

日高変成帯, 新冠川地域のSタイプ花崗岩類の多様性

志村俊昭¹⁾

1. はじめに

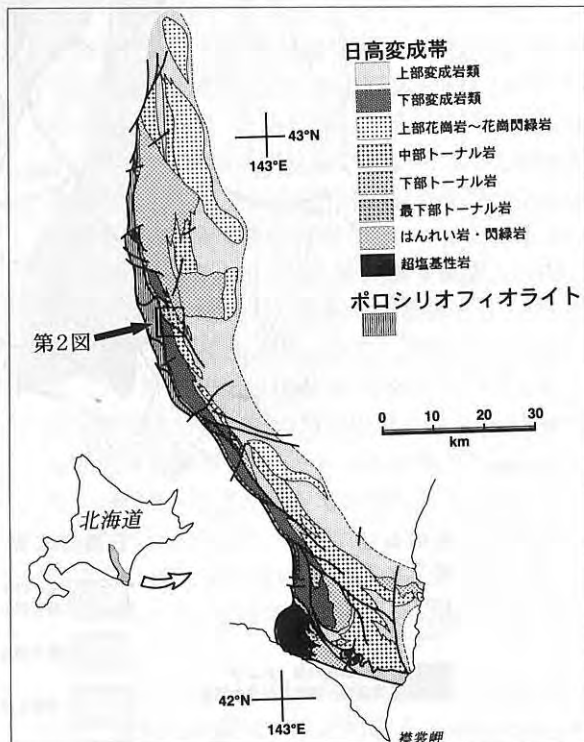
島弧地殻の断面である日高変成帯 (Komatsu *et al.*, 1989) (第1図) には, シンメタモルフィックやシンテクトニックに地殻に貫入した様々な火成岩体が見られ, 火成岩体も東側上位・西側下位の断面として観察する事が出来る. 花崗岩類は主としてトーナル岩~花崗閃緑岩質で, 多量のSタイプトーナル岩と少量のIタイプトーナル岩からなる. 両者の活動時期はほぼ同時期で, それぞれ砂泥質変成岩と塩基性変成岩が最下部地殻で部分融解することにより生じたと考えられている (大和田・小山内, 1989; Osanai *et al.*, 1991; 志村, 1999). これらのトーナル岩類は, 日高地殻層の様々な深度に, シンメタモルフィック~シンテクトニックに進入している. そして地殻内の進入深度に応じて, 鉱物組み合わせにも違いがみられる (第1表). 例えばグラニュライト相の変成岩層に進入している最下部Sタイプトーナル岩はザクロ石+斜方輝石の組み合わせをもつが, 中部Sタイプトーナル岩は堇青石+白雲母+黒雲母の組み合わせをもつ, というような具合である. 進入深度の違いによる, このような鉱物組み合わせの相違は, 進入位置の温度-圧力条件の違いと結晶分化作用による残液の化学組成変化が原因である事が, 高温高圧実験により確かめられている (Shimura *et al.*, 1992).

2. 新冠川上流地域のSタイプトーナル岩体

新冠川上流地域 (志村, 1992) から主稜線を挟んで札内川上流地域 (高橋, 1992) にかけては, 地殻下部~中部にかけて進入したSタイプトーナル岩が

広く露出している. ここでは地殻規模の花崗岩体の断面を直接観察する事が出来る (第2図).

日高変成帯において最下部トーナル岩は, 日高主衝上断層 (HMT) に沿って, 南北に狭長に露出している (第1図) が, 多くはマイロナイト化しており, 初生的な火成岩組織を残しているものは少ない. 新冠川上流地域のSタイプトーナル岩体は, 南端は主稜線からナメワッカ岳稜線への分岐点, いわゆる「ナメワッカ岳ジャンクションピーク (NJP)」付近を通る大規模な衝上断層によって画されている (志村, 1992) (第2, 3図). このNJP衝上断層 (NJPT) (志



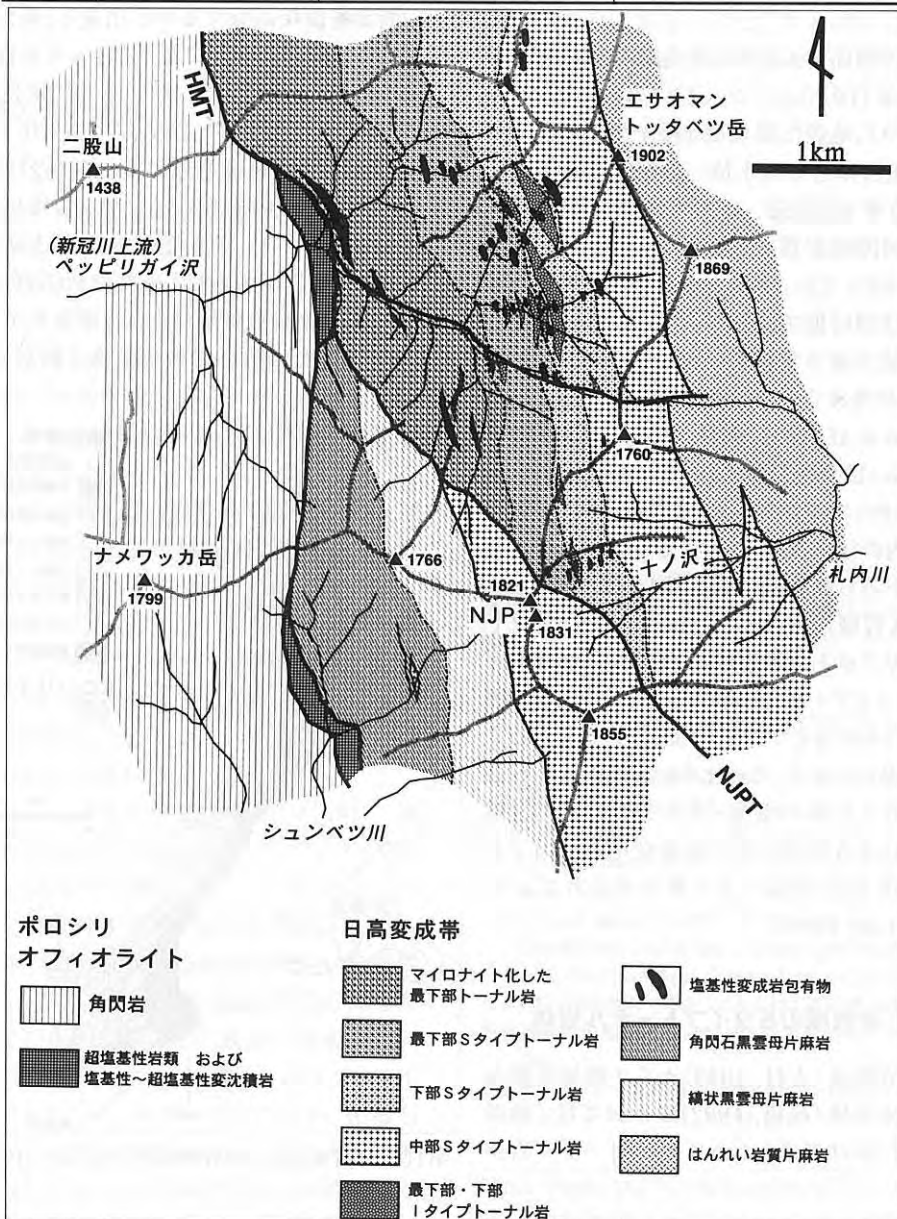
第1図. 日高変成帯の地質概略図 (小松ほか, 1986を改変).

1) 新潟大学理学部地質科学教室:
〒950-2181 新潟市五十嵐2の町8050

キーワード: 日高変成帯, Sタイプ花崗岩, 部分融解, ミグマタイト, グラニュライト

第1表 地殻内の進入深度に応じた鉱物組み合わせ.

深度区分名	進入地殻層準 (母岩の変成度)	特徴的な鉱物組み合わせ	
		Iタイプ	Sタイプ
上部	弱変成岩層	Bt+Hbl+Pl+Qtz±Kfs	Bt+Pl+Qtz±Kfs
中部	緑色片岩相・ 緑色片岩相～角閃岩相漸移部	Bt±Hbl+Pl+Qtz	Bt±Ms±Crd+Pl+Qtz±Kfs
下部	角閃岩相	Bt+Hbl+Opx±Cpx±Cum+Pl+Qtz	Bt+Opx±Crd+Pl+Qtz±Kfs Bt+Grt±Crd+Pl+Qtz±Kfs
最下部	グラニュライト相		Bt+Opx+Grt±Crd+Pl+Qtz±Kfs



第2図 エサオマントッタベツ岳地域の地質図(志村, 1999を改変). HMT: 日高主衝上断層 (Hidaka Main Thrust), NJPT: NJP衝上断層 (Namewakka Junction Peak Thrust).



第3図 札内川十ノ沢カールの、カール壁にみられるNJP衝上断層の露頭、日高変成帯のduplex構造を構成する大断層である。

村, 1992)は日高変成帯の大規模なduplex構造を形成する衝上断層で、この断層によって変成帯北部地域の火成岩類を多産するユニットと、変成帯中部地域の變成岩層を主とするユニットが境されている。HMTやNJPT付近では、断層運動に伴う剪断変形により初生的な火成岩組織が破壊されている。一方、トータル岩体北端は塩基性グラニュライトにアグマタイト状に進入し、より北部では小規模な岩脈として産するだけとなる。トータル岩体中央部の、エサオマントッタベツ岳の西側(第2図および口絵1参照)地域には、変形を免れ初生的な火成岩組織を残す岩相が広く露出している。

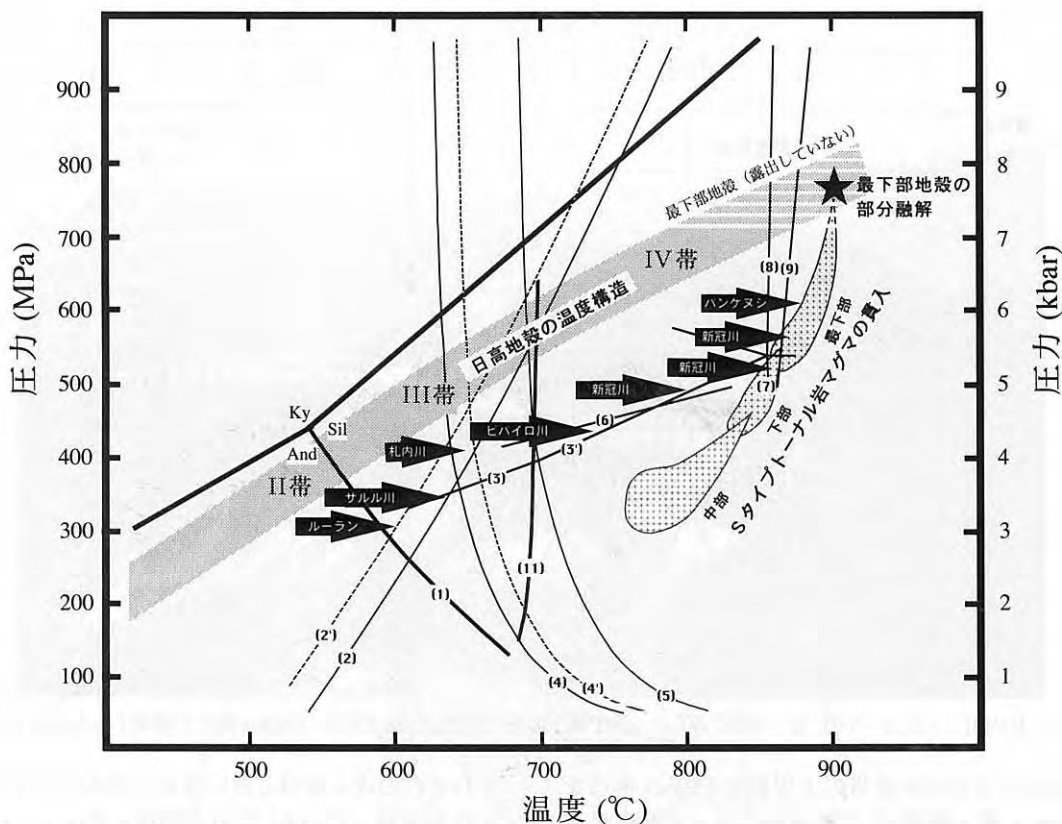
この地域では最下部Sタイプトータル岩中に、砂泥質グラニュライト、塩基性グラニュライト、超塩基性岩など様々な種類の變成岩包有物がみられる。そしてその周囲には様々な反応縁がみられるため、全体として不均質でミグマタイト質となっているほか、輝石を伴うIタイプトータル岩を産する(志村, 1999)事もあり、多種多様な岩相がみられる。

3. 變成岩包有物との熱的・化学的相互作用

日高変成帯の地殻層序に進入したトータル岩は、

それぞれの進入深度ごとに特有の熱的・化学的相互作用を行っている。これは固体-液体(マグマ)間の反応であり、反応に伴って系に物質が入り出すので、厳密には閉鎖系ではない、しかし日高変成帯のSタイプトータル岩と砂泥質變成岩の全岩化学組成は、主成分化学組成については差が小さいので、Sタイプトータル岩と砂泥質變成岩との間の相互作用は、變成岩の岩石成因論的グリッドに近似させて説明出来る事がある。志村ほか(1997)は、このような仮定のもとで、Sタイプトータル岩と砂泥質變成岩との間の相互作用に限って、両者の反応関係を解析した。それらは地殻内の様々な深度における、ほぼ等圧下での温度上昇反応として説明された(第4図)。それによると、比較的地殻の浅部では接触變成反応が卓越するが、最下部トータル岩のように地殻深部では部分溶融反応が卓越するとされた。

新冠川上流地域の最下部Sタイプトータル岩体の中で、比較的均質で火成岩組織を示す部分は、ザクロ石+斜方輝石+堇青石+黒雲母+斜長石+カリ長石+石英の組み合わせをもつ。このマグマは、地殻に進入した時点において、約600MPa、900℃程度の条件から結晶作用が始まったとされている



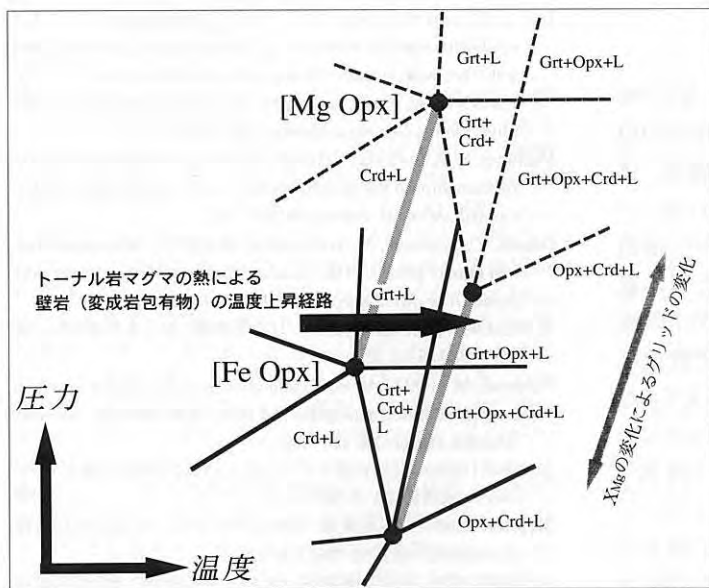
第4図 日高変成帯の砂泥質変成岩類とSタイプトータル岩マグマの温度-圧力条件を総括した図(志村ほか, 1997による). II・III・IV帯と中央の灰色の帯は日高変成帯の変成作用のピーク時における変成度と地殻の温度勾配を示す(Osanai et al., 1991による). 右側のダイアピル状の絵は, 上昇するマグマとその温度-圧力条件を示す(Shimura et al., 1992による). 主な反応曲線としては, (8)は $Bt + Sil + Qtz = Grt + Kfs + L$ (Vielzeuf and Holloway, 1988), (9)は $Bt + Pl + Qtz = Grt + Opx + Kfs + L$ (Vielzeuf and Montel, 1994)である. 他の反応曲線の詳細については志村ほか(1997)のFig.11を参照されたい. 日高変成帯のSタイプ花崗岩マグマと壁岩の反応は, それぞれのトータル岩マグマの進入深度における温度上昇反応として近似的に説明できる. 新冠川上流地域では500~600MPa程度の圧力条件で750°C~850°C程度の範囲の反応が観察できる.

(Shimura et al., 1992).

一方, 砂泥質変成岩は, 約850°C程度になると, 黒雲母の脱水分解反応が進行し, 部分融解量が急激に増加する(Vielzeuf and Holloway, 1988; Vielzeuf and Schmidt, 2001など). 日高地殻の最深部で大規模なアナテクシスにより生じ, 600MPa程度の深度に上昇進入した最下部トータル岩は, まだ900°C程度の温度を保持していた. このため進入母岩の砂泥質グラニュライトは, トータル岩の熱により部分融解されるとともにトータル岩マグマに機械的にも同化され, 口絵3のような不均質な岩相を生じたものと考えられる(志村ほか, 1999).

一般に, ザクロ石と堇青石の安定領域は, 系の

X_{Mg} によって変化し, Feに富むとザクロ石の領域が, Mgに富むと堇青石の領域が広がることが知られている(Holdaway and Lee, 1977; Lee and Holdaway, 1977など). 新冠川上流地域では, しばしば近接した露頭でザクロ石が多量に見られる場合と, ザクロ石が少なく堇青石+斜方輝石が多く見られる場合がある. Vielzeuf and Holloway (1988)やVielzeuf and Montel (1994)は, 砂泥質変成岩の部分融解に関する岩石成因論的グリッドを総括した. このグリッドを参考にすると, 第5図のように, 堇青石の有無は組成変化による岩石成因論的グリッドの変化により説明できると思われる. ザクロ石の巨晶が多量に形成されているが, 堇青石が殆ど



第5図

最下部トータル岩の深度における壁岩・変成岩包有物の温度上昇反応の概念図。Feに富む系だと堇青石を欠き「ザクロ石+斜方輝石+優白部」を生じるが、Mgにやや富む系だと「ザクロ石+斜方輝石+堇青石+優白部」を生じる。超塩基性岩包有物周囲のように、極端にMgに富む場合は「斜方輝石+堇青石+優白部」を生じる。

無い場合(口絵6)は、系がFeに富む場合でGrt+LやGrt+Opx+Lが生じた場合、堇青石が多く見られる例(口絵5)は系が比較的Mgに富みCrd+L, Grt+Crd+L, Grt+Opx+Crd+Lなどが生じた場合であろう

また、新冠川上流地域の最下部Sタイプトータル岩体は、超塩基性岩包有物を含むという点で、特異な岩体でもある(小松, 1986; 小松・志村, 1988, 1992; 志村ほか, 1999)。包有されている超塩基性変成岩類(変ハルツバージャイト)は、トータル岩マグマ進入時に、地殻の「その場」に既に存在していたオフィオライトブロックであると考えられている。この超塩基性岩包有物の周囲(最大20cm幅程度)には、ブロンザイト+Mg堇青石+フロゴパイトを伴う特異な反応縁が形成されている(口絵7)。これは超塩基性岩包有物からのMgの拡散によって説明されている(小松・志村, 1988, 1992)。この場合、反応縁にはザクロ石は全く見られない。この産状も、第5図でMgに非常に富む場合、Opx+Crd+Lが生じるものとして説明可能である。

4. 残液か再溶融か?

最下部トータル岩は、日高主衝上断層(HMT)やNJP衝上断層(NJPT)による地殻の衝上運動や、これらに先立つ日高変成帯の上盤南センスの水平ずれ運動(Toyoshima *et al.*, 1994)によってマイロナ

イト化を被っている。新冠川上流地域には、より早期に形成されたマイロナイト化の面構造を切って、電気石+紅柱石+白雲母+斜長石+カリ長石+石英からなるアプライト質の優白脈が見られることがある(志村, 2001)(口絵8)。紅柱石内部はSiに不飽和な条件になっており、青紫色のコランダムが形成されていることもある。

一般的な花崗岩質マグマのソリダスは、紅柱石-珪線石の反応曲線とは交差しない。しかし、花崗岩質マグマのソリダスは、ホウ素・フッ素・アルミナ飽和度などによってさらに低下する(例えばPichavant, 1981; Manning, 1981; Holtz *et al.*, 1992; Joyce and Voigt, 1994)。これによりソリダスが低下すると、紅柱石-珪線石の反応曲線と花崗岩のソリダスが交差し、花崗岩質メルトから紅柱石が晶出することもありうる(Joyce and Voigt, 1994)。また、紅柱石に分配されるFeが多くなると、紅柱石-珪線石の反応曲線が高温側にシフトする(Kerrick and Speer, 1988)。この岩石は、これらの条件が効果的に作用し、両反応曲線が交差し、おそらく200MPa程度以下、600~700°C程度の条件で形成されたものと思われる。今後、このアプライト質脈の温度圧力条件や成因が明らかになれば、日高変成帯の上昇プロセス末期のイベントがより鮮明なものとなるであろう。

5. おわりに

日高変成帯の新冠川上流地域に分布するSタイプ花崗岩類の多様性についてふれた。多様性の原因として、結晶分化作用、同化作用、部分融解、化学組成の濃度差など様々な要因があげられる。いずれも深部マグマ溜まり内におけるマグマと地殻の相互作用を「その場観察」しているものと思われる。この地域は、島弧における多様なマグマの成因や、島弧地殻の成熟過程を解明する上で貴重な地域である。本地域の研究のきっかけを与えてくださった愛媛大学の小松正幸教授に感謝いたします。本研究の一部に文部省科学研究費一般(C)(2)(No.14540420, 志村)を使用した。

最後に、産業技術総合研究所の石原舜三博士には本誌に発表の機会を与您とごさり、また同研究所の高橋 浩博士には、本論に対し適切な助言を頂いた、ここに記して感謝いたします。

文 献

- Holdaway, M. J. and Lee, S. M. (1977) : Fe-Mg cordierite stability in high-grade pelitic rocks based on experimental, theoretical, and natural observations. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **63**, 175-198.
- Holtz, F., Johannes, W. and Pichavant, M. (1992) : Peraluminous granites: the effect of alumina on melt composition and coexisting minerals. *Trans. R. Soc. Edinburgh, Earth Sciences*, **83**, 409-416.
- Joyce, D. B. and Voigt, D. E. (1994) : A phase equilibrium study in the system $KAlSi_3O_8$ - $NaAlSi_3O_8$ - SiO_2 - Al_2SiO_5 - H_2O and petrogenetic implications. *Amer. Mineral.*, **79**, 504-512.
- Kerrick, D. M. and Speer, J. A. (1988) : The role of minor element solid solution on the andalusite-sillimanite equilibrium in metapelites and peraluminous granitoids. *Amer. Jour. Sci.*, **288**, 152-192.
- 小松正幸 (1986) : 不均質花崗岩質と変成岩包有物の反応。総研連絡誌「北海道の構造帯」No.1, 15-20.
- 小松正幸・宮下純夫・在田一則 (1986) : 日高変成帯の構成。地団研専報, no.31, 189-203.
- 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. Spec. Pub., no. 43, 487-493.
- 小松正幸・志村俊昭 (1988) : Mg コーディエライト-フログバイト-斜方輝石-石英岩: 最下部トータル岩中の超塩基性包有物の反応 (日高変成帯). 岩鉱学会演旨, 岩鉱, 83, 107.
- 小松正幸・志村俊昭 (1992) : 日高変成帯最下部ザクロ石-シソ輝石トータル岩中の塩基性-超塩基性岩包有物。平成3年度科学研究費(一般C) 研究報告書「日高変成帯のグラニュライト相変成作用と部分熔融の研究」, 4-15.
- Lee, S. M. and Holdaway, M. J. (1977) : Significance of Fe-Mg cordierite stability relations on temperature, pressure, and water pressure in cordierite granulites. *In* Heacock, J.G., ed., *The Earth's Crust, Its Nature and Physical Properties.*, Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr., **20**, 79-94.
- Manning, D. A. C. (1981) : The effect of fluorine on liquidus phase relationships in the system Qz-Ab-Or with excess water at 1kb. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **76**, 206-215.
- Osanai, Y., Komatsu, M. and Owada, M. (1991) : Metamorphism and granite genesis of the Hidaka Metamorphic belt, Hokkaido, Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, **9**, 111-124.
- 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.
- Pichavant, M. (1981) : An experimental study of the effect of boron on a water saturated haplogranite at 1kbar vapor pressure. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **76**, 430-439.
- 志村俊昭 (1992) : 花崗岩質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.
- 志村俊昭 (1999) : 日高変成帯, 含輝石Iタイプトータル岩の成因と原岩の溶融度。地質雑, **105**, 536-551.
- 志村俊昭 (2001) : 日高変成帯, Sタイプトータル岩中の含電気石-紅柱石脈。日本地質学会第108年学術大会演旨, 143.
- 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.
- 志村俊昭・小松正幸・飯山敏道・小山内康人 (1999) : 日高変成帯, Sタイプトータル岩中のザクロ石-斜方輝石グラニュライト包有物。地質学論集, no.53, 21-34.
- 志村俊昭・小松正幸・小山内康人・大和田正明 (1999) : 日高変成帯の最下部地殻の構成岩石。月刊地球, **21**, 152-157.
- 志村俊昭・小松正幸・伝井 哲・大和田正明・高橋 浩 (1997) : 日高変成帯における花崗岩質マグマと壁岩の熱的および化学的相互作用。地質学論集, no.47, 1-12.
- 高橋 浩 (1992) : 日高変成帯札内川上流地域のトータル岩類の岩石学的研究-Sタイプ/Iタイプ花崗岩類の共存関係-。地質雑, **98**, 295-308.
- 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. *Island Arc*, **3**, 182-198.
- Vielzeuf, D. and Holloway, J. R. (1988) : Experimental determination of fluid-absent melting relations in the pelitic system. Consequences for crustal differentiation. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **98**, 257-276.
- Vielzeuf, D. and Montel, J. M. (1994) : Partial melting of metagreywackes. Part I. Fluid-absent experiments and phase relationships. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **117**, 375-393.
- Vielzeuf, D. and Schmidt, M. W. (2001) : Melting relations in hydrous systems revisited: application to metapelites, metagreywackes and metabasalts. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **141**, 251-267.
- SHIMURA Toshiaki (2004) : Variety of S-type granitoids in the Niikappu River area, Hidaka Metamorphic Belt, northern Japan.

< 受付: 2003年5月26日 >