



小宮准教授を囲んで。ハンマーはフィールドワークの際、岩石採取の必須アイテムだ

登場願ったことには。小宮准教授の研究室では、コンピュータによるシミュレーションではなく、物質科学の手法を駆使して、地球の進化を固体地球、大気・海洋、生命進化の面から総合的に解説し、それぞれの相互作用を読み解く地球生命環境進化史を研究している。キーワードは最古プレートテクトニクス、冥王代地殻、全凍結、生命進化、最古多細胞動物出現およびカンブリア大爆発の原因など。研究成果については、本稿を読んでほしい。

鎌田教授や小宮准教授など地球科学者の研究の基礎となるのは、野外での調査フィールドワークだ。彼らは事実を確かめるために、地の果てまで出かけていく。火山学を専門とする鎌田教授は、かつて

見たい! 知りたい!

# 大学探検隊

a college expedition

## 地球科学——地球46億年の旅を科学する!

探検大学

東京大学大学院総合文化研究科 小宮研究室  
京都大学大学院人間・環境学研究科 鎌田浩毅研究室

アラスカの無人島オーガスティン火山まで飛んでいったが、教授のメールには、「知的好奇心に駆られながら誰もがあきらめるような辺境に普遍を探るのが、地球科学者の人生でもある。こうした作業を延々と続けた結果、ユニバーサルなサイエンスに組み上がる瞬間は、何にも代えがたい喜びなのだ」と記されていた。

これはまた、小宮准教授も同様のようだ。小宮研究室のこれまでの海外における調査地域は5大陸を網羅し、それも辺境ばかり。小宮准教授自身、海外のフィールドワーク先で骨折したという武勇伝も持ちだすと聞く。

鎌田教授のメールの引用を続けよう。「これは『現場主義』もしくは『本物主義』と呼ばれるが、本物を自分の目で見て初めて現象の本質が理解できる経験を共有している。『百聞は一見に如かず』のことわざどおり、新しい発想が湧き出る新天地に出向く作業をいとわない」

こうして本物の自然に直接触れることで、人が本来持つ想像力が刺激され、イメージの扉が開かれるのだそう。

**地球史七大事件とは何か?**

「地球史七大事件」とは何かという議論

### 人間の歴史を地球史の中に位置づける視座を

政治や経済だけでなく、何ごとにつけ地球レベルの視点、発想が求められる時代になった。歴史ももちろん例外ではない。日本史や世界史を勉強するときも、46億年に及ぶ地球史の中にそれらを位置づける視座を確保しておきたい。6年前の東日本大震災、94年前の関東大震災を持ち出すまでもなく、地球の大地変動が人間の歴史を大きく変えたケースはいくらでもあるわけだから……。

そんなことを考えていたら、昨春秋格好の書物が出版された。『地球の歴史』(中公新書) 全3巻。著者は京都大学大学院人間・環境学研究所の鎌田浩毅教授。上巻「水惑星の誕生」・中巻「生命の登場」・下巻「人類の台頭」と銘打たれたこの本は、800ページに近い力作だが、読み始めると、もう止まらない。しかも目からウロコがバラリ、バラリと落ちて

### 地球科学ライブラリー

地球46億年の歴史の秘密がよくわかる本を紹介しよう。ブルーム・テクトニクス理論を提唱した丸山茂徳氏は、かつて本コーナーにご登場いただいたこともある方だ。

『地学のツボ 地球と宇宙の不思議をさぐる』  
(鎌田浩毅著 ちくまプリマー新書)

『地学ノススメ「日本列島のいま」を知るために』  
(鎌田浩毅著 講談社ブルーバックス)

『京大人気講義 生き抜くための地震学』  
(鎌田浩毅著 ちくま新書)

『生命と地球の歴史』  
(丸山茂徳・磯崎行雄著 岩波新書)

『地球と生命の46億年史 科学と人間』  
(丸山茂徳著 NHK出版)

が地球科学者の間で続いているそう。鎌田教授は、第一事件「地球誕生と月の形成(46億〜45億年前)」、第二事件「海の形成と生命の誕生(40億〜38億年前)」、第三事件「地球磁場の形成と大気酸素濃度の増加(27億〜25億年前)」、第四事件「全球凍結と爆発的生物進化(8億〜6億年前)」、第五事件「ブルームの冬による生物大量絶滅(2億5000年前)」、第六事件「隕石衝突と哺乳類の進化(6500万年前)」、第七事件「人類誕生と知的探求の開始(700万年前〜現在)」の七つを挙げているが、近年、地球科学研究の進展が著しいのは、プレートテクトニクス理論の定着とこれと対をなすブルームテクトニクス理論の確立が大きく

寄与している。そして、ブルームテクトニクス理論の提唱者は、東京工業大学の丸山茂徳特命教授なのだ。この方の直系の弟子筋に当たる小宮准教授は、こう語る。

「プレートテクトニクスが水平の動きであるのに対し、ブルームテクトニクスは地球内部の垂直の動きを説明する理論です。マントル内に温度の異なる固まりがあり、周囲との温度差でマントル内を上下し、その動きが地殻に影響を与えているという理論ですね。この理論によってプレートテクトニクスでは説明できなかった現象がうまく説明できるようになったのです」

水平の動きと垂直の動きですか。では、地球46億年の歴史探検に出かけることにしよう。

取材・文／浅松須磨夫 撮影／浅野剛

これはぜひ、研究室を探検させていただかなければ、と鎌田教授とコンタクトを取ってみたが、どうしてもスケジュールの調整がつかない。困り果てていると鎌田教授が「署名原稿を寄稿する形なら」と助け舟を出してくださった。

本コーナーはこれまでインタビュー形式だけだったが、今回初めて研究室の責任者から寄稿していただいた。京都大学志望の読者にとっては、一足早く鎌田教授の生の講義を読む貴重な体験になるはずだ。じっくり味わってもらいたい。

### 事実を知るために地の果てまでも出かけていく

鎌田教授は火山や地震など地球がダイナミックに動く現象を研究している地球科学者だ。研究歴は約40年。ならば、もう一つの探検先は気鋭の若手地球科学者の研究室を、ということで、東京大学大学院総合文化研究科の小宮剛准教授にこ

# 地球生命環境進化史

東京大学大学院総合文化研究科

小宮研究室

## フィールドワークに基づく物質科学の手法を駆使して 地球最古の39・5億年以前の岩石、生命の痕跡を発見！

46億〜40億年前の冥王代に  
どこまで迫れるか!?

地球と生命の「共進化」の歴史を研究している小宮研究室。だが特に力点を置いているのは、気が遠くなるほど古い地質時代に関する研究のようだ。同研究室の面々にとって、パンゲア、ゴンドワナなど超大陸の離合集散、恐竜の繁栄と絶



小宮剛准教授

滅などとはつい最近の出来事。主たる研究テーマは、地球誕生後マグマオーシャンで地表がドロドロに溶けていた、冥王代（46億〜40億年前）と呼ばれる時代にと

ころまで迫れるかなのだ。

「もちろん他の時代の研究も行っていますが、私自身が古い時代が好きなので」

苦笑交じりに、こう語り始めたのは研究室をリードする小宮剛准教授だ。

「日本の地質体はけっこう若く、大体4〜5億年前、とことんさかのぼっても8億年前ですから、古い年代の情報を求め海外に向く機会が多くなります。昨年はカナダのヌブアギソック表成岩帯（噴出岩や堆積岩など）、西オーストラリアのジャックヒルズ礫岩を調査してきました。

今年度は西グリーンランド南部のイスア表成岩帯や南中国の地質調査を行う予定です」

その他、北大西洋のスヴァーバル諸島、太平洋のソロモン諸島、チリ、ロシアなど、海外でのフィールドワークの実績は数え上げたらきりが無い。

「でも、古い地層ならどこでもOKというわけではありません。地表への露出の善し悪しがありますし、また変成作用の影響もあります。それが生まれた後、新たな地層が重なり、高温・高圧状態になって、中に含まれる鉱物に変化しているケースもありますから」

でも、そんな古い時代の岩石をどんな方法で調査・分析しているのだろうか。

のシナリオが裏付けられれば、まさに快挙といえるだろう。そして近年、小宮准教授らは注目すべき研究成果を上げている。

地球最古の39・5億年以前の表成岩を発見、さらにその岩石中から、定説を1億年以上更新する、現存する最古の生命の痕跡も発見されたのだ。

**鉱物は太古の情報が詰まった  
タイムカプセル！**

小宮准教授はこの表成岩をどのようにして発見したのだろうか。また、その年代を39・5億年以前と特定した方法についても、ぜひレクチャーしていただきたい。

「この岩石は、カナダのラブラドル地方でフィールドワークした際に発見したものです。我々はまず、対象地域の地層を丹念に調査し、その構造について検討しました。多数のパーツに分かれた地層の重なり具合、切れ目の入り方などですね。そして、それらの構造から最も古いパーツを割り出し、そこから最古の岩石を発見したのです」

小宮准教授は、発見に至るプロセスを丁寧に説明してくれたが、とても複雑で、まるで難解なパズルに挑んでいるような気分だ。では、どんな方法で39・5億年

以前のものと特定したのか。

「岩石に含まれていたジルコンを化学的に分析して特定しました。ジルコンはウランと鉛を含んでいますが、ウランの娘核種である鉛はもともと存在せず、ウランの放射線（構成の不安定性を持つ原子核が、放射線を出すことにより安定な原子核に変化する現象）によって生まれる物質です。だから、ジルコンに含まれる鉛の同位体比を測定することで、その岩石ができた年代を割り出せるのです」

少し補足しておこう。ジルコンは宝飾品などにも用いられる鉱物だが、このジルコンが含有するウランと鉛は中性子の数が異なる同位体で、ウランは不安定核種（ $\beta$ 放射性同位体）、鉛は安定な核種（ $\alpha$ 放射性同位体）、鉛は安定な核種（原子核の組成。そしてウランは長い年月を経る中、放射線によって鉛へと変わっていく。こうした関係にあることから、ウランのような放射性同位体は「親核種」、鉛のように放射線によって生まれる物質は「娘核種」（なぜか息子核種ではない）と呼ばれるという。

物理や化学が得意な読者はご存じだろうが、放射線によって親核種の量が2分の1にまで減る期間を「半減期」といい、これは核種ごとに異なっている。ちなみにウランにはウラン238とウラン

235があり、前者の半減期は地球の歴史と同じ46億年、後者のそれは5億年程度。この半減期のデータを使って親&娘の核種の比率を測定することで、ウランと鉛を含むジルコンの年代が特定できるというわけだ。

そして割り出された年代は39・5億年前。ジルコンを含む表成岩は、それ以前に組成されたはずなので、39・5億年「以前」と特定されたのだ。

「その岩石にはアバタイトという鉱物も含まれており、アバタイトが含有する水を分析することで当時の水の情報が得られます。またストロンチウムという元素も含んでおり、その同位体の分析によって、地球内部がどのように進化したか、場合によっては大陸がどの程度、存在したかということまでわかるんですよ。さらに隕石由来ジルコン（隕石が衝突した際に生まれるジルコン）の研究、もつとマニアクなレアアースのサマリウム・ネオジウムを活用した研究にも、我々は携わっています。この分野の研究では、世界でも最先端といえると思いますね」

ジルコンは宝石として珍重されるだけではない。太古の情報がたっぷり詰まった、貴重な「タイムカプセル」でもあるわけだ。

「地球の歴史を読み解く方法は大別して、コンピュータ・シミュレーションによるアプローチと、地質調査を行って物質そのものを分析する方法の二つがあります。我々が主に取り組んでいるのは、物質科学と呼ばれる後者の手法ですね。コンピュータの計算に基づく統計・確率的な推論ではなく、地球上に存在する物質、つまり岩石に含まれる鉱物を分析することで、マグマオーシャンやジャイアント・インパクトが実際に起こったことを立証しようとしているわけです」

冥王代は地球上部が完全に溶融していたり、その後の大規模変動によって、その物理的証拠の岩石は残っていない。マグマオーシャンもジャイアント・インパクトも、現段階では月の岩石や地球に飛来した隕石のデータに基づくコンピュータ・シミュレーションによる仮説なのだという。もしも物質科学の手法で、こ

**生命の歴史の定説を覆す  
炭素12が大量に含まれていた！**

現存する最古の「生命の痕跡」の方はどうなのだろうか。

「岩石中の物質をさらに調べてみると黒い粒々のようなものが含まれていました。それは鉛筆の芯に使われるグラファイト、つまり炭素だったのです」

炭素といえは生物の体を構成する重要な元素だが、炭素があるというだけで、生命の痕跡の証拠といえるのだろうか。

「炭素には安定同位体の炭素12と炭素13があり、生命体の中には炭素を固定する独立栄養生物がいます。独立栄養生物は、二酸化炭素やメタンから炭素を取り込み有機物として固定するわけです。そして、それらの生物は、炭素12を選択的に取り込むという特徴があります。炭素12は分子結合力が弱く、より小さなエネルギーで取り込めるからでしょう。我々が見つけた岩石は、炭素12を大量に含んでいて、これは生物由来の炭素だとなったのです」

それまでに発見された最古の化石は35億年前、最古の生命の痕跡は38・3億年前のもので、地球の生命の歴史は38億年というのが定説だったが、さらに1億

# ゼミの声



上原啓幹さん  
(理学系研究科博士課程1年)

## 研究成果が教科書の記述を変えることも

大学院に進学する際、海外でのフィールドワークがあるという点に魅力を感じ、小宮研究室を選びました。研究成果が教科書の記述を変えることもあると聞かされたことも、僕の興味を引きました。実は僕、高校の教員志望です。

現在は採取してきた岩石からジルコンを取り出し、年代分析を行う研究に取り組んでいます。顕微鏡とピンセットを使う細かな手作業を伴いますが、僕はそういうことが好きで、苦になりません。

小宮先生は大学の先生としては若く、フィールドワークでも非常に活動的。研究分野は多岐にわたり知識量が豊富で、どんな質問にも答えられます。

## 今まで出会った中で一番博学な先生です！

中国の北京交通大学を卒業後に来日。日本企業でしばらく働いた後、さらに自分の価値を高めるために、この大学院に入りました。これが人生を変える最後のチャンスと思って(笑)。大学では地質学を中心に学び、その知識をさらに深めたいという思いで調べた結果、小宮研究室と出会ったわけです。小宮先生は、これまでの人生で一番博学な方。物理・化学・生物・地学など、理学系分野で知らない知識はほとんどないのではないのでしょうか。人格的にもすごく立派な方で、学生に対し常に全力でぶつかり熱心に指導してください。修士課程修了後は博士課程に進み、その後も研究を続けたいと考えています。



野川 暉さん  
(総合文化研究科修士課程2年)

## 太古の海洋環境を復元する研究が楽しい！

小学校低学年の頃から鉱物を集めるのが好きでしたが、なかなか地質学を学ぶ機会がなく、小宮研究室に巡り合っ、ようやく夢がかなったという感じです。現在は海底に堆積した40億年くらい前の岩石を分析し、太古の海洋環境を復元する研究を進めています。研究はすごく楽しいですよ。おそらく今後長くこの研究を続けていくことになるでしょう。

小宮先生は日頃はほとんど干渉されませんが、必要な時は研究の間を割いて丁寧に指導してください。まあ、おろからか研究熱心な方。研究に没頭し、明け方に帰宅されるなど、個性的な一面も持つておられます。



吉田 聡さん  
(理学系研究科修士課程2年)

年以上遡る可能性が大きいのだ。「まだ完璧に認められたわけではないですが、我々はこの研究成果に大いに期待しています。ただ、それがどんな生物だったかは現時点では判明していません。これについては現在、私の研究室の学生たちが鋭意、研究中です」

太古の地球・生命の有り様、そして共進化の過程を、物質を通して追究していく「地球生命環境進化史——何ともエキサイティングな学問領域だ。

では最後に、小宮准教授から読者に向けてメッセージを発信していただく。

「興味のあるものを突き詰めていくというのが科学の醍醐味であり、面白さだと思います。大きな業績を残した先人たちも、最初から世のため、人のために頑張ったわけではありません。まず自らの疑問や興味を満たすために研究に打ち込みました。つまり、出発点は自分自身の興味・関心なのです。そして、やるからには一生懸命取り組み、何か新たなものを見つけてほしい。物質科学の研究の目標は生命の起源の究明だと私は思いますが、まだまだ未解決の問題が山積状態です。『自分自身でやる！』という強い気概を持って、この学問分野にぜひ挑戦してほしいですね」