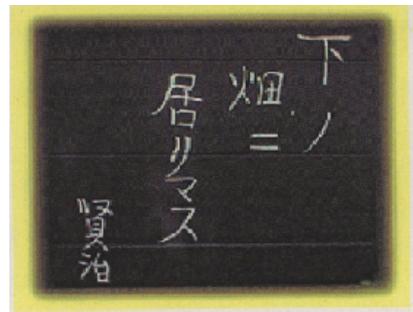


# 1 章 植物の生理

## 1.1 はじめに

人類の歴史において農業は1万年以上も前から始まったとされている。小麦、米、トウモロコシなど今日栽培されている作物植物 (crop plants) は、長い時間をかけて、ヒトが野生種から選抜あるいは人為的な交配によって育種してきたものである。それらのもととなった野生種が、一見したところどんなに今日の栽培種と異なってみえるか、諸君は驚くに違いない。さらに、良い品種を選ぶことに加えて、農業を営む人達はいつの時代にも、いかに作物の収量を増加させ、品質の良いものをつくり出すかに心を砕いてきた。長い農業の歴史の間には、多くの栽培上の経験則が見出され、ノウハウとして引き継がれてきた。しかし、より良い農業を目指すためには、経験則を支えている科学的原理を理解して、さらにどのような改良を加えることができるかを明らかにするとともに、作物ひいては植物一般の生き方とその原理を科学的に解明し、理解することこそが現代の農業にとって不可欠である。

『銀河鉄道の夜』で有名な宮沢賢治は故郷の花巻で羅須地人協会をつくり、農業のもとになっている科学的知識を広めようとしたことでも有名である。



羅須地人協会の建物にある賢治の伝言板 (泉井 桂・撮影)

## 1.2 植物生理学とは

さて、植物生理学 (plant physiology) は、現在、急激に発展しつつある学問領域である。基礎生物学の発展とともに、その対象とする内容も格段に広くなり、諸現象の分子レベルでの理解の程度もどんどん深まりつつある。なによりも多くの分野間のつながりが明らかとなり植物を統合的に把握できるようになってきたのである。こうした最近の進展を反映して、植物科学 (plant science) あるいは植物生物学 (plant biology) という、より包括的な呼称が好んで用いられるようになりつつある。

### 1) 植物生理学が取り扱う内容

植物の生き様は、便宜上2つの視点からとりあげることができる。1つは、種々の程度に生長した植物が、環境と相互作用しながら、その瞬間、瞬間をどう生きているか、もう1つは、種子の発芽から栄養生長および生殖生長を経て種子をつくるまでの植物のライフサイクル、いわば時間軸に沿ったプログラムがどうなっているかについてみることである。現在の植物生理学で教科書的にとりあげられる主な項目は以下のように6つとなっている。

- a) 植物体の構成と構造 (plant body structure and its components)
- b) 光合成 (photosynthesis)
- c) 代謝 (metabolism)

- d) 物質の輸送と貯蔵 (transport and storage)
- e) 環境応答 (responses to environmental stimuli)
- f) 生長と分化 (growth and differentiation)

先程、述べた2つの視点のうち、1つ目の視点は a)~e)に対応し、2つ目は f) のみということになるが、実は f)の分野の知見がこれまで相対的に少なかったに過ぎず、植物ホルモンの作用機構や器官形成も含めて、現在著しく発展している分野である。とくに、植物の全能性 (totipotency) という、分化した細胞から脱分化して個体を再生することができる孫悟空のような能力が、新しい植物の開発の基礎となっている。

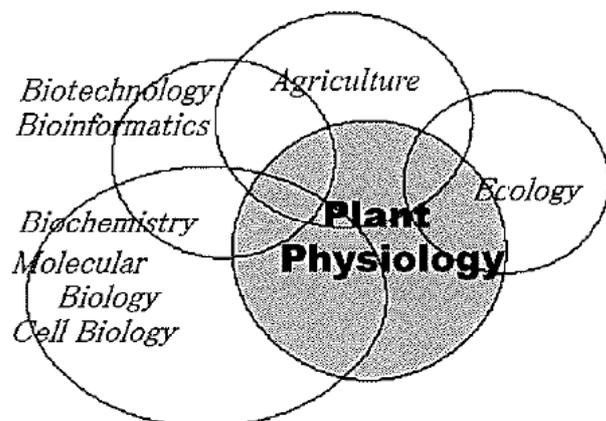
## 2) 農学と植物生理学

諸君もよく知っているように、農業の重要性は今や地球レベルでは非常に高まってきている。人口の増加によって、21世紀の後半にも現実のものとなってくる食料の不足、人類のみならず多くの生物の生存を脅かす地球環境の悪化、この2つの課題に世界の農学者は真剣に取り組まなければならない。第二の“緑の革命”による食料の増産、環境に優しい持続可能でかつ高収量を実現する農業技術の開発、安全な食料の生産などが求められている。遺伝子操作作物 (genetically modified organisms, GMO) の開発は急速にその栽培面積を拡大しつつあり、GMO のヒト、他の生物および環境などへの評価や見識が求められ、さらにより良い GMO の開発も求められている。現在はまだ大部分の GMO は食料生産ではなく、基礎データの蓄積、機構の解明のために利用されている。(私は将来の農業はより良い GMO の開発にかかっていると考えている)。

今や、植物生理学の基礎知識をもつことは、農学を志す者にとって必須である。十分な科学的根拠に基づいて農業技術の開発を目指さなくてはならない。さらに、ある農学上の目的のために、どれだけの基礎研究がこれまでになされているかを調べてみると、意外に研究されていないことも多い。このような場合には、農学への応用のための基礎研究を行うことは、農学研究者の使命である。植物の資源生物学を志す諸君は、植物生理学を最重要科目 (core subject) の一つと位置づけて、積極的に学んでいただきたい。

## 3) 他の学問分野との密接な関わり

植物生理学を学ぶためには、まず、高等学校程度の化学と生物学を理解していることが必須である。さらに、生化学 (biochemistry)、分子生物学 (molecular biology)、細胞生物学 (cell biology) は、現代の植物生理学を理解するには不可欠である。これら3教科は重複も多いので、自分の興味によってどれかを選択するとよい。基礎的な研究成果を実際に役立てるためにはさら



さらに、革新的な技術の開発が必要となり、これを目指す学問分野がバイオテクノロジー

(biotechnology) である。遺伝子の操作や導入のみならず、細胞からの個体再生技術なども含まれる。さらに、生物情報処理学 (bioinformatics) もゲノムの新時代を迎えて重要な学問として勃興してきた。一方、生態学 (ecology) との関わりも重要であり、生態系を考慮あるいは利用した新しい農業技術も生まれつつある。図のようにこれらの分野は相互に密接に絡み合っている。

#### 4) ゲノムの新時代

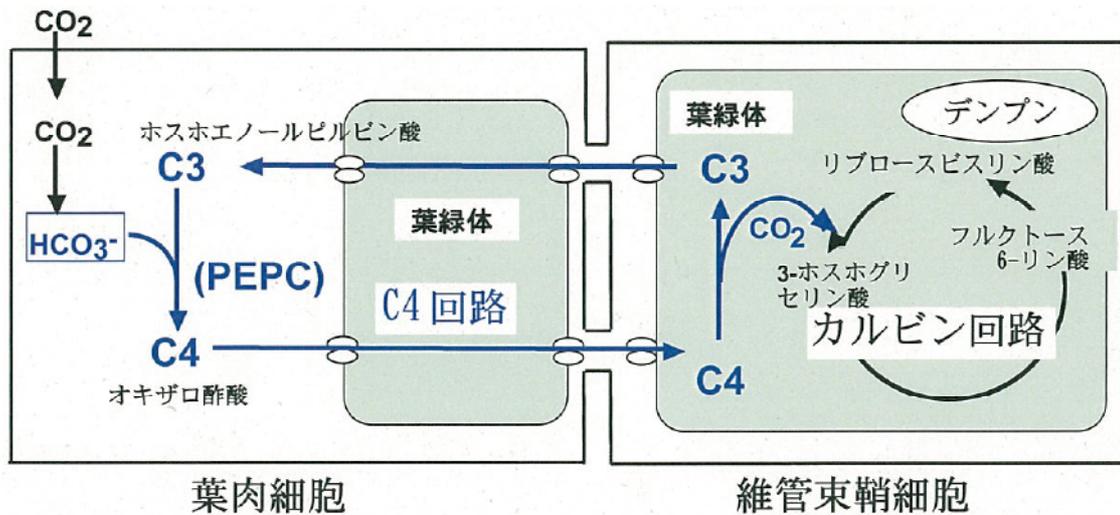
最近、ヒトを含めて多くの生物種の全ゲノムの塩基配列が解明されるようになってきた。高等植物では、モデル植物であるシロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*) およびイネ (*Oryza sativa*) について決定され、それぞれ1億3千万個および4億7千万個の塩基対からなることが明らかにされた。その中に存在すると予想される遺伝子の数はそれぞれ2万5千および5万個と予想されている。もはや遺伝子の数は無限ではなく有限であり、それらの機能を網羅的に解析することが可能となったのである。例えば、植物が低温にさらされたとき、植物は生存をはかるために種々の遺伝子を発現するが、すべての遺伝子の mRNA の量の変化を知ることができるようになったのである。さらに、ポストゲノムといわれる解析分野では、すべてのタンパク質の量の変動や細胞内のすべての代謝物質の変動を定量的に知ることができるようになりつつある。これらをそれぞれ、プロテオームおよびメタボローム解析という。膨大なデータからいかに有用な情報をとりだすか bioinformatics とよばれるコンピューターを駆使する学問分野も重要になりつつある。ともあれ、ゲノムの新時代に入って研究のスタイルも大きく変わろうとしている。

### 1.3 植物生理学と植物生産との関わり

諸君が植物生理学の基礎を学ぶとして、学ぶべき内容は古典的なものから現代のものまでかなり広く多い。ここではその一例として、私たちの研究室 (旧・泉井研究室) でおこなわれた研究の一端を紹介する。

#### 1) C4 光合成

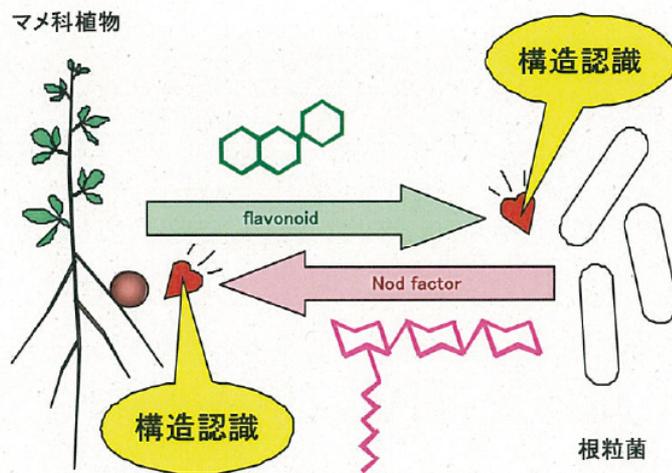
植物は太陽の光エネルギーをたかだか数%しか光合成に利用していない。光合成の炭酸固定の形式によって、トウモロコシやサトウキビはC4植物、イネやコムギなど大部分の植物はC3植物に分類される。C4植物の光合成能力はC3植物より1.5~2倍ほどが高いことから、C3植物になんとかしてC4植物の能力を付与して高収量作物を開発することは一つの夢である。この夢を実現するための基礎研究を行ってきた。C4植物の葉は一般に特有の構造 (クランツ構造) をもち、光合成は2種類の細胞、葉肉細胞と維管束鞘細胞 (図参照) の共同のもとに行われている。私達はこのC4回路において空気中の二酸化炭素を最初に捕集する役割をもったホスホエノールピルビン酸カルボキシラーゼ (PEPC) を中心に、その機能の構造生物学的解析、触媒能や調節能の遺伝子操作による改良、酵素のリン酸化による活性調節のシグナル伝達の機構などの研究を行ってきた。さらに、C4光合成を成立させるために必要な未知のタンパク質の探索、C3植物へのC4ミニサイクルの導入などの研究を行ってきた。



植物材料としては、トウモロコシおよびC4植物のモデル植物であるフラベリア・トリネルビアを用い、生化学・分子生物学的な手法および植物の形質転換のような分子遺伝学的な手法などを用いて研究を進めた。

## 2) マメ科植物における根粒の形成と代謝

マメ科植物は、窒素源がないときには、根粒菌と共生関係を結ぶ。すなわち、根粒を形成して、その中に根粒菌を住まわせて、光合成産物である炭素化合物を与える代わりに、根粒菌から窒素源をもらう。根粒菌は大気中にふんだんにある非常に反応性の低い窒素ガスをニトロゲナーゼという酵素を用いて還元して、植物に利用可能なアンモニアにすること（窒素固定）ができるのである。陸上植物による窒素固定の量は、化学肥料のために合成される量の約1.5倍とされている。非マメ科植物に遺伝子操作を施して窒素肥料の要らない植物を作出することができれば、農業的には極めて有益である。これも大きな夢であり、関与する遺



伝子をはじめ根粒形成に関する基礎研究は発展しつつある。当研究室では、マメ科植物が種ごとに特定の根粒菌と共生関係を結ぶための情報のやりとりや、炭素源を根粒菌に供給するためのPEPCの働きとその調節などを主として研究してきた。

(泉井 桂)

### 【参考図書】

- 美濃部侑三(編) : ネオ生物学シリーズ第7巻「植物」、共立出版、東京、1996.
- 横田明穂(編) : 植物分子生理学入門、学会出版センター、東京、1999.
- 桜井英博ほか : 植物生理学概論、培風館、東京、2008.