三郡および三波川変成帯における藍閃石片岩と アクチノ閃石緑色片岩の $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ の比較

Ferric-ferrous ratios of glaucophane schists and actinolite greenschists
of the Sangun and Sambagawa belts, Japan

橋 本 光 男 (Mitsuo Hashimoto)*

In the $\text{Na}_2\text{O} : \text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{CaO} : \text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$ (both by wt.%) diagrams, plots of composition of actinolite greenschists and associated glaucophane schists of the Sangun metamorphic belt are sharply separated from each other, those of the latter schists being distributed in the higher Fe_2O_3 area. Although the boundary is diffuse, the similar trend is observed also for the Sambagawa schists. The boundary for the Sangun schists are located in the lower $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ position than that for the Sambagawa schists, and the stability field, in terms of $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$, of alkali amphibole in basic schist seems to be wider in the former than in the latter belts. The association of calcic and alkali amphiboles are described in a few basic schists of the Sambagawa belt, whereas it is not reported from the Sangun belt. The pressure of metamorphism is inferred to have been higher, though slightly, in the Sangun than in the Sambagawa belts.

三郡変成帯や三波川変成帯は藍閃変成帯であるけれども、藍閃石（広義）を含む岩石の産出は決して多くはない。両変成帯で藍閃石片岩がみいだされるのは、緑泥石帯の高温部からざくろ石帯の低温部であるが (Banno, 1986), そこにおける苦鉄質片岩は一般にアクチノ閃石緑色片岩であって、藍閃石片岩はむしろ少ない。しかも、藍閃石片岩中の藍閃石は藍閃石プロパーであるよりもクロス閃石であることの方が多く、代表的な組合せは緑簾石+クロス閃石（+緑泥石）である（たとえば、Seki, 1958; Hashimoto, 1968; Otsuki and Banno, 1990 など）。これに対して、たとえばフランスカン変成帯では、藍閃石はいろいろな組成の岩石に広く見られ、苦鉄質片岩ばかりでなく、グレイワッケ起源の変成岩などにも生成している（たとえば、McKee, 1962; Ernst, 1965; Ernst *et al.*, 1970 など）。

三郡・三波川変成帯のこのような特徴は、次のように論じられてきた (Miyashiro and Banno 1958; 関, 1958; Iwasaki, 1963; 都城, 1965; Maruyama *et al.*, 1986)。フランスカン変成帯では変成作用の圧力が高く、アルカリ角閃石は藍閃石プロパーからリーベック閃石にいたる広い組成にわたって安定である。これに対して、三郡・三波川変成帯では圧力がやや低いので、

Fe とくに Fe^{3+} に富むアルカリ角閃石だけが安定であり、そのため岩石が Fe^{3+} に富む場合に藍閃石（クロス閃石）が生成するのである。

Brown (1974, 1977)によれば、藍閃石プロパーとゾイサイトという Fe^{3+} に乏しい組合せが酸化状態の低い苦鉄質変成岩に生成するときの条件よりも低い圧力の下では、同様な苦鉄質岩にはアクチノ閃石+ゾイサイトの組合せが生じ、緑簾石+クロス閃石という Fe^{3+} に富む組合せは酸化状態のもっと高い苦鉄質片岩に生成する。したがって、三郡・三波川変成帯のように、典型的な藍閃変成帯よりも圧力のやや低い藍閃変成帯で、クロス閃石片岩とアクチノ閃石緑色片岩が互層して産出する場合、両者は同じ温度・圧力条件で変成作用を受けたのであるが、より酸化的な層ではクロス閃石が生成し、酸化状態の低い層、つまり Fe_2O_3 に乏しい層はアクチノ閃石緑色片岩となったということなのであろう。そして、苦鉄質片岩の $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ とその岩石に藍閃石が生成することとの関係は、変成作用の圧力条件に依存する。

そこで、三郡および三波川変成帯の岩石化学組成の資料によって、この関係を調べてみた。第1図 a および b は、それぞれ三郡変成帯 (Hashimoto, 1968;

* 茨城大学理学部 地球科学教室
〒310 水戸市文京 2-1-1

(平成2年8月3日受付
平成2年10月12日受理)

第1図 三郡変成帯 (a) および三波川変成帯 (b) の藍閃石片岩とアクチノ閃石緑色片岩の $\text{Na}_2\text{O} : \text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$ 比 (wt. %)。

●, 藍閃石片岩; ○, アクチノ閃石緑色片岩; ◐, 藍閃石とアクチノ閃石の両方を含む片岩。両片岩の組成領域の境界は Na_2O 頂点から引かれている。

Nishimura, 1971) および三波川変成帯 (Iwasaki, 1963; Banno, 1964; Ernst *et al.*, 1970; Ishimoto, 1974, Watanabe, 1977) で公表されている苦鉄質変成岩 (SiO_2 50 wt. % 前後) の化学分析値を $\text{Na}_2\text{O} : \text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$ (wt. %) の図にプロットしたものである。前述のように、これらの変成帯で藍閃石片岩が出現するのは緑泥石帯の高温部からざくろ石帯の低温部であって、そこでは岩石は完全に再結晶しており、残留鉱物はみとめられないのが普通である。図にプロットした分析値はいずれもそのような岩石のものである。なお、岩石個々の記載および塩基性片岩の一般的な記載によれば、これらの岩石はすべて緑簾石と緑泥石とを含む。

第1図にみられるように、三郡変成帯においては、わずかな例外を除いて、藍閃石片岩は $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ の高い方に、アクチノ閃石緑色片岩は低い方に分布し、その境界は明瞭である。そして、両片岩とも Na_2O の相

対量には事実上違いはみられない。一方、三波川変成帯では、両方の組成点の混在する狭いゾーンがあって、三郡変成帯の場合ほど両片岩の領域がはっきりとは分かれませんが、傾向は基本的に同じである。すなわち、両変成帯で苦鉄質片岩に緑簾石+藍閃石 (広義) の安定な変成度においては、藍閃石 (クロス閃石) は $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ の高い岩石に生成し、この比の低い岩石には緑簾石+アクチノ閃石が生成していることが読みとれる。

つぎに上掲の分析値につき、 $\text{CaO} : \text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$ (wt. %) の関係を第2図に示す。第1図と同様にこの図においても、藍閃石片岩の組成点は $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ の高い方に、アクチノ閃石緑色片岩のそれは低い方に分布する。そして CaO の相対量には事実上差がない。さらに両者の境界も、三郡変成帯では比較的明瞭であるのに対し、三波川変成帯では組成点の混在する狭いゾーンが認められる。

第2図 三郡変成帯(a)および三波川変成帯(b)の藍閃石片岩とアクチノ閃石緑色片岩の $\text{CaO}:\text{FeO}:\text{Fe}_2\text{O}_3$ 比 (wt. %).
 ●, 藍閃石片岩; ○, アクチノ閃石緑色片岩; ◐, 藍閃石とアクチノ閃石の両方を含む片岩. 両片岩の組成領域の境界は CaO 頂点から引かれている.

ところで、これらの図をくらべてみると、両片岩の組成領域の境界位置は2つの変成帯で明らかに異なっていて、三郡変成帯における境界の方が三波川変成帯のそれにくらべて $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ の低い方にある。つまり、三郡変成帯の苦鉄質片岩における藍閃石(広義)の安定領域は、三波川変成帯のそれよりも $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ に関して広い。

前述のように、藍閃石-リーベック閃石シリーズのアルカリ角閃石の安定領域は、変成作用の圧力の上昇にともなって Fe^{3+} に乏しい方向に拡大していくといわれている。したがって、図に示された両変成帯の違いは、三郡変成帯の方が三波川変成帯よりも高い圧力条件であったことを示すものかもしれない。

Maruyama *et al.* (1986) の考察によれば、低温の塩基性変成岩において緑簾石+藍閃石(+緑泥石)の組合せを生ずる組成範囲は、圧力の低下にともない Fe_2O_3 に富む方に向って狭くなり、かわりに Fe_2O_3 に乏しい組成では緑簾石+藍閃石+アクチノ閃石(+緑泥石)、そしてさらに緑簾石+アクチノ閃石(+緑泥石)の組合せが生ずる。三波川変成帯には緑簾石+藍閃石+アクチノ閃石(+緑泥石)の組合せがいくつか報告されている(Ishimoto, 1974; Watanabe, 1977)。そのうちの3つが第1図および第2図に示されているが、1つは両片岩の境界領域内にあり、他の2つはアクチノ閃石緑色片岩の領域にある。一方、三郡変成帯にはそのような組合せの記載はない。これらのことも三

郡変成帯の方が三波川変成帯よりも圧力条件が高かったことを示すのかもしれない。もっとも、三郡変成岩に藍閃石+アクチノ閃石の組合せが本当でないかどうかは十分確かとはいえず、それはこれからの研究に俟たなければならない。

謝 辞 貴重な助言を寄せられた坂野昇平氏と田切美智雄氏に感謝する。

引用文献

- Banno, S. (1964), Petrologic studies on Sanbagawa crystalline schists in the Bessi-Ino district, central Sikoku, Japan. *J. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II*, 15, 203-319.
- Banno, S. (1986), The high-pressure metamorphic belts of Japan: A review. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 164, 365-374.
- Brown, E.H. (1974), Comparison of the mineralogy and phase relations of blueschists from the North Cascades, Washington, and greenschists from Otago, New Zealand. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 85, 333-344.
- Brown, E.H. (1977), The crossite content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism. *J. Petrol.*, 18, 53-72.
- Ernst, W.G. (1965), Mineral parageneses in Franciscan metamorphic rocks, Panoche Pass, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 76, 879-914.
- Ernst, W.G., Seki, Y., Onuki, H. and Gilbert, M.C. (1970), Comparative study of low-grade metamorphism in the California Coast Ranges and the Outer Metamorphic Belt of Japan. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 124, pp.276.
- Hashimoto, M. (1968), Glaucophanitic metamorphism of the Katsuyama district, Okayama Prefecture, Japan. *J. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II*, 17, 99-162.
- Ishimoto, N. (1974), Regional metamorphism of the Yawatahama district in western Shikoku, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. III*, 12, 279-330.
- Iwasaki, M. (1963), Metamorphic rocks of the Kotu-Bizan area, eastern Sikoku. *J. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II*, 15, 1-90.
- Maruyama, S., Cho, M. and Liou, J.G. (1986), Experimental investigations of blueschist-green-schist transition equilibria: Pressure dependence of Al_2O_3 contents in sodic amphiboles — A new geobarometer. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 164, 1-16.
- McKee, B. (1962), Widespread occurrence of jadeite, lawsonite and glaucophane in central California. *Amer. J. Sci.*, 260, 596-610.
- 都城秋穂 (1965), 変成岩と変成帯. 岩波書店, 東京.
- Miyashiro, A. and Banno, S. (1958), Nature of glaucophanitic metamorphism. *Amer. J. Sci.*, 256, 97-110.
- Nishimura, Y. (1971), Regional metamorphism of the Nishiki-cho district, Southwest Japan. *J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C.*, 203-268.
- Otsuki, M. and Banno, S. (1990), Prograde and retrograde metamorphism of hematite-bearing basic schists in the Sanbagawa belt in central Shikoku. *J. Metamorphic Geol.*, 8, 425-440.
- Seki, Y. (1958), Glaucophanitic regional metamorphism in the Kanto Mountains, central Japan. *Japan. J. Geol. Geogr.*, 29, 233-258.
- 関陽太郎 (1958), 藍閃石質広域変成作用の化学的な特質. 岩鉱, 42, 296-301.
- Watanabe, T. (1977), Metamorphism of the Sanbagawa and Chichibu Belts in the Oshika district, Nagano Prefecture, central Japan. *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, 17, 629-694.