研究課題名：GOSAT および GOSAT-2 衛星のデータ解析に関わるエアロゾル・モデルシミュレーション

課題代表者：宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター　中島映至
共同研究者：宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター　沖　理子
国立環境研究所環境計測研究センター　及川栄治
国立環境研究所地域環境研究センター　五藤大輔
東京大学大気海洋研究所　打田純也
University of Oxford, Clarendon Laboratory　Nick Schutgens
近畿大学総合社会学部　中田真木子

実施年度：平成 27 年度～平成 27 年度

1.　研究目的

2009 年に環境省が打ち上げた GOSAT ミッションではフーリエ分光放射計（以下、FTS という）を利用して二酸化炭素（CO_2）の気柱量を求める。また、その後継機として GOSAT-2 衛星が計画されている。これらの衛星受信分光放射輝度のデータにはエアロゾルの影響が含まれており、その除去が二酸化炭素量の導出精度の向上にとって不可欠である。また、GOSAT-2 衛星では、雲・エアロゾルイメジャー（CAI）を強化した CAI-2 が搭載され、新たにエアロゾルによる大気汚染の監視が目的として加わった。従って、これらのデータ解析にとって必要なエアロゾル情報を適切に計算するエアロゾルモデリングシステムが求められている。

2.　研究計画

地球に入射した太陽放射は、気体分子、雲、エアロゾル、地表面で散乱・吸収される。その後、吸収されたエネルギーは長波放射として射出され、雲の形成・消滅、水蒸気分布などを変化させる。しかしながら、観測データを用いたエアロゾルの長波放射の直接放射強制力（LWDARF）に関する研究が少ないため、気候モデルにおける LWDARF の評価もあまり行われてこなかった。そこで、CALIPSO 衛星と CloudSat 衛星から得られる全球規模のエアロゾルと雲の鉛直分布のデータを用いて、短波放射と長波放射のエアロゾルの放射強制力の計算を行い、全球エアロゾルモデル MIROC-SPRINTARS のシミュレーション結果を比較する。この比較を通して、モデルと観測のエアロゾルの分布や光学特性の違いが、エアロゾルの放射強制力の評価にどのような影響を与えるのか調べる。

3.　進捗状況

2007 年 8 月における CALIPSO 衛星と CloudSat 衛星の観測から得られるエアロゾルと雲の鉛直分布を用いてエアロゾルの放射強制力の計算行い、MIROC-SPRINTARS モデルの結果との比較を行った。

モデル・観測ともに、南アメリカやアフリカ南部では、バイオマスバーニングによるエアロゾルによりエアロゾルの光学的厚さ（AOT）が大きくなっている（図 1）。図 2 は、大気上端における短波放射のエアロゾルの直接放射強制力（SWDARF）と長波放射のエアロゾルの直接放射強制力（LWDARF）を示している。南アメリカやアフリカ南部では AOT が 0.3 以上となっていて、$-5Wm^{-2}$ より大きい負の SWDARF を示している。一方、モデルで AOT が過小評価となっているサハラ砂漠や海上では、モデルの SWDARF は観測より小さい負値となっている。

また、モデルでは、ダストや海塩粒子などの大粒子が分布しているサハラ砂漠やアラビア砂漠、南緯 60 度付近の海上で、LWDARF が $+0.5Wm^{-2}$ 以上となった（図 2）。一方、CALIPSO のエアロゾルの光学モデルでは、エアロゾルの粒径分布を 2 モードの対数正規分布で表現していて、3□m より大きい粒子の割合が少ないため、観測の LWDARF は全球的に $+0.5Wm^{-2}$ 以下になっていると考えられる。

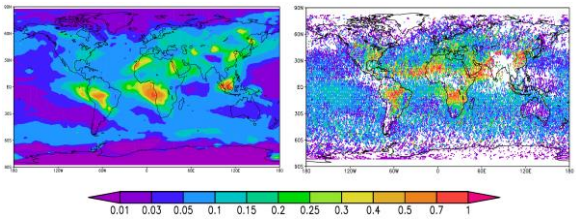

図 1. 晴天大気におけるエアロゾルの光学的厚さ (AOT)。左図：モデル結果（550nm）、右図：CALIPSO の観測データ（532nm）。

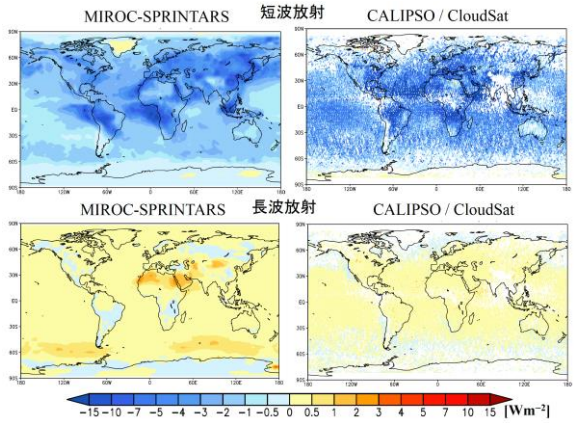

図 2. 大気上端・晴天大気におけるエアロゾルの直接放射強制力。上図が短波放射の放射強制力で、下図が長波放射の放射強制力を示していて、左図がモデル結果、右図が観測データを用いた計算結果となる。

また、国立環境研究所の GOSAT チームが GOSAT 衛星に搭載されている FTS から CO_2 の気柱量を導出する際に、MIROC-SPRINTARS のエアロゾルの 3 次元分布の情報が用いられている。一方、過去の本研究課題において GOSAT 衛星に搭載されている CAI から 380nm の AOT を導出した。CO_2 量導出の際に用いられているエアロゾル濃度分布に対応した 380nm の AOT を CAI の 380nm の AOT と比較すると、CO_2 量のリトリーバルに用いられる AOT が過小評価の傾向であることが確認された（図 3）。CO_2 量のリトリーバルに用いられる AOT の不確実性は、CO_2 量の導出精度に大いに影響するため、国立環境研究所の GOSAT チームと協力して、この原因の調査を開始した。

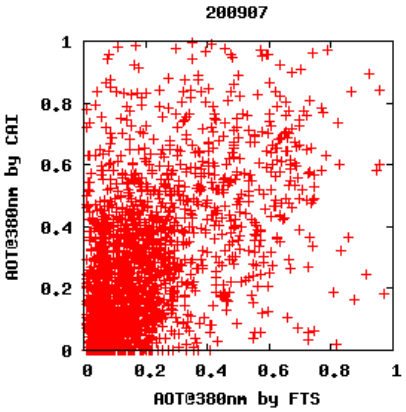

図 3. GOSAT CAI の AOT と CO_2 のリトリーバルに対応した AOT の比較。縦軸が CAI の 380nm の AOT で、横軸は CO_2 のリトリーバルに用いられているエアロゾル濃度分布に対応した 380nm の AOT を表している。

4. 今後の計画

現在、CALIPSO 衛星、CloudSat 衛星から得られる観測データを用いた放射計算は、2007 年 8 月の 1 ヶ月のみ終了しているが、モデルと同様に複数年の放射計算を行う予定である。長期間のエアロゾルや雲の分布、放射強制力の比較を通して、MIROC-SPRINTARS のモデルパフォーマンスの評価を行う。

また、CAI の AOT と MIROC-SPRINTARS を用いたデータ同化システムから計算された AOT を比較して、CO_2 のリトリーバルで用いられている AOT の妥当性や CAI の AOT の妥当性を調べる。

今後も、GOSAT、GOSAT-2 ミッションに対してより正確なエアロゾル情報を提供できるように、モデルの開発・改良を継続していきたい。

5. 今年度計算機資源の利用状況（2015 年 6 月 1 日～9 月 30 日、SX-ACE）

実行ユーザ数: 5

CPU 時間 v_deb: 0.00 hours, v_32cpu: 5,419.886147 hours, v_96cpu: 0.00 hours, v_160cpu: 0.00 hours, 計: 5,419.886147 hours

6. 昨年度研究課題のまとめ

6.1. 昨年度研究課題名

今年度と同様。

6.2. 昨年度研究課題の目的

今年度と同様。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

MIROC 気候モデルにおいて、エアロゾルの光学特性を取り扱っているルーチンは、エアロゾルモデル SPRINTARS と放射コード mstrnX であるが、mstrnX では計算コストを抑えるために、SPRINTARS で計算されたダストと海塩粒子のサイズごとの情報を簡略化していた。そのため、SPRINTARS で計算されている異なる 6 サイズのダストと異なる 4 サイズの海塩を mstrnX でも扱えるように改良を行った。それによって、エアロゾルの光学的厚さと単一散乱アルベドは、SPRINTARS と mstrnX で一致するようになった。しかしながら、mstrnX の放射計算で扱う粒子種の増加により、モデルの計算時間はこれまでのモデルと比較して、1.25 倍になった。

改良した MIROC モデルを用いて、2007 年から 2009 年の 3 年間のシミュレーションを行った。また、CALIPSO の観測データを用いて、エアロゾルの放射強制力の計算も行い、SWDARF の比較も行った。MIROC のエアロゾルの光学的厚さは、CALIPSO 衛星や衛星センサ MODIS と比較して、全球的に過小評価であった。モデルのエアロゾルの単一散乱アルベドは観測と比較して大きいので、モデルのエアロゾルの吸収特性は弱いのだが、海上のエアロゾルの光学的厚さが小さいことにより、全球平均の SWDARF は観測より小さい負値であった。

大気海洋結合モデル MIROC の最新版である MIROC5 に、これまで開発を行ってきた局所アンサンブル変換カルマンフィルター（Local Ensemble Transform Kalman Filter: LETKF）を用いたエアロゾル同化システムの実装を行った。このエアロゾル同化システムを用いて、衛星センサ MODIS や地上のサンフォトメータで観測されるエアロゾルの光学的厚さを同化に用いた 1 年間のデータ同化実験を行った。データ同化行わない標準実験では、アジア・ヨーロッパなどの発生源付近で光学的厚さが過大評価傾向であり、太平洋上では過小評価となっていた。データ同化実験の結果では、陸上での光学的厚さの過大評価が改善された。一方、光学的厚さが過小評価であった太平洋上や北アメリカでは標準実験と比較すると改善しているが、依然として観測より過小評価であった。この原因は、海上ではエアロゾルの光学的厚さが小さいため、観測値の誤差は相対的に大きくなり、データ同化の際に観測データが取り込まれていないことによるものと考えられる。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況（2014 年 4 月 1 日～2015 年 3 月 31 日、SX-9/A(ECO)）

実行ユーザ数: 6

CPU 時間 v_deb: 237.35 hours, v_cpu: 739.90 hours, v_8cpu: 7,317.54 hours, v_16cpu: 8,918.19 hours, 計: 17,212.98 hours