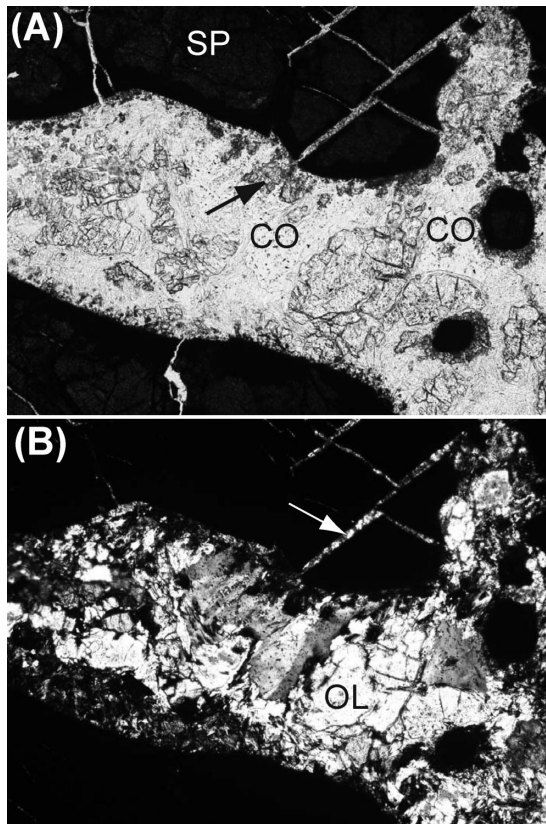


# 若松鉬山とクロム鉬床成因論

荒井章司<sup>1)</sup>

## 1. プロローグ

私は1970年の夏に、卒業論文の調査のために初めて鳥取県日野郡日南町多里に入った。倉敷から乗った伯備線の各駅停車で北上し、生山駅で降り、新屋行きのバスに乗って多里に入った。途中、高梁川の清流の景色がきれいだった記憶がある。卒論では、久城育夫講師(当時)、中村保夫助手(当時)のご指導のもと、多里付近に分布する超マフィック複合岩体(私がのちに、多里-三坂岩体と呼んだ)の研究を行った。中村博士は、番場猛夫氏の古い記載(例えば、番場, 1950)に目を留められ、彼が鳥羽岩体で用いたようなアプローチ(Nakamura, 1971)で私に研究させたいと思われたようであった。橋本旅館さんに陣取った私は地表を歩き回るとともに、当時稼働していた2つのクロム鉬山、広瀬鉬山、若松鉬山の坑道を調査させていただいた。ただし、ターゲットはクロミタイト(クロム鉄鉬岩)ではなく周囲の蛇紋岩、ガブロ(特に後者!)であった。若松鉬山調査の際には、当時青年鉬山技師だった山根俊夫氏にご案内をいただいた。夏休みの私の調査は1ヶ月に及んだ。さて私の卒論研究は、両鉬山で観察される岩石類の関係が説明できず、この後難渋を極めるのであるが、かんらん岩の成因問題が解決したのは修士課程も終了に近づいた1973年の1月のことであった。私にこの解決をもたらした岩石の1つが若松鉬山と日野上鉬山跡で採取したクロミタイトであった。このサンプルにはコーディエライト(堇青石)という変成岩に特有の鉱物が含まれていた(第1図)。かんらん岩やクロミタイトからは世界初の記載であった。これにより、多里-三坂超マフィック複合岩体が広範な変成作用(白亜紀の花崗岩による接触変成作用)を受けていることが明らかになった(Arai, 1975)。かんらん岩(蛇紋岩)の鉱物組み合



第1図 クロミタイト中のコーディエライトの顕微鏡写真。(A) 平行ニコル。(B) 直交ニコル。SP, クロムスピネル。CO, コーディエライト。OL, かんらん石。かんらん石, Al, スピネル(A矢印)。コーディエライトは緑泥石の脱水分解によって生成された。クロムスピネルの割れ目を満たしたかんらん石(B矢印)に注目。このコーディエライトの発見は筆者の修士論文研究の窮地を救った。若松鉬山南5号鉬体。横幅1.2mm。

わせは、花崗岩マグマの貫入による熱により二次的に形成されたものであった。それなのに私は、最初の頃、接触変成かんらん岩を火成岩だと思って調査

キーワード: 多里, 若松鉬山, ボディフォーム・クロミタイト, 成因論, かんらん岩/メルト相互反応, 多里-三坂岩体

1) 金沢大学 理工研究域自然システム学系  
920-1192 金沢市角間町

を行っていたことになる。

また、私はせっかくクロム鉾山を調査していながら、クロミタイト(クロム鉄鉾岩)の成因解明には全く貢献することなく(興味を向けることなく)大学院博士課程に進学した。ここでは、調査範囲を広げたために、クロミタイトとはますます縁遠くなっていた。ただ、かつて坑道で観察したクロミタイトは、その多彩な組織とクロムスピネルの黒々とした光沢により大変印象的な岩石であり、ずっと気にはなっていた。クロミタイトの重要性を認識し、私の研究がクロミタイトの成因論に向かって大きく舵が切られるのは10年以上後のことになる。

## 2. クロミタイトについて

ここで、クロミタイト(クロム鉄鉾岩)について簡単に述べておこう。クロミタイトはクロムスピネルという鉾物を主構成鉾物とする岩石である。クロムに富むスピネルはクロマイトまたはクロム鉄鉾と呼ばれるが、ここではクロムを含むスピネル族の鉾物を総称して、クロムスピネルと呼ぶことにする。クロミタイト(すなわちクロムスピネル)はクロムの資源として、また耐火物の原料として重要である。クロミタイトは産状・成因から主として2つのタイプが知られている。「層状クロミタイト」は地殻中に形成されたいわゆる層状貫入岩体(かつてのマグマ溜まりの化石)中に産し、厚さ数センチのクロミタイト層が何キロも層序的に連続している。従って、探鉾や採鉾は比較的容易である。一方、「ポディフォーム・クロミタイト」はマントルかんらん岩中に不規則な形状で産する。両者の違いはしばしば顕著であり、1960年代から注目されていた。多里地域のクロミタイトはもちろんポディフォームである。

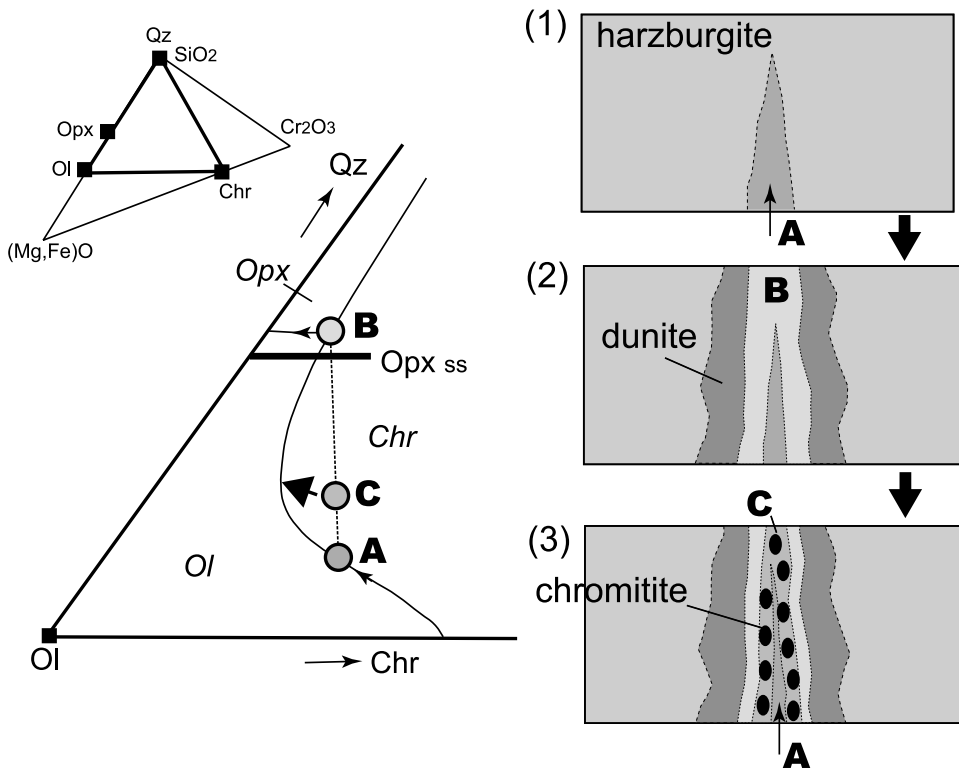
クロムスピネルという鉾物は(Mg, Fe<sup>2+</sup>)(Cr, Al, Fe<sup>3+</sup>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>という一般的な化学式を持つ。このほか、Ti, Zn, Mnなどの元素を含む。このように複数の重要な元素(陽イオン)を含むために鋭敏な岩石成因論的指標として有用である。クロムスピネルでは3価の陽イオン比、特にCrとAlの比の変化が大きく、Cr # [= Cr/(Cr+Al)原子比]という指標がよく使われる。クロミタイトのクロムスピネルはCr #が比較的高い(0.4~0.9、特に0.8前後)ことが特徴であるが、多里地域のクロミタイトではCr #が0.5前後と低い(すなわちAlに富む; Crの鉾石としては品位が低い)のが特徴で

ある。このようなCr #の低いクロミタイトは主として耐火物原料として用いられる。一方、かつては中国地方とならぶクロミタイトの産地であった北海道のものはCr #が高い(0.7~0.8)のが特徴である。

クロミタイトは基本的に玄武岩質マグマからの分別結晶作用で説明されることが主であったが、周囲の岩石との組成差が余りに顕著であるので、液体不混和によるクロミタイトメルト起源も提唱されたことがある。1977年になって画期的なクロミタイト成因論がT.N. Irvineにより提唱された。彼は層状クロミタイトについて、玄武岩質マグマと、周囲の下部地殻の岩石が融解してできた花崗岩質マグマとの混合によりできた二次マグマがクロムスピネルの初相領域に入り、クロムスピネルのみを晶出させクロミタイトが形成されるとした(Irvine, 1977)。ポディフォーム・クロミタイトについてはダナイトに包まれた岩脈(またはパイプ)状にマントルかんらん岩中に産することは示されたが、クロムスピネルの濃集過程に関しては明確な解釈はなされなかった(Lago *et al.*, 1982)。

## 3. 若松鉾山と日本のクロミタイト成因論黎明期

私は、1980年代にずっとマントルの溶融過程やマントルかんらん岩の岩石学を研究していて、クロムスピネルという鉾物が重要な成因指示者であることが分かってきた。さらに、上部マントルにおいてこのクロムスピネルが濃集した岩石であるポディフォーム・クロミタイトはどのようにして形成されるのだろうか? という疑問が湧いてきて、クロミタイトの研究を本格的に開始した。1989年頃に卒論~修論の頃の薄片を見直し、クロムスピネルの形状から、多里地域の若松鉾山や広瀬鉾山でも諸外国の例と同様に、クロミタイトの周囲はダナイトにより包まれていることを確認した。これらの特徴は、接触変成作用のために一見分からなくなっていたのである。この確認は、おそらく我が国では初めてのことで、私はこれが日本におけるクロミタイト成因研究の新たな出発点だと思っている(旧来のクロミタイト研究は、クロミタイトのみを見ていたのである)。それから、ダナイトの成因(ハルツバーガイトとメルトの反応)と結びつけたポディフォーム・クロミタイトのマグマ混合成因モデルを思いついた(第2図)。Irvine (1977)の層状クロミタイト成因モデルをマントルに当てはめたものである。ここでは、2種類のメル



第2図 ポディフォーム・クロミタイトの成因モデル。

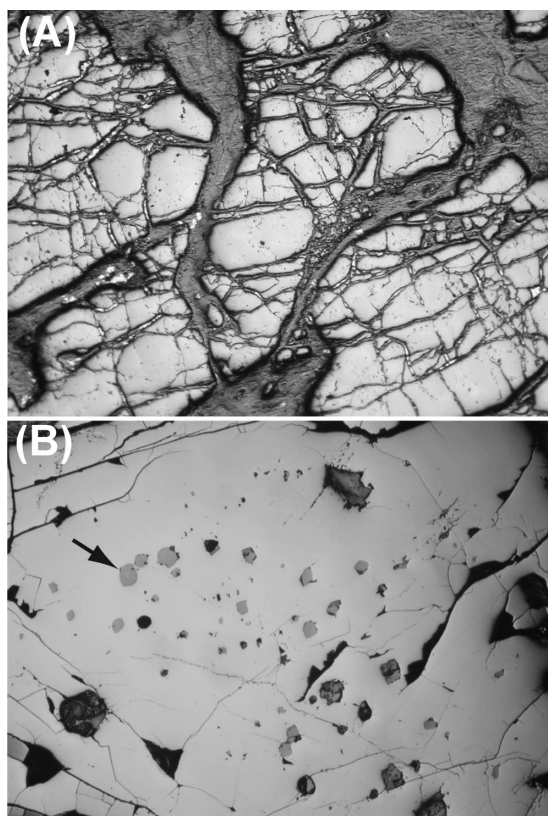
Arai and Yurimoto (1994) で提唱された。(1) ハルツバーガイト中に、より高压で形成されたメルト(A) がもたらされ、(2) ハルツバーガイトと反応し、ダナイトとよりシリカに富むメルト(B) を形成する。(3) さらに次のパルスでもたらされたメルト(A) とメルト(B) が混合し、メルト(C) が形成される。このメルトはクロムスピネル初相領域にあり、クロムスピネルのみを晶出し、クロミタイトを形成する。左側は、Irvine (1977) の提唱したかんらん石-クロマイト(Cr, スピネル)-石英系の相平衡図による説明。Ol, かんらん石, Opx, 斜方輝石。ss, 固溶体。Chr, クロマイト(一般的にクロムスピネル)。

トの混合が重要であるが、シリカに富むメルトはハルツバーガイト中の斜方輝石の分解溶融の結果生じるものと考えた(この結果、ハルツバーガイトがクロミタイトを包むダナイトとなる)(第2図)。

時をほぼ同じくして、通商産業省・金属鉱業事業団で日本のレアメタル資源の再検討が始まり、クロムもその対象となり、私に検討委員として参加の打診があった。私の興味を中心に当時クロミタイト成因論にあり、二つ返事でお引き受けしたのは言うまでもない。平野英雄博士(当時、通産省地質調査所)が委員長を務めた検討会などで、私は、自分の新しい成因論とそれに基づく探査手法を何度も強調した。同和工営株式会社(当時)が担当した中国地方のクロミタイト調

査に初めて参加したのは1992年であった。それ以降の調査期間内で、松本一郎氏らに協力して中国地方の超マフィック岩体やクロミタイトを片端から調査した。その情報収集の中心となったのが若松鉱山であった。私は、若松鉱山および山根俊夫氏との再会を心からうれしく思った。この時期の調査に基づく学問的成果は顕著であり、日本のクロミタイト成因論が大きな発展を遂げ、いくつもの論文が生まれた(例えば、松本ほか, 1995; Matsumoto and Arai, 1997, 2001)。私のクロミタイト成因論もこの時期に一応完成した(Arai and Yurimoto, 1994; Arai and Abe, 1995; Arai, 1997)。また、松本一郎氏のクロミタイト研究による博士号取得(1997年)も大きな副産物であった。





第3図 クロミタイトのクロムスピネルの顕微鏡写真(反射光)。

(A) 若松鉾山7号鉾体のクロミタイト。クロムスピネル(高反射能)には包有物がほとんど見られない。横幅1.5mm, 松本一郎氏提供。(B) 北部オマーン・オフィオライト, ワジ・ラジミのクロミタイト。クロムスピネルは輝石, パーガス閃石, フロゴパイトなどの包有物(矢印)に富んでいる。横幅0.7mm, A. H. アハメド氏提供。

#### 4. 多里で生まれたポディフォーム・クロミタイト成因論

私のポディフォーム・クロミタイト成因論の直接的な情報は、主として若松鉾山、広瀬鉾山の試料から得られたものである。ただし、先に述べた接触変成作用および強度の蛇紋岩化作用のため、多里地域のクロミタイトは成因論を導くのに大変な不利な条件を背負っていたのである。クロミタイトの主要鉾物の1つであるかんらん石は変成作用の産物であり、火成岩鉾物の情報源として使えないので、もう1つの主要鉾物であるクロムスピネルの微量元素を測定し、形成過程を考察した。ポディフォーム・クロミタイトの生成はマント

ルの火成作用、特にかんらん岩とメルトの相互反応の結果であることが示された(Arai and Yurimoto, 1994, 1995)。このクロミタイト成因論は1991年のIAVCEI(キャンベラ)および1993年のIGC(京都)の2つの国際学会で発表され、また荒井(1992)で簡単に触れたのち、Economic Geology(Arai and Yurimoto, 1994)で公表された(第2図)。同じ年にZhou *et al.*(1994)で同じアイデアが示されたのにはびっくりした。Zhou *et al.*(1994)がletterであるのに対して、Arai and Yurimoto(1994)はfull paperであるが、悔しいことに出版されたのは前者が少しだけ先であった。私は1992年には国際学会(IAVCEI, キャンベラ)で公表していたのであるが、新しいアイデアは一刻も早く論文として出版せねばならないことを痛感した。

さらに調べていくと、ポディフォーム・クロミタイトの周囲のかんらん岩は、「やや枯渇したハルツパーガイト(少量の単斜輝石を含み、クロムスピネルのCr #が0.5前後)」であることが多く、クロミタイト形成にとって壁岩の性質が重要であることが分かった(Arai and Abe, 1995; Arai, 1997)。多里地域では、壁岩はクロムスピネルのCr #が0.5前後の単斜輝石を少量含むハルツパーガイトであり(Arai, 1980)、まさに典型的な「ポディフォーム・クロミタイト形成の場」であることが分かる。さらに、唐津高島のアルカリ玄武岩中のポディフォーム・クロミタイトの捕獲岩の発見(Arai and Abe, 1994)および太平洋ヘス・ディーブでのクロミタイト・ポッドの発見(Arai and Matsukage, 1996, 1998)を経て、私の中でポディフォーム・クロミタイト成因論は成熟していった。

あれだけ産状が異なる層状クロミタイトとポディフォーム・クロミタイトではあるが、奇妙な共通点を持っている。クロムスピネルにはしばしば無数の固体包有物(輝石、角閃石、金雲母など)が存在する点である(第3図)。これらの鉾物はNa, Ti, Siなどのいわゆるインコンパティブル元素に富むのが特徴である。ところが不思議なことに、このクロミタイト固有とも言える性質が、多里地域のクロミタイトには全く欠けているのである(第3図)。この理由は今もって不明である。まだまだ明らかにすべきことは残っている。

#### 5. エピローグ

多里地域のクロム鉾山群が「近代化産業遺産群」

に選定されたことはまことに喜ばしいことである。これを機に多里地域に、クロム産地としての産業的価値とはまた別の光が当てられることを願うものである。また、多里地域は、クロミタイト(クロム鉱床)成因論が世界に先駆けて生まれた場所であり、その鉱山群はクロミタイト成因論発祥の地として長く地球科学者の記憶に残るであろう。今にして思うと、若松鉱山がごく最近まで稼働され、我が国唯一のクロム鉱山として維持されていたことは奇跡に近く、関係者の当時のご苦勞が忍ばれる。若松鉱山や広瀬鉱山の坑道でクロム鉄鉱が盛んに採鉱され活気に満ちていた頃を懐かしむとともに、今後のクロミタイト成因論のさらなる発展を願いたい。

#### 文 献

- Arai, S. (1975) : Contact metamorphosed dunite-harzburgite complex in the Chugoku district, western Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 52, 1-16.
- Arai, S. (1980) : Dunite-harzburgite-chromitite complexes as refractory residue in the Sangun-Yamaguchi zone, western Japan. *Jour. Petrol.*, 21, 141-165.
- 荒井章司 (1992) : 上部マントルかんらん岩の岩石学 -いかにマントル・プロセスを読み取るか-. *岩鉱*, 87, 351-363.
- Arai, S. (1997) : Control of wall-rock composition on the formation of podiform chromitites as a result of magma/peridotite interaction. *Resource Geology*, 47, 177-187.
- Arai, S. and Abe, N. (1994) : Podiform chromitite in the arc mantle: chromitite xenoliths from the Takashima alkali basalt, southwest Japan arc. *Mineral. Deposita*, 29, 434-438.
- Arai, S. and Abe, N. (1995) : Reaction of orthopyroxene in peridotite xenoliths with alkali basalt melt and its implication for genesis of alpine-type chromitite. *Amer. Mineral.*, 80, 1041-1047.
- Arai, S. and Matsukage, K. (1996) : Petrology of the gabbro-troctolite-peridotite complex from Hess Deep, equatorial Pacific: implications for mantle-melt interaction within the oceanic lithosphere. *Proc. ODP, Sci. Results* 147, 135-155.
- Arai, S. and Matsukage, K. (1998) : Petrology of a chromitite micro-pod from Hess Deep, equatorial Pacific: a comparison between the abyssal and alpine-type podiform chromitites. *Lithos*, 43, 1-14.
- Arai, S. and Yurimoto, H. (1994) : Podiform chromitites of the Tari-Misaka ultramafic complex, southwestern Japan, as mantle-melt interaction products. *Econ. Geol.*, 89, 1279-1288.
- Arai, S. and Yurimoto, H. (1995) : Possible sub-arc origin of podiform chromitites. *Island Arc*, 4, 104-111.
- 番場猛夫 (1950) : 中国地方脊梁の超塩基性火成岩に就いて. *北海道地質要報*, 14, 1-7.
- Irvine, T.N. (1977) : Origin of chromite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions: A new interpretation. *Geology*, 5, 273-277.
- Lago, B.L., Rabinowicz, M. and Nicolas, A. (1982) : Podiform chromite orebodies: A genetic model. *Jour. Petrol.*, 23, 103-125.
- 松本一郎・荒井章司・村岡弘康・山内英生 (1995) : 三郡帯のダナイト-ハルツ パーサイト-クロミタイト複合岩体の記載岩石学的特徴. *岩鉱*, 90, 13-26.
- Matsumoto, I. and Arai, S. (1997) : Characterization of chromian spinel as a tool of petrological exploration for podiform chromitite. *Resource Geology*, 47, 189-199.
- Matsumoto, I. and Arai, S. (2001) : Morphological and chemical variation of chromian spinel in dunite-harzburgite complexes from the Sangun zone (SW Japan): implications for mantle/melt reaction and chromitite formation processes. *Mineral. Petrol.* 73, 305-323.
- Nakamura, Y. (1971) : Petrology of the Toba ultrabasic complex, Mie prefecture, central Japan. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II*, 18, 1-51.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T. and Bai, W.J. (1994) : Formation of podiform chromitites by melt/rock interaction in the upper mantle. *Mineral. Deposita*, 29, 98-101.

---

ARAI Shoji (2009) : Wakamatsu chromite mine and its contribution to a model for podiform chromitite genesis.

< 受付 : 2009年10月20日 >