

VLBIと岩石磁気

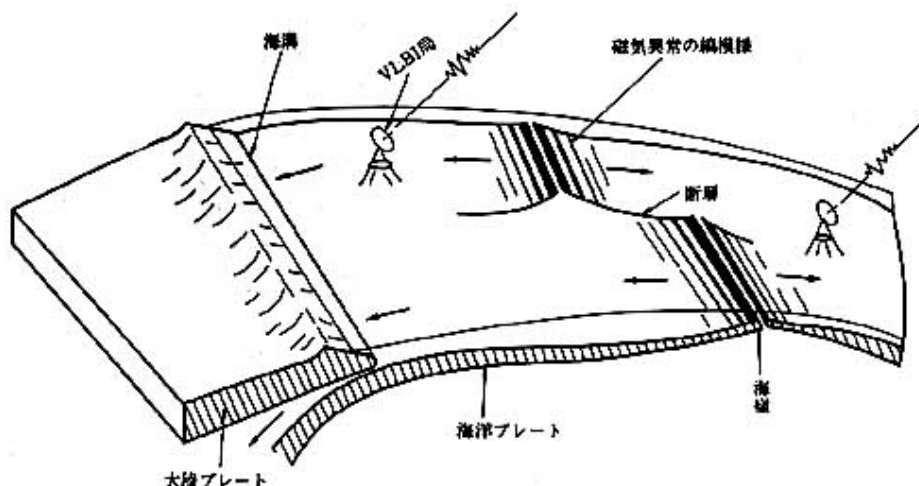
日置 幸介

はじめに

ある自然現象を説明する物理法則が提唱され、立証されたとき、そもそもの法則が成立つ時間的空間的な範囲がどのくらいの広がりを持つかは別問題である。古典的なニュートン力学は極微の世界ではその支配力を量子力学にとってかわられ、また地球のマントルは短い時間スケールで見ると(地震波の伝搬等)まさしく弾性体として振る舞うのに何百万年という地質学的な時間スケールで見ると流体として対流するといった具合である。従ってある自然現象を説明する物理法則が見いだされたとき、その成り立つ範囲を確かめようというのは自然な研究の流れであろう。

さて地球科学は最近の30年間に大変な発展をとげたが、なかでも固体地球に関してはプレート・テクトニクスという地球の表層における造構作用(地球上における地質構造を造り出す作用, テクトニクス)を統一的に説明する新しい概念が成立した。この理論は、地球の表面が厚させいぜい百キロ程度の数枚の大きな板(プレート)にわかれており、個々の板は内部変形することなく独自の運動をしているというものである。地表でみられる多くの地学現象はこれら板の相対的な運動を鍵として総合的に理解できるというわけである。二枚の板が収束する(ぶつかる)境界線ではどちらかの板がもう一方の下に沈み込み(海洋プレートと大陸プレートなら前者が後者の下に沈み込む)、その結果日本に見られるような深発地震や島弧型の火山活動等が起こり、沈み込み口では日本海溝のような細長い溝ができる。二枚の板が発散する(離れてゆく)境界では湧き出した物質が新しい板を造り、そこでは大西洋中央海嶺のような長大な海底山脈ができる。二枚の板がすれちがう境界では有名なカリフォルニアのサンアンドレアス断層のような巨大な横ずれ断層ができる。大陸プレート同士がぶつかれば、うまく沈み込みが行えずにその勢いでヒマラヤ山脈のような大山脈

ができたりする。たかだか年間数センチに過ぎないプレート同志の相対運動が生み出す現象はこのようにバラエティーに富んでいる。



プレート・テクトニクスにおける収束境界（海溝）と発散境界（海嶺）。プレートの速度を求めるには海底の磁気異常の縞模様を読む方法とVLBIを用いる方法とがある。

プレート運動の時間分解能

さてここで最初の議論にもどると、プレート・テクトニクスは空間的には全地球表面で行われていると考えられているが、時間的にはいったいどれくらい短い時間スケールで成り立つものなのであろうか。プレート運動も地質現象の例に漏れず極めてゆっくりした動きであり、人間が何らかの方法で感知し得る程度の変動量が積算されるのには文字どおり百万年千万年、という地質学的な時間が必要である。たとえばユーラシアプレートに乗ったヨーロッパと北米プレートに乗ったアメリカは大西洋の拡大によって百万年間に何キロメートルずつ離れつつあるということはわかっても、我々に身近な単位の一年間や一か月に何センチあるいは何ミリ離れたかというのは今までわからなかった。

従来プレート運動の百万年単位の時間分解能を与えてきたのは古地磁気や海洋底の磁気異常などの岩石磁気学の応用分野である。それに対してそれとは違った新しい技術の応用でこの時間分解能を上げて例えば一年毎のプレート運動を測定しようとしているのが超長基線電波干渉計（VLBI）である。長い目でプ

プレート運動を測る古地磁気/海洋磁気異常と一瞬を測るVLBIという対照的な二つの方法について詳しく見てみよう。

古地磁気と海洋磁気異常

古地磁気学というのは火成岩や堆積岩の持っている弱い残留磁化をもとに、その岩石の形成時の地球磁場の様子を知らうという学問である。火成岩が冷えて固まり常温に近づく途中でその温度は岩石中の磁性鉱物のキュリー温度を通過する。それらの磁性鉱物はその自発磁化がよみがえる際に各磁性粒子のポテンシャル・エネルギーが最小になるように当時の地球磁場の方向に磁化し、岩石全体として当時の地球磁場の方向に磁化する（熱残留磁化）。堆積岩も、岩石の材料となる粒子が水中で積もっていく際にやはり磁性粒子が当時の地球磁場の方向に機械的に向くために全体としてその方向に磁化する（堆積残留磁化）。地球磁場はゆっくりと永年変化をしながらもある時間で平均すればその水平成分は地理的な極の方向に一致し（地球磁場は反転を繰り返しているので北極か南極のどちらかに一致する）、また磁場方向が水平面と成す角度（伏角）は極からの距離すなわち緯度の関数になる。従ってある地質時代の岩石の残留磁化方向からその時代の極の位置がわかる。極位置は極自体の移動等でゆっくりと変化するので、求められた極を時代順に並べていくと極移動曲線が得られる。

1950年代にはいると無定位磁力計という高感度の磁力計の普及に伴って種々な大陸の様々な時代の極位置が求められた。もしここで極移動が極自体の移動のみの結果なら、地球上のどこの大陸から見た極移動曲線も一致しなければいけない。ところが測定データが増えてゆくにつれて違った大陸から求められた曲線が古い時代でお互いに一致しないことがわかってきた。又これらの一致しない極移動曲線は、ある操作を施せば、例えば北米の極移動曲線とヨーロッパの極移動曲線は大西洋を閉じて両大陸をぴったりくっつけるときれいに重なることがわかった。これは元来一つの大陸であった北米とヨーロッパがのちに分離して現在の状態になったことを意味し、大陸は地質学的な時間スケールで見れば何千キロといった距離を水平移動する証拠となった。大陸の大規模な水平移動という事実の解明は垂直変動のみを考えていた従来の固体地球科学の大革命につながる。その後海洋底地球科学における発展を経て1960年代に登場し、新しい地球観として成功したのがプレート・テクトニクスである。

新理論のきっかけをつくったのは古地磁気であるが、実際のプレート理論の成立発展には海洋における地球物理学的観測から得られたデータ（水深、地磁気、重力、地震、熱流量）が重要な役割を果たしてきた。なかでも海面上で測られた地磁気異常は、その場所の海底の生成年代や過去のプレート運動などを解明するための最も基礎的なデータになった。地球表面における磁場は地球の流体核がつくる主磁場と地殻岩石の誘導磁化や残留磁化に起因する短波長成分とから成るが、後者は前者に対する磁気異常と呼ばれる。プレートの発散境界である海嶺ではプレート間の「すきま」を埋めるために境界に沿って出てきたマグマが冷えて新しいプレートとなり海嶺から遠ざかってゆく。これらの岩石は冷えて固まる時に当時の磁場方向に熱残留磁化を獲得する。海洋底の岩石を実際に海に潜って試料を採取するのは一般に困難だが、これらの岩石の残留磁化は海上における磁気異常として比較的容易に検出できる。地球磁場は数万年から数百万年の時間スケールで反転を繰り返しているので（69万年前から現在までは正磁極期、それ以前の20万年間は逆磁極期という具合）、新しいプレートとなる岩石の熱残留磁化はその噴出時の磁場の極性に応じて北向きや南向きになったりする。その結果海上において海嶺に平行な磁気異常の縞模様ができる。地磁気逆転の歴史は陸上の岩石の古地磁気調査とそれらの岩石の放射年代（岩石中に含まれるある種の元素の放射性壊変を用いた岩石の絶対年代）の測定によってある程度わかっているため、この縞模様のパターンを調べることによってあたかもバーコードリーダーで読むように海底の年齢がわかる。1960年代にはいると地磁気強度を手軽に測れるプロトン磁力計が普及し、船や飛行機で盛んに磁気測量が行われ海底の年齢が次々に明らかにされた。海嶺からの距離を、その場所の海底の年齢で割れば平均的な海洋底の拡大速度が求められ、これが年間何センチというプレートの運動速度のデータとなるわけである。

VLBI

海洋磁気異常はプレートの相対運動速度を見積もるのに便利だが、もともと地磁気反転のパターンのみに基づいているので原理的にその周期以下の運動に対する時間分解能はない。つまり百万年の間にプレートが何キロメートル動いたかはわかってもそれ以上細かい議論、例えばプレートは毎年着実に動くのか数年あるいは数十年数百年分まとめて一度に動くのかということまではわからなかった。そこで我々の生活レベルである数年の単位でプレートの相対運動を

測る新世代の技術として登場したのが VLBI である。VLBI の原理についてはここでは繰り返さないが、星の電波を遠く離れた二点で同時に観測することによって何千キロメートルと離れた二点間の距離を数センチメートル以下の精度で測ることができる。従って VLBI で大陸が一年の間に何センチメートル動いたかが実測できるわけである。これによって今まで地質学的な時間単位でしか見ることが出来なかったプレート運動を、100 万倍の時間分解能を持った目で眺められるわけであり、プレート運動の原動力やプレート自体の物性等の解明のみならず、地震の長期的予知などに強力な武器となるであろう。VLBI は 1980, 1990 年代の新しい大地の動きを測る道具として世界中の地球科学者の期待を担っている。プレート運動の測定を目的とした国際 VLBI 実験は昨年度から始まったが、うまくゆくと本年度の実験のデータ解析が終わればこの一年のプレート運動が検出されるはずである。

(鹿島支所 第三宇宙通信研究室 研究官)