



小特集 施設起源トリチウムの移行モデルと環境トリチウム分布

2. 環境トリチウムの現状と分布

2.4 トリチウムによる地下水年代測定

嶋田 純

熊本大学大学院自然科学研究科

(原稿受付：2009年6月8日)

1950-1960年代に大気中の核実験によって自然状態の数百倍の濃度で降水中に付加されたトリチウムは、現在ではほとんど天然レベルまで低下しているが、この世界規模でトリチウム濃度の増加した雨は、水循環の実態把握を研究目的としている水文学研究者にとってはきわめて便利な年代測定用の水循環トレーサとして高く評価され、世界各地で広く利用されてきた。過去の高いトリチウム濃度の時代に涵養された地下水を検出するのは、現在ではかなり困難になってきているものの、地域的な濃度差や過去の採水地点での繰り返しサンプリングとトリチウム濃度再測定を行うことで、時系列データとして年代解析処理が行われている。本章では、それらの事例を紹介する。

Keywords:

hydrological cycle, hydrology, evaluation of groundwater age, groundwater recharge

2.4.1 インドネシアバリ島の河川水中のトリチウム濃度分布特性

図1は、1989-90年にかけて分析されたバリ島の主要河川水中のトリチウム濃度分布を示している。南緯8度に位置するバリ島は、赤道地帯であるためもとより降水中のトリチウム濃度は低く1-5 (T.U.*²)程度しかないが、島の南部に発達している火砕流台地を深く浸食している細長い流域河川 (Ayun, Was, Petanu, Pekrisan, Sansan) 地帯に2 (T.U.)以下の低いトリチウム濃度域が明確に出現している。この地域での河川水・湧水の水素・酸素安定同位体比は、周辺地域よりも同位体比が軽く、標高の高い地域からの涵養傾向を示唆しており、厚い火砕流堆積物中の地下水流動が他地域よりも相対的に長い滞留時間と高い涵養標高を持った広域流動を形成して河川水の基底流にも影響を与えているものと考察された[1]。

2.4.2 火山岩系山地の広域地下水流動に見られる年代分布特性

我が国のように地形起伏が大きく温帯湿潤気候条件下に属するため水循環のフラックスが大きい地域では、相対的に低い透水性の山体基盤岩中においても、湧水比流量*³程度の涵養量をもつ地下水の存在が予想されるが、従来この山体基盤岩地下水資源を科学的調査に基づいて評価した例は、我が国においては皆無である。筆者らの研究室では、熊本市の南方、宇土半島の付け根にある稜線部から海岸までの流域面積約4.5 km²の火山岩を帯水層とする豊富な地

下水をもつ流域において、環境同位体を用いた詳細な地下水流動の研究を行い、我が国で初めての流域末端の海水面下まで含めたきわめてユニークな広域地下水流動の存在を明らかにした[2]。

図2は、流域中央部を源流域から海岸部までを含むように縦断面でとらえた側線上の地下水ポテンシャル分布を示す。この断面には4箇所の地下水観測井戸があり、それらの井戸中の地下水の深度別水圧を測定することで、図に示すようなポテンシャル分布とそれに基づく矢印で示したような地下水流れを把握することが可能となる。図より、研究地域の火山岩には広域的に連続した地下水帯が存在し、地域の湧水地帯と整合するような流動系を形成していることが明らかになった。

このような流動場を持つ地下水を対象として、トリチウムと炭素14を用いてその流動特性の詳細な把握を試みた。水の水素・酸素の安定同位体比の測定結果からは、安定同位体比が持つ高度依存性 (降水中の安定同位体比が採水標高と共に変化する特性) を反映して、図2に示された地下水の流線に沿うような特定標高から涵養された地下水が特定地点に流出していることを支持する結果が得られた。また、放射性同位体のトリチウムおよび炭素14の測定結果からは、図3に示すように、一つの地下水流域の中に様々な年齢を持つ水体が存在していることが明らかにされた。降水中のトリチウム濃度は現在では天然レベルまで戻っているが、地下水中にはこの過去の1960年代以前のトリチウムが残存している場合もあり、測定されたトリチウム濃度に

2.4 Groundwater Dating by Using Environmental Tritium

SHIMADA Jun

author's e-mail: jshimada@sci.kumamoto-u.ac.jp

* 2, 3 用語集参照

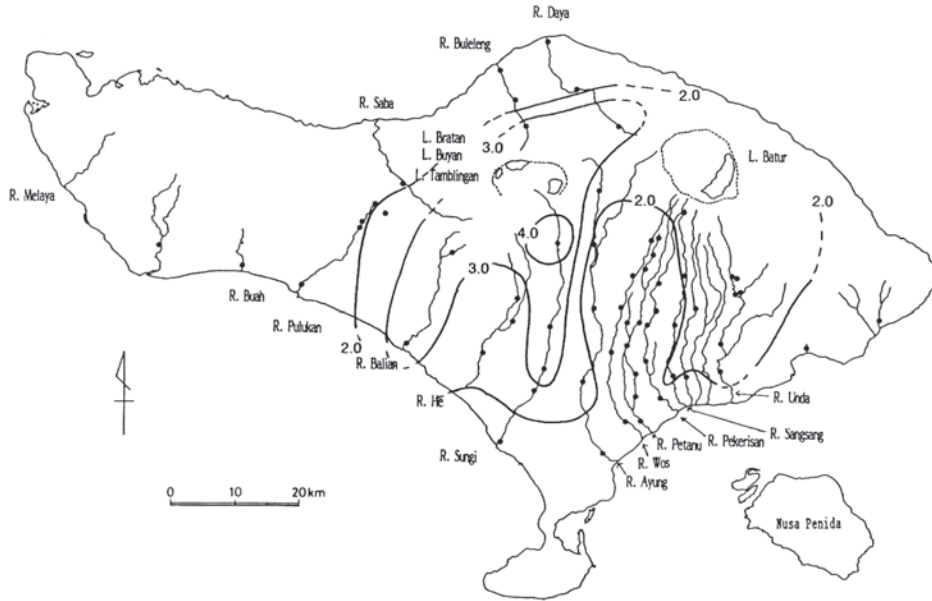


図1 インドネシアバリ島における河川水中のトリチウム濃度分布[1].

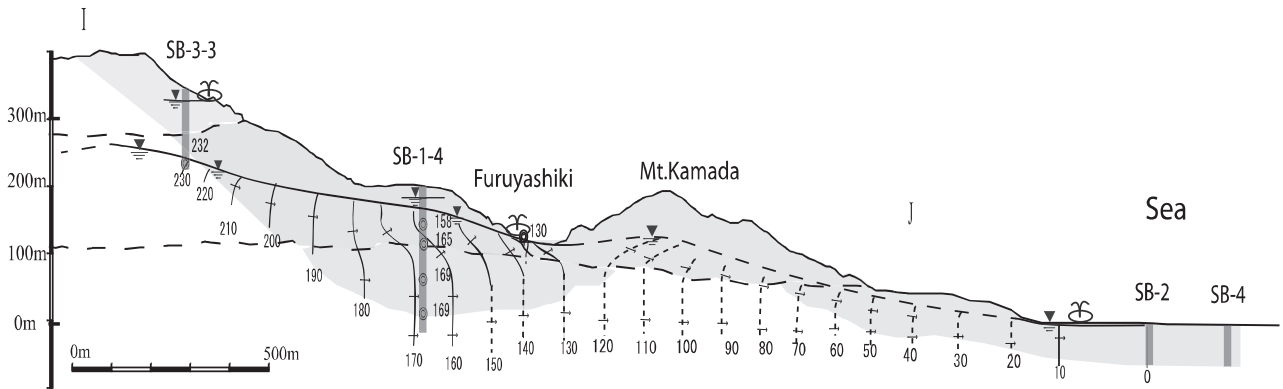


図2 研究流域における断面2次元地下水ポテンシャル分布と地下水流動 (単位: m).

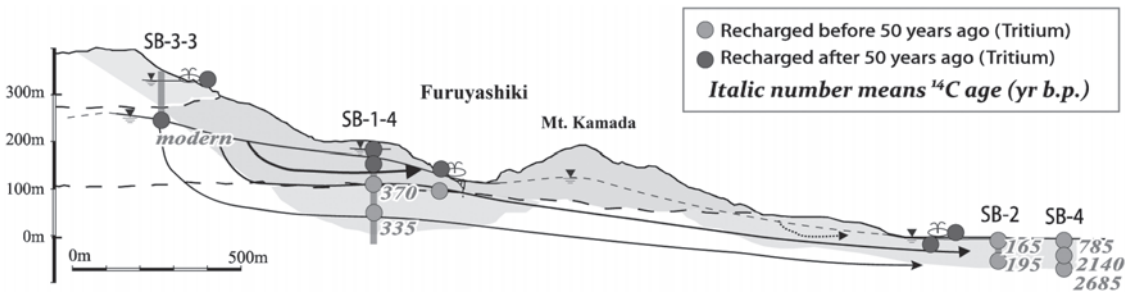


図3 トリチウム濃度及び炭素14濃度を基にした研究地域地下水の年齢分布概念図.

基づいて図3に示したように1960年以前に涵養されたものと、1960年以降に涵養されたものの識別を行った。研究地域の地下水では、この最近50年間に涵養された若い地下水が流域源流-中流部の表層付近および流域末端の海岸部湧水に見られる。一方流域中央部の深層ボーリングによる深部の地下水や沿岸部に掘削された観測ボーリング孔の地下水は、1960年以前に涵養されたものと判断され、それらについて炭素14による放射年代測定を行ったところ、図3に斜数字で示したようなきわめて古い年代の地下水が存在していることが示された。ここで注目されるのは、図中最も

右端の海水面下に掘削されたSB-4観測ボーリング孔の地下水年代である。これらは、海底下であるにも拘らず淡水で、しかもその年齢が2000年以上と他に比べて桁外れに古い。このような海底下地下水に関する年齢データはこれまで発表された事例がきわめて少ないが、この海底下の古い淡水は現在の気候下で循環している地下水ではなく、かつて海水準が低かった氷河時代に循環していた地下水が、その後の海水準の上昇とともに封じ込められた結果であると考えている。

2.4.3 釜石鉱山坑道湧水のトリチウム濃度に基づく地下水年代

図4は、釜石鉱山550m坑道でこれまで測定されたトリチウム濃度データを東京における降水中のトリチウム濃度変化上にプロットしたものである。ほとんどの採水ポイントが1985年以降複数回の濃度測定を行っており、図には過去20年近い地下水中のトリチウム濃度の変化が示されている。この同じポイントで、地下水中に溶存する温暖化ガスで新たな年代指標であるCFCs濃度*4を測定して得られた滞留時間も示してある。

OzyurtとBayari[3]は、地下水の滞留時間に関するモデルを組み合わせ(LUMPEDモデル)で、実際の帯水層の状況に最も近いと思われる状態を再現することで、トリチウム、CFCs、Kr85等の年代トレーサを用いた平均滞留

時間解析コードを公開している。対象となる帯水層モデルの組み合わせとして14通りの帯水層構造を想定し、涵養量や地下水貯留量、バイパスやデッド貯留量等のパラメータを適宜変動させて、それぞれの年代トレーサの入力関数(降水あるいは大気中の濃度長期変化)を基に、地下水中のトレーサ濃度を算出し、実測トレーサ濃度変化パターンに最もフィットする時の滞留時間を算定することを可能としている。今、釜石鉱山の亀裂岩盤系の地下水帯水層に対応したモデルとして、図5に示すようなバイパス流*5を伴うピストン流動モデル(バイパス流の割合はピストン流に対して10%程度を初期値として設定)を設定し、降水のトリチウム濃度変化をインプットとして坑内地下水の変動に最も一致する滞留時間を試行錯誤的に算定した。図5はNW-640地点に対するLUMPEDモデル解析結果で、平均滞留時間16.4年と求まり、CFCs濃度に基づく年代評価(約18年)とも良く整合した。

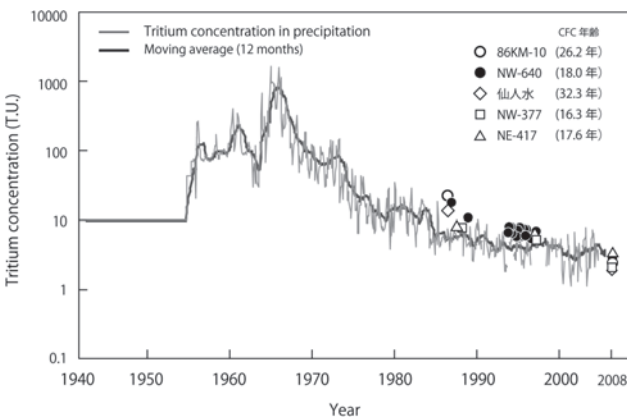


図4 釜石鉱山550m坑道における地下水中のトリチウム濃度とCFCs濃度。

参考文献

- [1] J. Shimada, O. Shimmi, T. Tanaka, N. Nakai and K. Itadera, Researches related to the UNESCO's IHP in Japan, 1988-1990, 175 (1992).
- [2] J. Shimada, D. Inoue, S. Satoh, N. Takamoto, T. Sueda, Y. Hase, S. Iwagami, M. Tsujimura, T. Ishitobi and M. Taniguchi, IAHS publication No.312, 75 (2007).
- [3] N.N. Ozyurt and C.S. Bayari, Computers Geosciences 29, 79 (2003).

Lumpedモデルによる計算結果(トリチウム)

@NW-640

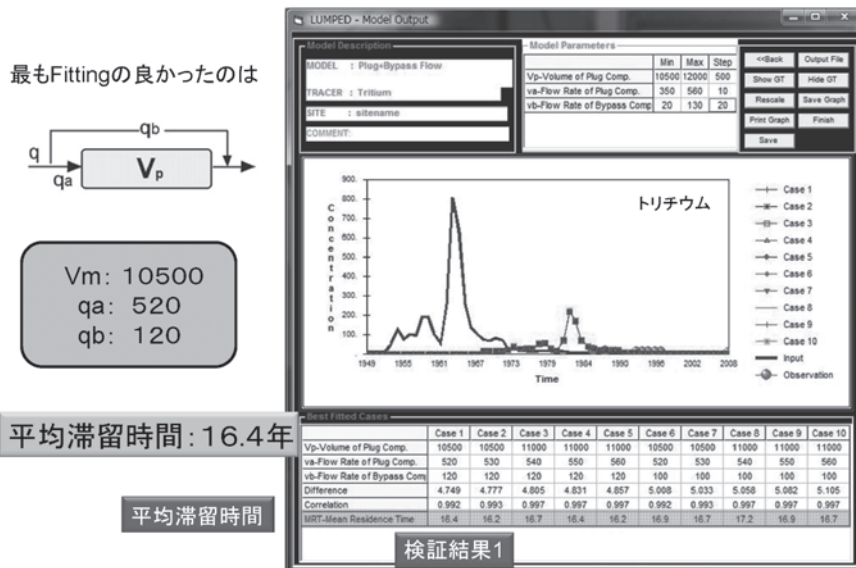


図5 NW-640地点に対するLUMPEDモデル解析結果。

* 4, 5 用語集参照