

論文審査の結果の要旨

氏名 向井 真木子

本研究の目的は、人間活動によって増加する人為起原大気物質である温室効果ガスと大気汚染エアロゾルが引き起こす放射強制力と雲量・降雨量変化を、観測データと数値大循環モデルを使って評価することである。特に、急速な経済成長によって人為起原物質の排出が増加している東アジア(特に中国)について詳細な調査を行う。この領域では長期的な雲量減少が起っている一方、日射量や日照時間が減少すると言う一見、矛盾した現象が起っており、これらの現象の理解のためには、気候変動の駆動力となる人為起原物質が作り出す放射強制力の評価が重要な研究課題である。

このような研究には、エアロゾルの影響を組み込んだ大気海洋結合モデルが必要であるが、本研究では気候システム研究センターの大気大循環モデルとエアロゾル輸送放射モデルを結合した気候モデルシステムが利用されている。結合すべき海洋については、膨大な計算時間を節約するために簡略化した海洋混合層を仮定した。ただし、この海洋混合層モデルが現実気候を再現するように大気海洋間でエネルギーフラックス調整スキームを取り入れた。本研究の特徴のもうひとつは、モデル計算結果と比較するために、様々な長期観測データを収集・利用したことである。そのために本研究では、さまざまな観測データをモデル場から計算するスキームも整備した。利用したデータは、中国気象局提供の長期日射量データ(1957年以降)、各国気象機関からの日照時間データと目視雲量データ(1982年以降)、ISCCP衛星雲量データ(1983年以降)、MODIS衛星によるエアロゾルの光学的厚さデータ(2000年以降)である。

第1章と第2章では、長期データの解析から、中国域での日射量の長期減少傾向を確認した。さらに、このような日射量の減少がエアロゾルの発生の多い東中国域の都市や夏季に大きいことを定量的に確認した。

第3章では、人為起原の温室効果ガスとエアロゾルのそれぞれ、あるいは両方について、産業革命前と現在における値を与えた平衡感度実験を気候モデルで行うことによって、これらの人為起原物質が引き起こす直接効果と間接効果を調べた。その結果、燃料燃焼起源エアロゾル増加の顕著な東中国域では観測データが示す日射量減少が再現され、エアロゾルが直接、太陽放射を散乱・吸収して地表

面日射量が減少する直接効果が大きいことがわかった。雲量変化の効果は小さい。

一方、人為起原物質が間接的に雲場を変化させる間接効果には様々なものがあり、その大きさの評価は難しい。良く知られているものとして、エアロゾルは雲核となって雲場を間接的に変化させる第一種、第二種間接効果がある。しかし、モデル結果を詳細に解析した結果、主に低層雲に働く第一種、第二種間接効果だけでは説明できない大きな間接効果がみられることを本研究で新たに発見することができた。さらに、人為起原物質の有無による放射収支と海面温度の変化を詳細に解析した結果、このような新たな間接効果は、エアロゾルの直接効果が引き起こす海面水温変化や大気安定度の変化が間接的な大気大循環を生み出した結果、起ることが明らかになった。ここで重要な点は、このような間接循環は半球規模で起っており、東アジア域の大気汚染エアロゾルの影響は熱帯太平洋にまで及ぶことである。海面温度を固定した数値実験では、このような間接効果は生まれない。温室効果ガスが引き起こす温暖化による海面水温の上昇は、このエアロゾルの新しい間接効果と異なる雲量変化を引き起こす。その両者が気候システムに加わると、エアロゾル増加で低層の雲量増加が、温室効果ガス増加で中上層の雲量減少が起るために、東アジア域の雲量変化は非常に複雑であることがモデル実験から示唆された。

第4章では、このようなモデルシミュレーションによって得られた雲量変化を観測データが示す日射量と雲量の経年変化と比較した。その結果、日射量の長年変化の地域依存性と季節変化が、主にエアロゾルの直接効果によって説明できることがわかった。また、中国東部および北部における全雲量減少が観測の方がモデル結果よりも大きいものの、モデル再現実験の傾向と整合的であることがわかった。モデル結果は、このような全雲量の減少は、温室効果ガスによる温暖化の効果がエアロゾルの間接効果による雲量増加を上回って起ると説明される。

結論として、中国域ではエアロゾル増加を主要因とする日射量減少と、温室効果ガス増加を主要因とする雲量減少が同時に起こることが確認された。それに伴って、特に夏季の降水量も長期的に変化することも示唆された。このような新しい知見は、地球温暖化現象と全球規模の大気汚染が引き起こす気候変化を理解する上で重要な知見であり、博士論文に値すると考えられる。よって、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。