

氏 名	生 田 大 穰 ^{いく た だい じょう}
学位(専攻分野)	博 士 (人間・環境学)
学 位 記 番 号	人 博 第 400 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	人 間 ・ 環 境 学 研 究 科 相 関 環 境 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	In situ X-ray structure analysis and identification of minerals on a glass thin section (顕微鏡ガラス薄片上の鉱物のX線構造解析と同定)
論文調査委員	(主 査) 教 授 阪 上 雅 昭 教 授 石 川 尚 人 教 授 平 島 崇 男

論 文 内 容 の 要 旨

本学位申請論文は、直接顕微鏡岩石薄片を用いて鉱物のX線結晶解析を行う新しい方法について述べたものである。学位申請者は、この方法を中国の超高压変成岩に適用し、高压指標鉱物のコース石と、岩石がマントルより上昇したことに伴い転移して生じた低压型の石英の結晶構造解析に成功している。さらに、同じ手法をチェコ共和国のgranuliteに適用して Al_2SiO_5 多形の同定も行っている。

第1章は導入部である。ここでは、現在X線結晶解析法が必要とされている背景、即ち、すでに多くの鉱物や合成結晶は構造決定がなされているため、近年ますます解析困難な状況下（小さな結晶、稀な産出、他の結晶との共存下）での構造決定が要求されてきていることが述べられている。この困難な要求に応えるためには、光学顕微鏡下で見出した鉱物、結晶を、ガラス薄片下でそのまま構造解析をする必要がある。この事情は本論文で扱った変成岩についても例外ではない。

第2章は、本学位申請論文の中核をなす章である。ここでは、申請者が世界で始めて開発した、顕微鏡ガラス薄片中の鉱物について直接X線結晶構造解析を行う方法が解説されている。この手法を、超高压変成岩中のコース石とこれより転移した石英に適用した結果、申請者はこれらの同定と結晶構造解析に成功している。解析方法の概略は以下のようなものである。まず、CCD二次元検出器で収集された不明瞭な回折像よりガラスプレートによるバックグラウンドの影響を差し引く。さらにガラスプレートの角度によるX線強度の補正を行うことで、明瞭な回折点を得ることができる。これらの回折点は多くの鉱物から生じたため、複雑な分布を示している。そこで申請者は既知の鉱物の回折データとの一致を探り、各回折点の鉱物帰属を決定するための計算機による解析プログラムを、独自に開発した。この結果に、吸収効果の補正などのいくつかの補正をさらに行うことで、スライドガラス上に貼り付けた岩石薄片を直接用いて、単結晶X線回折法により結晶構造を決定するできた。

この手法は、まず最初に、東中国のスルウ超高压変成岩地域に産する含コース石エクロジャイトに適用された。結果として、超高压変成岩中のコース石と、それが相転移した石英の存在がX線回折法により初めて確認された。R-因子はコース石、石英についてそれぞれ0.046, 0.087であった。最も注目すべき結果は、同定されたコース石と石英の変位楕円体（温度因子）がこれまでに報告されたものよりも特異的に大きい点である。この結果は、試料が地球マントルから上昇する過程で起きたコース石から石英への相転移の特徴を反映していると考えられる。この変成岩の上昇が比較的速かったため、相転移中に生じたコース石と石英の結晶歪みが緩和されずに残った結果であると解釈できる。しかし、この興味深い結果は申請者が開発した解析法に内在する系統的誤差に起因するという可能性をこの段階では排除することができなかった。そこでこの新しい方法の妥当性を証明するため、大峰花崗岩の石英について、従来の方法と新しい方法の両方で解析を行い、解析結果が一致することを確認した。

この顕微鏡ガラス薄片上での直接X線構造解析という方法は、顕微鏡下で見つけた鉱物や結晶をそのまま解析できるため多くの応用が期待される。この章では最後に、小さく稀に産出する新鉱物の発見や構造解析、益々小さくなる高压実験での

試料の同定と構造解析, 未知鉱物などが含まれる隕石試料への適用など, 今後期待されるこの方法の応用が述べられている。

第3章はチェコ共和国に産するGföhl granuliteの生成条件を論ずるために, この変成岩の Al_2SiO_5 鉱物多形と, これらの鉱物の現れるテクスチャーとの関係を, 三つのタイプに分けて論じたものである。岩石が深部より上昇するに従って, 高温高压で安定なkyaniteから, 高温型のsillimanite, さらに低温低压型のandalusiteに相転移するが, これらの相関係と, これを取り巻く鉱物の同定が, 議論の最も重要な要点である。光学顕微鏡及び電子線マイクロアナライザーによる薄片観察と平行して, 薄片中の鉱物について, 直接X線による同定作業が実行された。その結果この岩石中には特徴的な形でkyaniteとsillimaniteの両者が共存することが確認された。この観察は本変成岩の生成条件の特定を進展させたことになる。

第4章は本論文の全体的な結論が簡潔に述べられている。

以上のように, 本学位論文申請者は, X線回折法を岩石に適用し, 光学顕微鏡岩石薄片中の鉱物および結晶について, 直接解析をする新しい方法を開発することに成功した。この方法を2種の変成岩に応用した結果, これらの変成岩の生成条件を特定するための新しい知見を得ている。

論文審査の結果の要旨

これまでの結晶構造解析の長い歴史と, 近年におけるX線装置の改良により, 主な鉱物や合成結晶の構造はすでに明らかにされている。従って結晶構造解析は, 結晶が小さい, 稀に産する, あるいは他の結晶鉱物と共存している等, 困難な条件下で解析を実行することが求められてきている。岩石学や鉱物学では対象となる結晶は常に光学顕微鏡下で見出される。そのため, 顕微鏡岩石薄片に見出した鉱物を, 薄片を破壊してこれを取り出すことなく結晶構造解析に供することが望まれてきた。しかしこれまでにこのような解析に成功した例はなかった。

本学位申請論文は, 顕微鏡薄片中の小さく稀な鉱物に対して直接結晶構造解析を実行するため, 申請者が開発した方法について述べたものである。さらに, 申請者は, その方法を2種の変成岩に適用し, 鉱物の同定や構造解析に成功している。

実験ではまず, 東中国のスーパースーパー超高压変成岩地域に産する含コース石エクロジャイトの岩石薄片を試料とし, その中に含まれる SiO_2 の高压鉱物コース石とその相転移した石英を対象に解析が行われた。CCD二次元検出器を備えたX線回折装置を用いて回折像を測定し, 岩石薄片 ($\sim 30\mu\text{m}$) に比較して厚いガラスプレート ($\sim 1,350\mu\text{m}$) のバックグラウンドの影響を差し引き, 複雑な回折点の分布について独自のプログラムを開発して各鉱物への帰属を決めている。また回折強度の各種補正をも適切に行っている。さらにこの解析で用いた新しい手法の妥当性を証明するため, 従来の方法でも取り扱い可能な大峰花崗岩の石英について2つの方法で構造解析を行い結果に違いがないことを確かめている。

このエクロジャイトの結晶構造が新しい方法により決定され, コース石と石英の存在が, X線回折法により初めて確定された。さらにそのコース石と石英の変位楕円体 (温度因子) が, これまでに報告されたものより特異的に大きいことを示した。これが本研究の特筆すべき成果である。この知見は地球マントルからの変成岩の上昇過程において生じたコース石から石英への相転移にともなう結晶歪みが保存されたことを示唆している。従って, 本学位申請論文の成果により, 変成岩の上昇過程に一定の条件をつけることが可能になったのである。

また, この方法は, チェコ共和国に産するGföhl granuliteに対しても適用された。この変成岩の Al_2SiO_5 鉱物多形とこれらの鉱物の現れるテクスチャーとの関係を論ずるため, 光学顕微鏡及び電子線マイクロアナライザーによる薄片観察と平行して, 薄片中の鉱物について直接X線による同定作業を行った。その結果, これらの鉱物の同定に成功し, この変成岩の生成条件についての理解を深めることができた。

本学位申請論文には大きく2つの意義がある。その第1は, X線結晶構造解析の手法に関するもので, 顕微鏡薄片中の結晶について, 直接構造解析を行うことを可能にした点である。近年, 産出が稀な鉱物や高压下で生成される小さな合成結晶が構造解析の対象となってきている。従って, 岩石学や鉱物学のみならず, 高压科学, 隕石学などの分野でも, 申請者の開発した解析方法が威力を発揮するものと思われる。さらに, 岩石薄片中の鉱物の方位関係も決定できることも, この手法の優れた点である。2つめは, 2種の変成岩についてその生成条件を限定したという, 地球科学的な意義である。申請者は, 中国の超高压変成岩について, その超高压の指標となるコース石のX線による同定に初めて成功した。さらに, この変成岩に含まれる石英とコース石の温度因子が異常に大きいという極めて重要な結果を得ている。また, チェコ共和国の変成岩に

については Al_2SiO_5 多形を同定し、その独特なテクスチャーより、生成条件に関する議論を進めている。

以上のように、本学位申請論文は、X線結晶構造解析に関して新しい方法を開発したのみならず、その方法を実際に2種の変成岩に適用し多くの地球科学的な知見を得た優れた研究である。特にこの手法の開発は、長い結晶解析の歴史の中でも画期的な成果である。この研究成果は地球の物質環境に構造的基礎を与えるものであり、人間・環境学研究科自然環境動態論講座の趣旨に沿うものとして、高く評価される。

よって本論文は、博士（人間・環境学）の学位論文として価値あるものと認める。平成20年1月25日、論文内容とそれに関連した事項について諮問を行った結果、合格と認めた。