

薩摩塔石材と中国寧波産の梅園石との岩石学的分析による対比

著者	大木 公彦, 古澤 明, 高津 孝, 橋口 亘
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要=Reports of the Faculty of Science, Kagoshima University
巻	42
ページ	11-19
別言語のタイトル	Correlation between the Satsuma stone pagoda and the Meiyuanshi-stone collected from Ningbo, China based on the lithological analyses
URL	http://hdl.handle.net/10232/00012582

薩摩塔石材と中国寧波産の梅園石との岩石学的分析による対比 Correlation between the Satsuma stone pagoda and the Meiyuanshi-stone collected from Ningbo, China based on the lithological analyses

大木公彦¹⁾・古澤 明²⁾・高津 孝³⁾・橋口 亘⁴⁾
ŌKI Kimihiko¹⁾, FURUSAWA Akira²⁾, TAKATSU Takashi³⁾ and HASHIGUCHI Wataru⁴⁾

Abstract: The purpose of this study is to clarify the derivation of the Satsuma stone pagoda in Kagoshima Prefecture. Rock samples were collected from the Satsuma stone pagoda preserved in the Bonotsu history museum “Kishinkan” located in the southwestern part of Satsuma Peninsula, Kagoshima Prefecture and from a quarry at Ningbo, China. The latter sample is commonly called “Meiyuanshi-stone”. Chemical elements and their distribution were obtained by X-ray analytical microscope and minerals of them were identified by X-ray diffractometer. Furthermore, chemical composition of feldspar was obtained by an energy dispersive X-ray micro-analyzer. These analytical data suggest that lithologic characters of both rock samples are equivalent.

Keywords: Satsuma stone pagoda, Meiyuanshi-stone, Kagoshima, Ningbo, lithological analyses

まえがき

鹿児島県には、齋藤彦松氏によって薩摩塔と命名された石塔が存在し、その特殊な形状と石質から中国系石造物である可能性がこれまで度々指摘されてきたが、2008年に薩摩塔の石材が浙江省産石材「梅園石」である可能性が指摘された（高津・橋口，2008）。薩摩塔の岩石について報告された例として太宰府の薩摩塔がある（加藤和歳，2009）。保存修復処置の際に行った蛍光X線分析と実体顕微鏡による観察から、凝灰岩の可能性も残しながら砂岩としている。

本研究は、高津・橋口（2008）の指摘する浙江省産石材「梅園石」と薩摩塔の石材について岩石学的手法を用いて比較し、それらの類似性について検証することを目的とした。

謝辞：鹿児島大学フロンティアサイエンス研究推進センター機器分析施設の大園義久氏，末吉直美氏には分析および解析についてご指導をいただいた。鹿児島大学理工学研究科の内村公大博士，久保田 亮氏には分析に関わる作業でご支援をいただいた。また，山口大学理学部の大和田正明氏，九州大学理学研究院の坂井 卓氏には，日本の白亜系下部の地層についてご教示いただいた。これらの方々には心より感謝し，お礼を申し上げる。

分析方法

試料は，南さつま市坊津町の坊津歴史資料センター輝津館に保存されている薩摩塔の石材，中国寧波市

-
- 1) 鹿児島大学総合研究博物館：大学院理工学研究科 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-30
The Kagoshima University Museum, Korimoto 1-21-30, Kagoshima 890-0065
 - 2) (有)古澤地質調査事務所 〒444-0840 愛知県岡崎市戸崎町屋敷 93-7
FURUSAWA Geological Survey Inc., Yashiki 93-7, Tosaki-cho, Okazaki, Aichi 444-0840
 - 3) 鹿児島大学法文学部 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-30
Faculty of Law, Economics and Humanities, Korimoto 1-21-30, Kagoshima 890-0065
 - 4) 南さつま市坊津歴史資料センター輝津館 〒898-0101 南さつま市坊津町坊9424-1
The Bonotsu History Museum “Kishinkan”, Bou 9424-1, Bonotsu, Minami-Satsuma 898-0101



図1. 坊津歴史資料センター輝津館の薩摩塔からの試料採取。



図2. 寧波市鄞州区梅園郷梅錫村華興塘の石切場。

鄞州区梅園郷梅錫村華興塘の「梅園石 (Meiyuanshi)」と呼ばれる石材である。前者は、2009年2月27日に、南さつま市教育委員会の許可を得て、大木らの立会い確認のもとで、橋口が採取した(図1)。後者は、2005年11月4日に学術的調査で訪れた高津が、寧波市鄞州区梅園郷梅錫村華興塘の石切場から、採石場管理者の許可を得て採取した(図2)。

薩摩塔と梅園石の岩石薄片を作成し偏光顕微鏡観察を行った。また、両者の研磨試料と粉末試料を作成し、鹿児島大学フロンティアサイエンス研究推進センター機器分析施設において、X線分析顕微鏡(X-ray analytical microscope; 堀場製作所 XGT-5000)を用いて非破壊で構成元素の二次元的分布像を得るとともに、高速X線回折装置(X-ray diffractometer; PANalytical X'Pert Pro MPD)を使用して化学物の同定、試料の結晶構造を調べた(大木 担当)。

さらに、試料の一部を粉碎し、砂サイズ粒子として偏光顕微鏡観察を行った。この試料を用いてエネルギー分散型X線分析装置(EDX)による主成分化学組成分析用の薄片を作成し、微小な斑晶の主成分化学組成についてEDXを使用し分析した(古澤 担当)。

なお、薩摩塔の試料は1個に限られ、さらに一辺が2cmにも満たないために、10×9mmのほぼ正方形の薄片試料および研磨試料しか得られなかった。

分析結果

1) 岩石学的記載

薩摩塔と梅園石は、やや赤みを帯びた明灰色で、粒子の細かい塊状の凝灰岩である。場所によって、やや粒子のサイズに違いが認められるものの、粒子のサイズは比較的揃っている。

偏光顕微鏡下では、両試料はともに火山ガラスが残存せず、有色鉱物および無色鉱物といった斑晶鉱物も見られない。0.5mm以下の長石、まれに石英の微小な斑晶からなり、角張った他形、長柱状の自形を呈すものが多い。微斑晶を取り囲む粘土鉱物は、火山ガラス特有の形態が見られることから、火山ガラスが脱ガラスしたものと考えられる(図3)。簡易粒子組成検鏡では、微斑晶がテフラ本質鉱物か変質鉱物かは不明である。

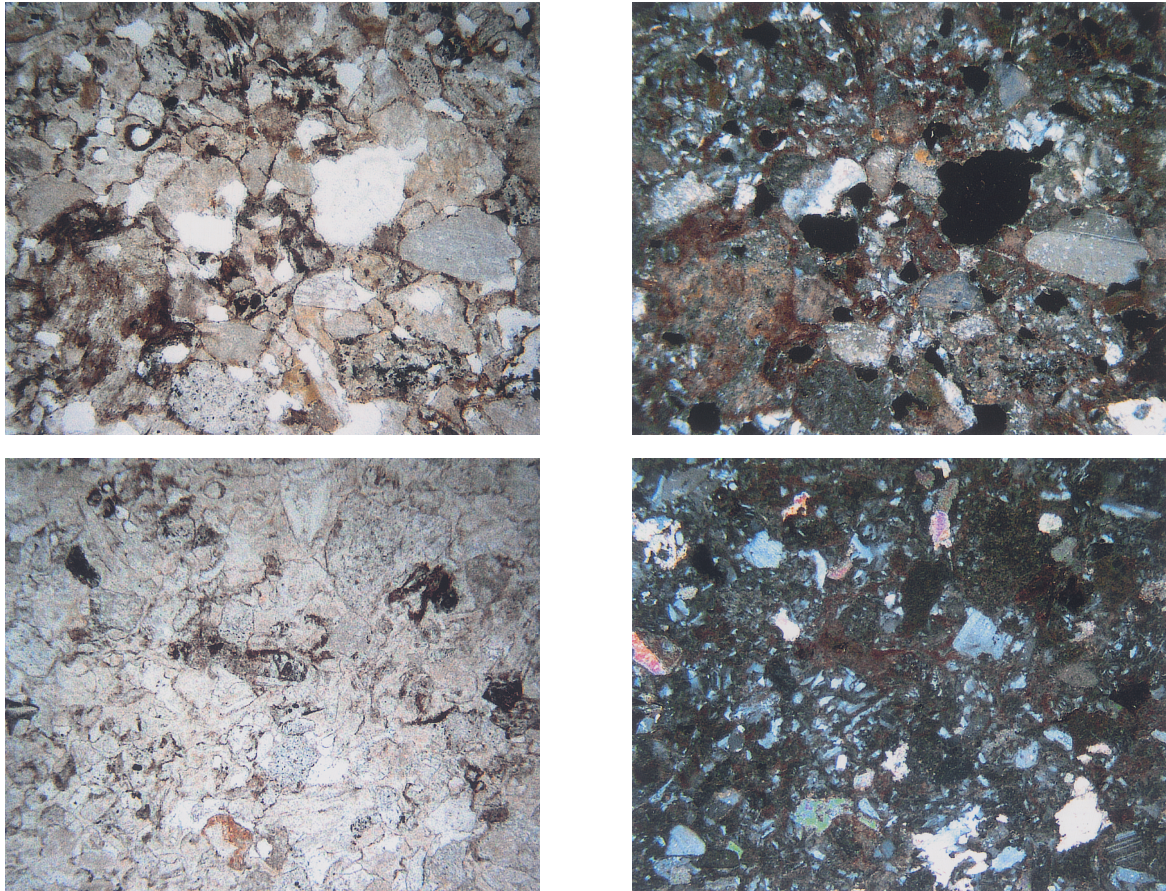


図3. 薩摩塔（上段）と梅園石（下段）の顕微鏡写真（左側：開放ニコル；右側：直交ニコル；横幅が2mm）.

図3に示した薩摩塔の微斑晶のサイズは、梅園石のそれに比べてやや大きく見えるが、複数作成した梅園石の薄片の中には、微斑晶のサイズが急激に変化することも確認でき（図4）、サイズは採石場所によって微妙に異なると考えられる。今回、薄片を作成した梅園石に限られるが、微斑晶は中粒砂から極細粒砂のサイズの範囲で変化する。

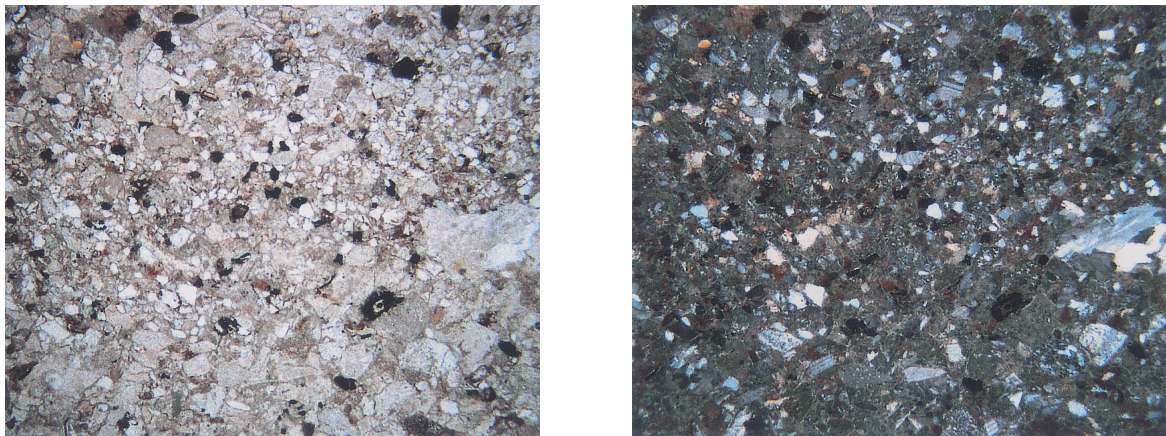


図4. 粒径が変化する梅園石の顕微鏡写真（左側：開放ニコル；右側：直交ニコル；横幅が2mm）.

2) X線分析顕微鏡の非破壊像による比較

薩摩塔と梅園石のそれぞれの試料について、鉍物の色を違えて、任意に選んだ6ポイントの元素を検出した。その結果、薩摩塔はAl, Pm, Si, Sr, K, Cr, Fe, Ca, Zr, Ti, Reの元素が検出された。一方、

梅園石は Al, Si, Sr, K, Sb, Fe, Ca, Zr, Ti の元素が検出された。両試料に共通して認められた元素は Al, Si, Sr, K, Fe, Ca, Zr, Ti で、12ポイントすべてに認められた元素は、K, Fe であった。

Si, Ti, Al, Fe, Ca, K, Sb, 別の試料で認められた Mn, Mg について、元素の分布に関する画像を示す (図5)。なお、精度を高めるために、各元素につき10回の走査を繰り返した。薩摩塔の鉱物粒子が梅園石に比べて大きい。比較的大きな結晶に含まれ、基質をなす微小な結晶にも含まれる特徴的な分布パターンを示す元素は Si, K で、量的には少ないが、点在する結晶に含まれる元素に Fe, Mn がある。Fe は薩摩塔に多く、Mn は梅園石に多い傾向を示す。微量であるが試料全体に分布する元素に Al, Sb が挙げられる。Ca は薩摩塔にはほとんど認められないが、梅園石には点在する微小な結晶に含まれている。薩摩塔と梅園石の試料に含まれる元素とその分布パターンからは、両者に大きな違いは認められなかった。

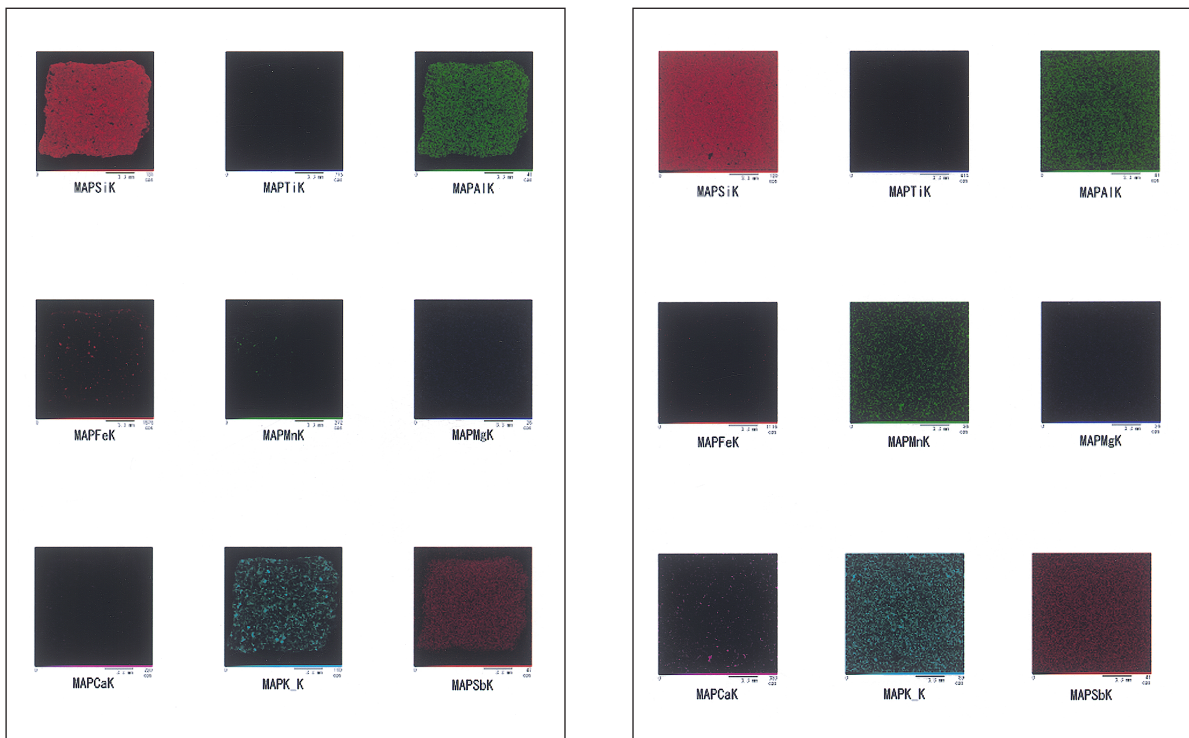


図5. X線分析顕微鏡による薩摩塔(左)と梅園石(右)主要元素の分布 (SiKa, TiKa, AlKa, FeKa, MnKa, MgKa, CaKa, KKa, SbKa).

X線分析顕微鏡の非破壊像による分析では、次に述べる高速X線回折装置とエネルギー分散型X線分析装置による分析で検出されたNa元素が認められなかった。これは、X線分析顕微鏡の測定範囲がNaからUまでで、Naが測定可能な限界に近いために検出されなかった可能性がある。

3) 高速X線回折装置による比較

薩摩塔と梅園石のそれぞれの粉末試料についてX線回折装置を用いて分析を行ったが、両試料の微斑晶は曹長石と石英から構成され、梅園石が緑泥石の一種であるクリノクロアを含む以外に違いは認められず、両者のX線回折パターンは驚くほど良く一致した(図6)。

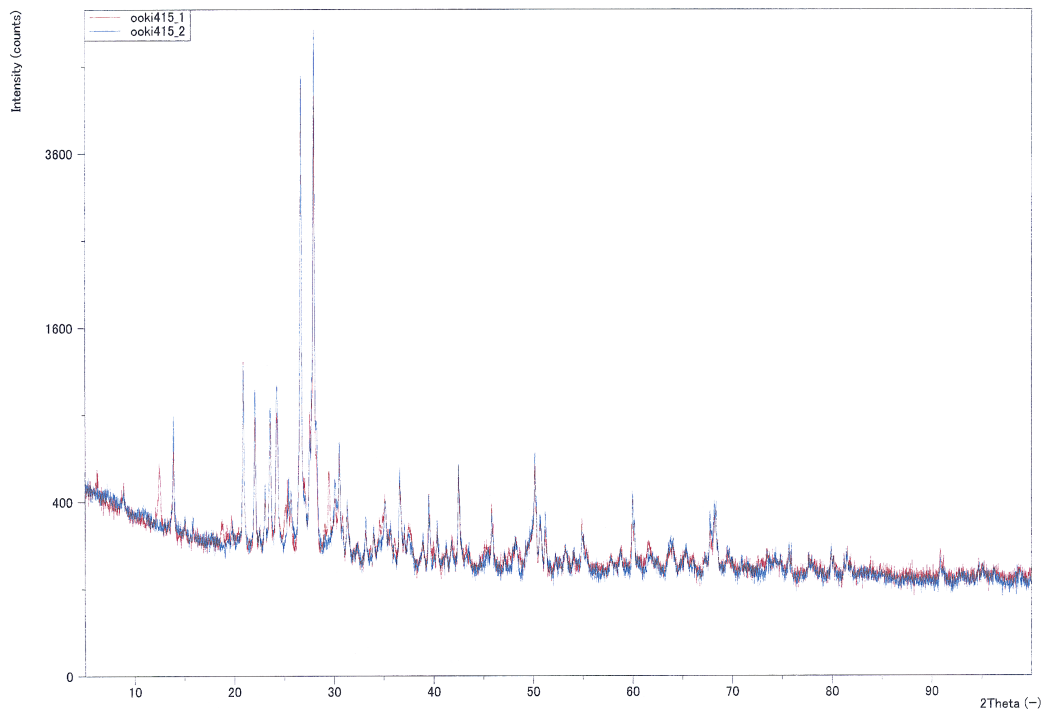


図6. 高速X線回折装置による薩摩塔（青）と梅園石（赤）のX線回折パターン.

4) 微斑晶の主成分化学組成

薩摩塔と梅園石の試料は火山ガラスや斑晶鉱物が残存せず、従来の対比方法では識別が困難である。そのため、両試料に含まれ、組成分析が可能な微斑晶を識別の新しい要素として用いることができないか試みた。

両試料で無作為に選んだ微斑晶の主成分化学組成を分析した（表1, 2）。その結果、微斑晶はほぼ長石類からなり、微量の石英を含むことが分かった。両試料の長石類の組成は、三角ダイアグラムの曹長石およびアノソクレースの領域にプロットされ、Caをほとんど含まないアルカリ長石の組成を示す（図7）。また、両試料の長石類の組成範囲はばらつきの傾向を含め非常に良く一致する（表1, 2）。

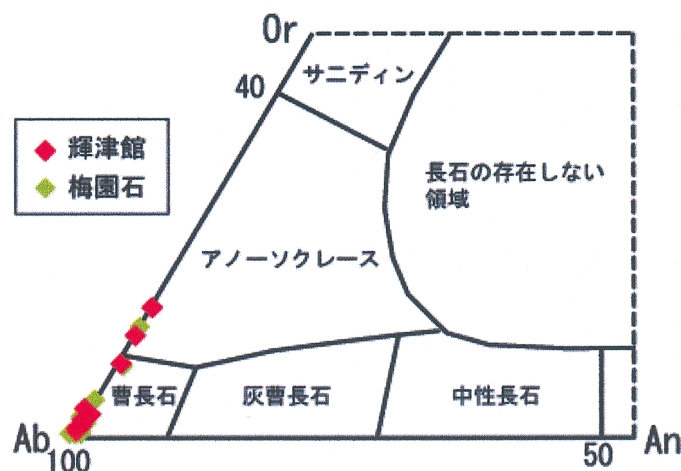


図7. 薩摩塔と梅園石に含まれる長石の化学組成（黒田・諏訪, 1968の図を使用）.

表1. 薩摩塔の化学分析値と長石類 EDX- カチオン値.

薩摩塔														
	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	69.63	68.78	67.69	70.57	66.62	68.64	71.01	67.45	67.18	67.62	67.86	68.48	68.43	68.20
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.00	0.00	0.01	0.01	0.12
Al ₂ O ₃	19.49	19.36	19.28	19.76	19.10	19.48	20.34	18.94	18.79	19.18	21.06	19.41	19.40	19.94
FeO	0.00	0.07	0.01	0.00	0.35	0.02	0.22	0.14	0.21	0.02	0.35	0.24	0.11	0.26
MnO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.05	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.09	0.00	0.07	0.08
CaO	0.13	0.15	0.13	0.18	0.02	0.16	0.20	0.16	0.15	0.12	0.19	0.10	0.14	0.14
Na ₂ O	11.26	11.14	10.02	11.33	10.60	11.20	11.46	10.82	10.95	11.04	10.02	10.94	10.51	9.72
K ₂ O	0.05	0.16	1.94	0.16	0.47	0.09	0.41	0.16	0.17	0.10	1.39	0.29	0.22	2.56
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.58	99.66	99.07	102.00	97.21	99.62	103.64	97.68	97.58	98.14	100.96	99.53	98.94	101.02
O=8.000														
Si	3.01	3.01	3.00	3.01	3.00	3.00	2.99	3.01	3.01	3.00	2.95	3.00	3.01	2.98
Al	0.99	1.00	1.01	0.99	1.01	1.00	1.01	1.00	0.99	1.00	1.08	1.00	1.01	1.03
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Ca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Na	0.95	0.94	0.86	0.94	0.92	0.95	0.94	0.94	0.95	0.95	0.84	0.93	0.90	0.82
K	0.00	0.01	0.11	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.08	0.02	0.01	0.14
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca:Na:K	0.95	0.96	0.98	0.96	0.95	0.96	0.97	0.95	0.97	0.96	0.93	0.95	0.92	0.97
An	0.63	0.73	0.63	0.86	0.10	0.78	0.93	0.80	0.74	0.59	0.95	0.49	0.72	0.67
Ab	99.08	98.34	88.14	98.22	97.07	98.70	96.79	98.24	98.25	98.82	90.76	97.80	97.93	84.66
Ol	0.29	0.93	11.23	0.91	2.83	0.52	2.28	0.96	1.00	0.59	8.28	1.71	1.35	14.67
SiO ₂	1.16	1.14	1.13	1.17	1.11	1.14	1.18	1.12	1.12	1.13	1.13	1.14	1.14	1.13
AlO _{3/2}	0.38	0.38	0.38	0.39	0.37	0.38	0.40	0.37	0.37	0.38	0.41	0.38	0.38	0.39
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NaO _{1/2}	0.36	0.36	0.32	0.37	0.34	0.36	0.37	0.35	0.35	0.36	0.32	0.35	0.34	0.31
KO _{1/2}	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.05
CrO _{3/2}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.38	0.38	0.38	0.39	0.37	0.38	0.39	0.37	0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38

表2. 梅園石の化学分析値と長石類 EDX- カチオン値.

梅園石														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15
SiO ₂	68.80	69.00	67.53	69.20	69.84	67.59	69.20	68.82	65.47	68.26	66.32	68.50	66.58	67.93
TiO ₂	0.08	0.00	0.00	0.00	0.08	0.09	0.07	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.07	0.08
Al ₂ O ₃	19.36	19.57	19.58	19.46	19.69	19.71	19.69	19.09	18.92	19.21	19.24	19.14	18.74	19.24
FeO	0.16	0.00	1.18	0.31	0.38	0.99	0.24	0.00	2.00	0.12	0.38	0.00	1.39	0.03
MnO	0.00	0.07	0.00	0.09	0.14	0.03	0.02	0.00	0.08	0.00	0.03	0.00	0.00	0.05
MgO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.00	0.07	0.00	0.09	0.00
CaO	0.16	0.12	0.06	0.10	0.18	0.26	0.24	0.10	0.13	0.13	0.21	0.02	0.14	0.22
Na ₂ O	11.14	11.16	10.79	11.34	11.36	10.33	11.19	10.93	9.69	10.79	10.70	11.16	10.93	11.05
K ₂ O	0.13	0.19	0.39	0.10	0.11	1.38	0.09	0.06	2.14	0.72	0.24	0.05	0.30	0.08
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.83	100.11	99.54	100.60	101.78	100.38	100.74	98.80	99.05	99.27	97.19	98.87	98.24	98.68
O=8.000														
Si	3.01	3.00	2.98	3.00	3.00	2.97	3.00	3.02	2.94	3.01	2.96	3.02	2.98	3.00
Al	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.02	1.01	0.99	1.00	1.00	1.02	0.99	0.99	1.00
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Ca	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Na	0.94	0.94	0.92	0.95	0.95	0.88	0.94	0.93	0.84	0.92	0.93	0.95	0.95	0.95
K	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.08	0.00	0.00	0.12	0.04	0.01	0.00	0.02	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca:Na:K	0.96	0.96	0.95	0.96	0.96	0.97	0.96	0.94	0.97	0.97	0.96	0.96	0.97	0.96
An	0.78	0.58	0.30	0.48	0.86	1.26	1.17	0.50	0.64	0.63	1.06	0.10	0.69	1.08
Ab	98.46	98.31	97.38	98.94	98.51	90.76	98.31	99.14	86.75	95.19	97.50	99.61	97.55	98.45
Ol	0.76	1.10	2.32	0.57	0.63	7.98	0.52	0.36	12.61	4.18	1.44	0.29	1.76	0.47
SiO ₂	1.14	1.15	1.12	1.15	1.16	1.12	1.15	1.14	1.09	1.14	1.10	1.14	1.11	1.13
AlO _{3/2}	0.38	0.38	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.37	0.38
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NaO _{1/2}	0.36	0.36	0.35	0.37	0.37	0.33	0.36	0.35	0.31	0.35	0.35	0.36	0.35	0.36
KO _{1/2}	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.05	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00
CrO _{3/2}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.38	0.38	0.38	0.38	0.39	0.38	0.38	0.38	0.37	0.38	0.37	0.38	0.37	0.38

考察とまとめ

1) 薩摩塔と梅園石の類似性

薩摩塔と梅園石の岩質は、やや赤みを帯びた明灰色の塊状凝灰岩で、構成粒子が細かく、両者を肉眼的に区別することは困難である。偏光顕微鏡下でも、両試料の微小な結晶のほとんどは特徴的に角張った長石からなり、石英をわずかに含む点、さらに微斑晶を取り囲む粘土鉱物は火山ガラス特有の形態が見られることなどが一致し、区別ができない。

今回行ったX線分析顕微鏡は、試料を非破壊のまま、元素とその分布を知ることができる利点を有している。しかし、薩摩塔と梅園石が堆積性の凝灰岩であることから、構成物質の粒径の違いや岩相の側方および垂直方向への変化が見込まれ、元素の分布パターンから両者の類似性を論ずることは難しいが、今回、分析した薩摩塔と梅園石に含まれるおもな元素は共通しており、その分布パターンも非常に似ていることから、同一の岩体であると考えられる。

薩摩塔と梅園石が同一岩体から採取されたことを支持するデータは、高速X線回折装置およびエネルギー分散型X線分析装置による分析から得られた。両試料のX線回折パターンの一致、両者を構成する微斑晶は曹長石と石英であること、さらに両試料の長石類の組成は、三角ダイアグラムの曹長石およびアノーソクレスの領域にプロットされ、Caをほとんど含まないアルカリ長石の組成を示し、その組成範囲は非常に良く一致する。両試料とも斜長石を全く含まない点も特記すべき特徴である。

これらの凝灰岩の地質年代は白亜紀なので時代が大きく異なるが、日本列島の第四紀テフラは一般にカルクアルカリ岩質で、現在知られているアルカリ長石の組成を示すテフラは、韓国の鬱陵島や北朝鮮と中国国境に位置する白頭山の、いずれもアジア大陸東縁部の火山を供給源とするテフラに限られている（黒川ほか、2003；町田・新井、2003；黒川、2005）。薩摩塔と梅園石の石材が、第四紀の大陸起源のテフラに特徴的なアルカリ長石の組成を示すことは、地質時代を超えて大陸起源と島弧起源の火山噴出物について比較研究することの重要性を示している。

上述のように複数の岩石学的特徴、分析値に違いがなく、鉱物組成が極めて類似していることは、薩摩塔と梅園石の石材が同一の岩体から切り出されたとするに十分な条件を満たしていると言ってよい。X線回折パターンでは、梅園石のみが緑泥石の一種であるクリノクロアを含むが、この鉱物は二次的生成物なので問題はない。

2) 薩摩塔・梅園石と類似の石材

九州には、北から阿蘇、加久藤、始良、阿多、鬼界の5つのカルデラが知られている。そのために多くの溶結した火砕流堆積物が分布し、石材として使用されている。これらのカルデラより古く、新第三紀から第四紀にかけて、複数の火砕流堆積物が知られており、その中には同様に溶結凝灰岩を石材として切り出されているものもある。しかし、これらの火砕流堆積物は陸域に堆積して溶結しており、軽石や異質岩片を含み、細粒で淘汰の良い梅園石と異なる。また、同時代の九州に分布する湖成層、海成層にも多くの凝灰岩が挟在しているが、一般にその層厚は薄く、固結度も低いために石材として用いられていない。また、これらの火砕流堆積物は、前述のようにカルクアルカリ岩質で、明らかにアルカリ長石の組成を示す梅園石とは異なる。

古第三紀で地質時代は異なるが、鹿児島県北西部に位置する上甕島には上甕島層群が分布し、特徴的な赤紫色泥岩層が中部に発達し、凝灰岩の薄層を伴う（利光ほか、2004）。上甕島層群は浅海堆積物で貝化石を産出する。上甕瀬上で硯石「冷泉石」として砕石されたことが伝えられているが、現存する硯石はやや赤みを帯びた泥岩で、凝灰岩とは異なる。凝灰岩の層厚は薄く、石材として使用されていない。

梅園石は、白亜系下部の湖成層である方岩組地層（Kif）に挟在する凝灰岩層（寧波市地方志編纂委員会編、1995；高津ほか、2010）と報告されている。日本における白亜系下部の非海成層は、内帯の篠山層群と関門層群がある。兵庫県に分布する篠山層群の下部累層は碎屑岩から、上部累層は火山噴出物からなり、下部累層には白色凝灰岩を挟むが、その層厚は30～150cmにすぎない（日本の地質「近畿地方」編集委員会、1987）。福岡県北東部から山口県西部に広く分布する関門層群は、基底礫岩をともない、おも

に砂岩と頁岩の互層からなる脇野垂層群と、上位の火山噴出物起源の溶岩や碎屑岩からなる下関垂層群に分けられる（日本の地質「九州地方」編集委員会，1987）。関門層群には特徴的に赤紫色の凝灰質砂岩、凝灰質頁岩が挟在し、福岡県赤間地方で硯石として碎石したが、凝灰質頁岩で火砕流堆積物とは異なる。寧波市の方岩組地層から報告されたような、層厚が厚く、石材に適した凝灰岩層は、現時点では日本から報告されていない（服部 仁，2008；吉田久昭，2008）。

これらの層群に対比される白亜系下部の非海成層に韓国の慶尚累層群があり、碎屑岩層と火山岩類からなると報告されている。日本の篠山層群、関門層群、韓国の慶尚累層群と中国寧波市の方岩組地層は、いずれも白亜系下部の湖成層で、層相が似ており、凝灰岩の鉱物組成も類似している可能性がある。しかし、関門層群や篠山層群からアルカリに富む火成岩の報告はあるが、斜長石を含まない火成岩は知られていない（大和田 正明氏 口述）。今後、大陸起源の火成活動の実態を明らかにするために、白亜系下部の、これらの地層に挟在する凝灰岩の詳しい岩石学的な調査研究が必要であろう。

3) 梅園石（方岩組地層）の堆積環境

梅園石の凝灰岩の層厚は石切場で見える限り、およそ15mである（図2）。白亜紀の湖成層である方岩組地層（K_{1f}）に挟在する凝灰岩層（高津ほか，2001）と報告されており、分級や層理・葉理が認められないことから、火山碎屑物が湖底に短時間で堆積したと考えられる。しかし、薄片の中には、葉理としてははっきりと認識できないが、0.5mm以下の微斑晶のサイズが急激に変化する部分も認められ（図4）、流体堆積物の可能性が示唆される。水成火砕流堆積物であるとするならば、その噴火および堆積メカニズムの推定について貴重なデータをもたらす可能性がある。

梅園石と同様に淘汰の良い細粒砂サイズの白色凝灰岩層が鹿児島市東佐多町に分布する（大塚・西井上，1980；佐藤ほか，2000）。この凝灰岩層は、鹿児島湾奥部沿岸域に広がる第四紀海成層の国分層群隼人層最上部を占め、層厚は20mを超えるが、異質岩片や軽石を含まず、均質な火山ガラスからなる。しかし噴火場所、噴火および堆積メカニズムが方岩組地層と同様、明らかになっていない。堆積年代は隼人層中部に挟在する小林火砕流（大木ほか，2000）の年代から、40～35万年前と考えられる。加久藤盆地にも、約3万年前に始良カルデラから噴出した入戸火砕流が湖底に堆積した、淘汰の良い細粒砂サイズの凝灰岩層が分布している。水中に堆積した火砕流堆積物に含まれる重い岩塊は噴出火口に近い海底、湖底に沈み、軽石は浮くことによって除かれ、懸濁した火砕流堆積物が均一に混ざり合うことによって、淘汰の良い細粒砂サイズの凝灰岩が形成されたと考えられる。火砕流堆積物が海底あるいは湖底に堆積する時に、層理や葉理を伴わず、淘汰を受けて塊状凝灰岩になるメカニズムについて、今後、湖成層、海成層に挟在する火砕流起源と考えられる凝灰岩層を堆積学の観点から調査研究する必要がある。

今回、坊津歴史資料センター輝津館に保存されている薩摩塔の石材と、中国寧波市鄞州区梅錫村華興塘の梅園石の石材について、偏光顕微鏡による観察に加え、X線分析顕微鏡による元素の分布、高速X線回折装置による化学物の同定、エネルギー分散型X線分析装置（EDX）による微小な斑晶の主成分化学組成の分析を行い、対比を行った。その結果、薩摩塔の石材のすべての岩石学的特徴が、中国寧波市鄞州区梅錫村華興塘の石切場から切り出された梅園石と同じであることがわかった。仮に同時期の火砕岩が、遠く離れた朝鮮半島や日本の異なる堆積盆に堆積した場合、同じ条件で堆積し、まったく同じ岩石学的特徴を示すとは考えられない。また、新第三紀～第四紀の火砕流堆積物で石材として使われている溶結凝灰岩の岩石学的特徴はまったく異なる。これらの事実は、薩摩塔の石材として中国寧波市に分布する凝灰岩が用いられたことを支持している。

参考文献

- 服部 仁，2008，東大寺石獅子の石材について，東大寺石獅子をめぐる研究集会レジュメ集，27-34。
 加藤和歳，2009，太宰府所在薩摩塔の応急的保存修復処置．九州歴史資料館研究論集，34，57-68。
 黒川勝己，2005，テフラ学入門．地学双書，36，205pp。

- 黒川勝己・池端淳佳・平中宏典, 2003, 新潟県中央・西山油帯における椎谷層（下部鮮新統）のテフラ層序と火山活動の変遷. 新潟大教育人間紀要（自然科学編）, 6, 1-41.
- 町田 洋・新井房夫, 2003, 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺]. 東大出版会, 336p.
- 日本の地質「近畿地方」編集委員会, 1987, 日本の地質6 近畿地方. 共立出版, 297pp.
- 日本の地質「九州地方」編集委員会, 1987, 日本の地質9 九州地方. 共立出版, 371pp.
- 寧波市地方志編纂委員会編, 1995, 寧波市史. 中華書局, 130pp.
- 大木公彦・古澤 明・佐藤 亮, 2000, 九州南部に分布する下門火砕流と桑の丸火砕流の層位学的関係. 日本地質学会第107年学術大会講演要旨, 222.
- 大塚裕之・西井上剛資, 1980, 鹿児島湾北部沿岸地域の第四系. 鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学）, 13, 35-76.
- 利光誠一・尾崎正紀・川辺禎久・川上俊介・駒澤正夫・山崎俊嗣, 2004, 20万分の1地質図幅「甌島及び黒島」. 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 佐藤 亮・大木公彦・古澤 明・廣瀬亜紀子, 2000. 鹿児島県北西部沿岸地域に分布する上部新生界の層位学的研究. 鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学）, 33, 69-87.
- 高津 孝・橋口 亘, 2008, 薩摩塔小考. 南日本文化材研究, 7, 20-33.
- 高津 孝・橋口 亘・大木公彦, 2010, 薩摩塔研究—中国産石材による中国系石造物という視点から. 鹿大史学, 57（投稿中）.
- 吉田久昭, 2008, 東大寺の石獅子の石材と近畿地方の類似岩石. 東大寺石獅子をめぐる研究集会レジュメ集, 39.