

学 位 論 文 要 旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	Whole architecture of the Cretaceous Northern Kyushu batholith, SW Japan: Reflections on magmatic and growth processes in small-scale plutonic bodies. (西南日本, 白亜紀北部九州バソリスの全貌 -小規模岩体のマグマ過程および成長過程の反映-)
氏 名(Name)	Keisuke ESHIMA
<p>The Japanese island is located in a subduction zone, and granitoids cover about 30% of the island. Large-scale granitic bodies with an area of more than 100 km², called batholith, are exposed in many regions in the island. About 80% of the granitoids exposed on the surface are in the geochronological range of 50–130 Ma age (mainly Cretaceous to Paleogene). The Cretaceous to Paleogene batholiths in Japan are of great importance for the understanding of magma formation and crustal growth processes in the Japanese island. In addition, studies of continental magmatic arcs as a representative of the world in the Cordilleras of North and South America have recognized patterns of cyclic magma changes. It is characterized by periods of high magma addition rate (MAR), called flare-ups, separated by periods of low MAR, called lulls. Although numerous models have been proposed for the non-stationary magmatic activity of subduction zones, their role for magmatic rhythms at continental margins remains controversial.</p> <p>The Cretaceous Northern Kyushu batholith studied here is classified into 17 bodies based on previous studies, and consists of the granitic bodies and small amounts of related mafic bodies. Previous studies on the Northern Kyushu batholith have examined the magma formation process of the whole batholith in terms of the intrusive order and their chemical compositions. Although the batholith generally consists of several small-scale bodies, the magmatic processes of these small-scale bodies have not been focused yet. In order to understand the magma formation process at the batholith scale, it is important to decide the precise age dating and to analyze the magmatic processes of the constituent small-scale bodies. The study of magma compositional changes and crustal growth processes in the batholith provides a comprehensive view of batholith-scale igneous activity. In addition, the study of the batholith will contribute to the understanding of the igneous activity occurring in the subduction zone and the formation process of the middle and lower crust in the magmatic arc.</p> <p>In this study, I firstly examine the formation process of magma and the emplacement process of small-scale bodies (Mt. Ushikiri-yama, Mt. Shaku-dake and northern part of Shaku-dake in the eastern part) including high-Mg diorites (HMDs), and the maturation process of each body as the smallest unit of the Northern Kyushu batholith. Then, I merge the information on the lower sequence of the crust obtained from the Kita-taku mafic complex in the western part of the Northern Kyushu batholith to understand the series of magmatic processes from mafic to felsic rocks.</p> <p>The granitoids from the Northern Kyushu batholith have a high probability of coexisting with HMD (and/or high-Mg andesite; HMA). The HMDs are distributed sporadically from Kunisaki Peninsula, Oita Prefecture to Taku City, Saga Prefecture, and is believed to be situated in the whole area of the batholith. To reveal the characteristics of the HMDs, I address the petrological features of the HMDs distributed in northern Kyushu. The chemical compositions of the northern Kyushu HMDs are similar to those of the parent magma of the Kita-taku mafic complex resembling the Sanukitic HMA magma. This means that the Sanukitic HMA magma essentially intruded into a whole area of northern Kyushu during the Cretaceous, causing the magmatism in the north Kyushu batholith. In the case of the Kita-taku mafic complex, the Sanukitic HMA</p>	

magma has mixed with the trondhjemitic melt that was produced by partial melting of the host-amphibolite. Melting, mixing, and probably homogenization process in source regions may be main mechanism for the formation of granitoid magmas in the Northern Kyushu batholith.

Based on the petrological study of the Mt. Ushikiri-yama, Mt. Shaku-dake, northern part of Mt. Shaku-dake, and Kita-taku areas, a following scenario is considered as the formation of large-scale igneous activity in northern Kyushu. At the initial stage the Sanukitic HMA magma was generated and intruded into the lower crust at the Early Cretaceous around 106 Ma. The heat energy was supplied from the injecting Sanukitic HMA magma, then the partial melting took place in amphibolitic lower crust, giving rise to trondhjemitic melts. Such anatectic melt immediately mixing with the Sanukitic HMA magma. On the other hand, the Sanukitic HMA magma itself would undergo the magmatic processes with fractional crystallization and assimilation to form dioritic to granodioritic magmas. The granitoid magmas, which is initially generated as a large flare-up event, sporadically intruded into the upper crust as small pulses and expansion. The next culminated stage during 105–100 Ma, the large-scale batholith was resulted from an assembly of many small-scaled plutonic bodies. In this scenario, the heat source for the crustal melting would be of the underplated mafic magmas derived from the wedge mantle such as the Sanukitic HMA magma and tinny basaltic magma. The Cretaceous magma activities in the northern Kyushu were led by the highly thermal structure of the wedge mantle at that time. Consequently, the highly thermal structure of the wedge mantle was the major heat source of the voluminous igneous activities during the Cretaceous in Southwest Japan and the Korean Peninsula.

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	江島 圭祐
審 査 委 員	主 査： 大和田正明
	副 査： 志村俊昭
	副 査： 川村喜一郎
	副 査： 永嶋真理子
	副 査： 齊藤諒介
論 文 題 目	Whole architecture of the Cretaceous Northern Kyushu batholith, SW Japan: Reflections on magmatic and growth processes in small-scale plutonic bodies. (西南日本, 白亜紀北部九州バソリスの全貌-小規模岩体のマグマ過程および成長過程の反映)
【論文審査の結果及び最終試験の結果】	
<p>沈み込み帯における大陸地殻の形成は、主にマントル起源の苦鉄質マグマが上昇・地殻内に付加されることで成長することが知られている。本論文は、白亜紀の沈み込み帯における火成活動とそれに伴う大陸地殻の形成を論じている。具体的には、大規模貫入岩体（バソリス）を構成する個々の小規模な岩体（小岩体）について、マグマの生成から上昇定置に至る過程を詳細に検討し、そのメカニズムを解明した。さらに、マグマの上昇中に起こったさまざまな組成変化に着目して、小岩体がバソリス規模へと発展する過程を解明した。既往研究では、バソリスを一括して捉えていた。それに対して、本研究は個々の小岩体に切り分け、それぞれの特徴を把握した上で小岩体の融合過程とバソリスへの発展を検討し、その時空的な変遷とともに議論した。</p> <p>本論文によって、沈み込み帯のマグマ過程における地殻起源マグマの役割がより鮮明になった。それは以下の過程を含んでいる。1) マントル起源の高 Mg 安山岩質マグマが下部地殻に底付けされる、2) 底付けされたマグマは、熱源として既に存在していた地殻物質を溶融させる、3) 地殻溶融によって生じたマグマと高 Mg 安山岩質マグマが混合・均質化する、そして4) 均質化の後、マグマが地殻内を上昇することで、大陸地殻の成長を促進する。また、これら一連の過程で、上部地殻まで上昇したマグマはより分化した組成へと変化し、大陸地殻の安定化を促した。この研究のもう一つの視点は、沈み込み帯におけるマグマ過程に高 Mg 安山岩質マグマの関与を組み込み、その役割を明らかにした点である。安山岩質マグマは大陸地殻の平均組成とほぼ同じなので、安山岩質マグマの形成過程を理解することは、そのまま大陸地殻形成の理解につながる。すなわち、本研究の成果は、大陸地殻の形成過程を理解する選択肢を増やしたことを意味し、地球科学の第 1 級の課題である大陸地殻の形成と成熟過程の解明に大きく貢献できた。</p>	

以上の成果を得るにあたり、本論文には、個々の岩体における詳細な研究成果が述べられている。論文は6章から構成されている。第1章(序論)は、既往研究のレビューによって研究の背景、研究史そして研究目的を述べている。続く第2章から第5章までは、個々の小岩体のマグマ過程について、地質調査結果、岩石記載、鉱物・全岩化学組成の特徴、そしてマグマ活動年代を検討し、上部地殻から下部地殻にいたる様々な深度に貫入・定置した岩体を議論している。第6章では、個々の岩体の成果を取りまとめ、小岩体からバソリス規模の岩体への発展過程を野外調査結果と既存の物理探査データをもとに考察している。特に岩体の形成に関するマグマ過程では、下部地殻に貫入した高 Mg 安山岩質マグマが地殻を起源とするマグマと混合し、均質化する過程が詳細に述べられ、そのマグマが地殻内を上昇中に分化して組成が改変される過程のモデル化を試みている。このモデルは、Hildreth and Moorbath (1988)によって **Melting, Assimilation, Storage and Homogenization (MASH)**として提案されていたが、西南日本の白亜紀大規模火成岩体の研究を通じて、このモデルが実証されたことは特筆に値する。

本論文で実証されたモデルやそれを検証可能とする観察・分析結果の一部は、既に厳しい国内外の研究者の査読を経て、主要な学術雑誌へ数多く掲載されている。また、下記リスト 1)の論文は国際誌の学生論文賞を受賞した。これらのことは、本研究が信頼性のあるものとなっていることを示している。

公聴会では、モデルの妥当性や汎用性、特に東アジア地域の火成活動との関連性、バソリスが定置するための空間をどのように確保したのか、などの本質的な質問が出された。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性そして地球科学の発展につながる新奇性に優れ、博士(理学)の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである。(関連論文 計3編)

- 1) K. ESHIMA, M. OWADA and A. KAMEI, Assimilation and fractional crystallization of Sanukitic high-Mg andesite-derived magmas, Kyushu Island, southwest Japan: An example of the Cretaceous Shaku-dake diorite body. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 115, 4, 332–347. 2020.
- 2) K. ESHIMA, Anatomy of Shaku-dake high-Mg diorite, southwest Japan: Lithofacies variations and growth process of high-Mg diorite stock. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 116, 2, 83–95. 2021.
- 3) 江島圭祐, 北部九州, 尺岳北部に産する火成岩類の熱水変質作用と分化・集積作用を伴う混合作用における組成変化. *地質学雑誌*, 127, 10, 605–619. 2021.