

環境科学とバイオテクノロジーの境界領域 そして農業環境保全問題へ

財団法人 岩手生物工学研究センター 小岩 弘之
E-mail : hiroiwa @ sv02.ibrc.pref.iwate.jp

1953年にワトソンとクリックらがDNA分子モデルを提唱して以来、遺伝子研究は著しい発展を遂げ、最近20数年間で遺伝子工学や分子生物学、バイオインフォマティクスという新分野までもが現われている。現在、それらの最新情報・成果は驚く程の勢いでバイオテクノロジーという新分野で応用・実用化されているのは周知の事実である。バイオテクノロジー分野には医薬、食品、農業、工業、環境などがあるが、最近、特に注目を集めている環境科学分野におけるバイオテクノロジーについての話題と幾つかの問題点、その将来性などを紹介したい。

現在の地球を見ると、これまでの科学技術の著しい進展とその享受をする一方、酸性雨、砂漠化、公害、有害物質などにより環境破壊が進み、自然環境・生態系及び農業環境・生態系にも大きなダメージを与え続けている。我々の住む限られた地球ではバランスが一旦壊れたら、もとの状態（環境）へ戻すのは容易ではないことは明らかな事実である。それはこれまでの科学技術の発達をもたらした負の遺産であるとも言える。更には、人類の急速な世界的人口増加で、食糧危機が差し迫った深刻な問題ともなっており、世界先進諸国を中心に、遺伝子組換え技術を利用した農業バイオテクノロジー研究及びその実用化を強化に推進している。OECD（経済協力開発機構）もそれを強く認識し（加盟先進28か国）、環境・食糧問題に対応すべく協議を行い先端技術である遺伝子組換え技術の導入と推進を決め、先進諸国のみならず開発途上国にも技術支援・セミナーなどで理解と普及活動を行っている。

以上のような重大な問題を解決し、更に人的に破壊され大きく変容した環境を復元（修復）するには、これまでの環境というマクロの研究分野と生物というミクロな分野が一体となった総合科学的な環境復元（修復）を研究する必要性が生まれている。それが環境バイオテクノロジーである。

環境バイオテクノロジーは 1) 環境保全技術（生態系保全技術／地球環境制御技術）、2) 環境浄化技術（土壌・水質・大気浄化技術／有害生物除去技術）、3) 汚染処理技術（水処理・排ガス・廃棄物処理技術）、4) 計測・評価技術（環境計測・評価技術）などから構成されている。

従来の環境バイオテクノロジーといわれるものは、主として汚染処理技術（上水・下水・空気生物浄化処理／廃棄物の生物処理／産業排水・廃棄物処理など）である。

現在、新しい技術としての環境バイオテクノロジーとして 1) 土壌汚染分解性物質分解微生物の探索と利用技術の開発、2) 石油分解微生物の分子育種・利用技術の開発、3) 有機塩素化合物分解細菌の分子育種、4) 重金属蓄積・変換細菌の探索と分子育種・利用技術の開発、7) リン蓄積微生物の分子育種と利用技術、8) 大気汚染難分解物質分解微生物の探索と利用技術の開発、9) 二酸化炭素高度吸収微生物・植物の探索・育種と利用技術の開発、10) 酸性雨中和・砂漠化防止植物、微生物の探索などが注目を集め、今後の発展を期待されている。

環境バイオテクノロジーには以下のような生態工学的要素をも含んでいる。1) 環境バイオテクノロジー適用の場の大部分は生態系、2) 生態系を活用することなく環境バイオは成立しない、3) 特定の特殊能力生物の導入がもたらす効果と影響は生態系の構造によって異なる、4) 環境中での遺伝子の発現や遺伝情報の伝播の解明には環境バイオの基礎としての遺伝子生態学を必要とする、5) 新しい環境バイオの展望・展開は遺伝子工学と生態工学の融合から開ける可能性などである。

以上を考慮して、新しい環境バイオテクノロジー研究応用化が推進されている。特に、微生物・植物などがもつ化学物質の分解能力を利用して、環境中に放出された有害物質を分解し無害化しようとする技術、所謂バイオレメディエーション技術（生物学的環境修復）が21世紀の環境修復技術として世界各国で盛んに研究開発が進められていることも忘れてはならない。実際に、バイオレメディエーション技術は米国や欧州の中では特にオランダ（1987年制定の土壌保護法があり浄化を強制する法律がある）などで汚染された土壌浄化処理に活用され急速に普及している（非組換え体利用）。バイオインダストリー的に、欧州のバイオレメディエーション市場は、米国と並ぶ巨大な市場へと成っていることもある。そこで、環境バイオテクノロジーの新展開が進められている（New Development of Environmental Biotechnology）。資源に恵まれない日本は原料を大量輸入

し、高度の科学技術を駆使して多量の製品を生産する一方、国民の大量消費文化に支えられた経済を発展させてきた。その結果、今日のバブル経済崩壊後の経済減速や様々な環境崩壊、ヒトへの影響が問題となっている。それを解決し、21世紀にはこれまでの生産効率、経済効率のみを重視した産業体質から環境との調和を考えた科学技術開発への転換を推進しなければならない。21世紀における産業の発展を考えた場合、どうしても環境問題を無視できない。そこで現在、環境科学技術分野において様々な新しい総合的技術開発が急速に進展し始めている。以下に例を示したい。

土壌や地下水の浄化を目的としたバイオレメディエーションには以下のタイプがある。

1) バイオスティミュレーション

汚染現場に窒素、りん等の無機栄養塩類、分解微生物のエネルギー源として必要な有機物、更には空気や過酸化水素等を添加して、生息している分解微生物を増殖・活性化させて浄化能力を高める方法

2) バイオオーグメンテーション

汚染現場に必要な浄化微生物が生息していない場合、培養した浄化微生物を現場に投入して浄化を進める方法

3) 植物による環境修復技術(ファイトレメディエーション)

最近、低濃度で広大な土壌汚染の浄化(テトラクロロエタン、トリクロロエチレンなど)において植物を活用するファイトレメディエーションの研究が注目され、その活用が期待されている。汚染現場土壌に適切な浄化植物を植栽し、根圏による浄化あるいは植物の根が汚染物質を吸収し体内で分解し大気に放出する現象を活用している。植物の浄化力による報告が多数(カン、ヒマシ、シュロ、ニンジン、ホウレンソウ、トマトなど)でている。

以上のようなバイオレメディエーション市場拡大を後押しする可能性が生まれてきている。そのバイオレメディエーションの注目理由は1) 有害物質(特に有機塩素化合物および石油)によって汚染された特定環境(特に土壌・地下水)の頭在化、2) タンカー事故・バラスト水による海洋・沿岸汚染に威力を発揮、3) 各省庁が積極的に研究・開発を開始(環境庁、通産省)、4) ハイテク産業・新素材による新たな環境汚染の進行などが挙げられている。

[米国とオランダにおける環境浄化とバイオレメディエーションの状況]

米国では法的(スーパーファンド法)に環境修復すべき非常に多くの場所が存在している。最近、環境修復技術実用化の約25%の69件がバイオレメディエーションであるとされ注目されている。欧州では、米国に次いで大きなバイオレメディエーション市場である。最近、欧州が米国市場に追いつこうとしており、中でもオランダが土壌浄化を強制する法律(土壌保護法1987年)があるため土壌浄化、地下水浄化への需要が高まっている。オランダでのバイオレメディエーション技術はバイオスティミュレーション(土

壌に生息する土着微生物を酸素や栄養塩の添加で活性化、浄化する方法)のみしか行われていない。外来の微生物の導入や遺伝子組換え微生物はまだ市民の理解(パブリックアクセプトランス)が得にくいために行われていないのが現状となっている。

現在、それら技術を日本において実業化に向けて行う場合、その技術的評価がまだ定まっていないという問題がまだ横たわっている。バイオレメディエーション技術は近い将来、大変有効ではあるが、複雑な自然生態系にも影響を与える可能性も場合によっては起こりうるため、開発利用者は慎重な対応をしなければならぬであろう。

一方、産業分野においても、これまでの化学農薬・肥料大量使用による生活環境・農業地の環境悪化の反省から、より生活・農業環境を重視した環境保全型農業(持続的農業)への転換が世界的な傾向であることも以下に付け加えておきたい。

[環境保全型農業の展開](環境と調和する持続可能な農業を推進)

地球環境変化の影響を最も強く受けやすい農業で、環境保全を軸にした新たな農業システム『環境保全型農業』が地球規模で動き始めている。そして、日本では農業水田環境における生物多様性保全の機能が、最近の話題にもなっている。

[環境を考慮した欧米農業]

EUでは1970年~1980年代に農業技術革新と集約化で自給率の大幅増大を可能にし、深刻な農産物過剰生産問題を生んだ。同時に地下水汚染、土壌侵食や地力低下を招き、更には動植物の種の絶滅や貴重な生態系破壊などの環境問題をひき起こした。EUでは1985年以降、農業と環境保全を両立させる方向へ政策転換し、EC農業を「環境保全型」へと転換をした。米国では1985年の農業法を契機に「低投入持続的農業」(LISA農業)が行われるようになった。LISA農業とは『資源の再生産と再利用を可能にし、農薬・化学肥料の投入量を必要最小限に抑制して、地域資源と環境を保全しつつ一定の生産能力と収益性を確保し、しかもより安全な食糧生産に寄与しようとする農法の体系』である。「低投入持続的農業」(LISA農業)の目標

1) 農業生産で生産性と収益性を維持、2) 資源と環境を保全する、3) 農業従事者の健康と農産物の安全性の確保をいう。

それらの具体的手段としては、1) 作付け体系の見直し(輪作の導入)、2) 総合的病害虫防除の推進、3) 土壌と水の保全のための工作方法の見直し、4) ふん尿などの有機物の利用などが上げられている。5) 1992年3月OECDの農業大臣会合で、環境保全に向けた農業政策の軌道修正を加盟各国に「農業政策と環境政策の一体化」を要求(農業分野では異例の環境シフトであった)が示された。

〔日本農業も環境保全型へ〕

日本における水田は、商品としての米生産よりも奥深い意味があり我々生活環境に密着して来た歴史がある。

1) 水田農業は国土保全や環境改善に重要な役割を果たすと考えられてきた。2) 環境保全として水田こそが自然に適合した高い生産力をもつシステムである。3) 水田は環境保護、国土保全の要であり農村文化の基礎、4) 水田は畑特有の連作障害はない。強い酸やアルカリも中和するが、一度農地を潰すとその復元は殆ど不可能であるなど。

〔日本農業にも環境問題が表面化、社会的問題化〕

1) 高度経済成長期には高度な集約農業を押し進め、農業や化学肥料の大幅な投入により生態環境破壊、国民の安全性に対する不安もひき起こした。2) 急速な単作化、集約化、機械化の過程で地下水、河川、湖沼などの環境汚染の進行、3) 最近の農業従事者の高齢化、過疎化の進行とともに各地での耕作放棄地の増加などで、水田の環境保全機能も失われつつある現状。

以上のように、日本農業においても徐々に環境を蝕み始めている。欧米諸国ほど顕著ではないが、農業や化学肥料の大量使用により水と土壌を汚染し生物生態系に悪影響。さらに、消費者の食糧に対する安全性要求も非常に強くなっている。そこで、農業・化学肥料漬け農業からの脱却を試みる農業実践も既に特定地域（北海道、岡山、熊本など）で行われているのが現状である。

〔開発途上国にも求められる持続的農業〕

国際機関、農林水産省などの長期予測では食糧生産と世界人口増問題では悲観的なものが目立っている。今後10～15年で穀物の不足傾向が強まり、やがて2030～2040年頃には人類の食糧は大きな山場を迎えると予想されている。我々人類は21世紀初頭頃に、歴史始まって以来の大問題（人口問題と食糧危機）に突入するであろうとも言われている。1) 間違い無く人類は21世紀初頭頃まで毎年1億人の割り合いの速いペースで世界人口が増加（85億人／2025年予測）、2) 食糧供給面では、農業資源の拡大限界、環境悪化が新しく制約条件として加わる。3) 1981年以降、農地面積は発展途上国の殆どで増えておらず、むしろ減少傾向を示している（ブラウンの地球白書）、5) 地球の各地で、砂漠化や塩素を含めて土地の劣化の進行、6) 農業に不可欠な水資源での一人当りの利用可能量も減少、7) 今後、世界全体でみても耕地面積が著しく拡大される可能性は殆どないとされる。8) 嘗て世界的規模で実施された食糧生産におけるバラ色の新技術として期待された『緑の革命』（高収量品種利用）が、化学物質の多投化で土壌劣化・水質環境悪化をひき起こしてしまった（1960年代から1980年代にアジアを中心に行われた）。9) 今日、途上国においても、既に「成長か環境保全か」という二者択一で済まない状態にあり、むしろ、成長を確保するために如何に持続可能な方法（環境保全と両立できる）を選ぶかが急務となっている。10) 農業のもつ物

質循環機能を活かし、生産性との調和などに留意しつつ、化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業（環境保全型農業）を日本の農業全体としての方向にすべきとした（平成5年度農業白書）事などがある。

私達は、環境科学という総合科学技術を用いて、限られた地球の有効利用を行わなくてはならない。21世紀の生活環境、自然環境そして食糧供給の場である農業環境の場面の改善を考えて行かなくてはならない。そこには新しいバイオテクノロジーの有効利用が大きな可能性としてあることを忘れてはならないであろう。

最後に、国内では窒素肥料の大量使用によりどこでも地下水質中の硝酸態窒素含有量は高い。地下水中にそれが30ppmを超えると健康に悪い症状が出て、それ以下では症状はでないといわれる。そのため厚生省、WHOではその安全基準を10ppmとして定めている。そのため、硝酸類が多い地帯では肥料の供給を下げるべきであるとされている。例えば新潟県西山町では36.3ppm（西瓜畑）、新潟県新潟市五十嵐地区では17.5ppm（環境庁1999）となっている。欧米では地下水を飲料水としているが、そこに含まれる硝酸態窒素（亜硝酸態窒素も）は長期摂取では人の健康にも有害である。その理由は、血中に硝酸態窒素類が取り込まれると、ヘモグロビンと結合しメタヘモグロビンとなる。これは血流を悪くする因子でもあるからで、嘗て欧米ではこれによる乳幼児の死亡が多かった事実がある。更に悪いことには、飲料水中の硝酸態窒素はニトロアミンともなり、これは発癌性を有するため長期的利用では地下水利用周辺住民には最終的に健康被害の原因となる。それほど私達の食糧生産を担う農業環境と生活環境との関わりでは連鎖的に存在しているのである。それは自然環境保護や特定動植物保護の問題だけではなく、今、私達の生活そのものにも環境問題は大きく立ちだかっている。それまで便利な環境を追い求め、様々な欲求を享受し続けた私達（自然環境保護を唱える人々を含めて）への環境報復かもしれないというのは言い過ぎであろうか？私はそういう環境修復を、いずれは新しいバイオテクノロジーが行うであろうと予測・期待をしている一人である。

参考文献

- 1) 環境保全型農業の展開へむけて（環境保全型の業研究会編）
- 2) 世界の食糧と農業（松島正博編）
- 3) 世界の食糧不安と日本農業（辻井博）
- 4) 新データブック 世界の米（小田鉦一郎）
- 5) 生命科学と人間（中村桂子）
- 6) 技術とは何か（村上陽一郎）
- 7) 日経バイオテク記事