農業に寄与する「根」研究の課題

阿部 淳（東京大学農学部）

What is required to root researchers for their
contribution to agriculture?

Jun Abe (Faculty of Agriculture, University of Tokyo)

はじめに

ザツマイモなど根そのものを収穫する作物は別として、多くの場合、根は収穫対象の子実からは離れたところに位置し、光合成の場である葉に比べると、収量・品質の問題を考える上で陰に隠れがちな器官である。しかし、実際の農作業を考えた場合、耕起・施肥など栽培管理の多くはいわゆる「土作り」をとおして根に働きかける行為であり、根は人間から作物への働きかけの入り口に当たる器官といっても良い^{5, 6)}。また、土壌環境は大気中に比べて比較的安定しているとはいえ、世界的には、未だに天水に頼る栽培地域や、酸性土壌、アルカリ性土壌、塩類集積土壌などが多く存在し、耕地面積拡大や食糧生産の底上げのためには、これらの問題土壌での作物栽培の確立が望まれている。根がこれらの土壌環境にどう反応するかも興味深い問題といえる。

根の役割としては、養水分の吸収、作物体の支持、植物ホルモンの合成などが挙げられる（第1表）。さらにいえば、これらは地上部諸器官との交互作用のなかで発現するもので、そうした地上部・地下部関係の解明も重要な課題である。

わが国では水稻を中心に根についての研究の蓄積があるが、地上部に比べると遅れている面が多いことも事実である。具体的データなしに課題ばかりを述べるような話題提供になること、また、イネ中心の話となることをお赦し頂きたい。

1. これまでの到達点と課題

形態的なことについては多くの蓄積があり、水稻の根の通気組織の研究など世界の先端を行く研究も多くなされてきた。しかし、それらの研究成果を相互に比較検討することは難しく、そうした形態と機能の結びつき、あるいは地上部との関係など、実際の栽培や育種に役立てるために必要な情報はまだまだ不足している。簡便で一般性のある根の評価方法もまだ確立されておらず、職人芸の世界に留まっている。ここではそうした問題を検討し、当面の課題がどこにあるかを考えてみたい。

(1) 根量・分布の把握

ものごとを定量的に解析するに当たってまず最初に把握されるべきは、どこにどれだけの量が存在するかであろう。根量についても多くの研究があるが、水稻ひとつとっても統一的な評価法というものは確立されていない。地上部においては、生育調査といえば葉齢・莖数・草丈など一般的な調査項目は決まっているし、葉面積指数など群落の状態を示す指数や層別刈取法などの手法が確立されていることと比較すると大きな遅れといえよう。

根研究においても、こうした指標の確定や調査法の一般化が必要だが、できれば根の専門家に限らず、栽培・作物研究者が本来の専門の研究の一部として取り組めるような簡易な測定法であることが、根のデータを広く集めて蓄積する上で望ましい。

水稻の場合、演者らは従来の方形の改良モノリス法に比べて、軽量で掘り取りの容易な直径15cm、肉厚1mm足らずのステンレス製円筒を用いた円筒モノリス法を用い、掘り取った円筒形の土塊を地表面側から5cmもしくは10cmずつの層別に円盤状に輪切し、各層内の根量を長さや乾物重で評価するという手法を採用している。株の直下と4株の真ん中の株間の2点を1組として数組採取することで、水田土壌中の深さ別の根量を評価できる、いわば根っここの層別刈取法で、改良モノリスに比べて労力も水田の荒らし方も小さくなっている¹⁾。土塊からの根の洗い出しには決まった目の大きさの篩を二重にして用い分枝根まで回収するなどの技術的なノウハウが蓄積されてきた段階であり、そうした採取後の処理や根長・根量の測定法も含めてマニュアルを作成し普及を図りたいと考えているが、精度を落とさず一層の簡便化ができればそれに越したことはない。

非破壊の根量調査法としてはミニ・リゾトロン法や音響センサーを用いた手法が考案されている。現時点では測定精度や機器の問題があって直ちに普及する状態にはないが、これらの問題が解決すれば将来は根研究に貢献する可能性がある。

(2) 根の機能の評価

多くの作物研究者にとっては根の量よりも、根の機能や生理生態学的な役割の方に関心があるであろう。作物体の支持という役割については、寺島氏らの転び倒伏に関する一連の研究があり、また倒伏抵抗性の簡易検定器まで市販されており、各試験場や農家圃場でもある程度の調査は可能となっているが、他の機能については、なかなか評価が難しい。

いわゆる根の「活性」とか「活力」の評価としては、たとえば、第2表に挙げたような評価方法がある。これらの測定法のなかには部位別の単位根量当りの活性を評価

第1表 根の役割。

水分の吸収
養分の吸収
作物体の支持（対倒伏性）
物質の合成
植物ホルモン（サイトカイニン、ABAなど）
その他の物質
物質の蓄積
有用微生物との共存の場の提供 （根粒菌、マイコリザなど）

するものと、根量の多少による影響も込みになったままの根系全体の活力を評価するものがあるが、いずれにしても、第1表に挙げた各機能との関係を明らかにしていけないと、大まかな目安の域をでない。また、根においても組織の老化は当然生理機能の低下をもたらすが、さまざまなエイジの根が混在し、新しい根（あるいは分枝根）が形成される一方で、次々に枯死する部分が同居する根系全体のなかで、老化の影響を評価することは容易ではない。根研究の大きな課題のひとつである。

地上部の場合、光合成や呼吸まで測定することは機器の制約などで、どの研究室でも、どの圃場でもというわけにはいかないが、葉面積指数や乾物重など、比較的簡易に、かつどの研究機関にもあるような道具で測定可能な量的形質を測定することである程度代替できる。根においても、根の量や分布がもつ生理・生態学的な意義が明らかになってくれば、量的形質の測定で根系の持つ能力をある程度評価可能になろう。

いずれにしても、根の機能を解明していく上で、土壌学や植物栄養学の研究者らとの連携の必要性を強く感じている。

（3）根の機能と収量・品質

根が第1表に挙げたような諸機能をもつとして、それらが作物栽培の目的である収量や品質にどう関わっているかの確認も重要な問題である。個葉の光合成速度が直ちに収量に結びつくとは限らないのと同様に、根の機能から子実の収量・品質までの間にはいくつかの段階がある可能性が高い（第1図）⁶⁾。川田らの研究など、従来も根の量や形質と収量との関係を検討した仕事があり参考とすべき点は多いが^{4), 5), 6)}、因果関係があるかどうかまでは明らかでない。また、それらの研究がなされた当時とは栽培条件も変わってきている。

一般には、養水分など土壌環境条件の悪い状態ほど根の役割が明確に現れると考えられるし、養水分条件がよければ必ずしも大きな根量、あるいは大きな根域を必要としないことは、点滴灌漑法や養液フィルムによる栽培の成果からも想像できる。演者らは、特に畑作物の場合、表層の根が施肥による養分の吸収など良好な条件下で大き

第2表 根の「活性」評価法。

呼吸速度の測定
酵素活性の測定
α -ナフチルアミン酸化力の測定
TTC染色 など
出液速度の測定
RIによる養分吸収速度の評価
指示薬を用いた酸化・還元能力や
pH調整能力の評価

第1図 解明すべき課題。

な役割を果たす一方で、土壌環境の比較的安定した深層まで到達するような一部の根は不良環境に遭遇した際に重要な意義を持つものと推察している。

事実、1994年の夏は降雨量が少なく多くの畑作物が干ばつの被害を受けたが、茨城県の試験圃場におけるイネ品種の比較試験では、地表から40-50cm以上の深い土層における根の量と籾の稔実率との間に密接な正の相関関係がみられた³⁾。

一方、水田における多収稲作の試験では、開花直後における剪根処理を施したところ、わら量には低下がみられた一方で収量は必ずしも低下しないことが確認された¹⁾。水田といえども水耕栽培とは大きく異なり、窒素などの諸養分の土壌中での拡散は小さく、剪根の時期によっては生育に大きな影響がみられる可能性はあるが、この実験の結果は開花期以降の根の量や生理機能は乾物生産には関係があっても、収量には直結しない可能性を示唆するものといえよう。

こうした条件の違いに応じた望ましい根系、収量・品質の確保に必要な根の機能を生育時期別に整理していく必要がある。

(4) 地上部から根を評価する

根は茎から発生する器官であり、その太さや数は茎の大きさや栄養条件に規定される可能性が高い^{1, 9)}。長さや分枝の程度なども、土壌の理化学的な性質に加えて地上部からの同化産物や成長調整物質の転流に大きく影響されると考えられる。したがって、根系形質の改善を目的とした育種の際にも、むしろ茎葉部の形質に着目したアプローチが有効な場合もあろう。イネにおいて茎葉部の生育と根の発達との関係を定量的に把握することは演者の研究室での当面の関心事のひとつである^{5, 6, 7, 9)}。このテーマの研究にはモデルを用いたシミュレーションも有効な手段となろう。

2. 実学としての根研究

(1) 新しい栽培技術と根の研究

国内でも、根の基礎的研究分野で世界の先端をゆく研究者がいるが、そうした研究の成果も活かしつつ、農業の実際に即した研究も重要である。水稻の直播栽培や乳苗移植あるいは不耕起栽培、園芸のハウス栽培など、現場の技術の動向に根の研究が必ずしもついていない。たとえば、乾田直播において湛水に移行した際、畑状態で生育していた根は引き続き機能するのかという質問をときどき受けるがこの問いに対して演者は自信を持った回答をすることができない。

農家の方と話していると、しばしば「この栽培をすると田圃に踏み込んだときの抵抗感が違う。きっと根が良く張っているに違いない」といった経験に基づく根研究への期待を感じることがある。はじめに述べた実用的な根系調査法の確立により栽培試験に根の調査を組み入れやすくすると同時に、大学・農水・県あるいは民間といった枠を超えての共同研究がもっとあっても良いであろう。

(2) 発展途上国農業における根研究の重要性と日本の研究者の役割

根の研究は、乾燥や塩類集積、酸性土壌、アルカリ土壌といった条件の悪い局面で、より重要性が高いと考えられる。これまで土壌学や林学、あるいは理学部の生態学と

いった分野の研究者に比べて作物学の研究者は海外に出ることに消極的で海外研究のノウハウも蓄積されていないが、すでに国際研究機関などで腰の据わった仕事をされている方々が、総合的かつ解析的な優れた研究で成果を挙げている例もある²⁾。

根研究に限らないが、こうした海外での研究は、狭い専門分野だけでなく根であればそれを取り巻く土壌の理化学性や微生物、あるいは栽培技術全般や病虫害などといった幅広い知識が要求され、形態学でも生理学でもあるいはモデリングでもとにかく有用な手法を積極的に取り込むといった姿勢が重要となる。従来は孤立無援の観があった海外での研究もインターネットなどの新しい通信手段の発達によって様変わりしつつある。若手研究者が積極的に海外に出るとともに、それを情報面で支える体制作りも必要であろう。

3. 根研究者の相互交流

国際会議の増加とともに、根関連の国際会議も毎年のように開かれている。国内でも、作物分野で根の研究者が増えるとともに、他分野でも育種・園芸などの農学分野のほか、遺伝学・分子生物学といった理学分野や工学分野まで交流の裾野が広がっている。まもなく発足から5年目を迎える根研究会も交流の推進に少なからぬ役割を果たしてきたと自負しているが、こうした他分野との交流から作物学研究者が得たり与えたりするものも多くなることを期待している。

まとめ

わが国の作物分野における根研究の課題として以下の点が挙げられる。

1. 各試験場の栽培試験に組み込める実用的な根系調査方法の確立と普及。
2. 根の量や分布が、根の生理生態学的機能とどう結びついているか、また、それはどの程度に収量や品質に関わることを明らかにしていく（第1図）。
3. 地上部の生育と根の発達との関係を明らかにする（できることなら、現在の生育診断技術のように、栽培期間中の地上部の発育をみながらの適切な根の管理を可能にしていく）。
4. 上記1の手法を活かし、新しい栽培技術の試験に根の調査を組み込んでいく。
5. 多様な土壌環境を抱える発展途上国に若手・中堅研究者の活躍の場を拡げていく。インターネットなどの新しい通信技術を活かしその支援体制を整える。

謝辞 この話題提供に当たっては、根研究会の集会での議論や東京大学農学部栽培研究室のスタッフとの議論から情報やヒントを得た部分が多い。逐一引用文献の形では挙げていないが、『農業および園芸』（養賢堂）に連載中の「植物の根に関する諸問題」、あるいは『根ハンドブック』（根研究会刊）などをご参照頂ければ幸いである。

引用文献

1. 阿部ら 1995a, 日作紀64 (別2) : 149-150.	6. 森田 1994b, 圃場と土壌26 (10-11) : 8-13.
2. 阿部 1995b, 日作紀64 : 343-344.	7. 森田ら 1995, 日作紀64 : 58-65.
3. 平山ら 1995, 育種学雑誌45 (別1) : 218.	8. 根本・山崎 1989, 日作紀58 : 440-441.
4. 川田ら 1978, 日作紀47 : 617-628.	9. 根本ら 1992, 日作紀61 (別2) : 161-162.
5. 森田 1994a, 農園69 : 933-938, 1031-1036.	