

知・究・学

すがぬま
菅沼 悠介 ⑪

チバニアンと地磁気逆転

2014年9月、御嶽山が突如噴火し、多くの方々が亡くなる痛ましい災害がありました。この時われわれは、

普段は平穏な御嶽山が今も活動を続ける活火山であることを思い知らされました。一方、火山噴火は温泉や風光明媚な地形を形作るなどの恩恵をもたらします。また、地質学的には、地層の年代を調べるための重要な目印である火山灰層を残すこともあります。この火山灰層が、地質年代「チバニアン」誕生でも重要な鍵を握っていました。

房総半島の地層「千葉セクション」(千葉県市原市)では、わずか数センチの厚さながら明瞭な白色の火山灰層「白

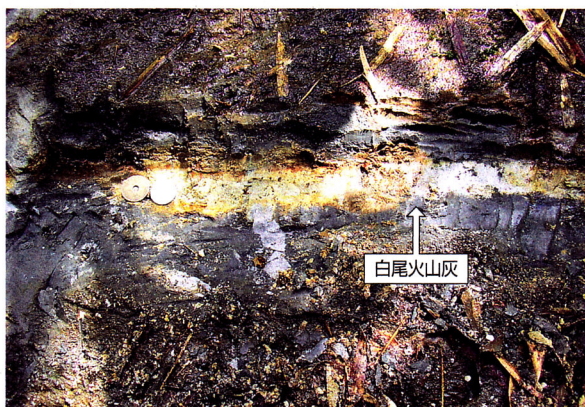
尾火山灰」を見ることができません。12

年、私はそれまで温めていた仮説を検証するため、白尾火山灰の放射年代測定に取り組み始めました。その仮説とは、「松山ーブルン境界」と呼ばれる

信州から火山灰

史上最後の地磁気逆転が、従来考えられていた約78万年前ではなく、1万年ほど若い約77万年前に起きたとするものです。千葉セクションが松山ーブルン境界を記録していることは既に分かっていますが、この地層を詳しく調べること、地磁気逆転の年代やその実態に切り込めると考えたのです。放射年代測定とは、放射性同位体元

素を使って岩石や化石の年代を調べる手法で、この時私は「ジルコン」という鉱物に着目しました。ジルコンは放



千葉県市原市の「千葉セクション」に残る御嶽山起源の「白尾火山灰」。遠く離れた房総半島まで運ばれ、チバニアンの始まりを示す地層となった

射年代測定にとても適した鉱物で、白尾火山灰にもわずかに含まれていたのです。共同研究者の協力を得て、最新鋭の機器で放射年代測定を進めた結果、白尾火山灰が約77万3千年前のものであることが分かりました。また、松山ーブルン境界の地磁気逆転が白尾火山灰の堆積直後に起きたことも分かりました。つまり、松山ーブルン境界の年代はおおよそ77万年前だったので、こうして私の仮説は確かめられ、地磁気逆転の年代も塗り替えられました。

その後、信州大教育学部(長野市)の竹下欣宏教授らによって、白尾火山灰はかつて御嶽山の場所に存在した「古期御嶽火山」の噴火を起源とすることが突き止められました。私の研究のブレークスルーとなった白尾火山灰。実は故郷の長野県南部からもたらされたものだったので。

(国立極地研究所准教授)

知・究・学

すがぬま
菅沼 悠介 ⑫

チバニアンと地磁気逆転

大都市の発達にも適していますから、当然かもしれません。

高校を卒業して関東平野に移り住んだ私にとって最初の大きな違和感は、太陽が地平線から昇り、地平線に沈むことでした。伊那谷に育った私には、太陽は山から昇って山に沈むものだったからです。

長野特有の山がちな風景が形つくられたのは、地球の長い歴史で言えばそれほど昔のことではありません。さらに関東の広い平野が出来上がったのもっと最近で、実は「チバニアン」の時代(約7万4千年前〜12万9千年前)以降に全容がつけられました。

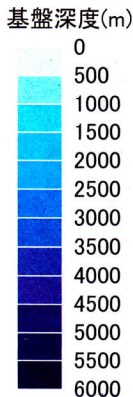
今回は、チバニ안의誕生とも関わりの深い、この関東平野の成り立ちをご紹介しますと思います。

関東平野は日本で最大の面積をもつ平野で、日本の総人口のおおよそ3分の1が住んでいます。平野は耕作にも

関東平野の地形的な特徴は実は海側に広く開けているわけではないことです。西から北に関東山地から越後山脈へと山々が続き、東から南は房総半島や三浦半島の丘陵に囲まれています。

関東平野の形成

これは関東平野が、中央部が徐々に沈降する一方、周辺部は隆起することによってつくられた大きな盆地であるためです。このことは、関東平野の地下にある硬い岩石(基盤)が、おわんのよう



関東平野の基盤深度図(産業技術総合研究所・高橋雅紀上級主任研究員提供)

このため、関東平野の中央部では比較的新しく軟らかい地層が基盤まで数千メートルも堆積しています。東京や千葉などで見られる黒っぽい温泉は、この関東平野地下の地層から染み出た地下水をくみ上げたものです。

関東平野を形づくった地殻変動は、チバニアンを挟んで過去数百万年間続いてきたと考えられています。

チバニアン誕生の舞台となった房総半島中央部の地層「千葉セクション」(千葉県原市)は、約77万年前は水深5000メートルより深い海の底でした。それが地質学的にはわずかな時間で現在の標高まで隆起しました。この隆起は、関東平野が形づくられる地殻変動に伴うものでもあったのです。

(国立極地研究所准教授)

知・究・学

菅沼 悠介 ⑬

チバニアンと地磁気逆転

北アルプスでは所々に花崗岩からなる白い山肌が見られます。この花崗岩の多くは数千万年前に造られた大変古い岩石ですが、信州大の原山智名教授らのグループは、長年の調査から、

世界一若い花崗岩

そのために、われわれが日本各地で目にする「普通の花崗岩」はとても古く、多くは1億3千万年前〜3千万年前ぐらいに造られたものです。ところが近年の調査の結果、北アルプス一帯には恐らく世界で最も若い花崗岩が分布することが分かってきました。

今回は「地磁気逆転」からちょっと離れて、北アルプスと花崗岩の話題です。

上高地に分布する滝谷花崗閃緑岩という岩石が、約120万年前に造られた世界一若い花崗岩であることを発見しました。

120万年前という、チバニアンチバニアンの時代(約77万4千年前〜12万9千年前)の一つ前で、カラブリアンカラブリアン(前期更新世)の時代に相当します。とても古い時代の出来事のようにですが、長い

地球の歴史からみればつい最近といってもよく、この発見は世界中の研究者を驚かせました。

さらに最近、黒部の一帯にわずか80



日本アルプスを世界に紹介したウエストン卿の功績をたたえる上高地の石碑。レリーフが埋め込まれているのが滝谷花崗閃緑岩(竹下欣宏・信州大准教授提供)

万年前、一部はもしかすると若い花崗岩が分布することも報告されました。この花崗岩の一部はチバニアンチバニアンの時代に造られたものかもしれない。

世界でもまれなカラブリアンやチバニアンチバニアンの花崗岩の存在は、北アルプス一帯の地殻変動が非常に活発であることを意味します。なぜなら、地下数キロで造られた花崗岩が標高1500メートルを超える高地で露出するためには、この一帯が大変なスピードで隆起する必要があります。この活発な地殻変動があるからです。この活発な地殻変動が、険しい北アルプスの地形を造り、また時には断層活動による地震を引き起こします。

日本の屋根とも呼ばれるアルプスの山々、風光明媚な盆地や谷、火山や温泉などに恵まれた長野県の風土は、このような活発な地殻変動によって造られてきたのです。

知・究・学

菅沼 悠介 (14)

チバーニアンと地磁気逆転

でしょうか。

地球の内部は、鉄などの金属を主体とする「核」、岩石からなる「マントル」、そして薄い「地殻」が積み重なった構造になっています。さらに核は固体の「内核」と液体の「外核」に区

地磁気はなぜ逆転するのですか？

この質問を本当によく頂くのですが、残念ながら私はいつも「分かりません」とお答えしています。地磁気逆転のメカニズムはいまだに解明されていない、21世紀に残された地球科学上の最大の謎と言えるかもしれません。今回は当コラム本来のテーマに戻って「地磁気逆転の謎」について解説したいと思います。

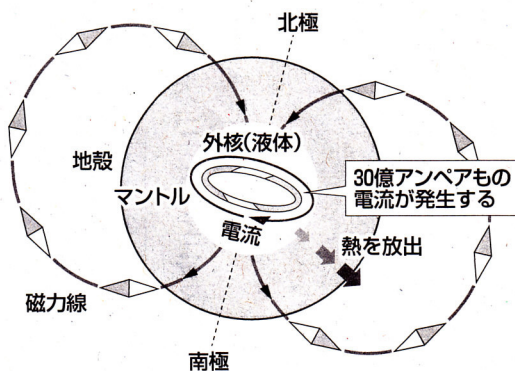
これまでご紹介してきたように、地球は大きな磁石と見立てることが出来ます。ただ地磁気は時間と共に変化することから、地球自体が大きな永久磁石ではないことも分かってきました。それでは何が地磁気を生み出す源なの

完全な再現まだ先

分されます。地磁気は、この外核が対流することで発生していると考えられています。

電気を通す性質の液体が流動すると電流が流れ、磁場が作られます。つまり、地球の自転の影響で外核が対流することで、大規模な電流が流れ、地磁気が発生しているようです。ただ、この基本的な原理だけでは、地磁気発生

の細かなメカニズムやなぜ逆転するのかを理解することはできません。そんな状況の突破口となったのはスーパーコンピュータを使ったシミュレーション



地磁気が発生する基本的な原理 (桜庭中氏による図を一部改変)

ヨンでした。

1995年、日本と米国の研究グループが相次いでコンピューターシミュレーションによって地磁気の再現に成功したと報告しました。スーパーコンピュータの進歩によって、地球内部の温度や圧力などの条件をおおよそ再現し地磁気を発生させることができるようになったのです。

しかし、この成功から25年がたった今でも地磁気の完全な再現には至っていません。地磁気のシミュレーションは膨大な計算を要するため、現代の最高峰のスーパーコンピューターをもってしても完全な再現は不可能なのです。

ただし、コンピューターの能力は今も進歩が続いています。恐らく数十年の間には地磁気が完全に再現され、地磁気逆転のメカニズムの解明も成し遂げられるでしょう。

(国立極地研究所准教授)

知・究・学

すがぬま ゆうすけ
菅沼 悠介 ⑮

チバニアンと地磁気逆転

した。この地層には微弱ながら過去の地磁気変動の痕跡が非常に細かく記録されており、最新の実験設備を駆使することで、これまで未解明だった地磁気逆転の実態を明らかにできると考えたのです。

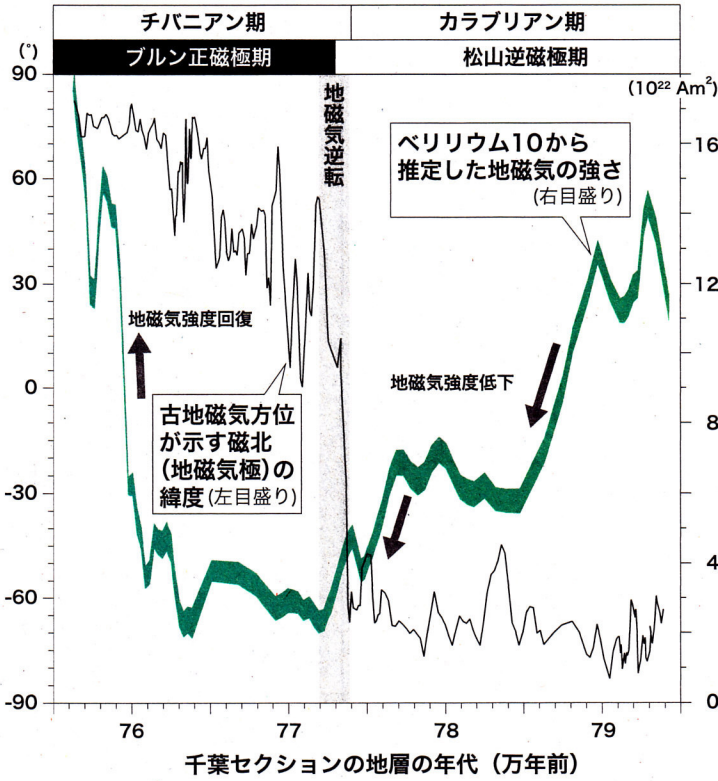
地磁気強度の変動

特に注目したのは、地磁気逆転の長さや地磁気強度の変動です。まず地磁気逆転の長さは、地層に刻まれた地磁気方位の変動を超高解像度で分析することで復元しました。一方

宇宙空間に浮かぶ地球は太陽風や銀河宇宙線という強力な放射線にさらされており、地磁気はこの地球外からの攻撃から地球表面を守る重要な役割を果たしています。もし地磁気が逆転したら、地磁気のバリアーや地球表面はどうなってしまうのでしょうか？ この疑問に対して、今回から数回にわたって房総半島にある地層「千葉セクション」（千葉県原市）での地磁気逆転の研究から分かってきたことを紹介したいと思います。

われわれのグループは2012年ごろから千葉セクションに注目し、「松山―ブルン境界」と呼ばれる最後の地磁気逆転の研究に取り組みま

千葉セクションなどの研究で明らかになった「松山―ブルン境界」の地磁気変動（地磁気逆転とチバニアン）の図を改変



中の酸素や窒素の原子核と衝突することで作られ、その後地表や海底に降り積もります。一方、銀河宇宙線の入射量は地磁気強度によってコントロールされます。つまり地層中に取り込まれたベリリウム10量は、過去の地磁気強度の指標となるのです。一連の研究から「松山―ブルン境界」は全体で3万年ほどのイベントであることが分かりました。このイベントは地磁気強度の低下から始まります。そして小休止を経た後の2度目の地磁気強度低下と同時に地磁気極が移動を始めます。約2千年かけてN極とS極が入れ替わり、逆転が完了します。ただ、その後も7千年ほど地磁気方位が不安定な時期が続き、やがて地磁気強度の回復に合わせて通常に戻りました。この一連のデータから、地磁気逆転は地磁気強度の変動と密接な関係があることが分かったのです。

(国立極地研究所准教授)

知・究・学

菅沼 悠介 ⑬

チバニアンと地磁気逆転

し、その結果、雪量が増えて寒冷化したという仮説が提唱されています。

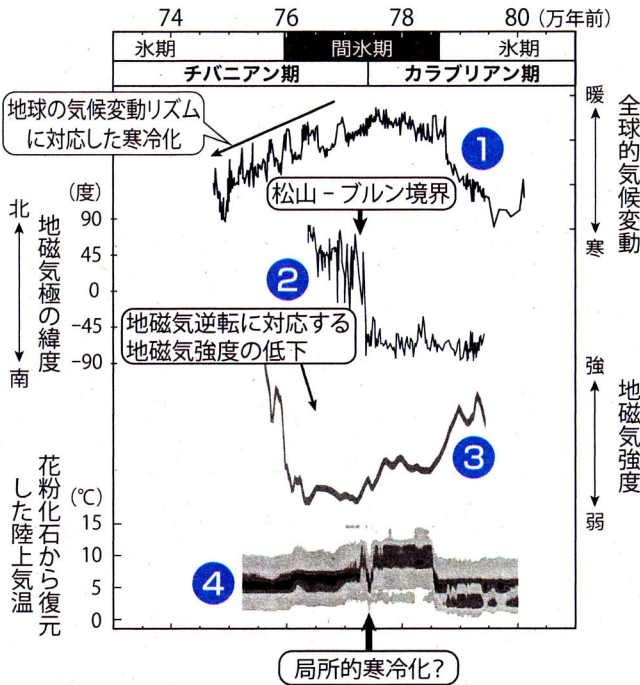
もしこのような寒冷化が局所的でなく広域で起きた現象ならば、チバニアン誕生の舞台となった房総半島の地層「千葉セクション」(千葉県

気候の寒冷化

前回紹介したように、地磁気逆転の際には地磁気強度が大きく低下するため、地磁気バリアーの効果が弱まると考えられます。この結果、地磁気をナビゲーションに使う動物たちや、もしかすると生命の進化や絶滅に影響が出た可能性も指摘されています。そして特に研究者の注目を集めているトピックが、地磁気逆転に伴う気候の寒冷化です。

最近大阪湾の地層の花粉分析から、地磁気逆転時の地磁気強度低下に伴ってこの地域で急激な寒冷化が起きたことが報告されました。詳しいメカニズムは省略しますが、地磁気バリアーが弱まったことで通常より多くの銀河宇宙線が大气に衝突

千葉セクションから明らかになった「松山-ブルン境界」の地磁気変動と気候変動(Suganuma et al.(2018)などのデータを基に作成



市原市)にもその証拠が残されているはず。そこでわれわれは、千葉セクションの花粉の化石を分析することでこの現象を検証しました。

図は、これまでの研究などにより明らかになった、最後の地磁気逆転「松山-ブルン境界」の地磁気変動と気候変動のまとめです。④の気温

データはおもに千葉セクションに堆積物を供給した関東平野の気候変動を表していると考えられています。④の

地磁気強度に関係は見られません。そもそもこの時代は、間氷期から氷期へと地球全体が徐々に寒冷化していく時期に対応します(①参照)が、少なくとも関東平野では地磁気強度低下に対応した寒冷化など顕著な気候変動はなかった可能性が高そうです。

一方、④の気温データを詳しく見ると、実は地磁気逆転に近いタイミングでごく短期間の寒冷化イベントがあったことがわかります。データの分解能が十分でなく、これ以上の議論は難しいのですが、地磁気逆転に伴って地磁気極が低-中緯度を通過する際、局所的な寒冷化が起きた可能性があるかもしれません。

われわれは今も研究を続けており、千葉セクションの環境変動記録を詳しく調べることで、将来的にこの疑問にも答えられると考えています。

(国立極地研究所准教授)

知・究・学

すがぬま
菅沼

ゆうすけ
悠介

⑱

チバニアンと地磁気逆転

地磁気エクスカージョンとは、地磁気逆転には至らなかったものの地磁気極が大きく北極または南極から外れるイベントで、同時に地磁気強

地磁気逆転と、生命の進化・絶滅との関係は古くから議論され、さまざまな仮説が提唱されてきました。

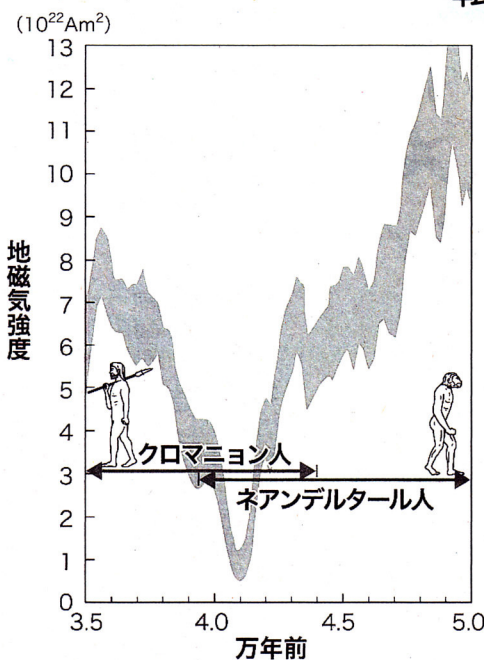
しかし、今のところ両者が関係するといふはつきりした証拠は見つかっていません。これは地磁気逆転、もしくは生命の絶滅・進化のタイミングが十分な精度で特定されていないことが原因かもしれません。

ところが最近、地磁気逆転ではなく、「地磁気エクスカージョン」というイベントについて、興味深いデータが相次いで報告されています。

進化・絶滅との関係

度も低下することが分かってきました。そして、2019年にアメリカの研究グループが、約4万1千年前の「ラシャン・エクスカージョン」の際に旧人ネアンデルタール人が絶滅したという仮説を発表したので

最新の年代測定によって、ネアン



地磁気強度が低下した「ラシャン・エクスカージョン」とネアンデルタール人が絶滅したとされるタイミングがおおよそ一致する(「地磁気逆転と『チバニアン』より改変)

デルタール人が約4万年前に絶滅したことが明らかになり、まさにエクスカージョンのタイミングと一致することが分かりました。彼らは、エ

クスカージョン時の極端な地磁気強

度低下によってオゾン層が破壊され、紫外線の強度が急激に増した結果、ネアンデルタール人が絶滅したと考えたのです。

約4万年前には、すでにクロマニ

ヨン人に代表される現生人類「ホモ・サピエンス」も存在していました。が、紫外線の感受性に関するタンパク質の違いによって、現生人類はネアンデルタール人よりも紫外線の影響を受けにくく、そのため絶滅から逃れられたと考えているようです。

この仮説は大変興味深いですが、エクスカージョンと絶滅が同時というだけでは両者の関係が証明されたとは言えず、懐疑的な研究者が多いようです。いずれにしろ、今後は地磁気逆転もしくは生命の絶滅・進化の年代決定精度の向上と共に、地磁気エクスカージョンだけでなく、地磁気逆転と生命の進化・絶滅の関係についても研究が進展していくことが期待されます。

(国立極地研究所准教授)

知・究・学

すがぬま
菅沼 悠介 ⑱

チバニアンと地磁気逆転

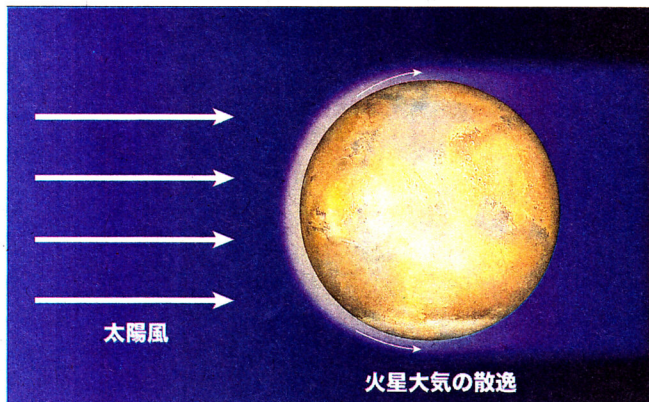
火星は寒く乾燥した惑星で、とても生命が継続的に存在できるような環境ではありませんが、近年の火星探査によると、火星にはかつて大気も水もあって、地磁気に匹敵するような強力な磁場も存在したと考えられています。

地磁気と生命

つまり、かつて火星には地球に似た環境があり、もしかすると生命が誕生し、進化できたかもしれません。

しかし、火星の磁場は約42億年前には消滅してしまっただようです。火星の直径は地球の半分ほどと小さく、地球より早く冷え切ったため、磁場の発生に不可欠な「液体の核」が失われてしまったからだと考えられています。

磁場が消滅した火星は地磁気バリアーを失い、太陽風に直接さらされるよ



うになりました。その結果、大気は徐々に剥ぎ取られ、水も蒸発し、寒く乾燥した現在の環境になったと考えられるのです。

一方、金星は大規模な磁場を持たないにもかかわらず、厚い大気を持つ灼熱の惑星です。地球に匹敵する大きさがあるため、重力が大きく、厚い大気が保持されたと考えられます。ただ、最近の研究では金星も太陽風によってとくに水が散逸した可能性が指摘されています。金星は水、すなわち海を失ったため、大気中の二酸化炭素を吸収できず、現在のような灼熱の惑星になってしまったようです。

このように、もし地球に地磁気がないければ、大気や水を失い、今日のような快適な地球環境は存在しなかったでしょう。その結果、生命は誕生しなかった、もしくは誕生したとしても継続的な進化は不可能だったと考えられます。

地磁気のような大規模な磁場の存在しない火星では、太陽風が大気を吹き飛ばしてしまっただと考えられている(NASA/JPL/MSSS)

太陽系の惑星には、質量や構造の違いなどによって「地球型」と「木星型」があり、火星と金星、そして水星は地球型の惑星です。近年の観測で水星には磁場が存在することが明らかになりました。しかし、火星や金星には地磁気に匹敵するような大規模な磁場は存在しません。

地磁気逆転の際には地磁気強度が大きく低下するため、「地磁気バリアー」の効果が弱まると考えられます。もし地球に地磁気が存在しなくなったら、地球環境はどのような姿になるのでしょうか。今回は太陽系の中でも地球によく似た惑星である火星と金星に注目することで、この疑問に答えたいと思います。

知・究・学

菅沼 悠介 ①9

チバニアンと地磁気逆転

地磁気には「地磁気エクスカージョン」という、地磁気逆転のなり損ないもあり、地磁気逆転よりも頻繁に起きることが知られています。完全な地磁気逆転に至らず、元に戻った現象と考えられますが、同様に地磁気強度低下と地磁気極の移動を伴った大きな地磁

地磁気の観測が始まった1830年代以降、地磁気強度は一貫して弱くなり続けています。このような地磁気強度の低下傾向は、地磁気が逆転に向かっていっていることを示しているのでしょうか？ 今回はチバニアン誕生の舞台となった房総半島の地層「千葉セクシヨン」（千葉真市原市）の地磁気逆転の記録から、この疑問にお答えします。

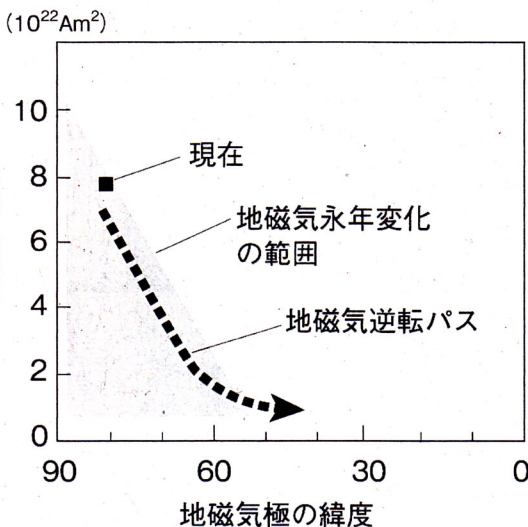
熊本大理学部の望月伸竜博士らは、これまでに得られた古地磁気記録を基に、地磁気強度、地磁気極の緯度、そして地磁気逆転の関係を下図のようにまとめています。彼らのモデルに従うと、地磁気強度の低下と共に地磁気極が低緯度側に移動していくとすれば、地磁気は「地磁気逆転パス」に乗って逆転モードへ突入すると考えられます。

弱まる地磁気強度

気イベントです。

つまり、現在の地磁気強度低下が続けば、やがて地磁気極が移動を始め、いつかは地磁気逆転もしくは地磁気エクスカージョンに向かう可能性が十分にあるのです。

ただし現在の地磁気の状態は、もし将来的に地磁気逆転に向かうとしても、かなり初期の段階にあります。以



地磁気強度と地磁気極の関係から導かれる「地磁気逆転パス」(望月・綱川、2005より)

前紹介した千葉セクシヨンの記録に従うと、地磁気逆転が始まるまでには最短でもまだ数百年以上はあると考えられます。言い換えれば今後数百年は地磁気逆転や地磁気エクスカージョンが起きることはないと言ってもいいでしょう。

一方、地磁気強度の低下傾向そのものは今後注視すべき状況であると思

(国立極地研究所准教授)

知・究・学

すがぬま ゆづきけ
菅沼 悠介 ②

チバニアンと地磁気逆転

20回続いた本連載も今回で最終回です。地磁気逆転という現象と、昨年新たに誕生した地質年代「チバニアン」に関する話題を紹介してきました。時々長野県に関係する話題にも触れましたが、楽しんでいただけただけでしょうか？

実は私の興味は既に地磁気逆転やチバニアンから離れ、次のテーマに移っています。今取り組んでいる研究テーマは「南極氷床の融解」です。

氷床とは、降り積もった雪が長い年月で水に変わり、大陸上などで長い年月の間存在するものを指します。現在、地球上にはグリーンランド氷床と南極氷床があり、それぞれ巨大な「淡水のダム」ともいえます。どのくらい巨大なダムかというと、もし全て融解すると、グリーンランド氷床は7歳、南極

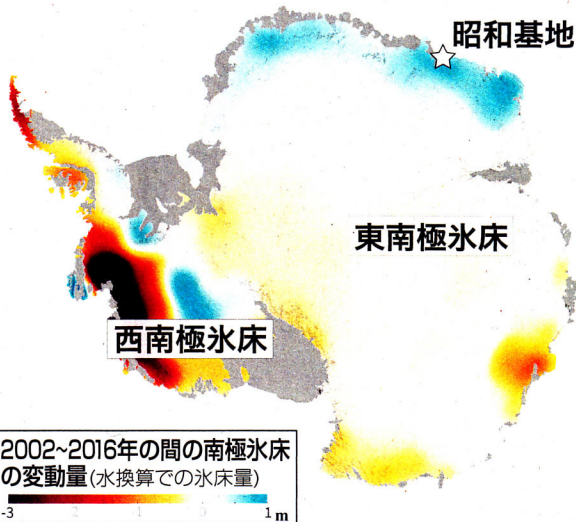
氷床はなんと55歳も海面を上昇させるだけの淡水を保持しています。

世の中には「北極の氷は海水が凍ったものなので、地球が温暖化しても海面は上昇しない」という話もあります。が、氷床は陸上に留められた水であり、融解すれば海洋に流れ込み、間違いな

南極氷床の融解

く海面を上昇させます。

現在、地球温暖化の進行が世界的に懸念されていますが、「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)が2019年に出した特別報告書では、水温上昇による海水の膨張や水河・氷床の融解によって、2100年までに海面が1・1歳も上昇する可能性がある」と報告されています。しかし、南極氷



衛星観測で明らかになった南極氷床の融解。特に西南極で融解傾向が顕著で、今後、急激な海面上昇につながる恐れが強い

床の融解には未解明の部分が多く残されているため、コンピューターシミュレーションでも正確な予測は困難です。そのため、以前のレポートでは、「南極氷床の急激な崩壊は計算に含めない」というただし書きがそえられていたほどです。

私は南極での現地調査を基に、南極氷床が急激に融解するメカニズムの解

明に取り組んでいます。1人の力では太刀打ちできない難問ですので、国内外の研究者と共同して研究を進めていきます。近い将来、さまざまな事が明らかになったら、また皆さんに研究成果をご紹介しますと思っています。それでは皆さま、またお会いしましょう。

(国立極地研究所准教授)

〈おわり〉