

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24540490

研究課題名(和文) 西南日本の白亜紀弧火成活動とプレートの沈み込み・付加との関連

研究課題名(英文) Relation between Cretaceous arc magmatism and subduction and accretion

## 研究代表者

今岡 照喜 (Imaoka, Teruyoshi)

山口大学・理工学研究科・教授

研究者番号：30193668

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：我々はジュラ紀-白亜紀における西南日本-韓国-山東半島-遼東半島の1000kmにおよぶ地域の火成活動の時空変化について検討した。その結果、ジュラ紀においては、プレートは低角沈み込みが進行し、その後、白亜紀に至る間にロールバックし、マグマ活動はTan-Lu断層から西南日本側に向けて若返ったと推定される。その最終段階で西南日本の約100 Maマグマ活動が行われた。近畿地方の京都ランプロファイアーやアダカイトはこの時期の活動として位置づけられる。我々はまた、バソリスと累帯プルトンの3次元形態を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We examine spatiotemporal variations of Jurassic to Cretaceous magmatism along a c. 1000 km transect across eastern Asia, including SW Japan. Integration of tectonic regime data with age data from igneous rocks in eastern Asia (from the Tan-Lu Fault to SW Japan) suggests a shallowing of the subduction angle and subsequent flat-slab subduction during the Jurassic, and slab rollback during the Early Cretaceous. The combination of a subducting plateau and root-enhanced suction provides the best explanation for the flat-slab subduction. In the final stage (Albian) of slab rollback, the geotectonic setting changed from subduction-accretion to a continental arc in the area close to the ancient trench (i.e., the Inner Zone of SW Japan).

We advocated that the Cretaceous episodic magmatism at c. 100 Ma produced lamprophyres and adakitic granitoids in SW Japan was produced during the rollback of the plate. We also revealed 3D geometry of a batholith and a zoned pluton.

研究分野：岩石学

キーワード：花崗岩 流紋岩 太平洋プレート 白亜紀 古第三紀 バソリス

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) なぜ 100 Ma に西南日本で火成活動が開始されたか？ についてその理由はよく理解されていなかった。西南日本の中生代火成活動は、前期白亜紀末 (100 Ma 頃) にはじまると考えられる。一方、白亜紀火成活動の開始時期は、韓半島で多少の不確実性があるが、海溝方向に若くなり、西南日本白亜紀火成活動はその末端に位置する。上記の問いに答えるためには、このような広域的な火成活動の時空変遷が持つ意味を明らかにすることが重要であった。
- (2) アダカイト、高 Mg 安山岩、高 Nb 玄武岩、スペッサルタイトで特徴づけられる西南日本の 100 Ma 火成岩類は、どのような造構環境のもとで活動したか？ という問題については不明であった。この問いに答えるためには、100 Ma 頃の前弧-背弧における熱構造に関する情報が重要となる。前弧域の熱構造に関しては、沈み込むスラブの年代を知る必要がある。また、背弧における熱構造に関しては、大陸地域の火成活動の変遷を知る必要があった。
- (3) 100 Ma 頃のリソスフェア マントルはどのような特性であったか？ については多くの研究者の興味を引く問題であると思われる。かんらん岩ゼノリス等マントルゼノリスからのマントル物質の推定が期待されていたが、100 Ma の時代を確定したゼノリスはほとんど知られていなかった。
- (4) 西南日本に広く分布する白亜紀花崗岩バソリスの空間問題、すなわち、花崗岩マグマの貫入・定置様式については言及されることは少なく、不明であった。
- (5) 花崗岩プルトンの累帯構造について、年代の異なるマグマが漸増定置して形成されるケースは知られていた。しかしながら、同じ時代に形成されたことが証明される複数のマグマからなる累帯プルトンは知られていなかった。
- (6) 95-85 Ma にかけてイグニンブライト・フレアアップとよばれるカルデラやグラバーベンを形成するような大規模珪長質火砕流の噴出が行われ、地表下ではバソリス群が形成されたことを筆者らは明らかにしてきた。研究開始時には中国地方西部では、山口カルデラ、吉部カルデラ、佐々並カルデラ、白滝山カルデラ、匹見グラバーベン・カルデラの存在が知られているのみであった。

## 2. 研究の目的

- (1) 白亜紀火成活動の開始時期は、アジア大陸東縁で海溝方向に若くなり、西南日本はその末端 (延長上) に位置し、100 Ma 頃にはじまる。最新の年代データを用いて上記の年代の広域的な時空分布を明確にし、そ

の意義を明らかにする。

- (2) 西南日本の 100 Ma 火成岩類は、どのような造構環境のもとで活動したかを明らかにするために近畿地方の篠山層群のアダカイト、スペッサルタイト、アダカイト質丹波花崗岩、関門層群の高 Mg 安山岩の岩石学的・Sr-Nd 同位体的特性を明らかにする。
- (3) 花崗岩の貫入・定置機構を解明するために、花崗岩バソリスの 3 次元形態を明らかにする。
- (4) 累帯構造を有する小規模なプルトンの 3 次元岩相変化とその成因を解明する。
- (5) 白亜紀の火山フィールドで、大規模な火砕流の噴出に関連して形成されたカルデラを発見する。これとスラブの水平沈み込みとそれに続くロールバック (低角化) といったジュラ紀-白亜紀前期の造構史との関連にとくに注目し、イグニンブライト・フレアアップの意味を明らかにする。

## 3. 研究の方法

- (1) 中国の Tan Lu 断層付近から北朝鮮、韓半島および西南日本にかけてのジュラ紀-白亜紀火成岩類について報告されている放射年代および申請者らの年代データについて整理して、その時空分布を明らかにする。
- (2) アダカイト、HMA、高 Nb 玄武岩、スペッサルタイト、関門層群の高 Mg 安山岩について、顕微鏡観察および主成分や微量成分の分析を行い、一部の試料については、Sr-Nd 同位体や EPMA 分析を行う。また、角閃石や黒雲母の K-Ar 年代測定を行う。これらのデータに基づき、微量成分のモデル計算を行って、起源物質の推定を行う。
- (3) 100 Ma 頃に沈み込んでいたスラブの年代を知るために、美濃・丹波帯と秩父帯の海洋プレート層序を検討する。
- (4) 花崗岩バソリスの地質調査を行い、地質図・断面図を作成する。帯磁率異方性を測定して花崗岩のファブリックを明らかにする。さらに、バソリス分布地域および周辺地域の重力異常を明らかにする。花崗岩および周辺に分布する結晶片岩の密度測定を行い、両者の密度差と重力異常データから花崗岩の厚さを推定する。
- (5) 累帯プルトンの形成メカニズムを明らかにするために、小規模なプルトンを例に重力方向変化を記録し、プルトンのジルコン U-Pb 年代を明らかにする。
- (6) 火山岩分布域の野外調査により、岩相層序区分を行い、陥没構造を明らかにする。

## 4. 研究成果

- (1) 図 1 は中国の Tan Lu 断層付近から西南日本にかけてのジュラ紀-白亜紀火成岩類の放射年代ヒストグラムであり、基本的に

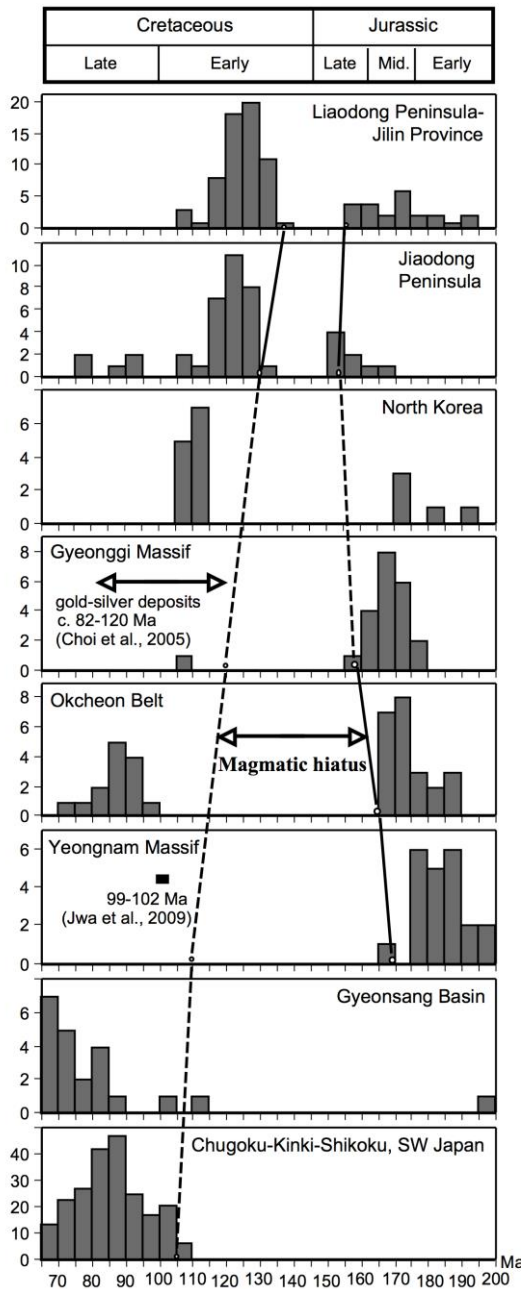


図1：アジア東部（西南日本，韓半島，山東半島，遼東 - 吉林地域）のジュラ紀 - 白亜紀火成岩の放射年代（今岡ほか，2011）

内陸側から海溝方向に向かって配列してある。火成活動のステージは，活動休止期をはさんで，大きくジュラ紀と白亜紀に分けられ，ジュラ紀火成活動の終了年代は，内陸側に向かって若くなる。一方，白亜紀火成活動の開始時期は，海溝方向に若くなり，西南日本白亜紀火成活動はその末端に位置する。このような放射年代の時空変化は，太平洋プレートの水平沈み込みからスラブのロールバックで説明された（Kiminami and Imaoka, 2013）。

(2) 近畿地方の篠山層群のアダカイト，スペッサルタイト，アダカイト質丹波花崗岩，

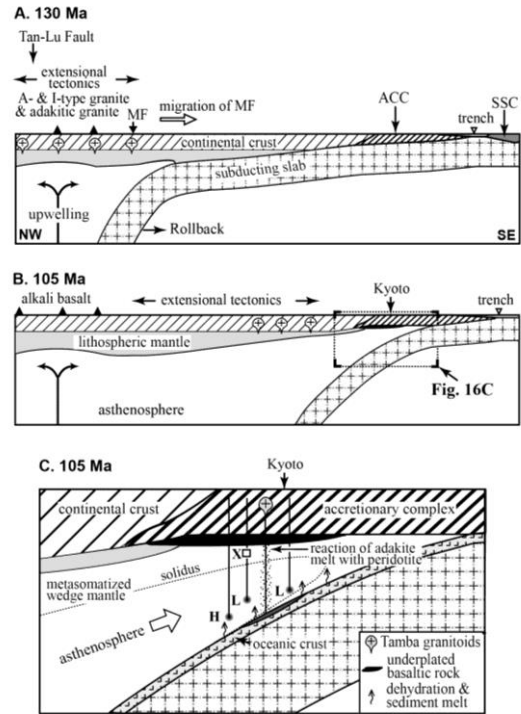


図2：アジア大陸東縁地域における130 Ma以降におけるプレートのロールバックモデルとアセノスフェアの上昇による100 Ma火成岩の形成モデル

中国地方では関門層群の高Mg安山岩などの年代や化学組成などを検討した結果，これらのマグマ活動は，プレートのロールバックの最終過程で形成されたものと結論された（図2；Imaoka et al., 2014）。

(3) 近畿地方直下のマンツルの断片であるかんらん岩ゼノリスの鉱物学・岩石学的特性を解析した結果，100 Maの近畿地方直下のマンツルは，交代作用を受けたマンツルで構成されていたことが分かった（Imaoka et al., 2014）。

(4) 防府花崗岩バソリスはいくつかのマグマが漸増定置したものであること，バソリスは厚さ3 km程度の薄い板状岩体を形成していることが分かった（図3）。これは，花崗岩が岩脈として上昇し，板状に広がった結果形成されたと考えられた（今岡ほか，2012）。

(5) 鳳翔山花崗岩体について，プルトンの高度変化に注目して累帯構造を検討したところ，上位ほど珪長質になる変化が認められ，クリスタル・マッシュからメルトが抜け出すモデルが提案された（図4）。

(6) 山口県の蓋井島に分布する白亜紀花崗岩には，苦鉄質火成岩包有岩(MME)が多産し，マグマ混合・混合現象が認められる。これらの産状や岩石記載，化学組成などから，複数回のマグマ混合現象があること

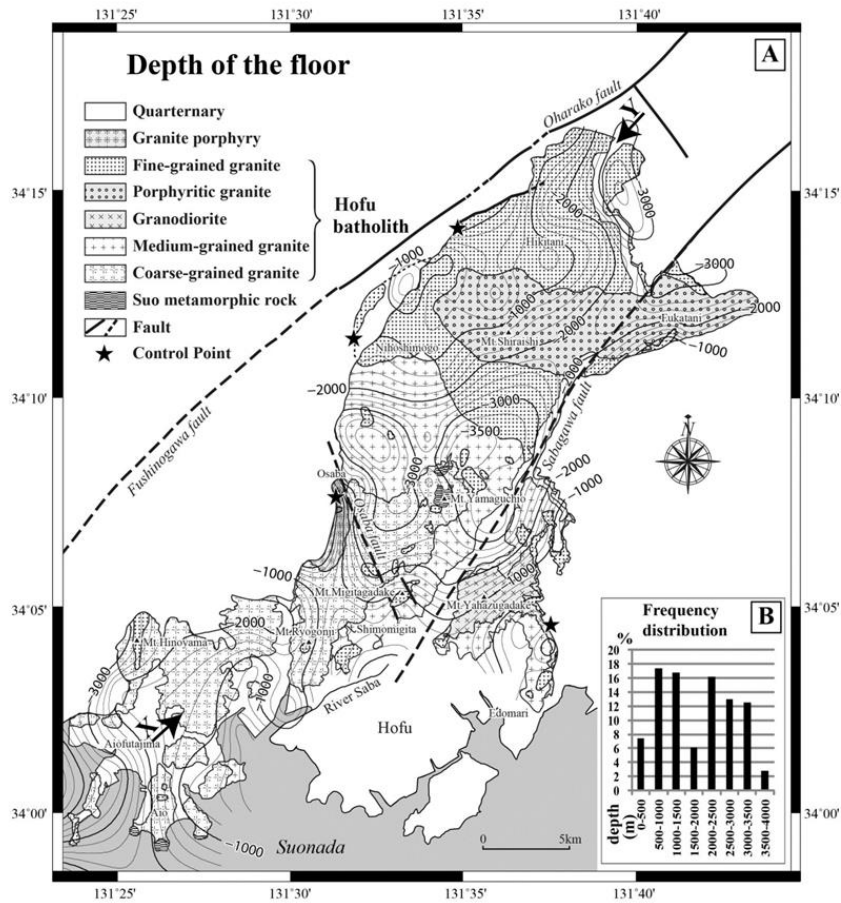


図 3：防府バソリスにおける花崗岩の深度分布を示す図（今岡ほか，2012）  
花崗岩バソリスは最大でおよそ 3500m の深度を示す。

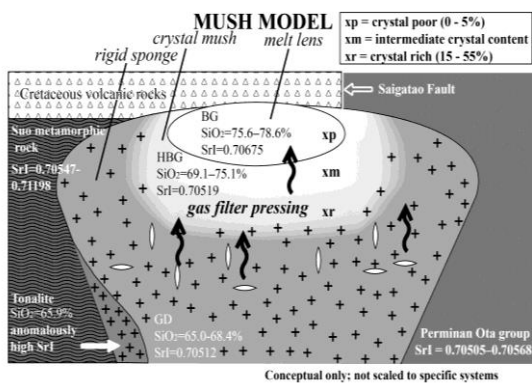


図 4：鳳翔山花崗岩体において推定される  
クリスタル・マッシュから絞り出された  
メルトが上昇し、重力方向の累帯構造が  
形成されるモデル（Imaoka et al., 2014）

を明らかにした（今岡ほか，2015）。  
(7) 後期白亜紀のイングニブライト・フ  
レアアップの産物として、長門ー豊北グラ  
ーベン・カルデラ（馬傷園ほか，2013）、  
生雲カルデラ（木村ほか，2013）、および  
物見岳グラーベン・カルデラ（大中ほか，  
2013）が発見され、それらを「西中国白  
亜紀カルデラ群」と新称する（今岡ほか，  
2013）。

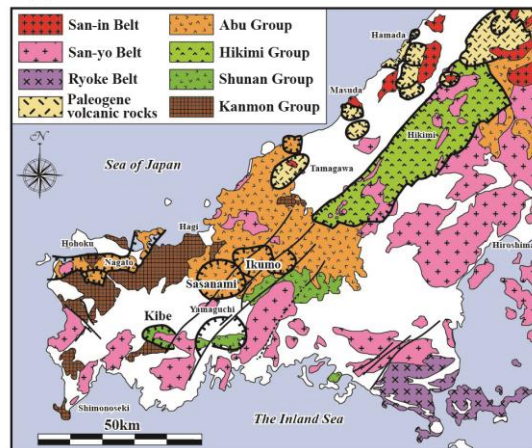


図 5：西中国地域における白亜紀 - 古第三紀カル  
デラ群の分布図

(8) 緑廉石鉱物や準輝石族鉱物の化学組成  
や構造が明らかとなるとともに、新鉱物フ  
ェリ赤坂石やフェリアンドロス石が発見  
された（Nagashima et al., 2015; 2014;  
2013）。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 20 件)

- ①Danisi, R., Armbruster, T., Libowitzky, E., Wang, H. A. O., Günther, D., Nagashima, M., Reusser, E., and Bieri, W., Perettiite-(Y),  $Y^{3+}_2Mn^{2+}_4Fe^{2+}[Si_2B_8O_{24}]$ , a new mineral from Momeik, Myanmar. *European Journal of Mineralogy*, 27, 93-803, 2015, 査読有
- ②Nagashima, M., Nishio-Hamane, D., Tomita, N., Minakawa, T., and Inaba, S., Ferriakasakaite-(La) and ferriandrosite-(La): new epidote-supergrout minerals from Ise, Mie Prefecture, Japan. *Mineralogical Magazine*, 79, 735-753, 2015, 査読有
- ③Cametti, G., Danisi, R. M., Armbruster, T. and Nagashima, M., De- and re-hydration of scolecite revisited: An *in situ* single-crystal X-ray study under low and high humidity conditions. *Microporous and Mesoporous Materials*, 208, 171-180, 2015, 査読有
- ④ Danisi, R. M., Armbruster, T. and Nagashima, M., Structural intergrowth of merlinoite/ phillipsite and its temperature dependent dehydration behaviour: a single crystal X-ray study. *Mineralogical Magazine*, 79, 191-203, 2015, 査読有
- ⑤今岡照喜・小林実和・曾根原崇文, 山口県蓋井島花崗岩に記録されたマグマ混合・混交現象. *地質技術*, 第5号, 37-52. 2015, 査読有
- ⑥Nagashima, M., Armbruster, T., Kolitsch, U. and Pettke, T., The relation between Li ↔ Na substitution and hydrogen bonding in five-periodic single-chain silicates nambulite and marsturite: A single crystal X-ray study. *American Mineralogist*, 99, 1462-1470. 2014, 査読有
- ⑦Nagashima, M., Mitani, K. and Akasaka, M., Structural variation of babingtonite depending on cation distribution at the octahedral sites. *Mineralogy and Petrology*, 108, 287-301, 2014, 査読有
- ⑧Imaoka, T., Nakashima, K., Kamei, A., Itaya, T., Ohira, T., Nagahsima, M., Kono, N. and Kiji, M., Episodic magmatism at 105 Ma in the Kinki district, SW Japan: Petrogenesis of Nb-rich lamprophyres and adakites, and geodynamic implication. *Lithos*, 184-187, 105-131, 2014, 査読有
- ⑨佐々木由香・今岡照喜・中島和夫・藤川将之, 秋吉台石灰岩に貫入する火成岩類の地球化学的特徴および流体包有物と鉱化作  
用の関連. *秋吉台科学博物館報告*, 第49号, 7-23, 2014, 査読無
- ⑩馬場園明・今岡照喜・八木公史・板谷徹丸, 山口県北西部における45Ma火山岩の発見. *山口地学会誌*, 71号, 1-8, 2014, 査読無
- ⑪Imaoka, T., Nakashima, K., Kamei, A., Hayasaka, Y., Ogita, Y., Ikawa, T., Itaya, T., Takahashi, Y., Kagami, H., Anatomy of the Cretaceous Hobenzan pluton, SW Japan: internal structure of a small zoned pluton, and its genesis. *Lithos*, 208-209, 81-103, 2014, 査読有
- ⑫Izumino, Y., Nakashima, K. and Nagashima, M., Cuprobismutite group minerals (cuprobismutite, hodrušhite, kupčikite and padëraite), other Bi-sulfosalts and Bi-tellurides from the Obari mine, Yamagata Prefecture, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 109, 177-190, 2014, 査読有
- ⑬高橋奈津子・永瀧真理子, 山口県長門市向津具半島大津玄武岩に産する晶洞鉱物. *岩石鉱物科学*, 42, 211-220. 2013, 査読有
- ⑭Nagashima, M., Armbruster, T., Izumino, Y., and Nakashima, K., Crystal chemistry of a Cu isotype of makovickyite from the Obari mine, Yamagata Prefecture, Japan. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 191, 75-81, 2013, 査読有
- ⑮Nagashima, M., Nishio-Hamane, D. Tomita, N., Minakawa, T. and Inaba, S., Vanadoallanite-(La): a new epidote-supergrout mineral from Ise, Mie Prefecture, Japan. *Mineralogical Magazine*, 77, 2739-2752, 2013, 査読有
- ⑯Akasaka, M., Kimura, T. and Nagashima, M., X-ray Rietveld and  $^{57}Fe$  Mössbauer study of babingtonite from Kouragahana, Shimane Peninsula, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 108, 121-130, 2013, 査読有
- ⑰Kiminami, K. and Imaoka, T., Spatio-temporal variations of Jurassic-Cretaceous magmatism in eastern Asia (Tan-Lu Fault to SW Japan): evidence for flat-slab subduction and slab rollback. *Terra Nova*, 25, 414-422, 2013 査読有
- ⑱今岡照喜・小室裕明・山脇恵理香・金折裕司・大川侑里・金田孝典・山本明彦, 山口県後期白亜紀防府バソリスの三次元形態: 地質・岩石と重力異常からの推定, *地質学雑誌*, 118, 782-800, 2012, 査読有
- ⑲永瀧真理子, 緑簾石族鉱物の結晶化学: 解析と合成による新たな展開. *結晶学会誌*, 54, 255-262, 2012, 査読有



- ⑳大川侑里・金折裕司・今岡照喜, 白亜紀防府花崗岩体で発生した土石流の分布と性状. 応用地質, 52, 248-255, 2011, 査読有

[学会発表] (計 14 件)

- ①永鷺真理子, ドイツKreimbach-Kaulbach産Julgoldite-(Fe<sup>3+</sup>)の結晶化学. 2015年度日本鉱物科学会年会, 2015年9月25日～2015年9月27日, 東京大学(東京都文京区)
- ②今岡照喜・君波和雄・早坂康隆・馬傷園明・木村元・大中翔平・井川寿之・岸 司・吉田健司, アジア大陸東縁における後期白亜紀イグニブライト・フレアアップ: 西中国カルデラ群の例. 日本地質学会第122年学術大会, 2015年9月11日, 信州大学長野キャンパス(長野県長野市)
- ③永鷺 真理子, 浜根 大輔, 富田 宣光, 皆川 鉄雄, 稲葉 幸郎, 三重県伊勢産新鉱物ランタンフェリ赤坂石およびランタンフェリアンドロス石. 日本鉱物科学会2014年度年会, 2014年9月19日, 熊本大学(熊本県熊本市)
- ④佐々木由香・今岡照喜・中島和夫・八木公史・板谷徹丸, 秋吉台およびその周辺の白亜紀火成岩の特徴: 鉱化作用との関連. 日本地質学会第121年学術大会, 2014年9月14日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)
- ⑤中島隆・高橋正樹・今岡照喜・志村俊昭, 西南日本のエピソード的な花崗岩マグマティズムと上部地殻の形成. 日本地質学会第121年学術大会, 2014年9月14日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)
- ⑥藤井貴之・今岡照喜・八木公史・板谷徹丸, 奄美大島におけるカンプトナイト岩脈のK-Ar年代. 日本地質学会第121年学術大会, 2014年9月14日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)
- ⑦山縣宏紀・今岡照喜, 前期白亜紀関門層群安山岩の岩石記載と化学組成. 日本地質学会第121年学術大会, 2014年9月14日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)
- ⑧Danisi R, Armbruster T, Nagashima M. Structural intergrowth merlinoite/phillipsite and its temperature dependent dehydration behavior: a single crystal X-ray study. International Mineralogical Association (IMA) 2014 South Africa, 2014年9月3日, Sandton Convention Centre (Gauteng, South Africa)
- ⑨今岡照喜・早坂康隆・君波和雄, 中国地方の白亜紀-古第三紀火成活動の時空変遷, 地学団体研究会, 2014年8月23日, 佐賀大学(佐賀県佐賀市)
- ⑩赤坂 正秀, 濱田 麻希, 永鷺 真理子, 江島 輝美, 合成Ca輝石におけるFe<sup>3+</sup>, Al, Ga

分布の温度依存性と局所構造. 日本地球惑星科学連合 2014年大会, 2014年5月1日, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

- ⑪大中翔平・今岡照喜, 後期白亜紀イグニブライトの形成機構: 山口県中央部, 物見岳層の例. 日本地質学会第120年学術大会, 2013年9月14日, 東北大学(宮城県仙台市)
- ⑫木村元・井川寿之・小室裕明・武田賢治・今岡照喜, 山口県中央部の後期白亜紀阿武層群と生雲コールドロン. 日本地質学会第120年学術大会, 2013年9月14日, 東北大学(宮城県仙台市)
- ⑬馬傷園明・今岡照喜・亀井淳志・八木公史・板谷徹丸, 山口県北西部に見出された後期白亜紀長門-豊北グラバーベンカルデラの活動史. 日本地質学会第120年学術大会, 2013年9月14日, 東北大学(宮城県仙台市)
- ⑭今岡照喜・小室裕明・山脇恵理香・金折裕司・大川侑里・金田孝典・山本明彦, 日本地質学会第119年学術大会, 山口県後期白亜紀防府バソリスの三次元形態: 地質・岩石と重力異常からの推定, 2012年9月17日 大阪府立大学(大阪府大阪市)

[図書] (計 1 件)

- ① 西村祐二郎, 今岡照喜, 金折裕司, 亀谷 敦, 山口県地質図第3版(15万分の1)および説明書, 山口地学会, 2012年, 167頁(分担8, 59-88頁).

[知的財産権]

○出願状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.sci.yamaguchi-u.ac.jp/sci/stafflist/imaoka>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

今岡 照喜 (IMAOKA, TERUYOSHI)

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 30193668

(2) 研究分担者

君波 和雄 (KIMINAMI, KAZUO)

山口大学・名誉教授

研究者番号: 20127757

永鷺 真理子 (NAGASHIMA, MARIKO)

山口大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 80580274

(3) 連携研究者

板谷 徹丸 (ITAYA, TETSUMARU)

岡山理科大学・自然科学研究所・教授

研究者番号: 60148682

亀井 淳志 (KAMEI, ATSUSHI)

島根大学・理工学部・教授

研究者番号: 60379691