

報告 授業書「環境科学」による「環境科学」の基本概念の形成

丸山 博

北海道大学大学院教育学研究科

On Forming Fundamental Concepts of "Environmental Science" by Means of a Jugyosho
(a sequence of classwork handouts) "Environmental Science"

Hiroshi MARUYAMA

Hokkaido Univ.

(受付日 1991年11月5日・受理日 1992年2月7日)

1. はじめに

人間は、その誕生以来、自然に対して目的意識的に働きかけ、「今日では地球の将来は人間の手にならされているといってもいいすぎではないほどに」^①になった。すなわち、「地球の現段階は社会的自然といわなければならない」^②ものである以上、今日の人類の課題は「自然をいかに社会法則のもとにおくか」^③にあるといえる。それには、「自然は資源の対象にすぎない」とする誤った自然像ではなく、「自然の社会化」をきちんととらえ、これについての豊かな自然像を持つこと」^④が必要であり、このことこそ環境教育の目的であるものと思われる。だとすれば、環境教育は、「自然法則についての認識をさらに進めるだけでなく、自然と人間の関係の法則を明らかにする」^⑤ことから始められなければならない。つまり、環境教育の基礎としては、従来の自然科学教育すなわち対象としての自然に関する科学的認識の形成という枠組みではなく、自然を人間との関係において科学的に認識できるように再構成したものが考えられる。したがって、人間を含む自然すなわち人間生活圏を対象とし、人間との関係における自然を認識する科学を「環境科学」とすれば、環境教育の基礎は「環境科学」に基づく教育すなわち「環境科学」教育といえるのである。自然の階層論に基づいて体系化した「環境科学」の

教育内容の構造化の視点についてはすでに報告した^⑥。その後、授業書^⑦「環境科学」を構成し^⑧、それに基づく授業を行なった。本稿では、授業書「環境科学」の基本概念の形成に関わる部分を取りあげ、授業過程と感想文から授業書の評価を明らかにする。

2. 授業書「環境科学」の構成

高等学校における「環境科学」の教育内容としては次の三つの領域を設定し、それぞれ授業書のⅠ部・Ⅱ部・Ⅲ部とした。

- (1) 自然における人間の位置→Ⅰ部「自然における人間の位置」
- (2) 自然の社会化の過程→Ⅱ部「人間生活圏の形成」
- (3) 地球規模の自然変動→Ⅲ部「地球規模の自然変動」

Ⅰ部では、ビッグバン以降の自然の歴史的発展の結果、自然はその運動形態の違いから無機的自然（主系列）とそれを前提に生成された生物的自然（2次系列）及び人間（3次系列）の三つの系列の階層構造として表されることを明らかにする。Ⅰ部は、「環境科学」の視点を用意するため、Ⅱ部・Ⅲ部の基礎として位置づける。Ⅱ部においては、およそ1万年前の農耕・牧畜の開始以来の3次系列と2次系列及び3次系列と主系列との相互作用による人間生活圏の形成過程を示し、地球規

〔問い合わせ先〕〒001 札幌市北区北36条西7丁目2-2-702

模の人間生活圏の成立とその問題点を明らかにする。3次系列の働きかけの特徴は、時間的には他の系列の生成・分解速度を上回り、空間的にはローカルでありながらもグローバルに影響を与えるため、3次系列と他の系列との相互作用は3次系列によって規定される。これを相互作用の社会化とよぶことにする。Ⅲ部では、熱帯林の破壊、砂漠化・土壌流出、オゾン層の破壊、地球温暖化など今日における地球規模の自然変動の原因やその結果人間社会に及ぼす影響を明らかにし、その解決方法について示唆を与える。地球規模の自然変動は、相互作用の社会化ではなく、主系列と2次系列との相互作用が3次系列の介在によって地球規模で質的・量的に新しい展開を示したものととらえられなければならない。これを相互作用の地球化とよぶことにする。したがって、「環境科学」の基本概念には、系列間の相互作用における二つの概念すなわち相互作用の社会化と相互作用の地球化とが考えられる。

このように自然の階層論に依拠して人間を3次系列に位置づけ、系列間の相互作用という視点から、人間と自然との相互作用を人間生活圏の形成として連続的にとらえるとともに、地球規模の自然変動として非連続的に把握できるよう、質問や問題を中心にして授業書「環境科学」を構成した。質問は本論の導入、因果関係の類推、あるいは重要な概念や視点の形成などのために設定したものであり、問題は重要な概念や視点を形成するために必要な一連の問題文の構成要素として位置づけられる。したがって、質問は、正解を求めるものではなく、むしろ多様な意見に基づき豊かな議論を導き出す前提をつくり出すことを目的とするのに対し、問題は討論の時間を保証し、対立点を明確にしながら、正解を示すことが授業運営において求められる。授業書「環境科学」は全体で279頁に及び、その内容を表1に示す。

表1 授業書「環境科学」の内容

1 自然における人間の位置	1
1 自然の構造	3
1-1 原子より小さいものはあるか	3

1-2 宇宙はどこまで大きいか	7
1-3 自然をどう見るか	11
2 物質の起源	13
2-1 宇宙はビッグバンから始まった	13
2-2 四つの力から多様な物質が生じた	17
3 生物の誕生	23
3-1 地球環境が生物を生んだ	23
3-2 生物とは何か	31
3-3 生物と大気との相互作用	35
4 人類の出現	43
4-1 人類は自然を変えた	45
4-2 人類の進化速度はなぜ速い	53
Ⅱ 人間生活圏の形成	59
1 地表の改変	61
1-1 気候変動による森林の変化	61
1-2 人間活動による森林の消失	65
2 生物種の絶滅	75
2-1 生物種の絶滅=生態系の単純化	75
2-2 自然生態系の単純化	82
2-3 人工生態系の単純化	93
2-4 地球規模の人間生活圏の成立	105
Ⅲ 地球規模の自然変動	131
1 熱帯林の破壊	133
1-1 熱帯林の危機	133
1-2 熱帯林と大気・水との相互作用の地球化	143
1-3 熱帯林破壊の原因	149
2 砂漠化・土壌流出	173
2-1 砂漠化と土壌流出の加速	173
2-2 土と大気・水との相互作用の地球化	187
2-3 人間社会への影響	195
3 オゾン層の破壊	209
3-1 オゾンホールが発見	209
3-2 生物と大気・水との相互作用の地球化	233
3-3 フロン全廃への過程	241

4 地球温暖化	253
4-1 地上気温の上昇	253
4-2 大気と海洋・植物との 相互作用の地球化	261
4-3 二酸化炭素量の削減	271

3. 「環境科学」の基本概念に関する授業過程

授業書「環境科学」のⅠ部「自然における人間の位置」とⅡ部「人間生活圏の形成」の授業は、1990年の2学期（8～10月）、札幌藻岩高校3年生の理科Ⅱ（42名）及び北海道札幌工業高校定時制電気科2年（35名）と機械科2年（22名）の理科Ⅰの時間に行なった。また北海道札幌西高校社会科学研究会のメンバー10数人を対象として、放課後にゼミを行い、Ⅰ～Ⅲ部まですべて終えた。札幌藻岩高校と札幌工業高校ではNHK「地球大紀行」や「銀河宇宙オデッセイ」などのビデオを数回使った。したがって、時間数は、授業の進め方によって異なり、札幌藻岩高校24時間、札幌工業高校25時間、札幌西高校20時間となった。なお、ここで報告する授業過程は、Ⅱ部については札幌工業高校定時制電気科2年の授業記録を、Ⅲ部については札幌西高校社会科学研究会のゼミの記録をもとにした。Ⅰ部は、前述のようにⅡ部・Ⅲ部の基礎として位置づけられているので、ここでは割愛する。

3.1 「Ⅱ 人間生活圏の形成」

3.1.1 「1 地表の改変」

「1-2 人間活動による森林の消失」では、相互作用の社会化の例として、人間の活動が気候変動よりも速い速度で森林を消失させた結果、広範囲にわたる地表の改変が見られたことを下記の質問2と問題1によって示す。

(1) 質問2は授業書における次のような記述を受けて提示される。「エーゲ海の周辺には、エフェソス（図1-5：本論文では省略、以下同じ）、ミレトスなどギリシャ・ローマ時代に繁栄を誇った古代都市がたくさんあります。それらの都市は、ギリシャ・ローマ時代には海岸に面した港でしたが、現在では、海岸から数キロメートルも内陸に動いています。最近の地質調査から、この“移

動”は海岸線の前進によることがわかりました（図1-6）。では、海岸線が前進したのはなぜでしょうか。」

質問2 エフェソスの海岸線の前進の原因は何だと思えますか。

授業では次のような意見が出された。なお、 P_n ： $n=1, 2, \dots$ は生徒をさす。

P_1 ：「地震でゆれて少しずつずれていった。」

P_2 ：「地殻変動で陸が隆起した。」

P_3 ：「川の砂や土が流れてたまった。」

P_4 ：「プレート運動によって陸が移動した。」

P_5 ：「森林が伐採されて川の砂や土が流れてきた。」

P_6 ：「海の水が減った。」

P_6 は人間活動をあげたのに対し、それ以外の生徒たちは自然の変動に言及しており、これらに対立させれば、もっと議論がつづくものと思われた。しかし、ここでは、意見が出つくすと、教師が一人の生徒を指名して授業書・質問2の解答部分を読ませ、全員がそれを理解できるよう詳しく解説した。その解答部分とは、人間が小メンドレス川の上流部において森林を切り開いて農耕や牧畜を始めると、森林の伐採によって洪水がたびたび起こり、上流や中流の土砂が下流に大量に運ばれたことを花粉ダイアグラムから明らかにしたものである。

(2) 問題1は次のようにして提示される。「今日のイギリスにはヒースという地をほうように生えるツツジ科の植物におおわれた荒野が広がっています。ヒースは、いつごろ、どのようにして形成されたのでしょうか。」

問題1 つぎのことを花粉ダイアグラム（図1-8）から読み取り、ヒースがつくられた原因を推定しなさい。

① カバノキやハンノキなどの森林が減少しはじめたのはいつごろですか。

② ツツジ科のヒースが増えはじめたのはいつごろですか。

③ イネ科やヘラオオバコなどが急増したのはいつごろですか。

授業書の解答では、カバノキやハンノキなど

の花粉の減少とツツジ科植物の花粉や農耕・牧畜に関連したイネ科、ヘラオオバコの花粉の増加を花粉ダイアグラムから明らかにし、人間の農耕牧畜活動によるカバノキやハンノキなどの森林の伐採が、結果としてヒースを構成するツツジ科の植物を増加させたものと説明している。これはすべての生徒たちに難なく理解された。

3.1.2 「2 生物種の絶滅」

「2-1 生物種の絶滅=生態系の単純化」では20世紀の生物種の絶滅速度が未曾有の速さであることを示し、「2-2 自然生態系の単純化」では、絶滅の危機に瀕している生物種として、シロナガスクジラと沖縄のサンゴを取り上げる。前者においては、個体数が少なく繁殖率の低い生物は、人間の乱獲を受けるとたちまち数が減り、個体数をもとに戻すには長い時間がかかることを指摘する。後者では、サンゴ礁の形成には1万年もかかったにもかかわらず、環境保全を無視した開発はわずか20年足らずの間にその90%近くを破壊したことを明らかにする。「2-3 人工生態系の単純化」においては農業が大気や水を媒介して広範囲に拡散することを指摘し、「2-4 地球規模の人間生活圏の成立」では、西欧の工場から排出された二酸化イオウと窒素酸化物が大気の流れや水の循環によって北欧の湖の魚を絶滅させていること、また主として先進国で生産・使用されたPCBが大気や水を媒介して世界中の海に広がり、海洋生物を絶滅に追い込んでいることなどを明らかにする。「2-3」の授業過程は以下の通りである。

(1) 2-3-1 キンモンホソガの大発生

授業書は、農業の大量使用が天敵を殺すことによって害虫の大発生を招きやすいことを説明し、その具体例として質問9を設定している。

質問9 害虫の大発生が農業をひんぱんにつか

つたリンゴ園に集中したのはなぜだと思いますか。

この正解を得るのは容易ではない。「農業によって天敵が死滅し、害虫が増えたから」という答えでも説明はつくからである。実際には次のような経過をたどった。農業は害虫どころかその天敵まで殺すため、農業をあまりつかわなかつたり

リンゴ園では害虫が生き残り、それが農業をひんぱんにつかたために天敵まで少なくなったリンゴ園に侵入して大発生した。授業では次のような議論が展開された。

P₁ 「農業で天敵が死んで害虫が増えた。」

T (教師) 「なぜ害虫は死なないのだろう。」

P₂ 「生態系に変化が起こった方がいいんじゃないの。」

T 「それはどういうことかな？」

P₂ 「つまり、食われるはずのやつがたくさん生き残ったりとか、本当は食う役割に立っているはずのやつが農業で死んだりとか、だから生態系がおかしくなっちゃって。」

T 「なるほど。その他に意見ありませんか。」

P₁ 「天敵に食べられる害虫の方が多い。」

P₁ 「えー逆じゃないの？害虫に食べられる天敵が多い。」

P₁ 「天敵で食べられるはずの害虫が生きているからじゃないの？」

P₁ 「天敵が死んで、生きものの生態が変わって、薬の効き目が、抵抗力がついてきた。」

この議論では、害虫が増えたのは「生態系に変化が起こった」(P₂)からであり、それは「害虫が農業に対して強い抵抗力を持っているから」(P₁)となり、害虫の強さが確認されている。それと同時に、「生態系」とか「生態」という用語がつかわれており、それらが「変わった」ことにも気がついている。したがって、「生態系がおかしくなった」(P₂)とか「生きものの生態が変わって」(P₁)を生態系の単純化と置き換えれば、これらの意見を「農業が害虫とともに天敵も殺し、その結果、生態系が単純化して、農業に強い害虫が生き残って、大発生した」とまとめることができる。これは、蔽密に言えば実際の経過と同じではないが、農業による生態系の単純化が理解されたことから、質問9の目的は十分達したといえる。

(2) 2-3-2 農業の空中散布がはじまった

授業書は、害虫の大発生を避けるために安易に農業が使用され、農業の空中散布が増大している現状を説明し、空中散布された農業が、1週間以上も大気を汚染し、生態系を単純化するだけでな

く、周辺住民の人体に直接被害を与えることも指摘している。質問10は農薬による大気汚染が長時間つづくことを強調するために用意された。

質問10 空中散布後農薬は大気中にどのくらい浮遊しつづけるとおもいますか。

- ① 数時間
- ② 2～3日
- ③ 1週間以上

正解は③だが、生徒たちの予想は②14人と③16人に二分された。ここでは、農薬による大気汚染のメカニズムに触れ、空中散布から人体被害を防ぐためには、市民の反対運動によって行政を動かしていくことが必要であるとして、その実践例を紹介する。

(3) 2-3-3 農薬まみれのゴルフ場

農薬の空中散布が農薬による大気汚染ならば、ゴルフ場の農薬は、農薬による水汚染の例として、最近社会問題になっている。しかし、質問11に対しては①を正解だと思う者は少ないはずである。案の定、①が7人、②が21人となり、正解者は少なかった。「排水管があれば害のないところまで引くはずなのに、ないから汚染する」(②を支持した生徒の意見)と考えるからである。だからこそ、正解を知ったときの反響は大きかった。質問11 ゴルフ場の農薬が雨によってすぐ河川に流れだすのはなぜだと思いますか。

- ① ゴルフ場の地下には排水管が埋設されているから。
- ② ゴルフ場には排水の良い土地が選ばれるから。

ここでは、ゴルフ場の農薬による水汚染は、ゴルフ場の造成方法ばかりか、それを見過ごしてきた行政にも責任があることを示し、農薬の毒性が知られるにつれて消費者の間に反農薬の声が高まると、自治体がゴルフ場建設に対する規制を行なうようになったり、無農薬や減農薬の農作物の生産量が増加していくことを明らかにする。

「2-4」では、最後の質問(質問18)に対する生徒たちの発言から、PCBが農薬と同じように水や大気を媒介してグローバルに拡散したことすなわち地球規模の人間生活圏の成立が理解された

ものと考えられる。

質問18 PCBはどのようにして世界中の海に広がったと思いますか。

P₁: 「工場から有害な物質がたれ流された。」

P₂: 「世界各国からやっぱり薬品とか作って、それぞれの国でやっぱり排出物とかを流すから、それで世界に広がった。」

P₃: 「海流で広がった。海に流したら、そこに留まっているわけじゃないだろうから。」

P₄: 「雲じゃない? 蒸発して、気体になって…」

こうした一連の質問や問題によって相互作用の社会化の概念の形成をはかる。Ⅲ部における相互作用の地球化の場合も同様である。

3.2 「Ⅲ 地球規模の自然変動」

3.2.1 「1 熱帯林の破壊」

(1)相互作用の地球化の契機となる人間の経済活動の時間的・空間的特質を示し(「1-1 熱帯林の危機」)、(2)熱帯林と大気・水との相互作用の地球化を表し(「1-2 熱帯林と大気・水との相互作用の地球化」)、(3)相互作用の地球化に寄与する人間の経済活動を社会的文脈のなかで明らかにする(「1-3 熱帯林破壊の原因」)。つまり、熱帯林と大気・水との相互作用の地球化の概念形成は(2)の問題1と2によって行なう。

問題1の前提として、熱帯林が二酸化炭素の重要な吸収源であるとともに、水循環においても水の貯蔵庫として重要な働きをしていることを示しておく。

問題1 熱帯林が破壊されていくと、河川や気候にはどんな影響があると思いますか。予想されることをすべてあげなさい。

これに対しては、「洪水が起きる」「タイやパングラディッシュの方でも森林破壊によってすでに起きているから」「森林は保水能力があるので、森林がなくなると砂漠化する」という意見が生徒たちから矢継ぎ早に出された。「熱帯林の破壊がこのまま進むと、地球全体の降水量の分布にも変化が引き起こされる」ことに気づいたものはいなかったが、「地球温暖化かな」という発言があったので、それを追求していけば、おそらくそういう意見も出されたものと思われる。授業書は、こ

の解答を「①はじめは洪水やかんばつが起こり、②つぎに砂漠化が進み、③やがて地球全体の降水量の変化や地球温暖化が起こるものと思われます。」とし、そのメカニズムについて解説する。

問題2の前提としてはアマゾン熱帯林の17%を占める大カラジャス地域における日本の国際協力事業団(JICA)の大規模開発計画の内容を示しておく。

問題2 「大カラジャス計画」が実現すると、どんな事態が予想されますか。

これに対して、生徒たちからは「森林が破壊される」「先住民の生活が破壊される」「木炭による森林の破壊が考えられる」「日本政府が儲けるためにやっているのだから、ブラジルには損失でしかない」という発言が相次ぎ、この章がほぼ理解されたことを確認した。授業書の解答は以下の通り。

「①農場や牧場の造成のため、広範囲にわたって森林が伐採されます。しかし、熱帯林の土壌の貧弱さを考えると、農業や牧畜は長続きしません。②木炭の生産によって広大な森林が失われます。1トンの木炭を生産するのにおよそ3トンの木材が必要だからです。現在、カラジャス地域では年間9万トンの木炭が生産されていますが、将来的には、年間220万トンの木炭の生産が見込まれています。これに対して、1988年の世界銀行の融資に関する国際国民会議では、「ブラジルがこのような木炭生産をただちに中止すべきこと、および世界銀行はこれを支援するのをやめるべきこと」が決議されました。③このような森林破壊やダムの建設などによって、そこに住む先住民の生活基盤がうばわれることは明らかです。この計画では、およそ40あまりの先住民の集落が開発の犠牲になり、1万3千人以上の先住民がその生活基盤を失うこととなります。しかし、JICAの計画書はこのことについてまったく触れていません。④生物種や大気や水への影響については前述のようなことが予想されます。」

3.2.2 「2 砂漠化・土壌流出」

(1)相互作用の地球化の契機となる人間の経済活動の時間的・空間的特質を示し(「2-1 砂漠化と土壌流出の加速」)、(2)土と大気・水との

相互作用の地球化を表し(「2-2 土と大気・水との相互作用の地球化」)、(3)相互作用の地球化に寄与する人間の経済活動を社会的文脈のなかで明らかにする(「2-3 人間社会への影響」)。土と大気・水との相互作用の地球化の概念形成は(2)の質問13と14によって行なう。

質問13は、穀物生産量を高めるために投入された窒素肥料から大気中に放出された一酸化二窒素がオゾン層の破壊や地球温暖化に寄与することを理解させるための、導入問題である。

質問13 一酸化二窒素が大気におよぼす影響とは何だと思えますか。

- ① 大気汚染
- ② オゾン層の破壊

「Ⅱ 人間生活圏の形成」の「2-4 地球規模の人間生活圏の成立」において、窒素酸化物は大気汚染物質であるとして酸性雨の発生機構を説明していたので、一酸化二窒素を同じ窒素酸化物と考えると、間違いやすい。大半の生徒は、案の定、①を選んだ。しかし、その後の解説によって、質問13のメカニズムが皆に理解された。

質問14に関する授業書の記述は次のように始まる。「サハラ砂漠の南側にそって東西にのびる地域をサヘル地域といいます(図2-10)。そこは年間降水量100~500ミリのサバンナ地帯です。これまでサヘル地域は継続的なかんばつに見舞われてきました。ところが、1969年以降、かんばつの度合いが強まっています。しかし、サヘル地方では、雨のばらつきが地域的、時間的に大きいことは普通のことであると見る学者もたくさんいます。80年の世界気象機関(WMO)の報告書でも「70年代のアフリカのかんばつは深刻なものではあっても、この地域の気象からすれば正常なものである」との結論を下しています。今日では一体どちらが正しいのでしょうか。」

質問14 サヘル地域の最近のかんばつについてはどう思えますか。図2-11を参考して答えなさい。

- ① 自然変動の枠内にある。
 - ② 自然変動の枠をこえている。
- ゼミの生徒たちは全員が迷わず②を選んだ。授

業書の解答は次のように示される。「②が正解です。80年にはそれほど目立っていなかったかんばつが、80年以降さらに強まり、ミレット（キビの一種）栽培限界の年降水量300ミリの等雨量線（飢餓前線）もかつてないほどの速度で南下しているからです（図2-12）。サヘル地方の樹木の年輪の分析から、今回のように十数年も断続的につづく例が発見されなかったことも、最近のかんばつの異常さを裏づけています。」つづいて、かんばつの原因は砂漠化によるアルベドの増大にあることを示し、陸地の表面をおおきわめて薄い土の層とその上に広がる薄い大気の層とは互いに強く影響を及ぼしあっていることを強調する。

3.2.3 「3 オゾン層の破壊」

(1)相互作用の地球化の契機となる人間の経済活動の時間的・空間的特質を示し（「3-1 オゾンホールが発見」）、(2)大気と生物との相互作用の地球化を表し（「3-2 生物と大気との相互作用の地球化」）、(3)相互作用の地球化の防止のための合意形成の過程を明らかにする（「3-3 フロン全廃への過程」）。大気と生物との相互作用の地球化の概念形成は(2)の問題4、質問23によって行なう。

問題4は次のように始まる。「紫外線は、成層圏の酸素分子やオゾンによって吸収されるため、地上には到達しません（図3-15）。このことは、成層圏のオゾン量が少なくなれば、地上に到達する紫外線が強くなることを意味します。（図3-16）。最近、南氷洋において、成層圏のオゾン量の減少とともに植物プランクトンの減少が観察されたといわれます。では、植物プランクトンの減少はどんな影響をおよぼすのでしょうか。」

問題4 植物プランクトンが地球全域で減少したら、どんなことが起こると思いますか。

ここでは、即座に「植物プランクトンが減ったら、動物プランクトンが減って、動物プランクトンが減ったら、それを食べる魚が減って…」「酸素供給量が減る」「二酸化炭素が吸収できなくなる」などの意見が出された。つまり、オゾン層の破壊は、海洋生態系の破壊に留まらず、地球温暖化にまで影響があるという正解が得られたのであ

る。

授業書における質問23とその解答の記述は次の通りであるが、ゼミでは、時間の関係上、割愛せざるを得なかった。「地球の大気の99.9%は、高度50キロメートル以下にあり、地球の半径6400キロメートルにくらべるとうすい膜のようなものです。地上から8～15キロメートルまでの対流圏では、地上であたためられた空気が上昇して、対流がたえず生じています。成層圏では、上空ほど温度が高くなるため大気の層は安定し、対流はあまり起こりません。（中略）では、オゾン層が破壊されたら、大気の温度分布はどうなるのでしょうか。」

質問23 成層圏のオゾン層が破壊されたら、大気の温度はどのように変化すると思いますか。予想される温度分布を図3-18に描きなさい。

解答：「成層圏の温度が高度とともに高くなるのは成層圏にあるオゾンが太陽からの紫外線の一部を吸収して熱に変えるためです。したがって、オゾン層が破壊されると、成層圏の温度は下がることが予想されます（図3-19）。じっさい、地球の全オゾン量の減少とともに、成層圏上部の気温もやや低下する傾向にあることが観測されています。こうして成層圏の温度分布が変わると、成層圏の大気の流れに変化が生じ、地球規模の気候変動が起こる可能性もあります。」その結果、地上の生態系にも大きな影響があることから、質問23もまた相互作用の地球化と考えられるのである。

3.2.4 「4 地球温暖化」

(1)相互作用の地球化の契機となる人間の経済活動の時間的・空間的特質を示し（「4-1 地上気温の上昇」）、(2)大気と海洋・植物との相互作用の地球化を表し（「4-2 大気と海洋・植物との相互作用の地球化」）、(3)相互作用の地球化を防止するための問題点を社会的文脈のなかで明らかにする（「4-3 二酸化炭素排出量の削減」）。大気と海洋・植物との相互作用の地球化の概念形成は(2)の質問27と28によって行なう。

授業書は質問27を次のように導入する。つまり、18世紀中葉以降の大気中の二酸化炭素濃度の急増は産業革命以降の化石燃料の燃焼や森林破壊

によることを示し、「もし、人間の経済活動による二酸化炭素がそのまま大気中に蓄積されるものとすれば、大気中の二酸化炭素濃度はその分だけ増加していくはずですが、しかし、実際の観測データでは、人間の経済活動による二酸化炭素の45%しか大気中に残っていません。だとすれば、あとの55%はどこに消えたのでしょうか。」として、質問27に入るのである。

質問27 人間の経済活動によって大気中に放出された二酸化炭素の55%はどうなったと思いますか。

- ① 生物や海洋に吸収された。
- ② 大気の浄化作用によって大気中からとりのぞかれた。

ゼミでは②の浄化作用が否定され、その結果、全員が①を選んだ。授業書の解答は次の通り。「①が正解です。二酸化炭素は、生物の呼吸や微生物の分解によって放出されますが、植物の光合成によってそれと同じだけ吸収され、植物体内でブドウ糖などの炭素化合物に変えられるため、植物は二酸化炭素の吸収源であると同時に炭素の貯蔵庫でもあります(図4-7)。しかし、18世紀中期以降、大規模な森林破壊のため、植物全体としては差し引き二酸化炭素を放出しているものと考えられています(図4-8)。だとすれば、二酸化炭素の吸収源は海しかありません。(中略)こうして人間によって大気中に放出された二酸化炭素は大気や海の中を広がりますが、海における二酸化炭素の拡散には長い時間がかかるため、海の二酸化炭素の吸収速度は、人間の二酸化炭素の放出速度に比べると、かなり遅いものと考えられます。」

質問28の導入部は次の通りである。「人間による大気中への二酸化炭素の放出がこのままつづくとすれば、大気中の二酸化炭素濃度が産業革命以前の2倍になるのは今から40年後の2030年だといわれます。もちろん、二酸化炭素以外の温室効果ガス(メタン、フロン、一酸化二窒素など)も無視できないので、それらをすべて二酸化炭素に換算した上での話です。シュタウアーら(1989)の予測では、そのときの地球全体の地上気温の平均

は産業革命以前より1.2~3.0℃上昇することになります(図4-9)。このような急速な気温の上昇は、温室効果がきっかけではありますが、それだけでは起こりません。すなわち、温室効果によって気温が上がると、人間生活圏に何らかの変化が起こり、さらに気温が上がるといわけです。これはなぜでしょうか。」

質問28 温室効果によって気温が上昇すると、人間生活圏の気温がますます上昇していくのはなぜだと思いますか。

ゼミでは正解が得られなかったが、「それだけに強く印象に残った」と生徒の感想文に記されていた。ここでは、「大気中の二酸化炭素濃度が増加して、温室効果によって気温が上昇すると、温暖化に関係するさまざまなフィードバックが起こるためです。」として、水蒸気、雪氷、植生などのフィードバックについて説明する。

4. 感想文の分析

札幌工業高校、札幌薬岩高校、札幌西高校とも、すべての授業あるいはゼミの終了後、感想文の提出を求めた。「環境科学」の基本概念すなわち相互作用の社会化と相互作用の地球化に関する感想文の内容をまとめると、次のような結果が得られた。なお、記号のA、B、Cはそれぞれ札幌工業高校、札幌薬岩高校、札幌西高校を表し、数字①~⑦は生徒を表すものとする。

(1) 相互作用の社会化

人間の自然への積極的な働きかけが自然の破壊を生んだ(A①、A②、A③、A④、C②)。したがって、私たちは、目先の利益や便利を追求ばかりでなく(B③、C②)、人間の自然に対する影響の大きさを認識し(A③、B①、B②、B④)、人間が自然に依存していることを考慮に入れて(B⑤)、環境保全に真剣に取り組まなければならない(B②、B⑥、B⑦)。

A①「人間の開発によって住みやすく生活しやすい環境を作ってきたが、それにより自然環境が崩壊しつつある。そして反対に人間にほど良い環境にするつもりが酸性雨などの築き上げてきたものを破壊しようとする物質を作り

つつある。(後略)」

- A②「このままじゃぜんかいは、生物の絶滅つな
どをつづけていったら、人間だけじゃなく地球
ぜんたいのはめつにつながるとおもう。
(後略)」
- A③「(前略) 自然というものがおよぼすえい
きょうはあるときはものすごくおそろしくそ
してあるときはものすごくじゅうようだとい
うことです。(後略)」
- A④「(前略) 環境問題はふえるかへるかは人間
がどうするかでほぼきまる。(後略)」
- B①「(前略) もっと多くの人々が自分達が自然に
対してしてきたことをよく考えられるように
もっと知らなければならぬと思います。
(後略)」
- B②「自然破壊が進む中、私たちは自然環境や動
植物の生態系へ与える影響を認識する必要が
あります。(中略) わずか1世紀の間に人間
が破壊した環境を“かけがいのない地球”を
守るため自然の一員として長い時間をかけて
つぐなわなくてはならないと思います。」
- B③「(前略) 人間生活が便利になっていくにつ
れて森林伐採やオゾン層の破壊などが進んで
いるけれど、どんなに便利になっていって
も、土台となる地球が破壊されれば、便利さ
も何も役に立たないものだし… (後略)」
- B④「(前略) 人間の環境へおよぼす影響の大き
さを改めて認識しました。」
- B⑤「(前略) 人類の出現は地球の誕生にくらべ
たら、もうほんのちょっとしか歴史がないの
に、どうして人間はこんなにはびこっている
のだろうか。人間は自然によって成り立って
いることを忘れていると思う。(後略)」
- B⑥「(前略) でも地球を含めて宇宙全体のこと
を学んでそれらの環境を守るために努力しな
くてはいけないということを強く感じました。
(後略)」
- B⑦「(前略) 過去・現在・未来のそれぞれの状
況を見たり、考えたりすると、私たち一人一
人が真剣にそのことに取り組むべきだと思っ
た。(後略)」

C②「(前略) どうしても途上国は焼畑などの生
産手段で環境を破壊しざるをえないし、先進
国は資本にものいって大規模な開発、事業な
どを強行し、環境破壊に追いついてはかけてい
ます。そしてそのスピードは日に日に早くな
っています。(中略) いくら目先の利益が大
きくても、その後人類全体の受ける被害を
考えなければなりません。(後略)」

(2) 相互作用の地球化

このままでは地球全体の破壊につながることを
予想され(C②)、考え方を変えなければならぬ
(C②)。地球汚染や環境破壊の原因としては
日本のODA(C①)や南北問題(C①, C②)な
どがあげられる。先進国は環境保全にもっと努力
すべきである(C①, C②, C③)。

C①「(前略) 特に日本のODA、ブルドーザーか
なんかで木をきりたおしている人は、この
「環境科学」をやったとしたら、それでも木
をきりたおしつづけるのだろうか。それと
も、地球が危ないと知っていても、生活のた
めだからしかたがないのでしょうか。そのへ
んのことを考えると、やっぱり南北問題にも
突きあたるようですね。今まで地球を汚染
し、その代償に便利な生活を送ってきた先進
諸国。しかし、そのツケがきて、もうやめよ
うと言いだすと、途上国側がそれを拒む。中
国が前にフロンはまだまだ使ってみたいなこ
とを言ったのを聞いたことがあるのですが、そ
ういったことを話し合ってもわかってもら
うのが先進国。特に今、あらゆる面において
きられている日本の役目であり、そのために、
日本はもっと努力しなければならないと思
います。(後略)」

C②「(前略) 地球温暖化のところを読んで思
ったことはフィードバックについてでした。こ
のとんでもない悪循環だけはあらゆる手段で
避けないと、もう温暖化の波は防ぎきれな
い!と直感しました。(中略) ここで今一度
世界は(特に日本は)考え方を見なおして
おかないとヤバイ!!と思いました。もちろ
んこの「環境科学」を学び、知識、意識を深め

るのはもちろんのことです。その時初めてその考え方は実現へと向かうのです。そのためにも日本や他の先進国を中心にして途上国も理解を深め、早急に対策を練り、「地球」を守っていかなくてはならない、というのが僕のいきついた結論なのです！」

- C③「(前略) 援助より先にすることがある。誤った開発を進めておいて、援助する金を出せばいいなんていうのは一番悪い。いくら出すかではなく、どう使うかで、金を出すより、知恵を出さなくては。しっかりした自然復元プランを立てるとか、産業の発展を助けるときには公害防止策も与え、先進国が発展途上国に自分たちの二の舞を踏ませないようにしなければいけない。(中略) 先進国はこれまでの経験によって得られたすべての知恵を与え、いままで起こしてきた問題を起こさせずに発展させなければいけない。先進国は自然の保護と回復にもっと努力をしなくてはいけない。(後略)」

このように相互作用の地球化そのものについての記述は少なかった。それは、札幌西高校・社会科学研究会のゼミでは、150頁にも及ぶ授業書「Ⅲ 地球規模の自然変動」をわずか6時間で終えざるをえなかったため、相互作用の地球化よりもそれに寄与した人間の経済活動に重点をおいたからである。

5. まとめ

授業過程と感想文から授業書「環境科学」を評価すると、次のような成果と問題点をあげることができる。

- (1) 人間と自然とのあり方を歴史的に見る視点が生徒たちに形成された。その結果、生徒たちの間に、安易な自然保護思想ではなく、自然の問題を社会の問題としてとらえる傾向が見られた。
- (2) 自然や社会の問題に対する生徒たちの意識が高まった。しかも、問題意識の発展として、自分自身の多消費型の生活を反省するとともに社会への働きかけ(友達に授業書「環境科学」を見せるとか、環境保護団体へ入会することな

ど) が得られた。

- (3) 授業書の理論的構成上、Ⅰ部はⅡ・Ⅲ部の基礎として位置づけられる。しかし、Ⅰ部は直接現在の問題を扱っていないので、まだるっこいという意見が何人かの生徒からあった。したがって、授業運営上、Ⅰ部はⅡ・Ⅲ部のあとにおいたほうがよいかもしい。

なお、「環境科学」の基本概念については、相互作用の社会化の概念はおよそ形成されたものと思われるが、相互作用の地球化の概念形成については、時間を急いだこともあって感想文に反映されず、達成されたかどうか明らかではない。今後の課題となった。

註

- (1) 本谷勲「地球規模の環境問題」本谷勲(編)、変貌する環境、三省堂、1988、p26
- (2) (3)本谷勲、同上書、p27
- (4) 本谷勲「環境問題と科学教育」、理科教室、33(7):13、1990
- (5) 渋谷寿夫「動物の世界から人類の社会へ」渋谷寿夫・林智・志岐常正(編)、人間生存の危機、法律文化社、1984、p73
- (6) 丸山博「自然の階層論にもとづく「環境科学」教育の体系化について」、環境教育、1:4-10、1991
- (7) 高村泰雄編著(1987)、物理教授法の研究、北海道大学図書刊行会、pp3-8
高村氏は、認識過程の基本的諸特質に基づいて科学的認識の形成をはかる教授過程の基本構造を明らかにし、その中で授業書のはたす役割を位置づけることによって、授業書について「教材の構造・教授過程をすべての生徒に科学的認識を確実に形成することのできる教授プログラムとして客観的な形式で提示したもの」と規定している。筆者の授業書はこの規定に従うものである。
- (8) 丸山博「授業書「環境科学」」、北海道大学教育学部教育方法学研究室(編)教授学の探究、9:1-148、1991