

バイオテクノロジーと除草剤

宇都宮大学雑草防除研究施設長 竹松哲夫

1. 生物学の進歩とバイオテクノロジー

第二次大戦後わずか40年間に、多くの学問が著しい進歩をとげたが、そのひとつに生物に関する学問がある。いわゆるライフサイエンスである。とりわけ、分子生物学や生化学が進むにつれ、いままでの生物学は完全に近い変貌をとげた。この変貌は、とくに人間の生命科学を中心とした医学分野で顕著である。戦後まもなく、人体の構造物質が体内の各器官でどのような過程を経て分解されるか、またいかなる生理作用を営むか、それがもろもろの代謝を経て、やがて体外に排泄されるかが明らかとなった。その結果、少量の血液や尿の検定により、生化学的に体内の実情を読みとり、これに対応した診断や治療ができるようになった。これは動的生化学（ダイナミックケミストリー）とよばれ、まことにめざましい進歩をとげた。ついで戦後20年目位から、分子生物学がさらに飛躍的進歩をみせた。この分子生物学の研究展開により、DNAにある遺伝子情報がどのように伝達されて、生物にとり最も重要な生物を構成している数多くの特異なタンパクが、体内でどのようにして生合成されるかが、次々に解明されてきた。かくして、分子生物学の発展を基盤として多くの新しい技術が台頭してきた。そのひとつが、遺伝子組み換えの技術である。この遺伝子組み換え技術は、今日バイオテクノロジーの最先端にある技術として世界中の注目を集めている。事実、医学部門を

中心にいくつかの輝かしい実績がある。例えば、スイ臓のDNAからインシュリン生合成の指令を出す部分を切りとり、これを大腸菌のDNAにくみこんで多量かつ良質のインシュリンをつくらせることに成功し、広く医療に用いられている。また人類にとり最大の難病といわれるガンの化学療法では、インターフェロン（ α , β , γ 等）を遺伝子組み換えで研究し、今では量産化がはじまっている。しかし、これでガン治療のすべてが解決したわけではない。副作用もあり、いずれも特定のガンにしか効果がみられないといわれている。また細胞融合技術では、ガンに抗体をつくる細胞と人工培養のできる細胞とを結合させた融合細胞をつくり（モノクローナル抗体）、これを投与してガンを治療する技術も進んでいる。とくにガンの抗体は、選択的にガン細胞にだけ作用し、他の一般細胞には全く作用しないため、この抗体にガンに効く化学治療剤を結合させて注射すると卓効が期待できるとして研究が進められている。そのほか、医学をはじめ他の産業分野も含めて最近までの目ぼしい遺伝子組み換え技術や細胞融合技術を見ると、そのほとんどは大腸菌・酵母・新しい糸状菌・好アルカリ性菌・好熱菌・動物細胞等に集中して研究成果があがっている。このように、バイオテクノロジーの最先端にあって、多くのマスコミを通して広く世間に知られている遺伝子組み換えや細胞融合技術は、分子生物学とい

う基礎学の発展の結果産まれたものであり、それはとくに医学部門で進んでいる。しかしながら、その研究材料はいままで単純な生物である多くの微生物や動物の特殊な細胞の一部でのみ成功している。高等植物と微生物或いは動物細胞と植物細胞との間には著しい差がある。高等植物では、今日まで農業上で役立つものは全く成功していない。先端的バイオテクノロジーの歴史は浅く、まだ10年程度にすぎない。植物部門においては、今後基礎学の確立が先決である。また、微生物や動物の特殊細胞における技術をそのまま高等植物にあてはめるには、極めて数多くのバリエーションがあるといえる。しかし、同じ生物としての共通性もあるので、生物を育成しこれを増殖することが研究の中心である農学部門でも、この技術に真剣にとりくみ、最先端技術をも包含した幅広いバイオテクノロジー研究がはじめられている。

2. 先端的バイオテクノロジーフィーバー

新しい科学技術は、つねにできるだけ広い視野から、その全体像をつかみ、冷静な目でできるかぎり客観的に評価することが何よりも大切である。高等植物における先端的バイオ技術は、現在始まったばかりである。したがって、成果はほとんどない。この時点で材料なしに過大評価をしてはならないし、また過小評価も無意味である。わが国は一般教育の普及が行き届き、他方、新聞・雑誌・テレビ・ラジオ等を媒体とする情報量が多い点で、世界有数といわれている。このため、バイオテクノロジーという言葉は僅か数年の間に周知され、しかもバイオテクノロジーといえば最先端にある遺伝子組み換え技術だけであるような報道が行なわれている。大変な間違いであるが、国民一般はそのような

認識が大部分である。加えて新しいバイオテクノロジーは、近い将来生物産業の中心となり、農業もこの技術で大変革が起こり、いままでの農法は一変するだろうとさえいう。つまり、この技術を駆使して虫や病気に負けない、雑草も抑える新しい農業植物が産まれるから、これからは農業資材も不要な時代がくる等と飛躍してくる。企業の経営者もまた例外でなく、他社に遅れをとるなとばかり半可通（実験したことがない）のマスコミ報道にまどわされてバラ色の夢を先端的なバイオテクノロジー、とくに新しい作物の創出をめざす遺伝子組み換えに求めている。遺伝子組み換えという技術が一部の微生物で成功し、バイオテクノロジーという言葉が作り出されてまだ僅かな年月しか経ていない。遺伝子組み換えということは、交配という名のもとに自然植物界においては何億年も昔から自然に行なわれてきたし、現在もまた将来も生物界でつづくものである。したがって、生物学という立場からみると、原理的にはかく別驚くべきことではない。この先端的バイオ技術は人間が新しい生物学を開拓し、それをもとに植物界にメスを入れて自然界で何億年もやってきた遺伝子組み換えをいま懸命に自然に学んでいる一つの歴史上の過程にすぎない。そして、現在漸く入口をくぐったばかりである。現段階で夢のような過大な期待をかけられては、この研究に携わる人々への重圧ともなりかねない。理想を求めることは良いが、現実の世界農業やそれを支えている現在の農業技術という根本を忘れてはならない。

3. 植物の進化は遺伝子組み換えの歴史

地球上に生命が生まれたのは30億年も昔といわれている。この原始生命体が今日の植物学で

言う植物に進化するまでには実に25億年という長い長い年月が必要であった。はじめ水中に生まれた原始植物(藻類が4～6億年前出生)が、やがて陸に上がり孢子植物(苔類・シダ植物が2～4億年前出生)時代を経て裸子植物(1～2億年前出生)から被子植物(5000万年～1億年前出生)へと多彩に進化発展して、現在それぞれが地球上に所を得て生存繁茂している。これを分類すると、裸子～被子植物を合わせて300科25万種となり、孢子植物等を加えると30万種を超えるといわれている。被子植物の進化の頂点にあるとされる2つの科をみると、イネ科600属5000種、キク科1000属2万種という膨大なものである。この30万種といわれる植物の種は、少なくとも5億年以上の悠久の年月をかけて自然界が創出してきた種の総数である。種はいかにして創出されたであろうか? 創出の主力は交雑つまり遺伝子組み換えであろう。被子～裸子植物は花の咲く植物である。風媒・水媒・昆虫・鳥類等による花粉媒介が長大な年月、そして春・夏・秋・冬、絶え間なく、門・綱・目・科・属・種の区別もなく、自由な遺伝子組み換え(交雑)が無限に近く行なわれた結果である。この無限に近い膨大な交雑は、同種間を除いてほとんど無意味に終わったことはいうまでもない。そのうち、僅か数P P B程度のものが新しい種として固定されたものと想像される。新しい種ができて、地球環境に適応し得ないものや生物として子孫を残せない欠陥のあるものは絶滅し、新しくできた植物のうち、さらに僅か一握りのものがこの地球上に永住できる種として今日に至っているといえることができる。それでも、悠久の年月の間に30万種に達したのである。種の創出は、交雑のほか子孫に伝えることが可能な突然変異も加わっていることは容

易に想像し得る所である。地球環境は、植物が地上に生まれてから6億年の間に想像を絶する恐るべき激変が絶えまなくつづいた。大規模な造山運動(7回)、大陸移動、大地震、大洪水、火山活動、宇宙線量の増大等がそれである。これにより、生物の種が50%以上絶滅したことが2回もあり、50%を越えない絶滅率を示したことが3回にも及んだといわれている。このような環境の大変動は、突然変異を誘発する契機ともなり、その変異が子孫に伝わる場合は新しい種の創出となる。このように測り知れない悠久の年月、無限に近い自然状態での自由交雑、加えるに地球環境激変等による突然変異の誘発等が、複雑に入りまじって、現在植物の種の数30万を数えるに至った。このようにして、植物の種を創出してきた進化の足跡を辿るとき、膨大な遺伝子量をもつ高等植物の人間による遺伝子操作がどんなに難かしいものであるか、想像がつくというものである。ましてやその人工的創出植物が人類にとり極めて重要な農業植物であることを求める場合、いかにすぐれた技術をもってしても成功の確率は限りなく極めて小さいといわなくてはならない。しかし、確率はゼロではない。人間が宇宙を飛び、生命の神秘が次々にベールを脱ぐ今日、遺伝子操作は人類の植物という生命に対する壮大な挑戦といえるべきである。この意味においても、長い目でフィーバーすることなく冷静に見守ることが大切である。明らかに100年以上先の未来に夢を託した技術である。

4. 植物の単位としての種の認識

地球上にある植物の種は現在30万位あるが、この種は植物分類の最も重要な単位である。しかし、種は決して遺伝学的に均一のものではな

く、種の内容は複雑極まる多彩な分化により、非常に沢山の亜種～変種を包含する、いわばそのような、遺伝子の大集団である。これはヒトという種があっても人種で著しく異なり、また同じ人種でも一人ひとり姿や形そして性格がちがうことと同じである。種内におけるこのちがいは、遺伝子組成のちがいである。植物におけるこのちがいを明瞭に示した例がある。アトラジンという除草剤は、トウモロコシに害がなく、トウモロコシ以外の雑草を見事に防除することで有名である。この便利なトウモロコシ用除草剤を何年間も連用しているうちにアトラジンでは枯れない雑草が相ついで世界各国から報告された。キク科ノボロギク、ヒユ科アオゲイトウ、アカザ科シロザ・ハマアカザ等である。一見同じに見えるこれらの雑草の99.9%は見事にアトラジンで枯れるが、極めて僅かなものは枯れない。これは、アトラジンという化学物質が体内に入ってもこれを解毒できる機構が遺伝的に備わっていたからである。ひとたびアトラジンで枯れない耐性雑草が一株でも生き残ると、雑草の特性ともいふべき強大な増殖力でたちまち全農場にはびこり、恰もアトラジン連用でアトラジンが効かない突然変異の雑草が出現したかの感を与えるわけである。これは、生き物が或化学物質で死ぬか生きるかのときに保有したある遺伝子が驚くべき威力を発揮した好例である。農耕地雑草は高等植物であり、豊富な遺伝的情報をもつとみられるが、同じ種でも個体で少しずつその情報を異にしており、これがもととなり、光・温度・水分をはじめ外部から与える化学物質に対しそれぞれ異なった感受性が現われる。このような例は、少し細かく観察するといくらでもみられる現象である。イネという種に全く無害で世界的に水田で厄介な雑草であるヒ

エを見事に防除する選択性除草剤が、わが国で多数開発されている。ところが、イネの品種によってはヒエよりも良く枯れてしまうイネもあるし、またこれらの除草剤に対し、イネよりも無害であるヒエもある。等もその例である。このように、自然界をはじめとする植物の種は、どの種をとりあげても遺伝的には極めて不均一であり、しかも遺伝情報は常に変化を求めて流動的であるといえる。しかし種内の変動の方向には一定の範囲があり、自動的に規制が働いているふしがある。つまり植物における種は同一種内での近縁交雑は容易に許されるが、属間交雑になると大変むずかしくなり、科間ではほとんど不可能になる。

春の長日になると、色々な雑草が一斉に開花する。昆虫は蜜を求めて科や属・種のワクを超えて飛び廻る。これは、いうまでもなく異科間・異属間・異種間の受粉を意味している。しかしこのような自然界の受粉操作が無限に近く行なわれても、これにより新しい植物の種が生まれるということは極めて稀である。たとえ生まれても、一代限りで増殖力を欠く奇形の植物である。私どもは、多数の農耕地雑草を調べながら、植物の種というものが、成立するにはいかに長い歴史が必要であり、そして遠縁の遺伝子の導入を強硬に拒否することで、それぞれの種を一定の範囲内に維持していることを深く知らされている。ここにも、種のワクを越えることで新しい植物を創出しようとする高等植物の遺伝子操作のむずかしさがある。

5. 人類と農業植物の共生

今日世界の農民は15億haの農耕地を耕やして50億に達する膨大な人口に食糧を提供している。人類の生存にとり一番重要な農作物は、イ

ネ・コムギ・トウモロコシ・ダイズ等である。人類の祖先は、地球上に繁茂している植物25万種の中から、このようなすぐれた素質をもつ農業植物を選び出し、数千年に及んで栽培し、常に選抜と改良を加えてきた。元来、山野や池沼の雑草にすぎなかったこれら農業植物の祖先型（いずれも現在では農耕地雑草）をみるにつけ、先人の知恵と努力に敬服するばかりである。

とりわけ最近 100 年間の遺伝学という基礎学の進歩にもとづき、交雑を中心とする品種改良（ほとんど種内交雑）は急激に発展し、まことに驚くべき成果をあげてきた。この確実に自然に逆らわない品種改良法は、これからも育種技術の大道としてその重要性はますます高まることは明らかである。いまや人類は、その恩恵をともに受けている。昔もいまも人類は農業植物の生産とのバランスの上においてのみ、その生存を許されている。このようにして、人類と農業植物の関係は極めて密接した相互依存の共生関係に入っている。いうまでもなく、人類は農業植物を離れては生存することができないし、人類により改良された農業植物もまた人類を離れては絶滅するという極めて深い共生関係が確立している。しかし、農業植物といえども生き物であることに変わりはない。生き物を健全に育てるためには、形態性質の改良には一定の守るべき限度というものがある。このような立場から、重要農業植物と今後の品種改良も含めて、いくつかの問題点がありそうである。(イ)人間が希望する方向に品種改良が進めば進むほど、人間の望む収穫部位が巨大かつ異状に発達し、奇形化した生き物となる。現在のイネ・コムギは、いずれも環境さえ良ければ10トン/haは十分に収穫し得る遺伝的な潜在能力をもっている。10トン/haは、イネ科植物としてはほぼ限界ではな

いか？ (ロ)多少重複するが、人工的改良の進んだ農業植物といえども、生きものとして根・茎・葉・果実のバランスのとれた状態が、健全な姿である。これ以上品種改良が進めばこのバランスが大きく崩れて、いよいよアンバランスの度を深めた不健全な生き物をつくることになるか？ いや現在既にそうなっているか？ 若しそうであるとすれば、或いは将来そうなれば一朝にして恐るべき病害におかされたり、長雨や台風で致命的な倒伏を招くおそれはないか？ (ハ)農業植物のアンバランス化が加速すれば気象条件に過敏になり、恐るべき冷害・湿害・乾燥害の抵抗性が小さくならないか？ 等々沢山の懸念が生ずる。つまり、生き物としての農業植物は、いかなる手段の品種改良を行なうにせよ、根・茎・葉・果実のアンバランスは許される一定の限度があり、その限度内での改良に止めるべきものであろう。この限度を大きく越えて人間の都合だけで農業植物をむやみに巨大化・肥大化・奇形化・アンバランス化の方向を求めて改良することは、やがて人類と農業植物の数千年に及んだ密な共生関係を人類みずから破壊することになりかねない。これは農業植物改良への基本的理念であり、遺伝子操作による新しい植物の創出という壮大な研究にとりくむ場合も念頭に入れてほしい考え方である。

6. バイオテクノロジーを使う除草剤開発

バイオテクノロジーとは「生物がもっている機能を効率的に利用する技術」とかなり広く定義されている。除草剤は世界における8大作物を中心に農作物に害なく、混生するすべての雑草を簡易にかつ経済的に制御することが目標である。既にのべたように、それぞれの農作物(種)は遺伝情報の全く異なる植物である。そこ

でこの遺伝情報のちがいを利用し、農作物のもつ遺伝情報に何等人間が手を加えることなく、内在する特殊な遺伝子（科・属・種により著しく異なる）に着目し、外部から数多くの除草性能をもつ化学物質を与えて、これに対応して生理学的解毒機能をもつ遺伝子があるか、どうかを検索することにより、特定農業植物のみに無害で他のすべての雑草を防除することを狙うわけである。これは、特定物（各種農作物）がそれぞれ独自に保有する遺伝子機能を最も効率的に見出し、これを利用することでその農作物に何等の害も与えることなく、もろもろの雑草を防除するものであるから、前述のバイオテクノロジーの定義に照し、明らかに立派なバイオテクノロジー利用の除草剤検索技術といえることができる。そしてこの技術は、既に世界農業に大きく貢献する数々の実績をもっている。植物の遺伝子の大きな流れを中心とする系統分類を中心に、大きくは孢子植物と種子植物間の除草剤選択性、裸子植物と被子植物間の選択性、双子葉植物と単子葉植物間の選択性、イネ科と他科との選択性、マメ科と他科雑草との選択性、ナス科と他科雑草との選択性、セリ科と他科との選択性等がある。さらに、農業上もっとも大切であるイネ属・コムギ属・トウモロコシ属・ダイズ属のみにそれぞれ害がなく（特定除草性物質に解毒能をもつこと）、同じ科の他の属の雑草も含めてすべての雑草を防除することができれば一番理想的である。このような除草剤を属間選択除草剤（筆者により昭和33年に命名）と呼んでいる。さらに数年前、さらに選択性が高度化した種間選択除草剤（筆者命名）も見出された。いまこのようなバイオテクノロジーを巧みに利

用する除草剤検索技術の実績数例と将来予測は、次のようなものである。

- ・イネの属間選択除草剤……プロパニル
- ・トウモロコシの属間選択除草剤……アトラジン
- ・ヒノキ属と被子植物、孢子植物の選択性除草剤……カーブチレート
- ・イネ以外は白化枯死する選択除草剤……ピラゾレート等
- ・イネ科だけ枯れて広葉作物に無害な除草剤……セトキシジム、フルアジホップブチル
- ・コムギに無害で広葉雑草を防除する除草剤……クロルスルフロキシム系

等めじろ押しの盛況を示し、とくにこの方面における日本の研究がめざましい。既にまもなく日本からコムギに待望されているコムギだけに害のない属間選択除草剤、トウモロコシだけに無害な属間選択除草剤、マメ科のダイズ属だけに無害な茎葉処理選択除草剤が出現することは確実である。恐らくこの検索技術は、21世紀をまたず、ここ10年以内に大規模実用化し、とくに世界の重要農作物は近いうちに一作物あたり数個以上の超高度な生理的選択除草剤が揃うことは疑う余地がない。以上申し述べたように、バイオテクノロジーは実は除草剤検索技術として30年以上の歴史をもち、過去においても見事な実績をあげ、現在も急速に発展しつつある部門といえることができる。最後に、この論文は筆者が日頃考えていたことを正直に述べたもので、文責はすべて筆者にある。この考え方について、読者の方々のご批判、ご指導を頂ければ幸甚である。