

イベント・アトリビューション研究の 現状と気象研究所における計画

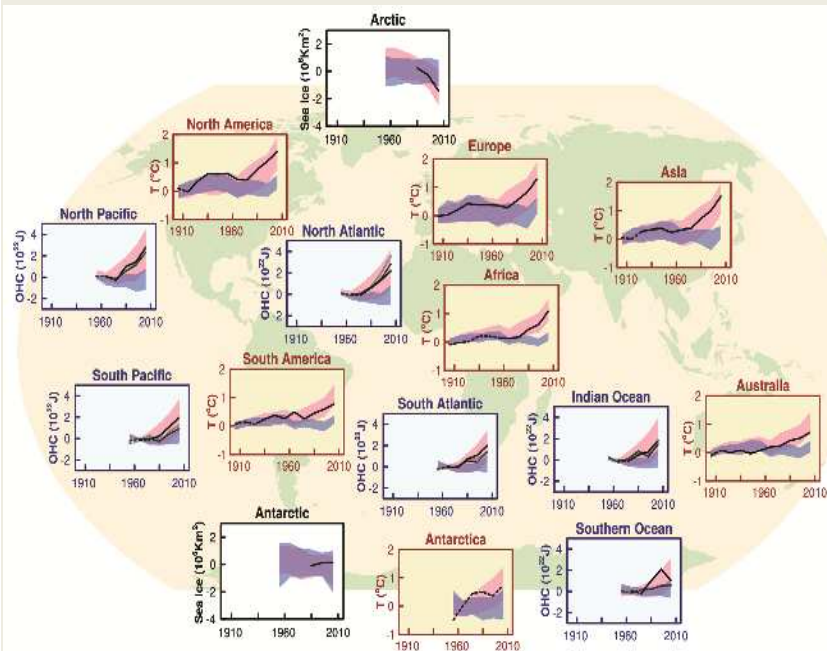
異常気象分析検討会

2015/02/23

気象研究所気候研究部 第5研究室 今田 由紀子

Detection & Attribution (気候変動の検出と要因分析)

□ 個々の外部要因のみを与えた歴史実験 (AOGCM & ESM)を過去の観測データと比較することで、「既に気候は変化しているのか」「変化しているのなら、どのような要因が効いていたか」を調べる。



IPCC AR5-WG1-SPM (2013)

現象及び変化傾向	変化発生の評価 (特に新らしい限り 1950 年以降)	観測された変化に対する 人間活動の寄与の評価		将来変化の可能性	
		21 世紀初期	21 世紀末	21 世紀初期	21 世紀末
ほとんどの陸地で暑い日や暑い夜の頻度の減少や昇温	可能性が非常に高い 可能性が非常に高い 可能性が非常に高い	{2.6}	可能性が非常に高い {10.6} 可能性が高い 可能性が高い	可能性が高い {11.3}	ほぼ確実 ほぼ確実
ほとんどの陸地で暑い日や暑い夜の頻度の増加や昇温	可能性が非常に高い 可能性が非常に高い 可能性が非常に高い	{2.6}	可能性が非常に高い {10.6} 可能性が高い 可能性が高い(表のみ)	可能性が高い {11.3}	ほぼ確実 ほぼ確実
ほとんどの陸地で極端的な高温、熱度の頻度や持続期間の増加	世界規模で確信度が中程度 ヨーロッパ、アジア、オーストラリアの大部分で可能性が高い	{2.6}	可能性が高い ^(a) {10.6}	正式に評価されていない ^(b) {11.3}	可能性が非常に高い 可能性が非常に高い
大雨の頻度、強度、大雨の降水量の増加	多くの(すべてではない)地域で確信度が中程度 可能性が高い	{2.6}	正式に評価されていない どちらかといえば		可能性が非常に高い 可能性が非常に高い
干ばつの強度や持続期間の増加	減少している陸地より増加している陸地のほうが多い可能性が高い ^(a) 減少している陸地で可能性が高い ほとんどの陸地で可能性が高い	{2.6}	確信度が中程度 {7.6, 10.6} 確信度が中程度 どちらかといえば	多くの陸地で可能性が高い {11.3}	中程度の大陸のほとんどと湿潤な熱帯域で可能性が非常に高い 多くの地域で可能性が高い
強い熱帯低気圧の活動度の増加	世界規模で確信度が低い いくつかの地域 ^(b) で変化した可能性が高い いくつかの地域で確信度が中程度 多くの地域で 1970 年以降 ^(a) 可能性が高い	{2.6}	確信度が低い {10.6} 確信度が低い ^(b) どちらかといえば	確信度が低い ^(b) {11.3}	地域規模から世界規模で可能性が高い 確信度は中程度 ^(b) いくつかの地域で確信度が中程度 可能性が高い ^(a)
極端に高い潮位の発生や高さの増加	長期(百年規模)変化の確信度が低い 1970 年以降北大西洋でほぼ確実 確信度が低い 可能性が高い(1970 年以降、いくつかの地域で)	{2.6}	確信度が低い ^(a) {10.6} 確信度が低い どちらかといえば	確信度が低い {11.3}	北西太平洋と北大西洋でどちらかといえば ^(b) いくつかの海域でどちらかといえば 可能性が高い
	可能性が高い(1970 年以降) 可能性が高い(20 世紀後半) 可能性が高い	{3.7}	可能性が高い ^(a) {3.7} 可能性が高い ^(b) どちらかといえば ^(a)	可能性が高い ^(b) {13.7}	可能性が非常に高い ^(c) 可能性が非常に高い ^(a) 可能性が高い

イベント・アトリビューション(E/A) ーこれは、温暖化のせいですか？ー

- International Detection and Attribution Group (IDAG)の新しい取り組み
- 熱波、大雪、大雨、干魃などの異常気象が発生すると必ず聞かれるのは「これは温暖化のせいですか？」
- 異常気象は、気候システムのなかの自然な揺らぎ「内部変動」によっても生じる。→ 個別のイベントが、人間活動のせいだと言うことは、原理的に出来ない。（これまでの専門家の回答）
- 人間活動による気候変動が、観測されたような異常気象の発生確率や強度をどの程度変えてきたかは定量評価できる。→ **イベント・アトリビューション**（新しい取り組み）
- 最初の論文は、Oxford大学グループのPall et al. (2011, Nature)。「2000年秋の英国洪水の発生リスクは、温室効果ガス増加によって高まっていた」

- MIROC5によるE/A(創生プログラム)
- 全球大気気候モデル(AGCM)で、たくさん(100メンバ)のアンサンブル実験を行う。

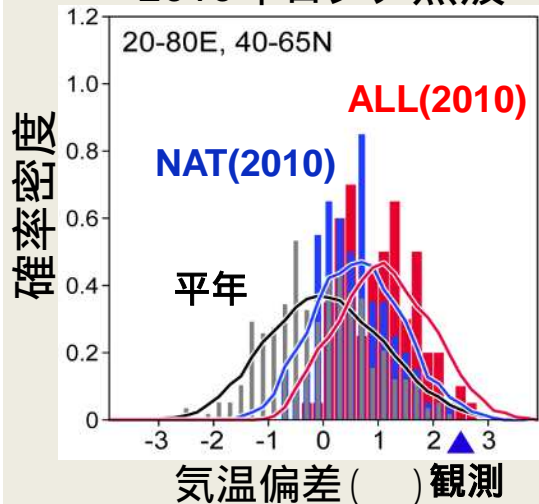
MIROC5 AGCM (T85L40)

		境界条件		メンバー数	期間
		外部強制	SST・海氷		
ALL 全強制実験		人為起源 + 自然起源	HadISST	100	2009年以降
NAT0	自然強制実験	自然起源のみ (人為起源は産業化前)	MIROC3の20世紀再現実験の変化パターンを除去	100	2009年以降
NAT1			HadISSTの線形トレンド(1870-2012)を除去(Christidis and Stott 2014)		
NAT2			CMIP5 historical実験の変化パターンを除去(Daithi 2013)		
ALL-LNG		20C+RCP4.5	HadISST	10	1946 - 2011

For validation

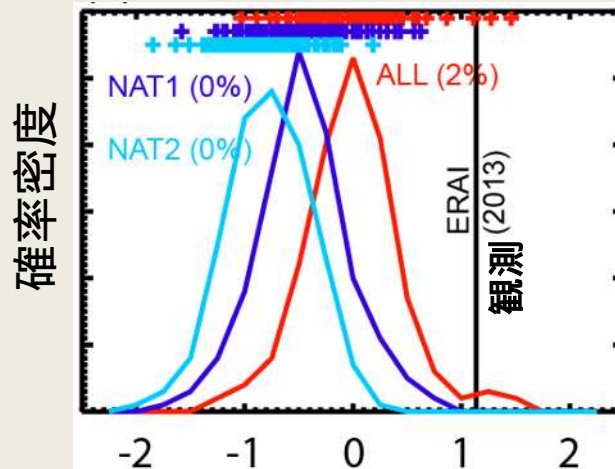
人間活動が発生確率を高めていた例

2010年ロシア熱波



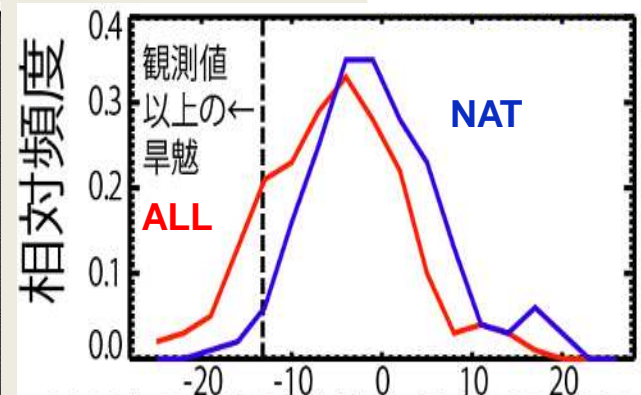
(Watanabe et al. 2013, SOLA)

2013年6-7月米国南西部熱波



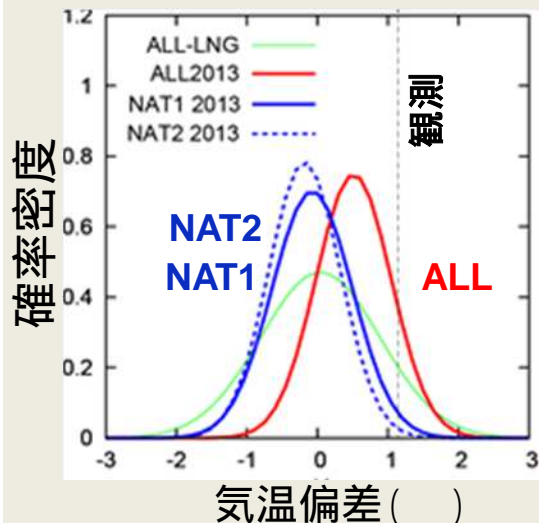
(Shiogama et al. in prep)

2010年南アマゾン旱魃



(Shiogama et al. 2013, ASL)

2013年6-7月日本の猛暑



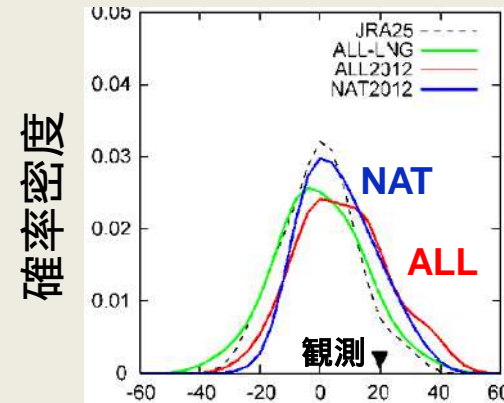
(Imada et al. submitted to BAMS)

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

人間活動の寄与が検出できなかった例

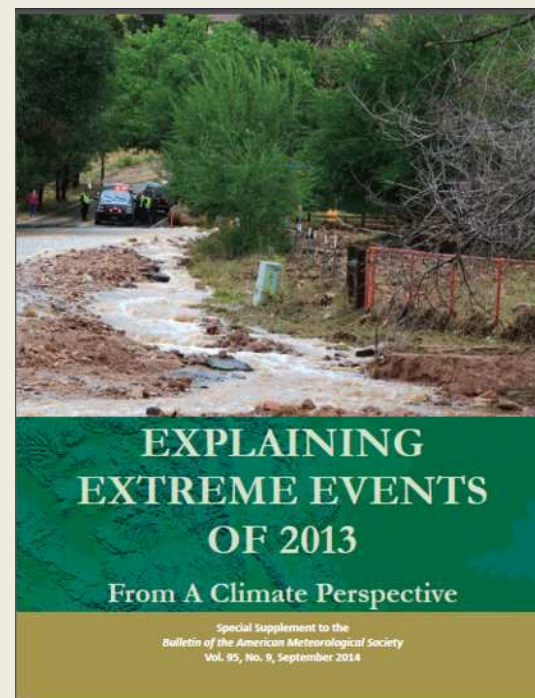
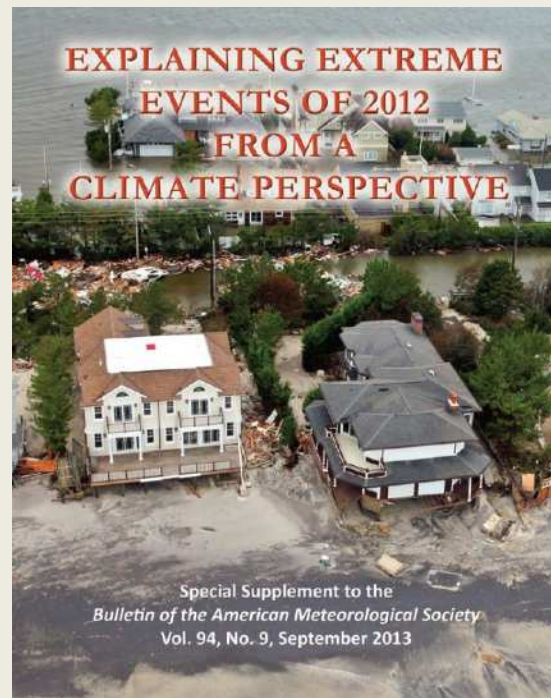
2012年6-7月九州北部豪雨



(Imada et al. 2013, BAMS)

日本域を対象としたE/Aの例

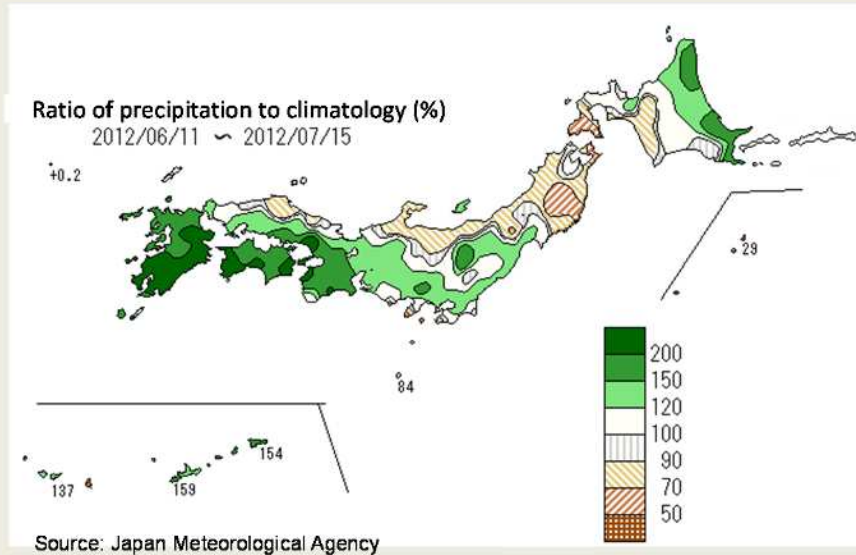
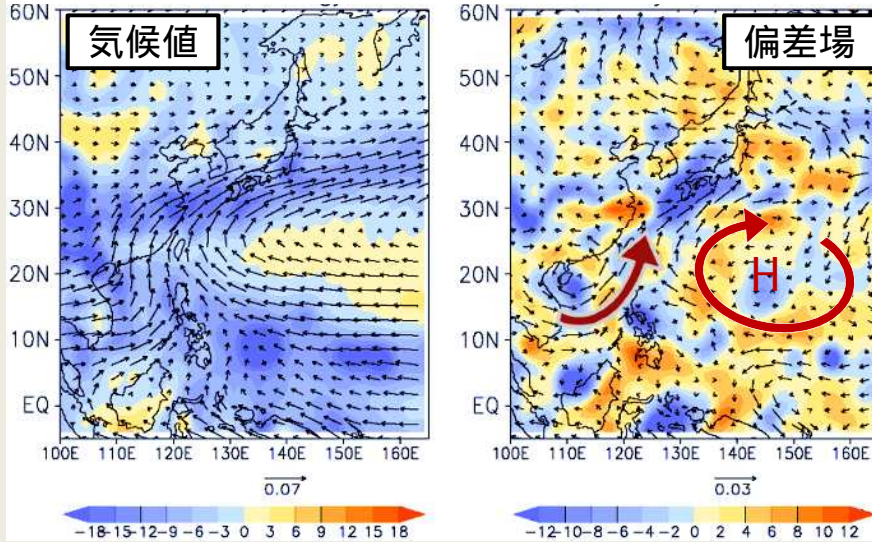
- 平成24年7月九州北部豪雨に対する地球温暖化の寄与 (Imada et al., 2013 BAMS)
- 平成25年夏季の日本の猛暑に対する地球温暖化の寄与 (Imada et al. 2014 BAMS)



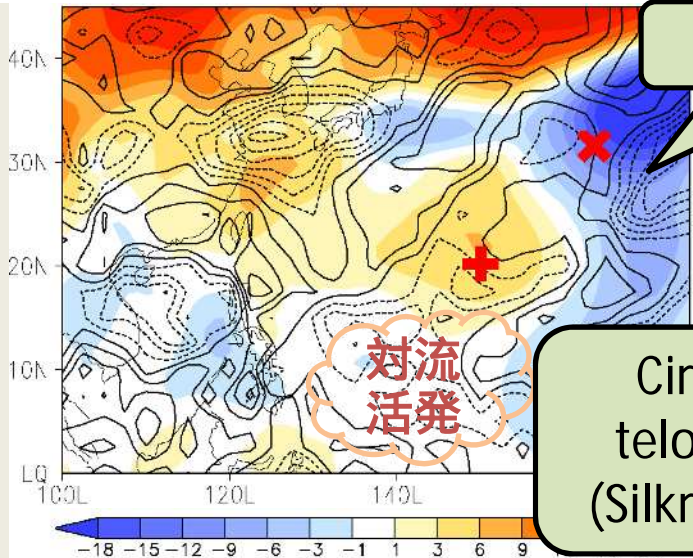
米国気象学会誌紀要第94巻9号(左)、第95巻9号(右) 表紙

2012年梅雨期(6/15-7/15)の気象場の特徴

水蒸気フラックス・発散(JRA25)



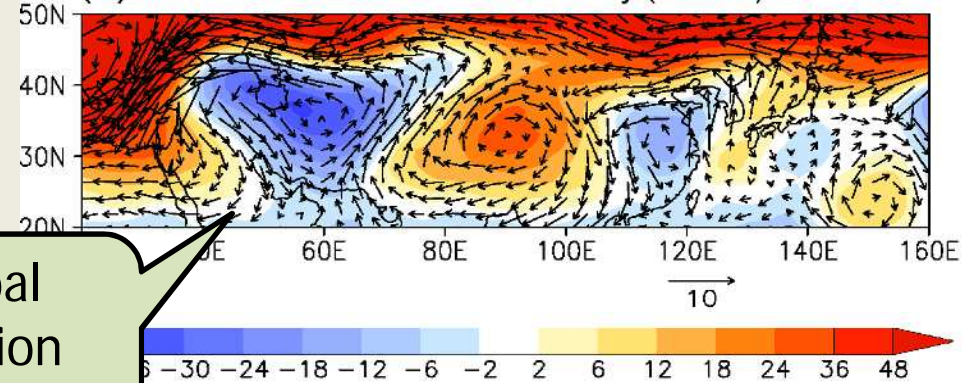
Z500(色)・OLR(線)偏差(2012年梅雨期)



2012 PJ pattern

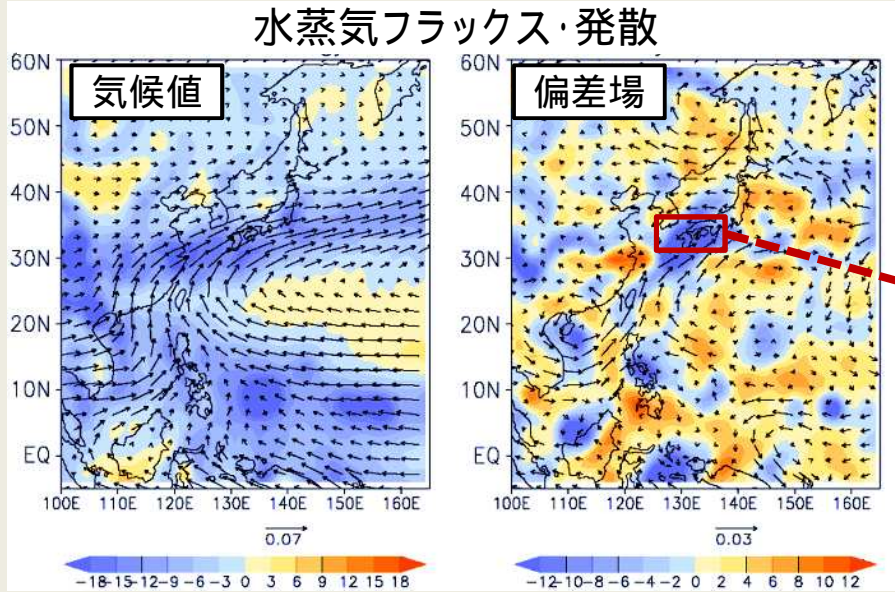
Circumglobal
teloconnection
(Silkroad) pattern

Z500 & wind200 anomaly (JRA25)

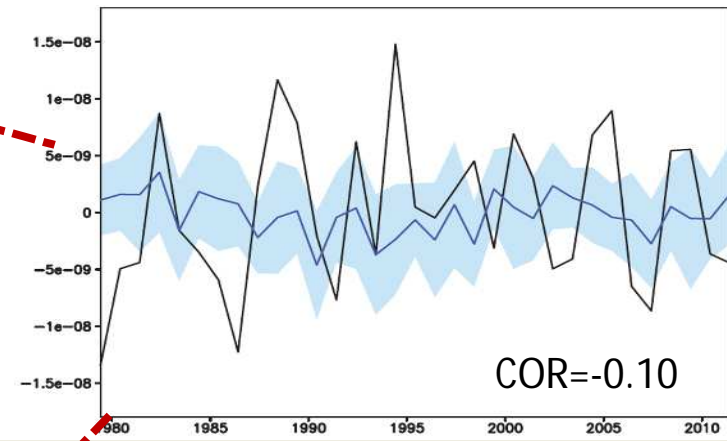


モデルバイアス

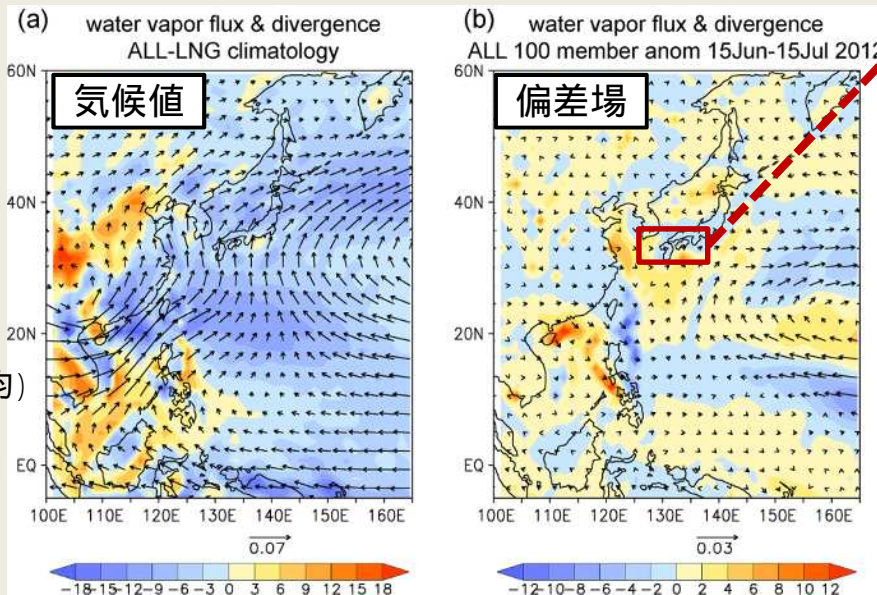
JRA25



九州周辺の梅雨期の
水蒸気フラックス発散量
MIROC5 AMIP 10本の結果



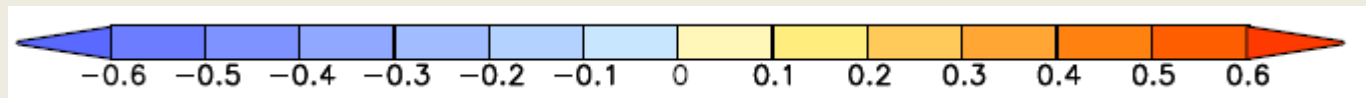
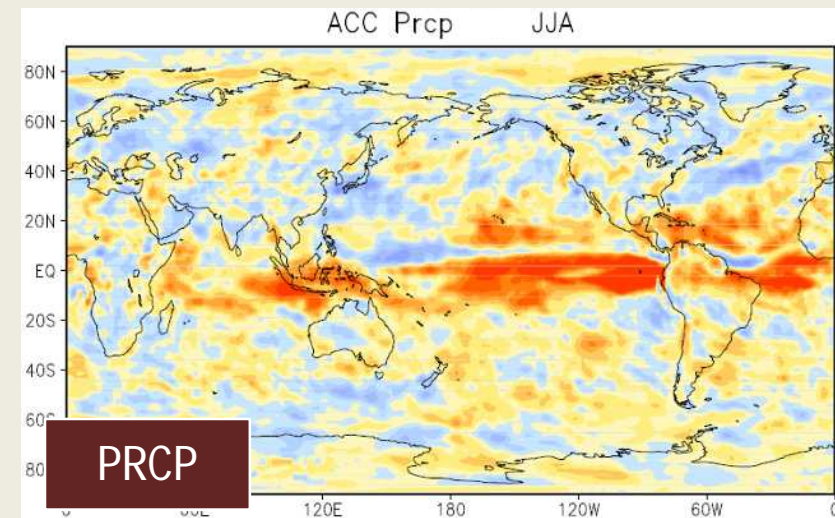
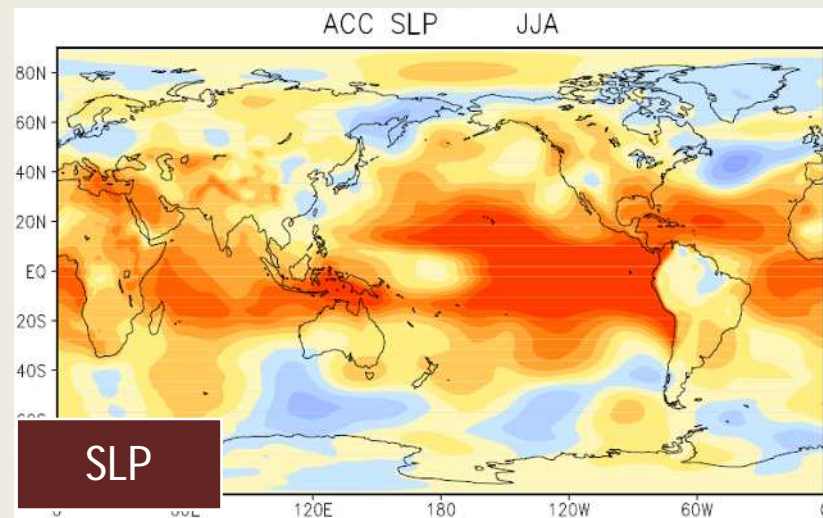
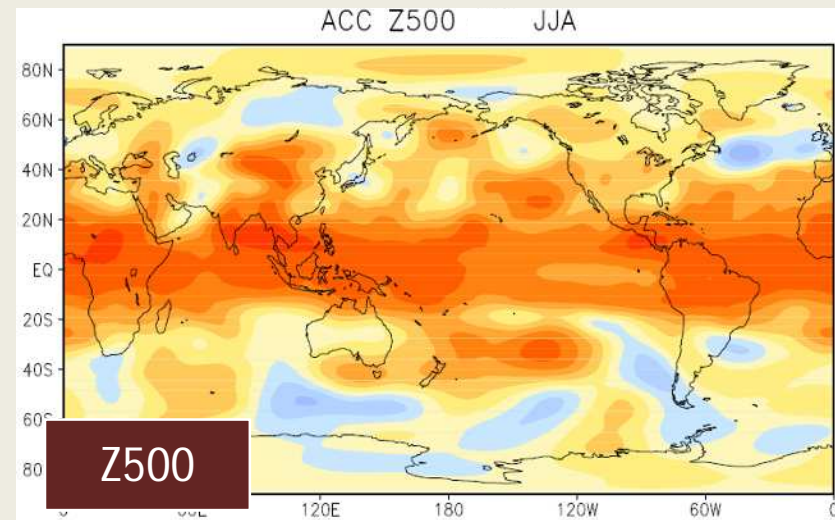
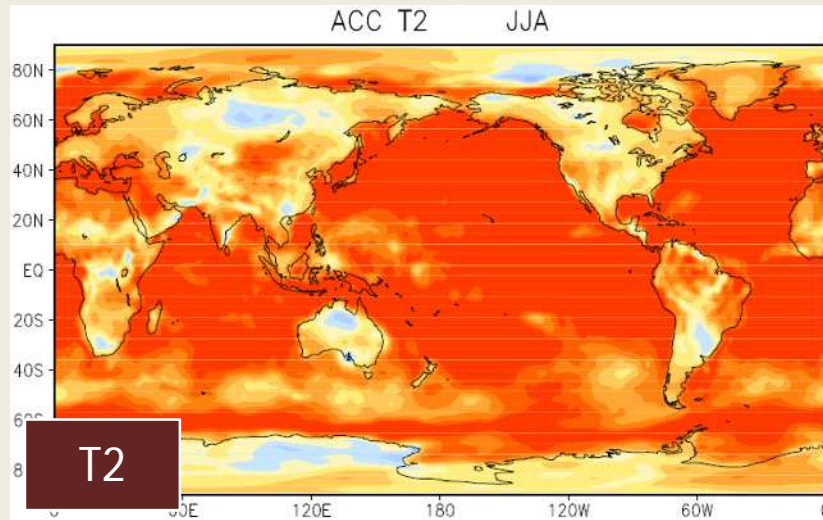
MIROC5
AGCM
(100メンバー
アンサンブル平均)



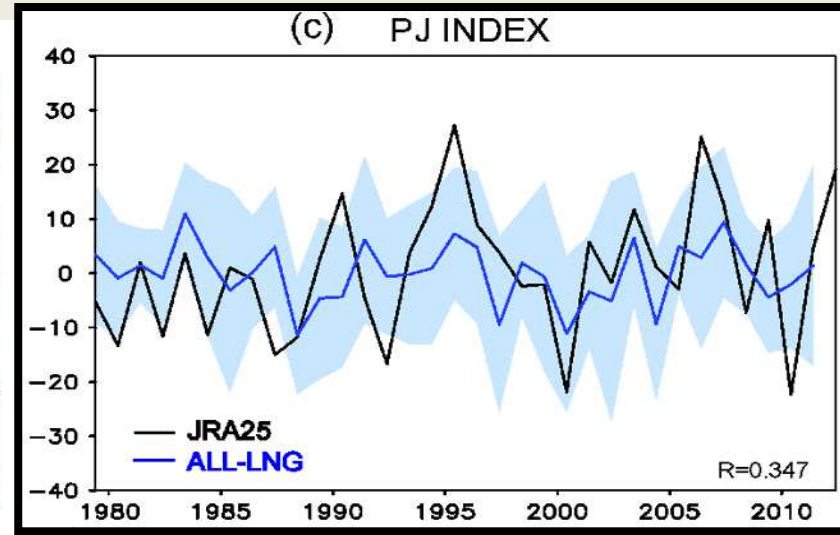
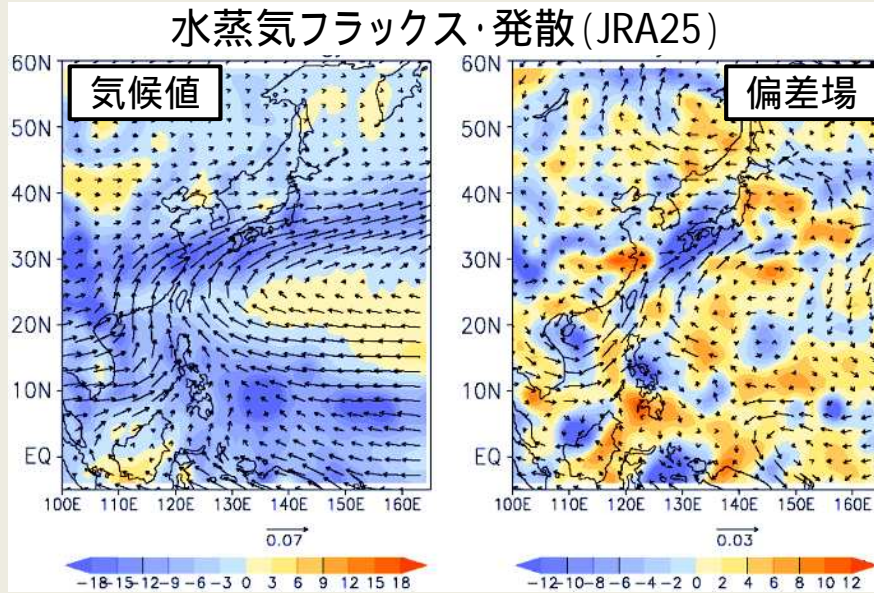
- モデルは水蒸気収束を再現できていない
- ただPDFを描けばいい訳ではなく、モデルの再現性や背景の物理プロセスを十分に検証する必要がある

Reproducibility of ALL-LNG run

Anomaly Correlation Coefficient between ALL-LNG (10-member) and OBS (JJA)



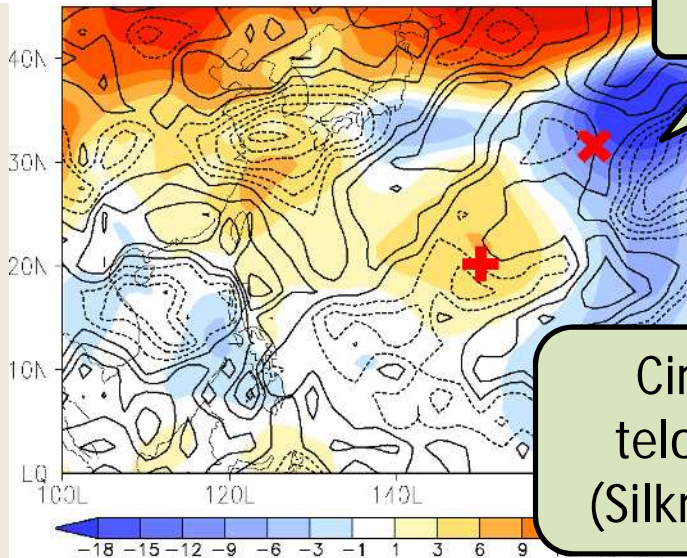
2012年梅雨期(6/15-7/15)の気象場の特徴



Responses to SST

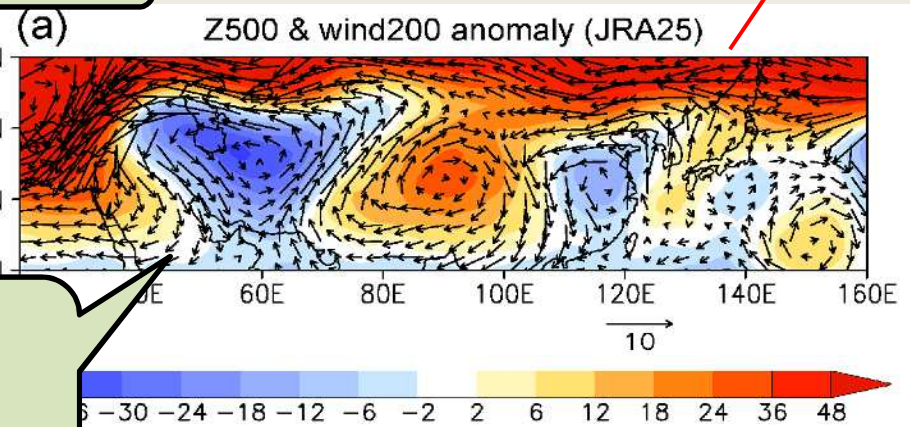
Atmospheric internal mode
(Kosaka et al. 2009)

Z500 (色)・OLR (線) 偏差 (2012年梅雨期)



2012 PJ pattern

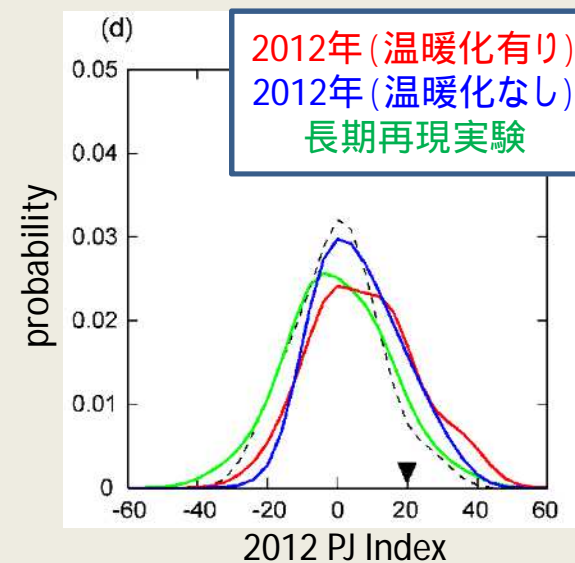
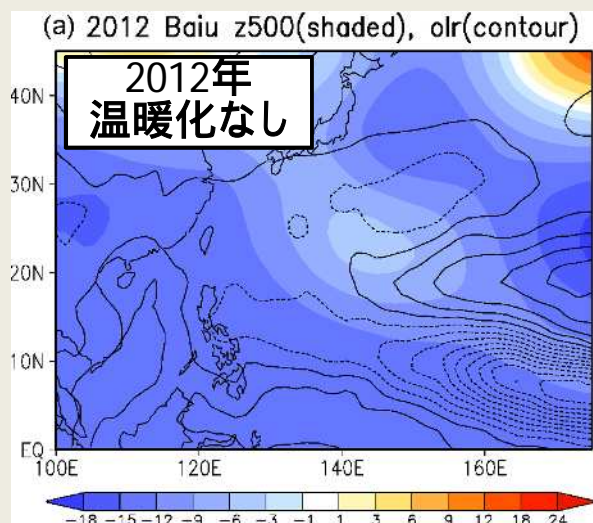
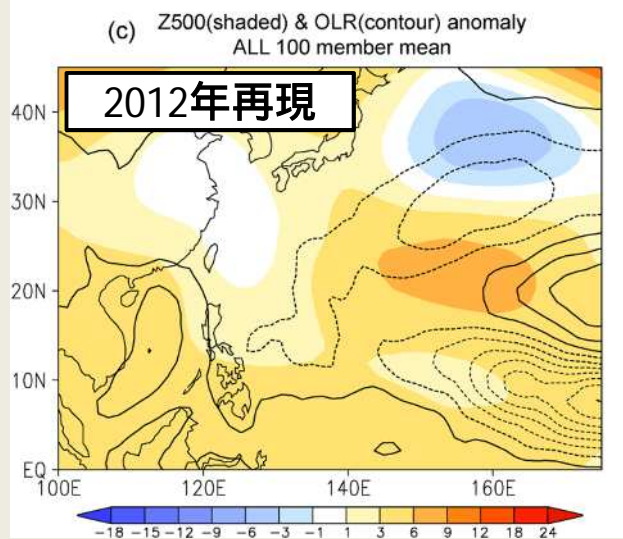
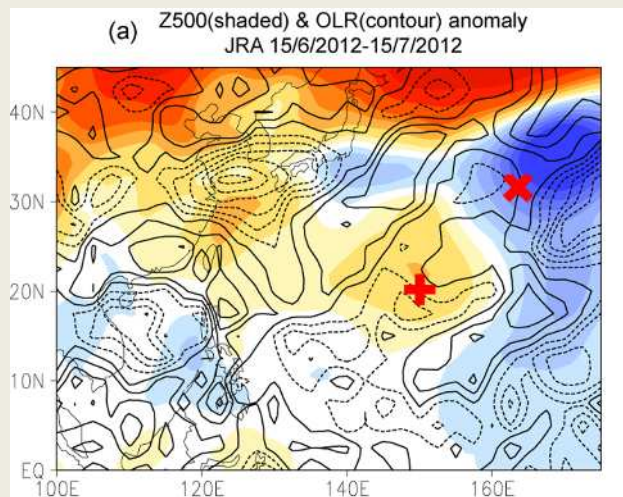
Circumglobal
telconnection
(Silkroad) pattern



2012年7月 九州北部豪雨に対する地球温暖化の寄与

※モデルの再現性が見極めがEAの鍵

- SSTに対する応答:
 - 温暖化なし実験においてもPJパターンが現れている (= 内部変動の寄与)
 - 再現実験の方が極値の発生頻度が(若干)高い (= 温暖化の寄与)



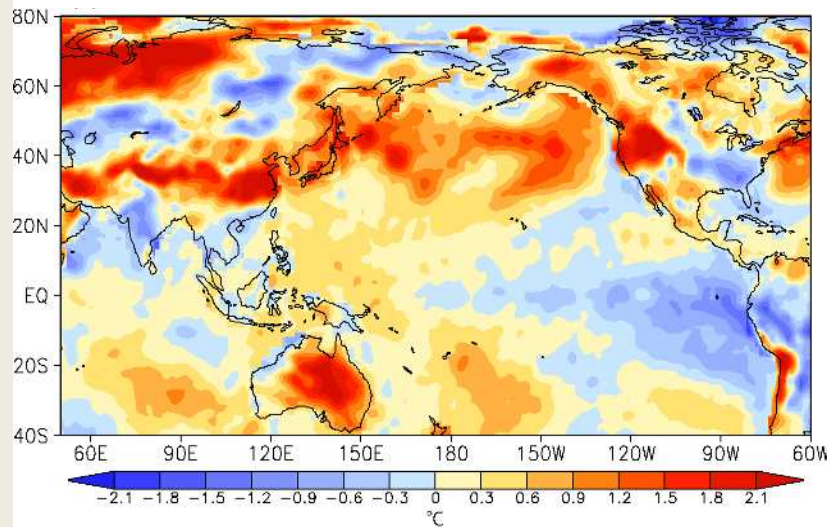
Kusunoki et al. 2006: 温暖化に伴う太平洋高気圧の強化

Imada et al. 2013

2013年7-8月の気象場 (JRA25偏差場)

Warmer SST in the north Pacific

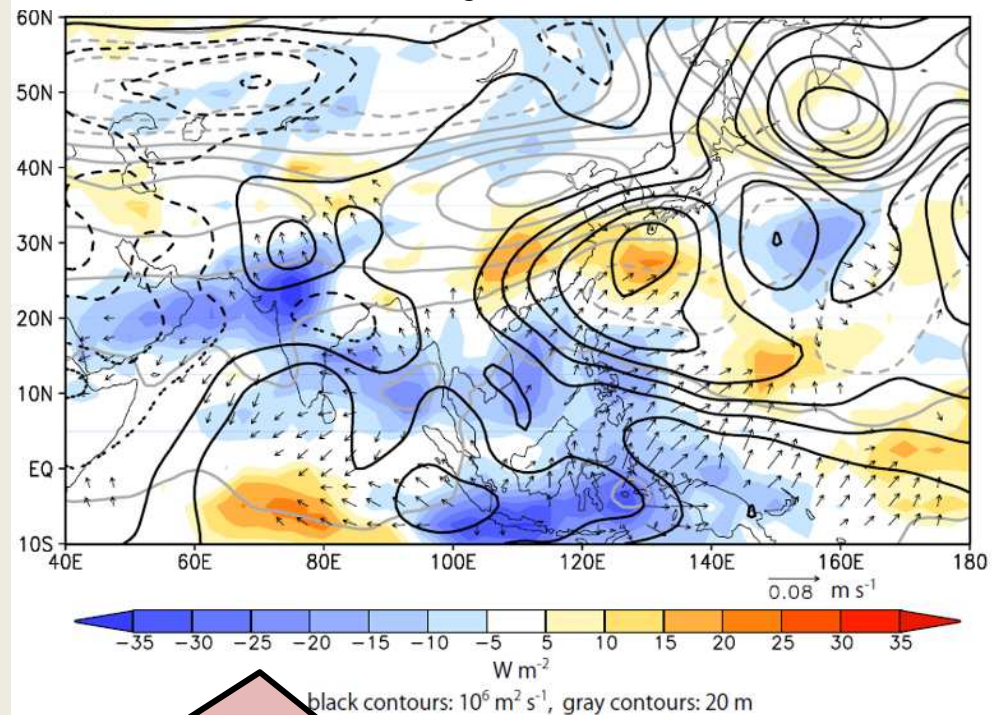
Surface Air Temperature (SAT) - JRA25 [land]
SST - HadISST [ocean]



La Nina-like condition

Double high pressure systems

OLR (shading), PSI850 (black contour), Z200 (gray contours),
200hPa divergence flow (arrows)



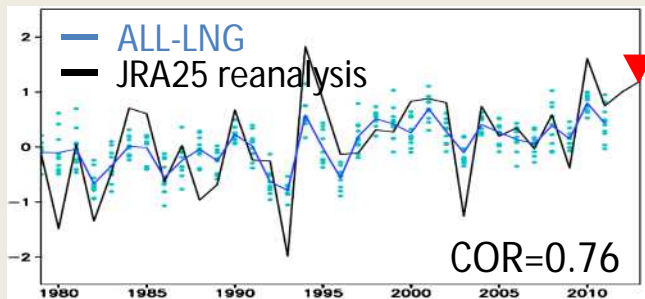
Active convection in Indonesia,
Philippines, Asian monsoon regions

Event Attribution by MIROC5

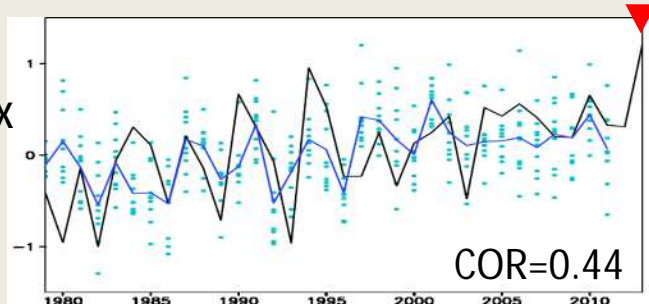
MIROC5 AGCM (T85L40)

		ALL	NAT1	NAT2	ALL-LNG
Boundary conditions	External Forcing	RCP4.5	preindustrial	preindustrial	20C+RCP4.5
	SST sea ice	HadISST	A liner trend based on HadISST (1870 to 2012) is removed (Christidis and Stott 2014)	Changes detected from the CMIP5 historical runs are removed (Daithi 2013)	HadISST
Ensemble size		100	100	100	10
Period		Jul-Aug 2013	Jul-Aug 2013	Jul-Aug 2013	1946-2011

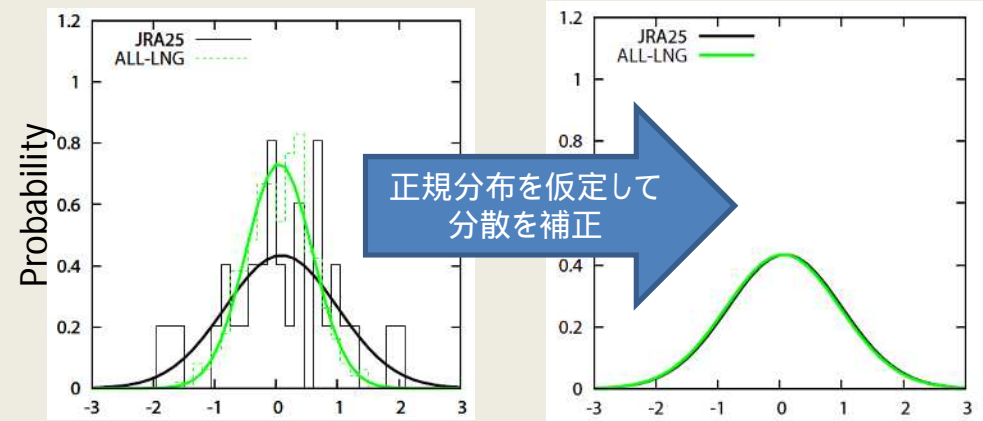
SAT Index
(western Japan land area)



T850 Index
(130E-140E, 30N-37N)



For validation

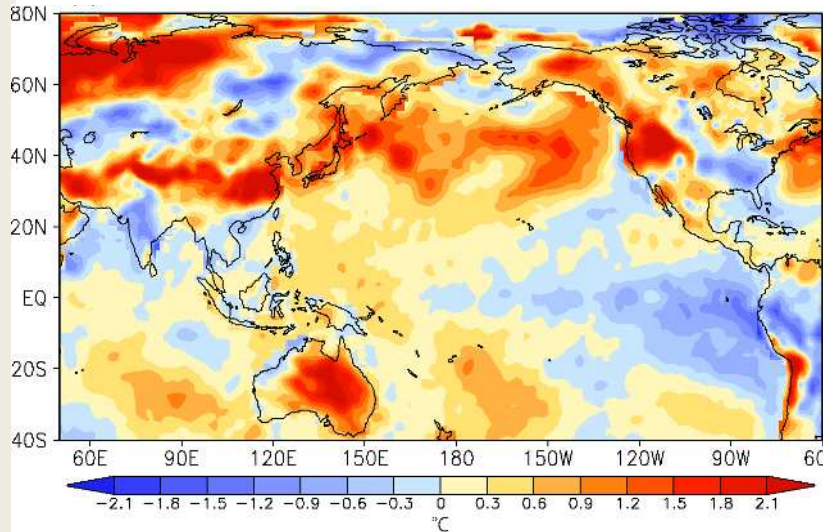


SAT anomaly @ Japan (Jul-Aug) [K]

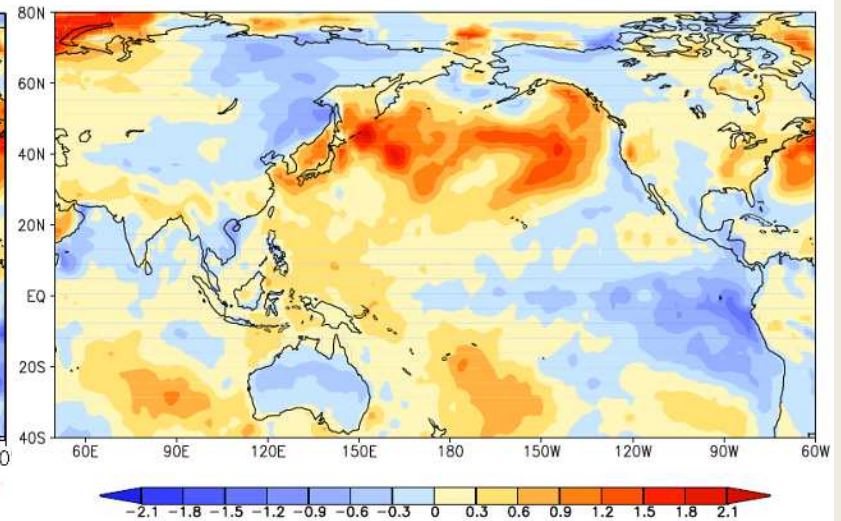
2013年7-8月偏差場のモデルによる再現

SAT

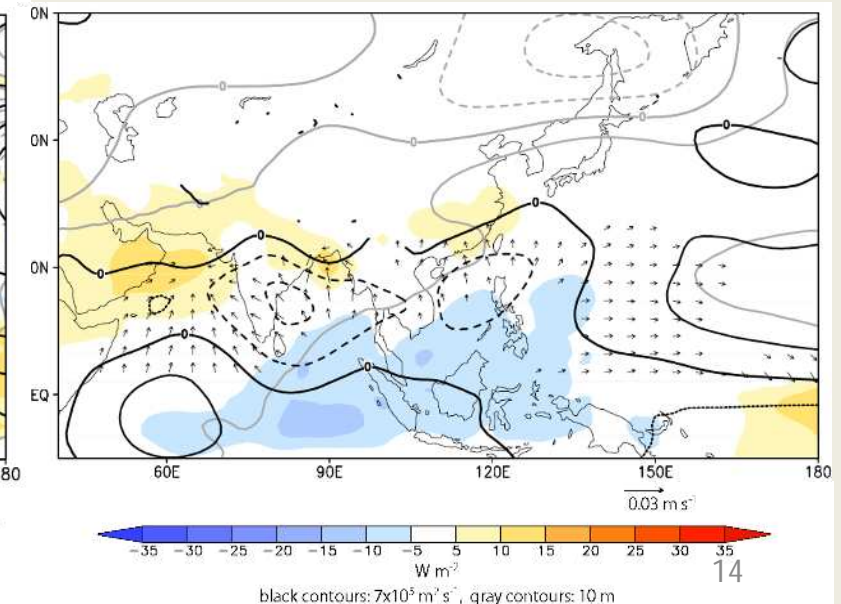
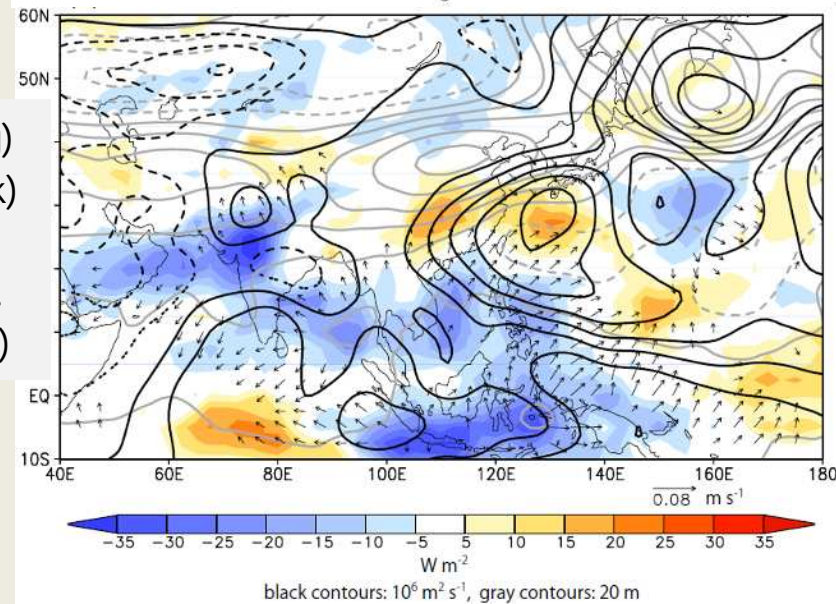
SAT (JRA25, land) & SST (HadISST)



ALL 100 member



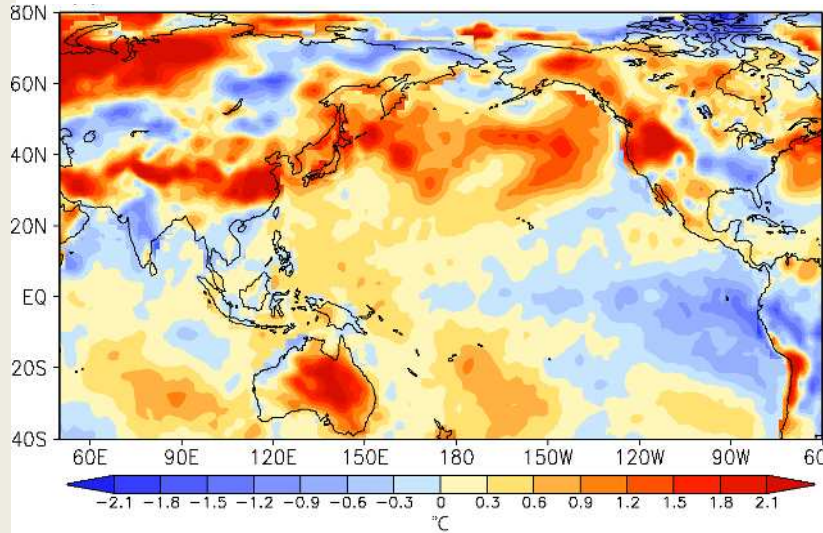
OLR (shading)
PSI850 (black)
Z200 (gray)
200hPa Div.
flow (arrows)



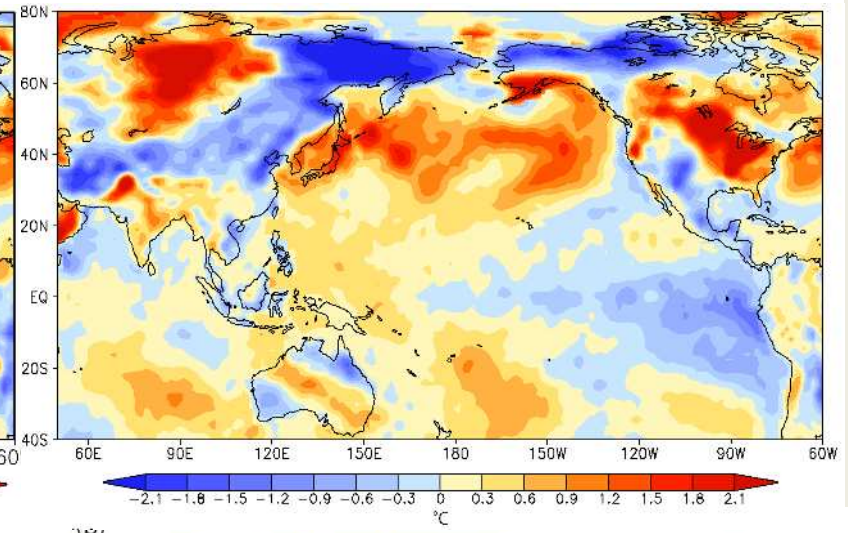
2013年7-8月偏差場のモデルによる再現

SAT

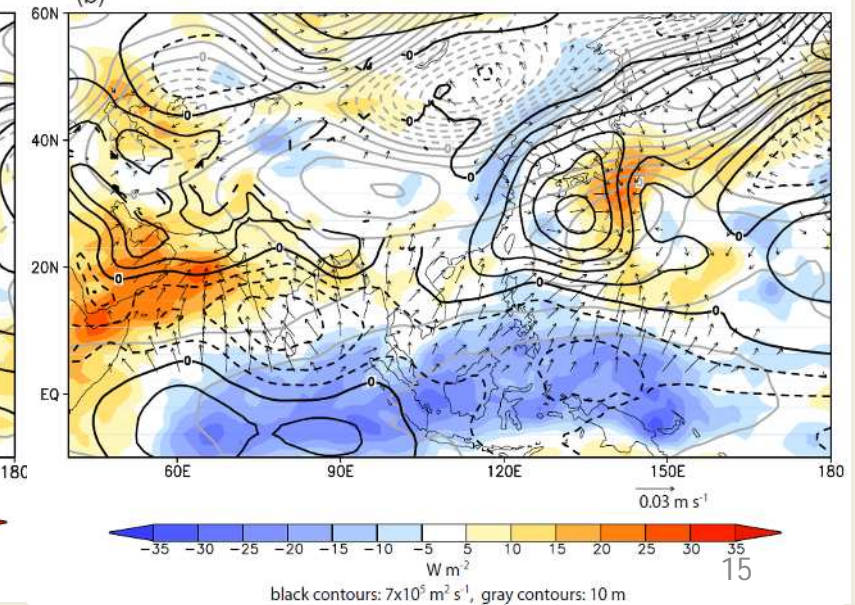
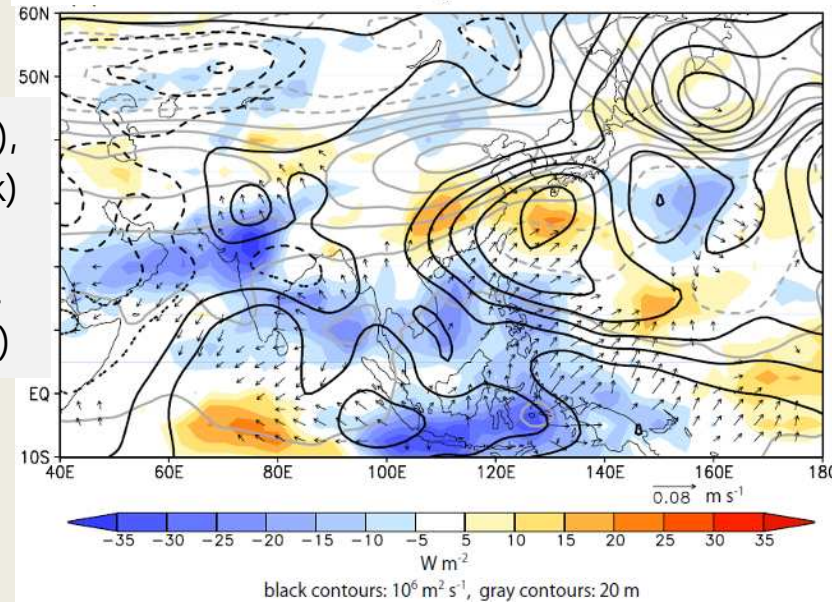
SAT (JRA25, land) & SST (HadISST)



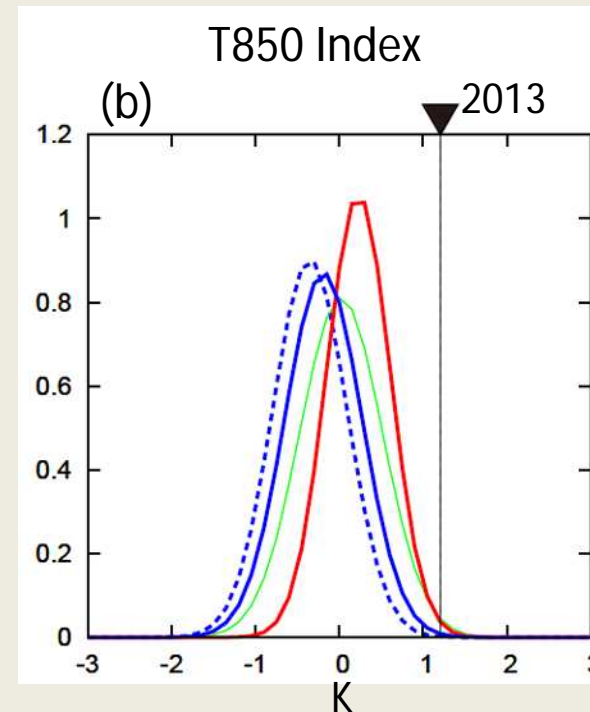
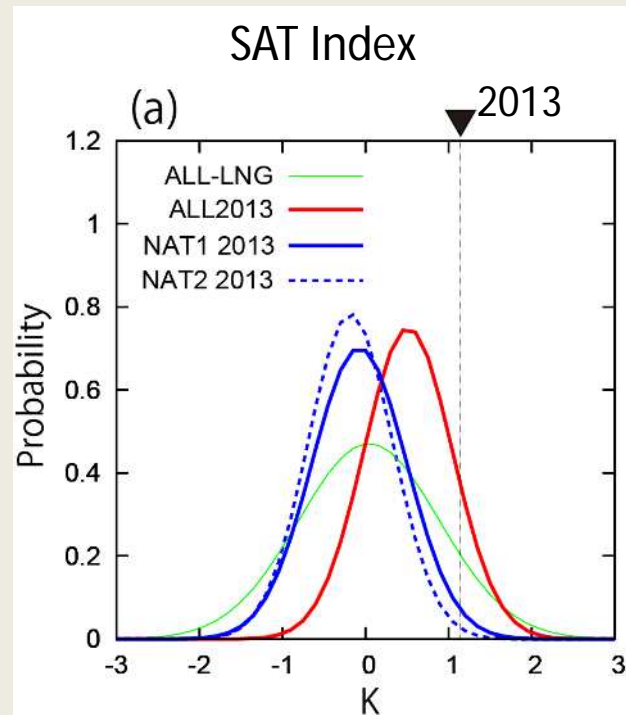
ALL top case



OLR (shading),
PSI850 (black)
Z200 (gray)
200hPa Div.
flow (arrows)



2013年猛暑の発生確率に対する人間活動の寄与



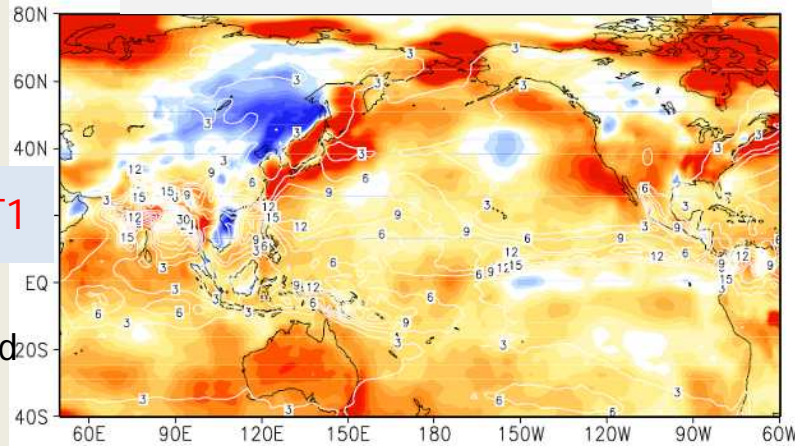
発生確率の差は、自然強制(NAT)実験の設定や指標の選び方に大きく依存するため、様々な境界条件やマルチモデルを用いた不確実性の検証が必要

Probability beyond the 2013 record

	ALL	NAT1	NAT2
SAT Index	12.4%	1.73%	0.50%
		ALLの約1/7	ALLの約1/25
T850 Index	0.26%	0.07%	0.01%
		ALLの約3/11	ALLの1/26

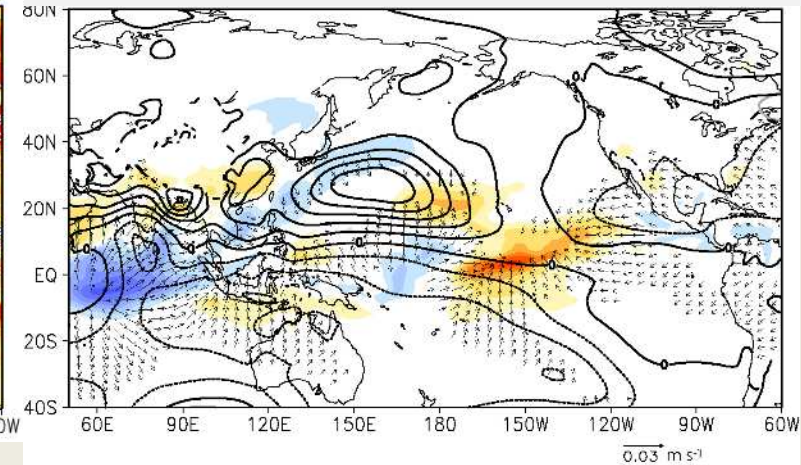
人間活動の背景場への影響 (ALL - NAT)

SAT (land), SST(ocean)

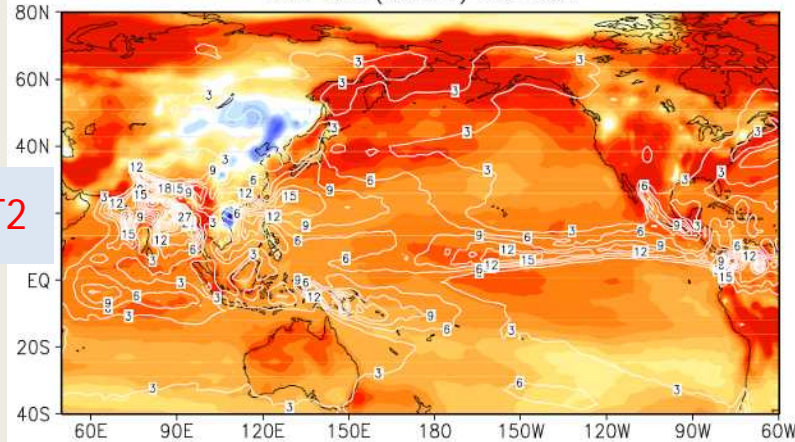


ALL-NAT1
Observed
linear trend

OLR (shading), 850hPa stream function (contour), 200hPa divergence flow (arrows)

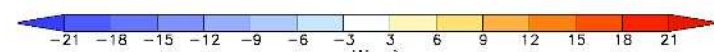
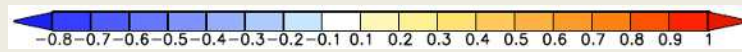
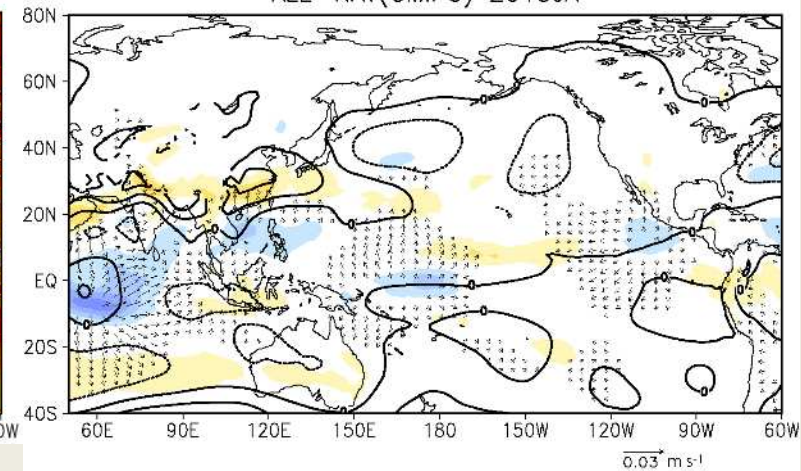


ALL-NAT(CMIP5) 2013JA



ALL-NAT2
CMIP5
warming
pattern

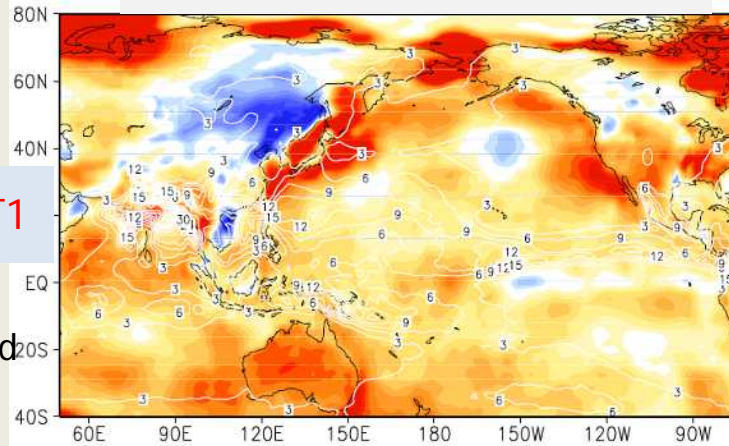
ALL-NAT(CMIP5) 2013JA



contours: $5 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

人間活動の背景場への影響 (ALL - NAT)

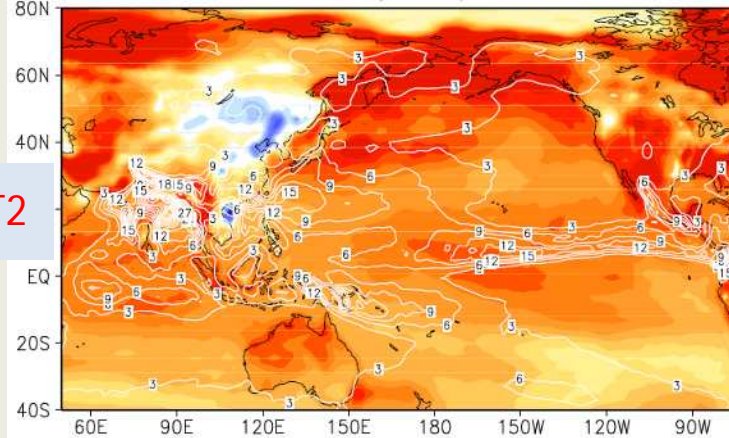
SAT (land), SST(ocean)



ALL-NAT1

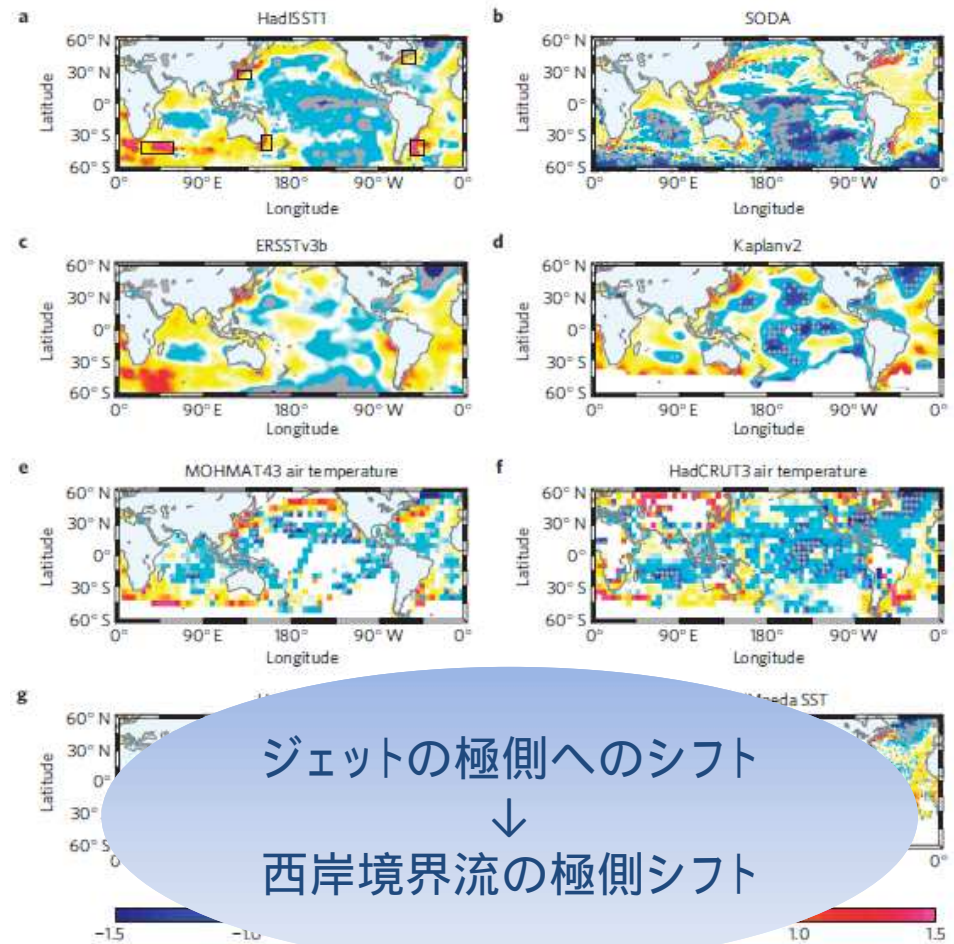
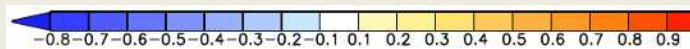
Observed
linear trend

ALL-NAT(CMIP5) 2013JA



ALL-NAT2

CMIP5
warming
pattern



各種データセットによる1900-2008年のSSTトレンド
(全球平均トレンドを除去)

Wu et al. 2012 Nature Climate Change

E/Aの現状と課題

- モデルバイアス
- 非温暖化 (NAT) 実験の設定の不確実性

- イベント発生からE/Aの結果が得られるまでのタイムラグ
 - 社会からの要望はイベント発生直後
 - 現状は、HadISSTの公開を待ってから実験を開始するため数か月遅れ

MRIにおけるイベント・アトリビューション研究計画

気象研究所 5年計画 (H26 ~) 重点研究
「季節予報の高度化と異常気象の要因解明に関する研究」
におけるE/Aの計画

□ MRIモデルによる準リアルタイムE/A実験体制の確立

- 創生Aとの連携
- 国際協力

□ 新規性 (MRIの強み)

- ダウンスケーリング
- 高次のモーメントの議論
- 十年規模変動

準リアルタイムE/A実験体制の確立

□ 現行のE/A研究が抱える課題

- 解像度、モデルバイアス、非温暖化実験の不確実性、HadISSTの間違ったトレンド、社会のニーズとのタイムラグ

...

□ MRI-AGCM(60km)で100メンバーのE/Aを目指す

- より高解像度で日本域の再現が良いモデル
- 気象庁SSTを利用して準リアルタイム化を実現

□ IDAGグループとの協力

- WCRP Climate Variability Programme's Climate of the 20th Century Project (C20C+) - モデル相互比較プロジェクト

□ BAMS異常気象レポートへの貢献

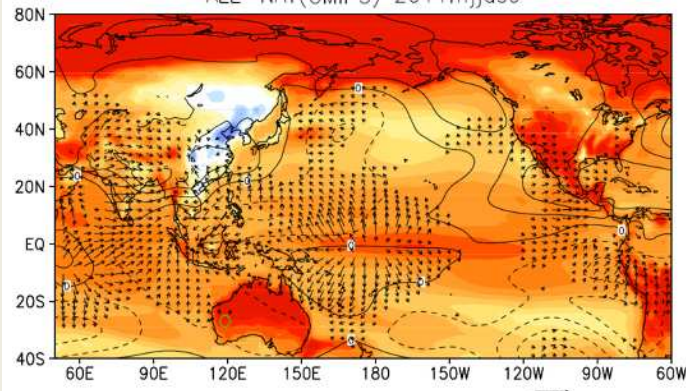
非温暖化実験の不確実性

ALL-NAT (2011年5 - 10月時点のトレンド)

色 : SAT
線 : Z850
矢印 : div200

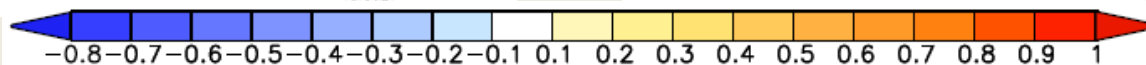
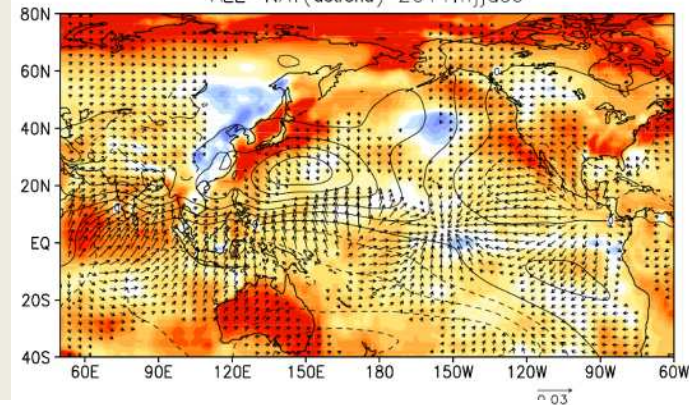
CMIP5マルチモデル

ALL-NAT(CMIP5) 2011mjjaso

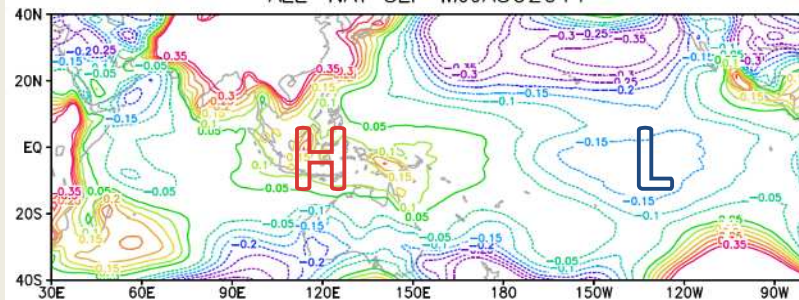


HadISST線形トレンド

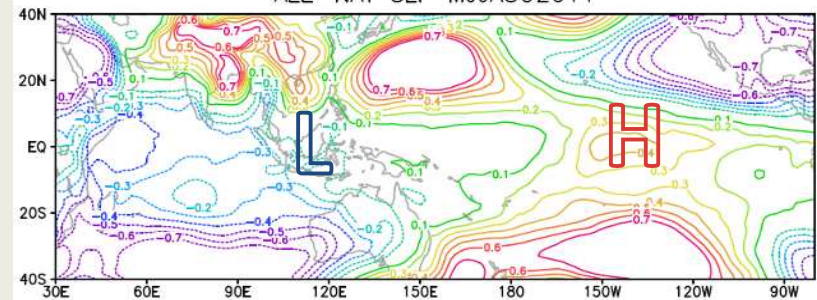
ALL-NAT(detrend) 2011mjjaso



ALL-NAT SLP MJJASO2011



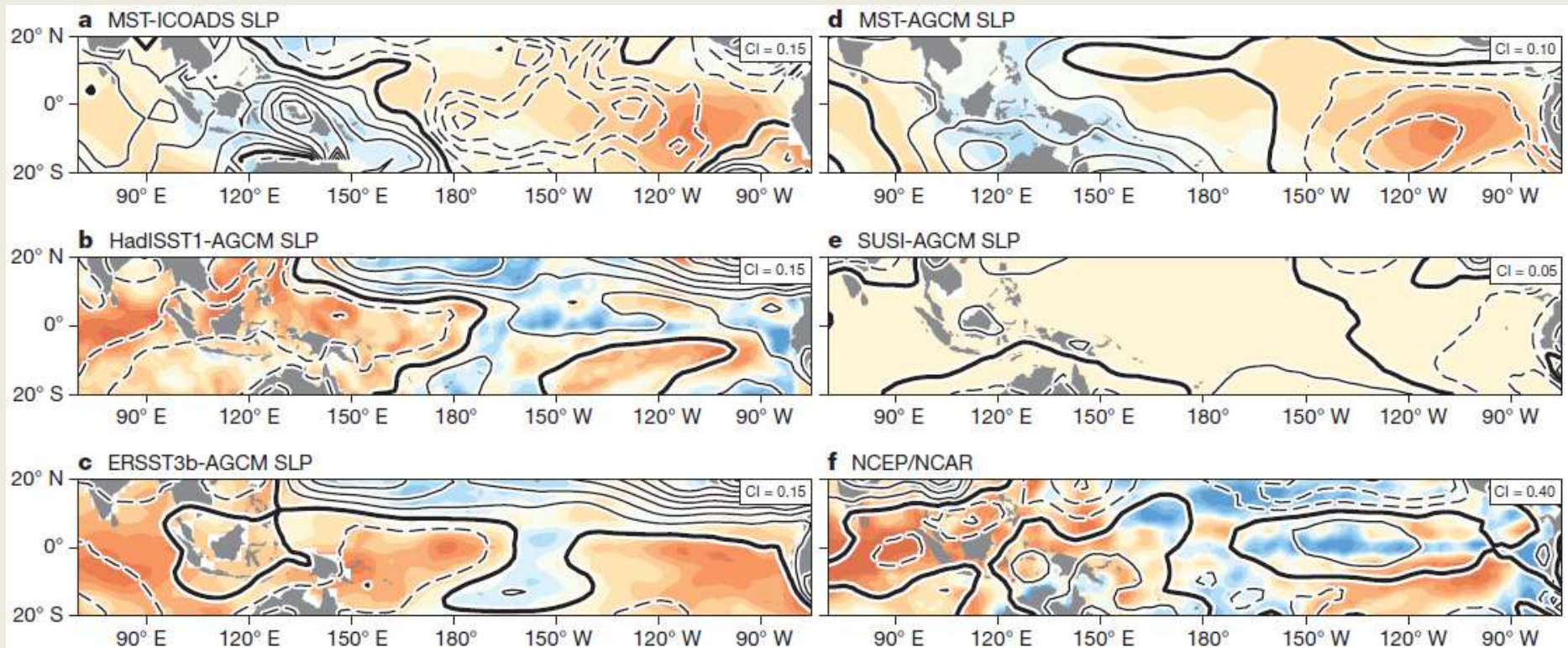
ALL-NAT SLP MJJASO2011



HadISSTの間違ったトレンド

Tokinaga et al. 2012 Nature

HadISST1やERSST3Bはデータ同化で欠損値を埋める際に偽のトレンドが入っているため、観測点のみのデータを用いた場合でAGCMを駆動した場合と比較するとWalker循環の長期的応答が逆になる



トレンドが間違っていないデータ
準リアルタイムで入手可能なデータ



気象庁COBE-SST

WCRP Climate Variability Programme's Climate of the 20th Century Project (C20C+)

Institution	Model
LBNL (USA)	CAM5.1-2degree, CAM5.1-1degree, CAM5.1-0.25degree
MGO (Russia)	MGO AGCM3 (T42L25)
MOHC (UK)	HadGEM-3A-N96, (HadGEM-3A-N216?)
NIES (Japan)	MIROC5
UCT (South Africa)	HadAM3-N48, HadAM3P-N96
UC Davis (USA)	WRF-CAM5.1-1degree

By Daithi Stone (LBNL)

First contributions to the C20C Detection and Attribution Project (<http://portal.nerdc.gov/c20c>)

新規性・MRIの強み

- NHRCMによる力学的ダウンスケーリング
 - 台風や豪雨
 - 創生C(気象研・環境応用)との連携
- 統計的ダウンスケーリング
- 高次のモーメントの議論
 - 極端事象の発生確率の変化を2次以上のモーメント(PDFの形)の変化で議論
 - 創生C(防災科研・統計数理研)との連携
- 太平洋十年規模変動と日本の異常気象の関係
 - 創生Aとの連携

E/Aの国内・国外の動向

EAに関する国内の動き

- 文科省創生プロジェクト テーマAがメイン(塩竈、東大 AORI渡部、木本)
- ES3特別推進課題にて、文科省創生プロジェクト テーマA, C, Dが連携して100年100アンサンブル過去・将来実験 + ダウンスケーリングを計画(AORI木本、MRI高藪、DPRI中北)
- 文科省創生プロジェクト テーマC, D, AがTyphoon Haiyan 実験を実施(MRI高藪、DPRI竹見、森、NIES塩竈)
- S10で、農業影響評価研究者へのEA実験データ提供
- 気象庁気象研究所、5年間のEAプロジェクト(MRI釜堀, 今田)

EAに関する国際的動向

国際

- Weather@home (<http://www.climateprediction.net/weatherathome/>)
 - Oxford大学のMyles Allen
 - RCMを用いて世界のいろいろな地域のEA実験を行う。欧州、米国西部、南アフリカ、豪州 & ニュージーランド、南西アジア、アフリカ、東アジア(これから)
- EU-FP7, EUCLEIA (EUropean, CLimate and weather Events: Interpretation and Attribution) <http://eucleia.eu/>
 - UKMOのPeter Stottが主導。
 - パブリックコミュニケーションを念頭に置いたEUのE/Aがメイン。
- World Weather Attribution program (US) <http://www.climateprediction.net/new-project-with-climate-central-world-weather-attribution/>
 - Heidi Cullen (Climate Central)
 - UKMOの季節予測SST & 海氷を用いて、イベント発生前に予めE/Aの実験セットを準備しておくnear-real-time E/Aの実現を目指す
- WCRP Climate Variability Programme's Climate of the 20th Century Project (C20C+)
 - Daithi Stone (LBNL)
 - モデル相互比較プロジェクト
- CMIP6に向けては、特にMIPの提案は行わず、有志でモデル比較などを行っていく。

まとめ

- I. MRIモデルによる準リアルタイムE/A実験体制の確立のため、創生Aとの連携や国際E/Aグループへの参加を視野に入れて準備を進めている。
- II. 日本周辺の再現の難しさや解像度の問題については、MRIの強みを生かしてダウンスケーリング等を積極的に取り入れていく。
- III. 将来的には準リアルタイム(イベント発生後1ヶ月前後)のデータ提供を目指す
- IV. E/A実験を応用して、異常気象の発生確率に対する太平洋十年規模変動の寄与や、高次のモーメント(PDFの形)の変化に目を向けたオリジナリティのある研究を目指す。