



2022/10/4 第33回京都大学防災研究所公開講座（広島県共催）  
多発する豪雨、水害、土砂災害に備える



## 豪雨につながる大気の流れとその予測

京都大学防災研究所 教授  
榎本剛

本研究は科研費 JP26282111及び19H05698の助成を受けた。  
気象庁情報基盤部と京都大学との「台風防災に資する気象庁全球スペクトルモデル  
GSMの改良に関する研究」の下、気象庁データの提供を受けた。



## 本日のお話

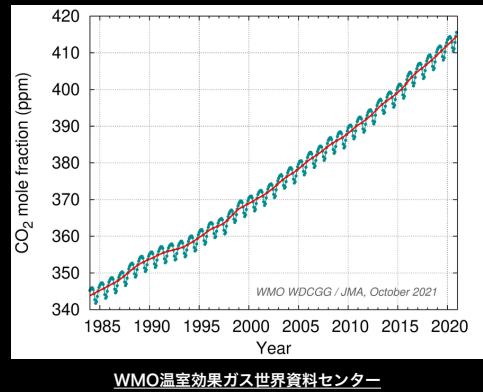
- ・ 地球の大気
- ・ 温室効果
- ・ 近年の異常天候
- ・ 平成30年7月豪雨（西日本豪雨）
- ・ 令和元年東日本台風（台風第19号）



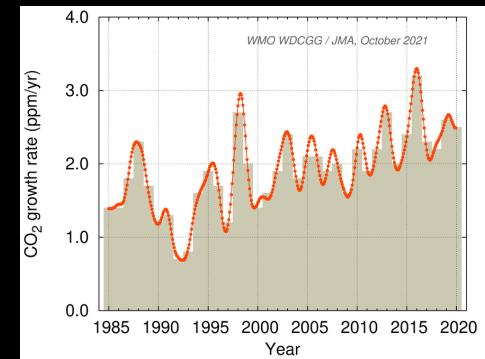
気象庁

## 地球の大気

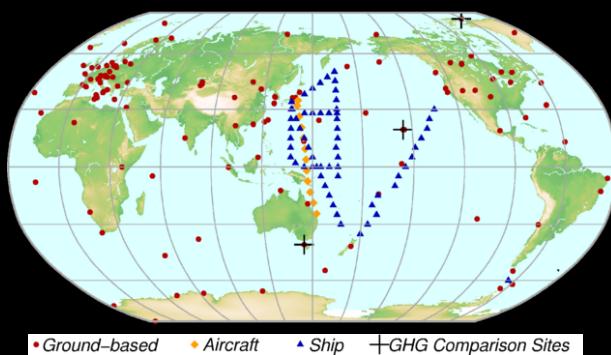
## 全球平均CO<sub>2</sub>濃度



## 全球平均CO<sub>2</sub>増加率



## CO<sub>2</sub>観測網

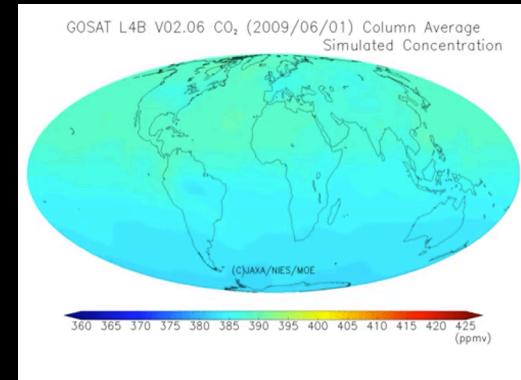


WMO GHG Bulletin

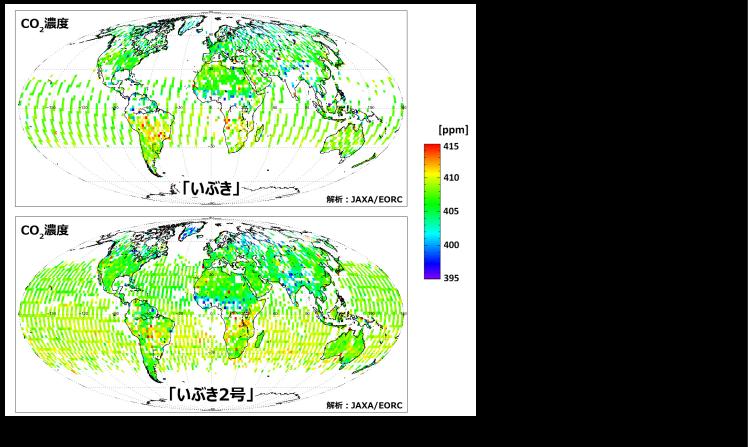
CONTRAIL

Skyward January 2020

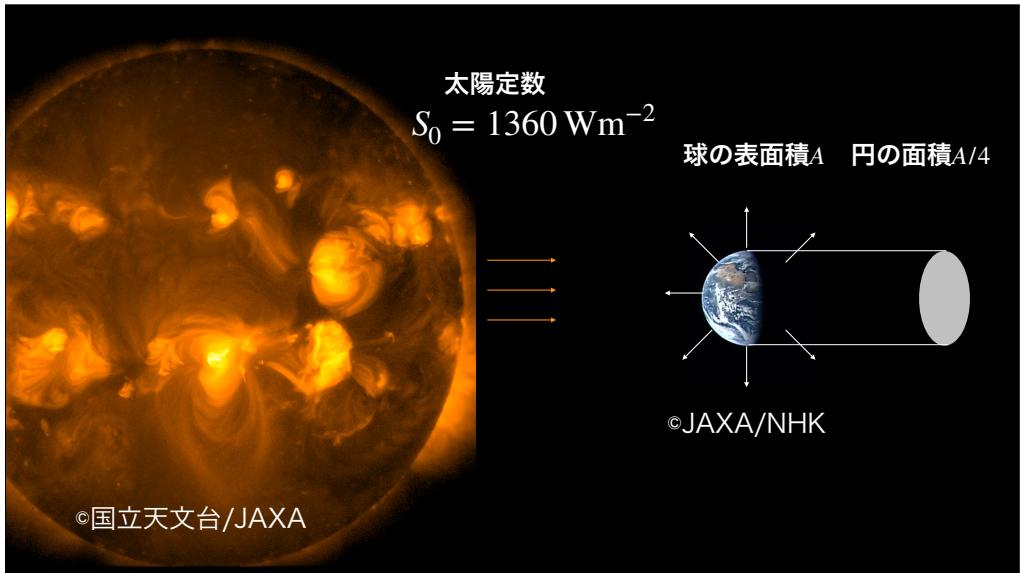
## GOSATによる衛星観測



## GOSAT-2

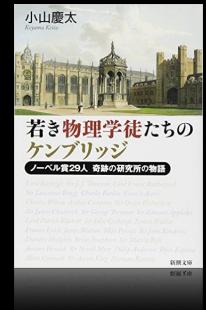


## 温室効果

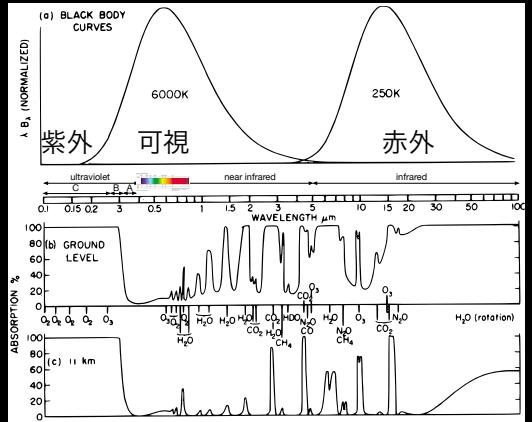


## 産業革命と量子論

- 18世紀後半イギリスで産業革命
- 溶鉱炉の温度を正確に知る必要
- Planckの公式  $E_{\text{BB}} = \sigma T^4$  エネルギーは温度の4乗に比例
- Wienの変位則  $\lambda T = 2900$  波長と温度は反比例する
- 量子力学への発展



# 太陽放射と地球放射



Goody and  
Yung 1983

地上  
11 km

11 km

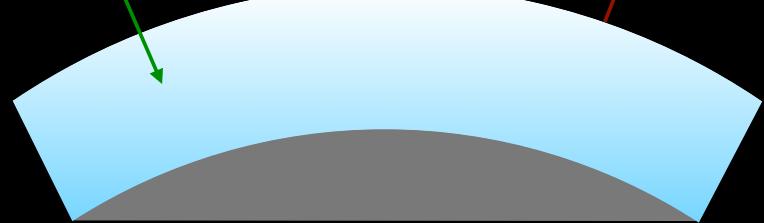
華氏

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

摄氏	华氏
-40	-40
-17.8	0
0	32
15.6	60
40	104
100	212

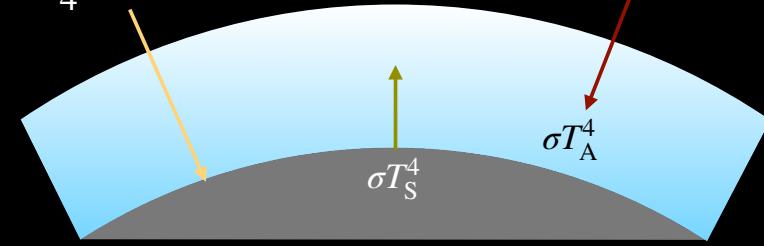
放射平衡

$$\frac{S_0}{4}(1 - \alpha_p) \approx 255 \text{ K} = -18^\circ\text{C} = 0 \text{ F}$$



温室效果

$$\frac{S_0}{4}(1 - \alpha_p) \quad \text{大気上端} \quad \frac{S_0}{4}(1 - \alpha_p) = \sigma T_A^4 = \sigma T_e^4 \quad \sigma T_A^4$$



$$\text{地表面 } \frac{S_0}{4}(1 - \alpha_p) + \sigma T_A^4 = 2\sigma T_e^4 = \sigma T_s^4 \quad T_s = \sqrt[4]{2}T_e \approx 303 \text{ K}$$

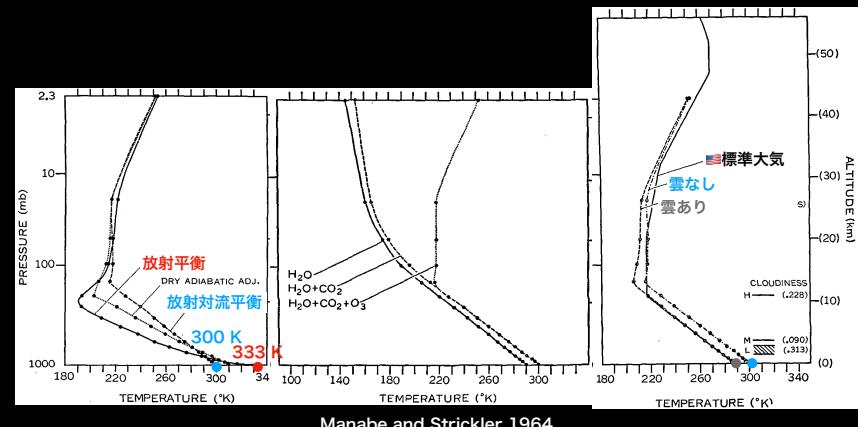
# 真鍋淑郎 1931—

- 2021年ノーベル物理学賞
- 放射対流平衡  
Manabe and Strickler 1964
- 大気海洋結合モデル  
Manabe et al. 1965  
Manabe and Bryan 1969
- 二酸化炭素倍増実験  
Manabe and Wetherald 1975
- 二酸化炭素漸増実験  
Stouffer, Manabe, and Bryan 1989  
Manabe et al. 1991, 1992

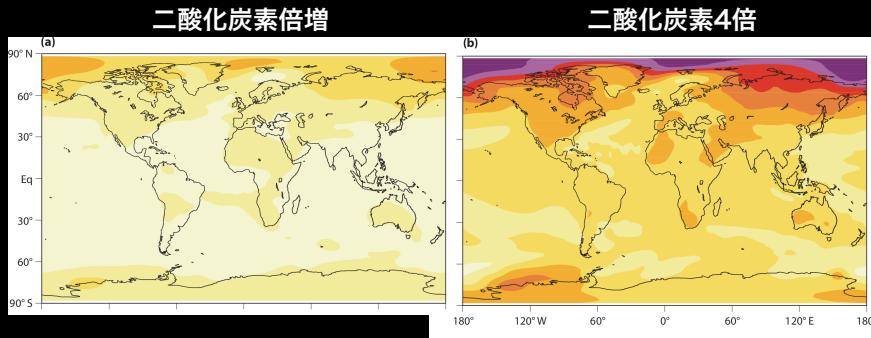


6 December 2021, National Academy of Sciences, Kyodo

# 放射対流平衡



# 温暖化予測



COLOR PLATE 3 Geographic distribution of the simulated change in surface air temperature (a) from the preindustrial period to the middle of the twenty-first century, when the  $\text{CO}_2$  concentration has doubled, and (b) in response to the quadrupling of atmospheric  $\text{CO}_2$ . From Manabe et al. (2004b).

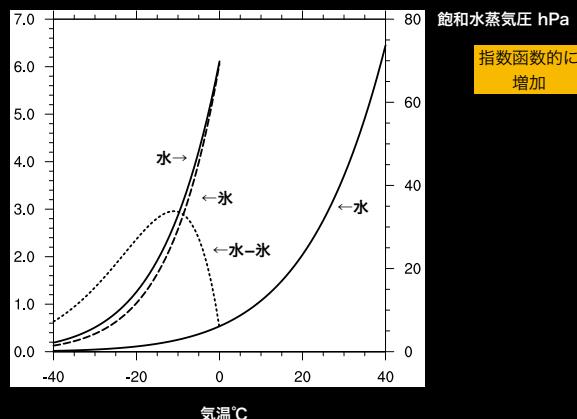
# 異常気象

# 「異常気象」

- ・気象庁（気象学）：30年間に1度以下のまれな現象
- ・一般的感覚：経験したことのない、  
生活に支障をもたらす、  
災害につながるような現象

- ・台風・大雨・強風というだけでは異常気象とは言えない。
- ・近年は広域・大規模な気象災害が発生している。
- ・異常気象でなくても、社会経済活動に影響のある現象には備えが必要。
- ・地球の平均気温が少々上がることと、異常気象との関係？

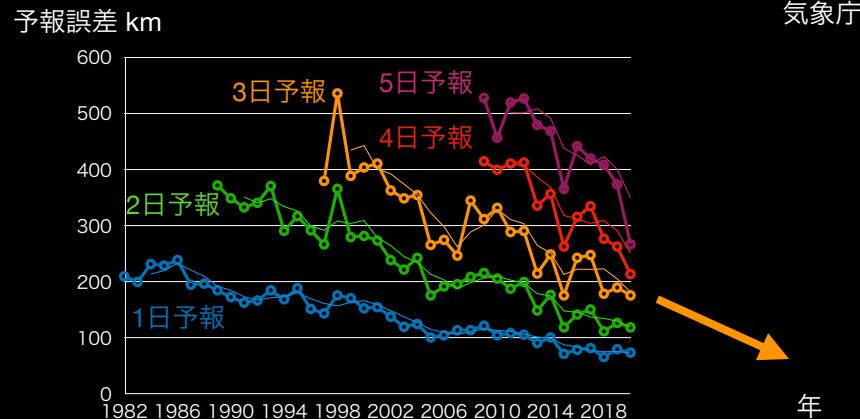
## 飽和水蒸気圧



## 2030年に向けた数値予報技術開発重点計画

2030年には、数値予報技術の大幅な高度化により、  
台風の3日先の進路予測誤差を 100km 程度  
(現在の1日先の予測における誤差程度) にまで改善

# 台風進路予測誤差



平成30年7月豪雨

## 平成30年7月豪雨に伴う災害

- 四国で総降水量 >1800 mm  
西日本は気候値の2~4倍
- 洪水, 地滑り
- 死者224, 4万人が避難
- 家屋損壊21,553棟, 浸水30,480
- ライフラインや交通の寸断
- 被害額推定1.2兆円



岡山県倉敷市真備町



広島県安芸郡熊野町

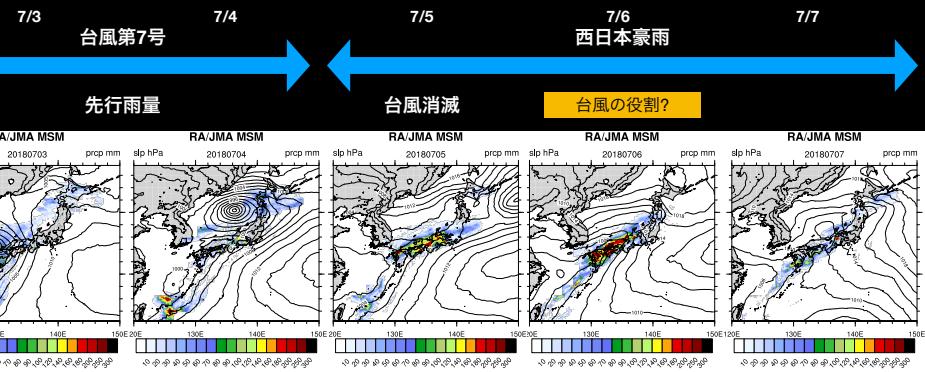


愛媛県宇和島市吉田町



岡山県総社市アルミ工場

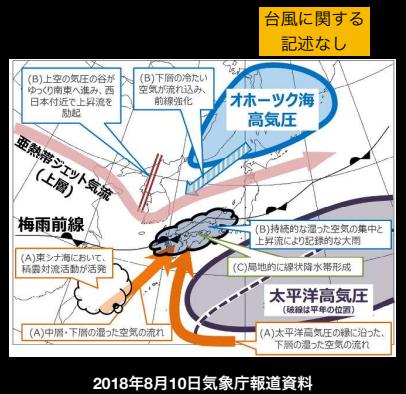
## 西日本豪雨に先行する台風接近



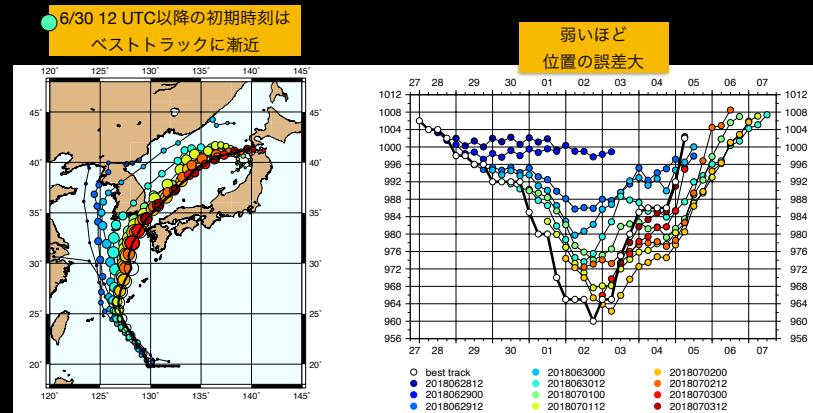
Enomoto 2019, SOLA, 10.2151/sola.15A-012

# 記録的な大雨の要因

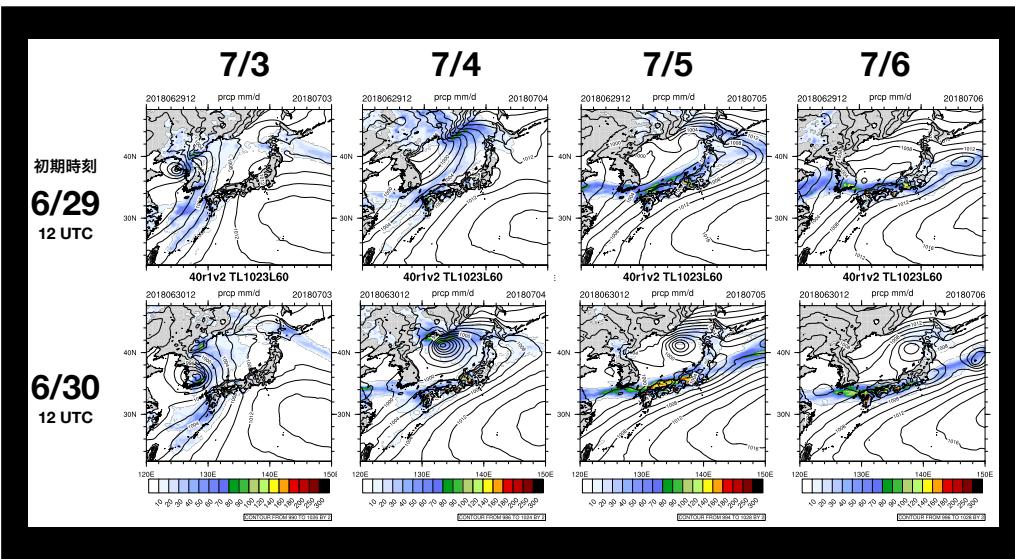
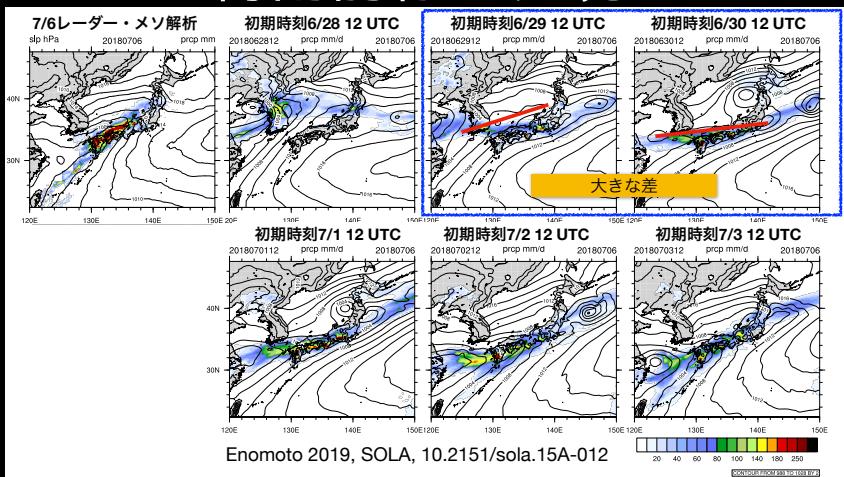
- (A)多量の水蒸気を含む2つの気流が西日本付近で持続的に合流
- (B)梅雨前線の停滞・強化などによる持続的な上昇流の形成
- (C)局地的な線状降水帯の形成



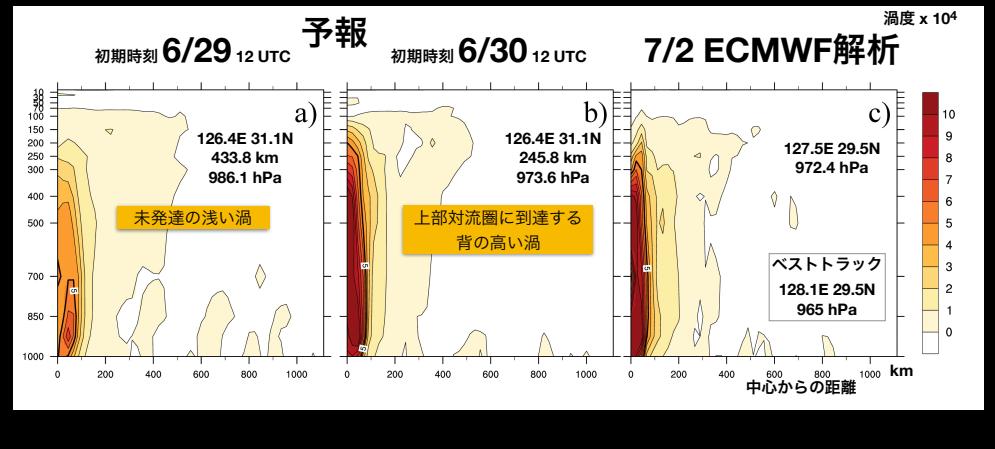
# 予報経路と中心気圧



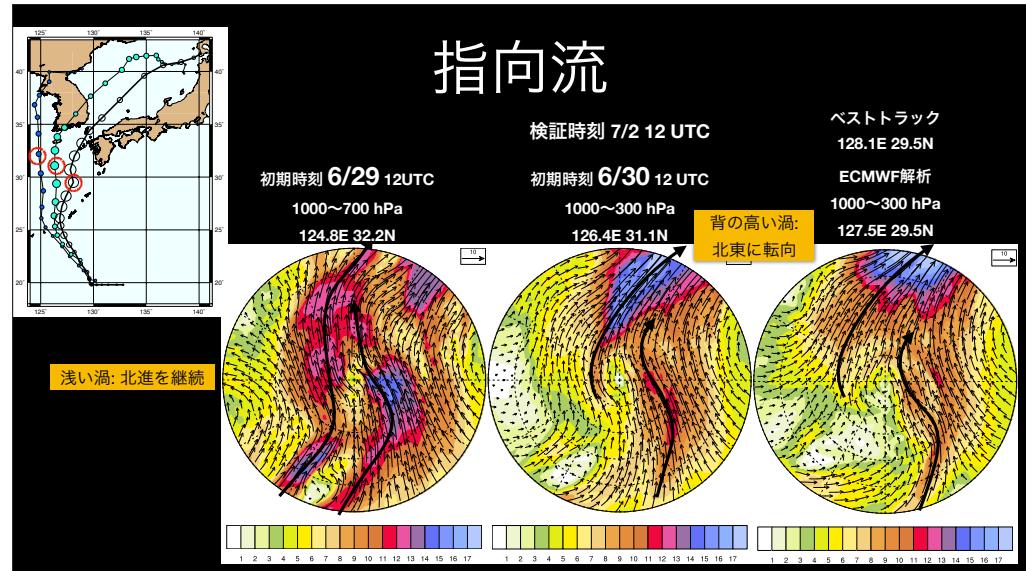
# 梅雨前線の表現



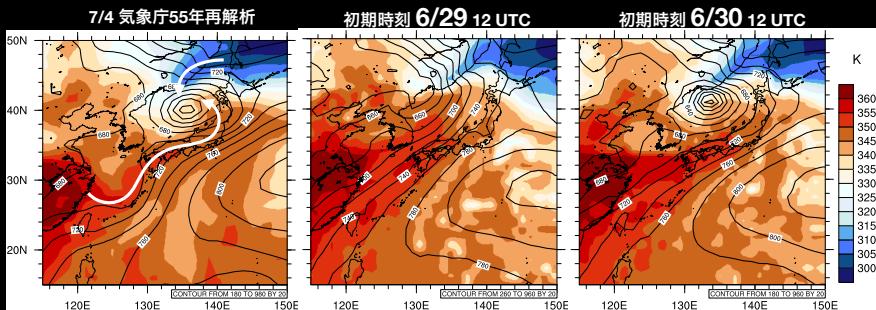
## 渦の鉛直構造



## 指向流



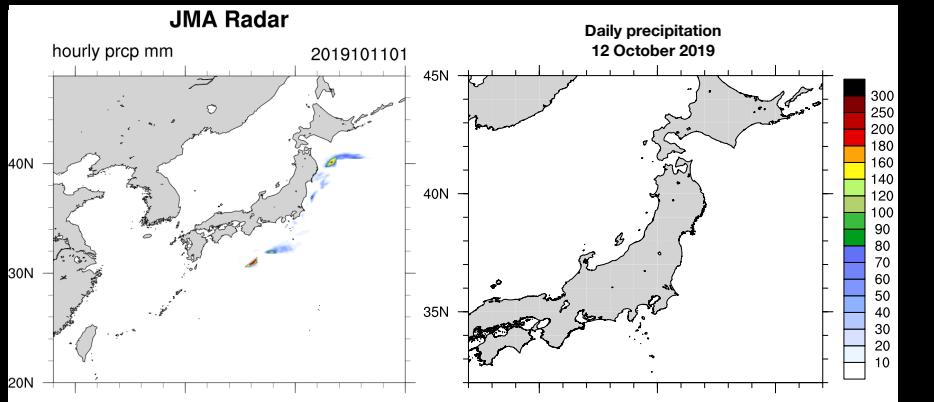
## 梅雨前線の強化



Enomoto 2019, SOLA, 10.2151/sola.15A-012

## 令和元年東日本台風

# 2019台風第19号



## 台風第19号による災害

- 令和元年東日本台風
- 上陸時 40 m/s, 955 hPa
- 箱根で 1000 mm
- 死者 98 人, 237,000 人避難
- 家屋損壊 91,000 棟
- ライフラインや交通の寸断
- 71 河川の 140 個所で決壊
- 被害額 1.8 兆円



令和元年度消防白書

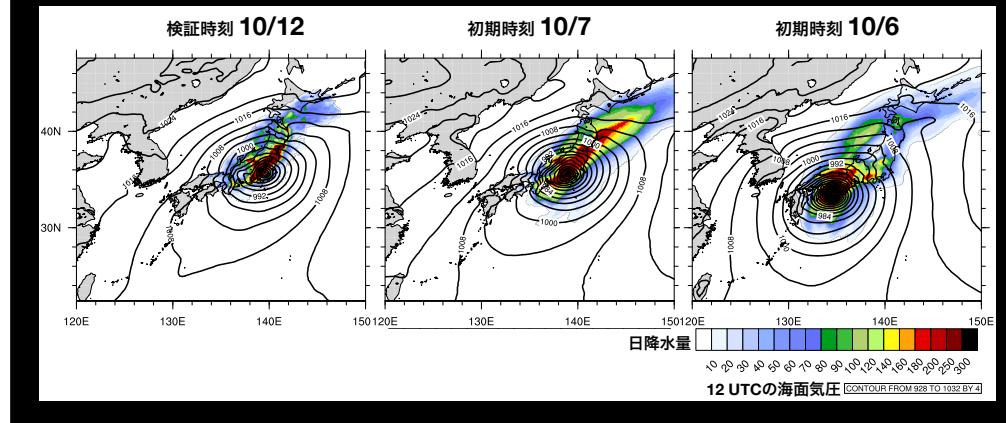
京都大学  
KYOTO UNIVERSITY  
公開日: 2021年04月20日  
中下流域理学研究科修士課程学生、橋本剛防災研究所所長接続 令和元年第19号台風(台風第19号)に関する発表行なむと主張するの場面に於ける予報を比較検証しました。  
台風第19号は日本を中心に甚大な風雨をもたらしました。台風第19号は10月6日に南鳥島付近で発生し、大型で猛烈な台風に発達し、大型で強い勢力を維持したまま12月19日(日本時間)伊豆半島付近に上陸しました。台風第19号の道路や河川が被災することは、今後同様な台風が復活・上陸が予想される場合の対応を検討する上で参考になります。  
上陸の4日前からの気象庁の予報は群衆接続密度が高く、3日半前の予報では伊豆半島付近への上陸を正確に予測していました。ところが、3日前からの予報では上陸位置が西にずれ、東京方面に予測されました。試算参加の要因を特定するため、橋本剛らが考案したアンサンブル風速解析手法を用いて調べたところ、進路4日前に台風の進路で位置していた熱帯擾乱に敏感であることを示されました。熱帯擾乱が強く発達すると、台風の進路を西にずらすことがわかりました。  
本研究結果は、2021年4月20日に、国際学術誌「SOLA」に掲載されました。

(a)  
(b)

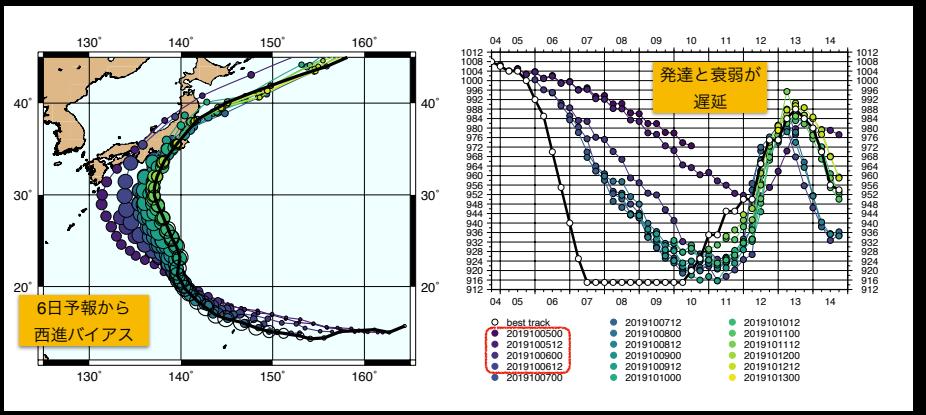
図: 気象庁の予報における台風第19号の中心位置(●)と観測から推定された中心位置(○)。

プレスリリース

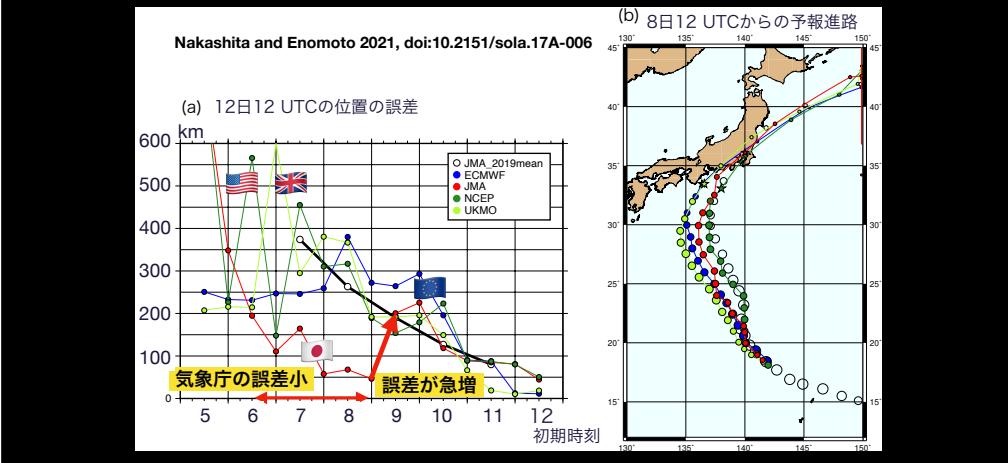
## 気象庁決定論的予報



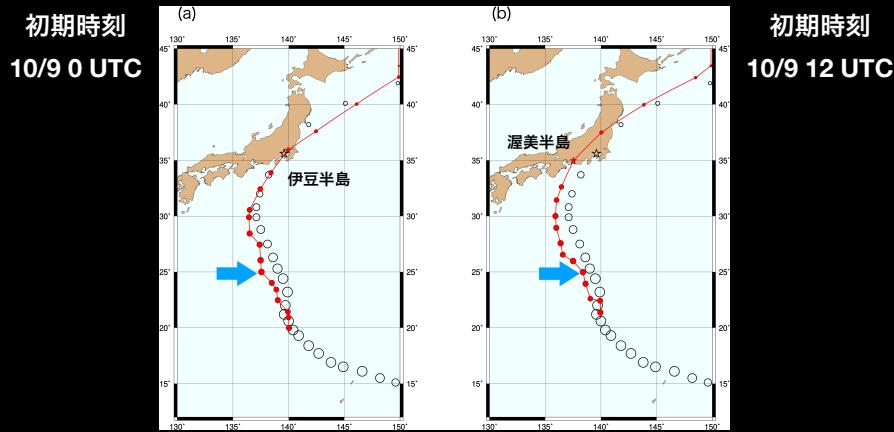
## 予報経路と中心気圧



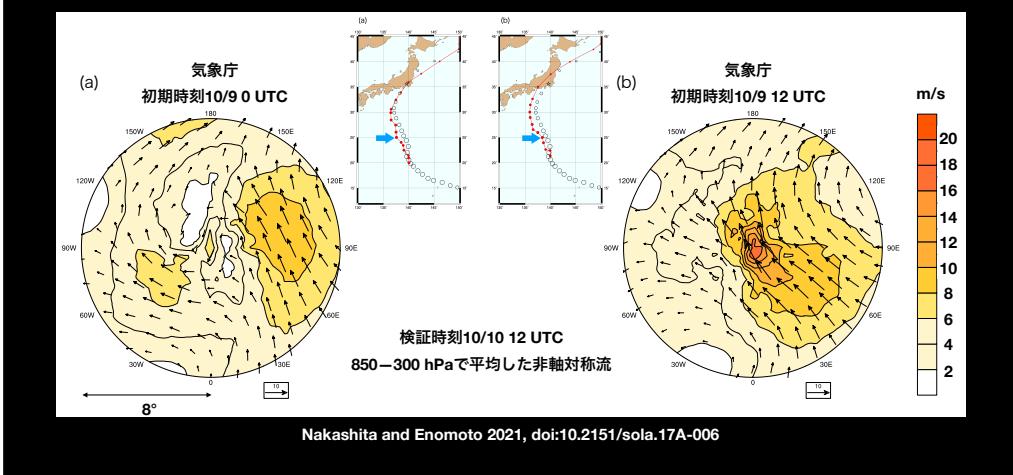
## 国際比較



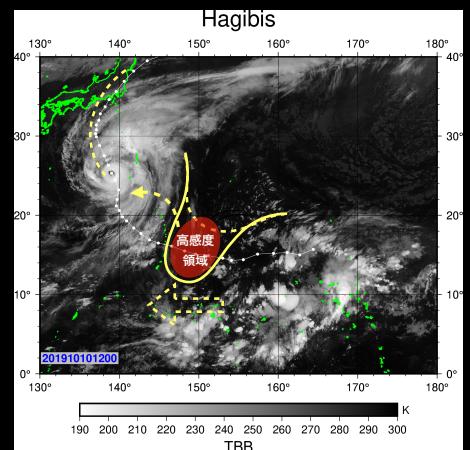
## 上陸位置の西偏



## 初期時刻敏感性

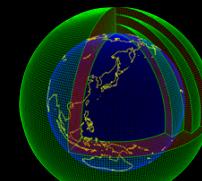


## 気圧の峰に高密度



## モデルの設定

気象庁GSM (全球スペクトルモデル)

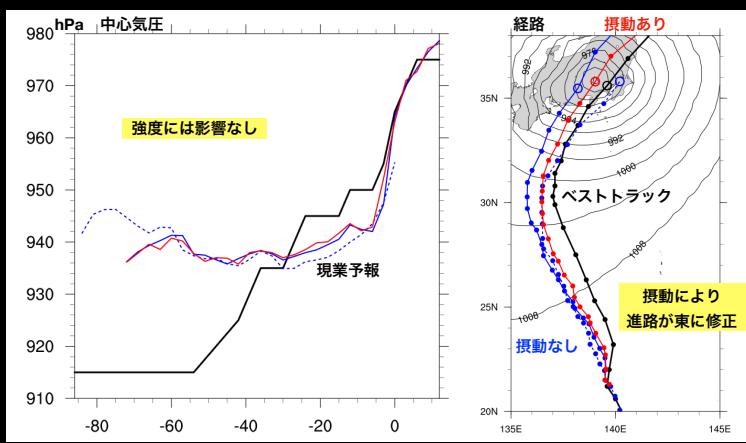


京都大学スーパーコンピュータシステム



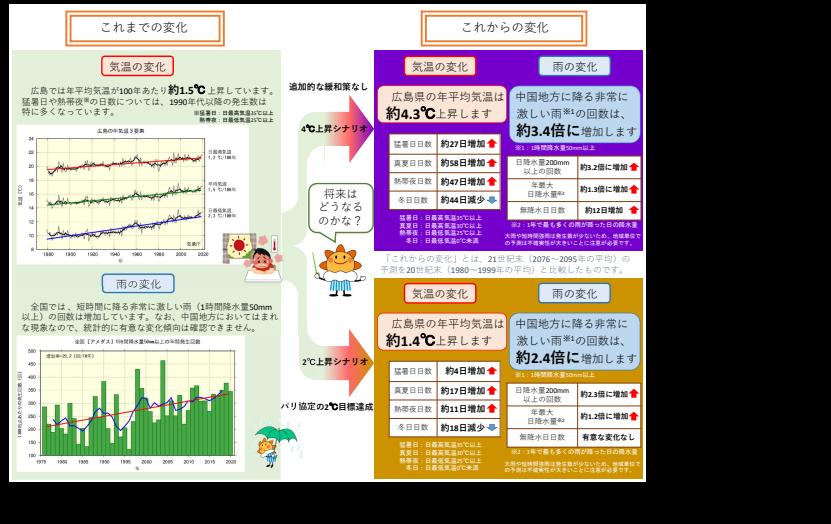
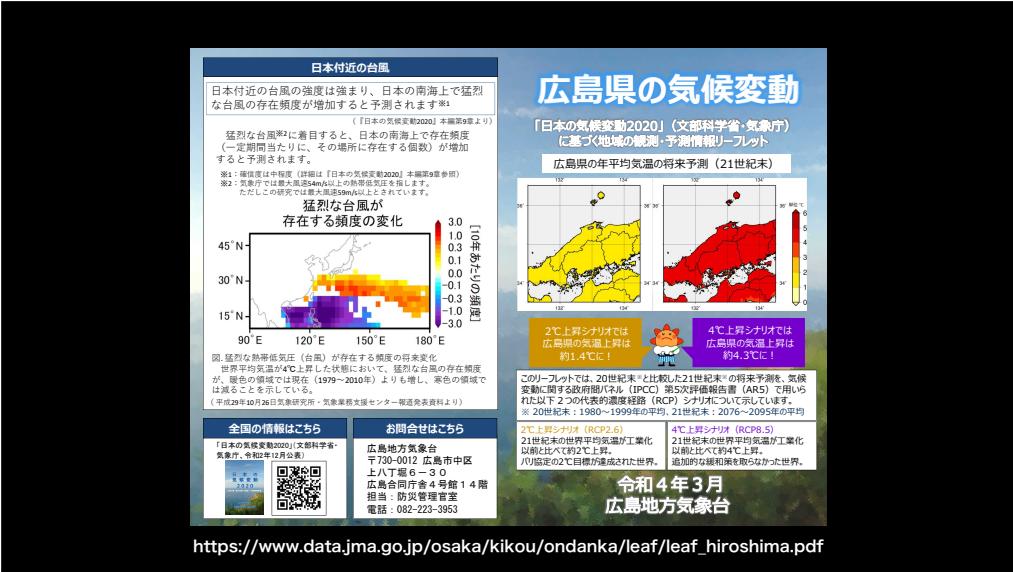
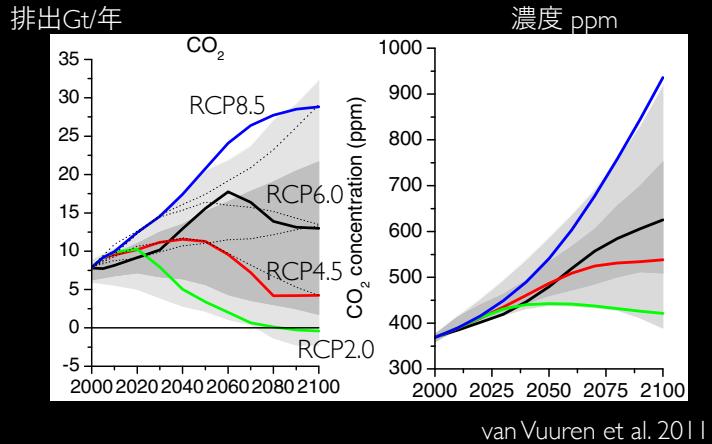
- ・ モデル: GSM1705 2019年10月当現業
- ・ 解像度: TL479L100, 水平0.4°100層
- ・ 現業海面水温・海氷分布
- ・ 初期時刻: 2019年10月9日12 UTC

## 摂動実験



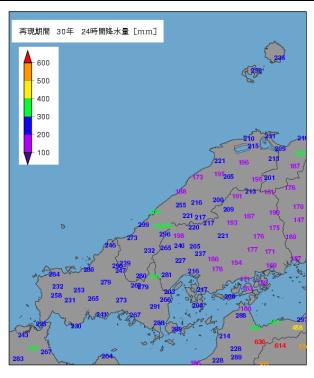
地球温暖化に備える

# 二酸化炭素排出シナリオ

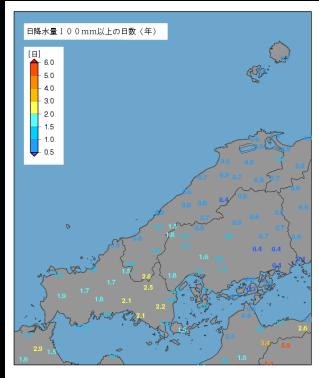


## 大雨のリスクマップ

30年に1度の大雨

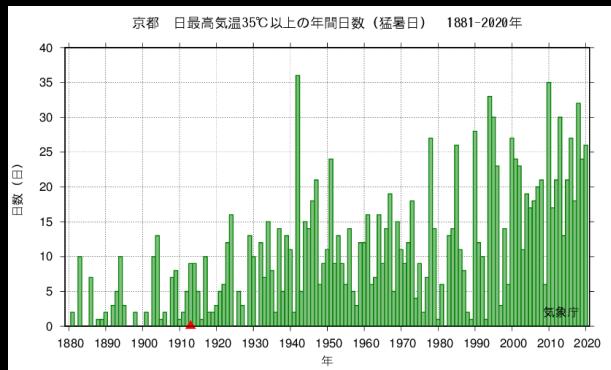


日降水量100mm以上の日数



熱波に備える

## 猛暑日の日数 京都



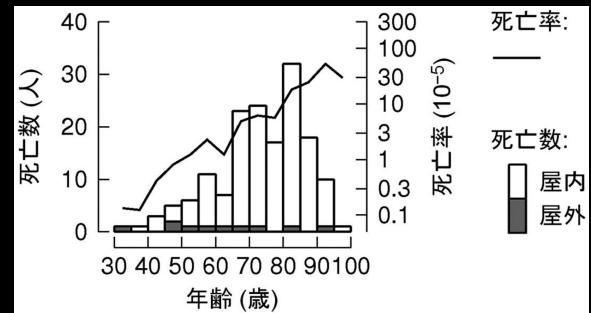
## 日最高気温の記録 広島

順位	日付	最高気温
1	1994/7/17	38.7
2	2004/7/29	38.4
3	2004/7/30	38.3
4	1994/7/22	38.3
5	1924/8/5	38.1
6	2021/8/6	38.0
7	1994/7/16	38.0
8	2001/8/5	37.9
9	1994/7/24	37.9
10	1914/8/12	37.8

## 「災害級の暑さ」

- ・熱波に警報はない⇒高温注意情報
- ・犠牲者や被害は、風水害に匹敵
- ・熱中症死者は高齢者が多い。
- ・屋内で亡くなる方が多い。
- ・気温の上昇にやや遅れる。

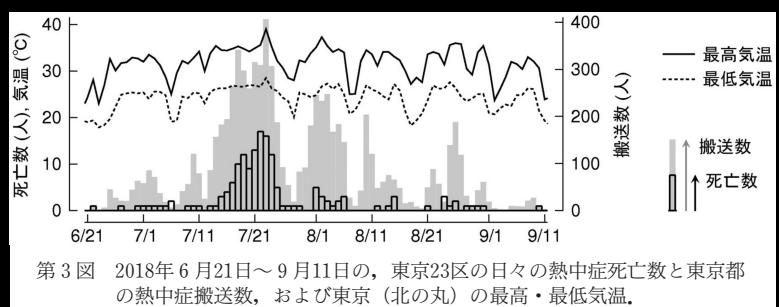
## 熱中症死亡数と死亡率の年齢構成



東京23区 2018年6~9月

藤部他2019

## 熱中症死亡数と搬送数



第3図 2018年6月21日～9月11日の、東京23区の日々の熱中症死亡数と東京都の熱中症搬送数、および東京（北の丸）の最高・最低気温。

藤部他2019

温室効果抑制は防災対策

# 化石燃料の消費を抑制する

- ・家の断熱・遮熱
- ・風を生かす
- ・自然エネルギーを作る





## まとめ

- ・適度な温室効果で住みやすい地球の気候が形成されている。
- ・人間活動の結果、温室効果ガスが急増したため、温暖化が進行し、災害をもたらすような異常気象・異常天候が増加しつつある。
- ・最近の台風の事例は大規模で広域な被害をもたらしている。
- ・防災・減災には温室効果ガスの削減に取り組み頻度の増加や規模の拡大を食い止めるとともに、数値天気予報の活用が重要である。