

科学の
峰々

88

取材日：2016年8月8日

東京科学機器協会会議室

国立研究開発法人 海洋研究開発機構(JAMSTEC) 生物地球化学研究分野 分野長

大河内 直彦 先生 に聞く

“地球科学” から読み解く
海洋・地球・生命の姿 上

聞き手：南 明則 日本科学機器協会 広報副委員長

鈴木 裕之 同 広報委員

藏満 邦弘 同 専務理事

岡田 康弘 同 事務局長

(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)



大河内 直彦 先生のプロフィール

〈経歴〉

- 1966年 京都市生まれ
- 1990年 東京大学理学系研究科地学科卒業
- 1995年 東京大学理学系大学院地質学専攻卒業(博士)
- 1995年 京都大学生態学研究センター 研究員
- 1996年 北海道大学低温科学研究所 助手
- 1999年 米国ウッズホール海洋研究所 博士研究員
- 2002年 海洋研究開発機構 地球内部変動研究センター入所
- 2014年 海洋研究開発機構 生物地球化学研究分野 分野長

〈主な研究テーマ〉

- 堆積物中の有機化合物を用いた古環境の復元に関する研究
- 湖沼や海洋における有機化合物の同位体比を規定する要因に関する研究
- 堆積物中の有機物を分析する新しい手法の開発とその応用に関する研究
- 堆積物中に生息する微生物プロセスに関する研究

〈賞〉

- 1998年 日本地球化学会奨励賞
- 2004年 IFREE Award
- 2009年 講談社科学出版賞
- 2013年 海洋化学学術賞



著書左から

「地球のからくり」に挑む／新潮新書
「チェンジング・ブルー」気候変動の謎に迫る／岩波書店
「地球の履歴書」／新潮選書

海底堆積物を使って 地球の成り立ちをひもとく

— 大河内先生は、現在、海洋研究開発機構（JAMSTEC）生物地球化学研究分野の分野長として研究に取り組まれているのですが、まずは、ご経歴とこれまでの研究の概要についてお話しいただけますか。

大河内 私は東京大学の理学部地学科を卒業後、そのまま大学院に進んで、1995年に博士号を取得しました。大学院の頃から海洋研究所に所属しており、海底の堆積物を採取して、そこから過去の気候変動を読み解くという研究を行っていました。

当時、海洋研究所は東京・中野にありました。そこで、とても辛かった思い出があります。毎年、船に乗せられ、海底の堆積物を採集に行かなくてはいけないことでした。少し大きめの漁船程度の500トンぐらいの船に乗るのですが、海洋の研究者でありながら船酔いがひどく、酔うと何もできない状態になっていました。(笑)

これでは続けられないと思い、東大・大学院卒業後は京都大学の生態学研究センターへ行き、いわゆるポスドク(博士研究員)となりました。

海底堆積物の研究はそこでいったん途切れ、少し別の方向へシフトしたのですが、1年ほどした頃、北海道大学の低温科学研究所に

誘われ、助手として就職しました。

北大・低温科学研究所に行ってみると、オホーツク海で特別なプロジェクトがスタートするということで参加することになり、再び海底堆積物の研究に戻りました。

北大には3年ほどいましたが、その後、99年にアメリカのウッズホール海洋研究所に移り、博士研究員として3年ほど過ごします。そこでは、海底堆積物の中から特定の有機化合物だけを生成して、その放射性炭素年代を測定するという研究に取り組みました。

2002年になり、当時は海洋科学技術センターという名称でしたが、現在の海洋研究開発機構といくつかの研究機関が連携して、固体地球統合フロンティア研究システムという新しい研究組織が発足することになり、研究者を100人ぐらい募集していました。

そのとき私も声をかけられ、アメリカから日本へ戻り、海洋科学技術センターに入所することになりました。以来、海底堆積物を使って、地球の成り立ちや気候の歴史をひもとくという研究を続けています。



2000年アメリカ・ウッズホール海洋研究所にて

海底堆積物の研究プラス 海に棲む生物との相互研究

— 海底堆積物の研究とはどのようなものか、簡単にご説明いただけますか。

大河内 特に私の専門は、堆積物中に分布する有機物を用いて過去の海の環境を理解することです。海の中では多種多様な有機物が生まれ、それが日々海底にたまっていきます。昔に形成された堆積物中の有機物を分析することによって、かつてそこにどんな生物がいて、どんな暮らしをしており、炭素や窒素といった地球システムがどのように駆動されていたかを知ることができます。

海洋の研究に取り組んで25年ほどになりますが、研究は徐々に深化するとともに広がり、内容も少しずつ変化してきました。

現在、私の仕事の半分は海洋堆積物の研究で、残りは海に棲む生き物の相互作用の研究に取り組んでいます。

— 先生は地学科のご出身ということですが、私たちが考える地学という分野からすると、研究の対象はとても幅広いものなのですね。

大河内 昔から多くの大学には地学科があり、そこで研究されていた地球科学の多くが固体地球を対象としていました。つまり、応用物理学的な学問で、地球がひと

つの惑星としてどんな振る舞いをしているのかを理解するものでした。

しかし、20世紀が終わり、地球温暖化、富栄養化、生物種の絶滅など地球レベルの環境問題が起きています。これらはまさしく私たちの身の回りで今起きつつあることですが、では誰がそういった問題の解明をするのか、となると、それは地球科学の分野となります。

当時、そういうことを研究している人はあまりいませんでした。しかし地球温暖化の影響や環境破壊などをきちんと理解するためには、地球環境が生物活動とどのように関わっているかを理解せねばなりません。地球科学は、現代社会に横たわる多くの問題を解くカギをもっているのです。

私の場合、ツールとして基本的には化学、特に有機物、そしてその中に含まれる同位体の分析を用いています。それらを使い、現在や過去の環境を生物という窓を通して理解することができます。

例えば、よく知られている食物連鎖という概念があります。地球というこの星には何千万種という生き物がいますが、それらの生き物が何を食べているのかは、地球を流れるエネルギーの連鎖に他なりません。それらを理解することは地球上で起きている炭素循環の基礎的知見です。

植物は光合成によって、二酸化炭素と水から酸素と有機物を作り、あるいは、死んだ動物たちがバクテリアに分解されることによって、有機物は無機物に戻り、それがく

るくると回っています。これをアミノ酸の窒素安定同位体比や放射性炭素を測定することによって、これまで以上に正確に理解できることを明らかにしました。

現在、大気中の酸素の割合は20%ほどですが、なぜ20%になったのか?それには生き物が大きく関わっています。また、地球温暖化は人間が地下から掘り出した石油を、生物が処理しきれないほど大量に使っているために起きていることで、これを生物のプロセスから理解することも大切です。

海洋・地球・生命に関する 国内最大の研究機関 JAMSTEC

—— 大河内先生が所属されている海洋研究開発機構（JAMSTEC）の概要や取り組まれている研究をご紹介しますか。

大河内 JAMSTECは国の研究機関ですので、国へこのような研究を行いますと提案し、それに対して国からその研究は良いとか、ダメだとか、あるいは、こんな研究を行いなさいといったテーマや回答を受けて5年の中期計画を作ります。その計画によって予算を付けていただき、研究を行っています。また、外国人を含めて約400名の研究者がおり、地球科学の研究所としては日本で一番大きな組織です。

—— 海洋研究開発機構のホームページを拝見すると、「海洋・地球・

生命の統合的理解への挑戦」というフレーズがありますが、主にどのような研究を行っているのでしょうか。

大河内 JAMSTECの組織は主に、①「生物」、②地震や火山などの「固体地球」、③気候などの「地球環境」の3つに分かれており、それぞれの分野が互いに連携をとりながら研究を行っています。

私が属しているグループは「生物」で、生物プロセスの視点から地球環境を研究しています。

JAMSTECは別の切り口から見ると①「戦略研究開発領域」と②「基幹研究領域」とに分けられます。

①戦略研究開発領域で力を入れている研究には、地震や津波、海底資源、地球温暖化などがあります。

地震や津波の分野では、例えば、南海トラフ地震を引き起こすひずみが、どのくらい溜まっているのか、そうしたことを理解するような研究が行われています。

海底資源に関する研究は、国からもしっかり取り組んでほしいと言われていた分野です。数年前に中国からのレアメタルの輸入がストップしたことがありましたが、それがちょうど5カ年計画の切り替えのときで、このテーマが採用されました。

今、陸上で採掘されている鉱物の多くは、もともとは海底火山の火口のあったところなのですが、海の底にある熱水域にはたくさんの金属が溜まっています。海底火山の火口に冷たい海水が入り、熱

産学官との連携

せられた海水に金属が溶け、それが冷やされて鉱物ができる。それを日々繰り返すことで、有用な鉱物が徐々に溜まっていきます。

そのプロセスを研究し、可能ならば、溜まった資源を海底鉱山のように利用しようという研究を行っています。

地球温暖化はここ20年あまりで顕著になってきた問題ですが、例えば、JAMSTECでは地球の7割を占める海洋で、たくさんのブイを用いて測定を行っています。

ブイの中には海の中を1,000メートルくらい自動で潜るものもあり、それらによって海水温などをモニター

し、データを管理集約し、地球温暖化の研究に役立てています。

私は生物地球化学研究分野のほかに基幹研究領域にも所属しているのですが、この②「基幹研究領域」では、戦略研究開発領域で行っている研究を下支えする基礎科学の研究に取り組んでいます。



地球深部探査船「ちきゅう」 無人探査機「かいこう」

東北海洋生態系調査研究船「新青丸」

深海探査機「おとひめ」

JAMSTECが切り拓く海洋技術開発のイメージ



有人潜水調査船「しんかい6500」



JAMSTEC 国立研究開発法人
海洋研究開発機構
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

<http://www.jamstec.go.jp/>

画像提供：海洋研究開発機構

30数億年前に自然発生した生命誕生の大イベント

——地球がどのような歴史を歩んできたのか、大気環境や海洋環境はどのように変遷してきたのか、研究によって明らかになってきたこととお教えいただけますか。

大河内 地球は46億年前に誕生し、これまでにさまざまなイベントがありました。イベントの中でも特に重要なのが生命の誕生です。一般的には生命は40億年近い前に生まれたと言われています。ただし、これは作業仮説であって、検証することが難しいため、本当かどうかは実はよく分かりません。

——生命は自然発生によって誕生したのでしょうか。

大河内 そうですね、生命は自然発生によって生まれたと考える研究者は多いですね。それを化学進化と呼びますが、原始的な地球上で、純粋な化学反応が起き、アミノ酸など簡単な有機物ができます。その後、それらが重合してエネルギーを得るための機能をもつようになっていったと考えられています。

ただしエネルギーを得る機能が誕生しても、そういった分子が分解してしまえばしょうがありません。細胞分裂や遺伝のように命がつながり再生するシステムもその頃身に付けたようです。

その後、光合成をする生き物が

生まれ、無機物を有機物に変えることができるようになりました。光合成は海底の熱水付近、あるいは、浅い海でできるようになったと、いくつかの説があります。これも30数億年前と言われています。

地球が誕生したとき、地表には酸素はなかったのですが、光合成によって酸素が環境中に放出されるようになりました。やがて大気中に酸素が蓄積され、動物が酸素呼吸できるようになります。酸素呼吸はエネルギー的にはとても効率がよく、大きなエネルギーが生まれます。

化石からすると、生命の誕生から約30億年は微生物のような比較的単純な形態でしたが、約6億年前に私たちの先祖が生まれました。その頃の大きな変化として、大気中の酸素濃度の増加が想定されています。酸素濃度が生物の進化を後押ししてきたと考えられているのです。

——大気中の酸素濃度は、地球誕生以来、どのように変化してきたと考えられているのでしょうか。

大河内 生命が進化し、光合成をするようになって、光合成によって生み出される酸素は、周囲の物質を酸化するために使われてしまい、大気中には蓄積しませんでした。

酸素が蓄積するようになるのは、環境中にあるものを酸化し尽くしてしまい、酸化するものがほとんどなくなってからです。それが22～23億年前と言われています。大気中

の酸素濃度は現在21%ですが、22～23億年前は現在の20分の1、つまり1%ぐらいの酸素濃度になっていたと考えられています。

——地球で生命が誕生し進化するために、太陽と地球の距離はよかったと言えるのでしょうか。

大河内 私たちの体にとって水はとても重要です。地球の温度をコントロールしているのは太陽と地球の距離ですから、そういう意味ではちょうどよかったと思います。

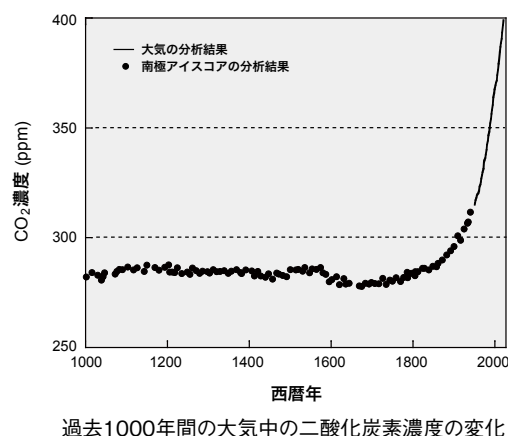
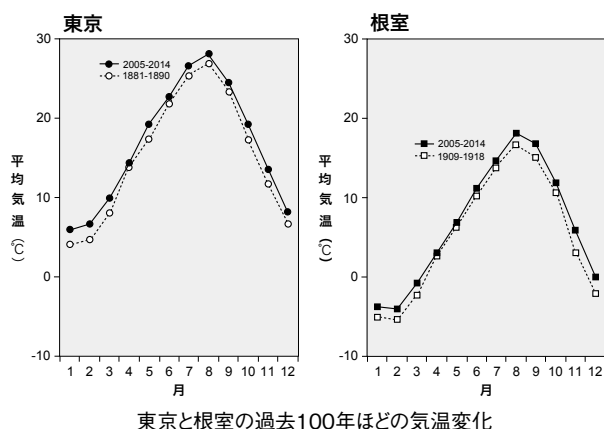
——地球以外では、火星に生命がいたのではないかとされていますが、可能性は高いのでしょうか。

大河内 火星の気温は、夜にマイナス数十℃、昼は0℃ぐらいになるので、生命はいたかもしれません。火星にはアメリカが惑星探査機を送り、火星の土を採取して分析を行っています。ただし、その結果を見ても、生命がいたという確かな証拠はまだありません。

——地球が誕生して46億年、海洋に関しては、どのような変遷があったのでしょうか。

大河内 太陽系の惑星は、宇宙に浮遊していた隕石が集まって形成されていきました。生まれたばかりの地球は高温で溶けていましたが、固まる過程で、水が表面に集まってきて、海を作りました。

地球の海の環境を大きく変えた



のも生命の誕生と光合成で、二酸化炭素を取り込み酸素を出すことで、海洋のpHの値も上がっていったと考えられています。

温室効果ガスとなる二酸化炭素のメカニズム

——このところ地球温暖化が大きな関心を呼んでいます。地球温暖化のメカニズムをご説明いただけますか。

大河内 地球温暖化を引き起こしているのは、大気に含まれる二酸化炭素などの温室効果ガスです。

地球は太陽から受けたエネルギーと等量のエネルギーを宇宙へ放出しています。ところが、二酸化炭素などの分子には共鳴という物理的なメカニズムがあり、地表から放出された赤外線をいったん吸収します。このため大気中に二酸化炭素が増えると、その分だけ、多くのエネルギーが大気中に一時的に蓄積されてしまうのです。二酸化炭素が赤外線をいったん吸収するのは、19世紀から知られてい

る物理現象です。

なお、大気中に多く存在している酸素や窒素などの二原子分子は赤外線を吸収することはない、三原子以上の分子が赤外線を吸収します。

そして、大気中の二酸化炭素が増えているのは、私たち人間が石油などを地下から掘り出し大量に使っているためです。

——地球はこの先もどんどん暖かくなっていくのでしょうか。

大河内 年によって多少気温は上下しますが、長いタイムスケールで見れば、この先も確実に温暖化していきます。

——その二酸化炭素を増やす原因となっている石油は、地球にはまだまだ埋蔵されているのでしょうか。

大河内 石油はまだまだたくさんあります。石油は大昔、光合成によって作られた有機物が地下に溜まってできたものです。石油になっていない有機物もありますが、地下

に埋まっている有機物量と大気中の酸素量は、大雑把に言うとはほぼ同じであり、理論的には、酸素が大気中からなくなるまで有機物は存在します。

先程も説明したように、地球が誕生したとき、地表には酸素はありませんでした。やがて生命が誕生し、光合成をするようになり、二酸化炭素と水が反応して、有機物と酸素ができるようになりました。

現在、たくさんの酸素が大気中にあるということは、その分、どこかに有機物があるわけで、それが地中に埋まっているわけです。

もし陸地で石油が見つからなくなったとしても、海底を探せば、まだまだ石油は見つかります。メキシコ湾の海底油田では1,000メートルあまりもパイプを伸ばして石油を海底から掘り出しているところもあります。人類が実際にそれをどの程度掘り出すかは、単にコストの問題です。

次号「科学の峰々」では引き続き、大河内直彦先生“地球科学”から読み解く海洋・地球・生命の姿（下）をお話いただきます。