

氏 名	きた がわ ゆう いち 北 川 有 一
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2046 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学位論文題目	A study of a mechanism of coseismic groundwater changes — Interpretation by a groundwater model composed of multiple aquifers with different strain responses — (コサイスマミックな地下水変化のメカニズムの研究 —異なる歪レスポンス特性を持つ複数の帯水層から成る地下水モデル を用いた解釈—) (主査)
論文調査委員	教 授 島 田 充 彦 教 授 奥 西 一 夫 教 授 尾 池 和 夫

論 文 内 容 の 要 旨

地震に関連して、地下水の挙動に異常が見られることは多く報告されている。それを明らかにするためには、地震に伴う地下水の挙動のメカニズムを知る必要がある。地下水の挙動のメカニズムに関しては、すでいくつかの理論やモデルが提唱されている。その内、定量的に議論が行われている研究の多くは、多孔質弾性体の変形とそれに伴う間隙水圧変化の理論に従って、観測値の説明を試みている。その際には、地下水システムとして1層の帯水層モデルが用いられている。1層モデルで観測値をうまく説明できる場合もあるが、そうでない場合も多く存在する。そこで、申請者は、複数の帯水層からなる地下水システムの挙動の研究のために、少なくとも3つの帯水層から水が供給されている鳥取県湯谷温泉の自噴井での観測から地震時の地下水変化のメカニズムを定量的に考察した。

申請者達は、湯谷温泉の観測ボアホール内部の水温の深さ分布の測定から、地下水システムは深さ18mのやや高温の第1層、深さ25mの低温の第2層および深さ25.4m以深の高温の第3層からなることを明らかにした。このボアホールにおいて、湧水量と水温変化を長期連続観測し、それらの潮汐、気圧および地震による変化を検出した。観測システムの改善や整備、また観測項目の追加がなされ、以下の定量的な解析に用いられた観測量は、地表での湧水量および深さ2.1mと24.0mでの水温である。その特徴は以下の通りである。潮汐に関しては、体積歪が減少すなわち圧縮時に、湧水量は増加し、水温は低下する。気圧に関しては、気圧の増加時に、湧水量は減少するが、水温に対しては時期や周波数によって影響の表われ方が異なっている。地震に関しては、湧水量はコサイスマミックに増加した後、徐々に減少する変化を示し、水温は地震直後から1週間程かかって大きく上昇する変化を示す。なお、地震時の変化は、客観的な基準を設けることにより地震時以外のものと識別された。

申請者は、上記観測データを用いて、3層の帯水層がそれぞれ異なる歪レスポンス特性を持つ地下水モデルを考え、観測された地震による湧水量と水温変化の考察を行った。モデルに従って計算する際には、各帯水層の水温は不確定要素であるため、観測値から各帯水層の水温に拘束条件を与え、その範囲内の水温の組み合わせに対して、各帯水層からの湧水量の推定が行われた。ここで、湧水量の変化に伴って地下水が地表に達するまでの放熱量の変化による水温変化を考慮する必要がある。しかし、その見積りの結果、それは以後の計算では無視できる程度に小さいことが確認された。

まず、湧水量の潮汐成分と潮汐体積歪の理論値との比較から、各帯水層の歪変化に対する湧水量変化の応答係数が推定された。次に、クロススペクトルによる方法で、各帯水層の湧水量の気圧レスポンスが求められた。気圧レスポンスの理論曲線との比較から、各帯水層の水の拡散係数などの物理パラメータが推定された。これらのパラメータを用いることによって、

帯水層の地震による体積歪変化に対する湧水量レスポンスの計算が行われた。その際、地震発生時にはステップ状の体積歪変化が生じ、かつ3層ともに向き大きさの体積歪変化が加わると仮定された。その結果、温度の低い帯水層の湧水量は地震時に増加した後徐々に減少し、温度の高い帯水層の湧水量は地震時に増加した後もその増加状態が続くことが判明した。これは、観測値を満足に説明するものである。なお、前述の帯水層の温度の組み合わせによる地震時のステップ状の体積歪変化量の推定値への影響は小さいことも判明した。

以上のことから、湯谷温泉の湧水量および水温変化は、歪に対するレスポンスの周波数特性が異なる3層の帯水層からの地下水の寄与によって説明できることが示された。それによって、地震時に湯谷温泉付近に加わったと考えられる体積歪変化の推定が可能となった。このようにして求められた体積歪変化は、地殻を均質等方媒体として地震の震源断層モデルから求められる湯谷温泉での体積歪変化と比較された。その結果、解析されたすべての地震に対して、前者は後者より数桁大きいと推定された。このような現象は地殻変動の観測例中にも見られ、1つの可能性として、地震により誘発された湯谷温泉近傍での局所的な歪の解放が大きく寄与していると説明されている。

論文審査の結果の要旨

申請論文は、地震に伴う地下水の挙動を明らかにすることを目的として、異なる歪レスポンス特性を持つ複数の帯水層からなる地下水モデルを構築し、地下水の挙動のメカニズムを定量的に議論している。

申請者は、鳥取県湯谷温泉の観測ボアホール内の地表での湧水量およびボアホール内の異なる2点の深さでの水温の長期連続観測結果を詳しく解析し、地震時に起こる地下水変化のメカニズムを3層帯水層モデルを用いて定量的に説明することに成功している。観測は、申請者が中心となって行い、自らの研究に必要なデータの収集が行われた。ボアホール内部の水温の深さ分布の測定により、湯谷温泉の地下水は、温度の異なる3つの帯水層から流れ込んだ水からなることが明らかにされ、複数の帯水層による解析に適した例であることが示された。

観測結果の解析においては、湧水量と水温の潮汐、気圧および地震に対する変化が調べられ、それぞれの湧水量と水温変化の特徴がまとめられている。湧水量と水温の地震に対する変化を調べる前提として、申請者は、地震による地下水変化の出現を客観的な基準を設けて判断を行った。これは、ややもすると定性的に議論されていた地震による地下水変化の出現を客観的に判断するための新たな知見を与えたものと評価できる。これらの湧水量と水温変化の特徴から、申請者は、この観測結果の解析には、帯水層の歪レスポンスの周波数特性がそれぞれ異なる複数の層からなる地下水システムを考える必要があることを明らかにしている。これらの結果を用いて、湯谷温泉の状況にふさわしい3層帯水層モデルが構築され、以下のように考察が進められている。

このモデルによる計算を行う前提として、温度の異なる水が混合すること以外は無視できることが確認された。また、モデルに従って計算を行う際に、各帯水層の水温は不確定要素であるため、観測値から拘束条件を与え、それらの範囲の水温の組み合わせに対して計算が行われた。その結果、それによる影響は小さいことが明らかにされた。各帯水層の湧水量から潮汐および気圧レスポンスが求められ、それらの結果から帯水層の水の拡散係数などの物理パラメータの推定が行われた。方法としては従来の方法の応用であるが、正確に定量的な解析が行われている。次に申請者は、これらのパラメータを用いて、地震時に生じるであろう体積歪変化に対する湧水量レスポンスの理論値を計算し、観測値と一致したことを示した。従って、湯谷温泉の地震時の地下水変化は、地震時に生じる体積歪ステップに対する各帯水層のレスポンスが異なることによって生じていると結論づけられた。

このように、地下水観測の結果を複数帯水層モデルで説明した例はとどんどなく、特に、地震時の地下水変化の結果を複数帯水層モデルで定量的に説明したのは初めてであり、新たな知見として評価できる。推定された地震時に生じる体積歪ステップの大きさは、震源でのずれによる体積歪変化より数桁大きいことが、地殻変動観測との類似性を考慮し、局所的な歪の解放によって説明できることが示されている。このことは、地震による広域的な地殻活動の評価という重要な研究課題の中で、地下水観測が広域的な地殻活動を観測するための重要な方法の一つであることを表わしている点で価値のある結果である。また、この申請論文の結果は、単純には説明がつかないと思われる地下水観測結果が、歪に対する周波数特性が異なる複数の帯水層からなるモデルと、ステップ状の体積歪変化のような単純な地殻変動現象とによって説明できるという示唆を含ん

でいる。すなわち、本研究は、湯谷温泉というある1地点の観測ポアホールにおける例として行われているが、各地で観測されている他の場合の解析や解釈への指標を与えたものと評価できる。

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た。そして、平成11年2月2日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。