

放射性同位体を用いた黒部川扇状地地下水の年代推定

富山県立大学 学生会員 ○松浦 拓哉
 富山県立大学大学院 学生会員 北 隆平
 富山県立大学大学院 正会員 手計 太一

1. はじめに

地下水は温度が一定で良質かつ豊富な水資源として生活用水、農業用水、工業用水として利用されている。一方、過剰揚水が塩水化や地盤沈下といった地下水障害が社会・経済問題として顕在化する場合もある。例えば、熊本県荒尾市沿岸域では、坑道採掘に伴い坑内の地下水を大量に排水したため、海水が浅部の帯水層に進入して塩水化が発生した¹⁾。濃尾平野では、渇水時の代替水資源のための急激な地下水揚水が、地盤沈下を引き起こした²⁾。

地下水障害が発生した地下環境の回復には、極めて長い年月を要する。そのため、平常時においても地下水の環境を把握しておくことは、過剰揚水の防止や地下水障害からの回復に有益である。

本研究では、放射性同位体を利用して黒部川扇状地地下水の滞留時間を推定した。

2. 黒部川扇状地

黒部川扇状地は北アルプス鷲羽岳に源を発し、日本随一の急流河川である黒部川が作り出した扇状地である。扇頂から黒部川河口まで約 13.4 km、面積 96 km²、扇状地面の勾配は約 10 ‰である³⁾。黒部川扇状地は最終氷河期最盛期以降に形成されたもので、扇状地堆積物の大部分は中世代白亜紀の新期花崗岩類の砂礫である⁴⁾。

3. 調査概要

3.1 調査地点

図-1 に黒部川扇状地と放射性同位体の採水地点を示した。放射性同位体の調査は 2013 年 9 月と 2014 年 12 月の 2 回実施し、2013 年は 11 地点(11 深度)、2014 年は 4 地点(8 深度)で採取した。2014 年の 4 地点については、それぞれ同井戸の 5 m と 18 m の 2 深

度で採水した。

3.2 分析方法

本研究で利用した放射性同位体は、トリチウムと放射性炭素の 2 種類である。

トリチウムの分析方法は試料を電気分解によって 20 倍以上に濃縮を行い、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターにより β 線を測定し、採取日におけるトリチウム濃度を算出する。トリチウム濃度の単位には TU が用いられ、水素原子(^1H) 10^{18} 個中のトリチウム原子(^3H)数で表す。

トリチウム分析の結果に鑑み、前沢ガーデンと宝石の水(図-1 中の 8, 9)の地下水については、放射性炭素分析を行った。放射性炭素は採取された試料から二酸化炭素を抽出・精製後、二酸化炭素から炭素ターゲットを作成する。ターゲットの同位体比を加速器質量分析計により測定した。測定値が 1950 年の放射性炭素量を基準とした ^{14}C 年代を測定した。

3.3 黒部川扇状地の水文地質の特徴

図-2 に扇状地を代表する清水庵の清水(扇端部; 図-1 中の 6)、青木(扇央部; 図-1 中の 14)の柱状図を示す。扇央部は玉石、砂利が主体であり、不透水層となるはっきりとした粘土層は分布していない。150 m の深度まで一連の帯水層として存在し、不圧地下水を有する。扇端部は砂、礫が主体であり、深度 64.5～69.0 m と 80.5～82.0 m に粘土層が存在している。扇端部は被圧地下水を有しており、この地域では豊富な地下水が自噴している。

4. 地下水の年代推定

4.1 地下水の年代推定の原理

放射性同位体はそれぞれ特定の半減期が存在し、トリチウムは 12.32 年、放射性炭素は 5730 年である。大気中のトリチウム、放射性炭素は降水によって地

キーワード トリチウム、放射性炭素、放射性同位体、地下水、黒部川扇状地

連絡先 〒939-0398 富山県射水市黒河 5180 TEL. 0766-56-7500 E-mail : t217036@st.pu-toyama.ac.jp

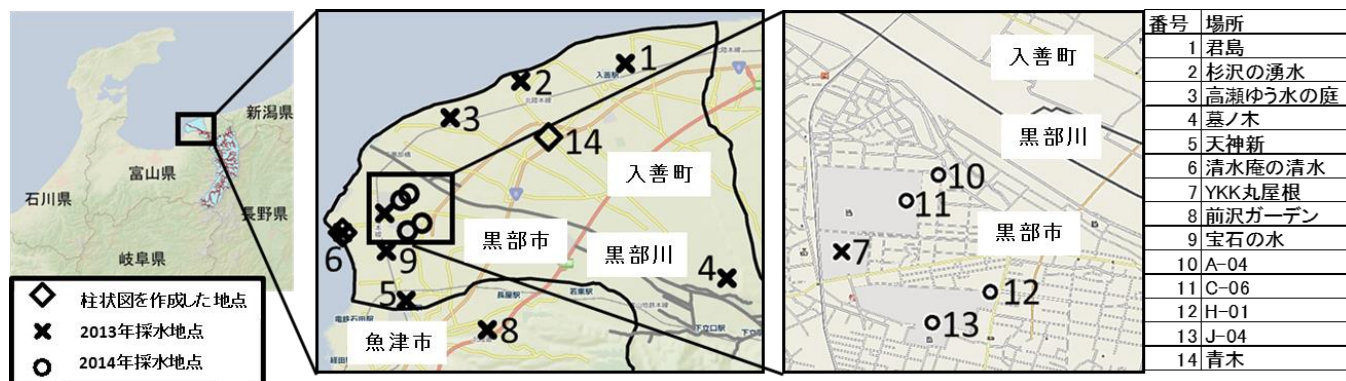


図-1 黒部川扇状地と放射性同位体の採水地点

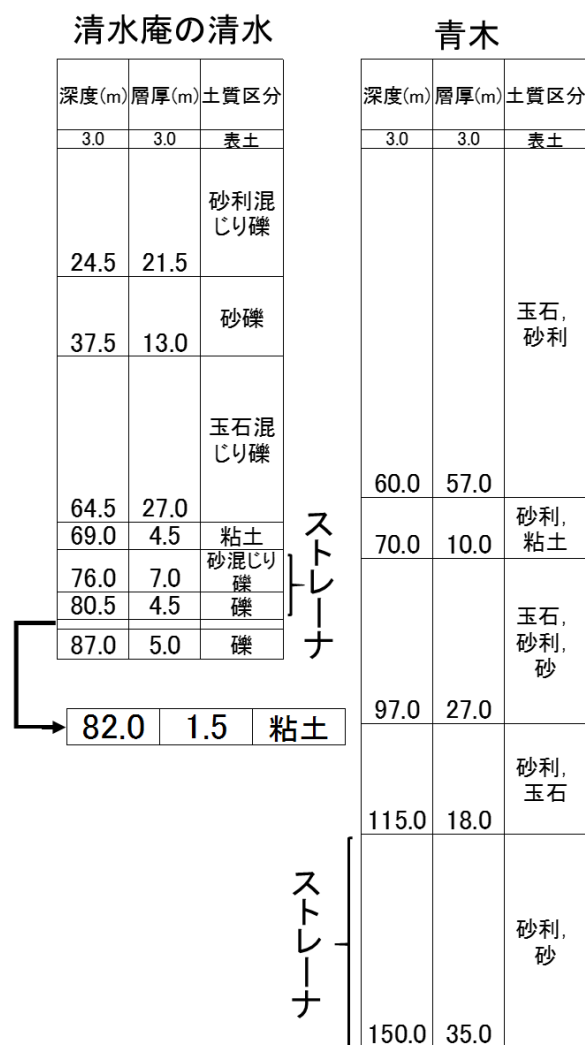


図-2 清水庵の清水(左図)と青木(右図)の柱状図

表に達し、河川に流下、蒸発、地中へ浸透する。地中へ浸透後、帯水層中では他の物質と反応せず、放射性壊変で濃度が減少する特徴がある。放射性壊変による減衰曲線は次式の通りである。

$$\frac{C}{C_0} = \exp(-\lambda t) = \exp\left(-t \frac{\ln 2}{T_{1/2}}\right) \cdots (1)$$

ここで、 C_0 は初期濃度、 C は試料(現在)濃度、 λ は崩変定数、 t は経過時間、 $T_{1/2}$ は半減期である。

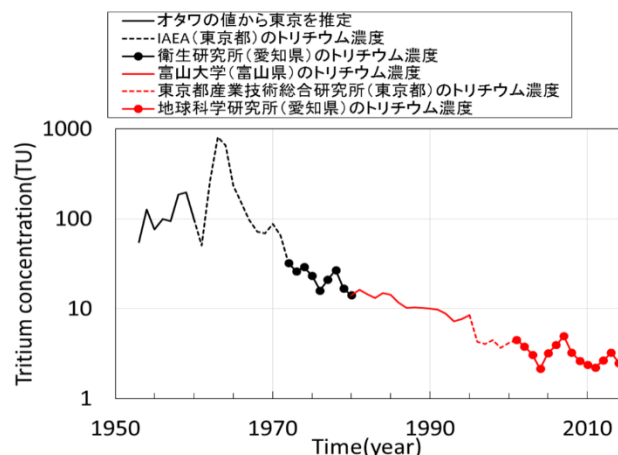


図-3 降水のトリチウム濃度の経年変化

試料のトリチウムの放射性壊変の減衰曲線が降水中のトリチウムの濃度の経年変化と交わる場合、その時系列に対応する年代に涵養したと推定される。トリチウムを用いた地下水の年代推定は、数十年程度の滞留時間の地下水に適している。一方で、放射性炭素は数百年程度の滞留時間の地下水に適している。

4.2 降水のトリチウム濃度

これまでに、黒部川扇状地内では降水のトリチウム濃度の測定は行われていない。富山県内では、富山大学が1981～1995年の期間で降水のトリチウム濃度を測定している。富山県内の降水のトリチウム濃度データが少ないため、東京都と愛知県の降水のトリチウム濃度データで補間した。

図-3 は 1953 年以降の降水のトリチウム濃度を示す。1953～1960 年の期間はオタワの観測値から東京都のトリチウム濃度を推定した値である。それ以降の期間では、IAEA(東京都, 1961～1972 年), 衛生研究所(愛知県, 1973～1980 年), 富山大学(富山県, 1981～1995 年), 東京都産業技術総合研究所(東京都, 1996～2001 年), 地球科学研究所(愛知県, 2002～2014 年)の観測値をそれぞれ示す。

1952 年から大気圏内で核実験が行われ、大量のト

表-1 黒部川扇状地地下水のトリチウム濃度

番号	場所	採水年	井戸 深度 (m)	ストレーナ の位置 (m), 採水 深度(m)	採水時のトリチ ウム測定値 (TU)
1	君島	2013	70		3.5
2	杉沢の湧水	2013	不明		3.2
3	高瀬ゆう水の庭	2013	36		3.2
4	墓ノ木	2013	47		3.5
5	天神新	2013	25		3.3
6	清水庵の清水	2013	87	76~80.5	3.3
7	YKK丸屋根	2013	21.8		3
8	前沢ガーデン	2013	800		検出限界以下
9	宝石の水	2013	222		検出限界以下
10	A-04(DL=5m)	2014	20	5	3.1(3.3) ※
10	A-04(DL=18m)	2014	20	18	3.5(3.7) ※
11	C-06(DL=5m)	2014	20	5	4.1(4.3) ※
11	C-06(DL=19.5m)	2014	20	20	3.6(3.8) ※
12	H-01(DL=5m)	2014	20	5	3.1(3.2) ※
12	H-01(DL=18m)	2014	20	18	3.4(3.6) ※
13	J-04(DL=4m)	2014	20	4	2.8(3.0) ※
13	J-04(DL=18m)	2014	20	18	2.9(3.1) ※

※括弧内は2013年のトリチウム濃度に換算した値

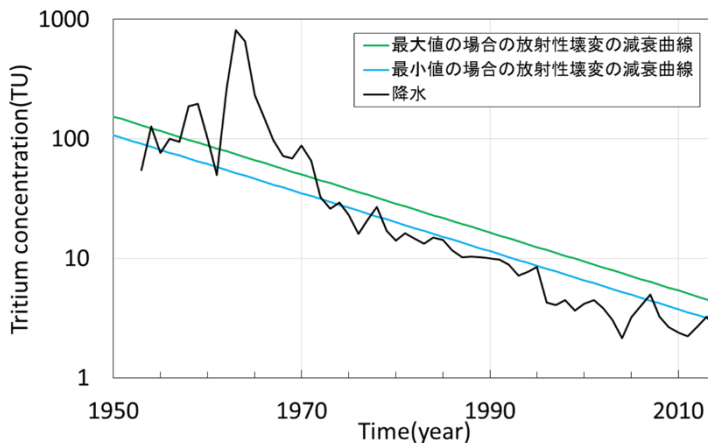


図-4 黒部川扇状地地下水のトリチウム濃度の最大値と最小値の放射性壊変による減衰曲線と降水のトリチウム濃度

リチウムが大気中に放出された結果、1953～1963年の期間で降水のトリチウム濃度が上昇した。1963年以降は核実験の停止に伴い、トリチウム濃度は年々減少し、近年では天然で存在するトリチウム濃度まで減少した⁵⁾。

5. 黒部川扇状地地下水の年代推定

表-1は採水した井戸の深度、ストレーナの位置と採水深度、トリチウム濃度の測定結果を示す。2014年に採水を行った4地点は式(1)を用いて2013年のトリチウム濃度に換算し表-1の括弧内に示した。本稿では、2013年のトリチウム濃度を用いて議論を進める。

前沢ガーデンと宝石の水はトリチウム分析の検出

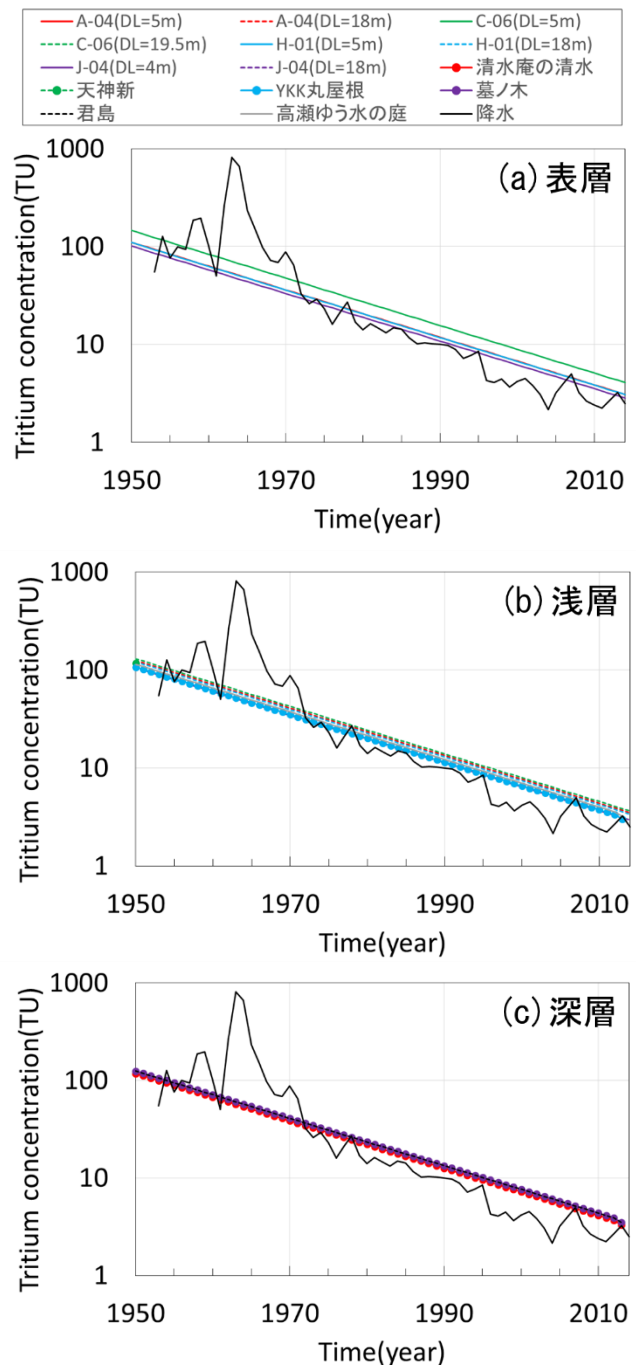


図-5 黒部川扇状地地下水のトリチウム濃度の放射性壊変の減衰曲線((a)表層, (b)浅層, (c)深層)

限界である0.3 TU以下であった。それ以外のトリチウム濃度は3.0～4.3 TUの範囲であった。その最大値と最小値である3.0, 4.3 TUの測定値における放射性壊変の減衰曲線と1953年以降の降水のトリチウム濃度の経年変化を図-4に示す。黒部川扇状地地下水のトリチウム濃度は降水のトリチウム濃度の経年変化の範囲にあり、1953年以降に涵養された地下水であると推定される。

図-5は、1953年以降に涵養されたと推定される井戸を表層地下水(0～5m)、浅層地下水(5～40m)、深層

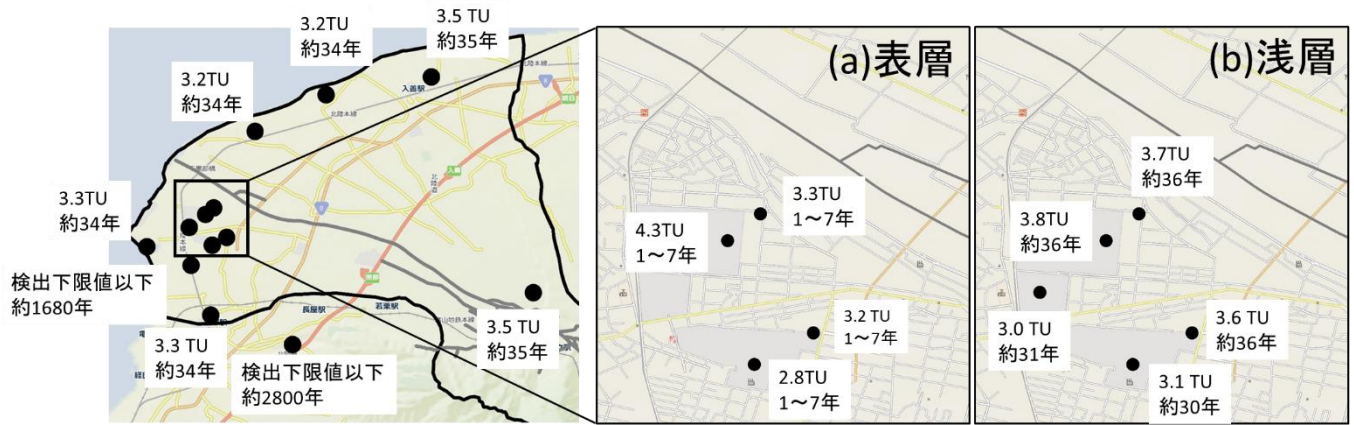


図-6 黒部川扇状地地下水の滞留時間とトリチウム濃度

地下水(40～100 m)の3区分にして、それぞれ地下水のトリチウム濃度の放射性壊変の減衰曲線と1953年以降の降水のトリチウム濃度の経年変化を示したものである。

表層地下水、浅層地下水、深層地下水のいずれのトリチウム濃度の放射性壊変の減衰曲線と1950年以降の降水のトリチウム濃度の経年変化の範囲が重なるのは、1970～1980年の範囲と2006～2013年の範囲と読み取れる。このことから、黒部川扇状地地下水は35～45年、もしくは1～8年の非常に若い地下水であると推定できる。

トリチウム濃度の検出限界を超えていた前沢ガーデン(図-1中の8)と宝石の水(図-1中の9)については、先述したように放射性同位体を用いて年代推定を行った。前沢ガーデンは 2800 ± 30 年前、宝石の水は 1680 ± 30 年前であると推定された。表-1で示したように、前沢ガーデンと宝石の水の井戸深度はそれぞれ800 m, 222 mであり、他の井戸よりも非常に深い。

6. 考察

図-6は黒部川扇状地地下水のトリチウム濃度と滞留時間を示す。前沢ガーデンと宝石の水を除く最大87.0 m以浅の黒部川扇状地地下水のトリチウム濃度は3.0～4.3 TUの範囲に存在しており、滞留時間は30～40年の若い地下水であることがわかった。

著者らのグループの研究結果によると、黒部川扇状地の透水係数の最大値は 2.02 cm/s 、最小値は $2.24 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 、平均値は $4.90 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ である⁶⁾。黒部川扇状地において支配的な透水係数である $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ cm/s}$ を利用して、地下水の滞留時間を概算した。扇頂部を涵養源として仮定した結果、約20年と推定さ

れた。トリチウム濃度から推定した最大87 m以浅の黒部川扇状地地下水の滞留時間は約30～40年であり、透水係数を用いた概算値より短い、概ね同程度と評価できる。また、透水係数から地下水涵養域を推定すると、河口から約20～30 km付近であることが考えられる。

謝辞：本研究の一部はYKK株式会社黒部事業所の助成を受けている。本研究の遂行にあたり、富山県環境科学センターと黒部市役所と入善町役場からデータや情報の提供を受けた。合わせてここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 小野昌彦ら：沿岸域における地下水位の回復に伴う地下水塩水化現象の解明 - 熊本県荒尾市における事例 -，地下水学会誌，第56巻，第3号，pp.189-208, 2014.
- 2) 大東憲二，植下協：濃尾平野の地盤沈下地域を拡大させた平成6年異常渇水，地下水学会誌，第38巻，第4号，pp.279-294, 1996.
- 3) 入善町：入善町地下水流量等調査業務報告書，p.7, 2004.
- 4) 入善町：入善町地下水流量等調査業務報告書，p.4, 2014.
- 5) 岡本正樹，平井英治，松岡信明：福岡市における降水中トリチウム濃度の最近の変動，地下水学会誌，第35巻，第2号，pp.87-93, 1993.
- 6) 北隆平，手計太一：黒部川扇状地における透水試験と数値実験による透水係数マップ，土木学会第42回関東支部技術研究発表会要旨集，II-34, 2015.