

古代ギリシャ・ローマ時代の石灰岩製石造品を用いた湿布式 および浸漬式脱塩処理方法の比較検討

加藤 敬史・鈴木まどか*・妹尾 護

倉敷芸術科学大学生命科学部

*倉敷芸術科学大学芸術学部

(2014 年 10 月 1 日 受理)

1. はじめに

石造文化財は、世界的にも多くのものが現存しており、それらには建築物、石塔、石碑、石仏、石像等の石製品がある¹⁾。これら石造品は、加工処理上、石材として凝灰岩を使用している例が多い¹⁾。一般的に、凝灰岩は多孔質であるために、岩石に浸透した塩類を含む水分の乾燥に伴って塩類が析出し、石造品の表面の粉化、剥離等を起こして破壊が生じる、いわゆる塩類風化^{注1, 文献2)}を起こしやすい。このような塩類風化による石造文化財の劣化現象は、世界各地の遺跡においても報告されており¹⁾、その保存対策が喫緊の課題となっている。石造品の材質としては、凝灰岩の他に、花崗岩、安山岩、玄武岩、砂岩等で作製された例もあるが¹⁾、比較的緻密な岩石でも、やはり塩類風化は避けられず、何らかの保存修復措置が必要となる。

我々は、土製品の保存研究を目的として、古代ローマ時代の鳥形テラコッタ、南ヨーロッパで紀元前4世紀から1世紀に作られたカンパニア陶器皿、および古代ギリシャ・ローマ時代のテラコッタ製人物像について脱塩処理を試み、溶出塩類の種類や塩類の溶出速度、また湿布式と浸漬式処理法の有効性等について検討を行ってきた^{3,4,5)}。その結果、脱塩処理において、含有される塩類によっては、湿布式処理のみでは不十分で、浸漬式脱塩処理法が不可欠であることが明らかになった。特に、塩類として硫酸塩類が含まれている場合には、浸漬式処理においても脱塩処理に長時間を要するため、湿布式処理法の単独適用では脱塩処理に限界がある。

この度、所蔵機関より塩類風化の進んだ石灰岩製石造品の脱塩処置依頼を受けたので、土製品の脱塩処理において得た知見をもとに、湿布式および浸漬式脱塩処理を行った。そして、溶出塩類の成分や溶出量、溶出率等の結果に基づき、湿布式および浸漬式処理法の有効性について比較検討した。

2. 脱塩処理

(1) 脱塩処理の対象物

本研究で、脱塩処理を行った試料は、所蔵機関より脱塩処理依頼を受けたギリシャ・ロー

マ時代の石造品で、素材は細粒の碎屑物からなる多孔質の石灰岩である。全体的に白色粉状、あるいは微細な繊維状の塩類が析出し劣化が進んでいる。図1には石造品の概略図を示した。

(2) 処理方法

脱塩処理方法としては、湿布式と浸漬式の両者について行った。湿布式脱塩処理では、11区画(A～K区画)に区分した石造品の各部分を紙パルプで覆い、析出塩類を湿布に吸着させる方法をとった。各区画で湿布処理に使用した紙パルプは自然乾燥させた後、細かく裁断して十分に混合し、その中から2.50gを分取してポリ瓶に入れ、蒸留水(電気伝導度: $0.05 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、 $\text{pH}: 6.9$) 250mlを加えて析出塩類を紙パルプから溶出させた(2007年11月実施)。

一方、浸漬式脱塩処理は、石造品からの脱落片を蒸留水に浸して析出塩類を溶出させる方法で実施した。本研究では、2試料の脱落片(試料AおよびB)に対する浸漬処理を行った。各試料の重量は、試料Aが1.30g、試料Bが0.77gである。脱塩処理方法として、15ml用のスチロール棒瓶に蒸留水を10ml加えて各試料を浸漬し、常温で24時間(1日)放置後、新しい蒸留水と交換する作業を7回(1週間)繰り返した。なお、浸漬処理は、2007年12月21日～12月28日に実施した。

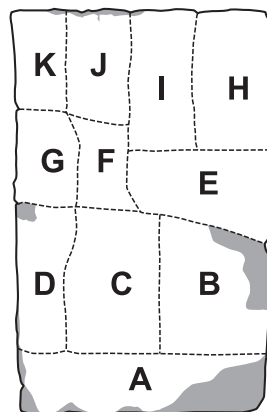


図1 古代ギリシャ・ローマ時代の石造品の概要図

3. 塩類の分析方法

溶出液中には、石造品に由来する少量の固形物や湿布による繊維が混入しているため、フィルター($0.45 \mu\text{m}$)でろ過した後、電気伝導度と各イオンの濃度を測定した。電気伝導度は電気伝導度計(MC126、METTLER TOLEDO)を使用し、陽イオン(Li^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})および陰イオン(F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-})の濃度については、イオンクロマトグラフ(DX-120、DIONEX)を用いて分析した。また、湿布処理による溶出液中の HCO_3^- については、硫酸溶液(0.02N)によるMR-BCG混合指示薬を用いた中和滴定によって $\text{pH}4.8$ アルカリ度を求め、その値から HCO_3^- 濃度に換算した。なお、脱落片を用いた浸漬処理では、溶出液の量が少いため硫酸溶液による滴定は行っていない。

なお、石造品の表面に析出している塩類の種類を同定するために、X線回折装置(RINT-2500V、株式会社リガク)による分析と走査型電子顕微鏡(JEOL、JSM-5410LV、日本電子)を用いた表面観察を行った。

[illegible]

石造品の脱落片を用いた浸漬処理では、浸漬1回目（24時間浸漬）で試料Aが約4200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、試料Bは約2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の極めて高い電気伝導度を示した（表2）。浸漬2回目では試料Aが104 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、試料Bが64 $\mu\text{S}/\text{cm}$ となり、電気伝導度は著しく低くなった。浸漬4回目以降では、試料Aおよび試料Bについての電気伝導度の値は35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下となり、ほぼ一定の値を示した。脱落片を用いた浸漬処理では、浸漬1回目の24時間で大部分の析出塩類が溶出しているといえる。

(2) 湿布および浸漬処理による各イオンの濃度

図2には、湿布を行った区画A～Kの溶出液の各イオンの濃度を示した。各イオンの

濃度でみると、区画A、区画Bおよび区画Kでの値が高く、区画Cの濃度が最も低い。また、区画によって各イオンの濃度の変化幅が異なり、特に NO_3^- の濃度変化が著しい。溶出液に含まれるイオンの濃度の大小関係としては、陽イオンで $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 、陰イオンでは $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ の順であった。したがって、析出塩類としては、硝酸塩、塩化物塩、炭酸塩（炭酸水素塩）および硫酸塩が含まれていたものとみてよい。次に、区画A～Kにおける各イオンの濃度の違いをみるために、基底部（土台部分）の区画Aの濃度を基準として、その濃度比で各

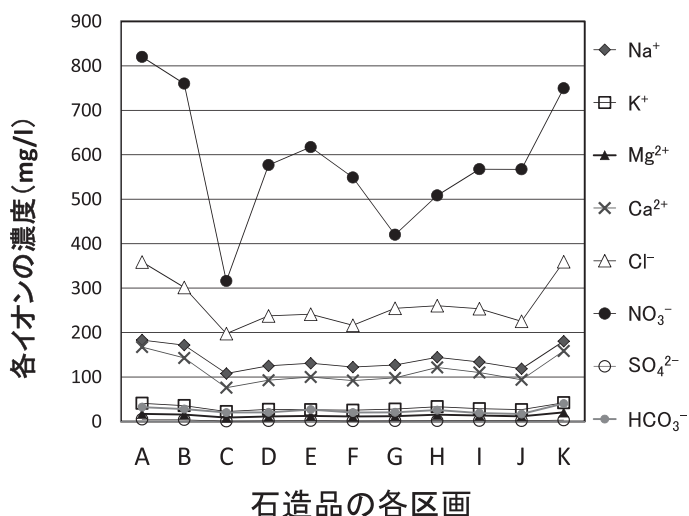


図2 湿布処理による石造品の各区画の溶出液のイオン濃度

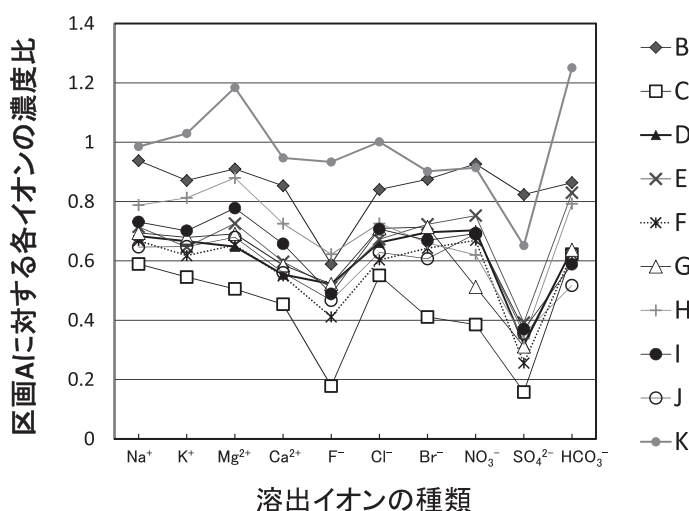


図3 石造品の各区画の溶出液のイオン濃度比
石造品区画Aの各イオンの濃度を基準とした

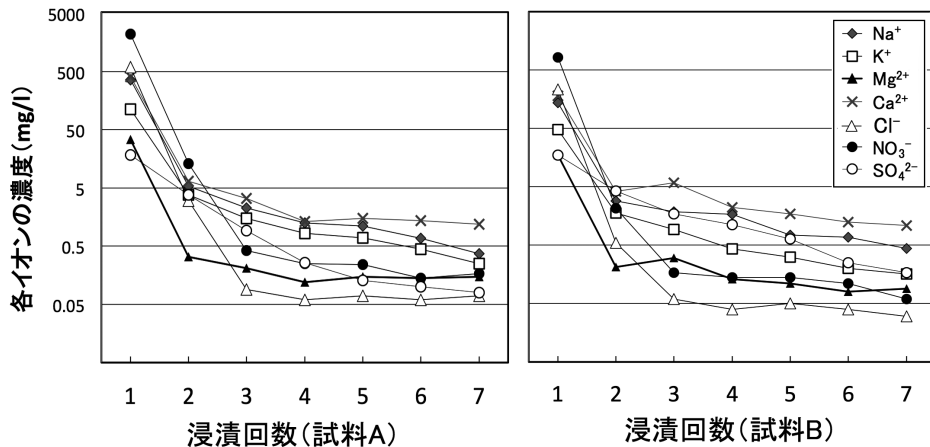


図4 石造品の脱落片の浸漬回数と各イオン濃度との関係

成分について比較したものを図3に示した。この図では、各区画の濃度比が大きく異なっていることが明らかで、各区画の中でも石造品の最上部の区画Kの値が最も大きく、逆に基底部に近い区画Cの値が最も小さい。各イオンの濃度比についてみると、 Na^+ と Cl^- の変化幅は小さく(0.6~1.0)、それに対して Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} および HCO_3^- の変化幅は大きい(Mg^{2+} : 0.5~1.2、 SO_4^{2-} : 0.2~0.8、 HCO_3^- : 0.5~1.3)。また、 SO_4^{2-} については、区画Aに対する濃度比が他のイオンよりも全般的に低くなっている。

脱落片の浸漬処理については、浸漬回数と各イオンの濃度の関係を図4に示した。試料Aおよび試料Bから溶出した成分については、陽イオンで $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 、一方、陰イオンでは $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ の順で、その中でも特に NO_3^- の濃度が高いことで特徴づけられる。しかしながら、これらの関係は湿布によって溶出する各イオンの濃度関係とは一致しない。湿布処理では、既述のように、陽イオンでは $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 、一方、陰イオンでは $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ の濃度関係であるが、浸漬処理では陽イオンの Na^+ と Ca^{2+} の順序が逆になっている。すなわち、浸漬処理の方が湿布処理よりも Ca^{2+} が溶出しやすいことを示している。なお、脱落片の浸漬処理溶液中の HCO_3^- 濃度は、溶液の量が少ないため分析を行うことができなかった。

各イオンの濃度と浸漬回数との関係では、脱落片試料Aについては、溶出液に多量に含まれる NO_3^- と Cl^- 濃度が浸漬回数とともに急激に減少している。一方、 SO_4^{2-} については、 NO_3^- や Cl^- と異なり、緩やかな濃度変化を示している。 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} および Ca^{2+} の陽イオンでは、 Ca^{2+} が最も減少傾向が緩やかである。その他の陽イオンでは、それぞれの濃度は異なるが、濃度の減少傾向は比較的類似している。これらの傾向は試料Bについても同様に認められる。

(3) 石造品の脱落片を用いた浸漬処理による各イオンの溶出率

古代ギリシャ・ローマ時代の石造品を用いた浸漬処理において、各イオンの浸漬1回目

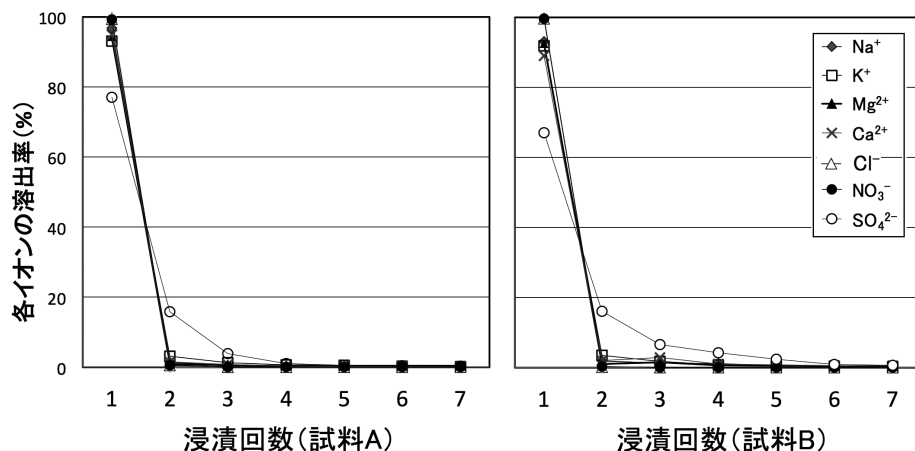
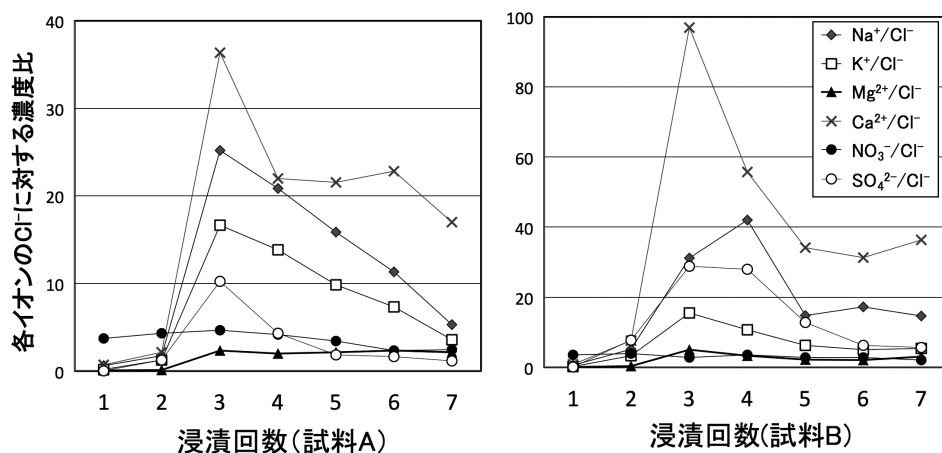


図5 石造品の脱落片の浸漬処理による各イオンの溶出率

から7回目までの測定値をもとに、各イオンの溶出率を求めた。図5にその結果を示す。試料Aについては、浸漬1回目で Cl^- と NO_3^- の溶出率が最も大きく、共に99.4%であった。その他のイオンでは、 Na^+ (97.0%) > Mg^{2+} (96.9%) > Ca^{2+} (96.4%) > K^+ (93.7%) > SO_4^{2-} (77.8%) の順に溶出率が小さく、特に SO_4^{2-} の溶出率は他のイオンとは異なり、浸漬1回目でも約78%と比較的小さい値を示した。したがって、浸漬の場合においても、 SO_4^{2-} は溶出しにくいイオンであるといえる。同様な傾向は試料Bの浸漬処理においても認められ、 SO_4^{2-} の溶出率は浸漬1回目では68.3%、浸漬2回目で84.8%となった。

図6には、浸漬回数と Cl^- 濃度に対する各イオンの濃度比の関係を図示した。脱落片試料Aでは、3回目の浸漬においては、陽イオンで $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$ 、 Na^+/Cl^- および K^+/Cl^- が高く、また陰イオンでは $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ の値が高くなっている。これは、塩化物塩および硝酸塩よりは、 CaSO_4 、 Na_2SO_4 および K_2SO_4 等の硫酸塩が溶出していることを示している。試

図6 石造品の脱落片の浸漬回数と Cl^- 濃度に対する各イオンの濃度比

料 A についての各イオンの溶出率では、浸漬 2 回目までで Cl^- は 99.9% が溶出しているのに対し、 SO_4^{2-} は浸漬 2 回目までの溶出率が 93.7% であり、浸漬 3 回目以降は量的には少ないが、硫酸塩類のみが溶出していると推定される。試料 B も同様で、浸漬 3 回目で $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$ 、 Na^+/Cl^- 、 K^+/Cl^- および $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ が高くなっている。

ここで、脱落片試料の浸漬（1 回目）による溶出液中の Cl^- と他イオンとの濃度比について、既述の石造品の湿布処理結果と比較してみると、 K^+/Cl^- 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ および $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ の各値は、浸漬処理の方が高くなっている。特に $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ の値は、浸漬試料 A で 0.031、また試料 B では 0.075 であり、湿布のその比である 0.013 ~ 0.004 より著しく高い。これは、浸漬処理の方が湿布処理よりも SO_4^{2-} が溶出しやすいことを示している。鈴木ら³⁾は土製品の保存研究を目的として、湿布式と浸漬式の 2 脱塩処理法についての脱塩効果の比較検討を行い、湿布式処理でも塩化物塩の脱塩は可能であるが、硫酸塩類の脱塩には浸漬式処理法が不可欠であることを指摘している。

(4) 析出塩類の特徴

本研究で湿布式と浸漬式処理に用いた石造品の析出塩類については、溶出液に NO_3^- が多量に含まれていることが特徴であり、硝酸塩が多く含まれていたものとみてよい。事実、剥離した析出塩の X 線回折装置による同定では、硝酸塩としての NaNO_3 が多く、次いで塩化物塩として NaCl が検出された（図 7）。しかしながら、石造品の湿布や脱落片の浸漬による溶出液中の陽イオンと陰イオンの当量関係から判断して、 NaCl や KCl 等の塩化物塩、 Na_2CO_3 等の炭酸塩、 CaSO_4 や Na_2SO_4 等の硫酸塩の他、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ や $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 等の硝酸塩類も析出していた可能性が大きい。また、 Na_2CO_3 あるいは NaHCO_3 等の炭酸塩や炭酸水素塩類も少量含まれていたことも推測される。なお、土製品、石仏、壁画等に塩類風化を引き起こす物質として、一般に NaCl や KCl の塩化物塩、 CaSO_4 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、 Na_2SO_4 、 MgSO_4 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 等の硫酸塩が報告されている^{1,6,7,8)}。

本研究では古代ギリシャ・ローマ時代の石造品に対して湿布式と浸漬式脱塩処理を試みたが、遺跡等からの出土品に対する脱塩処理方法としては、塩類風化の程度に応じて湿布法あるいは浸漬法が一般的に用いられている。湿布法では、少量の蒸留水を含ませたバルブに塩類を吸着させ

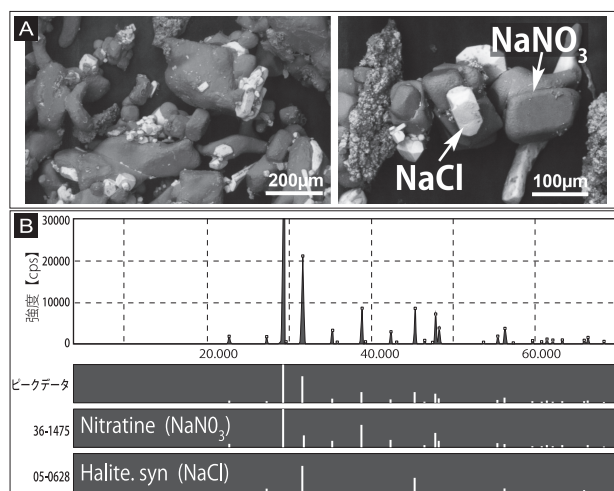


図 7 石造品から剥離した析出塩の電子顕微鏡写真 (A) と X 線回折分析結果 (B)

て、製品の表層部分の溶解度の大きい析出塩類を溶出させるのに対し、浸漬法では蒸留水中に製品を浸すために、表層部分だけではなく、内部に存在する溶解度の小さい析出塩類も溶出しやすくなるものと考えられる。そのために、浸漬法では水に対する溶解度の低い硫酸塩類が比較的溶出しやすくなるものと推定される。化学便覧⁹⁾によれば、NaClの溶解度は25℃で26.43、KClは26.4、NaNO₃は47.9、KNO₃は27.5、Ca(NO₃)₂

表3 各塩類の水に対する溶解度

	0℃	10℃	20℃	25℃	30℃
NaCl	26.3	26.31	26.38	26.43	26.5
KCl	21.92	23.8	25.5	26.4	27.1
MgCl ₂	34.6	34.9	35.3	35.5	35.8
CaCl ₂	37.3	39.3	42.7	45.3	50.0
Na ₂ SO ₄	4.31	8.26	16.0	21.9	29.2
K ₂ SO ₄	7.2	8.48	10.0	10.75	11.5
MgSO ₄	18.0	22.0	25.2	26.7	28.0
CaSO ₄	0.176	0.193	0.205	0.208	0.209
NaHCO ₃	6.48	7.52	8.72	9.32	9.96
Na ₂ CO ₃	6.54	10.8	18.1	22.7	31.2
K ₂ CO ₃	51.25	51.9	52.5	52.85	53.2
NaNO ₃	42.2	44.6	46.8	47.9	49.0
KNO ₃	11.7	18.0	24.0	27.5	31.3
Mg(NO ₃) ₂	38.4	39.7		42.1	42.6
Ca(NO ₃) ₂	50.5	53.55	56.39	57.98	60.41

化学便覧 (2004) による

では57.98 (g/100g・H₂O)で、塩化物塩や硝酸塩の溶解度は大きい。一方、硫酸塩類の溶解度は一般に小さく、25℃でCaSO₄は0.208、K₂SO₄では10.75、そして低温では溶解度が極めて小さいNa₂SO₄が21.9 (g/100g・H₂O)となっている(表3)。したがって、浸漬式脱塩処理においても塩化物塩等に対して硫酸塩類が溶出し難いのは、塩化物塩、硝酸塩および硫酸塩の各塩類の水への溶解度の違いが反映された結果とみることができる。

本研究での石造品の湿布式脱塩処理において、各区画における溶出イオンの濃度は場所によって大きく異なっていることは既に述べた。また、区画A(基底部)に対する各区画のイオンの濃度比の比較では(図3)、区画によってその比が大きく異なっている。特に、図3では、Na⁺とCl⁻の変化幅は小さいが、Mg²⁺、SO₄²⁻およびHCO₃⁻の変化幅は大きい。これは、石造品の湿布処理において、析出塩類の溶解度が区画によって大きく異なっていたとは考え難い。石造品内部の空隙の不規則な分布等により、各区画での析出塩類の量比が発掘時には既に異なっていたか、あるいは遺跡から搬出後の収蔵期間や、湿布の過程で他区画からの塩類の溶出・移動が起こり、結果的に区画間で溶出成分に濃度差が生じたこと等が原因であろう。

古代の焼成温度の低い土製品や間隙率の高い石製品は、海底遺跡や陸上遺跡で海中や土中の水分を媒介として塩類等の多くの物質の吸着が起こる。これら遺物が発掘された後、外気にさらされて乾燥と湿潤を繰り返すと、吸着されていた遺物中の塩類が水分とともに表層部へ移動して塩類を析出する^{2,10)}。脱塩処理では、溶出する各イオンの濃度関係に基づき、含まれていた析出塩類を推定することが可能であるが、陸上や海底等の埋没環境の異なる遺物では、析出塩類組成も大きく異なる^{3,4,5,11)}。例えば、沈没した船から引き揚げられた「カンパニア陶器」皿に対する脱塩処理では、溶出成分としてNa⁺およびCl⁻が主であり、その他の成分としてSO₄²⁻、Mg²⁺等が含まれていた⁴⁾。なお、これらの溶出成分は海水組成にはほぼ類似したものであることが指摘されている⁴⁾。一方、陸上の遺跡では、イラン出土壺の脱塩処理において、陽イオンではK⁺、Na⁺、陰イオンではCl⁻と

SO_4^{2-} が主な溶出成分で、 NaCl 、 KCl の塩化物塩とともに Na_2SO_4 、 K_2SO_4 等の硫酸塩の混入が推定された¹¹⁾。鈴木ら³⁾ による伝エジプト出土品を用いた脱塩処理では、陽イオンは Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、陰イオンは Cl^- 、 SO_4^{2-} および NO_3^- で、 NaCl や KCl の塩化物塩、 Na_2SO_4 、 CaSO_4 の硫酸塩および少量の硝酸塩の存在が報告されている。しかし、本研究では、 NaNO_3 等の硝酸塩が析出塩類として多く含まれている点が他の報告例とは異なっている。石造品に含まれていた塩類は、陸上遺跡からの出土品であるため、埋没している間に地下水等を介して塩類の成分が石製品に浸透したものと考えられるが、現時点では、多量に含まれる NO_3^- の起源については明らかでない。

おわりに

本研究では、古代ギリシャ・ローマ時代の石造品を対象物として湿布式および浸漬式脱塩処理を行った。石造品に析出していた塩類として、塩化物塩、硫酸塩そして硝酸塩が認められた。陸上遺跡や海底遺跡からの出土品では塩化物塩や硫酸塩が一般的であるが、 NaNO_3 等の硝酸塩類が多く含まれていた点が本研究での析出塩類の特徴の一つであるといえる。これら塩類の中では、塩化物塩と硝酸塩は湿布式処理においても溶出するが、鈴木ら³⁾ によって指摘されているように、硫酸塩類は浸漬式脱塩処理を用いないと溶出し難いことが確認された。また、湿布式脱塩処理において、各区画に分けて湿布を行ったが、区画間の溶出塩類量に大きな相違が認められた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、岡山理科大学理学部基礎理学科の小林祥一教授には、石造品に認められた析出塩についての X 線回折分析をしていただいた。ここに深く感謝いたします。

注

- 1) 鈴木まどか，加藤敬史，妹尾 護 2009:「海底から引き揚げられた『カンパニア陶器』皿の脱塩処理」，学校法人加計学園・順正学園主催『美の継承～保存と修復～』展（於・加計美術館，2009年5月14日～7月12日）で展示発表。

引用文献

- 1) 沢田正昭 1997:文化財保存科学ノート，近未来社，212p.
- 2) 鈴木まどか 1996:日本におけるギリシャ・ローマ時代コレクションとその保存，倉敷芸術科学大学紀要，第11号，25-36.
- 3) 鈴木まどか，加藤敬史，妹尾 護 2008:土製品の保存研究（1）－湿布式・浸漬式の2脱塩処理法の併用をめぐる－，倉敷芸術科学大学紀要，第13号，21-29.
- 4) 鈴木まどか，加藤敬史，妹尾 護 2012:土製品の保存研究（2）－カンパニア陶器皿を用いた浸漬式脱塩処理法の評価－，倉敷芸術科学大学紀要，第17号，81-89.
- 5) 加藤敬史，妹尾 護，鈴木まどか 2014:土製品の保存研究（3）－古代ギリシャ・ローマ時代のテラ

コッタ製人物像の浸漬式脱塩処理－. 倉敷芸術科学大学紀要, 第19号, 53-61.

- 6) 関 陽太郎, 酒井 均 1987: 千葉県館山市大福寺舟形磨崖佛十一面観音像の劣化と水・岩石相互作用. 岩鉱, 82, 230-238.
- 7) 関 陽太郎, 平野富雄, 渡辺邦夫 1987: 福島県小高町薬師堂石仏群の劣化と水・岩石相互作用. 岩鉱, 82, 269-279.
- 8) 朽津信明, 段 修業 1993: 敦煌莫高窟における塩類の晶出と壁画の劣化. 保存科学, 32, 28-34.
- 9) 日本化学会編 2003: 化学便覧基礎編Ⅱ (改訂6版). 丸善, 762p.
- 10) 青木繁夫 1985: 土製品の保存・修復研究Ⅰ－塩類風化によって損傷をうけた土器の保存・修復－. 保存科学, 24, 33-37.
- 11) 門倉武夫 1985: イラン出土壺の脱塩処理における溶出物の分析. 保存科学, 24, 39-45.

Comparative Study of Desalting Treatment of Compress and Immersion Method for a Old Greek and Roman Stone Made of Limestone

Takafumi KATO¹⁾, Madoka SUZUKI²⁾, Mamoru SENO¹⁾

1) College of Life Science

2) College of the Arts

Kurashiki University of Science and the Arts,

2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712-8505, Japan

(Received October 1, 2014)

The desalting treatments by compress and immersion method were carried out on a old Greek and Roman stone made of limestone. The conductivity of the leached solution was measured, and the ions present in it were analyzed by ion chromatography and titration with sulfate solution for HCO_3^- .

The conductivity of solution leached by compress method for stone, significantly, vary from place to place ($1970\mu\text{S}/\text{cm}$ — $1200\mu\text{S}/\text{cm}$), which divided into eleven portions for desalting. The conductivity of solution leached by immersion method decreased rapidly after the broken fragments of stone were immersed in it for 24h.

The results of analysis for each ion showed that the leached solution contained Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , and SO_4^{2-} ions. This result suggests that these ions were extracted by nitrate, chloride, carbonate (hydrogencarbonate), sulfate, which had precipitated in the stone. The analyses by X-ray diffractometer and SEM revealed the both presence of NaNO_3 and NaCl as salts precipitated. It is noted that presence of NaNO_3 as a salt has been hardly reported from ancient culture assets.

As a result of desalting by compress method for stone, concentration of leached solution of each portions divided were largely different in each other, in particular, Mg^{2+} , SO_4^{2-} and HCO_3^- ions. It may be possible that the amount of salt in each portion of stone was already uneven at excavation, and/or salts migrated from other portion in the process of desalting treatment.

The ratios of $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ in leached solution are much higher in immersion method than compress method. It follows that sulfates such as CaSO_4 are not easy to dissolve in the process of treatment by compress method. The immersion method, therefore, is necessary for the complete extraction of salts precipitated.