



UP選書

21世紀の食糧・農業

奥野忠一 編

東京大学出版会

序

i

この限られた地球上に何人まで生きられるか、また、かれらに供する食糧の生産は十分であるか、について人々の関心が集まり、去年になって、「世界人口会議」、「世界食糧会議」が立てつづけに開かれた。そこでの論議は、人口の抑制、食糧の増産の必要が強調されながらも、より切実には、南北問題、すなわち、先進国と開発途上国とのあいだの人口バランス、食糧の争奪、ひいては経済的・政治的支配の歴史からくる矛盾の問題に逢着し、この矛盾からの脱出の道は平坦でないことを、人々に認識させた。ただ、食糧の増産は、先進国においても開発途上国においても緊急の要請であり、そのための農業生産の発展、農業技術の進歩が重要であることについては、全面的な合意が得られている。しかし、農業生産力の増強は、肥料・農薬の多投、大規模な機械化など工業生産物の投入によって達成されてきた部分が大きく、それが残留農薬などの公害問題を派生して、自然生態系の調和的發展を妨げ、農業生産自身の基盤を崩しつつあることへの認識と討論は深められたとはいえない。作物と家畜の生物的機能を利用して、太陽エネルギーを同化し、これを人間の必要な食糧に変換させるところの農業生産は、本来それ自身がひとつのクローズド・システムを構成し、自然生態系の懷に抱かれて、なんの環境破壊をも生じない生業であった。この農業の本質を維持しながら、しかも生産性を飛躍的に高めることは容易なわざではない。本書では、この観点に立って、これから21世紀に至るまでの食糧問題とこれに対処す

る農業科学の問題を取り上げる。

この本を企画したのは、一九七〇年に行なわれた科学技術庁のデルファイ法による「21世紀の技術予測」の食糧・農業部門の調査設計と解析に本書執筆者の全員が参加した直後である。分担部分の原稿を早速まとめられた方にはまことに申し訳ないことになったが、前項の課題について将来の展望を得る仕事はまことに困難であった上、農業科学上の新しい知見も次々に得られたので、第三章がまとまるのにかかりの時日を要した。それだけにこの章の論旨はきわめて新しいものである。21世紀までにはあと二五年しかなくなつたけれども、この「技術予測」の結果は、いまでも多くの教訓を与えている。

第一章では、農業生産の側から見た食糧問題と農業生産の実態を分析し、農業科学のあるべき姿を概観する。

第二章では、食糧消費の側から見た、食生活変化の21世紀までの予測をおこない、食卓の話題を提供する。

第三章は、農業生産の場における、物質とエネルギーの循環の様相を刻明に解析し、生態系と共存共栄する、農業生産のあるべき姿をえがき出し、それを実現するための農業技術・農業科学の発展の方向を示唆する。その方向へのステップを大胆に踏み出すことは、現在の工業化社会においては、発想の大転換を要する仕事であり、その行手には、先進国と開発途上国とのあいだに見られるのと同種の矛盾が立ちほだかり、イバラの道であると考えられる。それは、科学・技術だけで解決できる問題ではなく、社会的・経済的システムの変換をも要求し、価値観を転換した国民のコンセンサスを得なければならぬ課題である。しかし、われわれは、この方向線上にしか、人類の生き残れる道はないと考える。

第四章と付には、科学技術庁の「技術予測」に現われた、日本の農林水産業のあるべき姿に対する国民の要請と、開発を期待される重要な農林水産技術を要約する。

第五章では、このような国民の要請に応えて開発される新技術を、(一)優良品種の育成、(二)安全な農薬・肥料の開発、(三)流通・加工技術の発展、(四)微生物の食糧化、(五)水産新技術の展開、に分けて論じる。ここで、付言しておきたいのは、われわれは、これからの困難な食糧問題の解決のために、五千年來食べつづけてきた微生物を利用し、その食糧化の飛躍的増大を期待するが、その利用がいかに伸びても、人類の食糧の全部をまかなうには至らないことである。それは、生産量の限界と人間の嗜好の問題によって、食糧供給量全体の一〇パーセントには達しないであろうと予想される。

さいごの座談会の記録も、これが一九七三年一月におこなわれたものであるため、一部に時機を失した発言もふくまれているが、それでも、右に述べた観点をいろいろな角度から論じているので、ここに登載した。

われわれ執筆者の専門が若干偏り、生態学関係の人々がふくまれていないし、また畜産・林業の専門家もいないために、叙述が農業諸科学全体を万遍なくおとしたものにはなっていない。しかし、ここでは、それを意図したのではなく、これからの日本の農業のあるべき姿を、歴史的にまた世界的観点から追求し、どうしてもたどらなければならぬ農業発展の道を指し示すことを念願とした。いろいろ不分な叙述や、あるいは、誤った実態把握もふくまれているかもしれないが、著者らの意図を汲んで、足らざるところを補い、誤りを正して、人類生存のための農業発展への道に理解をもたれることを切に願う。

この本の出版がかくもおくれたのは、とりまとめ責任者の負うべきものである。ここに、執筆者諸氏に改めてお詫びするとともに、この期に及んでも出版を快諾された東京大学出版会の方々に心からお礼を申し上げます。

一九七五年五月十日

奥野 忠 一

目次

序

奥野忠一

第一章 食糧問題と農業科学

内嶋善兵衛

一 なにを問題にするか 1

二 食糧はどれだけ必要か 3

三 農業生産の発展 7

四 農業技術と農業科学 15

第二章 21世紀の食生活

田村真八郎

一 21世紀にはなにを食べるか 21

二 栄養要求と嗜好 22

三 食生活の保守性 24

四 食生活で変化しつつあるもの 26

五 新しい食べもの 28

六 食品工業の進歩 32

七 食生活に関する知識と価値観 36

第三章 環境保全と農業

内嶋善兵衛

一 自然生態系との調和

農業生産にとって環境とはなにか／環境の違いと乾物生産
力／人間は新しい環境をつくりだしている／自然生態系と
の調和は可能か

二 太陽エネルギーの流れ

太陽からの放射エネルギー（日射）／太陽エネルギーの地
理的分布／耕地における太陽エネルギーの流れ

三 水の循環

水はどこにあるか／水はめぐる／降雨量と蒸発量の分布／
耕地における水の流れ／汚れる水／水を守ろう

四 炭素の循環

炭素の流れ／炭酸ガス濃度と植物／耕地における炭酸ガス
の流れ

五 窒素の循環

窒素の分布／窒素の循環／食糧増産と窒素

第四章 農業科学への社会的要請

玉井公男

一 転機に立つ日本農業

二 農業科学への社会的要請

123

121

107

92

74

61

39

第五章 解決へのアプローチ

第一節 優良品種の育成

玉井公男

- 一 作物品種の育成……………126
- 二 家畜・家禽の改良……………131

第二節 安全な農薬・肥料の開発

松中昭一

- 一 農薬・肥料の使用状況……………133
- 二 農薬・肥料の内包する危険性……………136
- 三 農薬・肥料の貢献度……………141
- 四 安全な化学資材の開発方向……………146
- 五 安全性のチェックシステム……………151
- 六 むすび……………164

第三節 流通・加工技術の発展

吉川誠次

- 一 食品の生産、加工、流通、消費……………166
- 二 流通・加工技術の未来予測……………168
- 三 加工食品と生鮮食品の流通……………170
- 四 新しい加工技術の開発……………172

第四節 微生物の食糧化

山本 淳

- 一 微生物を食べつづけて五、〇〇〇年……………179

二	微生物の食糧化	181
三	微生物による食糧づくり	184
四	単細胞生物——21世紀の食糧資源	199
五	組織細胞の培養による食糧生産	203
六	微生物食糧の安全性の追究	205
第五節 水産新技術の展開		
	渡瀬節雄	
一	水産業の貢献	212
二	将来の水産業の形態	215
三	水産防災	219
四	水産業の国際協力	222
五	水産新技術の展開	230
六	21世紀の漁業者の夢	240
付	「21世紀の技術予測」のまとめ	245
	玉井公男	
第六章	21世紀への展望(座談会のまとめ)	263
	主な引用参考文献	311

第一章 食糧問題と農業科学

一 なにを問題にするか

人類がこの地球上に生存し活動しはじめてから、およそ二百万年を経過したといわれる。その間、毎日の活動エネルギー（物理的および精神的活動のための）はすべて食物に頼ってきた。平均的にいうと、成人一人が一日の生活を営むためには、二、〇〇〇〜三、〇〇〇キロカロリーの熱量をふくんだ食物と、酸素〇・八〜〇・九kgおよび水二〜三ℓを摂取し、炭酸ガス約1kg、尿二〜三ℓ、および残渣〇・二kgを排泄している。

人が食物として摂る動・植物の種類は一〇〇〜二〇〇にも及ぶが、その種類の組合せは、その生活場所の気候条件と技術発展のレベルによって大きく左右されている。それにもかかわらず、人間が、その体の構成および活動に必要な物質とエネルギーをこれらの穀類や動物類から摂取する様式は、太古の原始時代から現在にいたるまで、まったく変化していないといつてよい。これは、エネルギーと物質の摂取に關係する体内の生化学的過程が、遺伝的に、非常に安定で、進化するとしてもそのスピードが非常に小さいためと考えられている。

食物としての動・植物を、野や林から探し集めることは太古から現在まで脈々としてつづけられてき

た人間の活動である。その過程で、さまざまな農耕技術が開発・習得され、より多くの食物を、より美味な食物を得るために、計り知れない努力が傾けられてきた。この努力は農耕文化を發展させてきたが、人類は現在、この農耕文化とは全く異質の科学・技術に支えられた文明社会のひとつの頂点に到達しようとしている。その科学・技術の力は、地球上の自然環境をも改変できるほどに生長してきたけれども、人間の生物としてのエネルギー摂取様式は前述のとおり古代のままである。ということは、食物の摂取に関しては、人類はこんごも、原始時代から継承し發展させてきた農業に依存して生きなければならぬことを物語っている。

しかしながら、高度工業化社会を指向するといわれるわが国においては、その生産性・収益性の低いがゆえに、農業は非合理的産業であるとされ、食糧の供給は海外農産物に頼り、日本農業は観光と環境美化へ方向転換すべきであるという意見すら提示されている。果たして、これは妥当な論議であろうか。みずからの生物としてのエネルギー源を将来とも外国にゆだねることは可能であろうか。現在、農業および社会の条件は非常に流動的で、右のような問題に的確に答えることは非常にむづかしい。

このような食糧問題および農業問題を考える場合、現在われわれが当面している、つぎのきわめて重大な現象を無視することはできない。

- (一) 地球上の人口の爆発的増加
- (二) 生活上の人口の爆発的増加
- (三) 生活水準向上へのあくなき欲求
- (四) 生産技術と消費生活の巨大化にともなう環境破壊と資源枯渇の拡大と深化
- (四) 地球上の気候変化の大規模化

これらは、ローマ・クラブの報告「成長の限界」以来、多くの識者によって指摘されてきているが、その一つ一つが、食糧の生産と需要に与える顕著な影響を考慮しなければならぬのみならず、これら四つが現在ほぼ同時併行的に進行しつつある状態を忘れることができない。このような条件下において、「こんごの食糧問題をどう把握すべきか」、「それに対処するための農業技術や、それを支える農業諸科学はいかに発展させねばならないか」、これらの問題を、本書では考えてゆこうとするのである。

二 食糧はどれだけ必要か

現在の日本においては食糧は潤沢で飢餓など想像もできないくらいであるけれども、国内での食糧自給率は、いろいろの計算方法があるが、約六〇%で、餌飼料をふくめると、わずか四〇%であるとさえいわれている。とすれば、日本の食糧問題を取り上げる場合にも、長期的に見た世界の食糧需給を考慮しなければならぬことはいうまでもない。以下では、世界全体で生産される食糧で、全人類の栄養必要量をまかなえるか否かを、こんご三〇年間にわたって検討しよう。

栄養的に見て、人間はいろいろな物質を摂取しなければならないが、それらを大きく分けると、カロリー源、タンパク質、ビタミン、ミネラル、それに水ということになる。これらのうち、ビタミンとミネラルの摂取必要量は微量である。たとえば、ビタミンのなかで、もっとも必要量の多いビタミンCでも、一日五〇mg程度であり、ビタミンB₁やB₂はこのさらに一〇分の一以下である。しかも、現在の合成化学技術は、必要ならこれらのビタミン類をきわめて容易に、したがって安く合成供給できる。それゆえ、食糧資源問題としては、水を別とすれば、カロリーとタンパク質の二つに焦点をしばることができ

る。

人間がカロリー源として利用できる物質は、タンパク質、脂質、糖質に分類され、そのうちタンパク質と糖質とは、一g当り、四キロカロリー（栄養学でいう四大カロリーにあたる）の熱量を、脂質は九キロカロリーの熱量を供給する。人間の利用する食糧資源全体のなかで脂質の割合はそれほど大きくないから、計算を簡単にするため、食物の固形物一g当り四キロカロリーの熱量が出ると仮定しよう。すると、成人一人の一日の必要量を、最初に述べた二、〇〇〇〜三、〇〇〇キロカロリーのほぼ平均をとって二、四〇〇キロカロリーとすると、食物の固形物になおして六〇〇gということになる。一九七〇年の世界の人口は三六億であるから、一年三六五日生存するには、

$$600g \times 365日 \times 36億人 = 7.9億トン$$

すなわち、約八億トンの食糧が必要ということになる。

ところで、現在の世界の食糧生産量は、ごく大まかにいって、コムギが三億トン、コメ、トウモロコシ、雑穀（オオムギ、ソバなど）がそれぞれ二億トン前後で、これら穀類の小計で約九億トンになる。穀類以外では、乾燥豆類（大豆、ナンキンマメなど）と砂糖がそれぞれ〇・七億トン程度あるから、これら水分含量の少ない農産物だけで、合計約一〇億トンになる。さらに、いも類やバナナのようなカロリーの多い果実の生産もある。こう見てくると、現在の農業生産だけでも楽に三六億の人間を養うことができるはずであるが、実はそうはいかない。

現実には、現在の世界の人口の約半分は栄養不十分の飢餓線上にあると推定されている。なぜこのようなことがおこるかといえば、「人間はパンのみにて生きるにあらざ」だからである。つまり、人間は

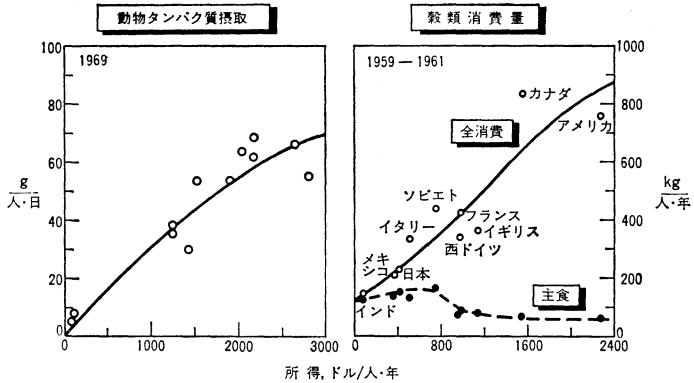


図1 オリジナル・カロリーの比較(国別)

パンのような穀類だけを食べているわけではなく、かなりの量の畜産物を食べているからである。

畜産物の生産には、大ざっぱに勘定して、一〇倍のカロリー量のエサが必要である。つまり、一〇〇〇カロリーの肉を生産するためには、一、〇〇〇カロリーの農産物が必要なのである。いま、人間が一日に必要な熱量二四〇〇キロカロリーの三分の一にあたる八〇〇キロカロリーを畜産物でとると仮定すると、農産物の総必要量は

$$800 \times 10 + (2400 - 800) = 9600$$

すなわち、約一万キロカロリーとなる。このように計算したキロカロリーをオリジナルカロリーと呼ぶが、現実に欧米諸国ではオリジナルカロリーは一万を超えており、わが国でも現在は五、〇〇〇を楽に超えている(図1参照)。

以上のような計算をしてみると、世界の食糧生産は決して充分ではないことが明瞭になる。すなわち、世界の人々がすべて現在の日本人並みの食生活——実際にわれわれが口から摂取しているカロリー量は二、四〇〇キロカロリーであるけれども、飼料などとして用いている農産物を加え

るとその約二倍の五、〇〇〇キロカロリーを消費している——を維持するためには、さきに計算した八億トンの二倍にあたる一六億トンの農産物が必要ということになる。約一〇億トンという現在の農産物の生産量では、三六億の一六分の一〇、すなわち約二三億人分の食糧しかまかなえないことになる。さらに、各人が欧米諸国並みに、一万オリジナルカロリーの食生活をするとなれば、食にありつけるのは二三億の半分、すなわち約一二億人となり、残りの約二四億は餓死しなければならないことになる。

このように見てくると、農産物の必要量というのは、食生活の水準によって変わるもので、単純にどれだけ必要であるとは断言しにくいものである。しかし、世界中の国民が食生活の向上を欲していることも事実である。

タンパク質についてはどうか。「人間のタンパク質必要量としては、カロリー摂取量全体の一〇%強をタンパク質でとればよい」といわれている。したがって、主要食糧資源である穀類などの低水分農産物がすべて一〇%強のタンパク質をふくんでいれば、「カロリーさえ足りればタンパクは十分である。」という結論になる。残念ながら、現在の穀類の大部分は一〇%弱のタンパク質しかふくんでいない。また、そのタンパク質の栄養上の質もよくないので、強力小麦粉のようにタンパク含量一〇%以上のものでも、タンパク質の実質的な栄養価値としては一〇%以下になってしまう。この不足分を補うために、人類は畜産物や水産物、または大豆などの豆類を食べてきた。したがって、カロリーはほぼ充足するのにも成功しても、タンパク質、とくに良質のタンパク質が不足するという事態もおこりうるので、それを解決するためにはまた別の工夫や研究開発が必要になるかもしれない。

以上の議論は一九七〇年をベースにおこなったが、世界の食糧生産の伸びをちょっと見ておこう。一

九六〇年からの一〇年間に、人口は年平均増加率二%で、この期間中に約二四%増加したのに対し、農水産業の実質総生産の伸びは二三%であった。すなわち、この期間では、一人当りの食糧供給量はほとんど変わらなかった。品目別の伸びで見ると、コメは二九%、コムギは二七%の伸びであった。

ところで、これからの三〇年には人口はどこまで増えるか。ローマ・クラブの推定によれば、西暦二〇〇〇年の世界の人口は、現在の約二倍にあたる七〇億という。そのときの食生活の水準を現在の日本並みの五、〇〇〇オリジナルカロリーに到達させるためには、第一次食糧生産物である農産物の年間必要量は、右の計算から一六億トンの二倍、すなわち、三二億トンになる。これは、現在の生産高の三倍以上である。向う三〇年間に、農産物の生産高を三倍以上に増やすことは可能であろうか。それを検討するために、まず太古からの農業生産の発展の歴史をふりかえってみよう。

三 農業生産の発展

これまでの叙述では、人の体構成および活動の源となる「食べもの」をつくることを、農耕または農業と呼んできた。ここで、「農業」とはなにか、を考えてみよう。中国の古い書物には、「土を闢き、穀を植うるを農と曰う」とある。この言葉は、農業というものを素朴によく表現している。民俗学者柳田国男は「人が動植物を養成して、その結果を収穫すること」を、農業と定義している。これは、生産物を獲得することを明示している。さらに進んで、農業が特定の人々の生業に分化するにつれて、「多数の農行為および之に附随せる各種の経済行為が、相集って一つの経済をなすとき、之を農業と云う」というように拡がってきた(河上肇)。

盛永(一九五一)は、クルズモウスキイの所説を参照しながら、「農とは、特定人がその属する超有機体人を対象に行なう、生物との共生行為である」といつている。この盛永の定義は、経済行為を包含するとともに、生物と人との密接不可分の関係を明確に把握・意識している点できわめて優れている。これは、本来の農業は、環境汚染をすることなく、自然生態系の発展と調和しながら、営まれるべきものである、という意味をふくんでいる。

しかしながら、あとで説明するように、農耕の歴史は、太陽からのエネルギーを生物を媒介して人間が取りこむ場面で、そのエネルギーの流れをいかに円滑にするかについての苦闘の歴史であったということが出来る。この観点からすると、上の定義には若干の補足が必要と考えられ、その立場から、つぎのように農業を定義しておこう。

「農業は、安全良質の食料を安定して供給するために、自己栄養的な作物(牧草・野菜・果樹などをふくめて)および家畜の生物学的機能を利用して、太陽エネルギーを人間の利用可能な形へ変換させる行為である。」

ここで、自己栄養的な作物というのは、これらがその生物学的機能によって、みずから有機物を合成し、生長し、発育することを指す。このような動・植物を利用することが、農業の工業と本質的に異なる点である。

さて、農業を右のようにとらえるとき、農業生産の最大の目標は、天候などの環境条件のいかんにかかわらず、耕地上に入射する太陽エネルギーを、いかに効率的にかつ経済的に、人間の利用可能な形に変換・貯蔵するか、ということになる。このために、有史以前から現在まで、絶え間ない努力が払われ、

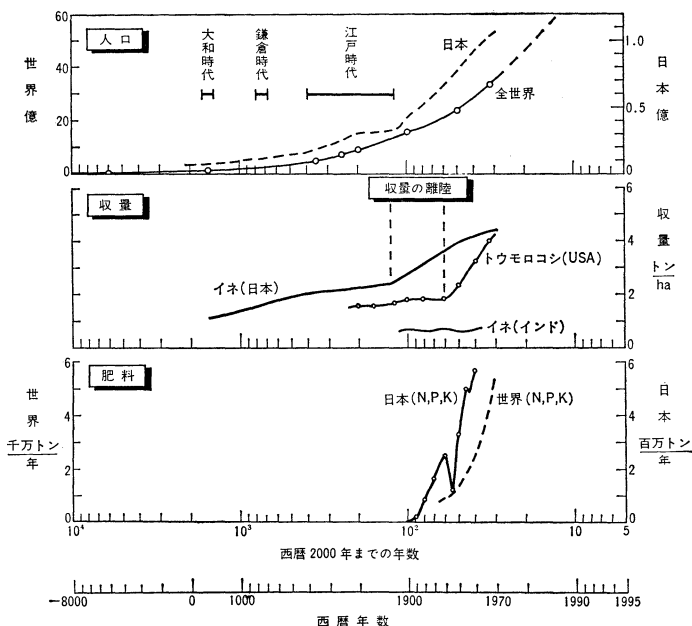


図2 1万年間の人口、作物収量、肥料生産高の変化

さまざまな農耕文化が築かれ、ついに現在の工業化社会の農業へと発展してきた。この間の事情をふりかえるひとつの試みとして、西暦二〇〇〇年に至るまでの年数を対数目盛にして、過去一万年の人口、農業生産力、肥料生産量の変化を示す図をかいてみる(図2)。明らかに、世界でも日本でも、人口と農業生産力の急激な増加が、肥料使用量の急激な増加と対応していることがわかる。

オダム(一九六七)は、農業様式の発展は、農業生産過程の制御に投与されたエネルギー量(人力・畜力・機械力など)に応じて分類できるとし、表1の四つの生産様式を特徴づけている。

(1) 「食物採集様式」は、現在でも南米アマゾン地域に見られ、人は

表1 農業様式ごとのエネルギー効率

農 業 様 式	エネルギー量kcal/m ² , 年		エネルギー効率*	現在該当する国
	投与エネルギー	獲得エネルギー		
(1) 食物採集様式	0.0	0.4	2.5×10^{-7}	アマゾン
(2) 原始農耕様式	3.6	19.5	1.3×10^{-5}	ウガンダ
(3) 前近代的農業様式	36.0	250.0	1.7×10^{-4}	インド
(4) 工業的農業様式	241.0	1,000.0	6.7×10^{-4}	日本

* 年間日射量を 1.5×10^6 kcal/m²として計算した。

エネルギー効率は、この太陽エネルギーに人工的に投与したエネルギーを加えた量で、食物としての獲得エネルギーを割った値である。

緑の樹冠の下にかくれ、そこに形成されている生態系の些細な恵みを受けてひっそりと生活するだけで、その「生産システム」に働きかけることはまったくくない。

(2) 「原始農耕様式」では、人は食物から摂取したエネルギーのごく一部を労働に割いて、土を耕し作物を植え、僅かながら太陽エネルギーの流れを制御して獲得エネルギー量を増やす。

(3) 「前近代的農業様式」では、人はみずからの労働のほかに、役畜を利用するようになり、原始農耕に比較して一〇倍のエネルギーを投与し、生産効率を高めている。しかし、この農業様式でも、巨大なエネルギー量をもつ気象現象(干ばつ、洪水など)にはまったく無力でしばしば破壊的打撃を受ける。これを回避するため、人類は「適地適作」という自然環境への適応策を考え、これによって、生産過程を間接的に制御しようという深い知恵をもつに至る。

以上三つの農業様式では、人間および役畜が食物摂取によって得たエネルギーの一部を割いて、生産過程の制御に用いている。ところが、(4) 「工業的農業様式」では、農業生産過程がリワード・ループによって工業生産過程と固く結びつけられ、人力は、多量の化石燃

料（石油・石炭・天然ガス）エネルギーの農業生産への導入の“引きがね”としての役割を果たすだけになる。すなわち、一㎡当り年間一、〇〇〇キロカロリーのエネルギーを獲得する工業化農業の発展は、(一)灌漑網の建設、(二)農作業の機械化、(三)化学肥料の多用、(四)農薬の多用、(五)優良品種の育

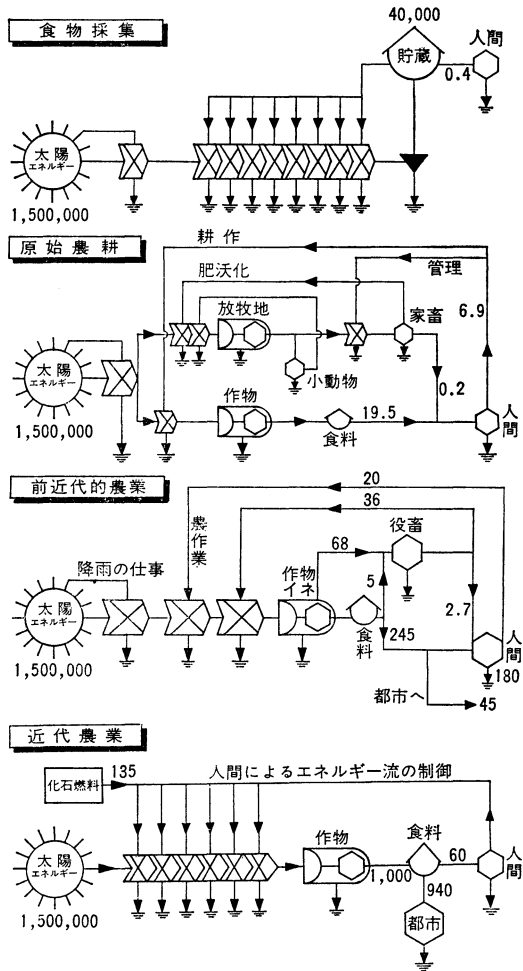


図3 種々な農業様式におけるエネルギーの流れと生産過程への人の働きかけ (kcal/m², 年)

成、(内)微気候の改良、によって達成されるが、これらは発達した工業生産ループからの化石燃料エネルギーの補給なしには不可能であった。たとえば、わが国の農作物の単位面積当り平均収量は米国の約二倍であるが、農薬使用量(一九六三年、有効成分kg/ha)も肥料使用量も米国の約七倍という、莫大な化石燃料エネルギーを投入しているのである(図3も参照)。

しかしながら、化石燃料に由来するさまざまな農業生産資材の生産およびその耕地での使用は、種々さまざまな環境破壊物質および食物汚染物質を広くまき散らしてきた。このために、土壌の生産力は弱まり、また、農産物中の重金属やPCBは人々の健康破壊にまでつながるケースがふえてきた。このことは、工業生産ループとの結合が強くなって、生産効率の高い農業様式に進めば進むほど、本来の農業の使命である、「有害物質をふくまない良質の食料の供給」が阻害される恐れがあるという矛盾につきあたるようになる。

単位面積当りの生産力の向上が右に見たような矛盾に逢着して容易でないならば、この地球上で耕地をもっとふやすことはできないだろうか。地球上の全陸地における乾物生産の量を調べたのが表2である。耕地の総面積は約一三億haで、全陸地面積一四九億haの一割以下である。耕地での乾物の総生産量は約五一億トンで、これは陸地上の全乾物生産量の約四%にあたる。耕地に転換できるのは一部の草地や砂漠であって、これを強行すれば、耕地面積は約二倍にまでは広げられるといわれている。しかし、そのためには、大規模な灌漑施設をつくるなど、膨大な工業活動を必要とするうえ、かりにそれが実現したとすると、そのような耕地化によって、人間が操作する地球上の乾物生産量は全体の八%にも達し、これが自然環境および草地の動・植物集団に与えるインパクトは計り知れないものになり、生態系の破

表2 地球上の主要な生態系の乾物生産 (デービィ, 1970)

生態系	種類	面積 (億ha)	生産力 (乾物g/m ² , 年)	総生産量 (億トン/年)
耕地	禾穀類	6.74	331	22.22
	イモ類	0.23	342	0.77
	トウモロコシ	0.04	679	0.27
	その他 (小計)	6.30 (13.31)	444	28.00 (51.26)
林地	針葉樹林	14.60	2826	413.29
	広葉樹林	5.66	1389	78.67
	熱帯林	20.25	2666	542.22
	タイガー (小計)	3.90 (44.41)	889	34.67 (1068.85)
草地	多湿草地	14.9	398	59.33
	半乾草地 (小計)	22.0 (36.9)	62	13.69 (73.02)
荒地	沼沢地	3.3	1533	50.67
	砂漠	22.4	36	7.96
	ツンドラ	8.5	18	1.51
	(小計)	34.2 (34.2)		60.14 (60.14)
永久凍土帯		19.7	0	0.00
合計		148.51	—	1253.27

を最高として、その後は緩やかな低下をつづけている。このような大規模な気候変化は、過去においても記録されているけれども、現在進行中のものは人間の生産活動に伴う地球環境の破壊に起因しているらしいという点で、過去のそれとは異なる性格を帯びているように思われる(ブライソン、一九七二)。

三〇年後の食糧需要を満たすためには、大規模な工業活動を必要とするが、それが農業生産の場である

壊につながる恐れが濃厚である。さらに、注意しなければならぬのは、過去三〇〜四〇年間の地球上の気候が比較的高温に恵まれ、作物の生育に好適であったことである。この間、地球表面に達した直達太陽放射量(太陽から平行光線の形でくるもの)も平均より多かった。ところが、一九五〇年頃から太陽放射量は減衰しはじめ、一九六〇年には平均より二%以上も低下している。最近の資料でもこの傾向は続いているといわれる(図4)。平均気温も一九四〇年頃

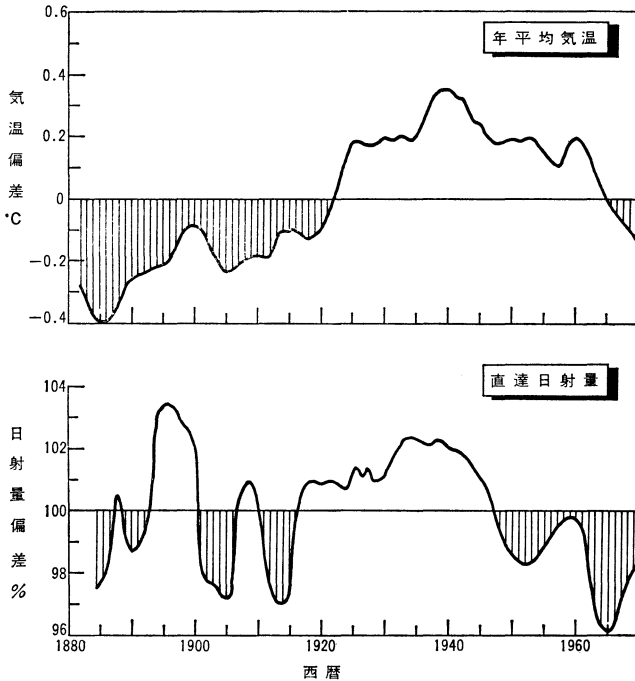


図4 北半球における気温と直達日射量の平均値からの偏差（5年間移動平均）の経年変化（ブディコ，1974）

地球の自然環境の破壊を促進し、この気候の面からも、農業生産の向上をかえって阻害するという矛盾に行きあたる。このように見てくると、二のさいごに述べた問題——これからの三〇年間に農業生産高を三倍以上にすることは可能か——に対しては、悲観的な答を用意せざるをえなくなる。農業生産の発展の歴史のなかで、飛躍的な発展をとげたわが国のコメの場合でも、収量が倍増するのに、明治以来の約一世紀をかけている。このような遅い足取りの農業生産に、三〇年という短期に三倍以上の生産量の伸びを期

待することは非常に困難である。しかも、最近二〇年間の農業生産の向上に著効を發揮した肥料・農薬の多用は広く抑制されようとしている。このような事情の下で、なおかつ、農業生産を向上させ、人類の食糧を確保するためには、農業技術と農業科学がいかなる役割を果たすべきか、また、果たすことができるかが、以下の検討課題である。

四 農業技術と農業科学

図3で見たように、農業生産過程におけるエネルギーの流れをより円滑にするために、人間によるさまざまな制御がおこなわれ、これによって農業の生産効率は次第に上昇してきた。いま、このエネルギー流への人間の働きかけをより具体的に示すと、図5のようになる。ここで、太陽↓作物↓収量↓人間に至るエネルギー本流の傍には、光エネルギー・水・炭酸ガス・無機養分を作物と奪いあう競争者としての「雑草」がある。また、エネルギー本流に寄生する病害虫がある。これらは、エネルギーの流れに對する外部抵抗として作用する。これに對して、光エネルギーを吸収し固定する過程で作用する作物の能力は内部抵抗と考えることができる。

そこで、エネルギーの流れを円滑にするためには、これらの抵抗を軽減し、あるいは除去する必要がある、そのための人による意識的な働きかけがエネルギー流のいろいろな局面に加えられてきたのである。この働きかけは農作業そのものである。したがって、「農業技術」をつぎのように定義することができる。

「農業生産過程を太陽から食物にいたるエネルギーの流れと考えるとき、これに關係する広い意味

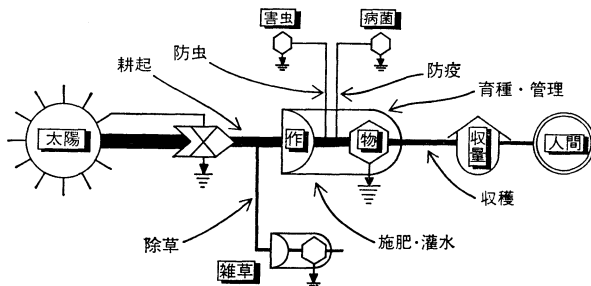


図5 作物生産におけるエネルギーの流れへの人の働きかけ（内嶋，1970）

での抵抗を軽減し、エネルギー流束を多くし、収量を高めるために、個々の生産過程および全過程に直接・間接に働きかける意識的方法を、農業技術という。」

別の表現では、「農業生産を貫いているエネルギー本流を、人と動・植物との共生利用の立場から、より効率的に制御するための「方法と行為」が農業技術である。」ということが出来る。

このような農業技術は古くからさまざまな行為として開発され、使用されてきたが、それらを大きく分けると、つぎようになる。

農業技術

(一) 化学的制御技術群

動・植物および環境内の化学的・生化学的反応に、化学物質を用いて直接働きかけ、作物・家畜の生長・生育を制御・調節する技術の集まり

(二) 生物学的制御技術群

作物や家畜のもつ生物学的機能に直接働きかけ、それらの生長・生育を制御・調節する技術の集まり（このなかには、病虫害や雑草の生物学的防除手段をもふくむ）

(三) 物理的制御技術群

動・植物をとりまく物理環境に、物理的手法で働きかけ、間接的に作物・家畜の生育・生長を制御・調節しようとする技術の集まり

(四) 経営的制御技術群——(後出)

ここで、化学的制御技術群には、施肥、除草剤・殺虫剤・殺菌剤の散布、生長調節剤の使用、などがふくまれる。生物学的制御には、育種による優良品種の育成・選抜および生物学的防除手段をふくむ一般の栽培管理技術がはいる。ただし、栽培管理技術は、げんみつにいうと、化学的制御技術群と物理的制御技術群とに分解できるであろう。微気象調節や灌漑網建設などは明らかに物理的制御技術群に属する。第四の経営的制御技術群だけは、前者とちがって、生産過程のエネルギー本流に直接働きかける技術ではなく、作物や家畜によって固定されるエネルギーの経済的価値を制御しようとするものである。この技術によって、経済的にもっとも効率的な作体系、輪作体系が定められるのである。

さて、現在は、高度に発達した工業生産体系を背景として、さまざまな個別技術と、その適用に必要なエネルギー形態——化学物質や機械などをふくめた——が工夫され、農業生産過程の制御に用いられている。しかし、この結果、長い歴史を通じて農業生産体系のなかにビルトインされてきた、山—林—耕地—人からなる地力維持システムは次第に崩れ、工業生産ループとより固く結びついた農業生産システムが作出されるようになってきた。

これによって、土地および労働力あたりの農業の生産性は急上昇し、図2に見るように、収量の離陸という発展をもたらした。しかしながら、農業生産過程のエネルギー本流の制御に用いられる化石燃料エネルギーの増大につれて、幾多の矛盾が生じてきた。その主なものはつぎのとおりである。

(一) 農業生産における物質循環系の閉鎖型から開放型への変化

(二) 農用化学物質による食料の汚染

(三) 農業生産の場である自然環境および生態系の農用化学物質による汚染と破壊

このほか、効率的農業を支える工業生産活動も、自然環境の汚染を通じて、農業生産に悪い影響を与えつつある。

このような矛盾が、なぜ大規模に発生したのであるうか。その原因は、桐谷ら(一九七一)がいみじくも述べているように、農業生態系およびこれを包含する自然生態系に対する認識と理解の不足であった。かれらは、「農業生態系で任務を終了すべき農薬が、いろいろの経路を通じて、農業生態系外へ溢れ出たのが、農薬汚染である」といつている。これは、自然のなかに構成されている生態系の複雑な網目構造およびそのなかでのエネルギーと物質の流れを、農業技術の研究と開発にたずさわる多くの人々が見落としていたことを物語る。すなわち、効率的な農業生産を追究するあまり、十分な検討もせずに、他分野で達成された成果を個別技術として広く利用してきたことに原因があるといえよう。網目構造という複雑なシステムへの外部からの働きかけに対する、レスポンスの解明が不十分であったとはいえ、現在、農業生産システムに生じている現象は、きわめて教訓的であるといえるであろう。

ここでもう一段掘り下げて、前項の四つの制御技術群の発展を推進してきた農学諸分野の研究を位置づけよう。盛永(一九五一)は、「農学は超有機体人と他の生物との共生の科学であり、その任務は共生の進化を明らかにし助長するにある」といつている。また、「農学の進歩は、記載↓解析↓総合のプロセスをたどって、(現象を予見しうる)必然科学に接近するが、最後の段階においては概念と体系の

発達が不可欠である。」と述べている。盛永の指摘している三つの段階は、武谷（一九五五）による、現象論的段階、実体論的段階、本質論的段階に、また、竹内・島津（一九六九）のいう第一世代、第二世代、第三世代の発展段階に、さらにはまた、統計的認識における、記述↓解析↓推論に、それぞれほぼ対応しているように見受けられる。

右の発展段階を農学研究の歴史にあてはめると、きわめて概括的には、第二次世界戦争までのそれを第一段階に、大戦後より最近までのそれを第二段階に、こんごの農学研究をその第三段階に位置づけることができよう。もちろん、このような区分は、同じ時期の研究であっても、個々の研究分野に応じて、あるものは第一段階に、あるものは第二段階にというように異なることもある。しかしながら、第二次大戦後の農学研究は、化学や物理学などの急激な発展を背景にして、解析的段階に突入したことは周知のとおりで、その特徴は、農業生産過程を細分し、その構造と機能を分析的・演繹的に明らかにすることにあつた。ここで得られた解析的知識と、著しく発達した工業生産体系との結合は、上述したような種々の制御技術を誕生させ、人々は食糧問題から解放されるかのような錯覚をもつた。

しかしながら、耕地生態系およびそれを取りかこむ自然生態系は複雑な網目構造をもつから、これを解析的農学研究の対象として把えるだけでは不十分であつた。このために、われわれは現在多くの困難な問題をかかえている。この困難を克服して、農業に課された任務——安全な食品の安定的な供給——を果たすためには、従来とは質的にかなり違った研究が指向されねばならない。それは、農業生産過程を包含する、より高次の生態系との調和的発展を可能にする技術を開発する農学研究であり、それは盛永のいう「必然科学」の段階の農学であるということができよう。現在の農学研究は、解析的な手法に

よって農業生産過程の各部分の構造と機能とを明らかにし、総合的な見地からそれを再構成しながら、自然科学へと発展しはじめている段階にあるといえよう。

このような観点から、「農学」を定義すると、つぎのようになっていることができる。

「農学とは、自然環境―作物・家畜―人よりなるシステム内での、太陽エネルギーの固定・伝達の効率を高める目的で、

- 一、システムを構成している個々の過程（これを素過程という）の構造
- 二、それらのなかでのエネルギーの流れ、および諸物質の生成の動態
- 三、エネルギーの流れと物質生成の制御の方法

を、農業生産システムと、より高次な生態系との共生的発展の立場から解明しようとする科学である」。このような観点から、個々の農業科学をいかに位置づけるか、また、農学と農業技術との結びつきをいかに把握するかは、未だ十分には検討されていないが、この課題に答えることは、近い将来に要請される食糧・農業問題の解決のために必須である。同時に、農業生産の場である耕地を破壊から守ることも忘れてはならない。なぜなら、現在、世界中で、肥沃な耕地が潰されてさまざまな目的に転用されており、わが国ではとくにこの傾向が強いからである。しかも、残された耕地にも、有害物質に汚染されて農業生産の役に立たぬものがふえてきている。このような破壊から耕地を守ることは、農学および農業技術の研究にたずさわる者にとって、その研究の発展と比肩するような重要性をもっている。

第二章 21世紀の食生活

前章では、食糧問題を主として供給の側、あるいは生産の側から検討した。本章では、食糧消費の側から、日本人を対象にして問題を考えていこう。

一 21世紀にはなにを食べるか

食生活には大きく分けて、「なにを食べるか」という対象の側面と「どのように食べるか」という様式の側面とがある。ここでは、この両面について21世紀の食生活はどのようになるかを予測してみよう。しかし、これはなかなか困難な作業である。

予測には、過去に示された傾向がそのまま将来にもつづくであろうとする時系列外挿法と、現時点での状態を相互に比較して先進的な状態に移行するであろうとする横断面比較法とがある。ところで、時系列外挿法によって、わが国の過去二〇年ぐらいの各食品の消費量の変化の傾向を三〇年先まで伸ばすと、たいそう極端な予測値が得られてしまう。それは、二〇年前の日本人の栄養摂取量は、きわめて不十分であったが、この二〇年間に急速に増大したからである。つまり、不足時代の二〇年の経過から、十分もしくは過剰時代にはいったこれからの三〇年間の動きを予測すると、誤りをおかす恐れが多分にあるのである。

もう一つの予測手法である横断面比較法は、以前にはそれなりに有効な方法であった。第二次世界大戦で敗北した日本は、社会組織においても科学技術においても、欧米先進国を見習うという姿勢であったから、食生活においても、同時点の先進国のそれに近づこうとしたという予測は誤りではなかった。しかし、一九七〇年代の現在では、国民一人当りのカロリー摂取量でも、一九七五年を用途として五年前に策定された栄養基準量二、一五〇キロカロリーを超え、タンパク質摂取量も同基準量七〇gを超えた。また、摂取タンパク質の栄養上の質の良否を表わす動物タンパク質比率も永年の念願であった四〇%に達している。もちろん、現在でも、わが国と米・仏などの欧米諸国の食糧消費状況にはなおかなりの差異があるが、それはもはや一定のコースの上を走っている先行者と追跡者との違いを表わすものではなく、それぞれの国の個性の違いと考えた方がよさそうな状態になっている。その結果として、日本人の21世紀の食生活の模型を現在のどこかの国の食生活に見いだそうとする横断面比較法もうまく作れないことになる。

このように考えると、21世紀にいたるこれからの三〇年間に、日本人がなにを多く食べるようになるかを数量的に予測することは困難になってきた。まして、「どのように食べるか」の様式の問題になると、その変化を予測することはいっそうむづかしい。

二 栄養要求と嗜好

人間の要求する栄養素が三〇年ぐらいの間に大きく変わるとは考えられない。その栄養素は、前にも述べたように、ビタミン・ミネラルのような微量必要物質を除けば、カロリー源とタンパク質とになる。

カロリー源として人間が利用できる物質は、化学的に分類すると、糖質、タンパク質、脂質の三つとなる。通常、糖質およびタンパク質は1g当り四キロカロリー、脂質は九キロカロリーの熱量を供給すると考えられている。ガソリンなどの炭化水素は、内燃機関などのエンジンで燃焼させれば大きな熱量を発生するが、人体はこれらの炭化水素を消化・吸収してカロリー源として利用することはできない。つまり、ガソリンや重油などを飲んで走りまわれるような人間はいないのである。

カロリーの必要量は、前出のように、成人一人一日当り二、四〇〇キロカロリーで、食品の固形物に換算すると六〇〇gであるとする。タンパク質の必要量は、摂取カロリー全体の一〇ないし一二%がタンパク質からの供給熱量であればよいとされている。このパーセントを世界の各国民について計算すると、ほとんど一〇ないし一四%のあいだにはいり、日本人は一三%程度で高い方に属することがわかる。一方、脂質からのカロリー・パーセントは、国によって大きい違いがあり、低い方では一〇%程度、高い方では四〇%を超えている。日本人は低い方であったが、食生活の変化にともない、最近では二〇%を超えていると考えられている。脂質カロリーの適正割合は、実験的には定めにくいのであるが、成人病などの関連から、二〇〜二五%がよいとされている。四〇%近い欧米諸国では、脂質の摂取量を減らすと努力しているが、簡単にはいかないようである。

さて、人間は、無害で栄養さえあれば何でも食べるというものではない。つまり、美味なものを好んで食べるのであるが、何が美味であるかは必ずしも明確ではない。日本人はいわゆる内地米をおいしいと考え、外米をまずいと感じるが、世界の大部分では、あの細長い外米の方をおいしいと考えている。この例でもわかるように、嗜好の問題は、栄養の問題とはちがって、人類全体で一様ではない。それゆ

表3 19食品群

番号	食 品
1	肉 類
2	卵
3	乳
4	生 鮮 魚 介 類
5	い も 類
6	生 鮮 野 菜 類
7	生 鮮 果 実 類
8	肉 類 加 工 品
9	乳 製 品
10	魚 介 加 工 品
11	海 草 類
12	澱 粉
13	野 菜 加 工 品
14	果 実 加 工 品
15	豆 類
16	穀 類
17	穀 類 加 工 品
18	油 子 ・ 調 味 料 ・ 脂
19	飲 料 ・ そ の 他

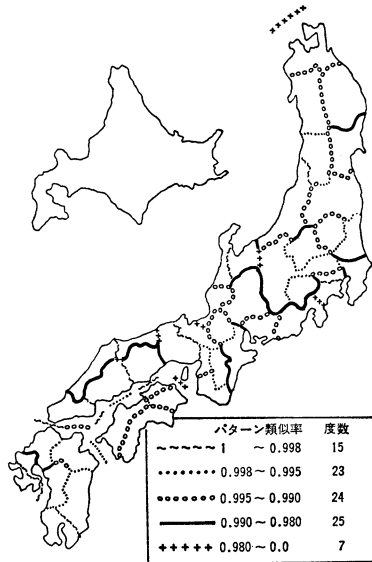


図6 食生活パターン類似率で表現した都道府県境界

え、日本人の食嗜好のようなものは、21世紀までの三〇年の間に、よほどのことが起こらない限り、変わらないと考えてよいであろう。

三 食生活の保守性

食生活というものは元来保守的なものである。それは、食物というものが口から消化器官にはいり、そこで消化吸収されて体の中で代謝利用されるものでなければならぬという本質からきている。したがって、人為的につくられるようになった衣料や住宅材料などとは違って、食物は外観のみではなくその構成物質までが天然物質と同じでなければならぬのである。

食生活の保守性を示す一例として、図6に、日本人の食生活の地域性を表

わす地図を示す。この地図は、科学技術庁の資料にもとづき、表3に示す一九食品群別支出金額パーセントの類似率を五段階に区分し、二つの府県の県境を類似率の低い区分ほど濃く、高い区分ほど淡く表現したものである。

この地図から、日本を大きく二つに分ける線が、神奈川県と静岡県の間から始まって、山梨県および長野県の西を走って、新潟県と富山県の間を抜けることがわかる。この線は、東日本と西日本の食生活パターンを区分するものと考えられ、また、方言などの主要文化パターンの区分線とも一致すると考えられる。

さらに詳細に観察すると、四六都道府県はいくつかのブロック——東北裏日本（秋田・山形・新潟）、北部関東（福島・茨城・栃木）、関東・東山（群馬・埼玉・長野・山梨）、関西（京都・奈良・大阪・兵庫・和歌山）、山陰（鳥取・島根）、瀬戸内（岡山・広島・山口・香川・愛媛・大分・福岡）、西・南九州（佐賀・長崎・熊本・宮崎・鹿児島）、など——に類型化されることがわかる。これらの地域ブロックの境界は、箱根・親不知など、むかし交通の難所として知られたところが多い。このこと、すなわち明治の廃藩置県以後百年を経過し、鉄道網がくまなく行き渡ったにもかかわらず、徳川時代に形成されたと考えられる地域経済圏の食生活パターンの違いが、現在の都道府県のあいだにまだに検出されるということは、食生活の保守的側面を示してあまりがある。

このような保守性は私たちの常識の範囲内でも見られる。たとえば、八幡太郎義家の軍勢が後三年の役で東北地方に出陣したときに偶然に発見して食用としたのが始まりといわれる「なつとう」が、それから約九〇〇年の歴史を経たのに、現在でも、その消費は東日本に限定され、西日本ではほとんど食べ

られていない。

21世紀までのこれからの三〇年間に、食生活もまた大きな変化をするであろうが、前記のような食生活の保守性を考慮にされると、なお、各地方ごとの食生活のお国ぶりというか、特色は、検出しうる程度に残ると考えてよいであろう。

四 食生活で変化しつつあるもの

食生活がきわめて保守的な側面をもっていることは、前項で強調したとおりであるが、他方、変化する側面のあることも事実である。第二次大戦後の二五年間をふりかえって、わが国の食生活はたいそう変わったと感じる人も多いであろう。

感じだけではなく統計指標でこれを示すと表4になる。表の左側の三つの指標は経済に係属したもので、エンゲル係数（消費支出中の食費支出のパーセント）の低下傾向は明らかであり、また、食費支出の内訳を見ると、主食費の割合は減少し、外食費の割合は増加してきている。これらの傾向はこんごかたりの期間継続すると考えられるが、21世紀まで続くかどうかは疑問である。とくに、エンゲル係数の減少傾向は近い将来にとまる可能性がある。一方、21世紀までの三〇年間に、あとの二つの指標の意味内容は空疎になってしまうかもしれない。実際「主食」という観念がなくなるとか、義務教育終了年齢までは一切の食事が無料化するなどの社会的変化が起こる可能性があるからである。

表4の右側の三つの指標は、栄養に関連したものである。でんぷん質食品、つまり穀類、いも類は、カロリー当りの単価がもつとも安い食品であるから、所得が低いあいだは食費の大部分をこれらのでん

表4 食生活の傾向変化を示す指標

年次	エンゲル係数 (%)	主食費 (%) (食費支出中)	外食費 (%) (食費支出中)	でんぷん質 カロリー (%) (総カロリー 一中)	脂質カロリー (%) (総カロリー 一中)	動物タンパク 比率 (%) (総タンパク 質中)
1965	38.1	23.4	6.8	63.4	15.2	35.3
66	37.3	22.0	7.0	61.2	16.2	36.5
67	36.8	20.7	7.6	59.7	17.1	37.9
68	35.5	20.0	8.2	58.1	17.5	39.0
69	34.6	18.5	9.0	56.5	18.2	39.5
70	34.1	16.9	9.3	54.7	18.9	41.3
71	33.3	15.8	9.6	53.8	19.5	42.4
72	32.7	14.8	10.4	52.5	20.2	43.0

資料：家計調査年報および食料需給表。

ぶん質食品に割かざるを得ないが、所得が向上しゆとりが生じるにつれて、タンパク質・油脂食品などを消費できるようになる。また、動物タンパク質食品を生産するには、前章でも述べたように、直接食糧として利用できる穀類を餌飼料に転用する場合は多いから、社会全体にかなりのゆとりがなければ、動物タンパク質を多量に摂取することは困難である。

このような事情をふまえて表4の数字を見ると、国民所得の向上につれて、日本においても、でんぷん質カロリー割合は減少し、脂質カロリー割合および動物タンパク質比率は増加してきた。これらの傾向はこんごも続くと考えられるが、脂質カロリー割合が二五%を超えることは、成人病や寿命との関連から健康上好ましくないといわれている。現在の状況から見ると、あと一〇年足らずのうちにこの二五%ラインを超えてしまいそうである。「健康上好ましくない」という場合に、国家は消費の抑制をなんらかの方策でおこなうべきかどうか、こういう議論がおこなわれるようになると思われる。

つぎに、数値で表わすのは困難であるが、「味」に関連する変化を考えてみよう。柳田国男によれば、「明治以降の日本人の食

事は全般的に、暖かくなり、柔かくなり、甘くなった」という。食事が暖かくなったのは、大家族制の崩壊と核家族化の傾向に伴い、食事の持っていた儀式的性格が衰退したためと思われる。食事が柔かくなったということも、たとえば米飯ひとつをとってみても、昔は主として「こわめし」であったのが現在は、昔風にいえば「かたがゆ」にあたる「ひめめし」になっていることからもうなずける。この傾向は、長い目で見れば、人類の歯が退化して行く傾向と関連しているものと考えられる。甘くなったというのは、日本では甘味資源が少なく、それゆえに珍重された時代が長く続いていたところへ、明治以降大量の砂糖が安く供給されるようになったことの、いわばムチ打ち症の後遺症のようなものであろう。したがって、この点は、むしろ「味がうすくなる」という世界的傾向に置きかえて考えた方が、こんごの予想をするのに適當のように思われる。

以上の傾向はこんごも続くと考えられるので、21世紀に向かって、食物はだんだん幼児食化するといえるであろう。現に、ブレックファスト・シリアルズやハンバーグの食べ方などは大変幼児食的であるということが出来る。これは味気ない予測であるが、人類の食生活のネオテニー（成動物の幼形化）現象と考えてみずからなぐさめるほかはないのであろうか。

五 新しい食べもの

前項で取り上げた変化は、食生活や食事の味つけの連続的な変化であった。ところが、日本人の食生活の歴史をふりかえてみると、新しい食用作物の導入というような不連続な変化もおこっていることがわかる。現在から21世紀に至る三〇年間には、過去一〇〇年あるいはそれ以上の期間におこった不連

続な変化に匹敵するだけの変化もおこりうると予想されるので、ここでは、徳川中期以降におこった食生活の不連続な変化、とくに、新しい食用作物について、調べてみよう。

食用作物の変化のうちでもっとも有名なのは、青木昆陽によるサツマイモの普及であるが、これは18世紀の中頃であるから、今から約二〇〇年前のことである。バレイシヨの渡来は古く、16世紀末であるが、日本人の食生活になじみになったのは明治以降、それも明治末期である。タマネギは、明治になって渡来した西洋野菜であるが、一般消費者に普及したのは日露戦争以後である。トマトやキャベツは、植物としては徳川初期に伝わっていたらしいが、それらは赤ナス、葉ボタンとして觀賞用にされてしまい、食用として取り扱われたのは明治以後である。とくに、トマトは、はじめは皿にのせる飾りであって食べるものではなく——現在のパセリのようなもの——、実際に誰もが食べるようになったのは、昭和になってからである。くだものの中では、現在のミカン温州ミカンであるが、これが徳川時代からの紀州ミカン（いわゆる小ミカン）に取って代わったのは明治になってからである。また、デラウエアの種なしブドウは、第二次世界大戦後に、植物ホルモンを利用した栽培技術の開発によって生産供給されるようになったものである。

以上からわかるように、野菜やくだものなかには、明治以後の一〇〇年間に、私たち日本人の食卓に登場してきたものが意外に多いのである。その多くは、諸外国から導入されたものであるが、わが国で品種改良がおこなわれたものもある。このような改良は、園芸作物以外でもおこっており、たとえばコメでは、消費者はほとんど気付かないであろうが、一〇〇以上の新しい品種が育成され、食用に供されてきた。

-
- 1926 酵素タンパク質ウレアーゼの結晶化(サムナー)
 // 植物ホルモンの研究アベナテストの導入により進む(ヴェント)
- 1927 食物連鎖などの動物生態学の基礎概念の確立(エルトン)
 // X線照射による突然変異の発生(マラー)
- 1928 植物の段階発育説を提唱(ルイセンコ)
- 1929 ペニシリンの発見(フレミング)
- 1935 タバコモザイク病ビールスの結晶化(スタンレー)
 // 最後の必須アミノ酸スレオニンの発見(ローズ)
- 1938 DDTの殺虫効果の発見(ミュラー)
- 1944 2, 4, D.の除草効果の発見(ハムナー, タッキー)
- 1947 普通小麦の遺伝学的合成(木原)
- 1950
- 1952 遺伝子物質, DNAの二重らせん構造の解明(ワトソン, クリック)
- 1957 グルタミン酸ソーダの発酵生産法の確立(木下)
 // イギリス, ウィンズスケールで原子力発電所火災による牛乳の放射能汚染
 // ノルウェーで飼料にしんによる家畜の大量死亡, のちにニトロソアミンの発がん性問題に発展
- 1960 核酸系調味料の開発(国中)
 // イギリスでビーナッツによる大量の七面鳥の死亡事故, のちにアフラトキシンによる発がん性問題に発展
- 1963 「沈黙の春」で農薬大量使用の危険性を警告(カーソン)
- 1964 高リジンとうもろこしの発見(メルツ)
-

これから21世紀までの三〇年間には、やはり多くの品種改良や栽培技術の進歩によって、私たちは数多くの目新しい野菜や果物に出会うことになるであろう。ただ、それらは、明治以降にわれわれの祖先が経験したような外来種の導入によるのではなく、こんご世界各地で取り上げられる、分子生物学と遺伝学・育種学などを結合した研究の成果によって創り出されることになるであろう。表5(食生活に関連する科学技術史年表)に見るように、これまでの品種改良の手法が主として、ダーウィンの進化論(一八五九)とメンデルの遺伝法則の再発見(一九〇〇)の結合によるものとすれば、こんごの手法には、遺伝物質DNAの二重らせん構造の解明(一九五二)に始まる分子生物学の発展が大きな寄与をすることは疑いをいれないところである。つまり、こんごの食用作物の進歩は、かつての新大陸

表5 食生活に関連する科学技術史年表

	1779	植物の光による空気清浄作用の発見（インゲンハウス）
	1798	「人口論」の出版（マルサス）
1800	1809	ビン詰め・カン詰め法の発明（アペール）
	1810	ブリキカンによるカン詰（デュランド）
	1812	真空濃縮法の開発（ハワード）
	〃	ロンドンに最初の都市ガス会社設立（ウィンザー）最初ガス燈用
	1834	食物の主要3成分（タンパク質，脂質，糖質）の認定（プラウト）
	〃	実用的刈取機の発明（マコーミック）
	1838	植物の細胞説（シュライデン）
	1839	生物の細胞説（シュワン）
	1840	植物の無機栄養説（リービッヒ）
	1841	コンバインの試作（チャーチ）
	1842	最初の肥料過燐酸石灰の製造（ローズ）
	1845	赤リンを用いた安全マッチの発明（ベットガー）
1850	1856	遺伝法則の発見（メンデル）
	1859	進化論「種の起源」発表（ダーウィン）
	1860	植物水耕法の確立（ザックス，クノッブ）
	1862	緑葉が光合成によりでんぷんをつくることを証明（ザックス）
	1865	低温殺菌法（パストリゼーション）の開発（パストール）
	1868	健康人の標準食（タンパク質118g，脂質56g，糖質500g）を設定（フナイト）
	1872	噴霧乾燥法の開発（パージー）
	1875	受精現象の顕微鏡的観察（ヘルトウィッヒ）
	〃	アンモニア冷凍装置の発明（リンデ）
	1876	大洋航海の冷凍輸送船（食肉用）の建造（テリエ）
	〃	発酵作用の微生物説（パストール）
	1882	殺菌性農薬ボルドー液（硫酸銅と石灰）の製造（ミヤールデー）
	1897	発酵作用が酵素によることを実証（ブフナー）
1900	1900	メンデルの遺伝法則の再発見（ドフリース，コリンズ，チェルマック）
	1902	タンパク質のポリペプチド説（フィッシャー）
	1903	食品の化学成分の熱量価の決定（アトウォーター）
	〃	農業用キャタピラ式トラクターの開発（ホルト）
	1908	グルタミン酸ソーダの調味料としての製造（池田）
	1910	ビタミンの発見（鈴木，フンク）
	1911	組織培養法の確立（カレル）
	1912	活性汚泥法による下水処理法の開発（ローレンス試験場）
	1913	空中窒素の固定による肥料合成法の確立（ハーバー，ボッシュ）
	1915	葉緑素の化学構造の決定（ウィルシュテッター）
	1916	遷移，極相などの植物生態学の基礎概念の確立（クレメンツ）
	1918	発生学における編成源の発見（シューパーマン）
	1920	植物における光周律の発見（ガーナー，アラード）

の発見のような地理的探検の結果としてではなく、生物界それ自体の学問的探検の結果として得られるものの方がはるかに多いと予想される。たとえば、「種なしザクロ」などというものの創成も、21世紀にかけてのささやかな夢になるであろう。

なお、野菜・果物などの青果物の季節はだんだんと消失するであろう。現在でも、施設園芸の拡大と遠隔地からの輸送技術の進歩によって、周年供給体制に近づきつつあるが、将来は、都会地における都市園芸が、花などの観賞用植物だけではなく、食用作物についてもおこなわれるようになり、高級レストランなどは観賞用を兼ねて清浄野菜の栽培ビルディングをもつなどの方式に移行するかもしれない。また、豆モヤシなどの発芽ステージをそのまま蔬菜として利用する形態は、元来工業生産に近いものであるが、こんご多様な方面への発展が期待される。さらに、学術的な興味から進展した技術である組織培養法の食糧生産への応用も、イチゴ、トマトなどの果肉細胞をカルス状（形成層または柔組織から発生する分裂機能の盛んな組織をいう）に培養して食用に供するなどの形で利用される可能性もまったくないとはいいきれない。

六 食品工業の進歩

食糧は、基本的には、緑色植物の光合成産物である農産物から得られる。したがって、植物の生育には熱帯以外では年サイクルがあるから、食糧生産は多少とも季節生産的な性格から免れることはできない。農産物のなかでは、穀類・マメ類などの水分含量の低いものは貯蔵しやすいが、野菜や果物など、また水産物などはそのまま貯蔵することはできない。人間は食いだめをすることができないから、腐

りやすい食物を貯蔵する方法を見つけることは、人類にとって死活の問題であった。水分の多い食物を保存するために、塩漬けにすることと乾燥することは古来よりおこなわれてきたが、近代技術文明はこれに新しい二つの方法を追加することに成功した。

その一つは、熱殺菌法であるビン詰め・カン詰めの製造法であり、もう一つは、ちょうどその逆になるが、低温を利用する冷蔵・冷凍法である。熱殺菌法は、ナポレオン軍の懸賞募集に応じてフランス人アペールが一八〇九年に発明したもので、腐敗が微生物によっておこり、微生物を熱で殺すことにより腐敗を防止できることを、パスツールが見いだす五〇年も前のことである(表5参照)。アペールの発明後約一五〇年たつが、その間に微生物が通過できない容器のなかに入れて熱殺菌するというこの方式は、容器材料として、ガラス瓶、鉄・アルミなどの金属性のカン、さらに最近における合成プラスチックのフィルム類に発展し、また、殺菌法の側では、初期の熱湯につける方式から、高圧蒸気殺菌、回転式殺菌、高速シーマーなどのメカニカルな面で高度の発達をした。

この線上にあるこんごの発展としては、最近ようやく実用段階に達したマイクロ波誘電加熱法(電子レンジ)と放射線利用との殺菌面への適用と、プラスチック類の一層の発展との結合とから生ずると考えられるが、一方における廃棄物公害の問題とも関連するので、21世紀どころか来年の予想もむずかしい状況にある。しかし、夢をえがくとすれば、外部からはきわめて頑丈であるが内面の方が酸素に触れると容易に風化分解するようなプラスチックを開発し、これを用いて完全な真空包装にすることが考えられる。そうすれば、開封して捨てた場合には容易に分解してゴミ公害にならないから、21世紀にはこのような夢の包装材料が出現してほしいものである。

もう一つの貯蔵方式である冷蔵・冷凍は、リンデのアンモニア冷却装置の発明（一八七五年）に端を発するもので、現在までに一〇〇年の歴史がある。しかし、こちらの方は、さきの熱殺菌法が現在すでに花開いた技術であるのに比較して、まだ蓄の状態にある——少なくとも日本では——といった方がよいであろう。低温利用法の開花がおくれたのは、熱殺菌法が工場内で完結する技術（カン詰めは工場から出荷された後は、取り扱いの上の特別な配慮を必要としない）であるのに対し、低温利用の方は、工場で優れた技術で凍結しただけでは完結せず、流通段階でも温度が上がらないように適切な取り扱いをしなければならず、場合によっては消費者が解凍するときの技術や設備にも関連するという具合で、社会的な技術体系としての色合いが濃厚なものだからである。しかし、だからこそ、現在蓄である低温利用技術が、21世紀にかけて大きく開花する可能性がある。それがいわゆるワールド・チェイン（低温流通帯）であり、そのような社会システムが実現すれば、さらにすぐれた冷凍法や解凍法が開発されるものと期待される。よく知られているように、金魚を液体窒素で急速凍結すると死なないで解凍後泳ぎ出す。このような方式がさらに進歩すれば、生きている冷凍魚が消費家庭のフリーザーに入っているという時代がくると予想されるのである。

腐りやすいものを貯蔵するこのような方法の進歩は、従来家庭でおこなっていた調理作業を、家庭外でつまり食品工業の側でおこなうことを可能にする。料理というのは、そのままでは消化しにくいものを消化しやすい形に変えることであり、人間が消化しやすいものは、微生物にも消化しやすいものであり、それは腐りやすいということになる。料理したものは腐りやすいがために、従来はその作業を家庭でせざるを得なかったのである。しかし、これから21世紀にかけては、調理済みの腐りやすいものを一

層上手に保蔵できるようにするので、家庭でも食堂でも、半加工品や調理済み食品を使用する頻度はますます高くなると考えられる。ただこの場合には、家庭でも、冷凍食品を貯蔵しておくための大型フリーザーや、急速に解凍・加熱する電子レンジなど、ある程度の装備を整えることが必須になると予想される。したがって、この方向に進歩がづくくと、21世紀の台所は現在よりもはるかに大きい物質処理能力をもたねばならないことになる。

以上は、食品工業の機能のうちの貯蔵的側面について考えたのであるが、もう一つの機能である高度の加工についてはどうであろうか。大量消費社会においては、いつでも一定品質の商品を供給する必要がある。食料品の製造原料である農産物は、品質的に不揃いな場合が多いから、このような要求にはなかなか応じにくい。が、高度の加工食品になると、一定品質のものをつねに供給できるような性格をもち始める。たとえば、最近開発された新タンパク食品（いわゆる人造肉）は、原料農産物である大豆や小麦からタンパク質を抽出し、これを素材として、肉のような物性をもたせたものである。ここで、大豆や小麦を工業における鉄鉱石のように考えると、どのような鉄鉱石からも一定品質の鋼管がつくられるように、どのような大豆や小麦からでも一応、一定品質の人造肉をつくっているのである。この製造方式は、一見手間がかかりすぎて実際的でないように見えるが、大規模生産設備を用いれば省力化でき、大量消費がある場合には、従来の大豆タンパク質食品よりも優位性をもてる場合があるのである。

現在でも、製パン、製めんなどは、これに似た状況にあるが、21世紀にかけては、さらに本格的に、でんぷん、タンパク質、脂肪、糖などから組み立ててつくる「再構成食品」(fabricated food)が続々と出現してくると思われる。そして、その種類は、主食的食品、主菜的(タンパク質)食品、果物的食品、

野菜的食品の全分野にわたるであろう。現在でも、アイスクリームは、工業的に生産される果物的食品と見ることが出来る。また、これにともない、生鮮食品以外の作物は、原料作物的方向への成分育種（収穫物内の有効物質の含有率の向上を目標にした育種）が広範囲におこなわれるようになるも期待される。（米は、現在の日本においては、生鮮食品的な性格をも具えている。）

七 食生活に関する知識と価値観

世界各国民が現在営んでいる食生活は、有史以前からの實際経験の積み重ねによって、それぞれの食品についての食用の可否、調理法、また各食品についてのバランスなどが定められ維持されてきたものであるから、その食生活全体が、個体の維持・種族の維持にとって重大な欠陥をもつということはない。しかしながら、食生活全体の栄養問題について、科学的・分析的知識が得られるようになったのは比較的近年のことである。表5にあるように、食品別ではなく、食品成分別に基準量の設定を試みたのはフオイト（一八六八）であるが、これは実験科学的なものではなく、消費統計数値から算出したものである。それでも、タンパク質がやや過大になっているほかは、ほぼ適切な数値が得られている。食品成分とカロリー必要量の関係を実験科学的に明確にしたのは、フオイトの後継者であったアトウォーターで、それは20世紀に入ってから（一九〇三）であった。

微量栄養素の問題は、一九一〇年代の鈴木梅太郎らのビタミン発見以来研究努力が集中された結果、ビタミンB₁₂の発見までで実際的にはほぼ解決されたと考えられる。

最後に残っていたタンパク質の栄養上の質の問題も、ローズ（一九三五）の最後の必須アミノ酸スレ

オニンの発見により、主として必須アミノ酸のバランスの問題に還元され、実際的にも、第二次大戦後の合成化学技術の進歩とアミノ酸類の発酵法による製造技術の発展によって、栄養面のみを考えれば解決されたと考えてよい。

以上のように栄養面についての知識はほぼ完成されているので、こんご21世紀にかけての三〇年間に必要と考えられる食品についての知識は、一方では味、香り、粘弾性のような嗜好に関する分野と、他方では産業公害などによる食品の安全性の分野に集中されると考えられ、これらの分野で膨大な知識の集積が期待される。後者については、従来は安全と考えられていた食糧資源が汚染されて安全でなくなってきた問題が最重要であるが、とくに汚染されていなくても食品の中に元来存在する有害物質の追究にも目が向けられるであろう。

汚染物質であれ天然物質であれ、食品の中の有害物質の除去にはもちろん技術が総動員されるであろうが、特定物質のみを取り除くことは、ビタミンなどの特定物質を添加することのように容易ではなく、またすべての場合に成功するとは限らない。そのような事情の帰結として、これからは、昔の人々のように山海の珍味に対してナイーブに喜ぶわけにいかず、危険性についての十分な知識をもって、かえって一抹の不安とともに食事を摂るということになりかねない。

第三章 環境保全と農業

一 自然生態系との調和

本節では、農業生産にとつての自然環境はなにかを問い、その自然環境が、地球上の場所の氣候によつて異なり、また年代によつて変化することを示すとともに、人間の創造する巨大システムが新しい環境をつくりだしつつあることを説明する。そして、さいごに、農業もまた環境を破壊するが、自然生態系との調和的發展が可能か否かを論じる。

農業生産にとって環境とはなにか

農業生産の担い手である作物は、種子から芽生え、太陽光の力を借りて光合成活動を営みながら生長し発育して、人間の必要とする種々の有機物を生産している。このプロセスをたどる過程で、作物はそれをとりまく周囲とのあいだで、物質とエネルギーの非常に活発な交換をおこなう。この交換が作物の必要に応じて円滑におこなわれるとき、はじめて作物は人の要求する量と質の生産物をつくりだすことができる。

だれでも知っているように、作物は、葉を空气中に上げ、根を土層中に張って、生長・発育に必要な

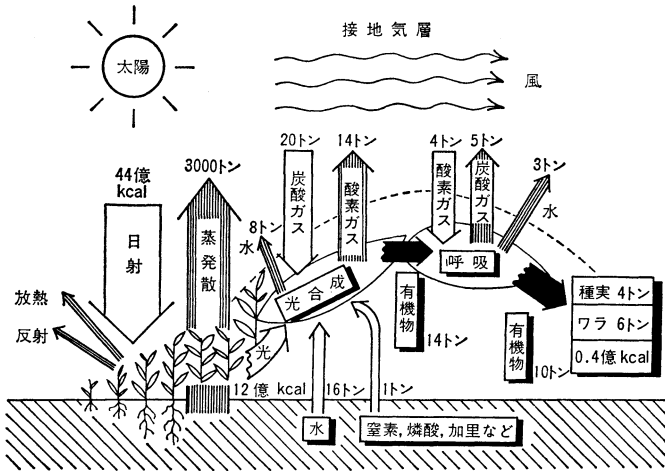


図7 耕地におけるエネルギーと物質の交換（ニチポロビッチ，1966）

エネルギーを受けとり、また、そのための物質を吸収している。作物の生活するこの場所は接地気層と呼ばれ、エネルギーと物質がもっとも激しく交換される場所である。ここで作物が交換する物質とエネルギーの量はどのくらいであろうか。ニチポロビッチによる最近の研究結果（図7）によると、四トン/haのコムギ種実の生産には、四四億キロカロリーの日射量（より厳密には、全短波放射とよばれる〇・三と三・〇μの波長域に限られる）と一五トンの炭酸ガス、および約三、〇〇〇トンの水分が必要ながわがわかる。これらの数字は、イネやトウモロコシでも大きくは変わらない。

それでは、このように莫大なエネルギーと物質を作物はどのようにして調達しているのだろうか。およそ一・五億kmの彼方に輝く太陽は、地球をとりまく大気層の外側まで一分間に約二カロリー/cm²の強さのエネルギー（年間三五〇億キロカロリー/haにあたる）を常に送り届けている。この値はほ

とんど変わらないので、太陽常数とよばれている。しかし、農地上に到達する放射量は、大気層の透明度や、太陽と地面との角度、また雲の有無などによって大幅に変化し、いずれにしても、太陽常数にくらべてかなり小さい。わが国の水田上に到達する太陽放射量は、北海道で四〇億キロカロリー/ha、九州では八〇億キロカロリー/haぐらいと見られる（詳細は本章二節参照）。したがって、わが国では、コムギ・イネ・トウモロコシなどの生産に必要な太陽エネルギーはほぼ充足されているといえる。

つぎに、炭酸ガスはどうか。晴天の日には、よく茂った水田は、一日に一五〇〜二〇〇kg/haの炭酸ガスを吸収する（生育期間全体で約一五トン）。この大部分は、耕地上を流れる空気から補われている。よく知られているように、空気中の炭酸ガス濃度は一㎡あたり〇・五六gで非常にうすい。すると、空気中の炭酸ガスを完全に吸収するとしても三〇万㎡の空気と、もしその一〇%しか吸収しないと仮定すると三〇〇万㎡の空気と、作物群落は接触しなければならぬことになる。これだけ莫大な量の空気との接触がおこなわれ、炭酸ガスの補給を可能にしているのは、空気の動き、すなわち、風のはたらきである。

三節で説明するように、水は、作物体内の生命活動の場を維持するとともに、生命活動に必要な物質を搬入し、老廃物を運び出すという役割を果たす。また、水一gあたり約六〇〇カロリーという大きな気化潜熱を利用して、植物体を強い太陽放射から保護している。これに必要な水は、さきにも述べたようにコムギはその生育期間を通じて約三、〇〇〇トン/haであるが、イネは四、〇〇〇〜五、〇〇〇トンの水を蒸発散によって使用するといわれている。作物は、これだけの水を、土層中に張った根系を通して土壌中から吸収している。また、このプロセスを通して、生命活動に必要な多くの無機塩類を体内

に取りこんでいる。この水は、灌漑などで補給されることもあるが、降雨によって耕地に達するものが大きな部分を占めている。

以上の検討からわかるように、作物の生育に必要な莫大な量の日射量と炭酸ガスと水は、作物をとりまく大気圏・地圏・水圏から、作物の葉または根にとりこまれている。作物をとりまき、作物との間でエネルギーと物質の活発な交換をおこなっているこの三圏を、農業生産にとっての自然環境と呼ぶことにしよう。この自然環境は、

- (1) 農業生産活動の場であり、
 - (2) 生産活動に必要なエネルギーと物質の径路であり、
 - (3) それらの貯えられている空間である、
- ということが出来る。

環境の違いと乾物生産力

農業をとりまく自然環境が大気圏・地圏・水圏より構成されていることは、すでに見たとおりであるが、これらの構造と機能を決めているのは、各構成圏のあいだにおける物質とエネルギーの交換強度であり、その方向である。この交換強度と方向が変化すると、接地気層内で生活している植物との間のエネルギー・物質の交換強度も当然ちがってくる。このあとの交換強度は、植物の乾物生産量に相当する。太陽エネルギー 地球表面に到達した太陽エネルギーはどのように配分されるかを模式的に示す(図8)。湿ギーの配分 った地面上では、多くの熱量が水分の蒸発に使われ(潜熱伝達)、一部が空気の加熱(顕

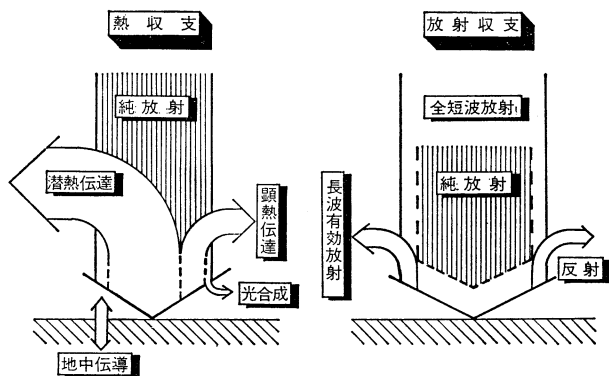


図8 地表面における太陽エネルギーの配分(熱収支)

熱伝達)と、土壌の加熱(地中伝導)に用いられる。作物の光合成に用いられるのは、残りのごく一部で、太陽エネルギー全体の二〜三%以下である。この熱収支の各成分の間には、「エネルギー保存則」が成立しており、次式で表わされる。

$$(\text{純放射量}) = (\text{潜熱伝達量}) + (\text{顕熱伝達量})$$

$$+ (\text{地中伝導量}) + (\text{光合成利用量})$$

ここで、純放射量とは、地面近くの物理現象のエネルギー源として用いられる正味の放射エネルギー量で次式により定義される。

$$(\text{到達太陽放射量}) - (\text{反射太陽放射量})$$

$$+ (\text{長波有効放射量})$$

乾いた地面上では蒸発する水がないために、放射エネルギーのほとんどは空気と土の加熱に用いられ、気温・地温が異常に高くなる。また、後でも説明するように、地球表面に到達する太陽放射量は、北・南極で少なく、赤道地帯で多い。さらに、大洋からの距離や大気の流れの強弱に応じて地面に降る雨量は大幅に異なる。これらのために、地面における熱収支のすがたは緯度帯などで大きく異なり、植物をとりまく

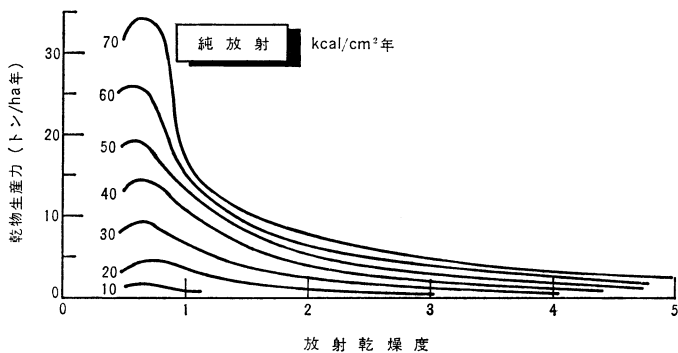
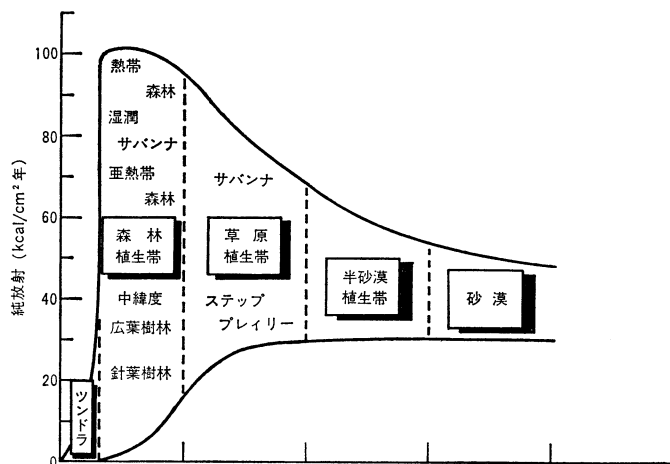


図9 気候と自然生態系 (ブディコ, 1971)

表6 放射乾燥度による気候帯の分類

気 候 帯	放射乾燥度 γ
ツンドラ気候帯	$\gamma < 0.3$
森林気候帯	$0.3 < \gamma < 1.0$
ステップ気候帯	$1.0 < \gamma < 2.0$
半砂漠気候帯	$2.0 < \gamma < 3.0$
砂漠気候帯	$3.0 < \gamma$

自然環境の構造と機能に差異を生じている。このような違いは、気候の違いと呼んでもよいであろう。気候の違いと自然環境が違おうと太陽エネルギーの配分が異なり、それに応じて物質の交換強度と方向が変化する。植物は接地気層内で生活し、このなかでの物質・エネルギーの交換強度と方向が変化する。植物は接地気層内で生活し、このなかでの物質・エネルギーの交換強度と方向が変化する。植物は接地気層内で生活し、このなかでの物質・エネルギーの交換強度と方向が変化する。

ルギーの交換・輸送のサブシステムを構成している。それゆえ、物質・エネルギー交換の主システムの構造が変化すると、植物群からなるサブシステムも変化し、そこでの物質・エネルギーの交換強度（これが植物の乾物生産量にあたる）も当然ちがってくる。最近、ソビエトの著名な学者ブデニコは、気候と乾物生産力との関係を、放射乾燥度を変数として示した（図9）。放射乾燥度とは、純放射量を降雨量気化必要熱量で割った値で、それが一・〇というのは、そこに到達する放射エネルギー量と、その降雨量を蒸発させるのに必要な熱量とが平衡していることを示す。一・〇より小さい放射乾燥度は、雨が多く土壌中に常に水分の豊富なことを、反対に、一・〇より大きい放射乾燥度は、到達エネルギーに比較して雨が少なく土壌は常に乾き気味であることを表わす。これを用いると、地球上の気候帯は表6のように分類できる。

おのおのの気候帯には、それ特有の熱収支のパターンが見られ、そこに生存できる植物の種類と量がきまり、固有の植物相が発達している。各気候帯の乾物生産力は、そこでの放射乾燥度にしたがって、図9の下半分から読みとることができる。純放射量のいかんにかかわらず、放射乾燥度が〇・六〜〇・七の付近に乾物生産力の最大値があり、乾燥度が

表7 地球上の主たる植生帯とその分布 (ソカフ, 1964)

	植 生 帯 名	主 たる 分 布 地 域
寒・ 暖 地 性 植 生 帯	ツンドラ植生帯	高緯度極地域
	タイガー植生帯	ウラル-シベリア地域, カナダ北部
	広葉樹・混合林帯	アラスカ, 北ヨーロッパ 華北・東北地域, カナダ南部
	灌木性亜熱帯植生帯	ヨーロッパ中央地域
	乾性灌木亜熱帯植生帯	華中・華南地域, 極東沿岸地域
	ステップ植生帯	メキシコ高原, イラン高原
中緯度砂漠植生帯	ステップ植生帯	モンゴル, 中央アジア北部, ボルガ-カザフ スタン地域
	中緯度砂漠植生帯	サワラ北部地域, スーダン, 中央アジア地域, アメリカ合衆国南西部
熱 帯 植 生 帯	湿潤常緑熱帯森林帯	ベンガル地域, インドネシア, アマゾン, コ ンゴ
	マングローブ植生帯	多湿熱帯地方の沿岸部
	落葉性熱帯森林帯	ビルマ・タイ, ブラジル南部
	熱帯乾性森林帯	デカン高原, オーストラリア北部, パラグァ イ
	熱帯サバンナ植生帯	サワラ南部, 東アフリカ
	熱帯砂漠植生帯	サワラ中央, オーストラリア中央, アラビア 半島

それより大きくなると、生産力は急速に低下することがわかる。放射乾燥度が一層大きくなると、乾物生産力はすぐにゼロに近づくこと予想されるが、それを裏づける十分な資料はない。

このような自然環境（気候帯）とそこで物質とエネルギーの交換をしながら生存する植物群落（動物もふくめてよい）の全体を、自然生態系と呼ぶことにすれば、個々の気候帯の下に形成される自然生態系の質的・量的な違いは、そこに流入する太陽エネルギーの配分とそれにもとづく自然植生の乾物生産量の多少によってきまる。各気候帯には、エネルギー・レベルの違いに応じて、固有の植生帯が発達する。最近の研究成果にもとづいて、地球上の自然植生帯を区分すると、表7のよう

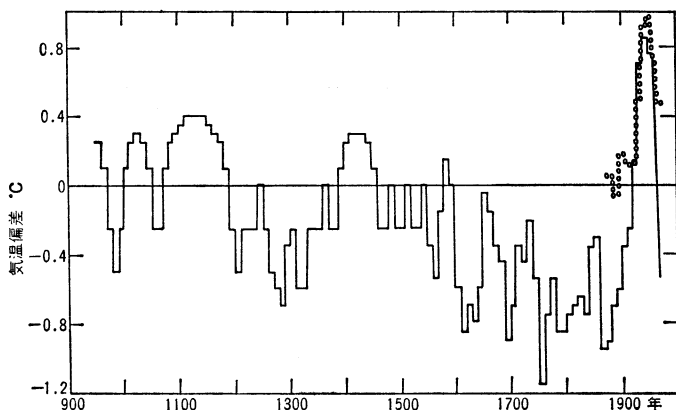


図10 アイスランドにおける年平均気温の累年平均値からの偏差（実線）と北半球平均気温（点線）の動き

になる。

これらの植生帯は、緯度にはほぼ平行して分布しており、その乾物生産力は、図9の上半分と下半分から読みとれる。現在の主要な農耕地帯は、森林植生帯とサバンナ・草原地帯にあり、とくにコムギの生産はサバンナ・草原地帯に限られている。

環境は変化する

地史をひもとけばわかるように、地球上には寒冷な氷河期が何回となく

おとずれ、植物相・動物相に大きな変化をひきおこしている。人類の記録時代にはいつてからの例が図10に示されている。アイスランドは北緯六五度に位置している、その温度変化は地球の温度状態のパロメータといわれている。過去一〇〇〇年を通じて、大小の変動が見られ、地球上の環境は一定であったとは決していえないことがわかる。とくに、一五五〇～一八五〇年は、平均より摂氏〇・八度低く、小氷河期といわれた時代である。わが国でも、徳川後期の三大飢饉（天明一七八二～八七、天保一八三三～三九、慶応一八六六

表8 農作物の温度要求度（日平均気温10°C以上期間の積算気温）

積算気温	栽培可能作物
300以下	被覆栽培以外は不可能
300～1000	温室栽培の早生根・葉菜類、(南部)：早生パレイシヨ、春禾穀類(早生)
1000～2500	パレイシヨ、春・冬禾穀類、根菜類、(南部)：ビート、トウモロコシ(青刈)
2500～4000	トウモロコシ(種実)、晩生作物、ヒマワリ、ビート、イネ
4000～6000	イネ、大豆、落花生、ワタ、晩生トウモロコシ、ミカン、サツマイモ
6000以上	ワタ(晩生)、ナツメヤシ、バナナ(無霜地帯)：コーヒー、カカオ、キニーネなどの熱帯作物

(六九)が、ほぼこの時期に発生している。ヨーロッパでも、イングランド・フランス・ドイツのパレイシヨが寒さのために大被害をうけ、多くの農村地帯で棄村があったと記録されている。その後、温度状態は急激に改善され、ここ四十年間は、過去一〇〇〇年に見られなかったような高温で経過している。

多くの文明国の分布している北半球の温度状態も、最近一〇〇年の観測データしかないけれども、アイスランドのそれにほぼ平行に推移しており、一九二〇～五〇の三〇年間はかなり高く、その後次第に低温化の傾向を示している(図10)。二〇～三〇年という比較的短期間でも、気候は大きく変化することがこの図からわかる。

植物の生存は、気候、とくに温度状態と水分状態に密接に関係している。いま、日平均気温が一〇度以上の期間の積算気温を基準にして、農作物の分布を示すと、表8のようになる。この積算気温は、農業気候研究のなかで広く利用されており、最近の物質生産研究によつて、その土地の可能な生産量と密接な関係があることが知られている。温度状態に適合した作物を選んで栽培する適地適作方式は、人類のながい農耕の歴史のなかで習得された、受身の調和技術ということができるであろう。

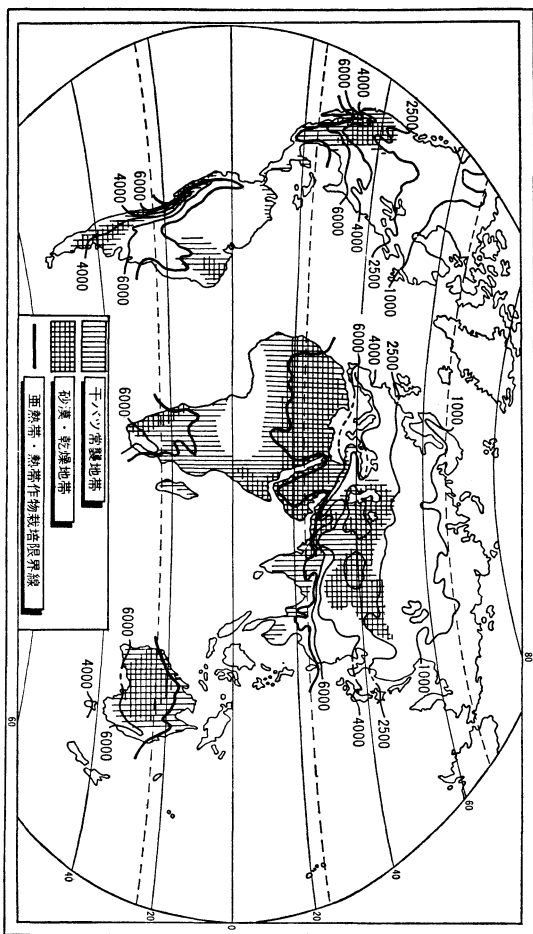


図11 地球上の農業自然環境 (ゴツベルグ, 1972)

それでは、地球上の自然環境が空間的にどのように分布しているかを示そう (図11)。山岳部を別にすれば、積算気温が一〇〇〇度の線は北緯六五度に沿っており、二五〇〇度線は四〇―四五度の間を走っている。四〇〇〇度線は三〇―四〇度の間に、六〇〇〇度線は二〇―三〇度の間にある。その南に亜

熱帯・熱帯作物の栽培限界線が走っている。これから見ると、地球上には広大な可耕地が広がっているようであるが、水分条件を考えると、可耕地は意外に狭いのである。図上でマスクされている地域は、干ばつの頻度が一〇年に七回以上という農耕不適地である。両半球の中緯度高気圧帯の周囲の広大な面積が不適地であり、しかも、その周辺には、干ばつ頻度が一〇年に二〜五回という不安定な農耕地がづづいている。これから、四〇億に近い人口を支えるための耕地は、地球上のわずかな部分にしかないことがわかる（第一章の表2参照）。

図11の積算気温は、気象要素の平年値——現在は一九三一〜六〇の三〇年平均値——を用いて作成されている。しかし、気候は毎年変動する。この変動を考慮に入れるとどうなるか。北半球上の多くの地点の気象資料から、右の積算気温の変動係数 $C \cdot V$ （標準偏差を平均値で割って%で表わす）の大きさは、緯度 ϕ によって説明できそうであったので、最小二乗法により、つぎの関係を見出した。

$$C \cdot V = 5.24 - 0.21\phi + 0.006\phi^2$$

この式は、低緯度地帯で変動係数は最小（三・四%）になり、それより緯度が高くなると、変動係数は大きくなることを示している。世界の主要な麦作地帯のある北緯五〇度の付近では、この変動係数は一〇%になる。それゆえ、積算気温が二〇〇〇度の五%にあたる一〇〇度低下したとすると、図11の等気温線は約八〇km南に移動する。以上に述べたことから、農業自然環境は、時間的にも空間的にも変化しており、それを考慮にいれて、実際の農業を柔軟に展開しなければならないことがわかる。

人間は新しい環境をつくりだしている

ながい歴史を通じて地球上の各場所にそれぞれ特徴的に形成されてきた自然生態系の恵みだけで人類が生活していた時代には、人間の活動はエネルギーと物質の流れのごく小さいサブシステムを構成していたにすぎなかった。その時代には、環境とは、自然地理的条件とそれに応じて発達した自然生態系とを指していた。しかしながら、人口の増大は、微細なサブシステムからの脱出を強要し、その脱出は農耕をはじめとする各種の技術の習得・開発によって加速された。科学・技術の発達は、人間の操作可能なエネルギー・物質の量を等比級数的に増加させ、それにもなつて人口も爆発的に増加するようになった。

増大する人口に食糧をはじめもろの物質を供給し、かつ、その社会組織を維持していくためには、莫大な量の物質とエネルギーを調達し加工する巨大システムが形成され、活動しなければならなくなる。この巨大システムのなかを流れているエネルギーの量は、その一断面をとってみると、いまでは地球上に到達する太陽エネルギーに匹敵するほどになっている。このことは、環境とそのうえに築かれている自然生態系が、人類活動からインパクトを受けており、すでに新しい環境が形成されはじめていることを意味している。

生態系を破壊する巨大システム　農耕をはじめた人類は、広大な森林地帯を開拓し、乾いた畑に水を引くなどして、自然の営みのなかでのエネルギー・物質の流れに波紋を投じた。この波紋は、農耕地が拡がり、農法の近代化が進んでエネルギー多消費型に移行するにつれて、大きくなり凝固し、ついには大きな擾乱に生長した。それは、農薬公害であり、既耕地の荒廃と周辺自然生態系の破壊である。

農業生産の母である自然環境にインパクトを与え、過去に見られなかったような人工環境を地球上に

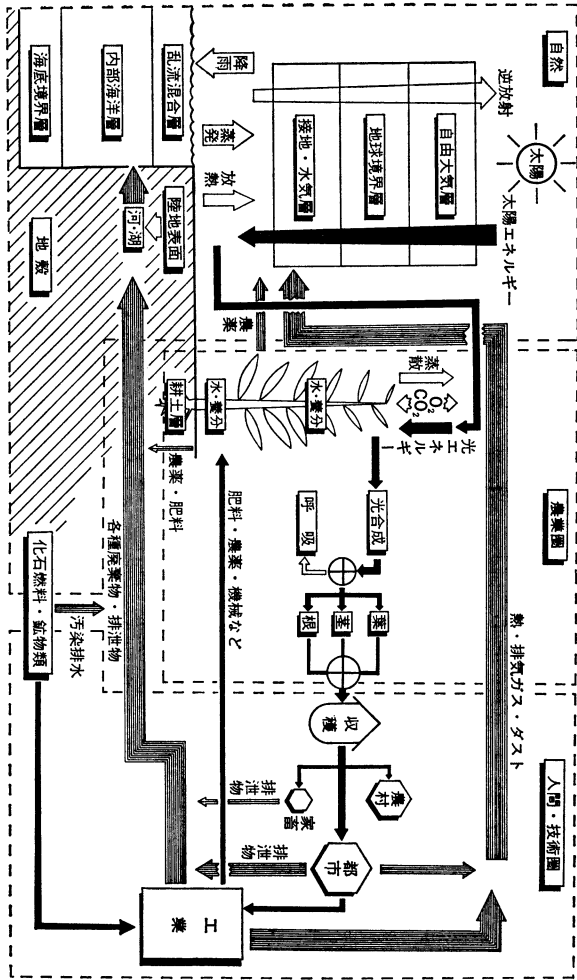


図12 農業生産を中心とした地球のトータルシステム (内嶋編)

つくりだした巨大システムの構造は、図12に見るとおりである。太陽から接地気層にとどく光エネルギーを利用する農業も、生産環境を整備し作物の光合成効率を高めるために、人間の築いた人間・技術圏

表9 米国におけるトウモロコシ生産のエネルギー収支
(万kcal/ha) (ビメンタルら, 1973)による)

項目		年次					
		1945	1950	1954	1959	1964	1970
投入	労働力	3.08	2.42	2.29	1.88	1.48	1.21
	機械	44.44	61.73	74.07	86.42	103.70	103.70
	ガソリン・電力	139.60	165.37	194.63	213.44	237.94	248.63
	種子	8.39	9.97	4.67	9.01	7.51	15.55
	灌漑	4.69	5.68	6.67	7.65	8.39	8.39
	肥料	18.42	37.45	72.93	105.94	143.84	260.70
	農薬	0.00	0.42	1.09	2.59	3.75	5.43
	乾燥	2.46	7.41	14.81	24.69	29.63	29.63
	輸送	4.94	7.41	11.11	14.81	17.28	17.28
	投入計		228.51	297.86	382.27	466.44	553.53
生産(トウモロコシ)		846.17	945.72	1020.26	1343.93	1692.35	2015.89
産出/投入・比		3.70	3.18	2.67	2.88	3.06	2.82

といくつものルートによって結ばれている。これらのルートを通じてさまざまな工業製品——肥料・農薬・機械など——が導入され、農業はかつて経験しなかったような高い効率で、莫大な食糧を生産できるようになった。その結果、たとえば、アメリカ農業は、一人の農業労働者のはたらきで、四七人を養えるまでになっている。この高い扶養能力は、地圏内の原材料と化石燃料とを人間・技術圏で処理・加工し、さまざまな有用物質に変換して農業圏へ投入することによって達成された。これを具体的に示すと、表9のようになる。

一九七〇年になると、主要な投入は、肥料・ガソリン・電気・機械を通じておこなわれていることがわかる。この年では、人間・技術圏から農業圏へ輸送されるエネルギー総量は、作物の生産するエネルギー量の三五%を超えている。わが国の水稻栽培では、この割合はさらに高いと予想される。

一方、都市へ運搬された食糧は、労働力を生産しながら、熱と排泄物に転化する。熱は接地気層内へ放出

され、最終的には宇宙空間へ放出される。排泄物は、その他の都市廃棄物とともに、河川を経て水圏内へ放出され、再び農業圏へ戻ってくることはない。このことは、化石燃料依存型農業の特徴であって、かつての地力維持体系内包型の農業との基本的な相違である。自然生態系のふところ、奥深くに形づくられていた地力維持体系内包型の農業では、多くの物質が、林―牧野―耕地―町からなるシステムのなかを、太陽エネルギーを媒介として循環し、生産を維持していた。しかし、そのなかでのエネルギー・物質の交換速度は低く、生産力はあまり高くなかった。化石燃料依存型農業は、太古に植物によって固定された太陽エネルギーを大量に耕地に投入し、エネルギー・物質の交換速度を高め生産力をあげることになったが、一方、それは、自然生態系と相容れない、あるいは、それを傷つけるシステムに生長しているように見える。

環境への巨大システムの重圧 図12に示した巨大システムを運転するために、人間は、莫大なエネルギーと物質を地

一九五〇年以前は、全世界で約二〇億トンの石炭相当エネルギーが使用されていたが、その後は急増し、一九七〇年には約八〇億トン相当にまでなり、この増勢はさらに持続すると予想されている。このエネルギー使用量に比例して、全工業生産と肥料使用量も、一九五〇年を境にして急上昇に転じている。この活発な生産活動は、種々の廃棄物と多量の熱を環境内に排出することによって、スムーズに展開されてきた。しかし、地球誕生以来約四〇億年を要して、約二・〇カロリー/cm²/分という太陽常数の下で形成されてきた地球環境と自然生態系は、つぎに見るような大きなとまどいを見せはじめている。

大気中に放出される汚染物質（微粒子物質・イオウ酸化物・炭化水素化合物・窒素酸化物・一酸化炭

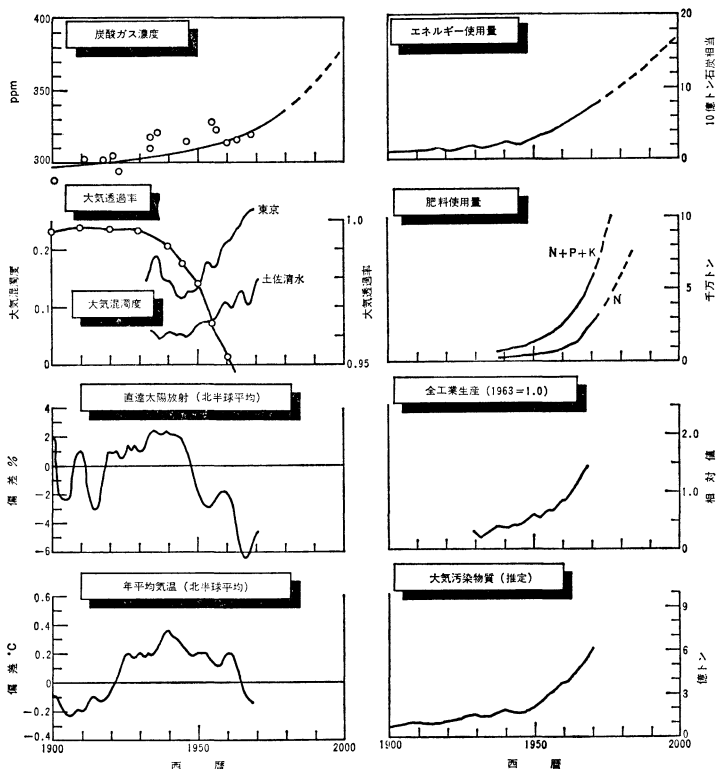


図13 巨大システムの環境への重圧(内嶋編)

素)と炭酸ガスの量は指数曲線的に増加し、前者はすでに一九七〇年で六億トンという莫大な量に達している(図13)。このために、地球表面に到達する太陽放射量を左右する大気層の透明度は、一九五〇年頃から急減しはじめ、到達する直達太陽放射は現在すでに約六%減少している。ブレイコ(一九七二)の計算によると、直達太陽放射が1%減衰すると、全短波太陽放射は約〇・一五%減少する。さらに、全短波太陽放射が1%減衰する

と、地面近くの温度は一・二ないし一・五度下がるといふ。ブディコは、地球の最近の寒冷化は、生産活動による大気汚染が大きく原因しているが、この指摘は、北半球年平均温度の変化をある程度説明するものである。

図13に示されている気温低下は、しかし、ブディコの予想値($6 \times 0.15 \times [1.2 \sim 1.5] = 1.08 \sim 1.35^{\circ}\text{C}$)よりはるかに小さい。このくい違いは、毎年 0.7 ppm ずつ増加している大気中の炭酸ガスの保温作用によると考えられている。現在、人類は、エネルギー獲得のために、毎年約二〇〇億トンの炭酸ガス(約五〇億トンの炭素に相当)を余分に生産しているが、それはつぎのように配分されている。

海洋へ約五〇%、植物へ約二〇%、大気中へ約三〇%、これからわかるように、植物の大気浄化能力以上に炭酸ガスが生産されており、今世紀末には三八〇〜四〇〇 ppm という高い濃度になるであろうと予想されている。これは、地球の冷却を緩和する能力を高める点で好都合のように見えるが、対流圏内の気温の鉛直分布を変化させ、大気の大規模な動き、とくに、降雨のパターンを大きく変えて、干ばつを頻発させる危険性があるといわれている(たとえば、ブライソン、一九七二)。

もうひとつの重要な変化は、大気中の微粒子(エアロゾル)濃度の増加にもなる太陽放射の短波長域(青—紫色光域)でのエネルギー減少である。最近の研究から、作物によるアミノ酸・タンパク質の生合成には、短波長域の光エネルギーの有効なことが知られ、また、硬質コムギの主産地は晴天に恵まれていて、曇天の多い地方に比べて短波長域のエネルギーが多いことが報告されている(たとえばシュルギン、一九六九)。大気の汚染は地球的規模でひろがっており、このために、短波長域での地球の反射率(これをアルベドという)は次第に増大していると考えられる(山本、一九七二)。これが、作物

表10 工業活動による耕地の被害 (単位: ha) (農林省調査資料より)

作目	要素		ダスト	塩素系 ガ	エチレ ン	その他	合 計
	亜硫酸 ガ	フッ化 素					
水 稲・ムギ	1,467	259	—	—	—	—	1,726
桑	8	27	24	5	—	1	65
カンキツ類	2	450	462	1	8	1	924
その他の果樹	5	—	51	—	—	4	60
野菜類	4	29	201	3	—	—	237
山林	44,284	—	606	—	—	—	44,890
合 計	45,770	765	1,344	9	8	6	47,902

のアミノ酸・タンパク質合成にどう影響するかについては、十分な資料はえられていないけれども、農業関係者は大きな関心をもって見守る必要がある。

崩れゆく安全生産のための基盤

マクロな地球環境への重圧は次第に増大し、もしも、工業生産活動の指数関数的生長がこのままつづくなら、今世紀末にはかなり大きな危険を生じるであろうことはすでに説明した。マクロ環境への重圧は、図12に示したようなさまざまな経路を通して、安全な食糧の生産のために太古から整備されてきた耕地の周辺に滲み出し、農業本来の目的をおびやかしはじめている。また、開発に名を借りた自然の無秩序な改変は、いたるところで自然生態系と耕地とを分断し、汚染源を耕地内に分散させている。加えるに、高生産性農業の追求は、農業と工業とを固く連結させ、さまざまな工業生産物を投入しなければ、その生産力を維持できないシステムに農業をつくりかえてしまった。その結果、水銀・BHC・DDTなどによる食品汚染―健康破壊を誘発することになった(第四章(二)項参照)。

現在、われわれの周囲には、過剰開発(破壊)が充満し、耕地は利益追求の前にやせ細り病んでいる。その一例が表10に示されている。自然環境の成立機構を無視して、農工商全というふうなうたい文句で、

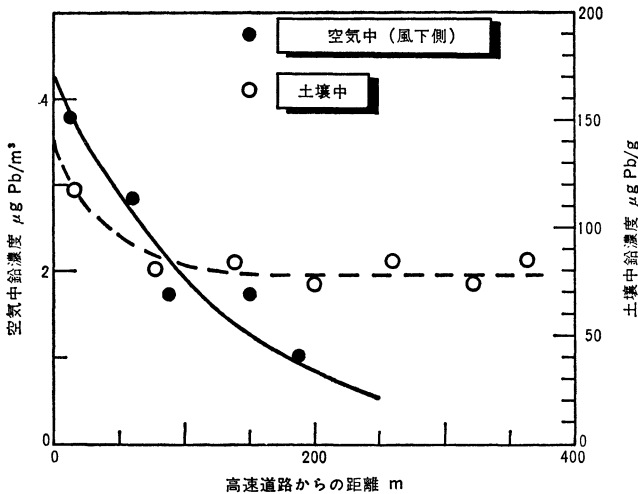


図14 高速道路周辺の鉛濃度 (ベイジラ, 1971)

農耕地域内に多くの工業団地が無計画に建設され、活動を開始した結果は、PCB汚染米、カドミウム汚染米などに現われている。数えきれないほどの複雑な回路で互いに結合しあっている耕地では、ある一部への物理的・化学的・生物学的衝撃は、時間とともにひろがり、その全域が、耕地としての必要条件、すなわち安全な食糧を生産する能力を失うのである。また、田園・山すそをかげめぐる機能的な高速道路網は、自然環境と耕地の分断者であるばかりではなく、恐るべき鉛害の運搬・拡散者でもある。図14を見ればわかるように、含鉛高オクタン価のガソリンから排出される鉛は、風に乗って周辺へ拡散し、四〇〇m先の耕地・牧野・山林へと流れひろがっていく。この鉛は耕地面へ沈着し、土壌―作物を経て、人体内へ蓄積する。耕地のこのような蚕食・破壊は日夜つづけられており、食糧生産の基盤である山林―牧野―耕地―町の地力維持体系は急激に崩壊し、その機能

を失いはじめているとすることができる。

自然生態系との調和は可能か

農業も環境破壊者である

自然生態系のふところ深く形成された地力維持体系内包型の農業も、森林や草原の一部を耕地におきかえることによって発達してきた。これは、地面近くの環境条件（アルベド、熱収支構造、気温など）を変化させたばかりではなく、植物の生産物を人間が占有することによって、自然生態系のエネルギー源を横取りすることになる。このように、古い農業自身が、すでに調和を乱すものとして存在し発達してきたことを、われわれは忘れてはならない。

最近、農業の生産活動に、工業の環境破壊を軽減する機能を期待する向きもあるが、これは事の本質を知らない、大変虫のよい希望といわざるをえない。たしかに、植物は、さまざまな汚染物質を吸収し、体内に沈着させる能力をもっているが、その能力が発揮されるときは、「安全な食糧の生産」という農業本来の使命が失われること必定である。また、人口の急増によって要請される需要に応えるために、科学・技術に支えられて急速に生長してきた近代農業は、生産性向上のために自然生態系の枠組から大きくはずれ、人間・技術圏と密接な関係をもつようになってきたのは、前に見たとおりである。人間・技術圏を通してえた化石燃料エネルギーを用いて、短期間に収量を二倍以上にすることに成功し、いわゆる「農業の離陸」という現象を多くの開発国にもたらしたのである。

しかし、このようなエネルギー多消費型の農業は、古い地力維持型の農業がもっていた比較的小さな物理的環境破壊力に加えて、大きな化学的な環境破壊力をもつにいたった。化学的な環境破壊は、食物

連鎖を通じて、生態系破壊に及び、さらには人類自身の健康破壊へと波及しはじめ、不安の種となりつつある。

破壊を抑え調和をとり戻すために　この問題は、「農業の使命は安全な食糧の生産であり、耕地はその生産の場である」という観点から考えられなければならない。したがって、環境保全の問題も、安全

な食糧の生産を守り発展させるという立場からアプローチしなければならない。

このためには、農業自身のもつ物理的・化学的な環境破壊力をできるだけ小さく抑える方策と、人間・技術圏から波及する環境破壊を防止する方策とが、同時併行的にとられる必要がある。そのうえ、農業生産力を高めるための努力も加えねばならないから、これからの農業者・農業科学者には、きわめて困難でかつ多面的な活動が要求されることになる。

農業行為のもつ環境破壊力を抑えるひとつの方法は、経済合理性と高生産性の追求のために寸断された林―牧野―耕地―町からなる地力維持体系を復活させ、太陽エネルギーを媒介とする物質循環を促進し、化石燃料エネルギーの投入を軽減することである（窒素1kgの生産にはおよそ一・八五万キロカロリーのエネルギーが必要なのである）。また、作物のもつ生産能力を一層開拓し、少ないエネルギーの投入（肥料・農薬などの少ない使用）で、高い生産力をあげうるような品種の育成や、栽培法の確立も欠かせない。

人間・技術圏から波及する環境破壊の防止策は、ひとつは、工業団地からの排出・廃棄物の総量規制の徹底であり、いまひとつは、ある程度の地力維持体系を内包しうるだけの広さをもつ農業地域群の設定とそれらの保護である。これは、現在の人間のためばかりではなく、近い将来にかなり逼迫した食糧

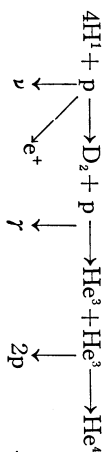
事情の下で生活しなければならぬ人間のためにも、現在の農業者・農業科学者が果たすべき仕事であり、しかも、日本列島改造論に代表される政治経済体制とのきびしい対決を要求される課題でもある。

二 太陽エネルギーの流れ

地球表面の近くでおこっている、生物をふくむ自然現象の基本的エネルギー源は、ごく一部の地熱や潮汐エネルギーなどを除くと、太陽から絶えまなく補給されている光エネルギーである。この太陽エネルギーは、土地・空気をあたため、水を蒸発させ、また植物の光合成に利用された後、さまざまな現象をひきおこしながら、最終的には、天空に波長の長い光（長波放射）として流失してゆく。太陽エネルギーによってひきおこされるさまざまな現象のなかには、人間自身の物理的および精神的な活動もふくまれる。

太陽からの放射エネルギー（日射）

すでに述べたように太陽は地球から約一・五億kmの彼方に輝く直径約一四〇万kmの火球で、その表面温度は約六、〇〇〇度である。この火球のエネルギーは、つぎの熱核融合反応によって補給されている。



ここでH¹とHeは水素原子とヘリウム原子、pはプロトン、Dは重水素原子、 e^+ はニュートリノ、 γ はガンマ線、 e^+ は陽電子。

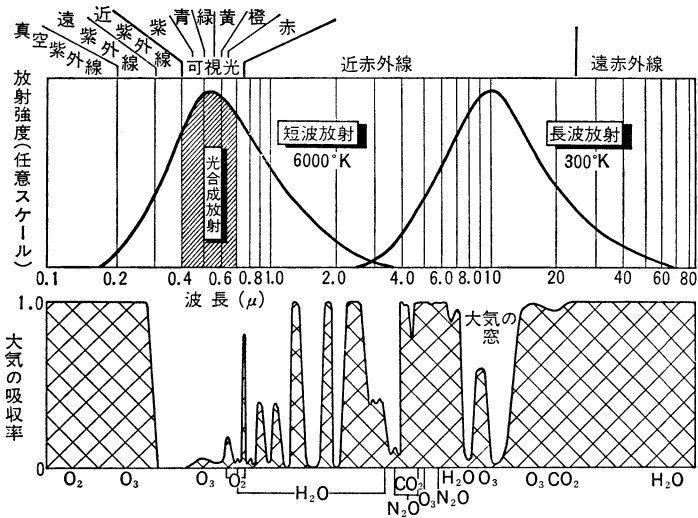


図15 放射エネルギー強度のスペクトル分布(上)と大気吸収スペクトル(下)

太陽から放出される光エネルギーは、瞬時（五〇〇秒）にして地球の大気圏外に到達し、その強さは一・九八カロリー/cm²/分でほとんど変わらない。それゆえ、この値を太陽常数とよんでいる。

観測によると、太陽からの光エネルギーは、波長〇・一七〜四・〇μの間にくまれているが、波長によってエネルギー強度が著しく変わることが知られている。波長と放射エネルギー強度との関係は、プランクの関数で表わされる。表面温度を六、〇〇〇度Kとして求めたその関係（スペクトル分布）を図15に示す。放射強度が最も強いのは、青緑色光帯（波長〇・五四μ）にあり、その両側ではかなり急激に弱くなる。同じ図には、地面近くの温度での放射エネルギーのスペクトルも示されている。その最大強度は、波長一〇μの赤外線域にあり、太陽からの放射とは明確に

異なった波長域にある。それゆえ、太陽からの放射を短波放射とよび、地面温度に近い物体・ガス体からの放射を長波放射と呼んで区別している。

地球上には大気層があるため、放射エネルギーは吸収によって減衰する。減衰の強さは、図15の下段に示すように、波長によって変化するが、短波放射域では、大気は比較的広い透過帯をもっている。一方、長波放射域では、大気の吸収率は高く、「大気の窓」と呼ばれる透過帯は比較的狭い。したがって、日射は地面に到達しやすく、地面近くの物体の出す長波放射は大気に吸収されて逃げにくいことになる。このような現象を、大気の「温室効果」と呼んでいる。

一年を単位として、地球上の単位面積 (cm^2) 上に到達する短波放射量を計算してみよう。地球の大気圏外の単位面積上には年間一、 0.00 キロカロリー (2cal (太陽定数) $\times 60\text{分} \times 24\text{時} \times 365\text{日} = 1051.2\text{kcal}$) のエネルギーが到達しているが、地球は球状をしているので、その単位表面積当りに換算すると、その四分の一の二五〇キロカロリーになってしまう。ところで、人工衛星からの写真でもわかるように、地球は輝いていて、太陽エネルギーのかなりの量を反射している。この反射率 (アルベド) は、最近の観測から 0.33 に近いことが知られてきた。すると、地球大気層に入射するエネルギーは、

$$250(1-0.33) = 167 \text{ kcal/cm}^2, \text{年}$$

となる。この一部がまた大気に吸収されて、地表面に到達するエネルギー量は一二六キロカロリー / cm^2 / 年になる (図16参照)。これが地球表面にさまざまな現象をひきおこすエネルギー源である。農業について見ると、環境 (温度状態・水分状態) を形成し、光合成をおこなわせ、植物の生長・発育をつかさどる唯一のエネルギー源である。

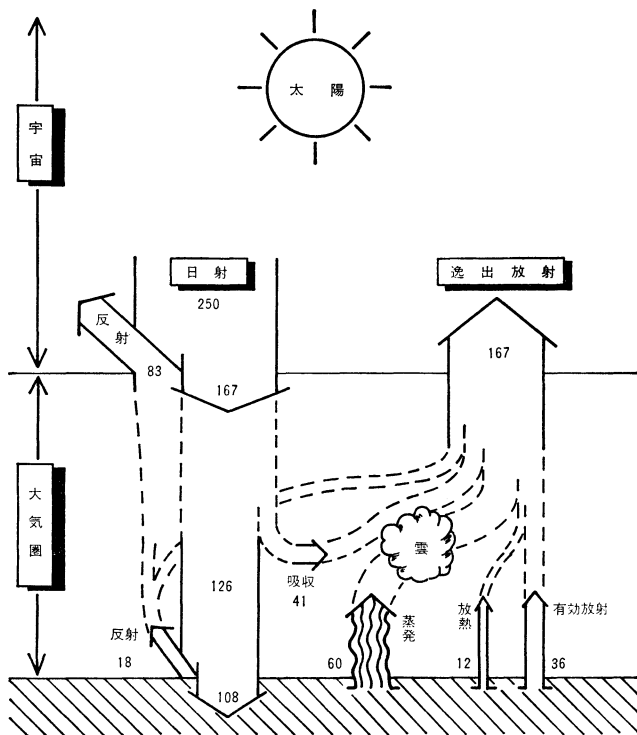


図16 地球に入射する日射量の配分（ブディコ，1971を一部修正）

地表面に到達したこの太陽エネルギーは、地表面に完全に吸収されるのではなく、その一部は反射される。反射率（アルベド）は、地被の種類・土壌の性質・含水量などによって異なるので、表11にそのいくつかの例を示す。これからわかるように、雪氷面は〇・七〇・八と高い反射率であるが、よく茂った耕地では、大体〇・二〇である。土壌の反射率は、水分含量が少ないと、大きくなる。丈の高い針葉樹林では、透入した光が外に出

表11 種々の表面の日射反射率(アルベド)

表面の種類		反 射 率	表面の種類		反 射 率
新	雪	0.8~0.95	水	田	0.17~0.22
黒	土(乾)	0.14	コ	ムギ畑	0.10~0.25
黒	土(湿)	0.08	パ	レイシヨ畑	0.19~0.27
粘	土(乾)	0.23	ビ	ー ト畑	0.18~0.25
粘	土(湿)	0.16	針	葉 樹 林	0.10~0.15
白	黄 砂	0.34~0.40	広	葉 樹 林	0.15~0.20

にくいので、反射率は若干小さくなることが知られている。地球全体としてみると、平均反射率は0・一四とおくことができる。それゆえ、地表面に吸収される日射量は

$$126(1-0.14) = 108 \text{ kcal/cm}^2 \text{ 年}$$

となる。この熱量の大部分は、地表面からの蒸発、大気中への放熱、地表面からの長波放射に使用され、ごく僅少が植物の光合成活動を通して生態系内に流入する。この量は、単位面積当りにすると、年間わずか0・一二八キロカロリーでさきの到達・吸収日射量の0・一二%にすぎない。このことは、現在、地球上に繁茂し生息している植物・動物の生存を維持するエネルギーの糸がいかにか、細いものであるかを物語る。これは、地球上の自然生態系の多くの部分を管理下においてわが物顔に振舞っている人類の、生物としての脆弱さを示す指標でもある。

太陽エネルギーの地理的分布

地球は球状で、かつ地軸が傾いているので、地表面上に到達する太陽エネルギー量は、緯度により、また季節によって著しく相違する。このような相違が、緯度による気候や自然生態系の違いを、また季節による気候の違いをもたらしている。図17 A・Bには、約一、一〇〇の観測所による日射量の観

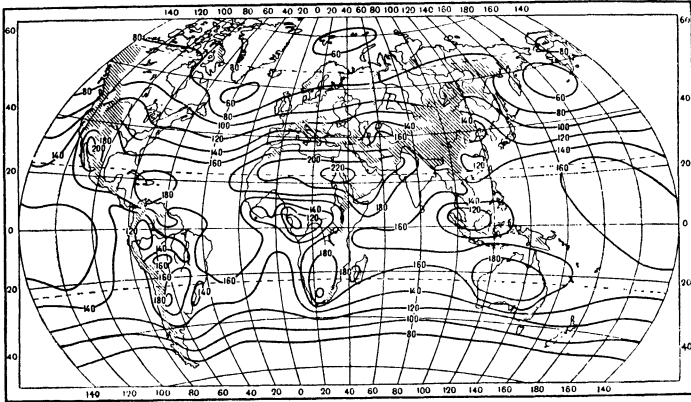


図17-A 年間日射量の地理的分布 (kcal/cm², 年)

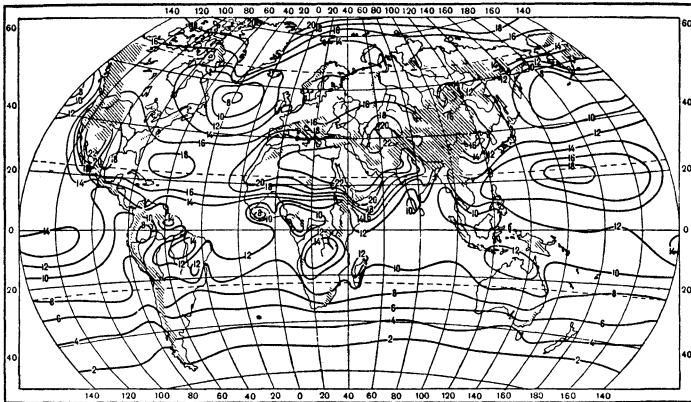


図17-B 6月の日射量の地理的分布 (kcal/cm², 月)

測データを用いて作成した、年間および六月の日射量の分布図を示す。単位面積当り年間日射量の平均は、さきの計算では一〇八キロカロリーであったが、これを地域別に見ると、高緯度地帯の約六〇キロカロリーから、中緯度高圧帯の約二二〇キロカロリーまで、約四倍の開きがある。高緯度から中緯度帯にかけては、等日射量線は緯度にはほぼ平行であるが、熱帯では乱れて、一般の傾向とは逆に低い値を示すところがある。これは、熱帯地方では大気が不安定で雲量が多くなるためである。また、わが国をふくむ極東地域が同一緯度帯の他の地域に比べて年間日射量が少ないのは、初夏にこの地域に卓越するモンスーン気候のためである。中近東・アフリカ北部には、二〇〇キロカロリー以上という高い日射量の地帯が細長くつながっており、この帯は大西洋を渡って北アメリカ大陸西部にまで及んでいる。また二〇〇キロカロリーは割るけれども、高日射量地域がオーストラリア・南アメリカ・南アフリカにも見られる。これらの中緯度地域には、大規模な高気圧帯があって、晴天日数が他地域に比べて著しく多いためである。図11に示した干ばつ常襲地域と、図17Aの高日射量域とは、よく重なっている。

つぎに、北半球で日射量のもっとも強くなる六月の分布を見てみよう。南極から南緯二〇度までは、ほぼ緯度に平行に、南へ下るにつれて日射量は減少しているが、それより北では、日射量の分布は大変乱れている。これは、天気分布が地域によって大幅に変化するためである。日射量の少ない地域は、東南アジア・日本・北太平洋で、月間一〇キロカロリー/cm²であり、多いのは中近東・アフリカ北部・北アメリカ南部で二〇キロカロリー以上もある。また、北極地区にも、日射量の多いところがある。図17には示さなかったが、十二月には、これとまったく逆の分布が見られる。ここでは、北緯七〇度以北で、日射量はゼロになる。オーストラリア・南アフリカ・南アメリカには二〇キロカロリー以上の強日射域

が出現する。

植物の光合成には葉緑素が必要であり、その光吸収スペクトルは、波長 $0 \cdot 45\mu$ と $0 \cdot 6\mu$ で高く、その中間では低く、この二つの波長の外側ではほとんどゼロになることが知られている。それゆえ、葉緑素の光吸収域に相当する日射エネルギーだけが光合成に有効であると考えられるようになってきた。一般には、つぎの波長域が光合成有効放射とよばれている。

$0 \cdot 38 \sim 0 \cdot 71\mu$ (ニチポロビツチ、一九六〇)

$0 \cdot 4 \sim 0 \cdot 7\mu$ (ハーストラ、一九五九)

この波長域にふくまれるエネルギー量は、日射量のほぼ二分の一である(図15参照)。

植物の乾物生産力に関する研究が、国際生物学計画 (IBP) のなかで、強力に推進されるようになってから、光合成有効放射に関心が集まり、多くの理論的検討と観測がおこなわれた(とくにソ連で)。

光合成有効放射量は、太陽高度・雲量・大気の濁り具合などで変化することが次第に明らかになり、その一日量は次式で近似できることもわかった。

$$(Q+q)_{*} = 0.43Q + 0.57q$$

ここで、 $(Q+q)_{*}$ は、植被上に到達する光合成有効放射量 (カロリー/cm²/日) で、 Q は平行光線の形で到達する日射、すなわち、直達日射量、 q は日射が大気中で散乱したあと植被上に到達する散乱日射量で、いずれもカロリー/cm²/日で表わされる。この式から、等量の Q と q では、散乱日射の方が光合成有効放射への寄与率が高いことがわかる。

この関係式と日射量の観測資料とから、植物生育期間 (日平均気温が摂氏一〇度以上の期間) の光合

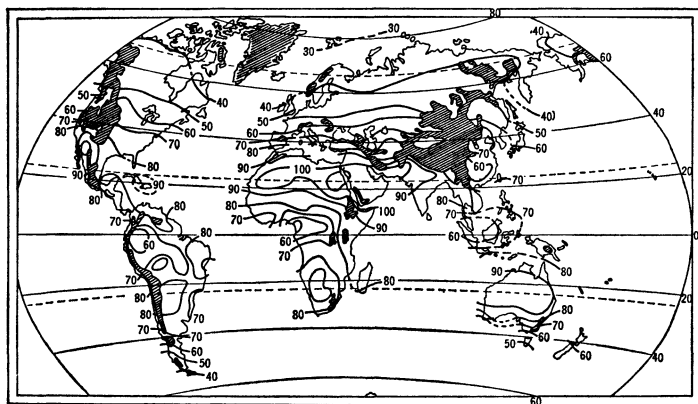


図18 植物生育期間の光合成有効放射量（エフィモーバ，1969）

成有効放射量（キロカロリー/cm²/期間）を求めてつくった分布図を、図18に示す。この分布図で特徴的なことは、等量線が緯度とはほとんど平行でなく、複雑な形をしていることである。サワラ砂漠からアラビア半島・イランにかけて、一〇〇キロカロリー以上という光合成有効放射に富んだ地域が帯状につづき、その西端は大西洋を渡ってアメリカ合衆国南西部に飛んでいる、東南アジア・極東地域は光合成有効放射にあまり恵まれていない、南半球の最大値は北半球のそれに及ばない、などのことがこの図から読みとれる。光合成有効放射の非常に多い地域は、しかしながら、砂漠・草原・サバンナ地帯で、エネルギー源の豊富さとは逆に、自然植生の乾物生産量はきわめて低い。ではあるが、もしこれらの地域に灌漑農業が展開されるなら、非常に高い生産力をもたらすことは確かである（現に、オーストラリア北部、エジプトなどの水田作がそうである）。それゆえ、これらの地帯は、潜在的には、赤道地域に勝る生産力をもつということができよう。

さききのべたように、耕地上に達する日射は、直達成分

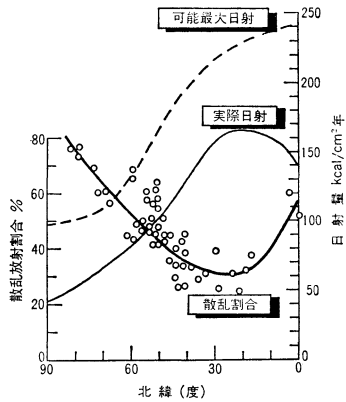


図19 日射量の組成の緯度による変化
(ベリヤンド, 1961)

係があることが知られている(堀江、一九七二)。

ここで、 $q_{日}$ と T は、散乱日射量と全日射量の日、単位面積 cm^2 当りのカロリー量である。晴天で日射量が多いときには、散乱成分の割合は減少し、曇になって日射量が少なくなるときは、散乱成分が増すことがわかる。

緯度によって日射量が大幅に変わることは前に述べたとおりである。すると、直達・散乱成分の割合も緯度によって変わることになり、その結果、自然植生の光合成活動にも影響が及ぶものと考えられる。多くの資料からつくられた関係を、図19に示す。実際の日射量は、中緯度高気圧帯でもっとも多く、約一七〇キロカロリー/ cm^2 /年である。完全晴天が続くとして予想される日射量は、実際の値よりかなり高いことがわかる。日射量のなかで散乱放射の占める割合は、高緯度帯で約八〇%とかなり高く、つぎ

と散乱成分に分けられる。この両者の割合は、太陽高度・天気・大気の濁り具合によって、かなり大幅に変化する。たとえば、よく晴れた日には直達成分が多く、曇日には散乱成分が多くなる。この割合は、光合成有効放射量を変えるばかりではなく、作物群落の光合成量をも変化させることが明らかになってきた。散乱成分の多い日射にさらされると、群落内のどの葉も比較的弱い光で均等に照射されるので、光合成量は相対的に多くなるといわれている。日射量と散乱成分の間には、つぎの関

$$q_{日} = T \{ 1 - 2 \cdot 10^{-4} T - 2 \cdot 10^{-6} T^2 \}$$

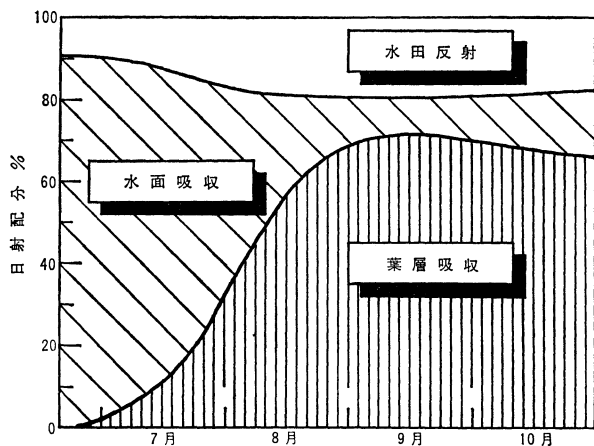


図20 イネの茂りにともなう日射配分の変化(岸田, 1973)

に赤道地帯で六〇%台である。晴天日の多い中緯度帯では、三〇%で最低である。高緯度帯で散乱放射が多いのは、太陽光が大気層を斜めに通って、著しく散乱されるためである。

耕地における太陽エネルギーの流れ

大気層を通過して耕地上に達した日射は、葉面で吸収される部分、反射される部分、葉層を通過して地面に到達する部分、に分けられる。この割合は、葉のつき方・葉の量・太陽高度などによって大きく変化する。葉のつき方によって定まる群落の特徴はつぎのように分類できる。

- 垂直型——垂直葉が多い(イネなど)
- 水平型——水平葉が多い(ダイズなど)
- 均等型——種々の傾きをもつ葉がほぼ均等にあら(トウモロコシなど)

この群落の型によって、日射の配分が変化し、ひいては環境や光合成の違いをひきおこす。

垂直型に属するイネ群落で得られた結果を図20に示す。水田反射によって大気中に逆戻りする日射量は、

表12 耕地の熱収支(%) (内嶋編)

項 作物	熱収支(%)				ポーエン比
	純放射	地中伝導	潜熱伝達	顕熱伝達	
水田	100.0	—	81.3	18.7	0.23
灌漑コムギ畑	100.0	10.0	70.9	19.1	0.27
非灌漑コムギ畑	100.0	12.5	45.1	42.4	0.94

注) 潜熱伝達は蒸散・蒸発に使用された熱量, 顕熱伝達は温度差によって空中へ放熱された量, ポーエン比は潜熱伝達に対する顕熱伝達の比。

田植初期の一〇%からよく茂ったときの約二〇%まで、作物の茂りにともなうてゆるやかに増加する。茂りの少ないときには、多くの日射が群落を素通りして、地水面に到達し吸収されるが、茂りが多くなるにつれて、素通りは困難となり、大部分の日射が葉や茎に吸収されるようになる。この割合は、生育後期には、到達した日射の約七〇%になる。

葉群によって吸収された日射は、蒸散の熱源、空气中への放熱、光合成などに利用される。その様子は、耕地の熱収支表によってよく説明される。表12にその一例を示す。水田やよく灌漑された畑地では、純放射量の大部分が蒸散や蒸発のために使用されており、大気中へ熱伝達によって失われる熱量は少ない。これに反し、乾いた畑地では、蒸発・蒸散に使用する水が少なく、植物体や地面の温度は高くなり、より多くの熱が直接空气中へ失われることになる。このようなときは、作物の生育はわるく、収量は非常に低くなる。

表12には、光合成に利用される日射の割合は示されていない。それは、その割合(これをエネルギーの利用効率とよぶ)が、他の項目に比較して、オーダーが一つ下であるためである。最近の研究によると、作物の一生の間のエネルギー利用効率の平均値は、イネで〇・九三〜一・四三%、トウモロコシで〇・九五〜二・一八%、テンサイで一・一五〜一・八〇%、ダ

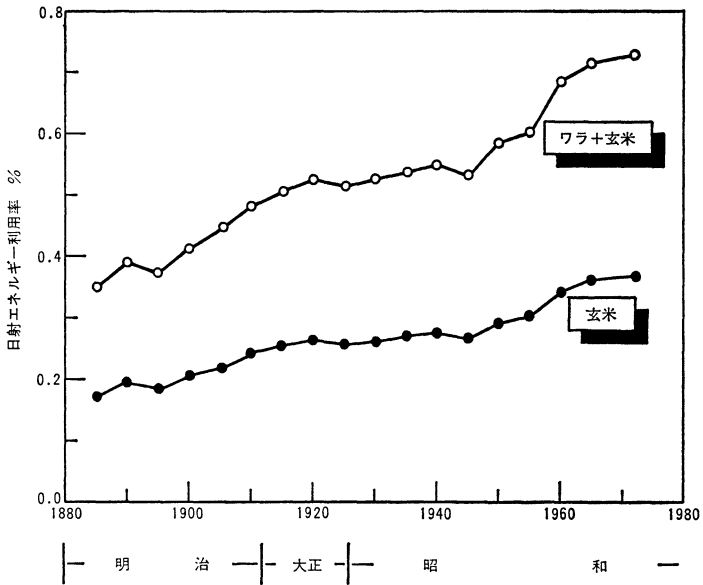


図21 イネ栽培の日射エネルギー利用率（内嶋原図）

イズで〇・五八〜〇・八六%である。これをより詳細に見るために、わが国の水稻収量の資料を用いて、全国平均的なエネルギー利用率を年次的に求めたのが、図21である。（ここでは、栽培期間を一〇日、平均日射量三八〇カロリー/cm²/日、発熱量三、七五〇カロリー/g、玄米・ワラ比一・〇と仮定し計算した。）明治初期の約〇・三五%から、一〇〇年近い年月をかけ、かつ、多くの研究・技術の開発・実践によって、最近の約〇・七%にまで、利用率は二倍になったことがわかる。しかし、この数字を、工業生産部門で見られる高いエネルギー効率（新鋭火力発電所では、三〇〜四〇%）に比べると、植物の生理機能を利用する農業の効率の低さがわかる。以上の数字は、玄米とワラとの合計値についても

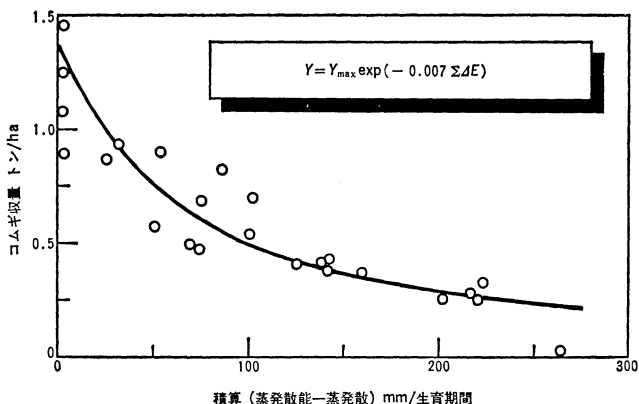


図22 積算蒸発散差とコムギ収量との関係(サビィナ, 1962)

ので、人の食するコメだけをみると、エネルギー効率にはさらに低く、その半分になる。しかも、この生産に、莫大な化石燃料エネルギーが種々様々の形態で投入されていることを忘れてはならない。

現在、地球上に生存している人類は、植物が毎年生産する乾物量の約〇・七%を消費しているといわれる。今世紀末に人口が七〇億に達するときには、人類の消費する乾物量は、全生産量の二〜三%になると予想される。このように莫大な量の生産物を、人間のためだけに利用すれば、自然生態系がどのような影響を受けるかは、まだ明らかにされていない。しかし、その影響をできるだけ小さく抑えるためには、耕地に降りそそぐ日射エネルギーをより効率的に乾物内に貯える作物を選び、育てることが非常に大切である。もちろん、その達成には長年月にわたる大きな努力が必要なことはいうまでもない。

三 水の循環

地球は、乾ききった冷たい宇宙のなかのオアシスといわ

れるが、それは他の天体に比べて多量の水があるからである。この水は、大きい比熱と蒸発潜熱、強い溶解能力、比較的低い粘性などのすぐれた物理的・化学的性質をもつので、地球上での生物の発生と進化を可能にしたと考えられる。

作物の体は、その七〇ないし八〇%が水分であり、この水はたえまなく動きながら、生命活動の場に養分を運び、また老廃物を搬出するという役割を果たしている。水の動きが鈍くなると、作物の成長はおとろえ、ついには枯死してしまう。それゆえ、耕地土壌にふくまれる水量は、日射エネルギーと並んで、作物生産を支配する重要な気候要因であり、図22にはそれを表わすグラフが示されている。ここで、気候で決まる最大蒸発散量 E_p と、実際条件下での蒸発散量 E との差を、蒸発散差($\Delta E = E_p - E$)と定義すると、 ΔE が大きくなると、コムギの収量は指数曲線的に減少することがわかる。他の作物でも、これと同様の現象が見られると思われる。

水はどこにあるか

人をふくむ全生物がその生存をゆだねている水は、一体地球上のどこにあるのだろうか。海には莫大な量の水があるが、大気中にはたくさんあるようには見えない。最近、水の分布に関する定量的研究が進んで、その量をかなり精度よく推定できるようになった。樞根が多くのデータを参照しながら得た結果を、表13に示す。地球上の水の総量は、一三・八億 km^3 で、その九七%以上は海洋中であり、生物にとって有用な淡水はわずかに二・五%である。しかも、その大部分は、氷床として南・北両極に貯留されている。したがって、地球表面上に流れ動いている水は、全量のほんの僅かな部分にすぎない。一方、

表13 地球上の水の総量
(樞根, 1967) (単位 km³)

〔塩 水〕	水	百分率
海 洋	1,349,929,000	97.456
塩水湖	94,000	0.007
〔淡 水〕		
極の水と氷河	24,487,000	1.768
結合水	400	—
淡水湖	125,000	0.009
川	1,150	—
土壤水	25,000	0.002
地下水 } 浅層	4,500,000	0.325
	5,600,000	0.404
〔水蒸気〕		
大気中の水	12,600	0.001
〔生 物〕		
動 物	600	—
植 物	600	—
総 計	1,384,775,350	100.000

開されている壮大な水の流れ、すなわち、水の循環、に注目しなければならないことになる。

水はめぐる

前節「太陽エネルギーの流れ」で述べたように、よく湿った耕地では、到達した日射エネルギーの大部分が水分を蒸発・蒸散させるのに用いられる。耕地面から放出された水蒸気は、海洋・森林などから水蒸気といっしょになって空高く昇り、冷却されて雨となって地面に戻ってくる。広い地面上に降っ

全生物のなかに貯えられている水は一層少くなく、合計一二〇〇km³で、これは大気中の水の割にすぎない。

さて、大気中の水分一二、六〇〇km³を単位土地面積当りに換算すると、二四〜二七mmの雨量に相当するにすぎない。しかしながら、地球上には平均して年間一、〇三四mmの雨が降っている。すると、大気中の水は約一〇日分の雨しか養いえないことになる。残りの三五日分の雨水はどこからくるのであろうか。これを説明するためには、日射エネルギーを動力として、地球上に展

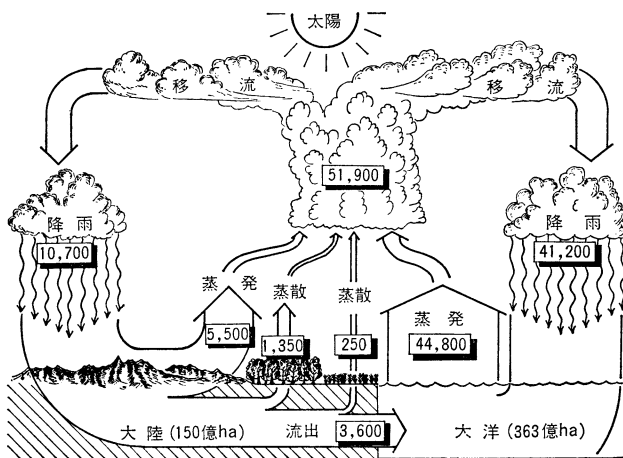


図23 地球上での水の循環（内嶋原図）

た雨は、土にしみこみ、細い流れとなり、種々の物質をとかしこみ、小さな粘土を流しながら、大きな流れとなって海にそそいでいる。このような動きは、大量の水が地球上に出現してから、たえまなく続いている。

このような水の動きは、水循環とよばれ、乾いた土壌に水を与えて作物の生育を可能にするばかりではなく、水のもつすぐれた物理化学的性質によって、地球上における物質の流れをひきおこす大きな原動力となっている。地球的スケールでこの水循環を眺めると、図23のようになる。大洋（三六三億ha）と大陸（一五〇億ha）とから、日射エネルギーの力によって蒸発した水（五一、九〇〇万km³/年）は、大気中でいろいろな動きをひきおこしながら、最終的には、凝結して雨となって地面・水面に降ってくる。大陸上に降る雨は、年平均七三〇mmで、これは一〇、七〇〇万km³/年に相当し、地面・植被面からの蒸発・蒸散量七、一〇〇万km³/年の約一・五倍である。

この差額は、移流（大気の大循環）によって大陸上に運ばれた、大洋からの水蒸気によって補われている。大陸上に降った水の約五〇％は、地面からの蒸発によって失われ、植物の生産にはなんら寄与しないように見える。しかし、この一見ムダに見える地面蒸発が、生物の存在を許す自然環境の形成に大きな役割を果たしているのである。自然植生による蒸散（一、三五〇万 km^3 /年）と耕地の蒸散（二五〇万 km^3 ）とは、合計しても総降水量の約一五％である。この値は将来若干増加すると予想される。残りの三、六〇〇万 km^3 /年は、多くの物質を溶出させ、山や谷をけずりながら、流れとなって海洋にそそぎ、次節以降で説明する物質の循環の原動力となっている。

大洋・大陸から蒸発・蒸散した水は、大気圏内で混合され、移流し、凝結して雨となって降ってくる。地球上で展開されているこのような水の循環においては、水の損失はなく、大洋や大陸に降りそこから出て行く水の総量に変化はないと考えられている。すなわち、質量保存の法則が成りたっている。これを水収支式で表わすと、つぎのようになる。

$$\text{大陸：(降雨)} = (\text{地面蒸発}) + (\text{自然植生蒸散}) + (\text{耕地蒸散}) + (\text{流出})$$

$$\text{大洋：(降雨)} + (\text{流入}) = (\text{海面蒸発})$$

この関係は、小さな面積の土地や短い期間においても成立し、水の動きを明らかにする研究の出発点となっている。水文学の多くの資料を基礎にして作成された、大陸・大洋の水収支は表14に示すとおりである。大陸の降水量では、最大の南アメリカと最小のオーストラリアを除くと、どの大陸も六〇cm/年台でほぼ等しい。蒸発散量は三一〜七〇cm/年の間にあつて、オーストラリアでは、降った雨のほとんどが蒸発散に使われるのに対し、南アメリカでは降水量の半分以上が河川を経て大洋に流出している。

表14 大陸・大洋の水収支(cm/年)
(ブディコ, 1971による)

場 所	降水量	蒸発散量	流出入量
(大陸)			(流出)
ヨーロッパ	64	39	25
アジア	60	31	29
北アメリカ	66	32	34
南アメリカ	163	70	93
アフリカ	69	43	26
オーストラリア	47	42	5
陸地平均	73	42	31
(大洋)		(蒸発)	(流入)
大西洋	89	124	23
太平洋	133	132	7
インド洋	117	132	8
海洋平均	114	126	12

大洋では、降水量に若干の違いがあるが、海面蒸発量にほぼ等しく、平均一、二六〇mm/年に達している。この値は、大陸の平均蒸発量の約三倍である。

表14からわかるように、三大洋の水収支の違いに比べて、大陸間にはかなり大きな違いがある。この違いは、各大陸の上に発達している気候の乾燥度と関係があることが次第に明らかになってきた。気候の乾燥度を表わす指標としては、ドクチャエフやオルデコップ以来、約二〇も提案されている。ブディコは、地表面に生じる現象は純放射量に密接に関係していることにもつぎ、気候の乾湿を表わすのに、つぎの放射乾燥度を工夫した(図24参照)。その関係式はつぎのとおりである。

$$E = r \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{S}{lr} \right) \right\} = r - f,$$

$$f = r \exp \left(-\frac{S}{lr} \right)$$

ここで、 r は広域の平均雨量であって、 E と f はそれぞれ広域の平均蒸発量と流出量を表わす。 S は純放射量、 l は水の気化潜熱(一定)で、 S/lr によって放射乾燥度を定義する。すると、放射乾燥度が大きくなるにつれて、蒸発量は増大し、流出量は減少することがわかる。

図24下段には、 E/r が放射乾燥度によってどのよう

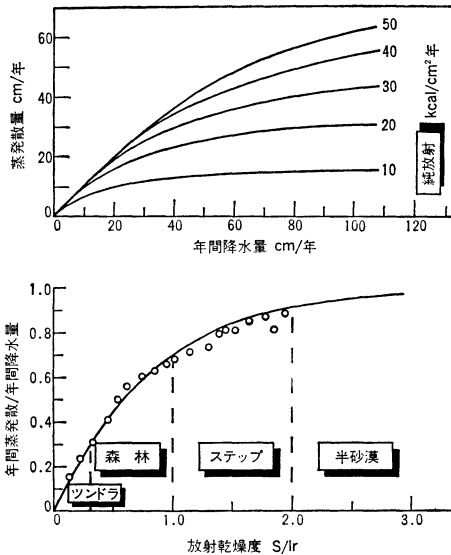


図24 雨量、蒸発量と純放射量の関係
(ブディコ, 1956)

に変わるかを右式で計算して求めた曲線と、実際の観測データ(。印)が示されている。ツンドラ地帯では、蒸発散量は降水量の三〇%以下で、大部分の雨水は流出する。森林帯では、降った雨の五〇%が蒸発し、残りの五〇%が流出している。気候がさらに乾いた地帯では、降雨のほとんどが蒸発で失われ、河川の涵養が非常にむずかしくなる。わが国は森林植生気候帯に属していて、放射乾燥度は〇・六〜〇・八のあいだにある。図24および前頁の関係式は、一辺が一〇〇km以上の広域の平均状態を対象にするときは

適用可能である。

降雨量と蒸発量の分布

気候の乾湿度および大気大循環の強度は場所によって変化しているので、降雨量および蒸発量は地理的に大きな違いがある。そのために、ある場所では水田農業が、別のところには乾燥農業が一般的であ

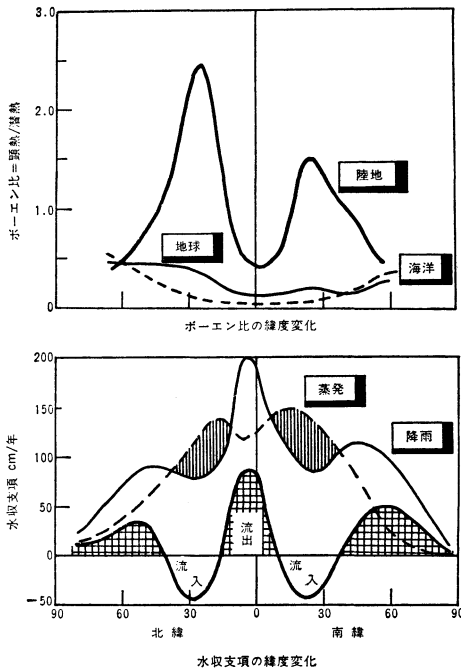


図25 上：ボウエン比（顕熱放熱/潜熱放熱）の分布
下：水収支項（cm/年）の分布

るといふように、地球上には種々異なった形態の農業が営まれている。降雨量と蒸発量との地理的分布は、こんごの農業地の開発を規制するもつとも重要な要因である。

地球を緯度帯ごとに区切って、水収支項の変化を見たのが、図25下段である。降雨量は、赤道地帯で最高で、これより離れるにつれて次第に低下するが、三〇度付近で小さい谷底をつくり、四五度付近で低いピークを示したあと急速に減少する。一方、蒸発量の緯度変化は、降雨量と逆で、赤道付近の小さい谷をはさんで、中緯度帯にピークをもつ分布型となっている。

このために、南北両半球とも、二〇〜三五度帯で、降雨量より蒸発量が多くなっている。この不足水量は、赤道地帯と高緯度帯から大気圏・水圏を通じて補われている。このような変化は、中緯度高気圧帯の発達のためにおこっている。この高圧帯（晴天の卓越）の影響は、陸地上での水配分に特徴的に現われる（図25上段）。陸地での蒸発散に

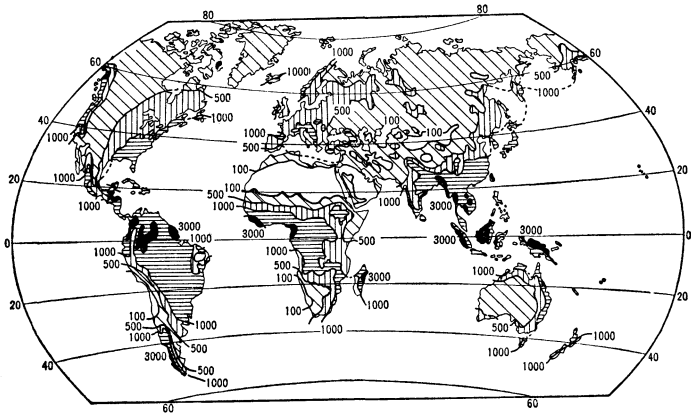


図26-A 降雨量 (mm/年) の分布

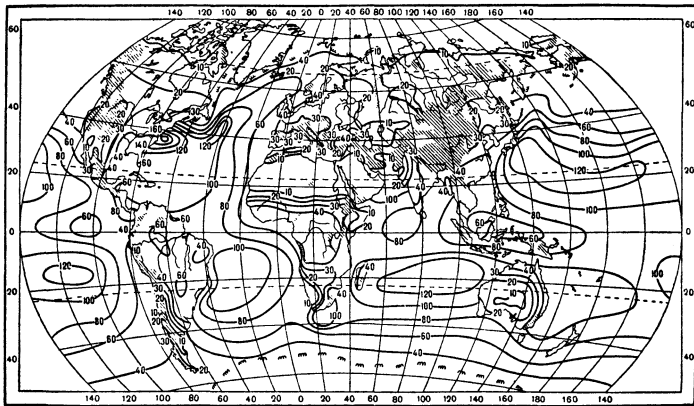


図26-B 蒸発散量 ($IE \text{ kcal/cm}^2, \text{年}$) の分布

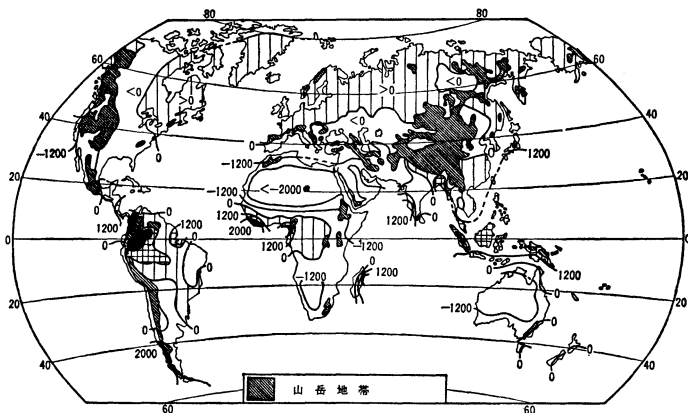


図26-C 水分不足度(降水量-蒸発能)の分布

用いられる熱量(潜熱放熱)は中緯度高圧帯で極端に少なくなっている(大きなポーエン比に対応する)。この中緯度高圧帯に、高い人口増加率をもつ開発途上国の多くが位置していることは、こんごの食糧問題の解決がいかに困難であるかを示唆している。

地球上における降水量、蒸発散量、および水分不足度(降水量-蒸発能)の地理的分布を、図26のA、B、Cに示す。降水量の分布で注目すべきことは、年間1000mm以上の降雨のある地域が、南アメリカを除いて各大陸とも意外に狭いことである。とくに、ユーラシア大陸とオーストラリア大陸では非常に狭い。北半球の中緯度高圧帯には年間雨量1000mm以下という少雨地域が带状にのびており、その周囲に500mm以下の干ばつ常襲地帯が広がっている。(年雨量が500mm以下では、畑作は不安定になり、作物生産の年次変動は著しくなる。)図26Cは、地球上の大陸の面積の約三分の二が水分不足地域で、作物生産が影響を受ける(図22も参照)ことを示している。東南アジアとアフリカの一部を除いて、人

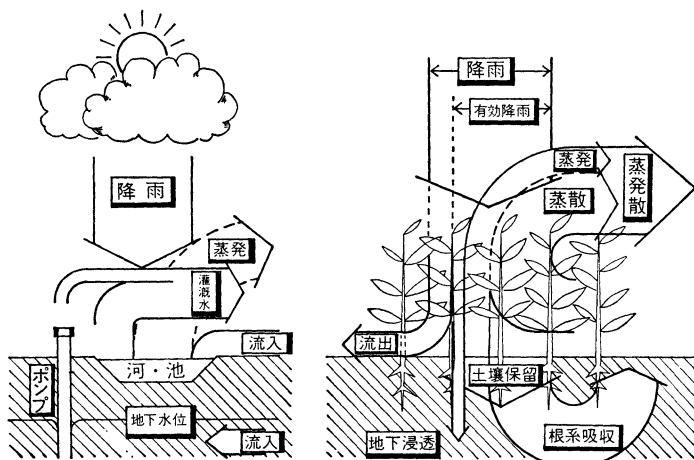


図27 耕地における水の流れ（内嶋原因）

耕地における水の流れ

これまでマクロ的な視野から水の循環を見てきたが、以下では、農作物の生産にもっとも関係の深い耕地での水の流れを検討しよう。ここでは、日射エネルギーを媒介として、土—植物—大気系 (SPAC, soil-plant-atmosphere continuum または、SPAS, soil-plant-atmosphere systems) のなかを水が活発に流れ動いている。この動態の研究は、水分不足に悩まされるアメリカ・ソビエト・オーストラリアの植物生理学者・農学者によって主として進められ、豊富な降雨に恵まれ、水田農業を主体とする日本では、水の研究は治水・利水という工学的分野に限られ、農作物の生命活動との関連で取り上げられるこ

口爆発圏のすべてが水分不足地域にあることが改めて認識される。このことは、近い将来の食糧問題の解決が、水の確保と配分という、莫大なエネルギーを消費する技術開発に依存することを物語っている。

表15 裸地と水田の水収支構造 (mm)

作目	成分			
	降水量	蒸発量	蒸散量	浸透・流出量
水田 (7~10月)	893	145	251	402
裸地 (年間)	1609	827	—	930

* 水田は岩切(1965), 裸地は水之江ら(1954)の測定。

とは少なかった。

作物の生育している耕地での水の流れを模型的に示すと、図27のようになる。耕地に降った雨の一部は、表面流出と地下流出によって流出し、河・池や地下水の涵養に使われる。しかし、多くの部分は耕土層に貯えられ、作物の根系を通じた蒸散と、地面蒸発とによって、再び大気中へ放出される。耕地から流出した水の一部は、灌漑水として耕地へ戻ってくる。そこで、耕地に出入りするこれらの成分のあいだには、つぎの「質量保存の法則」がなりたつ。

$$(\text{降雨}) = (\text{地表流出}) + (\text{地下流出}) + (\text{蒸発}) + (\text{蒸散}) + (\text{貯留水分の増減})$$

灌漑水のあるときは、この左辺に「灌漑」の項を加える。

この水収支式の内容は水収支構造とよばれ、天候、作物の種類とその茂り方、土壌水分によって大幅に変わることが知られている。その一例を表15に示す。裸地では、降った雨の約六〇％が地中深く浸透し、残りの四〇％が地面蒸発によって失われる。水田でもこの水収支構造はほぼ同じである。このように多量の水が地表流出・地下流出するのは、多雨湿潤帯に属するわが国における特徴であり、このために、地表近くの土層中の多くの成分が水に溶けて下層へと移動する。他方、乾燥気候下では、降雨量より蒸発能の方が大きい(図26C参照)ので、雨水はすぐに蒸発し、それを補うように地下深くから水が上昇してきては蒸発し、あとに多くの無機塩類を残してゆく。水の運動のこのような違いによって、土壌の発達方向が異なり、湿潤多雨気候下ではポドゾールが、乾燥気候下ではセローゼ

ムが発達する。後者の場合には、多年月の間に耕土表層に塩類がたまり、アルカリ塩漬土壌となる。灌漑は、農業生産の向上・安定のために欠くことのできない技術であるが、右に述べた土壌の発達過程を加速する作用をもつことを忘れてはならない。とくに乾燥気候下では、灌漑によって多量の塩類が耕地に蓄積し荒地となることが知られている。水分不足度の高い中緯度高圧帯の国々の農業の困難さの原因はここにもある。

汚れる水

「水に流す」の譬えのとおり、水は多くの物質を溶かしこみ、また流しながら、高所から低い所へ動く。目に見える河川がそうであり、地下水流も同じである。これらは、人が農耕をはじめた古い時代から農業用水として広く利用され、生産の向上・安定に大きく寄与した。また、その水にふくまれているさまざまな無機塩類は、耕地の生産力のみならず、沿海の生産力を保持する上にも大きな役割を果たしてきた。これは、アジア稲作地帯の水田や内湾浅海の高い生産力を見れば、容易にうなずけることである。

それでは、河川はどのような塩類をふくんでいるのであろうか。河川水の化学的組成は、流域の母岩および土壌の性質によって大きな影響を受ける。人為のあまり加わっていない地点での分析結果を表16に引用する。わが国の河川水は、蒸発残渣分が少なく、溶存珪素が多いことがこの表からわかる。それは、山が浅くて降雨から流出までの時間が短いこと、火山性母岩であることによるのであろう。灌漑水のなかに多くの珪酸があることは、珪酸を必要とするイネの生育には好都合であった。このような組成

表16 河川水の平均的な化学組成 (mg/l)
 (日本:小林, 1971, 世界:リビングストーン, 1963)

成 分	日本	外国
ナトリウムイオン	Na 6.70	6.30
カリウムイオン	K 1.19	2.30
マグネシウムイオン	Mg 1.90	4.10
カルシウムイオン	Ca 8.80	15.00
塩素イオン	Cl 5.80	7.90
硫酸イオン	SO ₄ 10.60	11.20
炭酸イオン	CO ₃ 31.00	58.40
溶存珪酸	SiO ₂ 19.00	13.10
硝酸態窒素	NO ₃ 0.26	1.00
蒸発残渣	74.80	100.00

をもつ水が耕地のなかを流れるとき、ある成分は利用され、また、耕地中のある成分は溶出する。こうした変質を受けながら、河川水は海へと流れていく。

このようになく自然的な流れは、比較的最近まで保持されてきたが、人口が増加し、その活動が活発になるにつれて、水の化学組成は量的・質的に大きく変わってきた。灌漑水の汚染は全国的に拡がり、作物の生産物を通して、その影響は人間の健康破壊にまでつながっている。カドミ・水銀・PCB汚染米などがそれであり、さらに海洋汚染にまで及んでいる。その模様を図28に示す。生産活動と都市活動

によって大気中に排出されるさまざまな汚染物質は、雨の凝結核となったり、雨滴に溶けこんだりして、汚れた雨を降らす原因となる。鉱山から湧出する水は有毒な重金属イオンや微粒子によって河川を汚し、住宅団地に住む人々の排泄する尿尿は河川・湖沼を富栄養化し、灌漑水を劣化させて、安全な食糧を生産するという耕地本来の使命を損わせている。また、農業の生産性を高めるために多用した肥料や農薬の一部も、水の流出(表面・地下をふくめた)につれて、下流域へ流され、さまざまな環境破壊の一因となっている。

いま面積 A の耕地に強度 d で散布された農薬または肥料の、地表水および地下水への流出量は次式で近似できる。

$$Q_s = Ad(1 - \alpha_s) / (1 + f_o/f_s)$$

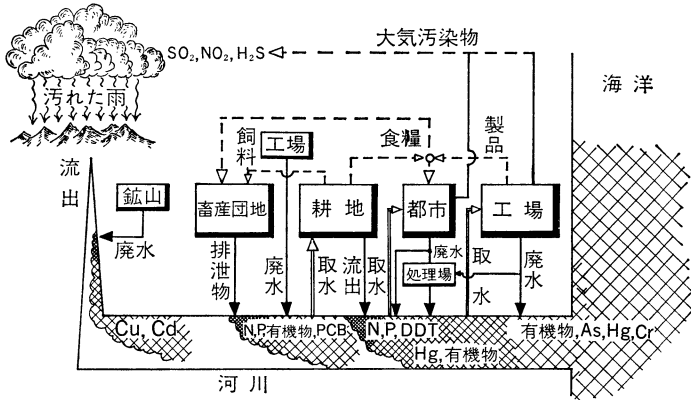


図28 水の汚れ (内嶋原図)

$$Q_0 = Ad(1 - \alpha_i) / (1 + f_s/f_0)$$

Q_s 〓 地表水への流出量

Q_0 〓 地下水への流出量

f_s 〓 [降雨量 + 灌漑水量] のなかでの表面流出量の割合

f_0 〓 [降雨量 + 灌漑水量] のなかでの地下流出量の割合

α_i 〓 植物の吸収・土壌の吸着・微生物による分解にも
とづく散布剤の損失率の和。この各項をこの順に

$\alpha_p, \alpha_s, \alpha_d$ で表わす。

この式から、 Q_s と Q_0 とを抑えるには、 d を低くし、 α_i を大きくする以外にないことがわかる。生産の向上・安定のためには一定レベルの d が必要であるとすれば、 α_i 、とくに α_s と α_d とを高めることが重要になってくる。土壌の研究によれば、土壌の吸着能と微生物の活動度とは、土壌中の有機質量にほぼ比例するという。とすれば、現実の農業生産について、堆厩肥を忘れて無機化の方向をたどっているのは、農業自身が環境破壊を加速しているものということができる。

もうひとつ見逃すことのできない水の汚れは畜産団地からきている。竹内・島津（一九六九）の議論に従って、この問題を定式化してみよう。いま、ある小河川の流域に、 N 頭の家畜を飼う団地があり、家畜一頭あたりの排泄物の量を p 、その使用する水の量を q とする。すると、この団地からの排水中の排泄物濃度 C_p と排泄物総量 W_p は当然つぎのように表わされる。

$$C_p = p/q$$

$$W_p = Np$$

つぎに、排水される汚水のうち割合 a だけが処理場へいき、残りは流れを通過して小河川へそそぐとする。と、各回路から河川へ流れこむ排泄物の総量 W は次式で表わされる。

$$W = W_1 + W_2 = Np\{a(s-t) + (1-s)\}$$

ここで、

W_1 || 処理場を経て流出する排泄物量

W_2 || 小さな流れを経て流出する排泄物量

t || 処理場での排泄物の処理効率

s || 小流内での自然浄化による処理効率

もしすべての汚水が処理場で処理されるなら、 $a=1.0$ 、 $W_1=Np(1-t)$ となり、処理場がないときは、 $a=0$ 、 $W_1=Np(1-s)$ となる。さて、これだけの汚染物質が河川へ流入するとき、流入点から x だけ下った地点での汚染物量を源流のそれ W_0 の A 倍以下に抑えようとする、この団地で飼育可能な頭数 N は次式を満足しなければならぬことになる。

表17 主要な動物の排泄強度と組成 (大野, 1968)

家畜	項目	フン	尿	BOD		COD		全窒素		燐酸		固型物	
				フン	尿	フン	尿	フン	尿	フン	尿	フン	尿
	kg/頭,日	ppm						乾物 %		%			
成牛	25.0	6.0	24,000	3,900	19,600	6,000	9,400	8,300	0.44	0.004	13.8	5.8	
成馬	25.3	10.0	6,500	5,600	24,500	8,300	3,100	8,900	0.37	0.003	27.9	8.4	
成豚	3.5	3.2	62,000	5,000	35,000	9,300	4,700	7,800	1.68	0.15	29.5	4.5	
成鶏	0.15	—	65,400		45,000		14,600		4.52		22.5		

$$N = \frac{AW_0 \exp(rx/v)}{p\{a(s-l) + (1-s)\}}$$

1) 1) v'

Q_0 ∥ 流入点での河川流量

C_0 ∥ 源流の汚染物濃度、 $W_0 = Q_0 C_0$

r ∥ 河川内での排泄物の分解定数

v ∥ 河川の平均流速

この関係式を用いると、河川の汚染強度と飼育可能頭数を予測することができる。それらの値はもちろん各家畜の排泄強度に密接に関連するので、主要な動物の排泄強度を表17に示す。

右に示した関係は、人間の集団による河川の汚染強度を評価する場合にも適用できる。すると、河川の汚れは人口に比例することになる。図29はこの結果を実証している。すなわち、多摩川中流域では、人口増加よりもより急速にアンモニア態窒素が増えている。これはタンパク食品摂取の急増にともなう屎尿組成の変化に起因している。一般に広大な耕地と大洋において、食糧のなかに濃縮された窒素化合物を、狭い流域内に集中的に放出すると、このような汚染

地帯になるであろう。そこを耕地にするには、現在より五、〇〇〇 km^3 以上も多い水を人間の支配の下におかなければならないであろう。この量は、全大陸から海洋へ流出している水の約一割にあたる。このように莫大な量の水をかりに人間が操作することができるとしても、それが、永い地史を通じて地球上に形成されてきた現在の気候と自然生態系にどのような大きな影響を与えるかは、アスワンハイダムの場合を見れば、容易に想像できるであろう。

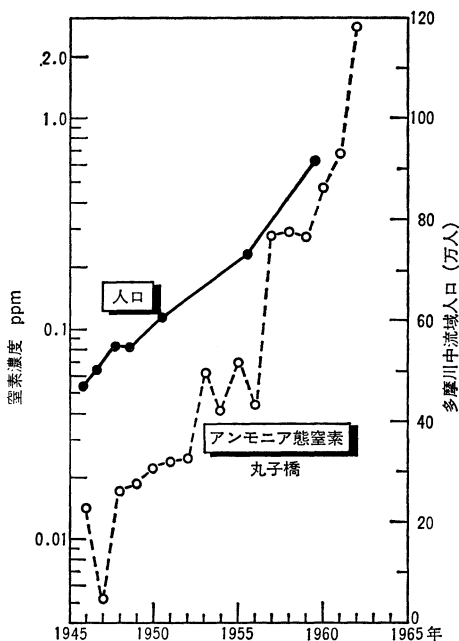


図29 多摩川中流域の汚れと人口(半谷, 1971より作図)

が顕著に現われるのである。

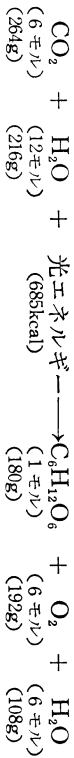
水を守ろう

現在、人類は農耕地を利用して約七五億トンの有機物を生産し、これから約九億トンの食糧を得ている。しかし約三〇年後という近い将来に人類が確保しなければならぬ食糧の量は、この二倍ないし三倍になるといわれている。そのため耕地を拓げることが不可能であるが、その主要地域は水分不足度の大きいサバンナとステップ

図28に示したように、耕地にそそぐ水は多くの物質をふくんでおり、そのなかの有害物質の濃度は、人類の生産活動の活発化につれて急速に増大している。これらの有害物質は、当然耕地にも海洋内にも蓄積し、食物を通じて人間に到達することは自明である。また、耕地の生産性向上に大きな役割を果たした肥料と農薬の多用は、かなり激しい水質劣化をもたらしている。それゆえ、安全な食糧の生産に必要な量と質の水を確保することは、耕地を守ることと並んで、現在の人間が、将来の人類および生態系の維持のために果たすべき緊急の任務である。この任務を達成するためには、従来とはまったく違った、広い学際的なアプローチを必要とするとともに、自然生態系との共生を最終目標とする新しい価値観の創造が不可欠である。

四 炭素の循環

人間は、身体の維持と活動に必要な物質とエネルギーを獲得するために、一日平均二、五〇〇キロカロリーの熱量をふくんだ食物を摂取している。また、外界の環境から身体を保護するために、繊維や木材を使用している。さらに、近代的な社会を建設し運営してゆくために、莫大な量の化石燃料を消費している。これらに利用されている物質としては、炭水化物・脂肪・タンパク質・炭化水素などがあるが、それらはすべて、炭酸ガスと水という単純な物質から、植物が太陽光の力を借り、つぎの反応過程を通じて作り出したものである。



この反応で生成されるグルコースから、さらに複雑な生化学的プロセスを経て、でんぷん・セルロース・油脂などが形成される。このプロセスの進行に必要なエネルギーは、植物が光合成によって得たグルコースの一部を分解してまかなっている。この過程で植物自身によって消費されるグルコース量は、その生産量の二〇〜三〇%と考えられている。それゆえ、六モルの炭酸ガスから合成され、植物体内に貯えられるグルコース量は、〇・七モル程度と見積もられる。

草食動物をはじめ種々の段階の肉食動物および人間は、右のプロセスを経て植物が生産した物質を摂取し、その生命活動を維持している。このプロセスでは、動物は空気中や水中の酸素を利用してグルコースを分解し、そこで獲得したエネルギーを、身体の構成や活動に必要なより高次の物質の形成に用いている。これが呼吸作用とよばれるもので、この過程でグルコースは分解して炭酸ガスと水になる。また、植物・動物の遺体は、さまざまな微生物の活動のエネルギー・物質源として利用され、最終的には炭酸ガスと水になって大気中へ戻る。以上からわかるように、植物の光合成活動を媒介として、地球上には炭素の大きな運動がおり、その流れは地球における生命の発生とその進化に密接な関係をもっている。それは、生命を担う生物体の多くが炭水化物や脂肪などの炭素化合物から構成されており、その生命の維持と活動には炭素化合物を分解して利用していることから明らかである。

このほかに、水中の植物プランクトンまでふくめて、植物はその生理学的機能を通じて、莫大な量の炭素を大気中から、炭化水素や炭酸塩の形で、生物学的な袋小路に閉じこめてしまった。このために、炭酸ガスに富んでいた原始大気は、次第に変化して、現在のような組成になったといわれている。この過程で、豊富になった酸素ガスを利用する生物(動物)が発生・進化したと考えられている。

炭素の流れを検討する場合、種々の単位が用いられているが、それらの間にはおおよそつぎの関係が成立する。

植物体(乾物)1.0トン＝炭素0.45トン＝炭酸ガス1.50トン

すなわち、乾物一トンの生産には、一・五トンの炭酸ガスが必要なことがわかる。

炭素の流れ

さきに説明したように、植物の光合成活動を出発点とする炭素の流れは、地球上に自然生態系という、他の惑星には見られないような自然を創り出し、それを生き生きと活動させた後、再び大気中へ戻り、はじめの出発点に立つ。この流れは、地史的スケールで測っても非常に長い年月の間、攪乱されることなく続いてきた。しかし、人間が、生物学的袋小路のどこかに小径をつけて、太陽エネルギーの罐詰である化石燃料を地球上に運び出して利用するようになって以来、この流れは少しずつ複雑な様相を呈するようになってきた。

この様相を理解するために、まず地球全体を対象として、その自然を構成している四圏(大気圏・地圏・水圏・生物圏)のなかに貯えられている炭素量の分布を調べると、表18のようになる。まず目につくのは、地球上の炭素のほとんど全部(九九・八%)が、生物学的袋小路、とくに、そこからの小径のつけにくい沈澱炭酸塩という袋小路に堆積していることである。そのうえ、かなりの量の炭素が、沈澱炭酸塩の予備軍として、海洋の深層に存在している。これから、必然的に、現在の生命活動に關与している炭素量は非常に少なく、大気圏内の七、〇〇〇億トン、生物圏内の六、〇〇〇億トン、地圏内の七、

表18 四圏内の炭素量分布 (依田, 1971による) (億トン)

	大 気 圏	生 物 圏	地 圏	水 圏
現 存 量	7,000	陸上植物 6,000 プランクトン・魚 40	化石燃料 100,000 堆積炭酸塩 200,000,000 * 遺体(陸) 7,000 遺体(海) 30,000	浅海 5,000 深海 345,000
小 計	7,000	6,040	200,137,000	350,000
比率%	0.0035	0.0030	99.82	0.177

* 動物界のなかの炭素量は36億トンと推定されている。

〇〇〇億トンぐらいで、全炭素量のわずか〇・〇一%を占めるにすぎないことがわかる。

現在、光合成活動を媒介として、四圏の間で活発に行なわれている炭素の輸送・交換の姿を図30に示す。大気中の炭素量六、五〇〇億トン(炭酸ガス二一、四五〇億トンに相当)の約三・八%にあたる二五〇億トンの炭素が、植物の活動(光合成と呼吸との差引き)によって生物圏に取りこまれている。この炭素は、乾燥重量で一兆一〇〇〇億トン(ウイテツカーは一八、五二〇億トンという高い数字を与えている)といわれる自然生態系とそれに寄生している人間を生き生きと活動させた後、土層にはいりヒューマス(生物の遺体の種々の分解過程の産物の複合体で、腐植という)となって豊かな土壌を形成させ、植物の発達に大きな寄与をする。そして、さいごに、もつとも単純な化合物である炭酸ガスと水となって大気中にかえるのである。そこで、時間のスケールをうんと長くとり、対象とする空間を非常に広くとると、地面上の植生量も土壌中の有機物量も一定と考えることができる。すなわち、炭素の流れについては、動的平衡が成立していると仮定する。そうすれば、大気中から生物圏へ取りこんだと同量の炭素が、生物圏と地圏から大気中に放出されていなければならない。それは主と

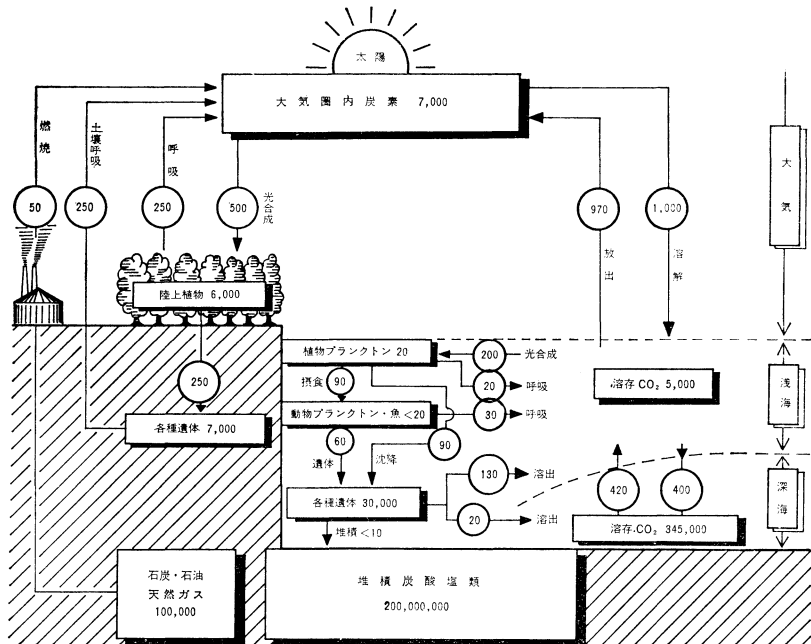


図30 地球上における炭素の循環 (依田, 1971より作図)

(単位は億トン/年, 四角は現存量, 丸内は流入・流出を示す.)

して、土壌中での有機物の分解によって生ずる炭酸ガスのうち、地面から大気中へ逃げる炭素であつて、この現象を土壌呼吸という。

一方、海洋中の植物プランクトンは、透入する日射を利用して溶存炭酸ガスから有機物を合成し（その量は炭素で百億トンに達する）、植物プランクトン—動物プランクトン—魚類からなる系を維持した後、静かに沈降して沈澱性炭酸塩となる。もちろん、一部は海洋中に溶出して、海水中の溶存炭酸ガス濃度をほぼ一定に保つ役割を果たす。地球表面の約七〇%を占める大洋は、三六一億haという広大な面積で大気層と自由に接している。それゆえ、大気中の炭酸ガスと海洋中の溶存炭酸ガスのあいだには、年間およそ一、〇〇〇億トンのケタで交換がおこなわれている。このことは、大気中の炭酸ガスがおよそ五—一〇年の間隔ですっかり入れ替わっていることを示す。最近の観測によれば、水温の低い高緯度帯の大洋表面では空気中の炭酸ガスが海中に溶けこみ、水温の高い低緯度海域では逆の現象が起こっている。

以上に説明したような炭素の流れは、第四間氷期にはいつてからの約一万年間はほぼ安定していたと考えられるが、産業革命を経てから乱れはじめ、その乱れは年とともに大きくなってきている。その原因は、人類が、太陽エネルギーの罐詰である化石燃料を使用したことにある。地球上に炭酸ガスに富んだ原始大気があり、高温多湿な気候が普遍的であつた石炭紀・三畳紀には、植物の生育が旺盛であり、莫大な量の太陽エネルギーが炭素とともに地中深くにとじこめられた。このエネルギーを発見し利用しはじめてから、人類社会の発達に加速度がつき、エネルギー使用量も加速度的に増加してきた。その増加率自体が年九・二五%の割で指数曲線的にふえている。

エネルギー利用によって生じる熱汚染・硫黄汚染などは別に、多量の炭酸ガスが燃焼によって大氣中に放出されているのも問題である。その量は、毎年炭素で約五〇億トン、炭酸ガスに換算すると約一六七億トンに達する。これは、陸上植物が毎年光合成で吸収する炭酸ガス量の約二〇%にあたる。しかも、西暦二〇〇〇年頃には、エネルギー使用の急増のために、現在の炭素放出量の約四〜五倍になるであろうと予想されている。これによって、地球上に形成されていた炭素循環の齒車に乱れを生じるのは明白であり、そのひとつの徴候は、大氣中の炭酸ガス濃度が、今世紀初めから急速に上昇していることに現われている（図13参照）。

大氣を中心にして考えると、これに出入りする炭酸ガス・フラックスの和と、大氣圏内での炭酸ガス量の増減とは等しいはずである。すなわち、炭酸ガスについても質量保存の法則が成立しなければならぬ。ここで、フラックスとは、ある面を通して一方から他方へ単位時間中に輸送される熱量や炭酸ガス量などのことをいう。右の法則を簡単な物理式で表わすところになる。

$$V_a \frac{dC}{dt} = F_0 e^{\alpha t} + \gamma X - \alpha_1 f_1 (F, C) - \alpha_2 D(C - C_w)$$

ここに、

V_a Ⅱ 大氣圏の容積、

C Ⅱ 炭酸ガス濃度、

t Ⅱ 時間

F_0 Ⅱ 基準年での炭酸ガス発生量

α Ⅱ 炭酸ガス発生曲線の指数

f_1 Ⅱ 光合成による炭酸ガス吸収関数

X || 土壌中の有機物量、 r || 分解係数

F || 地球上の植物量

a_1 || 陸地の表面積、

a_2 || 海洋表面積

D || 海洋面での炭酸ガス拡散速度

C_w || 海洋の炭酸ガス分圧に相当する CO_2 濃度

この式で、有機物量 X は枯死する植物量に比例し、枯死量は光合成による乾物生産量に関係するから、燃焼による炭酸ガス発生量以外は、各項は互いに密接に関係しあっている。この炭酸ガス收支式を解いて、炭酸ガス濃度の変化を推定する試みがある。行なわれ、そのなかには、最近一〇年間の濃度変化をかなりよく再現するものが得られている（「生長の限界」の図15参照）。

しかしながら、われわれの知識はまだ不足で、とくに、土壌有機物の分解係数に与える温度と土壌水分の影響、植生の乾物生産力に与える気候要因の影響、あるいは、海面上の炭酸ガス拡散速度などに関する情報はきわめて断片的で不十分である。農業とは一見ほとんど関係のないような地球科学的な諸関係や地球化学的な関係が、農業生産の将来を考えるにあたって、重要な関連をもってくる。このことは、現在の科学・技術が、学際的・システムのアプローチを不可避的に要求していることの現われである。それは、また、単に自然科学の領域にとどまらず、社会・経済・政治へのシステムの認識をも必須とする、ひとつの大きな力となっている。

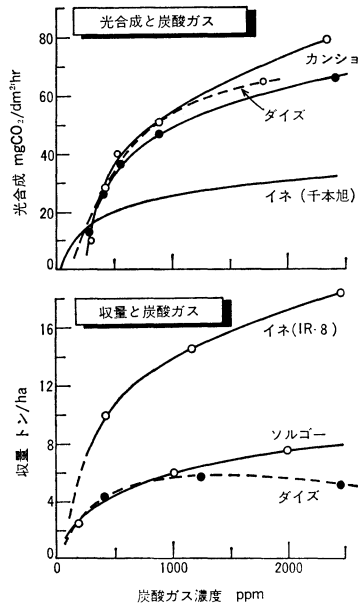


図31 光合成能力と収量の炭酸ガス濃度との関係

たのであろうか。これに関連して、最近多くの研究がおこなわれ、力を秘めていることが明らかになってきた。その一例を図31に示す。

わが国農業の本命である水稲の葉の光合成能力（十分な光環境下での光合成強度）は、周辺空気中の炭酸ガス濃度の増加につれて最初はかなり急激に増大するが、一、〇〇〇ppm（炭酸ガス一・八六mg/lにあたる）を超えると、ほとんど増大しなくなる。（最近の研究によれば、イネの個葉の光合成能力は、図の値の二倍に近い。）カンシヨ、ダイズの光合成能力も一、〇〇〇ppm以下では、濃度とともに急増するが、その後は増加の勢いが鈍くなる。

炭酸ガス濃度を高めると、光合成能力が高まるといふ、このかくれた能力は、すでに、施設園芸の分

炭酸ガス濃度と植物

太古の植物は、豊富な炭酸ガスをふんだん大気の下で発生し進化した、活発な光合成活動をおこない、その結果として現在のような低炭酸ガス濃度の大気をつくり、それに適応して現在の植物に移り変わっているとされる。それでは、現在の植物は、高炭酸ガス大気下でむかし持っていた光合成能力をすでに失ってしまった

野でかなり広範に活用されており、種実を食用とする作物についても試験がくりかえされている。その一例が、図31の下端に示されている。イネを高い炭酸ガス濃度の下で生育させると、一八トン/haという、日本記録の二倍に近い高収量が得られている。しかし、飼料作物のソルゴーでは、高濃度炭酸ガスの効果はイネほどではなく、ダイズでは収量は逆に低下している。炭酸ガス濃度への収量反応のこのような差異は、作物のもつ生理的機能の違いや、種実内に貯えられる成分の相違によるものと考えられる。

図13に示したように、化石燃料の使用にともなう大気中の炭酸ガス濃度の上昇はかなり急ピッチであるが、それでも21世紀後半に一、〇〇〇ppmを超えるようなことはないと考えられる。それゆえ、ほとんどすべての植物の光合成量も乾物生産量も、こんごゆるやかに増加すると予想される。乾物生産が増大すると、自然生態系へのエネルギー流入量が増加し、生物圏の発達が促進され、ひいては、土壌への有機物の供給も多くなると考え、大気中の炭酸ガスの増加は、農業生産の将来にとってプラスであると主張する人もいる（ニチポロビッチ、一九七二）。しかし、果たしてそのように事は運ぶであろうか。さきにも触れたように、エネルギー消費の増加は、植物とはあまりなじみのない、炭素と一しよに地中深く眠っていた物質を、空高く舞い上げ植物の上に降りそそぐ結果をもたらしている。また、降る雨のpHは年とともに低下し、先進工業国ではpHが四・〇近傍の強酸性の雨が降るようになっていく。これらは、地上に生育している植物はもとより、土壌中の微生物の活動力をも弱め、炭素循環の輪を破壊する可能性をも秘めている。

このほか、天高く舞い上がる微細な塵は、日傘効果をもつて、炭素循環の原動力である日射量を弱めることも心配されている。大気中の炭酸ガス濃度と日射量の減衰との両方を考慮にいれて、植物の光合

表19 炭酸ガス濃度と日射減衰の光合成量に与える影響
(モンテイス, 1970)

年次	1970	1980	1990	2000
炭酸ガス濃度 (ppm)	320	330	350	380
日射一定と するとき	406 100.0	406 101.4	406 104.6	406 109.0
光合成量				
日射減衰を 考えるとき	406 100.0	384 98.9	365 99.0	346 100.0
光合成量				

注 光合成量は1970年を100として示した。

成量がどのように変わるかを評価した結果を、表19に示す。これによれば、日射量が減衰しないとすると、光合成量は徐々に増加し、今世紀末には約一割増になると考えられる。しかし、日射減衰を考慮にいと、炭酸ガス濃度上昇の効果は帳消しになる。

炭素の流れのなかで重要な役割を果たしている自然植生に対して、大気中の炭酸ガス濃度の上昇が究極的にどういう影響を与えるかについては、意見がわかれており、また、土壌中での有機物分解速度に及ぼす影響についてはまったく究明されていないといつてよい。この問題は、生態学の研究対象であると同時に、自然生態系との共生を最終目標とする新しい意味での農学の研究対象でもある。この問題の解明には、従来の分析的研究方法を高い立場から方向づけるとともに、それらの分析的手法で得られた結果を利用しながら、一貫した自然認識体系ならびに技術体系を構築するシステムのアプローチが、同時併行的に展開されねばならないであろう。

耕地における炭酸ガスの流れ

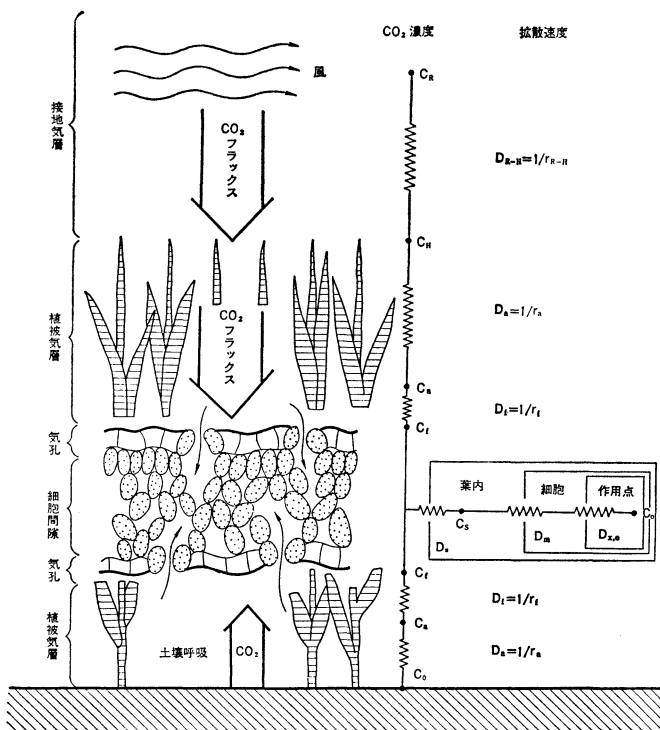


図32 耕地における炭酸ガスの流れ (内嶋, 1974)

陸上の植物群は年間五〇億トンの炭素（炭酸ガスで一、六六五億トン）を吸収して、乾物量五五〇億トンを生産していることを指摘した。このことから、作物の生育している耕地上では、大気から植物への炭酸ガスの流れ（炭酸ガス・フラックス）があることがわかる。晴天時に、よく茂った水田上では、炭酸ガス・フラックスは三〇〇〜五〇〇 kg/ha/日に達することが知られている。その姿をモデル的に、図32に示す。植被上の気層からの炭酸ガスの流れは、空気層を通

つて植被面に到達した後、植被層内を流れ、葉面上に形成されている、風速のとくに弱い層（葉面境界層）と葉面の気孔を通過して葉内にはいる。葉内にはいった炭酸ガスは、水に溶けたあと、いくつかの関門を通過して光合成作用点に到着し、そこでの生化学的反應に關与する。

作物に吸収される炭酸ガスには、大気層からのものだけではなく、土壌から放出される分もある。土壌中の有機物の分解による炭酸ガスだけではなく、根系の呼吸作用による炭酸ガスもふくめた、土壌呼吸によって放出される炭酸ガスは、空気の流れの弱い群落気層を通過して葉面に達したあと、前と同様の経路をたどって光合成作用点に流れこむ。

一般に、物質やエネルギーのフラックスはつぎのような拡散式によって表わされる。

$$\text{フラックス} = (\text{拡散速度}) \times (\text{濃度差})$$

または、

$$\text{フラックス} = (\text{濃度差}) / (\text{拡散抵抗})$$

この關係を、葉面周辺から作用点までの炭酸ガスの流れに適用すると、つぎの式を得る。

$$\text{炭酸ガス・フラックス} = \frac{C_a - C_0}{\frac{1}{D_f} + \frac{1}{D_s} + \frac{1}{D_m} + \frac{1}{D_{st,e}}}$$

ここで、

C_a ≡ 葉周辺の CO_2 濃度、

C_0 ≡ 作用点の CO_2 濃度

D_f ≡ 葉面拡散速度、

D_s ≡ 気孔拡散速度

表20 作物群落によって吸収される土壌呼吸量
(モンテイスら, 1964)

場 所	草 地	草 地	インゲ ン畑	大麦畑	ケール 畑
観 測 期 間	4. 18—5. 24	7. 24—8. 23	6. 16—7. 28	5. 30—8. 1	8. 4—9. 25
純光合成g/m ² , 日	35.0	14.0	20.0	22.1	13.9
土壌呼吸g/m ² , 日	4.3	5.7	5.1	7.1	4.5
土壌呼吸/純光合成	0.11	0.40	0.26	0.33	0.32

D_m 、 $D_{x,e}$ 、 $D_{z,e}$ 、 $D_m > D_{z,e} > D_{x,e} > D_s > D_f$ の順であることが知られている。また、 D_m は葉内の水分状態に、 D_f は葉周辺の風速や乱れに影響されることがわかっている。

これまでに述べたように、作物群落は、大気層と土壌の両方から炭酸ガスを補給されているが、その割合は作物の茂り具合、土壌中の有機質含量、日射強度などによって変わる。そのひとつの例を、表20に示す。作物群落によって吸収固定される土壌呼吸量は、純光合成量の一一〜四〇%を占め、土壌は炭酸ガスのかなり重要な補給源であることがわかる。晴天で光合成の旺盛な日には、大部分の炭酸ガスは大気層から補給されるが、曇天時に光合成で吸収されるほとんどの炭酸ガスは土壌から補給されている。

このような現象を利用して、耕地に炭酸ガスを放出し増収をはかる試みがなされている。これを定量的に解明するひとつの方法は、群落光合成式と炭酸ガス拡散式とを組み合わせた生物物理モデルによるシミュレーション(数値実験)である。シミュレーションで得た結果のひとつが図33に示されている。右図からわかるように、炭酸ガス放出量(炭酸ガス施肥)の増加にもなつて、作物群落の光合成量はほぼ比例的に増加する傾向をも

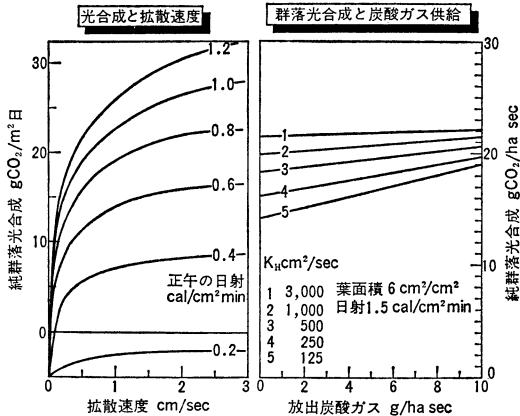


図33 (左) 気層の拡散条件と群落光合成
(右) 炭酸ガス施用と群落光合成
(内嶋・井上, 1971)

件と密接な関係のある風は、光合成にとって重要な気象要因であるということが出来る。図33の左図には、温度条件を加味した生物物理モデルによって明らかにした、拡散条件と群落光合成との関係を示す。強日射の下では、拡散条件が良くなるにつれて、群落光合成はかなり急速に増加するが、日射の弱いときには、その効果がほとんどないことが示されている。

つが、風が強くて施用した炭酸ガスの多くが空気中に逃げてしまうような条件下では、光合成量の増加は僅かである。風が弱くて、空気層から作物群落への炭酸ガス運搬量が少なく、作物が炭酸ガス不足に悩むような条件下では、その施肥はかなりの効果があることがわかった。炭酸ガスを安全かつ低廉に供給できるならば、その施肥は耕地でも増収のためのひとつの技術となりうるであろう。

拡散条件が悪くて炭酸ガス輸送の少ないときには、群落内に炭酸ガス濃度のかかなり低い場所が生じ、ここでは光合成は抑制される。また、葉周辺の風速が弱いときには、葉温は気温より数度高くなる。このようなときには、呼吸活動が旺盛になり、群落の光合成量は低くなると考えられる。それゆえ、拡散条

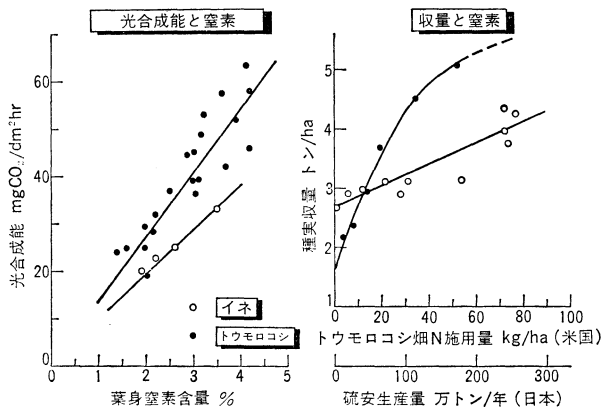


図34 窒素含量と作物の光合成能(左図)および窒素肥料と収量(右図)
(田中ら1972, 田中1973, 吉田1971より作図)

生物のもつ多種多様な機能は、複雑な構造をもつタンパク質の存在と密接に結びついている。タンパク質の二重らせんは親から子への遺伝情報の伝達に関係すること、また、生理活性をもつ多くの酵素がタンパク質そのものであることなどを見れば、それは容易に理解できる。タンパク質は、窒素原子を主要な構成要素とするアミノ酸の複合体である。この窒素が生物体のなかで大きな役割を果たすのは、その原子価状態が、マイナス三価からプラス五価までの六種をとりうるからであると考えられている。

農業生産の向上にとっても、窒素は非常に重要な役割をになっている。作物の光合成に関する最近の研究によると、種々の作物葉の光合成能は葉身の窒素含量と密接な関係がある。その例が図34に示されている。光合成能は、日射が十分な条件下での葉の炭酸ガス吸収量によって表わされる。

五 窒素の循環

表21 各圏における窒素量(億トン)の分布
(デルピッチ, 1970による)

	生物圏	気圏	水圏	地圏
現 存 量	陸上植物 120	38,000,000	溶解量 200,000	遺体窒素 7,600
	陸上動物 2		遺体窒素 9,000	無機窒素 1,400
	水中植物 8		無機窒素 1,000	沈澱窒素 40,000,000
	水中動物 1.7			地殻内 140,000,000
小計	131.7	38,000,000	210,000	180,009,000
%	0.00006	17.4136	0.096	82.49

図によれば、イネとトウモロコシの光合成能は、葉身の窒素含量に比例して増加している。また、きわめて単純に考えると、収量と密接な関係のある乾物生産量は、次式で表わされる。

$$(\text{乾物生産量}) = (\text{比例係数}) \cdot (\text{葉面積}) \cdot (\text{光合成能})$$

それゆえ、耕地の生産力は、水分の供給が十分なときには、窒素肥料の施用量にほぼ比例して増大する。実際、わが国のイネの収量は硫安生産量にほぼ比例している。また、アメリカにおけるトウモロコシ収量は窒素施用量の増加につれて急増し、五トン/haという高いレベルに到達した(図34右)が、最近では頭打ちの状態に移行している。これらの例から、窒素は食糧増産にとってきわめて重要な要因であることがわかる。

窒素の分布

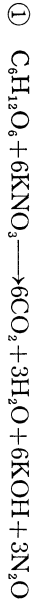
地球をとりまき、生命を育んでいる大気は、その容積の約七九%を窒素ガスで占められている。植物や動物の体には、二〜三%、雨水や流水にはほんの少しの窒素がふくまれている。そこで、地球上の全窒素量の気圏・水圏・地圏・生物圏における分布を知りたいが、これについては概略の値しかわからず、さ

らに困ったことには、研究者によって違った数字が与えられている。表21にはデルビッチ（一九七〇）の数字を示す。これからわかるように、大部分の窒素は、地圏と気圏に存在していて、生物圏内の窒素は、その生化学的・生物学的重要性にもかかわらず、ごく微量である。したがって、地球全体での窒素収支を考えると、無視することができる。

この四圏における窒素量は、工業的に固定した窒素肥料の大量投与と豆科植物の広範な栽培がおこなわれはじめた近代的農業の展開以前には、つぎの二過程によって平衡を保っていたと解釈される。すなわち、



二、脱窒作用



水中の藍藻類、土壌中の窒素固定バクテリアおよびこれと共生する豆科植物は、常温・常圧の下で、ニトロゲナーゼの力を借りて、大気中の窒素ガスからアンモニアを合成している。これが窒素の生物圏への唯一の流れであった。土壌中の窒素固定バクテリアは、一年一ha当り二〜三kg（最大は五〜六kg）の窒素を、また、豆科植物中のクローバーは、一年一ha当り約一七〇kgの大気中の窒素を固定できるといわれている。

このようにして固定された窒素は、食物連鎖を通じて、草食動物―肉食動物に吸収され、それぞれの

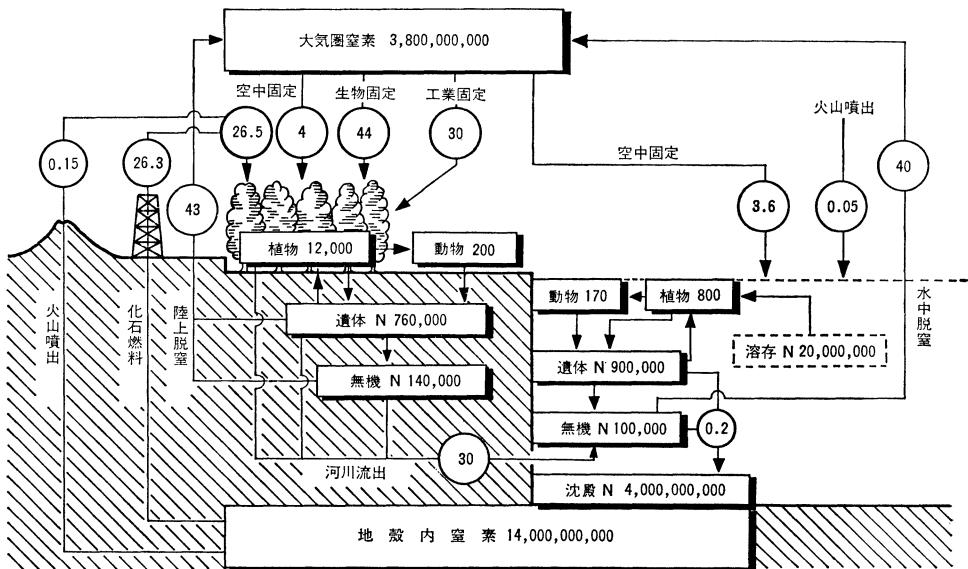


図35 自然界での窒素循環（デルビッチ，1970）

（四角内の現存量は億トン，丸内のフラックスは千万トン/年を示す。）

表22 生物圏を中心とした窒素収支
(デルピッチ, 1970を修正)

	流入		放出			
	(万トン/年)	%	(万トン/年)	%		
フ ラ ン ク ス	荳科植物	1,400.0	11.8	陸上での脱窒	4,300	51.7
	窒素固定バクテリア	3,000.0	25.4	海洋での脱窒	4,000	48.1
	水生植物	1,000.0	8.5	海洋での沈澱	20	0.2
	工業的窒素固定	3,000.0	25.4			
	大気中で窒素固定	760.0	6.4			
	火山噴出	20.0	0.2			
	化石燃料より	2,625.3	22.2			
小計	11,805.3	100.0		8,320	100.0	
差引	+ 3,485.3					

体内で重要な役割を演じた後、屎尿として排泄される。その一部は、耕地に施用されて窒素循環回路へ戻り、残りの排泄窒素化合物および生物遺体中の窒素化合物は、脱窒微生物の作用によって分解され、最終的には窒素ガスとなって大気中へかえる。この二つの流れによって、耕地をとりまく窒素環境は形成されていた。

窒素の循環

生物をとりまく自然環境における窒素の動きは、上述の窒素固定と脱窒の両作用によって律しられ、その速度の大小は、生物とくに植物の生長に、ひいては、作物の収量に大きな影響を及ぼす。この窒素の動きは、前節で述べた、自然界における炭素の動きにもなっており、炭素循環を示す図30に倣って、気圏—生物圏—水圏—地圏における窒素の循環を図35に示す。

陸上生物圏への窒素の主要な流れは、固定バクテリアの働きと工業的な窒素固定によるもので、全体の約九六%を占め、大気中の放電現象にもとづく窒素固定や火山からの噴出窒素量は

きわめて少ない。しかし、太古の植物からできた化石燃料のなかには少量の窒素がふくまれており、現在の燃料使用量——全世界で石炭一七億トン、亜炭八億トン、原油二三億トンなど——から見れば、燃焼によって大気中に放出され雨滴とともに降下してくる窒素の量は無視できなくなっている。あるいは推定では、化石燃料から出る窒素は、年間約二、六二五万トンといわれている。一九三〇年代にわが国でおこなわれた測定では、都市近くで一年一ha当り一四・八kg Nという数字が得られており、現在の都市周辺にある耕地には、これに匹敵する、あるいはこれ以上の窒素が降っていると考えられる。しかしながら、窒素動態に関するこのような資料は、現在十分整備されていない。

図35の資料から、生物圏を中心とした窒素収支表をつくと、表22のようになる。窒素固定バクテリアと近代工業がそれぞれ二五%を担っており、これに化石燃料からと茸科植物の寄与が続いている。こうしたさまざまな過程を経て生物圏へ流入する窒素化合物は、窒素で年間一一、八〇〇万トンとなっている。一方、種々の脱窒微生物によって大気中へ還元される窒素は、年間八、三二〇万トンと推定されるから、その差額約三、五〇〇万トンは、毎年、地球表面に集積されていることがわかる。これは、多くの湖沼や浅海・内湾に多発している富栄養化現象——窒素・リン酸・カリなどの栄養塩類の濃度の上昇とそれにもなう藻類の大発生——によくあらわれている。このアンバランスの主因は、年間三、〇〇〇万トンに達する工業的窒素固定であり、それは、自然生態系に内蔵されている脱窒能力を超えて、窒素化合物を集中的（時間的・空間的）に施用するからである。

わが国の食糧需給にもなう窒素の循環を例として、脱窒能力を超える、窒素化合物の集中的な施用と放出の影響を、昭和四六年（一九七二）のデータを用いて調べてみる。その結果が図36である。一億

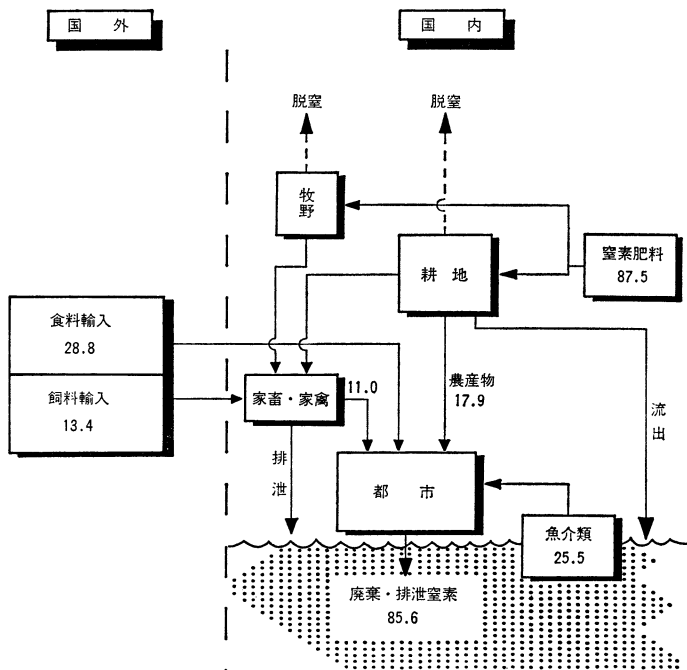


図36 わが国の食糧需給にともなう窒素の循環（窒素量 万トン/年）（内嶋原因）

の人口を養うために、約一、〇九〇万トンのコメを中心とする農作物が耕地で生産され供給されている。このために、年間八七・五万トンの窒素が肥料として耕地に施され、そのうちの約二〇%（一七・九万トン）が生産物といっしょに消費者へ運びこまれている。

食糧は国内産だけでは足りず、コムギ四八七万トン、ダイズ三二一万トン、肉類三〇万トンを輸入しており、窒素に換算すると、年間二八・八万トンがわが国に流入していることになる。また、わが国は家畜・家禽の飼料としてトウモロコシ三四〇万トン、コウリヤン三八〇万トン、フスマ三六万トンなどを輸入しており、これは、

一三・四万トンの窒素流入に相当する。さらに、八九〇万トンの魚介類を媒介にして、広大な海域から窒素を濃縮・搬入しており、その量は年間二五・五万トンに達する。

このように計算すると、合計八五・六万トンの窒素が食糧にふくまれて日本人の口のなかへはいっていることになる。それは、一億の日本人の生物機能の維持に寄与した後、屎尿として排泄される。この屎尿の大部分は、戦前は肥料として耕地に還元されていたが、現在の近代的農業は肥料を化石燃料から求め、機能的な都市は屎尿を都市廃水とともに自然環境内へ放出するようになった。汚水処理場や河川流下中の脱窒作用によって分解し窒素ガスとなる部分もあるうが、とにかく八五・六万トンの窒素をふくむ化合物が、この狭い国内に集中的に放出されているのは事実である。

このほかに、わが国は、莫大な量の原油（二億九千万トン）と四五〇〇万トンの石炭を輸入しており（一九七二）、また、三、九八〇万トンの石炭を産出している。これらの源、およびその他の源に由来するわが国の窒素負荷を、世界のそれと比較すると、つぎのようになる。

日本の窒素負荷 六五・九 kg / ha 年

世界の平均負荷 七・六 kg / ha 年

わが国は、世界の平均の約八・七倍という高い負荷の下にあることがわかる。これは、自然生態系に古くから内蔵されている脱窒能力をはるかに超えるものと考えざるをえない。

図36の示すもうひとつの重要なことは、日本人の生物的存在に大きな影響をもつタンパク質資源の自給率が意外に低いことである。

(タンパク質量) = $6.25 \times$ (窒素量)

という粗い関係式を用いて、タンパク質量に換算すると（魚介類は国内産に、家畜・家禽による肉・卵生産は外国産にする）、

国内産タンパク質 二七一・三万トン

国外産タンパク質 二四八・八万トン

となる。これから、国内自給率は五二％にすぎないことがわかる。この値は、オリジナル・カロリーの自給率五三％（一九七一）とよく一致している。魚介類のなかには、多量の遠洋漁獲量がふくまれていることに注意すると、わが国のタンパク質資源の「ぜい弱性」が一層よくわかる。この「ぜい弱さ」が、国内産ダイズの著減という貧困な農業政策によって加速・増幅されたことはいうまでもない。

食糧増産と窒素

作物の光合成能力が作物の葉内の窒素含量にほぼ比例的に増加することがわかってから、多量の窒素施肥に耐え高収量をもたらす、いわゆる耐肥性品種が多く、作物について育成されてきた。わが国イネの最近の優良品種は、その代表的なものである。世界の各国でも、増大する人口を養うために、肥料の多用によって耕地の生産性を高めようとしてきた。このことは、図37に示すような、世界における肥料の施用量（成分量として表示）の急激な上昇にあらわれている。

第二次世界大戦直後から、ゆるやかに増加してきた肥料使用量は、戦後の混乱が終息し新しい工業生産体系が整備された一九六〇年頃を境として急激な上昇をはじめた。とくに、増収にもっとも関係の密な窒素肥料使用量の上昇はめざましく、一九六〇年以降の一〇年間で、約三倍に増加し、成分量で三、

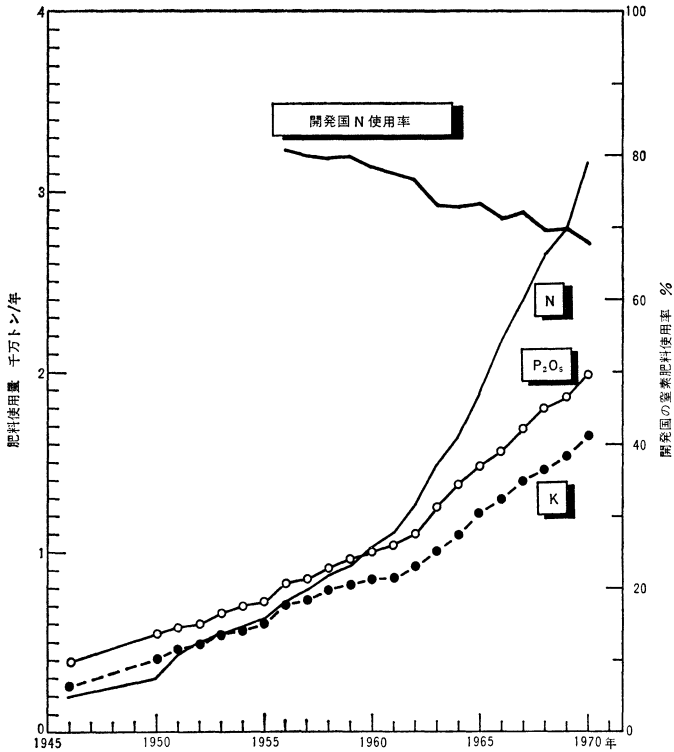


図37 世界における肥料の施用量（世界統計年鑑より作図）

○●●万トン水準に達している。この量は、近代的農業の出現以前に種々の窒素固定菌が自然生態系内に送りこんでいた窒素量に匹敵する。

図37でもうひとつ注目すべき特徴は、いわゆる発展途上国という人口爆発圏での肥料施用量が、一九五五年頃より次第に増加してきてはいるが、なお一九七〇年においても、全世界使用量のほぼ三〇％にすぎないという事実である。途上国と開発国との人口比は、三・二対一（一九七〇）であ

表23 穀類生産量と肥料施用量の伸び
(世界統計年鑑より作成)

	1961	1970	倍 率
穀 類 (万トン) A	83,369	112,223	1.35
窒素肥料 (万トン) B	1,020	2,790	2.74
A/B	81.73	40.22	

ることを考えると、途上国の肥料使用量がいかに少ないかがわかる。いわゆる開発国と同じ程度に、途上国も肥料を使うとすると、必要な窒素量は九、三〇〇万トンとなり、一九七〇/七一年度のその二・九倍という莫大な量になる。このような莫大な量の肥料の生産が可能か？ 可能としても、発展途上国はこれを購入することができるか？ このように、食糧生産と窒素肥料の問題には、現在の世界が直面している南北問題が大きな影をおとしている。さらに困難が加わるのは、「水の循環」の節でも述べたように、発展途上国の多くが水分不足地帯に位置していることである。多くの作物実験から、肥料の効果は耕土層内の水分量の関数であることが知られている。この重要性は、ひろくけん伝された東南アジア一帯の緑の革命が干ばつによって挫折したことから容易に理解される。これは、食糧増産と肥料の問題が、広大な耕地の基盤整備から切りはなせないことの証左である。

地域によって使用量に違いはあるけれども、図37に示したような莫大な量の肥料の使用によって、穀類(オオムギ、トウモロコシ、エンバク、米、ダイズ、コムギ)の生産量は着実に増加し、一九七〇年には合計で一億トンを超えた(表23)。しかし、重要なことは、この一〇年間に、窒素肥料の施用量は二・七四倍になったが、穀類の生産高は一・三五倍にしかならない点である。いいかえれば、肥料投与の効率はそのだけ低下しているのでは

表24 窒素肥料製造エネルギーの全消費エネルギーに対する比(%)の推移
(世界統計年鑑より作成)

	1960	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
日本	2.51	2.35	2.31	2.34	2.29	2.44	2.79	2.39	2.18	1.95	1.25
アメリカ	0.50	0.54	0.60	0.66	0.69	0.75	0.77	0.89	0.97	0.92	0.94
世界	0.68	0.75	0.79	0.87	0.92	1.01	1.07	1.21	1.25	1.25	1.26

る。西暦二〇〇〇年には、二五〓三億トンの穀類を生産しなければならぬ人類、とくに農業者にとって、これは見逃すことのできない事実である。デルビッチ(一九七〇)は、二〇〇〇年には、工業生産による窒素固定量は一億トンに、また、ニチポロビッチ(一九七三)は二〓三億トンになるだろうといっている。そして、大気中には莫大な量の窒素資源があるから、これだけの肥料の増産は可能であると予想している。

しかし、果たしてそうであろうか？ まず、窒素肥料がその効果を発現するためには、その投与量に依じて、磷酸肥料とカリ肥料を施さねばならないところが、耕地に施用された磷酸・カリの一部は収量といっしょに搬出されるが、残りの大部分は流去水にふくまれて海洋中に溶出する。コール(一九七〇)の推定によると、一年間に海洋へ流出する磷酸は九〇〇万トン、カリは八、五〇〇万トン、それに窒素は三、六〇〇万トンに達するという。窒素の多くは、微生物の活動によって、再び循環回路に参加するが、磷酸とカリはひろい海洋内に拡散してしまつて、再利用はほとんど不可能である。過去に長年月をかけ、プランクトン―魚類―鳥類という食物連鎖を通じて濃縮・集積された燐(燐鉱石)は、こうして今非常に勢いで消費されつつある。

つぎに重要な問題となるのは、窒素肥料の製造には莫大なエネルギーが必要なことである。ピメンテルら(一九七三)の推定によると、製造(固定・

発掘・調製をふくむ)に要するエネルギー量はつぎのようになる。

窒素一トン	$18.5 \times 10^6 \text{kcal}$
リン酸一トン	$3.4 \times 10^6 \text{kcal}$
カリ一トン	$2.3 \times 10^6 \text{kcal}$

この値を用いて、窒素肥料の製造エネルギー量の全消費エネルギー量に対する百分率の変化を見ると、表24のようになる。わが国では、一九六〇年の二・五％から一九七〇年の一・二五％へ約半減しているが、これは急激な経済成長のために、全消費エネルギーの伸びが窒素肥料生産の伸びを上まわったためである。米国および全世界の数字を見ると、窒素肥料製造に使用するエネルギー比率は、この一〇年間にほぼ二倍になり、全エネルギー消費量の一％を超えた。リン酸肥料およびカリ肥料の製造に要するエネルギー量も加えると、一九七〇年には、世界中の全消費エネルギーの一・五％が肥料製造に用いられていることになる。さらに、こんごにおける食糧増産の一層の必要性と、リン酸・カリ資源の貧乏化とを考慮にいれると、肥料製造に要するエネルギー量はますます増加し、ここ二、三〇年の間に、全消費エネルギー量の数パーセントに達するとも予測される。

化石燃料資源の枯渇が心配されているとき、全エネルギー量の数パーセントを肥料生産に配分することの妥当性には疑問があるが、もしそれを実現したとしても、さらに大きな問題が待ちかまえている。それは、製造し施用した窒素による環境汚染と環境破壊であり、また、その製造過程における窒素と熱の放出による環境破壊の加速化である。このことは、農業それ自身が自然生態系のふところ深くで形成されていながら、その生産性向上のあまりに性急な追求のために、すでに自然生態系とは相容れないシ

システムに生長してしまったことを物語っている。それにもかかわらず、爆発する人口の重圧は、育ての親の自然生態系から見れば鬼子的なこの近代的な工業化農業の性格を一層強めることになると思われる。

第四章 農業科学への社会的要請

人類の必要とする食糧を生産するための農業、その農業生産を維持し発展させるための農業技術、その農業技術に理論的根拠を与え、新しい技術を創造するための農業科学、これらの基本的構造についての総論は、第一章で考察した。第四、五章では、その各論を展開する。

まず、第四章では、標題のとおり、農業科学に対する社会的要請はなにかを調べ、第五章で、その要請に応えるための方策を検討する。この二章の内容の主要部分は、一九七〇年に科学技術庁が実施したデルファイ法による「21世紀の技術予測」の結果にもとづいている。第六章は、この「技術予測」に参加し、本書の分担執筆者になった者が一九七二年に行なった座談会のまとめで、いわば、前二章の補遺となっている。この「技術予測」のくわしい内容は、付にのせてある。

一 転機に立つ日本農業

戦後のわが国の経済活動は、飢餓と物資不足からの脱却を求めて、物質的な豊かさを確保するための生産性向上に主目標をおいた。その結果、日本の経済は、世界にも例を見ない驚異的な成長を遂げ、一九七〇年には国民総生産（GNP）は七三兆円になり、自由世界第二位を占めるに至った。しかし、このような急成長は、国民に豊富な物資を供給した反面、経済成長政策にあまりにも重点をおきすぎたた

め、人口の都市集中、環境汚染、環境破壊などを惹起した。そのため、七十年代にはいつてからは、とくに、国民の社会に対する要請は、物質的な豊かさの追求から、生活環境の保全、福祉の向上といった質的な豊かさの欲求へと、その方向を大きく変えてきた。

右のような一般的な傾向のなかで、農林水産業もまたその目標を徐々に変化させてきた。すなわち、戦後すぐの一〇年（一九四五～五五年）は、食糧の安定的供給を目標にして、量の増大（増産）が追求され、その後の一〇年は、食生活の多様化に対応して、味や品質が大きな重みをもつようになった。そして最近では、農業生産の環境保全機能、あるいは、人間の精神面に与える影響が注目されるようになってきた。

この全期間を通じて、農林水産業の生産は、六十年代以降の所得倍増政策や農業基本法の制定などによって、相当の伸びを示したとはいえ、鉱工業生産の伸び率に比べてはるかに低く、その結果、GNPにおける農林水産業のウエイトは低下の一途をたどり、一九六九年におけるその比率七・五%は一〇年前のおよそ五分の一になっている。また、農業人口も減少をつづけ、農業労働力は量・質ともに低下し、一部の農村では過疎が大きな社会問題になってきている。

一方、都市周辺の農業は、生産緑地構想や農住都市構想に見られるように、環境保全のための緑地として、あるいは、都会の人々に憩いの場を提供するものとして、そのイメージを大きく変えようとしている。

さらに、農業生産において大きな役割を果たしてきた農薬・肥料は、その食品への残留・蓄積や、土壌汚染、自然生態系の破壊などいくつかの解決のむずかしい問題をひきおこしてきた。また、畜産の多

頭化・大規模化に伴う水質汚濁や悪臭も問題化し、これら農林水産業の生産に起因する各種の公害に適切な対策がとられることが強く望まれるようになった。

しかしながら、人口増加と生活水準の向上は、世界の食糧供給不足の不安を生じ、わが国の食糧自給率の向上が国民的要望となってきた。このような動向のなかで、国土の有効利用と農業生産基盤の充実、とくにこれからの三〇年間に要求されるであろう。また、人口の都市集中と工業生産から生じた人間環境の悪化が、生物を素材とする農業生産によって緩和できないかという国民的要求も高まりつつある。

第五章以下では、これらに応える個別の技術を、また個別の分野ごとに検討する。

二 農業科学への社会的要請

本項の詳細は、科学技術庁の「21世紀の技術予測」に基づくので、付にまとめて述べてある。

第五章 解決へのアプローチ

第一節 優良品種の育成

農林生物は農業生産の根幹をなすもので、非常に古くから人間とのかかわりあいの下に形成されてきた。土地土地の気候と風土に適し、生産力の高い作物や品種が導入された時、文化の飛躍的發展がなされたのは古い歴史の教える通りである。工業生産との結合が強化されている現代農業においても優良品種の果たす役割は非常に大きく、それはわが国の水稲品種の育成、アメリカでの一代雑種トウモロコシの利用および緑の革命で代表される耐肥多収性品種の育成・利用をみれば明らかである。それゆえ、優良品種の育成への期待は非常に大きく、多くの国で多大の努力が傾けられている。

農林生物の起源は非常に古く、紀元前数千年にさかのぼるといわれている。地球上の自然環境、なかでも気候条件の著しい変化のなかで形成され、交雑しながら進化してきた各種の植物と動物のなかから人類の利用できるものを選んで栽培し、飼養したのがその始まりである。人口の増加は食糧生産への圧力を高め、これはより優れた能力をもつ農林生物の発見から育成さらには創造へと人を歩ませることになった。現在では種々な科学的テクニックが優良品種の育成に使用されており、その効果には顕著なも

のがあるが、一方では農林生物の遺伝的均質化の悪影響が懸念されるようになっていく。

農業をとりまく社会環境および自然環境に微妙な基調変化が云々されている現在、食糧生産のなかで優良農林生物群の育成の役割はますます大きくなるうとしており、それは技術予測の結果（二四六頁付参照）にもよく反映されている。そこで、ここでは食糧問題解決へのアプローチの一つとしての優良農林生物の育成について説明しよう。

一 作物品種の育成

作物の優良品種育成の基本は交雑育種法である。多くの異なった遺伝形質をもつ品種を交配させて新しい系統を作出し、そのなかからより優れた形質をもつものを人為的に選抜するのがそれである。この方法によって数多くの品種が育成され、農業生産の発展向上に大きく寄与してきた。

それをふりかえってみると、日射の吸収と利用効率を高める作物の姿勢（草型）の改良に大きな努力が払われてきたように考えられる。例えば、野生のビートと栽培種との比較およびイネの在来種と改良種との比較からわかるように、これらの改良種は窒素肥料の多用に耐えて、垂直に近い葉群を形成し、しかも倒伏しにくいという性質をもっている。群落光合成理論によると、太陽高度の高い中・低緯度地帯では、垂直葉群落の光合成量は水平葉群落のそれより二〜三割たかい。多くの育種家は経験則として垂直葉の多い群落を構成する形質を追い求め、現在の優良品種を作成してきたといえるだろう。

農業技術者にそのような優良品種の育成を可能にしたのは、地球上の自然環境の多様性とそれへの植物の適応によって形成された遺伝質の多様性である。すなわち、植物の遺伝的多様性こそ優良品種育成

を可能にした泉であった。しかし、多収性の優良品種の育成と普及は、この泉に大きな打撃を与え、枯渇させようとしている。古くハーランとマテニイ（一九三六）が指摘しているように、農業技術の進歩は進化の歴史が育んだ遺伝形質の泉を浸蝕しつづけており、この勢は第二次大戦後さらにはげしくなっている。そして、数十年にわたって科学的育種のつづけられているヨーロッパ・アメリカ・カナダ・日本・オーストラリアでは遺伝形質の浸蝕が大幅に進んでいる。また、緑の革命に代表される新しい農業革新は現在まで浸蝕のあまり進んでいなかった中近東一帯・東南アジア・中南米にも浸蝕の波をおよぼしている。

上の説明は、優良作物品種の育成という問題が新しい遺伝資質の開拓と古い資質の保存という二つのアプローチを必要とすることを物語っている。当面する食糧増産の立場から第一のアプローチが脚光をあげがちであるが、自然の資産を守り、将来の発展を保証するには古い遺伝資質の保存は欠くことのできないことである。一九六一年の国際食糧農業機構（FAO）の提案以来、遺伝質の保存は多くの注目を浴び努力がなされている。しかし、それはまだ十全でない。特にいわゆるマイナークロープでは多くの有用な遺伝質が絶滅の危機に直面している。

1 人為的突然変異の誘起と利用

植物の遺伝的多様性は、その長い進化の歴史のなかでの自然環境の圧力への適応のなかで育まれたものである。しかし、その多様性も人類の要求からみればまだ狭いものである。この遺伝質の多様性を拡大する方法として突然変異の人為的な誘起がある。これは薬品および放射線によって遺伝子の構造や組

合せに変化をおこさせ、これを利用する方法である。このなかで放射線（コバルト60のγ線）の利用はすでに実用化されている。たとえば、イネ品種「レイメイ」は「フジミノリ」の照射から生まれた変異個体から選抜された短稈多収品種で、わが国における放射線利用による実用一号品種である。この他、ダイズ、コムギ、クワなどについても実用品種が育成されている。

このような方法によって遺伝質の多様化が図られているが、その速度はまだ微々たるものである。その原因は突然変異の誘起が全く偶然的で、その誘起メカニズムが全く解明されていないことにある。この欠点を克服して遺伝質の浸蝕に抗するには、突然変異の誘起機構の解明とそのコントロール法の確立が不可欠である。

2 育成期間の短縮

さきに説明したように、優良品種の育成は—交雑—選抜—淘汰にその基礎をおいている。この過程を経過して新しい品種が育成されるには、イネ・ムギなどで八—一〇年、果樹・林木で一五—二〇年という長い期間を必要とする。最近、種々な施設および地理条件を用いて作物の生育を促進し、育成期間を短縮する方法がとられているが、それを大幅に短縮するにはいたっていない。

しかし、薬培養および組織培養技術の急速な発展は育成期間の短縮に一つの光をなげかけようとしている。すなわち、花器の薬を培養して植物体を育て、これをコルヒチンなどで倍加して利用する方法である。このようにすると遺伝的に純粋な個体が一年で得られる。それゆえ、薬培養に基礎をおくこの方法は交配母本を得るため、また交雑種を早く固定させるために有用と予想され、多くの注目があつめら

れている。

現在、薬培養によって、イネ・タバコ・カンラン・バレイショ・アワなどについて半数体植物が作られている。このなかのタバコでは、薬培養法によって低ニコチン含量の耐病性品種が育成され実用化されている。これは薬培養が品種改良の手段として利用できることを実証している。

3 分子生物学の成果の応用

自然のなかでの窒素循環の乱れ、気候条件の変化は、新しい資質をもった作物品種の育成を要求している。それはつぎのように要約できるだろう。

- 低い葉身窒素濃度で高い光合成能率をもった品種の育成、
- 光呼吸の低い作物品種の育成、
- 空中窒素固定能力をもった作物品種の育成、
- 低い蒸散係数をもった品種の育成、
- 低温・高温抵抗性の高い品種の育成、
- 病害・虫害抵抗性の高い品種の育成、

これらの目標を達成するには、現在までの交雑育種法の適用の困難であった種間雑種や属間雑種の育成が必要である。例えば、一般にC₃植物は光呼吸と蒸散係数が低く、高温抵抗性は高い。それゆえ、この形質をイネ・ムギなどのC₃植物に導入することができれば実用的な利点がかなり期待される。また、すでにバクテリアとラン藻間で成功しているようなニトロゲナーゼの制御と構造に関する遺伝的情報―

ナイトロゼンオペロンの伝達がマメ科植物とイネ科植物の間で達成されるならば、農業生産における肥料問題の解決に大きく寄与するだろう（ハーデイ・ハベルカ、一九七五）。

また、品質改良においても分子生物学的手法は大きな貢献をする可能性を秘めている。アメリカでえられた高リジントウモロコシ「オペクー」はリジンとトリプトファン含量が一般品種に比較してかなり高いが、収量は低い。それゆえ、この「オペクー」のアミノ酸生成に関する遺伝情報伝達方式を高収性トウモロコシ品種にうつすことができるなら、食料および飼料の品質改良に大きく寄与することが予想される。このような方法はダイズなどのタンパク・油脂作物の品質改良についても当然考えられることである。

これらの問題はごく最近までは全く夢にすぎなかったが、生命科学の異常な進歩は、生命現象を支配している遺伝情報の伝達機構をつぎつぎと明らかにし、いまや下等生物では新しい遺伝質をもった生物の創造を可能にするまでになっている。複雑な遺伝的制御機構をもっている高等植物においても、近い将来に分子生物学的手法によって新しい種が作られるものと思われる。そのような暁には、さきあげたような新しい形質をもった作物品種が作られ、農業生産のまえに立ちはだかる自然的制約の克服が容易になるだろう。

しかし、分子生物学の方法による遺伝質の多様化が人をふくむ生態系に常によい結果を与えるとは考えられない。それは自然での遺伝質の多様さが長い時間のなかで淘汰をうけて他と安定した状態にあるのに反して、人工的な多様化は時間の淘汰をうけず他の生物群と安定した関係にないからである。それゆえ、分子生物学の研究から生まれた手法を優良品種の育成に利用するにあたっては、事前における総

合的評価が必要である。このことは微生物における遺伝形質の伝達に関する研究でも全く同様である。

二 家畜・家禽の改良

食生活の向上につれて動物性タンパク質の需要は着実に増大しており、これが穀類需要の急増の原因となっている。家畜類の増殖・改良における最大の難関は増殖率の低いことである。とくに大家畜においてはそうである。優良形質をもった家畜を増殖させる方法として、冷凍精液による人工受精法が広く活用されており、家畜の生産性をあげるのに大きく貢献している。しかし、作物の場合と同様に、この方法は遺伝質の均質化と浸蝕とを著しく促進し、環境の変化に対する家畜の抵抗性を弱めるので、十分な注意が必要である。

現在、家畜と家禽の改良と増殖に要請されている新しい技術としてつぎのようなものがあげられる。

○人工妊娠技術、

○人工多胎技術、

○性のコントロール技術、

○人工子宮の開発、

人工妊娠技術は優れた形質をもつ家畜の雌にホルモン処理を施して多くの排卵を行なわせ、これを受精させたあとと摘出して他の雌の子宮に移植して育てる方法である。この方法を用いると優秀な形質の家畜を一度に多数増殖可能である。すでに研究段階においてはかなりの確度で行なえるようになっており、牛などの家畜に利用されるようになるのも近いことと思われる。多胎技術は人工妊娠技術の一応用で、

多排卵を人工的に着床生長させる方法である。この方法が実用化されれば、家畜の増殖率を大きくあげることが可能であるが、まだ解決を要する問題が多く残されている。

乳牛や家禽においては、雌の比率を高めることは極めて重要な問題であり、発生途上での性の決定のメカニズムが研究されている。このような研究によって性比のコントロールが可能となれば、畜産上大きな寄与になることが期待される。すでに家禽においては研究に着手されているが、実用化までには解決すべき点が多い。とくに、家畜の性比コントロールは人間への応用にもつらなるもので、実用化されれば人間社会にも計り知れない影響を与えることが予想される。それゆえ、植物および微生物における遺伝情報伝達のコントロールと同様に、十分な社会的・科学的評価（テクノロジー・アセスメント）が家畜増殖技術の研究においても必要である。

第二節 安全な農薬・肥料の開発

一 農薬・肥料の使用状況

日本の農業はいろいろの特徴をもっている。狭隘な土地の利用、気候の変化の大きさ、水田作偏重など以外に、強力な化学工業力をバックにしている点も、ひとつの特徴としてあげることができよう。

化学工業の日本農業への貢献は、まず、化学肥料が、ダイズ粕、魚粕、油粕などの有機質肥料におきかわりはじめた時期からはじまる。図38に示すように、単純なトン数だけで比較しても一九三〇年には両者の位置が交替している。有効成分的にみれば、すでに大正年間に化学肥料が主位を占めていることになる。内容的には、過リン酸石灰、石灰窒素、硫酸、硝酸ソーダ、硫酸カリと発展してきたものが、昭和になってから塩化カリを加え、さらに第二次大戦後には硝酸、尿素、塩安を加え、昭和四二年（暦年）の国内消費量の割合は表25のようになっていた。また、同年の有機質肥料生産量は、大豆油粕、菜種油粕、棉実油粕などの油粕類総額が四七万トン、魚肥類総額が約八万トンとなっている。なお、化学肥料のうち約五六%が複合肥料原料となっていることからわかるように、単肥以上に複合肥料の消費が増加している。一方、これらの化学肥料は、大量の輸出（約五〇〇万トンの国内消費にたいして約三五〇万トン）に支えられて大量生産のルートに乗っていることに注目する必要がある。輸出の多いのは、硫酸、尿素、塩安である。

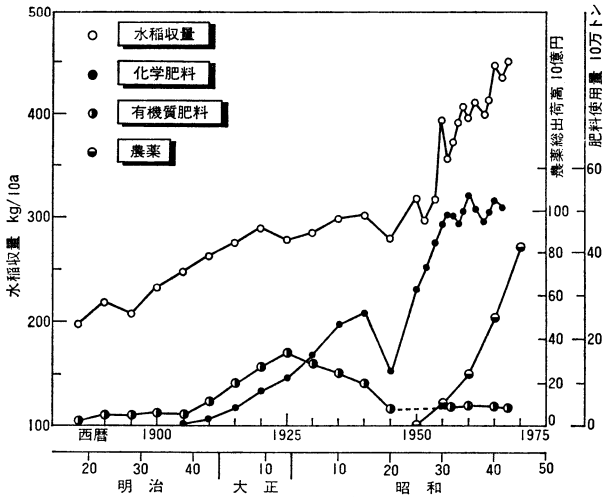


図38 農薬・化学肥料の消費と水稲10a当り収量の年次変化（戦後の有機質肥料は生産量，化学肥料は工業用もふくむ）

表25 主要肥料の国内出荷と複合原料用出荷
高（肥料としての国内消費量）

肥料の種類	昭和42年（暦年） 国内消費量(千トン)	比率(%)
硫 安	1,108	26.4
塩 安	204	4.9
硝 安	19	0.4
石灰窒素	208	5.0
尿 素	331	8.0
硝酸ソーダ	16*	0.4
過リン酸石灰	1,185	28.2
重過リン酸	73*	1.7
熔成リン肥	410	9.8
塩化カリ	543	12.9
硫酸カリ	108	2.6
合 計	4,205	100

* 工業用をふくむ。

表26 農薬の国内向け出荷高

	昭和48年度		昭和49年度		昭和50年度	
	金額(億円)	比率(%)	金額(億円)	比率(%)	金額(億円)	比率(%)
殺虫剤	443	37.6	737	38.0	750	36.6
除草剤	356	30.2	558	28.8	584	28.5
殺菌剤	278	23.6	479	24.7	505	24.6
その他	101	8.6	163	8.4	211	10.3
合計	1,178	100.0	1,937	100.0	2,050	100.0

年度は農業年度、「その他」には殺虫剤と殺菌剤との混合剤、殺そ剤、植物生長調節剤、農薬肥料などがふくまれる。

一方、農薬は、戦後の食糧増産の立役者の一人として毎年その使用量が増加してきた。農薬はその単価が長い間ほとんど変わっていないので、出荷額がほぼ使用量に比例するとみてよいが、図38からも、戦後、まさに「うなぎ登り」に使用量が増加していることが理解されよう。昭和二五年ごろは、園芸用その他の薬剤が稲作用のそれよりはるかに多かったが、ニカメイチュウ、ウンカ、いもち病などの防除薬が普及するにおよんで、両者の立場は逆転した。昭和四〇年頃よりは園芸用その他がふたたびもりかえし、休耕田化も影響して、昭和四五年度では稲作用がわずかながら五〇%を割っている。また、昭和五〇年度における農薬製造業者の出荷高は二、〇五〇億円であったが、中間の流通経費が加わる消費段階では、さらにこれを上まわったものと推定される。

殺虫剤、殺菌剤、除草剤別の比率は、表26に示すとおりである。これまで増加しつづけてきた除草剤が、横バイをつづけている。

水稲作のみについて、農家側の利用状況を眺めてみると、昭和四二年度において農薬で病虫害防除を実施した実面積は作付

面積の九六%に達している。逆にいえば病害虫防除用農薬を散布していない水田はわずか四%といえる。また、散布した水田での散布回数は一、二回が三三・四%、三、四回が三六・三%、五、六回が一八・三%、七回以上が八・五%となっているので、延面積にすれば相当なものである。一方、除草剤を使用した実面積は二四〇万ヘクタールと報告されており、これは作付面積の七六%以上（五〇年では二〇〇%以上）に達している。この場合も二回以上の散布があるので、延面積は作付面積以上に達している。

一方、農薬製造業者および輸入業者からの農薬の登録状況は、昭和五〇年九月末現在で四二六〇件で、その内訳は、殺虫剤二二三九件、殺菌剤七六三件、殺虫殺菌剤四三七件、除草剤四五五件、殺そ剤一〇六件、植物生長調節剤六五件その他となっている。総登録数は、昭和四五年に比べて一三四一件の減少を示し、農薬取締法の強化にともない登録数は漸減するものと思われる。

二 農薬・肥料の内包する危険性

次の項で述べるような農業への貢献が期待されて、前項で述べたように、農薬や肥料の利用は増加の一途をたどり、いまや、これらの化学資材の助けをかりなくては農業自身が成立しない段階に到達している。しかし、これらの化学資材は、一方では、農業そのものや、自然環境・人間環境にたいしてマイナスのインパクトをも与えていることを忘れてはならない。この項では、農薬や化学肥料の内包する危険性を解析してみたい。

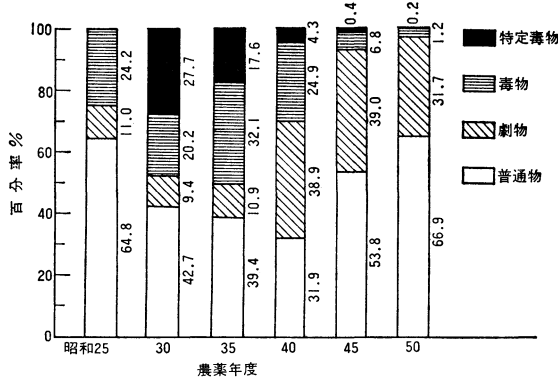


図39 急性毒性別の農薬生産額の推移（農業便覧より）

A 農薬

農薬のもつマイナスのインパクトとしては、直接的な毒性、半直接的な毒性、そして間接的な自然界への影響などをあげることができる。

(a) 直接的毒性

急性毒性

農薬の効果、すなわち害虫・病原菌・雑草などを殺滅する力は急性的なものが多く、したがって初期の農薬の中には哺乳動物や魚貝類にたいする急性毒性の大きいものも多かった。しかし、環境汚染論的な考察がおこなわれる以前に、散布作業上の不便さや、低毒性化への方向づけがおこなわれ、現在では急性毒性的には問題の少ないものが大部分を占めている。図39に示すように毒物・劇物に分類される農薬が減少して、普通物（昭和五〇年で六六・九%）が増加している点などが、この間の事情を反映しているといえよう。

慢性毒性

慢性毒性は、低薬量を長時間にわたって摂取あるいは供給されたときに生ずるものであるから、実験自身もむづかしく、また要因解析も容易ではない。しかも多方面にわたって被害症状を出すため事態をますますむづか

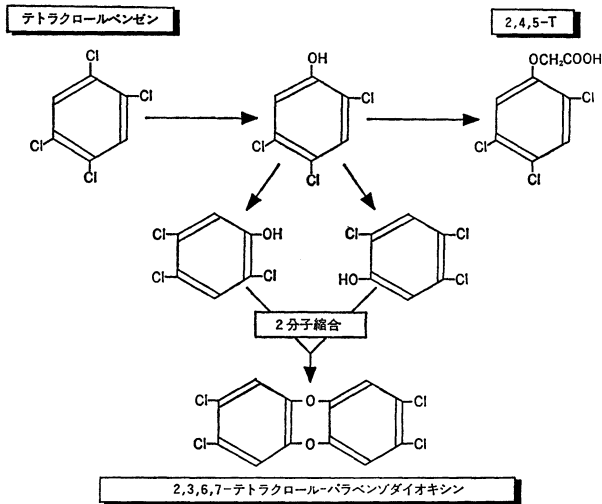


図40 2,4,5-T製造工程中のダイオキシン生成過程

しくしている。神経や肝臓への障害から、発ガン性や、奇形の原因となる催奇性など、長期にわたる多方面の観察によってチェックしてはじめて安全といえることになる。これらの毒性のほか、突然変異を誘起させる性質 (mutagenicity) についても注目すべきであるとされている。

(b) 半直接的毒性

ここでは、直接的ではないが、さりとて間接的ともいえない責任分野についてのべることにする。

夾雑物

農業は単価を安くする必要があるため、その原体生産にあたって精製工程をていねいに実施することができない。そこで原体中にある程度の夾雑物が混入することは止むを得ないと考えられているが、この夾雑物のなかに、その農薬自身よりも強い毒性をもつものを含む場合もある。除草剤 2・4・5-T

製品中に含まれるダイオキシン化合物の催奇性が問題にされたのがその一例である。これは、2・4・5-T製造中間体である2・4・5-Tトリクロルフェノールの分子間熱縮合によって生成した2・3・6・7-テトラクロルパラベンゾダイオキシンの催奇性や急性毒性があまりにも強く、製品中にppmオーダーで含有されても問題にされたものである(図40)。

有毒物へ変化(代謝)される例 もとの農薬そのものの毒性は問題なくとも、これが生物体中で、土壌中で、あるいは日光の作用によって別の化合物に変化し蓄積するときこの化合物が毒性をもっておれば問題にされる。また、植物油などに濃縮された形で残留した農薬あるいはその変化(代謝)した物質

が、調理・加工の過程における熱反応などで有害物に変化する可能性についても考慮を払う必要がある。

他の物質と 効果(synergism)を發揮して毒性を發揮することも考えられる。 ちょうど、大気汚染における複合ガスの効果と同じであるが、その共存のための組合せは無限に多く、これがいくつかの条件で変化したりすれば、実験的に把握することは非常に困難なことといえる。

食物連鎖

生物界は一般に小さいものがより大きいものの餌となり、この関係は順次、連鎖状に伸びて行く。また、植物が動物の餌となる場合も多い。いろいろな場合が考えられるが、まがいなくいえるのは、この鎖が次から次へ伸びるごとに、生物体内(とくに脂肪組織)の残留農薬含有率はほとんど増加していくことである。たとえば、水中濃度0・0006ppmのDDTが、藻類体内では0・1~0・3ppm、これを餌にしている魚の体内では1・6ppm、さらに魚を食べるカイツブリでは七五・五ppmといったふうに、この間の濃縮率は実に一二・六万倍となっている。もし最終

的なものをわれわれが食糧とするならば、低濃度で問題ないものも、食物連鎖による濃縮でその危険性を増加するといえよう。

(c) 間接的効果

非目標生物 農薬は一般に開放系で施用されるため、目標とする駆除、殺滅すべき生物以外のものにも**への影響** 影響を与える場合が多い。一番明快な例は、殺虫剤による天敵の殺滅である。害虫のみでなく天敵をも殺してしまうので、殺虫剤をかけた方がかえって害虫の発生量が多いという場合がしばしばみられる。ある雑草を目標に除草剤を連用すると、いままでは雑草間の競争でまけていたがこの除草剤には抵抗性のある別の雑草がはびこってくるという現象もみられる。

自然環境 除草剤をまきすぎた畦畔や堤防のくずれ、殺虫剤による花粉媒介虫殺滅による受粉不能、**の破壊** 殺菌剤による土壌微生物フロラの変遷など、システムを形成しながら生きている自然の営

みのどこかを切断したときに生ずる悪影響についてわかっていないことの方が多いためではないか。

B 化学肥料

(a) 夾雑物

化学肥料も化学工業による製品であり、かつ価格の安いことを要求されるものであるから、やはり夾雑物の混入は、ある程度許されている。たとえば、わが国の肥料取締法にもとづく肥料の公定規格（一九七三年改正された）で、硫酸アンモニアでは、アンモニア性窒素含有率一％につき砒素の〇・〇〇八％、あるいは石灰質肥料や硅酸質肥料では、クロムの四・〇％などが、含有を許される有害成分の最大

量とされている。逆にいえば、この含有量までの夾雑有害物は肥料に含まれてもよいということである。たとえば、水田に施用する硫酸中に砒素が許容量一ぱい含有されている場合、年間一〇a当り硫酸五〇kgを施用するとするとこのなかには八〇gの砒素がふくまれており、一〇年間の連用では実に八〇〇gに達する。流亡がない条件下では、水田表面から一〇cmの土壌を対象に考え、その比重を一と仮定すると、一〇年間で砒素含有量は八・〇PPmに達することになる。これは非汚染水田のバックグラウンド値九・二PPmに匹敵する。

(b) 富栄養化の原因

思えば、工業的な空中窒素固定によるアンモニアの大量生産は、地球上における生物が利用できる窒素の量を増加させたといえよう。雷などの空中放電あるいは根瘤菌や藍藻などによる窒素固定、そして土壌中の脱窒菌による空気窒素への戻しという入口・出口でほそぼそと続けられてきた生物環境への窒素の蓄積は、硫酸や尿素の大量施用でそのペースをみだされたともいえよう。生物の利用可能な窒素の増加は、アンモニア↓アミノ酸↓タンパク質↓核酸として、生物全体の増加を意味するが、バランスのとれていない増加は、生物界の一員である人間にとって決して糧いものであるはずがない。

施肥技術上さらわれてきた硝化・脱窒による空中窒素への返戻も考えなおされる時代になったといえよう。

三 農薬・肥料の貢献度

農薬や化学肥料のような化学資材は、単に農林水産業に影響を与えるのみでなく、地域社会や一般家

庭、ひいては国家にもインパクトを与えるものである。前述の「農薬・肥料の内包する危険性」がマイナスのインパクトのひとつであるが、ここでは農林水産業そのものに及ぼすプラスのインパクト、すなわち貢献度について検討してみることにする。

農薬の全体的なインパクトについては、プラス、マイナスあわせて、最後のテクノロジー・アセスメントの項で考察することにする。

農薬・化学肥料などの農林水産業への直接的な貢献を列挙していくと、次のようになろう。

(a) 多肥栽培による増収

どの時期に、どんな肥料をどのくらいやれば増収に結びつくかは施肥技術として、品種改良とともに農業技術の大黒柱の一つであるが、この技術とても与えるべき肥料がなければどうにもならない。安定的に廉価に良質の肥料が供給されてはじめてその技術を發揮でき、増収とつながる。図38に示された化学肥料消費量の増加と、水稻単位面積当りの収量の両者の年次的変遷を眺めてみれば、その関係をうかがうことができよう。

一方、多肥栽培は、病虫害や雑草の発生を増加させるものであるが、有効な農薬の出現によって病虫害や雑草の被害をうけることなく多肥栽培にふみきることができる。

(b) 病虫害や雑草の被害の防止による減収の防止

作物統計資料によれば、昭和四五年度水稻作における被害面積は病害で六八%、虫害で二八%、全体で九六%に達しているが、収量への影響は病害で三・二%、虫害で〇・九%、全体で四・一%と低くおさえられている裏には抵抗性品種の活用以外に殺菌、殺虫剤の活躍があるわけである(表27)。また、

表27 水稻の病害虫による被害量（作物統計資料による，昭和43年度）

	被害面積		被害量	
	被害面積(万ha)	作付面積にたいする比率(%)	減収量(万トン)	減収率(%)
病害	215	68	47.9	3.2
虫害	89	28	13.1	0.9
合計	304	96	61.0	4.1

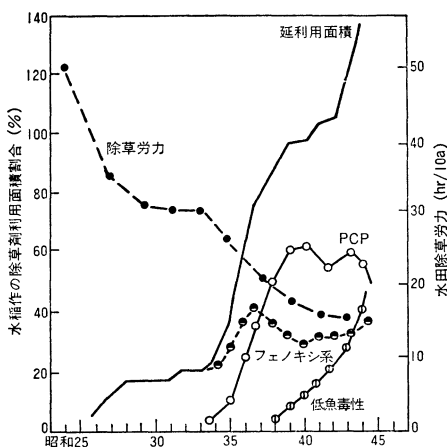


図41 水稻作除草剤の利用面積割合の変遷と除草労力の節減

筆者が埼玉県鴻巣市の標準的な水田で、標準栽培をした場合、四年間の平均値として、無除草区の手どり区にたいする減収率（すなわち雑草害）は約二四％とでている。現在の除草剤では手どり区以上の収量をあげうるの、除草剤の利用により、この雑草害を克服することができ。全国的にこの数字を適用できるとするならば、実に全収量の四分の一に相当する減収をくいとめていことになる。

- (c) 病害虫抵抗性に拘束されずに多収品種など希望の品種が栽培できる。
- (d) 除草剤による雑草防除で省力化ができる。
- 雑草防除は、時間をかけて丁寧にやれば人力で完全に実施することができ。しかし、これには多大の労力を

必要とするので、現実の要請である省力農林業の場合には、除草剤の利用が必要かつ有効となる。図41は、水稻栽培における単位面積当り除草労力と除草剤利用との年次変化を示したもので、除草剤による省力化の程度を十分にうかがうことができよう。水田の除草労力は、除草剤の導入前に一〇a当り約五〇時間であったものが、昭和四三年には一六時間に減少した。このときの農村労賃平均は一、五八四円であったので一〇a当り三四時間(50-16÷34)の省力は、五、三八五円の経費節減となる。この場合の除草剤費が一〇a当り三八五円かかったとしても、ネットの節減は五、〇〇〇円となり、全国作付面積三一七万haの合計では一、五八五億円となる。すなわち、昭和四三年には、除草剤の利用によって昭和二四年頃と比べた場合に、全国で一、五〇〇億円以上の除草労力を節約できた計算となる。

(e) 品質、商品価値の向上

殺菌、殺虫剤の利用により、病斑や虫くいをなくして農産物の外観をよくし、また種なしブドウのように植物生長調節剤の利用による商品価値の向上などに貢献する。アメリカなどでは、除草剤利用による雑草防除の効果として、穀類に雑草種子が混入して商品価値を下げるのを防止できる点をもあげている。

(f) 農作物栽培の地域的、时期的制限の緩和

病虫害の発生をさけるために制限されていた農作物栽培の地域や時期を、農薬の使用で拡大することができる。一方、プラスチックフィルムをハウスの、あるいはマルチ的に利用することで温度、水分条件(着色フィルムの利用で雑草抑制も)による制限を緩和できる。

以上のほか、次のようなメリットも考えることができよう。

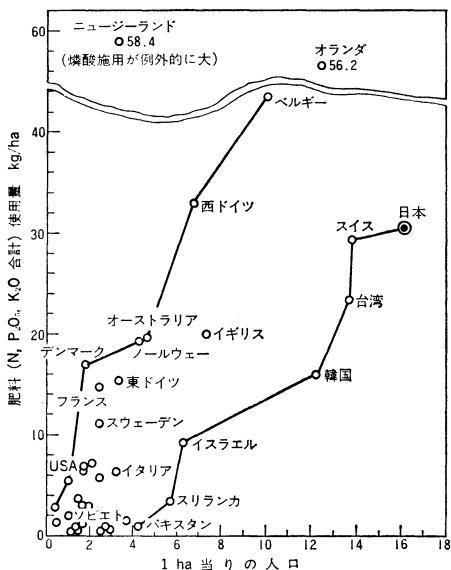


図42 人口密度と単位面積当り化学肥料消費量との関係(人口, 1963, 肥料1964~65) (FAO統計1966年版より計算, 作図)

- (i) 養殖魚の寄生虫の防除
 (h) 衛生害虫の減少による家畜疾病の減少
 (g) 農産物の保存性の向上

以上は、農林水産業への直接的な貢献であるが、質のよい、廉価な食糧を安定的に供給することは、単に国家経済上の問題にとどまらず、食糧不足に対する国民の不安感をなくし、逆にいえば食生活を楽しみつつ安心して生活を営んでいける精神面の安定から、国民体力の維持増進に寄与する栄養補給の物質面にいたるまで、これら農薬や化学肥料の社会にたいする貢献はまことに大きいものがある。図42は、各国の人口密度と耕地単位面積当りの化学肥料(成分)消費量との関係を示しているが、人口密度の大きい国ほど、また先進国ほど単位面積当り

これらのプラスインパクトが重なる、農林水産業における生産の安定化と向上が期待される。

化学肥料消費量の大きいことが理解され、考えさせられるところが多い。

四 安全な化学資材の開発方向

A 開発への期待（「技術予測」結果の解析）

「技術予測」の詳細については別の箇所の説明されているので、ここでは農薬や化学肥料などの化学資材について、それらの安全性を中心として「技術予測」の結果を解析してみることにする。

まず、食糧・農業部門の技術に対する社会的要請は何であるか、その要請に答えるためにとるべき事項は何であるかを問うた第一回のアンケートからうかがえることは、全体的に農業にたいして資源生産以外に自然生態系の機能保全への寄与にたいする要請がきわめて強い。これは、ここで取り上げた化学資材の安全性への要請として、（安全性）√（生産への寄与）という不等式を成立せしめているとさえみられる。技術的項目が、材料、システム、コントロールおよび機械にわけて問われているが、材料の項での「安全な農薬の開発」は全仮説項目三八中、重要度「大」とする比率が最高（七二・八一％）であった。また、コントロールの項（一〇仮説項目）でも「安全で効果的な病害虫・雑草対策法の開発」を重要度「大」とする比率が最上位を占め、六四・六八％を示している。これにひきかえ、「効果的な肥料の開発」の項目は、重要度「大」とする比率は、三五・四六％とかなり低位を占めている。

次に、今後三〇年間に予想される多様な社会的要請のうち、これを解決していくための各種の技術的課題について、重要度の評価と実現時期などを明らかにすることを目的として実施された第三回アンケートの結果のうち、ここで関係あるもののみを拾うと、表28のようになる。

表28 化学資材の安全性に関する「技術予測」結果の要約

区 分	重要度* (%)			実現	非実現	実現時期 の中央値 (西暦年)
	大	中	小	%		
新農薬の開発	78 ~ 94	6 ~ 20	0 ~ 3	92 ~ 100	1 ~ 8	1983 ~ 1987
無毒化薬剤の開発	67 ~ 79	12 ~ 27	6 ~ 9	93 ~ 95	5 ~ 7	1986 ~ 1988
生長調節剤の開発	7 ~ 23	52 ~ 74	6 ~ 39	83 ~ 99	1 ~ 17	1984 ~ 1991
土壌改良剤・肥料関係	10 ~ 35	56 ~ 79	8 ~ 11	98 ~ 100	0 ~ 1	1982 ~ 1983
その他の化学資材	15 ~ 86	12 ~ 78	2 ~ 7	99	1	1983
安全性のチェックシステム（食糧農業）	17 ~ 96	4 ~ 70	0 ~ 13	95 ~ 100	0 ~ 5	1980 ~ 1988
安全性のチェックシステム（医療保健）**	78 ~ 90	10 ~ 21	0 ~ 2	96 ~ 99	1 ~ 4	1983 ~ 1988

** いずれも第3回目のアンケート結果である。

* 医療保健部門のアンケート結果（第3回）より引用。

まず、安全農薬の開発に関する予測結果を説明する。易分解性農薬、抗ウィルス剤、フェロモンなどの誘引・忌避剤、生物農薬、人体に無影響の家畜用抗生物質の開発を重要とみる人の率はきわめて高く、第一回のアンケート結果をよく反映している。農薬または農薬的に利用された薬剤を無毒化するための薬剤（解毒剤、antidote）の開発の重要度判定もかなり大きいものであるが、解毒剤そのものの毒性や使用者の二重投資的経済負担増を問題とするコメントも出されている。しかし、現実には、いま圃場に残留している農薬については、微生物系をもふくめた解毒系を考える必要がある。

以上の二区分に比べて、生長調節的な薬剤の開発や利用技術への重要度の判定は、やや低いようである。重要度「中」と判定したものが大多数を占めている。これは、安全性との関係が少ないとみられたことと、生長調節剤そのものが回答者に理解されていないためと思われる。

土壌肥料関係も重要度「中」に属するものが圧倒的である。堆厩肥の悪臭公害あるいは作製労力増を避ける反面、無化学肥料栽培あるいは畜産廃棄物のシステム内処理法としての堆厩肥料の再評価とが相拮抗したとも見られよう。被膜肥料にしても、現在の緩効性肥料の問題点が理解されないままの回答かも知れない。

その他の農業用化学資材としては、易分解性プラスチックや特殊フィルムの開発があるが、前者が日常生活でも理解されるテーマで重要度「大」八六%と出たのにたいして、後者は、こういうものが実用化されたときのメリットが不徹底と考えられる。

安全性チェックシステムにかんするものは食糧農業部門と医療保健部門の回答結果の要約である。そのなかの一項目「魚類などの水中動物の生理変化から海況変化を予測するシステム」を除いて、安全性チェックシステムの重要度判定はほとんど「大」に集中し、世相をよく反映している。

B 開発の可能性

前項で述べた課題は、開発の対象のほぼ全分野の代表例とみられるが、それぞれ実現の可能性についての判定はきわめて楽観的で一例以外はいずれも九〇%以上となっている。また、実現の時期についても、その中央値は一九八〇年代の前半あるいは、おそくともその後半となっている。この楽観的な考察

のかげでは、研究陣、技術陣またこれを支える経済的支持を強く信頼し期待している点を忘れてはいけない。というのも、どの課題ひとつをとっても、そう簡単に解決するものでないことが明らかであるからである。

たとえば、易分解性農薬をとりあげても、分解されやすい農薬は、当然のこととして残効力が小さいから、薬効的には迫力がなく、また、何度も散布しなければならぬので、薬価や散布労力の経済性の面で問題を生じてくる。また、分解産物の毒性についても徹底した検討がおこなわれたうえで、全体としてよろしいといえるわけである。筆者は、除草剤（作物収穫のはるか以前に施用する）にあつては、ある程度、分解の遅いものの方が、残効力の上からも、代謝物の面からも有利と考えている。ある程度分解の遅いものでは、代謝産物生成は少しずつおこなわれるから、生成物は、寄つてたかつて再代謝され、ほとんど検出されないので、最初の除草剤そのものの毒性を徹底的に究明するだけで事足りると想定されるからである。

抗ウイルス剤にしても、その「安全な」という定義が困難で、安全性の科学的根拠、有害性の生物学的検定法の確立、長期低レベル毒物の生体への影響などに関するチェックシステムの完成をまっしてはじめて安全といえることを考えれば、非常にむずかしいといえよう。

害虫防除のための生物農薬については、新しいタイプの安全農薬としてかなりの検討がおこなわれてきた。落葉果樹等永年作物に有害するクワコナカイガラムシの天敵クワコナカイガラヤドリバチは農薬登録を受け、昭和四五年に販売が開始されたが、しかし、その販売は企業的利益と結びつかず、昭和四六年に販売は中止された。生物農薬は数多くの利点をもっているが、反面、効果発現までに感染・増殖

に時間を必要とし、また環境条件に制限がある。一方、毒性や環境汚染の面からも天敵昆虫以外の生物農薬では無条件で楽観視できない。微生物では突然変異がおこりやすい点もむつかしさの一つである。WHOは属性が十分に解明されてない微生物を野外に無制限に散布することの危険性に対して危惧の念を表明しているという。

新しい分野としては、従来、米国やオーストラリアで成功例のある雑草の生物学的防除（主として昆虫や貝類などを用いる）についても検討（わが国ではカブトエビの利用など）がはじめられつつある。

安全性チェックシステムについても、その完成および完全実施にあたっては数多くの困難が予想される。農薬や化学肥料など以外の一般化学製品（PCBなど）や医薬品の安全性とも深い関連をもち、医療保健部門でも深い関心と期待がもたれているので、両部門の共同作業として有機的にかつ集中的に、研究・調査・検討をおこなうべきものと考えられる。ただ、これらチェックシステムが完成しても、後述するように現実との「くいちがひ」にしばしば悩まされることも事実であり、制度の立案にあたっては、理論的に正しいだけでなく、現実的な手法を開発する必要がある。

以上述べてきた各事項の具体像として、安全農薬開発の方向で、アミノ酸農薬・抗生物質など天然物起源のもの、易分解性等が買われている一方、性誘引物質・休眠物質など天然での生理現象をそのまま転用しようとする試み、あるいは生物間の拮抗関係を利用した生物農薬、またできるだけ簡単な構造を与えて、炭酸ガス、水、アンモニア、硫酸イオンなどに容易に分解されやすいものを用いるなどの検討がおこなわれている。

ここ約三〇年間の新農薬開発への研究・技術両陣営の血みどろの努力は、一見、安全性の前でがっか

りさせられた感なきにしもあらずであるが、無から現状を生じた実力にものをいわせて、与えられたこの第二の目標の克服に自信をもって全力を傾注する必要がある。

全体として注意すべきことは、農薬などの第一の壁が、むしろ農業領域以外からの反論であったことで、今後一農薬の開発といえども、農業領域内にあつては、いわゆる総合防除の体系内で、また、環境汚染や食品への残留毒性の面からは農業領域外をもふくめて、全体的、システマ的な配慮を必要とすることはもちろんである。

五 安全性のチェックシステム

以上述べてきたように、農業用化学資材、とくに農薬については、安全性を十分にチェックしながら、必要な範囲で農業生産に活用していくというのが基本的態度と思われる。四項で述べたような安全な資材の開発もその対応のひとつであるが、安全性をチェックするシステムを確立しておくこともきわめて重要である。(このことには四項でもある程度ふれたが)ここでは、農薬の登録段階および使用段階での現行チェックシステムがどうなっているかを説明したあとで、最近、科学技術庁計画局で実施された農業にかんするテクノロジー・アセスメントの事例研究のなかから参考となる部分を引用し将来への対応の資料としたい。

A 農薬登録段階での安全性検討

わが国における農薬の登録システムは、「農薬取締法」にもとづいている。農薬の各品目ごとに製造

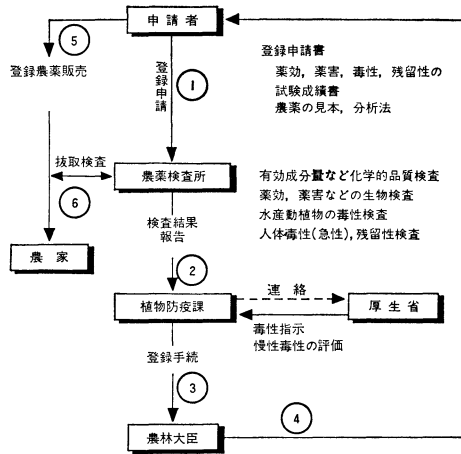


図43 農薬登録の手続き

とともに、その毒性については厚生省と協議して安全性を評価する。

具体的な基準として、この段階の審査をパスするためには、急性毒性にかんしては、製剤状態で毒物以上に相当する毒性をもたないことがあげられる（厚生省では毒物の基準として、経口致死量 30 mg/kg 、皮下致死量 20 mg/kg 、静脈致死量 10 mg/kg 、いずれも実験動物によるLD50値、としている）。次に、残留性については、申請書の記載通りにその農薬を使用した場合に、①農作物への農薬残留が

業者または輸入業者が農林大臣に申請するもので、営業の登録ではない。販売業者については、営業所ごとに所在地の都道府県知事への届出制、防除業者については知事経由の農林大臣への届出制となっている。登録手続きは、図43に示すようになってい

この手続きの第一歩として各種の試験成績書が必要であるが、とくに毒性にかんしては、温血動物二種以上に対する急性毒性試験および慢性毒性試験（昭和四八年一月までは過渡的処置として三カ月の亜急性毒性、それ以後は二カ年以上の慢性毒性）、さらに水産動植物にたいする毒性の試験成績が要求される。これら提出書類をもとにして、農林省農薬検査所では、必要なものは実験をおこなって確かめ、審査をおこなう

食品衛生法にもとづく残留農薬基準（定められていない場合には、環境庁長官の定める基準）を越えるもの、㊸飼料用農作物に使用する農薬で農薬成分物質が家畜体内蓄積性を有するときは、その農作物に残留するもの、ならびに㊹土壌中における農薬成分物質の半減期が一年以上のものは登録されない。また、半減期が一年未満であっても㊺一年以内に栽培される後作の農作物が残留農薬基準を越えるような場合には不適格であり、さらに、㊻家畜体内蓄積性を有するとき、後作の飼料用作物に残留するものは登録されない。

水産動植物に対する毒性は、水田に使用される農薬についてコイによる四八時間の半数致死濃度で判定され、㊼これが〇・一ppm相当を越えるか、あるいは、㊽通常の使用条件のもとでコイに対する毒性の消失日数が七日未満であるかのいずれかでなければ登録されない。また、申請書記載通りに農薬を水田に使用した場合に㊾水田水中の農薬成分濃度が「公害対策基本法」に定められた水質基準値の一〇倍以下であるか、あるいは㊿消失日数が七日未満であるかのいずれかでなければ登録されない。

一旦登録が認められても、登録の有効期間は三年であり、この期間が過ぎるまえに、業者は再登録の申請をおこなわねばならず、このさいも新規登録と同様な試験成績書の提出と審査とがおこなわれる。以上述べてきたような安全性の検討がおこなわれ、その結果をもとにして規制が実施されるので先進国同等の管理がおこなわれることになるが、これでもなお、現在までかなり発生した事例のある皮膚炎や結膜炎などの被害は、マウスやラット、あるいはイヌなどの動物実験からは予測がむつかしい。また、小規模の検討では問題がないが多人数あるいは大面積で使用されると事故を発生することが多い。こういった点は今後の検討事項であり、さしあたっては予測しつつ慎重に実用化していくことであろう。

B 農薬使用段階での安全性検討

農薬や劇物・毒物の製造や流通段階でも「農薬取締法」や「毒物及び劇物取締法」によって立入検査や抜取検査などによる安全性検討や監視がおこなわれているが、その詳細は省略する。

使用段階における規制のひとつとして、指定農薬の制度がある。登録農薬のうち、その農薬の本来の使用方法を守らないで使用されたとき、農作物または土壌を汚染し、人畜に被害を生ずるおそれがある農薬は、「作物残留性農薬」または「土壌残留性農薬」に指定され、適用病害虫の範囲および使用方法が規制されている。また、相当広範な地域でまともに使用されたとき、水産動植物の被害または水質汚濁を生ずるおそれがある農薬は、「水質汚濁性農薬」に指定され、この種の事故を防止するため、都道府県知事は被害の生ずるおそれのある地域を限って使用を規制し、許可制にすることができるようになっている。

現在、作物残留性農薬としては、酸性硫酸塩およびエンドリン製剤、土壌残留性農薬としては、ディルドリンおよびアルドリン製剤、水質汚濁性農薬としては、テロドリン、エンドリンおよびベンゾエピン製剤、PCPおよびロテノン製剤がある。これら以外の指定農薬には「特定毒物」に指定されたものがあり、これは「毒物及び劇物取締法」の対象となる。メチルジメトン、モノフルオル酢酸アミド、モノフルオル酢酸塩およびリン化アルミニウム製剤の四種であるが、これらについては、都道府県知事指定の使用者（農協や森林組合など）が使用の公示および保健所長への届出をおこなない、使用基準に従って使用しなければならない。

もう一つ別の面からの規制として「食品衛生法」からのアプローチがある。これはFAO・WHOで検討されたデータをもとにして、人間における最大無作用量が決められ、これに普通一〇〇倍の安全係数をかけて一日許容摂取量(ADI)が求められる。これに体重をかければ、その人が一日のうちに摂取する食品に混入していても安全な農薬量ということになる。このADIに平均体重(日本人では五〇kg)をかけて得られる数字を、その農薬をふくむ可能性のある農作物(たとえば玄米、トマトなど)の一日当りの摂取量で割れば、これが農薬残留許容量(ppm)が得られる。しかしながら、農作物の生産者である農家で収穫物の農薬残留量をひとつひとつチェックできるわけではないから、かなり大規模な調査・試験の結果をもとにして、このような使用法をすれば大丈夫といった基準がつけられている。これが、農薬残留に関する安全使用基準であり、許容量を越えることがないよう使用農薬の種類、剤型、使用方法、期間、回数について定めたものである。

市場に出まわっている食品が、残留農薬基準に合致しているかどうかの監視は、「食品衛生監視員」(全国で四、七七〇人)がおこなっている。

C 両チェックシステムの残された問題

農薬の登録および使用の両段階におけるチェックシステムの形式は以上述べたとおりである。しかし、こういったことにありがちな形式と現実とのくいちがいとしての問題を数多く指摘することができる。現在をもふくめて未来にむかって農薬や化学肥料を安全かつ有効に使用するためには、このくいちがいを解析して、新しい対応の道を見いだす必要がある。

たとえば、一部の農薬についてだけ残留農薬基準（前項参照）が設定された結果、いろいろと厄介なこれらの農薬をさけて、基準が決められていない農薬を使用する傾向がみられる。残留農薬基準の設定されているのは、現在、農産物五二品目、二三農薬であるが、早急に主要農薬全部にわたって、基準を設定することが望まれる。

昭和四七年八月七日、行政管理庁は、農林・厚生両省にたいして勧告をおこなっているが、これは昭和四六年一月、農薬の安全使用対策、被害の実態把握と調査、研究、取締り体制の強化などについて改善措置をとるようにとの勧告に、両省がどのように対応したかを一一道県について追跡調査した結果をもとにして再勧告したものである。この再勧告の要旨は次のようである。

(a) 危被害の実態把握

統一的な報告様式を都道府県に指示して危被害の実態を的確に把握するための措置を講ずる必要がある。

(b) 安全使用対策

土壌残留性農薬使用農地について、土壌残留分析や使用歴調査を実施するとともに、非食用作物への作付転換などを徹底すべきだ（アルドリンなどの土壌残留性農薬を使った農地では向こう三年間食用作物は作付しないで、花その他の非食用作物に作付転換するよう勧告していたが、調査箇所五八のうち、この指導をしていたのは一カ所だけであった）。水質汚濁性農薬の使用規制について、都道府県規則の制定を含め具体的な施策を報告させ、その積極的な指導をおこなうべきである（前の勧告にあった規則の制定を実施しているところは一県もなく、使用状況の報告についても「全然使っていない」と県に

報告した一二市町のうち、ある町では農薬販売業者が一五六人にもぐりて水質汚濁性農薬に指定されているPCP剤を売っていた事実があった。農薬の空中散布も農林省が決めた具体的基準が守られていない場合が多い。飛散性の低い微粒剤の普及に努めるべきだ。

(c) 農薬の残留毒性対策

食品残留農薬の調査と慢性毒性試験が一向に進んでいないので、これらの試験研究体制の整備充実を促進する必要がある。

(d) 残留農薬検査

検査分析技術者の研修訓練を充実し、残留農薬基準の決められた農産食品に対する店頭での抜き取り検査を充実すべきだ（残留農薬基準の定められた対象について、一一県中八県がこれらの農作物の残留調査をまったく実施しておらず、食品衛生監視員による小売店頭での抜き取り検査もしていないところが多い）。各都道府県の農業試験場に設置した農薬分析機器の使用状況を把握し、適切な検査がおこなわれるよう指導する必要がある（検査機器は整備されたが、一一道県のうち三県には分析技術訓練を受けた専門家が一人もいない、また三県では関連施設の不備から機器が動かない）。

(e) 農薬取締り

取締り体制を強化充実し、違反を繰返す業者には厳重な処分をおこなうよう指導を徹底すべきだ（販売業者に対する立入検査は、現実にはほとんどおこなわれておらず、違反業者にも口頭で注意する程度で、改善が進んでいない）。

(f) 不用農薬の処理

販売・使用禁止で不用となった農薬の処理については、農林省が予算はとったが、その実施は不十分で、未処分農薬は全国で七、〇〇〇トンと推定される。

以上のような再勧告がおこなわれる現実と、A・B両項でのべたチェックシステムとのくいちがいについては、未来的に事を論ずる場合に十分な配慮が必要である。この行政管理庁の再勧告をみても、都道府県側にたいする国からの一方的な通達・指示が多いようにみられるので、現実的な効果をあげるためには国側と地方自治体側との十分な話し合いのうえで実行することが大切と思われる。

また、農薬そのものの諸毒性とともに、その土壌微生物や植物・動物による代謝産物、あるいは光線や土壌の化学性などによる変化物の毒性の問題、そして夾雑物の影響などを考えると、ある農薬の安全性を決定的に主張するためには、その使用環境や食物連鎖などをも含めて十分な研究・調査がおこなわれるべきであるが、現状は未だ不完全というべきであろう。安全性にかんして未知の因子が多いとあらば、万一、潜在的な危険性が含まれている場合の予防的措置として、ある特定農薬の連年使用を止めて、多少性能的に問題があっても、種類・作用点の異なった農薬をそれぞれ三年に一度程度しか使用しないといったローテーション化をはかるのも一方法であろう。これはまた、特定農薬にたいする抵抗性の害虫、病原菌、あるいは雑草の優先化を防止するためにも重要なことと思われる。

一方、化学肥料中の夾雑物、緩効性肥料・硝酸化成抑制剤などの毒性問題についても、その代謝産物・変化物をもふくめて、農薬同様の方法論で再検討する必要があるであろう。とくに、肥料は、大量に使用すること、毎年必ず使用する必要があることを考えると、従来考慮されなかった点をもチェックする必要がある。

前に、新化学資材の開発についての技術予測を報告したが、これらの開発にあたってでもここで述べたようなチェックシステムが適用され、有効に実行されるべきことはもちろんである。

D 農薬のテクノロジ・アセスメント

農薬に限らず、科学技術は国民生活を向上させ便利さを提供した反面、環境汚染や人間性喪失といった好ましくない現象をも随伴し、強い反省が望まれている。したがって、今後の科学技術の問題を考慮する場合には、そのプラス面とともにマイナス面へも十分な検討をおこない、それが社会に及ぼす影響を総合的に把握・評価し、悪影響が生じるおそれのある場合には対応策をも検討し、この科学技術を世に出すか出さないかを判定する必要がある。こういった評価の方法論としてテクノロジ・アセスメント（またはプロブレム・アセスメント）が提出されているが、これは、科学技術の及ぼす影響を総合的、多角的に把握し、マイナス面を克服するための代替手段の利害得失を検討し、これらの総合的評価の結果を、この科学技術の実施意志決定者に提示することを主目的としている。

農薬のテクノロジ・アセスメントは、科学技術庁計画局におけるテクノロジ・アセスメント総合検討会の分科会でもとりあげられ、昭和四七年六月にその報告書が公表されている。筆者もその委員の一人として検討に加わったが、ここではこの報告書を中心に今回の農薬のテクノロジ・アセスメントの概要を説明してみたい。（今まで述べてきた農薬など化学資材にかんする論議そのものも、そのプラスインプクトとマイナスインパクトとを並べてあるので、テクノロジ・アセスメントの一部を形成するとも考えられる。）

社 会	地域社会	共同防除の実施による連帯強化など	労働力流出にもとづく地域社会の混乱など
	団体・組織	防除関連事業の拡大による農協組織の強化, 病害虫防除組織の発展	毒理学研究者の不足, 検査業務の増大による研究活動の阻害など
	国 家	食糧不足からの解放, 農産物の大量・廉価・高品質・安定供給の実現, 伝染病の減少, 省力化による余剰労力の発生など	農薬による環境・食品汚染問題の発生, 過剰農産物の発生, 農村での青・壮年層の流出による社会問題の発生, 行政体の業務拡大など
文 化	教育・芸術 学問, 技術 など	関連科学の進歩, 関連生産技術の進歩など	農村社会の伝統の衰退, 農村景観および生態系の破壊, 農業技術研究等での農業偏重による弊害

テクノロジ・アセスメントにおける評価の手法は未だ確立されたいとはいえないし、また個々の対象技術のちがいに、変えられるべきとの主張もある。前述の報告書では、一応、次のような評価のプロセスを提出している。

- (a) 対象技術の範囲と目的の明確化
- (b) 農薬の成分、使用状況、拡散過程および関連技術の詳細な認識

- (c) 農薬の社会（農民・地域住民・消費者など）へのインパクトの列挙

- (d) 農薬の社会へのインパクトの実態把握

- (e) 個々のインパクトの第一次評価

- (f) マイナスのインパクトに対する対応策の列挙とその効果の把握

- (g) 最終評価

このプロセスに従ってどのようにアセスメントをおこなうかに、二つの方式が考えられる。「ふるい落とし方式」と「総合評点方式」とである。この二方式の選択は、マイナスのインパクトの二つのタイプと対応する。残留毒性や水質の汚染などのような絶対的なマイ

表29 農薬によるインパクトの総括表（科学技術庁T. A報告書より要約）

インパクト関連分野		インパクトの内容	
大項目	項目	正のインパクト	負のインパクト
人	身 体	豊富な食糧の供給、疾病および伝染病の発生の減少、除草剤などの使用による肉体労働の軽減など	農薬（急性、慢性、残留）による農民と一般住民の健康障害、抗生物質による耐性菌の形成、農薬製造における労働災害の発生など
	心 理	食糧不足に対する不安感からの解放、過重労働にともなう精神的苦痛からの解放、農林業生産の不安定性に起因する精神的負担からの解放など	取扱いの危険性に対する精神的な負担、食品・環境の農薬汚染に対する不安、犯罪への悪用の心配など
	生 活	食生活の高度化、余暇時間の発生、費用一効果概念に対する認識の普及など	食品の農薬汚染による可食部分の減少と調理法の変化、農薬散布による騒音公害、農薬製造工場による悪臭、汚染、騒音公害など
環 境	土 壌		農薬による土壌汚染、微生物の減少による土壌劣化など
	水		農薬による水質汚濁、製造工場排水による水質汚濁など
	空 気		農薬による大気汚染
境	生 物	農作物の病害虫と衛生害虫の減少、雑草の防除、林木・農作物の保護など	生態系の農薬汚染、天敵の減少、生物相の変化と劣化、抵抗性病害虫の発生など
	農 業	病害虫防除による減収の防止、多収品種の栽培による増収、除草剤の使用による省力化、生産の安定化、品質の向上など	農薬汚染による農産物の廃棄、薬害による減収、土壌汚染による土地利用の困難化、農薬散布にともなう経費増大など
業	養蚕、養蜂畜産、水産業	衛生害虫の減少による家畜疾病の減少、飼料作物(桑など)の病害虫防除、養殖魚の寄生虫の防除など	蚕・蜂・家畜・魚貝類の農薬による斃死、魚貝類の漁獲高の減少、農薬汚染による生産物の廃棄と商品価値の低下、養蚕・養蜂などの地域制限など
	第2次産業 第3次産業	新分野としての農薬製造業と防除器械製造業の発展、農薬の販売業と輸出入業の発展、生産物の保存性向上による大量広域流通の可能化など	農薬汚染による食品の消費・輸出の減退、毒理学研究者の不足、新農薬開発費の高騰と開発の困難化、農薬の規制による経済的損失など
	家 庭		省力化による労働力流出にもとづく家庭破壊

ナスのインパクトがそのひとつで、この場合には「ふるい落とし方式」によって評価される。この場合に、専門家の厳密な認識にもとづいて専門的評価によって明白なマイナスの副次効果が検出されれば、ふるい落とされることになる。一方、農薬による作付上の制約や土壌の劣化などのような、いわゆるトレード・オフ的なマイナス・インパクトについては、それらを全体的に「総合評点方式」で評価し、プラス・マイナスしてプラスの多い方をとるようにする。

これらのプロセスのうち、(a)、(b)については、さきに略述された。(c)以下のインパクトの列挙についても多少の説明をおこなったが、前記報告書では、表29に示すようにインパクトを総括している。これらインパクトの評価は、ここではプラスかマイナスかの分類にとどまっているが、表中の項目をさらに細かく分けたいうえで、インパクトの内容ごとに、インパクトの性質（正、負、あるいは正・負）、発生の可能性（大・中・小）、制御可能性（大・中・小）、ならびに対応策を検討したチェックリストの様式が提出されている（作業の時間的制限その他の理由で、今回の場合、一部を除いてはこのチェックリストの実際の記入作業はおこなわれていない）。

(f)項にあるようなマイナスのインパクトに対する対応策の列挙とその評価は、テクノロジ・アクセスメントのプロセスとして重要なものであるが、この報告書では、「農薬の安全性」の範囲内での対応策のうち、行政的（科学技術面および一般行政面）な方策についてその対応領域が、次の各項目のように列挙され、それぞれの具体的方策が提出されている。

(a) 科学技術面での対応領域

○農薬に関する分析方法の確立

- 農薬使用後の分解・代謝過程の解明
 - 農薬残留の安全性の評価の方法の確立
 - 実験動物の供給体制の整備
 - 毒性試験方法のシステム化の開発
 - 慢性毒性試験研究機関の拡充
 - 衛生試験研究機関の拡充整備
 - 高等教育機関におけるインターデシプリナリな教育研究体制の強化
 - 毒性学研究者の養成のための教育訓練コースの設置
 - 新農薬開発に対する国の助成の拡大
 - 環境汚染の軽減方法の確立
- (b) 一般行政面での対応領域
- 農薬による環境汚染の組織的なモニタリング実施
 - 食品残留農薬基準、農薬に係る環境基準の設定範囲の拡大と基準の維持
 - 農薬中毒等、農薬による危被害に関する統計の改善
 - 農薬に関する行政運営の連絡調整の緊密化
 - 農薬安全使用法の指導強化
 - 毒物中毒情報センターの設置
- これらの各項目以外に、その他として「農薬関連物質の安全性の評価および取締り制度の整備」が付

け加えられているが、これは農薬の有効成分と同一の薬剤が、その強力な殺菌、防虫、殺草、忌避効果を利用して他の工業製品などに配合または使用されているが、その取締り制度が不完全な点をついたものである。

この科学技術庁計画局の報告書では、テクノロジ・アセスメントの方法論を見いだすための事例研究としての性格が強く、また時間的制約もあって、(8)項の最終評価とか、全領域にわたっての対応策の検討などはおこなわれていないが、インパクトの整理まではかなり詳細なところまで実施されている。これらのデータや方法論を使用し、また改善して、より完全な農薬のテクノロジ・アセスメントを実施することが切望される。

六 む す び

農薬や化学肥料、あるいはプラスチック製品などの化学工業製品の助けなしには、今後の農林水産業は成立しないと考えられる。無農薬栽培とか無化学肥料栽培が唱えられているが、自由化の波に立ち向うわが国の農林業で経済性の面からこれらの成立は困難であろう(ごく一部の特殊な作物を除いては)。

しかし、手放してこれら化学工業製品を農業分野に導入してよいといっているのではない。数多くのマイナスのインパクトについて考察をおこない、そのチェックシステムについて論議をおこなった上で細心の留意と、大胆な決断実行が望まれる。

一方、わが国の研究・技術陣が現在までになしとげてきた実力と努力とを将来に生かすつづけていくならば、プラス・マイナスの調和は必ずや得られるものと思われる。幾多の不利な条件を荷せられてい

るわが国の農業・食糧生産において、世界的レベルにある化学工業の実力を、安全かつ有利に活用していくことは、今後の発展のために必須の条件と思われる。

第三節 流通・加工技術の発展

一 食品の生産、加工、流通、消費

工業化の進んだ国では、大部分の人々が自らの糧を採取することおよび生産することから離れている。現在では、自ら農業を営む人たちでさえ、他人のつくった多くの食品を消費している。食品が消費されるまでの段階は、生産、加工、流通のおおのに分化していて、それぞれのプロセスにはそれを職業とする多くの人たちが働いている。このように食料の生産から消費にいたるプロセスの滑らかな動きは、多くの人の分業に頼っている。

都市が発生する以前の耕作文明の時代においては、食品の生産から消費にいたるプロセスは食料を路上に並べて売る素朴な物々交換に始まる単純なものであった。その時代は生の食品が大部分で、腐敗が急激におこりやすかった。魚介、畜肉、野菜類などで仲間内で短期間に消費し切れない分を保存する必要性が生じた。そして、乾燥または塩蔵、糖蔵加工などが工夫され、種々な食品加工技術が生まれてきた。都市人口の増加は、保存食料と加工食料の流通を促進した。今日の都市では、加工食品が生鮮食品を追い越し、多く加工食品が包装食品の形で消費者に提供されている。腐敗と同じプロセスである発酵作用など高度な加工技術を利用する調味料や寿司などの製造は、早くから専門の業者が都会ではおこなっていた。

製造規模が大きくなるにつれて、それらの伝統的な加工食料の製造は微生物工業にとってかわられ、古い製造所は近代的な装置工場に変貌している。わが国の加工食品工場のほとんどは零細な工場であり、手工業的な製造法を踏襲しているものが多い。一部の大企業は原料を輸入に頼り、大量生産に最も適した食品を発達させ、さらに集団化（コンビナート化）することが予想される。

現在わが国の食料自給率は飼料をふくめると四割をわっている。反面、日本米の生産は需要を上まわっており、周知のように古米や古々米のストックに頭を悩ますこともあった。

元来、農産水産物の生産は、その收穫が気候条件によって大きく左右されるものである。それゆえ、需要と生産供給とがびったりと合わせられるものでなく、常に過剰と不足をくり返してきた。

この事情は、食料の流通域が狭ければ狭いほど厳しくなっており、余裕にとほしくなってくる。このため、流通の広域化によってバランスを回復する方法がはかられてきた。流通の広域化は必然的に交通機関の整備発展を必要とした。しかし都市への人口の過度な集中は超過密による交通渋滞を生み、大都市の市場の流通センターとしての機能は低下し、逆に物資の流通所要時間を長びかせることになった。生鮮食品のようにシエルライフの短いものでは、むしろ流通を阻害している。それゆえ、都市の流通センターが本来の機能を回復するには、都市の再生計画をふくむ本格的なシステム開発が必要と考えられるようになってきた。コールドチェーン（低温流通帯）の必要性は、すでに昭和四〇年に科学技術庁から指摘されているが、試験的な試みを除いてシステムとしての青写真はまだつくられていない。

今日の栄養学の知識からいえば、加工され再構成された食品（Reconstituted Food）のみで生きられるはずであるが、人類の長い長い食習慣は加工度の高い食品だけでは満足できないようである。

二 流通・加工技術の未来予測

技術の発展または開発のためには、目的なり契機のあることが必然的である。新しい技術はその時点
で克服されなければならない問題と、そのために必要とされる技術的な方法とが合致して始めて具現さ
れる性格のものである。そこにはニード (Need) とシード (Seed) の出会いから、両者をいかに結合さ
せるかという一連の研究が必要である。

社会的ニードを予測する方法としては、過去から現在までの傾向の延長を考えるのが常道であるが、
ごく短期の予測を除くと、この方法の的中率は低下してくる。どの時点から従来の傾向から外れてくる
かを予測するのはきわめて困難である。食料の問題についていえば、供給は20世紀の終わりから21世紀
の初めにかけて需要を上まわっているのか、下まわっているのかという決定的な見通しについても、五
〇対五〇という見方(デルファイ法による)である。

供給が需要を上まわっているという条件では、社会的ニード、すなわち消費者の求めるものは、量よ
り質を重視した品質中心の研究開発になるだろう。逆に需要が供給を上まわっている条件下では、食糧
加工技術は効率のよい合理的な方法を主体とし、食糧資源の開発が要求されることになるだろう。

この両者は互いに相反するニードのように見えるが、実は他の理由によって技術的には共通する部門
が多いのである。その理由は、環境の汚染防止が大きな社会的問題となっており、このために加工技術
の合理化が強く要請されていることにある。食品の質といい量といっても、環境汚染の問題を除外して
は通れないという厳しい条件をもっているからである。食糧の増産に成功したとしても、それが加工流

通消費の過程でむだに廃棄されるならば、可食利用分としては実質的な増加にはならない。

一方、供給が不足しても、加工流通消費がすべて合理的になれば同じ生産量に実質倍増と同じ価値をもたせることが可能になってくる。それゆえ、この両者は合理化という意味では、技術的目標として同じである。

他の産業技術と同様に、食料の加工技術は機械化と省力化という点では進歩してきた。しかしその工程自体は数十年來本質的には大きく変わっていない。

原料を精選し、細砕し、加熱、冷凍、冷却、解凍、乾燥、包装するという単一工程の技術をスケールアップし、スピードアップすることによって、合理化の効果があげられてきた。しかし、原料から製品への取得率という観点からみると、廃棄量の減少が経済的に不利になるために、十分な努力が払われていなかったと考えざるをえない。したがって、スピードアップは廃棄物量を増大させ、食品製造業を水質汚濁や大気汚染の源にすることになった。この解決に頭を悩ましているというのが現在の食品製造業の実体である。食品工場からの廃棄物は有機物であり、腐敗以前にその大部分を回収できれば、別な食品原料として再利用可能なものも多い。食料として利用できないものでも、飼料または肥料として生産地域へ還元することのできる成分である。

大気圏や水圏に分散したあとでは、これを物理的に合理的に回収するのは困難な場合が多い。しかし、生物的方法によって生体濃縮を利用すると、その大部分を回収することも可能である。ただし、大量の廃棄物が局地的に集まれば処理に長時間を要するのは当然である。今日の汚染の原因は自然の清浄能力以上の廃棄物を集中的に放出したことにある。

生産の合理化の目標の第一は、閉鎖系の生産システムを作成し、廃棄量をできるだけ少なくするように、原料処理から製品製造までの各工程を再検討して整備することである。

国内の需要供給および国際的な経済状態からみて、わが国の食糧事情が大きく輸入食糧に依存していること、将来もこの傾向のつづくこと、は否定できない。国内で生産される食糧の数倍もの量が輸入され、食品として消費されるとすれば、生産廃棄物、食べ残し残渣、排泄物の量は莫大な量になる。一方、工業生産活動から出る廃棄物の処理が十分でない場合には、PCB、カドミウムなどの健康上問題のある物質が集積され、これによって国産食料原料の多くが汚染されることもおこりうる。もしもこのような事態が発生したならば、安全性の危険のために、みすみす多くの食料を廃棄せざるをえないことになる。現在われわれの周辺で生じている野放しの生産活動が改善されないうままに推移するならば、上のような見通しの現実化のおそれが多分にあるといえよう。

公害防止技術の発達によって、ゴミのためのような都会はなくなるだろうと考えるのはかなり楽観的な見方である。たとえば、東京都の死活問題としてゴミ戦争の記事が連日報道されているながら、根本的な解決策が出ていないことから、廃棄物処理のもつことの重大さを読みとらなければならぬ。

生産および生活から出される各種廃棄物から人間および自然を守ることに関連している問題の所在はすでに明らかになっており、要は住民と企業をふくむ社会全体がこの問題の解決に力を注ぐことを決定し、必要な行動をおこすことにあると思われる。

三 加工食品と生鮮食品の流通

食料の生産と消費との間の時間、空間的距離は、都市の巨大化傾向が止まらないかぎり次第に大きくなる。生鮮食品は空間的な移動によって価値を生ずるものであるが、距離の増大は流通コストの増加にはね返り、消費者価格の高騰の最大の原因となるだろう。加工食品と生鮮食品に対する消費者の価値観が大きく変わらなると、流通の合理化、流通革命ともいふべき変化がおこり、生鮮食品の市場外取引が過半量を占めることになるだろう。デルファイ法による予測では、この新しい流通システムは一八九〇年代に始まるとされている。このシステムが緒につくとすれば、その動機は冷凍食品をふくむ包装食品の産地における製造か、都市周辺に発達する総合集配センターの増加によるものと考えられる。一方、生鮮食品についてみると、それは産地で公的な検査員によって品質にもとづく格付けが素早くなされ、ただちに包装、冷蔵されるようになる。そして、都市の需要と価格に関する情報によって、品質を落とすことなく店頭まで輸送、配送されるようになる。

都市における毎日の食料消費量は莫大なもので、都市周辺の産地だけで必要量を満たすのはほとんど不可能である。遠隔地からの産地直送技術は、現在でも技術的に可能であるが、施設と運送能力については飛躍的な増強が必要である。新しい流通システムが革命的と考えられるのは、市場法などの法律、生鮮食品の規格、検査の具体化、輸送集配の機能、莫大な情報を即時に全国に伝達する機能などを、同時に整備しなければならぬからである。

技術的にはより高能率で、しかも低コストの冷却装置の開発が望まれる。低温技術は最近急速な進歩をとげているが、液化ガスの気化熱吸収を応用する技術は最近緒をついたばかりで、今後の発展が大いに期待されている。都市における需要と生産地における生産量のギャップを縮小して価格を安定させる

のに、新しい流通システムが貢献する可能性は、低温保持技術の進歩による TTT (Time, Temperature, Tolerance) の食品別設定、情報網の整備利用によるものが大きい。しかし、それでも吸収不能な価格変動の部分の解決は、新しい加工食品の開発に期待しなければならぬだろう。

きびしい食糧の国際情勢に対応するわが国の農水産業は、流通加工技術の発展による品質の向上と、価格の安定とをさらに必要とすることになるろう。

四 新しい加工技術の開発

食料加工工業は化学工業と類似した工程をもっているが、流体を主とする装置工業として自動化省力化に進み大幅に生産性をあげた化学工業とちがって、その自動化と省力化はあまり発達していない。しかし、食品のなかでも流体のものは装置工業化がやさしく、現に大企業の多くはこのような歩みを進めている。製糖、精油、飲料、酒類、調味料などは流体を取り扱う工業で、いずれも近代的な装置工業として化学工業的なスケールに発展している。

その他の多くの食料は固体としての形態を必要とするものが多く、始めから終わりまで化学工業ほどの合理化は望めそうもない。鮮度が品質の重点になるような多くの食品では、流通経路は短い方が有利なことは、いつでも変わらないであろう。したがって、全国の大部分の都市に中小の食品製造業が存続しつづけるものと思われる。それは、加工食品の品質が製造原料の鮮度に大部分依存しているからである。しかし、中小企業にとっても労働者の賃金の製造コストに占める割合は高まり、生産性と製品の品質の向上が必須の条件になってきている。また食料品の原料が自然環境に支配される農水産物であるこ

と、および原料の入手時期が短期間に限られることは、その生産性向上の大きな障害になっている。こ
こでも、農水産物の鮮度維持が重要な技術課題となってくる。また原料の価格が不安定なことも不利な
条件である。それゆえ、加工用原料の確保という立場から、価格の保証・維持などをそなえた新しい流
通システムが必要となるだろう。

現在の技術水準でいえば、加工業は前途が暗いようにみえるが、技術の革新によって全く新しい局面
の展開が可能になるものと思われる。産業革命といわれたのはその一面を示すものであるが、農水産原
料の生産技術の進歩、貯蔵流通技術および加工技術の進歩は食品加工業の新しい可能性を開くものであ
る。

今はまだ開発されていないが近い将来に予測される技術の芽には、つぎのようなものがある。食糧研
究所（現食品総合研究所）でおこなった食生活未来予測の結果から、生産関係の技術で流通加工に関係
の深いものをあげるとつぎのようになる。

- (一) 人工環境を利用した生鮮野菜の周年工場生産により季節生産から脱却する時期は……一九八三～
四年頃。
- (二) 同様に果実の周年工場生産の実現時期は……一九八二～一九九一年頃。
- (三) 肉牛用完全飼料が製造され、工場的な肉牛飼育のおこなわれる時期は……一八八二～九〇年頃。
- (四) 大陸棚を利用する栽培漁業の実用化される時期は……一九八一～一九八七年頃。
- (五) ノリのタンク培養が企業化される時期は……一九七八～一九八四年頃。
- (六) 石油成分を原料とする微生物資源が飼料として普及する時期は……一九七五～七九年頃。

- (七) マツタケの人工培養が企業化される時期は……一九八一～八六年頃。
- (八) 大都市のし尿を資源として工業的に組織的に利用するようになる時期は……一九八四～九二年頃。
- (九) 長期宇宙旅行用の排泄物—食糧再生産サイクルが実現する時期は……一九八六～九六年頃。
- 食品加工関係の技術の開発に関連するものでは、つぎのような新技術や新食品が予想されている。
- 加工技術については、
- (一) マイクロウェーブ誘電加熱が各種の食品工業に使用される時期は……一九七七～八一年頃。
- (二) 液体窒素、フロンガスなどによる凍結が各種の食品工業に使用される時期は……一九七六～七九年頃。
- (三) 凍結乾燥法が各種の食品工業に利用される時期は……一九七六～八〇年頃。
- (四) 逆滲透濃縮法が各種の食品工業に利用される時期は……一九七九～八二年頃。
- これらの技術を応用して開発されると思われる新食品に関する予想としてはつぎのようなものがある。
- (五) 冷凍パン生地の販売される時期は……一九七七～八一年頃。
- (六) 小包装不とう洗米が食料品店で販売される時期は……一九七六～八〇年頃。
- (七) 凍結濃厚果汁の普及する時期は……一九七五～七九年頃。
- (八) 一〇〇%天然果汁の普及する時期は……一九七五～七九年頃。
- (九) ブレックファスト、シリアルズの普及する時期は……一九七八～八二年頃。
- (十) 放射線照射食品(バレイシヨ、タマネギ)が一般家庭になじみになる時期は……一九七七～八二

年頃。

これらの技術については現在その先がけがすでに見えているが、その普及は互いに競合する面があるので、一様にこれらの時期に実現するとはいえない。

流通システムに関する各種の予測

流通システムの開発は行政的な面をふくむので、技術的な予測のみでその実現時期を判断することはできない。しかし、技術をふくむ現実の進歩が行政を誘導するものと考えれば、予測が全く不可能というわけでもない。この分野に関してはつぎのような予測がなされている。

- (一) 国際的な食糧流通機構が整備され、世界的な生産分担がなされる時期は……一九八七～九七年頃。
- (二) 加工食品の品質保証の規格が整備され、全国的に普及する時期は……一九七八～八二年頃。
- (三) 食品の需要の変化に関して信頼できる予測方法が開発される時期は……一九八〇～八七年頃。
- (四) 食品の流通システム化が進み、電話一本で迅速に配送するセンターの出現する時期は……一九八一～八七年頃。
- (五) 生鮮食品の遠隔取引のための規格が整備され、現物の見本取りきが不用になる時期は……一九七九～八五年頃。
- (六) コールドチェーンが生産地から台所まで、大部分の食品について整備される時期は……一九七八～八二年頃。

これらの新しい流通システムや新しい食品の流通は、家庭での調理にも当然大きな影響を与えることが予想される。逆にいえば家庭用の調理機械の普及がこれらの整備と流通を支え、両者は不可分の関係にあるということができよう。たとえば、冷凍食品の普及にはフリーザーや電子レンジなどの一般家庭への普及が必要と考えられる。

新技術による加工食品の調理は、家庭でも労働を節約し、食生活を快適かつ豊かにする方向に進歩するだろう。予測される事項とその実現時期について、つぎのような結果がえられている。

- (一) 電子レンジが一般家庭の半数程度に普及する時期は……一九七六～七九年頃。
- (二) フリーザーが一般家庭の半数程度に普及する時期は……一九七六～七九年頃。
- (三) 皿洗器が一般家庭の半数程度に普及する時期は……一九七九～八四年頃。
- (四) TVディナーが一般家庭になじむようになる時期は……一九七八～八三年頃。
- (五) 魔法のテーブル(ボタン一つでかなりの料理が可能)の開発される時期は……一九八四～九二年頃。
- (六) コンピューター直結のファクシミリ方式の献立相談サービスの登場する時期は……一九七九～八四年頃。

以上の各種予測を通観すると、食生活の変化は、技術開発、流通システム、家庭調理サービスの各項目について、ほぼ矛盾のない実現時点を予測しているといえる。

早いものは一九七六年頃から実現すると予測されているが、かなり大規模な変革のおこりそうな時期は一九八〇年前後と思われる。

過去一〇年から二〇年の間におきた変化を想起すると、これから二〇年という年月の間に上に説明したような変化が生ずる可能性はかなり高いといえよう。そして、食料に関係する研究者、技術者、流通専門家の多くがそのように考えている。また社会的必要性はそれらの技術の開発を促進するので、上にあげた各項目の実現予測時期が大体ある範囲内に集中してきているものと思われる。

現在の時点を、都市の環境問題・公害・物価の問題に端を発して、よりよい社会環境の整備の必要性に目ざめ、総力をあげてそれらを解決するためのスタートにしたものとするならば、いまわれわれは広い視野に立ってなにを優先して処理すべきかを決定しなければならぬ。

人間が食物連鎖の頂点に在ることを思えば、公害の問題はなんとしても恒久的な方策を立てて、その防除に万全を期さなければならぬ。

将来の問題点を先取りして、最も有効適切な対処方針を選定し実施することが第一で、事がおきてから多くの犠牲を支払うことのないように、直接の効果と同時にその及ぼす影響についても慎重な考察が必要である。これがテクノロジー・アセスメントである。このアセスメントでは、今まであまり重視されなかつた経済外価値の評価を適切におこなうことが要求されるので、上に説明したような将来予測の結果をうまく活用することが必要である。

新しい食料の開発についても、いたずらに科学技術の可能性におぼれることなく、なにが本当に必要な開発かを十分考察することが必要である。食品は本来いかにあるべきかという基本的問題についても、

再考しなければならぬ時点にきているように思われる。

生鮮食品はどのくらい必要か、加工技術はどの程度の自由が認められるべきであるかなどについて、その限界をかつて考えてみたことがあっただろうか。人間とくに日本人の食事の将来は、どの方向に歩むべきかなどの根本的なことについて、あまりにも無関心にすごし、なるがままにまかせていたような気がする。将来の見通しが少しでもできれば、現在の立地点も見やすくなる道理である。

日本の農水産業の将来を含めて、真剣にとり上げるべき課題が、実はすぐ足元にあることを反省しよう。未来はなるがままになるかも知れないが、現在の意志と選択によって、その方向を決めることも可能なのである。

20世紀後半における流通・加工技術の発展は、石油という地球の貴重なエネルギーが安価に利用できるという前提によって行なわれてきた。しかし21世紀にはそれが底をつき、エネルギーはかなり高価になることが多くの予測から結論されている。

反面、食品の需要は人間が生きるかぎり人口の増加、文化の進歩に従って増加する。食料は全産業の最も基本であって、物価安定には食品の価格を安定させることが基本となる。したがって、21世紀の技術は、省エネルギー的な新技術を開拓することに多大の努力を集中する必要があるであろう。人類の長い歴史の中ですでに試みられ完成した古典的な食料加工の方法は全て省エネルギー技術であり、新技術開発の鑑となる。あらためて食品の歴史についての認識を深めることが迂遠に見えて実は近道である。

第四節 微生物の食糧化

一 微生物を食べつづけて五、〇〇〇年

パスツールが、ブドウ酒の発酵に、特有の微生物―酵母が関与することを明らかにし、発酵と微生物の因果関係を解きあかしたのは、一八五六年、いまを去るわずか百余年前のことにすぎない。

一九三五年、アメリカの考古学者たちが、古代文明発祥の地、メソポタミア地方を発掘したとき、一枚の石板碑を発見した。紀元前三、〇〇〇年、いまから約五、〇〇〇年前のものであり、人類最古の記録である。そして、「モニユマン・ブルー」と呼ばれるこの板碑には、当時の麦酒づくりの様子が刻み込まれていたのである。酒神バツカスの手になるとギリシヤ人の称讃した世界各地の民族伝承の酒は、洋の東西をとわず、人生のよき伴侶として、遠い昔から人との深い交りを保ち続けて今日に及んでいる。わが国伝統の酒―清酒にしても、また、みそ、しょう油などの醸造物のいずれもが、千年をこす長い歴史を有することは改めて申すまでもないであろう。すなわち、われわれ人類は天与の幸として、各種の微生物を長年利用し、食べつづけてきたことは間違いない事実である。

このように古くからの付き合いであったにもかかわらず、微生物が食糧資源の一つとして積極的に取り上げられるようになったのは、比較的近年のことである。第二次大戦下のドイツで、適当な条件さえ与えれば、微生物はきわめて速やかに増殖し、大量の菌体を容易に造成するとともに、菌体中には良質

のタンパク質を豊富に含有することに着目し、戦時中の食糧確保の手段の一つとして、食用酵母の生産を行ない、数千トンを実用に供したのが最初とされている。

一九五〇年代の後半に入ると、糖蜜やデンプンなどの農産物の他に、石油を直接の炭素源として増殖する微生物の存在が明らかになり、これと同時に、微生物の力を借りることによって、タンパク質やアミノ酸あるいは他の多くの有用物質を生産する技術が開発され、進展しつづけて今日に至っている。すなわち、これらの微生物の力を巧みに利用すれば、大量生産の手法を適用した、新しい食糧生産の可能性があるものとして、俄かに注目を集めたのである。なかでも、石油中に多量に含まれるパラフィン系炭化水素を栄養源として増殖する酵母の存在は、長年われわれが食べつづけてきた醸造物の発酵に主役を演ずる微生物とごく近縁の関係にあるものだけに、一九六〇年代の後半から、その食糧化が真剣に検討されて今日に及んでいる。ちなみに、世界の石油の消費量は年間二五億トンに達しているが、このなかには微生物によって資化されやすいパラフィン系炭化水素が一六億トンも存在する。かりに、これをすべて微生物菌体に変えることができれば、約一六億トンの乾燥菌体を得られ、このなかには約八億トンのタンパク質が存在することになる。現在の世界の全タンパク質摂取量が約七、〇〇〇万トンと概算されていることから、石油がいかに大きな潜在的食糧資源であるかがわかる。

最近わが国でも、社会活動の拡大にともなって、炭酸ガス、人畜の排泄物・厨芥などの有機質廃棄物の増大が、重要な社会問題の一つとなっている。クロレラ、藍藻(スピルリナ)、光合成細菌などの単細胞生物は、これらの有機物あるいはその分解物を栄養源として速やかに生育し、そのさい、太陽などの光エネルギーをきわめて効率よく生体成分の合成に変換、蓄積するもので、公害物質の処理を兼ねて、

これら単細胞生物の食糧化の研究が進められている。また、これらの単細胞生物の食糧化は、宇宙ロケットなどの閉鎖系における物質循環を兼ねた食糧生産の手段としても注目されている。

宇宙ロケットでの食糧生産の手段の一つとしては、また、食用に供せられている動植物の組織細胞の人工培養による方法が試みられている。このような組織培養による食糧生産は、これまでわれわれが蓄積してきた微生物を培養する知識なり技術をそのまま応用して、食糧の工業的な生産に発展する可能性のあるものとして、すでに検討がなされ始めている。

このように、五、〇〇〇年を越す人類の歴史を通じて食べつづけられてきた微生物、あるいは微生物を培養する技術が、時代の要請に因えて、新しい食糧生産の手段として脚光を浴びるに至ったことはまちがいのない事実といえよう。

二 微生物の食糧化

われわれ人類をふくむすべての動物が生命を維持するのに必要なエネルギーは、すべて植物体を通じて変換・蓄積された太陽エネルギーに依存している。このため太陽エネルギーを変換・蓄積するのに広大な場を必要とし、とくにわが国のように国土の狭小なところでは、食糧の生産は自ずから限定される。これは、食糧の生産が単に地表面上のみを利用しておこなわれる故に制限を受けるもので、もし、食糧生産の場に何か他の要因を導入できれば、その可能性は飛躍的に増大し得るはずである。いいかえれば、過去に蓄積された太陽エネルギーの蓄積体ともいえる石炭なり石油などの化石燃料を食糧に転換できれば、望む時間要素を食糧生産の場に導入することになる。

われわれは微生物の力を借りることによって、これに成功した。

しかも、造成した菌体中には五〇%を越す良質のタンパク質を含有するもので、将来、その不足が確実に予想されているタンパク質食糧の生産に有力な手段を得ることになった。ただこの場合、導入した時間要素としての化石燃料のなかでも、石油資源の今後の動向が重要な因子となるが、その見通しは決して明るいとはいえない。すなわち、世界の石油の可採埋蔵量は一九七〇年末で八七〇億トン、この他に四二〇億トンの石油に相当する天然ガスの埋蔵が確認されている⁽¹⁾。しかしながら、現在の増大率で消費の拡大が続くものとすれば、わずか三十余年の寿命しかないものとされている⁽²⁾。もともと、タールサンド、オイルシールなどの現在未利用の炭化水素資源にくわえて、石炭の埋蔵量ははるかに大きいので、石油を使つての食糧生産は、技術的な工夫をこらすことによつてこれら未利用の資源からも同様におこない得るはずであり、当面の資源的な心配は不要と考えてよいであろう。とはいえ、地球上に限られた資源量しか存在しない化石燃料だけに頼つて将来の新しい食糧生産の基盤をおくことは、明らかに不安定要素をもつとのそしりを免れえないであろう。

太陽エネルギーの変換・蓄積を現在の農耕基盤におきながら、現行の農作物に比して飛躍的に転換効率の高いものに置き換えることができるならば、有限の可耕地で生産される食糧は大幅に増産できることは明らかである。われわれはクロレラ、藍藻（スピルリナ）、光合成細菌などの単細胞生物の力を借りることによつて、その可能なことを知った。

加えて、これら単細胞生物は各種の老廃物を栄養源として増殖し得るもので、効率的な太陽エネルギーの転換能と相まって、食糧資源の輪廻を可能とする観点からも重要な食糧生産の手段といわねばなら

ない。

また、われわれはパルプ廃液などの糖質の残存する産業廃液からトルラ属酵母などの菌体を造成して飼餌料に転換することは、すでに五〇年に及ぶ実績を有している。

人類が長年微生物を食べつづけて今日に及んでいることはすでに述べたが、われわれの周囲にある微生物の活動ははるかに広範囲にわたっている。すなわち、各種の醸造物・アミノ酸・核酸関連物質などの発酵生産物、また抗生物質を主とした医・農薬品などの生産物を通して社会に貢献する有用微生物とともに、人間の最大の敵ともいふべき病気を引き起こす有力な犯人が各種の病原性微生物であることは、改めて申すまでもない。われわれにとって、一見無縁とも思える微生物が土壌・水中などに多数存在し、地球上の物質循環に主要な役割を果たしているが、この半面、食物の腐敗、時として、食中毒などの不測の事故が各種の有害微生物の繁殖に起因することもよく知られた事実である。また最近、マイコトキシンの名で呼ばれる各種微生物の生産する有毒成分が、強い発癌性、神経毒などの原因となることも明らかにされている。

微生物のもつこのような多面的な性格からいえることは、微生物の食糧化に際して十分な時間をかけて、その安全性が完全に確認され、真に安全な食糧であることが確実に証明される必要がある。21世紀の重要な食糧資源の一つとしての微生物の安全性を確認するために、今世紀に残された二五年足らずの時間は、貴重な研究期間といつてよいのではあるまいか。

微生物が食糧あるいは飼餌料として実用に供せられるためには、安全性とともに人または動物が食したときの消化・吸収性もよく、栄養的にも優れたものでなければならぬ。同時に、大量生産によって

適正な価格で、いつでも、どこでも、だれにでも容易に求めえられるものでなければならぬ。

田村⁽³⁾は、世界各国の食べ物のパターンを比較することによって、食べ物についての人間の保守性を鮮かに証明している。食べ慣れたものを美味とする、味覚に関する人間の保守性は、食べ物が人の生命の維持に直接関与するものであるだけに、新しい食物の導入にあたって、きわめて重要な問題である。微生物あるいは単細胞生物の食糧化に際しても、人または動物の嗜好に適合し得るものでなければ、それは食糧資源となりえないことになる。

これらの多くの要素を考慮すると、微生物の食糧化は、直接人が食べる以前に、飼餌料としての実用化が先じると断ぜざるをえない。またこのことは、濃厚飼料として大量に消費される各種の穀類を大幅に節約することになり、既存の食糧資源をより有効に活用する道を拓くことにもなる。ちなみに、科学技術庁のおこなった技術予測のアンケート集約の結果によると、微生物菌体飼餌料が濃厚飼料の全消費の二分の一を占める日が一九八〇年代の半ばに到来することを予想しているが、将来のタンパク資源の推移をも考慮して、このような予測は遅きに失する恐れこそあれ、早過ぎることはないと考えられる。

三 微生物による食糧づくり

新しい食糧づくりの方法が、単なる可能性の追求から進展して実用的な食糧生産の手法として評価されるためには、製品の価格、生産量、また、食糧としての安全性ならびに適性の面で現在われわれが摂取している各種食糧と競争できるものでなくてはならない。微生物を使つての食糧づくりに際して、これらの条件を満足し、具体化の最短距離にあるものの一つとして、石油からの食糧づくりが考えられる。

これは

- (1) 廉価な原料の安定供給が可能である。
- (2) 原料が他の食糧資源と競合しない。
- (3) 石油・天然ガスなどの炭化水素のほかに、これから大量に生産されるメタノール、酢酸などの安価な誘導体をも栄養源として増殖する微生物が数多く知られている。
- (4) (1)と(3)の組合せによって大規模な工業生産が可能であり、タンパク質食糧としての膨大な需要を十分にまかなうことができる。
- (5) 経済効果をも加味した選択・組合せの可能性が大きい。
- (6) いくつかの外国の企業が一九七〇年代を目標に、企業化を積極的に実施にうつしている。などの理由にもとづいている。

1 石油を食品に変える微生物

一八九五年、三好博士⁽⁴⁾がブドウ表皮のパラフィンをかびの一種が分解することを報告したのが、炭化水素と微生物の関係を明らかにした最初とされている。つづいて20世紀の初頭、ゾンゲン⁽⁵⁾はメタン利用菌や液状・固体状炭化水素利用菌について多数の炭化水素資化性菌を分離し、これらが特定の微生物ではなく、われわれの身邊にある土壌中などにも広く見出されるものであることを明らかにした。

一方、石油を使つての菌体生産の可能性が明らかにされたのは、はるかに遅れて一九五〇年代以降のことである。すなわち、一九五五年ホエルブルガー⁽⁶⁾はカンディダ属の酵母を石油溜分を含む培地に

表30 微生物食糧の問題点

微生物	基質	問題点
細菌	メタン	生産性が低い
酵母・細菌	n-パラフィン	食糧の以前に飼料として使うことが望ましい
酵母・細菌	軽油	菌体のソルベント抽出が必要
酵母・細菌	アルコール類	食用の可能性大、ただし経済性に問題あり
酵母・細菌	繊維素物質	食用可能、ただし原料の加水分解が必要
かび	澱粉	食用可能、ただし技術的に未発達
多種類	糖質	経済性に問題あり
藻類	炭酸ガス	水に恵まれた熱帯地方では有利

ハンフリー、1970年¹⁰⁾

表31 食用生物の細胞の倍増に要する時間

生物	所要時間
酵母および細菌	20~120分
かびおよび藻類	2~6時間
植物	1~2週間
鶏 (ひな)	2~4週間
豚	4~6週間
家畜類	4~10週間

ビレンチヒ、1971年¹¹⁾

培養して、炭化水素に対して九二%の菌体がえられたことを報告し、ついでアズレーおよびゼネツツ、レイモンド(8)らがシユドモナス属やノカルデア属などの細菌・酵母についても同様の報告をおこなった。

一九六二年、ブリティッシュ・ペトロリアム(B・P)社では、ジェット燃料の製造にさいし、邪魔になるノルマル(n)パラフィンのみを資化する酵母を培養して、軽油(ガスオイル)の脱ロウを兼ねて、タンパク質に富む菌体を造成する画期的な方法を発表(9)し、世界の注目を集めた。

これ以後、世界の各地で石油を原料に高タンパク質含量の菌体を高収量で生産することを目的に活発な研究がおこなわれ、軽油、液状n-パラフィン、ガス状炭化水素(主としてメタン)・メタノール、酢酸などを基質として工業的な菌体生産を可能とする報告が相次いでおこなわれ、現在に及んでいる。これまで報告された主な微生物と基質および培養にさいしての問題点をとりまとめて表30に示す。

2 石油からのタンパク質の生産

微生物が細胞分裂によってもとの重量の二倍に増えるに必要な時間は、動植物細胞に較べて格段に短いのがその特徴とされている。ひろくタンパク質食糧として、栽培あるいは飼育されている動植物の細胞と比較した結果を表31に示す。生育に好適な条件さえ与えられれば、微生物が他の生物に比較していかに速やかに増殖できるか、一見して明らかであろう。

世界のタンパク質の全消費量は約七、〇〇〇万トンと推定されているが、毎年増えつつける人口と同じ比率でタンパク質の需要が増大すると仮定して、年間一四〇万トンのタンパク質を増産してゆかねばならない。これを石油酵母の生産でまかなうとすれば、約二八〇万トンの酵母の生産を必要とする。現在、外国で飼餌料の生産を目的とした石油酵母の生産を計画中の各社の計画数量は、一工場あたりおおむね一〇ないし一五万トン／年と公表されているので、計画規模の工場を年間二〇ないし三〇工場も増設すれば、人口増大にともなうタンパク質の需要増を完全に満たすことができる。また、これに要する土地面積はたかだか数百haもあれば十分である。もしかりに、これを大豆の生産でまかなうとすれば一haあたりの大豆の年間収量を一・四〜一・五トン、タンパク質含有量を三四%として、実に二七〇万haもの広大な土地を年々新しく必要とすることになる。微生物の培養によるタンパク質の生産がいかに効率的であるかがわかる。

石油タンパクの生産にあたって、精製したn-パラフィン、軽油、ガス状炭化水素、メタノール、酢酸などの炭化水素自体あるいはその誘導体のいずれを用いても菌体の生産が可能であることはすでにの

表32 菌体生産用各種原料の比較

	軽油	液状n-パラフィン	ガス状炭化水素	アルコールおよび酢酸
原料価格	安価 (13~15円/kg)	高価 (25~45円/kg)	安価 (2円/kg)	高価 (30~45円/kg)
培養上の問題点	菌体生成のみを目的とするときは、成資化されにくく含むので、菌体生育速度、収量ともに低下する。	培養は比較的容易。冷却水を多量に必要とする。純酸素の補給がコスト上昇になる。	加圧を必要とするので密閉タンク中で培養をおこなわねばならぬ。引火、爆発の危険大、原料の安定供給に問題あり。	培養はきわめて容易であるが、原料コストが高く、採算に問題あり。冷却はきわめて容易。
菌体回収	未資化油の残存で菌体の分離が困難。	比較的容易。	最も安易。	きわめて容易。
その他	菌体に付着した未資化油の除去に、が必要。脱ロウ過程に組込まれると有利。		菌体の化学成分が他法と異なるので、メチオニン強化の独特の用途が期待される。	

山田浩一, 1976年¹²⁾

べたが、これらの基質の種類によって使用菌株・培地組成・発酵装置・必要酸素量、生成菌体の分離の難易・分離菌体の洗滌の必要性の有無など大きく異なり、それぞれ特徴を有している。これらをとりとめて表32に示す。

微生物による炭化水素の分解の経路は、最も簡単なガス状炭化水素であるメタンの場合には、いったんメタノールに酸化された後、フォルムアルデヒドを経て糖燐酸エステルに組み込まれ、菌体成分の合成経路にはいる過程が考えられるが、まだ定説として認められるまでにはいたっていない。ただ、メタン資化性菌にはメタノールも利用できるものが多いことから、メタンの直接酸化によるメタノールの生成から出発することはまちがいないものとされている。直鎖状のn-パラフィンでは、その末端のメチル基が酸化されて脂肪酸となり、このものがβ-酸化と呼ばれる、末端から一つ置いたメチレン基の酸化・開裂によって炭素数の二つ少ない脂肪酸に変わ

表33 炭化水素資化性菌の培地組成

I. 酵母

a) B. P. の培地 (*Candida lipolytica*)

軽油 (ガスオイル)	任意の量
NaH ₂ PO ₄	7 g
MgSO ₄	0.2
NaCl	0.1
NH ₄ Cl	2.5
Yeast Ext.	1ml
水道水	100ml
蒸留水	1l
pH	5.0

b) ミラーらの培地 (*C. intermedia*)

n-パラフィン	任意の量
NH ₄ H ₂ PO ₄	5.0 g
KH ₂ PO ₄	0.7
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.4
NaCl	0.1
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.1
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	710 μg
MnSO ₄ · H ₂ O	670 "
Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ · 6H ₂ O	200 "
CuSO ₄ · 5H ₂ O	40 "
蒸留水	1l
pH	5.5

II. 細菌

a) 山田らの培地 (*Ps. aeruginosa*)

炭化水素	任意の量
(NH ₄) ₂ CO ₃	1.3 g
K ₂ HPO ₄	2.5
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1.0
Tween 20	0.5
水道水	1l
pH	7.0

り、さらに同様の分解が進行して、遂には酢酸・コハク酸にまで分解され、通常のTCAサイクルに組み込まれて菌体のエネルギー源あるいは菌体成分の合成にあずかることが明らかにされている。なお、この場合、C₁₂とC₂₀のn-パラフィンが最も利用されやすいようである。

微生物にとって発酵とは、基質中に蓄積された化学的な結合エネルギーを生体エネルギーに変換する過程ともいうことができる。炭化水素の発酵では基質中に酸素を含有しないので、理論的には基質の二倍重量以上の酸素を必要とする。これは糖質を基質とした場合の約六倍の酸素所要量ということになる。

b) ウォルナクラの培地 (メタン資化性細菌)

ガス状炭化水素		ガスの最適混合比	
		ガス	Vol%
NaNO ₂	2 g	CH ₄	40
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.2	O ₂	40
KH ₂ PO ₄	0.09	N ₂	15
CuSO ₄ · 2H ₂ O	0.02	CO ₂	5
FeSO ₄ · 7H ₂ O	0.002		
Na ₂ HPO ₄	0.0004		
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.0004		
H ₃ BO ₃	0.0004		
MnSO ₄ · 2H ₂ O	0.00008		

蒸留水	1 l		
pH	6.6~6.8		

山田浩一, 1970年¹³⁾

水溶性の誘導体を基質とする場合は、これまでの糖質の発酵とほとんど変わるところはない。

菌体の生育には炭素源とともに窒素源、いくつかの無機塩類および菌体の生育に不可欠な微量成分 (ビオス成分) を必要とするが、窒素源は糖質の発酵の場合と同様にアンモニアもしくはその塩類で十分であり、無機塩類およびビオス成分の種類、必要量ともに一般の発酵とほとんど変わるところはない。このことは、石油タンパクの造成が他の微生物をつかつての食糧づくりと同様に無機態の窒素を人や動物に必要なタンパク態窒素に変える有力な手段の一つでもあることを意味している。

したがって、発酵にともなう発熱もそれだけ大きく、冷却が重要な問題となる。また、基質がほとんど水に溶解しないので、菌体による資化を促進するためには、これを微粒油滴の状態まで分散させる必要がある。すなわち、培養槽の通気、攪拌、冷却などの工学上の諸要素が糖質を原料とした従来の発酵とかなり異なったものになる。しかし、これらの諸要素も、これまでに蓄積された発酵の技術で解決できぬものはないといつて差し支えない。また、ガス状炭化水素の発酵では、加圧によって培地中の基質濃度を高める必要がある、一方、生育に必要な酸素の補給と相まって、爆発の危険を避けることが重要な因子となる。気密を必要とする点も加味して、発酵槽に特殊な配慮をおこなう必要がある。メタノールなどの

表34 各種基質に対する菌体収量

I. 酵母

酵 母 菌 株	基 質	菌体収量 (g/g)	
		対 基 質	利用された酸素
<i>C. utilis</i>	グルコース	0.51	1.30
<i>C. utilis</i>	酢 酸	0.36	0.62
<i>C. utilis</i>	エタノール	0.68	0.58
<i>C. intermedia</i>	<i>n</i> -パラフィン(C ₁₄ ~C ₁₈)	0.80	0.34
<i>C. intermedia</i>	<i>n</i> -パラフィン(C ₁₆ ~C ₂₂)	0.81	0.35
<i>Torulopsis</i> sp.	<i>n</i> -パラフィン(C ₁₄ ~C ₁₈)	0.72	0.35
<i>Candida</i> sp.	オクタデカン	0.74	0.30
<i>Candida</i> sp.	軽油 (<i>n</i> -パラフィン12.7~18.1%)	0.73~0.96	—
<i>C. lipolytica</i>	<i>n</i> -パラフィン	1.02	0.36~0.39

II. 細菌

細 菌 菌 株	基 質	菌体収量 (g/g)	
		対 基 質	利用された酸素
<i>P. fluorescens</i>	グルコース	0.37	0.66
<i>P. fluorescens</i>	酢 酸	0.28	0.40
<i>P. aeruginosa</i>	オクタデカン	0.60	0.23
<i>Pseudomonas</i> sp.	オクタデカン	1.07	0.53
<i>Pseudomonas</i> sp.	2, 6, 10, 14-Tetramethyl-pentadecane	0.97	0.46
<i>P. methanica</i>	メ タ ン	0.56	0.17
<i>Pseudomonas</i> sp.	メ タ ン	0.60	0.19
<i>Nocardia</i> sp.	オクタデカン	0.98	0.46
<i>Nocardia</i> sp.	2, 4, 10, 14-Tetramethyl-pentadecane	1.10	0.56
<i>M. cerificans</i>	ヘキサデカン	1.30	0.76

山田浩一, 1970年¹⁴⁾

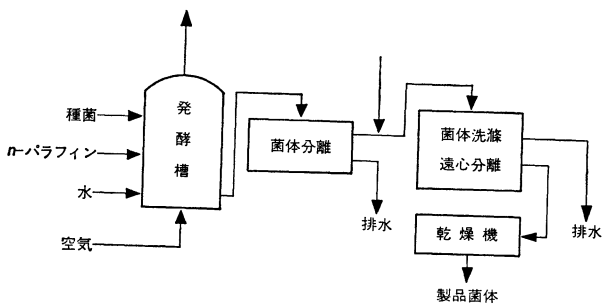


図44 n-パラフィンからの菌体の製造 (山田浩一, 1970年)¹⁶⁾

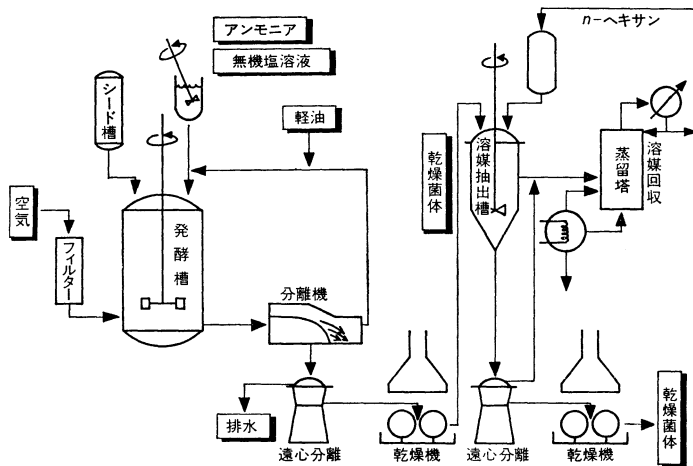


図45 軽油 (ガスオイル) から菌体製造 (山田浩一, 1970年)¹⁶⁾

典型的な培地組成をとりまとめて表33に示す。また、各種基質に対する酵母および細菌の培養結果をとりまとめて表34に示す。

工業規模での試験の成績については、ごく少数の報告がなされているにすぎない⁽¹⁵⁾。B・P社の報告では1kgのn₁パラフィンから1kgの乾燥菌体がとれたとしている。著者らの経験でも、これらの収量は妥当な値と考えている。また、シエル・リサーチ社のメタン資化性細菌によるメタンガスからの微生物菌体の場合には、二〇万立方フィート（四トン）のメタンから一トンの乾燥菌体がえられたとしている。

n₁パラフィンを原料とする菌体製造の装置の概要を図44に示す。また、B・P社では軽油（ガストイル）の脱ロウを兼ねた菌体の生産をおこなっているが、その概要を図45に示す。軽油を原料とする場合には、発酵の過程で資化されず、菌体に付着して残存する分枝炭化水素を溶媒（n₁ヘキサン）を使うことが多い）で洗滌・除去する過程が組み込まれる。

n₁パラフィンからの乾燥菌体の生産コストは、一〇万トン／年の生産規模で四一元ないし七二元／kgと試算されているが、このうち原料のn₁パラフィンの価格変動幅が占める割合が三〇%にも及ぶもので、安価なn₁パラフィンの供給が企業化を左右する要因として、最大の関心事となっている。B・P社では原油の精製工程に重質油の脱ロウを兼ねた石油タンパクの生産を組み込む場合、年間の原油精製能力を五〇〇万トンとして、一〇万トン／年のタンパク質の生産が可能となり、そのときの生産コストは約四五・五円／kgとしている。この程度の価格であれば、他の諸経費を考慮しても、飼料として実用が可能と思われる。なお、最も廉価な糖質発酵原料である糖蜜から製造した飼料酵母では四〇〜一〇〇

表35 炭化水素資化性菌の化学組成と必須アミノ酸含量

研究場所		BP Lavera	BP Grange- mouth	Esso	Esso	ソ 連	味の素 中央研 究所	東京大学 山田研 究室	東京大学 山田研 究室	メタン 資化菌	全 卵	魚 粉	脱 脂 大 豆
菌 株		<i>Candi- da</i>	<i>Candi- da</i>	Yeast	Bacteria	Yeast	<i>Candi- da</i> <i>lipoly- tica</i>	<i>Candi- da</i> <i>tropi- calis</i>	<i>Pseudo- monas</i> <i>aerugi- nosa</i>				
化学組成 %	水分	5.0	5.0				5.1						
	粗蛋白質	66	60	54	62~73	53	44.7	49.0	58.3	59.2		80	37~53
	脂質	0.5	8	10	10~15		4.2			6			15~23
	炭水化物 灰	10	6	26 7	10 6~12		7.0						3~12 4~6
必須アミノ酸組成	蛋白質100g当り												
	ロイシン	8.1	7.3	5.9	5.6	7.0	7.7	8.0	11.2	9.1	8.5	7.3	7.7
	イソロイシン	5.4	4.7	3.6	3.6	5.2	5.6	5.5	4.6	—	5.3	4.6	5.4
	バリン	5.7	5.6	4.0	4.5	5.1	5.9	6.0	6.2	8.5	6.6	5.2	5.0
	スレオニン	5.2	4.9	3.9	4.0	5.7	4.0	6.2	4.6	4.5	4.6	4.2	4.0
	メチオニン	1.7	1.8	1.2	2.0	1.1	0.8	1.2	1.9	3.4	3.4	2.6	1.4
	シスチン	0.9	1.1	—	0.6	—	0.2	0.6	—	—	2.7	1.0	1.4
	リジン	7.7	7.1	7.0	6.5	6.7	7.8	8.2	8.9	5.3	7.1	7.0	6.5
フェニルアラニン	4.6	4.7	3.7	2.9	4.8	4.8	4.7	4.2	6.2	5.3	4.0	5.1	
トリプトファン	1.3	1.5	0.5	0.9	2.3	0.8	0.6	—	—	1.6	1.2	1.5	
合 計		40.6	38.7	29.8	30.6	37.9	37.6	40.2	41.6	37.0	45.1	38.1	38.0

大沢岳義他, 1969年¹⁷⁾

円/kg、この場合にも、原料の糖蜜の価格変動が支配的な因子となる。

つぎに、石油から得られた微生物菌体の分析値および必須アミノ酸組成を表35に示す。各菌体のタンパク質の含有量は五〇%以上七〇%におよぶものもあり、飼餌料もしくは食料としての価値はきわめて高く評価される。また、その必須アミノ酸組成は、動物性タンパク質に較べてメチオニンの含有量が少し低い程度で、穀類に不足しやすいリジンやスレオニンの含有量が高く、魚粉あるいは大豆のそれには匹敵するといえる。なお、メタン資化性細菌ではメチオニンの含有量が三・四%と、全卵のそれと匹敵する高い含有量を示している。

3 微生物による食品の生産

従来、タンパク質の加水分解でしか得ることのできなかつた各種アミノ酸を、微生物の力を借りることによって、糖蜜やデンプンなどの農産物を原料に、容易に、かつ、大量に生産することのできる技術がわが国で開発された。一九五六年のことである。

この技術の基盤をなすものは、微生物がみずからの生長のために各種の栄養素を必要とする栄養要求株の造成とあわせて、培地中のこれら栄養素の濃度を人為的にコントロールすることによって、目的とする成分を大量に培地中に蓄積させるもので、一括して「代謝制御発酵」の名で呼ばれている。

微生物の新しい能力開発ともいえるこの技術では、糖蜜やデンプンなどの農産物から、さらに、*γ*-パラフィンや酢酸、エタノールなどの幅広い原料から、各種アミノ酸、糖類、有機酸類、油脂、ビタミン類、生理活性物質、核酸関連物質などの各種有用物が生産できることも明らかになった⁽¹⁸⁾。微生物

表36 炭化水素を基質とするアミノ酸発酵

アミノ酸	微生物	基質	生成量
ロイシン	<i>Cory. hydrocarboclastus</i>	<i>n</i> -パラフィン	生成可能
イソロイシン		"	生成可能
リジン		"	0.25 g/l
メチオニン		"	生成可能
フェニルアラニン		"	生成可能
スレオニン	<i>Arth. paraffineus</i>	"	10g/l
トリプトファン	<i>Arth. paraffineus</i>	<i>n</i> -パラフィン+ アントラニール酸	生成可能
バリン		<i>n</i> -パラフィン	10g/l
グルタミン酸	<i>Arth. paraffineus</i>	<i>n</i> -パラフィン	70g/l
オルニチン	<i>Alc. marshalli</i>	テトラデカン	8.2g/l
チトルリン	<i>Arth. paraffineus</i>	<i>n</i> -パラフィン	8.0g/l
ホモセリン	"	"	14g/l

鈴木武雄他, 1970年¹⁸⁾

を使つての新しい食品づくりの方法として注目を集めている。このなかでも、とくにリジン、スレオニンなどの必須アミノ酸の生産は、既存の食糧資源をより有効に利用するのに役立つものとして、活用が期待されている。

食物として摂取するタンパク質は、普通二〇種類のアミノ酸から構成されているが、このなかでも、イソロイシン、ロイシン、リジン、メチオニン（含硫アミノ酸）、フェニルアラニン（芳香族アミノ酸）、トリプトファン、スレオニン、バリンの八種類のアミノ酸は、人体中で他のアミノ酸から組み替え、転換できない、したがって必ず食物として摂取せねばならない不可欠のアミノ酸とされ、必須アミノ酸の名で呼ばれている。そして、食物として摂取したタンパク質が人体中で有効に利用されるためには、これら八種類の必須アミノ酸のそれぞれが適当な比率でふくまれていることが不可欠な条件とされている。一般に、動物性タンパク質に比して植物性タンパク質はリジン、スレオニン、トリプトファン、含硫アミノ酸のいずれかが不足するものが多く、とくに穀類のタンパク質でその傾向が顕著な

ことが知られている。したがって、植物性タンパク質に、不足する必須アミノ酸を少量添加してやれば、その質は一挙に動物性タンパク質と同程度まで引き上げられることが、多くの実験の結果からも確かめられている。すなわち、少量の必須アミノ酸の利用によって、食事の内容を変換することなく、そのタンパク質の利用効率を確実に高めることができるわけで、飼餌料のタンパク利用効率の向上の効果とあわせて、実用的にも高く評価されている。

このように、既存の食糧資源の有効利用に大きな役割を果たし得る必須アミノ酸のほとんどすべてが、発酵法で生産されることが知られているが、そのなかでも n_1 パラフィンなどの炭化水素を原料として顕著な蓄積を示すいくつかのアミノ酸をとりまとめて表36に示す。

微生物菌体を構成する主要な成分が、タンパク質と並んで多糖類であることはよく知られた事実であるが、石油発酵に関与する微生物でも同様である。また、石油資化性菌の多くは水に不溶性の炭化水素を基質とするため、表面活性能力をもった粘質物を著量に生成して、基質である炭化水素の分散、菌体への取り込みを容易にしていることが知られており、このような粘質物が長鎖状のアルキル残基とオリゴ糖より成る表面活性物質であることも明らかにされている(19)。また、鈴木ら(20)は、 n_1 パラフィンを基質とするグルタミン酸の生合成の過程で、ごく少量のペニシリンを培地中に添加すると、グルタミン酸生成量の顕著な向上とともに、酵母のオリゴ糖の一つとして知られているトレハロースの著量を培地中に生産することを見いだした。これらのオリゴ糖あるいは多糖類は、加水分解によって容易にグルコースをはじめとする構成糖をえることができるが、このことは、人間や動物の活動のエネルギー源となる糖質の食糧をも、必要に応じて石油から生産しうる可能性を示すものとして、興味深い知見とい

表37 石油発酵酵母のビタミン含量 (mg/kg)

ビ タ ミ ン 類	B・P - 協 和 醗 酵		鐘 淵 化 学 カ-パラフイ 酵
	軽油 (ガスオイ ル) 酵母	カ-パラフィン 酵母	
サイアミン	3.0	3.6	8.5
リボフラビン	140	160	9.8
ピリドキシン	15	10	5.7
ビタミンB ₁₂	0.02	0.05	0.03
ニコチン酸アミド	200	400	450
パントテン酸カルシウム	100	160	—
葉酸	1	1	11
イノシトール	1000	3000	—
コリン	1500	6800	7400
ビオチン	0.1	1.5	0.012

鈴木武雄, 1970年¹⁸⁾

わねばならない。

この他、ビタミン B₂、B₆、B₁₂、デスチオビオチンなどのビタミン類、カロチノイド、生理活性補酵素類、核酸関連物質、また最近では、テトラサイクリン系の抗生物質まで、炭化水素を基質として生成することが報告されている。一方、石油資化性酵母は菌体内に豊富なビタミン類を保有するので、このものを飼餌料とするときはタンパク質と同時にビタミン類をも与えることになる。石油資化性酵母のビタミン含有量の一例を表37に示す。

最近、カ-パラフィンを基質として著量のクエン酸を蓄積する微生物の存在が知られるようになり、食用あるいは化学品としてひろく用いられているクエン酸が近い将来、石油から生産されることも予想されている。

また、デービス⁽²¹⁾はノカルジアと呼ばれる微生物をカ-パラフィン中で培養すると、C₁₂、C₂₀の脂肪酸を含むトリグリセライドが菌体中に七〇%以上も蓄積することを報告している。今後の検討によって、石油を食用油脂に転換しうる可能性を秘めるものとして、興味深い存在である。

太古の昔に蓄積された太陽エネルギーの化石ともいえる石油から、微生物の力を借りることによって、タンパク質をはじめとして、われわれが食糧として摂取している数多くの食品が生産できることを概説した。換言すれば、石油は21世紀の食糧生産に貢献が期待される重要な食糧資源の一つといつてよいであろう。これを、単に便宜性の追求という現在の人間の欲望を満たすために、無計画にエネルギー源として浪費することは、悔いを後世に残すことになりかねない。限られた貴重な資源を、来たるべき人類のより一層の繁栄のために大事に使いたいものである。

四 単細胞生物——21世紀の食糧資源

それぞれに分化した機能をもつ細胞群よりなる複合多細胞生物——高等生物——を除く他のすべての生物——単一細胞内に基礎代謝・増殖などのすべての機能を保有する下等生物——は全部単細胞生物の範疇に入るが、ここでは、未来の食糧資源として重要な位置を占める単細胞藻類と、これを取り巻く一連の生物群に限って話を進める。

戦後の食糧難時代に、従来の農業ではおよびもつかない高い生産性と、優れた栄養価を有する新しい食糧資源として、単細胞藻類の一つであるクロレラが華々しく登場したことは記憶に新しい。クロレラは高等植物と同様に太陽エネルギーを利用して炭酸ガスを同化し、炭水化物・脂肪・タンパク質などの生体成分の合成をおこなうものであるが、太陽エネルギーの利用効率は三〇—一〇〇%、ときには三〇%にもおよぶといわれ、耕種作物の平均利用率がせいぜい一・五%であるのと比較して、いかに効率よく光合成をおこなうかがわかる。したがって、その生産効率も一ha当りの年間乾物収量が四〇トン以上

にも達する。また、その化学組成はタンパク質四〇〜五〇%、脂肪一〇〜三〇%、炭水化物一〇〜二五%、灰分六〜一〇%の他に、著量のクロロフィルを含有し、きわめて高い栄養価を有しており、このものが優れた食糧資源の一つであることは疑いの余地がない。

しかしながら、クロレラが光合成を営むとともに炭酸ガスを同化して増殖する無機栄養生物であることは、このもののタンク内での大量培養を困難にしている主要な原因といえる。すなわち菌体の増殖が水に溶け難い炭酸ガスの供給速度に支配されるとともに、太陽に代わる廉価な人工照明は望みうべくもないからである。したがって、クロレラの培養は戸外でおこなうのが最も経済的とされているが、この場合には、外気温、天候などの自然条件のほかに、広大な培養池を必要とする。このことは、クロレラを捕食する原虫、雑菌などの汚染から保護するのがきわめて困難であるばかりでなく、年間を通じての連続培養ができないので、設備の償却などの経済的な負担も見逃せない因子となる。このため、現在のクロレラは四五〇〜九〇〇円/kgと、前に述べた石油タンパクなどに較べても格段に高価であり、飼餌料などの大量需要を喚起しえない主要な原因となっている。

最近、クロレラと同様に炭酸ガスを固定し、光合成をおこなうと同時に空気中の窒素をも固定しうる単細胞藻として藍藻（スピルリナ）が注目されている。藍藻は古くからメキシコやアフリカの原住民が食用に供してきたもので、その特徴はpH九〜一〇にもおよぶ塩基性の環境を好み、このため炭酸ガスの溶解性が高くなることもあって、クロレラに較べて、さらに生産性の優れたものとされている。ただ、その生育には豊富な太陽と高い平均気温を必要とするため、赤道をはさむ、南北三五度以内でなければ、その経済的な生産は成り立ちえまいとされている⁽²²⁾。ちなみに、最近の報告⁽²³⁾によれば、メキシコの

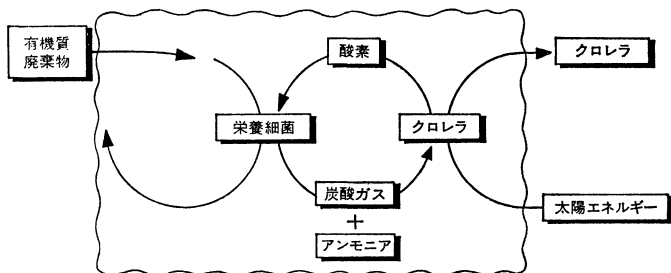


図46 有機質廃棄物よりのクロレラ生産 (オスワルド, 1968年)²⁴⁾

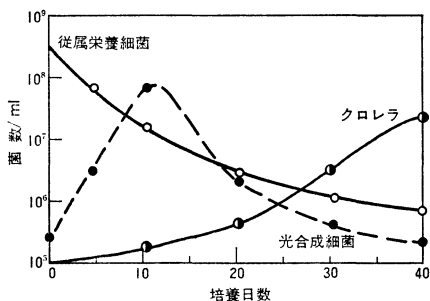


図47 有機質廃棄物の自然分解時の菌数変化 (小林正泰, 1971年)²⁵⁾

オスワルドら⁽²⁴⁾は、厨芥・人畜排泄物などの有機質の廃棄物を基質として、これを炭酸ガスとアンモニアに分解する細菌群と組み合わせ、クロレラ培養をおこなう方法を報告している。すなわち、濃厚な廃棄物の処理槽に通気することによって各種栄養細菌の活動を促し、発生する炭酸ガスとアンモニアをクロレラ培養池に導いて、その栄養源とすることによって物

野外池でスピルリナを培養した結果、夏季にはタンパク質含有量六四〜七二%の乾物一六g/m²/日を生産しえたが、気温の低下する冬季にはその生産量は半減し、年間を通じての平均収量は一二g/m²/日であった。また、一万トン/年のスピルリナの生産コストを二〇〇〜一三〇円/kgと概算している。なお、これの人工培養はようやく緒に付いたばかりで、わずかにクレメント他⁽²³⁾の報告が見られるにすぎない。

質循環をおこなわせるものである。その概要を図46に示す。これに対して小林⁽²⁵⁾は、自然の条件下での屎尿などの有機物の分解に関与する微生物の変化を追求した結果、高濃度の有機物を分解する従属栄養細菌とともに、光合成細菌(ロッドシールドモナス属)を共存させることによって、汚物の処理能力を高めようとするとともに、クロレラの培養にもきわめてよい結果がえられることを報告している。これらの経過を図47に示す。この場合、汚物中の栄養成分はそれぞれの菌体に固定・移動をくり返し、最後にクロレラ細胞に集積することになる。

これらはともに、今後ますます増大が予想される各種有機質廃棄物を再び食糧資源に活用する方法として、研究の進展が待たれる分野である。地球全体を、増えつづける人類を乗せて宇宙を旅する巨大ロケットと考えると、閉鎖系としての地球上の資源の再利用の観点からも、単細胞生物の食糧化は、21世紀の食糧生産の重要な手段の一つとなるであろうことはまちがいのない事実である。なお最近、グルコースを炭素源とする栄養培地でクロレラの培養を試みた報告⁽²⁶⁾が見られるが、いまのところ見るべき成果はえられていない。しかし、将来の大量連続タンク培養に繋がるものとして、注目される。

「糞尿博士世界を行く」⁽²⁷⁾と題した愉快な、しかも内容豊かな書の中で、クロレラの培養に造詣の深いこの本の著者が、アリゾナ砂漠のはずれ近くで、自分で掘った池にクロレラを培養し、タップミノーという小魚に食わせて、繁殖したタップミノーを食糧に、日々を過ごした思い出が興味深く語られている。これは、食物連鎖を応用して、連続的な大量分離に問題のあるクロレラ細胞を、そのまま分離することなく、嗜好性の優れた食糧に転換する方法の一例として、今後のクロレラの食糧化に重要な示唆を与えるものといえよう。

五 組織細胞の培養による食糧生産

予想される未来技術の一つに、一九八〇年代の惑星開発が挙げられている。二〇〇〇年代には、第二の地球化を目指して大々的な金星の大気改造と、人類の移住すらもおこなわれるであろうと予測されている。四カ月に及ぶ金星までの長い旅では、宇宙船内で当然、自給を兼ねて、老廃物からの食糧の循環再生産がおこなわれるであろうが、この場合、老廃物―単細胞藻類―酸素再生というタンパク質、糖質の生産回路とともに、われわれの健康を維持するのに不可欠な各種ビタミン類、ミネラル類の生産、補給をも併せて考えておかねばならない。すなわち、長途の宇宙船の旅では、タンパク質・糖質の生産とともに、野菜類の補給が必要となる。

限られたごく狭い空間で、効率よく野菜を生産する手段としては、通常の客土あるいは水耕栽培によるよりも、欲する野菜の組織細胞をタンク内で大量に培養する方法が、より高い生産性がえられるであろうことは容易に推測される。これは、通常の方法で植物を栽培するかぎり、その生長は先端部分に集中する生長点に限定されるが、細胞の組織培養による場合には、好適な条件さえ与えれば、培養槽中にある組織細胞のすべてが分裂をくり返す生長点と考えてよいからである。また、組織細胞であつても、その基本代謝はもとの植物自体と本質的に大きく変わるところはない。すなわち、限定空間内での植物組織細胞の大量培養は、光の存在下で炭酸ガスの固定と酸素の再生を可能とするもので、このことは、食糧の生産とともに酸素の再生産にも大きな役割を果たすことにもなる。このような観点からマンデルスラ(28)は、各種の食用植物の組織培養を試みるとともに、タンク内での組織細胞の大量培養が食糧の

新しい工業的な生産手段に發展する可能性のあるものとして、その生産性を一般の農業生産と比較検討している。この結果によると、培地 1kl 当り、乾燥組織細胞 10 kg / 日の生産が可能になった時点（現在では未だその数分の一の成績しか得られていない）で、現行の農業生産によるよりも、タンク内での組織培養による方が経済的にも有利になると計算している。著者らの経験でも、タンク内での組織細胞の培養に際して、植物の種類および細胞の部位によって、その生長の速度が大きく異なり、タバコやニチニチソウなどでは比較的速度やかに生長して、容易に大量の細胞を生産することが可能である。また、このとき、オーキシシン、カイネチンなどの植物ホルモンの微量の添加によって、その生長が著しく促進せられるのは一般の植物の栽培の場合と同様であるが、ただ、組織培養では、その添加量によっては細胞の分化作用が促進され、組織細胞から再びもとの植物体が生じることがあるので、それらの使用には細心の注意を要する。

培地の組成は目的とする植物細胞によってかなり異なるが、イーストエキス・麦芽エキスなど容易に入手できる天然物のほか、硝酸塩・アンモニウム塩・微量の各種金属塩・アミノ酸類、糖類など、ほとんど完全な人工培地で生育可能である⁽²⁹⁾。これに反して、動物細胞の場合には、培地の主成分として血漿を用いることが不可欠の条件となり、ごく少数の細胞以外には、これまで完全な人工培地で培養に成功していない。また、動物細胞の組織培養では、容器の壁面に沿って単層の細胞増殖が見られるだけで、正常細胞の懸濁あるいは累積培養に成功していない。懸濁培養が容易におこなえるのは、癌化した細胞のみである。このほか、増殖にもなう代謝老廃物が培地中に蓄積して、容易に細胞の死滅をきたすので、培養細胞を頻繁に新鮮培地中へ移植させることが必要となる。加えて、その生長速度が植物の

細胞に較べて遅いこともあって、食糧の生産を目的とするかぎり、動物細胞の大量培養は現時点で未だきわめて困難であり、当分は植物組織細胞の培養が先行するとして差し支えない。

しかしながら、これら動植物の組織細胞の培養がひろくおこなわれるようになって未だ日も浅く、農業に代わる食糧生産の方法として登場するには、生長速度、培地組成、培養条件の検討など、解決せねばならぬ多くの基本的な問題を抱えており、一九八〇年代にいたって、ようやくその実用化が緒につくものと考えられている。

六 微生物食糧の安全性の追究

一九六二年、B・P社が石油から微生物菌体を製造する方法を発表して以来、世界の各地で石油発酵菌体の安全性を確認するために数多くの動物実験がおこなわれているが、いまのところ最終的な結論は得られていない。

国連のFAO/WHO/UNICEFでは諮問機関として、各国の専門家により Protein Advisory Group (PAG) を組織して、世界のタンパク問題を討議している。一九七〇年五月、この委員会では、石油タンパクをはじめとする微生物食糧を取り上げ、これを食糧とするときの安全性試験、栄養試験の基準を明示し、さらに、原価構成や将来の研究の方向にまで論議がおよんでいる⁽³⁰⁾。そこに述べられた項目並びにその内容を要約すると

基質と製造工程の管理：石油系物質を原料とする場合には、原料中の発癌性多環芳香族化合物の含有量および培地中の重金属含量について厳重な規制と確認がおこなわれねばならぬ。

表38 PAG声明による安全性動物試験項目

観 察 項 目	観 察 頻 度	
	短期試験	長期試験
体 の 外 観	毎 日	毎 日
行 動	毎 日	毎 日
体 重 測 定	隔 週	隔 週
飼 料 摂 取 量	隔 週	隔 週
血 液 学 ヘモグロビン, ヘマトクリット, 白血球, 血小板 } 網状赤血球	0, 4, 8, 12週	1, 3, 6, 9, 12, 18, 24カ月
血液化学分析 グルコース, 尿素, 窒素, 蛋白, アルブミン/グ } ロブリン比, トリグリセライド, コレステロール, } SGOT, SGPT, アルカリフォスファターゼ }	同上	同上
尿 分 析 量, pH, 比重, グルコース, 蛋白, ケトン体, } 胆汁, 沈降物質 }	同上	同上
死 体 検 査 死亡した動物および屠殺体	試験終了時	試験終了時
病理検査と臓器重量の測定 肝臓, 腎臓, 心臓, 脾臓, 生殖器官, 甲状腺, 副腎, } 脳下垂体など }		
組 織 病 理 学 2)以上の組織, 器官の切片観察		

斉藤健, 1971年³⁰⁾

毒性試験：微生物菌体が食用に向けられる場合には、数種類の実験動物を用いて、蓄積毒性や発癌性の有無の確認をもふくめ、長期間の安全性確認試験をおこなう必要がある。

栄養試験：ラットその他の動物を用いてタンパク正味利用率 (Net Protein Utilization) (18)、タンパク効率率 (Protein Efficiency Ratio) (23) を測定することが必要である。

核酸含有量：食物として摂取する核酸の量が多過ぎると痛風、結石などの原因となるので、微生物菌体を食品

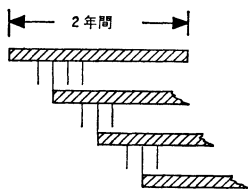


図48 世代試験の実施方法
(斎藤健, 1971年)³⁰⁾

とするときは、その核酸成分の摂取量を $2\text{g}/\text{日}$ 以内に限定する必要がある。この量は菌体量として $10\sim 30\text{g}$ に相当する。

食品への利用：微生物食糧はビタミン含有量が高いので、とくに穀類を主成分とする食品に少量添加することによって、タンパク価の向上とともに、ビタミン強化の効果が期待できる。

動物を用いる安全性試験の基準案：動物としてはラットが最も適当である。試験に供する飼料のタンパク質濃度は二～三段階のレベルでおこなうことが望ましい。また試験は離乳期あるいはその直後から開始すべきである。一試験区は雌雄それぞれ $10\sim 15$ 匹、長期にわたる試験の場合には少なくともその二倍を必要とし、表38に示す各項目の観察あるいは測定結果を記録する必要がある。また、新しいタンパク質源を食品とする場合には繁殖、授乳試験を通じて第二、第三代目までの世代試験をおこなうべきで、その間に交配率、妊娠率、新生仔数と体重、授乳期間の新生仔の死亡率、成育度などを検すべきである。世代試験の実施案を図48に示す。また、この間に催奇性への影響をも確認する必要がある。

としている。

石油中には3・4ーベンツピレンをはじめとする多種類の多環芳香族化合物の存在が知られている。これらの成因は明らかではないが、3・4ーベンツピレンは微量ながら、土壌や大気中などの自然界にも広く存在することが知られてきており、発癌性との因果関係があらためて注目されている物質である。石油からの菌体の製造に際して、これらの多環芳香族化合物の菌体へ

表39 各種酵母中の多環芳香族炭化水素含量 (P P B : 10億分の一)

多環芳香族炭化水素	バ ン 酵 母						そ の 他 の 酵 母						
	パ リ		南フ ラ ンス	ニーダ ー ザ ク セン	ハンブ ル グ	スコ ッ ド	ソ連	ドイ ツ ダ イ エ ッ ト 酵 母	フラン ス ダ イ エ ッ ト 酵 母	ブラン デー 酵 母	乳糖生 育酵 母	B. P 石油酵母	
	再 現 テ ス ト	軽 油										カー パ ラ フ イ ン	
アントラセン	15.3	12.0	2.6	10.2	4.8	567.0	4.7	—	3.9	5.4	4.3	3.6	13.7
フェナントレン	32.2	37.1	17.8	67.0	—	1,620.0	57.2	—	32.5	47.5	31.4	15.3	66.0
ピレン	17.3	21.8	11.6	11.5	35.0	327.0	16.9	20.5	24.4	5.8	5.6	3.1	15.1
フルオランセン	22.0	20.8	18.5	17.2	66.8	187.0	32.1	60.4	31.3	8.6	9.1	1.9	20.2
クリセン	13.2	13.7	8.1	4.2	14.0	203	10.8	8.0	6.0	4.8	0.9	4.0	6.9
3,4-ベンズアントラセン	23.6	23.0	7.8	2.5	15.8	93.5	13.4	8.4	4.4	1.2	1.6	1.5	8.3
3,4-ベンツピレン	12.3	12.1	8.0	1.8	13.2	40.4	8.7	0.5	0.5	0.9	1.3	0.6	2.6
1,2-ベンツピレン	11.8	9.5	8.7	3.1	14.3	55.0	11.1	0.9	0.6	2.0	1.6	0.7	2.3
ペリレン	1.1	1.8	0.9	0	0.5	6.2	0.5	0	0	0	0	0	0
アンサントレン	0	0	0	0	0	2.4	0	0	0	0	0	0	0
1,12-ベンツペリン	4.3	5.1	3.8	0	9.7	16.7	6.0	0	0	0	0	0	1.3
1,2-5,6-ジベンズアントラセン	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0.1	0.3
コロネン	0	0	0	0	0	1.7	0	0	0	0	0	0	0

齊藤健, 1971年³⁰⁾

の移行が、他の食品あるいは天然物に比して多いことの許されぬのは当然である。このため、国連専門機関の安全性試験項目の筆頭に、使用する原料の中の多環芳香族化合物の分析を、続く第二項では、生成した菌体について同様の分析を行なうことを義務づけている。そして、その量が他の食品に比して明らかに多いものであれば、石油資化性菌はすべて食品あるいは飼料としての価値を喪失することはいうまでもない。最近グリマー⁽³³⁾は石油酵母、パン酵母、その他の酵母中に含まれる多環芳香族化合物の含有量を測定した結果を報告している。その結果をとりまとめて表39に示す。これらの結果、菌体の培養に大量の空気が必要とするパン酵母の場合、大気の汚れが目立つ都会で製造されたものは、空気の良いところで製造されたものに比して、明らかに多環芳香族化合物の含有量が高くなっており、糖質の原料からつくられるパン酵母の場合よりもさらに多量の空気が必要とする石油酵母の製造にさいしては、工場の設置場所を選ぶとともに、むしろ純酸素の活用を考えるべきだとしている。注目すべき結果といわねばならない。

PAGの勧告をまつまでもなく、石油酵母の生産を計画している大多数の会社では、安全性試験の一つとして、動物を使つての世代試験をおこなっているが、未だ実施期間中のものが多く、それらの結果が報告にまとめられたものはごく少数に過ぎない⁽³⁴⁾。B・P社では、自社でも広範な生物試験をおこなうとともに、第三者の外部の試験機関に菌体を提供し、大型動物について四年間にわたる長期安全性試験を実施している。最近、オランダのド・グルート⁽³⁵⁾は、ラットを用いて二年間の飼育試験を行った成績を報告している。この結果によると、B・P社から提供された*カンパフィン・ガスオイル*を原料とする二種類の酵母（それぞれ三バッチずつ）を飼料中のカゼインの一〇〜三〇％置換して二年間飼

いつづけ、最初の一年目とつづく二年目のそれぞれの飼料摂取量、体重増加、生体内各種酵素機能、血液検査ならびに内臓の解剖所見を比較した結果、対照区といずれも有意の差を見出すことはできなかったとしてゐる。

わが国の農林省畜産試験場でも昭和四四年から、*n*₁。パラフィンを原料とする石油酵母について、飼料適性、安全性について試験を行っている。ここでは、鶏をつかつて、四年間にわたる生涯飼育試験と併行して、生産された肉、卵中の3・4ーベンツピレンを始めとする一般分析、ならびに、嗜好適性、累代の産卵率、奇形発生率、病理解剖などの安全性の検討とともに、採飼率、経済性をふくめた広範な項目について、既存の飼料と比較した結果、とくに問題は認められなかったとしてゐる(36)。

酵母を中心とした、これまでの石油タンパクの安全性試験に加えて、最近では、他の微生物についての試験報告が見られるようになった。エグレンら(37)は、化学的に純粋な炭化水素を原料とする酵母と細菌をそれぞれ一五週間ラットに与えて飼育した結果、酵母についてはなんらの異常も認められなかったのに対して、細菌を与えたものでは、生長阻害に加えて、鼻腔、口腔粘膜からの出血などの障害が認められたことを報告しており、使用する微生物の種類や菌株の安全性について、改めて問題を提起している。

スウェーデンのアブラハムスンら(38)は、健康な大人の男女二〇人に、*n*₁。パラフィンから製造した酵母を摂取タンパク質の一・二〜一五%置換、添加した食事を与え(乾燥菌体量として二〇g/日)、六週間にわたって各種医学所見を検した結果、平常の食事を摂取したときと比較して、血液検査、尿検査、定期的な医学検査のいずれにおいても両者の間に有意の差は全く見出すことができず、与えた石油酵母

の安全性については問題は見当たらないとしながらも、実験に参加した被験者の全員が、石油酵母を添加した料理のすべてが不味いことを訴え、その食糧化にさいし、最大の問題点が食品としての嗜好適性にあることを明らかにしている。

食品工業の分野で発展が予測されている未来技術の一つに、各種の素材を組み合わせて、嗜好性の高い、しかも、栄養的にも優れた組合せ食品 (Fabricated Food) を目指すであろうことが明示されている。著者らは、ル・パラフィンより製造した酵母からタンパク質を抽出して検した結果、とくに不愉快な香味は全く認められず、大豆から同様に抽出したタンパク質と比較しても、食品としての適性はむしろ優れたものであることを認めている。これらの結果は、単細胞生物、組織培養細胞もふくめて、優れた食品素材としての発展の方向を示唆するものと考えられる。

食物は人間の生命維持に直接関与するものであるだけに、本来きわめて保守的なものである。すなわち、新しい食物が人々に完全な信頼を勝ち取って、日常の食糧物として定着するためには、数多くの食経験と馴れのための時間を必要とする。また、上で安全性に関する数多くの実験結果を説明してきたが、これらによって安全性が完全に確認されたというのではない。しかしながら、増大をつづける人類の繁栄を支えるに必要な食糧の確保に、微生物による食糧生産の果たす役割に疑いの余地はない。したがって、この新しい食糧が安全なものとして、また美味なものとしてわれわれの日常の食事の中に定着するためには、綿密な計画に則った安全性に関する継続的研究と、社会的チェック・システムの確立とが必要である。

第五節 水産新技術の展開

一 水産業の貢献

四面海をめぐらす日本は、沿岸近海の漁業環境に恵まれ、古より水産業が発展し、それよりえられる水産物は国民の重要な動物性タンパク質供給源となっていた。そして漁業者の技術においても、また漁業生産量においても、世界一の水産国にふさわしい発展を遂げてきた。

第二次世界大戦後の食糧難時代に、最初の光明を与えたのは、連合軍による南氷洋捕鯨の許可であり、漁船の大量建造許可であった。国民は米国供与の牛豚の餌にするトウモロコシや脱脂大豆と少量の配給米によって辛うじて飢を支えていたが、そのなかで動物性タンパク質としては魚しかなかったことはいまだ記憶に残るところである。このような戦後の苦難の道乗り越えて今日の発展を遂げたことは、日本人が魚食国民であったことにほかならない。

往時は、畜産物は高額所得者の食べ物であり、水産物は庶民の家庭で嗜好されていたが、昨今は国民食生活の洋風化、多様化にともない、畜産物より良質なタンパク質を有する水産物は斜陽化しつつあり、代わって畜産物が新興食品としてその消費量が急速に増加してきている。逆に西欧諸国では、水産物が畜産物より高級な食品として、その重要度が高まっていることは、国連の統計でも年率三%以上で消費が伸びていることでもわかる。この一見奇妙な現象は、国内では水産物は都市より農村の方で消費が多

く、都市内でも山の手方面は畜産物の消費が増え、下町では水産物が好まれる状態にあり、今後農村の生活様式が都市に近づくとともに、水産物はますます斜陽化していくものと見通す人も多い。かりに将来動物性タンパク質の主役が畜産物ということになったとしても、水産物は伝統的な米食が残っている以上、米食にマッチして残ろうし、所得の向上と余暇時間の増大は、中高級水産物の需要がますます増え、大衆魚は高度加工食品化によって庶民の食膳には欠かせなくなるものと思われる。換言すれば、水産業は今後国民の肉体的栄養供給源としてのウェイトより風味資源的なのが加味され、さらに精神的栄養供給源としての役割が大きくなってくる。それは観光漁業という言葉で代表される遊漁である。外国では漁業を職とする業よりも観光漁業を優先させているところが多いが、これはゲーム・フィッシングなどによって人間の生活を尊重するもので、現にわが国においては一部の有産階級がゴルフから釣などの遊漁に転向しつつある傾向からもそれがうかがえる。さらに海洋開発の進歩は、海洋レジャー、海洋リクリエーションとして海洋の自然と生物を対象として広がっていくであろうし、そのほか生化学資源として医薬面での海洋生物の利用開発が進み、それに従来以上に工業原料としての水産業の役割が増加していくものと思われる。

現在、わが国では漁業生産は、昭和の初め頃の三〇〇万トン台から、第二世界大戦中の停滞はあったにせよ昭和二六年以降急速に伸び、四一年には七〇〇万トン台、四三年には八〇〇万トン台に達し、四七年には、一千万トンを超えている。このことは一見わが国の経済成長に平行して漁業も年々生産を増大させ、漁業者の所得水準も上昇を続けているように見えるが、内容は必ずしもともなっておらず、漁業者の所得や生活水準は、なお他産業従事者のそれに及ばず、かつ他産業へ若年層を中心とする漁業労

働力の流出がつづき、そのうえ沿岸は重化学工業優先の政策のためつぎつぎに埋め立てられ、そのうえ海洋汚染公害を随伴し、漁場をせばめ、その環境を悪化せしめているのである。したがって全体としてのわが国漁業の国内における地位は、全産業国内純生産額からみて、昭和三七、八年頃の一・四％のシェアから最近は一・一％に落ち、その就業者数でも一・三％から〇・九％に下がっている。また漁業生産の伸長にもかかわらず水産物貿易面では輸出が年々減り、逆に輸入が急増し、昭和四六年度でとうとう輸出と輸入の比率が逆転している。これは史上初めてで、このことはGNP自由世界第二位の国として一般大衆の食生活が高級品嗜好に変わり、輸指向けの魚種が内需向けに転換するものが年々増え、いまやわが国の水産業は、かつての輸出による外貨獲得の役割から輸入型に逆転しているのである。これは、この五年間に国民一人一日当りの動物性タンパク質摂取量が一九％も増加し、四五年には三一・九gとなり、そのうち水産物が五三・〇％を占めていることでもわかる。しかし、水産物と畜産物の摂取比率は、後者が年々増加しながらも前者も増加し、四五年度において国民一人当り年間水産物消費量が六一・三kg（原魚換算）と、前年度の五七・六kgから六・四％増となっていることも史上空前のことである。そしてその消費の内容は、生鮮魚貝類の増加よりもねり製品など加工物が大幅に増え、全魚貝類の消費量のなかで魚貝類の加工食品が六四・六％に達している。このことは、食生活の変化の大きなあらわれで、これからの世代が生魚や貝類よりも加工した物を嗜好することを示し、刺身よりも焼竹輪、フィッシュ・ハムやソーセージの方が好まれることを物語っている。

他方、漁業生産の内容は、加工用に主として使われるスケソウダラが二三五万トンという単一魚種の最高の漁獲を上げ、ついでサバが一三〇万トンの漁獲があることが加工食品の伸びに大きな力があつ

たわけである。そして漁業生産の伸びとともに非食用すなわち餌飼料向けも増加し、またその国内消費も増え、餌飼料だけをとってみても国内生産のみでは国内消費をまかなうことができない状態にある。

以上のように、近年米をはじめとする澱粉食品の消費減少、肉類、牛乳、乳製品、果実、砂糖、油脂などの増大と多様化、高級化の傾向のなかにあつて水産物に対する需要もほぼ同様な傾向を示しながら増加している。そして畜産物との消費割合が畜産物の増加率が大きいといふものの、昭和四五年度では、国民一人当り年間純食料供給量(可食重量)では水産物三三・六kgに対し、畜産物は一一・六kgであることから、まだまだ肉類の水産物との代替には年月を要するであろう。さらにわが国の動物性タンパク質摂取量がタンパク質全体の四割に当たるのに比べて、欧米では七割前後であるから、今後ますます水産物を含めて動物性タンパク質の需要は伸びていくものと推定される。

二 将来の水産業の形態

このようにわが国国民食生活に古くから大きく貢献してきている水産業も、前述のように国内事情によつて年々圧迫され、わが国一次産業の中で唯一の自給自力を誇っている日も残り少なくなつてきているようである。それは戦後世界各国が漁業の重要性に目をつけ、世界的に漁業が大きく伸長していることと、漁業生産をおこなう力のない国が漁業資源を守るために漁業領海を拡張し、沿岸国の優先権を主張しているために、わが国の遠洋漁業がいまや大きなカベに突き当たっているからである。

内外ともに厳しい環境の中に立たせられているわが国の水産業は、これからは自力による生産によつて国内需要をまかなつてゆくことは不可能になるであろうし、他方では動物性タンパク質供給源という

ことからレジャー化する食生活に対応していく面も増えてゆくから、将来のわが国の水産業は多面的なものをもった、脱一次産業的な、知識の集約された産業的な性格に変化してゆくものと思われる。したがって、これからは特定単一魚種依存による漁業生産は遠からず姿を次第に消し、国民の食用消費量の確保のみに重点が注がれて、高度の加工処理技術の開発によって加工食品としての水産物を巷に供給するために産業としての地位を維持してゆく形態をとるものと思われる。

それを具体的に述べると、漁船や漁法は自動化され、少ない人数で漁業生産を挙げ、従来のような漁獲効率をあげるために多数の漁船による船団組織によって漁獲量の増大を目的とする漁業は衰退してゆくであろう。今日前述の形態を採るのは日本とソ連であるが、このために多くの設備投資を要し、経費がかかり、かつ多くの就業者を必要とし、量的に多く漁獲する割にはその収益は低く、就業者の所得も労働条件の割合からみて上がっているとはいえない。一方、最近の経済産業の急成長は水産業への就業者不足という事態を招き、水産業自体は人手不足、労賃上昇ということから省力化、省人化を真剣に進めている。たとえばわが国沿岸漁業の代表ともいえるべきイカ釣漁業では、すでに動力式イカ釣機が広く普及し、釣り子の人数を大幅に減らし、小型漁船などでは少人数の家族だけで操業できるところまできている。またアメリカ、カリフォルニア州のヤリイカ漁業者はフィッシュ・ポンプと集魚灯併用によるイカ漁法を開発し、アメリカでは安価なイカを漁獲するためにたった二人で操業し、船主も乗組員ともに好収入を得ているなど、先進国で見られる一つの漁業の型を示しているものと思われる。

次に、喪失してゆく漁場、それはわが国沿岸にあっては長年国民が食べ慣れた魚貝藻類を失ってゆくことで、その代替として栽培漁業の発達があるが、漁場が埋め立てられ、工業基地となるから、必然的

に海洋汚染は進み、栽培漁業の発展を阻害していることは確かである。その漁場にライフ・サイクルをもつ魚貝類は埋立等によって二度と甦ることはできないし、汚染されたそれらがいかに国民に影響を与えるかは今さら云々するまでもない。したがって少なくともきているわが国沿岸の中高級魚貝藻類や、あつても汚染されていて摂取できないこれらの代替品は、未開発国や開発途上国あるいは先進国の一部の沿岸に開闢以来手をつけずに放置されているところに求めねばならないし、またそのような場所に栽培漁業を起こしてゆくことも必要であろう。これがいわゆるわが国の経済協力、経済援助そして技術協力によって生み出す開発輸入で、貿易にのみ依存する危険性から脱却して、半永久的なわが国の必要水産物の確保を外国に求めねばならぬ必然性がでてくる。そのようなところには、わが国民の食生活の嗜好にマッチする未利用資源が眠っており、かつその沿岸国の人たちはほとんど食べていないケースが多い。

そしてこれらのわが国の水産業はフィッシュ・ミールなど非食用水産物は自ら生産することは少なくなり、これらは外国からの輸入または石油タンパクなどの代替品によってまかなわれ、自らは経営者と漁業就業者双方の利益と所得の向上し得る形によって維持してゆくことになる。その形は、漁業形態は、省力化、機械化されたアメリカ型漁業であり、生産物を高度加工することによる付加価値を高めた食品産業型になる。したがって自力生産量は減少し、開発輸入が増加し、その内容は、量的生産から質的生産に変化し、かつ多面性をもつ水産業となる。

一九八〇年代には、一般産業の産業構造は大きく変革し、省力化技術が発達し、高度加工業が一層進展し、システム産業としての形をとるものが多くなると予想されている。そして、環境問題、資源問題、

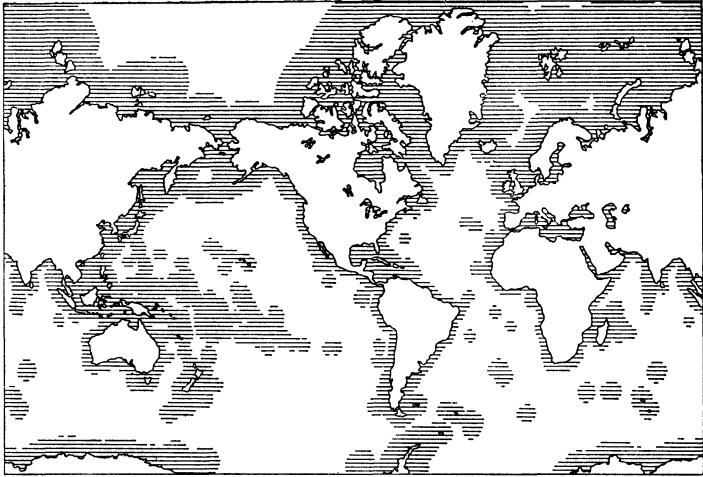


図49 世界の沿岸国が漁業領海200浬を宣言した場合の地球上の公海漁場図（米
国務省作成） 白い部分のみが公海になり、公海ではここでしか漁業ができなくなる

国際問題という三大課題を解決するためわが国の生産的資源（労働・資本）を海外へシフトすることがおこなわれ、国民自体は所得の向上と余暇時間の増加により、その欲求構造が物的生理的欲求が横這いになり、自己実現欲求が急昇してくるものとみられている。資源の一次加工は海外でおこなわれ、わが国では二次加工以上の高度加工が中心となり、一次産業すなわち低生産性の産業はますます減少し、逆に三次産業がますます発展するであろうと見通されている。

国民食生活においては、主食副食の区分がなくなり、米食国民即魚食国民のパターンはくずれて、嗜好的な食生活が増えてくる。このような食生活のレジャー化と産業構造の変化、そして一方では動物性タンパク質の摂取増加という変革に対応していくために、水産業もまたますます知識を集約しておこなう産業に変身しつつ残存していく道をたどることになるろう。

三 水産防災

今までの漁業は天然の海洋を相手にしてきたが、今日は人間の活動が海を変えてきているから、これからの漁業は、いくら栽培漁業、沿岸漁業、沖合漁業の他の条件が整っていても、肝心の海が汚れ、魚貝藻類が汚染されていては、その生産物は市場価値が失われ資源自体も消滅していく。そして水産業はいつも被害者の立場に置かれる。

21世紀に向かって農業や食糧産業に国民が望むことは、

- ① 自然生態系の保持
- ② 食品の安全性の確保
- ③ 需要供給の安定化

以上三点で、このうち水産業は①については被害者であるから、加害者の除去に努めねばならない。つい近年まで水産業者は漁業資源の減少はみずからの乱獲とばかり信じこまされていた。しかし最近に至って公害による漁場荒廃が大きな原因の一つであることを認識したとき事態はすでに深刻な状態になっていた。肝心の海は眼前で瀕死の状態で喘いでいる。曰く、伊勢湾、瀬戸内海、東京湾、田子ノ浦そして九州西海の水俣湾。漁獲物は油臭や異臭により食品価値を失い、分析してみると有害物質が生体に濃縮されて人体に脅威を与えるから、とくに日本近海のもののは危くて食べられないところまできていく。

陸上で自動車などが排出する鉛の量は年間世界で三五万トンといわれ、その大半が北半球の各国で、

鉛は微粒子となって空中高く飛び雨や雪などに付着して全体の四分の三が海に落ちるといわれている。しかも北半球の海ではその上層が深海の一〇倍以上も汚染され、FAOでは地中海は完全に汚染されていると最近発表しているが、日本近海では北海道の日高沖が地中海やカリフォルニア沖と同程度に汚染されていることが日米国際協力による調査によって明らかにされている。鉛の濃縮係数は生物の種類によって違うが、プランクトンで三〇〜一万二千倍、イワシがこのプランクトンを食べた場合鉛はイワシの体内で一億倍にも濃縮されるとアメリカで報告されているからこのイワシを人間が食べると一体どうなるのか。海を「はきだめ」と考え、汚染物質のたれ流しを平気でおこなってきた農業や他産業はその被害者である水産業に、そして国民に、今日までの非を詫びたということを聞いたことがない。多くの汚染物質は河川、沿岸から海に入り込み、そのうえ大気からも降下している。今世紀までに世界人口は今日の倍になると予想されているとき、この世界人口を養うためのタンパク質供給源として、現在の漁業生産を数倍に増産すべきだとされている折柄、魚食によって動物性タンパク質の半分以上をまかっている日本人が、魚貝類の入手難で真先に困るという皮肉なことになる。

河川を自然の下水道として使えたのは過去のことである。海に廃棄物を投げこめば拡散し、沈殿し、分解するから好適の処理場だと考えたのは、自然の浄化力が存在するまでの間であって、今日では人間はその誤りのために自ら生きていくための食糧を失い、飲料水すらも将来海水から取得しなければならぬのに、放射能汚染、油濁などの汚毒化で入手しにくくなることも明らかにした。

栽培漁業は、水質汚濁によって成立の場所をわが国沿岸では片っぱしから失っているし、海洋開発の一つとして海底の石油掘削がはじまっているが、台風、地震、津波の多い日本近海で不測の事故は避け

難い。アメリカのサンタバール沖油田事故は、世界一の石油工業国でしかも静かな海であれだけの事故を起こしているから、不測の事故は、いくら完全な配慮と対策をしたからといって避けられるものではない。

DDT、BHC、PCBなどの恐ろしさはミルク、母乳にまで及び、サリドマイド禍ならぬ農薬禍を今日全国的に蒙り、生まれ出る世代を蝕み、小児ガンなどの多発の原因になる化学物質を投与しているが、有用水産物でのDDT、BHC、PCBの含有は栽培漁業に影響を及ぼし、栽培漁場での給餌に危険化学物質の混入の怖れをきたしている。

都市廃水、産業廃水のタレ流しがもとで赤潮が発生し、やがてはこれが海底堆積有機物の腐敗ともなり、無酸素底層水を形成し、硫化水素、メタンガスの臭気を伴う「死の海」と化し、明るい漁村を呼号する現実とは裏腹に、死魚、死貝を見守る内湾、内海、沿岸がどんどん増えている。

海洋生物は水質変化にきわめて敏感で、サケ・マスが九九%以上もとの生まれた河川にはるばる数千湍の沖合から帰り着き、遡上し産卵するが、それはその生まれた河川の水のおい、味が、過ごした幼期に体内にしみこみ、プリントされて、それに導かれてくるとされている。そしてその河川水特有の化学物質は揮発性芳香高分子物質であろうといわれている。「水魚の仲」「魚心あれば水心あり」といわれる魚たちは人間以上に水の味やにおいに敏感なのであるから、有毒、有害物質の流入によってサケ・マスを殺し、産卵ができなくさせることは自然生態系を破壊するものである。

恐るべき魚貝藻類の大量殺りくが河川や海洋で横行し、海洋生物資源の再生産を阻み、その生活環境を破壊し、水産業を窮地に追い込んで今日、経済成長を喜ぶエコノミック・アニマルと呼ばれる黒

く汚れた人間が、水産業を無視し「これからわが国の水産業は遠洋でおこない、沿岸は成長する産業に明け渡せ」と平気でいっている。他方、水産業界は、油濁の恐ろしさや、放射能汚染の危惧も真剣に考えず、新漁場開発や栽培漁業に熱中し、新時代の漁業に備えての対策らしいものさえ持ち合わせていない。公害対策が沿岸漁業とこれに関連する一部においてのみ叫ばれ、世界の漁場の油濁が進めばどうなるか、というところまで考えていないし、専門研究者と担当の役所も局面全体の理解に乏しく、法経万能的風潮や一部政財界の利益を国益と思い、誤って追隨する風潮が前近代的な姿勢をとらせているようにさえ思われる。

これからの水産業の発展、漁業開発の将来は、海洋汚染防止対策処理の成功いかんにかかっていると、いっても過言ではなく、水産物の需要は増大の一途にあるにもかかわらず原料確保が危ぶまれている今日、水産防災問題に政府も業界も、漁業者も力を合せてとり組まなくては、水産業に課せられた21世紀への使命と国民の要請に答えることはできない。

四 水産業の国際協力

現在、世界の漁業生産により得られるものは金額にして八〇億ドルを越え、海底からの石油や天然ガスから得られるその二倍、他の鉱物資源の二・五億ドルに比べると比較にならぬくらい多い。これをわが国で見ると、数年前の石油輸入額とわが国水産業の粗生産額が匹敵し、石油を買う金すなわち外貨は水産業があげている生産によって相殺していたのである。

いまの日本で、石油が大切な、魚が大切かという論争をした場合、多くの人は石油の方が大切だと答

える。石油は、われわれの日常生活の必需品となり、電気、自動車から衣類にまで及び、将来は食物にもなるうとしてゐる。しかし石油の地球上の埋蔵量は今世紀一杯で品切れとなり、新たに原子エネルギーがこれに代わって登場するといわれているが、石油文明の人類に与えた恩恵はたしかにすばらしいものがあるが、その一方では天然自然の環境を破壊した元凶であるともいえる。小はビニールによる公害から教えてその流した害毒は人類永遠の生存に必ずしも益しているとはいえないし、そのうえ石油は掘ればなくなり魚のように再生産はきかない。魚と石油の論争は所詮次元が違うのでさておいて、ここでいわんとすることは、海洋生物資源は一部のものを除いて海中に引かれた境界に関係なく移動することと、海洋の自然環境を保全し、かつ資源の乱獲をしなければ、石油などの鉱物資源と異なり、再生産がきくということである。現在の世界の漁業生産量は、六、三〇〇万トン（一九六九年）で、この半分以上は魚類で、しかもその四分の三は一四カ国によって漁獲され、一九六〇年の漁業生産量四、〇〇〇万トンからみて、この増加傾向は今後ますますつづき、今や人口増加以上に増産されている数少ない食糧の一つになっている。世界の可能生産量は、現在の二、四倍と推定されているが、現在の漁業発展のスピードからゆくと、一九八五年またはおそくとも今世紀末までに世界の最大持続的生産量を一、二億トンにすることができる、と見通されている。もちろんこれを達成するための努力と経済性が保たれることや、これ以上の海洋汚染が進まないことが前提条件になる。

われわれは、漁業の偉大な前進に備えるために、漁業そのものを科学化することに努めるとともに、基本的な科学的な資料を集め、海洋生物の生活史、分布、回遊とその環境条件を明らかにしなければ、肝心の資源問題は解決しない。例えばサケ・マスでも河口水域の接岸水域における資源の大きな変化の

研究は一つの盲点であり、しかもサケ・マスのような沖合公海にまたがる国際性の魚は、それぞれの関連のある国の間での国際協力に依らねばならない。南太平洋のカツオ資源はこれから注目される有用資源であるが、その回遊系統について不明の点が多い。国際性のある回遊魚については、国際協力によって資源を開発し、かつその維持のための手段を講じなければならないし、他方漁業生産の拡大を図るために未利用資源を開発し、利用して行かねばならない。また、海洋有用生物の蕃殖飼育と、その牧場を耕することの改良に努めなくてはならない。これを達成するために大規模な科学研究を工学的技術と結びつけていかねばならぬだろうし、そのためには今までより一桁多い投資と熟練技能者が必要であり、さらに海や海底について、その投資を保護し、人や施設の安全を守るために法制度を改めていかねばならない問題も起こってくるし、現に起こりつつある。

多くの人々にとって、現在の漁業活動の改良は、漁具や漁船の効率を高めることであり、漁業が進むにしたがって生じてくる漁業の選択性を失う問題がある。そして今まで利用しなかつた魚種や、漁獲していてもマーケット・サイズに合わないからとか、小型であるために放棄していたとかいうものを利用することになり、さらに「食物連鎖を引き戻す」ということも起こってくる。すなわち一トンの魚を漁獲する代わりに、その餌になるプランクトンなど小生物一〇トンを漁獲することによって、現在の漁獲量をその限度といわれている一・五〜二億トンに引き上げることができる。

水産業は、魚そのものが国境がなく移動することと、資源があっても漁獲する技術や力がなかつたり、そのほか種々様々の形があるが、世界の食糧問題の解決のカギを握っていることと、近い将来わが国の水産物が不足することの双方から国際協力の必要性はますます増し、わが国の優秀な漁業技術は、その

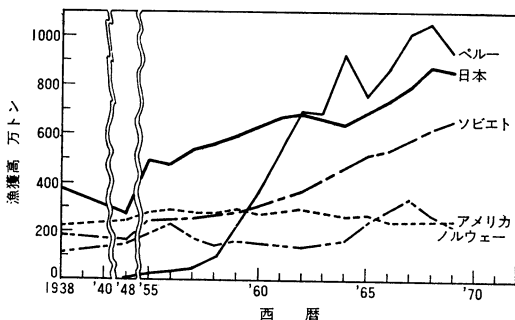


図50 五大水産国の漁獲高 (単位：万トン)

表40 地域別世界漁獲高

(単位：1,000トン)

暦年	世界総計	アフリカ	北・中米	南 米	アジア	ヨーロッパ	大洋州	ソ 連
1960	40,000	2,310	4,090	4,430	17,900	8,090	130	3,051
1961	43,400	2,510	4,330	6,290	18,560	8,360	140	3,250
1962	47,000	2,660	4,490	8,280	19,140	8,640	150	3,617
1963	48,200	2,800	4,370	8,350	19,550	8,990	150	3,980
1964	52,800	3,210	4,320	11,030	19,900	9,750	160	4,480
1965	53,700	3,310	4,480	9,020	20,710	10,870	180	5,100
1966	57,400	3,340	4,460	11,070	21,430	11,530	190	5,350
1967	61,100	3,920	4,400	12,130	22,650	12,020	200	5,780
1968	64,300	4,450	4,630	12,930	24,250	11,780	220	6,080
1969	63,100	4,570	4,560	11,310	24,730	11,210	200	6,500

役割を果たすことになる。また、国際協力によって漁業関係者が団結して環境保全に寄与しなくてはならない。そして、水産防災は直接人間の生存環境の保全につながるものであるという考えのもとに、海洋の自然環境を破壊する産業に対しては鉄槌を加えねばならない。さらに、一九七六年には国際海洋法の改正がおこ

表41 漁業水域（排他的経済水域）幅員200浬（仮定）以後におけるわが
国際漁業推定漁獲高（昭和45年度現在実績対比）

区 分	数量（千トン）			金額（億円）			備 考
	現在	200 浬後	対比%	現在	200 浬後	対比%	
国際漁業 (A)	3,488	676	19.4	3,197	939	29.4	業態別残存率
海面漁業 (B)	8,598	5,785	67.3	7,851	5,594	71.2	(1) まぐろ漁業 60%
総漁獲 (C)	9,315	6,502	69.8	9,662	7,434	76.7	(2) 北洋底曳漁業 30%
国際漁業の比重 (A/B)	40.6	11.7		40.7	16.8		(3) 以西底曳漁業 20%
同上% (A/C)	37.5	10.4		33.0	12.6		(4) さけ・ます流網 20%
							(5) 漁業・ます延縄 30%
							(6) 漁業その他 0

（資料）1972.8.12, 大日本水産会作成発表。

なわれようとしている折柄、現在の状況から推定してわが国の遠洋漁業はますます苦境に追い込まれることが確實であるだけに、国際協力による漁業の開発の重要性は一層増してくる。

表41は、現在世界の多くの国が、海洋法準備会議において主張している漁業水域（排他的経済水域または漁業領海）が沿岸国の距岸二〇〇浬になった場合の、わが国遠洋漁業の受ける漁業生産の打撃を数量と金額で示したものである。漁業水域が二〇〇浬になると、わが国の遠洋漁業は生産量において八〇%の被害を蒙ることになり、わが国漁業生産の総量の四〇%近くが減ることになる。現在までの見通しでは、海洋法の改正は、それを支持する多くの開発途上国によって、彼らにとって有利に採択される気運にあり、彼らのもつ排他的な経済水域の思想と、わが国が主張する領海一二浬に遠の公海における漁業資源は人類共通のものであり、すべての国が等しく利益をもちうるという思想との間には越えがたい基本的思想の相違がみられる。わが国が伝統的な思想を持続ける



図51 貧困に喘ぐ低開発国の漁民
(中米ホンジュラス, 1971, Nov. 筆者写す)

限り、経済水域の思想との間には決裂しかない。決裂によって被害を受けるのはいうまでもなく日本なのである。わが国は海洋法の改正問題が浮び上がってきた今日、一層孤立化の傾向を深め、新興ナショナリズムに押され、海洋先進国、漁業先進国日本は「海洋の自由」の公理から大きく後退し、「海洋の自由」が先進国の利益に奉仕する政治的イデオロギーの役目を果たしてきたという発展途上国の批判の声に、耳をかし、そして現実的な動きと、あるべき国際社会の理想の間にいかに橋をかけるかを、具体的に視点に立って検討し、発想の転換をすることが急務である。さし迫ってきた第三次海洋法会議は、わ

が国の水産業のみならず、日本の産業構造にも大きな影響を与えることは確実である。

世界三〇億の人類が年間消費するタンパク食糧全量は約六、〇〇〇万トンで、このうち二、四〇〇万トンが動物性タンパクで、海は年々約四億トンくらいの動物性タンパクを人間が収穫して利用するのにふさわしい量として生産している。現在世界の漁業は人口増加よりも三倍ぐらい速く生産を増加しており、それは動物性タンパクにして一、〇〇〇万トン以上になり、この量は世界人口の基本要求量の三分の一以上に相当している。そしてこ

のように増大した生産の大部分は、それをそれほどに必要としない先進国によってなされ、利用されている。

ひかえ目に見積もっても、海洋の植物が太陽エネルギーの働きで光合成作用を営むことによつて年々生物体に固定する炭素量は、一九〇億トンといわれる。しかしこれを乾重量にすればわずかなものと植物に分離するコストは大変だから、人間が濃縮する前に海中の生物により濃縮してもらうのが賢明で、この仕事は牧草をはむ牛馬のごとく、海産動物（動物プランクトンを含む）がそれをやってくれる。カキやアサリやイワシがこの植物生産からえられる有機物の巨大量を直接人間が利用できる形のタンパク質に改変してくれる。

われわれは、世界的な人口増加による食糧不足の予想される21世紀に向かつて、漁業生産をあげる努力をする場合、それが経済的に漁業として成り立ってゆくか、ということを考える。われわれは漁業の偉大な前進に備えるために、これを合理化し、食物連鎖のランクが下位の対象物や、残されている未利用資源、それは魚食国民である日本人が利用していても、その他の人類にはあまり利用されていない——それは日本よりの距離が遠く下級魚、大衆魚に属するために漁業として成立しない種類——ものや、多くの人類にとつて未利用のまま放置されている資源を直接利用することを考えなくてはならぬし、そのために漁業が商業ベースにのるような水産新技術の開発と展開を必要とする。また漁獲することばかりでなく、蕃殖飼育とその場の改良に努めることも必要である。

現実には、多くの漁業者にとつては現在の漁業活動の改良は、漁具や漁船の効率を高めることで、このために生物と環境との間の複雑な関係が究明されることや、対象とする資源の大きさとともに、魚の

時空的分布の度合を知ることである。さらには多元的価値の共存時代が訪れるとともに、技術革新の成果に対しさまざまな価値評価が生まれるようになり、漁業にとって望ましいことがある反面、害悪とみなされることも多い。技術開発の効果が人類に対し、究極的には脅威になりかねないこと、すなわち自然環境の破壊などが漁業の前進に阻害要因とならぬよう事前に技術評価（テクノロジー・アセスメント）され、マイナス面についてはフィードバックされることが必要である。

漁業が進むにしたがって生じてくる今ひとつの問題は、漁業が次第に選択性を失い、今まで利用しなかった魚種を漁獲するように自然になってゆくことで、この場合従来のように各個の魚種の個々に資源を評価するのでは不十分で、食餌を同じくするものの競争や、捕食者、被食者の関係を考えた有効な評価方法を考案する必要がある。

さらに、食物連鎖を引き戻すことによって一トンの魚を漁獲する代わりに、この餌になるプランクトンや小生物、幼魚などを一〇トン漁獲することができる。このようにして現在の漁獲量をその限度といわれている一・五〜二億トンに引き上げ、基礎生産量に近づけることができる。問題はこの魚の餌が海中で濃密になっていないために、これを集める技術は開発することができるとしても、魚の餌をミールにして牛や豚などの畜産物やハマチ、クルマエビなどの海産魚貝類を育てるのがよいのか、あるいは、海の魚を直接そのまま漁獲した方が有利なのかは、さらに綿密な分析と検討を必要とするし、またプランクトン等を漁獲することによって自然環境の中における生物社会を乱してしまう怖れもある。

海は神秘的な荒野に満ちている。そしてわずかな例外を除いて耕作されていない。しかしこの自然の海の生物社会構造を破壊しようとする海洋汚染は進んでいる。この汚染源を人類とくにその最大の被害者

である漁業者が国際協力のもとに追求し、とりのぞきながら、今世紀の末までに海を荒野からよりよく耕され、いかえれば人間の管理によって食糧源としての海の利用に科学技術の粋が向けられ、新たな水産技術の展開によって海洋生物資源の有効利用がはかれることが期待される。

五 水産新技術の展開

動物性プランクトンの利用価値は大

南水洋の鯨資源の減少により、これに代わる資源としてこの海域に饒産する沖アミと呼称される動物性プランクトンの開発が注目されてから一〇年近くなる。これは食物連鎖の底辺部に位する有機物を人類が刈りとって、自然界で生産された有機物を連鎖の上位遷移にもなうロスをなるべく少なくして直接利用しようと企てることである。最近の研究によると、食物連鎖が数段階にわたる場合には、最初の光合成有機物の一〇分の一から一万分の一しか人類によって収穫されない、ともいわれている。したがって有機物質の利用法として連鎖の底辺部に着目することは、今後における世界人口の膨張に対する食糧供給源の確保という観点からも重要な課題となることは前にも述べた通りである。

アメリカの科学者アルバーソン氏によると、各国科学者と討論した結果、科学者の推定として沖アミの年間生産量は現在の漁獲量を越えるものと推定している。その数字は、根拠としてひげ鯨の数を三〇万頭とし、一頭当たり年間一二〇〜一九〇トンの沖アミを摂餌するとみなして、全鯨の年間摂餌量を三、六〇〇〜五、七〇〇万トンと推定している。

プランクトンの人間食用化が真剣に研究されたのは第二次世界大戦前ドイツ国立生物研究所で、また

戦時中の食糧不足に悩んだ英国でも研究されたようである。現在地球上で人類に利用されているものは、西インドで地方的に人間食用化されているアミ類や、わが国で古くから利用されているアミの佃煮や塩辛そして漁業用の撒き餌として、あるいは養殖用餌料がある。また最近中国、台湾、北ベトナムから輸入され広く賞味されているビデンクラゲもプランクトンの一種である。

一九六四～六五年の南氷洋捕鯨シーズンからソ連は沖アミの開発に乗り出しており、その漁獲物は黒海地方の牛豚のミールにされているといわれている。わが国でも戦後南氷洋捕鯨が再開されてから調査船で沖アミの採取を試みてはいるものの本格的にこれを調査し、漁獲することはしておらず、近々漸く実施にとりかかった状況にある。この沖アミは、ソ連ではポンプ漁法や中層トロール網によって漁獲され、その経済的な密度は表層五〇メートルくらいまでで、表層の沖アミのパッジをうまく探知し、効果的漁法を考えるならば経済性が成り立つものと思われる。その一つとして沖アミを食べるときの鯨の摂餌法を参考にすることもよいであろう。ひげ鯨のひげの機能を利用する漁法がそれである。

沖アミがビタミン B_{12} をはじめとする栄養分を多量に含み、脂肪酸組織は魚類に似ており、タンパク質のアミノ酸組成はクルマエビやシバエビに似ているうえ、必須アミノ酸が魚肉タンパクよりすぐれていることは、東京水産大学の海鷹丸の調査報告で明らかにされているが、ソ連でも日本の分析結果に近い良質のものであるという発表がある。

沖アミのほかに注目される動物性プランクトンとしてカリフォルニア半島沖合に多い「赤ガニ」がある。このカニは、ここのカツオ・マグロの重要な餌となっており、底棲のヤシガニが浮遊生活に転じた種類であるといわれている。

表42 南氷洋産沖アミ一般分析値

区 分	沖アミ全体	沖アミ筋肉
水 分	78.62%	79.95%
粗タンパク	16.65%	17.75%
粗 脂 肪	1.48%	1.31%
灰 分	3.11%	1.43%

資料 日本水産学会誌 (1965).

そのほかにもいろいろの種類の動物性プランクトンの集群があるが、いずれにしても問題は、技術的にいかに集約的に、かつ経済的に採取することができるかということにかかっており、そのあとで加工形態や利用方法を考えればよいであろう。沖アミをふくむ動物性プランクトンの餌飼料化、あるいは人間食用化が企業化される時期は一九八五年頃と見通されているが、これはもっと早く実現しよう。したがって南氷洋へ沖アミ漁業船団が出漁する日も今から数年後にならう。

極海や深海の魚の開発は近い

極海や深海の魚貝類を採捕して、21世紀の初めごろに、地球人口の膨大な増加を支える動物性タンパク質源にしてはという意見が内外ともにある。それは、アメリカの詩人・生態学者コット・マクベイ氏が、鯨の鳴声をテープにとつて、数年前来日して、捕鯨禁止をアピールしてまわったことから端を発している。その後アメリカの捕鯨禁止と捕鯨による生産物の購入禁止に発展し、さらに七二年六月にストックホルムで開かれた国連の人間環境問題会議にまでもち込まれた。しかし、わが国では国民が動物性タンパク質の六割近くを水産物に依存しているし、鯨肉を国民食用に供しているので、全部鯨を捕るな、とはいえない、と反論しているが、捕鯨業の実態を知らない人たちは、限りある鯨を追うのをやめて極海や深海の魚貝類を開発すればよいといっている。

現在、極海の魚貝類資源開発には、ソ連が最も力を入れている。ソ連の報告によると、極海のそれら

は、脂肪が多く、肉は密度が高く、美味で、産能的に価値が高いものが多いという。またビタミンA製造原料として、その肝臓の価値は、他の海域のそれらに比べて高いという。一方、深海では、北大西洋のソコダラ漁場がすでに開発に着手されている。その深度も一、〇〇〇mから一、四〇〇mに及び、今後その範囲は水平的にも垂直的にも拡がってゆくものと思われる。

わが国でも南極海のトロール試験や、大型トロール漁船および近海の底曳網漁業者によって逐次深海漁場が開発されつつあり、技術的には現在の漁法の延長といふことで困難性はない。問題は、現在の商業的漁業において一、〇〇〇m以深に採算のとれる魚種が非常に少ないことと、そのために漁場分布が全く未知であることから、現在国が実施している新漁場開発のテンポと需要とに結びつけて極海や深海の漁業開発は進められていこう。「鯨がダメなら深海魚があるさ」は現時点では通用しないし、動物性のタンパク質のみを考えるならば、なじみのうすい極海や深海の魚貝類を開発する前に、食物連鎖のリンクをさげ、プランクトンまたはプランクトン・フィーダーの資源を開発する方が先であり、またその方が可能性が高い、ということになる。しかし、前項「国際協力」のところでも述べたように、海洋法の改正によって、これまでのように自由に操業できなくなってくる遠洋漁業が、どこの国にも属さない深海漁業資源を開拓しようと、水産庁と民間が共同出資で深海漁業専用船を建造して調査を開始しているが、実のところ深海漁場の実態は分らない点が多い。また一部の企業で深海魚のPR販売に力を入れはじめているところがある。

今後、鯨を越え、水産資源と人口問題とのからみ合いや第三次海洋法会議と発展途上国の動きなどから、新しい資源の開発が一層必要性を帯びてこようが、そのなかに極海や深海の漁業資源が問題になり、

開発に着手される日は予想外に早くなりそうである。

「釣・縄・網」の漁法からの脱皮へ

長い間水産業は「貧乏人（零細）産業」とみられていたし、漁師などは水産国日本でも外国でも最もランクの下の階級であり、それは今も昔も変わりはないようである。しかし漁業そのものは第二次世界大戦後技術的な進歩によって漁具の動きを観察し、測定し、物理的に設計をするようになり、漁船は高性能化し、漁船員の待遇も厚生施設も次第に改善され、いまや近代化された漁船に模様替えしつつある。リーダー一つもたず南氷洋の氷海で一寸先見えぬ濃霧の中で捕鯨に従事した戦後の数年間、今当時をふり返ってみると、よくぞよくも命を全うしてきたと考えざるをえない。「板子一枚下地獄」の生活は、すでに過去のものとなりつつある。しかし、漁法そのものは、基本的にはいまだに「経験と勘・プラスチック」という域によりやく到達した状態であって、新石器時代の洞穴住民が用いていた釣針、浮子、沈子、漁網の基本形は変わっていない。漁船が大型化し、近代化し、エレクトロニクスをはじめとする諸種の機器を副漁具的に用いてはいるものの「釣・縄・網」を基本とする漁具が主体であることには変わりはなく。空中ではプロペラ機がジェット機に変わったように、海では焼玉エンジンがディーゼルエンジンやガソリンエンジンに変わってはいるが、水中漁船の実現はみていないし、その技術的進歩の格差は大きい。

漁業が近代化されうるためには、漁具漁法の合理化、省力化、機械化がまず必要であり、労働力を少なくして生産性をあげる方式をとることに先進国の漁業者は努力しているが、それがいつまでも「釣・

縄・網”の三種の神器を基礎にしている以上、労働力の節減には限度がある。アメリカのイカ釣漁業者がフィッシュ・ポンプと集魚灯の併用により二人で毎晩数十トンの漁獲をあげる新しいイカ釣漁法を採用していることは前にも述べた通りで、わが国でも注目されはじめているが、これなどは全く「釣・縄・網」を用いない近代漁法のはしりといえよう。

新しい漁法の開発には、もちろん基礎実験が必要であり、人材の養成もさることながら最終的には「釣・縄・網」を用いない新しい形となり、途中の経過で「釣・縄・網」が副漁具化して行く形態をとるものと思われる。また漁業者が最も苦心する魚群の発見と集約には海洋衛星、漁業衛星が用いられ、海に棲む動物中もっとも頭のよいイルカを使って魚群を集約したり、その位置を漁船に知らせたりすることも将来考えられようし、海中の発光生物、たとえば夜光虫などのプランクトンの発光現象とそれによる魚群の存在を高感度光度探知器によって捕え、夜間にカツオ・マグロ漁業をおこない、能率をあげることなど、すでに実験段階にある。

いずれにしても「釣・縄・網」を用いないような新しい漁撈方式が広く実現するのは今世紀の末になるだろう。

「つくる漁業」は漁業生産の主体にはなれない

近年「とる漁業」から「つくる漁業」への掛声の中に、「資源培養型漁業」というむつかしい言葉がお役所で使われている。この言葉は狭義には栽培漁業ということになる。たしかに昨今は海の魚も川の魚も人間の手でつくられるようになってきたし、不可能といわれたマグロの採卵、飼育にも成功しつ

つあり、トロ養殖時代に一步を踏み出している。これは従来の育てるだけの時代からみれば大きな進歩である。しかもわが国近海では海洋汚染で沿岸漁業が伸び悩み、内水面では農薬などによる汚染で淡水魚が減少しつつあるうえ、厳しい国際的漁業環境下にあつて遠洋漁業もままならぬなかにあつて、海産魚の需要は淡水魚よりも圧倒的に大であるだけに栽培漁業はそれによる魚価高も反映して好調である。

しかし、「つくる漁業」は一方では「ふやす漁業」どころか「へらす漁業」になつてゐることも考えねばならない。たとえばハマチが養成される量の八倍のアジやホッケなどが餌として与えられ、そのうえハマチに投与した餌の魚がハマチ養殖をしている活簀いばすの網にひっかかつたり、海底に沈んでしまふ。それにハマチの糞が混じて腐敗し、ヘドロが構成され、このヘドロは半年で三〇cmにも達し、台風などがくるとかき乱されて、港や付近の海岸一面にひろがり、海水を真黒にする。しかもハマチの餌にする魚は今日では立派な人間食用魚で、これを下級魚と呼ぶのは鮮度落ちか、小型であるためか、あるいは餌がくずれているためで、商品価値が少なくなつてゐるから餌にまわされているわけである。ハマチの餌にこれらをまわして、その餌にされる量が海底に沈んでしまふ分も入れれば食餌量にこれがプラスされて一〇倍にもなろうから、ハマチを養殖しなければ一〇倍の人が恩恵を蒙るといふ計算にもなる。かく考えると、「つくる漁業」は「失う漁業」といえないこともない。そして、そのうえ公害まで製造している漁業でもある。

そのほか「つくる漁業」が重工業の中心である瀬戸内海で推進されていたり、地理的に閉鎖的な海で、ここ数年非常に汚染が進んでいる日本海で新しく始められつつあるなど、大きな矛盾がある。これは「つくる漁業」が高級魚を対象として強い需要と、それによる魚価高に支えられて採算がとれ、沿岸漁

業者を救っているというバックに支えられてはいるものの新しい環境汚染物質であるPCB（ポリ塩化ビフェニール）の問題が、有機水銀、カドミウム、BHCなどにさらに加わってきたことと、国際的にも日本が「地球の汚染源」のひとつであると指摘されている今日、「つくる漁業」はこれからは日本沿岸ではたとえば海水を取水口で濾過し、汚染物質を除去して実施するようなことをしない限り「日本民族を破滅に導く漁業」にもなりかねなくなろう。

資源培養型漁業は、生産管理技術の投入の程度と、海域および資源の利用方式などからみて、生活史の完全管理を目標とする養殖と、狭域、広域双方に関する増殖に大別できるが、今世紀末にはこの漁業による漁業生産量がわが国では全漁業生産量の二分の一になると予測する人が多い。金額面では中高級魚を対象にして実施していることと、いままでの率で魚価の上昇が続けば考えられないことはないが、それが量的にこうなると予想することは非常にむづかしいことであると思われる。それは日本近海の汚染の問題もあり、沿岸の養殖場の立地の点もあり、もし栽培漁業など増養殖の量を現在（一九七〇）の浅海と内水面の合計量七一万七千トン（うち浅海養殖業五四万九千トン）にプラス一〇〇万トンの生産増をするためには現在の水産庁の予算（約六〇〇億円）の半分くらいを少なくとも一〇年間つづけて投じる必要があるろう。

一九七一年の国会で「海洋水産資源開発促進法」が可決成立し、この法律でいままでできなかった沿岸漁場の保全もでき、浅海増養殖も大幅に進め得る、といわれているが、沿岸漁業にとって最も重要なことは、きれいな海、瀬を好む魚たちにとって格好の海岸線をもった入江、干潟を都市排水、工場排水の汚染や、産業優先の埋立工事や海底石油掘削などからどう守るか、どう規制しうるのか、という点で

きわめて疑問視される点が多い。

わが国で「海洋開発」という未来産業を多くの業界で推進しようとしているが、このなかでわが国が世界に誇りうるわが国独特の資源培養型漁業とその技術は、海外の期待と注目が大きいだけに、そして国内の中高級水産物に対する需要が強いだけに、自然環境保全とそのためにより産業優先政策の後退を前面に、もろもろの問題を解決して、何とか伸ばす方策が講じられない限り画餅に終わる怖れがある。まして今世紀末に全漁業生産量の二分の一にまで伸長していくであろう、という予想はくつがえされるであらう。

日・米・加・豪・ニュージーランドの太平洋に面する先進五カ国の財界人で結成されている太平洋経済委員会(PBEC; Pacific Basin Economic Council)は、一九七二年第五回の総会をニュージーランドの首都ウェリントンで開催されたが、この席で「太平洋圏における海洋生物資源開発と国際協力」や「赤道圏における温度差発電による水産・工業コンビナート構想」が日本側から提案された。これらの趣旨になるものは、海洋生物資源の増養殖に関係国とともども積極的に協力し、海洋は陸地の二倍以上もあって広いとはいっても、水族にとって繁殖し、生息できる水界はそれほど広くなく、とくに水族の主繁殖場である沿岸海域は、公害現象が及んでくる狭い海洋となりつつあるので、南太平洋の汚れていない海で水族の偉大な繁殖力を巧みに利用し、水族を食料にそして観光資源にもし、温度差発電によって人工的に漁場もつくろう、というものである。

南太平洋のような、地球上残された数少ない非汚染海域で資源培養型漁業を国際協力のもとにおこなうことはわが国にとって大いにプラスになることであらうから、このような方向での「つくる漁業」の

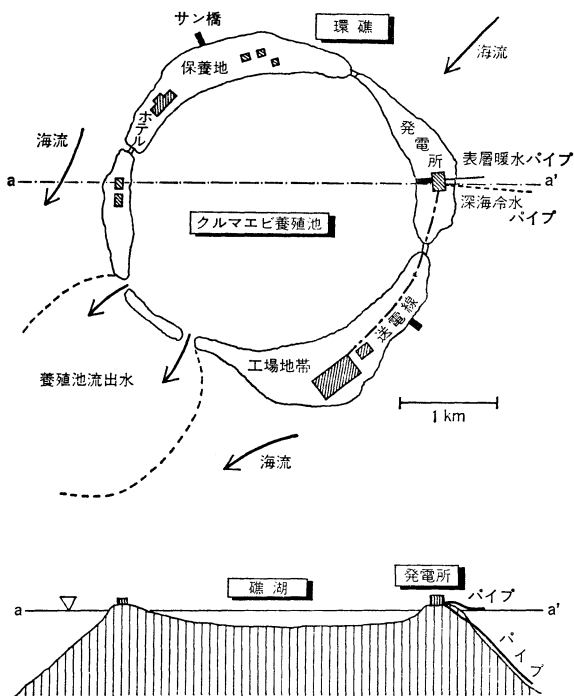


図52 温度差発電による水産・工業コンビナート（東芝技術本部）

新しい発展を見出すことが今後重要になる。

図52は、「温度差発電による水産・工業コンビナート構想」として東芝技術本部鴨川博士によって前記太平洋経済委員会や一九七一年秋の第二回国際海洋開発会議で発表されたものである。中心になるのは温度差発電所で、海面の温水と深海の冷水との温度差（摂氏二〇度以上）を利用して、低圧蒸気でタービンを回す発電方式である。現在世界でフランスが一九五六年にアフリカ象牙海岸のアビジャンに第一号発電所（出力七、〇〇〇キロワット）を建設した以

外どこにもない。東芝で考えているのは、出力四万キロワットで、まだ技術的には二、三の問題があるが、これが実現すると、五〇〇mの深さから汲み上げた海水を環礁の内海に排水しそこでエビなどの養殖ができるし、環礁の中から外に溢れ出ていく水によって潮目ができて新漁場もできる。また電力はボーキサイドなど鉱物の精錬に用いるほか、発電所の近くにリゾートタウンができ、ホテルの冷房から住民への電気の供給、そして産業がない僻地の島々の人たちに職を与える、というものである。問題は自然の改変にともない、生物圏のエコロジーや気象への影響など、テクノロジー・アセスメント（技術の事前評価）が必要であるが、工業、鉱業、水産業、観光事業、人的資源開発利用など多角的な利用方法をもったこの構想が、太平洋経済委員会でフィジー・ビリティ・スタディをおこなって、国際協力で、この夢の実現することを考えられているが、「つくる漁業」の水産業以外の産業との協力、さらには国際協力という行き方も一つの示唆や方向を与えるものとして注目すべきことである。

六 21世紀の漁業者の夢

「つくる漁業」を推進するためには、まず主要魚貝類の種苗生産を常に必要な量を、必要な時期に、必要な形で生産確保する、いわゆる種苗の量産方式が確立され、それは天然種苗から人工種苗になることにより可能であり、その種類の多様化と、その生産の場の確保が必要になる。今日海藻類ではノリを始めとしてワカメ、コンブ、アオノリ等の採苗技術が画期的に進歩し、一般化されるに至っているので、魚貝類についても広く一般化され、さらに食害生物すなわち害敵駆除の方法が開発されていくことにな

る。また海底牧場のような明日の漁業づくりのもろもろの技術が開発され、海中に空気の「あわ」のカーテンを張りめぐらすいわゆるエアー・カーテンや電気スクリーン、低周波衝撃電流などによる海中フエンスの発達により海洋牧場など栽培漁業が確立し、一方ダム建設工事や橋梁工事や大型船舶の航行による衝撃波などから漁業災害を防止することが考えられ、魚貝類の生育生理が解明されて、効果的な飼育管理法が開発されることよって「つくる漁業」はさらに軌道にのって発展していくことになる。

さらに選択育種した魚貝類の迅速な成長度が養殖期間を短縮する結果となり、それにより養殖経費を節減するため、施設をより効果的に使用することができるので、養殖期間の短縮のために、魚貝類の生理促進刺激剤が開発されたり、温排水の利用による環境調節法ができることなど「つくる漁業」に関する発展への大きな問題点の解決がこれから多く残されている。

原子炉を海底に据えつけて上昇流を起こして海の深層にたまっている栄養塩類を表層に運び、太陽光線に当てて植物性プランクトンを繁殖せしめ、動物性プランクトンの餌としてやり、それを食餌する魚類を誘って漁場を人工的に造成しようという考えは以前からあるが、これは温度差発電によるものと同じである。

このような方法は、人類が海洋の生産体系をコントロールするために、そして新たな漁場を造成するために必要なことで、海洋牧場などの造成にも役立つわけである。

また海洋国家日本が、その発達している造船技術と増養殖技術を使って、全天候構造システムの栽培漁業用巨大活簀を開発しようとしている。これは自航式、曳行式、定置式、放流式などが考えられ、給餌方式が確立されれば、広い海に日の丸を立てた船ならぬ活簀が到るところに浮遊し、公海で魚を育て、

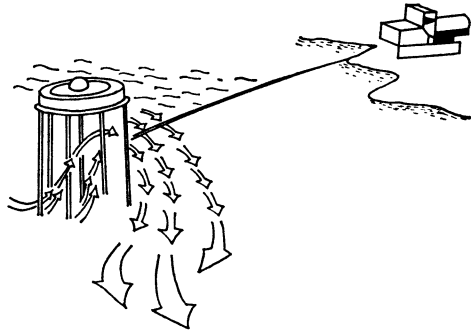


図53 一種の上昇流発生装置

成長した頃海流にのって日本近海にもどってくるようなことになる。いまその小型の実験段階的なものがテストされる状態にある。

魚群を誘致するために、特性の高いスピーカーを開発するとか、灯火を利用するとか、臭気物を流すとか、餌を撒布するとか、いろいろの方法が考えられるが、蝟集^{いじゅう}する魚種は、その海域によって限定されるから、それぞれの特徴に従ってこの技術の開発は案外早く実現するものと思われる。人工流木 (Artificial log) は物影に魚群が集まる性質を利用してつくられ現在米国で実験段階にあるもので、とくに透明度の高い熱帯海域で、間接集魚法として効果が見込まれている。プラスチックでつくった人工流木は、その中に給餌器や魚が集まった状態を水中テレビなり、テレメーターで漁船に送信する装置を備え、魚群が集まった時に頃を見はからって旋網その他の方法で漁獲する方法である。わが国でも山陰地方にシイラ漬と称するこの種の集群漁法があるが、これはシイラが物影に集まる性質を利用したもので、これを人工管理の下に新しい機器をとりつけて計画的に漁獲するようにすれば、漁業労働力の軽減に役立つし、これから発展が予想されるカツオ漁業などにおいて人工流木の開発は必要であると思われるが、わが国でこれを考えている業者はいないようである。

前にも述べたイルカをつかつての魚群探知や海洋牧場での利用から、イルカによる牧畜漁業ならぬ牧

鯨漁業も将来の夢として考えられようし、海洋生物の生態や生理状態を知り、それとそれらをとりにくく環境からえられる知見を遠隔地に伝達するバイオテレメトリー技術は、アポロ宇宙船におけるスペース・テレメトリーでほとんど完成されているので、この技術が海でも利用されようとしている。バイオテレメトリーの発達によって、全世界海洋の主要生物の移動状況や生活状況が明らかになれば、漁業の合理的な発展に大きく寄与しようが、その時期は今世紀の末頃にならう。

大阪での万博を契機に発達目ざましいロボットを漁業面で応用し、ロボット魚の誘導によって、魚類の遊泳、習性状態などから生態的なものまでわかり、魚群を有効に捕捉し、漁港の入口まで誘導してくれば漁業者は非常に助かるであろう。ロボット魚の開発と平行して、ロボット魚の位置確認と操縦に多元的な超音波機器、レーザー光線などが用いられ、そのコントロール・システムが開発され、実用化するのには21世紀に入ってから夢であろう。

そのほか魚の生理変化を用いて水質変化を知り、海流の変化を知ることが公害対策上からも、また操業上からも必要なことである。機器による警報システムで自然環境の保全が十分できるとは、必ずしも考えられないので、生物を用いることの方が人間のつくった化学的検知機より遙かに敏感であるうえに、漁業者にとっては信頼できる。赤潮の異常発生が沿岸や内海では明らかに海中に流される工場廃液や都市下水によるものであることがわかった今日、海洋生物の土壌ともいべき海水について、その循環と浄化能力などを調べ、指標生物という環境汚染の度合をある程度の確に反映する生物、たとえばオキシダント濃度が増すと、すぐ杉や樺が枯れ始めるのでわかるように、海の指標生物を各所に配置して環境保全に役立てるようになることがこれから漁業を守るうえにおいて非常に必要なことになってくるであ

ろう。

わが国の水産と海洋を結びつけるいわゆる水産海洋が学問的に研究されはじめてからすでに十年以上になるが、今日海洋汚染問題が大きくクローズアップされてきているとき、その使命を果たすべきこの研究が進歩していないために、イニシアチブをとるに至っていないことは、まことに残念なことである。これは自然界の浄化能力や物質循環の状態と海洋生物の関係をよく把握していないからにほかならない。海が荒れてくると酸素は海水中に溶解し、プランクトンの繁殖を促し、魚類はこの索餌好調のチャンスをうかがい、魚礁を離れ出し、海の静かな折は逆に魚礁に寄棲している。回遊魚においてこれとは違った行動をとるし、潮目などの漁場は時化とともに一変し、回遊魚の移動も変わってしまうことなど重要なことが解明されていない。

漁法の科学化、漁具漁撈装置の省力化についても総合的な科学性の發揮についての研究が十分おこなわれていないので、個々の省力化ができても全体として大して人減らしになっていないのが現状で、将来は総合的な自動化や計器漁法が発達し、そこからまた新しい漁法や漁撈装置が産み出されてゆこうし、さらに情報を離れたところに送るテレメータリングは、魚群と環境の動きを一連の測定器に乗せて漁船に報知せしめるほか、魚群探知器の遠距離への搬送により、基地よりの操業指示を可能にするテレサウンダーも漸次活用期に入り、科学的な漁法が21世紀には完全に実用化されるものと推測される。

21世紀に入ると人間は巨大な、そして組織化された漁業を管理し、海の未開墾地は開拓され、工業的な規模で海洋生物が広く人類に利用されるようになるろう。

陸上動物に比して品種改良がおくれている海洋生物も、有用魚貝類を中心にして成長に対する栄養、環境および遺伝学の発達と、その応用研究が進んで、無毒フグや陸封ウナギや一年生アワビなどがつくられて人類に大いに貢献しよう。

さらに21世紀の漁業は、計画的に漁業生産をおこない、自然環境は保全され、人類のために栄養上はもちろんのこと、海の自然とその生物の美しさを提供し、人間生活の美化、浄化に寄与し、余暇を過ごす絶好の場所と材料をもたらすことになろう。

漁業者も、その経営者も生活や所得が向上し、国も水産業に力を入れ、国際社会においても同様に漁業に対する大きな投資と保護がなされて、海洋汚染などの心配のない自然の海がよみがえってくることを21世紀への夢としたい。

付 「21世紀の技術予測」のまとめ

一 農林水産業に対する社会的要請

農林水産業に対する社会的要請はなんであるかを、科学技術庁の「技術予測報告書」から拾って整理すると、付図1のとおりである。この「技術予測」は、「医療保健」、「食糧・農業」、「社会開発」、「情報」、「工業資源」の五部門に分けておこなわれ、「食糧・農業」部門においては、将来の科学技術開発の前提となる社会的経済的要請について、一三の仮説大項目とその細分項目を設定し、その重要度を、人文科学系、社会科学系、工学系をふくむ二六一人の有識者にアンケート調査により答えてもらったのである。

付図1で注目すべきことは、農林水産業に対する社会的要請の第一が、「環境保全への寄与」であったことであり、それに僅かに劣る重要度で、生産性の向上があげられ、ついで流通の合理化、野菜・果実の安定供給などが上位を占めている。この傾向は、はからずも日本の農林水産業の問題点を浮彫にしたともいえる。

以下、順をおってこれらの要請の背景を検討してみよう。

一 環境の保全

農林水産業に対する社会的経済的要請が最も強い項目は、「自然生態系の機能保全への積極的寄与」であり、「生活環境の美化浄化への積極的寄与」に対する要請もかなり高い。

元来農林水産業は、このような社会的効用が皆無であったわけではないが、食糧、飼料、衣料、木材などの資源生産という経済的効用が主眼となって発展してきたものである。それにもかかわらず社会的効用に対する要請が経済的効用に対する要請よりも高くなったことは、農林水産業に対する識者の要請の大きな転換であり、今後の農業科学や農業政策の推進においてとくに留意する必要がある。

環境保全に対する要請が高いという傾向は、農林水産業に対する特別な傾向ではない。経済成長政策がもたらし

たひずみとして、各種公害が国民的な関心事としてクローズアップされるようになって以来、全産業に対する国民的な要請である。このことは同時に実施された工業・資源部門や社会開発部門の調査結果においても、公害防止への要請がきわめて高いことや、総理府などで実施されている一般の世論調査においても、経済成長より公害防止といった傾向が強くなっていることからもうかがうことができる。

いずれにしても、このような要請が強いことの背後には農林水産業が大なり小なり自然浄化機能をもつ生物を利用して生産活動をおこなっており、その生産活動を通じて自ずから自然浄化に寄与できる面をもっているとの期待があるであろう。しかし、農林水産業がこのような要請に積極的に対応するためには、農林水産業自身が環境破壊の源になっている場合の防止はもとより、自然生態系と農林水産業との関係の解明や自然生態系にマッチする農林水産業技術の研究開発が非常に重要になるであろう。さらに人間の生活環境の美化などに寄与するためには、生態系と人間行動との調和が必要であり、人間の感覚や行動といった精神的側面の研究など幅広い研究開発の推進が必要となる。

環境保全に対する要請に対して、農林水産業の側からの可能性をみると、現在林業が最も有力である。林業は国土保全、治山治水とともに人間生活に潤いを与える景観的立地的機能が第一義的に論じられなければならない時期にあるといわれ、積極的に寄与できる可能性を多分にもっている。付図1において木材資源の生産に対する要請があまり高いことからしても、国内における今後の林業技術の推進にあたっては、こうした方面への配慮が必要であろう。また、植物を通じての自然浄化の他に、自然界に無限に存在する微生物の中から汚染浄化に効率的な微生物を選び出し、これを利用して一部の汚染浄化を積極的に促進できる可能性もある。世界的にみても技術水準の高い日本の発酵工業の技術を応用して、こうした方面からの寄与も期待される。

地球は大きな宇宙船である。人類の永遠の繁栄のためには、これを破壊しないような最適な地球の管理システムといったものが必要であり、その範囲内においてのみ人間活動が許容されるものである。農林水産業としてその例外ではありえないのであり、トータルシステムと調和させながら生産活動を推進する必要がある、トータルシステム

にマッチする農法の確立が必要である。

二 生産流通のシステム化

環境の保全について社会的経済的要請が高い項目は、「生産体系および生産過程のシステム化による生産性の向上」であり、「鮮度を保持し、需要に応じた食品の供給」がこれに続いている。

① わが国の農林水産業、なかでも農業の実態を一言で表わせば「小規模零細経営」である。わが国の農業が高度化されたとはいえ、土地生産性では世界平均の約八倍で最高のオランダに次ぐ生産性を示しながら、労働生産性ではヨーロッパの六分の一、アメリカの二〇分の一という低さであり、欧米諸国と格段の開きがある。

国内的にも経済の高度成長のなかにあつて、農業生産は鉱工業部門の急速な発展に追いつけず、国民経済における農業の相対的地位は低下するばかりである。また、労働生産性の伸びにおいても工業のそれより低く、その格差は年とともに拡大の傾向にある。

わが国の農業が国際競争力を持ち、鉱工業部門と均衡する利益を享受するためには、農業に対する投資をふやし、近代化によつて生産性の高い農業に転換させねばならない。しかし、第一章でも述べたように、近代化の方向として今日まで採られてきた生産の各過程における個別技術の開発による生産性の増大には限度がある。今後は、個別技術をシステムの組み合わせ、生産過程や管理体系を全体として合理的な技術体系に組み立て、生産性の向上をはかる必要がある。また、情報処理技術などの先端的な省力化技術を導入することによつて、装置化・システム化を進め、農業も工業と同様な近代化した企業的農業へと成長させることが要請されている。

さらに、多様化する食糧需要の動向に農業生産を即応させ、必要な食糧を効率的かつ安定的に供給する産業に育てる必要がある。このためには、生産・流通などに関する全国的な情報網の整備をはかるとともに、長期的な気象予報や生産見通しの精度を上げ、さらに需要予測をおこないながら生産を誘導していく必要がある。

② 一方、食料品を消費者価格の面からみると、一部の生鮮食料品の供給不足があるにしても、加工食品や外食

などの値上りにより根強い騰勢が続いている。さらに、食糧需要の高度化に対応する産業構造の変化を反映して、食料品の消費者価格に占める流通経費と加工経費の比率が増大している。生産の合理化による生産費の低減はもちろん必要であるが、加工流通部門の改善も強く望まれているところである。

また、食糧消費の多様化とともに、主産地形成による産地の大型化と消費地からの遠隔化、さらに都市への人口集中による大量消費の進展などによって、流通を一層複雑なものにしている。生産と消費におけるこうした変化は、今後一層進展するものと考えられ、鮮度を第一とする食料品は、その取り扱いに最大の努力が払われなければならない。

以上のように、流通の合理化と流通過程における食品の鮮度保持対策が一層重要性を増している。こうした要請に応えるためには、交通網の整備、包装加工技術の開発、コールドチェーン網の整備など物的流通機構の整備が重要であるとともに、生産物を需要にマッチして効率的に市場に供給できるように、情報システムの整備や効果的な保蔵技術の開発も重要である。

③ なお、加工食品に対する要請は、付図1にみられるように一三項目中九番目と意外に低い結果になっている。これは、アンケート対象者がやや高齢な男性が中心で、所得水準も比較的高いと考えられるから、食生活のインスタント化・画一化に対する一種の反発か、あるいは手料理に対する郷愁があったのかも知れない。それはともかく、この調査結果における加工食品に対する要請の低さは、現代における加工食品の急激な増大、家庭料理の簡便化の傾向と一致しない面をもっており、今後の動向を注意しながら見守っていく必要がある。

三 食糧等資源の生産

食糧、飼料、衣料、木材などの資源生産のうちで最も要請が高い項目は、「新鮮な野菜・果実の安定供給」であり、次いで「タンパク質食糧の安定供給」があげられている。国民の主要食糧である「穀類の安定供給」については、米の生産過剰という時代的背景によるためか、「新しい食糧、飼餌料の創製・開発」よりも要請が低い。

① 資源生産のうちで、社会的経済的要請が最も強い「新鮮な野菜・果実の安定供給」については、一三項目中第四番目のものであるが、回答者の七八%の人が非常に重要としている項目である。このことは、これら農産物が今後の食生活の多様化により一層の需要増が見込まれる反面、作付面積や作柄の不安定性などによる供給量の変動が大きい農産物であり、かつ輸入に依存し難いものが多いなどにより、資源生産のなかで最も要請が高くなったものと思われる。とくに、野菜は物価上昇の主因視され、その対策が強く望まれているが、小項目において「果実」よりも「野菜」の安定供給が強く望まれていることは、こうしたことを一層明瞭に示していると思われる。

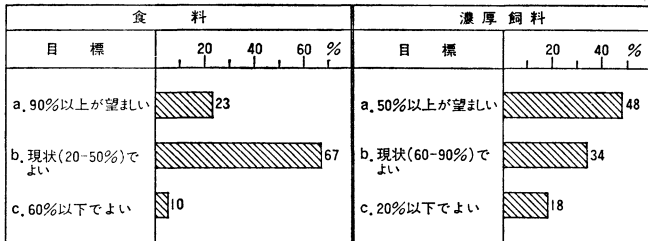
しかし、「食生活の多様化に対応する種々の野菜・果実の生産供給」への要請は、野菜・果実そのものの安定供給よりかなり低い。食生活の一層の多様化が各方面で予想されておりながら、このような傾向がでて意意外な感もする。

② 「タンパク質食糧の安定供給」についても、要請はかなり強いといえる。これは所得水準の向上による食生活の高度化を背景とした総タンパク質摂取量の増加と、動物性タンパク質への依存度の上昇など、食生活の質的変化への対応を求めたものである。とくに、タンパク質資源の供給源としては、小項目にみられるように、畜産物よりも水産物への要請がやや高くなっており、水産業に対する将来への期待が大きいことがうかがえる。しかし、四面海に囲まれた水産国日本といえども、水産業が近年の漁獲量の停滞傾向を打破して、この要請に応えるためには、外洋における新漁場の開発や、他産業部門における海洋開発との調和を図りつつ資源培養型漁業への移行に待つほかないであろう。

また、畜産物にあっても、今日までの国内生産量は飛躍的に増加し、食生活の高度化に大きな役割を演じてきた。しかし、飼料の自給率を考えると、わが国の畜産業は必ずしも安定した産業とはいえない。歴史の浅い日本の畜産業が農林水産業の一部門として定着するには、海外資源をも含めた飼料資源の開発と安定確保に相当な努力が必要であろう。

③ 従来の食糧や飼餌料と異なった「新しい食糧・飼餌料の創製・開発」については、半数近くの人が非常に重

付図2 穀類における自給率の目標



資料：科学技術庁「技術予測報告書」

要としている。これは、従来の食糧エネルギーの生産方式とは基本的に異なる新しい食糧産業誕生への期待がかなり大きいことを示している。すなわち、急激な人口増加によって将来おこるかもしれない食糧不足に対処する手段として、あるいは安価で良質な飼料を得る手段として、こうした技術開発への期待が大きいことを示している。とくに、小項目にみられるように、新しいタンパク質資源の開発に対する期待が大きいことは、最近クロレラ・ゾアアップされてきた石油資化菌やクロレラなどに対する期待が大きいことを示しているであろう。

④ 穀類は、消費量の減少傾向が著しいとはいえず、わが国の食糧のうちカロリー量で二分の一、タンパク質量で三分の一と、いまだ重要な地位を占めている。しかし、「穀類の安定供給」に対する要請は、新食糧・飼料資源の創製開発よりも低く、異常と思われるくらいの低さである。これは、近年における需給の緩和、安定的な生産技術の定着化、今後一層の消費減退の可能性、さらには米の生産過剰など諸事情が大きく反映されたものであるが、時代の移り変わりを痛感せずにはおられない。

また、穀類の自給率に対する要請についても同時に調査しているが、付図2にみられるとおり、食糧用では現状程度でよいという人が非常に多い結果となっており、安定供給に対する要請と同様な傾向を示している。

⑤ 以上のほか、農林水産業には食糧工業原料、衣料原料などの生産、さらには木材資源の生産など広範にわたる資源生産がある。しかし、これらはいずれも輸入品との関係や需要構造の変化などによって、その役割は大きく低下しており、林木を除けば地域の特産品の性格が強くなっているものである。こうした時代の

移り変わりを反映して、これらに対する要請が低くなっているものと思われる。

四 国際社会への寄与

「日本農林水産業の技術は、世界の食糧問題の解決および環境保全に寄与する必要がある。」という項目に対して、七〇%近くの人が非常に重要であるとしている。

この項目は、農林水産業が日本国民に対して果たすべき社会的経済的役割とはやや性格を異にする。しかし、高度な経済的発展をなしとげた日本にとって、各種の国際協力あるいは国際社会への積極的寄与は、世界に対して果たすべき任務であるといわれている。こうしたものの一環として、世界的に高水準にある日本の農林水産業技術に大きな期待が寄せられているのであろう。

すなわち、開発途上国における急激な人口増加によって世界人口は急速に増大している。一方、この人口の栄養源を確保するための食糧生産は、伸びが小さく、第一章でも分析したように世界的な食糧不足が心配されている。しかし、食糧問題は全人類が一致協力して解決しなければならぬ問題であり、日本の農林水産業は労働生産性が低いとはいえ、世界的に高い技術水準にあるところから積極的に寄与できる面を多分にもっている。

また、現在問題になっている環境汚染や環境破壊は世界的な規模で進行している。生態系の頂点で生存する人類が永遠に繁栄を続けるためには、環境問題は解決しなければならぬ至上の課題であるが、一国のみの努力によって解決できる性質のものではない。公害先進国といわれるわが国が、自国での問題解決の施策を強力に進めるとともに、開発された技術によって、世界的な環境保全にも積極的に貢献することが必要であらう。

二 農林水産技術への期待

農林水産業が果たすべき社会的経済的役割は、前項でみたとおり、これを取りまく諸環境の変化に応じて大きく変わりつつある。このような変化を的確に把握して、農林水産業を国民の要請に即応するものに誘導するための施

付図3 経済的要請を達成するための技術の重要性

分類	項目	重 要 度										
		今後10年以内			10年以降 30年以内							
		%0	20	40	60	80	%0	20	40	60		
基	安全な農業の開発	81					72					
	遺伝・育種学の進歩に基づく優良品種の育成	67					72					
	微生物利用による安全な食糧・飼料の生産	46					49					
	効果的な肥料の開発	35					46					
	未利用生物資源の開発	33					45					
	効果的な環境調節剤(材)の開発	33					49					
	化学的合成による食糧・飼料の生産	30					49					
	生体機能の利用による食糧・飼料の生産	21					43					
	イ	自然生態系の保全を考えた農畜林水産業の排出物処理システムの開発	73					79				
		生産物の加工・貯蔵・流通の一貫システムの開発	70					69				
気候・土壌・水資源に基づく農林水産業の適正な配置		63					63					
自然環境保全を考えた林分の配置・育成・伐採の全国システムの開発		55					65					
海洋牧場(資源培養型漁業)システムの開発		52					71					
農林水産技術の普及・指導サービスのシステム化		50					53					
農耕地の生産工場化		46					58					
病害虫発生予測の全国的システムの開発		46					43					
多頭羽飼育方式の開発		36					44					
新漁法の開発		33					42					
施設農業システムの開発		32					50					
種殖造林および施設育苗システムの開発		27					38					
ロ		人畜・魚介類に安全で効果的な病害虫・雑草対策法の開発	68					64				
	食品加工における安全処理と栄養強化の方法の開発	67					61					
	貯蔵流通システムの合理的な管理方法の開発	58					56					
	家畜・家さんの生産をあげる多頭羽飼育管理法の開発	49					47					
	作物(牧草を中心)の正常な生育を助ける栽培管理法の開発	46					57					
	効果的な気象災害防止法の開発	38					44					
	食品加工法の高度化	37					43					
	林分の合理的・省力的な保育法の開発	34					36					
	作物・牧草・林木の光合成能を長期に亘り維持する栽培管理法の開発	30					44					
	作物の転流・登熟の効率化をはかる栽培管理法の開発	25					35					
基	効率的な農業機械の開発	56					43					
	多頭羽飼育用各種畜産機械の開発	48					43					
	耕地面積・施設内環境の制御装置の開発	35					47					
	効率的な食品加工機械の開発	35					43					
	海洋牧場の計測制御機械の開発	33					53					
	耕地環境・生育状態の自動計測装置の開発	31					39					
	効果的な林業機械の開発	29					35					
	新しい漁撈用機器の開発	25					43					

資料：科学技術庁「技術予測報告書」

注：この調査は、今後10年以内と、10年以降30年以内の時期区分ごとに各項目の重要性を調査したものであり、重要度は、付図1に準じて算出した。

策が各方面において必要なことはいうまでもない。こうした施策の一つとして、要請に即応する農林水産業技術の開発と実用化への努力が非常に重要であり、また、期待されることも大きい。

農林水産業が前項でみたような要請に即応して発展していくために重要と思われる技術開発の方向を示すものに付図3がある。

この調査においては、農林水産業に関係する技術的事項を、付表1のような概念によって「材料技術」、「システム技術」、「コントロール技術」、「機械技術」の四つに区分しており、順を追って技術開発への要請が高い項目をみてみよう。

一 材料技術

① 材料技術のなかで最も重要度が高い項目は、「安全な農業の開発」

付表1 技術区分の概念

区分	技術の概念
材料	<ul style="list-style-type: none"> ・食糧、飼料、餌料の生産に関する各種生物（作物、家畜等） ・各種生物の活動を維持調節する物質（土壌、水、農薬、肥料等） ・生物的方法と化学的方法によって生産される物質（菌体タンパク、化学合成アミノ酸等）
システム	<ul style="list-style-type: none"> ・目的とする生産物をより多く、より効果的に生産するために、環境条件と技術条件を考慮して、個々の生産過程を適正配置する系―「生産システム」 ・生産現場で生産された生産物を需要に応じて、合理的に分配する系―「流通システム」 ・生産現場と科学技術の研究の場との間、生産現場と消費現場との間の生産および流通に必要な情報をスムーズに伝達する系―「情報システム」
コントロール	<ul style="list-style-type: none"> ・変動する環境条件に対応して、①農林水畜産物の生産の効率化および②農林水畜産物の消費の合理化を目的として、各種システムに加える物理的、化学的、生物学的な操作
機械	<ul style="list-style-type: none"> ・上記の各種操作を行なうために必要なハードウェア（機、器、装置等）

であり、この項目は全技術項目中でも最高の重要度を示している。

農薬は、農林水産業全般を通じて欠くことのできない資材であり、近年におけるめざましい新農薬の開発は、生産性の向上に大きな役割を果たしてきた。しかし、一方では食品における農薬の残留・蓄積や自然生態系の破壊などが大きな社会問題となっている。したがって、今後の農薬開発においては、農林水産業の生産性向上に有効かつ効果的なものであることはいうまでもないが、今まで以上に安全性の点で厳重な配慮が必要であろう。時期区分別の重要度の移り変わりからみると、今後一〇年以内にこのような方向への発展の基礎固めがなされるものと思われる。

② 農薬に次いで重要度が高い項目は、「遺伝・育種の進歩にもとづく優良新品種の育成」である。

農林水産業の生産の基本である各種生物は、人間の生活によって合目的な改良がなされ、生産性の向上と食生活の多様化に大きな役割を演じてきた。とくに、戦前における小麦や戦後における米の多収性品種の育成は、食糧増産への要請に応えたものとして高く評価されている。現在の栽培品種は、今日までの育種技術が国民の要請を

集大成した最高の実用品種であるといえよう。しかし、生産性についても今一層の高収量品種の育成が望まれ、さらに栽培様式や国民の嗜好の変化、とくに量から質への変化など生産・消費の両面における要請の変化に対応する品種を育成する必要がある。

品種改良の技術としては、従前の育種方法の効率化はいうまでもないが、現在めざましい進展をみせている分子生物学あるいはライフ・サイエンスなど基礎科学分野における成果の応用に、非常に大きな期待が寄せられている。

③ 材料の開発において第三番目に重要度が高い項目として、「微生物利用による安全な食糧・飼餌料の生産」があげられている。

人間は、食品加工や薬品製造などに微生物を間接的に利用してきたが、近年になって、微生物の旺盛な繁殖力によって生産された菌体を直接利用しようとする試みがなされており、石油資化菌、リグニン資化菌、クロレラなどは相当有望視されている。とくに、石油資化菌は、安全性確認になお多くの問題を残しながらも、濃厚飼餌料生産のひとつの手段として将来大いに期待がもたれている。この方法で安全で安価な濃厚飼餌料が生産されるようになると、飼料自給率が低いわが国の畜産業の発展や、飛躍的な発展が望まれている資源培養型漁業の推進にとって、非常に有意義なものとなる。

さらに、食品加工技術の進歩にともない、これら菌体から抽出したタンパク質などの成分を直接人間の食品として加工した製品が市場に出まわる日が到来するかもしれない。

このような方法による食糧生産が可能になれば、従来の太陽光をエネルギー源として利用してきた食糧生産に対する大きな革命が起こることになるが、しかしそれはあくまでも農業生産の補助手段としての役割を果たすにとどまるであろう。とはいえ、この方法で大量かつ安価で安全な食糧生産が可能になれば、人類の繁栄に計りしれない貢献をもたらす可能性もうかがえる。

二 システム技術

① システム開発は、全般的に重要度が高い項目が多く、システム化のための技術開発が重要な事項であることがうかがえる。これは従来の技術が個別的で、その採用によるインパクトを十分評価していなかったことを多くの人が認識しはじめたからであろう。

これらのなかで最も重要度が高い項目は、「自然—生態系の保全を考慮した農畜林水産業の排出物の完全処理システムの開発」である。この項目は全項目を通じてみると、今後一〇年以内では重要度が第二番目のものであり、一〇年以降三〇年以内では重要度が最も高くなっている。

排出物に起因する環境汚染は、農畜林水産業のみの問題にとどまるわけではないが、人間が健康で快適な生活を送るとともに永遠の繁栄を続けるためには、ぜひ解決しなければならない問題の一つである。

とくに、農畜林水産業の排出物の一つとして最も大きな社会問題となっている家畜の糞尿は、畜産経営の規模拡大と集団化、さらには農耕様式の変化、農村地域の市街化などにより一層問題を大きくしている。また、食品加工工業などにあっても他産業と同様に規模拡大やコンビナート化により排出物も大量化・集中化され、汚染を一層著しくしており、その対策として汚染源の完全処理などのシステム開発が強く望まれている。

② つぎに重要度が高い項目は、「生産物の加工・貯蔵・流通の一貫システムの開発」である。

生産地と消費地が接近しており、市場が小さく食生活が単純であった場合には、生産物のシステマ的な流通はあまり重要ではなかった。しかし、産地の大型化と消費地からの遠隔化や消費の多様化が進むに従って商品の流通は一層錯綜化する。これに対処して新鮮な食品を確保し、食生活を豊かにするために生産と消費をつなぐ加工・貯蔵・流通システムの高度化が必要であり、生産と消費における現代的な変化の実態からみると今後一層重要性を増してくるであろう。

③ 第三番目に重要度が高い項目は、「気候・土壌・水資源に基づく農林水産業の適正な配置」である。

農林水産業は、自然環境的な制約を克服するために冷害等に対する抵抗性品種を育成するとか、各種資材を用いて生物を保護するなどの努力が図られている。しかし、このような方法によって生産されるものは全生産量からみ

ればごく一部であり、大部分のものは気候・土壌・水資源等の自然環境条件を無視しては存在しえない。

一方、日本は南北に長く、気候条件は北と南で大きな差がある。この特徴を逆に利用して野菜のリレー栽培などをおこなえば、同時に多様な新鮮野菜が供給できるなどの利点となりうる。

自然環境条件にマッチする作物をそれぞれの地域に配置して、日本全体として、あるいは世界全体として、需要にみあった最も効率的でかつ食生活を豊かにする農林水産業生産システムの確立が必要であろう。

④ 重要度が前記項目にほぼ同じものとして、「海洋牧場(資源培養型漁業)システムの開発」がある。

海洋は、広さからいってもそこに棲息する生物の種類や量からいっても大きな役割を果たしてきたが、収奪漁業による水産物の生産増大にはおのずから限界がある。漁業が漁獲量を増し、動物性タンパク質の供給という役割を果たすためには、陸上において採取から栽培へ、狩猟から飼育へと進んだと同様に、海洋においても積極的に資源を培養する漁業へと移行しなければならないであろう。しかし、海洋の環境条件は陸上とは異なり、人間活動には厳しい環境条件であり、魚の管理にも多くの問題をかかえている。このような条件のもとで、資源培養による生産効率を上げるためには、高度な管理システムの開発が必要である。とくに、資源培養型漁業は、最近クローズアップされている海洋開発の一環として注目されているものであり、重要度における時期区分別の推移からみても、未産業として期待されているものといえよう。

⑤ つぎに「自然環境の保全を考慮した林分の配置・育成・伐採の全国的システムの開発」が、第五番目としてあげられている。

近年の急速な社会環境の変化によって、森林に対する価値評価が大きく変わりつつあり、保健休養的あるいは自然環境保全的な機能が重視されるようになってきていることは前項で述べたとおりである。このような要請の変化に対応して、その機能が十分発揮できるように林業技術の確立が必要である。また、このような技術は地域地域において確立されることは当然必要であるが、生態系の広がりからみて全国的なシステムとして確立することが必要であろう。

⑥ 以上のほかに、情報システムとして「農林水産業技術の普及・指導サービスのシステム化」の重要性があげられている。

近年、農林水産業技術はますます専門化高度化の方向にある。このような技術を迅速的確に伝達するため、めざましい発展をとげている情報処理技術の導入をはかり、全国的な組織体制を検討することが必要であろう。なお、情報システムは技術情報のみにとどまらず、病害虫、生産・供給、市場動向なども含む総合的なオンライン・情報システムの確立が必要である。

また、「農耕地の工場化」、「施設農業のシステム化」といった生産過程の装置化・システム化に対する要請もかなり高い。飛躍的な労働生産性の向上が望まれている農業にとっては、最適な装置化・システム化の確立が必要である。

三 コントロール技術

① コントロール技術のなかで重要度が最も高い項目は、「人畜魚貝類に安全で効果的な病害虫・雑草対策法の開発」である。

農業の使用は、自然生態系の破壊や人体の健康障害をもたらすなど、大きな社会問題を惹起している。こうした問題に対処するには農業そのものを安全なものに改良する必要がある、それは(一)材料技術のところで取り上げた。しかし、他方では農業を使用しない病害虫や雑草の防除法が可能になればそれに勝るものはなく、自然生態系における生物のバランスの原理を利用した病害虫や雑草の総合的防除など、こういった方向での対策法の確立が重要であろう。

② 次いで重要度が高い項目に、「加工食品における安全処理と栄養強化法の開発」および「貯蔵流通システムの合理的管理法の開発」がある。

農業生産における季節性地域性を解決する手段の一つとして、貯蔵・流通技術の開発とともに加工技術の開発が

必要である。加工技術そのものに対する要請は、付図3にみられるように、あまり大きくない。しかし、最近食品添加物をふくむ食品の安全性が問題にされることが多く、加工工程中で貯蔵性、外観、食味、風味などの改善あるいは栄養強化のためにおこなわれる各種処理については、製造された食品の安全性を保証するような処理技術の開発が重要であろう。

また、食品の鮮度を保持するために冷凍工学や輸送工学など工学部門における成果を導入するとともに、食品の生物としての特質の究明などによって、より高度な貯蔵技術や流通技術の開発が重要である。

③ 以上のほか、作物の連作障害あるいは土壌構造の悪さなど、土壌に起因する生育障害を解明し、さらには、土壌を作物の生育に適するように積極的に改良することによって作物の健全な生育を図るような技術の開発も重要とされている。

また、気象条件は農業の生産力を支配するもののうちで最も大きな要素である。毎年、長雨、干ばつ、凍霜害、冷害、雹害などが各地で大きな被害を与え、生産を不安定にしている。こうした気象災害が効果的に防止あるいは回避できるようになれば、農業生産の安定化に寄与するところが大きく、気象予報精度の向上と局地的な気象制御技術の開発も重要とされている。

四 機械技術

機械の開発に対する重要度は、材料、システムおよびコントロール技術の開発に比較して相対的に低い。このことは、今後における機械の開発が個別作業に対応する個々の機械の開発の時代は通り過ぎ、生産あるいは流通などのシステム化を進めるなかで、それに必要な部品のもの、あるいは総合的なシステム装置などの開発が重要になってくるからであろう。

こうしたなかにあつて、「効率的な農業機械の開発」および「多頭羽飼育用各種畜産機械の開発」については比較的重要度が高い。これは、野菜や果実の栽培の機械化に必要な機械や畜産の省力化に必要な機械の開発に対する

要請であろう。

また、「海洋牧場用の計測制御機械の開発」は、重要度が一〇年以内に比べて一〇～三〇年が高く、かつその差が全項目を通じて最も大きい項目である。こうした重要度の時期区分による移り変わりは、「海洋牧場システムの開発」と同様の傾向があり、漁場制御のための各種計測機器の開発が海洋開発の進展につれて一層重要になることを示している。

第六章 21世紀への展望（座談会のまとめ）

奥野 この座談会の趣旨は、われわれの「21世紀の技術予測」の仕事も終わり、食糧の問題・農業科学の発展方向についての分担執筆もほぼ終わった段階で、それぞれの章では十分には論じられなかった、あるいは、取り残された問題について、忌憚なく意見を出しあっていただいたいことです。一応の筋書きとしては、21世紀には、食糧が足りるのかどうか、肉や魚は十分に食べられるのか、という論点からはいり、食生活の形態がどう変わるか、あるいは変わらないかを論じていただいたうえで、供給の側から、農業生産にまつわる技術・科学の問題を取り上げ、それから派生する新しい食糧資源や食品の安全性の問題にもふれていただきたいと思います。

食糧にかんする価値観をめぐって

渡瀬 21世紀の人間の価値観というものがどういう形をとるか、そこに問題があると思います。私は財界の方

方と資源問題を扱う委員会で検討しているのですが、こでの私の主張は、石油にしても何にしても資源というものには人間の価値観を増大させるために使うものだから、公害だとか自然の生態系を乱すようなやり方は、どんな産業でも認められないのだということです。じゃ、人間の価値観のなかにはいるものは何かというと、やはり、食糧であり、衣料であり、あるいは、住宅・環境ですね。それから美観というようなものはいってきいていいのじゃないか。そういうもののために、食糧の生産もし、工業製品もつくらなくっちゃいけない。

奥野 今おっしゃった価値観というのは、人間の活動は何のためにおこなわれるのかというところまで広げられたのですが、私は、食べものに関する価値観に限定しますと、穀物だけ食べて命が繋がっていけば満足するのか、肉やおいしい魚も食べたいというのか、その辺のところの価値観はどうか、というあたりからはいって

いきたいのですが……。

松中 この前私たちが議論したとき、畜産物を食べるのは、植物がせっかく食物として蓄えたエネルギーの十分の一しか利用しないことになる。植物のまま食べるなら、(第一章でも指摘したように)今のところ地球上の人口を養うだけはある勘定になるけれども、畜産物に転化して摂る割合がふえると、非常にあぶなくなるだろうという予測をしたわけです。現実には、世界中には今でもかなり飢餓地帯があるけれども、銀座あたりでは、すき焼をつつきながら、この牛肉はまずいなあというようなことが語られている面もあります。このような違いを、われわれの責任において、こんごう考えていったらよいのか、国家の枠をはずして考え、地球上の人口増が今のままつづくかぎり、食糧が絶対的に不足することは明らかだから、「畜産物は食わんでおこう、第一次生産物だけで何とかやっていこう」と決心するかどうかです。幸い、タンパク質の問題については、植物タンパクだけでは、リジンやスレオニンが不足するという問題は、アミノ酸発酵工業のサポートがあれば解決できそうです。だから、水産物は別として、畜産物はとらなくても、栄養学的には何とかいける、というわけで、第一次

生産物である植物性食糧をそのまま摂っていくという、どちらかというと、一種の耐乏生活ですね。それを全人類に強制していくのか、あるいは、ぜいたくしたい人には畜産物のうまいものを食わすべきか、その辺がわかれ目だという気がしますね。

山本 それが結局、今、渡瀬さんのおっしゃった価値観の認識の一番基本になっていると思うんです。それで、私自身、今日の論点になると思ったのは、この21世紀の食糧・農業科学というものを、われわれ日本人を主体に考えるのか、世界的規模でとらえるのかという点です。だけど、日本人主体に考えても、外から食糧が輸入されないかぎり、日本は耐乏生活をしなければならず、しかし、外国から食糧を得ることはだんだん難しくなってくるという前提に立って物を論じるべきではなからうかと考えています。

松中 水産に関して、渡瀬さんの御意見を伺いたいのですが、例の「とりすぎ論」ですね、これは、陸上の農産物の世界中のバランスを考える以上に、水産物は海でつながっており、世界共通の富だという解釈からしても、日本のとりすぎ論的な批判が出てこないかと心配するのですが、私の先に申し上げた、みみっちいという

か、飢餓を前提に考えた、お互いに助け合わねばならぬという思想からしますと、日本は水産業の能力があり、漁獲の能力があるから魚を獲るのだということではなくて、それを再分配するというような、なにか世界的規模で物を考えねばならないという気がするんですが。

渡瀬 結局、魚っていうのは、国境がなくて、今までは力のある国がとってきたわけですよ。ところが、戦後に独立した多くの国が、一九六〇年にできた海洋法に対して、これは先進国がつくったものだとして非常な反発をしております。海洋法会議の前に、一応、世界各国の主張がでそろったわけですが、ほとんどの国は沿岸から二〇〇マイルを経済水域、これはまあ排他的経済水域ともいふべきものですが、これを主張しています。この二〇〇マイルの経済水域は、おそらく近い将来に、国連の海洋法会議で採択されるようになるでしょうし、そうなった場合には、今おっしゃった資源のとりすぎ、乱獲というようなことはできなくなる。とくに、カリブ海諸国などは、自分たちの沿岸から二〇〇マイルの海は、世襲海域、先祖代々からうけつがれた海なんだ、だからここには他人を入れないんだ、という主張をしています。しかし、国によっては、自分たちには力はないんだから、経

済協力してくれば、ライセンスを発行してとらしてやってもよいところもあります。経済水域の性格なり内容は国によっていろいろ違ってきます。ですから、こんごは、世界人類の共通資源としての水産資源を確保するという方向になると思います。ただ今までのような漁業をすることは非常にむづかしくなるわけですから、日本やソ連のような漁業先進国にとっては、かなりむづかしい事態になり、遠洋漁業は後退を余儀なくされると思います。

田村 ちよつと戻りましてね、食糧が足りるか足りないかという論議で、穀物だけを食べる——まあ、今の言い方では耐乏生活ですね——それが可能になったのは、ごく最近のことなんです。それは、合成化学とか微生物を利用する工業とかが発達してきたからなんです。元来、ビタミン類、——ビタミンCとかB₁とか——そういうものは非常に足りないんです。そうすると、ビタミンCを補うために、くだものをつくらざるをえない。くだものは水ばかり。水ばかりというほどではないけれど、水分が非常に多いから食糧資源という意味からは、くだものをつくるのはつまらないことになる。

それと同じように、穀類だけ食べていけば、当然タン

パクの質が悪く、したがって動物を食べざるをえなかったわけですね。ですから、第二次世界大戦以前には、魚か畜産物を食べるというのは必要やむを得なかったわけですね。

それが戦後、微生物工業や化学合成工業が急速に進んだために、われわれは穀物だけを食べて、あとビタミンとか、必須アミノ酸のリジンとか、を工業製品で補えば、生きていけるという状態が生まれたわけです。だから、以前は肉を食べるの必要性があったことを認めよう、しかし、今後は肉を食べるのは、ある意味でわがままなんだ。そういう時代的な推移があるわけですね。

渡瀬 ええ、さつき山本さんがおっしゃったように、人間の価値観は日本側のサイドと、世界全体のサイドと両方から考えないといけないと思いますね。

肉食魚はおいしいが、肉食獣はまずい

田村 それから、魚の場合は食物連鎖のサイクルが二段階になっていくでしょう。ブリとかタイとかいうのは肉食魚だから、畜産でいえば、肉食獣のヒョウやトラにあたるわけですね。ブリやマグロを食べることは、ブタや牛を飼っておいで、それをヒョウやライオンに食べさせ

せ、そのヒョウやライオンを食べることに類するので。だから、水産の場合でも、サバやイワシのようなものしか食べないことにすれば、ブリとかタイのような現在の高級魚の一〇倍くらいの供給力があるわけです。

渡瀬 そこで、食物連鎖のリンクをひとつ下ればよいわけですね。ただ人間の価値観ということになると、やっぱりブリやタイやアワビが食べたいということになりますね(笑)。

田村 それはちょっと不思議なんです。動物でね、四足獣でいうと一般的に肉食獣はまずいわけですね。それが魚だと逆なんです。肉食魚のほうがうまいんです。

渡瀬 イワシなどのように植物を食べている魚はまずいですね。こういった魚を食べている魚、それをまた食べている魚、というようにピラミッドの上の方へいくほどおいしく、そこにマグロがいるわけです。

奥野 肉食魚のほうはうまくて、肉食獣はまずいというの、なにか成分的に説明できるのですか。

田村 さあ、そこまではわかんないですけど(笑)、たしかに一般的にはそうですね。だから猫は食わないのです。まあ家畜というのはいっぱいありますけど、猫

を食うという習慣はほとんどないですね。大までは食いますけどね。猫は肉食獣なんです。これはどうも世界的にかなり共通した感覚だろうと思いますよ。

松中 肉食用猫の品質改良はなかった……(笑)。えさとして動物性のものを与える必要があったことも原因のひとつでしょう。

田村 それはそうでしょうね。

松中 穀物や草を与えて、その肉を食べる動物のほうが楽ですからね。

今後の食糧問題と進歩の思想

内嶋 今後の食糧問題を考えるのに、非常に重要な前提が四つあると思います。一つは、やはり人口の爆発的な増大。第二番目は生活レベル向上へのあくなき欲求、別の言葉でいえば、進歩の思想。三番目は、生産技術と消費生活のマンモス化にもなる環境破壊と資源枯渇の拡大。四番目に、最近いわれている地球上の気候変動の大規模化です。この四番目というのは三番目とかなり密接に結びついているわけですが、やはりこの四つの点を、今後の食糧問題を考えていく場合、重要なポイントにしてスタートしなければいけないと思います。二番

目は、結局さっきいわれた価値観と同じなんです。最近のいろんな本によりますと、人間がいわゆる進歩思想を身につけて、昨日より今日、今日より明日、というように進歩しなければいけないという思想が身についたのは、たかだか三〇〇年か四〇〇年ぐらいといわれているんですね。そのあたりのいわゆる進歩思想が、教育全体を通じて、現在世界中の人間にしみこんでいる。それが結局拡大再生産というものを常に加速しているわけですね。だから、この辺のことが、今後いろんな農業問題を考えるときも、消費生活を考える場合も、あらゆるところにかかわってくるという気がするんですがね。だから、このいわゆる進歩思想を、今後の人間の思想・価値観・認識というものがどう克服していけるか、それがまた、資源問題や食糧問題の解決につながって行くんじゃないか、と考えるわけです。そして、それなしには、技術的な操作だけで解決する、またはできる問題はもうなくなつたのじゃないかという気がするわけです。

田村 しかし、その進歩思想は、世界全体にしみついているというのではなくて、主として日本とアメリカにだけあるんじゃないでしょうか。

内嶋 開発途上国における、戦後のいわゆる解放は、

先進国の人間と同じ生活をする権利をもっているという考え方を一般化させたと思うのです。日本もその一例になります。その実現が政府の大きな枷かぎになっているのではないかとすると、大量消費という方向へ必然的に動いていくと思うのです。

田村 それは途上国の知識層の一部にはそういうのがあるかもしれないけれど、三七億の人口の半分くらいはそういう考えではないという気がします。

内嶋 その付近はどうですかね。

奥野 それは私は田村さんに賛成ですね。インドでは、立派なヒゲをたくわえた人が道路上で悠々と生活している、そういう人々には進歩思想はない、あくせく働こうという気はないと思いますね。それでいて、インドは非常に魅力的で、永遠の国で、わが心の故郷なんですから(笑)。しかし、今内嶋さんのいわれたように、開発途上国もこの進歩思想にわざわいされてきつつありますね。ところで、内嶋さんは、それを抑えようということですか。

内嶋 いやいや。

奥野 それでは、それはやむをえない傾向と理解して、人類史上三〇〇年か四〇〇年しか経っていないけれ

ども、その進歩思想は抑制しきれないから、それに見合うような食糧供給を考えるのですか。あるいは、反対に、三〇〇年か四〇〇年の歴史しかもたないのだから、もう一辺もとに戻って「成長の限界」を考えることになるのですか。

内嶋 いや、地球上には、非常に大きなアンバランスがあるわけですね。だから、平均として、全体を上へ押しあげるのではなくて、下は上げるけれど、上は引きおろすという形にする必要がありますね。南北問題の解決と同じですね。

田村 その問題はね、人口問題とからんでくるのですよ。進歩思想というのがあって、「進歩は善だ」ということになれば、たとえば、人口を抑えてでもそうしようということになるのですよ。日本人なんかそういう状態ですね。個人個人の生活でいえば、子供をふやすよりは、生活程度をあげようと皆思っているわけです。ところが、世界全体ではそうじゃなくて、生活程度を上げるより子供をふやすほうが——神の摂理にかなうかどうか知らないけれども——大事なんだと考えている人たちが多いから、人口増加の終熄する希望が20世紀中にはもてないと思えますね。

内嶋 どうですかね、その辺は。物の消費の仕方から見ていった場合……。

松中 ぼくは田村さんの考えに近いな、人口問題に関しては。

山本 ただね、今日の結論めいたことになるんですけど、これからの農業科学においてはクローズド・システムを生産体系というのが非常に大きな問題になり、そうならざるをえないと思うのです。循環系の生産システムにならざるをえないという考えが世の中に定着してきますと、進歩思想というのも、結局そのなかで終熄に向かうような気がするのです。ただ、それは非常に希望的・楽観的なもの見方でしてね。だけど、いずれにせよ、好むと好まざるにかかわらず、そういう状態にならざるをえないと思いますね。今日渡瀬さんに伺おうと思っていたんですけど、たとえば水産でも、沿岸と遠洋の漁獲高の割合を見ますと、沿岸のほうが多いんですね。それは、もう当然だと思えます。魚の回遊ということもありますけれども、結局は沿岸を大事にしなければならぬ。クローズド・システムの思想というのは、それを早くとるか遅くとかは、国によって違うだろうし、その認識の仕方の深さも違うでしょうけれども、いずれにせ

よ、そういうことになるんじゃないでしょうか。そのひとつの現われが、われわれの身近なところでも、日本人の価値観の変化として、無意識のなかに芽生えているという感じがします。

エネルギー消費の南北問題

奥野 先進国が全部進歩のために人口を抑制している一方、開発途上国は人口をどんどん増大させていくと、どっちが資源を浪費しているかというような数字はありますか。

内嶋 それは出ています。

田村 エネルギーで見れば、アメリカはインドの五〇倍とかいうのですね。

内嶋 だいたい世界のエネルギーの四割をアメリカは使っている。

田村 一人当りで五〇倍といえますね。

内嶋 日本がいま一五%ぐらいですか。

田村 食糧でいえば、いわゆるオリジナル・カロリーという農産物のカロリーでいえば、いちばん高いところでは一萬カロリーですね。日本がだいたい五、〇〇〇カロリーで最低が二、五〇〇カロリーですから、日本はいわ

ば耐乏生活の二倍、アメリカやヨーロッパは耐乏生活の四倍ということです。食べものでいえば。

松中 インドの人口が倍増をしても、逆にアメリカが水準をちよつと下げれば、変わりないということになりますかね……(笑)。

田村 それはそうですな(笑)。ただ、上を引き下げることはむずかしいから、やはり下を上げること考えざるをえないということでしょうね。

松中 しかしインドに人口増をおさえるという権利はだれにもない。

田村 それはそうですね。

奥野 いま山本さんがおっしゃったクロード・システムの生産体系という、クロード・システムというのは、日本なら日本というような意味でのクロード・システムですか。

山本 そうじゃございません。資源を主体にしたものの考え方です。だから農業生産では、太陽エネルギーとしてエネルギーのインプットがあり、げんみつにいえば循環生産というのは必要ないわけですね。それに炭素、窒素が循環する形で成りたっていますね。ところが、ほかの工業では、明らかに資源の枯渇というのが非常に大

きな問題でしょう。だからどうしても循環再生産ということさせざるをえないけど、それをやってもなおかつ資源の限界ということがいわれておりますね。

だからそういう意味からすれば、食糧・農業科学というのは、かなり有利ですね。

奥野 だけれど、畜産を含めた場合もそうですね、畜産の場合は？

山本 それは次の段階に入るのでですね。こんどの田村さんの論文にもございますように、オリジナル一萬カリを支えとなると、えらいたいへんなことになるから、先ほど田村さんがなに気なくインドの人口をおさえる、あるいはアメリカの生活を引き下げる、そのどちらをとるかといったら、インドの生活を引き上げるほうをやらざるをえないだろうと、こうおっしゃったわけですが、それをやるとすると、ますますわれわれに負担がかかってくるわけですね。だからその可能性まで含めて、21世紀の食糧・農業科学というのは考えなければならぬ。この本のいちばんの論点になると思うのですね。

ちよつと問題がそれたようですね、そういう意味でクロード・システムということは、農業において

も窒素を主体に考えれば問題になります。再生産のエネルギーというのは、幸いにして太陽エネルギーというものが利用できる。だけれど、窒素のような物質の循環については、やはりクロロズド・システムというものを考えざるをえないという感じをもちます。

食糧生産への化石エネルギーの投入

内嶋 そこで非常に重要なことなわけですけれども、太陽エネルギーが入り、出ていくというスムーズな流れのなかに、生産性を上げるために、非常に近代的な工業生産システムと結びついて、化石燃料の形を変えたものが農業生産のなかに注ぎ込まれています。それによってはじめに高い生産性がえられている。現在の近代的な農業といわれるものには、だいたい一年間に一[㎡]当り二四一キロカロリーの化石燃料が投入されている。

山本 それは太陽エネルギー以外のものですか。

内嶋 太陽エネルギー以外のものです。これはだいたアメリカの値だと思えます。農薬をつくったり、窒素を固定して肥料をつくったりするエネルギーですね。こういう莫大なエネルギーを費やして、やっと現在の日本や西欧諸国、アメリカのような先進国においては、「収

量の離陸」といわれる農業の高生産性を達成し、ごく最近飢えから解放されたという感じをもちたのです。しかしその半面、そういう莫大な化石エネルギーを投げ込んできたために、農業自身の第一目的である安全な食品を供給するということが崩れてきた。

もう一つのマイナスは、安全な食品を生産する場を減らしてきたということがあります。だからいわゆる本当の意味で、現在の農業生産レベルというものを、今後たとえば三〇年間に人口が二倍になる、それに見合うように二倍に上げる必要がある、これを、単位面積当り収量か、それとも耕作面積か、どちらかで実現しなければなりません。三〇年間に二倍に上げるということは果たして可能かどうかという問題が出てくると思います。

山本 外部から投入するエネルギーをますます大きくしなきゃならないでしょう。

内嶋 そうすればそれは農業自身を破壊していく。

山本 だからその辺に自己矛盾があるわけですね。

内嶋 だからそこを解決する方策をさぐり出すのが今後の農業科学の使命であるという気がしてくる。

田村 いままで農業の技術発展というのは、いわば農工不可分という形だったということですね。

内嶋 そうです。

田村 工業が悪くて、農業は被害者だといことでは必ずしもない。だけれども、食品汚染のかなりの部分が工業によって進んでいるようなところがあるでしょう。現在の環境汚染の大部分は、工業自体の、われわれが自動車に乗りたいたか、テレビが欲しいとかそういうために増大している部分が相当多いでしょう。われわれが食べるものもそれからんでいるけれども。

内嶋 それを進歩思想だといっているのです。自動車に乗りたいたい、冷蔵庫を使いたいたか、クーラーをつけたいという、そういうのが結局、農業生産の場を破壊していつているということですよ。

山本 だけれど、先ほどおっしゃったのは現在の生産性を上げるときの二四一キロカロリというの、直接、農業生産に必要なカロリとして投入されたカロリでしよう？

内嶋 そうです。それを農業生産の場にもち込むために、またそのクルード（原料的）なやつが使われているのです。それが二四一キロカロリになるのです。これを考慮に入れると、いわゆるオリジナル・カロリはもっと大きくなるでしょう。

太陽エネルギー利用効率と化石エネルギー

松中 太陽エネルギーはどのくらいですか。

内嶋 日本は世界的にみて同一緯度帯では日射エネルギーが少なく、東京で年間一 cm^2 あたり一一〇キロカロリです。イネの生産を例にとってみますと、粗い試算で、明治初期から一〇〇年の間に反当収量は約二倍に上昇しています。そして、イネの物質生産（ワラとモミ）におけるエネルギー効率は〇・三％台から〇・七％へと増加しています。トウモロコシでは二・〇％に近いかと思われます。この値を新鋭火力発電所の三〇〜四〇％という効率と比較すると、いかに作物によるエネルギー固定の効率が低いかがおわかりになると思います。しかし、この低い効率も多くの農民と農業技術者の努力ならびに工業の支援によって高められ維持されているのです。

太陽エネルギー利用効率向上とライフ・サイエンス

内嶋 化石エネルギーの投入を現在のレベルにおさえおいて、太陽エネルギー利用効率を二倍にするために、どういった根本的なアタックが残されていますか。

松中 逆にいうと、そういう化石エネルギーに頼るに

は限度があると思うのです。汚染の問題も全部含めてです。だからその意味でライフ・サイエンスがもういつべん再登場して、玉井さんの分野だけれども、育種的な方向、あるいは分子生物学をふまえた育種、——これは田村さんも指摘しておりますけれども、新しい意味での育種でいこう、こういう抜本的なものがなければ、農業生産をさらに二倍に高めるといふ再離陸はとて無理のよいう気がしますね。人工的なエネルギーに頼っていくのは、もう無理だと思います。

山本 そういう意味で、ここ三〇年間は化石燃料にも頼らざるをえないだろう。けれども、本当の意味の21世紀の食糧・農業科学というのは、今からできるか、できないかはわからないにしても、ひとつ努力する方向は、これでクリアーになったと思います。その時点で確実にもっていきやならないものというのは、組織培養だとか、それから単細胞生物の利用とか、そういう技術を確立しておかなきゃならないだろうと思うのです。

松中 いま、イネの生産のほうで、一つのテーマにしますのは、いわゆる光合成の中に二つのタイプがあるということ、一つのグループすなわちイネのグループでは、一見無駄だと思われる光呼吸をおこなっている。

したがって光合成の効率が、トウモロコシなどの作物の半分にしか過ぎない。これをトウモロコシ・レベルまでなんらかの方法で高めることができれば、米の生産に関しては、あるいは麦も同じですけれども、抜本的な収量増が得られるだろうということで、いま四苦八苦しているわけです。幸いこんど、農林省のライフ・サイエンスの特別研究も認められたようですから、われわれとしてもやることになっていくのですがね。アメリカではご存じのように、トウモロコシが主体で、そっちは効率がすでにいいものですから、研究としてはかなりやっておりますが、切実な問題じゃない。日本では米が主体である、そういう国でこそ僕はその仕事をもっとやらにやならぬと思います。

山本 同じイネ科で、それだけ基本的に光合成あるいは光呼吸に対するビヘイビアが違うものですか。

松中 ぜんぜん違います。これはイネ科と双子葉植物との違いじゃないです。双子葉植物の中でも、そういうトウモロコシ・タイプのものであるのです。それに形態がぜんぜん違うのです。はっきりと二つのグループに分けられるのです。しかし、それがなぜそうなったかはわかりません。

内嶋 高い光合成能率をもっているのは、だいたい熱帯原産のものが多いのです。

田村 現在、圃場レベルでトウモロコシの群落と、イネの群落とを比べた場合の生産量はどっこい、どっこいでしょう？

松中 それほど変わらないと思います。

田村 そこでトウモロコシ・レベルまでイネの現在の欠点を改良すれば、いわゆる可食部収量として、トウモロコシの倍になるであろうという。そこに有望な何かがあるわけですね。それらの植物のいいところをつなぎ合わせていけばということですね。

松中 ただやっぱり光線の相互遮蔽の問題がありますから、日照の少ないところでは効率が悪いです。ここにも群落論がでてきますが、しかしいまのレベルよりはとにかく光合成効率が上がるということは確実です。

タンパク質問題における水産業の重要性

田村 さきほど山本さんがおっしゃったように、そういう新しい方向の生物の改良というのは非常に手間がかかるだろう。ところが人口がここ三〇年で倍に伸びるだろう。ここ三〇年の間を切り抜けるために、工業的ない

ろんな生産物、リジンとか、スレオニンとかを利用する。あるいは畜産をある程度おさえて植物のまま利用すると、そういうようなやり方でやっていくとすると、そのときに非常に重要なのは水産をいかに利用するかということですね。畜産に切り替えたら農産物は損をしましうわけですからね。だからここ数十年間というのは、水産をだめにしたら非常に危険だということですね。

内嶋 やはりそういう工業的な生産技術と、それから水産で時間をかせぎながら、21世紀の新しい生産体系を生み出す努力をここ二〇〜三〇年で積極的にやるということですね。

松中 水産に関しては、非常に素人的な考えですけども、いわゆる水質の富栄養化問題を考えてみたい。これがいわばすごいマイナスのインパクトですね。だからこれをなんとかプラスの、たとえば一つの問題としては、原子力発電の温排水の問題、これも普通はマイナス・インパクトだけど、一部では渡瀬さんご指摘のようにプラス・インパクトとして、その熱を利用しようという試みもありますね。それと同じように水質関係の富栄養化もなんとかプラスに使えないかなというような気もするのですね。

田村 多肥栽培に適した品種のように富栄養化に適した魚種があればですね。

山本 富栄養化で増えるのはアカシオだけですものね(笑)。

渡瀬 小規模なものがありますね、たとえば大阪の泉北郡あたりで水産試験場がやっておりますが、池の中に草魚を入れて、そこに捨て場に困っている鶏や豚なんかのふんをほうりこんで、そこで栄養エネルギーをつくっているのですね。それから、下水——重金属やPCBなどが入っていたら困るのですけれども——もある程度利用できるのです。現在、大阪湾にいるアンチヨビーがものすごいですよ。ところがそれは油くさくて食べられない。そういうことで、自然の生態系を乱さないようなものを投入して、ある程度濃度を高めてやれば能率が上がるといふことはあるのですけれども。

穀物生産だけを見れば、地球はあと三〇年ぐらいの人口の増加に対しては養えるのじゃないかと思うのですね。問題はやっぱり動物性タンパク質だろうと思いません。植物性タンパク質というものも、もっと利用度を高めていきたい。動物性の場合には畜産が非常にむずかしいから、結局、石油タンパクとか水産物ということになる

のでしよう。水産物の場合は、さきほどちよつと話が出たように食物連鎖のランクを下げていけば、ある程度の資源量があるし、また再生産も可能ですから、やれないことはないのです。

タンパク質不足は摂取絶対量不足から？

内嶋 田村さんにお聞きしますけれど、いわゆる発展途上国ではタンパク質摂取量が低くからだの発育が非常に悪い、それを解決するには動物性タンパク質を与えらるというのもひとつの方法ですね。しかし現在主たる原因は、穀物の絶対摂取量が足りない、それが非常に問題になっている。だから穀類の絶対摂取量が発展国に近い量だけに上がってくれば、タンパクの問題というのは、かなり緩和されるといふ議論があるんですが、それは本当ですか。

田村 そう思います。タンパク質の必要量を計算するのは、非常に面倒くさいですけれども、だいたいカロリー総量の一〇%から一二%あれば足りるわけですよ。穀物はふつうタンパク含量が七七八%あるわけですね。しかしそのタンパク質は多少質が悪いですから、リジンのようなものを加えればよいので、そうすればあとごく少

量の良質のタンパク質を加えればいいわけです。それは大豆でもいいし、動物タンパクでもいいし、ソバでもいいですね。もし人類の主食がソバであったとすると、ソバだけ食ってやっつけていけるわけですよ。あれはタンパク含量も高いし、アミノ酸組成もよいのですから。ソバはイネ科じゃないですが、いちおう穀類の中に入れていきます。ソバは日本では食うけれど、よその国ではあまり食べません。もし人類が選んだ栽培植物がタデ科であったとすれば、問題はすいぶん違つただろうと思います。

山本 ただいまのご質問の中で非常に気にかかることがあるんですよ。というのは、かつての一升飯というのを思い出していただきたい。これは日本人が一升飯を食べれば、この間ちよつと田村さんのあれを読んで計算してみたら、米にして五、〇〇〇万トン必要になることになりますよ。開発途上国の人びとが充分量の穀類を食べるとなると、これに近い数字を考えなければならぬといふことになり、大変なことと思うのですが。

一升飯論議

田村 いまの一升飯の話は、やはりさっきの工業と関連してまして、農業労働をほとんど人間がやるという場

合には、タンパク質必要量以外にカロリーが膨大にいるわけですよ。だから朝飯から米を何合か食うというのは、要するにガソリンとして食っているわけですね。

山本 だいたい五、六〇〇カロリーですからね。

田村 だから労働が牛に変わり、いまトラクターに変わった段階では、それほど必要ではなくなっているわけですね。

山本 ただ一升飯というのは、かなり最近まで日本にあった現象ですから。

田村 それはまた米がうまいということがかなりあつたから……(笑)。

渡瀬 やっぱり食嗜好というのはみんな違いますから。ここにタンパク質があるから食べるといっても、路上に寝ているインド人などは、とりあわないでしょうね。

田村 それはインド人に牛を食うよりは餓死するほうを選ぶというような宗教があるからですね。

奥野 ある意味では、結論が一つ出たみたいというか、穀物を主として頼って耐乏生活をしていけば、21世紀までは何とかやっつけていける、それ以降はライフ・サイエンスのほうでなんとか解決の道を見出してほしい。そ

れまでの三〇年間は、工業からくる二四一キロカロリー——これ自身も問題があるかも知れないし、これ以上はふやせないだろうけれどもこの範囲で肥料も農薬も使っていかにざるをえないであろう。それでいて、この場合には、水産物やそれから工業製品としてのリジン添加などを考えねばならない、という話になっているわけですね。

田村 生理的にはね。

奥野 そこで次の問題は、肉を食わなきゃいかんかどうか、それに対する対応を考えなきゃならぬかどうかという問題に話を変えたらと思います。この問題は、さきほど来の進歩の思想との関係がだいぶでてきますが、ここでは、世界全体を考えるのか、日本だけを考えるのかをまず決めましょう。私は日本人の場合に問題を限定してもいいと思うのですけれども、日本の場合に、これから三〇年、いまのような畜産はやめる、というのは非常に重要な提案ですがいかがでしょうか。

松中 農林省は折角、草地試験場もつくったのに……。
奥野 たいへんな問題ですから、畜産と水産に関する議論をこれからしてもらって、そのあとで工業食品を論じてみましょう。

食生活は変わるか

松中 その前に田村さんから出ています、食生活というのはあんまり変わらぬという点を解決しておいた方がよいのではないですか。いまだに納豆は箱根を越えていないというようなことから、逆に外挿法で、これから将来も変わらぬだろうというそのへんのところの問題点を少し議論しておいたらいいですね。

田村 食生活が変わるか、変わらないかというのは、これは非常にむずかしいですよ。ただ、短期的にみると、あんまり変わらないというのが常識ですね。ただし、百年ぐらゐの単位で見ると非常に変わっています。たとえばロシア料理でボルシチというのがありますね。スープで。あれはトマトで煮てるでしょう。トマトというのはだいたい新大陸のもですね。だからそういうボルシチというのは、ロシア料理の中で数百年の歴史しかないのです。それからトウガラシなどもそうで、朝鮮料理はトウガラシ主体だと思っているから、トウガラシは朝鮮が本場だと思つと、あれはそうじゃないんで、南蛮からきて、日本から朝鮮へ渡つたのだそうです。豊臣秀吉が朝鮮にいったときに、トウガラシがついていったのです。

だから朝鮮の食生活についても、ある段階で非常に大きな変革があったに違いないですね。これだけみても、非常に長い目でみれば、ガラッと変わることがありうるわけですね。

ただ人間がここまで進歩してきた段階では、日本においても、なかなかそう大きくは変わらないのじゃないかなという気がします。戦争に負けた当座は、向こうを見習おうという気風があったんですけれども、経済成長して自信をつけてくると、「ディスカパー・ジャパン」とかなんとかいって、いままでほどには変わらないような状況に日本人の生活はきていくような気がします。吉川さんのご意見はちょっとわからないけど、私の感じでは、日本の食生活は変わらない、もちろん畜産が伸びることだってあると思いますけれども、そう大きくは変わらないだろうと思います。

食生活パターンへの地理的影響

吉川 本来的には食生活のパターンというのは、産地の土地事情である程度食べるものがきまっていたわけですから、地理的に分けられるようなものだったのですね。それが産業革命などで産業が近代化しはじめてから

貿易という手段で、非常に遠隔の地から物を買うことができるようになってきて、大いに変わってきたわけです。さっきいった例はみんなそういう例なんです。日本の場合には、それが幸いだか、不幸だか知らないけれども、島国で、島というのは物資の輸出・輸入でいちばん有利なわけです。だから外国のものを入れたりするには非常に都合がよかったわけで、輸送量が非常に大きくなり、それを買えるような経済力ができれば、変えうる素地ができるわけです。そこでは欲望、どういふものを食べようかという、ある程度の嗜好と意欲があれば買えるわけです。

私も人間は、さきほどいったような保守的な面——ほかのものと違って、食物にかんしてはこれからだの中にとり込むという点でとくにそういう面をもっています。明治からみればずいぶん変わっちゃっているようにですけども、今後どんどん変わって洋風になって、畜産物主体のような食生活になるかという、そうはならぬだろうと予測されます。

それはなぜかという、いろんな動物の食生活——人間を含めて——には動物食と植物食があると考えられます。民族学的に日本人の起源を考えてみますと、おそら

く南方からきて穀物を食べる植物食の民族と、北方からの騎馬民族、こちらはおそらく畜産主体の食物ですね。そういうものがミックスされたようなものが現在の日本の民族じゃないか。そうすると素地としては、どっちへもころべるようなものがあって、おそらく半々ぐらいになっていて、現在および将来へ延長してみても、おそらくヨーロッパ的な食生活にはならないだろうと思われます。しかし東南アジアの植物食の原型のようなものは少し離れて、ちょうど中間のようなものになっている。この辺に、ここ三〇年くらいはまだまだもたしているんじゃないかと思えますね。ただ魚と畜産物の割合はどうかということになると、どちらかといえば、やはり畜産のほうを欲求するような情性がまだつくわけで、入手が非常に困難だというような事態がくるまではなかなか止まらないとおもいます。経済的な理由で、水産物が高くなつて畜産物と水産物との価格差が逆になってきている。そういうふうになってきた場合は当然畜産物を欲求する。世界的にこのようなことがいえる間は、まだまだ現在の対応のままで進んでいくのじゃないか。そのブレーキがいつどこでかかるのかという問題は非常にむずかしくって、いまはわからないですね。

渡瀬 水産の立場から考察しますと、やはり主食と副食の区別がある程度なくなると思えますね。日本人が魚を食べるのは、だいたい米食国民は魚食をとるといふことからきているのです。これは世界の民族をみればわかることです。そうしますと、いまいわれたように、日本人の食生活はやはり欧米の動物食とそれから東南アジアの植物食のちょうど中間ぐらいになるのではないかと思えますね。

これからの推移ですが、いまの若い世代の生活などをみますと、総体的には魚を食べなくなると。畜産物——牛肉、牛乳、卵とかはよく食べる。それで魚そのものはある程度、嗜好的な形で食べるようになる。それから魚自体はおそらくあまり遠くないうちに、肉よりも高くなる。いま欧米では、われわれがいつてみてよくわかるけれども、どこへいっても魚のほうが高い。いろんな情勢から判断しまして、日本もだいたいそういうふうになる。また、われわれ水産業の立場自身からいえば、魚はどんどん高くなって欲しい(笑)。

田村 いままで食べてきたものを禁止するというのは、天武天皇だか、聖武天皇だか忘れてましたけれども、「四足獣を食ってはいかん」というお布令を出しました

が、そういうことはもう不可能でしょうね。だから、インド人が牛を食うようになるかも知れないけれど、現在われわれが食べている肉類を、畜産はぜい沢だからといって、どういう形にしる、それを禁止できるとは思いませんね。

タンパク質食品は高級か

内嶋 そういうことはできないでしょうね。そこで、ちよつと田村さんにお聞きしますけれども、たとえば横軸にGNP、縦軸にタンパクの摂取量をとってグラフをかいてみると、GNP——いわゆる物質的な生活水準が高いほどタンパク摂取が高くなる。だからタンパク摂取の高いほうが生活レベルが上だとか、そういう感じを非常に抱きやすいのですけれど、栄養学的にみたとときに、タンパクの摂取量というのはどれぐらいが最適なんですか。

田村 それは、世界中どこの国をみてもカロリー総量のほぼ一二%ですよ。

そこで欧米人はからだが大いから、カロリー摂取そのものがわれわれより二〜三割大きいわけですね。その結果として、タンパク質総摂取量が二〜三割高いだけで

す。タンパク質食品が高級だと思うのは一種の錯覚で、うまいのは脂なんです。タンパク質というのは高分子だから味がないわけですよ。だから脂のうまい動物食品をとるにつれて、動物タンパクがふえているのであって、決してそれはタンパク質が食いたいから、そうになっているわけじゃないんですね。

奥野 そうですか。

田村 そうだと思いますよ。

山本 タンパク質の分解したアミノ酸は旨味に関係しますよね。

渡瀬 欧米の先進国の金持なんかは、脂身の牛肉なんかは食べないですね。むしろ魚の自身の脂の少ないところを食べる。

山本 魚でも脂が大分入っているでしょう。

田村 自身の魚は少ないですね。アミノ酸のうま味と脂のうま味があつて、日本人はどつちかというところ、そういう淡白な塩味と合うアミノ酸のうまさを日本料理としては追求してきたわけです。だけど、欧米ではいわゆる脂のうま味を、バターのうま味とか、オリーブ油のうま味とか、そういうものを追求してきたわけですね。

奥野 欧米人はしもふりの肉なんか食わないですね。

田村 最近では逆に脂は食ってはいかんというような規制が働き出しているわけでしょう。健康面からね。

奥野 向こうの人たちが脂肪のほうに関心があるのなら、しもふりみたいなやつはむしろ欧米で貴重品扱いするはずだね。

田村 しもふりはむしろかれらにもうまいんじゃないかな。

奥野 だからアメリカ人などは日本のすき焼がうまいというのかな。僕らはむこうへいくとやっぱり赤味のステーキのほうがうまいと思うんだけど……。

山本 赤味のステーキでも、結構脂がはいっていますからね。

田村 それはやっぱり個人差がはいる。僕なんかは脂が好きだから、脂のほうを食べる。

渡瀬 赤味のほうがはるかにいいでしょう。胃の消化やなんかからみてね。欧米では、少しでも長生きしようとする鹿の子のようなどはあまり食べないですね。

奥野 いままでのお話だと結局、畜産、水産ほどの程度成り立つか、どの程度の値段で供給できるようになるかという点は、それが必要だというなら、それを達成する技術の開発という問題が出てくるわけだから、それは

もちろん、論じてもらわないといけないが、その前に合意しておかねばならないのは、動物タンパクはどうしても食いつづけるだろう。もう禁止はできないという話ですね、しかし、吉川さんのお話では、欧米並にはならんということでしたね。そのレベルのタンパクは、これから日本人に食わさねばならないという前提で話を進めましょう。

田村 それはそうでしょう。多分ね。いまだって日本人の食べものは栄養学的には十分ですよ。いまより食べれば多分健康上はよくないですよ。けれども嗜好が、畜産物を食べたいという方向へ動くだろうと思います。

奥野 そうすると少なくとも栄養学的にみて少しおさえがきいてくれればいけれど、いまのレベルはつづくと考えざるをえないかな。

田村 だから、いまの多少の変化傾向、さつき吉川さんのおっしゃった情性として畜産物をもっと食べるという方向へ、それは必ずしも健康には好ましくないけれども、動くだろうということですね。

内嶋 それがいわゆるより向上した生活だと思込込まされていくのですよ。

吉川 それは食生活の価値観みたいなものね。これは

いままで、タンパク質が足りない、タンパク質を食べようというキャンペーンがあったからですね。その情性が続いているわけですよ。これをもっともっとどんどん食べますと、たとえば核酸が非常に多くなってリニューマチになるとか、痛風などの帝王病がふえる。そういうことをいまのいろんな情報機関でジャンジャカ流すというような人為的な操作をして食物不安感というのですか、食べすぎたら危ないという宣伝をし、ストレスを与える。そういうふうにしていろんな面でブレイキをかける努力をすれば、そんなにたくさん食べなくなってくる。

松中 田村さんの論説のなかでは、政府が価格政策で、ある程度ブレイキをかける一つの方法論を出しておられますが、いまおっしゃったのは、言論的な手段ですね。まあ政府が価格政策でいくのはなかなかむずかしいが言論でやるのはあんまり金がかかりませんからね。そのへんはこれからの社会でどうですかね。

動物性タンパク質をどうやって供給するか

——水産物の場合

渡瀬 アメリカ人はタンパク質の七割を動物性タンパクでとっているんですね。日本人ですと動物性タンパク

は四割くらいしかとっていない。そういうことからいうと、日本人はまだ動物性タンパクが不足しているのじゃないか、それだけにそのほうの伸びの期待はあるわけです。水産の面からいいますと、世界の漁獲高が六、〇〇〇万トン、これをタンパク質に換算しますと大ざっぱにいて一、〇〇〇万トンですね。この一、〇〇〇万トンの動物性タンパク質を海から供給している。だいたいの量からいきますと、世界の人口の三分の一くらいは動物性タンパク質が不足している。日本の場合ですと、水産物一、〇〇〇万トンとしまして、一五〇万トンくらいの動物性タンパク質を補給していることになります。畜産物と水産物との割合は、動物性タンパク質の場合はまだ水産のほうがちよつと多いわけです。われわれの予想としては、今後おそらく畜産のほうが少し多くなるのじゃないかと考えております。それから日本の水産業は漁獲量においては今後どんどん衰退していくと思います。大ざっぱな計算では一人一年間に粗生産で六〇キログラム、ところが人口の自然増加がありますから、一九八五年には一億二〇〇万人くらいになります。そうすると粗生産で七五〇万トンくらいの食用水産物をなんとかして確保しなくちゃならない。

これは非常にむずかしいと思います。この不足分を畜産物で補うか、あるいは外国から水産物を輸入、または開発輸入して補っていかないととても足りない、そういうことになると思います。

玉井 その七五〇万トンのなかに、外国での開発輸入は入っているんですか。

渡瀬 その七五〇万トンを確認するには、最近食糧の自給率というのが問題になっていますが、だいたい二割くらいを海外から確保する。残りの八割くらいは自給自足するのが独立国としての一つの原則である。とくに食糧の場合、それが一つの定説みたいになっています。そうすると、人間の食糧の分として七五〇万トン必要

だ。現在で一、〇〇〇万トンくらいとってますけど、その三分の一は肥料だとか飼料にまわしてるわけですから、日本人が食べてるのは七〇〇万トンくらいなんです。それに人口増加がありますから、七五〇万トンとしてその二割を海外から開発輸入し、残りを日本の自給自足によって確保したいというのがわれわれの念願なんです。しかし、それもあと五、六年から一〇年たったら不可能だろうと思うわけです。

そういうことからいきますと、近い将来——現在もか

なり高い水準にあるわけですけど、日本は世界一の水産物輸入国になる。ということから魚はどんどん高くなるし、またわれわれもそうなることを期待している(笑)。

松中 その七五〇万トンの中で、畜産物の代用的な、たとえばソーセージ類のなかに入っている魚、ああいう要素——一見畜産物に見えていながら、ほんとは水産物だというようなものはどの程度ですか。

奥野 魚肉ハム・ソーセージというのは少ないですね、まだ。カマボコと同じくらいになるんじゃないですか。

渡瀬 魚肉ソーセージというのはもう伸び悩み、ストップしてますね。いま伸びてるのはカマボコ、チクワ類ですね。あれはすり身といますして北洋のスケソーダラからとっているわけです。これは最近非常に伸びている。昔よく食べてましたね。昔に戻ったということ、一つは食べやすいということと、それから食生活を楽しくで食べるということから需要が伸びていると思うんです。が生産のほうは次第に頭打ちになってきてますから、おそらくあと二、三年たったらそう安くは買えないと思います。

松中 それでは、いまわれわれが家庭で食べてるソー

セージ類は、安いものでも畜産物と見ていいわけですか。

渡瀬 マトンを入れたり、牛脂を入れたりしてますからね。いままではだいたいいくジラの肉を使うためにあれをやってきたわけだけど、いまじゃクジラなんか入れたんじゃ高くてやっていけないですから(笑)。サバとか安いものを入れている。だから味もだんだんおちてきて、あぶらっこいものを食べているいまの若い人たちの食生活には合わなくなってきたわけです。

家畜の飼料にまわる水産物

山本 だけどものお話で気がかりなことは、三〇〇万トンを飼料だとか肥料にあてているということ。畜産を振興するときにその三〇〇万トンというのは、畜産用のタンパク資源としていぶん大きな役割を果たしていると思うんですけれども、それが得られにくくなった場合に、一方畜産物が五〇%越すだろうとおっしゃるけれども、その畜産物が日本の国内でなかなかできないということになりはしないですか。

渡瀬 ですから畜産用の飼料は他のタンパクを開発して当てるか、あるいは外国から輸入しなくちゃしょうが

ないですね。日本人の手で魚をとってそれを畜産用の飼料にまわしておったんじや、これからますます労賃も高くなりますし、とてもやっていけないと思えますね。だから、いま飼料にまわしているやつをなんとかして高度の加工技術を開発して、できたら全量を日本人の食糧にまわしたい。

奥野 魚をそのエサにまわした場合の変換率はどのくらいになるんですか。

渡瀬 やっぱり同じですよ。ハマチなんかの場合ですと八倍〜一〇倍ですね。たとえば一キロの肉をつくるためには、八キロから一〇キロくらいのものをやらないとつくれない。

田村 タンパクだけでいえば三分の一、三〇%くらいの蓄積率じゃないですかね。むだなことですね。いまあまり価値がなくて採算が合わないからとらぬ、駄魚というようなのが相当あるんですね。

渡瀬 アジだとかサバなんかは、南半球にいくとたくさんいるわけですね。これはだれもとらないし、とって食べるとすれば日本人しかいまのところないわけですね。ところが日本は資本漁業ですから、あすこまでいってアジやサバをとってきても、とても企業としてやって

いけない。

山本 だけど、工船がいつて全部すり身にしてもつてくれれば、かなり採算とれるんじゃないですか。

渡瀬 いや、それがすり身と簡単にお願いしますけど、大量生産の場合、すり身というのは非常にむずかしい。肉質の問題がありますし、全部魚体処理機にのせなきゃいけない。そうするとある程度魚の大きさが一定してなきゃいけないわけです。すり身になるスケソードラのような魚は、ほかには二、三種類しかない。なんでもかんでもすり身にはできない。ただ、沿岸の小さな漁業者が自分のところでミンチに毛のはえたような機械を使ってやる分にはできるわけです。

山本 そうですか、機械にかからないという一つの難点があるわけです。

渡瀬 それと量的に最低一日に原料で一〇〇トンくらいとれないと採算とれませんね。

山中 国産大豆と輸入大豆とのちがいのようです。

新しい海洋利用

吉川 名古屋大学の並木教授の話なんですけど、熱帯の海は栄養が足りなくて魚がたいしていないのは、水が温

かいもんだから海流の混合がなくて、栄養分が下のほうにたまっているからだとすると、原子力発電を南方の海底でやると、上昇海流が生じて魚がうんとふえるのじゃないか、という説があるんです。

渡瀬 いや、実は温度差発電というのを提案しているわけなんです。表面と深さ五〇〇メートルくらいのところで、水温差が常時二〇度くらいあり、これを利用すると温度差発電ができるわけです。これをやるうというところで、東芝その他と共同して、漸次具体化しつつあるわけです。ただ、冷たい海水の影響が心配ですが。

吉川 海洋牧場の話はできましたか。まだですか。畜産の公害の問題に関連して、タンカーのボロのやつをたくさん改造して、世界中畜産用のエサを買って歩くわけですね。それで子牛だの子豚だの乗っけてゆっくり太平洋を歩きまわって、加工して売って歩くわけ、たれながしながら。さっきの富栄養化の問題は海にたれ流して、海苔だって沿岸じゃなくて、まんなかのほうにやるというアイデアはどうか、というのはまじめに考えていいんじゃないかと思うんですが。

タンパク質供給を畜産に期待できるか

奥野 ここではよつとまとめてみまして、日本人を考えた場合、タンパクは少なくとも現状程度は供給しなくちゃならぬという前提に立つとそれを何で供給するかということになる。畜産と水産しかないわけだけれども、畜産はいま自給率はどのくらいになっているんですか。

田村 自給率が三〇%くらいじゃないですか。

吉川 エサを考えなきゃどうですか。

田村 エサを考えなきゃ、だいたい九〇%くらい。

奥野 だいたい自給できることになっているわけですね。

田村 エサを買ってきて国内生産してるわけだから、肉を買ってきてソーセージつくってるようなもんです。

奥野 だから、その形態の畜産に対して、これから三〇年間もそれでいくのがいいという判断なのか、その畜産では困るんだ、現状維持のタンパクを供給するには畜産は期待できるのかできないのかということはどうですか。

山本 だから、次の段階の微生物食糧ということを真剣に考えざるをえないだろうと思うんです。ということ

は、食うなといったって、日本人はこれだけ嗜好性がついて、吉川さんがいわれるように、ある程度までは食ってきた。食うからにはそれを生産しなきゃならない。生産するためにはタンパクがいる。そのタンパクは外から買ってくる。買える間はよろしいけれども、それについてもできるだけ新しいタンパク資源で、人間の食糧と競合しないタンパク資源が必要になってくるのじゃないか、そこで微生物タンパクが出てくるんじゃないか。これは常識論ですけど、そうならざるをえないんじゃないかと思うんですね。

まがいの動物タンパクを食べる人の心理

松中 ファブリケートッドの話がでないのです。大豆タンパクあたりをセニイ状にして動物タンパクまがいのものにするということで、この辺はどうなっているのですか。

田村 それは可能性としてはあるわけです。十分技術が進んでいけば、大豆のタンパクでも小麦のタンパクからでも肉もどきをつくることできるわけですね。

ただ、現在の肉なり何なりを食べたいというのは、生理的な欠乏ではなくて、心理的な問題なわけですね。そ

うすると、もしここで見分けられないような形で牛肉があった、こちらに大豆タンパクでつくったビーフがあったって、消費者はそれを明示しろというわけですね。それは食べてわからなかったってそうなんですよ、心理的な欠乏だから。

山本 田村さんがおっしゃったことは全くそのとおりで、われわれは栄養的な欠乏で肉をたべるのではなくて、心理的な欲望でそうしている。全部の形がまがいものになったときは拒否反応を示すけれども、われわれが知らないうちに食べさせられている分には、ほとんど皆さんにも文句いわずに食っているという状態があるわけですね。

田村 外食の場合には、ここで料理されて出てきたものにまで表示しろとわれわれはいわないから、現実にはそういうところには入っているわけですね。ただ家庭で肉を買ってきて食べる段階には入りづらいわけです。われわれの食事のかなりの部分が外食に移行するというのも事実ですから、そういう面では入っていき、そのなかで技術進歩はおこなうでしょうね。

奥野 とにかくタンパクをとるのはたいへんだから、大豆タンパクを大いに外食だって何だって、むしろ

外食でなくたって同じものならば消費者は文句をいわずに食べなさい、というPRが必要だということになるね。

田村 PRでいけばいいけど、なかなかいい感じではないですね。

山本 私はPRする必要はないと思うんです。幸い、日本人はみそにしても、しょうゆにしても、豆腐にしても大豆タンパクの非常にうまいとり方を知っていますね。そのなかの一環として、とくにPRする必要なさそうに思うんですがね。

渡瀬 大豆なら、そんなに抵抗感がないと思いますね。

田村 でも消費者運動というのは強くしていかなければならないし。微生物なんていうと気持ち悪いとか。

山本 微生物は食わせる気ないですよ。

松中 われわれもさっきのライフ・サイエンスの一つの発展の目標として考えているのは、たとえば一番身近な目標はいわゆるふつうの交配法ではできない交配をやる。そのなかの一つの目標としては大豆のようなタンパクをつくる性質を、全然種の違うイネならイネに導入したい。これはいままでの方法論ではむづかしかかった形

質導入だけど、新しいライフ・サイエンスではそういうことが可能であろう。それから米なんかでも、もつとタンパクの多いもの、そういう動きはあるんです。

山本 従来の方法論でも高リジン含量のトウモロコシなどができていますね。

飼料輸入の畜産でよいのか

奥野 再び、動物タンパクへもどって、現在でも畜産に関しては、ほとんど九〇%自給可能になっているわけでしょう。その形態は飼料を買う間はいいじゃないかというのではなく、その形態が困るといふ意見はいかがですか。飼料をほとんど全部輸入すれば、肉としては九〇%くらい自給率もっているけれども。その畜産自身のおこす公害問題ですね。窒素の循環は、それでは成り立たないわけでしょう。農家が牛を二頭や三頭飼っている分には、その排泄物はちゃんと畑に還元されるけれども。いまのような多頭羽飼育で濃厚飼料は全部外国からもってくるというかっこうだと、窒素の始末はどうつけるのですか。

玉井 そういふ点から考えると、いま日本で畜産を振興しなきゃならない理由はなにもないんですね。できた

製品を買ってくれば、それで事足りるわけですから。そうすると公害問題もなくなるし、飼料効率が一〇分の一になるんなら、一〇分の一のものだけ運んでくればそれでいいわけですから、運賃の面でもね。ほんとに日本で畜産やらなきゃならぬ理由はなにもない。

奥野 だから、微生物タンパクとか何とかにいく前に、その問題に関してどうなのかきめる必要があるね。

外国がいつまでも肉を売ってくれるか

山本 だけど、一番はじめに人口問題のところを取り上げたように、世界規模で考えてみると、現実問題として、売ってくれる先があるか、いまのところ先進国が余った分を売ってくれますけども、それ以外のところからは、なかなか買えないんじゃないですか。

田村 豚と卵は買えるだろうけど、牛肉はまず買えないだろうという見通しですね。

奥野 そうなりや、羊肉、マトンを買うんだな。ひつじは買えるでしょう。

玉井 ひつじも少なくなつて、洋服まで高くなるから羊肉も高くなるんじゃないかな。

山本 だから、輸出してくれる国があればよろしいん

ですけど、やっぱりズボンもはきたい、肉も食いたいという国が多くなればなるほど、われわれは現実には肉が買えなくなるでしょう。

渡瀬 やっぱ石油問題、国際問題、それから環境問題、この三つにすべてがからまってくるわけですね。

田村 牛乳の問題がちょっとあるんですね。日本人の女の人はいたいもう母乳が出なくなつて、日本人の幼児段階では牛に寄生しているわけですよ(笑)。だから牛乳が外国から買えないという状態になったら、日本人は民族として危ないわけですね。おとながミルクを飲む必要はあまりないと思いますけれども、幼児用の牛乳はやはり国内生産せざるを得ないだろうと思いますね。

山本 それは、淘汰の結果で、そうなつたんですね。それとも美容の関係ですか。

田村 美容みたいですが、形がくずれるとか何とか。

国内での飼料生産の問題点

奥野 草地試験場つくつたけれども、草地でどのくらいまで可能性あると見ていいんですか。

玉井 草地はいま一生懸命開発してますよね。

奥野 とにかく東北あたりだつてずいぶん草地になつ

てるでしょう。北海道・東北・九州の九重の辺だけを畜産団地にする、というんで濃厚飼料輸入しないでやれるのはどのくらいですか。

渡瀬 去年、農林省で見出し出していましたね。

松中 その将来見通し、草地化によるマイナス・インパクトまでは解析してないだろうけどね。一種の自然破壊ですね。あれだけの予算を通すためには、たぶんプラス・インパクトは出していると思いますけどね。

奥野 草地化によるマイナス・インパクトとは。その自然破壊というと……。

松中 窒素肥料の蓄積ね。それから大きい木はだんだん少なくなる。そして土壌のエロージョンをおこす。

玉井 保水力はおちますよね。

吉川 日本は傾斜地が多いわけでしょう。この傾斜地にもっと適している家畜はいないのかということは一応考えてもいいんじゃないですかね。山岳牧畜とでもいうか。

皆 カモシカ、カモシカ(笑)。

吉川 アルパカなどどうでしょうかね。

渡瀬 あれは高山性のものでしょうか。

吉川 あちこち探すのもひとつの方法でしょう。

松中 牧草もその反省がいまやられていますね。果たしていま、いわゆる牧草といわれるものが日本に適しているかどうか。

奥野 だから動物の前に草のほうの、エロージョンおこしたりしないような草とか、この多湿地帯で、けわしいところに向くものは考えられないのかとか……。

田村 米というのはわれわれ日本人は神聖視しているでしょう。だからイネを青刈りして牛に食わせるという考え方には抵抗あると思うんですけど、そういうようなことは考えてないんですか。米があまる、そういう状態の中で青刈り用のイネをつくるのか……。

玉井 それはやっていますね。

松中 一ぺん青刈りして、次は穀物をとる、それをもつと発展させて雑草のヒエでどうか、ヒエのほうが光呼吸の強くないC₄植物で生産力高いですから、そういう検討は農事試験場でやっています。

奥野 そこで、いまの程度の畜産を維持するのに、無理のない草地化をしてほしい何割くらい可能性があるのか。

玉井 どのくらい肉を確保できるのかということはどうですか。舍飼はどうみえますか。濃厚飼料だけで部屋

で飼っているのはどう見えますか。

内嶋 それはしかしゼロにすることはできないでしょう。

奥野 だけど、ふやすこともできないでしょう。

内嶋 どこまでおとせるかということですね、日本の草地といたって、要するに生草ですね。うまくいって乾草だけでも、乾草にするには労力がかかるし、コストがかかる。

玉井 最近、稲作転換が進んで草地というか、飼料作物の生産がかなり大きなウェイトを占めてきているでしょう。あれは補助金がなくなったらどうするのかわからないけれども、いまのところは飼料作はかなりのウェイトを占めています。そういうことから考えると、情勢が非常に流動的なんですな。

内嶋 稲作転換でできるところはかなりやってくるけれども、気候条件、降雨にもすごく支配されますね。

玉井 必ずしも十分な生産あげるとはいえませんが、どね。

樹木の葉の飼料への利用

吉川 木の葉っぱはどうなんです。生産的にいった

ら。

内嶋 生産的にいったら広葉樹林なんかは、非常に高いものをもっているんですね。

田村 葉のタンパク質などは、イギリスなんかで非常に研究してますね。

内嶋 生産力としては、たとえば針葉樹林なんかだと乾物にして年間、一^mあたり二、八二六g出るわけです。多湿の草地で三九七、約四〇〇くらいですから、これに比べたら樹林帯はかなり高いですね。広葉樹林で一、三〇〇gくらいです。

玉井 それで動物が直接食うものができればいいんだけれども……。

内嶋 一ばん問題なのは、葉っぱを横どりすることによって、有機物の循環をものすごく乱すわけですよ。

田村 横どりすると生産力が維持していけない。

玉井 全部とったんではね。

内嶋 たとえば熱帯のアマゾンを開拓してしまつて、さらに地にしてしまった場合、生産力は急激におちていく。有機物の半減期がああいう熱帯地方の場合、一〇年以内だそうです。

吉川 金華山でシカが木の葉をたべすぎて坊主にして

しまい、草地になり、シカの繁殖にも影響があったとされていきます。

奥野 そうすると、草地を大規模に広げて濃厚飼料の輸入を抑えるのは困難ということですね。そうするとエサの問題は微生物タンパクなどあとの問題に移るわけですね。

水産業における生態系問題

奥野 それから水産もさきほどずいぶん議論をしていただいたんですけども、ここで議論しておいてほしいと思うのは、今後沿岸漁業と遠洋の場合の開発輸入、それから深海もあるし、南氷洋なんていうのもあるんですけど、そこでたとえば南氷洋のオキアミをとってきた場合に、そのあとの生態系にどういふ影響を及ぼすかと、温度差発電や深海魚をとった場合、そのあとどうなるかのアセスメントなんです。

渡瀬 南氷洋の場合、オキアミですね。生物というのはある程度繁殖しちゃうと、それ以上の繁殖は止まるんです。そこである程度間引きしてやるとちょうどよいところへくる。いままではクジラがかなり食べていたのですが、これが非常に減った。そのかわりこんど、世界で

アザラシとかペンギンをとっちゃいけないという国際条約ができましたね。しかし、オキアミの生産量からいきますと、ある程度とって別にペンギンの生態系に影響するということないと思いますけどね。

奥野 だからその限度ですね。国際条約できめられたからそれに従うということではなくて、日本の水産業のほうからここまでは大丈夫だ、という線を出していくべきじゃないだろうか。

たとえば、クジラの場合諸外国から袋だたきにあつてゐるだけでも、クジラはもつとともいいんでしょるか、日本の主張のように。

クジラはどうして減ったか

渡瀬 国際捕鯨委員会（IWC）で提示している頭数であれば、環境会議やアメリカの動物愛護協会のような人がいわれるような問題はないと思うんです。むしろクジラの場合は、話は古くなりますが、第二次世界大戦で五年間南氷洋捕鯨を休んだわけです。それで、戦後いったときに、四、五年間休んだから、おそろくずいぶんクジラがふえているだろうと思つていたところが、思つたようにふえていない。それで世界のいろいろな学者がい

うのは、戦争やつてタンカーがどんどん沈められたんで、海に石油が流れ込んでそれで死んだんだろうということになりました。とくにマッコウクジラなどを除いてヒゲクジラは、オキアミやイワシとか、サンマとか動物性プランクトンを主体にしたものをエサにしているわけですから、今後世界の交流が盛んになって大型のタンカーがふえると、それによる海洋汚染によって影響を受けるというほうが大きいんじゃないか。現にインド洋の南で火山噴火があつたんです。それから出た軽石をクジラが食べてみんな糞つまりになって死んでいた。海に浮いている表層のものを食べたわけです。

IWCの示す捕獲頭数を維持していけば、資源は維持していただけるでしょう。もし減るとすれば汚染問題ですね。

奥野 いずれにしても、とらないでほつておいても、決してふえない。

渡瀬 ふえないでしょうね。

内嶋 それだけ復元に時間がかかるんじゃないでしょうか。

山本 だけど捕獲頭数の計算のなかにはそれは十分入つてゐるわけでしょう。だから、最大生産量ということ

になりまして、ある程度間引いたほうが最大生産量になる。これは定説ですね。だから、いわゆる最大生産量になるような間引き方をしているかどうかということが一つ、それからいまおっしゃったように、全くいままで予測もしなかったようなインパクトが入ってくるということ。重油汚染なんていうのは、全く予想もしなかったようなインパクトなんだけれども、それがどう影響するかということについては全くわからないわけですね。

内嶋　ということはやはり、クジラの人口動態、クジラの動態が正しくわかっていないということですか。

山本　クジラについてはかなり世界中の情報が統一的に、例のロンドンの捕鯨委員会に報告されているんですよ。

渡瀬　報告されていたんですよ。で、戦後国際捕鯨協定でシロナガス換算一万六〇〇〇頭で始めたわけです。これだけにしておけば大丈夫だろうといっていたのが、だんだん減っちゃって、いま五〇〇頭足らずですよ。F A Oとかアメリカの学者にいわせると、国際捕鯨委員会のデータの出し方が生まぬるいからこういうことになったんだということ、いろいろ議論があったのですが……。

山本　それともう一つ私が聞いているのは、シロナガス換算というのが非常に大きな問題だということですが。

渡瀬　いまあの換算をやめるという声がだいぶあるわけですよ。というのは、これはシロナガス一頭からとれる鯨油の換算なんですよ。日本の場合は鯨肉全部とって食べているわけです。しかも動物性タンパク質としてかなりのウェイトを占めている。ですから、人間環境会議でたかれようがなにしようが、とにかくやっている（笑）。また、会社のいまだ大きなドル箱にもなっていますね。

水産資源の減少にたいする水産業界の責任

渡瀬　水産関係も缶詰工場や漁船などが公害をたらしっていると書かれますが、化学工業や海運などに比べれば少ないんですよ（笑）。

山本　そう思いますね。

奥野　最後に渡瀬さんに伺いたいのは、クジラにしろ、あるいはサケやマスにしろ、とにかく資源の減少は相当にすごいですよ。その資源の減少に関して水産業界は責任がないのかどうかということですよ。南水

洋の資源の減少は、全部タンカーの汚染と考えるのか、北洋のサケマスに関しても責任は汚染だけである……。

渡瀬 資源の減少とおっしゃいますけどね。ここに魚がおる。おれはある程度とつたからもうやめよう、そうするとそこを必ずだれかとるわけです。たとえば日本の別の会社の船がとるかもしれない。最近は何国際競争力という問題から、ソ連の船団もとるし、韓国の船団もとるし、やつらがとるんならおれもとろうということになる(笑)。ある程度の乱獲はみとめますが、それは日本だけでないことも知っておいていただきたいですね。

奥野 そういう話ですね。だから、企業のそういう商業主義的なものの考え方では、自分がとらなきゃだれかがとるんじゃないかということになる。

松中 ただ、水産業以外の産業は土地の所有権があるから、そうは自由にいかない。日本の国の中へソビエトがきて、なにか採掘するなんてことはできない。ところが公海はだれがとつてもいいということになっているから、一国だけできちんと精神的な規制してもほかの国が守ってくれない限り、その精神は生かされないと思うんです。

渡瀬 大会社のあるえらい人によりますと、クジラ、

クジラとギャンギャンいうな、おれたちは採算ベースが合う間とっているんだ、採算ベースにのらなくなつたらとらないよ、あんな大きな捕鯨船使つて、大勢の人間使つてとるんだから、採算ベースに合わないならとらない、そうしたらあとそのまま繁殖していくじゃないか、というんですね。

奥野 それはたしかにその通りで、いままで環境問題がおこる前はすべて「生産の効率化」というのが、一つの鉄則であつたわけなから、おっしゃるとおりなだけで、結果として資源が破壊されているということはやむをえんということになるのですかね。

渡瀬 だけど、こんどの第三次海洋法会議で世界の大部分の国が二〇〇マイル漁業領海説を主張していますから、会議が終わればそういうことになるでしょうね。そういう場合に、水産生物の大部分が大陸棚およびその斜面におるわけですから、それらはほとんどの国の経済水域の中で保護されることになりすね。

そうすると、日本やソ連のような遠洋漁業国は、今後は沿岸の国の漁業開発に力を貸して、むこうがいらぬものはとらしてください、売ってください、というようなかっこうでしか、やっていきようがなくなります。国

内は、ご承知のように、どこへいっても汚染で駄目ですし……。

きれいな海を

奥野 日本の沿岸は声を大にして清浄化をやってもらわないといけない。沿岸や内海ではちゃんとおいしい魚を食べさせてくれないと、私も困る(笑)。

山本 そのとおりだと思いますよ。沿岸は生産性が一番高いわけですから。

渡瀬 でも、いままで汚染されたり埋め立てられたりして、たとえば東京湾にいる日本人が非常に喜ぶ魚のライフ・サイクルはみんなこわされています。現にハゼなんか、いまなんとか保護されていますけど、コノシロだとかスズキだとか、ワタリガニなんかはあすこにライフ・サイクルをもったおいしい魚だったわけです。これらが全部だめになった。

田村 昔はシラウオがとれたそうですね。

渡瀬 ここは汚染区域だからとっちゃいかぬ、というところもだいたい出てきていますね。たとえば徳山の近海だとか……。日本近海の魚はみんな重金属やカドミウムやPCBを含んでいるということになるんで、遠洋の冷

凍物を食べるほうが安全だということになる。

奥野 その事態を21世紀までに変えろと逆に主張して、沿岸漁業でちゃんとい魚がとれるようにしないとけない。いままでの方向でやっていくと、開発輸入といたって開発される側がいずれ日本の瀬戸内海と同じになると心配して、国際協力がなかなかうまくいかないのじゃないかと思うんです。

渡瀬 発展途上国を見ますと、とにかく自分たちは工業がどんどん発展しなきゃならないんだ、日本のいう環境汚染だとか公害などはまだどうでもよいんだという国もありますね。だけど、水産業だけやっている限りは、海が汚染されるということは全然ないといえるでしょうね。南米のフィッシュミール工場のような例外はありませけれども、水産が汚染源になったということはなさそうです。そこで、国際的に漁業者が団結しうるとすれば、公害の被害者としての団結しかなと思つて、いずれは世界中の漁業者に呼びかけようと思つているところです。

飼料としての石油タンパクの登場

奥野 そういうわけで水産・畜産ともに資源確保が非

常にむつかしいわけで、そうすると最後に未来のエサとして石油タンパクがあがってくるわけですが、これはどうですか、石油タンパクだけじゃなくて、微生物食糧全体について、テクノロジー・アセスメントの問題も含めてどうですか。

山本 テクノロジー・アセスメント以前の問題として、結局こういう微生物タンパクというのは安全性が最大の問題点だと思います。これは自己保存本能なんですから、否定できないと思うんです。といって、石油タンパクをつくらないでいいかといったら、さきほどからのお話のように、やはりある程度はたよらざるをえないだろう。そうしますと、その矛盾点をどう解決していくかということに尽きるという感じなんです。

すでに消費者運動が大きな声になっているわけですが、この辺で国家規模でこういう新タンパク資源というもの、その安全性を含めたアセスメントを、もう一ぺんやってみなきゃいけないんじゃないだろうか、それから始めても決しておそすぎることはないという感じなんです。

ただ、その場合にもう一つ気になるのは、従来の食糧資源と競合しないということで化石燃料をタンパク質に変える方策として石油タンパクが出てきたわけですね。

ども、化石燃料そのものの寿命が大きな問題ですね。だから、微生物タンパクというのは微生物を培養する技術を新しく、より能率的な食糧生産のほうにふり向けるということですね。だからむしろ石油タンパクというよりも単細胞タンパク（シングルセルプロテイン）といったほうが妥当な表現じゃないか、という感じをもっているんです。シングルセルプロテイン、すなわち藻なり、組織細胞なりということになりますと、その安全性についてははるかに高くなるし、従来からわれわれが食べてきたものに非常に近いわけです。だから、これから発達していくというよりも、進めなきゃならない技術はその辺にあるのじゃなからうかという気がしますね。だから私は、石油タンパク自体の寿命はそんなに長いものじゃなからうと思ってるんですけれど。

さきほどから畜産公害の話が出ていたわけですが、さも、窒素の循環ということを考えますと、外からもってきた窒素が国内にたまるということが大きな問題になっているわけですが、現在ある窒素をうまく循環させれば、外からもってくるものをどんどんなくしてもすむわけで、そういう意味で窒素の循環というものを主体に考えたときにも、やはり単細胞タンパクを大きく発展させ

なきやならないという必然性があるという感じですよ。

奥野 石油タンパクは、石油自身の産出の問題がありますね。石油不足になれば石炭に切りかえて可能じゃないかと書いておられますが。

山本 はい、それはありますね。

奥野 きょうの話は石炭へいくよりも単細胞タンパクのほうが……。

山本 私はそのほうが……。それにいま熱の話が出たわけですけれども――。

奥野 熱の面でも化石燃料からやるほうがもちろん多くいるわけですね。

山本 多くいるというよりも、熱公害がおこる可能性がある。ということは化石燃料、これは石油からでも石炭からでもそうなんですけれども、酸素の消費量が六倍になりますから、いままでの糖質原料に比べて発熱量もそれだけあるわけです。ながが一番大きな問題かといったら冷却水をえることです。これは原子力発電のときのように熱公害の拡散ということになるわけです。これは目に見えない公害ですから、いまのところはたいした問題になってないようですけど、現実これが工業として動き出し、大規模に生産されると相当問題だと思

いますね。

単細胞タンパクと植物組織培養と

山中 単細胞タンパクというのは炭酸固定を考えておられるのですか。

山本 それはこれから話すつもりです。ただ、きょうのお話で農業食糧生産そのものなかで循環再生産というのを申し上げたんですけれども、そうしますとインプットとしてほかではき出した炭酸ガスをそこで固定する、というものの考え方も一つあります。

そういう意味からすればオートトローフの藻なりクロレラなりは非常に効果的なものなんですけれども、反面生産性からいったら、それは非常に生産性を悪くするゆえんです。だから、もう一つサイクルを下げて、われわれが食糧にしない、たとえば糖蜜みたいな農産物を藻に食わせる。それができれば、より効果的に炭酸固定ができる可能性はあるわけですが、いまのところその技術は完全にはできてない。

そういう意味からすれば、むしろ組織細胞の培養のほうが望ましいといえるかもしれません。植物の組織培養というのは存外知らない間にいろいろな利点が出てい

て、食糧生産にもおそらく使えるんじゃないだろうかと、私は感じているんです。ただ、タンパク生産ということからすると、果たしてそれが得策かどうかというところは問題があるにしても、いろいろな組織細胞を選んできれば可能性は十分あると思うんです。

マイナスをプラスへの可能性

渡瀬 原子力発電の温排水をマイナス・インパクトとみないで、水温をあげて培養などに活用できないかという問題ですが、やはり排水の問題、それかららむ漁業の補償の問題あるいは国民の反対というところで進んでいないですね。ですからたしかにこのマイナス面をプラスにするということを考えるのはいいのですけれども、いまの段階では、やはり公害・海洋汚染をふやす面が多いと思いますね。それに、原子力の安全性が確立されていないし……。

吉川 赤潮などのような微生物的な藻類も、大量濾過して食糧や飼料化する技術はどうですかね。

渡瀬 それはフィッシュポンプでもなんでも採算を無視してやればやれると思うんです。現にオキアミなんかソ連などでは、フィッシュポンプ主体でやっていますか

ら。日本はあれじゃとても燃料がかかってしょうがないからというので、いろいろ網を改良したりなんかしてやっていますけれども、あれではとつても企業採算的にベイしないですね。

山本 どうせ赤潮の発生の原因なんかは植物プランクトンでしょう。それから二次生産者として、動物プランクトンが食ってくれば少し形が大きくなるし、窒素の効率率が落ちてもかなり効率よくそのへんで転換できるはずですね。だからいまのところ赤潮というのは、ただ単に発生したらマイナスというだけでわれわれの知恵としては、まだなんにも利用の面を考えていないのですけれども、利用の道はありうるはずだと私はみているのです。そのへんはいかがですか。生物自体に赤潮を食わせるということです。

渡瀬 その赤潮が発生している海自体がPCBだとか、いろんな面で汚染されているから具合が悪いのですね。そのような心配のないところでやればいいと思うのですよ。

山本 赤潮のいわゆる窒素公害だけだったら問題はなけれども、ほかのものをも随伴するから、そうやったところでそれは食糧の中に再投入できない。だからいず

れにしたところで、それをどこかで集めて処理しなきゃならないのなら、やはり環境汚染源にしかからない。

松中 飼料として使ったときには石油酵母のベンツピレン以上にひどく問題にされるでしょうね(笑)。エト・セトラを問題にされることになるでしょうね。いまのままではね。

田村 生活排水と工業排水が分離されていけば、生活排水で赤潮が出た分には、それは腐るぐらいならいいわけで、腐りもしない海になってしまったらどうしようもないということですね。

石油不足と石油タンパク

渡瀬 この石油タンパクを考える場合、石油の九九・三％は海外から輸入しておるわけですね。そうするとそれを使ってタンパクをつくるということ自体がやはり問題があるんじゃないかと思うのですね。

山本 石油タンパクのもともとの発想はやはりタンパクの資源問題というのが、基本であることはまちがいないですけれども、さきほど申しあげたように、石油タンパク自体というのは、私は資源的にみて、結局それほど長続きする工業とはいえないだろうと思っています。

内嶋 やっぱりつなぎでしょうね。

松中 しかし、石油というものも有限であれば、石油をエネルギーとして燃やさないで食糧として確保したほうがいいという考え方はありうろと思えます。エネルギーは原子力に依存して、原子力を食糧にかえることは現状ではできませんからね。

山本 その考え方は、私も本文のなかのにのべておりませけれども。

化石燃料エネルギーの地球の気候への影響

田村 内嶋さん、食糧生産を工業でサポートする、肥料をつくる、それからトラクターを使う、さらに石油タンパクを使う、そういう場合の熱汚染ですね。非常に大量に工業エネルギーを使うということが、地球規模の気候を変動させるかどうかというようなことはまだ結論めいたことは出ていないのですか。

内嶋 出ています。

田村 地球規模の熱経済はまだ天井がずっと高いから当分大丈夫なのか、もうかなり天井に近いところで危険なのかというようなことは……？

内嶋 だいたい、いまの増加率でエネルギー消費が上

がっていくとすると、今後一〇〇年ぐらいで地球表面上に一年間に入ってくる日射量に匹敵するほどになりません。一^{cm}に一〇〇キロカロリーですね。

田村 一〇〇年でですか？

内嶋 一〇〇年から二〇〇年ですね。

田村 そこまでいったら、おしまいでしょう。太陽からくるエネルギーと同じぐらいのエネルギーを自分で発生したら。

内嶋 そうすると、地球上の気候が完全に人間の支配下にはいる。

田村 支配下にあるというのは、自然のコントロールが崩れてしまうことでしょうか。だけどそこまでの前に氷河が融けてしまうでしょう。そうじゃないでしょうか。

内嶋 氷河は融けますね。それで、二〇mぐらい水位が上がってくる。

田村 そうすると、そう遠い先の話じゃないでしょう。二〇〇年でそのくらいにいくとすれば、一〇〇年以内ぐらいで、いまの伸び方でいけば……。

松中 その話に関連して、われわれ21世紀を論ずるならば、そのファクターを農業生産に入れておく必要がある

るかないかということはないかということは？

内嶋 そう、具体的に気候変動は考慮すべきであるとして、考慮に入れますね。ここ二〜三〇年は降下の傾向ですね。

田村 塵が出るということですか。

内嶋 そうです。

渡瀬 しかしエネルギー資源というのは、いくら努力してもなんらかの形で公害をもたらすわけですね。さっきから話が出なかったのだけれども、気象資源を利用して、電力をとればいいじゃないですか。

内嶋 それは非常に望みがあるんですけども、要するに太陽からきて地球上にまき散らされて非常に薄められているのですね。だからそれをエネルギーとして利用するにはものすごく濃縮しなきゃいけない。そこが大きな問題です。

渡瀬 できないですかね。技術革新の世の中に月までいくのだからね。

内嶋 まだそれよりはヒマラヤ渓谷に水力発電所をつくるほうがやさしいですよ。

渡瀬 どうですかね？

内嶋 あそこは、落差が一、〇〇〇mや二、〇〇〇mは

ありますから。

石油タンパク企業の成立と国家の介入

奥野 これはちよつと余計な話だけれど、この間、新聞に石油タンパクが出たとき、企業の問題とからむのですけれども、イギリスとかアメリカでは、石油タンパクの工場をつくつても非常に規模が小さくて、少しずつはじめていく。ところが日本ではいきなり大規模な生産をやらないと採算がとれないというようなことが書かれていましたけれども、それはそうなんですか。

山本 そうなんです。というのはグレンジマウスというところで、BPOがいま三、〇〇〇トンの製造能力の工場を動かしておりますけれども、これを拡張する計画というのは、いまのところなにも聞いておりません。ということとは結局、国家まで含めて新しいタンパク資源に対する態度を完成しなきゃならないという考え方なのです。それが日本の企業で、年間三、〇〇〇トンの生産をつづけ、かつ、安全性のテストのためにそれを一〇年なら一〇年という単位でつづけるということは、はつきりいえば、それだけの経営負担力がないということですね。そうしますと、さきほど申しあげたように、やはり国家

が介入してこなきゃなるまいという感じを私はもっているのです。

奥野 BPOの場合は、国がそういう……。

山本 あれは国はほとんど介入しておりません。だからBPOなんかはそれだけの資本負担力をもっているわけです。

奥野 日本だとそういうふうになって、これはいまの水産資源のクジラの問題も同じことで、企業にそれだけの負担力がないから、結局やるとなればバカツとやることになり、国民全部が実験台にされるような可能性がありますからね。新しいものをとにかく導入しなきゃならないという状態になっているのだから、導入するんならば、ある意味じゃ国民的合意の上での一つの方針が出てこなきゃいかんわけですね。

山本 私はそう思っているのですけれど。

松中 その企業が負担できないというのは、単に毒性試験に対する負担力だけじゃないわけですか？

奥野 それだけではない。

山本 とくに経済的ないわゆる基本的な面がない場合には……。

奥野 年産三、〇〇〇トンなんかではぜんぜん採算と

れないというんですよ。

山本 したがって、私のところはいまのところこれを企業化する意思はもっておりません。非常に勝手ないい方なんです。ということは、結局、企業としてたしかに年産一万吨から一五〇〇〇トンのベースになれば、いちおうペイする線にきますけれども、さきほど申しあげたように、これが世に受け入れられるかどうかという一つのまだ未確定要素がある。そうするとそれだけのリスクをおかす値打ちがあるかどうかということになり、これは商業ベースでの話で、まだ決断していません。だからいまおっしゃる意味では、私のところは鐘ヶ淵化学と同じことをやろうという計画もしてきたわけですし、そう動いてもきましたし、いちおう小規模ながら生産をつづけております。それに、安全性試験あるいは飼料効率などのテストはつづけておりますけれども、トップ・バッターになってこれを企業化する意思がない。だからずるいといえはずるいのですけれども。

しめくりとしての提言

奥野 そういう問題が日本ではいろいろな場面に必ずひっつかかってくるのです。さて、みなさんのお話、だ

いたいこの辺でよろしいでしょうか。農業と環境保全、とくに農業が環境保全に果たす役割などにかんしては論議しませんでしたが、これは内嶋さんの論文で意をつくしていただくことにして、このあとのしめくりとして、農業科学の発展への御提言というようなことを一言ずつおっしゃってくださいますか。

オンリー・ワン・アースの将来計画の論議で

松中 いままでの論議でわかるように、21世紀までには、まだまだやらなきゃならないことがものすごくたくさんある。まかりまちがえば世界中が飢餓に陥らなきゃならぬかも知れんし、それから別の非常にぜいたくな道を進もうとすると、環境汚染的なそういう危険性もっている。いずれにしても、いまのペースでいく限りにおいて、21世紀になったときに、人口増加度合がいままでと同じとすると人類は本当にしあわせかどうか非常に疑問だと思えます。そこで、ここでは完全な未来予測ができなかったけれど、もっと確実なつめをして、長期のかつインターナショナルな計画を立てて、それこそ全地球一丸となって、オンリー・ワン・アース（かけがえのない地球）的な構想で計画を立てぬ限り、さっきの漁業問

題ではつきり現われているような問題も出てくるだろうし、各国ごとの利益を追求したんじやなかかなかむずかしい。そういうような考えで本当のオンリー・ワン・アーシ的な計画を立てて、科学者もそれに立ち向かうということをしらない限り、飢餓線上をさま迷うかも知れぬと思います。だから日本ではとくに米が余ったというようなことで、農業科学というのは非常に虐待視されつつあるけれども、経済大国を自任する日本であれば、世界的な問題としての情報を日本から生み出すような研究をこころまます重視しなければいけないと思います。

無駄のないように消費すること、「もったいないの精神」

吉川 21世紀の資源の問題ですがね、現在せっかく食糧をつくっても、それが合理的に消費されているかどうかということは、かなり疑問があるわけですね。そういうみみちちいようなケチな科学、食糧資源をいかに有効に使うか、あるいは人間が食べるのとそことそれ以外のものとの有効な循環ということをもう少しつめてやると、有効利用だけでもかなりのアローワンスは出てくるかと思えます。それは相当学問的には面白い問題で、かなり

一生懸命資本を投下してやってもいいのじゃないか。それはおそらく採算ベースにはのらんとおろが多いと思えますけれども、これだけの経済国家であればそのくらいのことではできるのじゃないか、投資としてはそのほうが汚れも少なくなるし、輸入量もある程度少なくなるし、食品工業とそれから排泄物あるいは汚水それらをひっきりめた循環の体系というものをもう少し検討すべきだと思います。

松中 一つには「もったいない精神」というか、われわれの子供の世代とわれわれとの違い、これも非常に影響していると思うのですね。いまの子供は残しても当然だと——好きなものだけ食べればいいんだという。ぼくらはとにかく多少こちらの条件が悪くても、食うものは食うからな(笑)、それも非常に効いてくるような気がしますね。

吉川 意識の問題ですね。

山本 だけど、やはり私は必要なことだと思ふ、「もったいない精神」は。エンクローズド・システム(閉鎖系)ということを考えますと、われわれの食べ残した物はわれわれ自身の手で処理をしなければならぬということですね。一方、エンクローズド・システムの輪を広げ

ていくということが、食糧生産の場合に必要なことになり、ますから、その輪を抜げるなかで残すということがどれだけの意味をもつかということをもういっぺん評価する必要がありますが、うな気がしますね。

田村 それは確かにそうですね。その問題出なかったけれども、捨てるのが非常にたいへんな時代にきているわけですね。

山本 そうです。

松中 食堂などでは、こちらの欲しくないものまでも出されちゃうから、残して捨てられる食糧の率も多いでしょうね。

吉川 このへんはやっぱりコンピューターかなんか使った必要量がわかるような、非常に細かいことまでやらんとだめだと思えますね。平均値でやったのではね。

松中 やはり食堂形式なんかもカフェテリア形式のほうがよいと思えますね。自分の欲しいだけ取るというような、日本の食堂はそうじゃなくって、だいたい一定の量をぼかんと置かれて、残す率が増す。そういうことまで考えねばなりませんね。

水産業への国家の保護政策の必要性

渡瀬 水産業の場合は、やはり国際的には21世紀にな

りましたら、世界の海洋生物資源というものは、おそろくすべて国際的な管理下におかれて運営されると思うのです。これは海底の資源もほとんど同じだと思えます。

日本の場合は、今後そういう水産業というものはどんどん衰退していく一方になると思います。水産業として残るのは、おそらく日本のローカルなもので水産新技術の開発によって省力化された生産性の高いものだけに成るでしょう。

ただ、私がここでぜひ申しあげたいのは、二年ぐらい前に日経調の大川報告というのが新聞紙上を賑わして、非常にセンセーションを呼んだわけですけれども、そのなかに日本の政府はGNPの1%を水産業に投資すべきだ、そして水産業というものを保護していかなきゃならないということが出ているわけです。こういうことを本当に国がやってくだされれば、また別の角度から21世紀の水産業というものの夢も出てくるのですけれども、現状は先細り以外に道がないということですね。

ライフ・サイエンスとしての新しい栄養学

田村 結局、21世紀からさらに将来の人類が生き延び

ていくための条件を考える場合に、現在の調子で人口が増えていつて六〇億、七〇億、そのくらいはなんとか切り抜けられるだろうけれども、いつかはそれがどこまでも野放図に伸びたらもうどうしようもないことになりませう。そこで非常にひろい意味のライフ・サイエンスの応用を考えると、やはり人類というのは、人口をいかにしたらコントロールできるかということと全世界をあげて考えざるをえないだろうと思えますね。心理的な問題もあるし、社会制度的な問題もあると思えますけれども、それをなにしるやらなければやる方向へ努力しなきゃならぬということが一つですね。

それからもう一つ、狭いほうの立場で食物を摂取するというほうから考えますと、人間が食物を選択して食べる。その食べるときのうまいとか、まずいとか、そういうものは非常に不合理なわけです。たとえば、グルタミン酸ソーダがうまいと思う。しかしグルタミン酸そのものは、アミノ酸のなかで必須アミノ酸じゃない。それからたとえば核酸もうまいと思う。核酸も生物学的にいえば重要な物質ですけども、われわれの栄養的な見地からいえば、必須な栄養素じゃないわけです。そういう形で人間という生物が食物を摂取するための信号がちゃっ

と根本的に狂っているわけです。それはほかの生物もそうだろうと思えますけれども、そういう意味で、人間というのは不完全なわけですから、将来の人類社会というのが、自分の行動をコントロールするためには、そういう人間の設計そのものの仕組みをもう少しよく理解しないことにはどうしようもないだろうと思えます。自分の欲しいままに食べていけば不健康になっちゃうというような状態があるわけですから、そういうような方面をライフ・サイエンスの広い意味の拡張として、食物科学といえますか、そういう方向でもコントロールして、理解して、それによってある程度オペレーティブにやれるようにする以外に根本的な解決はつかないような気がしますね。

松中 新しい栄養学の実現ですね。

田村 なにしる変なのですよ、現実にはね。西丸先生という偉い先生が食総研におられますが、彼によると、人間の信号機は欠乏した状態だとうまく動く。それが過剰になると、その信号機はもう適応不完全だということです。確かにそれが直観的に合っているような気がしますね。だから過剰の時代になると人間はどうしていいかわからなくなっちゃうわけです。

山本 もともと人間というのは不足に適合するようにできている。

田村 生物全体がそうだといいことですね。

松中 栄養もそこをやっていたわけですね。欠乏の栄養学を。足りたときの栄養学、食べることを考える栄養学が必要ということですね。

吉川 ネズミを非常にいい栄養状態にせずとふやしていったら、どんどん、生殖意欲を失っちゃって、もうほろびそうになっちゃったということが、最近の新聞に出ておりましたけれどもね。

成長の限界の許されない工業―食糧生産工業

山本 さきほどから微生物タンパクの問題をとりあげていたわけですけども、これは21世紀になっても食糧生産のためにさきほどからのエンクローズドの輪をはやく回すためにも、ますます発展させざるをえないだろうし、また、発展させるいろいろなオプリーションを負っているのだという考えです。

いちばんはじめに話が出ましたように、リジンあるいはスレオニンなどの必須アミノ酸の生産に、換言すればタンパクの生産に食糧以外のものから窒素を投入して、

窒素公害の元凶になりそうですが、反対に、その蓄積した窒素を再び空気中の窒素に戻してやることも微生物によってできるわけです。すなわち方向をよく見定めて、TAでマキシマム・アウトプットになるような発酵工業というのをこれからますます発展させていかなきゃならないだろう。これは成長の限界という考えからは矛盾したいい方なんですけれども、人口の増加にともなり食糧生産のための工業は、成長の限界を許されない工業の一つだと私は解釈しております。

環境を守る農業技術と農業の環境を守ること

内嶋 ぼくはやはりコンベンショナルな農業で三〇年あとの国民の生活を維持するのはかなり困難だとみているのです。たしかに戦後から二五年間はきわめて解析的な手段で、農業科学というのが発達してきて、その結果を使って個別的な技術が達成され、そして農業の生産を向上させてきた。それはかなり大きな功績だったけれど、今後コンベンショナル農業で生産を維持しながら、かつ安全な食糧と、それともう一つは環境を破壊しない農業というものを展開するためには、それを可能にする技術、これまでとぜんぜんちがった技術を開発しなきゃ

いけないのじゃないか。そういう観点からいうと、いわゆる解析的な手段を使ってきた農業科学というものから、もう一つ総合的観点に立ったというか、いわゆる農業生産過程をふくむもつと高次な生態系との共生的な発展というものを可能にする農業技術が必要と思います。そのためには農学の新しい体系づけと、それにもとづいて、農業技術の研究を強力に推進しなければなりません。それが一つ。それからもう一つは、現在、農業生産、これは林業、普通いわゆるコンベンショナルの農業・水産、そういうものをふくめての生産の場というものが、人間の生産活動もしくは普通の生活活動というものによって非常に破壊されつつある。そういうものから食糧を生産する場を守ることを強力に進めなければいけないと思います。ただこの場合、強力に進めるということとはやはり各人のもっている物質的進歩へのあこがれ、欲求といかに闘っていくかということが、人間として必要になってきます。それとパラレルに環境を守るといふ運動が展開されたとき、初めてわれわれは21世紀における農業生産の場を安全で清浄な形で確保できるのじゃないだろうか。

たのしみの一つ、食べることへ最大の努力を

玉井 食べることは生活の三要素の一つですね。それが一番大きな欲求だと思つては、最大のたのしみではないえないかも知らんけれども、生活の中でたのしみの一つだ。そうしたもの将来に向かって今後だんだん悪くなるかも知れない。動物性タンパク質がだんだん減つていって、植物だけの食糧をとるのが質素だとはいいかねるかも知らんけれども、非常になにか耐乏生活的な感じを植えつけることになり、たのしみをとってしまうようなことになりかねないわけです。そこで、それを避け、人類が長く生きていくためには、農業の科学だけで解決されるには限らないけれども、少なくとも最大の努力は払つていかなきゃならないだろうと思います。

問題解決へ多様なアプローチ、国民的合意と

ライフ・サイエンス

奥野 私はよくわからないから、いろいろ問題を出してみなさんに教えてもらったような感じなんですけれども、結局、21世紀の食糧問題に関しては、いろんな提案がありましたね。第一次生産だけでやるとか、畜産と水産、それから工業的食糧の増産、いろいろな提案が出て

いるけれども、結局どれもみなそれなりの問題をふくんで、しかも非常に困難なものである。そうすると結局、ある面では悲観的ですが、なんとでも生きていくためには、なんとかしなきゃならないわけで、本当いえば、これらの提案をそれぞれどの程度の割合で実現していけばよいかということまで評価できればいいわけですね。テクノロジ・アセスメントをそこまでしなきゃいかんことだと思おうですけれども、きょうはそこまではとも話めることはできなかった。しかし、これは全然だめだからいかんというようなのはひとつもなく、結局、多様なアプローチをする以外にないだろうということになったと思います。しかも、地球上の人間がそのようにアプローチしても、21世紀には幸福になるかどうかかわからないという悲観的な観測もありました。また、もう一つの問題は、やっぱり企業と消費者の關係にあります。企業は利潤を追求することを目的とするわけだし、消費者のほうはさきほど来いろいろお話が出たように、変な先入観をもっているわけで、消費者教育ということも、非常に大事な問題としては残ると思うのですけれども、その両者の価値観について、国民的合意というものができないことには、さきほどのお話でも

一つの科学を進めることもできないわけですね。だからそういう国民的合意を、いまなにを食っていくか、どういう科学を發展させるか、あるいは自分たちの欲望の抑制をどうするか、というような問題について獲得していかねばなりません。それは日本の国内でいえばそうだけれども、地球全体からいえば、南北問題に対応します。その展望まではなかなか出てこないけれども、われわれは開発途上国の資源を奪って生きているともいえますから、そのこと自身を日本人はまじめに考えなきゃいかんと思います。

最後には、やっぱりそういうようなかなか暗い見通しのなかで、みなさんさつきおっしゃったように、ただ一つの望みというか、これから本質的になんとか飛躍的に解決できるものといえば、農業科学とか、ライフ・サイエンスとか根本的に新しいものでやる以外にないのです。それはいままでの科学技術の研究だけではとてもだめなのだから、本質的になにか飛躍するという問題意識を農業科学者みんながもつようにならんといかんのじゃないかというような感じがいたしました。

この辺で、この座談会のしめくり、そして、この本のしめくりにいたしたいと思います。

座談会テープをとりまてめてみて

速記者の方々が録音テープからまてめられた記録をもとに、これを記事としてまてめよとの命令が私に下りました。テープをききながら、消したり書いたり、録音や喋り言葉の不完全さ、内容の深さ・浅さ・広さからくる難解さ、他人の意見を表現する難しさなどが原因して、大分、難渋苦行いたしました。もちろん出来上がりのまずさは、まてめの責任であります。

内容の歴史的？な価値について、ひとこと触れておきたいと思います。この座談会がおこなわれましたのは、昭和四十八年一月十七日でした。そして、この座談会は、21世紀への技術予測から出発したものであります。しかしながら、その後の世の中の動きのほげしさは異常としか表現できないような状態で、いかに予測というものが難しく、かつひとりよがりのものであるかを感じさせられました。よく、お読みいただければ、石油不足、資源問題、南北問題などにも意見が出されてはいませんが、現在のそれほど実感をもって語られてはいません。技術予測自身が「世界的な戦争など」のような大きな社会的変動がない場合を仮定して実施されたと記憶していますが、中東戦争の再発が石油を戦略手段にさそいこみ、それにアメリカ経済のまきかえし、南北問題が加わって、単純な予測のむつかしさ、

というよりむなしささえ感じられます。

しかし、見方をかえれば、米は余った、消費は美德の時代に、石油不足・もつたいないの精神なども論じられており、すこしは予測の線が出ていようにも思います。その評価をどうするかは別として、とにかく時の流れをおしはかることの難しさが浮かび上がってきました。

(松中 昭一)

主な引用参考文献

第一章

- ブラウン Brown, L. R. (一九六七) The world outlook for conventional agriculture. *Science*, 158, 604-611.
- フライソン Bryson, R. A. (一九七二) Climatic modification by air pollution. *The environmental future*. MacMillian Press, New York.
- ブディロ Budyko, M. I. (一九七一) 気候と生命、水文気象出版局 (気候と生命、内嶋・岩切訳 東京大学出版会、一九七三)。
- ブディロ Budyko, M. I. (一九七四) 気候の変化、水文気象出版局。
- ディーヴィー Devey, Jr. E. D. (一九七〇) The human population, in "Plant Agriculture" pp. 198-205.
- 桐谷圭治・湯嶋健・金沢純 (一九七一) 殺虫剤による生態系の汚染 (一) 科学 四一 三〇六-三一四。
- 盛永俊太郎 (一九五一) 農学考、養賢堂、東京。
- オダム Odum, E. P. (一九七一) *Fundamentals of Ecology* (3rd), Sanders.
- オダム Odum, H. T. (一九六七) *Energistics of world food production* (世界食糧生産のエネルギー論的考察、内嶋訳 国際食糧農業協会刊、一九六八)。
- 武谷三男 (一九五五) 続弁証法の諸問題、理論社、東京。
- 竹内均・島津康男 (一九六九) 現代地球科学、筑摩書房、東京。
- 内嶋善兵衛 (一九七〇) 農業生産におけるエネルギーの流れ、化学と生物、八、六九八-七二〇。

第三章

荒川秀俊(一九五五)気候変動論、地人書館、東京。

ブライソン Bryson, R. A. (一九七二) Climatic modification by air pollution. The environmental future. MacMillian Press, New York.

ブディコ Budyko, M. I. (一九五六) 地球表面の熱収支、水文気象出版局(地表面の熱収支、内嶋訳、河川水
温調査会、一九五九)。

ブディコ Budyko, M. I. (一九七二) 気候と生命、水文気象出版局(気候と生命、内嶋・岩切訳、東京大学
出版会、一九七三)。

ブディコ Budyko, M. I. (一九七四) 気候の変化、水文気象出版局、レニングラード。

デルヴィッチ Delwiche, C. C. (一九七〇) The nitrogen cycle, in "the Biosphere" pp. 71-80.

エフイモワ Efimova, N. A. (一九六九) Geographical distribution of photosynthetically active solar radi-
ation, in "Basic problems of biological productivity" pp. 160-164.

ゴルトツベルグ Golsberg, I. A. (一九七二) 世界農業気候図、水文気象出版局、レニングラード。
半谷高久(一九七二)社会地球化学、紀国屋書店、東京。

榎根 勇(一九六七)地球上の水の総量とその循環速度、水利科学、一一、八四—九四。
研究水準調査委員会(一九六九)農学分野における研究水準の測定等に関する調査報告書。

岸田恭充(一九七三)耕地の放射エネルギー利用に関する農業気象学的研究(1)九農試報告、一七、一—七九。

小林 純(一九七二)水の健康診断、岩波書店、東京。

ロンドラチエフ Kondrachev, K. Ja. (一九六九) Radiation in the atmosphere. Academic press, New York
and London.

- メドウズ D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens, W. W. (一九七二) 生長の限界 'Universe Books, New York.
- モンテith, J. L., Seicz, G. and Yabuki K. (一九六四) Crop photosynthesis and the flux of carbon dioxide below the canopy. *J. appl. Ecol.* 1, 321-337.
- モンテith, J. L. (一九七〇) Prospects for photosynthesis from A. D. 1970 to A. D. 2000. *Weather*, 25, 456-462.
- ニチポロニチ Nichiporovich, A. A. (一九六六) Some problems relating to studies of photosynthesis of crops as a factor influencing crop production in "Photosynthetic system with high productivity" pp. 1-50. *ニチポロニチ Nichiporovich, A. A. (一九七二) Photosynthesis and biosphere. Priroda No. 6, 9-15.*
- ページ Page, A. L., Ganje, T. J. and Joshi, M. S. (一九七二) Lead quantities in plants, soil and air near some major highways in southern California. *Hilgardia*, 41, 1-31.
- ピメンタル Pimental, D., Hurd, L. E., Bellotti, A. C., Forester, M. J., Oka, I. N., Sholes, O. D. and Whitman, R. J. (一九七三) Food production and energy crisis. *Science*, 182, 443-449.
- シュルギン Shulgin, I. A. (一九六九) 太陽と植物、水文気象出版局、レニングラード。
- 竹内 均・島津康男 (一九六九) 現代地球科学、筑摩書房、東京。
- 竹内 均・長谷川洋作 (一九七四) 地球生態学、ダイヤモンド社、東京。
- 内嶋善兵衛 (一九七四) 群落内のCO₂環境、新編農業気象ハンドブック、pp. 224-229. 養賢堂、東京。
- 山本義一 (一九七二) 大気汚染と気候の変化、サイエンス、二、六六-七九。
- 依田恭二 (一九七二) 森林の生態学、筑地書館、東京。
- ヴィットナー Wittwer, S. H. (一九七五) Food production: Technology and the resource base. *Science*,

188, 579-188.

World atlas of heat balance (一九六三) 水文気象出版局、レニングラー。。

第五章 第四節

- (1) 渡辺徳二(一九七二)石油化学工業、岩波書店、東京。
- (2) 岩崎秀夫(一九七二)化学と工業、二四、六七九。
- (3) 田村真八郎(一九七二)食糧——その科学と技術、一四、一、食糧研究所。
- (4) 三好 Miyosi, M. (一八九五) *Janrb. Wiss. Botan*, 28, 269.
- (5) ベンケン Söngen, N. L. (一九〇六) *Zentr. Bakteriol. Parasitenk. Abt. II*, 15, 513.
- (6) ホホルブルガー Hoerburger, W. (一九五五) *Landes Nordrhein Westfalen*, 131, 22.
- (7) アンノー Azoulay, E. et al., (一九五八) *Compt. Rend.*, 247, 1251.
- (8) ライモンド Raymond, R. L. (一九六二) *Develop. Ind. Microbiol.*, 2, 23.
- (9) Société Française des Petroles BP.
 - (a) French Pat., 1, 297, 033 (一九六二)
 - (b) French Pat., 1, 297, 619 (一九六二)
 - (c) French Pat., 1, 316, 506 (一九六二)
 - (d) French Pat., 1, 334, 466 (一九六二)
- チャンパン Champaignat, A. et al., (一九六三) *Nature*, 197, 13.
- (10) ハンナー Humphrey, A. E. (一九六〇) *Proces Biochemistry*, 5, 19.
- (11) ビレンチヤク Vilenchich, R. et al., (一九七一) *Ibid.*, 6, 41.
- (12) 山田浩一(一九七〇)石油酸酵、六三頁、幸書房、東京。

- (13) 山田浩一(一九七〇)石油醱酵、七〇頁、幸書房、東京。
- (14) 山田浩一(一九七〇)石油醱酵、九〇頁、幸書房、東京。
- (15) ノールン Lewelyn, D. A. B. (一九六七) Symposium on Microbiology, London; Chem. Eng. News, 45, 46.
- 加藤清彦(一九七五)食の科学、二四、四二。
- (16) 山田浩一(一九七〇)石油醱酵、九三頁、幸書房、東京。
- (17) 大沢岳義ら(一九六九)石油学会誌、一二、二。
- (18) 鈴木武雄ら(一九七〇)有機合成化学協会誌、二八、五〇四。
- (19) 鈴木武雄(一九六九)Agr. Biol. Chem., 33, 1619.
- (20) 鈴木武雄ら(一九六九)Ibid., 33, 190.
- (21) デーユス Davis, J. B. (一九六九) Petroleum Microbiology, pp. 299-307, Elsevier Publishing Co., New York.
- (22) Institut Français du Pétrole (一九七二) PAG Bulletin, 2, 19.
- (23) クレメント Clément, G. (一九六八) "Single Cell Protein", p. 306, MIT Press, Cambridge, Mass. 山田浩一(一九七四)醱協誌、三三、一三。
- (24) オスワルド Oswald, W. J. et al. (一九六八) "Single Cell Protein", p. 271, MIT Press, Cambridge, Mass.
- (25) 小林正泰(一九七一)日本食品工業学会第18回大会シンポジウム講演集、五四。
- (26) シラー & Miller, R. L. et al. (一九七一) J. Food Science, 36, 774.
- (27) 中村 浩(一九七一)糞尿博士世界を行く、広濟堂出版。

- (28) マンデルス⁵ Mandels, M. et al. (一九六八) Technical Report 69-36-7L. U. S. Army Natick Laboratories.
- (29) マーチン⁵ Martin, S. M. et al. (一九七二) Progress in Industrial Microbiology, **9**, 14, J.&A. Churchill, London.
- (30) PAG Statement No. 4, June 1970, "PAG Statement on Single Cell Protein".
齊藤 健 (一九七二) 化学と生物, **九**, 二〇〇。
- (31) ミラー⁵ Millar, D. S. et al. (一九五五) Brit. J. Nutrition, **9**, 382,
必須アミノ酸研究会編 (一九六五) 蛋白質必要量, 八九頁, 第一出版株式会社。
- (32) オスボーン Osborne, T. B. (一九一七) J. Biol. Chem., **32**, 369,
必須アミノ酸研究会編 (一九六五) 蛋白質必要量, 九二頁, 第一出版株式会社。
- (33) グリマー⁵ Grimmer, G. et al. (一九六五) J. Chromatog., **20**, 89,
齊藤 健 (一九七〇) 化学と生物, **八**, 一七八。
- (34) シャックレデー Shacklady, C. A. (一九六二) "The Second International Conference on Global Impact of Applied Microbiology", Addis Abeva, 6~11th Nov.
- (35) ヴ・グロート⁵ de Groot, A. P. et al. (一九七〇) Fd Cosmet. Toxicology, **8**, 267, 499; *ibid.*, **9**, 787 (1971)。
- (36) 吉田 実 (一九七五) 食の科学, **二四**, 五四。
- 吉田 実 (一九七五) 石油と微生物, **一三**, 一三。
- (37) エグレン⁵ Ågren, G. et al. (一九七四) Nutr. Metabol., **17**, 20.
- (38) アブラハムソン⁵ Abrahamson, L. et al. (一九七二) *Ibid.*, **13**, 186.

執筆者一覧 (執筆順)

奥野忠一 東京大学教授
内嶋善兵衛 農林水産省農業技術研究所
田村真八郎 農林水産省食品総合研究所
玉井公男 農林水産省食糧庁輸入課
松中昭一 神戸大学教授
吉川誠次 農林水産省食品総合研究所
山本淳 帝国女子大学教授
渡瀬節雄 大日本水産会



21 世紀の食糧・農業

UP 選書 149

1975 年 9 月 30 日 初 版

1980 年 8 月 20 日 第 5 刷

[検印廃止]

編 者 おくのただかず
奥野忠一 ©

発行所 財団法人 東京大学出版会

代 表 者 江 村 稔

113 東京都文京区本郷 7-3-1 東大構内

電話 (811) 8814・振替東京 6-59964

印刷所 研究社印刷株式会社

製本所 新栄社製本所

1361-06494-5149

福金大 武沢内 直夏樹 編力編	鈴木勝 繼沼晴 美雄編	高橋 昶正著	東大 公開講座	東大 公開講座	阪本 一寧男 郎訳	ベイカ ー著 福田一 郎訳	内嶋善 兵衛著 シユル ギン著 内嶋善 兵衛訳	岩切 敏著 内嶋善 兵衛著 ブディ コ著
日 本 の 農 業	人 類 生 態 学 ノ ー ト	食 品 公 害 の し く み	魚	食 糧	植 物 と 文 明	植 物 と 文 明	太 陽 光 と 植 物	気 候 と 生 命
定四 価六	定四 価六	定四 価六	定 4 価 6	定 4 価 6	定四 価六	定四 価六	定A 価 5	下上
九三 八〇 〇〇 円頁	九二 〇六 〇〇 円頁	九二 〇九 〇〇 円頁	一 二 三 〇 二 〇 〇 円頁	一 二 二 〇 九 〇 〇 円頁	九二 七 〇 〇 円頁	九二 七 〇 〇 円頁	一 八 一 八 〇 〇 円頁	二 二 〇 〇 〇 〇 円頁

ここに表示された定価は、物価の変動などにより
変更されることがありますので御諒承ください。