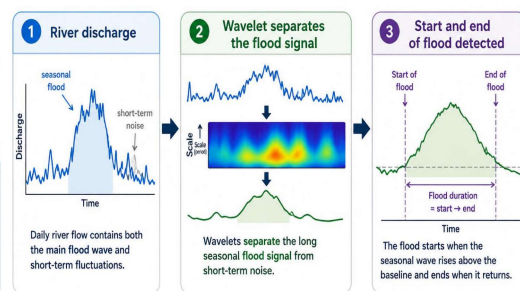
### Development of wavelet based algorithm and extraction of floodwave durations at global scale

**What is a wavelet?** Wavelets are **small waves** that can be stretched, squeezed, and slid along a time series to identify specific signals.



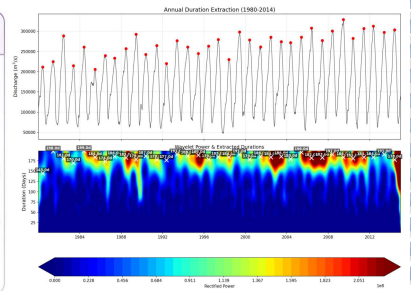
Demonstration of how a wavelet decomposes a hydrograph

**Algorithm steps:** Standardize discharge, apply wavelet transform, identify dominant flood signal, reconstruct and detect flood wave, extract duration.



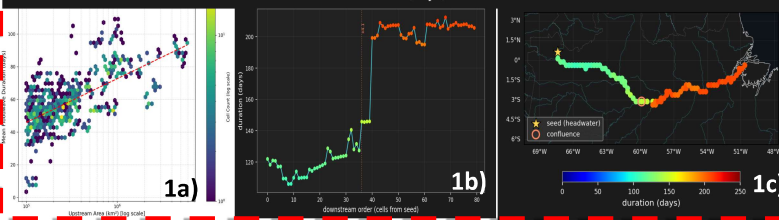
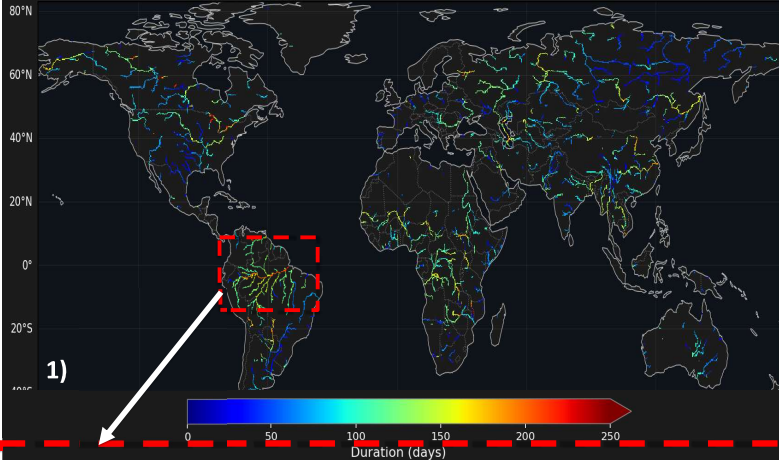
Wavelet analysis separates flood signals, identifying the start and end of each flood.

**Discharge time series decomposed using wavelet-based algorithm**



Decades of daily inflow data are used to create a map of flood strength.

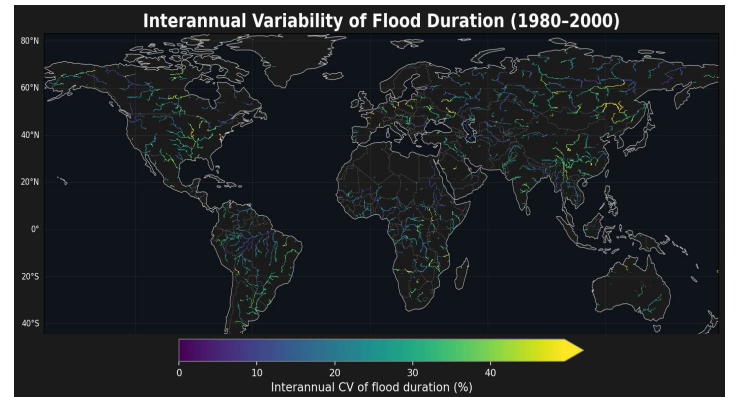
### Floodwaves generally become longer from upstream rivers to large lowland basins



Blue-green rivers have shorter floodwaves; yellow-red rivers have longer floodwaves. The red box highlights the Amazon basin, where we test the downstream pattern in detail.

- Along the Amazon network, flood duration increases from headwaters to the main stem as upstream drainage area grows (inset 1a). At **confluences**, different flood seasons can **suddenly lengthen** the combined floodwave (inset 1b). Andean rivers start short and fast, but approach ~205 days on the main stem, pattern shown by other rivers in the catchment (inset 1c).

### Flood duration is also variable on yearly basis



- Year-to-year variability of flood duration (%). Bright areas flood for very different lengths each year.
- large basins display less variability

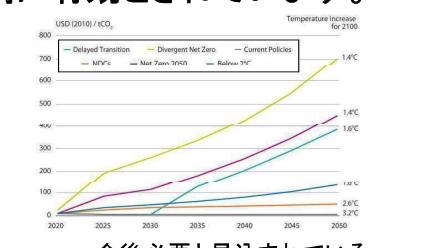
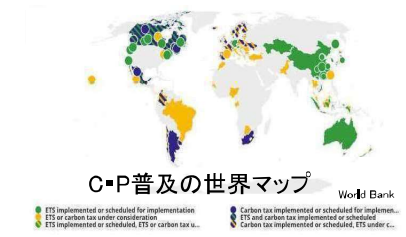
#### Take-home message

**Flood duration reveals a hidden dimension of flood risk that peak discharge alone cannot capture. Mapping it globally helps identify where floods are short, long, or highly variable.**

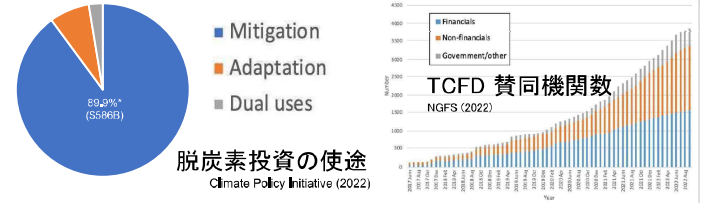
### 脱炭素社会に向けて:カーボン・プライシング政策と金融界での取り組み

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。

### 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？

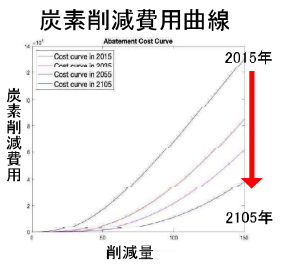
TCFD上の「移行リスク」は将来のC・P政策の影響を受け、脱炭素技術投資にも影響すると考えられます。加えて、C・P政策による高い炭素価格が技術投資への需要を促すことや企業が将来の炭素価格をどう見通すかで、投資の動きが変化することが考えられます。このようにC・P政策と技術投資には密接な関係があり、互いの相互作用を考慮することでより効果的な気候政策の提言につながると期待されます。

### 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。



エネルギー生産企業 ↔ 技術需要価格 (p<sub>t</sub>) ↔ 技術発展投資セクター

炭素削減量と技術需要量 - 費用最小化問題

$$\max_{x_t, a_t} \pi_{E,t} = \tau_{E,t} x_t - \theta_t(x_t, a_t)$$

炭素削減の総コスト

$$s.t. \theta_t(x_t, a_t) = \frac{b_0}{1+a_t} x_t^2 + p_t a_t$$

技術の使用コスト

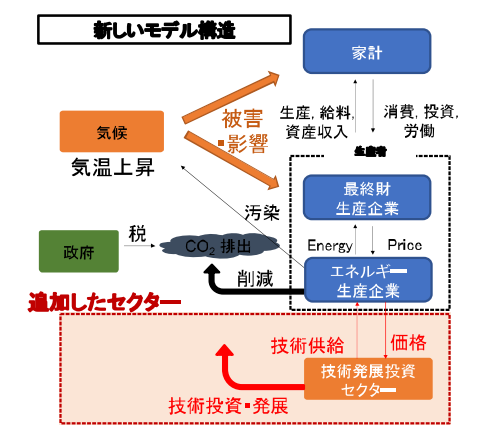
技術需要価格 (p<sub>t</sub>)

技術投資による技術蓄積・発展

$$K_t = \text{投資量}, \delta: \text{技術の減耗率}$$

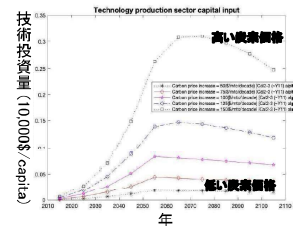
$$a_{t+1} = (1-\delta)a_t + CK_t^\alpha$$

粗集約引キマツシフローの総和を最大化

$$\max_{\{K_0, K_1, \dots, K_n\}} \pi_{Tee} = \sum_{t=0}^n \frac{1}{\prod_{k=0}^t (1+r_k)} \{p_t a_t - \tau_t K_t\}$$


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。

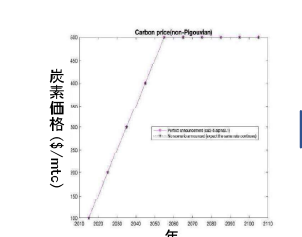
#### 結果 (1) 技術投資量



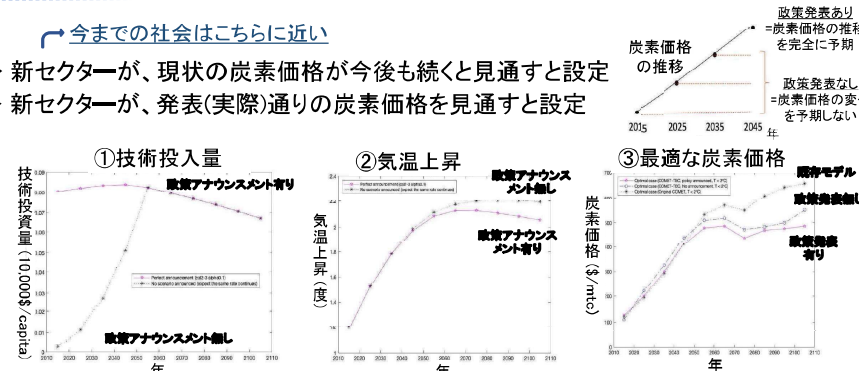
改良したIAMを用いて、炭素価格と技術投資量の関係を分析した。炭素価格が高い方が、技術発展セクターへの投資が進むという関係が適切にモデル化できた。

#### (2) 政策アナウンス効果

- 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見通すと設定
- 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)。



Shuping Li



Dai Yamazaki



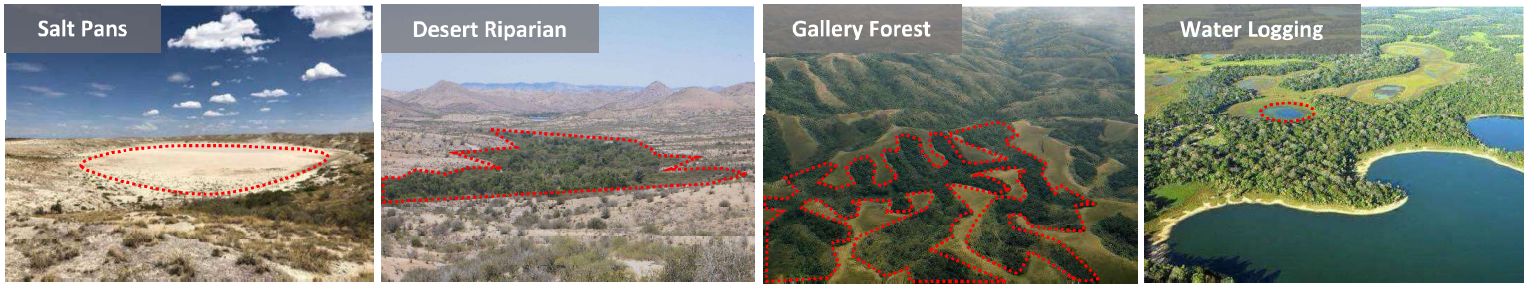
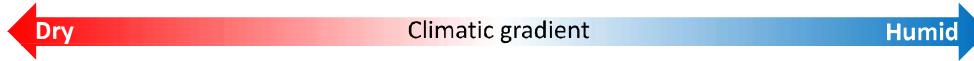
## Water dynamics can shape land cover distribution at hillslope scale

### 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.



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

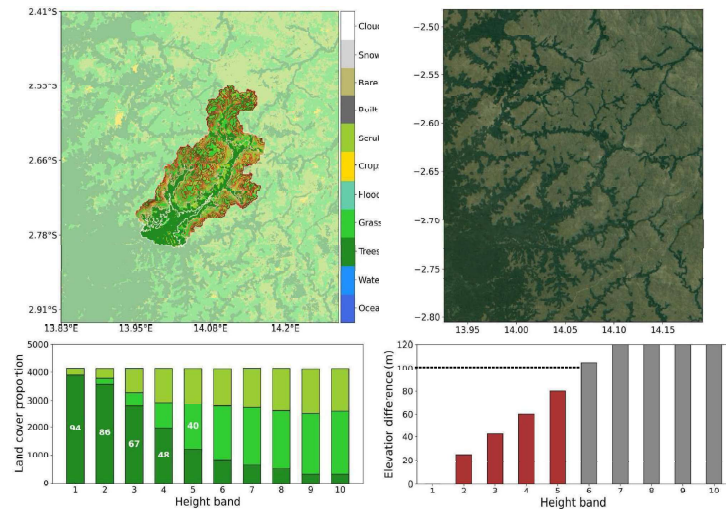
## An efficient method to represent the hillslope land cover heterogeneity

### 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

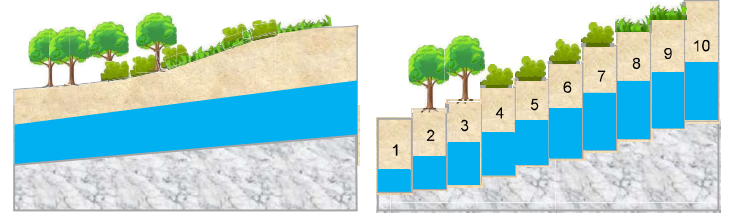
Using the above method, an effective representation of the hillslope land cover heterogeneity is shown in a flat unit-catchment. The lowland area is dominated by the tree ecosystem, whereas the highland area is dominated by the grass ecosystem. The landscape location is confirmed with the google static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



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

### Water regulates vegetation growth

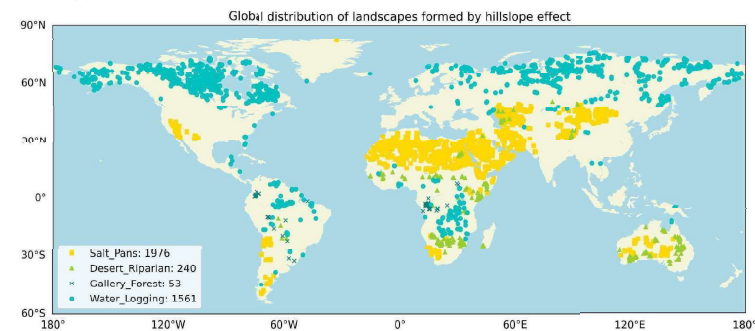
Vegetation growth can adapt to different levels of water availability. However, under extremely dry or humid conditions, the growing process will be greatly suppressed. This leads to the formation of some typical landscapes in the flat regions: a clear boundary exists between vegetation types in the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



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.

# Benchmarking the skill of global river flood models

## グローバル河川洪水モデルの精度ベンチマーク



Link to paper



Xudong Zhou



山崎 大

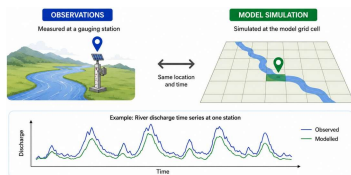


THE UNIVERSITY OF TOKYO

## Challenges in evaluating global river models

Global River Models (GRMs) have rapidly advanced, but lack a standardized and comprehensive evaluation framework

### HOW DO WE EVALUATE A RIVER MODEL ?



We compare model simulation with observations at the same location and time, and quantify how well they agree (point-scale evaluation)



### WHY BENCHMARK EVALUATION IS NECESSARY ?

Global river models are widely used for flood risk assessment and real-time flood forecasting. Users need to know how accurate each model is and whether the resulting risk information is reliable.

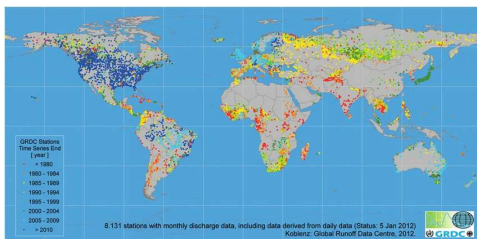
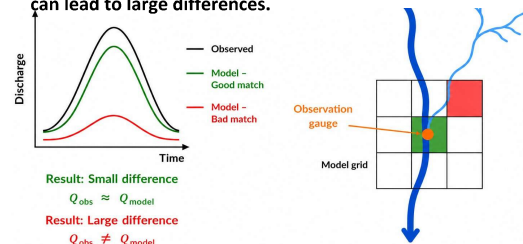
**A standardized benchmark framework is necessary for:**

- ✓ Comprehensive model evaluation
- ✓ Fair intercomparison among different models

### WHY IS BENCHMARKING GLOBAL MODELS DIFFICULT ?

#### CHALLENGE ①: Strong spatial sensitivity

River discharge changes significantly depending on location. Even a small mismatch between the observation point and the model grid (e.g. main channel vs. tributary) can lead to large differences.

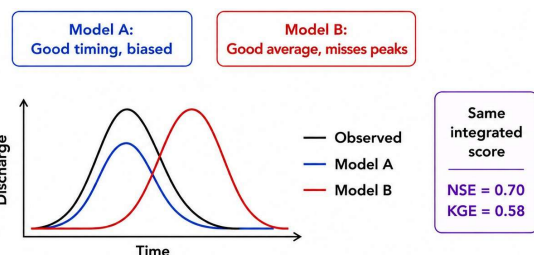


#### CHALLENGE ②: Limited observation coverage

River discharge observations are sparse and unevenly distributed globally. This makes globally consistent and fair evaluation difficult, especially in data-scarce regions.

#### CHALLENGE ③: Limitation of performance metrics

Metrics such as NSE and KGE provide only an overall performance score. However, they do not clearly indicate why the model performs poorly, or which process should be improved.

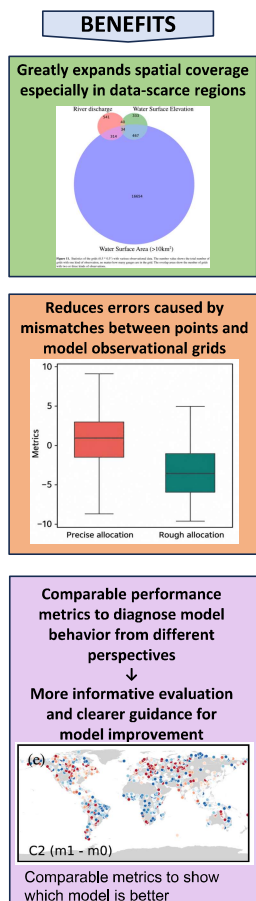
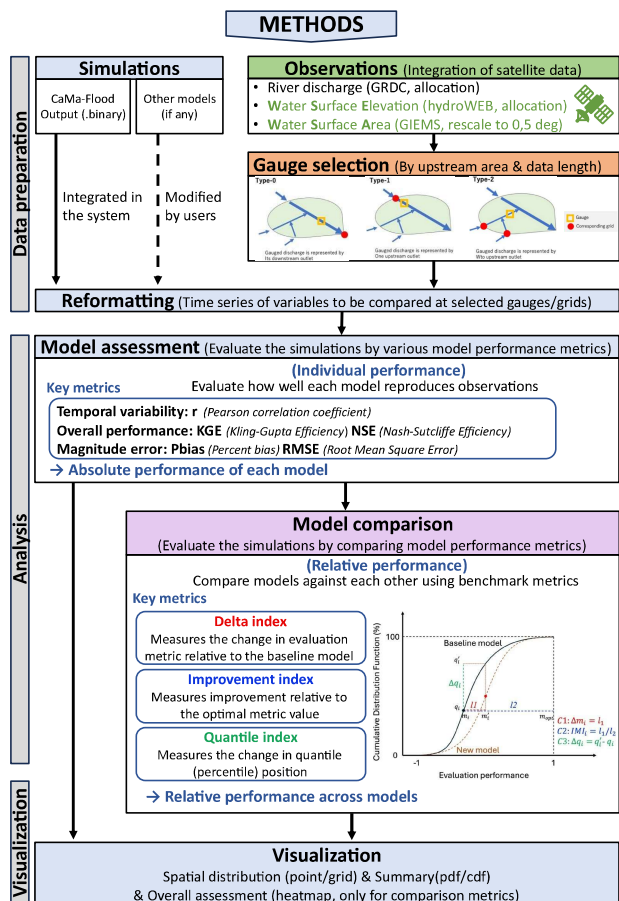


We developed a benchmark framework that addresses these challenges by integrating multiple observations and evaluation methods

## Benchmark methods and findings

The benchmark framework automatically compares river model simulations with multiple observation datasets using standardized evaluation procedures.

It combines multiple evaluation metrics to assess model performance from different perspectives rather than relying on a single score. The framework provides a comprehensive and reproducible assessment of Global River Models across different regions and datasets.



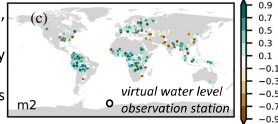
Our benchmark framework delivers three major advantages by overcoming key challenges

#### ①: Improved spatial coverage

Integration of satellite observations substantially expands global evaluation coverage.

→ e.g. Africa, Amazon, Arctic

- Good model performance: Europe, the Amazon basin, and central Africa
- Poor model performance: several Asian regions, mainly due to difficulties in reproducing water level variability
- Models may correctly reproduce average water levels while still struggling to capture realistic river dynamics

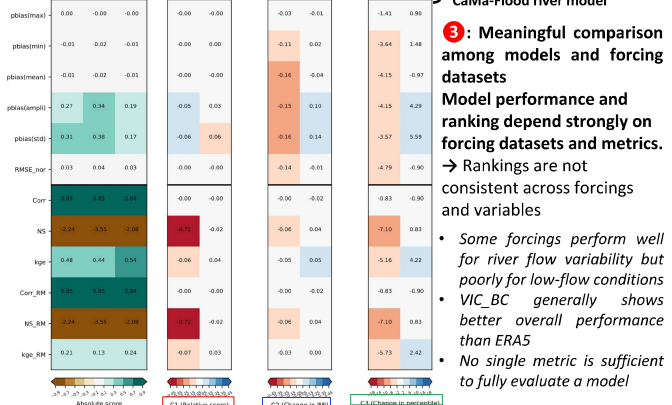


#### ②: More comprehensive model evaluation

Multiple complementary metrics reveal different aspects of model behavior.

→ A single score cannot capture model strengths & weakness across metrics

Runoff forcing used to drive CaMa-Flood river model



③: Meaningful comparison among models and forcing datasets  
Model performance and ranking depend strongly on forcing datasets and metrics.  
→ Rankings are not consistent across forcings and variables

- Some forcings perform well for river flow variability but poorly for low-flow conditions
- VIC\_BC generally shows better overall performance than ERA5
- No single metric is sufficient to fully evaluate a model

#### Key contribution

Our benchmark framework enables a global, comprehensive, and fair evaluation of river models, supporting better model development and more reliable flood risk information



Author: Alexis TSUJI  
Internship Student - ENGEES / Utokyo IIS

#### Future perspective

I will contribute to the development of reproducibility-level evaluation methods for Global River Models using CaMa-Flood simulations and Python analysis tools. The work will focus on identifying which hydrological phenomena (seasonality, high flows, floods, extreme events) are correctly reproduced by the model and how model performance varies across regions and datasets. The long-term objective is to improve the interpretability and reliability of global flood-model evaluation beyond traditional aggregated metrics such as NSE and KGE.

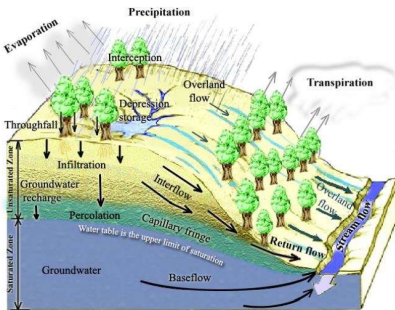
# Measurement of topography and hydraulic simulation for mountain stream



## Revealing water flow in mountain streams

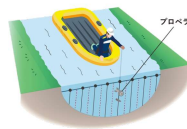
Understanding water flow in mountain streams is important for explaining runoff processes and improving flood prediction in the entire catchment

### Water Flow in a River Catchment



- Mountain streams transport water, sediment, and nutrients from hillslopes to downstream rivers, linking river ecosystems, sediment balance, and biogeochemical processes. Measuring mountain streams helps understand how hillslope features control runoff and flood response.
- Rainfall flows from hillslopes into streams and then through river channels. Hillslopes and large rivers are relatively well studied, but mountain streams in between are still difficult to observe and model.

Stream can be easily measured at smaller (< 0.1 km<sup>2</sup>) and larger scales (> 10 km<sup>2</sup>)



✓ Stream < 0.1 km<sup>2</sup>: can be measured by **triangular weir** or orifice (because the stream is small enough)

✓ Stream > 10 km<sup>2</sup>: can be measured by **hydraulic engineering techniques** (because the stream is large enough)



Tarboton (2003)

It is difficult to simulate water flow in small mountain streams at the 0.1-10 km<sup>2</sup> scale

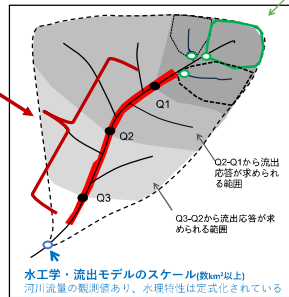
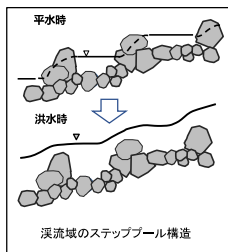
Why difficult at the 0.1-10 km<sup>2</sup> scale?

Target mountain streams in this study (at the 0.1 to several km<sup>2</sup> scale)

Hillslopes and small catchments (< 0.1 km<sup>2</sup> scale)

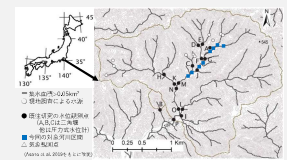
Small mountain streams often contain **step-pool structures**. water speeds up at steps and slows down in pools.

Previous experiments used artificial simplified or channels, but this complex topography and flow make real mountain streams difficult to simulate.



For the 0.1~10 km<sup>2</sup> scale

Because of the existence of **step-pool structures**. Common measurements in mountain streams are difficult. To overcome this challenge, we proposed a method to accurately measure mountain stream with complex step-pool structures.



We tested this method in a 12 m reach of upper Aono River and explain it below.

## Simulating Mountain Streams Using High-Resolution Topographic Data

### Quick and Dense Stream Measurements

#### Topographic Measurement Using LiDAR and Leveling Survey

Field observations were conducted in a 12 m reach of the upper Aono River. Above-water terrain was measured by smartphone LiDAR, while the underwater streambed and water surface were measured by **high-density leveling survey**.



Overview of the coordinate-setting method for riverbed topographic surveying

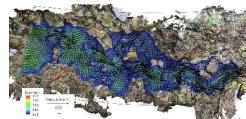
We measured both the streambed and water surface at about 1200 points in a 12 m × 5 m stream reach. Using 10 cm spacing in cross-section and 20 cm spacing along flow line, the survey was completed in only 2 days (~10 hours)

#### Testing Different Measurement Densities

To evaluate how manual survey density affects the simulation results, We tested three manual survey densities: **L20-W10 (high-density)** used 20 cm × 10 cm spacing, **L40-W20 (medium density)** used 40 cm × 20 cm spacing, and **L80-W40 (low density)** used 80 cm × 40 cm spacing.

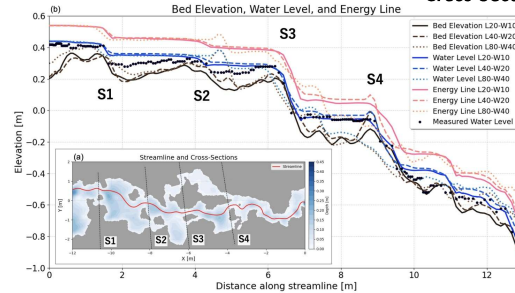
#### Reproduce Flow Field Using Hydraulic Model

LiDAR and leveling survey data were combined to build a high-resolution 3D topographic dataset. This dataset was used in the iRIC/Nays2D model to simulate 2D flow.



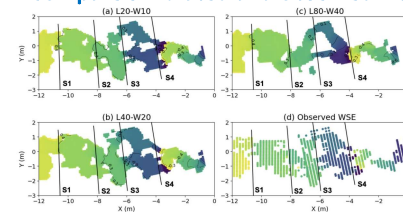
### Analysis of the Reproduced Flow Field

#### Cross-Section Along Streamline



The streamline crosses the four target steps (S1-S4), with background shading showing water depth. Bed elevation, water surface elevation, and energy slope were compared along this line for the three survey-density cases.

#### Compare simulated and observed water surface elevation distributions

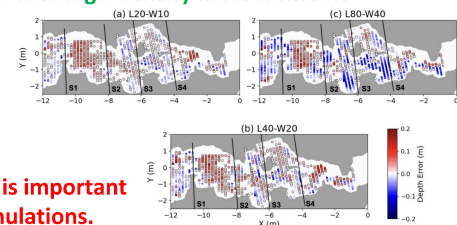


- (a) L20-W10 (high observation density)
- (b) L40-W20 (medium density)
- (c) L80-W40 (low density),
- (d) results from leveling survey

Measurement Density	RMSE (Error)
High	✓ 3.3 cm
Medium	× 4.2 cm
Low	× 5.9 cm

#### Errors are smaller with high-density measurements

- High-density topographic data reproduced the observed water depth with an RMSE of 3.3 cm.
- Errors increased as survey density become lower (especially for L40-W20, L80-W40).



High-density measurement is important in mountain streams simulations.

# 市民科学の力によるフィリピン地方部の予防的WASH環境管理への挑戦

Preventative WASH management through citizen science in the province of the Philippines

矢澤大志 (山崎研究室・助教)



## 研究背景と最終目的

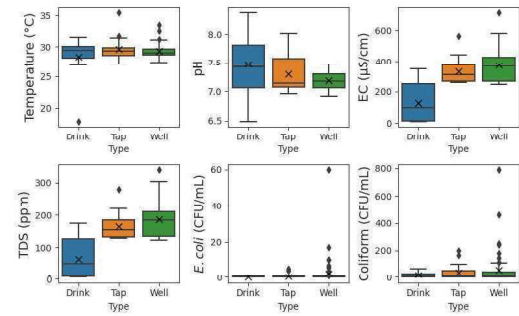
フィリピン地方部では下痢症の様な健康被害が多く、そのほとんどが日々利用する水や食材に由来すると言われている。観測・分析機器の不足から水・衛生環境管理のためのデータが不足する地方部では、アウトブレイクが発生してから消毒を行う等、対症療法的な水質対策が中心であり、予防的管理が難しい状況にある。州政府の公式な調査でも、収集した水・食品サンプルを隣接する都市に半日以上かけて運搬し分析を行うため、密度、頻度の高いデータ収集も不可能である。そこで本研究では人材や金銭的制約の多い地方部で高価な分析機器に依存せず、スマートフォンアプリケーション等を活用した市民科学的な調査と教育活動を行い、住民主導のWASH環境管理を実現する。

**※WASHとは:** Water, sanitation and hygieneの略で、安全な水へのアクセス、トイレの設置、衛生管理・教育などを通じて、とりわけ途上国における子どもたちの健康と成長の権利を守ることを目的としている。(UNICEF, 2016)

**※市民科学とは:** 市民ボランティアなどの非専門家为主体となって研究データの収集や分析に関わっていき、研究者と協働で調査等を行うことである。(定義はさまざまあるため、ここではSilvertown (2009) や佐々木ら (2016) などを参照・要約)

## 住民の水利用経験知・行動の記述的調査と水質環境へ与える影響の分析

住民の経験的水利用方法・行動が必ずしも安全ではなく、利用する水の汚染を起している場合がある



(a) Using a plastic pipe as an outlet for a well pump (N=3)



	Without a pipe	With a pipe
E. coli	0-6	0-10
Coliform	40-115	0-109
	(CFU/mL)	(CFU/mL)

(b) Using old clothes as a filter at an outlet of a well pump (N=3)



	Without a cloth filter	With a cloth filter
E. coli	0	0
Coliform	0-10	0-TNTC
	(CFU/mL)	(CFU/mL)

(c) Storing well water in a bucket for daily usage (N=5)



	Original well water	Water in a bucket
E. coli	0	0-TNTC
Coliform	3-90	69-TNTC
	(CFU/mL)	(CFU/mL)

代表的な水利用行動 (左図)

- (a) 揚水ポンプ出口へのプラスチックパイプの設置
- (b) 古着をフィルターとして揚水ポンプ出口に設置
- (c) 井戸水を屋内のバケツに貯めておき随時利用

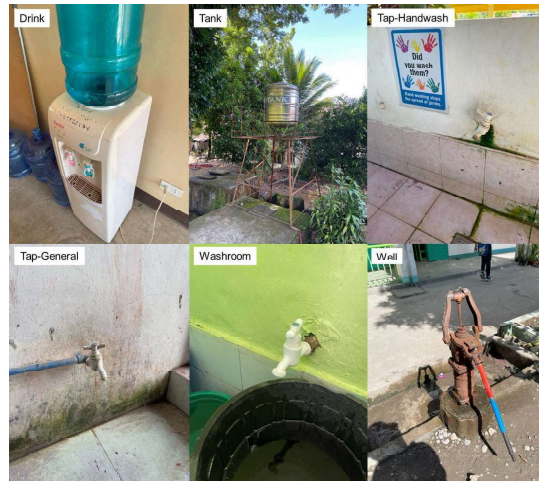
- ・ 住民が安全だと思い購入している飲み水の一部では大腸菌群が検出。
- ・ 手洗い、シャワー、洗濯、家庭によっては飲み水として利用され、接触回数も多い井戸水は多くのサンプルで大腸菌および大腸菌群が検出、微生物汚染を確認。
- ・ 古着フィルターの設置 (b) やバケツでの保管 (c) によって、大腸菌と大腸菌群数が増加。

各家庭を訪問し、データ共有と対話を通じて、実行可能である(フィージビリティ)だけではなく、負担できそう(アフォードビリティ)な水利用方法を一緒に考えていく。

**調査方法:** 家庭を一軒一軒訪問し、用途別の水利用方法をヒアリングし、水サンプルを収集  
**分析対象:** 飲み水 (飲用水として購入、井戸水等を自宅で処理し飲用)、蛇口水、および井戸水  
**分析項目:** 水温、pH、電気伝導率 (EC)、総溶解固形物 (TDS)、大腸菌、大腸菌群

## 高等学校のキャンパスで使用する水の用途別調査と管理方法の検討

学生の学習パフォーマンスに影響するWASH環境は、公立高校 (学費無し) と私立高校 (学費有り) で差が生まれている

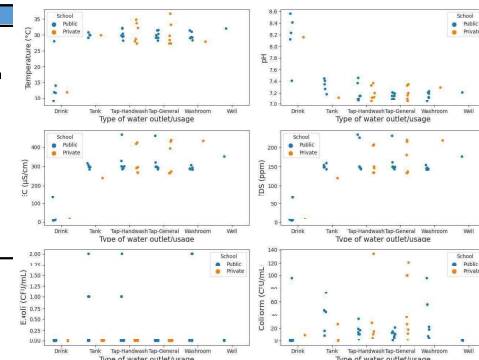


Type	Description of water resource
Drink	Refillable one-gallon water bought from local companies exclusively for drinking and cooking.
Tank	Water that is pumped up from groundwater and stored in a stainless steel/plastic tank. Water is supplied to a faucet using gravity.
Tap-Handwash	Water from a faucet exclusively installed in a handwashing area for students.
Tap-General	Water from a faucet installed in a kitchen, garden, etc. for washing dishes, watering plants, and any other activities.
Washroom	Water stored in a bucket in a washroom.
Well	Groundwater that has been pumped up.

**調査方法:** アンティケ州内の公立高校と私立高校で上表6種類の水サンプルを収集し、水質の分析結果を比較  
**分析項目:** 水温、pH、電気伝導率 (EC)、総溶解固形物 (TDS)、大腸菌、大腸菌群

- ・ 公立高校では学生が手洗い用にも使用する水道水や、浄化フィルターを通したタンク水から大腸菌が検出。
- ・ 公立高校では学生過剰の状況の中、施設の更新や石鹸の提供が追い付いていない。

学生・教員と協働の現地調査により、地域~学校~個人レベルのWASH環境改善を一緒に考えていく。



## オンライン・オフライン教材の組み合わせによる体験型水循環教育ワークショップの実践

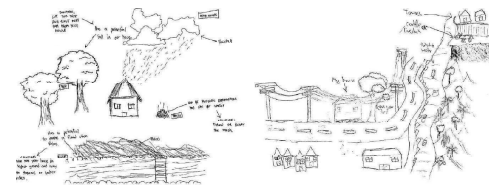
理論と地域の現状を結び付け、地域の水環境リスク対策を自分事として捉えることができる



Anything that is harmful to people/environment?  
 What can we do about those hazards?  
 #Please just imagine to protect your family.  
 #It's ok if it's NOT scientifically correct. Funny ideas are welcomed.

- Examples from my students in Japan:
1. No garbage separation  
→ Make a video to show how to.
  2. Road is not flat, my grandma will get injured.  
→ Make a robot to repair the road.
  - Ask my grandma to go to the gym.

We will use this for research purposes.  
 So, please do NOT put personal info.



1. 山崎ら (2024) が開発した降雨流出モデリングゲームの実践
2. セルフハザードマッピング作成の個人ワーク
3. グループディスカッションとプレゼンテーション

十分なインターネット環境がなくてもできる方法をみんなで一緒に考えていく。



# 降雨-流出ゲームで 水循環を学ぼう!

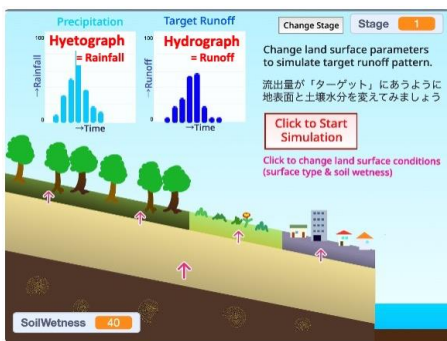


山崎研究室  
東京大学生産技術研究所

雨が降ってから河川に水が流れ出るまでの仕組みを「降雨-流出プロセス」と言います。その仕組みをシミュレーションで楽しく学べる降雨-流出モデリングゲームを教育用プログラミング言語 **Scratch** を使って作成しました。



土地利用（都市・草地・森林）や土壤水分状態は、洪水の起きやすさにどう影響するのでしょうか？ゲームでハイスコアを目指しつつ、水粒子の動きを観察して、河川流域の水循環を学んでみましょう。



## ルールと遊びかた

### 1. ゲームの目的

河川流域に降った雨が、河川に流出するまでの様々なプロセスを水粒子の動きとしてアニメーションで表現しています。  
 ・ゲームをスタートすると、**降水量 (Precipitation)** の時間変化が青色グラフで表示されます。シミュレーション中は、このグラフで示された強度の雨が降ってきます。  
 ・雨が地表面に到達すると水粒子となって流域内を移動します。水粒子の動き方は、地表面の状態によって様々な影響を受けます。  
 ・水粒子が河川に到達すると**流出 (Runoff)** となります。**シミュレーションされる流出量**が、**青色のターゲット流出量**に近づくように地表面状態を設定するのがゲームの目的です。

### 2. 地表面状態の設定

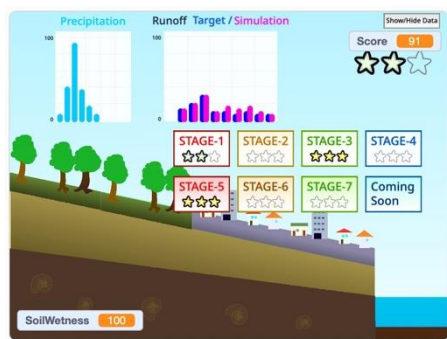
ピンク矢印で示された部分をクリックすると地表面状態を変更できます。  
 ・上流から下流の2-4箇所の**地表面タイプ**を変更できます。森林・草地・都市の3つが選択できます。それぞれのタイプで、土壤への浸み込み方や水粒子の動き方が変わります。  
 ・**土壤水分 (SoilWetness)** の初期状態も変更できます。0が土壤が乾いた状態。100が土壤が完全に湿って飽和した状態です。土壤水分も地中の水粒子の動きに影響します。  
 ハイエトグラフとハイドログラフを見比べて、最適な地表面状態を予想してください。

### 3. シミュレーションの実行

「Click to Start Simulation」ボタンを押すとシミュレーションが始まります。シミュレーション中は操作できないので、水粒子がどう動くかを観察してください。

### 4. シミュレーション結果とスコア

青色のターゲット流出量とピンク色のシミュレーション流出量の類似度に基づいて、スコアが計算されます。スコアは100点満点です。ターゲットとシミュレーションがどう違うかを分析して、より高いスコアが出せるよう、試行錯誤で地表面状態を調整しましょう。



## <環境教育への応用>

講義形式の説明に加えて、体験型ゲームに取り組むことで、降雨流出過程の理解が深まるかどうか、ワークショップを実施して分析しました。

その結果、通常の講義でも都市化と洪水の関係について定性的な理解を深めることができる一方、都市化の度合いに応じてピーク流出量やタイミングが変化するという「流出過程の定量的な理解」はインタラクティブなゲーム体験を行うことにより深く理解できるようになることがわかりました。

教育用プログラム言語Scratchを用いた降雨流出モデリングゲームの開発とその水文学教育への利用可能性。  
 山崎 大, 岡田 実奈美, 矢澤 大志 (2024), 水文・水資源学会誌, DOI: 10.3178/ijshwr.37.1826



Workshop in Open Campus



# 山崎研究室

## 陸域水動態のモデリング・モニタリング

人間・社会系部門



工学系研究科 社会基盤学専攻

全球陸域水動態

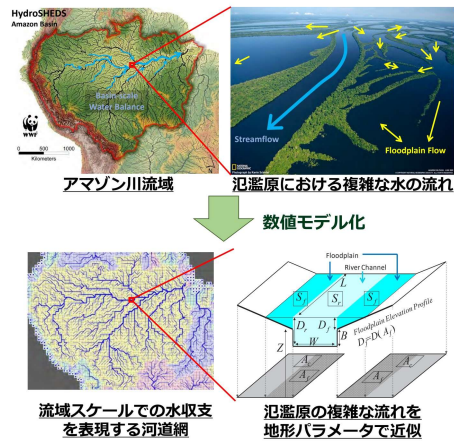
<https://global-hydrodynamics.github.io/>

### 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。

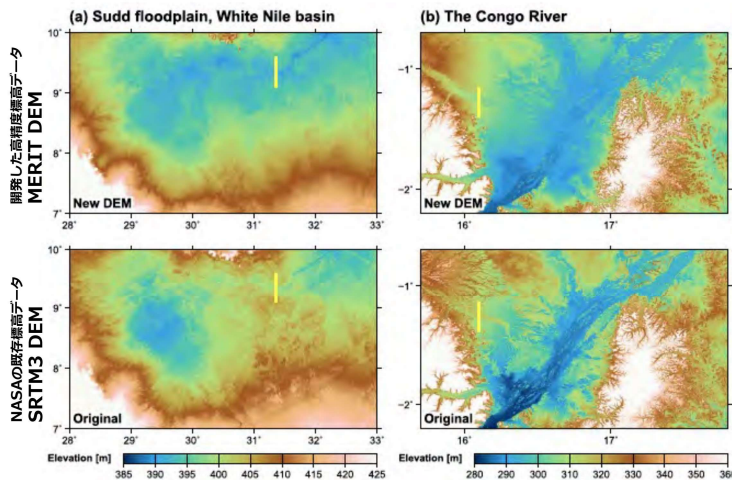
当研究室では、最新の高分解像度衛星観測データを活用して、地球規模で広域洪水シミュレーションを実現する枠組みを開発しています。(右図) さらに気象予測やビッグデータ解析技術を組み合わせて、リアルタイム洪水予測や気候変動に伴う洪水リスク評価などを行い、大規模洪水による被害の軽減を目指して研究に取り組んでいます。



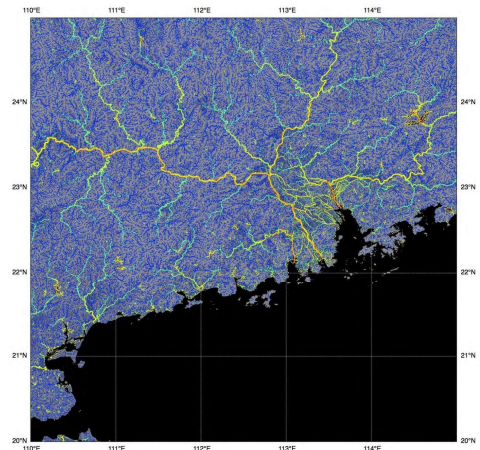
### 世界最先端の高分解像度地形データ

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。

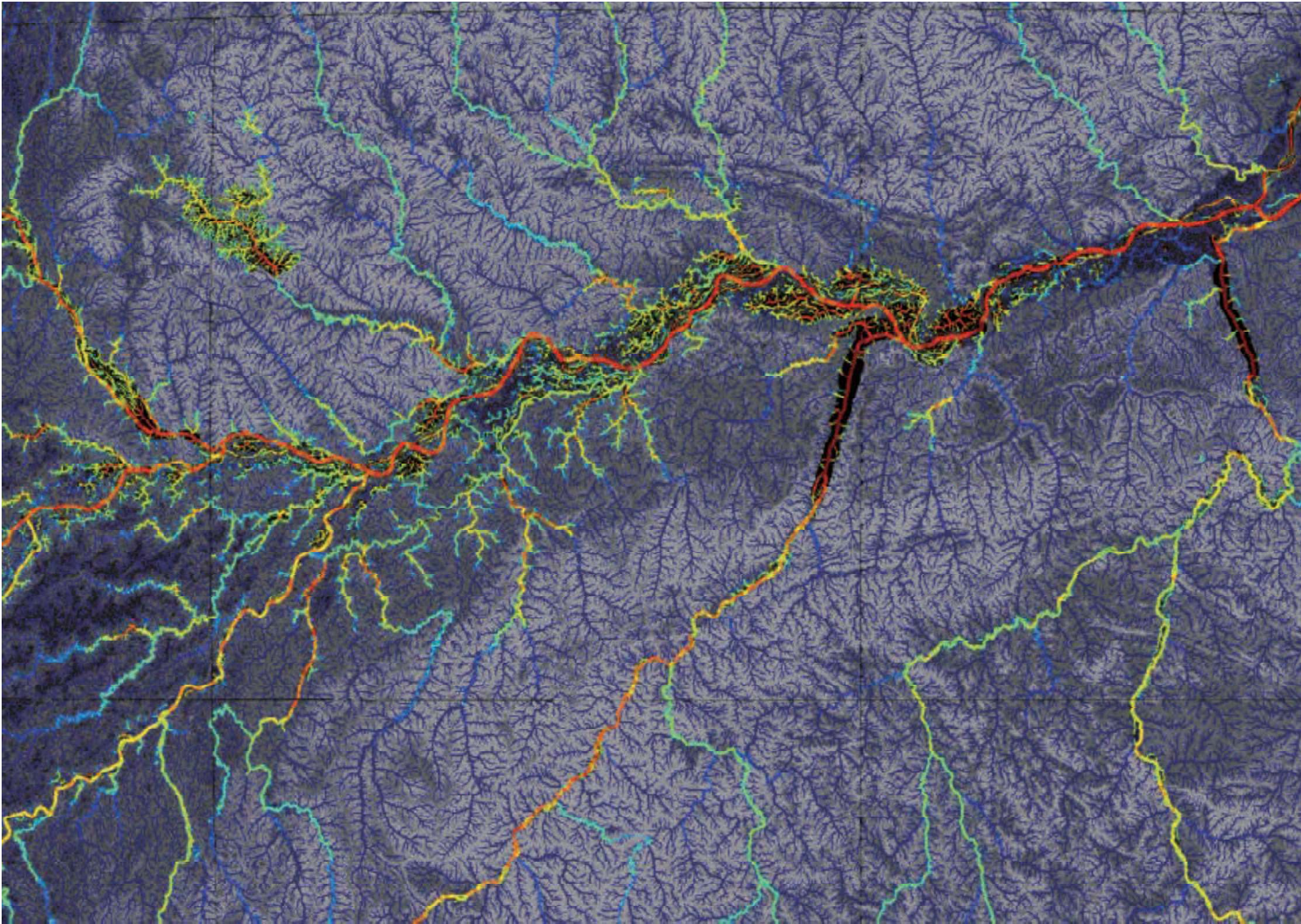


**複数誤差成分の分離除去による高精度標高データMERIT DEM**  
既存衛星標高データに含まれる各種ノイズ等を除去するアルゴリズムを開発。水文学以外でも、生態学・考古学など様々な研究分野で活用されている。



**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。





# 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。

