

環境教育における大気中二酸化炭素増加問題について

飯野 直子*, 八田 明夫**

(1994年10月17日 受理)

The Carbon Dioxide Problem in Environment Education

Naoko IINO and Akio HATTA

Abstract

The purpose of this paper is to discuss the problem of increasing carbon dioxide in the atmosphere from the viewpoint of environment education. The carbon dioxide problem is discussed in PLASS's paper on carbon dioxide and climate (1959). According to his theory, human activities have distinct effects on the environment. His theory suggests that the human population is raising the temperature of the earth by industrial and agricultural activity. In this paper, we introduce a basic theory of carbon dioxide effect on environment and propose a "Rising Temperature Theory" for use in environment education.

1. はじめに

「環境」は地球上の生命体にとって個体の生存, さらには「系」の存続に多大の影響を与える最も重要な要因である。地球誕生の約10億年後に発生したと考えられる生命体が, 現在のバクテリアやラン藻類に近い生命体から, 多くの生物へ進化を遂げ, 多くの絶滅を積み重ねながらもこれまで連続してきた第一の理由は, 環境の変化に適応できた生物が存在したからである(武田, 1991)。ところが, 近年の急激な人口増加や科学技術の急速な進歩による産業活動および農業活動の活発化などの人間活動が環境に影響を与え, 特に環境汚染は, 生命体である人間の属する「系」自身の存続を危機に招いている。そこで, 現在では世界規模の会議で「行動計画」や「義定書」が決定・合意され環境教育の必要性が叫ばれている。そして, これらを受けてわが国でも文部省が発行した「環境教育指導資料」小学校編, 中学校・高等学校編では, 環境問題の例として, (1)地球温暖化 (2)オゾン層の破壊 (3)熱帯林の減少 (4)酸性雨(霧) (5)海洋汚染 (6)都市・生活型公害をあげている。そこで本論では, 環境問題として一番最初にあげられている地球温暖化, 換言すると大気中二酸化炭素増加問題(ここでは二酸化炭素問題と略す)について, その歴史性および大気中二酸化炭素増加—地球温暖化理論(ここでは温暖化理論と略す)とその構造を紹介・整理することで, 環境教育の充実に役立てたい。

*鹿児島大学大学院教育学研究科

**鹿児島大学教育学部理科教育学

2. 環境教育と二酸化炭素問題の学校における扱い

(1) 学校における環境教育の基本的な考え方

平成元年の小学校、中学校および高等学校の学習指導要領の改訂では、従来の社会科、理科に加えて保健体育科や技術・家庭科をはじめとする多くの教科や道徳、特別活動において、環境教育に関わる内容が重要視されている。また、今回の改訂では「環境教育指導資料」でも述べられているように、先にあげた環境の諸問題を知識として取りあげるだけでなく、環境問題の解決に必要な能力の育成に重きをおき、環境保全や環境の改善に主体的に働きかける能力や態度の育成に配慮した扱いが求められている。これらの能力や態度は、多くの教科や道徳、特別活動において環境教育を行うことにより同じ事柄をさまざまな角度から多面的に扱い、各教科などで学習した内容を相互に関連付け、対象となる事柄を総合的に把握し、実践(体験)を通して学ぶことで育成されると考えられる。

(2) 理科における二酸化炭素問題の扱い

上述したように、学校における環境教育として小学校、中学校および高等学校の各教科等の内容には、環境保全、資源・エネルギー等に関する項目が大幅に取り入れられている。ここでは、中学校・高等学校の理科における二酸化炭素問題の扱いを考える。

まず、中学校指導書(理科編)によると、2分野の内容(6)大地の変化と地球 (ウ)地球と人間において、自然界のつりあいを認識させる例として、大気中二酸化炭素量と地球上の気温の関連をあげている(文部省, 1989a)。ここはまさに二酸化炭素問題を扱うのに最適である。つぎに、高等学校学習指導要領解説(理科・理数編)によると、特に「総合理科」の内容(3)人間と自然が自然環境に関する科学的な認識や理解を深めさせるような内容になっている(文部省, 1989b)。ところが、高等学校の理科においての生徒に履修させる科目は「2区分にわたって2科目」となっているため、生徒全員がこの「総合理科」を履修するわけではない。しかし、他の科目「物理ⅠA, ⅠB」, 「化学ⅠA, ⅠB」, 「生物ⅠA, ⅠB」, 「地学ⅠA, ⅠB」及び各科目の「Ⅱ」において、それぞれに環境に関わる内容が含まれているので、そこで二酸化炭素問題を扱い、温暖化理論を学ぶことは可能である。

さらに、今回の改訂で、中学校・高等学校共に選択理科や課題研究など生徒自身による探求的な学習がいっそう重視された。このように、環境教育の条件は整備されつつあるので、学校や生徒の実態に合わせ、地球及び自然環境をテーマにし、掘り下げた課題研究も可能であろう。

3. 二酸化炭素問題の重要性

(1) 二酸化炭素問題の重要性

二酸化炭素問題は、「環境教育指導資料」でも取りあげられているように緊急かつ重要な問題である。産業革命以降の大気中の二酸化炭素の濃度は増加の一途をたどっており、二酸化炭素などの

温室効果ガスの濃度上昇により地球の温暖化が心配されている。人口の急激な増加や経済活動の一層の高度化など人間の活動が地球環境に影響を与えており, その変化を抑制する方向で環境の保全が論じられなければならない(文部省, 1991) という論調は一般的なものになりつつある。理科教育でもこのような認識が形成されることを願って二酸化炭素問題や地球環境の理解がはかられるように教材が組み立てられるべきであろう。

(2) 環境教育のねらいと二酸化炭素問題

環境教育のねらいを1975年に採択されたベオグラード憲章に示される6つの項目からまとめると、『環境と環境問題に関心や知識を持ち, 環境状況の適切な評価能力, 環境の保全と改善に積極的に参加する態度およびその技能を身につけること』である。一方, 二酸化炭素問題を一言で言うとしたら『人間の活動による自然平衡の乱れ』である。二酸化炭素問題の大まかな構造は, まず, 人間活動(産業・農業活動)による開発や莫大な量の化石燃料の消費による多量の二酸化炭素放出, 次に自然のつながりとしての物質循環からはみ出し(自然の許容量からのオーバー), その結果としての地球温暖化, とみることができる。筆者らは, この二酸化炭素問題の学習を通して, 先に述べたねらい前半「環境や環境問題に興味をもち, 環境の状態の適切な評価能力を身につける」の部分, さらに学習後, 生徒ひとりひとりにこの問題の改善を考察させることで, 残り後半「環境の保全と改善に積極的に参加する態度およびその技能を身につけること」の部分までを含む環境教育のねらいのすべてを取り入れられると考えている。

4. 二酸化炭素と気候について論じた PLASS (1959) の論文

前述のように二酸化炭素の増加=温暖化という考え方(温暖化理論)は一般的になりつつある。それでは, 具体的にはどのようなメカニズムでこの問題が起こるのであろうか。次にこの点について整理したい。

大気中の二酸化炭素増加問題を扱った基本的な論文としてPLASS (1959) をあげることができる。ここでは, 彼の論文の内容を紹介して二酸化炭素問題の本質を明らかにしたい。彼は, 二酸化炭素と気候について論じた論文を次の5つの内容で構成している。

(1) 温暖化理論の歴史とその原理

PLASS (1959) によると, チンダル現象を発見し(1868), 空が青いことを説明したことで有名なイギリスの物理学者 John TYNDALL により1861年に出された「二酸化炭素は温室効果をもたらす」という理論が, 「二酸化炭素が地球平均気温の上昇をもたらす」という説の最初である。その理論によると, 空気中の二酸化炭素分子は赤外線を吸収するから地球平均気温をコントロールすることである。大気中の二酸化炭素やその他の気体は, 太陽のエネルギーを地表へ届けるとき可視部のエネルギーを透過する。反対に地表から放射される波長は, 二酸化炭素スペクトルの第一吸収バンド(13~17ミクロン)にとっても近い波長である。その上, 二酸化炭素濃度が高くなると, これ

より弱い吸収バンドも有効になり、より多くの赤外線が吸収される。その結果、二酸化炭素の被膜は、赤外線が宇宙へ逃げるのを妨げ、とらえられた放射が大気を暖めるために、地球の平均気温は上昇するのである (図1)。

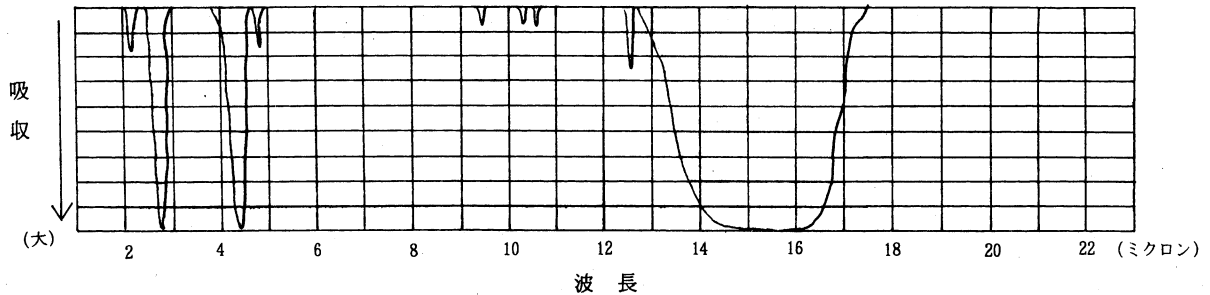


図1. 大気中二酸化炭素の赤外線吸収 (PLASS, 1959より)
13~17ミクロンの波長のところに大きな吸収バンドがみられる。

(2) 3つの貯蔵所での二酸化炭素のやりとりと温度変動 (気候変化) の例

PLASS (1959) は大気中二酸化炭素量を決定する3つの貯蔵所、海 (水圏)、地球 (岩石圏)、生物 (生物圏) 間での二酸化炭素のやりとりについて論じている。まず、海は130兆 (1.3×10^{14}) トンの二酸化炭素を含む。これは大気の50倍である。気体としての二酸化炭素のいくらかは直接水に溶けているが、大部分は炭酸塩の化合物としてである。海は年間に約200億 (2×10^9) トンの二酸化炭素を大気とやりとりしている。そこで、平衡が乱されると海は二酸化炭素を吸収もしくは放出して、大気中の二酸化炭素含有量変動の制振器の役割を果たすとしている。

さらに、大気と海洋の両方が絶えず地球 (岩石) や生物と二酸化炭素のやりとりをしていることを論じている。大気と海洋は、火山活動による地球内部からのガスの放出と生物の呼吸と腐敗によって二酸化炭素を得て、岩石の風化や植物の光合成によって二酸化炭素を失っている (岩石圏、生物圏へ戻している) としている。岩石が風化すると、二酸化炭素が岩石から出ていくイメージを持つ人もいると思うが、岩石の風化の際に二酸化炭素は水とともに反応に使われるのである。

温度変化 (気候変化) の例として、地層の研究から過去10億年の間、世界のほとんどの地域は、熱帯的気候であったことに言及している。そして、およそ2億5千万年ごとに、この熱帯的気候が比較的短期間の氷河期によって途切れたことを紹介している。これらの寒冷期の最後の5, 6万年の間、氷河は何度も後退と前進を繰り返しそれにもなるとともに気温も上下した。これらの温度変化を温暖化理論はうまく説明している。PLASS (1959) は、大気中の二酸化炭素量が50%減少すると、地球の平均気温は6.9度低くなると予想している。そして、そのような急激な温度降下が、氷河が地球上に広がる原因であり、氷床が大きくなるにつれて海はせばまる。ところが、氷は同じ体積の海水に比べてわずしか炭酸塩を含むことができないから、氷河は二酸化炭素の貯蔵所とはなり得ない。そこで、縮小した海は大気中へ二酸化炭素を放出する。そうしてサイクルは終わりに近づき、二酸化炭素が大気に戻ると、地球の温度は上昇して氷は溶けて前の海水準に戻る。すると、海は放出した二酸化炭素を再び吸収して新たに氷河期が始まる。このように、長期の大気—海洋系の中の

二酸化炭素の総量は変化せず, 気温の変動周期は繰り返す傾向があると述べている (図2)。

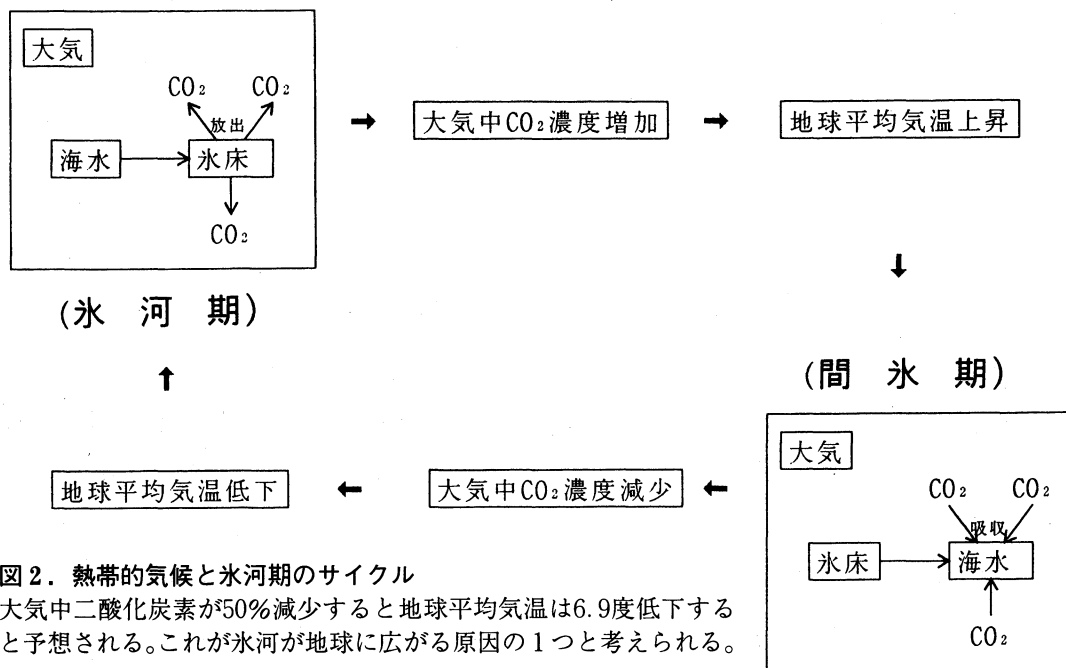


図2. 熱帯的気候と氷河期のサイクル
大気中二酸化炭素が50%減少すると地球平均気温は6.9度低下すると予想される。これが氷河が地球に広がる原因の1つと考えられる。

(3) 雲の影響と生物の働き

大気中二酸化炭素濃度変化による温度変化の例に加えて, 雲によって左右される地球の温度変化を次のように説明している。先に述べたように, 大気中の二酸化炭素のわずかな変化が, 気温の上下の振動に大きな影響を与える。そしてその振動は, 地球の湿度変化によって増強される。そのメカニズムは, まず冷たい大気は水蒸気を少ししか含めないため, 地表から放射された赤外線の大気の吸収が減る。しかし, 気温が低下しているので地球をおおう雲の厚さや降水量は, 大気の水蒸気の減少に関わらず増加する。雲の上部は二酸化炭素を少ししか含まないので, 宇宙への放射によって冷やされる。そうして温度勾配が急になると, 雲の中の対流が増し, その結果雲はより大きくなる。加えて, 雲は太陽の可視放射を宇宙に反射するので, 少しの太陽エネルギーしか地表に届かず, 地球温度はさらに下がるというものである (図3)。

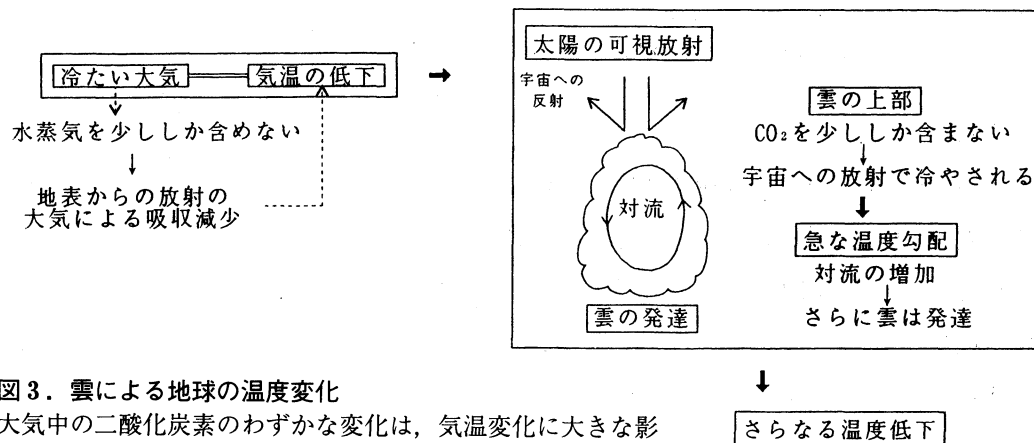


図3. 雲による地球の温度変化
大気中の二酸化炭素のわずかな変化は, 気温変化に大きな影響を与えるが, 湿度変化によってさらに増強される。

また PLASS (1959) は生物圏の莫大な熱容量も指適しているが、植物の光合成による二酸化炭素の使用量は1年の総計の0.2%より少なく、収支はゼロである。一方、新しい化石燃料堆積物の地層は、年間ほんの10億 (1×10^9) トンの二酸化炭素をとどめるが、ほとんどの石炭が形成された石炭紀の間は、およそ1000兆 (1×10^{14}) トンの二酸化炭素が大気—海洋系から回収されたとしている。そして、この驚異的な二酸化炭素の損失が地球の温度を急降下させ、その後地表は歴史上最大の氷河に覆われたことを紹介している。

(4) 地球活動による影響

地球の内部エネルギーが造山運動として現れるときに二酸化炭素は大量に放出されてきた。特に造山期のやりとりについて次のように論じている。温暖化理論は、氷河期に先だって起こった造山運動期と最後2回の氷河期のタイミングを次のように説明する。これらの造山運動の最盛期と大きな氷河の形成の間隔は少なくとも数百万年ある。この氷河を作らなかった時期は、造山運動初期の活発な火山活動による二酸化炭素の放出と新しくさらされた岩石の炭酸塩消費とバランスがとれていたのだろう。しかし、隆起によって多量の火成岩が二酸化炭素を溶かし込んだ雨水に洗われて化学作用を受け、風化することで数百万年以上、大気中の二酸化炭素をとらえ続けると、大気中の二酸化炭素濃度は十分に下がり、若い山々が氷河の発生地となり、地球を覆うという理論である(図4)。

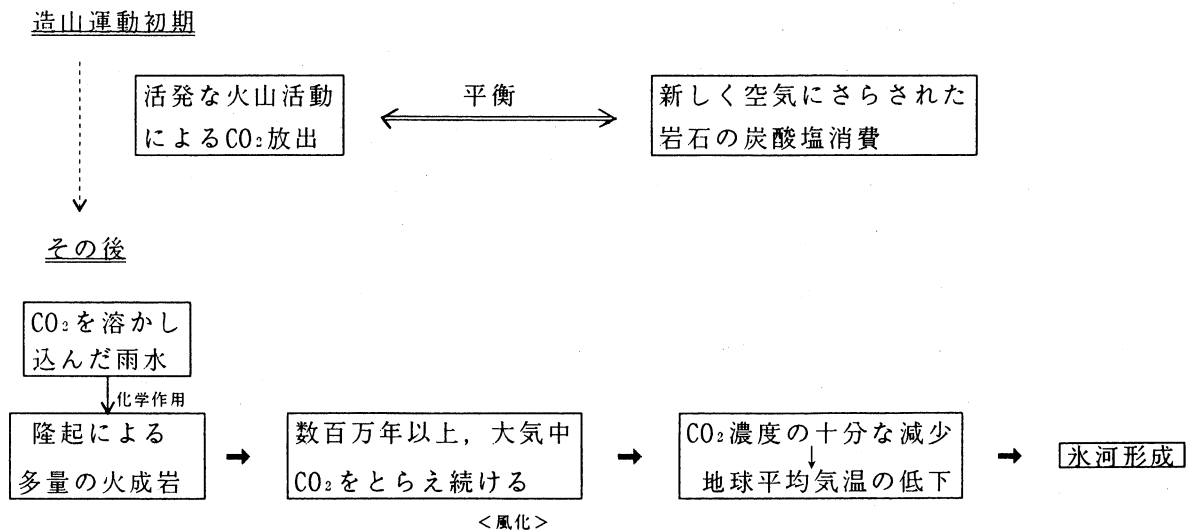


図4. 地球活動(火山活動)を原因とする氷河形成
いわゆる風化作用で二酸化炭素が水とともに反応に使われていく。

(5) 人間の活動による影響

最後に人間の活動による二酸化炭素の排出と温度上昇について論じている。人間は、化石燃料の燃焼により年間約600億 (6×10^{10}) トンの二酸化炭素を大気に放出している。また、農業活動により200億 (2×10^{10}) トン以上放出している。それは、穀物畑や牧草地は元の森林に比べてずっと少ない量の二酸化炭素しか貯えられず、さらに、土壌の耕作が莫大な量の二酸化炭素をバクテリアにより生み出しそれを大気に放出するためである。

このようにして人間の活動により大気に加えられた二酸化炭素は、植物の光合成にも使われるが、

大部分は結局，海洋によって吸収される。一年間に世界中が消費した化石燃料の正確な記録によると，過去100年間で人間は大気に3兆6000億 (3.6×10^{12}) トンの二酸化炭素を加えた。結果として大気濃度は13%増加した。温暖化理論によればこの増大で地球の平均気温は1度上昇すると予想される。そしてこれはほぼ正確な値である。もし今の割合で消費量を増大し続けると1000年後の大気中の二酸化炭素のトン数は，現在の18倍に増すだろう。そして，大気—海洋系が平衡に戻ったとき，大気中の二酸化炭素濃度は現在の10倍で，地球は22度暖かくなるだろう。その後数千年で海洋の炭酸塩含有量が平衡にいたっても，濃度はまだ現在の4倍で，その時の地球の気温は現在の平均より約12.5度高いだろうとしている。

5. PLASS (1959) から学ぶもの

PLASS はこれらの事柄をまとめてすばらしい概念図 (図5) を示している。

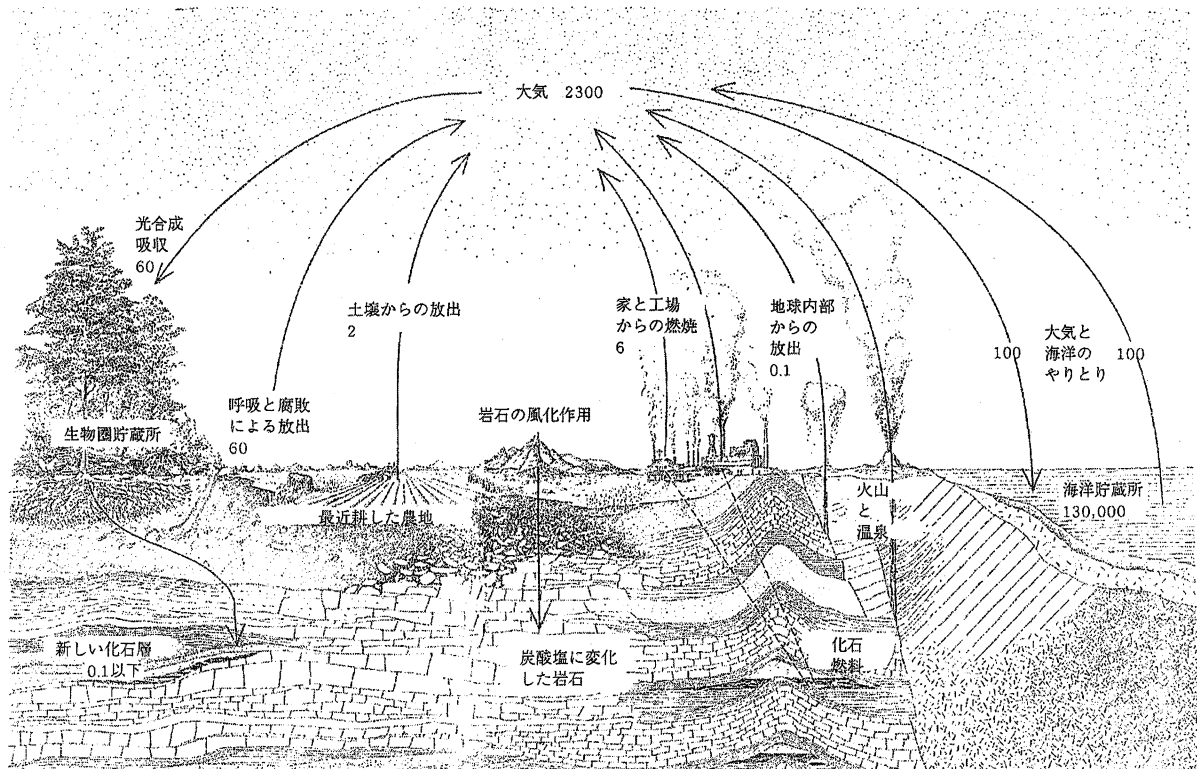


図5. 閉じた系としての地球の二酸化炭素バランスと人間の関係 (PLASS, 1959より)
地球上および地球内部における時間のスケールまで含んだ二酸化炭素バランスを示す概念図。

彼は，概念図に次のような解説をしている。

(1) PLASS (1959) のメッセージ

「二酸化炭素の平衡は，大気中の二酸化炭素が絶えず増減する自然な過程の平衡である。図中の数字は，各過程において毎年使われる二酸化炭素のトン数を示している (図の値に 10^9 を掛ける)。莫大な量の二酸化炭素は，地球，海洋，生物圏の3つの大きな天然の貯蔵所に蓄えられている。こ

これらの貯蔵所は、平衡状態によって二酸化炭素の貯蔵あるいは大気への放出が可能である。最近、耕作した畑の土壌からの放出と化石燃料を使った家や工場での燃焼の矢印は、人間が大気へ加える二酸化炭素増加の人為的プロセスを示す。」彼はこのように解説し二酸化炭素を閉じた系としての地球の中で見事に循環させ、その中で一方通行である人間の活動の問題性を浮き立たせている。この図からは次のようなことが学べる。

(2) 二酸化炭素の具体的な動き

地球上の二酸化炭素は、大気中に 2300×10^9 トン、海洋貯蔵所に 130000×10^9 トン存在している。なお、大気—海洋間のやりとりでは毎年 100×10^9 トン動いている。生物圏では、生物の光合成による呼吸は 60×10^9 トン、呼吸と腐食による放出は 60×10^9 トンで出入りは同じである。また、新しい化石層の形成では僅かではあるが 0.1×10^9 トンの吸収である。地球貯蔵所では、温泉と火山による地球内部からの放出が 0.1×10^9 トン、岩石の風化により炭酸塩に変化した岩石が 0.1×10^9 トンで出入りは同じである。人間の活動の影響では、最近整地した畑の土壌からの放出が 2×10^9 トン、化石燃料を使った、家や工場内の燃焼が 6×10^9 トンで大気中に加わる一方である(表1)(吸収がわずかであることは、現在ではミッシング・シンクの問題があり異論のあるところである)。

表1. 二酸化炭素の動き

PLASS (1959) で述べられている二酸化炭素の動きとそのトン数

単位：トン

	総量	吸収	放出
大気	$2,300 \times 10^9$		
海洋	$130,000 \times 10^9$		
生物圏			
光合成		60×10^9	
呼吸と腐敗			60×10^9
新しい化石層		$< 0.1 \times 10^9$	
地球			
岩石の風化		0.1×10^9	
温泉と火山			0.1×10^9
人間活動			
最近整地した畑			2×10^9
化石燃料の燃焼			2×10^9

彼の概念図のすばらしさは、論文で論じられたすべてが数値も含めて一枚の概念図に凝集されていることである。また、二酸化炭素はもちろん、その他のもの(腐食した植物や風化した岩石)の動きまで矢印で示すことで、時間の流れや地球の内部の動きをも含んだ概念図になっている。

6. 環境教育における二酸化炭素問題および温暖化問題の位置

(1) 地球規模での考え方

大気中二酸化炭素の増加が温暖化をもたらすという理論を生徒が学ぶときに、大気中二酸化炭素の増加で限りなく地球の温暖化が進むと考えやすい。しかし、地球の歴史から知られていることは氷河期と間氷期とのくり返しである (図6)。温暖化の理論とくり返しの理論の両方の知識が矛盾

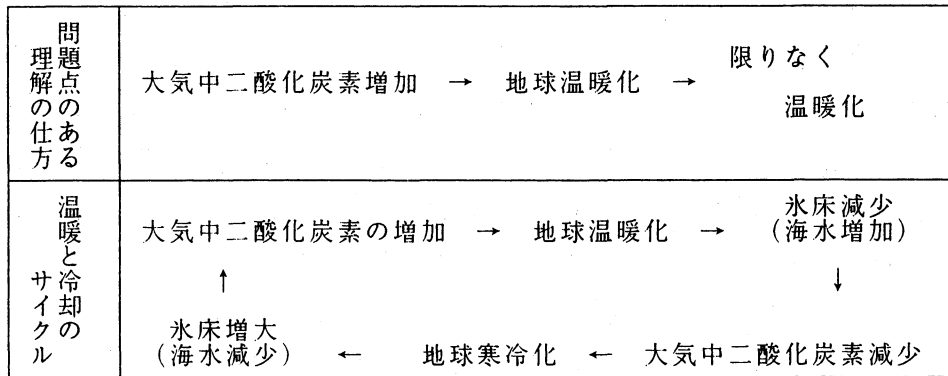


図6. 大気中二酸化炭素と地球平均気温の関係
環境教育において二酸化炭素問題を学ぶ上で留意すべき点

なくまとめられて初めて温暖化理論が強い認識となる。地球温暖化が進めば、いつかは大気中の二酸化炭素が海水に吸収され、再び寒冷期に向かうことが予想される (氷河期に向かうきっかけの要素に、地球楕円軌道の遠日点に地球が位置することと、陸の多い北半球が寒い夏になるという地軸の傾きが重なることが必要であるが)。

また、二酸化炭素問題のもう一つの見方として、森山 (1991) は、今日の二酸化炭素量0.03%は、地球型惑星の地球にとって二酸化炭素量が余りにも少なすぎることが問題であると述べている。この論によると地球自身にとっては、二酸化炭素が何倍になろうが全く問題ではなく、何倍になっても、依然として地球は生物圏を保持し、多様性を生み出していくであろうと述べられている。そして例として中生代をあげ、当時は現在の10倍以上もの二酸化炭素が大気中にあったため、地球は非常に温暖で生命にとってはこの上なく快適な環境であり、それが生命体の巨大化にも無縁ではなかったであろうと述べている。さらに彼の論では、二酸化炭素量の変化だけでなく太陽光量の変化も地球平均気温に大きな影響を及ぼしていることまで言及していることを見落としてはならないだろう。このような論は、地球の歴史からみると二酸化炭素が何倍になっても、生命体はその変化に対応できてきたといえるであろうが、人間の「系」とっては、その変化は大きすぎるのである。

こうした地球規模でのサイクルを理解した上で、人間の活動が、その流れを早めていることを問題にしなければならない。現状でのバランスの上に適応している人々の生活は、わずか1~2mの海面上昇で大きな影響を被ることになる。このことが問題なのである。このような内容は、「環境教育指導資料」にも取り上げられているため、結論としての「濃度上昇、温暖化、海面上昇」だけ

が教えられることも予想される。このとき、人間の関わりとともに人間が関わらなくとも動いていく地球のメカニズムも扱っていく必要がある。

(2) 地域や個人レベルの行動

本論では、環境教育の基礎的研究として、二酸化炭素問題を扱った基本的論文 PLASS (1959) を取りあげ、その歴史性および地球温暖化のメカニズムを整理した。また、彼の論文の「地球の二酸化炭素バランス」を示す概念図より物質循環からはずれて、二酸化炭素を一方向的に放出するだけの人間活動の問題性が明かであることを示した。

結局、環境を良きにつけ悪しきにつけ左右するのは、個人ひとりひとりの行動である。地球規模での二酸化炭素問題を正しく理解した上で、地域、個人レベルでの行動として真っ先に行わなければならないことは、化石燃料の使用制限である。このことは、地球温暖化対策を総合的に推進していくためのわが国の基本姿勢を明らかにすべく、1990年に地球環境保全に関する関係閣僚会議で決定した地球温暖化防止行動計画の中に「温室効果ガスの排出制限の第一段階として、一人あたりの二酸化炭素排出量を2000年以降概ね1990年レベルで安定を図る」と明記されている(表2)。同じ

表2. 地球温暖化防止行動計画概要

1990年10月23日の地球環境閣僚会議で決定された地球温暖化防止行動計画の中の二酸化炭素の排出抑制目標及び講ずべき対策

二酸化炭素 排出抑制目標	<p>①一人あたりの二酸化炭素排出量について2000年以降概ね1990年レベル(概ね2.5トン/人)で安定化を図る。</p> <p>②さらに、①と相まって、太陽光、水素等の新エネルギー、二酸化炭素の固定化等の革新的技術開発等が、予想される以上に早期に大幅に進展することにより、二酸化炭素排出量が2000年以降概ね1990年レベルで安定するように努める。</p>
講ずべき対策	<ul style="list-style-type: none"> • 二酸化炭素排出抑制対策 • メタンその他の温室ガスの排出抑制対策 • 森林等の二酸化炭素の吸収源対策 • 科学的研究、観測、監視、技術開発及びその普及、普及・啓発、国際協力について実行可能な対策

行動計画の中で新エネルギーの開発や二酸化炭素固定技術の開発が予測以上に早期に大幅に進展することを仮定しているが、これは実現するまでは全く無意味で単なる気休めにすぎない。実際、今の時点では安全性や効率の面からみて、最も良質のエネルギーは化石燃料の石油なのである。石油は姿形を変えて人間生活のすべてに関係している。個人の生活の中でも、目に見える形での自動車等による消費や家の中での燃焼以外に、毎日口にする農作物や身にまとう衣服、生活の場となる住居などいずれも石油が姿を変えたものなのである。このことも認識して二酸化炭素排出量抑制を実行していく必要がある。

本来、生命体は環境によってその生存や繁栄を定められていた。しかしそれとは逆に人間の「系」は脳の進化によって自分に都合の良いように環境に影響を与えてきた。そして今、そのしっぺ返し

がきてあわてているのだ。今後、人間の「系」がこの地球上で存続し続けるためには、人間の「系」も地球環境のサイクル中の一つの部分であることをひとりひとりが念頭においた生活をしていかなければならない。

参 考 文 献

- 文部省 (1989a) : 中学校指導書 (理科編), 173pp.
—— (1989b) : 高等学校学習指導要領解説 (理科編・理数編), 286pp.
—— (1991) : 環境教育指導資料 (中学校・高等学校編), 121pp.
森山 茂 (1991) : 宇宙と地球の科学, 188pp, 開成出版株式会社.
PLASS, Gilbert N.(1959) : Carbon Dioxide and climate. *Scientific American*, Vol. 201, No.1, p. 41-47.
武田修三郎 (1991) : エントロピーからの発想, 202pp, 講談社.