

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21540471
 研究課題名（和文）
 朝鮮半島、京畿地塊を構成する原生代基盤とペルム-三畳紀衝上体の地質学
 研究課題名（英文）
 Geology of the Proterozoic basement rocks and Permo-Triassic allochthons in the
 Geonggi massif, Korean Peninsula
 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（和文）：朝鮮半島中部の京畿地塊基盤岩は約18.6億年前のグラニュライト相ユニットとペルム-三畳紀の角閃岩相ユニットから構成される。境界には大規模なマイロナイトが発達し、マイロナイト自体が2.47-2.40億年に変成している。角閃岩相ユニットは蘇魯造山時に揚子江地塊から離れて中朝地塊のグラニュライト相ユニットに衝上した高温異地性岩体であり、その熱でマイロナイトや近傍のグラニュライト相ユニットが接触変成した。

研究成果の概要（英文）：The Gyeonggi massif in the Korean Peninsula comprises granulite- and amphibolite-facies units that are separated by an extensive mylonite zone. Granulites distant from the mylonite zone yield CHIME ages of c. 1860 Ma. Granulites near the mylonite zone show growth of cordierite and biotite aggregates around garnet grains after the ductile shearing, and yield 247-240 Ma monazite domains on and within c. 1860 Ma monazite grains. The paragneisses in the amphibolite-facies unit contain Neoproterozoic detrital zircon grains and monazite grains with unequivocal metamorphic ages of 251-243 Ma. Two crustal units underwent differing evolutionary histories prior to amalgamation. The Permo-Triassic amphibolite-facies unit detached from the Yangtzu block and was thrust over the granulite-facies unit of the North China block during the Sulu orogeny. Permo-Triassic metamorphic overprints on the latter are attributed to contact metamorphism from the hot allochthon.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：京畿地塊、CHIME年代測定、原生代グラニュライト、ペルム-三畳紀変成岩、異地性岩体、モナザイト、年代マッピング、大陸衝突

1. 研究開始当初の背景

朝鮮半島中央部は、中国北部から朝鮮半島にかけての「中朝地塊」と中国南部の「揚子

地塊」の大陸衝突帯（大別-蘇魯超高压変成帯）の東方延長と想定されてきた。しかし、膨大な研究にも関わらず、想定の中朝地塊や

沃川帯からは大陸衝突帯を特徴づける超高压変成岩は発見されなかった。このため、大陸衝突帯は大きく屈曲し、あるいは横ずれ断層で変位して朝鮮半島を迂回しているという説や京畿地塊そのものが衝突帯との説も提唱された。特に、Oh *et al.* (2005)が洪城地域の飛鳳でペルム-三畳紀のエクログャイト（の痕跡を持つザクロ石角閃岩）を発見したことから、京畿地塊を山東半島の蘇魯衝突帯の東方延長と考える研究者が多くなり、2008年6月に釜山で開催された第5回アジア・オセアニア地質科学会（AOGS）年会でも注目の研究課題となっていた。

研究代表者は京畿地塊の堆積岩源変成岩に新生代とペルム-三畳紀の2種が存在することを明らかにし、新生代グラニュライト相変成岩とペルム-三畳紀の角閃岩相変成岩は大規模な衝上断層で接する別個の地質体との着想を得た。これを第5回 AOGS 年会で報告（招待講演）し、「グラニュライト相ユニットと角閃岩相ユニットを分けるマイロナイト帯近傍のグラニュライトに観察されるペルム-三畳紀の重複変成は衝上した高温角閃岩相地質体の接触変成作用であり、蘇魯衝突帯は朝鮮半島まで延びない」と提唱した。

2. 研究の目的

朝鮮半島中央部を構成する京畿地塊が新生代初期のグラニュライト相ユニットとペルム-三畳紀の角閃岩相ユニットから構成され、境界に大規模なマイロナイトが発達していることを広域的に明らかにする。また、角閃岩相ユニットは蘇魯造山時に揚子江地塊から離れて中朝地塊のグラニュライト相ユニットに衝上した異地性岩体であること、衝上体の熱でマイロナイトやマイロナイト帯近傍のグラニュライト相ユニットの岩石が接触変成したこと、を実証する。

3. 研究の方法

京畿地塊の華川-春川-麟蹄-草束地域と

瑞山-洪城-青陽地域および比較のための嶺南地塊の智異山周辺の地質調査を実施してグラニュライト相ユニット、角閃岩相ユニット、マイロナイト帯の分布を明らかにし、剪断センスの測定と温度-圧力-時間解析のための岩石試料を採取する。実験室で、(1) マイロナイト帯近傍のグラニュライトでのみ堇青石が Mg-ザクロ石を置換するペルム-三畳紀の重複変成があること、(3) マイロナイト帯から離れたグラニュライトは 18.6 億年の累進及び後退変成作用のみを記録すること、(4) マイロナイトがペルム-三畳紀の角閃岩相変成を被っていること、(5) 角閃岩相変成岩の原岩は新生代後期（800Ma）以降のものであること、に観点を絞って CHIME 年代測定・年代-元素マッピングに基づくモノ

サイトとザクロ石の Y 分配の解析・変成岩の鉱物共生の岩石学的な解析を行う。

また、本研究の比較研究として、CHIME 年代測定の確度を検証（発表論文③と④）し、グラニュライト相変成作用におけるモナザイトの年代応答（発表論文⑥と⑩）、ザクロ石とモナザイトの Y 分配反応（発表論文⑦）、ザクロ石の Ti 固溶（発表論文⑨）の解析も実施する。

4. 研究成果

(1) 華川地域（発表論文①）

コリア半島は北より狼林地塊、平南盆地、臨津江帯、京畿地塊、沃川帯、嶺南地塊、慶尚盆地の構造区に区分されている（図 1a）。臨津江帯と沃川帯はペルム-三畳紀の変成岩を含む。

京畿地塊北部の華川地域のグラニュライト相ユニットと角閃岩相ユニットの境界は、幅数 100m 以上に渡ってマイロナイト化し、マイロナイト自体が変成している（図 1b）。

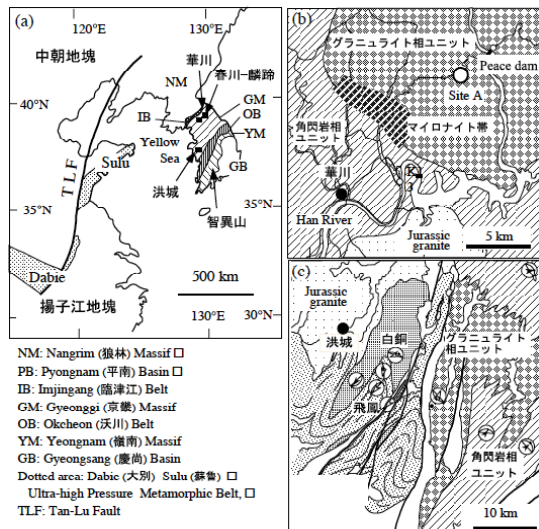


図 1. 朝鮮半島のテクトニクス(a)と華川地域(b)および洪城地域(c)の地質図。

マイロナイト帯から数 km 離れた（図 1b の site A）花崗岩質グラニュライトは Grt-Sil-Bt の鉱物共生を持つ。ザクロ石に包有されたモナザイトではコアからリムへ Y 含有量が減少し（図 2a 左上段）、基質のモナザイトではリムで Y が増加する（図 2a 左の中下段）。ザクロ石は後退的に周辺部分が黒雲母に置換され、リムに Y が濃集している（図 2b）。Y の分布関係から、ザクロ石中のモナザイトの高 Y コアは先ザクロ石期、その Y が減少するリムと基質粒子の低 Y コアは Mg-ザクロ石成長期（グラニュライト相変成作用のピーク）、基質粒子の高 Y リムはザクロ石→黒雲母の後退期に対応する。図 2a 左下段の粒子は、先ザクロ石期からピークを経て後退期までの 3 ステージに渡って成長しているが、

年代累帯は見られない。ザクロ石に包有されたモナザイト粒子も年代的に均質で、基質の粒子と同じ年代を持つ。塑性変形帯から離れた地域の岩石は約 1.87Ga 前の変成作用のみを記録している (図 2c)。

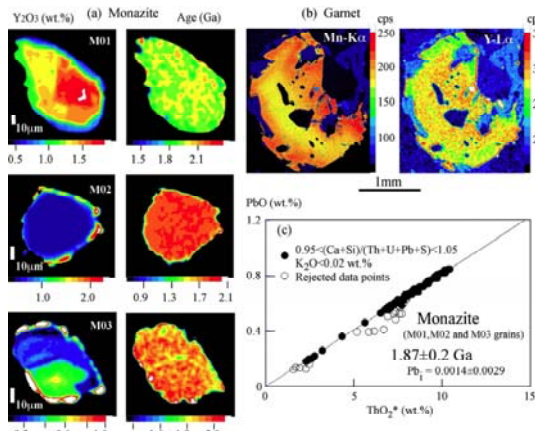


図 2. 花崗岩質グラニュライトのモナザイトとザクロ石の Y 組成累帯と CHIME 年代.

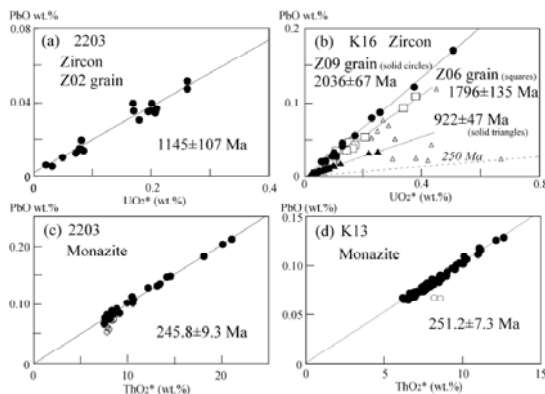


図 3. 角閃岩相ユニットの砂泥質片麻岩の碎屑性ジルコン (a, b) と変成モナザイト (c, d) の CHIME 年代.

マイロナイト帯で隔てられた角閃岩相ユニットの砂泥質片麻岩は 11.5~9.2 億年の若い碎屑性ジルコンを含み (図 3a, b)、再結晶したモナザイト粒子は 251-243 Ma の変成年代を示す (図 3c, d)。若い碎屑性ジルコンの存在は、角閃岩相ユニットが原生代グラニュライト相ユニットのリワークしたものでないことを示す。碎屑性ジルコンの年代分布は揚子江地塊の年代分布に類似している。

(2) 麟蹄地域 (発表論文⑧、論文作成中)

マイロナイト帯に近い花崗岩質グラニュライトでは基質が塑性変形し、Mg-ザクロ石のポーフィロクラストの周辺が堇青石 (過半はピナイト化) で置換されている。この組織は、塑性変形の後にグラニュライト相より低圧の後退変成作用を受けたことを示す。後退変成を受けた泥質グラニュライトのモナザ

イトの Y と年代の累帯様式を図 4 に示す。

ザクロ石には Y 選択性があるので、ゼノタイム等の Y の貯蔵鉱物がない岩石では、ザクロ石の結晶に伴って反応環境の Y の濃度が低くなって、同時に成長する鉱物に Y 減少の累帯が生じる。ザクロ石のポーフィロクラストに包有された粒子は、図 2a 左上段の粒子と同様、累進期からピーク期に相当する Y 累帯と約 18.6 億年の一様な年代をもつ。堇青石 (ピナイト) 中の粒子は、塑性変形を受けた時にはザクロ石に包有されおり、その後のザクロ石→堇青石の後退変成の時期に高 Y リムが生じたことが組織から読み取れる。高 Y リムの 247-240 Ma は、塑性変形後 (グラニュライト相と角閃岩相のユニットが一体化した後) の変成作用の年代である。

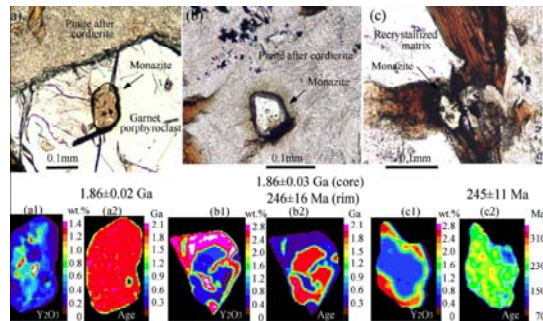


図 4. マイロナイト帯に近い花崗岩質グラニュライトのザクロ石、ピナイトおよび基質中のモナザイトの Y と年代マッピング.

マイロナイトの形成は、地質学的に、角閃岩相ユニットの累進変成作用の後であり、且つ、塑性変形後の後退変成作用の前である。しかし、角閃岩相ユニットの累進変成作用とグラニュライト相ユニットの後退変成作用に大きな年代差は見られない。このこととマイロナイト帯から離れたグラニュライト相ユニットの主体がペルム-三畳紀のイベントを受けていないことから、(1)ペルム-三畳紀変成岩からなる角閃岩相ユニットはグラニュライト相ユニットに衝上したときに高温を保っており、(2) その熱でマイロナイト帯やその近傍のグラニュライト相ユニットが接触変成した、と結論できる。

(3) 春川地域 (発表論文⑨)

春川地域の角閃岩相ユニットは、京畿地塊の中で最大の角閃岩体を含む。この角閃岩体は、同じ露頭単位でも、P1+Qtz+Bt に加えて、Gt+Hbl, relict Gt+Hbl, Hbl, Chl+Hbl の 4 種の鉱物共生を示す。

4 種の鉱物共生のうち、Gt+Hbl タイプが最もモード斜長石が少ない。Chl+Hbl は Mg に富む ($Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg) < 0.26$) 岩石に限られる。

含ザクロ石共生は A1 に富む Fe/(Fe+Mg) 比の大きい岩石に、ザクロ石を欠く共生は A1 の少ない Fe/(Fe+Mg) 比の小さい岩石に出現する (図 5A)。共生鉱物間の元素分配は、A 成分 ($Al_2O_3+Fe_2O_3-Na_2O-K_2O$) の小さい岩石でも、Fe/(Fe+Mg) が大きくなると、斜長石を消費してザクロ石を形成する反応が進行することを示唆する (図 5B)。春川の角閃岩体は低圧中間群の藍晶石-珪線石漸移帯程度の変成度 (角閃岩相) で平衡に達したものであり、エクロジャイト相やグラニュライト相の変成度には達していない。

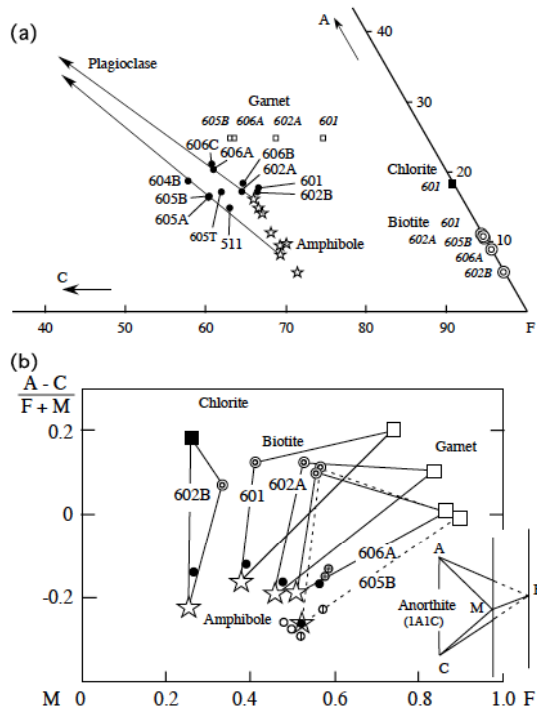


図 5. 角閃岩の ACF プロット(A)と構成鉱物の ACFM 4 面体投影(b).

(4) 洪城地域 (発表論文⑤)

洪城地域の地質図を図 1c に示す。Oh *et al.* (2005) は図中の飛鳳に産出する角閃岩のザクロ石中にオンファサイトの残晶を発見し、角閃岩はペルム-三畳紀の大陸衝突に伴う超高压変成作用でできたエクロジャイトが後退変成したものと報告した。同時に白銅のザクロ石グラニュライトをエクロジャイトと同じ超高压変成帯の高温部に比定した。地質図の東側に分布するペルム-三畳紀の角閃岩相ユニットと原生代のグラニュライト相ユニットは、西側の飛鳳の分布する角閃岩と異なり、超高压変成作用を受けた証拠がない。

白銅のザクロ石グラニュライトのザクロ石の累帯構造を Fig. 6a に示す。最も Ca に富む領域 (図 6a2) がエクロジャイト期、それを取り巻く Mg に富む領域 (図 6a3) が変成作

用ピークのグラニュライト期に成長した部分である。その後、ザクロ石の周辺部は後退変成作用で斜長石 (+ 黒雲母) に分解し、その際に開放された Mn と Y が結晶内部に拡散して逆類帯 (図 6a6, 6a7) を生じている。後退的に生じた斜長石がゼノタイムの微細粒子を伴っている (例えば図 6a7, 6a8 の下側の白点) ので、ザクロ石の分解時には反応環境の化学組成がゼノタイムに飽和したことは疑いない。ザクロ石に隣接したジルコンの年代と組成類帯を図 6b に示す。この粒子のコアは花崗岩ジルコンに特徴的な振動状の組成累帯を示すので、 824 ± 29 Ma (788–988 Ma) の年代は原岩の形成年代と解釈される。コアの左側と右側に発達するゼノタイム成分に富むリムは、斜長石に伴うゼノタイム (図 6a7, 6a8) と共に、ザクロ石の分解時期に生じたものである。従って、その年代 (236 Ma) は、累進変成作用の時期ではなく、後退変成作用の時期に対応する。

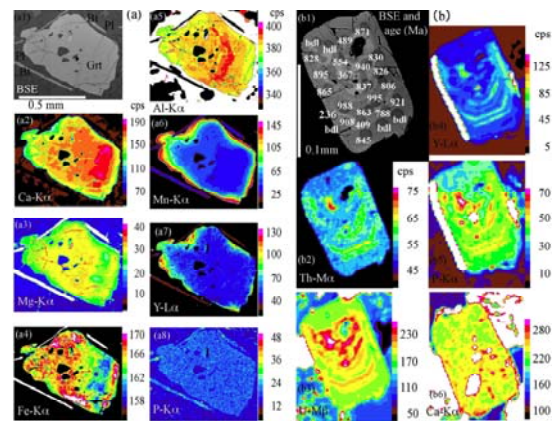


図 6. 洪城地域、白銅のザクロ石グラニュライトに含まれるザクロ石とジルコンの組成マップ。

白銅ザクロ石グラニュライトのザクロ石の成長した累進変成作用の時期はアラナイトに記録されている。アラナイトの粒子には BSE 像で明るい高 Th コアと暗い低 Th リムがある (図 7a)。低 Th リムには Y_2O_3 含有量が高 Th コアより少ないスポットと多いスポットがあり、 Y_2O_3 含有量の多いスポットは若い見かけ年代 (200–300 Ma) を持つ (図 7b)。高 Th コアの年代 (825 ± 110 Ma、図 7c) は、ジルコンの振動状累帯部の年代と一致し、原岩の形成時期である。アラナイトの低 Th リムのうち、Y が少ない領域がザクロ石の成長期、Y が多い領域がザクロ石の分解期に対応する。低 Y リムの年代 (438 ± 99 Ma) を、ザクロ石グラニュライトの形成年代と見なすことができる。高 Y リムの年代 (254 ± 30 Ma) はジルコンが記録する後退変成作用の年代 (236 Ma 前後) と一致する。

白銅ザクロ石グラニュライトの形成史は、ペルム-三疊紀の大陸衝突に伴う超高压累進変成で生じた飛鳳エクロジヤイトと異なる。従って、両者を一連の変成岩と考へて蘇魯衝突帯に対比することには無理がある。

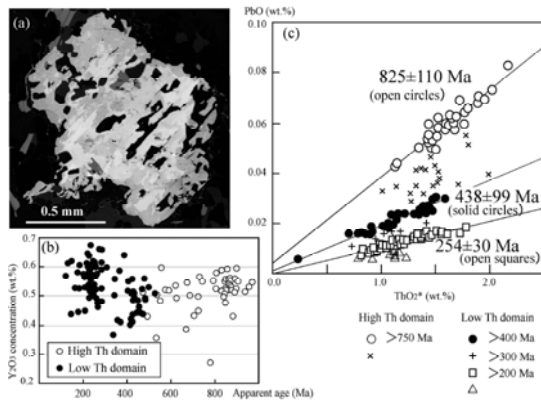


図7. 白銅ザクロ石グラニュライトのアラナイトのBSE像(左上)、Y含有量と見かけ年代(左下)とCHIME年代(右)。

(5) 智異山周辺の嶺南地塊 (論文準備中)

嶺南地塊には堆積岩源の角閃岩相~グラニュライト相変成岩が広く分布する。花崗岩質グラニュライトは少なく、智異山の南東部のみに分布する。京畿地塊とは異なり、嶺南地塊では花崗岩質グラニュライトと堆積岩源変成岩の間にマイロナイト帯が発達していない。また、角閃岩相の変成堆積岩とグラニュライト相の変成堆積岩は漸移していて、変成度のギャップは認められない。

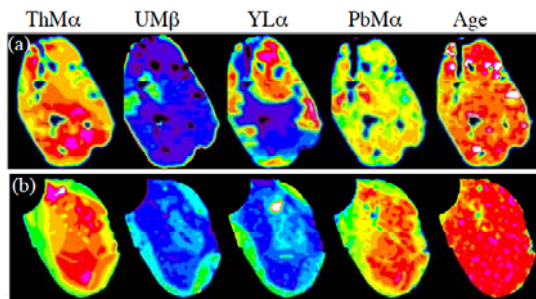


図8. 嶺南地塊の角閃岩相泥質片麻岩(上)と花崗岩質グラニュライト(下)のモナザイトの組成・年代マップ。

角閃岩相泥質片麻岩のモナザイト(図8上)も花崗岩質グラニュライトのモナザイト(図8下)も18.6億年のような年代を示し、ペルム-三疊紀のオーバープリントは認められない。嶺南地塊の変成岩は、京畿地塊のグラニュライト相ユニットの変成岩と一連の変成帯を構成していることが確実になった。

(6) テクトニック モデル

京畿地塊のペルム-三疊紀変成岩の分布域をNE-SW方向に延びる中朝地塊と揚子江地塊の衝突帯とする説が提唱された(Oh, 2006)。これに従うと、京畿地塊の北部は中朝地塊に属し、南部および嶺南地塊は揚子江地塊に属することになる。一方、大陸衝突帯は現在の朝鮮半島の西側に仮定される黄海トランスフォーム断層で終焉し、沈み込む揚子江地塊の東端部分の地殻が剥ぎ取られて東側の京畿地塊(中朝地塊)に衝上したとするモデルも提唱されている(Zhai *et al.*, 200)。

本研究で明らかになった、(a)京畿地塊のペルム-三疊紀角閃岩相ユニットと原生代グラニュライト相ユニットはnappe-windowの関係、(b)境界マイロナイト帯の剪断センスは上盤(角閃岩相ユニット)が北東~東に移動、(c)グラニュライト相ユニットのペルム-三疊紀オーバープリントは塑性変形の後でおきた角閃岩相ユニットの接触変成、(d)嶺南地塊の変成岩は京畿地塊のグラニュライト相ユニットに連続、の諸事項は、揚子江地塊の地殻が剥ぎ取られ、黄海トランスフォーム断層を越えて東側の京畿地塊に衝上したことを支持する(図9)。

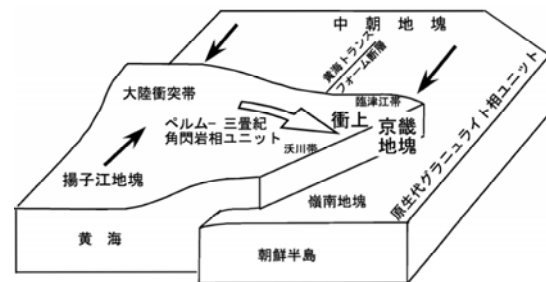


図9. 中朝地塊と揚子江地塊の衝突に伴う地殻の剥ぎ取り衝上モデル(Zhai *et al.* 2007を修正単純化)。

揚子江地塊の北部は227±7Maの超高压変成作用の前に高温変成作用を被っている。京畿地塊の角閃岩相ユニットの251-243Maの年代が高温変成作用のピークに対応すると考えられる。春川や飛鳳のザクロ石角閃岩は揚子江地塊から剥ぎ取られた変成帯の下部を代表する。従って、京畿地塊内のザクロ石角閃岩の分布が中朝地塊と揚子江地塊の境界を描いているわけではない。中朝地塊と揚子江地塊の衝突は黄海トランスフォーム断層で終わり、朝鮮半島全体が中朝地塊に属する。京畿地塊の北側の臨津江帯と南の沃川帯は衝上した角閃岩相ユニットの低変成度~未変成部分と考えられる。

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 10 件)

- ① Suzuki, K., CHIME dating and age mapping of monazite in granulites and para-gneisses from the Hwacheon area, Korea: implications for correlations with Chinese cratons, *Geosciences Journal*, 査読有, Vol.13, 2009, pp.275-292.
DOI:10.1007/s12303-009-0027-z
- ② Suzuki, K., Dunkley, D. j., Kajizuka, I. and Chwae, U., A preliminary report on the geochemistry of amphibolites from the Chuncheon area in the Gyeonggi massif, Korea. 査読有, *Journal of Earth and Planetary Sciences*, Nagoya University, Vol.56, 2009, pp.13-29.
- ③ Kusiak, M.A., Dunkley, D. J., Suzuki, K., Kachlik, V., Kedzior, A., Lekki, I. and Opluštil, S., Chemical (non-isotopic) and isotopic dating of Phanerozoic zircon-A case study of durbachite from the Třebíč Pluton, Bohemian Massif. *Gondwana Research*, 査読有, Vol.17, 2010, pp.153-161.
DOI:10.1016/j.gr.2009.06.005
- ④ Xu, S- S., Suzuki, K., Liu, L., Wang, D-Z. and Flood, R., Petrogenesis and tectonic implications of Late Mesozoic granites in NE Yangtze Block, China: further insights from Jiuhuashan-Qingyang complex, *Geological Magazine*, 査読有, Vol.147, 2010, 219-232.
DOI:10.1017/S0016756809990367
- ⑤ Suzuki, K., Chwae, U., Dunkley, D. J., Kim, S. W., Kajizuka, I. and Minami, M., CHIME geochronology of granitic gneiss from Baekdong in the Hongseong area of the Gyeonggi Massif, South Korea. *Journal of Earth and Planetary Sciences*, Nagoya University, 査読有, Vol.57, 2010, pp.19-41.
- ⑥ Forbes, C. J., Giles, D., Hand, M., Betts, P. G., Suzuki, K., Chalmers, N., and Dutch, R., Using P-T paths to interpret the tectonothermal setting of prograde metamorphism: an example from the northeastern Gawler Craton, South Australia, *Precambrian Research*, 査読有, Vol.185, 2011, pp.65-85.
DOI:10.1016/j.precamres.2010.12.002
- ⑦ Kawakami, T. and Suzuki, K., CHIME monazite dating as a tool to detect polymetamorphism in high-temperature metamorphic terrane - an example from the Aoyama area, Ryoke metamorphic belt, SW Japan, Island Arc, 査読有, Vol.20, 2011, pp.439-453.

DOI:10.1111/j.1440-1738.2011.00777.x

- ⑧ 鈴木和博、EPMAによるTh-U-Pb化学アイソクロン年代測定法の開発と鉱物粒子年代測定への展開、*地球化学*, 査読有, Vol.45, 2011, pp.113-128.
- ⑨ Suzuki, K., Dunkley, D. J. and Kajizuka, I., Melanite from the endoskarn of a spessartite dyke intruding into the Kinshozan limestone in Ogaki City, Gifu Prefecture, *Journal of Earth and Planetary Sciences*, Nagoya University, 査読有, Vol.58, 2011, pp.1-19.
- ⑩ Baba, S., Dunkley, D., Hokada, T., Suzuki, K. and Shiraishi, K., Nwe SHRIMP U-Pb zircon ages and monazite CHIME ages from South Harris granulite, Lewisian Complex, NW Scotland, *Precambrian Research*, 査読有, Vol.200-203, 2012, pp.104-128.
DOI:10.1016/j.precamres.2012.01.013

[学会発表] (計 2 件)

- ① 鈴木和博、EPMAによるTh-U-Pb化学アイソクロン年代測定法の開発と鉱物粒子年代測定への展開、日本地球化学会、招待講演、2010年9月8日、熊谷市、立正大学。
- ② Suzuki, K. and Chwae, U., Permo-Triassic overprint on the Paleoproterozoic granulites within the Gyeonggi massif of the Korean Peninsula, revealed by the CHIME dating and age mapping of monazite, APMC10/ICONN2012/ACMM22, 招待講演, 2012年2月9日, Perth, Australia.

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: 9011624

(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・准教授
研究者番号: 90293688