

ウラン・鉛年代測定法で
地磁気逆転の年代を特定

前号では、地磁気逆転の年代を調査できる地層を探していたところ、茨城大学の岡田誠先生から「千葉に最適な地層がある」と教えていただいたということでした。どのようなきっかけで、岡田先生からアドバイスがあったのですか。

菅沼 2012年に、国内外の地球科学者が一堂に会する日本地球惑星科学連合大会という学会に参加した時のことでした。お昼休みに岡田先生を含めた複数の研究者と雑談している中で、地磁気逆転の年代を特定するために「放射年代測定法」を適用して調べられる、火山灰層を含む地層を探している旨をお話しました。すると「千葉県の房総半島に良い地層がある」というお話をいただいたのです。

千葉県房総半島は火山灰研究の中心地でもあるので私も調

べていましたが、今回のアイデアに適した地層は見つけられていなかったのです。ですからこの答えは私にとって意外でした。岡田先生が教えてくださったのは、房総半島の中央部にある、あまり知られていない「白尾(びやくび)火山灰層」のことでした。

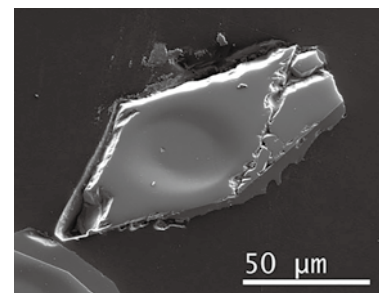
菅沼先生は論文で「地磁気逆転の年代は、それまで言われていた78万年前より1万年ほど若返る可能性がある」ことを指摘されていて、それを裏付けるための調査だったのですね。

菅沼 そうです。調査手法の放射年代測定法をもう少し詳しく説明すると、火山灰に含まれるジルコンという鉱物を調べる「ウラン・鉛年代測定法」という手法になります。ジルコンは、マグマ溜まりなどでマグマが冷える際に結晶化して出来ているのですが、この時にウランが取り込まれ、鉛は取り込まれにくいという特徴があります。



千葉県市原市養老川沿いの地層「千葉セクション」(写真撮影:白尾元理)
地層中で明瞭な目印である「白尾火山灰」より上の地層(若い時代)がチバニアンと呼ばれることになった(地磁気逆転とチバニアン:講談社ブルーバックス 菅沼悠介より)

詳細は省きますが、その特徴を踏まえてジルコンが出来た年代、つまり火山灰が噴出した年代を特定することが出来たというわけです。



ジルコン粒の顕微鏡写真

調査は計画通り、順調に進んだのでしょうか。

菅沼 それなりに様々な困難がありました。

現地へ行く前に、何人かの火山灰研究者の方にもお話を聞きましたが「白尾火山灰には、恐らく肝心のジルコンが含まれないだろう」という意見が大勢でした。

実際に現地で見ると厚さわずか1cm～2cmの薄い層でした。私は多めのサンプルから探せば見つかるのではないかと思いましたが、ひとまず現地では必要量の火山灰をサンプルとして持ち帰ることが出来ました

そのサンプルを国立極地研究所へ持ち帰り、高感度高分解能イオンマイクロスコプという機械を用いて、「ウラン・鉛年代測定法」の専門家である堀江憲路さんらにジルコンを測定してもらいました。およそ2年間かけて丹念に測定してくださり、その結果からジルコンの放射年代は77万2700年前であることが分かったのです。

科学の萌芽 09

国立極地研究所 地圏研究グループ 准教授
博士(理学)

菅沼 悠介先生



菅沼 悠介 先生のプロフィール

〈経歴〉

2000年 茨城大学理学部 卒業

2002年 東京都立大学大学院理学研究科修士課程 修了

2005年 東京大学大学院理学系研究科博士課程 修了

産業技術総合研究所ポスドク研究員、東京大学大学院理学系研究科 特任助教、
国立極地研究所助教などを経て現職に至る

第51・53・55・57・59次日本南極地域観測隊隊員、2019年度 外国基地派遣隊員

〈受賞〉

2013年 地球電磁気・地球惑星圏学会：大林奨励賞

2014年 日本地質学会：小澤儀明賞

2016年 文部科学大臣表彰(科学技術分野) 若手科学者賞

2020年7月 講談社科学出版賞「地磁気逆転と「チバニアン」」

2020年12月 茨城県科学技術振興財団 つくば賞

【書籍・出版物】

「地磁気逆転とチバニアン」

菅沼 悠介

講談社ブルーバックス2020年3月



聞き手：

富山 裕明 日本科学機器協会 広報副委員長

夏目知佳子 〃 広報委員

鈴木 裕之 〃 広報委員

岡田 康弘 〃 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)

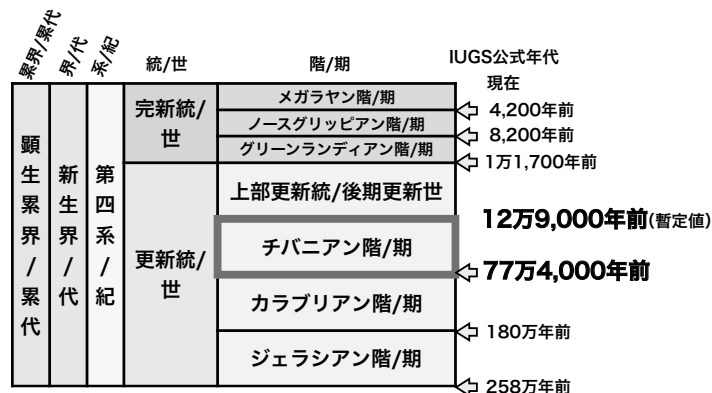
南極氷床を調査し、地質学・古地磁気学で
地球環境の将来予測に取り組む
チバニアンの論文執筆責任者(下)

『科学の萌芽』とは

各分野で活躍する次世代の科学技術の担い手にご登壇いただき、成功までの軌跡や知られざるエピソードなど、サイエンスの“今”と“未来”が見えてくる企画です。

取材日：2020年11月27日
東京科学機器協会会議室

産学官との連携



第四紀におけるGSSPおよび地質時代名称
「↔」はGSSPが承認されている時代境界

「チバニアン」という言葉が世界共通の時代名になったわけですね。GSSPに認定されるためには、どういったことが必要だったのでしょうか。

菅沼 GSSPを決めるための主な基準は下記のとおりです。

- 連続的かつ推積速度の大きな海成層が、十分な層厚を持って露出していること。
- 安定した環境で推積し、層相の変化が著しくないこと、またテクトニックな変形、変成作用や強い続成作用を被っていないこと。
- 豊富で多種の保存の良い微化石を産出し、長期的な微化石層序比較が可能であること。
- 古地磁気層序や全球的なイベント(あるいは変動)を示す安定同位体比変動などの化学層序が確立していること。
- 放射年代値の報告があること。
- 古地理やそれに関係した層相について明らかにされていること。

アクセスの良さ、研究の自由の保証なども求められるのでしょうか。

菅沼 仮にエベレストの高地に良さそうな地層があったとしても、誰もがアクセス出来るわけではないので、GSSPにはなりません。

研究の自由という点を補足すると「国籍などを問わずに誰でもアクセスが可能であること」と決められています。GSSPは国を問わず人類全体の資産であるという理念から来ているものだと思います。

特にチバニ안의GSSP認定では、どのようなことを重要視されたのでしょうか。

菅沼 このGSSPの最重要ポイントは、地磁気の逆転が記録されていることでした。チバニ안의時代は、地球で最後の地磁気逆転が起きた時なのです。

また、環境の変動が記録されていることも条件でした。更に大前提として、もともと海底で連続的に堆積した海の地層でなくてはなりませんから、千葉セクションはそれに合致する非常に稀な地層でした。

産学官との連携

ただ、その火山灰の年代イコール地磁気逆転の年代ではありません。

地磁気逆転の年代をはっきりさせるため、私たちは改めて白尾火山灰が含まれる地層について古地磁気を測定しました。この周辺の地層に地磁気逆転の記録があることは、先人の研究者の方によって調べられていましたが、改めて非常に精密な測定を行ったわけです。

また、千葉セクションの地層に記録された気候変動の痕跡を明らかにすることも行いました。

そうした事柄を重ねた結果、最終的に至った結論として、千葉セクションで見られる地磁気逆転の年代は77万200年前であるという論文を2015年に発表しました。つまり、私が2010年の論文で指摘していた「地磁気逆転の年代が約1万年程度若返る」ことを立証することが出来たわけです。

そして、地磁気逆転の年代は、

私の後にも他の研究者による発表などもあり、最新の推定では約77万2900年前とされています。

不思議なめぐりあわせで「チバニアン」申請の論文執筆責任者に

白尾火山灰を含む千葉セクションの地層の調査結果は、その後の「チバニアン」認定と関係してくるわけですね。

菅沼 結果的にこの時の研究成果が、地質年代「チバニアン」認定の決め手のひとつになりました。千葉セクションの露頭から剥ぎ取った地層は、チバニアン関連の資料として国立科学博物館で展示されています。

ただし、今話した調査を始めた当初はチバニアンについてのことは全く頭にありませんでしたから、私にとっては不思議なめぐりあわせです。

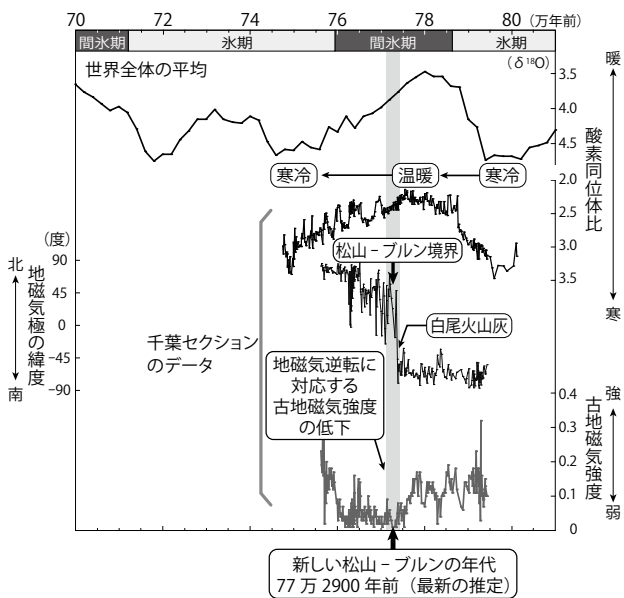
では、チバニアン認定についてうかがいます。そもそもチバニアンとは、どの年代のことを指すのでしょうか。

菅沼 地球の約46億年分の歴史を、時代を細かく区切って年表としてまとめている国際年代層序表というものがあります。それは国際地質科学連合が作成していて、大きな区分から新生代や中生代などの“代”、次に白亜紀やジュラ紀などの“紀”、そこからさらに細かく区分され、最も小さな区分は117のステージに分けられています。このステージの1つが、チバニアンになったのです。

どうやってそれぞれのステージを決めるかというと、地球上のどこか1つの地層を選んで、地層のこの場所で時代が変わったのだ、という時代の分かれ目を確定する作業を行います。その分かれ目をGSSP: Global Boundary Stratotype Section and Point (国際標準模式層断面とポイント)と呼びます。

そのGSSPとして、2020年の1月に千葉縣市原市の千葉セクションの地層が認定され、約77万4000年前から約12万9000年前までの時代名を「新生代第四紀更新世チバニアン期」と呼ぶと決まったわけです。

千葉セクションが認定されたGSSPは、チバニアン期とその前の時代のカラブリアン期の境界になります。



千葉セクションから復元した、松山-プレン境界を含む古地磁気と気候変動の記録

産学官との連携

今、例としてお話しされた氷床が壊れてしまうような、地球の温度の限界点というようなものがあるのでしょうか。

菅沼 それはすごくいい質問です。私が調べていることは、まさにそれでもあります。

仮に、南極氷床が融ける過程で表面に割れ目が出来るとします。そこからさらに暖かくなると、氷床が融け流れた水が割れ目にしみ込むことになるので、割れ方はさらに大きくなっていきます。それが進行していくと、最後には割れ目にそって割れてしまうことになります。

これが南極でも起きるであろうという説はあるのですが、では海水温やCO₂濃度がどの段階まで達すると割れ目が出来てしまうのか、さらにはどの段階で割れてしまうのか、また、そういうことが過去に起きた事はあるのかどうかは、ほとんど分かっていません。

これはハイドロフラクチュアリングという現象なのですが、これが本当に起こるかどうかが、起こるのならばどう進行するのかで、南極氷床が融解するスピードは大きく変わります。これは、私の大きな研究トピックです。

それを知るためにはどうすればいいかということ、南極の現地を調べるしかないわけです。今お話しした氷の融け方を知ろうと思うならば、氷床の下の海底の地層を調べないと分からないことがとても多いのです。

時代について、地磁気逆転を含む地磁気の向きや強弱などの記録、海水温の記録、陸上の気温を知ることが出来る花粉の化石など、たくさんの詳細な情報が揃っています。それらを調べることでCO₂の量が増えていない場合、つまり通常の間氷期の地球の気候変動を知ることが出来ますので、それを現在の地球を比べることでCO₂による地球温暖化の影響を調べることができるのです。

南極大陸の氷床はどのように融けるのか？

菅沼先生が取り組む南極氷床の融解メカニズムの解明について、具体的に教えていただけますか。

菅沼 地球温暖化で南極氷床が融けて海面が上昇するシミュレーションがあることは、前号でお話ししましたが、そのシミュレーションはあくまで“計算”によって導かれたものとなっています。

ごく簡単に言うと「南極氷床でどのような過程で融けるのか」といった詳細な事柄は、十分に考慮できていないのです。

例えば、南極氷床の下部に温かい海水が入り込んで氷が融けるとしても、その融け方はどういう段階を経ていくのか、海底側の氷床の下部がきれいにえぐり取られるように融けるのか、あるいは氷床の薄い箇所が割れ目が出来てバリバリと壊れるように融けるのかなどは、色々と議論されているものの、明らかにはなっていないのです。

菅沼 チームが発足した当時は若手だった方も、それぞれ第一線の研究者に成長されていますので、そういう面でも感慨深いものです。実はこのチバニアンチームにいたメンバーの数人は、今では南極の研究に参加してくれています。私自身の研究にも、これから大きな力になってくれることを期待しています。

地球が温暖化した時期の記録が残る千葉の地層

菅沼先生は、千葉セクションの地層で気候変動についても調査をされていました。そのデータは南極で取り組んでいる環境変動の研究とも、関係が深いものになるわけでしょうか。

菅沼 もちろんです。

実は千葉セクションの地層には、世界的に大いに注目されている時代の気候変動が記録されています。「海洋酸素同位体ステージ19」と呼ばれる、約79万年前から76万年前の気候変動が分かるのです。

このステージ19は、氷期と氷期の間で地球が比較的温暖な間氷期という時代にあたり、現在の温暖期と気候変動のパターンがとても似ています。もう少し詳しく言うと、現代のように人間の活動でCO₂排出量が増えなかった場合、地球はどういった気候変動をしていたのかを調べるのに、最適な時代なのです。

千葉の地層には、ステージ19の

産学官との連携

マーチン・ヘッド教授が就任しましたが、日本の研究者に対して、千葉セクションのGSSP提案を実現するために、専門性の高い研究者を集結させたチームを編成して必要なデータを基にした論文を国際的な学術雑誌に発表するよう求めてきたのです。非常に強い調子での要求だったのですが、それには背景がありました。

実はこのポルトガルの学会で、私と岡田教授のグループが、先程話した千葉セクションの地層について、地磁気逆転の記録、ジルコンのウラン・鉛年代、さらにこの時代の気候変動のデータを報告していたのです。

ヘッド教授はその発表を見ていました。私たちのデータは、そのまま千葉セクションのGSSP申請に使用出来るものなので、言わば我々が加わることで、それまで停滞していた千葉からのGSSP申請が可能になると考えたわけです。

そのような経緯で、千葉を含む房総半島の地層を長年研究してきた茨城大学の岡田教授が新たなリーダーに立ち、私は論文執筆

責任者を務めることになりました。他にもGSSP申請に不可欠な専門分野のメンバーが集められ、新たな申請チームが組まれました。

専門家が集結し、合宿を重ねた一大プロジェクト

申請のための書類やデータは、どれくらいの分量なのでしょう。

菅沼 完成した千葉セクションのGSSP提案書は本文70ページ、別添資料118ページという長大なものになりました。最終審査にはこれが本文75ページ、別添資料は207ページまで膨らみました。

そして、2017年の1回目の審査で、選定作業部会のメンバーの全15票中11票を獲得して千葉セクションがGSSP候補地に決まりました。ちなみにこの時、私は南極で現地調査をしていて、南極でこの知らせをメールで受け取って知りました。

実はこの審査は1回ではなく、その後、第2段階、第3段階、最終である第4段階の審査を経て、

2020年1月17日にGSSPに正式に認定されました。かくして、地質年代にチバニアンの名が誕生することとなったのです。

実に長い道のりがあったわけですね。

菅沼 自分も当初はここまで長く携わるとは思っていませんでした。本当に多くの人々に力をいただいて成し遂げられたことでした。

GSSP申請の中心メンバーには、当時大学院生から30歳前後くらいの若手研究者を多く迎えました。メンバーの皆さんは重要なデータを数多く収集し、整理するなど大変活躍してくれました。多くの若手に携わってもらったことは、その後の研究の発展を考えるうえでも、非常に意義があったと思います。

また、当初は10人弱のメンバーでしたが、申請書類をまとめるころには30人以上もの専門家が集まる大プロジェクトに成長していました。皆さん忙しい本業のかたわら、力を注いでくれました。

特に中心メンバーは何度も合宿を重ねました。これまでは一緒に研究をしたことがなかった分野の方々とも議論を重ねることで、新しい研究テーマも生まれました。これらの成果は、今後に花開いていくと思います。

日本の地質学全体のこれからにとっても、チバニアン申請に至る一連の事柄は意義深いものだったわけですね。



GSSP決定！

GSSP審査の流れ

産学官との連携

地球温暖化が進むことで、氷が増える場所があるとは驚きました。

菅沼 また、今お話した現象は、CO₂濃度がさらに高まるとまた変わってくると考えられます。CO₂濃度が非常に高まり、南極の気温が氷を融かすほどに上昇してしまったら、一時は局所的に増えた氷床もやはり融けてしまうのではないかと考えられます。

CO₂濃度など、色んな条件が変化していく段階ごとに、南極で発生する現象は変わっていくわけですね。

飛行機を5回も乗り継ぐ南極大陸への道のり

日本から南極大陸へは、どうやって行くのでしょうか。

菅沼 いくつかルートはありますが、南アフリカまで行って、そこから飛行機で南極へ向かうことが多いです。

実際の行程の1つをあげますと、日本からまずシンガポールへ、そして南アフリカのヨハネスブルクへ、さらに南アフリカのケープタウンへ

と向かいます。そこから大陸間フライトというジェット機に乗ります。南極へ向かう各国の人との乗り合わせで、南極までは6時間ほどです。ジェット機なので滑走路が必要ですが、南極では氷が滑走路になります。凍っているとコンクリートと同じというわけです。夏にすごく気温が上がり、氷の表面がつるつるしている時は降りられませんが、それ以外の期間は大丈夫で、毎年南極の夏期間である11月から3月までの間に10往復くらい飛んでいます。到着地はノルウェーの基地かロシアの基地です。

そこから先は、小型のプロペラ機で移動します。年配の方はお分かりになる方がいるかもしれませんが、「DC-3」というとても古い飛行機で、エンジンを乗せ換えて飛ばしています。この小型機は下にスキーをつけていて、氷や雪の上に着陸できるわけです。そういうわけで何回も飛行機を乗り継いで目的地に到着します。

今後の研究の展望や目標などをお聞かせいただけますか。

菅沼 繰り返しになりますが、更に「南極氷床の融解メカニズムの解

明」に取り組んで行き、これから10年くらいの間に、南極についての研究で、チバニアンのような完成度の高い研究成果を残したいと思っています。

最後に、次世代の科学研究の担い手になる、若い世代に伝えたいことがあれば、お聞かせください。

菅沼 私自身がそうでしたが「やりたい事があったらやってみてはどうだろう」ということでしょうか。また、周りの人が“こんな事をしたらいいと思うよ”と勧めてくれることがあると思います。その多くの場合、言葉をくれた人は、自分の適性を見てアドバイスをくれているはずだと思います。色々な決断をする時に、心に留めておくとういことだと思います。

研究者であり冒険家のような菅沼先生。様々な興味深いお話、どうもありがとうございました。

次号「科学の峰々」では、東京大学総合研究博物館 教授 遠藤 秀紀先生にお話を伺います。

産学官との連携

氷床の下の海底からもサンプルを採取するのでしょうか。

菅沼 氷の上から海底の地層のサンプルを採取するシステムを作りました。見た目には“道具”という呼び方がしっくりくるかもしれませんが。これは非常に好評で、海外の研究者からもたくさん引き合いが来ています。

テントの支柱を立てたような見目で、海底下から8mほどの地層が採取可能で、かなり活躍してくれます。何とんでも人力で運べるというのがポイントです。南極ですから重機も使えるわけではありませので、非常にアナログな方法で工夫をしています。

温暖化によって氷床が分厚くなる場所がある？

命の危険すらある南極の内陸部で登山をして、岩石などのサンプルを採取されていますが、岩石からは何が分かるのでしょうか。

菅沼 岩石を分析することで、過去の南極氷床はどれくらいの大きさ、厚さだったのかを知ることが出来るのです。

前に「宇宙からの銀河宇宙線が、地球を覆う地磁気のバリアを通過して大気に衝突する時に、宇宙線生成核種のベリリウム10をつくること」を話しましたが、銀河宇宙線が地表に到達すると、石の中にもベリリウム10をつくります。

例えば、石英には酸素とケイ素の原子が含まれていて、酸素に銀

河宇宙線があたると大気中と同じ反応が起きてベリリウム10や放射性炭素がつくれます。しかし、石英が南極氷床の下にある時は、銀河宇宙線がほとんど届かないのでベリリウム10などは作られません。氷床が融けて露出していると初めて作られはじめるのです。

そのことから石英の中のベリリウム10の量を分析して、さらに1年間にどれくらいのベリリウム10がつくれるのかを調べれば、その石英は何年間地表に露出してきたのか、つまり何年前に南極氷床は融けてしまったのかを導き出せます。

現地のサンプルがあるからこそ、そうした分析が出来るということですね。

菅沼 私が調べた内陸部の山はセール・ロンダーネ山地という場所ですが、その山頂で採取した石を分析した結果、従来分からなかったことも判明しました。

この山地の標高が低い場所は氷床に覆われていますが、標高2400mを超える山頂付近は、氷がなく地面が露出しています。

しかし、300万年前の今よりも気温が3℃ほど高く海面が20mほど高かった時代には、山頂付近も氷床に覆われ、このエリア一帯の南極氷床は今よりも分厚かったことが分かりました。

300万年前の南極大陸は、地球温暖化なのに氷が分厚く張っていたのですか。

菅沼 セール・ロンダーネ山地を含むこの一帯が、温暖化で氷床が成長したということが分かったわけです。パラドックスに感じますよね。

この答えですが、その当時は、空中から降ってくる水蒸気の量が多かったのではないかと考えられるのです。

南極の周りには、南極周極流という冷たい海水と暖かい海水を隔てる海流があります。地球全体が暖かくなると南極周極流は弱くなり、しかも南極寄りに場所を移していきます。すると、南米大陸の沖や南アフリカの沖に暖かい水の塊が出来、そこでは盛んに海水が蒸発して、大量の水蒸気が生まれ、南極へ運ばれていきます。そして、大量の水蒸気が南極で雪を降らせ、その結果として現在よりも温暖な環境にもかかわらず氷床が分厚くなったと考えられるのです。

実は今話したことは、現在起こっている現象として観測で確かめられつつあります。現在、海水温が次第に上昇して南極の西側の氷床の融解は顕著な一方で、南極の東側の一部は氷床が増えているのです。ただし、その規模は加速する南極氷床融解をしのぐようなレベルではありません。全体としては融解量が勝っているのです。



「セール・ロンダーネ山地」



南極氷床の融解メカニズムを解明するには、南極の現地で調査をする事が必須なのです！