

日高変成帯南部の冷却過程：フィッション・ トラック長測定による検討(予報)

小野昌子*

The cooling history of the southern part of the Hidaka metamorphic belt :
A preliminary study of the confined fission-track length measurements

Masako Ono*

Abstract: The cooling history analysis using the confined fission-track length measurement for zircon and apatite were carried out in the southern Hidaka metamorphic belt, the Sorachi-Yezo belt and the Hidaka belt, central Hokkaido. The fission-track lengths of zircon reveal both the slow-cooling and the weak bimodal patterns, and these of apatite also both the slow-cooling and the bimodal patterns. These results indicate that the studied area underwent either a differential tectonic movement between blocks or hot fluid activity in both zircon and apatite partial annealing zones.

Keywords: Hidaka metamorphic belt, Cooling history, Confined fission track length, Zircon, Apatite, Slow-cooling pattern, Bimodal pattern

はじめに

北海道中軸部には、高温型の広域変成帯である日高変成帯が分布している。日高変成帯は主要変成作用の後、千島海盆のオープニングとそれに続く千島弧の西進に伴って、南への水平滑り・西への衝上という上昇過程を経たとされる

(Komatsu et al, 1989など)。ではこの衝上運動は、1) どのくらい継続し、2) 上昇速度はどの程度だった、のか——この問題について、低温部での冷却史を調べることで条件を与えることが出来る。

フィッション・トラック法の閉鎖温度は、他

1995年5月28日受付, 1995年8月10日受理

*北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻 Department of Earth and Planetary Sciences,
Graduate School of Science, Hokkaido University, Sapporo 060, Japan

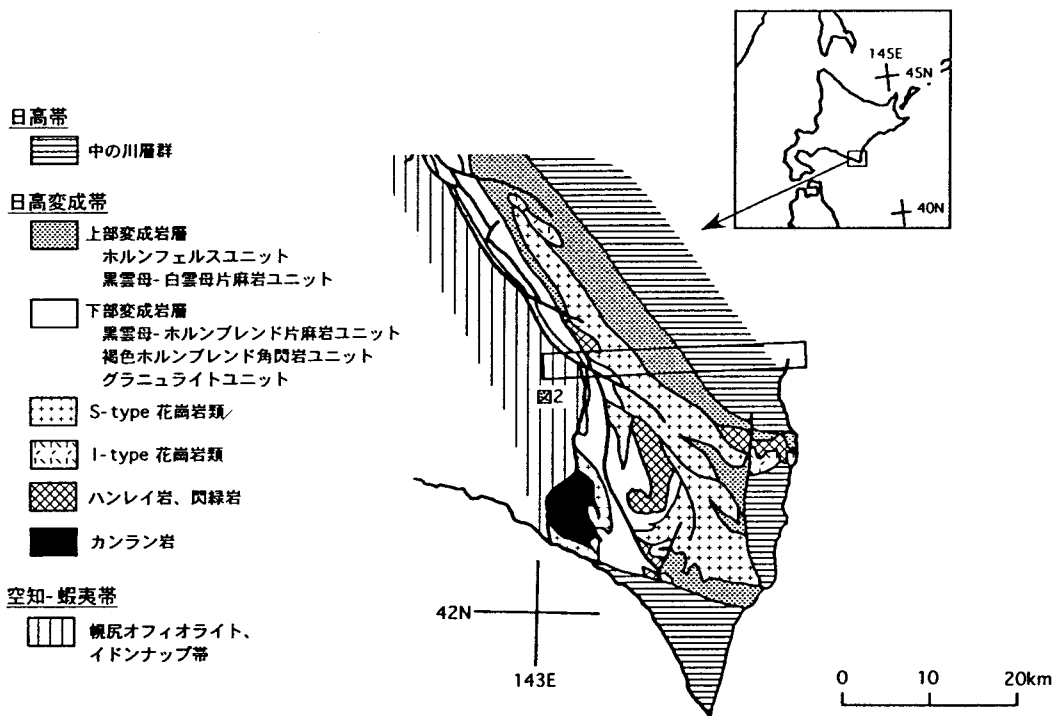


図1. 日高変成帯南部地域およびその周辺の地質概略図. Komatsu and Sakakibara (1992) を簡略化.

の年代測定法に比べるとジルコン $240 \pm 50^\circ\text{C}$ (Hurford, 1986), アパタイト $105 \pm 10^\circ\text{C}$ (Gleadow et al., 1983) と相対的に低い. 加えてトラックの短縮は熱のみによって起こるために, フィッション・トラック年代値, トラック長分布を組み合わせれば, 岩体の 300°C 以下の低温部における温度履歴を詳細に探る手掛かりになる.

筆者は日高変成帯の低温部における冷却史を明らかにすることを目的として, ジルコンとアパタイトを用いたフィッション・トラック年代測定およびトラック長測定を行っている. 今回はその中間報告として, 現在得られているトラック長測定の結果を報告し, 日高変成帯の冷却史を考察する. なお, この論文でもちいた日高変成帯, 幌尻オフィオライトとは, それぞれ小

松ほか(1982)における日高変成帯主帯, 日高変成帯西帯に相当する.

地質概説およびサンプル

日高変成帯は日高山脈に沿って東西10-20km, 南北約150kmにわたって分布する(図1). 変成度は東から西へ向かうにつれて緑色片岩相からグラニュライト相へ次第に上昇しており(小山内, 1985), これらは東上位の地殻の断面を表すとされている(小松ほか, 1982). 日高変成帯の西側は, 日高主衝上断層によって, 変成オフィオライトである幌尻オフィオライト(宮下, 1983), もしくは白亜紀の付加体とされるイドンナップ帯(Kiyokawa, 1992)と接している. また日高変成帯の東側は, 非~弱変成の中の川

層群へと漸移する。中の川層群は白亜紀から古第三紀にかけて形成した付加体であると考えられている(七山, 1992)。

サンプリングは西のイドンナップ帯から東の中の川層群まで横切るように、南部のメナシュンベツ川一楽古岳一札楽古川のルートでの13地点で行った(図2)。調査地域では、日高変成帯西側には日高主衝上断層をはさんで幌尻オフィオライトの薄層が分布し、さらに西側に西縁衝上断層をはさんでイドンナップ帯が分布する。また変成帯東側は、中の川層群へと漸移していく。日高変成帯は、小山内(1985)により西から東へグラニュライト、褐色ホルンブレンド角閃岩、黒雲母-ホルンブレンド片麻岩(以上3ユニ

ットは下部変成岩層)、黒雲母-白雲母片麻岩(片岩)、ホルンフェルス(以上2ユニットは上部変成岩層)の5つのユニットに区分されているが、調査地域にはこのうちグラニュライト、褐色ホルンブレンド角閃岩、黒雲母-白雲母片麻岩(片岩)、ホルンフェルスの4ユニットが分布している。加えて上部変成岩層と下部変成岩層の境界には中部トーナライトがへい入している(小松ほか, 1986)。このうち、採集を行った変成帯中の3ユニットと中部トーナライト、中の川層群、イドンナップ帯のサンプルについて以下簡単に記載する。なおサンプル番号のあたりについてはZやAは、それぞれサンプルからジルコン、アパタイトのいずれが分離できたかを

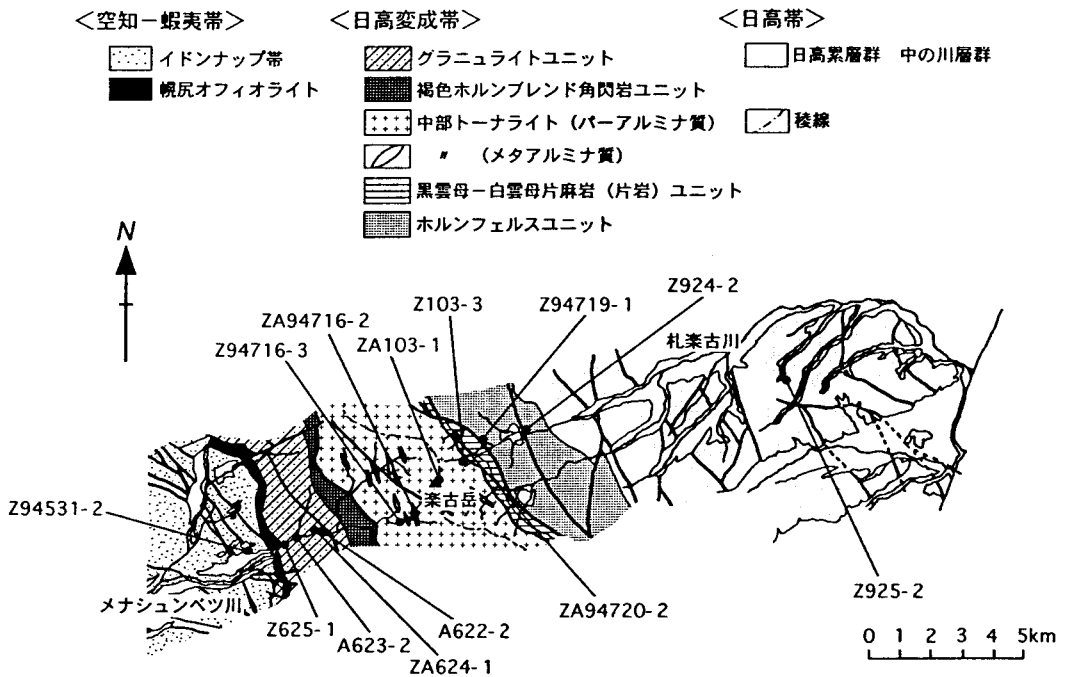


図2. 楽古岳地域の地質図。黒丸はサンプル採集地点を、また試料番号の前のZ, Aはジルコン、アパタイトのどちらが分離できたかを表す。なお、空知-蝦夷帯、日高変成帯、日高帯の分類はKomatsu and Sakakibara (1992)にしたがう。Arita et al. (1993), 酒井・蟹江 (1986), 鈴木ほか (1959), 橋本・武田 (1960) より編図。

あらわす。

グラニュライトユニット：普通角閃石-黒雲母片麻岩(サンプル番号：Z625-1)，ザクロ石-黒雲母-珪線石-キン青石片麻岩(A623-2)，白雲母-黒雲母トーナライト(ZA624-1)，ザクロ石-黒雲母トーナライト(A622-2)を用いた。片麻岩では片麻状構造が発達し，またトーナライトは面構造が見られる。

中部トーナライトユニット：Z94716-3，Z103-3は黒雲母トーナライトであり，ZA103-1は白雲母-黒雲母トーナライトである。ZA94716-2は普通角閃石-黒雲母トーナライトであり，まわりの黒雲母トーナライトにともなって小規模に産する。いずれのサンプルも等粒状～やや斑状の組織を持つ。

黒雲母-白雲母片麻岩(片岩)ユニット：片麻状構造の発達した黒雲母片麻岩(ZA94720-2)を用いた。

ホルンフェルスユニット：西側(高変成度側)のサンプル(Z94719-1)は細粒なホルンフェルスである一方，東側(低変成度側)のサンプル(Z924-2)は，基質中で細粒の黒雲母の生成がみられる変成度の低いホルンフェルスである。

中の川層群(Z925-2)およびイドンナップ帯(Z94531-2)：それぞれ細粒砂岩を採集した。

日高変成帯の黒雲母-白雲母片麻岩ユニットユニット～グラニュライトユニットは，変成温度が300℃付近あるいはそれ以上の温度に達している(Osanai et al., 1991)のために，トラックは一度リセットされている。よってそのフィッシュン・トラック年代，トラック長分布は，変成作用後に上昇する際の，300℃以降の冷却過程を示していると考えられる。さらに Arita et al. (1993)によると，楽古岳付近の日高変成帯のK-Ar年代(Bt, Hbl)は岩種や変成度に関係なくほぼ似た値(16.6～19.1Ma)を示している。現在見ら

れるような変成帯の急傾斜な同斜構造が，この時期にすでに出来上がっていたと解釈されており，フィッシュン・トラック法で示されるのはこれ以降の上昇(冷却)過程になる。ホルンフェルスユニット，中の川層群，イドンナップ帯でも，それぞれ程度の差はあるが黒雲母が生成しており，ある程度の温度上昇があったと考えられる。

実験

サンプルのエッチングとトラック長測定には，京都大学理学部地球惑星科学科の西村研究室のシステムを使用した。

サンプルの準備手順は以下のとおりである。まず重液分離・磁選を行ってジルコンおよびアパタイトを抽出し，マウントして，研磨およびエッチングを行った。エッチングはエッチピット(ジルコンの場合はC軸に垂直なトラックのもの)が径2μmに達するまでとし，ジルコンはKOH-NaOHの共融液，250±1℃で10～20時間，アパタイトは0.6% HNO₃，32.0±1.0℃で3分間ずつ行った。

測定トラックはHasebe et al. (1993)に基づき，track-in-track，track-in-cleavage のうち幅が1±0.5μmの horizontal confined track を対象とした。ジルコンの場合はエッチングおよびアニーリングに異方性があるために，Hasebe et al. (1993) や Yamada et al. (1993) はC軸に対してそれぞれ60°～90° または70°～90°の角度を持つトラックの測定を推奨している。しかしHasebe et al. (1993) によれば，60°以上のみの場合と60°未満を含め全て測った場合との平均長の差は0.2μm以内であるので，先にあげた幅1±0.5μmの horizontal confined track の基準に合うものは全て測定した。

表 1. 日高変成帯, 日高帯中の川層群, イドンナップ帯中のジルコン, アパタイトのコンファインドトラック長測定の結果. N: 測定トラック数, L: 平均トラック長とその標準誤差(μm), 1σ : 標準偏差 (μm).

	サンプル番号	採集位置	岩種	N	L	1σ
ジルコン	Z94531-2	イドンナップ帯	砂岩	38	10.5 \pm 0.2	1.5
	Z625-1	日高変成帯	片麻岩	50	9.9 \pm 0.3	1.8
	Z624-1	"	トーナライト	30	10.5 \pm 0.3	1.6
	Z94716-3	"	"	36	10.3 \pm 0.3	1.7
	Z94716-2	"	"	52	10.6 \pm 0.2	1.5
	Z103-1	"	"	30	10.2 \pm 0.2	1.4
	Z103-3	"	"	32	10.4 \pm 0.4	2.1
	Z94720-2	"	片麻岩	22	9.7 \pm 0.4	2.1
	Z94719-1	"	ホルンフェルス	19	10.2 \pm 0.3	1.2
	Z924-2	"	"	37	9.3 \pm 0.3	1.7
	Z925-2	中の川層群	砂岩	34	9.3 \pm 0.4	2.4
	アパタイト	A623-2	日高変成帯	片麻岩	28	12.5 \pm 0.6
A624-1		"	トーナライト	33	12.9 \pm 0.4	2.4
A622-2		"	"	17	12.6 \pm 0.7	2.8
A94716-2		"	"	27	10.8 \pm 0.8	4.2
A103-1		"	"	59	11.0 \pm 0.4	3.3
A94720-2		"	片麻岩	28	12.0 \pm 0.7	3.5

結果

表 1 にトラック長測定の結果を示し, 図 3 に図示した. このうち測定数が 25 本に満たないサンプルは, 参考として白抜きで示している. 図 3 を見るとジルコン, アパタイトともにどのサンプルでも $6\mu\text{m}$ 以下の短いトラックが検出され, 急冷パターンを示すサンプルは存在しない.

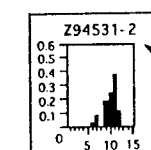
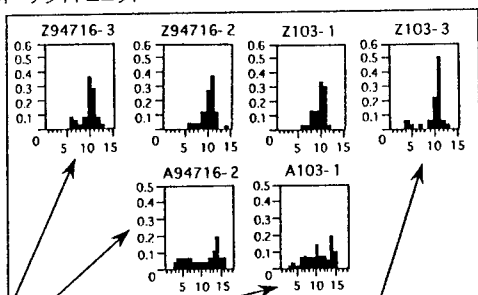
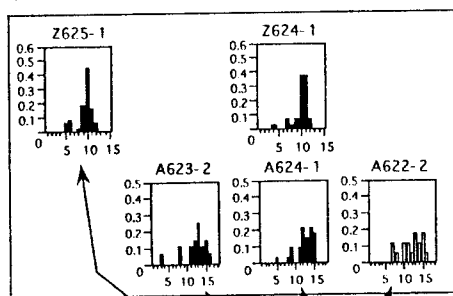
ジルコンは各サンプルとも $10\sim 11\mu\text{m}$ という長いトラック長のピークを持つ. このうち中部トーナライトユニット中央部の Z94716-2, Z103-1, ホルンフェルスユニット中の低変成度側である Z924-2 は, ユニモダルで短い方(左側)に裾を引いた典型的な slow-cooling のパターンを示している. イドンナップ帯の Z94531-2 も, 分布形から slow-cooling のパターンだと思われる. これに比べてグラニュライトユニットの Z625-1, Z624-1, 中部トーナライトの下部側である Z94716-3, 上部側である Z103-3, 中

の川層群の Z925-2 は $5\mu\text{m}$ 前後のところにも小さなピークがあり, バイモダルな分布をしているように見受けられる.

一方, 日高変成帯中のアパタイトは, いずれも $2\sim 17\mu\text{m}$ にわたる幅の広い分布である. $13\sim 14\mu\text{m}$ にピークが見られるが, ジルコンの場合と違って相対度数は 0.2 程度と低くなっている. よって, パーシャルアニーリングゾーン (=PAZ) で強くアニーリングを受けたものと考えられる. このうちグラニュライトユニットの A623-2, A624-1, 中部トーナライトユニット中の A103-1 は, $13\sim 14\mu\text{m}$ のピークから左の方へ裾を引いた格好になっており, slow-cooling パターンを示すと考えられる. それに対して中部トーナライト中の A94716-2, 黒雲母-白雲母片麻岩ユニットの A94720-2 は, それぞれ $5\sim 6\mu\text{m}$, $8\mu\text{m}$ の位置にもピークを持ち, バイモダルな分布を示すように見受けられる.

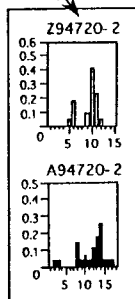
中部トナライトユニット

グラニュライトユニット



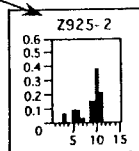
イドンナップ帯

0 1 2 3 4 5 km



ホルンフェルスユニット

黒雲母-白雲母片麻岩ユニット



中の川層群



図3. 日高変成帯, 日高帯中の川層群およびイドンナップ帯から分離したジルコン, アバタイトのフィッシュオントラック長分布. サンプル番号のZ, Aはそれぞれジルコン, アバタイトをあらわす. 測定本数が25本に満たないサンプルは参考として白抜きで示した.

考察

1. ジルコン

日高変成帯の一部やイドンナップ帯のジルコン中には, ユニモーダルで, 10 μ m付近にピークを持ち, 左側に裾を引いたパターンを示すトラック長分布を持つことから, slow-coolingと推定されるサンプルが存在する. しかし日高変成帯のほかの部分や中の川層群中のジルコンには, バイモーダルな分布に見えるサンプルが混ざっている. バイモーダルのサンプルは, 10~11 μ mの位置に最頻値を持っている. このピークの位置は, 急冷サンプルのトラック長平

均値(10.50 \pm 0.04 μ m; Hasebe et al., 1993) や他の slow-coolingパターンのサンプルのピークの位置とほとんど変わらない. 加えて5 μ m付近のピークはいずれも相対度数0.1以下と低いものであることも考慮すると, バイモーダルなパターンを生じる冷却史は2通り考えられる. すなわちひとつめは, 一度岩体がPAZ以下に冷めてからreheatされた場合である. この場合, PAZ内でもかなり高温部まで達したとみられる. ふたつめは, 冷却されてきたサンプルがPAZ内に入った後, 1) PAZ高温部にしばらく滞留, 又は2) PAZ内でいくらかの温度上昇を受ける, こ

とで、最初にできたトラックがより強く短縮してまず $5\mu\text{m}$ 付近のピークが形成され、この後の冷却で $10\mu\text{m}$ 付近のピークができた場合である。

では、バイモーダル的なサンプルがslow-coolingと推定されるサンプルとは違った熱史を経たとすると、なぜこのような冷却様式の違いを生じたのか。考えられる要因を以下に述べる。

(1) 中部トーナライトユニットの中央部(Z94716-2, Z103-1)はslow-coolingパターンであるのに対し、グラニュライトユニットの2サンプル(Z625-1, Z624-1)はバイモーダル的である。これより、例えば中部トーナライトユニットは継続的に岩体が上昇したが、グラニュライトユニットは何らかの原因で段階的に岩体が増したというように、ユニットごとに構造運動の様子が違っていた可能性が考えられる。

(2) Z624-1, Z925-2以外のバイモーダル的なサンプルは、グラニュライトユニット・中部トーナライトユニットの端の部分から採取されたものである。そこで、例えば断層沿いの高温流体の活動の影響などにより、端の部分がユニット中心部と違う熱史を経た可能性も考えられる。

(3) 中の川層群のZ925-2は、先に述べたようにある程度の温度上昇を被っていると考えられる。トラック長グラフがバイモーダルであるとする、1) サンプルがPAZまで熱せられたなら、堆積後にトラックが部分的に短縮を受けた様子を示し、2) PAZを一度越えていれば、すべてリセットされた後の冷却過程を表すことになる。

(4) イドンナップ帯のZ94531-2も、中の川層群Z925-2と同様にある程度の温度上昇を被っていると考えられる。slow-coolingパターンを示すとすると、一度PAZ以上に熱されてからゆっくり冷えたか、あるいはPAZの低温部に達する

まで温度上昇したためにわずかにアニーリングをうけたか、といった原因が考えられる。しかし最頻値の位置はほかのサンプルと同じように急冷サンプルとあまり差がないことから、PAZ以上の高温に達したのちにslow-coolingしたのではないかと考える。

2. アバタイト

グラニュライトユニットのA623-2, A624-1, 中部トーナライトユニットのA103-1はslow-coolingのパターンを示す。しかし、ピーク的位置が $13\sim 14\mu\text{m}$ 付近であり、急冷サンプルの平均トラック長 $14.5\sim 15.0\mu\text{m}$ (Gleadow et al., 1986)に比べて短くなっている、また $3\mu\text{m}$ という短いトラックまで存在する、という二点から、かなり長期にわたるslow-coolingであった可能性が考えられる。いっぽう中部トーナライトユニットのA94716-2, 黒雲母-白雲母片麻岩ユニットのA94720-2は $13\mu\text{m}$ 付近のピークに加えてそれぞれ $5\sim 6\mu\text{m}$, $8\mu\text{m}$ にピークがあり、バイモーダル的である。これは、一度PAZより冷えた後の、PAZでのreheatingを示すと思われる。

slow-coolingパターンを示す原因としては、岩体がゆっくり上昇・冷却したか、あるいは流体の活動のためにPAZ領域の温度が保たれていた、などが考えられる。reheatingパターンのサンプルのほうは、一部段階的に上昇した岩体があった、slow-coolingパターンを示す部分と流体活動の時期や期間が違っていて、一度PAZより冷めた後に流体活動があった、といった原因が考えられる。

今後、年代測定を進める一方でトラック長の測定数を増やし、トラック長分布の形をはっきり見極めること、さらにその分布形がどのような熱史を経た可能性があるのかを吟味する必要

がある。

謝辞

本研究は、北海道大学理学研究科の修士論文としておこなった研究の一部をまとめたものである。北海道大学渡辺暉夫、在田一則両先生には終始御指導頂いた。トラック長の測定にあたっては京都大学田上高広先生ほかの方々に多くの御指導を頂いた。姫路工業大学松田高明先生ほかフィッション・トラック研究会の方々には常日頃御指導頂いた。関係者の皆様に深く感謝いたします。

文 献

- Arita, K., Shingu, H. and Itaya, T., 1993, K-Ar geochronological constraints on tectonics and exhumation of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, northern Japan. *Jour. Min. Pet. Econ. Geol.*, **8** 8, 101-113.
- Gleadow, A. J. W., Duddy, I. R., and Lovering, J. F., 1983, Fission track analysis : A new tool for the evaluation of thermal histories and hydrocarbon potential. *Aust. Petrol. Explor. Assoc. J.*, **2** 3, 93-102.
- Gleadow, A. J. W., Duddy, I. R., Green, P. F. and Lovering, J. F., 1986, Confined fission track lengths in apatite : a diagnostic tool for thermal history analysis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **9** 4, 405-415.
- Hasebe, N., Tagami, T. and Nishimura, S., 1993, Towards zircon fission-track thermochronology : Reference framework for confined track length measurements. *Chem. Geol.*, **1** 10, 1-10.
- 橋本誠二・武田裕幸, 1960, 5万分の1地質図幅「広尾」および説明書。北海道立地下資源調査所, 40p.
- Hurford, A. J., 1986, Cooling and uplift patterns in the Lepontine Alps, South Central Switzerland and an age of vertical movement on the Insubric fault line. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **9** 2, 413-427
- Kiyokawa, S., 1992, Geology of the Idonnappu Belt, central Hokkaido, Japan-Evolution of a Cretaceous Accretionary Complex. *Tectonics*, **1** 1, 1180-1206.
- 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.
- 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, **3** 1, 189-203.
- Komatsu, M., Osanai, Y., Toyoshima, T. and Miyashita, S., 1989, Evolution of the Hidaka metamorphic belt, northern Japan. *J. Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, **4** 3, 487-493.
- Komatsu, M. and Sakakibara, M., 1992, General geology of Hokkaido. In: Komatsu, M., Shibakusa, H., Miyashita, S., Ishizuka, H., Osanai, Y. and Sakakibara, M., Subduction and collision related high and low P/T metamorphic belts in Hokkaido. 29th IGC Field trip C01, 1-61.
- 宮下純夫, 1983, 日高変成帯西帯におけるオフィオライト層序の復元. 地質学雑誌, **8** 9, 69-86.
- 七山 太, 1992, 北海道中軸部南部, "中の川層群"の層序と岩相. 地質学雑誌, **9** 8, 1041-1059.
- 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. 地質学雑誌, **9** 1, 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.
- 酒井 彰・蟹江康光, 1986, 西舎地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 92p.

鈴木 守・橋本誠二・浅井 宏・松下勝秀,
1959, 5万分の1地質図幅「楽古岳」および
説明書. 北海道立地下資源調査所, 70p.
Yamada, R., Tagami, T. and Nishimura, S. , 1993,

Assessment of overetching factor for confined
fission-track length measurement in zircon.
Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), **104**, 251-
259.