

B-12 極端な気象現象を含む高解像度気候変化シナリオを用いた温暖化影響評価研究  
 (3) 影響評価において重要な極値現象変化のメカニズム解明と不確実性の検討に関する研究

東京大学気候システム研究センター 木本昌秀  
 独立行政法人国立環境研究所  
 大気圏環境研究領域 大気物理研究室 野沢徹  
 地球環境研究センター 温暖化リスク評価研究室 江守正多・小倉知夫

<研究協力者> 名古屋大学大学院環境学研究科 神沢博  
 独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター  
 鈴木恒明  
 独立行政法人防災科学技術研究所 大楽浩司  
 東京大学気候システム研究センター 安富奈津子・稲津将・荒井美紀  
 独立行政法人国立環境研究所  
 地球環境研究センター 温暖化リスク評価研究室  
 長谷川聡・横島徳太・塩竈秀夫

平成16～18年度合計予算額 42,059千円  
 (うち、平成18年度予算額 16,000千円)

[要旨] 本サブテーマでは、本課題で影響評価に用いる気候変化予測結果について、そのような変化が起こるメカニズムを理解し、予測結果がモデル化の仮定にどの程度依存するかを検討を行うことにより、結果の信頼性に関する知見を影響評価研究に提供することを目的とする。特に、影響評価において重要と考えられる様々な現象に注目するため、以下の4点について研究を行った。(1)日本域の気候変化メカニズムおよび天候の年々変動との関係[H16,17,18年度]、(2)年平均降水量および極端に強い降水量のグローバル変化予測とそのメカニズム[H16,18年度]、(3)温暖化に伴う熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測とそのメカニズム[H16,17年度]、(4)近未来の温暖化における極値現象の変化予測[H18年度]。(1)では、これまで予測が難しかった日本の夏季について、温暖化時には平均的に梅雨前線が強化され、梅雨明けが遅くなる「冷夏型」気圧配置に移行するメカニズムを示した。また、この気候変化パターンと気候モデルの現在気候実験における夏季東アジア域およびアジアモンスーン域の天候の年々変動パターンとの関係を解析したところ、温暖化の強制により、現在気候の冷夏-暑夏に対応する年々変動モードのうち、冷夏に対応するレジームの出現確率が顕著に増大することが示された。(2)では、全球の降水量の解析により、主に亜熱帯を中心とした限られた領域で、極端に強い降水量の変化割合は年平均降水量の変化割合を顕著に上回ることを示した。(3)では、温暖化により台風による平均雨量および豪雨頻度が増加することを示した。また、大気モデルを用いた場合は、温暖化が進むと強い熱帯低気圧の発生確率が増大するが、大気海洋結合モデルを用いた場合、海洋結合の効果により、この傾向が顕著に弱まることを示した。(4)では、30年程度の近未来において、大規模火山噴火が無いなどの仮定の下で、年々変動の不確実性を考慮しても、「暑い夜」などの極値現象が有意に増加することを示した。

[キーワード] 気候変化メカニズム、気候モデル、年々変動、熱帯低気圧、極値現象

## 1. はじめに

本課題では、地球温暖化の影響評価をより具体的、説得的なものとするため、豪雨や熱波などの極端な気象現象を含む温暖化影響評価を行うことを目的としている。そのためには、深刻な影響をもたらすような気候変化について、できる限り信頼性の高い予測結果を得ることが望ましい。一般に、気候モデルは半経験的なモデル化の仮定（パラメタ化）を含むため、予測結果の信頼性は自明ではない。特に、異なる気候モデルを用いると異なる予測結果が得られることも少なくない。そこで本サブテーマでは、本課題で影響評価に用いる気候変化予測結果について、そのような変化が起こるメカニズムを理解し、予測結果がモデル化の仮定にどの程度依存するかの検討を行うことにより、結果の信頼性に関する知見を影響評価研究に提供することを目的とする。

本課題では、影響評価において重要と考えられる様々な現象に注目して温暖化時の変化予測およびメカニズムの考察を行った。具体的には、平成16年度は、日本域の気候変化メカニズム考察、複数の気候モデルによる年平均および極端に強い降水量の変化メカニズム考察、大気モデルを用いた熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測を行った。平成17年度は、日本域夏季の気候変化と東アジア域夏季の天候の年々変動との関係の考察、熱帯低気圧の変化予測における海洋結合効果の役割の考察を行った。平成18年度は、日本域夏季の気候変化とアジアモンスーン域夏季の天候の年々変動との関係の考察、全球雲解像モデルによる平均降水量の変化メカニズム考察、近未来の温暖化における極値現象の変化予測を行った。

本報告書では、これらのうち年度をまたがる継続的なテーマを近くにまとめ、2. 研究目的、3. 研究方法、4. 結果・考察のそれぞれについて、以下の構成で報告する。5. 本研究により得られた成果の科学的意義についても、下記(1)～(4)に準じる構成で報告する。

### (1)日本域の気候変化メカニズムおよび天候の年々変動との関係

- 1) 日本域の気候変化メカニズムの考察[H16年度]
- 2) 日本域夏季の気候変化と東アジア域夏季の天候の年々変動との関係[H17年度]
- 3) 日本域夏季の気候変化とアジアモンスーン域夏季の天候の年々変動との関係[H18年度]

### (2) 年平均降水量および極端に強い降水量の全球的变化予測とそのメカニズム

- 1) 複数の気候モデルによる年平均および極端に強い降水量の変化メカニズム考察[H16年度]
- 2) 全球雲解像モデルによる平均降水量の変化メカニズム考察[H18年度]

### (3) 温暖化に伴う熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測とそのメカニズム

- 1) 大気モデルを用いた熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測[H16年度]
- 2) 熱帯低気圧の変化予測における海洋結合効果の役割の考察[H17年度]

### (4) 近未来の温暖化における極値現象の変化予測[H18年度]

なお、本課題で用いる気候モデルおよびその実験は、文部科学省RR2002課題「高分解能大気海洋モデルを用いた地球温暖化予測に関する研究」（代表：東京大学気候システム研究センター住明正教授）において開発ならびに実施されたものであり、大気海洋結合モデルは現時点で世界最高の解像度を持つ。

## 2. 研究目的

## (1) 日本域の気候変化メカニズムおよび天候の年々変動との関係

### 1) 日本域の気候変化メカニズムの考察

従来の気候モデルでは梅雨前線を含む東アジアモンスーンの循環系を現実的に再現するのが難しかったことから、日本域の夏季の気候変化予測はこれまで十分に議論されてこなかった。本課題において使用する気候モデルでは、梅雨前線を含む日本周辺の夏季の気候をある程度現実的に表現することができたため、とりわけ夏季を中心に、日本域の地域気候変化およびそのメカニズムの解析を行った。特に、2004年の夏は真夏日（最高気温30℃以上の日）の日数の記録更新や新潟、福井等の豪雨が話題になったこともあり、そのような極端な現象にも注目した。

### 2) 日本域夏季の気候変化と東アジア域夏季の天候の年々変動との関係

1) の解析結果により、日本域夏季では、温暖化時の気圧配置が平均的に「冷夏型」になることにより、梅雨前線に伴う降水量が増加することが示された。しかし、この平均的な気圧配置の移行は、年々の天候において冷夏型の頻度が増加することを意味するのか、年々の変動特性が変化しないまま平均状態が変化することを意味するのか、などが明らかでない。そこで、まずは日本の北側からの影響による年々変動について調べるため、日本およびユーラシア大陸東岸やオホーツク海を含む東アジア領域を対象として、モデルの現在気候実験および温暖化実験における年々の天候において、このような冷夏型の気圧配置がどのような形態で出現するのかを解析した。

### 3) 日本域夏季の気候変化とアジアモンスーン域夏季の天候の年々変動との関係

1) の解析結果によれば、温暖化時の日本の夏季の「冷夏型」気候変化は、ユーラシア大陸東岸やオホーツク海を含む北側からの影響と、インド亜大陸、東南アジアの海洋大陸を含む南側（アジアモンスーン域）からの影響の両方による。2) では、主に北側を含む領域で解析を行ったため、大陸とオホーツク海の気圧コントラスト等に関係する気候変化を主に考察したことになると思われる。そこで、今度は南側のアジアモンスーンの気候変化の影響を詳しく考察するため、アジアモンスーン域を含む領域を対象として、2) と同様に、モデルの現在気候実験および温暖化実験における年々の天候において、冷夏型の気圧配置がどのような形態で出現するのかを解析した。

## (2) 年平均降水量および極端に強い降水量のグローバル変化予測とそのメカニズム

### 1) 複数の気候モデルによる年平均および極端に強い降水量の変化メカニズム考察

温暖化により、平均的な降水量および極端に強い降水の頻度および強度が多く地域で増加すると予測されている。特に、極端に強い降水量の増加率は、平均的な降水量の増加率よりも大きいと予測されており、その原因として温暖化による大気中水蒸気量の増加が挙げられている。しかし、仮に、水蒸気量の増加により降水イベントの強度に係わらず降水量が同じ割合で増加すると考えると、極端に強い降水量と平均降水量の増加率の違いは説明できない。そこで、平均降水量および極端に強い降水量のそれぞれの変化を、大気中水蒸気量の増加を原因とする変化(熱力学的変化)と、降水をもたらす力学擾乱の変化を原因とする変化(力学的変化)に分けて考えることにより、温暖化時の降水量変化メカニズムの理解を深める。

## 2) 全球雲解像モデルによる平均降水量の変化メカニズム考察

1) においては、複数の気候モデル結果の解析により、年平均および極端に強い降水量の温暖化による変化を、力学的変化と熱力学的変化に分離して、メカニズムの解釈を試みた。しかし、水平解像度が最高でも100km程度の気候モデルでは、対流性の降水過程（積雲対流）を半経験的なパラメタリゼーションに依っており、温暖化時の変化の妥当性に疑問が残る。そこで、水平解像度7kmで積雲対流パラメタリゼーションを用いない全球雲解像モデルによる擬似温暖化実験の結果に対して同様の解析を行い、従来の気候モデルにより得られた温暖化時の降水変化特性の信頼性を評価した。積雲対流を直接表現するのに十分な水平解像度は1km程度であり、7kmは十分ではない。また、モデルの結果は雲微物理や乱流等のパラメタリゼーションにも依存するので、このモデルの結果を真として信じることはできない。しかし、7kmの解像度は、雲クラスターと呼ばれる積雲対流の集合を直接表現できると考えられ、現時点では極めて画期的な比較検討材料である。

### (3) 温暖化に伴う熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測とそのメカニズム

#### 1) 大気モデルを用いた熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測

温暖化に伴う熱帯低気圧（西部北太平洋では特に「台風」）の変化は、暴風や洪水被害を考える上で極めて重要であり、社会的な関心も高い。水平解像度1°程度のモデルでは、現実的な台風の構造や強度を再現することは困難であるが、台風と類似の特徴を持ったモデル中の低気圧を抽出して議論することができる。特に、ここでは台風の発生頻度や強度のみでなく、台風がもたらす降水量に注目し、温暖化による変化を解析した。

#### 2) 熱帯低気圧の変化予測における海洋結合効果の役割の考察

近年の気候モデルの高解像度化に伴い、いくつかの気候モデルを用いて温暖化時に予測される熱帯低気圧活動の変化が議論されている。例えばOouchi et al. (2005)<sup>1)</sup>は、全球20kmの大気モデルを用いて、温暖化時には熱帯低気圧の発生数は減少するが、特に強い熱帯低気圧の数は増加すると予測している。しかし、我々が1) において行ったものを含め、これまでの研究はいずれも大気単独モデルを用いており、海洋のフィードバックの効果を含んでいない。本研究では、大気海洋結合モデルを用いた実験と、その実験で得られた海面水温を与えた大気単独モデル実験を比較することによって、地球温暖化に伴う熱帯低気圧活動の変化の評価に対して、大気・海洋モデルの結合の有無が与える影響について考察した。

### (4) 近未来の温暖化における極値現象の変化予測

これまでの温暖化予測研究のほとんどは2100年まで、またはそれ以上の長期にわたる予測に主眼を置いてきた。一方、温暖化に対する適応策の検討や一般市民に対する温暖化対策の動機付けのためには、今後20～30年の近未来における温暖化予測が重要と考えられる。しかし、この時間スケールでは温暖化のシグナルが自然変動のノイズと比較して十分大きくないので、予測においては、自然変動に関する不確実性の扱いが本質的に重要となる。すなわち、近未来の温暖化による気温上昇はランダムな自然変動（例えばエルニーニョ）によってあるときは打ち消され、あるときは強められると考えられるため、このことを確率的に取り扱う必要がある。本課題のサブテーマ1では、自然変動の不確実性を考慮した上で、気候モデルが20世紀後半における気温に関す

る極値現象の観測された変化傾向を再現できることが示された。そこで、同じモデルを用いて、近未来の温暖化による極値現象の変化傾向が自然変動と比較して顕著に現れるかを予測した。

### 3. 研究方法

#### (1) 日本域の気候変化メカニズムおよび天候の年々変動との関係

##### 1) 日本域の気候変化メカニズムの考察

高解像度大気海洋結合モデルMIROC3.2-hires（水平解像度：大気 $\sim 1.1^\circ$ ，海洋 $\sim 0.2^\circ$ ）に、20世紀100年の自然起源および人為起源の外部条件を与えて計算された20世紀再現実験、およびIPCC SRES A1Bシナリオ（経済重視で国際化の進む世界を仮定、21世紀末のCO<sub>2</sub>濃度はおよそ720ppm）に基づく人為起源の外部条件を与えて計算された21世紀シナリオ実験の結果を解析した。また、一部の解析には、高解像度大気モデルCCSR/NIES/FRCGC AGCM（水平解像度 $\sim 1.1^\circ$ ）による現在気候実験およびCO<sub>2</sub>倍増実験の結果を用いた。現在気候実験は、1979年から1998年までの観測された海面水温と海氷分布を与え、CO<sub>2</sub>濃度を345ppmに固定して計算された。CO<sub>2</sub>倍増実験は、旧バージョンの大気海洋結合モデル(Emori et al., 1999)<sup>2)</sup>により別途予測されたCO<sub>2</sub>倍増時の海面水温変化を観測された海面水温に加え、CO<sub>2</sub>濃度を690ppmに固定して計算された。

##### 2) 日本域夏季の気候変化と東アジア域夏季の天候の年々変動との関係

高解像度大気モデルCCSR/NIES/FRCGC AGCM 5.7b（水平解像度 $\sim 1.1^\circ$ ）を用いた。1979-1998年の観測された海面水温・海氷量を与えた5本のアンサンブル実験（現在気候実験）と、大気中二酸化炭素濃度を現在の倍量与え、海面水温については二酸化炭素倍増時に予想される気候値の増分を1979-1998年の観測値に加算して与えた7本のアンサンブル実験（温暖化実験）とを比較した。積分期間はいずれも20年である。まず、現在気候実験の東アジア域(80-160°E, 20-70°N) 夏季（6-8月平均）の500hPa 高度場（Z500）の変動に対して経験直交関数(EOF)解析を行い、主変動パターンを抽出した。次に、温暖化時の年々変動を現在気候からの差として見る為、温暖化実験のZ500から現在気候実験の気候値を差し引いた偏差場を、現在気候実験のEOFに投影した。なお、高解像度大気海洋結合モデルを用いてもほぼ同様の結果が得られたが、ここでは大気モデルによる結果を報告する。

##### 3) 日本域夏季の気候変化とアジアモンスーン域夏季の天候の年々変動との関係

高解像度大気海洋結合気候モデルMIROC3.2-hires（水平解像度：大気 $\sim 1.1^\circ$ ，海洋 $\sim 0.2^\circ$ ）の20世紀再現実験（1900～2000年）およびIPCC SRES A1Bシナリオに基づく21世紀予測実験（2001～2100年）を用いた。20世紀再現実験の後半50年（1951～2000年）におけるアジアモンスーン域（40°-180°E, 20°S-40°N）夏季（6-8月平均）の水蒸気フラックス鉛直積分の変動に対して、季節進行とトレンドは除去してから経験直交関数(EOF)解析を行い、主変動パターンを抽出した。次に、主要変動モードの長期変化傾向を知るために、1951年から2100年までの水蒸気フラックス鉛直積分の変動を20世紀再現実験のEOFに投影した。

#### (2) 年平均降水量および極端に強い降水量のグローバル変化予測とそのメカニズム

##### 1) 複数の気候モデルによる年平均および極端に強い降水量の変化メカニズム考察

IPCC第4次報告書に向けたモデルデータベースより、4つの大気海洋結合モデル MIROC-hires、MIROC-medres、GFDL-CM2.1およびMRI-CGCM2.3.2aの20世紀再現実験(2081-2100)および SRES A1B シナリオ実験(2181-2200)の結果を用いた。他に、2つの大気モデルCCSR/NIES/FRCGC AGCM およびHadAM3Pのコントロールおよびタイムスライス温暖化実験の結果を併せて用いた。

日平均の500 hPa 鉛直流( $\omega$ ; 上向き正)を各格子点・各日における力学擾乱の指標とする。 $\omega$ の頻度(確率)分布を $Pr_\omega$ で表す。ある強さの力学擾乱があったときに各格子点で期待される平均的な日降水量( $P_\omega$ )を、各 $\omega$ の値に対する日降水量のコンポジット(重ねあわせ平均)により求める。一般に、 $P_\omega$ は下降流レジーム( $\omega < 0$ )では小さく、上昇流レジーム( $\omega > 0$ )では、 $\omega$ が大きいほど大きい。

年平均降水量は、

$$\bar{P} = \int_{-\infty}^{\infty} P_\omega Pr_\omega d\omega$$

で表される。温暖化による年平均降水量の変化は、

$$\delta\bar{P} = \int_{-\infty}^{\infty} P_\omega \delta Pr_\omega d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} \delta P_\omega Pr_\omega d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} \delta P_\omega \delta Pr_\omega d\omega$$

と表される。第一項が力学的変化、第二項が熱力学的変化、第三項は共変動である。

次に、極端に強い降水量の指標として、年間4位の日降水量をとる(およそ99パーセンタイル; 以下では単に99パーセンタイルとよび、 $P_{99}$ で表す)。この降水量に対応する鉛直流強度は

$$P_{99} = P_\omega(\omega_{99}^*)$$

の関係を逆に解くことにより求まる。これを用いて、温暖化による99パーセンタイル日降水量の変化は、

$$\delta P_{99} = \frac{\partial P_\omega}{\partial \omega} \delta \omega_{99}^* + \delta P_\omega(\omega_{99}^*) + \delta \frac{\partial P_\omega}{\partial \omega} \delta \omega_{99}^*$$

と表される。第一項が力学的変化、第二項が熱力学的変化、第三項は共変動である。

## 2) 全球雲解像モデルによる平均降水量の変化メカニズム考察

全球雲解像モデルNICAMによる、水惑星条件での擬似温暖化実験(Miura et al., 2005)<sup>3)</sup>の結果を用いた。すなわち、地表面は全球海面で、海面温度は固定である。水平解像度7 kmで、標準の海面温度を用いた実験(CTL)と、擬似温暖化実験として海面温度を全ての地点で標準の値から2K上昇させた実験(+2K)を行った。解析には、降水 $P$ と5000m鉛直速度 $w$ の3時間平均値30日分を用いた。

1) と同様の方法により、降水の変化を力学的変化、熱力学的変化および共変動に分離した。ただし、1)における500hPa鉛直流 $\omega$ の代わりに、5000m鉛直速度 $w$ を用いた。

### (3) 温暖化に伴う熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測とそのメカニズム

#### 1) 大気モデルを用いた熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測

高解像度大気モデルCCSR/NIES/FRCGC AGCM 5.7b(水平解像度 $\sim 1.1^\circ$ )を用いた。1979-1998年の観測された海面水温・海水量を与えた5本のアンサンブル実験(現在気候実験)と、大気中二酸化炭素濃度を現在の倍量与え、海面水温については二酸化炭素倍増時に予想される気候値の増分を1979-1998年の観測値に加算して与えた7本のアンサンブル実験(温暖化実験)とを比較した。積分期間はいずれも20年である。モデル実験で発生した熱帯低気圧の検出方法は、Sugi et al

(2002)<sup>4)</sup> の定義に準じた。モデル中の熱帯低気圧に伴う降水などの値は、おおまかに熱帯低気圧の中心から半径1000kmの円内の値で定義(熱帯低気圧の1日の間の移動を考慮し、熱帯低気圧の標準的な半径より大きめに取った)して解析を行った。

## 2) 熱帯低気圧の変化予測における海洋結合効果の役割の考察

高解像度大気海洋結合モデルMIROC3.2-hires (水平解像度: 大気 $\sim 1.1^\circ$ 、海洋 $\sim 0.2^\circ$ ) に、1900年相当の産業化以前の自然起源および人為起源の外部条件を固定して与えて約100年分の計算を行った標準実験と、同じ条件で二酸化炭素濃度を年率1%で増加させ続けて二倍になるまで計算した温暖化実験を行った。また、この大気海洋結合モデル実験で得られた海面水温の月平均を線形に時間内挿した分布を、結合モデルのうち大気モデル部分だけに与え続けて、外部条件を結合モデル実験と同様に与えた標準実験および温暖化実験を行った。結合モデル実験および大気モデル実験において、標準実験と温暖化実験を比較する際には、温暖化実験の二酸化炭素濃度が約二倍となる61～80年目について議論する。モデル実験で発生した熱帯低気圧の検出方法およびモデル中の熱帯低気圧に伴う降水の定義は1)と同様である。

### (4) 近未来の温暖化における極値現象の変化予測

中解像度大気海洋結合モデルMIROC3.2-medres (水平解像度: 大気 $\sim 2.8^\circ$ 、海洋 $\sim 1^\circ$ ) を用いて、1850-2000年の気候変動再現実験と、IPCC SRES A1Bシナリオに基づく2001-2030年の将来予測実験を行った。ここでは、自然変動の位相に関して統計的な表現を得るため、初期値の異なる10アンサンブルメンバーを積分した。MIROC3.2-medresの全球平均地上気温の1951-1970平均と2021-2030平均の差は0.97Kで、IPCC第4次報告書に貢献している21の気候モデルの中では、中間値にあたる(最大・最小幅は0.69-1.58 K)。

夏の日最低気温が1951-1970年の95パーセンタイル値を超える日を「暑い夜」と定義し、この閾値を超える頻度の変化を調べた。2011-2030年における頻度と1951-1970年における頻度の比(Relative Frequency)をRFとする。RFが1よりも大きい場合、将来において「暑い夜」が現在に比べて増加することを示す。また、1981-2000年におけるRFも計算した。

## 4. 結果・考察

(1) 日本域の気候変化メカニズムおよび天候の年々変動との関係

### 1) 日本域の気候変化メカニズムの考察

冬季においては、500hPa高度場で見たときにユーラシア大陸の東岸に位置する気圧の谷が弱まり、大陸から日本への寒気の

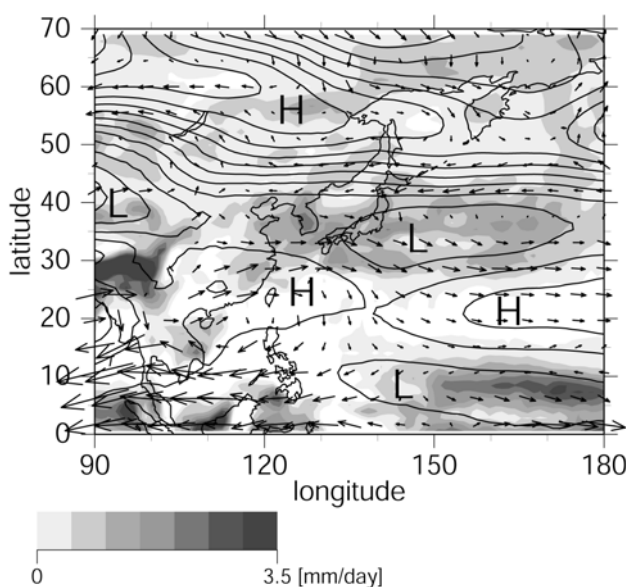


図1 日本周辺の夏季(6-8月)の気候変化予測結果。2071-2100年の平均から1971-2000年の平均を引いたもの。コンターが500hPa高度、矢印が850hPaの風、陰影が降水量変化(増加域のみ)を表す。H、Lは、それぞれ周囲と相対的に高気圧性、低気圧性の変化。

吹出しが弱まることが予測された（図略）。降水量は日本海側で若干減少するが変化は顕著では

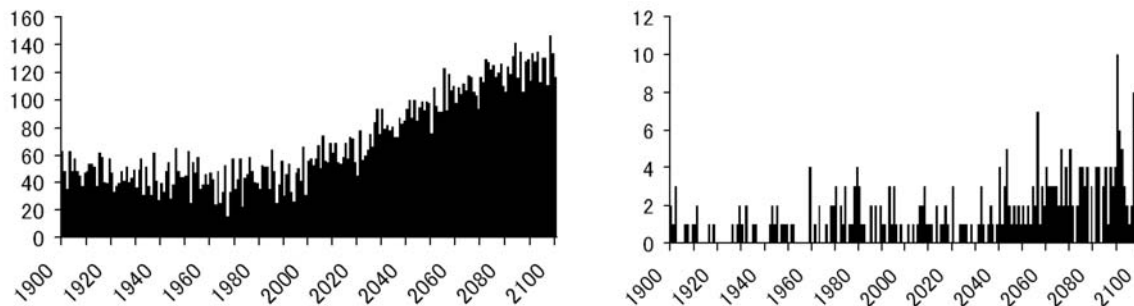


図2 左：(a)モデルで計算された真夏日日数の変化。日本の陸上（北海道から九州）のモデル格子点で、一点でも最高気温が 30℃を超えれば真夏日 1 日と数えた。右：(b)モデルで計算された豪雨日数の変化。日本の陸上のモデル格子点で、一点でも日降水量が 100mm を超えれば豪雨 1 日と数えた。

ない。また、気温の上昇により、日本海側の降水量のうち雪で降る割合が減り、融雪も早まるので、日本海側の積雪量は減少すると予測される。

夏季については、梅雨前線の活動が活発化し、梅雨明けが遅れる傾向になることが予測された。これは、熱帯太平洋の昇温と関係して日本の南側が高気圧偏差となり、これが日本付近に低気圧偏差をもたらすと同時に暖かく湿った南西風をもたらすこと、および、大陸の昇温と関係して日本の北側が上空で高気圧偏差となり、これが梅雨前線の北上を妨げることによると見られる（図 1）。これらは、年々の自然変動で言うところの「冷夏型」の気圧配置であるが、それにもかかわらず、温暖化により平均的な気温が上昇することにより、真夏日の日数は平均的に増加する（図 2 a）。さらに、この気圧配置の変化に加えて、大気中の水蒸気量が増加することにより、豪雨の頻度は平均的に増加する（図 2 b）。

年間を通じた日降水量の強度別の頻度分布で見ると、強い降水の頻度と無降水日の頻度が増え、20mm/day以下の弱い降水の頻度が減っていることが分かる（図 3）。無降水日は主に冬に増加しており、強い降水は主に夏に増加している（図略）。

定量的には、日本の夏季（6－8月）平均気温は、2071-2100年の平均と1971-2000年の平均の差で4.2℃上昇、平均降水量は同じく19%増加という結果であり、図 2， 3 もそれに対応したものである。ただし、ここで用いた気候モデルは、世界の気候モデルの中でもCO<sub>2</sub>増加あたりの気温上昇量（気候感度）がかなり大きいものであるので、注意が必要である。気候感度の不確実性は未だ

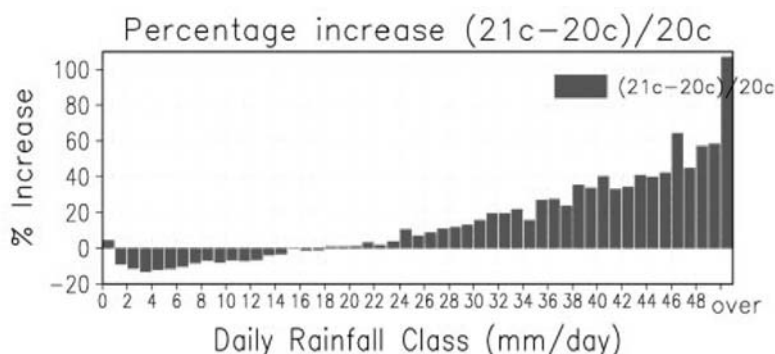


図3 東アジア領域(30-40° N, 120-150° E)における日降水の強度別頻度分布の温暖化による変化。各強度クラスにおける 20 世紀の頻度からの相対的な変化(%)で表している。データは解析前に 1° 格子に内挿した。



大きく、定量的な予測の信頼性については今後の課題である。

図4は、高解像度大気モデルの結果を用いて、日本全国で平均した、温暖化による昇温量の季節変化について見たものである。最も大きな昇温は3月初旬に見られる。大気海洋結合モデルの結果においても、この時期に昇温のピークが見られた。この時期の気圧配置を温暖化前後で比較すると、2月中旬の気圧配置には大きな違いが見られないが、2月末から3月初頭にかけて、特に南の地方において、温暖化時の方が冬型の西高東低の気圧配置が早くから緩みだし、北からの寒気移流が弱まることが分かった。このことから、気圧配置の季節進行に関して、温暖化時には春の訪れが早まるといえることが予測された。

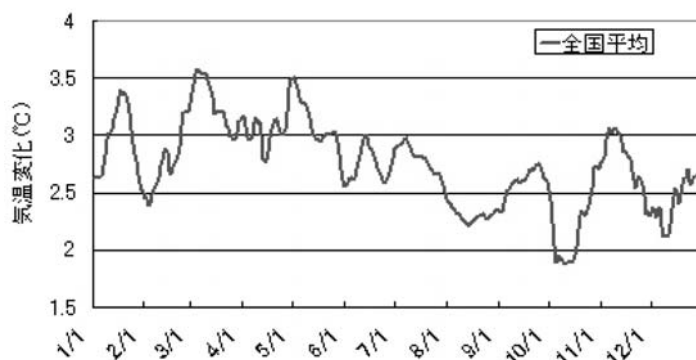


図4 日本全国で平均した、二酸化炭素倍増による気温上昇量の季節変化。日単位のデータをもとに作成し、15日の移動平均により平滑化した。

2) 日本域夏季の気候変化と東アジア域夏季の天候の年々変動との関係

現在気候実験の変動の第一主成分 (EOF1) の空間パターンは、東シベリア上、日本上空に異なる符号を持ち、さらにその南側にも日本上空と異符号の作用中心を持つ (図略)。この主成分は、正のときに東南アジアから北西太平洋にかけて帯状の降雨の増加、すなわち梅雨前線の強化を伴う。これらの空間パターンの特徴及び主成分の時系列は、観測の第一主成分のものとよく類似し

ており、このモデルで夏季東アジア域の気候の年々変動が現実的に再現されていることが示された。この内容については、モデルの年々変動再現性能の検証として、本課題サブテーマ1の報告書に詳しく述べた。

図1に示したように、温暖化実験の夏季平均500hPa高度場(Z500)は、特に東シベリア域北緯60°を中心とした領域で現在より高気圧傾向にあることがわかる。この場所は、現在気候実験から計算されたEOF1でも変動の大きい場所となっており、これが高気圧傾向に強調されることを示している。図5に、温暖化時の年々変動を現在気候からの差として見るため、現在気候実験のEOF1、EOF2を主軸として、温暖化実験のZ500から現在気候実験気候値を差し引いた偏差場を投影したものを示す。現在気候実験の分布(黒印)では、

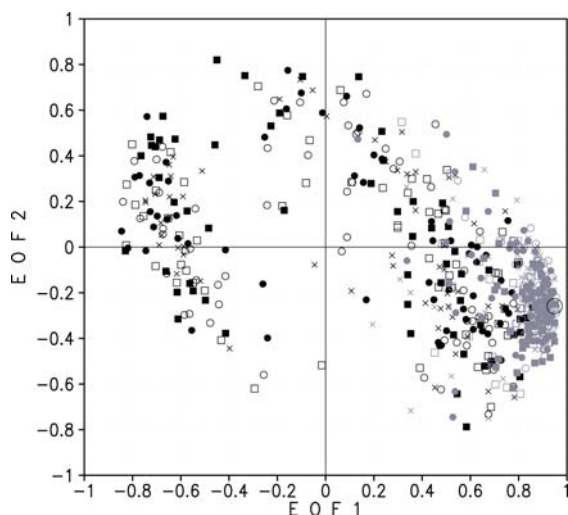


図5 現在気候実験のEOF第1及び第2モードへ投影した各月各アンサンブルメンバーの散布図。黒印は現在気候実験、灰色印は温暖化実験。アンサンブル実験のメンバー毎に印を変えてある。

EOF1の正方向と負方向に二つのレジームが存在しているが、温暖化実験の分布（灰色印）はEOF1の正方向のレジームに偏在していることがわかる。すなわち、温暖化時の夏季東アジアの気圧場の年々変動においては、温暖化の強制により、この現在気候の最も卓越するモードの正方向の成分を持つレジームの出現確率が增大する、と解釈できる。

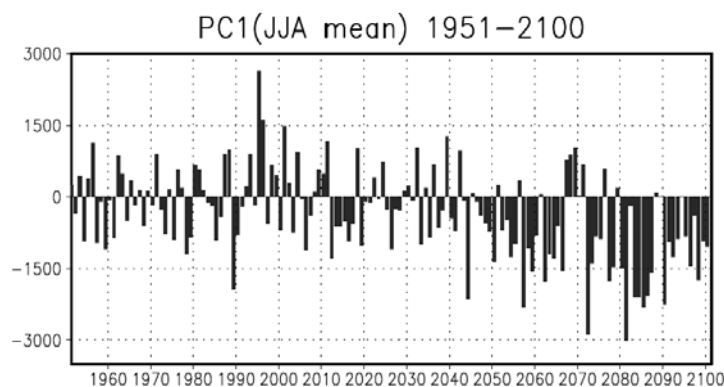


図6 20世紀再現実験のEOF第1モードに1950年以降の6-8月平均水蒸気フラックスを投影させて得た時系列。

### 3) 日本域夏季の気候変化とアジア

#### アモンスーン域夏季の天候の年々変動との関係

20世紀再現実験の変動の第一主成分（EOF1）の空間パターンは、フィリピン周辺で低気圧性循環、フィリピン～亜熱帯北西太平洋域で降水量が増加、インドネシア近海で減少という水平構造を持つ（図略）。この主成分は、負のときにアジアモンスーンからの南東風による日本への水蒸気移流の強化を伴い、ひいては梅雨前線の強化を伴うと考えられる。これらの空間パターンの特徴は観測の第一主成分のものとよく類似しており、このモデルで夏季アジアモンスーン域の気候の年々変動が現実的に再現されていることが示された。この内容については、モデルの年々変動再現性能の検証として、本課題サブテーマ1の報告書に詳しく述べた。

図1に示したように、温暖化実験の夏季平均500hPa高度場(Z500)は、フィリピン北部の北緯20°を中心とした領域で現在より高気圧傾向にあることがわかる。この場所は、20世紀再現実験から計算されたEOF1でも変動の大きい場所となっており、これが高気圧傾向に強調されることを示している。図6に、20世紀再現実験および温暖化実験の1950年～2100年までの水蒸気フラックス鉛直積分を、20世紀再現実験より得られたEOF1に投影して得られた時系列を示す。2050年以降、負方向のレジームの出現頻度が增大しているのが分かる。すなわち、温暖化時の夏季アジアモンスーン域の気圧場の年々変動においては、温暖化の強制により、現在気候で最も卓越するモードの負方向の成分を持つレジームの出現確率が增大し、梅雨前線への水蒸気供給の強化を通じて、温暖化時の「冷夏型」の気候変化に寄与すると考えられる。

## (2) 年平均降水量および極端に強い降水量のグローバル変化予測とそのメカニズム

### 1) 複数の気候モデルによる年平均および極端に強い降水量の変化メカニズム考察

全てのモデルの結果は定性的によく似ていたため、全球年平均降水量の変化率でスケールした後、全てのモデルについて平均を取った。力学的変化は、年平均降水量と99パーセントイル日降水量共に、亜熱帯で減少、熱帯太平洋で増加を示し、両者の違いは小さかった(図略)。また、共変動項は一般に小さかった(図略)。図7は、年平均降水量(a)および99パーセントイル日降水量(b)の、熱力学的変化による変化率の分布である。斜線を施したのは、 $\omega$ と日降水量の相関が低いため(相関係数0.2以下)、今回の手法の適用が不相当と思われる領域である。図7bでは、ほぼ全ての領

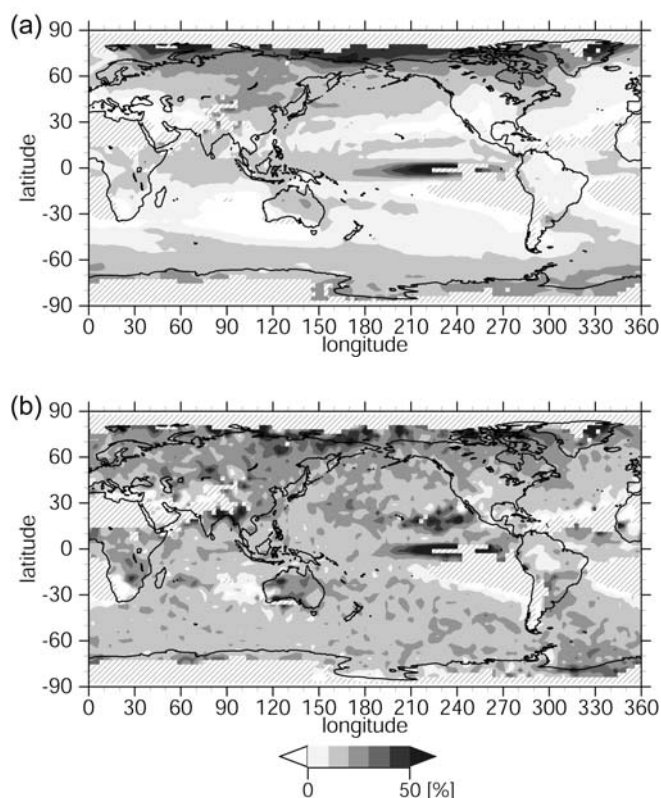


図7 温暖化による平均降水量(a)および年間4位の日降水量(b)の「熱力学的」変化(大気中水蒸気量の増加に起因する変化)。各地点における現在気候の値からの相対的な変化(%)で表している。

高緯度側で上昇流が強化されたことで、平均降水量の緯度分布が増減していた。これはITCZの南北への拡大とハドレー循環の弱化というMiura et al. (2005)<sup>3)</sup>による説明と一致する。20°付近の緯度帯では、温暖化に伴う平均降水量の変化率が大きく、力学的・熱力学的変化の寄与がほぼ拮抗している。中緯度域の平均降水量の極大の緯度35°付近の増加については、力学的・熱力学的変化、すなわち上昇流の強化と水蒸気量の増加の寄与が拮抗している。しかしその南北では、ほとんど熱力学的変化によって増加している。さらに高緯度側では、力学的変化の寄与はほとんど無く、両実験の差は熱力学的変化によって説明される。この高緯度側での熱力学的変化の優位は、1)における従来の気候モデルの解析結果と一致する。

域で変化率が正である。これは、各地点における強い上昇流のレジームで、降水量の期待値 $P_0$ が増加することを表しており、温暖化による水蒸気量の増加に対応していると考えられる。一方、図7aでは、主に亜熱帯を中心として、変化率がゼロに近いか負の領域が存在する。つまり、この領域では、下降流または弱い上昇流のレジームで、水蒸気量の増加にも関わらず $P_0$ が減少する。これが、平均降水量の変化率が強い降水量の変化率よりも小さくなる主な原因であることが分かった。

## 2) 全球雲解像モデルによる平均降水量の変化メカニズム考察

+2K実験とCTL実験を比較すると、緯度別の平均降水量は赤道付近で減少し、その高緯度側で増加、そして中緯度域で若干増加していた。図8に、両実験の差を力学・熱力学的変化に分解してCTL実験に対する変化率として示す。熱帯域の平均降水量の増減は、主に力学的変化で説明できる。つまり、赤道付近では上昇流が弱まり、その

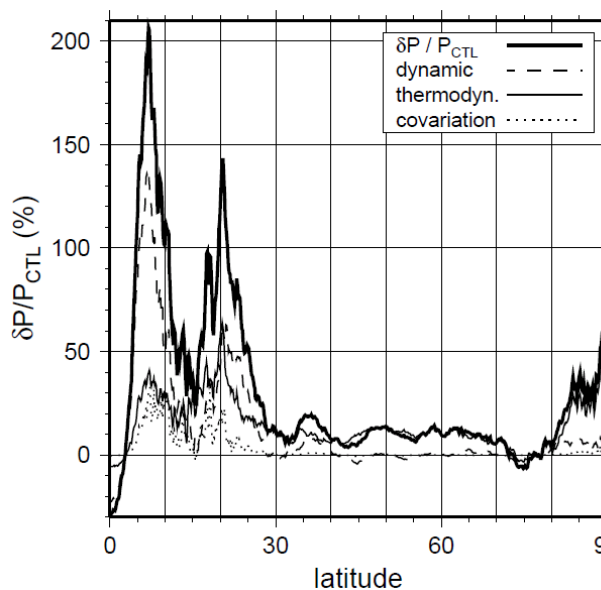


図8 降水量の変化率とその力学的・熱力学的変化の緯度分布。

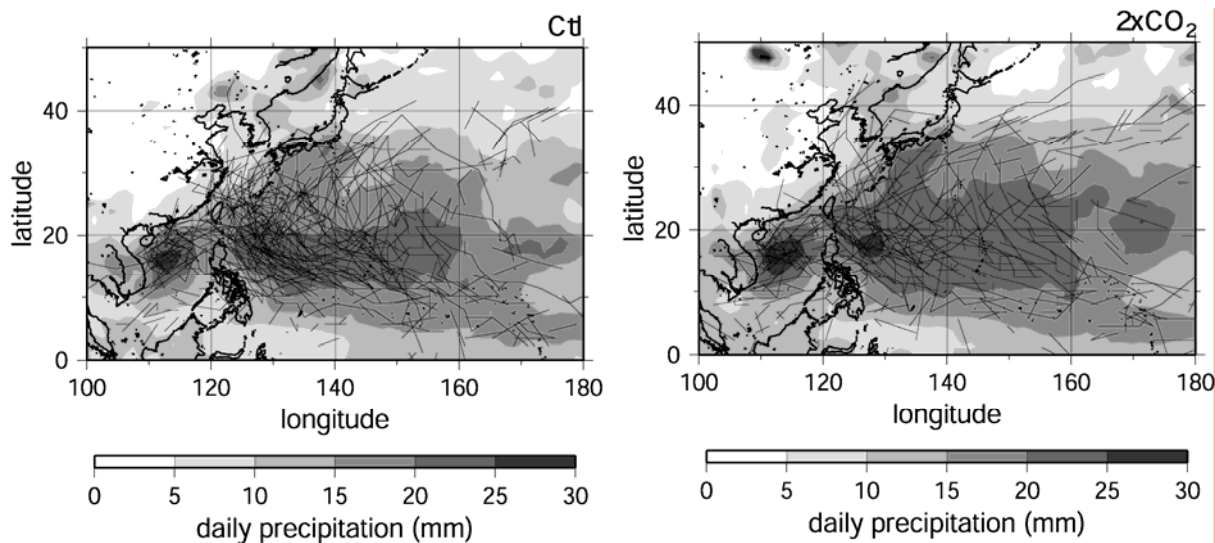


図9 台風1つあたり1日あたりにもたらされる平均降水量の分布(陰影)。左が現在気候、右が二酸化炭素倍増時。細線は、モデルにおける台風の経路を表す。

(3) 温暖化に伴う熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測とそのメカニズム

1) 大気モデルを用いた熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測

図9は、台風により1日あたりにもたらされる平均降水量の分布である。降水の強い領域(20mm/day以上)が、温暖化時には日本の南岸まで広がっているのが分かる。今回のモデルでは、温暖化時に台風の発生数、平均強度ともに若干減少する結果が得られた。それにも係わらず、西日本で平均した、台風によりもたらされる平均的な日降水量は10%程度増加し、また、日本の陸上で台風により150mm/day以上の強い降水がもたらされる頻度は約3倍に増加するという結果が得られた。これには、温暖化による大気中水蒸気量の増加の影響で、同じ強さの台風1つあたりによりもたらされる降水量が増加する効果が大きく効いていることが分かった。

2) 熱帯低気圧の変化予測における海洋結合効果の役割の考察

結合モデルおよび大気モデルを用いた標準実験と温暖化実験において、ある強さの熱帯低気圧が存在する確率(図10)を調べた。どちらのモデルを用いた場合でも、温暖化すると、1005 hPa を境として弱い熱帯低気圧の割合が増える一方で強い熱帯低気圧の割合は減るが、極端に強い(中心海面気圧が低い)熱帯低気圧が発生する確率は高まる傾向にある。温暖化実験

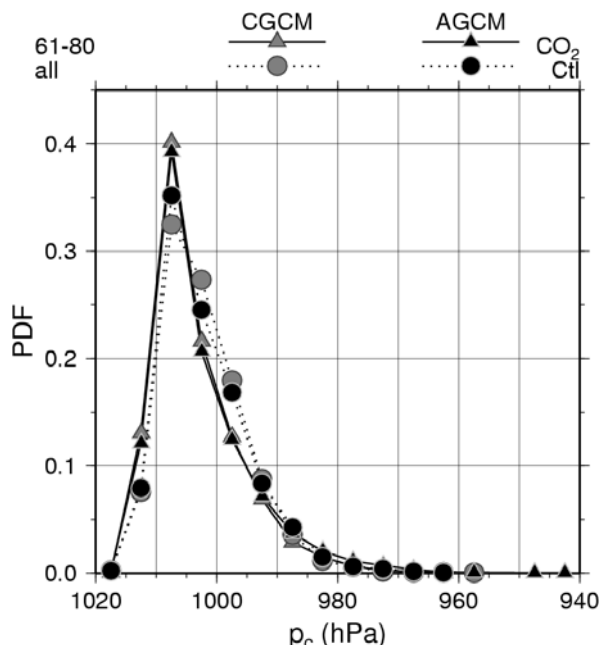


図10 結合モデル(灰色)と大気モデル(黒色)による標準実験(丸)および温暖化実験(三角)における熱帯低気圧の強さ別の確率密度関数(左)と領域平均の日降水量の期待値(右)。

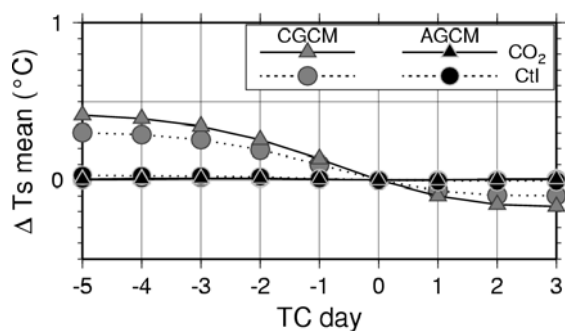


図11 結合モデル(灰色)と大気モデル(黒色)による標準実験(丸)および温暖化実験(三角)における熱帯低気圧の接近前後の海面水温の推移。熱帯低気圧の中心がその地点に存在した日の領域平均した水温を前後の日付の同領域の平均海面水温から差し引いた。

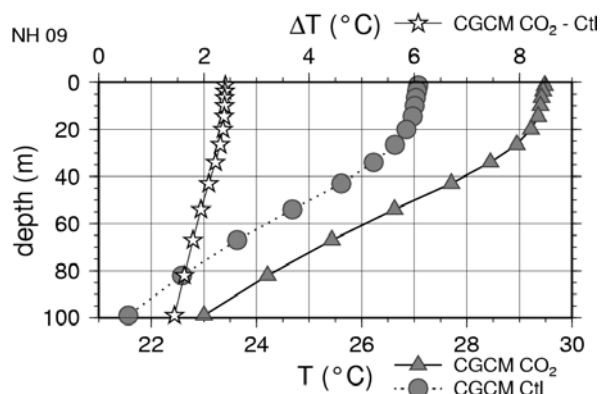


図12 結合モデルによる標準実験(丸)および温暖化実験(三角)における9月の北半球低緯度地域(0~30°N)の平均海水温度の鉛直分布と両実験の差(星印)。

の結合モデルと大気モデルについて比較すると、990 hPa より弱い熱帯低気圧は結合モデルの方が存在する確率が高いが、逆に大気モデルではより強い熱帯低気圧が存在する割合が大きく、極端に強い熱帯低気圧が発生する確率も高い(図4右裾野の黒▲)。熱帯低気圧に伴う降水量も、温暖化時に結合モデルよりも大気モデルでより顕著に増加する傾向が見られた(図略)。

さらに、熱帯低気圧の接近・通過に伴う海面水温の推移を調べた(図11)。ある地点に熱帯低気圧の中心が存在した日(図11の横軸で0)における領域平均された海面水温を、熱帯低気圧の通過前後のその領域平均水温から差し引いたものを示した。大気モデルでは熱帯低気圧の接近・通過に関わらず海面水温はほとんど変化しないが、一方の結合モデルでは接近に伴って徐々に海面水温は低下し、通過後もしばらくは低下傾向が続いた。この差によって、大気モデルの方が結合モデルよりも強い熱帯低気圧が発生しやすくなったと考えられる。結合モデルと比べて大気モデルの方が強い熱帯低気圧の割合が多いという傾向は、標準実験よりも温暖化実験で顕著となった。熱帯低気圧の接近・通過に伴う海面水温の低下は、標準実験よりも温暖化実験においてより大きい。この原因としては、結合モデルにおける海水温度の鉛直勾配が標準実験よりも温暖化実験で急になることが考えられる(図12)。海水温度の鉛直勾配が急なほど、熱帯低気圧の接近に伴う海水の攪拌による海面水温の低下幅が大きくなる。つまり大気-海洋相互作用の存在は、温暖化に伴う熱帯低気圧の活動の強化を抑える方向に働くと考えられる。

#### (4) 近未来の温暖化における極値現象の変化予測

図13a,bは、それぞれ2011-2030年と1981-2000年における「暑い夜」の発生頻度比RFの分布である。2011-2030年においては、全ての陸上でRFは1より大きい(図13a)。いくつかの領域(例えばアマゾン)では、暑い極値現象が6倍以上増える。1981-2000年では、RFの大きさは2011-2030年より小さいが、その空間パターンはある程度似ている(図13b)。観測と比較すると、モデルのRFは幾分控えめのようなものである(図13c)。図13d, eはいくつのアンサンブルメンバーでRF>1となるかを示している。1981-2000年でも、いくつかの領域、例えばメキシコ、アマゾン、サハラなどで、全10メンバーがRF>1で一致している(図13e)。しかし他の領域では、自然変動のために、少なくとも一つの

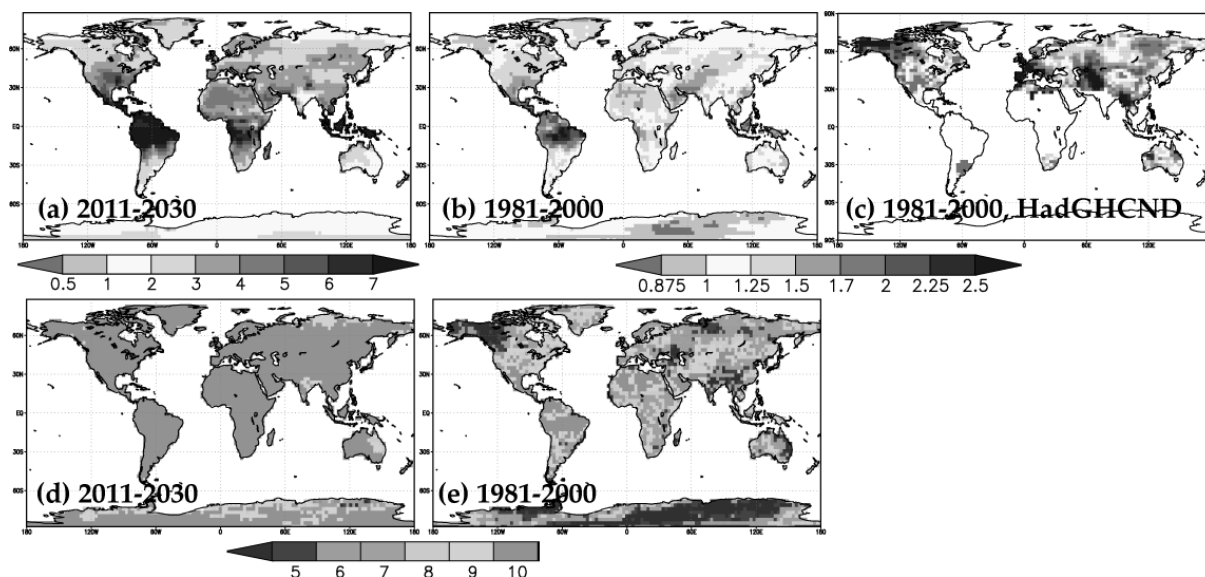


図13 (a) 2011-2030年と (b) 1981-2000年の10メンバー平均RF。(c) 1981-2000年の観測 (HadGHCND)。下図は(d) 2011-2030年と (e) 1981-2000年で、いくつのメンバーでRF> 1となるかを示している。

メンバーで極値現象の頻度が減っている。一方、2011-2030年では陸上のほとんどで、「暑い夜」の頻度が増えることで全10メンバーが一致している。すなわち2011-2030年では、自然変動は人間活動の影響を覆い隠すことが出来ない(図13d)。

同様に「暑い昼(夏の日最高気温の95%値を超える日)」、「寒い昼と寒い夜(冬の日最高気温と日最低気温の5%値を下回る日)」に関してもその頻度の変化を調べた。温暖化に伴い、暑い極値現象は頻度が増加し、寒い極値現象は減少する。どの極値現象の指標でも、陸上のほとんどの地域で温暖化シグナルが自然変動より大きくなることが示された(図略)。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

#### 1) 日本域の気候変化メカニズムおよび天候の年々変動との関係

これまで予測が難しかった日本の夏季について、熱帯太平洋の昇温および大陸の昇温にそれぞれ関係して生じる日本の南側と北側の高気圧性変化により、日本では梅雨前線が強化され、梅雨明けが遅くなるという気候変化メカニズムが示された。3月初頭に顕著な昇温が見られることについては、これが冬型の気圧配置が緩むのに対応していることを示した。これらの結果は、今後、日本域の温暖化影響評価の信頼性を検討する上で、有用な知見となる。また、真夏日や豪雨などのモデル中での変化を示すことによって、温暖化による気候の変化を、より具体的な問題として提示することができた。

また、モデルによる現在気候および温暖化時の東アジア域およびアジアモンスーン域夏季の天候の年々変動パターンを解析することにより、このモデルによる温暖化時の予測においては、日本に冷夏をもたらす気圧配置パターンの頻度が著しく増加することが示された。すなわち、温暖化予測実験の気候値的な解析で得られた平均的な「冷夏型」気圧配置パターンは、現在気候の年々変動に見られるような冷夏年に特徴的な天候パターンの発生頻度が高まることによって実現して

いたと解釈できる。温暖化に伴う極値現象の変化を議論する際に、このように年々変動のパターンが温暖化によりどのように変化するかという観点で解析を行うことは極めて重要と考えられる。

## 2) 年平均降水量および極端に強い降水量のグローバル変化予測とそのメカニズム

本研究は、温暖化による平均降水量の変化と極端に強い降水量の変化の関係を、地理的分布を含めた形で初めて明瞭に示した。主に亜熱帯を中心とした限られた領域で、極端に強い降水量の変化割合は年平均降水量の変化割合を顕著に上回ることが示された。また、それぞれの変化において、大気中水蒸気量の増加を原因とする変化(熱力学的変化)と、降水をもたらす力学擾乱の変化を原因とする変化(力学的変化)を初めて明瞭に分離し、極端に強い降水量と年平均降水量の変化割合の違いは熱力学的変化によってもたらされることを示した。複数のモデルを用いて、整合的な結果が得られることを示した点も、信頼性の観点から重要である。これらにより、温暖化による降水量変化メカニズムの理解が深まり、降水量変化予測の信頼性の向上に貢献できると考えられる。例えば、北半球中高緯度の陸上では、一般に力学的変化が小さく、熱力学的変化により平均降水量と極端に強い降水量がほぼ同じ割合で増加する地域が多いことが分かった。これらの結果は、今後、平均降水量と強い降水の変化に起因する温暖化影響評価の信頼性を検討する上で、有用な知見となる。

また、経験的な積雲対流パラメタリゼーションを含まない空間解像度7kmの全球雲解像モデルを利用してこの結果の検証を試み、高緯度の平均降水量の増加がほぼ全て熱力学的変化によりもたらされるという点に関して、従来型の気候モデルによる結果との一致を確認した。一方で、熱帯・亜熱帯の変化については、全球雲解像モデルと従来型気候モデルの結果の比較は単純ではなく、実験設定の違いも含めて、さらなる検討が必要である。

## 3) 温暖化に伴う熱帯低気圧およびそれに伴う降水の変化予測とそのメカニズム

台風による平均雨量および豪雨頻度が増加することについて、これが大気中水蒸気量の増加によることが示された。現在の気候モデルの解像度では、台風の発生、経路、強度に関する温暖化時の予測は難しいが、水蒸気量の増加というメカニズムを根拠にすることにより、台風による雨量の増加は、比較的信頼性が高い予測であると考えられる。

また、従来の研究のように大気モデルを用いても、大気-海洋相互作用を取り扱うことができる大気海洋結合モデルを用いても、地球温暖化に伴って強い熱帯低気圧の比率が増加し、熱帯低気圧の伴う日降水量も増加するという傾向は定性的に変化しないことが示された。しかし、地球温暖化に伴う強い熱帯低気圧の増加や降水量の増加傾向は、結合モデルよりも大気モデルでより顕著となり、これは大気モデルが海洋のフィードバックを考慮していないことにより理解できる。つまり、結合モデルと比べて大気モデルでは地球温暖化に伴う変化を過大評価する傾向にあることが示唆された。

## 4) 近未来の温暖化における極値現象の変化予測

初期値の異なる10メンバーアンサンブルの近未来予測実験において、陸上のほとんどの領域で、全10メンバーが「暑い昼・夜」が増え、「寒い昼・夜」が減ることで一致した。この結果から、気候の自然変動による不確実性を考慮しても、気温の極値現象の変化の可能性を低く見積もるべ

きではないことが示された。

本研究では、気候モデルや排出シナリオなどの不確実性を考慮していないため、気候変動予測の頑強性を過大評価しているかもしれない。また、モデルバイアスの影響も見積もらなくてはならない。これらの問題には、複数のモデル・複数のシナリオを用いた研究によるさらなる検討を要する。将来起こりうる自然起源の外部強制力の変動に関しても、ここでは考慮していない。例えば、大規模な火山活動が起こった場合、数年間は大気が冷却されるので、気温の極値現象変化のシグナル・ノイズ比が下がるはずである点などには注意が必要である。

## (2) 地球環境政策への貢献

環境省の中央環境審議会地球環境部会における気候変動に関する国際戦略専門委員会において、本研究成果である日本域の気候変化予測結果が取り上げられ、同委員会の第2次中間報告の作成に貢献した（同報告 p 15に結果が引用されている）。また、IPCC第4次評価報告書、第一作業部会の9章（気候変化の理解と原因特定）、10章（全球気候変化予測）および11章（地域気候変化予測）に本サブテーマの成果が引用されており、温暖化の科学の基礎的な知見の一部としても、政策に貢献した。さらに、本サブテーマの成果に基づく気候変化予測の知見はマスコミ等を通じて多く発表されており、これによって、正しい危機感の醸成ならびに意思決定における科学的根拠の提供を通じて国民各層の温暖化対策への動機付けに貢献したと考えられる。

## 6. 引用文献

- 1) Oouchi, K., J. Yoshimura, H. Yoshimura, R. Mizuta, S. Kusunoki and A. Noda (2006) Tropical cyclone climatology in a global-warming climate as simulated in a 20km-mesh global atmospheric model: Frequency and wind intensity analyses. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 259-276.
- 2) Emori, S., T. Nozawa, A. Abe-Ouchi, A. Numaguti, M. Kimoto and T. Nakajima (1999) Coupled ocean-atmosphere model experiments of future climate change with an explicit representation of sulfate aerosol scattering, *J. Meteor. Soc. Japan*, **77**, 1299-1307.
- 3) Miura, H., H. Tomita, T. Nasuno, S. Iga, M. Satoh, and T. Matsuno (2005) A climate sensitivity test using a global cloud resolving model under an aqua planet condition. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L19717, doi:10.1029/2005GL023672.
- 4) Sugi, M., A. Noda and N. Sato (2002) Influence of the global warming on tropical cyclone climatology: An experiment with the JMA global model. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 249-272.

## 7. 国際共同研究等の状況

- 1) 本課題で用いている気候モデル(MIROC3.2)の計算結果は、WCRP（世界気候研究計画）CLIVAR（気候変動と予測に関する国際研究プログラム）のWGCM（結合モデルに関するワーキンググループ；米国NCAR Gerald Meehlら）が主導するIPCC第4次評価報告書に向けたデータベース（米国PCMDI）に提出されており、世界中の研究者によるモデル相互比較や検証研究に用いられている。また、本サブテーマのメンバー（木本、江守）はこの枠組みの中で自身の解析プロジェクトを提案し、他国のモデルを含めた相互比較解析を行っている。
- 2) IPCC第4次評価報告書、第一作業部会の全球気候変化および地域気候変化の章において、本サ



ブテーマのメンバー（木本、江守）は貢献執筆者として本サブテーマの研究成果を代表執筆者に情報提供した。

- 3) 本サブテーマのメンバー（江守）は、英国Hadley CentreのSimon Brown（Extreme event group manager）と共同で、本報告の解析の一部を行った。今後も協力を継続する予定である。

## 8. 研究成果の発表状況

### （1）誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Emori, S., A. Hasegawa, T. Suzuki and K. Dairaku: Geophys. Res. Lett., 32, L06708, doi:10.1029/2004GL022306 (2005)  
 “Validation, parameterization dependence, and future projection of daily precipitation simulated with a high-resolution atmospheric GCM”
- 2) Kimoto, M., N. Yasutomi, C. Yokoyama and S. Emori: SOLA, 1, 85-88, doi:10.2151/sola.2005-023 (2005)  
 ”Projected changes in precipitation characteristics near Japan under the global warming”
- 3) Kimoto, M.: Geophys. Res. Lett., 32, L16701, doi:10.1029/2005GL023383 (2005)  
 “Simulated change of the east Asian circulation under global warming scenario”
- 4) Hasegawa, A. and S. Emori: SOLA, 1, 145-148, doi:10.2151/sola.2005-038 (2005)  
 “Tropical cyclones and associated precipitation over the western North Pacific: T106 atmospheric GCM simulation for present and doubled CO2 climates”
- 5) Emori, S. and S. J. Brown: Geophys. Res. Lett., 32, L17706, doi:10.1029/2005GL023272 (2005)  
 “Dynamic and thermodynamic changes in mean and extreme precipitation under changed climate”
- 6) 大楽浩司, 江守正多: 水工学論文集, 50, 547-552 (2006)  
 「高解像度全球気候モデルによる地球温暖化時の夏季アジアモンスーン」
- 7) 江守正多: 地球環境, 11, 3-10 (2006)  
 「高解像度気候モデルによる気候変化予測とその信頼性」
- 8) Emori, S.: Global Environmental Research, 10, 143-149 (2007)  
 “The Reliability of Future Climate Change Projection by High-Resolution Climate Models”
- 9) Dairaku, K. and S. Emori: Geophys. Res. Lett., 33, L01704, doi:10.1029/2005GL024754 (2006)  
 “Dynamic and thermodynamic influences on intensified daily rainfall during the Asian summer monsoon under doubled atmospheric CO2 conditions”
- 10) Yokohata, T., S. Emori, T. Nozawa, T. Ogura, N. Okada, T. Suzuki, Y. Tsushima, M. Kawamiya, A. Abe-Ouchi, H. Hasumi, A. Sumi, M. Kimoto, Geophys. Res. Lett., 34, L02707, doi:10.1029/2006GL027966 (2007)  
 “Different transient climate responses of two versions of an atmosphere-ocean coupled general circulation model”
- 11) Hasegawa, A. and S. Emori: Geophys. Res. Lett., 34, L05701, doi:10.1029/2006GL028275. (2007)

“The effect of air-sea coupling in the assessment of CO<sub>2</sub>-induced intensification of tropical cyclone activity”

12) Shiogama, H., T. Nozawa, and S. Emori: *Geophys. Res. Lett.* (2007)

“Robustness of climate change signals in near term predictions up to the year 2030: Changes in the frequency of temperature extremes” (in press)

<その他誌上発表（査読なし）>

1) 江守正多, 住明正, 木本昌秀, 野沢徹: 21世紀の環境とエネルギーを考える, 時事通信社, 26, 33-46 (2004)

「地球温暖化と異常気象 スーパーコンピュータが予測する未来の気候」

2) 大楽浩司, 江守正多: 平成16年度「異常気象と長期変動」研究集会報告, 85-94 (2004)

「温暖化時の降水の極値現象の変化とそのメカニズムの考察」

3) 木本昌秀: *Safety Eye* (損保ジャパン広報誌), 2005年2月号, 2-9 (2005)

「2004年異常気象と地球温暖化」

4) 木本昌秀: 平成16年度国土交通省委託業務成果報告書「気候変動が水資源に与える影響評価研究調査」, 11-27 (2005)

「高解像度大気海洋結合モデルによる温暖化時日本付近の降水特性の変化」

5) 江守正多: エネルギーレビュー, エネルギーレビューセンター, 2005年5月号, 12-15 (2005)

「100年後1.4~5.8℃アップ 脱炭素社会への移行が不可欠」

6) 江守正多: 季刊環境研究, 138, 32-36 (2005)

「気候安定化に関わる気候モデル研究の論点」

7) 江守正多: サイエンスウェブ, 1(1), 42-51 (2005)

「地球温暖化を予測する 世界は、そして日本はどうなる？」

8) 江守正多: *かんきょう*, 30(12), 28-29 (2005)

「地球温暖化の将来予測と影響評価 - 「地球シミュレータ」による最新予測 -」

9) Endo, N., A. Hasegawa, S. Emori and K. Dairaku: *The First International Symposium on Terrestrial and Climate Change in Mongolia* (2005)

“Summer daily precipitation characteristics in the East Asia for present and future climate simulated by a high-resolution CGCM”

10) 塩竈秀夫, 野沢徹, 江守正多: 平成18年度「異常気象と長期変動」研究集会報告書 (2006)

「近未来気候変動予測における極端現象変動の検出可能性」

11) 木本昌秀: *グロースベッター*, 44, 34-39 (2006)

「地球温暖化と東アジアの気候変化」

12) Dairaku, K. and S. Emori: *Proceedings of the 3rd Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference ST1-05-A28-270.* (2006)

“Relative importance of dynamic and thermodynamic influences on monsoon extreme events under the global warming”

13) Dairaku, K. and S. Emori: *Research Signpost “Geophysics”*, Tomonori Matsuura, Ryuichi Kawamura Eds, pp.105-123. (2007)

“Potential hydrological change due to greenhouse warming: Climate change and water-related

disasters of severe tropical storms in East Asia”

- 14) Nozawa, T., T. Nagashima, T. Ogura, T. Yokohata, N. Shiogama, and H. Shiogama: CGER'S SUPER COMPUTER MONOGRAPH REPORT Vol.12 (2007)

“Climate Change Simulations with a Coupled Ocean-Atmosphere GCM Called the Model for Interdisciplinary Research on Climate, MIROC”

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) 長谷川聡, 江守正多: 日本気象学会春季大会 (2004)  
「CCSR/NIES/FRSGC T106 AGCMによるCO2倍増実験における熱帯低気圧が強い降水に与る影響」
- 2) 長谷川聡, 江守正多: 日本気象学会秋季大会 (2004)  
「CCSR/NIES/FRCGC T106 AGCMを用いたCO2倍増実験における西部北太平洋領域の熱帯低気圧による強い降水」
- 3) 稲津将, 木本昌秀: 日本気象学会秋季大会 (2004)  
「温暖化時のストームトラックの真冬の振動極小」
- 4) 大楽浩司, 江守正多: 平成16年度「異常気象と長期変動」研究集会 (2004)  
「温暖化時の降水の極値現象の変化とそのメカニズムの考察」
- 5) 稲津将, 木本昌秀: 平成16年度「異常気象と長期変動」研究集会 (2004)  
「真冬のストームトラックの経年変動と地球温暖化との関係」
- 6) 大楽浩司, 江守正多: 日本気象学会春季大会 (2005)  
「温暖化による日降水分布の変化に対する力学、熱力学的効果」
- 7) 木本昌秀: 地球惑星科学関連学会合同大会 (2005)  
「コンピュータによる地球温暖化の予測」
- 8) 江守正多, S. Brown: 日本気象学会秋季大会 (2005)  
「温暖化による平均降水量および極端に強い降水量の力学的・熱力学的変化」
- 9) 長谷川聡, 江守正多: 日本気象学会秋季大会 (2005)  
「大気-海洋結合／非結合GCM実験における熱帯低気圧と降水」
- 10) 荒井美紀, 木本昌秀: 日本気象学会秋季大会 (2005)  
「夏季東アジア域の天候の年々変動と将来予測」
- 11) 荒井美紀, 木本昌秀: 平成17年度「異常気象と長期変動」研究集会 (2005)  
「夏季東アジア域の天候の年々変動」
- 12) Emori, S., et al.: Conference for Avoiding Dangerous Climate Change, Exeter, UK (2005)  
”Japan as a possible hot spot of flood damage in future climate illustrated by high-resolution modeling using the Earth Simulator”
- 13) Emori, S., K. Dairaku and S. Brown: Workshop on Analysis of Climate Model Simulations for the IPCC AR4, Honolulu, US (2005)  
“Dynamic and thermodynamic changes in mean and extreme precipitation under changed climate”
- 14) Kimoto, M.: Workshop on Analysis of Climate Model Simulations for the IPCC AR4, Honolulu, US (2005)

- “Simulations of the East-Asian Summer Climate and Its Change under the Global Warming”
- 15) Emori, S., K. Dairaku and S. Brown: The 2nd International Workshop on the "KYOSEI" project (2005)  
 “Dynamic and thermodynamic changes of mean and extreme precipitation under climate change”
- 16) Kimoto, M.: The First Pan-WCRP Workshop on the Monsoon Climate Toward Better Prediction of the Monsoons, Irvine, US (2005)  
 “Modeling and Predictability Issues Related to the East Asian Monsoon”
- 17) Kimoto, M. and the K-1 Japan Project Team: IAMAS2005, Beijing, China (2005)  
 “A "High-"Resolution Coupled Ocean-Atmosphere GCM for Climate Change Projection”
- 18) Emori, S.: APN Scoping Workshop on Global Earth Observations and the Capacity Building Needs of the Region: Focus - Climate, Tokyo (2005)  
 “Future climate change projection by high-resolution climate models and its implication for impact assessments”
- 19) Dairaku, K. and S. Emori: AGU Fall Meeting, San Francisco, US (2005)  
 “Dynamic and thermodynamic effects on the asian summer monsoon under the global warming”
- 20) 大楽浩司, 江守正多: 日本気象学会春季大会 (2006)  
 「夏季アジアモンスーンに対する地球温暖化の力学・熱力学的効果」
- 21) 横島徳太, 江守正多, 野沢徹, 小倉知夫, 對馬洋子, 阿部彩子, 羽角博康, 住明正, 木本昌秀: 日本気象学会春季大会 (2006)  
 「CO<sub>2</sub> 増加に対する気候応答: 海洋熱吸収と海氷アルベドフィードバック」
- 22) 横島徳太, 江守正多, 野沢徹, 小倉知夫, 阿部彩子, 住明正, 木本昌秀: 日本地球惑星科学連合大会 (2006)  
 「二酸化炭素 増加に対する気候応答: 海洋と海氷の役割」
- 23) 塩竈秀夫, 江守正多, 野沢徹: 日本気象学会秋季大会 (2006)  
 「2030年までの確率的気候変化予測に向けて」
- 24) 横島徳太, 江守正多, 野沢徹, 小倉知夫, 岡田直資, 對馬洋子, 鈴木立郎, 河宮未知生, 阿部彩子, 羽角博康, 住明正, 木本昌秀: 日本気象学会秋季大会 (2006)  
 「CO<sub>2</sub> 漸増地球温暖化実験: 様々なモデルにおける気候フィードバック」
- 25) 安富奈津子, 木本昌秀, 江守正多: 日本気象学会秋季大会 (2006)  
 「CCSR/NIES/FRCGC T106 CGCM から得られた 地球温暖化時の夏季アジアモンスーン域の主要変動モード」
- 26) 長谷川聡, 江守正多, 三浦裕亮, 富田浩文, 佐藤正樹: 日本気象学会秋季大会 (2006)  
 「全球雲解像モデル水惑星実験における温暖化による降水の力学・熱力学的変化」
- 27) 日名啓太, 神沢博, 江守正多: 日本気象学会秋季大会 (2006)  
 「地球温暖化に伴う無降水日数の変化」
- 28) 木本昌秀: 変化する地球環境と気象災害, 第5回水文・水資源学会セミナー (2006)  
 「— 気候変動と水災害・生態系—」
- 29) 安富奈津子, 木本昌秀: 平成18年度「異常気象と長期変動」研究集会 (2006)

「地球温暖化下での夏季アジアモンスーン域の主要変動モード」

- 30) 塩竈秀夫, 野沢徹, 江守正多: 平成18年度「異常気象と長期変動」研究集会 (2006)  
「近未来気候変動予測における極端現象変動の検出可能性」
- 31) Emori, S.: IR3S/ICAS International Symposium (2006)  
“Future climate change projection by high-resolution climate models and its reliability”
- 32) Kimoto, M.: Climate and Environmental Studies for Global Sustainability, the University Allied Workshop (2006)  
“High-resolution coupled ocean-atmosphere modeling for climate studies”
- 33) Kimoto, M., A. Sumi, and M. Inatsu: Workshop on polar and global climate modeling: connection and interplay, Fairbanks, Alaska, US (2006)  
“High-resolution coupled ocean-atmosphere modeling for climate studies”
- 34) Emori, S.: ESSP Open Science Conference, Beijing, China (2006)  
“Japan’s progress in earth system modelling catalyzed by the Earth Simulator and its future prospect”
- 35) Dairaku, K. and S. Emori: ESSP Open Science Conference, Beijing, China (2006)  
“Dynamic and thermodynamic effects on the Asian summer monsoon under doubled atmospheric CO<sub>2</sub>”
- 36) Yokohata, T., S. Emori, T. Nozawa, T. Ogura, N. Okada, T. Suzuki, Y. Tsushima, M. Kawamiya, A. Abe-Ouchi, H. Hasumi, A. Sumi, M. Kimoto: AGU Fall Meeting, San Francisco, US (2006)  
“Role of climate feedback processes and ocean heat uptake in transient climate response to CO<sub>2</sub> increase on the atmosphere-ocean general circulation model”
- 37) Kimoto, M.: Fourth EU-Japan Workshop on Climate Change Research, Brussels, Belgium (2007)  
“High-resolution coupled ocean-atmosphere modelling for climate change studies”
- 38) Yokohata, T., S. Emori, T. Nozawa, T. Ogura, N. Okada, T. Suzuki, Y. Tsushima, M. Kawamiya, A. Abe-Ouchi, H. Hasumi, A. Sumi, M. Kimoto: The 9th International Workshop on Next Generation Climate Models for Advanced High Performance Computing Facilities, Honolulu US (2007)  
“Climate feedback processes in equilibrium and transient climate responses to CO<sub>2</sub> increase by general circulation models”
- 39) Yokohata, T., S. Emori, T. Nozawa, T. Ogura, N. Okada, T. Suzuki, Y. Tsushima, M. Kawamiya, A. Abe-Ouchi, H. Hasumi, A. Sumi, M. Kimoto: 3rd WGNE Workshop on Systematic Errors in Climate and NWP Models, San Francisco, US, (2007)  
“Transient climate response and reproducibility of present climate states by atmosphere-ocean coupled general circulation models”
- 40) Emori, S.: International symposium on Dialogue between Social and Natural Sciences, Honolulu, US (2007)  
“Future climate change projection and its reliability”
- 41) Emori, S.: The 9th International Workshop on Next Generation Climate Models for Advanced High Performance Computing Facilities, Honolulu, US (2007)  
“Future climate change projection and its reliability”

## (3) 出願特許

なし。

## (4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし。

ただし、環境省主催の地球環境研究総合推進費公開シンポジウム（2004年11月30日有楽町朝日ホール）に本課題に関係の深いテーマ「異常気象と温暖化 その関係は？」が取り上げられ、本サブテーマに関して以下の講演を行った。

## 1) 江守正多：環境省地球環境研究総合推進費公開シンポジウム（2004）

「スーパーコンピュータが予測する未来の気候」

## 2) 木本昌秀：環境省地球環境研究総合推進費公開シンポジウム（2004）

「地球規模の異常気象と地球温暖化」

また、環境省主催のシンポジウムにおいて以下の講演を行った。

## 3) 木本昌秀：第15回地球温暖化アジア太平洋セミナー地球温暖化シンポジウム「ストップ温暖化！

今、我々にできること～アジア・太平洋からの報告～」(2005)

「地球シミュレータによる地球温暖化の予測」

## (5) マスコミ等への公表・報道等

## 1) 成果の記者発表（2004年9月16日、於環境省プレスルーム）「地球シミュレータによる最新の地球温暖化予測計算が完了—温暖化により日本の猛暑と豪雨は増加」

## 2) 成果の記者発表（2005年8月29日、於環境省プレスルーム）「地球温暖化に伴う降水量変化のメカニズムを解明—水蒸気の増加により、多くの地域で強い降水が増加」

## 3) 読売新聞(2004年9月17日朝刊、1面、37面)「真夏日100日、2050年の日本」

## 4) 朝日新聞(2004年9月17日朝刊、3面)「真夏日、今世紀末には年100日以上」

## 5) 毎日新聞(2004年9月17日朝刊、1面)「進む温暖化、2100年は真夏日4ヶ月」

## 6) 日本経済新聞(2004年9月17日朝刊、42面)「真夏日国内で年120日」

## 7) 産経新聞(2004年9月17日朝刊、30面)「日本の夏、100年後今年越える猛暑に」

## 8) 東京新聞(2004年9月17日朝刊、3面)「ムシムシ真夏日3ヶ月？」

## 9) 日刊工業新聞(2004年9月17日朝刊、28面)「最悪4℃上昇」

## 10) 日本経済新聞(2004年9月20日科学面)「猛暑に豪雨100年後は普通？」

## 11) 常陽新聞(2005年6月1日朝刊、5面)「暑く悪天候で大雨増える」

## 12) 読売新聞(2005年8月30日朝刊、38面)「温暖化進むと日本は集中豪雨、中国・米国渇水も」

## 13) 産経新聞(2005年8月30日朝刊、29面)「地球温暖化原因、英国など豪雨増」

## 14) 日経産業新聞(2005年8月30日朝刊、9面)「世界各地の豪雨、温暖化でこうなる」

## 15) 日刊工業新聞(2005年8月30日朝刊、31面)「地球温暖化で水蒸気増加、集中豪雨の原因に」

## 16) 毎日新聞(2005年9月1日夕刊、11面)「家族離ればなれ」（ハリケーンカトリーナ関連）

## 17) Fuji Sankei Business i. (2005年9月3日、9面)「豪雨の降水量、英国などで増」

## 18) 毎日新聞(2005年9月5日朝刊、28面)「日本の年間降水量10%増」

## 19) 朝日新聞(2005年9月9日夕刊、10面)「世紀末は雨量増、年平均では10%」

## 20) 日本経済新聞(2005年9月11日朝刊、31面)「熱帯低気圧、温暖化で増大」

## 21) 読売新聞(2006年7月25日)「豪雨について」（木本昌秀：取材）

- 22) 朝日新聞(2006年12月1日) 地球温暖化フォーラム「気候変動が物語ること」(木本昌秀:取材)
- 23) 東京新聞(2007年2月7日朝刊)「なぜなの?暖冬 どうなる?異変」(江守正多:取材)
- 24) NHK NHKスペシャル「気候大異変」(データ提供および協力)2005年2月18日
- 25) TBS サンデーモーニング 地球温暖化と豪雨(江守正多:取材)2005年9月11日
- 26) NHK教育 サイエンスZERO 地球温暖化(江守正多:出演)2006年4月8日
- 27) テレビ朝日スーパーモーニング 異常気象と地球温暖化(木本昌秀:取材)2006年8月10日
- 28) テレビ朝日スマステーション 異常気象と地球温暖化(木本昌秀:取材)2006年9月1日
- 29) NHK教育 サイエンスZERO 地球温暖化(江守正多:出演)2006年9月9日
- 30) NHK教育 サイエンスZERO 科学10大ニュース(江守正多:取材)2006年12月23日
- 31) テレビ朝日 ANNスーパーJチャンネル 地球温暖化(江守正多:取材)2006年12月28日
- 32) TBS ブロードキャスター 地球温暖化(木本昌秀:取材)2007年1月13日
- 33) TBS 筑紫哲也 NEWS23 地球温暖化(江守正多:取材)2007年1月16日
- 34) TBS サンデーモーニング 地球温暖化(木本昌秀:取材)2007年1月21日
- 35) 日本テレビ THE・サンデー 地球温暖化(木本昌秀、江守正多:取材)2007年1月21日
- 36) 日本テレビ NEWS ZERO 地球温暖化(江守正多、高橋潔:取材)2007年2月2日
- 37) NHK 国際 Insight & Foresight 地球温暖化(江守正多:出演)2007年2月13,14日
- 38) 週刊文春(2006年7月13日号、143-145)「ここまで来た「異常気象」台湾ガニ・クマゼミが列島北上中」(木本昌秀:取材)
- 39) 環境会議(2006年秋号 86-90、宣伝会議)予測する力 シミュレーションは未来の地球の姿にどこまで迫れるか(江守正多:取材)
- 40) 座談会「異常気象と防災」(2007年 229 20-29、予防時報)木本昌秀 牧原康隆 宮村忠 山岸米二郎
- 41) 自然と人間(2007年3月号 18-20、自然と人間社)IPCC 報告書 目に見えてきた地球温暖化の危機(江守正多:取材)
- 42) 広告批評(2007年3-4月合併号 114-117、マドラ出版)地球温暖化をシミュレーションする(江守正多:取材)
- 43) 月刊公明(2007年4月号 22-29、公明党機関紙委員会)温暖化の脅威と地球の未来(江守正多:取材)
- 44) NHKラジオ第一 「ニュースアップ」気候変動と降雨～豪雨に備える(木本昌秀:出演)2006年7月10日
- 45) NHKラジオ第一 新春特集「21世紀日本の自画像 環境とエネルギー 地球と未来 のために～岐路に立つ地球環境と京都議定書」(木本昌秀:出演)2007年1月1日
- 46) J-WAVE Good Morning Tokyo 地球温暖化と暖冬(江守正多:出演)2007年1月23日
- 47) NHKラジオ第一 地球温暖化について(IPCC 評価報告、昨今の異常気象など)ラジオあさいちばん(木本昌秀:取材)2007年2月20日
- 48) J-WAVE Good Morning Tokyo 地球温暖化と暖冬(江守正多:出演)2007年3月6日

(6) その他

なし。