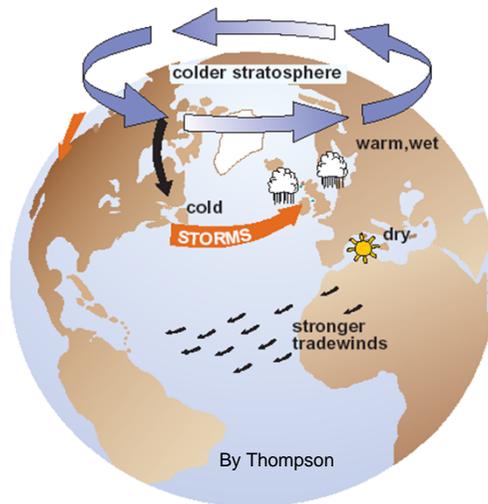


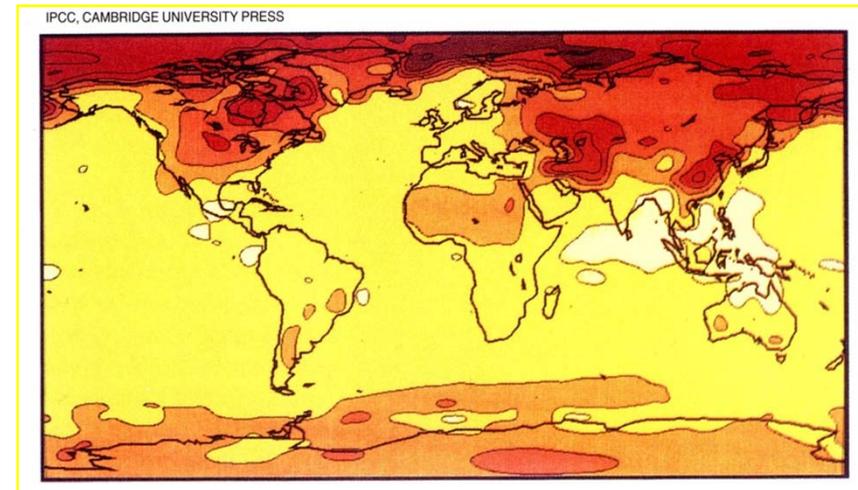
北極域環境研究最前線:

北極がホットになるホットな話題



北極振動

講演者
筑波大学 教授
田中博



地球温暖化

西暦1000年から2100年までの地上気温の変化

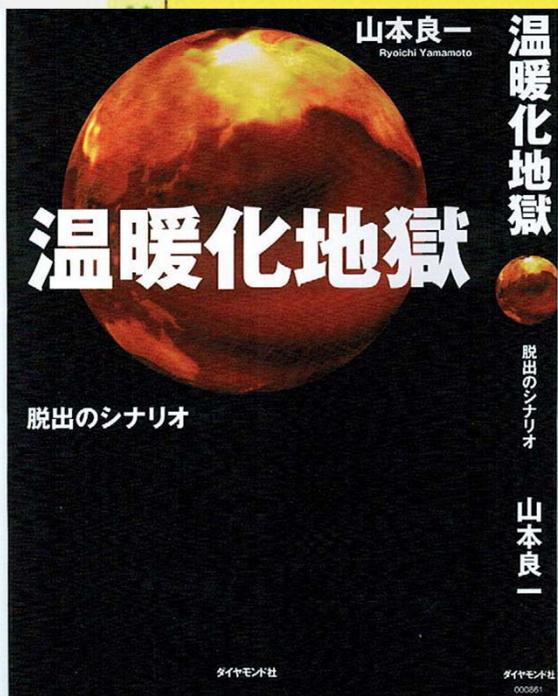
1990年の値を基準とした気温の偏差(°C)

北半球の代替データ復元値

全地球的な観測機器による観測値

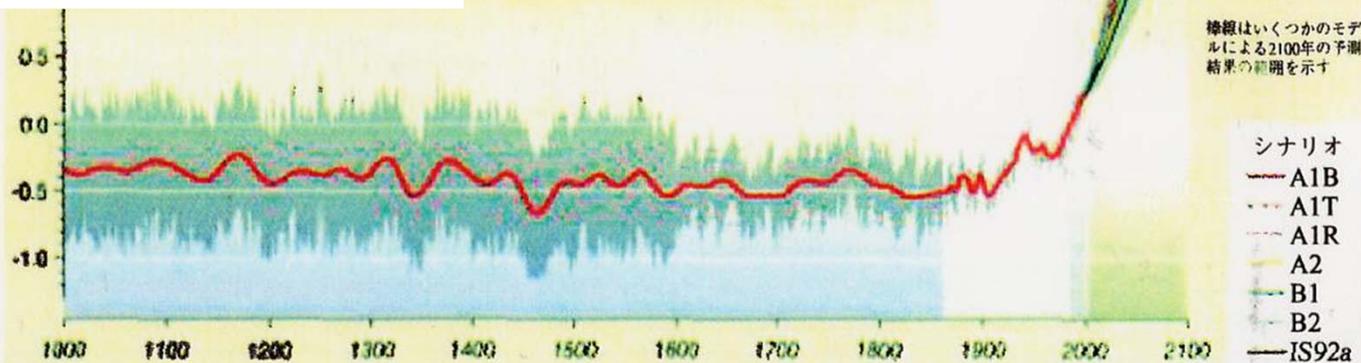
予測値

いくつかのモデルによる全てのSRESシナリオ包絡線



温暖化が2度を超えると、水蒸気で温室効果が暴走し、もう戻れない。地球が金星のようになる。

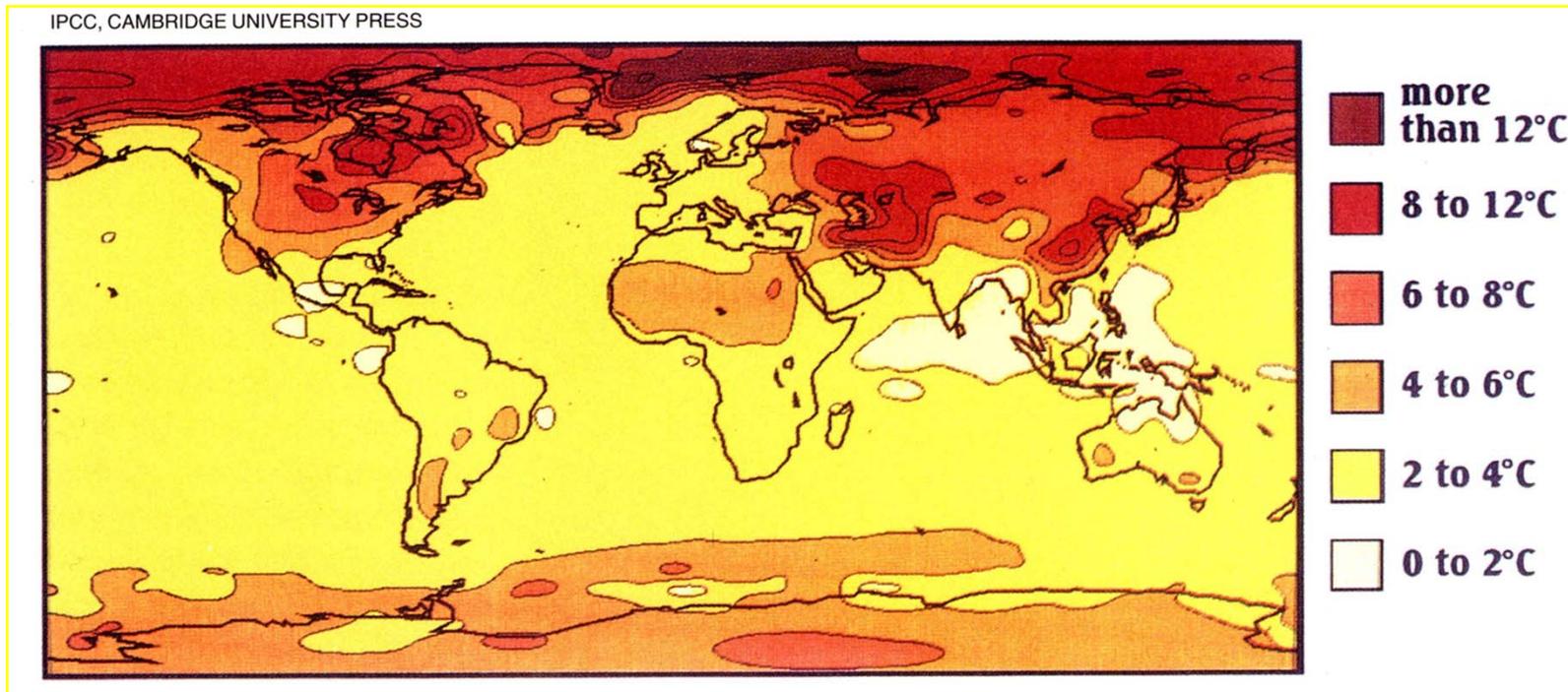
このような扇情的な主張に異議あり



人為起源の地球温暖化

北極域で温暖化が増幅

北極温暖化増幅という



北極温暖化増幅は人為起源の温暖化をアイス・アルベド フィードバックが増幅することで起こる。北極圏は**自然変動**が大きいいため、すべてを人為起源とすることには問題がある。



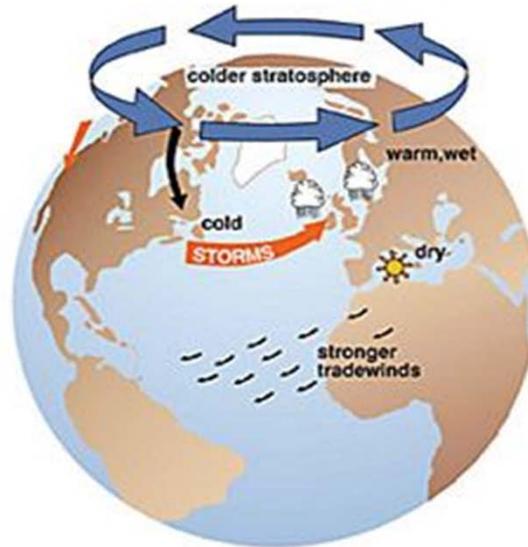
自然変動としての**北極振動**の役割に注目。

北極振動

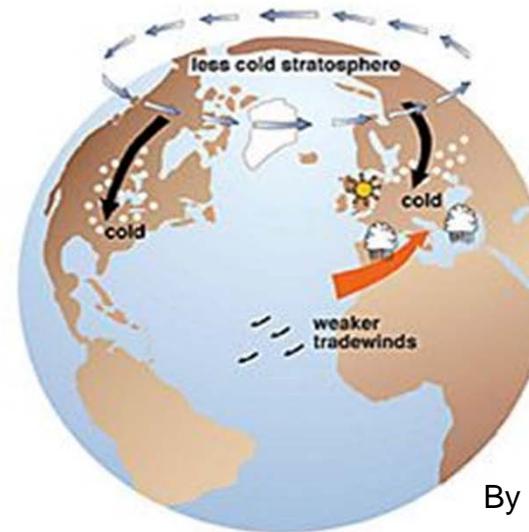
(AO: Arctic Oscillation)

寒帯ジェットの詳細 = 気圧の南北傾度の増減
(Thompson and Wallace 1998)

AOプラス

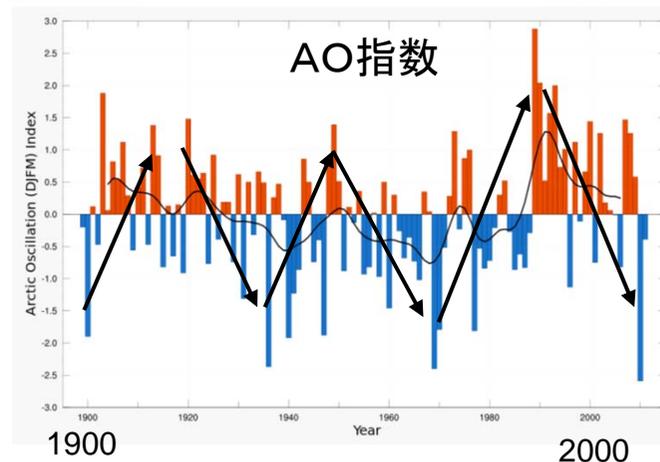


AOマイナス



By Thompson

温暖化が急激に進んだ1970-1990年にAO指数は負から正に変化した。温暖化の空間構造はAOと一致。



1990年以降も温暖化は進行したが、AOは正から負に変化した。海氷が減少し、中緯度に寒波が頻発。

By Quibb

北極振動と日本の異常気象



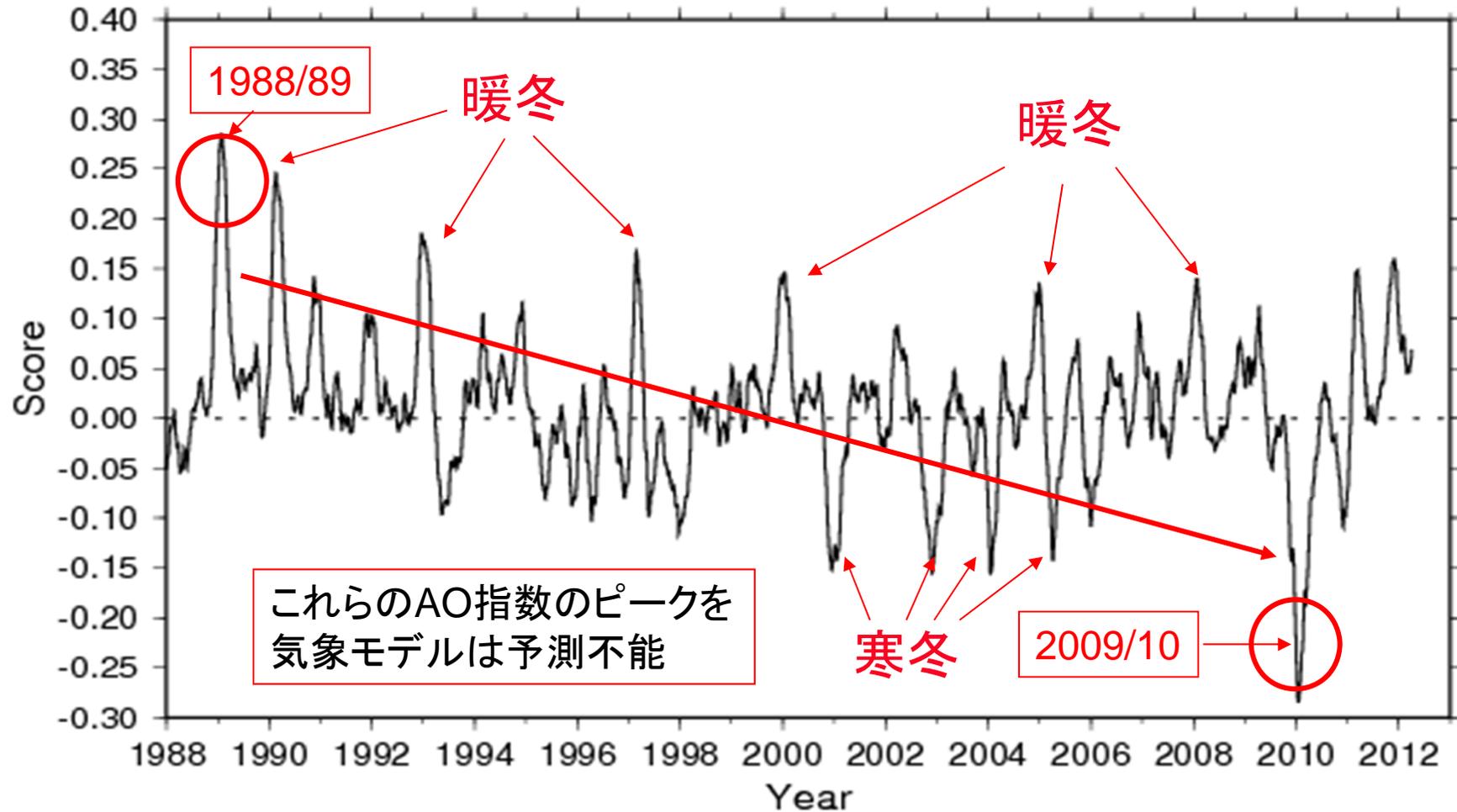
日本暖冬

日本寒冬

1988年以降の北極振動指数

Arctic Oscillation Index (90-day mean)

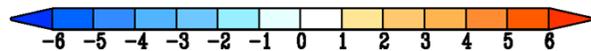
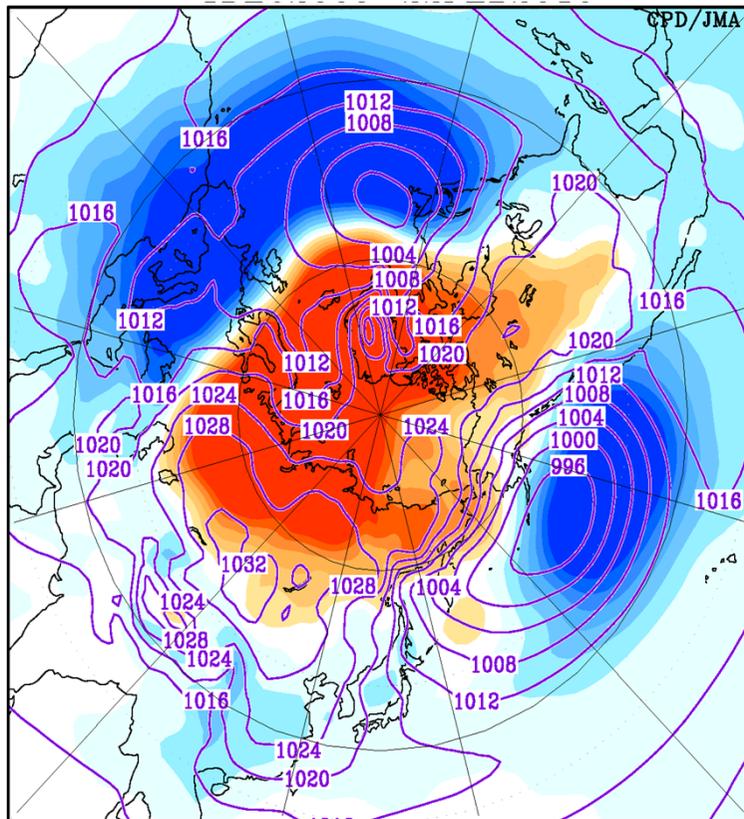
Barotropic Component of the Atmosphere



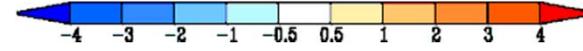
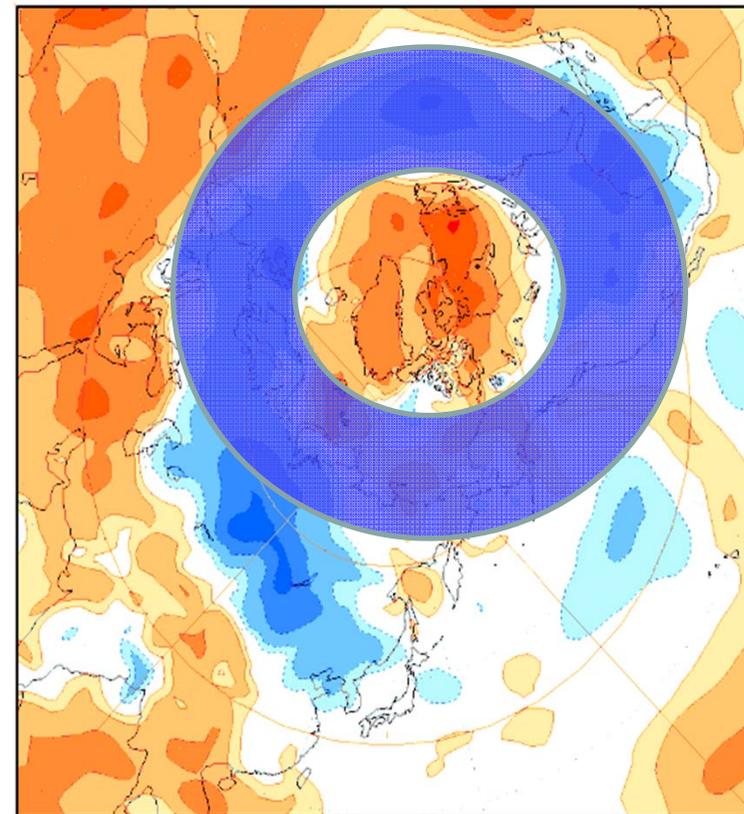
2009/2010冬平均の 地上気圧と地上気温の平年偏差

北極振動 (AO): 北緯60度を挟んで南北に海面更正気圧 (SLP) が逆相関を持つ現象

2009/2010 DJF 気圧



2009/2010 DJF 気温



(気象庁異常気象検討会資料)

北極振動の理論

理論式

理論式を基本場で線形化 x は変数、 f は外力

$$\frac{dx}{dt} = Ax + f \quad A \text{は基本場で決定}$$

定常を仮定した強制応答問題

$$0 = Ax + f$$

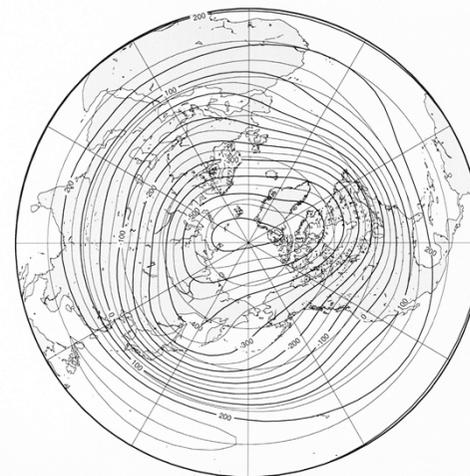
$$x = -A^{-1}f$$

固有の振動解を解く固有値問題

$$\nu x = Ax$$

ここで、 ν は固有値、 x は固有解

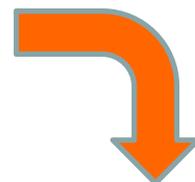
基本場(気候値)



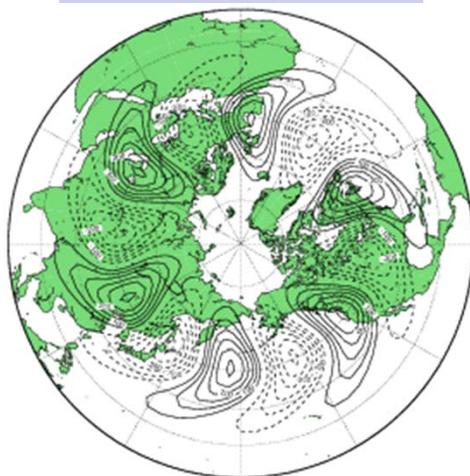
入力



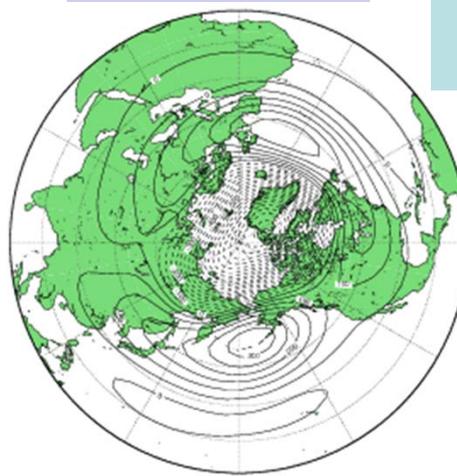
出力



傾圧不安定解



北極振動解

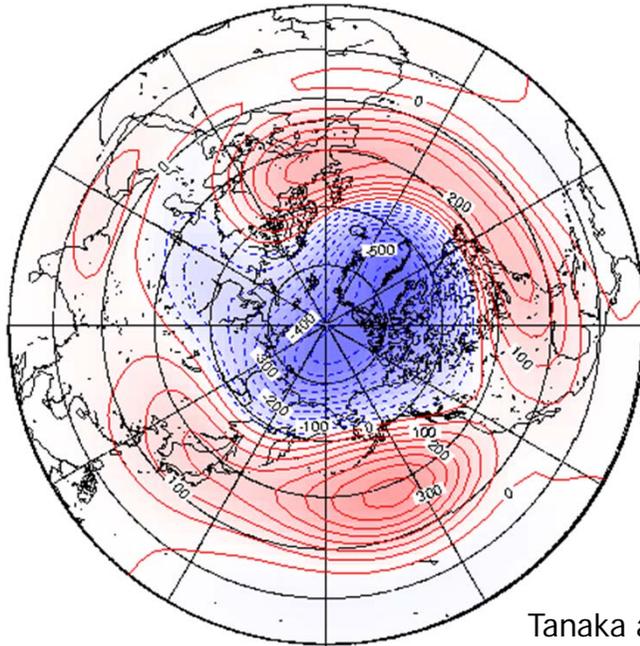


AOプラスと
AOマイナス
の2通りの解
が存在する

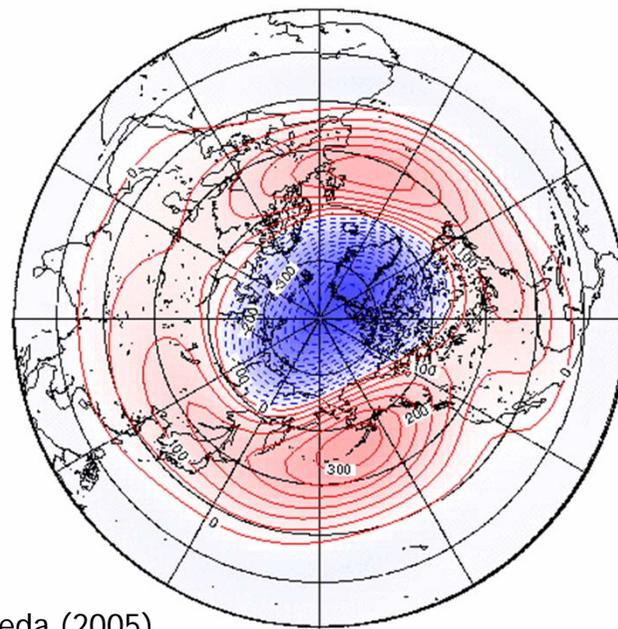
力学モデルによる理論

観測される北極振動は(固有値がゼロの)大気の力学的な固有解である。

北極振動の
観測される構造



北極振動の
特異固有解理論



Tanaka and Matsueda (2005)

- (1) 北極振動は任意の準定常外力に共鳴応答をする内部変動である。
- (2) 周期性はないので任意の長周期で発生。AO指数プラスとマイナス。
- (3) 10年から100年以上の時間スケールの内部変動も存在する。
- (4) ローカルな変動がアイスアルベドフィードバックにより全球に影響。
- (5) 北極振動は北極温暖化増幅をもたらす要因のひとつ。

IPCC-AR4気候モデルのAOパターン

すべてのモデルで卓越する
内部変動パターンは AO

海洋はPDOやAMOで変動
大気は常にAOで変動
AOは力学的固有解だから

MRI

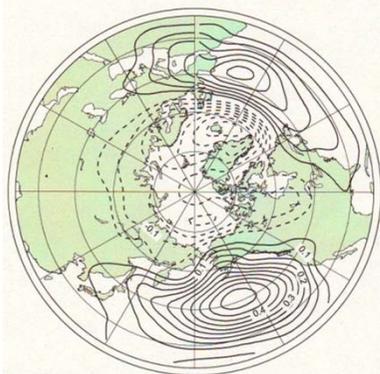
MIROC

NCAR

20世紀

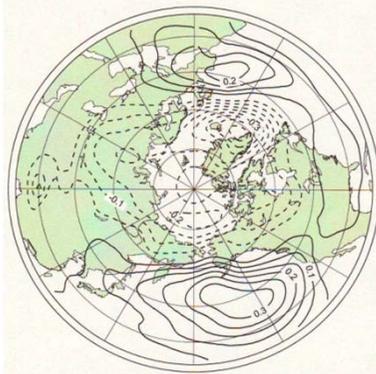
-Internal Variability-

20C Eigenvector (EOF1;38.4%)



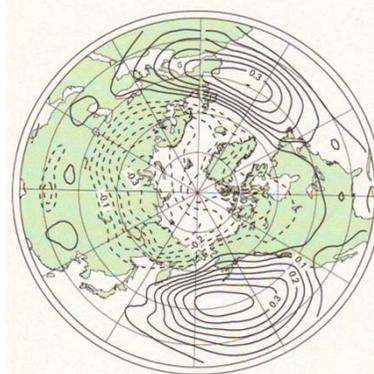
-Internal Variability-

20C Eigenvector (EOF1;40.0%)



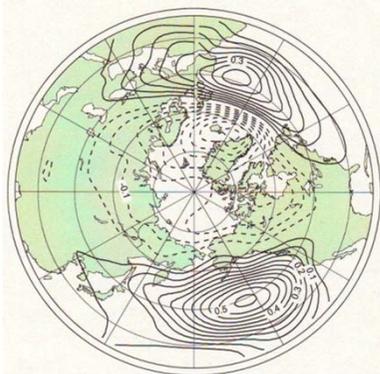
-Internal Variability-

20C Eigenvector (EOF1;37.3%)

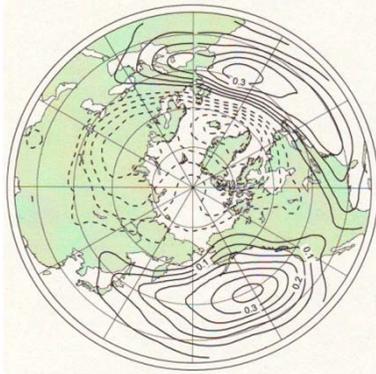


21世紀

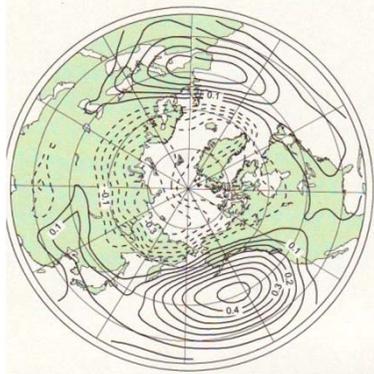
21C Eigenvector (EOF1;44.5%)



21C Eigenvector (EOF1;38.6%)



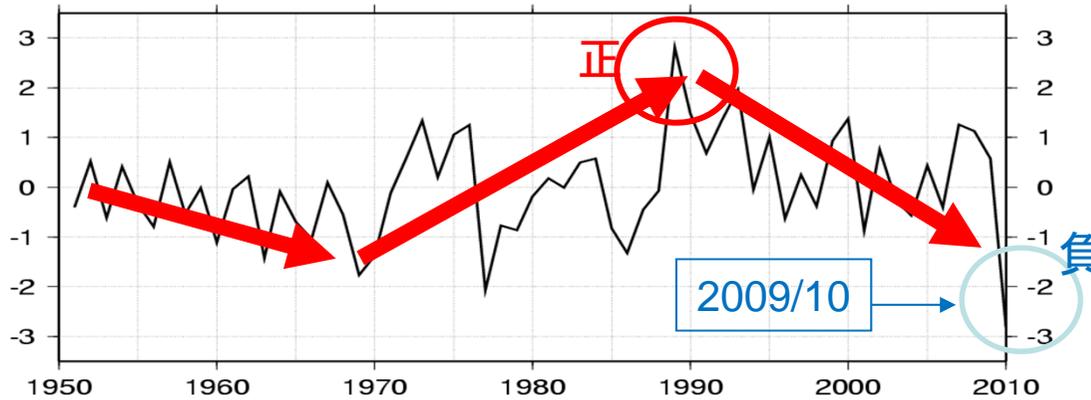
21C Eigenvector (EOF1;38.1%)



(大橋・田中 2009)

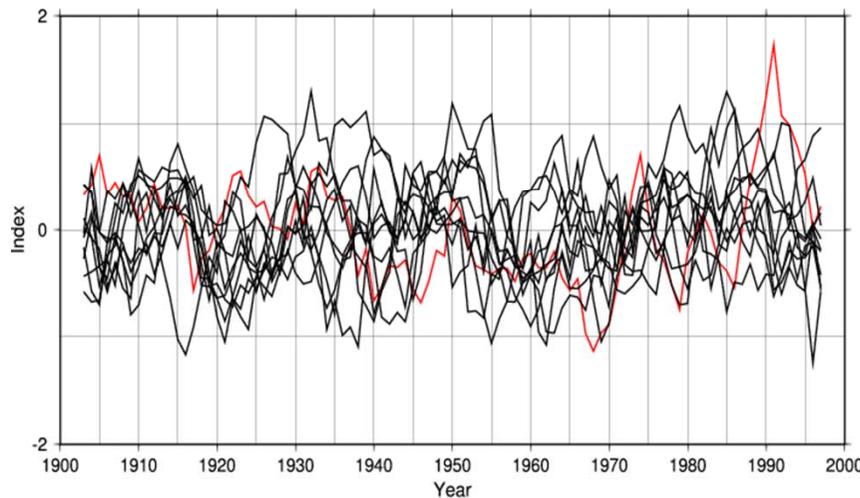
しかし、AO指数の時系列を再現できるモデルはない

AO Index(Sea Level Pressure)



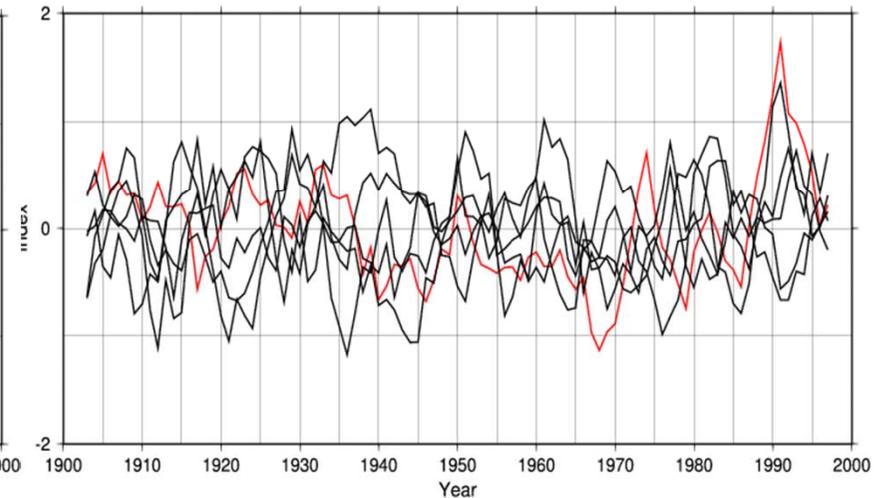
AOは確率変数のひとつのカオス的な内部変動

AOI
IPCC-AR4 10 AOGCMs, HadSLP
(5-year low-pass filter)



10モデルのAOI再現実験

AOI
MRI-CGCM2.3.2, HadSLP
(5-year low-pass filter)

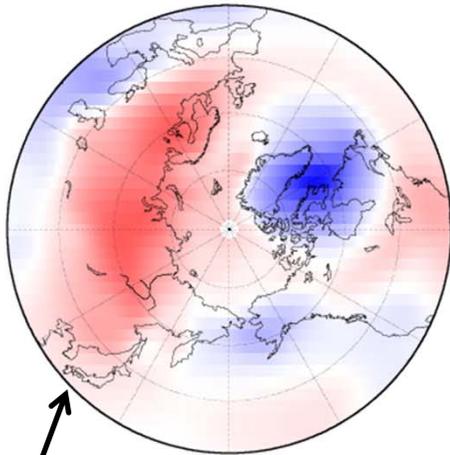


アンサンブル実験のAOI

地上気温の主成分分析

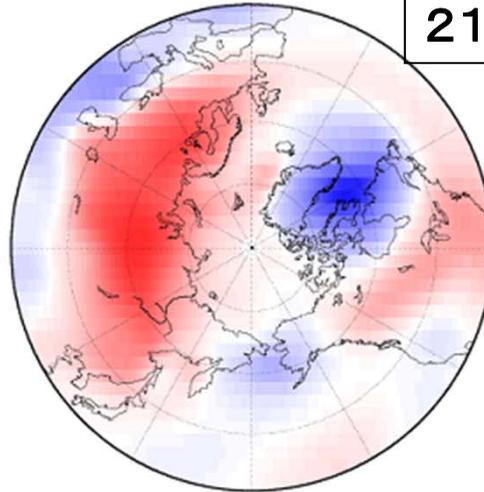
AOパターン

SAT (regression with AOI)
1951-2010 DJF



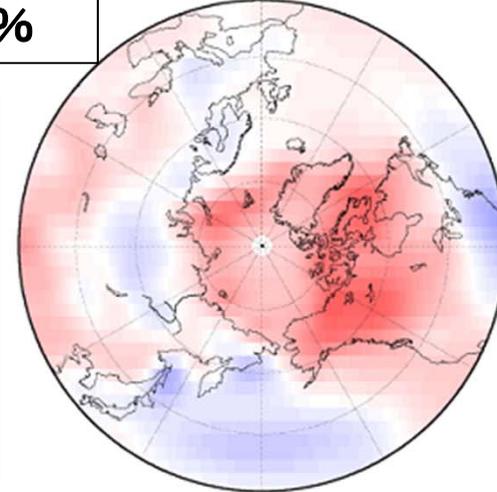
Eigenvector (SAT)
NCEP/NCAR reanalysis
(DJF)
EOF- 1(21.0%)

EOF-1
21%



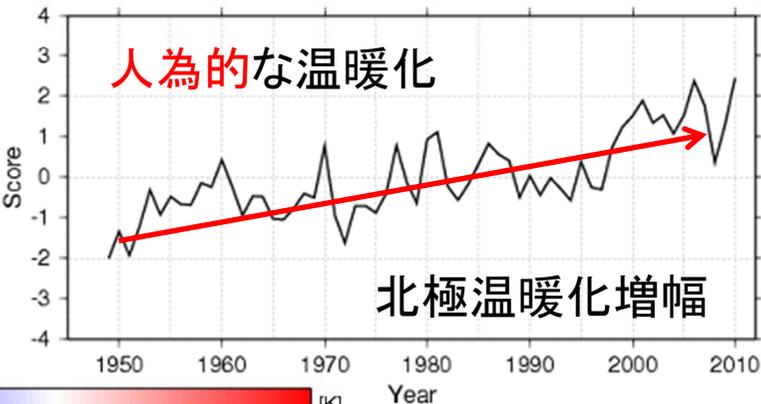
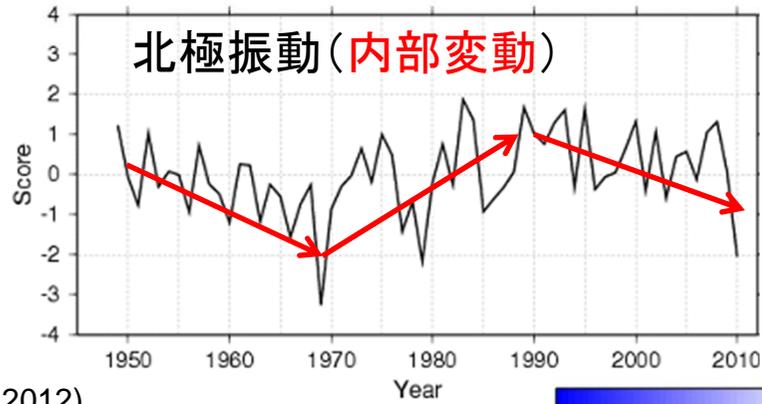
EOF-2
15%

Eigenvector (SAT)
NCEP/NCAR reanalysis
(DJF)
EOF- 2(14.6%)

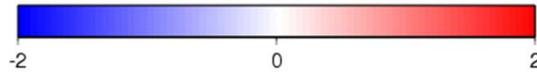


ローカルにはカオス的な内部変動が長期変動を支配している。温暖化のパターンとも一致。

北極振動の理論的構造



(Nagato and Tanaka 2012)



《 AMAP/AC 2012 グリーンランド氷床の融解 》

氷床融解がこのまま続くと100年で1.6m 水位上昇



しかし、この昇温は北極振動の影響が大きいといえる

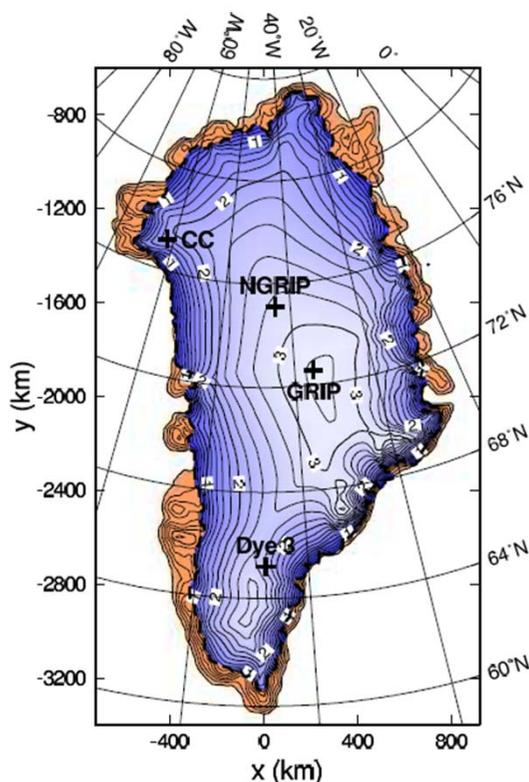


図9: グリーランドの地形図。
コンター間隔は200mで太い破線は氷縁。
(Ralf, 2004 より引用)

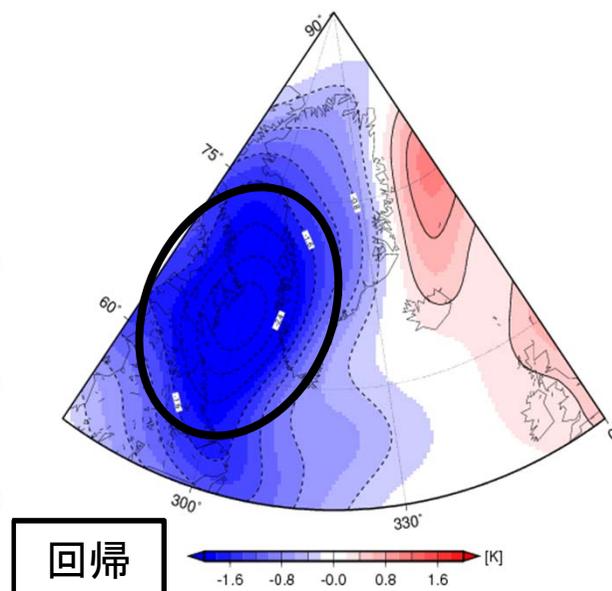


図13: 気温の3次元回帰データの1000hPa
での平面図 (北緯50-90° 西経0-80°)

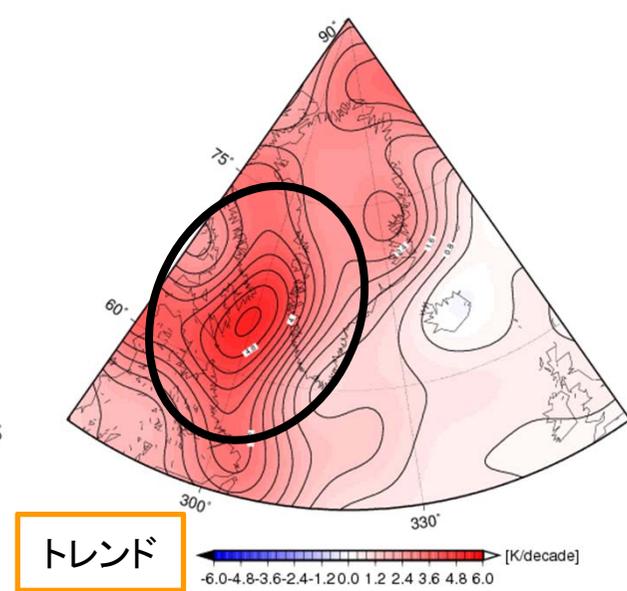


図14: 1991~2010年の気温のトレンドの1000hPaでの
平面図 (北緯50-90° 西経0-80°)

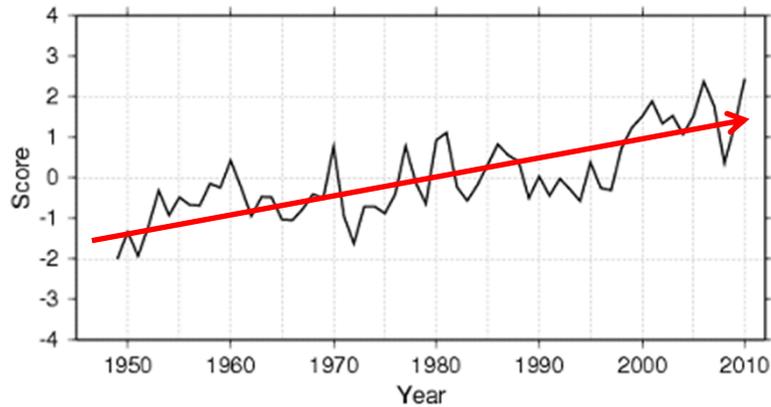
(Umino 2012)

長期変動の約半分は自然変動が原因？

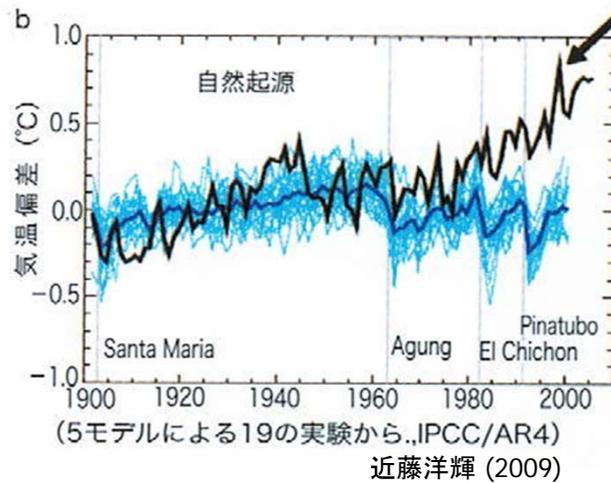
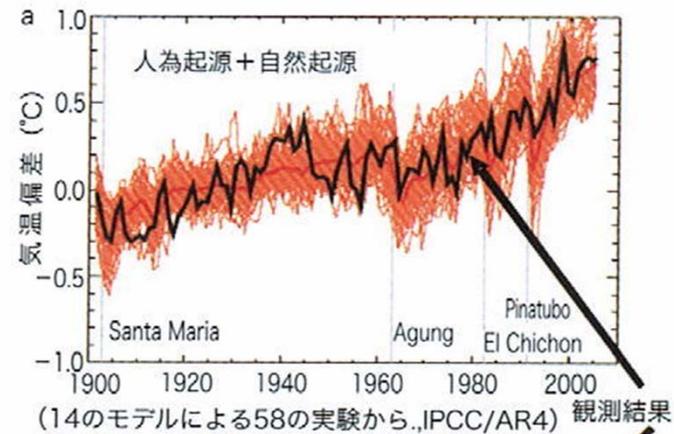
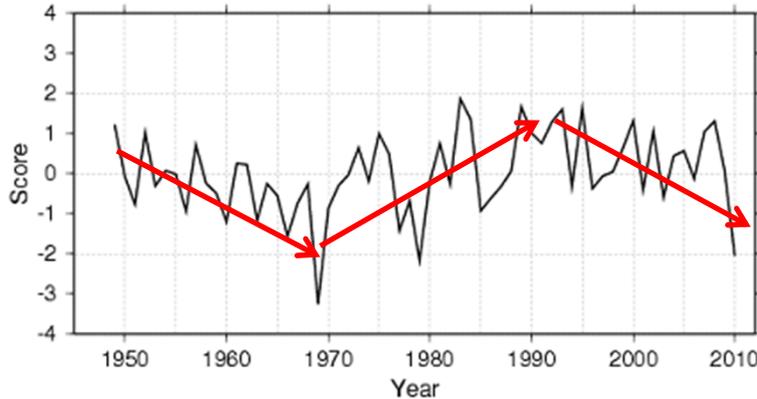
北極温暖化増幅を伴う温暖化に
長周期の内部変動が重なっている

カオス的な内部(自然)変動
を気候モデルは再現不能

人為的な地球温暖化



数10年スケールの内部変動



(14のモデルによる58の実験から, IPCC/AR4) 観測結果

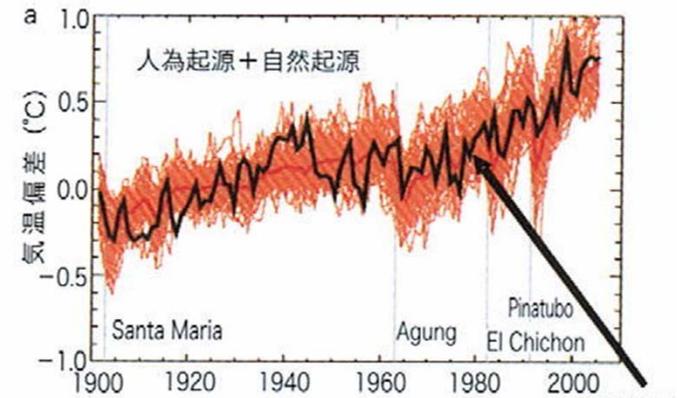
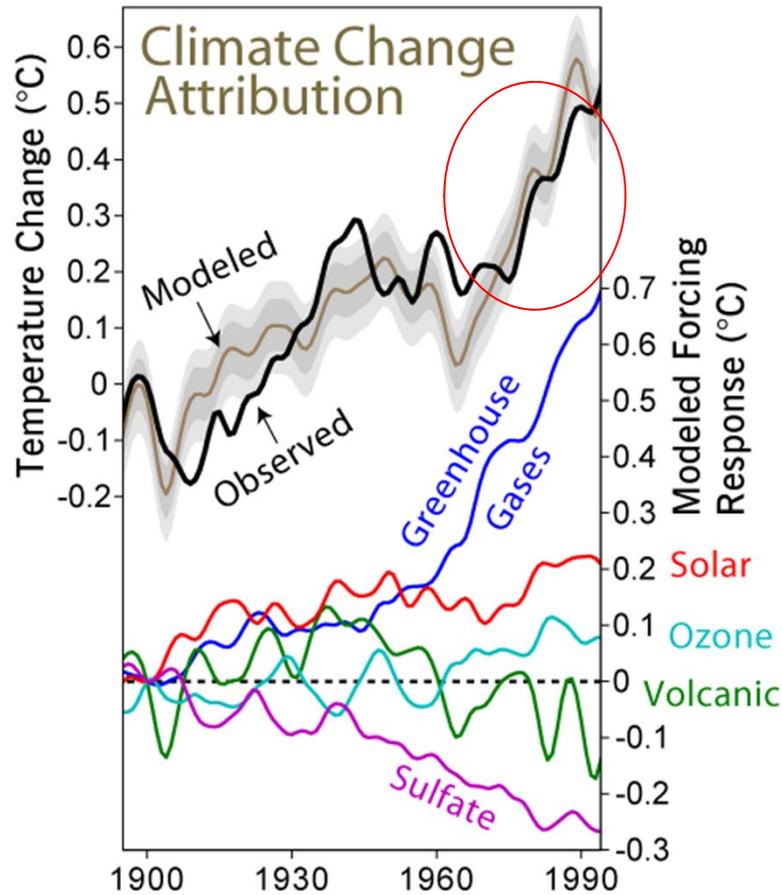
(5モデルによる19の実験から, IPCC/AR4)

近藤洋輝 (2009)

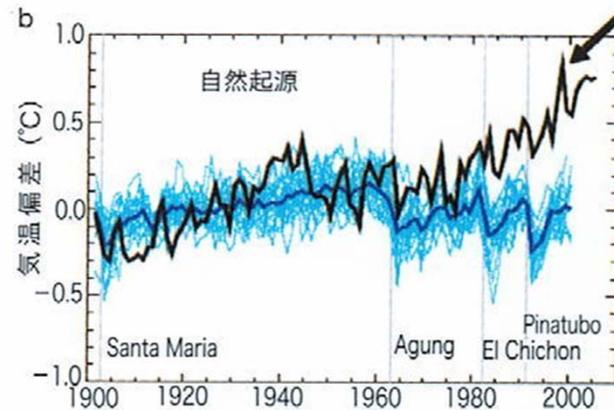
温暖化は人為的GHGが原因？

IPCC-AR4 の根幹をなす説明
(太陽、火山、オゾン、エアロゾル)

再現不能な内部変動を、
人為的GHGで再現
(内部変動はハッチの幅)



(14のモデルによる58の実験から、IPCC/AR4) 観測結果



(5モデルによる19の実験から、IPCC/AR4)

近藤洋輝 (2009)

IPCC報告では、**自然(内部)変動の幅を** 気候モデルで評価している

2

第8章 地球温暖化の原因特定

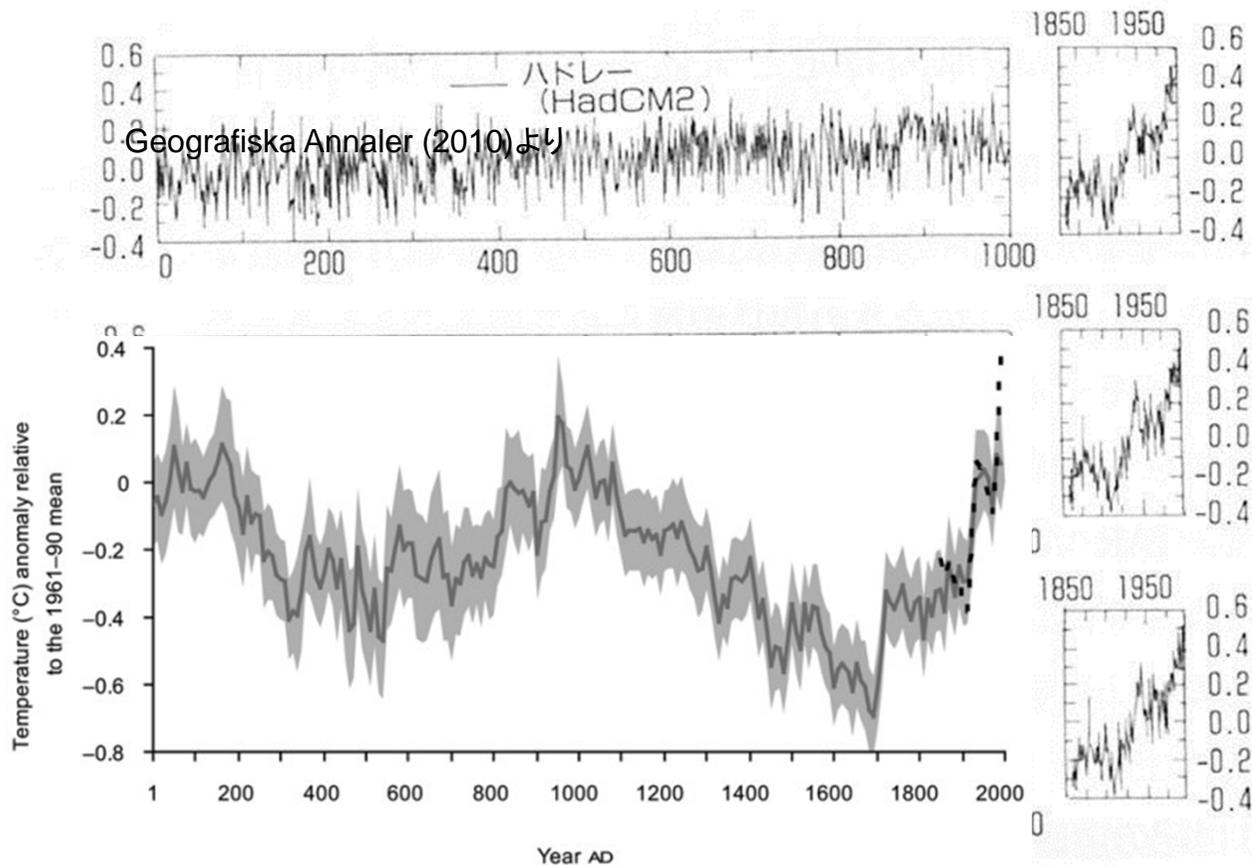


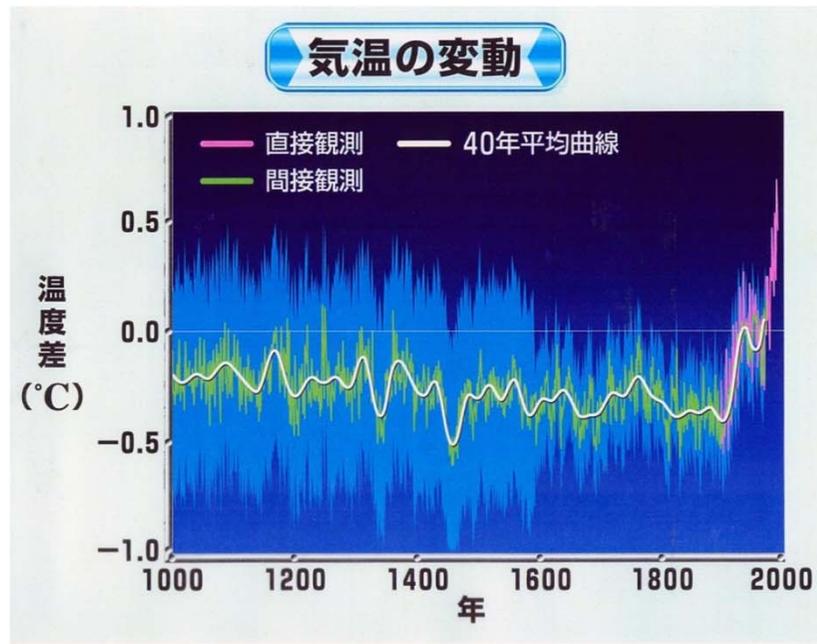
図 8.1 1000年間の基準再現実験による温度変動と近年の地上気温変動 (IPCC/TAR)

気候変動における
内部変動は小さい
との推定に疑問

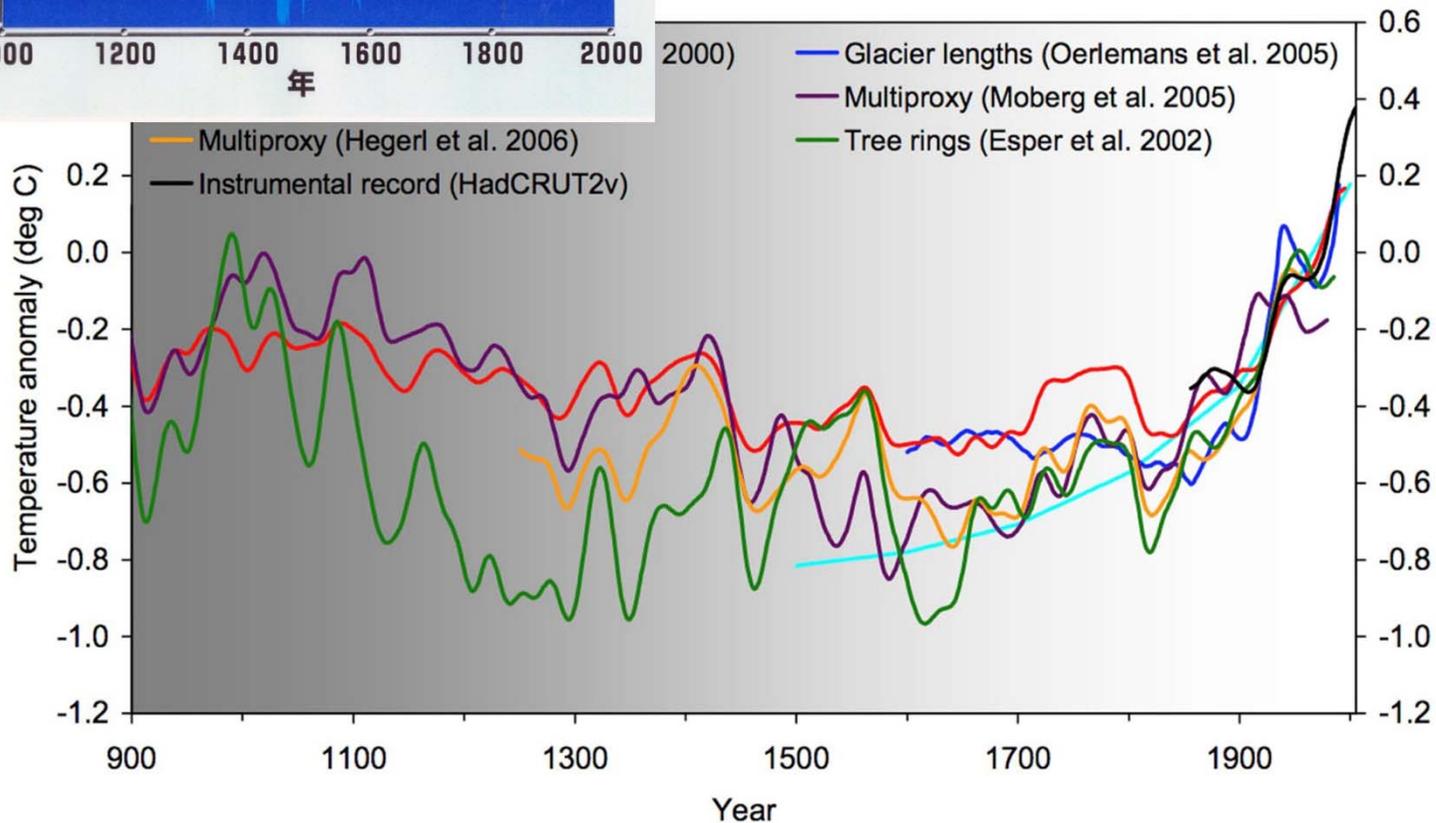
気候モデルの内部
変動は小さいが、
それは確かか？

自然変動の振れ幅が
実際はもっと大きい
と思われる。

M. Mann et al (1998)

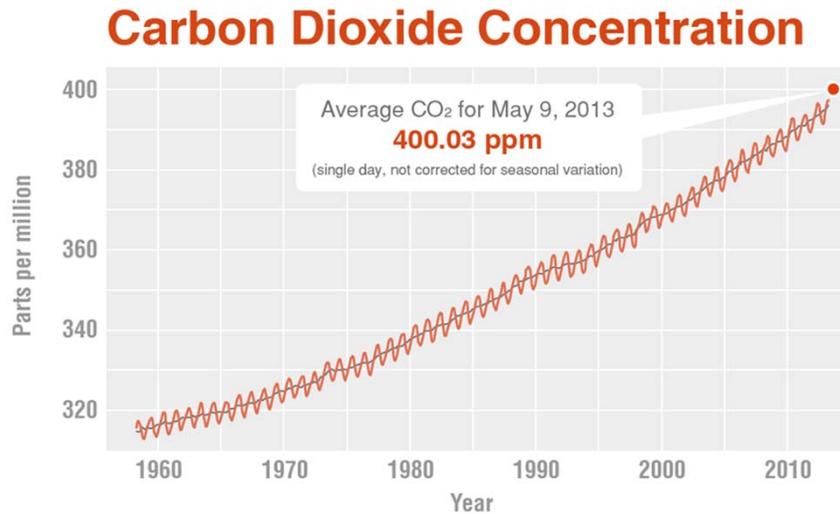


気候モデルは自然変動を過小評価していないか。
ランダムな内部変動を、
気候モデルは再現できない。

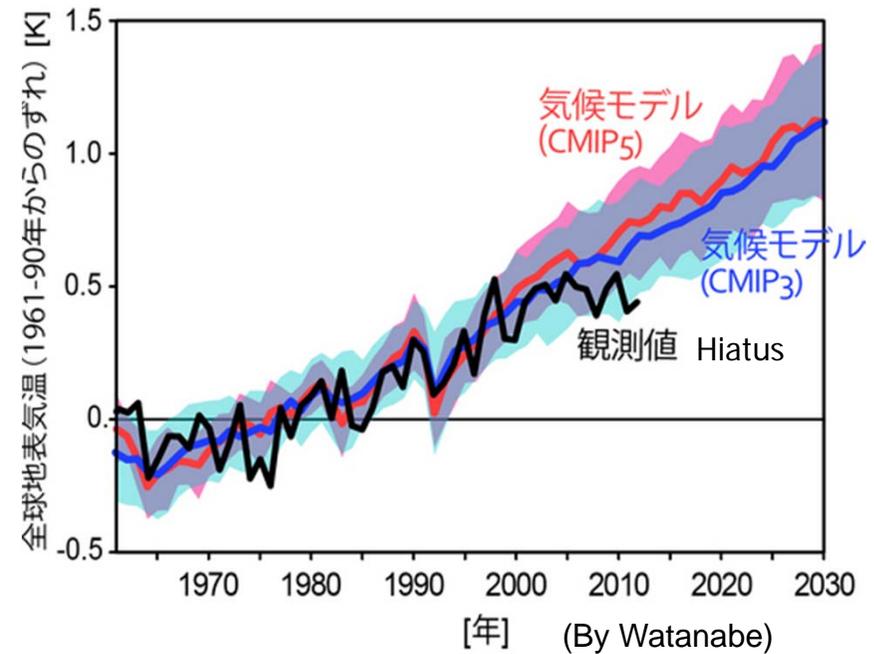


温暖化のHiatus(中断)問題

二酸化炭素は増え続け、400 ppm.を超えた。気候モデル(CMIP3, CMIP5)はCO₂の放射強制力により急激な温暖化を予測している。しかし、実際の温暖化は1998年以降は中断している。この食い違いを温暖化のHiatus問題という。その原因は自然変動によるものと推測されているが、もしそうならば、1970 から1990年の急激な温暖化の一部にも自然変動が含まれているはず。ならば、実際の温暖化はもっと緩やかに進行するのではないか。

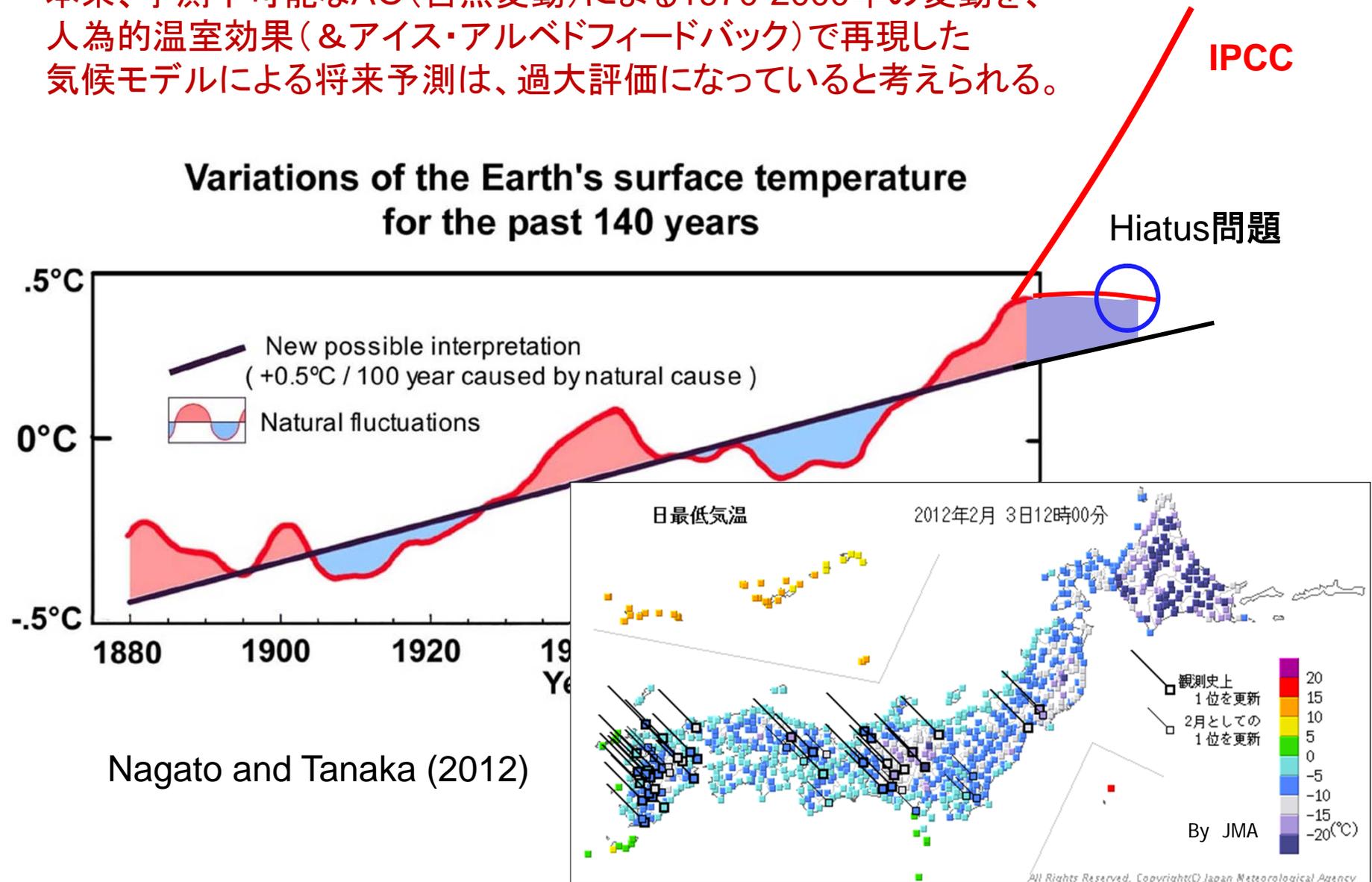


Credit: NOAA/Scripps Institution of Oceanography

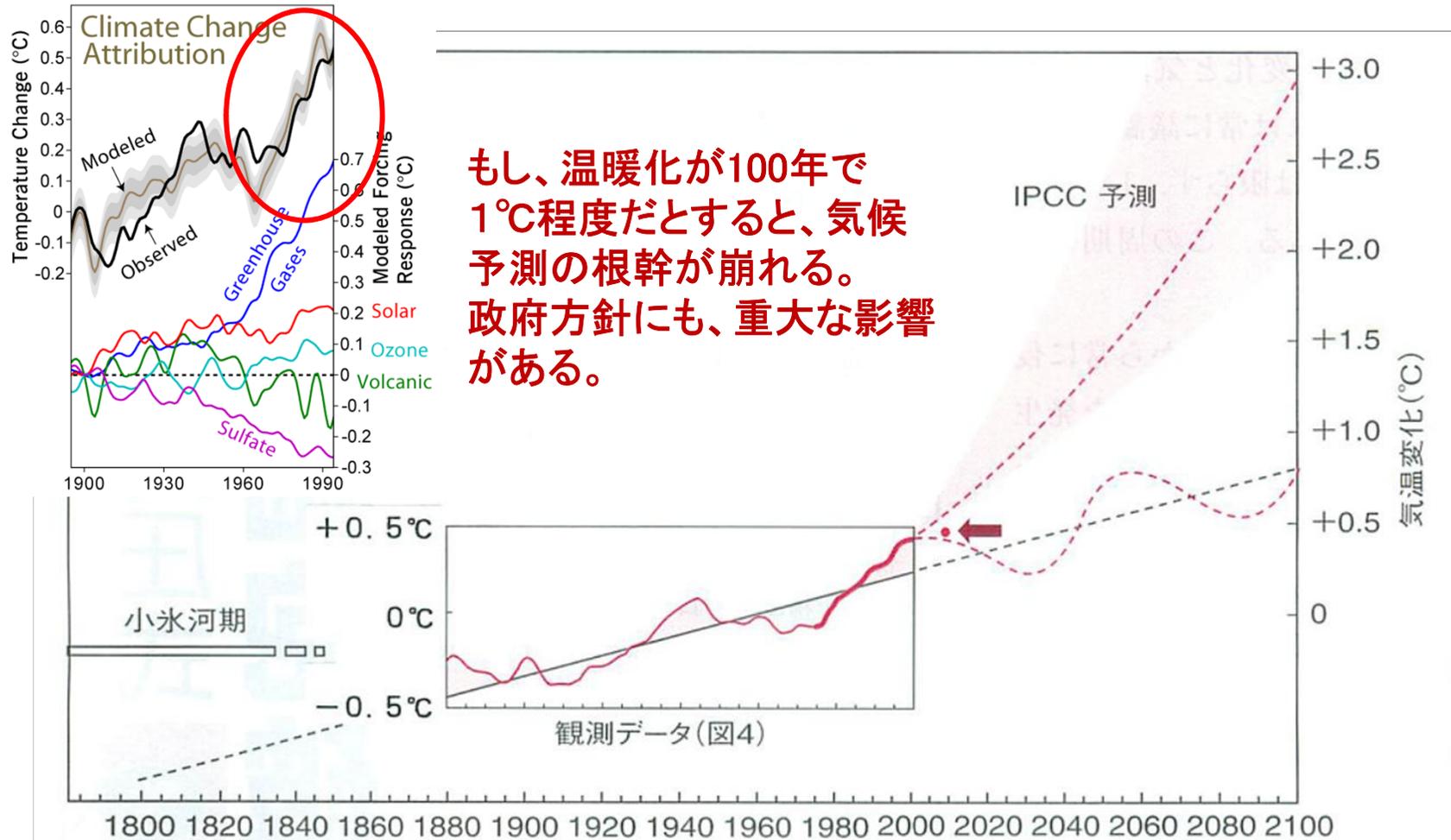


温暖化トレンドに重なる自然変動(北極振動)

本来、予測不可能なAO(自然変動)による1970-2000年の変動を、人為的温室効果(&アイス・アルベドフィードバック)で再現した気候モデルによる将来予測は、過大評価になっていると考えられる。



Hiatus: 地球温暖化が示す不都合な真実



旧政府方針：2020年までにCO2の25%削減。不確かな将来予測を根拠に、何兆円もの血税を本当に支払うのか。（赤祖父 2009）



まとめと考察



- (1) 100年から1000年スケールの長期変動には**自然変動**が含まれる。自然変動として内部変動としての**北極振動**が有力。
- (2) **温暖化モデル**は100年から1000年スケールの**自然変動**を再現する能力を持っていない。自然変動を**過小評価**。
- (3) 温暖化モデルは20世紀後半のカオス的内部変動の部分を、人為的な**温室効果で再現**し、観測結果を説明した。
- (4) 21世紀に入り、**hiatus問題**が生じており、その理由として自然変動が考えられている。(つまり**自然変動が半分**)
- (5) 自然変動が温暖化の約半分を占めるとすれば、**21世紀**の将来予測は、温暖化を**過大評価**していることになる。

ご清聴ありがとうございました。

