(vi) 水産ねり製品の殺菌 かまぼこの保存期間は10～15°Cで7～10日間であるが、これを20～30日間延長可能にする必要な線量は300 kradであった。

(vii) みかんの表面殺菌 みかんには *Penicillium digitatum* や *P. italicum* などのカビが表面を侵害するので、長期貯蔵のためにはこの防除が先決である。 γ 線照射では香味や外観に悪影響があったが、0.5MeV電子線による表面照射が種々試みられ、100～150 kradが最適であることが示された(1969)。

(4) その他の関連研究

(i) 飼料の殺菌 間接食糧資源である飼料および飼料原料は輸入によるものが多く、微生物変敗が問題である。これらの基礎研究として、トウモロコシ、マイロの殺菌が研究され(1967～80)、配合飼料の殺菌を目的に、原研高崎研は農林水産省関係試験研究機関と研究開発中である。

(ii) 無菌動物飼料の殺菌 無菌実験動物またはSPF動物は研究材料として医・薬・食品・衛生・栄養などの諸分野で急激に重視されてきている。従来の蒸気殺菌やガス殺菌では、避けられない欠点があったが、これらを γ 線照射で解決できた。すなわち包装状態での完全殺菌、栄養成分への影響などで、長期間繁殖試験および世代試験など遺伝学的検討をも含めて、きわめ

て好結果が得られ(1970)、すでに実用化され国内の無菌動物飼料はほとんどこの方法に代わっている。

(iii) 食品発酵工業原料の殺菌 加熱処理が従来から用いられているが、殺菌のみを目的とし加熱蒸煮効果を必要としない糖質原料への応用がアミノ酸発酵、アルコール発酵を対象に試みられ、収量増の結果を得ている(1969)。

(iv) その他 食品照射分野の研究には、以上に述べた諸成果を支える基礎として、食品成分の化学的、栄養学的、衛生学的諸研究があり、かつ殺菌、制菌の基礎として微生物やDNAの放射線感受性などの諸研究が多数行われている。本稿では限られた誌面の都合もあり、また社会への紹介を主眼としていることもあって、残念ながら特定総合研究に縁の近いものを主とするにとどめた。

(5) 国際協力研究

食品照射における国際協力もまた特定総合研究計画のなかで重視されている。1966年以降、日本は果汁の照射に関する ENEA-IAEA-SGAE サイベルスドルフ国際計画、西独カールスルーエ研究所を母体とする健全性に関する研究を主目的とした OECD-FAO-IAEA 国際計画、東南アジア IAEA-RCA 計画その他に参加し、多数の業績を挙げた。

7・5 農 業 工 学†

落 合 敏 郎

農林水産省農業土木試験場

300-21 茨城県筑波郡谷田部町観音台2-1-2

農業工学における RI・放射線に関連した研究、ならびに利用技術の経過を振り返るとき、つぎの三つの過程に区分けすることができる。

①基礎研究の胎動(1950～1960年)、②応用研究の展開と技術体系の確立(1960～1970年)、③利用技術の進展(1970年～)

(1) 基礎研究の胎動

1949年、RIの輸入が許可され、第1回目のRIが

故仁科芳雄博士(理研)のもとに寄贈され、翌年からその入手が可能となった。そこで速やかに農業利用を図る必要があるとして、1950年、農林省の研究機関から6名(農業土木1名)が理研・仁科研究室へ派遣され、RIに関する指導を受けた。その後、ただちに農業工学に関するRIの研究が農技研・農業土木部で開始され、ほぼ時を同じくして、京大においても研究が着手された。胎動期における農業工学の基礎研究には、以下に示す三つの流れがある。①人工RIによる地表水・地下水追跡、②自然放射線による地下水探査、③放射線による土壌水分の測定である。

地表水・地下水を対象とした流体の物理的トレーサ

† Agricultural Engineering. Toshiro OCHIAI: National Research Institute of Agricultural Engineering, 2-1-2, Kannondai, Yatabe-machi, Tsukubagun, Ibaraki Pref. 300-21.

の基礎的研究は、つぎの理由によって、1950年代の当初に地下水追跡の研究が精力的に進められた。従来、地下を流れている地下水の動態を追跡することはきわめて困難な状況にあった。当時の追跡法は多量の色素、電解物質を観測井に投入して追跡を試みていたが、多量のトレーサの投入によって、土壌間隙や地下水のこう配、その他物理的条件が著しく変化して、自然状態の値かどうか疑問視されていた。また、その追跡はきわめて短距離に限られ、実用性に乏しかった。これに対し、RIを用いると、検出能力が格段に優れているため、色素に比較して1/10,000以下の量で検出が可能となり、しかも自然状態で長距離にわたって追跡ができる利点が明らかになったからである。研究の当初においては、 ^{32}P 、 ^{60}Co などの溶液を用い、RIの吸着、放射線の土壌透過実験、 γ 線検出のコリメーション、カラムによるRIの浸透流出試験などの一連の室内の基礎研究が精力的に進められ、これらの結果を踏まえて、しだいに現地応用試験へと進展していった。

当時わが国には、約800か所におよぶ老朽の漏水溜池があり、的確な方法がなかったため、工事の対策に支障をきたしていた。したがって、この問題を解決するために、RIをトレーサとした現地測定研究が進められた。1952年に、茨城県本新島干拓堤防において、 ^{32}P による漏水浸透速度と従来の色素法とを比較した調査が行われ、RIが色素に比し、格段に優れていることが実証された。引き続いて、山形県蛭沢ダム、滋賀県野州川ダム、長野県牧尾ダムサイトほか数か所で現地追跡調査が行われ、これらの一連の研究によって、1950年代の後期には、RIによるダムの漏水探査法が、いちおう確立されるに至った。

これを受けて農林省計画部門によって、この探査法が事業化され、宮沢湖のほか多数のダムで漏水探査が実施され、漏水工事対策に具体的な指針を与え、農業土木事業に大きく貢献した。

なお、1950年代の後期には、短半減期のRIを用いて、かんがい河川を対象とした流量測定方式の研究が試みられた。また、地下水の追跡研究も基礎から応用研究へと発展し、愛知県西尾市の干拓地で地下水追跡の調査が行われ、塩水侵入による塩害発生機構の究明が行われたのもこの時期であった。

以上、RIの研究の発展を追ったが、これと関連が深い自然放射線の研究についても振り返ってみたい。地表の自然放射線を測定して、断層を探索する試みは、1942年、初田甚一郎によって、兵庫県の六甲断層

で、地中空気中のラドン測定が行われ、それが学術発表の嚆矢となった。農業工学の分野では、1950年以降、精力的に自然放射能による地下水探査の研究が進められ、1951年、神奈川県真鶴町において、自然 γ 線の測定が落合敏郎によって行われ、亀裂地下水脈を検出してその存在が実証され、新しい地下水探査法を創り出す端緒となった。1955年、車載用放射能式地下水探査装置が開発されてから、全国の山麓、丘陵地などの用水不足地帯を対象にして、約30地区で現地調査が行われ、一連の研究成果を挙げて実用化へと進んだ。

(2) 応用研究の展開と技術体系の確立

1960年代に入り、農業工学におけるRIの応用は、地下水以外にも利用され、その範囲は急速に拡大されていった。そのおもなものは、かんがいによる土壌水分の移動追跡、農業土木材料の密度・水分測定、地盤沈下などの防災対策調査などである。

農業工学の分野では、土壌水分の研究はかんがい工事などにも関連するので、従来から非常に重要視され、テンシオメータ、電気的な石膏ブロック法など、各種の測定法が研究されてきた。放射線を利用する方法は、研究初期(1953年)においては、 ^{60}Co 線源を用いた γ 線の土中透過による減衰が主であったが、しだいに ^{137}Cs の利用へと進み、やがて ^{241}Am に至り、低エネルギー線の開発、およびコリメーションの改良に研究が進んだ。1964年以降は、中性子水分計による畑地の土壌水分の測定が京大、鳥取大でさかんに行われた。1970年以降は、 γ 線透過型水分計がおもに用いられるようになった。

一方、1956年に水文地質構造を究明するため、放射能検層の研究が農技研農業土木部で開始され、 γ 線と中性子線を併用した放射能検層機の試作、改良がつぎつぎと行われた。当初はタンクモデルによる検出法の基礎的実験が進められ、やがて多数のボーリング井で現地応用研究が行われ、水文地質を対象にした放射能検層の技術体系が確立をみた。

これらの技術は、その後水田のかんがい用水の浸透追跡へと応用され、検出器を3~10本もつ浸透水の同時検出法が開発され、水田内の浸透量の差異、中干しによる水田土壌の変化などが研究された。

基礎研究のスタートが早かった地下水の追跡研究は、1960年代に入ると、とくに環境汚染防止を配慮したトレーサ研究へと進み、安全性の高いラジオトレーサの選択、検出方法、RI採水装置などの研究が引き続き進められ、短半減期で、かつ地層吸着の少ない ^{82}Br 、 ^{131}I などをトレーサとした調査が埼玉県榑挽扇

状地、鬼怒川扇状地など多くの現地で進められ、さらに、人工地下水涵養、鉍毒水処理、干拓地造成などの新しい事業面にも、RIによる追跡が試みられ、その後の調査、研究に大きな力を供与することとなった。

また、地下水の追跡の研究と並行して、この年代にRIを用いた地下水の流速、湧出量などを測定する機器の開発も行われた。1962年には、微量の短半減期RIを用いて、ボーリング孔内で地下水の流速、流向を同時に測定する地下水流速・流向計が試作され、1967年にはその改良型で、従来、測定が不可能であった溶岩流中の地下水断面において、面的な流速分布を測定し、初めて溶岩地下水の流動実態を明らかにしている。

また1967年、RIによる深井戸の帯水層湧出量測定装置が開発され、これによって効率的な水中ポンプの設定装置の決定が可能となった。

以上述べたように1960年代の後期には、地下水調査に関連する一連のRIの利用技術が総合的に体系化されるに至った。

(3) 利用技術の発展

RIによるトレーサの現地調査は1960年代の後半に至って、環境保全の立場から、しだいに法規制によってその利用が困難な状況となり、これに代わって、広域のトレーサとして天然に存在する環境放射能が注目され、従来のRIの応用研究はこれに引き継がれて進展した。1970年代に入って、IAEAの国際的推進によって各国とともに、わが国の環境放射能の研究は大きく発展を遂げた。研究当初は ^3H が注目され、1963年理研でいくつかの深井戸の地下水試料が測定されて注目を浴び、その後1965年より、農土試において関東平野の水文地質機構が ^3H によって解析が行われ、地下水の平均流動速度が算出されたのを契機として、各地

で ^3H の測定が行われるようになった。そしてしだいに ^3H は地下水の賦存機構、地盤沈下究明などの解析に用いられ、地下水循環に関する重要な指標となった。

また最近、降水中の ^3H は不飽和浸透のメカニズムの究明に用いられ、各地で平均降下浸透速度、年間涵養量などが求められ、新しい水文学的な見解が示されるに至った。

^3H の研究とともに、1973年から ^{222}Rn の研究へと進展した。 ^3H よりも短期間の循環過程が追跡できるとして、河川や水田への地下水浸出、水田におけるかんがい水の垂直浸透、地盤沈下や地入りなどの地下水の流れ現象の解析研究が行われている。

また、最近における自然放射能による地下水探査の研究は、従来の地表探査から空中探査へと発展し、1975年に、ヘリコプターによる空中地下水探査装置が開発され、すでに10数か所の現地適用試験によって約10か所で地下水、地熱源の開発に成功し、空中探査法の確立をみた。

最近のRIの農業土木工事面への利用は、施工管理にみることができる。100 μCi 以下の表面型 γ 線、中性子透過型水分・密度測定器が用いられ、従来法よりも短時間に測定できる利点があるので、現場の土工管理に応用されている。今後、法規制を受けないこの種の測定器は事業現場において急速に普及するものと思われる。

以上、農業工学におけるRIの研究、利用技術の経過の概要について述べたが、今後もRIは強力な調査手段として、この分野で新たな飛躍が期待されている。