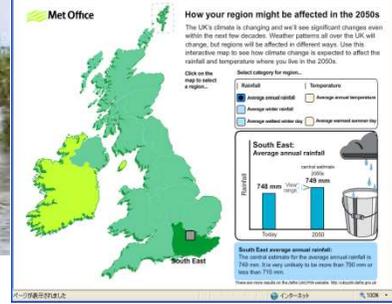
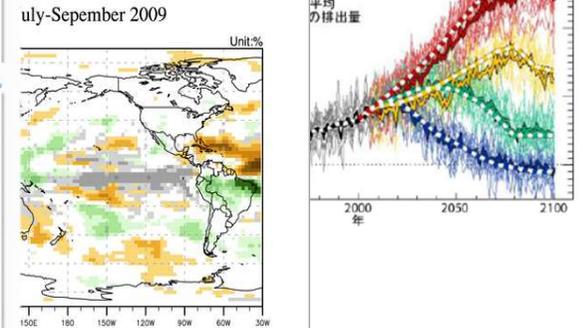
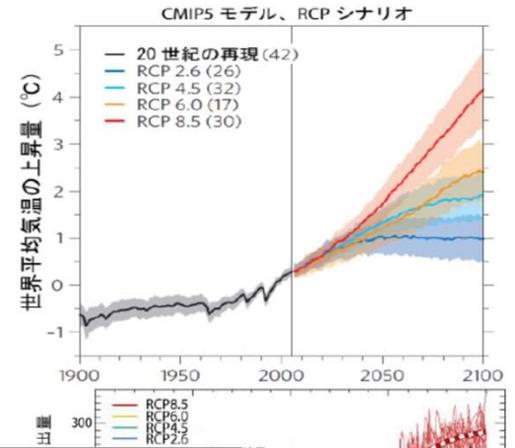
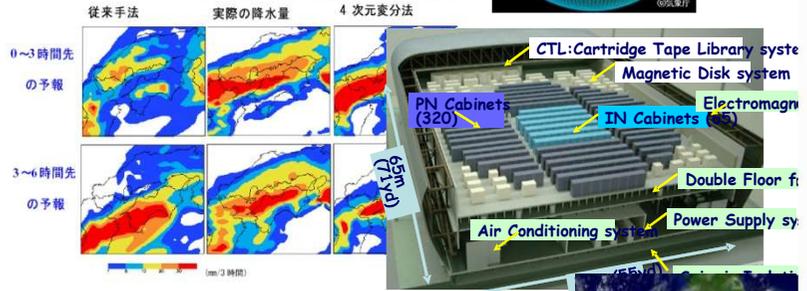
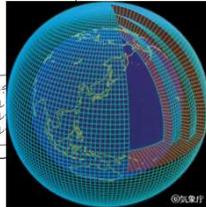
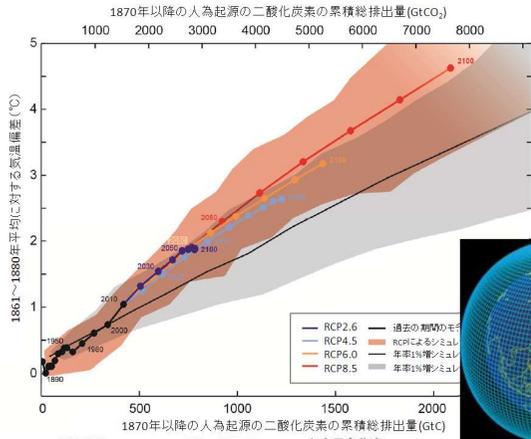




地球温暖化がもたらす極端気象の増加

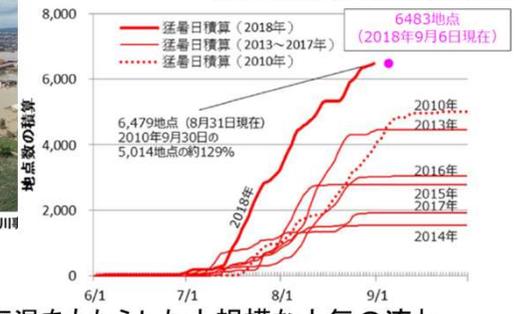
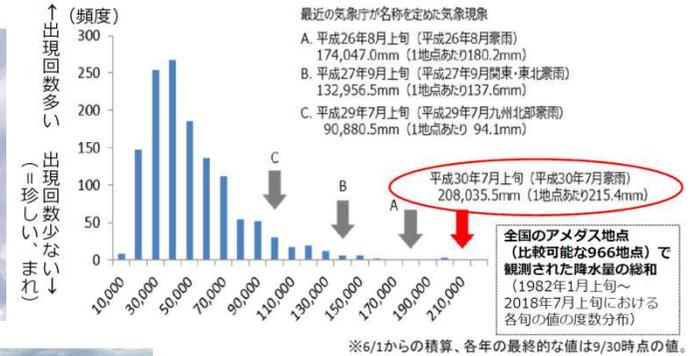
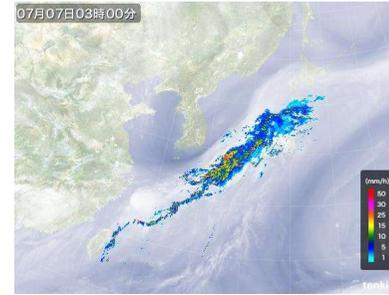
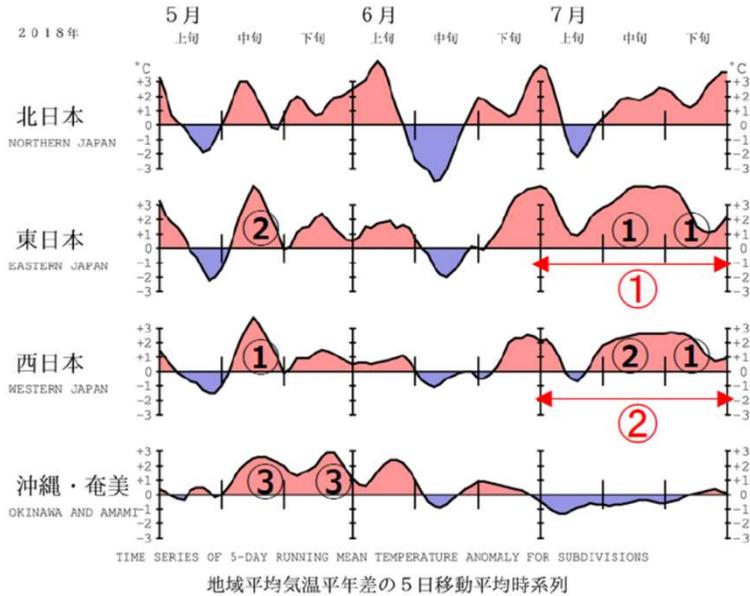
木本 昌秀

東京大学大気海洋研究所

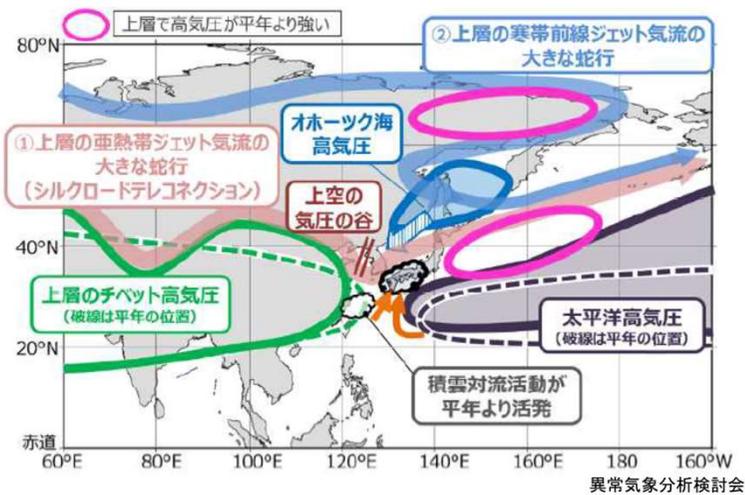


1. 序

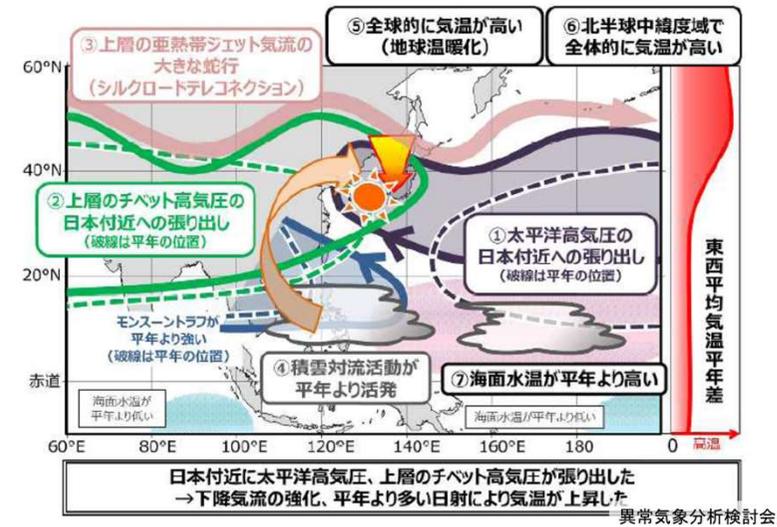
2018年夏



西日本を中心とした記録的な大雨(7月5日から8日)をもたらした大規模な大気の流れ



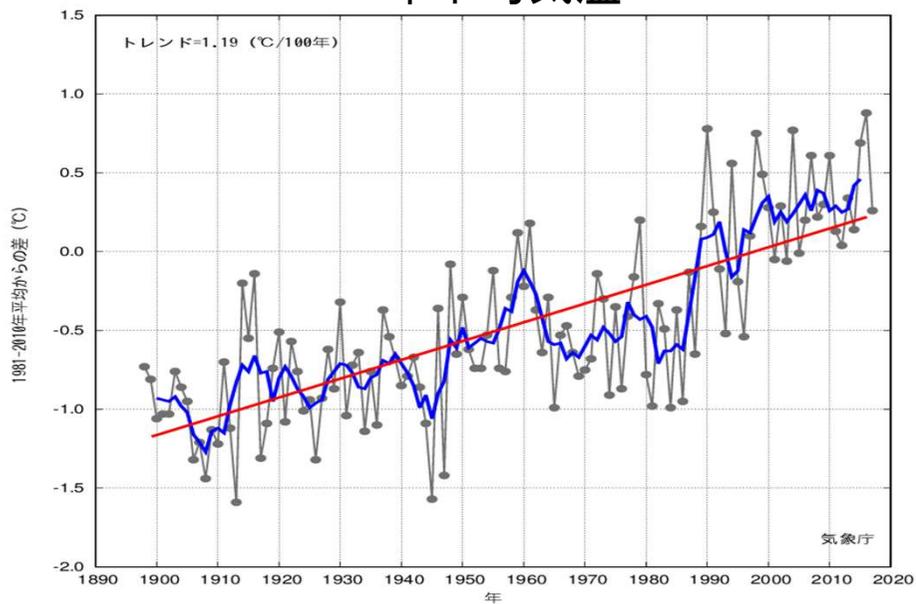
7月中旬以降の記録的な高温をもたらした大規模な大気の流れ



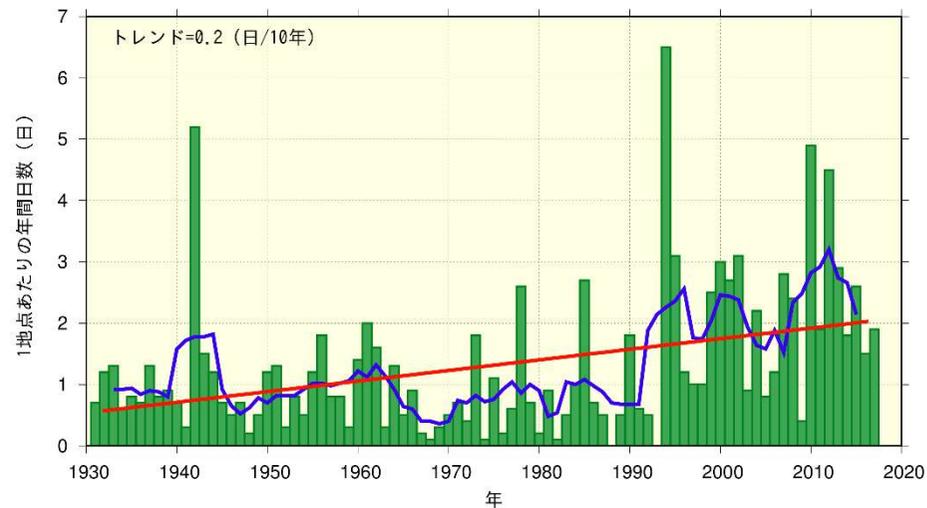
2. 地球温暖化は進行中である

日本の気候：長期傾向

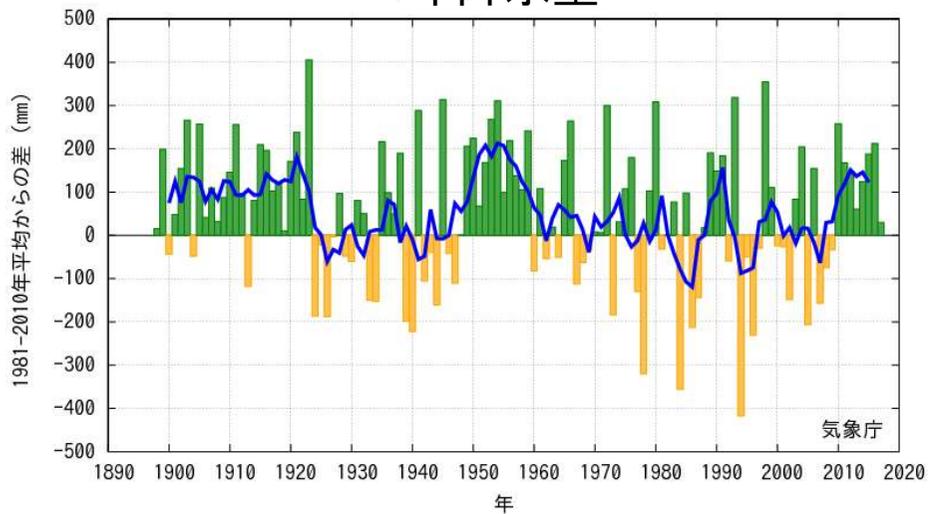
年平均気温



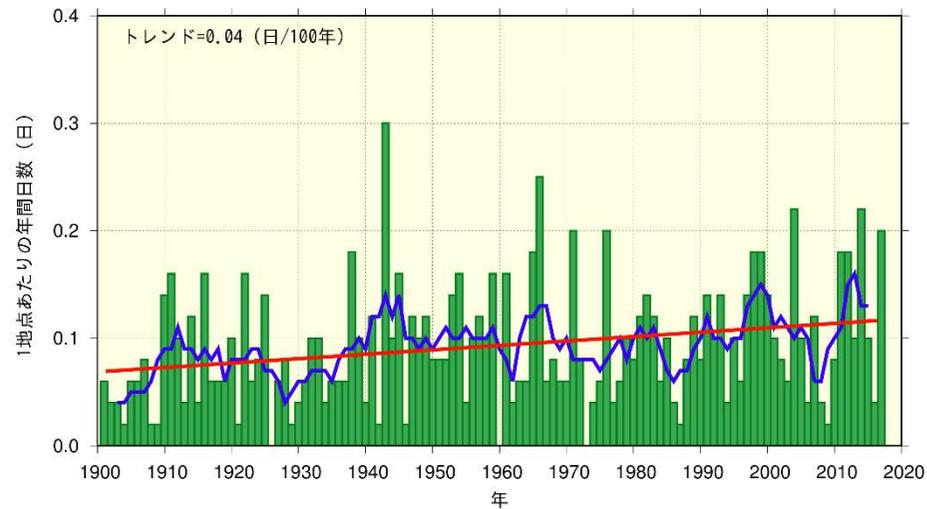
猛暑日日数



年降水量

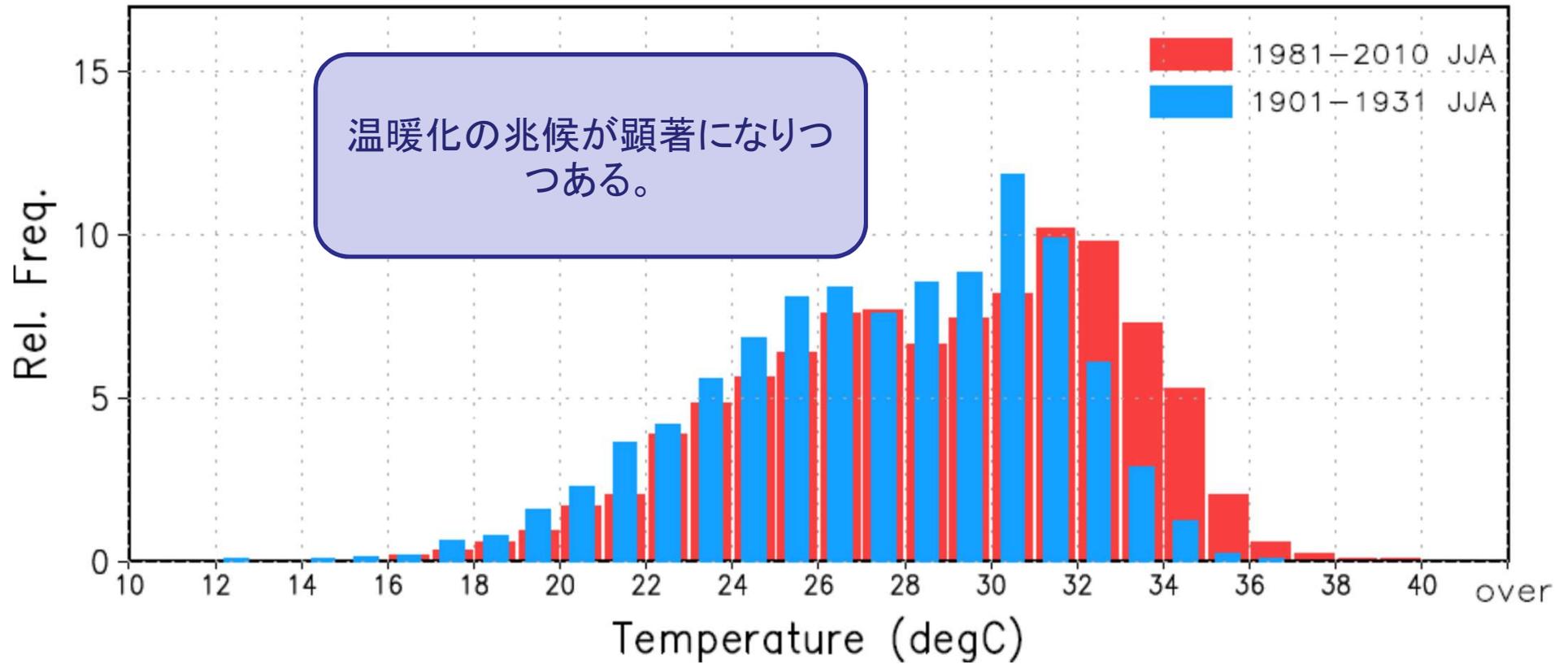


日降水量200mm以上の日数



気象庁資料

東京の夏季日最高気温ヒストグラム 近年(赤)と20世紀初頭(青)





INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

Working Group I: The Physical Science Basis of Climate Change

Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability

Working Group III: Mitigation of Climate Change



Nobel Peace Prize
2007



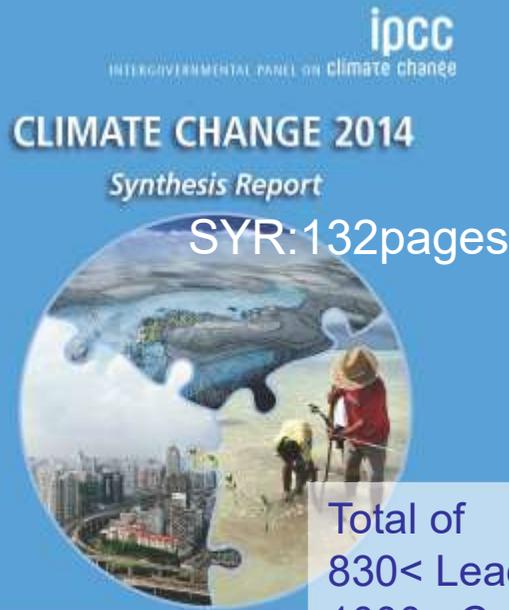
WG I: 1535 pages

WG I

WORKING GROUP I CONTRIBUTION TO THE
FIFTH ASSESSMENT REPORT OF THE
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE



WGII: 1820 pages



SYR: 132 pages

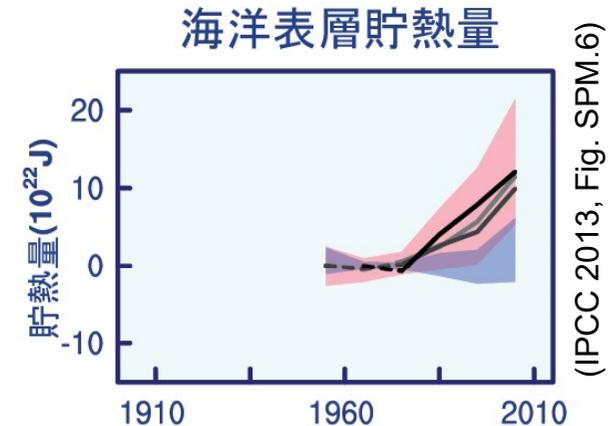
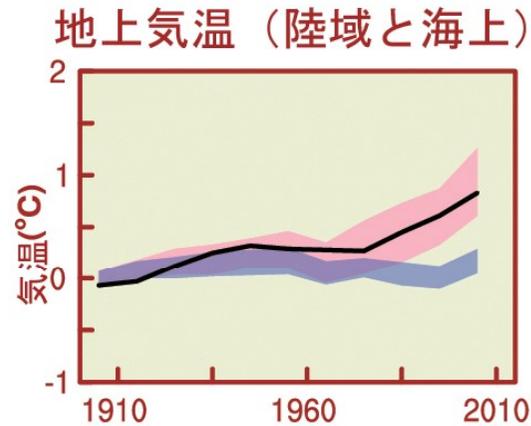
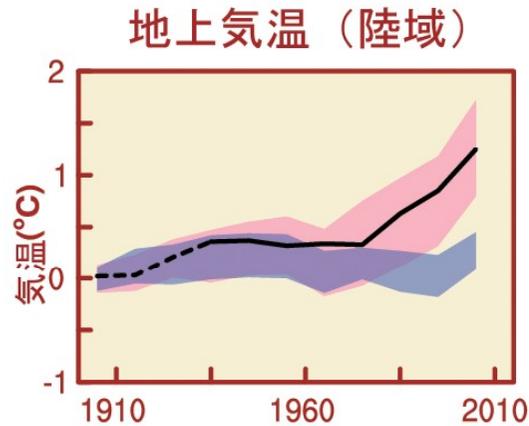
SYNTHESIS REPORT OF THE
FIFTH ASSESSMENT REPORT OF THE
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

Total of
830 < Lead Authors
1000 < Contributing Authors
2000 < Reviewers
30000 < papers reviewed



WGIII: 1454 pages

世界平均



(IPCC 2013, Fig. SPM.6)

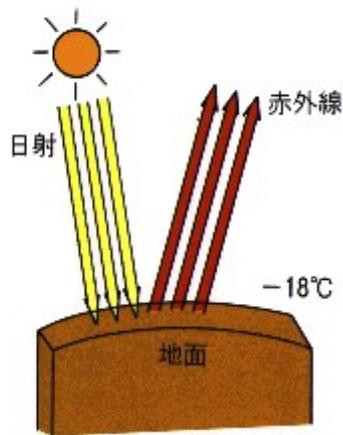
≡ 観測

■ 自然起源強制力のみを使ったモデル

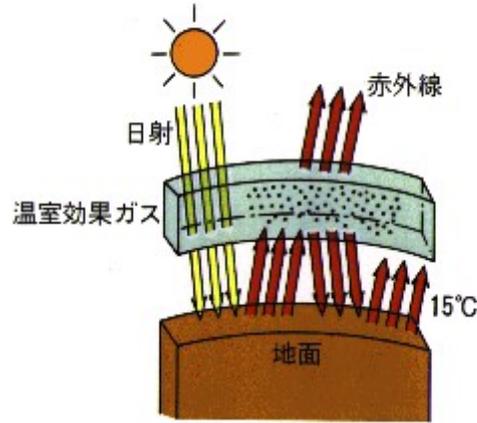
■ 自然起源と人為起源の両方の強制力を使ったモデル

気候システムに対する人間の
影響は明白である。

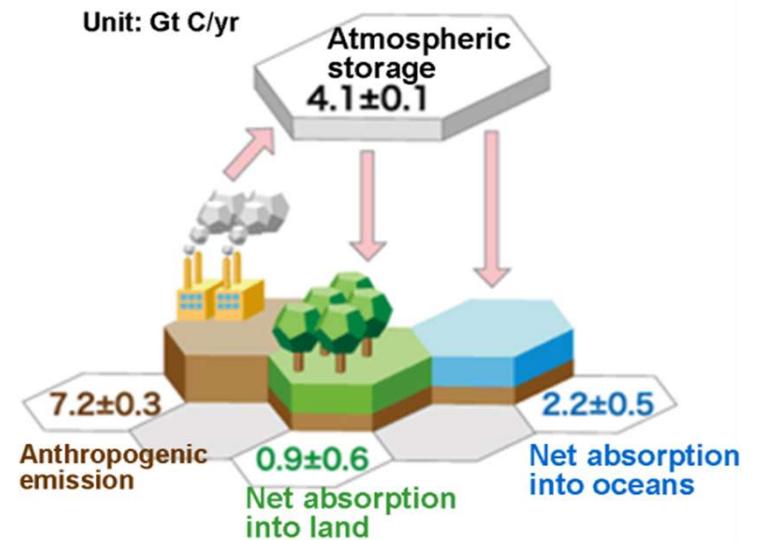
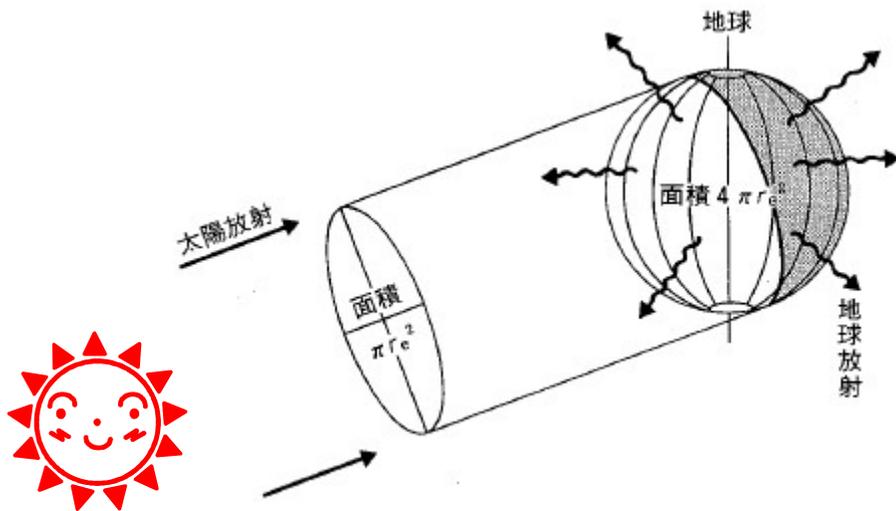
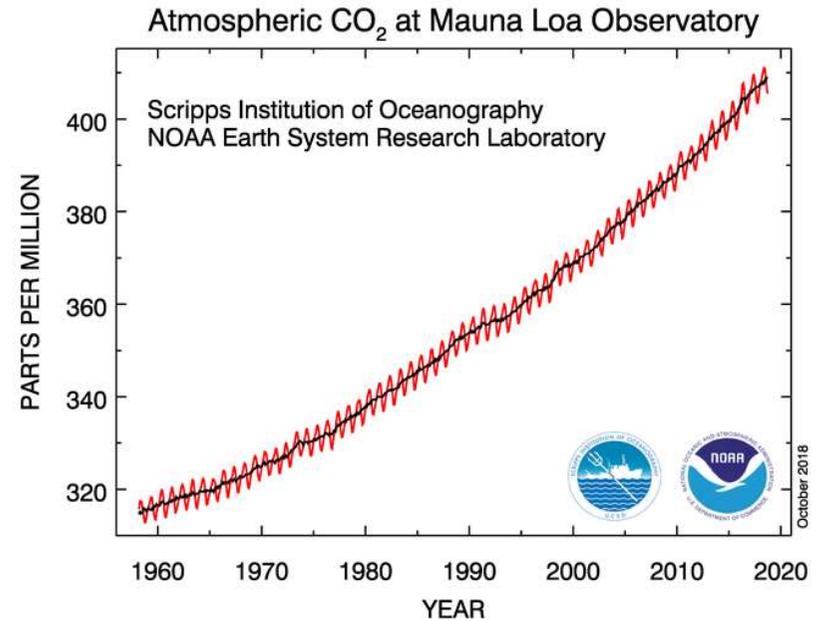
地球の気温、温室効果、炭素循環



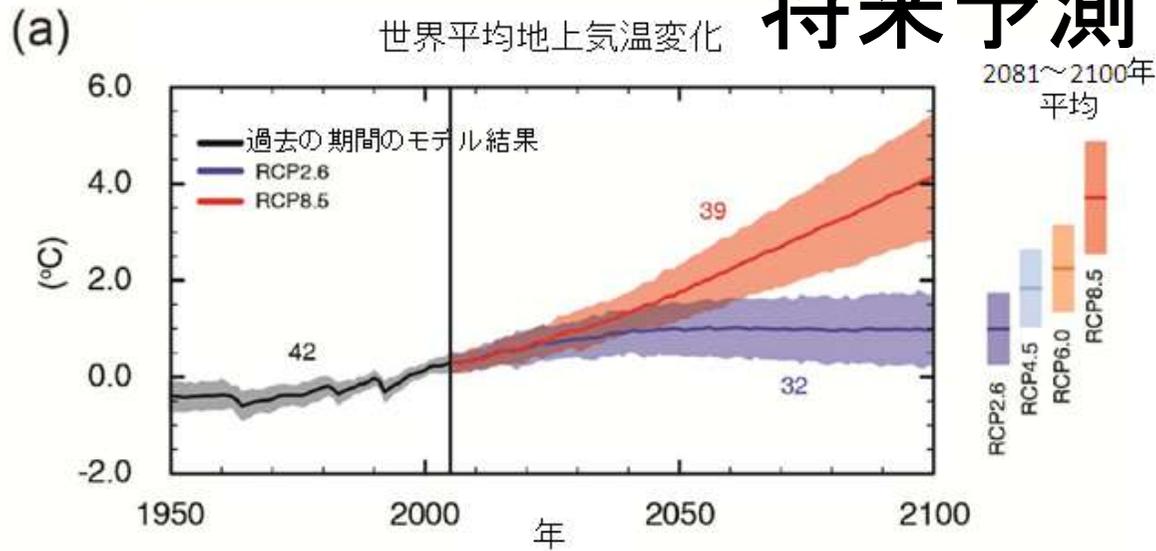
(a) 温室効果ガスがない場合



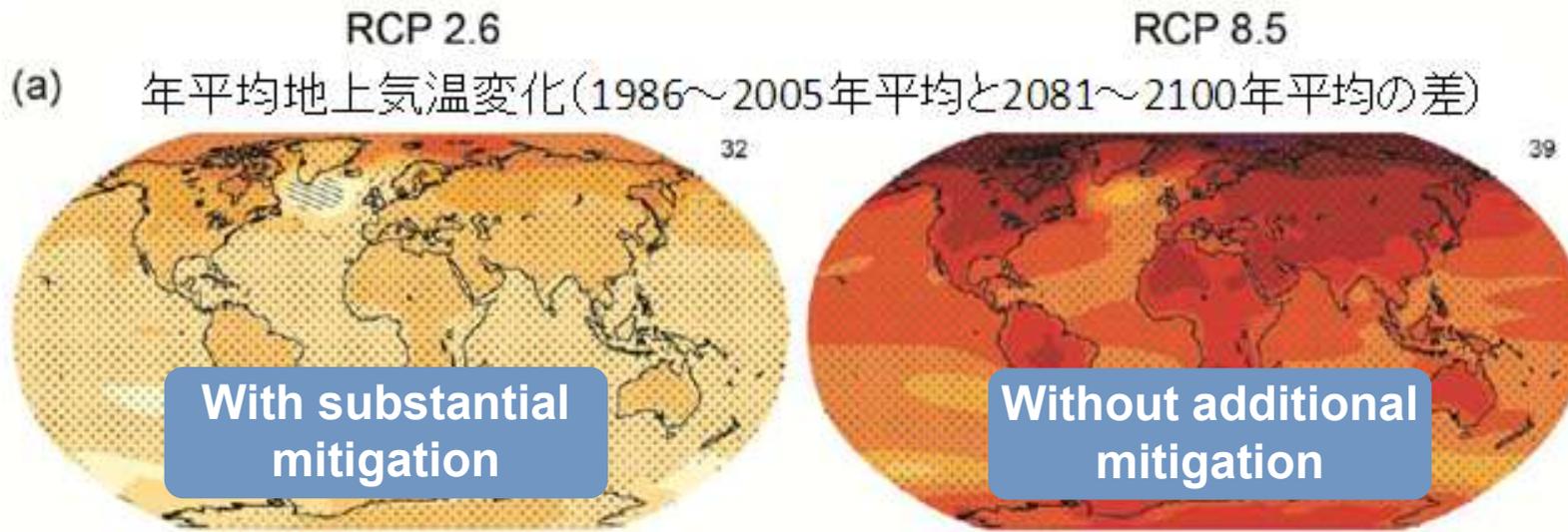
(b) 温室効果ガスがある場合



将来予測



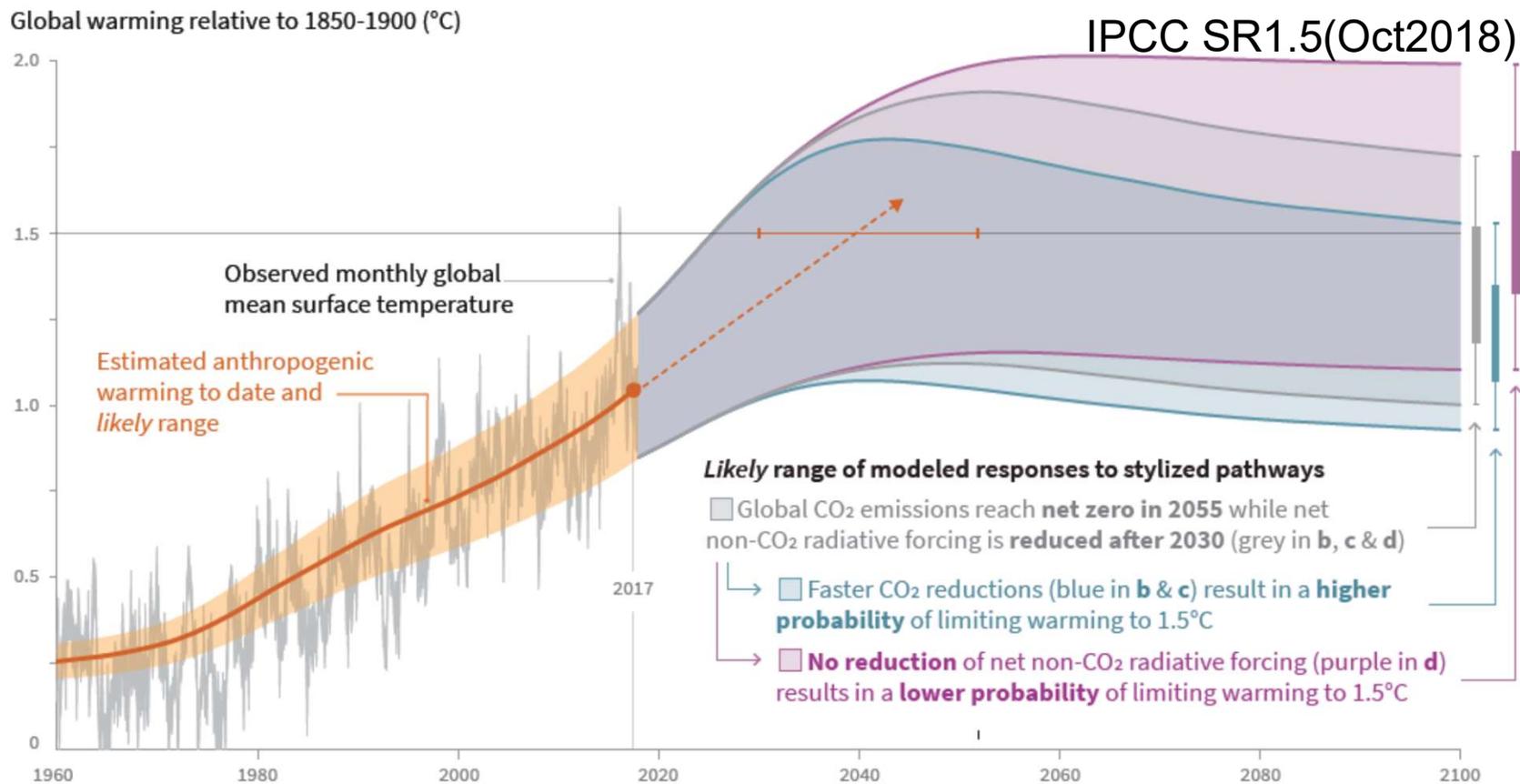
21世紀末における世界平均地上気温の変化は、RCP2.6シナリオを除く全てのRCPシナリオで1850~1900年に対して1.5°Cを上回る可能性が高い。



The Choices We Make Will Create Different Outcomes

3. 温暖化を止めるには
ゼロエミッション実現が必要！

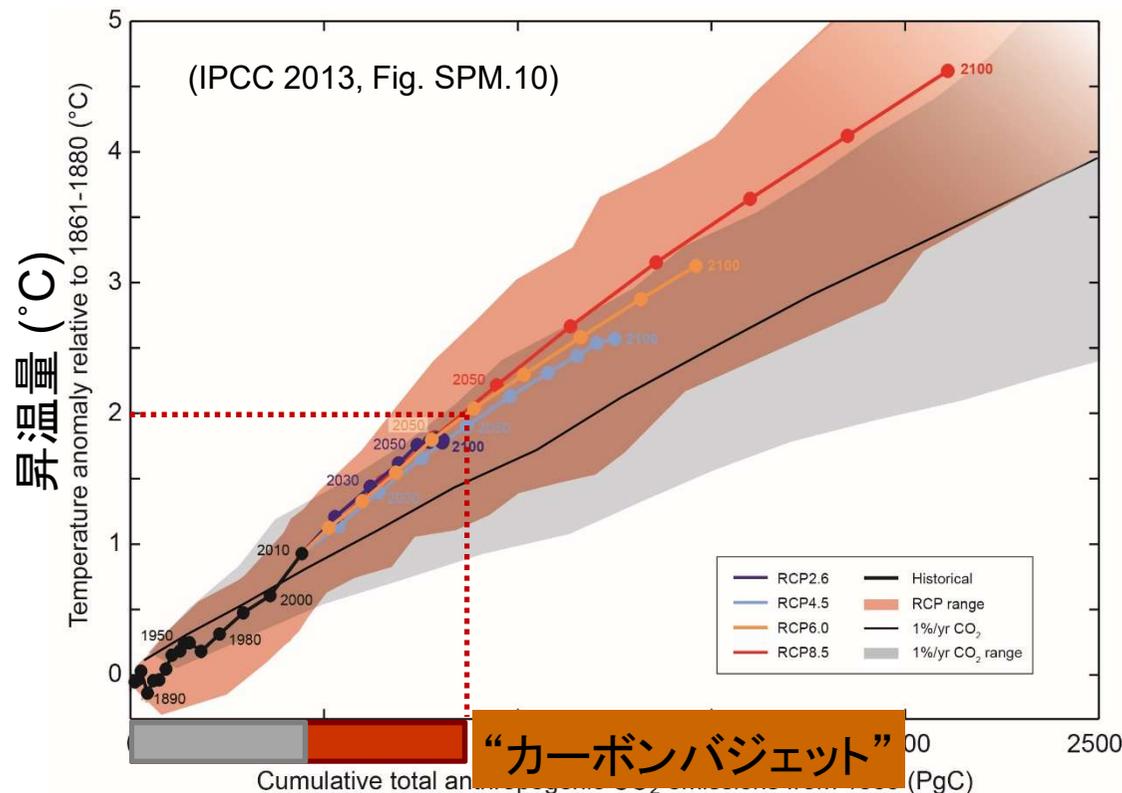
1.5°C, 2°C?



温暖化を止める:「緩和」

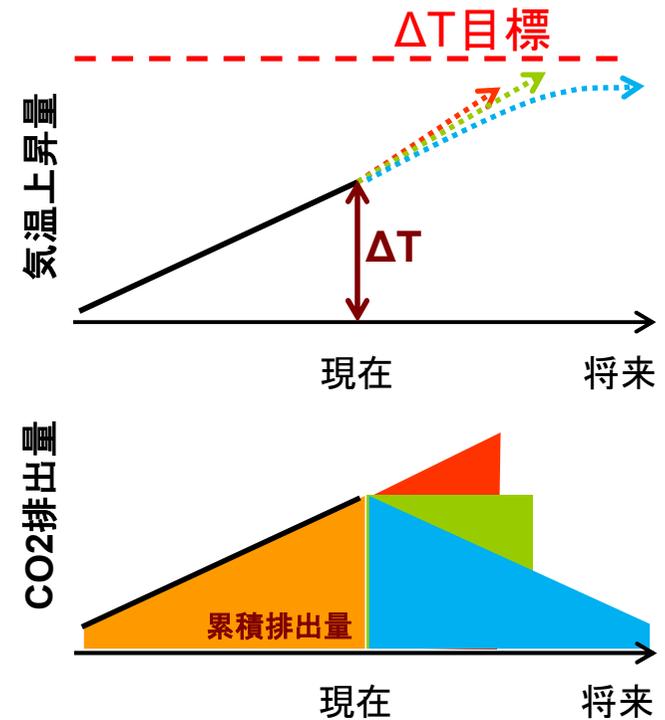
- パリ協定 第4条1項

- “...今世紀後半に温室効果ガスの人為 的な排出と吸収のバランスを達成するよう、世界の排出ピークをできるだけ早期に迎え、...急激に削減する。”



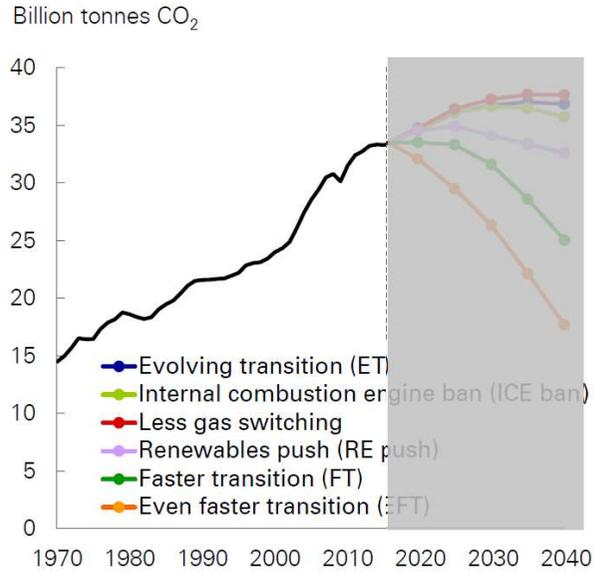
CO2累積排出量

カーボンバジェット: 温度目標の下で許容される排出量

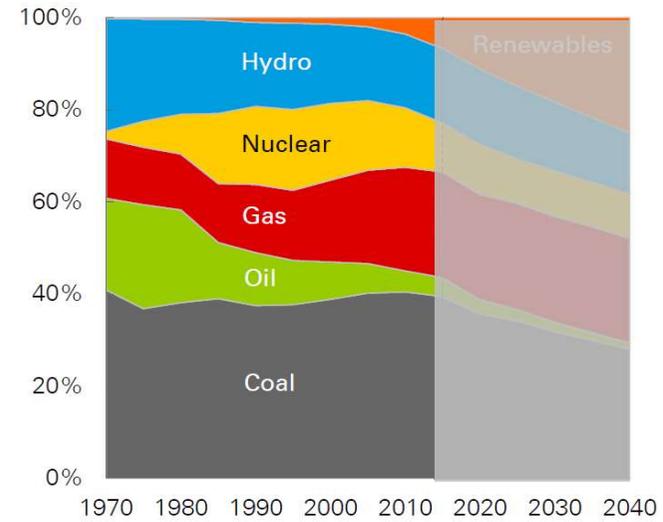


ゼロエミッション!

Carbon emissions

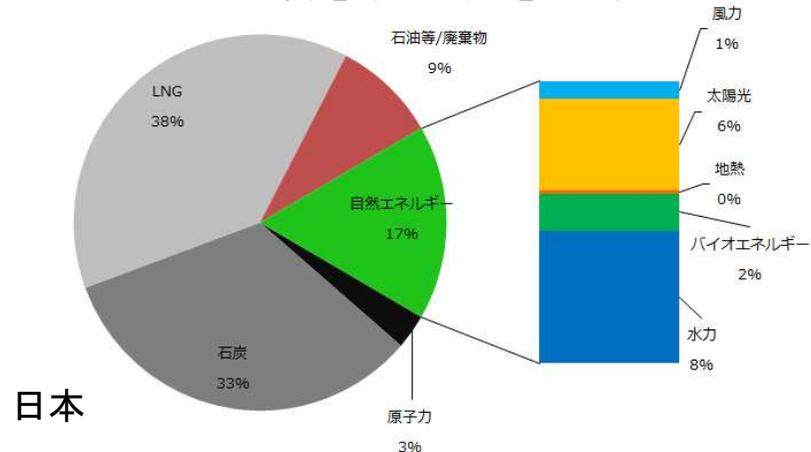


Shares of total power generation



2018 BP Energy Outlook
© BP p.l.c. 2018

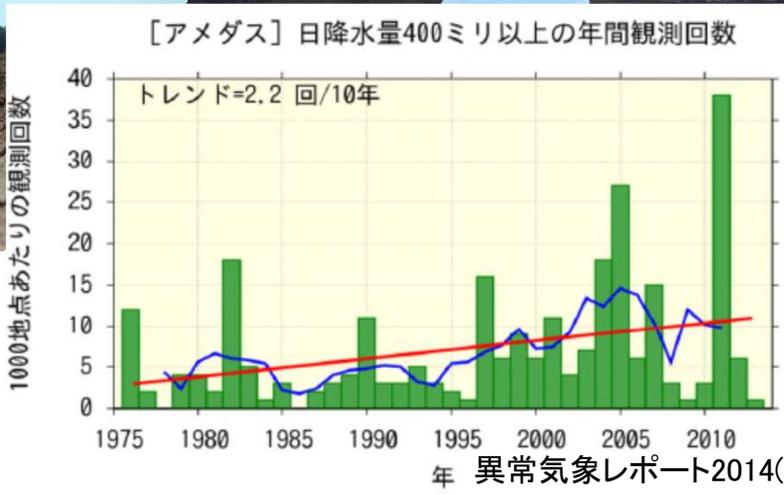
2017年度電源別発電量内訳



出典: 経済産業省資源エネルギー庁「電力調査統計」(参照: 2018/07/20)より作成
(自然エネルギー財団HP)

4. 地球温暖化は極端気象を 増加させる

温暖化に伴い、極端気象の増加が予測されている



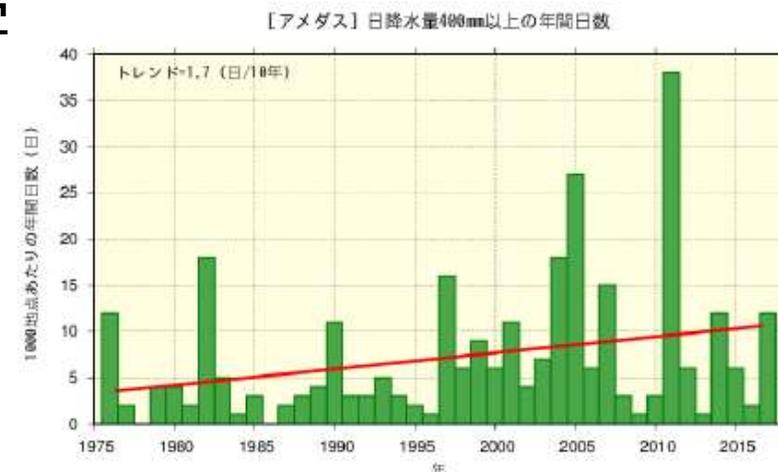
AR5 WGI SPM

温暖化に伴い、極端気象の増加が予測されている

実況もこれを裏付け：

- 2008年7月都賀川鉄砲水、
- 同 8月豊島区下水増水
☆「ゲリラ豪雨」
- 2013年10月大島土砂災害
- 2013年7月、11月秋田土砂災害
- 2014年8月広島土砂災害
- 2015年9月鬼怒川決壊
- **平成30(2018)年7月豪雨**

cf. 温暖化適応計画閣議決定(H27.11.27)
国交省「水災害分野における気候変動
適応策のあり方について」(H27.8.28)
国連防災会議仙台宣言(H27.3.18)
気候変動適応法成立(H30.6.6)



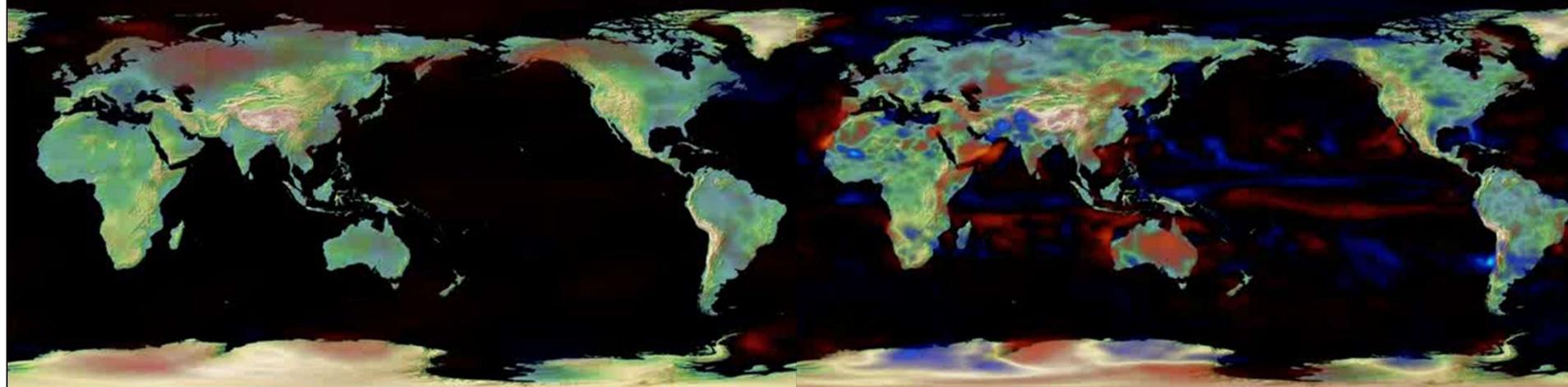
気候変動監視レポート2017(気象庁)



A-PLAT

気候変動適応情報プラットフォーム

コンピュータによる地球温暖化の予測



1950
-12 °C -6 °C 0 °C +6 °C +12 °C
2m temperature change
MIROC5 / RCP8.5
AORI / NIES / JAMSTEC

1950
-150% -75% 0% +75% +150%
Precipitation change (% relative to the Control)
MIROC5 / RCP8.5
AORI / NIES / JAMSTEC

RCP8.5
“Business as usual”
シナリオ

地表気温

RCP8.5
“Business as usual”
シナリオ

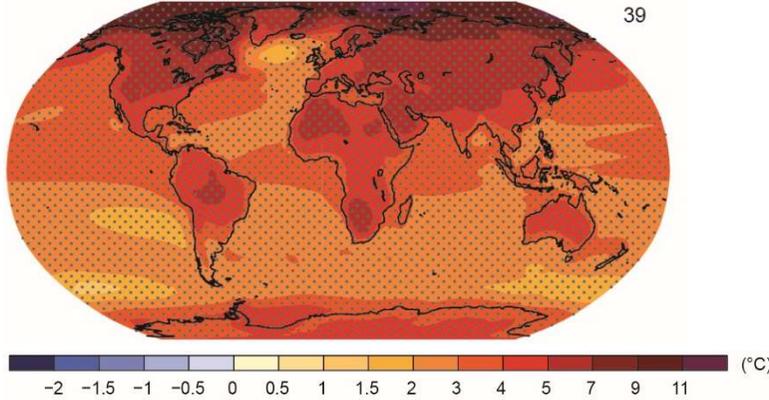
降水量



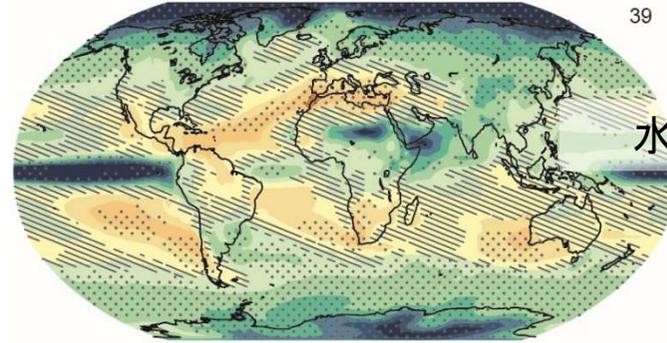
気候の「極端化」

平均

RCP 8.5
年平均地表気温の変化(1986-2005から2081-2100)



年降水量の変化(1986-2005から2081-2100)

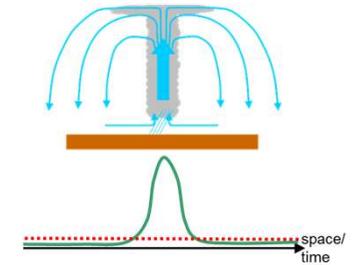
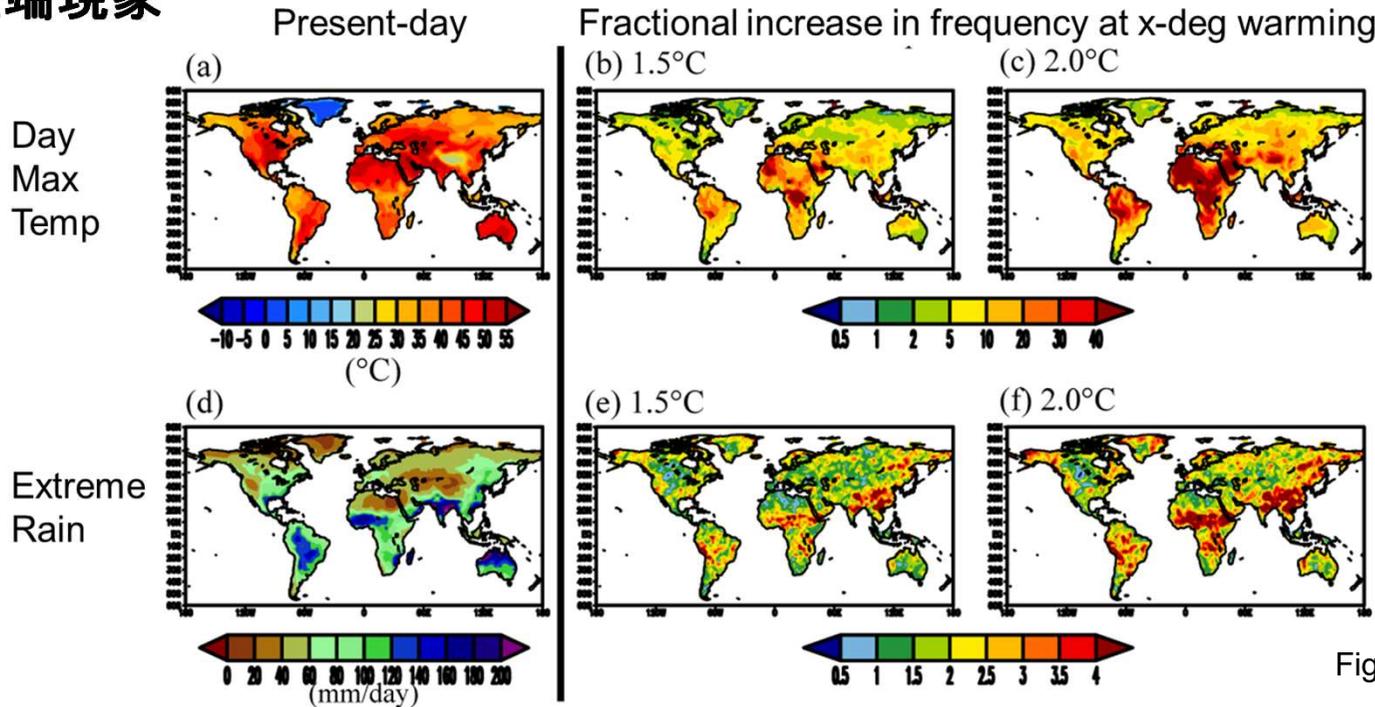


水循環は複雑!

IPCC AR5 WG1

‘rich-get richer’ メカニズム

極端現象



HAPPI Project

HAPPI=Half a degree of Additional warming; Projections, Prognosis and Impacts

COMMENTARY:
Realizing the impacts of a 1.5°C warmer world

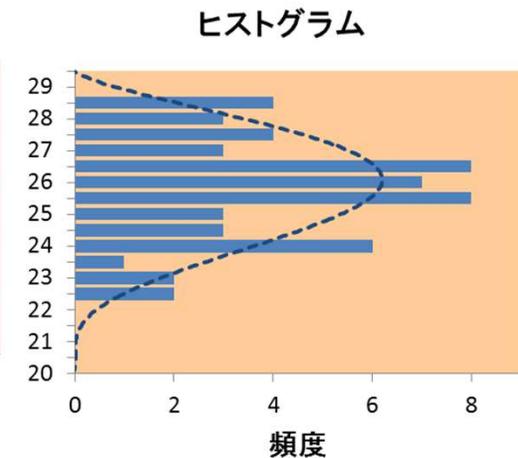
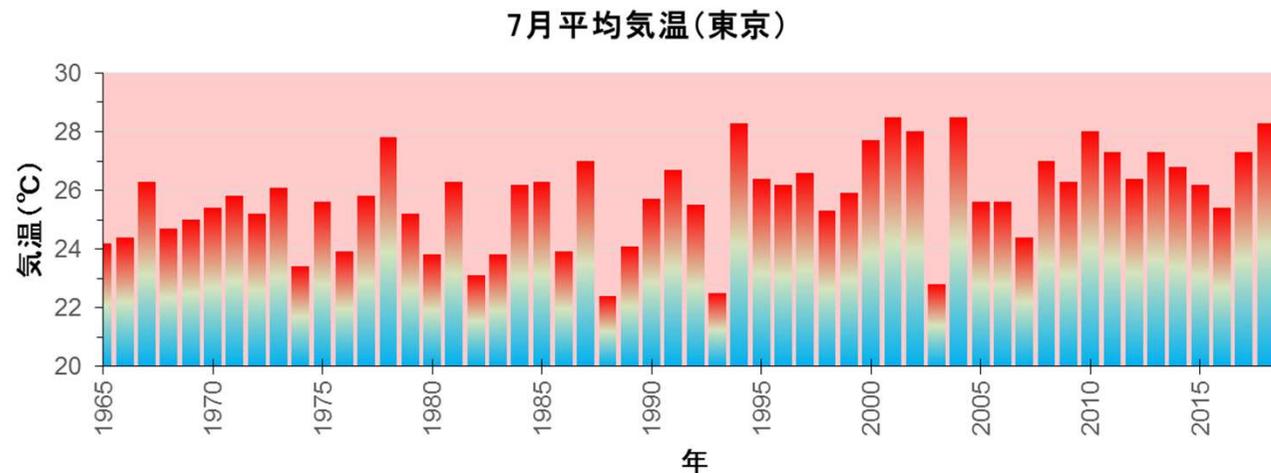
Daniel Mitchell, Rachel James, Piers M. Forster, Richard A. Betts, Hideo Shiogama and Myles Allen
The academic community could make rapid progress on quantifying the impacts of limiting global warming to 1.5°C, but a refocusing of research priorities is needed in order to provide reliable advice.

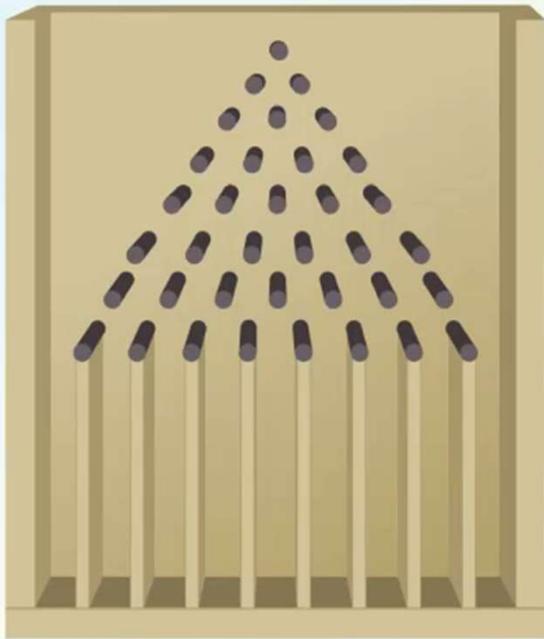
Fig. courtesy of H. Shiogama

「異常気象」とは...

その地点、季節として出現度数が小さく平常的には現れない現象または状態。統計的には30年に1回以下の出現率の現象。

(気象庁)



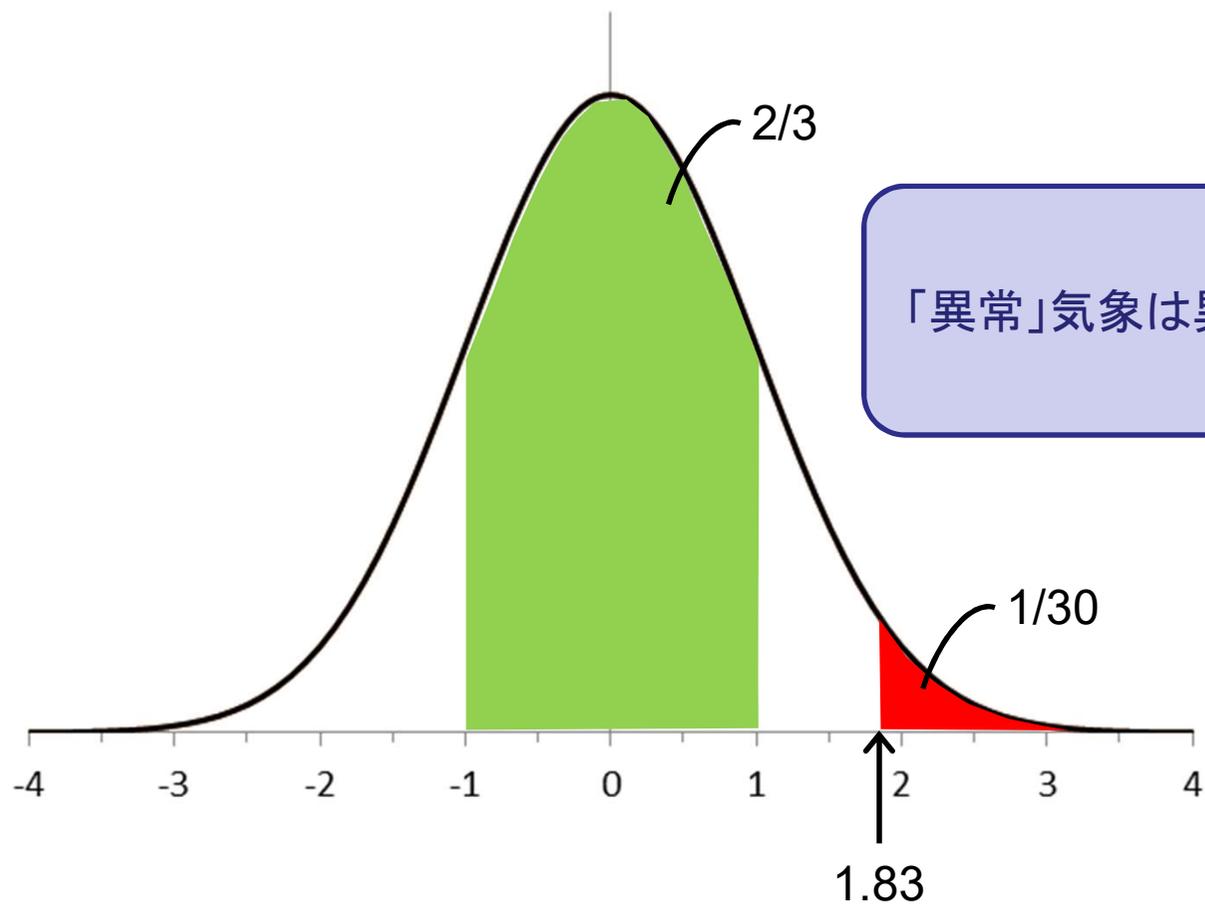


冷夏

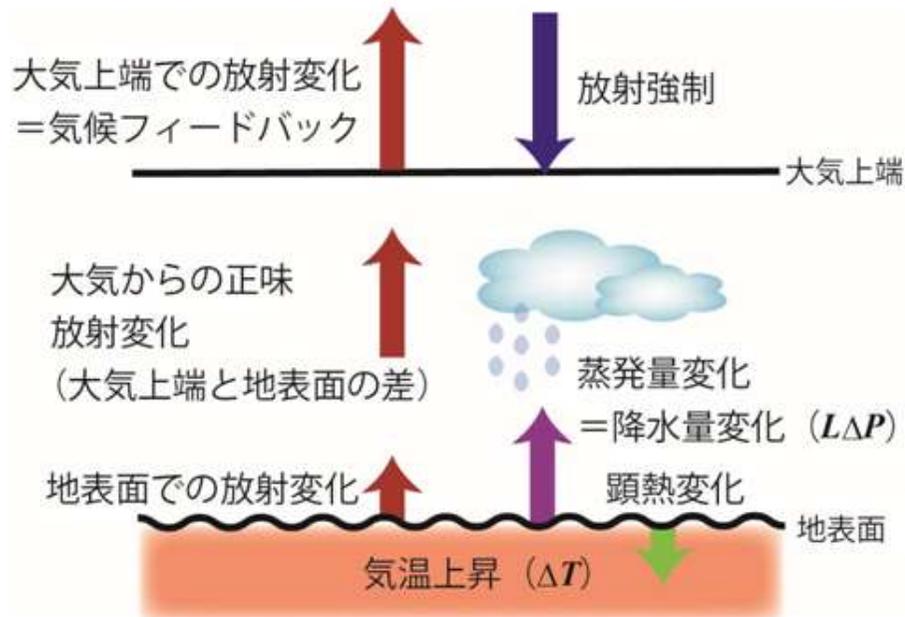
ふつう

猛暑

正規分布



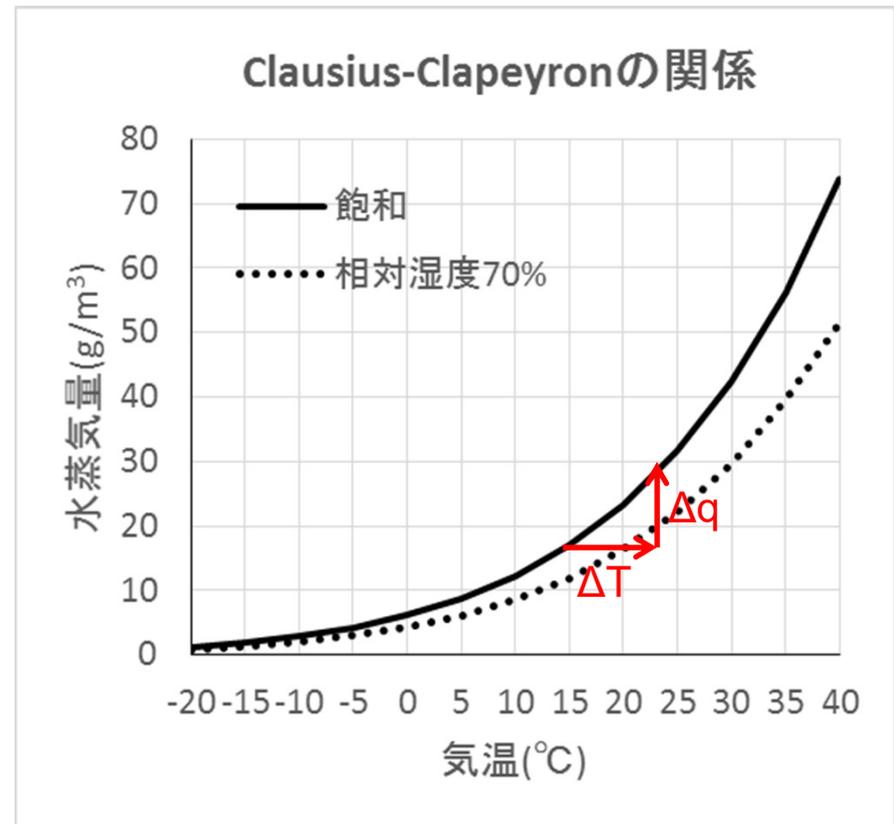
「平均」降水量の変化



渡部他(2018; 報道発表資料)

大気冷却量の変化で決まる: $\Delta P/P \sim 2-3\%/^{\circ}\text{C}$

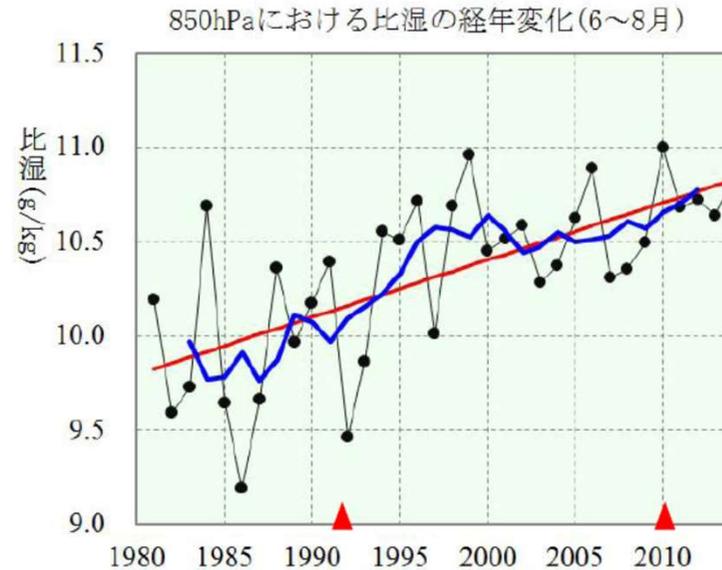
「局地的」降水量の変化



暖かい空気ほど水蒸気をたくさん含む
水蒸気量の増加 ~ 降水量の増加 ~ $7\%/^{\circ}\text{C}$

観測データにみる水蒸気量の変化傾向(日本域)

国内13高層観測点の夏平均850hPa比湿経年変化(1981~2014年)

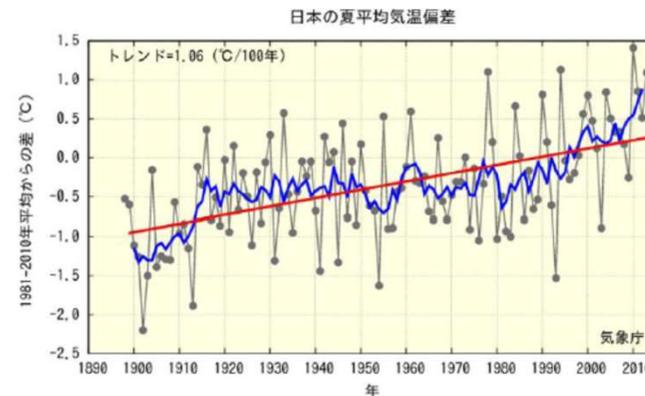


日本域の夏平均の上空の水蒸気量は近年増加している。

13観測点: 稚内、札幌、秋田、輪島、館野、八丈島、潮岬、福岡、鹿児島、名瀬、石垣島、南大東、父島

▲ はゾンデ湿度センサーの変更があった年を示す。1992~2009年は、その前後の期間に比べて高めの値となっている可能性がある。

都市化の影響の小さい地上観測点における気温変化傾向



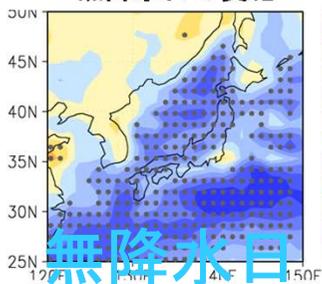
気象庁資料

降水頻度の変化

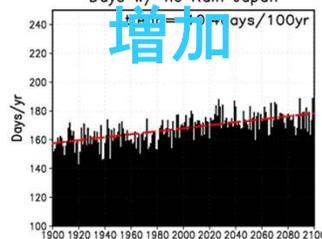
モデルCCSR UNIV.TOKYO

NIES

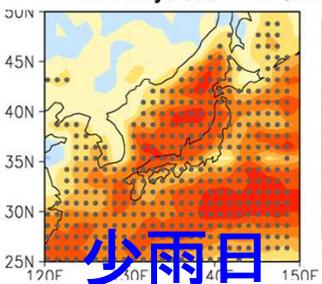
無降水日の変化



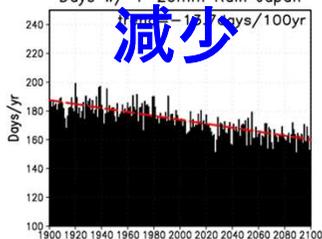
無降水日
増加



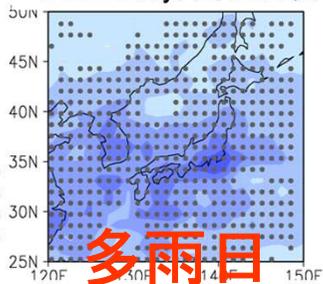
1-20mm/day降水日の変化



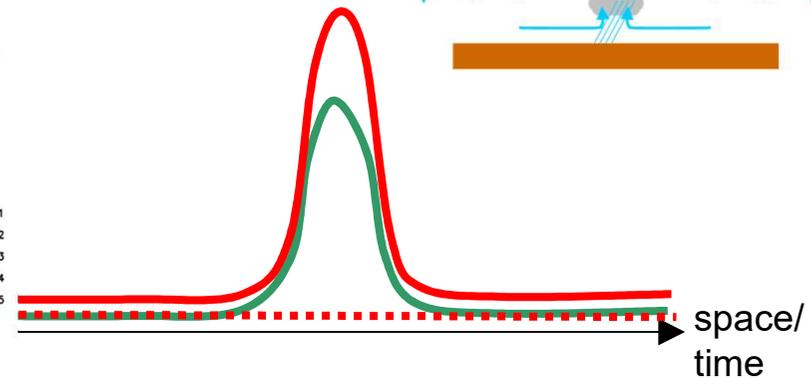
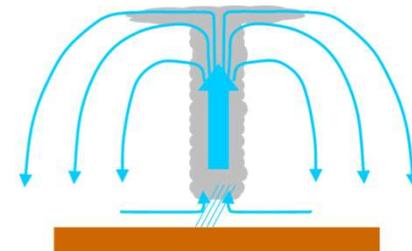
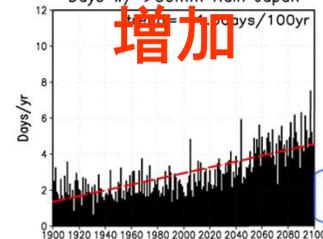
少雨日
減少



>50mm/day降水日の変化



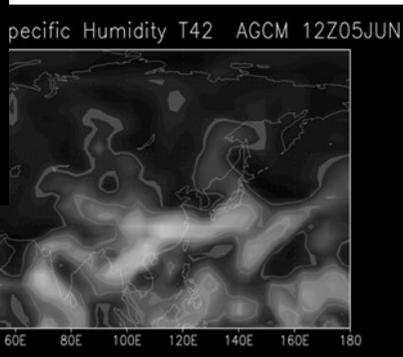
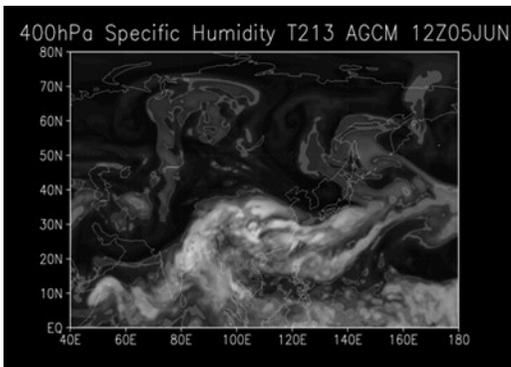
多雨日
増加



少雨の日数は減少

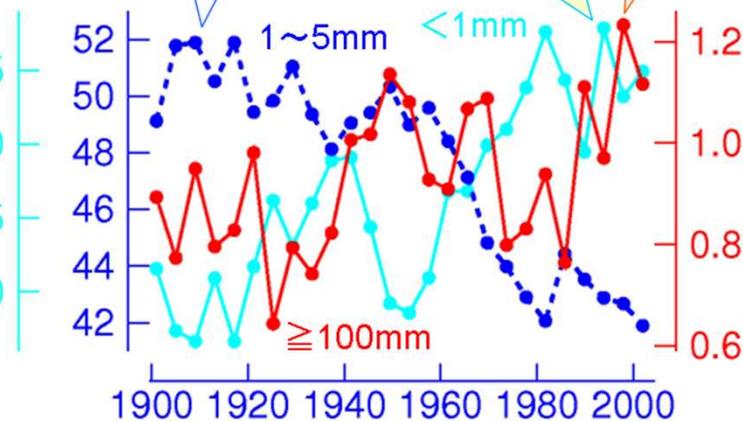
大雨の日数は増加

無降水日数も増加



観測

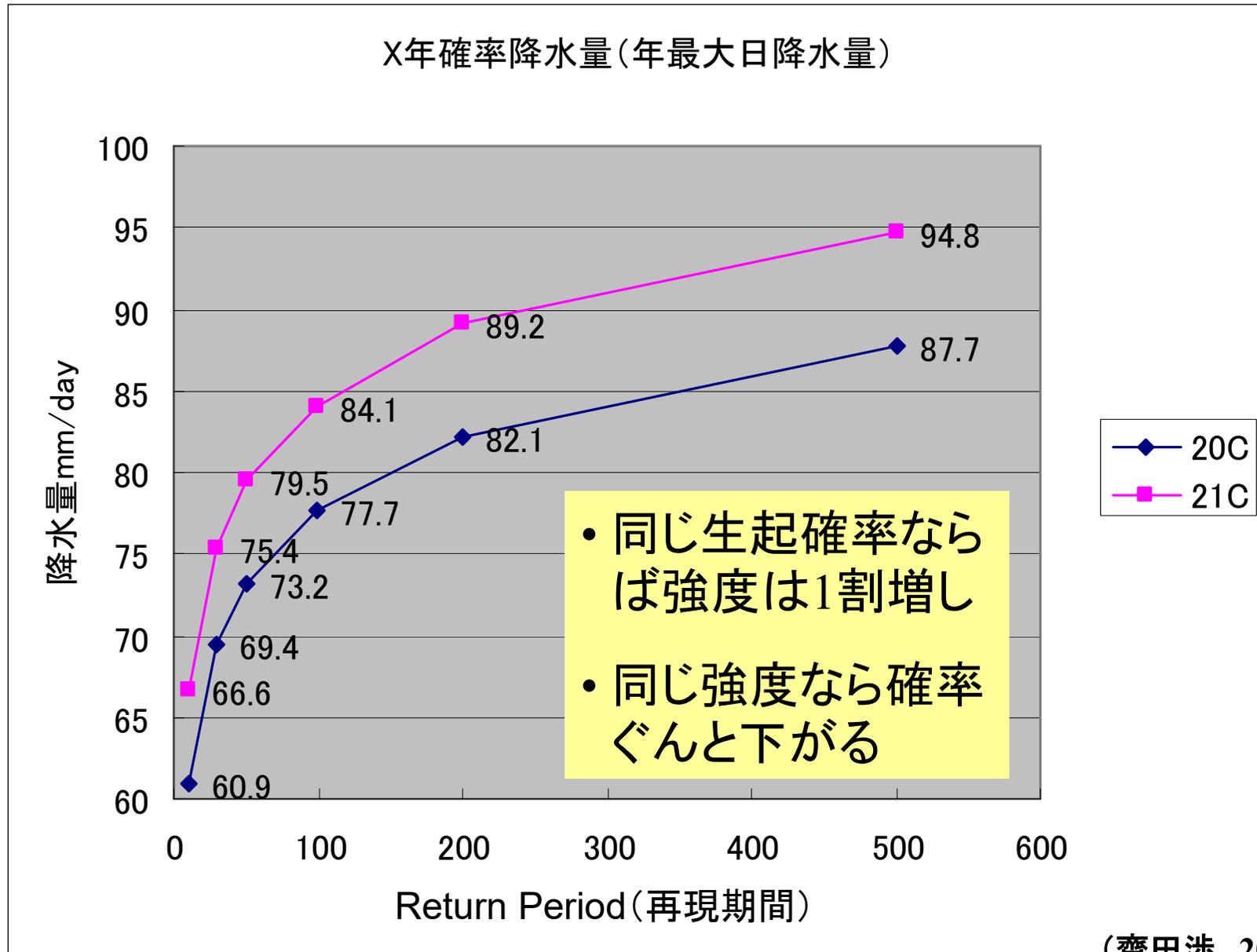
年間日数



無降水日数(日降水量1mm未満)
少雨日数(日降水量1~5mm)
大雨日数(日降水量100mm以上)

藤部文昭(2005)の長期変化(全国51地点の平均)

年最大日降水量, 東京



4. 極端気象イベントへの 温暖化の寄与

Event Attributionとは？

2013年日本の猛暑

地球温暖化のせいかな？

いいえ、しかし、

温暖化の寄与もあったと考えられる

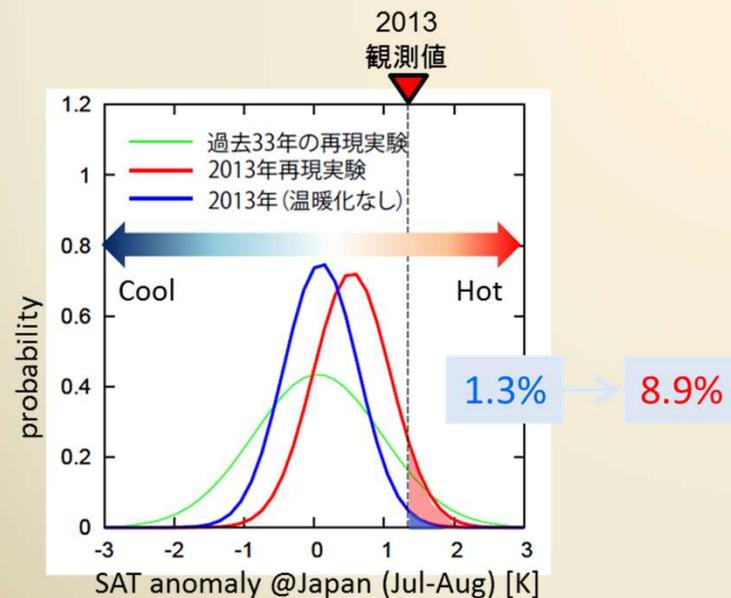
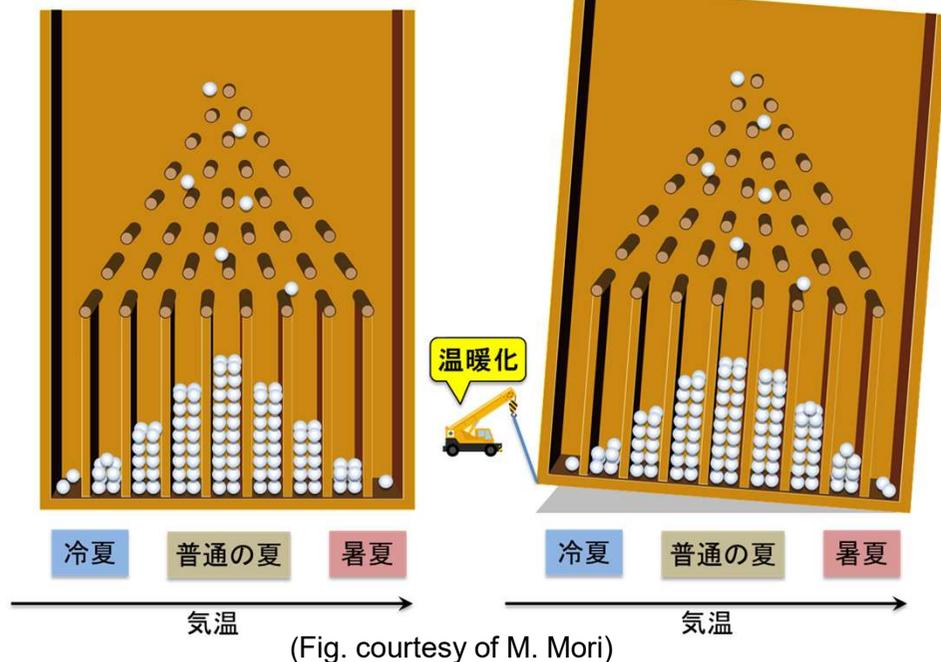
さらに、

温暖化によって、同様の、もしくは、より極端な現象の起こるリスクはYY%増加していると考えられる



温暖化していない夏

温暖化した夏



Warming increases the risk of heat wave

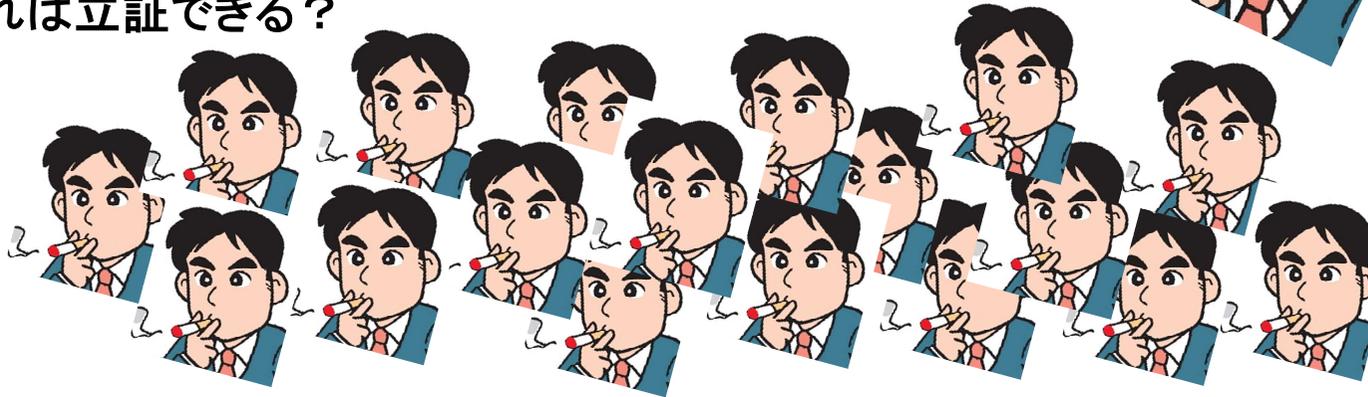
Imada et al. (2014)



たとえばなし

「喫煙は健康によくない。寿命を縮めることにもなる」とは言える。

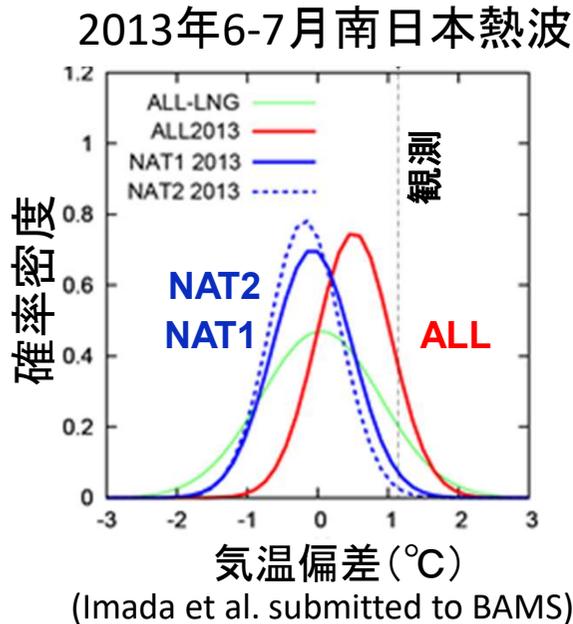
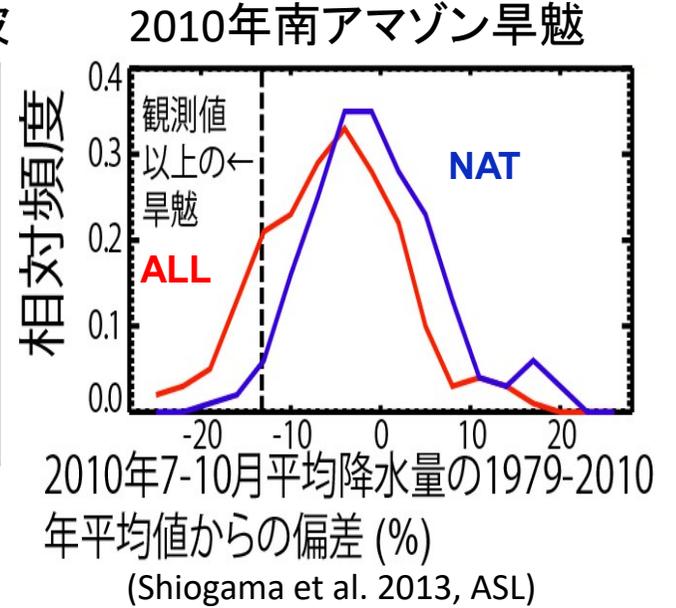
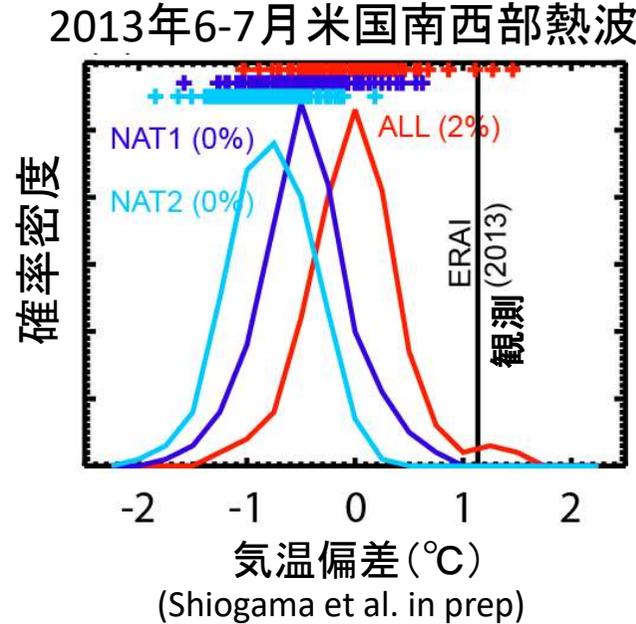
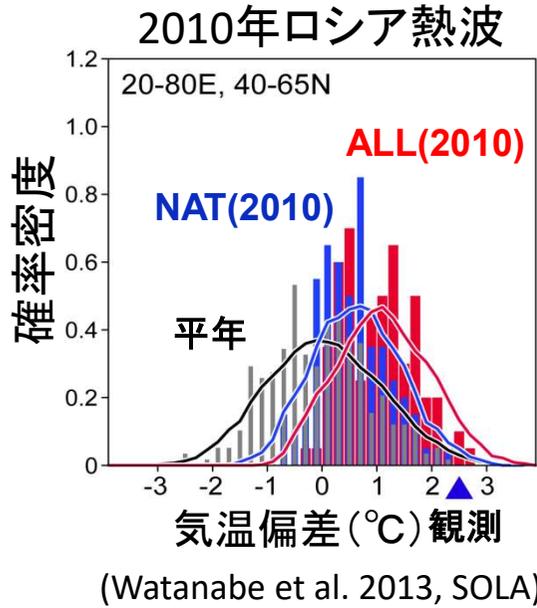
ところが、
「喫煙者のWatanabeさんが肺がんで亡くなった。喫煙が彼の命を縮めたのである」
と言うことは(可能性は高いと思うが)むつかしい。どうすれば立証できる？



沢山の”Watanabeさん(喫煙者)”を集めて、
そのうち何人が肺がんで亡くなったかを調べて、喫煙の”リスク”を見積もりましょう。

Slide courtesy of M. Watanabe

人間活動が発生確率を高めていた例

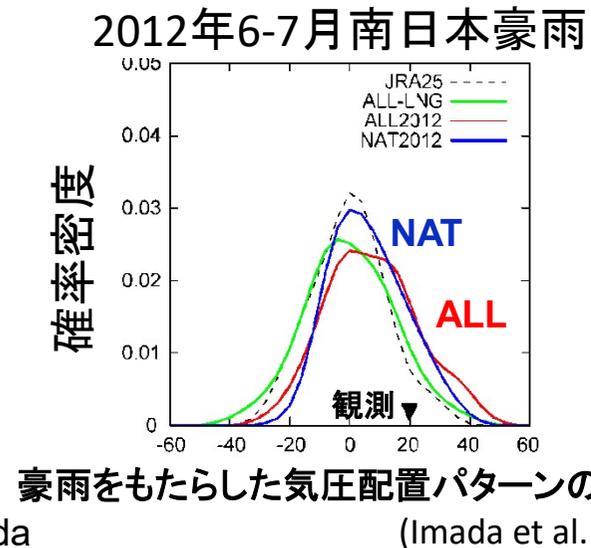


その他...

- 2010年パキスタン豪雨
- 2011/2012年冬季の海水減少とユーラシアの寒波
- 2015年8月上旬の日本の持続的猛暑

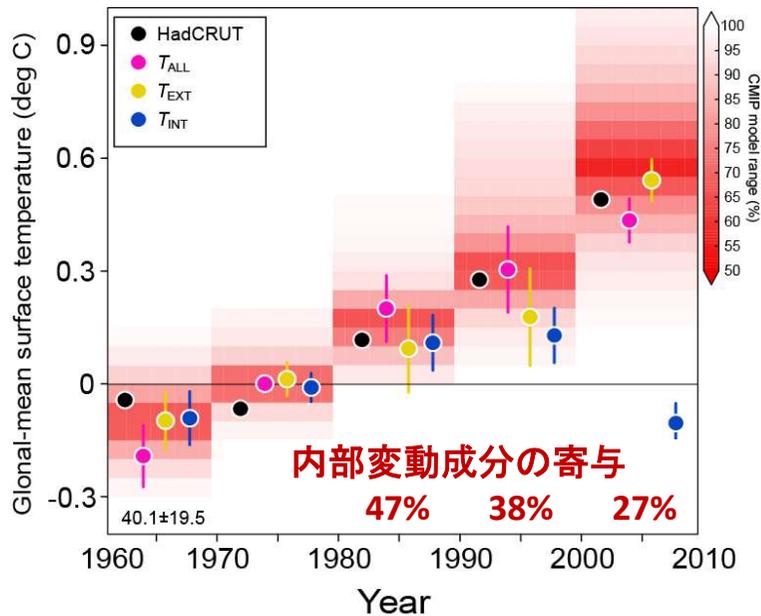
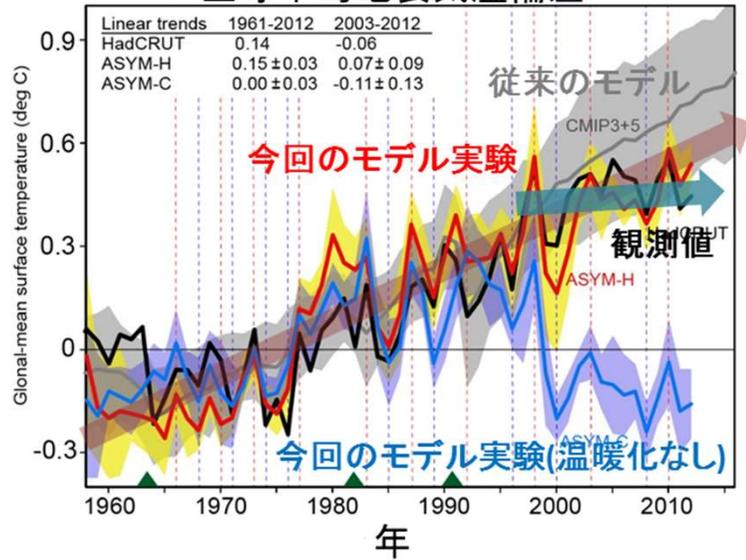
Slide courtesy of Y. Imada

人間活動の寄与が検出できなかった例



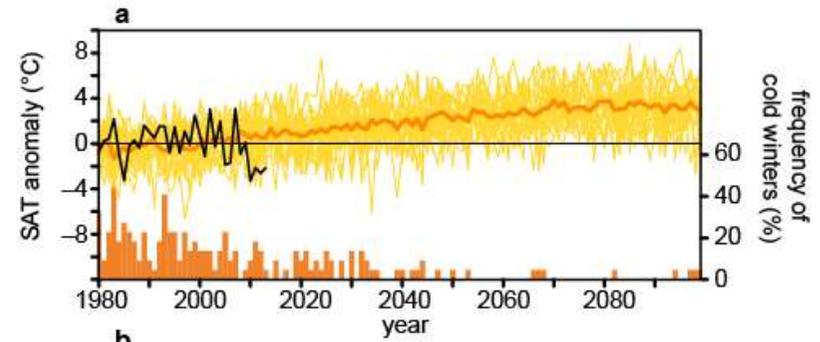
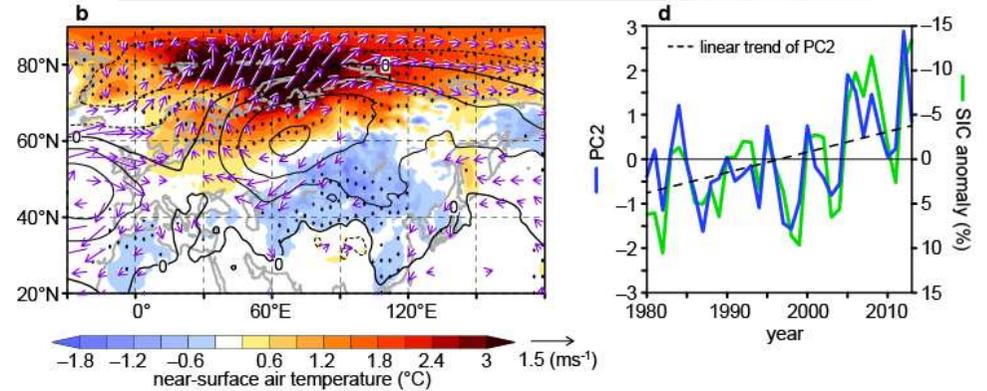
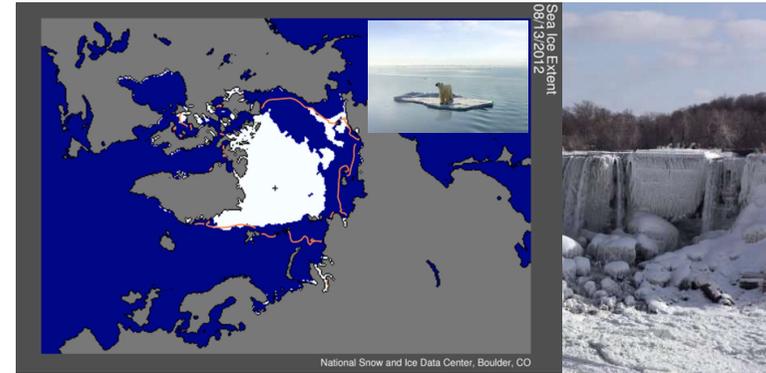
地球温暖化の“停滞”？

全球平均地表気温偏差



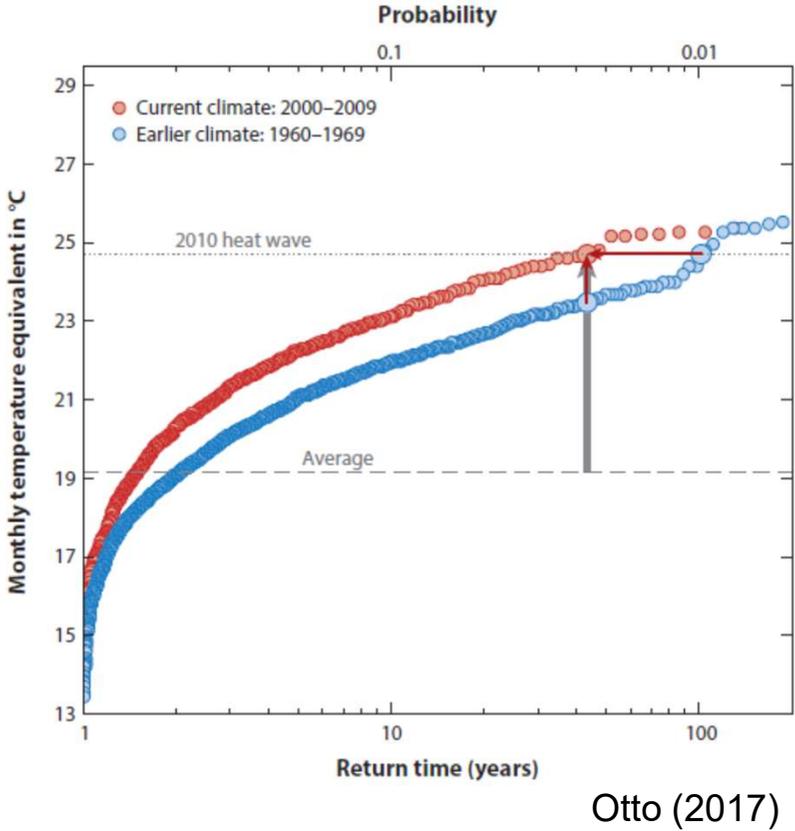
Watanabe et al. (2014; Nature CC)

温暖化のはずなのに 最近は寒冬続き...？

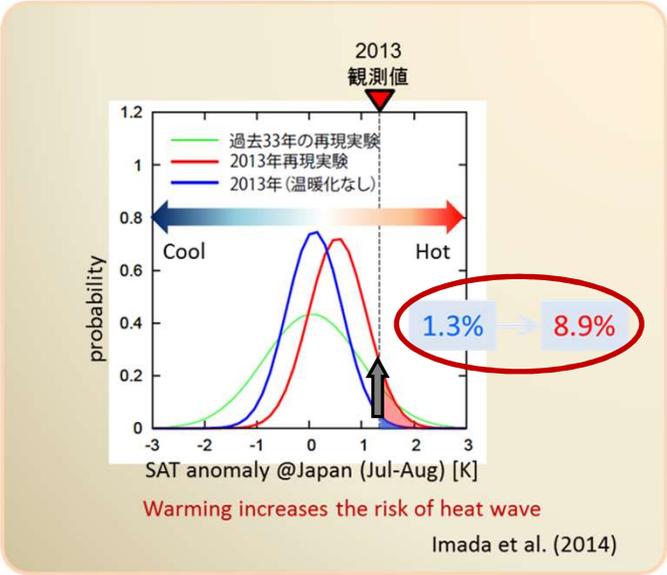


Mori et al. (2014; Nature Geosci)

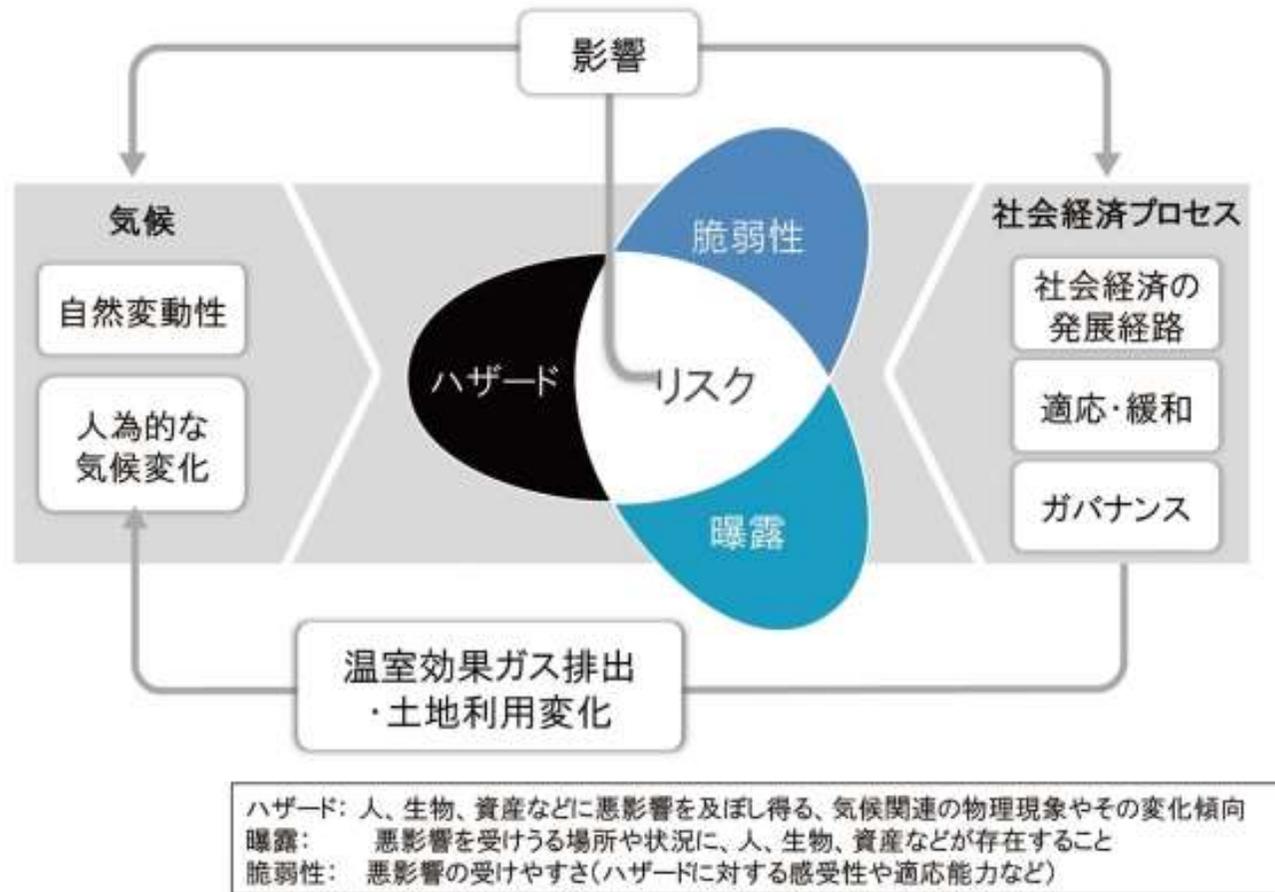
Risk-based vs. Event-based Approaches



- 温暖化の影響:
- リスクの増加
 - 「かさ上げ」効果



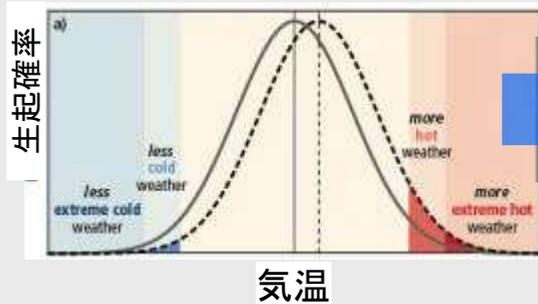
気候変動の「リスク」



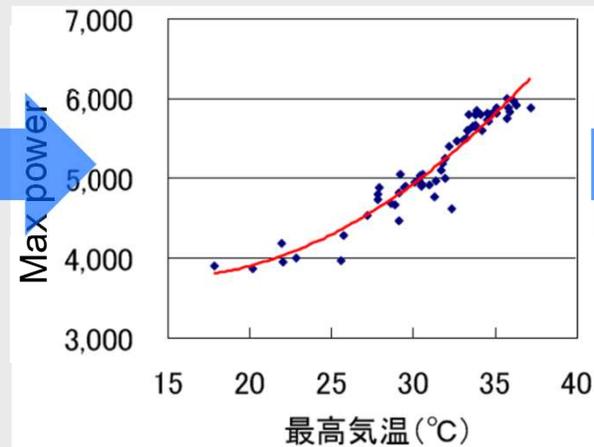
気候変動リスクとそれを構成する要素 (IPCC2014) に基づき作成)
IPCC (2014) Climate Change 2014. Impacts, Adaptation and Vulnerability
国立環境研究所

気候変動への「適応」～リスク管理

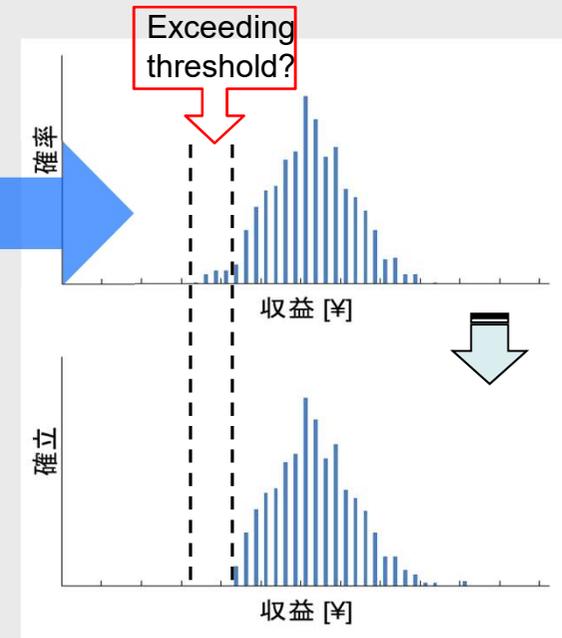
気候変数の 変化



影響



リスク



* 概念図



5. 極端気象リスクの予測？

長期予報



<向こう3か月の気温、降水量の各階級の確率(%)>

【気温】
[東日本]

3か月



6月



7月



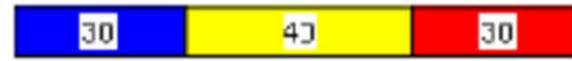
8月



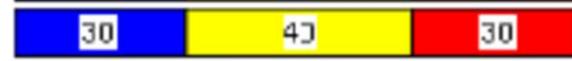
【降水量】

[東日本太平洋側]

3か月



6月



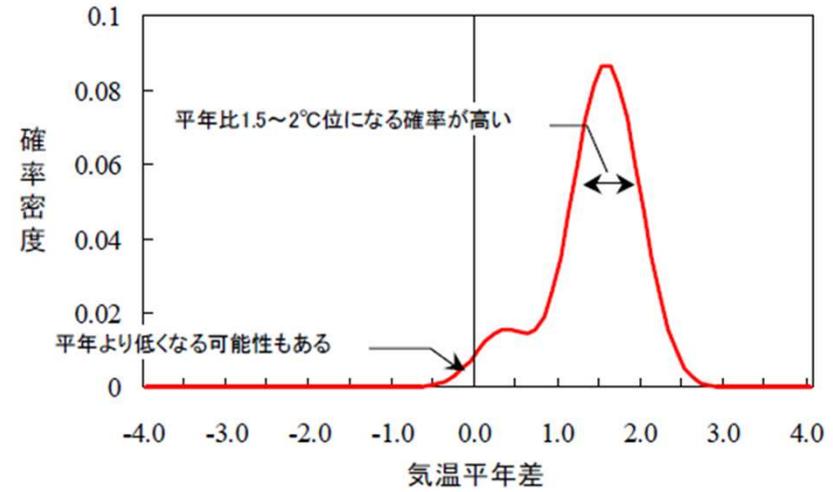
7月



8月

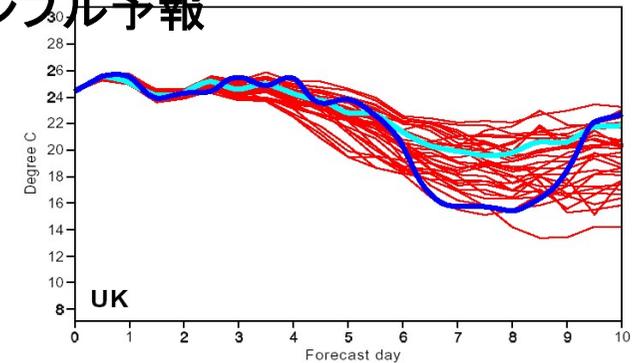


気温平年差予測値の確率分布の例

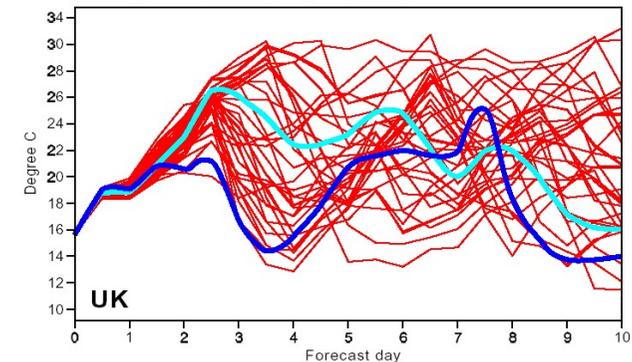


アンサンブル予報

ECMWF ensemble forecast - Air temperature
Date: 26/06/1995 London Lat: 51.5 Long: 0

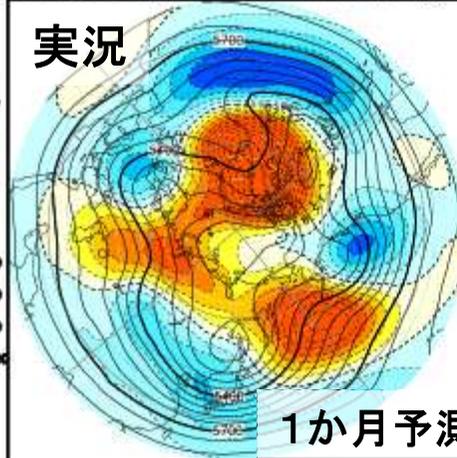


ECMWF ensemble forecast - Air temperature
Date: 26/06/1994 London Lat: 51.5 Long: 0



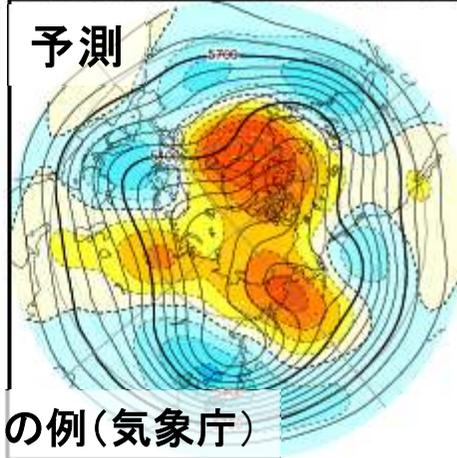
Z500 (ANALYSIS) from 2010 12 11 12 kt=0 [m]

実況



Z500 (FORECAST) from 2010 12 9 12 kt= 48 [m]

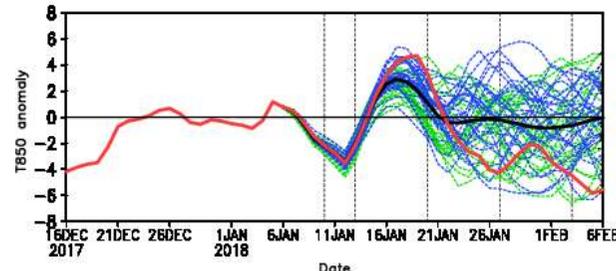
予測



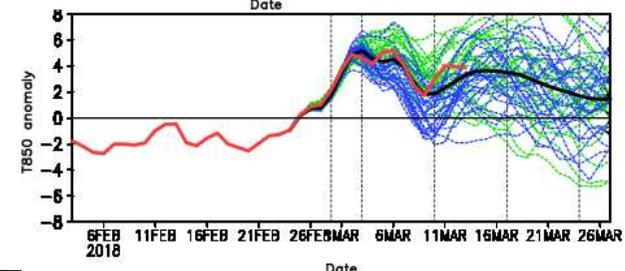
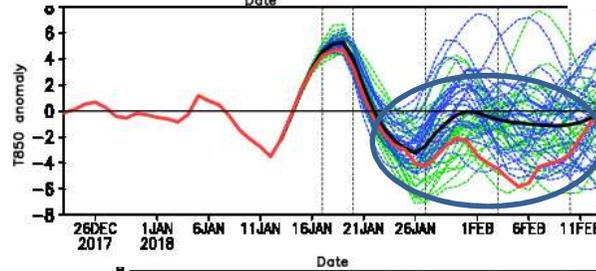
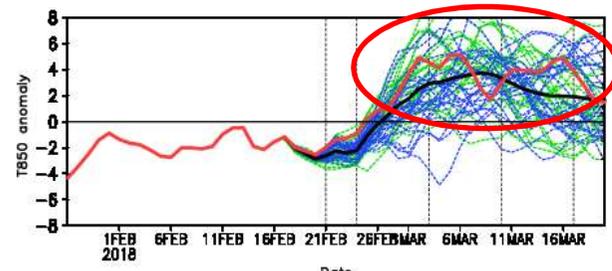
1か月予測の例(気象庁)

冬の 一か月 予報例

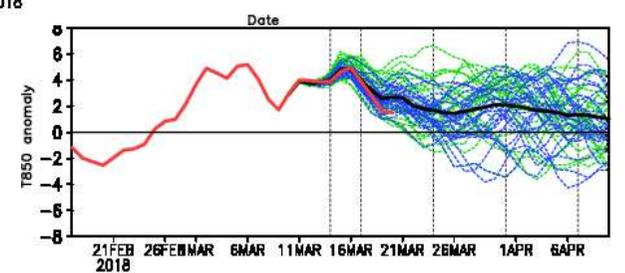
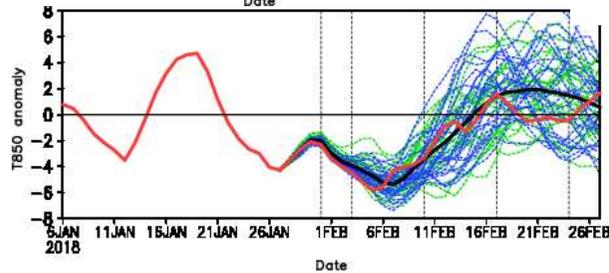
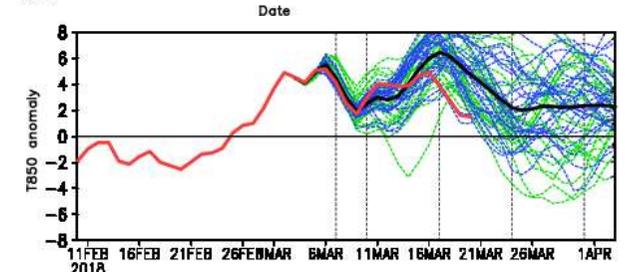
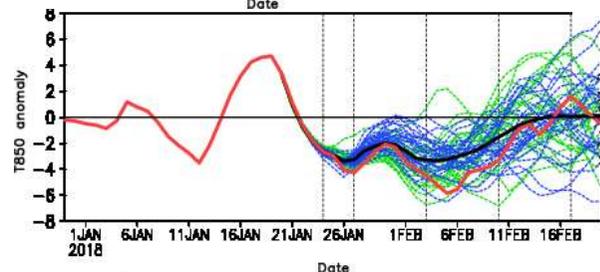
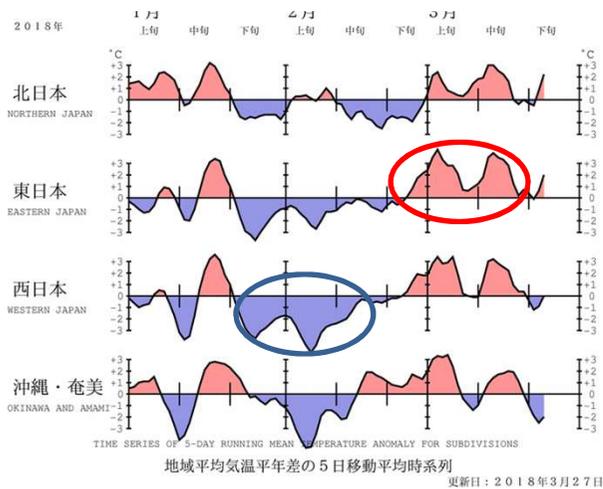
西日本1-2月



東日本2-3月

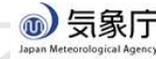


実況地表気温偏差



来週の予報を利用しよう

近年の1か月予報検証(東日)



[ホーム](#)
[ENGLISH](#)
[ご意見・ご感想](#)
[サイトマップ](#)

[ホーム](#)
[防災情報](#)
[各種データ・資料](#)
[知識・解説](#)

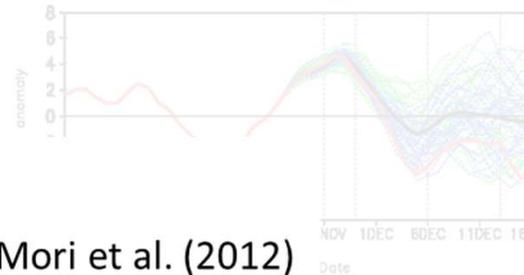
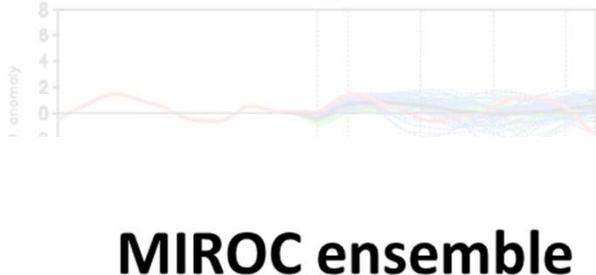
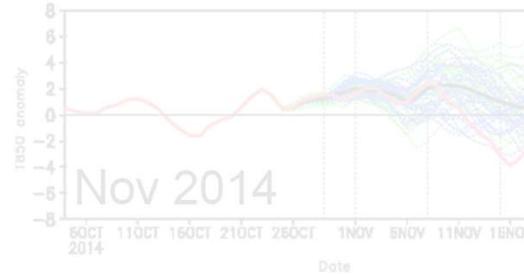
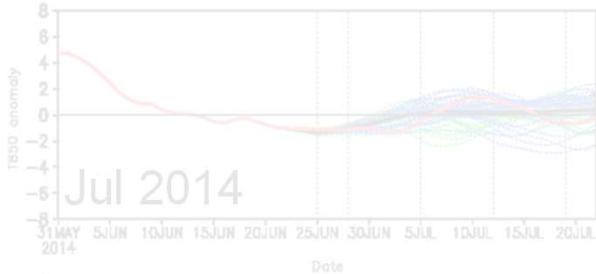
ホーム > 防災情報 > 異常天候早期警戒情報

異常天候早期警戒情報

地方

印刷 再読込

[説明へ](#)



全国(地図表示)

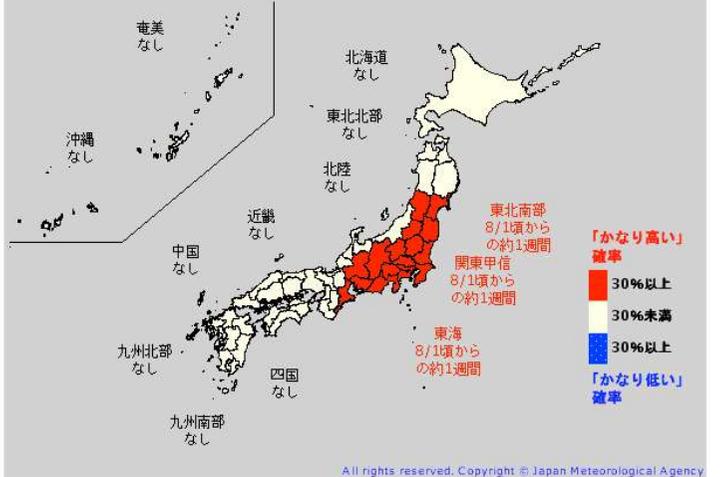
平均気温 平成27年7月27日発表

情報の対象期間: 8月1日~8月10日

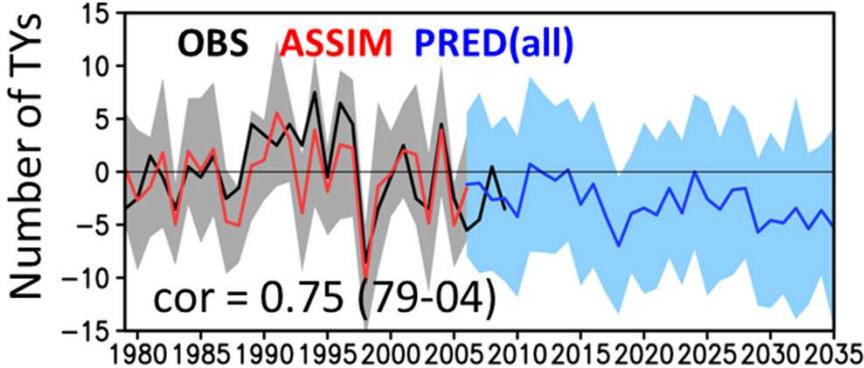
「かなり高い」または「かなり低い」確率が30%以上の地域

地域名の下に示す期間は、30%以上と予想される期間

地図をクリックすると、該当地域の発表状況や内容を表示します。



MIROC ensemble Mori et al. (2012)



台風活動の季節予報も近々可能に?

異常天候早期警戒情報は、原則として毎週月曜日と木曜日に、情報発表日の5日後から14日後までを対象として、7日間平均気温が「かなり高い」もしくは「かなり低い」となる確率が30%以上、または7日間降雪量が「かなり多い」となる確率が30%以上と見込まれる場合に発表されます(降雪量については11月~3月のみ)。前回の情報提供日に要早期警戒の情報を発表した場合には、今回の検討対象期間に早期の警戒事項がない見込みの場合でも、前回発表した検討対象期間・要素の見直し等を記述した情報が発表されます。発表時刻は、14時30分です。

このページの情報は、発表日の14時30分から地方毎に順次更新されます。情報が発表された地方でも更新されるまでは「なし」の表示となりますので、情報発表の有無の確認は、全国の情報に完全に更新される14時40分頃以降にお願いいたします。

- ※ 異常天候早期警戒情報に関する解説等についてはこちらをご覧ください。
- ▶ [異常天候早期警戒情報の説明](#)
- ▶ [最新の確率予測資料](#)
- ▶ [異常天候早期警戒情報における熱中症注意の呼びかけ方について](#)

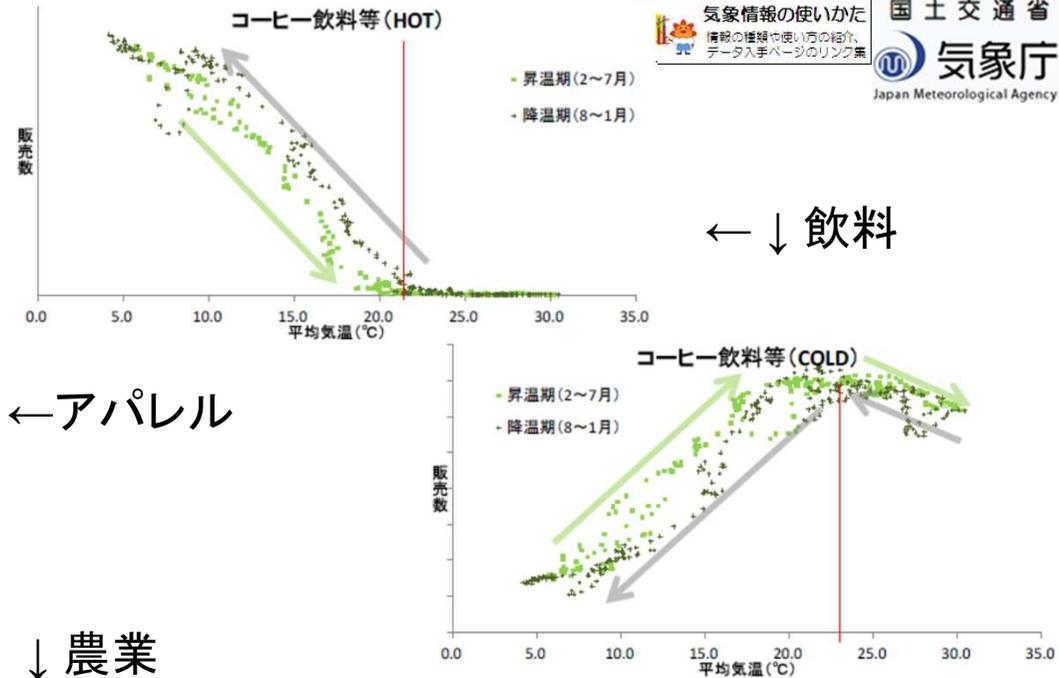
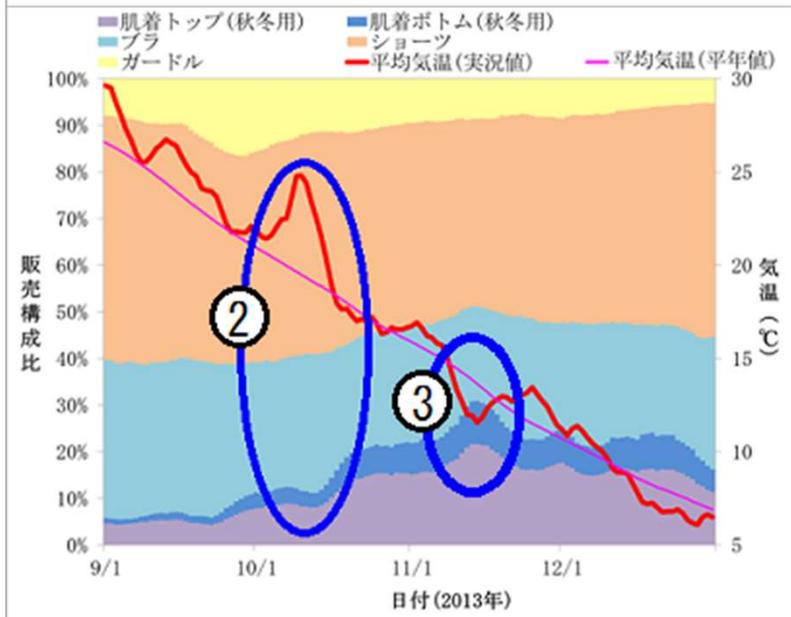
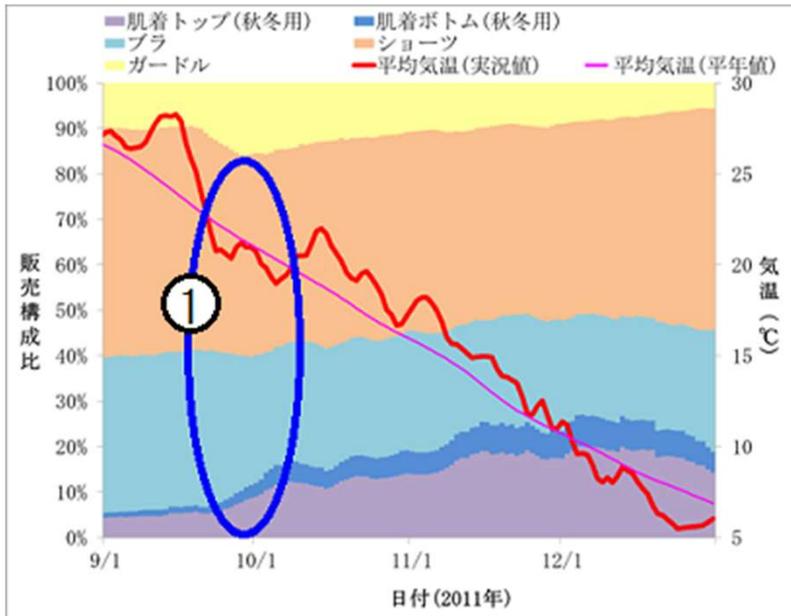
気象情報のよりよい利用に向けて(1)

取り組んでみませんか？
気候リスク管理

本サイトでは、様々な産業界において、過去の気象観測データや1か月予報などをより一層活用していただけるよう、「気候リスク」(気候によって影響を受ける可能性のこと)に対応していく方法について、具体例を用いてわかりやすく紹介しています。

気象情報の使いかた
情報の種類や使い方の紹介、
データ入手ページのリンク集

国土交通省
気象庁
Japan Meteorological Agency



東北農研
1 kmメッシュ気温
平年値・標準偏差

気象庁
早警気温ガイダンス
(確率予測資料)

1 kmメッシュ
2 週目までの
気温予測値

予測モデル 警戒情報 2週目確率 2週目警戒

2週目予測: 高温確率 (試行) (6月日)

この先の高温に注意してください。
8月15日頃からの7日平均気温が27°C(高温障害発生目安)を上回る確率が57%と高くなっています。なお、この時期の平年の確率は20%です。
最新の情報に注意してください。

危険期予測 (平年値参考)
8月6日(出穂期)～9月4日(黄熟期の終わり)まで

気象情報のよりよい利用に向けて(2)



気象ビジネス市場発展の基盤づくり

気象ビジネスの啓発・普及

- 【目指すゴール】 広範な関心喚起による気象ビジネス市場拡大
- 【具体的な取組例】
- ✓ 気象ビジネスフォーラム（シンポジウム・関係者マッチングの場）
 - ✓ 業界別の気象ビジネス入門セミナー
 - ✓ パンフレット等による普及活動

気象ビジネス推進 コンソーシアム



国土交通省
気象庁
Japan Meteorological Agency

気象ビジネス推進のための調査・実証

- 【目指すゴール】 気象ビジネスの高度化、新規の気象ビジネスの実用化
- 【具体的な取組例】
- ✓ 気象ビジネスに関連する調査・文献の共有
 - ✓ 会員や気象庁の連携による実証実験
 - ✓ 会員による気象データ利用のアイデア出しから、その実現までの勉強会の実施（緩やかなハッカソン）

気象ビジネスを支える人材育成

- 【目指すゴール】 気象ビジネスの人的基盤の拡大、知見の向上
- 【具体的な取組例】
- ✓ IoT関連技術を用いた気象データの活用セミナー
 - ✓ 教育・研究分野における気象データの活用

「気象ビジネス推進コンソーシアム」は、産業界と気象サービスのマッチングや気象データの高度利用を進める上での課題解決を行うことを目的として、産学官の関係者が一堂に会する対話の場です。今後、先進的気象ビジネスモデルの創出や、気象ビジネスを推進するための人材育成等の環境整備等の取組を通じて、社会・経済活動の生産性を向上できるように活動していきます。（気象庁HP）

気象ビジネス市場発展のための展望

IoT社会における気象ビジネス像の展望

- 【目指すゴール】 気象ビジネスの発展に向けた戦略の構築
- 【具体的な取組例】
- ✓ IoT社会における各種データの有効な活用のための戦略的対話
 - ✓ 気象ビジネスの発展に必要な制度の提言

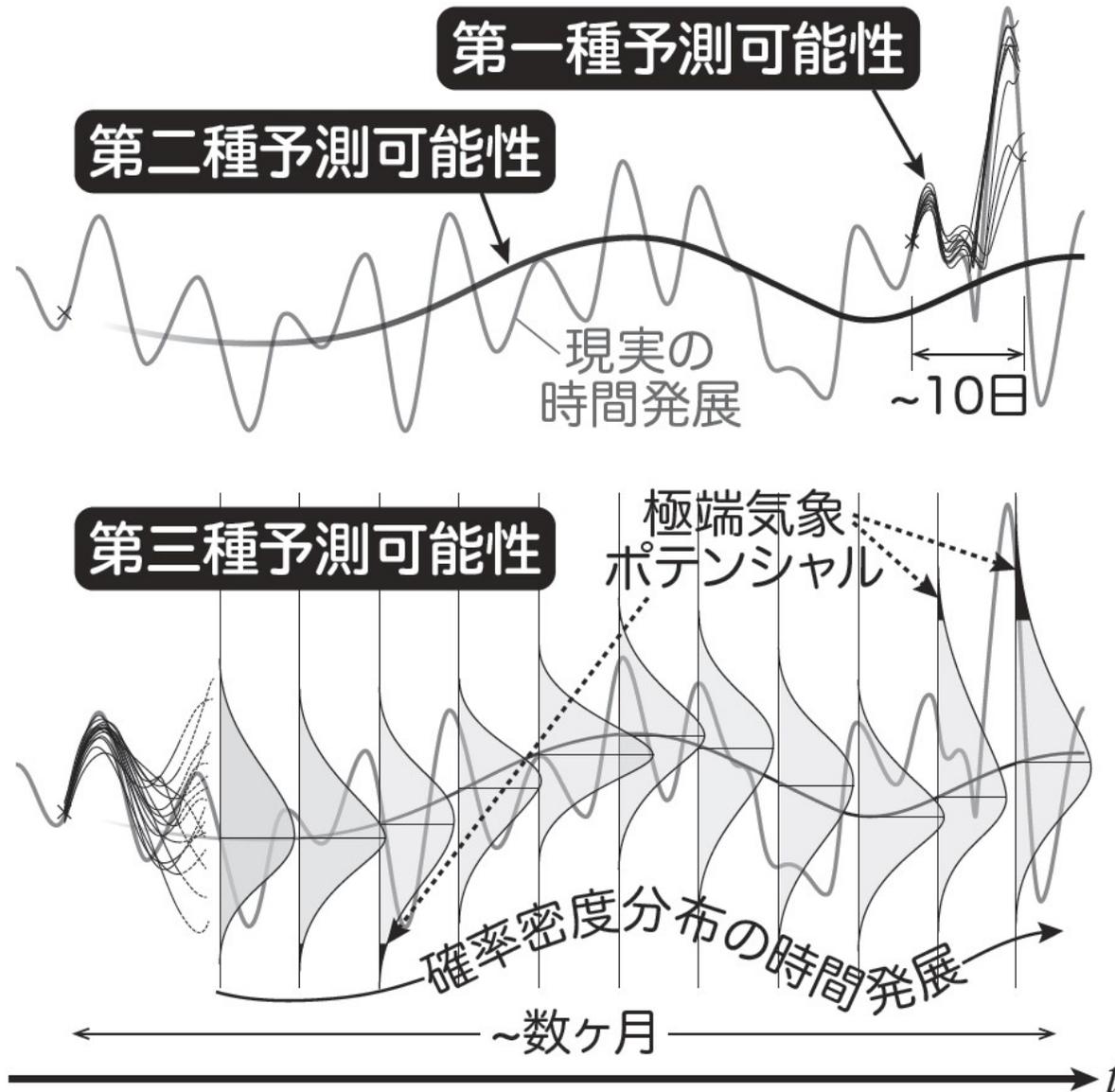
横断的事項

- ✓ 他のコンソーシアムとの相互連携
- ✓ メーリングリストやSNS等による情報共有
- ✓ コンソーシアムの活動を社会に向けて広く発信

気象ビジネス推進コンソーシアム
会員数:416 (2018-10-03)
新規気象ビジネス創出WG:98社
人材育成WG: 52社

2017年3月 7日:設立・総会・フォーラム
2018年2月13日:WXBC総会・フォーラム
2019年2月28日:WXBC総会・フォーラム(予定)
セミナー多数開催 <https://www.wxbc.jp/>

極端気象ポテンシャルの予測？



d4PDF

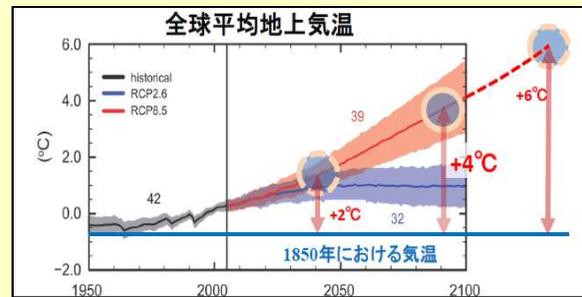
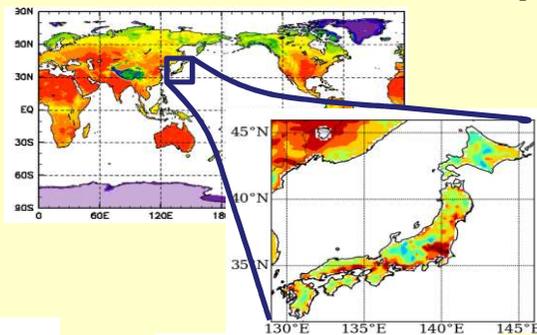
database for Policy Decision making for Future climate change



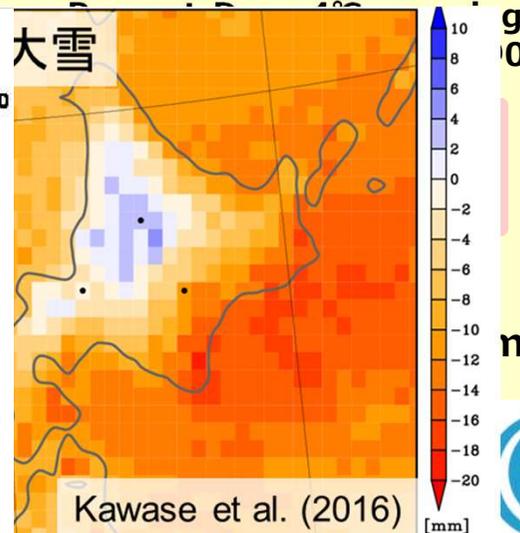
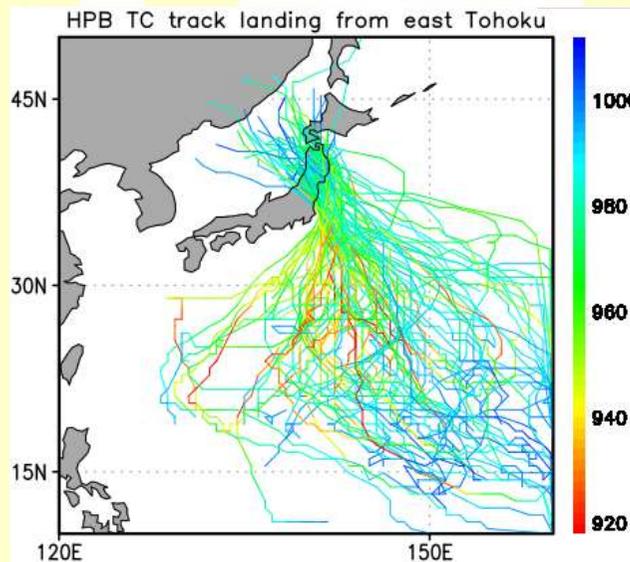
- A common scenario for policy decision making in Japan
- Highly reliable information from huge ensemble of climate model simulation

Mizuta et al. (2017; BAMS)

High-res global and regional database (60km) (20km)



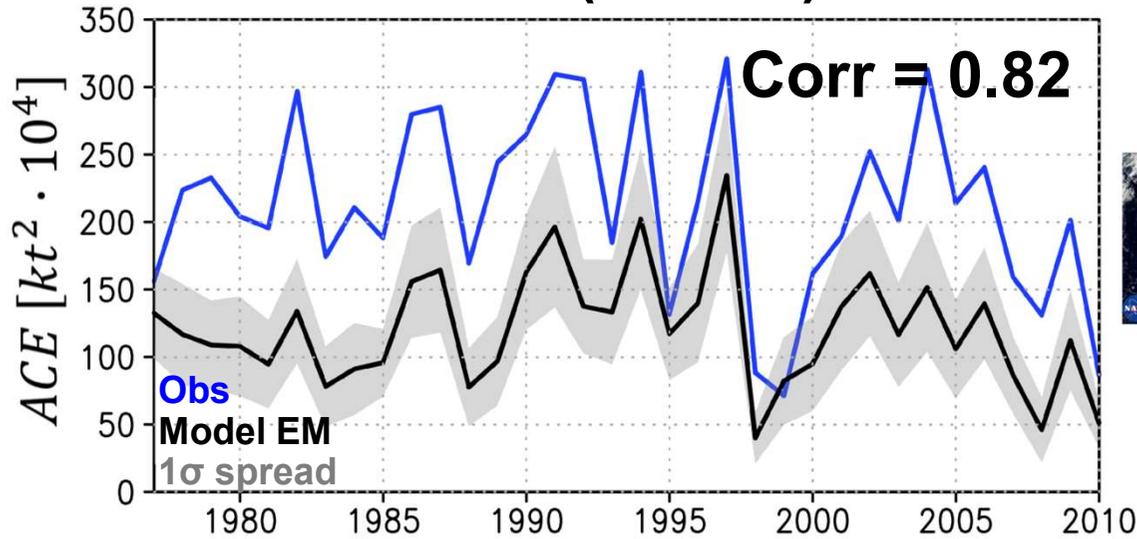
Applicable to various
climate change assessments



niroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/



ACE (annual)



ACE (Accumulated Cyclone Energy)

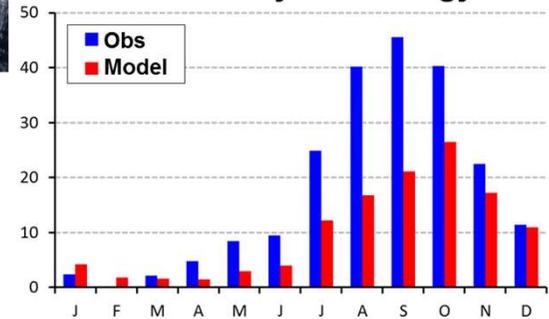
$$ACE = 10^{-4} \sum (v_{max})^2 [kt^2]$$

\propto (Number) \times (Duration) \times (Strength)



Domain: WNPAC(100E-180E,0-60N)

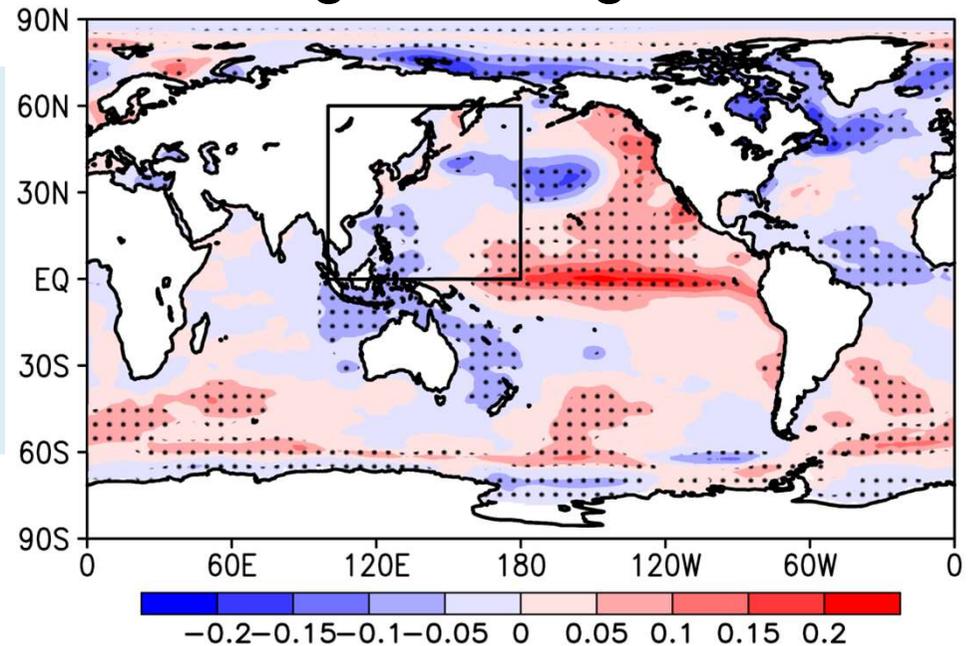
ACE monthly climatology



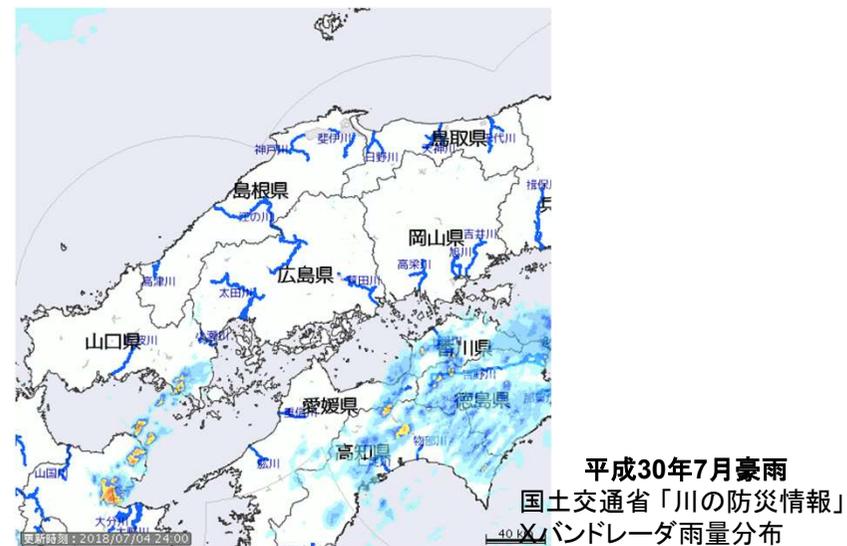
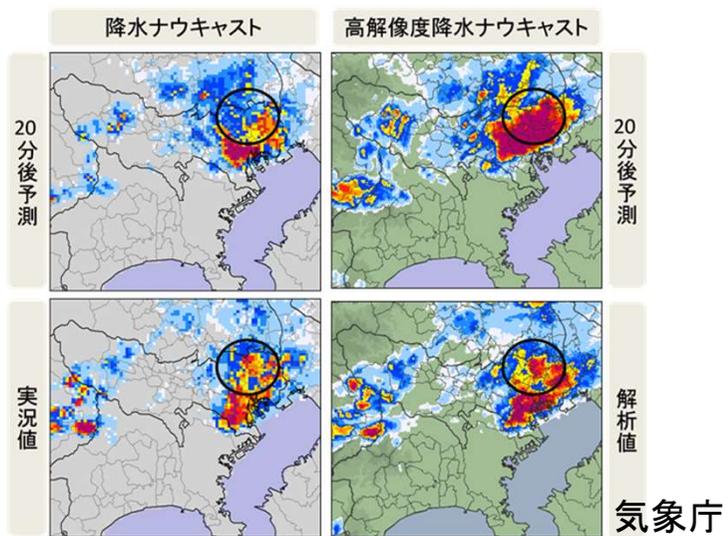
Correlation Coefficients

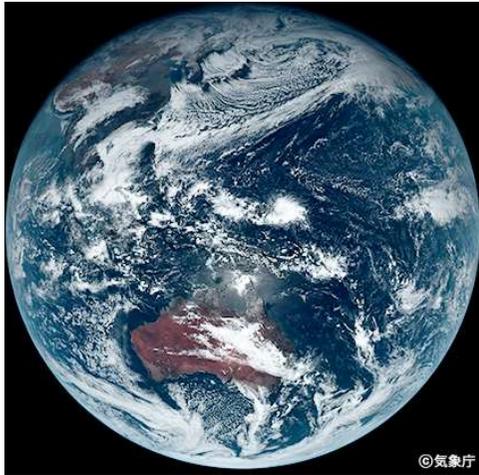
	ACE	NUM	DUR	MAX	
Model	ACE	0.82	0.67	0.88	0.69
	NUM	0.92	0.58	0.38	0.10
	DUR	0.95	0.86	0.76	0.79
	MAX	0.86	0.71	0.86	0.47
					Obs

SST regressed against ACE



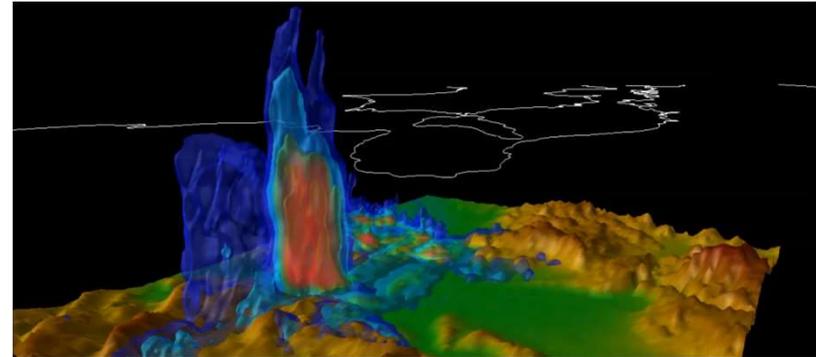
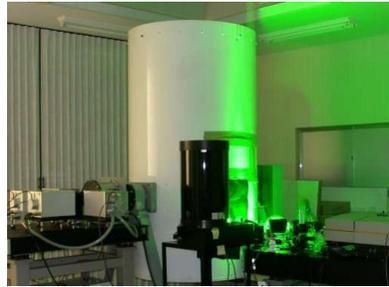
6. 直近予測～リードタイムの確保



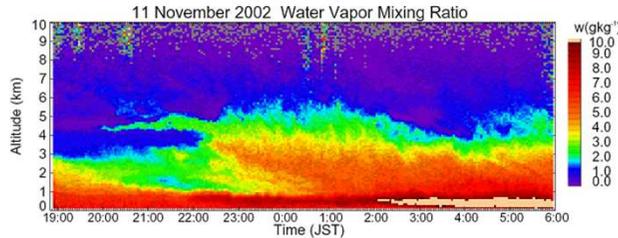


©気象庁

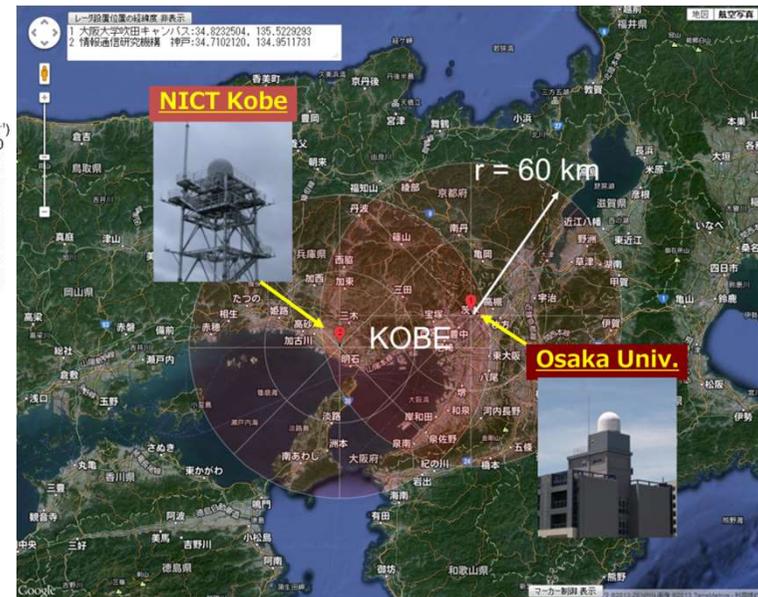
水蒸気ライダー (気象研究所)



ひまわり8号 (気象庁;三菱電機)



Shipboard GPS



Phased Array Radar (NICT)



GPM: Global Precipitation Measurement



「ばらまき」型センサー (明星電気HP)

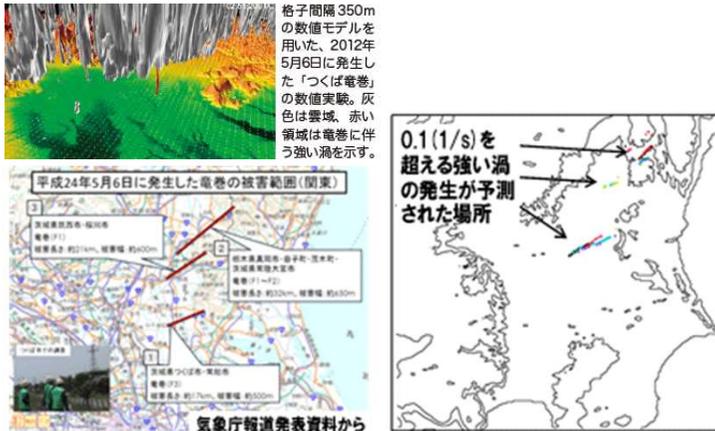


図1. 竜巻の被害範囲(左)と、シミュレーションで0.1(1/s)を超える強い渦の発生が予測された場所(右)。

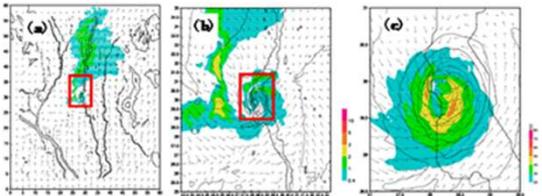


図2. (a) (b) 「京」を用いて再現したあるメンバーの高度20mの雨量(g/kg)と水平風分布、(c) 風速(m/s)。数値モデルの水平解像度は50m。(b)、(c)それぞれ(a)と(b)の赤枠内の拡大図。

↑ HPCI戦略プログラム分野3HPより

気象研究所研究チーム(代表: 齊藤和雄)による2012年つくば竜巻、2014年広島豪雨の再現実験

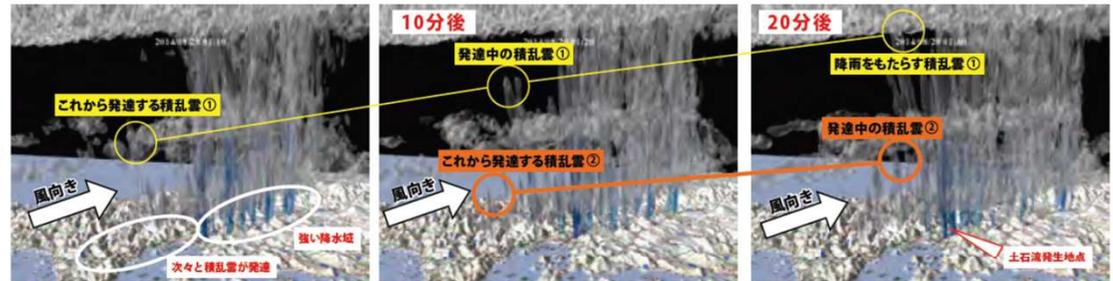
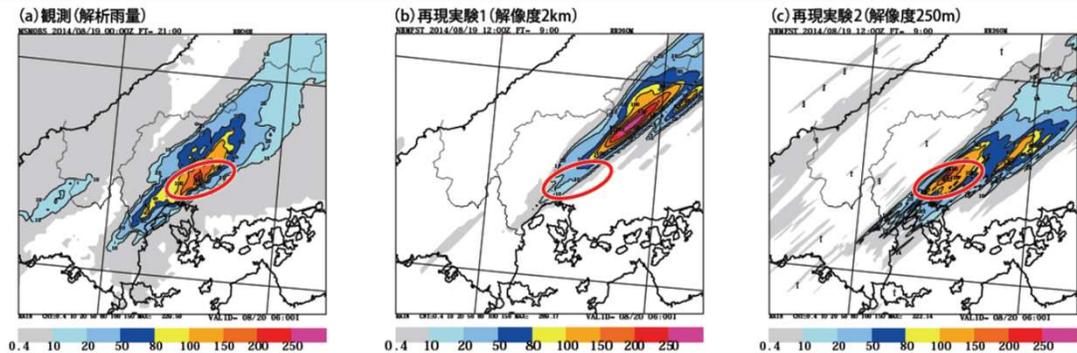


図2 広島での豪雨の場合の積乱雲群形成(バックビルディング)

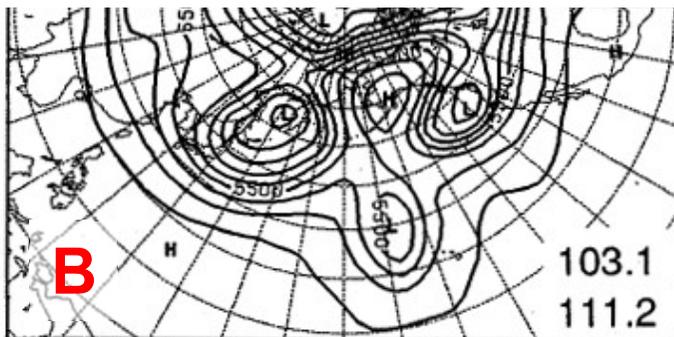
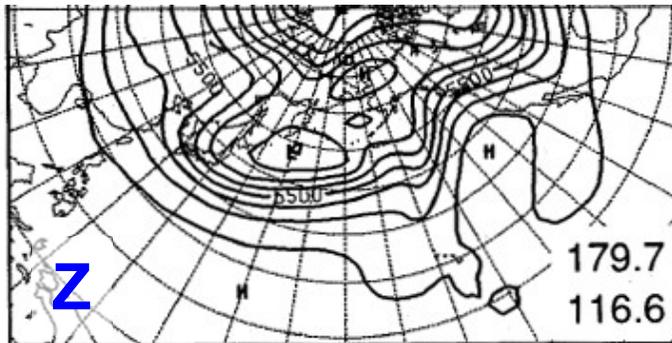
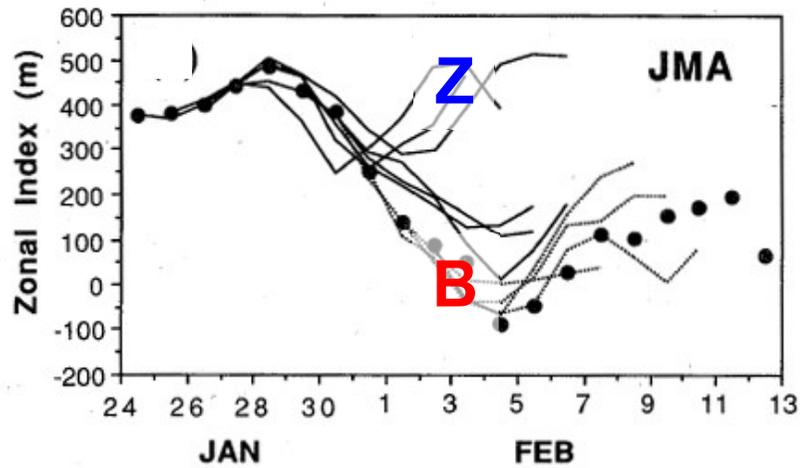


観測(解析雨量)と再現実験1(解像度2km)、再現実験2(解像度250m)結果の比較。降雨をもたらした降水帯の位置に着目すると、観測では降水帯が広島市内の中心部から北東にかけて現れており、広島市中心部から北東に位置する被災地付近で強い雨が生じている。再現実験1では強い雨域は観測よりも北東にずれて表現された。再現実験2では観測と同様に、広島市中心部から北東にかけて強い雨域が再現された。図中の楕円○は観測における強い雨域を示す。

図3 広島での豪雨における観測データと再現実験結果の比較(平成26年8月20日午前0時~6時の6時間雨量)

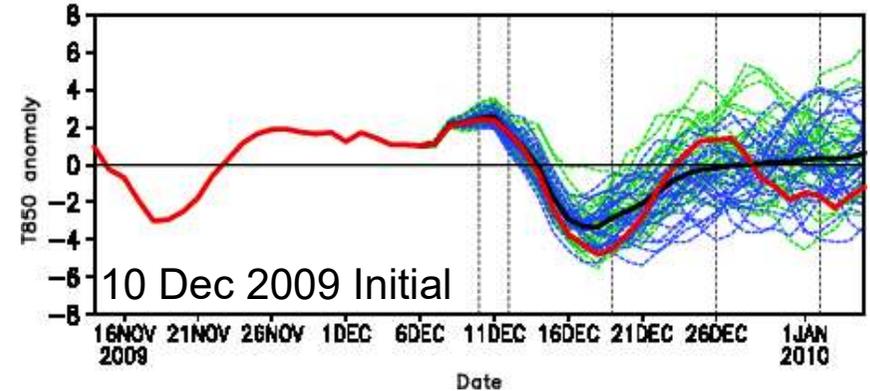
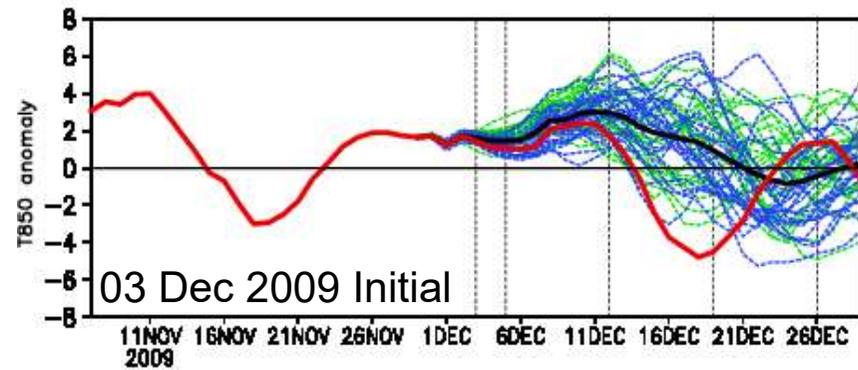
スーパーコンピュータ「京」広報誌「京算百景」Vol.12→

Examples



Kimoto, Mukougawa and Yoden (1992)

気象庁1か月予報(東日本850hPa気温)



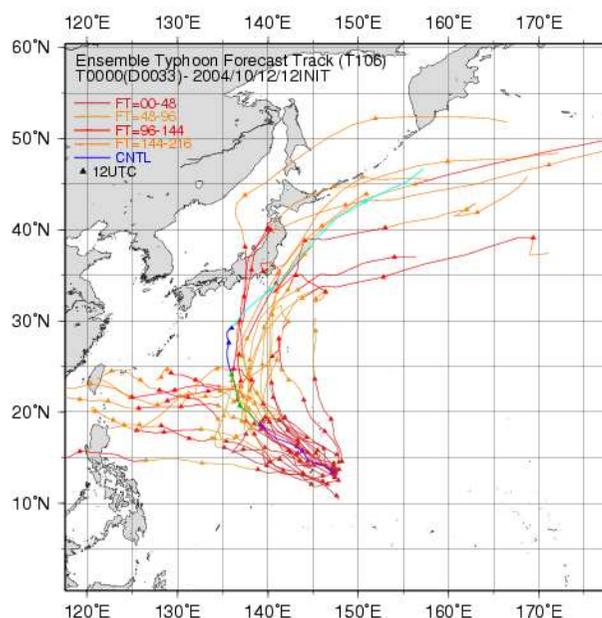
アンサンブル全メンバーの台風進路予測 例

2004年台風第23号の場合

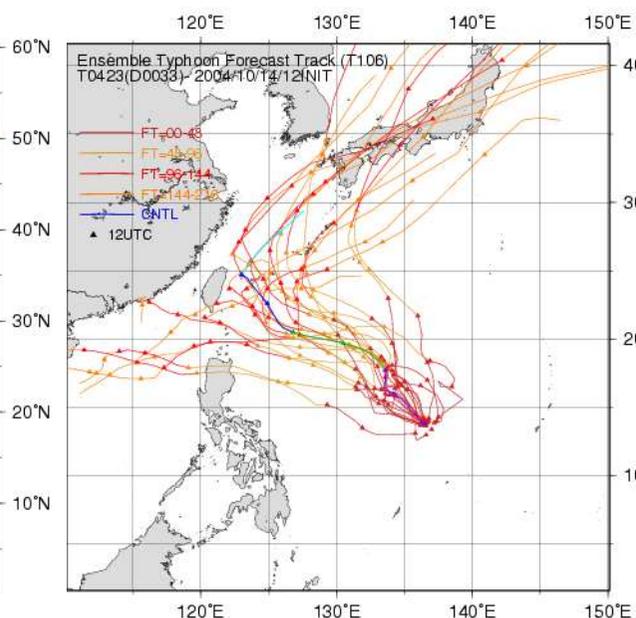
10/12 12Z初期値
(高知上陸8日前)

10/14 12Z初期値
(高知上陸6日前)

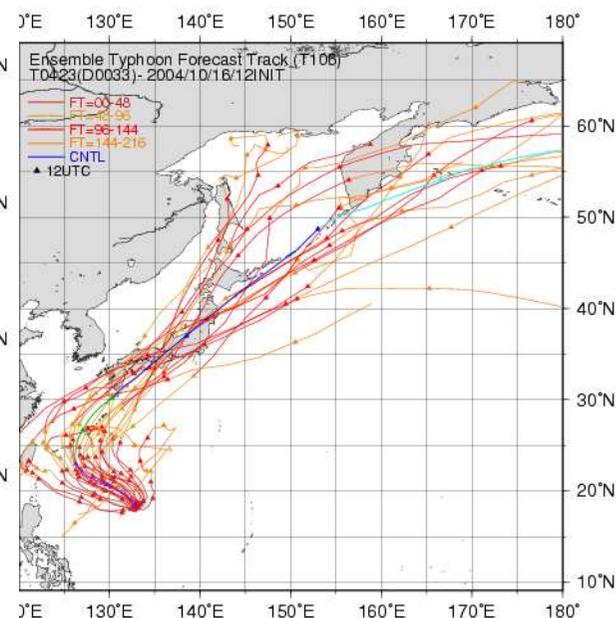
10/16 12Z初期値
(高知上陸4日前)



西進と北進に二分

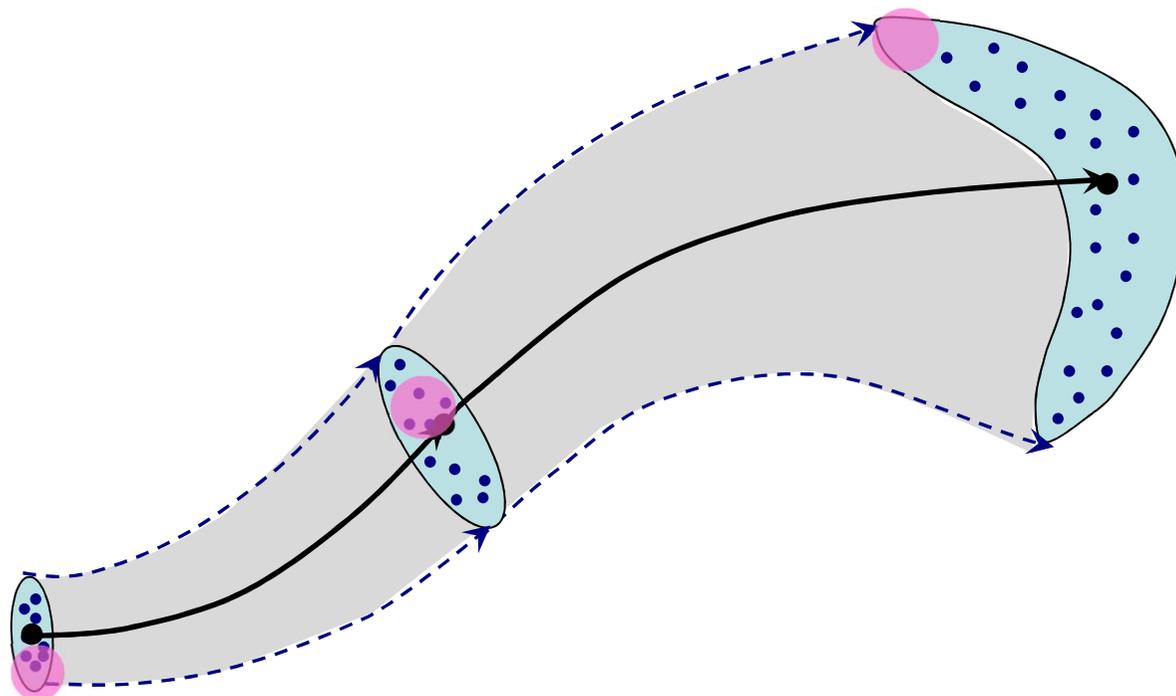


南西諸島で転向



日本上陸予想

アンサンブルを用いた感度解析



まとめ

- 地球温暖化が進行中
- 温暖化に伴い極端気象が増加する
 - 気温はますます高く
 - 豪雨は激しく、台風も強化
- 温暖化への適応本格化
 - リスクマネジメント
- 防災対策はますます肝要に
 - これまでの経験に頼らない
 - 最後は自分で判断
 - よりよい予測は命を救う
- 温暖化抑止には「ゼロエミッション」が必要！