

# 三郡帯中国地方中部に位置する多里-三坂超マフィック岩体周辺の 砕屑性クロムスピネルの化学組成

梅田 知幸\*・松本 一郎\*\*

Tomoyuki UMEDA and Ichiro MATSUMOTO

Chemical Characteristics of Detrital Chromian Spinel in and around Tari-Misaka Ultramafic Complex of the Sangun Zone, Central Chugoku District Southwest Japan

## ABSTRACT

There are many ultramafic complexes some of which have chromitite bodies in the Sangun zone in central Chugoku district, Southwest Japan. Almost all complexes are composed of harzburgite, and sometimes found dunite portion and has small amounts of chromitite in it (e.g. MITI,1993,1994; Matsumoto et al., 1995a). Especially, there are largest chromite mines which are Wakamatsu and Hirose in Northern Tari-Misaka. Exploration for podiform chromitite has been difficult, because its occurrence is usually very irregular in ultramafic complex. Matsumoto and Arai (1997) proposed that the petrological exploration for Podiform chromitite by using of spinel chemistry and morphology. This study is good method for exploration of Podiform chromitite in this area. However, in order for a precision to improve chromite exploration, we should increase the number of sample analysis and accurate quantitative study is required. In this study, we use detrital chromian spinel from river sediment in and around the Tari-Misaka ultramafic complex, Sangun zone, Southwest Japan. That is, it is expected that we can increase analysis point greatly by using detrital spinel from the river sediment than that of from the rock specimen. Many spinel (s) from the chromitite origin were recognized by this study in the river near the chromite mines of northern part of Tari-Misaka complex. This result concordant with chromitite formation model (e.g. Arai and Yurimoto, 1994; Zhou et al., 1994; Matsumoto and Arai, 1997). It became clear in particular that detrital spinel is effective as the method for evaluation of chromitite potentiality in this area.

【キーワード：detrital chromian spinel, chromitite, exploration, river sediment, chromitite potentiality】

## 1. はじめに

西南日本内帯の中国地方中部の三郡帯には、マントル構成岩である多数の超マフィック岩体が分布・露出している (Fig.1)。それらの岩体は主にハルツバーガイトから構成されており少量のダナイトを伴い、その一部にポディホーム型クロミタイト（クロム鉱床）が存在することが知られている（例えば、平野ほか、1978；Arai, 1980；松本ら、1995）。クロミタイトはレアメタルの一つであるクロム（Cr）の資源鉱石・岩石であり、クロム資源としては唯一の資源価値のある鉱石・岩石として重要である。ポディホーム型クロミタイトはいつもダナイトに包まれるように産出されることが知られているが、特にダナイトの存在比率が高い岩体ほど、クロミタイトが多く存在している事が松本ほか（1995）や Matsumoto and Arai（1997）によって、三郡帯の超マフィック岩体群の研究により明らかになってきた。日本では、中国地方中部地域の超マフィック岩体である多里-三坂岩体の北部において、かつて日本最大のクロム鉱石産出量を誇ったクロム鉱山である若松鉱山や広瀬鉱山が

存在する。なお、多里地域のこれらのクロム鉱山は平成20年度には経済産業省の「産業遺産群続33」（経済産業省、2009）に認定されている。

しかしながら、これらのクロミタイトは超マフィック岩体中やオフィオライト中のマントルかんらん岩中に不規則に存在するため、1990年代中頃まで明確な岩石学的な探査手法がなかったと言ってよい。Matsumoto and Arai（1997, 2002）は、若松鉱山とその他の岩体の岩石中のクロムスピネル化学組成及び形態等を調べ、ポディホーム型クロミタイトの探査方法の提案に成功した。しかし、ほぼ全ての三郡帯中部地域のかんらん岩は蛇紋岩化作用を受けて変質しており、新鮮な岩石を採取する事ができる露頭が少ないため、定量的なクロムスピネルの化学組成からみた岩相分布の詳細な情報は乏しかったのが現状である。

そこで本研究では、多里-三坂岩体周辺の河川堆積物から砕屑性クロムスピネルを採集・分析を行い、分析点数を大幅に増やす事で、岩相分布の詳細を明らかにする事を目指した。特に、クロムスピネルの分析点数を増やすことにより、クロムスピネルの化学組成の岩相ごとの特徴とクロム鉱床起源のスピネルの数的割合を定量的に

\* 島根大学大学院教育学研究科教育実践開発専攻

\*\* 島根大学教育学部初等教育開発講座

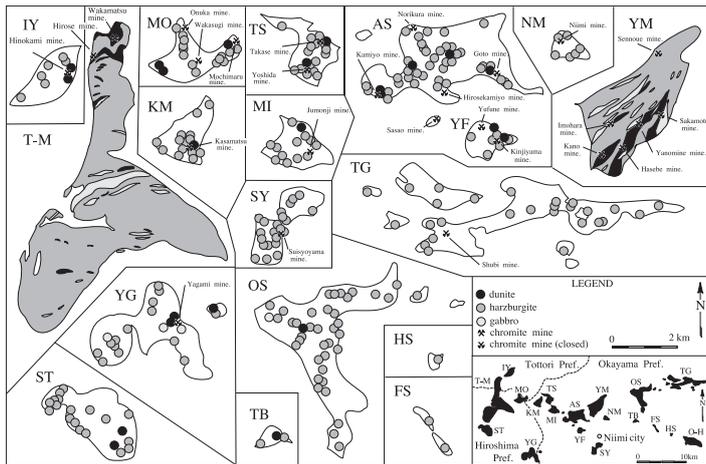


Fig.1 Geological sketch map of the central part of the Sangun zone.

After Hiroshima pref.(1964), Okayama pref. (1963), MITI(1993) and Matsumoto et al. (1995a).

ST:Siratakiyama, T-M:Tari-Misaka, IY:Inazumiyama, MO:Mochimaru, YG:Yagami, KM:Kasamatsu, TS:Takase, MI:Mimuro, AS:Ashidachi, YF:Yufune, YM:Yanomine, SY:Suishoyama, NM:Niimi, OS:Osa, TB:Tajibe, FS:Fuse, TG:Taguchi, HS:Harashige, and O-H: Ochiai-Hokubo-Complexes.

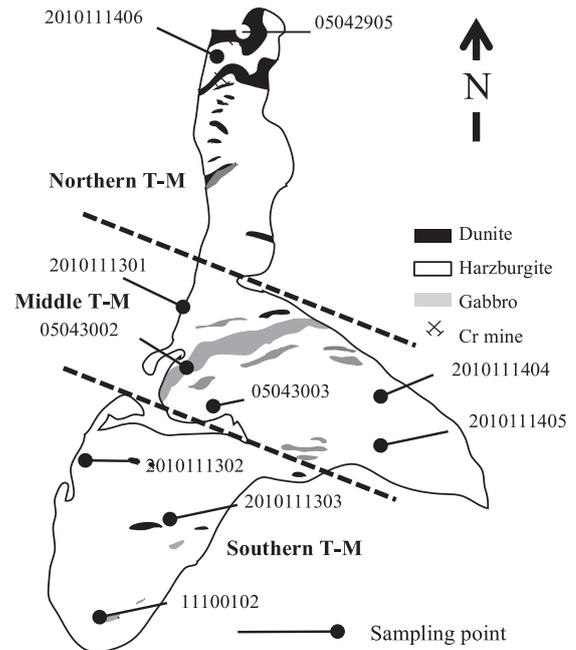


Fig.2 Geological sketch map of the Tari-Misaka ultramafic complex Matsumoto et al.(1995a). The line shows the boundary of Northern, Middle and Southern T-M field.

示す事を目指した。この事により多里-三坂岩体におけるクロム鉱床のポテンシャル評価を定量的に見積もる事ができたためここに報告する。

## 2. クロム鉱床について

クロムスピネルは、塩基性～超塩基性の火成岩中に含まれる副成分鉱物の一つである。クロムスピネルはマントル起源の未分化な玄武岩やかんらん岩中に通常1～3%程度のモード比で含まれており、マントルやマグマの化学的性質を良く表す事でも知られている(例えば, Arai, 1994)。加えて、クロムスピネル(Chromian spinel または Chromite)は経済的価値がある唯一の含クロム鉱物であり、化学式は一般に  $(Mg, Fe^{2+})(Cr, Al, Fe^{3+})_2O_4$  で表される。クロムスピネルを含んでいる地質体・岩体周辺では、クロムスピネルは碎屑性粒子として河川堆積物中に存在しており、しばしばその比重差から河川水の流れ・働きにより堆積物中に堆積・濃集していることがある。

クロミタイトとはクロムスピネルが20～30モード%以上濃集した岩石を示し、和名ではクロム鉄鉱岩とも呼ばれる鉱石にあたる。クロミタイトがある程度の規模でまとまって存在するものをクロム鉱床として記載するが、経済的な価値が見出される規模かどうかは鉱床探査や鉱床のポテンシャル評価では重要となる。

## 3. 地質概説

西南日本、中国地方中部地域三郡帯は、西より、白滝

山岩体(ST),多里-三坂岩体(T-M),稲積山岩体(IY),持丸岩体(MO),矢神岩体(YG),笠松岩体(KS),高瀬岩体(TS),三室岩体(MI),足立岩体(AS),湯舟岩体(YF),矢の峯岩体(YM),水晶山岩体(SY),新見岩体(NM),大佐岩体(OS),田治部岩体(TB),布瀬岩体(FS),田口岩体(TG),原茂岩体(HS),及び落合-北房岩体(O-H)が分布している(図1)(例えば,松本ほか, 1995)。これらの超マフィック岩体は三郡変成岩やいわゆる非～弱変成古生層と接しており(Reserch group of peridotite intrusion, 1967; Igi and Abe, 1969),加えて、白亜紀後期に貫入した花崗岩類により様々な程度に接触変成作用の影響を受けている(Arai, 1975; 松本ほか, 1995)。

これらの超マフィック岩類の大部分は強い蛇紋岩化作用の影響も受けており、初生的な岩石(ダナイト・ハルツバーナイト・レールズライト),の判別が困難になっているために地質図では一般的に蛇紋岩として一括されている。しかしながら、近年、クロム鉱床のポテンシャル評価を目的とした調査・研究が相次ぎ、詳細な地表調査と顕微鏡観察により、ダナイトとハルツバーナイトを主として構成されている事が明らかにされてきた(例えば, 平野ほか, 1978; Arai, 1980; 資源エネルギー庁, 1992, 1993; 松本ほか, 1995a; Matsumoto et al., 1997)。特に、多里-三坂岩体北部には、日本最大のクロム鉱山が存在しており、同岩体の南部や中部、また他の岩体と比較して、岩体北部がダナイト存在比率が明瞭に高いことが示され、ボディフォームクロム型のクロム鉱床モデルの確立に寄与した。

## 4. 研究方法

本研究は、以下に示すように、主に野外調査、試料採取、研磨薄片の作製、EPMAによる分析により行った。

### [野外調査]

国土地理院発行の5万分の1地形図及び松本ほか(1995)による超マフィック岩の初相的な岩相分布図を参考に、多里一三坂岩体中、及び周辺河川から河川堆積物を採集し、パンニングを行う事で重鉱物のみを選択的に採取し、分析試料に供した。採取地点を図2に示す。

### [薄片作成]

採取した試料から、研磨薄片を10枚製作した。

### [EPMA分析]

碎屑性クロムスピネルの鉱物化学的特徴を調べるため、研磨薄片を炭素蒸着したものをを用いてEPMA分析を行った。EPMA分析は島根大学総合理工学部で行い、共同利用の波長分散型マイクロプローブ(EPMA:JEOL JXA-8800M)を用いた。本研究の分析では、1枚の薄片につき、約10~40点程度の分析を行った。測定条件は以下の通りである。

- ・分析した元素…Si, Al, Na, K, Ca, Ti, Fe, Mg, Mn, Cr, Ni
- ・加速電圧…15kV
- ・電流… $2.0 \times 10^{-8}$ A
- ・ビーム系… $5 \mu\text{m}$

## 5. 研究結果

### [野外調査]

試料採取は、2010年11月13~14日、及び2011年10月1日の合計3日間行い、8ヶ所で試料を得る事ができた。なお、2005年4月29日及び30日の試料については分析も含めて菅野(2005)によるものである。以上、本研究では合計5日間で10試料を用いて行った。

### [EPMA分析]

クロムスピネルの化学式は、上記で記したように(Mg, Fe<sup>2+</sup>)(Cr, Al, Fe<sup>3+</sup>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>であり、Cr/Al原子比、Mg/Fe<sup>2+</sup>原子比が大きな変化を示す。そのため、Cr/Al原子比(Cr#)、Mg/Fe<sup>2+</sup>原子比(Mg#)に特に注目した。なお、Arai(1980)、菅野(2005)、Matsumoto and Arai(1997)、松本(未公表データ)を参考に岩相ごとにプロットされたクロムスピネルの元素濃度の特徴からクロミタイト起源のものと超マフィック岩中起源のものの化学組成を区別する線を見出し両者の境界線を予察的ではあるが決定し議論に用いた。つまり、それぞれの組成図上において、境界線によりクロミタイト起源のクロムスピネルと超マフィック岩(ダナイト及びハルツバーガイト)起源のクロムスピネルを分けた。その結果、多里一三坂岩体の北部、中部、南部におけるクロミタイトの存在比率を定量的に数値化できた。なお、多里一三坂岩体は、比較的規模が大きいため、便宜的に北部、中部、南部と分割した。多里一三坂岩体における碎屑性クロムスピネ

ルの総分析点数は279個であり、Cr#、Mg#のそれぞれの平均は0.51と0.63となった。以下、多里一三坂岩体における北部・中部、南部の碎屑性クロムスピネルの分析結果の特徴をまとめると以下のとおりである。

### (1)多里一三坂岩体北部

多里一三坂岩体北部では、クロムスピネルを82個分析する事ができた。その化学組成は、Cr#が0.45~0.65の範囲であり、Mg#が0.45~0.85の範囲となった。またCr#、Mg#の平均はそれぞれ0.52と0.67であった。つまり、クロムスピネルの示すCr#、Mg#の結果より、クロミタイト起源のクロムスピネルの存在が多い事が確かめられた。その存在比率は45.4%(82個中37個)であり、定量的な見積りをはじめて示す事ができた。加えて、Ti含有量は、0.00~0.60であり、平均では0.17であった。また、Fe#は0.00~0.10であり、平均で0.043であった。

### (2)多里一三坂岩体中部

多里一三坂岩体中部では、クロムスピネルを97個分析する事ができた。その化学組成はCr#が0.43~0.60の範囲であり、Mg#が0.50~0.75の範囲であった。またCr#、Mg#のそれぞれの平均は0.51と0.60となった。クロムスピネルのCr#、Mg#の結果より、クロミタイト起源のクロムスピネルの存在比率が求められ、その存在比率は8.2%(97個中8個)と定量的に見積もる事ができた。加えて、Ti含有量は、0.00~0.20であり、平均では0.138であった。また、Fe#は0.00~0.10であり、平均で0.039であった。

### (3)多里一三坂岩体南部

多里一三坂岩体南部では、クロムスピネルを94個分析する事ができた。その化学組成はCr#が0.43~0.65の範囲であり、Mg#が0.35~0.68の範囲であった。またCr#、Mg#のそれぞれの平均は0.50と0.61である。つまり、クロムスピネルのCr#、Mg#の結果より、クロミタイト起源のクロムスピネルの存在比率は1.0%(94個中1個)と定量的に見積もる事ができた。加えて、Ti含有量は、0.00~0.40であり、平均では0.06であった。また、Fe#は0.00~0.08であり、平均で0.025であった。

## 6. 考 察

### 6.1.クロムスピネルの鉱物化学組成

本研究の結果として、比較的ダナイトが多く存在する多里一三坂岩体北部の碎屑性クロムスピネルのCr#(Cr/(Cr+Al))は0.45~0.65に収まる。対照的に、ダナイトの分布がない、もしくはダナイトの分布が少なくハルツバーガイトが卓越している岩体中部、南部の碎屑性クロムスピネルのCr#は0.40~0.60までの組成幅を示し、ダナイトの存在比率の高い多里一三坂岩体北部よりも比較的Cr#が低い事が明らかになった。加えて、比較的クロミタイトが多く分布する岩体のクロムスピネルのCr#とMg#

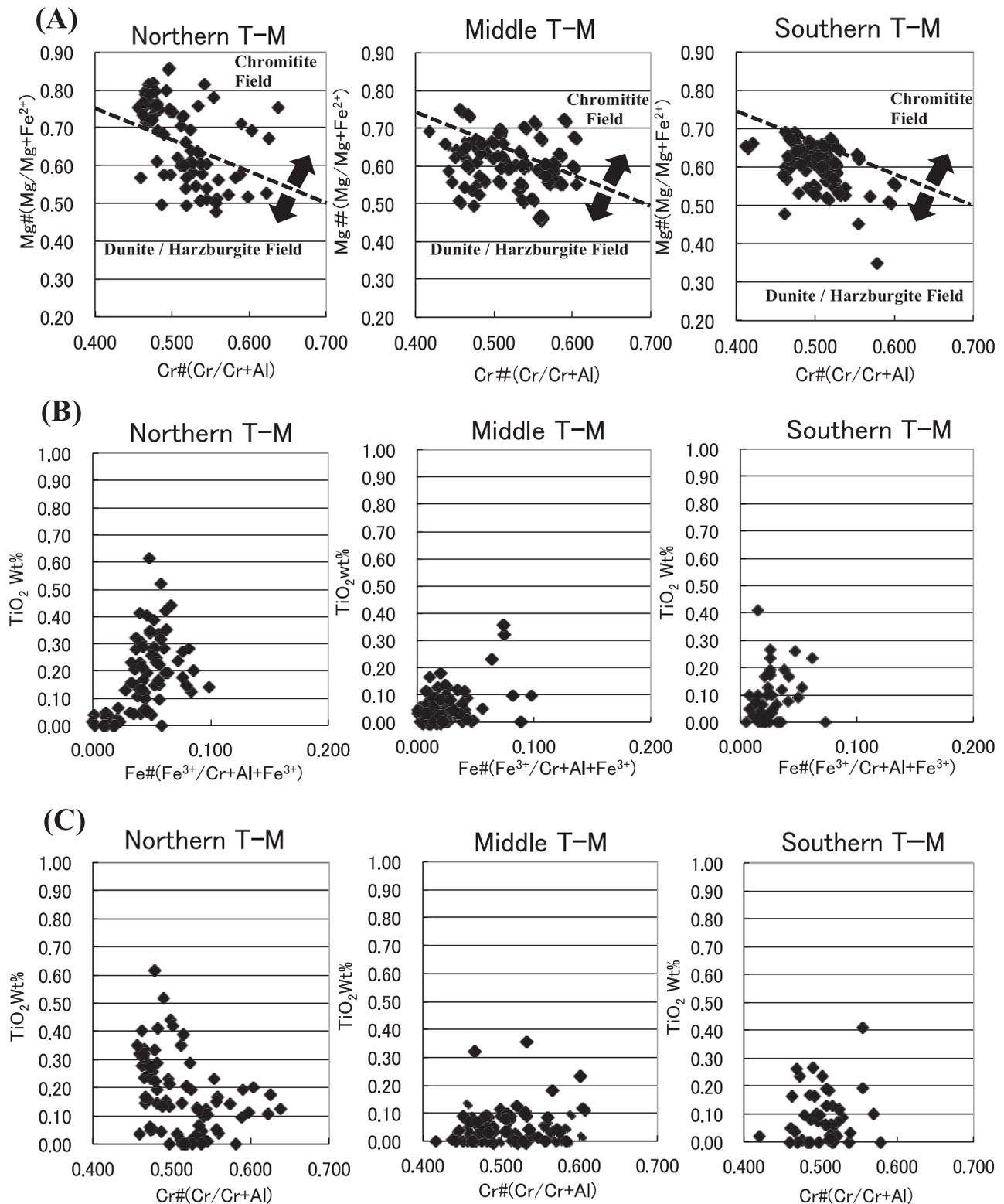


Fig3. Chemical compositions of chromian spinel from the river sediment around Tari-Misaka complex, Sangun Zone.

(A) Cr# vs Mg# atomic ratio in chromian spinel.

\*The line shows the boundary of dunite- harzburgite and chromitite field.

(B) Fe# vs TiO<sub>2</sub> wt% atomic ratio in chromian spinel.

(C) Cr# vs TiO<sub>2</sub> wt% atomic ratio in chromian spinel.

( $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ )は比較的高い数値を示した。これらの結果は基本的にMatsumoto and Arai (1997)と一致している。それに加えて、本研究ではこれらの結果と菅野 (2005), Matsumoto and Arai (1997) 及び、松本 (未公表データ)を用いて、各岩体におけるクロミタイトの存在比率を初めて定量的に数値化して算出する事に成功した。つまり、クロミタイト起源のクロムスピネルと超マフィック岩(ダナイト・ハルツバーガイト)起源のクロムスピネルを鉱物化学的な違いから区別できる事を示した。この結果は、多里一三坂岩体について予察的に行った菅野 (2005)の結果とも整合的であり、岩体の北部、中部、南部のクロムスピネルの分析結果は、クロミタイトの存在比率と関連するものであった。つまり、ダナイトの存在比率が高い多里一三坂岩体北部においては、クロミタイト起源のクロムスピネルの存在比率が44.5%である一方で、同一岩体でありながら、多里一三坂岩体の中部、南部では、ハルツバーガイトの存在比率が高く、クロミタイト起源のクロムスピネルの存在比率はそれぞれ9.2%と1.0%と北部よりも明瞭に低いことが明らかになった。多里一三坂岩体の南部に至っては、ほぼ全てのクロムスピネルが低Mg#, 低Cr#である超マフィック岩起源領域にプロットされる事が示された。つまり、今回の碎屑性クロムスピネルの分析結果からも、多里一三坂岩体には、岩相的な不均質性が認められ、それがクロム鉱床のポテンシャルにも影響を及ぼしているといえる。

これらの結果は、Arai and Yurimoto (1994)のポディホーム型クロミタイト濃集モデルを支持する事にもつながる。Arai and Yurimoto (1994)は、ポディホーム型クロミタイトの成因が基本的にIrvine (1994)が示した大陸地域の層状型クロミタイトの成因論と基本的に同様である事を示した。つまり、マントル中における2種類のメルトの混合(例えば、Irvine, 1975, 1977)が基本的にポディフォーム型クロミタイトの成因の説明に成功した(例えば、Arai and Yurimoto, 1994; Zhou et al., 1994)。また、Matsumoto and Arai (1997)は、ポディホーム型クロミタイトの成因にはマグマ(メルト)とかんらん岩(壁岩)との相互反応の高い岩体・場所ほど、形成されやすい事を三郡帯の岩相分布とクロミタイトの存在比率、スピネルの化学組成や形態から示した。これらのクロミタイト成因論に基づき、本研究の結果からメルトと壁岩(ハルツバーガイト)との反応が進んでいる場所ほど、クロミタイトが形成されやすい事を前提条件として、相互反応の結果がクロムスピネルの化学組成に反映されているとすると、その反応の程度を間接的ではあるが、定量的に示す事にはじめて成功したといえる。つまり、多里一三坂岩体の北部では、マントル中でのマントルメルトの相互反応の程度が比較的高く、クロムスピネルがより濃集し、日本最大のクロム鉱床を形成したが、その反応の程度は本研究で示した碎屑性クロムスピネルによるCr#-Mg#指標図では、45.4%と示す事ができる。

## 6.2. クロミタイトの存在比率算出のためのスピネルのCr#-Mg#図の有効性

ポディホーム型クロミタイトはいつもダナイトによって包まれるように産出される。つまり、マントルメルト相互反応の程度が大きく、置換性ダナイトの存在比率が高い場所・岩体ほど規模の大きなクロミタイト鉱床が存在している事が本研究による碎屑性クロムスピネルの研究結果からも支持される。つまり、マントルメルト相互反応により影響を受けたハルツバーガイトや置換性ダナイトが存在している場所・岩体を抽出する事は、ポディホーム型クロミタイト鉱床を探索する上で、重要である。今回の研究では、クロム鉱床のポテンシャルを評価する上で碎屑性のクロムスピネルを用いる事により数的に多くの分析点数を確保する事ができ、定量的な評価が可能であることが示された。

本研究で注目したのが、多里一三坂岩体である。前述した通り、多里一三坂岩体は便宜的に北部、中部、南部と分けて結果を整理した。その結果、多里一三坂岩体北部のクロムスピネルの化学組成は、中部や南部の結果よりも高Mg#, 高Cr#の値を示し、クロミタイト起源のクロムスピネル存在比率は、45.4%と算出された。このクロミタイト起源のクロムスピネルの存在比率は、かつて多里一三坂岩体北部に日本最大のクロム鉱床である若松鉱山が存在した事実と整合的である。これは、多里一三坂岩体の北部には、ダナイトの分布が多くクロミタイトの存在比率が高い記載事実(松本ほか, 1995)とも良い相関を示している。

以上により、碎屑性クロムスピネルを多里一三坂岩体周辺河川の堆積物から、多量に集め、できるだけ多くの分析データを蓄積する事により、定量的にクロミタイト起源のクロムスピネルと超マフィック岩(ダナイト・ハルツバーガイト)起源のクロムスピネルとを区別する事が本地域において可能である事が示された。つまり、日本最大のクロム鉱床を産した若松鉱山や広瀬鉱山近くでは、クロミタイト起源のスピネルの存在比率がCr#-Mg#指標図上で45.4%として示された。つまり、どの程度のクロミタイトの存在度をもって開発可能であるかは、経済的な状況もあるので科学的な見積もりとは一線を画すことになるが、少なくともこの定量的な値、見積もりは、西南日本の三郡帯においては参考になるものと期待される。

今後は、多里一三坂岩体以外のその他の数多くの超マフィック岩体周辺の碎屑性クロムスピネルの化学的な特徴を明らかにする必要がある。つまり、本研究で明らかになったCr#-Mg#指標図上での定量的なクロミタイトの存在比率を鉱床探索のポテンシャル評価としてまとめ、日本や世界のポディフォーム型クロム鉱床に適用できるような研究を進める必要がある。

## 7. まとめ

三郡帯中部地域に存在する多里一三坂岩体周辺におけ

る碎屑性クロムスピネルの化学分析を行った結果以下の事が明らかになった。

- (1)多里-三坂岩体を便宜的に北部, 中部, 南部に分け, クロミタイト起源のクロムスピネルの存在比率を定量的に数値化し算出する事に成功した。定量化はクロムスピネルのCr#-Mg#関係図を用いて行った。本研究では定量化に用いたスピネルのCr#-Mg#関係図をCr#-Mg#指標図と呼称する。
- (2)Cr#-Mg#指標図上で, クロミタイト起源のクロムスピネルの存在比率を算出した結果, 多里-三坂岩体北部が高い存在比率を示し, これまでのクロム鉱床の成因論や探査法に関する研究結果と整合的なものとなった。加えて, その存在比率を45.4%と初めて定量的に示す事ができた。
- (3)クロム (Cr) は, レアメタル資源の一つであり本研究によってそのポテンシャルを定量的に示す方法が示されたが, 今後は同地域の他岩体や国内外のポディフォーム型のクロム鉱床のデータを集め, その有効性の汎用性を確認する必要がある。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり, EPMA分析では鳥根大学総合理工学部の高須晃先生, 赤坂正秀先生に数々のご配慮を頂いた。また, 鳥根大学教育学部初等教育開発講座の吉田圭輔さん, 橋田真志さん, 林知洋さん, 久光貴知さん, 前田千春さん, 向原将平さんにはデータ処理等で協力していただきました。以上の皆様方に心よりお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 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.
- 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.
- Cameron, E. N. (1964) Chromitite deposits in the eastern part of the Bushveld Complex. In: Haughton, S.H. (Eds.) *The Geology of Some Ore Deposits in South Africa*, II. *Geol. Soc. S. Africa*, 131-168.
- 平野英雄・東元定雄・神谷雅晴 (1978) 鳥取県多里地域の地質とクロム鉄鉱床, *地調月報*, 29, 61-71.
- Igi, S. and Abe, K. (1969) Ultrabasic rocks in the eastern part of the Chugoku Zone, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 20, 39-50.
- Irvine, T.N. (1975) Crystallization sequences in the Muskox intrusion and other layered intrusions-(III). Origin of chromitite layers and similar deposits of other magmatic ores. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39, 991-1021.
- Irvine, T.N. (1977) Origin of chromitite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions: A new interpretation. *Geology*, 5, 273-277.
- 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-ハルツバージャイト-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 Geol.*, 47, 189-199.
- Matsumoto I., Arai, S. and Yamauchi, H. (1997) High-Al podiform chromitites in dunite-harzburgite complexes of the Sangun zone, central Chugoku district, Southwest Japan. *J. Asian Earth Sci.* 15, 295-302.
- Matsumoto I. and Arai, S. (2001) Morphological and chemical variation of chromian spinels in dunite-harzburgite complexes from the Sangun zone (SW Japan) : implications for mantle/melt interaction and chromitite formation processes. *Mineralogy and Petrology*, 73, 305-323.
- 経済産業省 (2009) 近代化産業遺産群続33. 経済産業省「近代化産業遺産群続33」報告書, 127p.
- Research Group of Peridotite Intrusion (1967) Ultrabasic rocks in Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, 73, 543-553.
- 菅野道崇 (2005) 三郡帯の超マフィック岩体周辺流域に分布する碎屑性クロムスピネルの鉱物化学.鳥根大学教育学部卒業論文,pp77.
- 通商産業省資源エネルギー庁 (MITI) (1992) 平成3年度希少金属鉱物資源の賦存状況調査報告書・道後山地域, pp140.
- 通商産業省資源エネルギー庁 (MITI) (1993) 平成4年度希少金属鉱物資源の賦存状況調査報告書・道後山地域, pp204.
- 通商産業省資源エネルギー庁 (MITI) (1994) 平成5年度希少金属鉱物資源の賦存状況調査報告書・道後山地域, pp113.
- 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.

Table1 microprobe analyses of chromian spinel from Northern Tari-Misaka complex. FeO\*,total iron as FeO.  
Cationic fractions in spinel were calculated assuming spinel stoichiometry. Cr#, Cr/(Cr+Al) atomic ratio;  
Mg#, Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Fe<sup>3+</sup>#, Fe<sup>3+</sup>/(Cr+Al+Fe<sup>3+</sup>)atomic ratio.

No.	Sp111406b-2-2	Sp111406b-2-3	Sp111406b-3-1	Sp111406b-3-2	Sp111406b-5-1	Sp111406b-5-2	Sp111406b-6-2	Sp111406b-7-1	Sp111406b-8-1	Sp111406b-9-1
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.23	0.19	0.04	0.17	0.04	0.15	0.04	0.13	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.22	23.23	24.36	22.04	21.94	26.50	28.66	27.23	17.81	20.30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39.34	43.08	40.08	41.82	41.22	40.61	37.36	34.40	46.82	43.25
FeO*	11.42	11.36	17.42	20.04	21.27	15.78	14.38	15.39	15.85	19.97
MnO	0.07	0.09	0.15	0.11	0.09	0.14	0.07	0.19	0.12	0.23
MgO	17.66	16.58	13.60	11.75	10.49	13.34	15.75	11.34	15.99	11.88
total	95.86	94.57	95.80	95.80	95.17	96.40	96.37	88.60	96.71	95.72
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.004	0.006	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.003	0.002
Al	0.979	0.863	0.912	0.844	0.851	0.973	1.032	1.078	0.675	0.784
Cr	0.950	1.073	1.006	1.075	1.072	1.000	0.902	0.914	1.189	1.120
Fe	0.292	0.299	0.463	0.545	0.585	0.411	0.367	0.432	0.426	0.547
Mn	0.002	0.002	0.004	0.003	0.002	0.004	0.002	0.005	0.003	0.006
Mg	0.804	0.778	0.644	0.569	0.514	0.620	0.717	0.568	0.766	0.580
total cation	3.030	3.021	3.033	3.037	3.029	3.009	3.024	2.999	3.062	3.040
Mg#	0.799	0.778	0.640	0.563	0.512	0.619	0.714	0.570	0.753	0.575
Cr#	0.492	0.554	0.525	0.560	0.558	0.507	0.466	0.459	0.638	0.588
Fe3+#	0.041	0.033	0.046	0.050	0.043	0.014	0.037	0.001	0.083	0.056
No.	Sp111406a-3-1	111406a-3-3	111406a-3-4	111406a-3-5	111406a-3-6	111406a-3-7	111406a-2-1	111406a-6-1	Sp111406a-7-1	Sp111406a-7-2
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.05	0.04	0.10	0.13	0.00	0.01	0.12	0.21	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.17	28.56	26.76	24.56	24.36	23.19	25.35	24.58	23.98	24.40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.28	38.31	37.79	43.20	41.31	37.31	41.47	41.95	38.56	42.45
FeO*	21.65	12.05	21.84	11.09	16.05	19.82	15.97	13.10	21.37	16.78
MnO	0.13	0.04	0.15	0.05	0.16	0.20	0.13	0.02	0.08	0.06
MgO	10.70	16.87	10.60	18.03	13.46	11.48	13.01	16.48	10.13	12.22
total	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.003	0.001	0.001	0.002	0.003	0.000	0.000	0.003	0.005	0.001
Al	0.878	1.025	0.997	0.883	0.912	0.917	0.941	0.897	0.930	0.913
Cr	1.049	0.922	0.945	1.041	1.037	0.989	1.033	1.027	1.003	1.066
Fe	0.582	0.307	0.578	0.283	0.426	0.556	0.421	0.339	0.588	0.446
Mn	0.004	0.001	0.004	0.001	0.004	0.006	0.003	0.000	0.002	0.002
Mg	0.513	0.765	0.499	0.819	0.637	0.574	0.611	0.760	0.497	0.578
total cation	3.029	3.021	3.024	3.029	3.020	3.041	3.009	3.028	3.026	3.006
Mg#	0.510	0.761	0.497	0.813	0.635	0.567	0.610	0.756	0.495	0.578
Cr#	0.544	0.474	0.486	0.541	0.532	0.519	0.523	0.534	0.519	0.538
Fe3+#	0.041	0.032	0.034	0.045	0.027	0.058	0.015	0.044	0.036	0.011
No.	Sp111406b-11-1	Sp111406b-11-2	Sp111406b-11-3	Sp111406b-12-1	Sp111406b-12-2	Sp111406b-13-1	Sp111406b-13-2	Sp111406b-14-1	Sp111406b-14-2	Sp111406a-1-1
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.15	0.15	0.14	0.03	0.11	0.23	0.11	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.49	21.72	27.02	27.48	24.27	20.24	27.34	18.98	26.28	24.90
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.75	40.72	37.31	40.42	42.06	44.91	40.11	46.74	41.11	41.23
FeO*	21.49	23.52	19.47	9.17	20.22	21.26	9.42	20.37	15.28	17.60
MnO	0.18	0.12	0.09	0.08	0.12	0.06	0.12	0.13	0.12	0.10
MgO	10.63	9.81	13.27	19.27	10.78	10.76	19.04	10.91	12.77	12.39
total	96.59	96.03	97.31	96.54	97.47	97.33	96.27	97.23	95.58	96.23
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.001	0.004	0.003	0.003	0.001	0.003	0.005	0.003	0.000	0.000
Al	0.893	0.843	0.992	0.972	0.908	0.775	0.972	0.730	0.973	0.929
Cr	1.039	1.061	0.918	0.959	1.056	1.153	0.956	1.206	1.021	1.032
Fe	0.579	0.648	0.507	0.230	0.537	0.577	0.238	0.556	0.402	0.466
Mn	0.005	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003
Mg	0.511	0.482	0.616	0.861	0.510	0.520	0.856	0.530	0.598	0.585
total cation	3.027	3.041	3.038	3.027	3.014	3.030	3.030	3.028	2.997	3.014
Mg#	0.507	0.478	0.611	0.857	0.508	0.517	0.853	0.527	0.599	0.582
Cr#	0.538	0.557	0.481	0.497	0.537	0.598	0.496	0.623	0.512	0.526
Fe3+#	0.041	0.056	0.053	0.040	0.021	0.043	0.039	0.038	0.000	0.023
No.	Sp111406a-8-1	Sp111406a-8-2	Sp111406a-8-3	Sp111406a-8-4	Sp111406a-8-5	Sp111406a-10-1	Sp111406a-10-2	Sp111406a-11-1	Sp111406a-11-2	Sp111406a-11-3
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.14	0.15	0.07	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.24	25.27	21.81	25.93	24.92	26.12	20.46	24.75	24.84	24.42
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38.17	40.55	45.28	41.57	42.08	41.00	41.11	38.89	42.71	43.57
FeO*	10.95	18.62	17.56	13.64	18.09	15.09	25.62	17.04	16.12	16.17
MnO	0.01	0.08	0.14	0.12	0.16	0.15	0.09	0.09	0.07	0.18
MgO	18.24	11.36	11.93	14.19	11.57	12.85	11.01	15.91	13.59	12.96
total	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39	99.39
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.003	0.002	0.000
Al	1.011	0.949	0.823	0.956	0.927	0.971	0.783	0.910	0.911	0.900
Cr	0.916	1.022	1.146	1.028	1.050	1.022	1.055	0.959	1.051	1.077
Fe	0.278	0.496	0.470	0.357	0.478	0.398	0.695	0.445	0.419	0.423
Mn	0.000	0.002	0.004	0.003	0.004	0.004	0.002	0.002	0.002	0.005
Mg	0.826	0.540	0.569	0.661	0.544	0.604	0.532	0.740	0.630	0.604
total cation	3.032	3.009	3.011	3.005	3.004	2.999	3.071	3.060	3.015	3.008
Mg#	0.818	0.538	0.568	0.661	0.545	0.605	0.522	0.728	0.628	0.603
Cr#	0.475	0.518	0.582	0.518	0.531	0.513	0.574	0.513	0.536	0.545
Fe3+#	0.045	0.017	0.018	0.009	0.011	0.002	0.099	0.080	0.022	0.013



Table2 microprobe analyses of chromian spinel from Middle Tari-Misaka complex. FeO\*,total iron as FeO.  
 Cationic fractions in spinel were calculated assuming spinel stoichiometry. Cr#, Cr/(Cr+Al) atomic ratio;  
 Mg#,Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Fe<sup>3+</sup>#, Fe<sup>3+</sup>/(Cr+Al+Fe<sup>3+</sup>)atomic ratio.

No.	Sp0404-1-3	Sp0404-1-4	Sp0404-12-1	504300351	504300361	504300364	504300365	504300367	504300368	5043003610
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.09	0.03	0.058	0.083	0.043	0.043	0.095	0	0.091
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.84	30.92	32.19	29.453	27.209	28.533	23.009	23.218	27.411	28.769
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39.61	39.69	38.00	38.805	42.188	40.614	45.722	39.093	38.764	39.88
FeO*	15.52	14.87	15.89	18.202	18.808	17.468	19.155	25.742	20.938	19.471
MnO	0.23	0.20	0.27	0.291	0.21	0.128	0.24	0.328	0.179	0.304
MgO	15.36	15.37	15.03	13.704	13.342	12.311	13.231	11.594	12.481	12.927
total	101.55	101.14	101.41	100.513	101.840	99.097	101.400	100.070	99.773	101.442
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.000	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.000	0.002
Al	1.055	1.060	1.088	1.034	0.956	1.020	0.822	0.864	0.987	1.010
Cr	0.909	0.912	0.862	0.914	0.994	0.974	1.096	0.975	0.936	0.939
Fe	0.377	0.362	0.381	0.453	0.469	0.443	0.486	0.679	0.535	0.485
Mn	0.006	0.005	0.007	0.007	0.005	0.003	0.006	0.009	0.005	0.008
Mg	0.664	0.666	0.642	0.608	0.593	0.556	0.598	0.545	0.568	0.574
total cation	3.015	3.009	3.005	3.025	3.023	3.003	3.041	3.077	3.043	3.022
Mg#	0.663	0.667	0.648	0.607	0.591	0.558	0.598	0.535	0.563	0.573
Cr#	0.463	0.463	0.442	0.469	0.510	0.488	0.571	0.530	0.487	0.482
Fe3+#	0.020	0.013	0.016	0.028	0.027	0.000	0.041	0.098	0.047	0.027
No.	504300212	504300212	504300213	504300214	504300216	504300217	504300218	5043002113	5043002114	5043002115
TiO <sub>2</sub>	0.056	0.049	0.002	0.012	0.038	0.020	0.000	0.114	0.004	0.053
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.402	22.601	22.339	24.902	22.952	23.107	30.529	26.107	23.172	24.094
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44.853	46.875	47.028	42.877	46.335	46.657	39.843	44.317	46.840	45.029
FeO*	12.769	18.102	17.630	19.685	17.742	17.170	12.036	15.212	15.546	16.081
MnO	0.166	0.268	0.268	0.198	0.206	0.214	0.200	0.207	0.223	0.243
MgO	15.769	12.011	12.002	10.987	12.868	12.216	16.913	14.194	13.187	12.699
total	98.015	99.906	99.269	98.661	100.141	99.384	99.521	100.151	98.972	98.199
O	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ti	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001
Al	0.879	0.826	0.821	0.916	0.833	0.844	1.051	0.924	0.843	0.882
Cr	1.083	1.149	1.159	1.058	1.127	1.142	0.920	1.052	1.143	1.105
Fe	0.326	0.469	0.460	0.514	0.457	0.445	0.294	0.382	0.401	0.417
Mn	0.004	0.007	0.007	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.006	0.006
Mg	0.718	0.555	0.558	0.511	0.590	0.564	0.736	0.635	0.607	0.587
total cation	3.017	3.013	3.015	3.016	3.022	3.009	3.016	3.008	3.010	3.007
Mg#	0.717	0.555	0.558	0.511	0.589	0.565	0.736	0.638	0.608	0.590
Cr#	0.552	0.582	0.585	0.536	0.575	0.575	0.467	0.532	0.575	0.556
Fe3+#	0.020	0.012	0.009	0.012	0.022	0.005	0.015	0.008	0.005	0.003
No.	5043003611	504300381	504300382	504300383	504300391	504300392	504300393	504300394	504300395	504300211
TiO <sub>2</sub>	0.027	0.084	0	0	0.09	0.034	0.127	0.12	0.007	0.137
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.249	29.269	26.721	26.238	29.386	26.372	26.139	20.811	29.059	30.698
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.172	40.02	42.994	43.905	36.126	40.696	42.299	47.536	37.595	38.419
FeO*	18.515	17.716	17.566	18.242	17.619	19.349	17.582	20.18	19.126	12.491
MnO	0.214	0.187	0.264	0.198	0.245	0.378	0.305	0.297	0.333	0.125
MgO	13.416	13.797	13.194	13.611	14.227	13.106	12.991	11.904	13.937	17.12
total	100.593	101.073	100.739	102.194	97.693	99.935	99.443	100.848	100.057	98.990
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.001	0.002	0.000	0.000	0.002	0.001	0.003	0.003	0.000	0.003
Al	0.935	1.022	0.947	0.921	1.055	0.948	0.940	0.764	1.029	1.061
Cr	1.008	0.937	1.022	1.033	0.870	0.981	1.020	1.171	0.893	0.891
Fe	0.468	0.439	0.442	0.454	0.449	0.493	0.449	0.526	0.480	0.306
Mn	0.005	0.005	0.007	0.005	0.006	0.010	0.008	0.008	0.008	0.003
Mg	0.604	0.609	0.591	0.604	0.646	0.596	0.591	0.553	0.624	0.748
total cation	3.030	3.019	3.019	3.027	3.034	3.036	3.014	3.028	3.041	3.018
Mg#	0.601	0.608	0.591	0.601	0.642	0.592	0.592	0.551	0.619	0.748
Cr#	0.519	0.478	0.519	0.529	0.452	0.509	0.520	0.605	0.465	0.456
Fe3+#	0.033	0.021	0.016	0.027	0.042	0.041	0.018	0.035	0.047	0.024
No.	5043002117	5043002119	5043002121	504300221	504300224	504300225	504300226	504300228	504300229	504300231
TiO <sub>2</sub>	1.299	0.052	0.031	0.000	0.071	0.099	0.000	0.019	0.000	0.044
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.785	29.644	23.878	23.699	24.217	22.390	23.104	21.618	25.977	23.630
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.999	36.933	45.583	46.395	45.628	47.840	45.427	48.727	40.497	46.050
FeO*	14.646	20.738	15.869	16.366	14.499	12.986	17.421	13.071	14.895	16.963
MnO	0.149	0.397	0.214	0.247	0.232	0.190	0.293	0.198	0.228	0.215
MgO	15.151	11.131	12.696	12.668	14.873	15.937	11.913	14.694	13.287	12.420
total	99.029	98.895	98.271	99.375	99.520	99.442	98.158	98.327	94.884	99.322
O	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ti	0.030	0.001	0.001	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001
Al	0.885	1.069	0.874	0.860	0.867	0.803	0.854	0.788	0.967	0.861
Cr	1.030	0.893	1.119	1.129	1.095	1.150	1.126	1.192	1.011	1.125
Fe	0.371	0.531	0.412	0.421	0.368	0.330	0.457	0.338	0.394	0.438
Mn	0.004	0.010	0.006	0.006	0.006	0.005	0.008	0.005	0.006	0.006
Mg	0.684	0.508	0.587	0.581	0.673	0.722	0.557	0.677	0.625	0.572
total cation	2.959	3.017	3.005	3.010	3.017	3.020	3.013	3.011	3.015	3.007
Mg#	0.705	0.508	0.589	0.583	0.673	0.722	0.558	0.679	0.626	0.573
Cr#	0.538	0.455	0.561	0.568	0.558	0.589	0.569	0.602	0.511	0.567
Fe3+#	0.013	0.018	0.001	0.003	0.019	0.024	0.008	0.008	0.010	0.005

No.	5043003611	504300381	504300382	504300383	504300391	504300392	504300393	504300394	504300395	504300211
TiO <sub>2</sub>	0.027	0.084	0	0	0.09	0.034	0.127	0.12	0.007	0.137
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.249	29.269	26.721	26.238	29.386	26.372	26.139	20.811	29.059	30.698
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.172	40.02	42.994	43.905	36.126	40.696	42.299	47.536	37.595	38.419
FeO*	18.515	17.716	17.566	18.242	17.619	19.349	17.582	20.18	19.126	12.491
MnO	0.214	0.187	0.264	0.198	0.245	0.378	0.305	0.297	0.333	0.125
MgO	13.416	13.797	13.194	13.611	14.227	13.106	12.991	11.904	13.937	17.12
total	100.593	101.073	100.739	102.194	97.693	99.935	99.443	100.848	100.057	98.990
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.001	0.002	0.000	0.000	0.002	0.001	0.003	0.003	0.000	0.003
Al	0.935	1.022	0.947	0.921	1.055	0.948	0.940	0.764	1.029	1.061
Cr	1.008	0.937	1.022	1.033	0.870	0.981	1.020	1.171	0.893	0.891
Fe	0.468	0.439	0.442	0.454	0.449	0.493	0.449	0.526	0.480	0.306
Mn	0.005	0.005	0.007	0.005	0.006	0.010	0.008	0.008	0.008	0.003
Mg	0.604	0.609	0.591	0.604	0.646	0.596	0.591	0.553	0.624	0.748
total cation	3.030	3.019	3.019	3.027	3.034	3.036	3.014	3.028	3.041	3.018
Mg#	0.601	0.608	0.591	0.601	0.642	0.592	0.592	0.551	0.619	0.748
Cr#	0.519	0.478	0.519	0.529	0.452	0.509	0.520	0.605	0.465	0.456
Fe3+#	0.033	0.021	0.016	0.027	0.042	0.041	0.018	0.035	0.047	0.024
No.	5043002117	5043002119	5043002121	504300221	504300224	504300225	504300226	504300228	504300229	504300231
TiO <sub>2</sub>	1.299	0.052	0.031	0.000	0.071	0.099	0.000	0.019	0.000	0.044
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.785	29.644	23.878	23.699	24.217	22.390	23.104	21.618	25.977	23.630
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.999	36.933	45.583	46.395	45.628	47.840	45.427	48.727	40.497	46.050
FeO*	14.646	20.738	15.869	16.366	14.499	12.986	17.421	13.071	14.895	16.963
MnO	0.149	0.397	0.214	0.247	0.232	0.190	0.293	0.198	0.228	0.215
MgO	15.151	11.131	12.696	12.668	14.873	15.937	11.913	14.694	13.287	12.420
total	99.029	98.895	98.271	99.375	99.520	99.442	98.158	98.327	94.884	99.322
O	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Ti	0.030	0.001	0.001	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001
Al	0.885	1.069	0.874	0.860	0.867	0.803	0.854	0.788	0.967	0.861
Cr	1.030	0.893	1.119	1.129	1.095	1.150	1.126	1.192	1.011	1.125
Fe	0.371	0.531	0.412	0.421	0.368	0.330	0.457	0.338	0.394	0.438
Mn	0.004	0.010	0.006	0.006	0.006	0.005	0.008	0.005	0.006	0.006
Mg	0.684	0.508	0.587	0.581	0.673	0.722	0.557	0.677	0.625	0.572
total cation	2.959	3.017	3.005	3.010	3.017	3.020	3.013	3.011	3.015	3.007
Mg#	0.705	0.508	0.589	0.583	0.673	0.722	0.558	0.679	0.626	0.573
Cr#	0.538	0.455	0.561	0.568	0.558	0.589	0.569	0.602	0.511	0.567
Fe3+#	0.013	0.018	0.001	0.003	0.019	0.024	0.008	0.008	0.010	0.005
No.	Sp10111301-4-3	Sp10111301-5-1	Sp10111301-6-1	Sp10111301-6-2	Sp10111301-6-3	Sp10111301-6-4	Sp10111301-7-1	Sp10111301-7-2	Sp10111301-8-1	Sp10111301-8-2
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.07	0.07	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.12	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.194	34.042	29.672	29.812	29.527	27.997	28.543	28.023	26.651	27.815
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39.12	32.189	37.715	38.281	38.876	38.912	38.152	37.742	39.471	38.628
FeO*	16.546	17.964	15.315	15.032	14.786	16.398	19.171	20.914	18.198	19.533
MnO	0.119	0.13	0.157	0.085	0.057	0.176	0.114	0.142	0.072	0.024
MgO	14.093	14.547	13.867	14.289	14.801	13.905	11.574	10.625	13.568	11.286
total	98.108	98.938	96.792	97.499	98.115	97.388	97.566	97.446	98.076	97.334
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.001	0.001	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001
Al	1.012	1.185	1.068	1.063	1.046	1.013	1.042	1.033	0.969	1.022
Cr	0.942	0.752	0.910	0.916	0.924	0.944	0.934	0.933	0.963	0.952
Fe	0.421	0.444	0.391	0.380	0.372	0.421	0.496	0.547	0.469	0.509
Mn	0.003	0.003	0.004	0.002	0.001	0.005	0.003	0.004	0.002	0.001
Mg	0.639	0.640	0.631	0.644	0.663	0.636	0.534	0.495	0.624	0.524
total cation	3.022	3.039	3.032	3.011	3.010	3.024	3.015	3.018	3.026	3.030
Mg#	0.637	0.636	0.631	0.643	0.663	0.633	0.533	0.494	0.620	0.523
Cr#	0.482	0.388	0.460	0.463	0.469	0.482	0.473	0.475	0.498	0.482
Fe3+#	0.027	0.037	0.010	0.012	0.016	0.026	0.014	0.020	0.040	0.015
No.	111405-2-1	111405-2-2	111405-2-3	111405-2-5	111405-3-1	111405-3-2	111405-3-4	111405-3-5	111405-3-6	111405-4-1
TiO <sub>2</sub>	0.233	0.022	0.011	0.001	0.085	0.181	0.031	0.320	0.097	0.355
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.287	24.443	22.859	22.833	22.678	22.774	27.329	26.733	24.777	23.203
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43.418	42.649	41.402	42.831	43.131	44.298	38.234	34.746	38.020	39.595
FeO*	19.694	16.597	21.313	21.623	21.343	16.638	16.067	21.561	18.135	23.163
MnO	0.287	0.226	0.264	0.453	0.361	0.316	0.300	0.216	0.241	0.27
MgO	12.264	12.952	10.765	9.620	9.716	12.854	14.302	12.829	15.122	11.773
total	95.183	96.889	96.614	97.361	97.314	97.061	96.263	96.405	96.392	98.359
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.006	0.001	0.000	0.000	0.002	0.004	0.001	0.008	0.002	0.008
Al	0.751	0.905	0.867	0.868	0.861	0.849	1.000	0.997	0.919	0.870
Cr	1.134	1.059	1.054	1.091	1.099	1.108	0.938	0.869	0.945	0.995
Fe	0.544	0.436	0.574	0.583	0.575	0.440	0.417	0.570	0.477	0.616
Mn	0.008	0.006	0.007	0.012	0.010	0.008	0.008	0.006	0.006	0.007
Mg	0.604	0.606	0.516	0.462	0.467	0.606	0.661	0.605	0.709	0.558
total cation	3.054	3.023	3.035	3.027	3.024	3.018	3.032	3.061	3.069	3.059
Mg#	0.599	0.605	0.515	0.461	0.467	0.607	0.658	0.600	0.698	0.554
Cr#	0.602	0.539	0.548	0.561	0.566	0.484	0.466	0.466	0.507	0.534
Fe3+#	0.064	0.020	0.043	0.022	0.019	0.020	0.036	0.075	0.082	0.074

No.	111405-3-4	111405-3-5	111405-3-6	111405-4-1	111405-4-2	111405-4-3	111405-4-4	111405-2-1	111405-2-2	111405-2-3
TiO <sub>2</sub>	0.031	0.320	0.097	0.355	0.044	0	0.081	0.233	0.022	0.011
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.329	26.733	24.777	23.203	24.181	20.201	26.676	19.287	24.443	22.859
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38.234	34.746	38.020	39.595	41.655	42.193	40.812	43.418	42.649	41.402
FeO*	16.067	21.561	18.135	23.163	17.591	20.529	14.539	19.694	16.597	21.313
MnO	0.300	0.216	0.241	0.27	0.307	0.197	0.238	0.287	0.226	0.264
MgO	14.302	12.829	15.122	11.773	12.721	13.304	15.116	12.264	12.952	10.765
total	96.474	96.606	96.630	98.501	96.643	97.209	97.617	95.325	97.21	97.067
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.001	0.008	0.002	0.008	0.001	0.000	0.002	0.006	0.001	0.000
Al	1.000	0.997	0.919	0.870	0.902	0.774	0.962	0.751	0.905	0.867
Cr	0.938	0.869	0.945	0.995	1.043	1.084	0.987	1.134	1.059	1.054
Fe	0.417	0.570	0.477	0.616	0.466	0.558	0.372	0.544	0.436	0.574
Mn	0.008	0.006	0.006	0.007	0.008	0.005	0.006	0.008	0.006	0.007
Mg	0.661	0.605	0.709	0.558	0.600	0.644	0.689	0.604	0.606	0.516
total cation	3.032	3.061	3.069	3.059	3.026	3.087	3.023	3.054	3.023	3.035
Mg#	0.658	0.600	0.698	0.554	0.598	0.632	0.688	0.599	0.605	0.515
Cr#	0.484	0.466	0.507	0.534	0.536	0.583	0.506	0.602	0.539	0.548
Fe3+#	0.036	0.075	0.082	0.074	0.030	0.089	0.028	0.064	0.020	0.043

No.	111405-2-5	111405-3-1	111405-3-2	111405-3-4	111405-3-5	111405-3-6	111405-4-1	111405-4-2	111405-4-3	111405-4-4
TiO <sub>2</sub>	0.001	0.085	0.181	0.031	0.32	0.097	0.355	0.044	0	0.081
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.833	22.678	22.774	27.329	26.733	24.777	23.203	24.181	20.201	26.676
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.831	43.131	44.298	38.234	34.746	38.02	39.595	41.655	42.193	40.812
FeO*	21.623	21.343	16.638	16.067	21.561	18.135	23.163	17.591	20.529	14.539
MnO	0.453	0.361	0.316	0.3	0.216	0.241	0.27	0.307	0.197	0.238
MgO	9.62	9.716	12.854	14.302	12.829	15.122	11.773	12.721	13.304	15.116
total	97.729	97.671	97.152	96.474	96.606	96.63	98.501	96.643	97.209	97.617
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.000	0.002	0.004	0.001	0.008	0.002	0.008	0.001	0.000	0.002
Al	0.868	0.861	0.849	1.000	0.997	0.919	0.870	0.902	0.774	0.962
Cr	1.091	1.099	1.108	0.938	0.869	0.945	0.995	1.043	1.084	0.987
Fe	0.583	0.575	0.440	0.417	0.570	0.477	0.616	0.466	0.558	0.372
Mn	0.012	0.010	0.008	0.008	0.006	0.006	0.007	0.008	0.006	0.007
Mg	0.462	0.467	0.606	0.661	0.605	0.709	0.558	0.600	0.644	0.689
total cation	3.027	3.024	3.018	3.032	3.061	3.069	3.059	3.026	3.087	3.023
Mg#	0.461	0.467	0.607	0.658	0.600	0.698	0.554	0.598	0.632	0.688
Cr#	0.557	0.561	0.566	0.484	0.466	0.507	0.534	0.536	0.583	0.506
Fe3+#	0.022	0.019	0.020	0.036	0.075	0.082	0.074	0.030	0.089	0.028

Table3 microprobe analyses of chromian spinel from Southern Tari-Misaka complex. FeO\*,total iron as FeO. Cationic fractions in spinel were calculated assuming spinel stoichiometry. Cr#, Cr/(Cr+Al) atomic ratio; Mg#,Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio; Fe<sup>3+</sup>#, Fe<sup>3+</sup>/(Cr+Al+Fe<sup>3+</sup>)atomic ratio.

No.	Sp111303-1-1	Sp111303-1-2	Sp111303-1-3	Sp111303-2-1	Sp111303-2-2	Sp111303-3-1	Sp111303-4-1	Sp111303-4-3	Sp111303-4-5	Sp111303-4-6
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.17	0.27	0.01	0.12	0.07	0.23	0.10	0.13	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.73	28.89	27.15	28.67	25.26	25.89	27.68	22.85	25.16	24.23
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.34	37.05	39.01	38.92	41.51	42.37	37.10	45.06	39.91	42.05
FeO*	21.89	19.52	20.00	16.27	18.10	18.62	20.49	20.22	19.19	19.99
MnO	0.30	0.25	0.31	0.33	0.20	0.33	0.27	0.35	0.25	0.35
MgO	11.81	13.29	11.80	13.70	13.33	11.95	13.66	11.21	13.36	11.74
total	100.15	99.18	98.54	97.88	98.51	99.22	99.44	99.78	98.00	98.36
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.002	0.004	0.006	0.000	0.003	0.002	0.005	0.002	0.003	0.000
Al	0.903	1.034	0.990	1.030	0.921	0.940	0.995	0.842	0.925	0.897
Cr	1.013	0.889	0.953	0.938	1.015	1.032	0.895	1.113	0.984	1.044
Fe	0.567	0.496	0.517	0.415	0.468	0.480	0.523	0.528	0.501	0.525
Mn	0.008	0.006	0.008	0.008	0.005	0.009	0.007	0.009	0.007	0.009
Mg	0.545	0.601	0.544	0.622	0.615	0.549	0.621	0.522	0.621	0.550
total cation	3.036	3.026	3.011	3.016	3.024	3.010	3.040	3.017	3.037	3.028
Mg#	0.541	0.599	0.545	0.621	0.612	0.549	0.616	0.522	0.616	0.547
Cr#	0.529	0.462	0.491	0.477	0.524	0.523	0.473	0.569	0.515	0.538
Fe3+#	0.050	0.042	0.026	0.017	0.036	0.013	0.062	0.023	0.053	0.034

No.	Sp111303-9-1	Sp111303-9-3	Sp111303-9-4	Sp111303-10-1	Sp111303-10-2	Sp111303-10-3	Sp11303-12-1	Sp111303-12-2	Sp111303-13-1	Sp111303-13-2
TiO <sub>2</sub>	0.41	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.19	0.02	0.02	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.06	28.56	26.88	29.46	29.27	25.54	26.11	33.18	26.07	26.68
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44.82	40.40	42.72	38.63	38.78	41.15	40.26	36.01	42.23	41.95
FeO*	16.65	16.46	15.02	16.31	16.18	17.87	19.30	14.77	16.91	16.44
MnO	0.24	0.28	0.25	0.45	0.40	0.39	0.23	0.15	0.30	0.22
MgO	13.42	14.16	13.86	13.94	13.98	12.37	12.88	15.19	13.50	13.58
total	99.60	99.85	98.74	98.83	98.60	97.35	98.97	99.32	99.03	98.88
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.009	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000
Al	0.870	1.008	0.962	1.046	1.042	0.942	0.948	1.145	0.939	0.959
Cr	1.086	0.957	1.025	0.920	0.926	1.018	0.981	0.833	1.021	1.011
Fe	0.427	0.412	0.381	0.411	0.408	0.468	0.497	0.362	0.432	0.419
Mn	0.006	0.007	0.006	0.012	0.010	0.010	0.006	0.004	0.008	0.006
Mg	0.613	0.632	0.627	0.625	0.629	0.577	0.591	0.663	0.615	0.617
total cation	2.994	3.017	3.007	3.015	3.017	3.021	3.021	3.009	3.017	3.013
Mg#	0.618	0.630	0.628	0.625	0.628	0.576	0.590	0.662	0.614	0.616
Cr#	0.555	0.487	0.516	0.468	0.471	0.519	0.508	0.421	0.521	0.513
Fe3+#	0.015	0.020	0.005	0.017	0.018	0.021	0.038	0.011	0.022	0.017

No.	Sp111303-1-1	Sp111303-1-2	Sp111303-1-3	Sp111303-2-1	Sp111303-2-2	Sp111303-3-1	Sp111303-4-1	Sp111303-4-3	Sp111303-4-5	Sp111303-4-6
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.17	0.27	0.01	0.12	0.07	0.23	0.10	0.13	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.73	28.89	27.15	28.67	25.26	25.89	27.68	22.85	25.16	24.23
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.34	37.05	39.01	38.92	41.51	42.37	37.10	45.06	39.91	42.05
FeO*	21.89	19.52	20.00	16.27	18.10	18.62	20.49	20.22	19.19	19.99
MnO	0.30	0.25	0.31	0.33	0.20	0.33	0.27	0.35	0.25	0.35
MgO	11.81	13.29	11.80	13.70	13.33	11.95	13.66	11.21	13.36	11.74
total	100.15	99.18	98.54	97.88	98.51	99.22	99.44	99.78	98.00	98.36
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.002	0.004	0.006	0.000	0.003	0.002	0.005	0.002	0.003	0.000
Al	0.903	1.034	0.990	1.030	0.921	0.940	0.995	0.842	0.925	0.897
Cr	1.013	0.889	0.953	0.938	1.015	1.032	0.895	1.113	0.984	1.044
Fe	0.567	0.496	0.517	0.415	0.468	0.480	0.523	0.528	0.501	0.525
Mn	0.008	0.006	0.008	0.008	0.005	0.009	0.007	0.009	0.007	0.009
Mg	0.545	0.601	0.544	0.622	0.615	0.549	0.621	0.522	0.621	0.550
total cation	3.036	3.026	3.011	3.016	3.024	3.010	3.040	3.017	3.037	3.028
Mg#	0.541	0.599	0.545	0.621	0.612	0.549	0.616	0.522	0.616	0.547
Cr#	0.529	0.462	0.491	0.477	0.524	0.523	0.473	0.569	0.515	0.538
Fe3+#	0.050	0.042	0.026	0.017	0.036	0.013	0.062	0.023	0.053	0.034
No.	Sp111303-9-1	Sp111303-9-3	Sp111303-9-4	Sp111303-10-1	Sp111303-10-2	Sp111303-10-3	Sp111303-12-1	Sp111303-12-2	Sp111303-13-1	Sp111303-13-2
TiO <sub>2</sub>	0.41	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.19	0.02	0.02	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.06	28.56	26.88	29.46	29.27	25.54	26.11	33.18	26.07	26.68
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44.82	40.40	42.72	38.63	38.78	41.15	40.26	36.01	42.23	41.95
FeO*	16.65	16.46	15.02	16.31	16.18	17.87	19.30	14.77	16.41	16.44
MnO	0.24	0.28	0.25	0.45	0.40	0.39	0.23	0.15	0.30	0.22
MgO	13.42	14.16	13.86	13.94	13.98	12.37	12.88	15.19	13.50	13.58
total	99.60	99.85	98.74	98.83	98.60	97.35	98.97	99.32	99.03	98.88
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.009	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000
Al	0.870	1.008	0.962	1.046	1.042	0.942	0.948	1.145	0.939	0.959
Cr	1.086	0.957	1.025	0.920	0.926	1.018	0.981	0.833	1.021	1.011
Fe	0.427	0.412	0.381	0.411	0.408	0.468	0.497	0.362	0.432	0.419
Mn	0.006	0.007	0.006	0.012	0.010	0.010	0.006	0.004	0.008	0.006
Mg	0.613	0.632	0.627	0.625	0.629	0.577	0.591	0.663	0.615	0.617
total cation	2.994	3.017	3.007	3.015	3.017	3.021	3.021	3.009	3.017	3.013
Mg#	0.618	0.630	0.628	0.625	0.628	0.576	0.590	0.662	0.614	0.616
Cr#	0.555	0.487	0.516	0.468	0.471	0.519	0.508	0.421	0.521	0.513
Fe3+#	0.015	0.020	0.005	0.017	0.018	0.021	0.038	0.011	0.022	0.017
No.	Sp111302-9-1	Sp111302-12-1	Sp111302-13-1	Sp111302-13-2	Sp111302-14-1	Sp111302-17-1	11100102-1-1	11100102-2-1	11100102-2-2	11100102-3-1
TiO <sub>2</sub>	0.13	0.00	0.10	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.23	20.19	27.57	26.91	29.53	26.85	21.11	28.07	26.99	25.68
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.99	41.22	40.96	42.25	37.43	42.22	47.02	40.21	40.00	42.88
FeO*	15.83	29.00	16.17	16.75	19.53	17.06	18.38	15.96	18.16	15.09
MnO	0.24	0.74	0.27	0.25	0.40	0.24	0.22	0.20	0.35	0.31
MgO	14.76	7.10	14.59	14.07	13.00	13.59	11.91	14.16	11.91	14.21
total	100.17	98.24	99.65	100.24	99.90	99.96	98.62	98.60	97.43	98.22
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.003	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Al	0.961	0.793	0.977	0.954	1.049	0.956	0.787	1.002	0.990	0.928
Cr	0.994	1.085	0.973	1.005	0.892	1.009	1.176	0.963	0.984	1.039
Fe	0.396	0.808	0.406	0.421	0.492	0.431	0.486	0.404	0.472	0.387
Mn	0.006	0.021	0.007	0.006	0.010	0.006	0.006	0.005	0.009	0.008
Mg	0.658	0.352	0.653	0.631	0.584	0.612	0.561	0.639	0.552	0.649
total cation	3.016	3.064	3.018	3.020	3.031	3.018	3.018	3.035	3.014	3.031
Mg#	0.658	0.348	0.652	0.629	0.581	0.610	0.599	0.490	0.498	0.528
Cr#	0.508	0.578	0.499	0.513	0.459	0.513	0.022	0.020	0.012	0.017
Fe3+#	0.024	0.073	0.027	0.024	0.035	0.020	2.105	2.198	2.140	2.172
No.	11100102-7-3	11100102-7-4	11100102-7-5	11100102-7-6	11100102-9-1	11100102-9-2	11100102-1-1	11100102-1-2	11100102-1-3	11100102-1-4
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.06	0.00	0.02	0.01	0.04	0.26	0.05	0.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.63	26.29	28.37	26.84	26.19	28.97	27.43	25.14	32.33	21.34
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.05	41.19	39.24	41.64	41.36	37.80	40.82	39.37	33.75	46.47
FeO*	17.22	16.39	17.03	17.10	20.10	16.57	16.57	20.90	16.90	19.09
MnO	0.26	0.25	0.28	0.29	0.44	0.24	0.19	0.29	0.33	0.51
MgO	13.63	13.40	13.39	12.78	11.32	13.62	13.33	12.81	14.75	10.69
total	98.79	97.52	98.38	98.65	99.43	97.22	98.38	98.76	98.10	98.22
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.006	0.001	0.003
Al	0.992	0.959	1.019	0.969	0.953	1.046	0.988	0.923	1.139	0.802
Cr	0.964	1.007	0.945	1.009	0.916	0.986	0.969	0.969	0.988	1.171
Fe	0.439	0.424	0.434	0.438	0.519	0.424	0.423	0.544	0.422	0.509
Mn	0.007	0.006	0.007	0.007	0.011	0.006	0.005	0.008	0.008	0.014
Mg	0.619	0.618	0.608	0.583	0.521	0.622	0.607	0.595	0.657	0.508
total cation	3.022	3.042	3.018	3.020	3.023	3.020	3.017	3.051	3.032	3.021
Mg#	0.493	0.512	0.481	0.510	0.514	0.467	0.500	0.512	0.412	0.594
Cr#	0.026	0.020	0.019	0.011	0.019	0.022	0.014	0.060	0.036	0.008
Fe3+#	2.186	2.152	2.184	2.173	2.157	2.173	2.179	2.138	2.227	2.088

No.	11100102-4-1	11100102-4-2	11100102-4-3	11100102-5-1	11100102-5-2	11100102-5-3	11100102-6-1	11100102-6-2	11100102-7-1	11100102-7-2
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.40	26.75	28.45	29.23	27.02	25.37	27.27	26.69	26.49	27.46
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.06	39.60	38.74	37.39	40.89	41.16	40.99	40.67	41.54	40.86
FeO*	16.81	19.89	16.65	18.52	15.62	17.54	16.28	16.30	15.22	16.60
MnO	0.26	0.23	0.22	0.31	0.28	0.32	0.20	0.25	0.21	0.24
MgO	13.96	11.50	13.45	12.62	13.93	13.01	13.67	13.53	13.85	13.52
total	99.49	97.97	97.56	98.11	97.75	97.40	98.40	97.51	97.32	98.69
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Al	1.007	0.982	1.026	1.053	0.976	0.927	0.981	0.970	0.963	0.986
Cr	0.953	0.975	0.937	0.904	0.990	1.009	0.989	0.991	1.012	0.983
Fe	0.423	0.518	0.426	0.473	0.400	0.455	0.415	0.420	0.392	0.423
Mn	0.007	0.006	0.006	0.008	0.007	0.008	0.005	0.007	0.006	0.006
Mg	0.626	0.534	0.613	0.575	0.636	0.601	0.622	0.622	0.636	0.613
total cation	3.021	3.021	3.017	3.021	3.018	3.018	3.016	3.018	3.013	3.027
Mg#	0.486	0.498	0.477	0.462	0.504	0.521	0.502	0.505	0.513	0.499
Cr#	0.023	0.024	0.019	0.023	0.018	0.029	0.017	0.019	0.014	0.017
Fe3+#	2.214	2.137	2.176	2.178	2.173	2.147	2.182	2.159	2.160	2.187
No.	11100102-1-5	11100102-1-6	11100102-1-7	11100102-1-8	11100102-1-9	11100102-1-10	11100102-2-1	11100102-2-2	11100102-2-3	11100102-2-4
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.11	0.11	0.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.28	26.04	27.03	27.27	27.04	25.61	29.24	29.12	25.91	23.05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.59	42.78	41.60	36.79	40.70	41.17	39.13	37.89	40.10	42.46
FeO*	18.18	16.35	15.96	17.28	17.30	18.73	13.71	16.45	17.61	18.82
MnO	0.23	0.25	0.23	0.46	0.20	0.28	0.37	0.28	0.27	0.55
MgO	12.79	13.41	13.82	15.19	13.53	12.47	14.90	13.84	14.03	13.66
total	98.23	98.82	98.64	96.99	98.78	98.25	97.35	97.69	98.03	98.77
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.006
Al	0.925	0.939	0.970	0.992	0.971	0.938	1.042	1.046	0.943	0.848
Cr	1.020	1.034	1.002	0.898	0.980	1.011	0.936	0.913	0.979	1.047
Fe	0.472	0.418	0.407	0.446	0.441	0.487	0.347	0.419	0.455	0.491
Mn	0.006	0.006	0.006	0.012	0.005	0.007	0.010	0.007	0.007	0.014
Mg	0.592	0.611	0.627	0.699	0.614	0.577	0.671	0.628	0.646	0.635
total cation	3.022	3.013	3.015	3.053	3.020	3.037	3.012	3.020	3.037	3.050
Mg#	0.525	0.524	0.508	0.475	0.502	0.519	0.473	0.466	0.509	0.553
Cr#	0.028	0.014	0.016	0.066	0.028	0.030	0.010	0.026	0.044	0.056
Fe3+#	2.145	2.177	2.186	2.156	2.186	2.143	2.201	2.185	2.155	2.134
No.	11100102-2-5	11100102-2-6	11100102-2-7	11100102-2-8	11100102-2-9	11100102-2-10	11100102-3-1	11100102-3-2	11100102-3-3	11100102-3-4
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.04	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.96	28.70	25.68	29.05	29.86	27.35	28.56	26.83	25.97	26.62
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.75	39.49	41.96	39.40	38.36	41.10	39.17	40.68	41.68	41.13
FeO*	14.42	15.25	19.03	15.56	12.87	15.93	16.27	16.57	14.73	16.80
MnO	0.33	0.18	0.28	0.24	0.26	0.15	0.27	0.17	0.38	0.20
MgO	14.62	14.41	12.39	14.16	15.32	13.59	14.26	13.85	14.79	13.09
total	98.07	98.02	99.34	98.41	96.69	98.13	98.53	98.11	97.60	97.88
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Al	0.998	1.025	0.932	1.033	1.064	0.986	1.019	0.970	0.940	0.967
Cr	0.976	0.946	1.021	0.940	0.917	0.993	0.937	0.986	1.011	1.003
Fe	0.365	0.386	0.490	0.393	0.325	0.407	0.412	0.425	0.378	0.433
Mn	0.008	0.005	0.007	0.006	0.007	0.004	0.007	0.004	0.010	0.005
Mg	0.660	0.650	0.568	0.637	0.690	0.619	0.643	0.633	0.676	0.601
total cation	3.014	3.017	3.024	3.014	3.013	3.011	3.025	3.023	3.032	3.015
Mg#	0.494	0.480	0.523	0.476	0.463	0.502	0.479	0.504	0.518	0.509
Cr#	0.013	0.017	0.027	0.014	0.008	0.012	0.025	0.027	0.026	0.016
Fe3+#	2.197	2.198	2.162	2.206	2.202	2.178	2.200	2.171	2.169	2.159
No.	11100102-3-5	11100102-3-7	11100102-3-9	11100102-3-10						
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.02	0.07						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.70	29.45	29.09	26.25						
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.47	38.49	39.48	40.91						
FeO*	20.92	15.43	15.42	16.67						
MnO	0.38	0.28	0.29	0.50						
MgO	11.48	15.18	14.33	14.49						
total	98.94	98.83	98.63	98.88						
O	4	4	4	4						
Ti	0.000	0.000	0.000	0.002						
Al	0.910	1.039	1.033	0.943						
Cr	1.025	0.911	0.940	0.986						
Fe	0.547	0.386	0.388	0.425						
Mn	0.010	0.007	0.007	0.013						
Mg	0.535	0.677	0.643	0.658						
total cation	3.034	3.025	3.014	3.034						
Mg#	0.530	0.467	0.476	0.511						
Cr#	0.038	0.029	0.015	0.038						
Fe3+#	2.129	2.224	2.211	2.184						