

## 関東山地東縁部に分布する蛇紋岩のクロムスピネル化学組成

原 英俊<sup>1,\*</sup>・久田 健一郎<sup>2</sup>

HARA Hidetoshi and HISADA Ken-ichiro (2021) Geochemistry of chromian spinels from serpentinites distributed in eastern margin of the Kanto Mountains. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (5), p. 447-458, 5 figs, 2 tables.

**Abstract:** We report geochemistry of chromian spinels from serpentinites distributed in the eastern margin of the Kanto Mountains. The serpentinites in this area are observed in three geological units, 1) Sanbagawa metamorphic rocks (Kobunoyama Serpentinite), 2) Mikabu greenstones, 3) Chichibu accretionary complex (Komataka Serpentinite). The geochemical data of chromian spinels were examined using Cr-Al-Fe<sup>3+</sup> relationship, Cr# = Cr/(Cr+Al) atomic ratio, Mg# = Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) atomic ratio, Y<sub>Fe</sub> = Fe<sup>3+</sup>/(Cr+Al+Fe<sup>3+</sup>) atomic ratio, and TiO<sub>2</sub> wt%. The chromian spinels of the Kobunoyama Serpentinite within the Sanbagawa metamorphic rocks present Cr# (0.49-0.50) and Mg# (0.56-0.60), and TiO<sub>2</sub> concentration (less than 0.04 wt%). The chromian spinels of serpentinites within the Mikabu greenstones show a negative correlation between Cr# (0.33-0.66) and Mg# (0.01-0.38), and TiO<sub>2</sub> concentration (3.6-13.3 wt%). In addition, Mg# and Fe<sup>3+</sup> concentration suggest that the chromian spinels were subjected to alternation and metamorphism, and have no original geochemical information in the Mikabu greenstones. The chromian spinels of the Komataka Serpentinite within the Chichibu accretionary complex present Cr# (0.37-0.49), Mg# (0.63-0.66), and TiO<sub>2</sub> concentration (less than 0.4 wt%), presenting similar geochemical data from the Kobunoyama Serpentinite. The chromian spinels of the Komataka and Kobunoyama serpentinites are characterized by lower Cr# and higher Mg# against those of the serpentinites interpreted as eastern extension of the Kurosegawa Belt (Southern margin of Sanchu Cretaceous System, Naguri Fault, Kiroko Mélange).

**Keywords:** Serpentinite, chromian spinel, Sanbagawa metamorphic rocks, Mikabu greenstones, Chichibu accretionary complex, Kanto Mountains

### 要 旨

関東山地東縁部に分布する蛇紋岩のクロムスピネル化学組成について報告を行う。この地域の蛇紋岩は、1) 三波川変成岩類(古武ノ山蛇紋岩)、2) 御荷鉾緑色岩類、3) 秩父帯付加コンプレックス(駒高蛇紋岩)と3つの地質体の分布域に認められる。クロムスピネルの化学組成の検討は、Cr-Al-Fe<sup>3+</sup>の関係、Cr# = Cr/(Cr+Al)原子比、Mg# = Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)原子比、Y<sub>Fe</sub> = Fe<sup>3+</sup>/(Cr+Al+Fe<sup>3+</sup>)原子比及びTiO<sub>2</sub> wt%を用いた。Cr#、Mg#及びTiO<sub>2</sub> wt%に着目すると、三波川変成岩類に伴う古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネルについては、Cr#とMg#は、それぞれ0.49～0.50及び0.56～0.60の狭い組成範囲に集中する。TiO<sub>2</sub>は0.04 wt%以下を示す。御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩のクロムスピネルでは、Cr#とMg#はそれぞれ0.33～0.66及び0.01～0.38と相対的に広い組成範囲を示し、両者には負

の相関が認められる。TiO<sub>2</sub>は3.6～13.3 wt%を示す。またMg#やFe<sup>3+</sup>含有量などから、クロムスピネルは変質及び変成作用の影響を受け、初生的な化学組成を保持していないと考えられる。秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩のクロムスピネルは、Cr#が0.37～0.49、Mg#が0.63～0.66と狭い組成範囲を示し、またTiO<sub>2</sub>は0.4 wt%以下である。駒高蛇紋岩のクロムスピネルは、古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネルとよく似た化学組成を示す。既存のデータによると、駒高蛇紋岩と古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネルは、黒瀬川帯東方延長と考えられる蛇紋岩(山中白亜系南縁、名栗断層、木呂子メランジュ)のクロムスピネルより低いCr#と高いMg#を特徴とする。

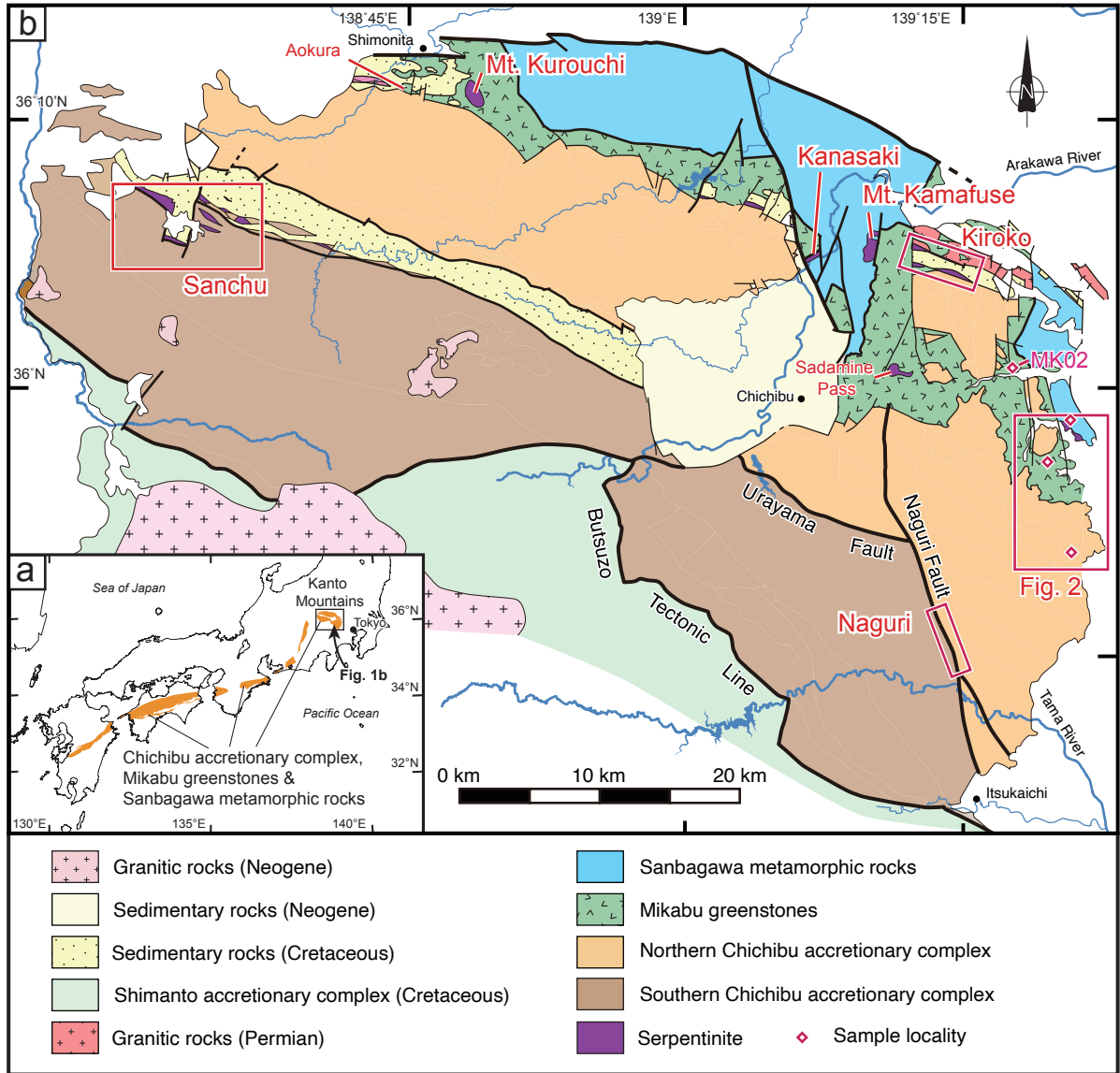
### 1. はじめに

関東山地の先白亜系には、超塩基性岩である蛇紋岩の分布が認められる(第1図)。関東山地の代表的な蛇紋

<sup>1</sup>産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

<sup>2</sup>文教大学教育学部 (Faculty of Education, Bunkyo University, 3337 Minami-Ogishima, Koshigaya, Saitama 343-8511, Japan)

\* Corresponding author: HARA, H., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: hara-hide@aist.go.jp

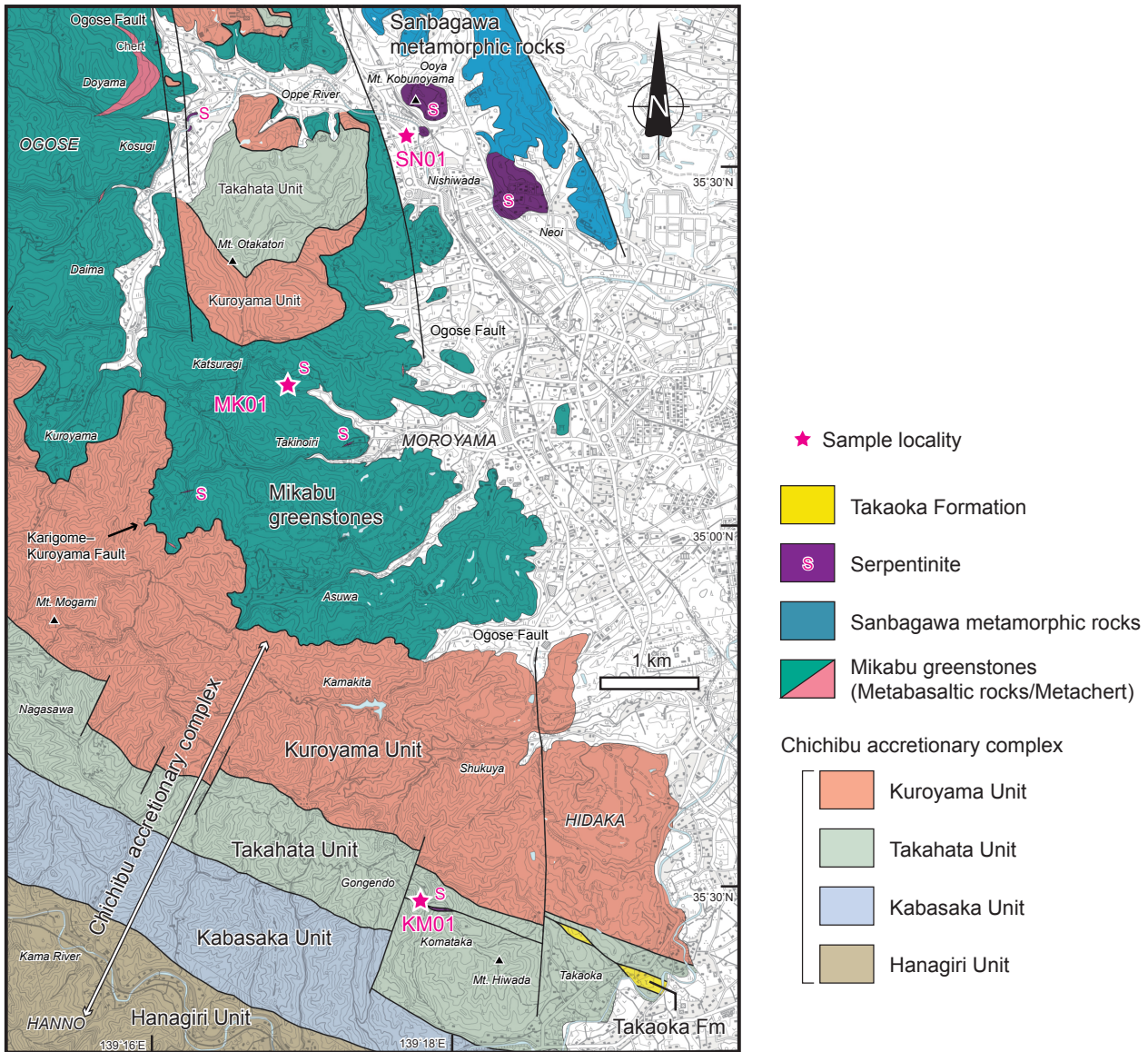


第1図 関東山地の地質概略。(a) 関東山地の位置図。(b) 関東山地の地質図及び蛇紋岩の分布。  
地質図は牧本・竹内(1992)及び20万分の1日本シームレス地質図V2(産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2020)を参照した。

Fig. 1 Geological outline of the Kanto Mountains. (a) Location of the Kanto Mountains. (b) Geological map of the Kanto Mountains and distribution of serpentinite.  
Geological map is based on Makimoto and Takeuchi (1992) and the Seamless Digital Geological Map of Japan (1:200,000) V2 (Geological Survey of Japan, AIST, 2020).

岩としては、<sup>さんちゅう</sup>山中地溝帯の白亜系(以後、山中白亜系)の南縁部に沿う蛇紋岩(平野・飯泉, 1973; 久田ほか, 1987; Hirauchi, 2006), 跡倉ナップの主に南縁部を占める緑色岩メランジュ(木呂子メランジュ)に伴う蛇紋岩(平島, 1984; 牧本・竹内, 1992; 小川町史編さん委員会, 1999; 坂ほか, 2005), また名栗断層沿いには小規模ながら点在して蛇紋岩(小澤・小林, 1985; Hisada and Arai, 1989; 坂ほか, 1989; 島村ほか, 2003)が露出することが知られている。これらの蛇紋岩は、しばしば黒

瀬川帯の蛇紋岩に対比されるとして議論されている(平島, 1984; Hisada and Arai, 1989; 坂ほか, 1989)。他にも、三波川変成岩類や御荷鉾緑色岩類中に蛇紋岩の岩体の存在が知られている(Seki and Kuriyagawa, 1962; Tazaki, 1966; Hisada *et al.*, 1993; 牧本・竹内, 1992; 小林, 2012; 井澤, 2018)。一方これら以外に、関東山地東縁部において小規模ながら蛇紋岩の分布が認められている(日高町史編集委員会, 1991; 埼玉県地質図編纂委員会, 1999)。しかし関東山地東縁部に分布する蛇紋岩



第2図 関東山地東縁部の地質図及び試料採取地点。

地形図は北海道地図株式会社GISMAP50000R+「川越」による。基図については、国土地理院長の承認を得て、同院発行の2万5千分の1地形図を使用した(承認番号：R2JHs 66-GISMAP44734号)。

Fig. 2 Geological map of eastern margin of the Kanto Mountains and sample localities.

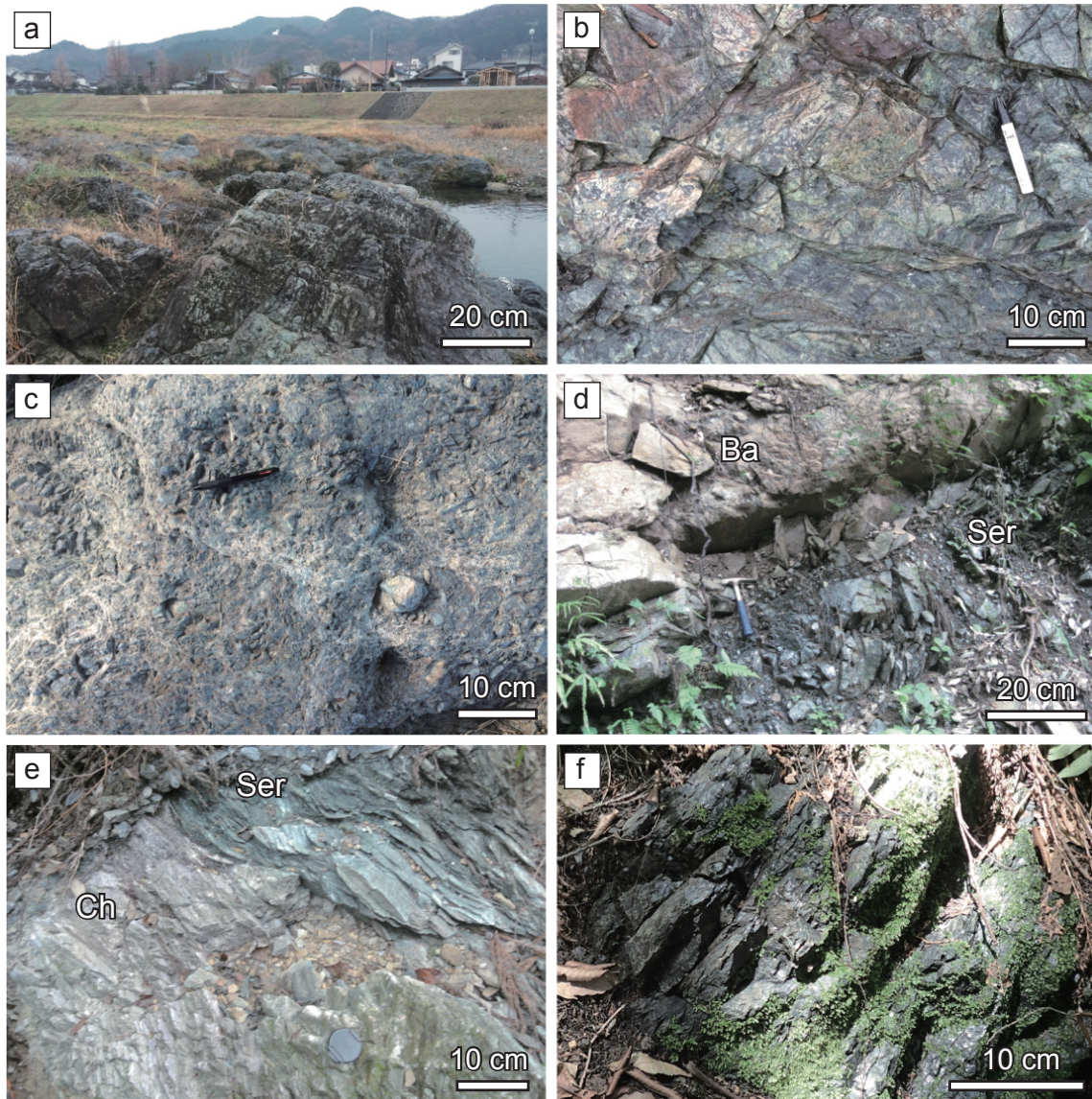
Topographic map is based on GISMAP50000R+ “Kawagoe” by Hokkaido-Chizu Co. Ltd. Base map used 1:25,000 topographic map by the Geospatial Information Authority of Japan with its approval (Approval number: R2JHs 66-GISMAP44734).

は、岩石記載などの詳しい報告はこれまでに行われていない。本報告では、関東山地東縁部に分布する蛇紋岩について記載するとともに、それぞれの蛇紋岩中で観察されたクロムスピネルの化学組成を報告する。クロムスピネルは、上部マントル起源のかんらん岩類やMgに富む火成岩に含まれ、その化学組成は岩石の形成条件に関して有益な情報をもたらす(荒井, 1992; Arai, 1992; Arai *et al.*, 2011)。そこで、関東山地東縁部における蛇紋岩と、すでに報告されている関東山地の蛇紋岩について、クロ

ムスピネル化学組成の比較を行う。

## 2. 関東山地東縁部の蛇紋岩

関東山地東縁部の蛇紋岩は、越生町古武ノ山周辺の三波川変成岩類に伴う岩体(古武ノ山蛇紋岩)、毛呂山滝ノ入～桂木の御荷鉾緑色岩類中の小規模な岩体、日高市駒高の秩父帯付加コンプレックス中の岩体(駒高蛇紋岩)と3つの産状に区別される(第2図)。それぞれの蛇紋岩について、以下に記載する。



第3図 蛇紋岩の露頭写真.

(a-c) 三波川変成岩類に伴う古武ノ山蛇紋岩. (a) 越辺川沿いの露頭. (b) 葉状な蛇紋岩. (c) 塊状な蛇紋岩. (d, e) 御荷鉾緑色岩中の蛇紋岩. (d) 変成玄武岩と接する蛇紋岩. (e) 変成チャートと接する蛇紋岩. (f) 秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩. Ser : 蛇紋岩, Ba : 変成玄武岩, Ch : 変成チャート.

Fig. 3 Outcrop photographs of serpentinite.

(a-c) Kobunoyama Serpentinite within the Sanbagawa metamorphic rocks. (a) Outcrop along the Oppe River. (b) Foliated serpentinite. (c) Massive serpentinite. (d, e) Serpentinite within the Mikabu greenstones. (d) Serpentinite contacted with metabasalt. (e) Serpentinite contacted with metachert. (f) Komataka Serpentinite within the Chichibu accretionary complex. Ser : Serpentinite, Ba : Metabasalt, Ch : Metachert.

## 2.1 三波川変成岩類に伴う蛇紋岩

越生町大谷及び西和田の古武ノ山、如意の山吹の里歴史公園周辺の2地域で、蛇紋岩がまとまって露出する(以後、古武ノ山蛇紋岩). 古武ノ山蛇紋岩は、越辺川の河床で新鮮な露頭が露出する(第3図a). 古武ノ山蛇紋岩からはクロムの採掘が行われ、またクロムざくろ石(灰クロムざくろ石)の産出が知られている(小林, 1986; 越生

町教育委員会, 2008). 古武ノ山蛇紋岩は、最大幅約800 m, 長さ約2000 mで、三波川変成岩類の西側に、苦鉄質片岩ないし泥質片岩の片理面の構造に対し平行に分布する. なお蛇紋岩と三波川変成岩類の関係は露頭で見出せていないため不明である. 蛇紋岩は、一般に葉片状であり、表面光沢がよく観察される(第3図b). 一部に塊状な蛇紋岩が産出する(第3図c). 蛇紋岩は、主に蛇紋石か

らなり、クロムスピネルや磁鉄鉱を伴う。蛇紋岩化が進み、残存かんらん石は未確認である。蛇紋石は網目状の組織を示し、蛇紋石中にクロムスピネルが点在して存在する。また約1～数mmのバスタイト化した斜方輝石の仮像が認められる(第4図a, b)。まれに単斜輝石が残存するが、1 mm以下で斜方輝石に比べ小さく、その多くは変質が進んでいる。クロムスピネルは、暗赤褐色ないし不透明であり、長径0.3 mm以下が多く、最大長径0.5 mm程度の大きさからなる。自形～半自形をなし、蛇紋石中に点在し認められる。反射顕微鏡下では、クロムスピネルの縁に沿って明るい帯をなす変質部がわずかに観察される(第4図g)。

## 2.2 御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩

関東山地東部の御荷鉾緑色岩類は、上部と下部に分けられている(牧本・竹内, 1992)。上部は主に變成玄武岩類からなり、下部は主に泥質片岩からなり變成玄武岩類を含む地質体である(牧本・竹内, 1992)。徳田・原(1979)及び徳田(1986)は、御荷鉾緑色岩類の下部は、御荷鉾緑色岩類と三波川變成岩類が接合した際に発達した断層剪断帯(テクトニックメランジュ)と解釈した。また20万分の1シームレス地質図(産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2020)では、この下部を三波川變成岩類に帰属させている。関東山地東縁部では、御荷鉾緑色岩類の上部のみが分布し、そこに含まれる蛇紋岩について検討を行った。

御荷鉾緑色岩類の上部に含まれる蛇紋岩は、毛呂山町滝ノ入や桂木付近に、厚さ数m～10 mで、變成玄武岩中に小規模に点在する。この他にも、御荷鉾緑色岩類の上部には、厚さ100 m以下の岩体が變成玄武岩類中に多数分布する(牧本・竹内, 1992)。また貫入岩体として、變成玄武岩や變成チャートに接して露出することもある(第3図d, e)。一般に、蛇紋岩化の程度は比較的弱く、主にやや蛇紋石化したかんらん石と単斜輝石及び蛇紋石からなる(第4図c, d)。かんらん石は、約1～2 mmで円形ないし楕円形を示す。結晶内部に形成された割れ目に沿って蛇紋石化している。また蛇紋石の中には、円形ないし楕円形の形状をなし、かんらん石の仮像を残していることもある。単斜輝石は、約1 mm以下で、かんらん石もしくはその仮像を充填し産出する。一般に自形をなし、劈開が発達する。クロムスピネルは、不透明ないし赤褐色を呈し、約0.5 mm以下の大きさからなる。かんらん石及び蛇紋石中に認められ、かんらん石中では0.2 mm以下、蛇紋石中では0.5 mm以下の大きさをなすことが多い。反射顕微鏡下では、不均質な表面構造を示し、縁辺部の変質とともに多数の空隙が観察される(第4図h)。

## 2.3 秩父帯付加コンプレックス中の蛇紋岩

秩父帯付加コンプレックス中の蛇紋岩は、日高町史編

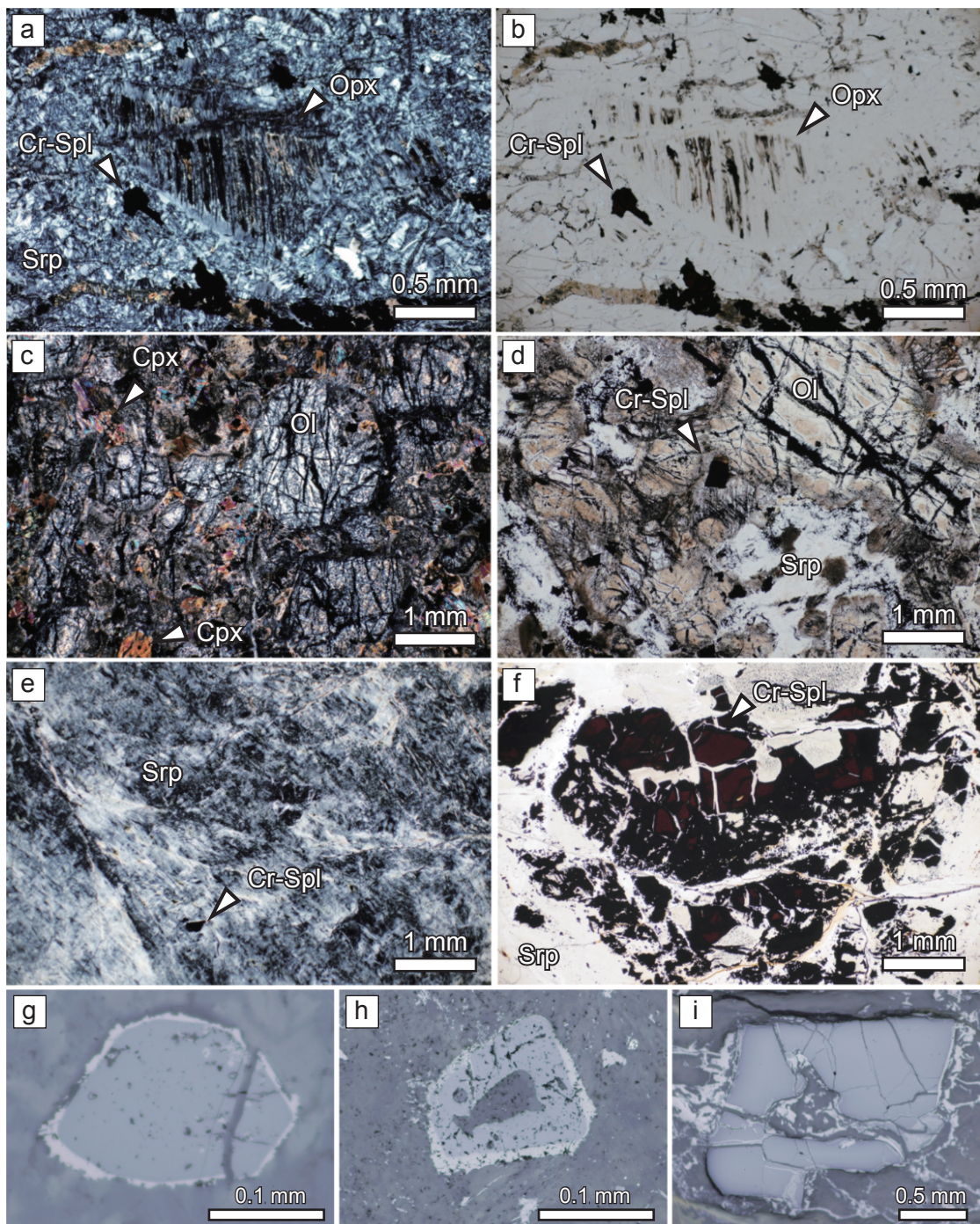
集委員会(1991)により、日高市駒高の道路沿いで報告された。本報告では、この岩体を駒高蛇紋岩と呼ぶ。駒高蛇紋岩は、高畑ユニットのチャート内に、幅数10 m及び長さ400 mで露出する(第2図)。チャートとの直接の関係は見出せていないが、チャート内を通る断層に沿って露出すると推定される。駒高蛇紋岩は葉状構造をなし(第3図f)、主に網目状ないしモザイク状の組織を示す蛇紋石からなり、蛇紋岩化が著しく進んでいる(第4図e)。またクロムスピネルや磁鉄鉱を伴う。クロムスピネルは、自形をなし、赤褐色～暗褐色を呈し、長径0.2～0.5 mmの大きさで蛇紋石中に点在して認められる。また1 mm以下のクロムスピネルの濃集部も認められる(第4図f)。反射顕微鏡下では、割れ目が認められるが、変質などのない均質な表面が観察される(第4図i)。

## 3. クロムスピネルの化学組成

化学組成の分析は、筑波大学研究基盤総合センターの電子線マイクロアナライザー(EPMA: Electron Probe Micro Analyzer)を用いた。古武ノ山蛇紋岩と御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩のクロムスピネルについては日本電子社製JXA-8621(加速電圧20 kV, 電流10 nA, ビーム径10 μm)、駒高蛇紋岩のクロムスピネルについては日本電子社製JXA-8530F(加速電圧15 kV, 電流10 nA, ビーム径5 μm)を用いて分析を行った。第1表及び第2表に分析値を示す。クロムスピネルの化学組成上の多様性を表すため、Cr-Al-Fe<sup>3+</sup>の関係、Cr# = Cr/(Cr+Al)原子比、Mg# = Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)原子比、Y<sub>Fe</sub> = Fe<sup>3+</sup>/(Cr + Al + Fe<sup>3+</sup>)原子比が広く用いられている(荒井, 1992; Arai, 1992; Arai *et al.*, 2011)。本報告では、Cr-Al-Fe<sup>3+</sup>の三角ダイアグラム、Mg#とCr#, Cr#とTiO<sub>2</sub> wt%, Y<sub>Fe</sub>とTiO<sub>2</sub> wt%の組成関係を用いてクロムスピネルの化学組成の検討を行った(第5図)。

三波川變成岩類に伴う蛇紋岩は、古武ノ山南方の越辺川河床より試料(SN01)を採取した(第2図)。Cr-Al-Fe<sup>3+</sup>三角ダイアグラムでは、分析値はほぼCr-Al辺上で両者の中間にプロットされる。Cr#は0.49～0.50、Mg#は0.56～0.60、Y<sub>Fe</sub>は0.02以下であり、狭い組成範囲に集中している。TiO<sub>2</sub>の含有量は0.04 wt%以下である。

御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩は、毛呂山町桂木西方の道路沿いより試料(MK01)を、ときがわ町別所の堂山北麓から試料(MK02)を採取した(第1図, 第2図)。Cr-Al-Fe<sup>3+</sup>三角ダイアグラムでは、分析値はFe<sup>3+</sup>ないしCr-Fe<sup>3+</sup>辺に向かい組成が変化する。試料MK01では、Cr#は0.33～0.66、Mg#は0.07～0.38、Y<sub>Fe</sub>は0.12～0.53と相対的に広い組成範囲を示し、Cr#とMg#では負の相関が認められる。またTiO<sub>2</sub>は3.6～13.3 wt%である。試料MK02では、Cr#は0.61～0.64、Mg#は0.01～0.02、Y<sub>Fe</sub>は0.62～0.66である。またTiO<sub>2</sub>の含有率は4.7～5.9 wt%である。試料MK02は、試料MK01のCr#とMg#が示す負の相関



第4図 蛇紋岩の顕微鏡写真。

(a, b) 三波川変成岩類に伴う古武ノ山蛇紋岩. (c, d) 御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩化したかんらん岩. (e) 秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩. (f) 駒高蛇紋岩中のクロムスピネル. (a, c, e)はクロスニコル, (b, d, f)はオープンニコルで撮影. (g, h, i)クロムスピネルの反射顕微鏡写真. (g) 古武ノ山蛇紋岩. (h) 御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩化したかんらん岩. (i) 駒高蛇紋岩. Cpx: 単斜輝石. Cr-Spl: クロムスピネル, Ol: かんらん石, Opx: 斜方輝石, Srp: 蛇紋石.

Fig. 4 Photomicrographs of serpentinite.

(a, b) Kobunoyama Serpentinite within the Sanbagawa metamorphic rocks. (c, d) Serpentinite within the Mikabu greenstones. (e) Komataka Serpentinite within the Chichibu accretionary complex. (f) Chromian spinels in the Komataka Serpentinite. Photographs present under cross polarized light (a, c, e) and plane polarized light (b, d, f). (g, h, i) Reflected plane polarized light of chromian spinels. (g) Kobunoyama Serpentinite. (h) Serpentinite within the Mikabu greenstones. (i) Komataka Serpentinite. Cpx: Clinopyroxene, Cr-Spl: Chromian spinel, Ol: Olivine, Opx: Orthopyroxene, Srp: Serpentine.

第1表 古武ノ山蛇紋岩及び駒高蛇紋岩中のクロムスピネルのEPMA分析結果.

Table 1 Result of EPMA analysis of chromian spinels from the Kobunoyama and Komataka serpentinites.

Kobunoyama Serpentinite with the Sanbagawa metamorphic rocks						Komataka Serpentinite with the Chichibu accretionary complex						
Sample No.	SN01					KM01						
Grain No.	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	0.03	0.01	0.08	0.03	0.00	0.02	0.05	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.10	0.13	0.14	0.23	0.13	0.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.68	27.15	27.34	27.50	27.32	27.47	29.65	27.52	28.21	26.53	28.41	35.64
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.17	40.26	40.11	39.47	40.42	40.10	38.02	40.01	39.16	37.85	39.56	31.66
FeO	17.48	17.04	17.31	17.65	15.24	18.23	16.75	16.52	16.87	15.02	16.11	15.93
MnO	0.33	0.35	0.31	0.39	0.29	0.30	0.25	0.23	0.20	0.26	0.23	0.27
MgO	12.87	12.77	12.27	12.74	13.03	12.33	14.45	14.37	13.88	13.82	14.56	14.91
NiO	0.06	0.11	0.04	0.09	0.04	0.02	0.14	0.14	0.20	0.09	0.09	0.18
CaO	0.03	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.03
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Total	98.65	97.73	97.53	97.92	96.36	98.54	99.40	98.98	98.73	93.82	99.09	99.01
Atoms per formula unit												
O = 4												
Ti	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.003	0.003	0.006	0.003	0.009
Al	0.993	0.984	0.995	0.994	1.000	0.991	1.038	0.975	1.002	0.989	1.001	1.220
Cr	0.967	0.979	0.979	0.957	0.992	0.970	0.893	0.951	0.933	0.947	0.935	0.727
Fe	0.445	0.438	0.447	0.453	0.396	0.467	0.416	0.415	0.425	0.397	0.403	0.387
Mn	0.009	0.009	0.008	0.010	0.008	0.008	0.006	0.006	0.005	0.007	0.006	0.007
Mg	0.584	0.586	0.565	0.582	0.603	0.562	0.640	0.644	0.624	0.652	0.649	0.645
Fe <sup>2+</sup>	0.415	0.412	0.433	0.416	0.396	0.436	0.356	0.351	0.371	0.342	0.347	0.344
Fe <sup>3+</sup>	0.038	0.033	0.021	0.046	0.006	0.037	0.062	0.064	0.053	0.052	0.056	0.032
Mg#	0.58	0.59	0.57	0.58	0.60	0.56	0.64	0.65	0.63	0.66	0.65	0.65
Cr#	0.49	0.50	0.50	0.49	0.50	0.49	0.46	0.49	0.48	0.49	0.48	0.37
Y <sub>Fe</sub>	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02

する値の範囲の中にある。いずれの試料も高いTiO<sub>2</sub>含有量を示す。

秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩は、日高町史編集委員会(1991)による道路沿いの露頭では、現在では植生が茂り風化が進んでいる。そのため、この岩体の西方延長の沢沿いの露頭から試料(KM01)の採取を行った(第2図)。Cr-Al-Fe<sup>3+</sup>三角ダイヤグラムでは、分析値はほぼCr-Al辺上で両者の中間にプロットされる。Cr#は0.37~0.49, Mg#は0.63~0.66, Y<sub>Fe</sub>は0.02~0.03であり、狭い範囲に集中する。TiO<sub>2</sub>の含有量は0.1~0.4 wt%である。

#### 4. クロムスピネル化学組成の特徴

##### 4.1 三波川変成岩類に伴う蛇紋岩

関東山地東部の三波川変成岩類に伴う蛇紋岩は、厚さ数100m以下の岩体として泥質片岩中に岩体として分布するほか、かまふせやま釜伏山及びかなさき皆野町金崎の荒川沿いで比較的大

きな岩体が認められる(第1図)。釜伏山の蛇紋岩は、東西1 km及び南北1.5 kmの岩体として分布し(牧本・竹内, 1992)、三波川変成作用を受けていることが指摘されている(小林, 2012)。金崎の蛇紋岩は、泥質片岩中に幅数100 mの岩体として分布し、ヒスイのノジュールを産することで知られている(Seki, 1961; Seki and Kuriyagawa, 1962)。これらのうち、金崎の蛇紋岩中の蛇灰岩からクロムスピネルの報告がある(Hisada *et al.*, 1993)。Hisada *et al.* (1993)による蛇灰岩のクロムスピネルの化学分析値を第5図に示す。Cr#は0.35~0.55, Mg#は0.53~0.67, Y<sub>Fe</sub>は0.03~0.12の範囲にあり、TiO<sub>2</sub>の含有量が0.3 wt%以下と非常に低い特徴を示す。古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネルのCr#, Mg#, Y<sub>Fe</sub>, TiO<sub>2</sub> wt%値は、金崎の蛇灰岩から得られた分析値のほぼ範囲内にある。これらの値は、Arai (1992)及びArai *et al.* (2011)による中央海嶺玄武岩類ないし島弧玄武岩類の領域にプロットされる。一方、反射顕微鏡下で、古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネ

第2表 御荷鉾緑色岩に含まれる蛇紋岩のクロムスピネルのEPMA分析結果.

Table 2 Result of EPMA analysis of chromian spinels from serpentinites within the Mikabu greenstones.

Serpentinite with the Mikabu greenstones														
Sample No.	MK01							MK02						
Grain No.	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02
TiO <sub>2</sub>	3.62	11.07	5.52	12.16	12.19	11.50	13.29	5.76	5.08	5.15	5.91	5.12	4.73	4.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.27	9.37	18.45	7.69	4.84	10.69	8.51	4.94	5.15	4.85	5.08	5.15	4.88	5.60
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.94	14.92	15.84	13.94	14.04	15.36	13.61	12.14	13.29	12.94	12.57	11.96	12.67	13.36
FeO	35.98	57.64	50.86	59.85	63.56	56.45	59.84	70.66	70.35	70.20	69.44	70.45	69.09	68.62
MnO	0.41	0.37	0.47	0.85	0.74	0.64	0.77	1.01	1.05	1.02	0.92	0.88	1.03	0.86
MgO	7.49	2.78	4.58	0.81	0.83	2.12	1.70	0.23	0.19	0.18	0.27	0.14	0.19	0.18
NiO	0.08	0.11	0.20	0.00	0.09	0.11	0.28	0.33	0.35	0.35	0.30	0.34	0.36	0.33
CaO	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.06	0.01	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Total	98.86	96.32	95.99	95.33	96.32	96.89	98.04	95.07	95.47	94.73	94.57	94.07	92.98	93.69
Atoms per fomula unit														
O = 4														
Ti	0.085	0.297	0.141	0.338	0.339	0.307	0.356	0.162	0.142	0.145	0.167	0.145	0.136	0.134
Al	1.074	0.394	0.738	0.335	0.211	0.448	0.357	0.218	0.225	0.214	0.225	0.229	0.219	0.249
Cr	0.540	0.421	0.425	0.407	0.410	0.432	0.383	0.358	0.391	0.383	0.373	0.357	0.382	0.399
Fe	0.937	1.721	1.443	1.848	1.966	1.678	1.781	2.207	2.187	2.201	2.178	2.222	2.206	2.169
Mn	0.011	0.011	0.014	0.027	0.023	0.019	0.023	0.032	0.033	0.032	0.029	0.028	0.033	0.028
Mg	0.348	0.148	0.232	0.045	0.046	0.112	0.090	0.013	0.011	0.010	0.015	0.008	0.011	0.010
Fe <sup>2+</sup>	0.566	0.552	0.625	0.617	0.614	0.579	0.551	0.822	0.843	0.840	0.814	0.843	0.849	0.852
Fe <sup>3+</sup>	0.213	0.585	0.550	0.582	0.698	0.503	0.542	1.093	1.092	1.103	1.060	1.116	1.118	1.077
Mg#	0.38	0.21	0.27	0.07	0.07	0.16	0.14	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Cr#	0.33	0.52	0.37	0.55	0.66	0.49	0.52	0.62	0.63	0.64	0.62	0.61	0.64	0.62
Y <sub>Fe</sub>	0.12	0.42	0.32	0.44	0.53	0.36	0.42	0.65	0.64	0.65	0.64	0.66	0.65	0.62

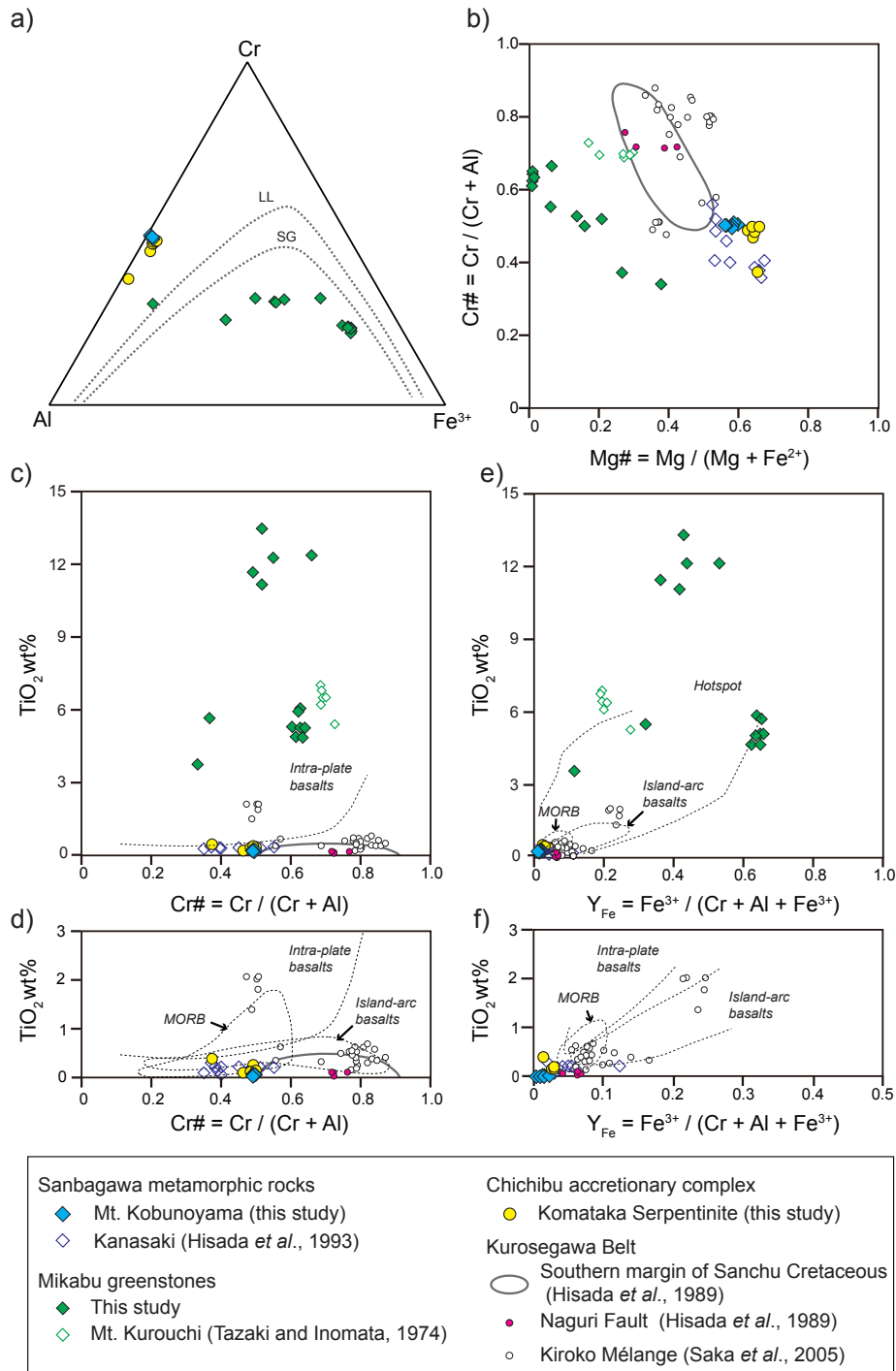
ルには縁辺部に弱い変質部が認められ、蛇紋岩は変成作用を受けている可能性もある。

#### 4.2 御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩

御荷鉾緑色岩類に伴う蛇紋岩は、一般に厚さ数100 m以下の岩体として変成玄武岩類に貫入して分布するほか、関東山地東部上峯峠付近さだみねや関東山地北部の黒内山くろうちやまに東西1 km及び南北2 kmの岩体が認められる(第1図、田崎・猪俣, 1974; 牧本・竹内, 1992; 井澤, 2018)。一般に、御荷鉾緑色岩類中に含まれる蛇紋岩は、蛇紋岩化の程度が弱く、ダナイト〜ウェールライト起源であり、全岩化学組成ではFeやTiに富む特徴が指摘されている(Research Group of Peridotite Intrusion, 1967, Tazaki, 1966)。関東山地では黒内山の蛇紋岩から、クロムスピネル(クロム鉄鉱)の化学組成値が報告されている(田崎・猪俣, 1974; 井澤, 2018)。田崎・猪俣(1974)によれば、クロムスピネルは累帯構造を持ち、縁辺部は変質を受けていることが指摘されている。未変質とされるコアの組成は、Cr#は約0.69 ~ 0.73、Mg#は約0.17 ~ 0.3の範囲を、Y<sub>Fe</sub>

は約0.2及び1データのみ0.28の値を示す(第5図)。またTiO<sub>2</sub>は、約5.3 ~ 7 wt%の含有量を示す。井澤(2018)は、生データを示していないが、黒内山のクロムスピネルからCr#が0.59 ~ 0.72、TiO<sub>2</sub>が1.4 ~ 8.4 wt%の範囲を示すことを報告している。また井澤(2018)は、黒内山の西方の青倉から、Cr#が0.42 ~ 0.61、TiO<sub>2</sub>が0.25 ~ 3.65 wt%と、黒内山の蛇紋岩に比べTiO<sub>2</sub>の含有量が低いクロムスピネルの化学組成も報告している。黒内山の分析値は、関東山地東縁部から得られた御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩から得られた分析値に対して、やや高いCr#を示す。御荷鉾緑色岩類中のクロムスピネルは、Arai (1992)及びArai *et al.* (2011)によるプレート内玄武岩類やホットスポットの玄武岩類の領域にプロットされる。一方、Cr-Al-Fe<sup>3+</sup>三角ダイヤグラムでは、Fe<sup>3+</sup>ないしCr-Fe<sup>3+</sup>辺に向かう組成の変化が認められた。このようなスピネルは、サブソリダスでの溶融が生じている可能性がある(Tamura and Arai, 2005)。実際に、反射顕微鏡下においても縁辺部の変質とともに溶融跡と見られる多数の空隙が観察される(第4図h)。またMg#においても0.1以下の値を示す





第5図 クロムスピネルの化学組成.

(a) Cr, Al, Fe<sup>3+</sup>の原子比三角ダイヤグラム. (b) Mg#とCr#との関係. (c, d) Cr#とTiO<sub>2</sub> wt%含有率との関係. (d)はTiO<sub>2</sub> < 3 wt%の範囲を表示. (e, f) Y<sub>Fe</sub>とTiO<sub>2</sub> wt%含有率との関係. (f)はY<sub>Fe</sub> < 0.5及びTiO<sub>2</sub> < 3 wt%の範囲を表示. 蛇紋岩を含む地質体毎に、本報告の分析値及び先行研究の分析値をまとめてプロットした. テクトニクスを示す領域は、Arai (1992) and Arai *et al.* (2011)に基づく. LLとSGは、それぞれLoferski and Lipin (1983)及びSack and Ghiorso (1991)によって提唱された600°Cでのソルバスを示す.

Fig. 5 Geochemistry of chromian spinels.

(a) Ternary diagram of C, Al, and Fe<sup>3+</sup> atomic ratio. (b) Variations in Mg# and Cr#. (c, d) Variations in Cr# and TiO<sub>2</sub> wt%. Fig. 5d presents range of TiO<sub>2</sub> < 3 wt%. (e, f) Variations in Y<sub>Fe</sub> and TiO<sub>2</sub> wt%. Fig. 5f presents range of Y<sub>Fe</sub> < 0.5, and TiO<sub>2</sub> < 3 wt%. Analytical data in this study and data from previous studies were compiled and plotted by each geological unit including serpentinite. Tectonic fields are based on Arai (1992) and Arai *et al.* (2011). Dotted line of LL and SG indicate a solvus at 600°C proposed by Loferski and Lipin (1983), and Sack and Ghiorso (1991), respectively.

場合があり、超苦鉄質岩中のクロムスピネルから報告されているMg#と比較して低い値を示す(例えば、荒井, 1992; Arai *et al.*, 2011). これらのことは、クロムスピネルのFe-Mg分配関係が初生的な値を保持していないことを示唆する。御荷鉾緑色岩類中のクロムスピネルは、変質・変成作用を受け、高いFe<sup>3+</sup>含有量と低いMg#とによって特徴づけられる。

#### 4.3 黒瀬川帯及び秩父帯付加コンプレックス中の蛇紋岩

秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩の東方の高麗川沿いには、秩父帯付加コンプレックスに狭し山中白亜系の三山層さんやまに対比される高岡層が分布する(第2図; 石井・田口, 1986; 原, 2020). そのためこの駒岡蛇紋岩は、秩父帯付加コンプレックスに密接に伴って露出し、黒瀬川帯の東方延長と考えられている山中白亜系南縁や名栗断層沿いの蛇紋岩との関連を示唆する。

山中白亜系南縁の蛇紋岩は、ダナイトとハルツパージャイトまたはウェールライトを起源とし、単斜輝石岩、斑れい岩、ロジン岩を伴うことが知られている(平野・飯泉, 1973). 一般に、蛇紋岩化が進み、かんらん石や輝石類は残存していないことが多い(久田・荒井, 1986; 平内ほか, 2006). 名栗断層沿いに露出する蛇紋岩は、完全に蛇紋岩化し、かんらん石は残存していない(Hisada and Arai, 1989; 坂ほか, 1989; 島村ほか, 2003). 山中白亜系南縁の蛇紋岩のクロムスピネルは、Cr#が0.5~0.7と変化を示すこと、Cr#とMg#は負の相関があること、TiO<sub>2</sub>が0.4 wt%以下である特徴が示されている(Hisada and Arai, 1989, 1993). また名栗断層沿いの蛇紋岩中のクロムスピネルは、Cr#が0.71~0.76、Mg#が0.28~0.46と集中した範囲を示し、TiO<sub>2</sub>が0.2 wt%以下で、山中白亜系南縁のクロムスピネルから得られた化学組成の範囲にあることが指摘されている(Hisada and Arai, 1989). さらにクロムスピネルの化学組成から、蛇紋岩は島弧から前弧域のかんらん岩を起源とし、かんらん岩が山中白亜系の南縁をなす地形的な高まりを形成していたと考えられている(久田・荒井, 1986; 荒井・久田, 1991; Hisada and Arai, 1993). また参考までに、坂ほか(2005)による木呂子メランジュの蛇紋岩から得られたクロムスピネル化学組成も第5図に示した。木呂子メランジュのクロムスピネルでは、Mg#及びCr#ではらつきが認められるが、TiO<sub>2</sub>は0.64 wt%以下を示し、概ね山中白亜系南縁のクロムスピネルに近似した傾向を示すことが指摘されている(坂ほか, 2005). また一部のクロムスピネルは、TiO<sub>2</sub>が1.4~2.1 wt%を示し、御荷鉾緑色岩類中のクロムスピネルと類似することも指摘されている(坂ほか, 2005).

駒高蛇紋岩のクロムスピネル化学組成は、山中白亜系南縁や名栗断層沿いの蛇紋岩及び木呂子メランジュ中の蛇

紋岩のクロムスピネルに比べて、TiO<sub>2</sub> wt%はほぼ同様の値を示すが、Cr#が低くMg#が高い傾向がある。また山中白亜系南縁のクロムスピネルが持つCr#とMg#との負の相関に対して、より低いCr#と高いMg#を示す。一方、三波川変成岩類に伴う古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネルと比較すると、Cr#, Mg#, Y<sub>Fe</sub>とTiO<sub>2</sub> wt%は非常に近似した値を示す。そのためクロムスピネル化学組成に基づく、駒高蛇紋岩は黒瀬川帯に露出する蛇紋岩より、古武ノ山蛇紋岩と関連性があると言える。

#### 5. まとめ

関東山地東縁部の蛇紋岩は、三波川変成岩類に伴う古武ノ山蛇紋岩、御荷鉾緑色岩類中の岩体、秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩と3つの産状に区別される。これらの岩体からクロムスピネルの化学分析を行い、Cr-Al-Fe<sup>3+</sup>の関係、Cr#, Mg#, Y<sub>Fe</sub>及びTiO<sub>2</sub> wt%について検討を行った。古武ノ山蛇紋岩と駒高蛇紋岩のクロムスピネルは、よく似た化学組成を示す。既存報告と比較すると、黒瀬川帯東方延長と考えられる蛇紋岩のクロムスピネル(山中白亜系南縁、名栗断層、木呂子メランジュ)より、低いCr#と高いMg#を特徴とする。御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩は変質及び変成作用を受け、クロムスピネルの化学組成は初生的な情報を保持していないと考えられる。これらの蛇紋岩の成因や帰属については、岩石のモード組成、残存する他の初生鉱物の化学組成の検討など、さらなる検討を要する。

謝辞：本研究は、筑波大学第一学群自然学類の佐藤幸江氏による平成11年度卒業研究(佐藤, 1999)、及び筑波大学生命環境学群地球学類の田中基成氏による平成28年度卒業研究(田中, 2017)の一部である。また産業技術総合研究所地質調査総合センターが発行する5万分の1「川越」図幅の研究成果の一部である。静岡大学理学部地球科学科の平内健一博士及び株式会社大林組技術研究所の三宅由洋氏には、蛇紋岩及びクロムスピネルについてご教授頂いた。筑波大学生命環境科学研究科(現：つくば市ジオパーク室、筑波山地域ジオパーク推進協議会)の富永紘平博士には、野外調査への同行及び図面の一部を作成して頂いた。本研究に用いた岩石薄片は、地質標本館室地質試料調製グループの制作による。担当編集委員の高木哲一博士及び査読者の山崎 徹博士には、大変有益なコメントを頂いた。以上の方々に感謝いたします。

#### 文 献

- Arai, S. (1992) Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry. *Mineralogical Magazine*, **56**, 173-184.
- 荒井章司(1992) 碎屑性クロムスピネル及び碎屑性蛇紋岩の重要性. 地質学論集, no. 38, 329-344.

- 荒井章司・久田健一郎(1991) 関東山地, 山中白亜系石室層中の碎屑性クロムスピネル. 岩鉱, **86**, 540–553.
- Arai, S., Okamura, H., Kadoshima, K., Tanaka, C., Suzuki, K. and Ishimaru, S. (2011) Chemical characteristics of chromian spinel in plutonic rocks: implications for deep magma processes and discrimination of tectonic setting. *Island Arc*, **20**, 125–137.
- 原 英俊(2020) 関東山地東縁部, 白亜系高岡層の石灰質砂岩から得られた碎屑性ジルコンU–Pb年代. 地質調査研究報告, **71**, 509–516.
- 日高町史編集委員会(1991) 日高町史自然史編. 日高町, 530p.
- 平島崇男(1984) 関東山地北東部, 寄居地域の緑色岩メラランジュ. 地質学雑誌, **90**, 629–642.
- 平野英雄・飯泉 滋(1973) 関東山地西部, 秩父帯の超苦鉄質岩. 岩石鉱物鉱床学会誌, **68**, 132–137.
- Hirauchi, K. (2006) Serpentinite textural evolution related to tectonically controlled solid-state intrusion along the Kurosegawa Belt, northwestern Kanto Mountains, central Japan. *Island Arc*, **15**, 156–164.
- 平内健一・久田健一郎・伊庭靖弘(2006) 関東山地北西部, 山中白亜系と蛇紋岩の不整合露頭の発見とその意義. 地質学雑誌, **112**, 452–458.
- Hisada, K. and Arai, S. (1989) Itsukaichi serpentinites in the Kanto mountains, central Japan—possibility of eastern extension of Kurosegawa Tectonic Zone. *Annual Report of the Institute Geosciences, the University of Tsukuba*, no. 15, 78–82.
- Hisada, K. and Arai, S. (1993) Detrital chrome spinels in the Cretaceous Sanchu sandstone, central Japan: indicator of serpentinite protrusion into a fore-arc region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **105**, 95–109.
- 久田健一郎・荒井章司(1986) 関東山地の蛇紋岩および白亜系含蛇紋岩礫岩の産状. 地質学雑誌, **92**, 391–394.
- 久田健一郎・荒井章司・宮田隆夫(1987) 関東山地山中地溝帯南縁部における蛇紋岩岩体の分布とそのテクトニックな意義. 大阪教育大学紀要 第三部門, **36**, 129–134.
- Hisada, K., Nakazawa, E. and Arai, S. (1993) Sedimentary origin of ophicalcite in the Sambagawa metamorphic rocks, Kanto Mountains, central Japan. *Annual Report of the Institute Geosciences, the University of Tsukuba*, no. 19, 43–47.
- 石井 醇・田口聡史(1986) 関東山地東縁部, 下部白亜系高岡層. 東京学芸大学紀要4部門, **38**, 97–115.
- 井澤一輝(2018) 関東山地北部, 三波川帯御荷鉾緑色岩類の超苦鉄質岩体: ジュラ紀海台火成活動との関連. 下仁田町自然史館研究報告, no. 3, 33–44.
- 小林まさ代(2012) 関東山地の三波川帯, 釜伏山に産出する超苦鉄質岩の岩石記載. 埼玉県立自然の博物館研究報告, no. 6, 11–17.
- 小林暉子(1986) 日本産含クロムざくろ石の化学組成. 岩石鉱物鉱床学会誌, **81**, 399–405.
- 牧本 博・竹内圭史(1992) 寄居地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 136p.
- 小川町史編さん委員会(1999) 小川町の歴史 別編 小川町の自然 地質編. 283p.
- 越生町教育委員会(2008) 越生の自然. 越生町史自然史編, 585p.
- 小澤智生・小林文夫(1985) 関東山地南部の中・古生層の層序と地質構造. 兵庫教育大研究紀要(自然系教育, 生活, 健康系教育), **6**, 103–141.
- Loferski, P.J. and Lipin, B.R. (1983) Exsolution in metamorphosed chromite from the Red Lodge district, Montana. *American Mineralogist*, **68**, 777–789.
- Research Group of Peridotite Intrusion (1967) Ultrabasic rocks in Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **73**, 543–553.
- Sack, R.O. and Ghiorso, M.S. (1991) Chromian spinels as petrogenetic indicators: thermodynamics and petrological applications. *American Mineralogist*, **76**, 827–847.
- 埼玉県地質図編纂委員会(1999) 埼玉県地質図(山地・丘陵地)解説書. 埼玉県農林部林務課, 242p.
- 坂 幸恭・平 明夫・小笠原義秀(1989) 関東山地東縁部, 秩父帯の名栗断層—黒瀬川構造帯の東端(?)—. 地質学雑誌, **95**, 339–342.
- 坂 幸恭・猿渡ふみよ・大竹奈保(2005) 関東山地北縁部 小川町～神泉村の緑色岩メラランジュ. 早稲田大学教育学部学術研究 生物学・地球科学編, no. 53, 1–26.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2020) 20万分の1日本シームレス地質図v2, <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (閲覧日: 2020年7月15日).
- 佐藤幸江(1999) 関東山地北東部に分布する木呂子メラランジュの帰属. 筑波大学第一学群自然科学類地球科学主専攻, 卒業論文, 75p.
- Seki, Y. (1961) Notes on rock-forming minerals (17) jadeite from Kanasaki (Kanegasaki) of the Kanto Mountains, central Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **67**, 101–104.
- Seki, Y. and Kuriyagawa, S. (1962) Mafic and leucocratic rocks associated with serpentinite of Kanasaki, Kanto Mountains, central Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography*, **33**, 15–32.
- 島村哲也・藤田和弘・猿渡ふみよ・松田将志・坂 幸恭(2003) 関東山地東縁部の黒瀬川地帯—名栗断層帯. 地質学雑誌, **109**, 116–132.

- Tamura, A. and Arai, S. (2005) Unmixed spinel in chromitite from the Iwanai-dake peridotite complex, Hokkaido, Japan: a reaction between peridotite and highly oxidized magma in the mantle wedge. *American Mineralogist*, **90**, 473–480.
- 田中基成 (2017) 関東山地東縁部日高市に産出する蛇紋岩に関する研究. 筑波大学生命環境学群地球学類地球進化学主専攻, 卒業論文, 38p.
- Tazaki, K. (1966) Ultramafic rocks in the northern Kwanto Mountains, central Japan. *Earth Science*, no. 84, 14–25.
- 田崎耕市・猪俣道也 (1974) 北関東山地, 単斜輝石かんらん岩の金雲母とパーガス閃石. 岡山大学温泉研究所報告, no. 43, 1–13.
- 徳田 満 (1986) 関東山地三波川帯・秩父帯の地質構造の研究. 広島大学地学研究報告, **26**, 195–260.
- 徳田 満・原 郁夫 (1979) みかぶ緑色岩類下底のメラングジュ帯の地質—関東山地大霧山地域を例として. 中生代造構作用の研究(総合研究連絡会誌), no. 1, 51–57.

( 受 付 : 2020年10月8日 ; 受 理 : 2021年9月17日 )