

気候研究の最前線

気象災害の将来変化と気候学の挑戦

木本 昌秀
東京大学大気海洋研究所

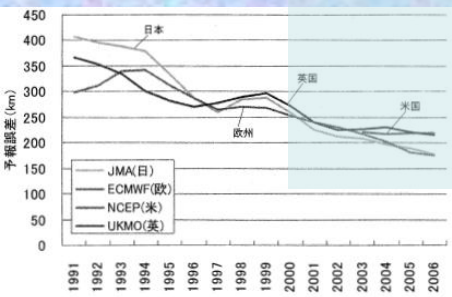
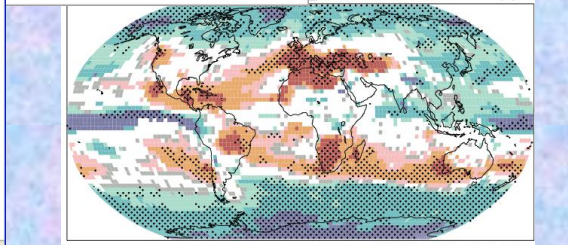
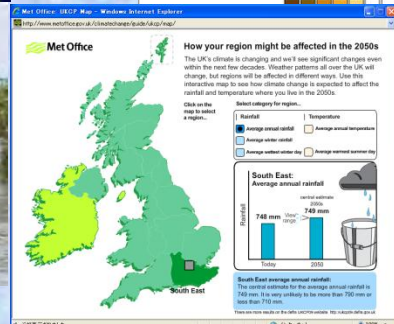
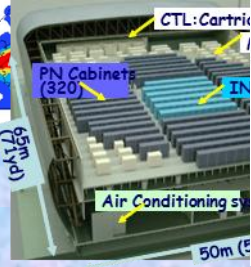
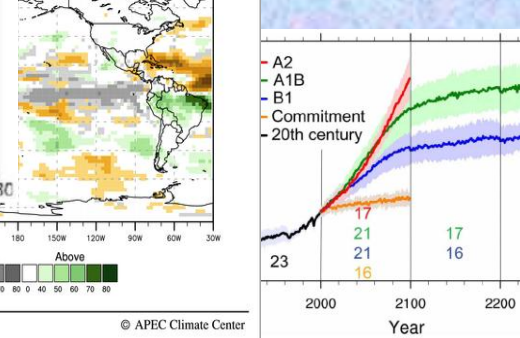
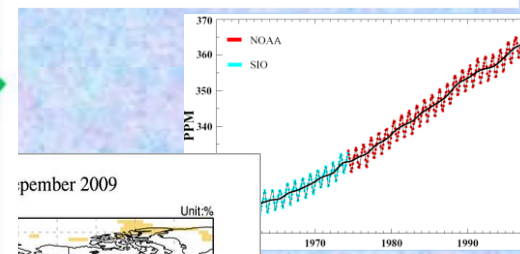
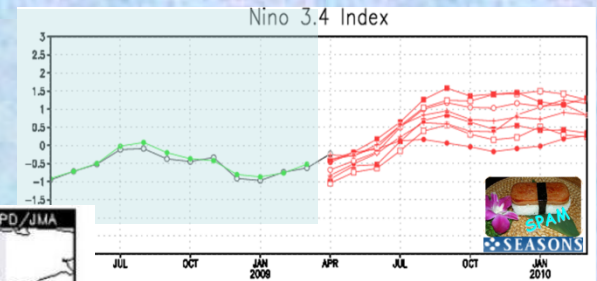
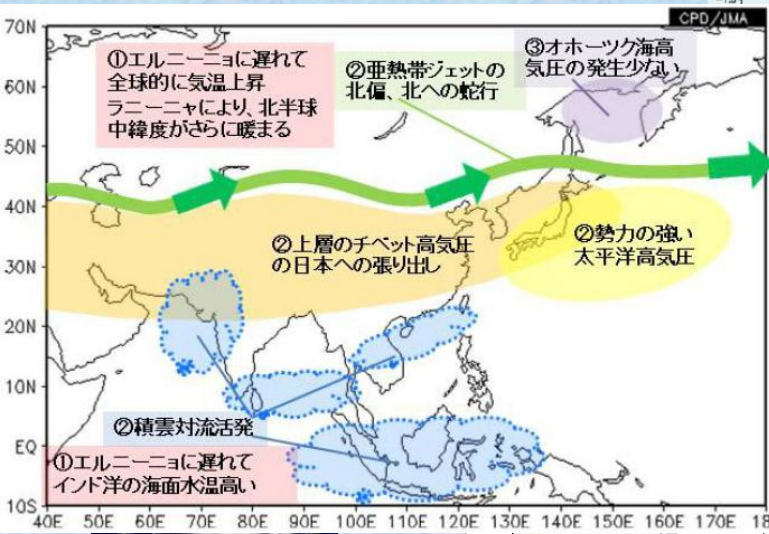
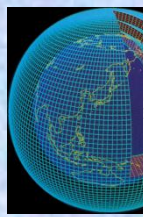
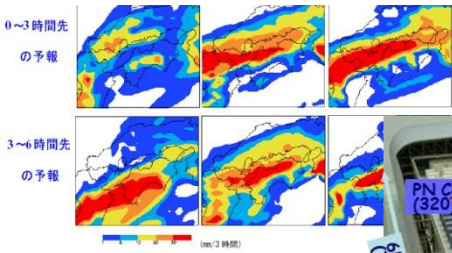


図 7.9 台風進路予報誤差 (2 日予報) (気象庁提供)

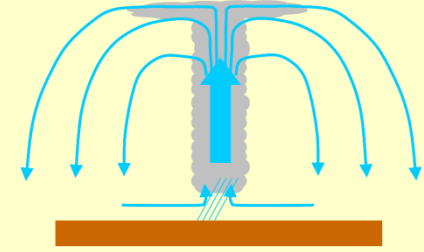


【コラム】SREXでまとめられた極端な現象のトレンド

2011年に公表されたSREXでは、「1950年以降の観測により、いくつかの極端現象に変化の証拠がある。極端現象の変化に対する確信度は、データの質と量及び、地域や極端現象の違いに依存するこれらのデータを解析した研究の有無に依存する。特定の極端現象や、世界規模・地域スケールでの極端現象に関する観測された変化に対し、確信度が低いとされたとしても、変化の可能性を排除するものではない。」として、以下の通り極端現象の変化についてまとめられている。

種類	1950年以降観測された変化	確信度
気温	地球規模で、寒い昼と夜の数が減少、暑い昼と夜の数が増加	可能性は非常に高い
	多くの地域で、熱波など高温期間の長さや発生数が増加	確信度は中程度
降雨	強い大雨の発生数が統計的に有意に増加した地域が、統計的に有意に減少した地域よりも多い	可能性は高い
熱帯低気圧	熱帯低気圧の活動（強度、発生数、持続時間）が長期的に増加	確信度は低い（過去の観測能力の変化があるため）
	温帯低気圧が経路の極方向へシフト	可能性は高い
	竜巻・雹といった小スケールの現象が変化傾向にある	確信度は低い（モニタリングデータの不均一・不足があるため）
干ばつ	ヨーロッパ南部・アフリカ西部では干ばつの強度・持続性が増加、北アメリカ中央部・オーストラリア北西部では干ばつの頻度・強度・持続性が減少	確信度は中程度
洪水	気候変化に伴う、地域スケールでの洪水の強度・頻度の変化の評価に利用できる証拠が限定	証拠の合意や確信度が低い
海面水位	平均海面水位の増加に関連した、沿岸域の極端な高潮が増加	可能性は高い

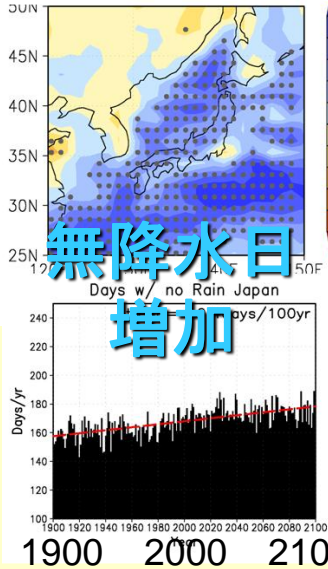
降水頻度の変化



モデル **CCSR** UNIV. TOKYO

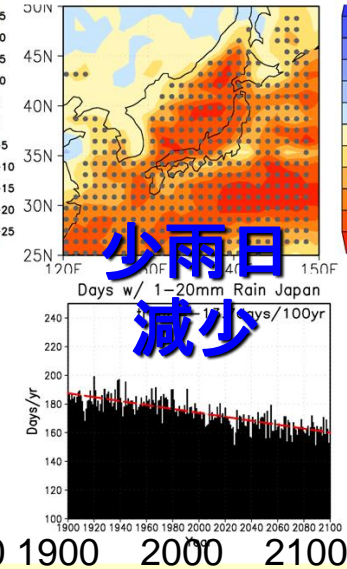
NIES

無降水日の変化



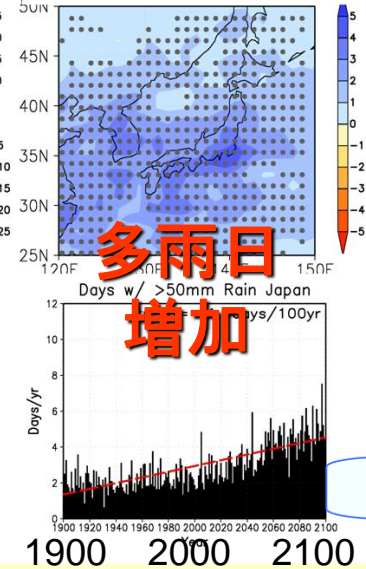
無降水日
増加

1-20mm/day降水日の変化

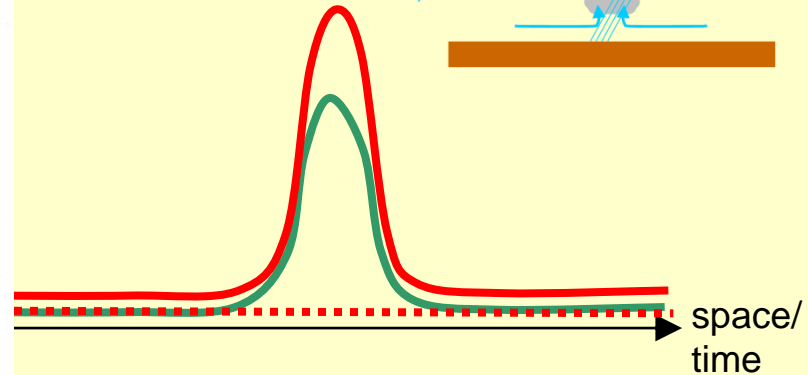


少雨日
減少

>50mm/day降水日の変化



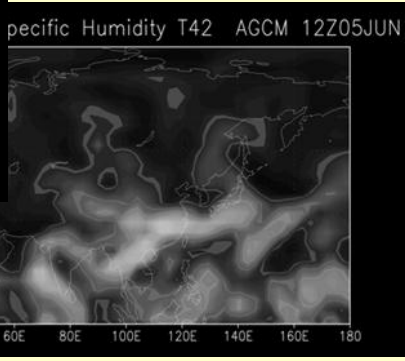
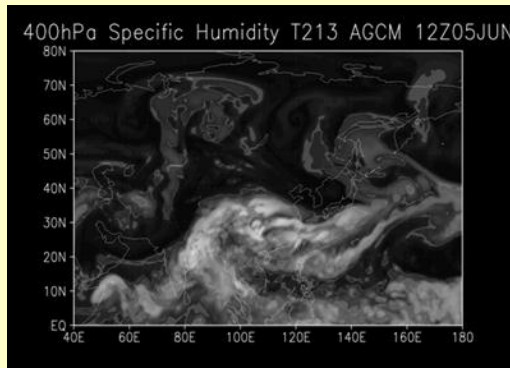
多雨日
増加



少雨の日数は減少

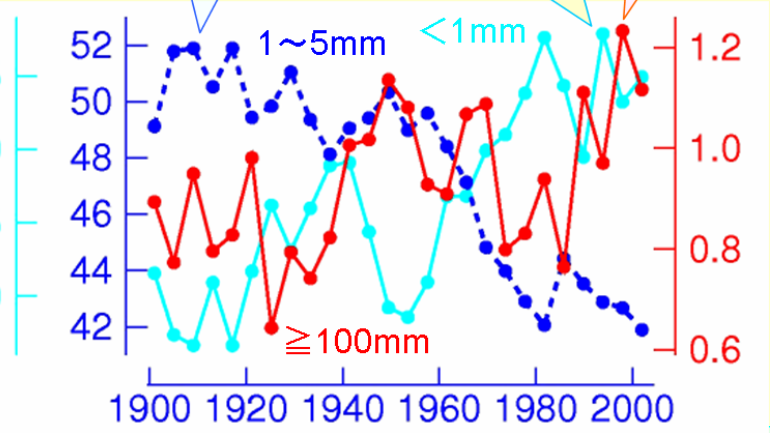
大雨の日数は増加

無降水日数も増加



観測

年間日数



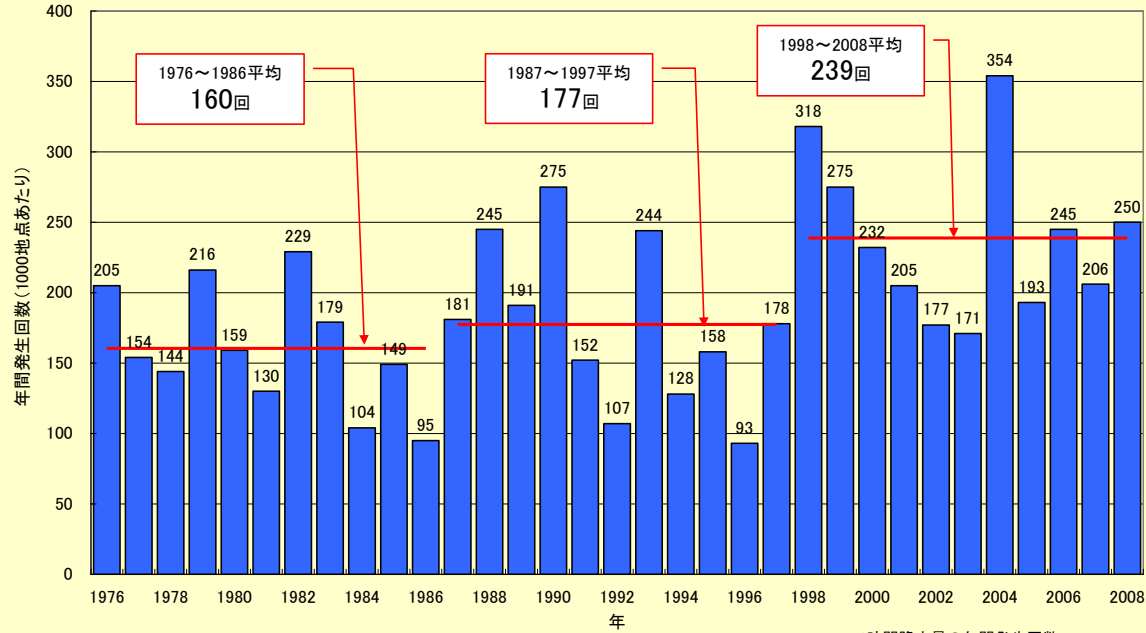
無降水日数(日降水量1mm未満)
少雨日数(日降水量1~5mm)
大雨日数(日降水量100mm以上)

藤部文昭(2005)
の長期変化
(全国51地点の平均)



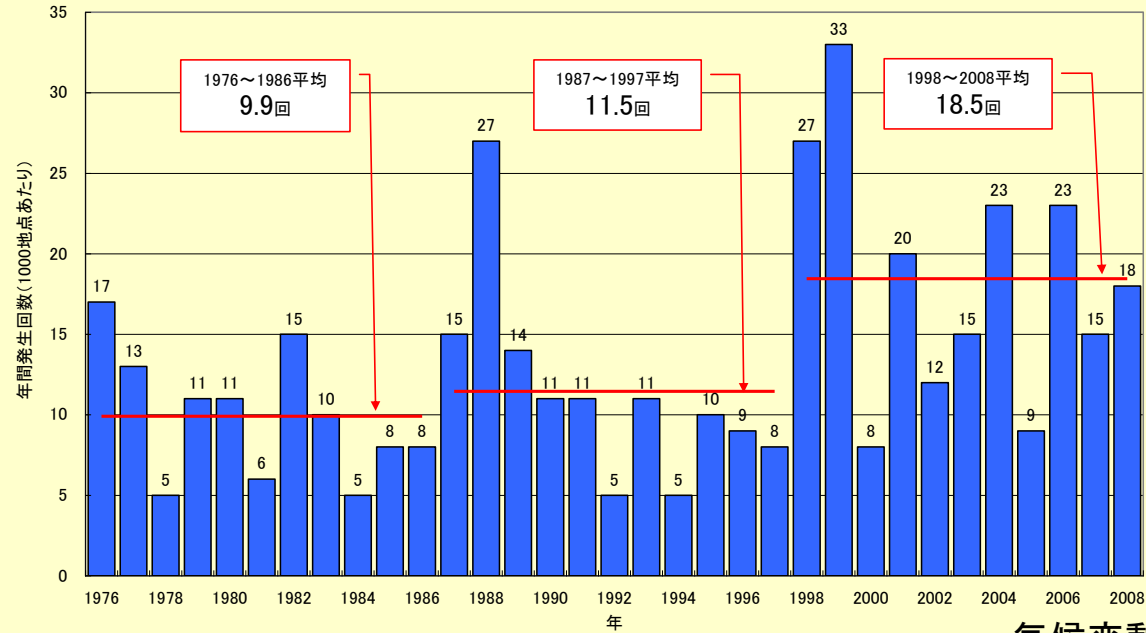
1時間降水量50mm以上の年間発生回数(1000地点あたり)

- ・1時間降水量の年間発生回数
- ・全国約1300地点のアメダスより集計
- ・1000地点あたりの回数としている



1時間降水量80mm以上の年間発生回数(1000地点あたり)

- ・1時間降水量の年間発生回数
- ・全国約1300地点のアメダスより集計
- ・1000地点あたりの回数としている



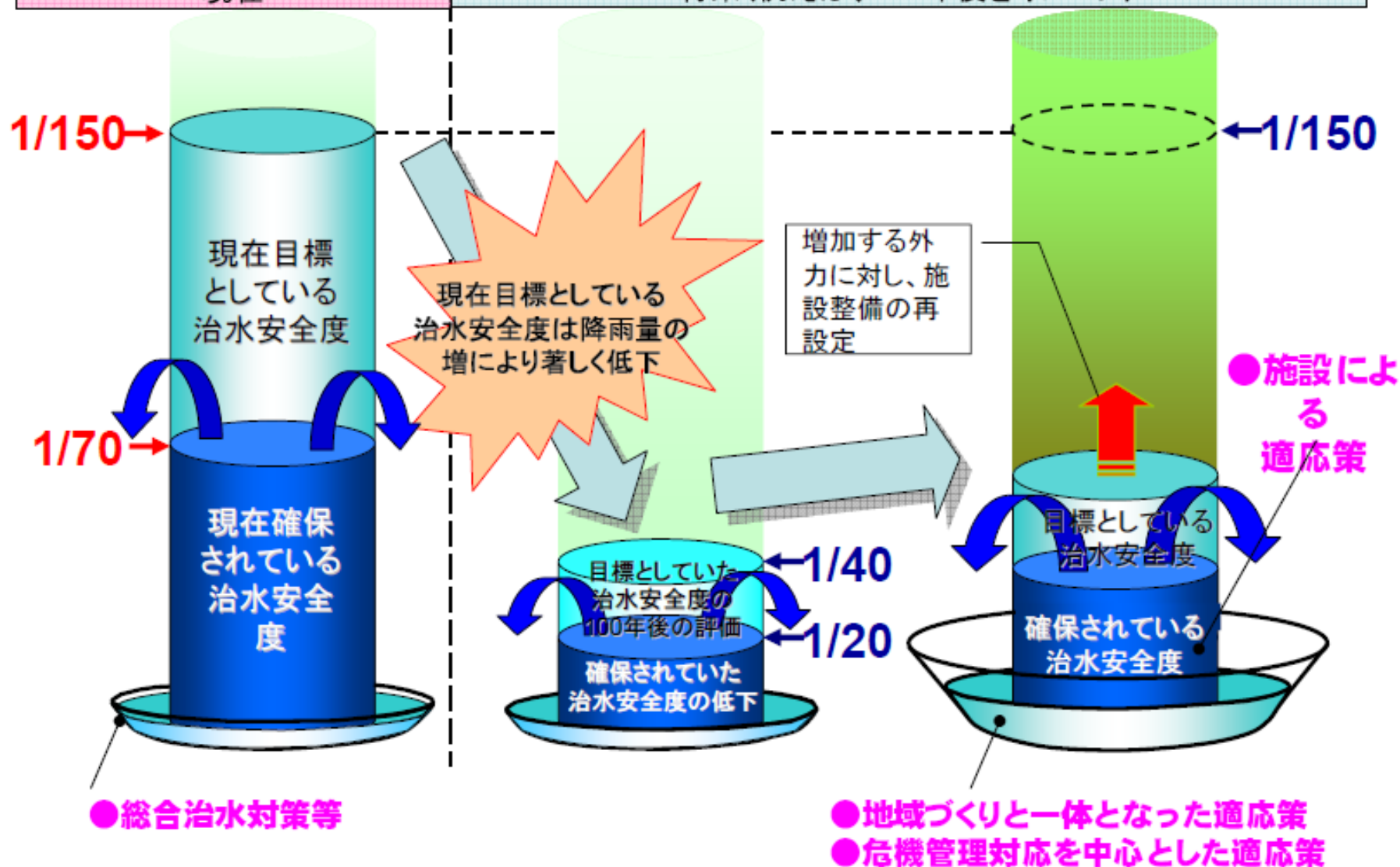
洪水に対する治水政策の重層化

赤字:現在の治水安全度

青字:将来の治水安全度

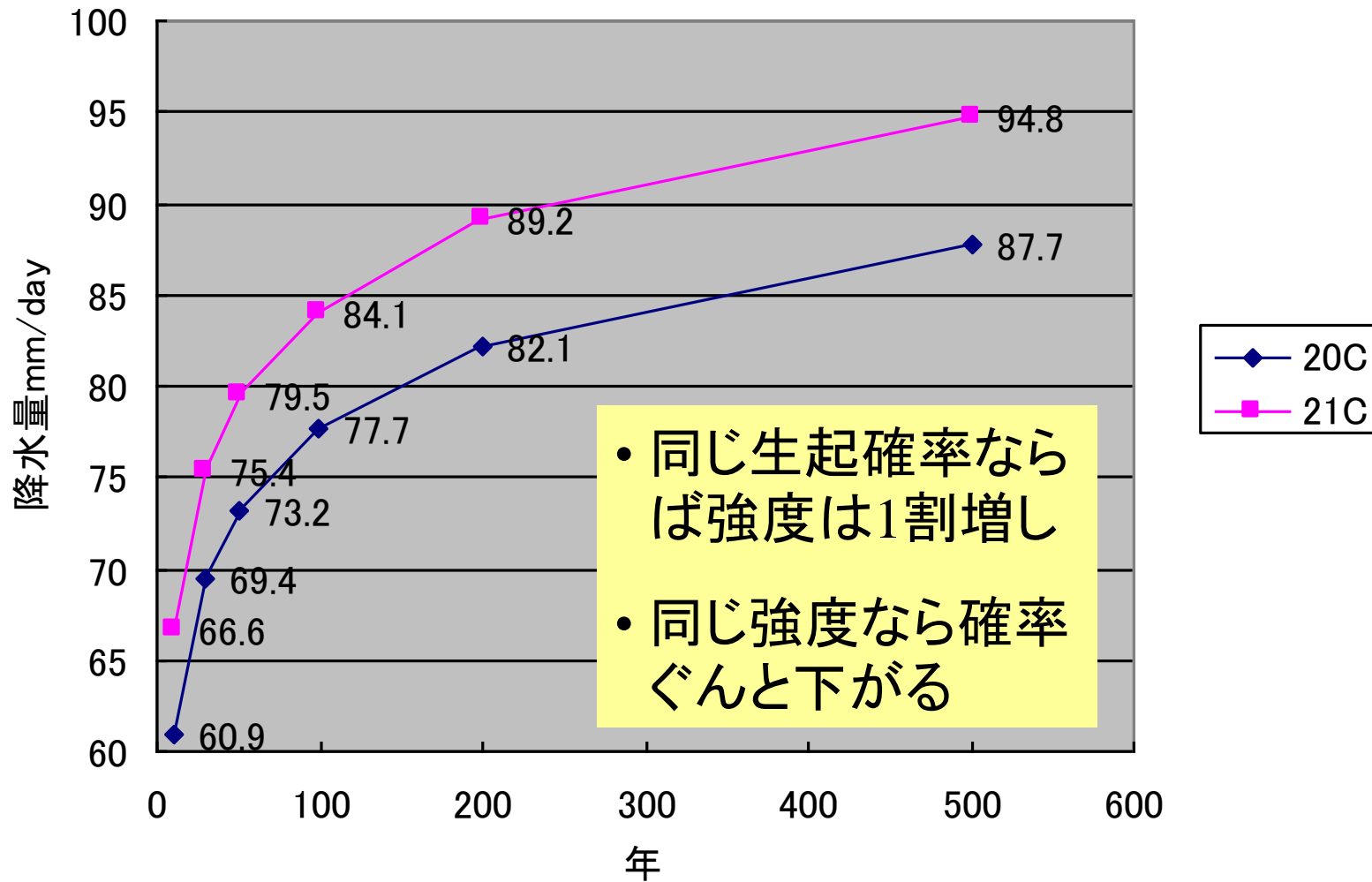
現在

将来(例えば、100年後をイメージ)



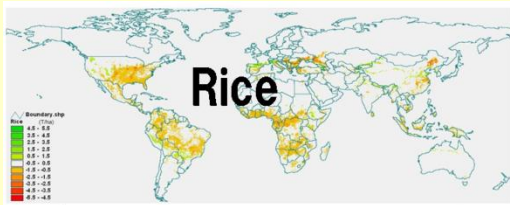
年最大日降水量, 東京

X年確率降水量(年最大日降水量)



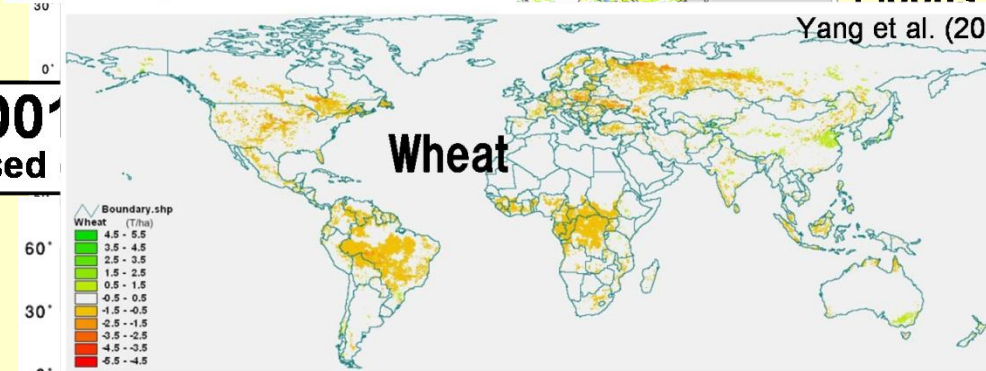
- 同じ生起確率ならば強度は1割増し
- 同じ強度なら確率ぐんと下がる

Impact assessment



for a centennial yields
in 2070-2100
from 1975-2005

Adaptation: 適応



Floods of a centennial
Yang et al. (2007)

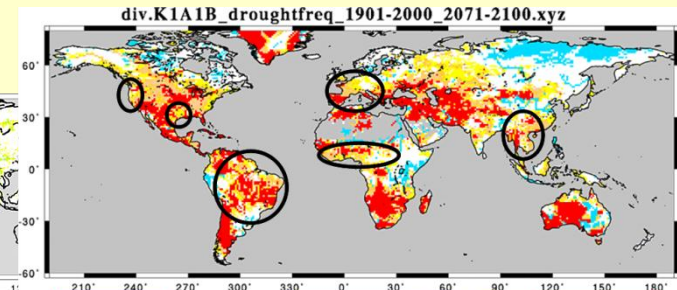
20-40 yrs
2030.

200
based



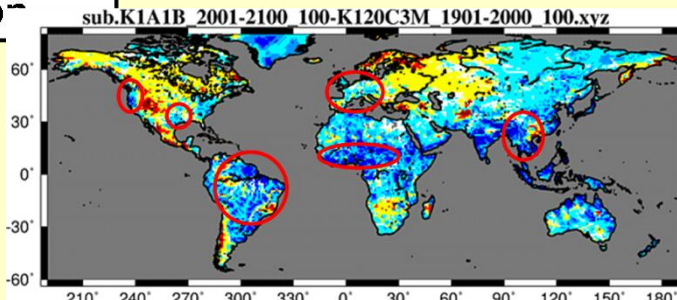
19
bas

-200
ratio



渇水頻度減少

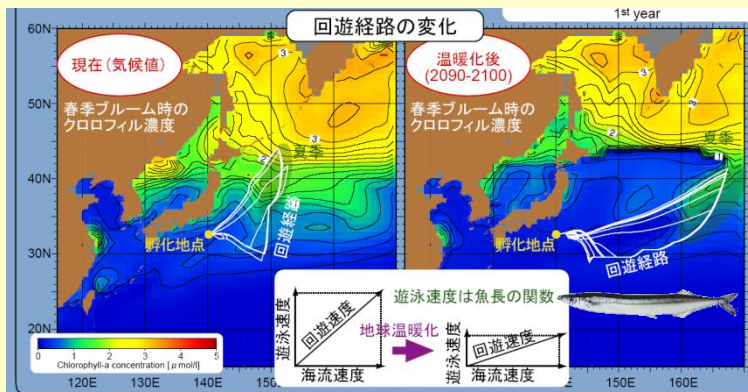
渇水頻度増加



洪水流量減少

洪水流量増加

Hirabayashi et al. (2006)



気候情報のよりよい利用にむけて

- 第3回世界気候会議(WCC-3; 2009年9月)
 - 第1回(1979年)→IPCC
 - 第2回(1990年)→気候変動枠組条約、全球気候観測システム
 - 第3回→気候サービスのための世界的枠組み(利用者が意思決定に活用しやすい気候情報の提供推進)
- IPCC:気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書(SREX; 2011年11月)
- 交通政策審議会気象分科会提言「気候変動や異常気象に対応するための気候情報とその利活用のあり方について」(2012年2月27日)

付録 1 我が国の各分野における気候に関連した損失や被害の例（平成 20～22 年）

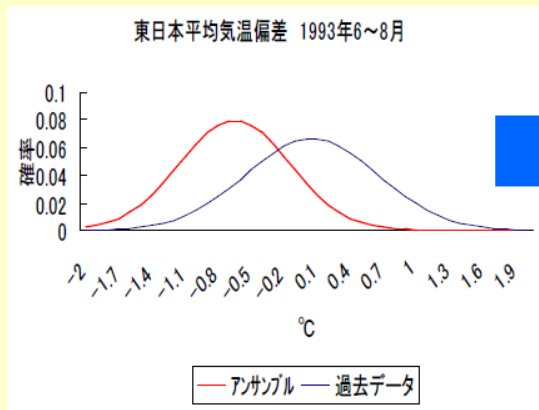
分野	損失及び被害の例
水環境・水資源	<ul style="list-style-type: none"> ・ 少雨による渇水 (例) H20 夏季の少雨により、東海から九州北部にかけての 13 の水系で取水制限（国土交通省「日本の水資源」平成 21 年度版より）
食料	<ul style="list-style-type: none"> ・ コメ・野菜等の不作・品質低下 (例) H21 夏季の北海道における低温・長雨・寡照により、水稲の低温障害による不稔の多発等、多くの作物で減収や品質低下となり、595 億円の農業被害が発生（報道による） (例) H22 夏の猛暑の影響で、レタスは全国平均で平年より約 80%、トマトは約 50%、ネギは約 40%値上がり（報道による）
エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 猛暑や冷夏による冷房需要の変動 (例) H22 年度上半期（4～9 月）の発受電電力量は前年比 8.8% 増（電気事業連合会による）
流通・小売	<ul style="list-style-type: none"> ・ 衣料品の需要変動 (例) H22 夏の猛暑の影響で秋冬物の販売に影響、同年 8 月の衣料品卸売業の販売額は前月比 28.8%減（報道による）・飲料品（アイスクリーム・ビール・清涼飲料水等）の需要変動 (例) H22 夏の猛暑の影響で、コンビニエンスストアでアイスクリーム・清涼飲料水等の販売が好調。売上高は前年同月比 3.2%増（報道による）
国民生活	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外レジャー施設の集客変動 (例) H22 夏季、東海地方の屋外レジャー施設の約 7 割で前年より集客減（三菱 UFJ リサーチ&コンサルティングによる） ・ 食料輸入への不安 (例) 将来の食料輸入に「不安がある」と回答 85%。最多の理由は異常気象や災害による海外の不作の可能性（H22 内閣府調査による）

付録3 各分野の企業・機関における気候リスク管理例や利用している気候情報

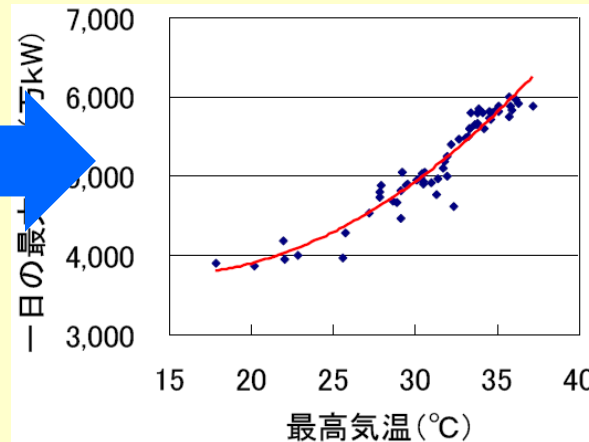
分野	気候情報を活用した気候リスク管理例	利用している気候情報
製造業	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製造、販売計画の作成 ・ 商品生産量の調整 	1 か月予報、3 か月予報、暖候期予報、過去の統計値、平年値
エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 石油需給予測、燃料使用計画作成 	季節予報全般、過去の統計値、平年値
販売業	<ul style="list-style-type: none"> ・ 販売量予測 	季節予報全般、過去の統計値、平年値
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 季節商品の発注調整 	3 か月予報、暖候期予報、過去の統計値
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 商品仕入れ量の調整 	1 か月予報、平年値
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 売場の変更 	異常天候早期警戒情報、1 か月予報
レジャー	<ul style="list-style-type: none"> ・ スキー場の運営管理 	1 か月予報、寒候期予報
公務（地方自治体）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 農業技術指導 	季節予報全般
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱中症予防広報 	異常天候早期警戒情報、1 か月予報
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防災対策の検討 	1 か月予報

気候(天候)リスク管理

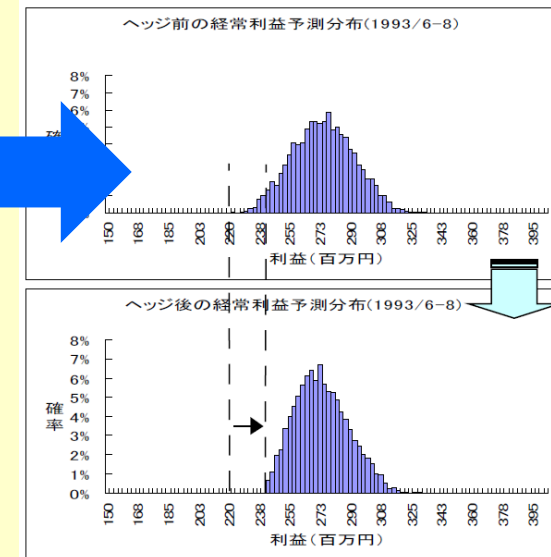
気象変数



ビジネス変数



リスク評価・対策



気候影響の評価

* 概念図

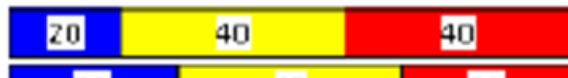
長期予報



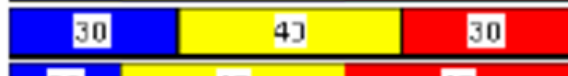
<向こう3か月の気温、降水量の各階級の確率(%)>

【気温】
[東日本]

3か月



6月



7月



8月



【降水量】

[東日本太平洋側]

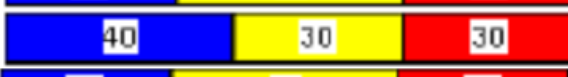
3か月



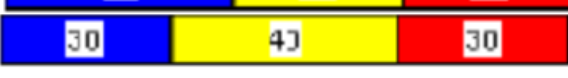
6月



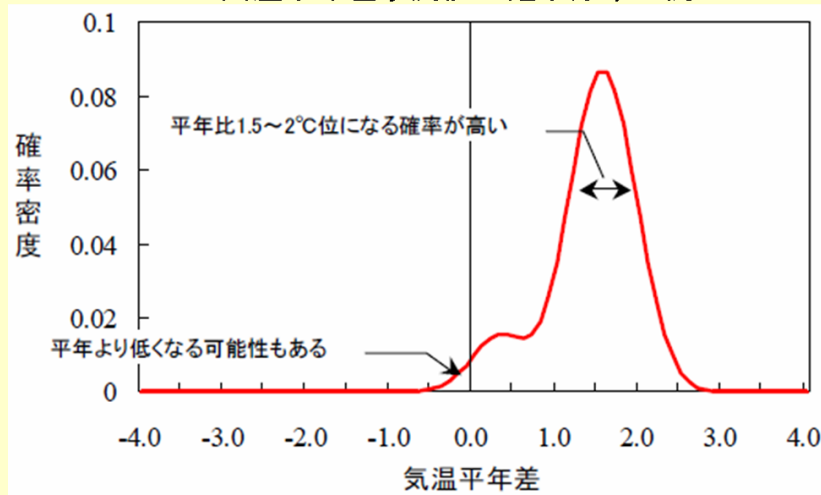
7月



8月

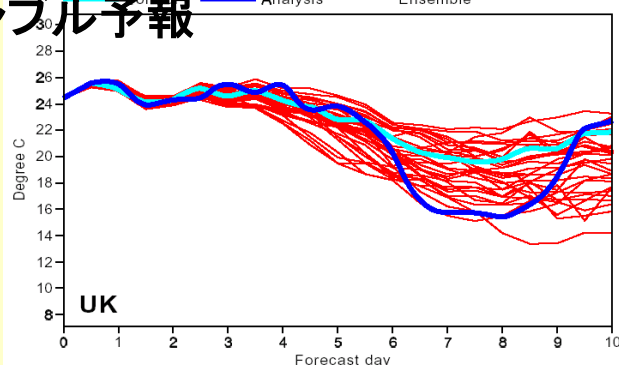


気温平年差予測値の確率分布の例

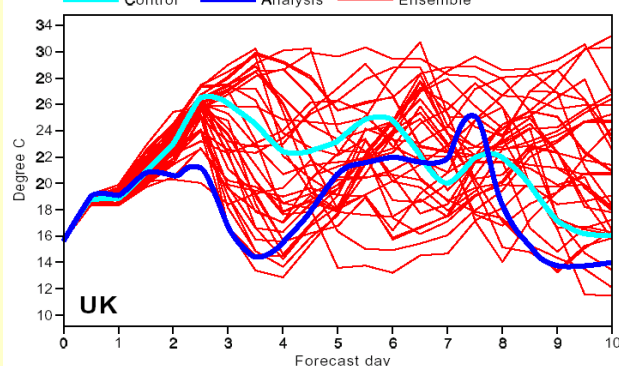


アンサンブル予報

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

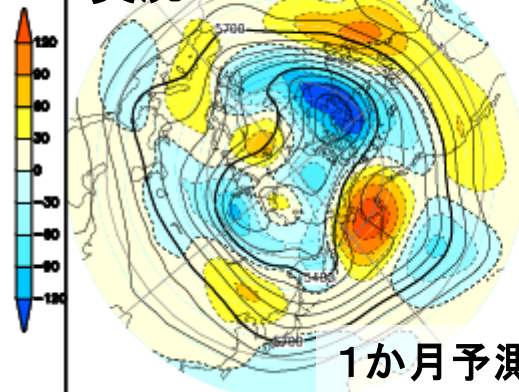


ECMWF ensemble forecast - Air temperature
Date: 26/06/1994 London Lat: 51.5 Long: 0



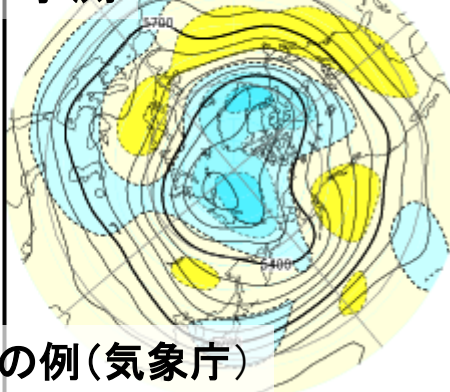
Z500 (ANALYSIS) from 2009 04 25 12 kt=0 [m]

実況



Z500 (FORECAST) from 2009 4 23 12 kt= 48 [m]

予測

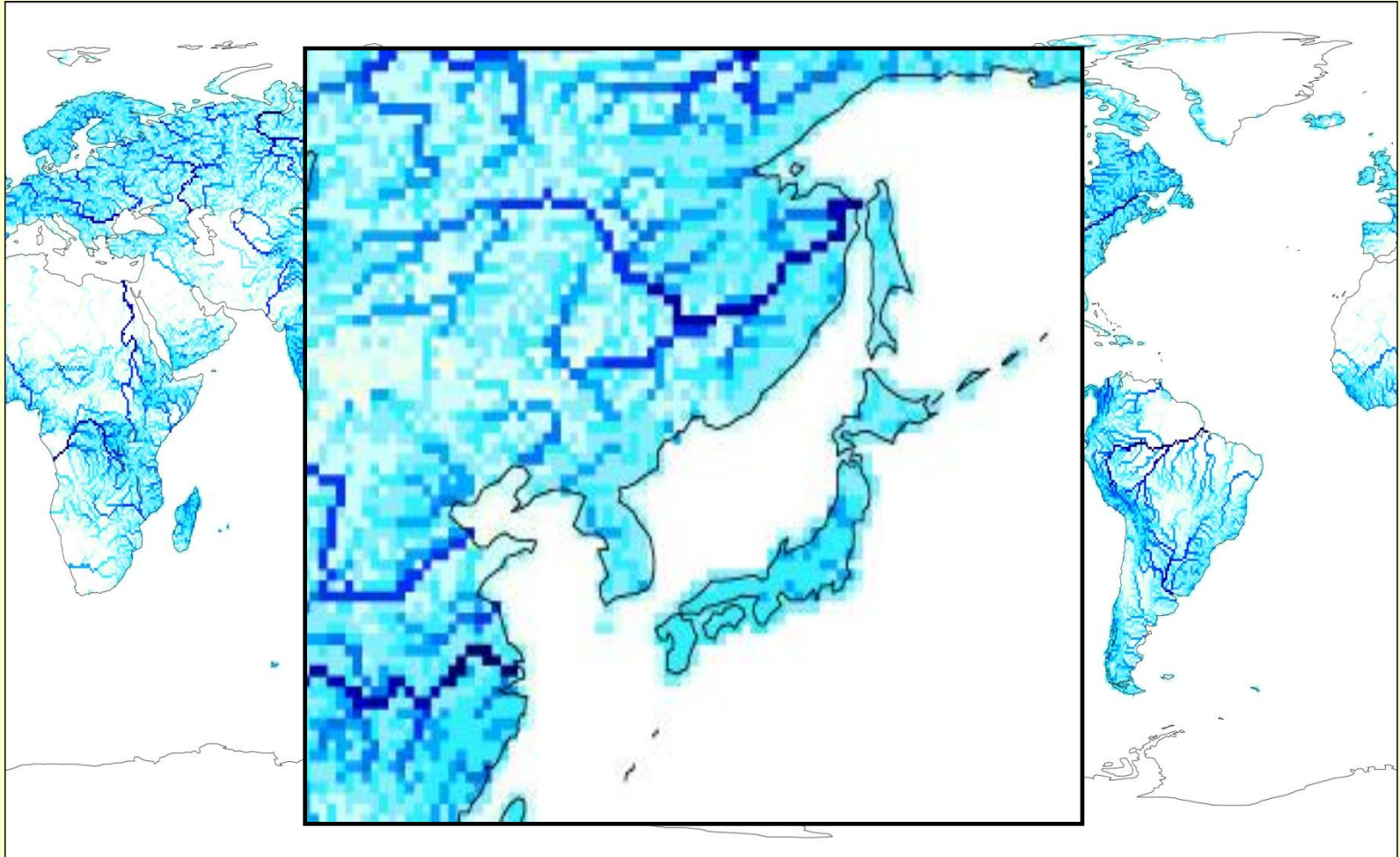


1か月予測の例(気象庁)

気象庁が提供する気候情報

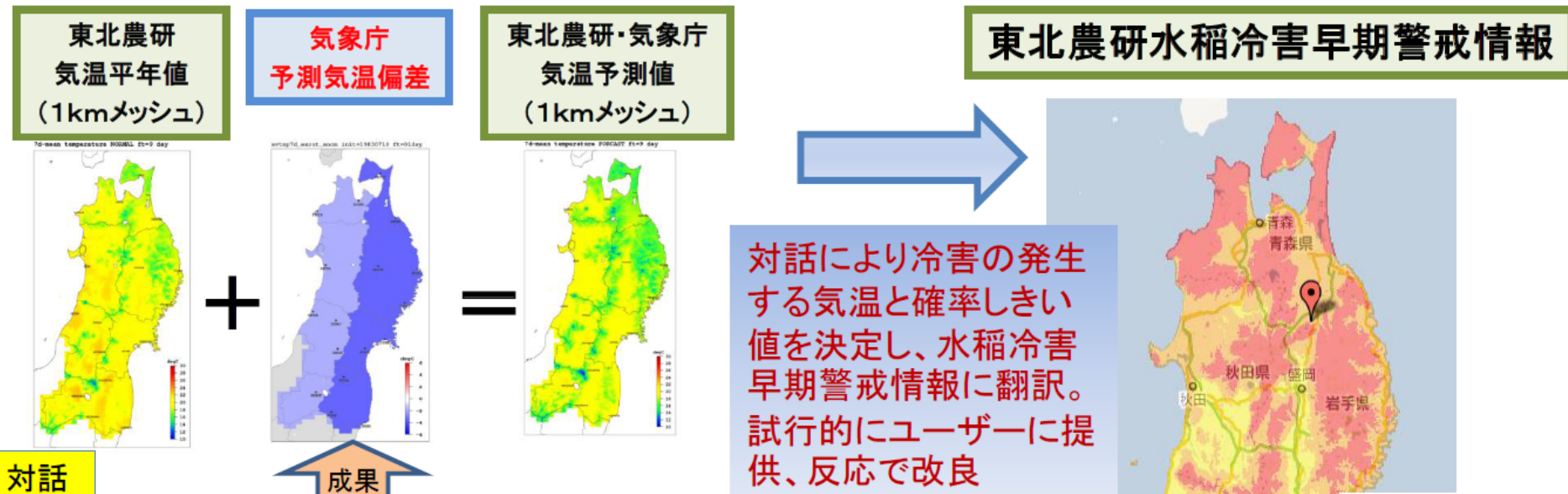
1. 10年～100年後の地球温暖化予測に関する情報
2. 数週間から数ヶ月後の季節の天候に関する情報
 - (1) 季節予報
 - 1か月予報、3か月予報、寒暖候期(6か月)予報
 - (2) 異常天候早期警戒情報
 - (3) エルニーニョ監視速報
3. 現在の気候や異常気象に関する情報
 - (1) 世界の異常気象に関する情報
 - (2) 過去の統計データ

River water flux distribution



(参考) 2週間先までの予報の活用事例

気象庁と東北農業研究センターの技術・データを結集し、対話により気候リスク管理に資する情報を共同開発

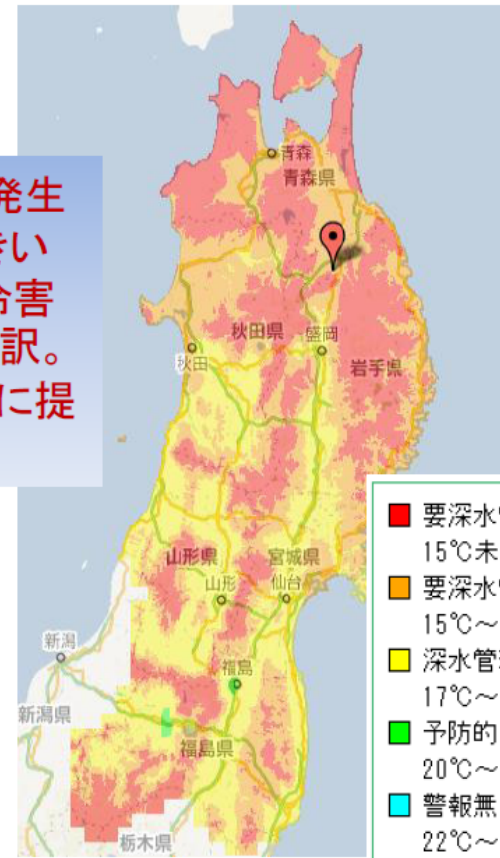


対話により冷害の発生する気温と確率しきい値を決定し、水稻冷害早期警戒情報に翻訳。試行的にユーザーに提供、反応で改良

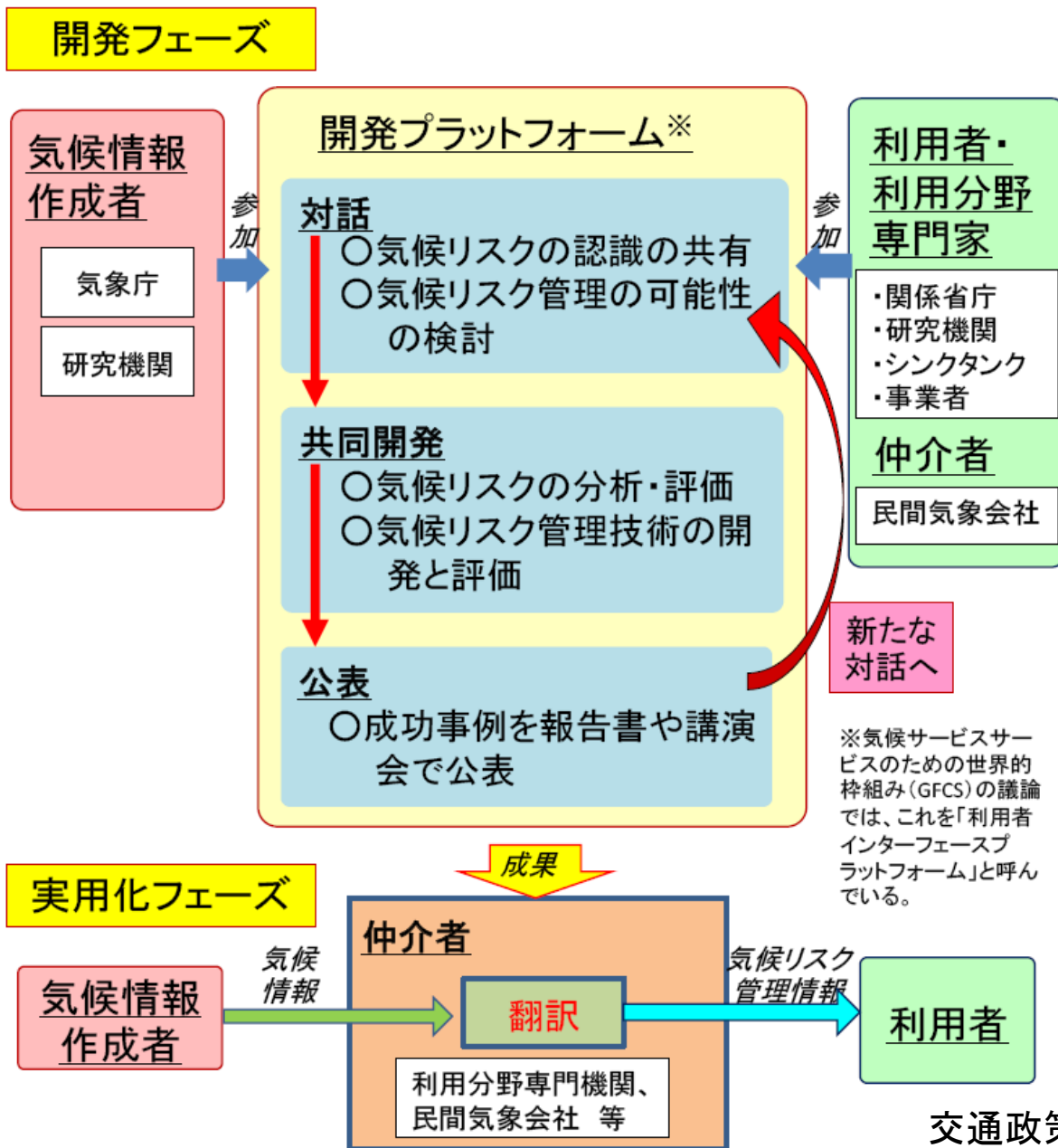
対話

成果

	東北農研	気象庁
空間スケール	空間的に詳細な気温予測が必要	平年偏差は空間スケールが大きいので、1kmメッシュの平年値に地域内一様の平年偏差を重ねることで対応できる。精度も確認
確率表現	利用者が使いやすいように、まず予測の中央値を使う。追加的に確率予測も付加	予測誤差があるので確率的な予測しかできない
予測精度	深水管理の指標である気温(17℃以下など)の予測の精度を知りたい	指標の気温予測の精度評価



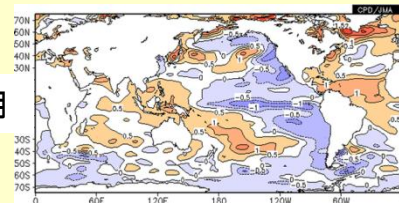
- 要深水管理 15℃未満
- 要深水管理 15℃～17℃未満
- 深水管理推奨 17℃～20℃未満
- 予防的な深水管理 20℃～22℃未満
- 警戒無し 22℃～24℃未満
- 警戒無し 24℃以上



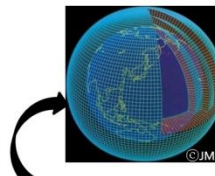
2010年夏の天候再現実験

2010年11月19日記者発表資料

海面水温偏差2010年6-8月



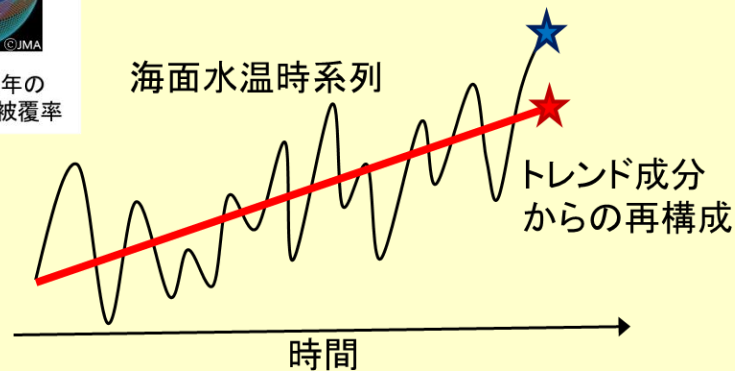
大気大循環モデル (AGCM)



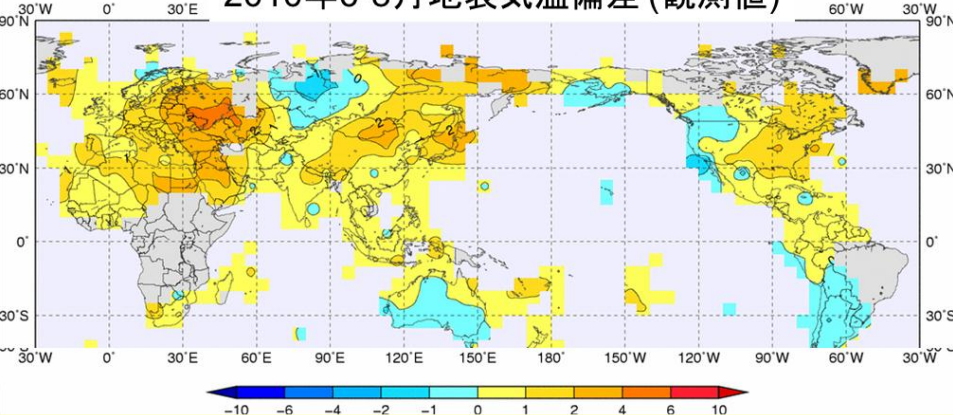
観測された2010年の海面水温、海水被覆率

ある年の偏差

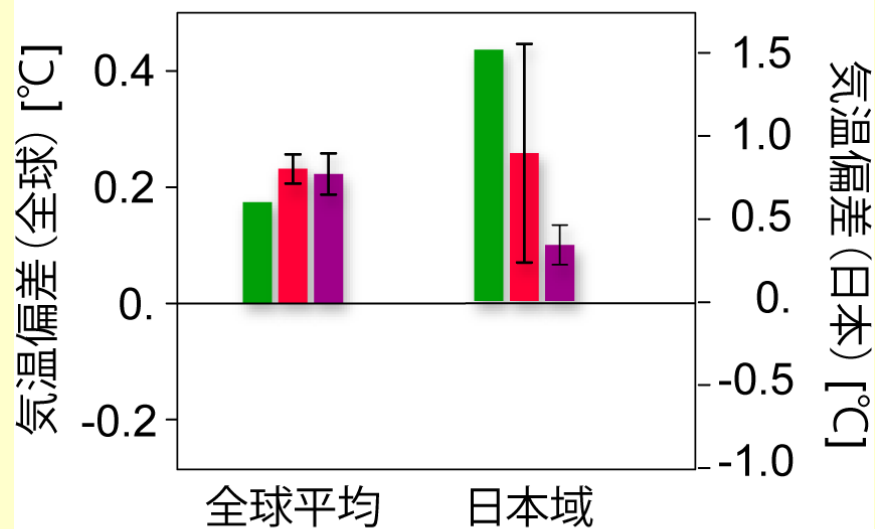
海面水温時系列



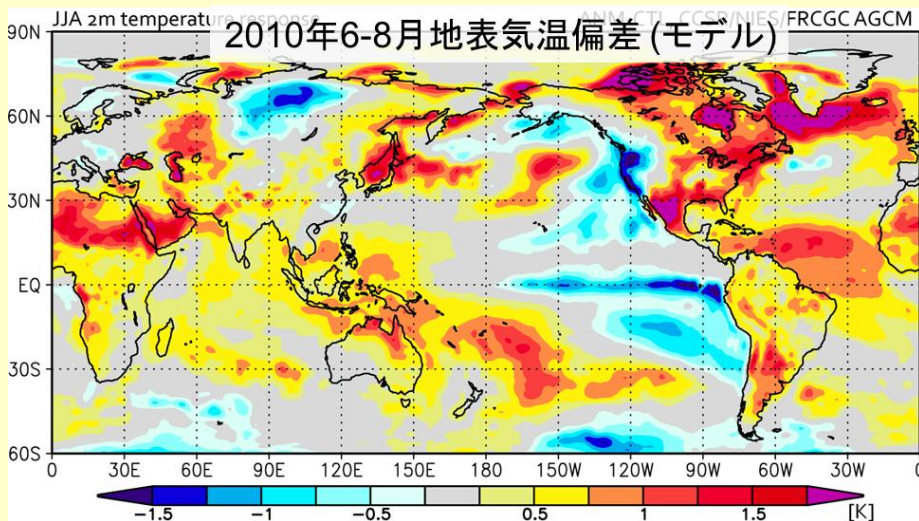
2010年6-8月地表気温偏差 (観測値)



2010年夏季の地表気温偏差



2010年6-8月地表気温偏差 (モデル)



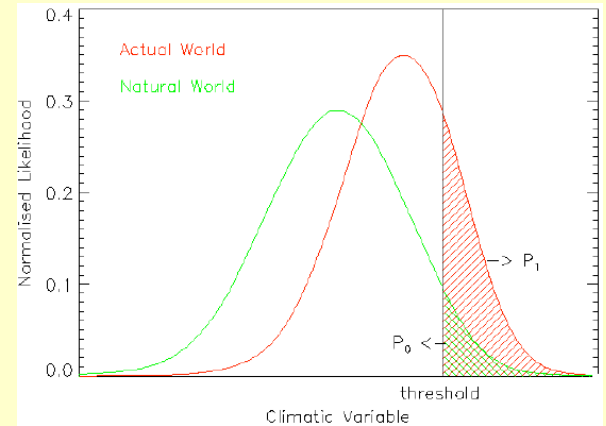
■ 気象庁解析値 ■ 再現実験 ■ トrend実験

全球平均 ⇒ ほぼすべてトレンドによる
日本周辺 ⇒ 2割強

Event Attributionとは？

- 特定の顕著現象（イベント）が、人為起源の温暖化によって起きたとは原理的に言えない。
- しかし、そのイベントの何%が、外部要因の寄与であるかは調べられないか？

Allen (2003), Stott et al. (2004), Pall et al. (2011)

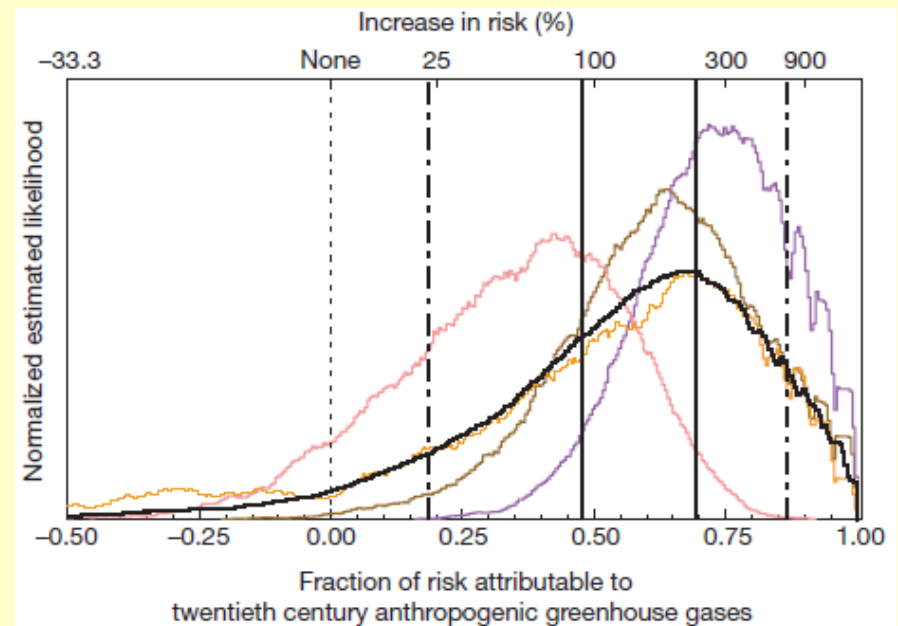


Fraction of Attributable Risk (FAR)

$$FAR = 1 - (P_0 / P_1)$$

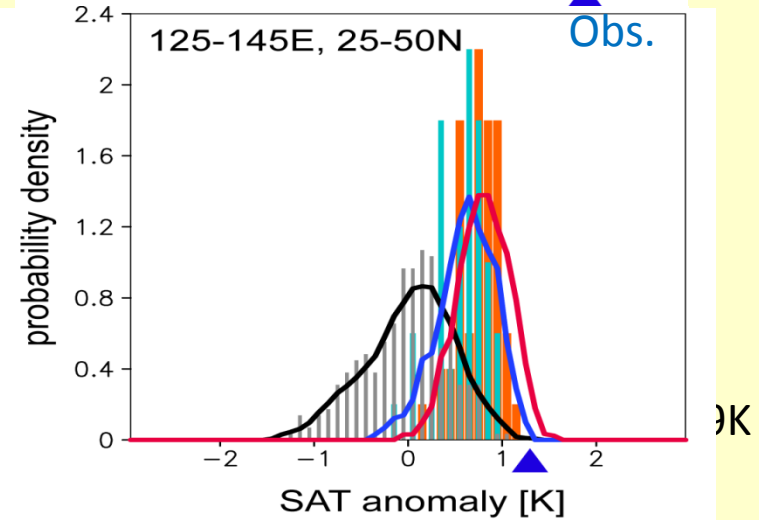
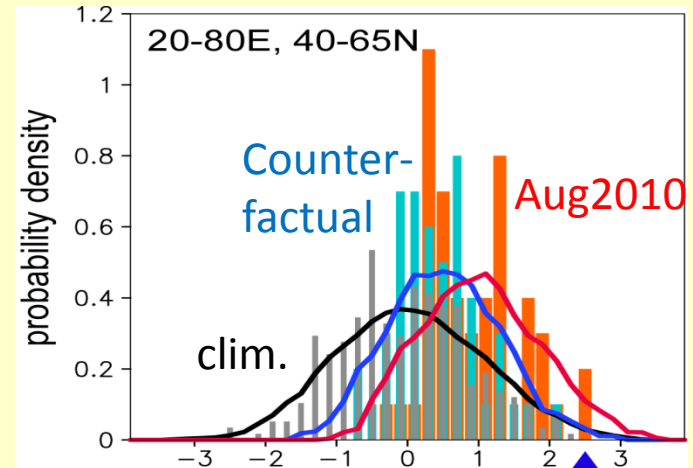
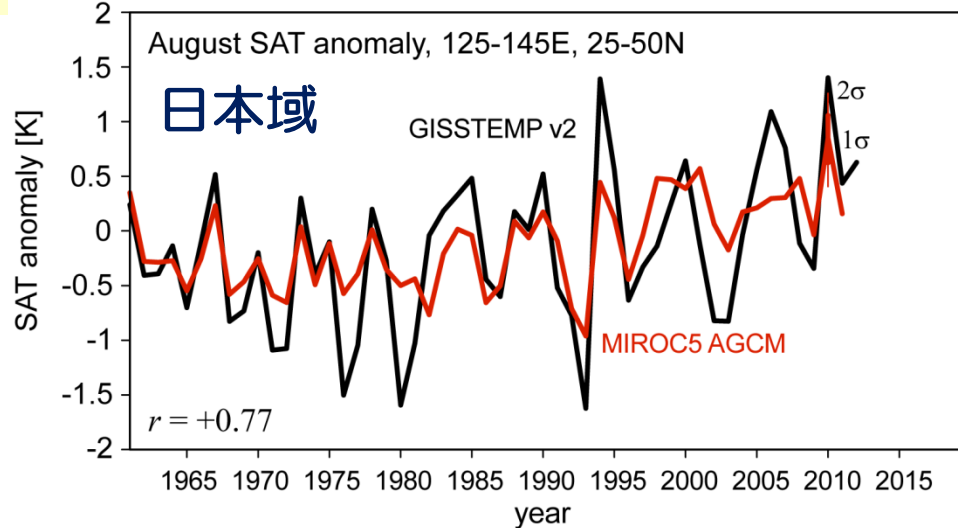
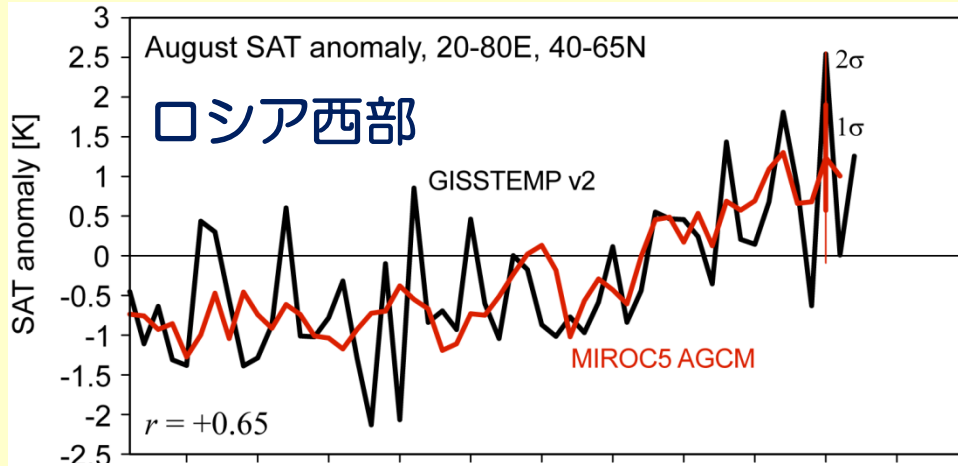
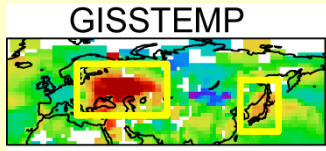


Figure 2 A duck's delight: widespread flooding in January caused misery in Oxford.

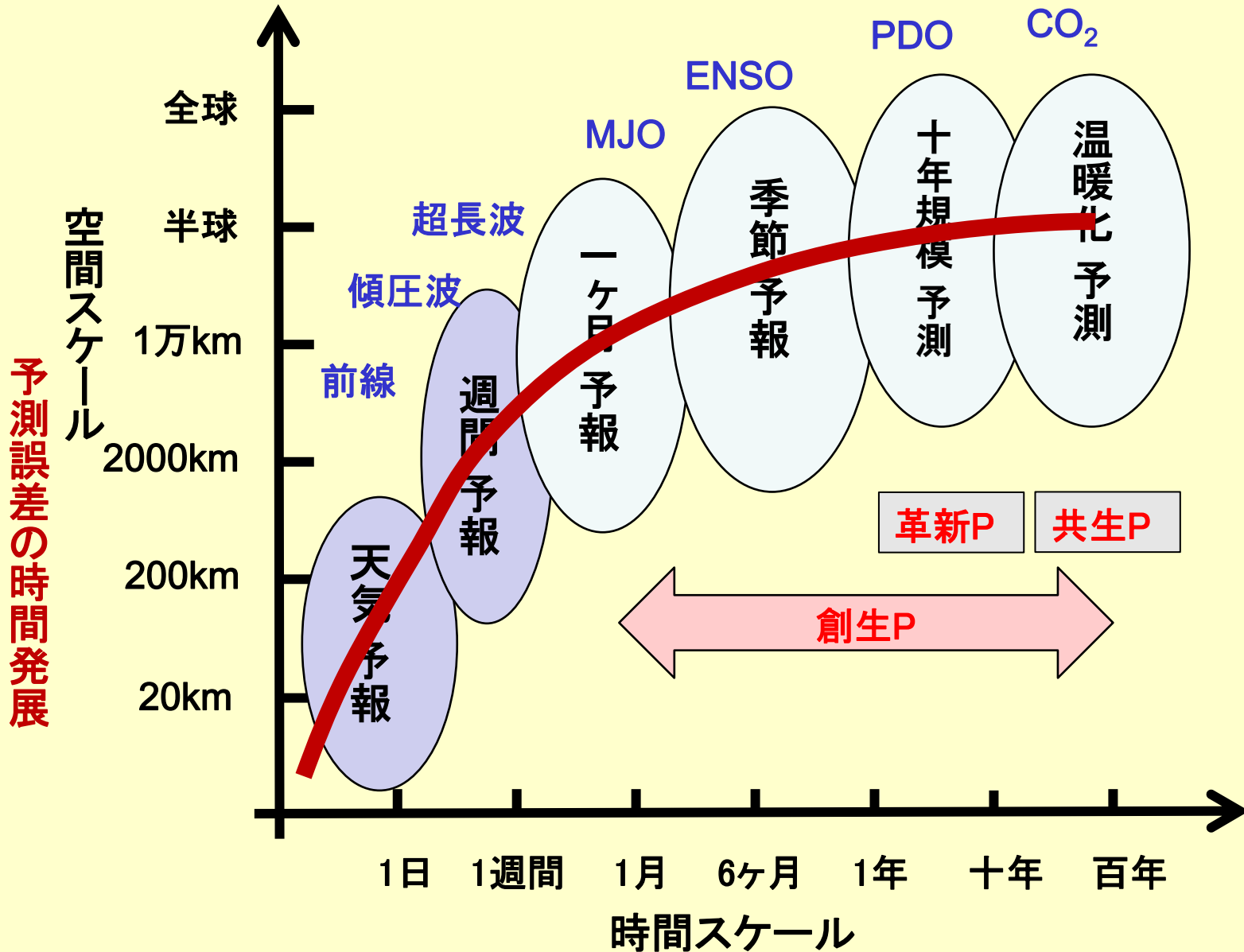


FAR

2010年猛暑のEA



シームレス予測



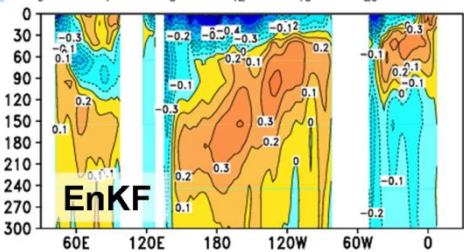
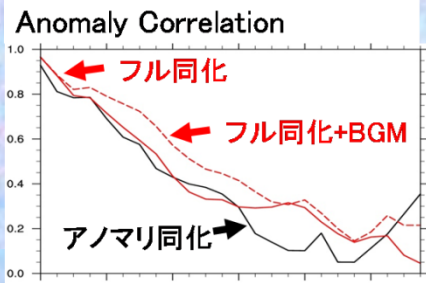
実験的季節予測システム

System for Prediction and Assimilation by MIROC

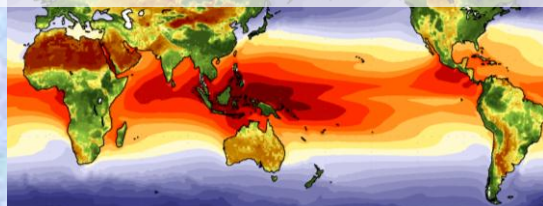


観測データ

● データ同化手法

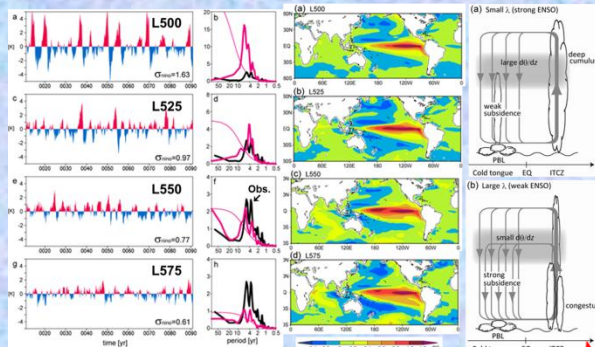


大気海洋結合気候モデルMIROC

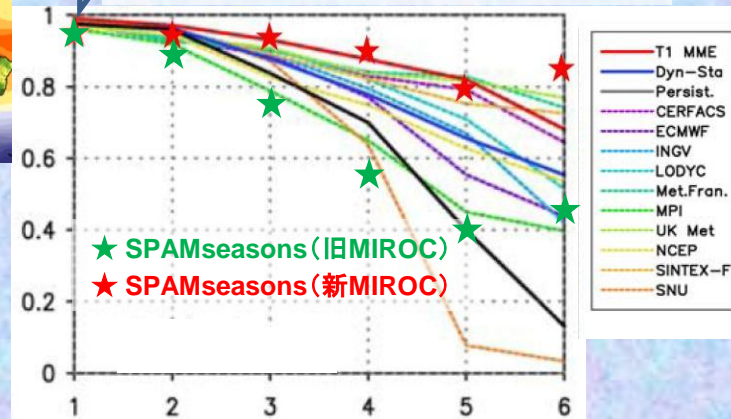


● 予測モデル改良

Convective control of ENSO
(Watanabe et al. 2010; J. Climate)



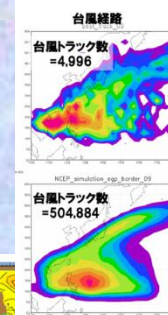
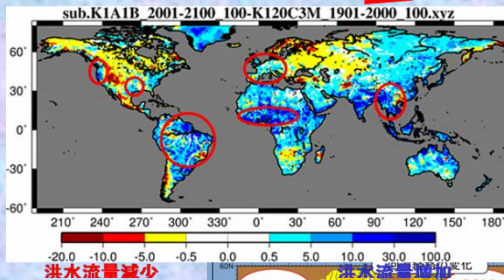
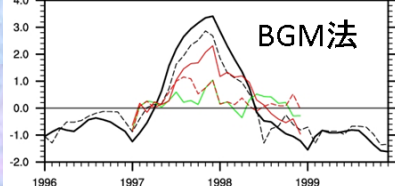
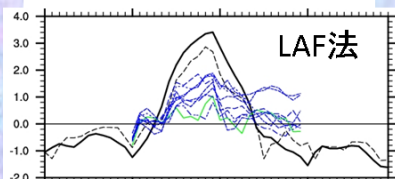
季節予報プロダクト



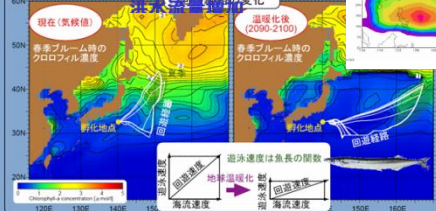
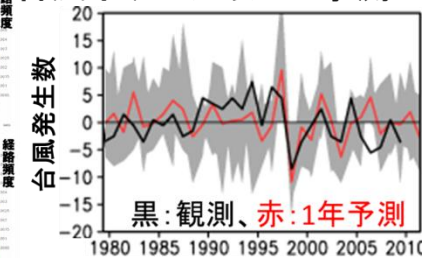
応用研究

● アンサンブル生成法の改良

97/98エルニーニョ予測



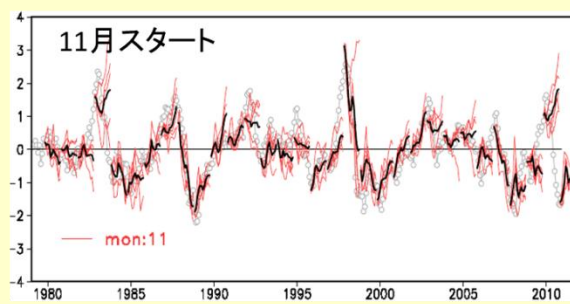
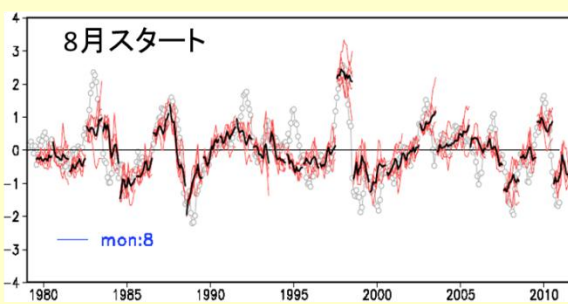
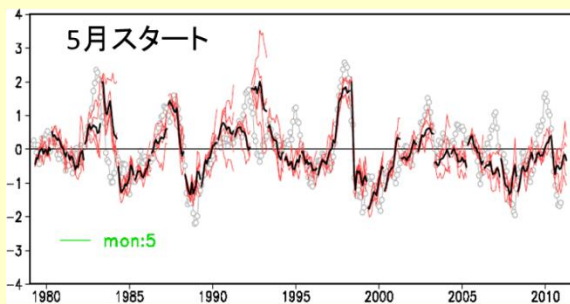
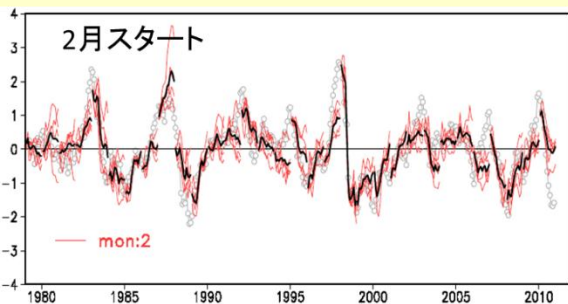
台風ポテンシャルの予測?



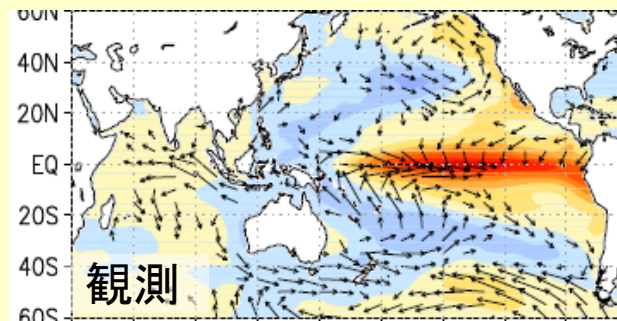


NINO34予測

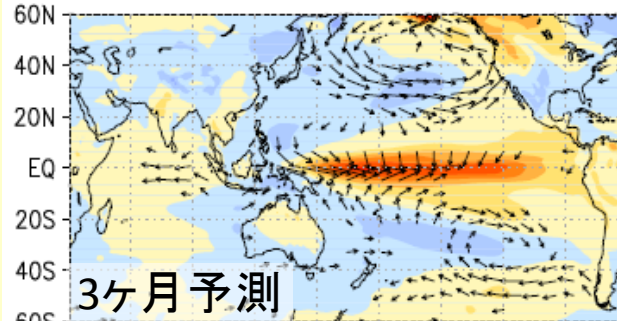
ドリフト除去



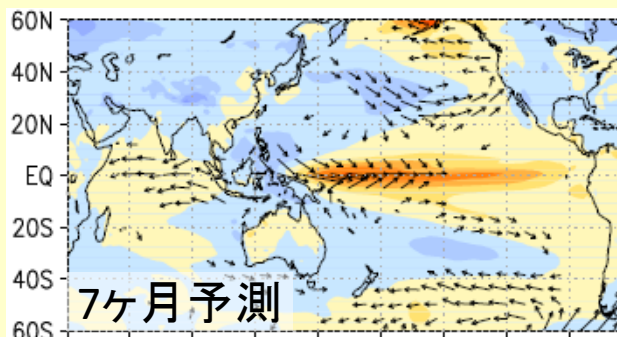
Reg (NINO3.4_{OBS}, prediction)



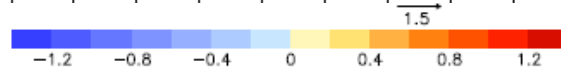
観測



3ヶ月予測



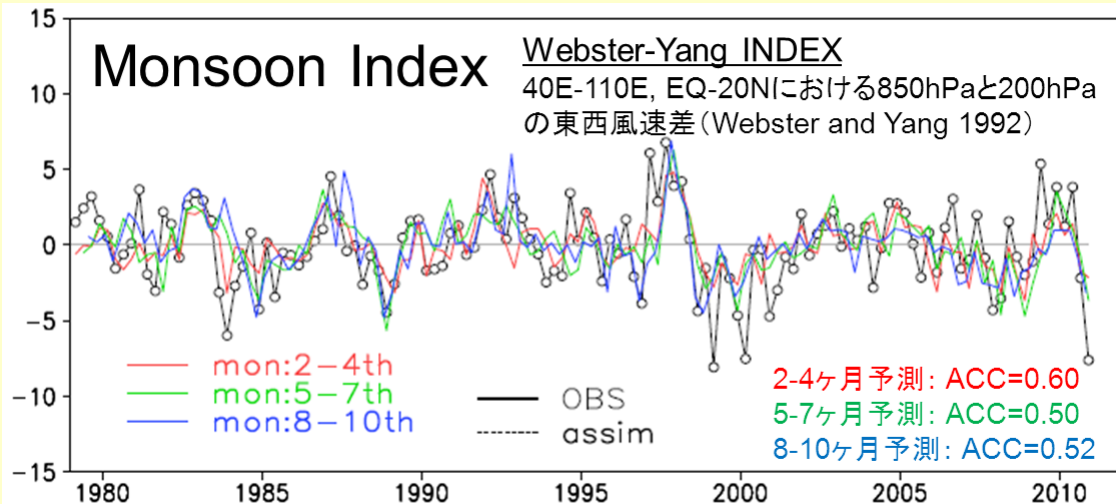
7ヶ月予測



Monsoon Index

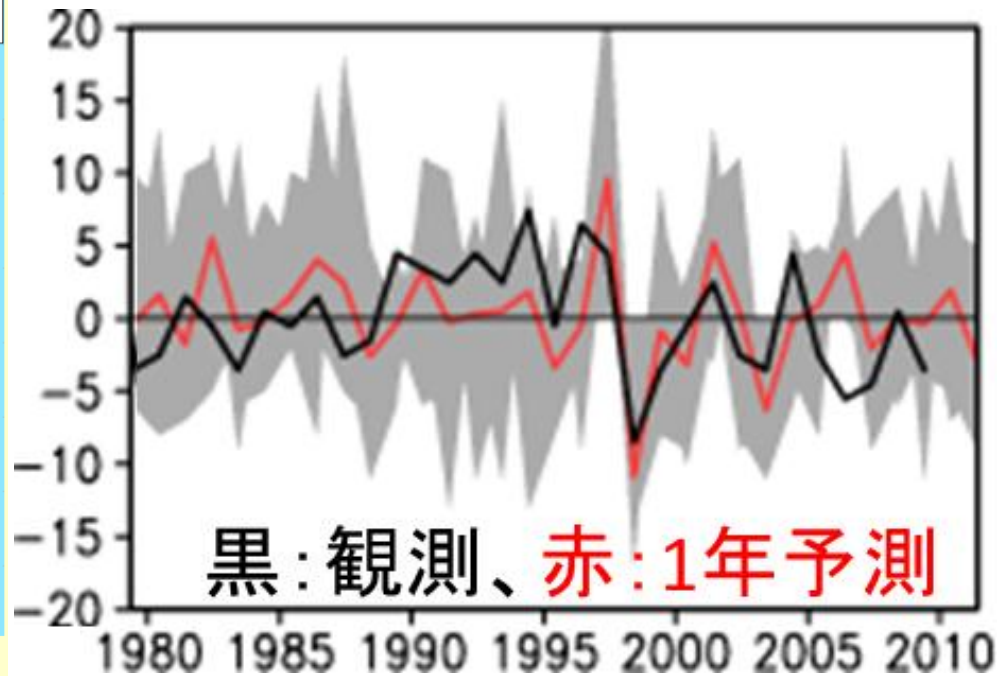
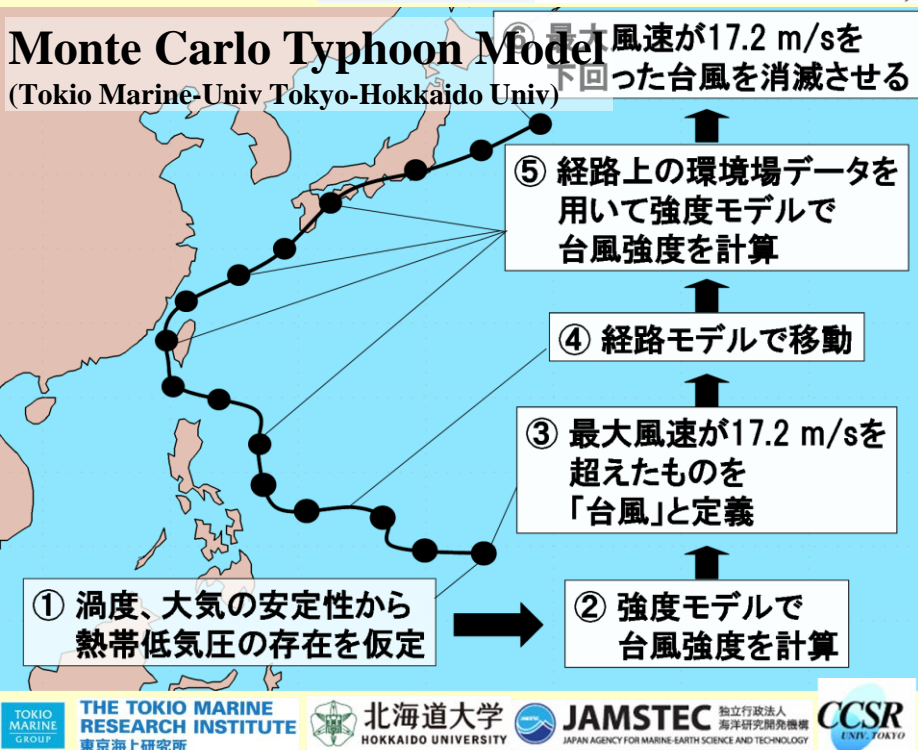
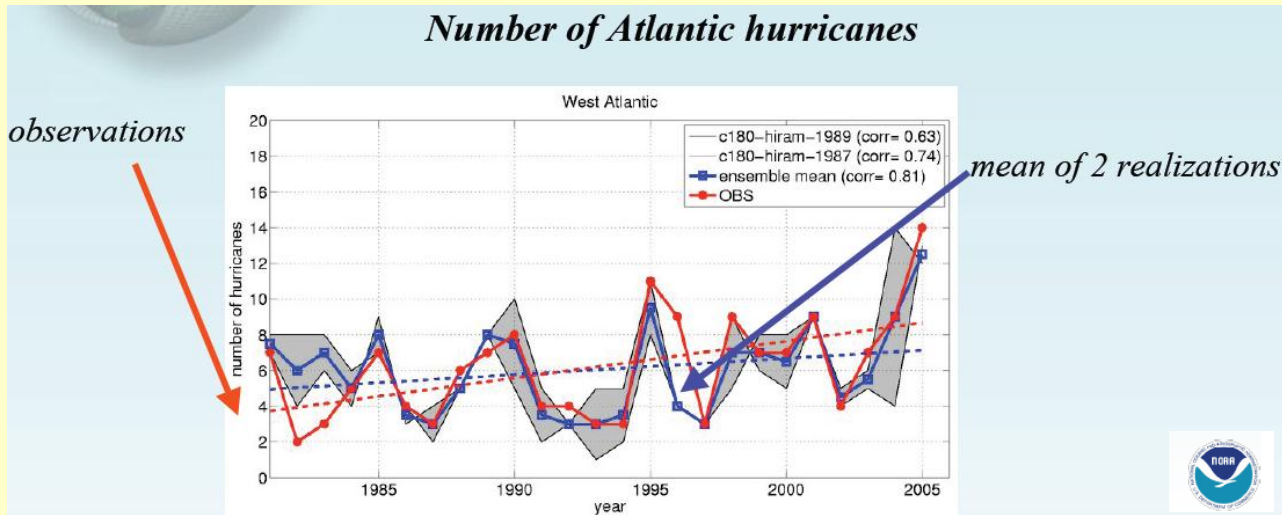
Webster-Yang INDEX

40E-110E, EQ-20Nにおける850hPaと200hPaの東西風速差 (Webster and Yang 1992)

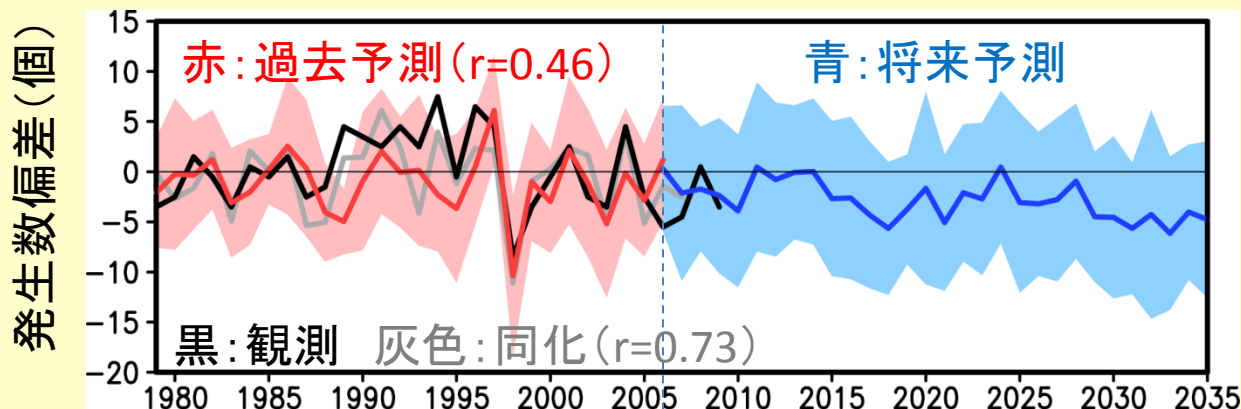


2-4ヶ月予測: ACC=0.60
 5-7ヶ月予測: ACC=0.50
 8-10ヶ月予測: ACC=0.52

台風ポテンシャルの予測？

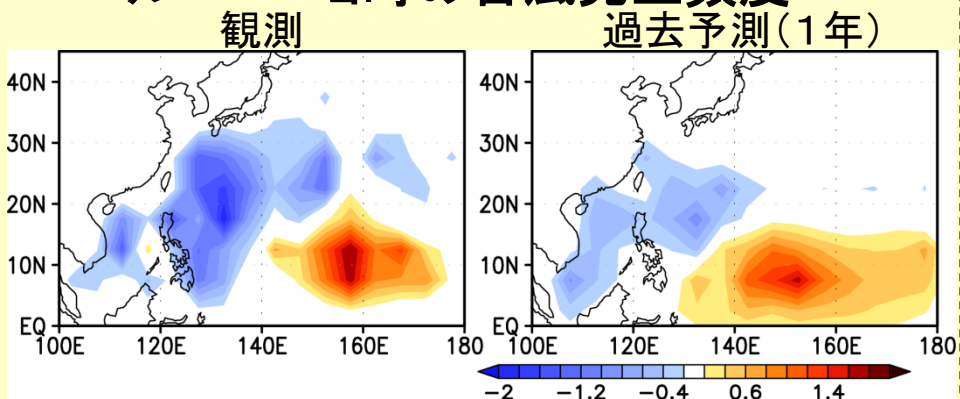


台風の変化予測(発生数・発生場所)

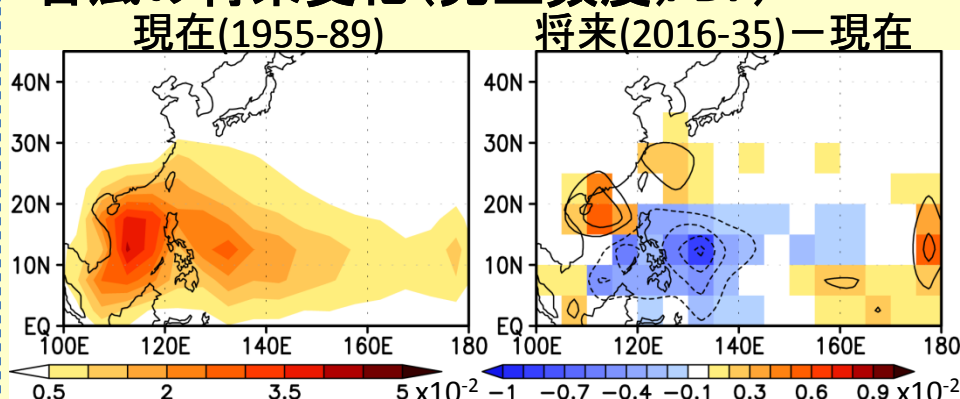


Mori et al. (2012)

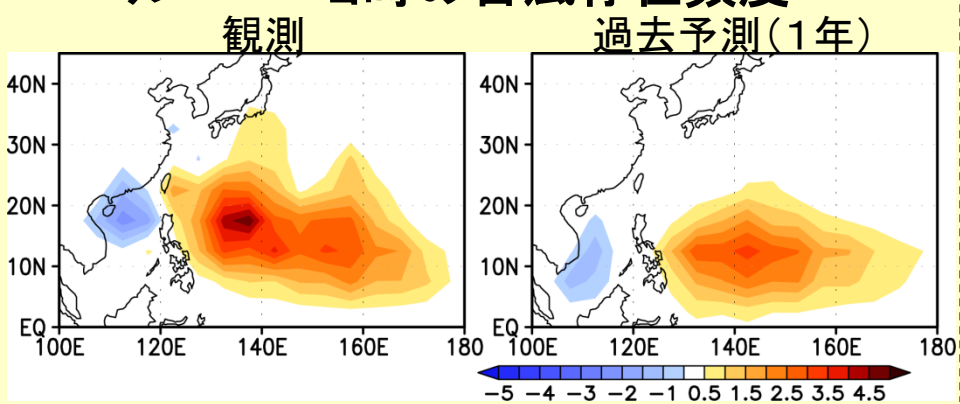
エルニーニョ時の台風発生頻度



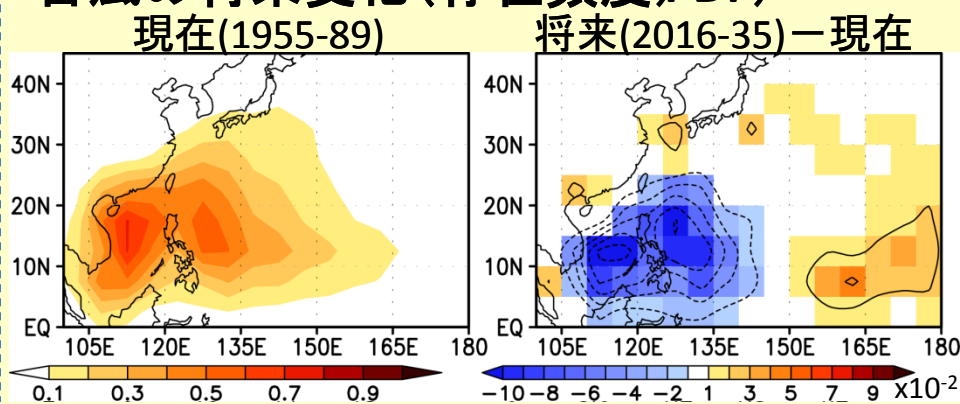
台風の将来変化(発生頻度)PDF



エルニーニョ時の台風存在頻度



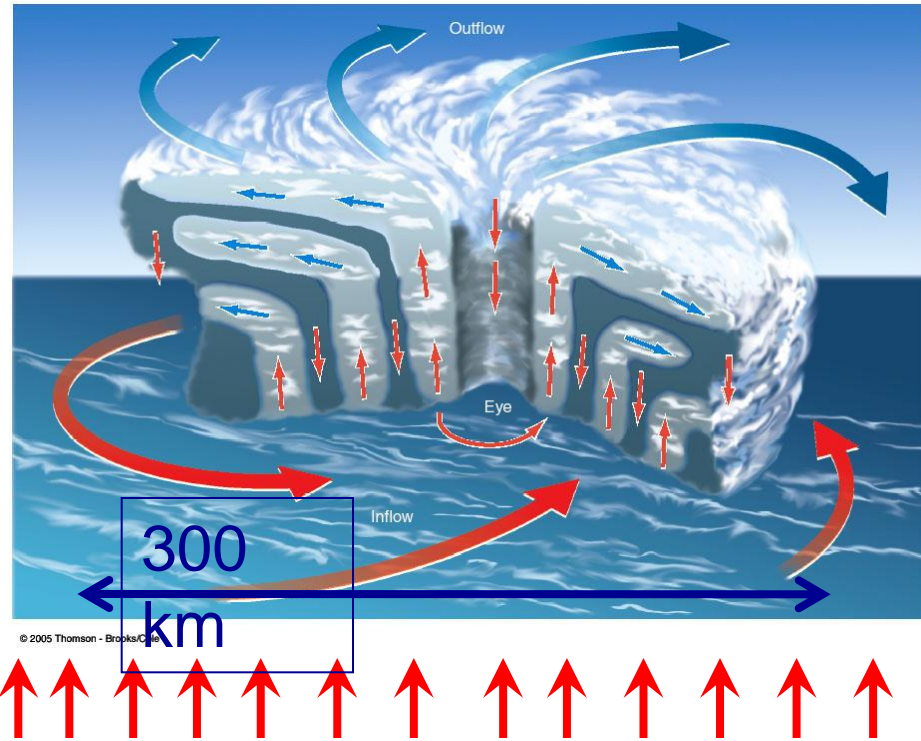
台風の将来変化(存在頻度)PDF





Tropical Cyclones are big heat engines, displaying complex, organised convection

Agents of poleward heat transport in the Tropics



ENERGY SOURCE:
Strong Latent Heat flux from
ocean

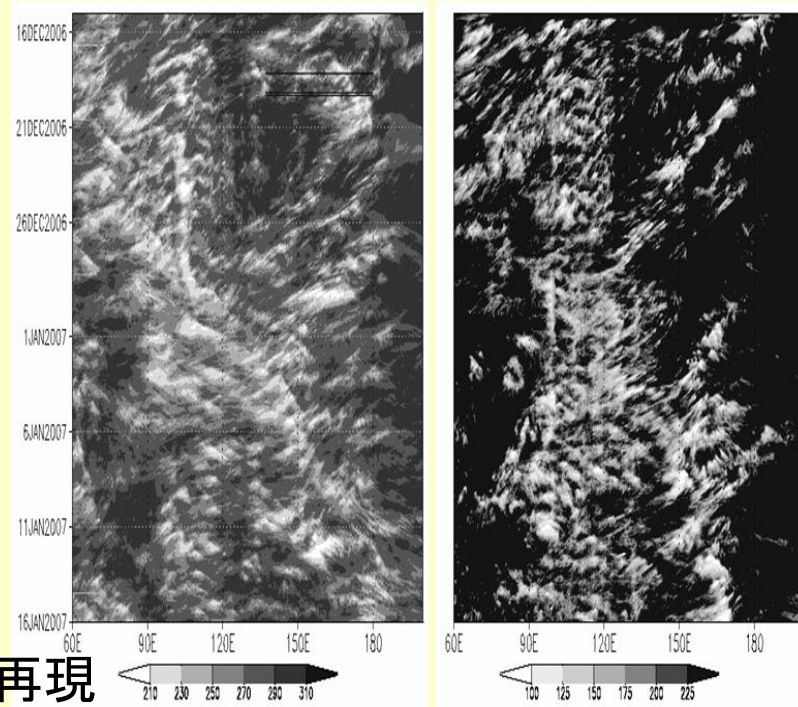
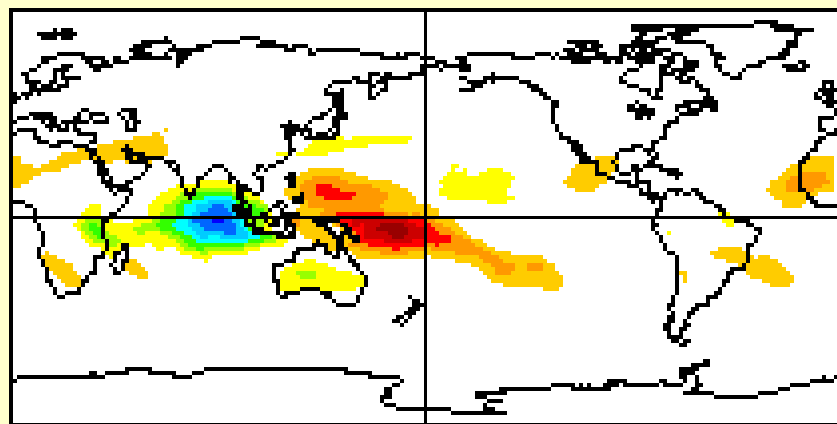
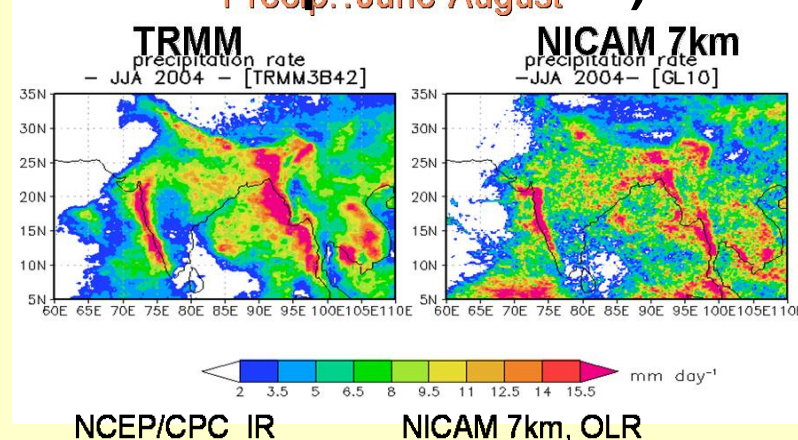
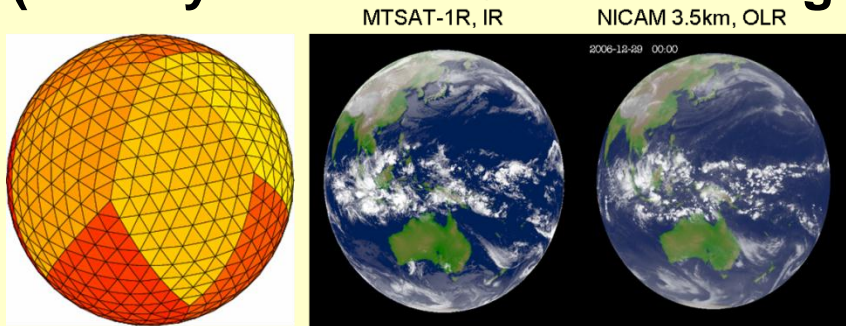
high winds, warm water

Hurricane Isabel, Sep 17 2003

http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/natural_hazards_v2.php3?img_id=11720

全球雲システム解像モデルNICAM

(Non-hydrostatic ICosahedral grid-based Atmospheric Model)



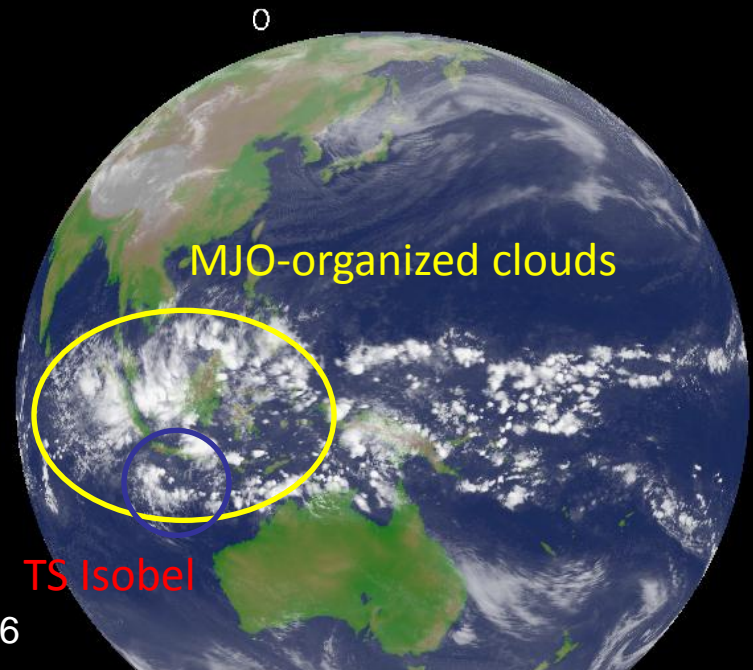
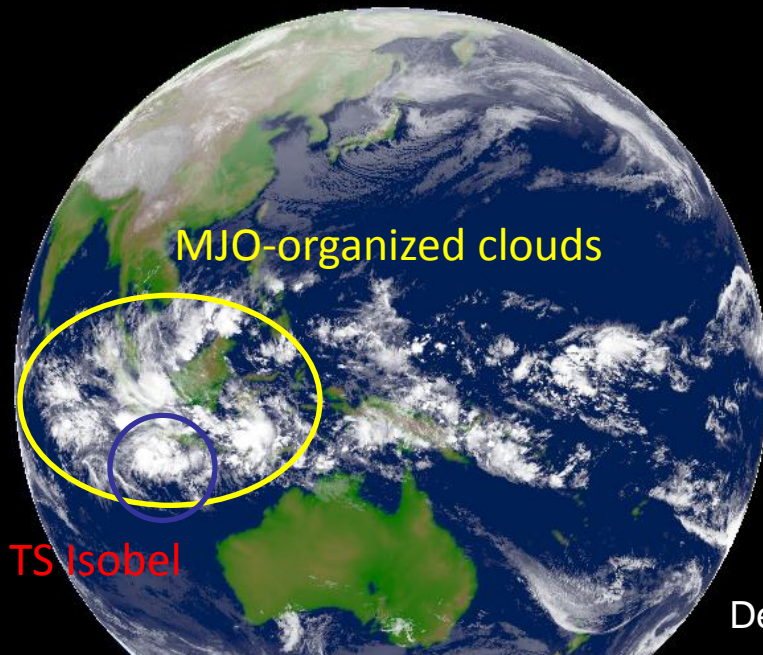
MJO (熱帯季節内振動) の再現

Miura et al. (2007, Science), Nasuno et al. (2009, JMSJ), Fudeyasu et al. (2009, GRL), Liu et al. (2009, MWR)

2週間先の台風発生を予測？

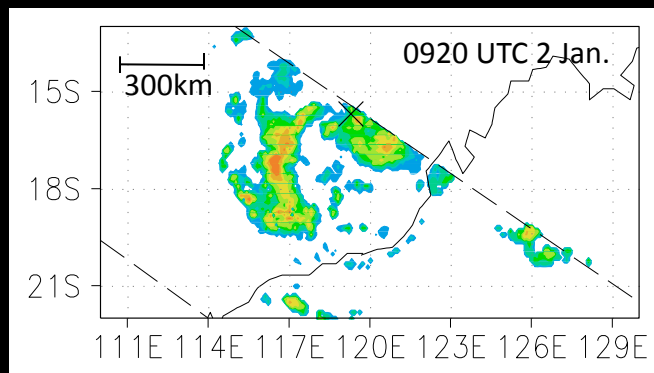
MTSAT-1R

NICAM

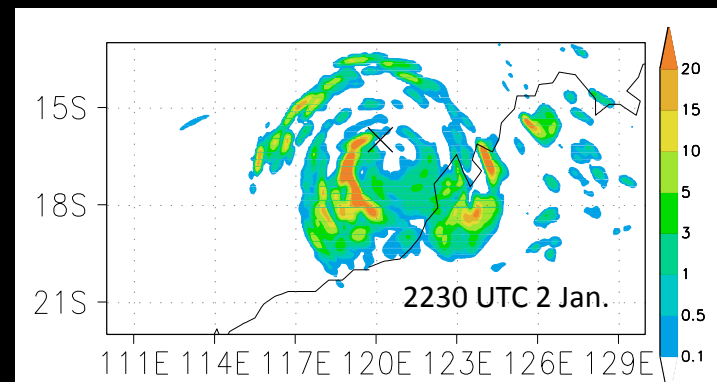


全球雲解像モデルNICAMにより初期値から2週間先の台風の発生予測の可能性が示された。ビギナーズラック？それともブレイクスルー？

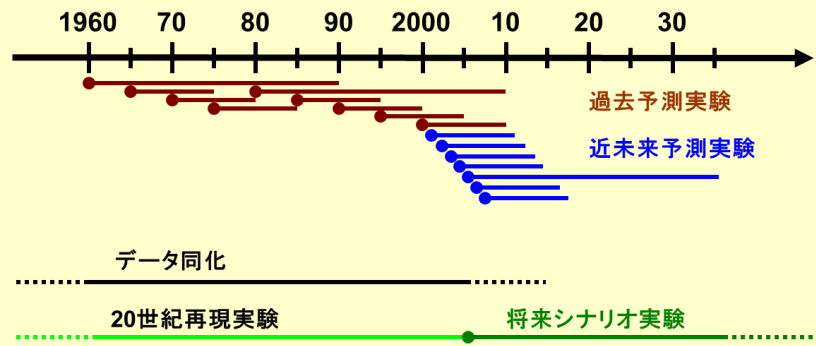
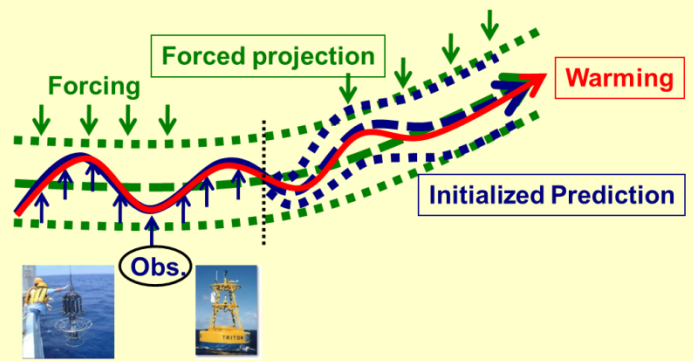
Surface rain rate (mm hour⁻¹) by TRMM-TMI



Surface rain rate (mm hour⁻¹) by NICAM



近未来(十年規模気候変動)予測

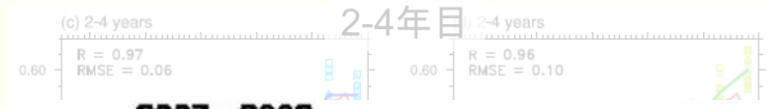


全球平均地表面気温

観測(赤)と予測(青、緑)

初期値化有り

初期値化無し

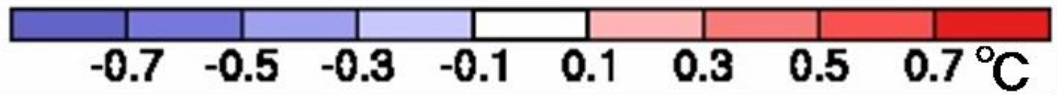
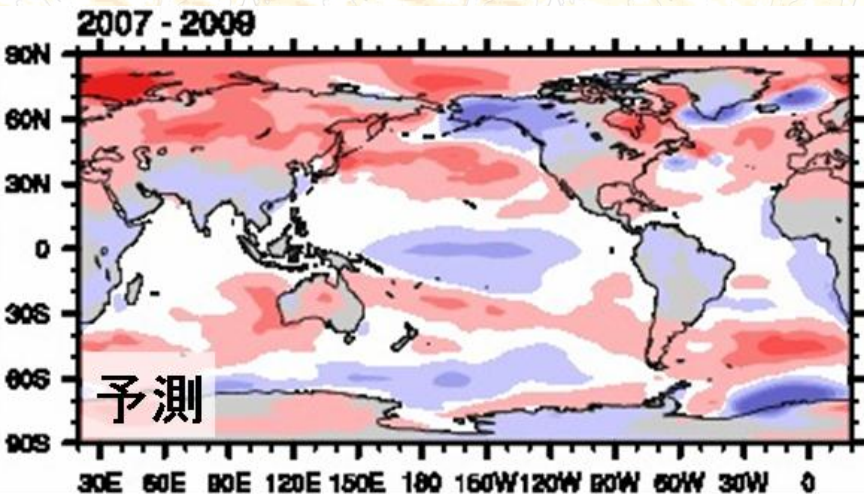
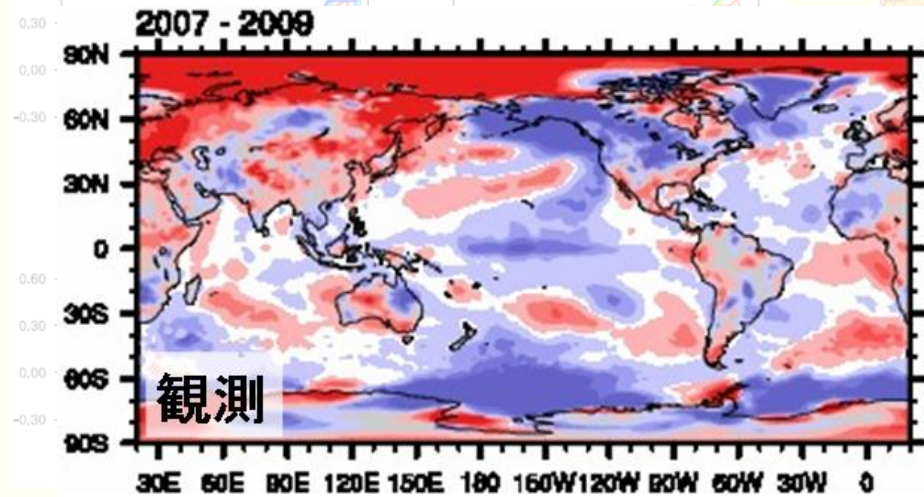
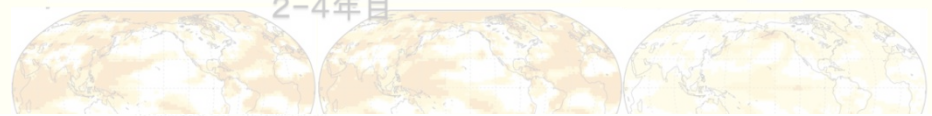


地表面気温の予測スキル、初期値化のインパクト

初期値化なし

初期値化あり

差



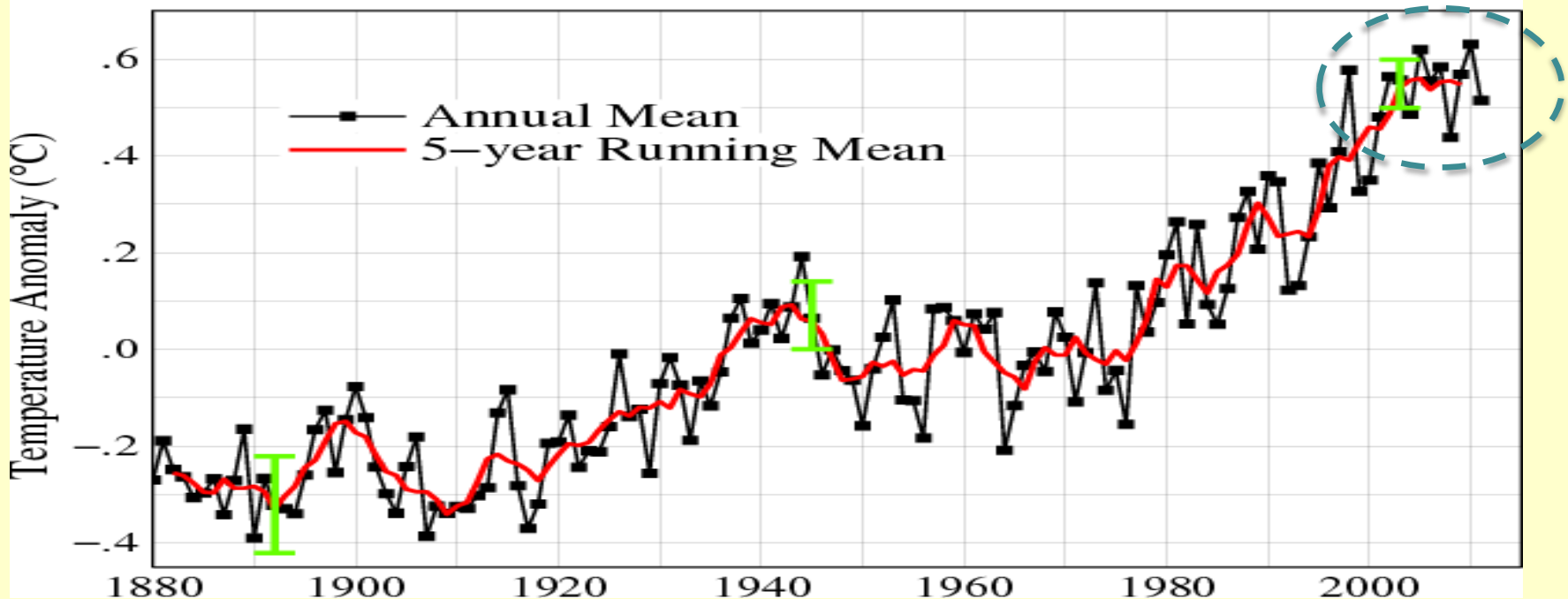
Hiatus問題

- 2000年頃から、温暖化の傾向が鈍っているように見える
- 観測のhiatusが何故生じたかは諸説あるが未解決
- CMIPモデルはhiatus periodをうまく再現できていない

hiatus 【haiéitəs】

隙間, 裂け目, 間隙, 活動休止
(類) an interruption in the intensity or amount of something

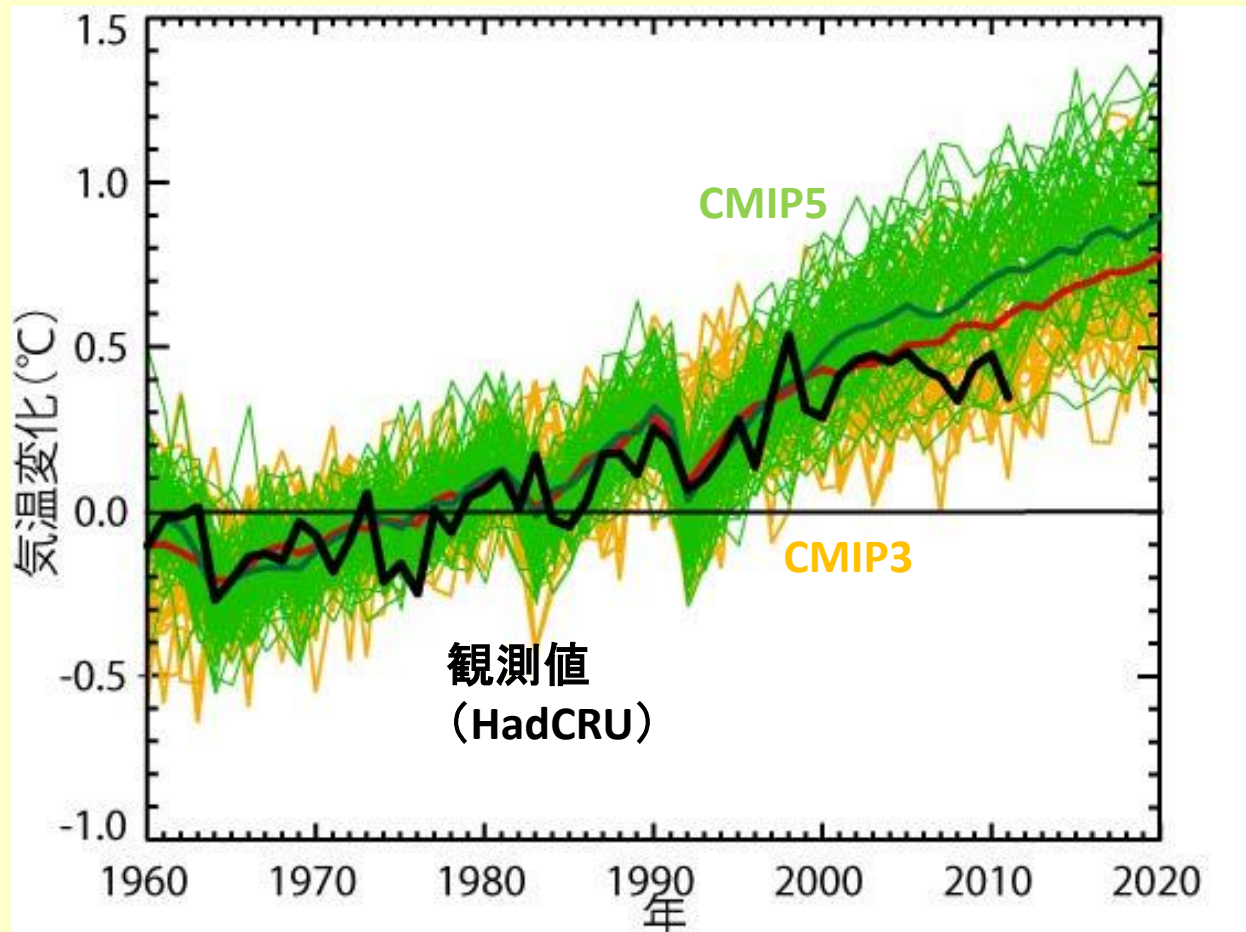
Global-mean SAT time series



Hiatus 問題

CMIP気候モデルではどうか？

Obs + CMIP3(20C+A1b)+CMIP5 (hist+RCP4.5)



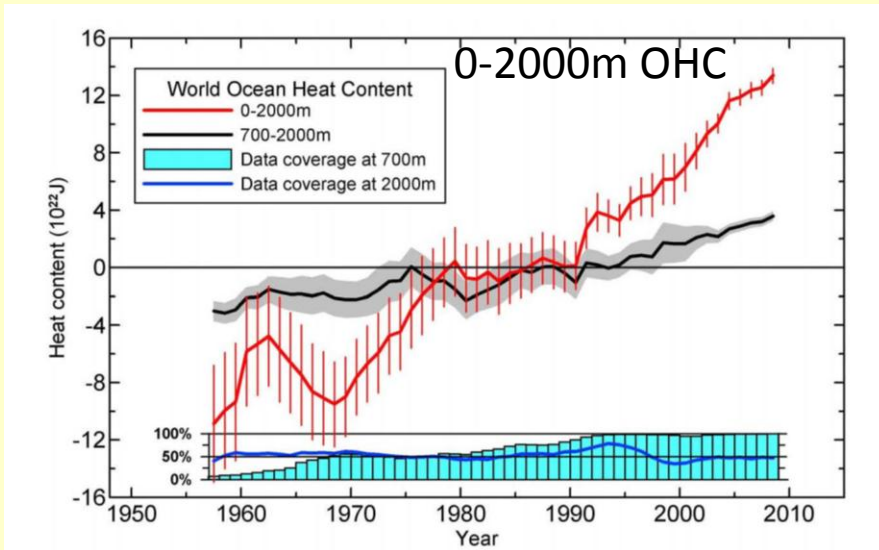
Hiatus問題

1. Hiatusとは何を指す？	前のスライド
2. Hiatusは本物か？	そう考えてよい
3. Hiatusは理解されているか？	されていない
・外部強制？	
－太陽活動？	量的に不足 (<15%)
－成層圏エアロゾル？	よくワカラナイ
－温室効果気体(増加率鈍化)？	地球に入る熱はプラス
・内部変動？	多分…
－太平洋十年規模変動	そのように見える
－海洋熱吸収	多分、が、詳細過程不明
－成層圏水蒸気？	よくワカラナイ(量的に不足?)
4. モデルがHiatusをハズしている？	誤差範囲の下端。要説明。
－気候強制が悪い？	エアロゾル、実際より少なめ？
－モデルが悪い？	?? 気候感度？海洋熱吸収？
－近未来予測は？	まあ、OKに見える。詳細過程不明
5. 温暖化は止まったのか？	いいえ

Ocean is warming

ΔN が増えているならば海洋蓄熱量Hは近年増大しているはず

$$\frac{d\Delta H}{dt} = \Delta N$$

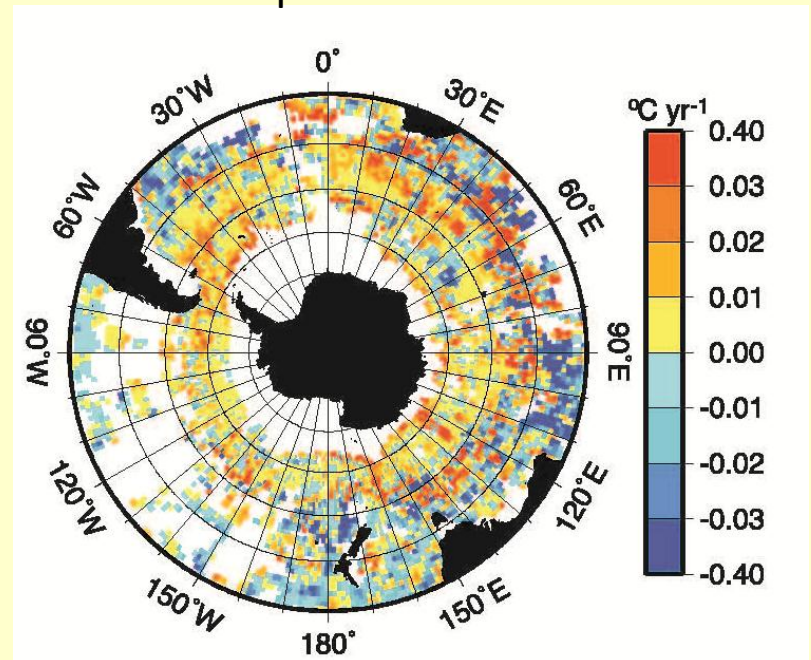


Levitus et al. (2012, GRL)

Lyman et al. (2012, Nature)も同様

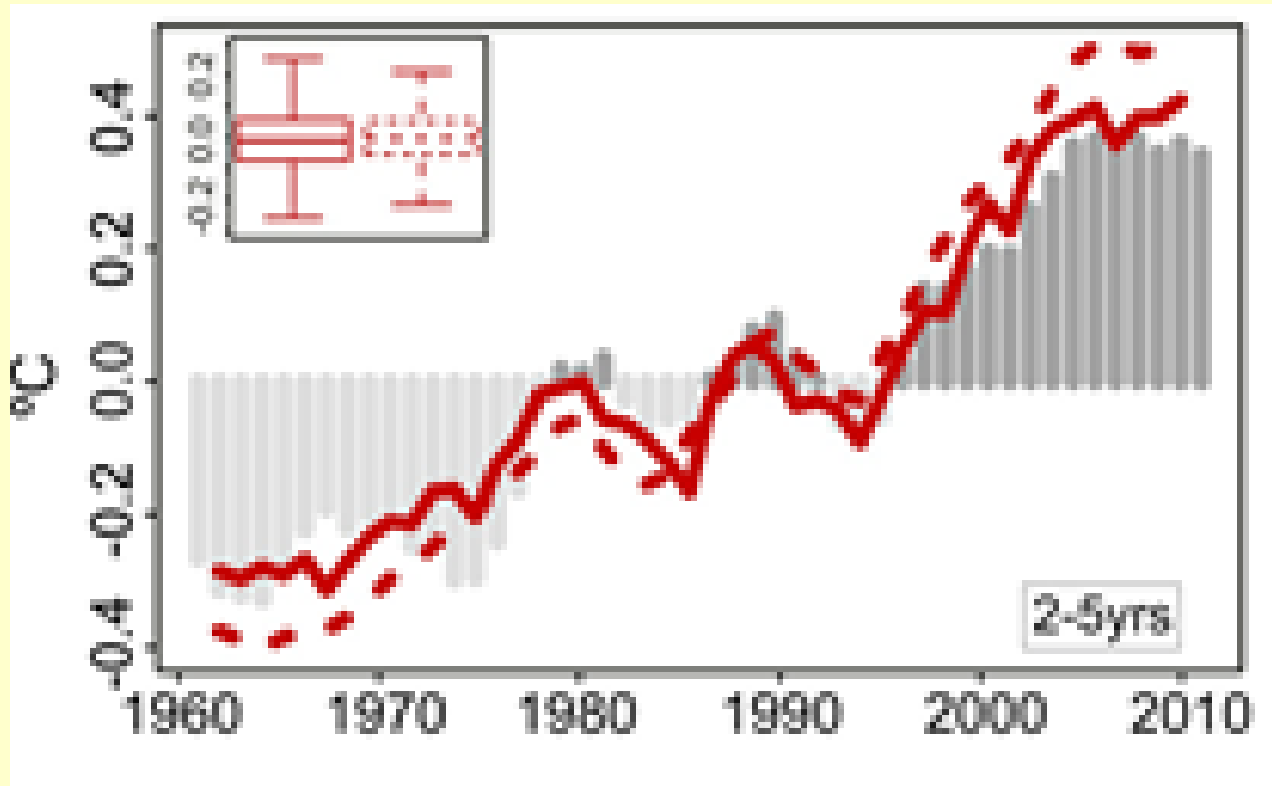
0.41 W/m² heat absorbed into 0-2000m ocean
For 2005-2010 (vonSchuckmann & LeTraon 2011)

700-1100m Temp trend for 1930-2000



Gille (2002, Science)

CMIP5 decadal prediction



Global mean surface temperature anomaly time series.

Bars: Observation

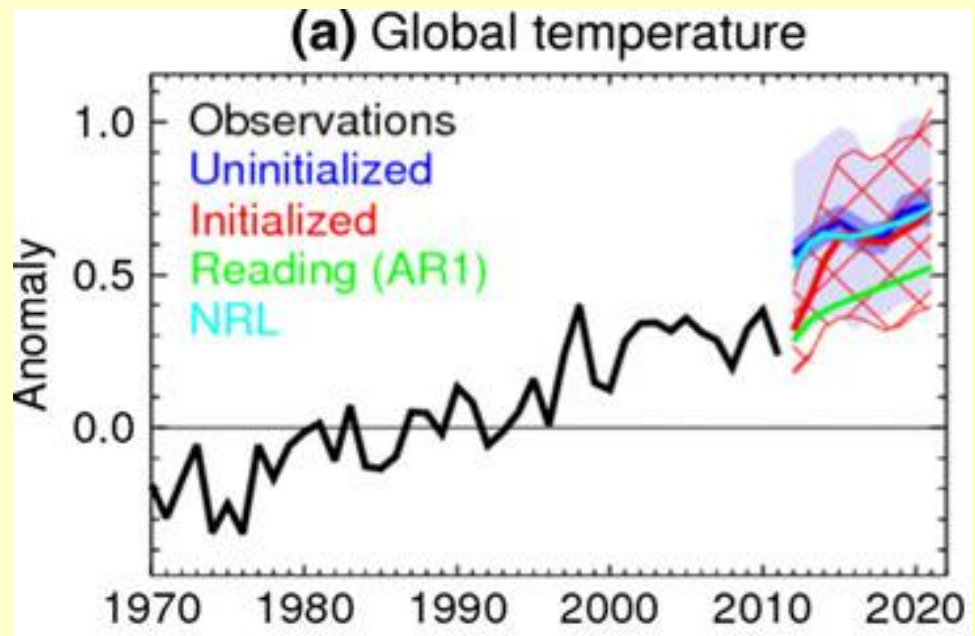
Thick line: CMIP5 initialized hindcasts. Multimodel mean.

Dashed line: CMIP5 non-initialized hindcasts. Multimodel mean.

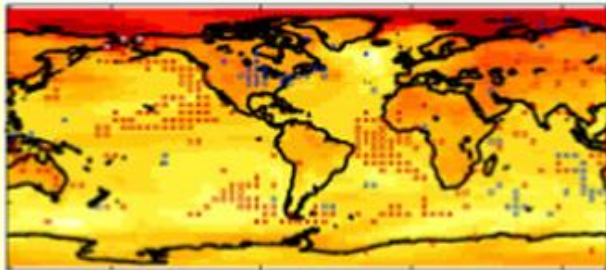
Experimental prediction

Prediction from 2012 →

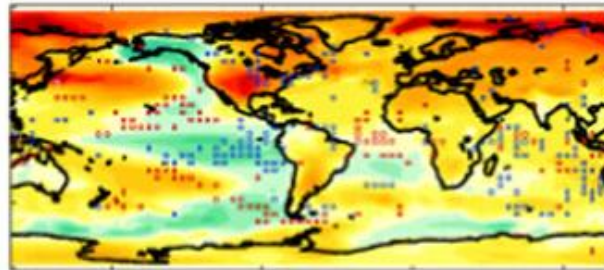
Verification for the first year ↓



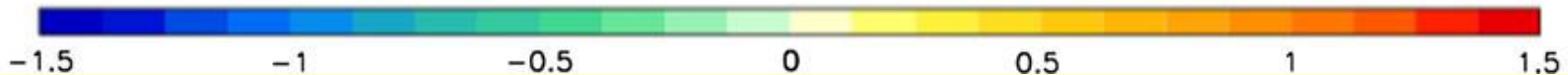
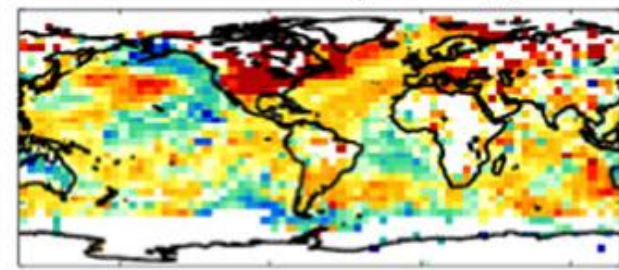
(m) Average uninitialized



(n) Average initialized



(o) Observations (Jan–Sep)



まとめ：気候情報のよりよい利用にむけて

- 気候変化を防ぐための緩和策はもちろん重要であるが、避けられない変化への適応も必要。
- 気候モデル等による気候予測情報は、「使える」ようにはなってきた。
- ただし、ユーザ毎に使い方を工夫する必要がある。
 - リスクアセスメントが必要。
 - 成功例の創出が肝要。
- 気候予測情報は、座して得られるほどには普及していない。
 - 情報提供者とユーザの対話・連携が重要。