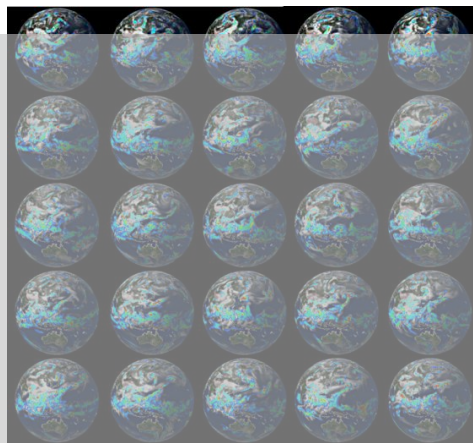


豪雨と気候変動の関係を探る イベント・アトリビューション

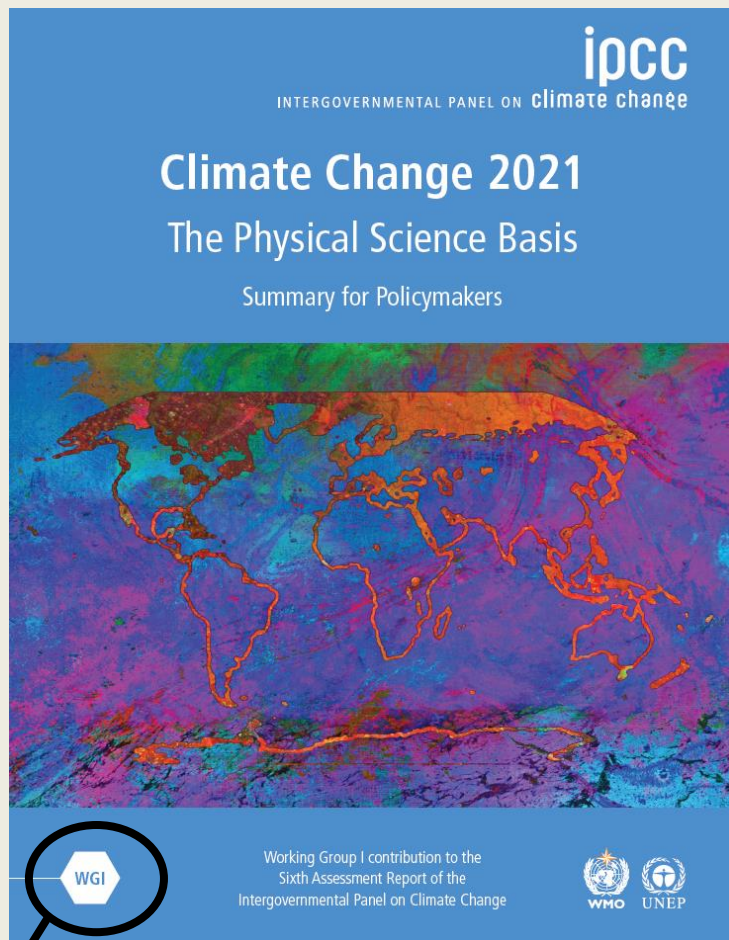


今田由紀子

(気象庁気象研究所 気候・環境研究部 主任研究官)

共同研究者: 川瀬宏明(気象研)

国連気候変動に関する政府間パネル(IPCC) 第6次評価報告書(AR6)が2021年8月に受諾



IPCC AR6 SPM (政策決定者向け要約)

第一作業部会(WG1) = 自然科学的根拠

WG2 = 影響・適応・脆弱性、 WG3 = 気候変動の緩和

人間の**影響**が大気、海洋及び陸域を**温暖化**させてきたことには**疑う余地がない**。

大気、海洋、雪氷圏及び生物圏において、**広範囲かつ急速な変化**が現れている。

人為起源の気候変動は、世界中の全ての地域で、多くの気象及び気候の**極端現象**に既に**影響**を及ぼしている。

イベント・アトリビューション

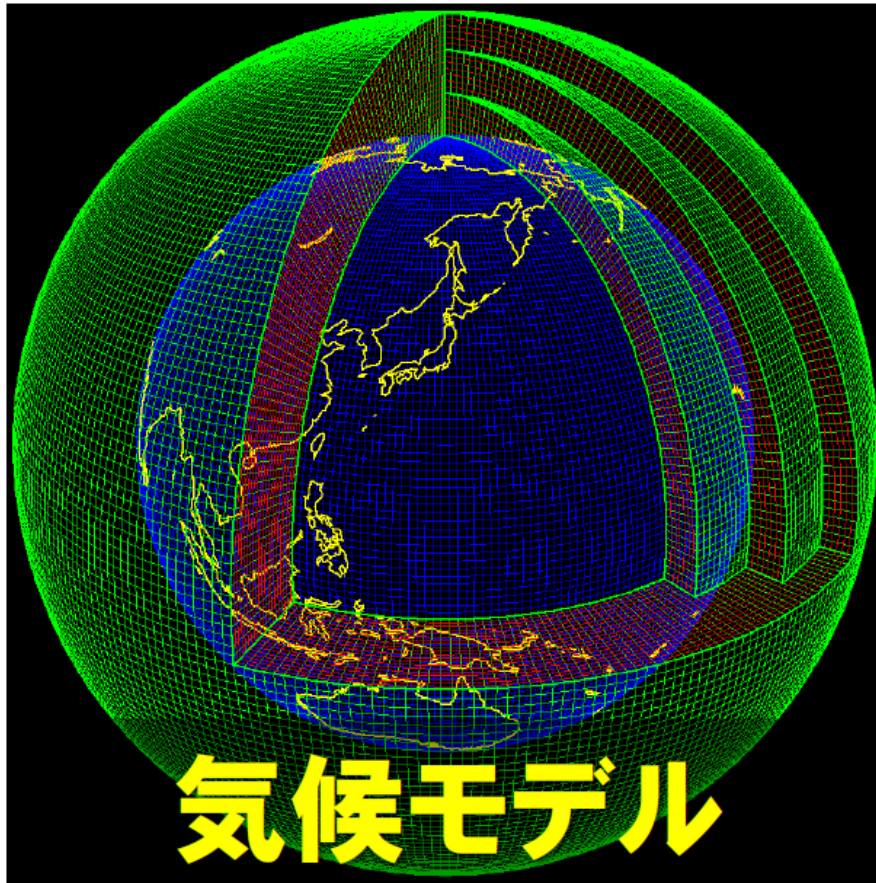
向こう数十年の間に温室効果ガスの排出が**大幅に減少しない限り**、21世紀中に、工業化前から**1.5°C / 2°C以上**上がる。

極端な高温や大雨の増加、強い熱帯低気圧の割合が増加、並びに**北極域の海水の縮小**などが今後も進む。

気候モデルとは？



Syukuro Manabe,
USA

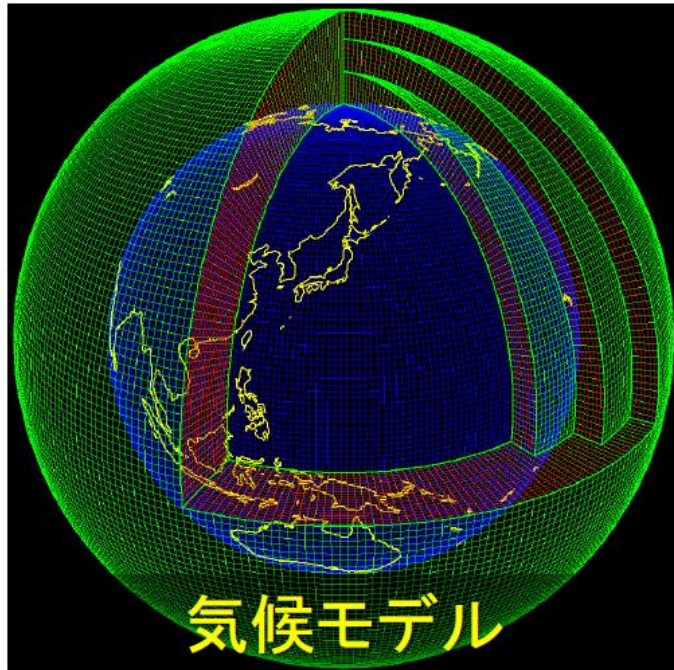


- ・ 大気と海を「**格子**」で分割。
- ・ **物理法則**をもとに計算。
- ・ 日々の天気予報で使っている**数値モデル**とほぼ同じ

気候モデルの仕組み



Syukuro Manabe,
USA



大気の流れを解く方程式

運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \omega \frac{\partial u}{\partial p} - fv + \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \omega \frac{\partial v}{\partial p} + fu + \frac{\partial \phi}{\partial y} = 0$$

静力学平衡の式

$$\frac{\partial \phi}{\partial p} = -\frac{1}{\rho} = \alpha$$

質量保存則(連続の式)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0$$

熱力学の第1法則
(エネルギー保存の法則)

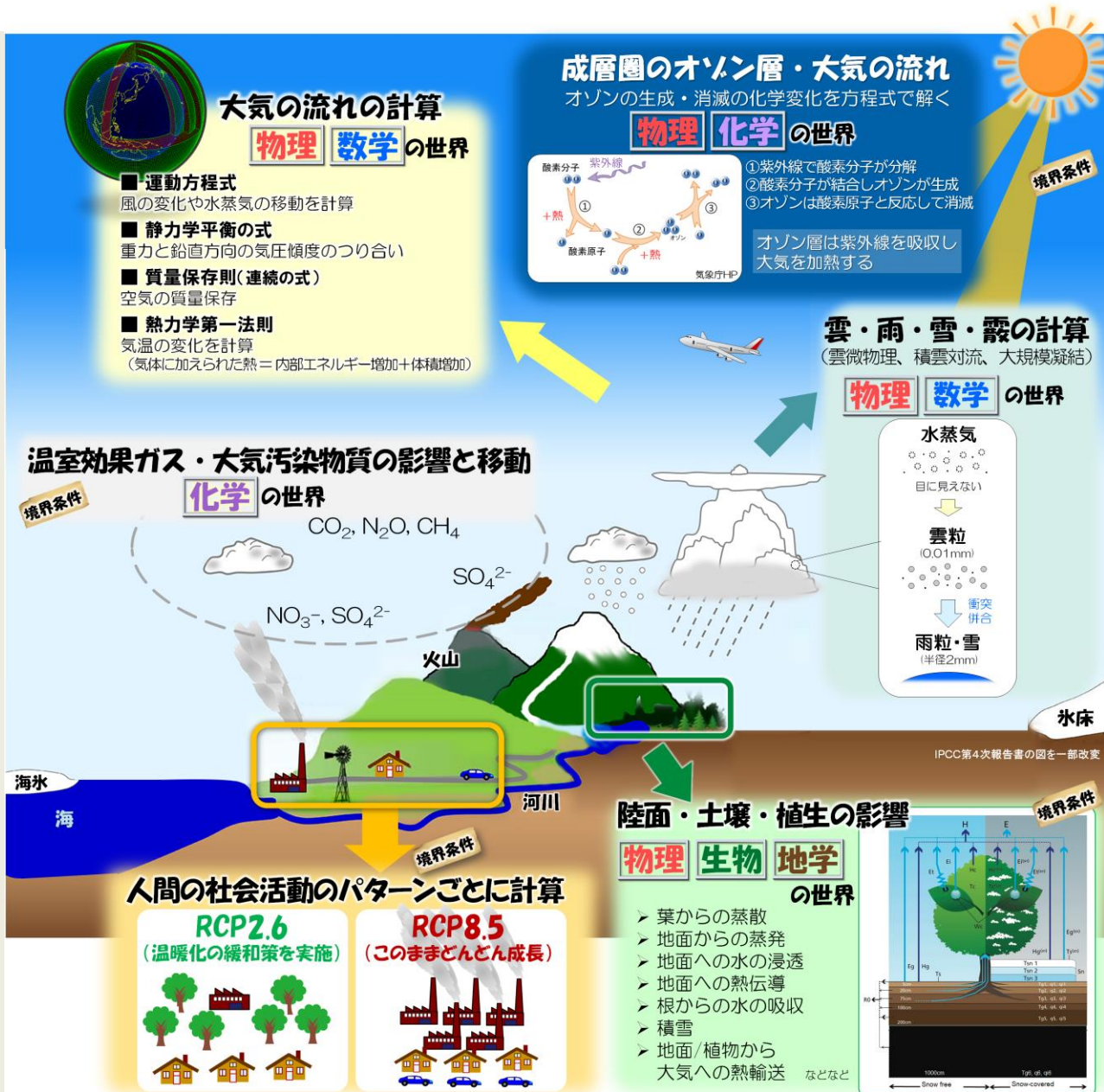
$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta}{C_p T} \dot{Q}$$

$$\alpha = \frac{\theta R_d}{p} \left(\frac{p}{p_{00}} \right)^{R_d/C_p}$$

※変数 $u, v, \omega, \phi, \theta, \alpha$ の連立方程式

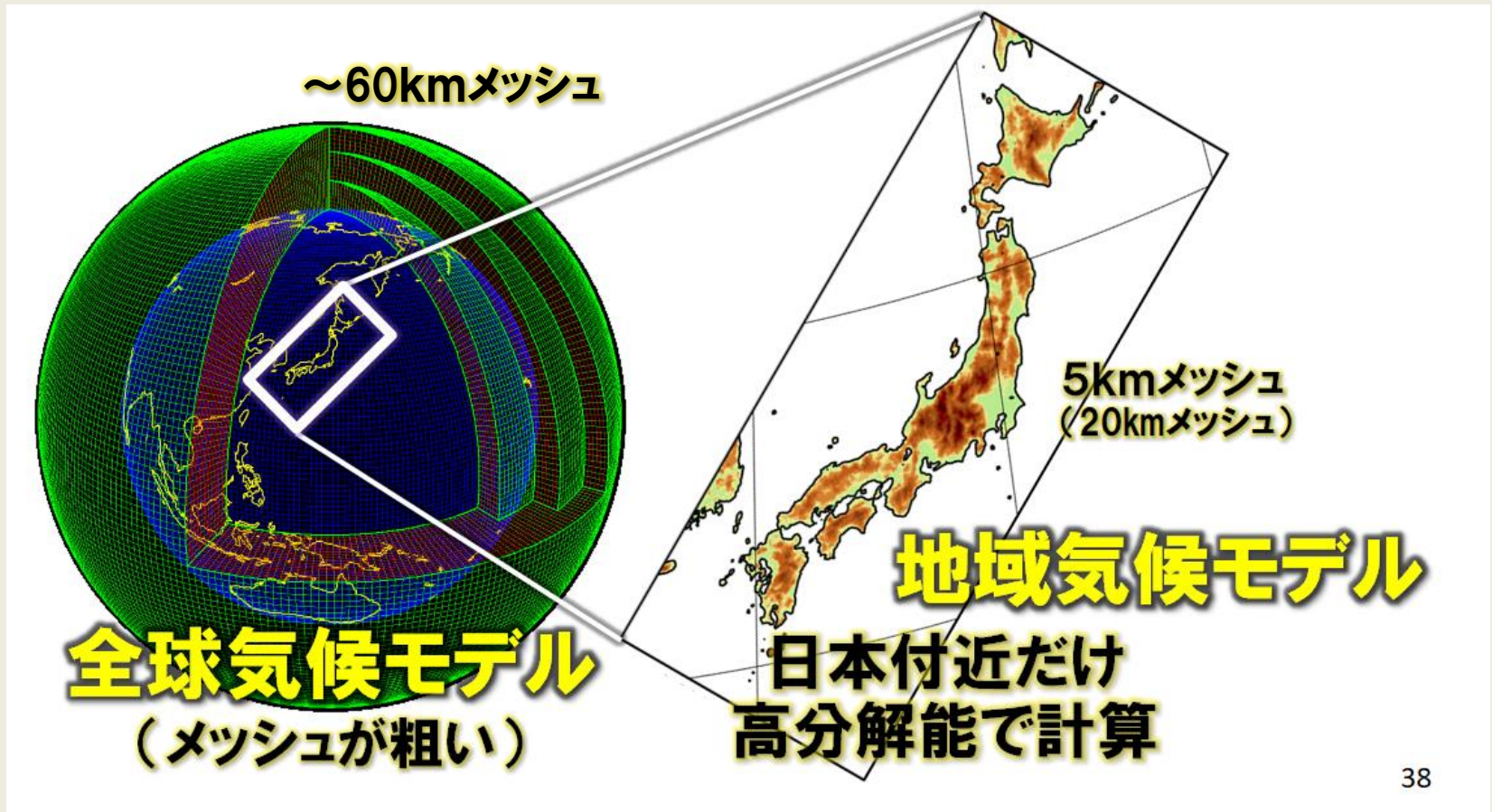


気候モデルの仕組み



ダウンスケーリング

全球気候モデルで世界の気候変化を計算した後に、
地域気候モデルを用いて、日本域を高分解能で計算する。

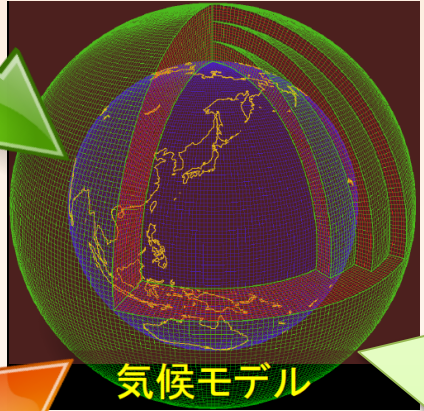


気候モデルを利用して、温暖化した現実の気候を作り出す

➤ 現在の自然起源の要素

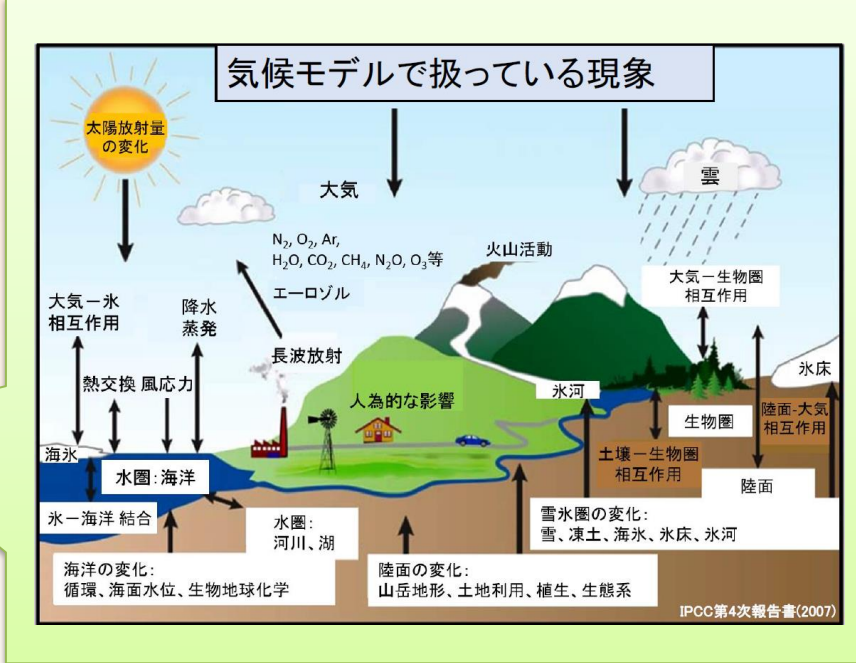
- ✓ 太陽活動の変化
- ✓ 大規模火山噴火

温暖化した現在の地球



➤ 現在の人間活動起源の要素

- ✓ 温室効果気体の濃度(排出)
(オゾンの濃度変化)
- ✓ 二酸化硫黄の排出量変化
- ✓ 黒色炭素(すす)の排出量変化
- ✓ 土地利用変化 など

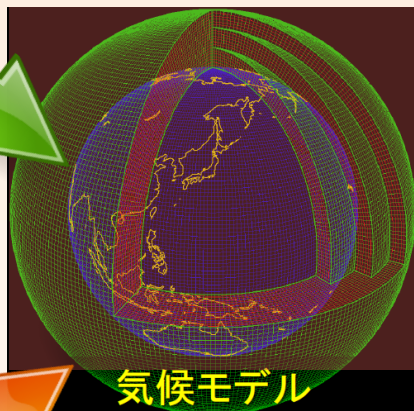


温暖化した現実の気候と温暖化しなかった仮定した 仮想の気候を作り出す。

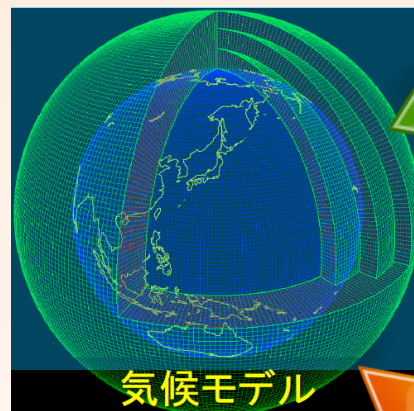
➤ 現在の自然起源 の要素

- ✓ 太陽活動の変化
- ✓ 大規模火山噴火

温暖化した
現在の地球



温暖化しなかったと
仮定した仮想の地球



➤ 現在の自然起源 の要素

- ✓ 太陽活動の変化
- ✓ 大規模火山噴火

➤ 現在の人間活動起源の要素

- ✓ 温室効果気体の濃度(排出)
(オゾンの濃度変化)
- ✓ 二酸化硫黄の排出量変化
- ✓ 黒色炭素(すす)の排出量変化
- ✓ 土地利用変化 など

➤ 産業化前(1850年頃)の人間活動 起源の要素(推定値)

将来の気候を予測するためには・・・

➤ 現在の自然起源の要素

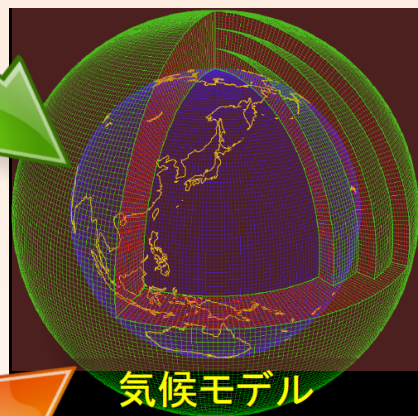
- ✓ 太陽活動の変化
- ✓ 大規模火山噴火

➤ 将来の自然起源の要素

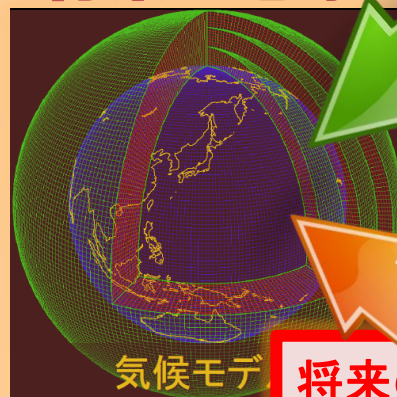
- ✓ 太陽活動の変化
- ✓ 大規模火山噴火

温暖化した
現在の地球

将来の地球



気候モデル



気候モデル

過去の経験を基に
仮定する

➤ 現在の人間活動起源の要素

- ✓ 温室効果気体の濃度(排出)
(オゾンの濃度変化)
- ✓ 二酸化硫黄の排出量変化
- ✓ 黒色炭素(すす)の排出量変化
- ✓ 土地利用変化 など

『排出シナリオ』

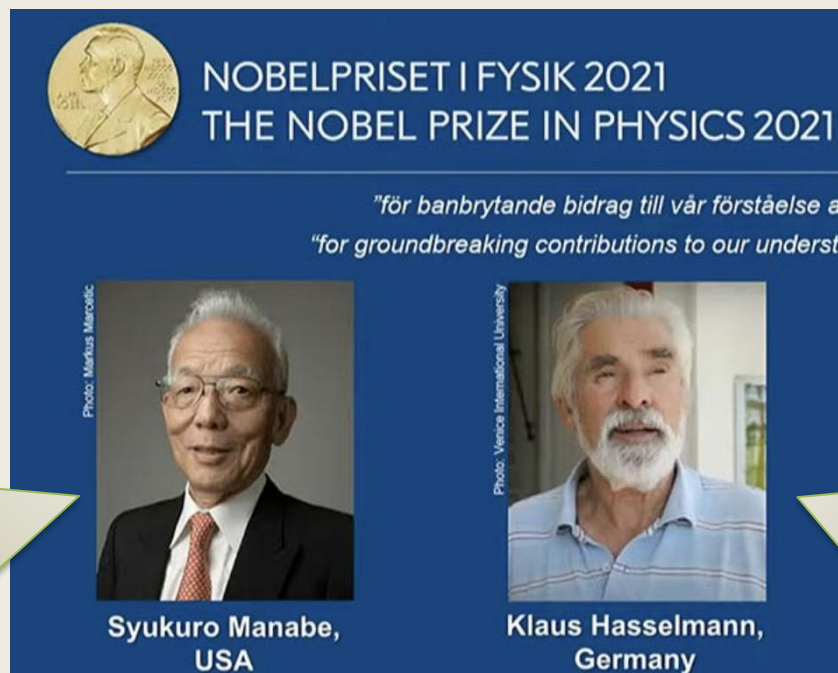
◆ RCP (第5次評価報告書)
RCP: 代表的濃度経路

◆ SSP-RCP (第6次評価報告書)
SSP: 共通社会経済経路

将来の人間活動起源の要素

- ✓ 温室効果気体の濃度(排出)
(オゾンの濃度変化)
- ✓ 二酸化硫黄の排出量変化
- ✓ 黒色炭素(すす)の排出量変化
- ✓ 土地利用変化 など

大気海洋から成る
気候モデルの基礎
を作り、二酸化炭
素による地球温暖
化理論を提唱



多様な自然変動の
中から、人間起因
の影響を分離する
理論を確立

イベント・アトリビューション

■用語■

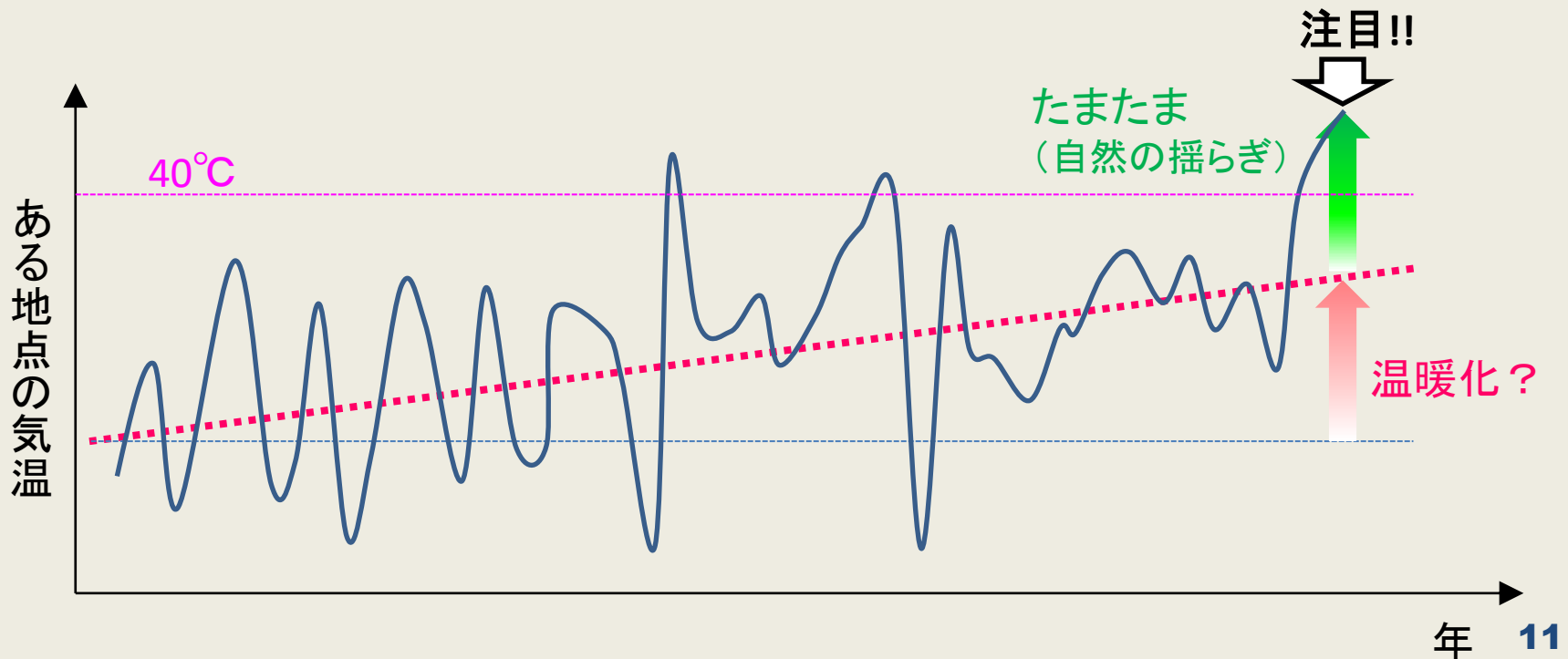
Attribute: 「～に帰する」「～のせいにする」

→観測された変化が、ある特定の要因のせいであることを証明する

「この異常気象は温暖化のせいですか？」

これまでなぜ答えられなかったのか？

- 個々の異常気象はあくまで大気の偶然の揺らぎ。発生要因の一部に温暖化が影響を与えている可能性はあるが、個々の異常気象を見て「偶然の揺らぎ」と「温暖化の底上げ」を区別することは不可能
- 偶然と必然～ある事象がどのようにして起こったかは説明できるが、起こるべくして起こったかどうかは言えない





因果応報：疫学の考え方

医学的に言えること：

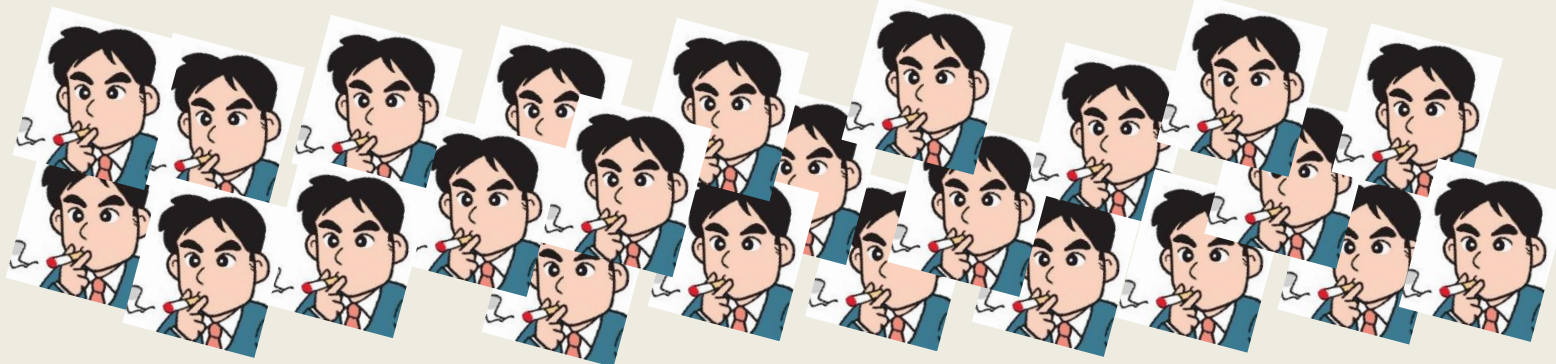
一般に、喫煙は健康を害しガンのリスクを高める

断言できないこと：

毎日喫煙するW氏が肺ガンで亡くなったとき、喫煙が彼の寿命を縮めたと言えるかどうか 一いかにもそう思えるが、ストレスや他の要因のせいかも。どうしたら確かめられるか？



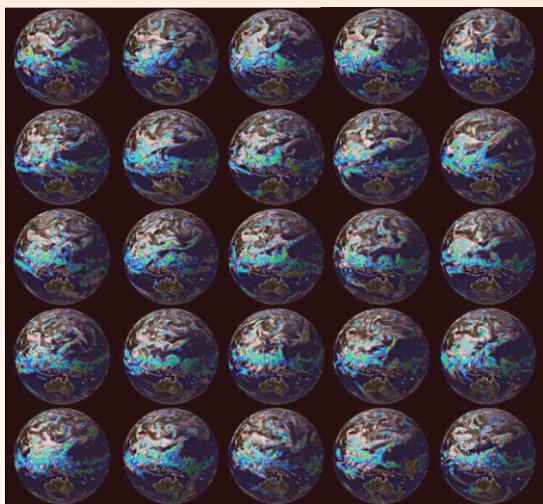
もし、少しずつ異なる環境にいる(ただしふるまいは同じ)W氏がたくさんいたら？



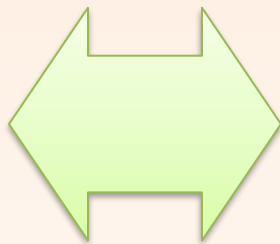
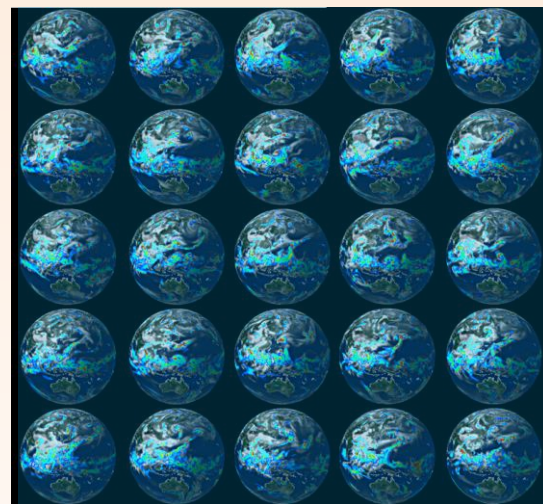
一般論ではなく、特定の人物(W氏)に関する、喫煙によるガンの発生リスクが推定できる

猛暑の発生確率に対する地球温暖化の影響

温暖化が進行している
現実の条件



温暖化しなかったと
仮定した場合

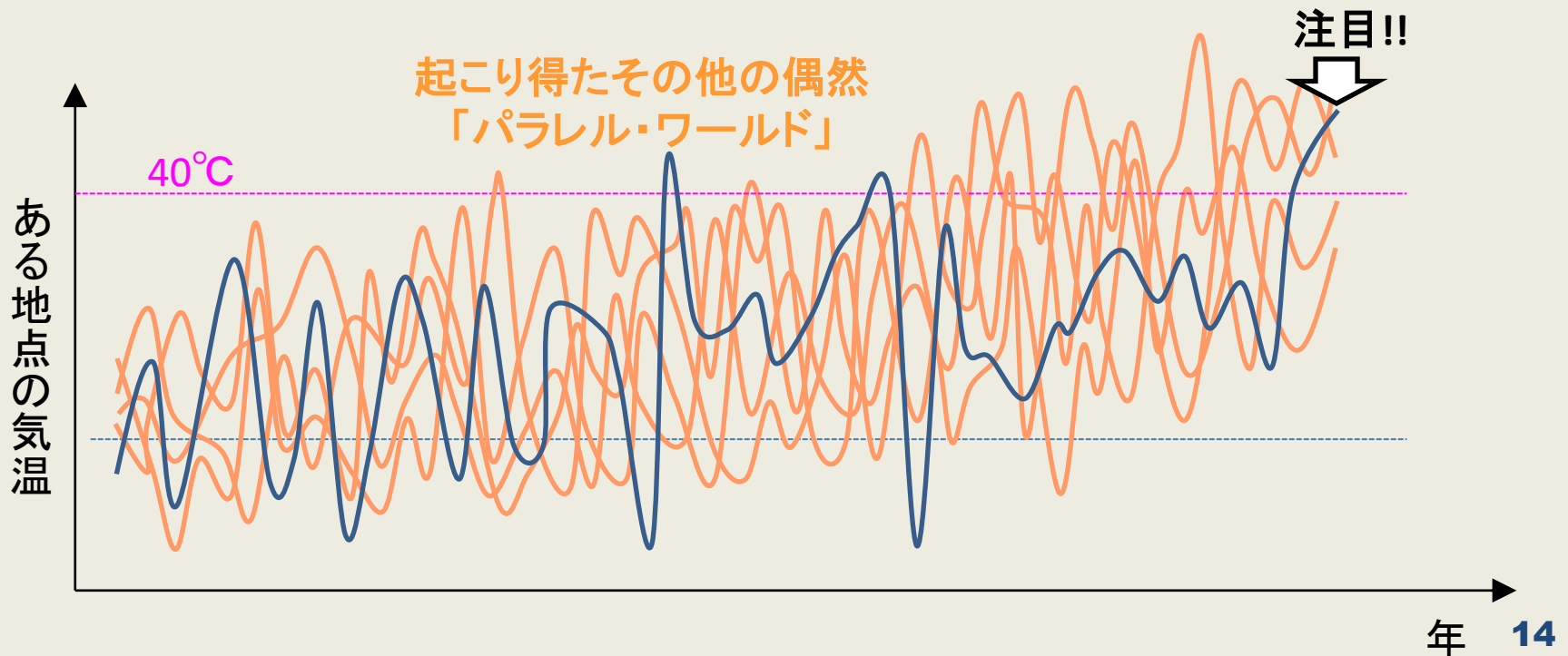


発生確率を対象とする場合、2つの条件下で
大量の地球を作り出し、何割のメンバーが
観測された極端現象を再現したかをカウントして比較

イベント・アトリビューション (EA)

「この異常気象は温暖化のせいですか？」

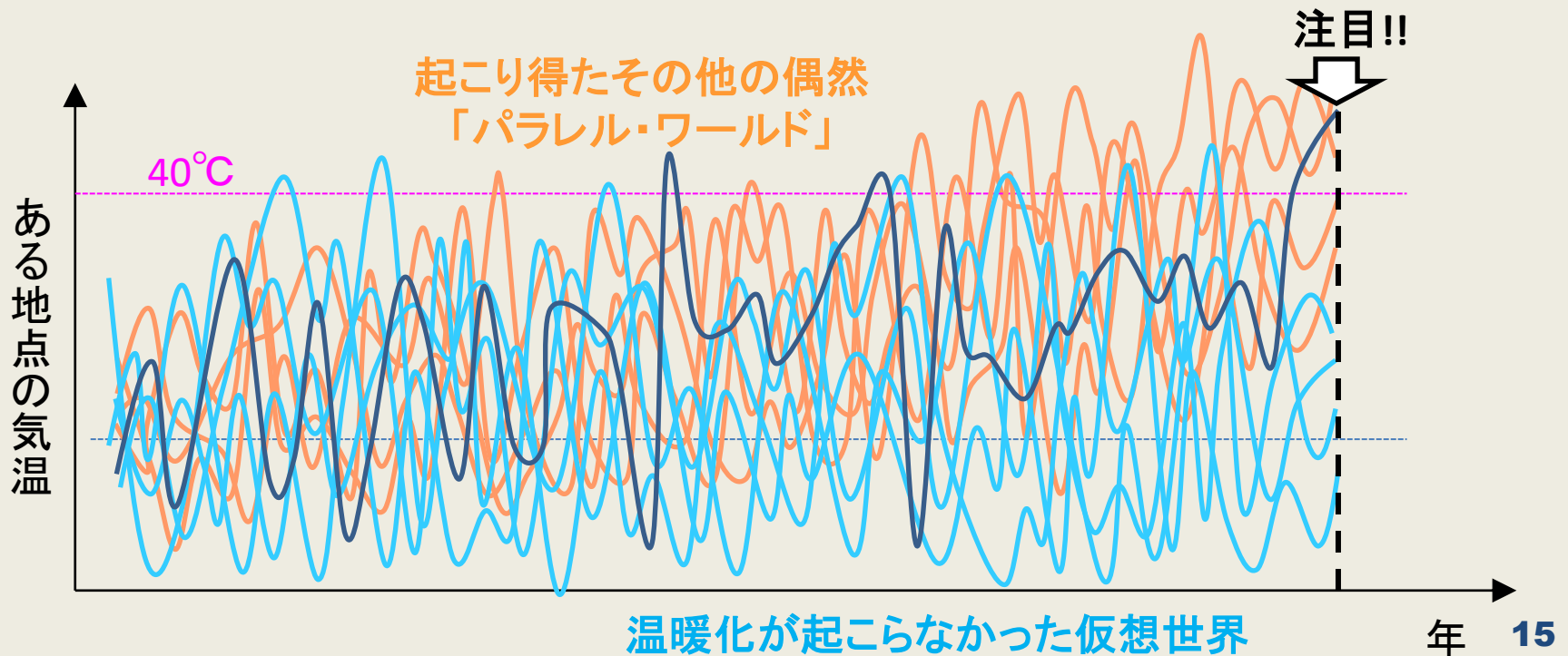
- 気候モデルを用いて、実際の気候を模した**大量の実験**を行う。



イベント・アトリビューション (EA)

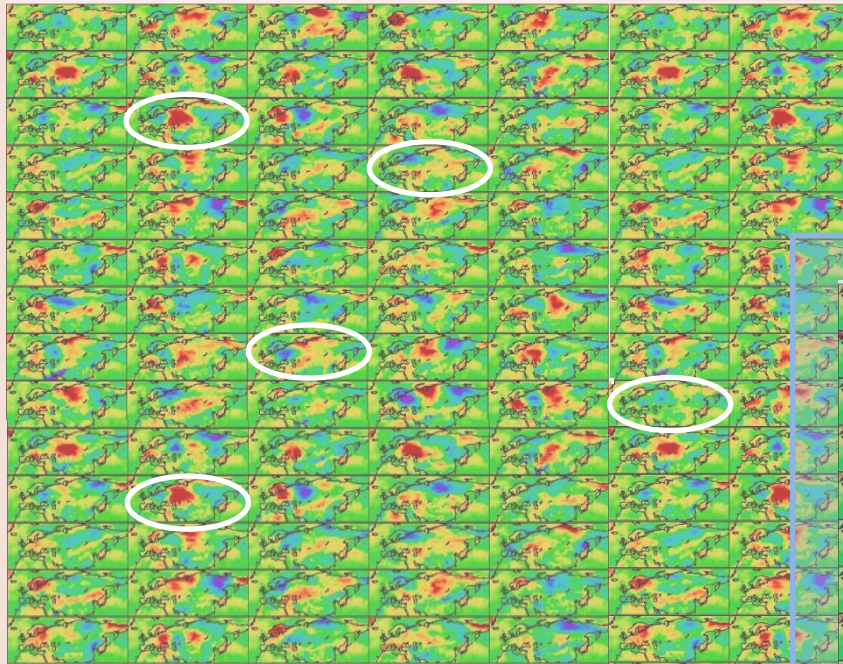
「この異常気象は温暖化のせいですか？」

- 気候モデルを用いて、実際の気候を模した**大量の実験**を行う。
- さらに**人間活動による温暖化が無い設定**で大量の実験を行う



イベント・アトリビューションの考え方 ～この異常気象は温暖化のせい？に答える～

温暖化している世界



100メンバー中5メンバーで発生

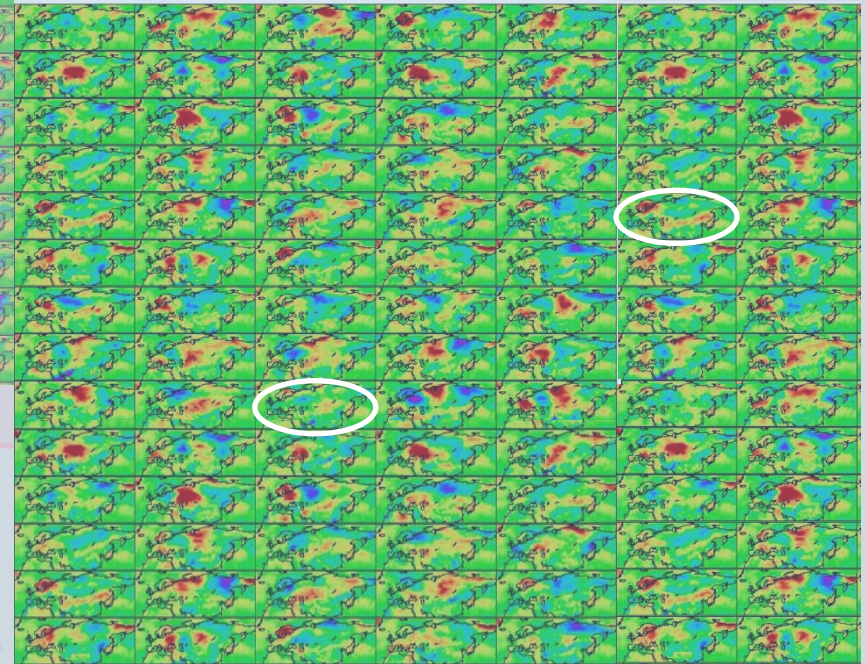
$$5 \div 100 = 5\%$$

「20年に1度」のイベント

100メンバー中2メンバーで発生

$$2 \div 100 = 2\%$$

「50年に1度」のイベント

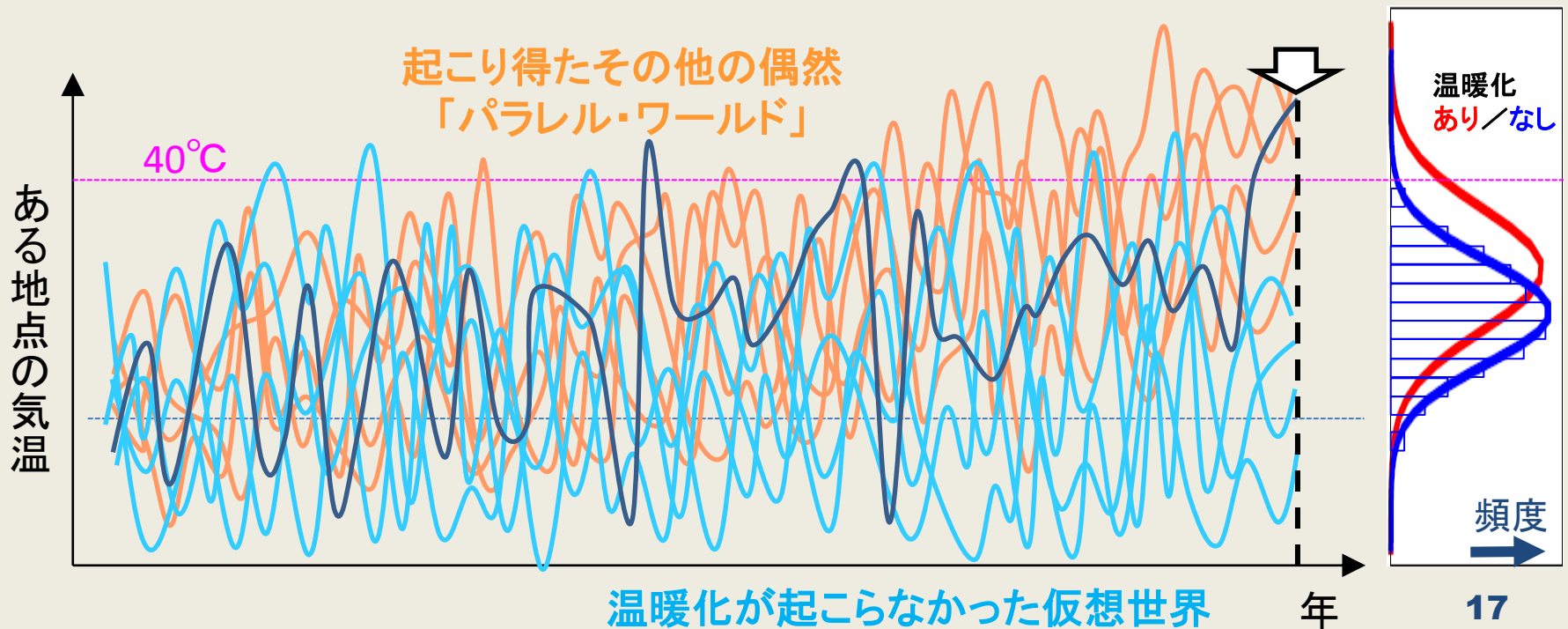


温暖化していない世界

イベント・アトリビューション (EA)

「この異常気象は温暖化のせいですか？」

- 気候モデルを用いて、過去の気候を模した**大量の実験**を行う。
- さらに**人間活動による温暖化が無い設定**で大量の実験を行う
- 目の前の異常気象イベントの発生確率が、人間活動によってどれだけ変わっていたかを、確率的に推定する



イベント・アトリビューション (EA)

「この異常気象は温暖化のせいですか？」

- 気候モデルを用いて、過去の気候を模した**大量の実験**を行う。
- さらに**人間活動による温暖化**のシナリオを想定し、**大量の実験**を行う。
- 目の前の異常気象イベントが**自然変動**によるものか、**温暖化**によるものか、**両方**によるものか、**変わって**いく。

高精度の
気候モデル
+
大量の実験

気象研究所が開発した
大気大循環モデル(全球60kmメッシュ)
地域気候モデル(日本域20kmメッシュ)
各100サンプル

ある地点の気温



TOUGOU

スーパーコンピュータが不可欠
地球シミュレータ

偶然
ド



温暖化
なし

頻度
→

温暖化が起こらなかつた仮想世界

年

18

平成20年以降に発生した豪雨

■ 近年の気象災害 (気象庁が命名したもの)

- 平成20年8月末豪雨
- 平成21年7月中国・九州北部豪雨
- 平成23年7月新潟・福島豪雨
- 平成24年7月九州北部豪雨
- 平成26年8月豪雨
- 平成27年9月関東・東北豪雨
- 平成29年7月九州北部豪雨
- 平成30年7月豪雨
- (令和元年房総半島台風)
- 令和元年東日本台風
- 令和2年7月豪雨

参考：顕著現象の報道発表資料一覧
(気象研究所 台風・災害気象研究部第二研究室)
<https://www.mri-jma.go.jp/Dep/typ/typ2/press.html>

■ 今年(令和3年)

[7月] 静岡から神奈川西部の大雨(熱海で土石流)

九州南部の大雨(鹿児島県、宮崎県、熊本県に大雨特別警報)

[8月] 停滞前線により、西日本から東日本で大雨

広島県、福岡県、長崎県、佐賀県に大雨特別警報

(名前は付かなかったが、異常気象分析検討会が開催)

豪雨の要因

豪雨の鍵となっているのは、

- 多量の水蒸気の流れ込み
- 梅雨前線、台風、線状降水帯
- 上空の寒気・気圧の谷、偏西風の蛇行

Q. 近年のこれらの豪雨に地球温暖化は影響を与えているのか？

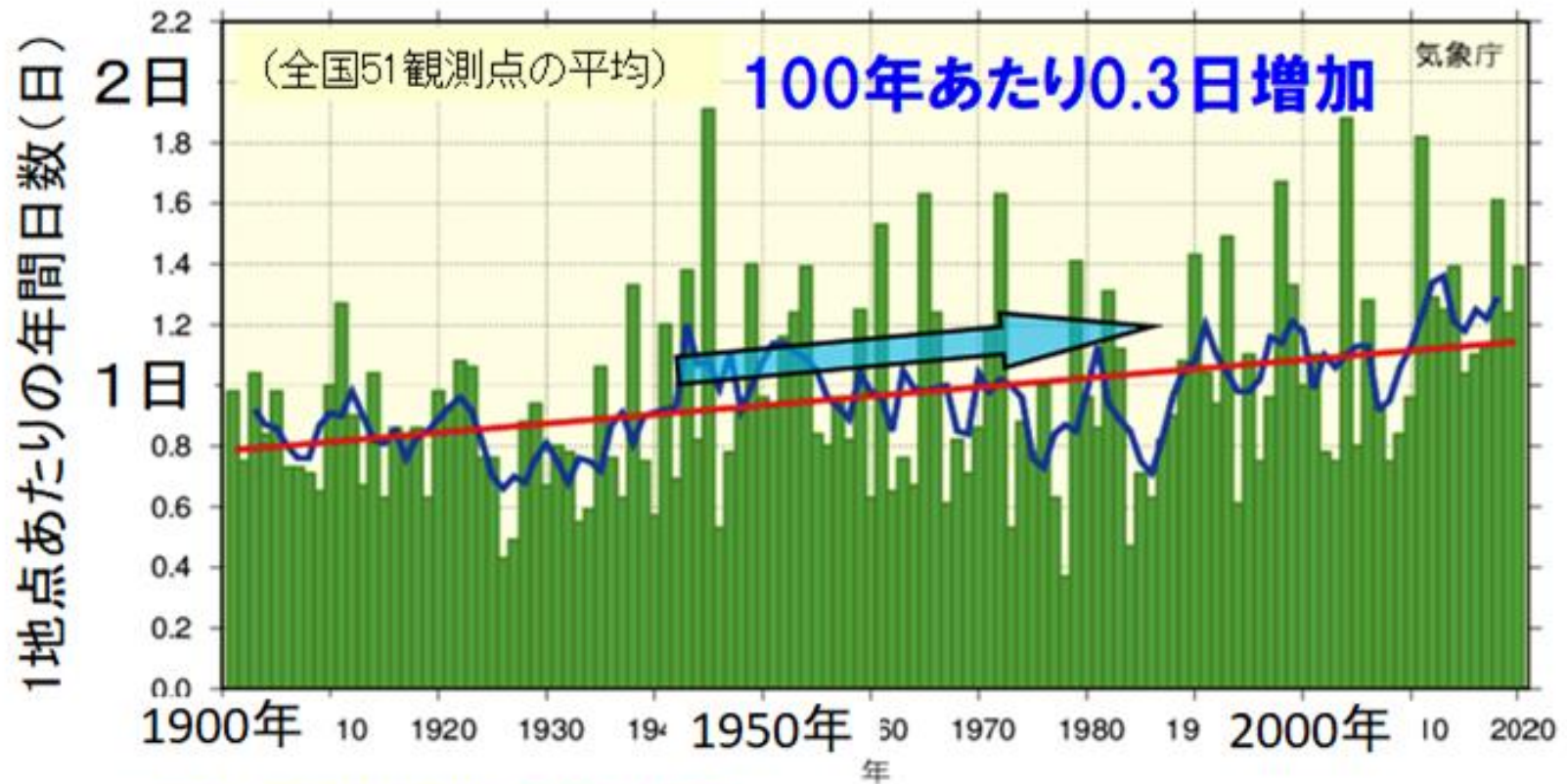
→ 主要因ではないが、影響を与えている可能性がある。

日本の大雨の増加

日降水量100mm以上の年間日数

気象官署等
1900年～

全国 [51地点平均] 日降水量100mm以上の年間日数



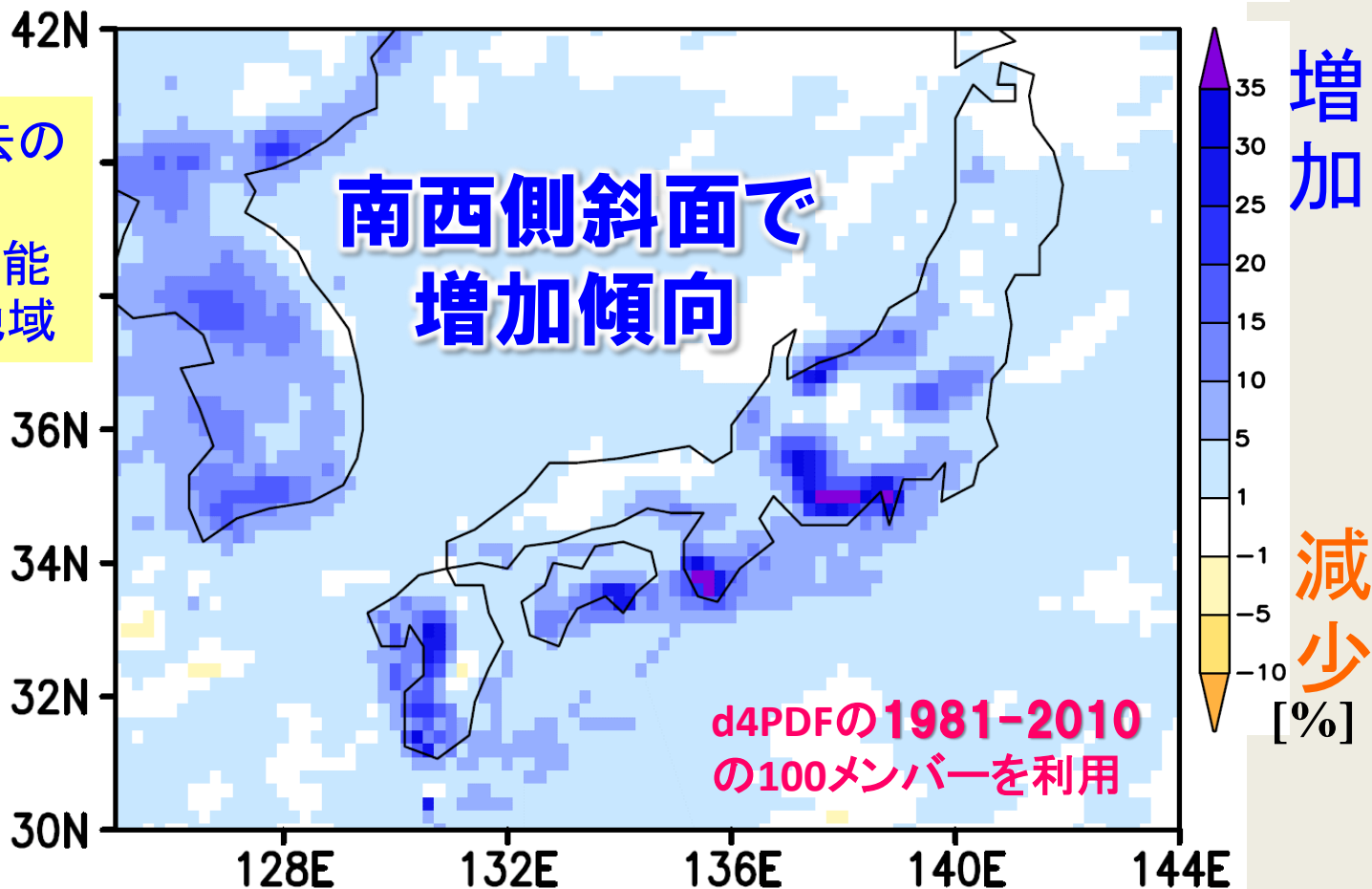
青線: 5年移動平均、赤線: 傾向

(気候変動監視レポート2020)

地球温暖化に伴う大雨頻度の一般的な変化 (大雨事例を限定しない見方)

『温暖化あり』実験－『温暖化なし』実験

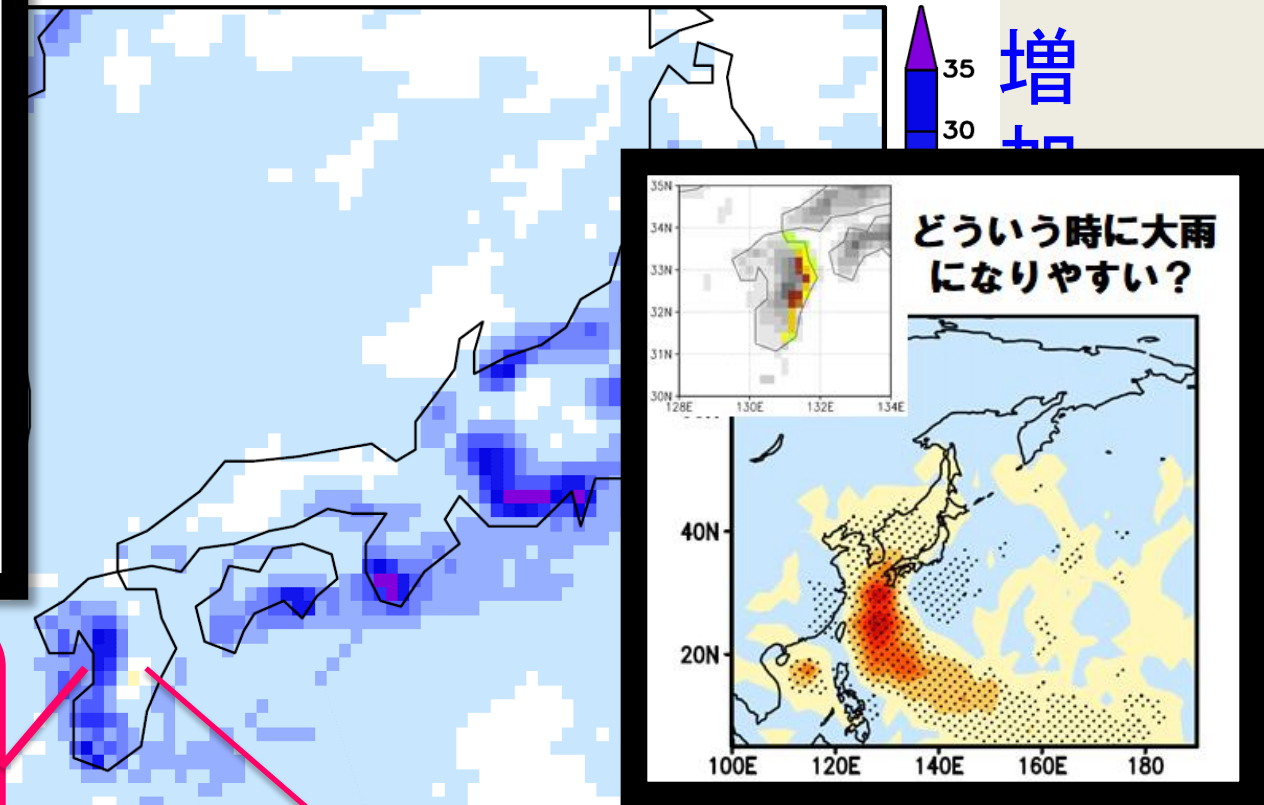
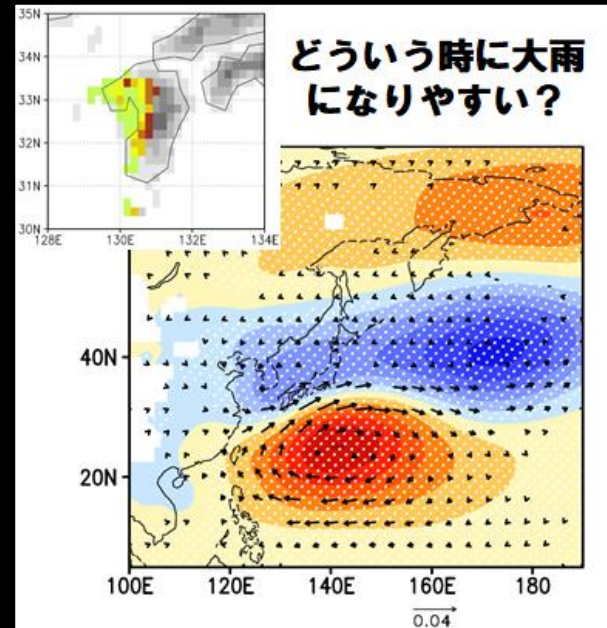
大雨日数(100mm/day以上)の変化(7月)



地球温暖化に伴う大雨頻度の一般的な変化 (大雨事例を限定しない見方)

『温暖化あり』実験 - 『温暖化なし』実験

大雨日数(100mm/day以上)の変化(7月)

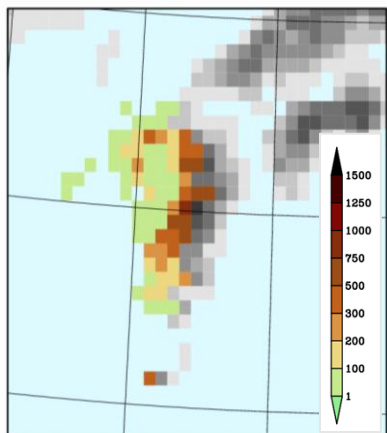


南西からの水蒸気移流に伴う**梅雨型**の大雨は温暖化の影響が検出されやすい

台風に起因する大雨は、温暖化の影響が検出されにくい

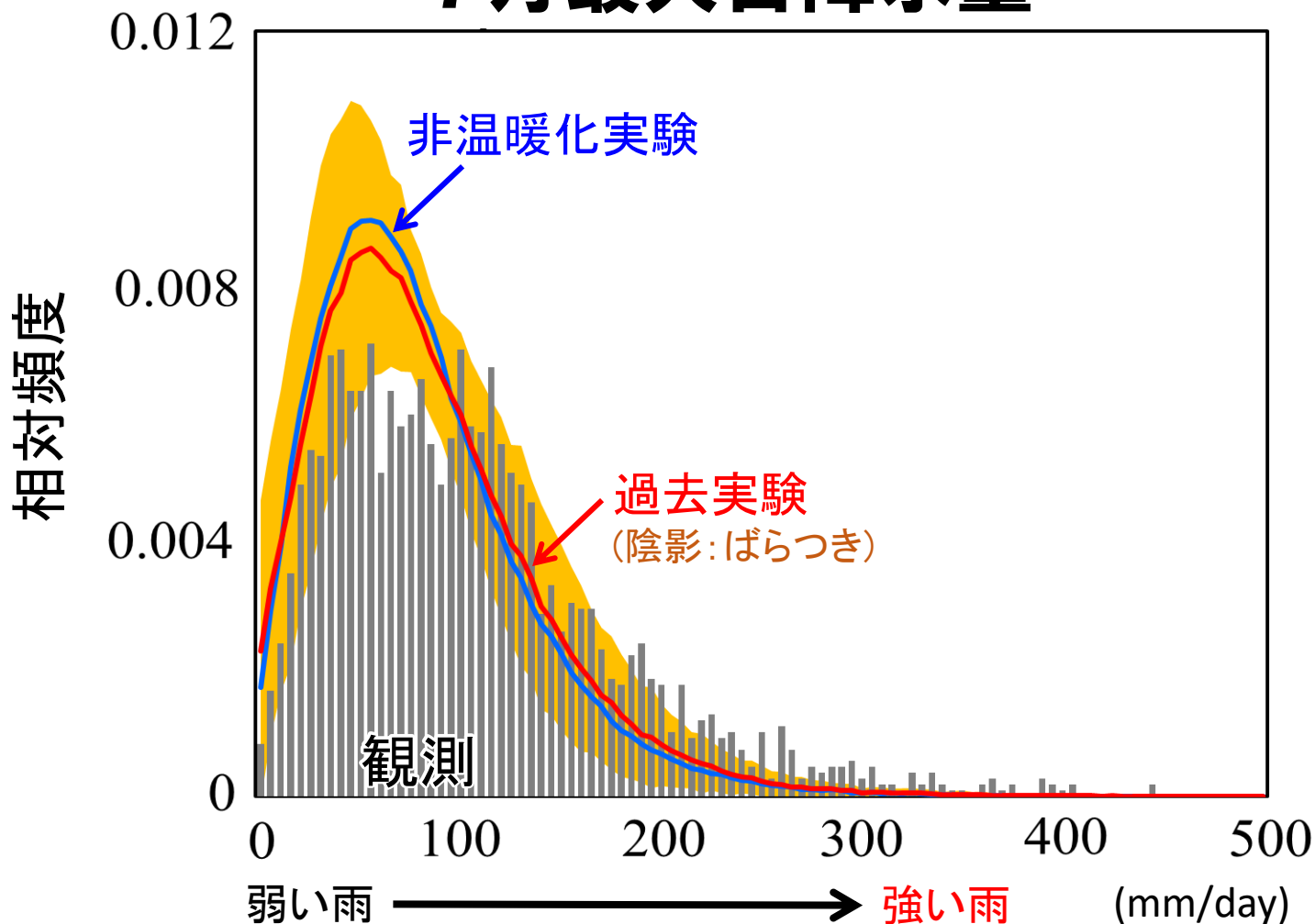
地球温暖化によって大雨の頻度が変化したのか？

<九州西部>



標高を色付けした場所が九州西部

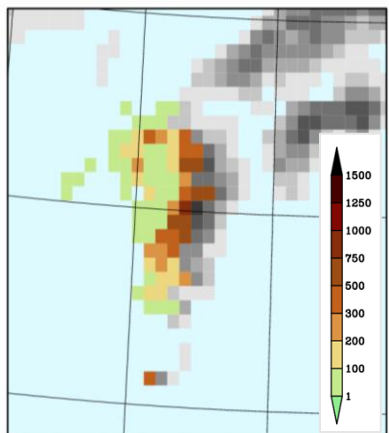
7月最大日降水量



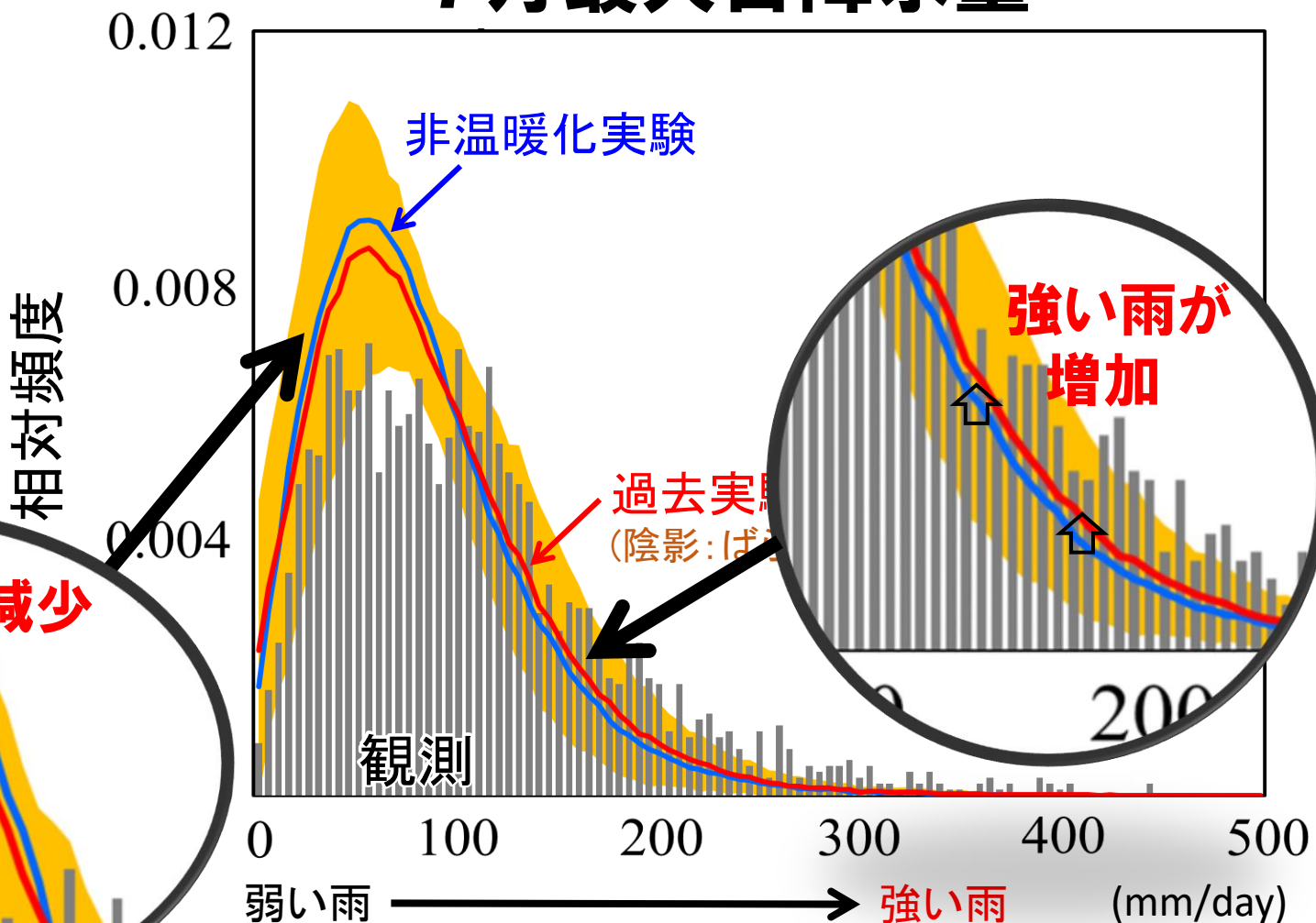
～確率的アプローチ～

地球温暖化によって大雨の頻度が変化したのか？

<九州西部>

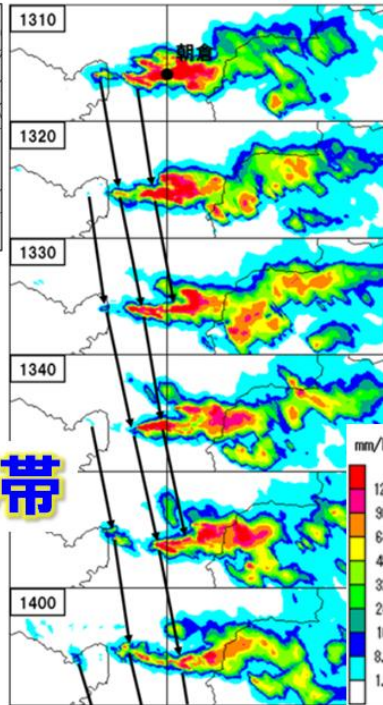
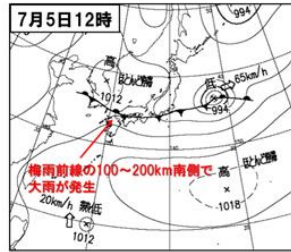
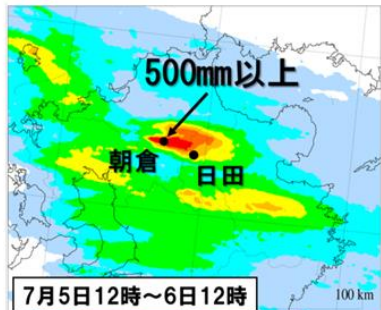


7月最大日降水量



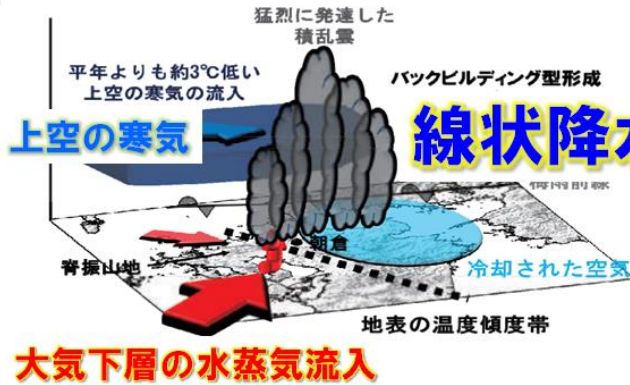
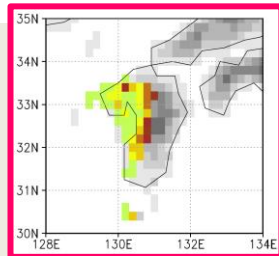
九州で発生した前線起因および台風起因の 大雨のイベント・アトリビューション

平成29年7月九州北部豪雨

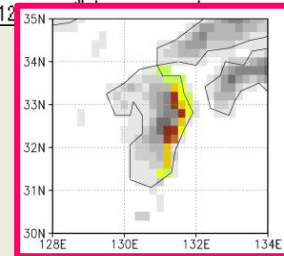
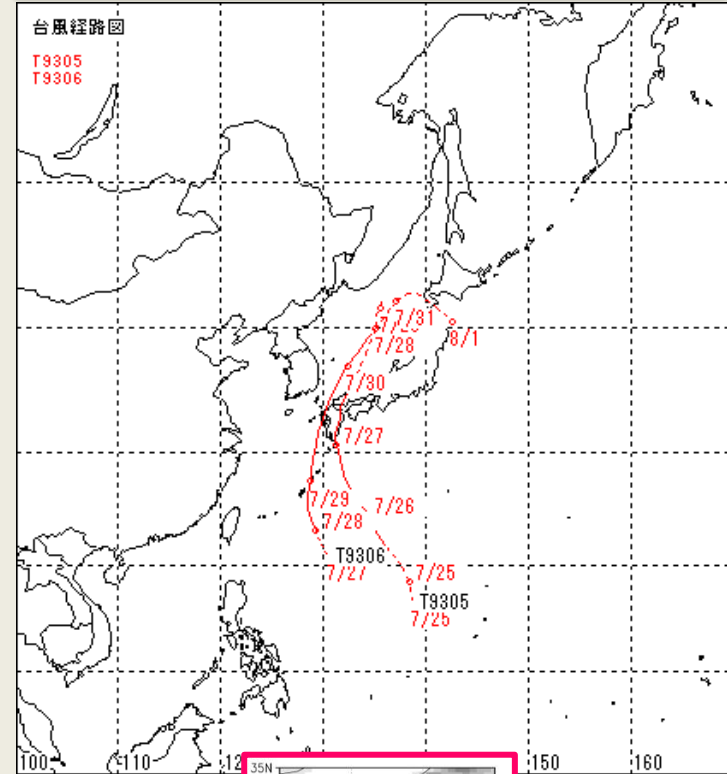


By courtesy of H. Kawase

気象研究所報道発表資料(平成29年7月14日)

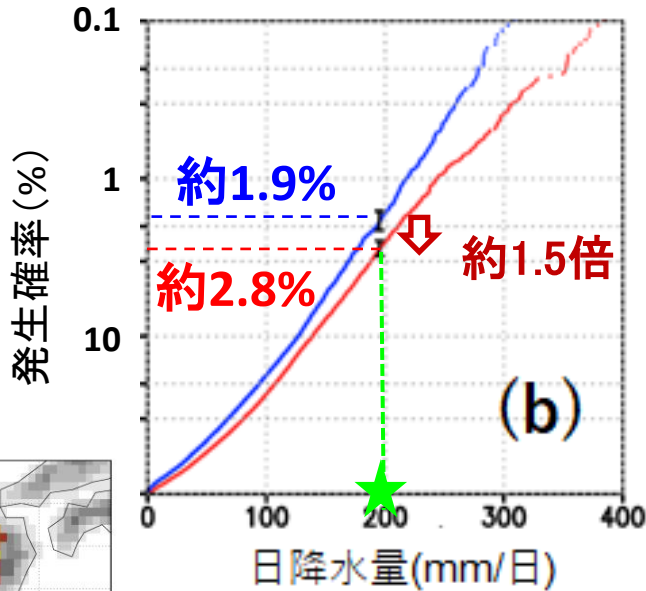


平成5年7月台風5・6号



九州で発生した前線起因および台風起因の 大雨のイベント・アトリビューション

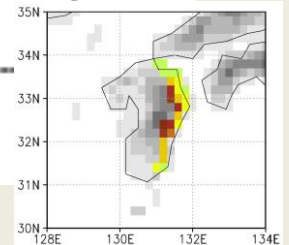
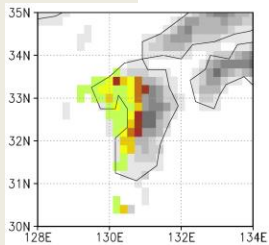
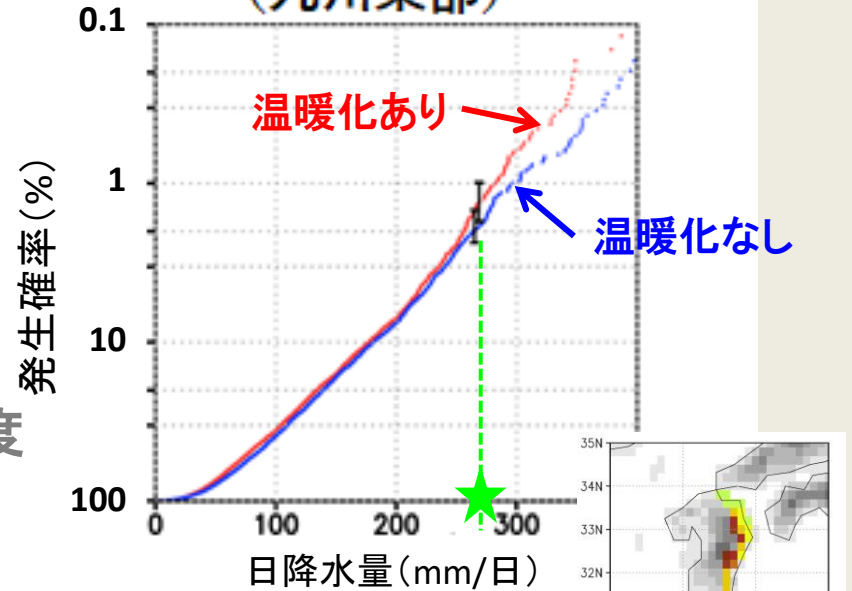
平成29年7月九州北部豪雨



稀

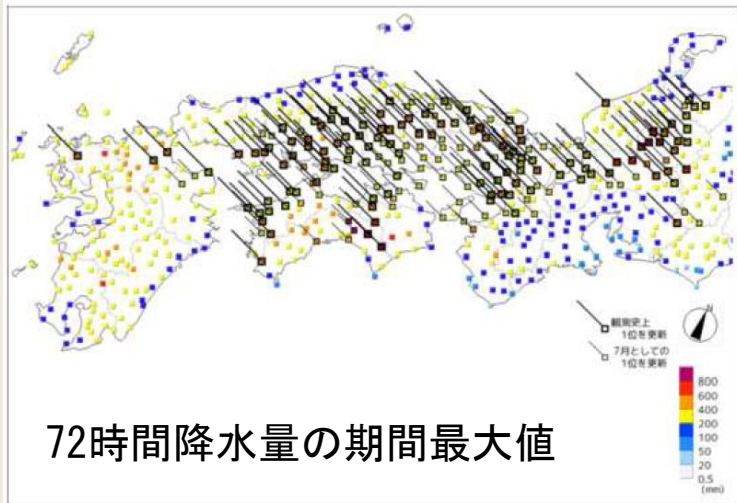
高頻度

平成25年台風接近による豪雨
(九州東部)

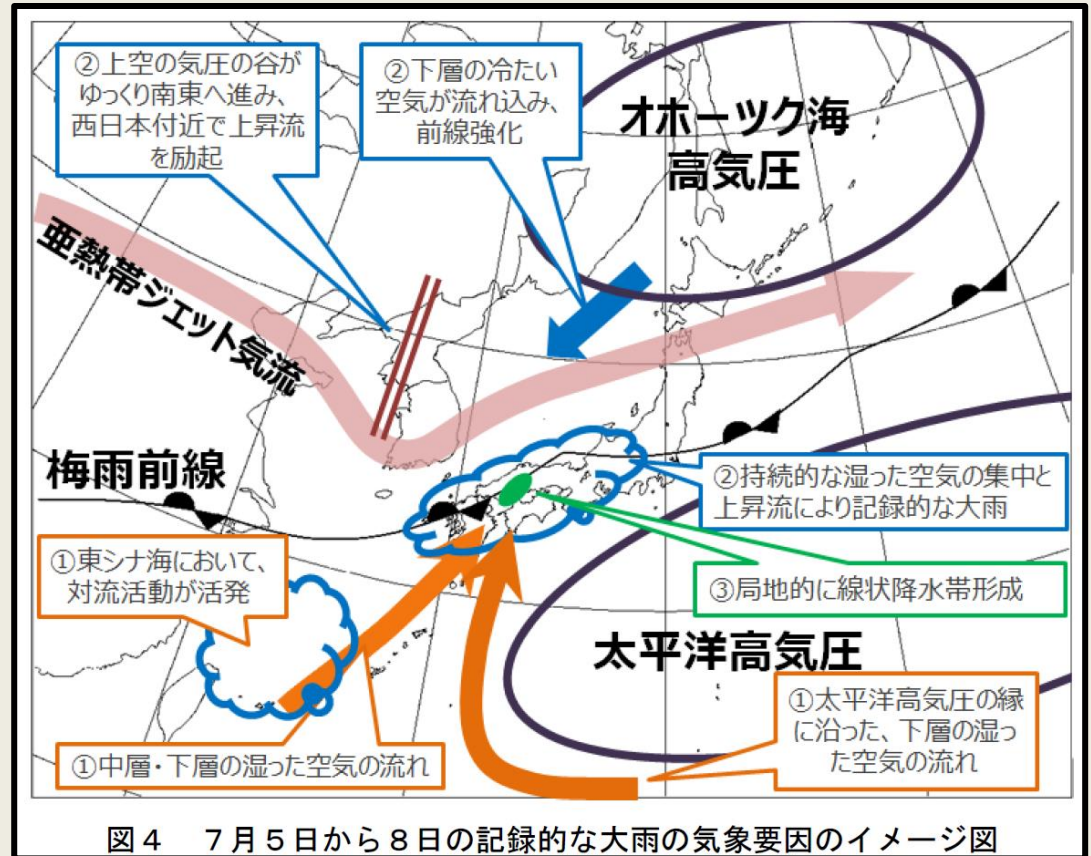


★: 過去実験(1981-2010)の統計で**50年に1度**レベルの雨量

平成30年7月豪雨



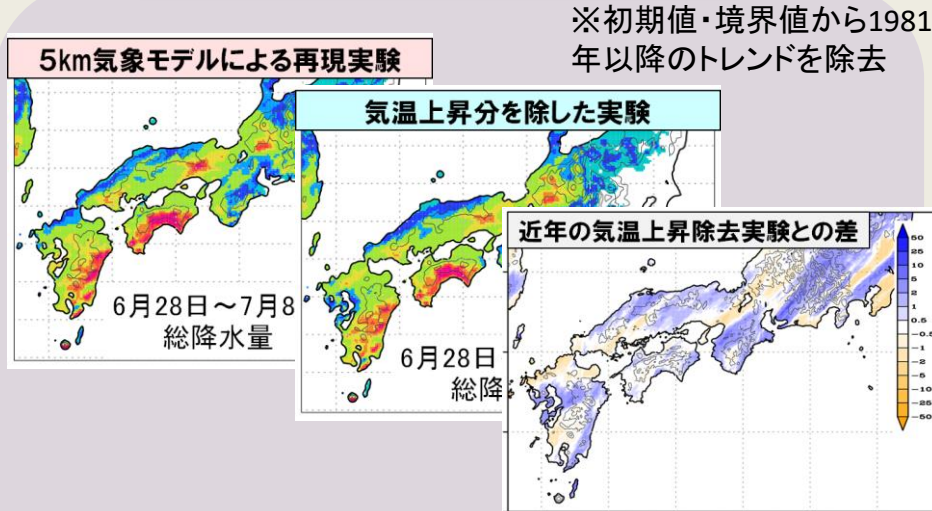
朝日新聞デジタル



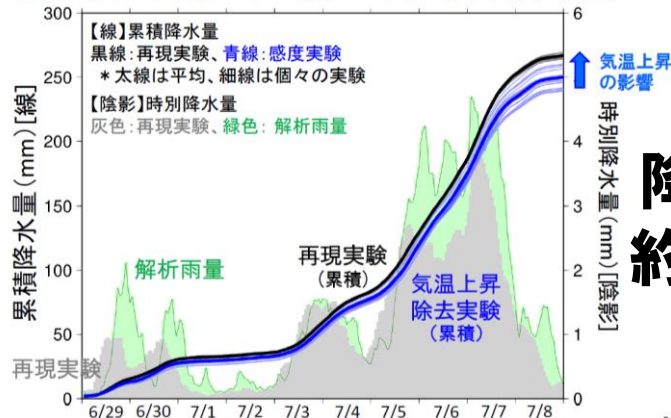
気象庁報道発表(H30年8月10日)

平成30年7月豪雨(西日本豪雨)のイベント・アトリビューション

量的アプローチ

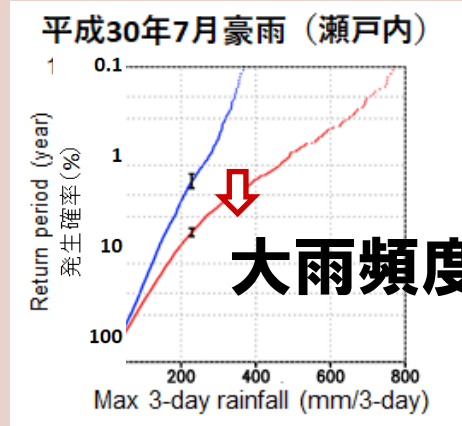


東日本から西日本の陸上で平均した降水量

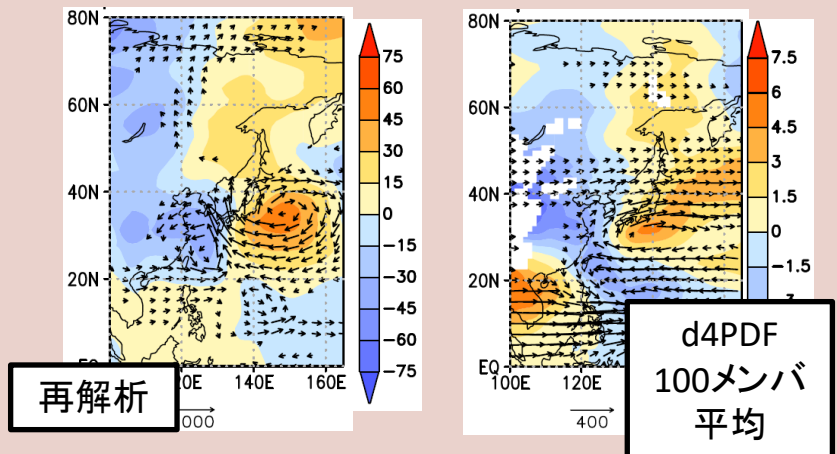


Kawase et al. 2019b

確率的アプローチ



2018年6/29-7/8の気圧と水蒸気フラックス



Imada et al. (2020)

イベント・アトリビューションの意義

- ✓ イベント・アトリビューションにより、漠然と感じている地球温暖化の異常気象への影響を数字で示すことが可能に。
- ✓ 数値として実感することで、社会の問題意識や危機感を高める。(九州西部は、温暖化でさらに大雨頻度が増える可能性)
- ✓ 問題意識が高まることで、国の**適応策**や**緩和策**に関する取り組みの促進に役立てられる。
- ✓ 応用利用：
 - 洪水・高潮リスク、国土交通省の治水政策
 - 農作物被害額の推定
 - 人体影響(熱中症など)
 - 保険会社の支払額