

自然の階層論に基づく「環境科学」教育の体系化について

丸山 博

北海道大学大学院教育学研究科

On Systematization of "Environmental Science" Education

Based on the Theory of Natural Stratification

Environmental science is the science of self-knowledge of man in nature in that it is concerned with nature including man, not with nature excluding man. Therefore the content of environmental science education has to be reorganized out of environmental science so that it can make students scientifically understand nature as related to man instead of forming in students scientific knowledge about nature as an object.

What will enable systematization of environmental science is to synthesize the particular sciences concerning the environment through the medium of the theory of natural stratification. On the basis of environmental science systematized in this way, I will postulate the following three domains as the content of environmental science education in senior high schools, and aim at making students understand them in a unified way by introducing a viewpoint, based on the theory of natural stratification, of interaction between the series of strata.

- (1) the position of man in nature
- (2) the process of socialization of nature
- (3) the changes in nature on a global scale

I will show the gist and part of the teaching plan with the above content.

キーワード～自然の階層論

自然における人間の位置づけ
人間生活圏
相互作用の地球化
系列間の相互作用

0 問題意識

自然に対する人間の認識には、対象としての自然の認識の他に、人間との関係における自然の認識がある。前者には物理学、化学、生物学、地球科学など従来の自然科学が相当し、後者には環境科学が相当する。つまり、環境科学とは、人間を抜き去った自然を対象化するのでなく、人間を含む自然すなわち人間生活圏を対象とするため、自然における人間の自己認識に関する科学といえる

のである。したがって、環境科学教育の内容は、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でなければならない。環境科学教育はこの意味において科学教育の新しい課題である。

1 環境科学の体系化の視点

環境科学の体系化は、自然の階層論を媒介とし

て、環境に関する個別科学を総合化することによって可能になるもの¹⁾と思われる。環境科学の対象とする自然が人間との関係における自然の認識である以上、環境科学の体系化には人間という高い立場から全自然を位置づけ直すことが必要であり、そのための有効な視点として自然の階層論が考えられるからである。

自然の階層論によれば、自然はその運動形態の違いによって無機的自然とそれを前提として生成された生物的自然および人間の三つの系列の階層構造(図1)として表される。

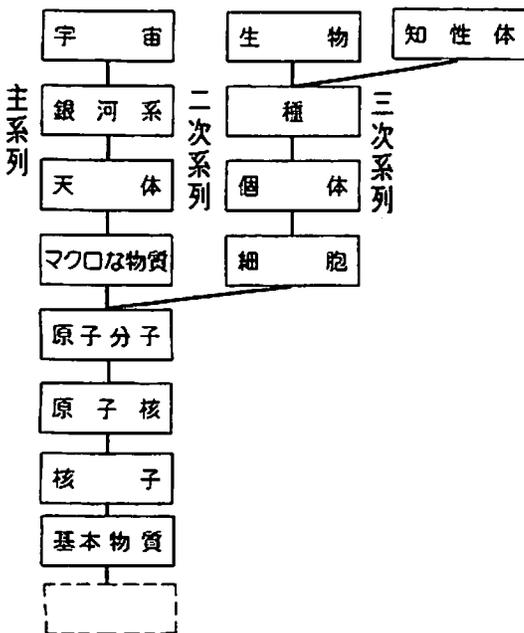


図1 自然の階層構造(田中一『未来への仮説』培風館, 1985年, p103)

このような「階層構造は歴史性の反映として見る」²⁾ことができる。つまり、「自然の歴史的発展は、物質運動諸形態の段階的発展性を反映して、多くの階層や質的に異なった三つの系列を生み出した」³⁾のである。したがって、生物的自然の2次系列の一種として出発した人間は、「社会的運動形態をともなって独自の進化をとげ、やがて質的、量的に一層高度な活動性をもつもの」⁴⁾とし

て、自然の階層構造の最も高次の系列すなわち3次系列に位置づけられ、その活動性は「目的意識的にかつ局所的な生産が広域に影響を及ぼすということによって特徴づけられる」⁵⁾のである。こうして人間を自然の階層構造の3次系列という高い立場に位置づけてはじめて、「自然の一部である人間は、自らが発展する前提を自然生態系における自らの位置を変えることも含めて作り出すことができると同時に、自らが含まれる自然を破壊する能力さえも持つ」⁶⁾ことが説明できるばかりか、全自然を次のように位置づけ直すこともできるのである。

主系列から生成された2次系列の植物は、主系列に属する大気を好氣的なものに変え、造山運動期に大気中の二酸化炭素量が急増すると、海洋や岩石などの主系列より二酸化炭素量の変動の制御に大きく寄与した。しかしながら、3次系列として人間が出現すると、3次系列の運動形態が主系列及び2次系列の運動形態を規定するようになった。つまり、3次系列の2次系列への働きかけである農耕・牧畜は、気候より速い速度で地表を改変し、生物の進化速度より速く野生生物から家畜を作り出した。3次系列の主系列への働きかけである工業は、主系列内の反応より速い速度で新しい物質種を生み出し、生物の呼吸量をはるかに越える量の酸素を消費するとともに、生物地球化学的循環速度を大幅に上回る速度で二酸化炭素を大気中に放出した。このように3次系列としての人間は、主系列や2次系列を生存の物質的基盤としながらも、地球史から見ると極めて短時間に大陸・海洋から大気圏にいたる地球環境全域を人間中心の世界すなわち人間生活圏に作り変えた。地球規模の自然の社会化である。その結果、今日、3次系列の2次系列の働きかけは、生態系の破壊にとどまらず、大気・水圏の変動を引き起こし、3次系列の主系列への働きかけは、大気や水圏の変動を通して全地球の生態系の破壊を引き起こそうとしている。このように主系列と2次系列との相互作用が地球の規模で質的・量的に新しい展開を示したもの(今後このことを相互作用の地球化と略称する)が、熱帯林の破壊、砂漠化・土壌流

出、オゾン層の破壊、地球温暖化などの地球環境問題といわれる地球規模の自然の変動であると考えられる。

こうして自然の階層論に基づく体系的な環境科学＝「環境科学」を構築するための基本的視点が次のように整理される。

- (1)自然の歴史的発展過程における人間は自然の階層構造の最も高次の系列＝3次系列に位置づけられる。
- (2)自然の社会化は3次系列の運動形態が主系列及び2次系列の運動形態を規定したものと考えられる。
- (3)地球規模の自然変動は3次系列の介在による主系列と2次系列との相互作用の地球化としてとらえられる。

2 「環境科学」の教育内容の構造化の視点

高等学校における環境科学教育の内容の構造は、「環境科学」の一般的・基本的概念や法則の中から、「授業過程の中ですべての生徒に教えることが可能であるという検証を経たもののみによって構成される」⁷⁾。そのためにはすべての高校生に理解可能だと思われる内容をさしあたり提示しなければならない。その内容としては、前述の「環境科学」の三つの基本的視点に対応して次の三つの領域を設定し、系列間の相互作用という視点を導入して、それらの統一的な理解を目指すものとする。

- (1)自然における人間の位置
- (2)自然の社会化の過程
- (3)地球規模の自然変動の成因

(1)では自然の階層構造における人間の位置づけに関する科学的認識の形成をはかる。そのためには、自然の階層論に基づき主系列→2次系列→3次系列という自然の歴史的発展過程における系列の生成を示すとともに、各系列間の相互作用が新たな質を生成するという概念が必要であると思われる。

植物が地球大気の形成に寄与し、その大気の影響を受けて生物が進化したことは、主系列と2次系列との相互作用による新たな質の生成といえる。

人間が、道具によって自然に積極的に働きかけた結果、自然の食物連鎖の頂点に立ち、人工的生物世界を形成するとともに脳の進化に象徴されるように速い進化速度を獲得したことも、3次系列と（主系列＋2次系列）との相互作用による新たな質の生成と見ることができる。こうして系列間の相互作用による新たな質の生成という概念は、各系列の特徴をより深く理解させるばかりでなく、以後系列間の相互作用を考えるとときの基礎にもなるからである。

したがって、このような自然における人間の位置に関する認識は、自然の社会化及び地球規模の自然変動を理解するときの前提となるため、(1)の内容は(2)及び(3)の内容の前提として位置づけられるのである。

(2)では地球規模の自然の社会化に関する科学的認識の形成をはかる。そのためには、人間生活圏の形成に関する時間的かつ空間的な諸形態を具体的に示さなければならない。自然の社会化とは人間生活圏の形成に他ならないからである。

その時間軸は、約1万年前の農耕・牧畜の開始を起点とし、産業革命以降における世界各地の工業化・都市化がその後の転換点と考えられる。空間的な諸形態としては、このような時間軸に対応して、ローカルな自然の社会化を認識させるには、約1万年前からの人間による森林などの自然生態系から農耕地・放牧地の人工生態系への変換という地表の改変過程を示し、グローバルな自然の社会化を認識させるには、20世紀後半の工業化された人工生態系で作られた物質が、大気や水を媒介として拡散し、酸性化や生物濃縮によって極地周辺の自然生態系の生物種の絶滅を引き起こしている過程を示すのである。

このような生物種の絶滅が生態系の単純化につながるものとして見れば、生態系の単純化は人間の生存の物質的基盤を危うくするという意味において、自然の社会化のネガティブな面も認識させることができるものと思われる。

(3)では人間の経済活動による地球規模の自然変動に関する科学的認識の形成をはかる。つまり、熱帯林の破壊、砂漠化・土壌流出、オゾン層の破

壊、地球温暖化などの地球環境問題を人間の経済活動による地球規模の自然変動が人間の生存そのものを脅かす問題と規定すれば、これらの変動がなぜ起こり、今後どういう事態が予想され、人間社会にどのような影響を及ぼすのかということに関して科学的な認識の形成をはからなければならない。そのためには、こうした地球規模の自然変動を3次系列の介在による主系列と2次系列との相互作用の地球化とする概念が必要であると思われる。このような概念から個々の地球環境問題をとらえると、それらを統一的に理解させることができるからである。

すなわち、人間の経済活動による地球規模の自然変動のメカニズムは、熱帯林の破壊の場合は熱帯林と大気・水との相互作用の地球化、砂漠化・土壌流出の場合は土と大気・水との相互作用の地球化、オゾン層の破壊の場合は大気と生物との相互作用の地球化、地球温暖化の場合は大気と海洋及び大気と植物との相互作用の地球化として認識させることができる。

こうして人間と自然との相互作用を体系的に把握し、人間と自然との新しい関係の構築すなわち環境政策に対する科学的な基礎を形成することこそ、「環境科学」教育の目指すものである。「環境科学」教育の授業書の骨子は次のようになる。

3 授業書「環境科学」の骨子

3-1 自然における人間の位置

自然の階層構造において人間が3次系列として位置づくことを認識させる。

そのために、(1)自然の無機物＝主系列の階層性に示し、(2)その階層性の根拠をビッグバン以後の宇宙の膨張に伴う温度低下による力の分化に求め、ビッグバンから地球の形成までを辿るとともに、(3)地球において無機物から運動形態の異なる生物＝2次系列及び(4)人間＝3次系列が生成される過程と系列間の相互作用を理解させるように授業書を構成する。

(1)自然の構造

主系列の階層構造を認識させる。

そのために、①温度を上げたときの水分子の変

化からマイクロの世界が続いていること及び宇宙に目を向けるとマクロの世界が続いていることを示す。

②こうして自然の多様な物質をマイクロ・マクロの次元で見ることによって、クォーク→陽子・中性子→原子核→原子・分子→マクロな物質→星→銀河→銀河集団というように、小さい物質が結合して次々と大きな物質をつくっているという階層性を明らかにする。

③大きい物質は、小さい物質の単なる集合ではなく、質的に違った段階であることから、自然の物質は、連続的でありながらも、非連続的な物質が階層的にマイクロ・マクロに続いていることを理解させる。

(2)物質の起源と多様性

階層構造をもつ物質＝主系列がどのようにして生成されたのかを認識させる。

そのために、①ビッグバンがハッブルの観測による宇宙の膨張速度から導かれたことを示し、風船を膨らませる実験によって、ビッグバン宇宙の根拠であるハッブルの法則を理解させる。

②こうして宇宙の膨張に関するイメージを形成させた後、ビッグバンから地球の形成までを辿り、主系列の生成は宇宙の膨張に伴う温度の低下による4つの力の分化に基づくことを理解させる。

(3)生命の誕生

主系列から2次系列が生成される過程及び主系列と2次系列との相互作用による新たな質の生成を認識させる。

そのために、①生物の誕生には海が不可欠であることを示し、その海の形成過程から生物誕生の前提としての地球の独自性を明らかにする。

②生物の特徴として、「外部の環境と物質のやりとりをしてエネルギーを引き出し、自分と同じものを再生産する」という法則を示し、生物が自然の階層構造において無機的自然とは全く別の系列すなわち2次系列に位置づくことを理解させる。

③初期の生物＝ラン藻の光合成によって地球独自の大気が形成されたこと及びその大気中の酸素量やオゾン層の形成によって生物が進化したことを示し、このような主系列と2次系列との相互作用

用による新たな質の生成から2次系列の特徴をとらえさせる。

(4) 人類の出現

人間が自然の階層構造における3次系列に位置づくことを認識させる。

そのために、①人間は、道具を作って積極的に自然に働きかけた結果、自然の食物連鎖の頂点に立つとともに、作物や家畜のような人工的生物世界を形成したことを示す。

②その反作用として、脳の進化に象徴されるように、他の生物には見られないほどの速い進化速度を獲得したことを明らかにする。

③このような人間と自然との相互作用による新たな質の生成と(3)における主系列と2次系列との相互作用の比較から人間が3次系列に位置づくことを理解させる。

3-2 人間生活圏の形成

およそ1万年前の農耕・牧畜の開始から今日までの3次系列と主系列及び3次系列と2次系列との相互作用の具体例を示し、自然の社会化に関するイメージが形成されるよう授業書を構成する。

(1) 地表の改変

農耕・牧畜による森林破壊を通してローカルな自然の社会化を認識させる。

そのために、①北海道の花粉ダイアグラムから、新生代の第4紀の気候は第3紀に比べて寒冷であること、及び過去1万年前から今日までの気候は第4紀の中でも比較的温暖な気候にあることを理解させる。これは②において花粉ダイアグラムを読ませるときの前提として位置づけられる。

②ヨーロッパの花粉ダイアグラムでは、農耕・牧畜の開始と森林の消滅及び植物種の変化の時期が重なっていることから、農耕・牧畜がはじまると、人間の活動は気候の変動より地表の改変に強い影響を及ぼすことを理解させる。

③イギリスの花粉ダイアグラムから、イギリスの代表的な風土ともいえるヒースは人間による森林の伐採が契機となって形成されたこと、やがて森林の伐採による洪水や早魃などの災害をさけるために人間は植林という新たな自然への働きかけをはじめたことなどを示し、人間生活圏の形成過

程を理解させる。

(2) 生物種の絶滅

人間の経済活動による生物種の絶滅を通してグローバルな自然の社会化を認識させる。

そのために、①今日の種の絶滅速度が未曾有の速さであることを示し、それを生態系の単純化としてとらえることによって、種の絶滅が人間の生存の物質的基盤を危うくするものとして意味づけ、自然の社会化のネガティブな側面を理解させる。

②自然生態系において絶滅の危機に瀕した野生生物の例としてシロナガスクジラと沖縄のサンゴを取り上げ、前者からは人間の経済活動による自然破壊力の大きさ、後者からはその破壊速度の速さを理解させる。

③人工生態系においては、農薬による種の絶滅が却ってある種の害虫の大発生を招き、それが農薬の大量使用につながることを示す。さらに農薬の空中散布によって大気中に長い間浮遊した農薬が人体に直接被害を及ぼし、ゴルフ場においても大量の農薬が使用され、農薬の流出による河川の汚染を引き起こしていることなどを明らかにし、農薬が大気や水によって拡散することを理解させる。このことは④における合成化学物質の循環を理解させるときの前提として位置づけられる。

④人工生態系から放出された物質が自然生態系の生物種の絶滅に影響を及ぼす例として、北欧における土壌や湖水の酸性化と北海における生物濃縮を取り上げ、前者では大気を媒介とした大気汚染物質の循環、後者では水を媒介とした合成化学物質の循環を理解させる。このような人間生活圏における新たな物質循環の理解は後に相互作用の地球化の概念を獲得させるときの基礎として位置づけられる。

こうして今日の人間の経済活動が大気、海洋、湖沼にまで及び、その影響を受けない生物が皆無であることから、人間生活圏が地球規模にまで拡大したことを理解させる。

3-3 地球規模の自然変動

熱帯林の破壊、砂漠化・土壌流出、オゾン層の破壊、地球温暖化については、それぞれ①何が問

題なのかを示し、②どのような相互作用の地球化が起り得るかを明らかにし、③人間社会にどんな影響があるのか、そのような事態を避けるためにはどうすればよいのか、という視点から授業書の内容を構成する。

(1)熱帯林の破壊

①熱帯林の破壊が行なわれている地域と速度を示し、このままでは全世界の熱帯林が間もなく消滅することを明らかにする。熱帯林の特徴は養分貯蔵庫が地上部の植物体にあること及び多様な生物種が存在することから、熱帯林の伐採が生態系の破壊のみならず多様な生物種の絶滅にもつながることを理解させる。

②熱帯林が大気中の二酸化炭素の吸収源や水の貯蔵庫として重要な役割を担っていることから、熱帯林の破壊は地球温暖化や地球規模の降水量分布の変動に寄与する可能性があることを理解させる。

③熱帯林破壊の主な原因は、先進諸国による環境保全を無視した商業的伐採、牧場の造成、総合的開発計画、及び途上国における非土地所有農民の熱帯林への移動にあり、その最大の被害者は森林に依存して生活する先住民であることを明らかにし、熱帯林の破壊は、グローバルな問題だけでなく、ローカルな問題も含んでいることを理解させる。

(2)砂漠化・土壌流出

①過耕作や過放牧などに起因する砂漠化や土壌流出が進んでいる地域と速度を示し、このままでは間もなく全世界の土が消失することを明らかにする。土は物理的・化学的な作用と生物的作用によって長い時間をかけてつくられ、作物を生み出す根源であることから、急速な砂漠化や土壌流出は人間の食糧生産の基盤の消失であることを理解させる。

②土壌に撒かれた窒素肥料から大量に放出される一酸化二窒素はオゾン層の破壊や地球温暖化に寄与していること、及び砂漠化によるアルベドの増大はアフリカ・サヘル地域の深刻な旱魃に関与している疑いがあることを理解させる。

③旱魃によるサヘル地域の食糧危機は、北の先

進国による世界経済支配という人為的な原因によるものであり、途上国の中でも最貧層に飢餓を強いていることを示す。一方、メソポタミアの衰退が灌漑による塩類化に起因していたことから、食糧生産力の低下は文明の崩壊につながることを明らかにする。こうした砂漠化や土壌流出を解決する方法の一つとしてサヘル地域における砂漠緑化の試みを取り上げ、今後の国際協力と科学技術の可能性について理解を深める。

(3)オゾン層の破壊

①オゾンホールが発見とその究明の歴史を通して、フロンがオゾン層を破壊する反応は触媒の連鎖反応であることを明らかにし、このままフロンを放出し続けると、全地球的にオゾンが減少することを理解させる。

②オゾン層の破壊は、地上に到達する紫外線を強めるばかりでなく、気候変動にも寄与することから、地球規模の生態系の破壊を引き起こす可能性があることを理解させる。

③アメリカにおいてフロン入りスプレーが廃止されるまでの過程を示すとともに、世界的にもフロンなどオゾン層破壊物質の2000年までの全廃が合意されたことを明らかにし、日本のフロン規制の遅れが日本社会の特殊性に由来することを理解させる。

(4)地球温暖化

①最近100年間の気温上昇はかつてない速さの温暖化であることを示し、その原因は化石燃料の燃焼や森林破壊によって二酸化炭素などの気体が大気中に溜り、温室効果が強まったことにあることを理解させる。

②大気中の二酸化炭素濃度の増加のメカニズムを地球における炭素循環という視点から示し、温室効果ガスの増加による地球の温暖化は温室効果だけでなく様々なフィードバックによって加速化することを明らかにする。こうして地球温暖化が進むと、地球全体の降水量分布の変化や海水面の上昇などが起り、人間生活圏そのものが破壊されることを理解させる。

③今日における地球温暖化防止のための国際的な取り組みを示し、二酸化炭素除去の技術的問題

を明らかにして、環境政策を進めるためにはどうすればよいのかを考えさせる。これは、とりもなおさず、21世紀にはどのような社会を築き、そのために自分はどんな役割を担うかということについて理解を深めることになる。

4 今後の課題

こうして300ページの授業書「環境科学」を作成し、現在札幌市内のある公立高校の理科Ⅱの授業において50時間の予定で授業を行なっている。この授業による授業書の評価が次の課題である。

引用文献

- 1) 丸山博「高等学校における環境教育の体系化に関する基本的枠組みの考察」教授学の探究, 8:43-50, 1990
- 2) 田中一(1985), 未来への仮説, 培風館. p138
- 3) 高村泰雄(1987), 物理教授法の研究, 北海道大学図書刊行会. p32
- 4) 高村泰雄(1987), 同上書. p32
- 5) 高村泰雄(1987), 同上書. p32
- 6) 山本えり子「社会教育における環境教育の課題」大地に根をはる社会教育, 2:2, 1990
- 7) 高村泰雄(1987), 前掲書. p12

