

日高変成帯の形成テクトニクス

Tectonics of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, northern Japan

豊島剛志*・小松正幸**・志村俊昭***

Tsuyoshi Toyoshima*, Masayuki Komatsu**, Toshiaki Shimura***

本報告は、Toyoshima et al. (1994), Toyoshima (1989, 1991), 豊島ほか(印刷中)を要約したものである。

日高変成帯は、グラニュライト相に達する主要変成作用と多時相の火成作用を通して古第三紀前期～中期に形成された島弧地殻が、古第三紀中期～中新世に上昇し、東に急傾斜し南北に延びた構造を持って現れた構造帯である(小松ほか, 1982; Komatsu et al., 1989; Toyoshima, et al., 1994など)。日高変成帯の造構史は、変形史・変成史・火成活動史の統合的解析に基づき、島弧地殻形成プロセスという観点から、火成活動弧(日高島弧)の形成期にあたるステージⅠ、島弧地殻断片(日高変成帯)の上昇期であるステージⅡ、上昇後の島弧地殻断片の局所的な構造的改変期にあたるステージⅢの、3つのステージに区分される(Table 1)(豊島ほか, 投稿中)。さらに、造構作用の違いに基づき、ステージⅠはD₀およびD₁期に、ステージⅡはD₂およびD₃期に、ステージⅢは6つの脆性変形作用期にそれぞれ区分される(Table 1)(Toyoshima et al., 1994)。D₁期のハンレイ岩～閃緑岩マグマの進入とD₂期のSタイプおよびIタイプトータル岩マグマの発生・貫入が、日高変成帯のテクトニクスにとって極めて重要な役割を果たした。

日高変成帯(日高地殻)の原岩は、白亜紀～古第三紀初期の付加体構成物および海溝充填堆積物が構造的に積み重なり著しく厚化した地質体である(D₀期)。この低温の地質体が短期間(1千万年以内)で高温型変成帯に変化した要因は、何であろうか。D₁期の変成史・変形史・火成活動史の相互関係は、日高地殻底部における大量の苦鉄質マグマの底付けによって多量の熱が供給され日高変成帯の昇温期変成作用が起こり、その

ピーク期を迎えたこと、そして同時に地殻下部で著しいアナテクシスが起これりSタイプトータル岩マグマが大量に生成したこと、また苦鉄質マグマのダイアピル形成によって伸張性のドーム運動、日高地殻構成岩類の造構性薄化と鉛直方向の上昇(圧力のわずかな減少)が起こったことを示唆する(Fig. 1)。この時の σ_1 は、岩相境界・層状構造に垂直で、鉛直方向である。変成作用のピーク期の変成度は、東(構造的上位)から西(構造的下位)に向って緑色片岩相～グラニュライト相へと上昇する(小山内, 1985; Osanai, et al., 1991など)。そのピーク期におけるグラニュライト相変成岩類の変成条件は、約800℃、6 kbである(Komatsu et al., 1994)。この時、日高地殻は約40℃/kmの地温勾配を獲得した。この時形成された地殻の内、深さ20数km分がほとんど欠けることなく横倒しになって現在地表に現れている。しかし、現在露出していないさらに深部数km下まで変成岩の存在した可能性が、トータル岩に包有される変成岩の変成条件などから指摘されている(小松, 1986; Osanai et al., 1991; Shimura et al., 1992など)。したがって、日高変成帯には、20数kmより深い部分を含む日高地殻全体が現れているわけではなく、下部地殻の上部から上が現れていることになる。このような日高変成帯部分より深いところ(最下部地殻)で、大規模なアナテクシスによってトータル岩マグマが形成されたと考えられている(大和田・小山内, 1989; Tagiri et al., 1988, 1989, 1995; Osanai et al., 1991; Shimura et al., 1992)。現在の日高変成帯として露出していない日高地殻の最下部は、D₁苦鉄質マグマの固結岩とアナテクシスによる溶け残り(residue)であると考えられる(Fig. 1)。

D₁期には少量の部分溶融が、現在現れている日高変成帯最下部変成岩層において、800℃、6 kb(Komatsu et al., 1994)、H₂Oに飽和かあるいはfluid-presentの条件で(Osanai et al., 1992)起こった。さらにその下の下部地殻では大量のトータル岩マグマが形成されており、その条件は、900℃以上、8 kb以上、H₂Oに不飽和あるいはfluid-absentである(Shimura et al., 1992)。前者において形成されたメルトは、数%以下の量で、形成後にほとんど移動せずその場で固結した

1996年12月17日受付・受理。

*新潟大学理学部地質科学教室

Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, 8050 Ikarashi-2-nocho, Niigata 950-21, Japan

**愛媛大学理学部生物地球圏科学教室

Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Ehime University, 2-5 Bunkyocho, Matsuyama 760, Japan

***新潟大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 8050 Ikarashi-2-nocho, Niigata 950-21, Japan

(Komatsu et al., 1994). 後者では、泥質岩において50~60%, 塩基性岩において10~20%の部分溶解が起こっている(大和田・小山内, 1989). これらのことは、デコルマンの上下において、メルト含有率とfluid含有率が注目すべきほど異なっていたことを示している. 高流体圧やメルトの存在は岩石の強度を著しく低下させる. それゆえに、日高地殻内の力学的に弱い位置は、下方に向かって増加するメルト含有率と下方に向かって減少する流体圧との相関によって決定された(Toyoshima et al., 1994). 上記条件に近い温度圧力条件にて行われた、部分溶解した岩石の強度試験(Dell'Angelo & Tullis, 1988など)によれば、15%以上のメルトの存在は強度を著しく低下させる. ただし、メルトが少ない場合岩石は転移クリープまたは拡散クリープにより変形する(Ji & Mainprice, 1986; Dell'Angelo et al., 1987; Dell'Angelo & Tullis, 1988など)が、溶解メルト含有率が30%を越えると岩石内のフレームワークが壊れ、固相部分の結合がなくなり、全体としての運動はメルトの流動により支配される(Arzi (1978)やvan der Molen & Paterson (1979)による理論的検討). よって、この時の強度はメルトの流動抵抗とほぼ同じ程度まで低下する. このような条件では、メルトは、非常に小さな応力の下で容易に移動し、その移動に際して水圧破壊によって周囲の変成岩層を破断させる(Rutter & Brodie, 1992など). したがって、現在露出している下部地殻岩石は、露出していない最下部地殻に比べ、より強度が大きく、より脆性的であるといえよう. このような強度の不連続面、メルトの形成が著しい層準と少ない層準との境界面が、日高地殻衝上断片の基底をなすデコルマンの、地殻断面における位置(深度)を決定した. このようなデコルマンの位置の規定は、圧縮場にある火成活動弧地殻内部において地殻規模のデコルマンが形成される場合、一般的な制限事項であるかもしれない.

ステージIIのD₂期の造構場は圧縮場で、ほぼ水平な剪断面に沿い上盤を南へ移動・上昇させるような、右ずれトランスカレントによる構造運動が起こった(Toyoshima et al., 1994など). D₂期前期は、デコルマン上のはんれい岩起源グラニュライト相マイロナイトを含む高温型マイロナイトの形成が起こり、デュプレックス構造の形成が始まった(Fig. 1). D₁期に生成したトーナル岩マグマは、D₂期前期のマイロナイト化作用に引き続いて、上記のほぼ水平なデコルマンやduplex構造の各スラスト面に沿ってシート状に貫入し、変成帯の上昇を促した(Toyoshima, 1989, 1991; 志村, 1989, 1992など). D₁はんれい岩のD₂マイロナイト化作用は下位に向かって強くなっており、最もマイロナイト化した岩石の直下にD₂トーナル岩マグマが貫入したことになる. このことから、D₂期前期のマイロナイト化作用を伴う地殻の移動(デ

コルマンの最初の活動)が、アナテクシスにより力学的に弱くなっていたゾーンの直上で起こり、トーナル岩マグマを地殻最下部から上方へと絞り出したと考えることができる(Fig. 1).

その後、D₃期にはトーナル岩・変成岩層はともに後退変成作用・低温型マイロナイト化作用を被った. D₃期の構造運動が右ずれトランスプレッションタイプであったため、日高変成帯は南方向へ上昇すると同時にその最下部層が西側へ押し上げられるように回転し、かつてほぼ水平であった片理面・剪断面が現在と同じように東に急傾斜した状態となった(Fig. 1)(Toyoshima et al., 1994; 豊島ほか, 投稿中など). この時、多数のナップ構造・デュプレックス構造が形成された(Fig. 1). D₃期のマイロナイト帯は局所化して現れることを特徴とし、最後期のマイロナイト帯は日高変成帯西縁部に形成された. この西縁マイロナイト帯の原岩のほとんどが、デコルマンに沿って貫入したD₂トーナル岩である.

以上のことは、トーナル岩マグマの貫入・上昇が、地殻規模のほぼ水平なすべり運動によって支配されて起こったということ、また逆に最下部地殻からの、下部~上部地殻の分離・上昇運動自体を支配し促進させたことを示す(Toyoshima & Hara, 1989; 志村, 1989, 1992). このような現象は、島弧~大陸性地殻の上昇運動にとって一般的なものである可能性がある.

このようにD₀~D₃期に基本構造が形成された日高変成帯は、その後、南北性の左横ずれ剪断変形や東北東-西南西圧縮変形など、いくつかの時期の脆性変形による局所的な構造的改変を受けた(Table 1)(Toyoshima, 1989, 1990, 1991など).

文 献

- Arzi, A. A., 1978, Critical phenomena in the rheology of partially melted rocks. *Tectonophysics*, **44**, 173-184.
- Dell'Angelo, L. N. and Tullis, J., 1988, Experimental deformation of partially melted granitic aggregates. *Jour. metamorphic Geol.*, **6**, 495-515.
- Dell'Angelo, L. N., Tullis, J. and Yund, R. A., 1987, Transition from dislocation creep to melt-enhanced diffusion creep in fine-grained granitic aggregates. *Tectonophysics*, **139**, 325-332.
- Ji, S. and Mainprice, D., 1986, Transition from power law to Newtonian creep in experimentally deformed dry albite. *Trans. Am. Geophys. Union*, **67**, 1235.
- 小松正幸, 1986, 日高変成帯のテクトニクス. 地研専報, **31**, 441-450.

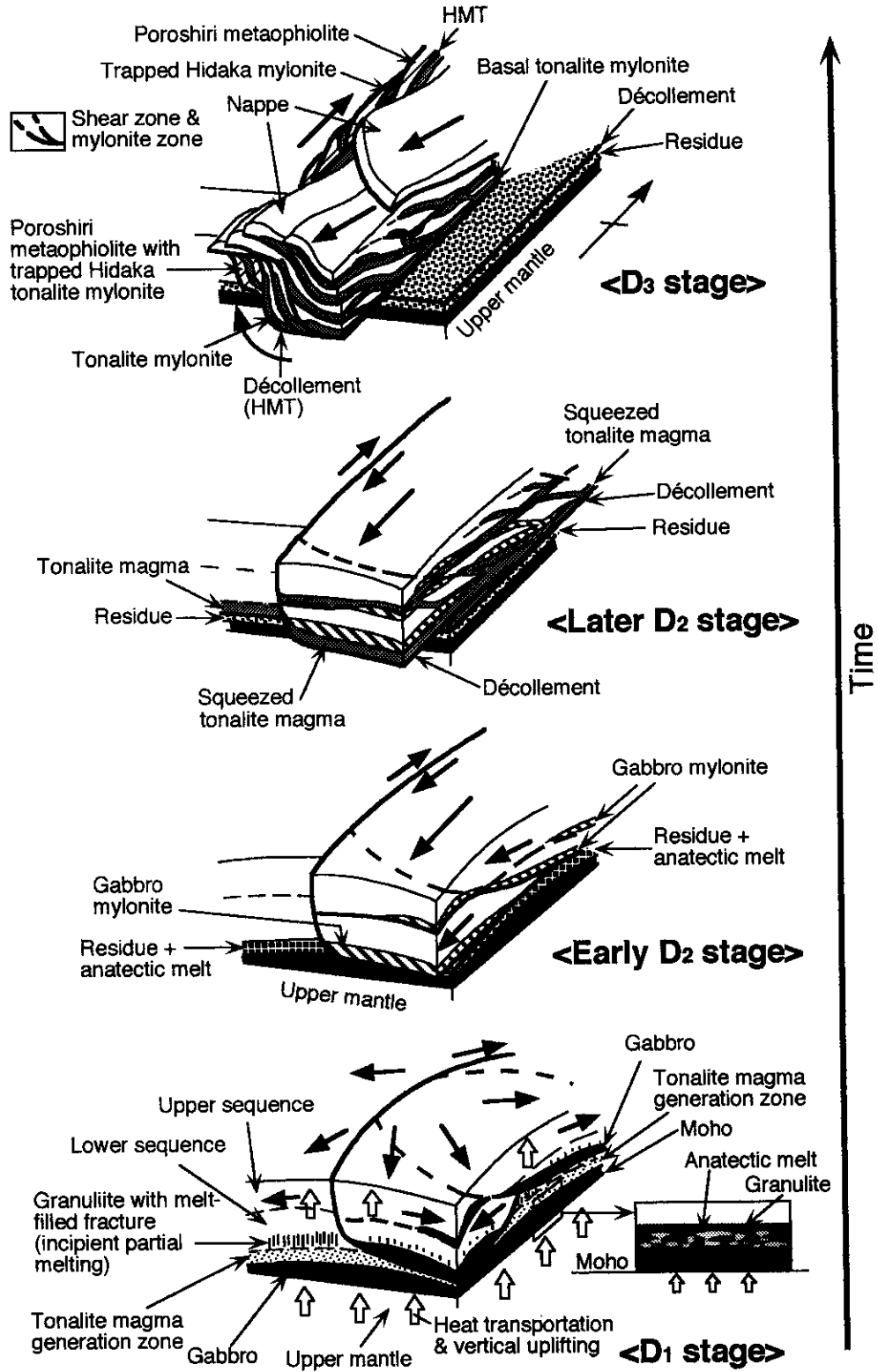


Fig.1 Schematic diagram illustrating the tectonic movement of the Hidaka metamorphic belt which occurred from D1 to D3 stages, modified from Toyoshima (1991), Shimura (1992), and Toyoshima et al. (1994). The D1-gabbroic magma is a possible heat source for high-temperature metamorphism up to granulite facies, and for large amount of S-type tonalitic magmas formed by crustal anatexis in the lowest crust. HMT: Hidaka Main Thrust.

Table 1 Tectonic and metamorphic history of the lower sequence of the Hidaka metamorphic belt. Relative temperature is metamorphic temperature conditions of the granulite unit.

Deformation stage	Tectonics	Deformation & structure	Igneous activity	Metamorphism	Relative temperature	Structural state of shear plane	
I	D0	Tectonic thickening of sedimentary precursors	?	Low-grade metamorphism		?	
	D1	Magmatic underplating & extensional doming	Flattening & shearing Bedding foliation (S1) & non-rotated boudinage Locally preserved fold with axial foliation (S1')	Gabbro-diorite intrusion Prograde metamorphism & anatexis Metamorphic peak up to granulite facies		Flat-lying	
II	D2	Initiation of decollement Subhorizontal top-to-the south displacement	Shearing, folding & mylonitization Mylonitic foliation & fold with axial foliation (S2) Duplex	Tonalite-quartz diorite intrusion into decollement & ramp-roof thrust of duplex Initiation of retrograde metamorphism		Flat-lying	
	D3	Eastward tilting & dextral-slip movement	Shearing, folding & retrograde mylonitization Mylonitic foliation & fold with axial foliation (S3)	Minor intrusion of olivine gabbro & diorite Retrograde metamorphism lower part: granulite to greenschist facies upper part: amphibolite to greenschist facies			Steeply inclined
III		?	?	Minor intrusion of leucocratic granite			
	Dk	Sinistral movement	Shearing & kinking Kink fold or kink band with kink plane (Sk) Monoclinic or conjugate type	Retrograde metamorphism greenschist facies			
			Faulting with cataclasite I				
			Fracturing with prehnite-quartz vein				
	Dpt	ENE-WSW compression	Seismic faulting & frictional heating Conjugate fault with pseudotachyite & cataclasite II	Retrograde metamorphism zeolite facies			
			Fracturing with zeolite vein	Retrograde metamorphism zeolite facies			

小松正幸・宮下純夫・前田仁一郎・小山内康人・豊島剛志・本吉洋一・在田一則, 1982, 日高変成帯における大陸性地殻—上部マントル衝上体の岩石学的構成. 岩鉱特別号, **3**, 229-238.

Komatsu, M., Osanai, Y., Toyoshima, T. and Miyashita, S., 1989, Evolution of the Hidaka metamorphic belt, northern Japan. In Daly, J. S., Cliff, R. A. and Yardley, B. W. D. eds. *Evolution of Metamorphic Belts. Geol. Soc. London Spec. Pub.*, **43**, 487-493.

Komatsu, M., Toyoshima, T., Osanai, Y. and Arai, M., 1994, Prograde and anatectic reactions in the deep arc crust exposed in the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, Japan. *Lithos*, **33**, 31-49.

小山内康人, 1985, 静内川上流地域における日高変成帯主帯変成岩類の地質と変成分帯. 地質雑, **91**,

259-278.

Osanai, Y., Komatsu, M. and Owada, M., 1991, Metamorphism and granite genesis in the Hidaka Metamorphic Belt, Hokkaido, Japan. *Jour. metamorphic Geol.*, **9**, 111-124.

Osanai, Y., Owada, M. and Kawasaki, T., 1992, Tertiary deep crustal ultrametamorphism in the Hidaka metamorphic belt, northern Japan. *Jour. metamorphic Geol.*, **10**, 401-414.

大和田正明・小山内康人, 1989, 日高変成帯における花崗岩類の成因. 月刊地球, **11**, 252-257.

Rutter, E. H. and Brodie, K. H., 1992, Chapter 6. Rheology of the lower crust. In Fountain, D. M., Arculus, R. and Kay, R. W. eds. *Continental Lower Crust, Developments in Geotectonics*, Elsevier,

- Netherlands, 201-267.
- 志村俊昭, 1989, 日高変成帯の duplex 構造. 月刊地球, **119**, 258-264.
- 志村俊昭, 1992, 花崗岩マグマの進入と日高変成帯の衝上テクトニクス. 地質雑, **98**, 1-20.
- Shimura, T., Komatsu, M. and Iiyama, J. T., 1992, Genesis of the lower crustal Grt-Opx tonalite (S-type) in the Hidaka metamorphic belt, northern Japan. *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sciences*, **83**, 259-268.
- Tagiri, M., Shiba, M. and Onuki, H., 1989, Anatexis and chemical evolution of pelitic rocks during metamorphism and migmatization in the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido. *Geochem. Jour.*, **23**, 321-337.
- Tagiri, M., Suzuki, H., Suzuki, K., Inazawa, T., Tosaki, K. and Shiba, M., 1988, Melting of amphibolite xenolith included in peridotite of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido. *Jour. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **83**, 388-399.
- Tagiri, M., Tanaka, H. and Shiba, M., 1995, Melting of amphibolites and the form of melt-trap in amphibolite-migmatites of the southern Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, Japan. *Jour. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **90**, 50-63.
- Toyoshima, T., 1989, Tectonic evolution of the Hidaka metamorphic belt and its implication in late Cretaceous-middle Tertiary tectonics of Hokkaido, Japan. *Unpublished doctoral thesis of Hiroshima University*, 130pp.
- Toyoshima, T., 1990, Pseudotachylite from the Main Zone of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, northern Japan. *Jour. metamorphic Geol.*, **8**, 507-523.
- Toyoshima, T., 1991, Tectonic evolution of the Hidaka metamorphic belt and its implication in late Cretaceous-middle Tertiary tectonics of Hokkaido, Japan. *Jour. Fac. Sci., Niigata Univ., Ser. E*, **8**, 1-107.
- Toyoshima, T. and Hara, I., 1989, Hidaka metamorphic belt as a deep-seated fracture zone, with special reference to intrusion mechanism of granitic rocks. *DELP Publication*, **28**, 85-91.
- Toyoshima, T., Komatsu, M. and Shimura, T., 1994, Tectonic evolution of lower crustal rocks in an exposed magmatic arc section in the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, northern Japan. *The Island Arc*, **3**, 182-198.
- Van der Molen, I. and Paterson, M. S., 1979, Experimental deformation of partially-melted granite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **70**, 299-318.
- Key words:** *Hidaka metamorphic belt, tectonics, décollement, arc crust, magmatic underplating, granitic intrusion, duplex, mylonite, exhumation process, lower crustal processes*
- (1995年冬の例会シンポジウム講演)