

モンゴル国の陶土の性状試験

研究企画課 阿部 久雄

モンゴル国立科学技術大学付属高専 久留須 誠*

(※ 佐世保異業種交流協会賛助会員)

要 約

モンゴル国立大学が推進する産学官連携の一環として、佐世保異業種交流協会を通じて同国アルハンガイ県ホトント村の陶土2種類(MGL-1及びMGL-2)が提供され、その陶磁器原料としての性状について調べた。2種類の陶土はいずれも石英、雲母を主構成鉱物とし、他に斜長石、角閃石を含むことが粉末X線回折により分ったが、カオリン族鉱物は含まれていなかった。また両試料の化学組成は、アルカリ土類金属、アルカリ金属を含量で約12質量%、鉄分を4~5質量%含んでおり、耐火度はSK3a~4a(約1150℃)であることから、両試料とも有色の低火度原料に位置づけられる。両試料は含水率が15~18%のときに単味で可塑性が認められたが、平均粒径は液相沈降法で10 μ m(MGL-1)、25 μ m(MGL-2)と前者が小さかった。そこで粒度分布が肥前地区の汎用陶土により近いMGL-1を用いて電動ろくろにより茶碗形状品を成形し、素焼焼成後にホウ珪酸ガラス系の低火度釉を施して1100℃で焼成し試作品を得た。

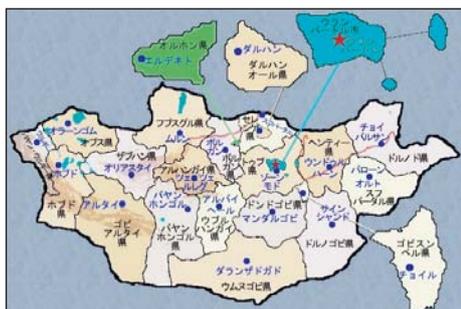
キーワード：モンゴル国、アルハンガイ県 ホトント村、陶土、可塑性、ろくろ成形

1. はじめに

モンゴル国の古都カラコルムの遺跡は、同国の首都ウランバートルの西350kmのウブスハンガイ県ハラホリン市にある。カラコルムは1388年頃に明軍に攻められ廃墟となったため、現在は考古学調査が行われている^{1),2)}。2011年に開館したカラコルム博物館には、同遺跡から出土した大量の陶片^{2),3)}が展示され、地階には瓦を焼成した窯跡が残されている⁴⁾。陶磁器の生産は人民共和国(1924~1992)の時代に旧社

会主義体制下の国営工場で行われていたが、1991年にソビエト連邦が崩壊すると、急速な市場経済への移行に伴って破たんし、現在は工芸品の生産がわずかに行われているとのことである。

このような背景のもと、カラコルム遺跡からほど近いアルハンガイ県ホトント村(図1参照)を中心に、失われた陶磁器生産を復興させ地域の産業として振興することに関心が寄せられている。この度、ホトント村の陶土が著者らの許へもたらされたので、その陶磁器原料としての性状について調べた。



< 出典：Wikipedia >



< 出典：Google map >

図1 モンゴル国アルハンガイ県ホトント村の位置

2. 実験方法

2.1 試料

モンゴル国において共同研究者*1が入手した鉱物粉体2試料を供試料とした。試料名はMGL-1及びMGL-2である。試料添付の証明書によると、同試料はモンゴル国アルハンガイ県ホトント村のホトント・バグ(行政上の最小単位)の中心部から1km離れたツァガン・エルグの陶土と記載されている。両試料とも淡い黄土色の粉体である。(※1 久留須誠:モンゴル国立科学技術大学付属高専副校長)

2.2 試験方法

(1) 化学組成、鉱物組成及び耐火度の評価

試料の化学組成を、試料をガラスビードに加工後、蛍光X線分析装置(日本フィリップス製PW2440)を用い検量線法により求めた。検量線標準試料は Fe_2O_3 、 CaO はGSJ geochemical references、その他はJRRMシリーズを用いた。また、試料の耐火度をJIS R2204「耐火物及び耐火物原料の耐火度試験方法」に準じて測定した。

(2) 粉体特性及び可塑性の評価

試料の真比重をヘリウムピクノメーター(マイクロメリティックス製アキュピック1330)により、また、粒度分布をX線透過式粒度分布測定装置(マイクロメリティックス製セディグラフⅢプラス)及びレーザー回折式粒度分布測定装置(スペクトリス製マスターサイザー3000)により求めた。陶土の成形性に関わる

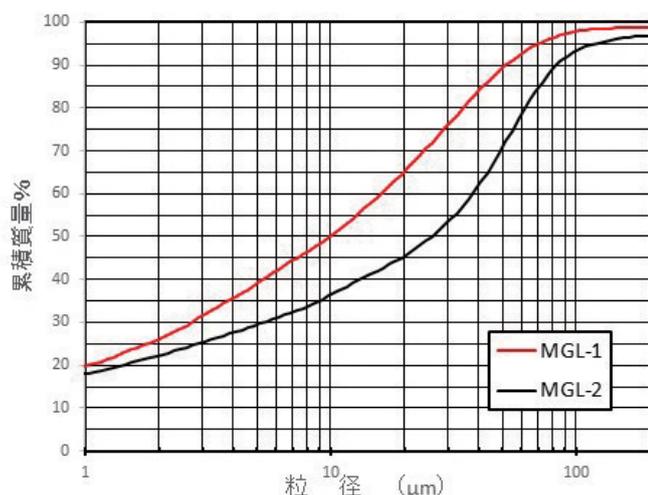


図2 陶土試料の粒度分布

可塑性については以下の方法により評価した。すなわち、試料50gに対して概ね0.5~1質量%の間隔で段階的に純水を加え、純水添加毎に試料と純水を混合し、含水試料の保形性、可塑性及び飽水状態を観察し、保形性の有無(無:0→有:1)、可塑性の有無(無:1→有:2)、飽水状態への変化(無:2→有:3)の4段階で表した。試料が可塑性を示す2の状態の最低の含水率(乾重基準)を可塑水分値とし、可塑性発現後の試料の硬さを粘土硬度計(ニチガイ製NGK-01)により測定した。

(3) 焼成試験及び試作

供試料の耐火度に基づいて焼成温度を決定し、テストピースの焼成により線収縮率及び熱膨張係数を求めた。また、MGL-1に水分を加えてプラネタリミキサで混練した後、菊練によりろくろ成形可能な水分に調整し、電動ろくろにより、茶碗、小鉢(大小)を成形した。成形品を900℃で30min素焼焼成した後、ホウ珪酸ガラス系フリットをベースに調製した釉薬泥しよをスプレーにより施し、1100℃で本焼成を行った。

3. 結果及び考察

3-1 試料の物理・化学的性質

(1) 真比重、粒度分布及び化学組成

試料の真比重は両試料いずれも2.690($\sigma_n:0.001$)であった。また、X線透過式粒度測定法による試料の粒度分布(図2)は、両試料とも分布は単一で、MGL-1の平均粒径は10 μm (33 μm^{*2})、MGL-2は25 μm (63 μm^{*2})と明らかにMGL-1が小さかった。(※2:レーザー回折法による平均粒径)

試料の化学分析値を表1に示す。両試料とも主成分は SiO_2 及び Al_2O_3 であり、その含量は約75~78質量%であった。いずれも比較的多くのアルカリ土類金属、アルカリ金属を含み、その含量は約12質量%となることから、素地の耐火度に相当の影響があると考えられる。さらに両試料とも着色成分の Fe_2O_3 を4~4.6質量%含んでおり、陶磁器原料としての用途は有色素地に限られるものと考えられる。

表1 陶土試料の化学分析値 (波長分散型蛍光X線分析検量線法、単位：質量%)

試料名	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig.loss
MGL-1	59.9	14.6	4.6	0.7	4.2	1.9	2.9	3.2	7.3
MGL-2	63.7	14.1	4.0	0.7	3.7	1.5	3.2	3.0	5.6

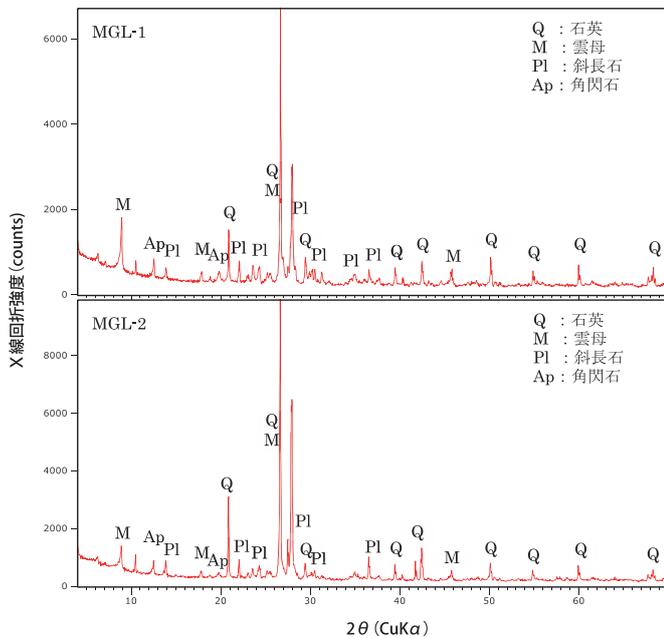


図3 陶土試料の粉末X線回折プロファイル

(2) 鉱物組成

両試料の粉末X線回折プロファイルを図3に示す。両試料とも主な構成鉱物は石英、雲母であり、他に斜長石、角閃石を含んでいる。既述の化学分析値の中で、比較的多くのアルカリ土類金属、鉄、アルカリ金属が認められたが、これらは斜長石、雲母、角閃石からもたらされていると考えられる。また、試料には肥前地区で普通に使用される陶土（陶石起源又は石英・長石・粘土配合によるもの）において主な構成鉱物であるカオリン族鉱物が含まれていないことも特徴である。

3-2 陶土の可塑性

陶土試料に純水を添加しつつ混合したときの試料の状態と硬度の変化を含水率との関係において図4に示す。試料は含水率の増加に伴い、保形性、可塑性を獲得し、やがて飽水状態に至っている。可塑性はろくろ成形や押し型成形を行う際に必要となる性質であり、図4において2（可塑性有）の状態が現れるか否かは成形工程上極めて重要である。なお、図4では、陶土の状態を表す0~3の整数の他に、過渡的な状態を

0.5刻みの数値で表現している。

両試料はいずれも状態2（可塑性有）が確認されたので、可塑成形が可能な陶土であると云える。MGL-1の可塑性は含水率18~21%の範囲で、同様にMGL-2は15~18.5%の範囲で得られている。可塑性が発現する可塑水分値（含水率）はMGL-1が18.2%、MGL-2は15.2%であり、MGL-1がMGL-2より少ない水分で可塑性を示すことが分かる。一般的に、可塑性の発現には粉体粒子の表面が水で濡れることと、粒子間が自由水で満たされていることが必要のため、粒度が小さく表面積が大きな粉体の方がより多くの水分を必要とする。したがって、平均粒径10μmのMGL-1の可塑水分値が、平均粒径が25μmのMGL-2のそれよりも大きくなったことは妥当な結果と云える。

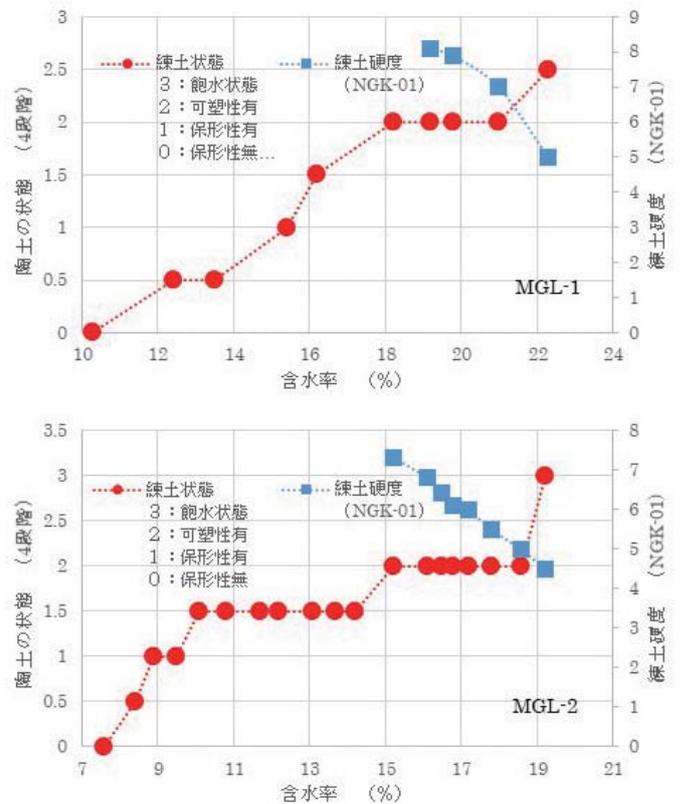


図4 水分添加による陶土の状態の変化

また、練土硬度は陶土が練土になったときの降伏値に対応する指標で、練土の変形に必要な応力を定性的に示しており、陶磁器産業では成形時の水分管理に利用されている。練土硬度は陶土の可塑性の発現から順次減少し、陶土が飽水状態（水分過剰）となる辺りで最少となった。

3.3 陶土試料の焼成性状及び試作

(1) 耐火度と焼成収縮

供試料による陶土の焼成温度を推定するため耐火度を求めたところ、MGL-1がSK3a(1140℃)、MGL-2がSK4a(1160℃)であった。また、押し型成形により作製したテストピース(MGL-1)の焼成収縮率は、素焼焼成(900℃)及び1050℃焼成で0.0%、1100℃で3.7%であったので、本研究では同陶土の焼成温度を1100℃とした。

(2) 試作

MGL-1に水分を加えてプラネタリミキサで混練した後、菊練によりろくろ成形が可能な水分まで調整した(水分22%)。この坯土を用いて電動ろくろにより、茶碗、小鉢(大小)を成形した。成形試料を900℃で30分素焼焼成した後、ホウ珪酸ガラス系フリットベースの低火度釉を施し、1100℃で30minの本焼成を行った。成形試料及び施釉焼成品試料の外観を図5に示す。

4. まとめ

(1) モンゴル国立大学が推進する産学官連携の一環として、佐世保異業種交流協会を通じて同国アルハンガイ県ホトント村の陶土2種類(MGL-1及びMGL-2)が提供され、その陶磁器原料としての性状について検討した。

(2) 陶土2種はいずれも主に石英、雲母を主構成鉱物とし、他に斜長石、角閃石を含んでいた。また両試料の化学組成は、アルカリ土類金属、アルカリ金属を合



図5 施釉焼成後の試作品の外観

量で約12質量%、鉄分を4~5質量%含んでおり、耐火度はSK3a~4a(約1150℃)であったことから、両試料とも有色の低火度原料に位置づけられる。

(3) 陶土2種は含水率15~18%のときに、いずれも単味で可塑性が認められたので、粒度分布が肥前地区の陶土により近いMGL-1を用い、電動ろくろにより茶碗形状品を成形した。素焼焼成後にホウ珪酸ガラス系の低火度釉を施し1100℃で焼成し試作品とした。

謝辞

本研究は佐世保異業種交流協会賛助会員でモンゴル国立科学技術大学付属高専副校長の久留須誠氏との共同で行われた。同大学はモンゴル国における産学官連携を推進している。研究の遂行に当たり、モンゴル陶土の採掘と持ち出し許可についてはバルザン・アマルザヤ氏(Asian nephrite社)及びツウムルバト・ボルドバータン氏(モンゴル国立大学)両氏のご支援により実現した。また、モンゴル陶土の粒度分析、耐火度及び化学分析については、当センターの山口英次氏、小林孝幸氏、木須一正氏の各氏のご協力により、さらに電動ろくろ成形は中原真希氏のご協力により実現した。以上を記して各氏に深く感謝の意を表す。

文献

- 1) 独立行政法人国際協力機構(2008)「モンゴル国カラコルム博物館建設計画事業化調査報告書」、平成20年9月、p.23
- 2) ニュース専修ウェブ版(2006)「モンゴル・古都カラコルムの陶磁器調査」2006年12月号(参照2019年3月22日)
- 3) 白石典之、相馬秀廣、加藤雄三、エンフトル A、『モンゴル国フンプレー遺跡群の調査とその意義：元代「孔古烈倉」の基礎的研究』、国立民族学博物館研究報告、33(4)、621-630(2009)。
- 4) 在モンゴル日本大使館(2011)「カラコルム博物館が開館しました」、<https://www.mn.emb-japan.go.jp/news/jp1200.html>(参照2019年3月22日)