

学位論文題名

Evolution of the Afar mantle plume

(アファール・マントルブリュームの進化)

学位論文内容の要旨

今から2億年前に起こった超パンゲア大陸の分裂はハワイブリュームの規模をはるかに凌ぐ大規模なブリューム(スーパーブリューム)の活動が起因していると考えられる(Larson, 1991). 現在活動中のスーパーブリュームの全容は現在アフリカ中央部と南太平洋において明らかになりつつある(例えば, Maruyama, 1994). しかしながら超大陸分裂の初期(リフティング・ステージ)において, どのようにブリューム(又はスーパーブリューム)が関与しているか, そのメカニズムについては現在も不明な点が多い.

アファ・アラビアリフト系は現在最も広範囲に活動する大陸性リフト地帯である(Shudofsky, 1985). 同地域には約45 Ma以降, 断続的な火成活動により形成された火山岩類が広く分布しており, これらはアファール・マントルブリュームに関連した火成活動と考えられている(White and McKenzie, 1989). したがって, 同地域に分布する新生代玄武岩類を研究対象とすることはリフティング・ステージのブリュームの活動を把握する上で最も適している. そこで本研究では, 1) アファール・マントルブリュームの拡散プロセスを明らかにする, 2) アファール・マントルブリュームとリソスフェアの反応プロセスを明らかにする, ことを目的として, アラビア半島南西地域に分布する後期中新世-第四紀玄武岩類の K-Ar 年代と主・微量成分および He・Nd・Sr・Pb 同位体組成の測定を行った.

1) アファーマントルブリュームの拡散モデル

本研究ではイエメン内陸部3地域について計42試料, アデン火山列については計21試料の K-Ar 年代を測定した. 本研究の結果と以前に報告された16試料の放射年代から同火山岩類の火成活動が10 Ma以降北東方向および東方向へ一部重複しながら移行することが明らかになった. さらに各火山地域の火成活動の開始年代と Perim Island からの距離には極めて良好な相関($R^2=0.957$)が認められ, これにより同地域の火成活動が10 Ma以降3.6 cm/yearの割合で北東および東方向へ移行することが明らかとなった. アデン湾は11 Ma以降アフリカ大陸を基準として北東方向へやく160 km (Cochran, 1981) 伸張したとされているからその伸張率は1.5 cm/yearである. したがって, アファール地域を中心としたブリュームの上昇流がアラビア・リソスフェア下を単に拡散すると仮定した場合, その拡散速度は5.1 cm/yearと見積ることができる. 以上の結果から同火成活動の移行は約15 Maに現在のアファール三角地帯付近に到達したアファールブリュームのヘッドがリソスフェア下に沿ってほぼ同心円状に拡散(現在までにその北東端はアファール三重点から直線距離で約800kmまで到達する)したためと考えられる.

Schilling et al. (1992)はアファール三重点からアデン湾の中央軸に沿って, 海洋底ドレッ

チにより採取した玄武岩の Sr・Nd・Pb 同位体組成の側方変化を詳細に検討し、アファーマンタルブリュームのピークがあることを明らかにした。これを基に彼らはアファーマンタルブリュームにおける“dispersion model”を提唱した；1) 下部マントル/コア境界から派生したブリュームは後期漸新世から後期中新世にはリソスフェア下に到達し、torus 状に拡散しながら Ethiopian-Yemenitic 台地を形成する。2) その後のリフト運動 (passive) により現在 torus 状を呈するブリュームヘッドの東先端はアデン湾の東経 46° に達した、というものである。しかしながら、彼らが提唱した拡散モデルは、1) 本研究で明かとなったアラビア半島南西地域の 10 Ma 以降の火成活動の移行、2) アファーマンタルブリューム地域直下のトモグラフィーにみられる深度 100-250km、アファーマンタルブリューム地域を中心とした半径 1500 km のフラットな低速度異常の分布 (Zhang and Tanimoto, 1992) の 2 点を明確に説明できない。つまり、Ethiopian-Yemenitic 台地の形成期 (38-20 Ma) の他に新たに 15 Ma 以降の 2 ステージのアファーマンタルブリュームの拡散モデルを考える必要がある。

2) アファーマンタルブリュームとリソスフェアの反応プロセス

アラビア半島南西地域の火成活動と拡散したアファーマンタルブリュームに関連性について岩石化学的所見から検証する目的で、同地域の玄武岩計 63 試料の主・微量成分および Pb, Sr, Nd 同位体組成を測定した。また、同地域の北東端の Marib-Sirwah 地域および東端の Shuqra 地域に分布する玄武岩計 9 試料についてはカンラン石斑晶中の He 同位体比を測定した。

15 Ma にアファーマンタルブリューム地域近傍に上昇したブリューム・ヘッドの時空変遷に着目すると、アファーマンタルブリューム地域ではソレライト系列で、かつ Zr/Nb 比およびマルチ同位体組成の特徴では EM (enriched mantle) 的であるが、周縁ではアルカリ玄武岩系列でブリューム的 [成分 C (Hanan and Graham (1996))] な特徴を示す傾向が今回の結果からみいだされた。これは、ブリューム上昇場 (アファーマンタルブリューム地域近傍) では熱的影響により大量のリソスフェリック・マントルや上部マントルを融かすが、リソスフェア下を拡散するにつれ、ブリュームは冷やされ、最先端ではブリューム・ヘッドのコアからのみ少量のメルトができるためであると考えられる。また、ブリューム・ヘッドがアラビア半島南西地域のリソスフェア下 (地殻の厚さ: 40-45 km) を拡散する過程で、DM (depleted mantle) 成分の付加が認められた。同地域ではリソスフェアが薄くなっていないのでアセノスフェアの減圧によって生じたメルト (decompression melt) の関与は考えられない。したがって、これはアファーマンタルブリュームが上昇する過程で取り込んだブリューム・ヘッド内のアセノスフェアから放出されたメルトである可能性が高い。

最後に、本研究により以下のことが明かになった。1) アラビア半島南西地域に分布する後期中新世-第四紀火山岩類の火成活動は 3.6 cm/year の割合で北東および東方向へ移行することが明かとなった。これは 15 Ma にアファーマンタルブリューム地域に到達し拡散したブリューム・ヘッドの拡散 (拡散速度: 5.1 cm/year) に起因していると考えられる。2) アファーマンタルブリュームの進化プロセスは以下のとおり；ブリュームの上昇場では熱的影響により初期のステージで大量のリソスフェアを融かすが、リソスフェアの侵食に伴い次第にマントルブリューム由来のメルトが卓越するようになる。一方、ブリューム・ヘッドが 5.1 cm/year の割合でリソスフェア下を拡散する過程で上昇の際にブリューム・ヘッド内に取り込んだアセノスフェアは大量のメルトを放出する。その後ブリューム・ヘッドは次第に冷やされ、最先端ではブリューム・ヘッドのコアからのみ少量のメルトが放出される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 渡 邊 暉 夫

副 査 教 授 石 原 舜 三

副 査 助 教 授 在 田 一 則

副 査 教 授 Hanan, Barry B

(サンディエゴ州立大学大学院)

学 位 論 文 題 名

Evolution of the Afar mantle plume

(アファール・マントルプリュームの進化)

大陸の分裂を促すリフト帯の火成活動は、プレート沈み込み帯の火成活動と並んで、地球上の造構運動を左右する重要なものとして注目されてきている。なかでも、アファール・アラビアリフト帯は新生代古第三紀に活動を開始し、現在も活動している代表的なリフト帯で、アフリカの地構帯や紅海の拡大、インド洋の海嶺軸の拡大が集中している地域である。このため、1980年代から世界中の研究者が競って精力的な研究が続けてきた。特にSchilling et al.(1992)はアデン湾の東経45度付近にHIMU組成の火山岩が存在することを確認し、マントル深部に起源を持つ上昇プルームによるマグマの活動が、新生代にリフト帯と重なりあって発生したことを指摘した。以来、アファール・アラビアリフト帯での上昇プルームによるマグマの活動の時空変遷を捉えることがプルームの構造を解明する上で重要な課題となった。著者はイエメン台地に広く点在する新生代の火山岩の地質学的、岩石学的、年代学的、同位体岩石化学的研究を遂行してきた。調査範囲は南北400km、東西300kmに及んだ。この広範囲に分布する火山岩は、Dhamar-Rada, Aman-Sana'a, Marib-Sirwah, Shuqraの4地域に特に集中する。著者はこのうち、層序学研究の進んでいたShuqraを除く、3地域の火山岩層序を明らかにした。さらに火山岩地帯相互の活動年代とイエメン台地全体の活動史を明らかにするため、64サンプルの火山岩の年代をK-Ar法によって求めた。その結果、アラビア半島南西端を中心にほぼ同心円上に火山活動が移動しているという注目すべき事実を見出した。活動の最外縁部は半径400km近くに達する。また、著者はこの年代論の系統的な詳しい検討からこの火成活動の変遷がSchillingらの言うように一回のプルームの上昇とリソス

フェアア下での拡大ではなく、38–20 Maと15 Ma以降の二回のブルームの活動であろうという、新しい見解に達した。

さらに著者は、岩石化学的研究からこの火成活動の順次アルカリ含有量が増加すること、Nb/Zr比が増加することなどを明らかにし、イエメン台地の火山岩組成が時間とともに上昇ブルームとの関連を強めるというデータを得た。

引き続いて著者はSr, Nd, Pb, Heの同位体の研究に着手した。Pb同位体の研究ではサンディエゴ州立大学のHanan教授の指導を受け、He同位体の研究では岡山大学地球内部研究センターの長尾教授の協力を得た。とりわけ、Pb同位体やNd同位体の研究ではアラビア半島南西端から最も遠く離れたShuqraやMarib–Sirwah地域にcomponent Cにあたる組成の火山岩が活動していることが明らかとなった。component Cは1996年にHanan & Grahamによって、上部・下部マントル境界付近に起源を持つものとして注目された組成である。

He同位体の研究からは下部マントル起源を支持する高い $3\text{He}/4\text{He}$ 比を得たが、時間とともに急速に変化するというデータも得た。このHeの起源についてさらに厳密な検討を要するが、以上の岩石化学的研究はマントル・ブルーム起源のマグマはHIMU的なものであるというZindler et al.(1986)以来の概念をさらに精密に検討し、ブルームの端成分の研究に新たな一石を投ずるものである。つまり、今後、 $3\text{He}/4\text{He}$ 比の詳しい検討が必要とはいえ、上昇ブルームの組成について、HIMUやcomponent Cの他に、Hart et al.(1992)提唱のFOZOやFarley et al.(1992)提唱のPHEMを含めて議論する貴重なデータを得たからである。

さらに著者の研究は年代論からブルームの拡大速度をも明らかにしている。著者の2段階上昇ブルームモデルは地震波トモグラフィーによる予想されるブルームの広がりをもよく説明するものとなっているばかりではなく、100 kmから200 kmの深度に認められる低速度帯が第3の上昇ブルームであろうという説明を可能にするものである。このように著者の研究は上昇ブルームの構造についての新しい考えを導く上で、示唆に富むものである。

よって、著者は北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格ある者と認める。