兵庫の海にさぐる氷河時代の環境変動

佐藤裕司 (兵庫県立大学自然・環境科学研究所 教授)

現在は「氷河時代」である。と言われても、皆さんはピンと来ないかもしれません。地球は約46億年前に誕生してから今日までの間に、何度か氷河時代と呼ばれる寒冷な時代を経験してきました。先カンブリア時代の原生代(25~5.4億年前)には、スノーボールアース(雪玉地球)という地球全体がほぼ凍結した時期が数回あったとされています。雪玉にならずとも、北半球と南半球の両方に大陸を覆う氷河(「氷床」といいます)が存在する時期を氷河時代とよびます。現在、北極にグリーンランド氷床、南極に南極氷床が存在します。よって、現在は氷河時代であり、地球史における寒冷な時代なのです。一方、恐竜が繁栄した中生代はホットハウスアース(温室地球)とよばれる温暖な時代でした。恐竜が絶滅した約6600万年前以降、気候は寒冷化へと向かい、現在の寒冷な時代は約260万年前に始まりました。

ここでは、大阪湾と播磨灘沿岸で行った第四紀の環境変動をさぐる研究を紹介します。

「第四紀」という時代

約260万年前から現在は最新の地質時代「新生代第四紀」で、「更新世」と「完新世」に 二分されます。第四紀には、寒冷な「氷期」と温暖な「間氷期」が周期的に繰り返されて きたことがわかっています。現在は間氷期にあたり、11,700年前から始まった温暖な「完新 世」という時代です。

第四紀のグルーバルな気候変動は、図 1 に示す海洋酸素同位体曲線で表されます。海水の酸素同位体の 16 O と 18 O の比率 (δ^{18} O) は地球上の海水と氷床との量的なバランスを反映し、氷期と間氷期を見きわめる手がかりになります。この酸素同位体曲線がいわば氷期/間氷期のカレンダーというわけです。カレンダーでは、完新世を海洋酸素同位体ステージ (Marine Isotope Stage、略して MIS) の 1 とし、奇数番号のステージが間氷期、偶数番号が氷期を示します (図 1)。現在から見て最後の氷期 (MIS 2~4) を「最終氷期」といい、約2万年前が最寒冷期で、その時には氷床が北半球を広く覆っていました (図 2)。一方、「最終間氷期」は、現在より一つ前の温暖期 (MIS 5) の中で、とくに約12.5万年前の最暖期 (MIS 5.5) を指します。このような第四紀の気候の寒暖の繰り返しに伴い、海水準(平均海水面)

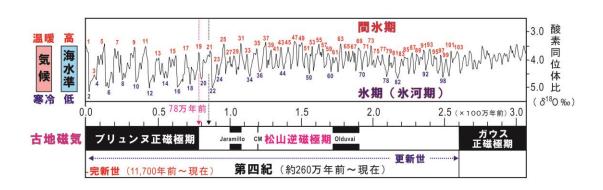


図1 新生代第四紀の気候変動と海洋酸素同位体ステージ (MIS)

MISによって気候変動の氷期/間氷期の繰り返しがカレンダーように示されます。このカレンダーをみると、最近の80万年間では、約10万年ごとに氷期と間氷期が繰り返されたことがわかります。

も変動を繰り返してきました。

氷期の地球上では主に北半球の高緯度地域に氷床が拡大しました(図 2)。氷期には海洋から蒸発した水が氷の中にとどまるため、海水量は減少して海水準が低下します。たとえば、最終氷期の最寒冷期には、海水準は現在よりも120~130 m 低下しました。当時の海岸線は現在よりもずっと沖合にあり、瀬戸内海は完全に陸化していました。このように海水準が低下して海岸線が沖合へ移動することを「海退」といいます。一方、温暖な間氷期になると、氷が融解して氷床は縮小し、海水量が増加して海水準は上昇します。海水準の上昇にともない、海岸線は内陸へと移動します。この現象を「海進」といいます。第四紀には、気候の変動に伴って海退と海進が繰り返されてきました。

現在の大阪湾は21代目の海

現在の大阪湾とその周辺域では、地殻変動により 330~350 万年前から大地が沈降し始め、周囲から運ばれた堆積物が集積されて地層が形成されてきました。その地層中には海で堆積した「海成粘土層」が挟在します。その海成粘土 (Marine clay を略して Ma という) は古い順に Ma 1 から 12 と名づけられ、現在の大阪湾に堆積する粘土は Ma 13 とされています。つまり、現在の大阪湾は 13 代目の海であると、かつては考えられていました。ところが、調査が進むにつれて、Ma 1 よりも下位に 3 枚の海成粘土 (Ma -1、0、0.5)、さらには Ma 1 と 2 の間にも別の海成粘土が存在し、今では計 21 枚の海成粘土が確認されています(図 3)。そして、これらの海成粘土層の形成期は、周期的に訪れる間氷期に対比されています。この調査研究には、当館の地学系収蔵庫に保管されている 1700m ボーリングコア (神戸市東灘区) が大きく貢献しています。

以上のグローバルな気候変動との対比から、最初に大阪湾が海になったのは氷期/間氷期カレンダーにおける約124万年前の間氷期(MIS 37)であることがわかりました。それ以降、大阪湾は氷期の海退時には「陸」となり、間氷期の海進時には「海」となることを繰り返しながら、今日に至っています。いま私たちが見ている大阪湾は、地層中の海成粘土の数から21代目(MIS の数では17代目)の海ということになります。

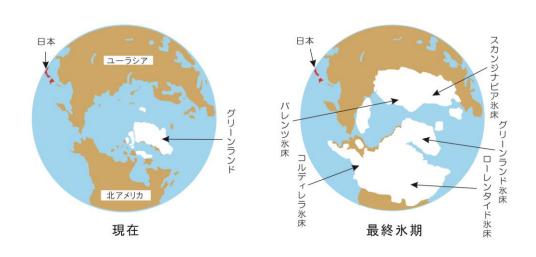


図2 北半球の氷床分布、現在と最終氷期

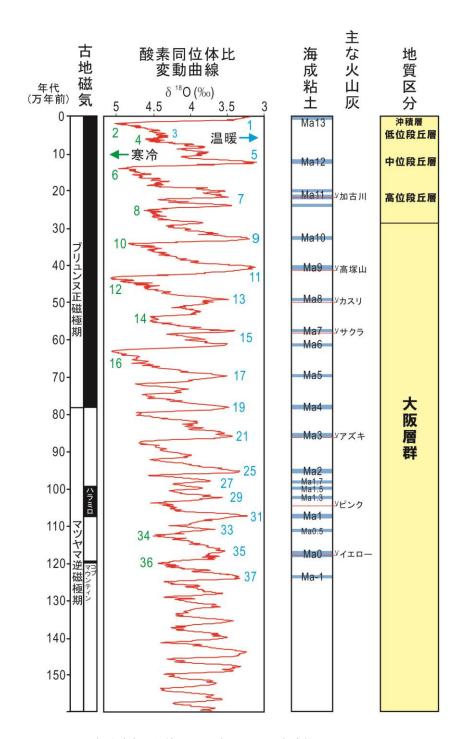


図3 海洋酸素同位体ステージ (MIS) と海成粘土 (Ma) との関係

播磨灘は何代目?

播磨灘も大阪湾と同様の地史をたどってきたのでしょうか。その答えは揖保郡御津町(現在、たつの市御津町)で採取されたボーリングコアと、播磨灘沿岸に分布する地層中に見出すことができます。

御津町では 1994 年に町史編纂事業の一環で、深度約 90 m に達するボーリングコアが採取されました。そのコアの分析では、最終間氷期の海進を示す海成粘土 Ma12 層が確認され

ましたが、それより下位に海成粘土は存在しませんでした。このことは、最終間氷期の播磨灘が現在とほぼ同様の海域で、それ以前の間氷期には御津町まで海が達しなかったことを示します。では、明石海峡や鳴門海峡を越えて、海が播磨灘へと進入したのはいつの時代でしょうか。

その証拠となる地層の年代は、私と加藤主任研究 員との共同研究によって明らかになっています。

・神戸市垂水区の高塚山粘土層 >>> MIS 11 の海進

当館の3階展示室に、高塚山粘土層のはぎ取り標本が展示されています(写真1)。この粘土層中には海棲の貝化石が密集する層があり、古くから「高塚山貝層」という名で知られていました。その貝層の下位には高塚山火山灰が挟在します。火山灰は地層の年代決定にとても重要で、とくに高塚山火山灰はフィッション・トラック(FT)年代測定法に必要な



写真1 高塚山粘土層のはぎ取り標本 (3F展示室)

ジルコンという鉱物を豊富に含有します。展示を計画した当時、高塚山火山灰には FT 年代 測定法から約 35 万年前と約 50 万年前という二つの年代値が与えられていました。展示解 説では後者を採用しましたが、その後、年代を算出する方法(年代較正)の標準化がはかられ、これによって以前の年代値は信頼できなくなりました。そこで、新たに火山灰試料を採取して FT 年代測定を行ったところ、約 41 万年前という結果が得られました。現在では、高塚山に及んだ海進は氷期/間氷期カレンダーにおける約 40 万年前の間氷期(MIS 11)に対比されています。これにより、MIS 11 の時代には垂水区のある明石海峡付近が海であったことがわかりました。

ところで、展示室のはぎ取り標本では、火山灰がうまく採取できていません。新たには ぎ取りを製作したいところですが、高塚山では明石海峡大橋に至る有料道路が建設され、 それに伴う周辺の開発で露頭はほぼ消滅しました。現在、地層をはぎ取った場所は大手家 電量販店の店舗となっています。

・加古川市上荘町の海成層 >>> MIS 7の海進

加古川周辺に及んだ海進は「日岡海進」と名づけられています。その名称は、かつて加 古川市日岡地区に分布する高位段丘の地層中に海棲動物の巣の痕跡とされる生痕化石が見

出され、段丘形成と海進との関係が論じられたことに由来します。しかし、海進の時期については確かな証拠がありませんでした。

その時期を示す証拠は、加古川市上荘 町都台地区の段丘堆積層中に残されてい ました(写真 2)。この地層は、1995 年 8 月に加古川市在住の高校生が植物化石を 寄贈してくれたことがきっかけで、その 存在を知ることとなりました。植物化石 は暗灰色の粘土層中に含有され、その粘 土が海成と直感し、高校生の情報をもと に詳しい調査を行うことにしたのです。



写真 2 加古川市上荘町で観察された地層(1996年 当時)

上荘町で観察される粘土層中には、浅海域に生育する珪藻という微小な藻類の化石が含有され(写真 3)、その粘土層が海成であることを示します。さらにこの粘土層には、年代の決め手となる火山灰も含まれていました。火山灰は「加古川火山灰」と名づけられ、詳しい分析の結果から、大阪湾や琵琶湖の地質調査で報告された約21.5万年前の火山灰と同じであることが判明しました。これにより、日岡海進は氷期/間氷期カレンダーにおける約22万年前の間氷期(MIS7、とくにMIS7.3)に対比されると結論づけられました。

以上から、約40万年前の間氷期(MIS11)

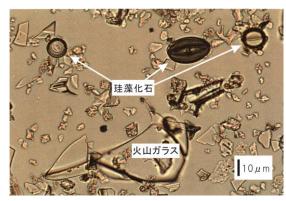


写真3 顕微鏡で見た堆積物中の珪藻化石と火山ガラス 珪藻はいずれも内湾の浅い海域にいる海水 生種で、火山ガラスは加古川火山灰に由来する。

には明石海峡付近まで海は達し、その後、西へと海域は広がり、約22万年前の間氷期(MIS7)に加古川まで達しました。そして、最終間氷期(MIS5.5)には御津町にまで広がり、現在の播磨灘と同様の海域になったと推定されます。播磨灘の誕生は約40万年前以降のことで、現在と同じ規模の海域としては2代目と考えられます。

このように、大阪湾と播磨灘は第四紀の気候変動と地域特有の地殻変動とが組み合わさって形成されてきました。気候変動の歴史を振り返ると、これらの海域がいずれ陸になる時代がやって来るはずです。それは何年後でしょうか。

現在の間氷期は約40万年前の間氷期 (MIS 11) に似るという説があります。MIS 11 は約28,000年間持続したとされ、もし現在の間氷期も同じだけ続くとすれば、あと約16,000年は海の環境が続くことになります。ただし、この説には「人間活動が気候システムに影響を及ぼさなければ」という前提があります。現在、人間の活動は地球のさまざまなシステムを変え、人類はすでに新たな地質時代「人新世 (Anthropocene)」に突入したとする見方があります。人間活動による地球温暖化が進む中で、果たして、氷期はまた訪れるのでしょうか。

参考文献

- Biswas, D.K., Hyodo, M, Taniguchi, Y., Kaneko, M., Katoh, S., Sato, H., Kinugasa, Y. and Mizuno, K. (1999) Magnetostratigraphy of Plio-Pleistocene sediments in a 1700-m core from Osaka Bay, southwestern Japan and short geomagnetic events in the middle Matuyama and early Brunhes chrons. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 148: 233-248.
- 2) 加藤茂弘・佐藤裕司・松原尚志・兵頭政幸・壇原 徹 (1999) 六甲山地西麓に分布する高塚山火山灰のフィッション・トラック年代とその対比. 第四紀研究, 38:411-417.
- 3) 佐藤裕司(1997) 堆積物のイオウ含有量と珪藻遺骸群集からみた過去80万年間の堆積環境変遷. 御津町史第三巻,地質・自然編考古編:40-59.
- 4) Sato, H., Ban, F., Katoh, S. and Hyodo, M. (2017) Sea-level variations during Marine Isotope Stage 7 and coastal tectonics in the eastern Seto Inland Sea area, western Japan. Quaternary International, 456: 102-116.
- 5) 佐藤裕司・加藤茂弘・井上史章・兵頭政幸(1999) 兵庫県・播磨平野東部で発見された酸素同位体ステージ 7.3 の海進堆積物. 第四紀研究, 38:401-410.