

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

(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

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*・日暮明子*

社会環境システム研究領域統合評価モデル研究室

甲斐沼美紀子*・増井利彦*

*地球温暖化研究プロジェクト併任

東京大学気候システム研究センター

中島映至

平成 13～15 年度合計予算額 46,180 千円

(うち、平成 15 年度予算額 9,875 千円)

[要旨] 本研究の目的は、温室効果ガスやエアロゾルなどの人為起源物質に関する排出シナリオから、特にエアロゾル前駆物質に着目して、3 次元全球大気海洋大循環気候モデルで取り扱うことのできる二酸化硫黄 (SO₂) および黒色炭素 (Black Carbon: BC) 排出量の格子点データを作成するツールを構築することである。一般に、各種人為起源物質の排出量は国や都市等の行政区域毎のデータとしてまとめられていることから、また、将来の排出シナリオのカテゴリに関しても状況は全く同様であることから、まず始めに、各種人為起源物質の国レベルの排出量時系列データを作成し、その後、統一的方法で各種人為起源物質の排出量データを格子点化する手法を開発した。SO₂ 排出量に関しては、過去の情報が比較的豊富であることと、排出シナリオにも SO₂ のカテゴリが存在していることから、過去における主要な排出源の情報までは作成せず、過去 150 年程度にわたる、SO₂ 排出量そのものの国レベルの時系列データを構築した。BC 排出量に関しては入手可能な情報が限られていたため、主要な排出源に関する国ごとの時系列データを整備し、先行研究で用いられている排出係数などを活用して、過去 150 年程度にわたる、国レベルの BC 排出量時系列データを構築した。格子点化の際に使用する分配指標としては、人口分布の格子点データを用いた。国レベルのデータが存在すれば、人口分布の変遷 (時間変化) にも対応可能であるように設計し、緯度 0.5° × 経度 0.5° の格子点データを作成するツールを構築した。また、0.5° × 0.5° 格子のデータから気候モデルで取り扱う格子への変換ツールも合わせて作成した。特に、変換の際に全球積算値が保存すること、2 グリッドノイズなどの偽の情報が埋め込まれないようにすること、の 2 点に注意を払った。ここで構築した手法に基づいて作成された近年の SO₂ および BC 排出量格子点データを先行研究と比較・検討し、概ね良好な結果が得られていることを確認した。将来に関しては、IPCC SRES シナリオを例に取り、過去を題材にして構築した手法を用いて、各 SRES シナリオに対応する SO₂ および BC 排出量の格子点データを作成した。データ作成に当たっては、既存の格子点データを任意のパラメータを基にして単純にスケーリングする手法は採用せず、主要な排出源ごとにシナリオでの対応物を選定し、国レベルの排出量時系列データを作成した後に、現在の人口分布データを用いて格子点化を行う手法を採用した。得られた格子点データについては、概ね良好な結果であることを確認した。

[キーワード] エアロゾル、人為起源、排出量、気候モデル、格子点化

1. はじめに

温室効果ガス (GHG) やエアロゾルなどの人為起源物質の増加に伴い、向こう 100 年程度の間、我々にとって深刻な気候変化が生じる可能性が指摘されている (IPCC, 2001¹⁾)。主要な対流圏エアロゾルの一つである硫酸エアロゾルは、

温室効果ガスによる温暖化を打ち消す方向での無視できない大きさの冷却効果を及ぼしうることから、将来起こり得る地球温暖化を定量的に予測するためには、温室効果ガスだけでなく、硫酸エアロゾルに関する十分な知見が要求される。また、最近では炭素系の疎水性エアロゾルである黒色炭素 (Black Carbon: BC) にも関心が高まっている。BC エアロゾルは、硫酸エアロゾルとは逆に太陽放射を吸収して温暖化を促進する性質を持っており、化石燃料燃焼や農業活動等に伴って排出されることから、人間活動により引き起こされる地球温暖化について定量的な議論を行うためには、温室効果気体や硫酸エアロゾルだけでなく、BC エアロゾルによる放射影響に関しても十分な知見が要求される。これらのエアロゾルはその寿命が比較的短く、エアロゾルおよびその前駆物質の排出量分布に依存した空間分布をすることから、その排出分布を的確に把握することが、特に地域的影響の観点から重要であると考えられる。我々のグループでも、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)のサブテーマ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、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)による直接および間接的な放射影響を考慮したCCSR/NIES AOGCM(大気海洋大循環気候モデル)を用い、SRES(Special Report on Emissions Scenarios)シナリオ(IPCC, 2000²⁾)に基づく将来の気候変化を見通す実験を行っているが(Nozawa et al., 2001³⁾)、人為起源エアロゾルである硫酸およびBCエアロゾルの前駆物質について、排出シナリオからモデルに必要な格子点データを作成する作業は不確定要素が非常に多くて困難な作業であり、便宜的に処理した部分が大きかった。特に、BCエアロゾルに関しては、1990年前後におけるBCエアロゾル排出量の推計データは存在するものの、それ以前の排出量については現在でもほとんど研究がなされていないため、本推進費課題のサブテーマ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)で実施予定の過去100年程度の気候再現実験を行う上でも大きな障害となっていた。

2. 研究目的

本サブテーマの目的は、過去については排出量推計データ、将来に関しては排出シナリオを基にして、気候モデルが必要とする温室効果気体およびエアロゾルの排出量の格子点データを、合理的かつ容易に提供可能なインターフェースを作成することである。特に、気候モデルから見た場合、境界条件として与えられた入力データが過去であるのか未来であるのかを意識することなく、作業が可能となることが望ましい。この目的の遂行のために、基となる排出量推計データあるいは排出シナリオのデータフォーマットを規格化し、格子点データを作成するツールを構築する。人為起源硫酸エアロゾルのソースである二酸化硫黄(SO₂)の過去における排出量に関してはある程度のデータが存在すると思われるが、炭素性エアロゾルのソースであるBCについては、過去における排出量データがほとんど存在していないと考えられるため、主要な排出源ごとに各国毎の人為起源黒色炭素(BC)排出量データベースを独自に作成する。また、将来については、現時点で最新の排出シナリオであるSRESシナリオに対応した格子点データを構築することを目的とする。過去に対して作成したデータとの整合性を図るため、発生源毎に作成した、国や都市等の行政区域毎の時系列データに対して、対応する排出シナリオデータのカテゴリ(変数)を選定し、スケーリングを行う。本研究で構築する人為起源の硫酸およびBCエアロゾル前駆物質排出量の格子点データは、本推進費課題のサブテーマ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)で行う予定である、過去100年程度の気候再現実験でも用いるため、人口分布データから緯度0.5°×経度0.5°の格子点データを作成する手法だけでなく、緯度0.5°×経度0.5°格子から気候モデルに適合した格子への変換ツールも構築する。

3. 研究方法

過去における人為起源SO₂およびBC排出量の国や都市等の行政区域毎の時系列データについては、学術雑誌等の文献やインターネットをベースとして、関係する情報を可能な限り収集し、各データの特徴や推計手法などを比較・検討

した上で、ベースとなるデータを決定した。BC 排出量については、エネルギー量や農業生産量などから BC 排出量を推計する際に必要となる排出係数についても情報収集および比較・検討を行い、国や都市等の行政区域毎の時系列データの整備を行った。同時に、格子点化の際に分配指標として必要となる人口データについても情報収集および比較・検討を行い、データの整備を行った。これらの情報をもとに、統一データフォーマットの策定、および格子点化手法の確立を図り、実際に人為起源 SO₂ および BC 排出量の格子点データを構築した。将来については、現状で最新の排出シナリオである SRES シナリオに対応する人為起源 SO₂ および BC 排出量の格子点データを構築した。

4. 結果・考察

(1) 過去における国レベルの人為起源二酸化硫黄排出量推計データの構築

インターネットや学術雑誌等の文献などを検索した結果、人為起源二酸化硫黄 (SO₂) 排出量の推計データが 1900 年以前まで全球にわたって各国毎にそろっているのは、ASL (A.S.L. & Associates) データ (Lefohn et al., 1999⁴⁾) のみであった。ASL データにおける個々の国毎の SO₂ 排出量データは、各国の公表値や詳細な情報に基づく推計データに比べて精度が低いと考えられるが、世界中のすべての国や地域に対して統一した方法論に基づいて推計されたデータが揃っていることから、本研究では、ASL データをベースとして採用することとした。上述のように、ASL データは時間・空間方向に幅広くデータを網羅しているという利点を持つが、SO₂ 排出量の絶対値に対する精度が低い、また、1991 年以降のデータが存在しないという欠点も持っている。この点を補うため、本研究では、ASL データを基本データとして使用し、個々の国について精度の高い SO₂ 排出量データが存在する場合には、そのデータと ASL データとを融合して一連の時系列データを作成するという戦略を取った。より精度の高いデータとしては、例えば、ヨーロッパ諸国に対しては EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme)、アジア地域に対しては ACCESS (Ace-Asia and Trace-P Modeling and Emission Support System) などの排出量推計データが挙げられる。欠損値処理や異なるデータの結合に関しては複数の方法を用意し、データ構築の際に容易に選択できるようにした。このようにして作成した全球年積算 SO₂ 排出量の時間変化を図 1 に示す。結果は概ね良好である。

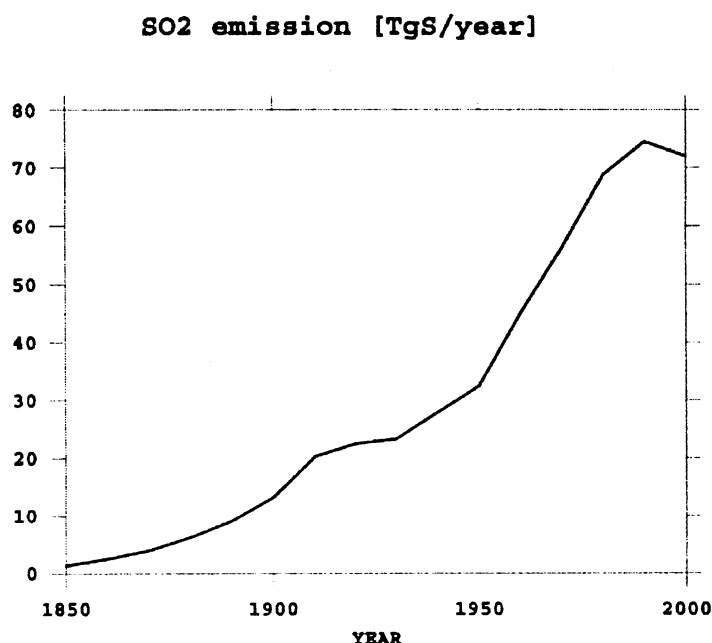


図 1 全球年積算した二酸化硫黄 (SO₂) 排出量の時間変化。

(2) 過去における国レベルの人為起源黒色炭素排出量推計データの構築

インターネットや学術雑誌等の文献などを検索した結果、人為起源黒色炭素 (BC) の排出源としては、化石燃料の燃焼に加え、農業廃棄物・生活用木材の燃焼、大規模森林火災に伴う寄与も考慮する必要があることが分かった。ごく最近 (1990 年頃) の排出量については、Lioussé et al. (1996)⁹⁾ や Cooke and Wilson (1996)⁶⁾ が推計しているが、上記全ての排出源を考慮し、1900 年以前にまで遡って推計された排出量データは世界的にも存在していなかった。ここではまず、上述の各排出源に対して最適と考えられるデータを選定し、過去における各国毎の BC エアロゾル排出量の推計データを構築した。農業起源の BC エアロゾルに関しては FAO (Food and Agriculture Organization) が作成した統計データ (FAOSTAT: FAO Statistical Databases⁷⁾) の各種農作物生産量データを、生活用木材燃料起源の BC エアロゾルについては同じく FAOSTAT の木材燃料消費量データを基礎とした。両データの過去方向への外挿に際しては、主として HYDE (History Database of the Global Environment)⁸⁾ の人口データを利用した。各種農作物生産量から農業起源 BC エアロゾル排出量への換算、木材燃料消費量から生活用木材燃料起源の BC エアロゾル排出量への換算の手法は Lioussé et al. (1996)⁹⁾ に従った。化石燃料起源の BC エアロゾルに関しては、国連のエネルギー統計データ⁹⁾ を基礎とし、人為起源二酸化硫黄 (SO₂) 排出量推計で用いた ASL (A.S.L. & Associates) データ⁴⁾ の作成手法に従って、各国毎の燃料消費量データを燃料種類別、燃料消費部門別に作成した。燃料消費量から BC エアロゾル排出量への換算は Cooke and Wilson (1996)⁶⁾ に従った。排出係数については、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., 2000¹⁰⁾, 2002¹¹⁾; 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) ではサブミクロンの BC エアロゾルを対象としているため、Cooke et al. (1999)¹²⁾ のサブミクロン BC 粒子の排出係数を適用した。排出係数は先進国・発展途上国によって大きく異なるが、その分類方法に関しては、基本的に Cooke and Wilson (1996)⁶⁾ を踏襲した。ただし、途上国から先進国への移行に関しては、GDP (Gross Domestic Production: 国民総生産) を参考指標として用い、排出係数が緩やかに変化するように設計した。森林火災起源の BC エアロゾルについては GEIA (Global Emissions Inventory Activity)⁶⁾ の森林火災起源 BC 排出量データを基礎とした。産業革命以前における自然起源森林火災の比率は現在の 10% と仮定し、人為起源森林火災については HYDE の人口データに比例して長期変動すると仮定した。図 2 は、このようにして作成した各排出源の全球年積算 BC 排出量の時間変化を示す。1990 年頃の排出量については、先行研究^{5,6)} とよい一致を示している。化石燃料起源の BC 排出量についてはサブミクロン粒子の排出係数を適用したため、若干少なめに見積もられている。また、化石燃料起源 BC の排出係数は先進国・発展途上国によって異なるため、各国をどちらに分類するか、また、途上国から先進国へ移行する時期をいつに設定するか、によって、全球積算した化石燃料起源 BC 排出量も大きく変動する。1970 年以降の化石燃料起源の BC 排出量が大きく変動しているのはこのためである。

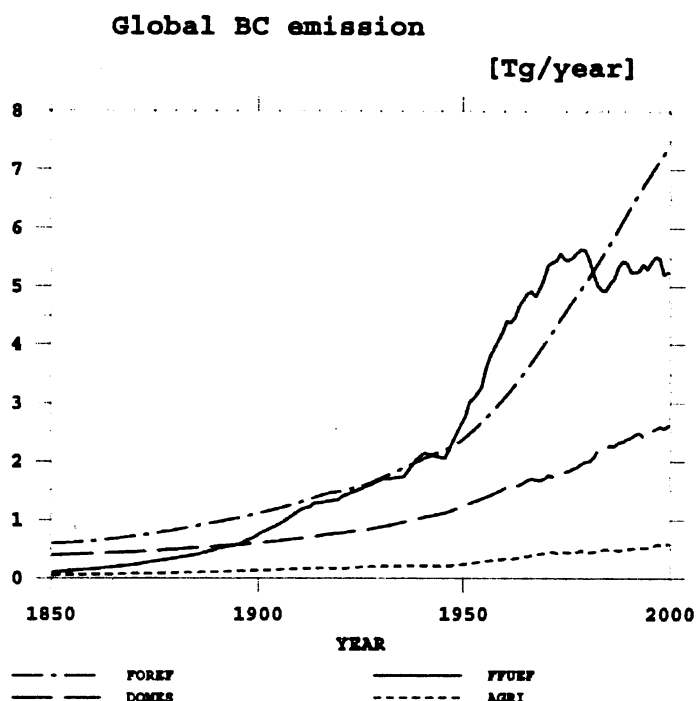


図2 各排出源の全球年積算した Black Carbon 排出量の時間変化。短い破線：農業起源、長い破線：生活用木燃料起源、実線：化石燃料起源、一点鎖線：森林火災起源の推計値。

(3) エアロゾル等排出量の格子点化手法の構築

エアロゾル等による気候影響を数値気候モデル内で考慮するためには、モデルの境界条件として取り込めるよう、排出量データを格子点化しなければならない。ここでは、(1)、(2)で作成した各国ごとの人為起源 SO_2 排出量データを例として、緯度経度 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ の解像度を持つ格子点データを作成する手法を確立した。以下のようなことから $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ の解像度とした：(i) IPCC (2001) に我々のグループが報告した温暖化実験では、 5.6° の解像度の CCSR/NIES 全球気候モデルを使用した。現在、別途、 2.8° の解像度の全球気候モデルの開発がほぼ終了し、将来的には 1.1° の解像度の全球気候モデルの開発も視野に入れている；(ii) 本研究課題のサブテーマ2で開発している地域気候モデルの解像度は、 0.5° 程度である。排出量データは基本的には国レベルのものを元にして格子点データを作成することから、中国やロシアなど複数格子が含まれる国に対しては、その国の中で排出量をどのように分配するかが大きな問題となる。対象が人為起源物質であることから、その分配指標としては人口分布が最適と考えられ、ここでは CIESIN (Center for International Earth Science Information Network)、HYDE (History Database of the Global Environment) の2つの人口分布データを採用した。このようにして作成した格子点データの一例として、(a) 1900年および (b) 2000年における人為起源 SO_2 排出量推計の地理的分布を図3に示す。結果は良好である。

実際に排出量データを3次元大気海洋大循環気候モデルに与えるためには、ここで作成した $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ の格子点データから、モデルの解像度に合った排出量データを用意する必要があるため、そのための格子点変換ツールを作成した。一般に、気候モデルの解像度は $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ に比べて非常に大きい場合、基本的には $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 格子の中心点が属するモデル格子点に当該格子からの排出量を加算する形で格子変換を行った。しかし、将来的には $1^\circ \times 1^\circ$ ないしは $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 相当の解像度での気候モデル計算も行われる可能性があり、そのような場合にも上記手法を適用してしまうと、変換後の格子点データに比較的大きな2グリッドノイズが載ってしまう。この不具合を避けるため、元データとほぼ同等の解像度に排出量データを変換したい場合には、もとの $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ の格子を緯度・経度方向とも10等分、すなわち、

1 格子を 100 分割し、その微小格子に対して上記と同様の処理を行うこととした。参考までに、このようにして作成した、気候モデル格子に変換した、化石燃料燃焼起源の BC 排出量推計値の地理的分布を図 4 に示す。なお、簡単なプログラムにより計算を行った結果、各解像度における全球積算した BC 排出量が数値誤差の範囲内で一致していることが確認された。

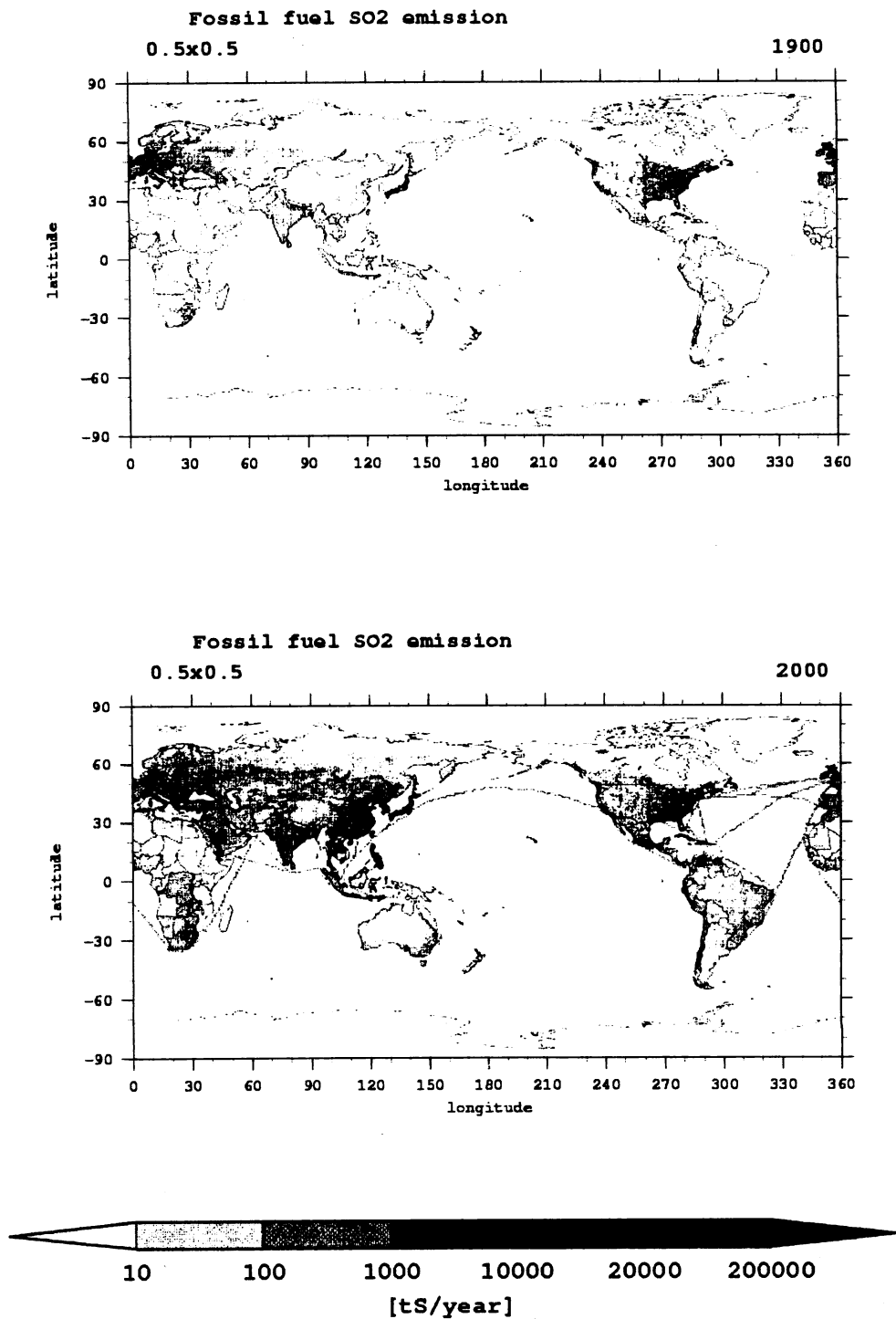


図3 人為起源二酸化硫黄 (SO₂) 排出量の全球分布 [単位 : tS/year]。1900年 (上); 2000年 (下)。

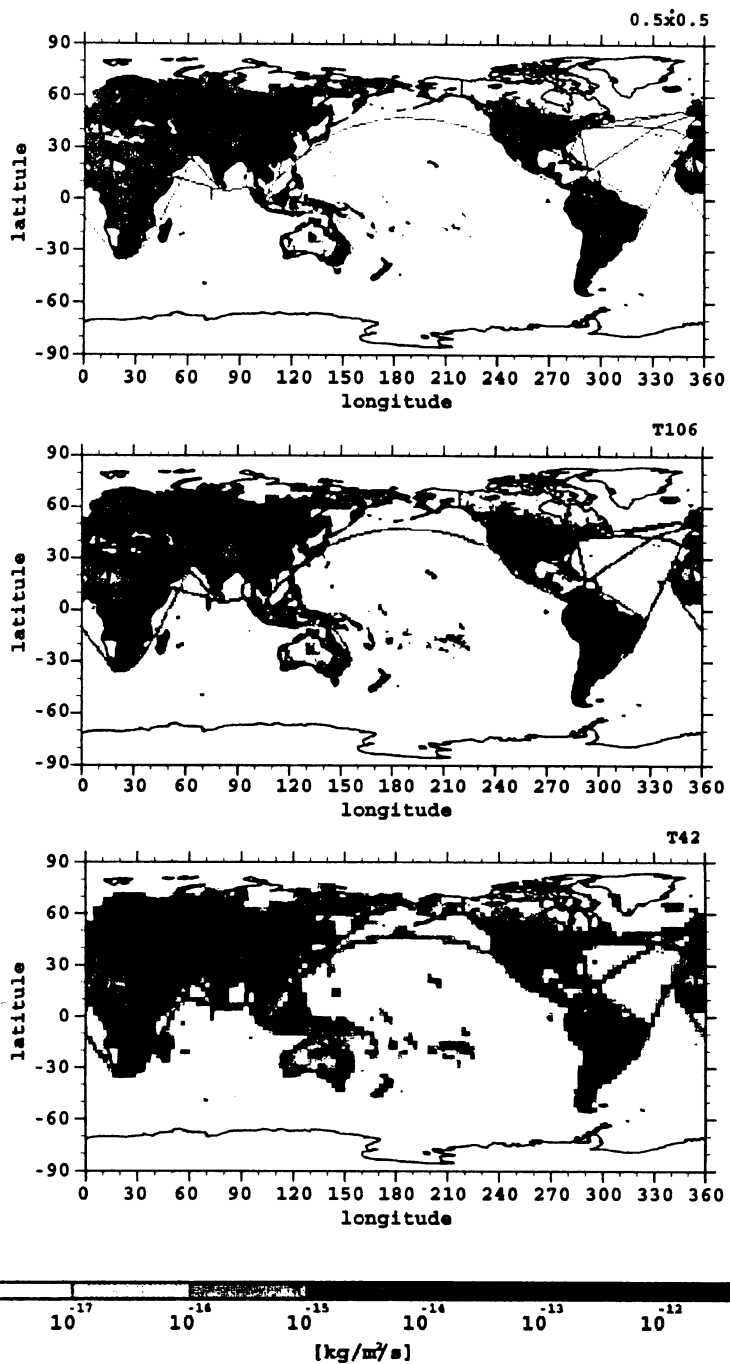


図4 2000年における化石燃料燃焼起源のBlack Carbon 排出量[単位: kg/m²/s]。上段から順にそれぞれ、0.5°x0.5°格子(オリジナル)、1.125°x1.125°相当の気候モデル格子、2.8°x2.8°相当の気候モデル格子の年間積算排出量の推計値を示す。

(4) 将来における人為起源二酸化硫黄および黒色炭素排出量格子点データの構築

本研究の最終目標は、過去から将来まで首尾一貫した手法に基づいて、各種人為起源物質の格子点データを作成することであるため、将来における人為起源二酸化硫黄 (SO₂) および黒色炭素 (BC) 排出量の格子点データを構築するためには、まず、将来における国レベルの排出量推計値の時系列データを作成する必要がある。ここでは、IPCC の最新の排出シナリオである SRES シナリオ²⁾ を例にとり、過去を題材としてデータを構築した際に必要となった変数リストと、SRES シナリオに存在するカテゴリ (変数) リストとを比較・検討し、主要な排出源ごとに対応する変数を選定した。SO₂ 排出量に関しては、排出シナリオでも SO₂ 排出量そのものが存在していたため、これを利用することとした。農業起源の BC 排出量は、過去においては農作物生産量のデータを用いていたが、排出シナリオでは該当するカテゴリが存在しなかったため、ここでは、農耕地面積をトレンド指標として外挿を行った。ただし、一部の SRES シナリオでは当該データが存在していなかったため、他シナリオのデータを流用することで回避した。生活用木材燃料起源の BC 排出量については、過去では主に木材燃料消費量のデータを使用しているため、排出シナリオでは Biomass Energy (生物資源エネルギー) が該当すると思われたが、Biomass Energy をトレンド指標としてスケーリングを行った場合、著しく不自然な結果が得られてしまったため、人口の時系列データをトレンド指標として採用することとした。森林火災起源の BC 排出量については、排出シナリオでは森林面積の時系列データも存在していたが、過去における森林火災起源 BC 排出量の推計手法では、全球の総人口数でスケーリングを行っていたため、推計手法の一貫性を考慮し、将来に関しても全球総人口数をトレンド指標とした。化石燃料起源の BC 排出量に関しては、Solid Primary (石炭などの固体形状の一次燃料)、Solid Secondary (コークスなどの固体形状の二次燃料)、Oil Secondary (ディーゼルなどの液体の二次燃料)、Gas Primary (天然ガスなどの気体の一次燃料)、Gas Secondary (都市ガスなどの気体の二次燃料) それぞれについて対応すると思われる排出シナリオが存在していたため、それらを各燃料消費量のトレンド指標とした。排出係数については過去と同様に Cooke et al. (1999)¹²⁾ のサブミクロン BC 粒子の排出係数を適用した。途上国から先進国への移行に関しても過去のケースと同様に、GDP に応じて排出係数が緩やかに変化するように設計した。なお、現時点ですでに先進国とみなされている国については、新たな技術革新などを想定して、現在よりもさらに排出係数を小さくする、等の特別な措置は行わなかった。図5は、上記のような対応関係を用いて作成した、各 SRES シナリオに対する排出源ごとの BC 排出量推計値の時系列データを示す。生活用木材燃料起源および森林火災起源の BC 排出量では、同じ人口データをトレンド指標としているため、ほぼ同じ時間変化を示している。

国レベルの SO₂ 排出量および各排出源の BC 排出量データを格子点化する際には、過去の場合と全く同様に、人口分布を分配手法とする手法を用いた。なお、人口分布の将来にわたる変遷に関する情報が一切入手できなかったため、本研究では、人口分布の将来変化に関しては考慮していない。構築した格子点データは、既存の格子点変換ツールを用いることにより、3次元大気海洋大循環気候モデルで取り扱える形式に容易に変換できることが確認された。参考までに、図6には、気候モデル格子に変換した、化石燃料燃焼起源の BC 排出量推計値の地理的分布を、各 SRES シナリオに対して示す。結果は概ね良好である。

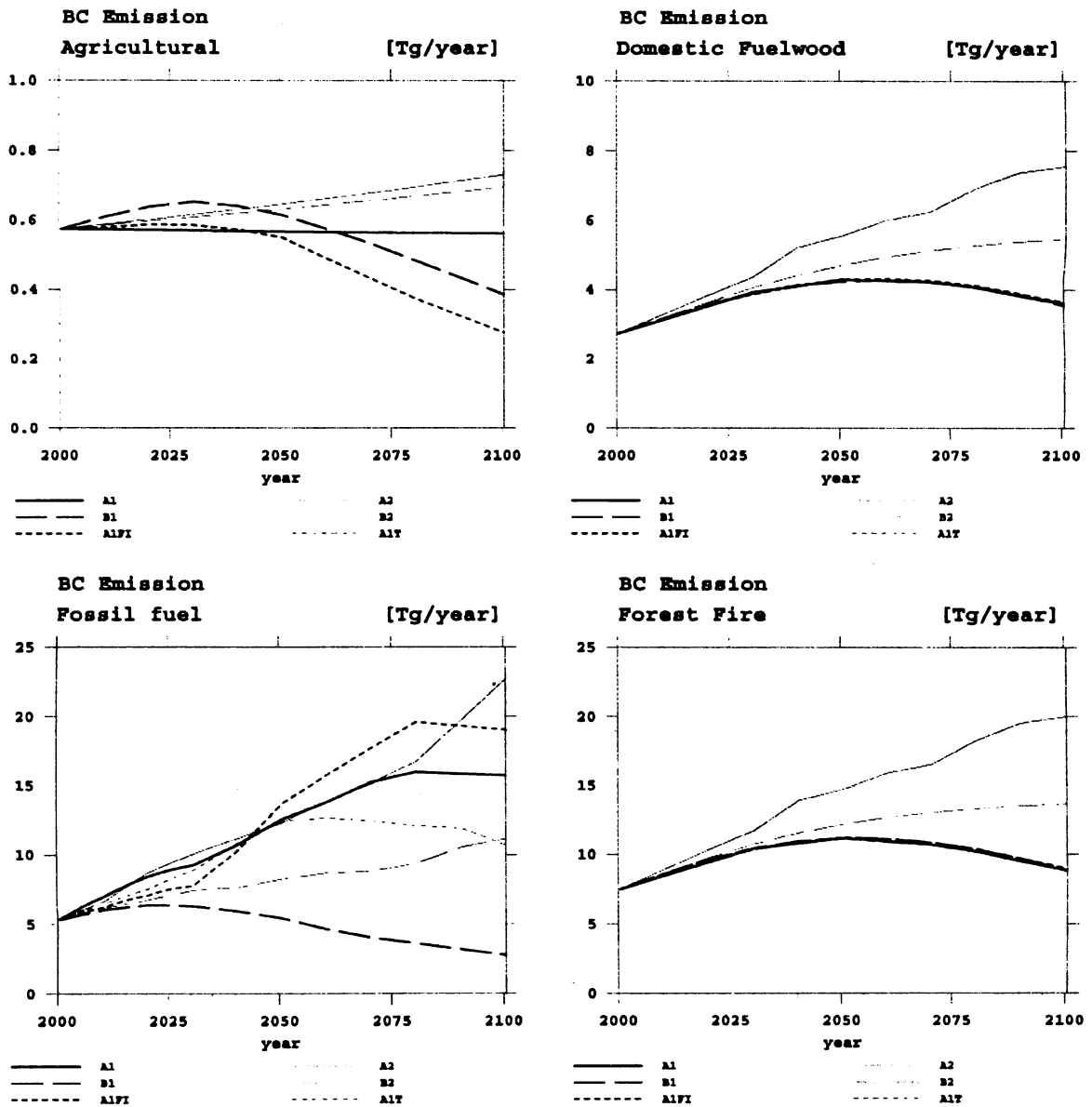


図5 将来における全球年積算したBlack Carbon 排出量時間変化のシナリオによる違い。左上：農業起源、右上：生活用木燃料起源、左下：化石燃料起源、右下：森林火災起源の推計値。

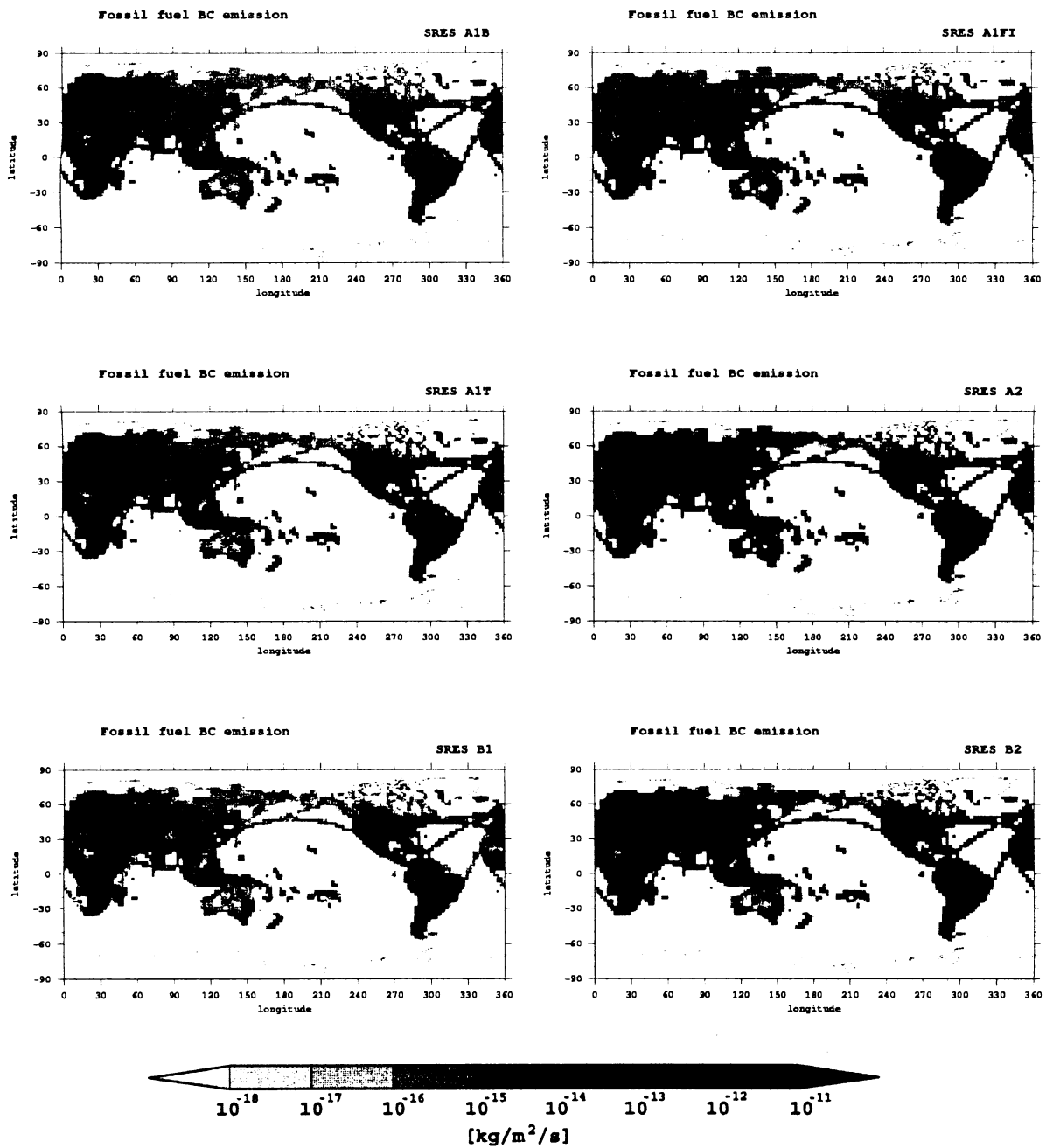


図6 2100年における各SRESシナリオの化石燃料燃焼起源のBlack Carbon 排出量[単位: $\text{kg/m}^2/\text{s}$]。上段左: A1、上段右: A1FI、中段左: A1T、中段右: A2、下段左: B1、下段右: B2の各シナリオに従った場合の、 $2.8^\circ \times 2.8^\circ$ 相当の気候モデル格子の年間積算排出量の推計値を示す。

5. 本研究により得られた成果・今後の課題

本研究課題では、温室効果ガスやエアロゾルなどの人為起源物質に関する排出シナリオから、特にエアロゾル前駆物質に着目して、3次元大気海洋大循環気候モデルで取り扱うことのできる二酸化硫黄(SO₂)および黒色炭素(Black Carbon: BC)排出量の格子点データを作成するツールを構築した。一般に、各種人為起源物質の排出量は国や都市等の行政区毎のデータとしてまとめられているため、最初に各種人為起源物質の国レベルの排出量時系列データを作成し、その後に統一的な方法で国レベルの排出量データを格子点化する手法を開発した。

国レベルのSO₂排出量に関しては、過去の情報が比較的豊富であることと、排出シナリオにもSO₂のカテゴリが存在していることから、過去における主要な排出源の情報までは作成せず、過去150年程度にわたる、SO₂排出量そのものの国レベルの時系列データを構築した。しかしながら、基礎としたデータ(ASL(A.S.L. & Associates)データ; Lefohn et al., 1999^d)の精度に若干の不安が残ったことと、そもそも1990年までしかデータが存在していないこともあり、データが存在しない1990-2000年のデータには大きな不安材料が残った。特にこの期間にはSO₂排出量に大きな変動があったことが推測されるため、今後は燃料種類別の消費量データなどの情報を収集し、独自に国レベルのSO₂排出量時系列データを作成できるように研究を継続していく必要がある。

国レベルのBC排出量に関しては入手可能な情報が限られていたため、主要な排出源に関する国ごとの時系列データを整備し、先行研究で用いられている排出係数などを活用して、過去150年程度にわたる、国レベルのBC排出量時系列データを構築した。過去100年以上もの長期にわたるBCエアロゾルの排出量推計を主要な排出源全てに対して構築したデータは世界初であり、気候モデルを用いた気候変動研究を行っていく上で、世界的にも非常に貴重なデータであると考えている。実際に、英国ハドレーセンターやドイツのマックスプランク気象学研究所、米国のイリノイ大学など、世界的にも著名な研究機関から問い合わせがあり、すでにデータを提供して、次期IPCC報告書作成に貢献するための気候モデル研究において利用してもらっている。ただ、本研究課題で作成したBC排出量データにもいくつかの問題点は存在している。特に、検証すべき観測データが圧倒的に不足しているため、現状では成果物の妥当性に関する検討が不十分である。この点については、氷床コアなどによる代替データの利用も含め、早急に対応すべき課題である。また、森林火災起源のBC排出量については、GEIAの分布を世界の総人口数でスケールアップしているが、実際には、森林火災が多発する亜熱帯のサバンナ地域の人口を用いるべきであるとの指摘もあり、今後の検討課題である。

格子点化の際に使用する分配指標としては、人口分布の格子点データを用いた。データが存在すれば、人口分布の変遷にも対応可能であるように設計し、緯度0.5°×経度0.5°の格子点データを作成するツールを構築した。本課題の範囲では、主に全球気候モデルでの利用を念頭に置いていたため、大規模な発電所や工場などのLarge Point Sourceに関する情報は使用しなかった。今後、数十km以下の分解能を持つ領域気候モデルでの利用を考える際には、このような情報が必要になると考えられる。緯度0.5°×経度0.5°格子のデータから3次元大気海洋大循環気候モデルで取り扱う格子への変換ツールを作成する際には、変換の際に全球積算値が保存することに注意を払った。また、近年の計算機能力の向上に伴い、気候モデルの水平分解能が1°×1°程度にまで細かくなりつつあるため、このような場合には、2グリッドノイズなどの偽の情報が埋め込まれないように変換方法を工夫した。

将来に関しては、IPCC SRESシナリオを例に取り、過去を題材にして構築した手法を用いて、各SRESシナリオに対応するSO₂およびBC排出量の格子点データを作成した。主要な排出源ごとにシナリオでの対応物を選定し、国レベルの排出量時系列データを作成した後に、現在の人口分布データを用いて格子点化を行う手法を採用した。国レベルの化石燃料燃焼起源の排出量時系列データを作成する際には排出係数の情報が必要となるが、本研究では、現時点ですでに先進国と認定されている国については、現在よりも小さい排出係数を設定することはしなかった。これは、第一ステップとしてはもっともな選択であると考えられるが、実際には、シナリオの考え方に技術革新なども考慮されているため、そちらとの整合性は取れていないこととなっている。また、農業起源のBC排出量に関しては、シナリオデータで最適と

思われた Biomass Energy の情報を利用することができなかった。その理由は、Biomass Energy を利用した結果が主観的にあまりにも不自然であったためであるが、排出シナリオにおける Biomass Energy の定義を詳細に検討すれば、別の回避策が得られた可能性がある。格子点化を行う際に、トレンド指標として使用する人口分布についても、各国の内部での人口移動に関する情報が得られなかったため、現在の人口分布を21世紀末まで用いている。この点については、中国やロシア、アメリカなど、国土が広く、かつ、量的にも無視し得ない排出量を持つ国については検討の余地が残されている可能性がある。このように、気になる点はいくつかあるが、基本的には、概ね良好な結果が得られていると考えている。なお、本データは、次期 IPCC 報告書に貢献するための、全球大気海洋結合気候モデルを用いた将来の気候変化見直し実験において利用していく予定である。

6. 引用文献

- 1) IPCC: Climate Change 2001: The scientific basis, Cambridge University Press, Cambridge, UK. (2001)
- 2) IPCC: Special Report on Emissions Scenarios. N. Nakicenovic et al., Eds., Cambridge University Press, 599 (2000)
- 3) 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)
- 4) Lefohn A. S., J. D. Husar and R. B. Husar: Estimating historical anthropogenic global sulfur emission patterns for the period 1850-1990, Atmos. Environ., 33, 3435-3444 (1999)
- 5) Liousse, C., J. E. Penner, C. Chuang, J. J. Walton, H. Eddleman and H. Cachier: A global three-dimensional model study of carbonaceous aerosols, J. Geophys. Res. 101, 19,411-19,432 (1996)
- 6) Cooke, W. F. and J. J. N. Wilson: A global black carbon aerosol model, J. Geophys. Res., 101, 19,395-19,409 (1996)
- 7) <http://apps.fao.org/>
- 8) Goldweijk, K.: Estimating global land use change over the past 300 years: the HYDE database, Global Biogeochemical Cycles, 15, 417-434 (2001)
- 9) United Nations: The United Nations energy statistics database (1991), Tech. rep., Stat. Div., New York. (1993)
- 10) 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)
- 11) 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)
- 12) Cooke, W. F., C. Liousse, H. Cachier and J. Feichter: Construction of a 1°×1° fossil fuel emission data set for carbonaceous aerosol and implementation and radiative impact in the ECHAM4 model, J. Geophys. Res., 104, 22,137-22,162 (1999)

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 (Fourth Assessment Report: 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。

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 Matsuno, T. and H. Kida Eds.: "Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling", Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 77-87 (2001)
"Effects of man-made air pollution on the climate (Nakajima, T., A. Higurashi, K. Kawamoto, and T. Takemura)"

<学術誌 (査読なし) >

- ① 江守正多、高橋潔、野沢徹、神沢博：天気, 50, 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」

<書籍>

なし

<報告書類等>

なし

(2) 口頭発表

- ① 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」
- 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, July 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, April, (2002)
"Projections of future climate change considering radiative impacts of various aerosols"
- ④ Nozawa, T. : The First Japan-UK Joint Workshop for Climate Modelling, Tokyo, Japan, September (2002)
"20th century climate experiments"
- ⑤ Nozawa, T. : The Second Japan-UK Joint Workshop for Climate Modelling, Blacknell, UK., February (2003)
"Global warming experiments with CCSR/NIES CGCM – results from previous models and future plans –"
- ⑥ Nozawa, T., Nagashima, T., Takemura, T., Emori, S., and Kimoto, M.: XXIII
general Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Sapporo, Japan, 2003.7
"Climate change simulations on the 20th century with natural and anthropogenic forcings"
- ⑦ Sudo, K., Takahashi, M., Nozawa, T., Kanzawa, H., and Akimoto, H.: International Conference on Earth
System Modelling, Hamburg, Germany, 2003.9
"Simulation of future distributions of tropospheric ozone and sulfate aerosol: impacts of emission change and climate change"

- ⑧ Nozawa, T., Nagashima, T., Takemura, T., Emori, S., Nishimura, T., and Kimoto, M.: International Conference on Earth System Modelling, Hamburg, Germany, 2003.9
“Climate simulations on the 20th century with various forcings”
- ⑨ Sumi, A., Kimoto, M., Hasumi, H., Emori, S., and Nozawa, T.: World Climate Change Conference, Moscow, Russia, 2003.10
“Development of a high-resolution climate model”
- ⑩ Nozawa, T., Nagashima, T., Takemura, T., Emori, S., Nishimura, T., and Kimoto, M.:
World Climate Change Conference, Moscow, Russia, 2003.10
“Climate change simulations on the 20th century with various natural and anthropogenic forcings”
- ⑪ 野沢徹, 永島達也, 竹村俊彦, 江守正多, 西村照幸, 木本昌秀: 日本気象学会 2003 年度秋季大会, 仙台, 2003 年 10 月
「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」
- ⑫ Nozawa, T., and K-1 Project Team: Workshop on GHG Stabilization Scenarios, Tsukuba, Japan, 2004.1
“Climate change experiments with a high-resolution climate model - current status and future plans - ”
- ⑬ Nozawa, T. : The Third Japan-UK Joint Workshop for Climate Modelling, Exeter, UK., March (2004)
“Climate simulations of the 20th century with atmosphere-only and coupled GCMs”
- ⑭ Nozawa, T., T. Nagashima, T. Yokohata, T. Takemura, S. Emori and M. Kimoto: Climate of the 20th Century Third International Workshop, Trieste, Italy, April (2004)
“Climate Simulations on the 20th Century with Various Forcings”
- ⑮ 野沢徹, 永島達也, 小倉知夫, 横島徳太, 岡田直資: 日本気象学会 2004 年度春季大会, 東京, 2004 年 5 月
「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 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」(2001 年 7 月 19 日、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。於 東京国際フォーラム)

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

- ① 今後、本サブテーマで構築したデータベースに関する学術論文を出版するとともに、近い将来のインターネットでのデータベース提供等を通じ、成果の広報・普及に努める。気候モデルによる気候変化の研究で世界をリードしており、また、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からも本データベースの提供依頼を受け、同センターの 3 次元大気海洋大循環気候モデルによる過去の気候再現実験に利用されている。他にも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、気候研究をリードしている複数の研究機関の研究者からもデータの提供依頼があり、すでに先方に提供している。また、将来における BC 排出量格子点データについても提供依頼を受けており、近日中に対応する予定である。
- ② 本研究の一部はすでに IPCC 第 3 次報告書に引用されている：

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 WG I

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

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

- ③ 世界気候会議(モスクワ、2003年10月)において、本サブテーマで構築したデータベースを利用した3次元大気海洋大循環気候モデルによる気候変化シミュレーション結果を報告した。

Nozawa, T., Nagashima, T., Takemura, T., Emori, S., Nishimura, T., and Kimoto, M.:

World Climate Change Conference, Moscow, Russia, 2003.10

"Climate change simulations on the 20th century with various natural and anthropogenic forcings"