SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

カンラン岩中のchromian spinelのchloriteコロナの生成とその意義

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-01-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 荒井, 章司 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00000200

カンラン岩中の chromian spinel の chlorite コロナの生成とその意義

荒 井 章 司*

Formation of the Chlorite Corona around Chromian Spinel in Peridotite and Its Significance

Shoji ARAI*

In the Ochiai-Hokubo ultramafic complex, southwestern Japan, the chlorite corona around chromian spinel is commonly observed, even if the peridotite is almost free from serpentinization. The corona is double-structured, with the inner Al-rich chlorite and outer Al-poor chlorite. Water supply at 500 to 700 °C selectively hydrated silicates around chromian spinel to form chlorite. Strong hydration in and around the alpine-type chromitite (chromite ore) bodies may have also resulted from the water supply at 500 to 700 °C in the same manner as the chlorite corona around the chromian spinel in peridotite. It is concluded that the strong hydration of the chromitite (chromite ore) is not the cause but the result of the concentration of chromian spinel, which may be largely due to the crystal accumulation at the so-called orthomagmatic stage.

1. はじめに

変質作用又は低温の変成作用を受けたカンラン岩中の chromian spinel（ここでは，Crを多少とも含んだ spinel という広い意味で用いる）のまわりには，chlorite のコロナがしばしばよく発達する。この典型的な例として，岡山県の三郡帯の落合－北房岩体 (Arai, 1975)（図1）のカンラン岩を取り上げ，その chlorite コロナを記載し，成因及びそれに関連した問題を論ずる。

2 落合－北房岩体

Arai（1975）が詳しく記載し，成因を論じている。glaucophane を含む三郡変成岩（Hashimoto, 1968）に囲まれた層状構造を持つレンズ状の超塩基性複合岩体で，lherzolite, dunite, chromitite, wehrlite, olivine clinopyroxenite, clinopyroxenite, olivine websterite よりなる。三郡－山口帯の中の超塩基性岩体の中では，例外的に，蛇紋岩化の程度が低い。

Olivine－clinopyroxene 間の Mg–Fe 分配などから，落合－北房岩体は，最終的に 500－600 ℃で平衡に達している可能性が高いが，その温度でのMg–Fe交換反応は不完全で，鉱物のごく外縁部に限られる。鉱物の中心部をとったペアでは700℃以上の，より高い温度を示す（Arai, 1975）。

1977年10月7日受理

* 静岡大学理学部地球科学教室 Geosci. Inst., Fac. Sci., Shizuoka University, Shizuoka

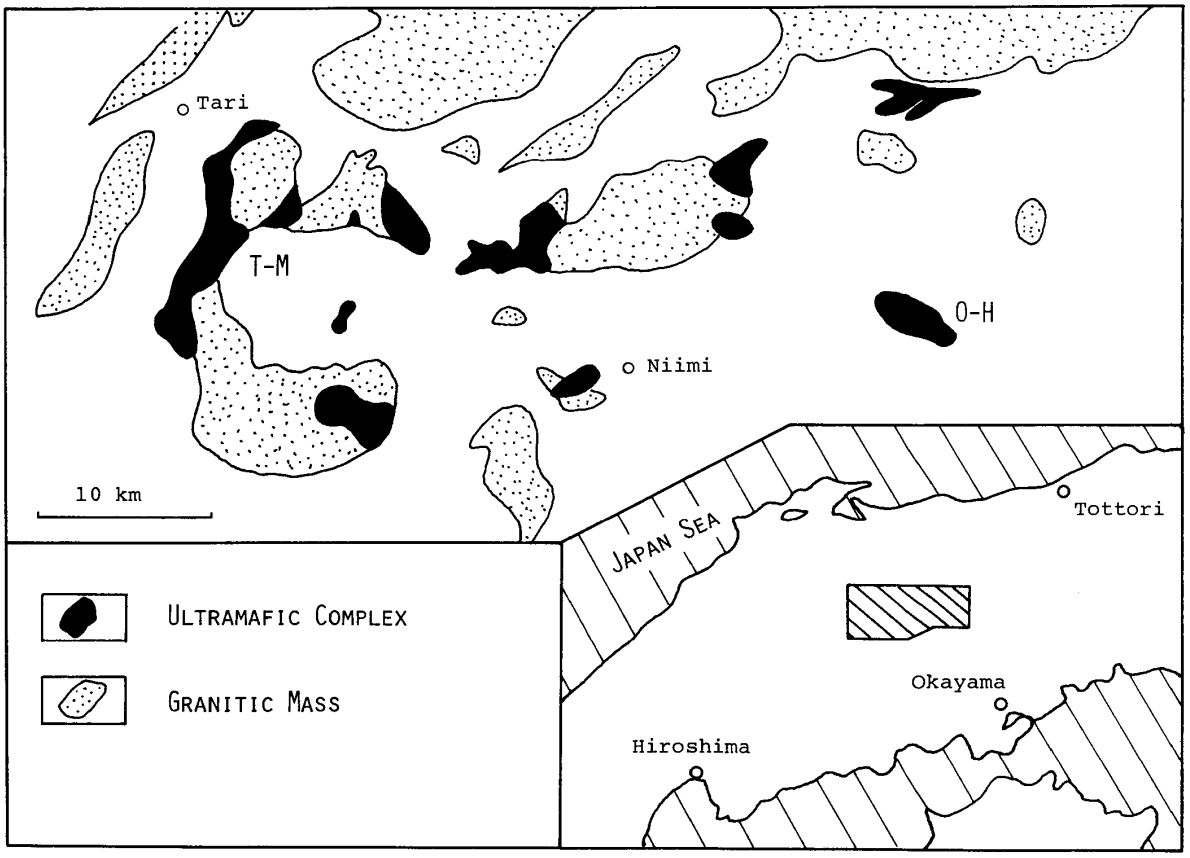


Fig. 1 Distribution of ultramafic complexes in the central part of the Chugoku district. T-M, Tari-Misaka complex; O-H, Ochiai-Hokubo complex.

3. chromian spinel のまわりの chlorite コロナ

3a. 産　状：落合一北房岩体の chromian spinel は，極めて広い化学組成の巾を持っている（Cr／Cr＋Al原子比で0.1－0.8）。しかも，この化学組成の変化は，その母岩の種類とほぼ対応している (Arai, 1975)。即ち，dunite, chromitite は Crに富み，pyroxene が多くなるとAlに富む spinel を含む様になる。これらのうち，Crに富んだ spinel（Al／Cr＋Al 原子比がほぼ0.5以上のもの)は，変質が激しく，そのまわりには，カンラン岩全体として olivine, pyroxene が新鮮な場合でも，例外無く，chlorite のコロナが生成されている。しかもそれは，多くの場合，二重構造（図2）を有している。内側のコロナの chlorite は，暗灰白褐色の異常干渉色を有し，外側のコロナ chlorite は，暗青色の異常干渉色を有するため，二重構造は，顕微鏡下で極めて明瞭に確認できる。

chlorite コロナの生成が完全に進むと，極めてAlに富む spinel は，少量の magnetite, sulfides を残してほぼ完全に消失し，ややCrに富む spinel は，いわゆる ferritchromit, $Fe(Cr, Fe)_3O_4$ に近いものに変化する。即ち，spinel のうち$MgAl_2O_4$ 成分が chlorite 生成のために完全に消費されてしまう。また$MgCr_2O_4$ 成分も一部 chlorite 生成のために消費される事もある。

chlorite コロナの産状の特徴をまとめると次の様になる。

(1) カンラン岩全体としては，極めて新鮮な場合でも，chromian spinel のまわりのみは，多くの場合 chlorite コロナが生じている（即ち，水和作用を受けている）（図2）。

(2) chromian spinel の Cr／Cr＋Al 比がある程度以上高くなると（落合一北房岩体では0.5以上)，chlorite コロナの発達は悪くなる。

(3) chlorite コロナは，二重構造を有しており，更にそのまわりを serpentine が取り囲んでいるのが普

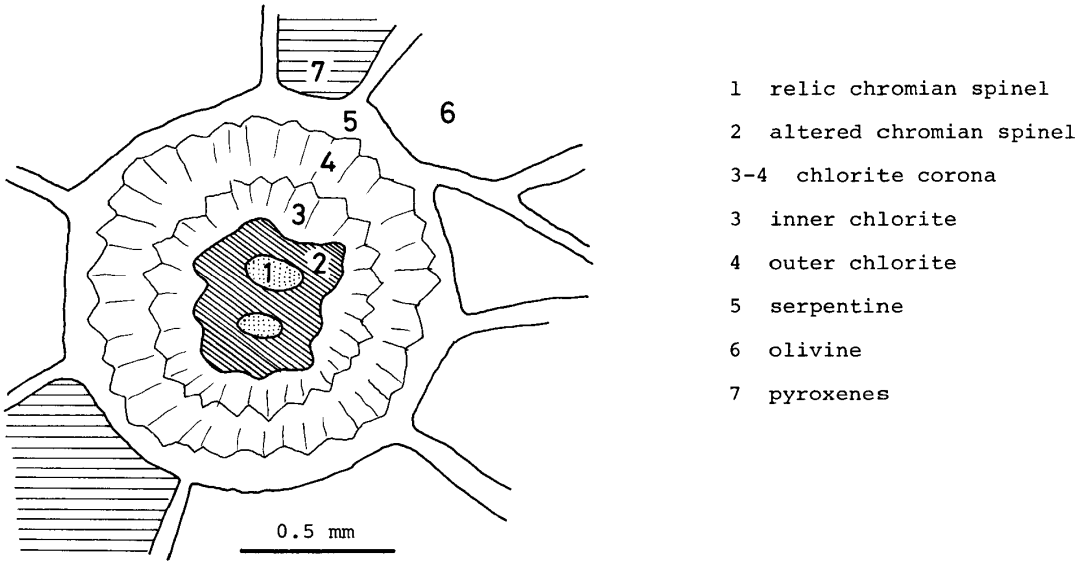


Fig. 2 Sketch of double-structured chlorite corona around chromian spinel in lherzolite of the Ochiai-Hokubo complex.

通である（図２）。

３b. chlorite の化学組成： 化学組成を表１に示す。内側のコロナの chlorite の方が，Alに富み，Siに乏しい。そのほか，内側のコロナの chlorite の方がややMgに富む傾向にあると言える。コロナの外側には，更に serpentine（Mg，Siに富み，Alに乏しい）が存在する（図２）。この様に内側のコロナ→外側のコロナ→ serpentine と，化学組成が規則的に変化している。

図３より明らかな様に，Hey（1954）の命名法

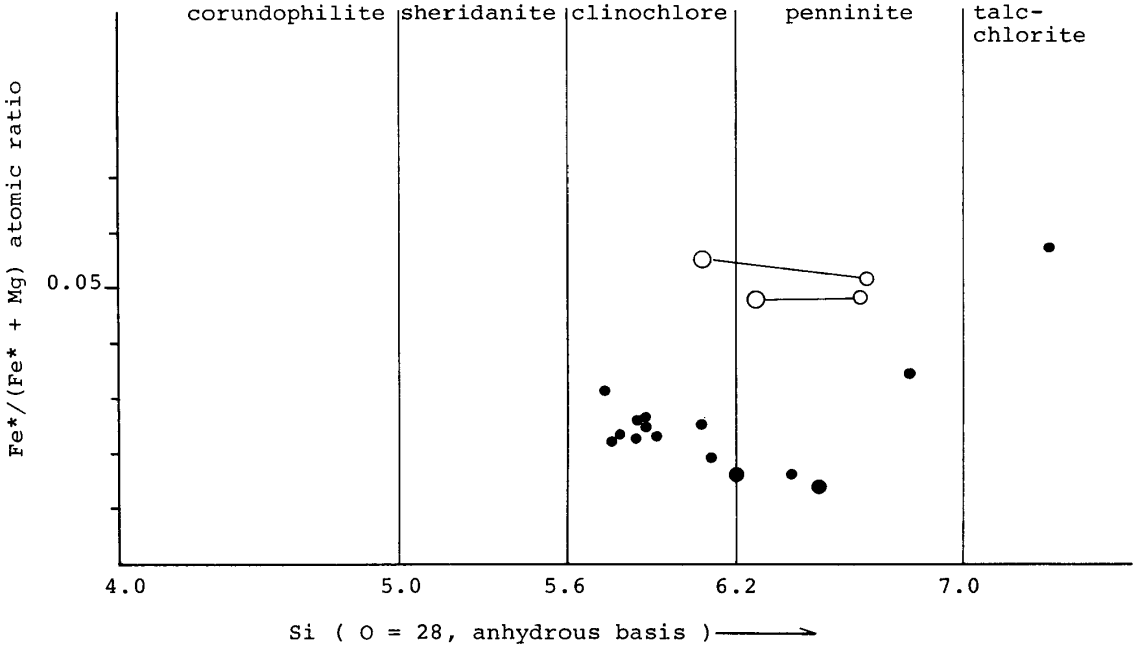


Fig. 3 Si-Fe*/Fe* + Mg relation of chlorite associated with chromian spinel. Large open circle, inner chlorite of corona (Fig. 2); small open circle, outer chlorite of corona (Fig. 2); large filled circle, chlorites in massive chromitite from the Iwanai-dake complex, Hokkaido; small filled circle, chlorites in massive chromitite from the Tari-Misaka complex (Fig. 1). Fe*, total iron. Nomenclature of chlorite is after Hey (1954).

に従えば，コロナの内側の chlorite は clinochlore ないし penniniteであり，外側のものは，典型的な penniniteである。Cr_2O_3は，0.3パーセントまで含まれる。

Table 1 EPMA analyses of chlorites of the corona around chromian spinel in lherzolite from the Ochiai-Hokubo complex. Corrected after Nakamura and Kushiro (1970).

	corona−1		corona−2	
	inner	outer	inner	outer
SiO_2	32.3	34.0	31.0	34.0
TiO_2	0.00	0.00	0.00	0.00
Al_2O_3	14.8	11.2	16.2	10.7
Cr_2O_3	0.07	0.08	0.28	0.30
FeO	3.06	3.19	3.39	3.40
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	34.0	35.3	32.8	35.3
CaO	0.00	0.03	0.01	0.03
Na_2O	0.04	0.01	0.01	0.02
Total	84.3	83.8	83.7	83.8

Number of atom for 0=28

Si	6.274	6.645	0.079	6.672
Al	3.386	2.576	0.741	2.464
Cr	0.010	0.012	0.044	0.046
Fe*	0.497	0.521	0.555	0.558
Mg	9.854	10.30	9.604	10.32
Ca	0.000	0.005	0.002	0.006
Na	0.014	0.006	0.003	0.007
$Mg/Mg+Fe^*$	0.952	0.951	0.945	0.949

FeO*, Fe*; total iron as FeO and Fe , respectively.

4. chlorite コロナの生成

chloriteの安定領域は serpentine より高温側に広がっている（以下，水蒸気圧が全圧に等しいとして議論を進める)。$MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系では，Mg-chlinochlore は，低圧では，700－750℃まで安定である (Fawcett & Yoder, 1966)。serpentine は，$MgO-SiO_2-H_2O$系では，低圧で500℃前後で脱水分解する (Bowen & Tuttle, 1949; Yoder, 1967)。Feが加わると，これらの温度は多少低くなる（例えば，Scarfe & Wyllie, 1967）。chloriteのAlの量は，一般に生成温度に依っているらしい。即ち，生成温度が高い程（Mg，Fe）Si→2Al の置換が進む（例えば Toriumi, 1975)。従って，おそらく，chlorite コロナの内側の，よりAl に富む chloriteは外側のよりAl に乏しい chlorite より高温で生成されたものと思われる。

これらの実験結果と産状等から，chlorite コロナの生成は，次の様に理解できる。

岩体が，500－700℃の温度にあった時，水が供給された。高温のため，serpentine は不安定で，Alが供給され得る chromian spinel のまわりにのみ，chlorite が生成され，水が固定された。更に温度が下がり，再び水が供給され，よりAlに乏しい chlorite が，やはりAl の供給され得る chromian spinel のまわりに生成された。この様にして，500℃以上での二回の水の供給によって二重構造を持ったchlorite コロナが生成され，カンラン岩中の chromian spinel のまわりのみ強く水和作用を受けた。更に温度が低下して，serpentine の安定領域に入って初めて serpentine が olivine, pyroxene の粒界か割目に沿って生成された。これらの関係は，図4の様に，模式的に表現できる。

以上まとめると次の様になる。

(1) chromian spinel を含む超塩基性岩に，serpentine の安定領域以上の温度（ほぼ500℃以上）で水が供給されると chromian spinel の近辺のみ，緑泥石化（即ち，水和作用）を受ける。

(2) 落合—北房岩体は，冷却過程において，3回の主要な水和作用を受けている。即ち，500－700℃の間に二回（chloriteの生成）と500℃以下での serpentine の生成である。

5. alpine-type chromitite 成因論における意義

上に述べた，chromian spinel のまわりのchloriteコロナの生成に対する考察は，従来の日本のalpine-type の chromitite （クロム鉄鉱岩）の成因論と深い関連がある様に思える。即ち，塊状クロム鉄鉱岩（大規模なクロム鉄鉱鉱床はすべてこれに属する）の成因論の上で，従来，〝蛇紋岩化作用〟が重要な位置を占めていた（鈴木，1943；番場，1963)。これは，四国の東赤石カンラン岩体の縞状クロム鉄鉱岩など極小数の例外を除いて，クロム鉄鉱鉱床自身の内部及び周囲は著しい〝蛇紋岩化作用〟を受けて

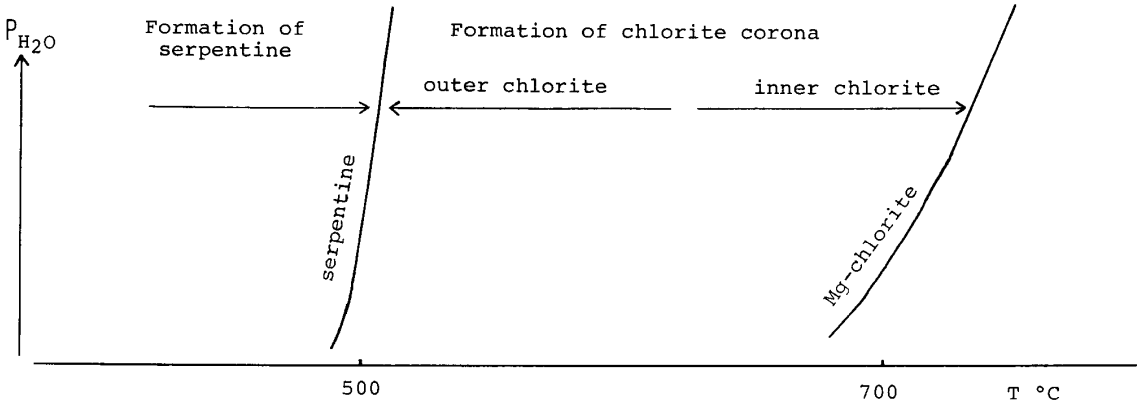


Fig. 4 Schematic representation of the formation of the corona around chromian spinel

いるという事実より主として導かれた結論であった。

鈴木（1943）は，塊状クロム鉄鉱岩 (massive chromitite) は，熱水を含む chromian spinel のクリスタル・マッシュの貫入によって生じた可能性があるとした。そして後にマッシュ中の熱水によって周辺が著しく〝蛇紋岩化〟されたとした。

一方番場（1963）は，日本の chromitite を大きく (1) 正マグマ期に生成されたもの（微粒斑状鉱，縞状鉱），(2) 正マグマ期以後に，種々の程度に chromian spinel が濃集粗粒化したもの，の２つに分け，後者の場合の濃集粗粒化は熱水作用によるものとした。従ってこの場合，chromian spinel の濃集粗粒化において，〝蛇紋岩化〟は本質的なものとなる。

しかし，先に述べた，落合―北房岩体の chromian spinel のまわりのchloriteコロナの産状より明らかな様に，ある温度（およそ 500－750℃）では，水が供給された場合，chromian spinel の周辺のみ水和化が行なわれ，chlorite が生成される。従ってカンラン岩体全体を考えた場合，その様な条件下では，chromian spinel の著しく濃集した chromitite（クロム鉄鉱岩又はクロム鉄鉱鉱床）自身及びその周辺が選択的に chlorite 化される。また，500℃以下で水が導入されれば，serpentine が peridotites, chromitite を問わず広く生成されるであろう。

北海道の岩内岳カンラン岩体（番場，1955）中には，いわゆる粗粒斑状鉱ないし集粒塊状鉱（番場，1963）と呼ばれる chromitite が存在するが，これらに含まれる olivine は，周囲のperidotiteと同様余り〝蛇紋岩化〟は受けていない。しかし，やはり少量の chlorite が olivine と chromian spinel の接する所に生じている。chlorite の化学組成を表２に掲げ，また図３にプロットした。

さて，従来，chromitite の周辺は，強く〝蛇紋岩化〟されていると言われて来たが，実は，番場（1963）も指摘しているが，chromitite には，serpentine と共に chlorite が大量に生じているのが普通である。即ち，〝蛇紋岩化〟は狭い意味でのそれではなくより広い意味で，一般には，〝水和化(hydration)〟の事である。この場合，より高温でchlorite が生じ，次の低温のステージで serpentine が生成されたのであろう。

図３には，三郡帯の多里―三坂カンラン岩体(Arai, 1973) の chromitite 中の chlorite がプロットしてある。また，代表的な分析値を表２に掲げる。多くは，clinochlore であり，Mgに富む（これは，全岩の化学組成の影響による）点を除き，落合―北房岩体の chlorite コロナの内側のものに近い組成（特にAl含有量）を有している（図３）。

alpine-type chromitite 成因論における，正マグマ期以後の chromian spinel の粗粒化はともかく，熱水期における〝chromian spinel の濃集〟は意味不明で，妥当性が無い様に思える。そもそも〝chromitite の生成〟という言葉自体が意味不明確である。番場（1963）が正マグマ期以後（主としていわゆる熱水期）に濃集粗粒化したものとしている，粗粒斑状鉱ないし集粒塊状鉱と呼ばれる chromitite でも，岩内岳カンラン岩体中のものの様に，〝熱水作用〟を受けた形跡の余り見られない，olivine がよく保存され

Table 2 EPMA analyses of chlorites in massive chromitites from the Tari-Misaka complex and the Iwanai-dake complex. Corrected after Nakamura and Kushiro (1970).

No.	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	33.4	37.0	31.4	30.0	30.0	33.6	32.0
TiO_2	0.00	0.27	nd	0.15	nd	0.00	0.01
Al_2O_3	22.0	14.1	20.1	18.1	18.2	14.0	13.3
Cr_2O_3	0.03	1.10	0.00	1.16	1.73	0.33	3.05
FeO*	0.70	2.09	1.36	1.54	1.29	0.80	1.02
MnO	0.04	0.04	0.10	0.00	nd	0.00	0.02
MgO	25.0	32.9	30.2	32.5	32.3	34.9	35.0
CaO	2.34	0.10	nd	0.00	nd	0.00	0.00
Na_2O	0.04	0.08	nd	nd	nd	0.01	0.01
Total	83.6	87.7	83.2	83.7	83.5	83.6	84.4

Number of atom for 0=28

Si	6.397	6.816	6.078	5.850	5.851	6.488	6.210
Ti	0.000	0.037	—	0.022	—	0.000	0.001
Al	4.971	3.069	4.600	4.164	4.190	3.184	3.055
Cr	0.004	0.161	0.000	0.178	0.267	0.050	0.468
Fe*	0.112	0.322	0.221	0.252	0.211	0.130	0.166
Mn	0.006	0.007	0.016	0.000	—	0.000	0.003
Mg	7.138	9.032	8.709	9.446	9.403	10.04	10.12
Ca	0.480	0.019	—	0.000	—	0.000	0.000
Na	0.014	0.120	—	—	—	0.002	0.002
Mg/Mg+Fe*	0.984	0.966	0.975	0.974	0.978	0.987	0.984

FeO* & Fe*, total iron as FeO and Fe, respectively.

**, including 0.29 %of NiO.

nd, not determined.

1 to 5, chlorites in chromitites from the Tari-Misaka complex.

6 & 7, chlorites in chromitite from the Iwanai-dake complex.

たものも存在する。

chromian spinel の濃集は，部分溶融を含めた，広い意味での正マグマ期に帰するのが妥当であろう。基本的には，地球上の物理化学条件下では，溶融体からの分別晶出作用（主として chromian spinel）によるCr^{3+} の濃集以外に，Cr が大規模に濃集する事は無いであろう。しかし，高温高圧のマントルでの固体流動などによる機械的な濃集も補助的な役割を果たしている可能性はある。熱水作用が，chromitite の生成(chromian spinel の濃集）に果たす役割は，ほとんど無いと言える。但し，熱水作用による chlorite の生成により，chromian spinel 中の$MgAl_2O_4$成分が消費され，chromitite の Cr 濃度が高くなる(即ち，鉱床学的に高品位になる）事はある。

以上をまとめると次の様になる。

(1) chromitite （クロム鉄鉱鉱床）の生成（特に(chromian spinel の濃集）は，〝蛇紋岩化作用〞（水和作用）の結果ではなく，原因である。従って，〝蛇紋岩化作用〞（水和作用）と chromitite の成因とは無関係である。

(2) chromitite の生成（特に chromian spinel の濃集）は，いわゆる正マグマ期（chromitite を含めた超塩基性岩が生成された時期）に行なわれたものであろう。固結後の chromian spinel の粗粒化，また機械的な濃集はあり得たであろう。

文　献

ARAI, S. (1973) Compositional variation of olivine in

rocks of the Tari-Misaka ultramafic complex and its interpretaiton. *Proc. Japan Acad.*, **49**, 649–653.

ARAI, S. (1975) Petrology of Alpine-type ultramafic complexes in the Sangun zone, western Japan. *Unpublished thesis, University of Tokyo.*

番場猛夫（1955） 岩内岳橄欖岩体．北海道地質要報，（29），7－14．

番場猛夫（1963） 本邦クロム鉱床の成因的研究．地調報告，（200），1－68．

BOWEN, N.L. and TUTTLE, O.F. (1949) The system MgO-SiO_2-H_2O. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **60**, 439–460.

FAWCETT, J.J. and YODER, H.S., Jr. (1966) Phase relationships of chlorites in the system MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O. Am. Mineral. **51**, 353–380.

HASHIMOTO, M. (1968) Glaucophanitic metamorphism of the Katsuyama district, Okayam Prefecture, Japan. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo,* Sec. II, **17**, 99–162.

HEY, M.H. (1954) A new review of the chlorites. Mineral. Mag. **30**, 277–292.

NAKAMURA, Y. and KUSHIRO, I. (1970) Compositional relations of coexisting orthopyroxene, pigeonite and augite in a tholeiitic andesite from Hakone volcano. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **26**, 265–275.

SCARFE, C.M. and WYLLIE, P.J. (1967) Serpentine dehydration curves and their bearing on serpentinite deformation in orogenesis. *Nature*, **215**, 945–946.

鈴木醇（1943） クロム鉄鉱々床生成に関する一考察．岩石鉱物鉱床学会誌，29，51－62．

TORIUMI, M. (1975) Petrological study of the Sambagawa metamorphic rocks. *Univ. Museum, Univ. Tokyo, Bull.* (9), 1–99.

YODER, H.S., Jr. (1967) Spilites and serpentinites. Yearbook, Carnegie Inst. Wash., **65**, 269–279.