

【2A-1101】地球温暖化対策としてのブラックカーボン削減の有効性の評価

(H23～H25；累計予算額 192,137千円)

近藤 豊 (東京大学)

1. 研究実施体制

- (1) BC 観測による領域モデルの検証 (東京大学)
- (2) BC の電子顕微鏡観測と全球エアロゾルモデルによる BC 削減の有効性評価 (国土交通省 気象庁気象研究所)
- (3) 気候モデルによる BC 全球気候影響評価 (東京大学)
- (4) 雲凝結核数濃度に及ぼす BC の寄与 ((独) 国立環境研究所)
- (5) BC 放射影響の観測 (千葉大学)

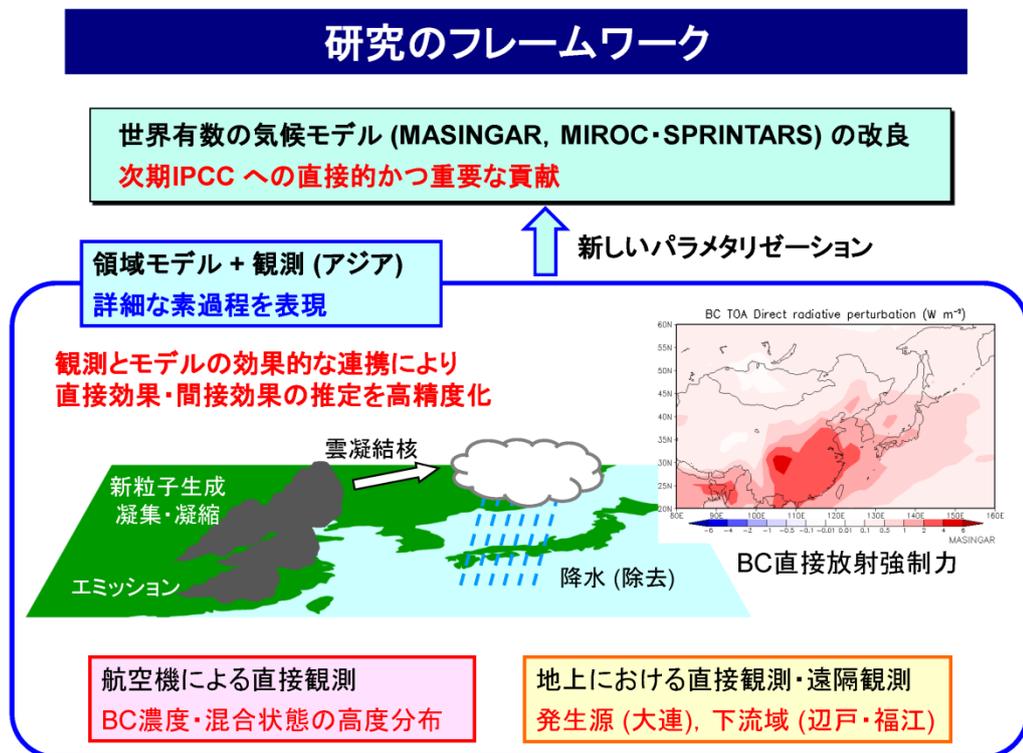


図 研究のイメージ

2. 研究開発目的

本研究の目的は、地球温暖化対策としての BC エアロゾル削減の有効性を評価することである。すなわち、各種の排出源から排出される BC や他の人為起源物質の排出量を削減した場合、アジアやグローバルスケールにおいて、放射強制力、気温、降水量がどのように変化するか、直接・間接効果を含めて総合的に評価することである。各種の排出源シナリオに基づき、10年から100年スケールでの削減効果を評価する。さらに、健康や農業生産など各種の影響評価に資するように、アジア域でのモデル計算結果（地表気温、日射量、降水量の月平均値など）を一般に公開する。

このために、以下の研究を実施する。

- (1) 革新的測定技術により BC や他のエアロゾル成分の数・質量濃度、粒径、混合状態など、これまで観測されてこなかった物理量を含めて地上・航空機観測を実施し、その実態を把握する

とともに、数値モデル計算の検証データを整備する。

(2) エアロゾルの濃度や混合状態を決める各種のプロセスを物理化学法則に基づいて表現した詳細な領域数値モデルを観測に基づいて改良・検証し、短期的な(10年程度の)アジアにおけるBCの放射強制力や、その削減効果(気温や降水量の変化など)の定量的評価を行う。また詳細な計算に基づいて、全球モデル用のパラメタリゼーションを開発する。

(3) 上記パラメタリゼーションを取り入れた全球モデルにより、高い信頼性で長期にわたる(100年程度の)BC削減効果を予測する。

3. 本研究により得られた主な成果(研究者による記載)

(1) 科学的意義

- ・ BCを高精度かつ安定的に測定できるCOSMOS測定器を用いた長期観測を、辺戸岬・福江島・八方において継続して行ったのに加え、中国の北京と台湾のルーリンに新たなCOSMOS測定器を設置した。これらのBCの観測網により、排出源近傍である中国の北京から排出源の下流にあたる辺戸・福江・八方までのBCの同時観測が可能となり、発生源寄与や季節変動など大気境界層内におけるBCの輸送過程の理解が飛躍的に進展しつつある。また、COSMOS測定器のデータを用いて、BCの最大発生源である中国からの排出量の正確な推定を行った。従来のBCの排出量推定には200%程度の大きな誤差があるとされてきたが、本研究によってその不確定性を大幅に減少するに至った。
- ・ エアロゾルの混合状態・数濃度・粒径分布を表現可能な領域3次元モデルを開発し、地上・航空機観測による検証を行った。このモデルにはエアロゾルの生成・変質・除去を支配する詳細な微物理過程が組み込まれており、従来の領域モデルやIPCCの評価などで用いられてきた全球気候モデルに比べて、エアロゾルの表現が格段に改善した。
- ・ 新しく導入したBC変質過程に関するパラメタリゼーション法を用いることによって、これまで指摘されてきたモデルの光吸収成分の過小評価を改善する方向に働くことがわかった。
- ・ 大気海洋結合モデルを用いることで、BCの存在による地表面付近での気温低下と大気上端での気温上昇、および、雲・降水を介した複雑なフィードバックが存在することがわかり、BCの存在に伴う気候・大気汚染影響の推定には結合モデルが必須であると示唆された。
- ・ 高分解能実験が可能なNICAM+SPRINTARS+CHASERを用いた領域スケールでの大気化学モデルが完成した。また、観測データとモデルを組み合わせたエアロゾルデータ同化手法を開発したことで、より確からしいエアロゾル分布が得られるようになった。
- ・ BCの混合状態を形状、および元素組成の観点から電子顕微鏡で取得しつつ、その結果を直裁にエアロゾルモデルへ取り込むことを目指し、研究を推進してきた。電子顕微鏡による観察では他の手法では為し得ないBCの混合状態や形態情報を取得できるため、モデル化への活用の意義は大きい。また、現在の気候変動予測実験に用いられている気候モデルのBCへの感度を調査する実験を通じて、地球の気候においてBCのもつ役割を推定するための基礎的な知見を得ることができた。BCは大気大循環全体に影響し気温の鉛直構造が変化する可能性のあること、BCの存在による地表面気温への影響は全球平均で見ると変化は非常に小さいが、地域によって異なり大きな影響を受ける地域があることが示唆された。このような影響を評価するには気候フィードバックを評価できる大気海洋結合モデルを用いることが必要であるが、気候モデル間の相互比較が必要である。本推進費研究課題では、本サブ課題及びサブ課題3での実験結果によって、その端緒となる比較実験ができた。

(2) 環境政策への貢献

エアロゾル微物理モデルの開発と精度向上により、エアロゾル物理・化学過程の理解に貢献し、併せてBCの輸送・変質・除去過程の予測精度向上に資する。また、気候変動実験に用いられる

気候モデルにおけるBCの役割を知ることは、環境政策の有効性を判断するための基礎的なデータとなる。本研究の成果は、IPCCにおける第5次結合モデル比較実験CMIP5への気象庁から参加モデルである大気海洋結合モデルMRI-CGCM3の改良と気候実験およびその解析を行うことによって、地球温暖化予測の高度化に貢献し、環境政策への貢献に寄与した。

<行政が既に活用した成果>

- ・本研究のメンバーのうち、近藤はこれまでのエアロゾル・雲の観測的研究の実績により、IPCC第5次報告書の7章「雲とエアロゾル」のLead Authorとして選出されている。さらに中島はエアロゾル・放射・気候研究の実績により、同報告書の5章「放射強制力」のLead Authorとして選出されている。したがって、本研究の成果を効率的に正しくIPCCに反映することができた。
- ・中島は、IPCC-AR5の放射強制力のLead Author、世界気候研究計画（WCRP）の合同科学者委員会委員、UNEP/Atmospheric Brown Cloud-Asiaサイエンスチームの主査として、本研究の成果を含むエアロゾルの気候影響に関する知見を、その評価報告書や現在行われつつあるWCRP組織体の将来構想立案において役立てた。
- ・IPCCへ日本から貢献した文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」（2002-2007）、文部科学省「21世紀気候変動予測革新プログラム」（2007-2012）、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」（2012-2017）などで計算されている気候モデルは、IROC+SPRINTARSが用いられており、これらの改良を行う必要があることが示された。
- ・文部科学省「気候変動適応研究推進プログラム」の中でNICAM+SPRINTARS+CHASERモデルの領域版が開発され、全球から関東平野程度の領域を従来型の3段程度のネスティングを行うことなくシームレスに計算できるようになった。
- ・BCの気候計算を結合モデルで行うことによって、エアロゾルと雲形成に関わる様々なフィードバックループが起り得ることが示された。このような計算システムと知見は、H26年度から立ち上がる推進費戦略S-12「温室効果ガスおよび短寿命気候因子（SLCP）緩和策が引き起こす環境影響の能動的評価」の基礎になる。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・二酸化炭素やエアロゾルなどの人為起源物質の増加による気候変動を正確に予測することは、気候変動に対する対策の立案に重要である。この中で、人為起源のエアロゾルの変動とその気候影響の不確実性が、この対策の立案の大きな不確実性要因となっており、エアロゾルの気候影響の早急な解明が必要とされている。
- ・アジア域における地上・航空機観測およびそのデータ解析から、BCの質量濃度・粒径分布・混合状態・形態、エアロゾルの化学組成・数濃度・粒径分布の時空間変動を明らかにしてきた。また、それらの高精度の観測を表現できる領域3次元モデルの開発を行ってきた。このような領域3次元モデルを用いた計算により、アジア域におけるBCの削減効果を初めて定量的に評価可能になった。さらにこれを拡張してグローバル・長期的な削減効果を評価するために気候モデルを用いた計算を行った。この気候モデルの結果にもとづいて、BCの削減効果について初めて俯瞰的で定量的な政策判断の根拠を示すことが可能となる。
- ・電子顕微鏡の観測結果の知見に基づき、BCの詳細な物理化学過程を考慮したパラメタリゼーションを導入した、改良型全球気候モデルにより、BC削減が、大気加熱効果を抑えることに効果的であることが判明した。ただし気候モデルには年々の自然変動成分が存在するため、今後より長期間の積分を実施し、大気循環・気温・降水等の気候場への統計的に有意な影響を調べ、また、不確実性の評価も行ったうえで、実際に行政に活用されることが望ましい。

4. 委員の指摘及び提言概要

本課題は、温室効果に対して不確実性の高いブラックカーボン（BC）に関して、観測とモデルを駆使してその諸特性および気候影響について総合的に研究した。BC の人為的な発生源としてアジア地域は重要であり、この一連の研究で開発された観測機器、測定手法、モデル等は従来の全球エアロゾル気候数値モデルをより精緻化するのに寄与し、また得られた成果は IPCC 報告書にも生かされている。課題全体へ十分な貢献を果たしていないサブテーマもあるが、全体として地球温暖化の理解と予測にとって先端的で有用な成果を上げた。

5. 評点

総合評点：A