

農学研究で求められているもの

中西 友子

東京大学大学院農学生命科学研究科教授

農学部とは何をすることかと聞かれることがよくある。工学部や理学部でもバイオ研究と称して、植物や動物を扱う研究が多く行なわれている。もしも工学部が工業を支える研究をするところと言えらば、農学部では農業を支える研究が行なわれていても良いはずである。しかし、残念ながら実際には農学部で行なわれている研究が実際の農業に役立つものは少ないと言わざるを得ないのが現状である。

農業の技術開発では「施肥」と「育種」が最大の課題である。施肥とは文字通りどのように肥料を与えて作物を育てるかであり、育種とは新しい品種の開発である。育種では環境条件に強く収量が多い品種が交配や放射線照射による突然変異育種により作成されてきた。遺伝子組み換え体作成も新しい品種を作る育種技術のひとつであり、土壌条件や気候条件の厳しい中で生育する作物も作られるようになったが、収穫量の面では元の作物よりも多くなるものは極めて少ないのが現状である。交配技術と比較して遺伝子組み換え植物の作成は、新しい植物を作り出す時間は短縮されてきてはいるが、導入した遺伝子が安定かどうかについては、他の技術で作成した作物のように、何代にも渡るフィールドテストが必要なため、長期の時間が必要となる。施肥については、ゆっくり肥料が出るような化学修飾した肥料が開発されてきてはいるものの、主に農家の経験に頼ってきている。

では、農業現場における研究とは何なのだろうか。それは農場に育成する作物そのものの研究、つまり現場の植物の科学だと考える。

植物は無機元素と水だけを与えれば生育する。そこで無機元素を溶解した水溶液を用いて育成する、いわゆる水耕栽培法が用いられて植物の栄養学や生理

学がおおいに発展してきた。水耕液中の特定の養分元素の量を調節したり、光強度や湿度などの生育環境を整えることで再現性のあるデータが得られてきたからである。また遺伝子工学を用いることにより環境耐性を担う遺伝子群の解析や養分元素を運搬するトランスポータなどの研究も発展してきた。しかしこれらの研究室で得られた結果が実際の圃場で育つ植物にどれ程役に立つのだろうか。また現実には水耕栽培と土耕栽培の間には大きなギャップがある。植物は、水耕栽培して育てた後、土耕に移すとあまり生育しなくなる。これは水耕栽培を続けると植物の生理活性まで変化してしまうためのものである。

私達は放射線計測に基づくリアルタイムイメージング装置を開発し、植物がどのように養分元素を吸収し移行させるかを種々のアイソトープを用いて調べてきた。当初は水耕栽培中の植物のイメージングが主であったが、放射線は土壌も突き抜けるので、土壌中にアイソトープを入れ込むと、非破壊状態で、根がどのように土壌中の養分元素を吸収して地上部へ運んでいくのかが観られるようになった。その結果、水耕栽培中の植物は、圃場で施肥される元素量（実際に植物が吸収する量はこの量よりもはるかに少ないが）と比較して 10~100 倍もの元素を吸収していることが判った。つまり、水耕栽培では植物は実にヌクヌクとたっぷりの栄養を吸収して、いわばメタボの状態となっていると言っても過言ではない。そのためか、子孫を残す種子生産にはあまり力が入らないようにも思われ、水耕栽培で高い収穫量を期待することは難しい。しかし吸収する養分元素量がはるかに少ない土耕栽培では収量は多くなる。

世界中で栽培されているナタネの収量を調べたことがある。生産量の多い順では、中国、カナダ、インドとなっている。しかし、これらの国では耕作面積は大きいものの、単位面積当たりの収量ではドイツやフランスの方がこれらの国よりもはるかに高い。気候や品種などの問題もあるとは予想されるものの、現場における栽培技術の高さが大きな原因であると思われる。時々取りざたされる遺伝子組み換え作物の場合、元の植物体と比較して収穫量が多くなる場合は非常に少ない。世界のナタネ生産に見られるように現場の技術開発により収穫量がはるかに多くなるならば、圃場での生育環境や水・養分元素の与え方の工夫で収穫量の向上が期待されるのではないだろうか。また、遺伝子进行操作し

なくとも、遺伝子を操作したように植物の性質を変えることができるかもしれない。

ところで圃場で生育する作物が生育過程の間、いつどの養分元素をどの位の量吸収しているかということは、作物生産において基本中の基本と思われるデータであるが、これは調べるとほとんどデータが整っていないことに気付いた。私達が見つめることができたものは何十年も前に測定されたイネのデータだけであった。今のような分析機器が発展していない頃なので測定した人達は非常に苦労して元素を植物体から抽出して測定したに違いない。

私達はイメージング装置で無機元素の吸収動態を調べる一方、水そのものの吸収動態についても調べてきた。作物を育成するためには多量の水が必要だと誰もが思ってきた。発展途上国からの作物輸入は、育成期間中に使用された水も加わっていると考えられ、それをバーチャルウォーターと称し取りざたされてきた。しかし、植物がその生育過程でどの位の水を実際に吸収しているかという科学的なデータはほとんど無いのである。

植物が吸収する水の定量、それを正確に求めるためには、今植物に存在している水と新しく吸収される水を区別して測定しなくてはならない。そのためには与える水を放射性同位元素、アイソトープで標識することが最も良いツールとなる。よく、吸収される水の動態を調べるため、酸性フクシンなどの色素を溶解した水を吸収させることがあるが、それで判ることは色素の動きであって水そのものの動きではない。水は水素と酸素から成るが、水素のアイソトープ、トリチウムから出される放射線のエネルギーは非常に低いため、生きた植物に与えても、外側からトリチウムを測定することはできない。そこで、酸素が着目されるが、酸素のアイソトープで利用可能なものはポジトロン放出核種である ^{15}O であり、半減期が僅か 2 分である。

放射性医学総合研究所で PET 診断のためヒトに投与するための ^{15}O が製造されている。そこで、当時の佐々木所長にお願いして ^{15}O を使用する植物研究をさせていただいた。ポジトロン放出核種は消滅する際、180 度反対方向に出される 1 対の γ 線となる。そこで、植物に ^{15}O 水を吸収させ、植物を挟む形で一対の γ 線検出器を置き、同時に測定される γ 線を測定すれば植物体内に吸収され

た ^{15}O 水の量が判ることになる。しかし、ポジトロン自身はエネルギーを持っているので、植物から抜け出たところで γ 線となる割合が無視できない。この割合は 2-3mm の厚い組織が無いと完全にポジトロンを捕まえることができず、葉のような薄い組織では厚さによってポジトロンの抜け出る割合が大きく異なる。つまり植物中の ^{15}O を測定していても抜け出るポジトロンがあるので定量ができないことになる。

そこで実際の実験では少しでも厚い組織、ダイズの根から少し上の茎をターゲットとした。測定の感度、正確さについてもきちんと検討を重ね、根から吸収された ^{15}O 水の量がどの位この茎に到達するかが測定できる装置を組み立てた。

測定を始めたところ、思わぬ結果が得られた。根から上がってきた ^{15}O 水の量がみるみる増加していくのである。植物体内で水は導管と呼ばれるパイプを通って上部に運ばれると教科書には書いてある。しかし導管の体積の何十倍もの水が茎で測定できたのである。 ^{15}O の半減期は 2 分なので測定はせいぜい 20 分ほどの間である。しかし、茎の体積に迫るほどの水が測定される。これはどういうことなのか。水の通り道をいろいろ考えて検証した結果、導管からは常に多量の水が周囲に漏れだした導管に戻って上に運ばれることが判った。つまり植物は単に水を吸収しているのではなく、新しい水は古い水と置き換わりながら植物体内を循環しつつ上に移行していたのである。

シミュレーションをしてみると、20 分ほどで茎の中に今まで存在していた水の半分が新しい水と置き換わることが示された。動かない植物でもその体内ではダイナミックな水の動きがあったのである。水を通す導管にはリグニンを多く含む螺旋状の組織ができる。その螺旋のピッチは若い導管ほど大きく、水が漏れ出やすい。古くなるとピッチは詰まってきて水はあまり外へ出なくなる。若い組織ほどみずみずしくなる仕組みである。種子の導管は成熟すると導管のピッチが詰まって疎水性となり、物理的に壊れない限り水が中に浸透せず発芽を抑える植物もある。私達がカーボンナノチューブを作る前に自然では生育過程により形態・機能が異なってくるチューブを作り上げてきているのである。

このような仕組みを人間が作り上げることは不可能に近いだろう。私達はも

つと謙虚にまず自然が作り上げた仕組みを知ることが大切である。植物はどのように生きているのか、それはどのように水・養分を運び、その組織の機能はどう変化していくのか。生きている植物の活動を知ること、それが農業の科学の第一歩である。