

日時：平成12年5月31日(水)
午後1時30分～4時30分

場所：日本学術会議講堂
東京都港区六本木7-22-34
(地下鉄千代田線乃木坂)

主催：日本農学アカデミー
国立大学農学系学部長会議
日本学術会議第6部

後援：農林水産省

農学における バイオテクノロジーの新しい展開

日本農学アカデミー第2回シンポジウム

開会のあいさつ

佐々木恵彦 (日本農学アカデミー会長 / 日本学術会議副会長 /
日本大学生物資源科学部長)

基調講演「21世紀の食糧と環境」

山田康之 (奈良先端科学技術大学院大学長)

パネル討論「農学におけるバイオテクノロジーの新しい展開」

パネリスト：

林良博 (国立大学農学系学部長会議会長 /
東京大学大学院農学生命科学研究科長・農学部長)

岡野健 (日本学術会議会員 /
(財)日本木材総合情報センター：木のなんでも相談室長)

桂直樹 (農林水産省農業生物資源研究所長)

コーディネーター：

中井弘和 (日本農学アカデミー副会長 / 静岡大学副学長)

閉会のあいさつ

長堀金造 (日本農学アカデミー副会長 / 日本学術会議第6部長)

参加無料

問い合わせ先：静岡大学農学部総務係
〒422-8529 静岡市大谷836
TEL 054-238-4810
FAX 054-237-3028

日本農学アカデミー第2回シンポジウム 「農学におけるバイオテクノロジーの新しい展開」

<総合司会> (丹羽勝)

私、総合司会を務めます農学アカデミーの学術情報委員をやっております茨城大学農学部
の丹羽でございます。よろしくお願いいたします。最初に開会のご挨拶を日本農学アカデミ
ー会長、日本学術会議副会長の佐々木恵彦先生からお願いしたいと思います。

<開会のあいさつ> (佐々木恵彦)

本日は農学アカデミーのシンポジウムに皆様おいで頂きて誠に有り難うございま
した。明日より全国の農学部長会議が始まるということです、その機会に農学アカデミ
ーのシンポジウムを開催することができましたことを非常に喜んでおります。殊に今回は
植物の遺伝子操作の研究で世界的に有名な山田先生にお話を伺えるということございま
す。山田先生には大変お忙しいところおでかけ頂きまして誠に有り難うございました。

先生のご経歴については後で司会の方から詳しく申し上げることになるかと思いますが、
私、若い頃アメリカで除草剤の研究をやっていた時に、薬剤がどのように植物体に入って
いくのかということが大きな問題でして、いろいろ文献を調べている時に、山田康之とい
う名前をある本のなかに見つけた次第です。こういう先生がおられるんだなぁというふう
に思ったのが最初の印象でございますが、それからいろいろとお付き合いさせていただく
ようになり、今日に至っております。最初に論文でお名前を知った時、私はまだ大学院の
学生でしたけれども、その頃先生は、アメリカのプロバックという先生だったと思いま
すが、その先生の所におられまして、細胞の膜の中にどういう物がどういうふうに入れ込
んでいくのか、あるいは溶け込まないかというような興味深い研究をなさっていたわけ
です。現在はそれだけではなくて世界における植物バイオの大先達として名を馳せておられ
ますが、本日はいろいろと大変面白いお話を聞かせていただけるのではないかと期待して
おります。

先生と先程昼食を取りながら、お話を伺っておりました中で、バイオテクノロジーを利
用する必要性があるのかといった論議がありました。先々週、東京で世界のアカデミー会
議というものがあり、いろいろな課題について協議をした中で、半日、食糧について意見
交換する場面がありまして、そこでもやはり先端技術を使わないと近い将来90億になる世
界の人口を養えないというような話がございました。そういった点からも、21世紀は、
どうしても農学の場面に目を向けなければいけないということになりますが、その場合、
水が重要課題になり、農業の生産力を上げるには灌漑用水がぜひとも必要で、メガシティ
でも結構水を使うわけですが、しかしその水の使い方についても、農業を優先にし
なければこれからはやっていけないという意見が多く出てきたことを思い出しました。現

在、われわれは地球規模で大きな課題を抱えているわけですが、今日の先生のお話はわれわれに大変有意義な示唆を与えて下さるものになると思っています。

先先週のインターアカデミーパネルというグループが行った世界のアカデミー会議なんですけれども、その中に諸々の課題に向けて活動のできるインターアカデミーカウンセルという組織を作りました。そのインターアカデミーカウンセルのメンバーに日本学術会議が幹事役として入りました。日本学術会議以外にいろんなアカデミー団体で21世紀の持続性社会に寄与できる団体があれば教えてほしいということでございまして、日本から挙げましたのが工学アカデミーと医歯薬アカデミー、それから日本農学アカデミーも一応私の名前で出させていただいたわけです。ご挨拶の中で問題を提起するのも失礼かと思えますけれども、できれば私たちも、補助、協議機関ということで世界のインターアカデミーカウンセルのメンバーの一つとして入れていただけたらと思っています。これから国際的にもわれわれは活躍していかなければならないと思っていますところで、この会を盛り立てていただければありがたいと思います。山田先生に重ねて心より御礼申し上げながら、簡単ですが、開会のご挨拶とさせていただきます。

(丹羽)

では基調講演に移りたいと思います。今日の基調講演は、会長のご挨拶に在りましたように、奈良先端科学技術大学院大学の学長で、日本学士院会員でいらっしゃる山田康之先生から「21世紀の食糧と環境」というテーマでお願いしたいと思っています。山田先生につきましては植物バイオテクノロジーの大先達、第一人者として皆様よくご存知だと思いますけれども、一応私のほうから簡単にご紹介させていただきます。1957年に京都大学農学部を卒業され、その後京都大学農学部の助教授、教授を経て奈良先端科学技術大学院大学の教授に赴任され、1997年から現在の学長に就任されております。先生のご専門は、植物細胞の機能発現、特にアルカロイド生合成の物質変換機構の解明、形質転換植物の形質発現機構の解析、そういった事を専門にご研究されております。こうした赫赫たるご研究の成果に対して、数多くの賞をうけておられます。主なところを申し上げますと、1987年に日本農芸化学会賞を受賞されております。さらに1991年に日本学士院賞、1999年、昨年の11月3日からは文化功労者としての榮譽によくされております。先生は国内だけではなく世界的にも大変有名な方でございまして、スウェーデン王立科学協会の外国人会員、米国科学アカデミーの外国人会員にもなられております。もちろんこういう基本的な学術的な研究でも名声がおありな訳ですけれども、植物バイオテクノロジーに関しましては、啓蒙の方にも大変力を注いでおられまして、いくつかの著書を現わされております。本年の1月12日には、宮中講書始めのご進講も勤めておられます。先程ちょっと、お話ししましたらその時、天皇にご進講なされた内容も今日お話の中にあるとうかがっております。では山田先生どうか宜しく願いいたします。

<基調講演> (山田康之)

ただいまご紹介頂きました山田でございます。先程、佐々木先生、丹羽先生に大変ご丁寧なご紹介を頂きまして本当にありがとうございます。また本日、日本農学アカデミーで講演させていただくこと大変光栄に思っております。本日の主題はここに挙げましたように、「21世紀の食糧と環境」ということをごさいます、いま司会の方からもご紹介頂きましたように、私も70にだんだん近くなってまいりました。そして、今まで学究、学問の意味では努力して参りましたが、今後、一つ世の中のために何か、社会的な意味でも行ないたいと考え出しました。今日の主題はGMOの遺伝子組換え植物を大いに研究して、食べましょうということをごさいます。現在、私は日本学術振興会の第160委員会の委員長をしております。その委員会は、21世紀の食糧と環境というような主題をごさいます、過日は、消費者連合会の会館が四谷にごさいます、そこで事務局長さん、会長さんの皆様とごいっしょに、遺伝子組換え植物に関するシンポジウムを開きました。よく申し上げますと、皆様も非常に良く理解されているわけなんです。結局、われわれ大学の教師がいかにかサボっておって、一般の方に現状を正しくお伝えしていなかったかと、いうことに思いをいたすわけでありまして。私に残されたしばらくの人生をそれに尽くしたいと思っております。では本論に移りたいと思います。

20世紀の科学と技術に関して、31枚スライドを用意してまいりました。持ち時間45分ということをごさいますから、写真はスピードを上げます。20世紀の科学と技術を振り返りますと、非常に巨大科学が中心となっておりまして、核反応の制御によるエネルギー生産、巨大ジェット推進力による宇宙探索、トランジスタ創出による巨大コンピュータの機能開発、遺伝子操作による改良生物の作出。来年からの21世紀にあたって、われわれの科学と技術はどういう方面に発展していくかということをごさいます。これが、いつも私がお話する際にほうぼうでお見せするスライドで、1994年少し以前であります、21世紀全般に予想される危機のアンケート結果をごさいます。ただいま2000年でございますが、2010年には食糧不足、2015年には食糧危機、2020年は大気汚染、酸性雨で、30年になりますと農地の貧栄養化と50年には100億の人口になると言われております。刻々とその時は迫ってきており、現実にはここに挙がっておりますように大気汚染と酸性雨問題は現在におきまして、すでに起こっているわけをごさいます。それから民族紛争につきましても、精神的な意味でのいろいろ問題が起こるでしょう。特に、食糧危機となりますと、動乱とか紛争が世の中により起こる可能性が高くなってくると予想されております。

人口増加でございますが、これは皆さんご存知のように、去年の暮れ12月に国連人口委員会が60億になったことを発表いたしました。2050年には人口は100億、90億くらいになるであろうと予測しており、世界の食糧生産はマキシマム80億人です。それは日本のわれわれが食しているような生活での80億人ではございませぬ。後でもう少し詳しく申しますが、

もっと質素なレベルでの人口許容は80億人であります。

この写真は、昨年4月、ちょうど一年前になりますが、「nature」の表紙に出ました「criptic deforestation “見かけよりもっと深刻な森林崩壊”」ということで、現在まで人工衛星で地球上の森林破壊を調べておりましたが、現実にはもっと予想外の森林崩壊が起きている現実を「nature」が表紙に出したわけでございます。

このようないろいろな危機がありますが、翻ってわが国を考えますと、世界の主要国の食糧自給率（穀物）は中国が94%、アメリカが138%、ドイツが118%、英国が130%であります。わが国は40%代と非常に低い食糧自給率でありますし、特に大豆におきましては自給率が3%であります。これで日本の独立国としての主体性が保てるかということで、先ほどご紹介がありましたように、今年の講書始めの儀でも宮中で申し上げました。その原因はどうかと、食糧自給率の推移をみますと1960年には79%、80%ばかりありました。それがだんだんと減少してまいりまして、99年にはこのようにわが国の食糧自給率が減ってまいりました。その一つの大きな原因は、われわれの食生活の変化、欧米型の食糧を食べるようになって、朝はパン食になり、肉類を食べるようになったということでございます。無論肉類を食べるためには飼料を輸入しなければなりません。ということから、わが国の自給率がどんどん減っていくと、一つはこれは農政の問題であります。農家の10aあたりの収入が、米ですと11万5千円、大根ですと12万円、小麦ですと4万4千円の収入しかありません。農家は当然、小麦を作らなくなる。これではほとんどのパン食の小麦を外国から輸入するという結果になります。一方皮肉なことに、わが国の農業行政の上から、現在11万7千haと非常に大きな休耕田があります。これを何とか改善しなければなりません。ここでいわゆる現在の農業形態を少し変えてアメリカ型の大型農業で遺伝子組換え作物を作っていくことがよいという考えに至るわけでございます。

世界人口として見ますと、これは先程グラフでもお見せしましたが紀元元年、キリストの誕生の時には3億人で、そして1900年間に5倍になって15億人になりました。それが次の100年たちましたら約4倍の60億人になりました。あと50年で90億になるわけでございます。この理由は何かと申しますと20世紀の医療科学、技術の進歩でなかなか人が死ななくなりました。幼児が生まれましても赤子の死亡率がぐっと減った。同時に、その人口増加に対しまして、農業の近代化、集約的農業が発達致しまして、非常に効率的に作物を作るようになりました。現在の耕地面積が24億haでございますが、その反面、土地、水、生態系を破壊してきたという大きな問題がございます。今日、環境問題が言われておりますが、これは全てこういうような進歩の裏返しでありまして、そのために、どうすればいいのか、この時点で考える必要があります。私は、人間の生活欲望を自制してエネルギー、低投入持続型粗放農業、この粗放農業の粗放という言葉が、あまり適切ではないというご指摘を頂くこともあるんですが、集約農業がintensive、粗放農業がextensive、というような意味で日本語で粗放農業と、あえて書いております。

食糧植物の栽培について見ますと、地球上の植物は40万種類ございます、そのうち食べられるのが8万種、食用植物、これはある程度好んで食べられるというものが3千種、栽培植物200種、主要作物が30種、主要穀物が3種、これはイネ、小麦、トウモロコシであります。このようになっておりますが、いま、三内丸山遺跡、青森のほうで遺跡が発掘されておりますが、その弥生時代の人の排泄物を分析致しますと、やはり100種類くらいの植物を食べていると言う事が分かっております。今日われわれの食生活における植物の範囲が、スペクトルが非常に小さくなってきているということが分かるわけでありまして、植物による物質集積でありまして、これは先程佐々木先生とお昼の時に話しましたが、やはり植物のこの量というものは1兆8千4百億トンとなります。これは乾物重でございます。動物はわずか生重で20億トンであります。その大多数は熱帯森林で、それを先程「nature」の表紙でお見せしましたように、伐採して非常に破壊していること、これは非常に人類にとって不幸な話であります。遺伝資源として植物を見ますといろいろなものがございまして、genetic diversity、というように申しておりますが、環境ストレスに耐えうる形質、適応能力、多収性など植物によって多種多様な遺伝形質がありまして、いちいち申しませんが、この有用形質を持つ野生の植物が、まだいくらかあります。貧栄養耐性、悪環境耐性、多収性、医薬品になるもの、環境浄化、保全に役立つ植物というものが実際に調査されているわけでありまして。地球上には約5000万種の生物がいると、これは微生物、動物、植物、全部の推定値でございますが、同定されているものはわずかにその10分の1であります。先程の生物資源としての話で申しました、高等植物は25万から30万種が記録されております。一つの植物あたりに、11種の動物が依存していると、これは病害性のウイルスとか、害虫、それから人間、それを食性にする動物を全て含んでおりますが、一つの植物に11種くらいの生物がdependしておると推定されております。1500年から現在までに、200種の動物が絶滅してまいりましたが、植物は現在毎年400種が絶滅しております。非常に植物にとって不幸な現状であります。2000年までに全植物の15から20%の植物が絶滅すると考えられております。非常にわれわれとしては環境問題に重要な関心を払わなければならないということでもあります。

もう一つ、私が最近非常に一生懸命になって言っておりますのが、水の問題です。これがおそらく、人間生活のcriticalな点になるのではないかと思います。これは当然のことながら、人間は水なしには住むことができません。水の地球上の総量は10の18乗トンという量になっております。海水が97%、淡水が3%、氷が2.4%、地下水はわずか0.6%と、河川水は0.0001%、淡水の0.004%にあたりますが、この河川水が人間の命を支えているわけでありまして。無論サウジアラビアの方では、わが国のメンブレンフィルターで海水を淡水に変えて飲み水を作るという技術も発展してきておりますが、非常に高価につきましますし、多量作るということは困難であります。この河川水についてお話ししたいと思います。

先程も世界のアカデミーですか、その集会におきまして話題になったとおっしゃってい

ましたが、普通皆さんは工業用水を一番多く使われていると思われませんが、実際は農業用水が非常に大きいのです。全体量のだいたい70%くらいは農業用水であります。その次に、工業用水。生活用水は非常にわずかでございます。その農業用水の量と質ということについてわれわれは、考えねばならないと思います。過日、新潟県の廃坑からのカドミウムが混ざった水が川に流れ出ました。当然その水は農業用水として田んぼに流れてくるわけですが、そういうことも非常に大きな問題であります。質としても量としてもこの点は非常に考えねばならないことです。先月米国の科学アカデミーの総会がありまして、私は行ってまいりましたが、そこでも非常に水の問題がいわれておりました。今、現在の河川水の、これは国連の資料からとってまいりましたが、現存量は1兆3千億トンあります。ただし、普通の川の平均であります。上流から河口にいくまでの間が、大体10日から15日かかると、これで一回循環するとしますと、この総量は一年でだいたい37兆トンとなります。人間が使用できます量は、ぎりぎりこの量の20%弱、すなわち7兆トンであります。現在世界の水の需要は6兆トンでほとんど限界にいたってきております。2050年になりますと、水の需要は30兆トンになりまして、これはとってもこの水の量ではまかなえません。一方、地下水がどんどん現在下がってきておりますし、これをどのようにわれわれは解決していくのか大切です。この水の問題は非常に異常気象と関連して、この辺が問題になってくると考えられます。それではわれわれはこのような現状にどのように対応していくのかと、いうことであります。

これはsustainable society、持続可能な社会の構築であります。そこで3つのシナリオが考えられます。一つは科学技術型；資源の枯渇、環境悪化に対して、科学によって引き起こしてきた負の効果をわれわれの科学と技術で元へ戻す、いわゆる科学技術信奉主義であります。

もう一つはそれはどうも難しいと、だから現状維持型で消極的な省エネルギーならびに資源節約型社会を作っていく、生活主義ともうしますか、そのような態度で現在の社会をできるだけ持続させていこうと。

もう一つは革命的なものでございまして、いやもう昔に戻りましょうと、ランプの生活で電気をあまり使わない、そして冷蔵庫も氷のかけらを入れて冷やすというようなもの、今までの利便性というものを無視して、いわゆる森林農業を重視して環境主義ということになります。これは非常に難しいと思います。これだけ、潤った生活を一度味わいますと人間というものはどうしてもなかなか元に戻るといことは難しいと考えられますので、今ここで私が提案致しますことは、この生活主義なんでありまして、そこへこの資源の枯渇、環境悪化を引き起こしてきた科学技術、それを解決するべく何とか新しい科学技術による、省エネルギーを持って、社会を改善していこうというわけでありまして。それ以外現在世界を救う道はないんじゃないかというわけでありまして。

ここで食糧と環境ということでお話しているわけでありまして、それでは科学技術、い

まの負の効果を救う科学技術が本当にできるのかということではありますが、私の所属しております大学は、先端科学技術大学院大学、国立の大学院だけの大学ではありますが、われわれの研究している時に、いつも心しておりますことは、その科学技術の開発にはいつもbenefitとriskがあるということです。良い面もあれば悪い面もかならずともなってくる。例えば、自動車ではありますが、自動車ほど利便性のある、ある点から物を運ぶにしても移動するにも便利なものはありませんが、それによって、とばされたり、傷をつけられたり、亡くなる方が非常に多くあります。しかし、自動車というものを否定していないわけであり、これはbenefitとriskのバランスを考えて、やはり、benefitのほうが亡くなる方があるけれども、大きいのではないかと判断しているのです。ですから、今申し上げるこれからの先端科学技術はいうに及ばず、riskがともないませんが、そのbenefitをできるだけ最大にして、riskを最小にするということが一番大事かと思えます。

翻って学問とは何かと考えますと、先週、文部省が国立大学99大学の学長を集めて、独立行政法人化にいくことの問題点の説明がありました。今こそ学問の危機に陥っていると思えます。政治が、学問の領域に立ち入っているのであります。それはある意味でわれわれも悪かった。大学の改革を一生懸命やらなかったという事にも起因しているわけであり、純粋に考えますと学問は個人的な知的欲望の充足に基づいてこそ独立自主の自由な発想から、独創性がわくと考えております。学問というものはやはり、好きであればこそ一生懸命やって、そしてまたそこから、自由な発想から独創的なものが出てくるんで、そこにおまえこれやれやれと、いわゆる教育ママ的にやりますと、知識は増えますが知恵はでてまいりません。しかし、残念ながら今のこの状態を導いたわれわれの責任として、21世紀の科学技術には人類の生存と幸福のために、あえて問題解決型の研究と、好きだからやる、嫌いだからやらないということではもう成り立たないところにきています。ですから、われわれは今、大学にいる人間、ならびに、いまここにおられる皆様、一緒に問題解決をしていきたいと思います。でないと100年後に人類が半分になってしまったというような事態に陥るのではないかという危機感をいただくわけであり、その場合に、問題解決型として何をやるのかということでもあります。

一つは食糧、環境問題を考えますと、遺伝子組換え作物についてであります。残念ながら、現在のわが国ならびに世界の情勢は、非常に遺伝子組換え作物、複合環境ストレス作物、GMOに対しては、逆風が吹いております。非常に批判を受けまして、多くの企業はそういうものを含んでいない食物を売っていますと言っています。一般の国民の皆様は、あまり知識的にそういうものを把握されないばかりに、遺伝子組換え作物は悪いんだという意識を持たれるわけであり、非常に残念におもっております。今こそ、そういうこと理由を皆様に明らかにお話しすべきだと思います。とにかくその目的解決型の作物を作る条件としては、乾燥耐性、塩害耐性、低温・高温耐性、活性酸素、これは植物体内にできます毒性のO² というものを減少させようというものでありますし、酸性雨、病害、

虫害、貧栄養、こういうようないろんなストレスにおいて、耐えうる作物を作っていくことであります。そして、それを粗放農業的に、先程申しましたように、集約的な農業でなくて、省エネルギー、農薬をあまり撒かない農業を行うことです。これは当然こういうストレスに対する耐性を持った植物でありますから、農薬を撒く必要が非常に減少いたします。ゼロということはないかもしれませんが、非常に減少いたしますし、それにしたいがままして、低コスト、低労力になります。

過日NHKのテレビならびに新聞に、わが国の外交官の方がみな、輪島のほうですか、能登半島の千枚田で、田植えをしている写真がでてまして、非常に風物詩でして、私は人間の精神科学としてあのような風物詩はあくまで高く評価されるべきだと思いますが、あのような形の農業では絶対今の人口の60億が80億になっていくのを救う事はできないと思います。そのためには先程のような、未耕作地を大型のものにしまして、稲ですと直播栽培する、いろいろ新しい栽培技術を取り入れて農学の科学者がすべて集中して、こういう問題を解決していかなければならないと考えております。

今の遺伝子組換え作物であります、ここに表にいたしました。これは一昨年、1998年まででございますが、一応商品化されております組換え食物をずっと列記してみました。除草剤抵抗性大豆、これは先程申しましたように、全消費大豆の3%の大豆だけが、わが国で生産されています。ほとんどアメリカ、カナダから輸入されています。アメリカで栽培される大豆の60%は組換え大豆であります。ですから私などは気にしませんし、それを喜んで食べているわけであります。それ以外に除草剤抵抗性トウモロコシ、これは家畜の飼料になっております。それから害虫に強いトウモロコシ、これはB Tプロテイン生産のトウモロコシで、有害の可能性として問題になったものであります。このほか皆さんが気にされないのは、色変わりのカーネーション、これはわが国で開発されましてブルーのカーネーション、まあ、紫色だと思いますが、売りだされて非常に多く市場にでております。日持ちのよいトマトこれは皆さんどこかでお聞きのことと思いますが、トマトがだんだん熟成して柔らかくなって、いたみ易くなります。だから日持ちをよくするためには熟成させないようにする。熟成する条件は、エチレンという老化ホルモンができるからです。エチレンの生合成の代謝系をつかさどっているACC syntase という酵素がありますが、この遺伝子を逆位にいれて酵素を作らせないようにする。そして熟させたい時になれば青いトマトにプロピレンガスかエチレンガスを処理すると熟成します。このスライドで普通のトマトの熟成でありまして、56日くらい経ちますとこのように赤くなりまして、70日経ちますとover ripeningいたしますが、逆位にACC syntaseの遺伝子を入れますと、いつまでも青く、それにプロピレンガス処理してやりますと、このように熟成してすぐ食べることも可能という状況になります。

元来Bacillus tumefaciens という微生物が土壌中にあります。これがいわゆる害虫を殺す毒素を出します。これはタンパクであります土壌中のバクテリアのなかにできると

ということが分かっておりまして、このB T toxinというプロテインは、既に工業生産されて、いわゆる生物農薬として用いられており、市販されております。しかし、市販するより植物に遺伝子組換えでそれを作らせるようにすれば、それは病虫害駆除のために非常にいいのではないかと考えられます。特にトウモロコシの場合には農薬をかけましても、害虫がかたい軸の中にはいりますと、その害虫は死にません。コルクボーラー型のものであります。その場合にはB T toxinが植物内で生産されますと、先程のトウモロコシの害虫駆除ということになるというわけであります。このスライドでは、遺伝子をいれてやりますと、コントロールのほうは食べられてしまいますが、こちら側は食べられません。ところがcornell大学の先生が、あるガをB T toxinをたくわえた花粉を集めて食べさせたら死んだと、だからこれは生態と人間に影響があるという論文がでてまいりました。そのような非常に多くの花粉を一時に食べるというような虫もありませんし、それに対する批判も出たんでありますが、それが非常にマスコミに取り入れられてですね、われわれとして、非常に困った状況になったわけであります。

もうひとつ皆が心配される事は、タンパク質のアレルギー反応です。昨今、わが国におきましている小さい子どものアレルギーということが問題となっております。遺伝子組換えによると、いわゆる外来タンパクとしてそれがアレルギーを起こすんじゃないかということが危惧されます。それで人工胃液による遺伝子組換えのタンパク質と天然のタンパク質の分解速度を調べたのがこの図であります。卵白アレルギーですとだいたい分解するのに60分かかりますよと、ところがこちらから下が遺伝子組換えなんですけどもう、ほとんど30秒とか非常に早く分解します。B T toxinにしましても非常に簡単に分解されます。ですからそれをもって皆様が、アレルギーになりますよということは全くありません。無論ある特定の植物については、遺伝子組換えの植物を食べますとアレルギーがおこります。それは遺伝子組換えでない普通の植物を食べても起こっております。これは、遺伝子組換えを行ったからアレルギー反応がおこるということではないというのが結論でございます。

少し古いんですが、菜種畑です。カナダの遺伝子組換え菜種の栽培の写真であります。遺伝子組み換え植物の遺伝子伝播を水平移動ともうします。いわゆる、環境破壊をすることということで、遺伝子組換え菜種がよその菜種と交配していくことの可能性です。カナダでは3キロの範囲に正常の菜種を植えてはいけませんというような規則があります。不幸にしてわが国ではそんなことはとってできません。この狭い国ですから、そこは科学技術で、いわゆる雄性不稔、花粉ができないような菜種にしましよとかですね、いろいろ工夫がなされるところであります。

いわゆる環境の保護ということについても、われわれは新しい科学技術を導入していくというわけであります。環境浄化についてでありますけど特にカドミウム、亜鉛、水銀など重金属と、大気汚染物質の吸収、NOX、SOX、CO₂などの生物学的手法での除去であります。ポプラとかアカシアなどで林学の先生がたが非常にこういうNOX、SOXを下

げる樹木を開発されておりますし、一方で土壤中に蓄積された重金属をいかにして取り除くかという努力もされております。これは一例であります、特異的に重金属を吸収する植物の存在であります。これは遺伝子組換えではありません。普通の植物を持ってきまして、いろいろとテストしていくわけではありますがこのグンバイナズナ、普通の十字科の菜種みたいな花であります、この植物ですとカドミウムとか垂鉛を特異的に吸うわけあります。ですからこれからは、この汚れた所、現在ダイオキシンの土壤中の汚染問題ということがありますが、ダイオキシンを特異的に吸収する植物を探し、ダイオキシンを除去する可能性を含んでおります。

この写真は砂漠による植生の衰退ですね、これが砂漠です。こちら側が森林地帯です。どんどんどんどん砂漠化がすすんでいます。

これは酸性雨による被害であります。この白いのが枯れている木であります。

もう一つ大きな問題は土壌の流出ということであります。アメリカの中西部は世界の穀倉地帯として、わが国はここに依存しているところではありますが、トウモロコシはじめ多くの穀物をここに依存しているわけあります。ところが、いままでの農耕がいわゆる集約的になりまして、深耕するようになりまして、しかも、単一植物のトウモロコシを一面のみわたすかぎりに植えますから、植物による土壌の脱水が起こり、それによって土壌が非常に乾燥して流亡することが起こっています。現在までこの農地の作土の深さは1.5mありましたが、今70センチになっております。もしこのアメリカ中西部の農耕地の破壊ということがおこってまいりますと、わが国にとっては一番の打撃をうけるということになります。これは風によるもの、多雨、気候異常ということも影響を与えているわけでありまして、環境との関係におきましても非常にわれわれが憂慮すべき点であります。

そこでもう一つ具体的に、これは、バイオテクノロジーではなくて、もう少し大きな科学としての問題として取り上げますと、エネルギーと環境であります。京都会議でエネルギー生産によるCO₂の発生現象を規制するということが決まりましたが、このCO₂の発生と異常気象ということが非常に結びついております。これをCO₂の発生を減少さすということが最も大事なことと、いかに除去できるかということを考えています。

CO₂の発生の制限と除去といたしまして、一つ目は、生物学的に光合成効率の高い藻類、植物を作出することあります。これはわれわれの大学の横田教授をはじめ多くの方が一生懸命やっております。ある程度の研究が進んでおります。もう一つは、炭酸ガスほど安定した化合物はないんですが、それを何とかactiveな状態にして、濃縮炭酸ガスを還元しましてメタノールをつくらうとする試みです。その時に非常に多くエネルギーがいりますが、エネルギーを作る時に炭酸ガスをだしていたら話になりません。このエネルギーは太陽エネルギーをつかってやろうということでこれは、RITE；地球環境産業技術研究機構という研究所ですすでにある程度の実用化ができております。もう一つは化石エネルギーを転換したCO₂の発生しないシステムの構築、核反応いわゆる原子力発電であります

が、太陽熱、風、地熱と、こんなところでなんとか、CO₂を発生しない、化石エネルギーを使わない、エネルギーが、環境をいかに維持するかということにつながっております。

化石エネルギーに限度があるといわれて久しいわけではありますが、最近わかりましたことは、日本海溝に特別に多いんですがシャーベット状のメタンが、現在の化石エネルギーのいわゆる石油、石炭の10倍ある、ということがわかりました。わが国にとっては非常に喜ばしいことであり、このメタンを燃焼させるということは当然考えられるわけですが、それを燃焼すればただちにCO₂が発生します。ですから、現在問題になっている、地球上の炭酸ガスをフィルターで濃縮してそのCO₂とシャーベット状のメタンと置換しようとする考えです。このメタンを原料として、化石エネルギーを元にして作っていったものを作っていこうというのであります。

ここでもう一度元に戻りまして、いま21世紀の人類生存危機に対して、私共の生きていく限られた時にそういう非常に危機的なことは起こらないと思いますが、子ども、又は孫の代には必ず起こってくると思います。異常気候になりますと、まず起こってくるのが病気だと思えます。これは植物の、作物の病気のみならず人間の病気、これも起こってくると思います。農作物の収量がぐっと落ちてくると、食糧不足になり、若い世代の皆さんはわれわれの戦争中の世代と違いましてきっと耐えられず暴動がおこると思います。それによって自然に人類の減少がはかれることが自然の摂理かもしれませんが、できるだけそういうことにならないように願っています。そのためには人類の自己規制、いわゆる公害規制、自己欲望規制など、非常にわが国におきまして、リサイクルなど努力しています。そして自己欲望、涼しい所におりたいとだれでも思うわけではありますが、エアコンディションを使わずに辛抱するというような努力をすることです。そして科学技術の周到な思考の下に物質やエネルギー変換をつかさどる科学を勉強することです。先程申しましたように、いままでやってきました科学は化石エネルギー、石油の中間体からエンドプロダクトを作っていたわけでありまして、いまのナイロンにしましても全てのこのようなポリマーは、石油化合物の中間体から作っておりました。それをメタンのような原原料から作っていかうと変換することです。しかも、できることなら空気と水と砂を原料とする努力が大切です。一番理想的な例はこの原原料から作るという科学を開発しなければならない。21世紀のバイオサイエンスでは基礎的知識が自然との相互作用に直接取り入れられ、直ちに技術化されることです。これは私一つの例として申しておりますことは、今までこれだけヒューマンゲノム、それからイネゲノム、植物におきまして遺伝子の解析がどんどん行われております。それは一つの情報であるわけでありまして。遺伝子の中の、全遺伝子の配列、いわゆる4種類の塩基配列であります。それはある一つの遺伝情報という情報の意味をもっております。今後将来は紙を使わないで、こういうような分子、DNAまたはタンパクのアミノ酸配列に記憶を持っていく、そういうような科学が必要です。逆なんですね、今まで自然からとってきた情報を遺伝解析してましたが、今度はわれわれ

の情報を、DNAまたは、タンパクのアミノ酸配列で情報を作っていくことです。さらに科学と技術が相互干渉し、自然的に発展すると、こういうことが可能ではないかと考えているしだいでございます。

もう一つ大事なことは、これはバイオテクノロジーとは関係ないのですが、持続可能な社会の構築のため、日本では米の生産量が1000万トン/年であります。穀類の消費量が5400万トン、家畜飼料も含まれますが、ところが、びっくりすることに残飯の排出量が1300万トンで、最近はこの残飯からリサイクリングしているいろいろなものを作ろうというような話が出ておりますが、日本の米の全生産量よりもまだ多量量をわれわれは捨てているというわけでありまして。この食糧は4000万人の人が生活できる量に相当しますし、このベースにして先進国での無駄を計算しますと4億人が生活できるということになります。サハラ砂漠よりも南では、いまだに飢餓の人々もいますし、北朝鮮においても餓死してる人がでていう状況において、われわれ日本人が食べ物を捨てて、こういうことでもいいのかというわけでありまして。

もう一つは、人口の増加をできるだけ防ぐことです。遺伝子組換えによって、現在の生産量の18億トンなんですけど、この量は80億人が限度でありますけど、25億トンまで上げたいというように考える次第であります。分子育種によって20億トンに増産する、人口増加の抑制を行い、先進国はライフスタイルの変更をとということであります。いま申しあげましたことをまとめてまいりますと、天然資源の大量消費の自己規制、新エネルギー生産と、清浄水の確保、科学技術の力による文明の基本的性格の変革が基本であります。新幹線をより速く走らせるだけが能じゃないとわたしは思っております。いま東京博多間を15分間時間を縮めるために、40億円使っています。そのお金があるんだったら、もっと老人社会に対する、高齢化社会に対する施策に、その費用を使うべきだとわたしは思っております。地球に致命的状況が発生する21世紀後半までに、必要な科学技術方策を確立する、さきほどから申しあげている、特にバイオサイエンスの占める役割は重大であります。遺伝子組換え作物は、必要な準備期間であり、いますでに崩壊のほうに向かっていることに対して人類の真剣な自己規制が絶対必要であると思っております。ということでわたくしのお話を終わらせていただきますが、申し上げましたことはそれぞれが責任を持って、われわれの次の世代のために、何とか今しないと、取り返しのつかないことになるということであり、本日ここへ出てまいりましたわけでありまして。私この頃は大学のほう忙しいでございますが、こういう会があったらできるだけ出てきてしゃべることにはしています。そのため話の内容が重複しているかもしれませんが、ご寛容いただきたいと存じます。以上をもちまして、話を終わらせていただきます。ありがとうございました。

<座長> (中井弘和)

ただいまご紹介頂きました静岡大学の中井でございます。山田先生の基調講演のあとを受けまして、只今よりパネル討論をはじめたいと思います。私は、専門は植物育種学、あるいは植物遺伝学でございます。研究はこれまで稲の突然変異育種について行なってきました。平成8年から静岡大学農学部人間環境科学科という新しい学科ができましたけれども、わたくしはそこで、一応植物育種、遺伝学から離れまして、持続可能型農業科学を担当しております。

ちょうど昨年のいまごろ、6月1日でございます。やはり、全国国立大学の農学系学部長会議の日程に合わせまして、日本農学アカデミー設立を記念しまして、シンポジウムを開催させていただきました。テーマは覚えておられる方も多いかと思いますが、「21世紀の農学のビジョン」ということでした。その中で新しい世紀に人間の生存の根幹に直接関わる農学の重要性がますます高まるだろうということを確認しながら、これからの農学のあり方について多くの貴重な提言がだされました。その一つとして、新しい時代に向ってバイオテクノロジーの重要性はますます高まっていくだろう。そのことを認めながら、バイオテクノロジーのあり方について技術的のみならず環境あるいは食糧等の問題を視野に入れながら、さらに生命倫理の観点からも、議論を深めていくべきことが強調されました。したがって、今回のテーマを「農学におけるバイオテクノロジーの新しい展開」とさせていただきます。

実は日本農学アカデミーに学術情報委員会、というのがございますが、その中でテーマを選定する場合にいろいろなことが話題となりました。まず、エコロジカルな視点を重視するフィールドワークが昨年のシンポジウムで強調されたところでもありますけれども、このフィールドワークあるいはフィールドサイエンスの再構築が求められる。ちょうど今、環境と調和する持続的農業体系の確立が求められます時に、バイオテクノロジーがそれらにどのように関わり、利用されるのか。あるいはまた、臓器移植、遺伝子治療、生殖医療等の医学的課題がとりざたされているという状況ではありますが、そのなかであって、農学におけるバイオテクノロジーは非常に重要である。それにしても、どうも農学分野におけるバイオテクノロジーの現状とか成果が見えにくい状況にあるのではないかと、というような意見がだされております。そんなわけで今回のシンポジウムの目的は、農学におけるバイオテクノロジーの現状を整理、分析し、21世紀を展望しながらその研究のあり方を探ろうということになった次第でございます。

山田先生のご研究領域の範囲が非常に広いので、植物バイオテクノロジーと限ってしまっただけは失礼かと思っておりますけれども、一応そういうふうにいわせていただきたいと思います。植物バイオテクノロジーのパイオニアであり、ずっと世界の第一線でこの分野をリードなさってきた山田康之先生に基調講演をしていただきました。申し遅れてしまいましたけれども、心より御礼申し上げたいと思います。先生には人類の21世紀の最大の課題であり

まず食糧と環境の問題を明確に視野に入れながらご自分の研究成果を中心にバイオテクノロジーの現状と成果を分かりやすく提示していただき、その新しい時代への可能性や展望を語っていただきました。皆さん今お感じになったと思いますけれども、大変有益な多くの示唆を与えていただきました。人間の生き方も含めて面白い視野から講演をしていただきました。本パネル討論は、先生に感謝申し上げながら、先生のご講演、あるいは結論を念頭に置きまして、討論させていただきたいと思います。まず、3人のパネリストの先生方に、ご自分の研究内容もご紹介頂きながら、「農学におけるバイオテクノロジーの新しい展開」ということにつきまして15分くらいずつ所信を述べていただきます。その前に、簡単ですけれども、先生方のご紹介をさせていただきます。

林良博先生は国立大学農学系学部長会議会長、東京大学の農学部長を務めておられます。ご専門は獣医解剖学ということで95年からは人と動物の関係学会の会長を務めておられます。それから、岡野健先生は日本学術会議第6部会員、日本木材総合情報センター、木の何でも相談室長ということで、ご専門は木材学、セルロース科学で、これまでに日本木材学会長を歴任してこられました。桂直樹先生は、農水省農業生物資源研究所所長を務めておられます。ご専門は植物生理学あるいは遺伝子組換え植物の機能に関わる分野で活躍されてきました。特にイネゲノムの研究チーム代表を務めておられます。ということで、この件については今日いろいろお聞きしたいと思います。以上ですけれどもとりあえず、林先生から15分くらいでお願いしたいと思います。

<パネリスト講演1> (林良博)

先程ご紹介頂きました林でございます。15分でお話する内容を大まかに申しますと、私のバイオテクノロジーに関する考え方というのは、ちょうどいまお話をした山田先生と、それからつい先週私どもは農学部でレスター・ブラウンを呼びまして、徹底的なディベートをやったわけですけれども、レスター・ブラウン先生との中間ぐらいとお考え頂ければと思います。先週レスター・ブラウンを呼んで、「21世紀シンポジウム」というタイトルで人口、食糧、環境というような問題をいかに克服していくかというテーマについて議論しましたが、今日のシンポジウムと非常に良く似ているわけです。午前中1時間レスター・ブラウン先生から基調講演をしていただいた後、私ども農学部から5名の教員が参加しまして、各教員それぞれの分野で、あなたのいう悲観論は分かるんですけどこういう形で私たちは研究して、こういう形でブレイクスルーするんだと思ってる等々、その研究を紹介してもらったわけです。私は、レスター・ブラウンほど21世紀の環境・食糧問題にバイオテクノロジーが役に立たないとは思っておりません。非常に期待してます。しかし、5人の教員のうち1人を遺伝子工学の先生をあてる程度にしか期待していないということも事実でありまして、これは森先生にお願いしたのですが、塩耐性ゲノムをイネに組み込んで不良環境で増産を図ろうという研究をしています。それ以外の先生を申し上げておきます

と、秋田先生、これまでの持続可能型農業で蓄積された技術がありますが、非常に古典的な技術も含めて、これをどううまく活用しながら、生産性を上げていくか。これは生物多様性の問題にもつながるわけですが、これまでのやり方だけではなくて、既成の技術のうまい活用の仕方というものを考えるというシステムです。

それから、レスター・ブラウンもいっていますけれども、これから60億が90億に50年後になるとして、それに見合った作物を増産するとしたら一番のネックは水だろうと。明らかに水が、limiting factorです。この水問題について、田中先生という農業工学の専門家にお話しいただきました。それから、地球上のかなりの面積を占める海洋、水圏に関わって、水圏科学から古谷先生という方にもう少しこの水産資源というものは活用できないのかと、ここにまだ一番未開発の部分があるのではないかと、というお話を頂きました。それから、これは林産学といいですか、生物材料科学の飯山先生には生物資源は十分に活用されているのかというような点について話して頂きました。これについては、特に、生物資源の中で廃棄されているものが膨大にあります。未利用生物資源という面では、例えば中国では、紙の50%は木材ではなくて、イネ等で作られています。世界中をみますと、かなり膨大な量の廃棄物があるわけですが、それをどう活用していくのかというこの5人の教員のうちの一人として、バイオテクノロジーは有効であるという認識で私自身はおります。学会会議に来ているものですから、会長の吉川先生に敬意を表して、先生のお話を引用させていただきます。先生は、農林水産技術会議での、新しい基本目標策定の議論の時に、諮問に答えて20世紀は農業が工業化された世紀でしたが21世紀は工業が農業化される世紀であると、非常に示唆的なことをおっしゃっております。同じく吉川先生は、この4月、つい1ヵ月前の新聞で地球環境問題などに対応するためには、開発主義的な男性型の視点よりも総合的な女性型の視点が求められていると。学会会議の会長である吉川先生がこうおっしゃっているわけですが、これは実にこの農学的なもの、おそらく、農学アカデミーは総合主義的な女性型視点を大切にされているアカデミーと思われるんですけども、その中でバイオテクノロジーというものは開発主義的な男性型の視点に近いテクノロジーだと思っただけですね。これについては賛否両論ありますが、結論から申しますと、バイオテクノロジーのすべてがいいとかすべてが悪いとかいう論議は全くナンセンスという気がします。バイオテクノロジーといってもそれは非常に大きなダイバーシティがあるわけですから、一つ一つ吟味していくべきだというのが私の意見であります。

農学が注目されているという中で、農学におけるインパクトファクターがいろいろな分野の中で一番高いという科学技術白書の報告に私は非常に喜び、感謝しています。バイオテクノロジーに関しては立花隆さんが科学評論家としては非常にいい振舞いをしていると思うんですね。ああいう人が少なすぎるというのが日本の特徴であります。これについて僕らは意識的に科学評論家を育てる必要があります。科学評論家が育つまでは、研究者自らが、発信するというこの2つしかないと思うんです。それが足りないからこそ、先程山

田先生がおっしゃったように先生自ら、学長自らがあちこち出歩かれて啓蒙活動をされる。これは大変素晴らしいことだと思うんだけど、それは私達若造もやらなければならないという意味においては、日本も非常に問題があると思っています。そのことを立花さんが文芸評論にこういうふうを書いておられた。「農学というのは意外とすごいんだよ」と。研究者自らが発信することは重要ということで、手前味噌なんですけど、東大農学部ではこの3月に本をだしました、これはどこの書店でも買えるような本で、50人の先生による「地球を救う50の提案」というものです。この中でも、もちろんバイオテクノロジーを専門にされている先生もおります。比率としては5分の1がバイオテクノロジー分野でいきましょうということでありまして、2400円ですのでもし興味があれば、お読みいただきたいと思えます。それから明日に農学部長会議がありますが、この6月が受験生が一番迷う時なんです。迷った末に決断するのが6月の末ぐらいだと思うんですが、あと1ヶ月後に電車の中吊り広告にポスターを出したいと思っています。ただし2日間で200万円しますので、どうしようかなあとも思ってるんですけども。そのポスターは非常に鈍くさく作ってあるのが特徴でして、表題が大きいし濁点が多いんですね、「農学でがんばる」というものです。国立大学農学系学部長会議として出すというわけです。私ども、農学部は非常に元気で、300人の定員に対して334人が内定してしまうぐらいですが、これは全部第一志望なんです。東京大学で第一志望で農学に334人が来てしまうなんてことはこれまでは考えられないことです。8、9年前は300人の定員に対して210人しかこなかったんですね。農学部がなくなるというような記事その当時、読売新聞とか、東京新聞とか、朝日新聞とかも出しましたけれども、いまは非常に元気です。生物生産学課程は、入学定員が90に対して85という、定員割れの状態ですが、他はがんばってるんですね。この生物生産は学生が集まりにくいということがあるのですが、その中でもバイオテクノロジーというのは一つの非常に大きな学生をひきつけるインパクトになるんじゃないかと思えます。

本題に入りますけれども、私がお話し致しますのは動物クローンについてであります。動物クローンについてはこの3月27日にこの同じ学術会議の畜産学研究連絡委員会と獣医と育種学研究連絡委員会で産業動物におけるクローン個体研究における指針というものが出されました。私概ねは素晴らしいことが書かれていると思うんですが、しかし、クローン研究については警鐘を鳴らしたいと思えます。私は個人の立場では体細胞動物クローンに対してこういうふうに思っております。3年前の1997年、「nature」に例のクローン羊ドリー作出の論文が発表されました。これはおそらくあの年の「nature」記事の中では最大のインパクトがあったものだと思うんですが、1998年、私の学生だった若山君のマウスクローンに関する論文がやはり「nature」にアクセプトされて、これがその年の「nature」の中で一番インパクトがあったわけです。私は彼といるんなやり取りをしている中で、この考え方だけはくずさなかったのです。体細胞クローン動物の作出技術については、発生分化の基礎研究としては非常に重要である。だからこれは是非やってもらいたい。だけど、

応用研究には私は賛成していないと。なぜ賛成していないのかについてお話ししたいのですが、簡単に書いたクローン動物の将来という文章がありますのでこれを見て頂きたいのですが。これは、2年前ですけれど、若山君、博士課程を修了してポストドクターとして、いぜん私の指導下にあったわけですが、彼をもう少し勉強してもらつつもりでハワイ大学に送りました。そこへ行ってマウスのクローン研究をやりたいっていったら断られたのですが、そこが彼の偉い所で、断られてもやるといってやったんです。隠れて。この隠れてやったという事が成功につながったのです。いつもこれをいい例として挙げるんですが、隠れてやると何がよかったかというと、そのような状況では大規模な実験ができない。体細胞クローン作出は、マウスの体細胞の核を移植した卵を別のメスマウスに移植して発生させるということなんですが、その時に、どんな体細胞を使うか、ここが一番大切なところなんです。羊ドリーの時は、乳腺細胞を使ってるんです。これについて、乳腺細胞がほんとに分化した乳腺細胞だったかどうかということで、1997年2月頃だったと思いますけれど、「nature」にとっては商売敵というか対抗意識のある「science」にはドリーがほんとに体細胞クローンだったのかという疑問の論文が載る状況で、「nature」は非常にナーバスになっていたわけですね。そこで、彼が指導の先生に反対されたもんですから密かにやる中で、一番手に入りやすいものは、排卵処理した瞬間にでてくる、卵と一緒に卵のまわりにくっついて出てくる卵丘細胞をそのまま使っただけなんです。非常に良いことは細胞周期のなかで、難しいことはいいませんが、G0期の細胞が核移植に適するんです。卵丘細胞というのはG0期の細胞ですから、これはどれを使ってもいいということがまずありました。容易に得られる細胞を使用するのは、廃品利用みたいなもんですけれど、それができたということです。もともと彼は資質があり、卵を見るのが飯食うよりも好きだったという男なんですけれど、これはもう長い研究の蓄積で、その卵丘細胞は完全に分化した細胞だったということが分かっていたのです。この細胞を使ったということについては、使ったことによって体細胞では間違いなくクローンができるんだということを学術的に証明する事ができたというメリットがあります。それから、マウスを使ってますから、ものすごく速く実験ができるんです。彼は「nature」に投稿した時にはクローンから生まれたクローンを使っていました。材料として孫の代までもっていたということです。自分の手の中にドリー1頭だけでなく2桁だいのクローンを持っている状況だったということです。ただ「nature」は非常に慎重で、ドリーの件についていろんな批判や意見がでたもんですから、十分な布陣をとって、そのために情報がリークしてしまったということもありましたけれど、ようやく載ったというわけであります。私は、体細胞クローンのような、減数分裂、遺伝子組換えを経ないで新しい個体を誕生させるという、絶対に哺乳動物では起こり得ない現象を自由に創生する技術という点にバイオテクノロジーの一つの重要なメリットがあると思います。だからこそ、おそらく2つの意見が出てくるんだと思うんですね。一つは、自然は素晴らしい。30億年もの歴史をかけていろんな進化をさせてきました。しかしまた

まこの種では獲得できなかった形質がある。それを、他の種で獲得しているものを人間の英知をもって新しい所に入れる。これは何億年何千万年もの進化をわれわれ自身が、そういったテクノロジーで成し遂げている。これから長い時間をかけて非情に厳しい環境の悪い所に適応し、生育していく植物であるとか動物であるとかといったもの、これから生物の進化の過程で何億年もかけて獲得するかもしれないものを、私たちはバイオテクノロジーという範疇の技術をもって創成するといった、新しいテクニックで自然の進化の恵みを利用しているという考えからすればこれは夢のテクノロジーだと思います。しかし一方で、これは本来ありえない物を作り出しているという意味においては原理的に徹底的に検討される必要があるだろうと思います。私はこのクローンだけにつきましては、現時点では倫理的に検討することが多すぎると考えています。

(中井)

引き続き、岡野先生お願いします。

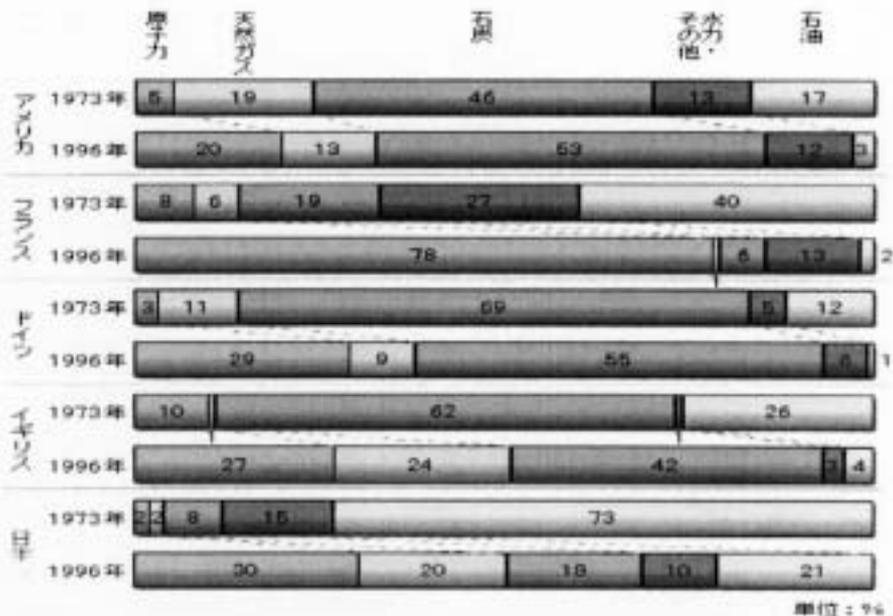
<パネリスト講演2> (岡野健)

学術会議第6部会員の岡野です。林先生、桂先生はバイオテクノロジーのスペシャリスト、山田先生はバイオテクノロジーのオーソリティーですが、私は全くバイオテクノロジーとは関係がありません。では、どうしてここにいるかということ、実は学術会議第6部で17期の3年間、“生物資源とポスト石油化学”という課題を検討してきました。

先程の山田先生のお話で、2050年には石油、天然ガスが枯渇し、人口は100億になるであろう、その時に食糧はどうかという話をされたわけですが、エネルギーはどうかということについては、触れられませんでした。私ども学術会議の第6部では、石油が枯渇した後、石油から得ていた様々なケミカルスは生物生産物、すなわち生物資源から得るしかない、それと同時に、エネルギーに対してどう考えたらいいかについて検討いたしました。その検討の課程で、やはりバイオテクノロジーに期待しないとエネルギー問題は解決できないのではないかと、この点は個人的にですが、そういう結論に至った次第です。

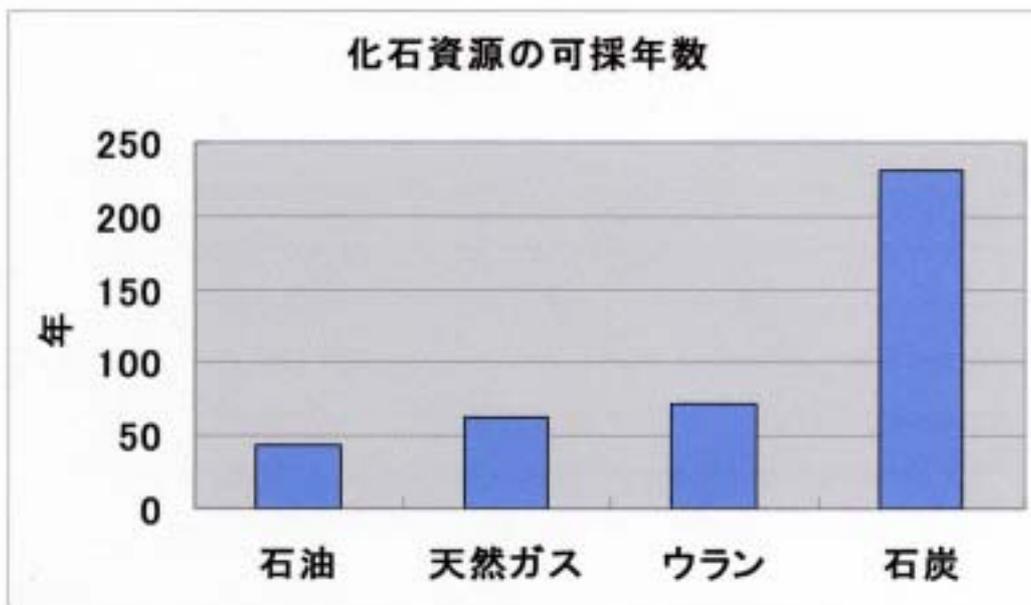
山田先生は今後の私たちの生活スタイルを3つの主義にわけて、どれを選択して生活していくのか、ということをお話されました。課題はそれに尽きるのかもしれませんが、人類と科学、ちょっとおこがましいタイトルですが、要するに、科学というものに対してですね、今までのようなことでいいのか、常々感じている問題についても話したいと思います。

まず、バイオテクノロジーに期待するということですが、なぜ期待するのか、期待しなければならないのか、ということについてお話いたします。先程石油が50年でなくなるというお話でした。これはよく言われていることですから改めていうまでもないかもしれませんが、どういわれているのか、整理しておきたいと思います。



1973年と1996年のエネルギー源の違い (NEDO)

上の図は、NEDOの資料ですが、四半世紀の間にエネルギー源がそれぞれの国でどのように変わっていったかということを示した棒グラフです。特徴的なことは、原子力から石油まで、5つありますが、このうちの天然ガス、石炭、石油はいわゆる化石資源、原子力はウランを使うとすれば、これも化石資源です。すなわちエネルギー源は化石資源だということです。次いで、四半世紀のうちで注目すべきことは原子力が非常に増えたということです。特にフランスで際立っています。日本でも3割が原子力に依存しています。エネルギーを何に求めるかによって、炭酸ガスの問題が関係してきます。その問題はさておきまして、これからのエネルギー源は資源量に左右されます。すなわちエネルギー資源の先行きに関しては、可採量を考えなければなりません。今まで相当の期間、横軸の年に対して可採量は、だんだん上がってきていました。ところが最近これが、頭打ちになってきて、むしろ下がってきています。炭酸ガス問題からすればクリーンなウラン、原子力によるエネルギーというものが増えてきていますが、そのこと自体に問題があることは申しあげるまでもないんですが、そのウランが、可採年数が72年しかありません。それから、石油では43年ですから、まさに、2050年までもたない。石炭が若干有望ですが、いずれにしてもエネルギーをどうしていくのか、それが極めて大きな問題であると思います。

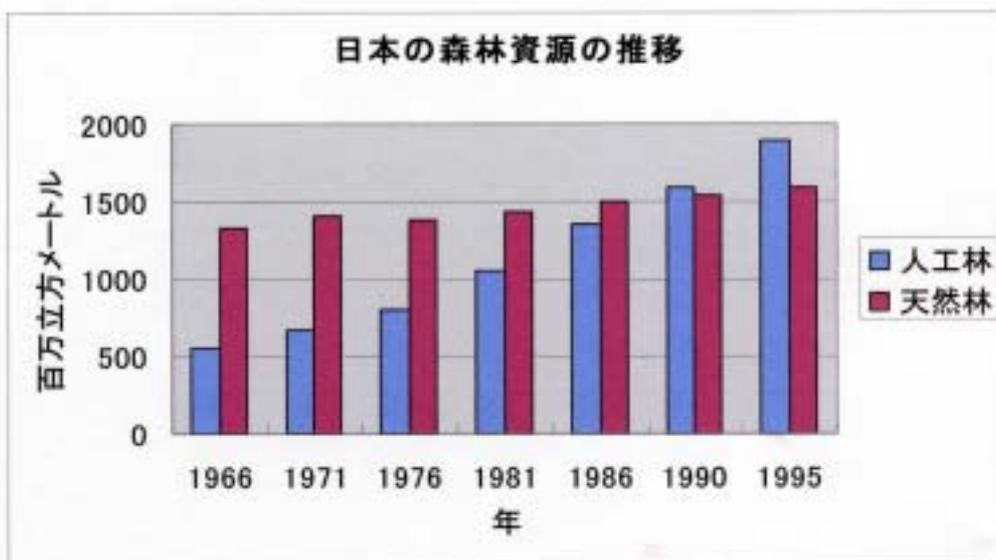


地球温暖化を進めないという点ではカーボンニュートラルと言われておりまして、バイオマスなら大丈夫だといわれています。バイオマスがどれくらい頼りになるだろうかと考えてみます。森林による物質生産量というものがバイオマスの中心になると思いますが、この表は森林1ヘクタール当たり、年間の生産量が乾燥重量でどれくらいになるかを表わしています。データは大学の演習林報告に出ていたものを集めたものです。学生には、極相の森林は物質生産をしない、森林を手付かずで残せば物質生産がゼロになるとこの表でいってきました。しかし、そのことではなくて、日本の人工林は1千万ヘクタールあるんですが、生産量はヘクタール当たり10トンくらいです。それに対して天然林、これも北海道の演習林のデータですが、人工林の半分くらいの生産量しかありません。こういう数値を足し算していきますと、物質生産量すなわちバイオマスが分かるはずですが、教科書的な数値で言えば、物質生産量は地球上で170Gトン、その2/3が陸上で生産され、森林での生産が圧倒的で75.6Gトンにもなります。全人類の食糧を賄っている耕地生産物は9Gトンです。そのうちの食べられない根であるとか茎といった農産廃棄物がバイオマスエネルギーの原資です。ところが現在バイオマスエネルギーを見積もる時に、この農産廃棄物と森林生産物、林産バイオマスといいますが、その比率が5：4とされています。林産バイオマスの生産量は圧倒的に多いにもかかわらずです。私はなぜこういう見積もりになるのかわかりませんが、恐らく耕地生産物の農産廃棄物は集めることができるという意味で、容易にコントロールできるのに対して、森林バイオマスは森林の生態系のなかで微生物によって分解されているなど、容易ではありません。例えば極相の森林では物質生産がゼロですが、ゼロというのは木が生長しないということではなくて、木は生長するんですが、枯枝などの分解があってバランスがゼロということです。それでは林産バイオマスをどう見

森林の物質生産量 (ton/ha・y)

天然林	照葉樹林(千葉の浅間山)
"	マカンバ林(北海道)0
人工林	5.5~7.221年生カラマツ林(北海道)
"	26年生カラマツ林(北海道)
"	31年生アテ林(能登)
"	44年生アテ林(能登)
"	メタセコイア(小石川植物園)15.1
	14.5
	11.3
	19.2
	16.2

積もるかといえば、その評価はですね、まず私達は木を切りだして使うわけです。日本では一人が年間で大体1立方メートルの木を使いますが、1立方メートルの木を製品にすると、製品歩留まりが悪くてだいたい半分以上はくずになります。いわゆる工場残廃材です。そのくずを集めてエネルギー化する、そういう見積もりをすると確かに、農産廃棄物の8割程度になります。私は、将来的には森林で微生物が分解している木質バイオマスをもっと積極的に私達のエネルギー源として取り出さなければならないのではないかと思います。

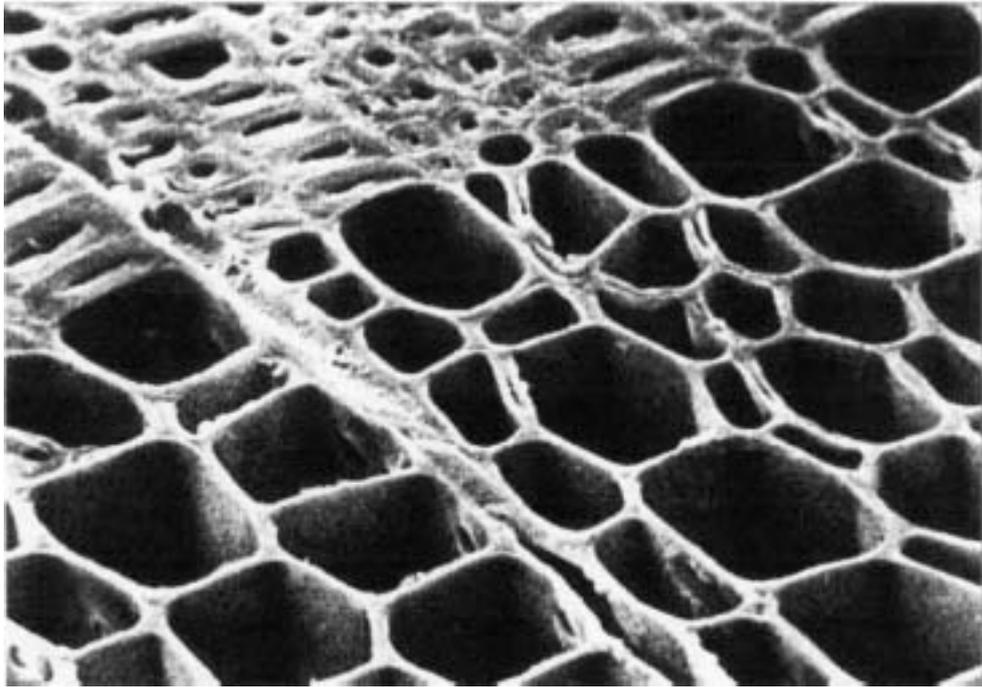


バイオテクノロジーとの関連ですが、まず日本の人工林での蓄積量の推移を見て下さい。人工林の蓄積量 = 資源が増えて喜ばしいと思えるかもしれませんが、決してそうではありません。炭酸ガスが固定された分、温暖化防止に貢献するという見方はできません。

カーボンニュートラルという言葉があります。それは植物によって固定された炭酸ガスは動物や微生物がエネルギーとして使って炭酸ガスに戻るが、さらに固定されるので炭酸ガス量はトータルとして変わらないというわけです。だからこそ化石資源を使った場合とは違って、温暖化ではマイナスにはならないという議論です。しかし、それはおかしいですね。どの時間で区切っても、炭酸ガスの状態のカーボンとバイオマス状態のカーボンがそれぞれで一定でないといえず、ニュートラルとはいえません。ニュートラルといってバイオマスの生産・消費を無視することは間違いです。用語の使い方にはありますが。

話を戻して、日本の森林では人工林で蓄積が増えていきますね。しかも消費量にほぼ匹敵するくらいの増加を示しています。これは、喜ばしいことではないのです。この写真はスギです。千葉のサンプスギという品種ですが、この厚壁の細胞もこちらの薄壁の細胞も仮道管で、年輪を構成する晩材と早材です。すなわち年輪内での密度差が大きいことを示しています。薄壁の早材部の密度が $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ 以下の品種もあります。 $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ は発泡スチロールです。他方、厚壁の晩材部が $1\text{g}/\text{cm}^3$ を超えることもあります。すなわち材質が粗いことを示しています。更にある種の成分が分泌されて、代謝物ですが、それが木材乾燥を非常に困難にしています。すなわちスギは個性的で、狂わない乾燥材は安くはないのです。そんな特徴をもつスギの林が日本の人工林1千万ヘクタールの過半を占めています。スギが売れない、伐採されない、したがって日本の人工林の蓄積が増えているのです。人々はスギではなくオーストリアから輸入したホワイトウッドの集成柱を使います。3寸5分角3mの柱が1500円、スギより1000円安いからです。しかも集成柱は狂いません。高気密高断熱の家は乾燥材でなければ実現できません。その結果、日本の山にスギが残され、これは林業が成り立たないことを意味します。

したがって私が、バイオテクノロジーに期待するのは非常にプリミティブな話なんです。樹木の成長過程における細胞の分化・成熟のプロセスをコントロールすることです。たしか、こんな話がありました。森林総研が筑波にできた時ですね、温室でスギを育てました。そうしたら、たちまち太くなって、温室で育てることができないくらい太くなったんです。材には日本の温帯の材が持つ年輪が形成されなかったと聞いております。ということは何か単純な酵素系の作用で、こういう高等植物の細胞の分裂・分化をコントロールできる可能性があるのではないかと思います。材質と生育をバイオテクノロジーによってコントロールしていただきたいというのが私の希望です。



スギのSEM写真、左上が晩材でその下が早材

最後にもう一言いわせていただきますと、科学の責任という課題です。現在、私たちの生活は科学・技術のくもの巣の上というか、巣の中にあります。科学者が科学技術を生み出しています。フロンガスは1928年にトーマス・ミッジリー、GMの技術者ですが、合成に成功して、1930年のアメリカ化学会の大会で吸い込んだフロンガスでローソクを吹き消し、ガスの安全性を誇示したという話があります。ところがフロンガスは現在ではもっとも危険な物質の一つです。科学者が作り出したものが一人歩きして非常に大きな影響を及ぼしているわけで、いったいオゾンホールのはたらきに責任があるのは誰なのでしょう、科学の成果が技術的なバックを得て広がった結果です。おそらく科学の成果に期待し、享受してきた私たち一人ひとりに責任があるのでしょうか。しかし、科学者が自ら尻を叩きながらあげている成果がさまざまにつながって新しい技術、新しい製品として世の中に出ていって、それが及ぼすであろう影響を思うとき、どういうふうにチェックしていったらいいのでしょうか。現在、チェックのシステムはありません。チェックしてはいけないのかもしれませんが、今のままでいいとは思えません。どうするか考えるのは、それこそアカデミーの役割だと思います。時間が来ましたのでこれで終わります。どうもありがとうございました。

(中井)

引き続き桂先生をお願いします。

<パネリスト講演3> (桂直樹)

ただいまご紹介頂きました、農水省農業生物資源研究所の桂と申します。このようなレベルの高いシンポジウムで発言の機会を頂いて、大変ありがとうございます。私どもはバイオテクノロジーを農水省で進めるために作られた研究所でございまして、バイオテクノロジーに対するスタンスというものは当初から定められていたわけでありまして、そのような意味で本日のシンポジウム、「農学におけるバイオテクノロジーの新展開」ということとでございますけれども、私なりに理解させていただきまして、バイオテクノロジー時代における農学の展開方向というような、あるいは希望というようなこととお話したいと思います。

私どもがやっております、研究所の仕事、内容というものを紹介させていただきます。バイオテクノロジーと申しまして、現在遺伝子組換えが中心になっております。この重要性につきましては、山田先生がおっしゃったこととまったく同感であります。さらに、付け加える所があるとしますと、日本農業が壊滅的な状態にある中で、どのような貢献ができるかということのをわれわれ農水省は考えなければならないというふうに考えております。現在私たちは何ができるのか、どこに問題があるのか、今後どうしていくのか、このことだけお話ししたいと思います。

バイオテクノロジーと申しまして、すべてができるわけではございません。何ができるのか、何をねらいでいくのかということです。先程から問題になっております、安全性ということについてどのように立ち向かっていかなければならないか、それを世の中にどのような形で認知していただくのかというようなことを私ども考えているわけです。私どもいろいろと考えておりますけど、先程来お話になっているような、長期的な問題等々でございますけれども、その点におきましては、私どもは、収量に関わる光合成ですとか、あるいは草型を変える、開花習性を変えて出穂期を変えてしまうということが、長期的に可能だと考えておりますし、さらには、サステナビリティに関わるような種々の形質でございます。また、農薬の使用量というようなものをできるだけ下げていく、低投入型というような、環境保全型農業を可能とするような形質導入ということも非常に重要なターゲットであると思います。それから、産業化という視点で見ますと、例えば、商品性向上というものも非常に重要でございますし、また、日本における種々の農業を先導するという点を考えていきますと、栽培特性に関わる形質というものも非常に重要であります。現在世の中に出回っておりますのはすぐに改良が可能な形質ということで選ばれてまいりました特定の除草剤に対する耐性であるとか、特定の害虫を殺すということからスタートしたわけでありまして、今後は順次上のようなターゲットに変わっていくだろうと考えております。

このような技術がございまして、技術として用いるには非常に問題があります。まず、この中に含まれる多くの特許というものの存在がございまして、これは現在海外の企

業がこれをもっていますので、わが国にとっては非常によくはない環境でございます。これらを突破していかななくてはならないわけでありまして、海外との格差が10年あると、現在も思っております。また改良すべき遺伝子情報が圧倒的に不足しているということでもあります。これは、動物科学でもあれだけ進んでまいりましたがまだまだ遺伝情報は分かっておりません。植物においてはもっと分かっていないと思っていただいて結構です。どの遺伝子をどういじったらどうなるのかということが分かっていない、ということが今後の最大の問題となっていくでしょう。

それからわが国の特殊な事情としては実用品種の開発スタイルが不明確、不明瞭であるということが非常に大きな問題となります。これはどういうことかと申しますと、わが国ではつい最近では国が主要産物に対する技術を開発しそれを農家に普及するという責務をもっていました。また、地方公共団体もそういう役をもっていました。バイオテクノロジーの時代になりまして一番変わったのが、そこに企業というものの参画を得ることによってより効率的にしようという視点が入ってきたことでもあります。そのときにわれわれは、我が日本で、じゃあどうするのという時に、国は実用品種をなかなか作らない、企業ではあんまりお金にならないからその分野の技術開発が進まないという状況におかれている、これをどう突破するかということが重要であります。

それからバイオテクノロジーあるいは遺伝子組換えの安全性の問題にいたしましては、これは山田先生もいろいろおっしゃっておられましたけれども、私どもは安全である、ただし確認はしなければならないという立場であります。それで、現在文部省、科学技術庁と農水省がもっております指針から申しますと、環境安全性というものは、自然の中で勝手に増殖しないという点を確認する。これは雑草化を防ぐということですね。それから環境中に有害物質を生産しない。これはガス、水を通じての毒物質の生産を絶対にしないということを確認する。あるいは排除するということです。それから遺伝子拡散の排除、これは非常に難しいところでございます。拡散していい遺伝子、悪い遺伝子があるはずですが、いまして、これについては明確ではありませんが、ないに越したことはないというのが事実だと思っておりますので、これはやはり排除した方がいいと思います。食品安全性についても同じようにやります。食品中に毒物があってはなりません。毒の一つ、アレルギーというものもないほうがよい。遺伝子が移行するような、常識的には考えられないけれど、万が一ということがあるだろうと、その可能性を排除するべきだという視点で私どもは研究しております。

このように非常にいろいろな問題がございますから、このような諸問題を解決するためにわれわれ研究所は何をしているかと申しますと、まず第一は基本的諸問題に対応する独創的技術を開発しなければならないと考えています。実際はいろいろな遺伝子導入方法がございますけれども、大部分は特許でおさえられています。それに対して、わが国独自の遺伝子導入方法を開発しないとこれは非常に将来厳しいだろうと思います。プロモーター

とかその他においても同じです。それから消費者が安心される先程申しました安全性の種々の問題点というものも解決できるような安心技術へ改良していく努力もしなければならぬだろうと考えています。例えば今考えられているのが、抗生物質抵抗性遺伝子等の選抜マーカーを商品段階で除去できるようにしたいというような技術、あるいは、食べる部位、可食部ではない器官特異的な発現をするようなプロモーターというのを使っていけばいいだろうというような安心技術へ改良していくというステップがあります。私たちのこれからの一番の課題は、企業との共同開発という道を探っていく、私どもの研究に商品性あるいは将来性というものの評価を導入していかないとこれは技術になかなか繋がらないだろうという問題があります。最大の問題はいろいろとバイオテクノロジーの可能性があるとはいえども、形質改変のメニューを拡大しない限り先はないということでございます。そういうことで、何をやっているかということについていくつかの活動をご報告いたします。

たとえば、光合成を改良するということが可能になれば誰でもいいと思っていただけるんですけども、私どもはイネにトウモロコシの光合成系、いわゆるC4光合成とわれわれはよんでおりますけれども、C4光合成系の遺伝子をほうり込みまして葉緑体中、及び細胞質にきれいに調和的に配置する。それによってC3のイネ植物におきましてC4的光合成を行なわせることは技術的に可能であるという応用問題に取り組んでおります。現在それぞれの必要な遺伝子を組み込み、それぞれのオルガネラ、あるいは細胞質で発現させ、これを組み合わせ、なんとかC4もどきのイネができないかということをやっております。

また、耐病性に関しましては、たとえば、キュウリの灰色かび病という病気がございます。これは世の中に存在するキュウリの仲間の野生種を含みまして、抵抗性品種が無いわけでございます。これに対して、イネのキチナーゼという酵素、これを導入してやると、病気に対する抵抗性が出てくるというようなことを示すデータがございます。つまり、植物の範囲を超えた遺伝子導入によりまして、全く新しい手法といえますが、性質に与える抵抗性の変更というものが可能になってまいります。最近になって私どもがやっているのは例えば、イネにありますブラシノライドという植物ホルモンがありますが、このブラシノライドの受容体の遺伝子が取れました。これをつぶしてみました。すなわちアンチセンスという方法で働かなくしてみました。働かなくしますとイネが非常に小さくなります。これはつぶしかたの程度に応じていくらでも選べます。また、葉っぱの角度もかわります。つまり、われわれはこの遺伝子をコントロールすることによっていわゆる草型が自由にいじれるのではないかとということで、その方向でも実用化の仕組みを開始したところであります。

これはもっと違う視点からでございます。例えばイネのなかにはタンパク粒というものがございます。だいたいはお米のタンパクはいやがられているんですけど、栄養状態にお

いては重要な部分でございます。その顆粒のなかにタンパクが溜まるという性質を利用すれば、いろんなことができるというわけでございます。一つの方法は例えば、生理活性ペプチドあるいは大豆のタンパク質をいれてやって、鉄分を上げるとか、あるいは同じく大豆をいれてやるとコレステロールを下げる作用があるというようなものがございしますが、そういうものをこの遺伝子組換えによりまして遺伝子を導入しますけれども、組織的特異発現を導入することによって非常に高濃度で胚のなかに蓄積できるというようなことが可能です。もっと進みますとイネ自身の貯蔵タンパク質を作らなくしてしまって、かわりに、新しいタンパク質をつくるということも可能です。これは植物工場的な発想でございます。このようなしくみを作ることによって、薬品ができたりあるいは需要の高いいろんな薬を作ることも可能で、機能性のコメということも考えられますし、一つの植物工場のモデルも考えられますが、このような方向の遺伝子組換えというものを先程申しました商品性の改良という視点から現在研究を進めているわけでありませう。

このように少しずつ進歩していると思っておりますが、これでいつ、どうなるのかというもう少し具体的な話をしなければなりません。

話は全く変わりますが、次に私たちのやっているイネゲノムの話をしていただきます。これは、バイオテクノロジーで必要な種々の改良メニューというものを作するために植物の遺伝子がどのような機能を持っているかを徹底的に調べようという研究で、私どもとSTAFFという民間の研究所と一緒に現在進めておりまして、また全国の諸大学の全面的協力も頂いております。その中で遺伝子の機能の解明を進めておりますけど、例えば、出穂期であるとか、種子の休眠性、節間伸長、穂及び穎花の形態でありますとか、食味、耐冷性、リン酸吸収というような従来から申します量的形質に関して遺伝解析をしようということです。これはゲノム研究が可能にしたわけです。例えば、出穂期の遺伝子に関しては、非常に大きな遺伝子群がございしますけれども、わたくしどもが日本晴という品種とカサラーズという品種を掛け合わせました集団から得た集団でQTL解析をやり、現在13個のQTLが同定されてきております。赤と青は由来の親をさしておりますけれども、13個くらい、これを順次遺伝子を単離してっております。1と6は単離が終わっております。1ともうしますのは、例えば、アラビドプシスによるC_o遺伝子に相同いたします。アラビドプシスにおきましても花芽形成に関係いたします。HD6というのはカゼインカイネースという遺伝子グループでありまして、これは時計ですね、生物時計にからむ遺伝子で動物と共通でございますけれども、こういうのもQTLで出てくるということで、このような形でいままでもわからなかった農学的諸形質が明らかとなり、これが遺伝子座で明らかになれば、遺伝子としてとれるということでもあります。例えば、いもち病抵抗性の遺伝子にPiBという一つのレース特異的な抵抗性遺伝子ですけれども、これも、さっきの2つの遺伝子がとれて、一つは働いていない、一つは働いている、というようなことで現実にとられてきております。このような抵抗性遺伝子も順次とられてきております。このようなこと

で現在農学上の諸問題というものが、まったく今までのステージから変わってきております。それで先程言った21世紀の諸問題ということで、私どもの農学研究が今後どうあるべきなのかということにご興味頂ければありがたいと思います。以上でございます。

(中井)

ただいま3人の先生方から、所信の意見表明をしていただきました。林先生は大学の教育研究に携わっておられる立場から、また、動物を扱っておられるという立場から提言をしていただきました。興味深かった点はいろいろありますけれども、例えば「工業が農業化する」といったこと、これは今年のシンポジウムでも出たかと思えます。農学の範囲といますか農学と他分野とのつながりをどうしていくかという問題に関わっているかと思えます。バイオテクノロジーは男性的な技術だというお話も、大変面白いと思いました。これについてはあとで議論させていただきたいと思えます。

「全てがいいわけではない、全てが悪いわけではない」というお話も大変面白かったと思えます。山田先生もやはりそのようなことをおっしゃったかと思えます。それから、科学者の責務といますか、今のいろいろ問題が起きているその一つの要因として科学者が自分の研究成果をいかに分かりやすく、一般の市民に伝えることができるか、そういう科学者の伝達能力というか手法の問題もある、ということも感じさせられました。

農学部長会議もがんばっておられるというお話、クローンの問題、バイオテクノロジーということを考える場合に36億年の生物の進化を明確に視野に入れなければならないというお話し等々、大変貴重なご指摘を多く頂いたかと思えます。これらについても後で議論させていただきたいと思えます。

岡野先生には学会を母体とする学術会議の代表ということで、また、森林に関わる立場でご提言をいただきましたけれども、主にエネルギーの問題について語られたかと思えます。特に化石エネルギーの利用からこれからはバイオマスを利用することが重要になっていくであろうと。その時に、あとで会場の皆様にもお聞きすることになるかもしれませんが、バイオマスの利用効率を高めるためにはどうしたらいいのか、あるいはそれに対してバイオテクノロジーはどのように使えるのか。実は私は先ほどご紹介させていただきました通り、育種学に関わる者ですが、育種学会でも森林、木の育種という話はあんまり出てこないんですね。だから、この点についても後でコメントさせていただきたいと思えます。それから先生は学問のあり方についても問うておられました。これからの学問をどうしたらいいのか、これは山田先生もご提案されておられましたけれども、いろいろ深刻な課題をわれわれ背負っているわけですが、そういう課題について私たちがどのようにアプローチ、解決していくかという問題解決型のアプローチの方法を探っていくこともこれから重要ではないかと思えます。

桂先生は主に作物研究に関わりながら、国の研究行政をお仕事にしておられる立場で、

バイオテクノロジー特に遺伝子組換え作物のお話を中心にしてご提言をいただきました。何ができるのか、何ができないのか、バイオテクノロジーはオールマイティでは必ずしもないんだということを前提にしながら、技術上のもろもろの問題点や課題について整理をしていただきました。皆様にもこれからいろいろお聞きするわけですが、企業の参画のありように関わる問題もあるのか、と私は思っております。

いろいろ高タンパク質のコメをつくるとか、あるいはイネゲノムのお仕事、QTL解析、これらについても後で、具体的にいろいろお聞きしたいと思いますけれども、そういうようなお話をしていただきました。

さて、これからパネル討論が始まるわけですが、実は山田先生が非常にきれいにまとめて下さいます、そういう意味ではコーディネーターの役割は大変軽くなったかと思っております。したがって、議論は少々拡散してもいいかなと思うわけですが、まず、最初30分くらいパネリストの先生方の間でやり取りをして頂きまして、それから会場の皆様から30分くらいご意見をいただくというような形で進めさせていただきたいと思っております。

山田先生の基調講演とパネリストの先生方の主張はだいたい合っていたかと思っておりますけれども、それでも、疑問といえますか、課題はいろいろ浮き彫りにされたように思います。まず、農学におけるバイオテクノロジーがなんとなく見えにくいという問題があります。その要因としては先ほど触れましたように科学者自身の問題もいろいろあると思うんですが、一方、組換え作物に対する社会の諸々の反応もあります。ドリーの話が先ほど出てきましたけれども、人間の生殖医療に関するテクノロジーについて、多分農学分野において開発された動物関係の技術がかなり貢献しているのではないかと思います。そういう意味では必ずしも、農学、医学を区別して考えることもできないけれども、なんとなく医学の方ばかり注目されるというようなことがあるかと思っております。このあたりが何故なのかということについて、この研究あるいは教育に関わっておられる先生方から少しコメントしていただきたいと思っております。

(林)

農学で素晴らしいテクノロジーが開発されて世間の評価を得るにしても、医学の分野で同じようなことがあった場合、医学の方が注目度が高いんじゃないかということに関しては、残念ながら確かにそれはあると思っております。一般の人々に、分かりやすい話をする時、どうしても、結局あなたは死にたいんですか、生きたいんですかというような話が直接的でわかりやすく、医学の方が注目されるということは確かにあると思っております。もちろん食糧の問題に関しては長期的戦略として非常に重要な問題なんですが、昨夜遅くNHKテレビで臓器移植のことをやっておりました。その臓器の供与について、ヨーロッパでは登録制がしかれているようですが、もちろんそれを拒否することができる。医学における臓器

移植研究は当然ながら起きる拒絶反応というものを克服してきたんですけれども、こういう新しいテクノロジーは直接われわれの生存に関わってきているという点で、より多く関心と呼び、注目されやすいのだと思います。そこはもうしょうがないと思うんですが、農学の方でぜひとも解決しなくてはいけない問題の一つは、先ほど科学評論家の重要性を申してきましたけれど、あやふやな情報ではなく、正確な情報を社会に差し上げるようにするということです。

僕はこの機会に桂先生にお聞きしたいんですが、ほんとに安全性だけで消費者は動くと思います？僕はそうじゃないと思うんですよ。安全性の問題について分かりやすくお話していただいたので、私どもは整理できていますんですけども。これは人体に対する安全性と環境に対する安全性の両方があるということですが、この2つとも克服しましてもやはりいやなものはいやなんですよ。そのいやなものはいやだっていうのは論理ではなくて感情だとすれば、どうしてそのような感情が生じてくるのか。科学者はいつまで生命をいじくって遊んでいるのだと、どこまで変えれば気が済むんだと。そのようなことを20世紀いっぱいやって多くの問題を残したじゃないかといったようなこともあるのではないですか。バイオテクノロジーは男性的な技術と申しましたけれども、20世紀への反省というのは男性的な部分なんです。これをまだ21世紀も続けるのかという危惧、そしていつか大きなしっぺ返しをくうという漠然とした不安。これは単に食べても問題ありませんよとか、環境にも遺伝子撒き散らされることはありませんよ、とかいうことでは説明つかないだろうと思います。僕は、79年からIWCという国際保鯨委員会に政府の代表の一人として参加しており、今年も3週間後にいくことになっているんですけど、反捕鯨の人たちはどんなに鯨がおいしいもんだといっても食べないんですから。これは、食品としておいしいとか安全とかいう論議を越えていますね。それは文化の違いでもあるわけです。また、バイオテクノロジーの問題は、20世紀の科学に対する不安、不信から生じているところにあるという気がします。

(中井)

ありがとうございました。桂先生に質問があったようですので、桂先生お願いします。

(桂)

大変重要な問題だと思います。男性型技術、女性型技術、これはあんまり好きな言葉ではありませんね。記録に残しますと難しい問題なので、ここでは使わないようにしますけれども。完全だといえば、消費者が納得してくれるのかといえばそうでもないということがあるのはわたくしも同感であります。そこでどこが一番違うかといいますと、例えばその前に出てきた問題が農薬排除なんですね。徹底的に薬はなくても作物はできるんだとか、肥料をやらなくても土さえ改良すれば作物ができるんだとか、純粹に有機農業のみを指向

して、これだけでいけるいけるというような幻想に多くの人々がとらわれたわけですね。その部分と今回の遺伝子組換えはいやだというグループが、非常にだぶっているというところにひとつの特徴があると見ています。それで、そこは何かといえば、誰かが私に代わって完全に安全なものを作ってくれば私は食べますよ、それ以外は嫌だということです。それで海外の人が飢えて死のうが、そんなことは政府が責任を持てばいいことで、私には問題ではございませんという論理になっているんじゃないかという危惧をもっております。それを、先生流にいやなものはいやとって許すのと、それはあなた方消費者のわがままですよと言い切れるかどうかというところが瀬戸際だと私はこの席では言えると思います。それで、科学者は、技術者は何をすべきかということですが、私としては、先程の山田先生の講演にありましたように、国際的にまだまだ飢餓状態の国があるという状況のなかで日本人だけが食べ尽くしていいの、という話とともに、21世紀に向けてわれわれが子孫に残してやるべき技術とは何かという、そのなかの一つの選択肢としてバイオテクノロジーを入れておかない限り心配があるだろうというこの理屈を分かっていたのが一番。2番目に、そうはいつてもやはり、好き嫌いはあるでしょう。好いていただくものを出すのが2番目。現にいろんなことをおっしゃるけれども、某社の青いカーネーション、これを危険である、やばいと言う人はいないんですね。非常に高い値段で売られています。ですから、本当に消費者が希望しているものを出してこなかった責任もわれわれにあるというのが現在の状況ではないかというのが、私の意見でございます。

(中井)

どうもありがとうございました。わたしもうちょっと男性、女性にこだわってみたいと思いますが、実は今年の、「21世紀の農学のビジョン」の中で3つか4つポイントがあったと思うんですけども、その一つに「フィールドワーク」というものがありました。エコロジカルな視点でのフィールドサイエンスの再構築が重要であろうということでした。それは、いわゆる持続可能型農業というような課題に繋がってきます。そちらの方はむしろソフトというか女性的な感じがするんですね。わたしは自然生態系をしっかりとらみながら、そういう持続的な農業体系を作っていくというのが重要だと思うんですけども、ここで問い掛けたいのは、いわゆるバイオテクノロジーの技術が持続可能型農業あるいはエコロジカルな視点でのフィールドサイエンスにどのような形で組み込まれていくのか、あるいは組み込まれないのか、もう両極端でこれはこれ、あれはあれでやっていってそれら両者が究極的には結びついていくのか、そこらあたりについてちょっとコメントしていただけますか。

(林)

桂先生、先程の続きということでお話いたしますが、バイオテクノロジーを化け物みたいな邪悪な技術とするような一部の意図的な人については大反対ですよ。ただもう一つ、僕らの方にも問題があるのは、バイオテクノロジーが具体的に進展している中で、例えば食糧問題でこれがあればなんとかなるといふ、幻想を振りまくということもまた根拠がないと思います。これは役に立つものだとは思ってますけれども、これがほんとにどこまで役に立つのかということについてはなお問題がある。例えば収量性の問題について、具体的な例を見せていただきたいと思います。動物でも昔スーパーマウスとか、スーパーキャトルなんていうのがありますが、その後、どうにもこうにもなっておりません。つまり特に収量性というのはいくら多くの遺伝子からかっている。収量性というのは一つの最後のアウトプットといいますが、だからこれは簡単に例えば、C4光合成酵素を高発現するC3というのなかなか面白いんですけども、僕はこの辺でブレイクスルーするってことはあんまりないんじゃないかと思っています。例えば、収量性の高いものといってもハイインプット、ハイリターン第一番目の緑の革命をそんなに超えるものにはほんとになるのかどうか疑わしいと思ってるんです。だから収量性については僕はあんまり期待してないんです。だけど、生産の安定性というところには期待してるんですよ。これからは気候変動がますますひどくなってくる。その中で生産の安定性でいいますと、耐乾性、耐暑性、耐塩性、耐病性等が関わってくる。これらは、割と少ない遺伝子で決まっているものが多いんですね。動物の場合では、例えば、アフリカのトリパノゾーマというのは一つの遺伝子では決まっていなくて、動物の耐病性については難しいところがありますが、ある一つの形質や遺伝子で生産性安定性が決まるようなものでしたらかなり可能性は大きいと思います。それからある一つの形質で生産性安定できるものでしたらこれはいけると思うんですよ。耐乾性、耐病性、この生産の安定性については非常に期待しておりますけれども、収量性の向上についてはぜひその見通しをお聞かせください。僕は、学部長をしていますが、学部長に限らず、大学の先生というのは学生に夢を売って生きている人種ですから学生の夢を壊すようなことをいっても何の得にはならない。このバイオテクノロジーの分野でむしろどんどん夢を売りたいんですよ。しかし、今質問させて頂いた問題に関しては確固とした証拠がないもんですから、山田先生がおっしゃったようには楽天的なことは今はいえません。

(中井)

いかがですか、今動物植物の間で少し議論になっておりますけれども、岡野先生にはそのうちにお話していただきます。

(桂)

収量性の向上に限定しまして、この問題については正直いってわれわれもまだつかみきっておりません。とにかく今、素材を集めるのが唯一必要なことと考えています。例えば、C3をC4にしたら光合成が上がるという保証もないわけです。ただC3をC4にしたらどうなるのかという検討はやっておかななくてはならないということですね。例えば、今PEP-Cという、カーボン濃縮系と考えたらいいんですけど、炭酸ガスを取り込む酵素があるんですけども、それを入れてやるということだけで、いろんなことが起こってきます。例えばリン酸吸収能がぐっと上がるとか、畑状態の畑苗で非常に成長が良くなるとか、そういうことが起こってくるわけです。これはC4光合成とは何の関係もないといえれば関係ないんです。ただそのPEP-Cという酵素ひとつでも、大変大きな変化が出てきますので、それがシステムティックに動いた場合に、何かは起こるだろうという現状です。それから長期的な増収、例えば、イネの場合に、以前の第2次グリーンレボリューションに続いて、現在第3次をねらってるんですね。それで第3次レボリューションのターゲットは何かというと、例えば、穂はもっと大きくして、短稈にするとか、それから強稈といいますか、太い茎にしていくといった育種ターゲットがあるわけです。穂長と稈長に関わる遺伝子の連鎖を切ってやることによってそれぞれ独立して遺伝子導入ができる。従来型の育種、交配でいけるものは交配でいけばよしい。どうしても交配でいけないものは遺伝子組換えで遺伝子を入れればいいいわけです。そういうことで、次のターゲットはわれわれが提案できるだろうと思っています。今、その素材を集めています。これからはまさに夢の品種を作る戦略をわれわれ自身がやっていかななくてはならない。そのためには、我が国のバイオテクノロジーとフィールドサイエンス両者の結合が必要であり、その両者からのアプローチがないとその実現は困難だと思います。今はそのパーツを集めるのが精一杯の段階で、それをやってどうなるのか分からんから、自分は協力できないとおっしゃられたら困るのでぜひ助けてください。

(岡野)

森林バイオマスをもしエネルギーに使うとすると、問題は数多くあります。まず単位重量あたりの木材の発熱量は石油の約半分しかありません。しかも日本で現在消費されているエネルギーは、石油換算で約2億7000万立方メートル、木材の消費は1億立方メートルですから発熱量では20%にもなりません。森林の蓄積全部を使っても数年しかもちません。森林のバイオマス生産量を現在の5倍にするか、エネルギー消費を1/5にしなければ、すべてを賄うことはできません。生産量上げるのはバイオテクノロジーの課題です。

(中井)

どうもありがとうございました。ちょっと整理させていただきたいと思います。バイオ

テクノロジーに対する不信感、不安感というのはやっぱり一般市民の側からしますと、ぬぐいきれないところがあるわけですね。その一つはいわゆる人間の生命倫理の問題に関わる人間の命の部分人間がいじくるといふこと、これは動物を扱う場合も関係してくるわけだけれども、そのところといわゆる組換え作物がどうもごっちゃになってしまっている。そこはひとつ整理しておかなければいけないと思います。

そこで組換え作物に戻りたいと思いますけども、先ほど桂先生にコメントしていただきましたけれども、必ずしもバイオテクノロジーはオールマイティではない。それならバイオテクノロジーはどこまで何がやれるのかということと、一方それは画期的な夢の技術であるということがあるわけです。古典的な技術とバイオテクノロジーをどういう形で併用できるのかというようなこともあります。結局はバイオテク、バイオテクといってもいわゆる技術の一つであろうというところに落ち着くというような考え方もなりたつわけです。しかし、従来の技術と大きく異なるところは、やはり「種を超える」というところにあるわけです。この点について先程林先生は生物の進化の問題を視野に入れた技術の開発をやらなさいといふことになされたわけですが、種を超えるということについては、これはある意味では危険だし、場合によっては危険じゃないかもしれない。

(林)

バイオテクノロジーの定義は、岡野先生が非常によくまとめておられたと思いますが、僕は岡野先生の定義にプラスして先生の方からお話ありましたように、30億年を超える進化の過程で生物が獲得したものを、やはり利用するんだという、本来は進化の過程で自然には起きない状態ですけれども、人為的な形でそれを利用するんだという積極性をもっと強調したほうがいいのではないかと思います。だから、あんまり変なことをしているわけではないと。非常に短時間に何億年もかけてやるようなことをやりますので、これは本来なら進化の適応の過程で当然淘汰されるようなことが起こっていない訳ですから、われわれの人為でやる場合にはもちろん慎重のうえにも慎重であるべきであろうとは思いますが、けれども。

(中井)

はい、どうもありがとうございました。桂先生お願いします。

(桂)

この問題は非常に難しいんですけども、バイオテクノロジーに何ができるのかということですね。所詮は一個か二個の遺伝子を働かせるだけで、従来のものとたいした違いはないんだと。それが証拠に例えばUPOVの条約の中でも、ほんのちょっと変わっただけということで新品種に対して権利を与えなさいとなっていることは、それほど大きく変わっ

ていないということを前提にしているわけです。逆にいえば、遺伝子1個変えるだけで、相当のメリットが出てくるような変化、自然界においてはほとんど意味を持たないけれど、人間には大いに役に立つ、そういう操作ができるのではないかということがこのテクノロジーのいいところだと思います。そこでそのようなことが進化の中で起こるかという問題がでてきているわけです。極端な話で言えば、人間の遺伝子を一つ入れると、それによってその植物は非常に大きな耐病性が出てきたといった場合にはですね、これは人間の遺伝子が入っているから全くだめだという論理と、もともと人間が自分の遺伝子を食べてるんですから、問題はないし、イネが人になるわけはなくて、4万個の遺伝子の中に1個入っただけでしょと。しかもその類似の遺伝子はもともとイネの中にある。動物と人との間の遺伝子にそんな月とすっぽんの違いはない。ほとんどはその構造遺伝子としては似てる。80%とか70%のホモロジーがある。そうだとすると、人とイネはほんとにそっくりだということになってくると、そこで人なのか、虫なのか、微生物なのか、植物なのか、あるいはイネならイネでなくちゃならないということは、それほど大きい問題となるのかというのが多分論議すべき前提だと思うんですよ。この少ししか改良できない変化でも、それでなおかつ農学的に大きいことができるとしたら僕は種の壁を越えてでもやるべきだし、そこは36億年の進化の歴史とは無関係に人間の必要性からそれが求められるのであれば、その技術はやはり伸ばしていくべきであり、また安全性については十分確認すればすむことだというふうに思ってるんです。

(岡野)

林先生は動物の専門家だし、桂先生は植物の専門家ですが、お二人の対象はともに口に入るもの、すなわち食物ですから、非常に切実な気持ちになられるのはよく理解できます。そこで材料、要するに口に入らない生物生産物もいろいろあって、私たちの生活を支えています。衣と住に関わるものです。そういうものにまず、徹底的にバイオテクノロジーを応用するのがよいと思います。もし新しい樹種の材がアレルギーを引き起こしたとなれば、(そんなことはない筈ですがあったとして) アレルゲンを追えばいいわけです。その意味で、30億年といわれるわけですが、例えばアカマツとクロマツには純粋なものが少なく、アイグロマツだといわれていて、それを用いて梁にしても、これはアイグロだからということはありません。要するに、材料でブレイクスルーをはかったらいかがでしょうか。

(中井)

ありがとうございました。材料という視点ができましたけれども。今議論になっている点についてコメントさせていただきます。いわゆる種を超えるということについて、あらゆる生き物、先ほど桂先生が言われたように、相同遺伝子群を何%か何十%かもっているという話ですけれども、このバイオテクノロジーの中で、その人間あるいは自然に与え

る影響に技術的な影響とそれからもう一つは、人間の生き方といいますか、価値観にあたる影響というものがあると思います。技術という視点からみると、どうも力づくという感じが強いんですけど、もう一方でみるとこの研究があるがゆえに、全ての生物が同じベース、遺伝子、DNAをもっているという意味では先ほど申し上げた全ての命はつながっているというエコロジカルな、あるいは女性的な感覚に基礎を与えることになるんですね。したがってもう少し気短でなくて長く研究していくことによってやっぱり同じところに行き着くかなという感じもいたします。そこで桂先生に質問させていただきたいんですけど、最近のこれは朝日新聞で、4月の終わり頃だったと思いますが、大手5あるいは6社がGM食品いわゆる組換え食品の開発を見合わせるというような報道がされておりました。そういう状況の中で、先ほどからバイオテクノロジーの戦略、計画についてお聞きしているんですけど、農水省はこれからどういう品種というか作物、あるいは計画でやられるかということをちょっと具体的に説明していただけませんか。

(桂)

大変厳しい逆風の中で民間各社が、表向いて凍結あるいは撤退というような流れを見せられるわけですが、決して全面的に撤退しようというのではなくて、現段階では力を入れないということです。長期的には非常に重要であり、マーケットサイズに期待できるんで、基礎的体力はつけておきたいというのが多分本音ではないかと考えております。そのような方々あるいは企業を育成していかなければほんとに、国際競争に負けてしまう、アメリカやヨーロッパの支配下におかれてしまうだろうと。その方が非常に危険なので、私どもとしてはできるだけ早く、モデルあるいは商品化可能なものを出していかななくてはならないだろうということを考えているわけですね。その中で先ほど申し上げましたような中期展望の中で、中期目標のなかに出てくるようないくつかの素材について実用化を急ぎたいと思っています。モデルを作って、民間各社が最終的にはそれを使っていわゆる品種開発、品種の育成ができるような流れを作りたいと考えております。

(中井)

どうもありがとうございました。やはり希望をもって技術開発をしていかななくてはならないというのがここでの一つの結論だと思うんですけども、もう一つやはり人間の自己規制を、そういうことも同時にやっていかななくてはならないし、そういうシステムを作っていかななくてはならない。その場合も非常に具体的にいいますと、法規制ということになると思うんですね。先ほど林先生はクローンの基礎的研究については大いに進めていくべきであるけれど、応用についてはやはりちょっと考えなければならぬというようなことをおっしゃってましたけれど、この実際の規制、クローンを規制する法案が今出されようとして、まだ今度の国会あたりではどうも危ういといわれているわけですけども、それ

について具体的に私たち、大学とか農水省とか学術会議とかあるいはアカデミーがどう対応していったらいいかということも含めて何かコメントをお願いします。林先生。

(林)

これはものすごく難しい問題ですね、おそらく予想としてはこんなことになってもらいたくないんですが、そんなに遠くない将来に人のクローンというのはできる気がするんですね。どこかで作るような気がするんです。どこかのけしからん国で。まず直感的に人のクローンはやっぱりまずいんじゃないか思います。やっぱり人間というのは限りなく個性を大切にしようという生物的な存在でもあるし社会的な存在でもあるわけです。この個性を否定するといいますか世界にかけがえのない一人しかいないから人間なんだという、そういう前提を犯してしまうようなことに対しては、これはもう世界の指導者も反対してまずけれども。遺伝子組換え食品の場合に、企業が関わるということ、こういう倫理的な問題をどうして収益性を第一とする企業体にやらせるのか、それがどこか根本的に間違っていると思います。将来の食糧問題を考えたらここで研究を打ち切ってはいけないという時に、途中で企業はそれを打ち切れるんです。だけど国だったら決して打ち切ることはしない。特に組換えみたいな難しいものの研究を、まず少なくともこういう高い倫理性が求められるこの研究は、動物の場合ですけど、国が率先して取り組むくらいでないといけないのではないかと思います。日本のこの分野のバイオテクノロジーが、ベンチャー企業と、ベンチャーに限らず企業的な形で進行するということが全般について極めて不満だということです。

(中井)

どうもありがとうございました。桂先生何か。

(桂)

二つございます。一つはそのクローン化問題ですけども人のクローン問題を法で縛ろうというのはあくまで人のクローン化の問題ですのでそのクローン化一般論の問題ではないということをもっと明確にさせていただきたいと思います。人の問題は私も大賛成で、これは完全に法規制、もし破った場合は犯罪行為として摘発すべきだと考えております。じゃあ動物はどうかと、これにつきましては私は必要に応じてやればいいし、また、それを産業化することに何の問題もないと考えております。和牛の高いものを増やすのがいいのかということは別にしまして、ニーズがあるならば、それは一つの開発技術としてありうると思います。その中で問題が出てくるのであればそれは解決すればよろしいと言うような立場で、例えば畜産産業上ですね、差し迫った問題ではないんでむしろ私たちとすれば、それは一つの技術的な可能性として大いにやるべきということで農水省の研究は進ん

でありますし、またそれを支える団体も全国にあるというのが一つの回答です。もう一つ、こういう倫理が絡む問題についての民間企業の参画については問題があるというご発言でしたけれども、倫理というのは何であるのかと、例えば、人を殺してはならないというのは倫理ですね。むやみに同じコピーを作ってはいけないというのが倫理だということも分かるんです。ところがじゃあ自然の法則に反する生命の遺伝子の操作っていうのは倫理に違反しているとなれば、農業関係の品種、昔から選抜をかけてきているというようなもの、あるいは交配をしていく、あるいは種間交雑というのは昔からある技術ですから、そういうことが倫理に違反しているかといいますと、私は違うと思っていますのです。そういう意味で、バイオテクノロジーを企業がクローン化を含めて新しいいわゆる商売の方向としておやりになって、官のもっている効率の悪さというものに対して、ターゲットをより明確にして、より国民に直結されるという短縮ルートがあるのなら、その道はその道として確保するべきだろうと思います。ただし食糧のような長期的な安保戦略というか、安全保障についてはやはり基礎研究は国が担当して、国としてのあるステータスは確保しておかなければならないと思います。国レベルでの科学技術の安全保障の問題であって先ほどからおっしゃっている倫理問題に絡むから企業が入るのは危険ではないかという視点には僕は賛成はできないというふうに思います。

(林)

私もそれは賛成なんですけれども。バイオテクノロジーがほんとに安全保障的な所で使われるということであれば何も反対するようなことはない。だけど多くの場合、今の差し迫った問題になっているのは収益性の問題なんです。そこのところに多く投資されなかつ国としてそれを保証し、支えるようなことを政策としてやっているわけなんですけれども、その時に、安全保障といいますか、医療問題であるとか、そっちの問題とバイオテクノロジーが必要なんだということをごちゃ混ぜにしないで下さいということなんです。これはこれで自由に企業活動すべき事を企業してやってるのならそれでいいんですけれども、どう考えたって臓器移植のためのしかも、人の遺伝子を組み込んでというあたりになると、非常にグレーゾーンがあるわけです。人の遺伝子を組み込むような家畜は家畜としてみなすのか(家畜とみなしますけども)、その時にそれがどの程度許されるのかという、グレーゾーンが今後どんどんどんどん大きくなってきます。そこはやっぱりそういう意味で倫理に強く関わる問題じゃないかと思うんですね。

(中井)

ありがとうございました。それではもうそろそろ会場みなさんにご意見をいただきたいと思います。林先生のご指摘や桂先生が指摘されたことはそれぞれ良く分かりましたが、もう一つ特許の問題があると思うんですね。今バイオテクノロジーの成果が特許によって

が感じがらめにされているという状況が少なくともあるし、そういうふう一般市民は感じていると思います。ほとんどはアメリカ人に占拠されているようなものですが、そうするとバイオテクノロジーが人類の普遍的な課題に対してなかなか直接にアプローチしていけない、そういう状況があるという感じがしますので、特許の問題についても十分議論しなければいけないと思うんです。しかし、これも大きい問題ですので、別の機会にゆずって、時間も迫っておりますので、あと2,30分、長く黙っていただいて申し訳ありませんでしたが、会場からご質問あるいはコメントを頂きたいと思います。よろしく願いいたします。

(古在)

千葉大学園芸学部の古在です。わたし、バイオテクノロジーは非専門で、農業環境工学の専門ですが、そういう点から先生方にコメントしていただきたいんですけども、遺伝子組換え植物に対して感情あるいは倫理の問題が大きいということは非常によく理解できますし、それにかからんで、非常に漠然とした意味での安全性という問題があるということも理解できました。ちょっととっぴなんですけど、他の農学以外の例を2つお聞きしたいんですけども、一つはインターネットの技術というのが急速に普及しておりますけれども、あれが始まる時にコンピュータウイルスが大問題になるということは誰も予想しなかったわけですね。それが、ちょっとしたフィリピンの学生のいたずらで、5000億円の被害が出るわけです。あれは間接的には人類の生命を脅かしたはずですし、これからもどんどん脅かしていくでしょう。だからインターネットを中止しろという人はいないんですね。それはあまりにもスピードが速すぎて追いつかないのかあるいは利便性のほうが多いと感じているのか。

一方、核融合という研究分野がありますけれども、あれは戦後すぐ50年前から20年後には核融合が実現して電気や電気代金がただになると50年間言いつづけて、昨年も20年後には必ず実用化すると言って毎年農学全体の研究予算よりもはるかに大きい予算を使いつづけている。農学っていうのはそういう意味で非常に中間的で幅も広い、実用になりそうではない、まあバイオテクノロジーがほんとに実用になりそうだと、農学で、農水省も言い出して1975年くらいだと思います、その頃からC4イネが20世紀中にできると明言していて、まだこれからという状態なんですね。これに関わっては、安全性とかいろいろ広く問題があるんですけど、私の感じでは、農学の人たちはバイオテクノロジーを誇大に言ってきたために、また不安も広がっていると思います。技術そのものと安全性の問題両方がないまぜの状態になっているんじゃないかと思います。そろそろ農学の技術を整理し、分類して、できるものできないもの、すべきもの、すべきじゃないものをきちんと整理すべきじゃないかと思うんです。これは先ほど岡野先生から食べるものと食べないものと、これは議論を正確に分けるべきですし、安全性に関しても全く僕から見ると質の違うもん

なんできちんと分けるべき話じゃないかと思うんですね。よく遺伝子組換えのものがなぜ問題になるかという直接口に入るからといいますけれども、医薬も直接口に入るんですね。ただもうすでに実用化されて、遺伝子組換えの技術をつかっていることを知らない人すらいっぱいいるわけですね。その辺のところの区分と情報提供というものが農学では非常に少ないんじゃないかという気がいたします。

それから、もう一つ、一応桂先生のご意見を信じて15年か20年後に革新的な食用作物、飼料作物に関する遺伝子組換えの環境に害を及ぼさない、問題のあまりないものが出てきたとしますね、ただそれが農業技術になるにはそうとうのギャップがあると思うんですよ。農水省も今からきちんと研究をスタートしておかないと、モデルはできたけれども生産技術が出来ないというようなことになりかねないと思います。つまり、バイオテクノロジーの応用技術を私どもはバイオエンジニアリングというふうに呼んでますけれども、その辺のこともこれから重要になってくるのではないかと思います。それが今はバイオテクノロジーをやっておりながら一方では環境保全とか有機農業とか、全く関連のないものが両方進んでいて、それらを繋ぐとこができいていないという感じがいたします。

(中井)

どうもありがとうございました。ご意見、ご指摘あるいは中にはご質問があったかと思うんですが、どうぞ何かご意見ございますか。

(桂)

簡単に答えさせていただきますので誤解されたら困るんですけど、まず、C3、C4植物を1975年頃から作る作るというたじゃないかと、身内の方からもよく言われます。いわれていますけれど、1975年に遺伝子組換えでC3をC4にするという発想はまだ世界中にございませでした。で、C4の基礎研究をやったら将来的に変わるんじゃないかという話があったわけです。それからその後遺伝子組換えができるようになって皆ひょっとしたらできるんじゃないかと試してみました。そして全員失敗しました。3年前までは遺伝子がうまく発現しなかったのです。プロモーターをどれほど強くしても動かない。それが最近になってやっとトウモロコシ並みのイクスプレッションができる実験系ができてきたという状況なんです。やっぱり科学というのは時間がかかるもんですね。その最初に誇大広告を起こすから不安になるんだというふうに私は理解できます。反省もしなきゃいけないとおもいますが、大きなうそをついていたわけではないと思います。窒素固定遺伝子なんかもそうですね。nifをいれたら根が窒素固定しますよとってきたわけです。一時nifを入れようという動きがあって、結局何十個もあるようなものを入れられないと言う結論で止めたわけです。ただ今は、共生系に関わる遺伝子をいじれば、これはnifを入れるんじゃなくて共生系を新たに換えることによって可能じゃないかということ

でやられています。やっぱり時代ごとに変わってきてるんですね。それは進歩だと思うんで、そこはお許しをいただきたいと思います。それを20年後にいいものができたとしてそれを実用品種にするにはまだまだ時間がかかりそうなので、現場のすりあわせを最初からやっておきなさいというのはおっしゃるとおりで、私どもは最初からやるべきだというふうに考えておりますし、もしくは出た時にはすぐに実用品種になるようにしておきたいと考えております。

(佐藤)

愛媛の佐藤と申します。大学は退官しておりますが、わたしもバイオテクノロジーとは全く無関係な人間でございます。大変興味深いお話を伺ったんですが、山田先生のお話を伺っていて思ったのはバイオテクノロジーという分野の中に、山田先生の生き方と、桂先生の生き方と2つあるんだなぁと思ったんです。われわれがバイオテクノロジーを夢の技術だと思っていたのは、例えばトウモロコシとかそういうものの中に、耐病性、耐暑性とかの、よその種から持ってきた遺伝子をぱっと入れて、林先生流に言えば進化の過程で絶対に獲得しないような遺伝子を入れることによってなにか新しい形質をもった新しいものを作るというところにあります。それに対して、山田先生からはある程度安全であるという話を聞きましたが、それでは、それをどこまで食べても大丈夫なのかとか、豆腐2丁は大丈夫だけど5丁は食べたらだめだとかそういうレベルの説明を科学者はする必要があるのではないかと思います。バイオテクノロジーの展開の中で、そのようなことをしっかり説明しないことには人々は安心しないだろうと思うんですね。しかも不幸なことに、組換え作物(食品)はいずれも輸入されていて、その間、ポストハーベスト農薬とか、他のものをかけられて、それが病気とかアトピーに関係しているかもしれないわけですよ。そこを分けて考えていないから、バイオテクノロジーの食品は危ないんだということになっているのかもしれない。そういったところを明確にさせていただく必要があるんじゃないかと思ったわけです。桂先生のイネゲノムの解析のお話を伺っていて、その中でも眠っている形質といいますか、これはイネならイネが自然の植物の中で、栽培植物になっていく中でひょっとしたら、いもち病になるとか自然の時には病気になった方が良かったかもしれない。そういったほうが生き残ったのかもしれないし、人間が利用するためにはスイッチを入れて起きてもらった方がいい形質もある。こういった本来的にもっている形質をいじることについてはおそらく、誰も心配しないだろうと思います。今、東洋医学的といいますか、そういった意味のバイオテクノロジーもあるのではないかと思ったわけですが、これは人間の世界でも遺伝子治療とかなんとかそういったものがやられているようではありますが、そういったバイオテクノロジーの展開の仕方がもう一つあるんだと。これは時間がかかるかもしれないですけども、これならばほとんど誰も心配しないだろうと思ったわけです。ただ一つだけ桂先生が最後におっしゃった、人間の必要性があればやっていい

んだということについて、実は人間の必要性で突っ走ってきたのが20世紀で、それでいろいろな問題を引き起こしたという点においても人間が必要性を感じても、抑えるべき問題があるんだろうと思います。それが林先生がおっしゃる倫理ではないでしょうか。

(中井)

大変貴重なご意見ありがとうございました。

(林)

今おっしゃったとおりだと私も思ってるんですけど、あんまり倫理倫理というと湿っぽくなりますし、つらいところがあります。日本工学教育協会という社団法人がありまして工学の、JABEEという日本技術者教育認定機構を作る中心となったところですが、そこが出している雑誌の中で北大の工学部長が、巻頭言を何年か前に書いておられました。「工学というのは一言でいうと人類のありとあらゆる欲望を満たすための学問である」と。これは非常に分かりやすいんですね。じゃあ農学はどう定義されるかというのと、あるいはそれと全く逆の定義ができるかもしれない。そうすると、農学は極めて倫理的な学問になってしまうかも知れないのです。ここに農学の悩ましさがある。僕らがおつきあいしている農水省も困っている面もあるでしょうけど、通産省なんかのあのアグレッシブさに農水省は負けてますよね。ありとあらゆるところでバイオテクノロジーなんか向こうの方はお金をいっぱい出しますし、口も出すというあの攻撃性といいますか、さっきの私の言葉でいえば男性型の振る舞いというのは、農業分野の一番弱いところですよ。農学あるいは農業分野のインパクトは確かに弱いですが、そのあたりに対して多くの国民の方が注目されてはいます。だけどそれだけでは学問というのはまだちょっとバランスを崩すんだと思います。どこかにこうあたたかさがあったら、どこかにアグレッシブさがないと、学問全体として若い人をひきつけるとか、社会全体に訴えるとか、といったところで遅れをとるような気がします。僕は農学がほどよく、これらのバランスをとって乗り切っていく以外ないだろうと思っています。さっきもいっていますけれど、進化の過程で何千万種という種が獲得したいろんな形質、これをうまく使いながら、しかし、安全性をきちんと確認しながら、これらを一つの技術として使っていくにはバイオテクノロジーというのは21世紀の夢の技術として考えてもいいんじゃないかと私は思っています。しかし、ここにおいて、先ほどもいいましたが、あまり企業カラーを出されると、やっぱり普通の人は不安感を持ちますね。あの除草剤とか、殺虫剤とセットで遺伝子を考えてみたりすることが、10億人もの人が飢えていることとどう結びつくんだろうという話になります。これは企業戦略としてもまずいんじゃないでしょうか。やはり、このテクノロジーは、長期的展望の中で捉えることが必要で、非常に短絡的な利益と食糧戦略というのは一致しないと考えます。いずれにせよ、バイオテクノロジーは、バランスよく発展させることを前提

にして、農学の一部として積極的にそれをぜったいにつかんで離さないという姿勢は必要だろうと思いますけれども。

(大田原)

北海道大学の田原と申します。農業経済が専門で、そういう意味におきまして、バイオテクノロジーとは一番遠いところにいるんですが、逆に消費者、生協とかとの付き合いがいろいろありまして、その消費者が何を問題にしているのかについてはいろいろ見聞きしているという立場から発言させていただきます。先ほど山田先生が主婦連といっしょにシンポジウムをやったと聞きまして、立派だなあと感じたんですけど、やはりそういうことが非常に大事だと思います。わたし、中国でシンポジウムをやった時に中国の農学者から、中国の科学者はいつも国家の立場でものを考えている、アメリカの学者は消費者の立場でものを考えている、日本の学者はいつも生産者の立場でものをいうといわれて、なるほどきれいに説明ができていたと思ったのです。そういう意味で、このテクノロジーの問題も消費者の立場をもうちょっと考えなければならぬんじゃないかと思えます。それで、中井先生がおっしゃられました、なぜそんなに嫌がるんだという根本問題について、これは先生方みんながおっしゃっておられるように、モンスターが現れるとか、そのように怖いとかいう小児病的なことはみんなとくに卒業しているんです。おそらく反対する人も慎重な人も含めて不安感で共通しているのが、中井先生の言われた、「種を超える」というそこに対する不安じゃないだろうかと思えます。私達はいろんなシンポジウムでバイオテクノロジーをやっている人たちに、いつも勇み足だと思ってるんですが、いろんな反対論に対してこれは普通の品種改良と何ら変わりはないんだよと答えるわけです。何百年も前から人間がやってきたことの延長なんだよという説明をされることがありますが、これは非常に安易な説明で、あるいはごまかしだと思います。遺伝子組換え技術が今までの品種改良と違うのは、自然では起こりえないことをやっているわけですから、そういうことをはっきりと言わなくてはいけない。先ほども、岡野先生がおっしゃられたアカマツとクロマツとの雑種の話は自然界で起きていることですから、これは問題にならないわけで、それから突然変異というのもずっと使ってきたんですけど、これも、自然界ではそういうことが起きるんですね。しかし、動物の遺伝子を植物に組み込むとか、ウイルスを組み込むとかいうことは自然界では起きないことであって、考えてみれば消費者が今まで反対してきた農薬についても添加物についても、例えば、害虫を殺すとか、食べ物に色をつけるといったこと自体に反対しているわけではないんです。要するに自然界には存在しない化学物質で処理をするということに、さらにそういうものが環境に蓄積されているんなことが起こってくるということに不安を感じているわけです。今まで自然界ではぜったいに起きなかったことを人為的にそういうものを作り出す。そのことについての不安というのをまだ、きちんと説明していないんじゃないでしょうか。私もバイオテクノロジーを否定し

たら農学は終わりだというくらいに思っておりますから、なんとかこれはみんなの共感を得て、発展させなければならないと思うんですが、それだけにやはりそのところをわれわれはどう越えるかですね。その点では先ほどの桂先生のお話は非常に明快に分かるんですが、ちょっと消費者の同意は得られないんじゃないかと思うのですがいかがでしょう。

(桂)

今の話は非常にむずかしいですよ。他の遺伝子を入れた場合は、従前の育種とはまったく違うということをお話しますと先ほどのグレーゾーンが非常に大きくなってきます。というのは、遺伝子を取るといっても、何も微生物から持ってこなくてもいくらでも作れるんですよ。イネがもっている遺伝子を例えば微生物型に改良してやると、こことここを変えれば、微生物と同じ機能ができると、ウイルス型に変えていくとかいくらでも可能なんですよ。ですからウイルスなんかの場合にはかなり遠いので、近縁のものがない場合もある場合もあるわけです。そこをどうするのかといったらまたそこでグレーゾーンが出てくるんですよ、新たに。そこで説明する場面で抜本的にどこが違うのかと、遺伝子の存在というのはどの生物にもあって互いに非常に近いのですが、プロモーターとか、いわゆる上流の方の違いでいろんな変化が起きているんです。酵素の遺伝子なんかは非常に近いものです。そういうものの変化の中で種というものがどんな意味を持つのかという話をしなければならぬと思うんです。ですからその論議が足りないというのは私も大田原さんとまったく同感なんですけど、その通りだと思いますけれども、そこは科学者の中でもきっちり論議しなければならぬんじゃないかと思っております。

(中井)

ありがとうございました。時間がないのでお一人だけお願いします。

(有馬)

東京大学農学部の有馬と申します。私バイオテクノロジーとは直接関係ありませんが、今お話聞いておりました、農学におけるバイオテクノロジーということなので、その農学という視点からの質問というんでしょうかお願いというんでしょうか、これからバイオテクノロジーを見る目というんでしょうか、それで少し発言したいと思うんですが。というのは例えば病虫害に強いものを作ることを、遺伝子組換えでやったとしまして、その時に今までの議論は、人間にとってどうか、農業にとってどうか、生産者にとってどうか、そういう議論でありました。農学というものの持つ大事なことは、もう一つはやはり病虫害に強い物を作った時に、その病虫の方はどうなのかという議論が私は大変重要だと思うんですね。先ほど山田先生のお話にありましたように、一つの生物には11種類の生物が寄生しているということですね、要するに病虫害に強いということは、今度は11に対して大変

影響を及ぼしているという視点だろうと思うんです。こういった視点から見れば、先ほど林先生からいわれたようにむしろ前向きの生物多様性という見方で、バイオテクノロジーというものをもう一つ見ることができると思います。バイオテクノロジーと言うのはどうも人間だとか、命だとかそういうことととか議論が行きがちでありますけれども、生物というものの、農学といういわゆるフィールドという面からもう一回みてる課題であるのではないかという印象を受けました。これは質問ではないんですがこれについて何かお考えがありましたらお聞かせいただきたいと思います。

(中井)

今のご意見について何かありましたら。

()

今のことは関係ないんですけども、今日の題名は「農学におけるバイオテクノロジーの新しい展開」ということでしたけれど、話の内容は農業におけるみたいな感じだったんですね。私は役に立たない研究成果って言うのは農学には非常に重要だと思っています。つまり面白いという部分は農学です。農業技術ではないんで、農学ではそのピュアなことがあっていいしそれを技術化する時に、バイオテクノロジーに関しては、さっき言った消費者、社会がそれならぜひ使ってくれ、使わせて欲しいと言わせるのが重要なんですね。こんなに役に立つからみなさん使いなさいと、あるいは企業が儲かるから使いたいと言うことではなくてやっぱり、使いたいと言わせることが大事だと思うんです。わたし専門ではないので間違っているかもしれませんがインシュリンがいい例だと思うんですね。糖尿病の人っていうのは世の中にいっぱいいるわけです。そのインシュリンというのを家畜を使って今まで作ってきたわけですよ。それを遺伝子組換えした微生物でインシュリンが作れるようになる。遺伝子組換えのものですけどもそれは使わせて欲しいという高らかな声があるから使っても誰も騒がないわけですね。ですからそういう環境保護派とか自然保護派とかあるいは生物多様性を守りたいと言ってる側が、生物の多様性を守るために、環境を自然生態系を守るためにバイオテクノロジーが必要だとそういう状況を作っていくことによって、みんなはそのテクノロジーを自然に受け入れていくことになるという気がするんですね。だから食品じゃないんじゃないかというのが私の考えであります。

(中井)

どうもありがとうございました。それでは時間も大幅にあふれてしましまして、あふれるほど盛況なシンポジウム、パネル討論ができたと喜んでおります。大変有意義なそして、愉快的なまた本音で語るそういう討論ができたと思っております。私特にまとめることはいたしませんですけど、いくつか印象に残ることがございます。先ず、21世紀に向かって食

糧あるいは環境の状況というのはますます厳しくなる中で農学の重要性はますます増すだろうということはここでも確認できたのではないかと思います。その中でバイオテクノロジーの役割はさらに大きくなるということも確認できたかと思えます。その場合にやはりバイオテクノロジーの研究の目的、目標を明確にするすなわち人類の普遍的課題、これには食糧とか環境あるいは貧困の問題があると思うんですけど、そういうものに真摯に挑戦していくということが必要だろうというのが一つ。それから安全性とか生態系への影響とか生命倫理、今日は十分議論できませんでしたが、そういうものに対するチェックのシステムというものをどう確立していくかというのが重要になるんじゃないかということ。それからこのことについても十分に議論することはできませんでしたが、科学的成果を分かりやすく一般市民に伝達し対話をかさねる科学者の責任が非常に重要であるということ。議論の中に男性的、女性的という言葉も出てきましたけれどもバイオテクノロジーの技術を、いわゆるエコロジーの視点に立つ持続的農業とかフィールドサイエンスといったものにいかに組み込んでいくかということについては今日は深い議論はできませんでしたが、これは今後引き続いてこの農学アカデミーのシンポジウムで取り上げていきたいと思っております。新しい時代に向かって農学の重要性が益々大きくなっていく中で、農学アカデミーの役割も一層増していくだろうと私期待しておりますので今後ともどうぞよろしくご支援の程お願いいたします。今日はどうもありがとうございました。

(丹羽)

これをもちまして会を終了させて頂きたいと思いますが、最後に閉会のご挨拶を本アカデミー副会長、日本学術会議第6部長の長堀先生からお願いしたいと思います。

<閉会のあいさつ> (長堀金造)

本日は基調講演をいただきました山田先生をはじめ、パネリストの林先生、岡野先生、桂先生どうもありがとうございました。

中井先生には諸先生方のお話をうまく総括して下さいありがとうございました。本日のご講演は人々の最も関心のある内容をわかりやすくお話しいただき、本当にすばらしいシンポジウムであったと思います。

特に、山田先生が述べられましたように21世紀は食糧危機や大気汚染、森林崩壊、酸性雨、農地の貧栄養化が進む中で、人口は発展途上国で増加を続けています。一方、世界の耕地面積は14億haであって100億の人口を養うにはその倍の耕地面積が必要であろうといわれます。それは新たに土地を開墾することを意味しますが、開墾すれば土地や水、生態系を破壊し、別な環境問題が発現します。例えば、東南アジアの湿地帯で開墾したら酸性土壌となって農地としては利用できなかったという事例もあります。原野を無理に開墾しても食糧生産に期待できる農地は残っていないと思うわけであります。これからも温

暖化が進めば世界の農地は塩害や砂漠化の拡大で益々食糧の生産性を失っていくであります。そのような観点から、バイオテクノロジーによって人類が生存するための食糧をいかに確保するかということは、これからの我々農学者の命題ではないかということをも明確に述べられたと思います。

そういう意味で、本日のシンポジウムは大変有意義ではなかったかと思います。

ただ、私が大変気になりましたのはバイオテクノロジーによる食品が如何に危険なものであるか、という一般消費者の印象があって、山田先生が学長を辞めたら私が一生懸命に危険なものではないことを説明して回ると言われました。それほど重要なことは、やはり学者が説明していかなければならないんだと痛感した次第です。私は、このような問題こそ、本農学アカデミーが社会に向かって説明していく必要があるのではないかと思います。本日述べられました、皆様方からの非常に熱心なご発言は消費者の方々にとっても大変重要な事例で、参考になる内容であったと思うのであります。

先ほど、会長が述べられましたが、世界の科学アカデミー会議が東京で開催されましたけれども、この会議の目的は地球環境の改善に向けた持続的な発展に向けてというテーマで、科学を社会に役立てるとというのが命題なんですね。その中で人間と健康、人口、食糧、水、土地資源、エネルギー問題について議論されたわけでありまして。本日のシンポジウムと同じ内容ではないかと思っているのですけれども、会長が申された、世界のインターアカデミーパネルに日本学術会議が加入しているわけですから、学術会議の協力機関として、工学アカデミー、農学アカデミー、医歯薬アカデミーが同様に国際科学会議に加入登録してはいかなものでしょうか。

農学の全領域をカバーしている日本農学アカデミーが世界の科学アカデミーと連携活動していくことが必要ではないかと痛感しました。本日のシンポジウムの内容も世界の科学者との連携なくしては解決されない問題ではないかと思います。

これからも、国際的な視野で農学研究を推進するために我々の農学アカデミーを国際科学会議に登録するようにはと思い、本日お集まりの皆さんにお伺いしたいと思うのですが、如何でしょうか（拍手）。ご賛同いただきまして、どうもありがとうございました。これで、閉会の言葉とさせていただきます。（拍手）