阿武隈変成帯, 日立西方地域における十字石の新産地

New occurrences of staurolite in the western Hitachi district,
Abukuma metamorphic terrane, northeastern Japan

廣 井 美 邦 (Yoshikuni HIROI)*
小 林 栄 一 (Eiichi KOBAYASHI)***

Staurolite-bearing pelitic rocks have been newly found at two locations in the western Hitachi district, southernmost Abukuma Plateau, as predicted by Uruno based on his river sand survey. One is a sheared pelitic schist occurring next to the Tamadare metamorphics near Zoso. It is composed mainly of sillimanite, cordierite, biotite, muscovite, plagioclase and quartz with metastable andalusite. Staurolite is relic, being entirely enclosed in cordierite. The other is a pelitic xenolith in the Nishidohira cortlandtite mass, consisting mainly of sillimanite, garnet, biotite, plagioclase, and quartz. Staurolite occurs together with sillimanite and spinel as inclusions in idiomorphic, normal-zoned plagioclase. Thus, staurolite in these rocks is a relict enclosed in other minerals, although the matrix mineral assemblages are distinctly different between these two. Staurolite is additionally found in the Nishidohira andalusite-kyanite-sillimanite porphyroblastic pelitic gneisses. In this case, staurolite occurs as inclusions in garnet and plagioclase, being occasionally associated with kyanite, sillimanite and muscovite.

Keywords: Staurolite, Kyanite, Sillimanite, Andalusite, Mineral texture, Hitachi pelitic schist, Pelitic xenolith in cortlandtite, Cretaceous regional metamorphism, Abukuma terrane

I. はじめに

十字石は一つの重要な変成指標鉱物ではあるが, 産状に基づいた共生関係が明らかになって初めて有用になる。日立西方地域の比較的広い範囲に十字石が産出することは, 川砂中の重鉱物の調査から指摘されている(例えば, 宇留野, 1979)。しかし長谷付近の西堂平変成岩と呼ばれる一群の岩石中の紅柱石・藍晶石・珪線石からなる斑状変晶をもつ泥質片麻岩(以下, AKS片麻岩と略称)を除くと, 十字石はどのような岩石にどのような産状で出現するのかわかり不明であり, したがってその産出の地質学的・岩石学的な意味も不明のままであった。最近, 筆者らは日立西方地域の2地点において, 上記のAKS片麻岩とは別の含十字石岩を

見いだした(Fig. 1)。小論ではこれらの岩石中での十字石の産状を報告し, その出現の意味について若干の考察を行なう。なお比較のため, 筆者らが追認したAKS片麻岩中の十字石についても合わせて報告する。

II. 地質概説

日立地域は阿武隈山地の南端部に位置するが, これは同時に, 先新第三紀東北日本の南端部に位置することにもなる。ここには, 日立変成岩と呼ばれる各種の変成岩が白亜紀の深成岩類とともに広く露出している。日立変成岩は, 多くの場合, 堆積岩や火山岩・火山砕屑岩など一連の上部古生層(藤本, 1925; 杉山, 1972)を原岩とする「日立変成岩プロパー」と原岩の時代は未詳の「玉簾^{たまだれ}変成岩」および「西堂平^{にしどうひら}変成岩」と

(平成7年4月13日受付, 平成7年6月6日受理)

* 千葉大学理学部地球科学教室, 〒263 千葉市稲毛区弥生町1-33

** 現在: 三井金属鉱業株式会社総合研究所, 〒362 埼玉県上尾市原市1333-2

* Department of Earth Sciences, Chiba University, 1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba 263, Japan

** Present address: Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd., Corporate R & D Center, 1333-2, Haraichi, Ageo-shi, Saitama-ken 362, Japan

Fig. 1. Map of Hitachi district, showing generalized geology and the locations of newly found staurolite-bearing rocks.

に区分され (Fig. 1), それぞれが別個の形成史をもつものとされてきた (黒田, 1951; Kuroda, 1959; Kano and Kuroda, 1968; 総研阿武隈グループ, 1969; Watanabe, 1971; 嶋岡・渡辺, 1976; 渡辺・嶋岡, 1977; 渡辺ら, 1978, 1979)。これに対して Tagiri (1971, 1973) や津江ら (1981) は, すべてが一連のものであり, 共通した形成史をもつとしている。一方, 「日立変成岩プロパー」は原岩の時代や岩相層序などの点で南部北上山地に分布する上部古生層に酷似していることが多くの人達によって指摘され, 先新第三紀東北日本の地体構造区分とそれらの相互関係を解明する上で重要視されてきた (例えば, Tagiri, 1973; 田切・大倉, 1979; 梅村・原, 1985)。しかし上述したように, 日立変成岩プロパーと玉簾変成岩や西堂平変成岩との関係も, また同じ阿武隈変成帯内の御斎所・竹貫地域に産出する変成岩 (御斎所変成岩および竹貫変成岩) との関係も未解決のままである。

III. 含十字石岩の新産地

1. 造宗地域 (Fig. 2)

造宗付近に十字石が産出することは, 宇留野 (1979) の川砂調査によって明らかにされている。ここには, 玉簾変成岩と呼ばれる中～粗粒で比較的均質な角閃岩な

いし黒雲母・角閃石片麻岩を主とする岩石群が蛇紋岩類をともなって分布しているが, それは塩基性ないし中性の深成岩起源と考えられている (例えば, 嶋岡ら, 1988; 小林, 1992; 小林ら, 1992)。小林ら (1992) はこの玉簾変成岩に対して 373 ± 53 Ma の Sm-Nd 全岩アイソクロン年代値を報告し, 原岩の深成活動の年代を示すものとした。玉簾変成岩の西方に破碎された細粒の泥質片岩が小規模に露出しているが, これは「日立変成岩プロパー」の一部と考えられる (小林, 1992)。このたび, この泥質片岩中に十字石が少量産出することが確認された。

2. 長谷地域 (Fig. 3)

長谷地域に分布する西堂平変成岩中の AKS 片麻岩に十字石がまれに出現することは, すでにいくつかの研究によって明らかにされている (例えば, Tagiri, 1971, 1973; 嶋岡・渡辺, 1976)。筆者らも AKS 片麻岩に十字石が産出することを追認したが (後述), ここで新しく報告するのは, その西堂平変成岩に貫入しているコートランド岩体中の泥質捕獲岩の一部である (Fig. 4)。この捕獲岩については, 母岩のコートランド岩や角閃石はんれい岩などの記載とともに簡単に記述されている (例えば, Tanaka *et al.*, 1982) が, 十字石の産出は報告されていない。泥質捕獲岩塊は角ばっていることが多く, 見かけ上, 母岩のコートランド岩あるいは角閃石はんれい岩 (マグマ) によって同化された形跡はない。なお, コートランド岩を切る石英閃緑岩岩脈中の黒雲母に対して 83 Ma の K-Ar 年代値が報告されている (Tanaka *et al.*, 1982) が, この値は日立地方の変成岩や花崗岩類に対して報告されてきた 90–120 Ma の値 (河野・植田, 1965; Shibata, 1968; 植田ら, 1969; Watanabe and Bikerman, 1971; 柴田・内海, 1983) よりもやや若い。

IV. 岩石記載と鉱物の化学組成

ここでは, 主として今回新しく見いだされた含十字石岩の構成鉱物の鏡下での産状と EPMA 分析の結果を記述するが, 筆者らが追認した AKS 片麻岩中の十字石についても簡単に記載する。分析に使用した千葉大学地球科学教室の EPMA の機種や方法等は Mori and Kanehira (1984) によって報告されている。EPMA 分析の結果は Table 1 にまとめて示した。

1. 造宗地域の泥質片岩

この岩石は主として珪線石, 紅柱石, 堇青石, 黒雲母, 白雲母, 斜長石, 石英によって構成されており, 少量の十字石, 電気石, ジルコン, 燐灰石, イルメナイ

Fig. 2. Map showing location of newly found staurolite-bearing pelitic schist near Zoso (A part of 1: 25,000 map of "Machiya" published from the Geographical Survey Institute of Japan).

ト, 黄鉄鉱を含む。ザクロ石とカリ長石はまったく見られない。珪線石は繊維状結晶として堇青石中に出現することが多いが, たいていの主要鉱物と直接に接している。これに対して紅柱石は, ほとんど常に, 堇青石に包有された他形粒として見いだされる。これら二つの Al_2SiO_5 鉱物のこのような産状の違いは, 変成条件が紅柱石の安定領域から珪線石のそれへと変化したことを示唆している。

十字石は, 紅柱石と同様に, 堇青石中の細粒で他形の包有物としてごくまれに産出し (Fig. 5a, b), 残晶であることを示唆している。しかしその周辺にヘルシナイトを伴うことはない。この岩石中の十字石の $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ 比は約 0.15 で, 他の岩石中の十字石の同比よりも低い。一方, この岩石の主要な鉄・マグネシウム鉱物である堇青石と黒雲母の $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ 比はそれぞれ 0.62 と 0.44 である。斜長石はほぼ均質で, An 含

有量は 20% 程度である。

2. 長谷地域のコートランド岩中の泥質捕獲岩

この捕獲岩は露頭では角張った岩塊として産出するにもかかわらず, 切断面では細～中粒で不均質なミグマタイト様組織を示す。この不均質性は粒度, 黒雲母と他の鉱物との量比の違い等で強調されている。主要鉱物は珪線石, ザクロ石, 黒雲母, 斜長石, 石英であり, 少量の十字石, ヘルシナイト, コランダム, 電気石, 燐灰石, ジルコン, 磁硫鉄鉱, 黄銅鉱, 石墨が伴われるが, カリ長石はほとんど見いだされない。少量の明らかに二次的なものを除いて, 白雲母も出現しない。珪線石は針状～長柱状の結晶として, 時に数 mm 大の斑状変晶状の集合体を形成しながら産出する。菱形結晶のモザイク状集合体を形成することもある。ザクロ石は, 試料によって, 直径 1 mm 以下から 5 mm 程度までの大きさの斑状変晶として出現する。珪線石や

Fig. 3. Map showing location of newly found staurolite-bearing pelitic xenoliths in the Nishidohira cortlandtite mass near Hase (A part of 1:25,000 map of "Hitachi-ohita" published from the Geographical Survey Institute of Japan).

斜長石、石英を取り込んだポイキロブラストであることが多い。外縁部や割れ目に沿って部分的に黒雲母と斜長石の集合体によって置換されているのが観察されることもある。最外縁部を除いて組成的にはほぼ均質で、 $Mg/Mg+Fe$ 比は約 0.20 である。最外縁部でも特に黒雲母と斜長石の集合体に部分的に置換されたところで、Mn の増加と $Mg/Mg+Fe$ 比の減少が見られる。共存する黒雲母のチタン含有量は TiO_2 にして 3 wt% 前後であり、 $Mg/Mg+Fe$ 比は 0.49~0.50 である。斜長石は、多かれ少なかれ、中心からリムに向かって An 成分含有量が減少する正累帯構造を示す。これは相対的に粗粒な部分で特に顕著であり、しかもその累帯構造は自形性が強い。リムの An 成分含有量は一つの試料中でも部分によって多少異なり、25 ないし 30 モル% である。

十字石は普通の大きさの薄片に 1 粒以上見いだされる程度の頻度で出現する。後に考察するように、高温の接触変成作用を受け、部分融解した可能性の高いこの岩石から、より低温で変成された AKS 片麻岩よりもはるかに高い確率で十字石が見いだされるのは特筆すべきことである。常に斜長石中の他形・細粒包有物として産出し、周辺に珪線石とヘルシナイトを伴うことが多い (Fig. 5c, d)。高温変成岩中の残存鉱物であるにもかかわらず、亜鉛やチタンの含有量は高くない。ホストの斜長石は自形性が強く、十字石を含む中心部分はカルシウムで (約 55 モル% までの An 成分を含む)、25~30 モル% の An 成分含有量の縁部に向かって顕著な正累帯構造を示すことが多い (Fig. 5d)。まれではあるが、石英に富む岩石であるにもかかわらず、二次的な白雲母中に細粒・残晶状のコランダムが出現す

Fig. 4. Geological sketch map of the Nishidohira cortlandtite mass near Hase, showing the location of staurolite-bearing pelitic xenoliths.

ることは注目に値する。

なお、含十字石泥質捕獲岩に密接にともなう、カミングトン閃石 ($Mg/Mg+Fe$ 比はほぼ 0.60)、ザクロ石 (組成はほぼ $Alm_{64}Prp_{22}Sps_5Grs_9$)、黒雲母 ($Mg/Mg+Fe$ 比はほぼ 0.60)、斜長石 (An 成分含有量は 50～55 モル%)、石英、石墨、燐灰石、磁硫鉄鉱などによって構成されたややカルシクな砂質捕獲岩も産出する。カミングトン閃石はザクロ石斑状変晶の内部にもマトリックスにも普通に出現しており、斜方輝石を置換したような二次的なものではない。このほかに塩基性～超塩基性岩、炭酸塩岩などの捕獲岩も産出するが、それらと母岩の記載は別の機会に行なう予定である。

3. 長谷地域の十字石含有 AKS 片麻岩

AKS 片麻岩は繰り返し記載されてきたので (例えば、総研阿武隈グループ, 1969; Tagiri, 1971, 1973; 嶋岡・渡辺, 1976; Watanabe and Shimaoka, 1979), ここでは筆者らが見いだした十字石を中心に記述する。十字石は 2 つの試料で見いだされたが、どちらの場合も、普通の大きさの薄片 10 枚に 1 粒～数粒見いだされる程度の頻度に過ぎない。一方の試料 (K89111405) では斜長石中の、他方の試料 (K89111606) ではザクロ石中の他形包有物として産出

する (Fig. 6)。 $Mg/Mg+Fe$ 比は 0.15～0.20 である。これらの AKS 片麻岩の構成鉱物は紅柱石、藍晶石、珪線石、十字石、ザクロ石のほかに、黒雲母、白雲母、斜長石、カリ長石、石英、電気石、ジルコン、燐灰石、イルメナイト、石墨である。ただしカリ長石はどの薄片にも見られるわけではない。 Al_2SiO_5 鉱物の 3 つの多形の中では珪線石が最も普遍的に出現し、限定された産状を示す紅柱石と藍晶石と対照的である。したがって珪線石が安定相と考えられる。ところで試料 K89111606 中の一つのザクロ石斑状変晶中に、藍晶石が珪線石、十字石、白雲母などとともに不規則に包有されていることは、AKS 片麻岩の経てきた P-T-t パスを解明する上で極めて重要であろう。

V. 考 察

宇留野 (1979) が予告したように、日立西方地域の 2 ケ所から十字石を含む岩石が新たに見いだされ、彼の川砂探査の有効性が改めて証明された。

ところで、十字石産出の地質学的・岩石学的な意味を評価するためには、その産状に基づき、他の鉱物との共生関係を明らかにしなければならない。今回報告した 2 ケ所の十字石はいずれも特定の鉱物中に包有された残晶であり、その産出の意味は限定されよう。一方、それぞれの岩石の野外での産状やマトリックスの鉱物組合せは大きく異なっている。

造岩産の岩石における安定な鉱物組合せは、

珪線石 + 堇青石 + 黒雲母 + 白雲母 + 斜長石 + 石英である。この岩石において十字石が安定に残存しているとすれば、それはシリカに不飽和な環境のためであろう。この岩石では十字石を消費する反応を含め、紅柱石の安定領域から珪線石のそれへと温度上昇にともなう反応が進行したことを示す組織が観察される。しかしこの岩石がかつて藍晶石の安定な高压条件におかれていたことを示す証拠も、また温度上昇にともなう圧力が大きく変化したことを示す証拠も見られない。したがって、たとえこの岩石が付近の白亜紀花崗岩類の接触変成作用を受けたとしても、それによって現在見られるような低压で安定な鉱物組合せに完全に置き換えられてしまったとは考えにくい。むしろ、この岩石はもともと現在の鉱物組合せが安定な程度の低压条件の下で変成されたものと推定される。しかしそれが付近の玉簾変成岩の原岩である深成岩類による接触変成作用なのかどうかは不明である。

一方、長谷のコートランド岩体中の含十字石捕獲岩における安定な鉱物組合せは次の通りである。

Table 1. Representative microprobe analyses of minerals in staurolite-bearing rocks

Rock type	Xenoliths in cordierite										AKS gneiss									
	K91042013										H90040305B									
Sp. No.	K90040310										K89111405									
Mineral	Sta	Crd	Bio	Pla	Sta	Spi	Gar (c)	Bio	Pla (r)	Pla (c)*	Sta	Spi	Gar (c)	Bio	Pla (c)*	Sta	Spi	Gar (c)	Bio	Pla (c)*
SiO ₂	27.06	47.13	34.30	61.82	26.96	0.00	37.87	35.64	62.22	55.22	26.48	0.00	38.27	35.92	53.79	26.69	0.00	38.27	35.92	53.79
TiO ₂	0.72	0.00	2.26	0.00	0.51	0.00	0.00	2.32	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	3.07	0.00	0.00	0.00	0.00	3.07	0.00
Al ₂ O ₃	54.01	32.54	20.06	23.51	55.41	60.55	21.64	19.15	24.34	27.86	56.06	60.61	21.61	17.14	29.19	57.58	60.61	21.61	17.14	29.19
Cr ₂ O ₃	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
FeO*	12.84	8.21	19.44	0.00	11.21	31.81	32.59	18.05	0.00	0.00	11.42	31.27	32.09	18.63	0.00	12.12	31.27	32.09	18.63	0.00
MnO	0.44	0.44	0.23	0.00	0.41	0.39	2.25	0.19	0.00	0.00	0.29	0.34	2.99	0.13	0.00	0.76	0.34	2.99	0.13	0.00
ZnO	1.04	0.00	0.00	0.00	1.54	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	0.97	0.00	0.00	0.00	0.97	0.97	0.00	0.00	0.00
MgO	1.26	7.39	8.62	0.00	1.60	5.83	4.78	10.21	0.00	0.00	1.77	5.49	4.62	10.00	0.00	1.56	5.49	4.62	10.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	4.53	0.00	0.00	0.00	0.00	5.57	10.41	0.00	0.00	0.00	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24	0.00
Na ₂ O	0.00	0.54	0.00	9.04	0.00	0.00	0.00	0.00	8.57	5.65	0.00	0.00	0.00	0.00	4.97	0.00	0.00	0.00	0.00	4.97
K ₂ O	0.00	0.00	10.32	0.08	0.00	0.00	0.00	9.90	0.14	0.14	0.00	0.00	0.00	9.82	0.09	0.00	0.00	0.00	9.82	0.09
Total	97.47	96.25	95.23	98.98	97.64	99.32	100.27	95.46	100.84	99.28	97.19	98.68	100.82	94.82	99.46	99.68	98.68	100.82	94.82	99.46
O	46	18	22	8	46	4	12	12	8	8	46	4	12	22	8	46	4	12	22	8
Si	7.565	4.974	5.265	2.765	7.476	0.000	3.000	5.392	2.738	2.504	7.359	0.000	3.015	5.497	2.441	7.264	0.000	3.015	5.497	2.441
Ti	0.151	0.000	0.261	0.000	0.106	0.000	0.000	0.264	0.000	0.000	0.044	0.000	0.000	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000	0.353	0.000
Al	17.793	4.047	3.628	1.239	18.108	1.993	2.020	3.414	1.262	1.489	18.361	2.005	2.006	3.091	1.561	18.472	2.005	2.006	3.091	1.561
Cr	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000
Fe*	3.001	0.725	2.495	0.000	2.599	0.743	2.159	2.284	0.000	0.000	2.654	0.734	2.114	2.384	0.000	2.759	0.734	2.114	2.384	0.000
Mn	0.104	0.039	0.030	0.000	0.096	0.009	0.151	0.024	0.000	0.000	0.068	0.008	0.199	0.017	0.000	0.176	0.008	0.199	0.017	0.000
Zn	0.215	0.000	0.000	0.000	0.315	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.197	0.020	0.000	0.000	0.000	0.195	0.020	0.000	0.000	0.000
Mg	0.525	1.163	1.972	0.000	0.661	0.243	0.564	2.303	0.000	0.000	0.733	0.230	0.543	2.282	0.000	0.634	0.230	0.543	2.282	0.000
Ca	0.000	0.000	0.000	0.217	0.000	0.000	0.097	0.000	0.263	0.506	0.000	0.000	0.105	0.000	0.555	0.000	0.000	0.105	0.000	0.555
Na	0.000	0.110	0.000	0.783	0.000	0.000	0.000	0.000	0.731	0.497	0.000	0.000	0.000	0.000	0.437	0.000	0.000	0.000	0.000	0.437
K	0.000	0.000	2.019	0.005	0.000	0.000	0.000	1.911	0.008	0.008	0.000	0.000	0.000	1.917	0.005	0.000	0.000	0.000	1.917	0.005
Total	29.376	11.058	15.670	5.009	29.361	3.003	7.991	15.592	5.002	5.004	29.416	2.997	7.982	15.554	4.999	29.500	2.997	7.982	15.554	4.999
Mg/Fe+Mg	0.149	0.616	0.441		0.203	0.246	0.207	0.502			0.216	0.239	0.204	0.489		0.187	0.239	0.204	0.489	

c, core; r, rim

* next to staurolite inclusion

Fig. 5. Photomicrographs of newly found staurolite-bearing pelitic rocks in the western Hitachi district.

a, Cordierite porphyroblast containing anhedral staurolite inclusion in a pelitic schist near Zoso (Sp. K91042013) (plane polarized light); b, *ditto* (crossed nicols); c, idiomorphic and normally zoned plagioclase containing inclusions of staurolite, sillimanite and spinel in a pelitic xenolith (Sp. K90040310) in the Nishidohira cordierite mass (plane polarized light); d, *ditto* (crossed nicols).

珪線石＋ザクロ石＋黒雲母＋斜長石＋石英±カリ長石

周辺に珪線石やスピネルを伴う十字石の産状は、それ自体がシリカに不飽和な環境でも分解し始めていたことを示唆している。また石英に富む岩石であるにもかかわらずコランダムが出現することがあるという事実は、シリカに不飽和な局所的な環境で、何らかのコランダム形成反応が進んだことを示している。現在この岩石にはカリ長石はまれであるが、おそらくそれは白雲母そのものの分解反応であろう。そして、その反応によって生成されたカリ長石は石英や斜長石中の曹長石成分とともに花崗岩質のメルトとなり、抜け去った可能性がある。これは、斜長石が自形的で顕著な正累帯構造やミルメカイト構造を示す場合があることと、岩石が全体に不均質なミグマタイト状組織を示すことから示唆される。

ところで、この岩石は塩基性マグマに捕獲され、その熱によって高温の接触変成作用を受けたに違いない。それでは、どこで捕獲されたのだろうか？ また捕獲される前の状態はどうだったのだろうか？ 一つの可能性は、それが付近の西堂平変成岩に由来することである。AKS片麻岩中の安定な鉱物組合せは、

珪線石＋ザクロ石＋黒雲母＋白雲母＋斜長石＋石英±カリ長石

である。廣井・小林 (1990, 準備中) は、AKS片麻岩中の紅柱石、珪線石、藍晶石の産状やザクロ石の組成累帯構造の解析などを基に、西堂平変成岩は紅柱石の安定領域から藍晶石と珪線石との間の単変反応曲線付近へほぼ等温加圧され、その後、多少等圧加熱されたことと、その加熱はコートランド岩体の貫入による可能性が高いことを指摘している。AKS片麻岩と泥質捕

Fig. 6. Photomicrographs of Nishidohira AKS gneisses.

a, Garnet porphyroblast containing inclusions of kyanite, muscovite, sillimanite, staurolite, tourmaline and other minerals in Sp. K89111606 (plane polarized light); b, enlarged photograph of the area in the rectangular in a (plane polarized light); c, anhedral staurolite inclusion in plagioclase in Sp. K89111405 (plane polarized light); d, *ditto* (crossed nicols).

獲岩から同じ方法 (Thompson (1976) のザクロ石—黒雲母温度計と Newton and Haselton (1981) のザクロ石—斜長石—珪線石—石英圧力計) で見積られる温度・圧力値を比較すると、温度は大きく異なるが、圧力はほぼ同じで、約 5 kb である (Fig. 7)。この点と、捕獲岩ではあるが、捕獲されることによって大きな圧力低下があったことを示唆するような鉱物組織がほとんど見られないことから、捕獲岩はほぼ現在の場 (西堂平変成岩との相対的な位置関係が現状に近いということ) で捕獲されたものと考えられる。泥質捕獲岩中の珪線石結晶の数 mm に達する大きさの集合体は AKS 片麻岩中の AKS 斑状変晶に対応するものかもしれない。

それでは、この高温接触変成作用を受けたはずの岩石から AKS 片麻岩よりもずっと高い確率で十字石が見いだされるのはなぜだろうか？ それは温度上昇の速度とそれに支配された反応のメカニズムの違い (例えば, Walther and Wood, 1984) によると考えら

れる。泥質捕獲岩では、十字石や白雲母それ自体の分解で示唆されるように、マグマによる急激な加熱で、十字石が他の鉱物と反応する条件があまりととのわなかった可能性が高い。一方、貫入岩体から離れていたため相対的にゆっくり加熱された AKS 片麻岩では、十字石を消費する様々な反応が十分に進行し、十字石が残存できる確率が低下したのではないだろうか。

小論で新しく報告した 2 つの岩石は、残晶状の十字石を含むということでは共通していても、その他の特徴はまったく異なっており、異なった条件で変成され、また異なった形成史をたどったものといえよう。このことは逆に、同じ白亜紀の深成岩ではあっても、長谷のコートランド岩体と造宗付近の花崗岩体とはまったく異なる深度で貫入・固結したことを示しているであろう。AKS 片麻岩中の十字石や藍晶石の産状の解析などに基づく AKS 片麻岩の P-T-t 径路については別に報告する予定である。

Fig. 7. P-T diagram showing calculated peak metamorphic conditions of Nishidohira AKS gneisses and staurolite-bearing pelitic xenoliths in the Nishidohira cordierite mass near Hase. Note essentially the same pressure conditions for the both rock groups. The kyanite-sillimanite boundary is after Holdaway (1971). Data sources are Kobayashi (1992) and Hiroi and Kobayashi (in prep.).

謝 辞 本研究を行なうにあたり，筆者らとともに阿武隈研究に取り組み，種々の援助をしてくださった佐藤和彦，後藤淳一，今関理博の各氏をはじめとする元千葉大学学生・院生の皆さんに感謝する。本研究の一部には文部省の科学研究助成費（1460061, 4804067, 5452085, 06302031, 06302029）を使ったことを明記し，関係各位にお礼申し上げる。

引用文献

- 藤本治義 (1925), 日立鉾山付近の片状岩に伴はれる石灰岩の珊瑚化石. 地学雑誌, **36**, 559-561.
- 廣井美邦, 小林栄一 (1990), 西堂平片麻岩中の紅柱石-藍晶石-珪線石集合体の成因; もともとはホルンフェルス中の紅柱石斑状変晶だった? 岩鉱, **85**, 192.
- Holdaway, M.J. (1971), Stability of andalusite and the aluminum silicate phase diagram. *Am. J. Sci.*, **271**, 97-131.
- Kano, H. and Kuroda, Y. (1968), On the occurrence of staurolite and kyanite from the Abukuma Plateau, northeastern Japan. *Proc. Japan Acad.*, **44**, 77-82.
- 河野義礼, 植田良夫 (1965), 本邦火成岩の K-Ar dating (III) - 阿武隈山地の花崗岩類 -. 岩鉱, **54**, 162-172.
- 小林栄一 (1992), 阿武隈変成帯，日立地域西部の地質学的・岩石学的研究. 千葉大学理学研究科修士論文, 75 p.
- 小林栄一, 加々美寛雄, 廣井美邦 (1992), 日立西方に産出する玉簾変成岩の Sm-Nd アイソクロン年代. 岩鉱, **87**, 135-136.
- 黒田吉益 (1951), 日立地方の所謂圧砕性花崗岩及び角閃石片麻岩について - 阿武隈高原の地質学的岩石学的研究 (その 1) -. 地質雑誌, **57**, 135-142.
- Kuroda, Y. (1959), Petrological study on the metamorphic rocks of the Hitachi district, northeastern Japan. *Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. C*, **7**, 1-70.
- Mori, T. and Kanehira, K. (1984), X-ray energy spectrometry for electron-probe analysis. *J. Geol. Soc. Japan*, **90**, 271-285.
- Newton, R.C. and Haselton, H.T. (1981), Thermodynamics of the garnet-plagioclase- Al_2SiO_5 -quartz geobarometer. In: Newton, R.C., Navrotsky, A. and Wood, B.J. (eds.), *Thermodynamics of Minerals and Melts*, Springer-Verlag, New York, pp. 131-147.
- Shibata, K. (1968), K-Ar age determinations on granitic and metamorphic rocks in Japan. Report No. 227, Geol. Surv. Japan, pp. 71.
- 柴田 賢, 内海 茂 (1983), 南部阿武隈山地花崗岩類の角閃石 K-Ar 年代, 岩鉱, **78**, 405-410.
- 嶋岡 博, 渡辺 順 (1976), 先安部族造山期西堂平変成岩類の研究 - その 1. 岩質とその分布状態, 地質雑誌, **82**, 531-542.
- 嶋岡 博, 渡辺 順, 土屋 肇 (1988), 玉簾角閃岩体の複変成作用 - 阿武隈山地の越代 - 高帽山 - 大雄院構造帯の研究 (その 3) -. 地球科学, **42**, 359-370.
- 総研阿武隈グループ (1969), 阿武隈高原の複変成作用. 地質学論集, 4 号, 83-98.
- 杉山新平 (1972), 日立地域より紡錘虫化石の発見. 地球科学, **26**, 173-174.
- Tagiri, M., (1971), Metamorphic rocks of the Hitachi district in the southern Abukuma Plateau. *J. Min. Petr. Econ. Geol.*, **65**, 77-103.
- Tagiri, M. (1973), Metamorphism of Paleozoic rocks in the Hitachi district, southern Abukuma Plateau, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. III*, **12**, 1-67.
- 田切美智雄, 大倉智恵子 (1979), 日立および鶏足山塊地域の変火山岩類, 特にそれらの火成活動場と棚倉構造線について. 地質雑誌, **85**, 679-689.
- Tanaka, H., Kanisawa, S. and Onuki, H. (1982), Petrology of the Nishidohira cordierite mass in the southern Abukuma Mountains, Northeast Japan. *J. Min. Petr. Econ. Geol.*, **77**, 322-344.

- Thompson, A.B. (1976), Mineral reactions in pelitic rocks. II. Calculation of some P-T-X (Fe-Mg) phase relations. *Am. J. Sci.*, **276**, 425-454.
- 津江明宏, 原 郁夫, 梅村隼夫 (1981), 西堂平一日立変成岩類の地質学的関係(予察). 総合研究 A 中生代造構作用の研究連絡誌, No. 3, 255-259.
- 植田良夫, 山岡一雄, 大貫 仁, 田切美智雄 (1969), 本邦変成岩の K-Ar dating (II) — 南部阿武隈山地, 日立変成岩. 岩鉱, **61**, 92-99.
- 梅村隼夫, 原 郁夫 (1985), 阿武隈変成帯の造構作用. 地質学論集, 25 号, 127-136.
- 宇留野勝敏 (1979), 阿武隈山地の川砂中の十字石・藍晶石ほか 2, 3 の耐酸重鉱物. 日本列島の基盤: 加納 博教授記念論文集, 407-429.
- Walther, J.V. and Wood, B.J. (1984), Rate and mechanism in prograde metamorphism. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **88**, 246-259.
- Watanabe, J. (1971), Petrofabric analysis on the basement complex of the southern Abukuma Plateau, Japan. *Pacific Geol.*, **3**, 67-93.
- Watanabe, J. and Bikerman, M. (1971), K-Ar age of the Nishidohira gneiss complex in the Abukuma Mountains, Japan. *Earth Sci. (J. Assoc. Geol. Collob. Japan)*, **25**, 23-26.
- 渡辺 順, 嶋岡 博 (1977), 先安部族造山期西堂平変成岩類の研究—その 2. Petrofabric patterns の解釈—. 地質雑, **83**, 491-507.
- Watanabe, J. and Shimaoka, H. (1979), The Nishidohira metamorphic and Tamadare metamorphic complexes. In: Minato, M., Hunahashi, M., Watanabe, J. and Kato, M. (eds.), Variscan Geohistory of Northern Japan — The Abean Orogeny, Tokai Univ. Press., Tokyo, pp. 22-29.
- 渡辺 順, 高畑裕之, 嶋岡 博, 内山孝二, 町田隆史, 井口 隆 (1979), 阿武隈山地の“越代—高帽山—大雄院構造帯”の研究—その 2. 藍晶石・珪線石・紅柱石・コランダム の共存斑状変晶を多産するフレック片麻岩—. 地球科学, **33**, 319-330.
- 渡辺 順, 嶋岡 博, 内山孝二, 杉山新平, 井口 隆, 高畑裕之, 法山清久 (1978), 阿武隈山地の“越代—高帽山—大雄院構造帯”の研究—その 1. “高帽山 Diaphthoritic Rocks” の地質学上の二, 三の問題. 地球科学, **32**, 15-28.