

〔論文〕

スロバキア共和国タトラ山地の変成岩および火成岩

小 林 記 之・吉 田 健 太

名古屋学院大学/海洋研究開発機構海域地震火山部門 (JAMSTEC)

要 旨

タトラ山地は、スロバキア共和国北部に位置し、西カルパティア (Western Carpathians) 山脈に属しており、2000 m級の山で構成されている。タトラ山地は、パリスカン造山運動とアルプス造山運動の2つの造山運動に伴って形成されており、片麻岩、ミグマタイト、グラニュライト、角閃岩、エクログャイトといった高度変成岩類および、花崗岩や花崗閃緑岩などの火成岩類が多数分布している。また、タトラ山地は氷河による浸食作用を受け、氷食谷が深く刻まれており、美しいU字谷を形成している。ここでは、過去のタトラ山地の地質学的岩石学的研究のまとめと、これまでに実施した地質調査について報告する。

キーワード：タトラ山地，火成岩，変成岩，アルプス造山運動，パリスカン造山運動

Metamorphic rocks and igneous rocks from the Tatra Mountains (Slovakia)

Tomoyuki KOBAYASHI, Kenta YOSHIDA

Nagoya Gakuin University/Research Institute for Marine Geodynamics, Japan Agency for Marine-Earth
Science and Technology.

本研究は2018年度名古屋学院大学研究助成（研究題目「変成岩中の鉱物包有物を用いた造山帯形成過程の解明」）の支援を受けました。記して感謝いたします。

発行日 2020年1月31日

1. はじめに

スロバキア共和国は中欧に位置し、北緯48°から50°、東経17°から22°の範囲にある。周囲を、チェコ共和国、ポーランド共和国、ウクライナ、ハンガリー、オーストリア共和国に囲まれている。スロバキア共和国の国土は南北に約200 km、東西に400 kmであり、その面積は49037 km²で、日本の総面積のおよそ7分の1であり、九州の面積とほぼ等しい。スロバキア共和国の首都は、ブラチスラバであり、総人口は545万人（外務省データ2019年3月：<https://www.mofa.go.jp/mofaj/area/slovak/data.html>）である。スロバキア共和国は、地理的位置およびその地質構造から、アルプス・ヒマラヤ造山帯に属し、カルパティア（Carpathian）山脈が地形上の単位となっている。スロバキア共和国の国土の大半は、山稜と谷が交互に現れる山地特有の地形特性を有している。スロバキア共和国北部は、ハイ・タトラ（High Tatra）山脈を中心とした2000 m級の山岳地帯を形成している。最高峰は、ゲルラホフスキー（Gerlachovský）山で、その標高は2665 mである。南西部および南東部には、少ないながらも平地が広がりハンガリーへと続いている。スロバキア共和国は穏やかな気候をしており、大陸性気候を示す。寒冷期間が比較的長く、夏季の平均気温は15～20℃程度であるが、気温の変動は激しい。首都のブラチスラバが位置する南西部は西岸海洋性気候、中央部は温暖湿潤気候、東部は湿潤大陸性気候に位置付けられている。スロバキア共和国北部のタトラ山地は、冬場はウィンタースポーツ（スキーやスノーボードなど）、夏場はトレッキングやハイキングなどが楽しめる自然豊かな山岳リゾートとして有名であり、様々な岩石が露出している。

2. 地質概説

カルパティア山脈（Carpathian Mountains, Karpaty, Karpaten, Carpati）は、中央ヨーロッパ・東ヨーロッパの山脈であり、主にスロバキア、ポーランド、ウクライナ、ルーマニアと周辺のチェコ、ハンガリー、セルビアにまたがっている。カルパティア山脈は、アルプスの東側に“つ”の字状に伸びる全長約1500 kmの山脈で、北から南へと、西（Western Carpathians）、東（Eastern Carpathians）、南（Southern Carpathians）カルパティアに大きくわけられている。西カルパティア（Western Carpathians）は、北から南へ向かいTatric Unit, Veporic Unit, Gemeric Unitで構成されている。地質構造的にGemic UnitはVeporic Unitの上に横たわっており、さらにVeporic UnitはTatric Unitの上に横たわるナップ構造を示している。Tatric Unitには、西タトラ山地（Western Tatra）、ハイ・タトラ山地（High Tatra）、ロウ・タトラ山地（Low Tatra）が存在している（図1）。

2.1 西タトラ山地（Western Tatra）

西タトラ山地（Western Tatra）はポーランドとスロバキアの国境に東西およそ37 kmにわたって横たわっている。西タトラ山地（Western Tatra）はポーランドとスロバキアにおいて、2番目の高さを誇る2000 m級の山地である。西タトラ山地（Western Tatra）最高峰は、ビストラ（Bystrá）であり、その標高は2248 mである。山地のほとんどは花崗閃緑岩、花崗岩（Granitoid rocks）で構成されて

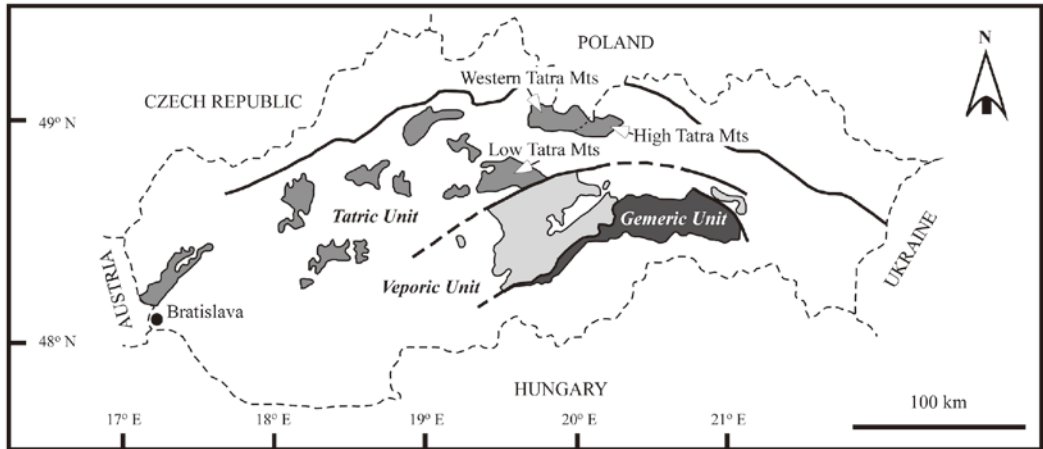


図1 スロバキア共和国, 西カルパティア (Western Carpathians) の地質図 (Janák et al., 2009を一部改変)

いるが、ミグマタイト (Migmatite) や正片麻岩 (Orthogneisses), 角閃岩 (Amphibolite), 雲母片岩 (Mica schists) などが分布している。

2.2 ハイ・タトラ山地 (High Tatra)

ハイ・タトラ山地 (High Tatra) は西カルパティア山脈の最も北側に位置し、東西およそ 40 km, 幅 25 km にわたり 2000 m 級の山並みが横たわっている。中央部には最高峰のゲルラホフスキー (Gerlachovský, 標高 2665 m) 山があり, カルパティア山脈の最高峰でもある。ハイ・タトラ山地 (High Tatra) の一部には堆積岩やミグマタイト・片麻岩 (Migmatized gneiss) が分布しているが, ほとんどは花崗閃緑岩と花崗岩 (Granitoid rocks) で構成されている。現在, 氷河はないが, これまで数回にわたって氷河による浸食作用を受け (Emblenton, 1984), 南北両斜面ともに氷食谷が深く刻まれており, U 字谷を形成している。

2.3 ロー・タトラ山地 (Low Tatra)

ロー・タトラ山地 (Low Tatra) はスロバキアのほぼ中央部に位置しており, ハイ・タトラ山地 (High Tatra) の南側に並行するように東西に約 80 km, 幅約 25 km にわたり横たわっている。最高峰は, デウンビエール (Ďumbier, 2042 m) であり, その周囲のみが 2000 m をわずかに超えるに留まる低山地となっている。山地の中央部には, 花崗岩から花崗閃緑岩 (Tonalite-granodiolite), ミグマタイト (Migmatite), 眼球片麻岩 (Augen gneiss), 酸性質グラニュライト (Felsic granulite), 変塩基性岩 (Metabasite) などが分布している。また北斜面には中生代の堆積岩である石灰岩 (Limestone) が広く分布している。

3. 岩石

3.1 西タトラ山地 (Western Tatra) の火成岩および変成岩類

タトラ山地西側に広がる, 西タトラ山地 (Western Tatra) には, 多種多様な変成岩が分布している。西タトラ山地 (Western Tatra) は, その変成度の違いや岩相によって二つの地質構造ユニットに分けられている (Kahan 1969; Janák 1994)。

一つ目は, 西タトラ山地 (Western Tatra) にのみ露出しており, 主に中変成度の雲母片岩 (Micaschists) からなる下部ユニット (Lower unit) である。下部ユニット (Lower unit) は, 藍晶石-十字石 (Kyanite-staurolite) 帯と藍晶石-珪線石 (Kyanite-sillimanite) 帯に分類される (Janák et al. 1988; Janák 1994)。下部ユニット (Lower unit) からは, 雲母片岩中の藍晶石, 十字石の残晶から, 上部角閃岩相当の変成温度圧力条件 (640°C , 0.7 GPa) が見積もられている (Janák 1994)。また, 下部ユニット (Lower unit) 中のザクロ石を含む雲母片岩から, 中圧-中温の変成温度圧力条件 ($650\text{--}750^{\circ}\text{C}$, $0.6\text{--}0.9\text{ GPa}$) が見積もられている (Gurk 1999)。

二つ目は, 高変成度で部分溶融を伴った, ミグマタイト化している上部ユニット (Upper unit) である。この上部ユニット (Upper unit) の構造的下部は, 古期の花崗岩 (正片麻岩; Orthogneiss), 含藍晶石準片麻岩 (Kyanite-paragneiss), ザクロ石・単斜輝石を含むエクロジヤイト的な層状角閃岩 (Banded amphibolite; Janák et al. 1996) で構成されている。この上部ユニット (Upper unit) 下部からは, 高圧-高温 ($670\text{--}800^{\circ}\text{C}$, $1.0\text{--}1.5\text{ GPa}$) の変成温度圧力条件が見積もられている。上部ユニット (Upper unit) 上部では, 古期の花崗岩 (正片麻岩) が大部分を構成している。上部ユニット (Upper unit) 上部の珪線石 (sillimanite) 帯では, 珪線石 (sillimanite), カリ長石 (K-feldspar), 堇青石 (cordierite) を含むミグマタイトから, 低圧-高温 ($750\text{--}800^{\circ}\text{C}$, $0.4\text{--}0.6\text{ GPa}$) の変成条件が見積もられている (Janák et al. 1999)。

この上部ユニット (Upper unit) は, シート状の花崗岩体に貫入されており, 優白質花崗岩 (Leucogranite) から黒雲母トナール岩 (Biotite-tonalite), 含普通角閃石閃緑岩 (Hornblende-diorite), 両雲母花崗岩 (Muscovite-biotite-granites), 花崗閃緑岩 (Granodiorite; 新期花崗岩) など多様な全岩化学組成を示す花崗岩類が多数分布している。

タトラ山は, アルプス造山運動とバリスカン造山運動の影響を受けており, 変形構造として記録されている (Kahan 1969; Friz et al. 1992)。上部ユニット (Upper unit), 下部ユニット (Lower unit) ともに, バリスカン造山運動期の南方向のスラスト運動を受けており, 上部ユニット (Upper unit) の古期花崗岩中の左右非対称な引きずり痕を示すカリ長石 (K-feldspar) から南西方向のスラスト運動が読み取れる (Friz et al. 1992; Janák 1994)。さらにその後のバリスカン造山運動により, 東西に引き伸ばされる変形を被っている。そして, アルプス造山運動時には, より低圧低温の条件で北方向の圧縮剪断変形を受けている。

タトラ山地の古期花崗岩 (正片麻岩) の Rb-Sr 全岩年代値は $420\text{--}380\text{ Ma}$ を示しており, 古生代前期の変成イベントを示していると考えられている (Burchart 1968)。そして, Rb-Sr アイソクロン年代からは, 花崗閃緑岩の結晶化年代値として $310\text{--}290\text{ Ma}$ と報告されている (Burchart 1968)。

Gawęda (1995) はその貫入定置年代を370–315 Maとしている。また花崗閃緑岩やミグマタイトの白雲母の $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法による年代測定から、岩体の冷却年代として330–300 Maが報告されている (Maluski et al. 1993; Janák and Onstott 1993; Janák 1994)。さらに、アパタイトのフィッシュントラック年代測定により、タトラ山地の最後の上昇は、第三紀で15–10 Ma前と報告されている (Kováč et al. 1994)。一方で、U–Pb ジルコン年代測定からは、古期花崗岩 (正片麻岩) の貫入開始時期としてデボン紀前期の405 Maが見積もられており、沈み込みに伴った地殻物質の部分溶融が生じたと考えられている (Poller et al. 2000)。その後のデボン紀後期 (365 Ma) に大陸衝突が始まり、古期花崗岩 (正片麻岩) は高温変成作用により部分溶融を起こし、再結晶化作用により新たなジルコンを形成したと考えられている。また、この大陸衝突に伴って、新期花崗岩が形成されたと考えられている (Poller et al. 2000)。

3.2 ハイ・タトラ山地 (High Tatra) の火成岩および変成岩類

ハイ・タトラ山地 (High Tatra) は、そのほとんどが花崗閃緑岩 (Granodiolite) で構成されており、一部にミグマタイト (Migmatite) が分布している。花崗閃緑岩 (Granodiolite) はシート状の岩体をなしており、優白質花崗岩 (Leucogranite)、黒雲母トータル岩 (Biotite-tonalite)、含普通角閃石閃緑岩 (Hornblende-diorite)、両雲母花崗岩 (Muscovite-biotite-granites) の広い全岩化学組成を示す (Kohút and Janák, 1994; Poller and Todt, 2001)。

泥質のミグマタイト (Metapelitic migmatite) は、不均質でリューコゾーム (leucosome)、メラノゾーム (melanosome)、部分的にメソゾーム (mesosome) で構成されている。ストロマティック (stromatitic) タイプのミグマタイトが多い。花崗閃緑岩周囲にはダイアテクサイト (diatexite) が形成されている。リューコゾーム (leucosome) は、斜長石 (plagioclase)、石英 (quartz)、カリ長石 (K-feldspar)、少量のザクロ石 (garnet)、堇青石 (cordierite) で構成されている。メラノゾーム (melanosome) は、珪線石 (sillimanite) を伴った黒雲母 (biotite) などで構成されている。メソゾーム (mesosome) は、ザクロ石 + 珪線石 + 黒雲母 + 石英 + 斜長石 ± カリ長石 ± 白雲母 (garnet + sillimanite + biotite + quartz + plagioclase ± K-feldspar ± muscovite) または堇青石 + 黒雲母 + 珪線石 ± ザクロ石 + 石英 + 斜長石 ± カリ長石 ± 白雲母 (cordierite + biotite + sillimanite ± garnet + quartz + plagioclase ± K-feldspar ± muscovite) で構成されている。また副成分鉱物として、イルメナイト (ilmenite)、ルチル (rutile)、マグネタイト (magnetite)、直閃石 (anthophyllite)、ゼーデル閃石 (gedrite)、緑泥石 (chlorite)、緑簾石 (epidote)、方解石 (calcite)、菱鉄鉱 (siderite)、ジルコン (zircon)、モナズ石 (monazite)、燐灰石 (apatite) を含む。このようなミグマタイトに対して、鉱物の反応組織解析が行われており、昇温変成作用時に600 °C、0.9–1.0 GPaから> 700 °C、1.1–1.2 GPaに達し、白雲母が脱水溶融反応を起こしていたと見積もられている。またその後、減圧時に温度上昇が続き、> 750 °Cに達することで、黒雲母の脱水溶融反応も起こしていたと推定されている (Janák et al. 1999)。

Rb–Sr年代測定およびジルコンを用いたU–Pb年代測定から、ハイ・タトラ山地 (High Tatra) の花崗閃緑岩の火成活動は、デボン紀後期から石炭紀 (~ 370–315 Ma) にかけて生じたと考えられてい

る(Gaweda, 1995; Poller et al. 2000; Poller and Todt, 2001)。さらに $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法による年代測定から、岩体の冷却年代は330–300 Maが推定されている(Maluski et al. 1993; Janák 1994)。

3.3 ロー・タトラ山地 (Low Tatra) の火成岩および変成岩類

ロー・タトラ山地 (Low Tatra) には、中生代前期の花崗岩 (Granitoids)、高度変成岩の正片麻岩 (Orthogneiss)、グラニュライト (Granulite)、準片麻岩 (Paragneiss)、変塩基性岩 (Metabasite)、変超塩基性岩 (Metaultramafic rocks) が分布している (Spišiak and Pitoňák 1990; Biely et al. 1992; Krist et al. 1992; Petrík et al. 2006)。これらの変成岩類は、様々な全岩化学組成を示す火成岩類 (トータル岩～花崗閃緑岩、花崗岩) に貫かれている。これらの火成岩類は、ロー・タトラ山地 (Low Tatra) の北部に分布しており、南部域には変成岩類が分布している。火成岩類と変成岩類の境界部分には、ミグマタイト (Migmatite) が形成されている (Bezák and Klinec 1983)。

ザクロ石と単斜輝石を含む変塩基性岩 (Garnet-clinopyroxene metabasite) からは、790–830 °C、1.3–1.5 GPa の変成温度圧力条件が見積もられている (Janák et al. 2000b)。また変塩基性岩 (Metabasite) 中に見つかった、エクロジャイト (Eclogite) からは、750–760 °C、1.1–1.5 GPaが見積もられており、この高圧条件から、650–700 °C、0.7–1.0 GPaの中圧条件へと減圧減温したと見積もられている (Janák et al. 2009)。一方、泥質変成岩の解析はあまり行われていない。しかし、解析は少ないながらJanák et al., (2000a) によって、泥質変成岩は、620–660 °C、0.32–0.36 GPaの変成温度圧力条件が見積もられている。

ロー・タトラ山地 (Low Tatra) に産する変成岩類の放射年代測定も行われている。層状角閃岩 (Banded amphibolites) に含まれているジルコンのSHRIMP分析からは、オルドビス紀 (481 ± 5 Ma) の原岩年代値が報告されており、さらに2回のバリスカン期の変成作用 ($428\text{--}411$ Ma, 338 ± 6 Ma) が報告されている (Putiš et al. 2008)。また、含黒雲母片麻岩 (Biotite gneisses) と眼球片麻岩 (Augen gneiss) に含まれているモナズ石 (monazite) の分析が行われており、モナズ石 (monazite) のコアからはこれらより少し古い年代値 ($470\text{--}390$ Ma) が得られている。ただし、ほとんどのモナズ石 (monazite) の年代分析値 ($350\text{--}340$ Ma) は石炭紀を示している (Petrík et al. 2006)。トータル岩 (Tonalite) や花崗閃緑岩 (Granodiolite) のジルコン年代測定からは、石炭紀の年代値 (330 ± 10 Ma; Poller et al. 2001, 343 ± 3 Ma; Putiš et al. 2003) が得られている。

4. 野外調査

2013年9月、2018年8月にそれぞれ約5日間、タトラ山地における野外調査を実施した。2013年9月は、寒波に見舞われ、夏場であるにもかかわらず、2000 m級のタトラ山地は一面の雪化粧で覆われていた。2018年8月は、積雪はなかったが、低気圧の影響を受け、雨風ともに強い状況であった。

野外調査では、まず西タトラ山地 (Western Tatra) 下部ユニット (Lower unit) の標高1000m地点において、数cmの斑状変晶の藍晶石 (Kyanite) を含む泥質変成岩を採取した (図2)。さらに、標高1000 mの地点から、一気に標高2184 mのBaranec山頂部まで登山を行い、標高1917 mの



図2 斑状変晶の藍晶石（Kyanite）を含む泥質変成岩。2ユーロコインの直径は25.75 mm。

Žiarske sedloを抜けて下山した。西タトラ山地（Western Tatra）下部ユニット（Lower unit）での登山の際には、雲母片岩（Micaschist）、ミグマタイト（Migmatite）、エクログャイト（Eclogite）、含藍晶石片岩（Kyanite schist）を採取した。しかし、各露頭は雪に覆われていたため、各変成岩類の構造的関係性を観察することはできなかった。

西タトラ山地（Western Tatra）上部ユニット（Upper unit）の野外調査では、標高980 m地点において、含ザクロ石層状角閃岩（Garnet-bearing banded amphibolite）を採取した。この層状角閃岩の周囲には正片麻岩（Orthogneiss）が産しており、層状角閃岩の一部にはリュウコゾーム（Leucosome）が発達していることから、部分溶融を被っていた可能性がある。

ハイ・タトラ山地（High Tatra）では、ヴィソケー・タトリ（Vysoké Tatry）の標高1670 mにあるSliezsky domから、標高2200 mのPoľský hrebeňまで登山をした。登山の際には、花崗岩（Granite）、ザクロ石を含む泥質のミグマタイト（Migmatite）を採取した。泥質のミグマタイト（Migmatite）は花崗岩に貫入されており、片麻上構造が切られている構造を示している（図3）。標高2200 mのPoľský hrebeňには美しい湖が広がっており、タトラ山地の雪解け水がたまっている。また、山頂部は鋭くとがった、氷食尖峰を形成しており、谷に向かって大きく氷河浸食を受けた痕跡が見られ、典型的なU字谷を形成している（図4）。さらに、Sliezsky domから2 kmほど西側にある標高2000 mのSedlo pod Ostrvouから標高2250 mの山頂Tupáまで登り、山頂部では角閃岩（Amphibolite）を採取した。2018年8月の野外調査では、標高2250 mの山頂Tupáまで登り、ミグマタイト（Migmatite）のサンプリングを実施していたが、同日に、北側にある山頂から登山を楽しんでいた2名の観光客の滑落事故があった。

ロウ・タトラ山地（Low Tatra）では、標高2000 mのNízke Tatryにおいて、正片麻岩（Orthogneiss）、

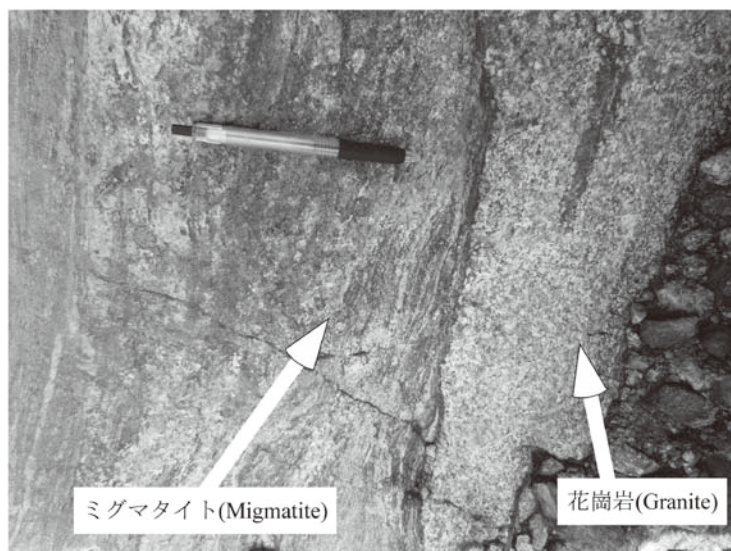


図3 花崗岩 (Granite) に貫入されるミグマタイト (Migmatite)。ペンの大きさは、14.5 cm。



図4 ハイ・タトラ山地 (High Tatra), 標高2200 mのPoľský hrebeňの典型的なU字谷。

準片麻岩 (Paragneiss), 変塩基性岩 (Metabasite), 変超塩基性岩 (Metaultramafic rocks) を採取した。また, ロウ・タトラ山地 (Low Tatra) のふもとにある町 Heľpa の森の中では, ザクロ石を含む泥質片麻岩 (Garnet-bearing gneiss) を採取した。

5. まとめ

タトラ山地は, Tatric Unit に属しており, 西タトラ山地 (Western Tatra), ハイ・タトラ山地 (High Tatra), ロウ・タトラ山地 (Low Tatra) が存在している。

西タトラ山地 (Western Tatra) には, 多種多様な変成岩が分布しており, 中圧変成作用の指標となる鉱物の十字石 (staurolite) や高圧を示す藍晶石 (kyanite), 高温を示す (sillimanite) といった鉱物が産している。

一方で, ハイ・タトラ山地 (High Tatra) は, そのほとんどが花崗閃緑岩 (Granodiolite) で構成されており, 一部分に高温変成作用を示す変成岩の, ミグマタイト (Migmatite) が産している。

ロウ・タトラ山地 (Low Tatra) にも, 火成岩類が多数分布しており, 高温変成作用を示すグラニュライト (Granulite) やミグマタイト (Migmatite), さらに高圧変成作用を示すエクロジャイト (Eclogite) が産している。

このように, タトラ山地には, 様々な種類の火成岩類や高度変成岩類が多数分布している。また, タトラ山地に産する高度変成岩類は, バリスカン造山運動およびアルプス造山運動時の変形作用を被っており, 岩石の変形構造として, それぞれの造山運動のすさまじさが記録されている。

今後, 本研究の野外調査で採取した岩石サンプルをさらに詳細に解析し, タトラ山地の形成メカニズムの実態解明を進めていく予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり, 京都大学大学院理学研究科地質学鉱物学教室の平島崇男教授には終始にわたり懇切丁寧なご指導をいただき感謝いたします。スロバキア科学アカデミーの Marian Janák 博士, Pavol Siman 博士, Jan Madaras 博士, Milan Kohút 博士, 京都大学の河上哲生博士, 岡山理科大学の東野文子博士, 蒜山地質株式会社の安本篤史氏には野外調査において大変お世話になりました。以上の方々ならびに機関, さらに本研究においてお世話になった方々に心より感謝申し上げます。また, 2018年8月のタトラ山地での野外調査は, 2018年度長期研修の成果であり, 2018年度名古屋学院大学研究助成金を使用させていただきました, 感謝申し上げます。

文献

外務省データ2019年3月: <https://www.mofa.go.jp/mofaj/area/slovak/data.html>.

Bezák V. & Klinec A. 1983: The new interpretation of tectonic development of the Nízke Tatry Mts. – West

- part. *Geol. Zbor. Geol. Carpath.* 31, 569–575.
- Biely A., Beňuška P., Bezák V., Bujnovský A., Halouzka R., Ivanička J., Kohút M., Klinec A., Lukáčik E., Maglay J., Miko O., Pulec M., Putiš M. & Vozár J. 1992: Geological map of the Nízke Tatry Mountains 1: 50,000. *GÚDŠ*, Bratislava.
- Burchart J. 1968: Rubidium-syrontium isochron ages of the crystalline core of the Tatra mountains, Poland. *Am J Sci.* 266, 895–907.
- Emblenton C, ed. 1984: Geomorphology of Europe. *London: Macmillan*, pp 465.
- Friz H., Neubauer F., Janák M. & Putiš M. 1992: Variscan mid-crustal thrusting in the Carpathians. Part II: Kinematics and fabric evolution of the Western Tatra basement. *Terra Abstr. Suppl.* 2, 4, 24.
- Gawęda A. 1995: Geochemistry and Rb/Sr isochron age of pegmatites from the Western Tatra Mts. (S-Poland). *Geologica Carpathica* 46 (2), 95–99.
- Gurk Ch. 1999: Petrographie, Geochemie and Geochronologie der unteren Einheit, Tatricum, Westliche Tatra (Slowakei). *Manuscript, Universität Mainz*, 1–124.
- Janák M. 1994: Variscan uplift of the crystalline basement, Tatra Mts., Central Western Carpathians: evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser probe dating of biotite and P-T-t paths. *Geol. Carpathica* 45, 293–300.
- Janák M. & Onstott TC. 1993: Pre-Alpine tectono-thermal evolution of metamorphism in the Tatra Mountains, Western Carpathians: P-T paths and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser probe dating. *Terra Nova* 5 (Suppl 1), 238.
- Janák M., Kahan S. & Janěula D. 1988: Metamorphism of politic rocks and metamorphism in SW part of Western Tatra Mountains crystalline complexes. *Geol Zbor Geol Carpath* 39, 455–488.
- Janák M., O'Brien P.J., Hurai V. & Reutel C. 1996: Metamorphic evolution and fluid composition of garnet-clinopyroxene amphibolites from the Tatra Mountains, Western Carpathians. *Lithos* 39, 57–79.
- Janák M., Hurai V., Ludhová L., O'Brien P.J. & Horn E.E. 1999: Dehydration melting and devolatilization during exhumation of high-grade metapelites: the Tatra Mountains, Western Carpathians. *J. Metamorph. Geology* 17, 379–395.
- Janák M., Chovan M., Smirnov A. & Majzlan J. 2000a: Kyanite and sillimanite in gneisses of Ďumbier crystalline complex, the Low Tatra Mountains. In: Uher P., Broska I., Jeleň S. & Janák M. (Eds.): Magurka 2000. *Geol. Inst. SAS, Bratislava*, 15.
- Janák M., Pitoňák P. & Spišiak J. 2000b: Garnet-clinopyroxene metabasites from Jasenie, Low Tatra Mountains. In: Uher P., Broska I., Jeleň S. & Janák M. (Eds.): Magurka 2000. *Geol. Inst. SAS, Bratislava*, 14.
- Janák M., Cornell D H., Froitzheim N., De Hoog J C M., Broska I., Vrabec M. & Hurai V. 2009: Eclogite-hosting metapelites from the Pohorje Mountains (Eastern Alps): P-T evolution, zircon geochronology and tectonic implications. *European Journal of Mineralogy* 21, 1191–1212.
- Kahan S. 1969: Eine neue Ansicht über den geologischen Aufbau des Kristallinikums der West Tatra. *Acta Geol Geogr Univ Comenianae* 12, 115–122.
- Kohút M. & Janák M. 1994: Granitoids of the Tatra Mts., Western Carpathians: field relations and petrogenetic implications. *Geologica Carpathica* 45 (5), 301–311.
- Kováč M., Král J., Marton E., Plasienka D. & Uher P. 1994: Alpine uplift history of Central Western Carpathians: geochronological, paleomagnetic, sedimentary and structural data. *Geol Carpath* 45, 83–96.
- Krist E., Korikovsky S.P., Putiš M., Janák M. & Faryad S.W. 1992: Geology and petrology of metamorphic rocks of the Western Carpathian crystalline complexes. *Comenius University Press, Bratislava*, 1–324.
- Maluski H., Rajlich P. & Matte P. 1993: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Inner Carpathians Variscan basement and Alpine

- mylonitic overprint. *Tectonophysics* 223, 313–337.
- Petrík I., Konečný P., Kováčik M. & Holický I. 2006: Electron microprobe dating of monazite from the Nízke Tatry Mountains orthogneisses (Western Carpathians, Slovakia). *Geol. Carpathica* 57, 4, 227–242.
- Poller U. & Todt W. 2001: U-Pb single zircon data of granitoids from the High Tatra Mountains (Slovakia): implications for the geodynamic evolution. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh, Earth Sci.* 91, 235–243.
- Poller U., Janák M., Kohút M. & Todt W. 2000: Early Variscan magmatism in the Western Carpathians: U-Pb zircon data from granitoids and orthogneisses of the Tatra Mountains (Slovakia). *Int. J. Earth Sci.* 89, 336–349.
- Poller U., Todt W., Kohút M. & Janák M. 2001: Nd, Sr, Pb isotope study of the Western Carpathians: implications for Palaeozoic evolution. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 81, 159–174.
- Putiš M., Kotov A.B., Petrík I., Korikovskiy S.P., Madarás J., Salnikova E.B., Yakovleva S.Z., Berezhnaya N.G., Plotkina Y.V., Kovach V.P., Lupták B. & Majdán M. 2003: Early- vs. Late orogenic granitoids relationships in the Variscan basement of the Western Carpathians. *Geol. Carpathica* 54, 163–174.
- Putiš M., Sergeev S., Ondrejka M., Larionov A., Siman P., Spišiak J., Uher P. & Paderin I. 2008: Cambrian–Ordovician metaigneous rocks associated with Cadomian fragments in the West-Carpathian basement dated by SHRIMP on zircons: a record from the Gondwana active margin setting. *Geol. Carpathica* 59, 3–18.
- Spišiak J. & Pitoňák P. 1990: Nízke Tatry Mts. crystalline complex– new facts and interpretation (Western Carpathians, Czechoslovakia). *Geol. Zbor. Geol. Carpath.* 41, 377–392.