

論文審査の結果の要旨

氏名 風間卓仁

本論文は7章からなる。第1章では、まず、火山内部のマグマ移動プロセスを詳細に理解するためには、高精度な重力連続観測によってマグマの時空間分布を「直接」捉える必要があることを述べ、そのためには、降水に伴う地下水流動起源のノイズ（地下水擾乱）を除去する必要があるが、これまでの経験的な補正方法や既知の地下水分布モデルに基づいて補正する方法は不十分であり、一般性のある地下水物理学に基づく地下水流動数値モデリングによって「地下水擾乱」を求めることの必要性を強調している。

第2章では、不飽和領域と水平な不透水層を下面にもつ飽和領域からなる均質地下水構造モデルを設定し、地表からの蒸発散、地下水流動とそれに伴う重力擾乱を定式化し、数値モデリングのためのプログラム作成、必要となる様々な土壌パラメータの整理、計算領域・境界条件・初期条件の設定を行っている。

次に、構築した手法の有効性を検証するために、地下水構造の複雑さの異なる3地域における重力擾乱モデリングを行っている。第3章では、重力観測点周辺に起伏が少ない平野地域である胆沢扇状地に適用し、土壌パラメータ実測値を用いることにより、計算された地下水分布は実測した土壌水分変化とほぼ一致し、超伝導重力計による重力観測データを $1 \mu\text{gal}$ の精度で再現できた。

第4章では、起伏に富んでいる火山地域である浅間火山に適用し、地下水分布の定常解と地表付近の土壌水分変化については、実際の地下水分布と良く一致した。一方、大雨後の水位変化と重力値の長期的な減少を十分には再現できなかったが、飽和領域下面不透水層の傾斜に伴う補正項を加えることで、実測された水位変化を説明し、絶対重力計による観測データを $3 \mu\text{gal}$ の精度で再現できることを示した。今後の課題として、不透水層上面の形状を適切に設定すること、冬期から春期にかけての含水率変化を精度よく再現するために、降水-積雪-地下水の相互作用を考慮することを挙げている。

第5章では、淡水-海水相互作用を考慮する必要がある島嶼火山地域への適用例として、桜島火山における地下水重力擾乱をモデリングした。第4章までの事例に加えて、周囲を海に囲まれた桜島火山地下の「淡水レンズ」構造と地下水位の潮汐応答を評価した。得られた地下水分布の定常解と土壌水分変化は観測データとほぼ一致した。また、絶対重力観測の精度や地下水擾乱モデリングの精度よりも有意に大きい、 $10 \mu\text{gal}$ に及ぶ重力変化を捉えることができた。

第6章では、浅間火山と桜島火山で観測した絶対重力データに地下水擾乱補正を施し、火山活動に伴う微小な重力変化を推定している。さらに、この重力変化から火道内のマグマ頭位変化を推定し、マグマ頭位が噴火活発期に上昇、

静穏期に下降しており，地震，地殻変動，火山ガスや火山灰の放出など他の観測データの変化を統一的に解釈できることを明らかにしている．

以上に見られるように，本論文は，高精度重力観測によってマグマ移動を捉える上で長年の課題であった地下水起源の重力擾乱を補正するために，地下水物理学に基づき地下水流動理論を定式化し，観測点近傍で実測した土壌パラメータを用いることにより，これまでより一般性の高い定量的な数値モデリング手法を初めて提出したものである．本論文の地下水重力擾乱補正は，降水の有無にかかわらず火山活動起源の重力変化を捉え，火山内部のマグマ移動を把握することを可能にしたと言える．本論文の地下水擾乱補正手法を重力観測データにリアルタイムで適用すれば，火山内部のマグマ移動を直接監視することができ，火山活動予測にとっても大変有益である．

なお，本論文第2章と第4章の一部は，大久保修平との共同研究であるが，論文提出者が主体となってモデリングおよび解析を行なったもので，論文提出者の寄与が十分であると判断する．

したがって，博士（理学）の学位を授与できると認める．