

I R - 3 地球温暖化の総合解析を目指した気候モデルと影響・対策評価モデルの統合に関する研究

(3) 気候モデルと影響・対策評価モデルとを統合したモデルによる総合評価実験に関する研究

名古屋大学大学院環境学研究科

神沢 博

(平成14年度まで国立環境研究所)

独立行政法人国立環境研究所

社会環境システム研究領域

森田恒幸\* (平成15年9月死去)

社会環境システム研究領域環境計画研究室

原沢英夫\*

地球環境研究センター

井上 元\*

大気圏環境研究領域大気物理研究室

野沢 徹\*

\*地球温暖化研究プロジェクト併任

平成13-15年度合計予算額

58,207千円

(うち平成15年度予算額

21,914千円)

[要旨] 排出シナリオに対する気候シナリオ、その気候シナリオに対する影響シナリオについて一貫した地球温暖化総合モデルを作成し、それらのシナリオの評価を、不確実性をおさえつつ行うため、開発した地球温暖化総合モデルを20世紀の過去約100年間の気候変化に適用してモデルを検証する。はじめに、過去約100年の排出データを旧版の3次元全球大気海洋大循環気候モデルに簡単なインターフェースで与えて数値実験を行い、観測データと比較した。気候モデル計算結果の全球地上平均気温は、20世紀半ばの緩やかな温度降下や近年の急激な温度上昇については観測と比較的よく一致しているが、20世紀前半の温度上昇を全く表現していなかった。この原因は、20世紀前半における炭素性エアロゾルの排出量の与え方が実際よりも過多傾向となり、その間接効果による冷却効果が大きめであったためであることが考えられる。次に、最新版の気候モデルにより過去再現実験を行う際に必要となる、各種外部境界データの収集・整備を行った。特に、従来の温暖化実験などではあまり注意を払ってこなかった対流圏および成層圏のオゾン濃度の変動、および、気候変化に比較的大きな影響を及ぼすと考えられる自然変動、すなわち、太陽定数の変動、大規模火山噴火に伴う成層圏エアロゾルの変動に関する過去のデータに関する情報を収集し、それらを外部境界条件として気候モデルに与えられるように整備した。本サブテーマで整備した外部境界データに加えて、温室効果ガス濃度データおよび、本研究課題のサブテーマ1(排出シナリオと気候モデルとのインターフェース開発に関する研究)で別途整備した、過去におけるエアロゾル前駆物質の排出量格子点データを用いて、最新版の気候モデルによる20世紀の気候再現実験を行った。19世紀中盤の1850年から2000年までの、自然起源および人為起源両方の各種外部境界条件データを与えて、過去150年間程度の気候再現実験を行った結果、全球年平均した地上気温は、観測値と非常によい一致を得た。自然起源の外部条件データのみ与えた場合には、20世紀前半の気温上昇をよく表現しているが、後半では温室効果ガスが増加しないため、大規模火山噴火に起因すると思われる寒冷化傾向が見られた。人為起源の外部条件データのみ与えた場合には、1950年頃までは顕著な昇温傾向は見られないが、1950年以降では、温室効果ガス

の増加に伴い著しい昇温傾向が見られた。

[キーワード] 全球気候モデル、地球温暖化総合モデル、排出シナリオ、オゾン、自然変動

### 1. はじめに

地球温暖化問題を総合的に解析するためには、排出シナリオに対する気候シナリオ、その気候シナリオに対する影響シナリオについて一貫した地球温暖化総合モデルを用いることが望ましい。また、このような地球温暖化総合モデルにおけるシナリオの評価を、不確実性をおさえつつ行うためには、検証データが存在すると思われる、過去 100 年程度の期間における気候変化の研究を題材として、地球温暖化総合モデルの検証を行うことが有効である。このようなことから、本サブテーマでは、3次元大気海洋大循環モデルによる 20 世紀の気候再現実験を行い、地球温暖化総合モデルの核となる気候モデルの不確実性について検討した。これまでも、気候モデルによる過去の気候再現実験が行われてきているが(IPCC, 2001<sup>1)</sup>など)、従来の研究では、人為起源の影響として考慮されているのは温室効果ガスと硫酸エアロゾル程度であった。また、過去における気候変動の再現性について、その不確実性をおさえつつ検討を行うためには、人間活動に起因する変動だけでなく、気候の自然変動に関する十分な知見が必要である。たとえば、Tett et al. (2002)<sup>2)</sup>によれば、20 世紀前半の温度上昇は太陽定数の変動に起因することが示唆されている。また、大規模火山噴火に伴い大気中に放出されたエアロゾルが成層圏にまで到達し、太陽放射を散乱することで地上気温を低下させる影響も無視できないことが指摘されている。

### 2. 研究目的

本サブテーマの最終目標は、過去 100 年程度を題材として、「排出シナリオ→気候シナリオ→影響シナリオ」の総合的実験を行い、排出シナリオに対するアジア太平洋地域に関する影響評価を行うことである。この目標の達成のために、過去約 100 年の排出データを既存の 3次元大気海洋大循環気候モデルに簡単に与え、20 世紀の気候再現実験を行い、排出シナリオに対する気候シナリオを作成する際に存在する問題点について検討する。既存の気候モデルでは考慮していない気候影響に関する情報を収集し、最新版の 3次元大気海洋大循環気候モデルにおいて取り扱いが可能となるように整備・調整を行う。対象となるのは、過去における人為起源のオゾン濃度および気候への影響が比較的大きいとされる自然変動（太陽定数の変動、成層圏エアロゾルの変動）のデータである。二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、ハロカーボンについては、従来より整備されているため、ここでは特に対応しない。なお、対流圏エアロゾルおよびその前駆物質の排出量に関しては、本推進費課題のサブテーマ 1（排出シナリオと気候モデルとのインターフェース開発に関する研究）において対応済である。最終的には、これらの各種外部境界データを、最新版の 3次元大気海洋大循環気候モデルに与えて、20 世紀の気候再現実験を行い、大気海洋大循環気候モデルによる過去の気候再現性について検討するとともに、気候シナリオの排出シナリオに対する応答を調べる。

### 3. 研究方法

総合評価実験の検証に必要な各種の気候および地球環境のモニタリング観測データの内容を検

討し、収集を行う。サブテーマ1（排出シナリオと気候モデルとのインターフェース開発に関する研究）およびサブテーマ2（気候モデルと影響評価モデルとのインターフェース開発に関する研究）で得られたインターフェースを気候モデルに取り込み、産業革命以来の過去約100年の排出データを気候モデルに与えて、数値実験を行い、観測データと比較してモデルの検証を行う。過去の気候再現実験を行う際には、人為起源の気候影響だけでなく、自然起源の気候影響に関する知見も必要となるため、学術雑誌等の文献やインターネットをベースに、過去におけるオゾン濃度、太陽定数、成層圏エアロゾル濃度の推計値に関する情報を可能な限り収集し、採用するデータを決定した。特に、太陽定数および成層圏エアロゾル変動の影響については、気候モデルで取り扱いが可能となるように、気候モデルの一部に変更を加えた。同時に、収集したデータをモデルの境界条件として入力可能となるように、データ形式を変更した。また、過去100年間に観測された全球平均気温の上昇トレンド（長期変化傾向）100年あたり0.6℃が検出可能であるように、最新版の3次元大気海洋大循環気候モデルを調整した。特に、コントロール気候が著しくドリフトしないように、大気側、海洋側ともパラメタの調整を行った。

#### 4. 結果・考察

##### （1） 旧版の3次元大気海洋大循環気候モデルによる20世紀再現実験結果の検討

推進費課題「気候・物質循環モデルによる気候変動の定量的評価に関する研究」（平成9-11年度）サブテーマ1「全球規模の気候変動におけるエアロゾル・水の効果の定量化に関する研究」の一環として、新しいIPCCシナリオ（SRESシナリオ<sup>3)</sup>）に基づいた将来の気候変化を見通す実験を行ってきており（Nozawa et al., 2001<sup>4)</sup>）、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第3次報告書（IPCC, 2001<sup>1)</sup>）にも貢献している。主要な4種類の対流圏エアロゾル（硫酸、炭素性、海塩、ダスト）による放射に関する直接および間接効果を導入したCCSR/NIES AOGCM（大気海洋大循環気候モデル）を用いて（大気の水平分解能 T21 スペクトル；約5.6°格子に相当）、SRES（IPCC, 2000<sup>3)</sup>）の全4排出シナリオに対して、1890年から2100年までの210年間分の積分を行った。2100年頃における地表面気温上昇や降水量変化など、モデルによって見通された将来の気候変化に関する解析は行ってきたが、過去に関する計算結果については、これまで詳細に調べてこなかった。気候モデルによって見通された将来の気候変化の不確実性を定量的に議論するためには、モデル自身の信頼性を何らかの形で評価しておくことが重要であり、その信頼性評価の一方が過去の気候のモデルによる観測事実の再現性を調べることである。ここでは、本サブテーマで実行予定である比較的高分解能の気候モデルを用いた総合評価実験に資するために、既存のモデル実験データの過去再現部分を解析し、考察を加えた。

図1は過去（1890-2000年）における全球年平均した地表面気温の平年値（1891-1920年）からの偏差を示す。3つの初期値を変えたアンサンブル数値モデル実験 RUN 1、2、3 は CCSR/NIES AOGCM 気候モデルによる数値計算結果を、OBSERVATION は Jones et al. (2001)<sup>5)</sup> による観測値を示す。モデルでは、20世紀半ば（1940-1960年にかけて）の緩やかな温度低下や近年の急激な温度上昇については観測と比較的よく一致しているが（ここでは絶対値ではなく相対的变化をみてよい）、一方、20世紀前半（1910-1940年にかけて）の温度上昇が全く表現されていないことが分かる。このことは、モデル実験のアンサンブルのどのメンバーについても当てはまっており、アンサンブルのメンバー数は足りないものの、当該期間の実験設定に問題が残されているこ

とを示唆している。

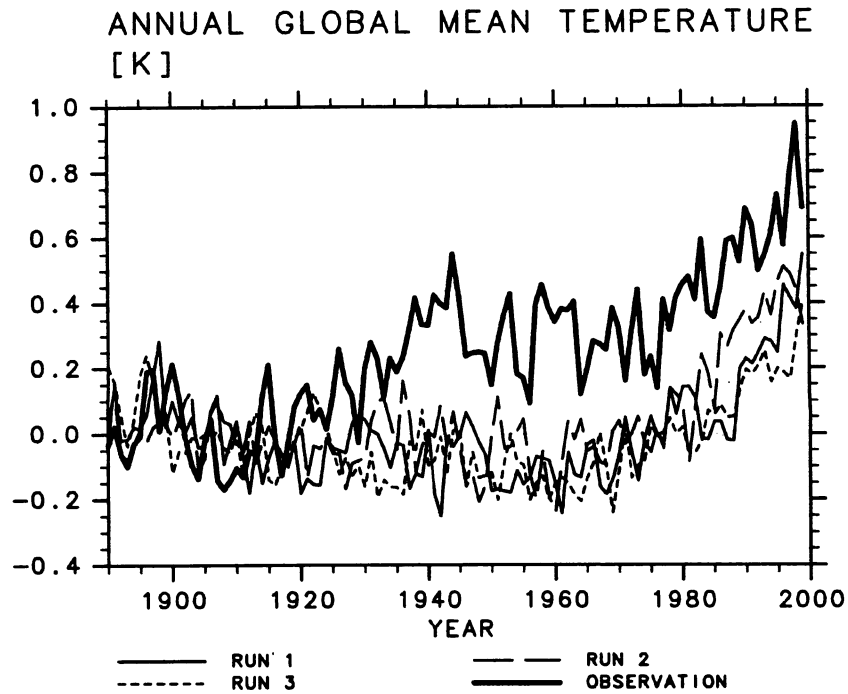


図1 全球年平均地表温度の平年値 (1891-1920 年) からの偏差 [単位: K]。大気海洋大循環気候モデルによる計算値と観測値の時間変化

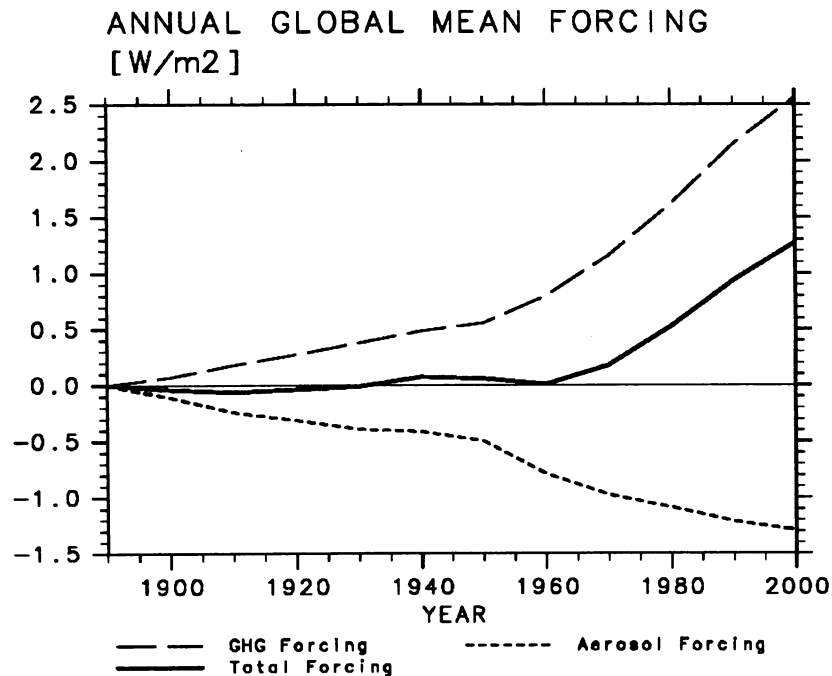


図2 モデルにより計算された全球年平均放射強制力の時間変化 [単位: W/m<sup>2</sup>]

図2は全球年平均した放射強制力の時間変化を示す。破線は温室効果気体(CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、Halocarbons、対流圏オゾン)の変化による放射強制力を、点線は硫酸および炭素性エアロゾルの変化による放射強制力(直接効果と間接効果の両方)を表している。なお、放射強制力は、与えた温室効果気体とエアロゾルの濃度によって定まるので、アンサンブルのメンバーには依存しない。エアロゾルの2つの間接効果、粒径効果(一次間接効果)と寿命効果(二次間接効果)のうち、寿命効果については簡単に求めることができないため、ここでは、Nozawa et al. (2001)<sup>4)</sup>の結果をもとに、寿命効果は粒径効果とほぼ等しいと仮定して見積もっている。モデルの全放射強制力(太実線)は20世紀前半で負、20世紀半ばに正となり、1960年頃にほぼ0となって、そこから先は急激に増加しており、モデルの地表面気温の変化とほぼ一致した変動傾向を示している。20世紀前半に全放射強制力が負となるのは、エアロゾルによる冷却化が温室効果気体による温暖化に勝っているためである。モデル中のエアロゾルによる冷却効果の主要因は間接効果であり、20世紀前半における間接効果の見積もり、すなわち、エアロゾルの時間変動の与え方、あるいは、間接効果の定式化に再考の余地があることが示唆される。

本実験では、炭素性エアロゾルの時間変化を考慮しているが、過去の変動については不確実な部分が多いため、人為起源の炭素性エアロゾルは1890年を0とし、1990年までの間は線形内挿して与えていた。炭素性エアロゾルについても、硫酸エアロゾルと同様に、20世紀前半にはほとんど変化せず、20世紀後半になって急激に増加していたと仮定すると、本実験設定では20世紀前半における炭素性エアロゾルの排出量が過剰傾向となり、間接効果が大きめに見積もられ、結果として、観測されているような温度上昇がモデルでは再現されないことが考えられる。

## (2) 過去における外部境界条件データの整備

3次元大気海洋大循環気候モデルを用いて、20世紀の過去100年間の気候再現実験を行うためには、人為起源の気候影響だけでなく、自然起源の気候影響についても十分な知見が必要である。ここでは、従来の我々の気候モデルでは考慮してこなかった、次のような外部境界データについて整備を行った。

- ① 対流圏オゾン濃度変動
- ② 成層圏オゾン濃度変動
- ③ 太陽定数の変動
- ④ 大規模火山噴火に伴う成層圏エアロゾルの変動

なお、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、ハロカーボンについては、従来より整備されているため、ここでは特に対応しない。また、対流圏エアロゾルおよびその前駆物質の排出量に関しては、本推進費課題のサブテーマ1(排出シナリオと気候モデルとのインターフェース開発に関する研究)において対応するため、ここでは検討を行わない。以下では、上記4項目それぞれについて、詳細に記述する。

### ① 過去における対流圏オゾン濃度データの構築

対流圏オゾンは温暖化物質であり、産業革命以降の濃度増加にともなう温室効果は、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、メタン(CH<sub>4</sub>)に次いで3番目の大きさを持つといわれている(IPCC, 2001<sup>1)</sup>)。しかし、産業革命以前における対流圏オゾン全量に関する観測が限られているためにまだよく分から

ないことが多く、CTM (Chemical Transport Model) による見積もりもいくつかあるものの、研究者ごとに設定が異なっているため、不確定性の幅が大きいままである。このように、特に世界標準データのようなものが存在しているわけではないため、過去再現実験においては、CCSR の対流圏オゾン反応・輸送モデル CHASER (Chemical AGCM for Study of Atmospheric Environment and Radiative Forcing; Sudo et al., 2002<sup>6)</sup>) を用いて 10 年毎にオフライン計算を行い、対流圏オゾン濃度の 3 次元分布を求め、大気海洋結合モデルに外部データとして与えることとした。オフライン計算には賛否両論あるが、少なくとも CHASER と CCSR/NIES CGCM とでは基本的な物理過程が同じであるため、対流圏オゾン分布が大気海洋結合モデルの気候状態と大きな不整合を示すことはないと考えられる。対流圏オゾンの変動をもたらす前駆物質は主としてメタン (CH<sub>4</sub>)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、一酸化炭素 (CO)、非メタン炭化水素 (Non-methane Hydrocarbons: NMHCs) であり、CHASER を用いてオゾンデータを求めるためには、これらオゾン前駆物質の排出量を用意する必要がある。オゾン前駆物質の過去における排出量の推計値に関しては、HYDE の一部である EDGAR (Emission Database for Global Atmospheric Research)<sup>7)</sup> がその最新版 EDGAR 3.2 で緯度経度 1°x1°の格子点データを公開しているため、ここではこのデータをベースとして採用することとした。EDGAR 3.2 では 1890~1990 年しかデータが存在していないため、それ以前および以降のデータについては、HYDE の人口データなどを利用して外挿処理を行った。なお、外挿方法は EDGAR 3.2 の推計手法に可能な限り準ずるよう細心の注意を払った。参考までに、CHASER より求めた 1900 年と 2000 年における地表面付近の対流圏オゾン分布を図 3 に示す。

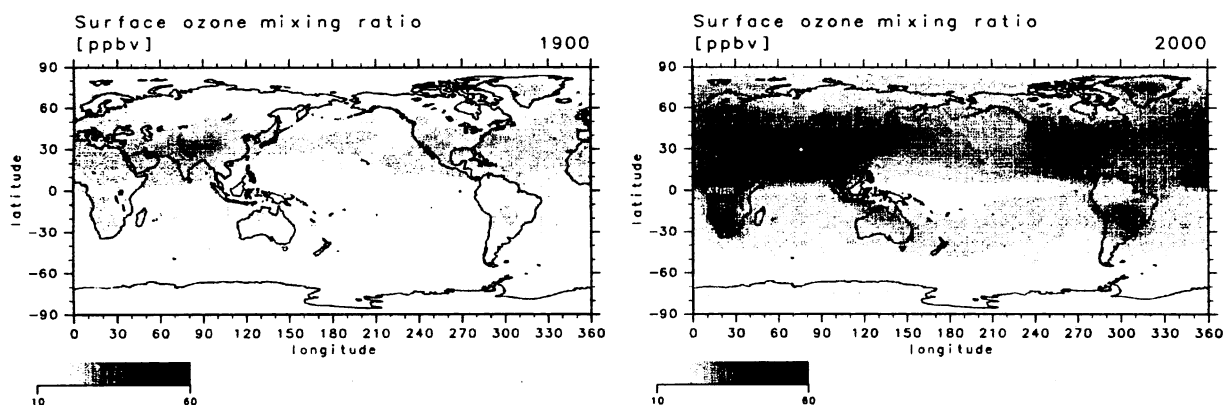


図 3 CHASER によって計算された地表における年平均オゾン混合比(ppbv)の全球分布。  
(左：1900 年、右：2000 年)

## ② 過去における成層圏オゾン濃度データの構築

成層圏オゾンは最近の 30 年間で著しく減少しており、北半球高緯度 (北緯 60 度以北) では平均でおよそ 2%/decade の割合で減少している (IPCC, 2001<sup>1)</sup>)。下部成層圏におけるオゾン濃度の減少は (オゾンによる短波吸収量が減るため) 対流圏に到達する日射量を増加させるが、同時に (オゾンの減少にともない成層圏の気温が低下するため) 成層圏から対流圏への長波放射量の減少を引き起こす。両者は相反する効果を持つが、後者の長波放射の減少量が前者の短波放射の増加量を上回るため、地表面気温に対しては、成層圏オゾンの減少は正味の冷却効果を持っている。

前回の我々の温暖化実験ではこの成層圏オゾンの減少による気候影響は考慮していなかったが、IPCC (2001)<sup>1)</sup>によれば、成層圏オゾン減少の放射強制力は  $-0.15 \text{ W/m}^2$  程度と見積もられており、亜酸化窒素 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) による温暖化を相殺するポテンシャルを持っている。上記のような理由から、過去再現実験においては、成層圏オゾンの減少による気候影響を考慮することとした。我々のグループでは成層圏オゾンの反応・輸送モデルも開発済みであるが、①で述べた対流圏オゾン反応・輸送モデル CHASER との整合性など多くの問題を抱えているため、ここでは、我々のグループ独自の成層圏オゾン濃度データ作成は断念し、衛星観測などから推定されたデータを外部データとしてモデルに与えることとした。用いたデータは SPARC (Stratospheric Processes And their Role in Climate) の成層圏オゾン濃度トレンド推定値である (Randel and Wu, 1999<sup>8)</sup>)。成層圏オゾンの減少は 1975 年から始まると仮定し、モデルの標準オゾンデータから上記データのトレンドに従って成層圏オゾン濃度が減少していくようにデータを作成した。モデルの標準オゾンデータおよび SPARC トレンドデータともに帯状平均値であるため、ここで作成した月平均値も経度方向に平均した緯度・鉛直 2 次元データである。

### ③ 太陽活動度の変動のモデル化

大気・海洋を含む地球全体の気候システムのエネルギー源は太陽からの短波放射である。地球大気の上端における単位時間・単位面積あたりの太陽放射量はおよそ  $1370 \text{ W/m}^2$  であり、この短波放射量のことを太陽定数と呼んでいる。定数とは称しているものの、太陽黒点数が周期的に増減を繰り返すことで知られているように、実際には太陽定数は約 11 年周期で変動している。また、今から約 350 年前の 17 世紀中頃には、この太陽活動が著しく弱まっていた時期のあったことが確認されており、Maunder 極小期と呼ばれている。Lean et al. (1995)<sup>9)</sup> は太陽黒点数の観測データを基にして、このような長期的な太陽放射輝度の変動データを構築した。彼らの再構築した太陽定数データによれば、17 世紀以降の太陽定数変動の幅はおよそ  $3.5 \text{ W/m}^2$  であり、平均太陽放射輝度の 0.24% 程度でしかない。一方、Wetherald and Manabe (1975)<sup>10)</sup> が気候モデルを用いた研究結果によれば、太陽定数が 2% 増加した場合の平均気温上昇度は約  $3^\circ\text{C}$  であり、両者の間に線形関係が成立すると仮定すれば、17 世紀以降の太陽定数の増加にともなう気温上昇はせいぜい  $0.4^\circ\text{C}$  程度ということになる。最近発表された Tett et al. (2002)<sup>2)</sup> によれば、20 世紀前半の全球平均気温の上昇は太陽定数の変動に起因することが示唆されているが、この期間における太陽定数変動の幅はおよそ  $2 \text{ W/m}^2$  弱、それに対する気温上昇は約  $0.4^\circ\text{C}$  と Wetherald and Manabe (1975)<sup>10)</sup> とは感度が若干異なった結果を示している。また、米国の GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) のモデルグループによる研究結果によれば、同時期の気温上昇は気候システムが持つカオス的な振る舞いによるとの解釈がなされており、太陽定数の変動と 20 世紀前半における気温上昇との因果関係についてはまだ共通認識さえ得られていない状況である。以上のようなことから、我々の研究においても太陽定数の変動をモデル中で考慮し、その気候への影響について評価を行うこととした。上述の Lean et al. (1995)<sup>9)</sup> による太陽放射輝度の変動データを外的気候影響を与える境界データとしてモデルに与え、モデル中の太陽定数を時間変化させることにより、太陽活動度の変動にともなう気候影響をモデル中で表現することとした。過去における太陽放射輝度の変動データは Lean et al. (1995)<sup>9)</sup> の他にも Hoyt and Schatten (1993)<sup>11)</sup> があるが、どちらも同程度の不確実性を持つデータであるため、実験結果の相互比較が容易となるように、先行するモ

デル研究 (例えば Tett et al. (2002)<sup>2)</sup> など) の多くが採用している Lean et al. (1995)<sup>9)</sup> のデータを採用することとした。短波長領域における太陽定数変動の影響については Tett et al. (2002)<sup>2)</sup> に従い、波長が短いほど影響が大きくなるように定式化を行った。定式化後のモデルを用いて試行計算を行った結果、モデル上端 (~10hPa) 付近においては波動の振幅が大きくなって計算が発散してしまうケースがあるため、モデル上端付近におけるレーリー摩擦係数を調節する (上部対流圏のジェットが弱くならない程度にレーリー摩擦係数を若干大きめに設定する) 必要のあることが分かった。

#### ④ 大規模火山噴火に伴う成層圏エアロゾル濃度の変動のモデル化

火山噴火には主に溶岩を流出させてあまり噴煙をあげないものもあるが、気候学的に大きな影響を及ぼすのは、噴煙や水蒸気・亜硫酸ガスなどを爆発的に噴出させて、それらを成層圏にまで注入する噴火である。大噴火により上空高く吹き上げられた火山灰などは一旦は成層圏へと放出されるものの、その粒径が大きいため比較的急速に対流圏へと沈降してしまう。一方、成層圏へと放出された水蒸気や亜硫酸ガスなどは大気中で反応して硫酸エアロゾルとなり、1年以上ものあいだ成層圏内に滞留することが知られている。1963年に発生したインドネシアのバリ島のアグン火山の噴火では、噴煙は高度30kmにも到達したと考えられており、その際に大気中へと注入され発生した火山性エアロゾルによる影響は、南極点や北半球の高緯度地方においても2年以上もの長期間にわたって観測されている。近年では、1991年にフィリピンで発生したピナツボ火山の噴火が有名であり、ピナツボ噴火にともなう火山性エアロゾルの影響はつい最近まで観測されていたとも言われている。成層圏に長期間滞留する火山性の硫酸エアロゾルによる地上気温低下量に関しては Pollack et al. (1976)<sup>12)</sup> が簡単な見積もりを行っており、火山活動が活発なときに発生し得る程度のエアロゾルの光学的厚さの変化量 (~0.1 の増加) に対しては、0.5~1.0℃程度低下する可能性のあることが示されている。このように、火山性エアロゾルは成層圏の大気循環によって地球全体に拡散し、その気候影響が比較的大きく、かつ、数年規模の比較的長期間にわたって持続することから、我々の研究でも大規模火山噴火にともなう成層圏エアロゾルによる気候影響を考慮することとした。外部データとしてはモデル研究用に光学的厚さのデータが整備されており (Sato et al., 1993<sup>13)</sup>)、本研究においても同データを用いることとした。Sato et al. (1993)<sup>13)</sup> のデータは 550 nm 付近の波長帯における成層圏エアロゾルの光学的厚さのデータであり、高度 10km から 30km の間を 5km ごとに区切った 4 レベルにおけるデータである。ここでは、成層圏の火山性エアロゾルを主成分が H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> である硫酸エアロゾルであると仮定し、放射のメインルーチンにおいて、550 nm を含む波長帯のみに付加することとした。鉛直方向には、内部的に対流圏界面を診断し、その直上の 1 層においてのみ付加することとした。

#### (3) 最新版の 3 次元大気海洋大循環気候モデルを用いた過去 150 年間の気候再現実験

最新の 3 次元大気海洋大循環気候モデルを用いて、過去 150 年間の気候再現実験を行うために、東京大学気候システム研究センター (CCSR: Center for Climate System Research) と国立環境研究所 (NIES: National Institute for Environmental Studies)、地球フロンティア研究システム (FRSGC: Frontier Research System for Global Change) が共同で開発している大気海洋結合モデル CCSR/NIES/FRSGC CGCM の調整を行った。モデルの解像度は大気側が水平 2.8° × 2.8° 鉛直 20



層、海洋側が水平は緯度  $0.5\sim 1.4^\circ$ （赤道付近で細かく極で粗い） $\times$ 経度  $1.4^\circ$ 、鉛直 44 層である。大気モデルには、エアロゾルと気候との相互作用を陽に取り扱うために、我々のグループが所有するエアロゾル輸送・放射モデル SPRINTARS (Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species: Takemura et al., 2000<sup>14)</sup>, 2002<sup>15)</sup>; 推進費課題「気候変動の将来の見通しの向上を目指したエアロゾル・水・植生等の過程のモデル化に関する研究」(平成 12~14 年度)のサブテーマ 1「対流圏エアロゾルおよび対流圏オゾンの気候影響に関する研究」の一環として開発)を組み込んでいる。ただし、長期積分にも耐え得るように、エアロゾルの bin の数を削る、等の簡略化を行っている。陸面過程には、我々のグループで開発した、植生の効果を陽に表現した陸面モデル MATSIRO (Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and Runoff: Takata et al., 2003<sup>16)</sup>) も導入している。その他の詳細は割愛するが、最新の物理過程パラメタリゼーションが導入されている。なお、本研究の(1)で結果の検討を行った旧版の気候モデルとの最大の違いは、大気海洋間のフラックス調節(コントロール気候が不自然な状態で落ち着かないように、人工的に熱、水フラックスを導入すること)なしでモデルを調整していることである。

図 4 はコントロール実験における地上気温、北大西洋深層循環(NADW: North Atlantic Deep Water)、海氷面積の時系列を示す。全球年平均した地上気温は、200 年目以降はほとんどドリフトが見られず、非常に安定した推移を示している。20 世紀の気候再現実験では、100 年で  $0.6^\circ\text{C}$  程度の変化を検出しなければならないため、コントロール気候、特に全球平均気温が著しくドリフトしていないことが最低条件であり、この程度であれば全く問題ないと考えられる。海洋循環の強さを示す NADW もほぼ安定して 19Sv 前後で落ち着いている。従来の我々のモデルでは、観測から推測される NADW (18Sv 前後) の半分程度しか再現できていなかったが、大気側、海洋側ともに調整を行うことにより、今回のモデルでは十分な NADW が維持されている。海氷面積にも大きなドリフトは見られず、非常に安定した状態が保たれている。ただし、観測値と比較した場合には、北半球でやや多め、南半球でやや少なめとなっている。図には示さないが、海面水温や降水量、地上気圧なども、概ね良好な状態を示している。

過去の気候再現実験を行う際には、温室効果ガスやエアロゾルなどの人為的な気候影響だけでなく、本サブテーマ 3 で収集・整備した、自然気候影響についても考慮した。エアロゾルに関しては、本推進費課題のサブテーマ 1 (排出シナリオと気候モデルとのインターフェース開発に関する研究)において構築された  $\text{SO}_2$  および BC 排出量格子点データを用いた。計算はコントロール実験の 300 年目を初期値として、1850~2000 年までの 150 年間について行った。図 5 は、①コントロール実験、②自然起源の気候影響のみ考慮した実験、③人為起源の気候影響のみ考慮した実験、④全ての気候影響を考慮した実験、それぞれの全球年平均地上気温の時間変化を観測値とともに示す。時系列データは、各実験における 1880~1910 年の 30 年平均値からの偏差を表している。また、モデルと観測でデータの質を同じにするため、気候モデルのデータはすべて観測データと同じ解像度に変換し、観測データが欠損である期間・格子では、モデルの方でも欠損として処理を行っている。全ての気候影響を考慮した実験では、全球年平均した地上気温は、観測値と非常によく一致している。自然起源の気候影響のみ考慮した場合には、20 世紀前半の気温上昇はよく表現しているが、後半では温室効果ガスが増加しないため、大規模火山噴火に起因すると思われる寒冷化傾向が見られた。人為起源の気候影響のみ考慮した場合には、1950 年頃までは顕著な昇温傾向は見られないが、1950 年以降では、温室効果ガスの増加に伴い著しい昇温傾向が見

られた。今後は、各実験をそれぞれアンサンブルで行い、シグナルの有意性について検討する必要がある。

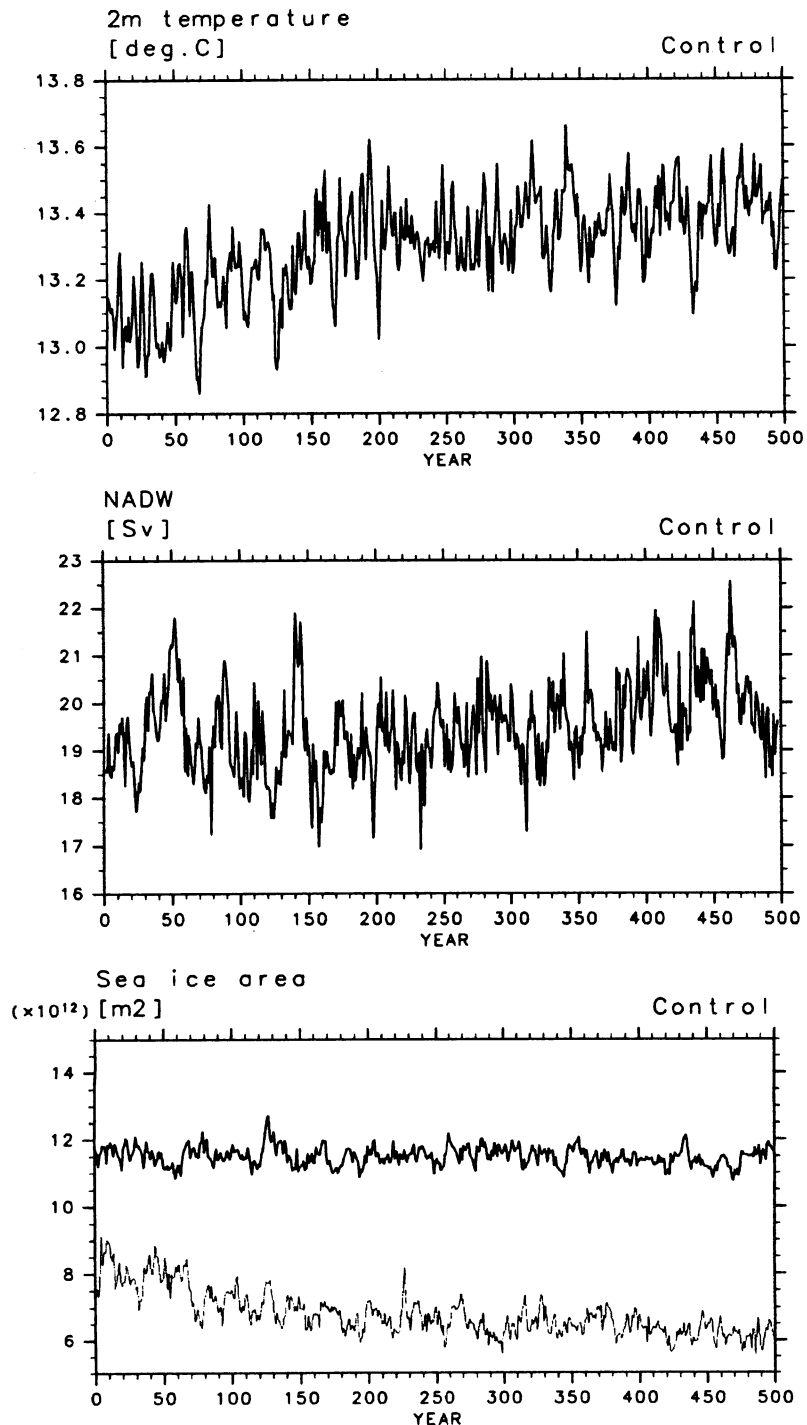


図4 コントロール実験における、全球年平均2m気温（上段）、北大西洋深層循環（中段）、南北両半球の海水面積（下段）の時間変化。海水面積は太線が北半球、細線が南半球を示す。

## 2m temperature

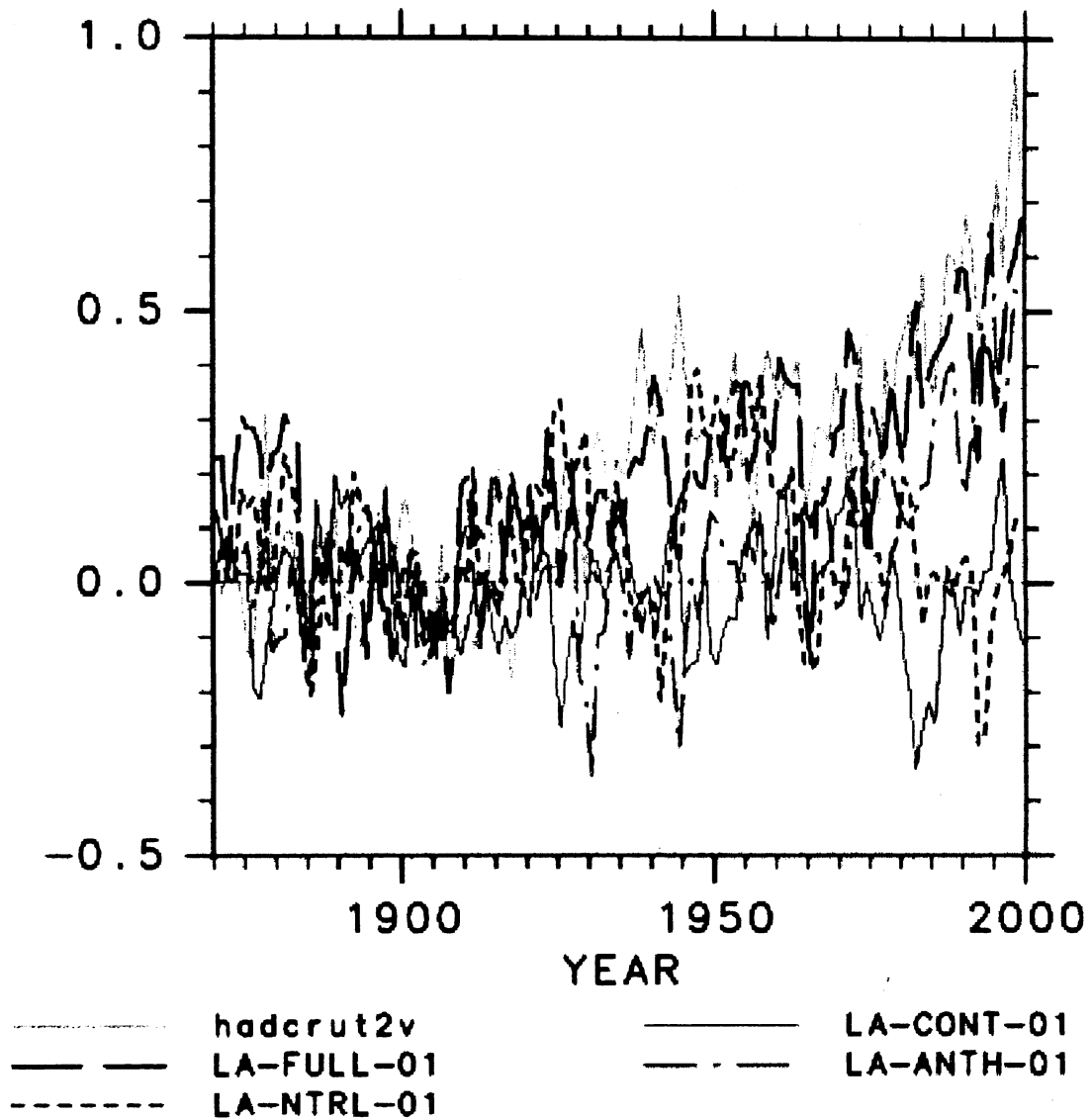


図5 全球年平均した2m気温の時間変化。1881～1910年の30年平均値からの偏差を示す。灰色の太実線が観測値 (Jones et al. (2001)<sup>5)</sup>)、灰色の細実線が①コントロール実験、短い破線が②自然起源の気候影響のみ考慮した実験、一点鎖線が③人為起源の気候影響のみ考慮した実験、長い破線が④全ての気候影響を考慮した実験を、それぞれ表す。気候モデルのデータはすべて観測データと同じ解像度に変換し、観測データが欠損である期間・格子では、モデルの方でも欠損として処理を行った。

## 5. 本研究により得られた成果・今後の課題

排出シナリオに対する気候シナリオ、その気候シナリオに対する影響シナリオについて一貫した地球温暖化総合モデルを作成し、それらのシナリオの評価を、不確実性をおさえつつ行うため、開発した地球温暖化総合モデルを20世紀の過去約100年間の気候変化に適用してモデルを検証した。旧版の3次元大気海洋大循環気候モデルに過去約100年の排出データを簡単なインターフェースで与えて数値実験を行い、観測データと比較した結果、全球地上平均気温は、20世紀半ばの緩やかな温度降下や近年の急激な温度上昇については観測と比較的よく一致しているが、20世紀前半の温度上昇を全く表現していなかった。この原因は、20世紀前半における炭素性エアロゾルの排出量の与え方が実際よりも過多傾向となり、その間接効果による冷却効果が大きめであったためであることが考えられる。一方で、ごく最近の研究では、20世紀前半における温度上昇に関しては自然起源の気候影響、とりわけ、太陽定数の増加による影響が大きい可能性のあることが示唆されている。旧版のモデルではこのような自然起源の気候影響については一切考慮していないため、様々な気候影響を考慮した、最新の気候モデルを用いて実験を行い、詳細な検討を行う必要のあることが分かった。

最新版の全球大気海洋結合モデルを用いて、過去の気候再現実験を行う際に必要となる、各種外部境界データの収集・整備を行った。特に、従来の温暖化実験などではあまり注意を払ってこなかった対流圏および成層圏のオゾン濃度の変動、および、気候変化に比較的大きな影響を及ぼすと考えられる自然変動、すなわち、太陽定数の変動、大規模火山噴火に伴う成層圏エアロゾルの変動に関する過去のデータに関する情報を収集し、それらを外部境界条件として気候モデルに与えられるように整備した。対流圏オゾンについては、モデルの基本部分が共通である対流圏化学モデルCHASERを用いてオフライン計算することにより、対流圏オゾン濃度データを構築した。この際に用いる各種排出量データは、本研究課題のサブテーマ1（排出シナリオと気候モデルとのインターフェース開発に関する研究）で構築した手法を用いて格子点データを作成した。自然起源の気候影響である太陽定数変動および火山性の成層圏エアロゾルについては、相互比較が容易に可能となるように、世界の他機関の気候モデリンググループの多くが使用している標準的なデータを整備した。しかし、特に自然起源の気候影響に関しては、整備したデータを気候モデルに取り込む手法に大きな任意性があるため、今後も継続して検討していく必要がある。

本サブテーマで整備した外部境界データに加えて、従来より整備してきている温室効果ガス濃度の時系列データおよび、本研究課題のサブテーマ1（排出シナリオと気候モデルとのインターフェース開発に関する研究）で別途整備した、過去におけるエアロゾル前駆物質の排出量格子点データを用いて、最新版の3次元大気海洋大循環気候モデルによる20世紀の気候再現実験を行った。なお、モデルで表現される平均的な気候状態には大きな長期トレンド（変化傾向）も見られず、観測と概ねよい一致を示していた。1850～2000年までの150年間について、人為起源および自然起源の各種外部境界データをモデルに与えて、過去の気候再現実験を行った結果、全球年平均した地上気温は、観測された値と非常によい一致を得た。自然起源の気候影響のみ考慮した実験では、20世紀前半の気温上昇をよく表現しているが、後半では温室効果ガスが増加しないため、大規模火山噴火に起因すると思われる寒冷化傾向が見られた。人為起源の気候影響のみ考慮した実験では、1850～1950年頃までは顕著な昇温傾向は見られないが、1950年以降では、温室効果ガ

スの増加に伴い著しい昇温傾向が見られた。これらの結果は、基本的には Tett et al. (2002)<sup>2)</sup> の結果と整合的ではあるが、いずれも 1 ケースのみの実験であるため、シグナルの有意性については確かな事は言えない。特に、今回のモデルでは内部変動も比較的大きめであると考えられるため、今後も各実験を継続してアンサンブルメンバ数を増やし、統計的に有意なシグナルを検出する必要がある。

本サブテーマでは、最終的には領域気候モデルを用いた 20 世紀の気候再現実験を行い、特にアジア太平洋地域に着目した、過去に対する総合解析を行う計画であったが、全球気候モデルの整備・調整に多大な時間を取られ、本推進費課題の研究期間内に実行することはできなかった。原因としては、計画時の見通しの甘さがあったことは否定できないが、全球気候モデルにおいて、100 年間で 0.6℃の気温上昇が検出可能であるように、コントロール気候のドリフトを制御しなければならないことの難しさが挙げられる。また、様々な気候影響をモデルに組み込むことにより、コントロール気候の制御因子が増えてしまうため、見かけ上は制御できたように見えても、間違った調整の組み合わせで、もっともらしく見えてしまうこともある、という新たな問題点も露呈した。これらの点は、改めて地球温暖化予測の難しさを痛感させられた点でもある。当面は、全球モデルによる過去の気温変動の再現性に関する研究を継続していく予定であるが、総合モデルの評価についても時期を見て継続していきたいと考えている。

## 6. 引用文献

- 1) IPCC: Climate Change 2001: The Scientific Basis. J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson, Eds., Cambridge University Press, 881 (2001)
- 2) Tett, S. F. B., G. S. Jones, P. A. Stott, D. C. Hill, J. F. B. Mitchell, M. R. Allen, W. J. Ingram, T. C. Johns, C. E. Johnson, A. Jones, D. L. Roberts, D. M. H. Sexton and M. J. Woodage: Estimation of natural and anthropogenic contributions to twentieth century temperature change, *J. Geophys. Res.*, 107, 2000JD000028 (2002)
- 3) IPCC: Special Report on Emission Scenarios. N. Nakicenovic et al., Eds., Cambridge University Press, 599 (2000)
- 4) Nozawa, T., S. Emori, A. Numaguti, Y. Tsushima, T. Takemura, T. Nakajima, A. Abe-Ouchi, and M., Kimoto: Projections of future climate change in the 21st century simulated by the CCSR/NIES CGCM under the IPCC SRES scenarios, In "Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling", Matsuno, T. and H. Kida Eds., Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 15-28 (2001)
- 5) Jones, P.D., T.J. Osborn, K.R. Briffa, C.K. Folland, E.B. Horton, L.V. Alexander, D.E. Parker, and N.A. Rayner: Adjusting for sampling density in grid box land and ocean surface temperature time series. *J. Geophys. Res.*, 106, 3371-3380 (2001)
- 6) Sudo, K., M. Takahashi, J. Kurokawa and H. Akimoto: CHASER: A global chemical model of the troposphere 1. Model description, *J. Geophys. Res.*, 107, 2001JD001113 (2002)
- 7) Van Aardenne, J.A., Dentener, F.J., Olivier, J.G.J., Klein Goldewijk, C.G.M. and J. Lelieveld: A 1x1 degree resolution dataset of historical anthropogenic trace gas emissions for the period 1890-1990.

Global Biogeochemical Cycles, 15, 909-928 (2001)

- 8) Randel, W. J. and F. Wu: A stratospheric ozone trends data set for global modelling studies. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3089-3092 (1999)
- 9) Lean, J., J. Beer and R. Bradley: Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 3195-3198 (1995)
- 10) Wetherald, R. T. and S. Manabe: The effects of changing the solar constant on the climate of a general circulation model, *J. Atmos. Sci.*, 32, 2044-2059 (1975)
- 11) Hoyt, D. V. and K. H. Schatten: A discussion of plausible solar irradiance variations, 1700-1992, *J. Geophys. Res.*, 98, 18,895-18,906 (1993)
- 12) Pollack, J. B., O. B. Toon, C. Sagan, A. Summers, B. Baldwin and W. V. Camp: Volcanic explosions and climatic change: a theoretical assessment, *J. Geophys. Res.*, 81, 1971-1083 (1976)
- 13) Sato, M., E. Hansen, M. P. McCormick and J. B. Pollack: Stratospheric aerosol optical depths (1850-1990), *J. Geophys. Res.*, 98, 22,987-22,994 (1993)
- 14) Takemura, T., H. Okamoto, Y. Maruyama, A. Numaguti, A. Higurashi, and T. Nakajima: Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins. *J. Geophys. Res.*, 105, 17,853-17,873 (2000)
- 15) Takemura, T., T. Nakajima, O. Dubovik, B. N. Holben, and S. Kinne: Single-scattering albedo and radiative forcing of various aerosol species with a global three-dimensional model. *J. Climate*, 15, 333-352 (2002)
- 16) Takata, K., S. Emori, and T. Watanabe: Development of the minimal advanced treatments of surface interaction and runoff. *Global and Planetary Change*, 38, 209-222 (2003)

## 7. 国際共同研究等の状況

本研究は、IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル) の活動と密接な関連をもって進められる。本研究課題によって開発されたインターフェースは、地球温暖化実験に適用することにより、次期 IPCC AR4 (Assessment Report Four: 第4次アセスメント報告; 2007年完成予定) に貢献する研究となる。また、全球大気海洋大循環気候モデルによる20世紀の気候再現実験に関しては、IPCC AR4 に貢献するために、世界各国の全球気候モデルによる結果を集積して総合的に解析を行う国際プロジェクトがすでに立ち上がっており、本研究で行った計算結果も、同プロジェクトの事務局に提供される予定である。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり)>

- ① Matsuno, T. and H. Kida Eds.: "Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling", Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 15-28 (2001)  
"Projections of future climate change in the 21st century simulated by the CCSR/NIES CGCM under the IPCC SRES scenarios (Nozawa, T., S. Emori, A. Numaguti, Y. Tsushima, T. Takemura, T. Nakajima, A. Abe-Ouchi, and M., Kimoto)"

- ② 江守正多、高橋潔、野沢徹、神沢博：専門分科会「気象学における地球環境問題」の報告  
4, 天気, 50, No.5, 379-384 (2003)

「地球温暖化の影響対策研究から見た気候モデル研究」

<学術誌（査読なし）>

なし

<書籍>

- ① 竹内均監修：「地球環境調査計測事典」第1巻陸域編①, フジ・テクノシステム, 472-478 (2002)  
「第2編「大気」の第6章「大気モデリング（基礎と適用例）」の第4節「地球スケールモデル」（執筆担当：神沢博）」
- ② 住明正監修：「考えよう地球環境（全7巻シリーズ）」第2巻, ポプラ社, 48 (2004)  
「大気の本（執筆担当：神沢博）」
- ③ 日本土木学会環境工学委員会編：「環境工学公式・モデル・数値集」第3編, 印刷中(2004)  
「地球環境への影響1. 地球温暖化の1.1節（執筆担当：神沢博）」

<報告書類等>

- ① クラブ東海, 第434号 (2004年2月26日), クラブ東海事務局, 名古屋, 1-3(2004)  
「温室効果ガスの増加は明白：地球温暖化の科学的現状（神沢博）」
- ② 名古屋大学21世紀COEプログラム「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」平成15年度報告書, 3-2-2節, 307-317(2004)  
「地球温暖化問題における気候モデル：大循環モデルの位置付け（神沢博）」
- (2) 口頭発表
- ① 野沢 徹、阿部彩子、對馬洋子、江守正多、沼口 敦、竹村俊彦、中島映至、木本昌秀：  
日本気象学会2001年度春季大会, 東京 (2001)  
「温暖化実験にみられる CCSR/NIES CGCM の気候感度について」
- ② Nozawa, T., S. Emori, A. Numaguti, Y. Tsushima, T. Takemura, T. Nakajima, A. Abe-Ouchi and M. Kimoto : 8th Scientific Assembly of IAMAS, Innsbruck, Austria, 2001  
“Projections of future climate change Simulated by a coupled ocean-atmosphere model including direct and indirect radiative impacts of various aerosols”
- ③ Nozawa, T., S. Emori, A. Numaguti, Y. Tsushima, T. Takemura, T. Nakajima, A. Abe-Ouchi and M. Kimoto : 27th General Assembly of EGS, Nice, France, 2002  
“Projections of future climate change considering radiative impacts of various aerosols”
- ④ 江守正多、高橋潔、野沢徹、神沢博：日本気象学会2002年度春季大会 (2002)  
「地球温暖化の影響対策研究から見た気候モデル研究」
- ⑤ Nozawa, T. : The First Japan-UK Joint Workshop for Climate Modelling, Tokyo, Japan, 2002  
“20th century climate experiments”
- ⑥ Nozawa, T. : The Second Japan-UK Joint Workshop for Climate Modelling, Blacknell, UK., 2003  
“Global warming experiments with CCSR/NIES CGCM – results from previous models and future plans –”

- ⑦ Nozawa, T., Nagashima, T., Takemura, T., Emori, S., and Kimoto, M.: XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Sapporo, Japan, 2003  
“Climate change simulations on the 20th century with natural and anthropogenic forcings”
- ⑧ Emori, S., T. Nishimura, T. Suzuki, S. Matsumura, F. Saito, T. Inoue, T. Ogura, A. Abe-Ouchi, M. Kimoto, H. Kanzawa, and A. Sumi: IUGG2003 (XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics), Sapporo, Japan, 2003  
“ Atmospheric component of the CCSR/NIES/FRSGC model for future climate change projection on the Earth Simulator”
- ⑨ Kimoto, M., S. Emori, H. Hasumi, T. Suzuki, T. Nishimura, T. Inoue, F. Saito, T. Ogura, A. Abe-Ouchi, H. Kanzawa, and A. Sumi : IUGG2003 (XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics), Sapporo, 2003  
“High-resolution coupled ocean-atmosphere general circulation modeling on the Earth Simulator”
- ⑩ Ogura, T., M. Kimoto, H. Hasumi, R. Ohgaito, T. Segawa, A. Abe-Ouchi, S. Emori, T. Nishimura, M. Watanabe, F. Saito, H. Kanzawa, and A. Sumi: IUGG2003 (XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics), Sapporo, Japan, 2003  
“A coupled ocean-atmosphere general circulation model for long-term integrations on the Earth Simulator”
- ⑪ Sudo, K., M. Takahashi, T. Nozawa, H. Kanzawa, and H. Akimoto: IUGG2003 (XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics), Sapporo, Japan, 2003  
“Simulation of future distributions of tropospheric ozone and sulfate aerosol: Impacts of emission change and climate change”
- ⑫ Kimoto, M., S. Emori, T. Suzuki, T. Nishimura, T. Inoue, F. Saito, T. Ogura, A. Abe-Ouchi, H. Kanzawa, A. Sumi: International Conference on Earth System Modelling, Hamburg, 2003  
“High-resolution Coupled Ocean-Atmosphere General Circulation Modelling on the Earth Simulator”
- ⑬ Sudo, K., M. Takahashi, T. Nozawa, H. Kanzawa, H. Akimoto: International Conference on Earth System Modelling, Hamburg, 2003  
“Simulation of future distributions of tropospheric ozone and sulfate aerosol: impacts of emission change and climate change”.
- ⑭ Ogura, T., M. Kimoto, H. Hasumi, R. Ohgaito, T. Segawa, A. Abe-Ouchi, S. Emori, T. Nishimura, M. Watanabe, F. Saito, H. Kanzawa, A. Sumi: International Conference on Earth System Modelling, Hamburg, 2003  
“A Coupled Ocean-Atmosphere General Circulation Model for long-term integrations on the Earth Simulator”
- ⑮ Nozawa, T., Nagashima, T., Takemura, T., Emori, S., Nishimura, T., and Kimoto, M.: International Conference on Earth System Modelling, Hamburg, Germany, 2003  
“Climate simulations on the 20th century with various forcings”
- ⑯ Sumi, A., Kimoto, M., Hasumi, H., Emori, S., and Nozawa, T.: World Climate Change Conference,



Moscow, Russia, 2003

“Development of a high-resolution climate model”

- ⑰ Nozawa, T., Nagashima, T., Takemura, T., Emori, S., Nishimura, T., and Kimoto, M.: World Climate Change Conference, Moscow, Russia, 2003  
“Climate change simulations on the 20th century with various natural and anthropogenic forcings”
  - ⑱ 野沢徹、永島達也、竹村俊彦、江守正多、西村照幸、木本昌秀: 仙台, (2003)  
「多種類のエアロゾルによる第2種間接効果を考慮した場合の20世紀の気候再現実験」
  - ⑲ Yokohata, T., Ogura, T., and Nozawa, T.: AGU 2003 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2003  
“Climate response in the global warming: increasing rate of the surface temperature”
  - ⑳ Kagawa, M., and H. Kanzawa: AGU 2003 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2003  
“Oxidation state of selenium for inferring sources of sulfate in the atmospheric aerosols”
  - ㉑ Nozawa, T., and K-1 Project Team: Workshop on GHG Stabilization Scenarios, Tsukuba, Japan, 2004  
“Climate change experiments with a high-resolution climate model - current status and future plans -”
  - ㉒ Nozawa, T. : The Third Japan-UK Joint Workshop for Climate Modelling, Exeter, UK., 2004  
“Climate simulations of the 20th century with atmosphere-only and coupled GCMs”
  - ㉓ Nozawa, T., T. Nagashima, T. Yokohata, T. Takemura, S. Emori and M. Kimoto: Climate of the 20th Century Third International Workshop, Trieste, Italy, 2004  
“Climate Simulations on the 20th Century with Various Forcings”
  - ㉔ 野沢徹、永島達也、小倉知夫、横島徳太、岡田直資: 東京, (2004)  
「大気海洋結合モデルを用いた20世紀の気候再現実験」
- (3) 出願特許  
なし
- (4) 受賞等  
なし
- (5) 一般への公表・報道等
- ① 神沢 博: 大気海洋大循環気候モデルの開発とモデルによる温暖化予測実験。地球環境研究総合推進費公開シンポジウム, 東京国際フォーラム, 東京, 2001年12月5日。
  - ② 地球温暖化の影響評価と対策効果プロジェクト (地球温暖化研究プロジェクト) グループ: 地球温暖化による気候変化と社会変化の総合的解明に向けて。環境省国立環境研究所公開シンポジウム「環境の世紀の幕開け」, 東京国際フォーラム, 東京, 2001年7月19日。
  - ③ 野沢 徹: NHK BS 放送「ウィークエンドスペシャル」 (2001年7月14日放映) にて温暖化予測のシミュレーション結果を動画にて紹介
  - ④ 野沢 徹: TBS テレビ「首都圏を襲う豪雨・巨大地震の恐怖」 (2001年7月20日放映) にて温暖化予測のシミュレーション結果を動画にて紹介
  - ⑤ 野沢 徹: (財) 省エネルギーセンターの小学校高学年向き教材「省エネ教室」へ温暖化予測シミュレーションの動画を提供 (2001年9月)
  - ⑥ 野沢 徹: 日本科学未来館の季刊紙 (2001年11月発行) に温暖化予測シミュレーション結

果の図を提供

- ⑦ 野沢 徹:東京都環境局に温暖化予測のシミュレーション結果の図を提供 (2002年2月)
- ⑧ 野沢 徹:日本科学未来館のシンボル展示「Geo-Cosmos」へ温暖化見通し実験結果の図およびアニメーションを提供, 2002年.
- ⑨ 野沢 徹: Geo-Cosmos: 地球温暖化問題について考えよう. 日本科学未来館イベント「展示の前で研究者に会おう」, 日本科学未来館, 東京, 2002年8月16日.
- ⑩ 野沢 徹:環境省地球環境局の温暖化防止のための環境学習DVD教材「知ろう・学ぼう・考えよう地球温暖化」へ温暖化見通し実験結果のアニメーションを提供, 2002年.
- ⑪ 野沢 徹:茨城県生活環境部へ温暖化見通し実験の結果の図を提供, 2002年.
- ⑫ 野沢 徹:文部科学省の温暖化教材「地球温暖化を阻止せよ」へ温暖化見通し実験結果の図およびアニメーションを提供, 2002年.
- ⑬ 野沢 徹:東京新聞へ温暖化見通し実験の結果の図を提供(東京新聞、中日新聞等で2003年1月14日付夕刊に掲載)
- ⑭ 野沢 徹:気候モデルを用いた地球温暖化の将来予測に関する研究. 森羅万象学校, しんしのつ温泉たっぷの湯, 新篠津, 2003年3月5日.
- ⑮ 神沢 博:地球温暖化の科学的理解の現状. クラブ東海「午餐会」, 名古屋, 2004年1月22日.
- ⑯ 神沢 博:南極大気と地球環境, あいち生協新年会, 名古屋, 2004年1月24日.

## 9. 成果の政策的な寄与・貢献について

- (1) 以下のように、本研究課題の研究内容に基づき、IPCC 第3次報告書 (IPCC TAR; IPCC, 2001) への貢献を行った。

IPCC TAR (Third Assessment Report) WG I: "Climate Change 2001: The Scientific Basis"

Nozawa, T., A contributing author, Chapter 9 "Projections of Future Climate Change"

Kanzawa, H., A reviewer for TAR WG I

IPCC TAR (Third Assessment Report) WG II: "Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability"

Nozawa, T., A contributing author, Chapter 11 "Asia"

IPCC TAR (Third Assessment Report) WG III: "Climate Change 2001: Mitigation"

Morita, T., A co-ordinating lead author, Chapter 2 "Greenhouse Gas Emission Mitigation Scenarios and Implications"

- (2) 次期のIPCC 第4次報告書((IPCC AR4; IPCC, 2007) への貢献の布石となる研究となった。特に、最新モデルによる20世紀の気候再現実験については、IPCC AR4に向けて、複数の気候モデルによる結果を用いたマルチモデルアンサンブル計画が実行に移されており、本サブテーマの一環として行った計算結果も提供される予定である。
- (3) 本サブテーマで行った20世紀の気候再現実験で用いている黒色炭素 (BC) 排出量データは、IPCC活動においても積極的な貢献をしている英国ハドレーセンターの研究者を初めと

して、ドイツのマックスプランク気象学研究所や米国イリノイ大学など、気候モデルによる気候変化研究をリードしている世界的な研究機関の研究者からもデータの提供依頼があり、すでに先方に提供されている。