

## 審査の結果の要旨

氏名 吉田 奈津妃

気候システムにおける大気の下部境界条件として、海面水温と同様にその変動の主要な役割を担っていると考えられているのが大陸表面の土壌水分である。土壌水分とは地下水面よりも上の不飽和状態の地中の水を指し、その長期的な変動には地下水の挙動もまた大きく影響していると考えられている。

では、そうした土壌水分や地下水位のグローバルな分布は、気候条件や土地被覆、土壌の種類などによってどのように決まっているのであろうか。本論文はこうした問いに正面から向き合い、近年研究開発の著しい地下水も陽に考慮した陸面モデルによる数値シミュレーションによって明らかにしようとしたものである。

本論文の第1章では、こうした問題意識と既往の研究がまとめられている。

第2章では、土壌水分や地下水位がどのように決まっているのかを議論するにあたり、その気候学的平衡状態について独自の定義を行った。すなわち、一般に気候値を求める際に用いられる30年を一区切りとし、仮にそうした気候条件が無限に繰り返した際に土壌水分や地下水位が一定の値に収束した場合、これを気候学的平衡状態とみなすというものである。

こうした数値実験では、本論文の対象である土壌水分や地下水位以外に流出量や蒸発散量などの気候学的平衡値も求められることになり、グローバルな水文学の根本的な問いである、「地球上の水収支は、気候条件、植生などの土地被覆、土壌の種類などによっていかに決まっているのか」に対する基礎情報を提供すると共に、そうした数値実験に不可欠な土壌水分や地下水位などの初期値を的確に与えるという技術的な課題にも資すると期待される。

第3章では、試験的に行った数値実験結果と観測流量などとの比較検討に基づき、本論文で使用する陸面モデルに対していくつかの点で改良、調整が行われている。それらは、全層で飽和透水係数を一様とするのではなく、深くなるにしたがって指数関数的に小さな値となるようにする手法の導入、土壌の透水係数やマトリックポテンシャルと土壌水分量の関係を示す特性曲線のパラメタリゼーションにおける関数形の変更、地下水流出推計における標高と地下水位

との相対関係による制約の導入などである。

そうした調整を踏まえた上で 30 年の気候条件を 1000 年分以上繰り返し陸面モデルに与える数値シミュレーションによって気候学的平衡状態が求められ、観測された地下水位、土壌水分量、河川流量などに対して定量的な推計精度の検証が行われている。その結果、陸面モデルで推定された地下水位は観測に比べて浅い傾向はあるものの、降水と地下水位の関係はモデルと観測で同様の傾向を示していること、また算定された年間流出量および表層の土壌水分量は観測値とよく対応しており、気候学的平衡状態を議論するには妥当であることが示されている。

第 4 章では地下水位の気候学的平衡状態に初期値依存性があるかないかの数値実験が行われている。その結果、土壌が湿潤な状態から始めた場合と乾燥した状態から始めた場合で得られる地下水位の平衡状態が異なる地域とそうでない地域が検出された。湿潤な地域では土壌水分量の初期状態による地下水位の気候学的平衡状態への影響はほとんど生じないが、乾燥域や凍土域では初期の土壌水分や地下水位の影響が長い期間を経た後にも残り、求められる気候学的平衡状態に影響している可能性が指摘されている。さらに、凍土域においては、季節的な融解凍結との関係により、地下水位の初期状態や計算開始季節によっても平衡状態が異なる地域が見いだされている。これらの知見は、乾燥域や凍土域では土壌水分や地下水位の気候学的平衡状態が一意には決まらないということを示唆するが、逆に、過去の気候条件のヒステリシス情報が現在観測される土壌水分や地下水位に含まれている可能性を意味している点で興味深い。

第 5 章では土壌水分や地下水位が気候学的平衡状態に収束するまでの時間スケールについて議論され、収束するまでの平衡時間、すなわち気候学的平衡時間が湿潤域では短く、乾燥域では長い傾向が確かめられている。人間活動に起因する地球温暖化に伴う気候変動に対して、そうした気候学的平衡時間が短い地域では、気候変動に対して土壌水分や地下水位が敏感に反応し、結果として影響を受けやすいことが推察されている。

第 6 章では、地下水位や土壌水分の気候学的平衡状態が土地被覆や土壌種類ごとに気候条件とどのような関係を持つかが網羅的に調べられている。気候条件としては、いずれも年単位の降水量、蒸発散量、降水量と蒸発散量の比、降水量と蒸発散量の差、ブディオの乾燥度指数が用いられている。

分析の結果、根圏の土壌水分量については土地被覆が森林か草原かによって大別されることが示された。またすべての組み合わせではないが、土壌水分量と気候条件との間に良い一対一の対応関係が見いだされている。

さらに、地下水位と気候条件との間には、地下水位が 10m より浅い場合では正味放射量が増えるにつれて蒸発散量も増え、地下水位は深くなる傾向が見い

だされている。

第7章ではこれらの知見をまとめ、今後の研究課題が議論されている。

このように、本論文は水文学の主要課題であるグローバルな水収支の平衡状態を新たに提案する数値シミュレーションの枠組みによって求め、土地被覆や土壌種類ごとに降水量や乾燥度指数などとの間に良い対応関係が見いだせることを示すと共に、その過程で地下水過程を表現した陸面モデルの改良にも貢献するなど、水文・水資源工学分野の学術の発展に資するものである。

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。