Global Hydrodynamics Lab

(Yamazaki Lab @ IIS U-Tokyo)

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

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

Welcome!

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

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

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

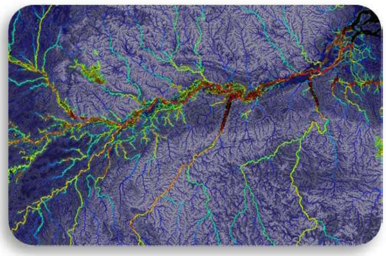
What is Global Hydrodynamics?

"Global Hydrodynamics" is the study of the dynamics of terrestrial waters over the entire Earth.

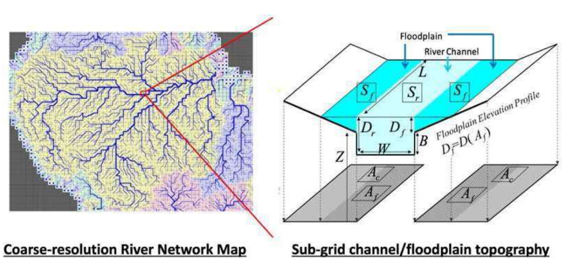
It focuses on the movement and storage of the surface and sub-surface waters at multiple temporal and spatial scales from local to global, including rivers, lakes, wetland, soil moisture, and groundwater. It also covers their interactions with related earth surface processes, such as precipitation, evaporation,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

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

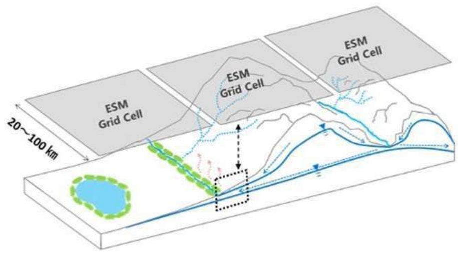
In addition to natural hydrological cycle, **we also assess the impact of the terrestrial water variability to the human well-beings** (e.g. flood, water resources, ecosystem service), and try to understand the reactions of the society (i.e. water resources and hazard management) and their feedback to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



Global river topography data MERIT Hydro



Global River Hydrodynamics model CaMa-Flood



Sub-grid hydrodynamics approach in Land model

Who are we?

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

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

Dai Yamazaki : 山崎 大

PI: Associate professor (Apr 2018-)
mail: yamadai [at] rainbow.iis

- Global hydrodynamics: modelling, remote sensing, data integration
- Personal Webpage
- Google Scholar

Taishi Yazawa : 矢澤 大志

Assistant Professor (Oct 2022-)
mail: yazawa [at] iis

- Water resources management; Citizen science; Water diplomacy; Environmental education
- Google Scholar
- researchmap

Dung Trung Vu : Vũ Trung Dũng

Postdoc (Sep 2023-)
mail: dung [at] rainbow.iis

- Water Resources Modelling and Management, Remote Sensing, Optimization
- Google Scholar
- Research Gate

Dhruv Sehgal : ध्रुव सहगल

Postdoc (Nov 2023-)
mail: dhruv [at] rainbow.iis

- Hydrology, Sediment transport, River monitoring
- Google Scholar
- Research Gate

Swarup Dangar : স্বরূপ ডাঙ্গর

Postdoc (Feb 2024-)
mail: swarupd [at] iis

- Hydrological modelling, Human-water systems, Remote sensing, Climate change
- Google Scholar
- ResearchGate

Megumi Watanabe : 渡辺 恵

JSPS Postdoc (Apr 2019-)
mail: megumi [at] rainbow.iis

- Climate change impacts on glacio-hydrology, precipitation analysis, hydro-topography data
- Personal Webpage
- Google Scholar
- Currently visiting LERMA, Paris Observatory

Yuki Kita : 北 祐樹

Postdoc (Jul 2021-)
mail: ykita [at] rainbow.iis

- Atmosphere and Ocean Modelling, Climate Science
- Research Gate
- Google Scholar

Yuki Kimura : 木村雄貴

Collab Researcher (Oct 2021-)
mail: ykimura [at] rainbow.iis

- Climate change impact on flood
- Google Scholar

Shuping Li : 李 庶平

Ph.D student (Sep 2020-)
mail: shuping [at] rainbow.iis

- Land surface modelling, ecohydrology
- Research Gate
- Google Scholar

Yang Hu : 胡 阳

Ph.D student (Sep 2020-)
mail: yang.hu [at] rainbow.iis

- Nighttime light data, remote sensing, flood risk
- Research Gate

Yuki Ishikawa : 石川 悠生

Ph.D student (Oct 2022-)
mail: yishikawa [at] rainbow.iis

- Water Resources Modeling; At-many-stations Hydraulic Geometry; Data Assimilation; Remote Sensing
- Google Scholar

Youjiang Shen : 沈友江

Ph.D student (Oct 2022-)
mail: yjshen2022 [at] rainbow.iis

- Global Hydrodynamic Modeling, Remote Sensing; Data Assimilation; Surface Water Monitoring
- Research Gate
- Google Scholar

We are looking
for new members!

Stuff & Ph.D. Students as of 2023 June

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).
We are happy to chat about potential research projects and research life in our group.

Our working space in Komaba-2 campus

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

Yamazaki lab GitHub

Yamazaki lab Twitter
@G_Hydrodynamics

Yamazaki lab Webpage
https://global-hydrodynamics.github.io/

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

東京大学
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

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

地球水循環の把握

地球上のどこにどのくらいの水がどのような形態で存在し、それらが季節的・長期的にどう変動しているのか？
観測やデータ解析で捉えます。

地球水循環のモデリング

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。

地球水循環の予測

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融合アプローチで水循環の実態に迫ります。

地球水循環と社会

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。

Member

沖大幹　教授
工学系・社会基盤学専攻（本郷）
WebSite +

芳村圭　教授
生産技術研究所（柏）
WebSite +

山崎大　准教授
生産技術研究所（駒場）
WebSite +

沖一雄　特任教授
生産技術研究所（駒場）
WebSite +

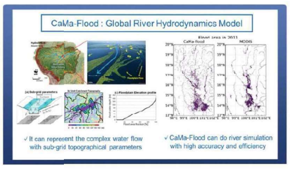
花崎直太　客員教授
工学系・社会基盤学専攻（本郷）
WebSite +

新田友子　特任講師
生産技術研究所（柏）
WebSite +

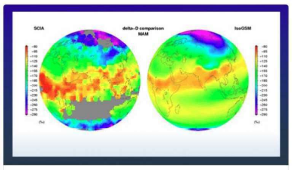
Research Topic

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。

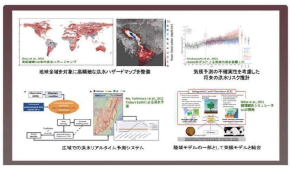
リアルタイム水循環予測
Real-time hydrological prediction



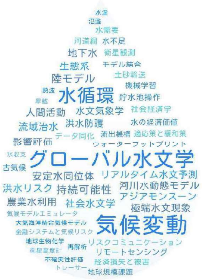
全球河川水動態モデルの開発
Global River Hydrodynamics Model



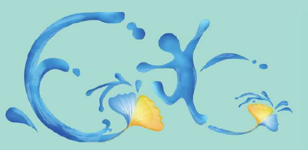
水同位体を用いた水循環解析
Water isotope for hydrological studies



気候変動影響と洪水リスク評価
Climate change impact on flood risk



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の動態が研究対象で、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理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れを理解する

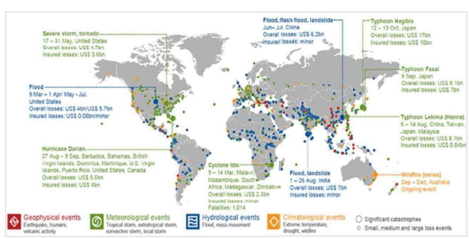
地球規模での河川流れのシミュレーションを実現することが、気候予測の精緻化や災害リスク評価にとって重要です

地球水循環の概念図 (USGS)

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。

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。

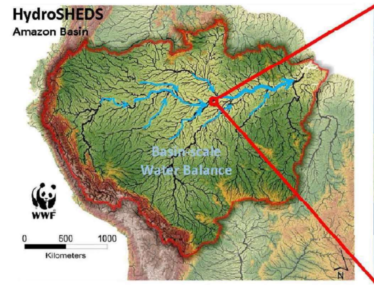
World Natural Catastrophes, 2019



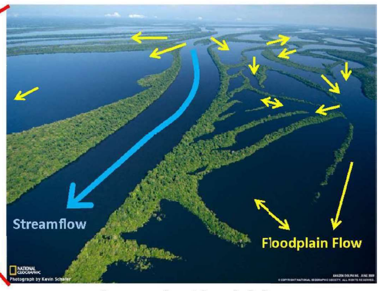
Source: © 2020 Munich Re, Geo Risks Research, NatCatSERVICE. As of January 2020.

2019年に起きた世界の自然災害 (Munich-Re)

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



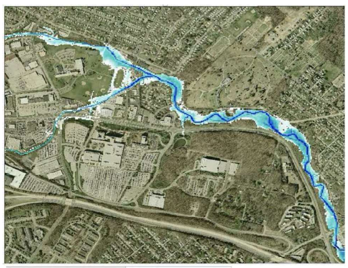
The Amazon River



Amazonian Floodplains

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

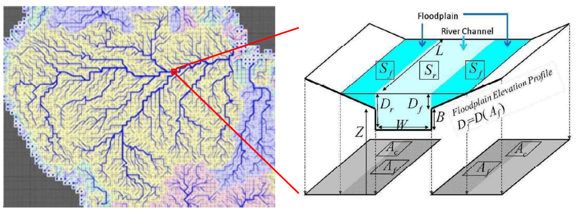


領域氾濫モデルLISFLOOD-FPによる10m解像度の洪水計算 (英国ブリストル大学提供)

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

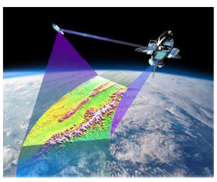
サブグリッド地形表現による複雑な水動態の近似



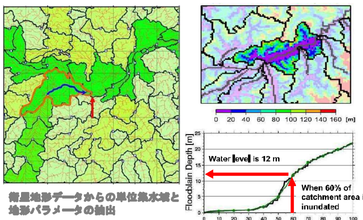
低解像度の河道網で上流から下流への水の流れを計算　サブグリッド地形パラメータによる河道と氾濫原の近似

・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、水位は一様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、大陸河川の流れを効率よく表現した。

衛星データから現実的な地形パラメータの同定



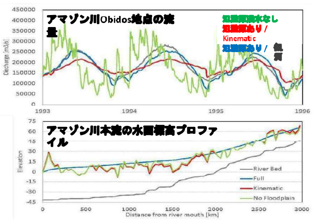
NASA Shuttle Radar Topography Mission



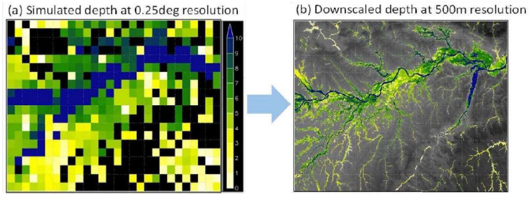
衛星地形データからの単位集水域と地形パラメータの抽出

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。
貯水量ー水位ー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。

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

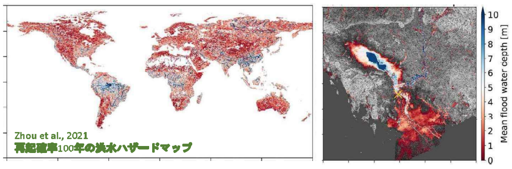


氾濫原浸水と浅水波方程式の導入で従来モデルより流量と水位が現実的に

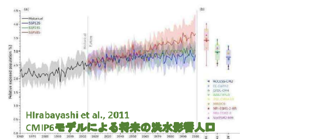


サブグリッド地形情報を活用することで、低解像度シミュレーションを診断的にダウンスケールできる

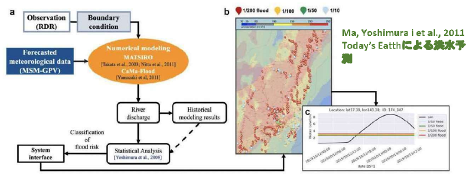
高精度・高効率の河川シミュレーションにより多様な応用研究が実現



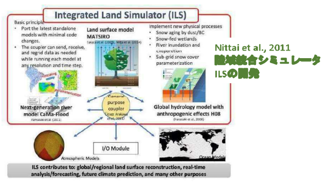
地球全域を対象に高精細な洪水ハザードマップを整備



気候予測の不確実性を考慮した将来の洪水リスク推計



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

Monitoring Surface Waters from Space

宇宙からの地表水モニタリング


Menaka Revel

Dai Yamazaki

Observing Surface Water from Space

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

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

Terrestrial freshwater is a critical resource for terrestrial life, ecosystems, biodiversity, and human societies. Continental water is stored in reservoirs that are irregularly distributed among geophysical environments and climates. Surface water includes rivers, lakes, man-made reservoirs, wetlands, floodplains, and inundated. Those are especially important because it supports diverse and dynamic environments around the world while also providing important benefits and services to human society and economic activities.

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

--Available Satellite Observations--

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

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

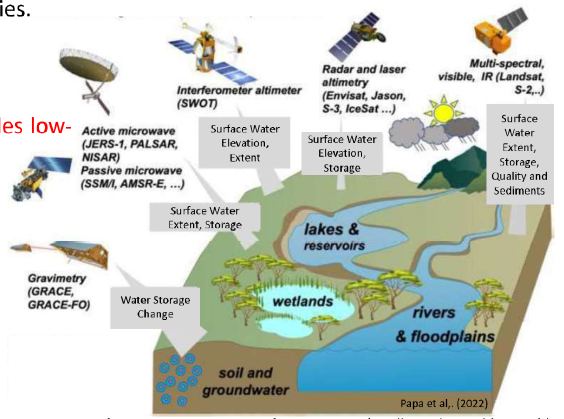


Figure 2: Schematic representation of main sensors/satellites observable variable

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

Assimilating Satellite Altimetry to improve River Discharge

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

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

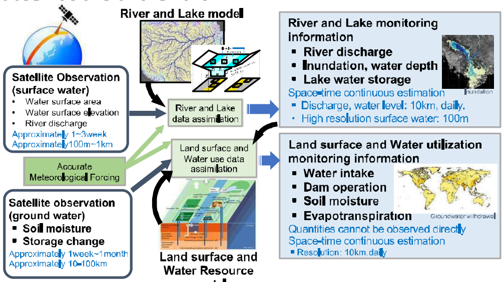


Figure 3: Schematic representation of comprehensive monitoring for the global Terrestrial hydrodynamics in Human-Geosphere

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

--Satellite altimetry--

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

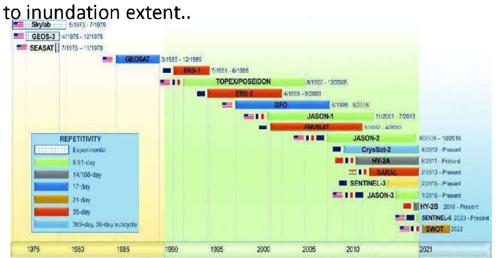


Figure 4: Timeline of satellite altimetry missions

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

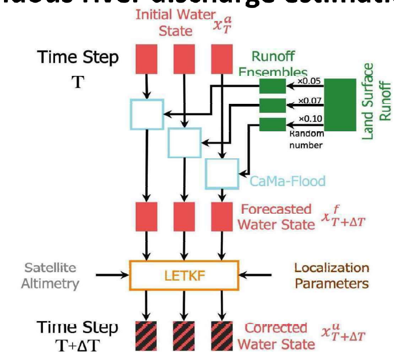


Figure 4: Schematic representation of data assimilation framework

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

--Empirical localization--

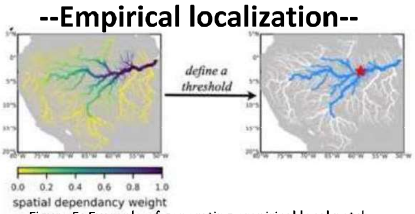


Figure 5: Example of generating empirical local patch

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

--Global assimilation efficiency--

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

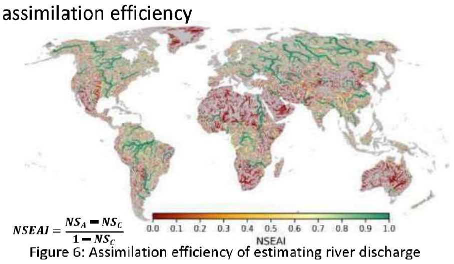


Figure 6: Assimilation efficiency of estimating river discharge

--Potential of data assimilation--

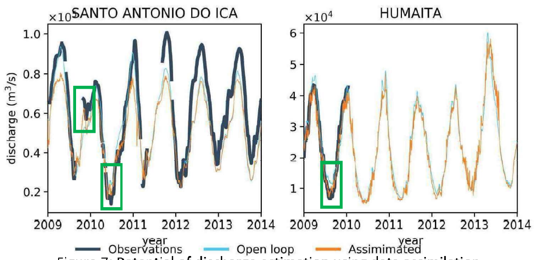


Figure 7: Potential of discharge estimation using data assimilation

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

--References--

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

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

Robust estimation of underwater river topography using satellite

衛星観測を用いた河川水面下地形のロバストな推定


Xudong Zhou


Dai Yamazaki

Rating-curve: a stable representation of river flow regimes

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

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

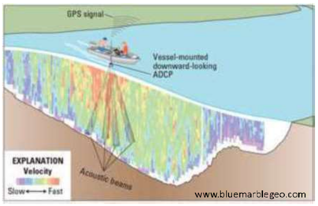


Fig. Conventional method to measure river bathymetry (i.e., underwater river topography)

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

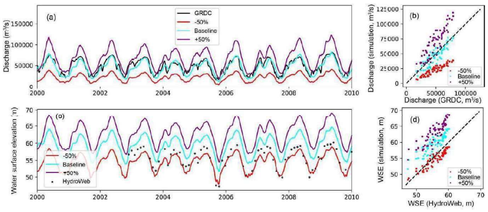


Fig. Comparison of model simulation and observation in time series with corrupted runoff (-50%, 0, +50%).

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

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

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

$$H = a\,Q^b$$

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

Rating-Curve (stage-discharge relationship)

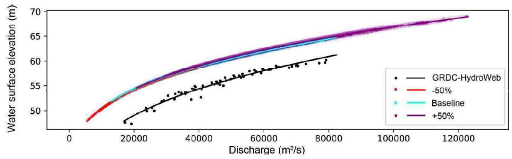


Fig. The rating-curve is stable regardless of runoff biases

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

Robust estimation of river bathymetry with rating–curve method

··· METHODS ···

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

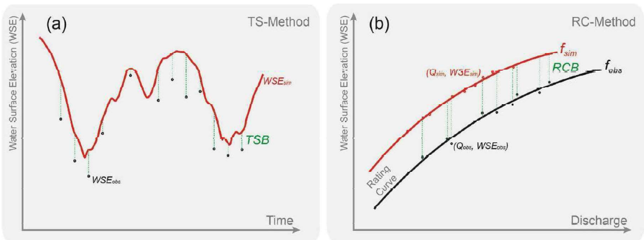


Fig. Calculation of the two bias
Time-series bias (TSB): bias of water surface elevation in time series
Rating-curve Bias (RCB): bias of fitted rating curve

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

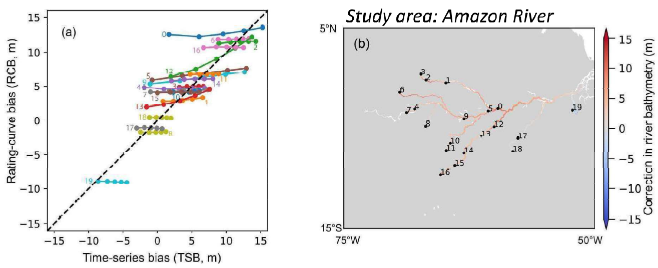


Fig. (a) Comparison of TSB and RCB at 20 gauges in the Amazon River Basin. (b) The bias along the rivers (by linearly interpolation)

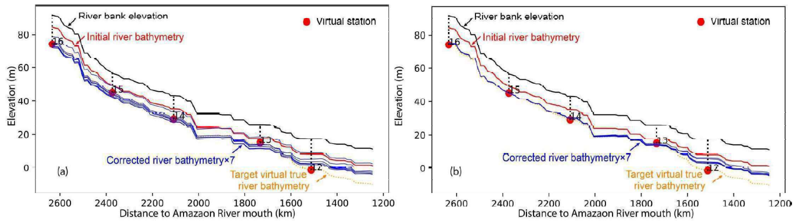
3. **Evaluate the model parameters/outputs with updated river bathymetry.**

Experimental designs:

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

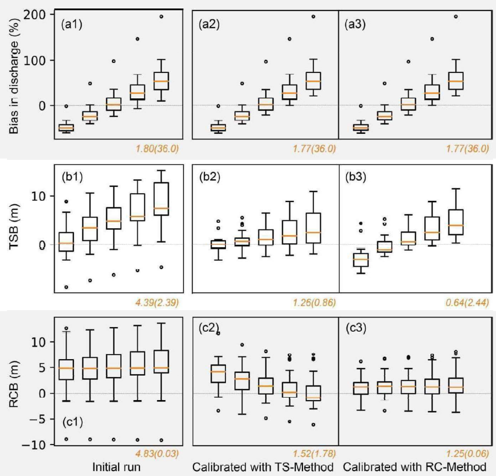
··· RESULTS ···

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



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

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



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

Limitations:

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

Zhou, et al. (2022). *Water Resources Research*, *doi:* 10.1029/2021WR031226

Contact: x.zhou@rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp

衛星観測を用いた河川流量の空間変化の推定
Estimation of spatial discharge change from satellite


石川　悠生　　山崎　大

現地観測に頼らずに河川流量の変化を知ることはできるのか？

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

人間社会と河川は相互に作用しあっています

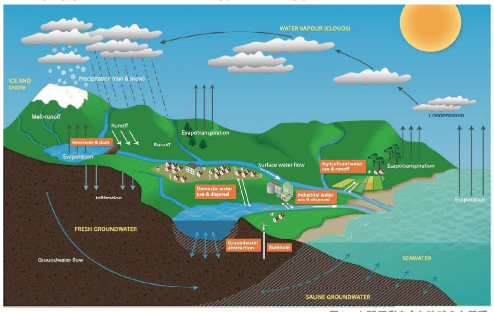


図1：人間活動を含む地球の水循環

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

例1: 発電・灌漑・洪水制御のためのダム・堤防の建設により，河川の流量や流路が変化

例2: 農業・産業・生活取水により流量が減少

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

例1: 少雨による流量減少で水不足が発生

例2: 都市化による流出速度の増加により洪水の被害が増大

人類の水利用の49%は河川から供給されています

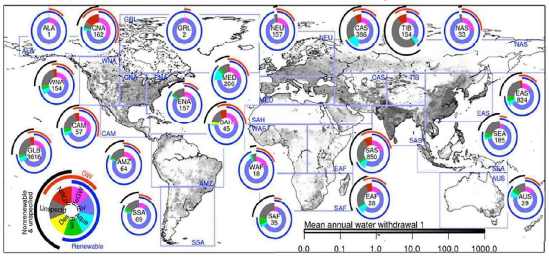


図2: 各地域における取水源の割合 (Hanasaki et al., 2018)

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

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

河川流量の現地観測所は点在・偏在しています

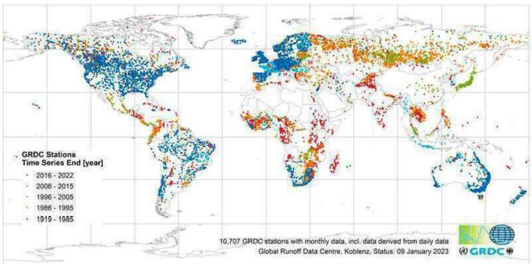


図3：世界の河川流量観測所の分布 (GRDC)

既存の全球水資源モデルでは，現実の観測情報は限定的にしか考慮されていません

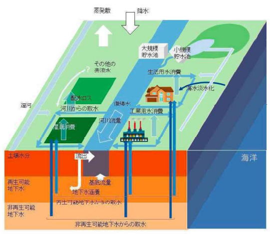


図4：全球水資源モデルH08 (Hanasaki et al., 2018)

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

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

- ◆ 流量を含む水文観測情報の不足
- ◆ モデル・観測の融合スキームの複雑さ

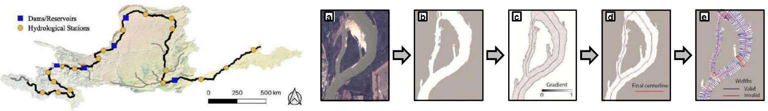
が原因で，観測情報の考慮は限定的となっています．

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

衛星観測から人間活動が河川流量の空間変化に与えるを影響を推定

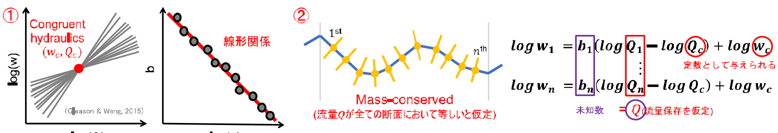
手法・理論

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



黄河流域の668の河道を対象　　RivWidthCloud (Yang et al., 2019)を用いてLandsat画像から河道幅を抽出

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



$$w = a_x Q^{b_x}$$ 1つの断面におけるwとQの関係（未知数は a_x, b_x, Qの3つ）

$$b_x = -\frac{1}{\log Q_c}\log a_x + \frac{\log w_c}{\log Q_c}$$

$$\log w = b_x(\log Q - \log Q_c) + \log w_c$$

AMHG式　複数の断面におけるwとQの関係（未知数は b_x, Qの2つ）(Gleason & Smith, 2014)

② Mass-conserved（流量Qが全ての断面において等しいと仮定）

$$\log w_1 = b_1(\log Q_1 - \log Q_c) + \log w_c$$

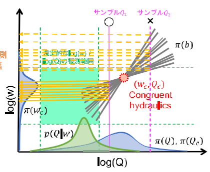
$$\log w_n = b_n(\log Q_n - \log Q_c) + \log w_c$$

定数として与えられる　未知数　流量保存を仮定

③ BAMアルゴリズム (Hagemann et al., 2017)
(AMHGパラメータをベイズ更新)

$$p(\theta|w) = \frac{f(w|\theta)\pi(\theta)}{\int f(w|\theta)\pi(\theta)d\theta}$$

θ: パラメータ (Q, b, Q_c, w_c)
π(·): パラメータ事前分布
f(·): 観測に対する尤度関数
p(·): パラメータ事後分布



① At-Many-station Hydraulic Geometry（AMHG）という近年発見された未知パラメータの少ない流量則を利用しました．

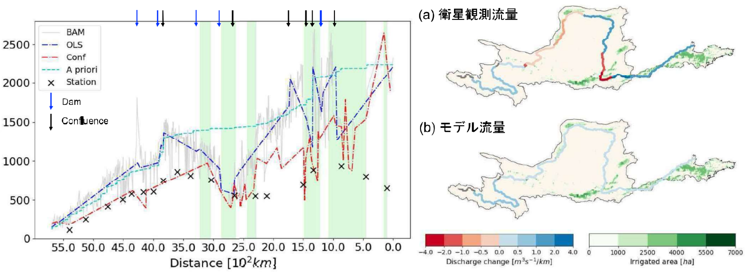
② 複数の河道断面において流量が保存される（McFLI）という仮定をAMHGに適用することで未知パラメータの数をさらに減らすことができ，パラメータ最適化アルゴリズムにより，河川流量を推定することができます．

③ Bayesian AMHG-Manning（BAM）というベイズ推定を応用した最適化アルゴリズムを用いることで，不確実性を含む流量推定値を得ることが可能になります．

結果

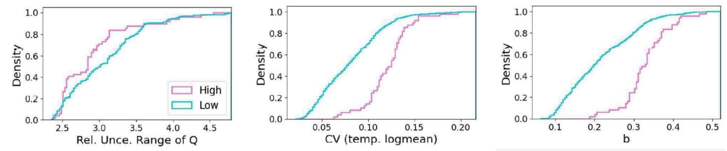
- 衛星観測流量は観測と一致する流量変化の傾向を示しました．
- 灌漑が盛んな地域において，流量の減少が確認されました．

→ 人間活動による流量の減少を捉えられることがわかりました．



上流（左）から下流（右）にかけての河川流量の空間的な変化 (1988~1997の平均値)　　上流と比較した下流の流量値の増減量

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



信頼度が高い河道と低い河道におけるQの事前分布，河道幅の時間平均の変動係数，およびAMHGパラメータbの累積分布関数

今後の展望

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

全球河川土砂・栄養塩モデリング

Global River Model with Sediment and Nutrient Transport

石田　紘大　鳩野　美佐子　山崎　大

河川は淡水だけでなく，大量の土砂・栄養塩を輸送している

河川由来の土砂・栄養塩は海洋循環・海洋生態系に大きな影響を及ぼしています．

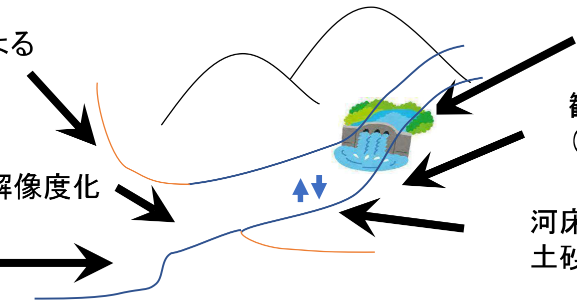
全球の河川から流出する土砂は海洋に堆積するだけでなく，栄養塩も輸送します．その栄養塩は海洋を循環するため全球で大きな影響を与えます．さらに，海洋生態系の変化は将来の気候変動にも影響します．

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

海洋モデルとのカップリングによる
海洋での土砂動態の解明

人間生活の依存度の高い
沿岸海洋モデルのデータの高解像度化

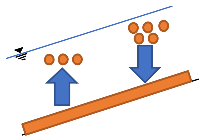
気候予測の高度化



ダム建設の影響予測

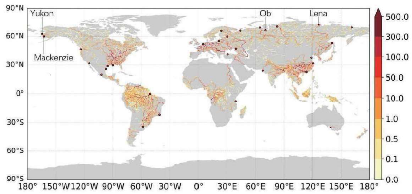
観測のない河川の土砂流出量の推定
（全球で土砂量の観測のある河川は10%以下）

河床への沈降，再浮遊など
土砂流出機構の定量評価

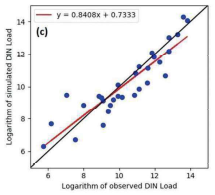


河川の土砂・栄養塩輸送を定量的に評価し，全球での物質収支を把握する必要がありますが，その手段である河川での土砂・栄養塩輸送の全球モデルは発展途上です．

全球栄養塩輸送モデル　Huang et al.,2021



DINの再現結果



DINの観測値と計算値

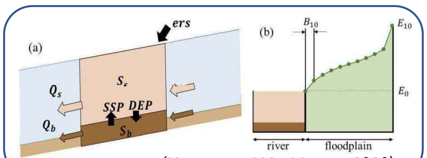
全球土砂・栄養塩輸送モデル構築の課題

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

全球河川土砂動態のモデリングとリモートセンシングの融合

全球河川土砂動態モデル

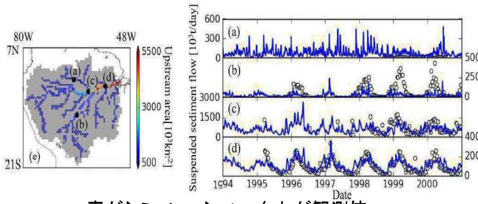
CaMa-Sediment



(Hatono and Yoshimura, 2020)

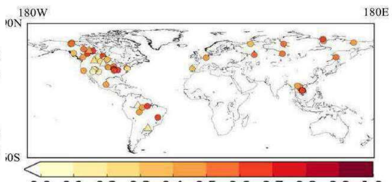
全球陸域モデルILS(Nitta et al., 2020)に組み込むことで，CaMa-Floodの全球での水深・流速を利用して土砂輸送の物理プロセスの詳細を表現するモデルの開発に成功しました．

（1）アマゾン川での周年変動



青がシミュレーション・白丸が観測値

（2）全球での再現結果



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

土砂動態のリモートセンシング

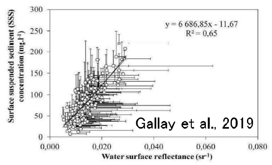
衛星による河川土砂濃度の推定

赤色光の水面反射率

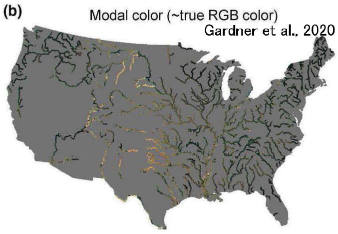
↓

表層浮遊土砂濃度
と相関がある

Orinoco川での適用例



アメリカでの河川の色の測定



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

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

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

衛星画像を用いた全球河川浮遊土砂濃度の推定

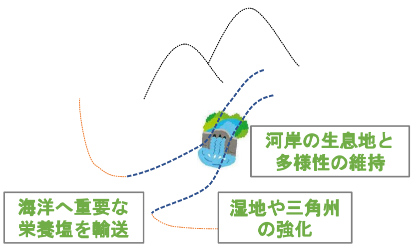
Estimating Suspended Sediment Concentration in Global River from Satellite Images


石田　紘大　山崎　大

衛星画像から全球の土砂動態を把握する

土砂は海洋へ大量の栄養塩を輸送し、栄養塩は海洋循環・海洋生態系に大きな影響を及ぼしているため、全球での土砂動態の把握は重要になっています。

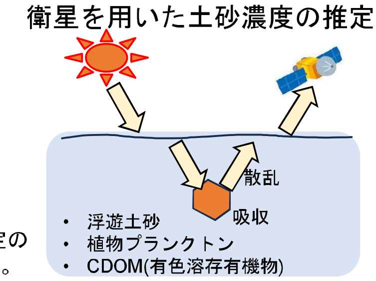
土砂がもたらす影響



土砂が運ぶ栄養塩は沿岸の藻場を育成し、藻場はブルーカーボンとして二酸化炭素を吸収する役割を期待されています。また、河川由来の土砂は海岸侵食を防ぎ、湿地や河口デルタを強固にし、河川中では生物の生育環境を保全するなど、様々な役割を担っています。(Dethier, Renshaw and Magilligan, 2023)

河川の有色物質の濃度を測定する有効な手段の一つにリモートセンシングがあります。衛星は河川の"色"を反射率として測定します。色は河川に含まれる有色物質(水・植物プランクトン・土砂・有色溶存有機物など)により定まります。従って濃度推定のために、衛星の反射率と物質濃度の関係式が作られてきました。

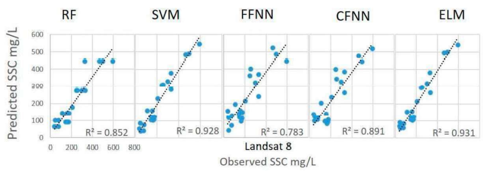
衛星を用いた土砂濃度の推定



しかし、衛星画像と浮遊土砂濃度の関係は河川ごとに異なるため、ある流域で得られた関係式は他の流域に適用できず、全球スケールでの研究は困難でした。

ミシシッピ川の土砂濃度を機械学習により推定

Peterson et al., 2018

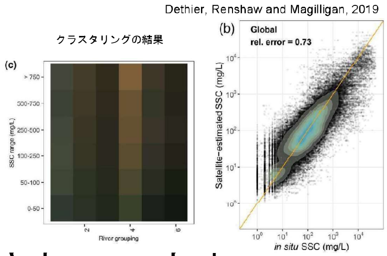


バンド間の比を用いたり、機械学習により土砂濃度を反射率から推定する研究が主流となっています。しかし、異なる河川では粒径分布・土砂の組成により関係式は異なるため、流域スケールにとどまっています。継続的な土砂濃度の観測がなされている河川は10%以下にとどまり、反射率から土砂濃度を推定可能な河川はごく一部です。(Cohen et al., 2013)

全球での推定を行った既往研究では、反射率のスペクトルをもとに河川をクラスタリングし、グループごとで土砂濃度と反射率の関係式を回帰分析により求めています。しかし、回帰式の精度は低く、観測データの存在しない河川で同様の式が成立するかは確証がありません。

全球での土砂濃度をクラスタリングにより推定

Dethier, Renshaw and Magilligan, 2019



現地観測なしに浮遊土砂濃度を推定するアルゴリズムが必要とされています。

複数の理論を組み合わせ、衛星画像のみで土砂濃度推定を可能に

既存の光学理論に、河川特有の合流部のフラックス保存を組み合わせる

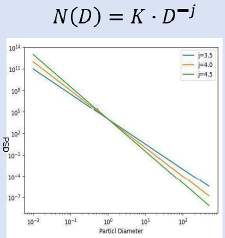
◻ 土砂の粒径分布と土砂濃度の関係式の構築

- 近赤外波長では土砂と水の影響が支配的になること
- 土砂の光に対する応答はMie散乱理論を用いて理論的に計算できること

を用いて、土砂の粒径分布から土砂濃度を推定する関係式を作成しました。

指数型の粒径分布

$N(D) = K \cdot D^{-j}$



生物光学モデル(Bio-optical model)

反射率と水中物質の固有光学特性の半解析的な経験式 (Gorden et al., 1978, Lee et al., 2002)

$$rrs(\lambda) = Rrs(\lambda)/(0.52 + 1.7Rrs(\lambda))$$

$$rrs(\lambda) = g_1 u(\lambda) + g_2 u(\lambda)^2$$

$$u(\lambda) = \frac{b_{bSS}^*(\lambda) \cdot SSC}{a_w(\lambda) + (a_{SS}^*(\lambda) + b_{bSS}^*(\lambda)) \cdot SSC}$$

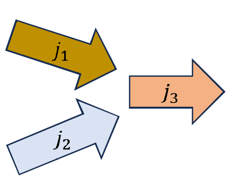
λ	波長
$Rrs(\lambda)$	水面直上の反射率
$rrs(\lambda)$	水面直下の反射率
g_1, g_2	係数(文献値)
$a(\lambda)$	吸収係数
$b_b(\lambda)$	散乱係数
w	河川水
SS	浮遊土砂
SSC	浮遊土砂濃度

Mie散乱理論 (Mie 1908, Van de Halst 1957, Stramski and WOzniak 2004)
球体粒子の光散乱・吸収
$((a_{SS}^*(\lambda), b_{bSS}^*(\lambda)))$を計算

反射率
近赤外での
反射率

浮遊土砂濃度
SSC

◻ 合流部のフラックス保存を用いた土砂濃度の推定



①合流部のフラックス保存,②反射率から求まる土砂濃度の差を合流後の河川で最小化する粒径分布の傾きjを求めます

①上流で任意の粒径分布j_1, j_2を定めれば、反射率より土砂濃度が求まる
→合流後のフラックス保存から下流部の土砂濃度が求まる

②$N_3(D) = N_1(D) + N_2(D)$よりj_3が求まる
→上記の関係式を用いて、反射率より下流部の土砂濃度が求まる

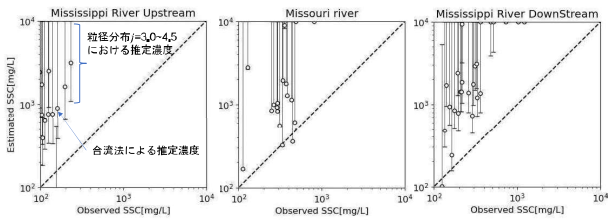
一年を通じて、①と②のSSCの誤差を最小化するj_1, j_2のペアを求めればよい

◻ ミシシッピ川とミズーリ川での濃度推定

対象地域

衛星	Sentinel-2 L2A Harmonized
使用したバンド	B6,B7,B8,B8A
期間	2019/1/1~2019/12/31
土砂濃度(検証データ)	USGS
流量データ	USGS
合流点の座標	38.813, -90.116

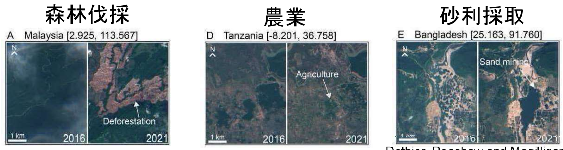
結果



観測されたSSCに比べて、推定した濃度は過大でした。
衛星の観測位置および太陽高度を考慮することで、精度の改善が見込まれます。

◻ 人間活動の影響が全球で推定可能に

森林伐採　農業　砂利採取



Dethier, Renshaw and Magilligan, 2019

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

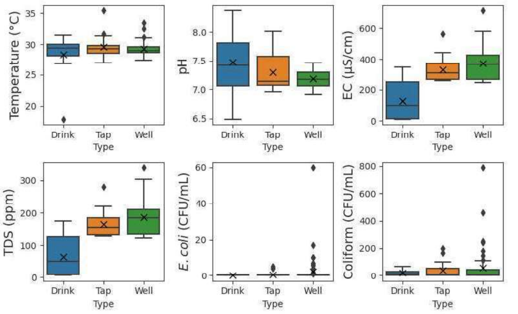
フィリピン地方部では下痢症の様な健康被害が多く，そのほとんどが日々利用する水や食材に由来すると言われている。観測・分析機器の不足から水・衛生環境管理のためのデータが不足する地方部では，アウトブレイクが発生してから消毒を行う等，対症療法的な水質対策が中心であり，予防的管理が難しい状況にある。州政府の公式な調査でも，収集した水・食品サンプルを隣接する都市に半日以上かけて運搬し分析を行うため，密度，頻度の高いデータ収集も不可能である。そこで本研究では人材や金銭的制約の多い地方部で高価な分析機器に依存せず，スマートフォンアプリケーション等を活用した市民科学的な調査と教育活動を行い，住民主導のWASH環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

※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が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こしている場合がある



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

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

Without a pipe		With a pipe	
E. coli	0-6	*E. coli*	0-10
Coliform	40-115	Coliform	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	*E. coli*	0
Coliform	0-10	Coliform	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	*E. coli*	0-TNTC
Coliform	3-90	Coliform	69-TNTC
	(CFU/ml)		(CFU/mL)

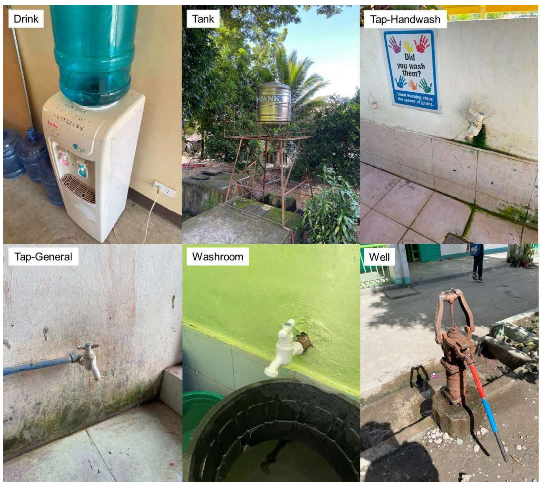
代表的な水利用行動（左図）
(a) 揚水ポンプ出口へのプラスチックパイプの設置
(b) 古着をフィルターとして揚水ポンプ出口に設置
(c) 井戸水を屋内のバケツに貯めておき随時利用

- 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（アフォーダビリティ）な水利用方法を一緒に考えていく。

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

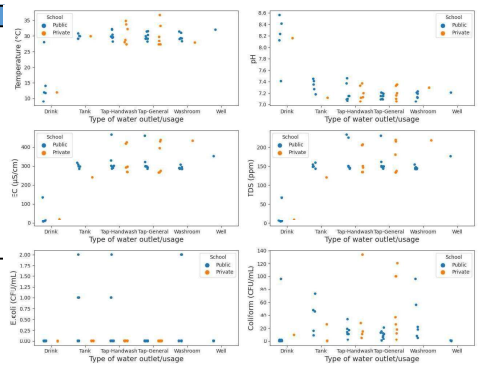
学生の学習パフォーマンスに影響するWASH環境は，公立高校（学費無し）と私立高校（学費有り）で差が生まれている



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多の状況の中，施設の更新や石鹸の提供が追い付いていない。

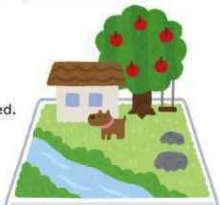
学生・教員と協働の現地調査により，地域～学校～個人レベルのWASH環境改善を一緒に考えていく。

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

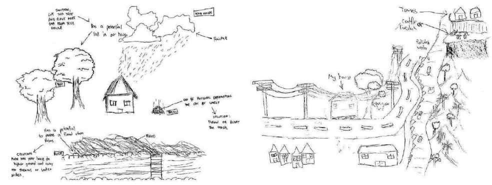
理論と地域の現状を結び付け，地域の水環境リスク対策を自分事として捉えることができる

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

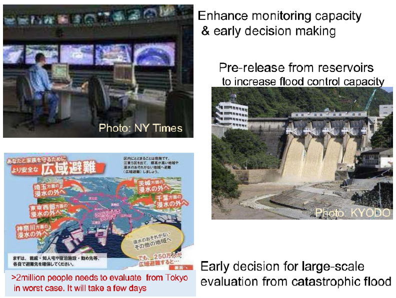
十分なインターネット環境がなくてもできる方法をみんなで一緒に考えていく。

河川洪水のインパクト予測
Impact-based forecasting of river flood

神戸育人　山崎 大

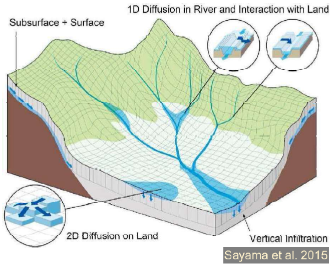
洪水の影響も含めて予測する

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



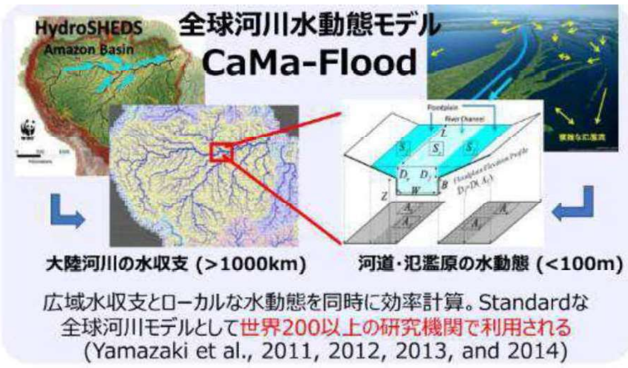
極端気象災害が見込まれる際に経済活動制限や広域避難といった大規模対応の意思決定支援には、雨量や河川流量などのハザード予測に加え、**氾濫発生による人的経済的被害を含む災害影響予測が必要です。**
(Impact-based forecasting)

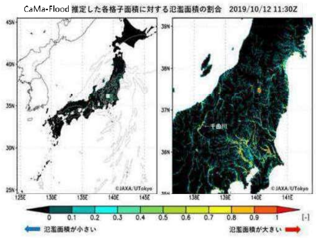
大規模な災害対応は、経済機会損失も含めて様々なトレードオフが発生する。気象予測の不確実性も考慮して、災害影響の包括的な確率予測が求められる。



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

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

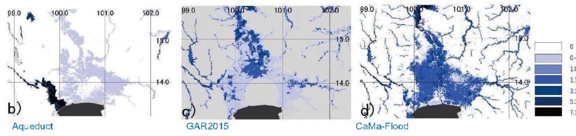




CaMa-Floodによる浸水面積割合予測。
インパクト評価に使うにはより詳細な浸水域予測が必要

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

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



異なるグローバル洪水モデルによって構築した浸水深さハザードマップ。
洪水防護の考慮方法で推計されるリスクが大きく異なる。チャオプラヤ流域の事例
(平林・山崎ほか, 2022)

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

地域ごとの洪水防護を考慮した洪水シミュレーションの実現

〈ダム操作スキームの実装〉

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

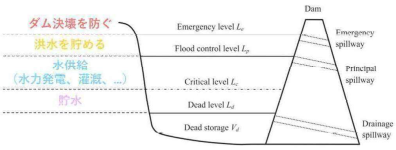


FIG. 1. Schematic of a multiyear and multipurpose reservoir (after Ward and Elliot 1995).
(Wu and Chen, 2012より改変)

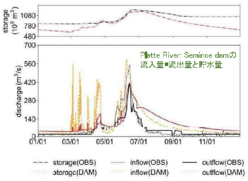
Table 1
Reservoir Operational Rules in This Study to Determine Outflow

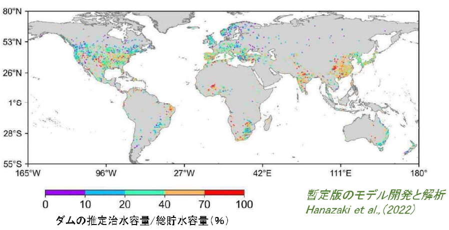
Inflow condition/storage zone	A. Above design flood discharge $I \geq Q_f$	B. Below design flood discharge $I < Q_f$
1. Overtopping prevention $V_e \leq V \leq V_{tot}$	$Q = I$	$Q = Q_f$
2. Flood control $V_f \leq V \leq V_e$	$Q = Q_f + k \times \frac{V - V_f}{V_e - V_f}(I - Q_f)$	$Q = 0.5Q_n + \left(\frac{V - V_c}{V_e - V_c}\right)^2 (Q_f - Q_n)$
3. Water supply $V_c \leq V \leq V_f$	$Q = 0.5Q_n + \frac{V - V_c}{V_f - V_c}(Q_f - Q_n)$	$Q = 0.5Q_n + \left(\frac{V - V_c}{V_e - V_c}\right)^2 (Q_f - Q_n)$
4. Water use regulation $V \leq V_c$	$Q = Q_n \times \left(\frac{V}{V_f}\right)$	$Q = Q_n \times \left(\frac{V}{V_f}\right)$

Note. Equation in the cell A2 in the Table 1 is identical to Equation 3. Q, reservoir outflow (m^3/s); I, reservoir inflow (m^3/s); V, reservoir storage volume (m^3/s); V_{tot}, total storage capacity (m^3); V_e, volume under emergency water level (m^3); V_f, volume under flood control level (m^3); V_c, volume under critical level (m^3); Q_f, flood control starting discharge (m^3/s); Q_n, normal discharge (m^3/s); k, release coefficient.

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

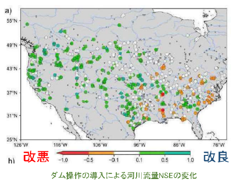
衛星観測データなどを用いて世界のダムのパラメータを推定。





暫定版のモデル開発と解析
Hanazaki et al., (2022)

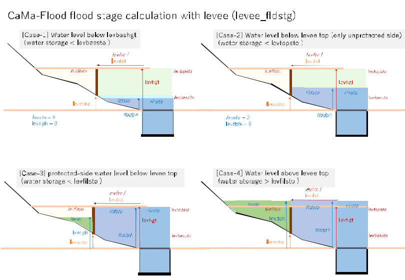
ダム操作を考慮することで、世界の多数の河川で流量の再現性向上が期待できる。



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

〈堤防情報スキームの実装〉

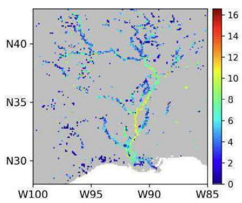
- 堤防による氾濫抑制を全球河川モデルでどう表現できるか？
- 堤防を考慮した場合に、洪水リスクはどの程度減少するか？



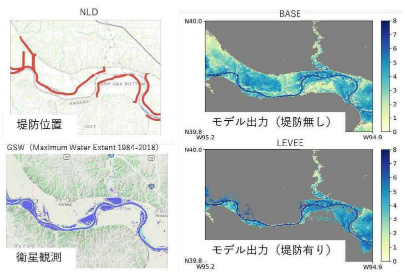
全球河川モデルの枠組みで堤防を考慮した河川水動態を表現する

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

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



ミシシッピ川流域の堤防高(m)
(田中・山崎, 2019)



堤防による水動態を考慮することで氾濫面積が現実的になることを確認。

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

日本における堤防の洪水防御効果の評価

Assessment of flood protection effects by levees in Japan

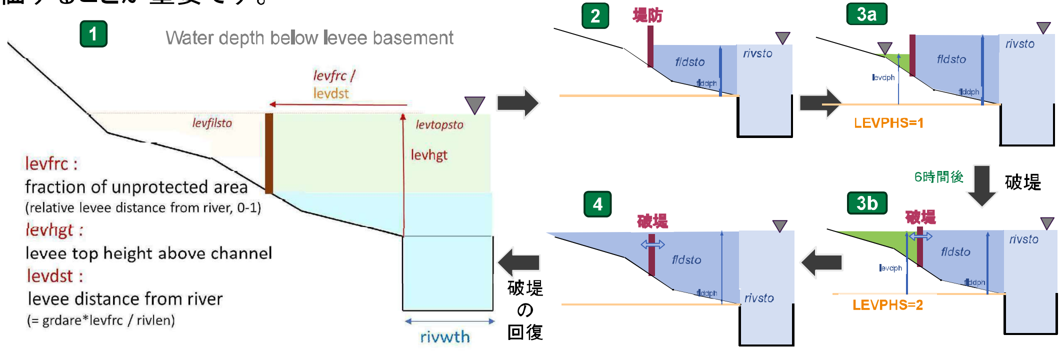

北 祐樹


山崎 大

日本全域の堤防データを整備し、堤防による洪水防御効果を推定する

日本の洪水を防ぐために古くから堤防が築かれてきました。気候変動による災害激甚化の可能性がある中で、日本の洪水リスクを、洪水防御の効果を考慮しながら評価することが重要です。

2019年の東日本台風による大雨でも
堤防により洪水の影響は軽減されました



新たに開発したグローバル河川水動態モデルCaMa-Floodでの堤防と破堤スキーム

【研究上の課題】 グローバル河川モデルは、河川と氾濫原上の水動態を同時に解くモデルであり、陸上にある堤防のような小さい構造物を陽的に表現することは本来難しい。

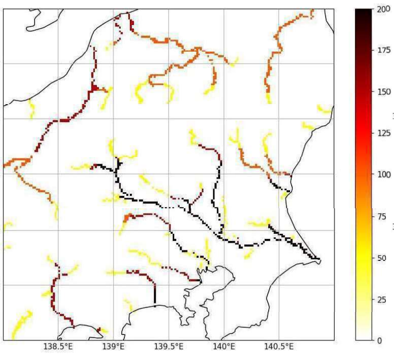
解決 サブグリッドパラメータで堤防内外の水容量を定義することで、解像度を細かくすることなく、堤防による洪水防護効果を表現することに成功した。

グローバル河川水動態モデルCaMa-Floodでは新たに堤防を計算するスキームを導入しました。
堤防による洪水防御効果や、それが破堤した時の水動態プロセスを精緻に表現するには限界があります。
モデル効率を保ちつつ現実の堤防の状態を如何に正確にモデル表現するか、そしてモデル化のために必要な日本全国の堤防のデータ収集とパラメータ開発に取り組んでいます。

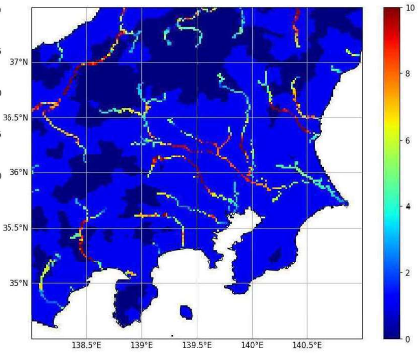
堤防による洪水防御効果の評価と精度検証

<堤防パラメータの推定>

流域面積や人口密度、過去の流量・水位から堤防の設計基準と高さを推定します。



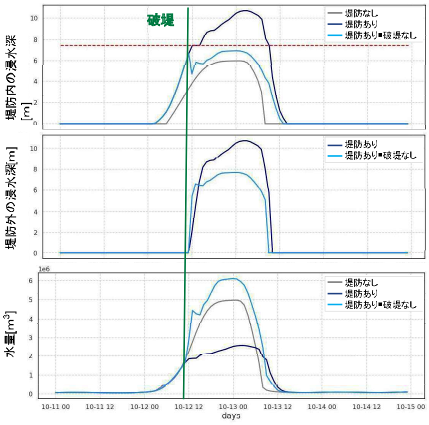
堤防の設計水準確率規模（年）



堤防の高さ（m）

<浸水域の計算結果>

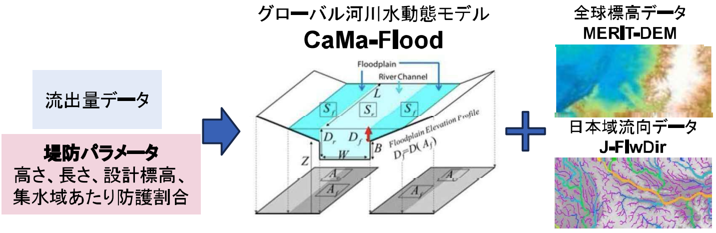
堤防をモデルで表現すると洪水防御効果が働き、河川の水位が上昇する一方、破堤を表現すると越水後に破堤して水位が下がっており、適切にモデルを構築できていることがわかります。



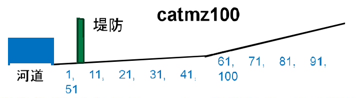
2019年東日本台風の大雨による
破堤の様子（長野県千曲川）

<堤防を考慮した浸水域計算>

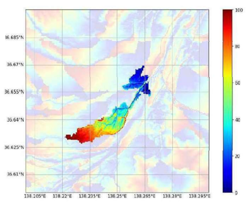
推定した堤防パラメータも用いてCaMa-Floodで過去の洪水・破堤事例を計算することで、シミュレーションの再現性と堤防スキームを検証します



標高・河道データから、堤防の内側に含まれる30m単位メッシュのピクセルが単位集水域ごとに仮定します



防護されるピクセル: catmz100 ≥ levfrc*100

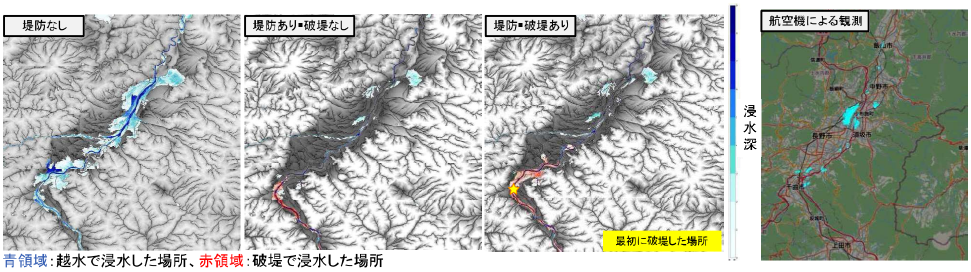


catmz100の例（千曲川左岸）

ダウンスケーリング

<浸水域の計算結果>

J-FlwDirと推定した堤防パラメータを利用することで、堤防位置と破堤を考慮した浸水域を高解像度（約30m）で推定できます。浸水域においても、堤防による洪水防御効果と破堤による浸水が表現されており、観測による浸水域に近づいていることが確認されました。



青領域：越水で浸水した場所、赤領域：破堤で浸水した場所

今後の課題

- ✔ この事例では堤防による洪水防御効果と破堤による浸水が表現されているものの、さらに他の事例や統計的な検証が必要があります。
- ✔ より精緻な堤防のデータを得るためには、実際の地形データ等から収集・分析して作成する必要があります。
- ✔ 堤防の特性やその時の流況を考慮することで、より精緻な破堤のモデル表現をする必要があります。

Satellite-based global hydrodynamics modeling considering reservoir operations

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



Youjiang Shen Dai Yamazaki

Satellite data has a potential to revolutionize reservoir monitoring and modeling

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

Actual rivers are not natural rivers

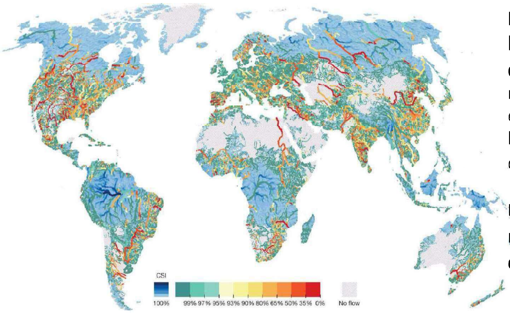


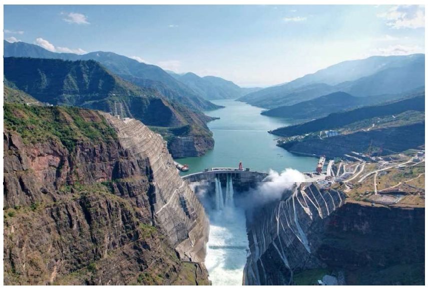
Fig. 1: Connectivity status index of the world's river reaches (Grill, Lehner et al. 2019, Nature).

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

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

Solution: Data & Model

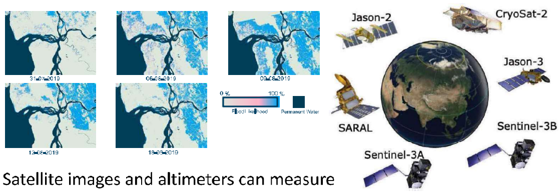
Reservoirs are important natural resources



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

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

Satellite data provide observation of reservoirs



Satellite images and altimeters can measure reservoir water areas and levels

Model can consider reservoir impacts

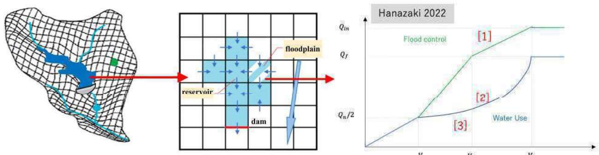


Fig. 3: The schematic diagram of the reservoir modeling approach in the CaMa-Flood model. The current scheme is used for flood control.

Current research gap

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

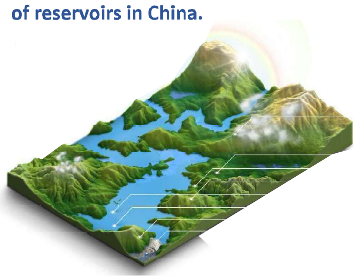
We try to fully utilize satellite-based reservoir monitoring in global river hydrodynamics model for more realistic hydrological simulations.

Integrating satellite data into the CaMa-Flood river hydrodynamic model

New data set, Res-CN

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

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



Catchment-level data in six categories:

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

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

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

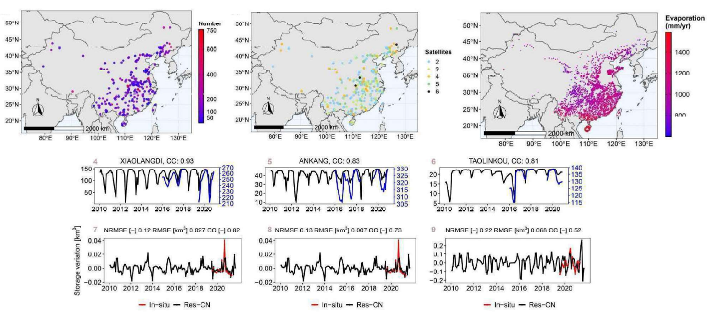
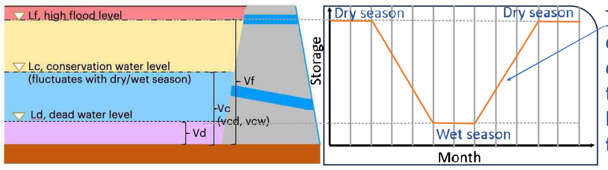


Fig. 4: Illustration of our reservoir water level, evaporation, area, and storage data.

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

New dam module

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



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

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

Simulation results

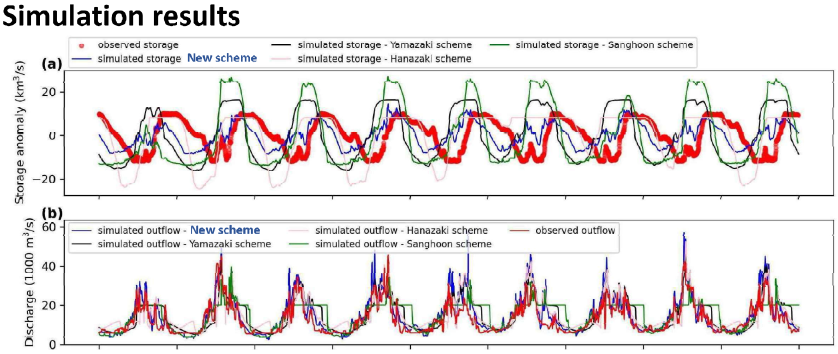


Fig. 7: Comparisons of our new dam module (New scheme) with the previous dam schemes.

Future works:

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

To read these articles →

Youjiang's Homepage →

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

余田奈穂　山崎大　渡辺恵

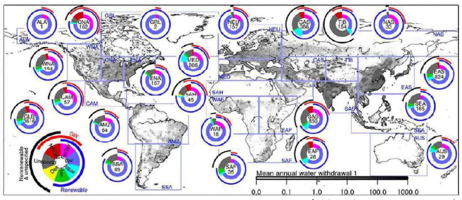
全球水文モデルを用いた水資源量評価

気候変動によって世界の多くの地域で**水ストレスが増加**

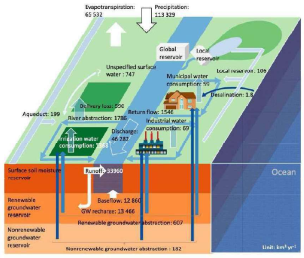
今後気温が2度上昇すると、深刻な干ばつなどにより水不足を経験する人口が8~30億人に及ぶと予測されています。

全球水文モデルを用いて利用可能な水資源の量を評価

降雨や河川、地下水など自然の水循環と、灌漑やダムなど人間活動との影響を踏まえて、利用可能な水資源が十分存在するかを評価することができます。
全球に適用できるモデルを使うことで、広範囲にわたる気候変動の影響を組み込んだ推定ができ、途上国など河川水位などの観測データが不十分な地域でも気候の情報からある程度シミュレーションが可能であるなどのメリットがあります。



(花崎ら, 2018)

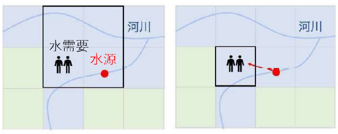


(花崎ら, 2018)

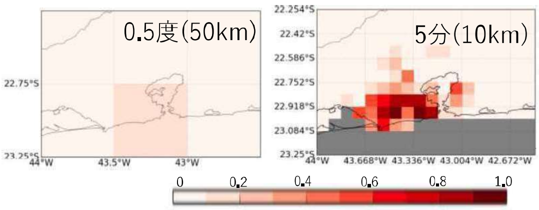
地域レベルの気候変動対策には、より**高解像度**の水資源量評価が必要

全球水文モデルの計算結果から対象地域の範囲のみを取り出し、空間解像度約2km~10kmの計算が行われています。
高い解像度で信頼性のある結果を得るには、運河網の効果を表現することが必要です。

運河網の効果

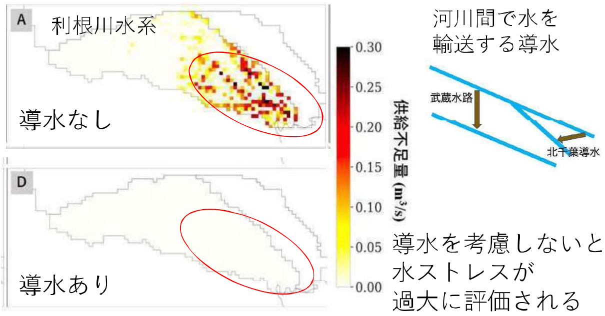


水ストレス（水需要量/水資源量）(加藤ら,2021)



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。

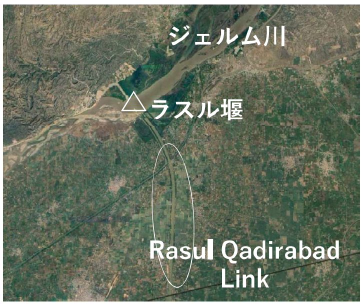
導水を考慮した水ストレス評価(松村ら, 2021)



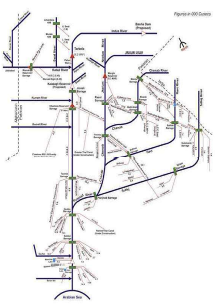
導水を考慮しないと水ストレスが過大に評価される

より複雑な運河網を全球水資源モデルで表現する

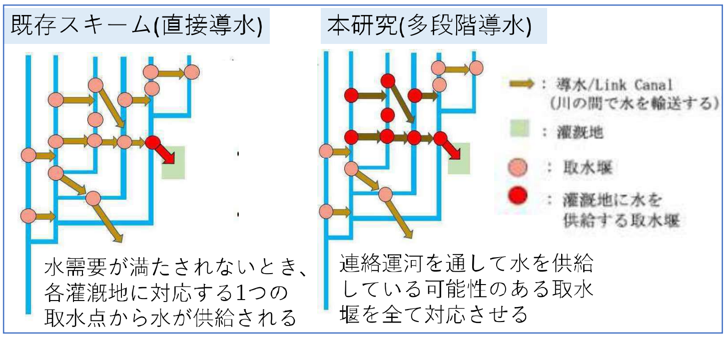
【手法】全球水文モデルの一つであるH08を用いて、インダス川流域を対象に運河網の効果を考慮した水資源量の評価をしました。



河川を接続する連絡運河が多数あるのが特徴



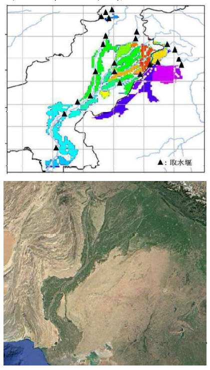
インダス川流域の運河網



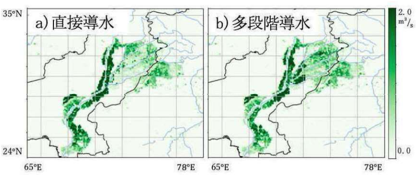
水需要が満たされないとき、各灌漑地に対応する1つの取水点から水が供給される

連絡運河を通して水を供給している可能性のある取水堰を全て対応させる

モデル上に配置した取水堰と灌漑地



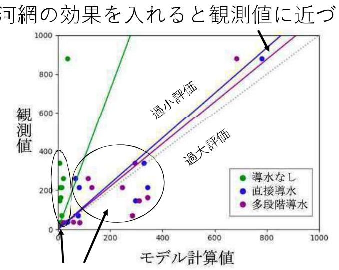
【結果】年間取水量



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

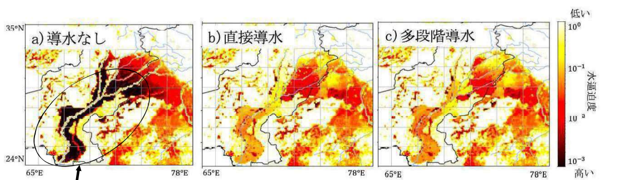
観測値とモデル計算値の比較

流域全体の平均
運河網の効果を入れると観測値に近づいた

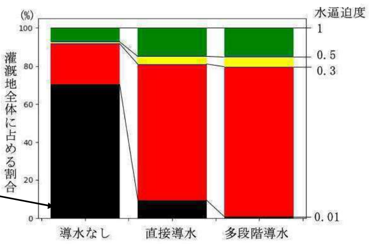


エリアごとの取水量
- 導水なしの場合の過小評価が改善された
- エリアによってばらつきは見られる

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



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



多段階導水の効果を考慮することで、より現実的な水資源量評価が可能

Flood impact from nighttime remote sensing data
衛星夜間光による洪水影響モニタリング



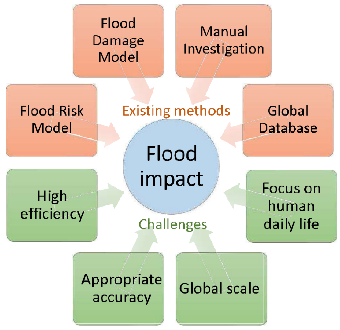
Yang Hu　Xudong Zhou　Dai Yamazaki

Nighttime light data has the potential of detecting flood impact

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

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

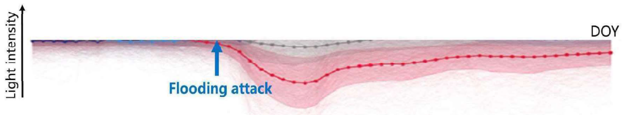
Previous commonly used methods for assessing flooding impact have their own **shortcomings**. Global flood risk models are not able to estimate **indirect** impact out of inundation area. Flood damage models need much **auxiliary** input data and are with **low robustness** on global scale. Meanwhile,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



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

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

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



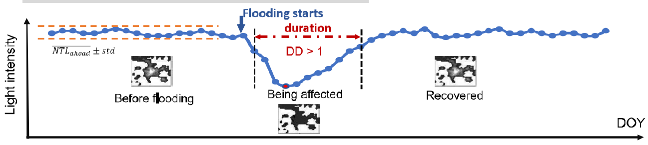
This study aims to use NTL to assess flood impact on human daily life globally, which can provide a better understanding on how human being affected by flooding.

Flood impact information from NTL

Method:

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

- **Dataset**: NPP/VIIRS Black Marble VNP46A2 **NTL** product (**500m, daily**)
  Dartmouth Flood Observational database (**DFO** for short) records **historical flooding cases** with information from news.
- 4 **indices** were set to represent flood impact from NTL:
  Decrease degree **(DD)** $= (\overline{NTL_{normal}} - NTL_i)/std_{normal}$
  Serious level **(S)** $= \max(DD)$
  Affect: DD > 1 pixels are affected ones
  Duration: time period of being affected



Result:

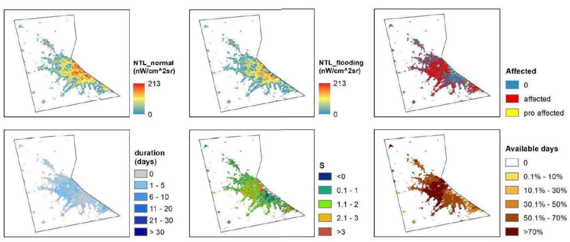


Figure 1 Example of impact layers from NTL for one event in Argentina in 2013(DFO ID: 4046). The city has been reported losing power due to flooding.

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

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

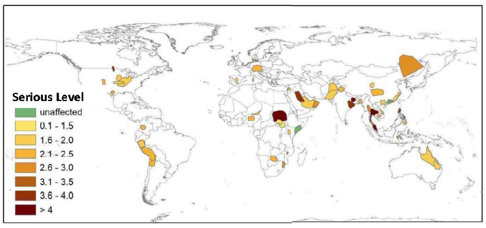


Figure 2 Serious level (S) from NTL for 99 cases recorded in DFO database in 2013.

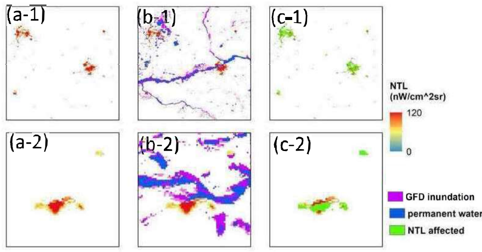


Figure 3 Light intensity of urban area (a) and flood affected location for MODIS inundation (b) and NTL (c) for 2 cases recorded in DFO (case1: id 4083, China, 2013; case2: id 4098, India, 2013).

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

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

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

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

"___": Significant p<0.05

全世界に広がる洪水の経済被害推定

Global-Scale Assessment of Economic Losses by Flood




庄司 健　田口 諒　平林 由希子　山崎 大

温暖化で激化する洪水災害による経済被害

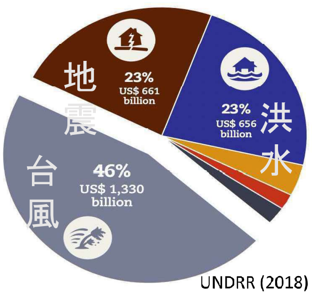
洪水は世界中での発生数が非常に多く地震と並ぶ被害額を及ぼす大災害の一つです。

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

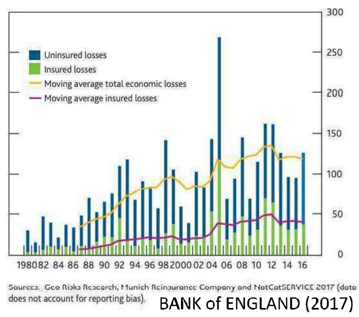
洪水による経済被害の計算はグローバルに行われる必要があります。

その理由は2つあります。

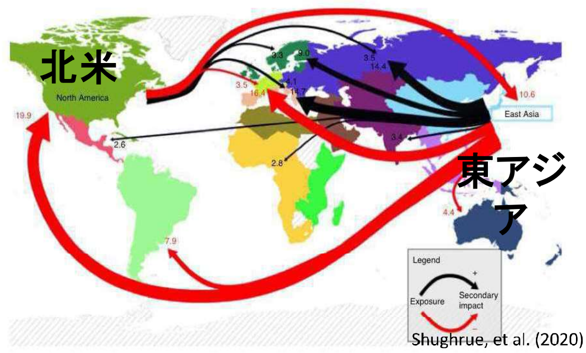
1. 洪水はどこでも起きる可能性があり、どの地域でも使えるような計算の枠組みを作る必要がある
2. 現代社会では世界中の地域が経済的に結び付いており経済被害は地域間を伝播していくため



自然災害の種類別経済被害額



これまでの気候関連災害による経済損害(黄)の推移

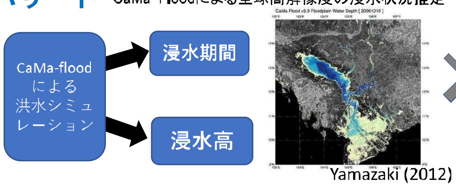


台風による他地域への経済被害伝播

高解像度洪水シミュレーションを用いた将来経済被害予測とその展望

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

ハザード CaMa-Floodによる全球高解像度の浸水状況推定



×

暴露: Exposure

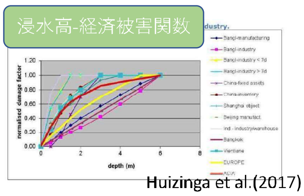
各地域GDPデータ

土地利用データ

×

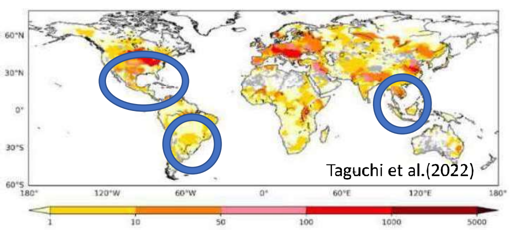
脆弱性: Vulnerability

浸水高-経済被害関数

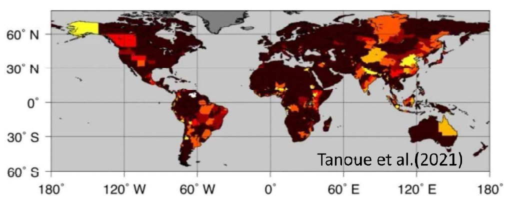


過去・将来における全世界の洪水発生シナリオを想定
洪水経済被害は①直接被害②営業停止損失
③サプライチェーン影響の3つに分けて推計する

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



将来の営業機会損失による被害額の地域分布



洪水防護策施行後の残留リスク分布

□ 今まで考慮されることの少なかった営業停止損失による経済被害

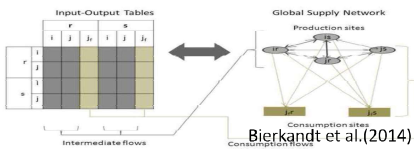
河川勾配の緩い地域で大きくなりやすい特徴や被害の大きい地域ではGDPの約1%にまで損害が上ることを示唆

□ 洪水防護策後の洪水リスク

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

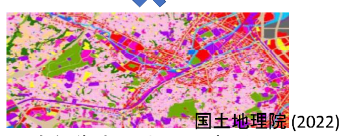
➢ 今後の取り組み

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



産業連関表を用いたサプライチェーンモデリング

×



高解像度土地利用データ

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

金融界で進む気候変動対応
– 気候・災害モデルが果たす役割 –

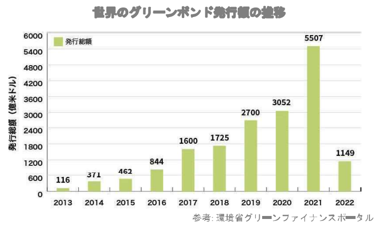
北 祐樹　木村 雄貴　服部 公輔　山崎 大

10cm × 10cm

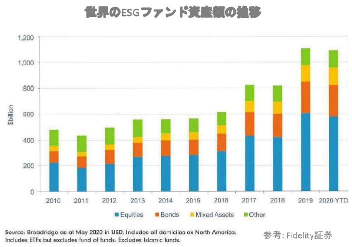
金融界の現状・課題

企業や投資家など金融界で、気候変動リスクの管理を目指す動きが加速しています

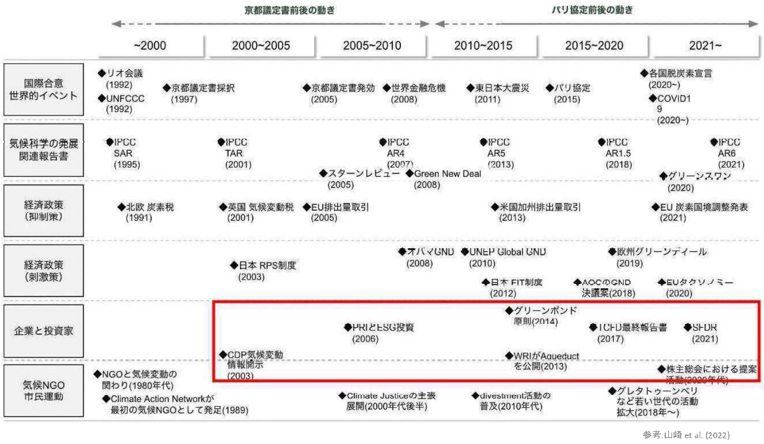
2008年のリーマンショックを機に、ESG分野が経済にもたらすリスクが注目され始め、2015年のパリ協定を経て、特に気候変動リスク対応の重要性が年々増しています。ESG投資が拡大し、地域や企業の気候変動適応にも新しい資金が拠出されるようになるとともに、グリーンボンドやインパクト投資、サステナビリティ・リンク・ローンなど新しい金融手法も次々に登場しています。
また、世界各国の中央銀行では、気候ストレステストが実施され始めています。



参考：環境省グリーンファイナンスポータル



参考：Fidelity証券



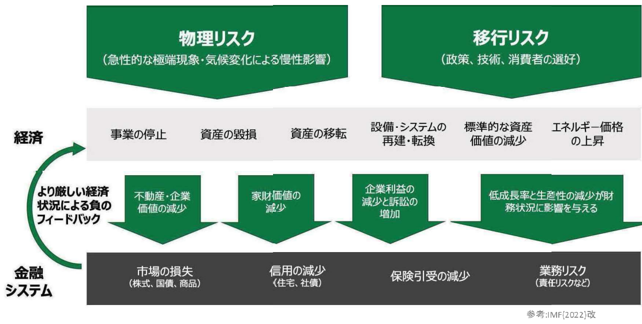
参考：山崎 et al. (2022)

気候変動リスク算定手法の開発や効果的な制度枠組みの整備が課題になっています

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

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

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

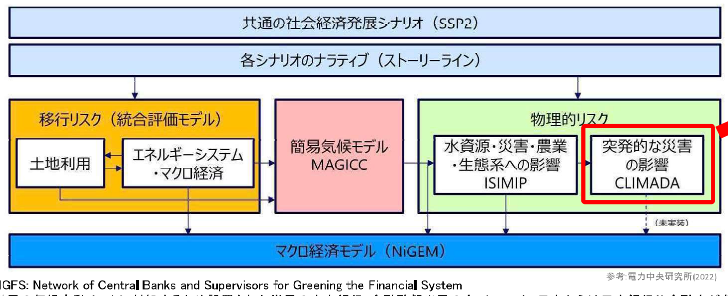


参考：IMF(2022)改

東京大学グローバル水文学グループが果たす役割

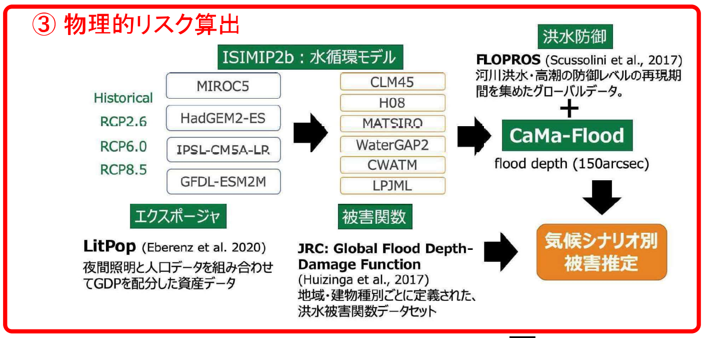
グローバル水文学グループの成果は金融界における気候変動対応に活かされています

NGFSによる物理的リスク（洪水影響）の評価方法

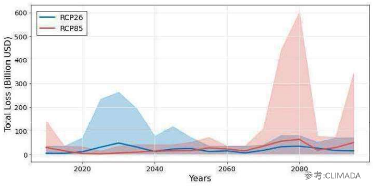


参考：電力中央研究所(2022)

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



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



参考：CLIMADA

進行中の関連する研究分野

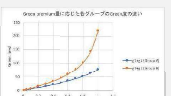
企業の営利活動と脱炭素移行が両立する為の制度設計の検討

- 企業の気候変動への緩和・適応努力が、企業価値や財務パフォーマンスに影響を与えるメカニズムの分析

Group A: 短期利益優先 Group B: 長期利益優先

各期の利得関数

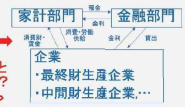
$$\pi_1 = p_1(g_1) \cdot q_1 - C_1(q_1, g_1)$$
$$\pi_2 = p_2(g_1 + g_2) \cdot q_2 - C_2(q_2, g_2)$$



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

DSGEモデルを用いて
グリーン選好や規制の影響を捕捉

グリーン規制をかけると影響がどう波及するか？
最適な制度枠組みは？



グローバルな将来の洪水リスク評価を行うための研究

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

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


服部 公輔

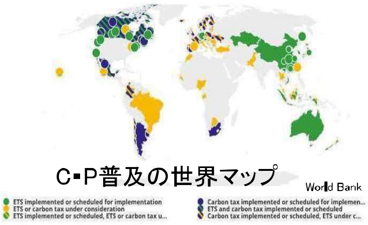
味田村 俊

山崎 大

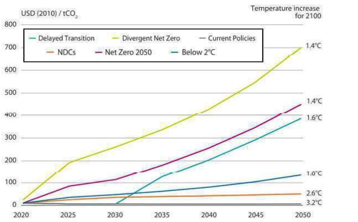
脱炭素社会に向けて：カーボン・プライシング政策と金融界での取り組み

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、今後も世界中でC・P政策は広がると予想されています。

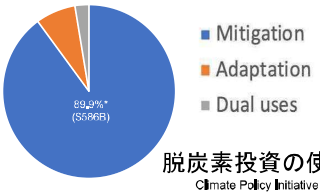


C・P普及の世界マップ World Bank

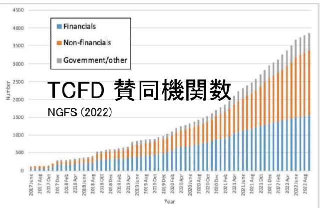


今後必要と見込まれている炭素価格の水準 NGFS (2022)

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。



脱炭素投資の使途 Climate Policy Initiative (2022)



TCFD 賛同機関数 NGFS (2022)

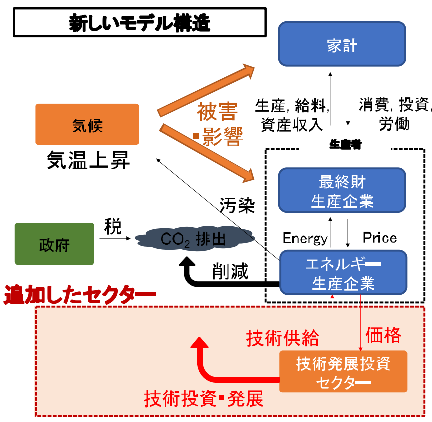
TCFD（気候関連財務情報開示タスクフォース）、企業が自身に気候変動が与える影響を投資家に開示するための枠組みが世界中で広まっています。多くの企業はTCFDで求められるC・D政策の変化など脱炭素社会へ移行する際に伴う「移行リスク」に対応するために気候変動の緩和に係る脱炭素技術への投資を進めています。

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

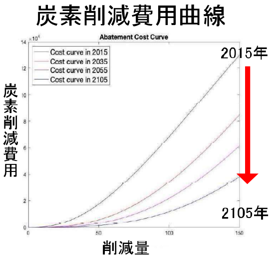
気候変動と社会経済活動の相互作用を表す**統合評価モデル(IAM)**を改良して、C・P政策と脱炭素技術投資の相互作用を議論する。



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。

炭素削減費用曲線



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 ⇄ 技術発展投資セクター

脱炭素技術の発展・供給 (a_t)

技術需要価格 (p_t)

炭素削減量と技術需要量 → 費用最小化問題

$\tau_{E,t}$: 炭素価格, x_t: 炭素削減量, a_t: 技術水準

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

炭素税控益　削減総コスト

炭素削減の総コスト

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

技術の使用コスト　技術需要価格

技術投資による技術蓄積・発展

K_t: 投資量, δ: 技術の減耗率

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

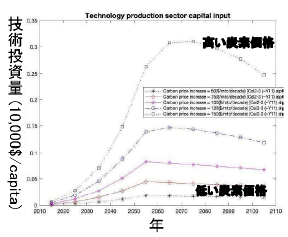
将来割引キャッシュフローの総和を最大化

p_t: 技術需要価格, r_t: 利子率

$$\max_{\{K_0, K_1, \ldots, K_\infty\}} \pi_{Tec} = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{\prod_{k=0}^{t}(1 + r_k)} \{p_t \boldsymbol{a_t} - r_t K_t\}$$

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

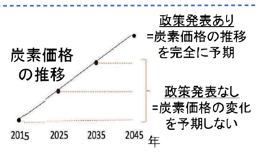


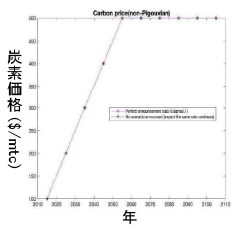
改良したIAMを用いて、炭素価格と技術投資量の関係を分析した。炭素価格が高い方が、技術発展セクターへの投資が進むという関係が適切にモデル化できた。

(2) 政策アナウンス効果

今までの社会はこちらに近い

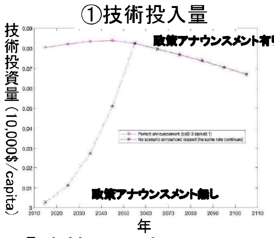
- 政策アナウンスメント無し → 新セクターが、現状の炭素価格が今後も続くと見通すと設定
- 政策アナウンスメント有り → 新セクターが、発表(実際)通りの炭素価格を見通すと設定



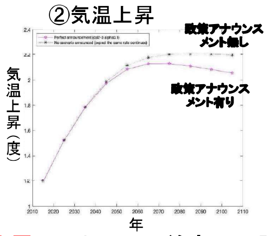


10年間に炭素価格が100$/mtCずつ増加するシナリオの下で分析した。

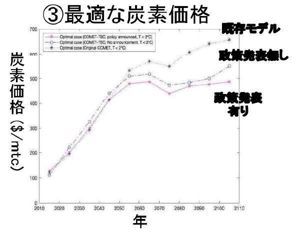
①技術投入量



②気温上昇



③最適な炭素価格



「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℃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）。

Impact of Climate Change and Climate Variability on Extreme Flood

気候変化と気候内部変動の極端洪水への影響

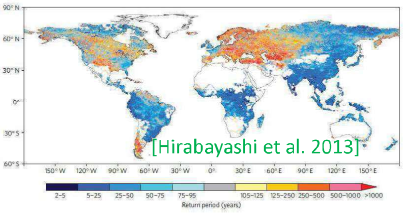


Li Ruiqi   Shahab Uddin   Dai Yamazaki

Does climate internal variability affect extreme flood occurrence?

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

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



Recently, many severe flood events have happened in the world,

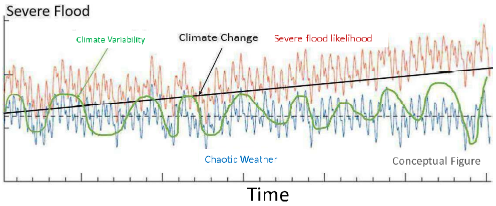
including Typhoon Hagibis in Japan.

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

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

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

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 <u>large-ensemble climate simulation datasets</u>.

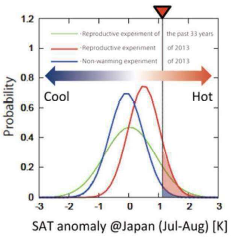
Assessing climate variability impact by large-ensemble climate simulation

<Method>

We used d4PDF large-ensemble climate simulation for attribution

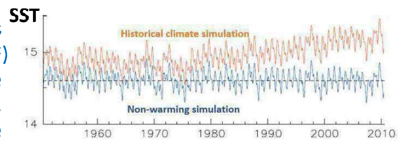
d4PDF has large-ensemble data (60 years * 100 ensemble) to assess the occurrence probability of extreme events. d4PDF is usually used for attributing the impact of climate change, by comparing the historical and non-warming experiment.

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.



Monthly mean SST for Historical and Non-warming Climate simulation

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.

<u>Quantitatively assessment: Fraction of Attributable Risk (FAR) & its variation</u>

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

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

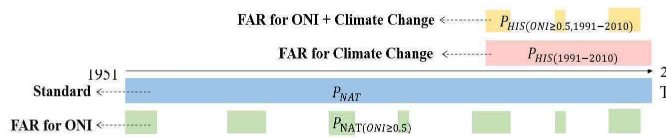
FAR for ONI
$FAR = 1 - P_{NAT}/P_{NAT(ONI)}$
$PR = P_{NAT(ONI)}/P_{NAT}$

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

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

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

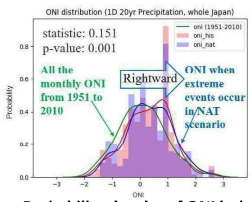
9 groups:
$ONI \geq 0.5$, $-0.5 < ONI < 0.5$, $ONI \leq -0.5$ × t=1951-1970, t=1971-1990, t=1991-2010



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

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 $ONI \geq 0.5$
0.625 FAR for ONI+ Climate Change when $ONI \geq 0.5$ 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.

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.

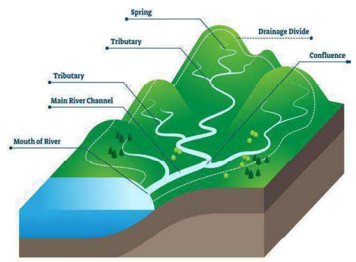
<Ongoing Study>

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.

Hillslope water dynamics control land cover heterogeneity

斜面水動態による土地被覆の不均一性


Shuping Li


Dai Yamazaki

Water dynamics can shape land cover distribution at hillslope scale

Why at the hillslope scale?

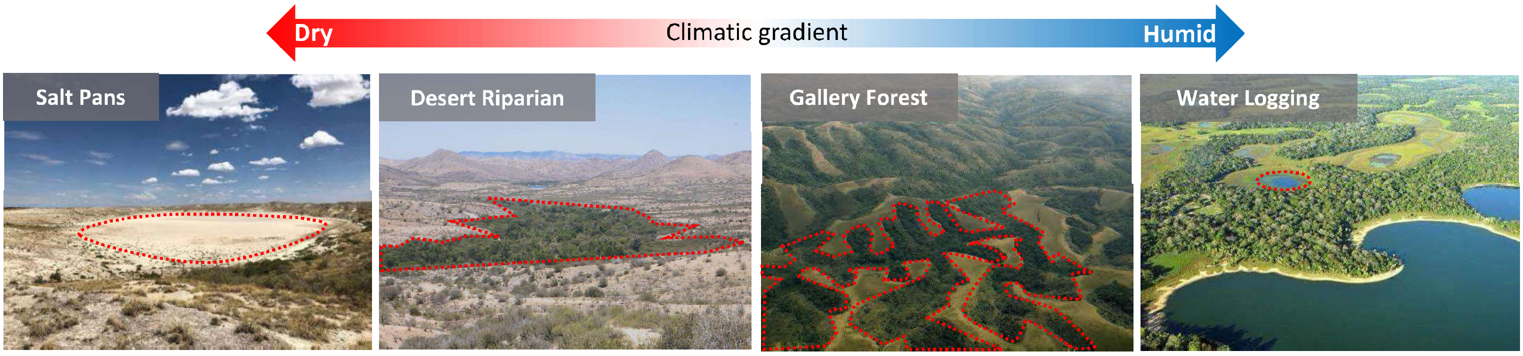
Although the climatic altitude impact has been thoroughly studied, discussions over the hillslope hydrology control on the land cover are still lacking. At the hillslope scale, driven by gravity, water drains from ridge to valley, causing the water availability contrast between highland and lowland.

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.

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.

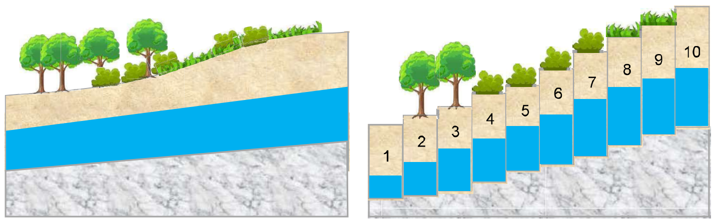


In the topographically flat regions, some typical landscapes are assumed to be formed by ridge-to-valley water flow.

An efficient method to represent the hillslope land cover heterogeneity

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

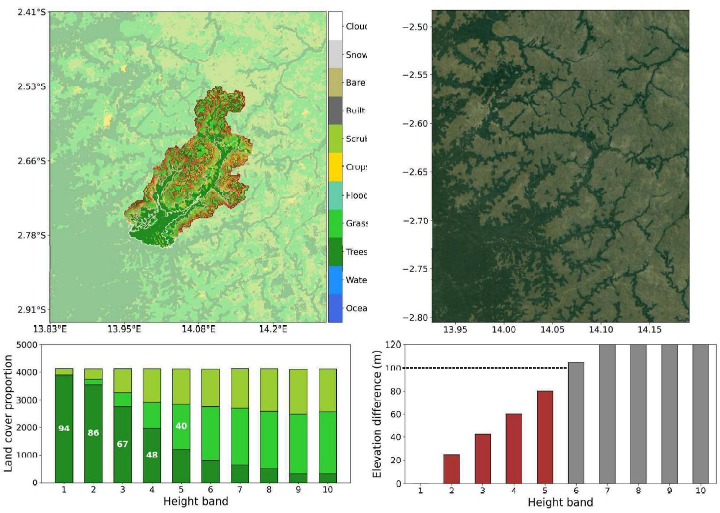
Based on the topographic data MERIT-DEM (Yamazaki et al., 2017), a unit-catchment can be evenly discretized into 10 height bands, each band is represented by the dominant land cover type. The 10 height bands will be used to approximate the realistic land cover distribution.



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

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

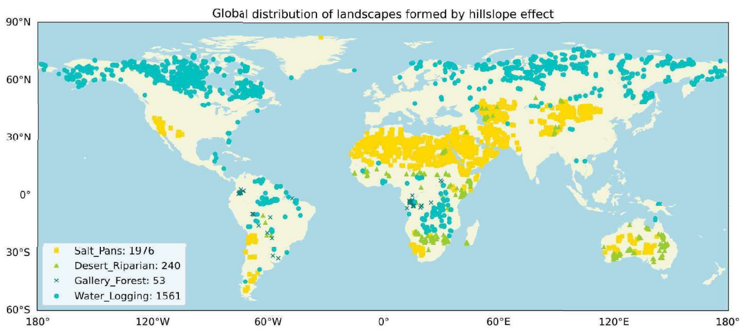
Using the above method, an effective representation of the hillslope land cover heterogeneity is shown in a flat unit-catchment. The lowland area is dominated by the tree ecosystem, whereas the highland area is dominated by the grass ecosystem. The landscape location is confirmed with the google static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



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

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.

渓流域での3次元地形計測と水理シミュレーション
Measurement of topography and hydraulic simulation for mountain stream

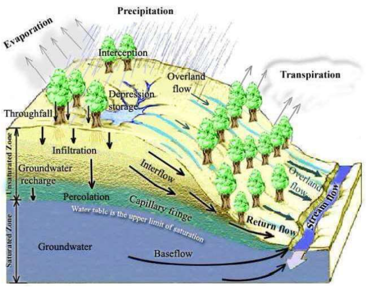


若松 駿　矢澤 大志　山崎 大

洪水時の山地河川の水の流れの実態解明

渓流域での水の流れを理解することは、降雨流出過程の解明につながり、流域全体の洪水予防にとって重要です。

流域での水の流れ

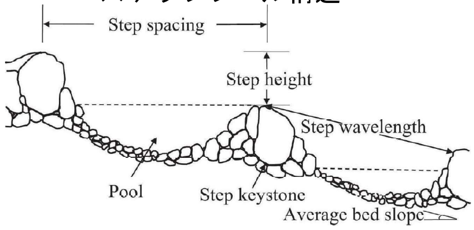


Tarboton (2003)

降った雨は斜面から川に流出し、河道を流れます。
斜面からの流出量と河道での流下能力を把握することが、洪水の予測にとって重要になります。

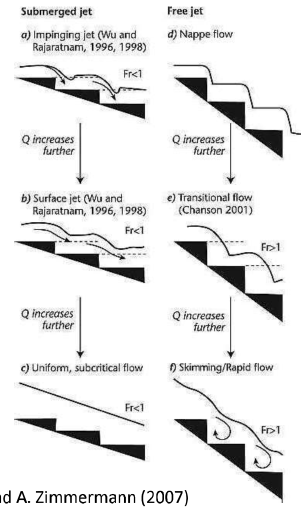
渓流域においては粒径の大きな礫が集中するステップと、小さな砂礫で構成されるプールが交互に連続するステッププールと呼ばれる特徴的な地形が形成されます。

ステッププール構造



Kalathil, S. T., & Chandra, V. (2019)

ステッププールにおける流れの模式図



Church, M., and A. Zimmermann (2007)

流域面積が0.1~10km^{2}の渓流河川は水文モニタリングが難しい。

三角堰での流量観測

河道断面が比較的単純な平野河川は、水位から流量を求める水位流量曲線の構築やモデル化がなされています。
また、流域面積が小さな斜面では流量を三角堰で測ることができます。
しかしながら、渓流域はこれらの手法が適用できず、データの蓄積が少ないことが指摘されています。

水理実験から流量が増加すると流れの形態が変化することが示唆されています。

しかし、渓流の洪水時の観測データは限られており、検証は困難です。

複雑な地形を丸ごと計測して水理モデルを構築することで、洪水時の水の流れを再現することを目指しました。

高解像度地形データを用いた水理シミュレーションと洪水流の解析

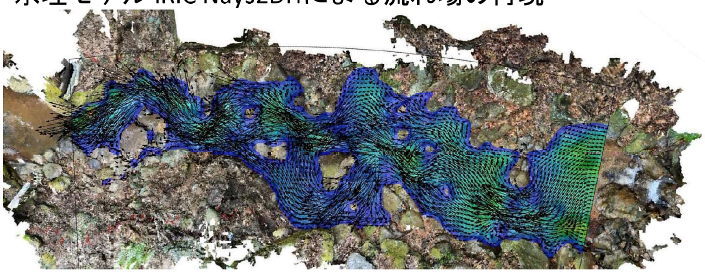
動画版はこちらから→

地形計測と水理モデルの構築

iPhone LiDARとレベル測量による地形計測

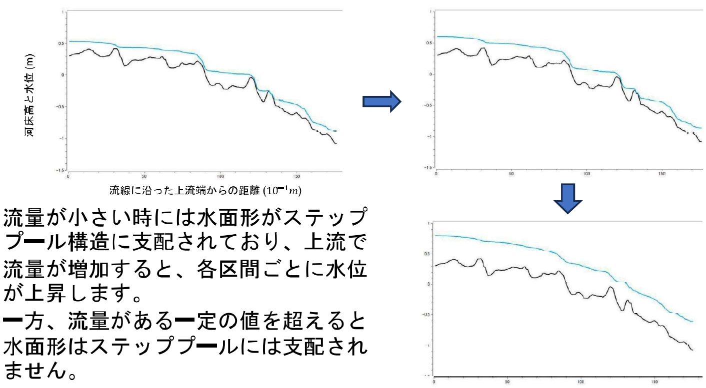
静岡県南伊豆町の東京大学演習林内の青野川上流域を対象に、現地観測を行いました。iPhone搭載のLiDARスキャナーを用いて地形を計測するとともに、水面下の地形は手動で測量を実施しました。
さらに、水理モデルの校正のために流速と水位の観測も行いました。

水理モデル iRIC Nays2DHによる流れ場の再現



観測で得られた地形データを水理モデルiRIC Nays2DH (Shimizu et al, 2014)に与え、観測時の流量を流した時に、水位と流速が観測と適合するように河床粗度のパラメータを校正しました。これにより、渓流の複雑な水の流れを再現することができました。

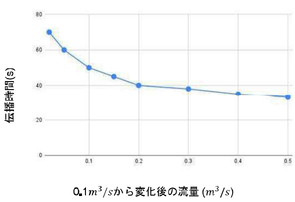
流量増加による水面形の変化



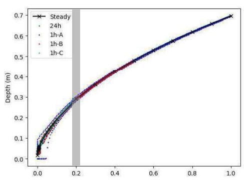
流量が小さい時には水面形がステッププール構造に支配されており、上流で流量が増加すると、各区間ごとに水位が上昇します。
一方、流量がある一定の値を超えると水面形はステッププールには支配されません。

洪水時の流れの形態の変化を再現

洪水流の伝播速度



水位流量曲線の作成



観測時のおよそ15倍の流量でステップが水没し、その前後で流れの形態が変化することが確認されました。
これらの流れの特性を理解することは、連続した水文モニタリングや降雨流出過程の解明につながると期待されます。

地球の河川のデジタルツイン
Digital Twin of Earth's Rivers


山崎大　渡辺恵

地球上全ての河川をコンピューター上に再現

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

現実世界

変換

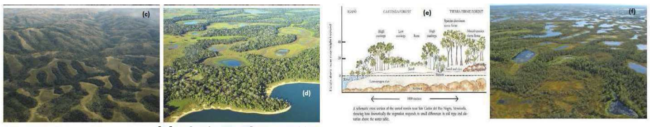
水域分布
水文標高
河道幅　etc.

分析・予測

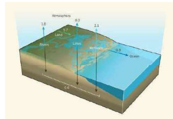
デジタルツイン

基礎研究から社会実装まで、幅広い分野で役立てられています。

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



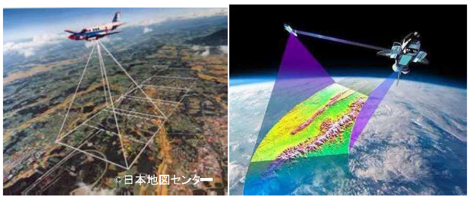
植生との相互作用 (Ying et al. 2019)



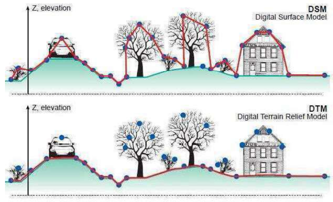
CO²排出 (Wehrli. 2013)

水文地形データは、陸域の水循環モデリングの重要な基盤データ。

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



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

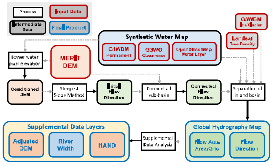


山崎研究室は、複数のリモートセンシング/オープンデータ・統計手法を組み合わせ、水循環シミュレーションに適用可能な、全球河川水文地形データ整備を推進しています。

世界最高水準の水文地形データの開発とそのインパクト

多様な衛星画像をベースとした世界で利用される水文地形データ

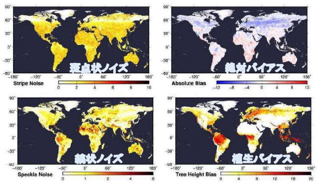
山崎研究室では様々な衛星観測や地理データを組み合わせ、高精度・高解像度な河川地形データの開発に取り組んでいます。

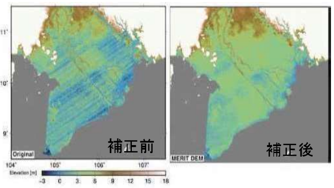


河川地形データの構築プロセス。非常に複雑かつ膨大な計算によって、多数のデータを統合している

高精度標高マップ MERIT DEM

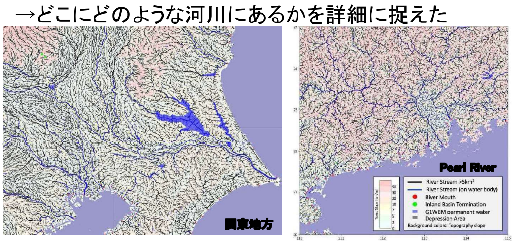
既存の衛星標高データをもとに、衛星森林データと複数の統計フィルタなどを用い、多様な誤差を分離・除去した

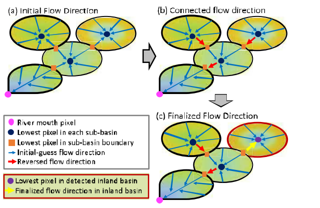




高精度水文地形マップ MERIT Hydro

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

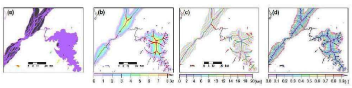




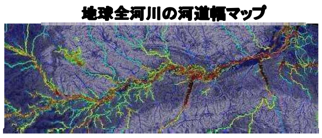
表面流向を計算、生じたサブ流域が「誤差による偽窪地」か「実際の内陸河川」かを自動で判定するアルゴリズムを実装。河道データ構築の(ほぼ)自動化を達成

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

水面マップから河道幅を抽出する幾何学的アルゴリズムを開発



地球全河川の河道幅マップ



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

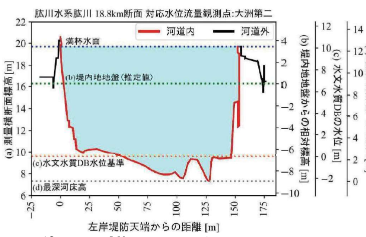
測量や航空写真を利用した更なる高精度化・充実化のための挑戦

衛星では測れない水面下地形を現地観測河川断面データで表現

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

データベースの内容

河川メタデータ	水系名・河川名・河川番号
横断面メタデータ	距離標名・緯度経度・構造物フラグ・測量年月日・流心間距離[km]・測点数・距離杭標高（左右岸）[m]・水際杭標高（左右岸）[m]・法尻標高（左右岸）[m]・堤内地平均標高（左右岸）[m]
横断面測量データ	測線に沿った各測点の水平距離[m]，標高[m]



河道測量横断面の例（山田ら2022）

高解像度のデータが得られるRGB画像のみから小河川の水域・川幅を推定

水確率のベイズ推計

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

C ：Cluster (HSV and HAND)
$W, \overline{W}$: Water or not water (Landsat, Open Street Map)

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

航空写真　既存 Landsat衛星　本研究 航空写真

Global Hydrology Group / Yamazaki Lab

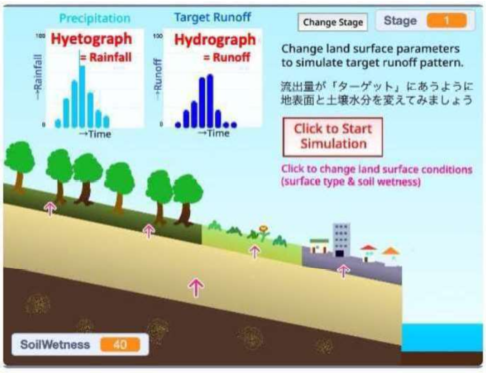
http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/
https://global-hydrodynamics.github.io/

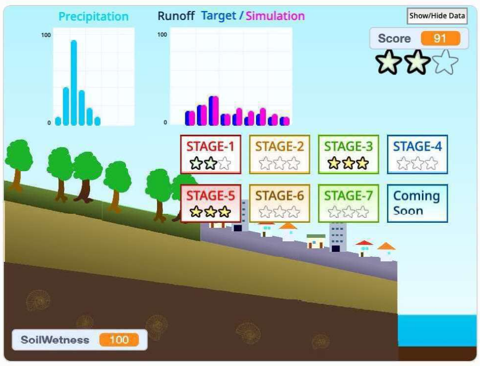
Scratch降雨-流出ゲームで河川流域の水循環を学ぼう！

山崎 大
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）や土壌水分状態は、洪水の起きやすさにどう影響するでしょうか？
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）の時間変化が水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、土壌への浸み込み方や水粒子の動き方が変わります。

•**土壌水分（Soil Wetness）**の初期状態も変更できます。0が土壌が乾いた状態。100が土壌が完全に湿って飽和した状態です。土壌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。**目指せ90点以上！パーフェクトは100点！！**

<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った「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でより深く理解できるようになることがわかりました。

Workshop in Open Campus

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/jjshwr.37.1826

山崎 大、岡田 実奈美, 矢澤 大志
東京大学生産技術研究所 IIS-UTokyo, Global Hydrodynamics Lab
yamadai@iis.u-tokyo.ac.jp

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

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

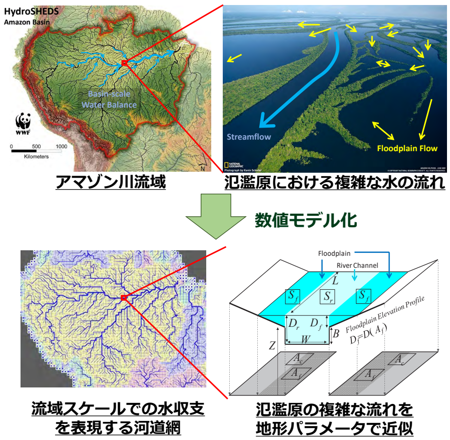
https://global-hydrodynamics.github.io/

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。

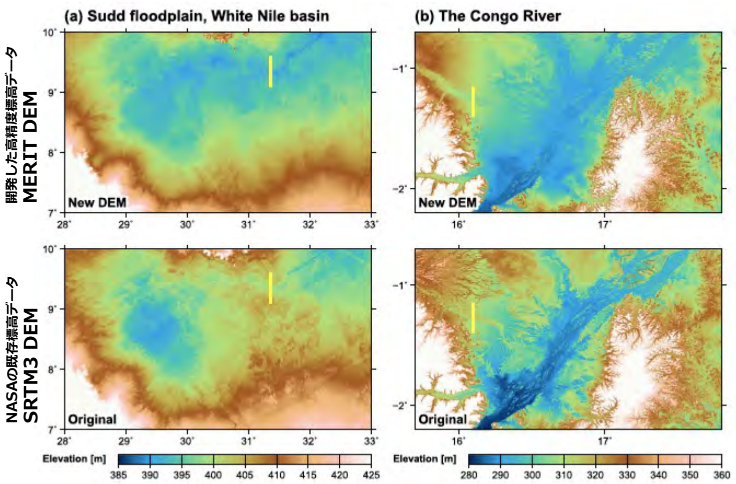
当研究室では、最新の高解像度衛星観測データを活用して、地球規模で広域洪水シミュレーションを実現する枠組みを開発しています。(右図)
さらに気象予測やビッグデータ解析技術を組み合わせて、リアルタイム洪水予測や気候変動に伴う洪水リスク評価などを行い、大規模洪水による被害の軽減を目指して研究に取り組んでいます。



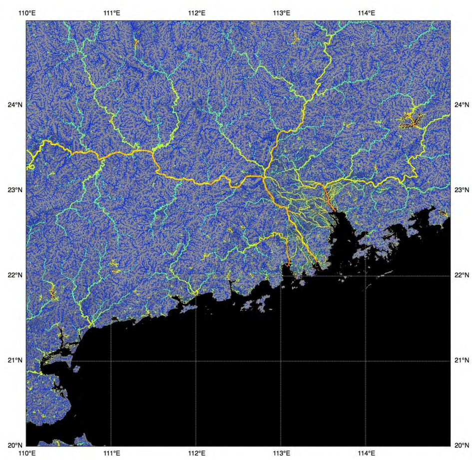
世界最先端の高解像度地形データ

High-resolution & high-accuracy global topography datasets

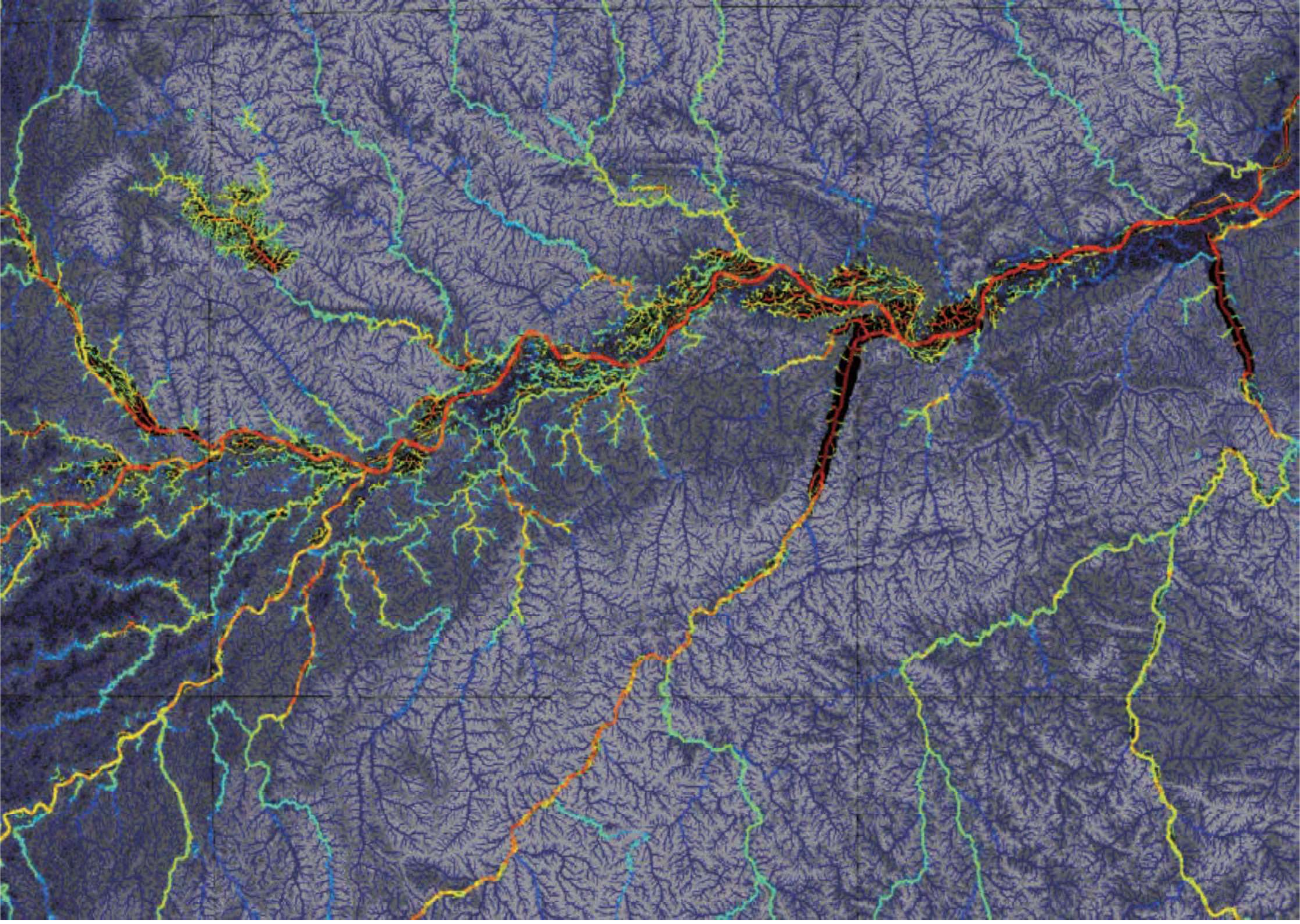
洪水シミュレーションの精度向上には、高精度の地形データが必要不可欠です。
しかし、既存の衛星観測データには多くの誤差が含まれるため、そのままでは洪水シミュレーションに利用できません。
当研究室では、高度なビッグデータ処理技術に基づき、高精度かつ高解像度の全球地形データ整備を進めています。
開発した高解像度地形データは、洪水シミュレーションに用いられるだけでなく、地球科学分野の基盤データとして全世界のさまざまな研究機関で活用されています。



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が持つデータなど、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。

INSTITUTE OF INDUSTRIAL SCIENCE · THE UNIVERSITY OF TOKYO