

2015 年 11 月 14 日(土)

高岡市生涯学習センター研修室 503

14:00～15:30

「化学分析から読み解く環日本海地域の環境の変遷」

富山大学大学院理工学研究部准教授

堀川 恵司 氏

1. 化学分析とは何をするのか

私が専門とするのは、岩石や土壌の他、いん石などの地球外物質をも対象とする地球化学と、過去の環境を調べる古環境学で、地球化学的な手法を使って過去の環境を調べている。本日は、私が行っている高層湿原の弥陀ヶ原や日本海の調査・分析についてご紹介したい。調査の対象は基本的に堆積物試料である。例えば弥陀ヶ原の試料の場合は、ハンドオーガーといわれるステンレス製の長さ 60cm の器具を木槌で地面に押し込み、少し回転させて引き抜くことで、過去から現在までの長さ 60cm の堆積物試料を入手することができる。海の堆積物の場合はもう少し大掛かりになって、研究船を使う。研究船の後ろ側にある広いデッキスペースに設置された長さ 10～20m のステンレス製のパイプをワイヤーでつり、それを海底まで下ろして試料を回収する。入手した試料は扱いやすいように長さ 1m 毎に切った後、縦半分に割る。そして、1cm 刻みで小分けにして堆積物の化学分析を行い、堆積物に記録された過去の環境記録を読み取るのである。



さらにもっと大掛かりな調査では、日本が持つ一番優秀な掘削研究船「ちきゅう」を使うこともある。「ちきゅう」は約 10 年前に建造費 600 億円を掛けて造られたもので、海底から 7km の地点まで掘削できるようにデザインされており、場合によれば 1 億年前の地層まで掘削可能な上に、マントルまで到達可能なものである。実際に今、1 億年前までの地球の環境変化は掘削船で得られた試料によって、かなり正確に分かってきている。これまでの気候変化の記録が鮮明になって一番恩恵を受けるのは考古学の分野で、11 月 8 日(日)に NHK で放映された「アジア巨大遺跡」という番組も、日本の縄文時代の発展や生活様式を取り上げ過去の気候変化との関連に焦点を当てていた。

2. 過去の環境情報を記録するもの

近年、分析技術の発展により、海底堆積物からその海の 1 万～2 万年前の水温の絶対値が入手できるようになってきた。定性的に温かったか、冷たかったかという議論ではなく、20℃や 10℃といった議論ができるのだ。この 30 年ぐらい、日本、アメリカ、ヨーロッパの国々が、既に海底堆積物を採取して過去の海水温の復元を行っている。それによって、

ある時代の地球全体の海の表面水温が分かり、地球の 70%は海で覆われているため、その時代の地球全体の気候がどうだったかも議論しやすくなっている。

陸上でも、堆積物が泥炭の場合は、そこに含まれる花粉の分析からその時代の植生が明らかになる。植生が分かれば、暖かい、寒い、雨が多い、雪が多いなど、生育できる気候条件が制約されるため、例えば雪が多い環境に適応できる樹木がいつ発達してきて、どこにいつ繁栄したのかも分かってくるのである。

また、氷床コアでは、その時代の気温変化が分かる。今、氷床が発達しているのは北半球ではグリーンランド、南半球では南極大陸だが、どちらも氷床の厚さは平均 3km で、南極の氷床が全部解けると海水面が 76m 上昇するといわれている。つまり、相当量の淡水が南極に存在しているということである。一方、グリーンランドの氷床が全部解けても海面の上昇は 6~7m といわれていて、南極の氷の方がかなり多い。氷床をくりぬいて 3km の氷の試料を取り、化学分析をすると、地表付近の過去の気温変化が連続的に分かる。

また、鍾乳洞では上からつらら石、下から石筍（せきじゅん）が成長してくるが、これらを分析すると、降水量が分かる。

3. 海底堆積物中の有孔虫の殻を使った年代測定の方法

われわれが注目しているのは、海底堆積物の中に保存されている有孔虫の殻である。殻の中に過去の水温などの海水情報が化学的に記録されているのだ。その大きさは 0.2~0.3mm で、堆積物を目の細かさが 0.06mm のふるいにかけて探し出す。有孔虫には、海底に棲む底生有孔虫と海面付近に浮遊して生育する浮遊性有孔虫がいる。いずれも動物プランクトンで浮遊性有孔虫の場合は寿命は 1~3 カ月である。また、殻の周りにスパインというとげを持ち、その長さを自在に変えることによって浮遊している。とげを短くすることで海底の方へ、長くすることで海水面の方へ浮遊できることから、生息水深を自在に変えることができる。また、動物プランクトンなので、そのとげを使って植物プランクトンを捕食している。一方、死んで化石化した有孔虫にはプランクトンの本体であった有機質の部分が分解されなくなってしまうので、炭酸カルシウムでできた殻の骨格部分しか残っていない。

現在生息している浮遊性有孔虫は、世界で約 40 種類といわれている。ブロイデス、パキデルマ、インコンプタがさまざまな海域で見られる主要な浮遊性有孔虫で、こういった有孔虫がどれぐらいの水深で生きているのかも詳しく分かっている。生息数が多い水深を調査した結果、ブロイデスは水深 0~20m、パキデルマは水深 100m 前後、インコンプタは 0~20m であった。つまり、ブロイデスとインコンプタの殻の中には水深 0~20m、パキデルマの殻の中には水深 100m 前後の海水情報が含まれているということだ。

この有孔虫の殻に含まれるマグネシウムとカルシウムの割合が水温と対応している。生きていたときの有孔虫は、海水表層にあるカルシウム、炭酸、マグネシウムなどを細胞の中に取り入れて殻を作っていく。サンゴや貝と同じように、有孔虫の殻も基本的には CaCO_3

(炭酸カルシウム) を主体としているが、100%ピュアな CaCO_3 ではなく、カルシウムに対して 1000 分の 1 ぐらいの割合で、カルシウムと化学的な挙動が似ている Mg を取り込み、 MgCO_3 (炭酸マグネシウム) という結晶を含んでいる。有孔虫が殻の中に取り込む Mg/Ca (マグネシウムカルシウム) の割合は、海水温が高いときは高く、低いときには低いというように、そのときの海水温に完全に依存して変化する。従って、有孔虫の殻から、当時の水温の変化を復元できるのである。

それが分かりやすいのは有孔虫の飼育実験だ。幼生の有孔虫を捕まえてきて、同じ海水が流れる水槽の中で飼育する。ただし、水温だけは各水槽で 15°C、20°C、25°C と異なる設定をしておく。3 カ月後、25°C の水槽で成体になった有孔虫の殻に含まれる Mg/Ca の量は、15°C の水槽よりも増えているのである。

飼育の他、日本海のさまざまな場所の年平均水温が衛星データなどから既に分かっているため、それぞれの場所で採取した海底の堆積物の表層から有孔虫を拾い、その Mg/Ca の割合を分析することで、日本海の Mg/Ca 水温換算式を作成することができる。日本海に多く見られるインコンプタの水温換算式ができたため、現在われわれはそれを使って過去の水温の復元を図ろうとしている。

さらに、過去の環境調査を行うには海底堆積物の年代が分かっている必要はないが、今は放射性炭素を使った年代測定法により、年代の測定が可能になっている。例えば、海底からの堆積物の深さが 250cm なら 1 万 1000 年前のものというように、深さを年代に読み替えることができるのである。

同様に、氷の酸素同位体比を気温変化に読み替えることもできる。例えばグリーンランドの氷床では、酸素同位体比の変化 0.67‰ が 1°C に読み替えられる。これにより、過去 1 万年で 12°C の気温の上昇があったことが分かっている。北半球の広い範囲で同じような気候変化パターンが見られるため、われわれはグリーンランドと同様の気温変化が全球的に起こったと考えている。すなわち、1 万年前以前は今よりも寒く、氷期と呼ばれる時代であった。文明が急速に発達したのは、この氷期が終わって地球が暖くなった 1 万年前からだ。

4. 新潟県沖の海底堆積物から分かる日本海の海水温変化

7000 年前を境に、新潟沖に多く生息する有孔虫は、ブロイデスから対馬暖流に優勢するインコンプタに変わった。インコンプタとブロイデスの水温換算式を使うと、新潟沖の海水温は 7000 年前に大きく上昇したことが分かる。

さらに、われわれはこれまで行われてきている先行研究と比較することで、過去 2 万年の日本海の環境変化がどのように特徴づけられるかを調査した。黒潮系珪藻種は、割合が高くなるほど黒潮が入っていたことを示すものだが、その過去 2 万年の割合を見ると、7000 年前から高くなってきている。それ以前はほとんどゼロだった。さらに、温暖な有孔虫種の割合を見ても、7000 年前から増加している。つまり、暖かい水塊が入ってきているとい

うことが見て取れる。ちなみに、黒潮系珪藻種や有孔虫の割合は基本的にパーセンテージで表されていて、暖かかった、寒かったという定性的な議論にしかかなり得ないが、有孔虫の殻の化学的な分析をすれば絶対値で水温に読み替えることができる。

日本海のさまざまな場所で堆積物を採取して分析を行い、7000 年前を境に大きな変化があったことはほぼ間違いない事実になってきた。日本海は、7000 年前以前は対馬暖流の流入は極めて弱く、基本的には津軽海峡から親潮系の冷たい水が入ってきていたとすることができる。このように水塊が変わると、何が起こるのか。7000 年前以前は日本海に親潮系の冷たい水が入ってきていたのに伴い、冷たい水を好むサケなどの魚種が日本海に流入していた。日本海側の遺跡で発掘された土器の中に含まれるおこげなどの化学分析から、7000 年前以前には、海から川へ遡上してきたサケをよく食べていたことが報告されている。

7000 年前に対馬暖流の日本海への流入が始まったことによって、日本海側は今と同じような温暖湿潤の気候になったと考えられる。黒潮系珪藻類の割合の変化を見ると、過去 7000 年、対馬暖流が出入りを繰り返していることを連想させる。過去 7000 年間の海水温は今と比べて基本的に温かいが、今から 1500~2000 年前の時期は過去 7000 年間の中でもかなり寒かったことが分かってきている。

日本海沿岸の大きな遺跡として石川県の能登半島にある真脇遺跡が挙げられるが、この集落は 6000 年前に発達しはじめて、2000 年前に衰退している。この衰退の時期が海水温の低下の時期に対応することから、気候が縄文の集落の衰退にも関与している可能性が指摘されている。青森県の三内丸山遺跡も 5900 年前から発達して、4200 年前まで続いたといわれている。三内丸山遺跡が注目される理由は幾つかあるが、一番大きな理由は、人口が最大で 500 人とされるほど、日本最大級の縄文集落であったということである（真脇遺跡の 7 倍）。土器の数は人口に対応するといわれるが、三内丸山遺跡から出土する土器の破片はダンボールで 4 万箱以上にのぼる。土器は魚を煮たりするのに使われていたと推測されている。さらに、長期にわたって定住生活が営まれており、新潟から北海道まで広い交易範囲を持つ高い文化を持っていたともいわれる。

このような三内丸山遺跡周辺での海底堆積物を用いた花粉と水温の研究を、東京大学の川幡穂高先生が行っている。花粉の組成から、1 万年前や 8000 年前は比較的寒冷で、7000 年前を境にクリ、コナラ、アカガシなど温暖系の樹種目が増え、4000 年前から減少してきたことが分かった。今このような温暖系の樹種目は福島県あたりに多いため、かつてはより温暖で、今の福島県あたりの植生がもっと北にあったということである。

さらに、植物プランクトンから復元できるアルケノン表面水温も、1 万年前から徐々に上がって 7000 年前を境に一気に上昇し、6000 年前に一度下がったが、5000 年前に最も高くなって安定していたという情報が得られている。これらの堆積物の化学的な分析から、三内丸山遺跡が発達していた 5900~4200 年前は、その前後の期間と比べるとかなり温暖な環境であったことが分かる。

考古学者の小山修三氏によれば、7000 年前以前の日本の人口は 2 万人だったが、一番暖

かかった 5000 年前には 26 万人に膨れ上がり、その後、寒冷化の影響により 8 万人まで減少したとされている。そしてその後、稲作の普及により、また人口が増える時代が来るのである。

5. 立山弥陀ヶ原の泥炭から見る気候変動

では、陸上ではどのような気温変化があったのだろうか。陸上の変化を見るための理想的な場所が湿地である。われわれは立山の弥陀ヶ原で 60cm の試料を採取して研究を進めている。この試料を 0.5cm の厚さで小分けにすると、120 のサンプルができる。その幾つかを使って花粉の分析をしてみた。

立山の湿地の堆積物である泥炭を掘ると、52cm の所に「鬼界アカホヤ火山灰」が出てくる。これは 7300 年前に噴火したことが分かっている有名な火山の火山灰で、この噴火によって南九州の縄文文化がほぼ壊滅したとか、縄文時代の遺跡が東日本に偏っている理由にこの噴火の影響があるのではないかとされている。

立山弥陀ヶ原から採取した泥炭試料の花粉分析では、この鬼界アカホヤ火山灰の層を境にはっきりとした変化が見て取れた。試料が採取できた過去 9000 年では、花粉の量としてはハンノキ属、カバノキ属、ブナ属、マツ属が多く、この四つで全体の 50% を占めていた。また、樹木としてはハンノキ属、マツ属、モミ属が 7300 年前の鬼界アカホヤ火山灰の層を境に増加し、カバノキ属は減少している。モミ属は、今、弥陀ヶ原周辺に見られるオオシラビソだろう。これはハイマツを除く針葉樹の中では、最も多雪環境に適応した樹種だとされている。同じくハンノキ属はミヤマハンノキだと思われるが、これもまた湿原環境でも生育でき、多雪地にも生育できる樹種である。一方、カバノキ属に該当するのはダケカンバで、これは高原、亜寒帯の代表的な樹種である。ダケカンバは今も多いが、特に 7300 年前以前は一番多かった樹木だと思われる。

現在の弥陀ヶ原周辺の植生分布図を見ると、基本的には標高の一番低い所にブナ属、高い所にはマツ属が分布し、その間にカバノキ属、モミ属、ハンノキ属が点在している。9000 年前や 7000 年前、日本海に対馬暖流が入ってきていない時期は基本的にカバノキ属が主体であったが、対馬暖流の流入以降は樹木の多様性が少し出てきて、特に多雪に対応できるモミ属やハンノキ属の樹木が入ってきている印象を受ける。

このように、花粉組成を調べることで、多雪に対応できる樹木が増えているので雪が降るようになったという定性的な推測もできるが、この花粉の組み合わせなら降水量や気温はどれぐらいだったという定量的な推定も一定程度可能である。さらに、降水量に着目すると、対馬暖流の影響下に入ったと思われる 7000 年前を境に、特に春、夏、冬の降水量が 1.2~1.3 倍増加したという傾向が出てきた。つまり、対馬暖流の流入により 7000 年前ごろに海面水温の上昇が起これ、海水の蒸発量が増加したことを背景に、降水量の増加と植生のダイナミックな変化が起きたことがうかがい知れるわけである。

以上、環日本海地域の環境の変遷をまとめると、7000 年前に対馬暖流の日本海への流入

が始まり、それに呼応して立山の植生も大きく変化した。同時に、現在と同様の湿潤多雪な気候が形成され、その気候に対応できる樹木が増えてきた。こうしたことが、化学分析から読み解けるようになってきたということである。