

総 説

## 最終間氷期の環境変動－日本列島陸域と周辺海域の比較と統合－

Environmental changes during the Last Interglacial period around the Japanese Islands ; comparison and integration of land and marine environments

公文富士夫 山本正伸  
長橋良隆 青池 寛

*Fujio Kumon, Masanobu Yamamoto,  
Yoshitaka Nagahashi and Kan Aoike*

地質学雑誌 第115巻 第7号 別刷

2009年7月

**THE JOURNAL OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN VOL. 115 NO. 7**

**July 2009**

## 最終間氷期の環境変動—日本列島陸域と周辺海域の比較と統合—

Environmental changes during the Last Interglacial period around the Japanese Islands ; comparison and integration of land and marine environments

### Abstract

We reviewed the results of previous studies on paleoclimate and paleoenvironment in and around the Japanese Islands during the Last Interglacial period. Sediment cores recovered from deep-sea settings around the Japanese Islands provide valuable information in understanding the ocean paleoenvironment and age framework since marine isotope stage 6. Analyses of pollen, diatoms, and total organic carbon in lake sediments have contributed to clarifying the land climate in detail, in combination with age constraints provided by tephra marker beds. Great progress has been made in tephra stratigraphy and the identification of tephra marker beds, which provide the key to correlating land and marine data, as shown in the case studies on Lake Biwa and the Takano Formation. Because several widespread tephra marker beds are 90 to 100 ka in age, it is possible to reconstruct the paleoclimate of this period at high resolution, both temporally and spatially, integrating local and regional environmental information for both land and marine settings. Such results may be important in the near future for local and global climate forecasting.

Keywords: late Pleistocene, sediment core, marker tephra, paleoclimate, paleoenvironment, Japanese Islands, Northwest Pacific, land-marine linkage

公文富士夫\* 山本正伸\*\*  
長橋良隆\*\*\* 青池 寛\*\*\*\*

*Fujio Kumon\*, Masanobu Yamamoto\*\*,  
Yoshitaka Nagahashi\*\*\* and  
Kan Aoike\*\*\*\**

2008年1月29日受付.

2009年5月11日受理.

\* 信州大学理学部

Faculty of Science, Shinshu University, Asahi  
3-1-1, Matsumoto 390-8621, Japan

\*\* 北海道大学大学院地球環境科学研究院

Faculty of Environmental Earth Science,  
Hokkaido University, Kita-10, Nishi-5, Kita-  
ku, Sapporo 060-0810, Japan

\*\*\* 福島大学共生システム理工学類

Faculty of Symbiotic Systems Science,  
Fukushima University, Kanayagawa 1,  
Fukushima 960-1296, Japan

\*\*\*\* (独)海洋研究開発機構地球深部探査センター  
Center for Deep Earth Exploration, Japan  
Agency for Marine-Earth Science and Tech-  
nology, 3173-25 Showa-machi, Kanazawa-ku,  
Yokohama 236-0001, Japan

Corresponding author; F. Kumon,  
shkumon@shinshu-u.ac.jp

### はじめに

近年地球温暖化への関心が高まり、その将来予測や温暖化防止のための温室効果ガスの抑制が社会的な要請となっている。地質学は過去の気候変動を解明することを通じて、そのような期待に応えることのできる学問である。具体的には、過去の気候変動パターンの未来への単純な外挿からはじまり、類似した強制力の働いた時期との比較、気候モデルの検証、さらには気候モデルの初期条件を制約することによる将来予測まで、期待される役割は大きい。

中緯度のモンスーン帯に位置する日本周辺では、海域の堆積物に基づく古環境・古気候研究も進展をみせており、IMAGES (International Marine Global Change Study) コア試料を代表とする陸域近傍の堆積物についての高時間分解能の研究が進んでいる (例えば, Oba et al., 2006 など)。また、掘削船「ちきゅう」が就航し、IODP (Integrated Ocean Drilling Project) での国際運航も開始され、日本列

島周辺海域の堆積物からの一層豊富な古気候・古海洋情報をもたらされようとしている。他方では、日本列島の湖沼堆積物に基づいた陸域の古気候解析も、琵琶湖掘削試料の再検討や水月湖の掘削、陸化した湖沼堆積物である高野層の研究などによって、高精度・高時間分解能の解析が大きな進展をみせている。日本とその周辺地域の特徴のひとつは、陸域と海域を直接つなぐことができる指標テフラがあることであり、陸域を中心にして認定されてきた指標テフラの対比とカタログ化も進められてきた (町田・新井, 1992, 2003; 長橋ほか, 2004, 2007; 青木・町田, 2006)。

このような研究の進展は、陸域と海域の古環境・古気候資料を高い時間精度をもって総合的につぎあわせることを可能としている。特に、最終間氷期は現在に直近した温暖期であり、各種の古気候・古環境資料も豊富に残されており、地球温暖化の予測やその影響評価に有用な多くの情報が得られることが予想される。広義の最終間氷期 (MIS 5) の時代を中心に、その前後の時代を含めながら、日本列島とその周辺海域

における古環境・古気候情報をできるだけ広く共有し、また統合することは、次のステップの研究に進み、前述の社会的要請に応えるために重要と考えられる。そのような認識の下に、2007年9月に開催された日本地質学会第114年学術大会（札幌）で本報告の表題でシンポジウムを行った。本報告では、シンポジウムでの講演および本誌特集号の掲載論文を踏まえ、最終間氷期における日本列島周辺古気候・古環境の研究の現状と見通しを、海域、陸域、および両者をつなぐ指標テフラの研究の分野に分けてレビューする。

### 海域の研究

海洋は地表の70%以上を占め、地球環境変動の過半は海洋で起きている。また、海洋は体積が大きく熱容量も大きいいため、その応答速度が全球気候変動の速度を規制していると考えられている。さらに、温室効果に寄与する水蒸気と二酸化炭素のそれぞれ発生源と吸収源でもある。このような地球表層環境における海洋の重要性を考えると、地球環境変動の理解には海洋環境変動復元が不可欠であるといえる。

海洋環境の復元において、海底コアが最も重要な役割を果たしている。海底コアとは海底堆積物を掘削により柱状に採取したものである。堆積速度の遅い海域では、低い時間解像度であるが、長期間の古環境変動の解析が可能であり、逆に堆積速度の速い海域では、短期間であるが、高い時間解像度で古環境変動の解析が可能である。

海底コアの第一の特長は抽出できる情報が多いということである。海底コアにはさまざまな微化石や有用な化学成分が含まれており、それらを検鏡・分析することにより古環境に関するさまざまな情報を取得することができる。例えば、堆積物中の底生有孔虫酸素同位体比から大陸水床量が、微化石群集組成、有孔虫殻のMg/Ca比、アルケノン不飽和指標(UK<sup>37</sup>)、テトラエーテル脂質環状構造比(TEX86)から水温が、浮遊性有孔虫酸素同位体比と古水温プロキシの組み合わせから塩分が、有機炭素やクロロリン(クロロフィルの分解生成物)の沈積流量から一次生産量が、底生有孔虫炭素同位体比およびCd/Ca比から深層水・中層水循環が、ダスト(風成塵)の沈積流量からダスト降下量が復元される。

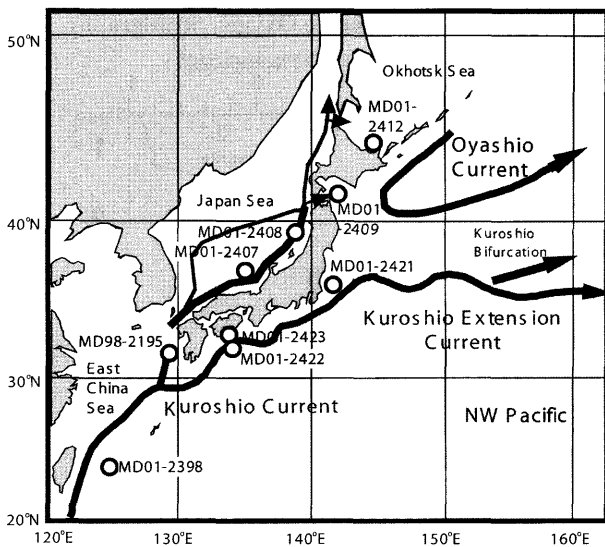
第二の特長は年代決定の手段が多いことである。数10万年スケールの年代決定には、微化石層序や古地磁気層序、ストロンチウム同位体編年等が用いられる。最古の海洋底はジュラ紀のものであり、これらの手法はジュラ紀にまで遡ることができる。数万年スケールの年代決定には、底生有孔虫酸素同位体層序が有用であり、最近数万年間の年代決定に関しては浮遊性有孔虫<sup>14</sup>C年代や各種の放射性元素濃度等が用いられる。第三の特長は均質な連続的記録が得やすいということである。均質で連続的な記録は、過去の気候変動にひそむ規則性や再現性を周期解析などの統計学的手法で解析することを可能にし、気候変動のメカニズムを考察する良い材料を提供する。第四の特長は海底堆積物の記録に空間的同時性がある点である。ある一地点での記録が、その近傍での記録と一致する場合が多く、少数の地点の記録からある程度広範囲の環境変動を議論することが可能である。

海底コアはこのような特長を持ち、古気候アーカイブとして優れている。このため、1950年代から現在に至るまで、多くの海底コアが採取され、古環境復元が進められてきた。1970年代、CLIMAP(Climate: Long-range Investigation, Mapping, and Prediction)により海底コア中の微化石群集から氷期海面水温が復元された。このプロジェクトの進行に伴い、ミランコビッチ・サイクル(軌道強制力)と水床の拡大と縮小のタイミングに関する理解が深まった。続いて、1980年代に行われたSPECMAP(Spectral Mapping Project)では大洋底堆積物の古気候記録のスペクトル特性が明らかにされ、第四紀氷期-間氷期変動の姿が明確となった。このスペクトル特性に基づき、有孔虫酸素同位体比曲線とミランコビッチサイクルとの対比が行われ、酸素同位体比変動からコアの年代を決定する酸素同位体層序が確立された。

日本近海でも1970年代頃から海底コアが採取され、日本列島周辺海域の古環境変遷が明らかにされてきた。1990年代までの研究は、DSDP(Deep Sea Drilling Project)とODP(Ocean Drilling Project)で採取されたコアを除くと、コアリングの技術的限界から全長10m前後のコアが多く利用された。そのようなコアから数十万年間の氷期-間氷期変動のコントラストに関する検討や(Moore et al., 1980; Thompson and Shackleton, 1980; Thompson, 1981など)、最終氷期以降の比較的時間解像度の高い研究が行われた(Chinzei et al., 1987; Oba et al., 1991など)。1998年と2001年には日本列島周辺海域で国際海洋全球変化研究(IMAGES)航海が行われ、長尺ピストンコアにより、長さ50m前後の10本以上のコアが採取され、そのうち9本のコアが我が国の研究者により解析された(Fig. 1)。これらのコアにより、最終間氷期の前後から現在までの時間解像度の高い古環境変遷の復元が行われた(小泉, 2009; 山本, 2009など)。DSDP, ODP, およびIODPで得られたコアも最終間氷期をカバーしているが、サンプリングポリシーの制限により一研究者が高時間解像度試料を取得するのは難しい状況にある。このような状況において、IMAGESで採取されたコアは、最終間氷期の高時間解像度解析を可能にしたという点で意義が大きく、日本列島周辺海域の古海洋環境研究の推進に貢献した。

さて、このように日本列島周辺海域の古環境復元に貢献している海底コアであるが、多くの場合、水深の浅い海底から採取されたコアが用いられている。北太平洋は炭酸塩補償深度が大西洋やインド洋よりも浅く、水深の大きな海底では炭酸塩の溶解が進んでおり、有孔虫殻の酸素同位体や<sup>14</sup>C濃度を用いた年代決定が困難であるからである。親潮域では水深1,000m前後でも炭酸塩が溶解していることが多い。このような制約のなかで、大水深や親潮域の海底コアを用いて研究を進めていくためには、有孔虫に依存しない年代決定法が必要である。陸上テフラと海底テフラの対比(青木・新井, 2000など)や古地磁気強度変動を用いた年代決定法(菅沼ほか, 2006)など、新たな対比技術の確立と実施が待たれる。

海陸のテフラ対比は、陸上と海洋の気候記録の精密対比を可能にし、大気の海洋に及ぼす影響、逆に海洋の大気に及ぼ



**Fig. 1.** Sea surface conditions around the Japanese Islands, showing also the localities of long-core sites taken by IMAGES project cruises in 1998 and 2001. Localities are shown only for the sites of which chief scientist is a Japanese. (日本列島周辺の海洋状況とIMAGES航海(1998年および2001年)によって採取された長尺のピストンコアの位置。コアの位置は日本人の研究者が主任研究員となっているものに限っている。)

す影響を評価することにつながるであろう。例えば、日本列島の古環境変遷を考える上で日本海はユニークなプレーヤーで、海面低下や上昇に伴う対馬暖流の流入停止・再開が日本列島の気温・降水量に影響を与えた。これを評価することにより海洋環境の変化が陸上環境に与える影響を明確にすることができるだろう。近年、日本近海コアにおいても花粉の分析が行われるようになってきた(Igarashi and Oba, 2006)。これは海洋酸素同位体比層序と日本列島花粉層序との直接的対比を可能にするものであり(五十嵐, 2009)、今後の研究の進展が期待される。

### 陸域の古気候変動

陸域の気候変動は、極域の氷床コアに最も良い記録が残されており、その酸素同位体比やガス濃度は大気と陸域の気候変動の標準と見なされている(Dansgaard et al., 1993; Grootes et al., 1993; Jouzel et al., 1993など)。一方、これまでグリーンランドの氷床の下限は25万年前まで遡るという推定があったが(例えば、GRIPコア; Dansgaard et al., 1993)、それは岩盤付近の異常流動による変形が原因であって、下限は約12.2万年前までということが明確になった(North Greenland Ice Core Project members, 2004)。氷床コアの年代決定については、年層による年代計測は通常1.5~2万年前までしか遡れないので(南極の内陸部ではそもそも肉眼で判別できるような年層が形成されない)、おもに氷床流動モデルに基づく年代推定が行われてきた。それに年代のわかっている個別的なイベントや各種の気候指標の変動パターンの一致点をコントロール点に加えることによって、年代決定の革新も進んでいる(Parrenin et al., 2007;

Kawamura et al., 2007)。その結果、南極氷床でも下底は80万年前程度ということが判明してきた(Parrenin et al., 2007)。氷床は大気をそのまま気泡として保存することができるという、他では得難い長所を持ち、陸域の最も優れた古気候アーカイブであることは間違いない。

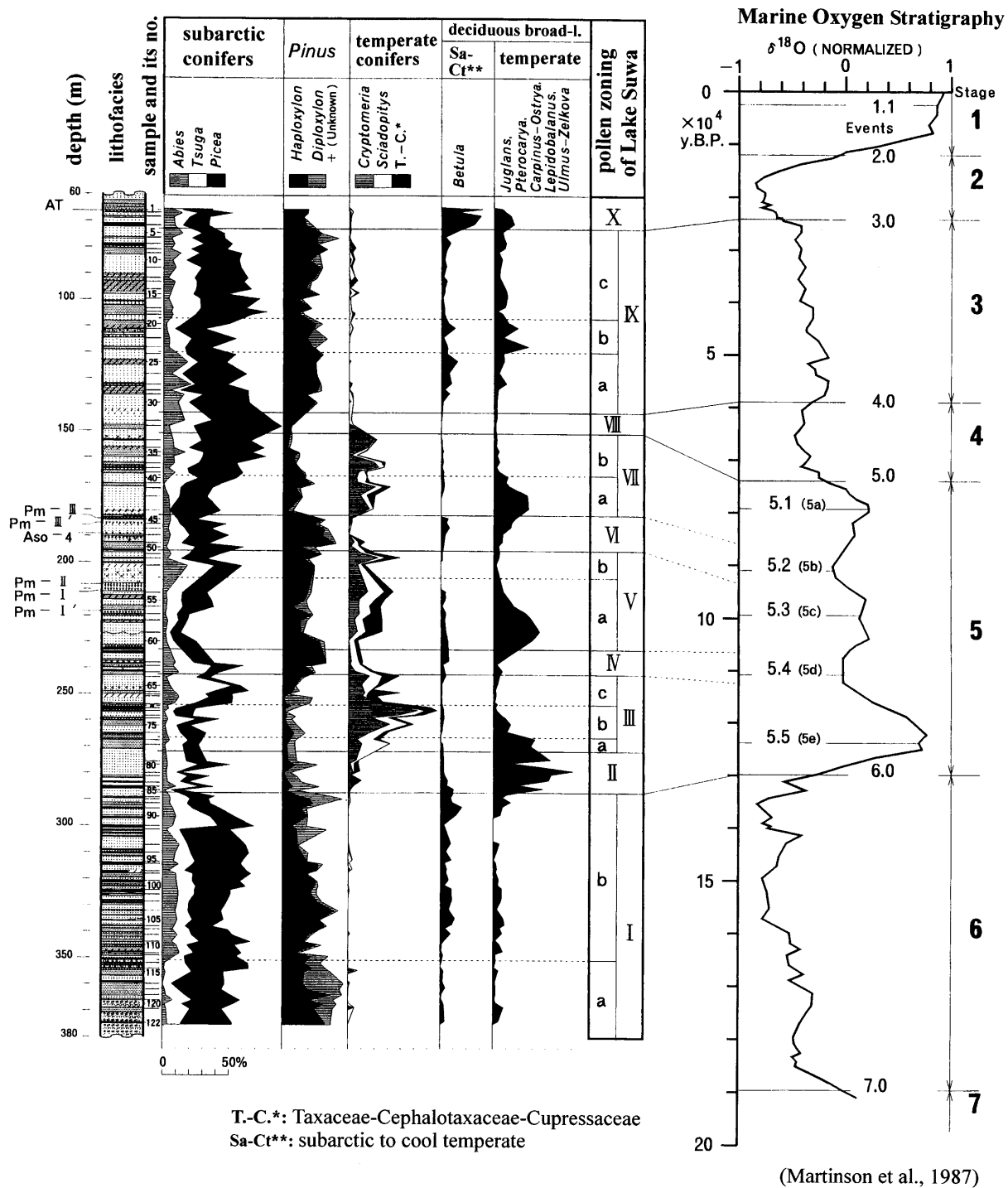
しかし、地球の大部分を占め、かつ人間活動のおもな舞台となっている中・低緯度には当然ながら氷床は稀である。高山岳域には小規模な氷帽が残されているが、その記録がカバーする年代範囲はそれほど広くなく、有効性も限定的である(Thompson et al., 1997)。一方、琵琶湖やバイカル湖の湖底掘削に基づく研究でよく知られているように、中~低緯度の陸域においては気候・環境の記録として湖沼堆積物が重要である。例えば、琵琶湖で40数万年前まで、バイカル湖で80万年ほど前までの湖沼堆積物(ほぼ均質な泥質堆積物)が残されており、海洋堆積物に匹敵する長期間の貴重な古気候情報が記録されている(Horie, 1991; Minoura, 2000; Kashiwaya, 2003; Kravchinsky et al., 2007)。また、年代幅や環境の異なる湖沼堆積物は数多くあり、高緯度地域から低緯度地域までの広い範囲に存在して、周辺の陸域環境を直接的に記録していることが湖沼堆積物の利点である。問題点は、 $^{14}\text{C}$ 年代測定法が使えない5万年前以前の堆積物の年代測定が困難であることである。また、海洋堆積物に適用されている各種の解析方法ほどには研究手法が十分発達していないことも弱点であろう。

最終間氷期およびその前後の時代の堆積物は各所にあるが、砂層や礫層を含むものが多く、その多くは不連続な記録である。一方、泥質で、均質な湖沼堆積物が連続的に残されている事例はあまり多くないが、琵琶湖湖底堆積物や湖成高野層などのいくつかの研究が行われている。以下に最終間氷期をカバーした日本列島における古気候の研究を紹介する。

### 1. 琵琶湖

琵琶湖湖底では、1974年に深度200mまで、1983年には基盤に達する深度1400mまでの学術ボーリングが行われた(Horie, 1991)。これは世界でも先駆的な研究で、古環境・古気候記録の媒体としての湖沼堆積物の有用性を世界に示したものであった。ただ、当時のフィッシュトラック年代測定法がもっていた難点に引きずられて堆積物の年代を大幅に古く見積もり、古気候情報の解析が十分に進まなかったことが問題であった。近年、その年代モデルが見直され(Meyers et al., 1993)、琵琶湖の堆積物は、海洋の堆積物が記録する気候変動と同調した寒暖変動を記録していることが示された。また、新しい年代モデルにそった花粉分析結果も公表され(Miyoshi et al., 1999)、過去40万年間の植生と気候の変遷が示された。それは、Meyers et al. (1993)が復元した気候変動をより明確に裏付けた。

一方、同じ琵琶湖湖底でも高島沖の鞍部で採取された学術ボーリング試料は、堆積速度が小さい場所であるため、140mほどの厚さで約40万年間をカバーしている。それに対して詳細な火山灰の分析が行われており(吉川・井内, 1991; 長橋ほか, 2004)、広域テフラが数多く確認されている。その年代論の下に、珪藻の組成と含有量(珪藻殻数)変動に基づく古



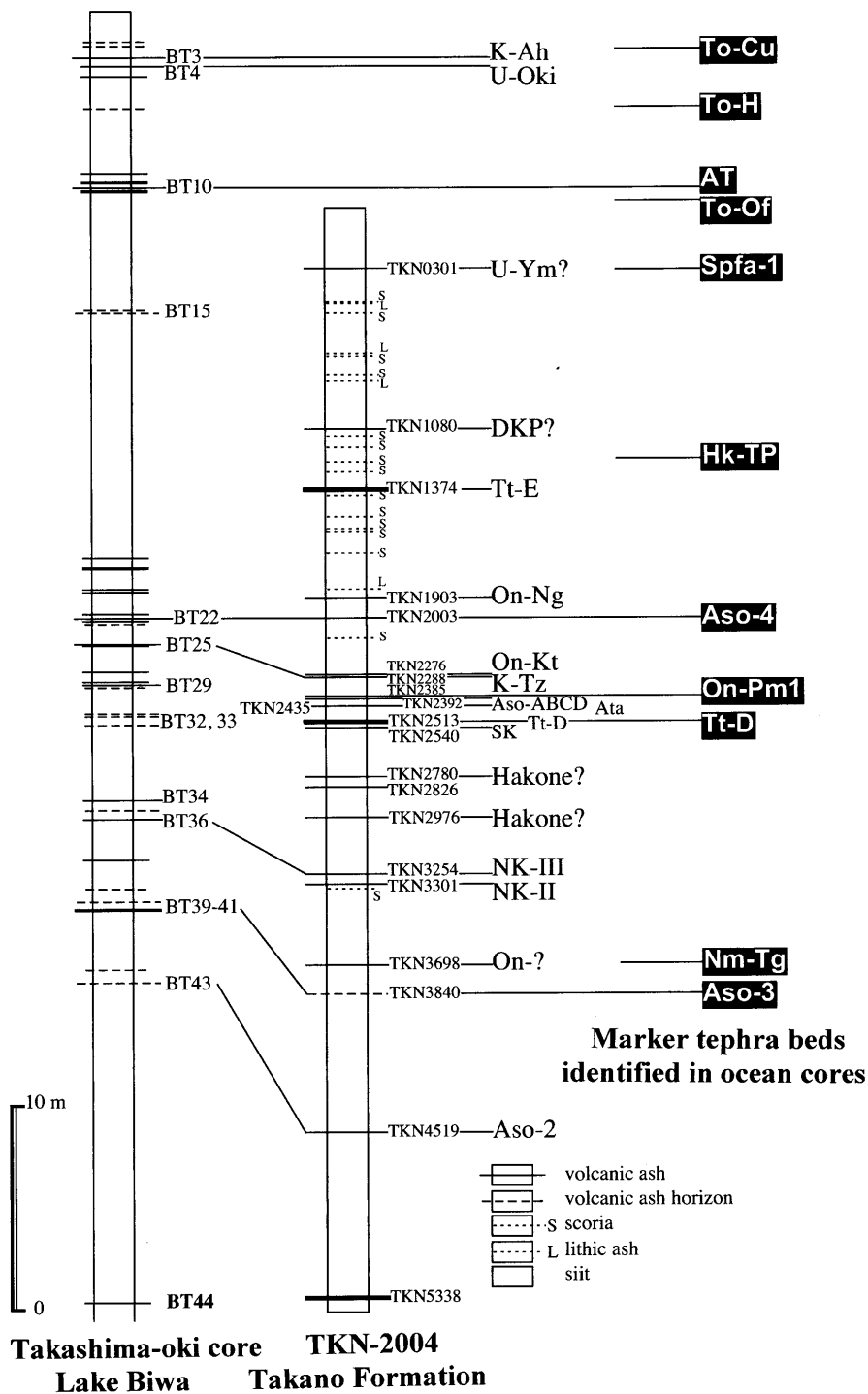
**Fig. 2.** Comparison between the pollen zoning of sediment core drilled in Lake Suwa and the marine isotope stratigraphy (Oshima et al., 1997). ©Japan Association for Quaternary Research. (諏訪湖ボーリング試料に基づく後期更新世の花粉化石分帯と海洋酸素同位体層序との対比 (大嶋ほか, 1997). ©日本第四紀学会)

環境と降水量復元が行われた (Kuwae et al., 2002; 加ほか, 2003). 加ほか (2003) は, 約 13 万年前までのコア試料に対して 300 年に 1 試料の割合で珪藻殻数を求め, 珪藻殻数がおおむね温暖期に多く, 寒冷期に少ないことを示し, 降水量または気温を反映すると考えた. Xiao et al. (1997) は, 同堆積物中の石英粒子フラックスを冬のモンスーンの指標と

見なして日本列島におけるモンスーン変動を論じた. また, 有機炭素含有率の変動から生物生産量の変動とそれを支配したと推定される降水量変動が求められている (岩本ほか, 2004; Iwamoto and Inouchi, 2007).

**2. 高野層**

高野層は約 3 万年前から 16 万年前までの湖成層であり,



**Fig. 3.** Correlation of wide-spread marker tephra beds among the sediment cores from Lake Biwa, Takano Formation, Japan Sea and northwest Pacific. The tephra stratigraphy of the Takashima-oki core, Lake Biwa, is after Yoshikawa and Inouchi (1991), and that of the Takano Formation after Nagahashi et al. (2007). The codes at the right side of the columns are marker tephra beds identified in Japan Sea (Chun et al., 2004) and in northwest Pacific (Aoki and Arai, 2000; Sugauma et al., 2006 ; Aoki et al., 2008). Code name of the wide-spread marker tephra is basically followed to the tephra catalog by Machida and Arai (2003). (琵琶湖高島沖コア・高野層コアの広域テフラ層序と海底堆積物コアの広域テフラ層との層序関係、琵琶湖高島沖コアのテフラ層序は吉川・井内 (1991) に、高野層コアのテフラ層序は長橋ほか (2007) による。白抜きの大文字は青木・新井 (2000), Chun et al. (2004), 菅沼ほか (2006) および青木ほか (2008) で同定された海洋底の広域テフラ層を表す。広域テフラ層の略称は町田・新井 (2003) に基づく。)

均質な泥質堆積物に挟まれた多数の指標テフラが同定されている (長橋ほか, 2007)。また, 20 ~ 30 年の時間間隔で有機炭素・窒素含有量の測定が行われている (田原ほか, 2006)。湖底堆積物の有機炭素含有率は, 木崎湖における現世の事例研究 (公文ほか, 2005) によって, 湖水中の年間の生物生産性と相関があり, その年間の生物生産性は冬季の気温と相関があることが明らかにされており, 冬の気温を示すプロキシーである可能性が高い。高野層の有機炭素・窒素含有率に基づく古気候復元については, 本特集号の公文・田原 (2009)

に述べられているので繰り返さない。ただし, 機器分析の利点を生かした高時間分解能の気候復元がなされていること, 間隔は粗いものの花粉組成からもその気候復元が支持されていること, その気候復元結果が多数の広域テフラを介して, 他地域の気候・環境変化と精密に対比できる強みがあることを強調しておきたい。

**3. 花粉組成に基づく古気候復元**

日本列島陸域の古気候変動については花粉組成からの情報が最も信頼性が高く, 資料の蓄積も多い。最終間氷期をある

程度カバーし、かつある程度の高い時間分解能を有する花粉分析資料は、山形県川桶盆地(日比野ほか, 1991), 福島県南部の矢の原湿原(叶内, 1988), 長野県北部の野尻湖(野尻湖花粉グループ, 1993), 長野市南部の高野層(入谷ほか, 2005; 叶内ほか, 2007), 長野県中部の諏訪湖(大嶋ほか, 1997), 岐阜県南部の高富低地(加古・森山, 2002), 福井県北部の中池見(大井ほか, 2004), 福井県南部の黒田低地(Takahara and Kitagawa, 2000), 京都府中部の神吉盆地(Takahara et al., 2000), 琵琶湖(Miyoshi et al., 1999) および山口県徳佐盆地(三好, 1989) などである。

それらの中で、諏訪湖の堆積物では、砂質な堆積物を間欠的に挟むものの、18万年前から2.5万年前までのほぼ連続的な花粉組成の変遷が明らかにされている(大嶋ほか, 1997; Fig. 2)。諏訪湖における花粉組成は約1000年の時間分解能を持ち、MIS 6における亜寒帯針葉樹とマツ属の卓越、MIS 5における冷温帯落葉広葉樹の周期的増減(特にMIS 5eにおける増加)、MIS 4における亜寒帯針葉樹の優占、およびMIS 3における亜寒帯針葉樹・マツ属・冷温帯落葉広葉樹の混交、といった特徴を明瞭に示している。これらの植生変遷は汎世界的な寒暖変動に同調している。また、MIS 5の時期は多雨・多湿を好むスギ属(*Cryptomeria*) やコウヤマキ属(*Sciadopitys*) が優勢なことで特徴づけられている。このような植生変遷は、関東平野東方の鹿島沖コア(MD01-2421)の花粉分析からも明らかにされており(Igarashi and Oba, 2006)、本特集号でも報告・議論されている(五十嵐, 2009)。

#### 陸域と海域を結ぶ地層対比のツールとしての広域テフラ層

層序学におけるテフラ層の大きな役割は地層対比のツールとして層序断面に同時面を刻むことにあり、テフラ層が広域に分布するほどその役割の重要性が増すことになる。テフラ層対比の手法として、全てのテフラ層対比が可能になる決定的なものはない。テフラ層対比の実際は、ある地域のテフラ層序を確立し、個々のテフラ層の岩相記載と岩石学的性質に関する多方面の記載をもとに、年代学的資料とともに相互に比較することにより達成される。それは同じ岩石学的性質を持つ異なる時代のテフラ層を対比する誤りを犯さないため、層序学的検討が個々のテフラ層の分布特性を把握することにもつながるからである。当然ながら、1地点の露頭またはボーリングコア試料で、その地域(または特定の時代)に降下した全てのテフラ層が保存されていることはほとんどない。ある地域もしくはある時代のテフラ層序を確立するためには、数多くの層序断面を記載する過程が必要である。さらに、大気中を移動して降下するテフラは、その噴出規模や噴火様式さらには噴火時の気象条件によって分布範囲が異なる。よってテフラ層を利用して、層序断面により多くの同時面を刻むには、日本とその周辺海域を覆うような広域テフラ層だけでなく、地域限定的な分布のテフラ層をも含めたテフラ層序の確立が鍵となる。

陸域に堆積したテフラ層に関する層序と岩石学的資料は長年の研究による蓄積があり、中期更新世~完新世の広域テフ

ラ層が数多く認識されている(例えば、町田・新井, 2003)。さらに、湖沼堆積物コア試料は広域テフラ層だけでなく小~中規模爆発的噴火によるテフラ層も良好な状態で保存していることから、テフラ層序の構築に重要である。また、風成堆積物では失われている火山ガラスが保存されていることが多く、テフラ層の岩石学的特性を把握するのに重要である。琵琶湖湖底堆積物のボーリングコア試料のテフラ層(町田ほか, 1991; 吉川・井内, 1991; 長橋ほか, 2004) や長野県高野層のボーリングコア試料のテフラ層(長橋ほか, 2007) に関する研究はこの典型例といえる。これらの研究により明らかになった広域テフラ層のうち、MIS 6以降の広域テフラ層は以下のようにまとめられる(Fig. 3: 広域テフラ層の略称は町田・新井, 2003に基づく)。すなわち、K-Ah (7.3 ka), U-Oki (10.7 ka), AT (29.0 ka), TKN0301 (39.5 ka: 鬱陵島起源のU-Ym?), TKN1080 (62 ka: DKP?), Tt-E (70.0 ka), On-Ng (85.1 ka), Aso-4 (88 ka), On-Kt (94.9 ka), K-Tz (95.2 ka), On-Pm1 (97.6 ka), Aso-ABCD (97.7 ka), Ata (98.9 ka), Tt-D (99.2 ka), SK (99.9 ka), TKN2780 (105.9 ka: 箱根起源?), TKN2976 (110.9 ka: 箱根起源?), TKN3254 (118.0 ka: 南港Ⅲ = 箱根起源?), TKN3301 (119.2 ka: 南港Ⅱ), TKN3698 (129.3 ka: 御嶽山起源?), Aso-3 (133 ka), Aso-2 (146 ka) である(TKNが付いている名称は高野層ボーリングコアのテフラ層を示す)。ここで示した年代(長橋ほか, 2007)に基づく、85~133 kaの間に15層の広域テフラ層があり、最終間氷期中(74~130 ka)に数100年から数1000年間隔の目盛りを刻むことができる。

以上述べた広域テフラ層の堆積年代は、完新世の一部のテフラ層を除いて、数値年代はもとより、あらゆる層序学的編年資料とのつき合わせで得られた層位による堆積年代である。テフラ層はその構成物質から数値年代が得られる利点があり、給源近傍にまで広域テフラ層が追跡された場合は火砕流堆積物や火山体を構成している溶岩類の数値年代とともに年代層序学的に検討することが可能となる(例えば、竹下ほか, 2005)。また、海成層中に追跡された広域テフラ層が、海棲微化石の生層序や酸素同位体比ステージとどのような層位関係にあるかは重要である。このようにして求められた層位による年代は検討時点での最適解であり、後の研究の進展により動きうる。テフラ層の真に確からしい年代を求めるには、テフラ層そのものから数値年代を求める研究をさらに進めること、これと層序学的編年資料とを突き合わせる努力を重ねることが必要と考えられる(例えば、Pillans et al., 1996)。この真に確からしいテフラ層の年代がすぐに得られなくとも、テフラ層対比が達成されれば、これを同時面の指標層として古環境変動の比較に用いることができる。

さて、陸域と海域の地層を対比する広域テフラ層については、町田・新井(1988)による先駆的な研究がある。最近の海洋底堆積物コアのテフラ層序については、青木・新井(2000)、Chun et al. (2004)、菅沼ほか(2006)、青木ほか(2008)などがあり、九州のカルデラ火山起源や御嶽山起源の広域テフラ層とともに、関東や東北地方、北海道起源の広

域テフラ層が同定されている (Fig. 3). 先に述べた MIS 6 以降の広域テフラ層の多くは東北地方でも同定されているので、東北地方や北海道の第四紀火山起源のテフラ層序と組み合わせると、さらに細かな時間目盛りを刻むことが可能となる。

ここでテフラ層の時間的同時性について改めて考える。大規模な爆発的噴火の継続期間は、火山学的には数時間からせいぜい数日である。一連の噴火活動が終息し、テフラ層の上位にテフラ物質以外のものが堆積すると、テフラ層はその上下を層面に囲まれた単層 (群) として肉眼で容易に識別できる。一方、給源火山から遠く離れた海洋底堆積物では、肉眼でテフラ層として識別できるものであってもより薄層かつ細粒になる。さらには、肉眼ではテフラ層として識別できないが、堆積物中にテフラ物質が拡散していることも予想される。したがって、海洋底コアのテフラ層序の構築には、肉眼で識別できるテフラ層はもとより、堆積物中に拡散したテフラ物質も利用する必要があるだろう (例えば、Lim et al., 2008). 堆積物中に拡散したテフラ物質に関する研究については、大阪平野地下のボーリングコアに適用した「火山ガラス分析法」がある (吉川, 1981). これにより火山灰降灰層準や火山ガラス多産層準が認定されるが、その認定は慎重に行わなければならない (吉川, 1999). 火山灰降灰層準として認定できた場合は、同時面の指標層として側方に拡張することが可能となる。火山ガラス (テフラ起源物質) 多産層準の場合は、単純に同時面の指標層としては利用できないが、複数の層序断面を検討することで、同時面に準ずる位置づけの指標層になる可能性がある。これらの検討を行うためには、テフラ層の岩石学的特性を効率的に検索できるシステムが不可欠であり、例えば、平中ほか (2007) によるテフラの新たなデータベース (J-Tephra; URL <http://www.j-tephra.jp>) が立ち上っている。今のところ登録されているテフラ層は、琵琶湖高島沖ボーリングコアと高野層ボーリングコアに挟まるテフラ層および中新世テフラ層の一部に限られている。しかし、福島県太平洋沿岸の仙台層群に挟まるテフラ層 (高橋ほか, 2003) や中部日本の火砕流堆積物 (例えば、長橋ほか, 2000) などの公表済み資料に加えて、大阪層群や上総層群のテフラ層、さらに中新統のテフラ層の一部についても火山ガラスの化学組成分析が終了している。将来的にこれらの資料をデータベースに組み込むことにより、更新世だけでなく鮮新世については中新世にまでさかのぼってテフラ層対比について効率的に検討できるようになるであろう。

陸域と海域の地層とをテフラ層を利用して結びつける目的は、古環境変動を相互に比較するために解析の時間精度を高めることである。その第一歩となる海洋底堆積物コアのテフラ層序の構築は可能な限り複数のコアを用いることが望ましい。日本とその周辺海域では後期更新世だけでなく、より古い時代にまで陸域と海域のテフラ層対比が適用できる可能性がある。または、ある特定の時代だけを対象として、テフラ層対比を介した高い時間精度で解析できる可能性もある。一方、テフラ学の新たな展開としては、海洋底堆積物にまでテフラ層の層序と分布が拡張されるので、テフラ層やテフラ物

質をマーカーとした研究による古海洋学への貢献や噴出時の気象条件の復元などが考えられる。

#### まとめと今後の研究課題

日本列島における古気候研究の利点のひとつは指標テフラがあることである。前節で述べたように、テフラは化学的・物理的特徴と層位関係を用いて対比が可能であり、広域テフラだけでなく、ローカルなテフラを組み合わせることによって、かなり細かい時間精度をもった対比が可能である。代表的なテフラの重なりは琵琶湖堆積物や高野層で確認されている (Fig. 3). そのようなテフラを海底堆積物まで追跡することによって海洋酸素同位体層序との対応関係を明確にすることもできる。一方、深層水循環に要する時間を考えると、海底堆積物の古気候・古環境変動は陸域のものとの間にある程度の時間的ずれ (数百年~数千年) が予想される。それにもかかわらず、陸域の古気候情報の年代論の大枠が、海底堆積物で求められた年代枠で議論されるのには問題があり、指標テフラは、それ自身についてのより精密な放射年代値を求める必要がある。具体的には、給源近傍の厚いテフラ堆積物に対して、精密な年代測定を行うことである。特に5万年以上前の更新世中・後期の広域テフラについては放射年代値の系統的な解明が求められる。

指標テフラを鍵層として、特定の時間面に対して、日本各地の古気候・古環境情報を総合化するという研究も考えられる。例えば、Ata テフラから Aso-4 テフラ付近までには1万年余の間に7~8層の広域テフラがある。それらを用いて、数百年の精度で各地の古気候情報を比較すれば、時間的にも空間的にも高い精度の古気候復元が可能となるであろう。あるいは、有機炭素含有量のような比較的簡便に行える機器分析と、花粉組成のような熟練を要する指標とを効果的に組み合わせることによって、長期間をカバーする能率的な古気候復元が可能となろう。また、Nakagawa et al. (2002) は、モダンアナログ法によって花粉組成を気温や降水量に変換する手法を提案した。このような気候指標の革新や新しい古気候指標の開発といった点での課題も多い。

こうした陸域の研究は日本近海のコアの研究との連携が不可欠である。日本近海においては、IMAGES 航海で採取されたコアの分析結果が報告されており、それらのコアとの対比が有用である (例えば、青木ほか, 2008). また、2005年および2006年に下北半島東方沖で行われた「ちきゅう」の慣熟航海では、水深1200mの海底からそれぞれ掘削深度70mと365mの良質なコアが採取されている (Aoike et al., 2006, 2007). 同コアについては微生物学的研究のほか、古海洋学的研究が進行中であり、70mのコアでは12.5万年以降の高解像度の底生有孔虫殻素同位体比 (内田ほか, 2006) や、365mのコアでは微化石層序に基づく60万年以降の年代と珪藻含有量の違いに起因した周期的変化を示す岩相・物性が報告されており、北西太平洋海域、特に親潮域の古海洋環境変動を復元していく上で、重要な制約条件を与える情報が今後このコアからは得られると期待される。IODP「ちきゅう」による日本近海の掘削は、これから本格的に進



められるので、その機会を活用した研究計画の立案も重要である。

湖沼堆積物についての最近の動向では、水月湖での再掘削と年縞単位の古気候復元のプロジェクトが進められている。また、琵琶湖底堆積物の掘削も新たに開始され、2008年度には過去30万年間をカバーする連続試料が採取されている。中九州の中期更新統芳野層での学術ボーリングも行われている。高時間精度の古気候・古環境解明は、多大の労力と時間を必要とするので、組織だった共同研究が不可欠である。例えば、高野層ボーリングコア試料は1cm間隔で分取された試料が乾燥または凍結した状態で保存されており、要請に応じて配布する体制ができています。学術ボーリングで得られた貴重な試料は、ある一定期間がすぎれば、できるだけ多くの研究者の利便に供して、多面的なデータの生産を図る体制の確立が必要であろう。

**謝辞** 本総説は、2007年9月に開催された日本地質学会第114年学術大会（札幌）でのシンポジウムの基調講演をベースに、長橋良隆の講演内容を加えて執筆したものである。同大会と本シンポジウムの開催にあたっては地元会員をはじめ、多くの方にお世話になり、充実したシンポジウムを行うことができた。また、査読者からは丁寧な指摘を受け、本稿を改善することができた。ここに記して、改めて御礼申し上げます。

## 文 献

- Aoike, K., Curewitz, D., Sugihara, T., Gaillot, P., Masago, M., Moek, T. and CK06-06 D/V Chikyu Onboard Laboratory Members, 2007, Results of onboard measurement on core samples of the drilling test during CK06-06 D/V Chikyu shakedown cruise. Abstracts, Japan Geoscience Union Meeting 2007 (CD-ROM), J252-P004.
- Aoike, K., Masago, H., Tsuchiya, M., Iijima, K., Sugihara, T., Fujine, K. and CK05-04 Leg 2 Onboard members, 2006, The first cores by D/V Chikyu -Preliminary results of CK05-04 Leg 2, HPCS coring in off-Shimokita. Abstracts, Japan Geoscience Union Meeting 2006 (CD-ROM), J161-P008.
- 青木かおり・新井房夫, 2000, 三陸沖海底コア KH94-3, LM-8 の後期更新世テフラ層序. 第四紀研究, **30**, 107-120.
- 青木かおり・入野智久・大場忠道, 2008, 鹿島沖海底コア MD01-2421 の後期更新世テフラ層序. 第四紀研究, **47**, 391-407.
- 青木かおり・町田 洋, 2006, 日本に分布する第四紀後期広域テフラの主元素組成 -  $K_2O-TiO_2$  図によるテフラの識別. 地質調査研報, **57**, 239-258.
- Chinzei, K., Fujioka, K., Kitazato, H., Koizumi, I., Oba, T., Oda, M., Okada, H., Sakai, T. and Tanimura, Y., 1987, Postglacial environmental change of the Pacific Ocean off the coasts of central Japan. *Marine Micropaleontology*, **11**, 273-291.
- Chun, J. H., Ikehara, K. and Han, S. J., 2004, Evidence in Ulleung basin sediment cores for a Termination II (penultimate deglaciation) eruption of the Aso-3 tephra. *Quatern. Res. (Daiyonki Kenkyu)*, **43**, 99-112.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P., Sveinbjornsdottir, A.E., Jouzel, J. and Bond, G., 1993, Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, **364**, 218-220.
- Groote, P.M., Stuiver, M., White, J.W.C., Johnsen, S. and Jouzel, J., 1993, Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nature*, **336**, 552.
- 日比野紘一郎・守田益宗・宮城豊彦・八木浩司, 1991, 山形県川樋盆地における 120,000 年 B.P.以降の植生変遷に関する花粉分析学的研究. 宮城県農業短期大学術報告, no.39, 35-49.
- 平中宏典・長橋良隆・里口保文・吉川周作・井内美郎・柳沢幸夫・黒川勝己・公文富士夫, 2007, 日本テフラデータベース (J-Tephra) の構築. 第四紀学会講演要旨集, no.37, 42-43.
- Horie, A. ed., 1991, *Die Geschichte des Biwa-Sees in Japan: seine entwicklung, dargestellt anhand eines 1400 m langen Tiefbohrkerns (Gebundene Ausgabe)*. Wagner, Innsbruck, 349p.
- 五十嵐八枝子, 2009, 鹿島沖コア MD01-2421 の MIS 6 以降の花粉記録: 陸域資料との対比. 地質雑, **115**, 357-366 (本特集号).
- Igarashi, Y. and Oba, T., 2006, Fluctuations in the East Asian monsoon over the last 144 ka in the northwest Pacific based on a high-resolution pollen analysis of IMAGES core MD01-2421. *Quatern. Sci. Rev.*, **25**, 1447-1459.
- 入谷 剛・北川陽一・大井信夫・古澤 明・宮脇理一郎, 2005, 長野県北部, 上部更新統高野層のテフラと花粉分析に基づく環境変遷. 第四紀研究, **44**, 323-338.
- Iwamoto, N. and Inouchi, Y., 2007, Reconstruction of millennial-scale variations in the East Asian summer monsoon over the past 300 ka based on the total carbon content of sediment from Lake Biwa, Japan. *Env. Geol.*, **52**, 1607-1616.
- 岩本直哉・斉藤笑子・井内美郎, 2004, 琵琶湖堆積物の全炭素・全窒素含有率から見た過去40万年間の環境変遷. 日本地質学会環境地質研究会, 第14回環境地質学シンポジウム論文集, 75-82.
- Jouzel, J., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Bender, M., Chappellaz, J., Genthon, C., Kotlyakov, V.M., Lipenkov, V., Lorius, C., Petit, J.R., Raynaud, D., Raisbeck, G., Ritz, C., Sowers, T., Stievenard, M., Yiou, F. and Yiou, P., 1993, Extending the Vostok ice-core record of paleoclimate to the penultimate glacial period. *Nature*, **364**, 407-412.
- 加古久訓・森山昭雄, 2002, 岐阜県高富低地湖沼堆積物の花粉分析による最終氷期初期からの植生・気候変遷. 第四紀研究, **41**, 443-456.
- 叶内敦子, 1988, 福島県南部・矢の原原堆積物の花粉分析による最終氷期の植生変遷. 第四紀研究, **27**, 177-186.
- 叶内敦子・河合小百合・公文富士夫, 2007, 長野市信更町高野層ボーリングコアの花粉分析. 第四紀学会講演要旨集, no.37, 166-167.
- Kashiwaya, K. ed., 2003, *Long Continental Records from Lake Baikal*. Springer, Tokyo, 370p.
- Kawamura, K., Parrenin, F., Lisiecki, L., Uemura, R., Vimeux, F., Severinghaus, J.P., Huttweil, M.A., Nakazawa, T., Aoki, S., Jouzel, J., Raymo, M.E., Matsumoto, K., Nakata, H., Motoyama, H., Fujita, S., Goto-Azuma, K., Fujii, Y. and Watanabe, O., 2007, Northern Hemisphere forcing of climatic cycles over 360,000 years implied by absolute dating of Arctic ice core. *Nature*, **448**, 912-917.
- 小泉 格, 2009, 海洋堆積物中の微化石に基づく古環境・古気候変動の解明—日本周辺の最終間氷期を例として—. 地質雑, **115**, 311-324 (本特集号).
- Kravchinsky, V.A., Evans, M.E., Peck, J.A., Sakai, H., Krainov, M.A., King, J.W. and Kuzmin, M.I., 2007, A 640 kyr geomagnetic and palaeoclimatic record from Lake Baikal sediments. *Geophys. Jour. Int.*, **101**, 101-116.
- 公文富士夫・田原敬治, 2009, 中部山岳地域の湖沼堆積物の有機炭素含有率を指標とした過去16万年間の気候変動復元. 地質雑, **115**, 344-356 (本特集号).
- Kuwae, M., Yoshikawa, S. and Inouchi, Y., 2002, A diatom record for the past 400 ka from Lake Biwa in Japan correlates with global paleoclimatic trends. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **183**, 261-274.
- 加 三千宣・吉川周作・井内美郎, 2003, 琵琶湖湖底堆積物の年間珪藻堆積記録からみた過去14万年間の降水量変動. 第四紀研究, **42**, 305-319.
- Lim, C., Ikehara, K. and Toyoda, K., 2008, Cryptotephra detection using high-resolution trace-element analysis of Holocene marine sediments, southwest Japan. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **72**, 5022-5036.
- 町田 洋・新井房夫, 1988, 日本列島周辺の深海底に分布するテフラ. 第四紀研究, **26**, 227-242.
- 町田 洋・新井房夫, 1992, 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 276p.
- 町田 洋・新井房夫, 2003, 新編 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 336p.
- 町田 洋・新井房夫・横山卓雄, 1991, 琵琶湖 200 m コアにおける指

- 標テフラ層の再検討. 第四紀研究, **30**, 439-442.
- Meyers, P. A., Takemura, K. and Horie, S., 1993, Reinterpretation of late Quaternary sediment chronology of Lake Biwa, Japan, from correlation with marine glacial-interglacial cycles. *Quatern. Res.*, **39**, 154-162.
- Minoura, K. ed., 2000, *Lake Baikal: A Mirror in Time and Space for Understanding Global Change Processes*. Elsevier, Amsterdam, 332p.
- 三好教夫, 1989, 徳佐盆地 (山口県) における後期更新世の花粉分析 (予報). 第四紀研究, **28**, 41-48.
- Miyoshi, N., Fujiki, T. and Morita, Y., 1999, Palynology of a 250 m core from Lake Biwa: a 430,000 years record of glacial-interglacial vegetation changes in Japan. *Rev. Palaeobot Palynol.*, **104**, 267-283.
- Moore, T.C., Burkle, L.H., Geitzenauer, K., Luz, B., Molina-Cruz, A., Robertson, J.H., Sachs, H., Sancetta, C., Thiede, J., Thompson, P. and Wenkam, C., 1980, The reconstruction of sea surface temperatures in the Pacific Ocean of 18,000 B.P., *Marine Micropaleontol.*, **5**, 215-247.
- 長橋良隆・佐藤孝子・竹下欣宏・田原敬治・公文富士夫, 2007, 長野県, 高野層ボーリングコアに挟むする広域テフラ層の層序と編年. 第四紀研究, **46**, 305-325.
- 長橋良隆・里口保文・吉川周作, 2000, 本州中央部における鮮新-更新世の火砕流堆積物と広域火山灰層との対比および層位噴出年代. 地質雑, **106**, 51-69.
- 長橋良隆・吉川周作・宮川ちひろ・内山 高・井内美郎, 2004, 近畿地方および八ヶ岳山麓における過去 43 万年間の広域テフラの層序と編年—EDS 分析による火山ガラス片の主要成分化学組成—. 第四紀研究, **43**, 15-35.
- Nakagawa, T., Tarasov, P.E., Nishida, K., Gotanda, K. and Yasuda, Y., 2002, Quantitative pollen-based climate reconstruction in central Japan: application to surface and Quaternary spectra. *Quatern. Sci. Rev.*, **21**, 2099-2113.
- 野尻湖花粉グループ, 1993, 野尻湖底ボーリング NJ88 試料の花粉化石群集と古環境変遷. 地研研報, no.41, 39-52.
- North Greenland Ice Core Project members, 2004, High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature*, **431**, 147-151.
- Oba, T., Irino, T., Yamamoto, M., Murayama, M., Takamura, A. and Aoki, K., 2006, Paleooceanographic change off central Japan since the last 144,000 years based on high-resolution oxygen and carbon isotope records. *Global and Planetary Change*, **53**, 5-20.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T. and Takayama, T., 1991, Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, **6**, 499-518.
- 大井信夫・北田奈緒子・齋藤礼子・宮川ちひろ・岡井大八, 2004, 福井県中池見後期更新世堆積物の花粉分析から見た植生史. 植生史研究, **12**, 61-73.
- 大嶋秀明・徳永重元・下川浩一・水野清秀・山崎晴雄, 1997, 長野県諏訪湖湖底堆積物の花粉化石群集とその対比. 第四紀研究, **36**, 165-182.
- Parrenin, F., Barnola, J.-M., Beer, J., Blunier, T., Castellano, E., Chappellaz, J., Dreyfus, G., Fischer, H., Fujita, S., Jouzel, J., Kawamura, K., Lemieux-Dudon, B., Loulergue, L., Masson-Delmotte, V., Narcisi, B., Petit, J.-R., Raisbeck, G., Raynaud, D., Ruth, U., Schwander, J., Severi, M., Spahni, R., Steffensen, J.P., Svensson, A., Udisti, R., Waelbroeck, C. and Wolff, E., 2007, The EDC3 chronology for the EPICA Dome C ice core. *Clim. Past*, **3**, 485-497.
- Pillans, B., Kohn, B.P., Berger, G., Froggatt, P., Duller, G., Alloway, B. and Hesse, P., 1996, Multi-method dating comparison for mid-Pleistocene Rangitawa Tephra, New Zealand. *Quatern. Sci. Rev.*, **15**, 641-653.
- 菅沼悠介・青木かおり・金松敏也・山崎俊嗣, 2006, 北西太平洋海底コアにおける過去 30 万年間のテフラ層序: 広域テフラおよび帯磁率変動曲線の対比に基づく年代モデルの構築. 第四紀研究, **45**, 435-450.
- Takahara, H. and Kitagawa, H., 2000, Vegetation and climate history since the last interglacial in Kurota Lowland, western Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **155**, 123-134.
- Takahara, H., Uemura, Y. and Danhara, T., 2000, The vegetation and climate history during the early and mid last glacial period in Kamiyoshi Basin, Kyoto, Japan. *Japan. Jour. Palynol.*, **46**, 133-146.
- 高橋友啓・長橋良隆・柳沢幸夫・吉田武義・黒川勝己, 2003, 福島県太平洋岸に分布する鮮新統大年寺層のテフラ層—その 2. 記載岩石学的特徴—. 地質調査研報, **54**, 365-393.
- 竹下欣宏・三宅康幸・酒井潤一, 2005, 古期御岳火山起源の中期更新世テフラと房総半島上総層群中のテフラとの対比. 地質雑, **111**, 417-433.
- 田原敬治・公文富士夫・長橋良隆・角田尚子・野末泰宏, 2006, 長野県, 高野層のボーリングコア試料の全有機炭素 (TOC) 含有率変動に基づく更新世後期の古気候変動の復元. 地質雑, **112**, 568-579.
- Thompson, P.R., 1981, Planktonic foraminifera in the western North Pacific during the past 150,000 years: Comparison of modern and fossil assemblages. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **35**, 241-279.
- Thompson, P.R. and Shackleton, N.J., 1980, North Pacific paleoceanography: late Quaternary coiling variations of planktonic foraminifer *Neoglobobulimina pachyderma*. *Nature*, **287**, 829-833.
- Thompson, L.G., Yao, T., Davis, M.E., Henderson, K.A., Mosley-Thompson, E., Lin, P.-N., Beer, J., Synal, H.-A., Cole-Dai, J. and Bolzan, J.F., 1997, Tropical climate instability: last glacial cycle from a Qinghai-Tibetan ice core. *Science*, **276**, 1821-1825.
- 内田昌男・木元克典・岡崎裕典・長島佳奈・多田隆治・青池 寛・真砂英樹・倉本真一・柴田康行・CK05-04 乗船研究者一同, 2006, CK05-04 航海, 下北半島沖より採取された 70 m ビストンコアを用いた北西太平洋域における古海洋環境復元研究に関する予察的結果. Blue Earth'07 第 23 回しんかいシンポジウム予稿集, 77.
- Xiao, J. L., Inouchi, Y., Kumai, H., Yoshikawa, S., Kondo, Y., Liu, T.S. and An, Z.S., 1997, Eolian quartz flux to the Lake Biwa, central Japan, over the past 145,000 years. *Quatern. Res.*, **48**, 48-57.
- 山本正伸, 2009, 北太平洋亜熱帯循環の氷期・間氷期変動. 地質雑, **115**, 325-332 (本特集号).
- 吉川周作, 1981, 堆積物中の火山ガラスの研究—大阪平野の更新—完新統について—. 第四紀研究, **20**, 75-87.
- 吉川周作, 1999, 火山灰降灰層準について. 第四紀 (第四紀総合研究会連絡誌), no.31, 43-50.
- 吉川周作・井内美郎, 1991, 琵琶湖高島沖ボーリングコアの火山灰層序. 地球科学, **45**, 81-100.

## (要 旨)

公文富士夫・山本正伸・長橋良隆・青池 寛, 2009, 最終間氷期の環境変動-日本列島陸域と周辺海域の比較と統合-. 地質雑. 115, 301-310. (Kumon, F., Yamamoto, M., Nagahashi, Y. and Aoike, K., 2009, Environmental changes during the Last Interglacial period around the Japanese Islands; comparison and integration of land and marine environments. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 115, 301-310.)

更新世後期の最終間氷期を中心に, 日本列島陸域および周辺海域の古気候・古環境変動について研究の現状を紹介し, 今後の課題を提起した. 海洋域では海底コアの多面的な解析が, 海洋環境と古気候変動の解明に大きく貢献している. 陸域の研究では, 長期間に及ぶ連続堆積物を用いた花粉分析や珪藻分析, 有機炭素分析によって高精度の古気候復元が試みられている. 海域と陸域を繋ぐ鍵として広域テフラの有用性は高く, 琵琶湖堆積物や高野層に挟まれた指標テフラは古気候を時間・空間的に結合させて復元する鍵となる. 特に指標テフラ密度の高い9~10万年前の日本列島とその周辺は, 有望な研究対象である. このように, テフラを介して海域と陸域の古気候・古環境情報を比較・統合して, 高時間分解能で総合的な古気候復元を行うことは, 日本列島の地域性を明らかにするとともに, 汎世界的な気候変動のシステムを理解する上でも必要な貢献となる.