2100年の都市・インフラを考えるための地球環境変化

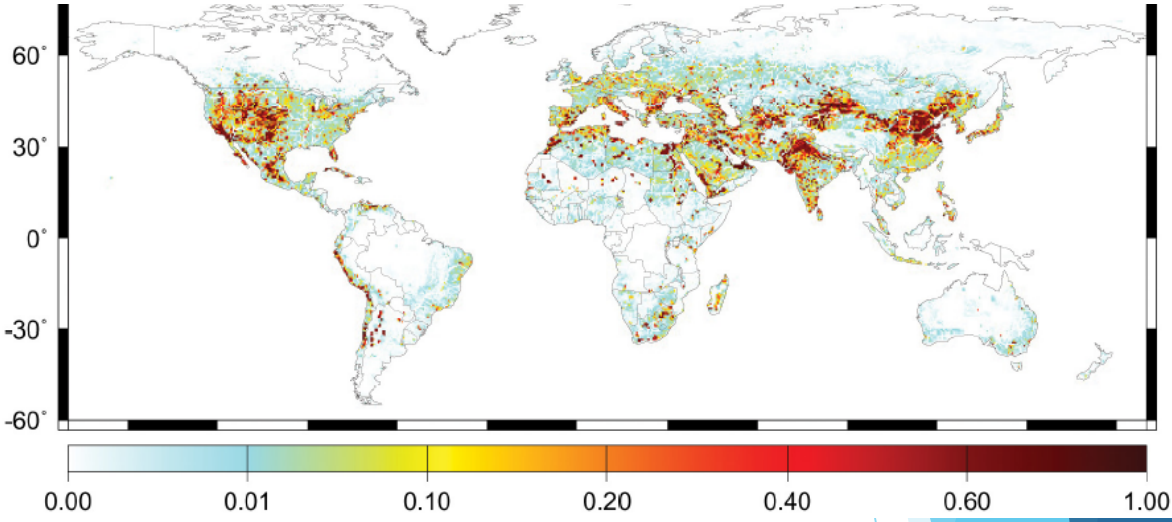
鼎（かなえ）　信次郎

東京工業大学
環境・社会理工学院
土木・環境工学系

まずは自己紹介的なところから

Water Scarcity　（水不足）
Floods　（洪水）

世界のどこで水が足りないか



FRESHWATER RESOURCES

REVIEW

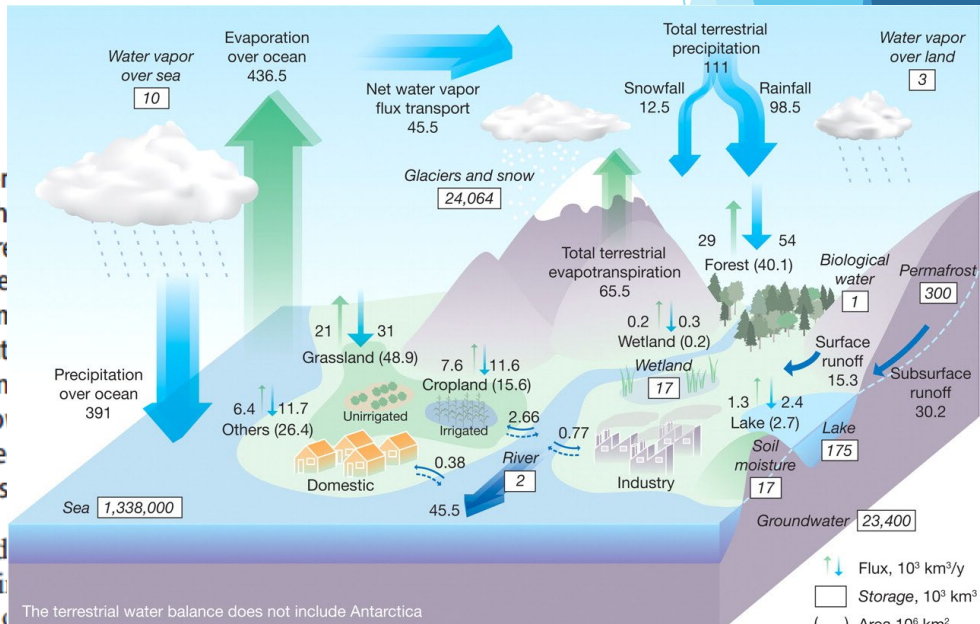
Global Hydrological Cycles and World Water Resources

Taikan Oki[1,2,3]*† and Shinjiro Kanae[1,4]*

Water is a naturally circulating resource that is constantly recharged. Ther
stocks of water in natural and artificial reservoirs are helpful to increase th
for human society, the flow of water should be the main focus in water r
climate system puts an upper limit on the circulation rate of available rene
(RFWR). Although current global withdrawals are well below the upper lin
people live in highly water-stressed areas because of the uneven distribut
space. Climate change is expected to accelerate water cycles and thereby in
This would slow down the increase of people living under water stress; ho
patterns and increasing probability of extreme events may offset this effe
vulnerability will be the first step to prepare for such anticipated changes

All organisms, including humans, require water for their survival. Therefore, ensuring that adequate supplies

from liquid to gas and
a liquid. Water assi
thesis becomes part



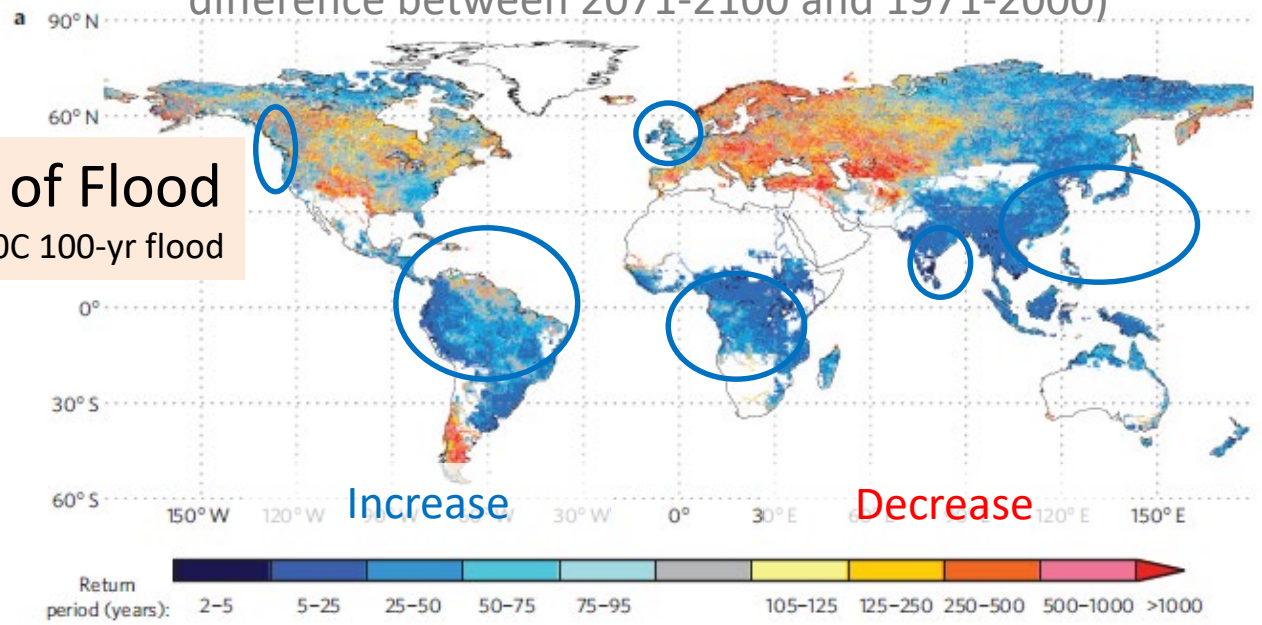
温暖化による将来の世界の洪水の増加・現象

(Median of 11 GCMs under the extreme future scenario, RCP 8.5
difference between 2071-2100 and 1971-2000)

東工大からの
環境分野の論文
3441本中
被引用数歴代1位
（Scopus調べ）

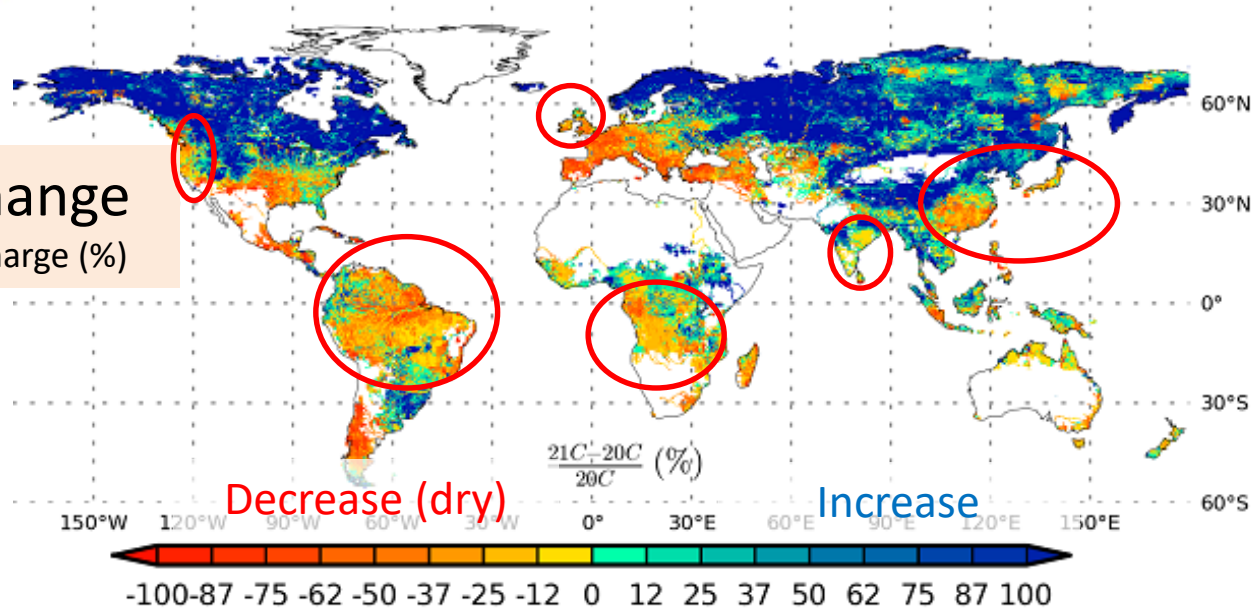
Frequency of Flood

return period of 20C 100-yr flood



Low flow change

change in Q95 discharge (%)



世界のどこかで大洪水が起きるたびに、先ほどの図との一致度を気にかけていたのですが…

先ほどのは将来予測だったのですが、困ったことに、すでに現実に起きつつあると判明しました。

LETTER

https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6

Changing climate both increases and decreases European river floods

Günter Blöschl[1,37]*, Julia Hall[1,37], Alberto Viglione[1,2], Rui A. P. Perdigão[1], Juraj Parajka[1], Bruno Merz[3], David Lun[1], Berit Arheimer[4], Giuseppe T. Aronica[5], Ardian Bilibashi[6], Miloň Bohác[7], Ognjen Bonacci[8], Marco Borga[9], Ivan Čanjevac[10], Attilio Castellarin[11], Giovanni B. Chirico[12], Pierluigi Claps[2], Natalia Frolova[13], Daniele Ganora[2], Liudmyla Gorbachova[14], Ali Gül[15], Jamie Hannaford[16], Shaun Harrigan[17], Maria Kireeva[13], Andrea Kiss[1], Thomas R. Kjeldsen[18], Silvia Kohnová[19], Jarkko J. Koskela[20], Ondrej Ledvinka[7], Neil Macdonald[21,22], Maria Mavrova-Guirguinova[23], Luis Mediero[24], Ralf Merz[25], Peter Molnar[26], Alberto Montanari[11], Conor Murphy[27], Marzena Osuch[28], Valeryia Ovcharuk[29], Ivan Radevski[30], José L. Salinas[1], Eric Sauquet[31], Mojca Šraj[32], Jan Szolgay[19], Elena Volpi[33], Donna Wilson[34], Klodian Zaimi[35] & Nenad Živković[36]

ヨーロッパのグループによる
2019年夏Nature誌上の論文

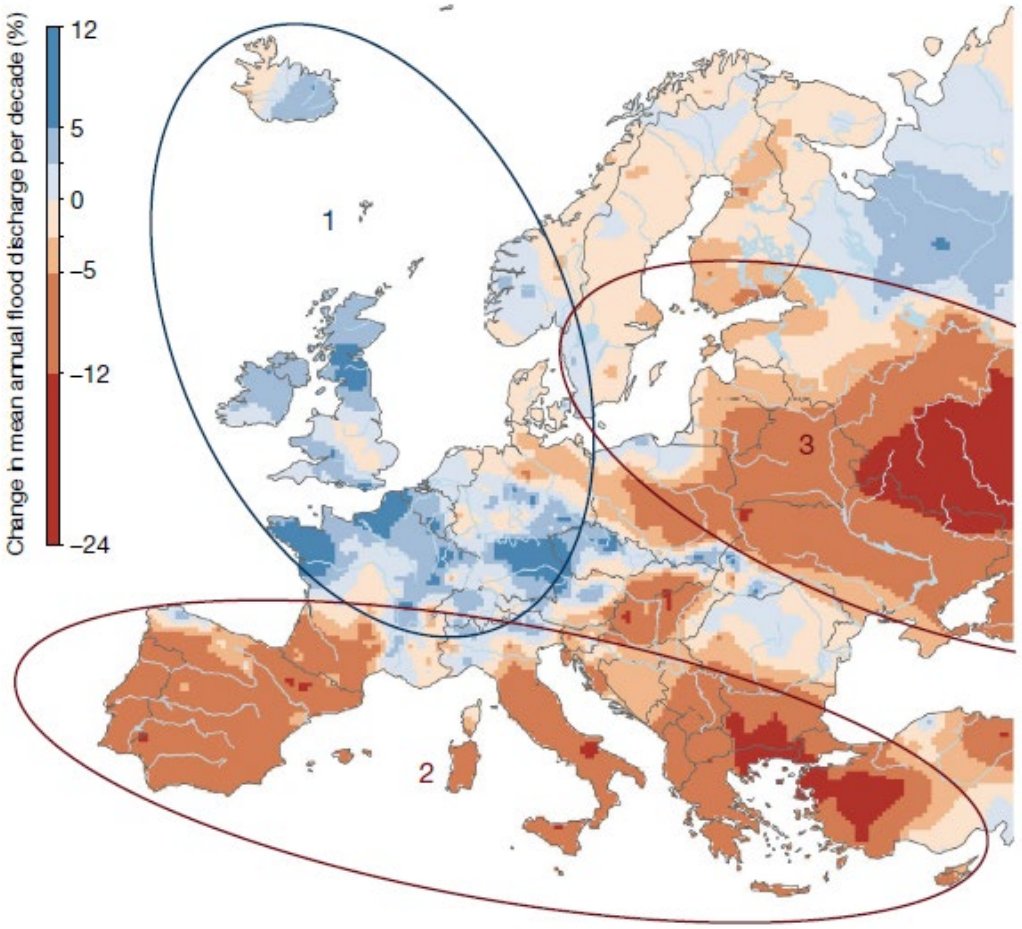


Fig. 1 | Observed regional trends of river flood discharges in Europe (1960–2010). Blue indicates increasing flood discharges and red denotes

2011年秋～冬のタイの洪水を覚えていらっしゃいますか？
（日系企業、サプライチェーンも大ダメージでした。）

温暖化によるタイ・チャオプラヤ川の洪水ピークの上昇

Watanabe et al. (2014)

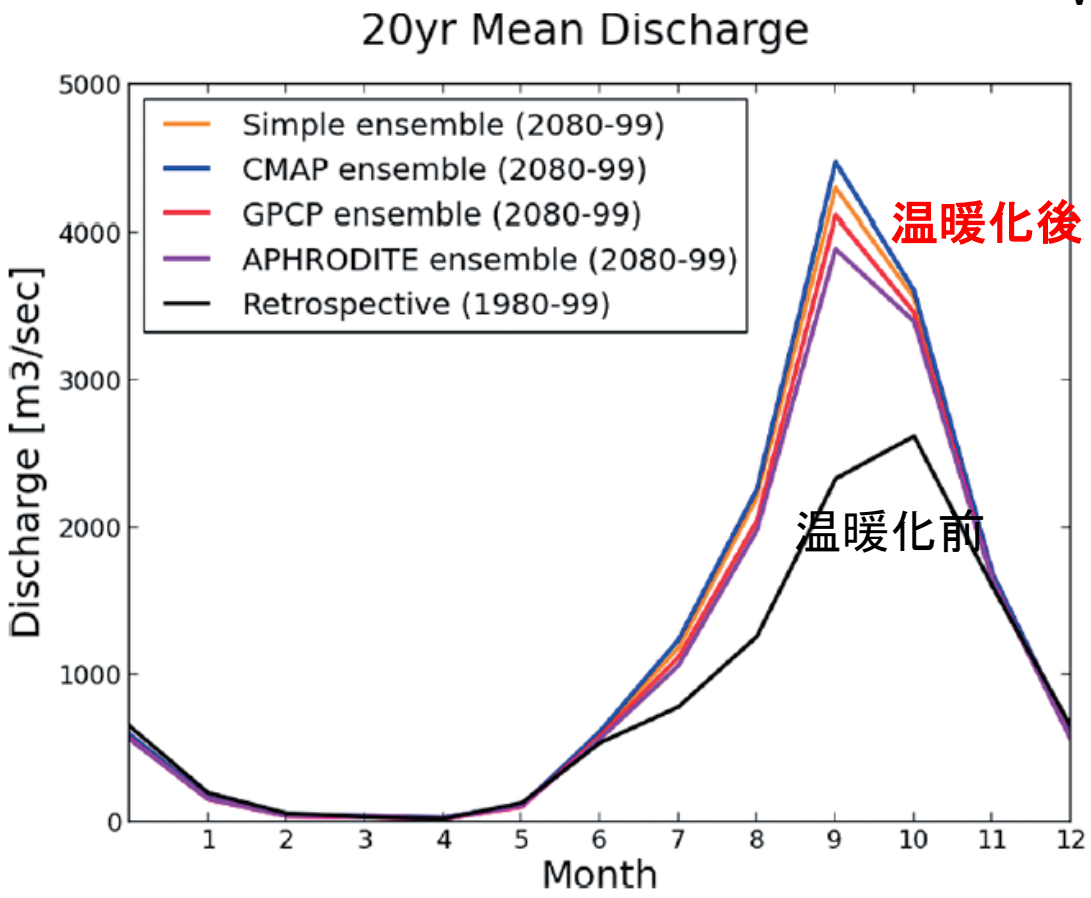


Figure 2. Comparisons between simple ensemble and performance-based projections of 20-year mean monthly river discharge at Nakhon Sawan. Black line indicates

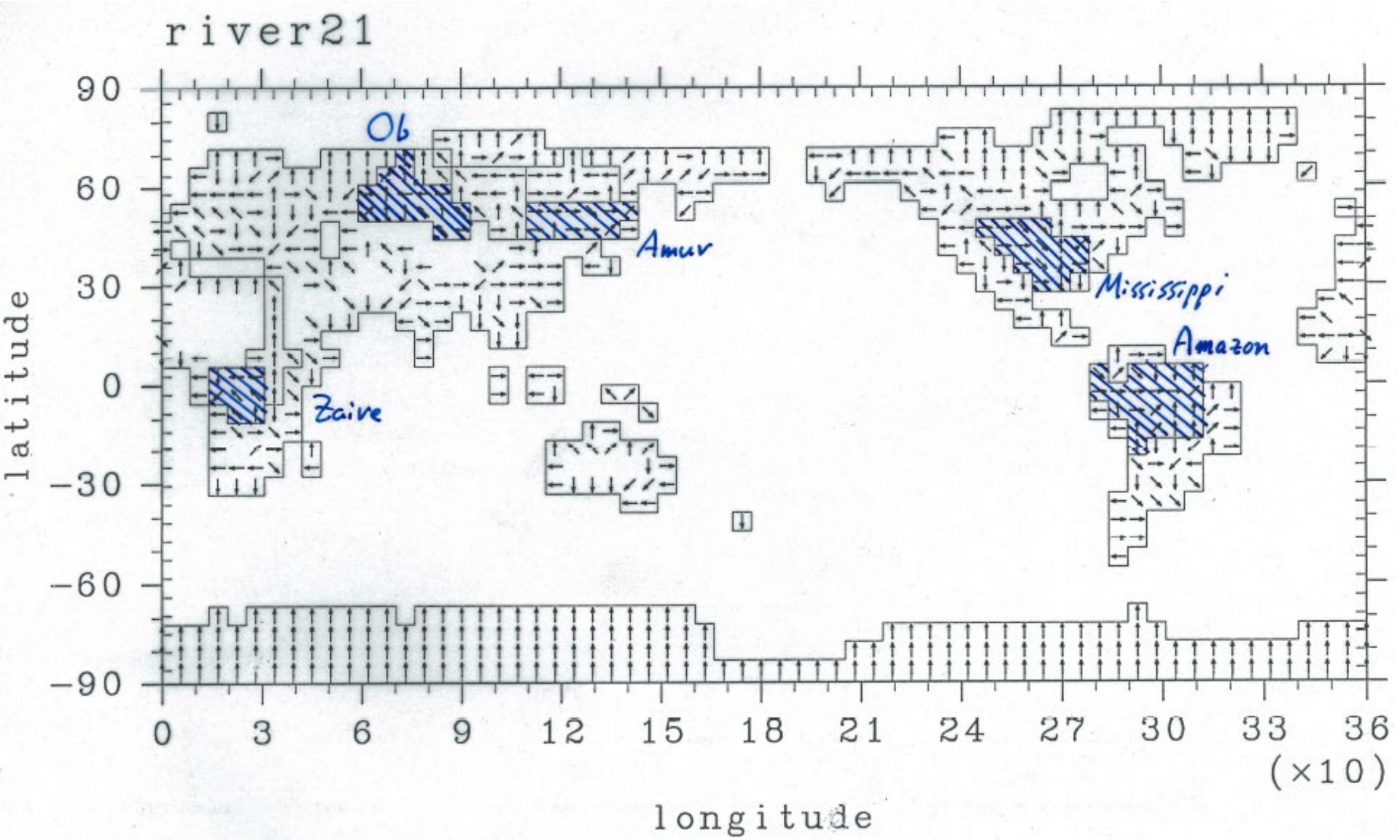
日本の保険会社の支払い金額

- 東日本大震災：　約6000億円
  （日本経済新聞記事）

- タイの大洪水2011：　約9000億円
  （金融庁調べ）

どのタイミングで挟むか難しいのですが、少しだけ研究絡みの話を

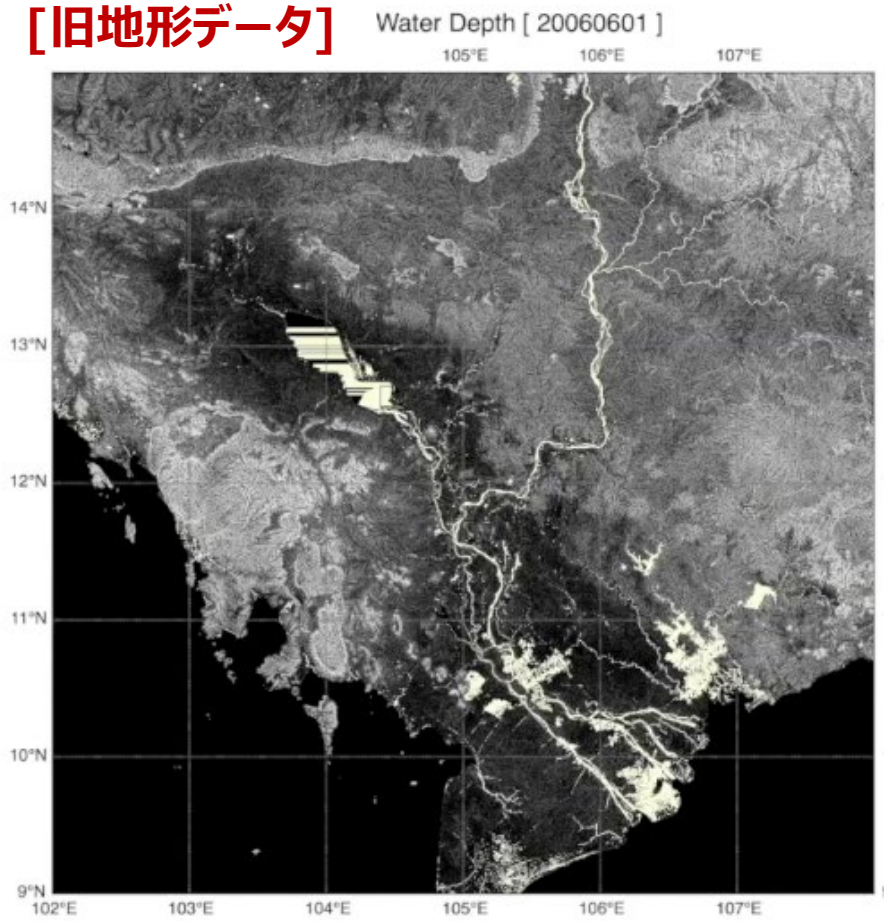
Around 1994



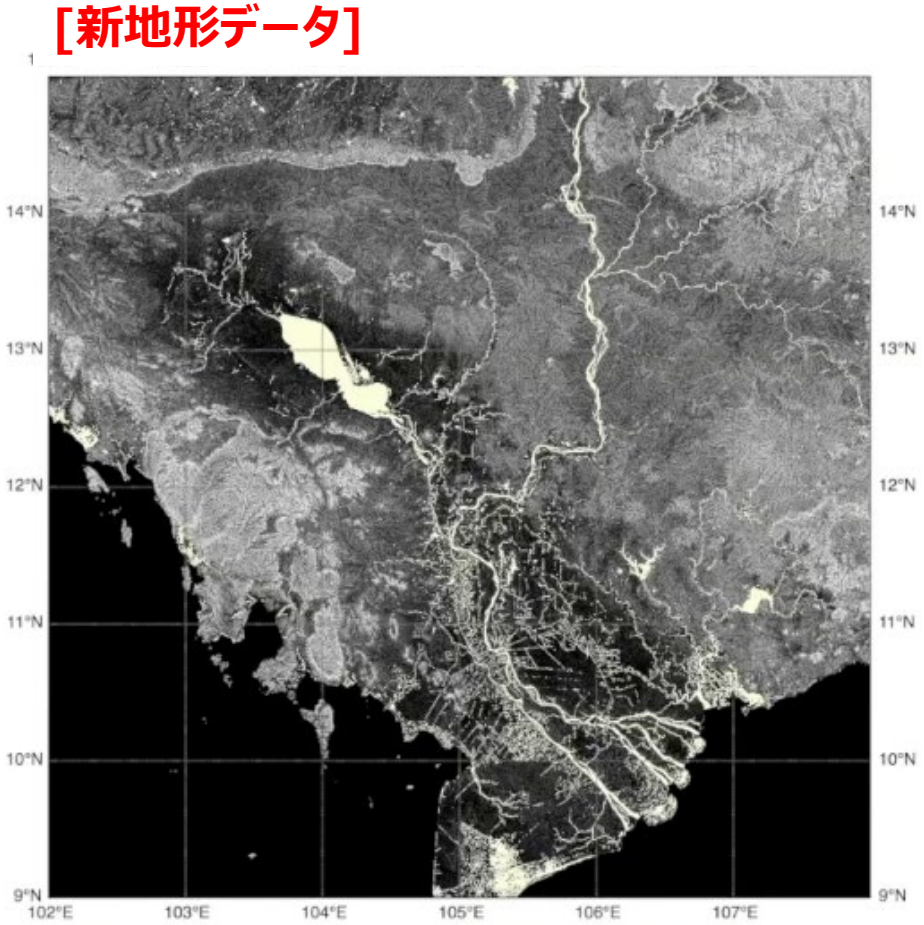
500km horizontal-resolution
global river simulation

最近の研究で使っているもの

[旧地形データ]



[新地形データ]



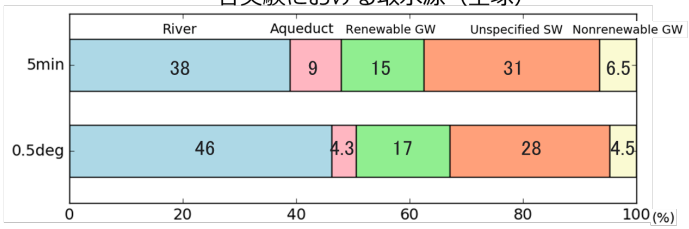
CaMa-Flood 10kmシミュレーション結果を
90mに診断的ダウンスケール（メコンデルタ）

全球水資源モデルH08を用いた高解像度全球水需給評価

【取水源構成の変化】ー各グリッド内で賄える水源が制限

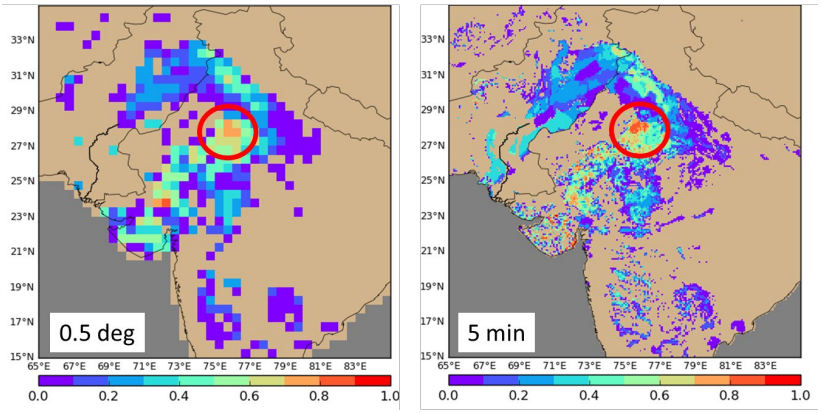
High resolution: RIV↓ReGW↓/ Aqueduct↑Unspecified↑NRGW↑

各実験における取水源（全球）

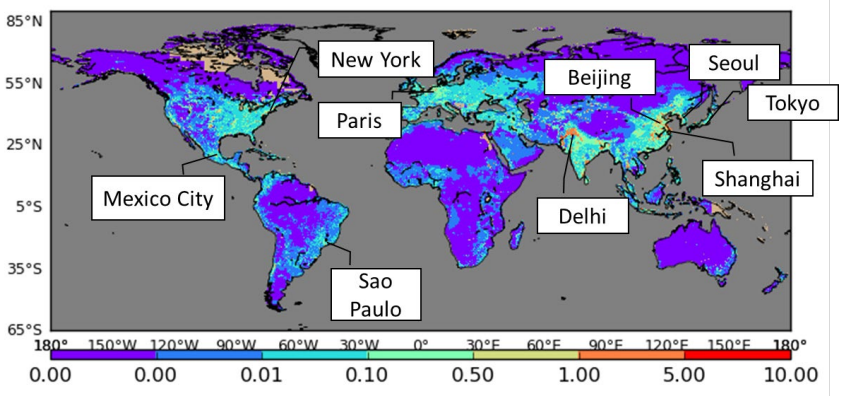


River（河川水）
Aqueduct（グリッド間導水量）
Renewable ground water（再生可能地下水）
Unspecified surface water（河川水・グリッド間導水の容量からの超過）
Nonrenewable ground water（再生可能地下水の容量からの超過）

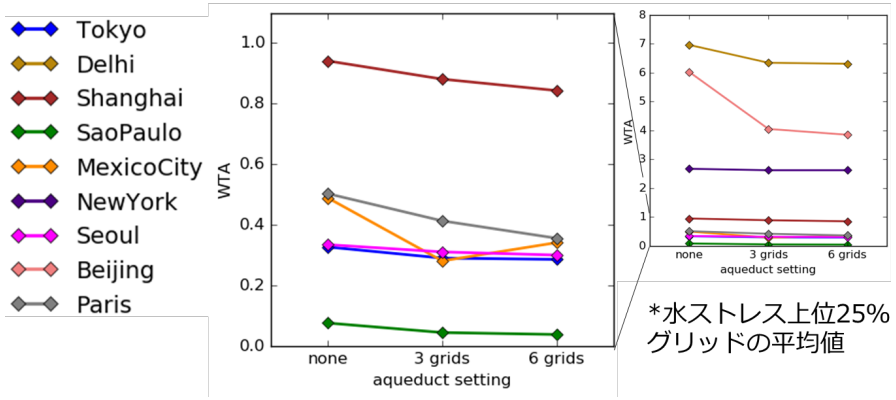
NRGWが総取水量に占める割合
(NRGW withdrawal / Total withdrawal)



【大都市での水ストレス評価】ー近隣グリッドからの水輸送の重要性



グリッド間導水各設定下のWTA (WTAc)



*水ストレス上位25%グリッドの平均値

話を戻します。
（同じところに戻るわけでもないですが）

●東京と江戸川・荒川・隅田川

＜変動帯＞

沖積氾濫原に都市が立地

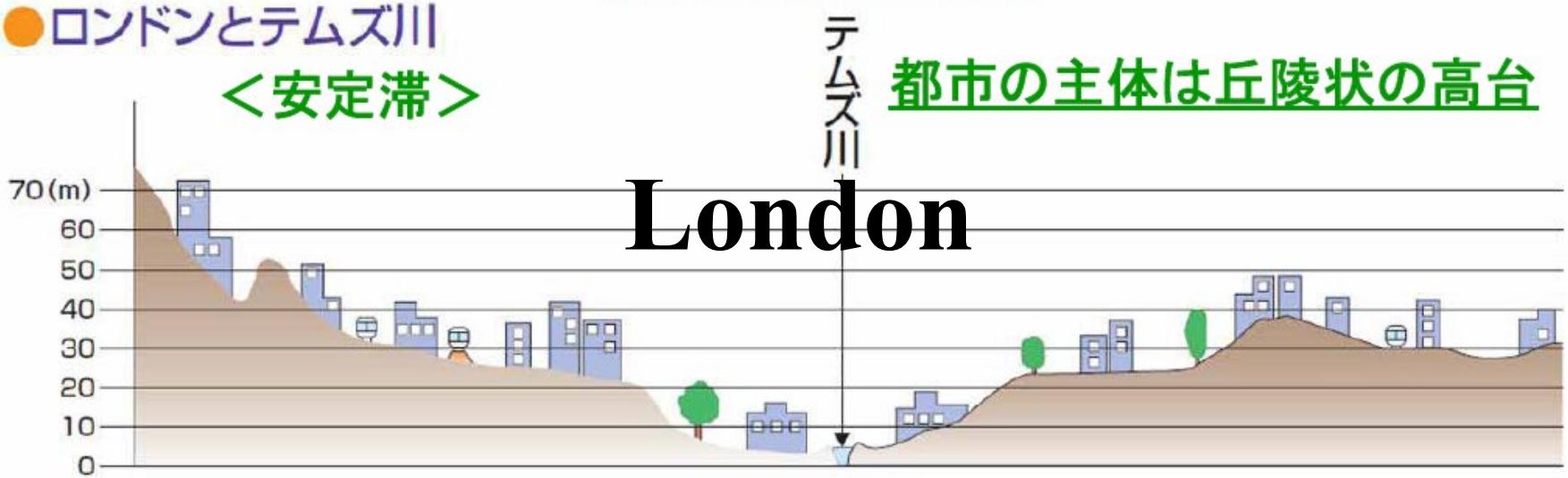
（洪積台地の浸食谷にも）

氾濫原の治水は公の責務

●ロンドンとテムズ川

＜安定滞＞

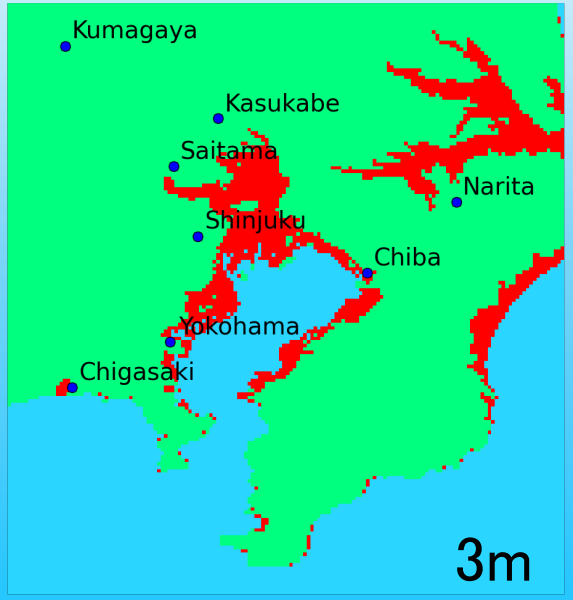
都市の主体は丘陵状の高台

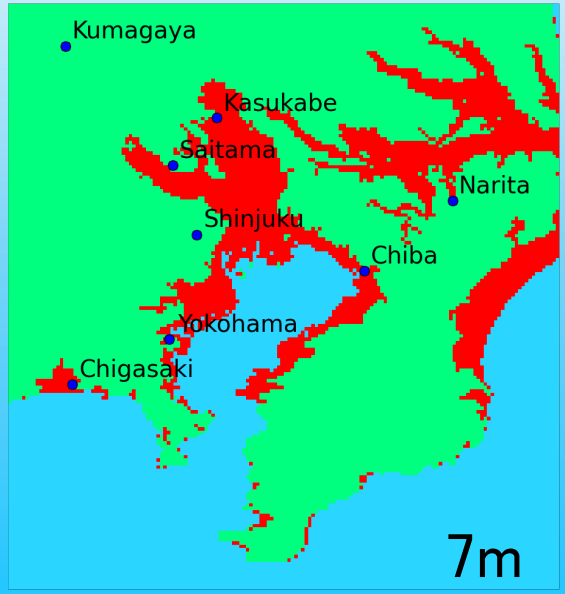


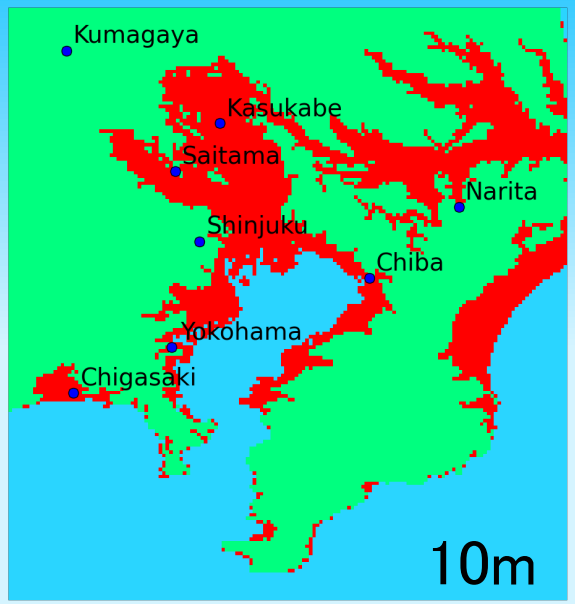
氾濫原の土地利用は自己責任（水害保険など）

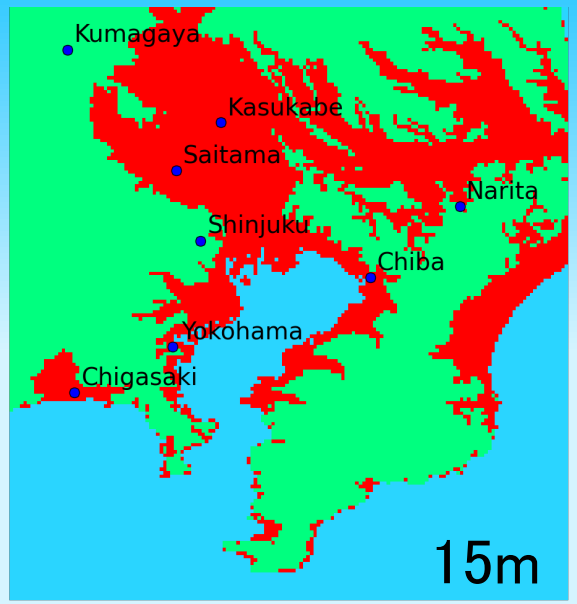
国土交通省による図に加筆されたもの

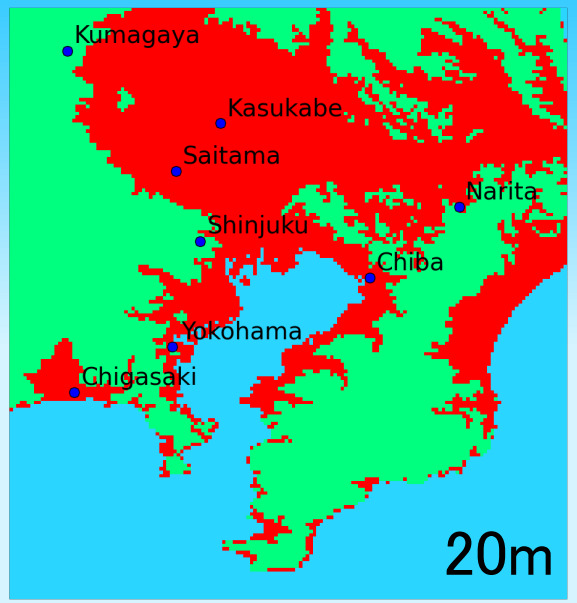
SEA LEVEL RISE AROUND TOKYO











科学の扉

「想定外」を考える

極地の氷 消えるとき

その時、何が

20××年。人類はそのスイッチを押してしまうかもしれない。今後、温室効果ガス排出が増え続け、世界の平均気温の上昇がある水準を超えてしまったら、北極圏にあるグリーンランドを覆っている氷の融解が止まらなくなり、数世代後の子孫に大きな被害がもたらされる。氷が全て解けた場合、地球の海面上昇の約7㍍分になるとされる。南極の一部では、すでに融解が止まらなくなった可能性も指摘されている。

気温上昇続けば「臨界点」超え

日本の約6倍の面積がある世界最大の島グリーンランド。大部分が北極圏にあり、陸地は、年間を通じて巨大な氷の塊の氷床や氷河に覆われている。中心部の氷の厚さは3千㍍に達する。

この巨大な氷は、内陸部から沿岸部に向けて、年に数㌔から数千㍍移動していく。沿岸まで達した後、解けたり海に切り離されたりする氷の量と、内陸に降った雪から新たに作られる氷の量が釣り合うことで、島の氷はバランスが保たれている。

だが、地球温暖化によって、バランスが崩れ始めている。2012年から現地で観測を続ける北海道大の杉山慎教授（氷河学）によると、毎年、沿岸部近くの陸上の氷の塊は1㌔、海に流入する氷河で5㌔ずつ、氷が薄くなっているという。

難しい再凍結

このまま進むとどうなるのか。世界の科学者がまとめた、国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の評価報告書は、平均気温が「臨界点」を超えるとグリーンランドの氷の消失が止まらなくなり、海面が上昇する可能性を指摘する。

東京大の河部彩子教授（気候学）によれば、氷の消失が止まらなくなる仕組みはこうだ。

①真っ白い雪と氷があると太陽光を反射して解けにくいが、気温が上がると標高が低く比較的暖かい沿岸部で氷が汚れ反射しにくくなる②解けやすくなり、沿岸部から徐々に氷の厚みが薄くなるなど、氷の消失が進む③内陸部の標高も下がってきて、気温の影響を受けやすくなって、さらに消失する――。この循環が始まると、気温の上昇が止まっても後戻りできない状態になる恐れがある。

阿部さんは、研究について「北米大陸を2万年前まで覆っていた氷床の場合、いったん解けてしまうと、解け続ける臨界点の温度よりも2～3度低くならないと再び凍り始めない結果になった」と言う。

平均気温が何度上がると「臨界点」を超えるのかはわかっていない。IPCCの報告書では、1800年代後半の工業化前に比べて1～4度ほど高くなると、現実化する可能性を挙げている。現在、すでに約1度上昇している。

グリーンランドの氷が全て解けた場合、世界の海面上昇の約7㍍分と考えられている。

東京工業大の鈴木啓悟教授（水文学）の研究室が、7㍍上昇した場合の浸水状況をシミュレーションした。その結果、関東地方では、埼玉県春日部市や千葉県成田市付近まで海水につかり、大阪や愛知付近も内陸部まで浸水した。氷が全て解けるには数千年かかると見込まれているが、標高が低い沿岸部や小さな島国は、数十㌢の海面上昇でも浸水するため、近い未来でも大きな影響が及びかねない。

「脱CO_2必要」

グリーンランドの約10倍の氷床に覆われている南極でも消失が注目されている。昨春、米国の研究者が英科学誌ネイチャーで発表した論文では、温室効果ガスの排出が変わらず続けば2500年までに15㍍以上の海面上昇が起きる可能性を指摘した。

北海道大の青木茂准教授（極域海洋学）は、「南極の氷床流出は海水温度の上昇が影響する。暖かい海水が氷床からせり出した氷を底面から解かし、氷が地盤に接する点をどんどん後退させている。西南極では後戻りできない臨界点を超えたという指摘も出ている」。

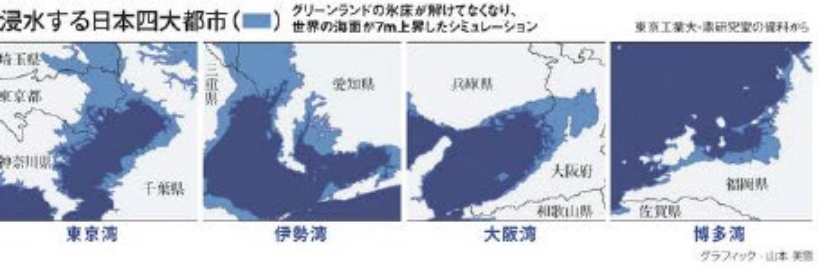
温暖化対策の国際ルール「パリ協定」では、温暖化によるさまざまな悪影響をできるだけ小さくするため、世界の平均気温上昇を工業化前に比べ2度より十分低く保ち、1・5度に抑えることを目指している。

IPCC報告書は、2度に抑えるためには工業化以降の温室効果ガス排出を累積で約3兆㌧に抑える必要があるとしている。すでに約2兆㌧が排出された。実際の気温上昇には幅があると考えられるが、いまのペースの排出ならば2度上昇まで30年もたない。

国立環境研究所の江守正多・気候変動リスク評価研究室長は、「二酸化炭素（CO_2）を出さずにエネルギーを使うことが新たな常識となるような文明の転換が必要」と話す。

臨界点を超えるスイッチを押してしまうのかどうかは、今後数十年にかかっていると言えそうだ。（神田明美）

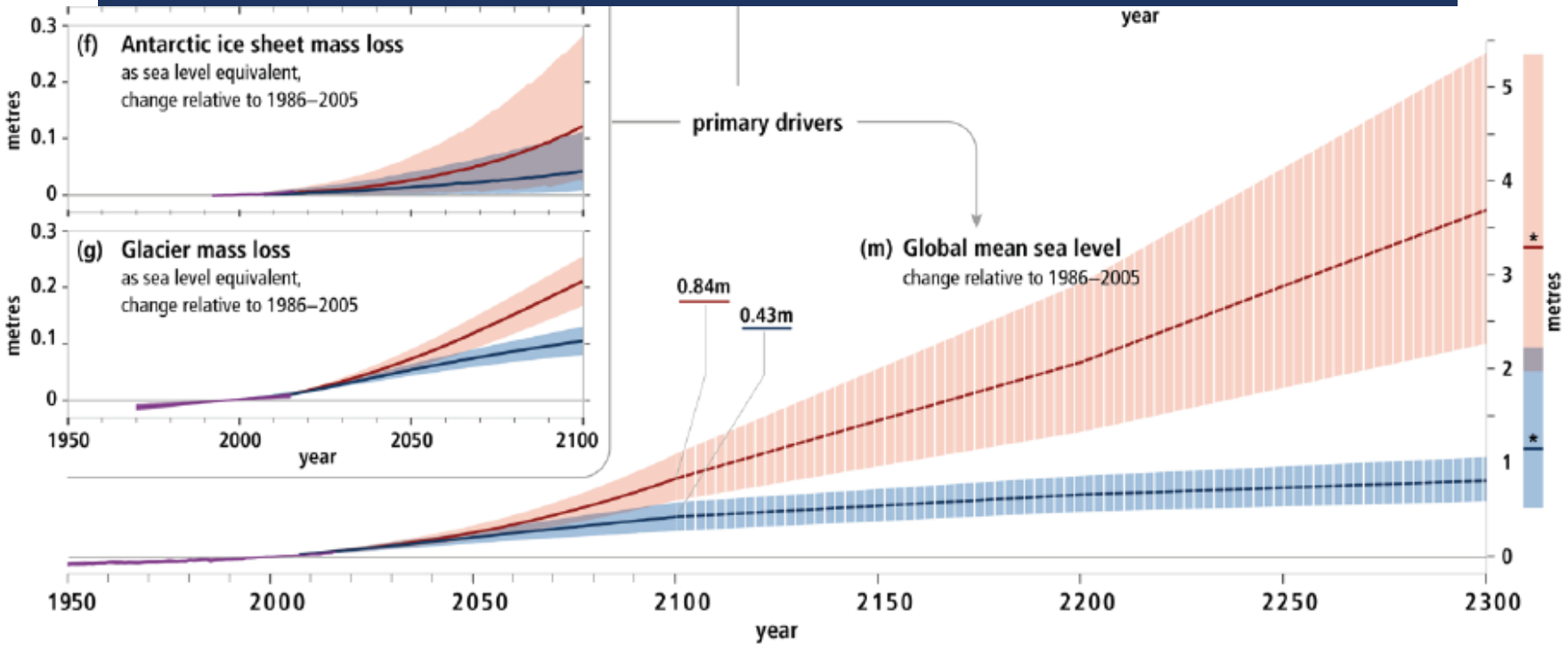
「科学の扉」は毎週日曜日に掲載します。次回は「外来種対策、三つの作戦」の予定です。ご意見・ご要望はkagaku@asahi.comへ。



ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

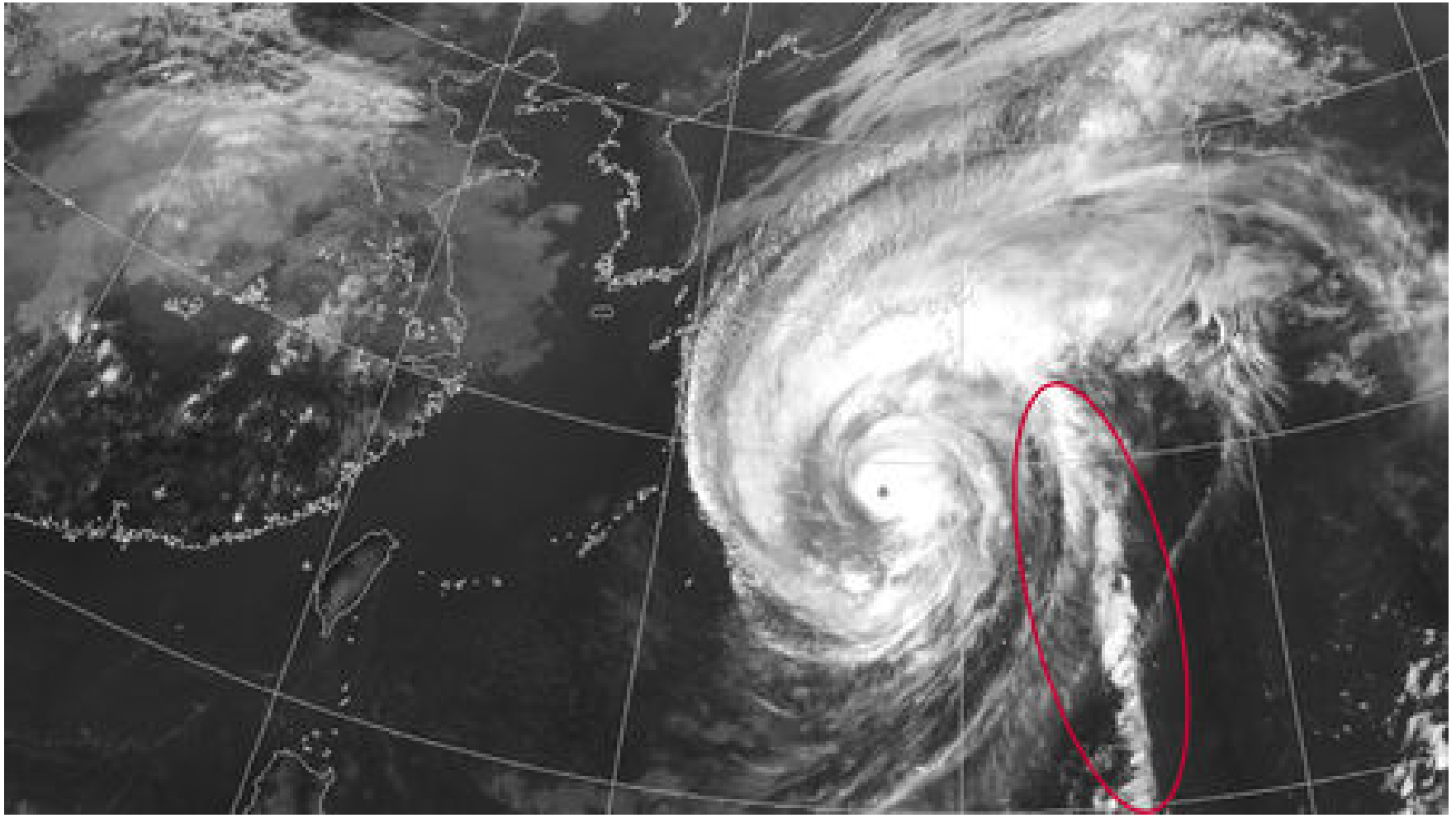
This Summary for Policymakers was formally approved at the Second Joint Session of Working Groups I and II of the IPCC and accepted by the 51th Session of the IPCC, Principality of Monaco, 24th September 2019



英国機械技術者協会.（Institution of Mechanical Engineers ; . IMechE）の2019秋のレポート

- 21世紀末までに、1m～3mの海面上昇を考えて設計せよ！

そういった目で
去年の台風を思い出してみると

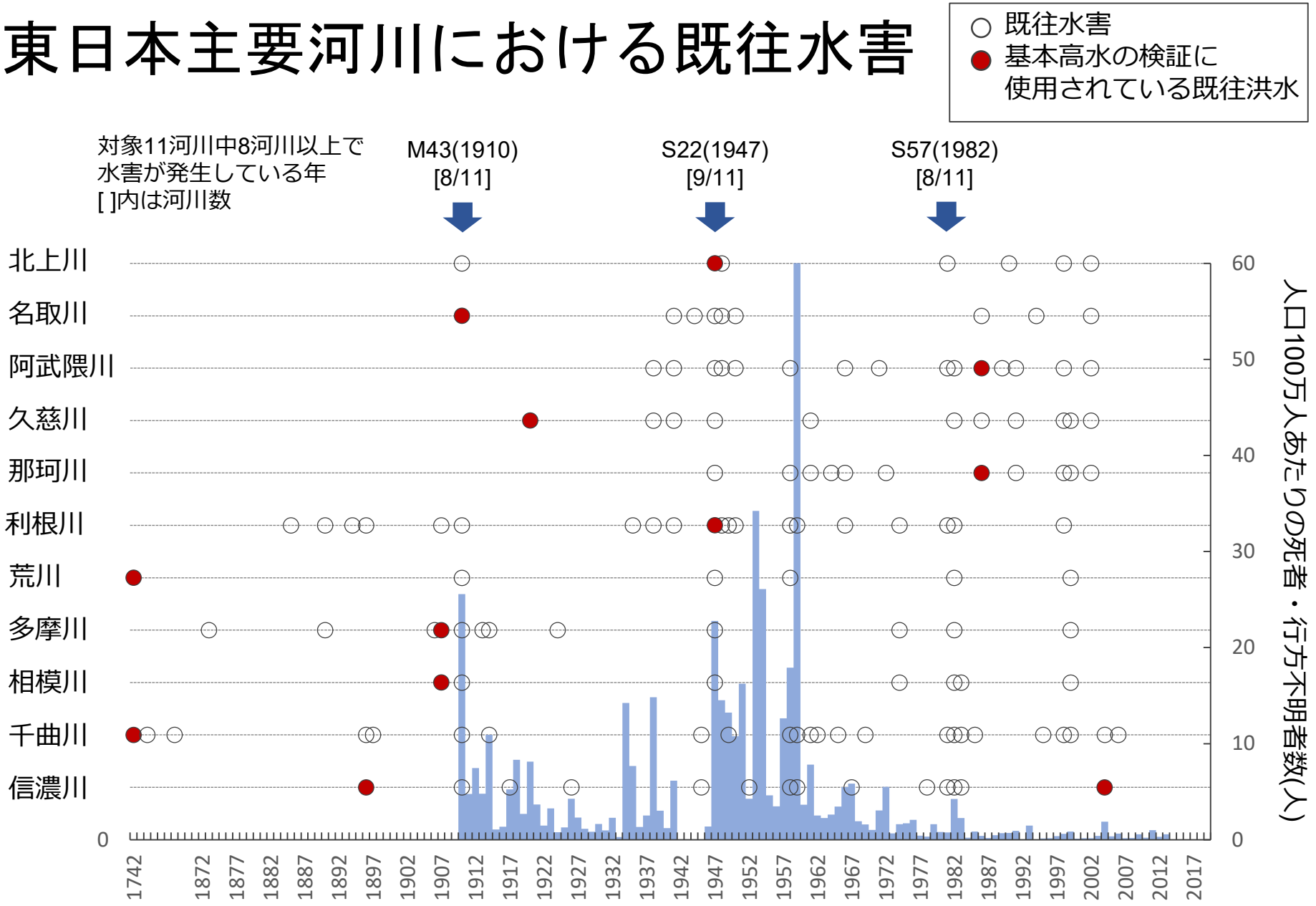


Japan's Himawari 8 meteorological satellite observed an apparent atmospheric river (circled) carrying moisture from the tropics to the northeast rim of Typhoon Hagibis

https://www.sciencemag.org/news/2019/10/deadly-typhoon-forces-japan-face-its-vulnerability-increasingly-powerful-storms

名大:中村晋一郎撮影

東日本主要河川における既往水害



※既往水害は各河川の整備基本方針（基本高水等に関する資料）を参照
※千曲川は河川事務所のホームページを参照
※死者・行方不明者数はe-Stat水害統計調査，人口は人口問題研究所を参照

中村ら「2019年台風19号による洪水被害に関する調査報告」より

ARAKAWA River, a major river near Tokyo at Akabane-Iwabuchi

②

③

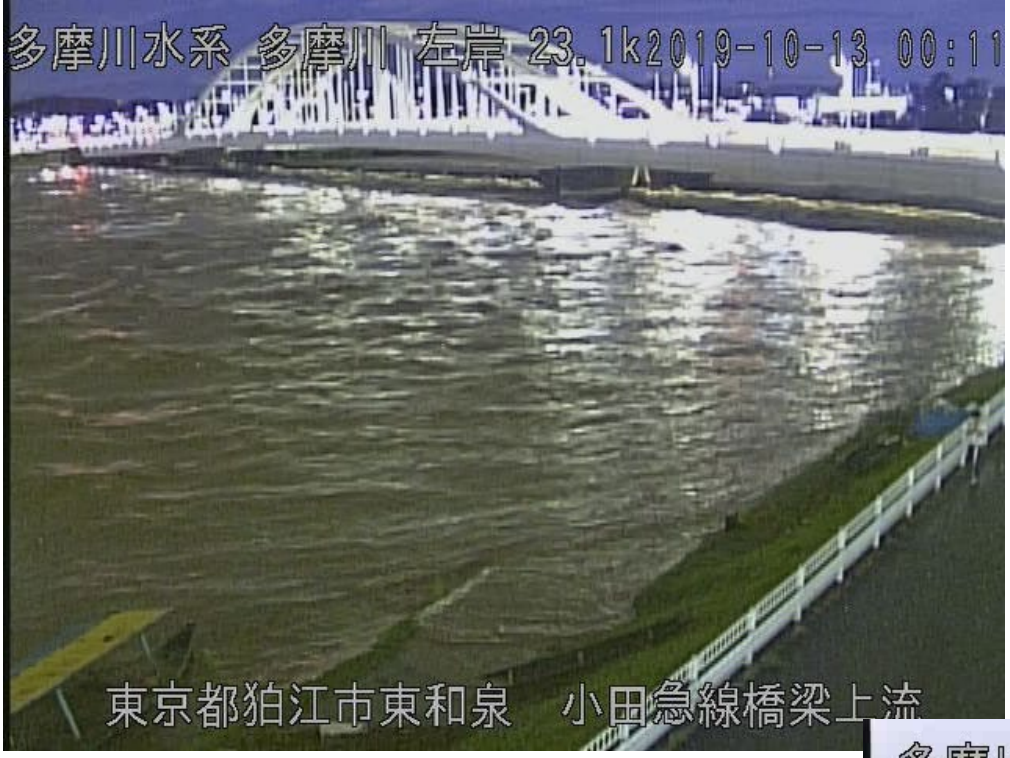
2018年11月8日

2019年10月13日

④

2019年4月11日

2019年10月13日



多摩川

（国土交通省ライブカメラをキャプチャ）

海面上昇について
忘れずに言及しないと。

ちなみに、ビル地下の
電源室のことは、
1982 長崎豪雨のときには
すでに議論されていた。
他に
- 自動車移動で巻き込まれる
- 防災部門が各所からの電話に
  忙殺される。
- 被害の全貌が分からない。

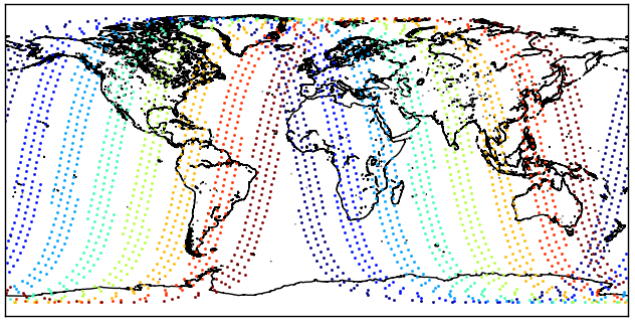
小型SAR衛星コンステレーションによる河川氾濫域の高頻度観測

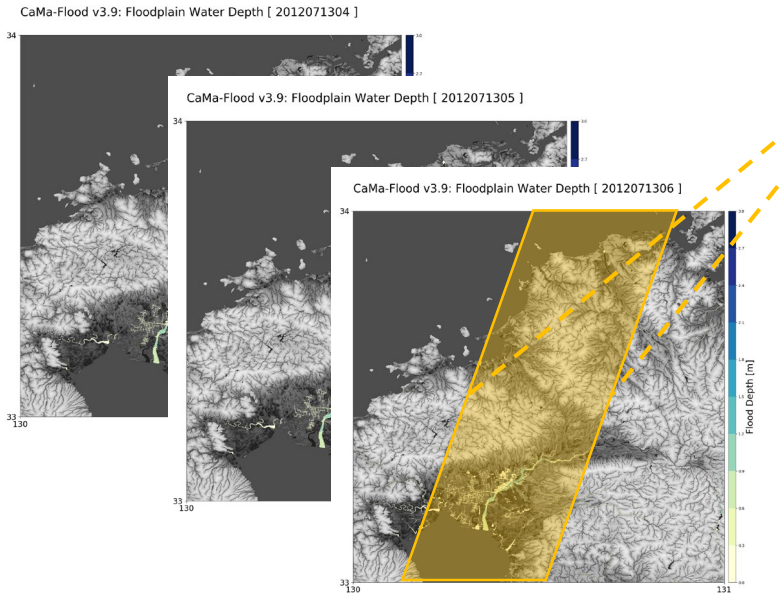
➢ 研究背景

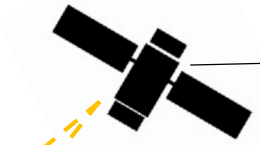
- 全天候・昼夜観測可能な合成開口レーダ(SAR)
- 現状のSAR衛星による観測機会の制約
- SAR衛星の小型化における近年の技術革新

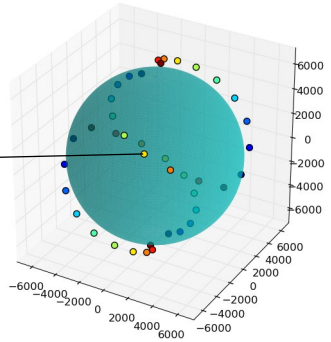
↓

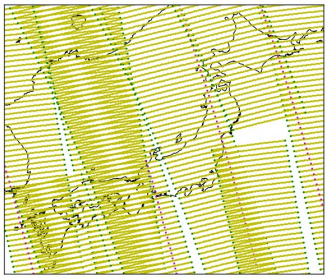
- 小型SAR衛星のコンステレーション(多衛星)運用によって河川の氾濫域が高頻度に観測できる可能性
- 災害モニタリングへの活用











➢ 研究手法

仮想衛星群の軌跡のシミュレーション

＋

全球流下モデルCaMa-Floodを用いた氾濫域の時系列変動の解析

↓

衛星コンステレーションによる氾濫域の観測挙動(約1時間間隔)

タイトルのこともありますので、
地球環境変化についての
ことを、さらに付け加えます。

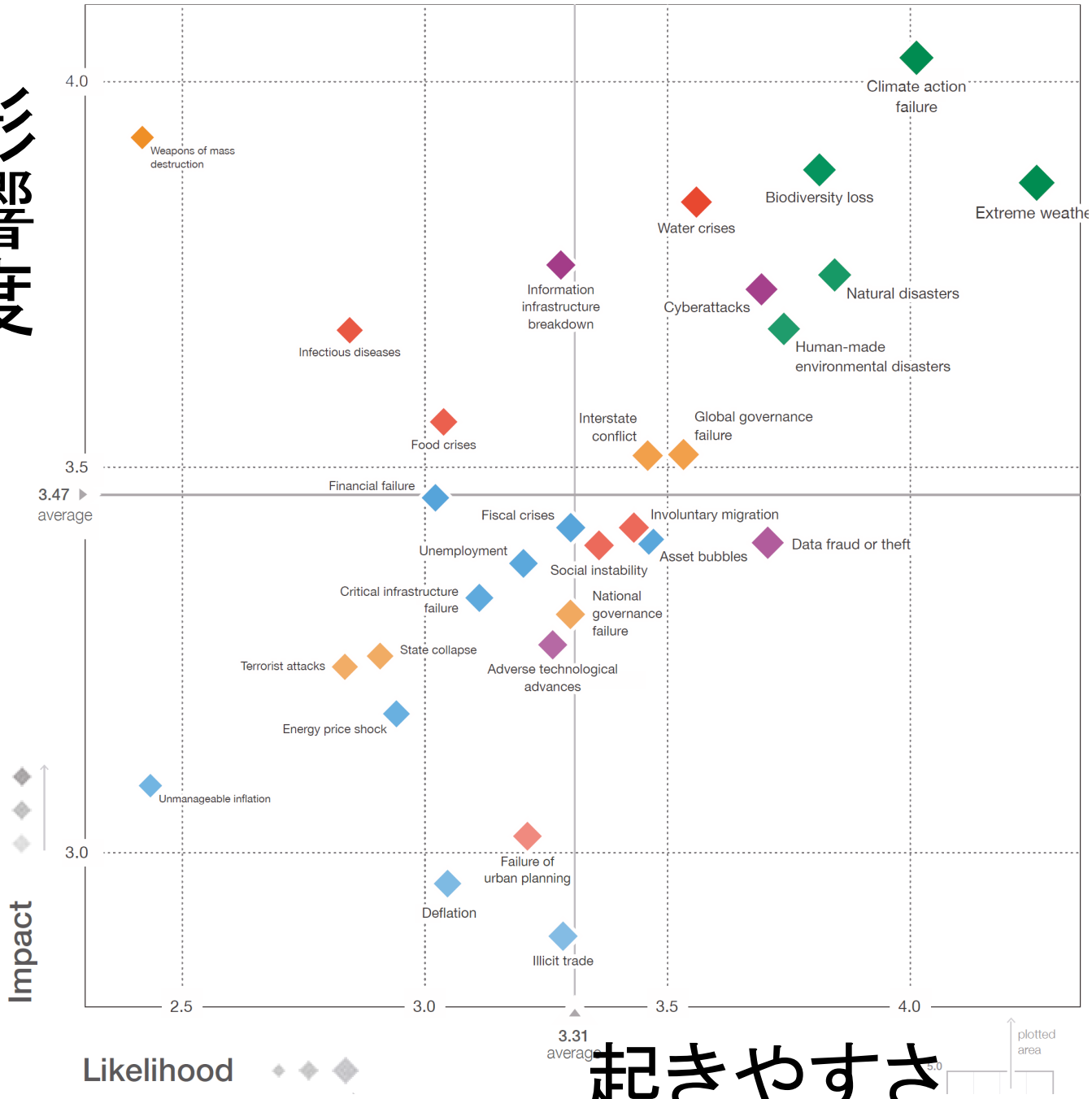
世界経済フォーラム

https://www.euronews.com/2020/01/16/davos-2020-everything-you-need-to-know-about-the-world-economic-forum

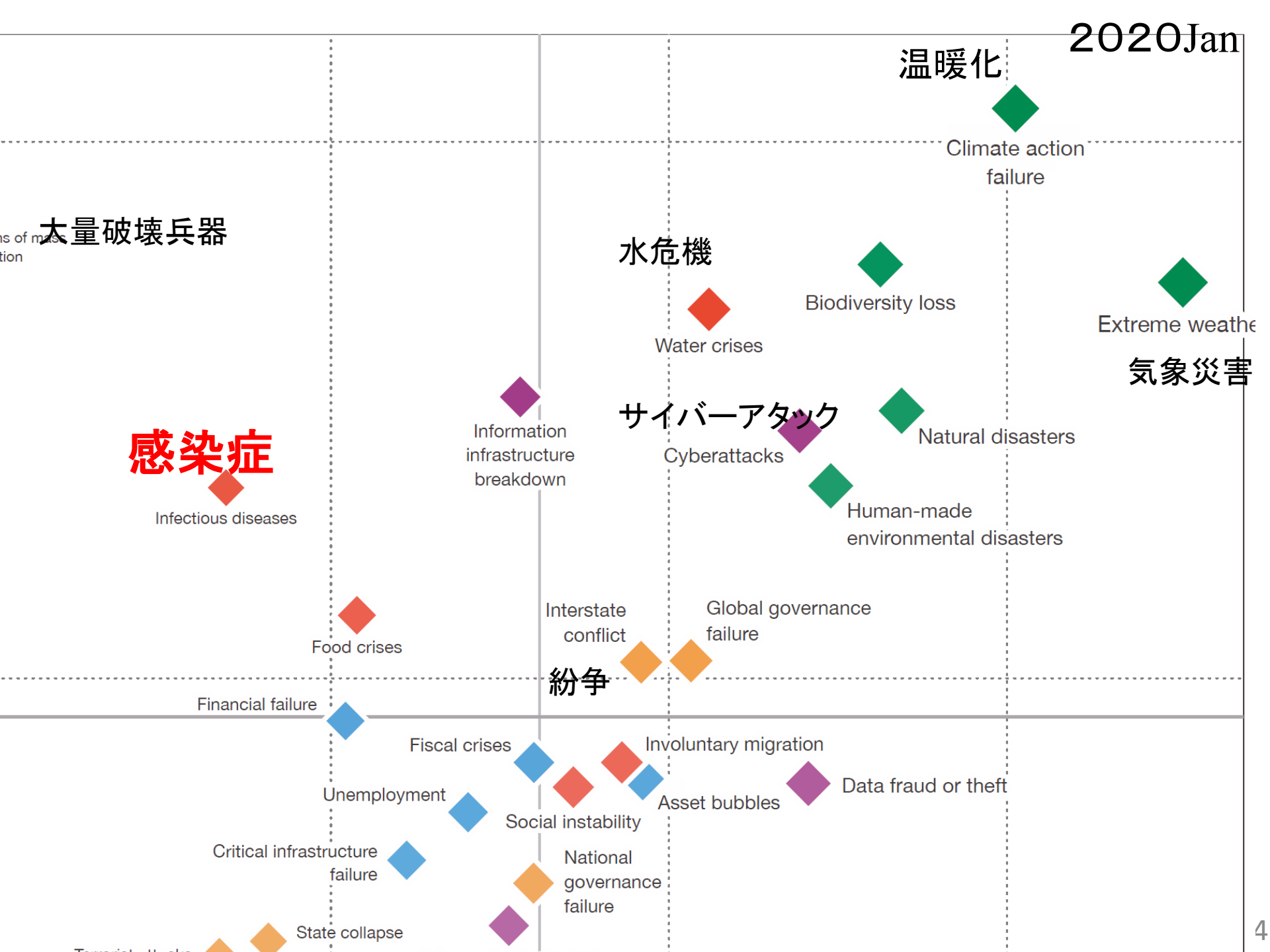
WORLD
ECONOMIC
FORUM
The Global Risks
Report 2020

2020

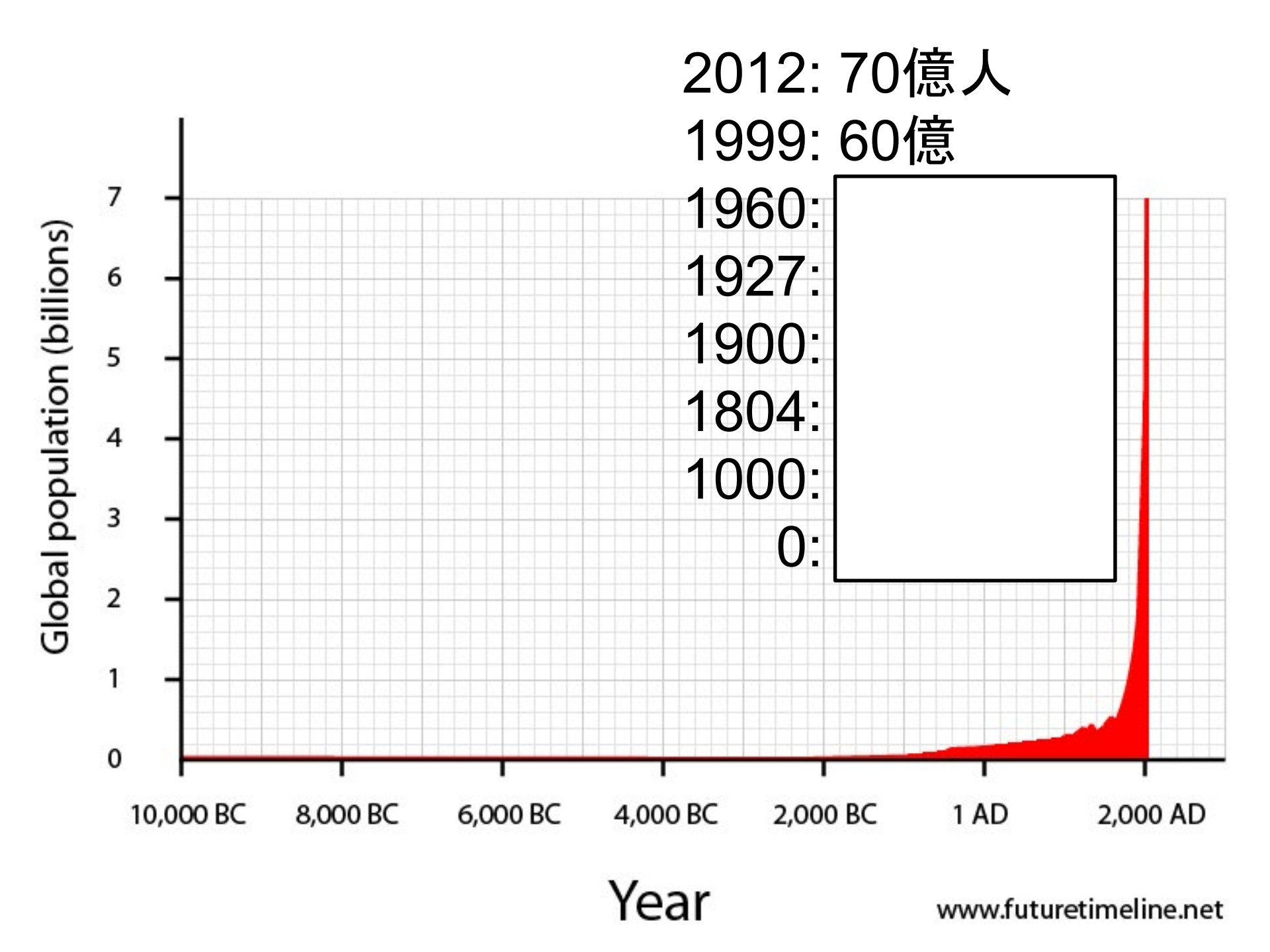
影響度



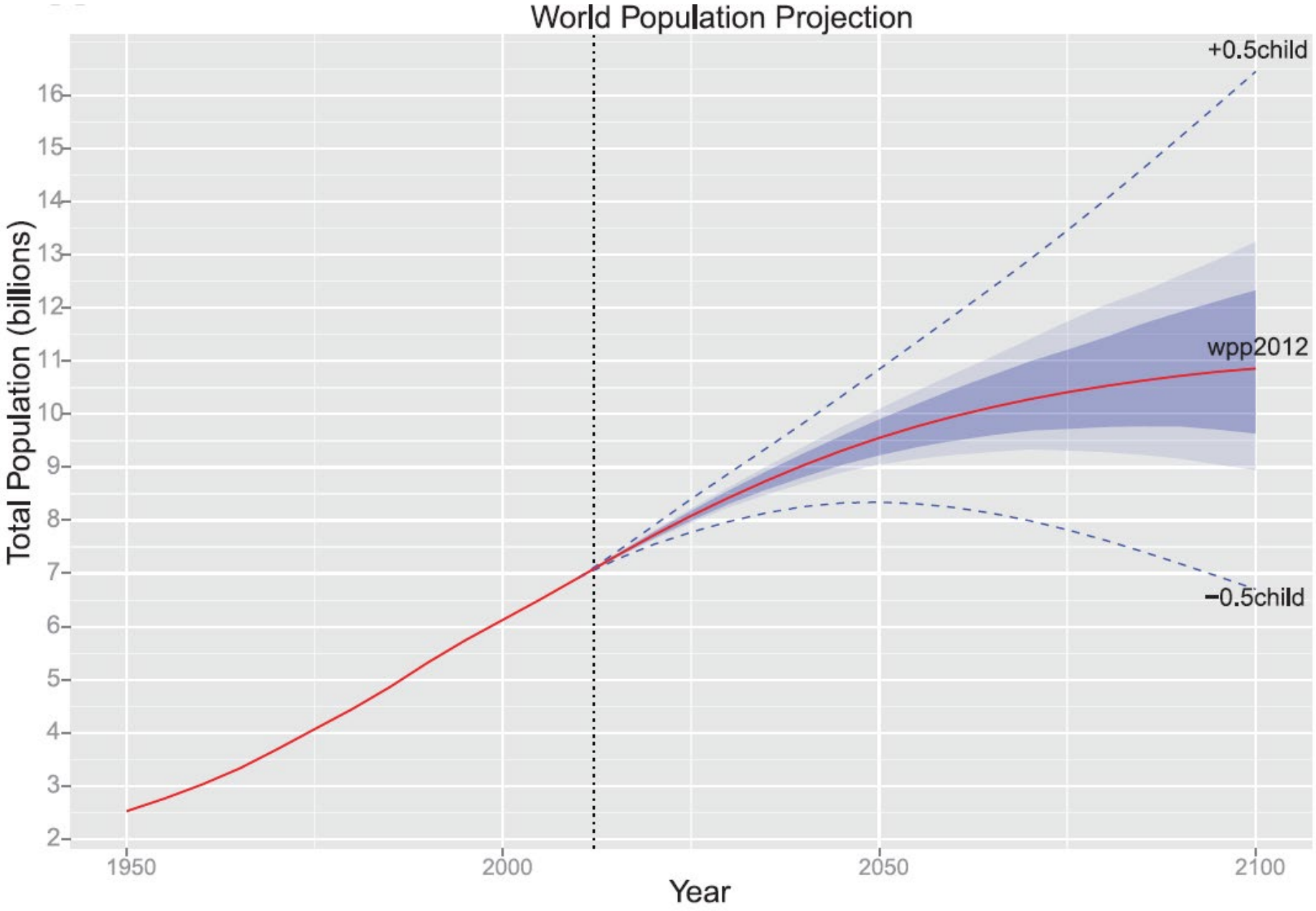
起きやすさ


2020Jan
温暖化
Climate action failure
大量破壊兵器
水危機
Biodiversity loss
Water crises
Extreme weathe
気象災害
サイバーアタック
Information infrastructure breakdown
Cyberattacks
Natural disasters
感染症
Infectious diseases
Human-made environmental disasters
Food crises
Interstate conflict
Global governance failure
紛争
Financial failure
Fiscal crises
Involuntary migration
Data fraud or theft
Unemployment
Asset bubbles
Social instability
Critical infrastructure failure
National governance failure
State collapse

とくに人口について


2012: 70億人
1999: 60億
1960:
1927:
1900:
1804:
1000:
0:
Global population (billions)
0
1
2
3
4
5
6
7
10,000 BC
8,000 BC
6,000 BC
4,000 BC
2,000 BC
1 AD
2,000 AD
Year
www.futuretimeline.net

今後の人口



Source: Gerland et al. (2015), その時点での最新の国連人口予測に基づく

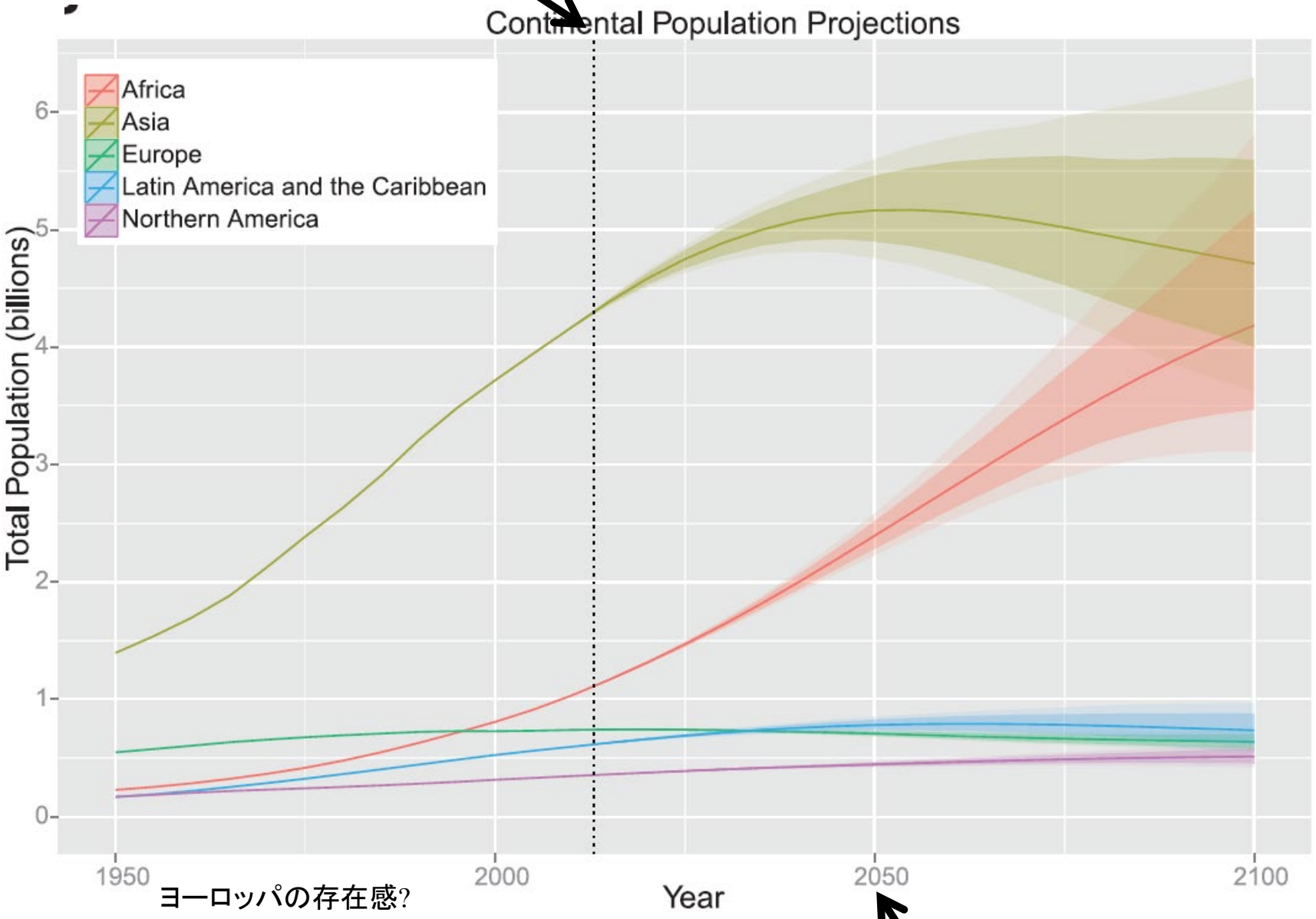
人口 2019年6月のニュース

- 世界人口、**2050年には97億人**に 国連予測
- 【6月18日 AFP】国連（UN）の経済社会局（DESA）は17日、現在77億人の世界人口が、2050年には97億人に達するとの見通しを明らかにした。サハラ以南アフリカの人口は現在の2倍に増えると予想されている。
- 国連の報告書「世界人口予測（World Population Prospects）」最新版によると、世界人口はさらに**2100年までに110億人**に達するという。

アジア、ヨーロッパ、
北米、ラテンアメリカ、アフリカ
の中で、

1950年の人口１位、２位、３位は?
2050年の人口１位、２位、３位は?

この縦棒を仮想的に動かしてみると面白いかもしれません

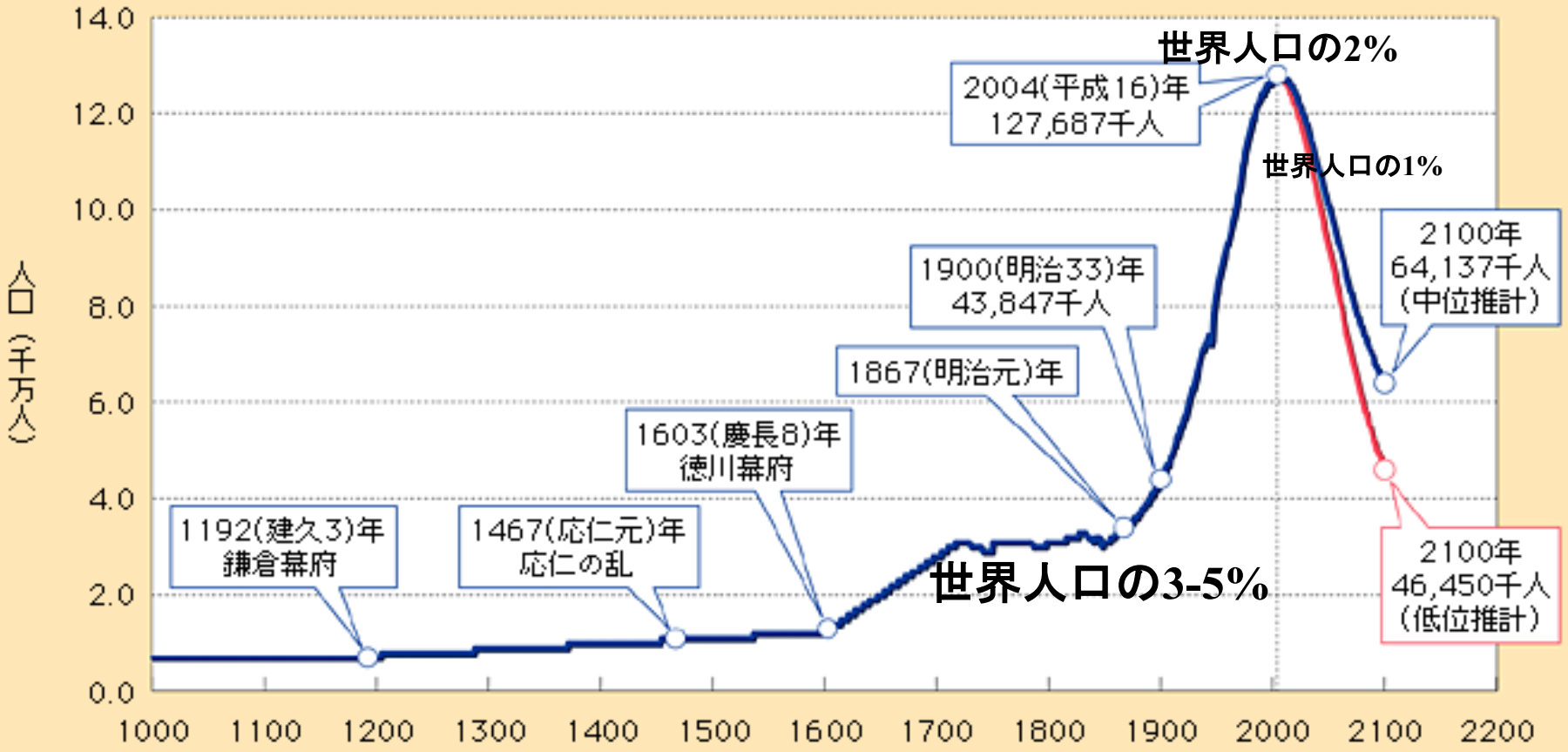


ヨーロッパの存在感?

かなり無事に生きても、私はこのあたりで御陀仏
でも、インフラはもっと先まで功罪を継続!?

Gerland et al. (2015)

日本



資料： 1872年以前は、鬼頭宏「人口から読む日本の歴史」講談社（2000年）、森田優三「人口増加の分析」日本評論社（1944年）による。1872年から2004年までは総務省統計局「国勢調査」、「10月1日現在推計人口」による。2005年以降は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成14年1月推計）」。

注： 推計値のうち、2051年から2100年までは参考推計。

http://www8.cao.go.jp/shoushi/whitepaper/w-2005/17WebHonpen/html/h1130030.html

http://www.chikyu.ac.jp/future_earth/events/20140501/U07-12.pdf

および沖教授の資料より

最近の環境破壊はケシカラン!!??

歌川広重　東海道五拾三次
日坂 佐夜ノ中山
にっさか　さよのなかやま

Urbanisation and the rise of the megacity; The Economistより

世界の1000万都市

1950： 東京、ニューヨーク
1980： 東京、ニューヨーク、大阪、メキシコシティ、サンパウロ
2020： 20以上の都市

1000年前の大都市

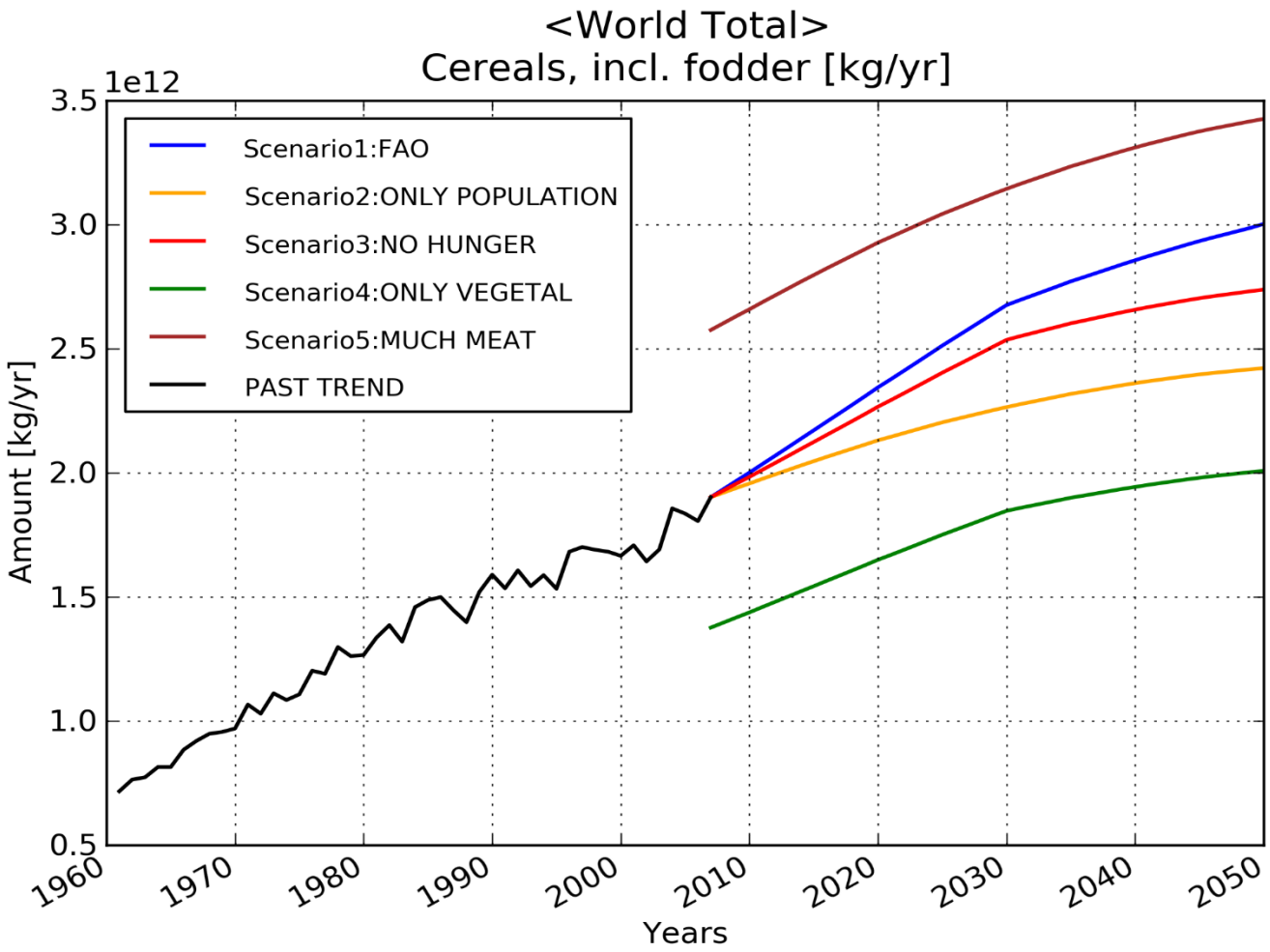
順位	都市名（現在属する国）	人口
1位	コルドバ（スペイン）	45万人
2位	開封（中国）	40万人
3位	コンスタンチノープル（トルコ）	30万人
4位	アンコール（カンボジア）	20万人
5位	京都（日本）	18万人
6位	カイロ（エジプト）	14万人
7位	バグダッド（イラク）	13万人
8位	ニーシャープール（イラン）	13万人
9位	ハサ（サウジアラビア）	11万人
10位	アンヒルバーダ（インド）	10万人

https://www.itmedia.co.jp/makoto/articles/1205/28/news004.html

出典：Tertius Chandler, Four Thousand Years of Urban Grwoth, An Historical Census、1987年

10年前の卒論から

How much food do we need?



みんなが肉食なら

Population only

みんなが
ベジタリアンなら

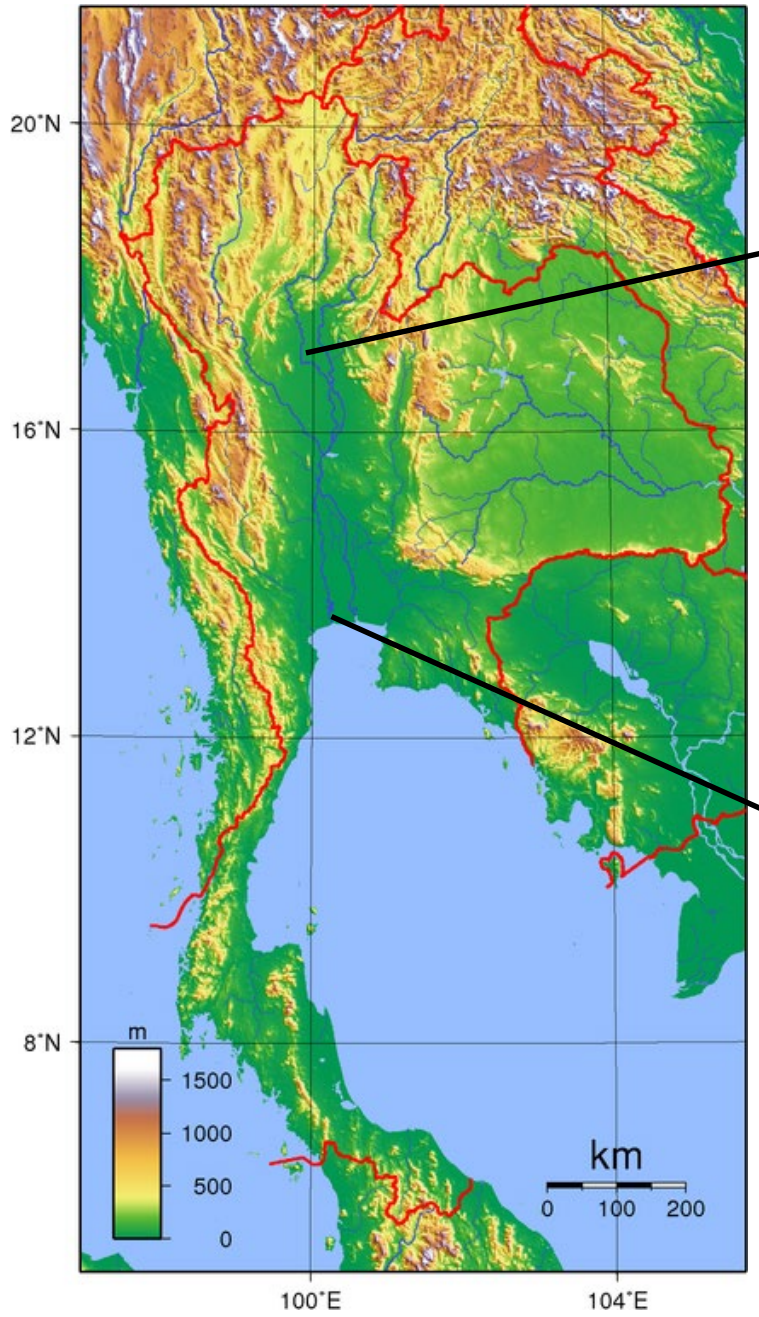
持続的発展／開発
ブルントラント委員会「Our Common Future」（通称、ブルントラント報告）

- UNの委員会とその報告書（**1987年**）。Sustainable Developmentを謳う。
- 世代間公平＝将来世代が人間らしい生活ができるように、生態系を破壊せず、地球の収容能力範囲内に生産・消費・廃棄を収める。
- 世代内公平＝現世代内でもすべての人が人間らしい生活ができるように貧困問題、南北格差を解決。

おわりに

- 自身の研究や研究分野にまつわること、それらに関連付けて地球環境の変化のことをお話しさせていただきました。
- とくに結論はございませんが、このポジションからの視点をパネルディスカッションの方で述べさせていただきます。

予備スライド



~500km

GISTDA:http://203.150.230.27/FloodMap/index.html

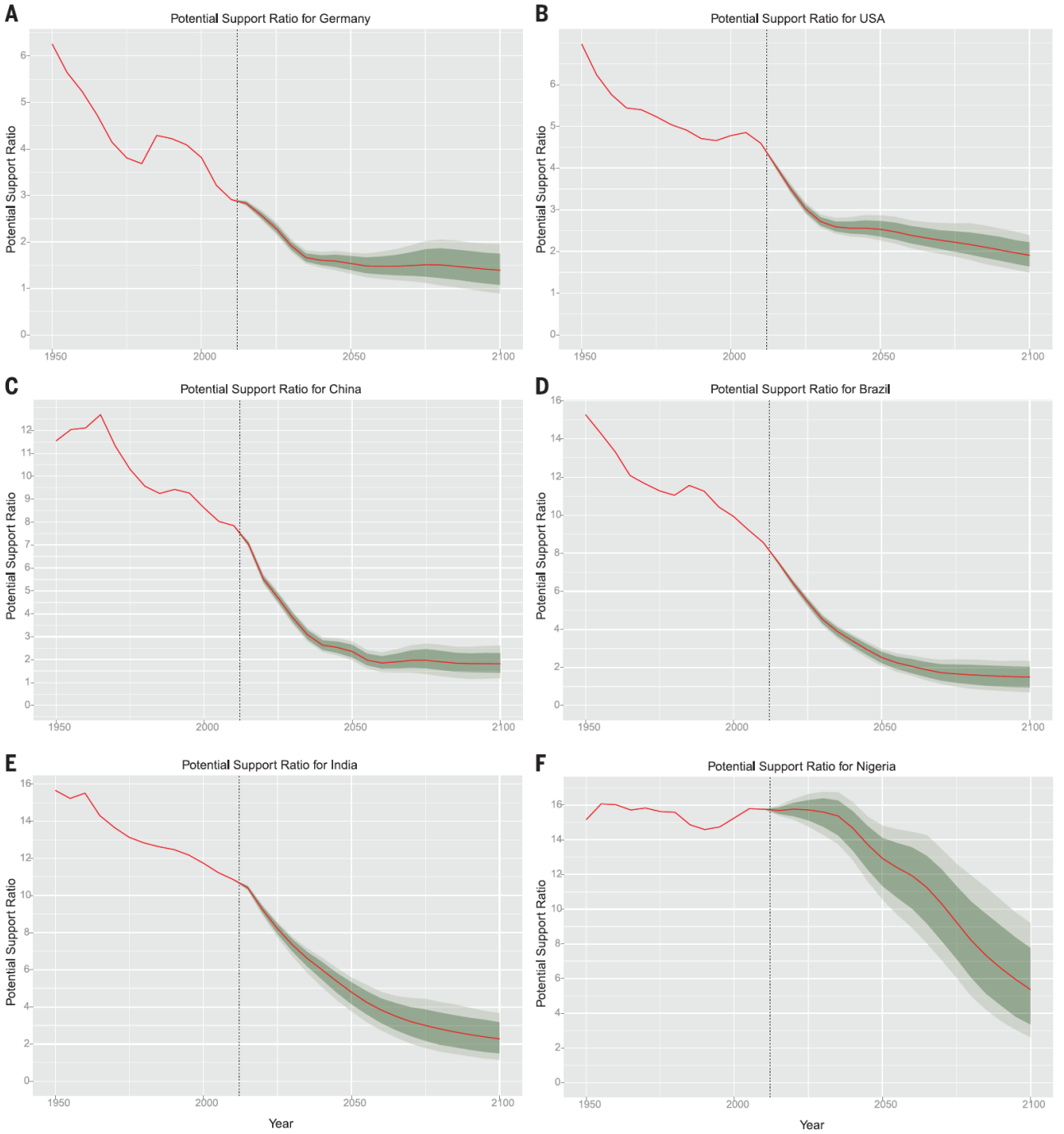
as of October 19

少々見にくいですが

世界も高齢化社会に

20歳～65歳
÷ 65歳以上

日本は2050年頃
この値が1.1-1.2



Gerland et al. (2015)

Fig. 3. PSR by country. (**A** to **F**) UN projections of PSRs, equal to the number of people aged 20 to 64 divided by the number of people aged 65 or over (solid red lines), with 80% PI (dark shaded areas) and 95% PI (light shaded areas) shown. In all panels, the vertical dashed line denotes 2012.

2020年1月の世界経済フォーラム開催時のニュース例

- 世界最大の資産運用会社が「ポートフォリオ構築で環境問題を重視する」と宣言。
  ESG評価の高い企業に重点的に投資する…
  （最近の日経新聞より）

- マイクロソフトが「2030年までに「カーボンネガティブ（排出するよりも多くのCO_2を除去する）を実現する！」と。

ごく最近のニュース

- 温暖化ガス排出、2050年に実質ゼロ　菅首相が表明へ　（2020年10月21日　日経新聞）
- ■26日、就任後初の所信演説で方針を示す
- ■EUが既に掲げた目標を日本もようやく追いかける
- ■高い基準の達成に日本企業も厳しい対応を迫られる

別の昨日（2020年10月28日）のニュース

中国、2035年全て環境車に　通常のガソリン車は全廃

大正時代の多摩川源流
（東京都水道局HPより）