

## 審査の結果の要旨

氏名 芳村 圭

人口増加や都市への集中、地球温暖化などの気候変動は洪水対策を含めた広い意味の水資源管理に大きな転換を強いており、頻発する洪水や渇水、地下水位の低下、水質の悪化、水をめぐる国家間、コミュニティ間の軋轢などの水問題が途上国を中心として世界中で問題となっている。水問題の解決は健康状態の改善、農業生産性の向上や教育の普及などを通じて貧困削減という国際的な大目標にも資するため、国際社会においても水問題への取り組みが重要視されている。統合的な水資源管理を支えるには、水循環の現状把握や将来予測が不可欠である。

本論文は、観測データと大気大循環モデルを統合した4次元同化データに基づいて推定された地球の様々な水循環過程の推定精度を、水の安定同位体(重水素と重酸素を含む水分子:  $\text{HDO} \cdot \text{H}_2^{18}\text{O}$ )を用いて明らかにしつつ、グローバルな水循環に関して、物質循環としての視点から、新たな研究分野を開拓したものである。さらには、水循環の将来予測に不可欠な陸面水文過程数値モデルに同位体プロセスを導入してその予測精度に関して量や水質だけではない検証を可能にし、葉の含水量の変動といったプロセスの数値モデル的表現についても考察できるようにしている。

第1章で研究の背景や目的が示された後、第2章では、これまで合理的な説明がされていなかった降水同位体比( $^{18}\text{O}$ )の日々変動に着目して、その変動要因の解明が行われている。このために、本論文では、降水量・蒸発量・可降水量・鉛直積算水蒸気フラックスからなる水蒸気循環場を外力としてグローバルな水蒸気輸送と混合過程を表現し、簡素なレイリー式によって相変化に伴う同位体分別を表現する、鉛直方向に積分された形式の全球水蒸気輸送モデルが開発された。4次元同化されたGAME(全球エネルギー水循環実験観測アジアモンスーン領域プロジェクト)再解析データを循環場とし、1998年4月から10月における全球の降水同位体比の時空間変動が推定された結果、タイの3地点において観測された降水同位体比の日々変動を的確に再現すること、また、グローバルな月単位の観測結果とも良く一致することが示されている。また、4次元同化データよりも精度が良いと期待される衛星観測などに基づく降水量データを用いた場合には再現性が大きく向上することも示されている。

第3章では、降水同位体対比の月単位と年単位の観測再現性が検討され、高精度をもたらす要因分析では、外力である気象4要素(降水・蒸発・可降水量・水蒸気フラックス)のうち、特に降水の精度の良し悪しが推定された降水同位体比変動の差異をもたらすが、その良し悪しの現れ方も地域によって異なり、高緯度地域での降水同位体比変動の再現は低緯度よりも困難であることが明らかにされている。

第4章では、植生からの蒸散や土壌からの蒸発、樹冠による遮断水が蒸発、積雪の昇華・融解等の過程における安定同位体の挙動を組み込んだ同位体陸面陸面モデルが構築されている。同位体の年間収支、土壌水分同位体比の季節進行及び鉛直分布、植生水同位体比の日変化、土壌蒸発・

蒸散・流出といったフラックス及び土壌水分・樹冠遮断・積雪といった貯留水のそれぞれの 18O - D 関係がいずれも現実的にシミュレートされていることが示されている。また、この同位体陸面モデルを組み込む 2 章に示された降水同位体比の推定値がより観測値に近づくことも示され、同位体陸面モデルに組み込まれた物理過程の妥当性も確認されている。

第 5 章では両半球の緯度 30° ~ 60° において、蒸発フラックスの同位体比変動が降水同位体比に大きく影響することが明らかにされた。また、低緯度では主に降水・水蒸気フラックスによる水蒸気輸送過程が同位体循環モデルでは評価されているが、中高緯度では水蒸気輸送過程に加えて地表面・水面過程も同位体で合わせて評価していることが明らかとなっている。

第 6 章では、大気中の水輸送の挙動を解明するために色水解析という手法が示されている。これによりモンスーンに特有な雨季と乾季で明瞭に異なる水蒸気の動きが視覚的に顕著に示され、また、インド洋を起源とする水蒸気の急激な増加を指標とすることにより、モンスーンの開始、減少に関する広域分布が推定されている。さらに、時間に対して水蒸気に属性を与えた「年齢 CMA」を実行した結果、低緯度の特定の場所で降水同位体比の日々変動と「降水の年齢」のそれが非常に一致した地域も抽出されている。最後の第 7 章には全体のまとめと結論が示されている。

これらの研究上の成果は、膨大で煩瑣な計算を必要とするとはいえ、基本的な物理法則を精度の良いデータにあてはめることによりこれまで誰もきちんと精度を検証しつつ示すことができなかったグローバルな水循環のラグランジェの様相を明らかにした画期的なものであり、水循環変動にともなう損失を最小に抑え、便益を最大とする総合的水資源管理実現に大きく資するものである。成果は国内外の学術雑誌に発表され、論文賞などの受賞を含む高い評価を得ているものである。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。