野外使用(2) 農業土木[†]

落 合 敏 郎

農業土木試験場

神奈川県平塚市中原1519

1. まえがき

農業土木分野で非密封のラジオアイソトープ (RI) を用いる実験は、おもに浸透水、地下水、漏水などに関するものが多く、野外使用はおもに山麓、扇状地など比較的標高の高い未開発地域に限られている。

平野部では人家が密集し環境汚染の問題から RI の野外使用は困難となっている。また、平野部では RI による野外測定を行わなくても、水理地質構造が比較的単調であるので、他の方法で解決できることが多い。

しかし、山麓、扇状地などでは、水理地質条件から地下水などの動きが非常に複雑な場合が多く、従来の物理地下探査法を用いても解明できないことが多い。したがって、RI の利用は、このような地域で汚染の危険性がなく、他によい方法が見出されない場合に限って実施すべきであろう。単に探査効果があるからといって、安易な RI の野外使用はつづまなければならない。

野外使用であると、実験者の放射線による防護も特別の配慮が必要であるし、地下にはいった RI の流動状態（水みち、流速など）の予測に十分の安全率を見込む必要があり、環境汚染対策を十分に配慮する必要がある。

そこで、実験者の防護については、すでに本講座で述べられているので、ここではわれわれの経験にもとづいた、RI の野外使用における環境面の RI 安全取扱いについて解説を試みたい。

2. 放射性トレーサの選択および化学形態

トレーサの核種については、その半減期、放射線エネルギー、放射線の種類、水中許容濃度、測定の難易によって選択されるべきである。

さらに、地表の環境条件、地層の堆積相、帯水層および地下水の賦存形態、流動速度などについて加味する必要がある。

トレーサの選択を誤ると、実験者の被曝および地層、地下水などの環境汚染を招くおそれがある。

RI は流動中に地下水、透水媒体などと化学的反応を生じ、水の動きに対して若干の遅れがみられる。遅れのもっとも少ないのがトリチウム水で、流動からみれば現在、理想的なトレーサとして挙げられている。

トリチウムの遅れは、砂れき層などの透水性地層では認められないが、土壌中では粘土粒子表面の結合水、土粒子の接合点にできるレンズ状の懸垂水などの動かない¹H や水酸基イオンと置換するので、トレーサの前面がわずかに遅れを生じる。

しかし、一般の地下水資源の開発、漏水調査などでは砂れき、岩盤の亀裂水などが対象となるので、この程度のトレーサの遅れでは致命的な障害とならない。

RI の選択にあたっては、野外使用という見地から公共の放射線安全について、十分に考慮を払い、つぎのような条件が満足されなければならない¹⁾。

- 1) 水中の最大許容濃度 (MPC) の高いもの。
- 2) 追跡に支障を来さない程度の短半減期で、帯水層に残留しないもの。
- 3) 帯水層中において吸着、イオン交換、沈殿などの反応を起こし、いわゆる sorption loss によって、放射能強度が減少したり、地下水速度に対して遅れを生じる恐れのないもの。
- 4) 現地で直接的に放射線の検出ができ、その情報を刻々と流せるもの。

これらの条件をほぼ満足できるものとして、¹³¹I、⁸²Br などが考えられる。いずれの場合にも sorption loss を少なくするために、ppb 単位以上の担体を添加して使用する必要がある。トリチウムは MPC が $3 \times 10^{-2} \mu\text{Ci/cc}$ で水中許容濃度が高く、しかも sorption loss がほとんどみられないので、その点はよいが、野

[†] Field Work (2) Agricultural Engineering, Toshiro OCHIAI: National Research Institute of Agricultural Engineering, 1519-Nakahara, Hiratsuka-shi, Kanagawa-ken.

外での直接測定が不可能で、汚染監視がむずかしいこと、半減期が長いので帯水層汚染が拡大すること、天然のトリチウムによる地下水の年代測定に支障を与えるなどの欠点がある²⁾。

^{131}I は MPC が $2 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/cc}$ で、トリチウムより許容濃度が低くなるが、地下水に対する遅れは一般にトリチウムと同様に少ない。筆者らの荒川扇状地の現地試験では NaI 溶液とトリチウム水とをダブルトレーサとして、砂れき層中の地下水を追跡し、RI の投入井から50mの地点で、両者を同時刻に検出し、しかも同形の RI の流出曲線を得ている。これより ^{131}I はトリチウムと行動をともにするということがいえる。しかも ^{131}I は観測井の中にシンチレーション検出器を挿入して、直接的検出ができるので、トリチウムより便利な短期追跡用のトレーサといえよう。

^{24}Na は地層中に Na^+ イオンが存在すると、同位体置換のため流出率が著しく低下する。したがって、 ^{24}Na を海岸地帯で用いるときは注意しなければならない。しかし、 Na^+ イオンが含まれない地層では、担体を添加して流出率の増大を図れば、短期追跡に使用できる。

中期追跡(数週間)のトレーサには、半減期60日の ^{125}I が担体とともに用いられる。そのほか $^{51}\text{Cr-EDTA}$ も考えられる³⁾。

3. 野外実験における地下水汚染の予測

一般の堆積層の帯水層に投入した RI は、流れの軸に沿って円錐形に分散する。これは堆積層の性質によって変化するが、Danel によれば、流れ軸に対して3度の角度になるという。

また、投入した RI の放射能強度は、下流地点でトレーサのピーク強度が、大略距離の3乗に反比例して減少する。

カラム試験のように流動軸に対して、前後方向のみ分散が生ずる場合には、ピーク強度はほぼ距離の2乗に反比例して減少する。

いま、 Y_i を投入した放射能強度、 Y_s を下流側で検出した放射能強度とすると、希釈率 D は $D = Y_i / Y_s$ となる。この希釈率を投入点からの距離に応じて、上述の方法によって求めれば、野外トレーサの放射能レベルが決定できる。また、これより汚染の危険の予測が可能となる。

以上は地下水の流動方向の RI の希釈であるが、帯水層中の垂直分散の傾向はつぎのように考えてよい。これまでの水爆生成トリチウムの帯水層中における挙

動追跡の結果によると、自然の流動状態では、浅層地下水は深層帯水層へ容易に移行していない。そのまま、水平方向に流動する場合が多い。これに反し、わが国の深層帯水層は停滞性の地下水である場合が多い。また、流動地下水との境界深度は、規模の大きい関東平野で150~200m、小さい平野で数10mとなっている。したがって、RI の投入深度は、調査の目的によって異なるが、投入深度付近の地下水の流動を把握して、停滞性地下水の場合には、半減期の長いトレーサの使用は絶体にさけるべきである。

以上は一般の堆積層中における地下水トレーサの汚染予測であるが、岩石の中を流動する亀裂地下水ではまったくその様相を異にするので、注意しなければならない。

山形県横倉山腹で行なった安山岩の亀裂水(地下水こう配1/6.3~1/4.3)では、地下水の流動は山の地形とはまったく無関係で、1つの稜線を越えて、扇形に直線的に流動しており、RI の分散角は約45度であった。地下水の実流速は、20~65.8m/h できわめて速く、RI の投入点から1,286mの下流地点で 2×10^6 の希釈率であった⁴⁾。したがって、広範囲の安全監視網を必要とした。

また、溶岩流のような地下水脈を形成する地質では、その地質断面における地下水速度分布は非常に異なっている。したがって、1箇所の地下水流速の測定値で計画を樹立してはならない。富士山麓、三島溶岩地下水脈の中央部の地下水流速は800m/d で相当に速いが、その水脈の外側部では、非常に遅く、1m/d 以下となっている。このような水脈に RI を投入すると、予想しない事態も生じるので、地下水のトレーサはやめて、むしろ筆者が開発した RI 地下水流速計を使用すべきであろう¹⁾。この方法は許容量以下の最小限の RI 量で、正確に地下水の流速、流動方向が求められる利点がある。

4. あとがき

人口が稠密で、国土が狭いわが国では、非密封の現地使用は十分注意して計画実施をすべきである。とくに、地中でトレーサを行なう場合には、水理地質構造、地下水、帯水層などの特性をあらかじめ十分に調査し、RI の挙動を正確に予測して、RI の使用の可否、および調査計画を樹立することが重要であろう。

文 献

- 1) 落合敏郎：放射能式地下水探査法，昭晃堂

- (1965)
- 2) IAEA: Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, Technical Reports Series No. 91 (1968)
- 3) IAEA: Application of Isotope Techniques

in Hydrology, Technical Reports Series No. 11 (1962)

- 4) 落合敏郎：トレーサによる地下水の調査，原子力工業，10，12 (1964)

野外使用(3) ^{32}P 利用による水稻圃場実験†

渋谷 政 夫

農業技術研究所化学部

東京都北区西ヶ原 2-1

1. はじめに

農業改良の一方法として施肥法や土壌の改良を行なう必要がある。この分野におけるアイソトープ追跡技術の使用は，従来の研究法では明らかにすることができなかった事実を確認し，ひいては新たな基礎的原理をつかむことができる。しかし農業分野の研究は実験室内における基礎研究とともに，現地の農耕地における研究が必要であり，後者なくしては研究の実用化は困難な場合が多い。この圃場研究にアイソトープ追跡技術を用いることは試験研究および実用化の進展に大いに効果を発揮し経済効果をあげた圃場研究例もいくつかある^{1),2)}。

1. 現地放射性アイソトープ圃場の設定

わが国のように耕地の区画が小さく，数10mの至近距離に食糧生産を行なっている田畑があり，また外国では試験が畑地のみであるのに反して，わが国では水田で行なわなければならない。水田は灌がい水路によって他の水田に連通している。したがって水田圃場試験における放射性アイソトープ追跡方法はわが国の農業の形態に即した独自の方法が研究され確立されている。例として水田における ^{32}P 追跡圃場試験³⁾について述べる。

2.1 実験圃場の設置場所の選定

圃場設置の場所は放射線防護上から，降雨，暴風雨，洪水などの影響のないこと，一般人の常時交通や子供などの遊び場あるいは常住家屋が近接しない場所で行なければならない。そのうえで実験圃場の規模を，一般

水田試験圃場の標準方法に適合し，稲作研究上有益なデータを得るに役立つ面積規模とし，さらに放射性アイソトープ捕捉区，畦畔，水路，農道などが十分にとれる面積と立地条件を備えていることが必要である。

2.2 放射性アイソトープ追跡圃場の設定法

図1は水田における ^{32}P 使用水稻試験圃場全図および図2は外区内における ^{32}P 投入区の一例を示したものである。図1に示すように，まず灌がい水路と排水路を区別して設置する。外区というのが，標準規模面積の試験処理の1単位（この場合には1区あたりの

図1 ^{32}P 使用試験圃場全図 (1957年)

† Field Work(3) Field Experiment on Rice Plant Using ^{32}P , Masao SHIBUYA: Division of Soil Fertility, National Institute of Agricultural Sciences, 2-1, Nishigahara, Kita-ku, Tokyo, Japan.