



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	組換えDNA論争史に学ぶSTS教育 : 大学一般教育課程での授業実践報告
Author(s)	北田, 薫
Citation	教授学の探究, 28, 1-35
Issue Date	2011-02-18
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/44877
Type	departmental bulletin paper
File Information	Kitada.2.pdf



組換え DNA 論争史に学ぶ STS 教育

——大学一般教育課程での授業実践報告——

北 田 薫

(北海道大学教育学院博士後期課程)

目 次

1. はじめに
 2. 授業の構想と教材構成の視点
 3. 大学一般教育課程「基礎生物学」での授業実践とその評価
 4. 考察と課題
 5. おわりに
- 文献

1. はじめに

先端科学・技術のリスクガバナンスを理解するために、1970年代の「組換え DNA¹ 論争」を中心とした事例を STS 教育の視点から教材化し、2009年に大学一般教育課程「基礎生物学」で授業実践した結果を報告する。リスクガバナンスとは、科学技術や産業経済の発展がもたらす便益を享受しつつ、それに伴うリスク（不確実な危険）から人々の生命や財産、社会の秩序を護るために行われる活動である（平川, 2007a/2007b）。ガバナンスとは、統治者が一方的、トップダウン的に非統治者を統治するのではなく、両者間の信頼関係をはじめ、社会の構成員の協力や合意によって統治することと言う意味合いを強くもった言葉である（宮川, 2002: 10）。本論においては、市民が自ら冒したリスクではないにもかかわらず先端科学・技術に起因する不確実な危険が人々の生活の中に入り込む現代社会において、このような危険をどのように管理していったらいいか、ということへの初歩的な理解を深める授業について考察していく。

2. 授業の構想と教材構成の視点

2. 1. 授業の構想

20世紀後半以降の生命科学の急速な進展は、科学に問うことはできるが、科学だけでは答えることができないトランス・サイエンス（Weinberg, 1972; 小林, 2007）の問題群を産み出してきたし、今後も新たな問題が生じ続けるだろうことが予想される。例えば、近年では遺伝子組換え生物、クローン生物、遺伝子診断・治療、デザイナーベビー等々、科学だけでは

1 「組換え DNA」は、recombinant DNA の訳語である。日本では一般向けに「遺伝子組換え」と訳されてきた経緯はあるが、遺伝子と DNA はイコールではない。科学的な正確さを保つために本文中では、この技術を直接指す際など基本的に「組換え DNA」を用いる。ただし、「遺伝子組換え生物」「遺伝子組換え作物」については、読者の理解を容易にするために、一般向けの用語をそのまま使用した。

答を出せない多くの倫理的法的社会的問題 (ethical, legal and social issues, 以降は ELSI と略記) が存在する。これらの問題は、いずれも解決したとは言えない問題であり、加えて、新たな技術開発によって新たな生命操作・遺伝子操作が行われ、実生活への効用とともに新たな文明論的な問題群を産み出すであろうことは多くの論者によって指摘されている。

すなわち、現代人は生命科学に関連する ELSI に常に直面しており、このような状況に対応できる市民の科学リテラシー育成のために、高校や大学で生命科学に関する STS 教育が一定の役割を果たすことが期待される。そこで、トランス・サイエンス領域にある ELSI 問題の出発点とも言える 1970 年代の「組換え DNA 論争」に着目することで、有効な STS 教育が組織できるのではないかと考え、授業づくりを行った。

「組換え DNA 論争」とは、1973 年にコーエン & ボイヤーにより「組換え DNA 技術」が確立したことをきっかけに生じたこの技術の利用に関する論争である。1970 年代の論争の焦点は、「研究上のリスク問題」にあった。「研究上のリスク問題」とは、がんの遺伝子や抗生物質耐性または細菌毒素の因子を、人の腸内に簡単に棲みつく大腸菌に入れることに伴うバイオハザードが心配された問題である。そのような実験のモラトリアム実施の是非と、組換え DNA 実験一般のリスクと規制の問題をどうするのかが争点であった。70 年代後半に専門家の間ではその議論に一定の収束が見られた。しかし、1990 年代以降、遺伝子組換え作物などその社会への適用を巡って二次的な論争が続いている問題である。

科学・技術が広く社会に影響を及ぼす問題には、作られつつあるフロンティア科学の不確実性 (リスク)、価値や利害の衝突などが複雑に絡んでいることが多い。このような問題は、科学・技術の専門知だけで解決できないことは自明のことである。必要とされるのは、科学・技術の知識ばかりに頼って問題を解決しようとする偏った科学的合理性ではなく、公共の判断基準によって問題を解決しようとする社会的合理性であろう (藤垣, 2003)。社会問題を引き起こした、あるいは引き起こすかもしれない技術を評価するテクノロジーアセスメントに市民が積極的に参加するなど、市民が社会的合理性を発揮するための手段が具体的に検討されている。市民参加についても、コンセンサス会議やシナリオ・ワークショップなどが試みられている。多くの市民の意見を代表しているのかといった参加形態の問題等、改善すべき点はあるものの、従来の公開討論会にありがちな伝達講習的方法でない新しい手法が欧米から輸入され、研究が行われている (小林, 2004; 三上, 2007)。

日本の学校や大学では、1990 年前後より STS 教育の研究や実践は盛んに行われてきた (小川, 2002)。本稿の研究では、上述のような近年の動向を取り入れて、先端科学・技術が社会に広く影響を及ぼす問題の特質を把握し、市民の能力を育成する視点で授業プラン作成を行った。

2. 2. テーマの設定と教材構成上の視点

授業プラン作成においては、2. 1. で示した構想に基づき、先端科学・技術のリスクが社会に広く影響を及ぼし問題化した事例 (素材) として「組換え DNA 論争」を教材化することにした。この論争を選択した理由は、不確実性、価値、利害関係のいずれもが絡んでおり、「典型的な事例」であると考えたからである。そう考えた理由は、まず、1970 年代にこの技術が登場した当時、専門家の間でも、この技術の利用がどんなバイオハザードを引き起こすかわからないという「不確実性」(リスク) の高い状態にあり、その後データの蓄積により見積もら

れるリスクの程度は変遷したが、なお環境への影響等が心配される誰もが知っているリスク問題であるからである。また、DNA という生命の根源としての遺伝子を担う物質を組換えることへの「価値」観の相違があり、この技術の産業利用に関する「利害関係」も生じている問題であり、先端科学・技術のリスク問題について学ぶことのできる事例であると考えたからである。

藤岡（1981）は、「教材化」にも2つの意味内容、側面があるとする。1つは「教育内容の教材化」であり、「目標から下降して教育内容をになうにふさわしい事実や現象を選びだす」という側面である。もう1つは、「素材の教材化」であり、「子どもの興味をひきつけるような事実や現象（素材）から出発して、分析によって担うべき教育内容を明らかにしてゆくという側面である」としている（藤岡，1981：101-102）。「組換え DNA 論争」は高校生以上の発達段階にある学習者をひきつける事実であろう。藤岡の言う後者の側面からの教材化が可能であると考え。本研究では、先端科学・技術のリスク問題の典型例として「組換え DNA 論争」の事例（素材）を選択し、科学史や科学技術社会論の文献・資料を分析することでその教材化を行った。

本研究では、「組換え DNA 論争」の問題の本質をより深く捉えるために、「この技術が登場した時点の科学に遡る」ことが有効であると考えた。すなわち、「組換え DNA 技術」が台頭した当時（1970 年代）の分子生物学者たちの中ですでにおこっていたこの技術に対する問題意識がどのようなものであり、その解決を科学者たちはどのようにして図ろうとしたのか、を学習者に追体験させるようにしたのである。そこで、本授業プランでは、学習の中心を「コーエン&ボイヤーによる組換え DNA 技術の確立」「モラトリウム・レター」「アシロマ会議」に置くことにした。

「モラトリウム・レター」とは、1973 年「組換え DNA 技術」が確立し、容易にできるようになったことを受け、バイオハザードが心配される実験を停止することを提案したレターである。1974 年 7 月、分子生物学者であるポール・バーグやジェームス・D・ワトソンらの連名で *Science*, *Nature*, *NA S* 刊行物に掲載された。そして、実際に、約半年にわたる研究者たちの実験自粛が行われた。また、この「モラトリウム・レター」に掲載された提案を受けて、世界の分子生物学者約 140 人が 1975 年 2 月、「組換え DNA 技術」の利用について議論するためにカリフォルニア州アシロマに集まった会議が「アシロマ会議」である。「モラトリウム・レター」から「アシロマ会議」にかけての一連の経過は、「科学者がみずから実験の危険性を事前に察知し、これを一時的に自粛した科学史上、初めての画期的事件」（米本，1985：45）と言われている。

素材の教材化という作業においては、コナント（James B. Conant）が HCH（Harvard Case Histories in Experimental Science）で用いた方法（Conant & Nash, 1957；Conant, 1947）（以降、鶴岡（1983）に倣い「科学事例史法」と称す）を利用した。すなわち、「科学史における興奮する出来事にかつて関わった人々の経験を追体験することを援助する」（Conant, 1957：ix）構成にしたのである。そのために、HCH と同様に、科学者の原著論文やレター、その要約など、科学者が実際に目にする原文（もしくは訳文）を活かして教材を構成した。

そのような方法をとったのは次の3つの理由による。(1)学習者がこの歴史的場面に身をおくことで、1970 年代当時は、「組換え DNA 技術」が専門家にとってさえ、いかに不確実性（リスク）の高い未知の技術であったかを知ることができる。(2)学習者にとっては見えにくい科学

者の活動の内実（作られつつあるフロンティア科学の現状）を知ることができ、科学に何ができて何ができないのかについての理解が深まる。(3)当時の科学者が直面した状況に学習者を立たせることによって、科学者の立場と科学者以外の立場ではこの問題に対する捉え方に違いがあり、そのことが、科学者共同体内部では収束したかに見えるこの問題に関して、現在でも論争が絶えない原因の一つであることに気づく可能性がある。例えば、生命科学者の多くは、生命倫理やリスクの問題があっても研究を進めること自体に価値を見出すが、それを専門としない者の場合、生命操作を伴う研究に対する価値判断は異なる。

2. 3. 教材構成

授業実践に先立ち、作成した教材名、教育目標、対象者、は以下の通りである。教材・授業実践の概要を示す（表 1）。

- (1) 教材名：「モラトリアム・レター：分子生物学者たちの来た道をたどる Ver. 1.0」
- (2) 教育目標：科学・技術が社会に影響を与えるリスク問題について、次の知識・技能を習得する。
 - ① 不確実性下の判断、リスク管理（予防原則、順応的管理）の考え方を知る。
（→問 3 に対応）
 - ② 科学・技術が社会に影響を与えるリスク問題には、科学・技術の専門知だけでは解決がつかない価値や利害関係の問題が含まれていることを知る。（→問 4 に対応）
 - ③ ①②を踏まえた上で、遺伝子組換え作物が引き起こす社会的問題に対し、自分の意見を理由とともに述べることができる。（→問 5 に対応）
- (3) 対象者：将来、民主社会の一員として科学・技術を判断する必要がある高校生～大学生。
ただし今回（Ver. 1.0）の設定では、栄養科学科の学生に対し半期にわたる「基礎生物学」の授業を行なった最後の段階に設定していたため、遺伝子発現の仕組みを一定程度理解している（高校生物Ⅱの遺伝子組換え技術の科学的内容を習得している）大学生を想定した。

表 1 教材『モラトリアム・レター：分子生物学者たちの来た道をたどる』を用いて行った授業実践の概要

	授業内容	問いの設定	問いのねらい
1 日 目	1 DNA 分子構造解明とそのインパクト ・ワトソン & クリックの論文提示 ・DNA 分子構造解明は多方面に影響したこと	問 1 A DNA 分子構造解明の感想 B 科学とはどのようなものか？	科学の正の側面の認識
	2 「遺伝子組換え技術」が手に入った時、科学者は何を考えたか？ ・コーエン & ボイヤー論文要旨の提示 ・遺伝子組換え技術の説明	問 2【分子生物学者の立場で】A 遺伝子組換え技術の登場で感じることに B この技術をどのように使っていけばいいか？	A 科学・技術の負の側面の認識 B 科学・技術を制御する必要性

	授業内容	問いの設定	問いのねらい
1 目 目	3 モラトリウム・レター ・モラトリウム・レター掲載までのいきさつ ・モラトリウム・レターの要約を提示 4 アシロマ会議が開かれる ・アシロマ会議では、さまざまな議論展開されたこと。	問3【分子生物学者の立場で】アシロマ会議でどんなことを発言したいか？また、それはなぜか。	科学・技術が社会に影響を与えるリスク問題の特質を知る（不確実性下の判断、リスク管理の問題）
2 目 目	5 1970年代から80年代へ：科学者たちの論争の収束 ・アシロマ会議の結論 ・最初のNIHのガイドラインの公布（表1）組換えDNA実験の典型に対する物理的および生物的封じ込め ・ガイドライン緩和 （表2）組換えDNA実験の宿主としての大腸菌K12株を使うリスクについての見解の変遷 ・科学者たちの行動をどう見るか？ 6 ゲノムビジネスの時代へ	問4 科学者の行動とその後の態度変化をどう感じたか。	科学・技術が社会に影響を与えるリスク問題の特質を知る（価値や利害関係が絡んでいること） + 科学技術への市民参加への気づき
	7 身近な問題としてとらえよう：遺伝子組換え作物の是非 （表3）組換えDNA技術の産業化・実用化の歴史 ・遺伝子組換え作物（第一世代、第二世代） ・世界のGMO生産マップ	問5 遺伝子組換え作物に対する意見とその理由	遺伝子組み換え作物が引き起こす社会的問題に対し、自分の意見を理由とともに述べることができる

本研究においては、科学史上の重要な出来事を追体験するという「科学事例史法」を参考にし、授業の順序は歴史事例の発生順序と関連をもたせた。歴史事例の発生順に素材を配列することは、「先端科学の知識から生まれた技術がどのようにして問題化していくのか」や「危険の大きさと発生確率で特徴づけられるリスクそのものの変遷」、「科学者や市民のリスク認識がどのように変化していくのか」を知るための順序としても適切であると考えたので、敢えてそのまま年代順に並べることにした。

表1の「問いのねらい」の配列には、教授－学習方略としての工夫を施していたので順に述べる。まず、問1では、科学が自然を解明する営みであり、人類の福祉に貢献する正の側面を持っていることを確認させる意図があった。これは、問2以降、科学・技術の負の側面に注意を向けるので、教材全体としてのバランスをとる意味と、科学の知識が新しい技術革新に繋がることに気付かせるための前置きである。問2では、分子生物学の研究成果がコーエン&ボイヤー（1973）の遺伝子組換え技術の確立に繋がったことを示し、特にこの技術の適用における負の側面に気付かせるようにした。そして、このような正負の側面をもつ技術を人類は制御する必要があることを確認させる意図があった。

教えたいことの中心（教育目標の①②③に対応する授業内容）は、授業内容3「モラトリウム・レター」以降、問いの設定では問3以降で学べるように配置した。つまり、科学史上に残

る事件としての「モラトリウム・レター」「アシロマ会議」の史実を教えることで、先端科学・技術のリスク（不確実な危険）がどのようにして生じるのか、また、科学者たちはそのリスクにどのように立ち向かっていったのか、を学ぶように文章・資料を構成した。「知識の専門家」としての科学者が、「がん遺伝子」や「抗生物質耐性または細菌毒素の因子」をヒトの腸に簡単に棲みつく大腸菌に挿入した時にどうなるか、という不確実な危険（この時点では実験データがなく専門家であっても全く未知であった）に対し、万が一環境中に放出した場合の潜在的なハザードの重大さから半年間のモラトリウムを行ったこと、また、世界の分子生物学者たち約 140 名がカリフォルニア州アシロマに集まり会議を行ったことを説明している。そして、この会議で出された様々な意見を示した後、問3で「あなたがもしアシロマ会議に出席する分子生物学者だったとしたら、この会議でどんなことを発言したいと思いますか。また、それはなぜですか。」と問うている。ここでの問いのねらいは教育目標①に対応しており、「不確実性下の判断とはどのようなもので、リスク管理はどのように行っていくべきか」を考えさせるものである。ただ、まだこの時点では答えは出さず、さまざまな意見を出させることをねらっている。そして、そのようにして問題を認識させた上で、問4まで取り組んだ後の解説でいくつかの専門家の解釈に接近できるようにした。授業内容5「1970年代から80年代へ：科学者たちの論争の収束」では、アシロマ会議の結論として提出された「生物的封じ込め」（栄養要求性の高い大腸菌株を使うという工夫）や「物理的封じ込め」がいかに機知に富んだものであったかを解説するよう設計している。また、物理的封じ込めレベルP1～P3の実験室の内実を資料としてつけた図で学べるように工夫した。このような知識の専門家ならではの科学者のモラトリウムと社会への警告、そしてそれをまさに「科学で」乗り越えようとし、研究者の自主規制としてのガイドラインができたことを示した。

授業内容5の後半、「・ガイドラインの緩和」では、実験のモラトリウムで自分たちの自由を束縛してまで警笛を鳴らした科学者たちが、一転して実験規制の法律化阻止に向け態度を変えていく様子を説明している。その際、背景として市民団体による「組換えDNA技術」への反対運動の活発化、連邦議会や州議会に規制する法案が提出されたことを記述している。そして、(表2)の組換えDNA実験の宿主としての大腸菌K12株（生物的封じ込め用の大腸菌）を使うリスクについての見解の変遷についてのデータを提示し、科学者たちの間で、「実験の安全性への見直し」と「いまだ不確実性を示す実験データ」とが交錯する状況の中で、ガイドラインが次々に緩和されていったことを示した。問4では、「科学者たちは、アシロマ会議まではリスクを警戒し実験を自粛する行動をとり、その後、『規制緩和』を要求するという態度変化をしました。あなたはこのことをどのように感じましたか。」と問うている。この問いは、教育目標②「科学・技術が社会へ影響を与えるリスク問題には、科学・技術の専門知だけでは解決がつかない価値や利害関係の問題が含まれていることを知る」に対応している。問4の後、授業内容5の最後の解説「・科学者たちの行動をどう見るか？」で問3と問4の学問的な解釈が示される。現代的なリスク管理の考え方としての「予防原則」と「順応的管理」、科学者たちの行動の変化については、「研究の自由」と「規制」との対立をめぐる2つの相対立する解釈である。授業内容6「ゲノムビジネスの時代へ」をつなぎとして、最後の7「身近な問題としてとらえよう：遺伝子組換え作物の是非」では、学習者にとっての現実の課題である遺伝子組換え作物の抱える現代的問題にフォーカスをあて、その実用化の歴史と世界のGMO生産の状況を伝えた上で、問5「遺伝子組換え作物について、あなたの意見を書いてください。ま

たそれはなぜですか。」について、意見交換をすることで、教育目標③「①②を踏まえた上で、遺伝子組換え作物が引き起こす社会的問題に対し、自分の意見を理由とともに述べるができる」への一定の効果をねらった。

3. 大学一般教育課程「基礎生物学」での授業実践とその評価

3. 1. 授業実践の概要

授業は、2009年7月6日（月）と13日（月）に、福岡県内のA大学栄養科学科の学部1年生2授業クラス計223名（クラスA 105名＋クラスB 118名）に対し、各クラス90分×2回で行った（表1）。授業者は両クラスとも筆者である。授業の重要な展開ごとに問いを設け、各問いについて考える時間を5分程度与え回答を記入させた後、2名以上の学生に発表させ、発表内容の要点を授業者が口頭で反復して黒板に書きだすということを繰り返した。問5については他の設問よりも発表時間を長く（20分）とり、意見交換の機会を増やした。学生同士が討論するという形式ではないが、板書された他人の意見を読んで比較することができ、おおむね好評であった。

本授業で最も重要な問いは、問4であるため、この場面の展開についてのみ詳細を下記に述べる。表1の2日目、5の場面である。ここは、1970年代から80年代にかけ、科学者たちの論争が収束していったという話である。まず、「アシロマ会議」の結論について話した。次にその結論を受けて、NIHガイドラインで提示された、「組換えDNA実験の典型に対する物理的および生物学的封じ込め」の表（1976年当初のもの）と資料（P1～P3の物理的封じ込め施設の図）を提示し、説明した。続いて、大腸菌K12株の保守性が確認された専門家会議、市民団体からの反対運動、科学者たちの法律で研究を縛られることへの恐れをとりあげ、そのような中でガイドラインが緩和されたことを話した。その後、表2（下に掲載する）を見るよう指示し、K12株を使うリスクについての見解の変遷とこの表の見方を説明した。この表では、K12株の安全性・保守性を示すデータが紆余曲折したという事実が示されている。表中のガイドラインとは、NIH（アメリカ国立衛生研究所）の遺伝子組換え実験ガイドラインのことである。

表2 組換えDNA実験の宿主としての大腸菌K12株を使うリスクについての見解の変遷

ガイドライン 時期	公布前 1975年5月	第一次改訂前 1977年6月	第二次改訂の途中 1979年夏	第二次改訂前 1979年12月
K12株の腸管内でのコロニー形成	不明	非常に不自然な状況下（無菌のマウス）以外では可能性なし	異常な状況下のみで可能性があり、X1776という変異体は腸管内に残存する	抗生物質のプレッシャーがあれば可能性あり
疾病性病原体としてのK12株	不明	可能性なし	可能性なし	ほとんどあり得ない
組換えDNAプラスミド・ファージのK12株からの伝達	可能性はあるがまずおこらない	可能性はあるがまずおこらない	可能性あり（下水中でCharon 4 Aファージの残存）	可能性あり（下水中でCharon 4 Aファージの残存）
環境内でのK12株の残存	可能性あり	不明	可能性あり	大いに可能性あり

シェルドン・クリムスキー『生命工学への警告』家の光協会1984, p. 289の表を改変して作成

この直後に設けた問4では、2. 3. でも述べたように、科学者の行動とその後の態度変化をどう感じたかを尋ねた。この問いのねらいは、教育目標②「科学・技術が社会に影響を与えるリスク問題には、科学・技術の専門知だけでは解決ができない価値や利害関係が絡んでいること」を認識させることだった。問4で学生たちが発表した意見を紹介する。ここで教師の意見は言わないように努め、彼らの出した意見を反復して黒板に書いた²。

＜クラス A で出た意見＞

- ・研究を縛られることが困るので規制緩和を要求するのは自己中心的だ。
- ・規制緩和をすることで先が見えてくるので、いいのではないか。規制緩和によってデータが集まるから。
- ・すぐに緩めてしまうと危険なので徐々に緩めるべきだ。

＜クラス B で出た意見＞

- ・急に緩めるのは危ないので徐々に緩めるべき。
- ・研究を縛られるのがイヤだといって規制緩和を要求するのはいけない。

問4の後に設けた解説「科学者たちの行動をどう見るか？」では、科学者の行動は「予防原則」に沿った責任ある行動と取れる一方、不確実性下におけるリスク管理では、価値や利害関係の問題が絡むことを、教材テキストを本文（下に掲載）どおり読むことで示した。本文以上の解説は加えていない。

■科学者たちの行動をどう見るか？

モラトリアム・レターからアシロマ会議へと続いた一連の騒動は、自らの研究の自由を束縛してまで「科学者の社会的責任」を果たした科学史上に残る事件、という肯定的なとらえ方があります。

また、彼らの当時の行動とその変化は、1990 年ごろからヨーロッパなどを中心に取り入れられている「予防原則」に沿った行動であったとも言えます。「予防原則」とは、「潜在的なリスクが存在しているというしかるべき理由があり、しかしまだ科学的にその証拠が提示されない段階で、そのリスクを評価して予防的に対策を探ること」（大竹、2003）を言います。アシロマ会議当時は、まだこの言葉が普通に使われていたわけではありませんが、科学者たちはこの考え方で行動し、その後安全が確認されるのに応じて、徐々に規制を緩めていったと言えるでしょう。この点では、水俣病や BSE 問題に比べて、「リスク管理」がうまくいった例と言えるかもしれません。

けれども、「科学者たちの行動は素晴らしかった。」それだけでしょうか？ たとえば、「組換え DNA 技術」は、本質的に「生命を操作する」という意味において、そもそもそんなことをしていいのか、という倫理的疑問を持つ人もいる（しかも、その分野の科学者以外の人に多いはずです）でしょうし、生物兵器への利用、好みの遺伝的性質をもったヒトを誕生させる、などといった問題も考えられます。

アシロマ会議では、一部の参加者からそのようなことにまで考えが及ぶ意見が出たのですが、自分たちの専門領域ではないということで、会議の中心メンバーたちが議論からはずしてしまいました。そして、法規制が伴わない NIH のガイドラインという形をとることによって、市民やマスコミには責任を果たしたような格好をとりながら、自分たちの研究が法律などの強い拘束を受けないよう（つまり、科学者たちの都合がいいように）会議の結論を出した、という批判もされています。

2 他の問いについても同様に行った。

3. 2. 評価の方法

学生の教育目標の達成度を知りかつ彼らに授業を評価してもらうために、A4用紙の表面にその日の教材中の問いに対する回答を記入する欄、裏面にその日の授業の1良かった点、2改善した方がいい点、3自由に感想を書く欄（2日目の用紙には2日間の授業への自由な感想の欄も追加）を設けたものを用意した。そしてその用紙を各回の授業の最初に配り終りに回収した。主にこの「問いへの回答および授業評価用紙」（表面のみをP34, 35に掲載）への記述の分析によって、授業の評価を行った。なお、2つのクラス（クラスA, クラスB）で行ったが、まとめて扱っている。その理由は、(1)もともと栄養科学科1年生を均質に分けたクラスであること、(2)授業者が教材テキストに沿って授業を行い、できるだけ差を少なくするように努めたこと(3)クラス内で出た意見も大きな差がなかったこと（例えば上述の問4で出た意見）である。評価は、次の視点で行った。

視点1 教育目標を達成できたか。

視点2 授業を受けた学生は、この授業を肯定しているか。

3. 3. 教育目標を達成できたか

まず、各授業後に回収した用紙の問1～問5の学生の回答から問いのねらいの達成度を見ていき、その後、教育目標の達成度を評価する。ただし、一つの解答があるとは限らないSTS教育の性格上、はっきりとした最終到達点があるわけではない点に注意し、学問的な解釈が分かれている場合は、接近度という表現を用いることにする。

問1A・B 科学の正の側面について回答した学生は有効回答数（以下省略）213名中199名で、ねらいの達成度は高かった。これは後の学習の布石の意味であったが、学生は予想以上に正の側面を認識していた。

< B の回答例 >

- ・わからないものを明確にして生活の知恵を増やすもの
- ・自然の謎を解明していく学問

問2A 科学の負の側面も含めて回答した学生は213名中109名であった。

< 回答例 >

- ・人間に使われたら怖い
- ・すごい発見だが危険
- ・科学がまた一步進んだことに喜びを感じて、いろいろなところで組換え技術を使いたいと感じると思う

この3例目でわかるように、分子生物学者の立場で考えさせるよう指示したためであろうか、負の側面を答えた学生は筆者が思っていたより少なかった。問いのねらいと立場設定の組み合わせに無理があった。しかし、一方で、問3まで一貫して分子生物学者の立場に立つよう試みさせることによって、問3でねらっている科学者と市民の立場の違いを認識する意味はあったと考えられる。

問2B この技術を制御しながら利用しようとする趣旨の回答が213名中183名あり、ねらい（正負の側面をもつ技術を人類は制御する必要があることの確認）の達成度は高かった。

問3 モラトリアムに賛成する意見213名中140名、中間的意見37名、モラトリアムに反対する意見27名であった。

<回答例>

- ・実験は一回禁止にし、リスクがどれくらいかを調べた後、再開するかを決めるべき
(理由) リスクがもしとても大きかった場合、取り返しのつかないことになったら困るから
- ・実験の延期は良くてでも放棄はするべきではない
(理由) 不確実なリスクのために大きな発見のチャンスを逃すよりも、そのチャンスにかけて大きな進歩を遂げたいから

このような理由を伴う記述から、問3の主要なねらい「不確実性下の判断・リスク管理」という考えに接近しようとし、問いかける学生の様子が見えてきた。リスクとベネフィットの両方を踏まえている意見が多かった。この時点では達成度は評価できないが、これらについての認識は問4の回答でむしろ高まっていた。ここでは、問2同様、市民との立場の違いに気づかせるために、分子生物学者の立場に立たせて考えさせた。学生にとっては答えにくい設定であったが、むしろそれを意図していた。科学者だったら「リスクを冒してでも研究を続けたい」と考えるであろうことをくみ取らせるための設定であった。しかし、そのように設定した効果がどうであったかは、そうしなかった場合と比較できないため判断できない。考えるための情報量が少なかった点は、大いに改善しなければならない。

問4 科学者たちの態度変化に肯定的回答が213名中45名、中間的回答が同46名、否定的回答同122名であった。ここでいう「肯定的」とは、「当然」「賛成」という積極的肯定から「仕方がない」とする容認までを含んでいる。「否定的」は、「少しでも危険があるならやめるべき」「科学者が安全だからときめ、規制緩和することが本当に正しいとは思えない」とする積極的否定から「ほんとに規制緩和して大丈夫なのかなーと思いました」という懐疑的な意見までを含めた。「中間的」とは、例えば、「科学者たちは自分たちの事しか考えていないのかもしれない自己中心だと思うが、リスクを恐れてはいけなそうと思い規制緩和を要求したのかもしれない。」のように両面を指摘したりなどして、肯定か否定かの意思がくみ取れないものである。

問4の主要なねらい「価値や利害関係の問題が含まれている」という認識については、市民の立場とは違う科学者にとっての利益という点に集中して多くの記述がみられた。

<回答例>

- ・結局は自分たちの研究を自由に続けたいだけだと思った
- ・科学者たちは自分たちの研究のことだけを考えて規制緩和をし、実験を進めようとしているが、やはり安全が確実にってからでないとダメだと思う。自分たちの実験が今後の世界にどのような影響を与えるのか考えてほしい

また、科学者だけで決めるべきでないことに気づく記述が213名中26名に見られた。これは、当時の筆者の意識が、「市民参加」に肯定的であったこととも関係している。この問4で「市民参加」に自主的に気づく学生がいることを想定していたが、学問的な解釈が分かれていることから、これを授業展開に直接結びつけることはあえてしなかった。

<回答例>

- ・研究者だけでなく、研究にかかわらない人達の意見も取り入れて規制緩和するべきだ
- ・科学者たちだけでは決められないと思う。影響を受けたときに被害を受けるのは科学者ではないから

問4は、本研究において最も重要な問いである。よって、そこでの議論とその後の解説によって学んだことを授業者が確認するため、「教師の話を聞いたあとでのあなたの考えの変化」

を書いてもらう欄を設けておいた。そこで自分の意見の変化を書いた学生が 213 名中 105 名³いた。この欄にいつ記入するかを授業者が伝えるのを忘れていたため、数値では認識の変容が評価できない。しかし、自主的に書いてくれた学生が半分近くいた。問 4 の回答とこの欄の記入を比較する形で、意見の変容をいくつか紹介する。

＜回答例＞

- ・（問 4 時点）規制がきつからといってすぐに規制緩和をすべきではないと思う。
→（解説後）実際に研究しているのは科学者だけど、科学者のみで話を進めていくことに問題があるのではないか。
- ・（問 4 時点）規制はしたが、研究が出来ないからと言って、態度を変えてしまうのはどうかと思う。→（解説後）科学者の意見にも一理あるのかと思う。少しずつデータを取り、専門家たちで話し合いの場を多くとることで解消していけばよいのではないか。
- ・（問 4 時点）科学者たちの考えだけで規制をしたり、いきなり緩めたりと、バイオハザードの問題は私たちとも関係しているため、もっと皆で考えていくべきだと思う。
→（解説後）皆で考えていくべき問題だが、科学者たちだからこそ、考えられる難しい問題もあるのだと思った。

以上のように、問 4 の個人回答時点では、科学者を非難する短絡的な意見が多かったのに対し、（問 4 後の意見交換）→（解説）を経た後では、「問題の複雑さをより認識している」と考えられる記入が見られた。学習者は、問 3～問 4 にかけて教育目標①②双方について学んでいるため、問 4 時点と（解説後）だけの比較では、この授業全体としての学びのほんの一部である。しかし、ここだけで見ても、少なくない学生に「組換え DNA 技術」のリスク問題に対する認識の深まりがあったと考える。

問 5 遺伝子組換え作物に肯定的回答が 213 名中 45 名、中間的が同 70 名、否定的が同 98 名であった。リスクと便益、多様な立場や価値、生態系への影響、将来性など、さまざまな条件を考えた記述や活発な意見交換が見られた。

＜発表された意見の例＞

- ・長期摂取で影響を見ていくべき （理由）何かあってからでは遅い
- ・副作用が心配 （理由）生態系の中での影響が不明
- ・商品価値 UP、コストダウンにつながるが、注意が必要
- ・影響が出たら、作っている国・企業が責任をとるべき
- ・農薬より安全だと確認されているなら使って良い

以上を踏まえて、教育目標①～③の達成度（接近度）を評価していく。

教育目標① 不確実性下の判断、リスク管理（予防原則、順応的管理）の考え方を知る。

3 ここで、A クラスでは、この欄に記入する指示を忘れていた。B クラスでは、「ここも書くのですか？」と指摘を受けたため、「考えの変化があった人は記入してください。」と指示した。しかし、B クラスでもその指示が「問の解答および授業評価用紙」の裏面の感想を書く時間（5 分のみ）の中頃であったため、学生にとっては記入する時間はとれなかったものと思われる。A クラスでは 50 名、B クラスで 55 名がこの欄に記入していた。いつ記入してよいかわからなかったことが回答数に影響していることが考えられ、回答数の数値では認識の変容についての評価が不可能である。

これについては、問 3 ではモラトリアムを肯定的に捉えた者が多かった（213 名中 140 名）ことから、「予防原則」の考えに接近していると考えられた。また、「順応的管理」へは、問 4 の回答時にむしろ接近していた。なぜなら、ここでは「科学者の態度変化」に対する意見を聞いているにもかかわらず、「すぐに緩めずに徐々に緩めるべき」や「安全性を確かめながら緩めていくべき」「確実な安全性が確保できたなら、研究をしても良いと思う」等の「順応的管理」に基づくと言える回答が多く見られた（213 名中 41 名）からだ。これは、3. 1. でも述べたように、学生の発言として両クラスとも「すぐに緩めると危険なので徐々に緩めるべき」という趣旨の意見が出た⁴こととも呼応していた。これは、問 4 の直前で表 2 を示したことに効果があったのではないかと考えられる。しかしながら、事前の教育内容の検討が不十分であったことから、表面的な理解に留まっている可能性が残る。

教育目標② 科学・技術が社会に影響を与えるリスク問題には、科学・技術の専門知だけでは解決がつかない価値や利害関係の問題が含まれていることを知る。

このことの認識については、問 4 のねらいとして設定していた。予想通り、市民の立場とは違う科学者にとっての利益という点に集中して多くの記述がみられた点では、目標にかなりの程度接近できた。3. 1. で示したように「研究を縛られることが困るので規制緩和を要求するのは自己中心的だ。」の発言が出ていたこととも符号する。しかし、より具体的な価値や利害について教材中で示していない点に課題が残る。また、生命科学の問題を設定していることから、生命観や宗教観・倫理観など多様な解釈を示す必要があった。

教育目標③ ①②を踏まえた上で、遺伝子組換え作物が引き起こす社会的問題に対し、自分の意見を理由とともに述べることができる。

これについては、わずか 20 分の意見交換であったので、到達度（接近度）は評価できない。

3. 4. 授業を受けた学生はこの授業を肯定しているか。

回収した用紙の最後に設けていた「この二日間の授業について自由に感想を書いてください。」の回答から、有効回答数 198 名⁵中 176 名がこの授業を肯定的に評価していると判断した。ただし、「少し難しかった」などの否定的な文章も伴う場合は、肯定的な文章の方に十分な重みがあると判断される場合のみをカウントした。例えば、2 日間の授業について、次のような肯定的意見があった。

- ・この授業は、自分の意見をじっくり考えてまとめることができたし、他の人の意見も聞けて、また違う考えがもてたりと、とてもいいものになりました。難しいことも解説を先生がしてくれたので理解しやすかったです。
- ・勉強になりました。こういう問題というのは、日常生活ではなかなか考える機会がなかったので、これを機会にニュースや新聞記事でもチェックしていきたいです。
- ・他の人の意見と比べることによって、自分の意見を改めて考えることができた。今までの知識より、もっと深まったので、少し考え方が変わったように感じた。
- ・科学者や生物学者の調べてきたことがわかって、自分たちもいろいろと考えなければならなかったと思いました。

4 「・科学者たちの行動をどう見るか？」と題した解説を配付する前の段階で出た意見である。

5 ここで有効回答数が減っているのは、半期の授業全体の評価を書いていた者がいたためである。

- ・深く考えられて、またみんなの意見が聞けて良かったです。今まで軽く知っているだけだったので深く知れてよかった。
- ・こういうタイプの生物の授業は初めてだったのですごく良かったと思います。
- ・今までの研究のいきさつや研究者の考えなどが分かった。他の人の意見も聞くことができて、いろんな考えがあることもわかって良かった。
- ・今までの授業とは違う感じの進め方で新鮮でした。
- ・少し興味がわいたので、もっと知りたくなりました。
- ・生物学を違う面から考えるいいきっかけになった。
- ・アシロマ会議、モラトリアムレターなど、新しい知識を得ることができて良かったです。

次に、2日間の全体感想欄に否定的な意見のみを書いていたもの（198名中3名）を示す。これについては、考察で触れる。

- ・どこが重点なのか良くわからなかった。内容理解が難しかった。
- ・難しかったです。
- ・バタバタだった。

4. 考察と課題

本授業では、教育目標①②についての認識の深まりが多く学習者に見られた。しかし、その深まりの程度は、筆者自身の教育内容構成の不十分さが原因し、まだまだ改良の余地があるものであった。教育目標③についてはプラス評価できるもののグループ討論を取り入れ個人の発言機会を確保するなどの更なる工夫が必要と考えられた。しかしながら、問5の意見交換での盛り上がりや、他の学生の異なる考え方・意見を聞くことで大いに刺激を受け、学ぶことができたと考えている学生の多さ⁶には圧倒された。これは、高校までに討論型の授業が少なかったことからくる反応であると推察された。本授業は、全体としてみれば、学生たちの向学心に助けられ、成功であった。栄養科学科の学生向けということを意識して2日目の授業の焦点を腸内大腸菌の残存可能性やGM問題に持っていったことが効を奏したと考えられる。

しかしながら、「学生は何を学んだのか」という点では、「多くを学んだ」とは言えても、2日間の全体感想に少数意見とは言え「どこが重点なのか良くわからなかった」という指摘があったことは重要である。Ziman (1994) は、中等教育での STS 教育における歴史的アプローチの困難として、「アクチュアルな科学史は、格別に深く、捉え難く、複雑」であり、「非常に容易にこの知的な複雑さによって拒絶される」(Ziman, 1994: 26-27) としているが、これは、科学史教育一般がもつ困難であるとも考えられる⁷。今回は大学生が相手であり、栄養科学科向けに素材の扱いなどを工夫したためうまくいったが、今後高校生向けの教材を開発していく際にはこの困難が現実のものとなりはしないかと危惧される。また、3. では省略したが、特に1日目の授業評価用紙において、面白かった反面、内容が「難しい」とする意見が1割近く

6 評価用紙のいずれかの自由感想欄に、213名中153名が他の人の意見を聞くことで学べたという趣旨のことを記入していた。

7 山田 (1976) や 西條 (2005) も科学史教育の困難について指摘している。

に見られた。今後は、学生たちの意見を十分にくみ取り、わかりやすい教育内容・資料・素材等の工夫を考えていかなければならない。また、「バタバタだった」という意見が示しているように、内容を盛り込みすぎた。今後は厳選して理解しやすい教材にする必要がある。そして、何よりも、教材を開発し授業を实践する教師自身が、科学史学や科学技術社会論の研究成果をより深く分析し、教育内容の構造を明確化させなければ、深い理解に至らせることは難しい。

4. 1. 自由感想欄の記述から「組換え DNA 論争史」の教材化を考える

1 日目, 2 日目, 2 日間の自由感想欄の記述から、学生が「学べた」と考えていることを、(1)「科学史」、(2)「科学技術社会論」、(3)「リスク管理」に関することに分けて抽出してみると、下記のものがあつた。ただし、この 3 つの区分は、次の理由から設けた。まず、この授業は、「組換え DNA 論争史」を教えることによって「STS 教育」を行う目的で構想した。これらを教えるために依拠する学問分野は、(1)「科学史」と(2)「科学技術社会論」であるので、それらの学問分野に関する何を学んだかを明らかにしたいと考えた。(3)「リスク管理」を設けた理由は、「組換え DNA 論争史」は遺伝子組換えに伴うバイオハザードという「リスク」をどのように「管理」するか、に関する論争史であるからである。

(1)「科学史」に関わる記述:38 名の学生が遺伝子組換えに関する歴史を知る価値に言及していた。

- ・ 遺伝子組換えには深い歴史があることに気づいた。
- ・ 昔のことから現在に至るまでの遺伝子組換えのことがわかったのでよかったです。
- ・ 科学技術の発展の過程における科学者たちのいろいろな意見を知ることができて良かった。モラトリウム・レターの陰と陽、両方を知ることができた。
- ・ 遺伝子に関する歴史や会議など資料を見ながらだったのでとてもわかりやすく理解できました。
- ・ 遺伝子操作について科学者自身にもさまざまな葛藤があつたということが分かって勉強になった。
- ・ アシロマ会議・モラトリウムレターなど、新しい知識を得ることができてよかったです。
- ・ 遺伝子の歴史を知れてとても勉強になったし、以前より興味が持てました。

(2)「科学技術社会論」に関わる記述

- ・ 科学は科学者中心でなく世界の人々を中心にして行うべきだと思いました。分かりやすかったです。自分の意見だけでなく他の人の意見に触れられる点がよかった。
- ・ 科学という分野でどんなことが行われてきたのか、何が行われているかを知る機会は少ないです。私たちの体や生活に密着している部分が多いので、このようなことを知る事は大切だと感じました。
- ・ 研究と倫理について、これからも考えていく必要があると思います。

(3)「リスク管理」に関わる記述

これについては、問 3 や問 4 の回答では多くの考察が述べられていたが、各授業回及び 2 日間の自由感想欄に「リスク」という言葉を用いた回答、予防原則や順応的管理に言及する回答は少なかった。

＜回答例＞

- ・ 科学の研究にはリスクもあるが利益もあるので、研究を進めるか進めないか難しいなと思った。

- ・ 遺伝子組換えについてその危険性と安全性の両方があると知り、難しい問題だと思った。
- ・ 遺伝子組換えの規制の範囲を決めるのは、本当に難しい問題だと感じた。危険性があるならやめるべきとは思うけど、研究を続けないと分からないこともあるので、慎重に研究すべきだと思った。

しかし、この3人目の学生のように、規制の問題と研究を続けることのディレンマを認識していた学生が多くいたことも事実である。それは、自由感想欄よりも問3や問4の回答欄に多く記載されていた。この授業では、科学的なリスク管理の方法を教えるというよりも、そのガバナンスをどうするのか、ということに重きを置いていたことから、全体の感想としての記述には反映されにくかったと考える。

さて、以上のことから、今後の教育目標設定、教育内容構成の方向性を考えてみたい。

これまで、筆者の研究は、「組換え DNA 論争史」を教材化することによって、「科学史」を学びながらも、「先端科学・技術のリスクガバナンス」をも学ぶ授業作り、という方向で進めていた。上記の(1)～(3)の学生の記述から、「組換え DNA 論争」をこの方向で教材化することでの展開可能性は十分あると考えられる。しかし、「どこが重点なのか良くわからなかった」という意見が示していたように、やはり、もっと焦点を絞って教育目標、教育内容を再組織する必要がある。

そこで、焦点として考えられるのは、市民にとって見えにくい「科学者の活動」や、「科学者の役割・責任」について伝えることだ。社会の構成員の信頼関係によるリスクガバナンスの実現には、そこが鍵になる。また、今後も「科学事例史法」を利用することで、その方法が「科学者の活動」に光をあてることができる利点も生きてくる。それゆえ、今後は、リスクガバナンスに果たす「科学者の役割・責任」に焦点を置いた教育内容・教材構成を行っていきたい。そこで、今回の授業結果から、(4)「科学者の活動」に関する記述を抽出してみたところ、学生が、「科学者」や「科学者の活動」に強い興味を示していたことがわかった。

(4)「科学者の活動」に関する記述

- ・ 研究者の人がこうやって結論を出したんだって言う過程のことが分かったので興味がわいた（1日目の感想）。
- ・ 科学技術の発展の過程における科学者たちのいろんな意見を知ることができてよかった。モラトリアム・レターの陰と陽両方知ることができた（2日目の良かった点への記述）。実験のレベルごとに部屋のつくりが違うことを初めて知った。今までかじる程度しか知らなかったことが詳しくわかったので楽しかったです（同じ学生が2日間全体の感想欄に書いていたもの）。
- ・ 科学者について知識が増えた（2日間全体の感想として、この一言のみを書いていた学生）。
- ・ 遺伝子組換えについてはまだまだ最近のことだと考えていたが、色々な科学者たちの動きもあり、歴史は深いものだと思った（2日間全体の感想）。

また、問4において科学者たちの態度変化に肯定的回答が213名中45名、中間的回答が同46名、否定的回答同122名と意見がわかれていたが、ここで安易に否定派に流れず、肯定的・中間的意見を保持した学生の中に、次のような意見もあったことは注目に値する。

- ・ 科学者じゃない人々から見れば身勝手な行いに見えるかもしれないが、科学者からすれば当然だと思う。

- ・実験結果を踏まえてからの変化なので普通であり、規制を緩和してもっと先まで知りたいと考えるのも当然だと思った。
- ・リスクを負いながらも人類のために行う科学者たちはとても偉大である。未来のために徐々に緩和していけばよいと思う。

このように、科学者に一定の理解を示す学生がいることを考えると、問 4 ではもっと議論の時間をとり、多勢の否定派と意見を戦わせれば、良い学びにつながったのではないかと考えられる。また、アシロマ会議自体の評価、その後のガイドライン緩和要求という科学者たちの態度変化、双方に学問的評価がわかれている原因をもっと筆者自身が掘り下げ、うまく教育内容構成・教材構成を行っていけば、研究の自由と規制の問題に絡む「科学者の社会的責任」の問題を考えさせるよりよい授業展開を行っていける可能性がある。

以上、(1)科学史(2)科学技術社会論(3)リスク管理(4)科学者の活動に関連する学生たちの記述を見てきたが、それぞれが強く関連しており独立なものではない。これは、特に「科学の社会史」と呼ばれる分野が、「科学・技術と社会との相互作用」を扱う分野であり、また、科学史には必ず「科学者」が登場すること、また、「科学者の社会的責任論」は「リスク管理」の問題に他ならないこと等からも当然である。

しかし、学生たちに「科学者の活動」への強い関心が認められるということは、これを授業に利用しない手はない。今後の授業開発においては、より科学者にフォーカスして、自分の問題として「科学者のディレンマ」を考えられるような教育内容構成・教材構成を行っていくことが成功への鍵になると考えられる。そこで、教育目標・教育内容を「科学者の役割・責任」を中心として再構成し、前述した「どこが重点なのか良くわからなかった」と述べた学生が深い理解に至れるような教育内容の構造を考えていきたい。

(5)「分子生物学者の立場で」考えさせたことへの評価

教材構成・教育方法に関わることで、「分子生物学者だったら」という視点で考えることについて触れていた学生が 1 名いたのでここに取り上げる。この学生は、1 日目の良かった点の欄に「自分が分子生物学者の気持ちになって考えることで、当時の科学者の気持ちが少しわかったような気がしたのでよかったです。」と記載していた。しかし、この学生の 1 日目の改善すべき点に記載された意見を見ると、「もう少し詳しく説明してほしかったです。」とあり、分子生物学者の立場になったこと自体には肯定的であるが、教師からの情報不足があった点是否定できない。また、1 日目の自由感想欄には、「分子生物学者たちの研究のすごさがわかりました。この人たちのおかげで今の自分の生活や環境があるのだということを実感しました。」と書いており、問 3 の回答欄には、「少しでもリスクがあるならば実験をやめた方がいいと思う。」その理由として、「少しのリスクでも大きな災害になったら大変だから。」と記述していた。問 3 の回答からは、この学生が分子生物学者の立場になったことによるメリットは読みとれない。原著論文や実際のモラトリウム・レターを見たことで、ちょっとそんな気分になれた程度のこともと考えられる。かといって、「分子生物学者の立場で」考えたことに否定的な文章を書いた学生はいなかったことから、「分子生物学者の立場で」考えさせること自体は肯定も否定もできないが、深く考えさせるに足る情報が不足していた点には問題があったと考えられる。科学者の立場に立つことによって、「科学研究を行っている者」と「そこから生じるかもしれ

ないリスクを受ける側の市民」とでは、研究の自由やリスクに対する捉え方（自ら冒すリスクであるかどうか）の相違に気付く可能性は否定できないため、今後よく検討していかなければならない。いずれにしろ、今回は、十分な情報をもとに考えることができるように教材構成を行っていく。

(6)「科学事例史法」を参考にした点に関する評価

2.2. 節で挙げた「科学事例史法」を参考にした点について評価する。

まず、「科学史における興奮する出来事にかつて関わった人々の経験を追体験することを援助する」ように教材を構成した。具体的には、分子生物学史上の大きな出来事（ワトソン&クリックの二重らせん構造解明、コーエン&ボイヤーの組換え DNA 技術の確立、モラトリウム・レター、アシロマ会議）を、当時の科学者たちが体験した順序で、関連性を持って配置するように工夫した。これによって、学生たちは、3.4. や 4.1. (4)で示した「今までの研究のいきさつや研究者の考えなどが分かった」や「研究者の人がこうやって結論を出したんだって言う過程のことが分かったので興味がわいた」という感想を述べたと考えられる。

次に、HCH 同様、「科学者の原著論文やレター、その要約など、科学者が実際に目にする原文（もしくは訳文）を活かして」教材を構成したことへの評価について述べる。具体的には、ワトソン&クリックの論文全文、コーエン&ボイヤーの論文のアブストラクトと彼ら自身が書いた組換え DNA 技術の説明図、モラトリウム・レターの原文を直接提示した。これは、科学者の活動のリアリティを高める意味があると考えておこなった。これに関する学生の意見を抽出すると、次のようなものがあった。

<回答例>

- ・写真や実際の論文を載せてあったので、興味を持ちやすかった（1日目の良かった点）。
- ・ワトソンとクリックの論文が見られたこと（1日目の良かった点）。
- ・コーエンとボイヤーさんの研究内容が図つきでわかりやすかった（1日目の良かった点）。
- ・レポートの原文（英語）を見ることができてよかったです。

これらの回答から、科学者の実際の著作物を教材の中に盛り込んでいくことで、学生の興味を引き出している面があることがわかる。また、写真や図も効果があった。このような点は今後の教材構成にも取り入れていきたいが、今後、高校生向けの教材を開発する際には、英文や専門的な内容については利用の程度や方法を工夫していきたい。「科学者の活動」に光をあてる教材構成の長所は今後も継承しつつ、その利用の詳細は、教育目標・内容や学習者のレディネスとの関連で考えていかなければならない。

5. おわりに

本授業は、9割程度の学生から支持を受け「授業としては」成功であったが、「学生が何を学んだか」については、教育内容構成の不十分さから課題が残った。「組換え DNA 論争史」を STS 教育に活かす研究は、先端科学・技術のリスク問題への教育学的アプローチとしてこれまでにない新しい取り組みであった⁸し、「科学事例史法」を利用することで、科学者の活

8 筆者が調査した範囲では、これまでのところ先行研究は存在しない。

動に光をあてる授業を工夫することができた。しかしながら、教育研究上の仮説と検証方法の設定が十分でない段階で実験授業に踏み切ったため、「この授業によって何が明らかにされたのか」について大きな課題が残る。今後は、上述した省察を受け、研究上の仮説と検証方法を明確に設定した上で、教育目標の再設定、教育内容構成・教材構成の再検討を行い、再度実験授業にかけることで、実証的に研究を進めていきたい。

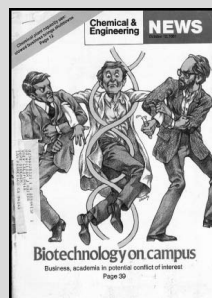
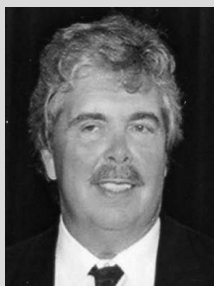
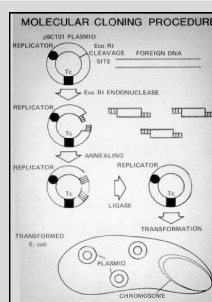
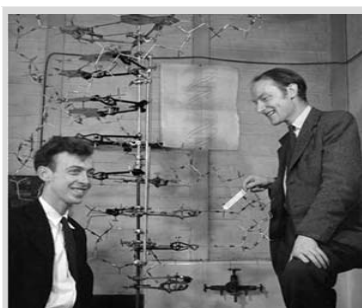
参考文献

- Conant, J.B.: *On Understanding Science—An Historical Approach*, Yale Univ. Press, MA., 1947.
- Conant, J.B. & Nash, L.K. ed.: *Harvard Case Histories in Experimental Sciences*, Harvard Univ. Press, MA., 1957.
- 藤垣裕子：専門知と公共性—科学技術社会論の構築に向けて—, 東京大学出版会, 2003.
- 藤岡信勝：社会科教材づくりの視点と方法—教材づくりの4つの局面—, 社会科教育, 216, 99-107, 1981.
- 平川秀幸：リスクガバナンスにおける「専門性の民主化」と「民主制の専門化」の諸問題—「良きリスクガバナンス」のための理論的検討—, 国際基督教大学大学院比較文化研究科提出博士論文, 2007a.
- 平川秀幸：リスクガバナンス, 城山英明編「科学技術ガバナンス」, 73-106, 東信堂, 2007b.
- 小林傳司：誰が科学技術について考えるのか—コンセンサス会議という実験—, 名古屋大学出版会, 2004.
- 小林傳司：トランス・サイエンスの時代, NTT 出版, 2007.
- Krimsky, S., 木村利人・玉野井冬彦訳：生命工学への警告, 家の光協会, 1984. 原著は, Krimsky, S.: *Genetic Alchemy: The Social History of the Recombinant DNA Controversy*, The MIT Press, Cambridge, 1982.
- 松本三和夫：テクノサイエンス・リスクと社会学—科学社会学の新たな展開—, 東京大学出版会, 2009.
- 三上直之：実用段階に入った参加型テクノロジーアセスメントの課題—北海道「GM コンセンサス会議」の経験から—, 科学技術コミュニケーション, 1, 84-95, 2007.
- 宮川公男：パグリック・ガバナンス—改革と戦略—, 日本経済評論社, 2002.
- 小川正賢：学校教育におけるSTS教育—現状と展望—, 科学技術社会論研究, 1, 149-154, 2002.
- 大竹千代子・東賢一：予防原則—人と環境のための基本理念—, 合同出版, 2005.
- 西條敏美：理科教育と科学史, 大学教育出版, 2005.
- 鶴岡義彦：科学教育における科学事例史法(1)—J. B. コナントによる『科学事例史法』(Case history method) 創案の目的—, 日本理科教育学会研究紀要, 24(2), 67-74, 1983.
- 山田大陸：理科教育における科学史の教材化について—科学史導入の困難性とその改善についての提言—, 北海道科学史ノート, 「北海道科学史ノート」刊行会, 4, 1976.
- Weinberg, A. M.: Science and Trans-Science, *Minerva*, 10, 209-222, 1972.
- 米本昌平, バイオエシックス, 講談社現代新書, 1989.
- Ziman, J.: The Rationale of STS Education is in the Approach, Solomon, J. & Aikenhead G. (ed.): *STS education: international perspectives on reform*, New York: Teachers College Press, 21-31, 1994.

Ver. 1.0
2009.7.

モラトリアム・レター

～分子生物学者たちの来た道をたどる～



もくじ

はじめに

- 1 すべてはここからはじまった!?
～DNA 分子構造解明とそのインパクト～
- 2 「遺伝子組換え」技術が手に入った時、科学者は何を考えたか?
- 3 モラトリウム・レター
- 4 アシロマ会議が開かれる
- 5 1970 年代から 80 年代へ ～科学者たちの論争の収束～
- 6 ゲノムビジネスの時代へ
- 7 身近な問題としてとらえよう ～「遺伝子組換え作物」の是非～

資料 1 ワトソン&クリックの論文

資料 2 モラトリウム・レター

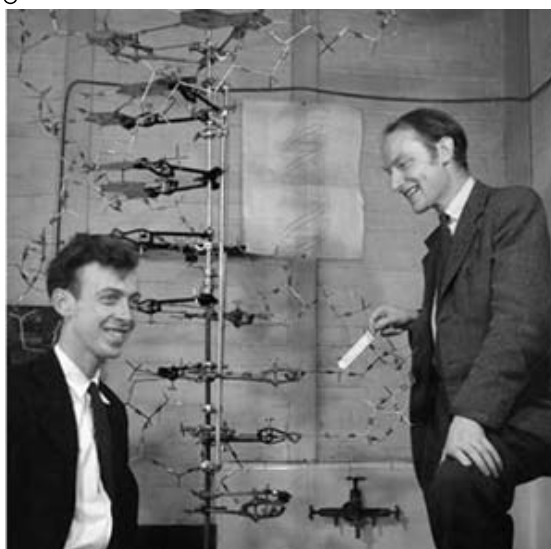
資料 3 拡散防止措置の内容

はじめに

これから 2 日間の授業では、「分子生物学」という学問分野の歴史について話をします。「分子生物学」とは、種々の生命現象を、分子レベルで把握・解明しようとする現代生物学の一分野です。20 世紀半ばごろから台頭し、急速に発展して来ました。この分野の研究活動について知り、考えてみましょう。

1 すべてのここからはじまった！？～DNA 分子構造解明とそのインパクト～

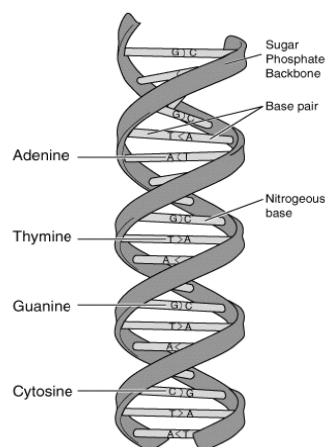
1953 年 ワトソン（米）とクリック（英）による「DNA 二重らせん構造解明」



↑ ジェームス・D・ワトソン
(1928.6.8-)

←フランシス・クリック

(1916.6.8-2004.7.28)



1953 年、ケンブリッジ大学の科学者ジェームス・D・ワトソン（24 才）とフランシス・クリック（36 才）は、DNA（デオキシリボ核酸）の分子構造を解明し、論文（科学雑誌 *Nature* の 1953 年 4 月 25 日号）で報告しました。（→資料 1）

この論文は、A4 判用紙わずか 1 枚程度の非常に短く洗練された文章で書かれていました。その一部を訳して紹介しましょう。

■論文のタイトル：デオキシリボ核酸の構造

■論文の書き出し：我々は、デオキシリボ核酸（DNA）の塩の構造を提案したい。この構造には、生物学的に非常に興味深い、新しい特徴が備わっている。

■論文の中ほど：この構造中では・・・（中略）・・・特定の組み合わせの塩基だけが結合できないことがわかる。このような組み合わせは、アデニン（プリン）対チミン（ピリミジン）、グアニン（プリン）対シトシン（ピリミジン）である。

言い換えると、対の一方、つまりどちらかの鎖の塩基がアデニンなら、この仮定のもとではもう一方は必ずチミンでなければならず、同じことがグアニンとシトシンについても成り立つ。1 本の鎖について見れば、塩基の配列には全く何の制約もないようである。しかし、特定塩基の対だけが形成されるとすると、一方の鎖の塩基の配列がわかればもう一方の鎖の配列は自動的に決まることになる。

■論文の終り近く： 我々が考えたこの特異的な対の形成から、直ちに遺伝物質の複製が推測できることに、もちろん気づいていないわけではない。構造の考案の際に用いた仮定条件、原子の座標など、構造の詳細は別に報告する予定である。

このように、ワトソンとクリックはこの論文で、DNA は、アデニン (A)、チミン (T)、グアニン (G)、シトシン (C) という 4 つの塩基の配列によって、実際に遺伝情報を担うことができる構造であることを報告しました。また、この構造は 2 本の鎖のそれぞれがもう一方の鎖の鋳型になっているため、複製の方法を推測できることを示しました。

彼らの発見は、その後、「分子生物学」という学問分野の急速な発展のみならず、他の生物学の諸分野、生物学以外の科学、農学、医学、法学、等々に大きな影響をもたらすことになります。

さて、ここで質問をします。

問 1 あなたは、ワトソンとクリックの DNA 分子構造解明という功績について、どういう感想を持ちましたか。また、科学とはどのようなものだと考えますか。

・ワトソン&クリックの DNA 分子構造解明について

・科学とはどのようなものか

<ほかの人の意見>

ワトソンとクリックの DNA 分子構造解明後、「分子生物学」の研究は進み、次々と重要な発見がなされていきます (下の年表参照)。例えば、DNA の遺伝暗号 (塩基配列) が RNA などの働きを通して予定されたタンパク質が合成されることなどがわかりました。また、次の章で学ぶ「遺伝子組換え」技術に必要な DNA を切るハサミ (制限酵素) とのり (リカーゼ) も 1970 年ごろまでに発見されました。

1958 年	メセルソン と スタール (米)	⇒ DNA の複製の仕組みを解明
1959 年	オチョア (米)	⇒ mRNA の遺伝情報とタンパク質合成の関係を解明
1961 年	ジャコブ と モノー (仏)	⇒ オペロン説 (遺伝子発現の調節に関する学説) を提唱
1965 年	ニーレンバーグ、オチョア (米) ら	⇒ コドン (mRNA の遺伝暗号) を解読
1967 年	ゲラート (米)	⇒ DNA リカーゼ の発見 
1968 年	アーバー (スイス) ら	⇒ DNA を切断する 制限酵素 を発見 
1972 年	ボイヤー (米) ら	⇒ 大腸菌の DNA を切る制限酵素 EcoR I を発見

2 「遺伝子組換え」技術が手に入った時、科学者は何を考えたか？

1973 年 コーエン、ボイヤー（米）らにより「遺伝子組換え」技術確立

ワトソンとクリックの発見からちょうど 20 年がたった 1973 年のことです。コーエン、ボイヤーらによる、次の論文が提出されました。この論文は、「遺伝子組換え」という行為が、熟練した分子生物学者でなくても、比較的容易にできることを示していました。

下記に要旨（Abstract）の部分とその訳を記します。

Construction of biologically functional bacterial plasmids in vitro.

Cohen SN, Chang AC, Boyer HW, Helling RB.

Abstract

The construction of new plasmid DNA species by in vitro joining of restriction endonuclease-generated fragments of separate plasmids is described. Newly constructed plasmids that are inserted into *Escherichia coli* by transformation are shown to be biologically functional replicons that possess genetic properties and nucleotide base sequences from both of the parent DNA molecules. Functional plasmids can be obtained by reassociation of endonuclease-generated fragments of larger replicons, as well as by joining of plasmid DNA molecules of entirely different origins.

■論文のタイトル：生物学的に機能する細菌のプラスミドの試験管内での合成

■要旨：制限酵素¹によって処理（切断）した別々のプラスミド²片を試験管の中で結合させて新しいプラスミド DNA を合成したについて記す。組換えによって大腸菌に挿入される新しく構成されたプラスミドは、両方の親 DNA 分子からの、遺伝的性質とヌクレオチド塩基配列を持つ生物学的に機能的な複製単位であるように見える。制限酵素で生じたより大きい複製単位の断片の再組織化によって、完全に異なる起源のプラスミド DNA 分子を接合する場合と同様に、機能的なプラスミドを得ることができる。

¹ 制限酵素とは、二本鎖 DNA をある一定の塩基配列（遺伝暗号の並び）の場所で切り取る酵素。I 型～III 型に大別されるが、遺伝子組換えに用いられるのは II 型制限酵素である。次ページに出てくる **EcoRI**（えこあーわん）は II 型の制限酵素の一種で、制限酵素の中で最も代表的なものである。

EcoRI の切断パターン

切断前の配列

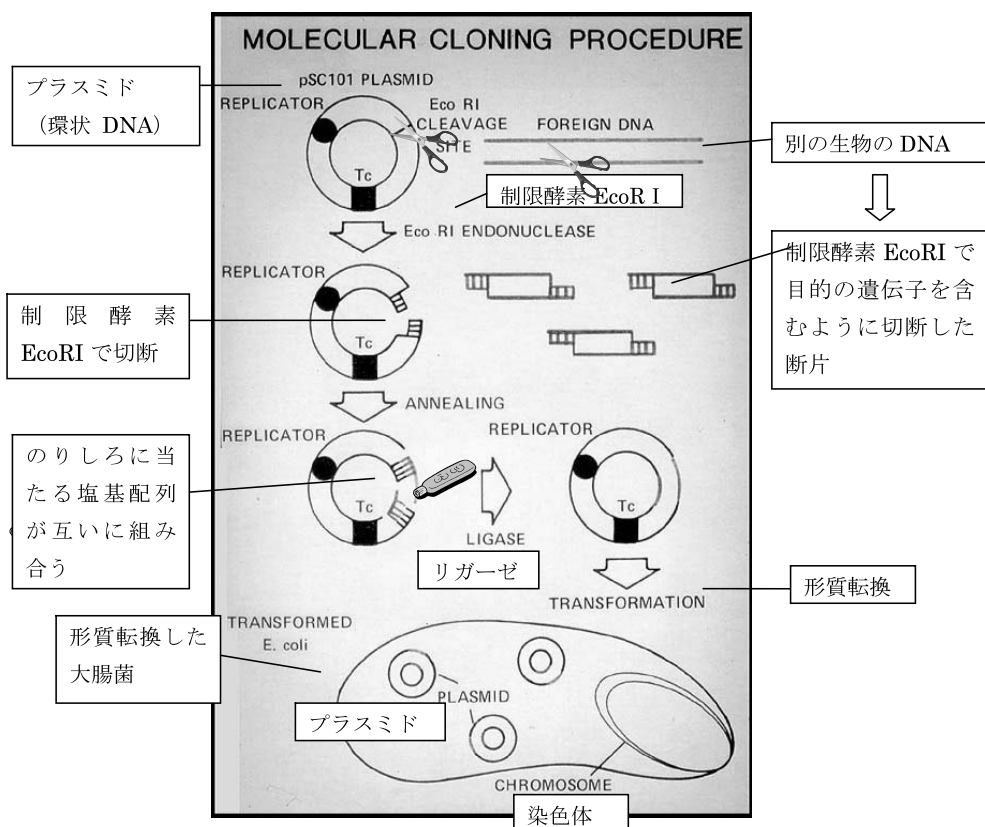
切断後の配列

5' -GAATTC-3'
3' -CTTAAG-5'

5' -G AATTC-3'
3' -CTTAA G-5'

² プラスミド (plasmid) とは、細胞内で複製され娘細胞に分配される染色体以外の DNA 分子の総称。大腸菌は環状プラスミドを持っており、このプラスミドが組換え DNA 技術に利用されている。

コーエン、ボイヤーらが発表した「遺伝子組換え」技術の手順を説明しましょう。この図は、コーエン自身が Scientific American 1975 年 7 月号に書いた説明図ですが、この図を見て説明を聞いてください。



問 2 あなたが分子生物学者なら、この技術の登場によって何を感じたでしょうか。また、この技術をどのように使っていけばいいと思いますか。当時の科学者の立場になって考えてみてください。

- ・この技術の登場によって感じること

- ・この技術をどのように使っていけばいいと思うか

<ほかの人の意見>

3 モラトリアム・レター

「遺伝子組換え」（以後「組換え DNA」と表記）が比較的容易にできるようになると、この領域の科学者自身の中から、この技術を野放しにしておくことに不安を感じる人々が現れます。1973年6月、米国ニューハンプシャー州で開かれた「核酸に関する専門家会議」では、この新しい技術に対する危険性（リスク）が話題になりました。そして、その会議の参加者たちは、この技術の危険性をただちに調査するよう全米科学アカデミー（NAS）に要請します。要請を受けたアカデミーは、調査委員会を組織し、（米）スタンフォード大学のポール・バーグがその委員会（バーグ委員会）の委員長に任命されます。

バーグ委員会の最初の会合は、1974年4月に行われました。バーグは、会議の前に、参加者に会議の目標を次のように知らせました。「試験管内でハイブリッド DNA 分子をつくることを含む現在の、あるいは予定されている実験に重大な問題があるかないかを検討すること、もし問題があれば短期的、長期的に見てどのような方策をとれるか詳細に検討すること。」バーグ委員会は、これらのことを検討した結果、1974年7月、次のような国際的アピールを行うことになります。

1974. 7. バーク委員会は、組換え DNA 実験の自主規制の呼びかけを科学界に向けて発し、
実験一時停止と国際会議招集のアピールを行う。
(*Science* と *Nature* の手紙欄への投稿、NAS 刊行物に掲載；モラトリアム・レター)

(→資料 2)

それではその、世界の分子生物学者への呼びかけの内容を見てみましょう。

モラトリアム・レターの要約

組換えDNA分子の潜在的バイオハザード

1. 以下の 2 種類の組換え DNA 実験については、当該組換え DNA 分子の評価が進むか、または適切な拡散防止措置が開発されるまで、全世界の科学者が自主的に中止する。

Type1: 抗生物質耐性又は細菌毒素の因子を、自立的に複製するプラスミドに組み込むことにより、現在そうした因子を持っていない菌株に当該因子を導入する実験。または、天然に存在しない医療上有用な抗生物質耐性因子の組み合わせをもつ新しいプラスミドを構築する実験

Type2: 動物由来のがんウイルス、その他のウイルスの全 DNA またはその断片を細菌のプラスミドや他のウイルス DNA 等の自律的に複製する DNA 分子と結合させる実験

2. 動物由来の DNA 断片をプラスミド DNA やバクテリオファージ DNA と結合させる実験については、多くの種類の動物細胞の DNA が RNA 腫瘍ウイルスに共通の配列を含んでいることに照らして慎重に検討する。
3. NIH（アメリカ国立衛生研究所）所長に対して、上記の組換え DNA 分子の生物学的、生態学的影響を検討する諮問委員会の設置に向けた検討を直ちにおこなうように求める。
4. 全世界の科学者を集めた国際会議を来年初頭にも開催し、この分野における科学的進歩をレビューし、組換え DNA 分子の潜在的バイオハザードに対処する適切な方法について議論する。

アシロマ会議へ

なお、ポール・バーグは同時にこれらの懸念は実証されたリスクではなく、潜在的なリスクに関する判断に基づくものであること、この提言に従うことは、科学的な価値のある一部の実験の延期又は放棄につながることも指摘している。（微生物産業利用支援データベースの web サイトより引用）

4 アシロマ会議が開かれる

1975 年 2 月、バーグらの呼びかけに応じてカリフォルニア州アシロマに 28 カ国から約 140 人の科学者が集合しました。「組換え DNA 分子に関する国際会議」(アシロマ会議)が行われたのでした。



左から右へ: Maxine Singer, Norton Zinder,
Sydney Brenner, Paul Berg



左から右へ: James Watson, Sydney Brenner

写真; アシロマ会議の様子 <http://libraries.mit.edu/archives/exhibits/asilomar/index1.html#2> より

この会議では、「モラトリアムは必要ない」という意見から「モラトリアムの範囲を拡大すべき」とする意見までさまざまな議論が展開されました。例えば、次のような意見が出されました。

- ・「研究の自由」を科学者自ら束縛することは問題であり、各個人の倫理的判断に任せるべきだ。
- ・バイオハザード³などのリスクよりも研究を進める利益の方が大きいので、研究を進めるべきだ。
- ・不確実なリスクに基づき判断をすることは科学的でないので、もっときちんとした枠組みをつくるべきだ。(具体的な提案が専門グループごとに出されます。)
- ・リスクの程度が推測できなくても、大きな災害の可能性が少しでもあれば、そのような実験は禁止したほうがよい。

問3 あなたがもしアシロマ会議に出席する分子生物学者だったとしたら、この会議でどんなことを発言したいと思いますか。また、それはなぜですか。当時の科学者の立場になって考えてみてください。

・アシロマ会議でどんな発言をしたいか。

・それはなぜか。

<ほかの人の意見>

³ バイオハザード(生物災害)とは、有害な生物やその構成成分が環境中に漏れることによって発生する災害のこと。

5 1970年代から80年代へ ～科学者たちの論争の収束～

■アシロマ会議の結論

科学者たちの心配の中心は、「がんウイルスを含む病原性ウイルスの取扱いの問題」と「組み換え DNA を入れる宿主⁴が、大腸菌という人間の腸内にいるありふれた菌である」ことでした。つまり、大腸菌が媒介するバイオハザードを心配したのです。

会議では、組換え DNA 実験には危険性がないとは言いきれないことが確認され、物理学のおよび生物学的封じ込めの両方を用いて実験を行う必要があるとの結論に達しました。物理的な封じ込めでは、封じ込めの度合いを4段階（極小リスクから高リスク）に分類し、それぞれ適切な実験設備を使用すること、生物学的な封じ込めでは、実験室外ではほとんど生息できない宿主－ベクター系⁵を用いることにしました。また、毒素遺伝子や高病原性の微生物を用いる組換え DNA 実験や 100以上の大量培養実験は当面中止する提言も行いました。

■最初の NIH ガイドライン公布

アシロマ会議の規制案を修正し、1976年7月、最初の NIH（アメリカ国立衛生研究所）遺伝子組換え実験ガイドラインが公布されます。封じ込めのレベルについて、具体的に見てみましょう（表1、資料3）。

表1 組換え DNA 実験の典型に対する物理的および生物学的封じ込め

物理的 生物学的	P1	P2	P3	P4	禁止
EK1	・大腸菌と自然に遺伝子を交換する原核生物	・変温脊椎動物からの胎児 DNA ・既知の病原性試料を持っていない植物からの DNA ・低い病原性のバクテリアからの DNA	・植物ウイルスの DNA の一部または全部 ・大腸菌と交換しない宿主のプラスミドまたはファージ ・霊長類からのミトコンドリア DNA		・強い病原性の生物からの遺伝子のクローニング ・強力な毒素の遺伝子
EK2：10 ⁻⁸ 残存要因		・大腸菌と遺伝子を交換しない原核生物 ・変温脊椎動物・植物ウイルスからの DNA の一部または全部	・有害な遺伝子を持っていない動物ウイルス 鳥類の DNA ・胎児霊長類の細胞で汚染されていないもの	・動物ウイルスゲノムの一部または全部 ・霊長類 DNA を使ったショットガン実験	
EK3: 動物および人体実験により確認された系			・霊長類 DNA を使ったショットガン実験 ・有害な遺伝子を持っていないことが明らかでない動物ウイルス		

注意；物理的は右に行くほど、生物学的は下に行くほど封じ込めレベルが高まる。EK1～3は大腸菌 K12 株の変種。



アシロマ会議を呼びかけた人 ポール・バーグ

⁴ 宿主とは、組換えによって DNA が移入される細胞や個体のこと。

⁵ ベクターとは、運び屋を意味し、組換え DNA を増幅・維持・導入させる核酸分子。

このように、NIH ガイドラインは、不確実なリスクを未然に防ごうとする考え方に基づいたものでした。

■ガイドライン緩和

さて、これまで見てきたように、アシロマ会議までは不確実なリスクの伴う研究は自粛しようという行動をとった科学者たちでしたが、新たな実験データをもとにした次のような会議が開かれるころには、態度が一変していきます。

■1977 年 6 月 フェルマス会議 ; 組換えられた DNA を受け入れる宿主としての大腸菌 K12 株の保守性、安全性が確認される。

■1978 年 1 月 アスコット会議 ; 各種ウイルス（ファージなど）の組換え実験の安全性が確認される。

つまり、この領域の科学者たちの多くが、「組換え DNA は安全だから規制は必要なかった」「規制は緩和すべきだ」といった意見になっていくのです。その背景として、このころまでに市民団体などが「組換え DNA 技術」に対し反対運動を活発化させ、アメリカの連邦議会や州議会にこの技術を規制する法案が提出されたことがあります。組換え実験を行う科学者たちは、生物の保守性や安定性を再確認したことに加え、自分たちの研究を縛られることを恐れ「規制緩和」を要求するようになったと考えられます。

次の表は、大腸菌 K12 株を使うリスクについて、科学者たちの見解の変遷を示したものです。ガイドラインは、科学者たちの「規制緩和」の要求を受け、1977 年、1980 年…と次々に緩められて行きました。

表 2 組換え DNA 実験の宿主としての大腸菌 K12 株を使うリスクについての見解の変遷

ガイドライン 時期	公布前 1975 年 5 月	第一次改訂前 1977 年 6 月	第二次改訂の途中 1979 年夏	第二次改訂前 1979 年 12 月
K12 株の腸管内でのコロニー形成	不明	非常に不自然な状況下（無菌のマウス）以外では可能性なし	異常な状況下のみで可能性があり、X1776 という変異体は腸管内に残存する	抗生物質のプレッシャーがあれば可能性あり
疾病性病原体としての K12 株	不明	可能性なし	可能性なし	ほとんどあり得ない
組換え DNA プラスミド・ファージの K12 株からの伝達	可能性はあるがまずおこらない	可能性はあるがまずおこらない	可能性あり（下水中で Charon 4 A ファージの残存）	可能性あり（下水中で Charon 4 A ファージの残存）
環境内での K12 株の残存	可能性あり	不明	可能性あり	大いに可能性あり

問 4 科学者たちは、アシロマ会議まではリスクを警戒し実験を自粛する行動を取り、その後、「規制緩和」を要求するという態度変化をしました。あなたはこのことをどのように感じましたか。

・科学者たちの行動とその態度変化をどのように感じたか。

<ほかの人の意見>

■ 科学者たちの行動をどう見るか？

モラトリウム・レターからアシロマ会議へと続いた一連の騒動は、自らの研究の自由を束縛してまで「科学者の社会的責任」を果たした科学史上に残る事件、という肯定的なとらえ方があります。

また、彼らの当時の行動とその変化は、1990 年ごろからヨーロッパなどを中心に取り入れられている「予防原則」に沿った行動であったとも言えます。「予防原則」とは、「潜在的なリスクが存在しているというしかるべき理由があり、しかしまだ科学的にその証拠が提示されない段階で、そのリスクを評価して予防的に対策を探ること」（大竹、2003）を言います。アシロマ会議当時は、まだこの言葉が普通に使われていたわけではありませんが、科学者たちはこの考え方で行動し、その後安全が確認されるのに応じて、徐々に規制を緩めていったと言えるでしょう。この点では、水俣病や BSE 問題に比べて、「リスク管理」がうまくいった例と言えるかもしれません。

けれども、「科学者たちの行動は素晴らしかった。」それだけでしょうか？ たとえば、「組換え DNA 技術」は、本質的に「生命を操作する」という意味において、そもそもそんなことをしていいのか、という倫理的疑問を持つ人もいる（しかも、その分野の科学者以外の人に多いはずです）でしょうし、生物兵器への利用、好みの遺伝的性質をもったヒトを誕生させる、などといった問題も考えられます。

アシロマ会議では、一部の参加者からそのようなことにまで考えが及ぶ意見が出たのですが、自分たちの専門領域ではないということで、会議の中心メンバーたちが議論からはずしてしまいました。そして、法規制が伴わない NIH のガイドラインという形をとることによって、市民やマスコミには責任を果たしたような格好をとりながら、自分たちの研究が法律などの強い拘束を受けないよう（つまり、科学者たちの都合がよいように）会議の結論を出した、という批判もされています。

6 ゲノムビジネスの時代へ

「組換え DNA 技術」が現れたとき、その将来性に目をつけた起業家たちは、大学の分子生物学者たちに声をかけるなどして、ベンチャー企業を立ち上げ始めます。1978 年までには、バイオテクノロジーの分野で有名な 3 つの企業、ジェネンテック、パイオジェン、ジェネックスが起業しています。ボイヤーらが立ち上げたジェネンテック社は、1978 年にはヒトのインシュリンを大腸菌に作らせることに成功し、アメリカ最大のインシュリン製造会社であるイーライ・リリーと提携していくことになります。

1980 年 12 月には、コーエンとボイヤーの「組換え DNA 技術」は、特許を認められます。特許は、「方法」と「作った生物体」の双方に与えられました。バイオビジネスはお金になるということになり、インシュリン、ソマトスタチン（成長ホルモンの分泌抑制物質）、ヒト成長ホルモンなどの大腸菌による大規模生産が始まります。



この 1981 年発行の雑誌の表紙を飾っている絵は、認められた利害対立を表しています。DNA らせんに引っかかる大科学者は、左の会社代表と右の大学同僚から引っ張られています。大学の研究者が特許を取ることが認められ、大学と企業の二股を掛ける研究者が出てきたのです。

7 身近な問題としてとらえよう ～遺伝子組換え作物の是非～

「組換え DNA 技術」は、1983 年ごろには実験段階から産業段階に入りました。医学分野への展開だけではなく、この技術は農業分野にも入り込んでいきます。国による規制の差があるものの、すでに 1994 年ごろから農作物や食品などへの本格的実用段階にあるこの技術を、私たちはどう評価し、どう関係をつくっていけばよいのか、身近な問題である「遺伝子組換え作物」を例に考えてみましょう。

表 3 「組換え DNA 技術」の産業化・実用化の歴史

	日本	アメリカ	その他
1973 実験 段階	78: 遺伝子操作協議会設立 (17 学協会) 79: 文部省「大学等の研究機関における組換え DNA 実験の指針」(82 年以降引き続き数回緩和) 79: 科学技術庁「組換え DNA 実験指針」の制定 (80 年以降引き続き数回緩和)	73: 組換え DNA 技術の確立 74: バーク委員会の呼びかけ (モラトリウム・レター) 75: アシロマ会議 76: 組換え DNA 実験ガイドラインの制定 (NIH) 78: NIH ガイドライン緩和開始 (以降引き続き数回緩和) 82: NIH ガイドライン大幅免除	79: 遺伝子組換え大腸菌でヒト成長ホルモン生産
1983 産業 段階	86: 通産省「組換え DNA 技術工業化指針」、厚生省「組換え DNA 技術応用医薬品の製造のための指針」 89: 農林水産省「農林水産分野等における組換え体の利用のための指針」	89: 全米科学アカデミー「遺伝子改良生物の圃場試験: 判定の枠組み」(組換え DNA 技術に固有の危険性がないことを確認) 発表 92 食品医薬品局、バイオ食品に特有の規制をしないとの指針を発表	83: アグロバクテリウムによって T-DNA を植物へ遺伝子組換えすることに成功 88: 食品関係で初めて遺伝子組換えの実用化 (チーズ製造過程で利用されるキモシン) 91: OECD 組換え DNA 技術を製造プロセスに利用したかではなく製品ベースの安全性評価の原則を確認

1994 本格的実用段階	96:厚生省がダイズ、ナタネ、など7種の遺伝子組換え食品の安全性を確認 01:食品衛生法が改正され、遺伝子組換え食品の安全性審査の法的義務付け 03:カルタヘナ議定書国内担保法、食品安全委員会発足	94:組換えトマトの販売許可  95:環境保護庁が遺伝子組換えコーン、ワタ、ジャガイモを商業栽培に登録 96:遺伝子組み換え作物の商品栽培が本格化	94:EC 規制緩和の動き始まる 97:EU が組換え食品の表示を義務化 99:欧州委員会が Bt コーンの新たな許可を凍結 01:生物多様性条約バイオセーフティ（カルタヘナ）議定書採択、メキシコで Bt コーンと在来種との交雑が報告される（後に否定された）
----------------------------	---	---	---

（微生物産業利用支援データベースの web サイトの表を改変して作成）

■ 遺伝子組換え作物について

第一世代 ; 除草剤耐性、病害虫耐性、貯蔵性増大、など

例) ・除草剤耐性ダイズ

除草剤耐性遺伝子を導入したダイズ。セットで売られている除草剤をかけるが、それは地中の微生物に速やかに分解されるので残留性はない。除草のための人出がいらず、生産性が向上。

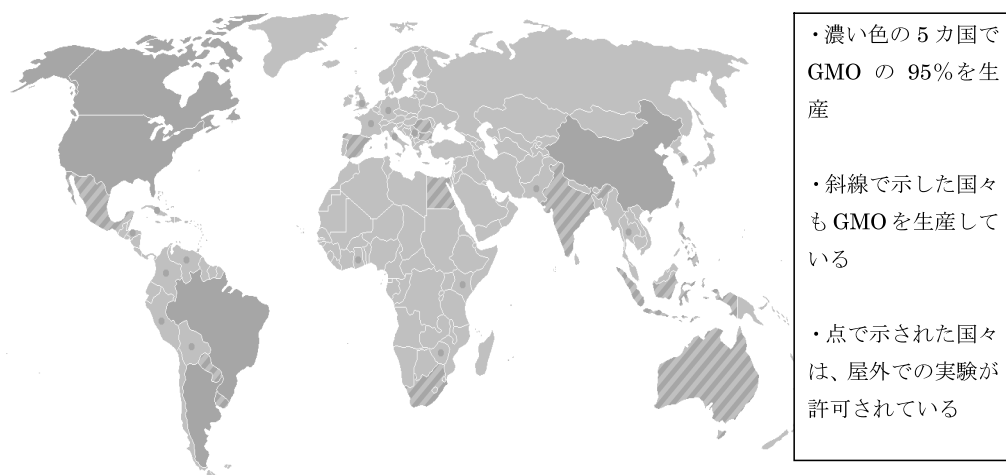
・ Bt コーン

土壌中に生息する昆虫病原菌であるバチルス・チューリンゲンシスが作る殺虫成分を発現する遺伝子組換えトウモロコシ。→害虫駆除となるため農薬が不要。

第二世代 ; 成分改変食品で消費者の利益が強調されたもの。

例) ・ゴールデン・ライス、スギ花粉症緩和米などが日本で開発されている。

■ GMO（遺伝子組換え作物）生産マップ（2005 年）



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f5/World_map_GMO_production_2005.png

問 5 遺伝子組換え作物について、あなたの意見を書いてください。またそれはなぜですか。

ほかの人の意見と比較してみましょう。

・ 遺伝子組換え作物に対する意見

・ 理由

<ほかの人の意見>

■文 献

- 荒木正健：LMO (Living Modified Organism) のABC：遺伝子組換え生物等規制法の再確認，細胞工学，25(7)，792-798，2006.
- グッドフィールド，J. 中村桂子訳：神を演ずる—遺伝子工学と生命の操作—。岩波現代選書，1977.
- Krinsky, S. 木村利人・玉野井冬彦訳：生命工学への警告，家の光協会，1984. 原著は，Krinsky, S.: *Genetic Alchemy: The Social History of the Recombinant DNA Controversy*, The MIT Press, Cambridge, 1982.
- 松田裕之：生態リスク学入門—予防的順応的管理—，共立出版，2008.
- 村上陽一郎：科学者とは何か。新潮社，1994.
- 中山茂：科学と社会の現代史。岩波現代選書，1981.
- 新田孝彦・蔵田伸雄・石原孝二編：科学技術倫理を学ぶ人のために。世界思想社，2005.
- 大竹千代子・東賢一：予防原則—人と環境の保護のための基本理念—。合同出版，2005.
- ワトソン，J. D.・ベリー，A.，青木薫訳：DNA。講談社，2003.
- 米本昌平：バイオ・エシックス。講談社，1985.

■Web サイト

- DIAM Data Biosafety for the industrial application of Microbes
<http://diam-jba.jp/diam/index.jsp>
- Dolan DNA Learning
<http://www.dnalc.org/home.html>
- National Human genome research institute
<http://www.genome.gov/>
- Proceed of the National Academy of Sciences
<http://www.pnas.org/>
- Wikipedia org.
<http://en.wikipedia.org/>

自分の考えを書いて提出してください。

学籍番号

氏名

問1 あなたは、ワトソンとクリックの DNA 分子構造解明という功績について、どういう感想を持ちましたか。また、科学とはどのようなものだと考えますか。

・ワトソン&クリックの DNA 分子構造解明について

・科学とはどのようなものか

問2 あなたが分子生物学者なら、この技術の登場によって何を感じたでしょうか。また、この技術をどのように使っていけばいいと思いますか。当時の科学者の立場になって考えてみてください。

・この技術の登場によって感じること

・この技術をどのように使っていけばいいと思うか

問3 あなたがもしアシロマ会議に出席する分子生物学者だったとしたら、この会議でどんなことを発言したいと思いますか。また、それはなぜですか。当時の科学者の立場になって考えてみてください。

・アシロマ会議でどんな発言をしたいか。

・それはなぜか。

自分の考えを書いて提出してください。

学籍番号

氏名

問4 科学者たちは、アシロマ会議まではリスクを警戒し実験を自粛する行動をとり、その後、「規制緩和」を要求するという態度変化をしました。あなたはこのことをどのように感じましたか。また、教師の話を聞いた後に考えの変化があったら、下の欄に記入してください。

・科学者たちの行動とその態度変化をどのように感じたか。

・教師の話を聞いた後でのあなたの考えの変化

問5 遺伝子組換え作物について、あなたの意見を書いてください。またそれはなぜですか。ほかの人の意見と比較してみましょう。考えの変化があったら下の欄に記入してください。

・遺伝子組換え作物に対する意見

・理由

・あなたの考えの変化