

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	かた た げん き 堅 田 元 喜
学 位 (専 攻 分 野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	論 理 博 第 号
学 位 授 与 の 日 付	平 成 23 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
(学 位 論 文 題 目) 乾燥・半乾燥地域における大気－陸面相互作用に関する 数値的研究	
論 文 調 査 委 員	(主 査) 石 川 裕 彦 教 授 里 村 雄 彦 教 授 余 田 成 男 教 授

京都大学	博士（理 学）	氏名	堅田 元喜
論文題目	乾燥・半乾燥地域における大気－陸面相互作用に関する数値的研究		
(論文内容の要旨)			
乾燥・半乾燥地域の水循環においては、大気と陸面(植生を含む)間での水分のやりとりの僅かな差で水収支が決定され、これが砂漠化の進行を左右する。これまで存在する陸面過程モデルは、このような乾燥地環境での大気－陸面間の水収支を十分には表現できていない。そこで、新たに2つの要素（土壌内部での蒸発と吸着、植生の葉による霧水捕集）を加えた陸面過程モデルを作成し、これを用いて乾燥・半乾燥地域の大気－陸面相互作用を数値的に調べた。 土壌からの蒸発に関しては、van der Waals 力により個々の土壌粒子表面に吸着する水分を考慮するモデルを新たに考案した。このモデルは、従来のモデルでは不可能であった乾燥した地表面上で観測される僅かな潜熱フラックスの変動を表現するもので、土壌空隙を円筒群の集合で近似して土壌粒子表面に吸着している水分の土壌空隙中への蒸発、土壌空隙内部の水蒸気の拡散、夜間の土壌粒子への水蒸気の吸着などの素過程を表現できる。これを組み込んだ大気－土壌－植生モデルをイスラエルの砂漠地帯に適用し、実際に観測された顕熱・潜熱フラックス、さらに乾燥土壌層(Dry Soil Layer: DSL)内部の永久しおれ点を下回る土壌水分量の日変化を再現し、その結果として土壌温度の日較差を他の地表面モデルに比べて良好に予測できることがわかった。このモデルを用いて土壌の乾燥過程を模擬した数値実験を行い、土壌の乾燥が進んでDSL が形成されると、土壌中の蒸発と吸着が大気－地表面間の支配的な水交換過程になること、これらの相変化に伴う潜熱が、地表面での熱交換過程に重要な影響を与えることを数値的に示した。 植生への霧水沈着に関する研究では、重力落下で葉面に沈着する量や葉を横切る流れの中で慣性により葉に衝突して捕集される量を、霧水粒子の粒径分布を考慮して算出する霧水沈着モデルを作成し、植生層を多層で表現する大気－土壌－植生モデルにこれを組み込んだモデル体系を構築した。これを用いることにより、森林への霧水沈着量やこれと連動する潜熱・顕熱フラックスの観測値の時間変化を再現できることを示した。次に、このモデルを用いて、葉の形状（広葉樹、針葉樹）や大きさ、葉面積密度（LAD、葉面積指数を樹高で除した値）を変化させたときの森林への霧水沈着量を計算した。この結果を整理して、既存研究で示されている植生種に依存する係数と風速との積で沈着速度を表現する線型関係がモデルで再現されることを示した。さらに、この式で用いる係数が、葉の形状や大きさ、森林構造によらず、適度に密な森林（LAD～0.1 m² m⁻³）で最大となり、このような森林が霧水を最も効率よく捕集することを数値的に示した。また、この係数をLADの関数として定式化し、少ないデータで様々な森林の霧水沈着量を予測する「簡易予測式」を得た。 さらに、これらの改良を反映した大気陸面モデルとメソ気象数値モデルをサウジアラビアの紅海に面する半乾燥地域の森林に適用し、霧水沈着量を評価した。葉に沈着した霧水は、流出せずに徐々に土壌中に浸透し乾燥時の有効な水資源となること、潜熱フラックスが増加し植物の温度を下げること、などを数値的に示した。			

(論文審査の結果の要旨)

大気数値モデルは、日々の天気予報や気候の将来予測など多方面で用いられるようになってきた。大気力学に基づく力学計算の部分は、そのスーパー・コンピュータへの適用技術と共に、近年大きく発展してきた。一方で、力学計算の境界条件となる地表面や海面での物理過程のモデル化に関しては、その複雑さ多様さにより、未だに十分とは言えない。これら境界面は大気系へのエネルギー入力を決定するため境界モデルの精緻化は大気数値モデルの精度向上に必須である。

申請者の研究は、乾燥・半乾燥地における微妙なエネルギー・水収支を表現するために、地表面モデルの精度向上を目指して、新たに2つの素過程を加えた多層大気－植生－土壌モデルを作成し、これを検証・応用したものである。まず、土壌からの蒸発に関して、一見乾燥しているように見える土壌層において、van der Waals 力により微細な土壌粒子の表面に吸着している僅かな水分の存在に着目した。そして、土壌吸着水と土壌空隙中水蒸気との間の蒸発と吸着、拡散による土壌空隙中での水蒸気の移動を表現する数理モデルを新しく開発した。このモデルを用いて、これまでの陸面過程モデルでは表現できなかった非常に乾燥した地表面上で観測される潜熱フラックスとその日変化を再現し、そのメカニズムを説明することに初めて成功した。

もう一つの素過程は、海岸沿いや山岳の乾燥地で相対的に重要となる植生への霧水沈着過程である。申請者は、乾燥した地域では樹木による霧水捕集が重要な水資源となりうることに着目し、この効果を大気－植生－土壌モデルに組み込むことを試みた。重力落下で葉面に沈着する霧水量や葉を横切る流れの中で慣性により葉に衝突して沈着する過程を、霧水粒子の粒径分布を考慮してモデル化し、植生への霧水沈着量を計算する新しい陸面過程モデルを完成させた。観測データとの比較によりモデル検証を行った後、これを用いて、葉の種類や葉面積密度 (LAD)、樹高が異なる植生に対する霧水沈着の違いを数値的に調べた。そして、これまで観測された風速と霧水沈着速度との間の線形関係をモデルが再現することを確認すると共に、樹種や樹高を問わずLADが0.1前後の場合に沈着速度が最大となることを示した。霧水沈着モデルに含まれる個々の素過程は既存の研究成果を踏襲したものであるが、これらを総合化し最新の大気－土壌－植生モデルに組み込むことで霧水沈着量を潜熱・顕熱フラックスなどと調和して算出することを可能としたこと、さらに計算結果に基づき簡易な線型モデルの妥当性を確認し、霧水沈着に最適なLADの存在を示し、LADを用いた沈着速度の近似式を新たに提示した点は評価できる。

さらに、申請者は上記の改良を加えた地表面モデルをメソ気象数値モデルと共に用いて、サウジアラビアの紅海に面する乾燥地域緑化計画の水循環評価に応用し、このモデルが、地球科学のみならず応用的な有用性も併せ持つものである事を示した。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年1月25日論文内容とそれに関連した事項について試問を行った。その結果、合格と認めた。

学識確認のための試問の結果

氏 名 堅田 元喜

(試問の科目・方法・判定)

(科 目) (方 法) (判 定) (備 考)

専 攻 学 術

大気圏物理学Ⅰ	口頭	合格
大気圏物理学Ⅱ	口頭	合格
応用気象学Ⅰ	口頭	合格
応用気象学Ⅱ	口頭	合格

外 国 語

英語	口頭	合格
----	----	----

(試問の結果の要旨)

上記のとおり、専攻学術および外国語の学力に関する試問の結果、本学大学院博士後期課程を修了した者と同等以上の学力を有することを確認した。

試問担当者氏名

氏 名 石川 裕彦

氏 名 里村 雄彦

氏 名 余田 成男

氏 名 向川 均

氏 名 林 泰一