

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18802

研究課題名（和文）サブミクロンEPMA定量分析の実用化：CHIME年代測定への応用

研究課題名（英文）Development of submicron CHIME dating

研究代表者

加藤 丈典（Kato, Takenori）

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授

研究者番号：90293688

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：電子プローブマイクロアナリシスに基づきサブミクロン領域の定量分析法を開発した。最小プローブ径及びモンテカルロシミュレーションによるX線発生領域の推定により、タングステンヘアピン熱電子放出型電子銃でもサブミクロンEPMA定量分析が可能であることが示された。低加速電圧下での最大電流は、熱電子放出型電子銃であれば200 nA以上であるのに対し、ショットキー放出電子銃では50 nA以下であった。このことから、微量元素を含むサブミクロンEPMA定量分析では、熱電子放出型電子銃が望ましいという結論が得られた。また、CHIME年代測定の結果から、試料表面損傷に物質依存性があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱電子放出型電子銃を用いて、低加速電圧下でEPMA定量分析に基づくCHIME年代測定法を開発した。モンテカルロ・シミュレーションにより、熱電子放出型電子銃でも低加速電圧下でサブミクロン領域の定量分析が可能であることを示した。また、閃ウラン鉱の分析により、十分正確な分析が可能であることが示された。ただし、補正計算モデルにより正確さが異なるため、適切にモデルを選択しなければならない。一方、モナザイトの分析では試料表面の損傷の影響を受けている可能性が示唆された。したがって、EPMA定量分析に限らずモナザイトの表面分析では表面処理方法に注意する必要があることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：Submicron quantitative electron probe microanalysis has been developed. Monte Carlo simulation shows that X-ray generation volume becomes less than 1 micron with W-thermionic electron gun. Experimental study shows that a 200 nA probe current can be achieved with thermionic gun, while an about 50 nA probe current is maximum of Shotky-FE gun. Therefore, only thermionic electron gun can be used for submicron quantitative EPMA, especially in trace-element analysis, because high-probe current is required to get high X-ray intensity.

研究分野：地質年代学

キーワード：電子プローブマイクロアナリシス CHIME年代測定 定量分析 閃ウラン鉱 モナザイト X線分光分析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) は、加速した電子を試料に照射したときに発生する特性 X 線を用いて非破壊で化学分析を行う表面分析装置である。名古屋大学では、世界に先駆けて独自に開発した CHIME 年代測定法 (Suzuki and Adachi, 1991a; Suzuki and Adachi, 1991b; Suzuki and Kato, 2008) は、EPMA を用いてジルコンやモナザイトなどの鉱物のウラン、トリウムおよび鉛の濃度を正確に定量分析することにより、マイクロスケールの空間分解能で非破壊年代測定を行うことができる。試料に照射された電子は内部で散乱するため、測定領域は基本的に電子ビームの直径よりも大きくなる。一般的に用いられる分析条件では、(1) CHIME 年代測定の空間分解能は 1~2 ミクロン (図 1) で、

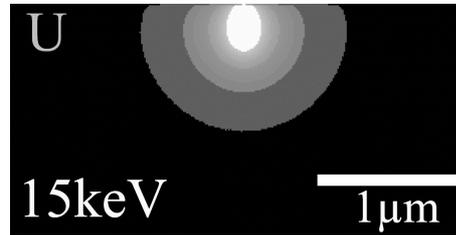


図 1 モンテカルロ・シミュレーションによるモナザイト中のウラン M 線の発生領域 (白~灰色の部分)、加速電圧 15kV でビーム径は無限小を仮定。X 線発生領域は 1 ミクロンを超える。

さらに、(2) 黒雲母やカリ長石などカリウムを含む鉱物と接するモナザイトの CHIME 年代測定では、粒界から 20 ミクロン以上離す必要がある。前者の制約により、1 ミクロン以下の微小粒子やきわめて細かい累帯構造をこれまで分析することができなかった。また、希土類元素 (主としてセリウムとネオジム) の蛍光励起に起因する後者の問題は、カリウムを含む鉱物に接するモナザイトの粒径を制約する。なお、蛍光励起について干渉補正を行う方法も提案されている。しかし、EPMA で用いる補正計算の仮定である均質試料とみなせないことから、干渉補正を行うことは適切ではないと考えている。

これらのことから、少なくとも CHIME 年代測定に適応可能な (できれば汎用性のある) サブミクロン定量分析法と、カリウム鉱物を励起しない CHIME 年代測定法の実現が望まれていた。また、近年ショットキー電子銃の普及により組織観察の空間分解能が向上し、より微細な試料の定量分析の必要性が認識されていた。

2. 研究の目的

CHIME 年代測定では、加速電圧を 15 kV とした場合、ビーム径無限小における空間分解能は 1.3 ミクロンである。そのため、地球上の微小粒子や微細累帯構造の年代測定のみならず、月の砂に含まれるガラスや始原的隕石中の微小粒子の分析を行う上での制約となっている。そこで、サブミクロン領域の CHIME 年代測定を可能にする技術開発を行い、市販の EPMA、特に熱電子放出型電子銃でもサブミクロン定量分析が可能か検討する。

ビーム径をいくら小さくしても試料内で電子が散乱するため、空間分解能を向上させる確実な方法は加速電圧を低くして試料内で電子の散乱する領域を狭くすることである。しかし、化学組成の違いの大きい地質学的試料において系統的な研究は行われていなかった。そこで、サブミクロンの空間分解能で年代測定を行うための要素技術を実現し、また、年代測定以外の EPMA 定量分析への適応可能性を検討する。

3. 研究の方法

EPMA の空間分解能は、電子ビームの直径と試料内での電子の散乱領域で決まる。熱電子放出型電子銃の電子ビームの最小直径は、加速電圧と照射電流から理論的に計算することができる。また、ショットキー電子銃 (いわゆる FE 銃) の場合、一定の電流以下であれば電子ビームの直径は大きく変わらない。また、いずれも金薄膜を用いる方法で実測可能である。一方、試料内での電子の散乱領域を直接観察するのは困難である。そこで、モンテカルロ・シミュレーションにより推定することとした。モンテカルロ・シミュレーションは、Kato (2007) で用いた手法で行った。モデルの詳細は表 1 の通りである。

実際の定量分析では、十分な精度を得るため一定以上の X 線強度が必要になる。そこで、電流を変化させた場合の X 線強度もシミュレートした。これにより検出限界が推定可能になり、サブミクロン領域の CHIME 年代測定を行った場合に、年代測定の限界を予測することができるようになる。

これらのことをふまえてサブミクロン EPMA 定量分析に基づく CHIME 年代測定が可能な分析条件を明らかにし、実際の鉱物を用いて検証を行った。

また、CHIME 年代測定以外の定量分析に応用する場合に、分析条件を制約する要素が無いか検討を行った。

表 1 モンテカルロ・シミュレーションに用いたモデル。

| |
|---|
| Collision cross section for elastic scattering (Mott scattering) Browning (1991) |
| Kinetic energy loss Bethe (1930) modified by Joy & Luo (1989) |
| Mean ionization potential Berger & Seltzer (1964) |
| X-ray intensity Powell (1976) |

4. 研究成果

(1) シミュレーションコードの検証

モンテカルロ・シミュレーションにより加速電圧と X 線強度の変化を正しく予測できるか検証するため、名古屋大学宇宙地球環境研究所の EPMA (日本電子 JCXA-733) を用いて閃ウラン鉱の分析を行った。図 2 に示す通り、加速電圧 5 kV から 15 kV の範囲で、モンテカルロ・シミュレーションにより特性 X 線強度の変化を再現できていることが確認できた。

(2) CHIME 年代測定におけるサブミクロン領域の分析条件と検出限界

図 2 に示す通り、加速電圧を下げると X 線強度は弱くなり、5 kV では 15 kV の約 10% まで減少する。これは、誤差を大きくしたり、検出限界を古くしたりすることになる。したがって、電流と加速電圧のバランスを考慮して、サブミクロン EPMA 定量分析が可能な条件を探る必要がある。熱電子放出型電子銃では、一般に加速電圧を低くすると最小プローブ径は大きくなってしまふ。それに対し、ショットキー効果を用いた電子銃 (FE 銃) では、加速電圧を低くしても最小プローブ径はそれほど大きくなる。しかし、FE 銃では加速電圧を低くすると最大照射電流が急激に低くなるという問題がある。名古屋大学の JCXA-733 (タングステンヘアピン熱電子放出型電子銃) では、加速電圧 5 kV で照射電流を 250 nA 以上にすることができた。一方、釜山国立大学の JXA-8530F (ショットキー効果を用いた FE 銃) では、加速電圧 5 kV では約 40 nA までしか照射電流を上げることができなかった。この結果から、照射電流の面で有利な熱電子放出型電子銃における X 線発生領域を推定した。

まず、モンテカルロ・シミュレーションによりプローブ径が無限小の場合の X 線の発生領域は 0.22 ミクロンと推定された (図 3)。また、理論的な最小プローブ径は、照射電流 100 nA で 0.46 ミクロン、照射電流 200 nA で 0.60 ミクロンである。したがって、加速電圧 5 kV、照射電流 200 nA で分析領域は 0.86 ミクロンとなり、サブミクロン EPMA 定量分析に基づく CHIME 年代測定が実現可能であることが示された。また、セリウムやネオジムの臨海励起ポテンシャルを下回っているため、カリウムを含む鉱物に包有されていても影響を受けない。

次に、シミュレーションにより得られた特性 X 線強度から検出限界を推定した。まず、X 線の計数時間は通常年代測定と同じであると仮定し、X 線の検出限界となる強度を得た。そして、加速電圧 5 kV の X 線強度がその検出限界となる年代をモンテカルロ・シミュレーションにより推定した。その結果、閃ウラン鉱では 7Ma、モナザイトで 100 Ma ~ 450 Ma (組成依存) となった。したがって、中生代以前の試料であれば測定可能である。

(3) 閃ウラン鉱の CHIME 年代測定と補正計算モデルの比較

低加速電圧で実際に妥当な年代がえられるかどうか検証するため、Cardiff 鉱山産の閃ウラン鉱の CHIME 年代測定を行った。名古屋大学宇宙地球環境研究所の JCXA-733 を用い、加速電圧 15 kV と 5 kV、照射電流 200 nA、最小プローブ径の条件にした。補正計算による影響を評価するため、conventional ZAF、Armstrong (1991) の surface-center Gaussian モデル、PAP 及び XPhi (Reed, 1993 の教科書; Merlet, 1992; Merlet, 1994; Merlet 1995) により化学組成を求めた。なお、5 kV の係数が求められていないため、Kato (2005) の手法は検討できなかった。

CHIME 年代測定の結果は表

表 1 : Cardiff 鉱山産閃ウラン鉱の CHIME 年代測定の結果 (単位は Ma)。ZAF: conventional ZAF, PRZ: Armstrong (1991) の surface-center Gaussian モデル。

| V_0 | ZAF | PRZ | PAP | XPhi |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 15 kV | 1131 ± 19 | 1143 ± 19 | 1124 ± 18 | 1119 ± 18 |
| 5 kV | 1303 ± 88 | 1026 ± 70 | 1122 ± 77 | 1124 ± 76 |

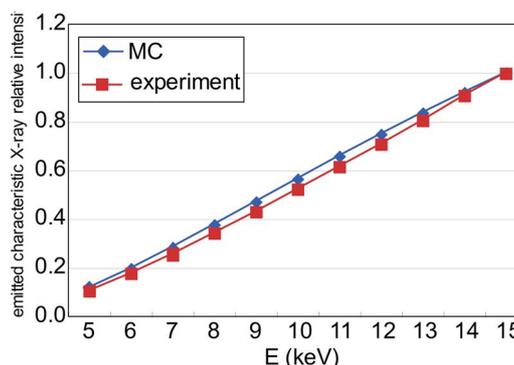


図 2 加速電圧と閃ウラン鉱の U M α 線の強度の関係 (加速電圧 15 kV の強度を 1 とした相対強度)。青がモンテカルロ・シミュレーションの結果で、赤が EPMA 分析の結果である。



図 3 加速電圧 5 kV におけるモンテカルロ・シミュレーションによるモナザイト中のウラン M 線の発生領域。直径 0.22 ミクロンである。

1の通りである。PAPとXPhiは15kVと5kVで大きな差はなく、文献値（Shaub, 1940; Aldrich et al., 1956）とも矛盾しない。一方、conventional ZAFとsurface-center Gaussianモデルでは、年代にずれが生じている。これらのことから、閃ウラン鉱においては、PAPまたはXPhiを用いれば5kVの加速電圧でサブミクロンEPMA定量分析に基づくCHIME年代測定が可能であるといえる。

表2：マダガスカル産方トリウム鉱のCHIME年代（単位はMa）。ZAF: conventional ZAF, PRZ: Armstrong (1991)のsurface-center Gaussianモデル。

| V_0 | ZAF | PRZ | PAP | XPhi |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| 15 kV | 542 ± 8 | 547 ± 8 | 558 ± 8 | 556 ± 8 |
| 5 kV | 699 ± 48 | 610 ± 42 | 554 ± 36 | 558 ± 39 |

(4) 方トリウム鉱のCHIME年代測定

続いて、マダガスカル産方トリウム鉱のCHIME年代測定を行った。分析条件は閃ウラン鉱と同じである。結果を表2に示す。閃ウラン鉱と同様に、PAPとXPhiでは15kVと5kVで年代に大きな違いは無いが、conventional ZAFとArmstrong (1991)のsurface-center Gaussianモデルでは有意な差が生じる。

(5) モナザイトのCHIME年代測定

NMQLモナザイト（Knoper et al., 2000; Knoper, 2010; Basson et al., 2016）を用いて加速電圧を変化させながら定量分析を行った。その結果、加速電圧を低下させるにつれ、年代が若くなる現象が見られ、5kVでは約700Maとなった。加速電圧の変化に応じて系統的に若くなることから、試料表面の損傷の影響が考えられる。一般的に粒子研磨では、粒径の数分の1から半分程度の深さまで表面損傷が発生すると考えられている。今回0.25ミクロンのダイヤモンドで鏡面研磨を行っていることから、0.1ミクロン程度の深さまで損傷が達している可能性がある。加速電圧5kVではX線の発生領域の大部分が損傷領域となることから、表面損傷の影響が考えられる。閃ウラン鉱ではこのような現象はみられていないことから、モナザイトの方が閃ウラン鉱に比べて試料表面が損傷しやすいと考えられる。

(6) 他の試料での問題点

低加速電圧下では、臨海励起ポテンシャルのため重元素分析で軟X線を用いる必要が生じうる。名古屋大学のJXA-733及び釜山国立大学のJXA-8530Fでバックグラウンド形状を測定したところ、軟X線領域においてもバックグラウンドホール（Self et al., 1990; Kato and Suzuki, 2014）の問題があることが明らかになった。すなわち、軟X線を用いて重元素を測定する場合においても、元素や濃度に応じて適切な分析条件の設定やDonovan et al. (2011)のような補正が必要になったことが明らかになった。

引用文献

- Aldrich, L.T., Wetherill, G.W., Tilton, G.R. and Davis, G.L. (1956) Half-life of Rb^{87} . *Physical Review*, **103**, 1045 – 1047.
- Armstrong, J.T. (1991) Quantitative elemental analysis of individual microparticles with electron beam instruments. In: *Electron Probe Quantitation*, Heinrich K.F.J. and Newbury, D.E. (eds), Plenum Press, New York, 261 – 315.
- Basson, I.J., Muntingh, A., Jellicoe, B.C. and Anthonissen, C.J. (2016) Structural interpretation of the Steenkampskraal monazite deposit, Western Cape, South Africa. *Journal of African Earth Sciences*, **121**, 301 – 315.
- Berger, M.J. and Seltzer, S.M. (1964) Tables of energy losses and ranges of electrons and positrons. *NASA SP-3012, National Aeronautics and Space Administration (Washington D.C.)*, 127 pp.
- Bethe, H. (1930) Zur Theorie des Durchgangs schneller Korpuskularstrahlen durch Materie. *Annalen der Physik*, **5**, 325 – 400.
- Browning, R. (1991) Universal elastic scattering cross sections for electrons in the range 1 – 100 keV. *Applied Physics Letters*, **58**, 2845 – 2847.
- Donovan, J.J., Lowers, H.A. and Rusk, B.G. (2011) Improved electron probe microanalysis of trace elements in quartz. *American Mineralogist*, **96**, 274 – 282.
- Joy, D.C. and Luo, S. (1989) An empirical stopping power relationship for low-energy electrons. *Scanning*, **11**, 176 – 180.
- Kato, T. (2005) New accurate Bence-Albee α -factors for oxide and silicate calculated from the PAP correction procedure. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **29**, 83 – 94.
- Kato, T. (2007) Monte Carlo study of quantitative electron probe microanalysis of monazite with a coating film: Comparison of 25 nm carbon and 10 nm gold at $E_0 = 15$ and 25 keV. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **31**, 89 – 94.
- Kato, T. and Suzuki, K. (2014) ‘Background holes’ in X-ray spectrometry using a pentaerythritol (PET) analyzing crystal. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **109**, 151 – 155.
- Knoper, M., Armstrong, R.A., Andreoli, M.A.G. and Ashwal, L.D. (2000) The steenkampskraal monazite

- vein: a subhorizontal stretching shear zone indicating extensional collapse of Namaqualand at 1033 Ma? *Journal of African Earth Sciences*, **31**, 38 – 39.
- Knoper, M.W. (2010) The mesoproterozoic steenkampskraal rare-earth element deposit in Namaqualand, South Africa. In: *GSA, Denver Annual Meeting*, Paper No. 132 – 134.
- Merlet, C. (1992) Quantitative electron probe microanalysis: new accurate $\Phi(\rho z)$ description. *Mikrochimica Acta*, **Supplementum 12**, 107 – 115.
- Merlet, C. (1994) An accurate computer correction program for quantitative electron probe microanalysis. *Mikrochimica Acta*, **114/115**, 363 – 375.
- Merlet, C. (1995) Maximum of the X-ray depth distribution in EPMA at normal incidence: an analytical expression. *Microbeam Analysis*, **4**, 239 – 253.
- Powell, C.J. (1976) Cross sections for ionization of inner-shell electrons by electrons. *Reviews of Modern Physics*, **48**, 33 – 47.
- Reed, S.J.B. (1993) *Electron microprobe analysis* (2nd edition). Cambridge University Press (Cambridge), 326 pp.
- Self, P.G., Norrish, K., Milnes, A.R., Graham, J. and Robinson, B. (1990) Holes in the background in XRS. *X-ray Spectrometry*, **19**, 59 – 61.
- Shaub, B.M. (1940) Age of the uraninite from the McLearn pegmatite near Richville Station, St Lawrence County, New York. *American Mineralogist*, **25**, 480 – 487.
- Suzuki, K. and Adachi, M. (1991a) The chemical Th-U-total Pb isochron ages of zircon and monazite from the Gray Granite of the Hida terrane, Japan. *Journal of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University*, **38**, 11 – 37.
- Suzuki, K. and Adachi, M. (1991b) Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime. *Geochemical Journal*, **25**, 357 – 376.
- Suzuki, K. and Kato, T. (2008) CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: Protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data. *Gondwana Research*, **14**, 569 – 586.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Montel Jean-Marc, Kato Takenori, Enami Masaki, Cocherie Alain, Finger Friedrich, Williams Michael, Jercinovic Michael | 4. 巻 484 |
| 2. 論文標題 Electron-microprobe dating of monazite: The story | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Chemical Geology | 6. 最初と最後の頁 4~15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2017.11.001 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Kato Takenori, Suzuki Kazuhiro, Jeon Mi-Jung, Minami Masayo | 4. 巻 484 |
| 2. 論文標題 Pseudo-fixed dead time circuit for designing and implementation of JEOL-type X-ray counting systems | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Chemical Geology | 6. 最初と最後の頁 16~21 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2017.12.030 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Skrzypek E, Kato T, Kawakami T, Sakata S, Hattori K, Hirata T, Ikeda T | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Monazite Behaviour and Time-scale of Metamorphic Processes along a Low-pressure/High-temperature Field Gradient (Ryoke Belt, SW Japan) | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Petrology | 6. 最初と最後の頁 1109~1144 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/petrology/egy056 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 加藤丈典・榎並正樹 | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 CHIMEの現状と利用(2018年度) | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 名古屋大学年代測定研究 | 6. 最初と最後の頁 82-86 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 南 雅代・榎並正樹・林 誠司・北川浩之・加藤丈典・栗田直幸・池田晃子・奈良郁子・山根雅子・西田真砂美・中村俊夫 | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 平成30年度ISEE地域貢献事業 「東濃地方の地層について学ぼう」活動報告 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 名古屋大学年代測定研究 | 6. 最初と最後の頁 87-92 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Maw Maw Win、Enami M.、Kato T.、Thu Ye Kyaw | 4. 巻 81 |
| 2. 論文標題 A mechanism for Nb incorporation in rutile and application of Zr-in-rutile thermometry: A case study from granulite facies paragneisses of the Mogok metamorphic belt, Myanmar | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Mineralogical Magazine | 6. 最初と最後の頁 1503~1521 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1180/minmag.2017.081.014 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|-------------------|
| 1. 著者名 SUZUKI Kazuhiro、ENAMI Masaki、MAEKAWA Hirokazu、KATO Takenori、UENO Tomoko | 4. 巻 113 |
| 2. 論文標題 Late Cretaceous CHIME monazite ages of Sanbagawa metamorphic rocks from Nushima, Southwest Japan | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences | 6. 最初と最後の頁 1~9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.170613b | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Yuguchi Takashi、Ogita Yasuhiro、Kato Takenori、Yokota Rintaro、Sasao Eiji、Nishiyama Tadao | 4. 巻 192 |
| 2. 論文標題 Crystallization processes of quartz in a granitic magma: Cathodoluminescence zonation pattern controlled by temperature and titanium diffusivity | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Asian Earth Sciences | 6. 最初と最後の頁 104289 ~ 104289 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jseaes.2020.104289 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 加藤丈典、陳美呈 |
| 2. 発表標題 TAP分光結晶を用いた波長分散型分光器におけるバックグラウンドホール |
| 3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年年会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 加藤丈典 |
| 2. 発表標題 EPMAによる微量元素分析とCHIME年代測定 |
| 3. 学会等名 第54回X線分析討論会（招待講演） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小北康弘・湯口貴史・加藤丈典 |
| 2. 発表標題 カソードルミネッセンス像およびチタン濃度定量分析に基づく石英の結晶化プロセスの解明：北上山地、遠野複合深成岩体を例に |
| 3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年年会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 加藤丈典・Skrzypek Etienne・河上哲生・陳美呈 |
| 2. 発表標題 EPMA定量分析における補正計算モデルと質量吸収係数がCHIME年代に与える影響 |
| 3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年年会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 加藤丈典・榎並正樹 |
| 2. 発表標題 CHIMEの現状と利用(2018年度) |
| 3. 学会等名 第31回(2018年度)名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 南 雅代・榎並正樹・林 誠司・北川浩之・加藤丈典・栗田直幸・池田晃子・奈良郁子・山根雅子・西田真砂美・中村俊夫 |
| 2. 発表標題 平成30年度ISEE地域貢献事業「東濃地方の地層について学ぼう」活動報告 |
| 3. 学会等名 第31回(2018年度)名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加藤丈典 |
| 2. 発表標題 電子プローブマイクロアナライザー(E P M A)のための非拡張不感時間型近似が可能な疑似固定不感時間回路 |
| 3. 学会等名 日本鉱物科学会2017年年会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|----------------------------|
| 1. 発表者名 加藤丈典 |
| 2. 発表標題 分光結晶の闇 |
| 3. 学会等名 変成岩などシンポジウム2018 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 KATO Takenori |
| 2. 発表標題 LV (low-voltage) CHIME |
| 3. 学会等名 変成岩などシンポジウム2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 加藤丈典(分担執筆)、辻 幸一・村松 康司編著 | 4. 発行年 2018年 |
| 2. 出版社 講談社 | 5. 総ページ数 368 |
| 3. 書名 X線分光法 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|-------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 陳 美呈 (Jeen Mi-Jung) | | |
| 研究協力者 | 趙 騰龍 (Cho Deung-Lyong) | | |