

京都大学	博士（工 学）	氏名	宮川 公雄
論文題目	地質環境を考慮した環境同位体による水みち特性および地下水年代評価手法の開発		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、地下水に存在する環境同位体を天然トレーサーとして地下水の流動性を測定・評価する手法を論じた結果をまとめたものであって、5章からなっている。</p> <p>第1章は、高レベル放射性廃棄物処分の安全評価を対象に地下水の流動性の計測と評価を行う研究の背景と目的が述べられている。</p> <p>第2章は、地下水流動調査における環境同位体を用いた測定・評価手法開発の現状と課題について整理したもので、高レベル放射性廃棄物処分の安全評価において地下水が、「何処へ」、「どれ位の時間」で流れるかの情報を得ることが重要であること、同位体を環境トレーサーとした地下水の流動経路の探査手法および地下水流動評価のために地下水年代の推定手法の研究の現状と開発の必要性が述べられている。</p> <p>第3章は、地下水に溶存する <math>^{222}\text{Rn}</math> をトレーサーとした局所的な地下水流動評価手法について検討したもので、大きく二つの成果について述べられている。</p> <p>(1) 水みちの評価のために、地下水中に溶存する <math>^{222}\text{Rn}</math> を高感度で効率的計測する水中<math>\alpha</math>トラック法の開発を行い、それを用いた検層法について検討されている。次にこの手法をフィールドに適用し、他の水みちの検出手法により得た結果と比較しその有効性を検証している。</p> <p>(2) 地下水に溶存する <math>^{222}\text{Rn}</math> を用いた水みちの割れ目の幅の推定手法について理論的・室内実験的に検討し、実際に野外試験に適用して割れ目の間隙幅を評価し手法の妥当性について検証している。</p> <p>第4章は、地下水に溶存する <math>^4\text{He}</math> をトレーサーとして用いて地下水の流動評価手法について検討したもので、大きく三つの成果について述べられている。</p> <p>(1) 断層とその周辺の地下水の流動性が高い箇所において <math>^3\text{H}</math>-<math>^3\text{He}</math> 法を適用し、数10年オーダーの地下水年代を評価した。一方、断層ガウジなど断層の中心部では <math>^3\text{H}</math> が検出されず、<math>^4\text{He}</math> の濃度が高い間隙水の存在が認められた。この結果は逆断層の中心部では地下水は滞留傾向にあり、</p>			

京都大学	博士（工 学）	氏名	宮川 公雄
------	---------	----	-------

断層が遮水バリアとして機能していることを示唆している。高レベル放射性廃棄物の処分場周辺の断層内の地下水年代が直接的に評価できれば、従前の解析的手法による評価を実証的なデータによって補完でき処分の安全性評価の向上に大きく寄与する。

(2) 割れ目系岩盤でかつ塩水と淡水が存在し、複雑な地下水流動が想定される沿岸域の水理構造を  $^4\text{He}$  蓄積法による地下水年代の推定によって評価し、滞留性の古い塩水と淡水との淡水レンズ的な塩淡境界の存在が示された。ここで得られた塩水領域では地下水が停滞傾向にあるとの情報は、高レベル放射性廃棄物の海底下処分への成立性の議論に大きく寄与する。

(3)  $^4\text{He}$  の蓄積法を用いた地下水年代測定法では、 $^4\text{He}$  脱ガスフラックスの大きさを評価する必要がある。しかし、脱ガスフラックスの大きさを直接測定することは困難であるため、それを決めることなく  $^{36}\text{Cl}$  の一半減期の中に地下水中に蓄積する  $^4\text{He}$  蓄積速度を決める  $^4\text{He}$ - $^{36}\text{Cl}$  法による地下水年代測定法を開発した。この  $^{36}\text{Cl}$ - $^4\text{He}$  法を十勝構造堆積盆の深部地下水へ適用し、複数の堆積盆地の形成に伴う水質形成史とその地下水年代を評価した。その結果、糠内・本別層中の地下水年代が数 10 万年から数万年と推定され、汽水～淡水環境で堆積した上位層の池田層群上部層ならびに池田層群最上部層の堆積年代と調和的な結果を得た。これは、我が国に多数存在する沿岸部の鮮新世以降に形成された構造堆積盆地の地下水起源を解明する上で重要な知見である。同時に、高レベル放射性廃棄物処分の母岩として検討されている沿岸部の堆積盆地の地下水流動評価へ  $^{36}\text{Cl}$ - $^4\text{He}$  法が十分に適用でき有効であることを示している。

第 5 章は結論であり、局所的な地下水流動評価において重要となる水みちの調査手法と広域かつ滞留時間の長い地下水流動調査手法として水質、希ガス、放射性塩素同位体を用いた地下水年代測定手法の開発とその手法の妥当性について検証した結果について要約している。

## (論文審査の結果の要旨)

2011年3月11日の地震と大津波によって福島第一原子力発電所の事故を契機にわが国の原子力発電に対する状況は大きく変化した。しかしながら、すでに多くの放射性廃棄物が存在し、将来的には廃炉を含めた大量の放射性廃棄物の発生が予測されている。それら廃棄物の安全な処分は避けて通れない重要な課題である。本論文では、深部地下環境に放射性廃棄物を処分する際の処分場の選定と処分の安全評価において重要な放射性核種のドライビングフォースとしての地下水の流動性と長期にわたる滞留性を評価するために、地下水に溶解している希ガス( $^4\text{He}$ と $^{222}\text{Rn}$ )と長半減期放射性核種( $^{36}\text{Cl}$ )を天然の地下水流動トレーサーとして用いて岩盤割れ目内の地下水流動・地下水年代測定に関する調査・評価技術の開発を行ったものである。

(1) $^{222}\text{Rn}$ による地下水流動区間の検出技術の開発

ボーリング孔内で流動区間を推定するには、フローメーター検層が有効である。しかしながら、実際の検層では人為的に導水勾配等を与え測定する必要がある。しかし、それでは自然状態での地下水の流動を再現できているとは限らない。一方、地下水の流動区間では $^{222}\text{Rn}$ 濃度が非流動区間よりも高くなることから、地下水に溶解している $^{222}\text{Rn}$ を高感度で効率的に計測することができる水中 $\alpha$ トラック法を開発を行い、その方法を用いてボーリング孔内で $^{222}\text{Rn}$ 濃度プロファイルを観測し、地下水の流動区間を検出する検層手法を実証した。

## (2)岩盤の水みち幅の測定手法の開発

岩盤の水みち幅を測定するために、割れ目を有する結晶質岩中で発生し地下水中へ供給される $^{222}\text{Rn}$ フラックスの測定手法を理論的考察と室内実験によって検証した。この手法を花崗岩サイトでの地下水循環試験に適応し、地下水中の $^{222}\text{Rn}$ の濃度の経時変化の測定と別途室内試験によって求めた $^{222}\text{Rn}$ 発生フラックスを基に花崗岩内の水みちの割れ目幅の推定を行い、その他の解析手法による推定結果と比較を行い、推定手法の妥当性について検証した。

## (3)溶存Heをトレーサーとした断層周辺の地下水の流動性評価

断層周辺の流動性が高い箇所において $^3\text{H}$ - $^3\text{He}$ 法により地下水年代数

10年程度の地下水の存在を、断層の中心部では $^3\text{H}$ が検出されず $^4\text{He}$ の濃度が高い非常に古い間隙水の存在が認められた。この結果は、逆断層の中心部では地下水は滞留傾向にあり、断層が遮水バリアとして機能していることを示している。放射性廃棄物の処分場周辺の断層内の地下水年代が直接的に評価できれば、解析的評価を実証的なデータによって補完でき処分の安全性評価に大きく寄与できる。

#### (4) $^4\text{He}$ 蓄積法による地下水年代測定と塩淡境界周辺における地下水流動性評価

割れ目系岩盤でかつ塩水と淡水が存在し、複雑な地下水流動が想定される沿岸域の水理構造を $^4\text{He}$ 蓄積法による地下水年代の推定によって評価し、滞留性の古い塩水と淡水の塩淡境界の存在が、地下水の滞留時間の因子を加えて可視化でき、高レベル放射性廃棄物の海底下処分への成立性の議論に大きく寄与できる。

#### (5) $^{36}\text{Cl}$ - $^4\text{He}$ 法による地下水年代測定手法の開発

100万年を超える地下水年代測定法として $^4\text{He}$ の蓄積法による地下水年代測定は多くの測定例があるが、脱ガス $^4\text{He}$ フラックスの大きさを決定しなければ合理的な結果の推定はできない。しかし、 $^4\text{He}$ の脱ガスフラックスの大きさを直接測定することは困難である。ここでは、脱ガス $^4\text{He}$ フラックスを直接求めることなく地下水中の $^{36}\text{Cl}$ を同時に測定し $^{36}\text{Cl}$ の1半減期時間の間に蓄積する $^4\text{He}$ の蓄積速度を求める測定手法の開発を行い。十勝平野深部の地下水に対し手法の妥当性を検証した。

以上のように本論文は、放射性廃棄物の処分のためのサイト選定と安全評価に、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年12月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。