

宇宙線-雲凝結核プロセスが温暖化に与える影響の解析

*岡部裕己、佐々井崇博(筑波大院生命環境)

1. 背景

雲による太陽放射の反射は、地球を冷却する主な要因の一つとして挙げられる。IPCC 第5次評価報告書では、雲の放射強制力が $-0.55(\text{W}/\text{m}^2)$ 程度とされたが、最も不確実性の高い要因とされている。その原因として、雲凝結核(CCN)生成論の一つである宇宙線による大気イオン化機構がある¹⁾。近年、Cosmic Leaving Outdoor Droplets (CLOUD)実験により、雲の核生成で主要なエアロゾルは硫酸に加え、植物由来揮発性有機化合物(BVOC)があることが証明され²⁾、宇宙線が雲生成に寄与していることが明らかになってきた。しかし、本機構が地球システム全体に与える影響、もしくは温暖化との関係を明らかにした研究は殆どない。同実験で定式化された新たな核生成プロセスを地球システムモデルに導入して大気イオン化機構を再評価することが、温暖化の不確実性を減らす上で重要であろう。

そこで、本研究では、大気イオン化機構を再現できる地球システムモデルを開発して、雲を再現し、将来の予測を行った。宇宙線による大気イオン化、BVOCの放出、CCN生成を再現できる雲形成サブモデルを開発し、既存の簡易型地球システムモデルへ統合した。

2. 手法

宇宙線フラックス、エアロゾル濃度、気候変化から核生成速度と雲量を推定した。CCN濃度再現のために、1)大気上端における宇宙線フラックス³⁾、2)大気イオン化プロセス⁴⁾、3)BVOC放出プロセス⁵⁾、4)CLOUD実験によるCCN生成速度式²⁾、を用いた。大気中のイオン、硫酸エアロゾル、BVOC濃度からCCN濃度を計算し、気象データを加え雲量を推定した。

使用した地球システムモデル⁶⁾は、エネルギー、炭素、水循環サブモデルで構成される。解像度は緯度方向 10° 分割、炭素コンポーネントは空間の複雑さを考慮して 1° 分割とした。入力データは、CMIP5の化石燃料消費、土地利用変化に基づく CO_2 排出量、大気 CH_4 、 N_2O 、硫酸エアロゾル濃度を用いた(RCPシナリオ)。将来の宇宙線データは、直近2周期のデータに増減トレンドを加えた新たなシナリオを作成した。産業革命以前の水・炭素・エネルギー収支は定常状態であると仮定し、各

プールの初期値を求めた。解析期間は1750年から2100年、時間分解能は1年である。

3. 結果

2000年時点の3000m、5500m、8500m地点における各緯度帯の雲量を、9つの衛星データと比較した。その結果、各高度、緯度帯において衛星観測値の幅に収まるパターンを示した。全球平均の経年変動は1980年代まで硫酸エアロゾルの増加に伴う雲量の増加が見られ、その後、硫酸エアロゾルの減少とともに雲量も減少した。本傾向は、衛星観測とも一致した。2000年時点の放射強制力は $-0.4(\text{W}/\text{m}^2)$ となり、IPCCの推定範囲内であった。2100年までの長期解析の結果では、RCPシナリオ間で2100年の3000m地点の雲量、CCN濃度がそれぞれ0.4(%)、120(個/ cm^3)の差となり、宇宙線シナリオ間はそれぞれ0.02(%)、2.6(個/ cm^3)と差はほとんどなかった。雲量、CCN濃度の変化から放射強制力の計算を行った結果、2100年の放射強制力の差はRCPシナリオ間で $0.1(\text{W}/\text{m}^2)$ 、宇宙線シナリオ間で $0.001(\text{W}/\text{m}^2)$ であった。

以上のように、将来の宇宙線の変動が雲量へ与える影響は微少であり、気温への影響もほとんど見られなかった。ただし、イオンによるCCN生成プロセスは十分に解明されておらず、これらの物理的な理解度に合わせて温暖化への影響を再評価していくことが必要であろう。

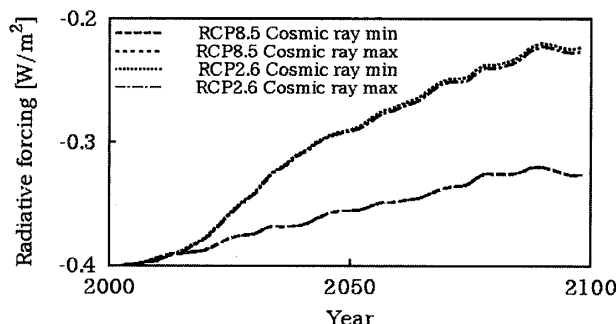


図1: 全球平均の雲による放射強制力の変化

引用文献；

1)Carlsaw et al., *Science*, 298, 1732-1737, 2002, 2)Riccobono et al., *Science*, 334, 717-721, 2014, 3)Sato et al., *Radiat. Res.*, 179, 244-259, 2008, 4)Usoskin et al., *J. Geophys. Res.*, 111, D21206, 2006, 5)Guenther et al., *Geosci. Model. Dev.*, 5, 1471-1492, 2012, 6)Murakami et al., *Theor Appl Climatol.*, 101, 459-473, 2010