

氏名	Kasymbekov Adil		
学位の種類	博士（学術）		
学位記番号	総博甲第148号		
学位授与年月日	令和3年9月17日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項		
文部科学省報告番号	甲第724号		
専攻名	総合理工学専攻		
学位論文題目	Metamorphism of garnet amphibolite and pelitic schist from the Upper Unit of the Makbal Complex, Kyrgyz Northern Tian-Shan (キルギス北部天山マクバル・コンプレックス上部ユニットのざくろ石角閃岩と泥質片岩の変成作用)		
論文審査委員	主査	島根大学教授	亀井 淳志
		島根大学教授	三瓶 良和
		島根大学准教授	遠藤 俊祐
		島根大学名誉教授	高須 晃

## 論文内容の要旨

The Makbal Complex in the Kyrgyz Northern Tian-Shan is located in the western segment of the Central Asia Orogenic Belt (CAOB). The Kyrgyz Tian-Shan Mountains extend from east to west, separating the Kazakhstan plate to the north and the Tarim plate to the south. The metamorphic rocks of the Makbal Complex are divided into the Akdzhon and the Scharkyrak Groups based on their metamorphic conditions. The Akdzhon Group contains of HP and UHP metamorphic rocks, whereas the Scharkyrak Group consist of low grade metamorphic rocks of greenschists facies. The Akdzhon Group was further divided into the structurally lower Makbal Formation and the upper Neldy Formation. The Makbal Formation is composed mainly of meta-quartzite and pelitic schist with a minor amount of garnet-chloritoid-talc schist, eclogite, amphibolite, mafic schist and marble. The Neldy Formation is composed mainly of pelitic schists with subordinate marbles and meta-quartzites, and lenses and layers of eclogites and amphibolites. The lithotypes of the Neldy Formation vary from pelitic schists with or without garnet to HP eclogites. The peak metamorphic condition of the eclogite and the garnet-chloritoid-talc schist are 510–610 °C and 2.2–2.8 GPa of the Makbal Formation (Tagiri et al. 2010; Meyer et al 2013; Orozbaev et al. 2015) and eclogite are 550–610 °C and 2.2–2.5 GPa of the Neldy Formation (Togonbaeva et al. 2010a)

Several geochronological studies of the Makbal Formation have been performed. CHIME monazite age of garnet-chloritoid-talc schists yielded  $481 \pm 26$  Ma (Togonbaeva et al. 2009). SHRIMP U-Pb zircon ages of eclogites gave  $509 \pm 7$  Ma and  $498 \pm 7$  Ma as the peak metamorphic ages (Konopelko et al. 2012). However, with regard to the Neldy Formation, only

a Sm-Nd age of  $526 \pm 9.5$  Ma from a HP eclogite has been reported (Togonbaeva et al. 2010a).

This study mainly focused to establish the petrology, geochronology and P-T evolution of low-grade metamorphic rocks in the Neldy Formation. I petrologically examine the garnet and chloritoid-bearing pelitic schist (KG1244), garnet-free pelitic schist (KG1251; KG1252B) and garnet amphibolite (KG1252A), and reveal their metamorphic P-T conditions and K-Ar ages of the pelitic schist in the Neldy Formation.

The garnet-free pelitic schists (KG1251; KG1252B) consist mainly of phengite, chlorite and quartz, with small amounts of albite, titanite, calcite, rutile and carbonaceous matter. The peak metamorphic conditions are roughly constrained as  $T < 630$  °C and  $P = 0.9\text{--}1.7$  GPa. The garnet and chloritoid-bearing pelitic schist (KG1244) consists mainly of white mica (phengite-core and muscovite-rim), chlorite and quartz, with minor amounts of garnet, chloritoid, albite, tourmaline, zircon, monazite, titanite, rutile, calcite and carbonaceous matter. The peak metamorphic conditions are estimated as  $T = 485\text{--}545$  °C and  $P = 1.2\text{--}1.5$  GPa (high-P/T metamorphism), followed by a low-P/T metamorphism of  $T = \text{ca. } 500$  °C and  $P > 0.3$  GPa. Garnet amphibolite (KG1252A) consists mainly of amphibole, garnet, epidote, plagioclase and quartz, with a small amount of chlorite, biotite, paragonite, phengite, muscovite, K-feldspar, titanite, ilmenite and calcite. The peak metamorphic conditions are estimated as  $T = 575 \pm 29$  °C and  $P = 1.4 \pm 0.3$  GPa (high-P/T metamorphism). The high-P/T metamorphism is followed by the low-P/T metamorphism of ca.  $T = 600$  °C and  $P = 0.4$  GPa.

A K-Ar age as the peak metamorphic age for the garnet-free pelitic schist (KG1251) is obtained as  $524 \pm 13$  Ma and it is almost identical to the previously reported peak metamorphic ages (ca. 500 Ma) of eclogites and garnet-chloritoid-talc schists in the Makbal Complex. The K-Ar age for the garnet and chloritoid-bearing pelitic schist (KG1244) white mica age of  $474 \pm 12$  Ma is obtained and it is similar to the age of the Ordovician granitic intrusions at ca. 460 Ma.

The peak metamorphic conditions of garnet-free pelitic schist, garnet-chloritoid-talc schists pelitic schist and garnet amphibolite are  $< 630$  °C at  $0.9\text{--}1.7$  GPa, and  $485\text{--}545$  °C at  $1.2\text{--}1.5$  GPa and  $575 \pm 29$  °C at  $1.4 \pm 0.3$  GPa, respectively. The peak metamorphic conditions of garnet amphibolite of the Kaindy Formation in the Sharkyrak Group have been reported as  $620$  °C and  $1.4$  GPa (Rojas-Agramonte et al. 2013). These comprise a group of relatively low-pressure metamorphic rocks. In contrast, the metamorphic conditions of the HP and UHP metamorphic rocks such as the eclogites and the garnet-chloritoid-talc schists in the Akdzhon Group were estimated to be  $530\text{--}580$  °C and  $2.8\text{--}3.3$  GPa (garnet-chloritoid-talc schist; Tagiri et al. 2010; Meyer et al. 2014; Orozbaev et al. 2015),  $\sim 510$  °C and  $2.8$  GPa (coesite-bearing eclogite; Tagiri et al. 2010) and  $520\text{--}610$  °C and  $2.2\text{--}2.5$  GPa (eclogite; Togonbaeva et al. 2010; Meyer et al. 2013). These suggest that the peak metamorphic conditions of the Neldy pelitic schists, garnet amphibolite and the Kaindy garnet amphibolite are significantly lower in pressure compared with the previously reported eclogites and garnet-chloritoid-talc schists, which are located in the lower tectono-structural levels of the Makbal Complex, i.e. lowermost parts of the Neldy Formation and the Makbal Formation. These results clearly indicate that the conventional division of the Akdjon Group, i.e. the Makbal and the Neldy Formations, has no longer geotectonic significance. Therefore, based mainly on the metamorphic pressure the Makbal Complex can be divided into two tectonometamorphic units, structurally lower relatively high-pressure metamorphic unit and structurally upper relatively low-pressure metamorphic unit. We have adopted, hereafter, these names of the tectonometamorphic units, as the Lower Unit

and the Upper Unit of the Makbal Complex.

## 論文審査結果の要旨

Makbal Complex は中央アジア造山帯 (CAOB) の西部に位置し、コーサイトを含む超高压変成岩伴うことで有名である。超高压変成岩であるざくろ石ークロリトドー滑石片岩及びエクロジャイトよりなる Makbal Formation とその上位の Neldy Formation の最下部の変成岩については、変成条件と地質年代の詳しい研究がされてきた。一方、Neldy Formation (最下部を除く) より上位に位置する変成岩については、見かけ上低変成度に見えることもあり、ほとんど研究がされていなかった。申請者はこの点に着目し、Neldy Formations (最下部を除く) より上位に位置する変成岩の詳細な岩石記載に基づく変成条件と地質年代を研究した。

Neldy Formation (最下部を除く) 中のざくろ石を含まない泥質片岩 (2 サンプル)、ざくろ石ークロリトドー泥質片岩及びざくろ石角閃石の計 4 サンプルについて変成条件と変成履歴の解析が行われた。変成条件の推定には、平衡鉱物組合せ、地質温度・圧力計、及び THERMOCALC プログラム (average P-T program) が用いられた。ざくろ石を含まない泥質片岩の 1 サンプルを除く 3 サンプルから、第 1 変成イベントと第 2 変成イベントの 2 回の変成イベントが識別された。第 1 変成イベントのピーク変成条件は 485-575 °C, 1.2-1.5 GPa の高压型変成条件を示す。一方、第 2 変成イベントのピーク条件は 500-580 °C, 0.3-0.4 GPa の低压型変成条件を示す。1 回の変成イベントのみが見られたざくろ石を含まない泥質片岩の変成条件は高压型変成条件を示し、これは上述の第 1 変成イベントのピーク条件と調和的である。

1 回の変成作用のみが認められるざくろ石を含まない泥質片岩とざくろ石ークロリトドー泥質片岩中の白色雲母が分離され、それらの K-Ar 法年代測定が行われた。ざくろ石を含まない泥質片岩は 524 ± 13 Ma, ざくろ石ークロリトドー泥質片岩中は 474 ± 12 Ma の年代値を示した。ざくろ石を含まない泥質片岩の 524 ± 13 Ma は、超高压変成岩を含め、ざくろ石ークロリトドー滑石片岩及びエクロジャイトからこれまでに得られているおよそ 500 Ma の年代と調和的である。一方、ざくろ石ークロリトドー泥質片岩の示す年代はこれより若い年代となった。低压型変成条件を示す第 2 変成イベントは、Makbal Complex 全般に見られる変成作用ではなく、デボン紀の花崗岩による接触変成作用と解釈された。花崗岩の貫入年代は先行研究よりおよそ 460 Ma であり、474 ± 12 Ma はそれより若干古い年代となった。この年代については接触変成作用 (花崗岩の貫入) の年代ではなく、不完全なリセットによる地質学的に意味をもたない年代である可能性が指摘された。

これらの研究の結果から、申請者は Makbal Complex を超高压変成岩を伴う下部ユニットと高压変成岩からなる上部ユニットに区分することを提唱した。両ユニットの変成年代はいずれもおおよそ 500 Ma を示すのに対し、変成圧力条件は下部ユニットが 2.2-2.8 GPa であるのに対し、上部ユニットは 1.2-1.5 GPa となり、変成圧力条件に大きな隔りがあることが明らかになった。申請者による以上の研究成果は、超高压変成岩の原岩の地下深所への沈み込みから、変成作用、そして変成岩の地表付近への上昇のテクトニックモデルを構築する上での貴重な制約条件を提供することとなった。

以上のとおり、本博士論文では、(1)研究の目的設定と方法が適切であり、(2)必要な分析・解析が十分になされており、(3)将来のキルギス北部天山山脈の Makbal Complex 研究に対してオリジナルかつ重要度の高い結論が導き出されていることが分かる。したがって、本博士論文は優れたものと評価されて「合格」と判定された。