

学位論文題名

環境トレーサーによる北海道の
地下水流動系の評価に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、環境トレーサーを用いた地下水流動系の解析が注目されている。環境トレーサーによる地下水流動解析とは、放射性及び安定同位体、地下水温、地下水水質など地下水が本来持っている情報をトレーサーとして利用する手法である。この方法にはTóthの提唱した地下水流動系や地下水域、地下水が涵養された時間と場所、地下水流速や地下水涵養量を流動場を乱さずに知ることができ、広域的、長期的な調査だけでなく、ボーリングが十分に利用できない場合にも有効である、といった利点がある。

しかしながら、北海道では環境トレーサーが十分に活用されてきたとは言い難い。これは主に降水のトリチウム (^3H) 濃度や、安定同位体比の高度効果といった基本データの欠如によるものと考えられるが、一方で地下水流動の議論が地下水のもつ地質的側面にのみ偏ってきたのも理由の一つである。こうした状況をふまえて、本研究では北海道地域で環境トレーサーを利用するための基本的な物性の検討を行うとともに、広域的な地下水流動系への適用性を検討して、環境トレーサー法の有効性を立証しようと試みた。

本論文は、序論を含め10章から構成される。

序論では、研究の背景および目的と論文の概要を示した。

第2章では、ワイン中の ^3H 濃度から、過去の降水の ^3H 濃度の推定を試みた。その結果、北海道の ^3H 濃度は日本の標準値である東京・筑波の値よりも確実に高かったことが判明した。また、降水の ^3H 濃度の広域的分布や経年変化とも概ね対応していることも示された。いくつかのモデル計算から、ワイン生産時の蒸発等の影響で若干過大であることは考えられるものの、水の年代の近似値を得ることは可能であるとしている。

第3章では、北海道の降水の安定同位体比の高度効果を調べた。この結果、大雪山系のデータから中部地方や東北地方での値よりやや小さく、 $\delta\text{D} : -1.75 \pm 0.30\text{‰}/100\text{m}$ 、 $\delta^{18}\text{O} : -0.24 \pm 0.01\text{‰}/100\text{m}$ と求められた。この値は十勝平野の河川水や浅層地下水から推定した値とほぼ一致していることが示されている。さらに、安定同位体比からみて北海道は道南とそれ以外の北海道に大別され、前者では東北地方の値に近いこと、また、両者の差は主に温度効果によるものであることを明らかにした。以上から、これらのデータを道内の水文学的考察に適用できるとしている。

第4章では、土の熱的性質に関する情報が不足していることから、新たに開発した三重管

式不攪乱サンプラーによって石狩低地帯のテフラを採取し、火山灰土の熱的物性値を調べた。一連の実験結果から、美々川周辺の高透水性である支笏軽石流堆積物 1, 2 (Spfa1, 2) の熱伝導率は、地下水に強く影響されること、これらの土の熱容量は $3.4 \sim 3.7 (\times 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ と高く、熱伝導によっては温度変化しづらいことを見出している。さらに 1 m 深地温探査の解析に用いる放熱係数 h をとりまとめて、地下水脈の状況との関係を示した。

第 5 章では、環境トレーサーを北海道の地下水流動系に適用する研究対象を検討した。その結果、地下水の賦存量が多く帯水層として重要であり、かつ地下水域の設定が困難な地形として、扇状地、火砕流台地および地下水盆を選びケース・スタディを行うことの意義を論じた。

第 6 章では、十勝平野南部に位置する複合扇状地内の 2 つの流域をなしている札内川扇状地と、それに隣接する猿別川扇状地の地下水を検討の対象としている。従来 両扇状地間の地下水の交流は無視できる程度とされてきたが、調査によって猿別川扇状地の地下に古札内川と考えられる埋没谷が存在することを明らかにした。また、地下水温、0.8 m 深地温測定、安定同位体比の高度効果、一般水質などの環境トレーサーや流線網解析ならびに最近十年間の水収支解析より、札内川から $1 \text{ m}^3/\text{s}$ を越える地下水涵養があつて、猿別川扇状地の地下水流の挙動に重要な役割を果たしていることを明らかにした。

第 7 章では、火砕流台地の地下水流を解析している。地下水温は、移流効果により涵養域では平均値よりも低温、流出域では高温となる。この原理を用いて、これまで地下水域が判明していなかった美々川地下水域の範囲を次のように明らかにした。(i) 隣接する遠浅川上流域のうち、馬追丘陵を除く流域は美々川地下水域に属する。恵庭 a 下部ローム層の分布から判断して、ウルム II 氷期における美々川地下水域の拡大が示唆される。(ii) 遠浅川中流域では美々川と遠浅川の地下水分水界が存在する。(iii) 西側の境界は西方火山灰台地の 90 m ピークであり、漠然と考えられていた支笏湖から美々川地下水域への漏水は考え難い。(iv) 地下水温から推定した地下水分水界は有限要素法による熱移流拡散解析、地下水面の位置及び水収支結果と整合する。また本地域の地下水流は、地形のみでなく高透水層である Spfa1, 2 層の分布に強く依存することを示した。

第 8 章では地下水盆の検討を行い、十勝平野西部の主として深度 330 m までの地下水流動を次のように明らかにした。(i) 50 m 深地温は、山麓では 9°C 以下、平野の中心部では 12°C 以上を示しており、それぞれ涵養域と流出域に対応する可能性が高い。また、地下水温から推定した地下水流速は、水理学的な解析結果と整合する。(ii) 十勝平野西部の地下水と十勝川温泉水は天水起源と考えられる。(iii) 安定同位体比から推定した地下水流動は、地下水温から推定したものとおおむね対応している。また、 δD や $\delta^{18}\text{O}$ の差もこの地下水流動と対応し、帯水層の位置が深いほど、安定同位体比は軽い値を示す。さらに、同位体比の最大差は 1500 m の高度効果に匹敵し、十勝平野で最も軽い水は大雪山系または日高山脈で涵養されたことが示唆された。(iv) 十勝中央断層の東側ブロックは十勝地下水盆の東側の境界を形成し、近似的には十勝中央断層は不透水境界と見なすことができる。

第 9 章では、トンネル掘削が隣接する温泉源に及ぼす影響や、トンネル上の植生を保全するのに必要な土かぶり圧を、主に ^3H から推定したケース・スタディを行った。

第 10 章は論文全体の結論を明らかにするとともに、本研究の残された課題および今後の展望について概説した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	三浦清一
副査	教授	藤田睦博
副査	教授	石島洋二
副査	教授	三田地利之
副査	助教授	三浦均也

学位論文題名

環境トレーサーによる北海道の 地下水流動系の評価に関する研究

地下水温、放射性及び安定同位体、地下水の水質などをトレーサーとして利用する地下水流動系の予測法は、地下水が本来持っている情報に基づく方法であることから、近年特に注目されている。この方法は、地下水流動系や地下水域、地下水が涵養された時間と場所及び地下水流速や涵養量を流動場を乱さずに与えることができ、かつボーリングデータがうまく利用できない場合にも有効であるとされている。しかしながら、北海道地域での地下水の流動形態の予測のために、このような環境トレーサーが十分に活用されてきたとは言い難い。これは主に降水のトリチウム濃度や、安定同位体比の高度効果といった基本データの欠如によるものと考えられるが、一方で地下水流動の議論が地下水のもつ地質学的側面のみに偏ってきたのも理由の一つである。

以上のような背景の下に、本研究では、まず地下水流動挙動の予測に環境トレーサーを利用するための基本的な物性の検討を行った。さらに実施した一連の解析と原位置調査から、環境トレーサーによる北海道地域の地下水流動系の評価法が提案されている。

本論文は10章から構成されるが、研究の成果を章毎に要約すると以下のようなものである。第1章では研究の背景を示し、本研究の目的を明らかにしている。

第2章では、降水のトリチウム (^3H) 濃度による地下水の年代推定の可能性をワイン中の ^3H 濃度を実験的に調べることにより検討している。北海道の ^3H 濃度は日本の標準値である東京・筑波の値よりも確実に高い値をとること、またその広域的分布や経年変化の特徴が具体的に明らかにされている。さらにいくつかのモデル計算から、ワイン中の ^3H 濃度より地下水の年代の近似値を得ることができることを確認している。

第3章では、北海道の環境水中の安定同位体比 (δD 、 $\delta^{18}\text{O}$) の高度効果を大雪山系のデータから詳細に調べた。求められた値は十勝平野の河川水や浅層地下水から推定した値とほぼ一致していることが注目される。さらに安定同位体比の分布性状の考察から、北海道は道南とそれ以外の地域に大別され、前者では東北地方の値に近いこと、ま

た両者の差は主に温度効果によってもたらされるものであることを明らかにした。

第4章では、新たに開発した三重管式不攪乱サンプラーによって石狩低地帯のテフラを採取し、火山灰土の熱的物性値を調べた。美々川周辺の支笏軽石流堆積物の熱容量は非常に高くかつその熱伝導率は地下水に強く依存する値であることが示されている。さらに、これらの熱的物性値から得られる地下水温は、火山灰地盤の地下水流動系を定量化するための環境トレーサーとして、極めて有用であることが確かめられている。

第5章では、地下水の賦存量が多くかつ帯水層として重要で地下水域の設定が困難な扇状地、火砕流台地および地下水盆の地下水流動挙動の実態の詳細な説明を行っている。

第6章では、十勝平野南部にある複合扇状地で2つの流域をなしている札内川扇状地とそれに隣接する猿別川扇状地の地下水流動解析と予測を行っている。特に、地温探査データ、安定同位体比の高度効果、一般水質などの環境トレーサーや流線網解析ならびに最近十年間の水収支解析から、札内川からの地下水涵養が猿別川扇状地の地下水流の挙動に重要な役割を果たしていることを明らかにし、両扇状地間の地下水の交流を実証している。

第7章では、主として地下水温からの火砕流台地における地下水流動解析を進め、これまで不明であった美々川地下水域の範囲と地下水分水界の存在を明確にしている。さらに、有限要素法による熱移流拡散解析は地下水温から推定した地下水分水界の存在を良く説明することが示されている。

第8章では、十勝平野西部の地下水盆の検討を行い、主として深度330 mまでの地下水流動の挙動を調べている。地下水温から推定した地下水流速は水理学的解析結果とほぼ一致すること、十勝平野西部の地下水と十勝川温泉水は天水起源であること、及び十勝中央断層は不透水境界と見なすことができること、等の事実が明らかにされている。

第9章では、トンネル掘削が隣接する温泉源に及ぼす影響やトンネル上の植生を保全するために必要な土かぶり厚を環境トレーサーから推定した具体例を示し、本手法の工学的有用性を明らかにしている。

第10章は、本研究の結論であり、得られた知見を総括するとともに、今後の研究課題を述べている。

これを要するに、著者は、環境トレーサーを様々な条件にある北海道の地下水流動系の予測に用いることができることを精密な原位置地盤調査や地下水調査によって明らかにするとともに、地下水流動解析法について多くの新知見を得ており、地盤工学ならびに水文学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。