



- 2-1-2. Lateral variation of the radius of the earth's core
- 2-1-3. Formulation of the problem
- 2-2. Method of analysis
  - 2-2-1. Data
  - 2-2-2. Method of reading SKKS-SKS travel time differences
  - 2-2-3. Synthesized SKS and SKKS waves
- 2-3. Results
- 2-4. Anomalies in the travel time differences between SKS and SKKS phases
  - 2-4-1. Event mislocation
  - 2-4-2. Physical dispersion
  - 2-4-3. Lateral heterogeneities of velocity structure
  - 2-4-4. Bump on the core-mantle boundary
- 2-5. Conclusion

Chapter 3. VELOCITY GRADIENT OF S WAVE IN THE D" LAYER  
BENEATH THE HAWAIIAN HOTSPOT

- 3-1. Introduction
- 3-2. Method of analysis
  - 3-2-1. Data
  - 3-2-2. Formulation of analysis
- 3-3. Results
- 3-4. Discussion and conclusions

Chapter 4. THE GLOBAL FEATURES IN THE LOWER MANTLE AND  
THEIR RELATION TO THE BUMP ON THE CORE-MANTLE  
BOUNDARY BENEATH THE HAWAIIAN HOTSPOT

- 4-1. Introduction
- 4-2. Characteristic feature of the P wave velocity heterogeneities in the lower mantle
- 4-3. Perturbation of the moment of inertia derived from the velocity heterogeneities
- 4-4. Relation between the geoid anomalies and the velocity heterogeneities in the lower mantle

Chapter 5. DISCUSSION AND CONCLUSION

- 5-1. Discussion on the origin of the mantle plume
- 5-2. Summary of the conclusions
- 5-3. Suggestions to the further study

REFERENCES

APPENDIX

# 論文内容要旨

## 第1章 序 論

Wilson (1963, 1965), Morgan (1971, 1972) の唱えたホットスポット・マントルプルーーム説は現象論的には多くの研究者の認めるところであるが、その起源、即ち地球深部のどの深さでマントルプルーームが形成されているのか、については未だに定説がない。

最近、Hamaguchi と Zana (1985) は全世界のホットスポットのうち熔岩湖活動が認められる最も活動度の高いホットスポット火山、ハワイ、アイスランド、ニイラゴンゴ・ニアニラギラ、エレバスは、その地表での空間的分布が極めて対称的であり、しかも1つの大円上に存在している事を発見した。しかもこの大円は地球の磁極を通る。この様な磁極とホットスポットの空間的位置の関連性より Hamaguchi と Zana (1985) はマントルプルーームが地球の核の熱的影響を反映したものであり、その起源は核・マントル境界にあると言う仮説を立てた。

本研究では上記の仮説をふまえ、地球上に存在する最大級のホットスポットの1つであるハワイ直下の核・マントル境界の凹凸の形状、及び核・マントル境界直上のD''層に於けるS波速度の鉛直勾配を地震学的手法を用いて解析し、ハワイ直下の核・マントル境界の構造を明らかにするとともに下部マントル全体に及ぶ速度不均質、ジオイド異常との関連も考察し、マントルプルーームの起源について考察を加えた。

## 第2章 ハワイ直下の核・マントル境界の形状

最初に、SKKS-SKSの走時差を用いて核・マントル境界の凹凸の形状を調べた。SKKS波の反射点がハワイ直下の核・マントル境界となる様な震源と観測点の組合せを考慮し、ソロモン海、ニューヘブリデス、ケルマディック、トンガで発生した深さ131~627kmの稍深発、深発地震( $m_b=5.6\sim 6.3$ )15個について、北米大陸のWWSSNとCSNの観測点で観測した長周期記録の水平動成分を解析した。

長周期SKS, SKKS波を解析する際に特に注意を要するのは、SKKS波が最深点を2ヶ所で持つためにSKS波に比べて位相が $\pi/4$ ずれる事と、震央距離107度以遠でSPdiffKS及びSKPdiffS等の回折波がSKS波のすぐ後で到達するためSKS波の波形が歪む事、の2つが挙げられる。これらの位相のずれは長周期地震波記録から走時差を求める際に大きな誤差を生ずる可能性がある。本研究では、SKS, SKKS波の理論波形をFull Wave理論より求め、観測波形をディコンボリューションする事により走時差を読み取った。具体的には、観測SKS波から合成SKKS波を作り、観測SKKS波と波形合わせを行って走時差を読み取った。また同様に、観測SKKS波より合成SKS波を作り観測SKS波と波形を比較して走時差を読み取った。これら2つの走時差の読み取りの平均値を観測走時差とした。読み取り精度は±0.5秒程度と推定され、これは極めて良い精度であると言える。

この方法で求めた走時差を理論走時の結果と比較すると、読み取り精度の7~8倍の偏差(走

時差残差)が認められた。この走時差残差の原因として震源決定の誤差、マントル内での地震波速度の不均質性などが考えられるが、これらの効果を評価した結果、その影響は小さく観測結果で見られる程度の走時差残差にはなり得ない事が判明した。残る唯一の可能性としてS K K S波の反射点での核・マントル境界の凹凸が挙げられる。

S K K S - S K S 走時差残差より核・マントル境界の形状を求めたところハワイ近傍 (25° N, 155° W) 付近に中心を持つ高さ10km, 水平方向の長さ約1000kmにおよぶ核・マントル境界の突出部が見出された。

### 第3章 ハワイ直下に於けるD''層のS波鉛直速度勾配

前章で解析対象とした地域と同じハワイを含む中部太平洋地域のマントル最下部 (D''層) に於けるS波の鉛直速度勾配を回折SH波の振幅より推定した。

回折SH波の震央距離による振幅の減衰の大きさはD''層のS波速度の鉛直勾配に大きく影響を受ける事が、理論波形の研究より知られている。そこで前章と同じく、ソロモン海、ニューヘブリデス、ケルマディック、トンガの各地域で発生した6個の地震を、北米のWWSN観測点での長周期記録からピーク間振幅値を読み取り解析した。振幅 (A) と震央距離 ( $\Delta$ ) の間に

$$\ln(\sqrt{\sin\Delta} \cdot A) = -r\Delta + c$$

で表わされる半経験式をあてはめ、傾き  $r$  を Mondt (1977) による理論値と比較し、D''層のS波速度の鉛直勾配を推定した。

上記の解析を行った結果、前章で得た核・マントル境界の突出部を含む北西部領域ではD''層の鉛直速度勾配が負であり、またその南東に位置する南東部領域では速度勾配が正である事が分った。両領域の境界はハワイ島の南東約10度の付近にある。適当な仮定の下で温度勾配を推定すれば、南東部領域ではほぼ断熱温度勾配であると推定されるのに対し、北西部領域では温度勾配が断熱温度勾配より大きく熱境界層が形成されていると結論された。

### 第4章 全地球的規模でみたハワイ直下の下部マントルの特徴

上述した結果はハワイ直下のいわば局所的な構造である。しかしながらハワイ直下の下部マントルの構造は全地球的規模でみても特異である事が次の様な解析により明らかになった。

Dziewonski (1984) は下部マントルに於けるP波速度の標準地球モデル (PREM) からの偏差を球面調和関数を用いて表現している。その係数を用いて調和関数の zonal 成分の大きさを求めた。その結果、中部太平洋 (5° N, 165° W) 及び中部アフリカ (5° S, 15° E) で zonal 成分が最大となる事が分った。この事はこの両地域下で下部マントル低速度領域が対称的に広がっていることを示し、Quadrupolar Convection (Busse, 1983) が下部マントルで卓越しているとすれば、この両地域下でマントル内上昇流が存在する事を示唆する。

次に下部マントルでの Grüneisen 定数より速度偏差と密度偏差の関係を仮定し、同じく

Dziewonski (1984) の P 波速度偏差より下部マントルの密度偏差を求め、下部マントルの慣性モーメントの偏差を求めた。その結果、中部太平洋 ( $10^{\circ}\text{N}$ ,  $170^{\circ}\text{W}$ ) 及び中部アフリカ ( $10^{\circ}\text{S}$ ,  $10^{\circ}\text{E}$ ) を結ぶ軸で慣性モーメントが最大となる事が明らかになった。この事は、この軸が下部マントルの対称軸である事を示している。

上記で求めた下部マントルの密度分布を用いてジオイドの偏差を求めると、中部太平洋で約 400 m の負の異常域が生ずる。これは観測事実 (約 60 m の正の異常) と大きく異なる。この差異を核・マントル境界の凹凸で説明するとすれば、中部太平洋 ( $5^{\circ}\text{N}$ ,  $165^{\circ}\text{W}$ ) で約 14 km 程度境界面を突出させれば良い事が分った。この結果は S K K S - S K S 走時差残差による見積りとよい一致を示す。

以上述べた P 波速度偏差の zonal 成分が最大となる場所、慣性モーメントの最大軸、観測ジオイドを説明するために必要な核・マントル境界の突出点はすべてハワイ近傍に存在し、全地球的規模でみてもハワイ直下が特異な場所であることが明らかになった。

## 第 5 章 議論とまとめ

以上の様な解析結果をふまえてマントルプルームの起源を考察する。核・マントル境界の突出とマントル最下部での熱境界層の発達している場所が一致していると言う事は極めて興味深い示唆を含んでいる。高レーリー数の粘性流体内の対流運動に関する数値シミュレーションの結果を参照すれば、核・マントル境界の突出と、その直上での熱境界層の発達は、コアからマントルへ供給される熱が全地球的規模で一様ではなく、ハワイ直下が周辺部分に比べて大きい事を類推させる。

ハワイ直下では、核・マントル境界の突出、マントル最下部での熱境界層の発達、下部マントルに於ける対称性に富んだ低速度領域の広がり、地表で観測されるジオイドの正の異常、表面現象としてのハワイのホットスポットの存在と言う高温物質の上昇 (マントルプルームの存在) を示唆する証拠が集中している。この事よりハワイ直下の核・マントルプルームが発生し、ハワイのホットスポットを形成しているという地球のダイナミクスが明らかになった。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は地球上の最大のホットスポットの1つであるハワイ直下のコア・マントル境界（CMB）の構造と物理的状态を明らかにしたものである。著者は現在も活動度の高いハワイを含む4つのホットスポット火山が大円上に分布し、空間的に極めて対称的な分布をすることに着目し、ホットスポット・マントルプルームの起源がCMBにあるとの立場に立って、2つの地震学的解析を試みた。その1つはSKKS-SKS波走時差の解析である。SKKS波の反射点が中部太平洋直下のCMBにあるような震源と観測点の波形データを解析し、高い精度でSKKS-SKS波走時差を決定し、理論走時からの残差を求めた。この残差が有意に大きくなる原因として、CMBの凹凸にあることを推論し、ハワイ近傍直下のCMBに中心の高さ10km、水平方向の長さ約1000kmの境界面の突出（bump）であると結論した。著者は次に回折SH波の振幅減衰特性がマントル最下部（D''層）でのS波速度鉛直勾配に大きく依存する特性を利用して、ハワイ直下のCMBの突出部の直上では温度勾配が断熱温度勾配より大きく、熱境界層が形成されていること、及び突出部の集辺部ではほぼ断熱温度勾配であることを見出した。著者はさらに下部マントルの速度不均値データを使った解析から全地球的規模でも、ハワイ直下の下部マントルが特異な構造を示すことを、慣性モーメント及びジオイドの分布から明らかにした。これらすべての解析結果はお互いに調和的であり、ハワイ直下のCMB近傍に高温物質の上昇、すなわちマントルプルームの存在が強く示唆されるとの結論に致った。

以上、本論文で示した結果はコア・マントル境界に関して極めて重要な新知見を含み、地球内部物理学の研究に多大の寄与をするものであり、著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって、森田裕一提出論文は、理学博士の学位論文として合格と認める。