

## 第100回「つくば作物根セミナー」・「根の事典」出版 合同記念シンポジウム講演要旨

難溶性土壌リン酸の作物による特異的溶解・吸収機構の解明に関する研究

阿江教治 (農業環境技術研究所)

はじめに

1985年、国際半乾燥熱帯作物研究所 (ICRISAT) に派遣され、キマメのリン酸吸収の研究に携わった。ここでは、半乾燥熱帯の代表的土壌であるアルフィソル (Alfisol: 赤色土) に蓄積している難溶性の鉄型リン酸と根分泌物との関係を検討してきた。これをきっかけに、帰国後も、低リン酸肥沃土壌からの作物のリン酸吸収研究を続け、ラッカセイもリン酸吸収能力に優れていることを見いだした。そして、現在、ラッカセイのリン酸吸収機構の検討を通して、「根細胞壁は養分吸収に重要な役割を演じている」という仮説 (contact reaction; 後述) を私は提案した (これに、はまりこんでいます)。ここでは、この仮説の成立過程を述べて、みなさんのご批判を仰ぎたいと考えている。

### 1. キマメの難溶性土壌リン酸吸収能力<sup>1)</sup>

**根長:** キマメは低リン酸アルフィソルで旺盛な生育を示し、同じ土壌に栽培したソルガムよりはるかに高い生産性を示した。この能力を ICRISAT では1) 根の伸張能力が高いため、あるいは2) VA菌根菌との共生によるものと考えられていた。このことを明白にするために、根域の制限されたポットに低リン酸アルフィソルを充填し、リン酸無施用条件でキマメを含め4作物を栽培した。その結果、ダイズ、トウモロコシ、トウジンビエ、ソルガムは播種後2ヶ月にリン酸欠乏で枯死したが、キマメは正常に生育し子実の収穫ができた。アルフィソルの主要なリン酸の形態は難溶性の鉄型リン酸である。従って、キマメはこの鉄型リン酸を溶解し吸収利用している能力を持つが、根の伸長能力とは関係しない。

**VA菌根菌:** キマメの持つ鉄型リン酸溶解能力とVA菌根菌との関係を検討するため、5種類のVA菌根菌 (*Glomus constrictum*, および *G. fasciculatum*, *G. epigaeum*, *G. monosporum*, *Acaulospora morrowae*) の混合物を殺菌した低リン酸アルフィソルに接種し、キマメとソルガムを栽培した。ソルガムはVA菌根菌の接種、無接種に関わらずリン酸欠乏で枯死したが、キマメは無接種区で生存し、VA接種区で旺盛な生育を示した。この結果は、ソルガムが植物が利用できないリン酸の形態をVA菌根菌が溶かし出すことはなく、キマメ根が利用できるリン酸をVA菌根菌が効率的に吸収していることを確認した。以上の結果、キマメの持つ特異的なリン酸吸収能力の要因として上記の2要因は除外された。次に、根分泌による鉄型リン酸溶解活性を調査した。

**根分泌有機酸:** 砂耕栽培したキマメから根分泌物を採取し、イオン交換樹脂に通したところ、酸性画分において高いリン酸鉄 ( $\text{FePO}_4$ ) 溶解活性を認めた。この画分から、ピシチン酸とその誘導体であるO-メチルピシチン酸が検出された。その後、リン酸施用条件を変えて栽培したキマメから、リンゴ酸やクエン酸、シュウ酸も検出した。これらの有機酸は鉄 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) とキレートを形成することによって、リン酸が溶解するものと思われる。

### 2. 農業生態系におけるキマメの役割<sup>2)</sup>

インドの半乾燥熱帯地域に分布するアルフィソル地帯では、キマメはソルガムと間混作される。肥培管理としては、わずかな堆肥が施用されるだけである。この栽培様式をモデルにしてポット実験を行った。鉄型リン酸吸収能力を持つキマメと持たないソルガムを混作することによって、キマメ単独やソルガム単独作付け区よりも土壌からのリン酸供給量は多くなった。これは、キマメの持つ鉄型リン酸溶解能力を導入することにより、土壌中のリン酸資源が実質的には付加したことを示している。

### 3. ラッカセイの難溶性リン酸溶解能力<sup>3)</sup>

低リン酸肥沃度の火山灰土壌や赤黄色土壌を用いて、各種作物を栽培した。その結果キマメ以外にラッカセイも鉄型リン酸を利用できる能力が優れていることを確認した。ラッカセイも鉄型リン酸利用能力も、根分泌物で説明できると考えた。しかし、根分泌物中に鉄型リン酸を溶解できる物質を見いだすことは困難であった。リン酸吸収パラメーター ( $K_m$  や  $C_{min}$ ) の測定も行ったが、ラッカセイの低リン酸耐性は説明できなかつた。さらに、ラッカセイ根には根毛がないので、他の作物に比較して単位根長あたりのリン酸吸収量ははるかに高い値を示す。

土壌中のリン酸が根面へ移動する力は拡散による。トウモロコシやダイズが低リン酸土壌でリン酸欠乏で枯死したが、しかし、ラッカセイは旺盛な生育を示した。従って、根面へ拡散して運ばれる土壌溶液中のリン酸量は無視できる濃度である。すなわち、鉄型リン酸を溶解できる有機酸の分泌が認められないラッカセイが土壌中の難溶性リン酸を溶解できるとすれば、土壌コロイドとラッカセイ根表面との接触の場で起こる必然性がある。次に、ラッカセイ根表面と鉄型リン酸との溶解反応を検討した。

### 4. リン酸の吸収利用における根細胞壁の役割<sup>4)</sup>

砂耕栽培したラッカセイ、ダイズ、トウモロコシ、ソルガムの根を採取し、表面に付着したミネラルを除去・洗浄したものを「根の粗細胞壁」とした。リン酸と結合させた鉱物（ゲータイト、ヘマタイト）や鉄やアルミニウムリン酸鉱物（ストレンジャイト、ギブサイト）の懸濁液に調整した根を加え、一定時間反応させた後、可溶化したリン酸を測定した。その結果、もっとも高いリン酸の溶解はラッカセイ根で観察された。植物根は土壌と同様に塩基置換容量 (CEC) をもち、この CEC を形成するカルボキシル基がリン酸鉄の溶解に関与する可能性がある。しかしダイズの CEC はラッカセイのそれよりも多いにもかかわらず、リン酸鉄の溶解活性は低かつた。従って、ラッカセイ根表面に存在するリン酸鉄溶解活性は根表面、すなわち根細胞壁に存在するものと推察した。この活性はアルミニウム ( $Al^{3+}$ ) や鉄 ( $Fe^{3+}$ )、ガリウム ( $Ga^{3+}$ ) などの3価のカチオンとのみ特異的に反応することが明らかになった。現在、この反応を「接触溶解 (contact reaction)」と、呼んでいる。

### 5. ラッカセイの施肥反応と細胞壁との関係

アメリカの作物栽培学の教科書にはラッカセイは施肥反応がふつうの作物と異なる描かれており、それによると、「トウモロコシと比べてラッカセイに施用された肥料よりはむしろ施肥跡地に残った土壌粒子と結合した肥料成分をラッカセイは利用しているのであろう」とある<sup>5)</sup>。ラッカセイの接触溶解説はこの現象を説明できるように思われるが、いかがであらうか？。

この接触溶解説を証明するためには、根細胞壁中に存在する鉄型リン酸溶解活性物質の解明が急がれる。

### 参考文献

1. Ae, N. et al., (1990) *Science*, 248, 477-480.
2. 阿江敦治, 有原文二, 岡田謙介 (1991) 化学と生物, 28, 227-236.
3. Ae, N. et al., (1996) *Plant Soil*, 186, 197-204.
4. Ae, N. and Otani, T. (1997) *Plant Soil*, 196, 265-270.
5. Chapman, S. R. and Carter, L. P. (1976) *Crop Production, Principles and Practices*. (W. H. Freeman and Company) pp.385-369, San Francisco.

## マメ科植物の毛状根と根の研究

・赤坂 庸子（千葉大学大学院自然科学研究科）

近年のバイオテクノロジー技術や遺伝子操作技術の発達によって、単離同定された様々な有用遺伝子が多くの植物に導入されるようになってきた。食用、飼料用、工芸用と極めて利用範囲の広いマメ科植物においてもその遺伝的改良を行うためにこれらの技術の応用が望まれている。このような遺伝的改良を行うためにはその基礎となる細胞培養技術を確立する必要があるが、マメ科植物においては植物体への再分化の制御が困難な種が多く、必ずしも十分な成果は得られていない。マメ科植物は、大気中の窒素を植物が利用可能なアンモニア態窒素に還元する能力を持つ根粒を根に形成する。この能力は地球的規模で求められている環境保全を考慮した持続型作物生産を行う上に重要な要素であり、それぞれのマメ科植物においてさらなる遺伝的改良が求められている。

演者は、土壌細菌の一種である *Agrobacterium rhizogenes* を利用した根系の改良について検討している。*A. rhizogenes* は、植物に感染すると旺盛な生長と著しい分枝を示す毛状根 (hairy root) と呼ばれる不定根を発生させる。これは *A. rhizogenes* が有する Ri プラスミド上の T-DNA 領域が植物の染色体 DNA に挿入され、その領域上の *rol* 遺伝子群が発現し、植物体内のホルモンバランスが変化して生じる現象である。毛状根の有するこれらの特性は根に蓄積される有用二次代謝産物の研究や、作物の発根促進にも利用されている。また、毛状根から再分化した植物では、頂芽優性が弱まる、葉が波打つ、矮化するといった Ri シンドロームと呼ばれる特徴的な形態変化を示すことが知られ、これを観賞園芸作物の育種に利用しようという試みがある。また、典型的な形態変化の一つである根量の増大を目的として、地下部に殺線虫物質を蓄積するマリーゴールドやルドベキアにおいて毛状根からの再分化植物体を利用した根系改良がなされている。マメ科植物における *A. rhizogenes* を利用した形質転換系は、宿主植物と根粒菌の共生窒素固定機構の解析にも利用されている。このように、毛状根は様々な分野において利用されているが、毛状根は植物が本来持たないバクテリアの遺伝子を持つことから、本来の根の特性を形態的、生理的に変化させることが想像される。そこで、毛状根の根としての評価を行う必要がある。

本研究で供試した植物の一つであるラッカセイ (*Arachis hypogaea*) は他のマメ科植物とは根粒菌の感染過程および根粒の発達過程が異なる。また、一般に植物の根は表皮細胞およびそれから分化する根毛を有するが、ラッカセイは表層が脱落するために根毛を持たず、分枝根基部にのみロゼット根毛と呼ばれる長い根毛を有する。この表層の脱落現象について、詳細な調査を行ったところ、FDA 染色によって脱落直後の細胞の生存が確認され、脱落している表層部では細胞壁の分解が認められた。また、この部分のセルラーゼ活性が著しく高かったことから、この脱落現象は根冠脱落と類似した現象であることが示唆された。さらに、ラッカセイの葉片に *A. rhizogenes* の国内産野生菌株 A13 (MAFF-02-10266) 系統を接種し、毛状根を誘導し、その構造および根粒着生機能について本来の根との比較を試みた。マメ科植物において毛状根からの再分化が成功している例は限られており、本実験においても得られた毛状根からは再分化個体は作出できなかった。そこで、毛状根を地下部に持つ composite plant と呼ばれる合成植物を作出してその根を評価した。完熟種子胚の幼根部を含む 2/3 を

切除した外植片の切断面に同菌株を接種し、毛状根を誘導した。対照個体には非形質転換根を有する植物体を用い、両者を比較検討した。composite plantの根系では根量の増大、分枝根の増加、重力屈性の低下が認められた。さらにフラクタル次元(D)は対照個体よりも高くなったことからcomposite plantの根系がより複雑であることが示された。また、根粒菌*Bradyrhizobium* sp. A2R1系統をcomposite plantに接種したところ、その根系において窒素固定活性を有する有効根粒の形成が認められた。得られた根粒のほとんどは正常な形態を示したが、根粒皮層細胞の肥大や根粒皮層から新たな根が分化するといった形態変化も観察された。

本研究で供試したもう一つの植物である熱帯原産の*Crotalaria juncea*は線虫対抗性を示すことから、日本においても緑肥作物としての導入が試みられている。しかし、これまでに*Crotalaria*における組織培養および形質転換に関する報告は極めて少なく知見が乏しい。演者らは前述のラッカセイと同様に*C. juncea*において*A. rhizogenes*を利用した根系の改良を試みた。無菌実生の子葉に同菌株を接種して毛状根を誘導した。植物ホルモンを添加することによって毛状根からの再分化条件を検討したところ、BAの添加によって不定芽を高頻度に誘導することができた。得られた不定芽は著しい水浸状を呈したが、培地の固化剤の種類および濃度を検討することによって水浸状を回避することができ、正常な生育を示す植物体を再分化することに成功した。今後、形質転換体の示す形質を詳細に調査する必要がある。これまでに上述のラッカセイやミヤコグサなどで毛状根における根粒形成が報告されているが、根粒形成に関する記述は一様ではない。これらの原因として、使用した菌株と植物種との相互作用によってホルモンバランスが微妙に変化することが考えらる。*C. juncea*の形質転換体においても根粒形成過程に関して調査を進める予定である。

植物の組織や器官において様々な倍数性の細胞が存在するpolysomaty（体細胞多倍数性）は核内倍加や核内分裂によって引き起こされると考えられているが、この倍数性細胞の割合や倍数性レベルは、植物種、器官、発達の過程によって異なることが知られている。そこで、毛状根を評価するひとつの指標として、ミヤコグサ(*Lotus corniculatus*)を供試して旺盛な生長を示す毛状根と非形質転換根の根端部における多倍数性をフローサイトメトリーを用いて調査したところ、両者のパターンに差異は認められなかった。また、古くから根粒組織においてもpolysomatyの存在が報告されているが、演者がラッカセイ、ミヤコグサ、シロクローバー(*Trifolium repens*)の根粒において調査したところ、いずれの根粒においても多倍数性が確認された。さらに、根粒の発達過程によってpolysomaty patternは変化し、成熟するにしたがってより高次倍数性レベルの核を有する細胞が出現したが、その後、老化とともに通常レベルに戻ることが明らかとなった。根粒菌は宿主根に本来存在する倍加した細胞から侵入を開始するという説もある一方で、根粒菌感染の極初期段階に何らかの刺激によって根および根粒で倍加が生じるという説もある。共生窒素固定の成立とpolysomatyは密接に関連している可能性が強く、現在興味を持って研究を進めている。

今後はこれらの知見を基に、根量の増大や根粒形成過程の解析を目的に種々のマメ科植物の根の構造と機能の様相に目を向けていきたいと考えている。

なお、貴重な発表の機会を与えて頂きました山内章会長ならびに本研究の遂行にあたりご指導を賜りました大阪府立大学農学部大門弘幸博士、同先端科学研究所上田英二博士、千葉大学園芸学部三位正洋博士に深謝いたします。

## 境界領域としての「根の研究」

巽 二郎（名古屋大学大学院生命農学研究科）

### 1) 「境界」について

国語辞典で「境界」という言葉を引いてみますと、「境界（きょうかい）；土地のさかい」という説明がでています。

「境界領域」が意味するものは何であるのか。この言葉の意味から考えてみますと、土地の境目に近い、あるいは境目をまたぐ部分であろうと推察されます。特定の中心を有する領域が1つまたは複数あると想像しますと、その中心部分から離れて周辺に近づくにだんだんとその領域に属するいろんなものが薄れてくる。さらにどんどん進むと知らない間にまわりの景色がいままでとは違っているの気がつく。いつのまにか領域の境界を越えたわけです。

境界といいますと何かくっきりとした、画然とした区切りを想像しますが、実際はたぶんにぼんやりとしていると考えられます。たとえば古くからの農村の田畑や山林の境界のイメージです。英語でマージナルという言葉があります。マージンという意味はヘリとかフチが第1の意味ですが、余裕とか余地という意味もあります。周辺や辺境はぼんやりした幅があるといえます。「境界領域」とはおそらくそのようなぼんやりとしてどこの領域に属するのか判然としない部分を指すのではと思われます。

国語辞典でさらに「境界」という言葉を調べますと、「境界（きょうがい）；<きょうかいは別語>、感覚や思考の対象となる世界」とでています。仏教用語のようです。次に「境」という言葉を調べますと、「土地の境」などの意味の最後の方に、「あるはんいの場所」とあります。「界」の項をみますと、「さかいめ、しきり」の次に、「ところ、はんい」とあります。

以上のことから判ることは、境も界も区切りを意味すると同時にはんいをも意味しているということです。「境界（きょうがい）」が「対象となる世界」を意味するのはこのことであると思われます。このようにみえますと「境界領域」が自己主張をして、いままでは何かの付属物としてしか扱われなかったのが、一つの主体として浮かび上がってくる気がします。

### 2) 根圏について

根は、植物体の一つの器官ですが、アナロジー的に地上部とよく対応する側面とそうでない側面があるようです。両器官ともに、無機物質を取り込んだり出したりするインターフェイスの働きをもっており、外部と接する界面を拡大しようとしています。地上部はキャノピーを展開し、地下部は根系を張り巡らせます。地上部はCO<sub>2</sub>と酸素、水などの無機物の交換、地下部はCO<sub>2</sub>の放出、無機塩類や水の吸収をしています。地上部・地下部はそれぞれに動物や微生物の住みかとなり、複雑な生態系を形成する点では同じです。しかし、違うところがあります。それは地下部から水溶性や高分子の栄養物質が放出されている点です。また微生物との共生の場となっています。これらの点は、地上部では全くないわけではありませんが、地下部と比べると非常に貧弱です。キャノピーの落葉は地上に落下しリターとして集積し、土壌微生物の栄養になります。しかし、地上部から栄養物質が放出されることは、花の蜜の例くらいではないでしょうか。これと比較すると根はもっと積極的に栄養を放出しているようです。

根圏の定義は根の事典によりますと「根の影響がおよぶ土壌範囲」となっています。根は栄養の放出を通じて土壌に物理、化学、生物的影響力を及ぼす必要性、あるいは戦略をもっていると想像されます。いっぽう、葉の場合はもっと単純で受動的なかたちで大気へ影響を及ぼしているようです。葉圏には昆虫が生息し、また葉の表面などに窒素固定微生物が住みつく場合もありますが、生物学的な戦略は稀薄と思われます。

この「根圏」が根にとってどういう意味をもつものなのかは興味あるところですが、少なくとも根の側からみた境界領域といえましよう。

### 3) 地下部への炭素供給者としての根

私は土壌微生物学者ではありませんので極端なことをもうしますが、根は土壌へのエネルギー供給者の親玉と考えられます。地下部の生態系はこの親玉のおかげで回っているわけです。

### 4) CO<sub>2</sub>の貯留シンク

大気CO<sub>2</sub>濃度の増加が地球温暖化の原因の一つとして関心がよせられています。現在年間約7Gtの炭素がCO<sub>2</sub>のかたちで大気中に放出されており、そのうち約3Gtの炭素が大気中に残留し、約2Gtの炭素が深海に貯留され、のこりの1-2Gtの炭素が陸上生態系に取り込まれ、その一部は土壌に貯留されると推定されています。

植物が光合成により固定した炭素量と、植物体（地下部を含む）と呼吸から回収される炭素量の収支を比較すると、植物に固定された炭素のかなりの部分が行方不明となることが報告されています。これは大局的にみたミッシング・シンクとは別に「locally missing carbon」と呼ばれています。これには計測からもれている地下部のファクターすなわち根からの有機物の分泌、根の枯死・脱落、根の呼吸などが関与していると思われます。ある研究によるとこのような形で根圏に放出される炭素量は根の乾物中に蓄積される炭素の数倍に達するそうです。根圏は巨大な炭素貯留プールだと思われます。このプールは根による炭素の供給で養われていることに注意する必要があります。

### 5) 結論

私に与えられたテーマは、「根の研究」の戦略論あるいは組織論だったかと思います。ある領域の研究あるいは科学分野の発達過程、あるいは文化や国の興亡をみますと、本当に新しい動きは辺境で生まれるようです。その意味で根の研究は非常な将来性を胚胎しているといえます。では、どのようにして育てるのか。そのヒントの一つは上記の2~4の中にもあると思います。根圏に関する魅力的な共通のテーマを設定し、さまざまな研究者がそれぞれの角度から取り組めるような基盤研究プロジェクトを設けることが一法かと思います。資金があればということありませんが、手弁当でも「根の科学者として今この問題を明らかにしたい」と感じる目標を研究会として掲げ、その実現に努力する中から様々な交流と進歩がうまれると信じます。

# 揺籃期の根系研究

山崎耕宇

(東京農業大学生物産業学部)

## 1. はじめに

すでに根の研究からはなれて長い年月が経過しているのに、細部にわたる細かい論議はご容赦願ひ、かつて私が根の研究を始めた頃の、いわば私的な経験を中心に紹介し、関連して私が近年考えていることをお話することで、責めを果たしたい。

表題を“根”としないで“根系”としたのは話題を根系に限定するの意で、例えば根における養分吸収などの問題は、古くから植物生理学あるいは植物栄養学の一大問題であり、この領域まで論ずる時間も能力もないことを意味している。とくに私が関わってきた水稲の場合、湿田や老朽化水田における根腐れ問題は、当時の水田土壌化学の発展と相まって一大関心事であり、これに関わる水稲根の酸化力は、農学者の多くが研究を進めていた領域である。それらの問題は、ここでは簡単に触れるにとどめ、土壌中に張りめぐらされる根系の形成と役割に焦点をしばって話を進めることにする。

## 2. 東大における根系研究の始まりとその方向

後に述べる佐々木の研究を別にして、東大において私の関わった根系の共同研究は今から 37 年前 (1962) に始まっている。その前年に私は水稲の葉の発育様式の規則性を明らかにし、これによって学位を取得しているが、この年、同じ研究室の後輩である石原 邦氏が、水稲の根毛形成で学位を取得したのを期に、共同して水稲の根系形成の問題に取り掛かった。研究室は新たに昇格した川田信一郎教授が担任されることとなり、幸運にも私ども 2 名は助手の席を与えられ、いわば研究室を挙げて水稲根の研究に取り組む体制ができあがった。

以下、リーダーシップを取った川田教授の考え方を示しておく (詳細は川田 1982 参照)。一植物の根は植物体の下半に当たる地下部を構成し、地上部とは全く異なる機能によって植物の生命を支えていることから、この部分の理解なしには植物体の全的な把握はあり得ない。しかも農学的視点からすれば、耕し、肥料を与え、かんがい水を施すなどのほとんどの技術は、土壌を介しさらに根を介して行使されている。したがって根の科学なしに農学の発展を期待することは考え難い。一このような問題意識のもとに、同研究室の研究は、まず根系の形態形成を明らかにすることを通じて問題に接近すること、しかも現実の農家圃場から問題を抽出していくこと、という方針のもとに進められた。

## 3. 内外の根系研究略史

よく知られているように、根系研究の古典として筆頭に挙げられるのは Weaver(1926)の仕事であろう。塹壕法を主たる武器として、土壌中における畑作物の根系の実態を明らかにしたエネルギー的な労作は、まことに古典というにふさわしい。これに触発され、東大の佐々木 (1932) が同一手法によって水稲根系を観察したのが、わが国におけるこの面での研究の始まりとみてよからう。同じ頃には岩槻 (1932)、丁 (1933) が根系の定量化、あるいは環境変動などについて検討を加えており、この時期はわが国における根系研究の第一の高揚期といえる。

しかしその後、根系研究は目だつた発展をみせずすばらくの空白期が続く。恐らく多労を必要とする研究が戦時体制に移りつた時代背景に適合しなかったのではないか。ただし研究論文として一般に知られるところは少なかつたが、この時期から戦後にかけて、国あるいは地方自治体の試験研究機関では、作物の生育調査の一環として根系調査が項目として取り上げられる場合があつたようで、戦後ほどなく安間・小田 (1957) はその指針としての根系調査法を取りまとめている。

## 4. 戦後のわが国における根系研究の拠点

私達が根系の研究に取り掛かった頃、相前後して新たに根系研究に着手した個人あるいは研究室が国内に出現している。佐賀大学農学部はその筆頭ともいふべきで、分けつ発育の規則性を明らかにした九州大学の片山の理論をイネ科作物の根系に適用しようとした藤井 (1961)、さらに対象をマメ科

作物等に拡大した田中（1996 論文集参照）が活躍していた。東北大学の森（1959）も一方の雄であった。なおイネの根の酸化力に関連して、根の通気組織の発達や表皮系への酸化鉄の沈着等に関わった作物学関係の研究者・期間をみると、農林省農業技術研究所（鴻巣）の山田・馬場両研究室（太田、稲田）をはじめ、京都大学（長井・俣野）、三重大学（有門）、新潟大学（木戸）などがあり、やや遅れて名古屋大学の河野がこれに加わっている。いくつかは研究室では現在にその伝統が引き継がれている。

理学畑では当時このような根系研究はほとんど行われていなかったように思う。林学分野ではこの時期、多数の林木根系の記載を行った苅住の業績（林試報告）が傑出している。

#### 5. 東大の研究室における研究の展開

共同研究の開始とともに、私達は大学構内でポット実験を重ねる一方、作期中ほとんど毎月、庄内平野の水田に通うような日程を繰り返し、比較的短期間にイネの根系の形成の規則性と実際の水田における根系発達の概略を把握し、かなり長大な論文（川田ら 1963）として公表することができた。以後の研究はこれを土台に展開するか、全国各地の自然的・技術的諸条件に対応して、根系の発達がいかに変動するか、これが水稻の生産性にいかに関わってくるかを解明することが目標に据えられた。

フィールドで根系を手掛けた人は誰でも経験するところと思うが、土壌中であって姿を見せない根系をいかに把握するか、フィールド研究につきまとう複雑要因をいかに解析・統合するか、さらに再現性の問題をいかに解決するか等々、研究の経過は悪戦苦闘の連続であった。得られた成果は決して明快とはいえないが、その大要は山内（1996）編の著作中で、田中が私達の成果を取り入れながら要領よく取りまとめているので参照されたい。いわば常識的な線といえるが、これこそ今後“根研究会”の研究者諸氏が批判的に乗り越えることを期待している。

#### 6. 21 世紀の根系研究に向けて

私も会員となっている日本学術会議では、科学技術の破綻が目立ってきた 20 世紀末の反省にたって、21 世紀の科学技術に期待される重点課題として、統合の科学ともいうべき方法論の確立を挙げている。旧来の還元論的手法では困難であった複雑な系やフィールドにおける自然・社会現象の解明がその対象となる。このような見方からすれば、根系研究はまさに 21 世紀に開花すべき領域であり、それだけに研究者に対する期待は大きいし課せられた責任は重い。未知の領域への挑戦には、異なった個性、異なった分野の研究者の活発な論議こそが重要であり、“根研究会”がそのためのかけがえのない場となることを期待したい。

さらにいうまでもなく次世紀の人類最大の課題は、増加する人口に対して食糧をいかに確保するかにかかっている。十分とはいえないが演者の近年の熱帯途上国における経験によれば、これら地域の作物の根系はきわめて貧弱であることを一般的な特徴としている。このことを手がかりとして、地球上の作物生産の向上に大きく貢献しうるのはないかというのが、かつて根系に関わった一研究者の夢である。

#### 「引用文献」

- ・安間正虎・小田桂三郎（1957）根系調査法、戸苅義次ら編 作物試験法、農業技術協会：137-155.
- ・岩槻信二（1932）農及園 7：64-70
- ・藤井義典（1961）佐賀大学農学部彙報 12：1-117
- ・川田信一郎ほか 4 名（1963）日作紀 32：163-180
- ・川田信一郎（1982）水稻の根 - その生態に関する形態形成論的研究 - 論文集、農文協
- ・森 敏夫（1959）東北大農研彙報 11：159-203.
- ・佐々木 喬（1932）日作紀 4：200-225.
- ・田中典幸（1996）根の研究 - 論文集、私家版
- ・丁主一（1933）農及園 8：831-838
- ・山内 章 編（1996）植物根系の理想型、博友社
- ・Weaver, J.E.（1926）Root development of field crops. McGraw-Hill, New York