

Google Earth を利用した地磁気変動モデルの可視化

Visualization of geomagnetic secular variations with Google Earth

* 畠山 唯達

岡山理科大学 情報処理センター

Tadahiro Hatakeyama

Information Processing Center, Okayama University of Science,

Okayama 700-0005, Japan

1 はじめに

近年の ICT 技術の発達によって、直感的にわかりにくいものや概念的に難しいものを説明する手段が増え、表現法も豊かになってきた。直感性が低いものや抽象的な学問的概念はもともと、学習者に対する教育コストが大きく、学習者本人にとっては「とっつきづらい」、「何だかわからない」ものと受け取られてしまいがちである。特に、電磁気学的物理量は見えない場をあらわすスカラーやベクトル量であり、一般の人や初学者にとって非常にわかりづらい量であることは否めない。筆者は地磁気の変動を研究対象としているが、これもまさに「見えないベクトル量」であることが原因でなかなか伝えづらいものであると強く感じている。地磁気を研究する分野では、普段地磁気を表現する方法として平面投影したものを使用するが、これらは慣れない学生にとっては直感しづらいものだし、プロの研究者どうしても時折表現法が問題で誤解を招くことがある。

そこで、地磁気ベクトルや古地磁気学で使用するデータをもっとわかり易くする表現法の研究を始めた。今回は、これまで^{[1][2]}に行った Google Earth^[3] を用いた地磁気ベクトルの可視化について、今年度に進捗した分を報告する。表現しているものやデータの作り方などは昨年の研究報告をご覧になっていたが、現状このようなものを表現するために Google Earth が最適な手段だと判断した理由は、(1) 無料かつマルチプラットフォームであること、(2) もっともよく普及しているもの (他にもバーチャル地球や 3 次元フレームがあるが、Google Earth ほど皆が知っているものがない)、(3) 利用法が直感的であること、などである。

Google Earth でははじめから丸い地球の上に衛星・空中写真による地表の画像が表示され、さらに地図情報や Wikipedia とリンクした位置情報などが用意されている。さらにユーザー自身が自分のデータを追加することができる。これらのマークなどは KML という XML の 1 種のファイルに保存されるが、別途 KML ファイルを作成することで Google Earth 上にポリゴン、画像、などを配置することができる。本研究では地磁気の様子を表す磁力線や地表で観測される地磁気成分の等高線マップなどを Google Earth 上に投影し、3 次元的な磁場の広がり表現することを目的としている。

今年度では、以下のような新規公開分、変更点などがあったので報告する。

- 公開する KML の追加
- 公開サイトの充実とサイト URL の変更
- 3 次元可視化に関する考察

*hatake@center.ous.ac.jp

2 新規に公開した KML ファイル

昨年の報告では、2007 年度の立ち上げ期に作成して公開した (a)2005 年現在の地球磁場、(b) 過去 1 世紀間 (AD 1900-2005) の地磁気変動モデル IGRF^[4]、(c) 日本における過去 2000 年間の地磁気方位の変化モデル^[5]、の 3 つの地磁気モデルについてを表す KML を紹介した。ここでは、昨年度の研究報告以降で現在までに開発・公開している、3 種類の異なる期間における地磁気変動モデルを表した KML ファイルを紹介する。作成方法などは昨年とほぼ同じであるが、磁力線の足の配置や積分間隔等のパラメータは多少変更している。

2.1 過去 400 年の現在の地球磁場

西暦 1900～2005 年の標準地球磁場モデル (IGRF: International Geomagnetic Reference Field^[4]) は機械を用いた地表での観測データおよびごく近年の人工衛星によるデータをもとに、全地球的なモデルを作成したものである。しかし、それ以前は地球上の広い領域で地磁気が定常的に観測されてこなかった。これより古い地磁気のモデルを作成するためには、人間が観測した断片的な地磁気方位・強度のデータや古地磁気学的手法を用いて過去の岩石等から復元したデータを使用する必要がある。

Jackson et al. (2000)^[6] は、Jonkers et al. (2003)^[7] が収集整理した 16 世紀終盤以降の航海士たちが観測した地磁気データをもとに過去 400 年 (AD 1590-1900) の地球磁場モデルを構成した。

ここでは、このモデルをもとに地球磁場の磁力線と伏角、偏角等成分を計算し、KML ファイルを作成した。なるべく滑らかになるように 2 年おきのデータを作成した (図 1)。

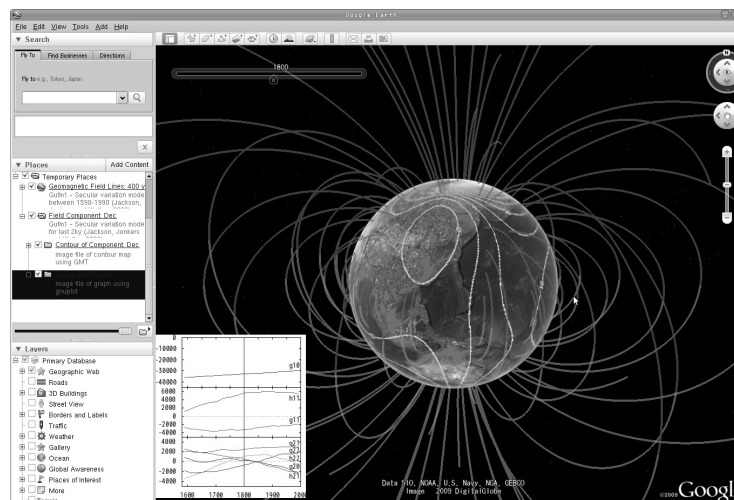


図 1: 過去 400 年分の磁場変動 (Jackson et al., 2000) における、磁力線と地表での磁場方位成分。この図では、磁力線と偏角 (D) を同時に表示している。

2.2 過去 7000 年の現在の地球磁場

上記の過去 400 年より長い地磁気モデルを作成するためには、もはや人間が直接観測したデータだけに頼ってはいけなくなる。もっと長期間に地磁気の証拠を残したデータ、すなわち過去の岩石等に残された残留磁化を測定し復元する古地磁気学的手法が不可欠になる。古地磁気学的手法の対象となるもののうち最も残留磁化の素性がよいものは、土器の破片や土器を焼いた窯跡などの考古学的遺物である。前者からは信頼性の高い過去の地磁気強度のデータが、後者からは同じく信頼性の高い地磁気方位のデー

タが得られる(中島, 夏原, 2001^[8] など)。さらに、湖沼の底に溜まった泥をボーリングして採取し古地磁気測定して得られた地磁気の方角は堆積した時の地磁気を反映していると考えられる(小玉, 1999^[9])。これらのデータは比較的信頼性が高いだけでなく、時間的連続性があるため、地磁気の変動を復元するためには必要不可欠である。

上記のような考古地磁気データや湖沼堆積物の古地磁気データから過去数千年の地磁気変動を復元するモデルがこれまでにいくつか提唱されてきたが、ここでは、過去 7000 年の全球的な地球磁場を復元したモデル(Korte and Constable, 2005^[10])から地磁気の磁力線と方位を計算し、Google Earth 上に表現した(図 2)。

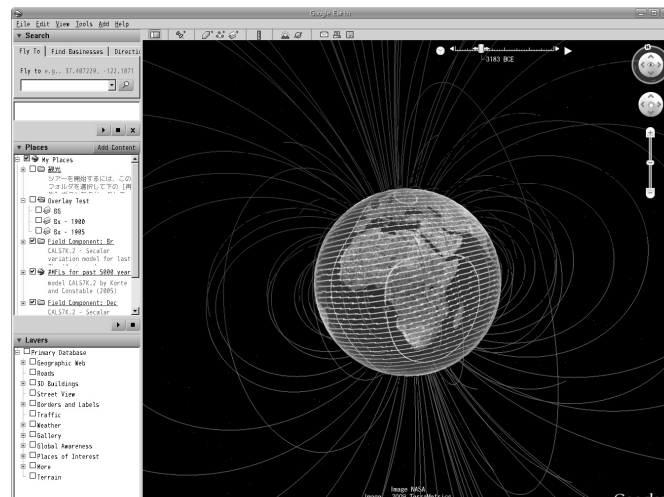


図 2: 過去 7000 年分の磁場変動(Korte and Constable, 2005)における、磁力線と地表での磁場方位成分。この図では、磁力線と偏角(D)を同時に表示している。50 年毎にモデルから磁力線、磁場成分を計算している。

2.3 地磁気逆転途中の地球磁場

地球の磁場は過去幾度に渡りその極性が逆転してきた(たとえば^[9]を参照)。その最後の逆転は今から約 78 万年前にあったと考えられるもので、逆転を挟む前後の極性の名前から「松山-ブルン地磁気逆転境界」と呼ばれる。この逆転境界については古地磁気データがある程度得られていて、全地球磁場のモデルを作成する試みが行われている。

データの数が少なく分布もまばらであること、時代誤差をたぶんに含むと考えられることから、これらのモデルには多分の不確実性があると考えられる。とはいうものの、逆転途中の地球磁場の様子を表現している一つであるので、KML ファイルを作成し観察できるようにした。ここで用いたモデルは、Leonhardt and Fabian (2007)^[11]によるものである(図 3)。

過去に地磁気の逆転があったということは広く理科の教科書に記述されているが、どのように起こっているかは学生だけでなく専門家にとっても大変つかみづらいものである。本研究の KML ファイルを用いれば、逆転途中に起こっているできごとの様子が手に取るようわかるので、教育研究に大いに役立つと考えられる。

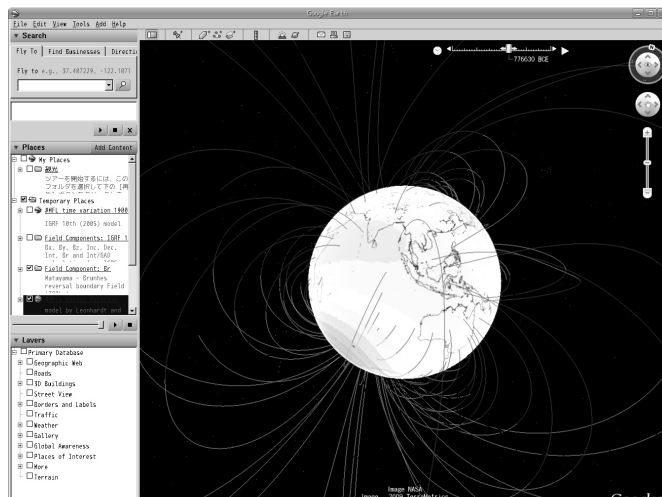


図 3: Matuyama/Brunhes 地磁気逆転境界(約 78 万年前)の磁場変動モデル (Leonhardt and Fabian, 2007) における、磁力線と地表での鉛直磁場成分 (B_z)。磁力線からは地磁気逆転時における地磁気の「流れ」の様子が、鉛直成分の等高線マップからは磁場が弱くなる様子と磁気赤道の変化の様子がよくわかる。このモデルの場合、地磁気双極子が弱くなっている逆転期間では地磁気四重極子が卓越している。

3 プロジェクト名、配布サイトについて

これまで、「Google Earth による地磁気の可視化」というタイトルで配布サイトを運営してきたが、プロジェクト全体に MAGE (Mapping Applications to Geomagnetic Environments) というタイトルをつけ、配布サイトの URL を <http://mage-p.org/> にした (図 4)。使用法についてのビデオ (図 5) も作成し、Youtube へアップロードした動画をサイト内に貼り付けた。また、特に日本語のサイト内では、地磁気の成分や変動についての簡単な解説を加え、一般や学生の皆さんにとつきやすいサイトを目指している。



図 4: 各種 KML ファイルを配布しているサイト <http://mage-p.org/> 英語ページ (左) と日本語ページ (右)。日本語ページには地磁気とその変動に関する簡単な解説も載せている。

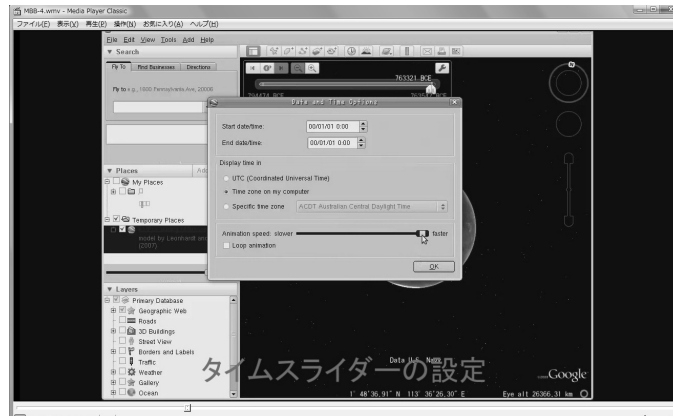


図 5: サイト内に埋め込んだ使用法動画。動画自体は Youtube へアップして、他のサイトからもリンクできるようにしている。

4 3次元可視化について

Google Earth は 3 次元的可視化ツールであることは確かだが、実際にはモニタ上で表示・操作するので 2 次元的なアプリケーションであることは否めない。そこで、現在以下のような方法で 3 次元的な体験を提供する実験をしている。

1. Google Earth 内で左右に視点を少しずらして撮ったスナップショットを交互に出すアニメーション GIF 形式のファイルを作成 (図 6)。
2. 上を発展させ、左右両眼用に Google Earth を操作している動画を撮り合成した、3 次元立体視動画の作成 (図 7)。

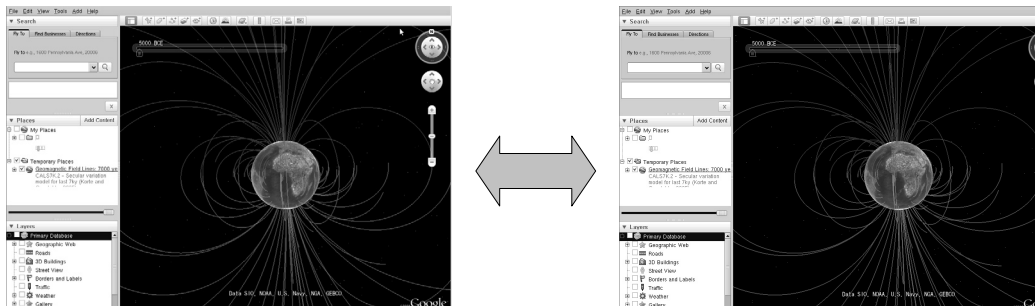


図 6: アニメーション GIF による立体視のテスト。左右の画像が交互に出る (切り替え時間は約 0.2 秒) ことによって立体的に見える。

今後、教育・アウトリーチや研究の現場でより立体感を感じるために、Dagik Earth^[12] や Google Earth Plugin API (ブラウザで使用する Google Earth) を利用した 2 画面同期 Google Earth を用いた平行法立体視、立体ディスプレイなどについても実験をする予定である。

5 まとめ

昨年引き続き Google Earth を用いた地磁気の 3 次元可視化について報告した。ここまでの成果で磁力線と観測成分というものを通して直感的に見えない磁場を理解することができるようになるのではな

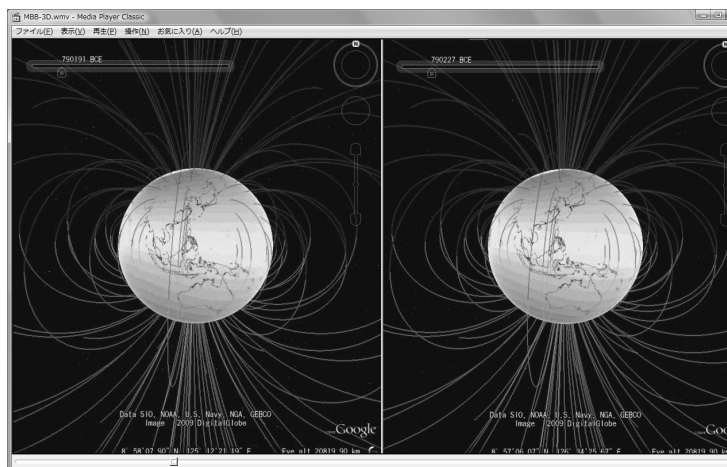


図7: 立体視動画。平行法立体視を使用しているが、画像間が結構開いているので立体視用メガネを使って見ることを想定している。

いかと考えられる。今後は KML ファイルの種類を増やす (たとえばダイナモシミュレーションの数値計算結果) とともに、教育・啓蒙・研究の現場での実践機会を多く作りたい。また、より3次元的 (時間軸も入れれば4次元的) に体感できるような方法を模索していきたい。

昨年の報告書でのまとめにも記載した今後の課題のうち、「磁場の強さの表現」や「KML ファイルの自動生成」についてはまだ未解決である。これらの点についても引き続き研究改良を重ねていきたい。また、結果的に古地磁気学がもたらした重大な地球科学上の発見であるプレートテクトニクスと大陸移動についても、学習研究に役立つ KML ファイルを作成・提供する予定である。

謝辞

Google Earth は Google Inc. の登録標章です。本稿で紹介する KML ファイルを含め、Google Earth の画像等をホームページや印刷物に使うときは、Google 社の許諾をお取り下さい。

References and Notes

- [1] 畠山 唯達, Google Earth を利用した地磁気・古地磁気・岩石磁気データの可視化, 岡山理科大学情報処理センター研究報告, **29**, 31–38, 2008.
- [2] Hatakeyama, T., 3D projection of geomagnetic field and paleo/rock magnetic data on Google Earth, *Data Sci. J.*, 2009 (submitted)
- [3] Google Earth
<http://earth.google.com/>
- [4] Maus S., Macmillan S., Chernova T., Choi S., Dater D., Golovkov V., Lesur V., Lowes F., Luhr H., Mai W., McLean S., Olsen N., Rother M., Sabaka T., Thomson A., Zvereva T. and International Association of Geomagnetism, Aeronomy (IAGA), Division V, Working Group VMOD, The 10th generation international geomagnetic reference field *Phys. Earth Planet. Inter.*, **151**, 320–322, 2005.
- [5] Shibuya H., Geomagnetic secular variation in Southwest Japan for the past 2,000 years by means of archaeomagnetism, M.E. thesis, Faculty of Engineering Science, Osaka University, pp. 54, 1980.

- [6] Jackson A, Jonkers A. R. T. and M. Walker, Four centuries of geomagnetic data from historical records, *Rev. Geophys.*, **41**, 1006, 2000, doi:10.1029/2002RG000115.
- [7] Jonkers A. R. T., Jackson A and M. Walker, Four centuries of geomagnetic secular variation from historical records,
- [8] 中島正志, 夏原信義, 考古地磁気年代推定法, ニューサイエンス社, 2001.
- [9] 小玉一人, 古地磁気学, 東京大学出版会, 1999.
- [10] Korte M. and C. G. Constable, Continuous geomagnetic field models for the past 7 millennia: 2. CALS7K., *Geochem., Geophys., Geosys.*, **6**, Q02H16:doi:10.1029/2004GC000801, 2005.
- [11] Leonhardt R. and K. Fabian, Paleomagnetic reconstruction of the global geomagnetic field evolution during the Matuyama/Brunhes transition: Iterative Bayesian inversion and independent verification, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **253**, 172–195, 2007.
- [12] Dagik (Daily Geospace data in KML) in Kyoto University
<http://www-step.kugi.kyoto-u.ac.jp/dagik/>

Appendix. 昨年の研究報告に載せられなかった図の掲載

昨年の研究報告^[1]では、当初4枚の図を載せる予定であったが、Google社の許諾を取るのに手間取り、黒塗りの状態での掲載になった。よってここで改めて昨年の図を掲載しお詫びいたしたい。

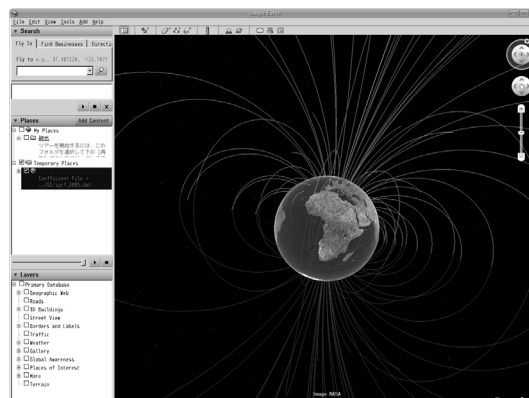


図 8: [2007 年度報告図 1] 現在の地球磁場 (IGRF 2005 分点モデル)。現在の地球磁場の北磁極はカナダにあるため、この図では、左下側に磁力線が集中している様子が見て取れる。

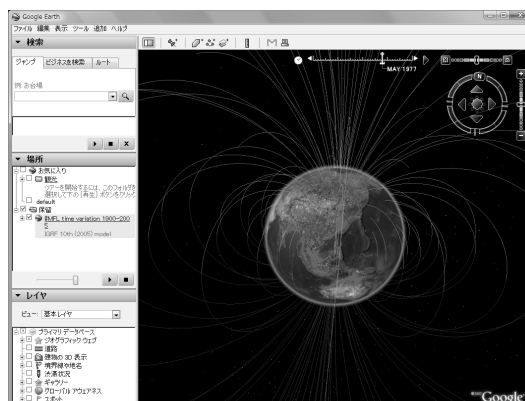


図 9: [2007 年度報告図 2] 過去約 100 年分の磁場変動 (IGRF 10th, 1900-2005)。画面上部に現れる Time Progress Bar を操ると時間変化の様子がアニメーションで表現される。

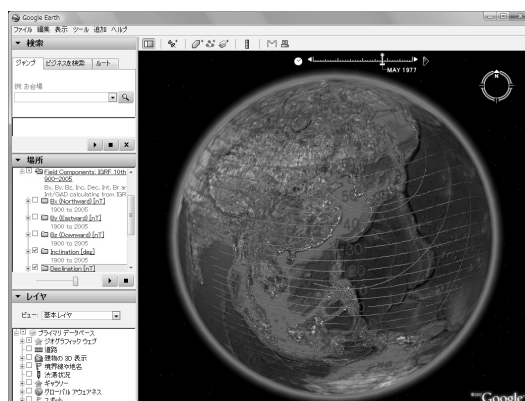


図 10: [2007 年度報告図 3] 過去約 100 年分の磁場変動 (IGRF 10th, 1900-2005) における、地表での磁場方位成分。この図では、伏角 (I) と偏角 (D) を同時に表示している。

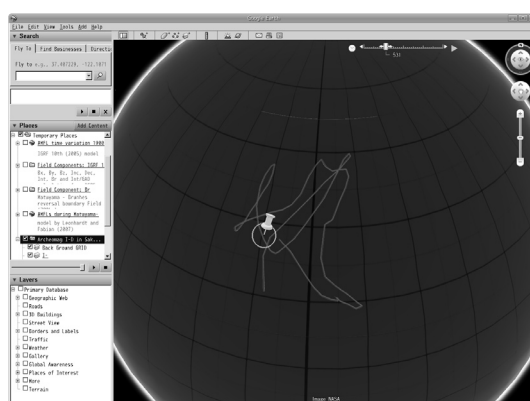


図 11: [2007 年度報告図 4] 方位データを表す I-D ダイアグラムを球面上にプロットしたもの。線は 2000 年分の磁場方位の変化を示し、ピンの位置は Time Progress Bar の時刻の方位 (円は平均値の 95% 信頼限界を表す)。中心の太線 (モノクロでは見えないかも知れない) が $D=0$ で、上方に行くにつれ I が深くなる。このプロット上では Fisher 統計的な誤差は真円となる。等面積投影などの 2 次元投影法では誤差円が楕円様になるが、学生がよく混乱しがちな問題である。