

平成 21 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19340149
 研究課題名（和文）日本列島とアジア大陸東縁造山帯で測定したCHIME年代の再検討
 研究課題名（英文）Reexamination of CHIME ages measured on rocks from orogenic belts in the Japanese Islands and the eastern margin of Asian Continent
 研究代表者
 鈴木 和博 (SUZUKI KAZUHIRO)
 名古屋大学・年代測定総合研究センター・教授
 研究者番号：90111624

研究成果の概要：

- ・電子プローブマイクロアナライザを高性能・高機能化して分析値の精度と確度を高めた。
- ・トリウムやウランを含む鉱物のコンコールドな分析値を選別する化学的基準を確立して、CHIME年代の確度を高くした。
- ・氷上花崗岩、領家帯ミグマタイト、肥後変成岩、韓国京畿地塊の準片麻岩、中国南東部の花崗岩類、中国吉林省の東清花崗岩のCHIME年代を再検討して、地質学的推定年代や同位体年代との矛盾を解明した。矛盾の原因は肥後変成岩と東清花崗岩では同位体年代、氷上花崗岩と京畿地塊では地質学的解釈、領家帯ミグマタイトと中国南東部花崗岩ではCHIME年代にあった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	11,600,000	3,480,000	15,080,000
2008年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：地殻、CHIME年代測定、造山帯、地質年代

1. 研究開始当初の背景

CHIME法は、モナザイトやジルコンを電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)で分析して粒子各部の結晶年代を決定する、新しい概念の地質年代測定法である。CHIME法は、その高空間分解能と年代マッピング機能が注目され、今日、汎世界的に実施されている。しかし、既報CHIME年代値の中には、地質学的解釈や他の同位体年代と一致しないものがあり、地殻の進化を研究する上で混乱をもたらしている場合がある。不一致が同

位体測定をしないCHIME法の原理にあるのか、あるいは地質学的解釈や同位体年代にあるのかが地質年代学の課題となっていた。

2. 研究の目的

CHIME法では、同位体比を測定しないために、U-Th-Pb系のディスコールドを直接検知することができない。CHIME年代の確度を高めるために、EPMA分析値からコンコールドなデータを選別する化学的判別基準を確立する。また、これを実施するためにEPMA

の改修と高機能化を行う。

日本列島とアジア大陸東縁造山帯における

①南部北上帯の氷上花崗岩、②領家帯ミグマタイト、③熊本県下の肥後変成岩、④韓国京畿地塊の準片麻岩、⑤中国南東部の花崗岩類、⑥中国吉林省の東清花崗岩の地質調査・年代の再測定を実施して、CHIME年代と地質学的関係や同位体年代との矛盾を解明する。

3. 研究の方法

(1) EPMA の改修と高機能化

CHIME年代測定に使用しているEPMAは、1984年製のJEOL JCSA-733型をThM α 、UM β 、PbM α (PbM β)、YL α 測定に特化して、メーカーの仕様を越える性能を実現している。この旧機に対応する高速BSEアンプは無く、イメージシステムも市販品では必要とする性能が得られないので、独自に設計製作する。

(2) 化学的判別基準の確立

EPMAで測定したモナザイトとジルコンの同一の粒子の同スポットをSIMSで同位体分析して、Ca, S, Si, Kなど年代値には直接関係しない元素の挙動でコンコダントと推定できる領域の判別基準を定める。

(3) 日本列島とアジア大陸東縁造山帯

① 南部北上帯の氷上花崗岩：シルル系川内層が不整合に覆っている花崗岩のCHIME年代(約2.5億年)がコンコダントか否かの再測定と地質学的解釈を再検討する。

② 領家帯ミグマタイトが約80 Maに再溶融した可能性をモナザイトの年代マッピングで検証する

③ 熊本県下の肥後変成岩：2.5億年の同位体年代と1.1億年のCHIME年代を、ジルコン・モナザイト粒子のマッピングに基づいて岩石組織と対応させて、変成作用の年代を決定する。

④ 韓国、京畿地塊の準片麻岩：モナザイト粒子の年代マッピングで準片麻岩とグラニュライトの熱史を明らかにして、準片麻岩がグラニュライトに衝上した異地性地質帯であることを明らかにする。

⑤ 中国南東部の花崗岩類：ディスコダントなデータ点の影響を受けている可能性が高い武功山(173 \pm 10Ma)と黄山(162 \pm 10Ma)のCHIME年代を再測定し、九華山の類似花崗岩の地質調査とCHIME年代測定を実施して、中国南東部の中生代花崗岩活動史を整理する。

⑥ 中国吉林省の東清花崗岩：モナザイトの年代差(Th-²⁰⁸Pb, 208MaとCHIME, 160Ma)の原因が初期鉛量か古いドメインの混在かを、モナザイトの組成・年代マッピングの手法で解明して真の花崗岩固結年代を決定する。

4. 研究成果

(1) EPMA の高性能化に関する成果

① 反射電子(BSE)像の高速化

JCSA-733の反射電子検出器の高速アンプを設計・製作した。この高速アンプにより、ステージを高速移動させながらBSE像観察が可能となった。

② イメージ系のデジタル化

JCSA-733のイメージ撮影はブラウン管の像を引延しレンズでフィルムに結像させる構造になっていた。このイメージ系をデジタル化した。新システムの構成を図1に示す。電子ビームのスキャンは12ビットDAコンバータで2660 \times 1920画素まで対応可能にした。イメージデータは8ビットのDAコンバータで取込み、640 \times 480画素のモニターで観察できるようにした。また、保存画像は1280 \times 960画素とし、日時・倍率・スケールバーを加えたTIFF形式にした。

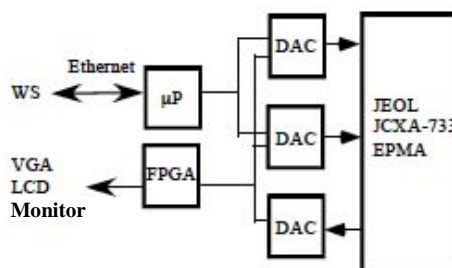


図1. 製作したイメージ系システムの概要. μ P: 組込みマイコン、DAC: DAコンバータ、WS: 制御用ワークステーション.

(2) 化学的判別基準の確立

発表論文等③

① モナザイトの化学的判別基準

モナザイトは軽い希土類元素(La, Ce, Pr, Nd等、LReと表記)のリン酸塩鉱物であり、その化学組成はLRePO₄と表わすことができる。この鉱物は希土類相互およびY置換と

Huttonite置換 (Th,U)SiO₄

Brabantite置換 (Th,U)Ca(PO₄)₂

Gypsum置換 CaSO₄

で組成変化するが、結晶してから系が閉じていけば、(Ca+Si)/(Th+U+Pb+S)=1である(PbはThとUの壊変生成物)。この比が1から外れるモナザイトのドメインはディスコダントと見なしてよいことが明らかになった。また、モナザイトの結晶構造にはイオン半径の大きいKは許されない。Kもディスコダントの指標になることが判明した。

マダガスカル産のモナザイトをランダムに分析すると、図2に示したようにデータ点は分散する。しかし、(Ca+Si)/(Th+U+Pb+S)

比が 0.95-1.05、 $K_2O < 0.02 \text{ wt. \%}$ の条件にパスしたコンコードなデータ点（暗色円）は直線状に配列して、 $519.9 \pm 16.9 \text{ Ma}$ の年代を示す。この粒子の $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年代は $517.1 \pm 5.9 \text{ Ma}$ であり、CHIME 年代と同位体年代は分析誤差の範囲内で一致するようになる。

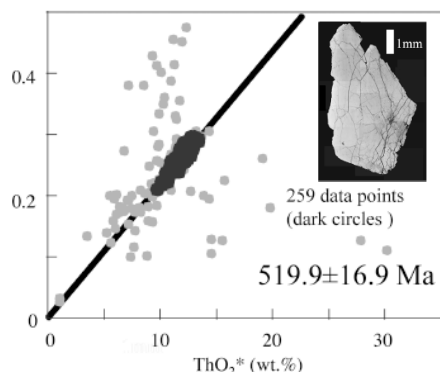


図2. マダガスカル産モナザイトの CHIME 年代測定結果.

② ジルコンの化学的判別基準

ジルコンの場合は S, K, Ca の検出がディスコードの指標となることが明らかになった。イオウは、一般に、方鉛鉱(PbS)や黄鉄鉱(FeS)の微細粒子を作っており、2次的である。ポーランド、Trebic 産花崗岩のジルコン分析値を、 $CaO < 0.03 \text{ wt. \%}$, $K_2O < 0.03 \text{ wt. \%}$, $S < \text{検出限界: 約 } 80 \text{ ppm}$ でフィルタリングして計算した CHIME 年代は $342 \pm 16 \text{ Ma}$ である。同一試料の SHRIMP 年代は $341 \pm 2.8 \text{ Ma}$ である。ジルコンの場合も、化学的判別基準でスクリーニングすることにより、CHIME 法でコンコードと推定できる年代が得られることが明らかになった。

(3) 日本列島とアジア大陸東縁造山帯

① 南部北上帯の氷上花崗岩：シルル系川内層が不整合に覆っている露頭から標本を採集し CHIME 年代を測定した。モナザイトの分析値は $(Ca+Si)/(Th+U+Pb+S)$ と K_2O 量の判別基準に合格しているものが多いので、250 Ma の CHIME 年代を地質学的意味の無い年代と見なすことはできない。花崗岩の固結時期かマイロナイト化の時期を示す年代と考えるのが妥当となった。地質調査により、シルル紀化石を含む層準から大理石礫も発見した。シルル系川内層と上位のデボン系大野層の層序の再検討を継続している。

② 領家変成帯の 85-83 Ma 非変形花崗岩脈の紅柱石は周辺が珪線石化して、後変動期の高温変成を示唆する。モナザイト粒子の年代マッピングにより、領家変成帯には 100 Ma と 80-77 Ma に 2 回の部分溶融を伴う高温期があ

ったことを明らかにした。80-77 Ma の高温イベントの詳細は解析中である。

③ 熊本県下の肥後変成岩：発表論文等④

泥岩起源の片麻岩、ダイアテクサイト、塑性変形した珪長質火成岩脈のモナザイトは、いずれも 110-120 Ma の CHIME 年代を持っていた。塑性変形した珪長質火成岩脈は高変成度変成作用作用の前に貫入したものである。この岩石のモナザイト CHIME 年代が 120 Ma であること、モナザイトの鉛閉止温度が約 900°C (周囲の変成岩の変成温度は約 750°C で、モナザイトの年代を完全にリセットできない) ことを総合して、肥後変成岩の高変成度変成作用は約 115 Ma と結論した。約 250 Ma のジルコンは後背地からもたらされたものである。220-280 Ma の Sm-Nd 鉱物アイソクロン年代は非平衡の産物である可能性が高くなった。新たな年代データに基づいて、肥後変成帯を西南日本内帯と外帯の間に存在する exotc terranes と考え、その起源を South China 地塊の活動的大陸縁辺と考察した。

④ 韓国、京畿地塊の準片麻岩：

発表論文等⑩、⑪、⑫
学会発表②④

京畿地塊は珪長質グラニュライトと堆積岩源の片麻岩から構成される。片麻岩の約 245 Ma の CHIME 年代は本研究開始までは疑問視されていた。最近、約 245 Ma の年代は、京畿地塊を中国山東半島の蘇魯超高压変成帯(約 240 Ma 前の中朝地塊と揚子江地塊の衝突帯)の東方延長(図3)と考える有力な証拠となってきた。

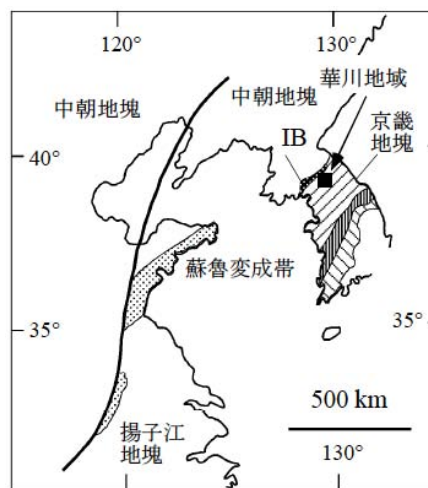


図3. アジア大陸東縁地域のテクトニック.

このモデルが成立するためには、グラニュライト(約 1.86 Ga)も約 245 Ma の変成作用を被っている必要がある。しかしオーバープリントの有無は明確ではない。グラニュライト

と片麻岩の関係を解明するために、韓国北部の華川地域に分布する京畿地塊の地質学的・岩石学的・年代学的研究を実施した。

華川地域では北東部にグラニュライトが、南西部に片麻岩が分布する(図4)。グラニュライトは片麻岩との境界部で、幅2 km以上にわたってマイロナイト化しており、両者が断層関係にあることを示唆する。

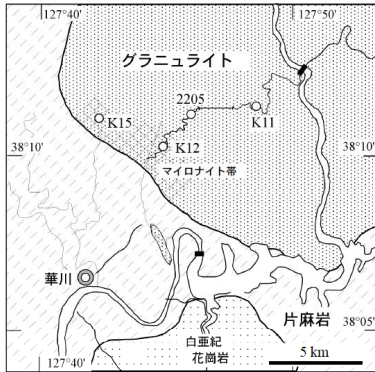


図4. 韓国、華川地域の地質略図。

マイロナイト帯から離れたグラニュライト(K11)はザクロ石が後退時リソープションを受けているにすぎないが、マイロナイト帯に近いグラニュライト(2205)はザクロ石が堇青石+黒雲母集合体に置換されるなどの明瞭なオーバープリントを示す。K11において、ザクロ石に包有されるモナザイトはYが中心から縁部に減少する累帯を呈し、基質のモナザイトは低Yコアを高Yリムが縁どる累帯を呈する。ゼノタイムを含まないK11ではザクロ石とモナザイトがYの主要貯留相となるので、ザクロ石に包有されるモナザイトは先ザクロ石期からザクロ石形成期、基質のモナザイトはザクロ石形成期から後退時リソープション期に結晶したものと結論できる。この結晶時期の異なるモナザイト粒子データ点は、PbO-ThO₂図(図5a)上で一直線に配列し、1.86±0.02 Gaのアイソクロンを形成する。K11は年代の分析誤差に収まる時間(約4千万年)内に変成上昇冷却したと推定できる。

マイロナイト帯に近い2205のモナザイトは、コアが1834 Ma、リムが241±14 Maのアイソクロンを形成する(図5b)。マイロナイト帯に近いグラニュライトのみが約240 Maの変成作用を受けていることが明らかになった。

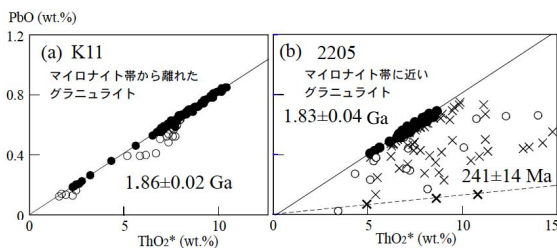


図5. グラニュライトのCHIME年代測定結果。

マイロナイト帯の岩石(K12、K15)は塑性変形の後に珪線石+カリ長石を生じる変成作用を被っている。モナザイトは古い要素を欠き、240 MaのCHIME年代を示す。マイロナイト帯は、245 Maの片麻岩と18.6億年のグラニュライトが断層で接した時に生じたものであるため、その珪線石+カリ長石や2205の堇青石+黒雲母集合体は高温の片麻岩の接触変成で生じたと結論した。また、片麻岩は、中朝地塊と揚子江地塊の衝突時に、揚子江地塊の上部地殻がデタッチして中朝地塊に衝上した異地性地質体とした。この研究成果は論文に取りまとめて投稿中である。

⑤ 中国南東部の花崗岩類:

発表論文等⑧

武功山と黄山を構成する花崗岩のモナザイトのCHIME年代を再測定した結果、武功山は159±12, 164±19 Ma、黄山は130±19, 138±6 MaのCHIME年代が得られた。これらの岩石中のモナザイトは、顕微鏡下でクリアな部分を測定しても、化学的な判別基準から外れるものが多い。既報のCHIME年代(武功山: 173±10Ma、黄山: 162±10 Ma)はディスコダントなデータ点の影響を受けていることが確実にされた。武功山の新しいCHIME年代は、ジルコンのU-Pb同位体年代(161.0±1.0 Ma)に一致する。

武功山の年代の再測定により、中国南東部には印支期(259-226Ma)にも燕山後期(130-100 Ma)にも属さない花崗岩が存在することが確実にされた。この花崗岩活動の全貌を解明する目的で、安徽省九華山の地質調査と年代測定を実施した。この成果は論文に取りまとめて学会誌に投稿中である。

⑥ 中国、吉林省の東清花崗岩:

発表論文等②、学会発表③

東清花崗岩体(Dongqing pluton)は両雲母花崗岩と含ザクロ石白雲母花崗岩から構成される。両雲母花崗岩のTh-²⁰⁸Pbモナザイト年代(208 Ma)と含ザクロ石白雲母花崗岩の同位体年代(約160 Ma)の差異から、2回のマグマ活動が想定されていた。

両雲母花崗岩のモナザイトのコンコダントな分析値(図6の○印)は159±4.8 Maのアイソクロンを作る。このアイソクロンは0.0030±0.0017と有意に大きな初生値をもち、モナザイトが結晶時に鉛を取込んだことを示唆する。コンコダントな分析点の見かけ年代はThO₂含有量が小さいほど古くなっている。CHIME年代測定においては、鉛の分析誤差を避けるために、ThO₂の多いドメインを分析する傾向があるが、本岩石中のモナザイト粒子ではThO₂<4wt.%のドメインの方が広い。Th-²⁰⁸Pb分析を実施したバルクモナザイトは、放射壊変起源のPbが少ないために、

初期鉛の効果が大きく現れたと推察される。両雲母花崗岩と含ザクロ石白雲母花崗岩は約 160 Ma の連続したマグマ活動で形成されたと考えるのが妥当である。

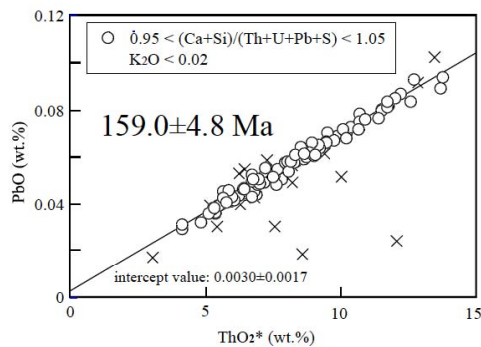
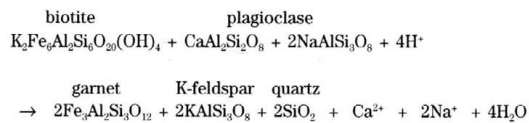


図6. 東清花崗岩のCHIMEモナザイト年代

従来、両雲母花崗岩と含ザクロ石白雲母花崗岩は化学組成の上でもギャップ（ザクロ石白雲母花崗岩は Ti, Sr, Ba が少なく Y に富む）があると考えられてきた。しかし、野外における両者の関係は漸移的で、明瞭な貫入関係は発見できなかった。両雲母花崗岩から含ザクロ石白雲母花崗岩への変化を、分化末期のマグマ-熱水反応と考えた；



両雲母花崗岩の Ti と Ba は主に黒雲母に、Sr は斜長石に含まれているので、黒雲母と斜長石の分解によって熱水に解放される。一方、ザクロ石は Y 選択性が強いので、 $\text{Y}^{3+}\text{Al}^{3+} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+}\text{Si}^{4+}$ や $\text{Y}^{3+} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+}$ 置換で熱水の Y を結晶中に取込む。ザクロ石や白雲母がマグマ-熱水反応の産物であるので、東清花崗岩帯はサブダクション時の S タイプ花崗岩ではない。興安蒙古造山作用の後変動期 A タイプ花崗岩の分化で生じたことを明らかにした。

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 16 件)

- ① 加藤丈典, 鈴木和博: CHIME の現状と稼働状況 (2008 年度)、名古屋大学加速器質量分析計業績報告書、XX, 31-37、(2009), 査読無
- ② Sun, D.-Y., Suzuki, K., Kajizuka, I., Kamikubo, H., Lu, X.-P., Wu, F.-Y.: CHIME dating of monazite from the Dongqing pluton in SE Jilin, China. *Jour.*

of Earth Planet. Sci. Nagoya Univ. **55**, 23-37 (2008), 査読有

- ③ Suzuki, K., Kato, T.: CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data, *Gondwana Research*, **14**, 569-586, (2008), 査読有
- ④ Dunkley, D. J., Suzuki, K., Hokada, T., Kusiak, M. A.: Differences in age estimates between isotopic chronometers: the timing of granulite metamorphism in the Higo Complex of southwestern Japan. *Gondwana Research*, **14**, 624-643, (2008), 査読有
- ⑤ Kusiak, K.A., Suzuki, K., Dunkley, D.J., Lekki, J., Bakun-Czubarow, N., Paszkowski, M. Budzyń, B.: EPMA and PIXE dating of monazite in granulites from Gieraltw, NE Bohemian Massif, Poland, *Gondwana Research*, **14**, 674-685, (2008), 査読有
- ⑥ Tetsopgan, S., Suzuki, K., Njonfang, E.: Petrology and CHIME geochronology of Pan-African high K and Sr/Y granitoids in the Nkambe area, Cameroon, *Gondwana Research*, **14**, 686-699, (2008), 査読有
- ⑦ Sasada, S., Watanabe, K., Higuchi, Y., Tomita, H., Goto, A., Minami, M., Suzuki, K., Kato, T., Hasegawa, T., Kawarabayashi, J., Iguchi, T.: Strontium isotope analysis using resonance ionization mass spectrometry for determination of bone origin. *Journal of Nuclear Science and Technology*, Supplement 5, 97-100, (2008), 査読有
- ⑧ Suzuki, K., Kajizuka, I., Wang, D.Z., Suwa, K.: Reexamination of CHIME monazite ages for granitic samples from Wugongshan and Huangshan, southeastern China, *Jour. Earth and Planet. Sci. Nagoya Univ.* **54**, 1-12, (2007), 査読有
- ⑨ Sugitani, K., Grey, K., Allwood, A., Nagaoka, T., Mimura, K., Minami, M., Marshall, C.P., Van Kranendonk, M.J., Walter, M.P.: Diverse microstructures from Archaean chert from the mount goldsworthy-mount grant area, Pilbara craton, western Australia: Microfossils, dubiofossils, or pseudofossils? *Precambrian Research*, **158**, 228-262, (2007), 査読有
- ⑩ Cho, D.-L., Lee, S.R., Suzuki, K.: CHIME zircon age of the Gamaksan alkaline meta-granitoid in the northwestern margin of the Gyeonggi massif, Korea, and its tectonic implications. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, **16**, 180-188, (2007), (in Korean

- with English abstract), 査読有
- ⑪ Cho, D-L., Kee, W-S., Suzuki, K.: CHIME monazite ages of Jurassic foliated granites in the vicinity of the Gangjin area, Korea. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, **16**, 101-115, (2007), (in Korean with English abstract), 査読有
- ⑫ Cho, D-L., Suzuki, K., Chwae, U., Adachi, M.: CHIME ages of Precambrian rocks from the Goseong-Ganseong area, northeastern part of the Gyeonggi massif, and their implications. *Korea. Jour. Petrol. Soc. Korea*, **16**, 1-11, (2007), (in Korean with English abstract), 査読有
- ⑬ Zheng, C., Kato, T., Enami, M., Xu, X.: CHIME monazite ages of metasediments from the Altai orogen in northwestern China: Devonian and Permian ages of metamorphism and their significance. *Island Arc*, **16**, 598-604 (2007), 査読有
- ⑭ Zheng, C.-Q., XU X.-C., Kato, T., Enami, M.: Permian CHIME ages of monazites of the kyanite-sillimanite type metamorphic belt in Chonghuer area, Altai, Xinjiang and their geological implication. *Geological Journal of China Universities*, **13**, 556-573 (2007) (in Chinese with English abstract), 査読有
- ⑮ Kato, T.: 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 (2007), 査読有
- ⑯ Wiszniewska, J., Kusuak, M.A., Kzeminska, E., Dörr, W., Suzuki, K.: Mesoproterozoic AMCG granitoids in the Mazury complex, NE Poland - a geochronological update. In: A. Koztowski, J. Wiszniewska (eds) *Granitoids in Poland, AM Monograph*, vol. 1, 31-39, (2007), 査読有

[学会発表] (計 6 件)

- ① 加藤丈典、鈴木和博: CHIME 年代測定における鉛のバックグラウンド測定法の検討, 日本地質学会第 115 年学術大会、秋田大学, 20. IX. (2008).
- ② Suzuki, K., CHIME dating and age mapping of monazite in granulites and paragneisses from the Hwacheon area, Korea. *AOGS 5th Annual meeting, Busan*, **18, VI**, (2008) (*Invited*)
- ③ Suzuki, K., Sun, D.Y., Lu, X.P., Wu, F.Y., CHIME dating and age mapping of monazite from the Dongqing pluton in SE Jilin, China. *Workshop of Geology and*

Mineral Resources in northeastern Asia. Jilin University, Changchun, 17-19.V. (2008).

- ④ Suzuki, K., CHIME dating of monazite in metamorphic rocks from the Hwacheon area, central Korea. *Open research Center of Okayama University of Science International Symposium on Material Science and History of Earth and Sister Planets. Okayama*, **15. III**. (2008) (*Invited*).
- ⑤ Minami, M., Goto, A., Suzuki, K., Kato, T., Watanabe, K. and Hasegawa, T.: Do strontium isotope ratios of animal bone and teeth really reflect the isotope ratios of its provenance geology? 2007 Fall meeting of American Geophysical Union. San Francisco, **10-14. XII**. (2007).
- ⑥ Suzuki, K., Protocol and pitfalls of CHIME dating. *International Symposium on Radiometric Dating Studies- Frontier of Technical developments and Applications of CHIME and AMS ¹⁴C Dating Methods-*, Nagoya University, **15. I**. (2007) (**Key note**).

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 和博(SUZUKI KAZUHIRO)

名古屋大学・

年代測定総合研究センター・教授

研究者番号: 90111624

(2)研究分担者

南 雅代 (MINAMI MASAYO)

名古屋大学・

年代測定総合研究センター・准教授

研究者番号: 90324392

加藤 丈典 (KATO TAKENORI)

名古屋大学・

年代測定総合研究センター・助教

研究者番号: 90293688

(3)連携研究者

該当無し