

## 古地磁気学と大陸移動

行 武 毅\*

## 1. ま え が き

一時世の中から全く忘れ去られていた大陸移動説が、最近の古地磁気学の発展によって、ふたたび注目を集めるようになった。ここでは推論の道筋を追うことに重点を置いて、古地磁気学における大陸移動の概略をふり返してみたい。

## 2. 古地磁気学の基礎

岩石の帯磁の方向と強さを測って、岩の作られた時代の地球磁場の方向と強さを求めるのが古地磁気学の基本的な方法である。過去の地球磁場も現在と同じように、双極子型であったとすると、岩石の帯磁の方向（水平面内で北から東向きに測った偏角を  $D$ 、鉛直面内で水平面から下向きに測った伏角を  $I$  とする）が知れると、試料採取場所から岩石生成当時の磁極までの角距離  $p$  は

$$\cot p = \frac{1}{2} \tan I \quad (1)$$

より求められる。すなわち偏角  $D$  と  $p$  とで試料採取点に対する磁極の位置が決定される。

ここにいくつかの問題点がある。一つは測定された岩石の磁性が果してその作られた時代の地球磁場の方向を現在まで正しく安定に保存しているかどうかという点である。岩石の帯磁機構については、詳しく研究されており、事情に応じて安定性の吟味がおこなわれている。

(永田, 1961) 例えば火山岩の帯磁は熔岩が地球磁場の中でキューリー温度以上の高温から冷却される過程で獲得される熱残留磁気によるものである。この場合安定性の吟味のために熱消磁の方法がとられる。試料をキューリー温度以上に加熱し、さらに室温まで冷却する。加熱、冷却の途中で試料の磁性を調べ、磁化の再現性をテストするのである。堆積岩は磁性を帯びた岩の細粒が堆積の途上統計的に地球磁場の方向に磁化方向を描えられるために磁化する場合や、堆積後化学変化をおこし、その際いっせいに地球磁場の方向に磁化する場合がある。これに対しては、交流消磁法等の吟味がおこなわれる。また堆積岩に対しては、堆積後褶曲作用等の地殻変動を受けた場合は、その補正をも考慮せねばならない。

岩石の帯磁の安定性が保証されたとしてもさらに問題が残る。地球磁場として双極子磁場を仮定すれば前述のように簡単に磁極の位置を求めることができる。しかし双極子磁場の仮説、さらに磁極と地理学的極とが常に一

第1表 地質年代

新 生 代	第 四 紀	-0 億年
	第 三 紀	
中 生 代	白 亜 紀	-1
	ジュラ紀	
	三 畳 紀	-2
古 生 代	二 畳 紀	
	石 炭 紀	-3
	デボン紀	-4
	シルル紀	
	オルドビス紀	-5
先カンブリア時代	カンブリア紀	-6 億年

致していたかどうかは必しも自明ではない。現在の磁場でも約 20% は双極子以外の不規則な磁場によって占められており、例えば北緯 40° の各点で観測された現在の地球磁場の方向を使って前に述べた方法で磁極を計算すると現在の磁極の周囲約 10° にばらついて分布する。

(しかも現在の磁極は地理的極と 11.5° ずれている)。しかし非双極子磁場は割に短命であり、しかも地殻に対して徐々に移動するために、双極子磁場と非双極子磁場の比率が現在程度あれば、比較的長い期間の平均(例えば数千年)をとることにより、かなり正確に磁極の位置を推定することができる。

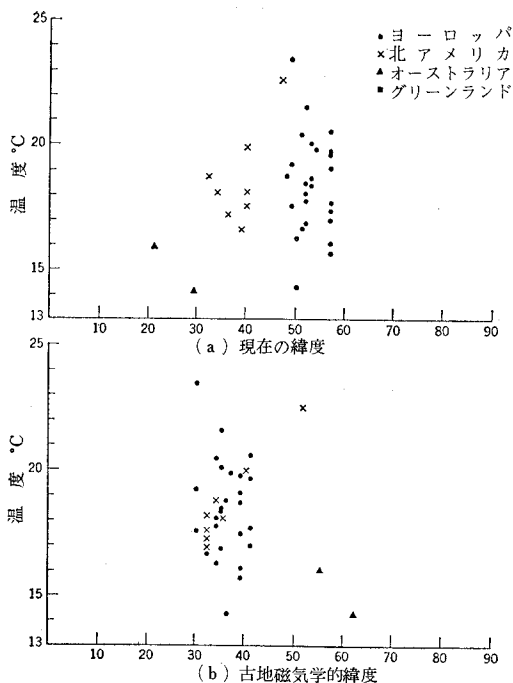
理論的研究によれば、地球の自転軸と双極子磁場の軸極とが一致することが要請されるが、双極子磁場と非双極子磁場との強さの関係については明かでない。

第四紀および第三紀の終りの世界各地の岩より得られた偏角の頻度分布を調べると 90% 以上が真北から ±20° の範囲におさまる。伏角の緯度変化は (1) 式をみたす曲線上によくのり、双極子磁場より期待される分布と非常によく一致する。(アーヴィング, 1964) これより磁極の位置を求めると、現在の磁極より地理的極を中心として分布する。すなわち少くとも過去約千万年の間は地球磁場は双極子型で、その極は地理的極と一致していたらしい。

中生代、古生代に関しては大陸により磁極が違った位

\* 東大地震研

T. Yukutake: Paleomagnetism and Continental Drift.

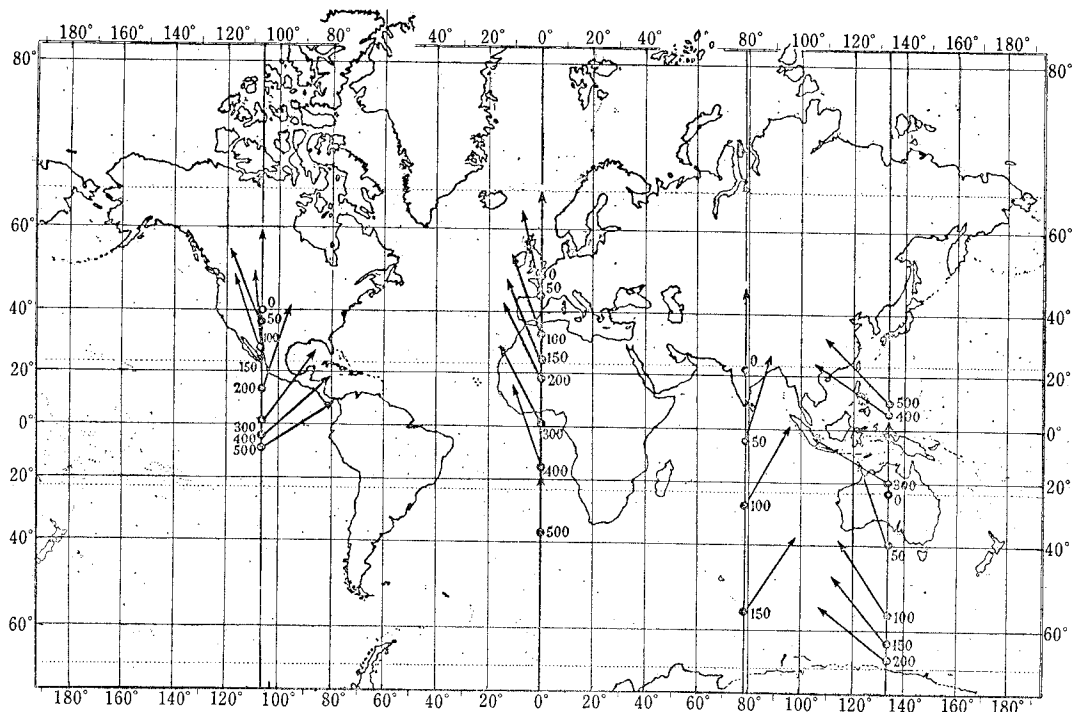


第1図 白亜紀の温度分布, 上図は試料のとれた場所と現在の緯度と温度との関係, 下図は, 古地磁学的緯度と温度との関係, (アーヴィング, 1964, による)

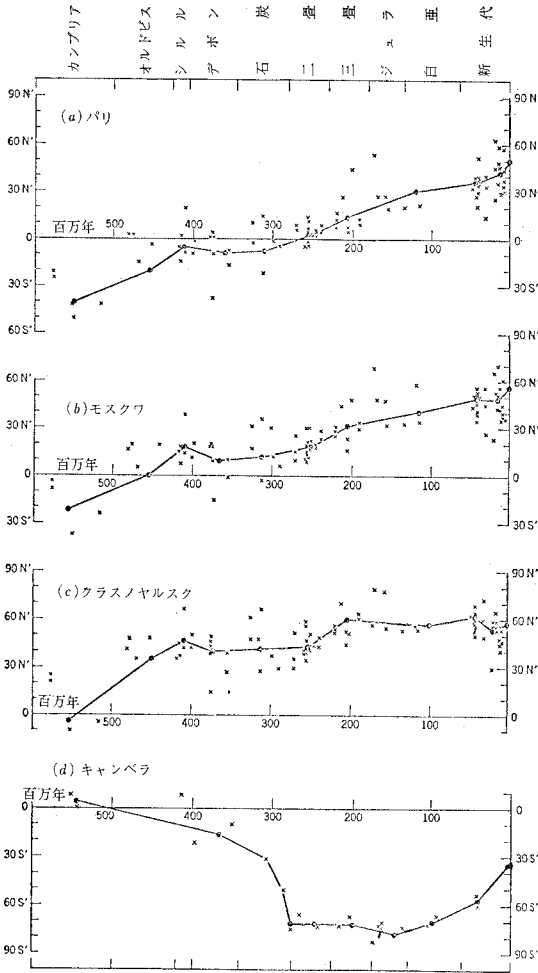
置に得られる. 第四紀に対するのと同様の議論はここではできない. 双極子磁場を仮定すれば, (1)式によりその点から極までの距離(又は緯度)が求まるが, このようして得られた緯度が他の古気候学的方法で推定されたその点の緯度と一致しておれば, 双極子仮説を容認することができる. 過去の温度分布を知るのに都合のよい氷河の運んできた氷礫石, 岩塩等の蒸発岩, さんご礁, 石炭その他古生物の化石等の分布を調べ, それより推定される緯度と, 双極子仮説にもとづく古地磁学的緯度とが大きな矛盾のないことが確かめられているが(ブラケット, 1961)ここでは貝殻の中の酸素の同位体  $O^{15}$  と  $O^{16}$  の比を用いてきめた温度の分布を示すに留める. (アーヴィング, 1964) 第1図に白亜紀(約1億年前)の試料より得られた温度と, 試料の採取された位置との関係を, 現在の緯度に対する場合(a)と古地磁気学より得られた緯度(b)とに対して示してある. この時代にオーストラリアは現在より遙かに高緯度にあったと古地磁気学より推定されるが, 温度の資料もよくこれと合致している. 1億年の昔でも地球磁場が双極子型であったとするのがもっともらしい.

3. 緯度変化

岩石磁気を測定して得られる情報は, 前にも述べたように, 岩石が磁化した点の緯度と子午線のみである. その点の経度はさまならない. 世界中のいくつかの代



第2図 古地磁気学より得られた緯度変化と磁気子午線の方向. 数字は現在からさかのぼった年代. 単位は100万年. (ブラケット他, 1960, による)



第3図 古地磁気学的緯度の時間変化。  
(アーヴィング, 1964, による)

表的な点で子午線の変化と緯度変化を示したのが第2図である。(ブラケット他, 1960) 顕著なことは、図に

示された四つの代表点を含む大陸塊がいずれも過去2億年位の間に、100万年につき0.2°ないし0.8°の速さで北上していることである。オーストラリアは中でも複雑な動きをしている。

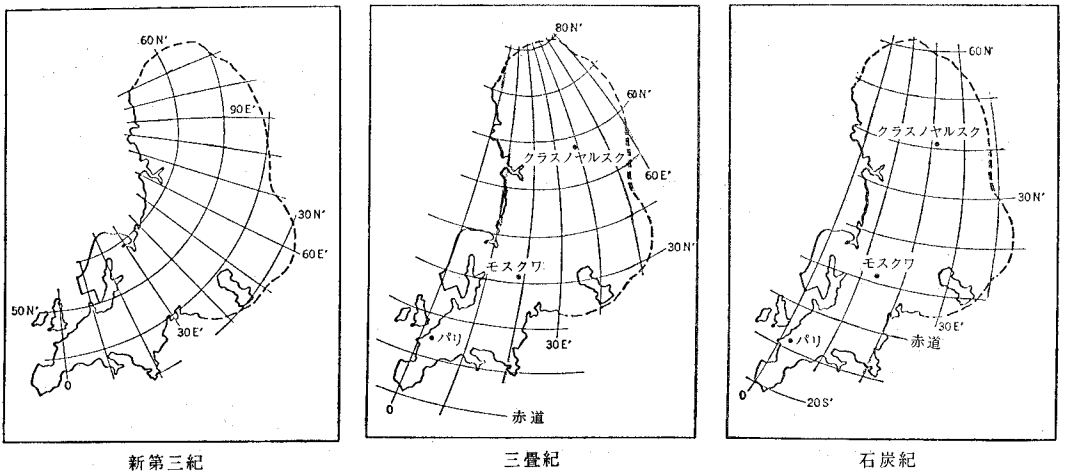
別の数箇所での緯度の時間変化を見ると第3図のようになる。(アーヴィング, 1964) オーストラリアのキャンベラは、5億年程昔は殆んど赤道地帯に存在したが、3億年位前に急に70°Sの付近まで南下し、1億5千万年前頃から今度は北上を始め現在の位置に至ったと考えられている。パリ、モスクワ、クラスノヤルスクでは、緯度変化に同じような傾向がみられる。これはこれらの三市を含む地域が常に一単位にまとまっていた事を示唆している。子午線の変化をも考慮に入れてヨーロッパおよびアジア大陸の上に、いくつかの時代での緯線経線を記入したのが第4図である。(アーヴィング, 1964) 経度の絶対値は決まらないので便宜的にグリーンニッチを0°ととってある。

これらの結果は二通りに解釈できる。一つは観測点を含む大陸が移動したとすることであり、他は大陸は固定していて極が移動したとする解釈である。そのいずれであるかは、一つの大陸の結果のみでは決定できない。

4. 岩石磁気より得られた磁極のばらつき

世界中のいろんな場所の岩を測って求められた磁極の位置は、その場所の磁気異常や実験誤差などのために必ずしも一点に収束しない。第四紀の場合は現在の地理的極を中心としてばらつくが、比較的まとまりのよいことは前に述べた。古第三紀の岩ではまとまりが悪くなり、中生代、古生代と進むにつれてばらつきが大きくなる。このばらつきは単なる誤差の集積なのか、何らかの意味がないものかどうかを検討してみよう。

世界をいくつかの地域にわけてみる。ここでは、ヨーロッパとアジア大陸の北部、日本、インド、アフリカ、オ



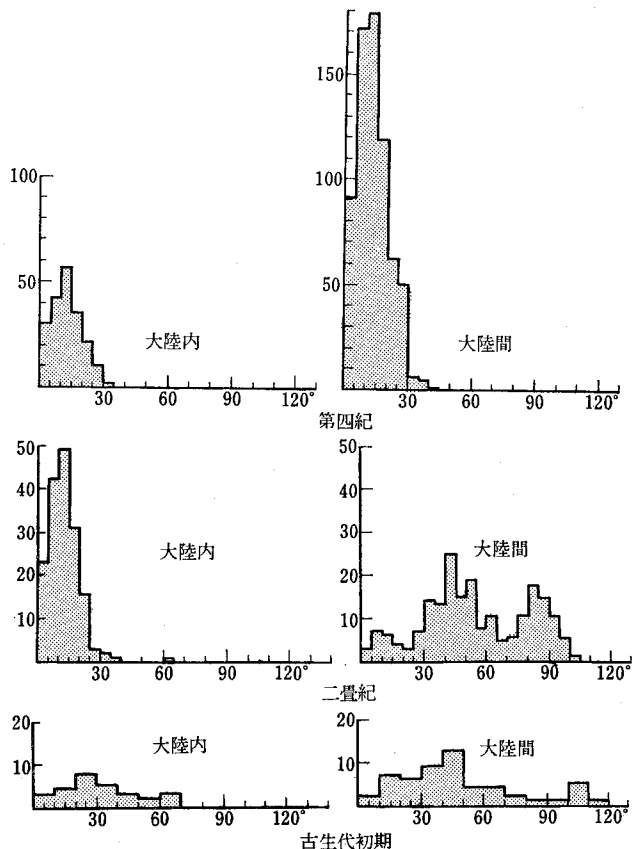
第4図 古地磁気学的緯度と磁気子午線の変化。(アーヴィング, 1964, による)

オーストラリア、北米、南米、南極、グリーンランド、アイスランド、ハワイ、サモア諸島に区分する。まずそれぞれの地域の中で求められた磁極同志を比較して磁極間の距離を測り、その頻度分布を調べる。沢山の組み合わせができるが、そのすべてに対しておこない全部の地域の頻度をまとめると第5図の左側のようなになる。同様のことを今度は異なる地域・大陸間の極について実施する。第5図の右側に示してあるのがその結果である。(アーヴィング, 1964) ここにはいくつかの時代についてのみ示してある。第四紀の例で見ると、地域内での磁極のばらつきと、地域間のそれとでは殆んど差がない。地域内の比較では20°を超えるのは全体の17%、地域間の比較では16%である。これが古第三紀になると、地域内での磁極のまとまりは比較的よいのに対して(32%が20°を超す)大陸間の比較では87%が20°を超してしまう。さらに中生代、古生代とさかのぼると、大陸内のばらつきは比較的小さいが、大陸間の極の比較では距離が90°を超えるものが現れてくる。これはそれぞれの地域が、非常に古い時代から一つにまとまっており、お互いに相対的な位置を変えてきたと考えれば理解できる。

第6図に、世界各地から得られた磁極の位置を時代とともに追ったものを示した。それぞれの軌跡は極運動を示唆しているが、ヨーロッパと北米大陸からの結果を例にとると、今から第三紀まではほぼ一致していた軌跡が、白亜紀(約1億年前)、三畳紀(約2億年前)では大きく隔ってくる。逆にみればこの時代を通して北米大陸がヨーロッパに対して相対的に西に移動し、現在の位置に到着したと解釈できる。その他の異なる大陸からの極軌跡の不一致も、大陸間の相対的変位、回転によるという見方が支配的であるが、詳しく個々の大陸の移動ということになると議論が多い。特に時代が古くなるにつれて問題は多くなる。

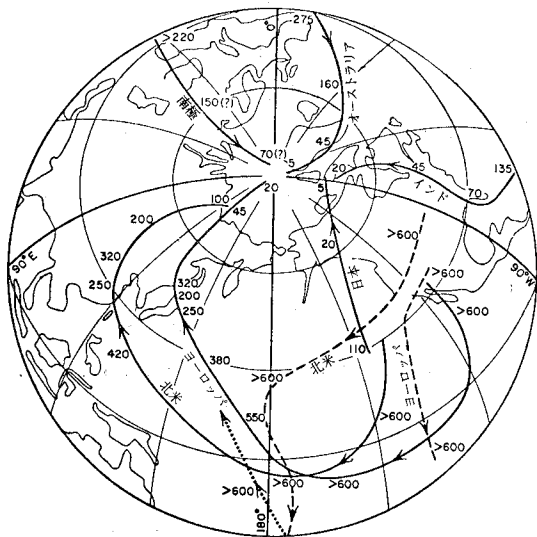
##### 5. 経度の不確定さと最小移動の仮定

古地磁気学的方法では、緯度は求めるが経度はきまらない。したがって異なる大陸からの磁極を一点に合わせて大陸の配置を求めようとしても、経度方向には全く任意に分布させ得る。しかしながら磁極の位置が次々と時代を追って調べられている時には、経度方向の任意性もかなり減ぜられる。ある時代に経度0°の所にあった大陸が、次の時代に突然180°隔った地点へ移動してしまうことは考え難いからである。そこで大陸はその移動距離が最小になるように移動したと仮定すれば、移動の軌跡としてかなりもっともなものが得られるであろう。



第5図 磁極のばらつき、大陸内の磁極の比較と、異なる大陸間での磁極の比較(アーヴィング, 1964, による)

オーストラリアの動きをアーヴィングは次のように推定している。(アーヴィング, 1964) ヨーロッパを固定して、二畳紀から現代までのヨーロッパに対する磁極の位置を示すと第7図のようになる。同時にそれぞれの時代の磁極に対するオーストラリアの緯度を円で示してある。注目すべきことは、二畳紀から古第三紀に至るまでの緯線が、皆12°E 43°Sの付近で交っていることである。この交点は磁極の位置を求める際の統計的誤差の範囲で大体一致している。これよりオーストラリアの移動について、いくつかのありそうな道すじを考えることができる。例えば、二畳紀に(6)の位置にあったものが(1)の位置へ移り、(5)を経て現在のところへ移動したと考えることも可能である。しかしながらこの道すじは移動距離を最小にするものではない。最小移動の仮定を満たすのは次の二つである。(a)二畳紀からジュラ紀までヨーロッパに対して動かず(1)点に留った。白亜紀、第三紀に(2),(3)の点を通って現在の位置に落ち着いた。この場合、ヨーロッパに対する移動速度は、ジュラ紀以降約92°, 6cm/年である。(b)二畳紀



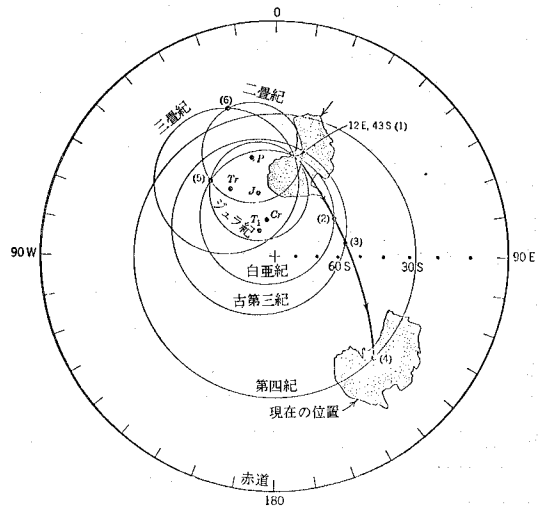
第6図 世界各地から得られた極軌跡。数字は百万年単位の年代（ドエルとコックス，1961，による）

から第三紀まで(1)点に留まり、以後20 cm/年の速度で現在地へ移動した。古地磁気学ではある点の緯度のみならず子午線方向が求まるから、これを考慮に入れると、(b)の場合はジュラ紀から第三紀の始めにかけて反時計回りにほとんど90°回転していたことになる。これに反して(a)では少しずつ時計回りに回転しながら現在の位置に移動したと考えればよく、不自然さが少い。オーストラリアに関しては、ヨーロッパに対して(a)に述べた動きをしたとするのが今のところもっとも確からしい。

## 7. 結び

古生代の頃からすでに地球磁場が双極子型であったかどうかを実証することは、極めて困難なことであるが、もし双極子仮説を受けいれるとすると、極運動や大陸移動を考えずに古地磁気学の結果を解釈することは著しく難しくなる。2億年位前は、大陸は現在とはずいぶん違った分布をしていたのが、約5000万年位前までの間にほぼ現在と同じような配置にまで移動してきたとする見方が有力である。また約3億年程前(石炭紀)にも大規模な移動が起ったという考えがある。しかしながら個々の移動の詳細になると議論の分れるところで、精度のよい資料の集積と、注意深い解析が必要とされる。

海上での磁気測量の結果、東太平洋の海底で地磁気異常の縞模様は断層に沿って1400 kmも変位しているのが明かになったし、アメリカのカリフォルニアにあるサン・アンドレアス断層では、年に数cmずつ両側が変位しているのが観測されている。精密な機械観測の発達した今日、何らかの方法で大陸間の変位の有無が確めら



第7図 オーストラリアの移動。Pはヨーロッパを固定した時の、二疊紀の磁極の位置。Trは三疊紀の磁極、J:ジュラ紀; Cr 白亜紀; Tr, 古第三紀の磁極。(アーヴィング, 1964, による)

れば大変面白いことである。

この報告は、その大部分をアーヴィング (E. Irving) の著書 (1964) に拠った。以下に掲げる文献は、代表的な書物、もしくはそれに類するもののみにとどめ、原論文を一々引用することはやめた。

## 文 献

- Cox, A. and Doell, R.R. (1960) "Review of paleomagnetism" Bull. Geol. Soc. America **71**, 645-768.
- Blackett, P.M.S. (1961) "Comparison of ancient climates with the ancient latitudes deduced from rock magnetic measurements". Proc. Roy. Soc. A **263**, 1-30.
- Blackett, P.M.S., Cleggs, J.A., and Stubbs, P.H.S. (1960) "An analysis of rock magnetic data" Proc. Roy. Soc. A, **256**, 291-322.
- Blackett, P.M.S., Bullard, E.C. and Runcorn, S.K. (1965) "A symposium on continental drift" Phil. Trans. Roy. Soc. London A, **258**, 1-323.
- Doell, R.R. and Cox, A. (1961) "Paleomagnetism" Advances in Geophysics **8**, 221-313.
- Irving, E. (1964) "Paleomagnetism and its application for geological and geophysical problems" John Wiley and Sons.
- Nagata, T. (1961) "Rock magnetism" Maruzen
- Runcorn (ed.) (1962) "Continental drift" International Geophysics Ser. Vol. 3. Academic Press.
- 竹内 均・上田誠也 (1964) "地球の科学—大陸は移動する—" NHK ブックス 6