

根圏制御による次世代農業の構築を目指して

太田原 高昭

北海道大学大学院農学研究科長・農学部長

1. 根圏研究への期待

農学研究科では、農業や林業に関するフィールド調査を世界各地で行なっているが、その中からこれまでの農林業技術では説明のつかないような興味深い現象が発見されている。たとえばシベリアの永久凍土地帯にひろがるカラマツ林では、周辺環境からの窒素流入がほとんどゼロに近いにもかかわらず、年間20kgNもの窒素が吸収されているのが確認された。また東南アジアの強酸性土壌の水田で、pHが3以下という通常植物がほとんど生育できないような条件の下で安定生産を果たしている水稻の事例、南米の大豆畑では施肥や根瘤菌接種を全く行っていないのに、周辺をよく管理された農場よりも生産性が高いという事例も報告されている。

このような環境に植物がどのように適応し、いかなる耐性機構をつくりあげているのかを調べると、そこでは植物の根とその周辺に生息する微生物との共生、共存関係が著しく発達していることがわかってきている。土壌中で生育する植物根の周囲には「根圏」と呼ばれるわずか数十ミクロンの空間があり、ここは植物根の強い影響下にあると同時に、きわめて多種多様な微生物群のすみかとなっていて植物根にさまざまな影響を与えていると考えられる。この根圏における植物根と微生物との相互作用は、現在のところごく部分的にしか

解明されていないが、その解明が進むことによって上記のような現象が説明されるだけでなく、農業生産についてもさまざまな可能性が開けてくることが予想される。

植物はただ養分が土壌から供給されるのを待っているだけでなく、積極的に土壌に働きかけて必要な養分を吸収しようと努力している。ある種の植物根はさまざまな多糖類、タンパク質、有機酸などの低分子化合物やフラボノイド類を分泌する能力をもっており、それらのものを根圏に放出することによって根圏の環境を周囲の土壌と異なったものに変えている。それらのあるものは直接的に根圏内のpHを中和し、あるいは間接的にある種の微生物をひきつけることによって空中の窒素を植物に利用可能な形で固定化させている。空中窒素の固定化機能はすでに根瘤菌が知られているが、それ以外に空中窒素を固定する菌が根圏や根面に棲息していることが解明されつつある。これらのことがすべて根の表面わずか数十ミクロンの根圏という世界で行われている。

このように植物が低pH土壌で良好に生育するために、土壌全体のpHを調整するのではなく、植物根自らが根圏内のpHだけを調整すればよいということになれば、これまでのような巨額の費用をかけた土地改良事業は必要でなくなるかもしれない。同じように空中窒素を固定する機能を持

つ新たな微生物とそれらを引きつける物質が発見され、マメ科以外の植物にも応用が可能になったならば、農業に必要な窒素肥料の総量は著しく減少することになる。また植物根から分泌されるある種の有機酸やタンパク質が、土壤中に存在する不溶性の無機リン化合物や有機態リンを植物に吸収されるかたちに変えることも知られているから、このような能力を高めることによりリン肥料の大幅な節約につながる技術も開発可能であろう。このように植物根と微生物の関係を中心とした根圏の構造解明とそれをコントロールする技術の確立によって、大幅な土壌改良や多量の肥料・化学物質の投入を行わないですむ次世代型の農業システムを構築する展望が生まれているのである。

2. 第2次「緑の革命」の夢

このような展望はまた、エネルギー多投入型の近代農業の問題点のある角度から浮き彫りにしているといえる。近代農業を根底で支えているのは施肥技術であるが、それが植物が栄養を吸収する微細なプロセスをブラックボックスにしたまま進められたために、結果として植物が本来持っていた根圏改良機能を抑制して、過剰な養分を土壌に与えてきたことになる。その過剰な養分が周辺環境を汚染すると共に、植物自身にとっても病虫害等の原因となり、それを防ぐために農薬等の大量の化学物質の投入を不可避としてきたのである。

根圏の構造と機能についての研究は、まずこのような近代農業の欠陥を是正しようとして取り組まれている有機農業、あるいはクリーン農業の技術に大きな影響を与えることになろう。今日の有機農業で

は、施肥量については旧来の理論が生きていて見直しはもっぱら肥料の素材面に集中しているが、新しい技術では施肥量そのものの大幅な減少が可能になり、むしろ根圏の環境をいかに植物に有利なものに制御するかという栽培管理技術の改善が中心になるであろう。その場合、作物が必要とする以上の養分は土壌に含ませないことになるから、基本的に雑草や病虫害の発生の余地が少なくなり、農薬や除草剤の必要量も著しく減少させることが可能になる。これは究極のクリーン農業といえよう。

次に発展途上国の農業の発展に新たな展望を拓くことが期待される。生産性の面で遅れをとった途上国の農業は、第2次世界大戦後いわゆる「緑の革命」によって大きく前進することができたが、そこには多くの問題があったこともよく知られている。緑の革命は、途上国の田畑を先進国並みに整備し、大量の施肥に反応する作物を育てる技術、つまり途上国農業の近代化といえるものであった。したがって近代農業の負の側面から逃れられないだけでなく、途上国の一般的な条件の下では普及困難な高コスト農業である点に限界があった。根圏研究の先に見えてくる次世代型農業は、大規模な圃場整備や土壌改良を必要とせず、最小限の施肥で生産性を拡大することが可能である。そのためにはそれぞれの地域の土壌条件に適合した作物の開発が必要であるが、根圏の生物的な環境制御の基本特性を解明しておけば、その技術は広く応用可能である。こうした技術こそが途上国において真に求められている農業技術であり、どのような国でも採用可能な「第2次緑の革命」の基礎となりうるものである。

こうした技術は単なる農業技術にとどまらず、最初に述べたシベリアのカラマツ林のように従来は樹木の生育が不可能と思われてきた地域への植樹、造林を可能とする新しい林業技術となり、地球環境問題への大きな貢献が期待できる。また積極的な環境浄化機能としては次のような方向への展開も考えられる。植物根から分泌される有機酸の中には金属イオンと結びついて錯体化するものがあることが知られているが、これは土壌中の重金属イオンを無毒化する技術につながるかもしれない。さらに現在の技術では分解が難しいとされる有毒な残留農薬、PCB、ダイオキシン類を分解する酵素を根から分泌させることも可能で、このような技術の確立によりこれまで土壌全体を浄化することは経済的に不可能であったために実現が困難であった土壌環境の植物的浄化が可能になる。これまでの農法によってすでに過剰に土壌中に投入された窒素に対しても、それが周辺環境に漏出しないように根圏に脱窒菌を棲息させ、それによって過剰な窒素を還元し空気中に放出(脱窒)させる方法が考えられる。このように根圏研究は広範な環境浄化技術に結びつく大きな可能性を有している。

3. 研究計画と「中期目標」

いま国立大学は、平成16年度に予定されている法人化に備えて「中期目標・中期計画」の策定作業を進めている。法人化については国会に法案が出されているわけでもなく、それを前提にした計画の提出を大学に義務づけることは明らかに行政の先走りなのだが、私たちはこの作業を自分たちの自主的な将来計画として位置づけて

取り組んできた。北海道大学大学院農学研究科の場合、研究についての全体目標を「生物生産と環境との持続的調和」に置き、そのための措置として「根圏制御研究センターの設立」をうたっているところに特徴がある。その部分を紹介すると次のようになっている。「従来の肥料・農薬、エネルギーの過剰多投入型農業からの脱却をはかるために、世界に発信できる環境保全型農業の体系化を目指す。そのための基本技術として植物－土壌－微生物の共生系を確立するために、産官学連携による根圏制御研究センターの設立を目指す。」

中期目標は現在作業途中であり、この内容も案の段階であることを断ったうえで、私たちが考えていることを簡単に述べてみたい。根圏研究の夢は上述のように無限にひろがるのであるが、実際にはこれまでの研究の蓄積は少なく、根圏に生活する微生物もごく限定された種類のものだけが研究対象にされたにすぎない。したがってこれからは植物が根圏に放出する化合物についての知見を総合的に高め、それらの化合物の根圏における働きを明らかにしなければならない。そしてそれと根圏に生息する膨大な種類の微生物との関係の解析を一つ一つ地道に進めなければならない。そのためには単離・培養が難しい土壌微生物の培養法や、根圏に生息する多様な微生物種を同定する微生物DNAチップの開発など課題が多い。こうしたハードルをクリアして農業にとって有意義な根と土壌と微生物との相互関係を見出し、実際の農業技術に高めていくまでの道程は決して短くはないであろう。

さらにこのような相互関係を効率的に利用することのできる作物の育種も進め

なければならない。その場合の考え方として安易な遺伝子組換え技術に走るのではなく、人類がこれまで用いてきた伝統的な育種技術(交配)の再評価と再構築が必要である。すなわち高度に蓄積されたゲノム情報および各種生育条件下での遺伝子・タンパク質発現情報を活用することにより経験的でなく理論的な育種が可能になっている状況を生かし、交配を基本として目的とする形質を獲得するのがポストゲノム段階における育種のあり方であろう。というより遺伝子組み換えは特定のタンパク質を作らせる技術として使用されるが、植物の生育や環境応答のような量的性質の改良にはまったく不向きなのである。また今後遺伝子の特許化が進むために、これらを使用する植物改良は実現不能のものとなりつつある。

消費者の遺伝子組み換えに対する不安は、自然界では決して起こりえない現象に

対する拒否反応として根拠を持つものと考えなければならない。また現実問題として、作物の改良に不可欠の量的形質については遺伝子組み換えでなく、新しい理論育種システムで対応すべきである。したがって、私たちがこの研究において遺伝子組み換え技術を用いる場合でも、その目的を根圏制御に限定し、効果が根においてのみ発現するように調整して使用する必要がある。

クリーン農業や新しい緑の革命につながるであろうこの研究には、専門の壁を越えて多様な研究者の参加が可能であり、また必要であるから、研究体制としては研究科全体の共同研究として推進したい。また農業研究センターや他の研究科・大学との連携も当然必要となろう。私たちの先輩が北方農業の確立や緑の革命に大きな貢献をしたように、私たちの世代もまた「根圏」という魅力的なテーマを通じて新しい時代の農学を構築していきたいと願っている。

