

Modulation of Internally Generated Radiative Feedbacks and its Application for Global Warming Evaluation

土田, 耕

<https://hdl.handle.net/2324/7182308>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (理学) , 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (2)



氏 名	土田 耕			
論 文 名	Modulation of Internally Generated Radiative Feedbacks and its Application for Global Warming Evaluation (気候系内部変動が引き起こす放射フィードバック強度の変調と温暖化予測における不確実性評価への応用)			
論文調査委員	主 査	九州大学	准教授	望月 崇
	副 査	九州大学	教授	川村 隆一
	副 査	九州大学	教授	時長 宏樹

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

人為起源二酸化炭素濃度の増大による将来の地上気温上昇の精緻な見積もりは、地球温暖化や気候変動にまつわる社会経済的な課題に取り組む上での基盤情報である。結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP) と呼ばれる国際的な枠組みでは、二酸化炭素をはじめとした温室効果ガス濃度変化をもたらすいくつかの社会変化シナリオが用意され、そのシナリオに基づく数値シミュレーションから将来の地上気温上昇が推定される。もっとも、世界の研究機関がそれぞれに開発してきた気候モデルによって推定される地上気温上昇は、依然として小さくないばらつきがあり、その不確実性の低減は喫緊の課題である。温室効果ガス濃度の増大による地表面温度の上昇は放射強制に対する気候システムの応答として捉えられるが、地表面温度の変化やそれに伴う大気・海洋・陸面の様々な物理状態の変化そのものも放射収支に変化を引き起こすことから、地球温暖化の進行には複雑なフィードバックメカニズムがはたらく。地表面温度上昇の見積もりに不確実性を生む主要因のひとつはこのような放射フィードバックの存在であり、フィードバック強度の精緻な見積もりやプロセスの理解は予測不確実性の低減の観点から地球温暖化研究の根幹をなす課題である。一般的に、社会経済シナリオに起因する不確実性を排して放射フィードバック強度そのものに焦点をおいた研究では、大気中の二酸化炭素濃度を仮想的に倍増した気候応答シミュレーションに基づき、気候システムが非平衡状態をもちながらゆっくりと応答する時間進行のもとで、地表面温度の上昇傾向と大気上端での放射収支の変化傾向から放射フィードバック強度を統計的に見積もる。本研究者は、気候システムに内在する変動にまつわる地表面温度変動と放射収支変動というオリジナルな視点から放射フィードバック強度を見積もった。そして、第 6 期結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP6) に含まれる多種多様かつ膨大な量の気候シミュレーションデータを用いて、とりわけ放射フィードバック強度の中長期変動や気候モデルごとの差異に着目したデータ解析研究をおこない、放射フィードバック強度の不確実性を特徴づける主要な物理プロセスを明らかにした。さらに、これらの解析結果に基づき、地球温暖化による地上気温上昇の不確実性低減につながる潜在的アプローチを提示した。

放射フィードバック強度は従来の多くの議論では気候モデルの特性としていわば定数として扱われてきたが、まず本研究者は、それが背景となる気候状態に依存することで不確実性を生じる、つまり中長期的な気候変動のもとで放射フィードバック強度が変動することを実証した。CMIP6 のなかで、外部強制を一定にした産業革命前の基準シミュレーション (piControl シミュレーション)

データの統計解析を行い、十年から数十年スケールでみられる赤道太平洋の東西水温コントラストの中長期変動が、エルニーニョ現象に付随する大気応答とりわけ局所的な子午面循環強度に変調を与え、結果として放射フィードバック強度を中長期に変調させる主要因になることを明らかにした。局所的な子午面循環の強化は、赤道域の対流活動の活発化とともに亜熱帯域に下層雲量の増加をもたらすため、地球全体としては負の放射フィードバック効果が強化されることを示した。

次に、放射フィードバック強度が気候モデルごとに異なることによる不確実性に注目して、CMIP6 の piControl シミュレーションデータの比較解析をさらに進めた。それぞれの気候モデルから算出される放射フィードバック強度の強弱は、地表面温度変化に対する大気上端の放射収支変化の time lag（タイムラグ）の大きさとよく対応することを見出した。また、タイムラグの大きさに基づいて気候モデル群を三つのグループに分類することにより、タイムラグにばらつきを生む主要因が気候システム応答に重要な役割を果たす赤道太平洋上での対流活動強度や下層雲感度の違いであることを突き止め、それゆえ三つのグループでは平均的なフィードバック強度にも違いがみられることを示した。さらに、CMIP6 のなかで、近年に観測された海面水温時系列データに基づく大気モデルシミュレーション（historical AMIP シミュレーション）データもあわせて解析することにより、対流活動強度や下層雲感度は背景となる大気の安定度に大きく依存することから、気候モデルの大気部分のモデル特性として捉えられると結論づけた。

このような中長期変動やモデル間のばらつきは、いずれも気候システムに内在する変動に付随する地表面温度変動と放射収支変動に着目して算出された、いわば内部変動に基づく放射フィードバック強度の特徴である。一方で、将来の地球温暖化傾向に対して直接的に寄与するものとしては、長期的な昇温傾向と放射収支の変化傾向から算出される、いわば外部強制に基づく放射フィードバック強度が議論されることが多い。このギャップを解消するため、本研究者は、CMIP6 のなかで二酸化炭素濃度を 4 倍にした気候モデルシミュレーションから外部強制に基づく放射フィードバック強度を算出して解析することにより、気候モデルごとの不確実性、および付随する地表面温度変化や放射収支変化の空間構造やその主要プロセスの点において、内部変動に基づくフィードバック強度との強い共通性を示した。多数の気候モデル群に対して上記の三つのグループ分けを適用すれば、とりわけ大気安定度が弱く対流活動が活発で下層雲感度が小さなモデル特性をもつグループにおいて、その共通性は明瞭であった。したがって、地表面温度変動と放射収支変動から算出される内部変動に基づく放射フィードバック強度を観測データから見積もって気候モデルグループを評価することによって、気候モデルから算出される外部強制に基づくフィードバック強度のばらつきに制約を与えられることが期待できる。実際に、近年の人工衛星観測データを用いた試算を行い、相対的に大気安定度が弱い気候モデルグループの妥当性が特に高く評価され、気候モデルごとのばらつきに起因する放射フィードバック強度について、より小さな不確実性の幅を提示した。

以上の結果、本研究者は、気候システムに内在する変動にまつわる地表面温度変動と放射収支変動という視点から、膨大な気候モデルシミュレーションデータの巧みな統計解析を行い、放射フィードバック強度における不確実性やそれを特徴づける主要な物理プロセスを明らかにした。地球温暖化研究の中心的課題に果敢に挑み、地表面温度上昇の不確実性の主要因となる気候モデル特性やその物理プロセスに新たな知見を加えたのみならず、近年の衛星観測データとの対応から不確実性低減の潜在的の可能性を提示したことは、地球温暖化予測の精緻化に貢献する成果として非常に高く評価できる。よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。