

## 論文内容の要旨

論文題目      **Improvement of the radiative forcing evaluation with GCM  
for aerosol direct and indirect effects**

(エアロゾル直接効果・間接効果の放射強制力に関する GCM モデル評価の改良)

氏名      五藤 大輔

エアロゾルは気候に大きな影響を及ぼすものであり、気候変動を理解する上で重要な因子の一つである。エアロゾルが放射収支に影響を与え得る効果としては、大きく分けて二つある。一つはエアロゾルが大気中で太陽光を散乱・吸収することで放射収支を変化させる効果(直接効果)であり、もう一つはエアロゾルが雲凝結核となって雲の光学特性や降水効率を変化させる効果(間接効果)である。IPCC 第四次報告書による人為起源エアロゾルによる放射強制力は $-0.5 \text{ W m}^{-2}$  (直接効果)、 $-0.7 \text{ W m}^{-2}$  (第一種間接効果)と見積もられているが、その不確定性は非常に高い。そしてこの不確定性の一部は、各エアロゾルモデルのエアロゾル分布の再現性の差に由来する。そこで本研究では、三次元エアロゾル輸送モデル **SPRINTARS**(Takemura et al., 2005)を用いて、これまで以上に観測との比較を行い、より良い再現性が得られるように改良を目指した。これによって、より良い放射強制力の見積もりが出来ると考えられる。

大半の人為起源エアロゾルは二次生成エアロゾルである。これには、硫酸塩、アンモニウム塩、硝酸塩、などの無機成分の他に、有機炭素エアロゾルの一部も含まれる。例えば、モデルで計算された硫酸塩の放射強制力には、硫酸塩の分布の不確定性に由来する誤差が含まれる。そこで、本研究ではその分布の誤差要因を解明し、モデルを改良することでより良い観測との一致を計った。次に、アンモニウム—硫酸塩—硝酸塩系の計算モジュールを **SPRINTARS** に導入し、アンモニウム塩と硝酸塩の放射強制力の評価を行えるようにした。

これには、これらの成分を取り入れた全球エアロゾルモデルの数は少なく、その放射強制力の見積りの評価が十分に得られていない背景がある。そして次に、二次生成有機炭素エアロゾルの中で最大量である自然起源二次生成有機炭素エアロゾル(BSOA)の計算モジュールを **SPRINTARS** に導入した。**BSOA** は吸湿性が高いことと、産業革命以前と現在とでの存在量の差が指摘されていることから、これらによる放射強制力、特に間接効果放射強制力への寄与が大きいと考えられる。

**SPRINTARS** と他のモデル間での硫酸塩の分布の差は、 $\text{SO}_2$  の液相での取り扱いに大きな原因があることがわかった。ヘンリー平衡と液相化学反応の時間スケールが非常に短いことをモデル計算で反映させること、及び、化学反応式の解法が重要な因子であり、本研究ではモデルで計算する時間ステップを短くし、二次反応の解を導入することで、より現実に近い条件で計算を行った。これにより、従来よりも観測結果に非常に近い硫酸塩の分布が得られるようになった。また、アンモニウム—硫酸塩—硝酸塩系を計算するモジュールは熱平衡に依存しており、各イオン成分にも大きく依存している。本研究では、計算コストをあまり増やすことなく硝酸系の計算を行うために、簡略化したモジュールを作成した。これを用いた計算では、アンモニウム塩及び硝酸塩の再現性は、観測の不確定性が非常に高いものの、概ねよく再現することができた。また、室内実験で得られた物理式を用いて、新しく作成 **BSOA** の計算モジュールを **SPRINTARS** に導入した。その結果、観測結果が不足しているために十分な検証はできないが、限りある中での検証では良い一致が得られた。

以上のような **SPRINTARS** の改良後に、直接効果・間接効果の放射強制力を新たに見積もった。硫酸塩の改善とアンモニウム塩と硝酸塩の導入によって、人為起源全エアロゾルによる直接効果・間接効果放射強制力は、それぞれ  $-0.0 \text{ W m}^{-2}$  と  $-0.7 \text{ W m}^{-2}$  であったのが、それぞれ  $-0.6 \text{ W m}^{-2}$  と  $-0.8 \text{ W m}^{-2}$  になった。このうち、アンモニウム塩と硝酸塩の導入では、直接効果・間接効果放射強制力の絶対値はそれぞれ  $0.3 \text{ W m}^{-2}$  と  $0.1 \text{ W m}^{-2}$  増加した。変化量は地域別で見ると差は顕著となり、例えば東南アジアでは直接効果・間接効果放射強制力の絶対値の変化量はそれぞれ  $0.5\text{-}1 \text{ W m}^{-2}$  と  $0.2 \text{ W m}^{-2}$  以下であった。また、本研究で使用したアンモニウム—硫酸塩—硝酸塩系を計算するモジュールによる直接効果・間接効果放射強制力の不確定性は共に  $0.1 \text{ W m}^{-2}$  以下と小さかった。**BSOA** の計算を導入することで、間接効果放射強制力の絶対値が最大  $0.3 \text{ W m}^{-2}$  増加した。本研究で改良・導入したモジュール間での放射強制力の差は、最大  $0.8 \text{ W m}^{-2}$  程度で、これは IPCC 第四次報告書で見積もられた不確定性の差の 40% に及ぶ。このことは、本研究で調べたモジュール改良が放射強制力の見積りに与える影響が大きいことを示唆している。しかし、本研究で行った改良ですべての観測との不一致を説明した訳ではないので、より良いエアロゾル放射強制力の見積もりには境界層スキームなど他の過程の改良が必要となる。