トレーサ研究, 照射研究, 原子炉利用研究, サイクロトロン利用研究と近年の RI, 安定同位体の利用は30年前には想像もできなかった進展をみせ, 今後ますます

利用の拡大とその成果が期待されるものと考えられる。

7・2 作物栄養および施肥†

麻生 末雄, 渋谷 政夫*

東京農業大学

156 東京都世田谷区桜丘1-1-1

*農林水産省農業技術研究所

305 茨城県筑波郡谷田部町観音台3-1-1

7・2・1 アイソトープ利用による作物栄養 研究の進歩

1950年(昭和25年), 故仁科芳雄博士(理研)の尽力により, 第二次世界大戦後, RIの輸入が再開されるとともに, 農・生分野においてもこれら RI を利用した研究が開始された。また, 農・生分野のなかでは作物栄養および施肥法の研究において RI がトレーサとしていち早く導入され, しだいに他分野に普及されたことは特筆に値する。

その後, 現在まで約30年間の進歩を, 10年間をおよその単位として初期, 中期, 後期, 現在に分けて考えてみることにする。

(1) 初期: 1950年代は, アイソトープ手法の導入・普及の時期といえよう。三井進午(東大)は, 1950年に「放射性及び非放射性同位元素と土壤肥料の研究」という論文を発表し, RIのみでなく, 安定同位体(ステーブルアイソトープ, SI)を含めたアイソトープ手法の有用性を紹介した。これに呼応するように東大, 京大, 名大, 東北大, 農林省農技研, 農林省蚕糸試などの研究が, 日本土壤肥料学雑誌ほかの学会誌や, 原子力産業会議が主催した日本アイソトープ会議などで発表された。その主要なものは, 「植物の養分吸収, 移動,

形態変化に関する諸研究」, 「標識肥料の製造と肥効」, 「リン酸, 有機物の土壤中における行動」などであり, 二重標識やオートラジオグラフィなども用いられて多方面にわたる新しい事実が解明された。この間, 使用された RI は, ^{32}P , ^{45}Ca , ^{14}C , ^{35}S など作物の栄養上重要であると同時に, 半減期, 測定法などから比較的取り扱いやすいものが挙げられる。

また, 日本放射性同位元素協会(現アイソトープ協会)が主催して, 1951年より毎年1, 2回実施したアイソトープ講習会は, 農・生分野における試料の処理法を含めて, RI 取扱い技術の普及にきわめて有効であった。

なお, 1954年米国がビキニ環礁で行った原水爆実験に端を発した降下放射性核種による土壌, 農作物汚染の調査, 研究にあたり, 上記のように普及されていた RI 取扱い技術がおおいに役立ったことも付記する必要がある。

(2) 中期: 1960年代は, RI 手法が研究室における通常の手法として定着した時期といえよう。また, RI は超微量の検出が可能なこと, 各種の重金属元素による環境汚染が社会問題として叫ばれるようになったことの両面から微量元素の研究が多く行われ, ^{65}Zn , $^{115\text{m}}\text{Cd}$, ^{68}Ge , ^{131}I のほか, わが国における RI 製造の進歩とともに ^{99}Mo , ^{64}Cu , ^{56}Mn , ^{77}Br , ^{18}F , ^{42}K など短半減期の RI を含めて多種類の核種が使用されるようになった。

一方, 農・生物試料を対象とした放射化分析法も検討され, 「開田赤枯れ水稻における I の過剰吸収」, 「ミカンの異常落葉における Mn の異常集積」など農業

† Plant Nutrition and Fertilization. Sueo ASO and Masao SHIBUYA*: Tokyo University of Agriculture, 1-1-1, Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156, *National Institute of Agricultural Sciences, 3-1-1, Kannondai, Yatabe-machi, Tsukuba-gun, Ibaraki Pref. 305.

上、未解決であった問題の解明に貢献した。

(3) 後期：1970年代は、生体の代謝解明に RI の利用が進化した時期といえよう。すなわち、生体構成の主要な元素でありながら、放射する β 線のエネルギーが低いために測定効率が低かった ^{14}C および ^3H の測定効率を、飛躍的に上昇させた液体シンチレーションカウンタの開発、普及によりこれら RI が生体の代謝研究に広く用いられ、多くの成果が挙げられた。その主要なものとしては、「光合成の機構—特に C_4 回路、光呼吸」、「光合成産物の体内転流」、「植物ホルモンの研究」、「タバコのニコチン、茶のテアニンなど第2次代謝による生体成分の生成機構」など数多くがある。

しかしながら、放射性物質の取扱いに関する規制が厳しくなるとともに圃場における RI の使用は困難となり、液体シンチレーションカウンタ廃液の処理に関しても十分の注意が必要とされるようになった。

(4) 現在：研究の手段として定着した RI も、上記のように使用施設、管理の規制が厳しくなったため SI が注目され、核磁気共鳴その他の分析機器とも関連してその使用が広がりつつある。しかしながら、RI はその特性——超微量の検出、試料調整の簡便さなど——から植物の代謝機構、植物体成分の生合成機構、光合成の機構、光合成産物の体内転流、微量元素の生理機能、農薬の代謝機構から、生物学的窒素固定、遺伝子工学、生態系における物質の循環まできわめて広い分野の研究に使用され、他の手法の追従を許さない価値を有するため、さらなる発展が期待されている。

7・2・2 アイソトープ追跡法による施肥法の改善

アイソトープ手法が実験室内で利用し始めると並行して、実際の施肥法を改善する目的で、安定同位体の重窒素(^{15}N)および RI のリン(^{32}P)などを用いた肥料圃場試験法を確立し、都道府県農業試験場の要求に対応して、アイソトープトレーサ法による施肥法改善を圃場で実証すべく研究が推進された。

(1) 初期：この時期は実地における施肥法改善のための手法の確立といえよう。

一般の ^{15}N および ^{32}P の定量法は比較的高濃度で行われていたが、圃場試験ではアイソトープの濃度が低レベルになるので、一般の定量法では圃場試験の実施が不可能であることが分かったので、きわめて感度が高く、かつ正確な定量法を研究する必要がある。すなわち、低濃度 ^{15}N 精密質量分析法を研究し(1965)、1952年に与えた ^{15}N 標識窒素肥料を3年目の1954年

の水稲中で正確に定量することができた。低放射能の ^{32}P の精密定量法については、大量試料の分解、P の大マクロ分析法、極低レベル放射能の P 沈殿の大量を放射能測定用試料に形成する装置を考案して微量 ^{32}P の精密分析法を完成(1957)し、同時に埼玉県農試水田圃場を用いて ^{32}P の野外使用における安全試験を行うとともに、通常の規模のアイソトープ追跡圃場試験法を確立した(1956, 58)。

(2) 中期：確立したアイソトープ追跡圃場試験法を用いて、水稲を中心とした食糧増産上、解決しなければならない施肥改善の研究課題を、県農試と共同して実施した時期である。当時、水稲に対するリン酸肥料の施用は十二分にすぎるのではないかという疑問が農林省から提起され、また窒素については、土壌の種類により分施肥をさらに検討する必要があることが起こった。このため上尾統(埼玉)、緒方統(長野)、宝田統(岐阜)の土壌をもつ県農試圃場を使用し、県共同で ^{32}P 、 ^{15}N の二重標識追跡肥料試験を行い、水田土壌の Eh が養分の吸収と大きな関係があり、この原因が土壌 Eh と水稲根の養分吸収力に関係のあることが分かり、作物を抜き取ることなく土壌中に分布する、養分吸収活力根を測定する ^{32}P 根活力分布検診法が考案され、施肥位置、施肥時期の決定に大きく役立った。この方法とアイソトープ圃場追跡試験法を組み合わせ、土壌還元による水稲根活力の弱化的改善(埼玉農試)、タマネギに対する寒期施肥位置を修正し、ha 当たり N、 P_2O_5 、 K_2O ともに 37.5 kg 減じて、収量 45 トン/ha を確保できるようになり、跡作水稲への悪影響(減収)をなくした結果、岐阜県では水田冬作タマネギを 2,000 ha に拡大することに踏み切った(1961)。このほか施肥改善は大麦・小麦(都農試)、ゴボウ(埼玉園試)、ハクサイ(静岡農試)、ダイズ・テンサイ(長野農試)などの露地作物やビニールハウストマト(岐阜農試)など各県農試と農技研の共同で問題の解決にアイソトープ追跡法が駆使された。

(3) 後期：この期は、永年作物アイソトープ追跡圃場試験法の開発が主として進められた時期である。成木果樹などの永年作物は、樹体が数百キロないし数トンにもおよび、これに含まれる各成分量が多量のため、アイソトープ希釈がきわめて大きいこと、また試験のための供試樹を多く取れないことから、一年生作物と違った追跡上の困難が多く、永年作物のアイソトープ追跡圃場試験法を組み立てる必要があった。従来からミカンの施肥は樹冠下輪状施肥が多く、また段畑園では肥料成分の流亡があるとして、山寄り施肥などが行われていた。1958 年ごろから農家の手間を省く必要が起

こり、各種の肥料試験を行ったが、施肥法間に差を見出すことができなかった。この問題解決の要請を農技研が受け静岡柑橘試験場と共同で、成木ミカン樹に対するリン施肥法が、 ^{32}P 肥料圃場試験により実施された。その結果、樹冠下輪状施肥よりも樹間下全面施肥、樹冠と樹冠との間の空間地面への施用および段畑では谷側と山側ともに施用リンが著しく有効であることが分かった(1960, 62)。静岡県ではただちにこの全園散布施肥法を普及に移した。その後、この方法は全国のミカン施肥法として現在に至っている。つぎに柿成木について ^{15}N と ^{32}P の二重標識肥料を用いて試験を行い(岐阜農試)、従来のタコソボ施肥、全園表面散布施肥より機械化平行溝施用法が有効であることを明らか

にし、県下富有柿の施肥法に普及された。さらに全樹体に積分する樹体の調査法を開発し、 ^{15}N 標識法を併用して成木ミカン樹圃場試験(佐賀果試共同)を行い、各時期別施用窒素を追跡し、各時期の窒素の機能を明らかにし、窒素施肥量の減量と適切な施肥時期を普及することができた(1972)。

(4) 現在: 近年になり環境保全の面から、RI 追跡圃場試験は不可能となったので、これに代わるものとして実験系内では、まったく放射能と無縁なアクチバブルトレーサ法や、濃縮天然放射性元素や短寿命核種による追跡法が農技研で開発され、施肥改善への応用が進められている。

7・3 家畜栄養および基礎栄養†

内 藤 博

東京大学農学部

113 東京都文京区弥生1-1-1

30年間におけるこの分野の研究の変遷は、おそらく他の分野と大同小異と思われるが、およそ三段階に分けることができよう。すなわち、放射能研究の開拓期、1954年(昭和29年)のビキニ実験および一連の原水爆実験によって派生した放射性降下物(fall out)による汚染調査、ならびに家畜の障害の研究、また最近十数年間の計測技術と生化学的手法の著しい発展による研究成果などである。

本稿もこの線に沿って述べることにする。

(1) トレーサ研究の開始と初期の研究

RI が初めて畜産研究者によって取り上げられたのは、1950年に農技研(平塚英吉所長)のグループが科学研究所(現在の理研)に内地留学して、研究法を習得したところと聞いている。当時まだGMカウンタが普及するに至らず、おそらくローリツェン検電器が唯一のものであったと想像しているが、現在から考えると非常な苦勞があったことがしのばれる。

農技研畜産化学部グループ(現畜産試験場)は ^{45}Ca

や ^{32}P を産卵鶏に投与して、鶏卵中への ^{45}Ca の移行過程を明らかにし(野崎ら, 1952)、またラットを用いて骨軟化症における ^{45}Ca の骨への取込みを観察した。これら一連の研究から、産卵時の最適なCa給餌時間や、骨軟化症防止に必要な飼料中Ca:P比などが明らかにされた。

これと前後して大学関係でもRIの研究が開始され、北大の研究グループは、山羊に ^{45}Ca を投与して、乳汁成分への取込みを観察している(1953)。

飼料成分の体内移行や、消化量を推定することは、家畜栄養学における研究の主目的の一つであるが、RIは消化管内における成分の移行の指標としても有用である。

家兎への ^{35}S の投与(1955, 60, 66)、 ^{56}Mn の投与(1970)、めん羊への ^{144}Ce の投与(1969)などによって酸化クロム法との比較がなされた。初期には入手可能なRIは価格の面からも簡単な無機化合物に限定され、1960年前半には有機化合物を用いた全動物体の代謝研究の報告がきわめて少ないのは、このような事情を反映している。そののち酵母の培養による ^{35}S -メチオニンの大量調製(1957, 67)や ^{14}C -フェニアラニン

† Animal nutrition. Hiroshi NAITO: Faculty of Agriculture, University of Tokyo, 1-1-1, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113.