

審査の結果の要旨

氏名 包慧漪
ハオ ヒュイ

凍土は、凍上過程での構造物の損壊につながる力学的影響に加え、凍結層が非浸透面を形成し、融解層に含まれる土壌水分量に依存した地表面熱収支、浸透、河川流出など水文過程に与える影響、また温暖化に伴う凍結、融解層圧の変化やそれに伴う温室効果ガスの放出による気候の変化に与える影響など、地球規模の環境要素の中で重要な役割を担っている。しかし、その観測とモデル化が困難なことから、広域のモニタリング体制や中長期の予測システムの開発が遅れている。本研究は、これらの問題点を踏まえ、第一に永久凍土の凍結・融解過程の物理的なモデルを構築し、第二に衛星を用いたモデルの初期条件の推定手法を開発している。

まずモデル化の構築においては、地表面熱収支と水の鉛直浸透、斜面方向の表面流出、地中流出、地下水流出を表現できる陸面モデル (Hydro-SiB) に、熱拡散方程式を結合し、土壌水分に加え地中温度のプロファイルを算定している。さらに地温 0℃において液体である水と固体である氷の相変化の関係を連続的に表現できるようにエントロピーを導入して、地温と土壌水分、含水率を求めている。さらにこの相変化と地表面での水収支を考慮して、Richards の方程式を用いて土壌水分プロファイルの推定を行っている。また、土壌水分と含水率の鉛直分布の初期値を推定するために、1 年分の大気強制力の観測データを 20 回繰り返して与えることによって、観測された融解深と一致する場合の凍結前の初期値として用いている。そのうえで、本モデルをチベット高原北部の山岳地帯の 4000m を超える観測地点に適用し、地温および土壌水分の鉛直分布と融解深の季節変化が適切に表現できることを確認している。

次にマイクロ波帯では、乾燥した土壌粒子と氷粒子の体積散乱による消散効果と射出効果と、地表面での表面散乱効果、また土壌水分による吸収、放射、さらに地表面での表面散乱効果が顕著に表れる。そこでこれらのプロセスを考慮し、前節で開発した凍土過程を含んだ陸面スキームと連動して、地表面でのマイクロ波放射輝度温度を計算できる多層のマイクロ波放射伝達モデルを開発している。一方、衛星観測によって得られる各周波数 (6.9、10.7、18.7、36.5、89GHz) と各偏波 (水平、垂直) の輝度温度値の季節変化特性を解析して、凍結、融解のプロセスとマイクロ波輝度温度ん変化過程の考え方を整理している。そこで、マイクロ波放射伝達モデルに、凍土過程を含んだ陸面スキームから得られる地温、土壌水分量、含水率を入力して得られる地表面での輝度温度特性が、衛星観測値と位置していることを確認している。

さらに、この凍土過程を含んだ陸面スキームとマイクロ波放射伝達モデルの結合モデルに、凍結開始前の土壌水分の鉛直プロファイルのパターンを複数仮定して、一冬分の各周波数、各偏波でのマイクロ波放射輝度温度を計算して、その計算値と衛星による観

測値の誤差が最小となる凍結前の土壤水分鉛直プロファイルを選択すると、それが観測値に近いプロファイルと一致していることを確認している。これは、融解状態から凍結深が増加する過程に応じて、より高い周波数の電磁波も地中深くの情報を取得可能となる時間変化特性を利用した初期値の最適推定手法であり、地上観測データのないところでの初期値の推定アルゴリズムとして有用であり、凍土のグローバルモニタリングの基礎をつくる有用な成果と評価できる。

以上の通り、本研究は、寒冷地域の構造部管理、水文過程、気候変動への影響評価において重要な役割を担う凍土のモニタリングと予測において不可欠な、永久凍土の凍結・融解過程の物理的なモデルと、衛星を用いたモデルの初期条件の推定手法を開発したものである。本研究成果は、気候の変化と陸面の応答の相互作用を考慮した将来の水、環境管理計画に資するところが大きく、科学的、社会的有用性に富む独創的な研究成果と評価できる。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。