

IPCC-AR4 気候モデルデータを用いた
気温の変動に関する解析

2008 年 1 月

向 野 智 彦

IPCC-AR4 気候モデルデータを用いた
気温の変動に関する解析

筑波大学大学院
生命環境科学研究科
地球環境科学専攻
修士（理学）学位論文
平成 19 年度修士学位論文
向野智彦

Abstract

Analysis of the temperature variability used IPCC-AR4 global circulation models Tomohiko MUKANO

How surface air temperature will change in the future is one of the most important subject among the researchers that use the global circulation model, however it is not enough research how the periodicity variability reconstruct by the global circulation model and how change the periodicity variability such as the interannual variability and the daily variability compared with very frequently research the mean temperature. It is recognized as the important subject that connects with mistake of the impact estimation in the future that discuss the atmosphere in the future without the periodic variability.

In this paper, we analyze the variability with mainly use of the 2m daily mean surface air temperature by using the 16 models result existing 20C3M experiment in 1981-2000 years and SRES A1B scenario experiment in 2081-2100 years which is submitted IPCC-AR4. We analyze the variability about the intermodel comparison and the amount of the difference between the model mean value and the observation value. The variability divide into the interannual variability which changes from several years to decadal years and the daily variability which change a month or less days and annual change which change in one year.

The global circulation models mean is corresponding to reanalysis data very well and is not found overestimation on the land in winter northern hemisphere likely the previous study. The projected interannual variability in the future decrease greatly on high latitude region of the northern hemisphere in winter and increase the low latitude region and on land in summer region of the northern hemisphere centered on Europe and Siberia, however intermodel standard deviation is more than change the interannual variability.

Daily variability similar to the interannual variability though there was a difference in the detail. The difference between models was great and also still models mean corresponding to the value of reanalysis data. The expected deviation of daily

variability in the future decrease at sea all year round and increase on land mid-latitude in summer and low latitude.

Annual change not found the clearly difference between 20C3M experiment and SRES A1B scenario experiment. Intermodel difference of minimum and maximum value of the annual change is comparatively similar at mid-latitude however is critically large at high latitude. Moreover the annual change is not synchronized phase between the models, greatest difference is more than two month-longs.

キーワード : IPCC, Global circulation model, temperature, interannual variability, daily variability, annual change

目次

要旨	i
目次	iii
表目次	v
図目次	vi
1. 序論	1
1.1 背景	1
1.1.1 気温の変動	1
1.1.2 全球モデルと気温の変動	1
1.2 目的	3
2. 使用データ及び解析方法	4
2.1 使用データ	4
2.1.1 全球モデルデータ	4
2.1.2 再解析データと観測データ	4
2.1.3 グリッド間隔と内挿	5
2.2 手法	6
2.2.1 年々変動	6
2.2.2 日々変動	6
2.2.3 年変化	6

3. 結果	8
3.1 年々変動	8
3.1.1 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較	8
3.1.2 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較	9
3.1 手法	10
3.1.1 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較	10
3.1.2 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較	11
3.1 手法	13
3.1.1 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較	13
3.1.2 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較	14
4. 考察	15
4.1 年々変動	15
4.1.1 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較	15
4.1.2 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較	16
4.1 手法	10
4.1.1 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較	10
4.1.2 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較	11
4.1 手法	13
4.1.1 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較	13
4.1.2 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較	14
5. 結論	19
引用文献	22
謝辞	21

表目次

表 1	各全球モデル及び再解析データの平均地上気温のスコア	23
表 2	各全球モデル及び再解析データの年々変動のスコア	24
表 3	各全球モデル及び再解析データの日々変動のスコア	25
表 4-1	各全球モデル及び再解析データの年変化(30N 帯状平均) (1)	26
表 4-2	各全球モデル及び再解析データの年変化(30N 帯状平均) (2)	27
表 4-3	各全球モデル及び再解析データの年変化(30N 帯状平均) (3)	28
表 5-1	各全球モデル及び再解析データの年変化(60N 帯状平均) (1)	29
表 5-2	各全球モデル及び再解析データの年変化(60N 帯状平均) (2)	30
表 5-3	各全球モデル及び再解析データの年変化(60N 帯状平均) (3)	31
表 6-1	各全球モデル及び再解析データの年変化(シベリア内陸部) (1)	32
表 6-2	各全球モデル及び再解析データの年変化(シベリア内陸部) (2)	33
表 6-3	各全球モデル及び再解析データの年変化(シベリア内陸部) (3)	34

図目次

図 1	年々変動の月ごとの各全球モデルにおける全球平均(20C3M)	35
図 2	年々変動の陸上-海上分布図	36
図 3	年々変動の地域分布	37
図 4	年々変動が最大となる月、最小となる月	38
図 5	年々変動の月ごとの各全球モデルにおける全球平均の将来変化率	39
図 6	年々変動の将来変化率の陸上-海上分布図	40
図 7	年々変動の地域分布の全球モデルにおける将来変化率	41
図 8	将来年々変動が最大となる月、最小となる月	42
図 9	日々変動の月ごとの各全球モデルにおける全球平均(20C3M)	43
図 10	日々変動の陸上-海上分布図	44
図 11	日々変動の地域分布	45
図 12	日々変動が最大となる月、最小となる月	46
図 13	日々変動の月ごとの各全球モデルにおける全球平均の将来変化率	47
図 14	日々変動の将来変化率の陸上-海上分布図	48
図 15	日々変動の地域分布の全球モデルにおける将来変化率	49
図 16	将来日々変動が最大となる月、最小となる月	50
図 17	年変化の全球モデル平均の地域分布図	51
図 18	北緯 30° における陸上での気温の傾きの帯状平均(20C3M)	52
図 19	北緯 60° における陸上での気温の傾きの帯状平均(20C3M)	53
図 20	シベリア周辺での気温の傾きの帯状平均(20C3M)	54
図 21	北緯 30° における陸上での気温の傾きの帯状平均(SRES A1B)	55
図 21	北緯 60° における陸上での気温の傾きの帯状平均(SRES A1B)	56
図 21	シベリア周辺での気温の傾きの帯状平均(SRES A1B)	57

1. 序論

1.1 背景

1.1.1. 気温の変動

CO₂などの温室効果ガスの大気中濃度の増加は気候の平均量だけでなく、変動量に対しても変化を与える。特に平均量が増加する中での変動量の増加は、平均量のみの変化以上に大きな影響を社会に与えるため平均量の変化と同様に重要な研究対象である。全球を対象とした大気海洋結合モデル（以下全球モデル）を用いた研究では、平均気温が将来何度上昇するかということは多くの全球モデルを用いた研究で行われているが、気候の変動量の研究は平均量の研究に比べてそれほど行われていない。気温を物理量として捉える場合長期の気温の変化は様々な位相の波の重ねあわせとして理解でき、詳細な解析には平均値だけでなく小さな波、大きな波の位相、振幅が正しく表現されているか、将来どのように変化するかといったことも重要である。

1.1.2. 全球モデルと気温の変動

全球モデルを用いた気温の変動量に関する研究は1980年代の後半から始まった。当時はモデル間の比較を行うための枠組みが無く、単一のモデルによる研究のみであった(e.g. Rind et al 1989;Cao et al 1992;Gregory and Mithcel 1995;Kharin and Zwiers 2000)。しかし、気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）において気候変動に関する合意形成の場が設けられ、また気候モデル相互比較実験（Coupled Model Intercomparison Project: CMIP）のようにモデル間の相互比較を行うプロジェクトが世界気候研究計画（World Climate Research Programme: WCRP）のもとで発足し、気温の変動量に関してもモデル間での比較が行われるようになった。特にRäisänen (2002)はそれまでの気温の変動量に関する研究についてよくまとめている。多数の全球モデルの結果を用いた気温の変動量の研究では、気温の変動量のモデル間でのばらつきはどの程度か、平均して将来どの程度気温の変動量が増加するか、将来の変動量はモデル間のばらつきと比べて有意性があるか、といったことが主に研究されている。Bell et al (2000) やRäisänen (2002)では、気温の変動量は多数の全球モデルで平均した場合、観測値と比べて海上ではほとんど等しいものの、陸上では過大評価していることが示されている。この原因としては全球モデルごとの大気大循環の違いと大気陸面相互作用

(e.g. Bell et al 2000, Seneviratne et al 2006)。

これは、気温の変動は特に中・高緯度で大きく、ジェットや傾圧性擾乱などの中・高緯度特有の大気場に大きく依存しているためである。また、地上の気温を用いる場合陸面の湿度と陸面から蒸発した水蒸気をもたらす作用が強く関係するが、特に2000年以前の全球モデルでは地表面状態や陸面物理過程を単純化して表現しているために実際の気温の変動量とは違い、さらにモデル間の差が大きくなる要因にもなっている。また、地域分布では特に北半球高緯度の冬季の陸上で過大評価が見られた。しかし、モデル間での差も大きく Räsänen (2002) で各モデルの年平均の年々変動が格子点毎でどの程度平均値より高いか(低い)かを調べた際には19モデルの内80%以上が高い(低い)値を示したものはわずかであり、ほとんどはその間でモデルによる差が大きいことを示している。また、将来の変化については北半球高緯度の冬季では大幅に年々変動が弱まる一方で、低緯度の各季節や北半球の夏季の陸上では年々変動が増加していた。このように年々変動度の将来変化のモデル間の一致度は、平均場の将来変化のモデル間の一致度に比べて低いことが示されている(e.g. Räsänen 2002; Giorgi et al 2004; Giorgi and Bi 2005)。

また、気温の変動量の研究としては Rind et al (1989)、Cao et al (1992) のように日々の変動、年々の変動、年変化などそれぞれの時間スケールにおける研究を示しているものもあるが、ほとんどの研究対象は年々の変動に絞られており、日々の変動や年変化についての研究は少ない。近年では異常気象の予測の重要性から極端現象の解析が広く行われ、この一貫で気温の極端現象についても解析がされているが、極端現象は連続した気温の変化の一部分を捉えたものであり、連続データとしての気温の変動の解析も重要な意義がある。また、Walsh et al (2005) では定点観測による気温の日々変動を調査しているが、最近50年間の観測データだけでは強い日々変動のトレンドは出ておらず、観測データからだけでは日々変動のトレンドを確認することが難しいことが認められ全球モデルによる長期間の解析で日々変動のトレンドが予測可能かどうかにも興味深い点である。

1.2. 目的

本研究ではIPCC第4次評価報告書（**Fourth Assessment Report:AR4**）に提出された全球モデルデータを用いて気温の変動の解析を行った。気温は様々な周期成分を含んだ物理量であるという観点から気温の変動を以下の3種類に分けて解析を行った。

- 1ヶ月以下の変動による日々変動
- 数十日程度の気温の変化をあらわした年変化
- 数十年間の気温の変動を示す年々変動

1. 序論	1
1.1 背景	1
1.1.1. 気温の変動	1
1.1.2. 全球モデルと気温の変動	1
1.2. 目的	3

2. 使用データ及び解析方法

2.1 使用データ

本研究で使用した全球モデル及び再解析データ、観測データについての詳細とその使用目的について以下に述べる。

2.1.1 全球モデルデータ

16 の IPCC AR4 に提出された大気海洋結合モデルのうち 20C3M 実験の 1981-2000 年と SRES A1B シナリオの 2081-2100 年のそれぞれ 20 年ずつにおける地上 2m と 850hPa の日平均気温を使用した。20C3M 実験は 20 世紀の気候の再現実験であり、SRES A1B シナリオは経済成長を仮定しつつもバランスの良いエネルギー源を重視したシナリオである。ただし、BCCR と IAP のモデルデータは SRES A1B シナリオ実験の一部が欠けており 18 年分を使用した。また、1 年を 360 日で計算していた INGV、IPSL、MIUB の 3 モデルについては年変化を見るために 1 年の各日で平均する際に他のモデルと大きく日数がずれてしまうために一部の計算で除外した。使用したモデルのそれぞれの対象期間における平均気温とその変化量を表 1 に示した。

まず、20C3M 実験と再解析データ及び観測データを比較することで全球モデルの精度について検証し、その上で 20C3M 実験と SRES A1B シナリオとの比較を行い将来の気温の変動における変化の可能性について言及した。

2.1.2 再解析データと観測データ

IPCC AR4 に提出されたモデルと現在気候とを比較するために観測データと再解析データを用いた。観測データとしては Climate Research Unit(CRU)の 1981-2000 年のデータを用いた。しかし、これは月平均の気温偏差データのみであり年々変動は求められるが、その他の日々変動、季節進行強度は求められない。そのため、日々変動、季節進行強度に関しては再解析データとの比較のみを行った。また、CRU データは観測値であるため海上のデータは無く、また地上でも観測点のない地域、欠測の多い地点がある。本解析において、期間中 2 割以上欠測がある場合は計算対象領域から除外した。また、一部海上も含むも地点データも存在したが、今回は CRU データはすべて陸上のデータとして処理を行った。再解析データは National Centers for Environmental Prediction–National Center for

Atmospheric Research(NCEP/NCAR)の再解析データ (NCEP)、European Centre for Medium-Range Weather Forecasts(ECMWF)による再解析データ (ERA)、そして気象庁と電力中央研究所による再解析データ (JRA) の3つの再解析データを用いた。それぞれ対象期間は異なるが、今回はすべて1981-2000年のデータを使用し、地上2m気温、850hPa気温の日平均値を用いた。

2.1.3 グリッド間隔と内挿

解像度はそれぞれ異なり、モデルデータは約 $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ の gaussian grid $\sim 5^{\circ} \times 4^{\circ}$ となっていて、CRU データは $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 、再解析データは JRA が $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ 、ERA が $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 、NCEP/NCAR 再解析データは地上が $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$ の gaussian grid であり、気圧座標面上では $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ である。そのため、データ毎の全球平均値など、格子点間隔が異なっても問題の無いものに関してはそのまま計算し、モデル平均や特定グリッドを計算する場合は $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ の格子点データに内挿した。

2.2 手法

本研究で行った年々変動、日々変動、年変化に関する解析の解析手法について以下でそれぞれ述べる。

2.2.1 年々変動

全球モデルを用いた地上気温の年々変動の解析は日々変動や年変化と比べると良く行われており、特に全球モデルのモデル間比較を行ったものには Räsänen

(2002)や Bell et al (2000)などがある。これらの研究において年々変動は各月で月平均気温の数十年分の標準偏差を用いることによって表している。期間は数年程度では特異なイベントを含む可能性があるが、長すぎるとモデルのバイアスを含んでしまうために Räsänen

(2002)では 20 年、Bell et al (2000)では 40 年間のデータを使用している。本研究でもこれらの先行研究を参考にし 20 年間の気温の各月での月平均気温の標準偏差によって年々変動の解析を行った。

2.2.2 日々変動

全球モデルを用いた気温の日々変動に関する解析はほとんど行われておらず、Rind et al (1989)と Cao et al (1992)などでわずかに見られるのみである。さらに、これらの研究では対象期間の各年の各月における日平均気温の標準偏差を用いて解析を行っているが、この方法では季節変化などの比較的長周期の変動も含んでしまい、日々の変動のみの解析とは言えない。そのため、今回は 31 日のローパスフィルターを用いて日ごとに平均的な気温を計算し、そこからの差の絶対値を 1 ヶ月間積算するという方法で各年の月ごとの年々変動を計算した。ローパスフィルターには lanczos フィルター(Duchon 1979)を用いた。また、比較のために先行研究で行われている日平均気温の標準偏差を用いた手法でも計算を行った。

2.2.3 年変化

全球モデルを用いた気温の年変化の解析はほとんどが季節間のモデルの特性、将来変化の差に注目したものであり、年変化自体の将来変化について述べられたものはない。そこで本研究では全球モデルを用いた年変化について触れる。中・高緯度地域においては季節変化は大きく、春、秋などは大きく気温が変化する。その変化を捉えるために本研究では日平均気温の傾きに注目した。20 年間の日平均気温を 45 日のローパスフィルターで短

い周期成分を除去し、日ごとにその傾きを計算することで年変化を表現した。

2.	使用データ及び解析方法.....	4
2.1	使用データ.....	4
2.1.1	全球モデルデータ.....	4
2.1.2	再解析データと観測データ.....	4
2.1.3	グリッド間隔と内挿.....	5
2.2	手法.....	6
2.2.1	年々変動.....	6
2.2.2	日々変動.....	6
2.2.3	年変化.....	6

3. 結果

IPCC-AR4 に提出されたモデルの内、20C3M 実験の 1981-2000 年と SRES A1B シナリオの 2081-2100 年における両方のデータを持つ 16 の全球モデルと CRU の月平均地上気温偏差及び 3 つの再解析データと比較した。CRU は月ごとの値であるため日ごとの結果の場合は再解析データとのみ比較を行った。これらのデータはそれぞれ個別のグリッド間隔で作成されており、モデル、再解析平均を作成する際は $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 格子データに内挿した。SRES A1B シナリオと 20C3M 実験の比較の際に使用した変化率とは年々変動などを求めてその差を 20C3M 実験の値で割ったものである。

3.1 年々変動

3.1.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較

年々変動は 20 年間の各月における月平均気温の標準偏差によって表した。これは月ごとの年々変動を見る際に非常に良く使われている手法である(e.g. Cao et al 1992; Bell et al 2000; Räisänen 2002)。

図 1 は月平均地上気温の年々変動の全球平均値を月ごとに各モデルで表したものである。全体的な特徴としては、年々変動は陸上のほとんどを占める北半球の冬季に大きく、夏季に小さい。また、海上では 1 年を通じてほとんど一樣で値自体も陸上に比べて小さくなっている。モデル間ではかなりばらつきがある。特に絶対値の大きい冬季ではばらつきも大きく、陸上における最小値と最大値のモデルの間には 2 倍以上の差がある。また、海上では 1 年を通じて 0.5 から 1.0 程度で陸上に比べて半分の大きさである。しかし、モデル平均値と再解析データは 1 年を通じて非常に良く一致していることが分かる。

図 2 は横軸に陸上の月平均地上気温の年々変動、縦軸に海上の年々変動を取り、各モデルの 1 年間の平均を取ったものである。陸上は 1.0~2.0、海上で 0.5~1.0 となっており、図 1 で見たとおり陸上ではモデル間のばらつきが大きくなっているが、陸上は平均値自体が大きいため実際は陸上、海上とも最小値と最大値の差が 2 倍程度である。陸上で最も小さなモデルは MIROC の高解像度モデルで、最も大きなモデルは INMCM である。INMCM は海上でも最大の値を示している。海上で小さいモデルは MIROC の高解像度モデルの他 GFDL-CM2.0 や GISS-AOM などがある。ばらつきは大きいものの陸上の年々変動が大きいモデルは海上の年々変動も大きいという正相関関係が比較的良好に成り立

っている。また、図 2 と図 6 で用いた各モデルのスコアを表 2 にまとめた。その際のモデル平均は各スコアの算術平均を表す。

図 3 は 12～2 月と 6～8 月の月平均地上気温の年々変動の地域分布を、モデル平均、再解析データ平均、CRU データについて表したものである。モデル平均と CRU データでは 12～2 月のアラスカ周辺の地域分布に多少差があるものの、アラスカからベーリング海にかけての値が大きくなっていることや、ヨーロッパから中央ユーラシアにかけて値が大きくなっている点が共通している。また、冬半球では年々変動が 0～2 と小さくなっている点も共通している。しかし、再解析データと比較すると再解析データにおいては 12～2 月の北半球高緯度で値の大ききところはほとんど目立っておらずほぼ一様な値となっている。

図 4 は 20C3M 実験のモデル平均値について各グリッドにおける月平均地上気温の年々変動が最大となる月と最小となる月を表したものである。北半球では陸上のほとんどの地域で 1 月～3 月に最大となっており、7 月～9 月に最小となっている。海上ではばらつきが大きく太平洋北部では夏季に年々変動が最大となっている地域もある。また南半球においては、南極とその周辺海域では 7～9 月に最大となり 12～1 月に最小となっているが、オーストラリアや南アメリカの一部を含む南緯 30 度～50 度の地域においては北半球と同じ月に最大値と最小値を取っており、北半球と最大値・最小値を取る季節が逆であることを示している。これは北半球の太平洋などのように海上だけでなくオーストラリア大陸のほとんどの地域を含んでいる。また、赤道直下では北半球と同じ 1 月～3 月に月平均地上気温の年々変動が最大となり、7 月～9 月に最小となる地域が目立っているが、その周囲の亜熱帯域では陸上も含めて非常に複雑な地域分布をしており、この地域においては 1 年を通して最大値と最小値にほとんど差がないことが示唆される。これらの傾向は再解析データの平均でも見ることができるが、再解析データでは中高緯度地域でもかなり複雑な地域分布をしており、実際の地域分布はより複雑であることを示す。また、モデル平均と比較して特に最大となる月が北半球の内陸部や北極海などで 11 月、12 月に最大値を取る地域が広がっているのが目立つ。

3.1.2. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較

図 5 は年々変動の全球平均値の 20C3M 実験から SRES A1B シナリオ実験の間の増加率を示す。モデル平均の増加率は北半球の秋季から冬季に当たる 10 月から 2 月頃にかけて 5%以上の減少を示し、夏季にあたる 7 月前後は 5%近い増加率となっており、季節ごとに年々変動の増減が異なる。また、海上では一年を通じて 10%近い減少と図 1 のように元々の値は小さいものの減少率は大きく

なっていることが分かる。しかし、モデルごとに見ると陸上も海上も多くは月で20%近い増加率を示すモデルから20%前後の減少率を示すモデルまであり、非常にモデル間の差が大きくなっている。この傾向は図6の1年間の平均増加率を陸上-海上平面にプロットした図でも見て取れる。ただし、1年間で平均するとモデルごとの差ははっきりと表れ、INMCM、MIUB、IAP、GFDL、CCCMAのt63モデルなどは陸上、海上とも減少率が大きく、MIROCの高解像度モデル、BCCR、MRIのモデルは陸上、海上ともに増加が見られる。

図7は月平均地上気温の年々変動のモデル平均の12月～2月と6月～8月における将来変化率の地域分布である。12月～2月においては北半球の大陸上を中心に、月平均地上気温の年々変動が大きく減少する領域が広がっている。また、南極大陸とその周辺海域でも減少する領域が広がっている。一方で増加が見られる地域としては南半球の大陸を主とした中緯度帯と低緯度の海洋上である。6月～8月においては北極海と南極の周辺海域で大きな減少が見られるものの、ほとんど全球で大陸上では増加する領域が広がっている。

図8は年々変動の変動が将来最大となる月と最小となる月を示したものである。現在の最大となる月、最小となる月と比較すると、ユーラシア大陸中央部で将来年々変動が最大となる月が将来早まる傾向にあることが分かる。また、シベリア付近で他の北半球大陸上よりも早く最大となる月を取っていた地域が他の地域と同様の時期まで後退している。最小となる月については南極の周辺海域で大幅に早まる地域が多数見受けられる。

3.2 日々変動

3.2.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較

地上気温の日々変動については2通りの方法で解析を行った。一つは各々の月において各年の日平均地上気温の標準偏差を計算し、それを20年間で平均するものである。これはCao et al(1992)と同様の解析方法である。しかし、この方法では季節進行の変化を含んでしまうため、厳密な意味での日々の変動は捉えることができないであろう。そこで、もう一つの方法として日平均地上気温から31日ローパスフィルターからの差を取った日々のデータを各月で20年間平均したものをを用いた。

図9は地上気温の日々変動の全球平均をモデルごとに各月の値を示した図である。全体的な傾向は年々変動のそれに似ており、陸上は北半球の冬季に大きく夏季に小さい。また、海上では一年を通して変化が小さく、値そのものも陸上に比べて大幅に小さい。図は省略するが標準偏差を用いたものはローパスフィルターを用いたものと比べて値が大きく、また1年を通じた変化は陸上、海

上ともほとんど一致していた。陸上においてはモデル間のばらつきは北半球の冬季に大きく夏季に小さい。また、再解析データとモデル平均を比較すると北半球の夏季にはモデル平均が再解析データの値を下回っているが、その他の季節ではモデル平均が再解析データよりも大きな値を取っている。また、海上では一年を通してモデル平均は再解析データよりも値が小さい。

図10は横軸に陸上の日々変動、縦軸に海上の日々変動を取ったもので、各モデルの1年間の平均値である。陸上は1.2~2.5、海上で0.5~1となっており、陸上で最大の値を取ったモデルと最小の値を取ったモデルでは2倍以上の差があり、海上でも同様である。陸上で最も小さいモデルはMRIで、最も大きいモデルはINMCMである。INMCMは海上でも最大であり、年々変動と合わせて最も変動が大きく出ているモデルである。海上での最低値を取ったのはCCCMAの低解像度モデルである。年々変動と同様に図10と図14で用いたモデルの各スコアは表3にまとめた。

図11は12~2月と6~8月の日々変動の地域分布をモデル平均、再解析データ平均について表したものである。モデル平均、再解析データ平均とも海上や低緯度の陸上では値が小さく、内陸部や北極海の冬季に大きくなっているという共通した特徴がある。しかし、12~2月にモデル平均ではヨーロッパまで4.0以上の領域が広がっていなかったり、6~8月に再解析データ平均よりも広い地域で1.0以上の値を示していたりと広い地域分布で見てもある程度の違いが見受けられる。

図12は20C3M実験のモデル平均値について各グリッドにおける日々変動が最大となる月と最小となる月を表したものである。北半球では陸上のほとんどの地域で冬季の1月~3月に最大となっており、夏季の7月~9月に最小となっている。海上ではばらつきが大きいものの概ね北半球では秋季から冬季に最大となる月がきており、年々変動との差異も見られる。また、北半球と南半球ではほとんど季節が同位相となっており、きれいな対称を見せているが、オーストラリアや南アメリカ、アフリカなど大陸上で春季、夏季に最大となっており、冬季に最小となっていて北半球と逆の位相形を示している。また、ローパスフィルターを用いた日々変動をモデル平均と再解析データ平均で比較した場合、全体的な特徴は似ているものの年々変動と同様に北半球の一部の地域で再解析データ平均の方が早い時期に最大値を取る傾向にある。

3.2.2. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較

図13は日々変動の将来予想される変化率を月ごとに表したものである。将来の変化は年々変動と同じくモデル平均では北半球の夏季の陸上で増加、他の季節の陸上と海上では1年を通して減少となっている。モデル間のばらつきはモ

デル平均の±10%程度であり年々変動の将来変化率に比べれば小さく特に海上においてはすべての月において全モデルが減少を予想している。陸上についても北半球冬季の減少や夏季の増加はいくつかのモデルを除いてそれぞれ減少と増加を示しており、年々変動に比べるとモデル予想は一致していると言える。

図14は日々変動の各モデルの陸と海における全球平均値の将来変化率の年平均値をプロットしたものである。これを見てもやはり各モデルは年々変動に比べてかなり小さい分布を示し、陸上では-10~+5%、海上では-20~-5%程度でまとまっている。また、年々変動ほど顕著ではないがやはり陸上の変化率の減少度合いが大きいもどるほど海上でも減少率が大きくなっているように見える。陸上で減少率が最も大きなモデルは INMCM で唯一年平均で増加しているのは GISS である。海上ではすべてのモデルが減少を示しているが、減少率が最も大きいのは MIROC の高解像度モデルで、最も小さいのは CSIRO である。

これまでのモデル間の 20C3M 実験の結果と変化率を総括すると、最大値と最小値とは 2 倍程度の違いがあり、再解析データと比べていくつか再現性が悪いと思われるモデルもあった。将来の変化率については-20%程度と大きく減少するものがいくつかある一方で増加を見せたモデルもあり、非常に幅広いが 20C3M 実験で最小値を示したモデルが最も増加率が高く、最大値を示したものが最も減少率が高いため結果としてはモデル間のばらつきが縮小している可能性があるが、最大、最小のモデル以外は特にそういった傾向が強いとは見えなかったため偶然かもしれない。

図15は日々変動のモデル平均における将来変化率の地域分布である12月~2月にかけては南半球の南極周辺海域や南半球と低緯度地域の陸上で増加傾向があるものの他の地域では減少しており、特に北半球高緯度は広い範囲で-20%以上の減少を表している。6月~8月ではやはり低緯度地域と南半球の大陸上に加えて北半球の中緯度大陸上でも増加する地域が見られる。一方でほとんどの海洋上では減少しており、特に北極海と南極周辺海域の高緯度海洋上で大きな減少が目立つ。

図16は SRES A1B シナリオのモデル平均の最大となる月と最小となる月を示した地域分布である。20C3M 実験と比較すると最大となる月では北極海で1ヶ月程度早まっている地域が見られ、またヨーロッパからユーラシア大陸中央部にかけては1ヶ月程度遅くなっている地域が見られた。最小となる月においては南極の周辺海域で1ヶ月程度早まっている地域がある程度見られ、ロシアなどの北半球の地域でも1ヶ月程度早まっている。

3.3 年変化

3.3.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較

図 17 は地上気温の年変化の全球モデル平均を 3～5 月と 9～11 月で平均した図である。地上気温の年変化は陸上と海上のコントラストがはっきりしており、また低緯度地域では年変化が 1.0 を越える地域は見られない。つまり年変化は低緯度の陸上と全球の海上においては年変化が小さいということである。このため、領域平均を施す際には陸上で平均値のみを用い、詳細な解析における対象領域は年変化が 1.0 以上の地域が多くを占める北緯 30°付近、2.0 以上の地域が多くを占める北緯 60°付近、全球で最も年変化の大きいシベリア内陸部の 3 つの領域とした。

図 18 は気温の傾きを 1 月 1 日から 12 月 31 日までの 365 日の各日について 20 年間分平均したものの帯状平均である。帯状平均する際に気温は 45 日ローパスフィルターを取ったものを北緯 27.5°から 32.5°の陸上データのみになるように各モデルの 2.5°×2.5°格子に内挿した結果に陸上データを掛け合わせたものである。また、気温データを作成する際 1 年間で 360 日で計算する全球モデル (INGV、IPSL、MIUB) は除外し、モデル平均は 13 モデルについて計算した。気温の傾きはモデル間である年変化は似た挙動を示しており、モデル平均は再解析データと比べても目立った差異は存在しない。しかし、モデルごとのピークや極値はかなり差があり、最大値に関しては 1.33 から 1.92、最小値に関しては -2.34 から -1.96 とかなり違いがある。また、春と冬の非対象性も見られる。春は 50 日目から 150 日目まで 1.5 以上の高い傾きを持つ日が続いており、一方で秋は高い傾きを示すのは 270 日から 330 日までの 2 ヶ月間程度である。しかし、極値は春の方が 2 以下と小さいのに対し、秋は -2 よりも小さく春より傾きが大きくなっている。つまり、秋は春に比べて気温の変化が急激であることを示している。

図 19 は図 18 と同様の手法で北緯 57.5°から 62.5°の陸上のみの気温の傾きを計算したものである。やはり各モデルが年変化を捉えてはいるもののモデルごとの差は非常に大きく、モデル平均の最大値が 3.26 であるのに対してモデル間の標準偏差は 0.42 である。また、北緯 30°での帯状平均と比較すると秋の期間も長い間気温の傾きが大きくマイナスを取る時期が続き、春と秋の明確な差が少なくなっている。

図 20 はやはり図 18 と同じ手法で全球で最も気温の変化が大きいシベリア内陸部の東経 98.75°から 131.25°、北緯 60°から 75°の領域において帯状平均と同様に領域平均を施したものである。やはり年変化はある程度見て取れるものの、モデル間でのばらつきが非常に大きく、最大値の標準偏差は 0.51 であり、また

最大値のピークの時期はモデル同士の差が最大 96 日であった。最小値についても標準偏差が 1.01 であり、ピークの差は 22 日である。シベリア域での特徴としては 300 日目を境に急激に気温の傾きが減少している点である。つまり、シベリア域においては気温は 9 月から 10 月にかけて一気に減少した後は比較的穏やかに減少し、1 月頃最も寒い時期を迎えることを意味している。

表 4 から表 6 は年変化の現在、将来そしてその差を上記の 3 つの領域について計算されたそれぞれのスコアである。

3.3.2. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較

図 21、22、23 はそれぞれ図 18、19、20 と同じ領域における SRES A1B シナリオの結果である。これらの将来実験と 20C3M 実験の差でモデル間で共通していることは春、秋ともに気温の傾きの最大値、最小値の絶対値が小さくなっている点である。位相の変化はモデルによってはかなり大きく、最大値で見ると北緯 30°の帯状平均による気温の傾きでは IAP が最も大きく 32 日、北緯 60°の帯状平均による気温の傾きでは GISS-AOM が最も大きく 65 日、シベリア域における気温の傾きでは MRI が最も大きく 63 日と、変化の大きなモデルでは 2 ヶ月程度変化している。また、最小値で見ると北緯 30°の帯状平均による気温の傾きでは MRI が最も大きく 22 日、北緯 60°の帯状平均による気温の傾きでは CCCMA-t63 が最も大きく 59 日、シベリア域における気温の傾きでは CCCMA-t47 が最も大きく 18 日と、変化の大きなモデルでは 1 ヶ月程度のずれが生じている。

3. 結果	8
3.1 年々変動	8
3.1.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較	8
3.1.2. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較	9
3.2 日々変動	10
3.2.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較	10
3.2.2. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較	11
3.3 年変化	13
3.3.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較	13
3.3.2. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較	14

4. 考察

4.1 年々変動

4.1.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較

地上気温の年々変動は20年間の各月における月平均気温の標準偏差によって表した。図1のように月ごとに記述を行うと、陸上の大部分を占める北半球の冬季に年々変動が最大となっていることがわかる。図3の地域分布で見ると、12月～1月にかけて大きい値を示すのは再解析データやCRUデータ、モデル平均で違いはあるものの概ね中高緯度の大陸上であり、冬季の陸上で年々変動が大きいことが分かる。これは、北半球の冬季に現れるAO (Thompson and Wallace 1998) のように年によって大きく変わる固有のモードが夏季にはないことや、低緯度地域は一年を通じて温度変化が小さいために北半球の中高緯度で他の地域に比べて値が大きくなっているのであろう。また、海洋上では北極海を除いてほとんどの地域で値が小さくなっているが、これは陸上に比べて海洋の比熱が大きく地上付近の気温も変化しにくいいためである。

図1や図2で見られるように再解析データの月ごとや年平均の値とモデル平均の値は良い一致を示した。しかし、モデルごとの値は大きく異なり、年平均の陸上、海上におけるモデル平均値が1.51、0.69であるのに対して各々のモデルは1.18～1.92、0.55～0.92と平均値に対して非常に大きな変動幅があることが見て取れる。近年全球モデルの精度は大きく向上し、20世紀の再現実験において平均気温などではモデル間での差が縮まっているのに対して、これだけ大きな幅があることはモデル内における数年から数十年周期の変動があまり考慮されていないか、モデル内での地上気温に大きく関わる地表面物理過程がモデル間で大幅に異なる可能性を示唆している。Bell et al (2000)や Räsänen

(2002)などでは年々変動が観測に比べて大幅に過大評価していることを指摘しているが、今回平均値で見ると先行研究ほどの過大評価は見られなかった。むしろ、海上の年平均においてはわずかながらモデル平均の方が小さかった。これは、一つには使用したデータの期間、種類の違いも考えられるが、先行研究で指摘されていた全球モデルの単純な陸面状態による年々変動の過大評価が全球モデルの改良によって改善されていること可能性がある。Bell et al(2000)では複雑な物理過程を含んでいる全球モデルでは観測データに対して過大評価しておらず、本研究のように平均値が良く一致していることを示している。

図4に示した月平均地上気温の年々変動が最大となる月、最小となる月を再解析データ平均とモデル平均で比較すると、北半球の陸上を中心としてモデル

平均の方が最大となる月が遅い傾向にあった。具体的には、再解析データの平均では11月、12月頃に来ている最大値が1月、2月くらいに表れていた。図1の月平均値と比較してみると、モデル平均、再解析データ平均とも特定の月において値が大きい、小さいということがないため、これはいくつかのモデルにおいて年々変動の位相が実際の季節とずれている可能性を示唆している。また、興味深い結果としては北半球と南半球が対称になっておらず南半球中緯度でも大陸、海洋を問わず1月～2月に最大値を取り7月～9月に最小値を取る地域が広がっている点である。これは南半球でAOのような環状モードがほとんど見られないこととも共通し、冬季の年々変動が弱く1年を通じて変化が少ないことを示している。

4.1.2. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較

図5、図6から分かるようにモデル間での将来の変化率の違いはとても大きい。元々モデル間で倍以上の差があるとしても、同じ月で20%の増加を示すモデルもあれば、20%の減少を示すモデルもあり、将来の年々変動については現段階では予測が難しいと結論せざるを得ない。しかし、ほとんどのモデルにおいて海上では1年を通じて減少傾向にあることは明白で、陸面の物理過程の影響が少ない海上で年々変動が減少するということは大気場の年々変動が小さくなることを示唆している。全球平均したモデル間の差は非常に大きいですが、地域分布で考えるために図7を見ると、モデル平均の減少の大きな地域が夏冬問わず高緯度の海上と北半球中高緯度の冬季の陸上であることが分かる。年々変動が弱くなるということは厳冬や暖冬の頻度が減る、もしくは弱まることを意味し、社会的リスクが軽減する。しかし、北半球夏季のヨーロッパ地域や東アジアなどでは年々変動が増加する地域が広がっており、酷暑、冷夏の頻度、または強度が増す可能性がある。また、図4と図8から分かるようにモデル平均において将来最大となる月、最小となる月が変化する地域がいくつか見られた。これは、図5で見られるようにモデル平均に関して現在の値の大きな1、2月頃よりも10、11月頃の方が減少率が大きかったり、海上では年々変動の季節変化はほとんどないものの将来の変化率は9、10月頃に大きいなどといった現在値と比例しない変化の大きさが関係しているものと思われる。これらは年変化と大きく関係するため年変化の節で改めて議論する。

4.2 日々変動

3.2.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較

図9、10から分かるように年々変動と同様に日々変動においてもモデル間で

の差は大きい。また、再解析データと比較してモデル平均は僅かながら過小評価している。日々変動は平均的な気温の変化からの差であり、これが小さいということはモデル内で短周期の気温の変動が弱く、高・低気圧性擾乱などの発達が弱い可能性がある。特に一番小さいモデルと大きいモデルでは 2 倍程度の差がありこういったモデル間では高・低気圧擾乱の強弱や陸面の物理過程で大きな違いがある可能性がある。図 11 で示すように地域分布で見ると、概ね一致している。また、これらは図 3 の年々変動とも良く一致していることが分かる。また、図 8 にあるように標準偏差を用いたものとローパスフィルターを用いたものでは多くの地域で 1,2 ヶ月程度ピークに差があることが見られ、日々変動のピークを地域分布で見るとは従来の標準偏差を用いた研究では季節進行の強さを含んでおり厳密に日々の変化を捉えることが不十分であった。また、日々変動の最大値となる月はモデル平均が再解析平均よりも遅く、これも年々変動の時に見られた結果と一致する傾向であるがその地域は異なり、日々変動は北半球中高緯度の広い地域でずれが生じている。

4.1.3. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較

図 13、14 から見られるように日々変動の変化率も年々変動のものと同様にモデル間での差が大きい。しかし、やはり海上での減少を示すモデルは多く、日々変動においても将来大気場で減少することを示唆している。これを図 15 の地域分布で確認してみると、モデル平均では夏冬問わず全球の多くの海洋上で減少し、低、中緯度の夏季大陸上で増加している。これは、図 7 のように年々変動が低、中緯度の海洋上では増加、減少が地域によってばらばらであったことと異なる。大陸と海洋での全く異なる地域分布はやはり比熱の違いが大きいと考えられる。比熱の大きな海洋上では日々海面状態が大きく異なることは無いため、大気場の日々変化が弱くなることを示す。しかし、平均気温自体は増加しているために、陸面では乾燥状態や気温が翌日に及ぼす影響が大きくなり日々変動が増加しているものと考えられる。

4.3 年変化

3.3.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較

図 17 から分かるよう気温の年変化は低緯度及び海上ではほとんどない。そのため、詳細な年変化を調べるために中緯度と高緯度の陸上のみの帯状平均を作成し、また全球で最も気温の年変化の大きなシベリア周辺の領域平均図も作成した。まずこれらの図 18、19、20 に共通していることは春は秋に比べて穏やかに長期間気温の上昇が継続している点である。

また、図 18. 19. 20 は全球モデル間での位相の違いを良く示しており、最も差のある全球モデル同士では 2 ヶ月程度の差が見られた。これは中・高緯度によらずまたある程度広い領域平気において確認できており、全球モデルによって気温の変動の仕方、ひいては大気場の形成メカニズムに時間差が生じていることを示している。年々変動などの月平均値のスコアが全球モデル間で大きく異なっていた原因の一端であるだろう。

3.3.2. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較

まず、20C3M 実験と SRES A1B 実験の違いで最も特徴的なのは将来気温の年変化が小さくなる点である。これは将来温暖化した際の気温上昇が冬季の方が大きいため、夏と冬の温度差が減少することにより傾きの絶対値が小さくなる。また、位相のずれは全球モデルごとに大きく異なり、大きいものでは 2 ヶ月程度のずれが見られた。モデル平均で見るとシベリア付近で気温の傾きの最大値が 17.85 日、最小値が 6.62 日ずれてはいるものの、もともとのモデル間での標準偏差がそれぞれ 27.54 日、9.27 日あるため年変化の位相のずれに関する評価は現段階では非常に難しいと言える。

4. 考察.....	15
4.1 年々変動.....	15
4.1.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較.....	15
4.1.2. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較.....	16
4.2 日々変動.....	16
3.2.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較.....	16
4.1.3. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較.....	17
4.3 年変化.....	17
3.3.1. 20C3M 実験データと再解析データ及び観測データとの比較.....	17
3.3.2. 20C3M 実験と SRES A1B シナリオ実験との比較.....	18

5.結論

本研究では IPCC-AR4 に提出された全球モデルのうち、対象期間とした 1981-2000 年と 2081-2100 年にそれぞれ 20C3M 実験と SRES a1b シナリオ実験の結果の得られた 16 のモデルを用いて、主に地上 2m 日平均気温についての変動の解析を行った。数年から数十年周期の年々変動、1 ヶ月以下の周期の日々変動、1 年間で変化する年変化に分け、それぞれについてモデル平均値と観測値との比較やモデル間での差の大きさなどについて解析を行った。気温の変動に関する研究は近年あまり行われてはいないが、年々変動や日々変動の社会的影響、モデル間での大幅な違いによる評価の対象として重要な意義を持つ。

地上気温の年々変動に関する先行研究では現在気候を再現した実験において主に陸上での過大評価が見られた。しかし、今回行った解析ではモデル平均は再解析データと非常に良く一致しており、過大評価は見られなかった。これは使用したデータの種類に原因があると思われる。ただしモデル平均では再解析データと一致していたが、モデル間の差は大きく、使用したモデルデータが違っていると結果も大きく変わってしまう。また、陸上での年々変動はモデル内部の陸面物理過程に大きく依存してしまうため、陸面物理過程の改良による精度向上があった可能性もある。また、年々変動は北半球と南半球で大きく様相が異なり、南半球では北半球で見られるような季節的な増減が少なかった。これは南半球ではほとんどが海であるために AO のような冬に強く現れる固有モードが無く、年々の気温変動が小さいことを示していると思われる。

年々変動の将来実験との差異についてはモデル間での差は大きいものの北半球高緯度の冬季に大きく年々変動が減少し、ヨーロッパやシベリアなどを中心とする北半球中緯度の夏季や低緯度地域では主に陸上で年々変動の増加が見られた。これは先行研究と同様の結果である。特に夏季陸上での年々変動の増加は酷暑、冷夏の頻度が増えるまたは強度が強まるまたは両者が同時に起こることを意味しており、将来平均的な気温の上昇のみを考慮した場合よりも大きな社会的影響がある可能性を示唆している。

日々変動については基本的に年々変動と同様の挙動を示しており、冬季に大きくまた陸上で大きい値を示した。日々変動もやはりモデル平均では再解析データの値と良く一致していたが、モデル間の差が大きかった。また、年々変動で見られたような北半球と南半球の違いは見られず、1 ヶ月以下の周期の変動については半球ごとに大きな差異が無かった。

日々変動の将来実験との差異についてはやはりモデル間での差は大きいですが、海上では季節を問わず全球で減少が見られ、陸上では中緯度の夏季や低緯度で増加が見られた。地域を問わず海上で日々変動が減少していることは低気圧などの擾乱が弱くなることと一致する。

気温の年変化は中・高緯度の領域平均においてモデル間での位相のずれが確認できた。低緯度地域および海洋上は年変化が小さく除外したが、同様に気温の変化に位相差がある可能性があり、モデル間での指標の評価が難しいことを示唆している。

気温の年変化は将来夏と冬の気温差が縮小するために極値の絶対値が減少傾向にあった。しかしながら、将来の位相の変化はモデルごとでは見られたもののモデル平均としては確認できなかった。

本研究では今まであまり行われていなかった時間スケールでの気温の変動の解析も行った。これらの一部は各全球モデルの日平均気温データが揃いようやうに行えるようになった取り組みである。日々変動は年々変動と同様将来大きく変化する可能性を示唆しており、従来の研究対象であった年々変動のみでは気温の変動を正しく捉えられ

ていないことを示した。

先行研究に比べて観測データとの差は減少しているもののモデル間での差は大変大きく、また将来の変化についてもまちまちであった。これはそれぞれの周期成分についてモデルの再現性を高める余地があることを示しており、これからの精度の向上に期待したい。

引用文献

- Bell, J., P. Duffy, C. Covey, L. Sloan, and the CMIP investigators, 2000: Comparison of temperature variability in observations and sixteen climate model simulations. *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 261–264.
- Cao, H. X., J. F. B. Mitchell, and J. R. Lavery, 1992: Simulated diurnal range and variability of surface temperature in a global climate model for present and doubled CO₂ climates. *J. Climate*, **5**, 920–943.
- Duchon, C. E., 1979: Lanczos filtering in one and two dimensions. *J. Appl. Meteor.*, **18**, 1016–1022.
- Giorgi, F., X. Bi, and J. S. Pal, 2004: Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. .climate change scenarios(2071-2100). *Climate Dyn.*, **22**, 733–756.
- Giorgi, F. and Bi, X. 2005: Regional changes in surface climate interannual variability for the 21st century from ensembles of global model simulations. *Geophys. Res. Lett.* **32**, L13701.
- Gregory, J. M., and J. F. B. Mitchell, 1995: Simulation of dailyvariability of surface temperature and precipitation over Europe in the current and 2 3 CO₂ climates using the UKMO climate model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **121**, 1451–1476.
- Kharin, V. V., and F. W. Zwiers, 2000: Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere–ocean GCM. *J. Climate*, **13**, 3760–3788.
- Räisänen, J. 2002: CO₂-Induced Changes in Interannual Temperature and Precipitation Variability in 19 CMIP2 Experiments. *J.Climate*, **15**, 2395-2411
- Rind, D., R. Goldberg, and R. Ruedy, 1989: Change in climate variability in the 21st century. *Climatic Change*, **14**, 5–37.
- Seneviratne, D. Lüthi, M. Litschi, and C. Schär, 2006b: Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, **443**, 205–209.
- Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 1998 : The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1297-1300.
- Walsh, J. E., I. Shapiro, and T. L. Shy, 2005: On the variability and predictability of daily temperatures in the Arctic. *Atmos.-Ocean*, **43**, 213-230.

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、連携大学院制度を利用し気象研究所気候研究部の第一研究室で研究をさせていただきました。指導教員である鬼頭昭雄連携大学院教授には部長という大変多忙な職務の中丁寧な御指導を賜りました。また、筑波大学の田中博教授には学群在籍時と変わらぬ御指導を賜り、大学での手厚いサポートをして頂きました。同大学の木村富士男教授、林陽生教授、上野健一准教授、植田宏昭講師、日下博幸講師にはゼミなどの機会に多くの意見を頂きました。

気象研究所でデータ作成や解析プログラムの作成を教えていただいた荒川理氏をはじめとして気象研究所気候研究部の方々には大変お世話になりました。

筑波大学の大庭雅道准研究員には全球モデルに関する助言を多くいただきました。

地球環境科学研究科および環境科学研究科の友人には公私ともにお世話になりました。

また、大学院進学を支えてくれた家族に感謝しています。

そして、皆様からのご好意を心から感謝いたします。

	20C3M	SRES A1B	差	変化率
単位	K	K	K	%
モデル名				
BCCR	276.36	279.15	2.79	1.01
CCCMA	277.51	280.08	2.57	0.93
CCCMA.t63	276.70	280.18	3.48	1.26
CNRM	278.07	281.40	3.33	1.20
CSIRO	276.93	278.70	1.77	0.64
GFDL	276.46	279.80	3.34	1.21
GISS-AOM	278.78	280.75	1.97	0.71
GISS.model	277.14	279.53	2.39	0.86
IAP	277.93	280.75	2.82	1.01
INGV	279.85	282.91	3.06	1.09
INMCM	276.97	280.25	3.28	1.18
IPSL	277.24	280.53	3.29	1.19
MIROC.hi	278.90	283.90	5.00	1.79
MIROC.med	277.97	281.62	3.65	1.31
MIUB	277.83	280.87	3.04	1.09
MRI	276.83	279.25	2.42	0.87
モデル平均	277.59	280.60	3.01	1.09
モデル間標準偏差	0.97	1.36	0.76	0.27
JRA	278.64			
ERA	278.05			
NCEP	277.96			

表1 各全球モデル及び再解析データの平均地上気温のスコア

	陸上				海上			
	20C3M	SRES A1B	差	変化率	20C3M	SRES A1B	差	変化率
単位	K	K	K	%	K	K	K	%
モデル名								
BCCR	1.45	1.50	0.05	3.16	0.69	0.72	0.03	3.73
CCCMA	1.69	1.67	-0.02	-0.94	0.66	0.61	-0.05	-8.06
CCCMA.t63	1.64	1.59	-0.05	-3.19	0.69	0.59	-0.10	-14.98
CNRM	1.49	1.49	0.00	0.28	0.77	0.74	-0.03	-4.09
CSIRO	1.44	1.44	0.00	0.06	0.65	0.60	-0.05	-8.42
GFDL	1.68	1.57	-0.11	-6.43	0.74	0.66	-0.08	-11.46
GISS-AOM	1.33	1.34	0.01	0.44	0.55	0.54	-0.01	-1.22
GISS.model	1.61	1.61	0.00	0.05	0.60	0.56	-0.04	-5.96
IAP	1.62	1.61	-0.01	-0.46	0.72	0.67	-0.05	-7.10
INGV	1.54	1.51	-0.03	-2.10	0.66	0.60	-0.06	-8.55
INMCM	1.95	1.78	-0.17	-8.51	0.92	0.78	-0.14	-15.55
IPSL	1.62	1.61	-0.01	-0.46	0.72	0.67	-0.05	-7.10
MIROC.hi	1.18	1.36	0.18	15.46	0.58	0.59	0.01	1.88
MIROC.med	1.47	1.47	0.00	-0.34	0.58	0.58	0.00	-0.43
MIUB	1.70	1.58	-0.12	-6.82	0.80	0.67	-0.13	-16.84
MRI	1.28	1.33	0.05	3.72	0.70	0.72	0.02	2.98
モデル平均	1.51	1.48	-0.03	-1.82	0.69	0.64	-0.05	-7.34
モデル間標準偏差	0.19	0.13	0.08	5.40	0.09	0.07	0.05	6.49
CRU	1.24							
JRA	1.48				0.75			
ERA	1.53				0.74			
NCEP	1.51				0.77			

表2 各全球モデル及び再解析データの年々変動のスコア

	陸上				海上			
	20C3M	SRES A1B	差	変化率	20C3M	SRES A1B	差	変化率
単位	K	K	K	%	K	K	K	%
モデル名								
BCCR	1.68	1.66	-0.02	-1.07	0.66	0.60	-0.06	-9.63
CCCMA	2.09	2.07	-0.02	-1.07	0.65	0.60	-0.05	-8.00
CCCMA.t63	2.10	2.04	-0.06	-2.63	0.67	0.56	-0.11	-16.46
CNRM	1.59	1.59	0.00	-0.31	0.46	0.43	-0.03	-7.17
CSIRO	1.84	1.83	-0.01	-0.77	0.64	0.60	-0.04	-6.52
GFDL	2.43	2.31	-0.12	-4.79	0.87	0.76	-0.11	-12.36
GISS-AOM	1.70	1.74	0.04	2.11	0.54	0.50	-0.04	-6.79
GISS.model	2.09	2.08	-0.01	-0.52	0.76	0.71	-0.05	-6.48
IAP	2.05	1.96	-0.09	-4.28	0.73	0.64	-0.09	-12.40
INGV	1.62	1.53	-0.09	-5.46	0.69	0.60	-0.09	-13.49
INMCM	2.48	2.32	-0.16	-6.47	1.02	0.89	-0.13	-12.88
IPSL	1.81	1.75	-0.06	-3.09	0.79	0.70	-0.09	-11.53
MIROC.hi	1.77	1.73	-0.04	-2.54	0.66	0.55	-0.11	-16.86
MIROC.med	1.86	1.79	-0.07	-3.53	0.56	0.50	-0.06	-10.04
MIUB	1.45	1.37	-0.08	-5.34	0.70	0.64	-0.06	-8.44
MRI	1.34	1.33	-0.01	-1.06	0.67	0.61	-0.06	-8.83
モデル平均	1.79	1.73	-0.06	-3.49	0.70	0.63	-0.07	-9.93
モデル間標準偏差	0.32	0.30	0.05	2.33	0.13	0.11	0.03	3.36
JRA	1.72				0.79			
ERA	1.77				0.83			
NCEP	2.07				0.79			

表3 各全球モデル及び再解析データの日々変動のスコア

単位	20C3M					
	→→+	極大日	極値	+→-	極小日	極値
	day of year	day of year	K/day*10	day of year	day of year	K/day*10
モデル名						
BCCR	21	75	1.82	213	300	-2.37
CCCMA	9	71	1.92	204	311	-2.34
CCCMA.t63	10	87.5	1.78	202	296.5	-2.21
CNRM	7	111.5	1.57	206	294.5	-2.34
CSIRO	9	88.5	1.68	199	292.5	-2.15
GFDL	14	123	1.91	202	297	-2.23
GISS-AOM	3	140	1.33	201	296	-1.96
GISS-MODEL	3	110.5	1.49	207	305.5	-2.28
IAP	14	95	1.82	206	306.5	-2.07
INMCM	9	107	1.67	199	289.5	-2.17
MIROC-HI	5	127.5	1.69	203	287	-2.09
MIROC-MED	7	87.5	1.60	205	294	-2.19
MRI	9	85.5	1.75	199	319	-2.07
モデル平均	9.23	100.73	1.69	203.54	299.15	-2.19
モデル間標準偏差	4.92	21.05	0.17	3.97	9.06	0.12
JRA	13	96.5	1.83	198	308	-1.89
ERA	13	96.5	1.85	200	307.5	-1.92
NCEP	15	98.5	2.08	193	291	-2.16

※1、2日以上同じ値の日がある場合極値の day of year は平均

※2、+→-または→→+は遅い方を選択

※3、モデル間標準偏差のために季節を考慮し day of year を-にしてある場合がある

表 4-1 各全球モデル及び再解析データの年変化(N30 帯状平均) (1)
 全球モデルの 20C3M 実験及び再解析データの 1981-2000

全球モデル	SRES A1B					
	→→+	極大日	極値	++→	極小日	極値
	day of year	day of year	K/day*10	day of year	day of year	K/day*10
BCCR	12	81.5	2.09	212	301.5	-2.41
CCCMA	7	78.5	1.93	206	300.5	-2.33
CCCMA.t63	12	70	1.73	203	307.5	-2.37
CNRM	8	93.7	1.74	202	306.5	-2.38
CSIRO	6	58	1.80	201	300.5	-2.25
GFDL	13	99	1.94	207	315.5	-2.27
GISS-AOM	6	104	1.41	199	308	-1.92
GISS-MODEL	4	85	1.54	211	290	-2.14
IAP	8	127.5	1.78	208	297	-2.13
INMCM	5	114	1.70	207	288.5	-2.34
MIROC-HI	10	144	1.67	206	285	-2.15
MIROC-MED	8	78	1.77	210	276	-2.34
MRI	9	97	1.80	202	296.5	-2.10
モデル平均	8.31	94.63	1.76	205.69	297.92	-2.24
モデル間標準偏差	2.81	23.73	0.17	4.05	10.82	0.14

※1、2日以上同じ値の日がある場合極値の day of year は平均

※2、+→-または-→+は遅い方を選択

※3、モデル間標準偏差のために季節を考慮し day of year を-にしてある場合がある

表 4-2 各全球モデル及び再解析データの年変化(N30 帯状平均) (2)
 全球モデルの SRES A1B の 2081-2100

全球モデル	(SRES A1B)-(20C3M)					
	→→+	極大日	極値	+→-	極小日	極値
	day of year	day of year	K/day*10	day of year	day of year	K/day*10
BCCR	-9	6.5	0.27	-1	1.5	-0.04
CCCMA	-2	7.5	0.01	2	-10.5	0.01
CCCMA.t63	2	-17.5	-0.05	1	11	-0.16
CNRM	1	-17.8	0.17	-4	12	-0.04
CSIRO	-3	-30.5	0.12	2	8	-0.1
GFDL	-1	-24	0.03	5	18.5	-0.04
GISS-AOM	3	-36	0.08	-2	12	0.04
GISS-MODEL	1	-25.5	0.05	4	-15.5	0.14
IAP	-6	32.5	-0.04	2	-9.5	-0.06
INMCM	-4	7	0.03	8	-1	-0.17
MIROC-HI	5	16.5	-0.02	3	-2	-0.06
MIROC-MED	1	-9.5	0.17	5	-18	-0.15
MRI	0	11.5	0.05	3	-22.5	-0.03
モデル平均	-0.92	-6.10	0.07	2.15	-1.23	-0.05
モデル間標準偏差	-2.11	2.68	0.00	0.08	1.76	0.02

※1、2日以上同じ値の日がある場合極値の day of year は平均

※2、+→-または→→+は遅い方を選択

※3、モデル間標準偏差のために季節を考慮し day of year を-にしてある場合がある

表 4-3 各全球モデル及び再解析データの年変化(N30 帯状平均) (3)
SRES A1B 実験と 20C3M 実験との差

	20C3M					
	→+	極大日	極値	+→	極小日	極値
単位	day of year	day of year	K/day*10	day of year	day of year	K/day*10
モデル名						
BCCR	27	96	3.56	201	309	-4.31
CCCMA	30	95.5	3.36	202	303	-3.01
CCCMA.t63	27	111	3.33	204	311	-2.79
CNRM	17	82.5	3.01	201	310.5	-3.72
CSIRO	20	111	3.19	193	314	-3.54
GFDL	5	136.5	3.34	201	315.5	-3.69
GISS-AOM	13	62.5	2.59	199	332	-2.56
GISS-MODEL	17	62	2.61	205	283.5	-3.22
IAP	20	100	4.20	201	290.5	-4.98
INMCM	39	102	3.63	196	283	-2.78
MIROC-HI	29	127	3.16	199	314.5	-3.08
MIROC-MED	28	91	3.25	198	291	-2.75
MRI	15	91.5	3.14	195	300.5	-2.80
モデル平均	22.08	97.58	3.26	199.62	304.46	-3.33
モデル間標準偏差	8.97	21.56	0.42	3.45	14.33	0.71
JRA	10	80	2.76	199	303.5	-3.62
ERA	9	79.5	2.70	200	303.5	-3.58
NCEP	9	134.5	2.57	202	279.5	-3.07

※1、2日以上同じ値の日がある場合極値の day of year は平均

※2、+→-または→+は遅い方を選択

※3、モデル間標準偏差のために季節を考慮し day of year を-にしてある場合がある

表 5-1 各全球モデル及び再解析データの年変化(N60 帯状平均) (1)
 全球モデルの 20C3M 実験及び再解析データの 1981-2000

全球モデル	SRES A1B					
	→→+	極大日	極値	→→-	極小日	極値
	day of year	day of year	K/day*10	day of year	day of year	K/day*10
BCCR	24	63.5	3.17	202	320	-3.10
CCCMA	32	93.5	2.96	203	309	-2.33
CCCMA.t63	42	115	2.89	204	251.5	-2.26
CNRM	27	137.5	2.60	202	325	-2.78
CSIRO	28	110	3.24	193	309	-2.92
GFDL	38	113	2.97	193	316	-2.74
GISS-AOM	23	128	2.59	200	307	-2.53
GISS-MODEL	17	87.5	2.67	204	260.5	-3.17
IAP	21	99	3.90	203	307	-4.16
INMCM	35	116	3.02	198	289.5	-2.44
MIROC-HI	37	125.5	3.21	202	265.5	-2.56
MIROC-MED	27	137.5	3.12	201	253.5	-2.55
MRI	19	98	2.62	193	309	-2.31
モデル平均	28.46	109.54	3.00	199.85	294.04	-2.76
モデル間標準偏差	7.82	21.11	0.36	4.22	26.67	0.51

※1、2日以上同じ値の日がある場合極値の day of year は平均

※2、→→-または→→+は遅い方を選択

※3、モデル間標準偏差のために季節を考慮し day of year を-にしてある場合がある

表 5-2 各全球モデル及び再解析データの年変化(N60 帯状平均) (2)
 全球モデルの SRES A1B の 2081-2100

全球モデル	(SRES A1B)-(20C3M)					
	→→+	極大日	極値	→→-	極小日	極値
	day of year	day of year	K/day*10	day of year	day of year	K/day*10
BCCR	-3	-32.5	-0.39	1	11	1.21
CCCMA	2	-2	-0.4	1	6	0.68
CCCMA.t63	15	4	-0.44	0	-59.5	0.53
CNRM	10	55	-0.41	1	14.5	0.94
CSIRO	8	-1	0.05	0	-5	0.62
GFDL	33	-23.5	-0.37	-8	0.5	0.95
GISS-AOM	10	65.5	0	1	-25	0.03
GISS-MODEL	0	25.5	0.06	-1	-23	0.05
IAP	1	-1	-0.3	2	16.5	0.82
INMCM	-4	14	-0.61	2	6.5	0.34
MIROC-HI	8	-1.5	0.05	3	-49	0.52
MIROC-MED	-1	46.5	-0.13	3	-37.5	0.2
MRI	4	6.5	-0.52	-2	8.5	0.49
モデル平均	6.38	11.96	-0.26	0.23	-10.42	0.57
モデル間標準偏差	-1.15	-0.44	-0.06	0.77	12.34	-0.19

※1、2日以上同じ値の日がある場合極値の day of year は平均

※2、→→-または→→+は遅い方を選択

※3、モデル間標準偏差のために季節を考慮し day of year を-にしてある場合がある

表 5-3 各全球モデル及び再解析データの年変化(N60 帯状平均) (3)
SRES A1B 実験と 20C3M 実験との差

	20C3M					
	day of year	day of year		day of year	day of year	
全球モデル	→→+	極大日	極値	+→-	極小日	極値
BCCR	24	103	5.88	193	299	-7.51
CCCMA	34	99.5	5.01	198	288	-5.63
CCCMA.t63	15	112	4.90	202	288	-5.20
CNRM	13	84.5	4.96	193	308	-6.87
CSIRO	23	69.5	5.28	190	306	-5.24
GFDL	-3	138	5.82	193	286.5	-6.95
GISS-AOM	20	80	4.28	196	288.5	-4.92
GISS-MODEL	22	59	4.37	192	284	-4.67
IAP	21	155.5	5.26	195	286	-7.03
INMCM	38	132.5	5.85	185	273.5	-4.53
MIROC-HI	39	114.5	5.46	195	289	-5.29
MIROC-MED	30	113	5.18	190	289	-5.32
MRI	29	98	4.95	189	295.5	-5.06
モデル平均	23.46	104.54	5.17	193.15	290.85	-5.71
モデル間標準偏差	11.33	27.54	0.51	4.30	9.27	1.01
JRA	10	95.5	4.07	196	300.5	-6.14
ERA	10	95.5	4.13	196	301	-6.05
NCEP	9	136	3.68	198	300	-5.08

※1、2日以上同じ値の日がある場合極値の day of year は平均

※2、+→-または→→+は遅い方を選択

※3、モデル間標準偏差のために季節を考慮し day of year を-にしてある場合がある

表 6-1 各全球モデル及び再解析データの年変化(シベリア内陸部) (1)
 全球モデルの 20C3M 実験及び再解析データの 1981-2000

全球モデル	SRES A1B					
	→→+	極大日	極値	+→-	極小日	極値
	day of year	day of year	K/day*10	day of year	day of year	K/day*10
BCCR	24	97	6.30	194	300	-6.18
CCCMA	32	120	4.37	200	306	-4.15
CCCMA.t63	14	119	4.81	203	288	-3.62
CNRM	28	71.5	4.08	197	308	-4.98
CSIRO	9	103.5	5.14	190	305	-4.89
GFDL	13	128	5.05	196	296.5	-5.52
GISS-AOM	28	126	3.26	191	306	-4.21
GISS-MODEL	16	88	4.36	201	286.5	-4.60
IAP	17	154.5	5.29	195	290	-6.36
INMCM	27	126	5.21	195	280	-3.30
MIROC-HI	31	151	4.70	191	301	-3.68
MIROC-MED	25	145	4.54	198	295.5	-4.14
MRI	17	161.5	4.61	189	304.5	-4.52
モデル平均	21.62	122.38	4.75	195.38	297.46	-4.63
モデル間標準偏差	7.58	26.99	0.72	4.39	8.93	0.95

※1、2日以上同じ値の日がある場合極値の day of year は平均

※2、+→-または→→+は遅い方を選択

※3、モデル間標準偏差のために季節を考慮し day of year を-にしてある場合がある

表 6-2 各全球モデル及び再解析データの年変化(シベリア内陸部) (2)
 全球モデルの SRES A1B の 2081-2100

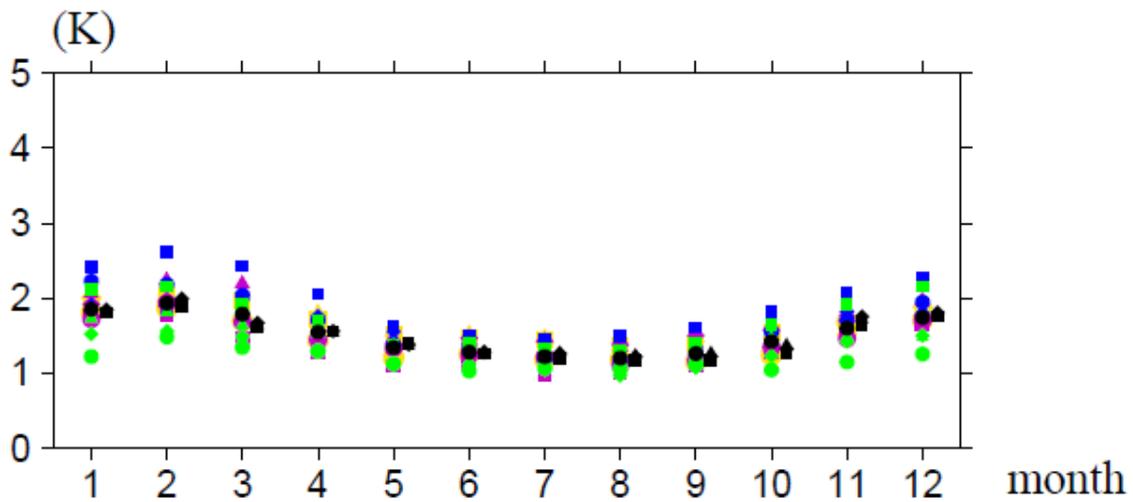
全球モデル	(SRES A1B)-(20C3M)					
	→→+	極大日	極値	+→-	極小日	極値
	day of year	day of year	K/day*10	day of year	day of year	K/day*10
BCCR	0	-6	0.42	1	1	1.33
CCCMA	-2	20.5	-0.64	2	18	1.48
CCCMA.t63	-1	7	-0.09	1	0	1.58
CNRM	15	-13	-0.88	4	0	1.89
CSIRO	-14	34	-0.14	0	-1	0.35
GFDL	16	-10	-0.77	3	10	1.43
GISS-AOM	8	46	-1.02	-5	17.5	0.71
GISS-MODEL	-6	29	-0.01	9	2.5	0.07
IAP	-4	-1	0.03	0	4	0.67
INMCM	-11	-6.5	-0.64	10	6.5	1.23
MIROC-HI	-8	36.5	-0.76	-4	12	1.61
MIROC-MED	-5	32	-0.64	8	6.5	1.18
MRI	-12	63.5	-0.34	0	9	0.54
モデル平均	-1.85	17.85	-0.42	2.23	6.62	1.08
モデル間標準偏差	-3.75	-0.55	0.21	0.09	-0.34	-0.06

※1、2日以上同じ値の日がある場合極値の day of year は平均

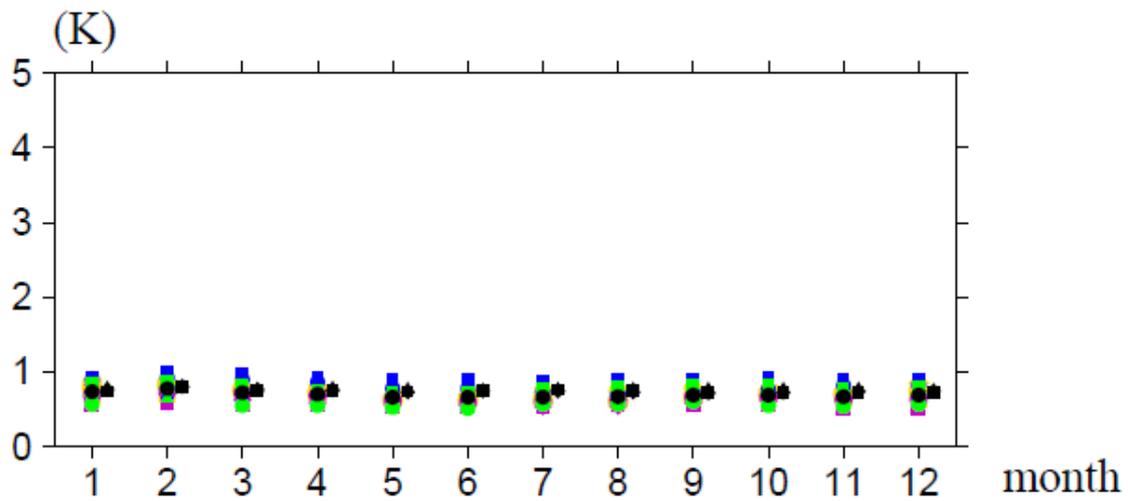
※2、+→-または→→+は遅い方を選択

※3、モデル間標準偏差のために季節を考慮し day of year を-にしてある場合がある

表 6-3 各全球モデル及び再解析データの年変化(シベリア内陸部) (3)
SRES A1B 実験と 20C3M 実験との差



(a)



(b)

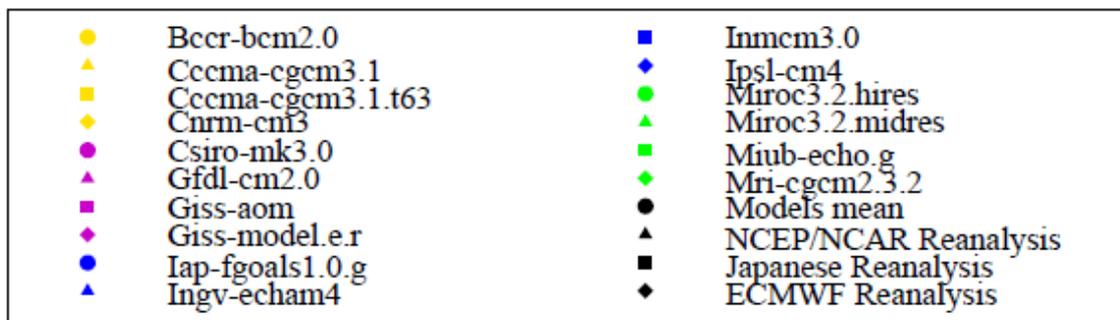


図1 年々変動の月ごとの各全球モデルにおける全球平均(20C3M)

(a)が陸上、(b)が海上

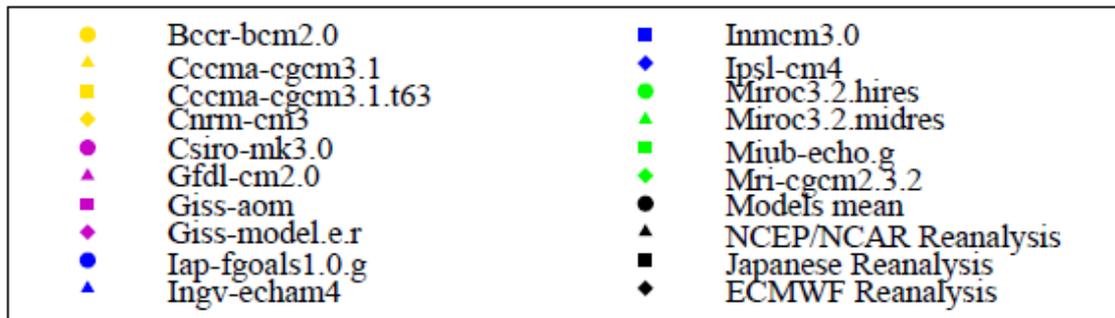
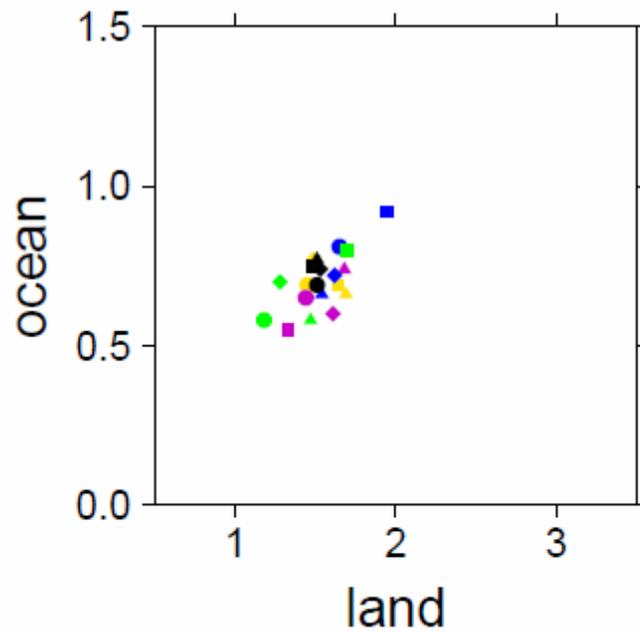


図2 年々変動の陸上—海上分布図

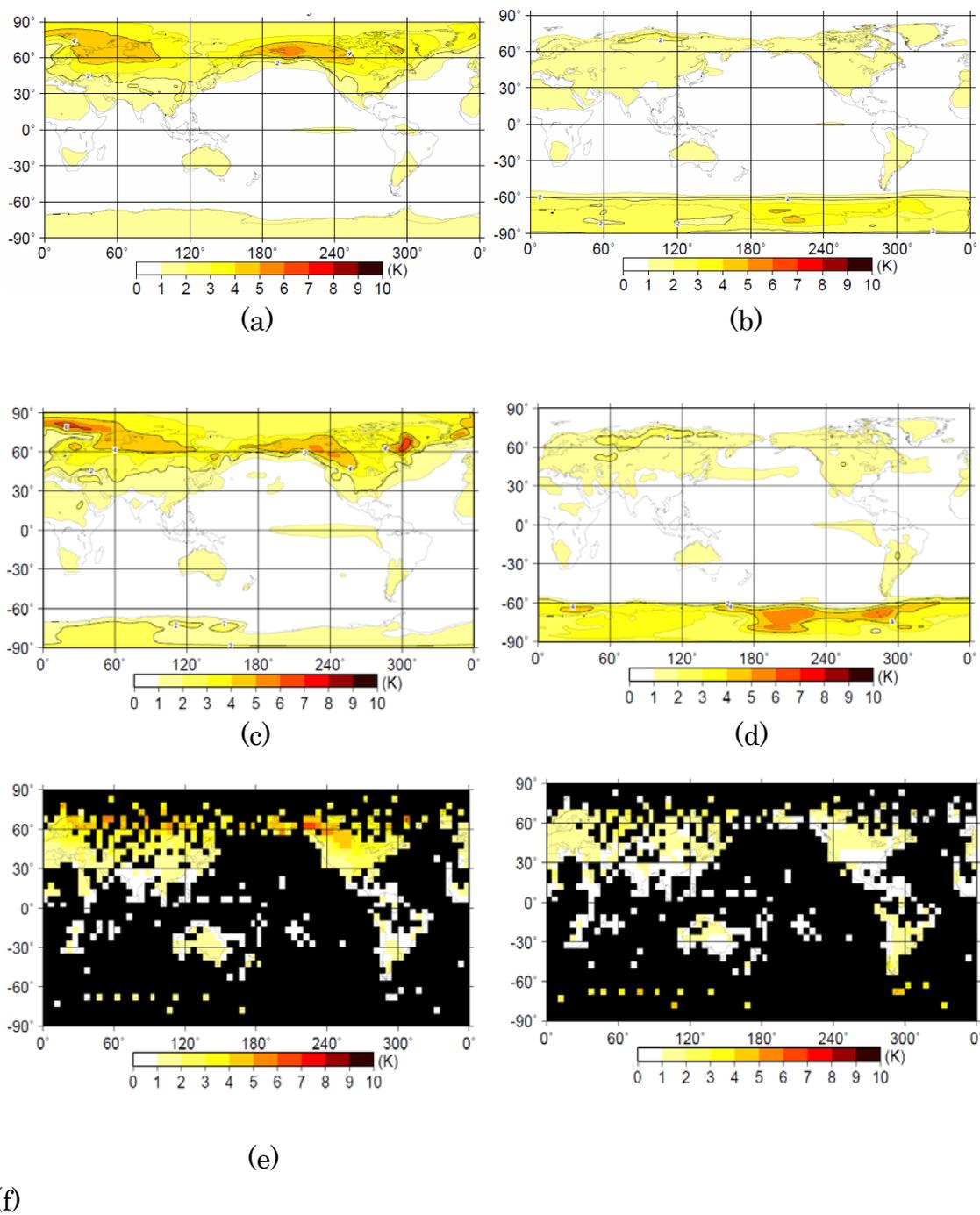


図3 年々変動の地域分布

(a)、(b)は全球モデル平均、(c)、(d)は再解析データ平均、(e)、(f)はCRUデータ

(a)、(c)、(e)は12~2月、(b)、(d)、(f)は6~8月

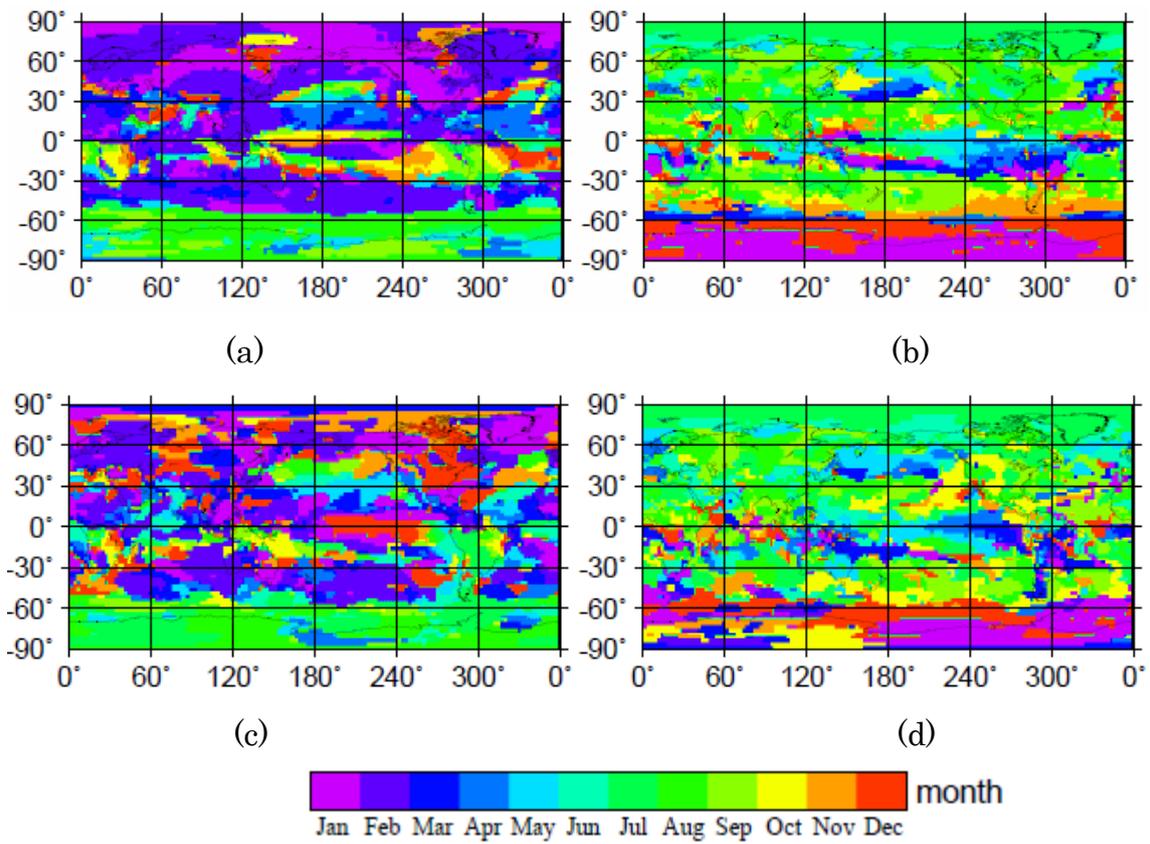


図4 年々変動が最大となる月、最小となる月

(a)、(b)は全球モデル平均、(c)、(d)は再解析データ平均
 (a)、(c)が最大となる月、(b)、(d)が最小となる月

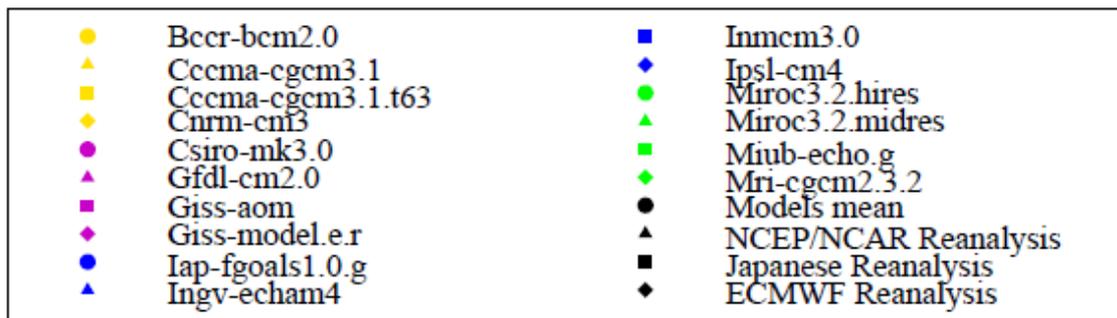
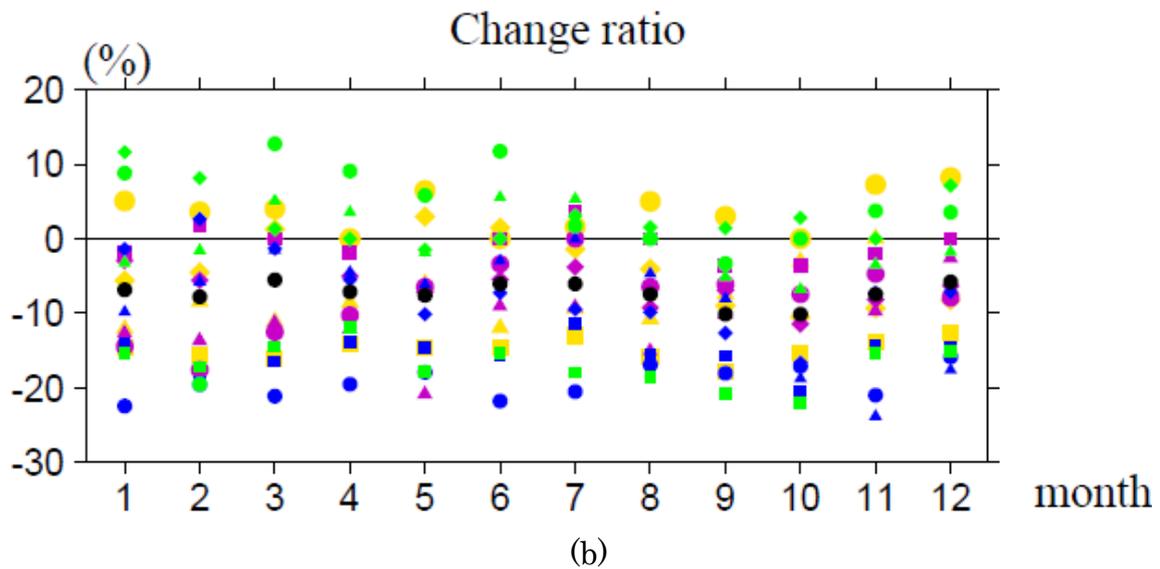
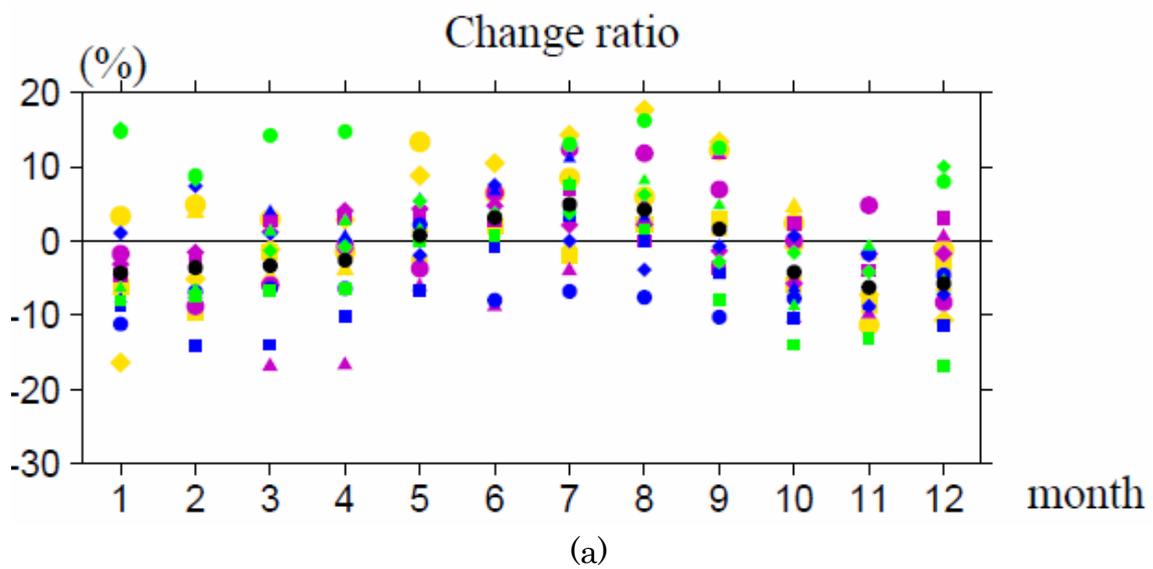


図5 年々変動の月ごとの各全球モデルにおける全球平均の将来変化率

(a)が陸上、(b)が海上

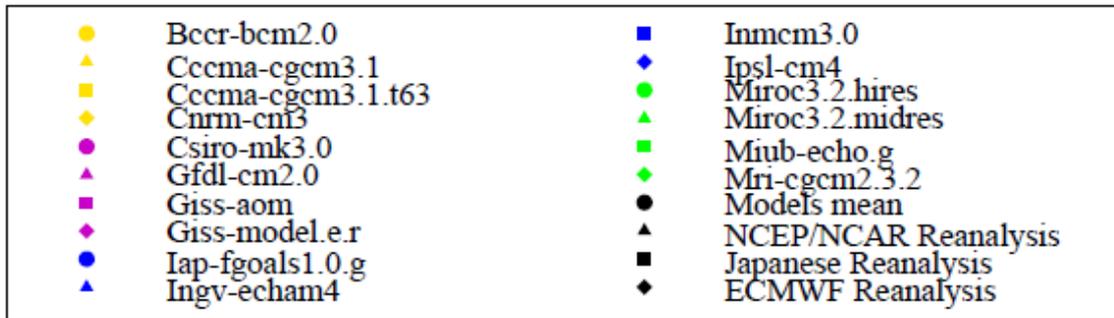
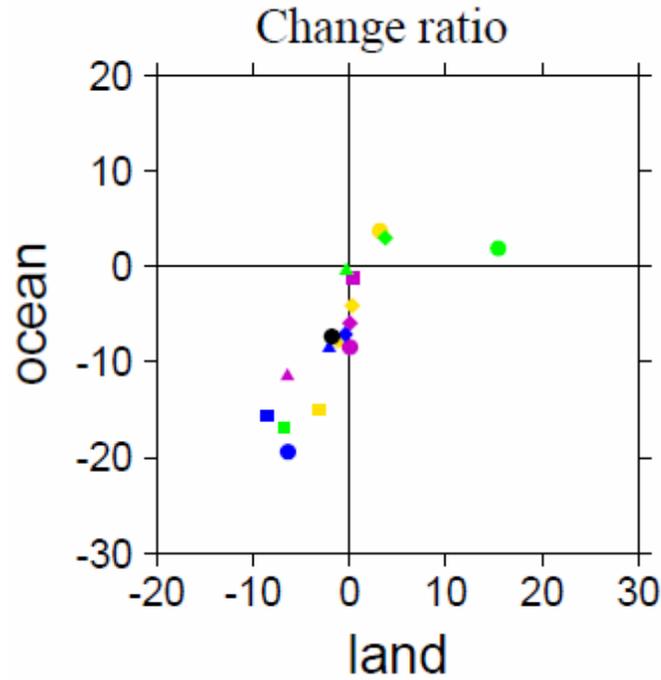


図6 年々変動の将来変化率の陸上—海上分布図

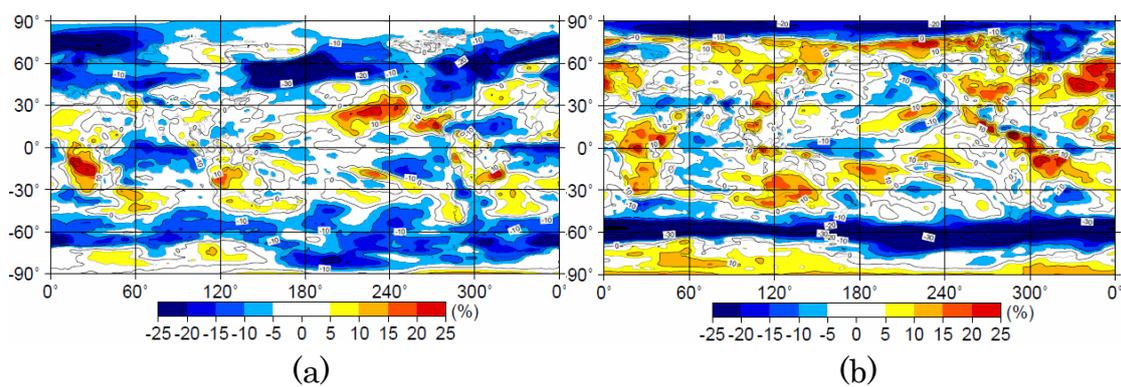


図7 年々変動の地域分布の全球モデル平均における将来変化率

(a)は12～2月、(b)は6～8月の平均値

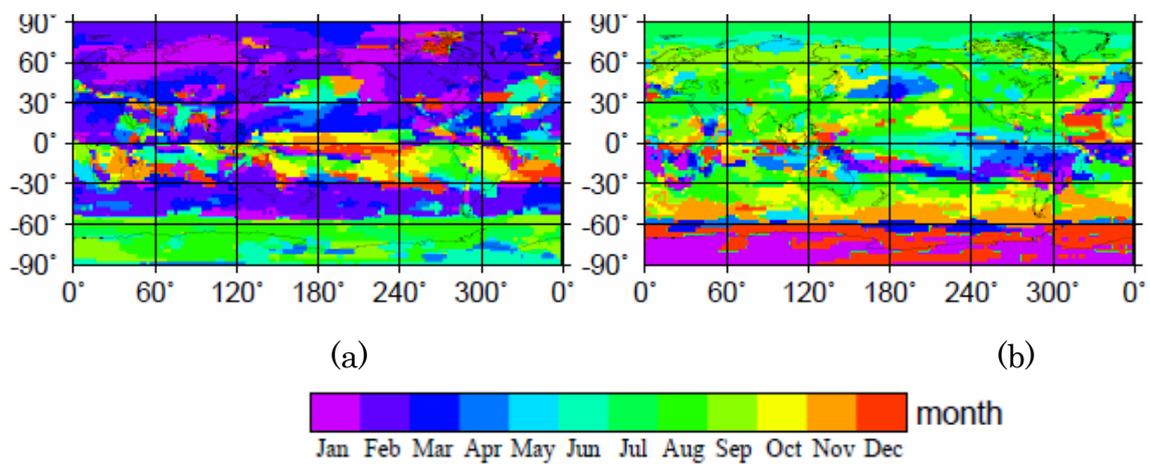
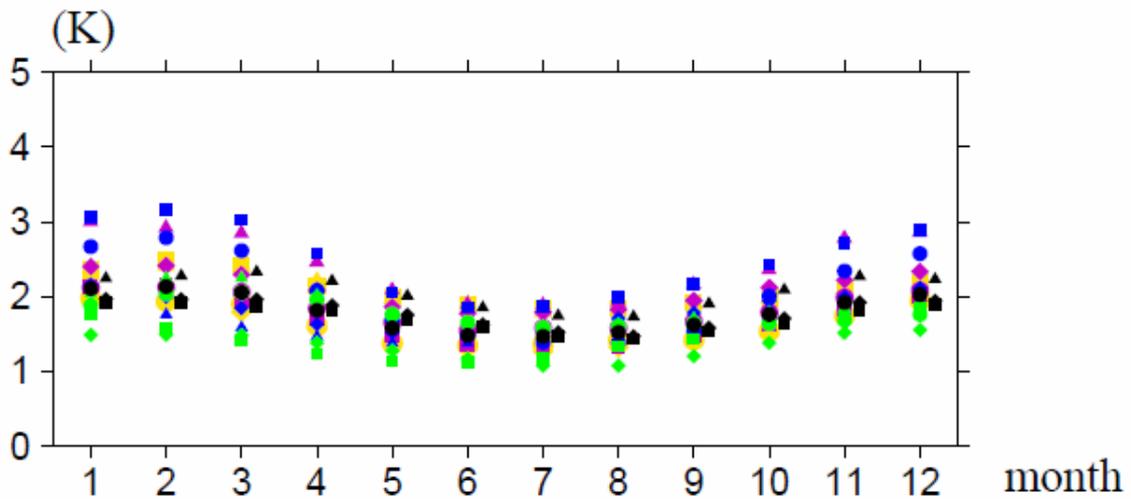
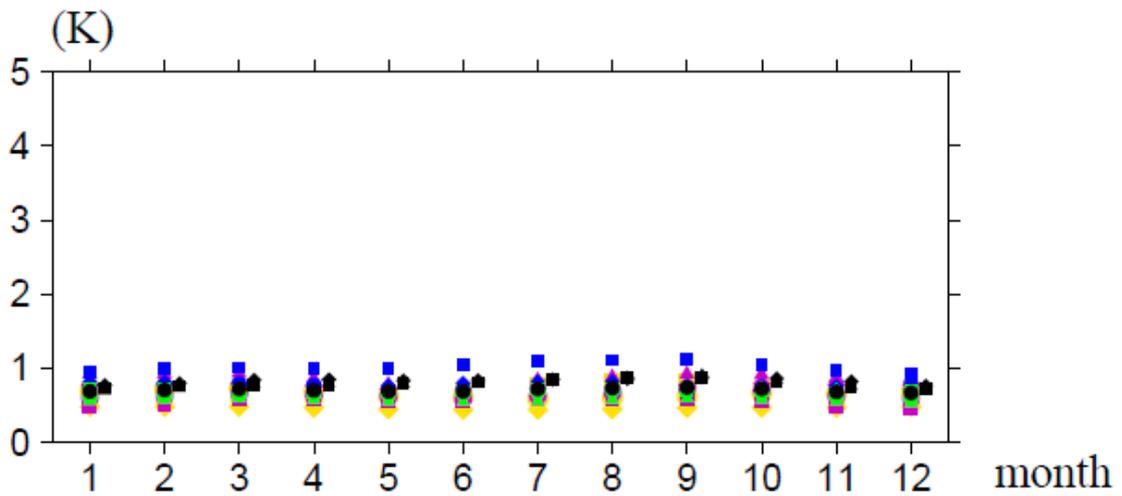


図8 将来年々変動が最大となる月、最小となる月

(a)最大となる月、(b)最小となる月



(a)



(b)

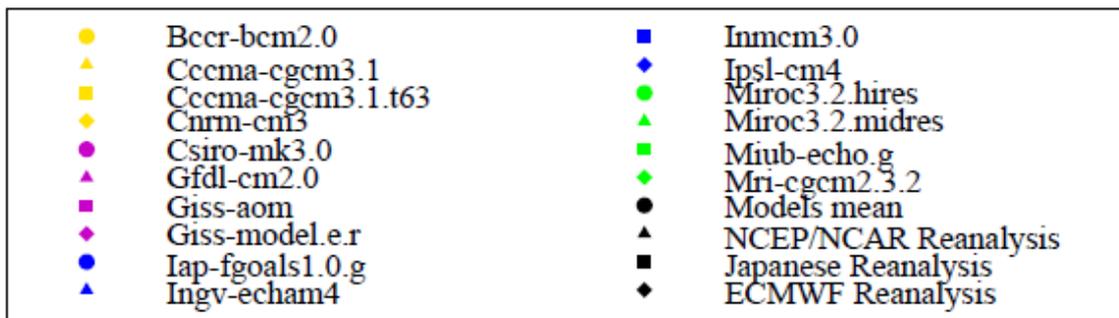


図9 日々変動の月ごとの各全球モデルにおける全球平均

(a)は陸上、(b)は海上

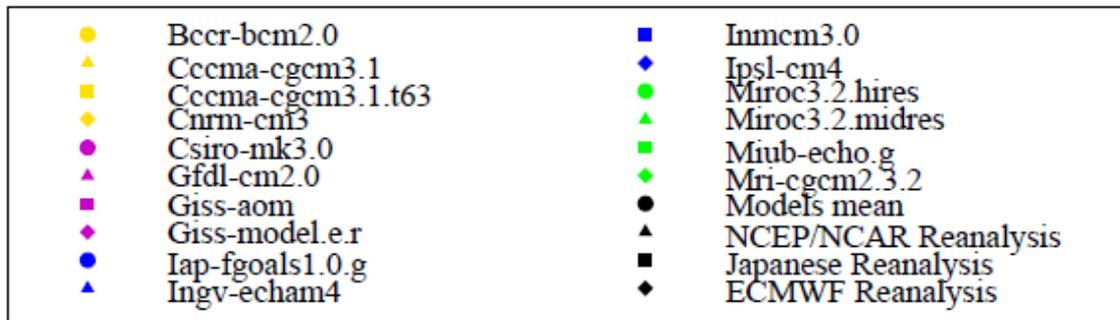
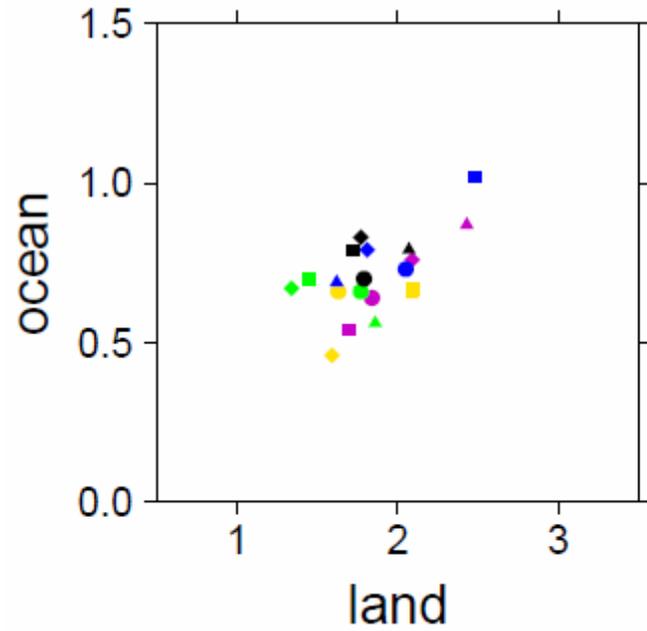


図 10 日々変動の陸上—海上分布図

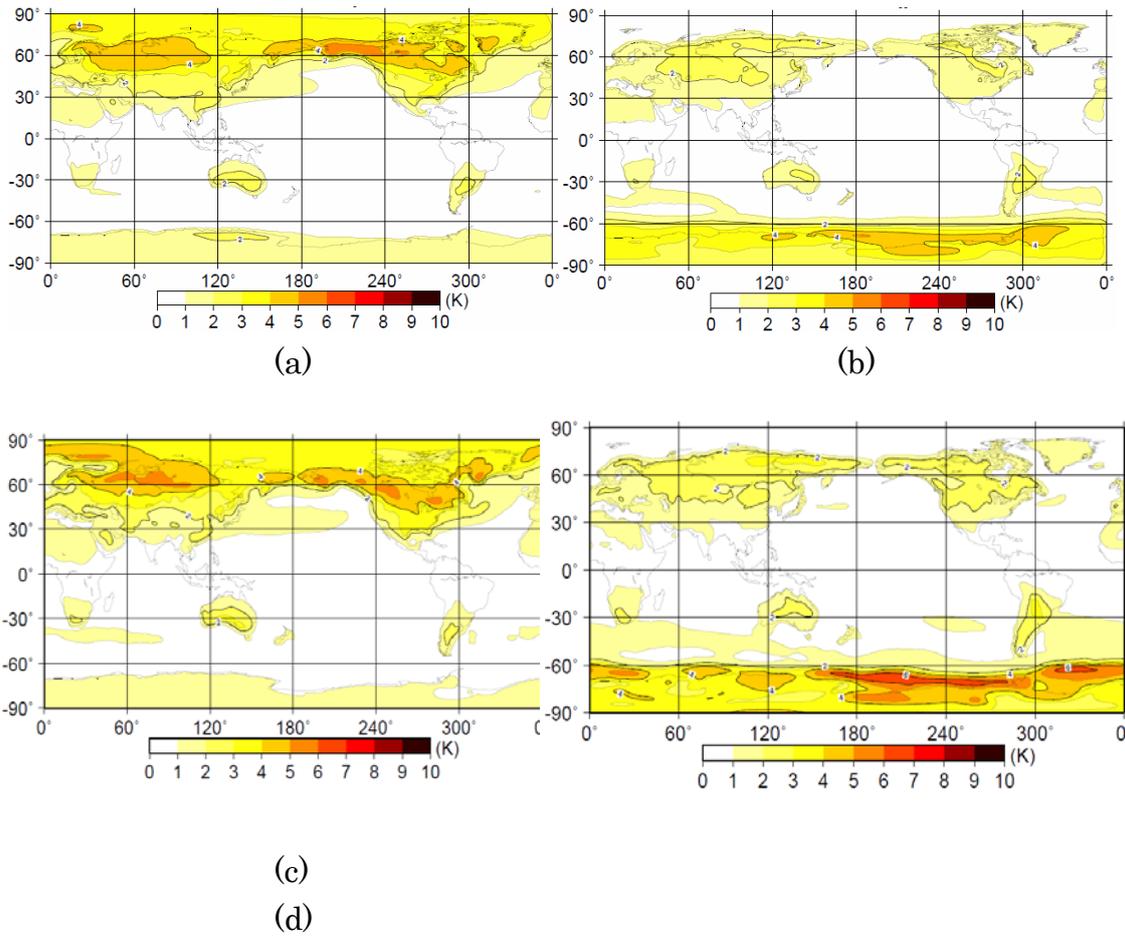


図 11 日々変動の地域分布

(a)、(b)は全球モデル平均、(c)、(d)は再解析データ平均
 (a)、(c)、(e)は12～2月、(b)、(d)、(f)は6～8月

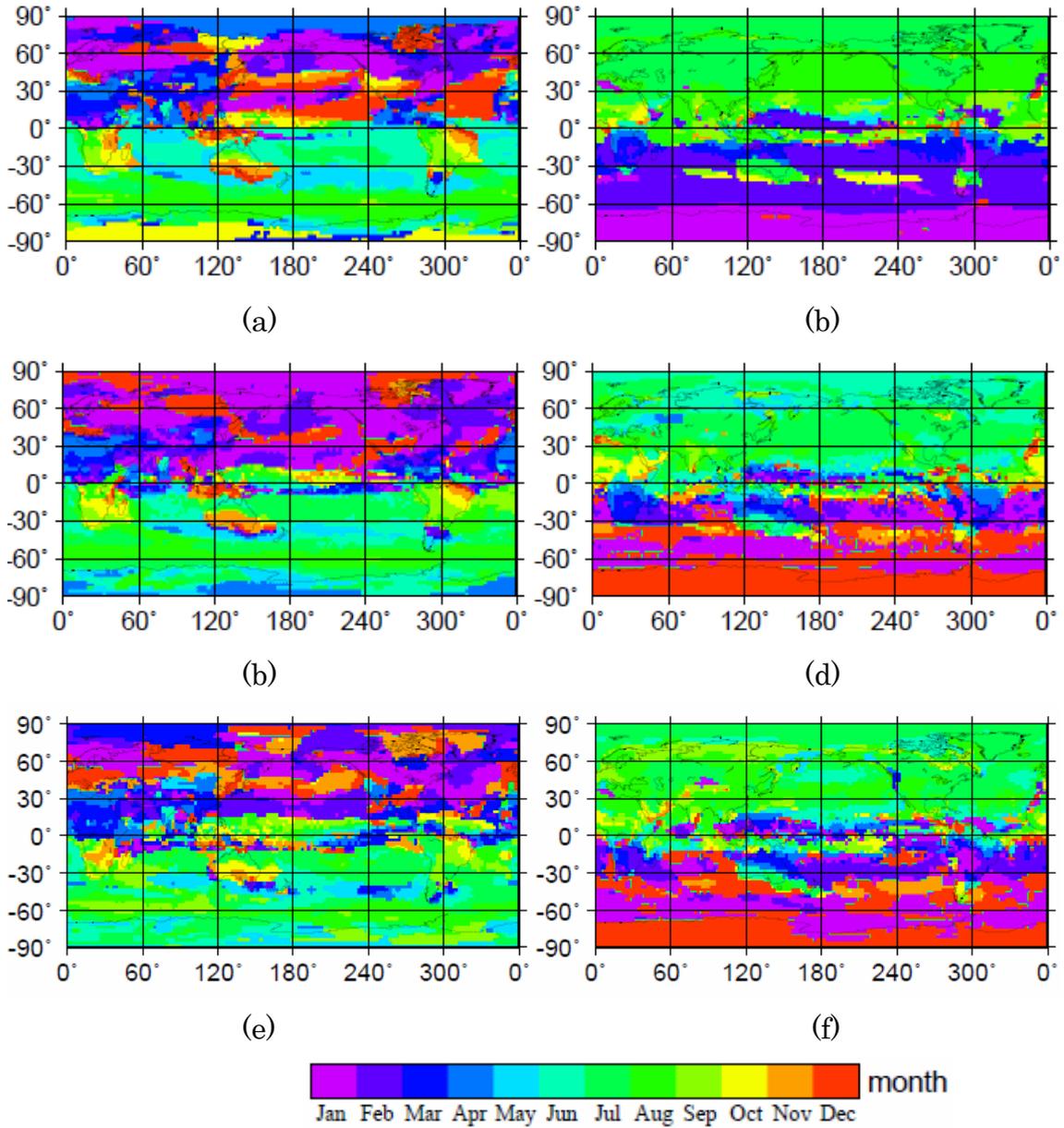


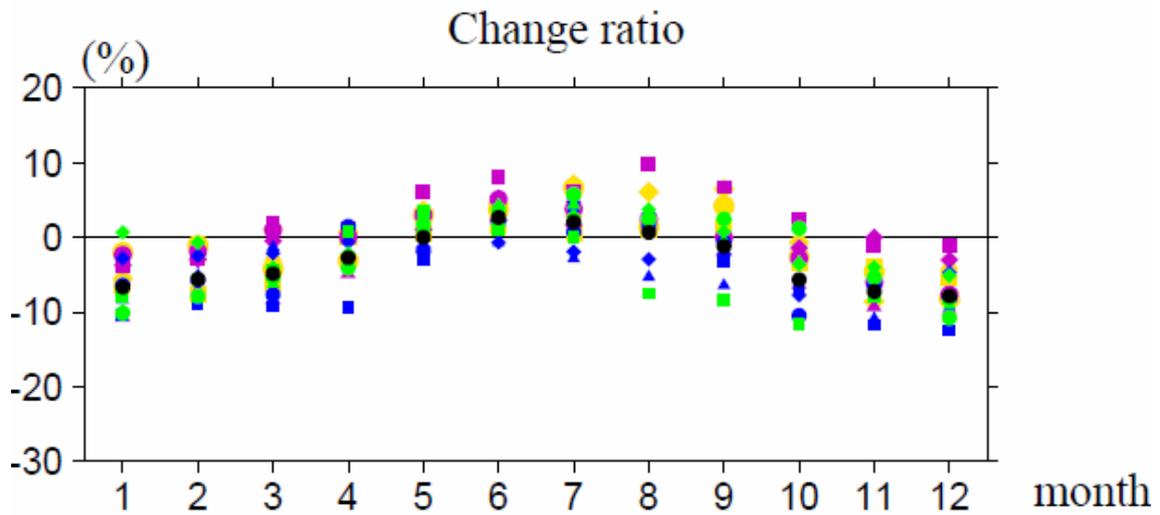
図 12 日々変動が最大となる月、最小となる月

(a)、(c)、(e)が最大となる月、(b)、(d)、(f)が最小となる月

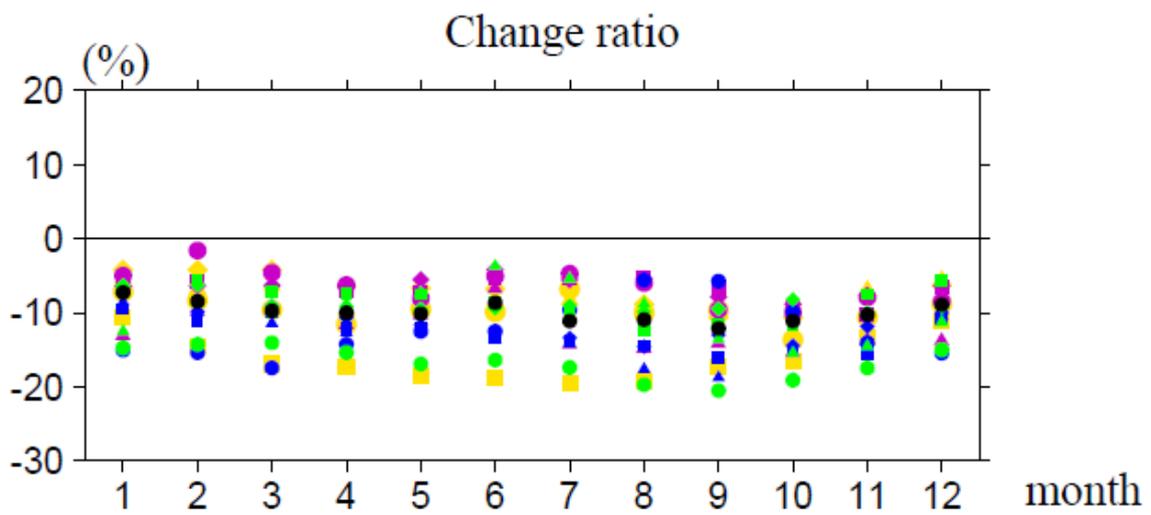
(a)、(b)は全球モデル平均の標準偏差を用いた日々変動

(c)、(d)は全球モデル平均のローパスフィルターを用いた日々変動

(e)、(f)は再解析データ平均のローパスフィルターを用いた日々変動



(a)



(b)

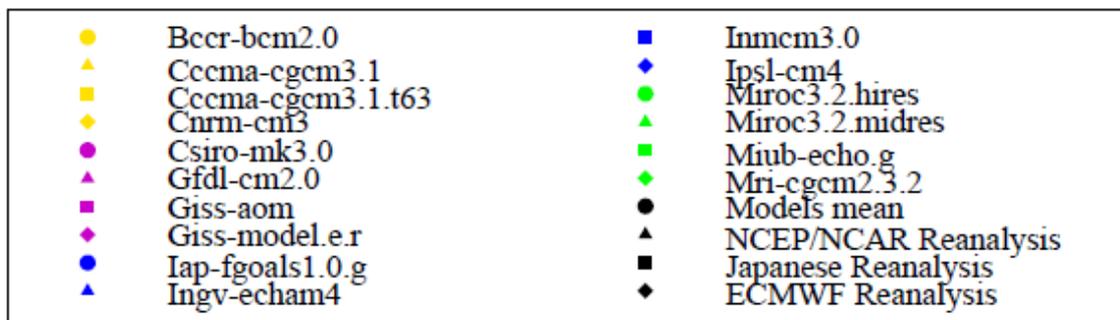
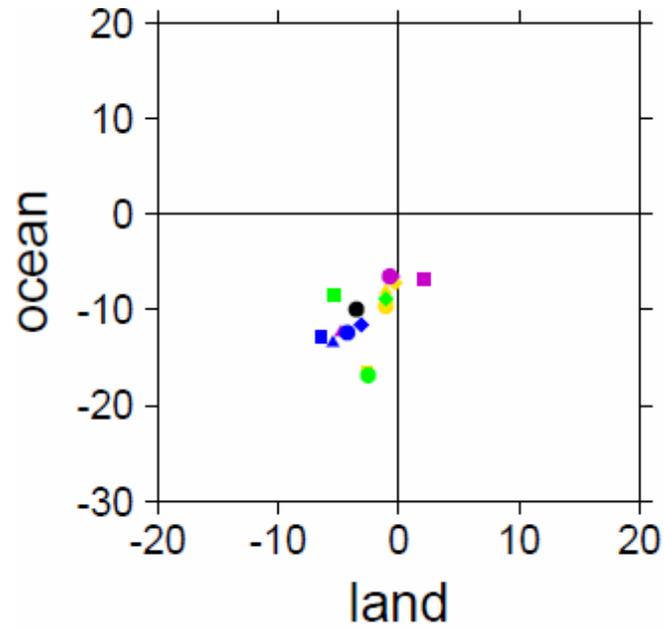


図 13 日々変動の月ごとの各全球モデルにおける全球平均の将来変化率

(a)が陸上、(b)が海上



●	Bccr-bcm2.0	■	Inmcm3.0
▲	Cccma-cgcm3.1	◆	Ipsl-cm4
■	Cccma-cgcm3.1.t63	●	Miroc3.2.hires
◆	Cnrm-cm3	▲	Miroc3.2.midres
●	Csiro-mk3.0	■	Miub-echo.g
▲	Gfdl-cm2.0	◆	Mri-cgcm2.3.2
■	Giss-aom	●	Models mean
◆	Giss-model.e.r	▲	NCEP/NCAR Reanalysis
●	Iap-fgoals1.0.g	■	Japanese Reanalysis
▲	Ingv-echam4	◆	ECMWF Reanalysis

図 14 日々変動の将来変化率の陸上—海上分布図

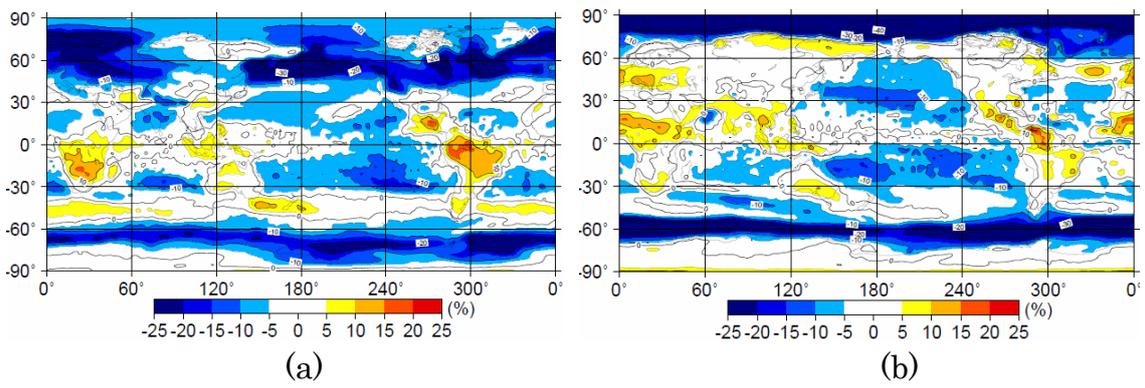


図 15 日々変動の地域分布の全球モデル平均における将来変化率

(a)は12～2月、(b)は6～8月の平均値

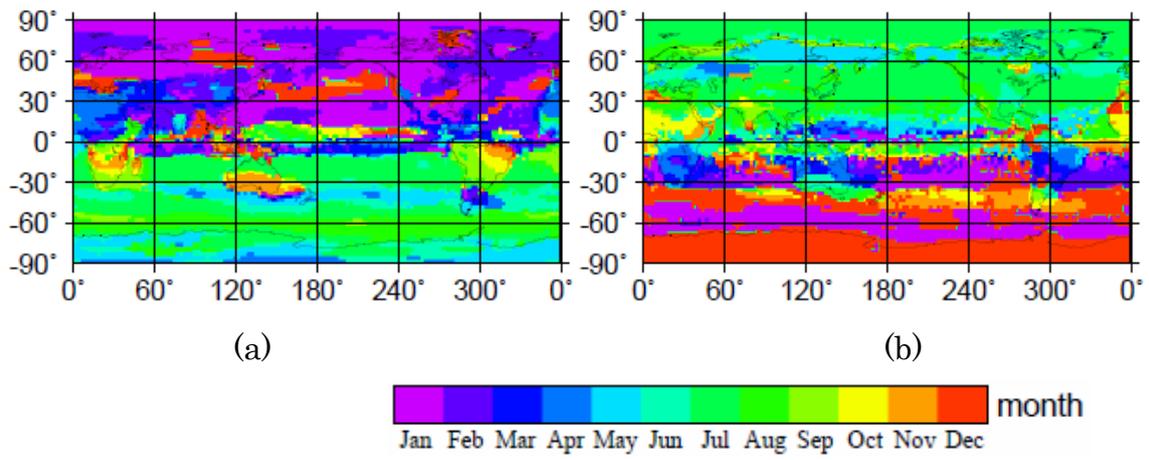


図 16 将来日々変動が最大となる月、最小となる月

(a)は最大となる月、(b)は最小となる月

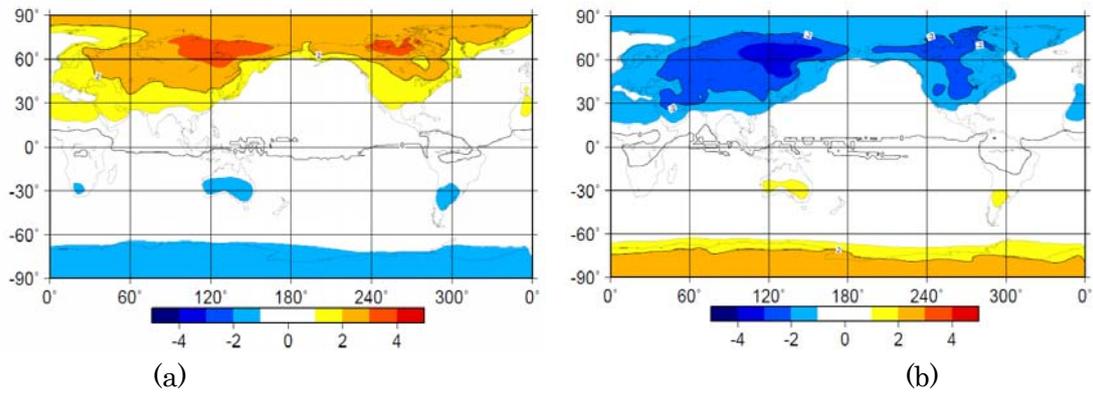


図 17 年変化の全球モデル平均の地域分布図

(a)は3月～5月、(b)は9月～11月の平均値

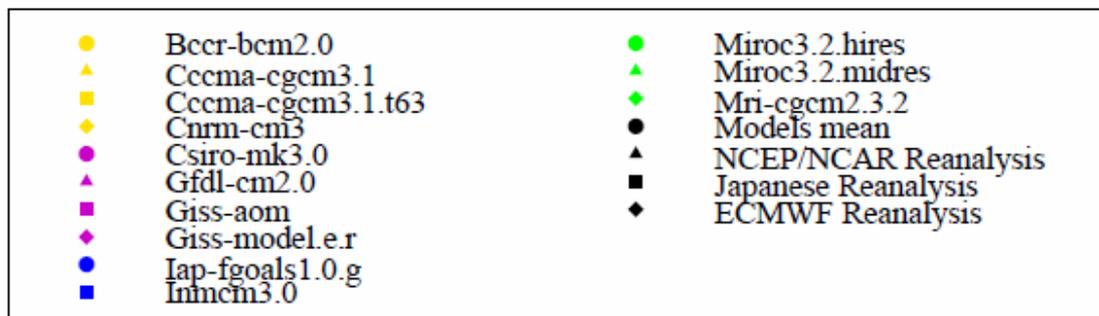
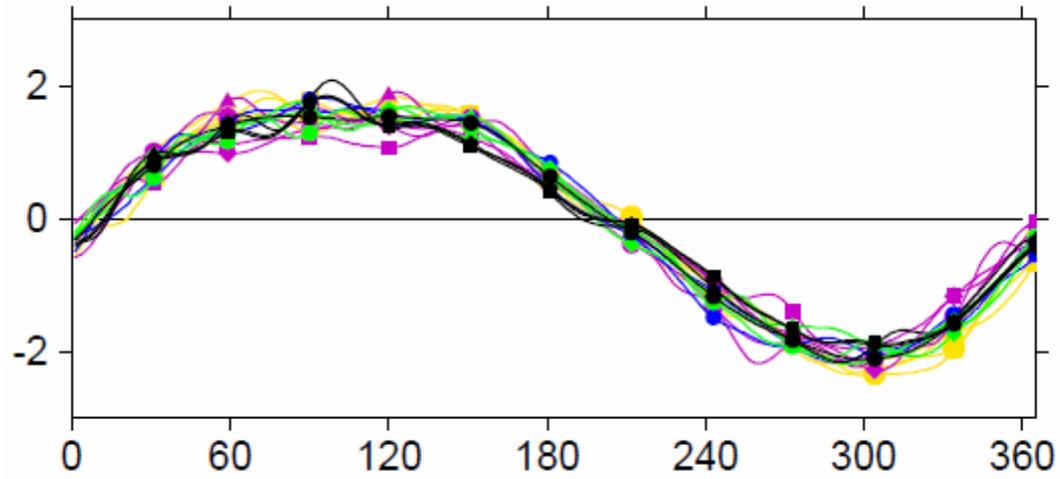


図 18 北緯 30°における陸上での気温の傾きの帯状平均(20C3M)

単位はK/day×10

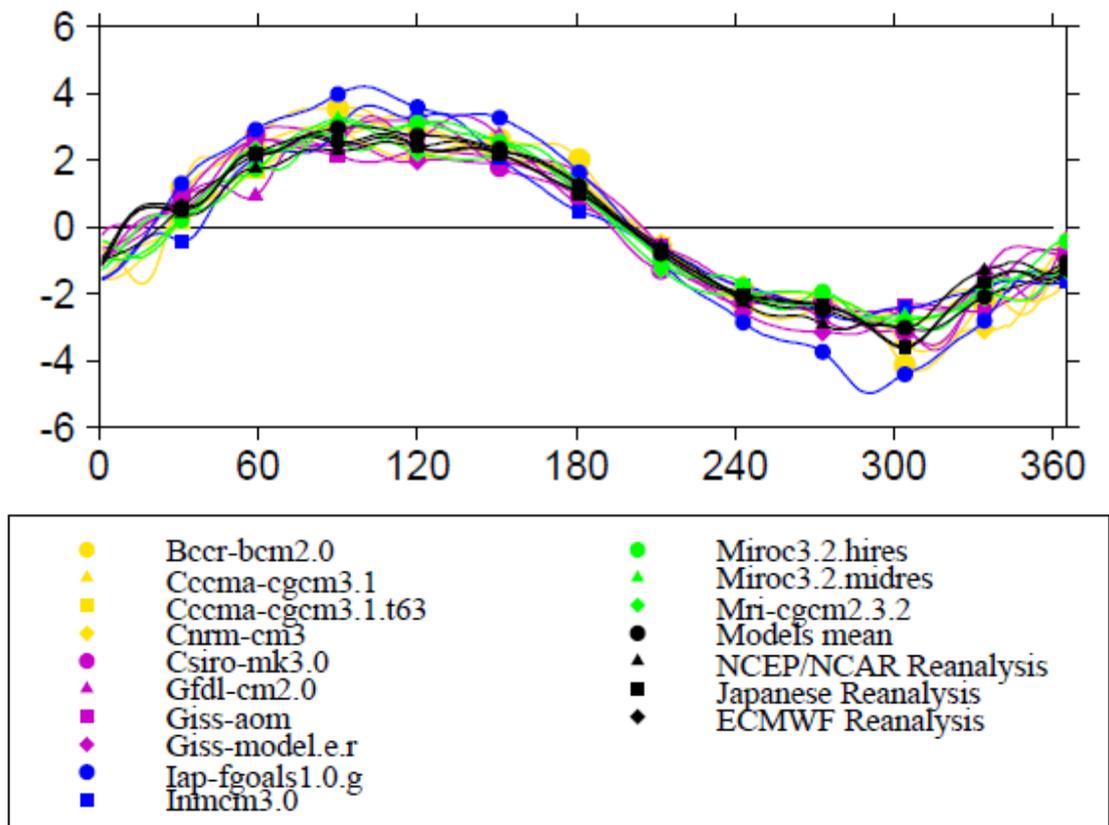


図 19 北緯 60°における陸上での気温の傾きの帯状平均 (20C3M)

単位はK/day×10

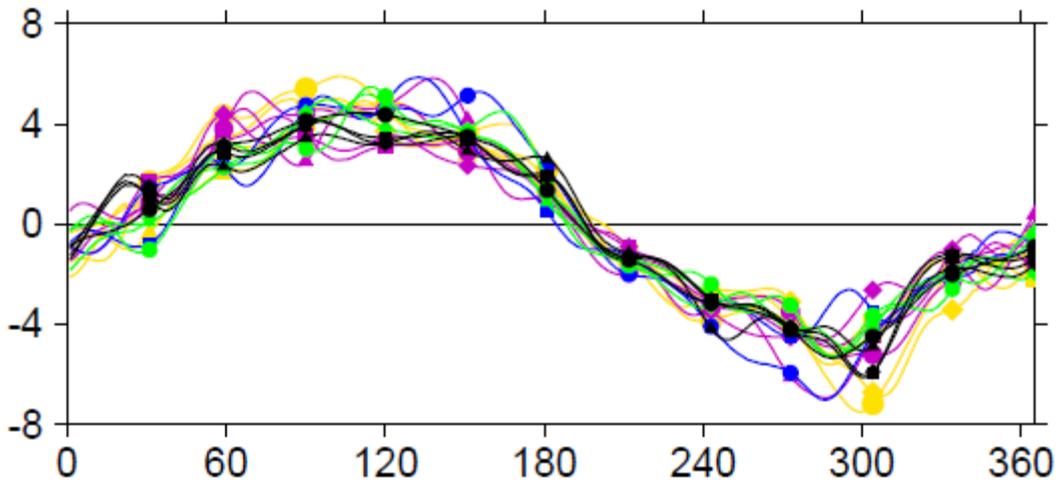


図 20 シベリア周辺での気温の傾きの帯状平均(20C3M)

単位はK/day×10

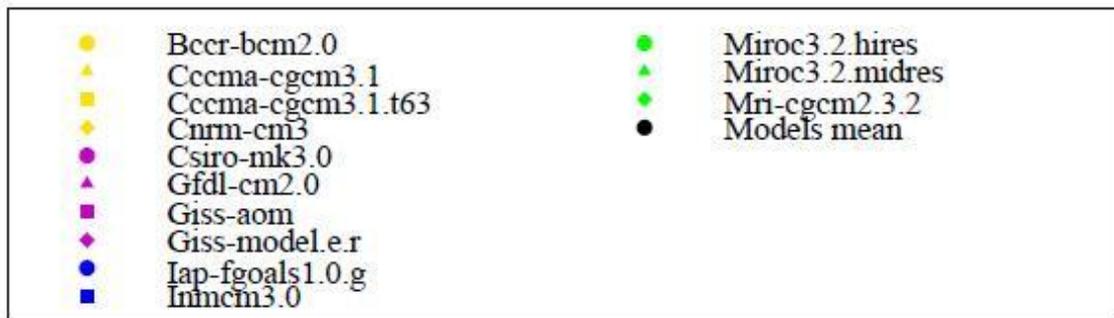
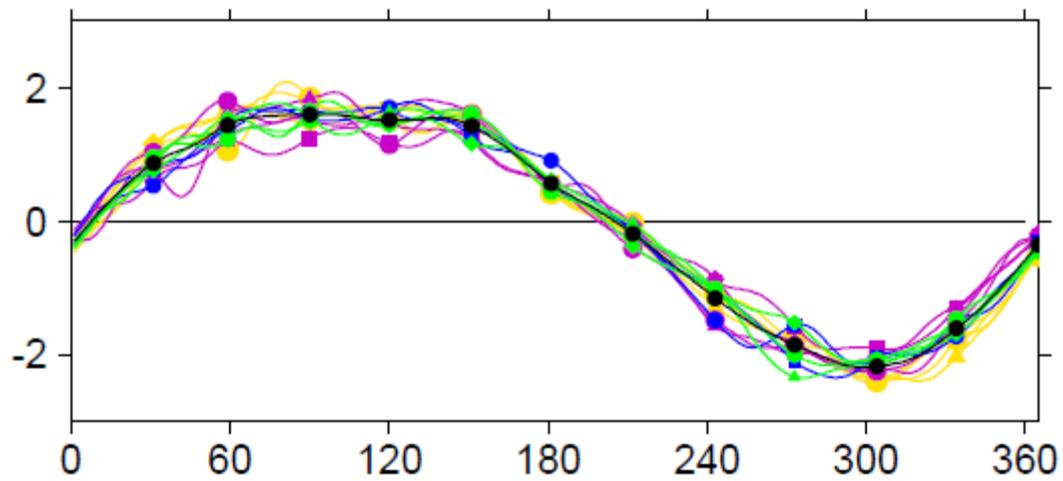


図 21 北緯 30°における陸上での気温の傾きの帯状平均(SRES A1B)

単位はK/day×10

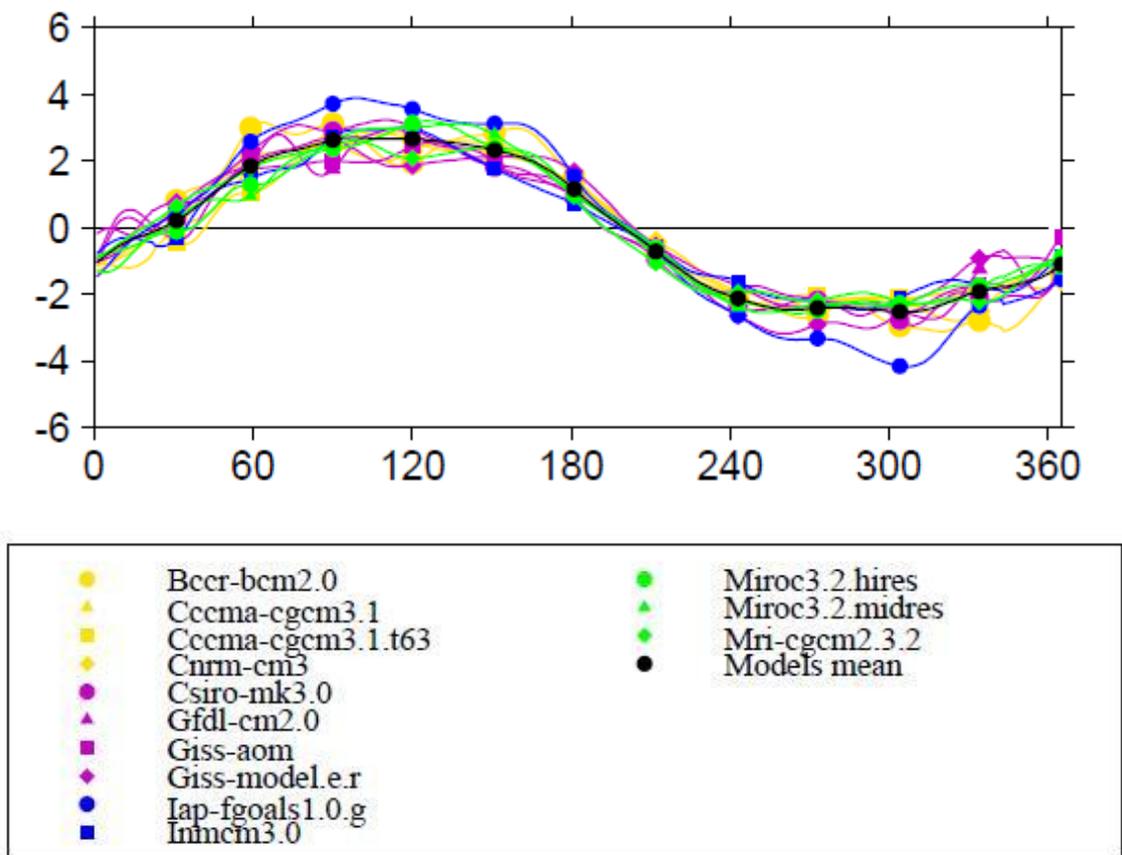


図 22 北緯 60°における陸上での気温の傾きの帯状平均 (SRES A1B)

単位はK/day×10

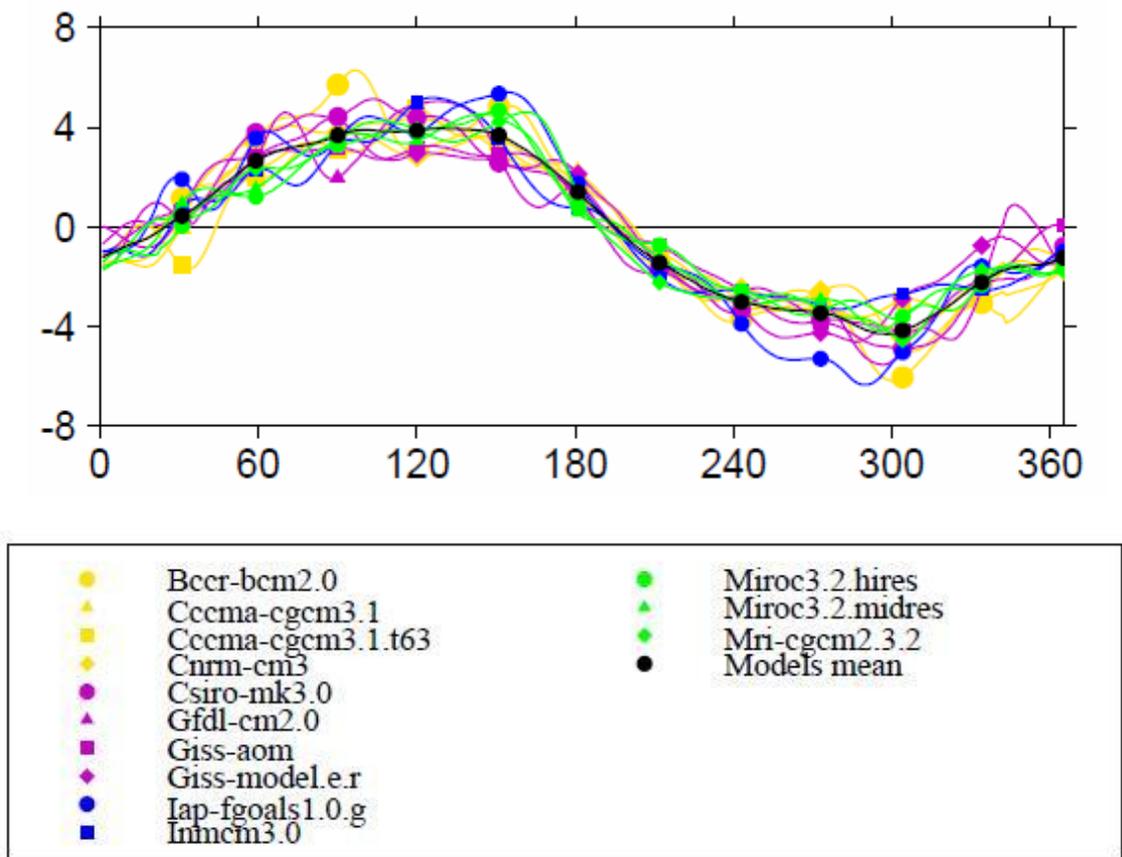


図 23 シベリア周辺での気温の傾きの帯状平均(SRES A1B)

単位はK/day×10