地球温暖化による河川洪水の変化

芝浦工業大学工学部土木工学科
平林由希子

令和5年4月11日
第15回防災学術連携シンポジウム
気候変動がもたらす災害対策・防災研究の新展開

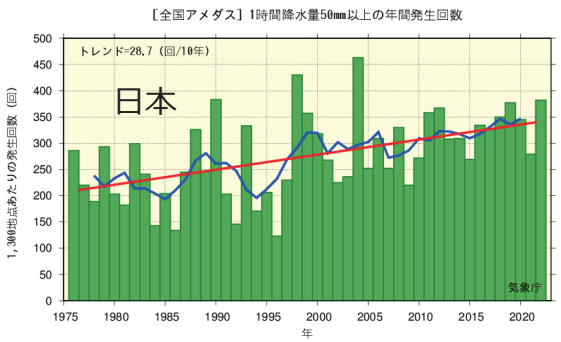
背景と目的

- COP27における最大の議論は損失と損害であり、気候変動影響の定量的科学的な評価は国際的にも喫緊の課題
- 日本やアジアにとって重要な洪水リスクは、観測データの不足から、人為的な気候変動が過去の変化に与える影響を評価することが困難

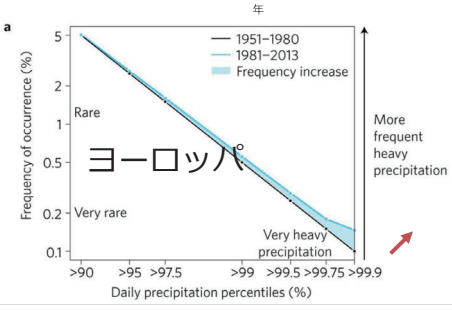
日本経済新聞(2022/11/7)

①世界の洪水は、過去、すでに変化しているのか？
（検出ーDetection）
②その変化は、人間活動による温暖化が原因か？
（原因特定ーAttribution）

大雨の発生頻度（観測）



日本の時間50㎜以上の雨は10年あたり28.7回増加
（気象庁, 2022）

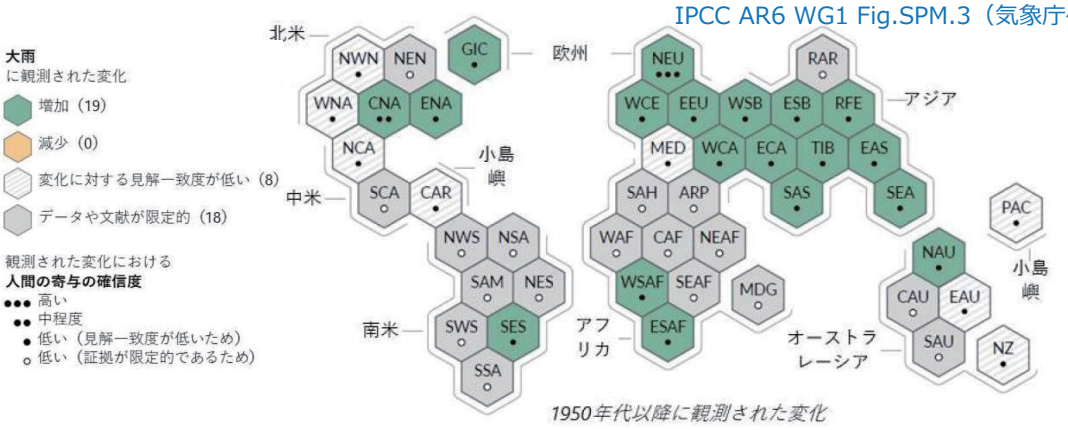


ヨーロッパの上位0.1%確率の雨は45%増加
Fischer and Knutti (2016), Nature Climate Change

人間活動が引き起こす気候変化は、既に世界の全地域の極端気象（熱波、豪雨、干ばつ、熱帯低気圧など）に影響している。

観測された豪雨に対する人間活動の影響

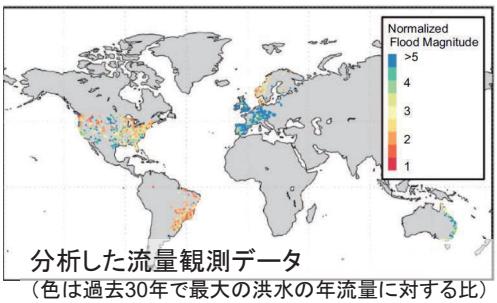
IPCC AR6 WG1 Fig.SPM.3（気象庁仮訳, 2021）



河川洪水にもすでに変化があらわれているのか？

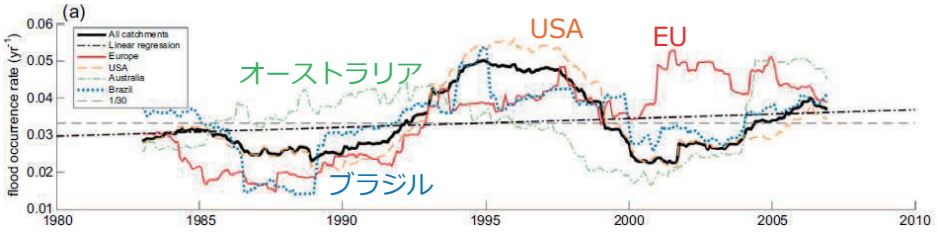
検出 Detection

洪水の発生頻度（流量観測）



分析した流量観測データ
（色は過去30年で最大の洪水の年流量に対する比）

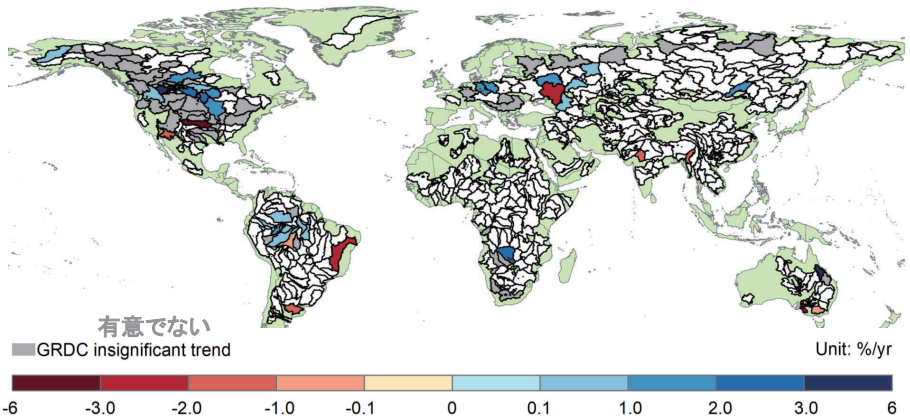
アメリカ、ヨーロッパでは
1980-2009に洪水の頻度・
強度が増加傾向
ブラジルとオーストラリアでも
弱くはあるが増加傾向
（Berghuijs et al., 2017, ERL）



河川流量の長期観測データが無いため、世界の一部地域に限られる

検出 Detection

洪水の変化（流量観測）



- 全球河川流量観測データ（GRDC）で、年最大日流量のトレンド解析ができる（＞30年）ような大河川（>150,000 km^2）は、主に先進国
- アジアのデータはほとんど存在しない
- 北米の北部、アマゾン上流で増加傾向

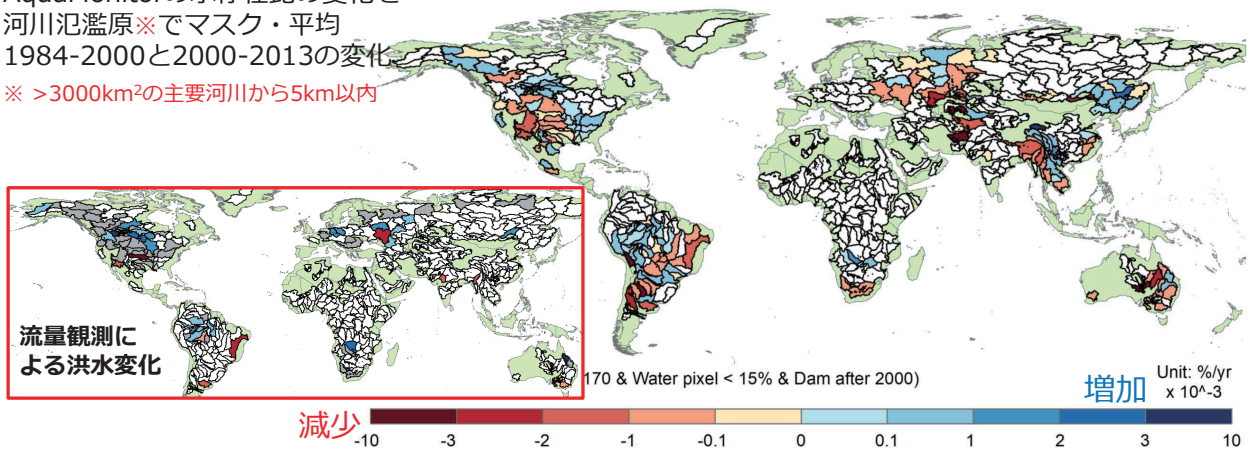
検出 Detection

洪水の発生頻度（衛星観測）

Hirabayashi et al. (2021), *HRL*

AquaMonitorの水存在比の変化を
河川氾濫原※でマスク・平均
1984-2000と2000-2013の変化

※ >3000km²の主要河川から5km以内



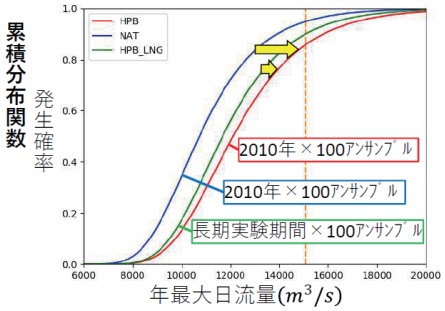
- 北米の北部、アマゾン上流の増加傾向は衛星でも確認
- インドシナ半島や北東アジアでの増減傾向を検出
- 分析した場所の29%で増加、41%で減少（※ただし河川管理の影響を含む）

原因特定 Attribution

Event Attribution (EA)実験

- 大規模アンサンブル実験：気候モデルの極値の変化を得るため、同じ実験を多数実施すること（日本の温暖化の豪雨予測で使われたd4PDFもその一つ）
- EA実験：大規模アンサンブル実験を用いて、過去の気象イベントの発生確率に対する温暖化の寄与を測る方法

過去再現実験(1951～2011年)　100アンサンブル
非温暖化実験(1951～2010年)　100アンサンブル
長期実験　すべての過去（対象期間）を再現した実験



2010年インダス川洪水の例

例年より洪水が発生しやすい大気循環

過去の温暖化が洪水の発生確率を上げている

本研究では2種類の実験を使用

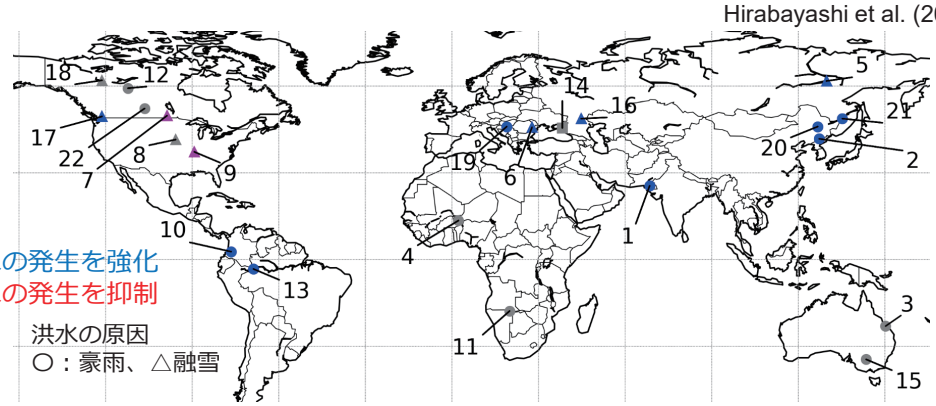
1. d4PDF (1951-2010), MRI AGCM3.2 (Mizuta et al., 2017)
2. MIROC5実験（2010-2013), (Shiogama et al. 2013, 2014)

得られた流出量を河川氾濫モデルCaMa-Floodに入力し洪水解析

原因特定 Attribution

洪水の発生頻度（温暖化の寄与）

Hirabayashi et al. (2021), *PEPS*



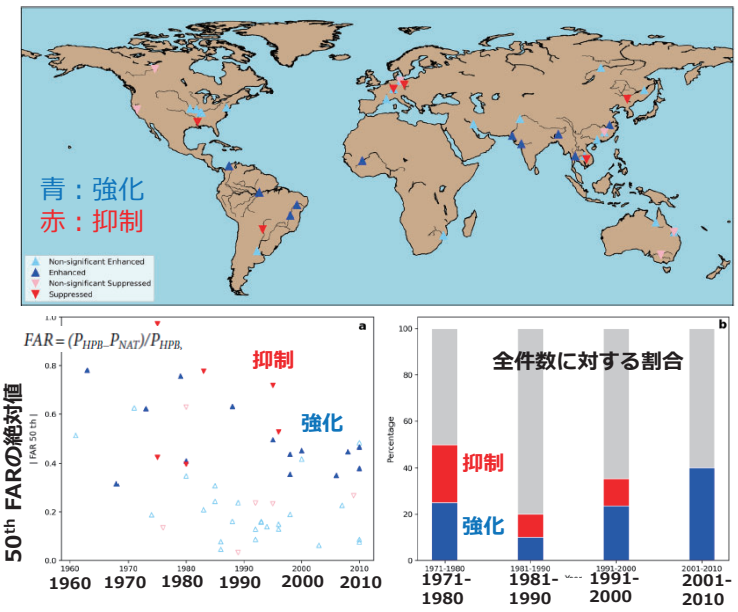
青：洪水の発生を強化
赤：洪水の発生を抑制

洪水の原因
〇：豪雨、△融雪

- 2010-2013に発生した22洪水のうち14(64%)で、温暖化が発生確率に影響
- ヨーロッパ、北東アジア、南米の豪雨による洪水は、過去の温暖化によって発生確率が増加（発生が強化）していた
- 北米の融雪による洪水は温暖化で抑制されたものもあった

原因特定 Attribution

洪水の発生頻度（温暖化の寄与）



Alifu, Hirabayashi et al. (2022), *Sci Rep.*

- 1951-2010に発生した52洪水のうち、20の洪水において温暖化が発生確率に影響
- アジアと南米北部では、過去の温暖化により発生確率が増加（強化）
- 近年の洪水は、いずれも発生確率が増加（強化）

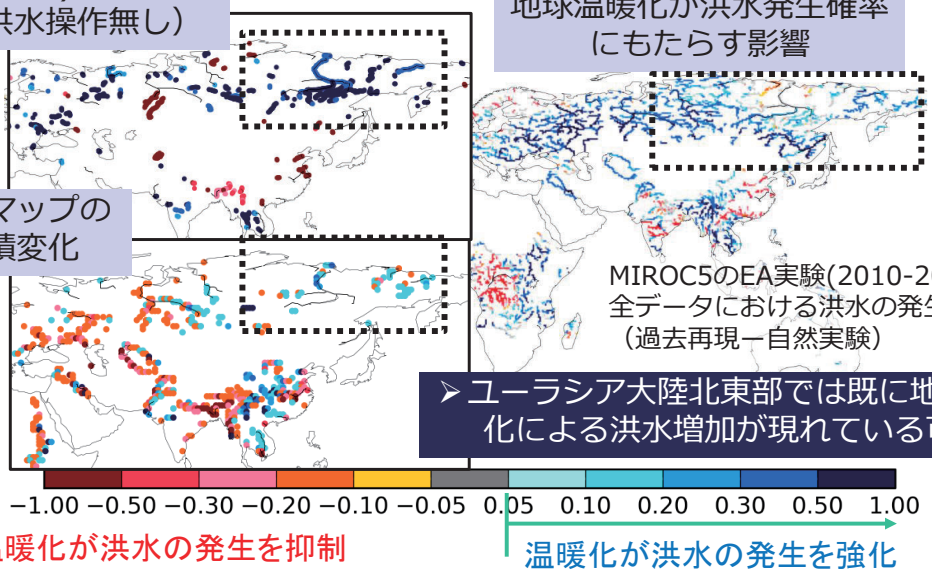
原因特定 Attribution

洪水の発生頻度（温暖化の寄与）

再解析(モデル)の変化
（灌漑や洪水操作無し）

衛星水面マップの
浸水面積変化

地球温暖化が洪水発生確率
にもたらす影響



MIROC5のEA実験(2010-2013)の
全データにおける洪水の発生頻度の差
（過去再現ー自然実験）

➢ユーラシア大陸北東部では既に地球温暖化による洪水増加が現れている可能性

−1.00 −0.50 −0.30 −0.20 −0.10 −0.05 0.05 0.10 0.20 0.30 0.50 1.00

温暖化が洪水の発生を抑制

温暖化が洪水の発生を強化

まとめ

- 衛星による長期水面マッピングから、過去の河川洪水の変化傾向と似た傾向を抽出することに成功
- イベントアトリビューション実験により、1950年以降に発生した洪水の38%、2010-2013年では64%が過去の温暖化により発生頻度が変化していた。
- 近年の洪水の発生確率の増加は、過去と比べて顕著
→気候変動への適応をこれまでの想定よりも早く進めることが必要であることを示唆