

過去の地球を解き明かし  
近未来の地球環境を予測

菅沼先生は南極での研究で様々な活躍されると共に、地質時代名が「チバニアン(千葉時代)」と決定した千葉県市原市の地層「千葉セクション」の研究グループの中心メンバーで、論文執筆責任者を務められました。南極から千葉まで、研究対象のフィールドの広さを感じたのですが、主な研究テーマについて教えていただけますか。

菅沼 専門分野を聞かれたときには地質学、古地磁気学という風に答えています。まとめると「過去の地球の姿を解き明かす」というアプローチで研究に取り組んできました。

地質学は地層や岩石から過去のことを調べる学問で、さらに過去の地磁気のことを調べるのが古地磁気学です。私の場合はそれだけでなく、様々な化学や物理学的手法なども取り入れて色々な研究を進めています。

現在の主な研究は「南極の環境変動について」です。南極での現地調査をこれまでに6回、大体2年に1度のペースで行っています。新型コロナウイルスの問題がなければ、今も南極にいる予定でした。地球温暖化によって南極の氷が融けて海面が上昇する問題などは世界的なテーマですが、そうした環境変動のことを過去の地球の姿と照らし合わせながら明らかにして、温暖化が進んだ地球の将

来予測などに結びつけることが、今取り組んでいる研究になります。

「過去の地球の姿」ということですが、現在の研究で対象としている年代は、主にいつ頃のことでしょうか。

菅沼 研究の変遷の中で、数十億年前のことから数十万年前のことまで調べてきたのですが、現在研究している時代は、約300万年前以降です。特に注目しているのは過去約10数万年前までになります。つまり地質学でいうと比較的最近の時代について調べています。その理由は、地球の将来予測に直接的に貢献できるからです。

過酷を極める  
南極内陸部での現地調査

では、南極での研究についてお聞きしたいと思います。具体的にどんな方法で調査をされているのでしょうか。

菅沼 一般的に南極の調査というと、海岸に近い昭和基地にいる姿をイメージされると思いますが、私は昭和基地ではなく内陸へ向かい、主に氷上でキャンプをしながらの調査を行ってきました。

内陸部の気候は沿岸部とは比較にならないほど過酷です。いつもではありませんが、南極の夏でもマイナス25度くらいになる場所です。激しい吹雪になると、すぐ隣にある仲間のテントにも行けず、長ければ

数日間も自分のテントにひたすら閉じこもるしかないこともあります。それでもテントの中は0度くらいで暖かいですよ(笑)。もちろんテレビも携帯電話もなく、食事は主にフリーズドライ食品です。そうした南極の氷床上で最長で100日間にもなる調査を行いました。

命の危険すら伴う研究活動だと感じます。調査は、何人ほどのチームで行かれるのでしょうか。

菅沼 私の場合は人数も少なく、最初は3人、次は5人、その次は4人でした。スノーモービルでソリを引き、食料やキャンプ道具や調査道具など、必要なものを載せて目的とする南極の奥地、内陸へ向かうのです。

ベースキャンプは各自1つずつのテントと、みんなが集えるテントを並べますが、吹雪が来ると雪が積もってどこに何があるのか分からなくなるので、必ず目印に旗を立てます。スノーモービルの置き場所なども、風向きを考えて配置します。

ベースキャンプから調査する場所までは、スノーモービルで行けるところまで行って、その先は歩きで登ります。大部分の場所は未踏の地で、クレバス(氷床や雪上の深い割れ目)に落ちる危険も当然あります。

1日でどのくらい歩くのでしょうか。

菅沼 最長の行程でいえば、早朝に標高1300mのところから歩き

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み  
「チバニアン」の論文執筆責任者(上)

「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

まっとうな反論は聞いたことがありません。今は“あるか、ないか”の段階はとうに脱して、どれくらいの影響があるのか、どれくらいの期間、どれくらいのスピードで進行するのかという研究に移っていると思います。

**CO<sub>2</sub>の量は、どのくらい増えてしまっているのでしょうか。**

**菅沼** 2019年時点のCO<sub>2</sub>の濃度は410~415ppm程度です。私がこの研究を始めた10年前前は400ppm以下でしたので、わずかな期間で急激に増えています。

IPCC(国連気候変動に関する政府間パネル)では、最もCO<sub>2</sub>濃度の上昇が急激に進んだ場合の「RCP8.5シナリオ」で2500年には2000ppmに達し、CO<sub>2</sub>の放出上昇をずっと抑えた「RCP2.6シナリオ」でも現在のレベルからほとんど下げることができない予測になっています。近年ではRCP8.5シナリオよりも悪化するようなシナリオもあります。一方、過去のCO<sub>2</sub>濃度はどうだったかという、過去100万年の

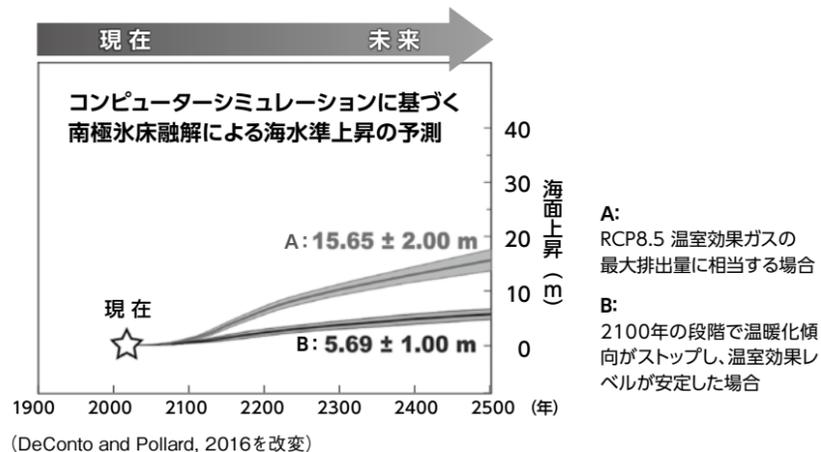
事で言いますと、最大で約280ppm、一番低い時で約200ppmです。この一番低い時は氷期で、最大の時は間氷期と言います。現在も間氷期にあたります。

そしてさらにさかのぼって300万年前から500万年前になると、実はCO<sub>2</sub>の濃度が現在と似ていて400ppmに近いレベルであったと見られています。この時には地球全体もかなり暖かく、地球全体の平均気温では現在より3℃ほど高かったであろうと言われています。グリーンランドや南極の氷床は大規模に融解していて、海面は現在よりとても高かったのです。

**その頃の海面は、今より何mほど高かったのでしょうか。**

**菅沼** 今より20mほど高かったとされています。ですから関東平野の大部分は海の底で、千葉は島にちかい状態だったと考えられます。

長い地球の歴史ではこういうことがあったわけですが、こうした過去のことを調べることで、地球温



海面の上昇が進んでいる  
大変ショッキングな予測

将来の地球環境について詳しくうかがう前に、初歩的な質問をさせていただきます。そもそも、南極の氷が融けて海面の上昇が進んでいることは、間違いないことなのでしょうか。

**菅沼** 悲しい事ですがそうです。温暖化の影響で北極や南極の氷は融けはじめていて、これからは今よりもさらに想像できないくらいのスピードで融けていくと考えられています。

一時期は懐疑的な反論もありましたが、最近はそういった議論はほとんどないと思います。CO<sub>2</sub>濃度の上昇が地球温暖化を促進していることが確実だという事は、世界的に十分理解されていると思います。少なくとも私は、温暖化についての

産学官との連携

始め、夕方5時頃に標高2400mの地点に移動するといったような感じでした。1000m上っても写真や映像上ではその高さはつかみ難く、また崖がある場所なども、薄っすらとした線があるようにしか見えなかったりします。そして気温がマイナス20度で、さらに風速が20mもあれば体感温度はマイナス40度にもなる環境です。

**私たちに、とても想像も出来ない過酷さに驚くばかりです。**

**そうした場所で、どんなことを調べるのでしょうか。**

**菅沼** 簡単に言うと、現地での調査に加えて、まだ誰も採取すること

が出来ていないサンプルを採取し、それをもとに過去の南極氷床の変動を復元するという手法で研究を進めています。

サンプルは例えば、岩石だけでなく、湖や海の地層など、多岐に渡ります。それらには過去の南極氷床の変動の痕跡が記録されているのです。現地調査と併せてこういったサンプルを分析することで、南極氷床の融解メカニズムの解明に取り組むことが出来るのです。

**今、湖の地層という言葉が出ましたが、南極に湖があるのですか。**

**菅沼** 今、湖のように見えているところもあれば、過去にそうだったと

ころもあります。

例えば2万年前くらいは氷期で、沿岸部の南極氷床は今よりも分厚く張りだしていたと考えられます。氷期が終わり南極が暖かくなるにつれて徐々にその氷が融けて海に流れ込み、海面が上昇します。これ自体は地球全体で起こる現象なのですが、南極の場合はさらに特殊なことが起こります。

氷が無くなった分、地面が軽くなるので南極大陸自体が浮きあがるのです。そうすると、前は海の中にあった部分が海面よりも上の陸地になり、くぼんだ部分には水が溜まって湖になるわけです。

反対に標高が低い場所では、以前は陸上の湖だったのに、海面



2009年より、南極での氷床研究をスタートされたのですね。

**菅沼** そうです。31歳の時になります。それまでの10年分の知識や技術を生かして、南極で環境変動の研究を進めることが出来るようになったわけですね。

それから約2年弱に1回のペースで南極へ行っています。

### 画期的な視点で古地磁気学の未解明問題を解明

いったん南極の話から離れ、地磁気の研究についてうかがいます。菅沼先生は古地磁気学に関する研究で数々の賞を受賞されています。どのような研究だったのかお聞かせいただけますか。

**菅沼** 研究の内容は、地層が過去の地磁気の変動をどう記録するかというメカニズムに関するものです。詳しく話すと少し難しくなるので、かいつまんでお話をいたします。

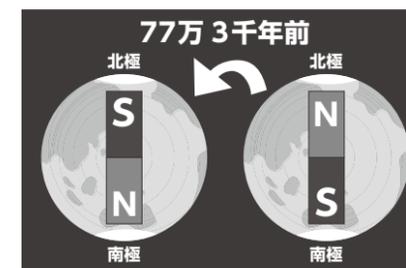
まず地磁気とは、方位磁石のN極が北を向きS極が南を向くということで皆さんもご存知のように、地球に存在する磁場のことです。今の説明も専門的には不十分ですが、おおまかにそうとらえてください。

地磁気は、実は地球の歴史の中では強さも向きも一定ではなく変化してきました。今も変化していて、過去には何度も、地磁気が今と逆の向きになる「地磁気逆転」も起きています。N極とS極の向きが現在と反対になるわけです。

そうした過去の地磁気の変化は、海底に堆積した地層の中に含まれる磁性鉱物を調べる事で復元することができます。磁性鉱物とは微小な磁石の粒のようなもので、その配列などを調べるわけです。

しかし、その手法による古地磁気研究には長年未解決となっていた問題点がありました。

それは「古地磁気の記録は、海底の地層中のどこで固定されるのか」という問題です。



地球磁場逆転の模式図

お話が少し難しくなってきました。少々かみくだいて補足いただけますでしょうか？

**菅沼** 陸から遠い海底の地層は、泥が積もっていて出来ます。しかしすぐ定着するかというとそうではなく、表面近くの泥は生物によってかき混ぜられるなど、固定されるには長い年月がかかります。その他にも影響を及ぼす事柄は細々とあるのですが、つまり、海底堆積物の古地磁気は堆積物の表面で記録されるのか、もっと時間が経過した後の地層深くで記録されるのか、どの深さで固定するのかということが未解決の問題となっていました。専門的な用語では「堆積残留磁化の獲得深度問題」と言い、長年議論されてきました。

暖化が進行した状態の地球環境を知ることが出来るのです。

それを研究する最適な材料が南極にあるため、過酷な環境ではあるけれど現地調査を行ってきた、ということになります。

お話いただいた過去にあったような海面上昇が、今後、避けられないかもしれないわけですね。大変にショックを覚えますが、過去に海面上昇した時の地球はどうだったのかをまず知ることは、どう対応するかを考えるためにも、非常に意義深いと感じさせられます。

### 冒険家への憧れから地球を研究する道へ

南極への憧れは子供時代からだったのでしょうか。菅沼先生のご経歴と研究の変遷をお聞かせいただけますか。

**菅沼** 子供の頃に憧れたのは冒険家でした。私は長野県の出身で、子供の冒険には事欠かない環境に囲まれ、友達と連れだって出かけていた近所の山でも、実は標高1500mぐらいはありました。その山々を自分自身で冒険することと、山岳の本や冒険の本を読むことがすごく好きでした。登山家であり冒険家の植村直己さんにも憧れました。

長野県山岳総合センターに務めたことがある父親を持つ友人の家には、山や冒険関連の本がたくさんあり、大人が読むような本にもたくさん触れ親しみました。中には、

砂漠に出たり消えたりする「失われた湖」を探す研究者の話もあったのですが、先程お話したように私の研究の1つには南極の湖についてのテーマもあり、そういう意味で、子供の頃の憧れが今につながっているかもしれません。

やがて、冒険の中でも垂直の旅より“水平の旅”に興味を覚えるようになり、特にカヌーで外国の川を冒険していた野田知佑さんに強い憧れを覚えました。大学を選ぶ時は、カヌークラブがある大学にと思い、結果、茨城大学に進みました。在学中には、1年間休学してアラスカに行きました。ユーコン川をカヌーで下り、クマに遭遇するなど危ない思いもしましたが、初めての海外一人旅を楽しくやり切った思い出があります。

その後、冒険家としての道を選ばれなかったのでしょうか。

**菅沼** 実際にカヌーでアラスカをめぐってみると、自分は冒険家になるほどワイルドな野心がなさそうかどうか、ごく普通の人間だな…と感じ、かつての冒険家たちのようにはなれないと身に染みて帰ってきました。

そのようなわけで茨城大学に戻って専攻したのは地質学です。卒論の研究は割と古典的なテーマで、地震や噴火がいかにして起きているかを説明するプレートテクトニクスに関するテーマです。その昔、南の海にあった伊豆半島が日本列島に衝突したと考えられますが、その衝突過程やどのよう

に今の地形が出来上がったのかといったようなことを研究しました。大きく言うと地球のことになるわけですが、それがとても面白く感じました。この時の恩師が、十数年を経た後にチバニアン関連の研究でお世話になる、茨城大学の岡田誠先生です。

本誌では2020年3月・4月号で、チバニアンの事をはじめ岡田誠先生にインタビューをさせていただきました。

岡田先生と菅沼先生にこうした繋がりでお話をうかがえる事を光栄に感じます。茨城大学卒業後はどうされたのでしょうか。

**菅沼** 地質学への興味がより深まる中で、大地のことだけでなく広い視点からの環境に興味を覚え、東京都立大学に進学しましたが、研究者になるつもりはありませんでした。修士課程を終えたら出身地の長野県に戻り公務員になるつもりだったのです。しかし就職のタイミングで、私が専門にする土木関連の求人がなくなったのです。その頃は研究自体にかなり面白さも感じていたので、いけるところまで頑張ってみようと思っただけで、研究者を目指すことにしました。

ではどんな研究をしようかと考えている時に、「南極に行きたい」と思い立ち、国立極地研究所という存在を知り、思い切ってコンタクトをとって話をさせていただきました。しかし「国立極地研究所は、教育機関として良いところではないので（この当時はそうでしたが、今は教



過去に南極の氷が融けた  
痕跡を調査することで  
将来の地球環境が予測出来ます

新説を裏付ける  
ブレイクスルーが  
日本の千葉の地層に

地磁気逆転の年代書き換えに対して「地球電磁気・地球惑星圏学会：大林奨励賞」「日本地質学会：小澤儀明賞」「文部科学大臣表彰：若手科学者賞」を受賞されたのですね。

菅沼 2つの学会から賞をいただいたのには理由があります。地球電磁気・地球惑星圏学会は「地磁気」の方の学会ですが、簡単に言うと、私が論文でズレがあることを指摘したことで、今まで整合性がとれなかった地層に過去の地磁気の変動が記録されるメカニズムがわかり、地磁気のみをより良く理解することが出来るようになったという評価だったと思います。

地質学会の方は、地質学において「この地層が何年のものである」ということは非常に重要な事柄です。地磁気逆転を記録している地層が78万年前から77万年前に修正されるということは重要な発見になります。それを評価していただいたと思います。

これらの学会で認められたことで、文科省からも表彰をいただいたというわけです。

手法です。ウランの壊変を調べて、地磁気逆転が起きた年代を詳しく調べたのです。

ですがここで難題だったのが、この手法を適用出来る地層を見つけることだったのです。

どういう地層が必要になるかという、もともとが海の地層で、その地層が地磁気逆転を記録している、さらに氷期・間氷期など気候変動のデータも得ることが出来て、もう1つこれが最も難題なのですが火山灰層が含まれる地層でないといけません。火山灰がないと放射年代測定は出来ないからです。

こんな都合の良い地層なんてどこかにあるのだろうかと思いつきました。どうしたものかと考えていた時「それにいい地層なら千葉県にあるよ」と教えてくれたのが、学部生時代の指導教員だった岡田誠先生なのです。

「過去の地球の姿を解き明かす」興味深いお話ありがとうございます。

次号「科学の萌芽」では、引き続き国立極地研究所 地圏研究グループ 准教授 理学博士 菅沼 悠介先生にお話を伺います。

その問題について、私は従来と違うアプローチを用いて、ある程度説得力のある答えを導くことが出来たのです。結論から言うと、一時期主流となっていた「堆積残留磁化の獲得深度=0cm」という説が、「常にそうであるとはいえない」ということを示すことが出来ました。

長年未解決だった問題にひとつの答えを出した研究だったので、それは、どういったアプローチをとられたのでしょうか。

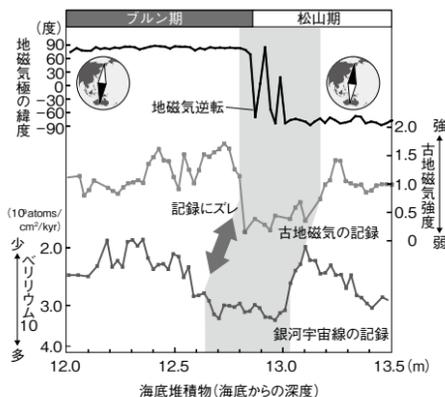
菅沼 過去の地球を調べるために便利な道具のひとつに、宇宙線生成核種の「ベリリウム10」というものがあります。ベリリウム10は、おもに宇宙からの銀河宇宙線が、地球を覆っている地磁気のバリアを通過して大気に衝突する際に作られます。ですので、地磁気が弱い時代にはベリリウム10が多くつくられ、地磁気が強い時代はベリリウム10が少なくなるという関係があり、過去の地磁気の強さを示す指標になります。

これを手掛かりに調べたのですが、そのためには加速器を使うなど、たくさん手間がかかり大変でした。

実は、過去の地磁気の変動や逆転をしらべる研究において、ベリリウム10を用いること自体、あまり一般的ではありませんでした。というのは、古地磁気学は地質学や地球物理学をベースにした学問なのですが、一方で、ベリリウム10などの宇宙線生成核種の分析は、化学や、氷床を取り扱う雪氷学で用

いられるもので、両分野は大学の学科が遠く離れています。幸いなことに、私は両方の手法を学ぶ機会を得たのです。

かくして、地層の磁性鉱物から得た古地磁気の強度とベリリウム10の量、両者を比較したわけです。



海底堆積物のベリリウム10と古地磁気強度の比較によって明らかになったズレ

地層中の磁性鉱物とはまた別の指標となるベリリウム10を分析することで、地層のどの深さに、その時代の地磁気が記録されているのかが分かる、ということでしょうか。

菅沼 そういうことになります。

海の地層に残った磁性鉱物から得られた地磁気の強さ、ベリリウム10の量を比較したところ、両者がよく一致するようなグラフの折れ線を描きました。ここからまず、海の地層中のベリリウム10は地磁気の強さを表す指標になるということが確認出来ました。

次にもう1つ明らかにわかったことが堆積残留磁化の獲得深度についてです。この時調べた海底堆積物には約15cmの堆積残留磁化の獲得深度があることがわかり、

それは同時に、その当時の常識であった「堆積残留磁化の獲得深度=0cm」は普遍的な事実ではないことを示したのです。

これはベリリウム10と古地磁気強度を用いて、直接「堆積残留磁化の獲得深度」を決定した世界で初めての例となりました。

さらにこの結果にはもうひとつ大きな意味合いがあります。それまで古地磁気の変動を使って決めていた海の地層の年代と、真の年代には、誤差が生じていることになるのです。

つまり、地磁気逆転をもとに決めた地層の年代を書き換える必要がある、というようなことですね。

菅沼 そういうことです。その顕著な例が、最後の地磁気逆転の年代です。

それまで地磁気の逆転は約78万年前だと言われていました。しかしベリリウム10が示すデータはそれより1万年ほど前の約77万年前を示していました。このことを論文として2010年に発表したところ、実はかなり多くの方から強い反論を受けました。

まあ言ってみれば、いい加減なことを言うんじゃない、ということです(笑)。論文の内容が、これまでに知られている地磁気逆転の年代が1万年ほど若返りますというものだったわけですが、先に言っておきますと、その後、証明することが出来ています。この研究は、激しい反論があった一方で評価もされ、賞をいただくことにもなりました。