

Study of Geomagnetic Hole

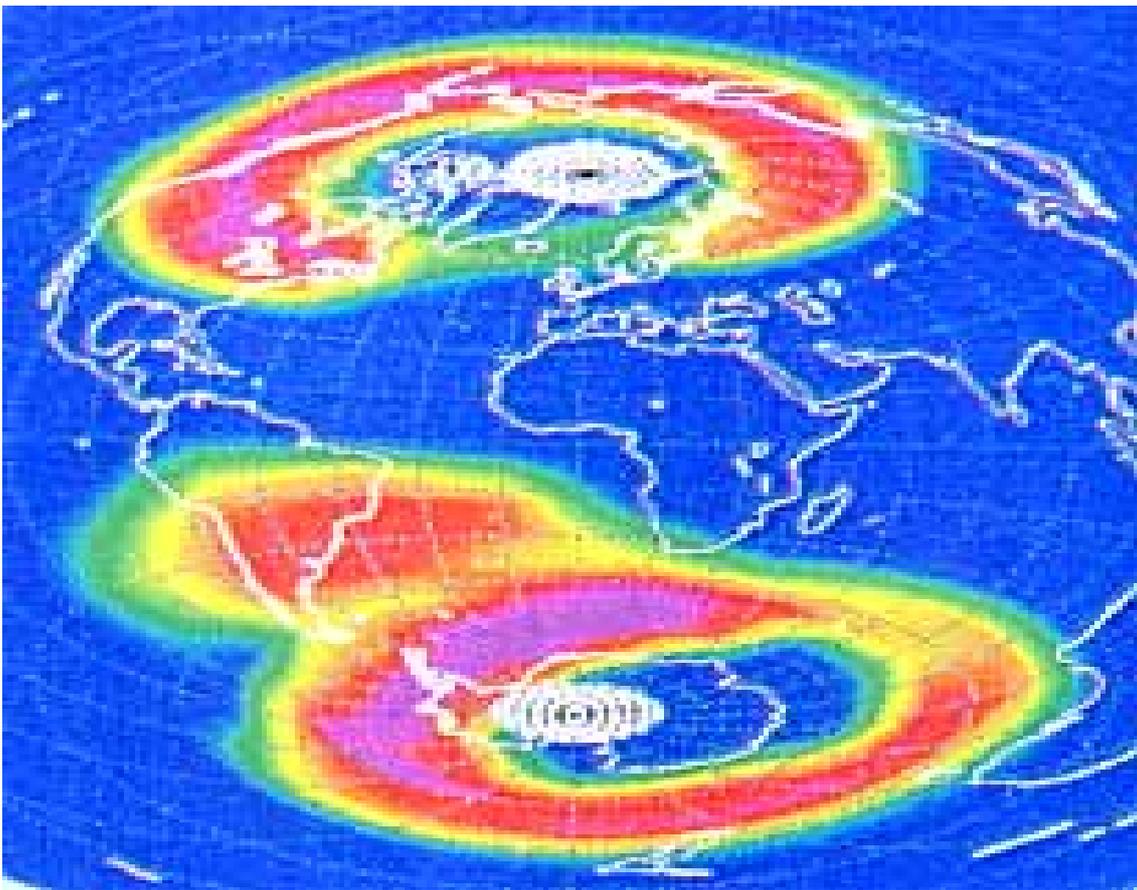
地磁気ホールの研究

— 地球磁場変動に伴う環境変動 —

拓殖大学工学部基礎教育系列教授

巻田 和男 著

(カバー／表)



拓殖大学

(扉)

Study of Geomagnetic Hole 地磁気ホールの研究

— 地球磁場変動に伴う環境変動 —

拓殖大学工学部基礎教育系列教授

巻田 和男 著

拓殖大学

まえがき

本書は、拓殖大学理工学研究所から発行されている理工学研究報告に10年余りにわたり発表してきた研究報告書をベースに磁気異常帯の研究成果をまとめたものです。この10年間、磁気異常帯の研究のため南米や国内を飛び回り、いくつかの観測拠点に観測機器を設置し、観測データの収集に努めてきました。その作業もほぼ一段落し、これからが研究成果の刈り取りの時期に入ります。その意味では、ここで述べられている研究結果はまだまだ十分なものではなく、最終目的への一里塚にすぎません。しかし、本テーマで研究を始めてちょうど10年目という節目にあたるため、これまでの研究を振り返り、整理してみるのも意義あることと考え、このような本にまとめた次第です。

私に取り組んでいる「地球磁場減少に伴う環境変動」というような研究はすぐに成果が出るものではありませんし、その結果がただちに社会に役立つようなものでもありません。現在の地球磁場減少が続いた場合、100年後に起こるかもしれない地球の環境破壊について調べる研究は一般の人からみれば大変浮世離れした仕事かもしれません。しかし、このような研究活動を暖かく見守り、長年にわたり研究費の助成をしていただいたため、磁気異常帯の研究を継続して進めることが出来ました。この間に忍耐強く、お世話いただいた拓殖大学の皆様、とりわけ理工学研究所の方々、工学部の先輩や同僚の先生方および事務職員の方々に心よりお礼申し上げます。さらに、ブラジルで観測を始めるきっかけを作ってくださった元拓殖大学教授の福島正徳氏（退職後クリチバ在住）とブラジル経済等の専門家で、いつも貴重な情報を提供していただいた北海道拓殖短期大学教授の高橋晃平氏およびポルトガル語を親切に指導してくださった拓殖大学教授の高橋都彦氏に対し心より感謝致します。

ところで、ブラジルに行くようになりわかったことは、拓殖大学の卒業生がたくさんブラジルに移民され住んでおられるということでした。拓殖大学は戦前から海外雄飛の気風を持つ大学で、多くの卒業生が海外に移民されているのですが、その中でもブラジルに一番多くの卒業生が移民されていたのです。はじめは、不安を抱きながらブラジルへ足を踏み入れた私でしたが、サンパウロに住んでおられる拓殖大学の卒業生等が私を暖かく歓迎してくれ、困ったことがあると相談相手になってくださいました。そのおかげでブラジルでの生活に慣れることができ、ブラジルへの訪問が次第に楽しくなりました。これは異国の地で研究を始めた私にとって大変心強く、ありがたいことでした。卒業生の中でも、とりわけ安達敬之助氏、有川修氏、西谷輝久氏、島田政夫氏、菊池高男氏、松本利幸氏、岩船貢氏（故人）、金子登氏、大滝昌之氏、倉谷和憲氏、遠藤英喜氏にはいろいろとお世話になりました。お忙しい仕事の合間をぬって、親身にお世話してくださった卒業生の諸氏に心よりお礼申し上げます。

振り返ってみると、ブラジルでの研究はつねに自転車操業でしたが、この中で、しばしば海外旅費の助成をしてくださった九州大学教授の湯元清文氏に対し心より感謝申し上げます。湯元教授からの援助なしにはブラジルでの観測を長期間継続して発展させることは難しかったと思われます。また、元名古屋大学助教授の西野正徳氏とは磁気異常帯の観測をずっと一緒に行って来ました。彼の真摯な探究心と誠実な人柄に支えられて、南米域の観測を発展させることができたと思います。また、拓殖大学の星野光男氏には南米や沖縄・柿岡での光学観測機器の製作やイメージングリオメータ・アンテナの製作等でお世話になりました。彼のすばらしい工作技術のおかげで、観測に必要な物品を迅速に作り上げることができました。1例をあげると、南米に3ヶ所、日本に1ヶ所設置したイメージングリオメータのアンテナは全て星野氏の製作によるものです。他方、名古屋大学の加藤泰男氏と佐藤貢氏にはイメージングリオメータ受信機やコントロー部の製作を献身的に援助していただきました。

名古屋大学教授の菊池崇氏や情報通信研究機構の野崎憲朗氏には磁力計をブラジルに設置するために共に現地に出かけ、ご援助いただきました。また、ブラジルで紫外線観測やOH観測を行っている立教大学教授の山本博聖氏にはブラジルやチリに物品を輸送する際の費用をたびたび援助していただきました。さらに、信州大学教授の宗像一起氏、琉球大学教授の古川雅英氏、核燃料サイクル開発機構の鳥居達夫氏および元放射線医学総合研究所の藤高和信氏には宇宙線観測の面のみならず、数々のアドバイスやご援助をしていただきました。特に古川教授には沖縄での光学観測の立ち上げの際にお世話いただきました。この沖縄での光学観測については本文中に述べておりますように、親身にお世話してくださった増田悦久氏が突然逝去されたため、後を引き継いでいただいた、ご子息の増田耕平氏に観測機器のオペレーションと保守をお願いしております。

東北大学教授の岡野章一氏は私とブラジル観測プロジェクトを立ち上げた方で、当初大変なご苦勞をおかけしました。現在は惑星観測プロジェクトに専念するため、ブラジルでの観測から離れておられますが、いろいろとご相談させていただいております。また、国学院大学教授の柴崎和夫氏には現地でのオゾン観測機器の設置や解析でお世話をいただきました。その他、名古屋大学教授の菊池崇氏や情報通信研究機構の野崎憲朗氏はブラジルに磁力計を設置するために現地に出掛け、ご援助してくださいました。また、大気電場計やフォトメータ測定器をブラジルや沖縄での観測のために提供してくださった名古屋大学助教授の塩川和夫氏、およびブラジル観測の重要性をご理解くださり、継続的にご支援をいただいている名古屋大学太陽地球環境研究所所長の藤井良一氏に心よりお礼申し上げます。

私は南極や北極でオーロラ観測を行ってきた関係で、極地研究所でこれまで研究をさせていただいておりますが、ブラジル磁気異常帯での観測に際しても、山岸久雄教授、鮎川勝教授、佐藤夏雄教授、行松彰助手および元極地研究所教授の江尻全機氏には、現地への輸送費や観測機器の購入等でご支援をいただきました。特に、行松助手はブラジルに2

回ほど出かけ、ブラジル各地で宇宙線観測を実施していただきました。また、秘書の高浜信子さんと安養寺春子さんには事務的な雑務のお手伝いをしていただきました。他方、地磁気観測所でイメージングリオメータの設置をする際、設置許可の手續や設置後の観測機器の保守について、小出考氏、外谷健氏、大川隆志氏に大変お世話になりました。

国外の方々については、ブラジル南部観測所や南部宇宙センターの立ち上げに精力的に貢献された Nelson Jorge Schuch 博士に対しては、どれほど感謝してもしきれないくらいお世話になりました。彼の努力なしに我々のブラジル磁気異常帯での観測や研究を進めることは不可能であったと思います。彼と出会ったことは磁気異常帯の研究を進める上でもまた私自身にとっても誠に幸運なことでした。また、INPE の高橋久男氏にはブラジルでの予備調査の段階から今日までつねに援助をしていただきました。同じ分野の日本人研究者がブラジル宇宙科学研究所におられることは我々にとって大変心強く、現在も多方面にわたりお世話になっております。また、コンセプション大学の Alberto Foppiano 教授やマゼラン大学の Ricardo Monreal 教授には観測小屋の建設から観測機器の保守までお世話くださいました。チリの大学を訪れるといつも家族ぐるみで我々をもてなしてくれます。彼らのやさしい心づかいに感謝の気持ちで一杯です。この他に、アマゾン大学の Walter Castro 教授やパライバ大学の Ricardo Arlen Burititi de Costa 教授および INPE のサンルイス観測所の Acacio Cunha 氏には観測機器の設置等でお世話いただきました。また、トリニダード・トバコの西インド大学 Ramusey Saunders 教授と Ricardo Clarke 氏には、観測機器の設置および保守でお世話になっています。この他に、ここで述べることができなかつた多くの方々からも温かいご援助をいただきました。そのような方々全てに対して、この場をお借りし心よりお礼申し上げます。

本書は磁気異常帯の観測プロジェクトに参加された方々が発表された論文も含めて、私がまとめたものです。断りなしに引用した部分もあるかもしれませんが、どうぞその点をご容赦ください。また、本文中には誤った記述等があるかとは思いますが、それは全て著者である私の責任です。もしそのような誤った記述がありましたら、忌憚のないご指摘をお寄せくださるようお願い申し上げます。

また、本書は拓殖大学の出版助成を受けて出版することができました。お世話いただいた関係各位に心よりお礼申し上げます。そして、本の編集および出版に関して多大なご助言、ご協力をいただいた（株）愛智出版の丸川満社長に厚くお礼申し上げます。

最後に、海外観測などで家を留守にすることの多かつた私に代わり、家庭内の仕事をこなし、この本の出版を心待ちにしている妻、巻田美智子および本書を執筆中に悔しくも他界した父、巻田正作に本書を捧げたいと思います。

平成 19 年 9 月

巻田 和 男

目 次

第1章 地磁気ホール (Geomagnetic Hole)

トピックス1：高エネルギー電子の入射分布

- 1.1 磁気異常帯を飛行する衛星
- 1.2 入射粒子と地球磁場強度
- 1.3 磁気異常帯の成因
- 1.4 地球磁場の減少が環境に与える影響
- 1.5 磁気異常帯での地上観測

第2章 地球磁場変動

トピックス2：磁場反転シミュレーション

- 2.1 地球磁場逆転
- 2.2 地球磁場の強度変動
- 2.3 地球磁場の西方運動
- 2.4 地球磁場の強度分布
- 2.5 将来の地球磁場強度

第3章 磁気異常帯での衛星観測

トピックス3：火星の磁場

- 3.1 磁気異常帯への入射粒子および発光現象
- 3.2 磁気異常帯での人工衛星障害
- 3.3 磁気異常帯への粒子と放射線帯粒子
- 3.4 磁力線に沿って往復運動する粒子
- 3.5 磁気異常帯に入射する低エネルギー粒子

第4章 磁気異常帯および関連地域での地上観測

トピックス4：核スポット

- 4.1 放射線帯の発見から最近の観測まで
- 4.2 磁気異常帯での観測
- 4.3 地磁気共役点のトリニダード島での観測
- 4.4 沖縄での光学観測
- 4.5 プンタアレナスおよびコンセプションでの観測
- 4.6 気象庁・地磁気観測所での観測
- 4.7 ブラジル国内での観測

第5章 磁気異常帯での観測結果

トピックス5：地球磁気圏

5.1 観測概況

5.2 地磁気観測

5.3 VLF/RF 帯電波観測

トピックス6：放射線帯

5.4 イメージングリオメータ観測

トピックス7：オーロラ現象

5.5 光学観測

トピックス8：木星のオーロラ

5.6 宇宙線・大気電場観測

トピックス9：オゾンホール

5.7 紫外線観測

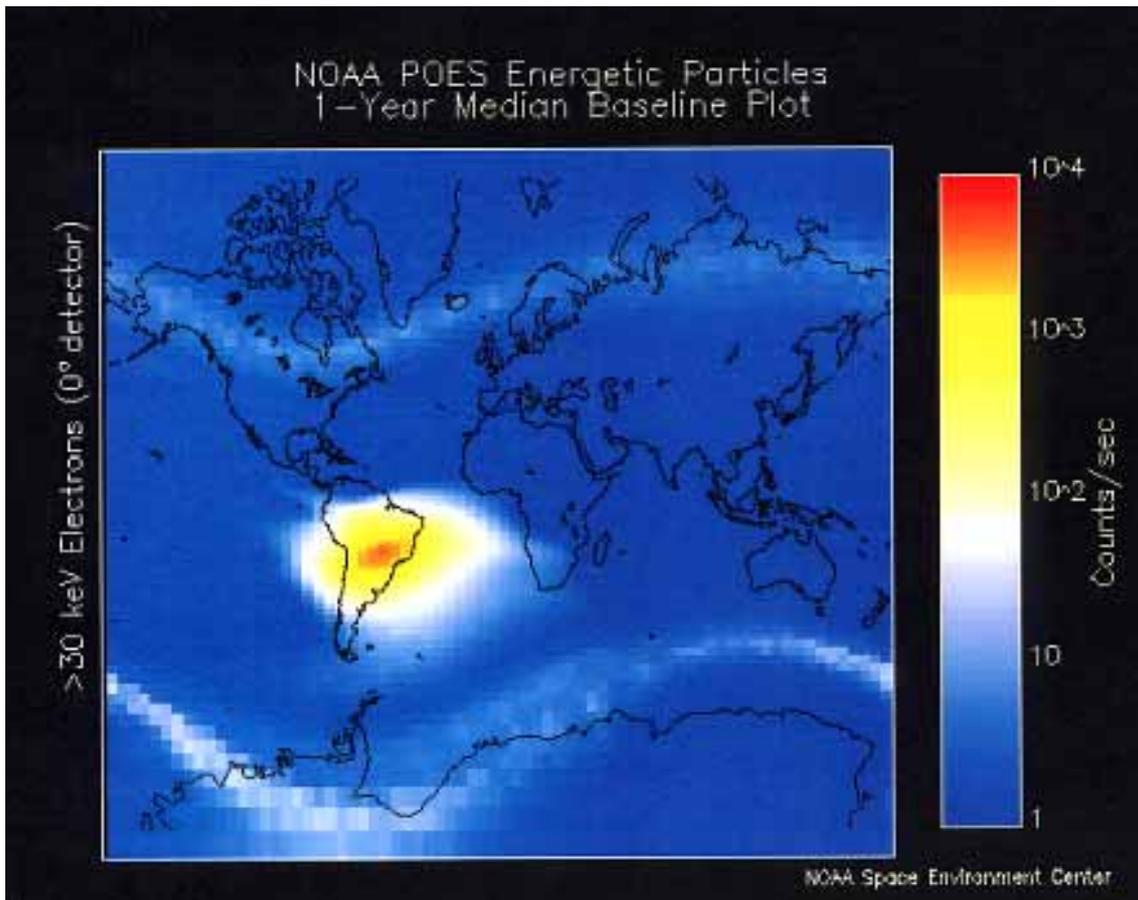
トピックス10：走磁性バクテリア

5.8 胞子線量計観測

あとがき

参考文献

第1章 地磁気ホール (Geomagnetic Hole)



トピックス1：高エネルギー電子の入射分布

図はNOAA衛星により高度800km付近で観測された高エネルギー電子数(>30keV)の入射分布である。このデータによるときわだって大きな電子数の降下がブラジル南部域で観測される。この領域は地球磁場が異常に弱い場所に対応しており、この弱い磁場領域にめがけて粒子が降下している。その意味からブラジル南部域は宇宙空間の粒子に対して地球磁場の穴 (Geomagnetic Hole) があいている領域と言える。現在、地球磁場は急激に減少しているため、それに伴いこの領域が拡大しており、入射粒子数も増加しつつあると考えられる。(www.sec.noaa.gov/tiger/baselines/gt100keve0.html)

1.1 磁気異常帯を飛行する衛星

日本の南極観測が始まった 1957 年に世界初の人工衛星がソ連から打ち上げられ、宇宙時代の幕が切っておとされた。それから 50 年あまりの間に、人工衛星による様々な観測が行われ宇宙空間に対する我々の知識は飛躍的に増大した。特に、地球周辺の荷電粒子（電子・陽子）観測により、南極や北極域にたくさんの電子や陽子が降り込んでいることがわかり、それがオーロラ現象を引き起こしていることが理解されるに至った。これと共に、南大西洋地域に多量の高エネルギー粒子が入射していることも明らかになった（Kohno et.al., 1990）。人工衛星の観測によると、高度 700km から 850km において数十 keV 以上の高エネルギー電子および陽子の入射フラックス量が南大西洋からブラジル域にかけて顕著なピークを示していることがわかる。ここで注意すべき点は、この南大西洋からブラジル域に入射している粒子のエネルギーは極地域でオーロラを発光させている粒子エネルギーに比べ 1000 倍程度大きいことである。このために、この領域ではオーロラ光ではなく X 線の放射が観測されている。実際に人工衛星で測定された宇宙放射線の線量率分布図によると（Buhler et.al., 1996）、南大西洋からブラジル域でピーク値を示しており、この観測結果は入射粒子フラックスのピーク領域と一致している。藤高（元放射線医学総合研究所・総合研究官）によると、この領域での放射線量は 1 時間当たり 0.69mGy に達し、その線量は地表面での放射線量の 2 万倍の強度に相当するという（Fujitaka, 1982）。仮に、このピーク域に 50 時間滞在したとすれば、この間に受ける被爆量は法律的に規制されている、放射線取り扱い従事者に対する一年間の被爆量の上限値に匹敵する。

これら南大西洋からブラジル域に入射する粒子は、1960 年代の初めにアイオワ大学のバン・アレン（Van Allen）のグループが発見したバン・アレン帯（放射線帯）にその起源を持っている（Van Allen et.al., 1958）。この放射線帯は地球周辺をドーナツ状に取り囲むように存在しており、そのエネルギーは数メガ電子ボルト（MeV）から数 100 メガ電子ボルト（MeV）である。なお、電子が 1 ボルトの電位差間を運動するときを得るエネルギーを 1 電子ボルト（eV）という。極地方に見られるオーロラを発光させる粒子のエネルギーは数百電子ボルト（eV）から数十キロ電子ボルト（keV）である。

ところで、南大西洋からブラジル域では放射線を励起させる高エネルギー粒子が多量に入射しているため、この領域を飛行する人工衛星に搭載されている測定器に様々な影響が見られる。人工衛星に搭載された半導体メモリ異常が見られた場所をプロットすると、その領域は南大西洋からブラジル域に集中している（Heirtler, 2002）。このため、この領域を通過する人工衛星は放射線から搭載計器を守るために電源を OFF にすることが多い。また、ハッブル（Hubble）望遠鏡のように高度に姿勢制御が必要な人工衛星はこの領域で姿勢制御が難しいためその運用が困難であると言われている。このように、磁気異常帯上空では人工衛星による様々な観測が困難であるばかりか、測定器に障害や劣化が生じている。さらに、磁気嵐時にはこの領域に入射する粒子量が増加するため、このときに磁気異常帯を通過する衛星に致命的な障害を与える可能性が懸念されている。

1.2 入射粒子と地球磁場強度

南大西洋からブラジル域にかけての領域は地球磁場が異常に弱いため (Word Data Center for Geomagnetism, 2002), 磁気異常帯 (歴史的には南大西洋磁気異常帯と呼ばれているが, 本書ではブラジル磁気異常帯とも呼ぶ) と呼ばれている。この磁気異常帯に何故たくさんの高エネルギー粒子が入射しているのかを考えてみる。放射線帯 (バン・アレン帯) に存在している荷電粒子 (電子や陽子など) は地球の磁力線の回りにまわりつくように回転運動をしている。この荷電粒子は磁力線に沿って降下し地球表面に近づくにつれ, 磁場の強度が強まるため粒子の回転速度が上昇する。したがって, 粒子の運動エネルギーが保存されているとすれば, 粒子の下降速度成分が次第に小さくなり, ある高度まで降下した粒子は下降速度がゼロとなりやがて反転する。この粒子が反転する高度をミラー高度といい, 荷電粒子は磁力線に沿って南北半球のミラー高度間を行ったり来たりするバウンス運動を繰り返す (遊具のフラフープは回転速度を早めると, 下方に落下しなくなるのと似たような現象と考えられる)。そして世界各地のミラー高度を計算してみると, 地磁気の弱いブラジル磁気異常帯を除いて, その高度はおよそ 500km 以上である (Torr, 1975)。

一般に, 500km 以上の高度では中性大気やイオン粒子が大変希薄であるため, 降下した粒子は周囲の粒子と衝突することなく反転し, エネルギー損失をほとんど起こすことなく安定したバウンス運動が保たれている。このように粒子が安定に地球磁場に捕捉されているのが放射線帯の粒子群である。ところが, ブラジル域では地球磁場が大変弱いためミラー高度は 100km 以下である。このため入射粒子はしばしば地球表面付近にまで降下することになる。地上から高度 100km 以下の領域には中性大気やイオンが存在しているため, 降下した荷電粒子はそれらの粒子と衝突し, X線を放射し消失する。

前述した人工衛星で観測された入射粒子量の分布と地球磁場の強度分布を比較してみると, 入射粒子量の大きい領域は磁場強度が異常に弱いブラジル南部域にほぼ対応している。観測によるとブラジル南部域の地球磁場は大変弱く, 我々が観測している地点の磁場強度は 23,000nT (0.23 ガウス) で, これは日本の磁場強度のおよそ半分程度である。このためミラー高度が低く, 放射線帯粒子が地表近くまで入射し, 中性大気と衝突しX線を放射していると考えられる。なお, 1nT (ナノテスラ) = 10^{-9} T, また, 1 T (テスラ) = 10^4 G (ガウス) である。

1.3 磁気異常帯の成因

地球磁場が何故ブラジル域で異常に弱いのであろうか, この点を理解するためには地球磁場の成因について考えてみなければならない。現在のところ, 地球磁場の生成に関しては「ダイナモ理論」が多くの研究者により支持されている。この理論は地球の自転に伴い液体状の外核内の自由電子が運動をすることにより電流が流れて磁場を発生させるという

ものである (Elsasser, 1946)。したがって、地球の自転運動や内部の熱力学的対流運動が磁場形成に重要な働きをしていると考えられる。このように外核内を流れる電流により生じている地球磁場は自転軸から 10 度ほど傾いた 1 本の棒磁石が存在していると考えてよいだろう。このような磁場を双極子磁場というが、我々の地球磁場は近似的にこのような双極子磁場と仮定することが出来る。ここで注目すべきことは、地球磁場の双極子成分はこの 1000 年余りの間単調に減少を続けており、もし現在の速度で今後も減少を続けると、あと 1000 年足らずで双極子磁場の強度は半分程度になると推定される (Fraser, 1987)。このような減少が一時的な変化であり再び強度が回復していくのか、あるいは近い将来、地球磁場の逆転が起こるのか、現在のところ結論を出すことは難しい。これについて、 Hoffman (Hoffman) が磁場逆転のプロセスに関して次のような報告をしている (Hoffman, 1995)。彼の研究では、98 万年前に起こった磁場逆転 [現在の方向 (Normal) から逆方向 (Reverse)] と 78 万年前に起こった磁場逆転 [逆方向 (Reverse) から現在の方向 (Normal)] 時には、いずれも磁場強度が大変弱くなっている。しかしながら、92 万年前に磁場強度が大変弱まった時には、地球磁場は逆方向のままで磁場逆転が起きなかったという。このように地球磁場の減少は必ずしも磁場逆転に結びつかない場合もあるが、逆に磁場逆転の起きる時には地球磁場の強度が大変弱くなることは確からしい。また、磁場が減少し磁場逆転が起きてから再び磁場強度が回復するまでの時間は数千年から 1 万年程度であると推定されている。

他方、南大西洋域で地磁気が異常に弱い理由についてガビンズ (Gubbins) は次のような仮説を提唱している (Hoffman, 1988)。一般に地球磁場は優勢な双極子磁場と弱い非双極子磁場の重ねあわせで構成されていると考えられるが、地球磁場が安定している時期には双極子磁場も安定して強い。しかし地球磁場が急激に減少している現在のようない時期には双極子磁場が弱まり、非双極子磁場が優勢になっていると考えられる。いま問題になっている南大西洋からブラジル南部域で磁場強度が異常に弱いのは、この領域下の外核表面で現在の双極子磁場の方向とは逆向きの非双極子磁場が強まっているためであると解釈できる。ガビンズは、南大西洋域の外核内に双極子磁場とは逆向きの磁場「核スポット」が限られた領域に出現しており、この成分が今後強度を増し、汎世界的に広がって行くとすれば、現在ある双極子磁場の逆転を引き起こす可能性がある」と指摘している。

ここで地球磁場強度の年間の変化量について調べてみると、日本列島付近での磁場強度の年変化は +20nT 程度であり増加傾向である。汎世界的に見るとユーラシア大陸からヨーロッパにかけての領域では増加傾向にある。他方、カリブ海や南大西洋および南極半島周辺では毎年 -100nT 以上の急激な減少が見られ地域がある。また、磁気異常帯の中心付近での磁場減少は年間 -40nT 前後とそれほど大きくはないが着実に減少を続けている。以上のことから地球磁場の増減は場所によりかなり異なっていること、また、磁気異常帯の周辺部においては急激な磁場減少が起きており、その領域が拡大しつつあると言える。仮に現在の割合で磁場減少が続くとすれば、磁気異常帯周辺部の磁場強度はあと 200 年余り

で大変弱い状況になると予想される。地球科学的な立場からすると 200 年はごく短い時間であり、人類は近い将来磁場が極端に弱い環境に置かれる可能性がある。

1.4 地球磁場の減少が環境に与える影響

地球磁場の減少が今後の地球環境にどのような影響を引き起こすのかについて、現時点で明確な予測をするのは困難である。これまでに行われた研究結果の一部について紹介する。故 川井直人博士（元大阪大学教授）は琵琶湖の湖底に堆積した資料をもとに、数十万年前の地磁気変動と気候との関係について解析を行った（Kawai, 1988）。彼は堆積物の分析から地磁気変動と炭素量の変化を比較した。その結果よると現在と同じ方向の双極子磁場が安定に保たれていたと思われるブルネ期の地球磁場（78 万年前より現在まで）において、今から 11 万年前、18 万年前、29 万年、35 万年まえの 4 回にわたり、地磁気が不安定になった時期があった。この地磁気が異常を示した 4 回の時期にそれぞれ対応して、全有機物炭素、炭化水素、タンパク質炭素量を調べると、明確に激減していたという結果が得られた。一般に、気温が寒冷化すると光合成反応が押さえられるために有機物の生産が激減することが知られている。すなわち、この結果は地球磁場の異常に伴い、気候が寒冷化したことを示唆している。この研究結果はその因果関係がはっきりしないため、多くの人に認められていると言えないが今後詳細な検討の必要な課題であろう。

また、最近、ガレットやコーティロットら（Gallet et al., 2005, 2006 ; Courtillot, 2007）は過去 3000 年間のパリ近郊の地球磁場変動とアルプス氷河の増減とを比較している。それによると地球磁場強度の増加と地球の寒冷化（氷河の発達）とが良い相関を示していると結論している。さらに、このような気候の寒冷化がエジプトやメソポタミア文明の衰退に関係しているのではないかと推論している。この説が正しければ、現在、地球磁場は減少しているため、温暖化傾向を示すことになる。彼らが示した結果は、川井博士の結果と同様に、地球磁場がどのようなプロセスで気候変動に影響を与えるのかという因果関係をはっきり示していないため、現在のところ、広く認められるまでに至っていない。

ところで、気候変動に関して宇宙線の入射量が影響を与えているという新たな考えが最近注目されている。すなわち、宇宙線が対流圏に入射し雲の核を形成し、雲量を増加させ、地球規模の寒冷化を招くという仮説（Svensmark and Friis-Christensen, 1997）である。この仮説が正しいとすれば、地球磁場の減少は宇宙線の入射量を増加させるため寒冷化を引き起こすことになり、ガレットらの結論とは逆の結果となる。いずれにしろ、現時点では、地球磁場が気候変動にどのような影響を与えるのかはよくわかっていないと言える。

他方、ステフェンソン（Stephenson）とスコールフィールド（Scourfield）の報告によると（Stephenson et. al., 1992）太陽から飛来した陽子が極冠域（ポーラーキャップ）に入射しオゾン層を破壊しているという。彼らは 1989 年 3 月 6 日に発生したフレア爆発に伴い太陽から放出された陽子が極冠域に入射し、フレア爆発後、2 週間あまりの間に全オゾン量の約 9% が減少したと報告している。今後、地球磁場の減少が続くと中低緯度にも陽子

が入射しやすくなるため、オゾン層破壊が起こり紫外線の強度が増加する可能性が考えられる。ただ、高エネルギー粒子の入射高度は高々50km程度であり、オゾン層のピーク高度(25km)より高いこと、さらに、中低緯度では下降流が弱いいため、地表付近のオゾン層に与える影響は少ないであろうと多くの研究者は考えている。

ところで、地球磁場の減少が起きると地球磁気圏も縮小するため、現在、極地方でしか見られないオーロラが将来、日本でも見られるようになるかもしれないと小口博士(名古屋大学太陽地球環境研究所前所長)は報告している(Oguti, 1993)。彼の計算によると地球磁場の減少に伴い極光帯は低緯度側に移動し、およそ1000年後には日本の上空が極光帯の中心になると推定している。その頃には、東京の夜空にオーロラが乱舞することになるかもしれない。

1.5 ブラジル磁気異常帯での地上観測

地球磁場の減少が現在の地球環境にどのような影響を与えるのかを明らかにするために、海底や湖底の堆積物を調査し、過去の地球環境と地球磁場変動の関係を調べる研究が行われている。特に堆積層が厚いと言われるバイカル湖の湖底調査が現在進行中である。この調査結果は我々の研究とも関係が深いため注意深く見守っている。なお、このような堆積物の調査で問題となるのは、地球磁場強度の減少、磁場逆転、磁場強度の回復までの1サイクルの時間がおおよそ1万年前後であるという点である。この短期間の堆積物を調査し、その中に気候変動の証拠を見つけられるか否かが調査のカギとなるだろう。他方、現在南極大陸で行われている氷床ボーリングにより収集された雪氷コアのデータの解析から、過去の地球環境と地磁気変動との関係が明らかになるかもしれない(Fujii, 2001)。ただ、雪氷コア中には地磁気変動の指標となるような含有成分が微量であるため、現状の解析技術では雪氷コア解析から磁場反転と地球環境の関係を明らかにすることは難しいかもしれない。

将来、地球磁場が弱まり大気環境に変動が生じた場合、その環境変動の兆候が顕著に現れるのは地球磁場がすでに弱い磁気異常帯であろう。これまで述べてきたように、ブラジル南部域上空には多量の高エネルギー粒子が入射している。それに伴い生起しているかもしれない地磁気や大気電場の特異現象、自然電波の励起や発光現象あるいは放射線や紫外線の入射量の変動を明らかにすることにより、その手がかりがつかめるかもしれないと考え、1996年より磁気異常帯中心部に近いブラジル南部(サンタマリア市郊外)で超高層大気観測機器を設置し、継続的に観測を行っている(Makita, 1997)。

ところで、地球大気は生物の生存に不可欠な酸素を含み、生物の生存にとってなくてはならぬものであるが、同時に宇宙から飛来する有害な粒子や宇宙線が地上に到達するのを食い止める役割もはたしている。これまで生物が繁栄してきたのは、まさにこの地球大気のおかげである。他方、地球磁場は過去何回も逆転し、そのたびに磁場が極端に弱くなった時期があったが、生物は滅亡せずその時期を乗り越えてきた。このことから、地球磁場

が弱まっても生物を破滅に導くような環境変動は起こらないだろうと考えられる。

しかしながら、将来地球磁場の一部にほころびが生じたとき、地球大気は生物を安全に守ってくれるのであろうか。また、そのときの気候変動を含めた環境変動の影響の大きさについて、我々はほとんど理解していない。現在のところ、このような課題に取り組み、磁気異常帯で地上観測を実施し、調査を行っているのは我々のグループを含めわずかである。この問題は人類の生存に関する重要な課題であるため、今後、長期的な視野に立ち、観測を継続し“地球磁場減少に伴う環境変動”の全貌を明らかにする必要があると考えている。