

第22回ビジュアルリゼーションカンファレンス 2016年11月25日

地球温暖化進行から予期される 異常気象発生頻度の変化

国立研究開発法人 海洋研究開発機構
建部 洋晶

本日の話の流れ

- ❖ 地球温暖化の現状と数値シミュレーションによる予測
- ❖ 異常気象発生頻度の変化
- ❖ 温暖化予測/雲・放射過程の不確実性
- ❖ 雲解像モデルの開発



地球温暖化問題とは？

「人間活動によって排出されている温室効果ガスによって、地球の気温が上昇している問題」を指す

温室効果ガス

地球からの熱放射を吸収する大気中の成分

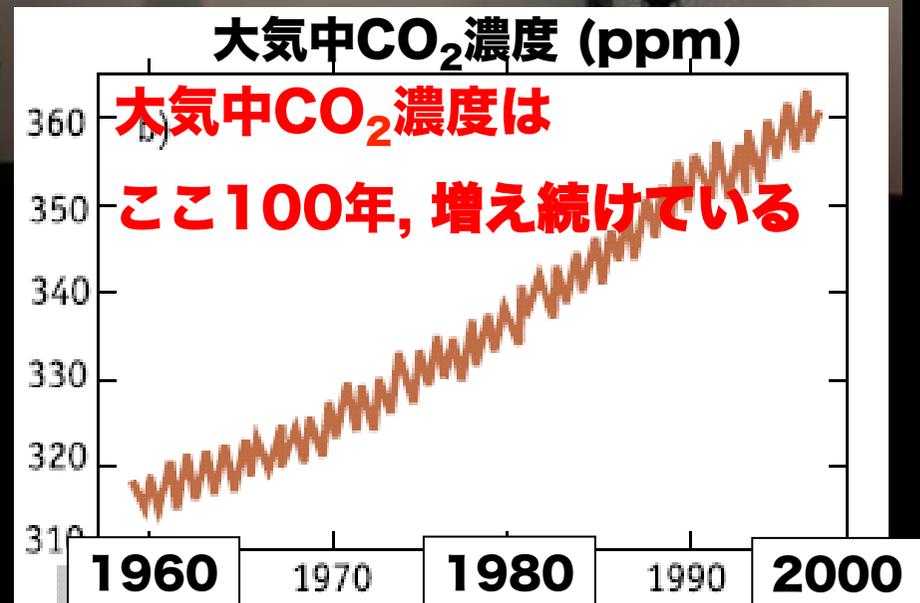
代表的な温室効果ガス

二酸化炭素 (CO₂), 一酸化窒素, メタン, フロン類

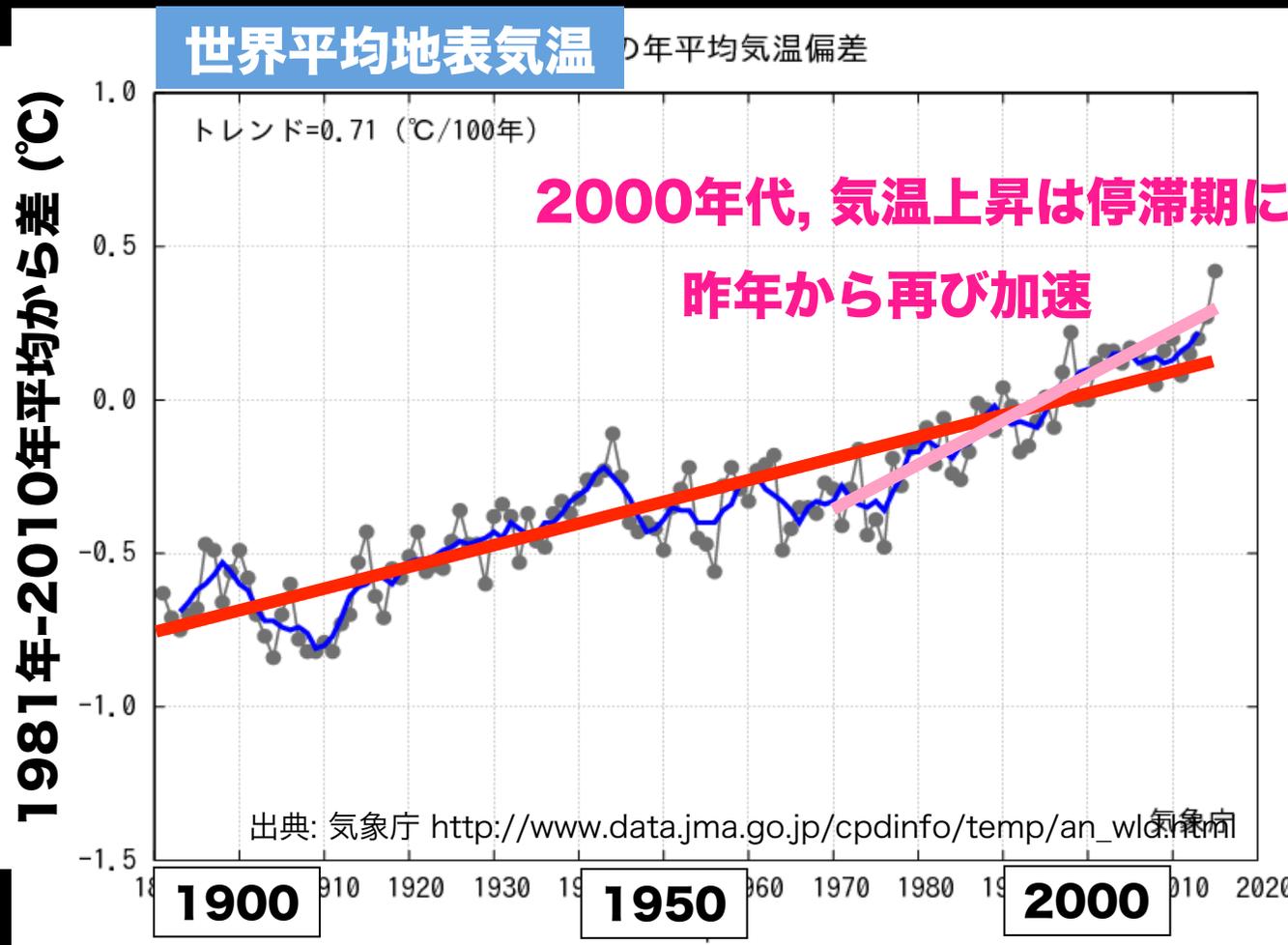
2011.12.5 朝日新聞

主な排出源

- ✓ 化石燃料の燃焼, ガソリン燃焼
- ✓ 冷蔵庫, エアコン, スプレー
- ✓ 農林業の窒素肥料, 水田, 湿原..etc



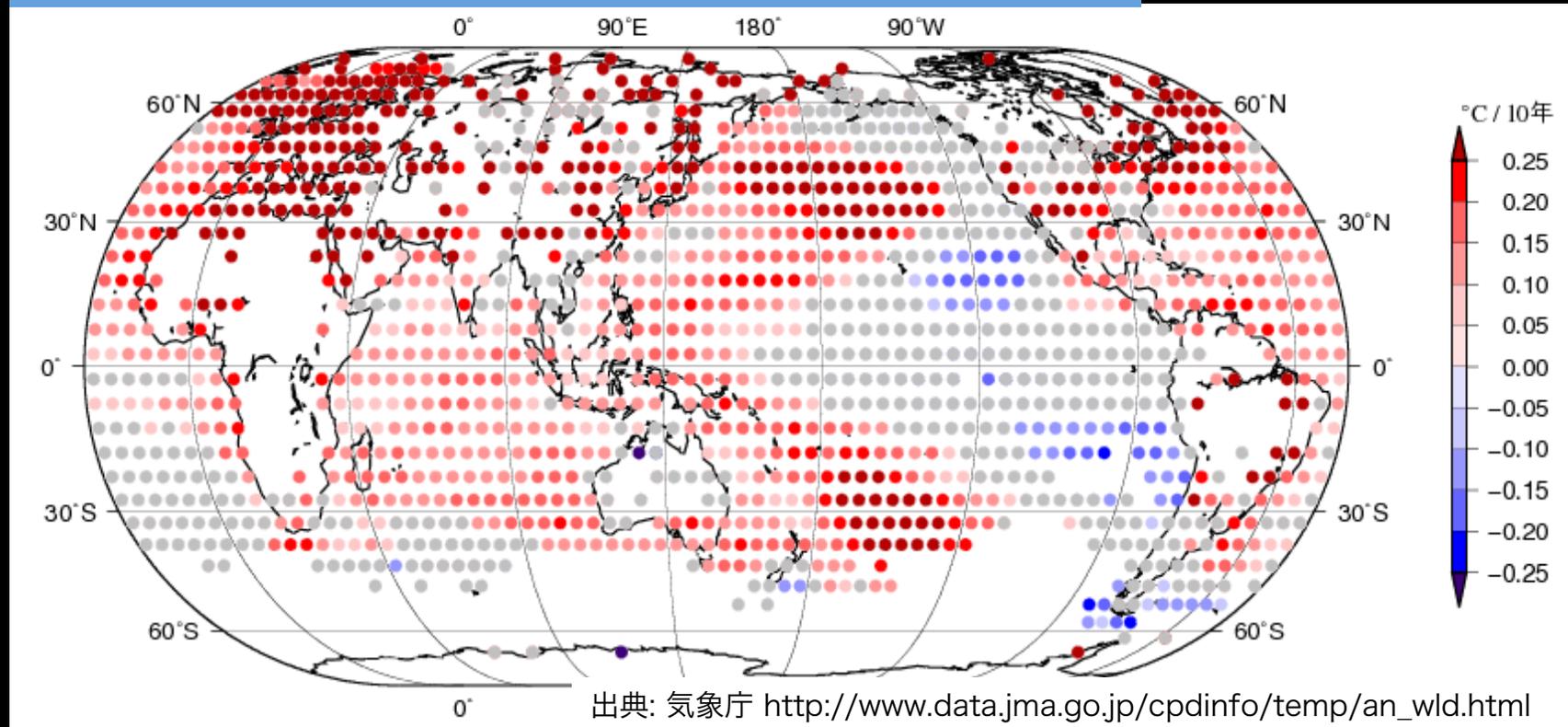
観測データから見る地球温暖化



- ✓ 産業革命以降、世界平均で見た地表気温は上昇傾向
- ✓ 最近50年の温度上昇率は、過去100年間の約2倍

観測データから見る地球温暖化

地表気温の長期変化傾向 (1979年から2014年)



第2次大戦以前のデータは少ない & 信頼性に欠けるので除いても、
地球上のほとんどが赤くなる (有意な気温上昇が認められる)

地球温暖化の二次的影響：異常気象

旱魃



豪雨と洪水



大規模な森林火災



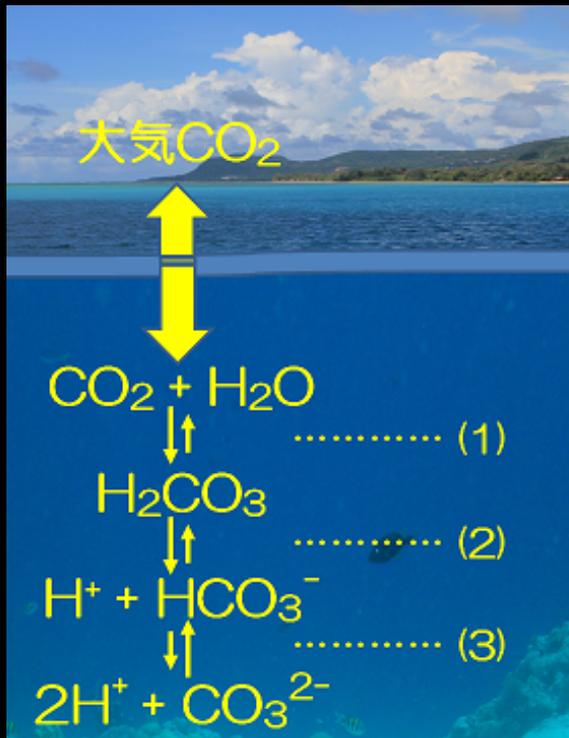
寒波



温暖化が起きてなくても異常気象はある程度の割合で発生するが、

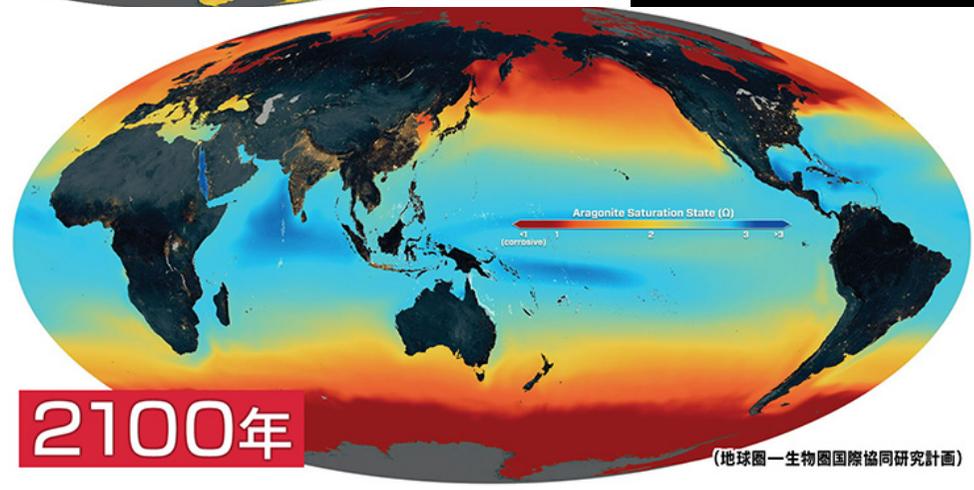
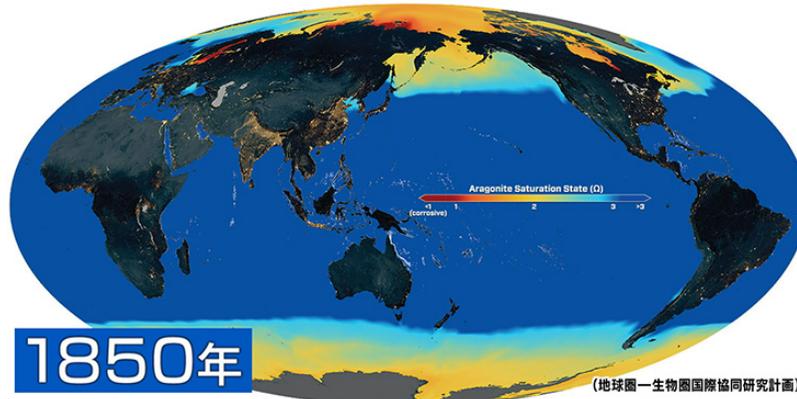
温暖化していると、この割合が増える

地球温暖化の二次的影響：海洋生態系の変化



出典: 気象庁 http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/mar_env/knowledge/oa/acidification.html

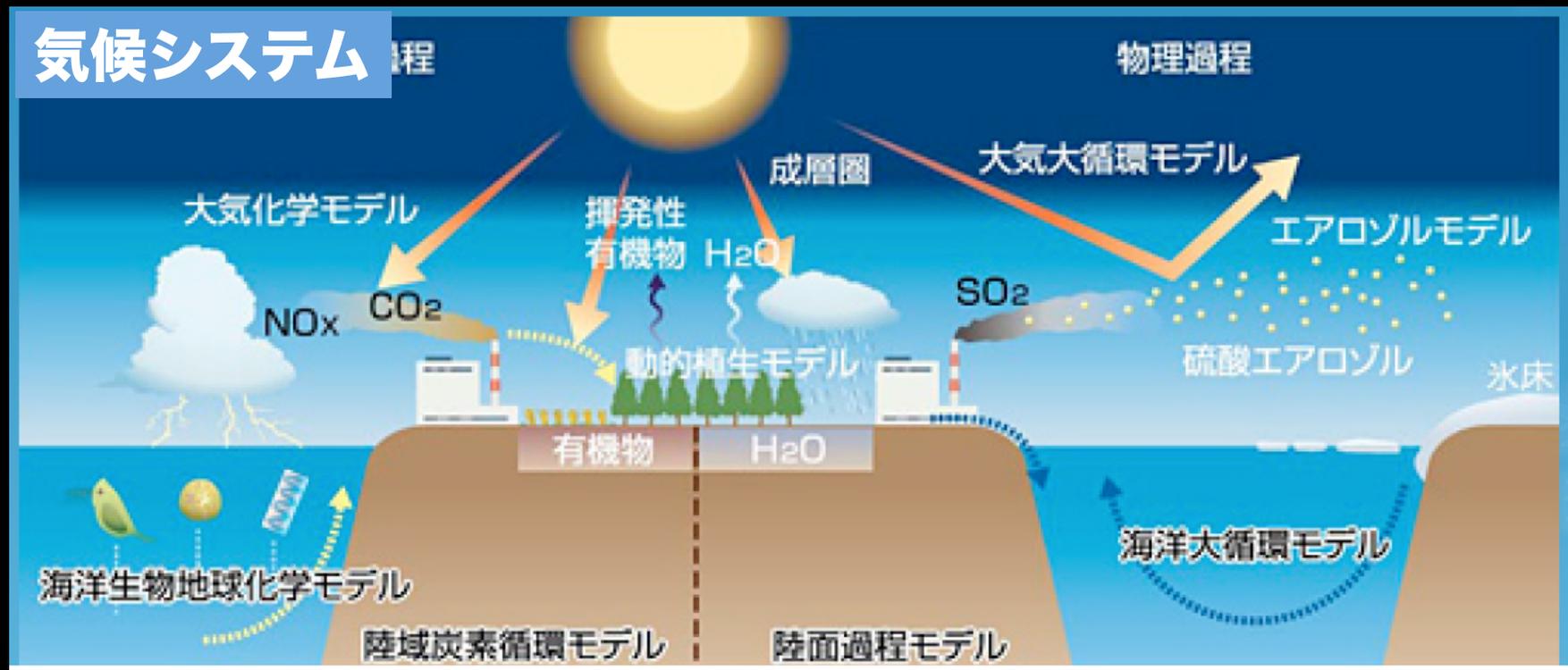
炭酸カルシウムの作りやすさ



出典: 国立環境研 <http://www.cger.nies.go.jp/ja/news/2014/140516.html>

- ✓ 大気中の二酸化炭素を海洋が吸収 → 海洋酸性化 + 炭酸カルシウム減少
- ✓ 植物プランクトン, 貝類, サンゴなどが成長できない → 魚のエサが減る

気候モデルによる温暖化予測



我々が感じる地表付近大気の状態の決定や変動に深く関わる要素の集合

→ 大気・海洋・雪氷・植生・河川・… 物理的特徴が大きく異なる

→ それぞれの要素に対して「数値モデル」を構築, 相互に作用するよう結合

気候モデルの支配方程式系

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \left(\frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial v \cos \varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$$

$$\frac{du}{dt} - \frac{\tan \varphi}{a} uv - fv = F_\lambda - \frac{1}{\rho a \cos \varphi} \frac{\partial p}{\partial \lambda}$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{\tan \varphi}{a} u^2 + fu = F_\varphi - \frac{1}{\rho a} \frac{\partial p}{\partial \varphi}$$

$$0 = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$$

$$p = \rho RT$$

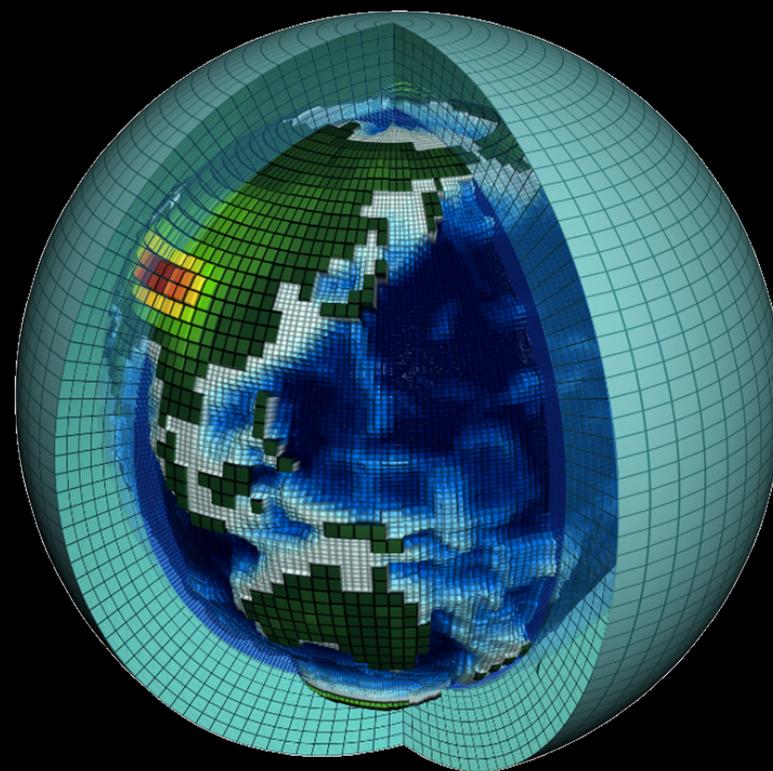
$$C_v \frac{dT}{dt} + p \frac{d\alpha}{dt} = Q$$

$$\frac{dq}{dt} = -c - \frac{1}{\rho} \frac{\partial F_q}{\partial z}$$

運動方程式

状態方程式

熱力学第一法則



- 実際には、大気汚染物質輸送、雲形成、降水、化学反応、海洋水温と塩分の輸送・混合過程、海氷の形成・融解、海洋生態系、河川や氷床、植物の成長、土壌水分・温度変化、などなど、もっと方程式は多い
- 自然現象を記述する方程式を、メッシュに分けてスパコンで計算。

実際に使ってるスーパーコンピュータ

地球シミュレータ@JAMSTEC



K@理化学研究所



- 地球シミュレータ：1秒間に、130兆回 (10の14乗)の計算
→ 横須賀の人が全員 (40万人)で1秒間に1回計算したとして、10年かかる
- K：1秒間に、1京回 (10の16乗)の計算が可能

気候変動に関する政府間パネル (IPCC)

気候モデルを用いた将来予測

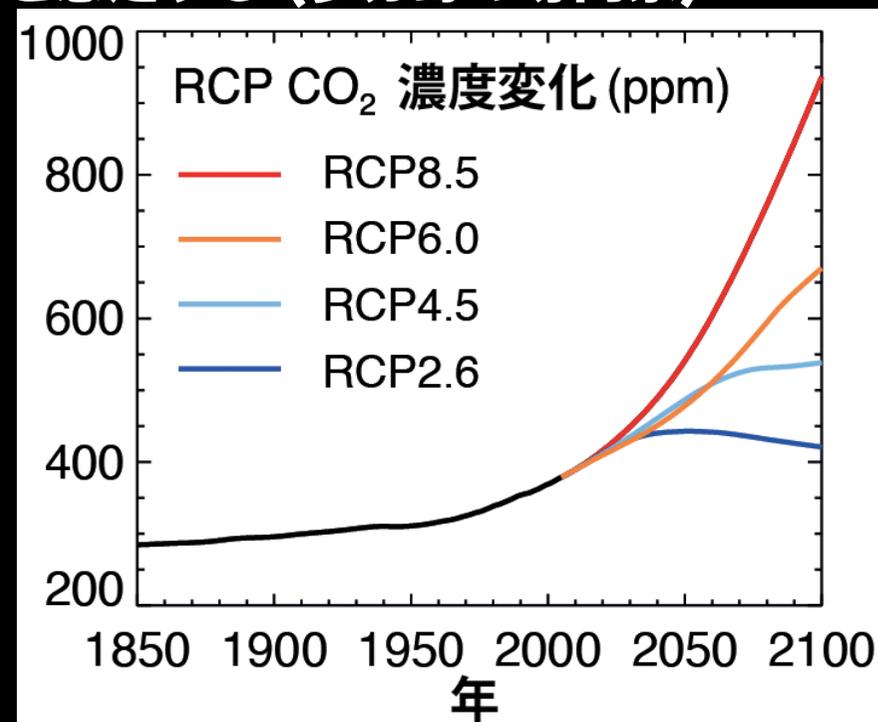
気候モデルへ与える外部境界条件 (太陽放射, 温室効果ガス, 大気汚染物質, etc.)

(1) 1850年 - 2005年 : 観測に基づく条件を与える

(2) 2006年 - 2100年 : “シナリオ”を想定する (多分野の専門家)

RCP8.5 : 経済優先

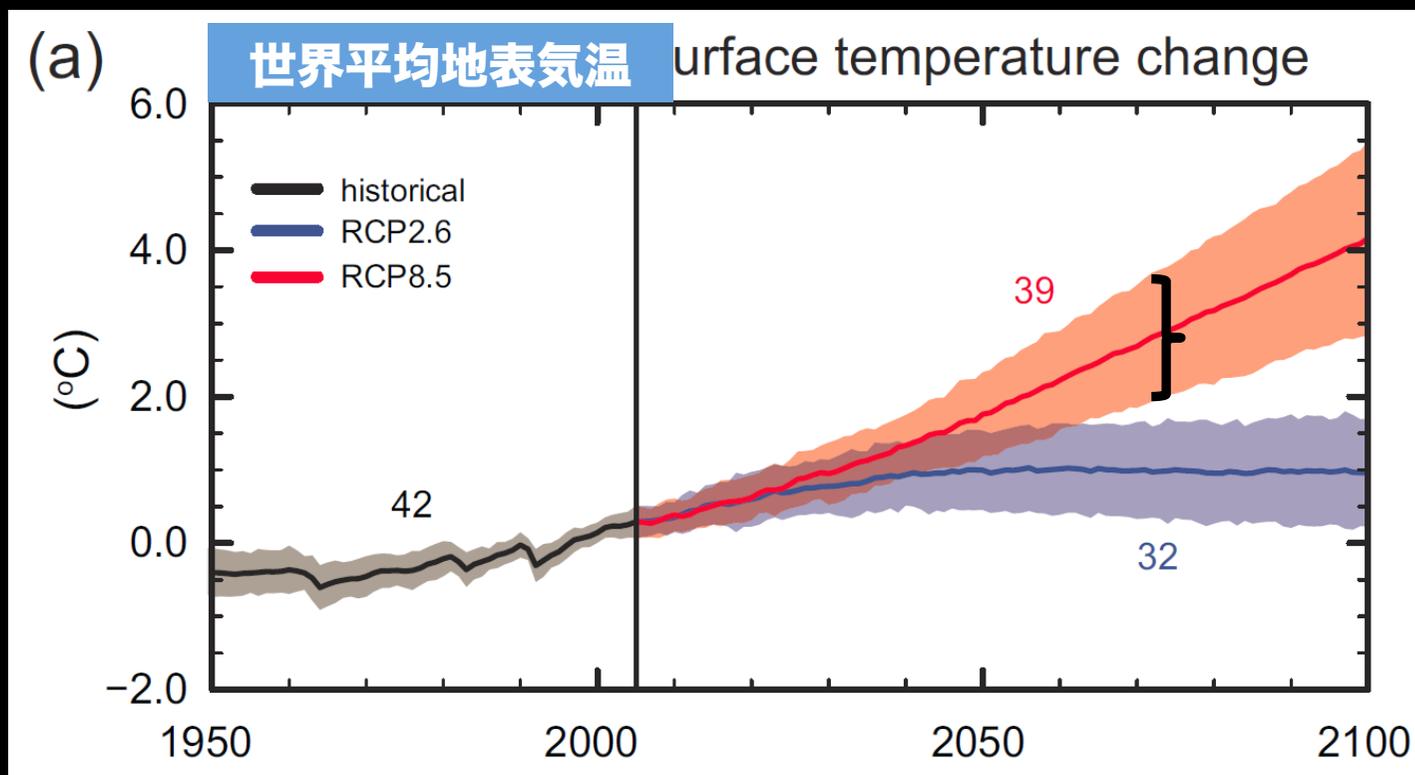
RCP2.6 : 環境優先



外部境界条件データを与えて, 1850年から2100年まで気候モデルを積分

各国研究機関による地球温暖化予測のまとめ

IPCC第5次報告書に掲載された温暖化予測結果



- ✓ 全ての気候モデルで気温は上昇する予測結果
- ✓ それぞれの研究機関で予測にばらつきがある

地球温暖化の二次的影響：異常気象

旱魃



豪雨と洪水



大規模な森林火災



寒波



温暖化が起きてなくても異常気象はある程度の割合で発生するが、

温暖化していると、この割合が増える

異常気象と気候変化

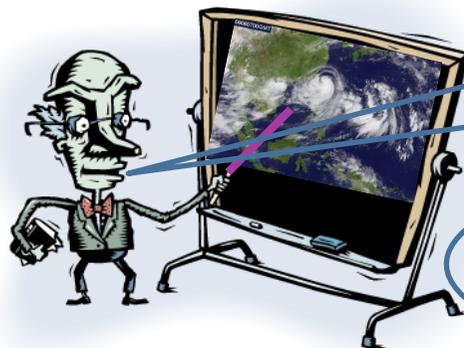
Q. (例えば)この夏の異常気象はどこまで温暖化のせい？

A.



個々の異常気象「イベント」を
温暖化のせいにはできない

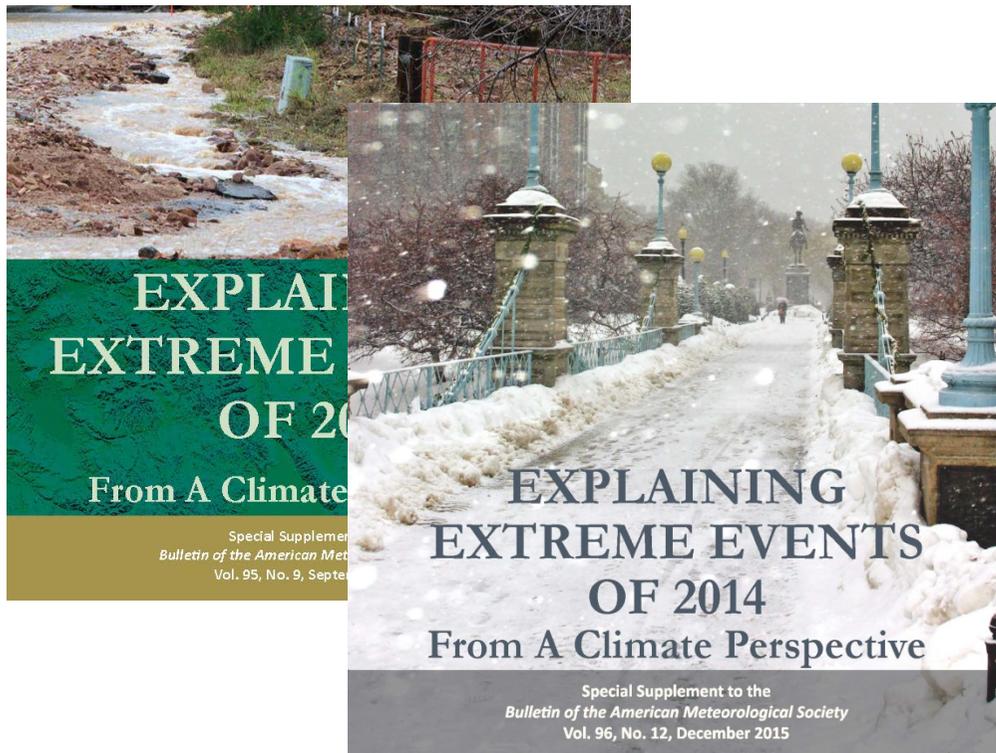
でもイベントが起こりやすかったかどうかは
部分的に気候変化のせいではないの？



イベント・アトリビューション (EA)

- 過去の異常気象に対する温暖化の寄与を確率的に特定
- 世界的に活発化している新しいタイプの研究
- 近年の多数のイベントに適用済

毎年イベントに対する成果を出版
(米気象学会特別レポート)



2013年猛暑に対するEA

15. THE CONTRIBUTION OF ANTHROPOGENIC FORCING TO THE JAPANESE HEAT WAVES OF 2013

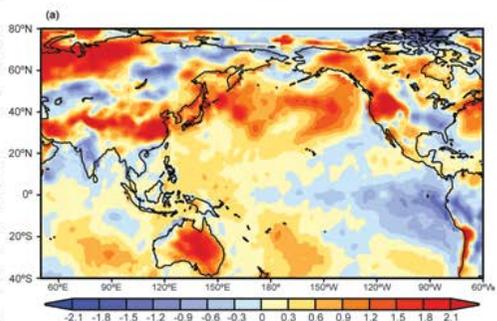
YUKIKO IMADA, HIDEO SHIOGAMA, MASAHIRO WATANABE, MASATO MORI,
MASAYOSHI ISHII, AND MASAHIDE KIMOTO

Anthropogenic climate change played a significant role in increasing the probability of events such as the heat wave in Japan in 2013.

Introduction. During the boreal summer of 2013, Japan experienced extraordinarily high temperatures: record-breaking daily maximum temperatures at 143 sites in the west of the country. Daily mean surface air temperature (SAT) was 1.2°C warmer than normal on average in July and August in western Japan, which was above the 90th percentile for the reference period of 1979–2012.

This heat wave was characterized by the intensification of both the Pacific high and the Tibetan high. Figure 15.1 shows observed anomalies of surface temperature, circulation, and convective activity from July to August 2013. Active convective heating, as indicated by negative anomalies in outgoing longwave radiation, was observed in

general circulation model (AGCM) under two specific boundary conditions for July and August 2013. We



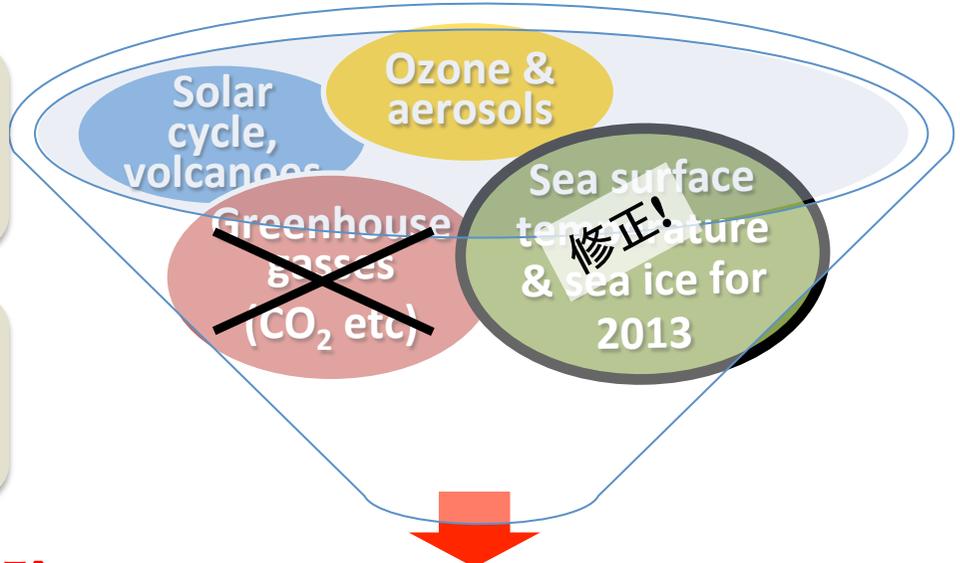
Imada et al. (2014 BAMS)

EAの具体的なアプローチ

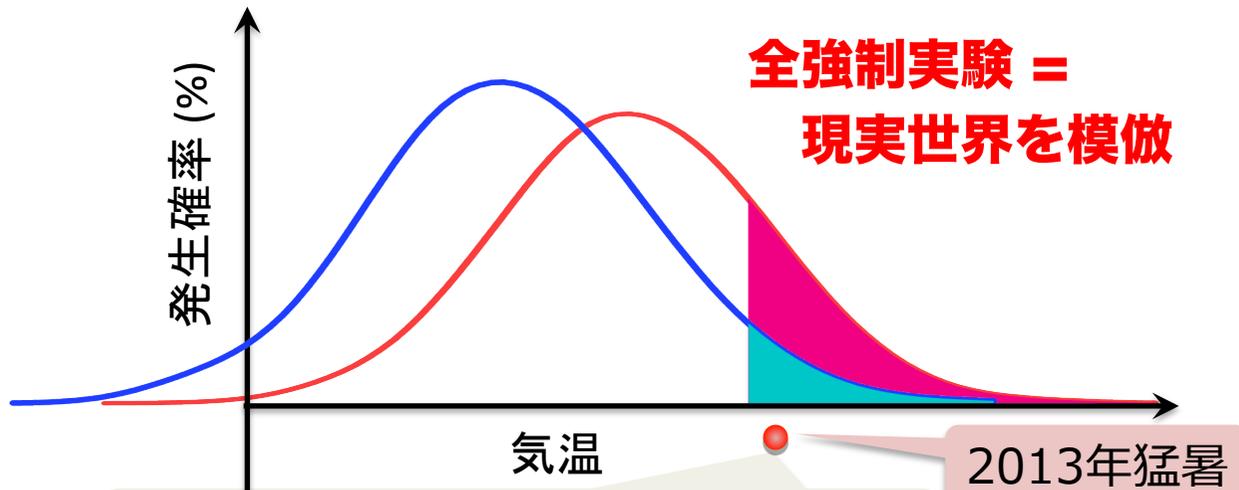
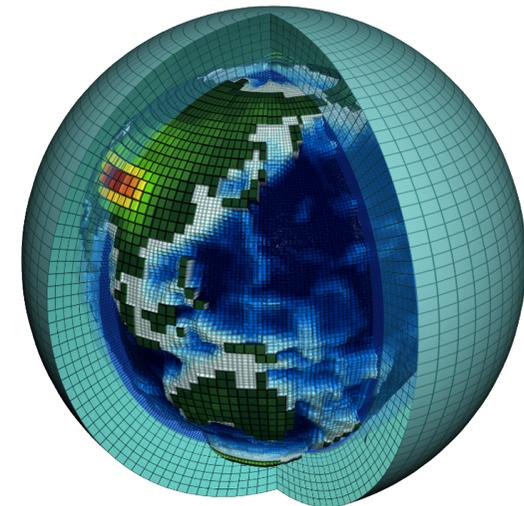
非温暖化実験 = 「もし温暖化が起きていなければ？」という仮想世界を表現

2013年夏季のシミュレーションを100回繰り返す(アンサンブル)ことで、熱波の発生確率を推定する

ただし、温室効果気体は1850年時点で固定、海面水温などから温暖化による長期変化成分を取り除く



大気大循環モデル

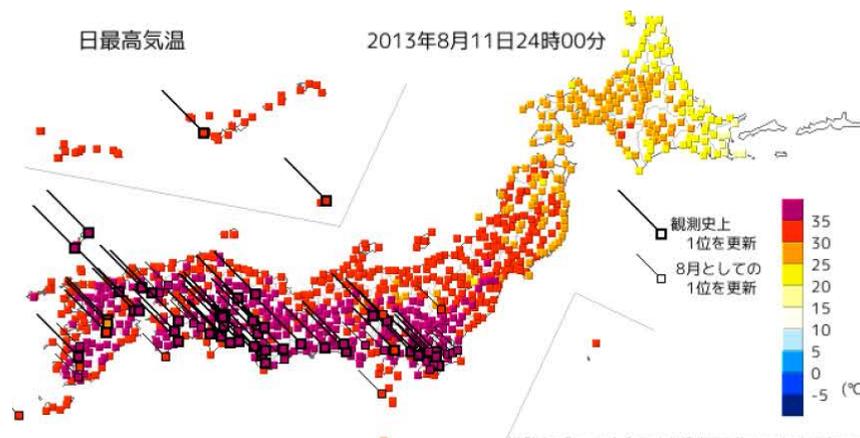
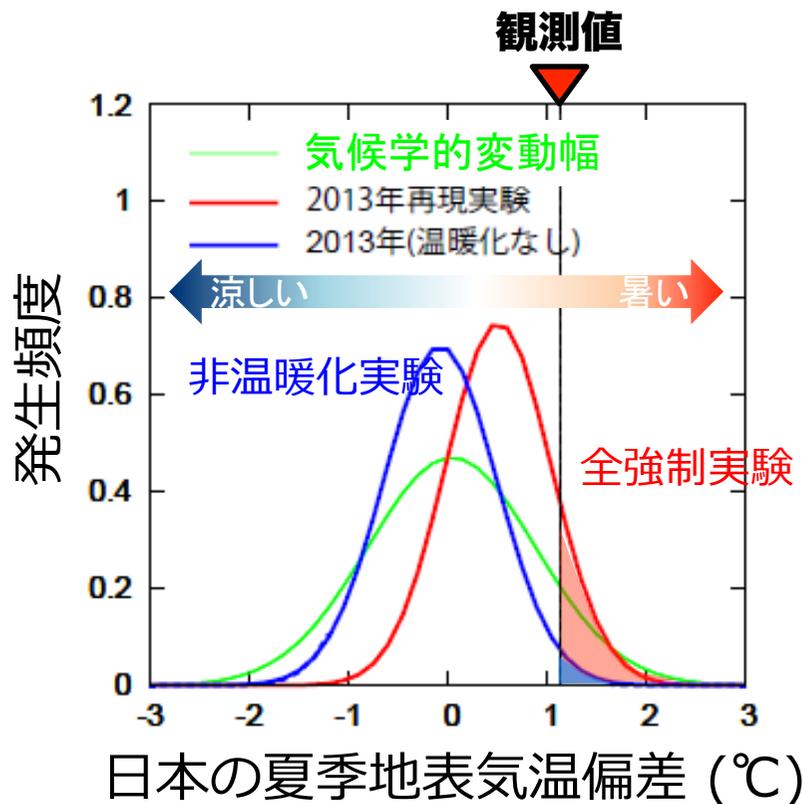


**全強制実験 =
現実世界を模倣**

人為起源温暖化はこのイベントの発生リスクを **XX - YY%** 増加させた



2013年日本の猛暑に対するEA



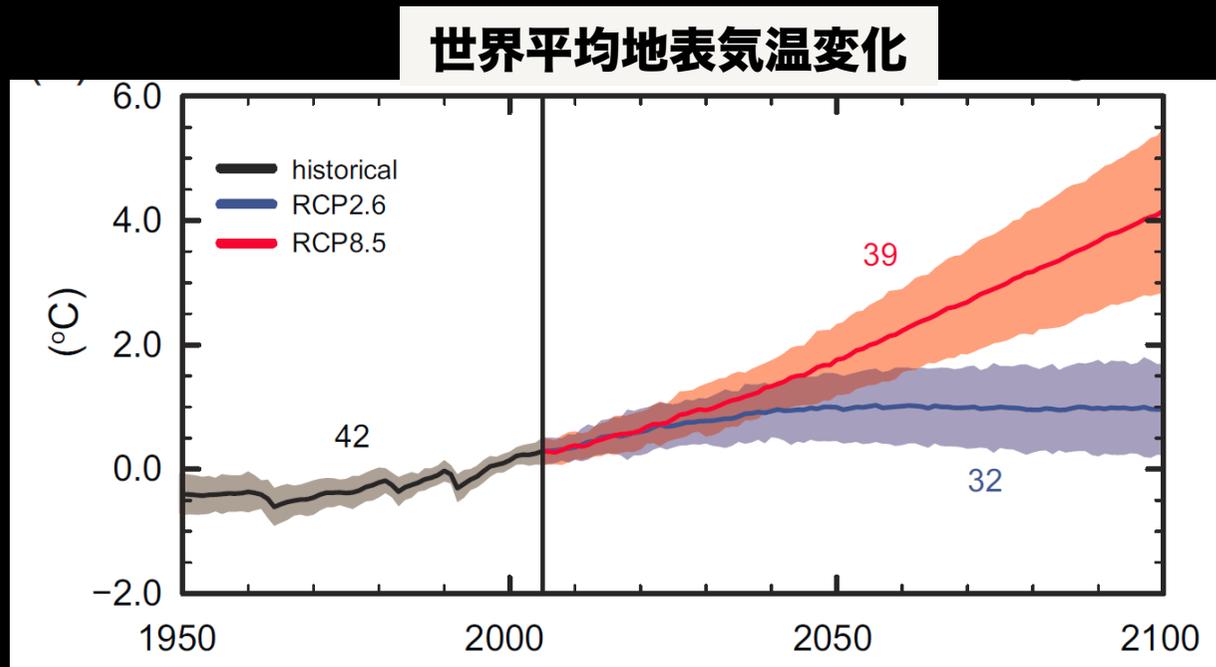
観測と同程度以上の猛暑の発生確率 (P)

ALL (P_0)	NAT (P_1)	FAR ($1-P_1/P_0$)
12.4%	0.5–1.73%	0.86–0.96

Imada et al. (2014, BAMS)

Fractional Attributable Risk (FAR): 人間活動の寄与の目安
(~1: 人為起源温暖化の寄与が明らか、~0: 温暖化の寄与はなし)

地球温暖化予測の不確実性 (IPCC AR5)



各国気候モデル予測結果のばらつき

✓ 主に雲・放射・エアロゾル過程に起因する不確実性 (1.5 - 4.5°C)

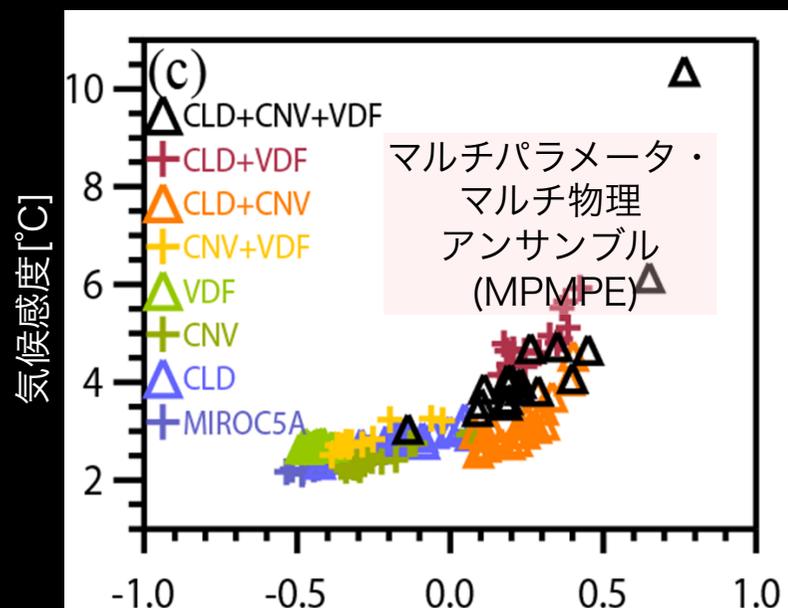
→ 温室効果ガスの削減コストにも関係 (社会経済)

将来的な異常気象発生頻度/強度予測の不確実性

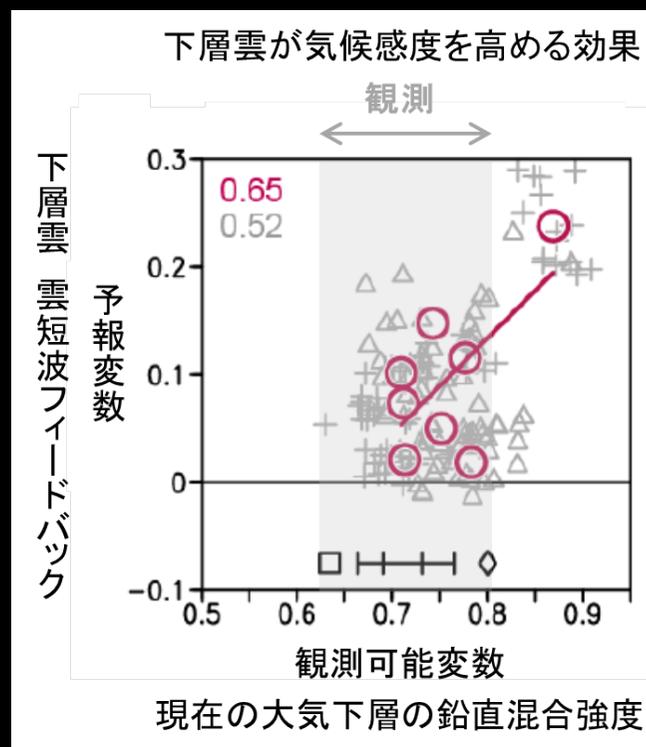
防災・減災へ向けた政策立案に資する情報の信頼性

気候感度の不確実性

気候感度：CO2濃度が2倍になったときの気候応答の度合



雲の変化がどの程度
温暖化を抑制・増幅するか[W/m²]
Shiogama et al. (2014)



Kamae et al. (2016)

- ✓ 気候モデルで陽に表現できない雲過程のパラメタ化が主要因
- ✓ 京コンピュータにより可能となってきた、「雲解像」気候モデルの開発