

地下水調査における R I トレーサーの 直接測定について

小 鯛 桂 一

塩化物や蛍光染料を用いて 地下水の流速を知ろうとする試みは 歴史的にみて一世紀余りも前から行なわれていたようです。しかしながら 最近ではトレーサーといえは 多くの特質を持つところのラジオアイソトープ (R I) 核種のトレーサーが あたかもトレーサーと同意語のように活躍しています。

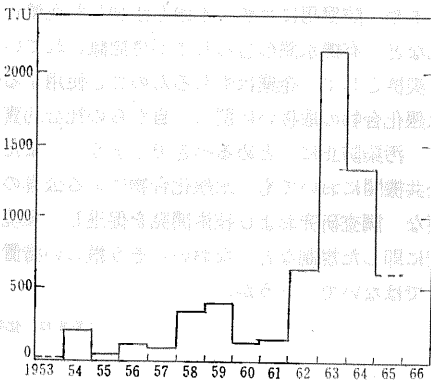
R I トレーサーの地下水調査における効果は 地下水の流速以外にも 流向 流入 (出) 量 拡散などが測定でき その結果と その他の探査方法を併用することによって 地下水の賦存量や容水盤地質の解明が わりあい定量的に算出できることであります。しかしながら R I を人工的にトレーサーとして利用する場合に 種々の点で制限されるために 千数百種類もある R I 核種のうちで 実用の対象になるものは せいぜい数十種類程度に過ぎません。

比較的に限られた狭い地域における これまでの R I トレーサー実験の研究成果を総合して (文献②) 地下水調査のトレーサーとして良好な結果を得ている R I は 第 1 番目に 地層中あるいは地下水における吸着性がなく 最も信頼性のあるものとしてトリチウム (^3H) が挙げられます。次には 一般的な条件下で比較的安定しているものとして沃素 131 (^{131}I) が挙げられます。そして その他につねに信頼できるとは限らないけれど

も 比較的の良い結果が得られるものとして アニオン性アイソトープやキレートがあります [キレート化合物として これまでに多く使用され 成功をおさめている核種として クローム 51 (^{51}Cr) やコバルト 60 (^{60}Co) などがあります]。

トレーサーとして最も信頼性のある ^3H は 水中許容濃度がゆるく しかも購入価格が低廉であるなどの利点も加って有利ですが 後に述べるように ^3H の自然含有量を測定することにより 地下水の年代を判別することが行なわれているので みだりに人工的な注入試験ができないこと そして ^3H に限らず β 線 とくにその低エネルギーの放射体は物質を通過する際に 急速にそのエネルギーを失いやすいので 放射能障害の防止上からは都合よいけれども それを検出しようとする側からすれば 測定上めんどうになるために 多数の試料を試験しなければならぬ野外調査のトレーサー核種として 若干問題となります。これに比べて γ 線放射体の R I を野外において使用した場合に β 線放射体よりも容易に検出できるのでこちらの方が有利です。 γ 線放射体の検出法としては 測定精度的にみてやや劣りますが 大量の試料を迅速に計数できるという点で 直接的な検出法である Well 型のシンチレーションカウンターが多く用いられています (微弱放射能を測定する場合に検出できる最小の計数値は 計数装置のバックグラウンド計数率と同程度以上であれば十分です)。

実際の現地調査にあたっては 放射能障害防止の立場から 試験地として なるべく他に影響のないようなところを選ぶ必要があります。しかしながら 実際上このように恵まれた条件を持った試験地はむしろ数少ないものとみななければなりません。となれば あらかじめ地下水の流量やトレーサーの通過時間などの最小値を推測して これから最適の半減期をもった核種を選び その最小必要線源量と最良の測定方法とによって 最終的 (放射能障害の危険度が最も近く大きいところの意) には水中許容濃度の基準以下におさまる範囲内で調査せざるを得ません。たとえば ^{51}Cr の場合の水中許容濃度は $2 \times 10^{-2} (\mu\text{c}/\text{cm}^3)$ で安全率を10倍みても 2×10^{-3} であり これに対する最小濃度の検出精度は Well 型シンチレーションカウンターで試料 5 g を30分間測定した場合 $5 \times 10^{-6} (\mu\text{c}/\text{cm}^3)$ で この間の測定許容差は 10^8 もあり 最終的に検出する計数値が この範囲内におさまるように最小の注入トレーサー量を推算すればよいこととなります。最小必要 m c 数は おもに 許容誤差 拡散率 吸着損失率 使用検出器 地下水流量 トレーサーの通過時間 そして半減期によって決まるも



ヨーロッパにおける降水中の年平均 ^3H 濃度
(after Münnich et al.)

ので いま全計数値を N その統計誤差を ΔN とし $\Delta N/N = f$ とおけば河川流量の測定に使われるところの瞬間注入稀釈法の積分値の統計誤差を求める式から導いた式に 地層中における地下水の拡散率と吸着損失率を加積して 最小必要 $m \cdot c$ 数 (A_{min}) は

$$A_{min} = \frac{D^2 Q}{2af^2 F} \left(1 + \sqrt{1 + 4f^2 n_0 t_w \frac{q+1}{q}} \right) e^{-\frac{0.693t}{T}}$$

で表わされるものと考えられます。ただし a は吸着損失率 (カラム試験による ^{51}Cr の場合は 0.5 位の値を示す) F は検出器の全計数効率 (Well 型シンチレーションカウンターで ^{51}Cr を検出した効率はあまりよくなくて 10% 位です) Q は地下水流量 (単位時間流量は水位勾配値 周囲の透水係数データなどから推算することになります) D は注入地点と検出地点間の距離で 拡散率は 一般に $1/D^2$ になるものとされていて 距離の相違が非常に大きくいけることがわかります。 n_0 はバックグラウンドの計数値 t_w は検出地点における検出幅の時間 q は連続試料採水量 そして $e^{Z} = 0.693t/T$ は R I 半減期 (T) の減衰指数です。

一方 比較的広い地域を対象とする野外調査に R I トレーサーを人為的に使用しようとするれば その必要量を最小限度に見積っても膨大なものになるので 放射線障害防止の見地からも実行不可能でしょう。そこで核爆発実験の結果生産される 3H などを天与のトレーサーと考えて 地下水の年令 涵養率 循環過程の研究など 水理学上の諸問題をある程度解決しようとする試みがなされています。

大気中の ^{14}N と宇宙線のなかの高速中性子とが核反応を起こし 天然 3H が大気中につくられ この生成率は過去より一定です。けれども 原水爆の実験によって 1954 年頃から急激な増加を示しはじめました。これに比例して降雨中の 3H 量の自然レベルも 1954 年以前には 4~10 T.U. (T. U. は Tritium Unit のことで 1 T. U. は水素原子 10^{16} 個に対し 3H 原子 1 個の割合です) であったものが 1954 年以後 急上昇しはじめ 最大のフォールアウトのピークを示す 1963 年には 2,000 T. U. 以上の異常値を示しました (外国における観測例——付図参照)。したがって もし現地調査における試験水の 3H 検出濃度が 数 100 T. U. といった高い値であったならば それは 1954 年以後の降雨水が地中に浸透した結果によるものであり 非常に若い水であるということがいえます。また もし 1954 年以後から滞留している地下水の場合は 検出精度を上げることによって 地下水中に含まれる天然 3H の減衰濃度から 過去 50 年位までの年代は推測が可能です。そして 検出不能なほど

稀薄な濃度であれば これは 50 年よりもさらに年代の古い地下水であるといえます。しかし この場合正確な年代は得られません (地下水の流動は裂か水を除いては一般に遅いので 非常に古い地下水の場合は検出できないために 炭素-14 (^{14}C) 法が用いられることとなりますが 今回はこれにはふれません)

前に述べたように 3H がトレーサーとして優れていることは わりあい以前からわかっていましたが 非常に低エネルギーであるために測定精度上の多くの困難があつて 実際の調査方法としてはあまり採用されなかつたわけです。これまでに使われた 3H 検出法としては

- I. ラジオグラフィー
- II. ガス変換による測定
- III. 液体シンチレーターによる測定

の 3 つが挙げられ それぞれ測定機構上の欠陥を幾つかもっていました。III の液体シンチレーター機器についても はじめのころは外国から輸入したものを使用していて 測定効率 機械重量 コストその他の性能で欠陥がありました。しかし その後 数社の国産製品が市販されるようになり 溶媒の研究進展による計数効率の向上と相まって これらの欠陥を埋めてきたためと 本来の利点であるところの操作が簡単であること そしてわりあいに短時間で多数の試料を計数できるなどの理由によって 従来 I・II の方法で行なっていた研究室も 一部を除いては III の方法へと切り替えられている現状にあります

液体シンチレーターを使用して 3H 試験水を直接測定できる最小検出精度は 核爆発実験に影響されている雨水のもつ放射能濃度位までで それ以下の濃度の場合には 普通 100 倍位まで電解濃縮してから測定することになります。一般に電解濃縮後の 3H 濃度 t と前の t_0 の間には $V/V_0 = (d_v/d_0 v_0)^\alpha = (t_v/t_0 v_0)^\beta$ の関係があります (ただし d と d_0 は濃縮前後の重水素濃度 α と β は分離定数)。これまでは この式の d_0 d を測定することにより t_0 が求められてきました。しかしながら厳密には α β の関係式が必ずしも常に成り立つとは限らず 定説のないことと 重水の測定にもかなりの手間を要するといったぐあいので 試料の濃縮段階においてまだ多少問題があるようです。 (筆者は応用地質部)

文 献

- ① Knutsson, G. Tracers for Ground water Investigations. PERGAMON PRESS.
- ② 落合敏郎:放射能式地下水探査法 照晃堂
- ③ 佐藤乙丸:河川における流量測定 原子力工業 その他