

地磁気逆転地層理解に関するバーチャルミュージアムの構成 に関する検討

梶原俊男[†] 大野邦夫^{††}

昨年の11月に、千葉県市原市の養老川に面する川岸の崖に存在する地磁気逆転地層が、新生代第四紀更新世中期の地質年代の名称に使用される可能性の報道が行われたことにより社会的に注目されている。地元では地域活性化を目指した議論が始まり、ジオパークのような公共事業的な取組みが期待されている。本稿ではそのような議論とは別の観点で、地域の若い人々への科学的好奇心を育成するボランティア活動として取り組みやすいバーチャルミュージアムを構想しその構成要件についての検討を試みる。

A Study to Organize a Virtual Museum to Understand Geomagnetic Reverse Stratum

Toshio KAJIWARA[†] and Kunio OHNO^{††}

In November last year, the geomagnetism reversal stratum facing the Yorogawa River in Ichihara City, Chiba Prefecture has been announced as the geological age name of the Cenozoic Pleistocene Pleistocene through mass media. Then some ideas of local geopark concept have been discussed for the regional activation, and discussion of political civil engineering construction tends to be preceded. In view of another perspective, we have planned a virtual museum, which will be suitable for a regional activity as inexpensive volunteer effort. In this paper, constituent requirements for the virtual museum have been examined.

1. はじめに

本稿では、千葉県市原市の養老川に面する川岸の崖に存在する地磁気逆転地層について紹介し、それに関心を持つ人々を中心に組み込まれている地域コミュニティ活動の現状とバーチャルミュージアム（仮想博物館）構想を中心とする今後の展望について述べる。

地磁気逆転は純物理的な現象であるが、それが見られる地層が地質年代に関係することから、地質年代の区分の名称に適用されている。地磁気逆転の時期は、堆積物の地層からだけでなく、火山の溶岩からもかなり正確に推定することが可能である。そのことから、78万年前～12万年前の最近の期間の名称に関してはイタリアと千葉が候補になっており、予備検討の段階では千葉（チバニアン）が有力とのことである。千葉の名称を推進する観点で、現在市原市では特別天然記念物に指定して、地域の活性化の足がかりにすることを企画しているが、ここではその企画の具体化の観点で仮想博物館の可能性を想定しその内容構成などの考え方について紹介する。

2. 地域コミュニティ活性化のための活動

2.1 基本的考え方

地域コミュニティの活性化というとビジネス開拓やNPO活動のような事業が思い浮かぶが、地磁気逆転地層というエポックを活用する事業となると、短期的な成果を期待するような活動は難しい。逆の見方をすると、長期的な視野に基づく学習や人材育成のような企画が必要である。現在地元で取

り組まれている活動としてはジオパークのような構想が挙げられる。地磁気逆転地層を中心に、観光拠点としてのジオパークを整備し、地磁気現象をはじめとする地球に関する博物館を設立し、地球の歴史、生物の歴史などを展示・解説するような取り組みが考えられる。この博物館を中核に、ホテル、レストラン、遊園地、土産物店などを整備し、家族連れや小中学生の遠足の名所にするような案が具体的なイメージである。さらに近隣には、養老渓谷のような観光地があり、魅力的なローカル鉄道としての小湊鉄道があり、これらの施設と連携した地域の活性化が考えられる。

2.2 地球に関する博物館

ジオパークとしての拠点は、地球に関する博物館が相応しいと考えられる。箱根や浅間山のような火山関連のジオパークでは既に地球のマグマ活動などに関する展示は行っているが、地球のコア、地球ダイナモ、マントル対流、プレートテクトニクス、大陸移動といった巨視的な視野で系統的に地球を紹介している博物館は存在しないと思われる。さらに地質年代に関しても生物の進化と共に紹介すると青少年には興味を持たれるのではないだろうか。少年に人気のある恐竜なども、地質年代との関係で理解すると、理解と興味が促進されるであろう。

以上のような観点から、下記のような項目をテーマとする博物館の建設の可能性を昨年の画像電子学会のワークショップにおいて紹介した[1]。

(1) 地域の紹介

千葉県の中の市原市について、その地域的な紹介を行い、田淵地区にある地磁気逆転地層の概要を紹介する。

(2) 地球の歴史

地層の話しから、地球の地質年代に関して紹介すると共に、生物の進化の歴史を紹介し、生命が生まれてから人類が出現し、今日の文明を築いてきた状況を紹介する。

(3) 地球の構造

[†]シンクタンク暮ルネッサンス

Think Tank Go Renaissance

^{††}(株)モナビITコンサルティング

Monavis IT Consulting Co. LTD.

地球の誕生から今日に至る内部構造や地表の変化を紹介し、外殻における電磁流体による地球ダイナモ、それに起因する地磁気に関して分かりやすく紹介する。さらにマントル対流や大陸移動、火山活動などについても紹介する。

(4) 天体と宇宙

地球だけでなく、太陽系の他の惑星の磁場についても紹介し、それに併せて太陽系の成り立ち、惑星・衛星探査、地球外生命の可能性、宇宙の成り立ちなどに関して解説する。ビッグバンに始まる宇宙の歴史は、地球の歴史とは異なるスケールを持つが、最近の宇宙モデルの進歩は目を見張るものがあり、好奇心旺盛な少年少女にとっては大いなる興味の対象であろう。さらに宇宙探査や宇宙旅行などへの航空宇宙技術も、理系の少年少女にとっては、興味を抱かせる分野である。

(5) コンピュータの活用

地球ダイナモや地磁気に関して、その内容を把握するにはコンピュータによるシミュレーションが有効である。その観点で、力学、流体科学、熱伝導、電磁気学などの物理現象の解析、シミュレーション、グラフィック表示などをコンピュータで行わせる手法を分かりやすく解説し、定期的なワークショップを開催し、若手人材の基礎科学スキルの向上に貢献する。

(6) 仮想博物館と関連学習グループの創設

上記のコンピュータの活用におけるワークショップの受講者を中心に、地磁気、地球の歴史、地質年代などに関心を持つ人々のグループをSNSとして立ち上げ、同好会的な交流を計ると共に、さらに博物館の展示内容についてもWebサイトで紹介し、バーチャルミュージアム（仮想博物館）の設立と運営を提案した。

2.3 仮想博物館を先行させる提案

その後の議論で仮想博物館の検討を先行させる方が現実的ではないかという考えに至った。大規模な予算を取ってジオパークを建設する以前に、ボランティアベースで費用をかけずにSIGのようなグループを立ち上げて活動する方が学習グループの創設や人材育成にとっては現実的で効果的であると思われるからである。仮想博物館を活用して自然科学を学ぶ学習は、小学生の理科、中学生・高校生の物理、化学、生物といった自然科学系の知識に関係し、仮想博物館は効果的であると思われる。

なお、地磁気現象に関しては、電磁気学に基づく地球ダイナモの原理を理解する必要がある。そのためには、コンピュータ・シミュレーションが有効である。そのようなスキルを得るためには、幼少期からコンピュータに親しむことが好ましいので、地域の学習グループはそのようなコンピュータ分野の学習も行うことも期待される。

3. 仮想博物館の構成

3.1 時空間の客観的な理解

仮想博物館は、テーマに関する体系的な知識を与えることが目的であろう。そのように考えると個別情報のディレクトリ構成を決めて、対応するフォルダに情報を格納し、ディレクトリに対応する目次と全体の索引を設けて検索可能とするのが常識的な方法であろう。この手法は、テーマに関する書籍を作成するようなものであり、仮想博物館という書籍を目次を見ながら本文を参照し知識を得ていくことに相当する。

次にフォルダの構成のためにはコンテンツの具体的な内容を考える必要がある。コンテンツの体系的な理解のためには、巨視的な把握を可能にするための支援機能が必要である。そのためには、空間軸と時間軸が基本になるであろう。人間の知識は空間的な把握と時間的な把握が基本であることは、ドイツ観念論の哲学者であるカントが指摘しているが、常識的にも妥当と考えられる。空間的観点では、宇宙空間 銀河系 太陽系 地球 世界地図 日本地図 千葉県 原市といった系列が考えられる。

時間的観点では、宇宙の歴史 太陽系の歴史 地球の歴史 地質年代という階層的系列になる。さらに地質年代については、冥王代 始生代 原生代 顕生代という区分があり、顕生代については、古生代 中生代 新生代の区分がある。さらに古生代については、カンブリア紀 オルドビス紀 シルル紀 デボン紀 石炭紀 ベルム紀の区分が、中生代については、三畳紀 ジュラ紀 白亜紀の区分が、新生代については、古第三紀 新第三紀 第四紀の区分が存在し、さらに第四紀は更新世 完新世の区分がある。更新世には、前期 中期 後期があり、前期にはジュラシアン紀 カラブリアン紀の区分がある。中期・後期には区分は存在せず、完新世にも現状では区分は存在しない。なおチバニアンは、更新世中期への名称の候補である。以上の区分をまとめると、表1のようになる。

表1 地質年代区分

| 地質年代区分 | | | | 年代 | 特徴 | | |
|----------|-----|--------|----------|----------|-----------|---------|-------|
| 冥王代 | | | | 46億年前～ | 地球誕生 | | |
| 始生代(太古代) | | | | 40億年前～ | 生命誕生 | | |
| 原生代 | | | | 25億年前～ | 多細胞生物の発生 | | |
| 顕生代 | 古生代 | カンブリア紀 | | 5.4億年前～ | カンブリア爆発 | | |
| | | オルドビス紀 | | 4.88億年前～ | 植物の上陸 | | |
| | | シルル紀 | | 4.44億年前～ | 魚類の進化 | | |
| | | デボン紀 | | 4.16億年前～ | 動物の上陸 | | |
| | | 石炭紀 | | 3.59億年前～ | シダ植物の森林 | | |
| | 中生代 | ベルム紀 | | 2.99億年前～ | 大量絶滅 | | |
| | | 三畳紀 | | 2.51億年前～ | パンゲア大陸の形成 | | |
| | | ジュラ紀 | | 2億年前～ | 恐竜の繁栄 | | |
| | | 白亜紀 | | 1.46億年前～ | 恐竜の絶滅 | | |
| | 新生代 | 古第三紀 | | 0.65億年前～ | 鳥類の進化 | | |
| | | 新第三紀 | | 0.23億年前～ | 哺乳類の進化 | | |
| | | 第四紀 | 更新世 | 前期 | ジュラシアン紀 | 258万年前～ | 人類の登場 |
| | | | | 中期 | カラブリアン紀 | 181万年前～ | |
| | | | 後期 | (チバニアン紀) | 78万年前～ | | |
| | | | | 12.6万年前～ | | | |
| 完新世 | | | 1.17万年前～ | | | | |

3.2 既存の博物館との連携

以上の時空間の基本的な内容は、既存の科学技術関連の博物館施設が展示している内容である。例えば上野にある国立科学博物館は、地球館と日本館の常設展示スペースにおいて、宇宙における地球の存在、さらに地球における日本の状況を、空間的・時間的に展示している[2]。仮想博物館はこのようリアルな博物館の真似をしても無意味かもしれないが、科学や技術に関する博物館とは若干の地域差はあるが以上のような内容を普遍的に紹介し展示するものであろう。

リアルな博物館は、仮想博物館に比べると実物や模型で感覚に訴える展示ができるので、ディスプレイの画像や映像しか表示できない仮想博物館に比べると強い印象を与えることが可能である。さらに専門の学芸員による説明が可能なので、その専門スキルに基づく説明と、質問に対しての回答も生きた対話になるので記憶に残る知識を得ることが可能である。従って、仮想博物館はリアルな博物館が展示しない地域や対象に特化したニッチな領域を充実させることが要求される。

3.3 利用者の想定

仮想博物館の利用者は入門者から専門家まで幅広い層が考えられるが、地域の人たち、特に若い人々を対象にするのが基本的には入門者と考えるべきであろう。操作マニュアル的な位置づけとすると、チュートリアルに相当する。習熟者向けのリファレンスのような情報は、アカデミックなWebサイトやグーグルの検索に依存することになる。

チュートリアルという位置づけであれば、上記の空間的・時間的な理解に関して分かり易く紹介することが目標となる。一通り、宇宙空間 銀河系 太陽系 地球 世界地図 日本地図 千葉県 市原市といった系列を紹介し、次に冥王代 始生代 原生代 顕生代から古生代 中生代 新生代に至る時間的な経緯を紹介すれば良いと思われる。

なお、地磁気逆転に関しては、一般的な時空間の科学的な理解よりは専門的な内容を紹介する必要がある。従って、この内容に関してはこの仮想博物館の特徴となるので初心者向けのチュートリアルとしての工夫が必要と考えられる。

4. 仮想博物館のコンテンツ

4.1 地磁気逆転のメカニズム

4.1.1 地球の内部構造

まずは、地磁気現象についての理解が重要である。ここではその概要をJAXAの高橋太氏による論文[3]で紹介する。この内容に関しては、昨年当研究会[4]と画像電子学会[5]で紹介したので、ここでは骨子を説明する。地球には磁場が存在するが、地球や惑星の磁場は、コアで起こる電磁流体力学的作用（ダイナモ作用）によって発生することが知られている。地球の場合は主に溶融した鉄から成る外核でダイナモ作用が生じている。図1は、地球の内部構造を示すが、外核は深さ2900～5100 kmに位置している。日本列島の北海道の端から九州の端までの距離が約3000kmなので、地表からこの距離の深さまで掘ると、外殻の液体金属に達するというのである。

導電流体である液体金属が磁場中で対流を起こすと電磁誘導の原理により電流が生じる。この電流による効果で新たに磁場が生じるが、生成される磁場が元の磁場を強化しオーム損失に打ち勝つならば、雪崩現象的に対流が強化され、導電

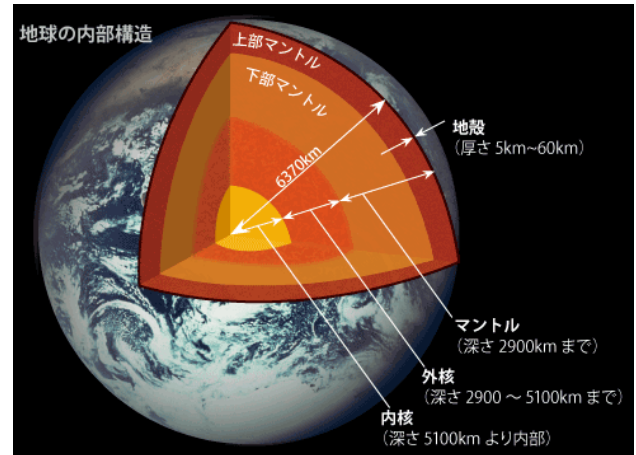


図1 地球の内部構造。地磁気を生じるダイナモは外核における溶融鉄の作用である。

流体の対流は持続することになる。地球の磁場はこの原理で生成されている。

このプロセスのエネルギー源は惑星内部の熱で、コア自体が冷却される過程で熱対流が駆動されることに起因すると言われる。その詳細は不明であるが、内核との境界で鉄が凝固する際の現象と、その際に放出される潜熱が関与している模様である。特に外核の鉄流体に溶融している軽元素が、鉄の凝固により浮力を得て、その成分が浮上することにより組成対流を生じることになるが、これが対流の要因として大きい模様である。

4.1.2 地球ダイナモ作用の方程式

なお上記の現象は、力学、電磁気学、流体力学、熱伝導といった物理現象が関与し、本質的に非線形現象であるために解析的に解くことは極めて困難であった。それでもコンピュータを用いて、有限要素法やルンゲクッタ法を用いて数値的に微分方程式を解く手法が確立してきたので、地磁気現象のモデル化も進展してきている。

地球外核によるダイナモ作用は、

- (1) 電磁誘導方程式
- (2) 運動方程式
- (3) 熱方程式（熱伝導と対流）
- (4) 磁場の連続の式（単極子は存在せず）
- (5) 流体の連続の式（非圧縮性流体）

を連立させて、初期条件、境界条件を与えることにより解くことができる。

以上の基本方程式群を連立させて大まかな地球のデータを入れて解くわけであるが、変数を減らすために式を無次元化して解くのが有効な工学的な手法である。これは単に変数が減るだけでなく、解の性質の変化を無次元パラメータの値で提示することが可能となるからである。地球ダイナモ方程式の解法のために、下記の4種類の無次元パラメータが定義されている。

- E（エクマン数）：粘性力とコリオリ力の比
- Ra（レイリー数）：浮力と粘性力の比
- Pr（プラントル数）：熱拡散と粘性拡散の比
- Pm（磁気プラントル数）：磁気と粘性の拡散比

地球ダイナモ作用は、これらのパラメータに基づいて議論されている。

4.1.3 粘性を変化させた場合のシミュレーションによる解

図2は、エクマン数の変化による解の状況の変化を示している。上二つは 10^{-5} 、下二つは 10^{-6} でのプロットである。(a)・

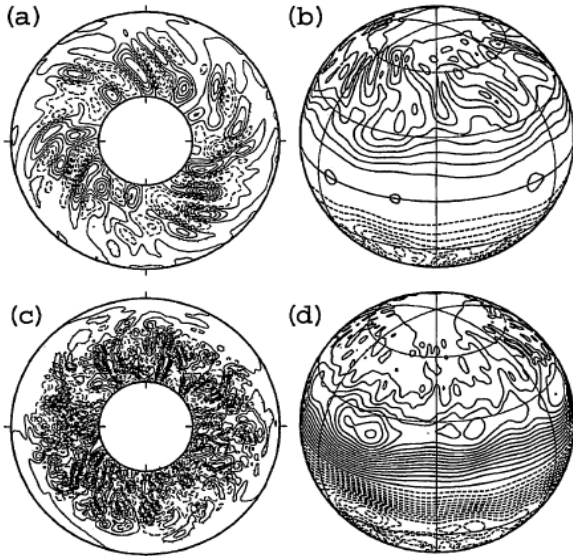


図2 エクマン数の変化による流れと磁場の構造。
上二つは 10^{-5} 、下二つは 10^{-6} でのプロット、(a)・
(c)は赤道面での流線、(b)・(d)はコア表面上での磁場の半径方向成分を示す。

(c)は赤道面での流線、(b)・(d)はコア表面上での磁場の半径方向成分を示す。エクマン数が小さくなる、すなわち粘性が小さくなると対流セルが増大し、微細な対流が沢山生じるようになることが分かる。以上において北半球では磁場が正となり、南半球では負となっているが、巨視的なダイポール(双極子)としては、エクマン数が小さくなるに従い安定性が增大する。すなわち、微視的なダイポールが増大して解は複雑になるが、その結果として統計的には安定なダイポールで模擬されるようになる。

4.1.4 磁場が逆転する状況

以上において、浮力と粘性の比であるレイリー数は臨界値程度の値にしていたが、粘性項の減少に合わせてレイリー数を臨界値の数十倍に増大させると激しい対流が起こる。図3はその状況を示すが、横軸に磁気レイノルズ数、縦軸にエルザッサ数を取っている。磁気レイノルズ数の Rm は磁場の方程式における拡散項と生成項の比である。液体金属の粘性の減少に伴い拡散項が増大し Rm も増大する。ダイナモ作用による磁場が維持されるには Rm が十分に大きくなければならない。要するに安定した磁場の状態を確保するには、生成される磁場が迅速に拡散される必要がある。エルザッサ数は運動方程式におけるローレンツ力とコリオリ力の比で、磁場の強さを示す。 Rm が200程度になると磁場はいったん弱くなり、その後 Rm が400程度になると再度上昇する。他方、双極子成分は Rm の増加に対して減少し続ける。 Rm が400以上でエルザッサ数が増大し磁場が強くなるのに対して、磁場が強くなるにも関わらず双極子成分が減少するのは、非双極子成分が

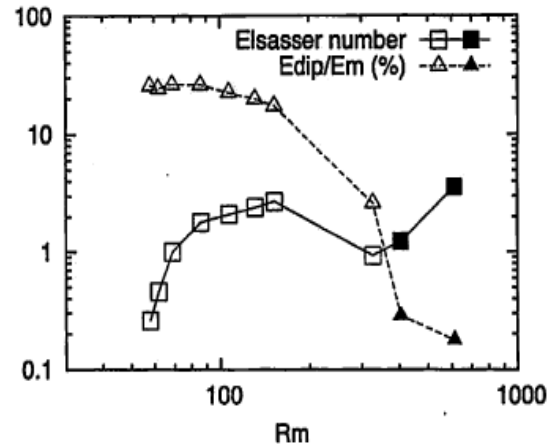


図3 エルザッサ数(四角形)と全磁場エネルギーに対する双極子成分(三角形)の磁気レイノルズ数依存性。黒塗りの記号は逆転を起こす解を示す。

大きくなることを意味し、双極子磁場が逆転し得ることを意味する。

4.1.5 地磁気逆転の歴史

以上述べたようなメカニズムで地磁気の逆転は起こり得るのであるが、これまでの調査から過去に繰り返し逆転が起こったことが確かめられている。その概要を簡単に紹介する。図4は、過去200万年までの経緯を示している[6]。黒が現在と同様の磁極で、白が逆の磁極である。最近78万年前に逆転が起こっているとされている。図5は過去1億6000万年前まで遡った地磁気変化を示す[6]。図4の時間軸は、図5の時間軸の最初の部分を160倍に拡大している。図5の幅は約12cmなので、左端の0.75mmの部分が図4に相当することになる。

4.1.6 白亜紀のスーパーカロン

1億2000万年前から8000万年前までの4000年くらい前までの白亜紀に磁極の逆転が存在しない期間が継続した。この期間はスーパーカロンと呼ばれる地磁気が強く安定した時期であった。この現象は図6に示すパンゲア超大陸の分裂にも関係している可能性が議論されている[6]。それによると、白亜紀のスーパーカロンが生じる前にコアとマントルの間で変化が生じ、そこから高温の物質が上昇し、大規模なマグマ活動が全地球規模で生じた。その結果マントル上でプレート移動が生じて、パンゲア超大陸の分裂が開始されたと言われる[7]。図6における個々の図の右上の数字は、億年単位に遡った歴史年代を示している。

4.1.7 火山と堆積物による地磁気の記録

次にこのようなデータがどのようにして得られたかを説明する。それは主に火山によるデータと海底の堆積物によるデータに大別される。火山によるデータは、溶岩を中心とするものであるが、高温の岩石は磁化されることはない。高温の岩石が冷却される過程で、キュリー点以下の温度になると地磁気に影響されて磁化されるのである。火山岩が磁化された年代は、包含される同位元素の分析により高い精度で同定される。海底の堆積物の場合は、細かい粒子が徐々に堆積する場合に磁性を持つ粒子(シルトあるいは泥サイズの磁性鉱物)は磁場に影響されて堆積する。従って個々の粒子はかなりのばらつきを持って磁性に影響されるが、統計的にはかなり正

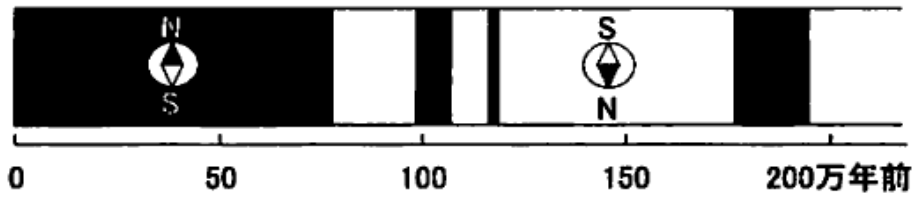


図4 過去200万年前までの磁気逆転経緯



図5 過去1億6000万年前までの磁気逆転経緯

確な磁化方向が得られるのである。さらに堆積した地層の年代は、生物の化石の種類や包含する放射性元素（ウランやカリウムなど）の分析等により算出推定される。

4.2 房総半島における地磁気逆転地層

4.2.1 千葉県市原市田淵の地層とGSSP

千葉県市原市田淵の養老川岸に最後の地磁気逆転の証拠となる地層が露出している。その一例を図7に示す。赤いペグと青いペグにおいて地磁気の逆転が観察され、黄色いペグがその移行時期に対応する。この移行時期が図4の左端の黒い領域と隣接する白い領域の境界における逆転で77～78万年前と言われている。

このような地層は、国際標準模式層断面及び地点（Global Boundary Stratotype Section and Point 略称：GSSP）により国際地質年代区分を実証する国際標準としてグローバルな視点で統一的に管理されている[8]。GSSPの策定は1977年に始まり、2015年までに66箇所GSSPが定められている。

GSSPでは、区分境界に最も適した地層が露出した地層（セクション）に地域名を付けることになっている。さらにその崖内で次の地質時代を始まりを示す連続性の良い模式層の一点にその時代の始まりとなる模式地点として金色の杭（Golden Spike）が打たれ、その崖の杭から世界共通の新たな地質時代が始まることにしている。Golden Spikeが存在する地層の具体例を図8に示す。これは、エディアカラ紀の区分を示すもので、オーストラリア南部フリント山脈にあるエディアカラ丘陵に存在する地層である。この写真の下方に、円形の金属板が写っているが、これがGolden Spikeである。その拡大写真を図9に示す。

4.2.2 チバニアン紀への期待

市原市田淵の養老川岸の地層は、258万年前から始まる地球の寒冷化と人類の出現で特徴付けられる「新生代第四紀」の区分である。新生代第四紀は、更新世と完新世に区分され、さらに更新世は、前期、中期、後期に区分され、前期はジェラシアン（Gelasian）時代とカラブリアン（Calabrian）時代

に2分される。しかしカラブリアン時代の終わりはまだ国際的に決まっていない。また後続する更新世中期の地質時代名も国際的な命名がなされていない。そこで千葉県市原市田淵の崖を国際的模式露頭として「千葉セクション」とし、イタリアのカラブリアン時代の終わり、つまり更新世中期の始まりとする提案が出されている。

このような、地球の歴史にとって貴重な遺産が存在することから、このような資産を有効に活用することが今後の地域社会にとって極めて重要と考えられるのである。

4.3 地質年代への理解

4.3.1 地質年代への関心

地磁気逆転地層の関連で地域活性化を推進するには、表1で紹介した地質年代に関する関心を喚起する必要がある。地磁気逆転という現象が地球物理的な背景に基づくと共に、関連する情報として、白亜紀のスーパークローンや「新生代第四紀」の区分といった事柄が背景として存在するからである。

地質年代の歴史は、大雑把には地球で誕生した生物と、天変地異との相互作用に関する複雑な歴史である。40億年前に生まれた原始的な生命が環境に適応して自己組織化により高度化する過程と、地球の物理的な過程とのインタラクションが、興味深い地質年代の歴史を構成している。

4.3.2 冥王代から原生代まで

地質年代はマクロには、冥王代、太古代、原生代、顕生代に区分される。冥王代は、地球が誕生した46億年から生命が生まれた40億年までの間で太陽系の起源後に、微惑星や小天体が衝突を繰り返したジャイアントインパクトと呼ばれる時代からマグマオーシャンの時代を経て地殻が形成された安定した状態に入り、海が生じてそこで生命が生まれるまでの期間である。始生代は太古代とも呼ばれ、古細菌と真正細菌といった原始的な生命が海の中で存在していた。原生代は、細胞膜と核を有する細胞で構成される真核単細胞生物から硬い骨格を持った多細胞生物の化石が多数現れるまでの約25億年前から約5億4,200万年前までの期間を指す。

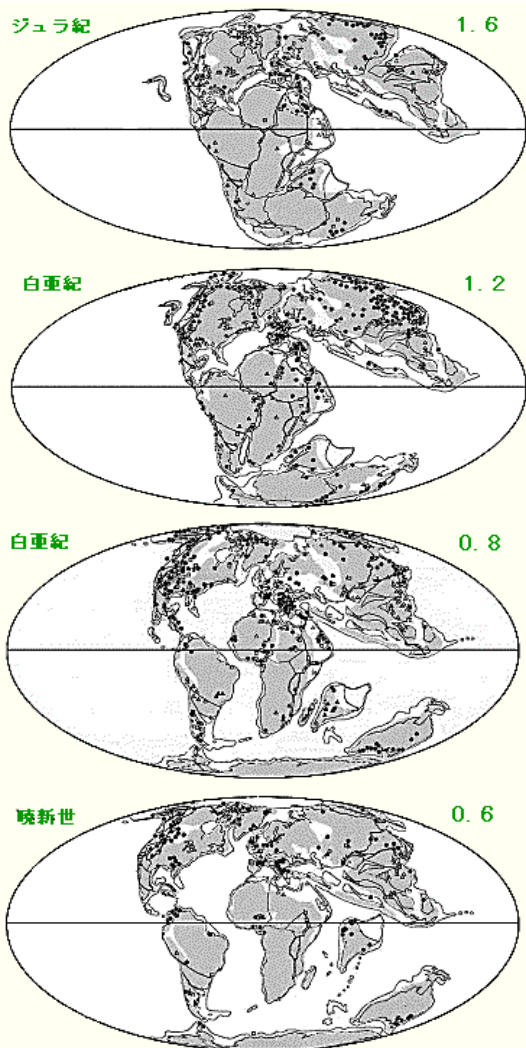


図6 白亜紀におけるパンゲア大陸の分裂

27億年前に非常に活発な火山活動があり、陸地が大幅に増え、増えた大陸の周辺の浅い海に、光合成をおこなうシアノバクテリアの集合体であるストロマトライトが大規模に形成され酸素濃度が高まった。その結果、二酸化炭素濃度が低下したことにより22-23億年前に地球は寒冷化し何回かの氷河時代を迎えた。

19億年前頃にプレートテクトニクスが活発になり、超大陸のヌーナが形成された。原生代の末期に多細胞生物が出現する。南オーストラリアのフリンダース山脈のエディアカラの丘にある原生代最末期の地層から肉眼で見える動物の化石が発見され、それが図8・図9に示すGolden Spikeの年代を形成した。その後の顕生代に関しては、古生代、中生代、新生代に大別される(表1)。顕生代以前の原始的な生物しか存在しなかった時代は、先カンブリア時代と呼ばれ、この呼称が地質年代的には一般化している。

4.3.3 古生代

古生代は、カンブリア紀、オルドビス紀、シルル紀、デボン紀、石炭紀、ペルム紀に区分される(表1)。

カンブリア紀では、先カンブリア時代に形成された海洋が地球上のほぼ全てを覆い尽くし、海中では様々な種類の海洋生物が現れ、中でも三葉虫等の節足動物が繁栄すると同時に



図7 市原市田淵の養老川岸の地磁気逆転地層



図8 オーストラリア南部エディアカラ丘陵の地層に打ち込まれたGolden Spike

藻類が発達した。この時期の初期に動物の多様性が一気に増大したことから、この状況をカンブリア爆発と呼ぶ。

オルドビス紀は生物の多様化がカンブリア紀並に進んだ時代である。軟体動物や節足動物、半索動物が栄えた。オルドビス紀前期にコケのような植物が陸上に進出し、光合成を行



図9 エディアカラ丘陵のGolden Spike

うようになった。初期の陸上植物は、水辺を離れることはなかったが、次第に内陸へと生存領域を広げて森林を構成し、大気中の酸素の比率を高めた。

シルル紀には、魚類が発展し、海洋の支配者となった。デボン紀に生物の本格的な陸上への進出が始まり、陸棲節足動物や最古の陸上植物が出現する。肺魚やシーラカンスが出現したのもこの時期である。石炭紀に入ると超大陸パンゲアの形成が進行した。この時期から陸地には大森林が登場し、その中では節足動物が昆虫に進化し楽園を作っていた。魚類から進化した脊椎動物は、両生類から爬虫類へと進化し、酸素濃度の向上に伴い大形化した。

ペルム紀には爬虫類が卵を乾燥から守る羊膜卵を獲得したことにより産卵のために河川や湖沼に戻る必要がなくなり、生息範囲を大陸内部に拡大した。ペルム紀末に火山活動、海洋無酸素イベントなどの天変地異が生じた模様で、生物の大量絶滅が生じた。海洋生物種の90%、陸上生物の70%が消滅したと言われている。この天変地異は、パンゲア大陸の形成に関係しているとも言われている。

4.3.4 中生代

中生代は三畳紀、ジュラ紀、白亜紀から構成されるが(表1)、4.1.6節で説明した白亜紀のスーパークロンは、この時期の現象である。

三畳紀は超大陸パンゲアの形成が特徴だが、その形成の過程で生物の大量絶滅が生じて生態系は一変した。だがその大絶滅を逃れた爬虫類は大形化して恐竜となり、ジュラ紀には大いに繁栄した。なお、パンゲア大陸の形成に伴う火山活動、海洋無酸素イベントなどの天変地異で大気中の酸素比率が低下したが恐竜はそれに対する呼吸システムを保有していたと考えられている。それはその後の鳥類の気囊につながるものであるが、このメカニズムによってジュラ紀、白亜紀の低酸素状況を乗り越えた。

超大陸パンゲアはジュラ紀から白亜紀にかけて分裂を開始する。その状況は先に図6で示した通りである。白亜紀には、地球のコアの外殻で活発な対流が生じて地磁気が強く安定した時期であったが、それに伴いマグマ活動が活性化され、火山活動やプレート活動が活発になりパンゲア大陸の分裂につながったという見方が可能とされている。

6500万年前に直径10km程度の小惑星の衝突により、恐竜が絶滅したと考えられている。ユカタン半島に衝突した小惑星は、大量のチリを巻き上げて地球全体を覆い、そのために気温が低下し植物の光合成も妨げられ、食物連鎖の頂点にあった恐竜が絶滅したと考えられる。

4.3.5 新生代

新生代は、古第三紀、新第三紀、第四紀から構成される(表1)。恐竜が絶滅して後は、哺乳類の全盛時代になるが、新生代の初期には樹上に小さな哺乳類が存在していたに過ぎない。その当時はだちょうよりもさらに大形で飛ばない鳥が最強の動物であった。

哺乳類は中生代・三畳紀に爬虫類から分かれて誕生したが、白亜紀には後に有袋類となる後獣類と有胎盤類となる真獣類が残存していた。真獣類は最初に植物食のグループが増えた後に肉食類が数を増やしていった。真獣類の中には霊長類の近縁も存在し、700万年前には、ついに人類が登場した。

第四紀は、258万年前から1.17万年前までの更新世とそれ以後現在に至る完新世に分けられる。先に4.2.1節で述べた通り更新世は、前期、中期、後期に区分され、前期はジェラシアン期とカラブリアン期に2分される。しかしカラブリアン期の終わりは決まっておらず、後続する更新世中期の地質時代名も国際的な命名がなされていないので、その区分を78万年前の地磁気逆転地層に求め千葉セクションとする提案が行われチバニアン紀とされる可能性が高い。

4.4 地球の歴史から学べること

4.3.1節で、原始的な生命が環境に適応して自己組織化により高度化する過程と、地球の物理的な過程とのインタラクションが地質年代の歴史を構成していると述べたが、自己組織化により環境に適応する生命に関しては、驚嘆せざるを得ない。工学系の人間として、生物が設計仕様としての遺伝子情報により、同一の仕様の生物を再生していく過程だけでも素晴らしいと思うが、突然変異による設計変更結果により、適者生存の形式で環境に適応していく状況は、将に知的なプロセスそのものと言える。特に地殻変動、火山爆発、小天体の衝突といった天変地異により、絶滅の危機に瀕してもしたたかに生存し、さらにしなやかに進化する状況は奇跡的とし表現のしようがない。完全な無秩序でこのようなプロセスは可能なのか、無秩序と思われる自然、宇宙の背後に、何らかの秩序が存在し得るのではないかといった素朴な興味は尽きないものである。

5. まとめ及び考察

以上、2章では地域活性化のための基本的な考え方を述べ、3章で仮想博物館の構成、4章でそのコンテンツのアウトラインを紹介した。コンテンツとしては、先ず4.1節で地磁気逆転現象を科学的に理解するための、地球ダイナモと呼ばれる地球の内核における電磁流体の挙動を解説し、4.2節で具体的な対象である房総半島の地磁気逆転地層について解説した。地磁気逆転地層が物語る78万年前の現象をチバニアン紀の端緒

として位置付ける議論が問題になっていることから、4.3節では地質年代の基本的な説明を行った。

この提案は、単なるたたき台に過ぎないが、地域の活性化のためには、このようなたたき台を提案し、多様な具体的な対話を通じて議論を盛り上げることが必要と考える。

グローバル化の進展で、グローバル人材の育成が産業界や教育分野で語られて久しいが、グローバル人材は世界を地球儀的な視野で俯瞰することが求められている。そのためには、自分が生活している地域を日本の国土の中に位置付け、生活の場としての地域を語れる人材の育成が重要と思われる。

日本における地磁気観測の現状や過去の歴史に関しては、国土交通省の国土地理院が担当しており、関連する研究や広報活動を行っている。従ってその活動や成果を踏まえて地域での活動に取り組むことも重要と思われる。国土地理院の敷

地内に地図と測定の科学館があり[9]、地磁気を含む地理情報技術とその歴史に関して学ぶ場が用意されている。さらに国土地理院には出前講座の制度があり、申請すれば技術の紹介なども行っている[10]。

国立科学博物館の地球館には、地磁気に関するコーナーが設置され、市原市田淵の地層の紹介も含め素人に地磁気の分かりやすい説明を試みているが、その難しさを感じざるを得ない。例えば、図10のような装置があり、上下に磁石が置かれた水銀の入った円盤状の容器を回転させると、容器との粘性で回転していた水銀が容器の回転を止めると、慣性で回転し続けるのではなく、反発して停止、逆流する状態を生じさせていた。これは興味深いデモであり、解説(図11)も付されているが、その理解は子供はおろか、専門的な技術者でも困難であろう。



図10 地磁気の説明のための実験装置



図11 図10の装置に付された解説

この仮想博物館は、地磁気に関して他の博物館とは異なる特徴を有したいので、できれば地磁気に関する分かり易くきめ細かい解説を包含したいと考える。さらに地層の存在する地域との連携も重要である。

6. おわりに

以上、地磁気逆転地層に関する仮想博物館(バーチャルミュージアム)の内容の基本的な構想の紹介と、それを出発点とする地域活性化の可能性を考察したが、検討は未だ端緒に過ぎない。今後の活動を具体的に考え、試みて行くことが必要である。

なお、本検討を進めるに当たり、市原市教育委員会生涯学習部ふるさと文化課の忍澤成視係長から情報を頂きましたので謝意を表します。

文献

- [1] 梶原俊男,大野邦夫;”地磁気逆転地層を背景とする地域活性化に関する検討”,画像電子学会第8回DSGワークショップ(2017.11)
- [2] 国立科学博物館;“地球館ガイドブック-地球生命史と人類-自然との共存をめざして”,(独)国立科学博物館(2016.7)

- [3] 高橋太;“地球惑星ダイナモシミュレーションの新たな発展”,地学雑誌,Vol.114, No.2, pp123-131,(2005)
- [4] 大野邦夫,梶原俊男;”地磁気逆転地層をコミュニケーション媒体とする地域活性化の検討”,情報処理学会研究報告,DC104-5(2017.3)
- [5] 梶原俊男,大野邦夫;”コンピュータ・グラフィックスを用いる地磁気逆転現象のモデル化と地域活性化の検討”,2017年度画像電子学会年次大会講演論文(2017.6)
- [6] 網川秀夫;“地磁気逆転X年”,岩波ジュニア新書397,岩波書店(2002)
- [7] SCIENCE127;“超大陸パンゲアの成立と分裂のあらまし”,<http://www.geocities.jp/acaradisco55/Taikou/science127.html>
- [8] Wikipedia;“国際標準模式層断面及び地点”,<https://ja.wikipedia.org/>
- [9] 国土地理院;“地図と測定の科学館”,<http://www.gsi.go.jp/MUSEUM/>
- [10] 国土地理院;“出前講座”,<http://www.gsi.go.jp/DEMAE/demae.htm>