

グローバル河川モデルを活用した 広域洪水リスク推定と気候変動影響評価

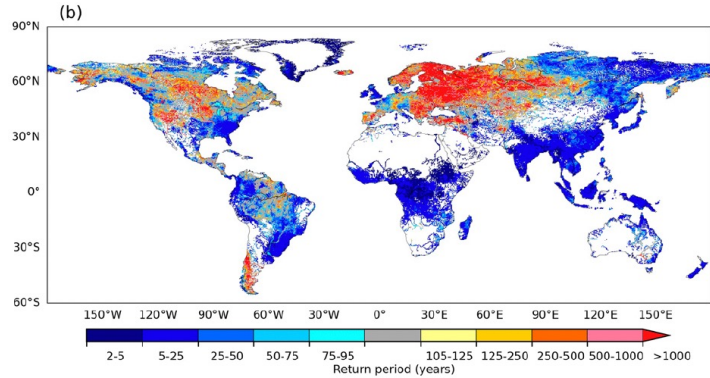
山崎 大 (東京大学生産技術研究所)
平林 由希子 (芝浦工業大学)

yamadai@iis.u-tokyo.ac.jp

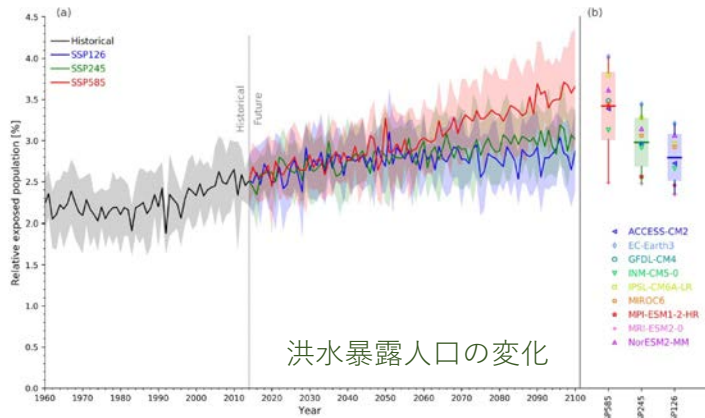
<https://global-hydrodynamics.github.io>

気候変動によって洪水リスクは増加

気候モデルによる予測



「現在で100年に一度の洪水」の将来頻度 (RCP8.5 - 21世紀末)



洪水暴露人口の変化

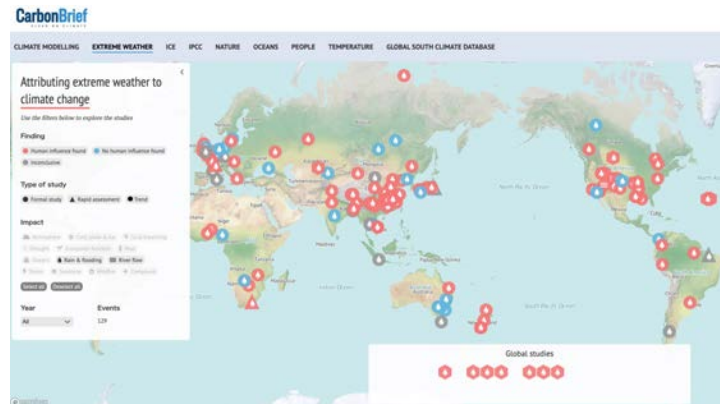
Figure 2. Global potential flood exposure change and uncertainty. Global potential flood exposure change (mean and one standard deviation among AOGCMs, indicated by as shading) for the multi-model median return period (years) in the future (2071–2100) for a discharge corresponding to a 100-year flood in the past (1971–2000).

[Hirabayashi, Yamazaki, et al. 2021]

気候変動影響の顕在化



日本では近年水害が頻発
温暖化はすでに洪水規模に影響している
[Kawase et al. 2021]



世界各地でも豪雨・洪水による災害が発生し、すでに気候変動の影響があると解析されている (Attribution of climate change impact)

気候リスク情報開示でも着目

表C1
産業横断的気候関連指標カテゴリと指標の例

物理的リスク	金額または割合	
物理的リスクに脆弱な資産または事業活動の金額と程度*		<ul style="list-style-type: none"> 100年に1度の再起確率の洪水ゾーンにおける住宅ローンの件数と金額 100年に1度の再起確率の洪水ゾーンに位置する排水処理能力 ベースラインの水ストレスが高いまたは極めて高い地域で取水および消費された水に関連する収益 洪水、熱ストレス、水ストレスの影響を受ける地域の財物、インフラ、その他の代替資産ポートフォリオの割合 100年に1度または200年に1度の気候関連の危険にさらされる実物の資産の割合

1. 効果的な気候関連目標の特徴

関連指標にリンクされている

目標に対する進捗を測定、追跡し、目標の更新が必要かどうかを判断するための定期的なレビューを支援するために、気候関連の目標は、定義された指標とリンクされるべきである (図D 1)。例えば、組織が急性洪水リスクにさらされる資産価値の割合を2050年までに50%減少させる目標を設定する場合、目標に対する進捗状況をモニターするために、急性洪水の物理的リスクに関連する指標を定義すべきである。このような指標は、指定洪水区域内にあり洪水防御策を講じていない資産の割合、資産の保全強化や洪水防御施設を修復するために投入された資本の額、または、企業の急性洪水リスクへのエクスポージャーに関連する他の適切な指標、などである。

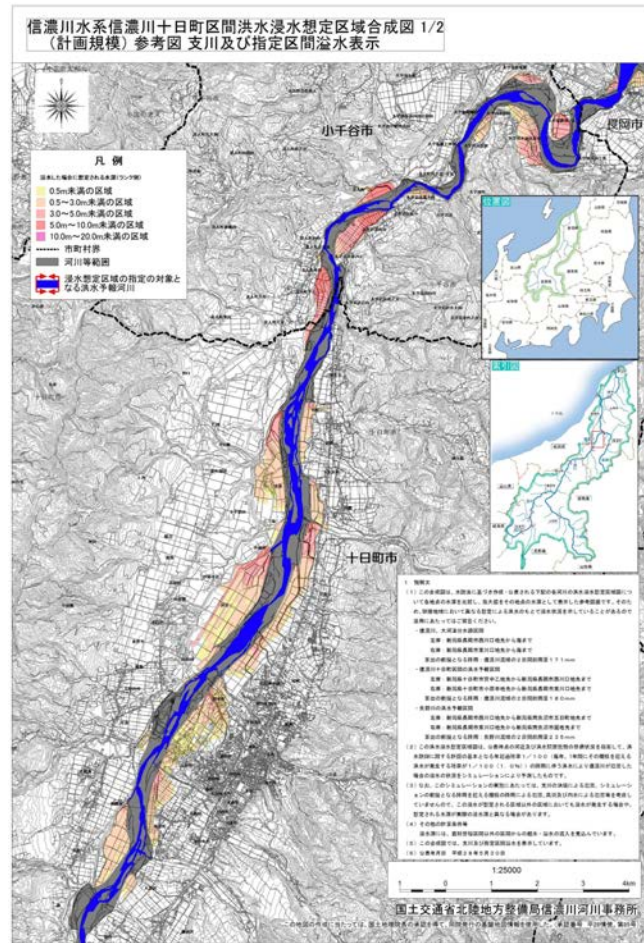


TCFDガイダンス2021でも、評価すべき物理リスクの例として洪水が最初に挙げられている

[1] ハザードマップを用いた洪水リスク把握と将来影響評価

最も単純かつ妥当な手法：想定浸水深＋被害関数＋発生頻度変化情報を用いて
ハザードマップで想定された規模の洪水によるリスクを分析する

<例：日本国内の資産を対象に洪水リスク評価を行う場合>



100年に一度の洪水による想定浸水深
[信濃川河川事務所]

①ハザードマップ等を用いて、評価対象地点の想定浸水深を確認

②治水経済マニュアル等を用いて、
想定浸水深に対応する被害額を計算

③将来の洪水頻度変化情報を用いて
洪水リスクの将来変化を評価

<地域区分毎の降雨量変化倍率>

地域区分	2℃上昇		4℃上昇	
	長時間	短時間	長時間	短時間
北海道北部、北海道南部	1.15	1.4	1.5	1.5
九州北西部	1.1	1.4	1.5	1.5
その他(沖縄含む)地域	1.1	1.2	1.3	1.3

※ 4℃上昇の降雨量変化倍率のうち、短時間とは、降雨継続時間が3時間以上12時間未満のこの3時間未満の降雨に対しては適用できない。
※ 両城面積100km²以上について適用する。ただし、100km²未満の場合についても降雨量変化倍率が今回設定した値より大きくなる可能性があることに留意しつつ適用可能とする。
※ 年超過確率1/200以上の規模(より高頻度)の計画に適用する。

<参考>降雨量変化倍率をもとに算出した、流量変化倍率と洪水発生頻度の変化の一級水系における全国平均値

気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
2℃上昇時	約1.1倍	約1.2倍	約2倍
4℃上昇時	約1.3倍	約1.4倍	約4倍

[国交省 気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言改訂版]

4.3.1 家屋被害

メッシュ内の階数分布を用いて補正した資産額に浸水深に応じた被害率を乗じて家屋被害額を算定すること。

[解説]

4.2.1項で求めた家屋資産をメッシュ内の階数分布を用いて補正し、表-4.2の被害率を乗じて家屋被害額を算定する。

補正後家屋資産額×被害率

表-4.2 浸水深別被害率

浸水深	地盤勾配	床下	床上					土砂堆積(床上)	
			50cm未満	50～99	100～199	200～299	300cm以上	50cm未満	50cm以上
Aグループ		0.047	0.189	0.253	0.406	0.592	0.800		
Bグループ		0.058	0.219	0.301	0.468	0.657	0.843	0.43	0.785
Cグループ		0.064	0.235	0.325	0.499	0.690	0.865		

A: 1/1000未満、B: 1/1000～1/500、C: 1/500以上

[国交省 治水経済マニュアルより]

「ハザードマップで想定された規模の洪水」が発生した際の被害額がいくらになるか？

洪水頻度変化により被害額がどの程度増えるか？
(頻度変化率=被害額変化率との仮定が必要)

[1] ハザードマップを用いた洪水リスク把握と将来影響評価

ただし「公的な資料/情報」だけでは、あらゆる洪水リスクの評価に対応できない

A: 国内ハザードマップは、水防法で指定された河川で、想定最大規模と計画規模について整備されている
→企業ごとに想定すべき洪水規模は異なる。より幅広い洪水規模に対応したハザード情報が必要。

→中小河川など、行政整備ハザードマップでカバーされていない地域がある

→国外拠点の水害リスクを把握したい場合は、そもそもハザード情報がない

B: 被害関数（水位と被害率、水位と営業停止期間）の関係も、国内での水害調査事例に基づく

→国外拠点のリスク評価にそのまま活用できるかはわからない

C: 将来の頻度変化情報が限られている（気温上昇幅が2度・4度の時の、100年確率洪水の頻度変化が公表）

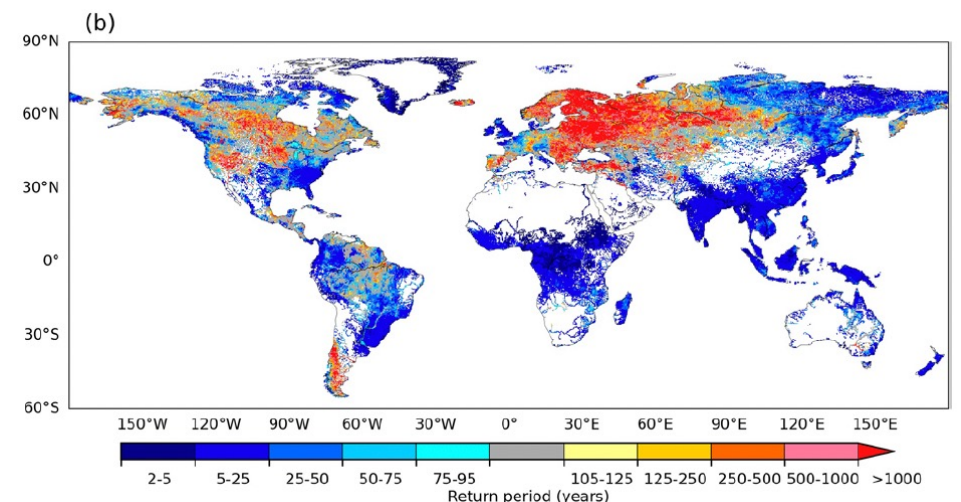
→異なる気温上昇幅や、RCPなどシナリオベースの年代ごとの頻度変化情報をカバーしていない

→異なる規模の洪水に対しては、頻度変化率も異なることが想定される

→国外における洪水頻度変化は当然ことなる

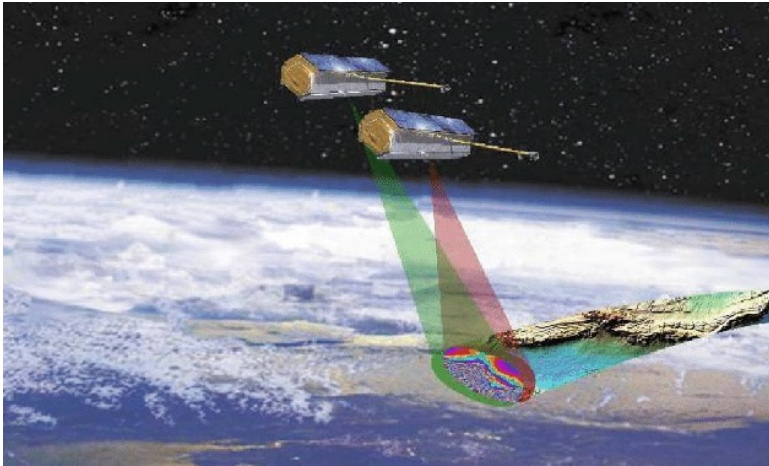
⇒グローバルな洪水リスク研究の成果を活用することで
上記の課題を解決できると期待できる。

グローバル洪水モデルによる
「現在で100年に一度の洪水」の将来頻度
(RCP8.5 - 21世紀末)
Hirabayashi et al. 2021

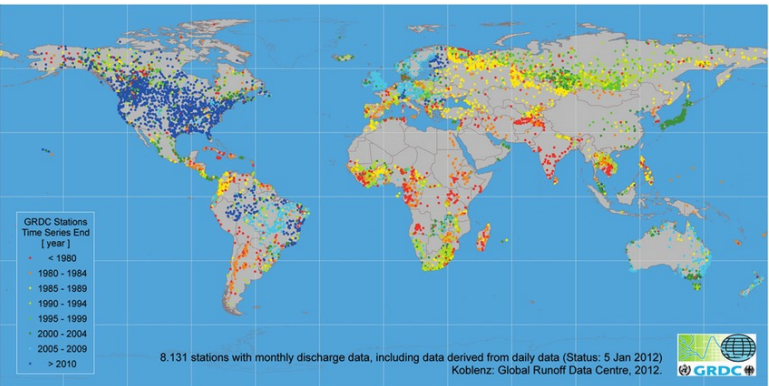


[2A] グローバル河川モデルによる広域洪水ハザード情報の整備

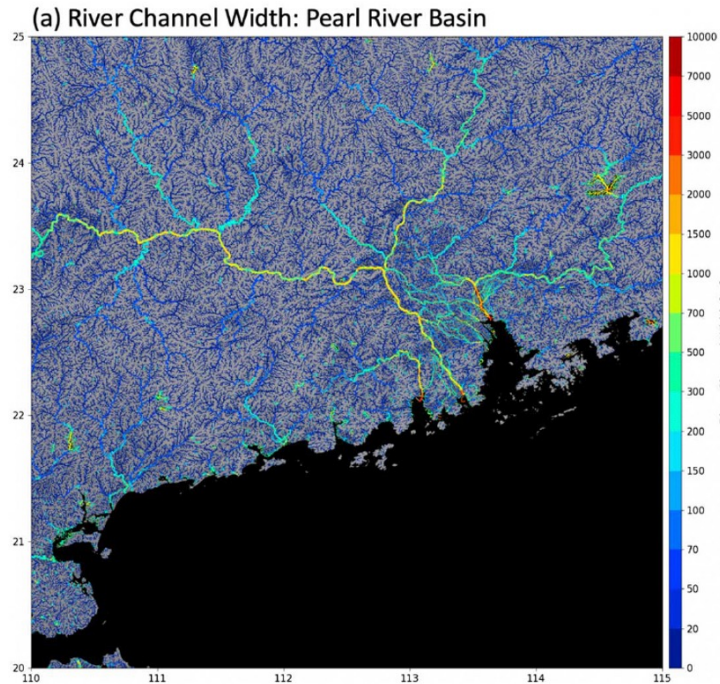
地球規模で利用できるデータを活用し、全ての河川を対象に洪水リスク推定を行う



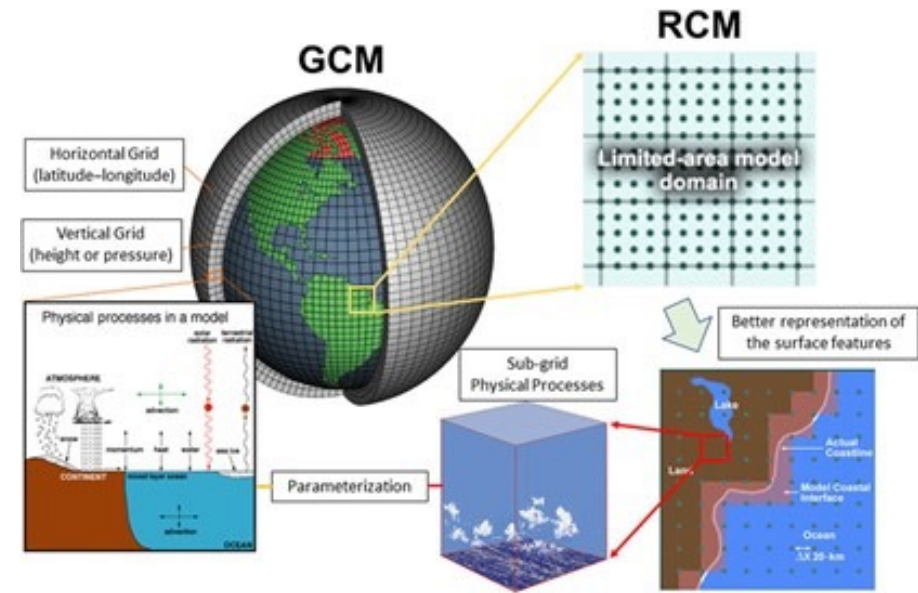
衛星地形データ/地理データ [標高・水面・水位など]
NASA SRTM, DLR TanDEM-X, U-Tokyo MERIT DEM



グローバルな水文データベース [流量・貯水池情報など]
GRDC, GRanD,



高解像度河川地形データ解析 [河道網・川幅]
USGS HydroSHEDS, U-Tokyo MERIT Hydro



グローバルな気候・気象データ [降水量・気温・など]
CMIP気候予測データ, d4PDF, 気象再解析

- 「**広域をカバーできること**」に重点を置いた河川モデルの開発。
- グローバルな広域洪水ハザードマップ整備
- 高速計算を生かしたリアルタイム洪水予測
- 気候モデルの一要素としてグローバルに河川流量計算

[2A] グローバル河川モデルによる広域洪水ハザード情報の整備

いくつかの機関（研究機関や民間企業）がグローバルな広域洪水ハザード情報のプロダクトを整備/公開している

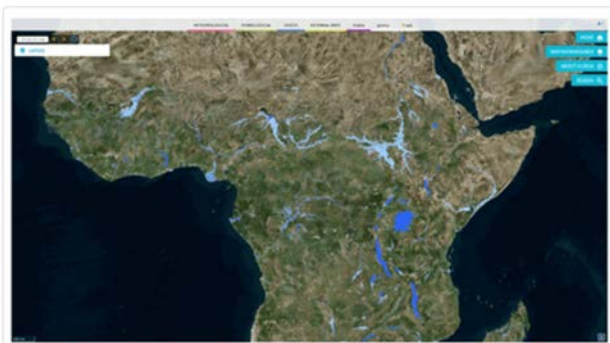


Home About Products Data Access Resources Forecast Wiki Monitoring Wiki

JRC: GloFAS + LISFLOOD-FP

Map Viewer Information

GloFAS map viewer is a web-mapping platform which provides easy access to the flood forecasts and hydrological outlooks of the Global Flood Awareness System (GloFAS). The products are tailored to give a fast overview of the hydro-meteorological situation, ongoing and upcoming hydrological events, both for GloFAS forecasts and GloFAS Seasonal. The map viewer also contains background maps.



The "Flood hazard 100-year return period" layer.

GloFAS background information: the static map layers

A number of additional layers with extra information are available via the GloFAS map viewer, that some users might find useful to overlay against GloFAS products. They are all available through the STATIC layer tab.

GloFAS lakes and reservoirs

This layer displays the open water bodies (lakes and reservoirs) that are included in the GloFAS model set up. Selection criteria are: (1) lake surface area > 100 km²; (2) significant impact on river discharge; (3) reservoir capacity > 0.5 km³.

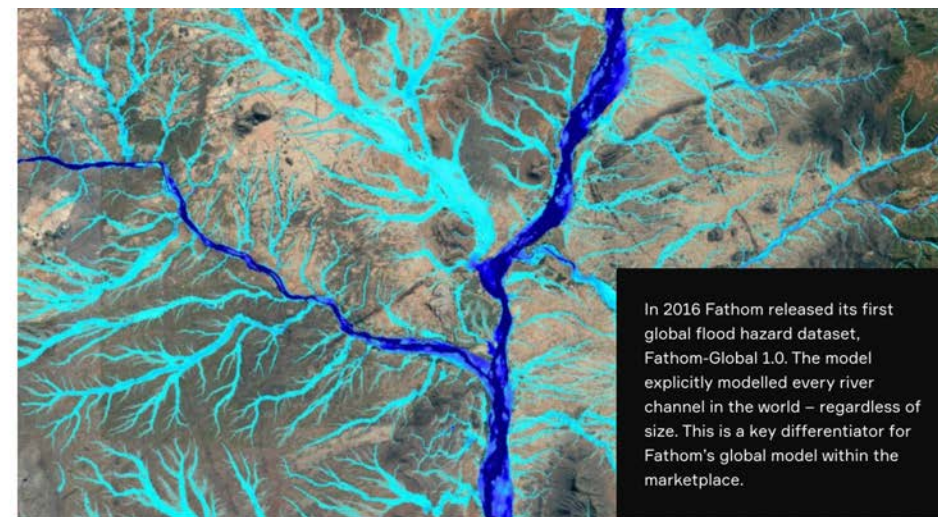
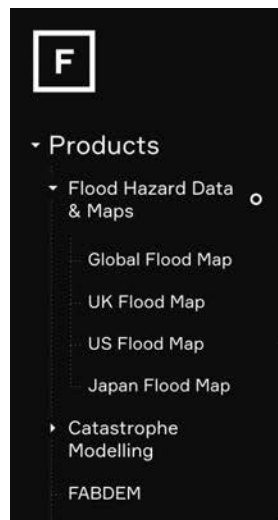
Major river basins of the world

This layer shows the main river basins of the world, as defined by the Global Runoff Data Centre (GRDC). For more technical details see www.bafg.de.

100-year flood hazard map

A map of inundated areas and associated water depth for flood events with a return period of 100 years, based on GloFAS hydrological reanalysis and Lisflood-FP.

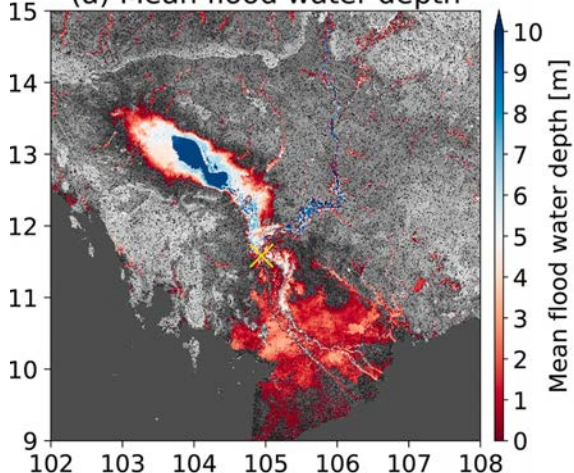
EUROPEAN COMMISSION Copernicus Emergency Management Service Data Lab Data Platforms Reach an Expert Open Data Portal Open Data Commitment Resource Library



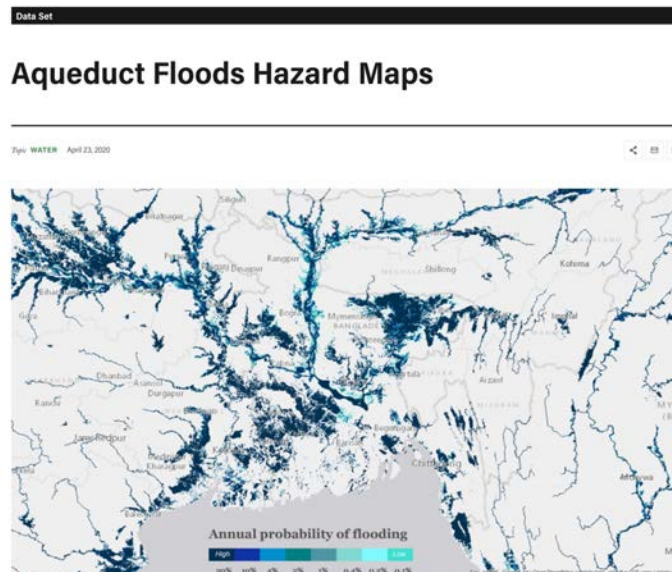
In 2016 Fathom released its first global flood hazard dataset, Fathom-Global 1.0. The model explicitly modelled every river channel in the world – regardless of size. This is a key differentiator for Fathom's global model within the marketplace.

Fathom Global

(a) Mean flood water depth



U-Tokyo/Shibaura
CaMa-Flood



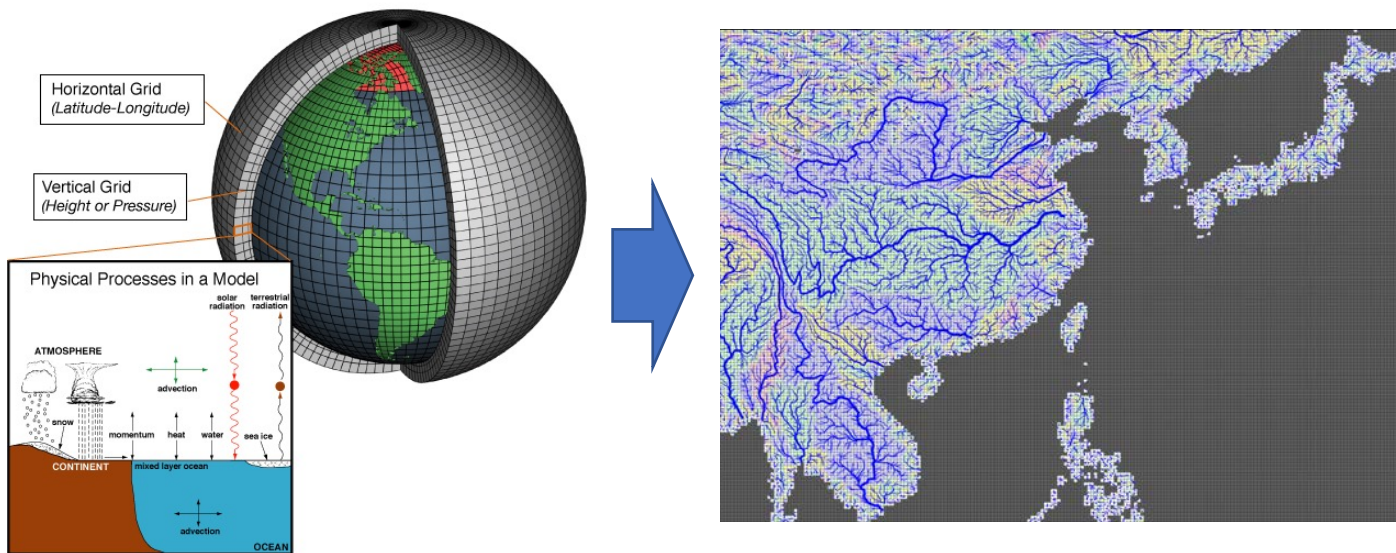
World Resources Institute
Aqueduct (GloFRIS)

モデル構築やシミュレーションのコストがローカル高精度モデルと比較して小さく、**全球で複数再起確率の洪水ハザードマップが開発/公開されている**

(民間企業による有償のものも含む)

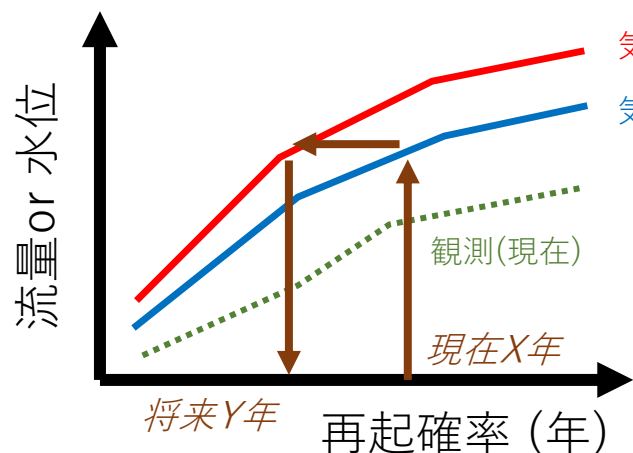
[2C] 気候予測データを用いた将来の洪水頻度変化情報の創出

気候予測データとグローバル河川モデルを用いて、地球全域を対象に河川シミュレーションを実施する



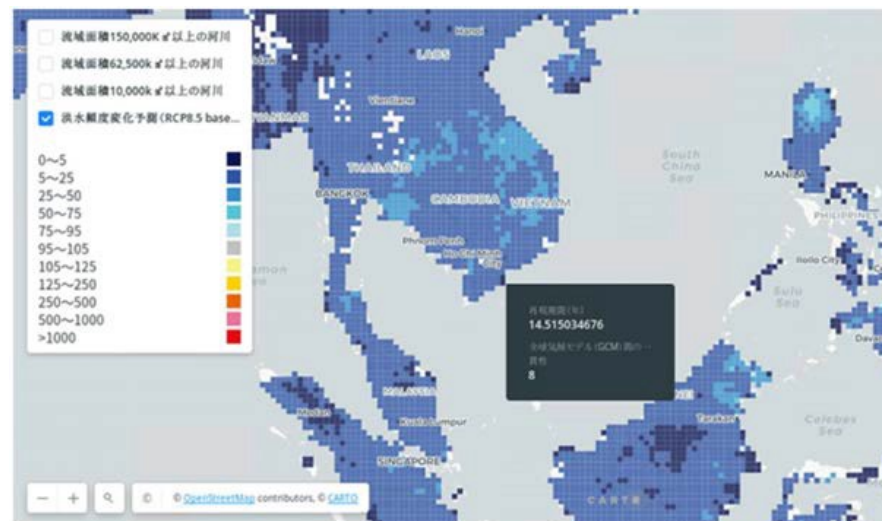
過去～将来までの気候モデル出力
(CMIPの降水量 or 流出量データ) を
グローバル河川モデルの外力として利用

地球全域で、日単位の河川流量変動を計算
→現在および将来のN年確率流量を分析



気候予測データにバイアスがあり
河川モデルが計算する流量・水位が
現実と乖離するのが問題
→**現在から将来の変化**は比較的信頼
できるとされている

例：現在X年に一度の災害は将来Y年に一度に
をシナリオごとに計算できる

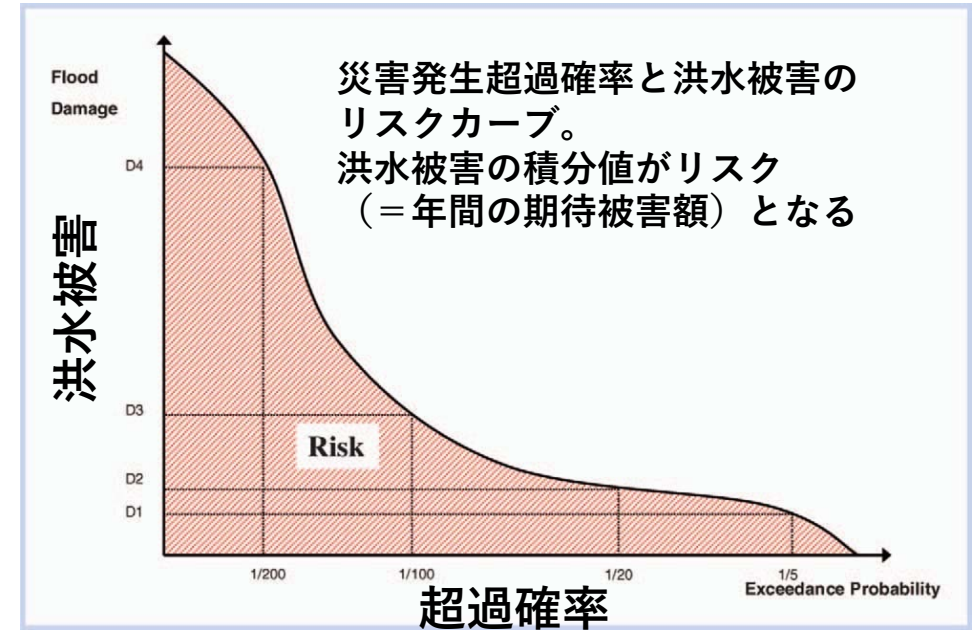


[Hirabayashi, Yamazaki, et al. 2021]の計算結果をもとに、
東大・芝浦工大・MSADの共同研究で実装したWebGIS
https://www.rric.co.jp/risksolution/sustainability/prediction_map/

[3] より高度なリスク評価：リスクカーブと将来ハザードマップの利用

特定規模洪水による被害の頻度変化の定量的分析は、気候変動リスクの把握にとって「最初の一歩」といえるが財務影響や防災対策効果を評価するには十分とは言えない

- ・ N年確率洪水の規模変化も考慮すべき（想定浸水域の広がり）
- ・ より厳密に**リスク**（＝年間の期待被害額）を算定するには**リスクカーブ**を用いた分析が必要
- ・ 洪水防護効果の定量的な議論にもリスクカーブが用いられる（どの規模の洪水を防護すれば、どの程度被害を減らせるか）

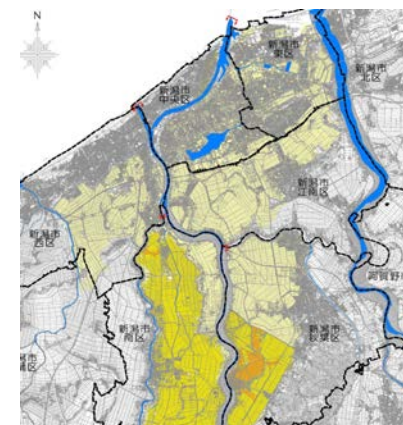


Mayer et al, 2009

複数再起確率の想定浸水深が必要になる

- 国内では現在整備が進んでいる
- **多段階浸水想定図**と**水害リスクマップ**に期待
- グローバル洪水モデルの複数再起確率データを利用
- **将来ハザードマップの整備と精度検証**が急務

信濃川水系信濃川(下流)、関屋分水路 国管理河川からの氾濫を想定した水害リスクマップ (浸水発生) 【現況河道】

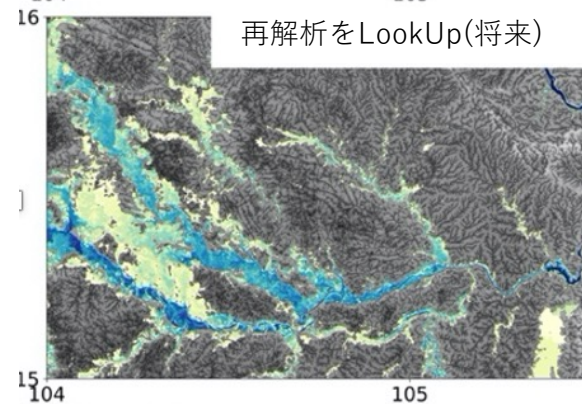
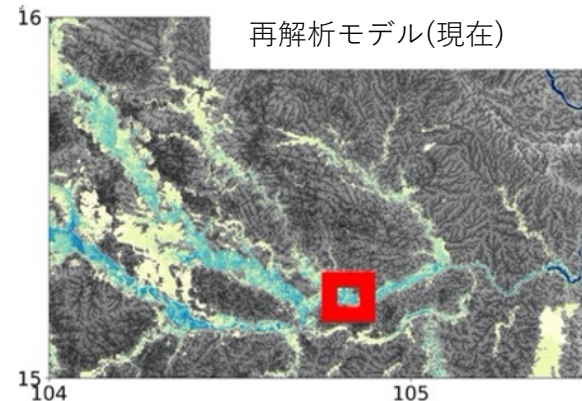
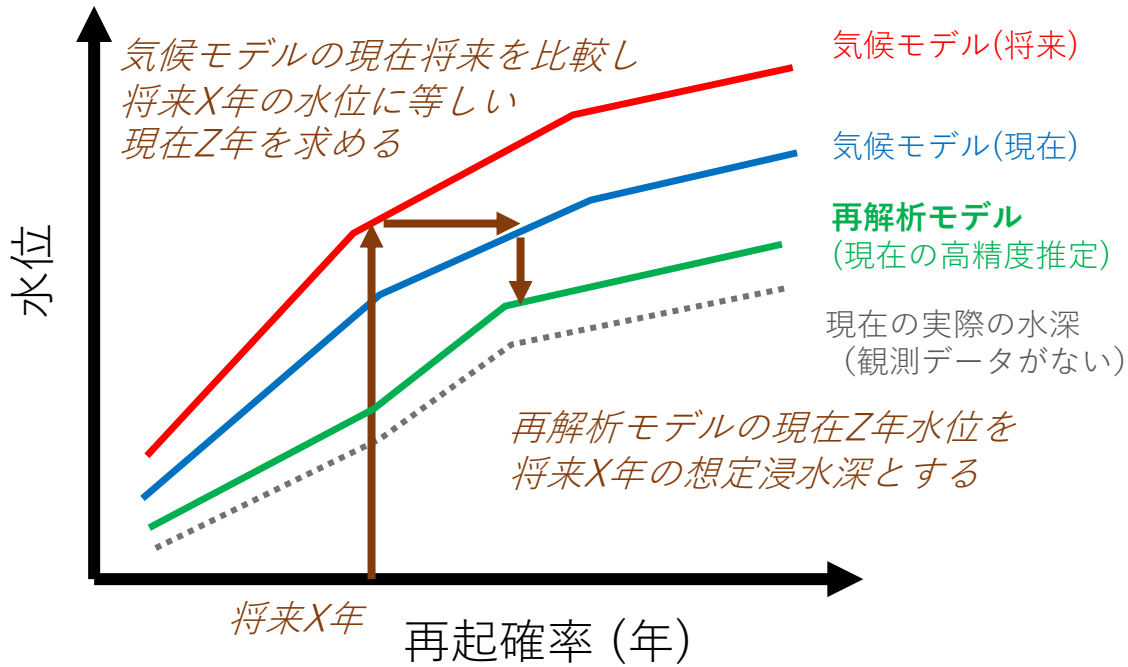


- 凡例
- 高頻度 (1/10)
 - 中高頻度 (1/30)
 - 中頻度 (1/50)
 - 中低頻度 (1/100)
 - 低頻度 (1/150)
 - 想定最大規模
 - - 市区町村界
 - 河川等範囲
 - 浸水想定区域の指定の対象となる洪水予報河川

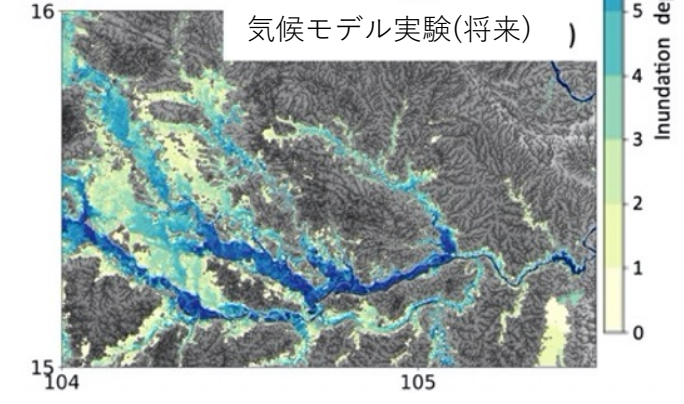
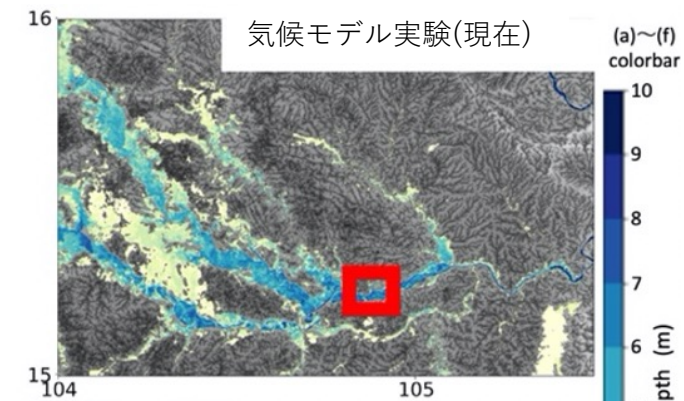
[3] より高度なリスク評価：リスクカーブと将来ハザードマップの利用

グローバル河川モデルを用いた将来ハザードマップ構築手法の検討

将来洪水ハザードマップの構築手法の比較
Kimura et al, 査読中



再解析+LookUpは妥当な浸水深分布を表現できている



気候モデル外力を直接用いると現在の再現ですでにバイアスができる

気候モデルはバイアスが問題となるため、より精度が高い「再解析気象外力」を用いた河川再解析シミュレーションを実施する。現在将来の総体変化は気候モデル実験から求め、水位の絶対値は再解析モデルで見積もる (LookUp手法)

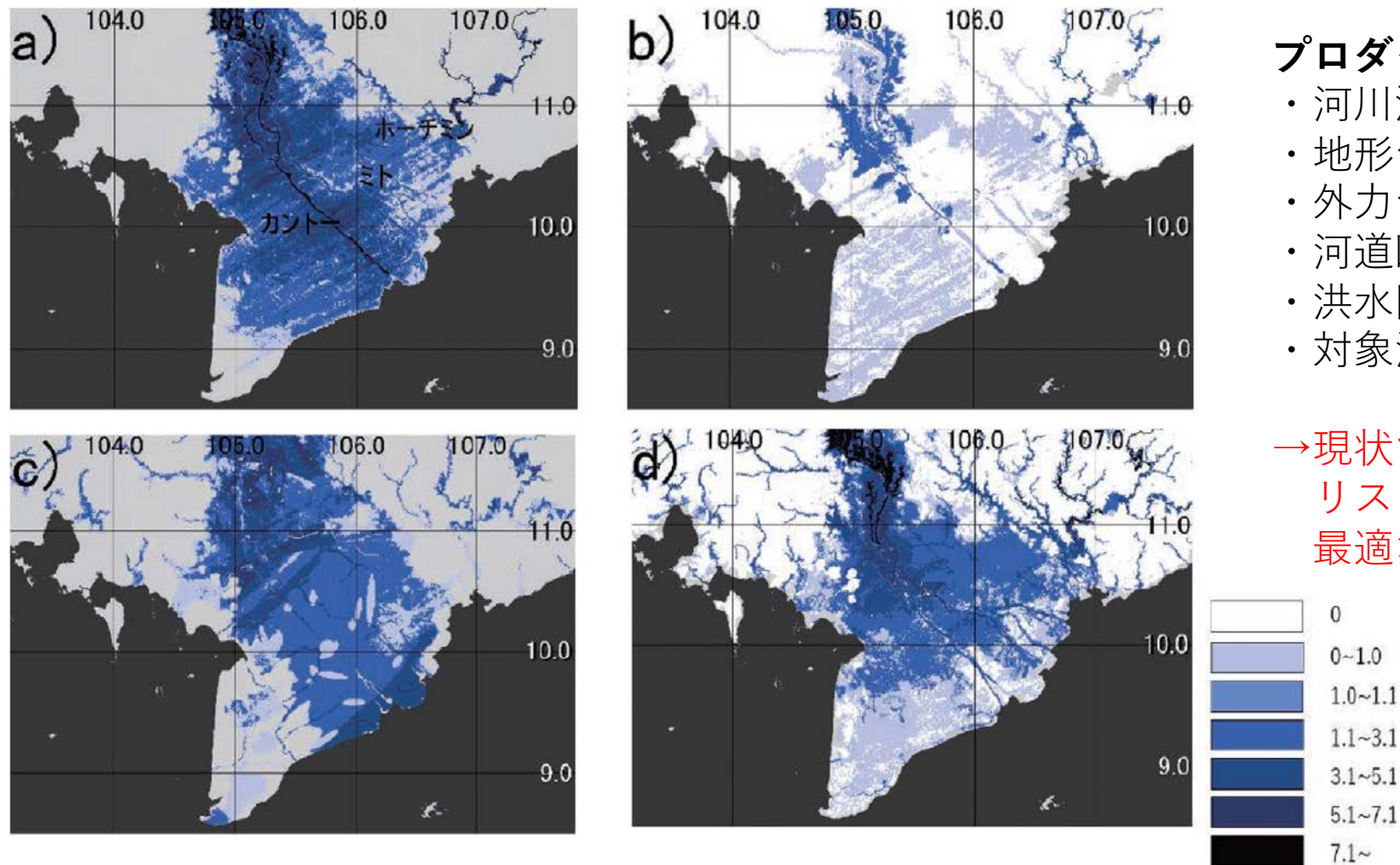
注：他にもバイアス補正の方法はありうる

利用できるGFMプロダクト

- ・ Aqueductは将来ハザードマップを公開している。
- ・ より高信頼と想定されるCaMa-Flood将来ハザードマップは現在公開を視野にいれて開発が進んでいる

[4] グローバル河川モデルの広域洪水ハザードマップの特徴と留意点

広域洪水ハザードマップは研究段階で、構築手法や精度は多様である。頻繁な更新や変更も想定される。
→プロダクトを利用する際はその特徴を理解して、対象地点のリスクを妥当に評価できるか吟味したほうがよい。



プロダクト間の差異の原因

- ・河川流れの方程式
- ・地形データの精度
- ・外力データ
- ・河道断面パラメータ
- ・洪水防護の表現
- ・対象河川サイズ

→現状では対象地点の特徴や
リスク評価の目的に応じて
最適なプロダクトを選ぶ必要あり

図-2 メコン川デルタにおける再現期間100年の浸水深. (a) JRC (b) Aqueduct (c) GAR2015 (d) CaMa-Flood

[4] グローバル河川モデルの広域洪水ハザードマップの特徴と留意点

行政整備ハザードマップとGFM広域洪水ハザードマップの構築手法の違いと不確実性。

	行政整備ハザードマップ	GFM広域洪水ハザードマップ	GFMの成熟度 (山崎の主観)
河川流れの物理プロセス	河川不定流計算・氾濫2次元解析など、河川流れの物理を十分に表現する	一部GFMでは浅水波方程式を用いて氾濫原浸水・河道分岐・背水効果などの河川流れ物理を妥当に表現。一部GFMはKinematicWaveなど河川流れの物理プロセスが不十分	◎ (一部GFM)
標高や河道網などの流域地形データ	高精度な行政整備の地形データに基づく	衛星地形データに基づくので不確実性があるが、一部GFMでは誤差低減を行った高精度地形データ (MERIT DEM/Hydro など) を用いている	◎ (一部GFM)
流出量やハイドログラフなどの外力	観測された降雨や流量を統計解析して想定外力を決める	グローバル降雨-流出モデルが出力する流出量データ、観測流量の広域データから任意地点に外挿。流出量の再解析データが整備されて、精度は改善しつつある	△
河道断面などのローカル地形	断面観測の情報を利用	年平均流量や流域面積をもとに経験式で定める。衛星観測による河道断面の推定などの研究は進みつつある	×
洪水防護情報の反映	ダムや堤防の効果を考慮	一部GFMでは、洪水防護レベルとして防護によるリスク低減を考慮している。ダムや堤防のグローバル河川モデルへの導入は研究開発が進みつつある	×
将来ハザードマップの構築手法	d4PDFを用いた頻度変化分析	気候モデル出力のバイアス補正手法の検討により将来ハザードマップの整備が一部GFMでは進んでいる	○

最新のグローバル河川モデルの計算条件は、行政整備ハザードマップを構築する高精度モデルに近づいている。

○洪水物理の方程式や地形データは、一部のグローバルモデルでは高精度モデルとほぼ同等になった

×河道断面・想定外力・洪水防護などローカル情報のグローバルモデルへの反映が課題

[4] グローバル河川モデルの広域洪水ハザードマップの特徴と留意点

行政整備ハザードマップとGFM広域洪水ハザードマップの構築手法の違いと不確実性。

表-1 使用したGFMと洪水リスクマップの概要

Table 1 Overview of the GFM and flood risk maps used.

平林・山崎ら 2022

	GAR2015	Aqueduct	JRC	CaMa-Flood
再現期間	25, 50, 100, 200, 500, 1,000年	2, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1,000年	10, 20, 50, 100, 200, 500年	2-1,000年
空間解像度	3 arcsec	30 arcsec	30 arcsec	3 arcsec
DEM	SRTM3 DEM/GTOPO30	SRTM3 DEM/GTOPO30	SRTM3 DEM/GTOPO30	MERIT DEM
河川地形データ	HydroSHEDS/Hydro1k	HydroSHEDS/Hydro1k	HydroSHEDS/Hydro1k	MERIT Hydro
ダム・貯水池	○	×	○	×
洪水防御	○	△	×	×
背水効果	△ (氾濫計算時のみ)	×	△ (ダウンスケール時の氾濫計算のみ)	○ (広域流量計算と氾濫計算の両方)
沿岸浸水	×	○	×	×
分岐河道	△ (氾濫計算時のみ)	×	△ (ダウンスケール時の氾濫計算のみ)	○ (広域流量計算と氾濫計算の両方)
Note	防御は1人あたりGDPから推計	>10,000 km ²	>5,000 km ²	河川洪水のみ

大まかでも洪水防護を考慮して実務利用に特化したもの、より精密な河川物理の計算に重点を置くもの、などプロダクトにより特徴が異なる。すべてに優れたものは存在せず、目的に応じた選定や複数利用が必要

[4] グローバル河川モデルの広域洪水ハザードマップの特徴と留意点

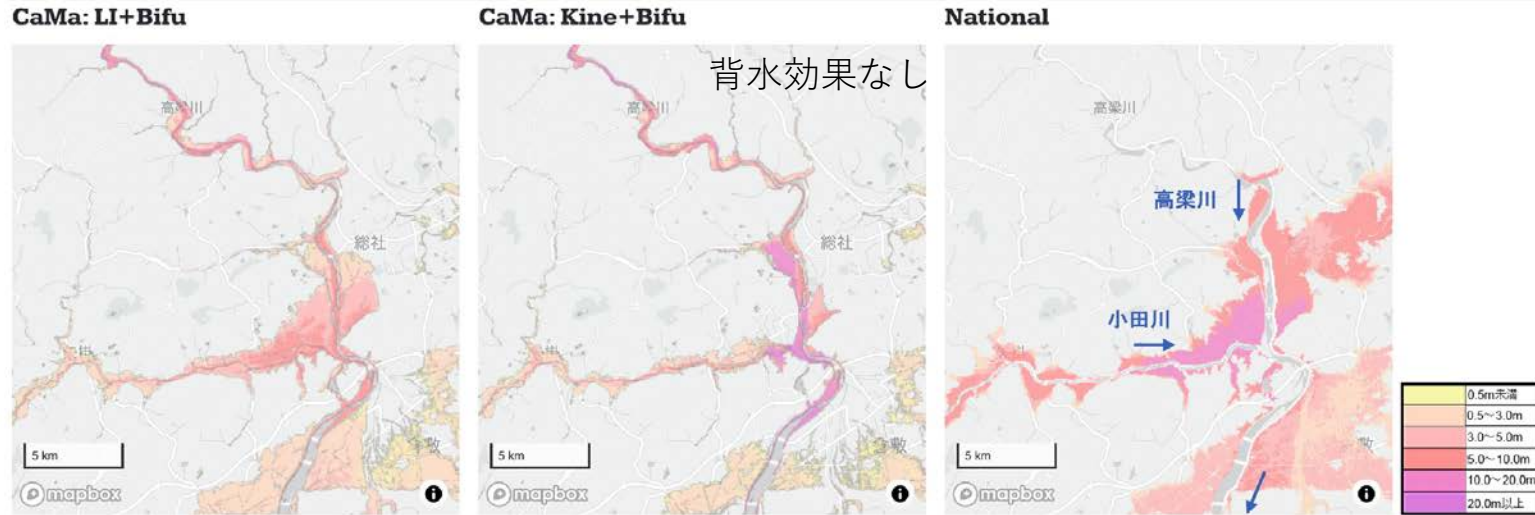


図-1 倉敷市付近における、高梁川と小田川の洪水ハザードマップ

CaMa計算ハザードマップは行政整備ハザードマップと比較しても浸水域は差異がない地域が多い

切分け実験によると、CaMaの特徴である

- ・ 背水効果を表現できる基礎方程式
- ・ 河道の分岐を考慮できるスキーム

といった高度な物理表現が精度に影響

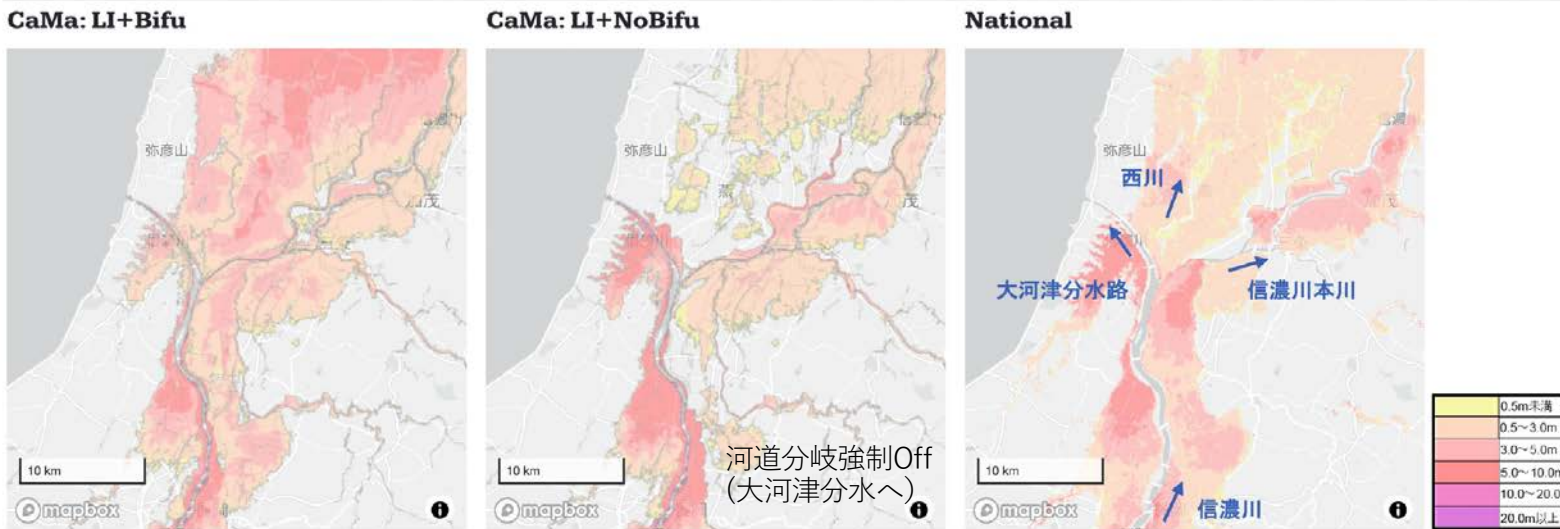


図-5 燕市付近における、信濃川の洪水ハザードマップ

水門操作が入っていないため信濃川-大河津分水などでは現実の洪水管理計画と異なる結果になる

→水門操作やダム操作のうち洪水リスクにクリティカルな要素をモデルで考慮することが課題

どのGFMハザード情報が信頼できるかを

- ・ モデルのプロセスの妥当性
- ・ 出力される浸水深さ分布の妥当性

の両面から評価できるようになるとよい

CaMa-Floodと行政整備ハザードマップの比較 [北・山崎ら 2022]

まとめ

行政整備ハザードマップとグローバル洪水モデルGFMを組み合わせれば、将来の洪水リスク算定は可能

「現在気候でN年に一度の洪水による被害額算定と将来頻度変化の考慮」までは、手堅く対応できるはず

- 国整備ハザードマップ or GFMによる広域洪水ハザード情報
- 被害関数で浸水深さから想定被害を算定（治水経済マニュアル or グローバル被害関数）
- d4PDFによる国内の洪水発生頻度変化 or GFMによるグローバルな洪水頻度変化情報

毎年の被害額期待値の算定や洪水防護対策の効果検討には、より高度な手法を用いる必要がある

- 複数再起確率の浸水深さからリスクカーブを構築する（多段階ハザードマップやGFMハザードマップを利用）
- 将来ハザードマップの開発が進んでおり、リスクカーブを用いた将来リスク評価も可能になる見込み

利用できるGFM広域洪水ハザードマップはまだ研究開発段階。「計算できるが精度が十分とは言えない」状態

GFMのモデル要素ごとに成熟度は異なる。すべての要素に優れたGFMは存在しない

- 河川流れの支配方程式・標高と河道網などの地形情報は、いくつかのGFMでは十分な精度が期待できる
- 外力データの整備・河道断面や洪水防護などのローカルパラメータの整備は、すべてのGFMで課題

GFM広域洪水ハザードマップの利用において、以下に留意する必要がある

- 企業側：対象地点の洪水リスクがGFMで妥当に表現されているか確認し、なるべく信頼できる評価を行う
- 投資家側：GFMはまだ確立されておらず、画一的手法ではなく各企業が最適な手法を用いることを理解する
どのような洪水リスク評価がより信頼できるかを明確にするとよい（ガイドラインの役割？）

「より現実的で信頼できる洪水ハザード情報を用いてリスク評価を行うほうが、企業も投資家も有利になる」という仕組み/世界観を、企業側・投資家側・仕組みを作る政府やNGOなどで連携して構築できるとよい

(参考) グローバル河川モデルによる広域洪水ハザード情報の構築手順

カスケード型

グローバル気象/気候データ
→降雨-流出モデル
→全球河川モデル
と物理プロセスを連続計算
(分解能は10-50km)

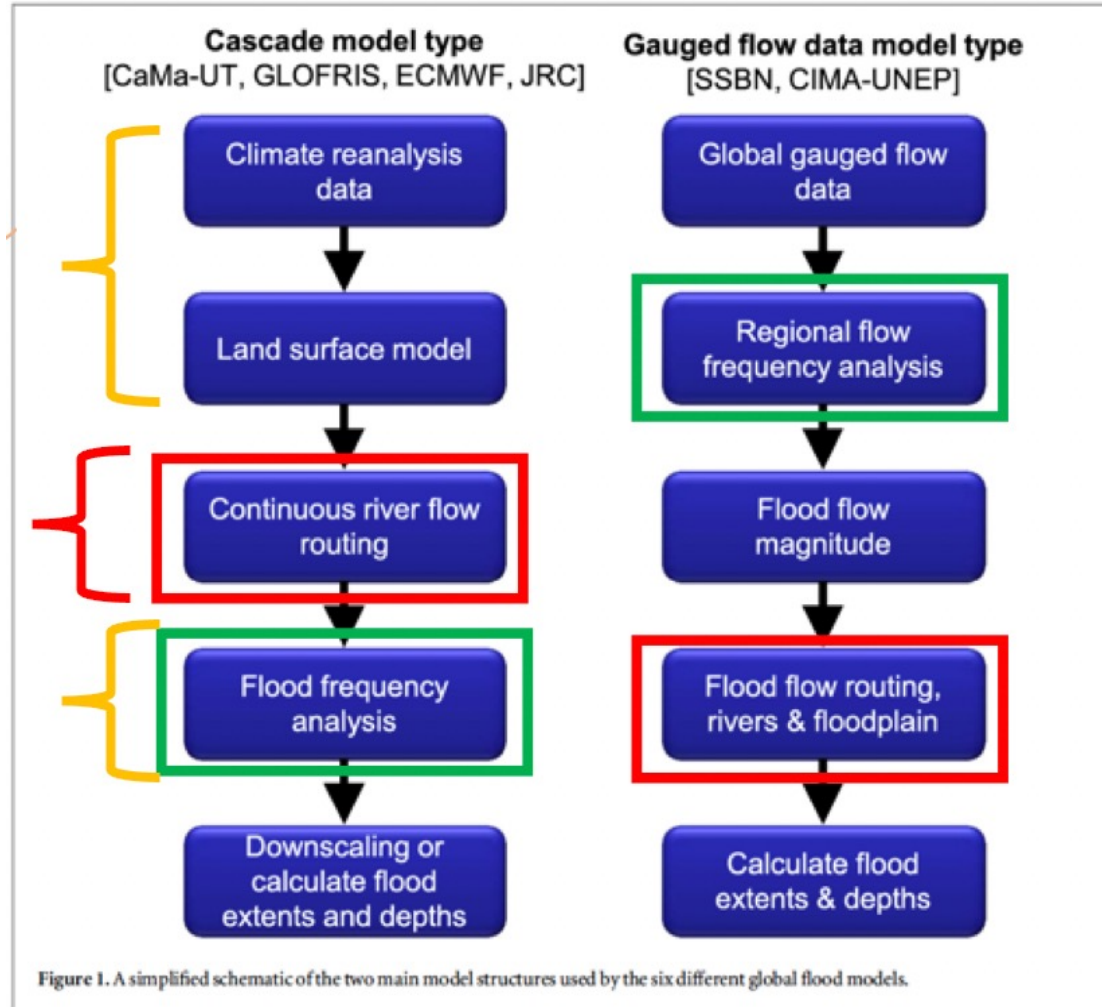
30年以上の時間的に連続した
Daily河川流量の格子データ
→極値分析でN年に1度の
流量や水位を求める

地形データを用いた
ダウンスケーリング

降水量の極値分析に近い

高計算効率のモデル
物理プロセスの不確実性が大きい

(CaMa-Flood, GloFRIS)



Trigg et al. 2017を改変

ゲージ流量型

現地観測流量データから
河川流量の極値を求める
→水文気象データで外挿し
任意地点の極値流量を求める

N年に1度の流量を入力として
高解像度(30-100m)氾濫モデル
で対応する浸水深分布を求める
(全球をタイル化して計算)

既存ハザードマップ整備に近い

物理の不確実性が少ないモデル
計算負荷はやや大きい

(Fathom, CIMA)

(参考資料)
“将来洪水ハザードマップの開発”

当該資料の位置づけ

◆ この資料は以下の論文プレプリント（1/18現在
査読中）の内容を日本語で解説したものです

Yuki Kimura, Yukiko Hirabayashi,
Yuki Kita, Xudong Zhou, and Dai
Yamazaki, 2022

“Methodology for constructing a
flood-hazard map for a future
climate”

URL:<https://egusphere.copernicus.org/preprints/2022/egusphere-2022-1343/>

◆ 同論文は、東京大学・芝浦工業大学・MSADインターリスク
総研の共同研究LaRC-Floodプロジェクトの成果です



The EGU interactive community platform

Methodology for constructing a flood-hazard map for a future climate

Yuki Kimura^{1,2}, Yukiko Hirabayashi³, Yuki Kita^{3,4}, Xudong Zhou³, and Dai Yamazaki²

¹Risk Assessment Department, MS&AD InterRisk Research & Consulting, Inc., 2-105, Kanda Awajicho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0063, Japan

²Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 4-6-1, Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505, Japan

³Department of Civil Engineering, Shibaura Institute of Technology, 3-7-5 Toyosu, Koto-ku, Tokyo, 135-8548, Japan

⁴Gaia Vision Inc. 6-23-4 Jingumae, Shibuya-ku, Tokyo, 150-0001, Japan

Received: 26 Nov 2022 - Discussion started: 09 Dec 2022

Abstract. Flooding is a major natural hazard in many parts of the world, and its frequency and magnitude are projected to increase with global warming. With increased concern over ongoing climate change, more detailed and precise information about climate-change risks is required for formulating local-scale countermeasures. However, the impacts of biases in climate-model outputs on river-flood simulation have not been fully evaluated, and thus evaluation of future flood risks using hazard maps (high-resolution spatial distribution maps of inundation depths) has not been achieved. Therefore, this study examined methods for constructing future-flood-hazard maps and discussed their validity. Specifically, we compared the runoff-correction method that corrects for bias in general-circulation-model (GCM) runoff using the monthly climatology of reanalysis runoff with the lookup method, which uses the GCM simulation results without bias correction to calculate changes in the return period, and depends on the reanalysis simulation to determine absolute flood depths. The results imply that the runoff-correction method may produce significantly different hazard maps compared to those based on reanalysis of runoff data. We found that in some cases, bias correction did not perform as expected for extreme values associated with the hazard map, even under the historical climate, as the bias of extreme values differed from that of the mean value, we found that the direction of the change in future hazard

0. 目次

- 1. はじめに：ハザードマップの構築方法（現在気候）
- 2. 将来洪水ハザードマップの開発について：背景・課題
- 3. 手法(Lookup Method)説明と将来洪水ハザードマップの確認
- 4. 極値解析で作成したハザードマップの補正について
- 5. サマリー

0. 目次

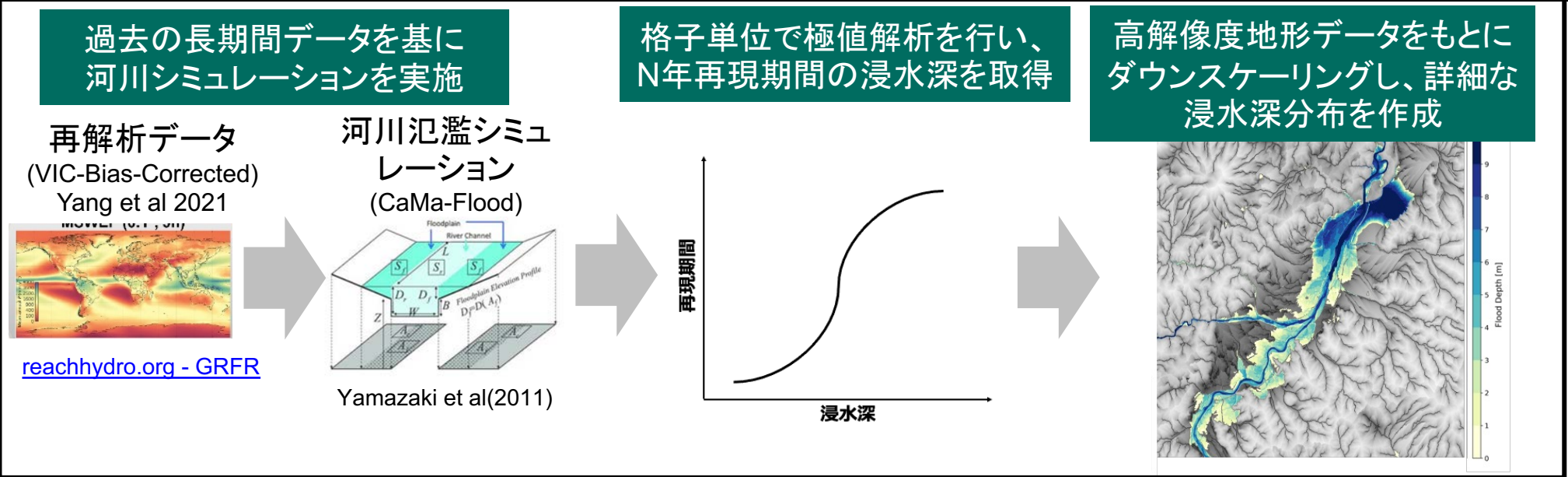
- 1. はじめに：ハザードマップの構築方法（現在気候）
- 2. 将来洪水ハザードマップの開発について：背景・課題
- 3. 手法(Lookup Method)説明と将来洪水ハザードマップの確認
- 4. 極値解析で作成したハザードマップの補正について
- 5. サマリー

1. ハザードマップの構築方法: 河川モデル結果に極値解析を適用

想定浸水深分布(以下ハザードマップ)については、2つの作成方法に大別される

- (1) 格子単位で極値解析を適用し、N年再現期間の浸水深分布を作成する手法
⇒こちらの手法で現在気候ハザードマップ(90m解像度)を作成
- (2) 流域の降雨特性からN年再現期間の降雨分布を作成し、当該降雨から複雑な流出過程を計算し、流量・浸水域を計算する手法

(1) 格子単位で極値解析を適用し、N年再現期間の浸水深分布を作成する手法



1. ハザードマップの構築方法：N年再現期間降雨分布

想定浸水深分布(以下ハザードマップ)については、2つの作成方法に大別される

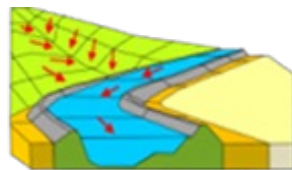
(1) 格子単位で極値解析を適用し、N年再現期間の浸水深分布を作成する手法

(2) 流域の降雨特性からN年再現期間の降雨分布を作成し、当該降雨から複雑な流出過程を計算し、流量・浸水域を計算する手法

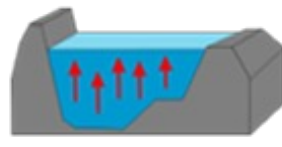
(2) N年再現期間降雨分布から作成する手法



N年再現期間
降雨分布の作成



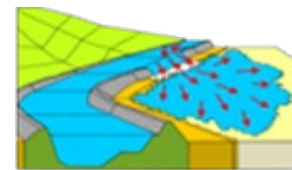
河川への流入



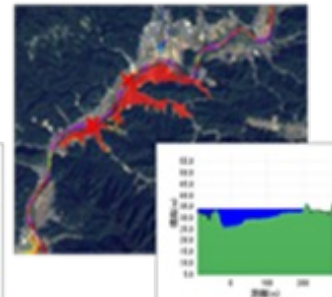
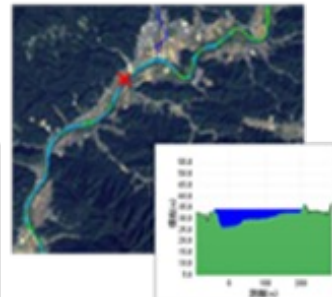
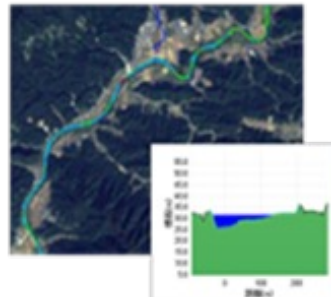
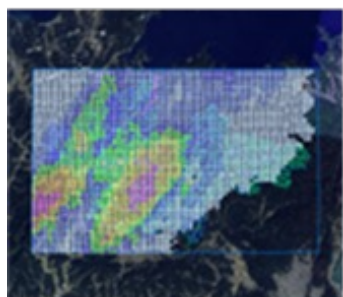
河川水位の上昇



越水



氾濫



日立パワーソリューションズHPの画像を加工して作成

<https://www.hitachi-power-solutions.com/service/digital/diovista/flood/function/function03.html>

(参考) 再解析データの概要

再解析データとは

過去の大気や海洋の循環場・気温場などを、当時の観測データと最新の数値予報モデルを使って、コンピュータで再現したデータ。予報値を作り、観測値を使って誤差を修正する。このようなデータ同化を何十年も繰り返したものが再解析データとなる。**気候予測データ (GCM)よりも観測値に近い高精度のデータを取得することが可能。**



0. 目次

- 1. はじめに：ハザードマップの構築方法（現在気候）
- 2. 将来洪水ハザードマップの開発について：背景・課題
- 3. 手法(Lookup Method)説明と将来洪水ハザードマップの確認
- 4. 極値解析で作成したハザードマップの補正について
- 5. サマリー

2. 将来洪水ハザードマップの概要について: 背景・課題

気候変動による洪水リスクの変化を定量的に評価するには、現在および将来について各地点における浸水深をハザード情報として整備する必要がある（特に、河川洪水については、浸水発生の有無で影響が大きく異なるため、詳細な1km～100m解像度が必要）

しかし、将来気候のハザード情報（想定浸水深分布）の作成については、以下の課題があり、これらを解消する必要がある

- 気候予測データ（GCM）に含まれるバイアスをどう補正するか？
- 各グリッド水位に極値統計を当てはめて求めたN年水位から想定浸水深分布を作るのは妥当か？

上記の課題を踏まえ、今回開発した将来洪水ハザードマップ（**90m解像度**）では以下の2つの手法を採用することとした

- ◆ バイアス補正の問題を解消するために、再現期間の変化に注目したLookup Method（後述）を使用
- ◆ より妥当な浸水深分布とするため、逆勾配補正（後述）を適用

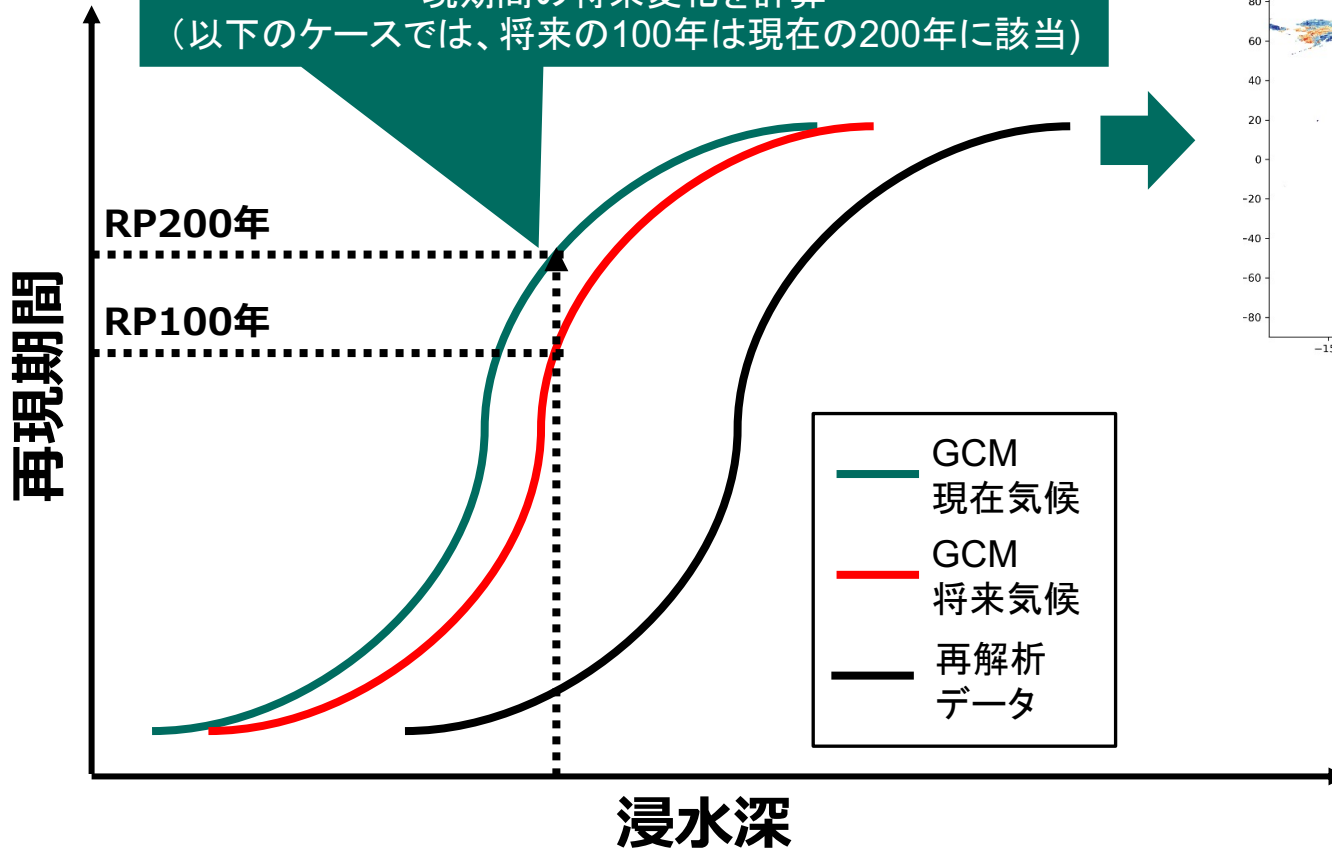
3. 1 手法説明 (Lookup Method)

Lookup Methodの概要：精度の高い再解析データの浸水深を基に作成

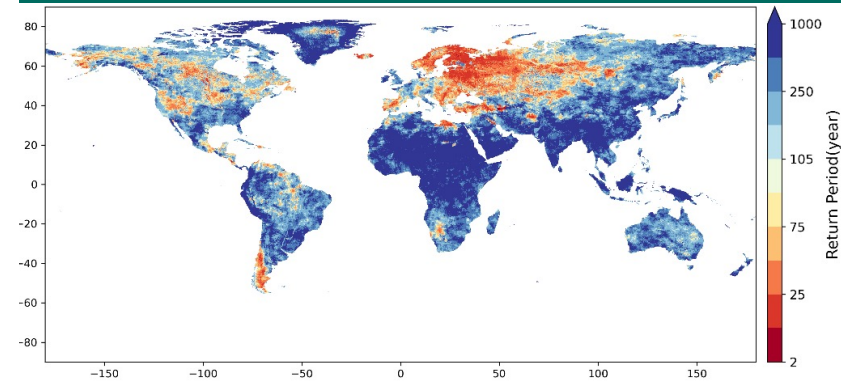
手順1：気候予測データ(CMIP6 GCM)に基づく洪水再現期間の将来変化を計算

手順2：手順1で計算した将来変化と再解析データに基づき、将来気候ハザードマップ（浸水深マップ）を作成

手順1: 各グリッドで気候予測データ(GCM)より浸水深の再現期間の将来変化を計算
(以下のケースでは、将来の100年は現在の200年に該当)



手順1: 全グリッドで計算

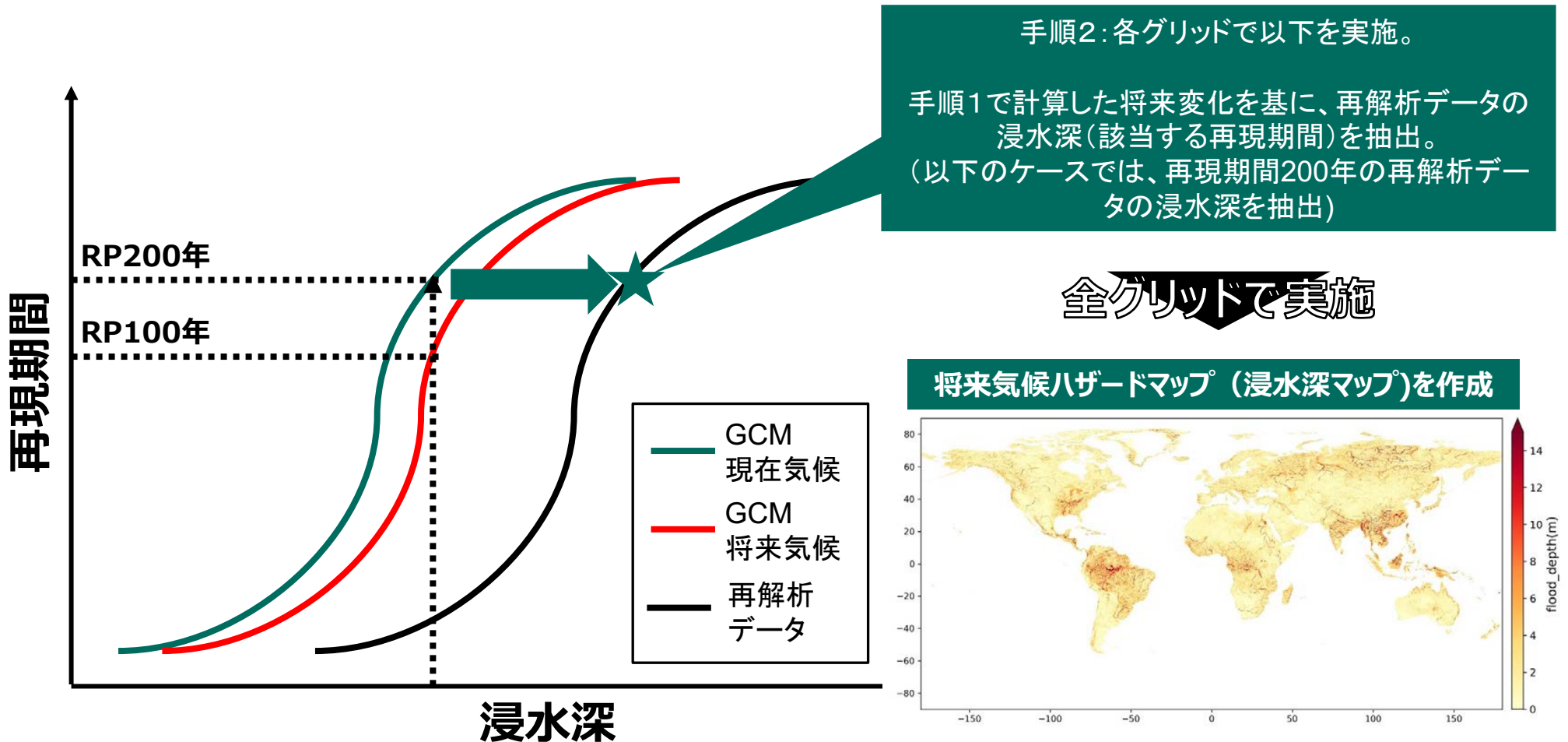


3. 1 手法説明 (Lookup Method)

Lookup Methodの概要：精度の高い再解析データの浸水深を基に作成

手順 1：気候予測データ(CMIP6 GCM)に基づく洪水再現期間の将来変化を計算

手順 2：手順 1 で計算した将来変化と再解析データに基づき、将来気候ハザードマップ^o (浸水深マップ^o)を作成



他手法との比較: 入力データの補正 (単純なバイアス補正)

入力データとなる流出量の補正: 入力データを補正し、河川シミュレーションを実施

- 手順 1: 月流出量の長期平均をグリッド単位で算出 (気候予測データ現在気候・再解析データ) し、差分を算出
- 手順 2: 気候予測データ将来気候について、手順 1 で算出した差分を加算することで補正
- 手順 3: 補正後流出量データをCaMa-Floodに入力し、河川氾濫計算を行う。

手順1 (以下例)

例: あるグリッドの1月月合計流出量

気候予測データ (現在気候)	再解析(VIC)
1000	2000

差分: 1000

手順2 (以下例)

例: あるグリッドの1月月合計流出量(気候予測将来気候)

	2066年1月	2067年1月	2068年1月
気候予測データ 将来気候	1200	1500	800

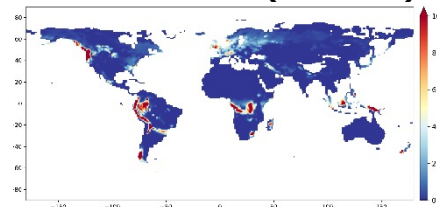


差分1000を
加算

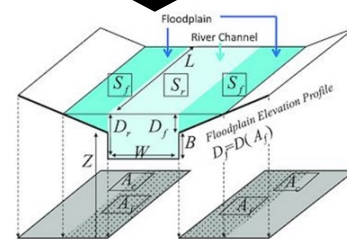
	2066年1月	2067年1月	2068年1月
補正後	2,200	2,500	1,800

手順3

補正後流出量データ(入力データ)

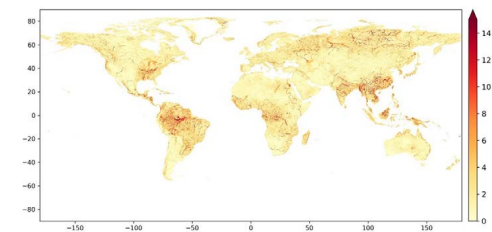


河川氾濫
シミュレーション
(CaMa-Flood)



Yamazaki et al(2011)

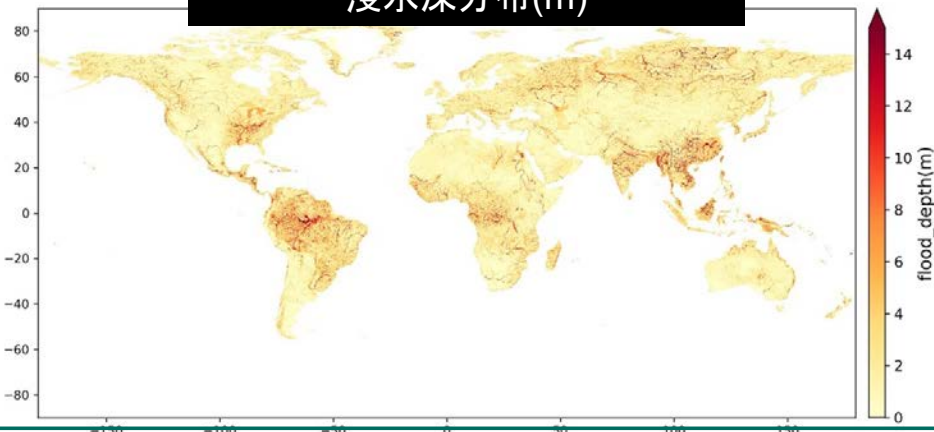
グリッド単位で極値解析
を行い、再現期間X年浸
水深マップを作成



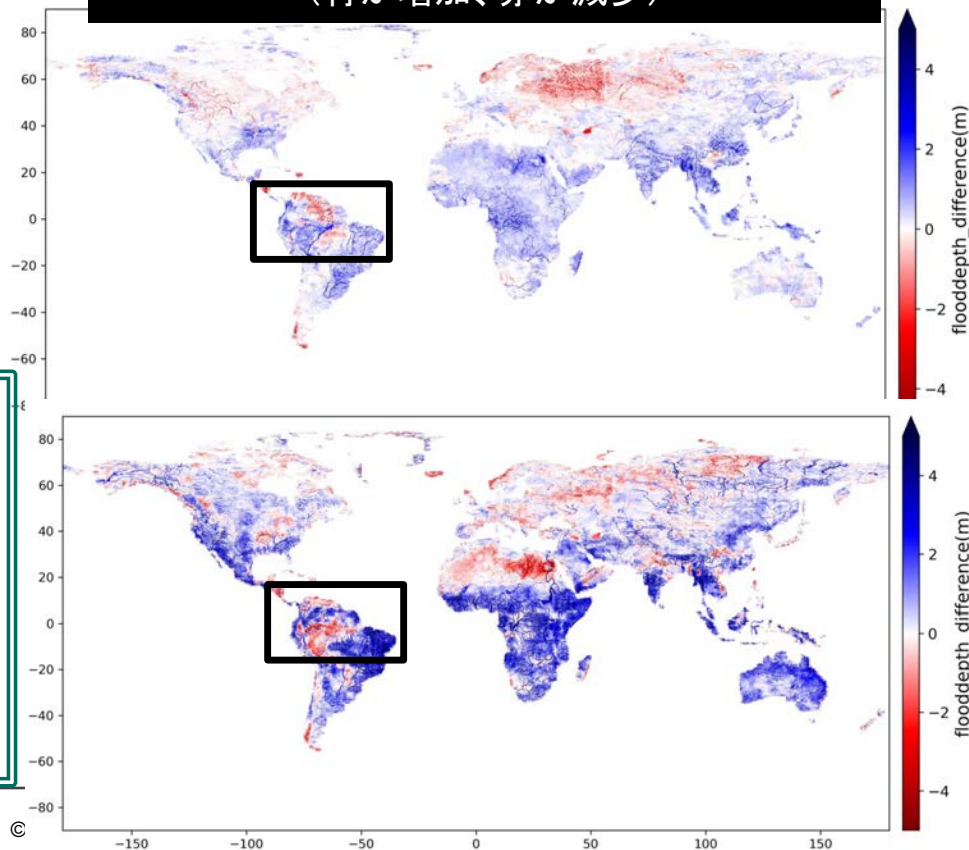
3. 2. Lookup Methodにおける全球浸水深分布

再解析(現在気候)、(a)Lookup Method、(b)単純なバイアス補正の3つの結果について、全球浸水深分布(再現期間100年)を作成し、再解析(現在気候)との差異(現在気候から将来気候で浸水深がどの程度増減するか)を確認した

再解析ハザードマップ(現在気候)
浸水深分布(m)



再解析(現在気候)からの浸水深増減
(上)Lookup Method (下)単純なバイアス補正
(青が増加、赤が減少)



■ 再解析(現在気候)からの増減についてLookup、単純なバイアス補正いずれにおいても多くの河川で同じ方向を示していることがわかる。

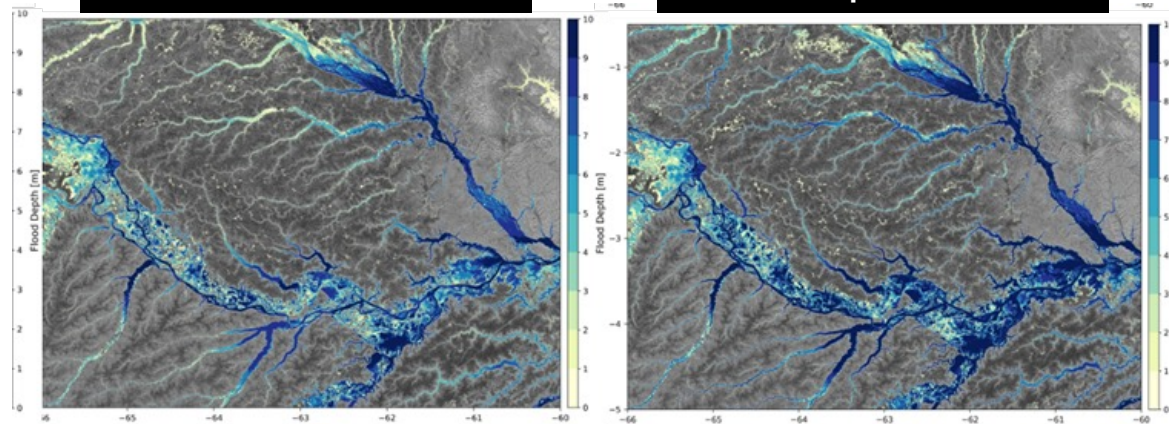
■ 一方で、北アフリカ、ミシシッピ川、アマゾン川周辺等においては、再解析(現在気候)から将来気候の変化において2つの手法で逆方向の変化傾向を示している。

⇒アマゾン川の事例について、詳細調査を行った

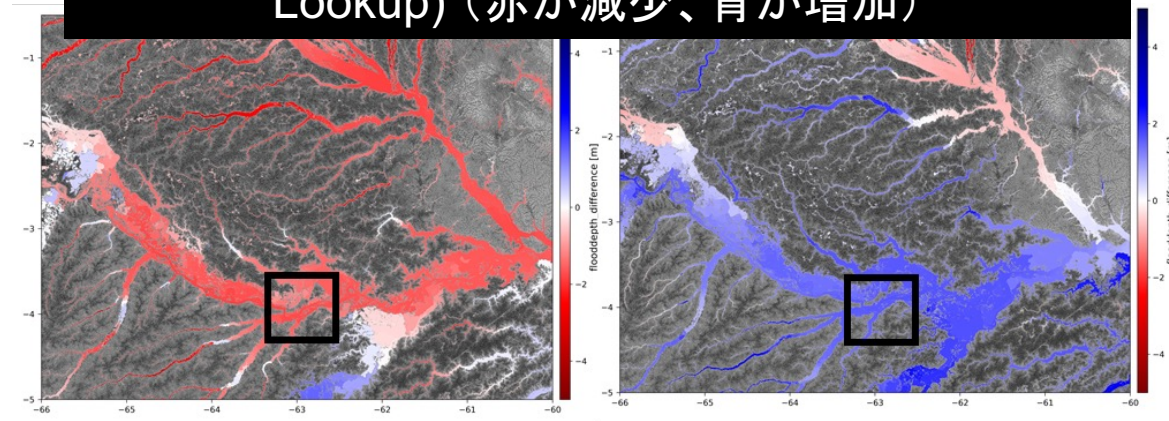
3. 3. 詳細考察:アマゾン川RP100年将来ハザードマップ

単純なバイアス補正

Lookup Method



再解析(現在気候)からの増減(左:単純な補正、右:Lookup) (赤が減少、青が増加)

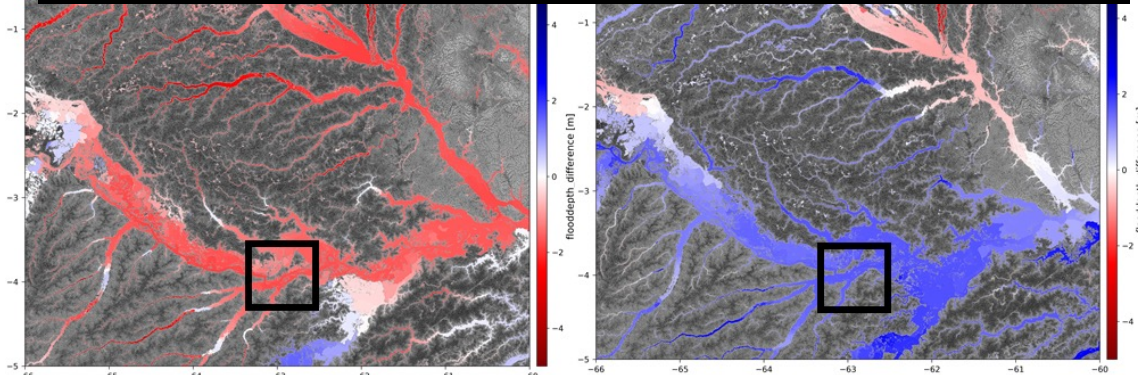


- アマゾン川について比較を行った。
- 左下と右下の図を見ると、単純なバイアス補正では再解析(現在気候)に比べて、浸水深が減少(左下の図)していることがわかる。一方で、Lookupでは浸水深が増加(右下の図)している。
- 前スライドのとおり、2つの手法で将来気候の洪水リスク変化が逆の傾向を示す結果となった
⇒どちらが正しいか、CMIP6の現在気候から将来気候の洪水リスクの変化を確認した。

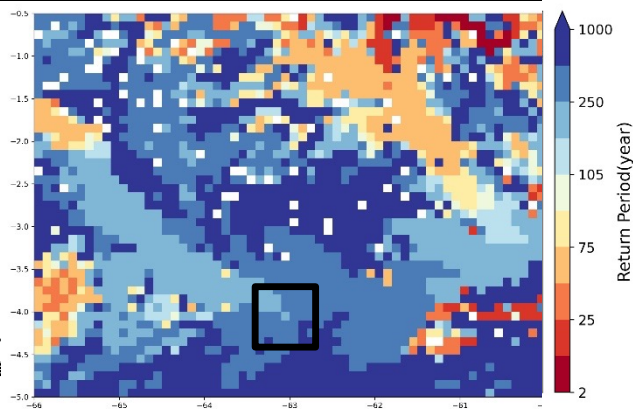
3. 3. 詳細考察:アマゾン川RP100年ハザードマップ

- アマゾン川の該当エリアの将来気候の洪水リスク変化を確認した
- 下図より、アマゾン川本流では現在気候から将来気候において、洪水リスクが増加していることがわかり、単純なバイアス補正手法では適切なハザードマップを作成できない可能性が示唆される

再解析(現在気候)からの増減(左:単純バイアス補正、右:Lookup)
(赤が減少、青が増加)



将来気候の洪水リスク変化:
青は将来洪水リスク増加、赤は減少を示す



研究成果

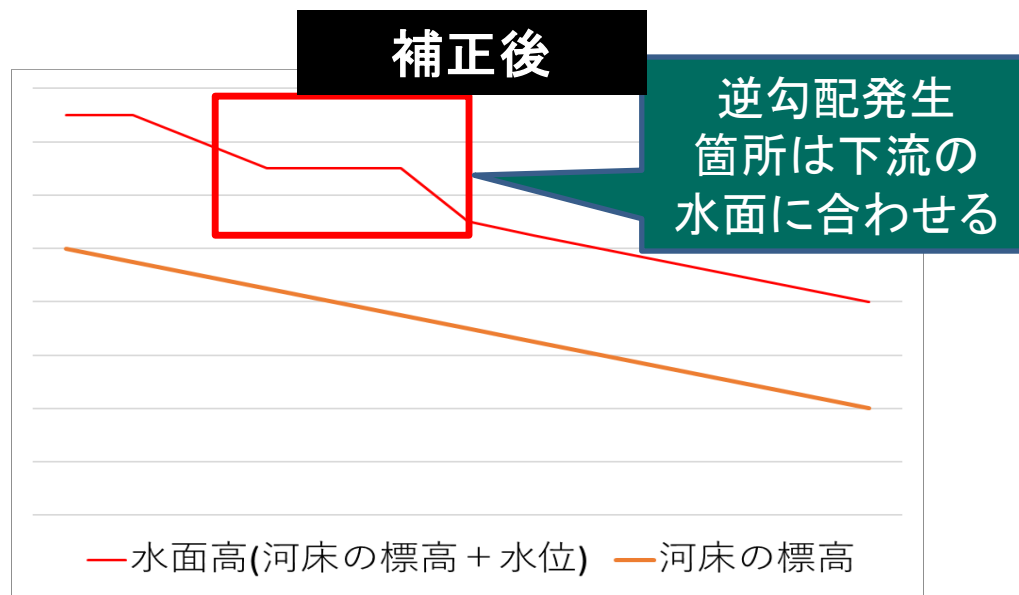
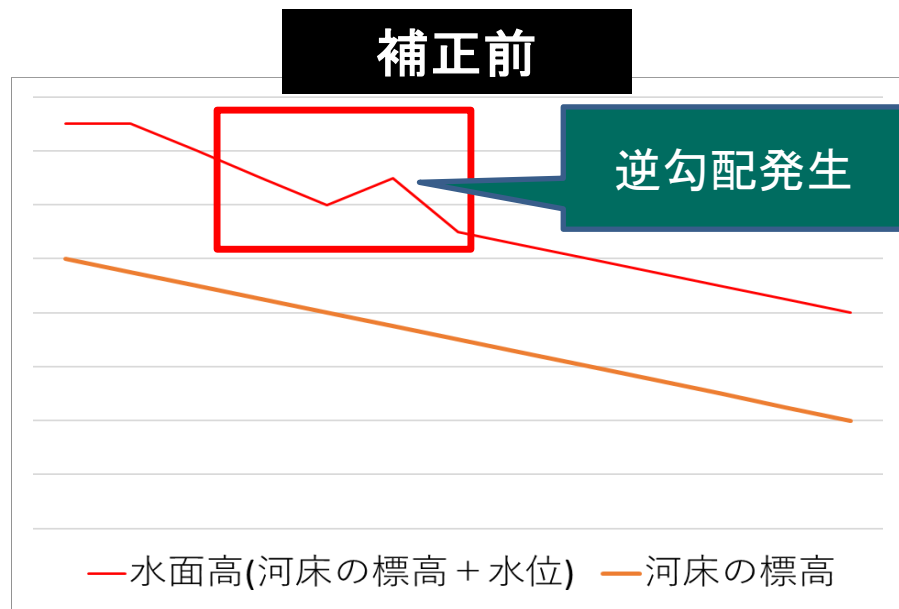
○Lookup Methodの方が単純なバイアス補正よりも、将来気候の洪水リスクの変化を適切に表現したハザードマップを作成できることがわかった。

0. 目次

- 1. はじめに：ハザードマップの構築方法（現在気候）
- 2. 将来洪水ハザードマップの開発について：背景・課題
- 3. 手法(Lookup Method)説明と将来洪水ハザードマップの確認
- 4. 極値解析で作成したハザードマップの補正について
- 5. サマリー

4. 極値解析で作成したハザードマップの補正(背景・手法)

- ハザードマップ構築においては、各グリッドの河川水位を極値解析することで、RPXX年再現期間の水位を算出している。⇒グリッド単位で極値解析を行うため、逆勾配（下流の水位が上流の水位より高いこと）が生じる可能性がある
- 逆勾配が発生している場合、通常バックウォーター現象(背水現象)が生じるが、極値解析後の水位については、同事象を考慮することができず、逆勾配が発生したままになってしまう。(物理的に妥当でない浸水深分布となる可能性)
⇒バックウォーターが発生したとみなし、下流の水位と同じ高さになるように、上流の水位を補正する(具体的には、下図のとおり)

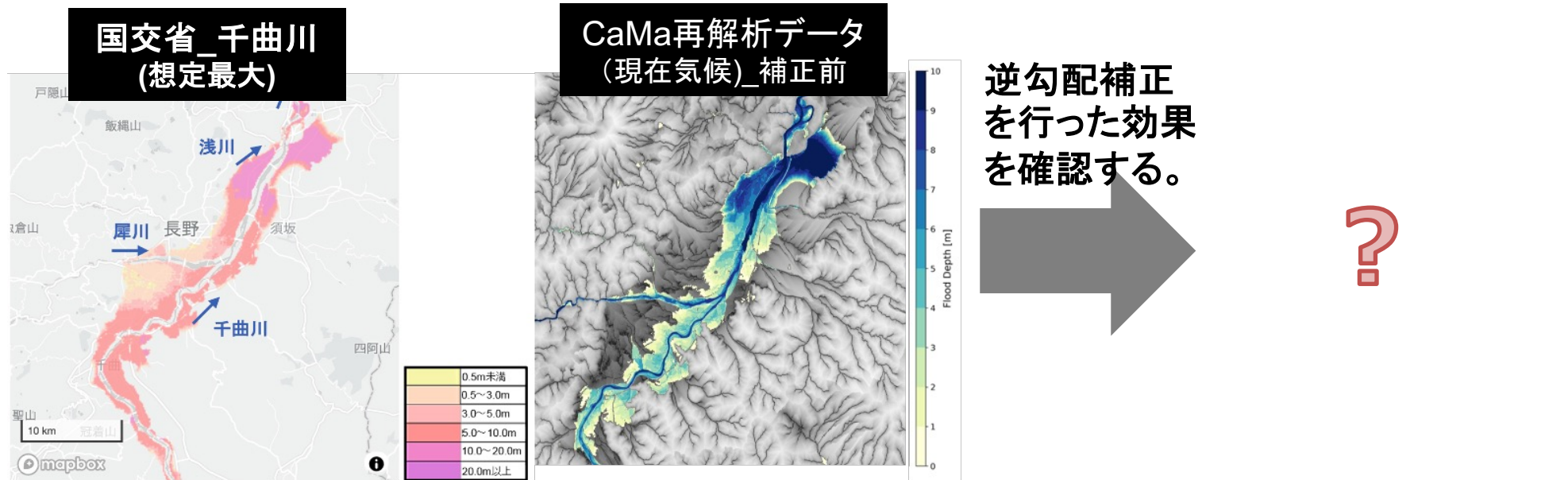


4. 1 補正手法の妥当性検証

- 先ほど記載した逆勾配補正手法について、以下の観点で妥当性検証を行った
 - ✓ 浸水域は妥当な地点で増えているか？（以下指標 1 で調査）
 - ✓ どの程度浸水域が増えるか？（以下指標 2 で調査）

4. 1 補正手法の妥当性検証

- 先ほど記載した逆勾配補正手法について、以下の観点で妥当性検証を行った
 - ✓ 浸水域は妥当な地点で増えているか？（以下指標1で調査）
 - ✓ どの程度浸水域が増えるか？（以下指標2で調査）
- 公的ハザードマップが整備されている日本を対象とし、以下の指標を確認した
 - ✓ 指標1:逆勾配補正によって増えた面積のうち、国交省のハザードマップに含まれる割合
 - ✓ 指標2:モデルの捕捉率(国交省ハザードマップの浸水面積に対する)
- 検証対象は近年洪水が生じた千曲川とした



4. 2 補正手法の妥当性検証結果

妥当性検証結果は下表のとおり。下表から以下の示唆が得られた

- 指標 1 から、国交省ハザードマップに含まれる妥当な地点で浸水域が広がっていることがわかる
- また、指標 2 から千曲川でCaMa浸水域での見逃し地点が減少（捕捉率が増加）していることがわかり、国交省のハザードマップに近づいていることがわかる

指標 1	指標 2 (補正前)	指標 2 (補正後)
約76%	約70%	約80%

指標 1:

逆勾配補正によって増えた面積のうち、国交省のハザードマップに含まれる割合

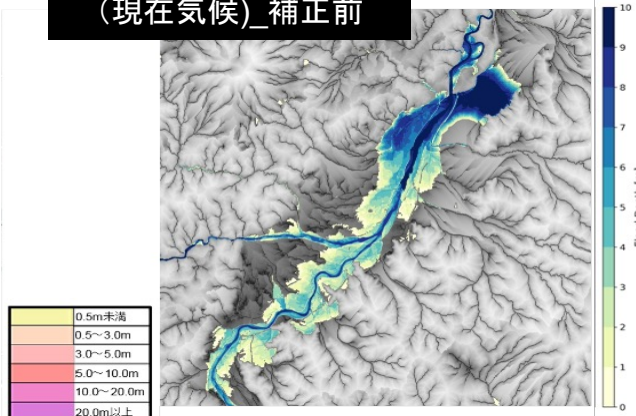
指標 2:

モデルの捕捉率(国交省ハザードマップの浸水面積に対する)

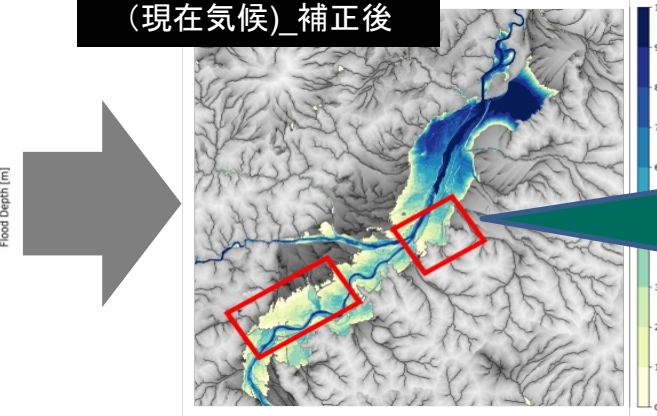
国交省_千曲川



CaMa再解析データ (現在気候)_補正前



CaMa再解析データ (現在気候)_補正後



国交省ハザードマップで浸水しているエリアに浸水域が広がっている

0. 目次

- 1. はじめに：ハザードマップの構築方法（現在気候）
- 2. 将来洪水ハザードマップの開発について：背景・課題
- 3. 手法(Lookup Method)説明と将来洪水ハザードマップの確認
- 4. 極値解析で作成したハザードマップの補正について
- 5. サマリー

5. 結論(サマリー)

課題	将来ハザードマップの構築手法と研究成果
気候予測データに含まれるバイアスをどう補正するか？	<p><u>Lookup Method(*)により、将来洪水ハザードマップを構築。</u></p> <p><研究成果></p> <ul style="list-style-type: none">○複数の将来ハザードマップ作成手法を試し、妥当な浸水域分布が得られる手法を精査した○Lookup Method手法※の方がよりも、将来気候の洪水リスクの変化を適切に表現したハザードマップを作成できる可能性を示した <p>(*) 気候予測データ(GCM)に基づく結果を用いて洪水再現期間の将来的な変化を計算し、高い精度の再解析データを基に洪水深を決定する方法。</p>
各グリッド水位に極値統計を当てはめて求めたN年水位から想定浸水深分布を作るのは妥当か？	<p><u>より妥当な浸水深分布とするため、逆勾配補正を適用</u></p> <p><研究成果></p> <ul style="list-style-type: none">○各グリッド水位に極値統計を当てはめる方法で求めた浸水深分布には、下流の水位のほうが上流よりも高い現象が生じているグリッドが散見された○<u>逆勾配補正適用後のハザードマップについて、国交省のハザードマップと比較することで、より現実的な浸水範囲が得られることを確認した。</u>

(参考) 将来ハザードマップイメージ

再現期間100年将来ハザードマップイメージ: (左: 淀川周辺、右: ChaoPhraya, Mekong周辺)

