

氏名（本籍）	Muhammad Tahir（アフガニスタン）
専攻分野の名称	博士（資源学）
学位記番号	工博甲第13号
学位授与の日付	平成30年9月28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	工学資源学研究科・資源学専攻
学位論文題目（英文）	アフガニスタン, Nangarhar 州における炭酸塩岩胚胎-滑石 鉱床の鉱床成因と地球化学的特徴 (Ore Genesis and Geochemical Characteristics of Carbonate-hosted Talc Deposits in Nangarhar Province, Afghanistan)
論文審査委員	(主査) 教授 大場 司 (副査) 教授 佐藤 時幸 (副査) 教授 石山 大三 (副査) 教授 柴山 敦 (副査) 教授 今井 亮

## 論文内容の要旨

Talc occurs as economic deposits in amphibolite facies metamorphosed dolomite marble and magnesite rocks in the Spinghar Fault Block in Afghanistan. This block is composed of various Proterozoic gneisses, schists, quartzites, marbles and amphibolites metamorphosed to amphibolite facies which were intruded by Early Cretaceous igneous rocks such as migmatite-granite and gabbro-monzonite-diorite. Eight deposits and two prospects were chosen from three areas. Six quarries and outcrops among ten from the western part i.e., Anarokas, Kherwasti, Dar, Janinaw, Kotikhel (Dawood mine and Noor mine), three from the middle part i.e., Wachalgad, Lesho, Sargare and one from the most eastern part i.e., Mamond dara in Spinghar Fault Block were studied. The objective of this study is to understand the talc mineralization and formation processes in these areas on the basis of field relations, petrography, X-ray diffractometry (XRD), X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), scanning electron microscope energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX) and electron probe micro analysis (EPMA).

In this block, talc ore bodies occur parallel to subparallel to host magnesite rocks,

dolomite marble and gneiss. Intrusive rocks such as dolerite and diorite cross cut the talc ore bodies, host carbonate rocks and gneiss, and are also parallel to sub parallel to the beddings of host carbonate rocks and talc ore bodies. Tremolite was observed with most of talc, and antigorite (serpentine) in the altered dolerite and host carbonate rocks. Quartz veins follow the gneissosity of gneiss all over the study areas. Quartz veins were cross cut by granitic rocks at Anarokas. Talc was mainly formed by alteration of magnesite and tremolite in Kherwasti, Anarokas, Dar, Wachalgad, Lesho and Sargare, while in Janinaw, Kotikhel and Mamond dara, talc was formed by alteration of dolomite and tremolite. Common mineral assemblages in the study area of talc ores are (a) talc + magnesite, (b) talc + tremolite, in magnesite rocks (c) magnesite  $\pm$  olivine and (d) magnesite + antigorite in Dar, Anarokas and Kherwasti, (e) talc + magnesite, in talc ores and (f) dolomite + calcite + tremolite in dolomite marble in Wachalgad, (g) talc + magnesite, in talc ores, (h) dolomite + tremolite  $\pm$  talc in dolomite marble, and (i) hornblende + quartz + plagioclase in amphibolites in Lesho and Sargare, (j) talc + dolomite, in talc ores, (k) tremolite + dolomite in dolomite marble and (l) quartz + talc in quartz veins in Kotikhel and Janinaw, and (m) dolomite + talc + quartz  $\pm$  calcite, in host dolomite marble (n) quartz + microcline + muscovite + biotite + allanite in gneiss in Mamond dara, and (o) quartz + muscovite + biotite in gneiss in Anarokas, Wachalgad and Kotikhel. On the basis of the mineral assemblages, the formation temperatures of different minerals such as talc, tremolite and antigorite were estimated. In Mamond dara, the temperature ranged from 360 to 460°C. In Anarokas, Dar and Kherwasti, the temperature was 380 to 460°C. In Janinaw and Kotikhel, it ranged from 405 to 500°C.

The SiO<sub>2</sub> contents of talc rocks from all deposits range from 56.1 to 65.1 wt% and carbonate rocks of Kotikhel are 16.2 wt%, those from Kherwasti range from 1.6 to 25.8 wt%, Anarokas range from 16.6 to 45.5 wt%, Dar range from 6.9 to 8.9 wt%, Wachalgad range from 5.6 to 22.2 wt%, Lesho are 31.0 wt%, Sargare range from 9.6 to 13.9 wt% and Mamond dara range from 10.9 to 15.7 wt%. It is evident that SiO<sub>2</sub> content increased to form talc from magnesite rocks and dolomite marble. The whole-rock MgO contents of those range from 30.2 to 35.5 wt% and 27.1 wt%, from 25.1 to 46.3 wt%, from 37.3 to 47.7 wt%, from 43.7 to 46.0 wt%, 23.1 to 53.5 wt%, 37.5 wt%, 26.2 to 48.1 wt%, and 19.3 to 21.9 wt%, respectively. The whole-rock CaO contents of talc rocks and magnesite rocks of all deposits are less than 1 wt%, while those of dolomite marbles of Kotikhel, Kherwasti, Wachalgad, Sargare and Mamond dara range from 17.0 to 33.5 wt%. The  $\Sigma$ REE contents of talc rocks, magnesite rocks and dolomite marbles in Wachalgad and Sargare are 0.4, 1.3, 3.5 ppm and 2.1, 1.7 and

6.6 ppm respectively. The  $\Sigma$ REE contents of talc rocks and magnesite rocks in Kherwasti range from 0.2 to 1.2 ppm, 0.7 to 18.6 ppm respectively, in Anarokas 0.5 ppm, 1.0 to 4.2 ppm respectively, in Dar from 0.2 to 0.8 ppm, 1.1 to 4.7 ppm respectively and in Lesho 2.6 ppm and 13.0 ppm respectively. The  $\Sigma$ REE contents of talc rocks and dolomite marble in Kotikhel are 0.12 ppm and 14.0 ppm respectively, in Janinaw from 0.08 to 6.6 ppm and 2.5 ppm respectively, while in Mamond dara it ranges from 0.04 to 3.2 ppm and 23.5 ppm respectively. EPMA analysis of carbonate minerals from all deposits shows that dolomite and magnesite compositions are close to the ideal composition with  $\text{FeCO}_3$  ranging from 0.2 to 0.6 wt% and from 0.2 to 0.5 wt%, and  $\text{MnCO}_3$  ranging from 0.02 to 0.06 wt% and from 0.01 to 0.09 wt%, respectively. The chemical compositions of talc and tremolite slightly deviate from ideal compositions with FeO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , MnO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  contents less than 1 wt%. Concentrations of Al, Ta, Th, Cr, Ni, Co and  $\Sigma$ REE in talc ores and carbonates rocks are comparatively very low with mafic and ultramafic rocks, so inconsistent with mafic and ultramafic rocks protolith. Therefore, the metamorphosed sedimentary carbonate rocks were likely the protolith of talc ores. Magnesium has been derived from pre-existing Mg-rich carbonate host rocks, *i.e.*, magnesite and dolomite marbles.

## 論文審査結果の要旨

提出された博士論文，博士論文要旨および論文目録について審査し，不備がないことを確認し，書類審査は合格とした。論文の内容については，資源学専攻の教員および外部からの審査委員により構成される審査委員会において審査した。本学位論文では，これまで学術的な報告例がなかったアフガニスタン，Nangarhar 州における滑石鉱床について，滑石の産状および母岩の詳細な記載，顕微鏡下での鉱物記載，滑石鉱石の全岩化学組成（主要成分元素，微量成分元素）および炭酸塩鉱物の化学組成を初めて報告するとともに，成因，生成プロセスおよび源岩が初めて論じられた。

まず著者は，滑石鉱床の概要，アフガニスタンの広域的地質セッティング，Nangarhar 州において滑石鉱床を胚胎する Spinghar Block および周辺の地質構造についてまとめた後，本研究で用いられた研究手法について説明した。次に著者は，研究対象となった Nangarhar 州における 10 の滑石鉱床（Spinghar Block 西部の Anarokas, Kherwasti, Dar, Janinaw, Kotikhel (Dawood 鉱山および Noor 鉱山)，中央部の Wachalgad, Lesho, Sargare, 東部の Mamond dara）について，滑石の産状および母岩の岩質，構造の詳細な記載を行ない，滑石の鉱体が母岩の構造に調和的ないし，やや斜交して発達していること，母岩中には母岩の構造に調和的ないし，やや斜交して石英脈が発達していることを示した。また，滑石鉱石および母岩の顕微鏡観察結果を記載し，滑石が菱苦土鉱，苦灰石およびトレモラ閃石の

変質により生じたことを明らかにした。これらの鉱物の共生関係および反応式を検討し、滑石鉱床の生成温度および鉱床生成後の変成作用の温度について、Anarokas, Kherwasti, Dar では 380~460°C, Janinaw および Kotikhel (Dawood 鉱山および Noor 鉱山) では 405~500°C, Mamond dara では 360~460°C と推定された。また、滑石鉱石の全岩化学組成（主要成分元素）を検討し、熱水によりシリカが付加されることによりこれらの初生鉱物から滑石が生成したことを示し、母岩の構造に調和的でないし、やや斜交して発達している石英脈が、滑石の鉱化作用をもたらした熱水の流路であったことを論じた。滑石鉱石中の全岩化学組成（微量成分元素）を検討し、希土類元素, Zr など珪長質火成岩中で含有量が高い難移動元素の含有量が低いこと、滑石鉱石中の Cr, Co など苦鉄質ないし超苦鉄質火成岩中で含有量が高い難移動元素の含有量が低いことから、滑石鉱床の源岩は珪長質火成岩、苦鉄質ないし超苦鉄質火成岩ではなく、苦灰石や菱苦土鉱からなる炭酸塩堆積岩であったことを示した。最後に著者は、世界の代表的な滑石鉱床と、アフガニスタン、Nangarhar 州における滑石鉱床との比較を行なうとともに、アフガニスタンおよび周辺における、テチス海プレートの沈み込みからゴンドワナ大陸から分離した大陸地塊のユーラシア大陸の衝突に至る広域的テクトニクスの変遷をまとめ、それらの地質学的イベントの中における滑石鉱床の生成と、上昇して露出するまでの地史をまとめた。

これまで野外調査が極めて困難なため研究例のなかった地域の滑石鉱床の生成環境、成因を初めて論じたことは、資源学的に重要な業績であると認められることから、学位論文として十分な業績であると認め、審査は合格と判定した。