

氏 名 北 村 圭 吾

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第760号

学位授与の日付 平成16年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 極域科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 岩石の鉱物組み合わせ及び微細構造が弾性波速度  
に与える影響に関する実験的研究

論 文 審 査 委 員 主 査 教授 本吉 洋一  
教授 澁谷 和雄  
教授 白石 和行  
教授 有馬 眞（横浜国立大学）  
助教授 金川 久一（千葉大学）

## 論文内容の要旨

岩石の弾性波速度は地殻の地震波速度構造から地殻深部を構成する岩石を推定するために重要な物理量である。従来、岩石の弾性波速度は岩石の密度と化学組成によって決定されると考えられ、これを基に数多くの地殻の岩石分布の推定がなされてきた。しかし近年、岩石の変成作用に伴う鉱物組み合わせの変化や構成鉱物の格子定向配列 (LPO) パターンの違いによって類似した化学組成、密度の岩石であっても弾性波速度に大きな違いが存在することが明らかになり、これまでになされてきた地震波速度構造に基づく岩石分布モデルの再評価を行わなければならない事が示唆された。そこで本研究では中下部大陸地殻の主要な構成岩石であると考えられている塩基性高度変成岩を用い、同様の化学組成と密度を持った、異なる鉱物組み合わせ、LPO パターンを示す岩石の弾性波速度測定を行い、これらの性質が弾性波速度と速度異方性に与える影響を定量的かつ総合的に評価することを目的とした。造岩鉱物の LPO パターンの違いは岩石の弾性波速度の異方性に影響を与える。そこで本研究では、3 方向の弾性波速度を同時に測定することができるシステムを開発した。また本研究では弾性波速度測定とともに、岩石の密度、全岩化学組成、モード比、鉱物の化学組成の測定や構成鉱物の LPO パターンの測定を行い、弾性波速度、速度異方性との比較を行った。なお本研究では、南極リュツォ・ホルム岩体から得た、12 個の塩基性高度変成岩の試料を用い、それらを斜方輝石 (以下 Opx), 黒雲母 (以下 Bt) の 2 種類の鉱物のモード比に着目して 3 タイプに分類した。Opx を 10%以上含み Bt のモード比が 15%以下の岩石を塩基性グラニュライト (mafic granulite), Bt のモード比が 15%を越える岩石を黒雲母に富む岩石 (Bt-rich rock), Opx が 10%以下、Bt も 15%以下の岩石を角閃岩(amphibolite)とした。

本研究の結果、リュツォ・ホルム岩体の塩基性高度変成岩の弾性波速度は mafic granulite は高速 (>7.2km/s) で異方性が小さく (<3.6%), amphibolite や Bt-rich rock は比較的低速 (<7.0km/s) で異方性が大きい (>5.0%) ことが分かった。特に Bt-rich rock の弾性波速度は同様の密度化学組成の岩石の弾性波速度より著しく小さい。これらの結果は鉱物組み合わせが弾性波速度に大きな影響を与えていることを示唆する。この推測を基に造岩鉱物のモード比と弾性波速度の関係を調べた結果、Opx や Bt の量比と弾性波速度には相関する傾向があることが明らかになった。具体的には Opx と弾性波速度の間に正の相関関係が、Bt と弾性波速度の間には負の相関が確認された。これらの結果は類似した密度、化学組成の岩石では鉱物組み合わせによって弾性波速度に違いが出ることを意味している。次に電子線後方散乱 (EBSD) を用いて造岩鉱物の LPO 測定を行った。その結果、角閃石 (以下 Hbl) と Bt は明瞭な LPO パターンを示している事に対し、Opx や単斜輝石 (以下 Cpx), 斜長石 (以下 Pl) は明確な LPO パターンを示していない事が分かった。また明瞭な LPO パターンをしめす Hbl, Bt の LPO パターンの強さ (fabric intensity; J-index) と弾性波速度異方性の間に正の相関があることが分かった。この関係は上部マントルを構成するカンラン岩ではすでに明らかにされていたが、本研究ではじめて地殻を構成する岩石でも明らかになった。また amphibolite と Bt-rich rock の LPO パターンと鉱物の弾性定数を用いて計算した弾性波速度に基づくパターンは、実測した弾性波速度異方性パターンとよい相関を示した。一方、mafic granulite の LPO パターンに基づく計算結果は測定結果と一致しないことが分かった。これらの結果から塩基性高度変成岩中の弾性波速度異方性は Hbl と Bt のモード比、

及びこれらの鉱物の LPO パターンによって決定されているといえる。次に、これらの結果をもとに鉱物組み合わせと弾性波速度異方性の関係を評価した。その結果、mafic granulite と amphibolite および Bt-rich rock の弾性波速度は大きく異なり、それぞれの岩石の速度異方性を考慮しても、amphibolite, Bt-rich rock の弾性波速度は mafic granulite の速度を超えない事が明らかになった。この結果は鉱物組み合わせが弾性波速度に最も強い影響を与えていることを示している。

本研究では塩基性高度変成岩では、Opx や Hbl, Bt などの Fe-Mg 鉱物のモード比の違いが岩石の弾性波速度と速度異方性に最も大きな影響を与えていることが明らかになった。変成岩の鉱物組み合わせの違いは変成条件の違いに起因しており、変成作用が塩基性高度変成岩の弾性波速度に大きな影響を与えている事を示唆している。

## 論文審査結果要旨

地震波の解析によって得られた地殻の弾性波速度は、地殻内の岩石の分布やその物理的性質を反映しており、地殻の構造やその形成過程を探る上では非常に有効な情報のひとつである。しかし、得られた弾性波速度が地殻内のどのような岩石に対応しているのか、また、弾性波速度の異方性、つまり方向による速度差が何に起因しているのか、といった問題に加え、地表調査によって得られた岩石の種類・分布・組み合わせが、地殻の構造に直接対応しているのか、といった根源的な問題が未解決のまま残されていた。この種の研究は、すでに米国、ドイツの研究者によって弾性波速度と岩石の密度あるいは岩石の化学組成、とくに  $\text{SiO}_2$  量との相関関係が提唱されているが、それ以外の要因、たとえば構成鉱物の種類とその量比、岩石中の鉱物の配列の影響などについてはほとんど研究例がなかった。申請者・北村圭吾君は、このテーマにアプローチするために、弾性波速度およびその異方性と記載岩石学的データ（鉱物組み合わせ、鉱物量比、全岩化学組成、岩石密度、微細組織）との関係を定量的に評価する研究を開始した。弾性波速度を測定する岩石については、北村君は東南極リュツオ・ホルム岩体の塩基性変成岩を対象とした。リュツオ・ホルム岩体は、古生代の約5億年前に変成作用を被った各種変成岩が約300kmにわたって分布しており、角閃岩相からグラニュライト相高温部の変成条件が連続して追跡できる。また、岩石学的な解析も進み、変成条件や変成履歴等がかなり詳細に明らかになっている。北村君は、この岩体から8点の試料を選び、研究の対象試料とした。今回の研究のために行った実験は以下のとおりである。

- ・偏光顕微鏡による岩石試料中の構成鉱物の種類とその量比の測定
- ・蛍光X線分析装置による全岩化学組成の測定
- ・ピストン・シリンダー型高压発生装置による弾性波速度の3軸同時測定
- ・電子線後方散乱（EBSD）による各構成鉱物の格子定向配列（LPO）の測定

（なお、本研究の中心となる弾性波速度の測定に関して、北村君はこれまでひとつの試料に対して1回に1軸方向しか測定できなかったピストン・シリンダー型高压発生装置に改良を加え、岩石の弾性波速度を3軸同時に測定するシステムを試行錯誤の末開発した。）

上記の測定データを基に、とくに、これまでの研究ではあまり検討されてこなかった岩石の鉱物組み合わせと微細組織が、弾性波速度にどのような影響を与えるのか集中的に検討し、以下の結果を得た。

- ・今回対象とした塩基性変成岩において、斜方輝石の量比と弾性波速度には正の相関が、黒雲母の量比と弾性波速度には負の相関が認められた。
- ・斜長石、角閃石、斜方輝石、単斜輝石、黒雲母の格子定向配列（LPO）の測定結果から、角閃石と黒雲母のLPOパターンの強さと弾性波速度異方性との間には正の相関があることがわかった。この関係は、これまでマントルでは明らかにされていたが、地殻を構成する岩石では初めての報告である。
- ・LPOパターンと鉱物の弾性定数に基づいた弾性波速度計算結果は、高压条件下での測定結果とよく一致することを示した。このことは、理論計算によって岩石の弾性波速度を得られる可能性を示唆している。
- ・グラニュライト相と角閃岩相の岩石では、その速度異方性を考慮しても弾性波速度が大きく異なり、岩石の弾性波速度に最も影響を与える要因は鉱物組み合わせであることを見出した。この結果は、地震学的なデータを解釈する上で、非常に重要な制約条件のひとつと成りうる。

北村君は、従来の弾性波速度と岩石の  $\text{SiO}_2$  量、あるいは密度といった比較的単純な相関に満足することなく、岩石の鉱物量比、さらには格子定向配列といった複雑な要因に果敢に挑戦した。また、その解決のために新しい装置のシステムを自力開発したり、データ解析にオリジナリティーを発揮するなど、この分野に新しい方法論を吹き込んだことが高く評価された。以上の判断に基づき、本審査委員会は、北村圭吾君の学位審査論文を全員一致で合格と判定した。