科学の峰々 88

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 下

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㈱　安井久雄）

取材日：2016年8月8日
東京科学機器協会会議室

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

地球に氷河期と間氷期が周期的に訪れる理由

── これまで大河内先生のご経歴やJAMSTECの概要などについてお話を伺ってきましたが、ここで先生のご専門である海底の堆積物を調べることによって分かってきた、地球の気候や海洋の変遷についてお聞きしたいと思います。

大河内　海底から掘り出した堆積物を調べるときに着目する点は、堆積物の中に入っている有孔虫というプランクトンの化石です。この化石は炭酸カルシウムでできていて、その中にある酸素の安定同位体比を測定します。そうすることで、過去の水温や氷床量を推定することができるのです。

そこから分かるのは、地球は数万年というスケールで、周期的に氷河期になったり間氷期になったりしているということです。氷期と間氷期の気温変動の幅は平均で7℃ぐらいだと考えられています。

── 周期的に氷期になる理由は分かっているのでしょうか。

大河内　太陽が与えるエネルギーが地球の唯一のエネルギー源ですが、その太陽エネルギーが地球の北半球高緯度に、夏季、どれだけ当たるかが重要な鍵になります。地球に届く太陽エネルギーの総量は変わらないのですが、北半球は陸地が多いため、暖まりやすく冷めやすいからです。他方、南半球は海洋が多いため、暖まりにくく、冷めにくく気候のバッファーとなります。

また、地球の自転軸の傾きは現在23.4度ですが、この傾きは固定されているわけではなく、約4 万年周期で、2度程度変化します。このため太陽の入射エネルギーが変わり、地球の気候に影響を与えるのです。

さらに、地球が太陽の周りを回る公転軌道も影響します。公転軌道は楕円を描いていて、これにより太陽と地球の距離は日々変わります。公転軌道の楕円も、木星の重力の影響を受け、少しずつ変わります。これらによって太陽と地球の距離が変わり、太陽から受けるエネルギー量もわずかですが、変化します。

こうした変化を加味すると、氷期と間氷期についてうまく説明できるのです。

これまでの研究によると、北緯60度あたりで、夏に当たる日射量が鍵になるようです。その日射量の違いによって、氷期になったり、間期になったりしていて、地球は氷期と間氷期の2つがあって、安定しているのです。

ちなみに、地球の軌道の変化と氷期、間氷期を初めて関連づけたのは、ミランコビッチというセルビアの研究者で、1920年代のことでした。

それともう一つ、地球の気候システムにとって大きな働きをしているものに海洋の大循環があります。太陽からのエネルギーは低緯度の地域で多く、高緯度の地域では少ないので、そのままだと赤道付近はどんどん暑くなってしまいます。しかし、そうはなりません。

理由は低緯度域から高緯度域へ大気や海洋によって熱が輸送されているためです。海洋は熱輸送のおよそ3割を担っており、その半分が海底の深層水循環の働きによります。低緯度からスタートした暖流は、極域で冷やされ海底へ沈み込み、エネルギーを再分配しているのです。

江戸時代は気温が低く明治になり気温が上昇

── 地球の気温は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　過去1300年間の北半球の気温変動を見てみると、例えば、奈良時代の終わりごろは、今よりも少々寒く、平安時代の中ごろは現代に近い気温でした。鎌倉時代から室町時代は現在よりも気温は少し低く、江戸時代はさらに寒くなりますが、明治時代になり気温が上がり始めます。

1900年から第2次世界大戦あたりまでは少しずつ温暖化していき、その後やや涼しくなりますが、1970年代半ば以降から現在まで気温はずっと上昇し続けており、温暖化の傾向が見られます。

東京の平均気温を見ると、この130年の間に3.5℃ほど上昇しています。東京の場合は地球温暖化とともに、都市化の影響もあります。都市化していないハワイを見てみると、過去100年の間に1度ほど上昇しています。

氷河期だった2万年前に比べ海面は130メートル上昇

── 海水面については、どのように変動してきたのでしょうか。

大河内　氷床はもともとは海水で、それが蒸発し雨や雪となってできたものです。氷河期には氷床の分だけ海水量が減り、海面が下がります。約2万年前の氷河期には、海面は現在より130メートルほど低いところにありました。その後、氷期から間氷期にかけての気温の上昇とともに、何度かの急激な海面上昇が起こっています。

例えば、旧約聖書にあるノアの方舟の話は、黒海で起こった洪水ではないか考えられています。現在、黒海はトルコにあるボスポラス海峡で地中海とつながっています。ボスポラス海峡を跨いで広がっているのがイスタンブールの街です。

ボスポラス海峡の水深は30～40メートルほどですが、氷期にはここは陸地で、黒海は湖でした。ところが、ある時期、海面が急に上昇したことにより、海水がボスポラス海峡から黒海に流れ込み、黒海沿岸に大洪水が起こったのです。

── 近年の海面上昇は、どのくらいのペースで進んでいるのでしょうか。

大河内　明治維新の頃は、海面は今より25センチほど低かったことが分かっています。1900年代は平均して年間2ミリのペースで上昇するようになり、2000年代に入ると年間3ミリのペースになりました。去年は1年で3.4ミリ海面が上昇しており、過去数千年の中でもっとも海面が上昇した年になりました。

海面上昇の理由は、山岳氷河が溶けたことや、海の表面の水温が上がって海水が少し膨張したことなどが挙げられます。

── 年間3ミリのペースで海面が上昇すると、単純に計算すれば100年後には30cm上昇することになりますね。

大河内　今、心配されていることがあり、それはグリーンランドや西南極の氷床が崩壊することです。これらの場所では大きな氷床が陸地から海へ伸びて、例えるとオンザロックのように氷床が海水に浸かっている状態になっています。

これらの氷床は少しずつ溶けているのですが、海水温が上昇してどんどん溶けていくと、あるところで崩壊することが懸念されています。これが今、研究のターゲットになっていて、もしそうなると海面は一気に3～4メートルほど上昇すると考えられています。

――もし地球上の氷床が溶けてしまうと、どういうことが起こるのでしょうか。

大河内　南極とグリーンランドの氷床が溶けてしまうと、海面は60メートルほど上昇します。

地球温暖化の悪いシナリオということで言うと、今、気候の研究者の間で懸念されているのが、超間氷期があるかもしれないということです。地球温暖化があるポイントを超えてしまうと、温暖化が一気に加速していくというものです。

それに関してモデルシミュレーションが行われていますが、いつ起こるかは現時点では分かっていません。

――海抜の低い土地や国にとっては深刻な問題ですね。

大河内　地球温暖化は気温の上昇や海面の上昇だけでなく、別の問題も引き起こします。それは国の安全保障の問題にもなっていくかもしれません。

現在も海面すれすれの国では、海面上昇によって人々が住めなくなります。そうなれば隣国へ人々が移動したり、それによって戦争が起こる恐れもあります。

また、地球温暖化によって、雨の降る場所が変わっていきます。そうすると穀物生産にも変化が起き、世界的な食料不足や食料問題を引き起こすかもしれません。このままだと、地球温暖化は深刻な政治経済の問題になっていくでしょう。

南極の氷の分析から過去の二酸化炭素濃度が分かる

――地球温暖化の要因となっている大気中の二酸化炭素の濃度が、過去から現在までどのように変遷してきたかというのは、どのように調べるのでしょうか。

大河内　南極やグリーンランドの氷床には、太古の氷が堆積しています。その氷の中には気泡が閉じこめられています。そこから過去数十万年にも及ぶ大気中の二酸化炭素濃度が復元されました。

また、1950年代にアメリカの研究所が、ハワイや南極で大気中の二酸化炭素濃度のモニタリングを始め、現在に至っています。

それらの研究結果を見ても、産業革命以降、大気中の二酸化炭素の濃度が大きく上昇していることが分かります。

――COP（国連気候変動枠組条約締約国会議）に関する報道などを見ても、温暖化の対策で世界がまとまるのは難しいようですね。

大河内　国際会議を開き、いくら枠組を作っても、各国は総論賛成、各論反対で、対策はあまり進んでいないというのが実情でしょう。科学者たちがどんなに温暖化の危険性を指摘しても、政治や経済の状況によって多くの政策は決まるので、なかなか対策は進みません。

地球温暖化問題はこの数年で潮目が変わったように感じます。以前は、温室効果ガスの排出を削減し、温暖化を食い止めようというス

タンスでした。しかし、最近は大幅な排出削減は無理なので、温暖化にどう対処するかという視点に変わってきているように思えます。

その1つは地球工学、ジオエンジニアリングといい、排出した二酸化炭素を液化して固定し、地中に埋めて、回収しようというものです。

技術的には可能ですが、コストが高く、また、埋める場所の問題や、埋めた二酸化炭素が漏出した際の対応など、まだ越えねばならない多くのハードルがあります。残念ながら、この技術はまだ試験運用の段階と言えるでしょう。

科学者に大切なのは論理的思考や集中力

── 話題は変わりますが、先生が学問に興味を覚え、地質学の道に進むことになったきっかけをお話しいただけますか。また、日本の理科教育について思うことを、お聞かせいただけますか。

大河内　学問に興味を持ったのは、父が言語学の研究者だったことも影響したように思います。地質学に進んだのは、なんとなく昔から地学と馬が合ったためです。

高校になると理系と文系に分けられますが、実はそれ以前はずっと文系でした。理系だと理科はだいたい物理や化学を取りますが、地学は暗記科目のようなところがありましたね。

ただ、高校時代は1年生から3年生まで、ハンドボールばかりやっていて、京都府代表にもなったのですが、成績は中ぐらいでした。

通っていたのが進学校だったこともあり、頑張ればなんとかなるというところがありました。その辺りは進学校のメリットかもしれません。

── 先生の息子さんは現在、高校に通っていますが、今の高校について感じることはありますか。

大河内　私立の高校へ行っているのですが、私たちの頃とは全然違い、英会話やディベートの授業、IT関係の特別なセミナーがあったり、学校が海外留学やホームステイの面倒をみてくれたり、自分たちの頃にあったらよかったのにと思うようなものがいろいろあって、驚かされます。

── 大河内先生は科学者としての道を歩んでこられたわけですが、科学者に必要なことはどのようなことだと思われますか。

大河内　日本ではペーパーテストで何点取ったかによって、自分は理科が苦手なので理系には行かないとか、数学ができないから文系に行くとか、決めてしまうところがあります。高校などの進路指導もそんな感じで進んでしまうのでしょう。

しかし、科学者にとってもっと重要なのは、科学的思考、論理的思考ができるかどうかということです。それと集中して何かを何時間でもやっていられる人なら誰でも、研究者に向いていると思います。

── このところ世界の大学ランキングがメディアなどでも報道されるようになり、東京大学をはじめ日本の大学の順位が、以前と比べて落ちていると言われますが…。

大河内　大学のランキングを算出するとき、論文や外国人教授や留学生の数など、多くのポイントがあり、ランキングを作っている機関がそれに係数をかけて順位を出しています。ランキングを作るところが、自分の国の大学が有利になるような係数を勝手にかけることもできるわけですから、そういうランキングを気にする必要はないでしょう。

ランキングが好きな人や気にする人はけっこういますが、日本の大学は相変わらず高いレベルにあると思います。ただ国際化という点では、日本の大学は確かに遅れていると思います。日本には日本語という特殊な言語体系があり、あらゆる分野の教科書が日本語で書かれています。その点、他のアジアの大学、例えば、フィリピン、インドネシア、マレーシアなどでも、授業を英語で行っています。そのあたりが、日本の大学の国際化が遅れている要因のひとつです。

科学機器は自分の手で徹底的に改造

── 地質学や気候の研究では科学機器は欠かせない道具だと思いますが、主にどのような科学機器を使われているのでしょうか。

大河内　私がよく使っているのはガスクロや高速液体クロマト、質量分析計などです。基本的に機器は自分たちでチューンナップします。そこまで改造するのかと言われるくらい、手を加えていて、中には改造に失敗したものもあります。

機器は高額ですが、科学の世界でよい仕事をした人には、そうやって自分たちで機器に手を加えてきた人が多いのではないでしょうか。

分野にもよりけりでしょうが、売られている機器をそのまま使っていても、トップには立てません。それを目的に合わせて改造し、他の研究者が出せないデータを出したい。それが研究者としてのメンタリティーです。

そのようにして得た研究成果や機器がやがて評価され、どこかの企業がその機器を作る。誰かがそれをまた改造して新しい研究成果を出し、さらに新しい機器が生まれる。科学の世界はそれを繰り返してきたわけです。

大局観を持って進むべき道を探る

── 最後に、研究サポート産業である科学機器業界に身を置くメーカーやディーラーに対して、ご意見やご要望などがあれば、お聞かせいただけますか。

大河内　私たちの研究分野にはいろいろな観測調査があり、実験屋からすると分析機器がないと何もできないと言えるくらい重要な存在です。

私から科学機器のメーカーに望むことは、私たち研究者と一緒になって、目的に合わせた機器の最適化や改良を一緒になって考えてくれるコンシェルジュ的な人がいてほしいということです。私たち研究者のリクエストは、配管を少し曲げてほしいとか、比較的細かいものが多いのも事実です。

そういう要求にきちんと応えてくれるところは、どうしても小規模な会社ばかりになりがちです。これが大きな会社になると、機器を長く使っていると、そろそろ機器を買い替えませんかと言われ、ビジネスに組み込まれている気がして戸惑うこともあります。

それともう一つ、最近、感じるのは、社会全体が新たに作られたさまざまな細かいルールや、収益など目に見える数字に縛られすぎているのではないかということです。さきほどの大学ランキングもその一例かもしれません。

科学界においては、データの捏造などしばしば問題が起こり、ルールを守ることは間違いなくきわめて重要なことです。しかし、こういったことに過度に捉われて、自由な発想やチャレンジ精神といった科学を進歩させる原動力が削がれることも同時に問題です。この10年ぐらいの間、私は窮屈さがずいぶんと増した気がします。何事も長所と短所がありますが、両者の間でバランスをとるという大局観を失ってしまっては、元も子もありません。常に変わりゆく世の中と、変わってはいけない科学のマインドとのバランスについて、今こそじっくりと見つめ直す時期ではないかと感じています。

科学機器メーカーも、短期的な収益という視点だけでなく、並走する科学者と長い目で共存共栄するという視点を是非忘れないでいただきたいと思います。そためにも、10年、50年、100年という長いタイムレンジの大局観を持っていただければ思います。

次号「科学の峰々」では、
理化学研究所
放射光科学総合研究センター
石川哲也先生にをお話いただきます。