ホットスポットの活動と地磁気の Polarity Bias の相関

金沢大学理学部地学科* 青山雄一†・長尾年恭・古本宗充

Correlation between Hotspot Activities and Magnetic Polarity Bias

Yuichi AOYAMA, Toshiyasu NAGAO and Muneyoshi FURUMOTO

Department of Earth Sciences, Faculty of Science Kanazawa University
Kakuma-machi, Ishikawa 920-11, Japan

(Received April 19, 1994; Accepted July 28, 1994)

Since the origins of hotspots are on the core-mantle boundary, activities of hotspots are expected to be affected by activities of the core. We have analyzed the correlation between the variations of the activity of Hawaiian hotspot and the geomagnetic polarity bias. The results suggest that the activity of the Hawaiian hotspot is enhanced in the period of the normal polarity bias. The time lag of the volume flux of the hotspot volcanism behind the polarity bias is a few millions of years. The correlation and lag can be explained in terms of the development and upwelling of the plume resulting from the core fluid motions.

Key words: Hotspot, Mantle plume, Core-mantle boundary, Magnetic polarity bias.

§ 1. はじめに

ホットスポットの活動はマントル内のプルームによって支えられていると考えられている。マントルプルームの源がどこにあるかは議論が分かれているが、ホットスポットの深部マントルへの固定性から [例えば, MORGAN (1972)], その活動を支えているプルームの起源はマントル深部、特にコア・マントル境界付近にあると考えられる。つまりマントルプルームは、コア・マントル境界上の熱境界層 (D'' 層) で成長し、マントルとの温度差が増加する事で力学的に不安定状態となり、マントル中を上昇してくると考えられる [LOPER (1985), STACY (1975)]。そのためプルーム、ひいてはホットスポットの活動は、コア・マントル間の熱の移動を介して間接的にコアの活動の変化の影響を受けているはずである。一方コアの活動の変化は、地磁気に直接的に反映している。故に、我々はプルームと地磁気の活動の間には、コアの活動を共通の原因とする相関関係があると予想した。

LARSON and OLSON (1991) は、全地球規模での百万年当たりの玄武岩台地・海台・海山等の地殻成長 (生成)

量から求めたスーパープルームの活動度と地磁気の反転頻度の逆相関について述べている。また VOGT (1975) は、マントル対流の変化と地磁気の反転頻度について述べ、両者に関係がある可能性を示唆している。これらは、いずれもプルームの活動と地磁気の反転頻度についての相関を述べたものである。これらの結果は、地磁気の反転頻度がコアの活動度に関係していると考えられるので、比較的受け入れられやすいものと思われる。

一方反転頻度以外の現象との相関を調べたものもある。MOBERLY and CAMPBELL (1984) はハワイ・天皇海山列の海山の磁化方向を調べ、海山の大部分が正に帯磁しているという観測事実から、ホットスポットは正の polarity の期間に活動的になるとの仮説を提出した。しかしながらこの仮説に対しては、現在観測される正の帯磁の大部分が粘性残留磁化 (VRM) で説明されうという批判がある [VERHOEF *et al.* (1985)]。

今回我々は、地磁気の活動の指標として、反転頻度や polarity ではなく、別の可能性、polarity bias、に着目した。polarity bias については次章で詳しく述べる。具体的には、ハワイのホットスポットの活動と polarity bias の 2 つの時系列を解析し、両者の相関を調べた。ハワイのホットスポットを選んだ理由は、地形・年代等の調査が詳細になされていること、トラックが長いこと、

* 〒920-11 石川県金沢市角間町

† 現所属、国立天文台、〒023 岩手県水沢市星ガ丘町 2-12

Fig. 1. Contour map of bathymetry near the Hawaii-Emperor seamount chain. The contour interval is 1000 m.

太平洋プレートの運動速度が大きいため時間の解像度が高いことなどによる。また活動が最も大きいホットスポットであり、火山体の体積の見積もりなどがより正確に行えると期待できるからでもある。

§ 2. polarity bias

地磁気は地質年代を通して激しく反転しているが、ある時代を見た時、正と逆の polarity の出現率は 50% ずつではない。どちらかの polarity が優勢であるような、polarity の偏りの存在が知られている。この偏りが polarity bias と呼ばれている。IRVING and PULLAIAH (1976) は、過去 6 億年間に、中生代末期 (80–110 Ma) の正の polarity が優勢な期間と、古生代後期 (230–310 Ma) の逆の polarity に優勢な期間等、3 千万年から 1 億年にも及ぶ長周期の polarity bias が存在すると述べている。

彼らは polarity bias の発生の機構として、マントル対流や、マントルブリウムによるコア・マントル境界上の温度変化、下部マントルの対流、マントルとコアの

間の物質交換、溶融と固化によるコア・マントル境界の位置変化等により生じる可能性があるとしている。一方 Cox (1981) は、polarity bias を発生する機構として、下部マントルの物理的性質に、奇数次の zonal harmonics であらわされるような空間的な変化があると考えた。また NICOLAYSEN (1985) は正の polarity bias 期は内核が成長するときにあたり、逆の polarity bias 期はコア・マントル境界で FeO のような物質が固化する時期に当たっていると提案している。

以上の議論は長周期の polarity bias 変動であるが、下部マントルやコア内における、空間的非対称が bias の原因であるならば、より短周期の polarity bias が存在することも期待される。

§ 3. データ

対象にしたのは、上述したようにハワイ・天皇海山列である (Fig. 1)。そしてハワイホットスポットの活動度の時系列は、SHAW *et al.* (1980) によって見積もられたデータに、150 万年のローパス・フィルターをかけたも

Fig. 2. Volcanic flux of the Hawaiian hotspot [SHAW *et al.* (1980)] and geomagnetic polarity bias since 80 Ma as seen through a 1.5 Myr window sliding at 0.5 Myr intervals. For the volume flux, volumes of seamounts per unit length along the hotspot track are plotted. In the lowest part, the magnetic reversal chronology is shown [HARLAND *et al.* (1990)]. Solid parts indicate normal polarity periods.

のを使用した。その変動の様子は Fig. 2 に示してある。polarity bias は、HARLAND *et al.* (1990) による地磁気反転の時系列から求めた。今回の解析では polarity bias として、単位時間 (150 万年) 当たりに正の polarity が占める百分率を使用した。即ち 100% の時は 150 万年の間常に地磁気は正の polarity を示し、50% では、正・逆の polarity の時期が同じ長さ (合計 75 万年) であり、0% ならば常に逆の polarity を示していたことを表している。polarity 及び polarity bias の変動の様子も Fig. 2 に示してある。

§ 4. 結果と議論

Fig. 2 で、50–60 Ma や 30–40 Ma における正の polarity bias が小さい時期から数百万年遅れたところに、ホットスポットの活動度の落ち込みが対応しているのがみてとれる。一方 35–45 Ma, 60–80 Ma の正の polarity bias が大きい期間については、ホットスポットの活動度の高いところに対応している。

Fig. 3. Cross correlation functions between the volcanic flux and the magnetic polarity bias for (a) total Hawaii-Emperor seamount chain and (b) the segment 30–74 Ma (only Emperor seamount chain). The plus direction along the horizontal axis refers to the lag of the hotspot activity behind the normal bias of the magnetic polarity. Broken curves represent the 95% confidential level as a function of the time lag [Box and JENKINS (1976)].

定量的に見るために、Fig. 3 にハワイのホットスポットの活動度と地磁気の polarity bias の相互相関関数を示す。横軸 (lag) は、ホットスポットの活動が時間的に遅れる方を正にとってある。Fig. 3(a) は、0–75 Ma のデータから、そして Fig. 3(b) は、30–74 Ma (主に天皇海山列) のデータのみから相関関数を求めたものである。

ここで 30–74 Ma のデータを使用したのは主に以下の理由による。Fig. 1 を見ると、東経 190–200° 北緯 20–30° 付近でハワイのホットスポットトラックを横切るような海山列がある。これがハワイのホットスポットの活動度の 15–20 Ma のピークに対応していると考えられる。このようにハワイホットスポットの 0–30 Ma の年代のトラックには、最低 3 本のホットスポットトラックが重なっているのに対し、30–74 Ma の年代のトラックには他のホットスポットトラックが 1 回しか天

皇海山列を横切っていない[玉木(1991)]. よって 30–74 Ma の年代のトラックでは噴出量決定の誤差が小さいと考えたからである.

Fig. 3 から次のことが読みとれる. 1) lag が負, 即ちホットスポットの活動が polarity bias 変化に先行する方向では相関関数の絶対値が小さく, lag が正, 即ちホットスポットの活動が遅れる方向では相関関数の絶対値が大きい. 2) 約 1–2 百万年の lag で相関関数の最大値を持つ. これらは, 我々の考えるコアの活動がホットスポットの活動に先行するという原因・結果の因果律を満たす関係である. すなわち, コア・マントル境界付近で何らかの変化が生じたとき, レスポンスの速い地磁気の変化(コア内での変化)がまず現れ, プリュームの活動(マントル内での変化)はマントルを上昇してくる分, 地磁気の変化に遅れると考えられる. 特に 2) で見ると, ホットスポットの活動の時間の遅れ(約 1–2 百万年)は, マントル内での高温物質の移動速度が 1–3 m/yr である [LOPER and STACY (1983)] ので, D' 層から地表までのプリュームの上昇に要する時間(約 1–3 百万年)と調和的である. ただし使用したデータの時間精度を考えると, これほどの細かい議論は難しいかも知れない.

Fig. 3(b) に示されているように, 約 1–2 百万年の lag のところにあるピークは, 相関関数の標準偏差の 2 倍 (2 σ) を越えているので, 95% の信頼度で有意である. 一方 Fig. 3(a) に示した 0 から 74 Ma の期間の相関は, 2 σ に達していないが Fig. 3(b) の相関とパターンが似ていることに我々は意味があると考え. 以上からハワイ・天皇海山のホットスポット (プリューム) の活動は polarity bias 正の期間の間に活動的であったと推定できる. このことは, ホットスポットの活動と polarity bias の変化はどちらもコア・マントル境界での熱輸送の変化を反映しているということを意味しているであろう.

以上はハワイホットスポット一点についてのみの結論であるが, ハワイ以外のホットスポットにおいても同様にホットスポットの活動度と polarity bias の相関を定量的に調べることで, コアやコア・マントル境界での水平方向の空間パターンの時間変化が見える可能性がある. 上でも述べたように, polarity bias はこれらの空間パターンを反映している可能性があるからである. 例えば, Cox (1981) が提案したように, 奇数次の zonal harmonics のパターンが関係しているならば, あるホットスポットは逆の polarity bias 時に活動し, またあるものはどちらの bias とも無関係というような例がでてくるはずである. 例えば, 20 Ma 付近でアフリカ大陸の幾つかのホットスポットの活動が開始した [玉木 (1991)] が, これが 25 Ma 付近の polarity bias が負の期間と対

応しているのかもしれない. 地表に分布するホットスポットについてこうした相関が明らかになれば, そのパターンがコア・マントル境界でのパターンの情報を反映しているはずである. ただしハワイホットスポットは, その活動度の大きさや太平洋の中央という好位置から, ホットスポットトラックが最も読みやすいものであり, これが今回の解析を意味あるものにした大きな理由であることも確かである. よって他の多くのホットスポットについては, 残念ながら解析が難しいこともつけ加えておく.

ホットスポットはプレートテクトニクスにおいて重要な役割を果たしてきたが, 今後さらにマントルやコアのダイナミクス, コア・マントル境界での熱輸送の時空変化, プリュームの成長や上昇と polarity bias の関係等を知るために重要な情報を提供するものと我々は確信している.

引用文献

- Box, G. E. P. and G. M. JENKINS, 1976, Time series analysis, Holden Day, Oakland.
- Cox, A., 1981, A stochastic approach towards understanding the frequency and polarity bias of geomagnetic reversals, *Phys. Earth Planet. Interiors*, **24**, 178–190.
- HARLAND, W. B., R. L. ARMSTRONG, A. V. COX, L. E. CRAIG, A. G. SMITH and D. G. SMITH, 1990, A geological time scale 1989, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- IRVING, E. and G. PULLAIAH, 1976, Reversals of the geomagnetic fields, magnetostratigraphy, and relative magnitude of paleosecular variation in the Phanerozoic, *Earth Science Reviews*, **12**, 35–64.
- LARSON, R. L. and P. OLSON, 1991, Mantle plumes control magnetic reversal frequency, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **107**, 437–447.
- LOPER, D. E., 1985, A simple model of whole mantle convection, *J. Geophys. Res.*, **90**, 1809–1836.
- LOPER, D. E. and F. D. STACY, 1983, The dynamical thermal structure of deep mantle plumes, *Phys. Earth Planet. Interiors*, **33**, 304–317.
- MOBERLY, R. and J. F. CAMPBELL, 1984, Hawaiian hot-spot volcanism mainly during geomagnetic normal interval, *Geology*, **12**, 459–463.
- MORGAN, J. W., 1972, Plate motion and deep mantle convection, *Geol. Soc. Am. Mem.*, **132**, 7–22.
- NICOLAISEN, L. O., 1985, On the physical basis for the extended Wilson cycle, in which most continents coalesce and then disperse again, *Trans. Geol. Soc. S. Africa*, **88**, 562–580.
- SHAW, H. R., E. D. JACKSON and K. E. BARGAR, 1980, Volcanic periodicity along the Hawaiian–Emperor chain, *Am. J. Sci.*, **280-A**, 667–708.
- STACY, F. D., 1975, Thermal regime of the Earth's

- interior, *Nature*, **255**, 44-45.
- 玉木賢策, 1991, ホットスポット軌跡のグローバル解析, *地球中心核*, **1**, 341-344.
- VERHOEF, J. B., J. COLLETTE and C. A. WILLIAMS, 1985, Comment and reply on "Hawaiian hotspot volcanism mainly during geomagnetic normal intervals": comment, *Geology*, **13**, 314-315.
- VOGT, P. R., 1975, Changes in geomagnetic reversal frequency at times of tectonic change: evidence for coupling between core and upper mantle process, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **25**, 313-321.