

IPCC 第6次評価報告書 第1作業部会報告書 自然科学的根拠

第11章 変化する気候における極端気象・気候 Weather and climate extremes in a changing climate

佐藤正樹（東京大学大気海洋研究所）

IPCCシンポジウム2021

2021年10月 「Zoom」を用いたオンライン開催

Sonia I. Seneviratne, Xuebin Zhang

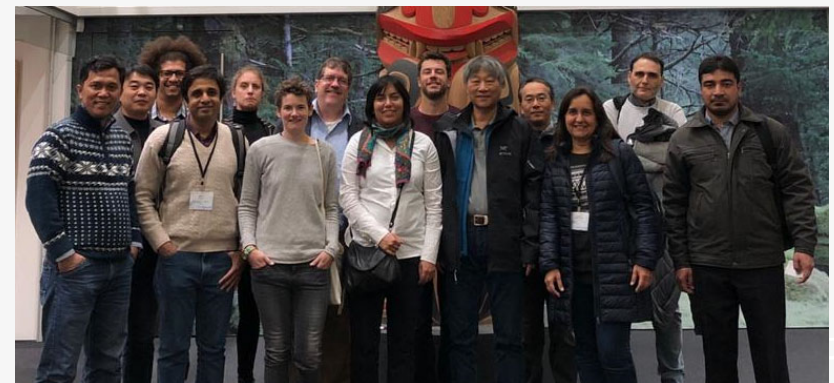
Muhammad Adnan, Wafae Badi, Claudine Dereczynski, Alejandro di Luca, Subimal Ghosh, Iskhaq Iskandar, James Kossin, Sophie Lewis, Friederike Otto, Izidine Pinto, Masaki Satoh, Sergio M. Vicente-Serrano, Michael Wehner, B. Zhou

Chapter scientists: M. Hauser, M. Kirchmeier-Young, H. Wan

Review editors: J. Chan, A. Sorterberg, C. Vera

概要

- 本章の概要、統計データ
- 観測された極端な現象の変化
- 地球温暖化に伴う極端な現象の変化の予測
- 予測される台風等ストームの変化
- 全球的に同時発生した異常気象のケーススタディ
- キーメッセージ



SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



Chapter 11: Weather and climate extremes

Chapter 11 assesses observed changes in weather and climate extremes, their attribution to human influence, and future projections at +1.5°C, +2°C and +4°C.



Section 11.1
Framing



Section 11.2
Data and methods



極端温度

Section 11.3
Temperature extremes



旱ばつ

Section 11.6
Droughts



極端降水

Section 11.4
Heavy precipitation



洪水

Section 11.5
Floods



Section 11.7
Extreme storms

11.7 暴風雨

(台風・温帯低気圧・集中豪雨・暴風)



Section 11.8
Compound events

複合事象



Section 11.9
Regional information

地域ごとの情報

Boxes

Box 11.1
Thermodynamic and dynamic changes

Box 11.2
Low-likelihood, high-impact changes

Box 11.3
Paleo extremes

Box 11.4
Examples of concurrent climate extremes

BOX11.4
同時発生した
極端気候の例

Chapter 11: Quick guide

Key topics and corresponding sub-sections

Regional information distributed within **Sections 11.3-11.8**

● Africa

Table 11.4 | Table 11.5 | Table 11.6

● Asia

Table 11.7 | Table 11.8 | Table 11.9 | Box 11.4

● Australasia

Table 11.10 | Table 11.11 | Table 11.12

● Central and South America

Table 11.13 | Table 11.14 | Table 11.15

● Syntheses for all regions

11.9 | Table 11.A.2

Cross-chapter boxes

CC Box 11.1
Translation between global warming levels and scenarios

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

Working Group I – The Physical Science Basis

本章の統計データ

著者の数：全世界から16名

タイムゾーンの数 13（米国西部からオーストラリアまで）

引用された文献の数 1962

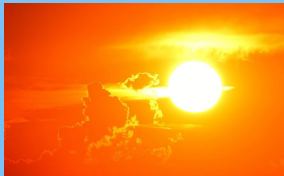
レビューコメントの数 5406

月数：38か月、うち18か月はCOVIDパンデミック中

CLA-CLAのメール数：4500通以上

地域別評価の数（暑さの極端な変化、寒さの極端な変化、大雨、気象学的な干ばつ、農業・生態学的な干ばつ、水文学的な干ばつ、観測、帰属、 1.5°C 、 2°C 、 4°C ）。 $45 \times 6 \times 5 = 1350$

極端現象：



極端な温度



降水量



洪水



干ばつ

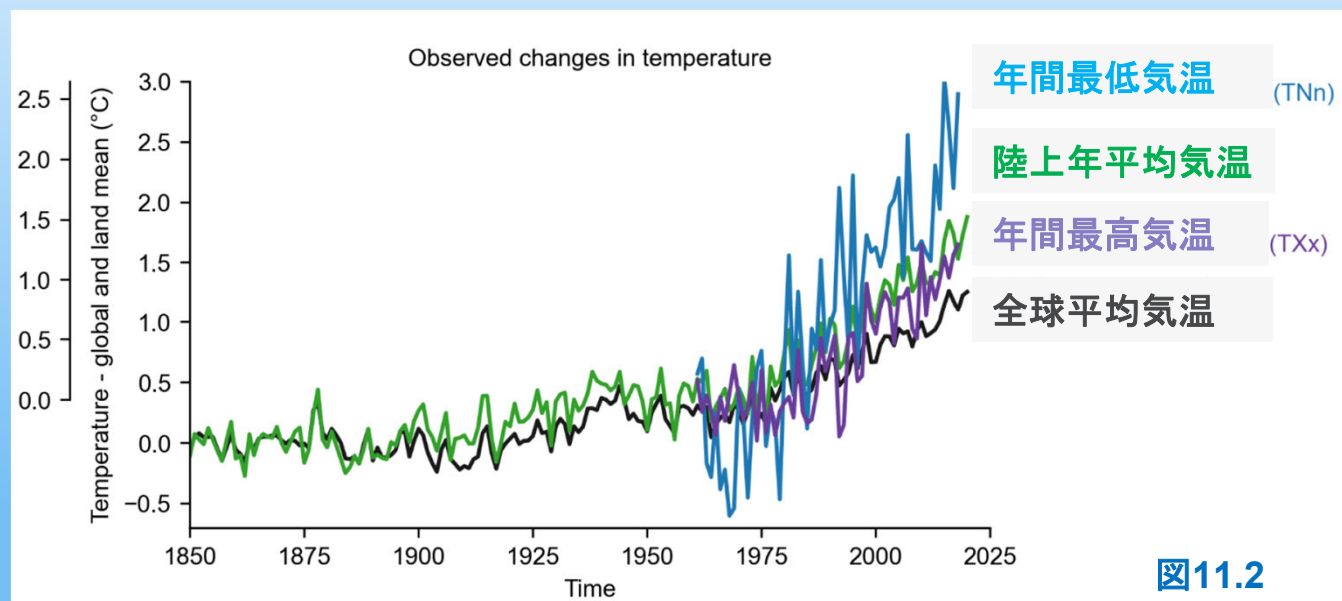


熱帯低気圧
・ ストーム



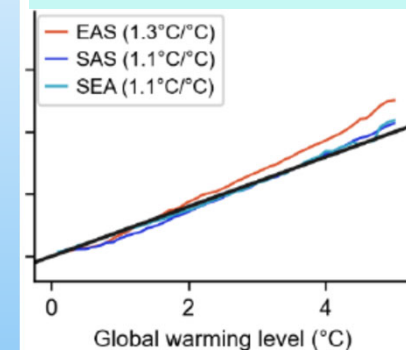
複合事象
Compound
event

観測された極端な現象の変化とその原因



極端な温度と平均気温は陸地でより暖かくなる

東アジア、南アジア



中央アジア、中東

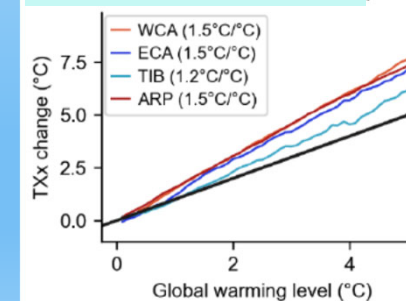


図11.3

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

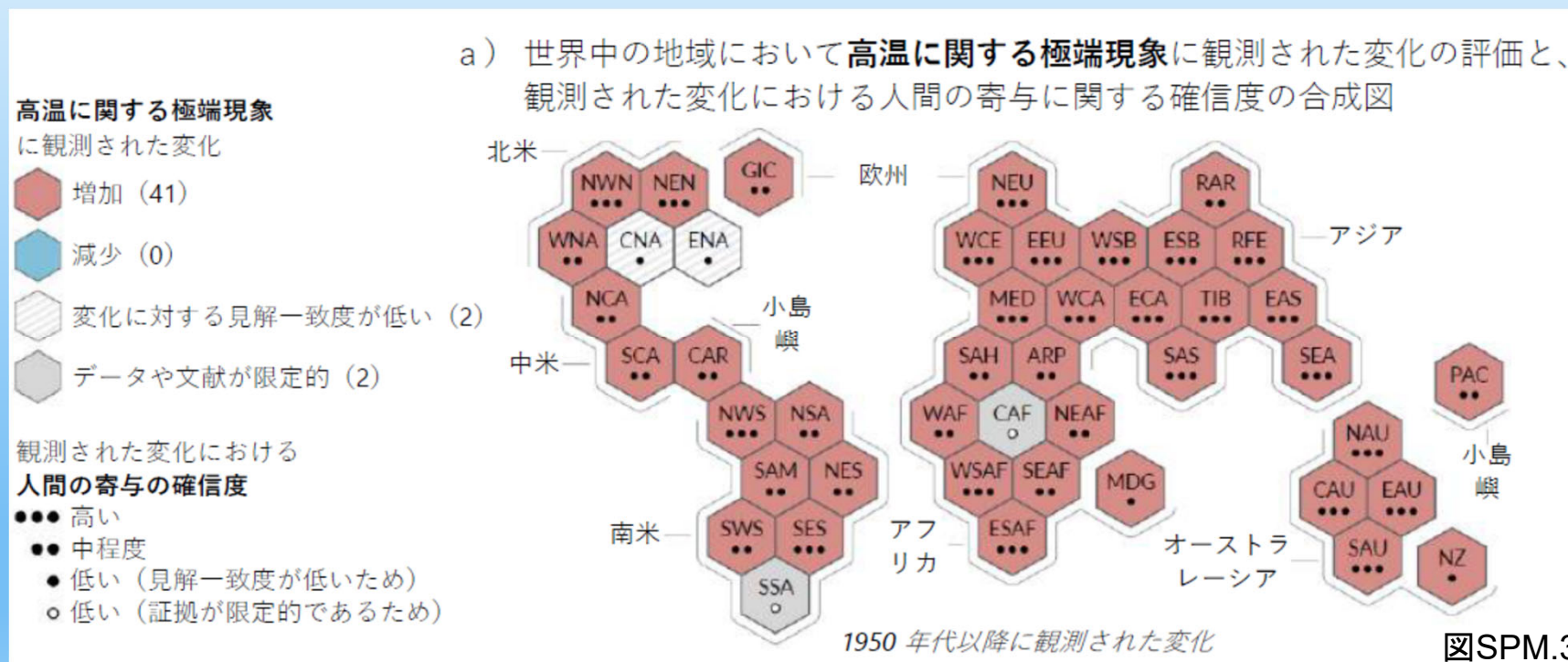
Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



気候変動は、すでに世界中のすべての居住地域に影響を及ぼしており、人間の影響は、観測された多くの天候の変化や気候の極端な変化の原因となっている。



過去10年間に観測された極端な猛暑現象のいくつかは、人間が気候システムに影響を与えなければ、発生する可能性は極めて低かっただろう。

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



b) 世界中の地域において大雨に観測された変化の評価と、観測された変化における人間の寄与に関する確信度の合成図

大雨

に観測された変化

● 増加 (19)

● 減少 (0)

● 変化に対する見解一致度が低い (8)

● データや文献が限定的 (18)

観測された変化における

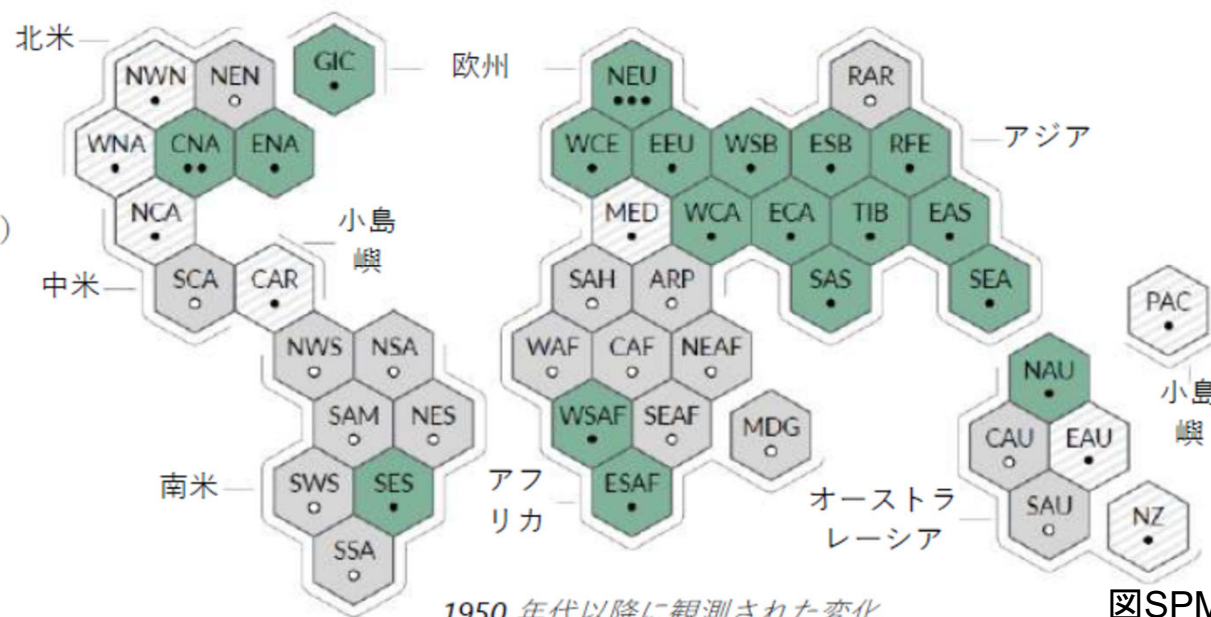
人間の寄与の確信度

●●● 高い

●● 中程度

● 低い (見解一致度が低いため)

○ 低い (証拠が限定的であるため)



図SPM.3

人間の影響、特に温室効果ガスの排出が、地球規模で観測された陸域での豪雨の増加の主要因であると考えられる。

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



c) 世界中の地域において農業及び生態学的干ばつに観測された変化の評価と、観測された変化における人間の寄与に関する確信度の合成図

農業及び生態学的干ばつ

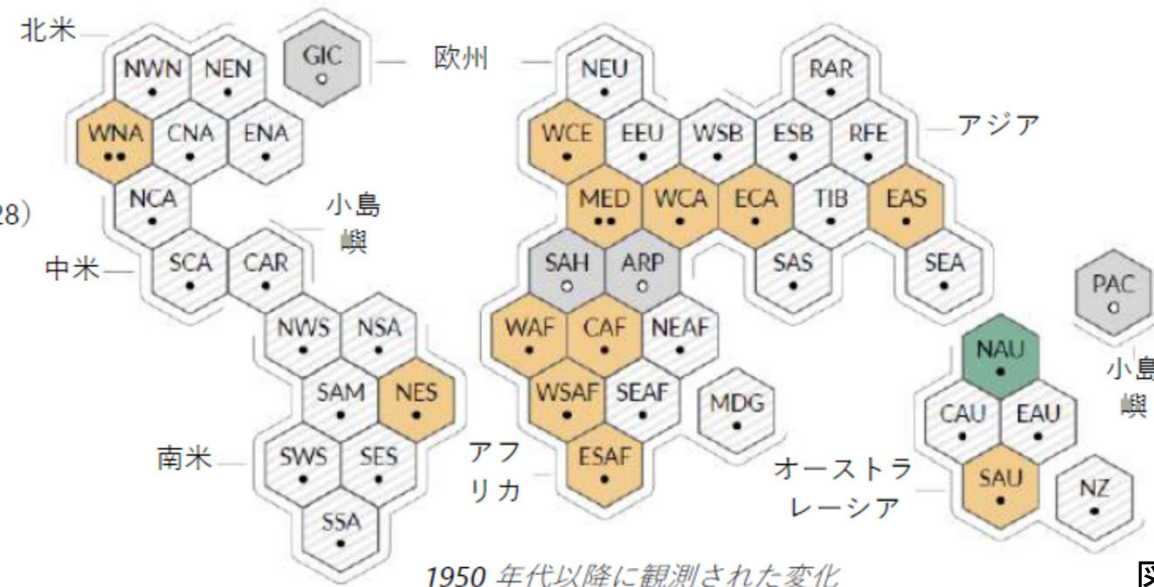
に観測された変化

- 増加 (12)
- 減少 (1)
- 変化に対する見解一致度が低い (28)
- データや文献が限定的 (4)

観測された変化における

人間の寄与の確信度

- 高い
- 中程度
 - 低い (見解一致度が低いため)
 - 低い (証拠が限定的であるため)



図SPM.3

人為的な気候変動は、蒸発散量の増加により、一部の地域で農業および生態学的な干ばつの増加に寄与している。

観測された極端現象の変化とその原因

- 人為的な気候変動は、すでに地球上のあらゆる地域で多くの気象や気候の極端な変化に影響を与えている。
- AR5以降、熱波、豪雨、干ばつ、熱帯低気圧等の極端現象の観測された変化の証拠はより強化されている。特に、これらの変化が人間の影響によるものであるという証拠が示されている。

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

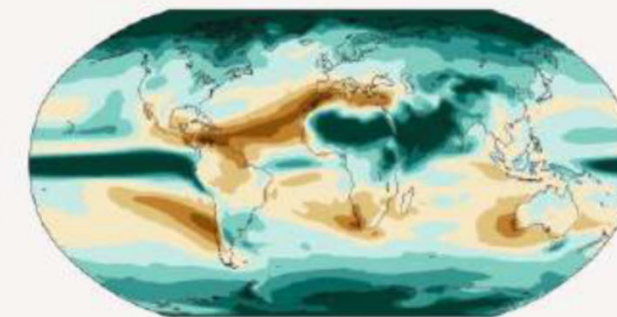
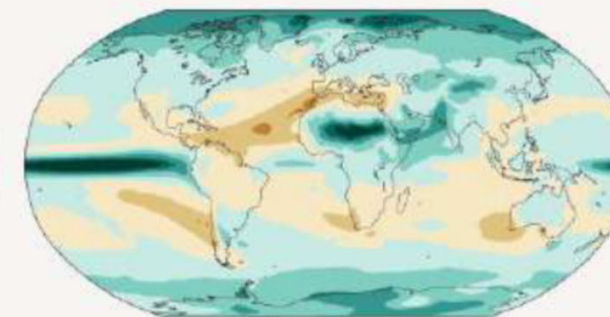
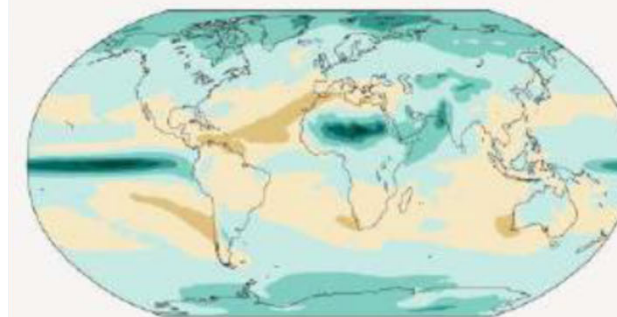
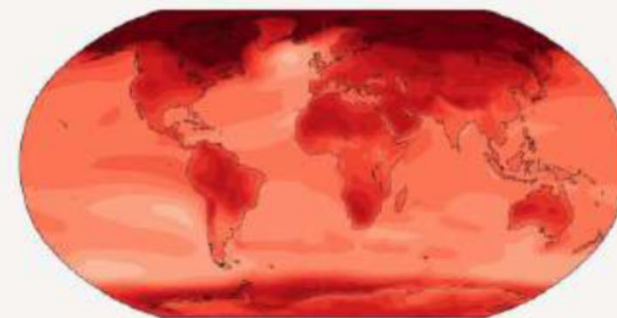
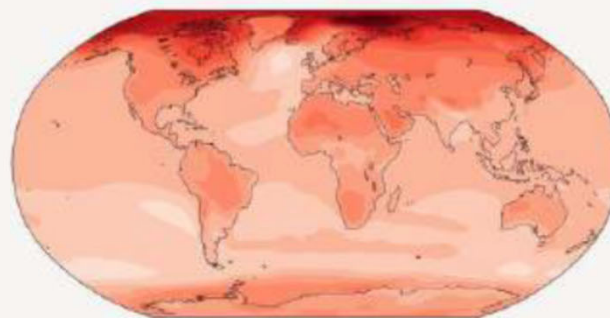
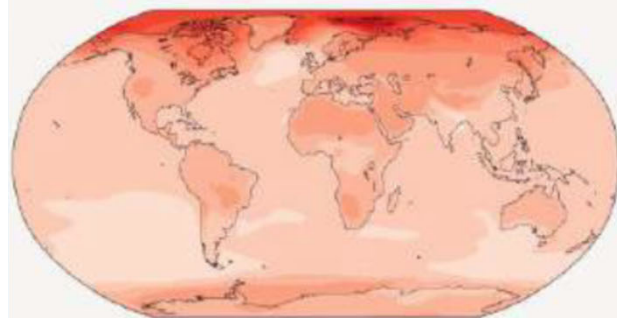


地球温暖化に伴う極端な現象の変化の予測

1.5°Cの地球温暖化において再現された変化

2°Cの地球温暖化において再現された変化

4°Cの地球温暖化において再現された変化



CMIP6マルチモデルによる1.5、2、4°C昇温温暖化レベル時の年平均気温変化、降水量の変化 [%]、1850-1900年との比較。



図SPM.5

地球温暖化に伴う極端な現象の変化の予測

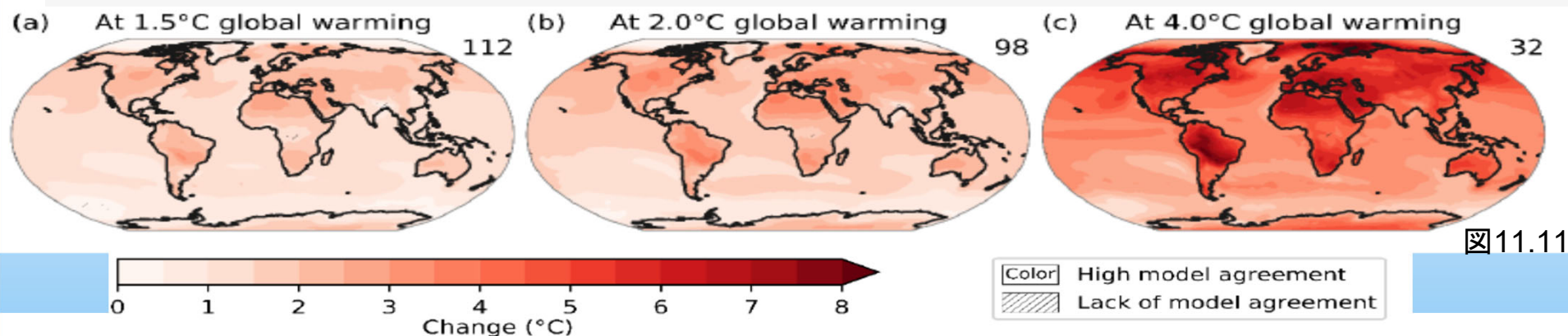


図11.11

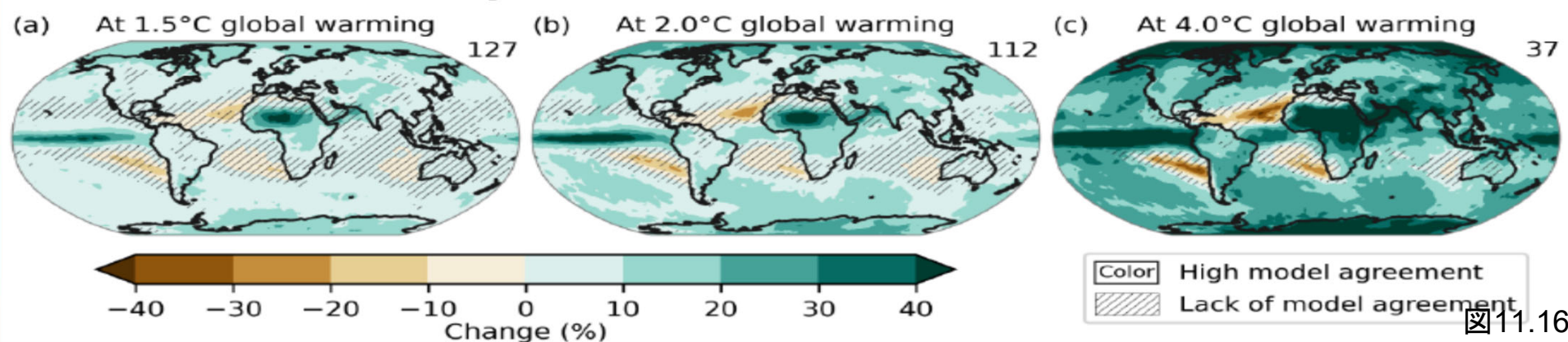


図11.16

CMIP6マルチモデルによる1.5、2、4°C昇温温暖化レベル時の年最高気温変化、1日降水量の年最大値の変化 [%]、1850-1900年との比較。

地球温暖化に伴う極端な現象の変化の予測

- 地球温暖化の進行が大きくなると、気候システムの多くの変化が大きくなる
- ❖ 極端な暑さ、海洋熱波、豪雨の頻度や強度の増加、一部の地域における農業や生態系の干ばつ、強い熱帯低気圧の割合の増加など。
- ❖ さらに温暖化により（1.5°C温暖化においても）観測史上前例のない極端現象の発生が増加する。
- ❖ 予測される頻度の変化率は、より稀な事象ほど高い（信頼度が高い）。

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

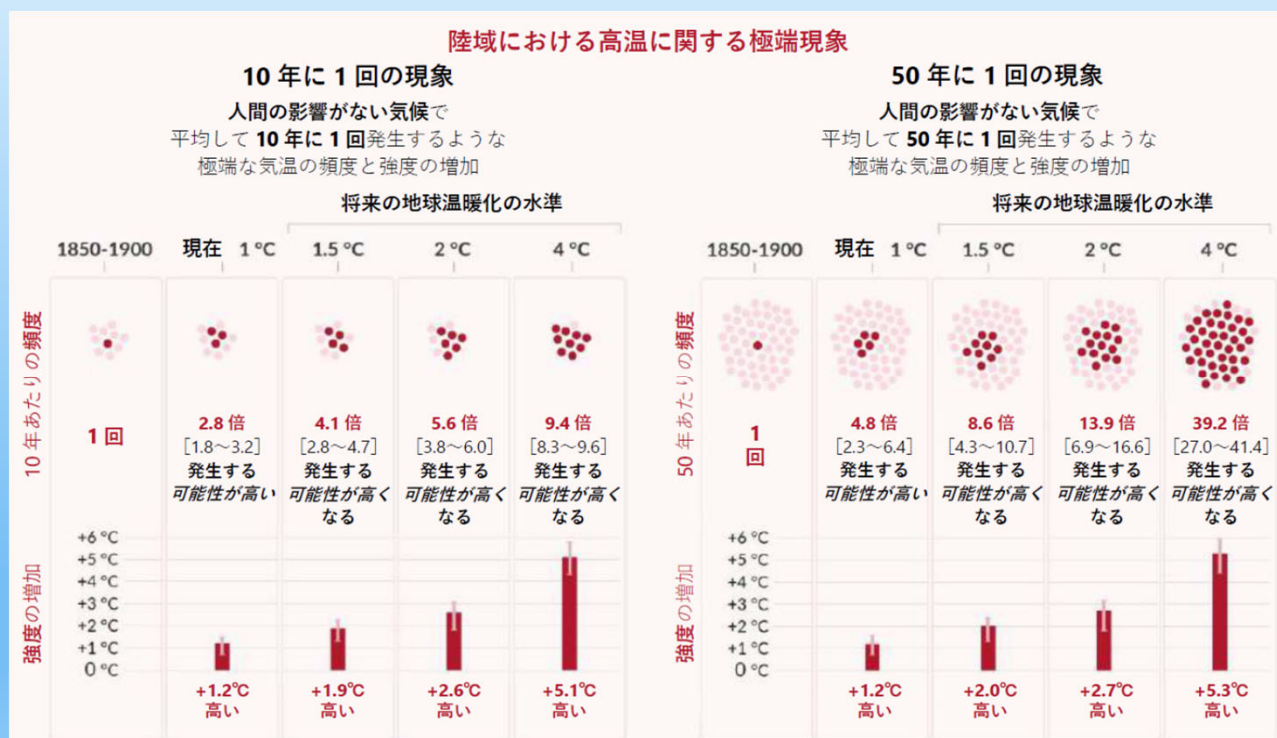
Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



温暖化が進むと、極端気象の頻度と強度が増加する。

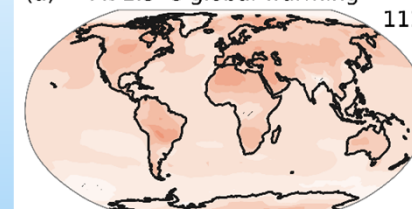


地球温暖化が0.5°C進むごとに、熱波を含む極端な暑さの強度と頻度が明らかに増加する（可能性大）

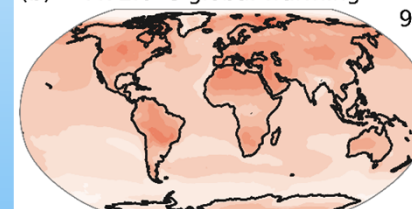
図 SPM.6

年間最高気温

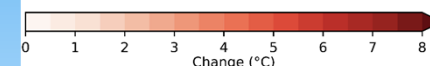
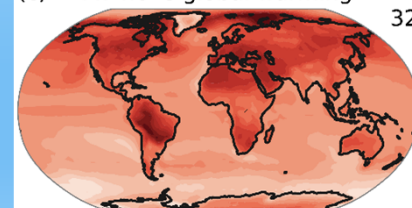
(a) At 1.5°C global warming 112



(b) At 2.0°C global warming 98



(c) At 4.0°C global warming 32



Cross Chapter Box11.1 図3

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

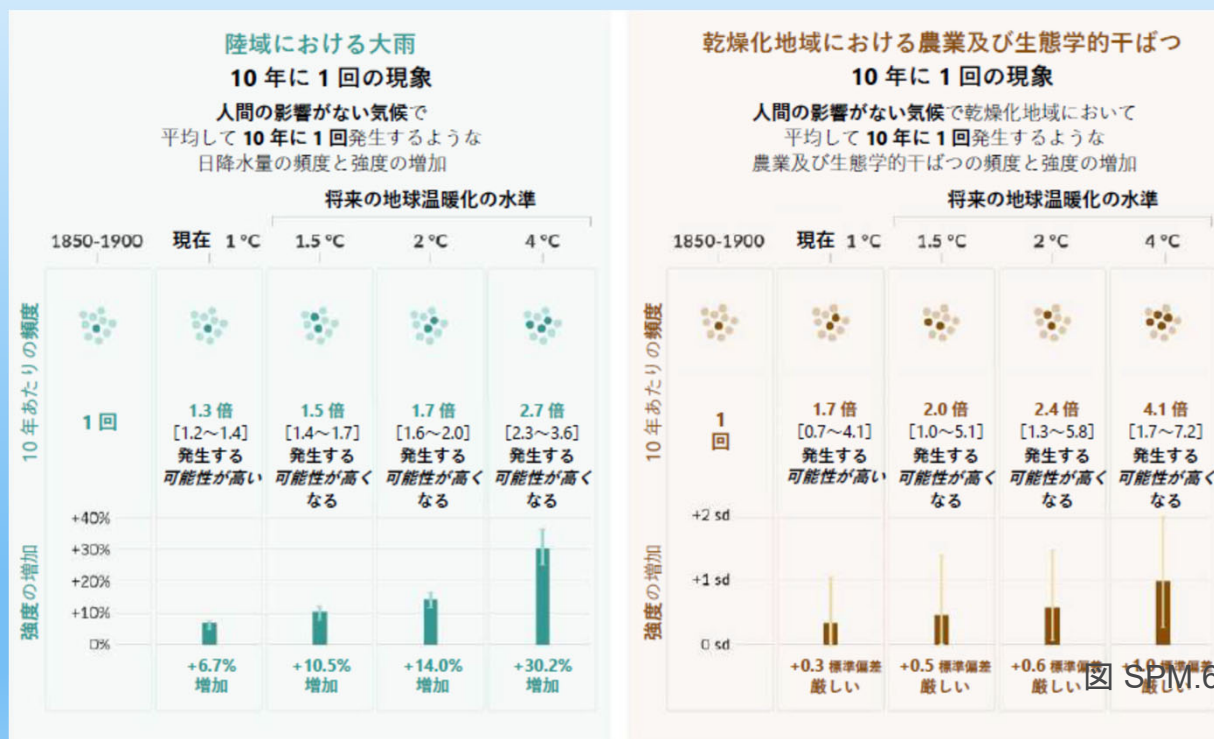
Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

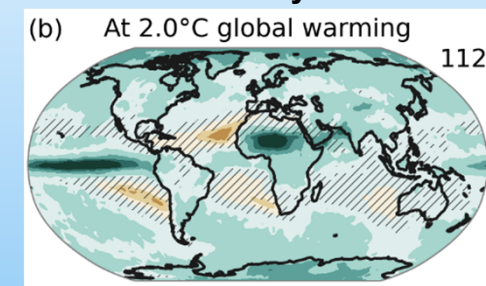
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



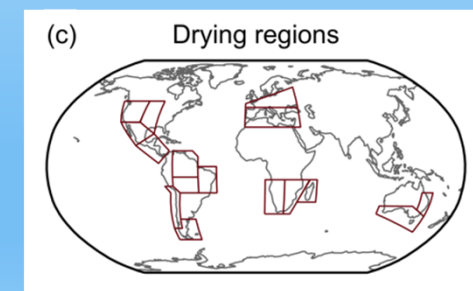
温暖化が進むと、極端気象の頻度と強度が増加する。



年間最大日降水量の変化
Rx1day



2°Cの温暖化で乾燥が懸念される地域



地球温暖化が0.5°C進むごとに、明らかに識別可能な豪雨が増加（信頼度高）

図 SPM.6

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



温暖化に伴う「ストーム」の変化 (11.7)

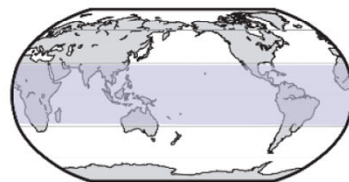
熱帯低気圧・温帯低気圧・大気の川・メソ対流システム

全球的な変化

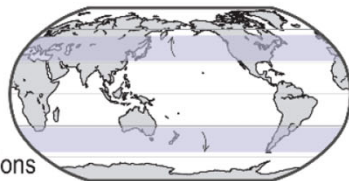
- Tropical cyclones
 - Extratropical cyclones
 - Atmospheric river
- Average and maximum precipitation rates **increase** with warming



- Tropical cyclones
- Increase** in strength
Decreased or unchanged genesis frequency



- Extratropical cyclones
- Changes (**increase** or **decrease**) in wind speed following storm tracks
poleward shift in some regions



地域的な変化

Tropical cyclones

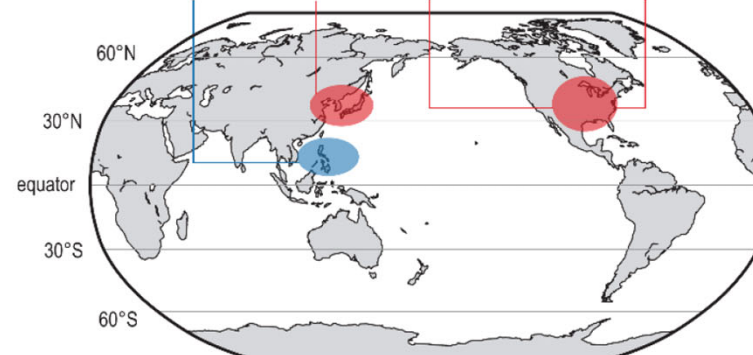
Decreased exposure

Increased exposure

Slower motion

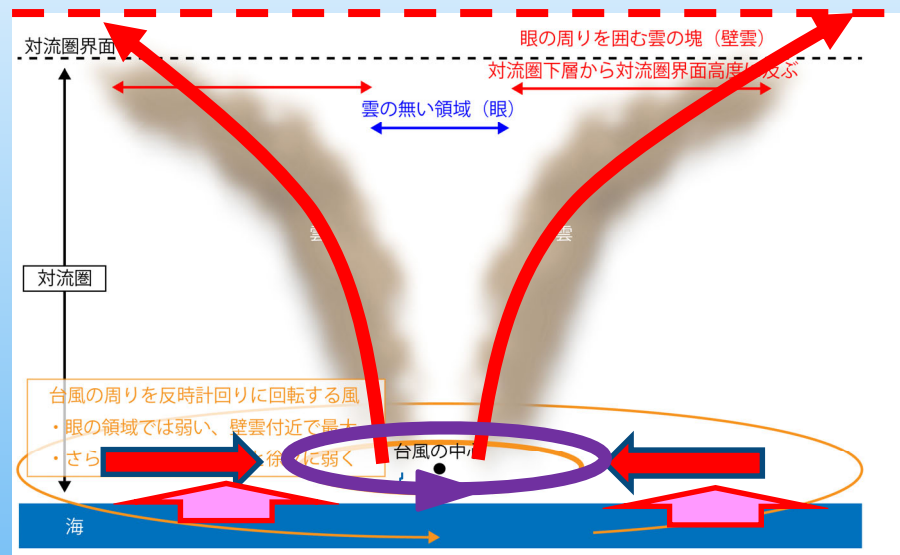
Severe convective storms

Longer season



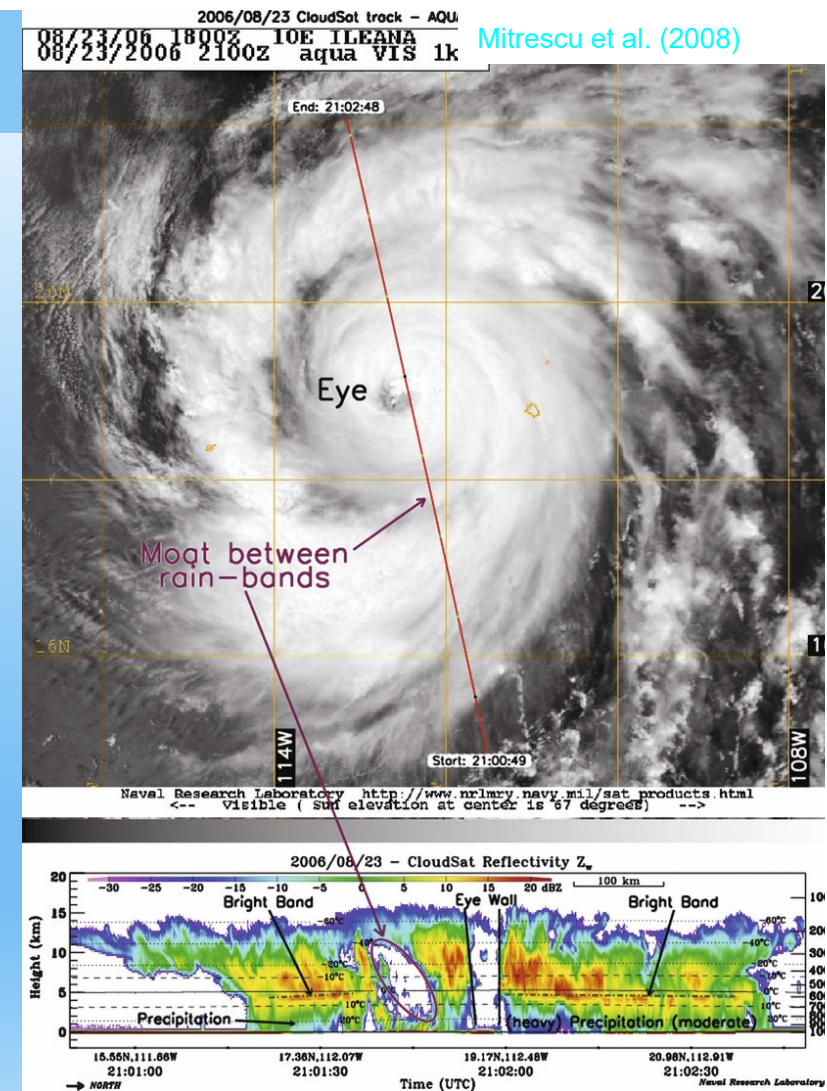
強烈な熱帯低気圧（カテゴリー4～5）の割合と、最も強い熱帯低気圧のピーク風速は、地球温暖化の進行に伴い、地球規模で増加すると予測される（信頼度高）。

台風の構造と温暖化変化



地球温暖化により、海面水温が上昇すると、

- ☐ 水蒸気の増加、潜熱放出の増加、雲の高さの上昇
- ☐ 台風に伴う降水の増大
- ☐ 台風の中心気圧、最大風速の強化（強大化）
- ☐ 台風の大きさの増加（巨大化）



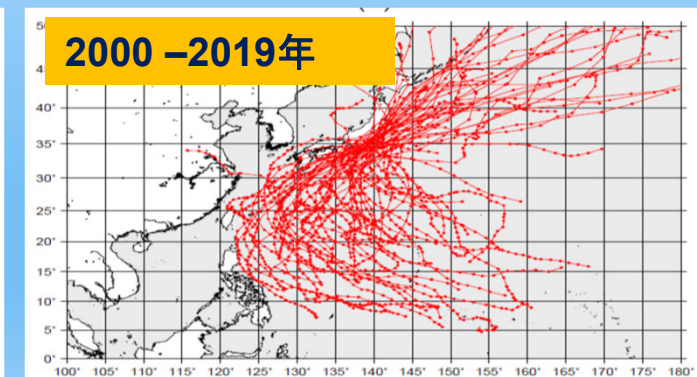
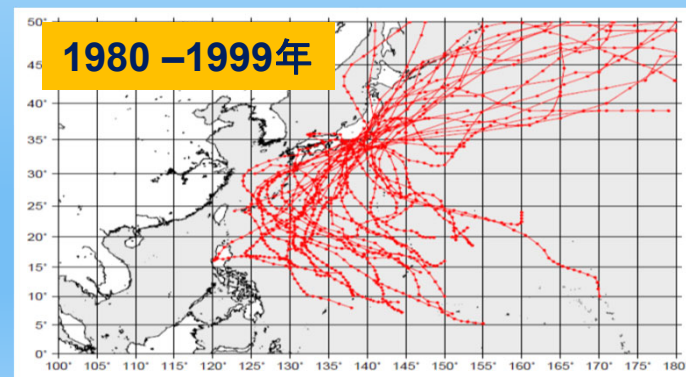
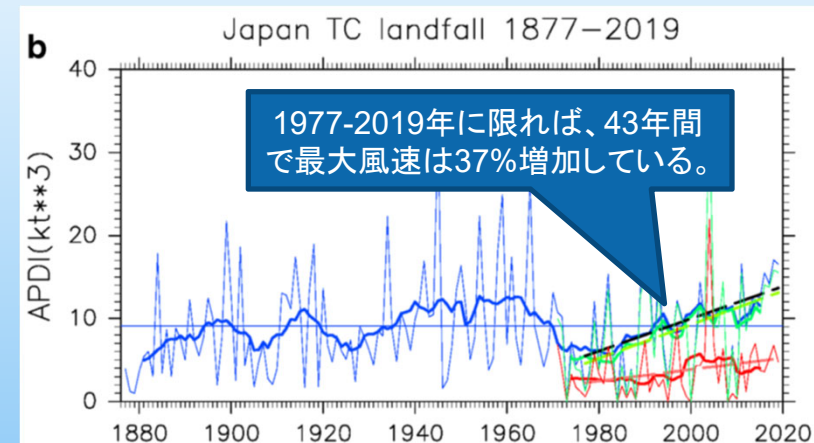
最近40年間の台風の変化

人工衛星観測期間(静止気象衛星ひまわり 1977年より)

日本上陸台風の上陸時：
最近40年間では、最大風速が増加
上陸地点は、北上、東進している。

Kubota et al. (2020)

東京に接近した台風
の数：増加



Yamaguchi and Maeda (2020)

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

Working Group I – The Physical Science Basis

台風の将来変化予測実験

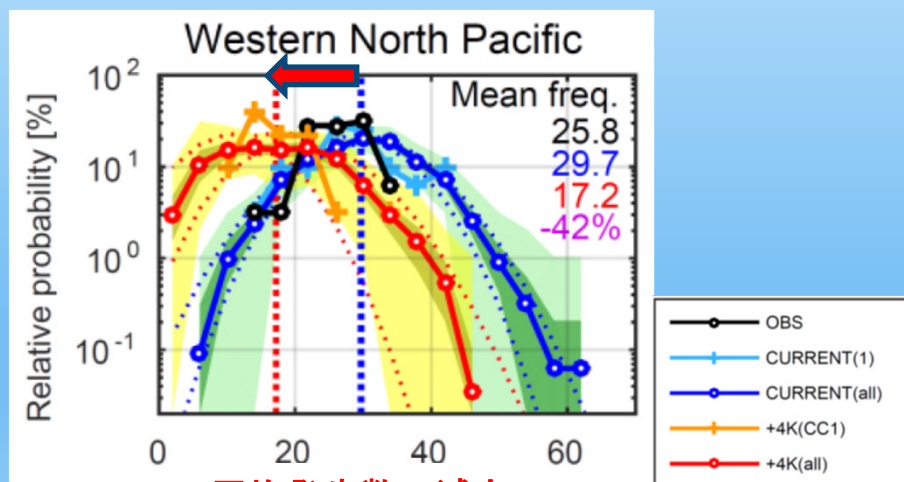
温暖化レベル+4°Cにおける予測

大規模アンサンブル実験 60年×100回の実験

非常に強い台風（Category 4 および 5: 最大風速

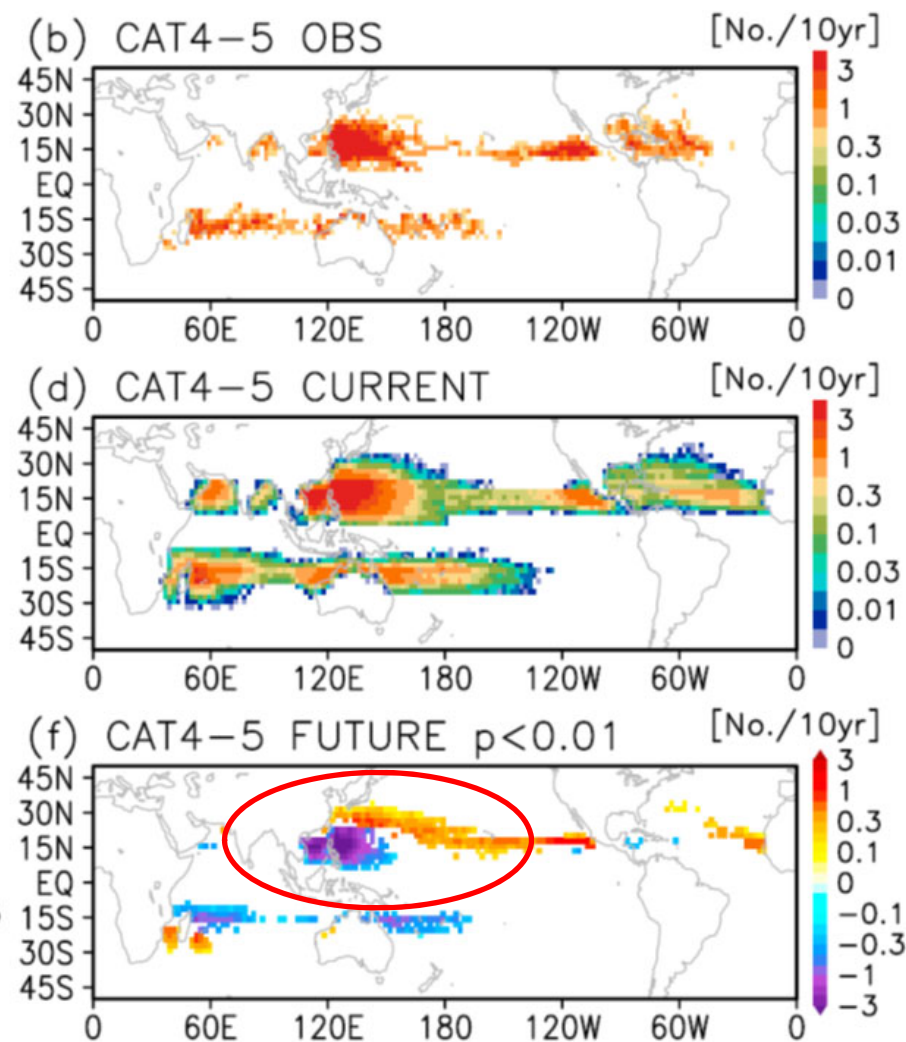
58m/s以上）：発生位置の北上

日本南岸の存在頻度 1個/10年以上増加する領域が広がっている。



平均発生数の減少

Yoshida et al. (2017)



熱帯低気圧の将来変化 (11.7.1)

- 温暖化に伴い、熱帯低気圧(TC)の平均最大風速とカテゴリー4～5のTCの割合は世界的に増加する可能性が高い。
- 北西太平洋の限られた地域では、カテゴリー4～5の頻度が増加する可能性が高い。
- 温暖化に伴い、TCに伴う平均降水量が増加する可能性が高い。
- 一部の地域では、TCの風速の地域的な増加によって下層の水蒸気収束が増加するため、温暖化1°Cあたり7%というClausius-Clapeyronのスケーリング率を上回るピーク降水量の増加が見込まれる。
- 温暖化に伴う熱帯域の拡大に伴い、TCの平均的な風速のピーク地点は、北西太平洋でより高緯度に移動する可能性がある
- 全カテゴリーのTCの世界的な発生頻度は減少または横ばいとなるだろう。

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



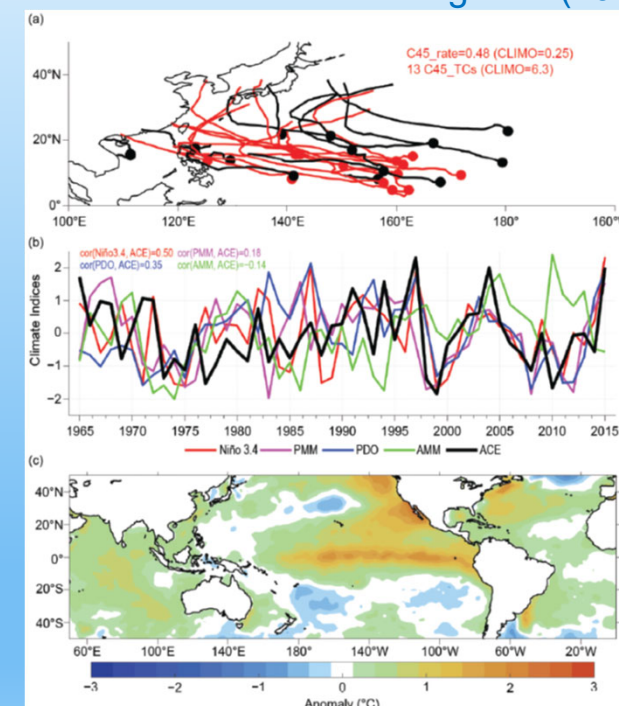
BOX11.4 : 全球的に同時発生した異常気象のケーススタディ :

「2015-2016年の極端なエルニーニョ」と「2018年の北半球の春季・夏季の異常気象」

Zhang et al.(2016)

Box 11.4, Table 1: List of events related to the 2015-2016 Extreme El Niño in the literature.

Region	Period	Events	References
Indonesia	July 2015 to June 2016	droughts, forest fire	(Field et al., 2016; Huijnen et al., 2016; Patra et al., 2017; Hartmann et al., 2018)
Northern Australia	Between late 2015 and early 2016	high temperature and drought	(Duke et al., 2017)
Amazon	September 2015 to May 2016	droughts, forest fire	(Jiménez-Muñoz et al., 2016; Erfanian et al., 2017; Aragão et al., 2018; Panisset et al., 2018; Ribeiro et al., 2018)
The entirety of South America north of 20°S	Austral spring and 2015-2016 summer	droughts	(Erfanian et al., 2017)
Ethiopia	February-September 2015	droughts	(Blunden and Arndt, 2016; Philip et al., 2018b)
Southern Africa	November 2015–April 2016	droughts	(Funk et al., 2016, 2018a; Blamey et al., 2018; Yuan et al., 2018a)
Europe	Boreal 2015-2016 winter	effects on of circulation patterns	(Geng et al., 2017; Scaife et al., 2017)
India	May 2016	high temperature	(van Oldenborgh et al., 2018)
India	December 2015	extreme rainfall	(van Oldenborgh et al., 2016; Boyaj et al., 2018)
China	June-July 2016	extreme rainfall	(Sun and Miao, 2018; Yuan et al., 2018b; Zhou et al., 2018)
Western North Pacific	Boreal summer 2015	the large number (13) of category 4 and 5 tropical cyclones	(Blunden and Arndt, 2016; Mueller et al., 2016a; Zhang et al., 2016b; Hong et al., 2018; Yamada et al., 2019)
Eastern North Pacific	Boreal summer 2015	a record-breaking number of tropical cyclones	(Collins et al., 2016; Murakami et al., 2017a)
Global	2015-2016 El Niño	high CO ₂ release to the atmosphere associated with droughts and fires in several affected regions	(Humpirey et al., 2018; Brando et al., 2019)



2015年は北太平洋で熱帯低気圧の活動が顕著に高まった北西太平洋：カテゴリ-4-5の台風が13個発生。平常値の2倍以上。

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

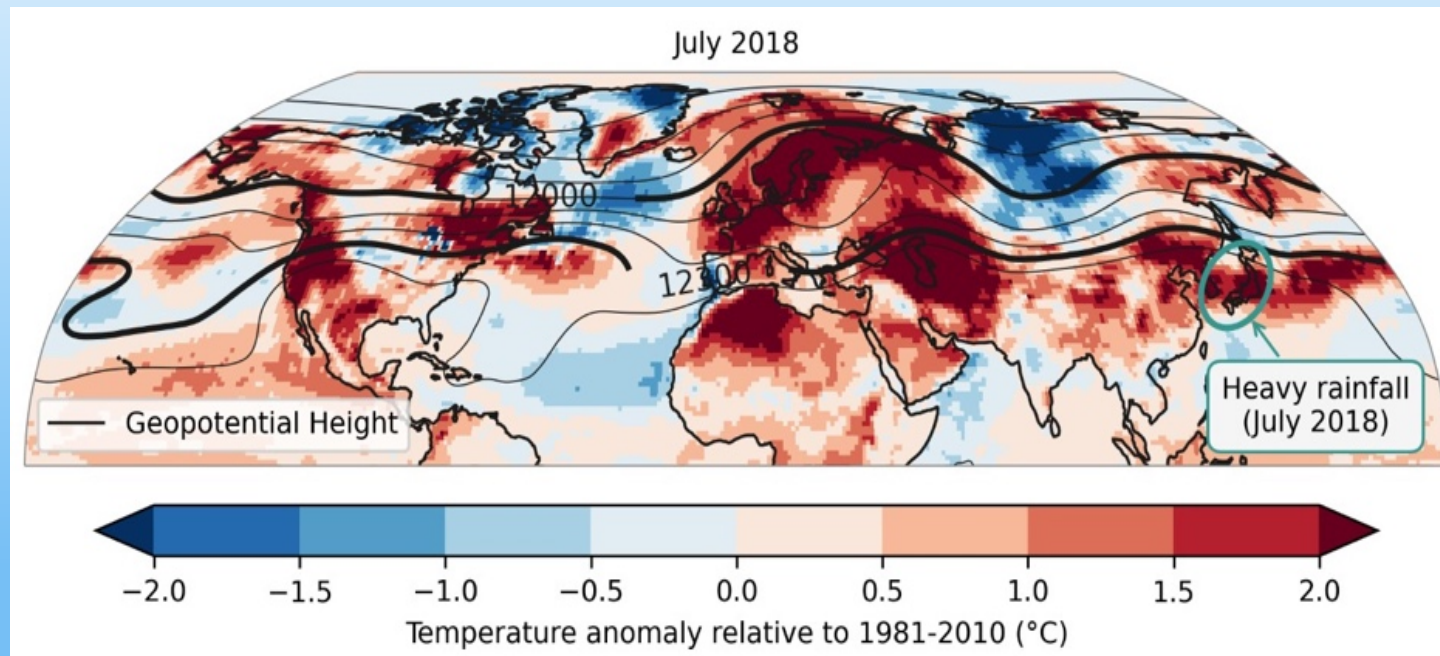
Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



BOX11.4 : ケーススタディ。2015-2016年の極端なエルニーニョと 2018年の北陸の春夏の異常気象を例にしたグローバルスケールの同時多発的な気候異常現象



イベントアトリビューション

Vogel et al. (2019) 同様のイベントが、+1.5°C温暖化下では3年に2年、+2°Cの温暖化下では毎年ほぼ発生

Imada et al.(2019) 日本における猛暑日の年平均発生率は、+2°Cの温暖化下では1.8倍に増加

Kawase et al.(2019) 近年の日本周辺の急激な温暖化により、このイベントにおける日本の異常降雨量が約7%増加

キーメッセージ

- 1) AR5と比較して、極端気象の変化に対する人為的な気候変動の影響について、よりシグナルが明らかになった。
- 2) 観察された極端な現象の増加は、すでに世界のすべての地域で確認されている。
- 3) 地球温暖化が進むごとに、極端な現象の頻度や強度が変化する。
- 4) 温暖化を1.5°C程度に抑えた世界では、2°Cに比べて多くの極端気象の変化は低減されるが、現在に比べてさらなる変化や前例のない極端な現象の影響を受ける。
- 5) 熱帯低気圧の強度・頻度：強い熱帯低気圧の割合が高くなる。日本付近では強い台風の接近が増える。全球の発生数は現状とあまり変わらないか減少傾向にある。

SIXTH ASSESSMENT REPORT CH11: EXTREMES

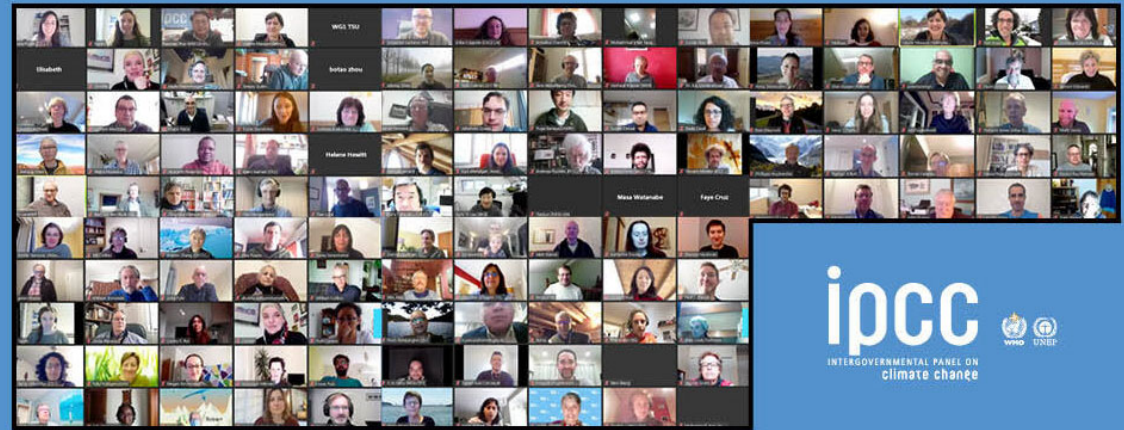
Working Group I – The Physical Science Basis

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



Thank you!



ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON
climate change

