

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20740305

研究課題名（和文） 火星・月隕石中に含まれる茶色カンラン石の成因とリモートセンシングデータへの応用

研究課題名（英文） Origin of dark olivine in Martian and lunar meteorites and implications for remote sensing data

研究代表者

三河内 岳 (MIKOUCHI TAKASHI)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号：30272462

研究成果の概要（和文）：

火星・月隕石中に含まれる茶色カンラン石を透過型電子顕微鏡で観察し、これらのカンラン石中に金属鉄またはマグネタイトのナノ粒子が普遍的に含まれていることが明らかになった。これらの着色したカンラン石を赤外顕微鏡を用いて分析したところ、カンラン石中の着色した部分と着色していない部分で 1050 cm^{-1} 付近の赤外スペクトルに明確な差が生じることが示され、赤外域のリモートセンシングデータを解釈する上で重要な情報となることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

We observed “dark” olivine grains in Martian and lunar meteorites and found that nano-particles of either Fe metal or magnetite are widely distributed. We analyzed these dark olivine grains by infrared microscope and found that the infrared spectral data around 1050 cm^{-1} showed clear difference between dark and bright areas in olivine grains. These results gave important implications for interpreting infrared remote sensing data obtained by spacecrafts.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：岩石・鉱物・鉱床

キーワード：火星隕石、カンラン石、リモートセンシング、ナノ粒子、衝撃変成、マグネタイト、金属鉄

1. 研究開始当初の背景

火星隕石中に着色したカンラン石が含まれていることは知られていたが、あまり詳細な研究は行われていなかった。しかし、2004年に発見された NWA2737 火星隕石が黒色のカンラン岩だったことから、透過型電子顕微

鏡による観察で金属鉄のナノ粒子が見つかった。しかし、その他の火星隕石や月隕石に関してはほとんど研究が行われていなかった。また、着色したカンラン石は1ミクロン付近の吸収が消えることが指摘されていたが、遠赤外域でどのようなスペクトルの特徴

を持つか、磁性がどう変化するかなどについては明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

火星隕石、月隕石に見られる茶色カンラン石を電子顕微鏡、赤外分光計、放射光X線などで分析し、発色の原因となっていると考えられる微粒子の同定を行い、これに伴って生じる磁性についても解析を行うものである。また、カンラン石の衝撃圧縮実験を行うことで、同様の茶色化が起こる圧力条件を検証し、回収試料に対して、天然試料と同様の測定を行う。これらの結果は、火星、月の両天体で得られている表面物質のリモートセンシングデータや磁気異常に茶色カンラン石の存在がどの程度寄与しているかについて重要な知見を与え得ると考えられる。

3. 研究の方法

本研究の研究目的を達成するために、主に下記の研究を実施した。(1)天然試料(火星、月隕石)の透過型電子顕微鏡(TEM)による観察・分析(ナノ粒子の存在の有無と同定)。(2)同試料の赤外反射スペクトルの測定(茶色部分の反射スペクトル特性の検証)。(3)カンラン石の衝撃圧縮実験(一段式火薬銃を用いて、様々な条件下でカンラン石を変成させる)。(4)実験試料のTEM観察(ナノ粒子の存在の有無と同定)。(5)天然・実験試料の磁性測定(ナノ粒子、着色の有無と磁性の関係を明らかにする)。

4. 研究成果

主に以下の研究成果が得られた。

(1)茶色のカンラン石を含むいくつかの火星隕石(特に、レールズライト質シャーゴッタイトとカンラン石フィリックシャーゴッタイト)をTEMを用いて詳細な観察・分析を行なった。その結果、茶色の呈色の原因として10~20 nmの大きさの鉄ニッケル合金、もしくはマグネタイトのナノ粒子が含まれていることが分かった。また、集束イオンビーム(FIB)を用いて、カンラン石の茶色い部分とそうでない部分をTEMで観察したところ、ナノ粒子は茶色の部分にのみ含まれることが明らかになった。この際に、一部の金属鉄が変成してヘマタイトが形成されることが分かり、FIBによる試料作製には注意を要することが明らかになった。また、電子線トポグラフィによる分析の結果、1 nmほどの粒子も存在することが分かった。

(2)茶色カンラン石を含む火星隕石の薄片試料を赤外顕微鏡(日本分光製IRM-3000:東大・理)に本申請によって導入したオートステージ(日本分光製IR Profile System)を使ってカンラン石の反射スペクトルを得たところ、茶色部分とそうでない部分に明確な反射

スペクトルの差が見られた。特に、1050 cm⁻¹付近で見られるピーク強度に色の強さとよい相関性が見られた。

(3)放射光X線とレーザーパルスを同期させ、ナノ秒オーダーでのカンラン石の衝撃変成過程をX線回折写真によって得るための予備実験を行った。その結果、10 GPa程度までの衝撃圧縮による結晶構造変化を追うことができることが明らかになった。

(4)物質材料研究機構で、加熱した状態でカンラン石の衝撃実験を行った。得られたカンラン石粉末試料をTEMにより観察した結果、マグネタイトではなく、鉄ニッケル合金のナノパーティクルが含まれていることが分かった。このことから、火星隕石中に含まれるナノパーティクルの鉱物種の違いは、酸素分圧ではなく、温度上昇の違いによってもたらされた可能性が示唆された。

(5)2008年10月に地球に落下した小惑星2008TC₃の鉱物学的研究を行った。Almahata Sittaと名付けられたこの隕石は、火星隕石と同様に黒色化したカンラン石を含むが、この隕石はポリミクトユレイライトであり、黒色化の原因は炭素質と還元により生じた鉄ニッケル合金によるものであった。輝石の微細組織から、平衡温度と冷却速度を見積もったところ、それぞれ、1240-1280度℃、0.2-5℃/時間であった。これらの値は、これまでに他のユレイライトで報告されているものとよく一致した。このことは、ユレイライト母天体が高温時に衝撃破壊を受け、その後、再集積を行ったことに対応しており、小惑星2008TC₃はその表層付近に位置していたものと考えられる。

(6)ドイツ・ミュンヘン大で火星隕石と衝撃実験試料の磁化率測定を行った。その結果、カンラン石中にナノ粒子が含まれる試料は高い磁化率を持つことが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計69件)

- (1) 三河内 岳, 栗原 大地, 笠間 丈史, 火星隕石中の黒色カンラン石: 衝撃変成作用による鉄ナノ粒子の形成, 遊星人(日本惑星科学会誌), 20, 161-168, 2011 査読有.
- (2) Ohtani E., Ozawa S., Miyahara M., Ito Y., Mikouchi T., Kimura M., Arai T., Sato K., Hiraga K., Coesite and stishovite in a shocked lunar meteorite, Asuka-881757, and impact events in lunar surface, Proceedings of National Academy of Science, 108, 463-466, 2011 査読有.
- (3) 三河内 岳, 紋川 亮, 杉山 和正, 地球外試料中角閃石の結晶化学と形成過程につ

- いて, 日本結晶学会誌, 53, 64-69, 2011 査読有.
- (4) Mikouchi T., Zolensky M., Ohnishi I., Suzuki T., Takeda H., Jenniskens P., Shaddad M. H., Electron microscopy of pyroxenes in the Almahata Sitta ureilite, Meteoritics and Planetary Science, 45, 1812-1820, 2010 査読有.
 - (5) Zolensky M. E., Herrin J., Mikouchi T., Ohsumi K., Friedrich J. M., Steele A., Fries M., Sandford S. A., S. Milam, Hagiya K., Takeda H., Satake W., Kurihara T., Colbert M., Hanna R., Maisano J., Ketcham R., Le L., Robinson G. A., Martinez J. E., Jenniskens P., Shaddad M. H., Mineralogy and petrography of the Almahata Sitta ureilite, Meteoritics and Planetary Science, 45, 1618-1637, 2010 査読有.
 - (6) Goodrich C. A., Kita N. T., Spicuzza M. K., Valley J. W., Zipfel J., Mikouchi T., Miyamoto M., The Northwest Africa 1500 meteorite: Not a ureilite, maybe a brachinite, Meteoritics and Planetary Science, 45, 1906-1928, 2010 査読有.
 - (7) Mikouchi T., Zolensky M. E., Ivanova M., Tachikawa O., Komatsu M., Le L., Gounelle M., Dmitryivanovite: A new calcium aluminum oxide from the Northwest Africa 470 CH3 chondrite characterized using electron back-scatter diffraction analysis, American Mineralogist, 93, 746-750, 2009 査読有.
 - (8) Miyamoto M., Mikouchi T., Jones R. H., chondrules in Semarkona (LL3.00) by diffusion calculation from olivine Mg-Fe zoning, Meteoritics and Planetary Science, 44, 521-530, 2009 査読有.
 - (9) Ota K., Mikouchi T., Sugiyama K., Crystallography of hornblende amphibole in the LAP04840 R chondrite and implication for its metamorphic history, Journal of Mineralogical and Petrological Science, 104, 215-225, 2009 査読有.
 - (10) Komatsu M., Mikouchi T., Miyamoto M., High temperature annealing of amoeboid olivine aggregates: Heating experiments of olivine and anorthite mixtures, Polar Science, 3, 31-55, 2009 査読有.
 - (11) Miyamoto M., Arai T., Komatsu M., Yamamoto A., Mikouchi T., Evaluation of a curve-fitting method for diffuse reflectance spectra in the UV-Visible-NIR wavelength region, Polar Science, 3, 110-116, 2009 査読有.
 - (12) Kimura M., Mikouchi T., Suzuki A., Miyahara M., Ohtani E., El Goresy A., Kushiroite, CaAlAlSiO₆: A new mineral of the pyroxene group from the ALH 85085 CH chondrite, and its genetic significance in refractory inclusions, American Mineralogist, 93, 1479-1482, 2009 査読有.
 - (13) Misawa K., Kohno M., Tomiyama T., Noguchi T., Nakamura T., Nagao K., Mikouchi T., Nishiizumi K., Two extraterrestrial dust horizons found in the Dome Fuji ice core, East Antarctica, Earth and Planetary Science Letters, 289, 287-297, 2009 査読有.
 - (14) 杉田 精司, 宮本 英昭, 橘 省吾, 岡田 達明, 出村 裕英, 大森 聡一, 並木 則行, 高橋 幸弘, 三浦 弥生, 長尾 敬介, 三河内 岳, 佐藤 毅彦, MELOS の目指す火星表層科学探査, 遊星人 (日本惑星科学会誌), 18, 79-83, 2009 査読有.
 - (15) Mikouchi T., Kurihara T., Mineralogy and petrology of paired Iherzolitic shergottites Yamato 000027, Yamato000047 and Yamato 000097: Another fragments from a Martian "Iherzolitic" block, Polar Science, 2, 175-194, 2008 査読有.
 - (16) Park J., Bogard D., Mikouchi T., McKay G., The Dhofar-378 Martian shergottite: Evidence of early shock melting, Journal of Geophysical Research, 113, doi:10.1029/2007JE003035, 2008 査読有.
 - (17) Zolensky M. E., Gounelle M., Mikouchi T., Ohsumi K., Hagiya K., Tachikawa O., Andreyivanovite: A second new phosphide from the Kaidun meteorite, American Mineralogist, 93, 1295-1299, 2008 査読有.
- [学会発表] (計 6 3 件)
- (1) Mikouchi T., Kasama T., Kurihara T., More on nano-particles in olivine from the Northwest Africa 1950 shergottite, 42nd Lunar and Planetary Science Conference, 平成 23 年 3 月 11 日, The Woodlands Waterway Marriott Hotel and Convention Center (ウッドランズ・米国) .
 - (2) Mikouchi T., Sugiyama K., W. Satake, Amelin Y., Mineralogy and crystallography of Calcium silico-phosphate in Northwest Africa 4590 angrite, 42nd Lunar and Planetary Science Conference, 平成 23 年 3 月 8 日, The Woodlands Waterway Marriott Hotel and Convention Center (ウッドランズ・米国) .
 - (3) 三河内 岳, 栗原 大地, 火星隕石中カンラン石の黒色化: 衝撃変成作用による鉄ナノパーティクルの形成とその存在意義, 第 6 回北海道大学低温科学研究所衝突研究会, 平成 22 年 11 月 5 日, 北海道大 (札幌) .
 - (4) 三河内 岳・Zolensky M.・Goodrich C.・

- Hoffmann V.・武田 弘, Almahata Sitta ユレイト隕石の鉱物学的研究, 日本鉱物科学会 2010 年年会, 平成 22 年 9 月 24 日, 島根大 (松江) .
- (5) Mikouchi T., Kurihara T., On the darkening of olivine in Martian meteorites, 20th General Meeting of the International Mineralogical Association, 平成 22 年 8 月 24 日, Eötvös 大学 (ブダペスト・ハンガリー) .
- (6) Mikouchi T., Zolensky M. E., Ohnishi I., Suzuki T., Takeda H., Jenniskens P., Shaddad M. H., Transmission electron microscopy of pyroxenes in the Almahata Sitta ureilite, 73rd Annual Meteoritical Society Meeting, 平成 22 年 7 月 26 日, Park Central Hotel (ニューヨーク・米国) .
- (7) Mikouchi T., Yamaguchi A., Sugiyama K., Kato Y., Calcium silico-phosphates in angrites and experimentally-heated eucrite: Implication for their crystal chemistry and crystallization, 33rd Symposium on Antarctic Meteorites, 平成 22 年 6 月 9 日, 国立極地研究所 (東京) .
- (8) Mikouchi T., Sugiyama K., Kato Y., Yamaguchi A., Koizumi E., Kaneda K., Mineralogy of calcium silico-phosphates in angrites compared with related phases in heated eucrite and synthetic analog, 41st Lunar and Planetary Science Conference, 平成 22 年 3 月 4 日, The Woodlands Waterway Marriott Hotel and Convention Center (ウッドランズ・米国) .
- (9) Mikouchi T., Zolensky M., Takeda H., Hagiya K., Ohsumi K., Satake W., Kurihara T., Jenniskens P., Shaddad M. H., Mineralogy of pyroxene and olivine in the Almahata Sitta ureilite, 41st Lunar and Planetary Science Conference, 平成 22 年 3 月 2 日, The Woodlands Waterway Marriott Hotel and Convention Center (ウッドランズ・米国) .
- (10) 三河内 岳, Zolensky M., 小惑星 2008TC₃ の岩石・鉱物学, 日本惑星科学会 2009 年年会, 平成 21 年 9 月 28 日, 東京大 (東京) .
- (11) 三河内 岳, 大隅 一政, 一柳 光平, 足立伸一, 野澤 俊介, 腰原 伸也, Zolensky M., ナノ秒時間分解シングルショットラウエ回折を用いたレーザー誘起衝撃カンラン石のその場観察, 日本鉱物科学会 2009 年年会, 平成 21 年 9 月 10 日, 北海道大 (北海道) .
- (12) Mikouchi T., Barrat J. A., NWA 5029 basaltic shergottite: A clone of NWA 480/1460?, 72nd Annual Meteoritical Society Meeting, 平成 21 年 7 月 18 日, Nancy 大学 (ナンシー・フランス) .
- (13) Mikouchi T., Sugiyama K., Kato Y., Yamaguchi A., Kaneda K., Calcium silico-phosphate in angrite revisited, 72nd Annual Meteoritical Society Meeting, 平成 21 年 7 月 15 日, Nancy 大学 (ナンシー・フランス) .
- (14) Mikouchi T., Satake W., Kurihara T., Y984028 lherzolitic shergottite: A new Antarctic find likely paired with Y000027/000047/000097, 32nd Symposium on Antarctic Meteorites, 平成 21 年 6 月 3 日, 国立極地研究所 (東京) .
- (15) 三河内 岳, FEG-SEM/EBSD を用いた隕石中微小鉱物の結晶学, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 平成 21 年 5 月 17 日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉) .
- (16) Mikouchi T., Ohsumi K., Ichiyanagi K., Adachi S., Nozawa S., Koshihara S., Zolensky M. E., Nano-second time-resolved synchrotron X-ray diffraction study of olivine under laser-induced shock compression, 40th Lunar and Planetary Science Conference, 平成 21 年 3 月 25 日, The Woodlands Waterway Marriott Hotel and Convention Center (ウッドランズ・米国) .
- (17) Mikouchi T., Petrological and mineralogical diversities within the lherzolitic shergottites require a new group name?, 40th Lunar and Planetary Science Conference, 平成 21 年 3 月 24 日, The Woodlands Waterway Marriott Hotel and Convention Center (ウッドランズ・米国) .
- (18) 三河内 岳, 栗原 大地, 佐竹 渉, McKay G., シャーゴッタイト火星隕石の鉱物学的特徴と化学的特徴の関係, 日本惑星科学会 2008 年度秋季講演会, 平成 20 年 11 月 2 日, 九州大 (福岡) .
- (19) 三河内 岳, 萩谷 健治, 大隅 一政, 立川 統, Zolensky M., 電子顕微鏡および放射光単結晶 X 線回折を用いた Wild 2 彗星塵の鉱物結晶学的研究, 日本鉱物科学会 2008 年年会, 平成 20 年 9 月 22 日, 秋田大 (秋田) .
- (20) Mikouchi T., McKay G., Jones J., Petrogenesis and crystallization history of quenched angrites, 71st Annual Meteoritical Society Meeting, 平成 20 年 7 月 29 日, くにびきメッセ (松江) .
- (21) Mikouchi T., Petrographic and chemical variation of lherzolitic shergottites and implications for the classification of shergottites, Antarctic Meteorites: Search, Recovery, and Classification, 平成 20 年 7 月 27 日, くにびきメッセ (松江) .
- (22) 三河内 岳, 小泉 英祐, McKay G., MELTS を用いた還元的シャーゴッタイト火星隕

石の結晶化過程の推定, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 平成 20 年 5 月 30 日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉) .

[図書] (計 3 件)

- (1) 三河内 岳, 火星隕石から探る火星の科学, “Mars Why is Mars red?”, 宮本英昭・平田成・橘省吾編, 東京大学総合研究博物館, 51-59, 2010.
- (2) Yazawa Y., Mikouchi T., Takeda H., , Chapter 19, Available resources and energy sources from Mars rock and soil and their applications for human exploration on the surface of Mars, In “Mars: Prospective Energy and Material Resources”, Badescu, Viorel (Editor), Springer, ISBN 978-3642036286 (3642036287), p. 483-516, (700 pp), 2010.
- (3) 三河内 岳, 火星隕石から読み取る火星環境, 「惑星地質学」, 宮本英昭・橘省吾・平田成・杉田精司編, 東京大学出版会, 147-153, 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三河内 岳 (MIKOUCHI TAKASHI)
東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号 : 3 0 2 7 2 4 6 2

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし