

地磁気の起源は何かという疑問から、地磁気に関連する地球惑星科学の話題でこの連載を締め括りたいと思います。

地磁気の強さは地球全体で平均 0.5 ガウスです。健康器具エレキバンの磁石の 2,000 ガウスや Neomax 磁石の 10,000~14,000 ガウスと比較すると極めて弱い磁力です。しかし、半径 6,400 km の地球全体を覆っていることを考えると大規模な磁場だと言えます。宇宙、特に太陽から飛来する高エネルギーの荷電粒子（太陽風）が地磁気によって南北の極地に集められ、大気の子と衝突して発光するのがオーロラです。地磁気が無いと高エネルギーの荷電粒子は地上に到達するので、全ての生物は深刻な被害を受けてしまいます。地磁気のお陰で地球上の生命は守られていると言っても過言ではありません。また太陽活動の爆発的現象に因って地磁気の攪乱が起こり、電力供給や通信に障害が発生して社会活動に支障を来すことがあります。そのため太陽活動は常時観測されており、例えば、宇宙天気予報 (<https://swc.nict.go.jp/>) として航空機の安全運航のための情報が発信されています。

地磁気は、地球物理学のダイナモ理論（溶融状態にある外核の Fe-Ni 合金において、電気を良く通す金属の流体運動（対流）で生じる電流によって磁場が発生するという理論）で説明されています。固体の内核とそれを取り巻く液体の外核が回転している状態が想定されます。この状態を例えると生卵です。生卵は黄身と白身から成るために、安定した回転は維持されません。それは黄身（塊と見なして）と白身（液体と見なして）の回転が一樣ではないからです。しかし、地球の自転は一定しているので、内核（固体）と外核（液体）の回転の相異から外核に対流が生じます。この対流に伴う自転方向の電流によって磁場が発生していると考えられます。一方、ゆで卵では白身も黄身と共に固まって一体となっているので、安定した回転が維持されます。この喩えで考えると、「ゆで卵」の状態の様に、地球が冷え固まると外核の対流は起こらないので、地磁気は消滅してしまいます。何百万年、何億年先かは分かりませんが、その時、地球は高エネルギーの荷電粒子に曝されて、地上の生物は甚大な被害を受けることになります。

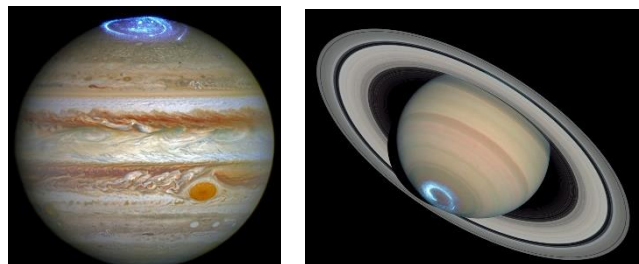
遠い未来を想像する前に、太陽系の惑星やその衛星における磁場の有無を探查することの意味を考えてみます。それは、惑星やその衛星の内部構造とその変化の過程を考察することだと思います。現在の月は既に冷え固まっており、弱い磁場しかありません。それは、月の創成当初には溶融状態の外核にダイナモが働いて、存在していた磁場によって岩石中に残された磁性体が発する微弱な磁場とされています。また火星にも大規模な磁場はありません。創成後 10 億年ほどの間はダイナモによる磁場があったものの、その後は火星全体が冷却してしまい磁場が消滅したと考えられています。その火星への有人探査計画 Journey-to-Mars (図-1) を NASA が 2014 年 12 月に発表しました。その後、NASA が米国の民間宇宙飛行会社や欧州宇宙機関など取り決めたアルテミス計画 (<https://ja.wikipedia.org/>) では、月面での人類の持続的な駐留と民間企業による月面での経済活動の構築を経て、最終的に人類を火星に送る有人宇宙飛行を計画しています。この様な計画の中で、宇宙飛行士の高エネルギー荷電粒子による被曝の防御は重要な課題のひとつだと位置付けられています。

(図-1: Journey-to-Mars、NASA のパンフレットから。裏面には克服すべき課題が記されています。
<https://www.nasa.gov/>)



一方、巨大なガス惑星の木星や土星には磁場が存在することが知られています。NASA のハッブル宇宙望遠鏡によって木星と土星の極地にオーロラが観察されています (写真-1)。また、惑星探査機ジュノーとカッシーニによって磁場が測定されており、木星では赤道付近で 4.2 ガウス、極地では 10~14 ガウスと地磁気よりもかなり強い磁場が存在します。土星の磁場強度は、赤道付近で 0.2 ガウスと地磁気よりも少し弱い程度です。これらのガス惑星の内部構造は、中心に高密度の核 (Fe-Ni 合金、ケイ酸塩鉱物など岩石質) があり、その中心核を液状の金属水素とヘリウムの混合体が覆い、その外部を気体の水素などが層を成していると想像されています。ガス惑星の磁場は液状の金属水素によるダイナモ機構が原因だと考えられていますが、内部構造とその温度と圧力の状態は不明です (<https://ja.wikipedia.org/>)。次期惑星探査計画を待つまでもなく、実験室で高温高圧などの多重極端状態を実現し、惑星内部のモデルとして物性実験を行う地球惑星科学の新展開が期待されます。

(写真-1: ハッブル宇宙望遠鏡による木星と土星のオーロラの写真。
<https://www.nasa.gov/>)



ところで、NASA の惑星探査機によって、木星の衛星エウロパでは液体の噴出が、衛星イオでは活発な火山活動が観察されています。また土星の衛星エンケラドゥスでは間欠泉の液体の噴出や衛星タイタンの湖など地球外生命の存在が推測される画像も記録されています。地球惑星科学における生物学的研究の展開も興味深いものです。

話題を地磁気に戻すと、地学分野に古地磁気学という学問があります。火山岩や堆積岩が形成された時代と場所における地磁気の情報、岩石中の磁性鉱物 (マグネタイトなど) に残留磁化として記録されています。古地磁気学は、岩石中の磁性鉱物の磁化方位などを分析することで、過去の地磁気に関する情報から磁極の逆転 (南北逆転) や大陸移動などを議論する学問です (<https://ja.wikipedia.org/>)。地磁気の逆転は、1926 年に京都大学の松山基範教授が、兵庫県の玄武洞 (私の出身地の近く) の玄武岩に逆向きの残留磁化を発見したのが最初でした。地磁気の逆転を示唆する松山教授の論文は、当初、評価されなかったそうですが、その後、測定技術の進歩によって地磁気の逆転が検証されました。実際、地磁気の逆転は繰り返り起こって

た事が分かっています。しかし、磁極の逆転や移動が無くても、逆に大陸が移動すれば地殻の岩石に記録された磁極の方向は大きく変化するはずですが。1912年にドイツ人の気象学者A.Wegener（ヴェーゲナー）が発表した「大陸移動説」は、その後、岩石の残留磁化を地殻変動のトレーサーとして用いることで証明され、プレートテクトニクス理論の確立に至りました。プレートテクトニクスによると、日本列島が載っているユーラシアプレートの下に太平洋プレートとフィリピン海プレートが沈み込んでおり、そのプレート境界部は地殻変動の発生源として地震、断層、火山など自然災害の要因となっています。自然災害が頻発する我が国では、防災減災のために地球惑星科学の知見はとても重要だと思えます。

写真-2は球形の鉱物標本です。これは、2016年に米国オハイオ州クリーブランド市で開催されたNASAの学会に参加した際に購入した一種の玩具です。しかし、太陽系の惑星や衛星をイメージする試料として、この鉱物標本は打って付けだと思えました。この直径30mmの鉱物標本を眺める時、本連載で紹介した色々のパワーストーンを通して、鉱物資源から物質材料の開発を経て、科学・技術が進歩し経済が発展したことを考えさせられます。それら全ての基盤である地球と更には太陽系の惑星や衛星など地球惑星科学に興味を尽きません。また、人類の文明と文化の歴史を考える時、ゴーギャンの作品『我々はどこから来たのか、我々は何者か、我々はどこへ行くのか』の題名が思い起こされます。

（写真-2：NASAの科学館で購入した球形の
鉱物標本。）



（2022年2月22日）