

## 審査の結果の要旨

氏名 苏德苏日古格

本論文は、リモートセンシングと生物・地球物理学的モデルを用いた永久凍土地帯からのメタン発生量の推定に関する学術論文である。メタンは、地球温暖化ガスの中で放射強制力が強く、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)などで指摘されているように、その増加が懸念されている。メタンの発生源は、大きく人為発生源と自然発生源に区分されるが、とりわけ、世界最大の湿地帯であるシベリア湿地は、アジア地域に広く分布する水田と並んで、一大発生源と考えられている。その多くが永久凍土地帯に属するため、凍土の融解・凍結過程の把握とメタン発生量の推定が急務である。従来は、現地赶赴、様々な種類の湿地においてメタンを定点観測することが主な計測手法であったが、計測機器の非均一性、費用、手間、踏査地点の限界など、湿地からのメタン発生量の全容を把握するには十分ではなかった。湿地は広域に分布し、時空間的な動態は非均一性が高いため、これを定量的に継続的に把握する手法の開発が長らく待ち望まれていた。本研究では、衛星観測マイクロ波放射計 AMSR-E を用いて、積雪分布、冠水分布図を作成する手法を新たに開発するとともに、2003年から2010年までの8年間のデータセットを作成し、凍土の融解凍結のサイクルを10kmの高解像度で、日単位で推定することに成功した。その結果、年々融雪期が早まり、凍結期が遅くなる現象が統計的に優位に計測され、8年間で冬の積雪は2%減少し、下記の冠水は3%増加したことが確認された。これにより、温暖化によって夏季の凍土の融解が進行し、メタン発生量が増加する傾向にあることが示唆された。次に、米国の気象衛星 MODIS から撮影された可視・近赤外・熱赤外面像を用いて、湿地帯の植生の活性度、地表面温度を計測した月単位のデータセットを1kmの高解像度で準備した。先の計測結果から、湿地の融解と凍結時期が日単位で推定されたが、MODIS から計測された地表面温度からも、凍土の融解と凍結に関して時空間的に整合性の高い計測結果が得られた。また、冠水直後に植生の活性度が増加し、凍結までその活性をほぼ一定に維持することが確認された。凍土が融解して冠水すると、湿地の地下部は嫌気的な条件にさらされ、メタン発生菌の活動によって生成されたメタンの多くは、地衣類などの地表の植生によって地下部から大気に輸送されるという、従来指摘

されてきたメカニズムと同じ現象が確認された。そこで、衛星から得られた植生指数と地表面温度とを用いた、現地でのフラックス測定結果との回帰分析を行い、広域に適用可能なメタン発生量推定モデルを作成した。メタンの日変動は局所的な変動が大きいものの、十分精度の高いメタン発生モデルを推定することに成功した。これを、領域全体に外挿することにより、広域からのメタン発生量を推定した。2003年から2012年の解析結果では、夏季に相当する5-9月のメタン発生量に大きな差はみられなかったが、10年間にわたって、特に4月の融雪期、10月の積雪期において、冠水分布とメタン発生量が大きく増加していることが確認された。最後に、大気中のメタンの高濃度域を欧州の衛星であるSCIAMACHYデータセットを用いて評価した。大気中の鉛直平均値であるSCIAMACHYのメタン濃度には、パイプライン、埋め立て地、水田など湿地以外の発生源からのメタンも含まれており、地表面からの推定は大気の循環による移送を考慮していないため、直接的な比較は難しいものの、メタン高濃度域の時空間特性は、地表面からのメタン発生量と同様に夏季で高くなることが確認された。一方で、メタン発生モデルの空間的な拡張性については、更なる検討が必要である。メタンの発生量は、植生の活性度と地表面温度のみならず、植生の種類、気候区分、土壌の条件など、複合的な要素を有しており、これらを高精度にパラメタ化してモデルに組み込むことが必須である。このためには、地表面からのメタン発生量計測データを定点観測する地域を拡充するとともに、継続的に活動が行われていくことが不可欠であると考えられる。また、大気の輸送を考慮した全球モデルとの連携も重要と考えられる。陸域衛星観測と現地の定点観測とを結合することにより、特にアジアからの水田に本手法と同様の手法を適用して、発生源を順的に推定する取り組みへと直ちに拡張することが期待される。世界的にデータベースとして公開されている、利用可能な地表面からのメタン発生量計測データが驚くほど少ない中、衛星計測から得られる植生、積雪、冠水情報を効果的に組み合わせ、従来の手法に比べて広域にメタン発生量推定が可能になる点で、本研究で提示する手法は優位性が認められる。また、植生、積雪、冠水情報を収集する、中長期的な衛星観測計画に組み込むことのできる一連の手法とデータセットを開発した点で工学的な有用性も高く評価することができる。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。