

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400518

研究課題名(和文) 温度可変AFM法による減・昇温条件での環境変動指標鉱物の結晶成長ナノスケール解析

研究課題名(英文) Crystal growth of minerals as an indicator of climatic and environmental changes at lower and higher temperatures: In situ hot/cool stage AFM study at a nano level

研究代表者

桑原 義博 (KUWAHARA, Yoshihiro)

九州大学・比較社会文化研究院・准教授

研究者番号：90281196

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、“結晶成長”と“低温”をキーワードにし、温度可変AFMその場観察法を用いて、気候・環境変動の指標として重要な炭酸塩・硫酸塩鉱物にスポットを当て、低温(5℃)から高温(～50℃)までの結晶成長現象をナノスケールでリアルタイムに捉え、その機構や様式変化の解明を試みた。重晶石(硫酸塩鉱物)の結晶成長実験では、成長速度の異方性と過飽和度依存性を明らかにしたことに加え、結晶成長機構・速度に対する温度変化の影響についても詳細に説明した。方解石(炭酸塩鉱物)の結晶成長及び溶解実験では、その特異面上での水平方向及び垂直方向のステップ・面の前進あるいは後退速度の過飽和度依存性を定量化した。

研究成果の概要(英文)：We examined the growth (and/or dissolution) behaviors of sulfate and carbonate minerals using in situ new hot/cool-stage AFM, to better understand for the microscopic growth and dissolution mechanisms and kinetics of the minerals in solutions at various temperatures (especially under room temperature). The kinetic laws of the crystal growth on the barite (001) surface differed among crystallographic directions and crystal growth mechanisms. Two critical supersaturation points corresponding to the changes in main crystal growth mechanisms from the spiral growth, via 2D nucleation, to adhesive growth tended to decrease with decreasing of solution temperature. On the calcite (10-14) surface, the advance rates of the steps during the growth tended to be faster than the retreat rates of those during the dissolution, while the growth rates of growth spirals toward the direction perpendicular to the (10-14) plane were slower than the retreat rates of (10-14) plane in etch pits.

研究分野：鉱物学、環境鉱物学

キーワード：AFM 結晶成長 溶解 硫酸塩鉱物 炭酸塩鉱物

1. 研究開始当初の背景

近年、気候・環境変動や環境保全、あるいは資源環境に関する研究が活発に行われているが、それらの指標として、炭酸塩・硫酸塩鉱物の役割が再重要視されている。例えば、大陸の湖成堆積物中に見られる炭酸塩・硫酸塩鉱物の挙動が氷期・間氷期変動に密接に関係していることや、コールドシープと呼ばれる海洋底マージンからの流体やガスの湧出場で形成される様々な形態を示す炭酸塩・硫酸塩鉱物が報告され、僅かな温度変化に敏感なそれら鉱物の結晶成長・溶解機構に関する精確な情報が求められている。このような鉱物の溶解に関する研究は活発に行われてきたが、一方で結晶成長に関する研究は、その実験手法の困難さ等の理由により一向に進んでいない。さらに、氷期・間氷期変動あるいは海洋底の冷水湧出帯環境を考える場合、室温以下の低温条件でのそれら鉱物の成長挙動を理解することが重要であるが、そのような温度条件にスポットを当てた過去の研究は皆無といっている。そこで、我々は、“結晶成長”と“低温”をキーワードにし、温度可変 AFM その場観察法を用いて、気候・環境変動の指標として重要な炭酸塩・硫酸塩鉱物にスポットを当て、それら鉱物の低温(5)から高温(～50)までの結晶成長現象をナノスケールでリアルタイムに捉え、その機構や様式変化の解明を試みようと考えた。

2. 研究の目的

我々は本研究期間内で、温度可変 AFM その場観察法を用いて、方解石(炭酸塩鉱物)と重晶石(硫酸塩鉱物)にスポットを当て、温度 5～50 における結晶成長機構(二次元核・スパイラル成長)成長速度、成長面の異方性、成長様式(成長丘の形状変化、ステップの挙動等)を明らかにする。対象鉱物は、僅かな温度変化に加えて僅かな過飽和度の変化によってもその結晶成長様式を変化させることが予想される。従って、本研究では、まず、

(1) 室温条件(25)において、異なる溶液過飽和度における AFM 結晶成長その場観察実験を行い、同温度条件における結晶成長の過飽和度依存性を的確に捉え、次に、

(2) (1) で得られた基礎データを基に、低温(5)および高温(～40)条件での AFM 結晶成長その場観察実験を行い、温度および過飽和度変化による結晶成長機構・様式変化を追跡し解明する。なお、炭酸塩鉱物に関しては、室温条件における結晶成長及び溶解その場観察実験を行い、両者を比較する。

(3) 硫酸塩・炭酸塩鉱物の低温条件での溶解・成長に関する天然現象の一例として、ネパール・カトマンズ湖堆積物にみられるラミナイト層(あるいはその構成鉱物)の生成条件を推定するとともに、インドモンスーン変動と本地域周辺の環境変化との関係解明を

目指す。また、その他の地域・環境における鉱物の溶解・成長に関する天然現象の理解を深める。

3. 研究の方法

(1) 重晶石の AFM 結晶成長その場観察実験

重晶石試料は、アメリカ・コロラド州ストーンヘム鉱床産で、やや青みがかった透明の結晶である。重晶石結晶は、AFM 観察直前にカッターナイフで(001)劈開面を露出させ、その劈開面を試料表面に用いた。BaSO₄ 過飽和溶液もまた、AFM 観察直前に、分析用高純度 Na₂SO₄ および Ba(NO₃)₂ 試薬と純水により 20～100 μM Na₂SO₄+Ba(NO₃)₂ 混合溶液に調整した。過飽和度とイオン強度は、プロゲロムソフト PHREEQC により計算した。過飽和度(SI)は以下の式にて表すことができる：

$$SI = \ln IAP / K_{sp}$$

ここで、IAP は溶液中のイオン種のイオン活動度積 $a(\text{Ba}^{2+}) a(\text{SO}_4^{2-})$ 、 K_{sp} は成長する鉱物の溶解度積である。重晶石結晶成長のその場観察は、温度と湿度を制御した実験室で、マルチモード SPM ユニットと冷却/加熱 AFM システムを搭載した Nanoscope III (Veeco, Bruker AXS 社製)を用いて、コンタクト・モード AFM (CMAFM) 法で行った。我々は、まず、安定した AFM 走査環境を確保し信頼性のある AFM 像を得るために、液中セルに純水を注入し重晶石結晶と反応させながら、観察を開始した。その後、液中セル中の純水を各濃度の BaSO₄ 飽和溶液と入れ替え、重晶石(001)表面上で起こる結晶成長の観察を開始した。溶液温度は 5～40 の範囲で設定し、その溶液および試料の温度は、クール・ステージとサーマル・アプリケーション・コントローラー(TAC)で制御し、また、熱電対(Cole-Parmer Instrument 社製)と TAC でチェックした。液中セル内に流す純水および BaSO₄ 溶液の流速は 0.6～1.2 ml/h で、シリジポンプで制御した。AFM 像は、ヒーター/クーラー-J-head ピエゾ・スキャナーと Si₃N₄ 探針を用いて、走査線 512×512 ライン、走査速度 1～4 Hz で獲得した。得られた AFM 像解析は、ソフトウェア Image SXM を用いて行った。

(2) 方解石の AFM 結晶成長・溶解その場観察実験

方解石試料は、メキシコ・チワワ産の無色透明結晶である。AFM 実験用の試料作成、及び、AFM 結晶成長・溶解その場観察実験の方法は、重晶石の場合と同じである。CaCO₃ 過飽和・不飽和溶液は、CaCl₂ 及び NaHCO₃ のストック溶液の混合により作成した。この時、Ca²⁺ と CO₃²⁻ の比が 1 : 1 になるように調整した。

(3) 天然における硫酸塩・炭酸塩鉱物の形成について

古カトマンズ湖堆積物中に含まれる炭酸塩鉱物を中心に、北大西洋海洋底ボーリングコア堆積物や鹿児島県錦江湾内の海底熱水鉱床などに含まれる炭酸塩・硫酸塩鉱物の試料を採取し、産状、形態、粒子サイズなどの詳細を調べ、それら鉱物の成長や溶解に関する諸データを蓄積する。また、周囲の環境(湖水や熱水の化学的データ)などの諸データの蓄積も進める。

4. 研究成果

(1) 重晶石の AFM 結晶成長その場観察実験

本研究では、ステップまたはサイトレベルで重晶石の特異面である(001)表面の微細成長挙動を追跡し、二次元核形成及びスパイラル成長丘の成長機構と速度、及び、それらの変化過程を明らかにした。特に、両者の成長速度の過飽和度依存性と温度依存性について詳細に議論した研究としては、本研究が初めてである。

各温度における異なる過飽和度溶液での重晶石(001)表面の成長機構は、主に、ラセン転位点から形成される菱形のスパイラル成長丘と半層分の高さを持つ[120]方向のステップと[010]方向に接する湾曲ステップから構成される扇形の二次元核の、二つの成長機構で特徴付けられる。両者は、その成長速度に著しい異方性を持つことも明らかとなった。

各温度における重晶石(001)表面の成長挙動は、基本的には25実験の結果に代表されるように、溶液の過飽和度が増加するにつれて類似した変化様式を示した。最も低い過飽和度条件では、スパイラル成長の速度が極めて遅く、また、二次元核の形成も観察されなかった。中程度の過飽和度条件では、実験時間の経過により、スパイラル成長丘と二次元核の形成が観察された。スパイラル成長丘は過飽和度が増加するにつれてより湾曲した輪郭を示す傾向があった。高過飽和度条件では、スパイラル成長丘と二次元核が観察されたが、二次元核の核生成および成長速度が急激に増加するため、それらの速度を求めることが困難であった。スパイラル成長丘上のステップや二次元核のステップの輪郭は、低過飽和度条件ほど明瞭であったが、10実験では、それらは波状を呈したり、凹凸が激しく、より高温条件のものと比較すると、不規則であった。

重晶石(001)表面で起こる結晶成長の速度則は、結晶方位だけでなく成長機構によっても異なることが解った。[uv0]方向の成長に関しては、スパイラル成長丘上の極めて狭いステップ間隔を持つ平行ステップの前進速度は過飽和度指数の二乗(SI^2)に比例する。それに対して、二次元核の二つのステップは

過飽和度指数(SI)に比例する。一方、重晶石(001)表面に垂直な[001]方向の成長に関しては、スパイラル成長丘の成長速度(R_{sp})が過飽和度指数(SI)に比例するのに対し、二次元核の成長速度(R_{nucl})は高過飽和度条件で急激に増加するような指数関数的な速度則を示した。また、10実験を除けば、二次元核の核生成速度(N_{nucl})は、その成長速度(R_{nucl})と同様に、高過飽和度条件で急激に増加する指数関数的な速度則を示した。溶液過飽和度の変化による(001)面の主要結晶成長機構が、スパイラル成長機構から二次元核成長機構に変わることも明らかとなった。

重晶石の結晶成長機構・速度に対する溶液温度変化の影響については、特に、以下の2つの現象について、今回初めて明らかになった。

一つ目は、主要結晶成長機構の変化が起こる臨界過飽和度及びその時の成長速度が、溶液温度の低下とともに減少することである(図1)。これに加え、最も低い温度条件の10実験では、主要成長機構が二次元核成長機構から付着成長機構に変化する第2臨界過飽和度(SI^{**})が確認できるほど、両者が低下した可能性も指摘した。このような現象が起こるには、次の二つのことが必要であると考えられる:(1)溶液温度の低下によるスパイラル成長速度(R_{sp})の抑制、(2)溶液温度低下による二次元核成長速度(R_{nucl})の上昇。

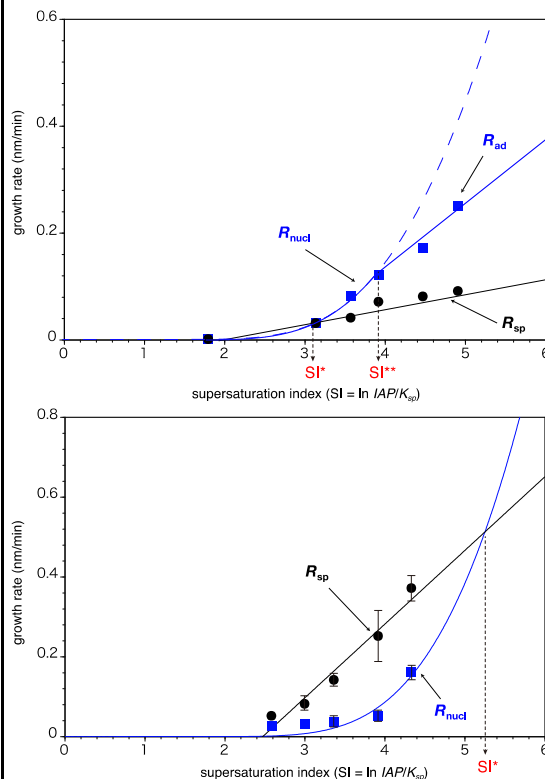


図1. 重晶石(001)表面におけるスパイラル成長速度(R_{sp})、二次元核成長速度(R_{nucl})及び付着成長速度(R_{ad})の過飽和度依存性。(上)10実験、(下)25実験。

(1)に関しては、スパイラル成長速度 (R_{sp}) は過飽和度 (SI) に比例するが、その過飽和度依存性の度合いは捕獲領域 ($2x_s$) に依存する。溶液温度が低いほど入射分子の結晶表面に留まる滞留時間が長くなるので、表面拡散距離 (x_s) も長くなる。従って、温度条件が低くなると、スパイラル成長速度 (R_{sp}) の過飽和度依存性の度合いが弱まることは十分に考えられる。なお、(2)に関しては、現段階では不明であり、今後の課題である。

二つ目は、 $[uv0]$ 方向のステップの前進速度の温度依存性である。結晶成長機構の変化の影響が少ない低過飽和度条件 ($SI \leq 3$) では、 $[uv0]$ 方向のステップの前進速度の温度依存性が確認でき、同じ過飽和度条件では、溶液温度が高いほどステップの前進速度が大きくなることを突き止めた (図2)。これにより、ステップの前進反応に対する活性化エネルギーを決定することに成功した。単独で存在するか、あるいは、ステップ間隔が捕獲領域より十分に広いステップに関しては、本研究で得られた結晶成長時の前進反応に対する活性化エネルギーは先行研究で得られた純水中での重晶石溶解時のステップの後退反応に対する活性化エネルギーとほぼ同じであった。従って、そのようなステップの前進/後退の原因となる各イオン種の脱着反応間の反応バリアの差はほとんどないと予想される。一方、スパイラル成長丘の $[uv0]$ 方向の成長反応に対する活性化エネルギーはやや低い値を示した。スパイラル成長丘上の連続ステップの間隔は捕獲領域より十分に小さく、捕獲領域の重なり合いが起こるので、個々のステップの前進速度は単独で存在するステップの前進速度より抑えられるはずである。このことが、スパイラル成長丘上のステップの前進反応に対する活性化エネルギーの低下の理由の一つであるかもしれない。

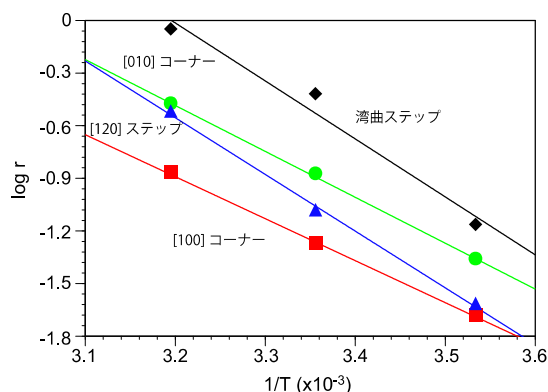


図2. $SI = 3$ における $[uv0]$ 方向の成長速度のアレニウス・プロット。 T は溶液温度 (K)、 r はステップ、あるいは角の前進速度 (nm/sec)。

(2)方解石の AFM 溶解・結晶成長その場観察実験

溶解実験では、いずれの不飽和度でも4つのステップ(あるいは面)で囲まれた四角錐の形をしたエッチピットが形成された。ただし、不飽和度が高くなるにつれて、平行四辺形の方の1組のステップ(あるいは面)の形状が湾曲する傾向にあった。また、ステップの後退速度に異方性が見られ、水平方向については、後退が速いステップはその速度の過飽和度依存性が高く、速度が遅いステップでは過飽和度依存性が低いことが分かった。一方、 $(10\bar{1}4)$ 面に垂直な方向に対する後退速度は水平方向の後退速度よりかなり遅く、また、過飽和度依存も低くなることが分かった。

結晶成長実験でも、溶解実験同様4つのステップ(あるいは面)で囲まれた四角錐の形をしたスパイラル成長丘が形成された。この成長丘では稜線が明瞭に観察でき、上部は二層周期でうずを巻いていることが認められた。ちなみに、ステップ単層の高さは約3であり、炭酸カルシウム1分子層の厚さに相当する。ステップあるいは面の前進速度については、水平方向については溶解時の後退速度よりも速いが、垂直方向については、溶解時の後退速度よりも遅い可能性がある。

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9件)

Nakamuta, Y., Urata, K., Schibata, Y. and Kuwahara, Y. (2017) Effect of $\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$ component on Lindsley's pyroxene thermometer: An evaluation based on strongly metamorphosed LL chondrites. *Meteoritic and Planetary Science*, 査読有, **52**, 511-521.

DOI:10.1111/maps.12808

Shirose, Y. and Uehara, Y. (2016) Investigation of hydrothermal alteration minerals from the Nagatate pegmatite. *Annual Reports of the Ultramicroscopy Research Center Kyushu University*, 査読無, **40**, 92-93.

Ohno, M., Hayashi, T., Sato, M., Kuwahara, Y., Mizuta, A., Kita, I., Sato, T. and Kano, A. (2016) Millennial-scale interaction between ice sheets and ocean circulation during Marine Isotope Stage 100. *Frontiers in Earth Science*, 査読有, **4**, 1-9.

DOI:10.3389/feart.2016.00055

Kuwahara, Y., Liu, W., Makio, M. and Otsuka, K. (2016) In situ AFM study of crystal growth on a barite (001) surface on BaSO_4 solutions at 30°C. *Minerals*, 査読有, **6**, 1-18.

DOI:10.3390/min6040117

Kita, I., Yamanaka, T., Chiyonobu, S., Hasegawa, H., Sato, T. and Kuwahara, Y. (2016) Mercury content in Atlantic sediments as a new indicator of the enlargement and reduction of Northern Hemisphere ice sheet. *Journal of Quaternary Science*, 査読有, **31**, 16-177.

DOI:10.1002/jqs.2854

Nakamuta, Y., Kitajima, F. and Shimada, K. (2016) In situ observation, X-ray diffraction and Raman analyses of carbon minerals in ureilites: Origin and formation mechanisms of diamond in ureilites. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 査読有, **111**, 252-269.

DOI:10.2465/jmps.150606

Uehara, S. and Shirose, Y. (2014) A TES microcalorimeter EDS-SEM system for silicates and other minerals. *21st General Meeting of the International Mineralogical Association (IMA2014)*, Supplement, 査読有, 314-321.

Shirose, Y. and Uehara, S. (2014) Secondary phosphates in montebrasite and amblygonite from Nagatare, Fukuoka Prefecture, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 査読有, **109**, 103-108.

DOI:10.2465/jmps.131022d

Kuwahara, Y. and Makio, M. (2014) In situ AFM study on barite (001) surface dissolution in NaCl solutions at 30°C. *Applied Geochemistry*, 査読有, **51**, 246-254.

DOI:10.1016/j.apgeochem.2014.10.008

[学会発表](計 27 件)

榎尾雅人・佐藤雅彦・林辰弥・大野正夫・桑原義博 . XRD decomposition 法による MIS104 での氷床崩壊に関連した鉱物組成変動解析 . JpGU-AGU Joint Meeting 2017, May 23, 2017, Chiba, Japan.

大塚佳亮・桑原義博 . AFM による炭酸塩鉱物の結晶成長・溶解現象のナノスケール解析 . JpGU-AGU Joint Meeting 2017, May 22, 2017, Chiba, Japan.

Liu, B., Kuwahara, Y., Otsuka, K. and Makio, M. In situ hot/cool-stage AFM study on crystal growth of barite at 10 – 40°C. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, May 21, 2017, Chiba, Japan.

西弘嗣・高嶋礼詩・小川草平・桑原義博 . 黒色頁岩の微化石・粘土鉱物組成に基づく OAE1 b 時の環境変動 . 2016 年度地球環境史学会年会, 2016 年 11 月 27 日, 東京 .

Enji, S. and Uehara, S. Chrysotile and polygonal serpentine in serpentines from kurosegawa belt Kyushu Japan. Serpentine days 2016, September 26, 2016, Sete, France.

Uehara, Y. and Hashimoto, M. Hydrotalcite group minerals in serpentine from Furuyashiki, Fukuoka prefecture, Kyushu,

Japan. Serpentine days 2016, September 26, 2016, Sete, France.

白勢洋平・上原誠一郎 . 岩手県崎浜ペグマタイト産電気石について . 日本鉱物科学会 2016 年年会, 2016 年 9 月 23 日, 金沢 .

白勢洋平・上原誠一郎 . 福岡県長垂産リシオフォライトの産状および微細構造観察 . 日本鉱物科学会 2016 年年会, 2016 年 9 月 23 日, 金沢 .

中牟田義博・浦田佳奈・柴田葉子 . Lindsley 輝石温度計による LL コンドライトの変成温度 . 日本鉱物科学会 2016 年年会, 2016 年 9 月 23 日, 金沢 .

白勢洋平・上原誠一郎 . 福岡県長垂産リシオフォライト . 日本粘土学会第 60 回粘土科学討論会, 2016 年 9 月 16 日, 福岡 .

桑原義博・榎尾雅人・劉雯・大塚佳亮・丁斐・水田麻美・北逸郎・林辰弥・大野正夫 . 2.9~2.4Ma における氷期・間氷期サイクルと北大西洋海洋底堆積物の鉱物組成変化との関係 . 日本粘土学会第 60 回粘土科学討論会, 2016 年 9 月 16 日, 福岡 .

劉雯・桑原義博 . 原子間力顕微鏡によるパラライトの結晶成長ナノスケール解析 . 日本粘土学会第 60 回粘土科学討論会, 2016 年 9 月 16 日, 福岡 .

Nakamuta, Y., Shibata, Y., and Urata, K. Evaluation of Lindsley pyroxene thermometer for chondrites. The Sixth Symposium on Polar Science, November 16, 2015, Tokyo, Japan.

中牟田義博・柴田葉子・浦田佳奈 . コンドライト隕石のための Lindsley 輝石温度計の評価: 回帰方程式の作成と微量成分補正の検討 . 日本鉱物科学会 2015 年年会, 2015 年 9 月 25 日, 東京 .

Makio, M., Sato, M., Hayashi, T., Kuwahara, Y., Ohno, M., Fujita, S., Chiyonobu, S. and Sato, T. Millennial scale linkage between iceberg collapse and ocean circulation after intensification of Northern Hemisphere glaciation. International Union for Quaternary Research XIX Congress, July 31, 2015, Nagoya, Japan.

Makio, M., Sato, M., Hayashi, T., Kuwahara, Y., and Ohno, M. Orbital- and millennial-scale change in the components of the North Atlantic sediments resolved by isothermal remanent magnetization acquisition experiments. International Union for Quaternary Research XIX Congress, July 31, 2015, Nagoya, Japan.

桑原義博・劉雯 . barite (001) 表面で起こる結晶成長の AFM その場観察 . 日本粘土学会第 59 回粘土科学討論会, 2015 年 9 月 3 日, 山口 .

Shirose, Y. and Uehara, Y. Alteration of Li-tourmaline from Nagatare pegmatite, Fukuoka Prefecture, Japan. 7th International Symposium on Granitic Pegmatites, June 19,

2015, Ksiaz, Poland.

楨尾雅人・佐藤雅彦・林辰弥・大野正夫・桑原義博．大陸氷床発達期 (MIS100-104) における氷床崩壊に伴う北大西洋深層流の変動．日本地球惑星科学連合 2015 大会，2015 年 5 月 28 日，千葉県幕張．

桑原義博・楨尾雅人．原子間力顕微鏡による barite の結晶成長その場観察．日本地球惑星科学連合 2015 大会，2015 年 5 月 28 日，千葉県幕張．

- ⑳ Uehara, S., Shirose, Y. and Yamaguchi, K. A TES microcalorimeter EDS-SEM system for silicate and other minerals. IMA2014, September 2, 2014, Johannesburg, South Africa.
- ㉑ Nakamuta, Y. Amorphous carbon in the weakly shocked Y-8448 ureilite. 37th symposium on Antarctic Meteorites. December 3, 2014, Tokyo.
- ㉒ 藤田周・宮川千鶴・佐藤雅彦・北逸郎・大野正夫・桑原義博・佐藤時幸・林辰弥・斎藤めぐみ．220 万年前から 290 万年前の堆積物に基づく北大西洋の環境変動とパナマ地峡の閉鎖．日本地球化学会、2014 年 9 月 18 日、富山．
- ㉓ Ohno, M., Sato, M., Hayashi, T., Kuwahara, Y., Miyagawa, C., Fujita, S., and Kita, I. A rock-magnetic proxy of deep water circulation in the North Atlantic during the early Pleistocene. Asia Oceania Geoscience Society, July 31, 2014, Sapporo.
- ㉔ 上原誠一郎・白勢洋平・山口海．TES マイクロカロリメータ EDS-SEM による珪酸塩鉱物分析．日本鉱物科学会，2014 年 9 月 19 日，熊本．
- ㉕ 楨尾雅人・石田清隆．水熱合成 Li 雲母の X 線 Rietveld 解析および中・遠赤外分光分析．日本鉱物科学会，2014 年 9 月 19 日，熊本．
- ㉖ 桑原義博．AFM による 30 の NaCl 溶液中での barite(001)表面の溶解その場観察．日本鉱物科学会 2014 年 9 月 18 日 熊本．

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://scs.kyushu-u.ac.jp/ykuwa/ykworld/index.html> (九州大学大学院比較社会文化研究院・地球社会統合科学府 桑原研究室 HP)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桑原 義博 (KUWAHARA, Yoshihiro)
九州大学・大学院比較社会文化研究院・准教授
研究者番号：90281196

(2) 研究分担者

上原 誠一郎 (UEHARA, Seiichiro)
九州大学・大学院理学研究院・助教
研究者番号：70158773

石田 清隆 (ISHIDA, Kiyotaka)
九州大学・大学院比較社会文化研究院・准教授
研究者番号：60108602
(平成 27 年度まで)

中牟田 義博 (NAKAMUTA, Yoshihiro)
九州大学・大学院比較社会文化研究院・准教授
研究者番号：60108602