

地下水技術

JOURNAL OF GROUND WATER TECHNOLOGY

第43巻 第11号



地下浸透に類似した降水トリチウム測定	齊藤 正明、今泉 洋、高篠 静香	(1)
生命をはぐくむ水と生きる—事例にみる地下水論考—	畠 中 武 文	(7)
岩盤地下水に関する最近の話題	小 林 晃	(26)
ベトナムの経済事情とホーチミン市の生活統計	小 椋 健 二	(43)
斜面安定に係る自然の地下水路(水みち)の 形態に関する考察	吉田 耕作、松井 保	(48)
水 だ よ り	編 集 部	(56)
協 会 記 事	”	(60)
編 集 後 記	”	(62)

2001 11

社団法人 地下水技術協会

The Japan Ground Water Technology Association

地下浸透に類似した降水トリチウム測定

斎藤 正明^{*1}、今泉 洋^{*2}、高篠 静香^{*3}

1. はじめに

1.1 環境トリチウム水

トリチウムは半減期12.4年の水素の放射性同位元素で環境中では水分子として大気循環している。天然水のトリチウム測定は水そのものをトレーサとした理想的な情報が得られることから、地下水の流速、流向あるいは関連性について、土木、農業、環境など多方面で調査需要が旺盛であり、その際に降水も同時に測定される場合が多い。

大気圏循環水では天然トリチウムの生成率および存在量がほぼ定常的であるため、半減期を利用して降水濃度と比較することで地下水が大気循環から離脱していた期間を知ることができる、というのがトリチウム測定による地下水年代推定の考え方である。

しかし、現実には降水トリチウム濃度は月単位で比較してかなり大きな変化がある。月単位で貯留採取したトリチウム観測値の変動は0.3-1.2 Bq/kg(東京、2000年)で、トリチウムの年代にして10年以上の誤差を生じるほどであり、地下水などの参照データとして利用するにはやや無理がある。

1.2 降水トリチウム濃度の変動の理由

環境水トリチウムの供給源は主に宇宙線および1960年代の大気圏核実験であり、極地方から大気圏へと供給される。日本列島一帯で降水毎にトリチウム濃度が異なる理由は高島ら¹⁾⁻³⁾によって明解に述べられた。アジア大陸のトリチウム水濃度は太平洋海水よりも数倍から数十倍高い。一雨毎に観測すると、降水起源が大陸性気団のときはトリチウム濃度が高く、また、降水起源が海洋性

気団のときはトリチウム濃度が低くなる。

日本での降水毎の起源が、大きく分けてトリチウム濃度の異なる大陸と海洋の二つの気団によるものであり、気象状況によってそれらが降水となる、という解釈は合理的であり、観測事実とも合っている。

典型的な起源によって降水濃度が異なるという視点から理解するなら、一月間にわたって貯留した降水の月毎の濃度の違いは、起源の異なる降水の混合比の変化を反映したものであると理解できる。

1.3 降水と地下水のトリチウム濃度の違い

一般に循環地下水の起源は降水に違いないが、降水の全量が地下浸透するわけではない。著者らの実測例⁴⁾を挙げれば、1993年における月間降水濃度は0.3-1.0Bq/kgの範囲で変動したが、降水量117mm/d(1993/8/27)を記録した台風の一雨のトリチウムを測定してみると、0.20Bq/kgというように海洋起源であったために濃度が著しく低かったことがわかる。この増水時の多摩川の河川水濃度は0.21Bq/kgであり、降水のない平常時の河川水濃度が0.7-0.8Bq/kgであったことから低濃度降水が直接、河川に流入し、河川水トリチウム濃度を激減させたことが窺える。なお、河川水の調査地点は多摩川の河口から18km、東京都二子橋で、さらに下流に堰があるため海水は遡上しない。

以上の事実は、大雨では地下浸透しないで直接海まで流れていく割合が大きくなったということである。視点を変えれば、月間の降水の全量を貯留した試料には地下浸透しなかったはずの低濃度降水が多く含まれたことになる。したがって地下

*1 さいとう まさあき・東京都立産業技術研究所、

*2 いまいずみ ひろし、*3 たかしの しずか・新潟大学工学部

浸透水と月間降水のトリチウム濃度がかけ離れた値となる。

1.4 本報のアウトライン

降水トリチウム観測値と地下浸透水トリチウム濃度の関係を探る目的で、地下浸透水に類似した降水採取を試みた。本報の降水採取が従来の降水試料採取と異なる点は、大量の降雨に対して地表流出分を廃棄するようにしたもので、擬似的な地下浸透が達成できるように降水採取器を工夫したことである。約1年間観測したところ、トリチウム濃度はこれまでの降水の全量採取した観測値より明らかに高濃度となった。

地下水トリチウムの起源として降水を参照する際には、月間貯留降水よりも地下浸透水の方がトリチウム濃度が高いことを認識する必要があるが、これまでの報告には見あたらなかった。

2. 実験

2.1 擬似浸透降水の採取

降水の全量採取するこれまでの方法に対して、実際の地下浸透に近い採取法によって月間降水を貯留した。激しい降雨時には、その多くが地下浸透せず地表流出がおきるような地下浸透現象に類似した採取法を工夫したものである。本報ではこのようにして採取した降水試料を擬似浸透水と呼ぶことにする。これに対し、従来のように降水の全てを採取した試料を全量降水と呼ぶことにする。

擬似浸透水の採取器具として、図-1のように直径21cmのプラスチック製ロートを降水受けと

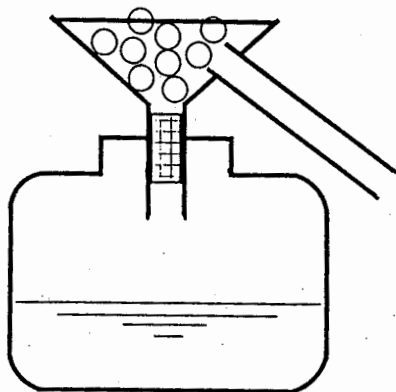


図-1 地下浸透に類似させた擬似浸透水採取器

して使用した。ロートの管に濾紙や布を充填して側面部にはオーバーフロー分が外部に廃棄されるように側管を設けた。小石をロートに入れ、オーバーフローまでの実効容積を調節した。ロートの管の充填状態およびロート側管位置の高さおよび小石の量すなわちオーバーフローまでの容積を変えた採取器具をいくつか用意した。採取容器への流入速度は1.50mL/min。オーバーフローまでの容積は30-200mLであった。

これらの採取器具を用いて月間降水を採取した。

自然環境において地表流出が起きるかどうかは降水強度、降雨時間に依存する。さらに、地域によって異なる地表地質、地目および土壤の乾湿状態も考慮すると、その検討は大変複雑なものとなる。どのような地域および降雨に対しても再現できる採取器具を製作するのは現実には困難である。模擬的に地面で地表流出が生じる条件で採取器具にもオーバーフローが生じるように調節して貯留量を厳密に測定し、別個に採取した全量降水量に対する比率(以下、擬似浸透率と呼ぶ)を採取器具の特性値として扱った。

年間を通じての観測では、降水量の少ない月は擬似浸透率が小さ過ぎ、計測に必要な試料水量が確保できなかったため、上述したロート面積の約3万倍に相当する屋根面積3.6m×2.9mの物置小屋の雨樋の水を採取器具に導いて擬似浸透水を貯留した。屋根利用採取では月間降水量から推算して、全量降水量の2%以下の試料水を採取した結果となった。言い換えれば全量降水の98%以上をオーバーフローさせ廃棄したことになる。微生物の繁殖によるロート管の閉塞を防ぐために、充填物として銅の細線および切り屑を使用した。

2.2 液体シンチレーション計測

採取試料を蒸留した後にSPET(固体高分子電解トリチウム濃縮装置)によりトリチウム電解濃縮し^{5), 6)}、再度蒸留し、液体シンチレーションカウンタで計測した。計測条件は次の通りである。計測水量: 40.00g、Counting vial: ZINSSER ANALYTIC社 POLYVIALS145SLD; 145mL Ultra high-density polyethylene TEFLON coating inside、シンチレータ: 同仁化学社 ScintiSol-EXH60mL、静電気除去バイナル表面

被覆剤 尚和化工社、SB-8、液体シンチレーションカウンタ：Aloka社LB-5、100分間×10回、外部標準線源自動効率補正、バックグラウンド計数率：2.7-2.8cpm。

トリチウム濃度定量における総合誤差 1σ は試料水濃度が 0.3Bq/kg 以上の試料では 5% 以下、 0.1Bq/kg の試料では 9% であった。

3. 結果および考察

3.1 降水採取法とトリチウム濃度

1999年10月から2000年1月までの間に全量降水(擬似浸透率 100%)、ロード利用の擬似浸透水(同 $30\text{-}60\%$)および屋根利用の擬似浸透水(同 2% 以下)を並行して観測した結果を比較し表-1に掲げる。いずれの月においても擬似浸透率が小さい採取法ほどトリチウムが高濃度であったことが認められた。

表-1 擬似浸透率の違いによる月間貯留降水のトリチウム濃度(Bq/kg)

採取(年-月)	擬似浸透率		
	100%	30-60%	<2%
1999-10	0.40	0.49	0.83
1999-11	0.32	0.38	0.68
1999-12&			
2000-1	0.46	0.54	0.71

3.2 擬似浸透率とトリチウム濃度変化

1カ月間貯留降水について、擬似浸透率をx軸にとった擬似浸透水のトリチウム濃度の変化を図-2に示す。擬似浸透率が小さくなるほどトリチウム濃度は高くなっていく傾向が認められた。擬似浸透率が小さいということは、大雨ではその大半をオーバーフロー廃棄しているということで、貯留水全量中の低濃度成分である大雨分の占める比率が、小さくなっていくことを意味する。

擬似浸透率とトリチウム濃度の変化(図-2)において、擬似浸透率をさらに小さくしていくと、トリチウム濃度はある一定値に到達するものと期待される。このことを図形を用いて説明すれば次のようになる。図-3で一雨毎に縦幅にトリチ

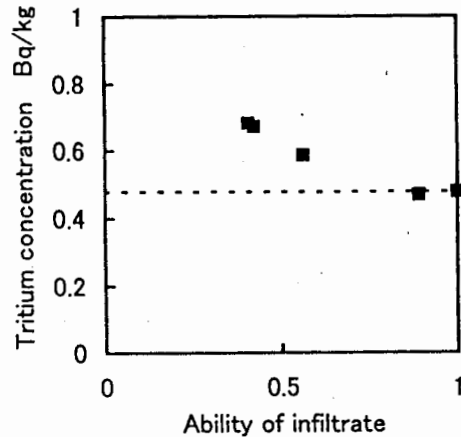


図-2 擬似浸透率とトリチウム濃度の関係(東京都世田谷区1999年5月)

擬似浸透率(Infiltration ability): 全量降水量に対する擬似浸透水量の比率。
破線: 全量降水量のトリチウム濃度

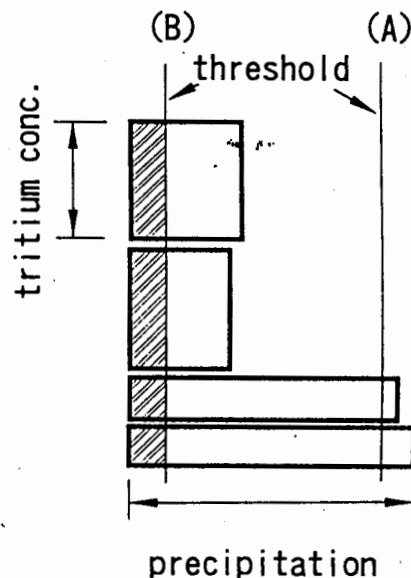


図-3 擬似浸透水トリチウムの模式図各四角形について、

縦幅: トリチウム濃度、横幅: 一雨の降水量
四角形の面積: トリチウム量
縦線(threshold): 擬似浸透率
斜線部: threshold(B)における擬似浸透水

ウム濃度、横幅に降水量をとった四角形を考える。説明のために4つの四角形だけを示したが、貯留期間内の降雨の回数だけ四角形があるものと考えていただきたい。それぞれの図形について四角形

の面積(トリチウム総量)は、縦幅と横幅の積(トリチウム濃度×降水量)となる。月間貯留水のトリチウム濃度は全ての四角形の総面積を横幅の総和で除したものとなる。ここで、日本の気象的特性から、大雨時の降水は低濃度(=横幅の大きいものは縦幅小)であると考えた。

図中の四角形を貫く縦線(A)、(B)はオーバーフローの起きるしきい値を表す。本採取器具ではしきい値より左側の降水のみ(Bの場合は斜線部)を採取し、右側を廃棄したことを意味する。しきい値を右端から左側に移動させていくと、図中(A)のように降水量の多い四角形から順次しきい値によって廃棄される部分が多くなり、全体のトリチウム濃度が次第に高くなっていくことが理解できよう。

擬似浸透率が十分小さい、しきい値が左端に近い領域では、図中(B)のように全ての四角形を貫くことになり面積の和が単純に横幅の和に比例することになる。その比例定数すなわち擬似浸透水のトリチウム濃度はもはや擬似浸透率の変化に依存しないことになる。通年の観測結果では擬似浸透率0.7-2%で十分小さい領域であったものと考えた。

このようにして採取した擬似浸透水は、大雨でも小雨でもあらゆる雨に対して、必ずオーバーフローさせて同量ずつを採取、混合したという意味を持つ試料と考えられる。

3.3 擬似浸透水の通年観測

全量降水と擬似浸透水のトリチウム濃度観測結果を図-4に示す。図に見られるような、トリチウム濃度が春季に高く、夏季に低くなる傾向はこれまでも数多く得られている^{7), 8)}。

図-4において、

- (1) 擬似浸透水の方が全量降水よりトリチウム濃度が高かった。以下の(2)および(3)に述べる例を除いて、全量降水濃度の年間変動範囲は0.3-0.5Bq/kgであったのに対し、擬似浸透水濃度の年間変動範囲は0.6-1.0Bq/kgであった。
- (2) 全量降水濃度は春季に最高濃度約1 Bq/kgが認められ、擬似浸透水濃度に近い値であった。
- (3) 擬似浸透水濃度は夏季に限って最低濃度0.24 Bq/kgが認められ、全量降水濃度の値と一致

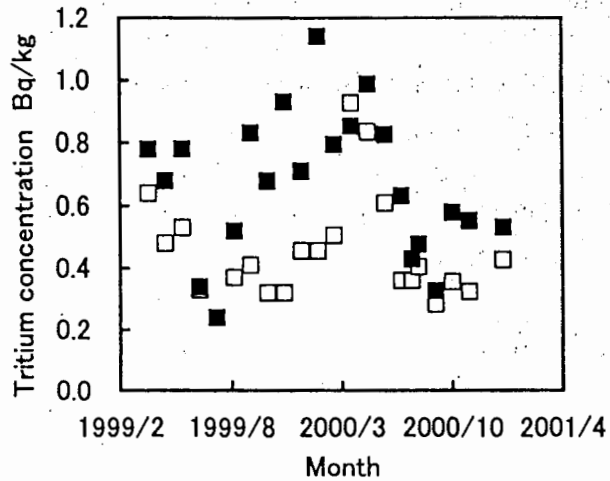


図-4 擬似浸透水および全量降水のトリチウム観測値

- : 擬似浸透水
- : 全量降水

がみられた。

擬似浸透水と全量降水とで濃度が異なる月では、高濃度降水と低濃度降水とが混在し、両者の降水強度が異なることから濃度の違いが顕在化したものと考えられる。

全降雨と擬似浸透水で一致がみられた月は、単一の濃度の降水しか降らなかったことを意味する。例えば、7-9月は太平洋気団で覆われ、約0.3 Bq/kgに代表される海洋性水分しか降らなかった。また、2000年4-5月は年間最高レベル約1 Bq/kgの雨しか降らなかった、ということになる。

4. 考察

4.1 ワインと擬似浸透水のトリチウム類似性

醸造(収穫)年代の明らかなワインに含まれるトリチウム濃度測定は、未測定であった過去の環境トリチウム濃度を推定する有力な手段である。Kozs⁹⁾にはオーストリアViennaの降水トリチウムの年次変化及びHungarian wineのトリチウム測定値が示されている。降水トリチウムは1972-1977年では各年毎に5-24Bq/kgの季節変化が認められるが、ワイン濃度は毎年20Bq/kg台であり、それぞれ降水の年間最高濃度に対応している。同様な観測は日本でもなされ、池田¹⁰⁾には東京、

筑波の降水トリチウム観測値及び北海道ワインのトリチウム測定値が示されている。1985-1995年では漸減傾向の中に各年毎に0.4-2.4Bq/kgの季節変化が見られるが、ワイン濃度は常に当該年の最高値よりやや高い濃度1.2-3.6Bq/kgで推移している。

特定の季節に果実の水分が根から吸収されたことを考慮する必要があるが、過年度の高濃度地下水を吸収した結果とも理解できる一方で、本報で述べてきたように、植物が降水より常に高濃度であった地下浸透水を吸収した結果とも考えられる。

4.2 一雨観測値と擬似浸透水のトリチウム類似性

Hayashi³⁾は福岡市における一雨毎の降水トリチウム観測値を報告した。一雨毎のプロットは1.5-2.2Bq/kgの高濃度降水と1 Bq/kg以下の低濃度降水に二極化して見える。観測年次が1995-1997年で図-4とは3年間の違いがあるため全体のトリチウム濃度レベルが高く、また、採取法、観測地点ともに異なる。しかし、高濃度降水を擬似浸透水、低濃度降水を全量降水に対比させると、一雨毎の降水トリチウム観測値と図-4のプロットは極めて良く類似している。

あらゆる降水を同量ずつ貯留したと考える擬似浸透水試料は高濃度降水の寄与を受ける。他方、全量降水は貯留水量に占める比率が大きく、低濃度降水の寄与を受けやすい。したがって、高濃度一雨降水のプロットが擬似浸透水に類似し、低濃度一雨降水のプロットが全量降水に類似したものと考えられる。

4.3 擬似浸透水トリチウムの利用

同じ降雨でありながら採取の仕方によってトリチウム濃度が異なることについて述べてきた。地下水測定値を対照させる場合には擬似浸透水の値を採用した方が適切と考えるが、ここで、全量降水観測を止め擬似浸透水観測に切り替えた方がよい、と著者は主張している訳ではない。全量降水観測値を用いて次のように、地下水浸透水濃度を誘導することができないだろうが、というのが真意である。

擬似浸透水濃度として、

- (1) 夏季に全量降水の年間最低濃度を対応させる。
- (2) 夏季以外は全量降水の年間最高値を対応させる。

というように、擬似浸透水の濃度を全量降水観測値から誘導できれば過去の蓄積データを利用でき有用である。しかし、(2)については、夏季以外の擬似浸透水濃度は0.6-1.0Bq/kgで、一定の値として扱えるかどうか今後の観測結果の推移を見る必要がある。以上のモデルの適否については、気象の異なる広域において実測を伴った今後の検証が必要である。

5. 結論

新しい降水採取法として、擬似的な地下浸透器具を製作して降水を1カ月間貯留し、トリチウム測定した。その結果、

- (1) 擬似浸透率を小さくしていくと、観測月に固有な一定濃度の貯留水が得られるものと考えられる。
- (2) 海洋性で低濃度である大雨は地表流出するため、その降水量に比較して地下浸透水への寄与は大きくない。このため、年間を通して、擬似浸透水濃度 > 全量降水濃度という傾向が得られた。
- (3) 単一起源の降水しか降らない期間においては両者の濃度はほぼ一致した。両者の一致がみられたのは全降雨の最高濃度が得られた春季および最低濃度が得られた夏季であった。
- (4) 擬似浸透水濃度は地下水、河川水トリチウム起源として検討の価値がある。

文 献

- 1) 高島良正: *Radioisotopes*, Volume 40, pp.520-530 (1991)
- 2) Ahn, J.S., Koh, Y.K.: *Fusion Technol.*, Volume 28, pp.793-796(1995)
- 3) Hayashi, Y., Momoshima, N., Maeda, Y., Kakiuchi, H.: *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, Volume 239, pp.517-522(1999)
- 4) 斎藤正明、高田茂: 東京都立アイソトープ総合研究所研究報告、第15号、pp.9-15(1998)
- 5) 斎藤正明、高田茂: *Radioisotopes*, Volume 45,

- pp.483-490(1996)
- 6) 斎藤正明、磯貝啓介、佐藤兼章、今泉 洋：
Radioisotopes, Volume 49, pp.333-338(2000)
- 7) Moon, S-E, Kim, Y-K., Park J-K.: *Atomos Environ. part A*, Volume 26, pp.2751-2758(1992)
- 8) Matsuoka, N., Hirai, E., Tagomori, H.,
Momoshima, N., Tkashima, Y.: *Sci. Total Environ.*, Volume 145, pp.197-205(1994)
- 9) Koza, K.K., Biro, T.: *Health Phys.*, Volume 46, pp.193-203(1984)
- 10) 池田光良、高田茂、松枝大治：*Radioisotopes*, Volume 47, pp.812-823(1998)

