

## 第四紀の環境変動と環境教育 —地球史からの視点—

河村 愛\* 河村 善也\*\*

\*富山大学人間発達科学部

\*\*理科教育講座 (地学)

## Quaternary Environmental Changes and Environmental Education: A Viewpoint from Earth History

Ai KAWAMURA\* and Yoshinari KAWAMURA\*\*

\*Faculty of Human Development, University of Toyama, Toyama 930-8555, Japan

\*\*Department of Science Education (Earth Sciences), Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

### Abstract

The Quaternary is the latest period of the Earth's history ranging from about 2.6 million years ago to the present day. Based on the results of recent researches on the Quaternary, this paper briefly outlines environmental changes during the period, which are important for understanding the present-day environment in historical context, for anticipating the environment in near future, and for seeking to learn about the significance of environmental protection. In Japan, however, the importance of the Quaternary environmental changes seems not to be adequately understood in the field of environmental education. This paper, therefore, emphasizes the importance, and presents a course for learning the environmental changes and for considering their significance to human life. We believe that the course adds new topics to classes of environmental education mainly in Japanese schools.

### I. はじめに

第四紀は現在をも含む地球史の最も新しい時代で、町田ほか(2003)が述べているように、言わば地球史の「現代」である。現在の社会を理解し、将来の社会を考える上で現代史が重要な意味をもつと同様に、現在の地球環境の成り立ちを知り、その近未来を予測し、人類が環境と調和してその社会を持続的に維持していく方策を考える上で、第四紀の地球上で起った出来事を知ることは、きわめて重要である。第四紀の研究、つまり第四紀学の近年の進歩はめざましく、かつてよりはるかに詳しく第四紀の環境変遷史の復元が可能になってきた。現在の環境はこれまでの歴史の産物である以上、現在のわれわれを取り巻く環境の重要性を教え、将来に向けてその保全を考えることを重要な課題とする環境教育において、第四紀学の成果を取り入れた教育を行うことは、環境教育の内容をより深化

させるとともに、より幅広いものにするに資すると考えられる。ところが、わが国では環境教育の分野において、第四紀学の重要性はかならずしも十分に認識されてきたわけではなく、環境教育の実践に第四紀学の視点が取り入れられることも少なかったと思われる。そこで筆者らは、環境教育に第四紀学の視点を取り入れて、現在の環境を理解し、その保全の重要性を児童・生徒や学生、それに一般の人々に考えさせる環境教育を考えてみた。

本稿では、まず環境教育の分野でまだ十分に認識されていない第四紀という時代とそこで起った環境変遷史を概観し、第四紀の中でも特に約13万年前以降の最も新しい時代の環境について解説する。さらに人類文明の背景として約1万年前以降の時代の環境を述べ、現代の社会が環境の微妙なバランスの上に成り立っていることを述べる。そして、第四紀学の成果として明らかになってきたこのような環境変動史を、今後どの

ように環境教育に取り入れて、現在の環境を保全することの重要性を理解させる教育を行えるかを考えてみたい。

## II. 地球史の現代「第四紀」の特徴

第四紀は、新第三紀層の上の地層が表わす地球史の最も新しい時代で、地球史の「現代」ともいわれる時代である(表1)。ヨーロッパや北アメリカでは、このような地層に氷が運んできた独特の堆積物(氷河性堆積物)が広い地域で見られることから、第四紀は氷河や氷床が大陸の広い地域をおおった氷河時代であるという認識が広く認められるようになった。同様に、広い地域で氷河性堆積物が認められるのは石炭紀後期から二畳紀前期にかけての時期の地層(表1)であり、それが第四紀の一つ前の氷河時代を表しているとする、第四紀は地球史の中で、およそ3億年ぶりに訪れた非常に寒冷な時代ということになる(Sutcliffe, 1985; Martini, 1997など参照)。恐竜の時代(中生代)を含むその間の長い長い時代の地層には、広い地域に氷河性堆積物が見られることはなく、ずっと温暖な時代が続いたと考えられる。

北ヨーロッパや北アメリカでは、第四紀の氷河性堆積物に非氷河性の堆積物が挟まれていることや、アルプスで氷河性堆積物が何段もの段丘を作っていることが明らかになり、第四紀は単に寒いだけではなく、氷期と呼ばれる寒冷な時期と、間氷期と呼ばれる温暖な時期が繰り返し訪れた時代と考えられるようになった。言わば激しい寒暖の繰り返しがあった環境激変の時代なのである。このような氷期は4回あって、たとえばアルプスでは、古い方からギュンツ氷期、ミンデル氷期、リス氷期、ヴェルム氷期と名付けられ、それぞれの氷期の間に間氷期があると考えられた。これが「四氷期説」で、その後ギュンツ氷期より古い氷期(ドナウ氷期など)が発見され、四氷期または四氷期+αを考える説が第四紀の編年の世界標準となり、1970年代頃まではわが国でも多くの文献でこれが広く紹介され、それにもとづく編年が行われてきた(たとえば、羽鳥・柴崎, 1971; 市川ほか, 1973; 湊, 1974)。しかし、このような陸上の不完全な記録にもとづく「四氷期説」は、第四紀の環境変動をかならずしも正しく表わしていないことが、Emiliani (1955)に始まる第四紀の海底堆積物のボーリングコアの解析やKukla (1975)などによるレスの研究で明らかになった。氷期・間氷期の繰り返しは「四氷期説」のものよりはるかに多く、環境激変の時代のイメージも大きく異なったものになったのである。1980年代頃から、わが国でもこの新しい氷河時代像が紹介され(たとえば、小林・阪口, 1982; 成瀬, 1982; 町田ほか, 2003)、それにもとづく第四紀の編年(以下に説明する酸素同位体編年)が広

表1 地球史(地質時代)の年表(数値年代はOgg et al., 2008による)。

地球史の時代		数値年代		
新生代	第四紀	完新世	0年前	
		更新世	後期	1.17万年前
			中期	12.6万年前
		前期	78万年前	
	新第三紀		259万年前	
	古第三紀		2303万年前	
中生代	白亜紀		6550万年前	
	ジュラ紀		1.46億年前	
	三畳紀		2.00億年前	
古生代	二畳紀		2.51億年前	
	石炭紀		2.99億年前	
	デボン紀		3.59億年前	
	シルル紀		4.16億年前	
	オルドビス紀		4.43億年前	
	カンブリア紀		4.88億年前	
先カンブリア時代		5.42億年前		
		46億年前		

く用いられるようになっていく。

ヨーロッパでは古くから第四紀の地層(非氷河性のもの)から人類が作ったと考えられる石器が発見されていたが(Kurtén, 1976など参照)、それに加えて人類そのものの化石がその後に発見されるようになった。そのような石器や人類化石は、アジアやアフリカなどでも発見されるようになり、第四紀がそれまでの地球史にはなかった人類の時代であることが明らかになった。そのため、Kahlke (1981)やNilsson (1983)などに述べられているように、第四紀は「人類紀」(Anthropogene)とも言われている。

以上のように地球史の中で第四紀という時代は1. 氷河時代, 2. 環境激変の時代, 3. 人類の時代という3大特徴をもつ時代とすることができる。

## III. 第四紀の環境変動史

町田ほか(2003)に述べられているように、Emiliani (1955)以来の酸素同位体編年は、海底のボーリングコアに含まれる有孔虫の殻を海底面から下に、つまり現在から過去に遡って順に抽出し、それに含まれる酸

素同位体比を測定して、得られた変化曲線（実際には折れ線状のカーブ）にもとづいて行われる。このような曲線には、これまで多くのものが公表されているが、それらは互いに大きく異なることはないで、図1にはTiedemann et al. (1994) によるものを示している。有孔虫の殻の酸素同位体比は陸上の氷の量の指標になり、氷の量は気候に伴って増減するので、この曲線が過去の気候変化を表していることになる。浸食によって記録が切れ切れになった陸上の堆積物では得難い連続した記録なのである。上に述べたようにこの曲線から、かつての「四氷期説」で想定していたものより、はるかに多くの寒暖の繰り返しが第四紀にあったことがわかった。図1では、曲線が左へ移動してピークを作ったところが寒冷のピークであり、逆に右へ移動してピークを作ったところが温暖のピークとなる。また、酸素同位体比が急激に変化するところ、つまり気候の急変期を境に詳しい時期区分が行われ、それぞれの時期にはEmiliani (1955) 以来、現在から遡って順に番号が付けられた。このようにして区分されたそれぞれの時期は酸素同位体ステージ(MISまたはOIS)と呼ばれ、奇数番号の付いたステージは温暖期、偶数番号の付いたステージは寒冷期ということになる。たとえば、図1で現在がその中に含まれるステージ1(MIS 1)は温暖期、その前のステージ2(MIS 2)は寒冷期である。このようにして組み立てられたのが、酸素同位体編年である。

図1で、この酸素同位体比変化曲線を第四紀の始まりの259万年前から上に見てくると、曲線は左右に細かく振れながら全体としては左に移動していることがわかる。つまり寒暖を繰り返しながら、全体としては寒冷化しているのである。さらに寒暖の変化のパターンを見ると、100万年前頃を境に、それまでは数万年周期の比較的振幅の小さい変化であったのが、それ以降は約10万年周期の振幅の大きな変化に移り変わっていることがわかる。この移り変わりは、更新世中葉の気候変化パターンの移り変わり(Mid-Pleistocene transition)と呼ばれる(Clark et al., 2006など)。この移り変わり以降、気候変化パターンは、図2にモデルを示した「西洋ノコギリの刃」のような形の変化、つまり温暖のピークから小さな寒暖を繰り返しながら徐々に寒冷化し、寒冷のピークに達したあとは急激に温暖化して温暖のピークに達するというものになっている。特に急激な温暖化の時期は、ターミネーション(termination)と呼ばれている(Broecker and van Donk, 1970)。

#### IV. 約13万年前以降の変化—最後の周期—

約13万年前以降、現在までの変化は、典型的な「西洋ノコギリの刃」形の変化である。約13万年前に始ま

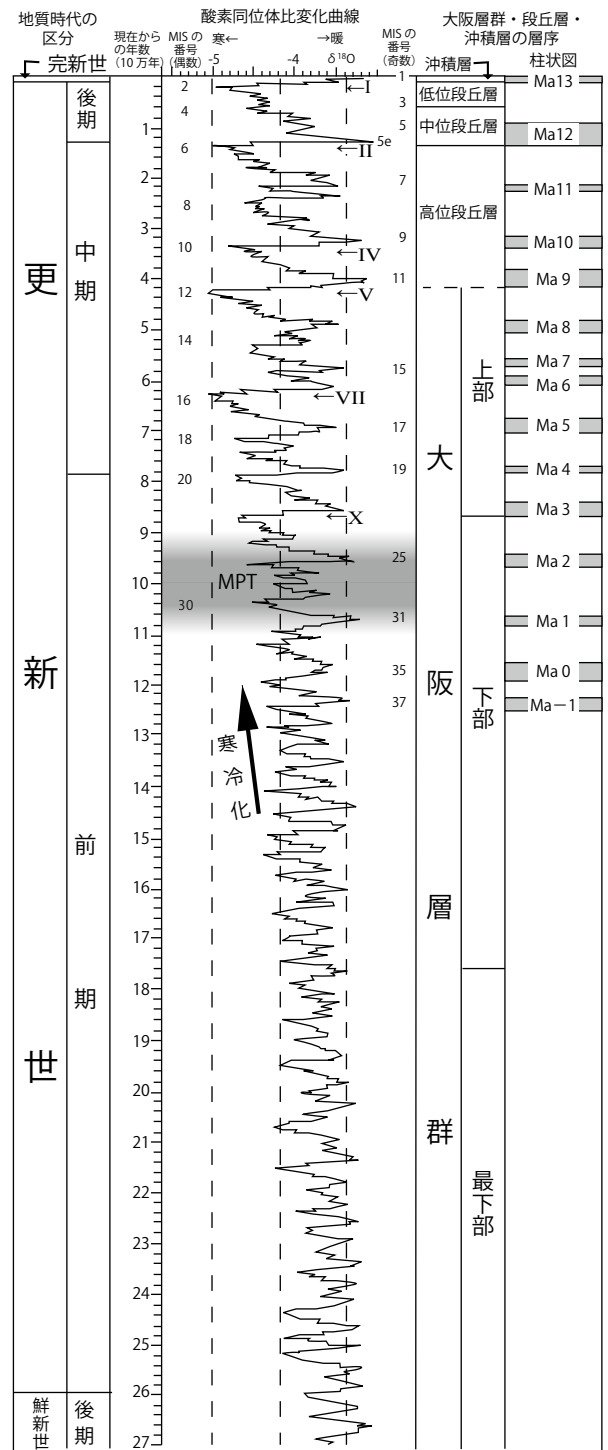


図1 酸素同位体比変化曲線にもとづく第四紀の環境変動と編年。わが国の第四紀層で、そのような変動がよく記録されている大阪層群とその上に重なる段丘層・沖積層の層序との対応関係も示した(三田村, 2009による)。柱状図のMa-1~Ma13は海成粘土層で、白抜きの部分は淡水成の地層。I, II, IV, V, VII, Xは顕著なターミネーション。MPTは気候変化パターンの移り変わり。

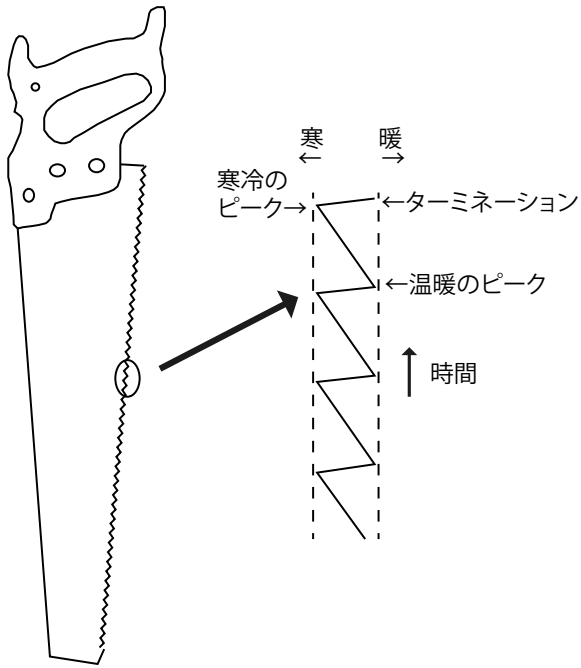


図2 「西洋ノコギリの刃」形の気候変化を表した模式図。

る酸素同位体ステージ5（最終間氷期にあたり、5a～5eに細分される）の始まりは、ステージ5eとして区別される非常に温暖な時期で、そこから気候は小さな寒暖を繰り返しながら長い時間をかけて寒冷化し、寒冷な時期（ステージ2）の中でも最も寒冷なピーク（約2万年前）を迎える。このような変化の中でアフリカに起源があると考えられる現生人類（*Homo sapiens*）が旧世界に広がり、ヨーロッパではネアンデルタール人（*Homo neanderthalensis*）に置き換わる。現生人類はステージ3にはオーストラリアに、さらにステージ2には南北アメリカに広がった。このような人類の置き換わりや拡散については、赤澤（1995）や奈良（2003）など多くの文献で紹介されている。約2万年前以降、気候は急激に温暖化し、約1万年前以降は温暖なステージ1、つまり地球史の時代区分（表1）で言う完新世となる。

この最後の周期の温暖期であるステージ5（特に5e）の環境は、同じ温暖期である現在のステージ1と比較的よく似ていたはずであるが、ステージ2は非常に寒冷な時期で、現在とはまったく違う環境であったと考えられる。上に述べたように、約2万年前にはステージ2の中で寒冷化がピークに達したが、日本ではその少し後の1.7～1.5万年前頃に縄文時代が始まっている（工藤，2013など）。このステージ2の環境はどのようなものであったのであろうか。まず、現在ではまったく氷のないヨーロッパ北部や北アメリカ北部が巨大な氷床で覆われていた。そのため地球上の大量の水が陸上に固定されて海に戻らなくなっていたので、海面は約120 mも低下していた（低下量は町田ほか，2003に

よる）。この低下量と現在の海底地形を考え合わせると、日本とその周辺では、瀬戸内海は干上がって本州・四国・九州は一つの陸塊となっていて、北海道はサハリンや大陸と地続きであり、東シナ海の大陸棚は干上がっていて広大な平野が出現し、台湾は大陸の一部であったと考えられる。ただし、津軽海峡や対馬海峡は完全に陸化せず、細い水路が残った。現在の北海道に見られるような針葉樹林は、本州のかなり南まで南下しており、Kawamura and Kawamura（2012）がまとめているように、そこにはヘラジカのような北方系の動物が生息していた。また日本の各地には、縄文人に先行する旧石器時代人がすでに居住していた。

## V. 完新世の環境と人類文明の背景

ステージ1にあたる完新世は、図1に示したようにターミネーションIの後に訪れた顕著な温暖期である。町田ほか（2003）に示されたデータによれば、このターミネーションには、平均気温は約6℃上昇、海面は約120 m上昇、降水量は2倍以上増加、大気中の二酸化炭素は40%も増加した。完新世はそのような激変の後の比較的環境の安定した時代で、約1万年前に始まり、5000～4000年前には世界史で言うメソポタミア文明、エジプト文明、インダス文明の時代となり、東アジアではそれらよりやや遅れて黄河文明の時代となる。日本では約2500年前に、長く続いた縄文時代が終わって弥生時代となり、稲作が全国に広がった。里山の環境が成立するのも弥生時代やそれより後のことと思われる。

人類の社会は、比較的安定した完新世の環境の上に成り立っているので、それがターミネーションとは比べものにならないほど小さな変化でも大きな影響を受けることになる。小氷河時代（Little Ice Age）と呼ばれる気候のやや寒冷な時期が約350年前から約150年前まで（1650年～1850年）続いたと言われる（たとえばSutcliffe, 1985）。このときのヨーロッパの平均気温の低下は約1℃と見積られているが、それでもヨーロッパの農業に大きな影響が出た。一方、人類がその活動によってグローバルな環境に影響を及ぼすようになったのは約500年前より後のことと思われるが、18世紀後半の産業革命以後は特にその影響は顕著となり、加速度的に増加していると思われる。たとえば、二酸化炭素やメタンといった温暖化ガスの濃度は小氷河時代の終わる1850年より後に特に急激な増加が見られ、その傾向は現在も続いている。

## VI. 環境保全の重要性

町田ほか（2003）にまとめられているように、第四紀の気候変動はいろいろな要因が絡み合って起こると

考えられる。その要因の一つとして、地球の軌道要素の変化(軌道の離心率の変化、地軸の歳差運動の変化、地軸の傾きの変化)による日射量の変化が考えられている。完新世の比較的安定した環境は、そのような要因の微妙なバランスの上に成り立っていると思われる。その一方で人間の活動は、特に産業革命以後、人為的な環境の改変や破壊によってそのようなバランスを崩し、環境を不安定化させる方向に働いているようにも見える。図1に示した第四紀の環境変動で最後の周期を見ると最終間氷期のピーク(ステージ5e)の後は徐々に寒冷化していることから、すでに1万年も続いている完新世の温暖期は、もし人間の活動がなければ、近い将来に終わりを告げ、寒冷化を始めるはずと考えることができる。ところがSutcliffe(1985)が述べているように、人間の活動、特に温暖化ガスの急速な排出によって気候は逆に急速に温暖化して、ステージ5eよりさらに温暖でこれまでの歴史になかった「超間氷期」(Sutcliffe, 1985の述べている“super interglacial”)を迎え、そのあとは急速に寒冷化すると考えることもできる。この急速な寒冷化が、これまでの歴史にはなかった温暖→寒冷という、これまでとは逆のターミネーションを生むことになるのかもしれない。人類の文明が安定した環境の上に成り立ってきたことを考えると、このような急激な変化がもし起るとすると、人間社会が大打撃を受けることになるだろう。たとえば、世界の大都市、とりわけ日本の大都市は海岸近くに立地しているものが多い。「超間氷期」の非常に温暖な気候で海面が大きく上昇したらどうなるだろうか。また「超間氷期」には現在と異なった気候システムになり、現在の感覚でいう異常気象が当たり前になるので、現在の環境に合わせてでき上がっている人間社会がそれによって大きな打撃を受けることにもなるだろう。このようなことにならないようにするためにも、現在の環境保全は重要で、それを理解するために地球史という視点は重要である。

生物多様性という視点から、たとえば哺乳類について見てみると、最終間氷期には現在よりはるかに豊富で多様な動物相が世界中で見られたが、完新世以前のステージ2にはそれらに大量絶滅が起った(Martin and Klein, 1984; Martin, 2005など)。その絶滅は特に南北アメリカやオーストラリアで著しい。そのような絶滅は完新世になっても続き、貧弱化した動物相にさらに追い打ちをかけるように絶滅は起り、さらに近年は加速しているように見える。河村(2007)にはそのことがまとめられている。完新世の絶滅は哺乳類に限らず、他の生物のグループでも見られる(Turvey, 2009など)。現在の生物相を歴史的に見ることによって、それがかつてのものの生き残りで、それを将来に向けて保全することが重要であることを、より明確に説明できると考えている。

## VII. 地球史から見た環境教育の提案

これまでに述べてきたことをもとに、第四紀の環境変動を環境教育の一環として取り入れる方策を考えてみた。地球史を背景とした環境の学習では、第四紀の環境変動についての内容を指導者が解説し、それをもとに学習者が考えるというスタイルで学習を進めるとし、その具体的な内容を以下の項目(1~10)にまとめた。学習は、本稿の内容に即して1から10の順に進め、それぞれの項目の内容とそのねらいは表2に要約した。

### 1. 第四紀という時代とその特徴

第四紀が地球史の中で占める位置(表1)や第四紀という時代の特徴を解説する。学習者には、第四紀がわれわれ人類にとって、地球史の他の時代よりなぜ重要なのかという理由と、第四紀がもっている他の時代にはない特徴が何なのかを考えさせる(表2の1, 1')。第四紀が地球史の「現代」で、そこで起った出来事が現在のわれわれを取り巻く環境に直結していること、第四紀という時代には三つの大きな特徴があることに気付かせる。

### 2. 第四紀の環境変動の研究

第四紀の環境変動は、19世紀以来の長年の研究で明らかになってきたこと、近年は以前のものとは大きく異なった新しい氷河時代像にもとづいて、環境変動史が復元され、復元の精度も大きく向上してきたことを解説する。学習者には、新しい氷河時代像とはどのようにして生まれ、古い氷河時代像とはどのように違って、その違いはなぜ生じたのか、新しい氷河時代像のもととなった酸素同位体比変化曲線はどのようにして求められたのか、またこの曲線がどのような意味をもつのかを考えさせる(表2の2, 2')。

### 3. 第四紀の環境変動の特徴

第四紀の環境変動には、いろいろな特徴があることを図1の酸素同位体比変化曲線を示して解説する。学習者には、この曲線から読み取れることを考えさせる(表2の3, 3')。第四紀には非常に多くの寒暖の繰り返しがあること、全体として気候は時間とともに寒冷化していること、寒暖変化のパターンが約100万年前頃を境に変化していること、約100万年前以降には気候が短期間のうちに急変する時期があることを読み取らせる。特に約100万年前以降の変化は、図2のように、和式のノコギリではなく西洋式のノコギリの歯に似た形の変化であることに気付かせる。

### 4. 約13万年前以降の変化

約13万年前以降の環境変動に着目して、その変化

表2 地球史という視点にもとづく環境教育の学習内容とそれぞれの学習のねらい

学習内容	学習のねらい
1. われわれの暮らしている時代(第四紀)は地球史の中でどのような時代かを学ぶ。	1'. 第四紀の重要性とその三大特徴に気付かせる。
2. 研究史を概観し、第四紀の詳しい環境変動は、どのようにして明らかになってきたのかを学ぶ。	2'. 連続した詳しい変動の様子は、酸素同位体比変化曲線にもとづいて解明されたことを理解させる。
3. 第四紀の環境変動にどんな特徴があるのかを学び、酸素同位体比変化曲線を見て、パターンを読み取る。	3'-1. 寒暖が非常に多くの回数繰り返され、全体としては寒冷化していったことを学ばせる。 3'-2. 寒暖変化のパターンが100万年前頃を境に変化したこと、数万年周期の振幅の小さい変動から約10万年周期の振幅の大きな「西洋ノコギリの刃」形の変化へ移り変わったことを学ばせる。 3'-3. 特に急激に変化する時期(ターミネーション)があることを学ばせる。
4. 約13万年前以降の最後の周期に着目し、そこからわかることを学ぶ。	4'. この周期は、現在の環境の成り立ちを知る手がかりになり、近未来予測にも役立つことを気付かせる。
5. 約1万年前以降の完新世の環境はどんなものであったのかを学ぶ。	5'. ステージ5e(最終間氷期の温暖のピーク)以来の温暖期で、環境が比較的安定していたことを学ばせる。
6. 人類の文明はどんな環境を背景として生まれたのかを学ぶ。	6'. 完新世中期以降の比較的安定した環境の中で生まれ、その中で発展してきたことを学ばせる。
7. 人類の活動が環境に大きな影響を与えるようになったのはいつ頃で、どんな影響を与えたのかを学ぶ。	7'. 最近500年間ほどのことで、特に産業革命以後の工業化で温暖化ガスの放出が急増し、人類が環境を大きく変えてしまう恐れがでてきたことを学ばせる。
8. 今後の環境はどうなるのかを、「超間氷期」とその後の急激な寒冷化というシナリオをもとに考えさせる。	8'. このシナリオのようになった時の影響(海面上昇や異常気象など)を考えさせる。
9. 生物多様性の著しい減少はいつ、どこで、どのように起こったのかを、第四紀後期の哺乳類の絶滅を例に考える。	9'. 生物多様性減少の原因が、主に人類の活動によることを学ばせる。
10. 「超間氷期」や生物多様性のさらなる減少を防ぐために、どうすればよいのかを自由に考える。	10'. 現在の環境を保全する努力が、今後の人間社会の存続にとって重要であることを理解させる。

を酸素同位体比変化曲線をもとに解説する。学習者には、なぜここに着目するのかを考えさせる(表2の4, 4')。約13万年前以降は、第四紀の中で最も新しい寒暖の周期にあたり、約13万年前の非常に温暖な時期から次第に寒冷化して約2万年前の寒冷のピークを迎え、その後急激に温暖化し、約1万年前から現在までは温暖な時期を迎えている。これまでの歴史から同様のパターンが今後も続くことが予想されるので、近未来の環境を予測する上で、約13万年前以降の変化が重要なデータになることに気付かせる。

### 5. 約1万年前の以降の時代

われわれが生きている現在は完新世に含まれるが、第四紀の環境変動史から見て、完新世はどんな環境の時代なのかを、酸素同位体比変化曲線をもとに解説する。学習者には第四紀の環境変動の中で、約13万年前の温暖期から長い寒冷期を経て訪れた温暖期であること、また約1万年前以降は温暖な気候が比較的安定し

ていたことにも気付かせる(表2の5, 5')。

### 6. 文明の背景

人類の文明の始まりは、「世界史」などの歴史の教科で取り上げられているが、それらの教科の内容もふまえて、エジプト文明、メソポタミア文明などが開化した時期の環境について解説する。学習者には人類の文明が、どのような環境下で発展してきたのか考えさせる。文明は、第四紀の中でも温暖で比較的安定した環境下で発展してきたことを学ばせる(表2の6, 6')。

### 7. 人類の活動の環境への影響

人類の活動が環境へ大きな影響を与えるようになったことを、地球温暖化の問題も含めて解説する。学習者には、これまでの第四紀の歴史の中で最近約500年の変化について考えさせる(表2の7, 7')。また、人類の活動がこれまでの地球環境変化のパターンを大きく変えてしまう可能性が大きくなってきたことを学ばせる。

## 8. 近未来の環境

このまま地球温暖化が進めば、第四紀の歴史の中でこれまでになかった「超間氷期」が今後訪れ、そのあとに急激に寒冷化するというシナリオがある。学習者には、このようなシナリオがどうして出てきたのかを考えさせる。「超間氷期」になれば、何が起るのかも、第四紀の歴史の教訓（たとえば、海面上昇や気候システムの変化）から考えさせる（表2の8, 8'）。

## 9. 生物多様性の減少

世界の多くの国々が加盟している生物多様性条約が端的に表しているように、生物多様性の減少を食い止めることは現在の大きな課題となっているが、このような多様性の減少は最近に始まったわけではない。第四紀の歴史の中でその様相が比較的よくわかっている第四紀後期の哺乳類の大量絶滅に焦点をあてて、それを歴史的教訓として学ぶことによって、生物多様性の保全の重要性を学習者に考えさせる（表2の9, 9'）。第四紀後期の絶滅には、人類が深く関わっていることが多いことを学ばせる。

## 10. 今後の課題

「超間氷期」の到来や生物多様性の著しい減少を防ぐことは、われわれにとって重要な課題である。第四紀の環境変動という視点からは、現代社会が環境の微妙なバランスの上に成り立っており、そのバランスが崩れると、社会には計り知れない大きな影響がおよぶことが予想される。この学習のまとめとして学習者に今後の環境について、自由に考えさせる。現在の環境を保全する努力が、今後ますます重要になることを学習者に理解させる（表2の10, 10'）。

## VIII. さらに理解を深めるための学習例

以上に述べてきた学習は、あくまでも一般的なもので、より内容を具体的に学習者に伝えるために、わが国の題材を通して理解を深める学習を考えた。ここで題材とするのは、大阪とその周辺の丘陵、それに平野や盆地の地下、さらに大阪湾の地下にも分布する大阪層群という第四紀の地層で、長年にわたってその詳しい研究が行われてきた（市原, 1993など）。大阪層群は、その上に重なる段丘（堆積）層や沖積層を合わせると、第四紀全体の環境変動をその中に記録していると考えられる（図1）。それらの地層には海成粘土層（海成の泥層で、下から順にMa-1, 0, 1~13という番号が付けられている）と、礫・砂・泥からなる淡水成の地層が交互に積み重なっている。このような地層と第四紀の環境変動の関係を考えさせる。現在の大阪平野や大阪湾の場所に、初めて海が入ってきたのが約125万年前とする。それ以後、他の時期より顕著に温暖になっ

て海面が上昇した時期（図1の酸素同位体比変化曲線が右に突出してはっきりしたピークを作るところ）には、そこに海が入ってきて海成粘土層が堆積し、寒冷になって海面が下がるとそこは川原や湖となって淡水成の地層がたまると考える。Ma-1から順に酸素同位体比変化曲線による温暖期（奇数番号）のステージに合わせていく作業を、図1の右側を隠した状態で学習者に行わせる。たとえばMa-1はステージ37, Ma 0はステージ35というように順にやっていく。その結果と、吉川・三田村（1999）や三田村（2009）によって実際に行われた対比の結果（図1の右側）がよく一致することを学習者に学ばせる。このことで第四紀の環境変動が大阪層群によく記録されていて、この地層をさらに詳しく調べることによって、より詳細な第四紀の環境変動の様子をそこから読み取ることができることを理解させる。

かつて大阪層群は、大阪とその周辺の丘陵に数多くあった露頭で直接観察することができたが、現在では都市化でそのような露頭はほとんどが消滅し、地表でそれを観察することは非常に困難になっている。しかし、兵庫県西宮市ではその一部を現在でも観察できる場所が少数ではあるが残っていて、上に述べたような学習を実際の地層を見ながら行うことができるので、ここで述べてきた地球史にもとづく環境教育の内容を学習者により深く理解させることができる。それらの露頭での学習の試みは、その周辺の野外で行う生物・地学などを題材とした環境教育の試みとともに別稿で報告したい。

## IX. 結論

町田ほか（2003）が述べているように「温故知新」は第四紀学の基本原理であり、古くからの環境の歴史を第四紀学の成果から学び、現在や近未来の環境を考えるという視点が、環境教育においても必要ではないかというのが筆者らの考えである。歴史的な視点があるからこそ、近未来はかならずしも楽観的なものではない、あるいは危機的で深刻な状況になることもあり得るから、現在の環境を未来に向けて保全することが、現在を生きるわれわれの課題であることを学習者により深く理解させることができると考えている。第四紀という時代が地球史の中でどのような特徴をもった時代なのか、それがどのようにしてわかってきたのか、また第四紀に起った環境変動はどのようなもので、その中でも特にわれわれに関係の深い約13万年前以降の環境はどのようなものだったのかを学び、人類文明がどのような環境の中で生まれ発展してきたのか、人類が環境に多大な影響を与え続ける中で近未来の環境はどうなるのかを学び、生物多様性保全も含めた今後の環境保全がわれわれに与えられた重要な課題である

ことを学習者に深く理解させる。このようなことを内容とした教育を、環境教育の一環として行うことを本稿の結論として提案したい。

## 謝辞

大阪市立大学の三田村宗樹教授、井上 淳准教授には第四紀の自然環境について多くのことを学ばせていただき、そのような知識が本研究を着想する上での重要な基礎の一つとなっている。関西学院大学の湊 秋作教授には原稿を読んでいただき、ご意見をいただいた。英文表題と英文要約については名古屋外国語大学のKevin Ottoson講師に校閲をしていただいた。以上の方々には、厚くお礼申し上げたい。

## 引用文献

- 赤澤 威(編) (1995) 「モンゴロイドの地球 [1] アフリカからの旅だち」 236p., 東京大学出版会.
- Broecker, W. S. and van Donk, J. (1970) Insolation changes, ice volumes, and the O<sup>18</sup> record in deep-sea cores. *Reviews of Geophysics*, vol. 8, p. 169–198.
- Clark, P. U., Archer, D., Pollard, D., Blum, J. D., Rial, J. A., Brovkin, V., Mix, A. C., Piasias, N. G. and Roy, M. (2006) The middle Pleistocene transition: Characteristics, mechanisms, and implications for long-term changes in atmospheric pCO<sub>2</sub>. *Quaternary Science Reviews*, vol. 25, p. 3150–3184.
- Emiliani, C. (1955) Pleistocene temperatures. *The Journal of Geology*, vol. 63, p. 538–575.
- 羽鳥謙三・柴崎達雄(編) (1971) 「第四紀」 348p., 共立出版.
- 市川浩一郎・佐藤 正・松本達郎・浅野 清・高井冬二・鎮西清高・土 隆一・渡辺武男 (1973) 「改訂新版 地史学・下巻」 367p., 朝倉書店.
- 市原 実(編著) (1993) 「大阪層群」 340p., 創元社.
- Kahlke, H. D. (1981) *Das Eiszeitalter*. 192p., Urania-Verlag.
- Kawamura, A. and Kawamura, Y. (2012) Late Pleistocene remains of the elk (*Alces alces*) from Kaza-ana Cave, Iwate Prefecture, northeast Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, vol. 55, p. 21–41.
- 河村善也 (2007) 哺乳類の絶滅史から現在と近未来を考える。日本第四紀学会・町田 洋・岩田修二・小野 昭(編) 「地球史が語る近未来の環境」 p. 123–143, 東京大学出版会.
- 小林国夫・阪口 豊 (1982) 「氷河時代」 209p., 岩波書店.
- 工藤雄一郎 (2013) 土器出現の年代と古環境 研究史の整理から。国立歴史民俗博物館研究報告, no. 178, p. 1–55.
- Kukla, G. J. (1975) Loess stratigraphy of central Europe. Butzer, K. W. and Isaac, G. LL. (eds.) *After the Australopithecines: Stratigraphy, Ecology, and Culture Change in the Middle Pleistocene*, p. 99–188, Mouton Publishers.
- Kurtén, B., (1976) *The Cave Bear Story: Life and Death of a Vanished Animal*. 163p., Columbia University Press.
- 町田 洋・大場忠道・小野 昭・山崎晴雄・河村善也・百原 新(編著) (2003) 「第四紀学」 325p., 朝倉書店.
- Martin, P. S. (2005) *Twilight of the Mammoths: Ice Age Extinctions and the Rewilding of America*. 250p., University of California Press.
- Martin, P. S. and Klein, R. G. (eds.) (1984) *Quaternary Extinctions: A Prehistoric Revolution*. 892p., The University of Arizona Press.
- Martini, I. P. (ed.) (1997) *Late Glacial and Postglacial Environmental Changes: Quaternary, Carboniferous-Permian, and Proterozoic*. 343p., Oxford University Press.
- 湊 正雄 (1974) 「日本の第四系」 167p., 築地書館.
- 三田村宗樹 (2009) 大阪平野および大阪湾地下 (大阪層群から沖積層). 日本地質学会(編) 「日本地方地質誌 5 近畿地方」 p. 223–229, 朝倉書店.
- 奈良貴史 (2003) 「ネアンデルタール人類のなぞ」 182p., 岩波書店.
- 成瀬 洋 (1982) 「第四紀」 269p., 岩波書店.
- Nilsson, T. (1983) *The Pleistocene: Geology and Life in the Quaternary Ice Age*. 651p., D. Reidel Publishing.
- Ogg, J. G., Ogg, G. and Gradstein, F. M. (2008) *The Concise Geologic Time Scale*. 177p., Cambridge University Press.
- Sutcliffe, A. J. (1985) *On the Track of Ice Age Mammals*. 224p., British Museum (Natural History).
- Tiedemann, R., Sarnthein, M. and Shackleton, N. J. (1994) Astronomic timescale for the Pliocene Atlantic δ<sup>18</sup>O and dust flux records of Ocean Drilling Program Site 659. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, vol. 9, p. 619–638.
- Turvey, S. T. (ed.) (2009) *Holocene Extinctions*. 352p., Oxford University Press.
- 吉川周作・三田村宗樹 (1999) 大阪平野第四系層序と深海底の酸素同位体比層序との対比. 地質学雑誌, vol. 105, p. 332–340.

(2017年9月15日受理)