

中央アジア施釉陶器の理化学分析と産地推定

著者	佐々木 達夫, 小泉 一人, 佐々木 花江
著者別表示	Sasaki Tatsuo, Koizumi Kazuto, Sasaki Hanae
雑誌名	金沢大学考古学紀要
号	41
ページ	79-119
発行年	2020-02-28
URL	http://doi.org/10.24517/00057299



中央アジア施釉陶器の理化学分析と産地推定

佐々木達夫・小泉一人・佐々木花江

1. はじめに

中央アジアの中世遺跡から多量の陶器が出土することは既に知られ、考古学的手法によりその形態や製作技法が中央アジア各地で類似していることが指摘されてきた。このことはシルクロードに代表される陸の道を利用した地域間交流や交易が盛んであったことを示唆する。しかしながら、トルクメニスタン、ウズベキスタン、アフガニスタンなどの調査によると（佐々木ほか 2007, 2008）、遺跡出土品の多くが現地生産されたものであり、他地域から移入されたものは僅かであることが指摘されている。

本研究では、ウズベキスタンおよびアフガニスタンの東西交易路の要衝として栄えた4都市（タシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーン）（図1）から出土した施釉陶器の理化学分析を行った。これらの都市は南北730 kmの間におよそ270 kmの間隔で点在し、理化学分析によって原材料の比較や変遷を明らかにすることで、当時の地域間交流と交易の実態を知ることができるかと期待される。サマルカンド、テルメズ、バーミヤーン3都市出土の陶器素地の化学分析結果に関しては、2009年に一部報告したが（Sasaki et al. 2009）、本論では、それらに加えて偏光顕微鏡による観察結果や釉の化学分析結果についても報告する。また、新たにタシュケント出土陶器の化学分析結果を加え、中世中央アジアにおける地域間交流と交易の実態について考察する。

2. 研究地域の概要

ウズベキスタンの地形は、アラル海に注ぐシルダリアとアマダリアの2つの大河川に挟まれた山岳・丘陵地帯と、北部のキジル・クムとカラクムの2つの砂漠帯から構成される。現在の首都であるタシュケントは、7～8世紀ごろからイスラーム帝国の支配を受け商業都市として栄えた。その後、13世紀初めのモンゴル侵攻により街は破壊されたが、ティムールにより再建

された。中央アジアの歴史都市サマルカンドはアマダリア川の支流に位置する。7～8世紀頃からイスラームの支配を受け、中国からインド、イランへ至る交易路の中継都市として栄えたが、13世紀初めのモンゴルの侵攻により荒廃、廃墟となった。その後、14～15世紀にティムールの首都として繁栄した。ウズベキスタン南部の都市テルメズはアフガニスタンとの国境であるアマダリア河畔に位置し、北アフガニスタンとともに古代のバクトリアの地として知られる。中央アジアからインド一帯を支配し、ガンダーラ仏教文化を生んだクシャーン朝時代1～2世紀、その後の7世紀頃よりイスラーム教の中心地となり、ティムール朝時代15世紀頃にはシルクロード交易の中心として栄えた。バーミヤーンは古来より東西交易路の要塞として、アフガニスタン山地の標高2500 mの高地盆地に位置する宗教都市である。6～9世紀に栄えた仏教文化は10世紀までに衰退し、以後はイスラーム教が強くなり、13世紀初めにモンゴルによって廃墟となった。

3. 研究地域の地質概要

中央アジア地域は様々な時代のユーラシアプレートなどの3つのプレートや、その間に発達した大陸の衝突によって圧縮されて形成した変動帯が帯状に配列し、その複雑な地質発達史から広範な地質時代にわたる岩石が分布している。本研究地域は東方のチベット高原から伸びる原生代後期（約6億年前）から中生代（約1億年前）にかけてのいくつもの変動帯が露出する地域にあたる。

中央アジア地質図（Teraoka and Okumura 2007, 石原2000）などによると、ウズベキスタンの地質は北から南へ古生代（約3～4億年前）の海成堆積物、原生代後期から古生代前期の海成堆積物と火山岩、古生代後期の様々な種類の岩石が複雑に混じり合ったメラレンジとMgとFeに富む火山岩と深成岩からなるオフィオライトが分布する。タシュケント周辺では、古生代の

海洋性堆積物が分布し、東方には古生代の花崗岩が広く分布している。オフィオライト岩類は南天山山脈の北縁、タシュケントの南方に分布する。サマルカンド周辺も古生代の海洋性堆積物（泥岩や砂岩）と花崗岩が広く分布し、その他に石灰岩や炭酸塩岩が認められる。テルメズ周辺は主に中生代の海成性または大陸性堆積岩が分布している。また、ウズベキスタンは多種多様な地下資源が産出することで知られ、銅や金、鉛、亜鉛などを産出する。特に金の生産は歴史が古く、15世紀のティムール時代にはタシュケント周辺で多量の金を生産していた（金属鉱業事業団 1995）。

アフガニスタンの地質もウズベキスタン同様に複雑な地質構造と変動帯に特徴付けられ、様々な時代の岩石が分布するが、バーミヤーン周辺では古生代から第三紀（約 6000 万年前）の海成堆積物が広く分布し、部分的に花崗岩や酸性火山岩が認められる（Teraoka and Okumura 2007）。

4. 分析試料概要

本研究ではウズベキスタン北部のタシュケント出土施釉陶器 24 試料、同中部サマルカンド出土施釉陶器 12 試料、同南部テルメズ出土施釉陶器 11 試料およびアフガニスタンのバーミヤーン出土施釉陶器 18 試料、計 65 試料について、素地の主要・微量元素定量分析と X 線粉末回析分析、顕微鏡による観察および釉薬部の主要・微量元素定性分析を行った。それぞれの分析試料の写真は図 2～5 に示す。なお、表や図中試料名の記号は出土地により区分し、それぞれ TSK（タシュケント）、SMR（サマルカンド）、TRM（テルメズ）、BMY（バーミヤーン）と示す。

試料の考古学推定年代は、タシュケント 32-34（9 世紀）、1-5, 7-9, 11-14, 18-20, 23, 24, 26, 27, 29, 31（10 世紀）、6, 10, 15-17, 25（11 世紀）、35, 36（11-12 世紀）、21, 28（12-13 世紀）、37（16 世紀）、38, 39（17 世紀）。サマルカンド 8, 9（9 世紀）、3-7（10-11 世紀）、2（12 世紀）、12 は不明、10（16 世紀）、1, 11（17 世紀）。テルメズ 1-5（9 世紀）、7-10（10 世紀）、11（11 世紀）、6（12 世紀）。バーミヤーン 174（9 世紀）、13 167, 172, 222（11 世紀）、他は（12-13 世紀）。

タシュケント分析試料は、タシュケントで代表的な施釉陶器と他地域の施釉陶器と類似する施釉陶器で、Saida Ilyasov が発掘したビンケット遺跡出土品である。

主に黄色素地またはピンク色素地で、白濁釉緑彩陶器、透明釉や多彩釉の彩画陶器である。考古学観察から白濁釉緑彩陶器（32-34）は 9 世紀、10 世紀から 11 世紀は彩画陶器が主体となり、試料の大部分を占める。他に 12-13 世紀 2 点、16 世紀 1 点、17 世紀 2 点を含む。

サマルカンドとテルメズの分析試料はいずれもそれぞれの地域で一般的な種類の施釉陶器である。サマルカンド試料は主にサマルカンド歴史文化博物館所蔵品でアフラシアブ遺跡出土品である。主に 10-11 世紀の彩画陶器ピンク色素地であるが、SMR8, 9 の 9 世紀白濁釉緑彩陶器黄色素地や SMR7 の 10-11 世紀多彩釉刻線文陶器も分析した。なお、SMR10, 12 はストーンペー素地（石英素地）で、他の試料と素地材料が異なる。分析試料の主な生産年代は 10～12 世紀であるが、SMR10 は 16 世紀、SMR001, 11 は 17 世紀である。

テルメズの分析試料は遺跡採集品の中から Jangar Ilyasov らと選別した。それらの年代は考古学観察から、9 世紀が 5 点、10 世紀が 4 点、11 世紀が 1 点、12 世紀が 1 点である。TRM1, 2 の 9 世紀白濁釉陶器及び TRM3, 4, 5 の白濁釉緑彩陶器は黄色素地のグループ（TRM1-5）である。10 世紀の TRM7, 8 の多彩釉刻線文陶器、TRM9 の白濁釉緑彩陶器、TRM10 の彩画陶器は淡ピンク色素地のグループ（TRM6-11）であり、TRM11 は 11 世紀、TRM6 は 12 世紀である。試料 TRM009 は白濁釉緑彩陶器であるがピンク色素地で考古学観察では 10 世紀と推定され、9 世紀の黄色素地から 10 世紀のピンク色素地への移行期製品と推定できる。TRM1-5 及び TRM6, 9 が鉛錫釉であり、その他の淡ピンク色素地の釉に錫がないことも、TRM9 が鉛釉への移行期製品であることを支持している。

バーミヤーン分析試料は、独立行政法人文化財研究所により発掘調査され、その後 2007 年に実施した独立行政法人東京文化財研究所と金沢大学による共同研究「アフガニスタン・バーミヤーン遺跡出土陶器の研究」により調査した試料を分析した。タイブティー（Taibuti）地区出土試料 1 点（BMY013）、ガリババード（Gharibabad）地区出土試料 5 点（BMY132, 167, 161, 188, 174）、ガーズィ・ダーウーティ（Qazi Dauti）地区出土試料 8 点（BMY222, 223, 224, 225, 148, 226, 227, 228）、ジュイー・シャフル（Ju-yi Shahr）地区出土試料 4 点（BMY139, 90, 124, 134）である。これら分析試料は、主にイスラーム時代の 10～13 世紀にかけて

の施釉陶器であり、赤色素地 13 点、土器赤色素地 1 点 (BMY228)、白濁釉陶器黄白色素地 1 点 (BMY174)、緑・褐釉陶器淡ピンク色素地 1 点 (BMY161)、透明釉ストーンペースト素地 1 点 (BMY227)、窯道具の棒状品 1 点 (BMY134) である。考古学観察から、多くの試料 (15 点) はバーミヤーン産で、BMY161, 174, 227 は他産地の製品と推定される。施釉陶器のほとんどは赤色素地であるが、BMY174 は黄白色素地であり、TRM1 や TRM2 とよく似た素地である。参考のためバーミヤーンで現在建築用レンガ材料として用いる黄色粘土 (BMY-Y) と赤色粘土 (BMY-R) の 2 種類の粘土について主要・微量元素定量分析と粉末 X 線回折分析した。なお、バーミヤーン試料の調査は (佐々木ほか 2008) に記載しており、本研究で分析した試料番号はその記載と一致する。

5. 分析手法

素地の分析試料は釉薬部を十分に取り除きチップ状に切断した約 2 ~ 5 g の試料を蒸留水で洗浄後に乾燥し、メノウ乳鉢で粉末化したものを使用した。バーミヤーン土壌の分析も同様に約 20 g の試料を蒸留水で洗浄後に乾燥し、メノウ乳鉢で粉末化したものを使用した。

主要 10 元素 (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) の分析は金沢大学理工学域設置の蛍光 X 線分析装置 (リガク社製 System 3270) を用い、加速電圧 50 kV, 電流 20 mA で行った。分析用試料として、粉末試料 0.5g と四ホウ酸リチウム (メルク社製) 5 g を混合し、ビードサンブラ (リガク社製) によって約 1100°C で融解した後冷却させたガラスを用いた。微量元素 (Ni, Cu, Zn, Th, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Co, Cr, Ba) は、試料約 2g にポリビニルアルコール水溶液を若干混合し、圧縮成形したペレットを用いた。検量線は、産業技術総合研究所・地質調査総合センターの標準試料 (JG-1a, JG-2, JG-3, JB-1a, JB-2, JB-3, JA-2, JA-3, JR-1, JG b -1) を用いて作成した。

X 線粉末回折分析は金沢大学理工学域に設置されたリガク社製 RINT1200 X 線回折装置 (XRD) を使用し、CuK α 線を用いて電圧 40 kV, 電流 30 mA で測定を行った。検出された物質の同定解析は、測定回折線の主要ピークと回折角度から原子面間隔および相対強度を計算し、Hanawalt の同定法により鉱物種を決定した。

釉薬部の蛍光 X 線分析は山梨県工業技術センターに設置されているエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (EDAX 社製 EagleII XPL) を用いた。X 線管球は Mo 管球で、分析条件は加速電圧 30 kV, 電流 1000 μ A, 照射面積は直径 300 μ m で測定雰囲気は真空下で行った。前処理としてチップ状に切断した試料を蒸留水でよく洗浄後に分析した。値の計算には装置に組み込まれているファンダメンタルパラメータ法を用いて計算 (半定量計算) した。

偏光顕微鏡観察に用いた薄片は、チップ状に切断した試料にエポキシ系樹脂 (ペトロポキシ 154) を用いて固めた後、スライドガラスに貼り付け研磨して作成したものをを用いた。

6. 素地の顕微鏡観察および粉末 X 線回折結果

分析を行なった施釉陶器の素地の色は、タシュケント出土陶器はピンク色を呈したものが多く、一部に黄色も認められる。一方、サマルカンドとテルメズ出土陶器は黄色またはピンク色、赤色素地からなり、バーミヤーン出土陶器の多くは赤色素地が占める。また、テルメズとバーミヤーンのストーンペースト (SMR10, SMR12, BMY227) は白色を呈した石英を主成分とする素地である。

試料薄片の顕微鏡観察によると (図 6、7)、多くの施釉陶器は粒の大きさが細かく、少量の白色、赤色、黒色粒が混ざった素地からなる。偏光顕微鏡による観察によると、どの出土地のものも熱により鉱物がわずかに分解してガラス化している。シルト~細粒砂サイズの石英と斜長石からなり、その他に黒雲母や鉄鉱と推定される褐色や黒色を呈した不透明鉱物が認められる。

タシュケント出土陶器の中には 0.2 mm 超の長石類を含むこともあるが、一般に径 0.03 mm 前後の細粒で粒が揃った円磨された石英、長石粒からなる。その他に褐色を呈した黒雲母や鉄-チタン酸化物が認められる。また、多くの試料に細かい発泡痕が認められ、それらの間隙をクリストパライトや方解石が埋めている。まれに最大径 0.5 mm 超の火山岩片 (TSK2、23) や黒色の不透明鉱物を含む (TSK14、31、37) も認められる。

サマルカンド出土陶器はタシュケント出土陶器や後述するテルメズ出土陶器の一部のものと類似し、細粒

の比較的円磨された石英と長石からなり、石英、長石の粒間はガラス質基質と多量の黒雲母や褐色不透明鉱物と少量の方解石から構成される。石英、長石の長径は多くが 0.03-0.05 mm であるが、一部の試料では 0.2 mm を超える石英や長石、褐色不透明鉱物集合体が認められる。

テルメズ出土陶器は試料 TRM1-5 (黄色素地) と試料 TRM6-11 (ピンク色素地) では黒雲母や鉄 - チタン酸化物からなる褐色を呈した鉱物の含有量に違いがみられ、試料 TRM1-5 は径 0.02-0.03 mm の細粒な石英や長石からなるが、試料 TRM6-11 に比べそれらの粒間を埋める褐色を呈した黒雲母や不透明鉱物に乏しく、磁鉄鉱などの黒色不透明鉱物やガラス質基質部に富む。一方、試料 TRM6-11 はタシュケントやサマルカンド出土陶器に類似した特徴を示す。多くは 0.02-0.03 mm の石英や長石であるが、タシュケント出土陶器に比べ長径 0.2 mm の粗い石英や長石も含むことが多く、それらは比較的角のある形を呈している。特に試料 TRM6 はバーミヤーン陶器のように粗粒な石英、長石から構成される。石英や長石類の粒間は、黒雲母や Fe-Ti 酸化物の褐色を呈した鉱物と基質が埋めている。テルメズ出土陶器にも発泡痕が認められ、方解石や二次的に形成された鉱物が埋めている。

バーミヤーン出土陶器はウズベキスタンの他の 3 出土地の陶器に比べ鉱物粒は粗く、多くは 0.05-0.1 mm の石英や長石類であるが、長径 0.2 ~ 0.3 mm 前後のものも多く含み、最大長径 0.5 mm を超えるものもしばしば認められる。これらは粒径が揃っていないだけでなく、角張った形を呈している。また、しばしば斜長石を含む 0.5 mm 超の火山岩片を含むこともある。他にはガラス質の基質と多量の褐色を呈した黒雲母や鉄 - チタン酸化物が認められ、発泡痕の空隙には方解石が認められる。

バーミヤーンとサマルカンド出土のストーンペーストの顕微鏡観察によると、長径 0.01 ~ 0.05 mm の円磨度が低い石英が 80 ~ 90% を占め、その他に長石類と黒雲母、ガラス質基質部からなる。バーミヤーンとサマルカンドの出土品比較によると、バーミヤーン出土試料 BMY227 はサマルカンド出土試料 (SMR10、12) に比べ、比較的粗粒の石英から構成されている。素地の X 線回折によると (表 1)、どの出土地の試料も強度や存在量に違いがあるものの多くは、石英と長

石が検出された。その他に普通輝石や透輝石、カンラン石、鉄 - チタン酸化物、方解石などが検出されたが、粘土鉱物は完全に非晶質化して検出されない。ストーンペースト (SMR10, SMR12, BMY227) からはほぼ石英のみが検出された。

タシュケント出土陶器からはすべての試料から石英、斜長石、強度の違いはあるが輝石やクリストバライトが検出され、一部の試料からはカンラン石、鉄 - チタン酸化物、方解石、緑泥石、雲母類が認められる。サマルカンド出土陶器では、石英、長石のほかに輝石が認められるが、その他の鉱物はほとんど検出されない。テルメズ出土陶器は石英、斜長石の他に輝石、一部の試料からカンラン石、鉄 - チタン酸化物、方解石が認められた。特に試料 TRM1、3、4、5 はカンラン石が検出されることで特徴付けられる。ウズベキスタンの 3 出土地の陶器からは輝石類が検出されるのに対して、バーミヤーン出土陶器は輝石の検出は一部の試料からのみであり、その他に鉄 - チタン酸化物、方解石が認められ、多くの試料で方解石が認められる。比較のために分析を行なったバーミヤーンの建築用レンガ材料として用いられている黄色粘土 (BMY-Y) と赤色粘土 (BMY-R) からは、石英、長石、方解石、緑泥石、雲母、粘土鉱物が検出された。

クリストバライトはサマルカンドやテルメズ、バーミヤーン出土陶器からはほとんど検出されなかったが、タシュケント出土陶器ではほとんどの試料で生成されている。焼成温度の高い陶器で認められるムライトが見られないが、クリストバライトが認められることはタシュケント出土陶器がその他の出土地の陶器に比べて高温で焼かれたことを示唆する。

7. 化学分析結果

7-1. 素地の化学分析結果

一部は (Sasaki et al. 2009) にて公表されているが、タシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーン出土施釉陶器の素地の分析結果を表 2 に示す。

主要元素に関して各元素の変化図を図 8 に示した。ストーンペーストの 3 試料は高い SiO₂ 含有量を示し、その他の元素の含有量に乏しい点で明らかに他の陶器と区別されるため、ストーンペーストの化学分析記載は分けて行なう。また、テルメズ出土陶器は前述のように陶器種類と素地色の両方から黄色素地のグループ

(TRM1-5) と淡ピンク色素地のグループ (TRM6-11) に分けられるが、9世紀から10世紀の移行期に作られたと推定できる TRM9 を除くと化学組成も明瞭に区分される。

SiO₂ 量はどの出土地の陶器も一様に 60 wt.% 前後の含有量を示し、わずかにテルメズ出土の試料は SiO₂ 含有量に乏しい傾向が認められる。FeO* や MgO 含有量によると、サマルカンド出土陶器は FeO* 含有量に乏しく、中には MgO 含有量が 5 wt.% を超えるものも認められる。テルメズ出土陶器は FeO* 含有量は 4 ~ 6 wt.% であり、MgO 含有量はサマルカンド出土陶器に比べ乏しいが、バーミヤーンやタシュケント出土陶器に比べ高い傾向が認められる。バーミヤーン出土陶器は BMY174 を除いて、FeO* に富むが MgO に乏しい傾向があり、バーミヤーンから採取した黄色土とほぼ一致する。タシュケント出土陶器は FeO* 含有量が 3.8 ~ 5.3 wt.%、MgO 含有量は 2.4 ~ 3.6 wt.% である。K₂O、CaO 含有量はどの出土地の陶器も同じような組成を示すが、テルメズ出土陶器は、黄色素地のものは高 CaO、低 K₂O 含有量、ピンク色素地のものは低 CaO、高 K₂O 含有量で特徴付けられる。アルカリ元素 (Na₂O + K₂O) と TiO₂ 含有量によると、ウズベキスタン出土陶器に比べ、バーミヤーン出土陶器は TiO₂ 含有量に富み、テルメズ出土ピンク色素地はアルカリ元素に富む傾向が認められる。バーミヤーン出土陶器の BMY174 はその他のバーミヤーン出土陶器と K₂O、CaO、TiO₂ 含有量が大きく異なり、テルメズ出土黄色素地と類似する。

FeO*/MgO 比はそれぞれサマルカンド出土陶器が 0.8 ~ 1.4、テルメズ出土陶器が 1.2 ~ 1.5、バーミヤーン出土陶器は BMY174 を除いて 1.9 ~ 2.6、タシュケント出土陶器は 1.4 ~ 1.9 であり、ウズベキスタン出土陶器に比べアフガニスタン、バーミヤーン出土陶器は FeO*/MgO が高く、出土地により異なる傾向がある。一般に Al₂O₃ 含有量の起源は主に長石類や粘土鉱物、雲母類、SiO₂ 含有量は様々な鉱物片、岩石片に由来するが、その含有量は石英の量に強く依存する。よって、Al₂O₃/SiO₂ は長石/石英に対応し、一般に火山岩に由来するものはこの比が高くなる。サマルカンド出土陶器は 0.19 ~ 0.21、テルメズ出土陶器が 0.22 ~ 0.29、バーミヤーン出土陶器は 0.23 ~ 0.28、タシュケント出土陶器は 0.20 ~ 0.27 であり、サマルカンド出土陶

器の Al₂O₃/SiO₂ 比はその他の出土地のものに比べ低い (図 8)。

微量元素組成による比較においても、出土地により特徴が認められる。Sr、Rb、Zr などの含有量によると (図 9)、バーミヤーン出土陶器は、BMY174 を除いてその他のウズベキスタンの 3 出土地に比べ Sr 含有量に乏しく、Rb、Zr、Nb、Co、Ni 含有量に富み、高い Zr/Ba、Zr/Sr 比を示す。比較のためバーミヤーンで採取された黄色粘土 (BMY-Y) と赤色粘土 (BMY-R) の組成は、主要元素組成はバーミヤーン出土陶器と比較的類似した組成を示すが、微量元素組成をみると特に黄色粘土の組成とバーミヤーン出土陶器が類似した組成を示す。一方、タシュケント、サマルカンド、テルメズ各出土地の陶器は、同じような Sr、Rb、Zr 含有量を示すが、タシュケント出土陶器はやや高い Ba 含有量と一部を除いて低い Cr 含有量、低い Zr/Ba 比によって特徴付けられる。サマルカンド出土陶器は高い Cr 含有量と Zr/Ba 比、高い Zr 含有量によって特徴付けられる。テルメズ出土陶器は、主要成分により 2 つのグループに区分されたが、Zr 含有量に違いは認められないが、黄色素地の試料は高い Sr 含有量、低い Rb、Nb、Co 含有量を示し、ピンク色素地の試料は高い Rb 含有量、やや高い Co 含有量を示す。特に Rb 含有量に違いが認められるが、Zr/Ti 比や Zr/Sr 比は両グループとも類似した比を示す。テルメズ素地は発色で 2 種類に分けられ、それは考古学観察で年代の違いでもあり、いずれもテルメズの粘土を使用したと推定できる。

図 10 はタシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーン各出土陶器素地の化学組成を Taylor and McLennan (1995) による大陸における地殻上部の各元素の平均化学組成 (Upper Continental Crust : UCC) で規格化した主要元素、微量元素組成図である。一般に、本論文で分析された中央アジア出土陶器は、UCC に対して Ca や Th、Mg に富み、K や Zr、Na、Rb、Y に乏しく、どの地域の陶器も同じようなパターンを示す。一方、バーミヤーン採取黄色土と赤色土は UCC に対して Ca や Na、Ba などに違いがあるが、バーミヤーン出土陶器とは Th の正異常がある点で異なる。また、ストーンペーストは一部の元素を除いて微量成分含有量に乏しく、他の施釉陶器とは大きく異なる。

7-2. 釉薬の化学分析結果

表3は釉が施されていないBMY134とBMY228を除く釉の表面部の半定量分析結果を示す。同定可能元素はNa～Uに限られ、釉層が薄い場合、素地の影響を受けることに留意する必要がある。元素濃度の単位はwt.%であるが、標準試料を用いないファンダメンタルパラメータ(FP)法によって行なったため定量値ではなく、記号で示した。なお、釉薬は陶器の素地を覆い、珪石や粘土、鉛などの金属類を配合し焼成したガラス層である。本研究の施釉陶器は基本的に釉色により単色釉(主に緑、黄、褐および黒釉)と多彩釉の陶器に分けられ、11世紀以降の試料の多くは素地上に白化粧土が施される多彩釉の陶器である(佐々木ほか2008など)。分析点は白化粧土上透明釉部と単色釉部の表面部である。

ほぼすべての施釉陶器からガラスの主成分であるSi、Al、K、Caと含有量は様々であるが鉄(Fe)や金属元素が検出された。イスラーム陶器の釉薬には鉛釉やアルカリ釉などが使われるが、本分析試料の多くから鉛(Pb)が検出され、鉛釉が使用されている。参考程度であるが鉛の含有量を出土地ごとに比較すると、タシュケント出土鉛釉陶器が非常にPb含有量に富み(約30wt.%以上)、次いでバーミヤーン出土鉛釉陶器がPbに富む(約10～20wt.%前後)傾向がある。テルメズ出土陶器のすべての黄色素地陶器(TRM001-005)とピンク色素地陶器の一部(TRM6とTRM9)からPbに加え錫(Sn)が検出され、9世紀とその後の一部の陶器は鉛錫釉であることが明らかになった。また、テルメズを除く3出土地の一部の試料(TSK39, SMR1, SMR11, SMR12, BMY227)からはアルカリ元素(NaとCa)が検出されることから、新しい時代の製品にはアルカリ釉が使われている。試料の推定年代はTSK39, SMR1, SMR11が17世紀、SMR12はストーンペーストで不明、BMY227はストーンペーストで14世紀以降である。

その他、バーミヤーンの試料からはPbに加えて、亜鉛(Zn)を含むものも認められる(BMY13, 172, 223, 225, 139, 148, 90, 124)。Pbを含む試料の中にはリン(P)を含む試料が認められる。これらの試料には表面に2次的に形成された微細結晶が形成されているかもしれない。また、鉛、錫、アルカリ元素を検出しない試料も認められた。色釉からは共通して緑釉と青

釉は銅(Cu)、黄釉からは鉄(Fe)、茶釉または褐色釉からはマンガン(Mn)や鉄が検出され、それらの元素が発色源となる。

8. 分析から見る中央アジア出土陶器の特徴

今回、施釉陶器の分析を行なった試料は各々およそ270kmずつ離れた施釉陶器の産地であるタシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーンの4都市から出土した試料であり、素地や釉の理化学分析や素地観察を通して、中世中央アジア出土施釉陶器の産地推定や技術伝播に関する検討を行なった。

はじめに各産地と地質の関連をみると、産地のある地域の地質は共に地質体の年代に違いがあるものの複雑な地質構造であり、様々な岩石が露出し、広い地域に同様な地質が分布する。素地の薄片観察によると、サマルカンドとテルメズ出土の試料からは認められないが、タシュケントとバーミヤーン出土試料の素地の薄片に、まれに火山岩片を含むものが認められることは、都市の周囲が主に堆積岩から構成されるサマルカンドとテルメズに対し、近辺に火山岩類の露出が認められるタシュケントやバーミヤーンの地質学的背景を反映している。しかし、産地を特定できる特徴がある鉱物や岩片は見出せない。同様に、素地の化学分析結果も大陸における地殻上部の平均化学組成(Taylor and McLennan 1985)と比較すると(図10)、どの産地の施釉陶器素地の化学的特徴も大きな傾向は類似し、産地周辺の地質を反映する陶器素地の特徴は明瞭でない。日本国内では陶磁器の化学分析による産地同定の試みに、生産地の地域地質が関連すると指摘される(例えば須恵器における三辻らの研究)。山地や島嶼、変成帯などの地質条件が限定される地域では地域地質との関連が明確になるかもしれないが、多くの地質構成物が混在し、広い地域に同様な地質が分布する砂漠地の中央アジア地域では、産地の特定が難しいと考えられる。しかし、後述するが本研究において細かく見ていくと化学的特徴が産地によって異なることは、素地の採取場所(産地)のわずかな地質の違いや製作時の技術を反映している可能性がある。

次にそれぞれの試料を化学分析結果から分類する。4都市の遺跡から出土した施釉陶器は、考古学観察から9～13世紀を主とする時代であり、粘土の性質や文様や製作技術が類似している。素地の顕微鏡観察や

化学組成も比較的類似するが、細かく見ると出土地(産地)ごとに化学的特徴が異なる。

タシュケント出土陶器の主要元素、微量元素組成は、 SiO_2 は 60 wt.% 前後、 FeO^*/MgO は 1.4 ~ 1.9、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ は 0.20 ~ 0.27 でよく類似した組成を示す。しかし、TSK37 と TSK39 は他のタシュケント出土品に比べ、低い Al_2O_3 と高い Sr、Zr 含有量、高い Zr/Ba、Zr/Ti を示す点で異なる。考古学観察では TSK37 と TSK39 は他のタシュケント出土陶器に比べ、16 ~ 17 世紀と時代が新しく、時代による粘土の採取場所や素地作りの違いを示している。

サマルカンド出土陶器は、化学組成や顕微鏡観察による素地の性質はタシュケント出土陶器と類似するが、低い FeO^*/MgO (0.8 ~ 1.4) と $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (0.19 ~ 0.21) の比、MgO と Cr 含有量が多いことで特徴付けられる。SMR1 と SMR11 は粘土の性質や文様が類似し、同じような化学組成を示し、Cr 含有量はタシュケント出土陶器と同様に少ない。いずれも考古学観察から 17 世紀と推定され、前述のタシュケント TSK37、TSK39 と Sr、Zr に富むことや高い Zr/Ti 比をもつ点で類似することから、サマルカンド出土試料がタシュケント産である可能性もある。

テルメズ出土陶器は、高い CaO 含有量、低い K_2O 含有量からなる黄色素地 (9 世紀) と、低い CaO 含有量、高い K_2O 含有量からなるピンク色素地 (10 世紀 ~ 12 世紀) のグループに分かれる。化学的特徴と考古学観察の両方で明瞭に区分され、時代的な変化を指摘できる。顕微鏡下においても黄色素地はピンク色素地と比べ、褐色鉱物に乏しい傾向が認められ、イラク白濁釉陶器の黄白色素地を模倣した陶器であり、素地の採取場所の違いや焼成雰囲気の違いなどを反映している。また、黄色素地は他遺跡出土の陶器と比べて低い SiO_2 、 TiO_2 、Ba、Rb 含有量をもつ点で大きく異なり、ピンク色素地は化学的特徴がタシュケントやサマルカンド出土陶器と比較的類似するが、 FeO^*/MgO (1.2 ~ 1.5) に対して、高い $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (0.25 ~ 0.30) 比、アルカリ ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 量や Co 含有量にわずかな違いが認められる。

バーミヤーン出土陶器は顕微鏡観察による観察でウズベキスタン 3 都市の試料と比べ、粗粒で様々な粒径の粒子からなる鉱物や岩片を使用している。これは粘土生成条件の違いや水簾技術の違いなどがあり、峡谷

のバーミヤーンに対しウズベキスタン 3 都市は河川で運ばれ、湖に堆積して干上がった粘土を用いたと推定される。化学的特徴もウズベキスタン 3 都市試料と比べて Sr に乏しく、Rb、Zr に富み、高い FeO^*/MgO (1.9 ~ 2.6)、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (0.23 ~ 0.28)、Zr/Sr 比をもつ点で区分される。しかし、バーミヤーン出土の白濁釉陶器 BM174 は、他のバーミヤーン出土施釉陶器の素地が赤色を呈するのに対し、BMY174 は黄色を呈し、他のバーミヤーン出土陶器と化学組成が異なり、テルメズ出土の黄色素地 (TRM1-5) と類似する。BMY174 は 9 世紀のテルメズ産陶器であり、施釉陶器を生産していなかったバーミヤーンに運ばれたと推定できる。バーミヤーンから出土した陶器は、比較のために分析したバーミヤーンで現在建築用レンガ材料として用いる黄色粘土 (BMY-Y) と赤色粘土 (BMY-R) の化学組成とほぼ一致し、同地域周辺で崖面から崩壊堆積した粘土を用いて現地生産されたと推定される (Sasaki et al. 2009)。

釉の分析結果で分類すると、試料は主に 3 タイプに分かれる。タイプ 1 は、多くの試料に認められる鉛 (Pb) 釉が施され、4 産地のいずれでも認められる。タシュケント出土 TSK39 を除く試料、サマルカンド出土 3 試料 (SMR1、10、11) を除く試料、テルメズ出土のピンク色素地 4 試料 (TRM7、8、10、11)、バーミヤーン出土の BMY226、BMY227 を除く試料がこれにあたる。さらに簡易的な定量分析の結果であるが、タシュケントとバーミヤーン出土陶器は他遺跡出土の陶器に比べ鉛含有量が高いが、タシュケント出土陶器は特に鉛含有量に富む傾向が認められる。鉛量が多いと釉薬融点が低下し、ガラス化する温度 (焼成温度) に影響する。9 ~ 12 世紀に作られたイスラーム陶器の釉の研究では、陶器が作られた時代や場所によって釉の鉛濃度の変移するとされ (Mason and Tite 1997)、本研究で認められる鉛含有量の違いは焼成温度の違いだけでなく、産地や時代の違いを反映している可能性がある。

タイプ 2 は鉛錫釉が施され、テルメズ出土の黄色素地の白濁釉陶器及び白濁釉緑彩陶器 (TRM1-5) とピンク色素地の白濁釉緑彩刻線文陶器 (TRM6)、白濁釉緑彩陶器 (TRM9) に認められた。前述したようにバーミヤーン BMY174 も素地の化学分析結果はテルメズ出土の鉛錫釉黄色素地と類似するが、釉薬から錫は検出されない。不透明白濁釉が施された鉛錫釉陶器

は9世紀頃からイラク（メソポタミア）で製作され、その後10世紀頃から周辺国に技術が広がり、中央アジアでも製作されたこと（Sasaki et al. 1993, 佐々木 1993, Mason and Tite 1997）が知られる。テルメズ出土の鉛錫釉黄色素地陶器（TRM1-5）は、考古学観察から9世紀と推定され、9～10世紀には中央アジアでも鉛錫釉の技術が使用されたことを示す。TRM9は考古学観察で10世紀と推定したが、素地の化学的特徴は10世紀～12世紀と推定したテルメズ出土ピンク色素地陶器と類似する。テルメズでは9世紀から10世紀に現地で採取した粘土を用いて鉛錫釉の陶器を生産したと考えられ、バーミヤーン出土BYM174はテルメズで鉛錫釉が使用される以前の9世紀テルメズ産施釉陶器であろう。

タイプ3は釉表面からアルカリ（Na₂OとCaO）元素やMgOが検出され、アルカリ釉が施されている陶器である（タシュケント出土TSK39、サマルカンド出土SMR1,11,12）。それぞれの出土地の他の陶器と比べ、新しい時代の試料であり、素地の化学分析結果も鉛釉が施される陶器と比べてわずかな違いが認められる。アルカリ元素は土中の水などの影響によって陶磁器の釉薬表面から抜け出すことがあり、アルカリ元素が検出されない可能性もあるが、中央アジアにおけるアルカリ釉の使用は時代的に後のものである。

中央アジアにおける施釉陶器生産の開始は9世紀と推定される。当時の主要な製品はタシュケント（TSK32,33, 34で分析したのはTSK32,33）、サマルカンド（SMR8,9）、テルメズ（TRM1-5）、バーミヤーン（BYM174）で出土した白濁釉陶器3点と白濁釉緑彩陶器8点である。中央アジア出土品の祖型となる9世紀の白濁釉陶器と白濁釉緑彩陶器はイラク・サマラ遺跡で出土し（佐々木 1995）、その製品はアラビア湾地域に流通している（Sasaki 1996, 佐々木ほか 2000）。4都市出土の9世紀陶器素地の化学組成を比較すると、テルメズ出土試料（黄色素地 TRM1-5）とバーミヤーンBYM174は類似した特徴を示すが、テルメズ出土試料（ピンク色素地 TRM009）やサマルカンド出土試料（SMR8,9）、タシュケント出土試料（TSK32,33）は互いに異なる。タシュケントやサマルカンド、テルメズのピンク色素地のもの（TRM9）は比較的類似した特徴を示すが、主要元素のFeO*/MgOやAl₂O₃/SiO₂比、微量元素組成（ZrやCr, Zr/Ba比）に違いが認め

られ、素地に関しては出土地ごとにそれぞれ別々の特徴をもつ。一方、釉薬の分析結果から比較すると、鉛錫釉が確認されたのはテルメズ出土陶器のみであり、その他の都市から出土した陶器はすべて鉛釉が施されている。テルメズ出土白濁釉陶器・白濁釉緑彩陶器は遺跡表面にも散乱しており、イラク・サマラ出土白濁釉陶器・白濁釉緑彩陶器と比較し、釉の白濁色と素地の黄白色ともに僅かに違っていて、イラクから運ばれたものではない。主要元素のみであるが、バハレンのアリ出土品（Sasaki et al. 1994）やイラク出土陶器（Wood et al. 2007）、エジプト・フスタート出土品のイラク産とエジプト産陶器（新免ほか 2010）の素地の化学分析値と比較すると（図11）、テルメズ出土試料（黄色素地）とK₂OとCaO含有量は類似するが、SiO₂やMgO、TiO₂含有量やFeO*/MgO比は明瞭に異なり、このこともイラクから運ばれたものではないといえる。ただし、本稿で扱うWoodらの試料は9-10世紀イラク産コバルト藍彩陶器であり、新免らの試料は10世紀のイラク産ラスター彩陶器とされたフスタート遺跡出土品、白濁釉と白濁釉緑彩陶器の素地と釉に類似した、より良質の製品であるが異なる種類である。今後の検証として、同様の分析方法によるイラクとテルメズの白濁釉陶器の分析値の比較が望まれる。サマラから中央アジアへ初期中央アジア施釉陶器として、白濁釉緑彩陶器の碗口縁内湾形及び段皿を中心に技術が各都市に拡散したと推定できるが、初期段階はテルメズが中心であった可能性もある。

石英を主体とするストーンペースト（石英素地）3点（BYM227,SMR10,SMR12）の分析も行った。素地の化学分析値は他の施釉陶器と大きく異なり、SiO₂に富み、微量元素組成に乏しい。サマルカンド出土ストーンペースト2点を比較すると、SMR10はSMR12に比べアルカリ元素（K₂O + Na₂O）の含有量に乏しくCrに富む傾向が認められるが、ほぼ同じような組成を示す。バーミヤーン出土のBYM227は、サマルカンド出土ストーンペーストに比べ、SiO₂に富み、Al₂O₃やCaO、MgO、Baに乏しいという違いが認められ、出土地による違いが認められる。施されている釉薬は、SMR10ははっきりしないが、その他の2点はアルカリ釉である。14世紀頃の製品と推定したサマルカンド産ストーンペーストを化学分析したTiteらによると、サマルカンド産ストーンペーストは粗

粒で SiO₂ 含有量 (92.9 wt.%) に富み、アルカリ含有量 (Na₂O+K₂O=2.2 wt.%) に乏しいタイプと、細粒で SiO₂ に乏しく (2 試料の平均値 83.3 wt.%)、アルカリ含有量 (2 試料の平均値 Na₂O+K₂O=4.4 wt.%) に富むタイプの 2 タイプがあるとした。サマルカンド出土ストーンペースト (SMR10,12) は、石英のサイズは細粒 (0.05-0.10 mm) であり、SiO₂ 含有量は 83.2 wt.% と 82.9 wt.%, アルカリ元素の含有量は 2.3 wt.% と 3.6 wt.% とアルカリ含有量に乏しいが、SiO₂ 含有量の乏しいタイプに化学分析結果や記載は類似している (Tite et al.2011)。バーミヤーン出土の BMY227 は SiO₂ 含有量に富むが、サマルカンド産の高 SiO₂ タイプとは化学的特徴が異なり、他地域からの輸入品である。ストーンペーストは時代が新しくなるほど石英の含有量が増え、SiO₂ 含有量に富む傾向にあると指摘されている (Tite et al. 2011)。

以上、中央アジアに位置する 4 都市から出土した 9 世紀から 10-13 世紀を主とし一部に 14 ~ 17 世紀を含む施釉陶器を調べた結果、技術的なものに大きな違いは認められないが、素地の化学的特徴は出土する遺跡によって、区分できる違いが認められた。近年、メソポタミア地域で生産または出土したイスラーム陶器の比較的精度の良い化学分析データが発表されている (例えば Wood et al. 2007、新免ほか 2010 など)。それらの分析値と比較しても、中央アジア産施釉陶器の素地の化学的特徴はメソポタミア地域で出土する施釉陶器と化学組成は異なる。各都市の窯跡調査が進んでいないこともあり、生産実態がはっきりしないことも多いが、佐々木ほか (2008) や Sasaki et al.(2009) で明らかになったように、バーミヤーン出土施釉陶器のほとんどは 12 世紀から 13 世紀初めの現地産である (佐々木 2010)。すなわち、中央アジアの各都市で出土した施釉陶器は現地で採取された土を使って生産され、各都市間で技術の伝搬は盛んに行われたが、陶器そのものが移動する量は僅かであった。

バーミヤーンでは極めて稀な出土品 (BMY13,167,172,222) は 11 世紀と推定され、さらに BMY188, BMY224 もバーミヤーン分析試料に加えている。これらは低い CaO や Sr 含有量、高い Al₂O₃ や TiO₂、Rb、Zr、Ni、Co 含有量および高い FeO*/MgO 比によって特徴付けられ、一部の試料 (BMY13, 224) で SiO₂ および CaO 含有量が類似するが、テル

メズやサマルカンド、タシュケント試料と明瞭に区分され、それらの微量元素組成はバーミヤーンの黄色粘土に類似した組成を示す。(図 8, 9)。テルメズ産と推定される BMY174 を除いた他のバーミヤーン出土試料の方がテルメズとサマルカンドの試料により近いところにプロットされる。このことは、試料 BMY13,167,172,222 は釉や文様がテルメズやサマルカンドに類似品のある試料であるが、テルメズ、サマルカンド、タシュケントからの製品ではなく、バーミヤーン産である可能性を示し、製作技術はサマルカンド等から伝わり、用いた粘土はバーミヤーンであることを示唆する。ただ、東イランで製作されたものがバーミヤーンに運ばれた可能性を否定できないため、バーミヤーンの粘土分析あるいは東イランの同種類の陶器の分析が必要である。

今まで蓄積されたエジプト、イラン、イラク、シリアから出土した 8 世紀から 14 世紀に生産されたイスラーム陶器の理化学分析データをまとめた Tite (2011) によると、イスラーム陶器の素地とそれに使われる釉薬の組み合わせには、共通して石英主体の素地にはアルカリ釉やアルカリ鉛釉が施されていることが多く、カルシウムに富む素地には鉛釉が施されていることがほとんどであるとした。本研究で明らかになった中央アジアから出土する多くの施釉陶器は SiO₂ (石英) に乏しく、カルシウムに富む素地からなる施釉陶器が多くを占め、そのすべてに鉛釉が施されている。すなわち、10 世紀頃にシルクロードの流通が活発であり、製作技術がシルクロードを伝達したとしても、陶器そのものは現地生産していた。

エジプトやメソポタミア地域から出土した施釉陶器の理化学分析はよく行われていたのに対し、中央アジア出土施釉陶器のまとまった理化学分析はほとんど無かった。本研究で明らかにされた施釉陶器の化学分析結果は、今後の産地研究やシルクロード交易を考える上で意義深いものである。

9. 結論

本研究では、施釉陶器の産地であったタシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーンから出土する中世施釉陶器について、素地と釉の観察および理化学分析を行なった。その結果、陶器の性質、制作技術は類似しているようにみえるが、それらの化学的特徴は

産地により異なることが分かった。すなわち、極めて限られた種類のみが他産地から運び込まれていた。遺跡出土の陶器の多くは現産地であり、以前に筆者が検証した考古学研究による推論と一致する。釉葉の特徴が年代の違いを示す可能性もある。イラク白濁釉陶器黄白色素地の陶器は8世紀後半から9世紀に流行し、釉は石英発色から錫呈色に変化した段階のイラク施釉陶器を、中央アジア陶器が模倣した。鉛錫釉の黄色素地が初期製品であり、粘土性質と焼成環境から鉛釉の赤色素地製品に変化する。シルクロードを通して施釉陶器の製作技術は伝搬したが、製品が運ばれることは希であったことを素地と釉の分析を通して明らかにした。

謝辞

試料に関して、Drs. Jangar Ilyasov, Saida Ilyasov, Bogomolov Gennadiy, Elizaveta Lushnikova, Otabek Aripdjanov, Minasianth Vazgen, Gauhar Saodatoua, 山内和也の各氏にお世話になった。蛍光X線分析装置およびX線回折装置の使用に関して、金沢大学の石渡明、奥野正幸、森下知晃各教授に、微量元素の分析に関して、金沢大学の荒井章司教授と田村明弘博士にお世話になった。エネルギー分散型蛍光X線分析装置の使用において、山梨県工業技術センターにお世話になった。なお、所属等は試料分析当時である。英語点検はDr. Nigel Woodに依頼した。以上の方々に深く感謝する。

引用文献

- 石原舜三 (Ishihara), 2000, ウズベキスタンの金鉱床：破砕帯型、多金属型、そしてポーフィリー型、地質ニュース, 552: 7-22.
- 金属鉱業事業団 (Kinzokukougyo), 1995, 平成6年度地質解析委員会報告書：CIS 諸国の地質と鉱物資源、資源情報センター, 421p.
- 佐々木達夫 (Sasaki), 1993, 西アジアの陶器と彩釉タイル, 金沢大学考古学紀要, 20: 111-123.
- 佐々木達夫 (Sasaki), 1995, 1911-1913年発掘のサマラ出土陶磁器分類, 金沢大学考古学紀要, 22: 75-165.
- 佐々木達夫 (Sasaki), 佐々木花江, 2000, ハレイラ島の発掘—1998年一, 金沢大学考古学紀要, 25: 118-169.
- 佐々木達夫 (Sasaki), 佐々木花江, 2007, 中央アジア陶器の共通性と地域性, 第14回ヘレニズム～イスラーム考古学研究, 36-44.
- 佐々木達夫 (Sasaki), 佐々木花江, 野上建紀, 2008, パーミヤーン出土のイスラーム陶器, 金沢大学考古学紀要, 29: 1-30.
- 佐々木達夫 (Sasaki), 佐々木花江, 2010, シヤハリ・ゴルゴラ 2008～2009年地雷撤去に伴う採集陶磁器予備カタログ, 金沢大学歴史言語文化学系論集史学・考古学篇, 2: 179-236.
- 新免歳靖 (Shinmen), 岡野智彦, 二宮修治, 2010, 初期および中期

ラスター彩陶器の胎土分析による生産地推定, 総研大文化科学研究, 6: 99-116.

- Mason R.B. and Tite M.S., 1997, The beginning of tin-opacification of pottery glazes, *Archaeometry*, 39: 41-58.
- Sasaki T., Uchida T., Koezuka T., Ninomiya S., Osawa M., Yamasaki, K., 1993, Technical Studies on the White-glazed Sherds Excavated from the Archaeological Site, A'Ali in Bahrain, *Proceedings of the Japan Academy Series B*, 69: 35-38.
- Sasaki T., Uchida T., Koezuka T., Ninomiya S., Shirahata H., Sasaki H., Yamasaki K., 1994, Technical studies on the white-glazed shards excavated from A'Ali in Bahrain. *Bulletin of Archeology, The University of Kanazawa*, 21: 126-136.
- Sasaki, T., 1996, Umayyad and Abbasid finds from the 1994 excavations at Jazirat al-Hulayla, *Bulletin of Archaeology, The University of Kanazawa*, 23: 179-222.
- Sasaki, T., Koizumi K., Sasaki H., Tamura A. and Arai S., 2009, *Chemical Analysis of Bamiyan Ceramics and Its Provenance*. (羅・鄭 主編) 『'09 古陶磁科学技術7 国際討論会論文集』上海科学技術文献出版社, 181-193.
- Ильясова С.Р., Ильясов Дж.Я., Имамбердыев Р.А., Исхакова Е.А. 2016, “Глазурованная керамика Ташкентского оазиса IX-XII веков”. Москва, Фонд Марджани. (Ilyasova S.R., Ilyasov Dj.Ya., Imamberdyev R.A., Iskhakova E.A. 2016, “Glazed pottery from the Tashkent Oasis in the 9th-12th centuries”, Moscow, Mardjani Foundation.)
- Taylor S.R. and McLennan S.M., 1995, *The continental crust: its composition and evolution*, Blackwell Scientific, Oxford.
- Teraoka Y. and Okumura K., 2007, Geological map of Central Asia (1:3,000,000), Geological Survey of Japan, AIST.
- Tite M.S., 2011, The technology of glazed Islamic ceramics using data collected by the Late Alexander Kaczmarczyk, *Archaeometry*, 53: 329-339.
- Tite M.S., Wolf, S., Mason R.B., 2011, The technological development of stonepaste ceramics from the Islamic Middle East, *Journal of Archaeological Science*, 38: 570-580.
- Wood N., Tite M.S., Doherty C., Gilmore B., 2007, A technological examination of ninth-tenth century AD Abbasid blue-and-white ware from Iraq, and its composition with eighth century AD Chinese blue-and-white Sancai ware, *Archaeometry*, 49: 665-684.

図表表題

- 図1. 調査研究地域概略図.
- 図2. ウズベキスタン・タシュケント出土分析試料.
- 図3. ウズベキスタン・サマルカンド出土分析試料.
- 図4a, 4b. ウズベキスタン・テルメズ出土分析試料.
- 図5. アフガニスタン・パーミヤーン出土分析試料.
- 図6. タシュケント、サマルカンド、テルメズ、パーミヤーン出土分析試料素地の cross 写真.
- 図7a, 7b. 素地の薄片の偏光顕微鏡写真 (写真左列は下方ポー

ラー、写真右列は直交ポーラー)。

図 8. タシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーン出土陶器素地の主要元素組成。

図 9. タシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーン出土陶器素地の微量元素組成。

図 10. タシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーン出土陶器素地を大陸における地殻上部の各元素の平均組成 (Taylor and McLennan 1995) で規格化した主要元素、微量元素組成図。

図 11. パハレン、エジプトおよびイラク出土陶器素地の主要元素組成。パハレンは Sasaki et al. (1994)、エジプトは新免ほか (2010)、イラクは Wood et al. (2007) による。

表 1. タシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーン出土陶器素地の X 線回折 (XRD) 結果の概略。強度：○多い；△確認されるもの；×わずかに確認されるもの。鉱物名：Qtz 石英；Fed 長石；Px 輝石類；Ol カンラン石；Fe Fe-Ti 酸化物；Cal 方解石；Crs クリストバライト；Mica 雲母類；Zeo 沸石類；Ill イライト；Chl 緑泥石；Clay 粘土鉱物。

表 2. タシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーン出土陶器素地の主要・微量元素組成。FeO* は全鉄を 2 価で計算した値、n .d. は検出限界以下であることを示す。

表 3. タシュケント、サマルカンド、テルメズ、バーミヤーン出土陶器釉薬の化学組成。元素存在量 (濃度 wt.%)：◎ >30 wt.%, ○ 10-30 wt.%, △ 5-10 wt.%, × 1-5 wt.%, — minor. 素地と釉色の表記：lp 淡ピンク, p ピンク, ly 淡黄, y 黄, r 赤, w 白, b 青, br 茶, g 緑。



Fig. 1 Location of Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan.



Glazed ceramics from Binket (Tashkent) in Tashkent, Uzbekistan

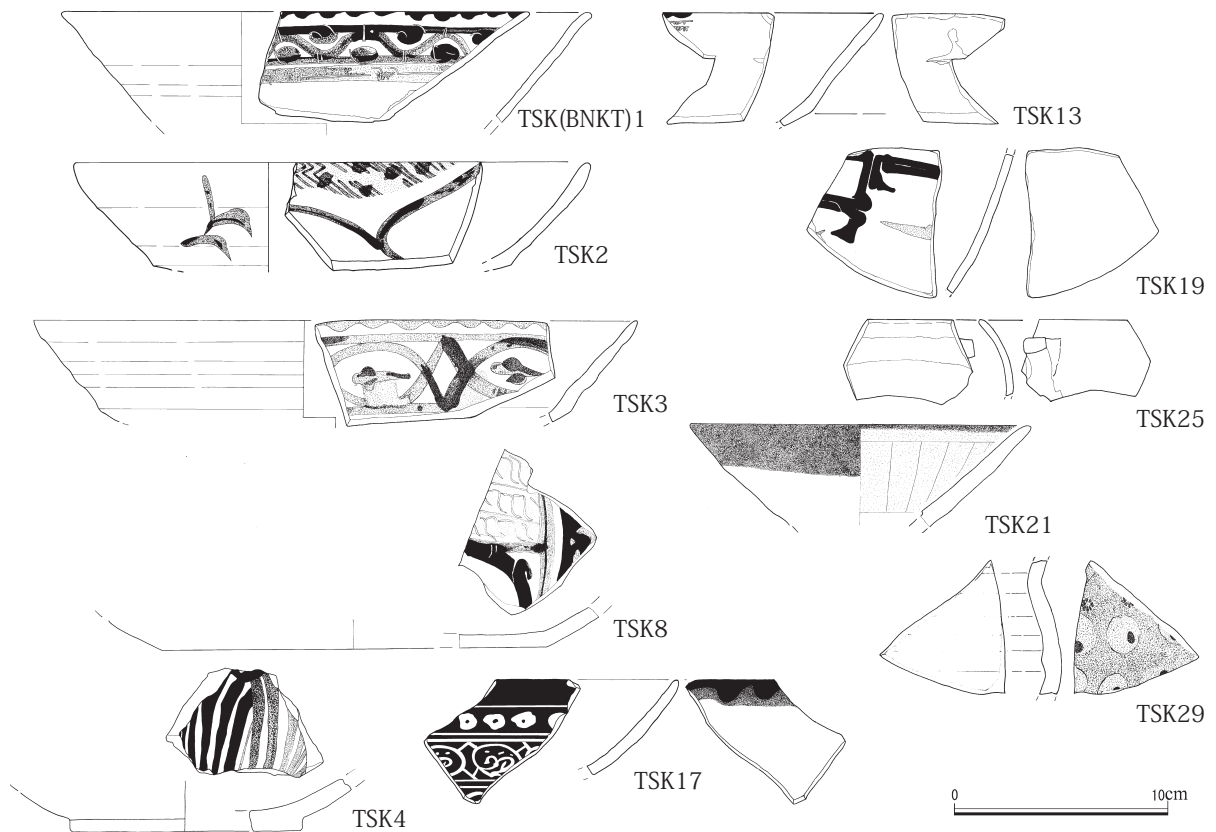


Fig. 2 Samples for analysis from Tashkent (Binket), Uzbekistan.



Fig. 3a Samples for analysis from Samarqand, Uzbekistan.

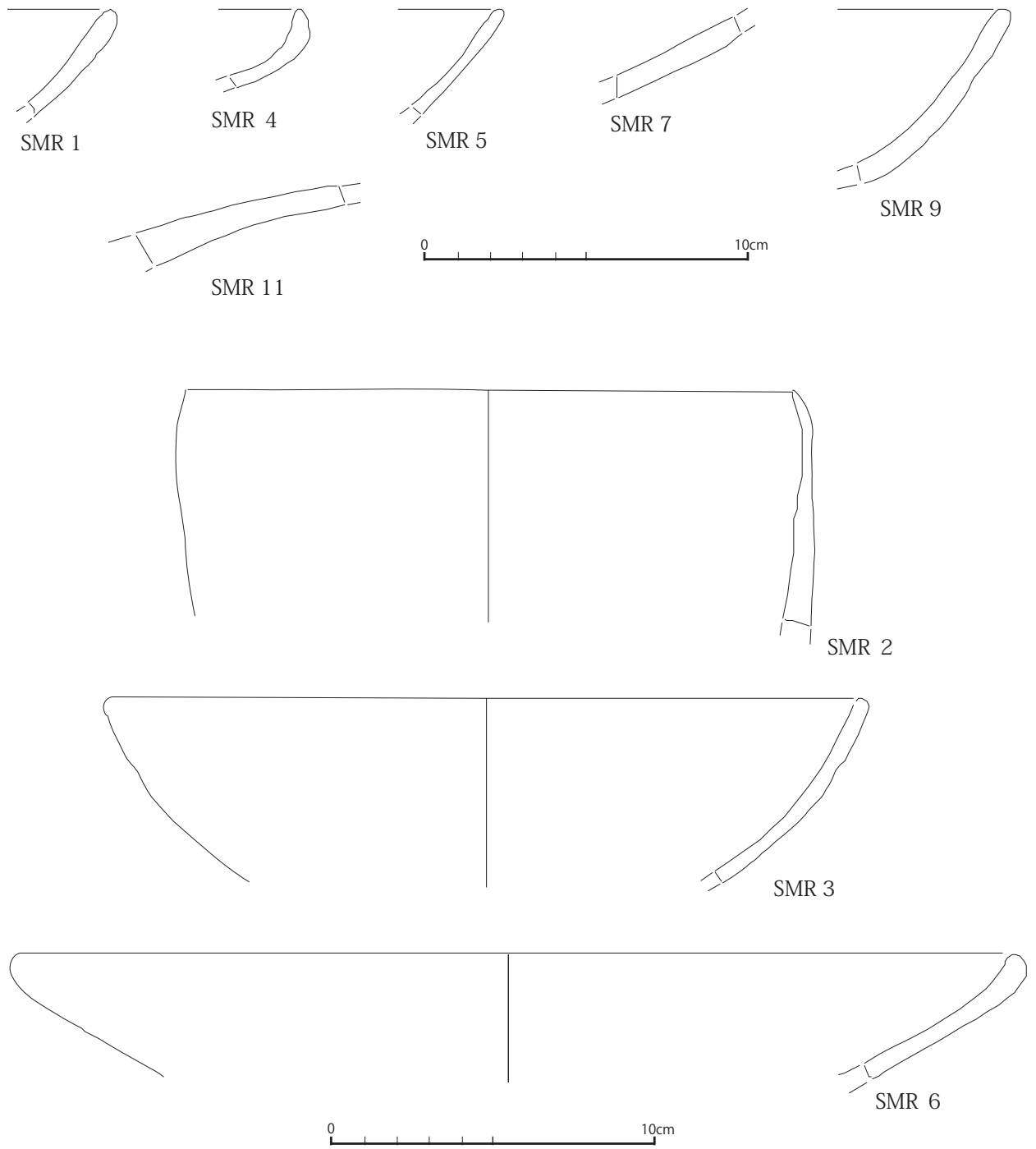


Fig. 3b Samples for analysis from Samarqand, Uzbekistan.

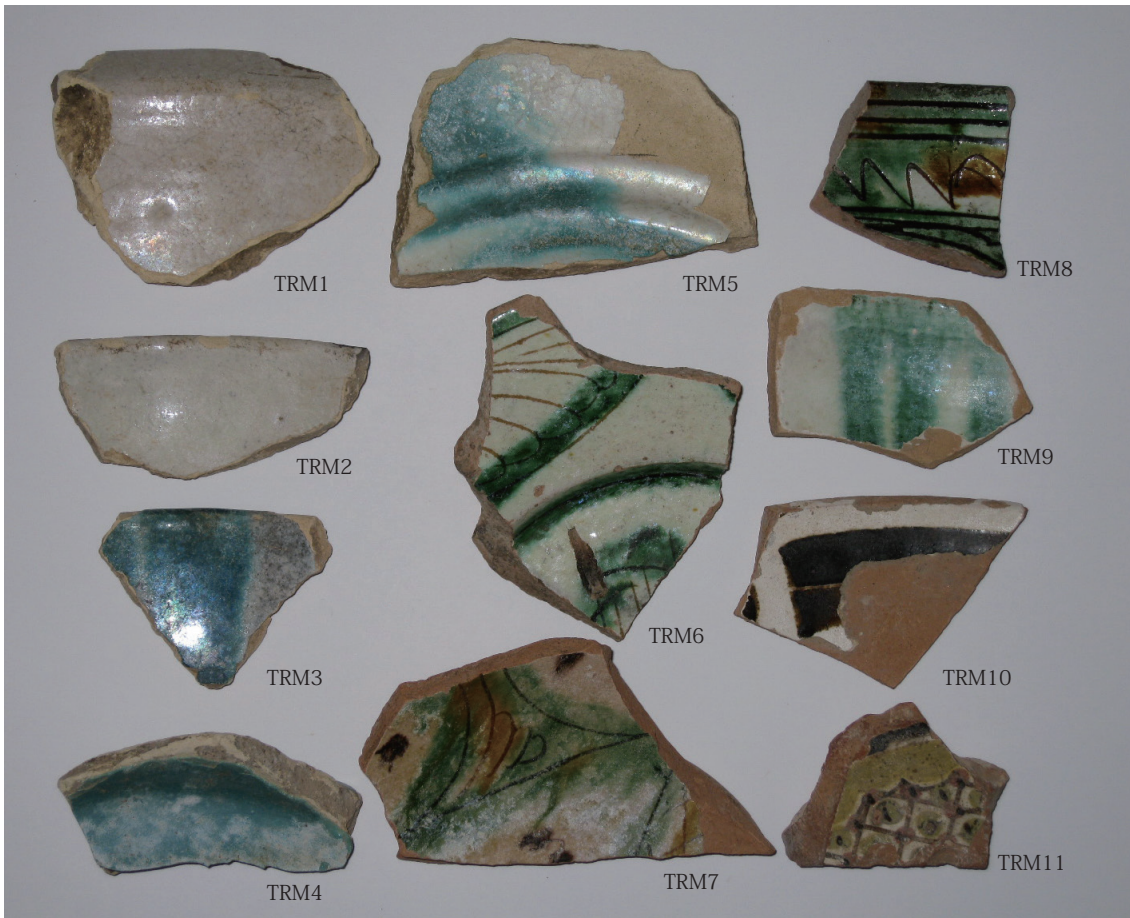


Fig. 4a Samples for analysis from Termez, Uzbekistan.

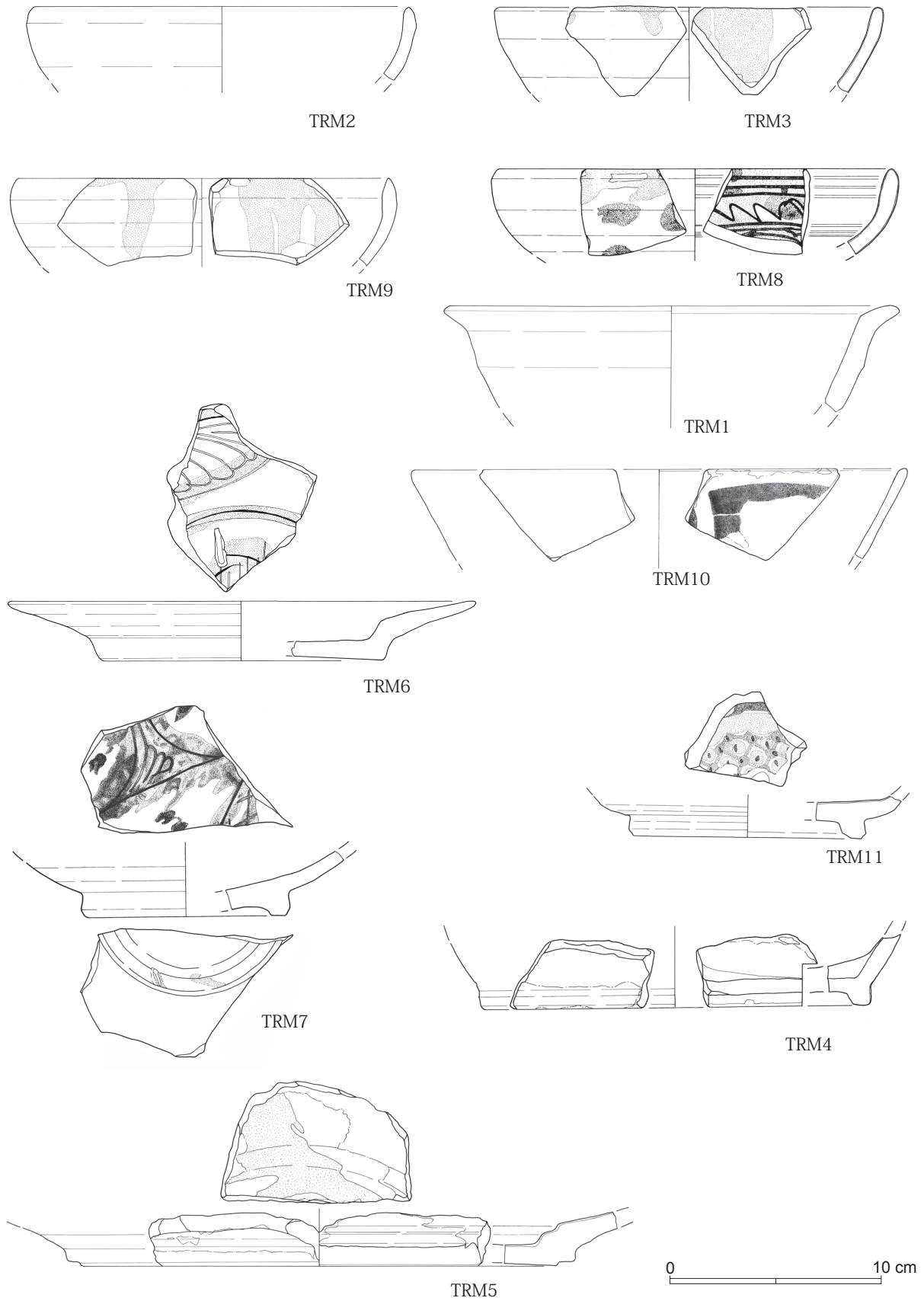


Fig. 4b Samples for analysis from Termez, Uzbekistan.



Fig. 5a Samples for analysis from Bamiyan, Afghanistan.

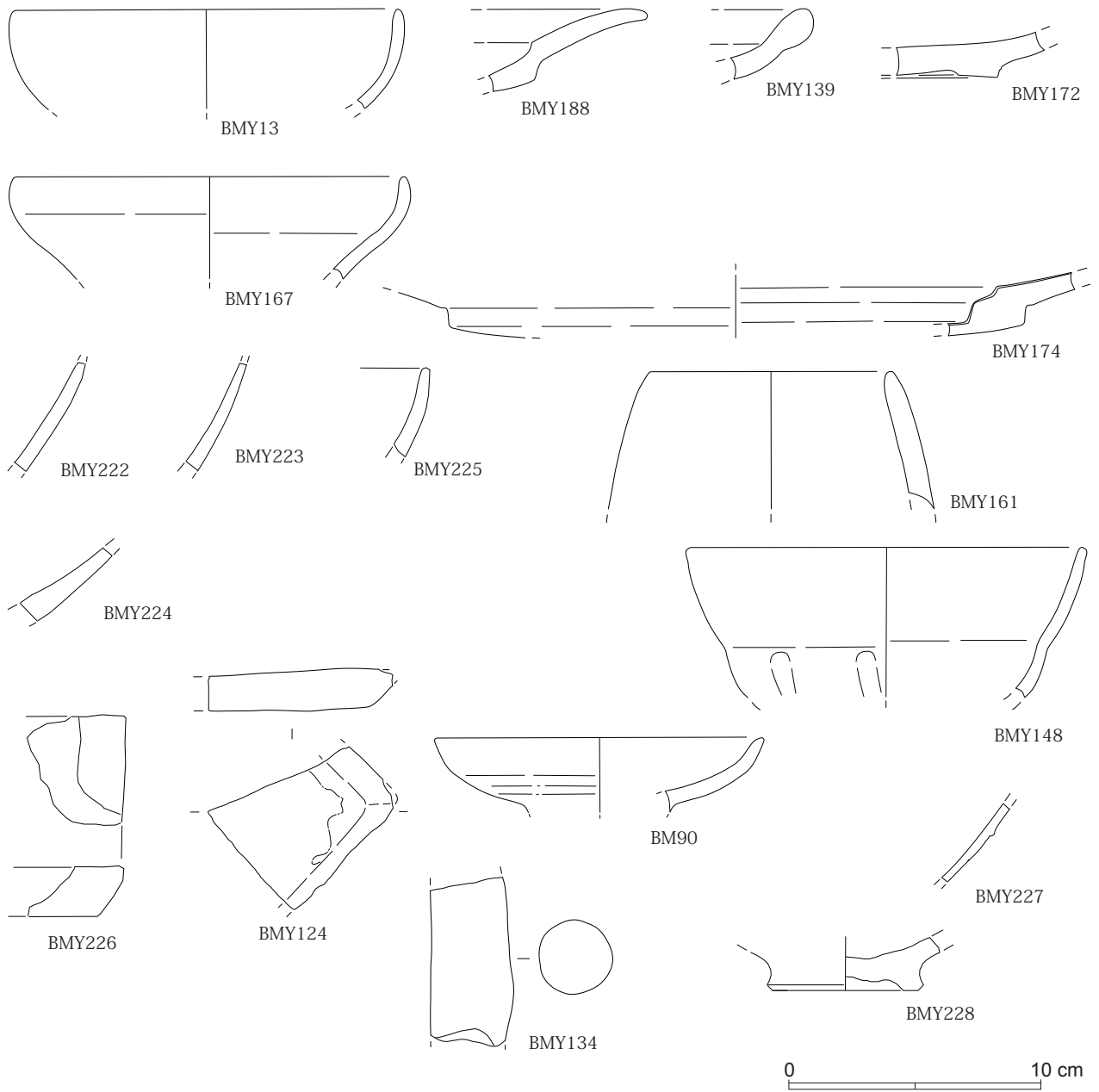


Fig. 5b Samples for analysis from Bamiyan, Afghanistan.

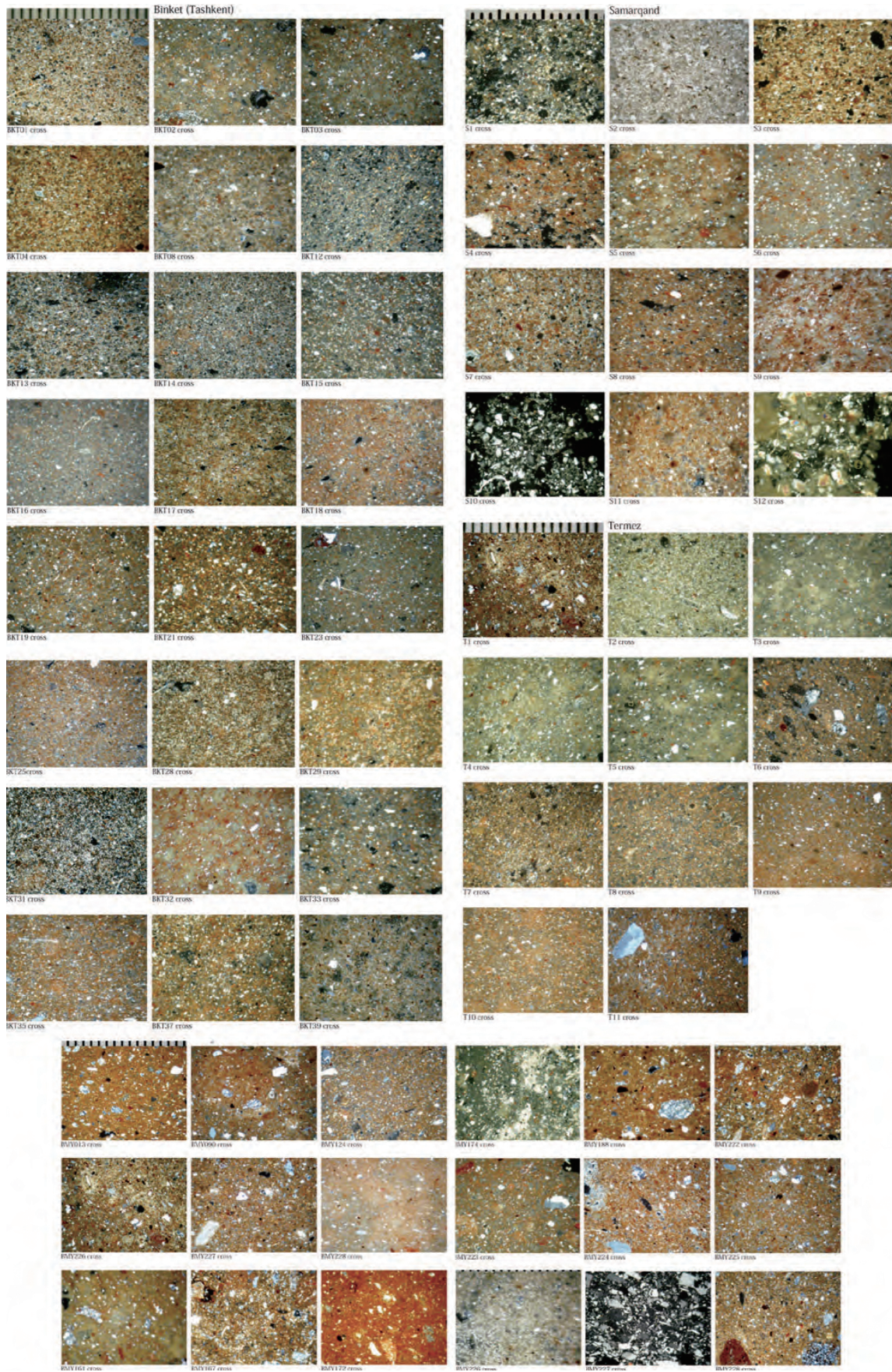


Fig. 6 Crossed-polarized Photomicrographs of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan

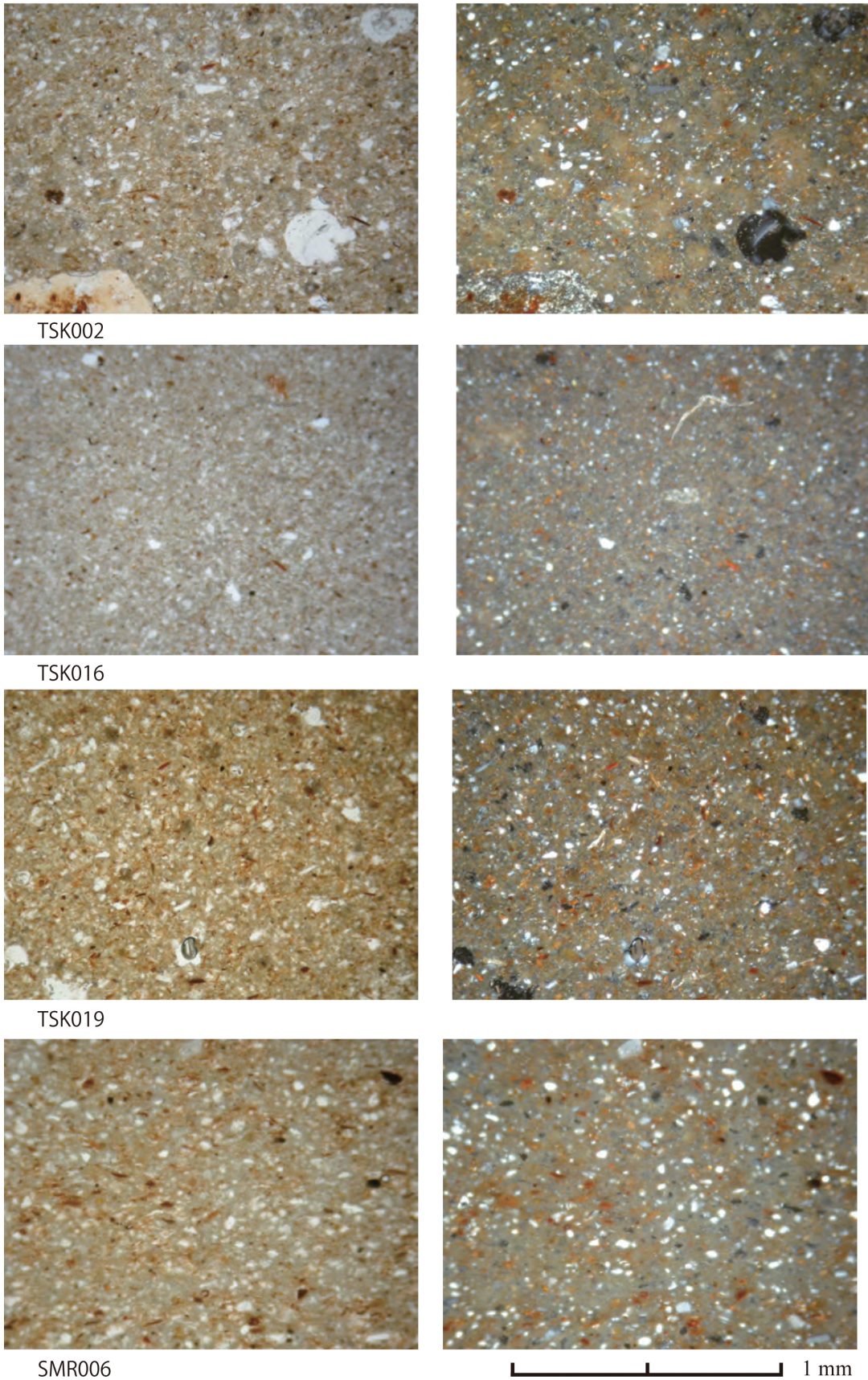


Fig. 7a Photomicrographs of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan (Left plane-polarized light, Right crossed-polarized light)

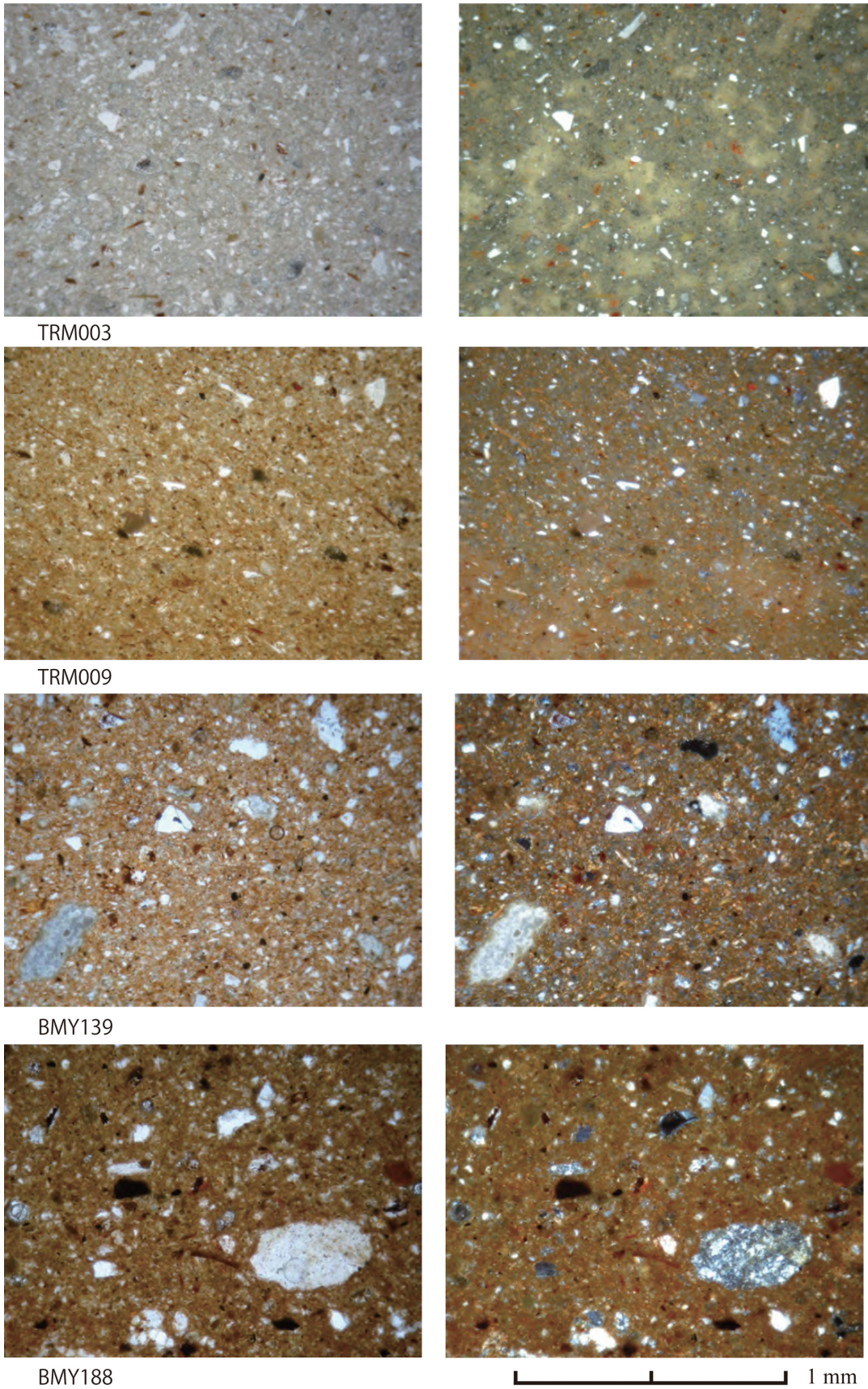


Fig. 7b Photomicrographs of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan (Left plane-polarized light, Right crossed-polarized light)

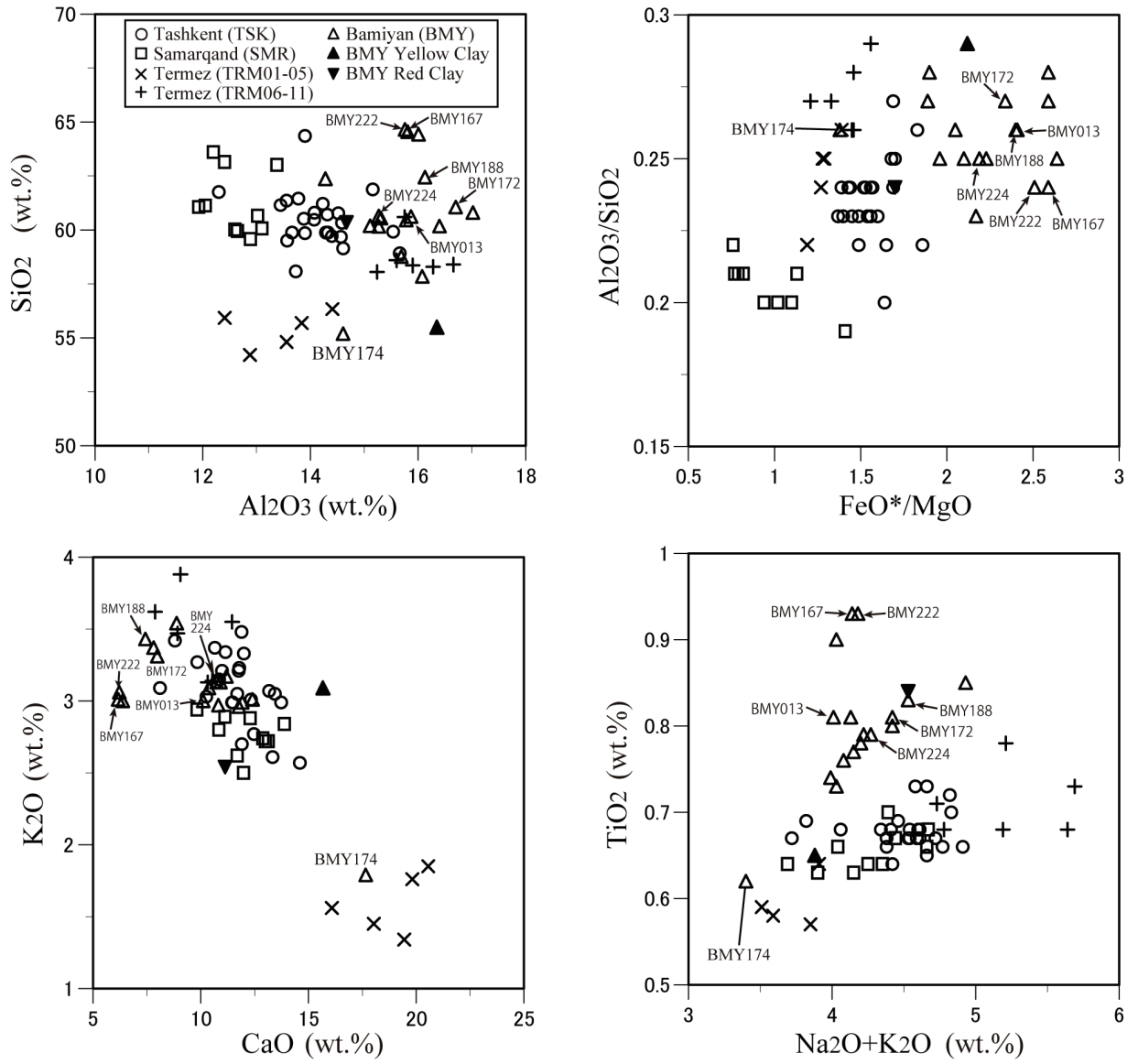


Fig. 8 Major element variation diagrams of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan.

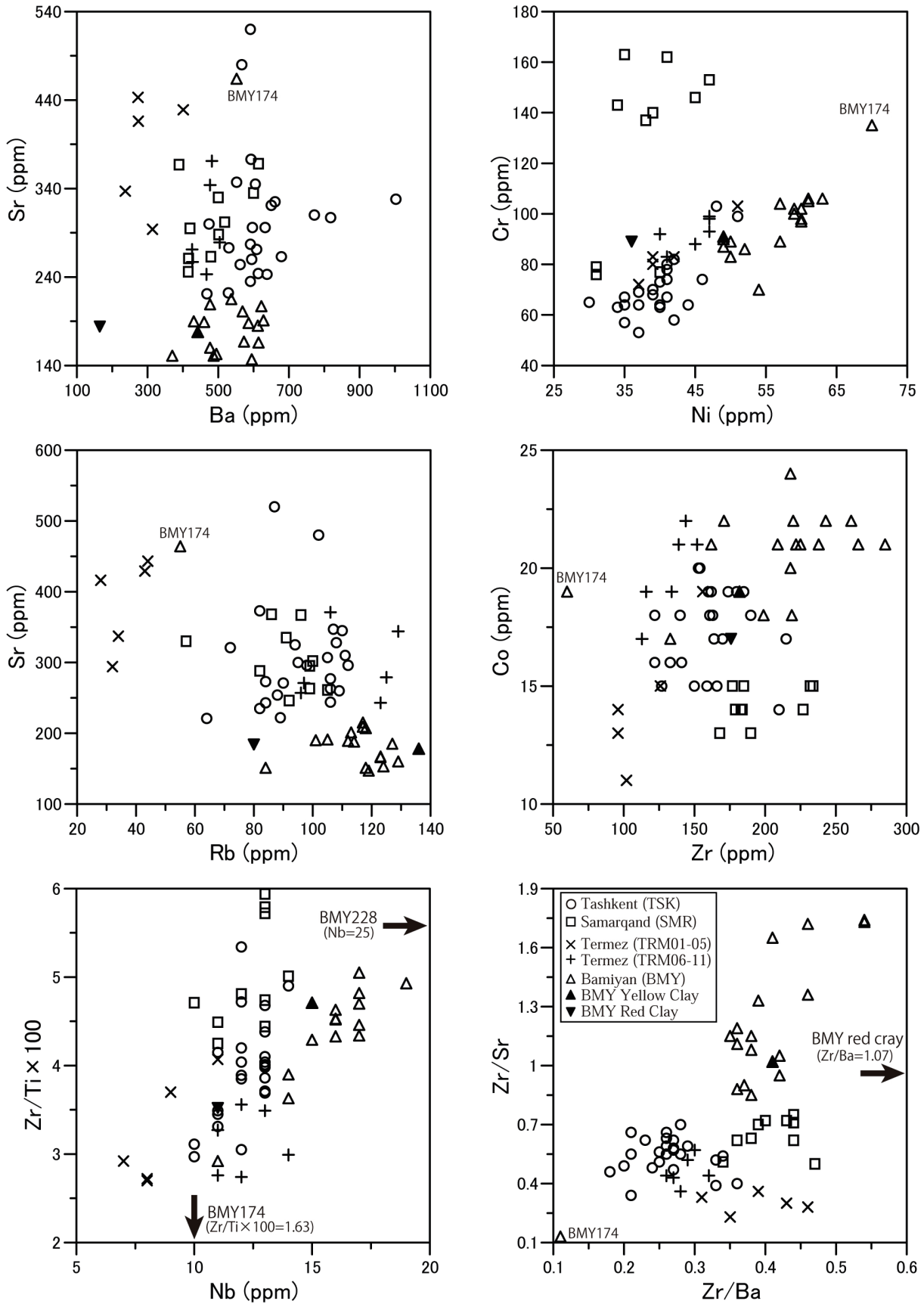


Fig. 9 Trace element variation diagrams of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan.

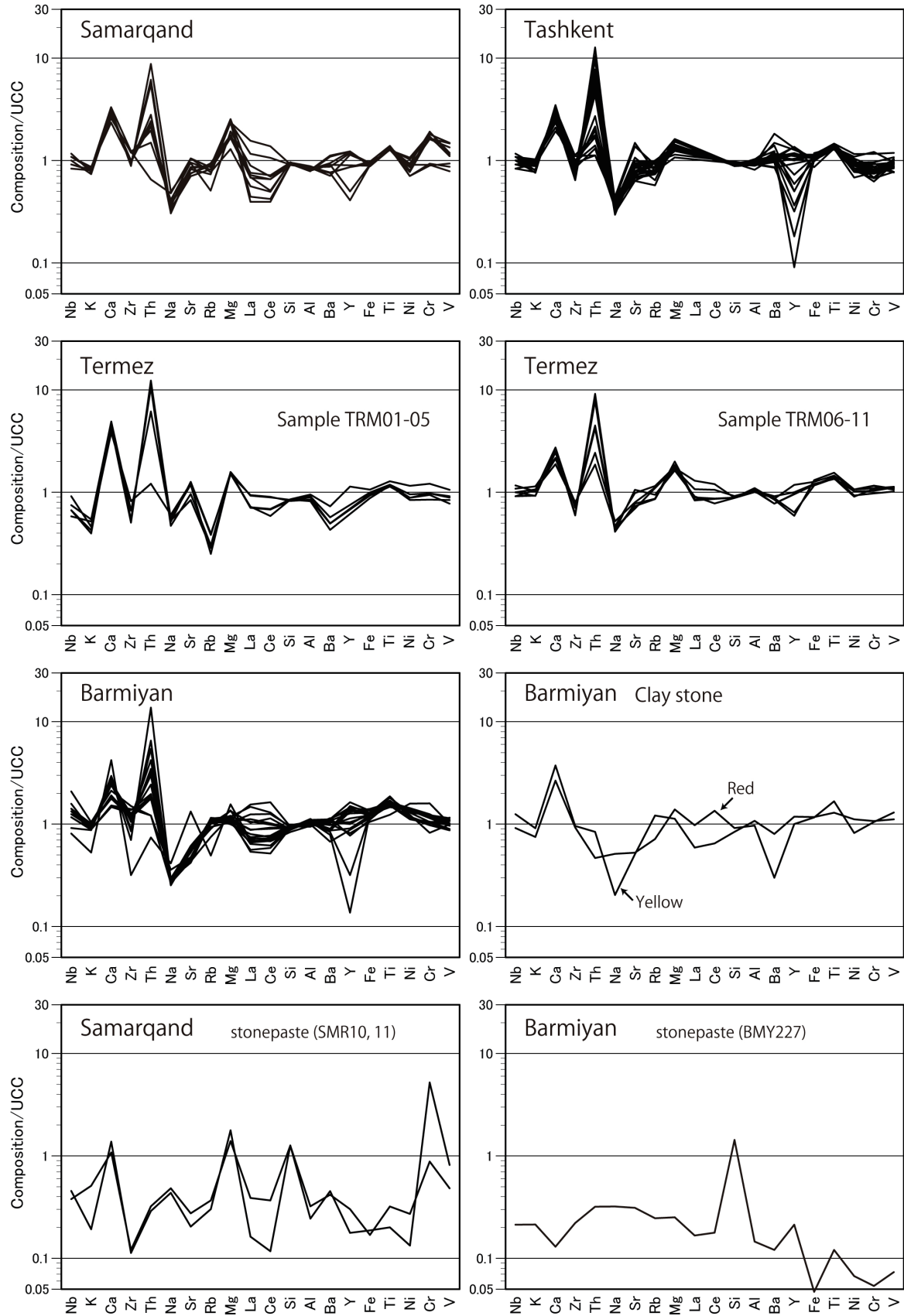


Fig. 10 Upper Continental Crust (UCC) normalized multi element plots of ceramic sherds from Tashkent Samarqand, Termez and Bamiyan. UCC values are after Taylor and McLennan (1988).

Sample	Qtz	Fld	Px	Ol	Fe	Cal	Crs	Others
TRM001	○	△	△	×	△	△		Zeo
TRM002	○	△	△		△			Zeo
TRM003	○	△	△	△	×			
TRM004	○	△	△	△	×			
TRM005	○	△	△	△	×	△		
TRM006	○	△	△					
TRM007	○	△	△		△			
TRM008	○	△	△		△			
TRM009	○	△	△		△			
TRM010	○	△	△		×			
TRM011	○	△	×		×	×		Ill
BMY013	○	×	×		×	×		
BMY172	○	△	×		×			
BMY167	○	×				×		
BMY222	○	×				×		
BMY161	○	△	△		×	×		
BMY223	○	△	△	△	×	△		
BMY188	○	△	×		×		×	Mica
BMY224	○	△	×		×			
BMY225	○	△	△		△	△		
BMY139	○	×	△		×			
BMY148	○	△	△		△			
BMY090	○	△	×					
BMY124	○	△				△		
BMY226	○	△	×			△		
BMY134	○	△			△			
BMY174	○	△	△					
BMY227	○	×			×			
BMY228	○	△				△		Chl, Clay
BMY-Y	○	△				△		Mica, Chl, Clay
BMY-R	○	△				△		

Sample	Qtz	Fld	Px	Ol	Fe	Cal	Crs	Others
TSK001	○	△	△	×	×		×	
TSK002	○	△	△	×		△	×	Chl, Clay
TSK003	○	△	△	×		△	×	Chl
TSK004	○	△	△	×	×	△	×	Clay
TSK008	○	△	△	×	×	△	×	Chl, Clay
TSK012	○	△	×	×	×	△	×	
TSK013	○	△	×		×	△	×	
TSK014	○	△	×		×	△	×	
TSK015	○	△	○		×	△	×	Chl
TSK016	○	△	△		×	△	×	
TSK017	○	△	×		×	×	×	Mica, Chl
TSK018	○	△	△	×	×	×	×	Mica
TSK019	○	△	△	×	×	×	×	Clay
TSK021	○	△	×	×	×	×	×	Mica
TSK023	○	○	△	×	×		×	Chl
TSK025	○	△	×	×	×	△	×	Mica
TSK028	○	△	△	×	×	△	×	Mica
TSK029	○	△	△		×	△	×	
TSK031	○	△	△		×	△	×	Mica
TSK032	○	△	△		×	△	×	Chl, Clay
TSK033	○	△	△	×	×		×	Clay
TSK035	○	△	×	×	×	△	×	
TSK037	○	△	×	×	×	△	×	
TSK039	○	△	×	△	×	△	×	
SMR001	○	△	△					
SMR002	○	△	△		△	△		
SMR003	○	△	△					
SMR004	○	△	△	×				
SMR005	○	△	△	△	×			
SMR006	○	△	△	×	×		×	
SMR007	○	△	×	×	×			
SMR008	○	△	△	×				
SMR009	○	△	△	×				
SMR010	○	×	△					
SMR011	○	△	△					
SMR012	○	×	×					

Table 1 X ray diffraction data summary of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan. Intensity: ○major; △identification; ×minor. Mineral name: Qtz-Quartz; Fld-Feldspar; Px-Pyroxene; Ol-Olivine; Fe-Fe-Ti oxide; Cal-calcite; Crs-Crystalbite; Mica-Mica; Zeo-Zeolite; Ill-illite; Chl-Chlorite; Clay-Clay mineral.

Sample	TSK001	TSK002	TSK003	TSK004	TSK008	TSK012	TSK013	TSK014	TSK015	TSK016
(wt.%)										
SiO ₂	59.71	60.80	59.50	60.52	59.88	60.33	61.36	59.91	59.85	58.08
TiO ₂	0.67	0.68	0.66	0.68	0.64	0.67	0.67	0.69	0.69	0.67
Al ₂ O ₃	14.40	14.08	13.57	13.88	13.66	14.59	13.56	15.54	13.90	13.73
FeO*	4.74	4.75	4.52	4.73	4.51	4.88	4.49	5.21	4.62	4.87
MnO	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	0.09	0.11	0.09	0.11
MgO	3.03	3.39	3.11	2.95	3.02	2.88	2.72	2.85	3.36	3.51
CaO	12.00	11.45	13.74	12.34	13.18	11.15	10.86	9.84	13.34	14.60
Na ₂ O	1.39	1.35	1.39	1.40	1.35	1.25	1.39	1.19	1.21	1.15
K ₂ O	3.33	2.99	2.99	3.01	3.07	3.34	3.15	3.27	2.61	2.57
P ₂ O ₅	0.62	0.43	0.42	0.40	0.60	0.80	1.71	1.39	0.33	0.71
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(ppm)										
Ni	39	41	41	40	35	37	35	41	35	48
Cu	50	34	48	43	266	91	37	41	32	98
Zn	129	102	115	115	113	128	124	110	99	492
Th	21	58	65	18	74	23	53	62	136	47
Rb	112	95	90	105	84	110	94	111	64	72
Sr	296	300	271	307	273	345	325	310	221	321
Y	25	7	8	28	4	25	13	11	n.d.	16
Zr	170	163	159	190	150	162	166	153	122	154
Nb	12	13	12	13	12	13	11	13	10	12
Co	17	18	15	18	15	19	15	20	16	20
Cr	68	78	67	73	57	53	64	74	57	103
V	106	102	102	82	83	99	90	102	102	103
Ba	633	474	609	818	530	605	661	772	468	650

Sample	TSK017	TSK018	TSK019	TSK021	TSK023	TSK025	TSK028	TSK029	TSK031	TSK032
SiO ₂	59.87	60.47	61.45	64.36	59.67	59.14	58.92	59.88	61.21	60.77
TiO ₂	0.67	0.68	0.68	0.73	0.68	0.70	0.67	0.67	0.68	0.73
Al ₂ O ₃	14.33	14.07	13.78	13.90	14.57	14.61	15.66	14.29	14.23	14.52
FeO*	4.77	4.71	4.65	4.67	5.06	5.00	5.31	4.71	4.41	5.14
MnO	0.13	0.09	0.09	0.08	0.09	0.12	0.11	0.09	0.09	0.09
MgO	3.05	3.05	3.12	2.51	3.55	2.95	3.15	3.07	2.82	3.57
CaO	11.76	11.79	11.91	8.11	11.48	11.89	10.66	12.47	10.74	10.26
Na ₂ O	1.33	1.31	1.36	1.57	1.61	1.35	1.24	1.62	1.48	1.55
K ₂ O	3.21	3.23	2.70	3.09	2.99	3.48	3.37	2.77	3.13	3.03
P ₂ O ₅	0.88	0.60	0.26	0.97	0.31	0.76	0.92	0.43	1.20	0.35
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Ni	37	37	42	41	46	40	40	35	34	51
Cu	47	42	37	72	1106	51	58	567	114	171
Zn	118	120	92	103	113	131	113	94	104	108
Th	14	72	80	19	102	29	83	105	112	12
Rb	109	88	82	108	89	106	106	84	82	107
Sr	260	254	235	328	222	277	263	243	373	347
Y	25	4	4	29	n.d.	22	2	n.d.	n.d.	25
Zr	161	141	164	215	140	161	122	133	127	180
Nb	13	11	13	14	11	13	12	11	10	13
Co	18	16	17	17	18	18	18	16	15	19
Cr	69	64	58	80	74	63	64	67	63	99
V	109	100	106	83	103	98	95	103	91	127
Ba	595	562	591	1003	529	591	679	638	593	552

Table 2-1 Major and element compositions of ceramic shards from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan . FeO* is total iron as FeO. n.d.: not determined.

Sample	TSK033	TSK035	TSK037	TSK039	SMR001	SMR002	SMR003	SMR004	SMR005	SMR006
(wt.%)										
SiO ₂	60.71	61.87	61.15	61.76	63.61	61.13	60.02	63.15	60.07	59.95
TiO ₂	0.66	0.72	0.65	0.66	0.68	0.66	0.63	0.64	0.64	0.66
Al ₂ O ₃	14.32	15.16	13.45	12.30	12.20	12.05	12.60	12.41	13.10	12.65
FeO*	4.63	5.18	4.50	3.87	4.01	3.98	4.07	3.93	4.16	4.04
MnO	0.10	0.11	0.08	0.10	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07
MgO	3.04	3.08	3.01	2.36	2.84	4.22	5.17	3.85	5.49	5.24
CaO	10.99	8.80	11.70	13.44	10.84	13.00	13.14	11.12	11.99	12.88
Na ₂ O	1.69	1.40	1.61	1.72	1.86	1.94	1.18	1.46	1.19	1.31
K ₂ O	3.21	3.42	3.05	3.05	2.80	2.72	2.72	2.89	2.50	2.74
P ₂ O ₅	0.64	0.26	0.78	0.74	1.07	0.21	0.38	0.47	0.79	0.46
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(ppm)										
Ni	44	42	39	30	31	31	38	34	39	41
Cu	66	51	37	400	51	796	39	28	51	24
Zn	108	105	105	78	91	64	77	82	111	85
Th	21	64	15	12	7	94	59	21	30	66
Rb	98	106	102	87	86	57	82	100	99	92
Sr	296	244	480	520	368	330	288	302	295	246
Y	26	11	30	30	27	n.d.	11	27	19	9
Zr	174	160	185	210	232	168	179	227	184	177
Nb	13	13	12	12	13	11	10	13	12	11
Co	19	19	19	14	15	13	14	14	14	15
Cr	64	82	70	65	79	76	137	143	140	162
V	111	115	93	100	93	100	144	123	157	127
Ba	597	613	567	591	614	500	501	518	420	415

Sample	SMR007	SMR008	SMR009	SMR010	SMR011	SMR012	TRM001	TRM002	TRM003	TRM004
(wt.%)										
SiO ₂	59.58	63.02	60.66	83.19	61.06	82.87	54.80	55.68	56.33	55.92
TiO ₂	0.64	0.70	0.63	0.10	0.67	0.16	0.59	0.59	0.64	0.58
Al ₂ O ₃	12.89	13.38	13.02	3.69	11.93	4.88	13.56	13.84	14.41	12.41
FeO*	4.22	4.39	4.25	0.84	4.03	0.76	4.33	4.48	4.77	3.94
MnO	0.07	0.07	0.07	0.05	0.07	0.03	0.08	0.09	0.09	0.08
MgO	5.57	3.90	5.19	3.91	3.66	3.07	3.38	3.48	3.43	3.31
CaO	12.29	9.82	11.70	5.76	13.88	4.52	19.45	18.03	16.09	19.82
Na ₂ O	1.37	1.45	1.53	1.69	1.60	1.88	2.16	2.06	2.35	1.83
K ₂ O	2.88	2.94	2.62	0.65	2.84	1.73	1.34	1.45	1.56	1.76
P ₂ O ₅	0.48	0.33	0.32	0.12	0.25	0.12	0.31	0.29	0.33	0.36
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(ppm)										
Ni	45	35	47	6	40	12	39	42	51	37
Cu	49	150	93	4	63	304	35	115	399	681
Zn	90	96	87	17	76	37	69	77	97	72
Th	25	26	23	3	16	3	119	132	13	114
Rb	96	105	99	34	91	41	28	32	43	34
Sr	367	261	263	71	335	96	416	294	429	337
Y	25	19	26	4	27	7	n.d.	n.d.	25	n.d.
Zr	183	185	190	21	234	23	96	96	156	102
Nb	13	13	14	5	13	5	8	8	11	7
Co	14	15	13	1	15	2	13	14	19	11
Cr	146	163	153	443	77	75	83	83	103	72
V	118	122	159	87	84	52	98	95	113	90
Ba	389	416	479	249	600	229	274	314	401	237

Table 2-2 Major and element compositions of ceramic shards from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan . FeO* is total iron as FeO. n.d.: not determined.

Sample	TRM005	TRM006	TRM007	TRM008	TRM009	TRM010	TRM011	BMY013	BMY172	BMY167
(wt.%)										
SiO ₂	54.20	60.59	58.29	58.39	58.35	58.59	58.05	60.61	61.06	64.55
TiO ₂	0.57	0.68	0.73	0.78	0.68	0.71	0.68	0.81	0.81	0.93
Al ₂ O ₃	12.88	15.75	16.28	16.66	15.90	15.60	15.24	15.87	16.70	15.81
FeO*	4.19	5.41	5.68	5.92	5.39	5.30	5.23	5.71	6.08	5.81
MnO	0.08	0.10	0.11	0.11	0.09	0.10	0.11	0.10	0.10	0.11
MgO	3.29	3.74	3.90	3.80	4.04	4.40	3.59	2.37	2.60	2.24
CaO	20.56	7.88	9.06	8.92	10.54	10.32	11.46	10.11	7.98	6.17
Na ₂ O	2.01	2.03	1.81	1.75	1.64	1.60	1.64	1.01	1.10	1.13
K ₂ O	1.85	3.62	3.88	3.47	3.14	3.13	3.55	3.00	3.31	3.01
P ₂ O ₅	0.39	0.21	0.25	0.22	0.22	0.25	0.44	0.41	0.24	0.22
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(ppm)										
Ni	39	47	47	47	45	41	40	49	63	52
Cu	252	56	45	125	231	39	45	48	36	50
Zn	81	96	104	106	88	91	81	110	102	96
Th	66	26	20	48	98	84	45	34	19	20
Rb	44	125	129	123	96	97	106	114	127	119
Sr	443	279	344	243	257	271	371	188	185	147
Y	n.d.	22	26	13	n.d.	n.d.	14	22	32	28
Zr	126	144	152	139	113	116	134	209	220	243
Nb	9	12	13	14	11	12	11	16	16	17
Co	15	22	21	21	17	19	19	21	22	22
Cr	80	93	98	99	88	83	92	90	106	86
V	83	121	113	116	119	109	118	96	104	124
Ba	273	504	477	467	427	426	482	586	612	595

Sample	BMY222	BMY161	BMY223	BMY188	BMY224	BMY225	BMY139	BMY148	BMY090	BMY124
(wt.%)										
SiO ₂	64.66	60.19	60.46	62.44	60.64	58.76	60.55	57.84	60.16	60.80
TiO ₂	0.93	0.76	0.78	0.83	0.79	0.73	0.79	0.74	0.77	0.80
Al ₂ O ₃	15.76	15.11	15.78	16.13	15.27	15.69	15.31	16.08	15.27	17.02
FeO*	5.68	5.15	5.46	5.83	5.50	5.60	5.47	5.69	5.43	6.32
MnO	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10	0.12	0.11
MgO	2.26	2.63	2.66	2.43	2.51	2.96	2.46	2.99	2.58	2.44
CaO	6.22	11.77	10.38	7.43	10.74	11.93	10.91	12.40	11.19	7.81
Na ₂ O	1.11	1.12	1.11	1.10	1.15	1.04	1.09	0.98	0.98	1.05
K ₂ O	3.06	2.96	3.09	3.43	3.13	2.99	3.13	3.01	3.17	3.37
P ₂ O ₅	0.22	0.22	0.18	0.26	0.18	0.20	0.19	0.18	0.33	0.27
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(ppm)										
Ni	50	49	60	59	59	61	57	60	61	60
Cu	40	155	122	60	36	45	79	78	52	62
Zn	98	81	115	97	100	123	105	147	145	128
Th	21	147	26	33	19	58	32	70	37	21
Rb	118	84	117	123	118	112	113	101	117	129
Sr	151	151	215	167	207	189	201	190	209	160
Y	31	n.d.	25	22	30	7	23	3	20	29
Zr	261	133	225	222	238	171	218	162	199	218
Nb	17	11	17	17	17	14	16	14	15	16
Co	22	17	21	21	21	22	20	21	18	24
Cr	89	87	97	102	100	105	89	98	106	102
V	114	95	103	103	103	109	105	117	106	118
Ba	487	370	537	573	622	460	569	431	477	477

Table 2-3 Major and element compositions of ceramic shards from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan. FeO* is total iron as FeO. n.d.: not determined.

Sample	BMY226	BMY134	BMY174	BMY227	BMY228	BMY-Y	BMY-R
(wt.%)							
SiO ₂	64.43	62.37	55.19	94.41	60.18	55.49	60.35
TiO ₂	0.90	0.81	0.62	0.06	0.85	0.65	0.84
Al ₂ O ₃	16.01	14.28	14.61	2.21	16.40	16.35	14.67
FeO*	5.78	4.96	4.73	0.21	6.07	5.25	5.22
MnO	0.10	0.11	0.10	0.01	0.10	0.07	0.07
MgO	2.19	2.29	3.43	0.55	2.34	2.48	3.06
CaO	6.38	10.82	17.66	0.54	8.88	15.67	11.13
Na ₂ O	1.03	1.16	1.61	1.25	1.40	0.79	1.99
K ₂ O	3.00	2.97	1.79	0.72	3.54	3.09	2.54
P ₂ O ₅	0.18	0.24	0.27	0.02	0.25	0.16	0.13
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
(ppm)							
Ni	57	50	70	3	54	49	36
Cu	39	40	28	15	31	29	16
Zn	102	90	153	24	109	96	55
Th	13	45	8	3	13	9	5
Rb	124	105	55	28	123	136	80
Sr	153	191	464	109	166	178	184
Y	33	17	18	5	36	26	22
Zr	266	219	60	42	285	182	176
Nb	19	16	10	3	25	15	11
Co	21	18	19	1	21	19	17
Cr	104	83	135	5	70	91	89
V	122	93	108	8	106	119	139
Ba	495	628	552	66	614	442	165

Table 2-4 Major and element compositions of ceramic shards from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan.
FeO* is total iron as FeO. n.d.,: not determined.

sample	locality	fabric	glaze	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	PbO	SnO ₂
TSK001	Tashkent	l.p	w			△	◎		x	x				—				◎
TSK002	Tashkent	l.p	w			x	○	○	x	○				—				◎
TSK003	Tashkent	l.y	w			△	◎		x	x				—		—		○
TSK004	Tashkent	p	w			x	◎			—				—				◎
TSK008	Tashkent	l.p	w			△	◎		x	x				—	—			○
TSK012	Tashkent	l.p	w			x	◎	x	x	x				—				◎
TSK013	Tashkent	l.p	w			x	○	○	x	○				—				◎
TSK014	Tashkent	l.p	w			x	◎		x	—				—				◎
TSK015	Tashkent	l.y	w			x	◎		x	—				—				◎
TSK016	Tashkent	l.y/p	w				◎		x	x				—				◎
TSK017	Tashkent	l.p	w			x	◎	△	—	x				—				◎
TSK018	Tashkent	l.p	y			x	◎		x	x				x				◎
TSK019	Tashkent	l.y/p	w			△	◎		x	x				—				◎
TSK021	Tashkent	l.p	w			◎	◎		x	x	x			x				—
TSK023	Tashkent	l.y/p	g			x	◎		x	x				—	△			◎
TSK025	Tashkent	p	w			x	◎		x	—				—				◎
TSK028	Tashkent	l.y/p	w			○	◎		x	○	—			△				○
TSK029	Tashkent	l.y/p	g			x	◎		x	x				—	x			◎
TSK031	Tashkent	l.y	w			x	◎		x	x				—	—			○
TSK032	Tashkent	l.p	w			x	◎		x	x			—	—	—			△
TSK033	Tashkent	l.p	w			x	◎		x	x			—	—	—			x
TSK035	Tashkent	l.p	y				◎		x	x				—				◎
TSK037	Tashkent	l.p	w				◎		△	△	—			x				x
TSK039	Tashkent	l.y/p	w	△	x	x	◎		△	x	—			x	—			
SMR001	Samrqand	l.y	w	△	x	△	◎	x	x	△	—	—	—	x	—			
SMR002	Samrqand	l.y	g			△	◎		x	△				—	x			x
SMR003	Samrqand	l.p	w			x	◎		—	—				—				x
SMR004	Samrqand	p	w			△	◎		x	x				—				x
SMR005	Samrqand	l.p	br			○	◎		x	x	—			x				x
SMR006	Samrqand	l.p	w			△	◎		x	x				—				x
SMR007	Samrqand	p	w			△	◎		—	x				—				△
SMR008	Samrqand	p	g			△	◎		—	x				—	x			△
SMR009	Samrqand	l.p	g			○	◎		x	x				—	x			x
SMR010	Samrqand	w	w			△	◎		x	△	—			—				
SMR011	Samrqand	l.p	w	○	x	△	◎		x	x	—			—	—			
SMR012	Samrqand	w	b	○	x	△	◎		x	x	—			—	x			—
TRM001	Termez	l.y	w			x	◎	x	x	x				—				x
TRM002	Termez	l.y	w			△	◎		x	x				—				x
TRM003	Termez	l.y	b			△	◎		x	x			—	—	x			—
TRM004	Termez	l.y	b			△	◎		x	x		—		—	—			x
TRM005	Termez	l.y	w			x	◎		x	x				—	—			x
TRM006	Termez	l.p	w			△	◎	x	x	x				—				x
TRM007	Termez	p	w			△	◎	x	x	△	—			x				x
TRM008	Termez	p	w			○	◎	x	x	○	—			x				x
TRM009	Termez	l.p	w			○	◎		x	x	—			—				x
TRM010	Termez	p	w			△	◎		x	x				—				x
TRM011	Termez	p	w			△	◎		x	x				—				x
BMY013	Bamiyan	r	br			○	◎	x	—	x	—		x	x		—		△
BMY172	Bamiyan	r	w			○	◎		x	—	—			—				—
BMY167	Bamiyan	r	w			△	◎			x				—				△
BMY222	Bamiyan	r	w			△	◎		—	x				—				△
BMY161	Bamiyan	p	y			x	◎		x	x				x				△
BMY223	Bamiyan	p	g			△	◎		x	x				—	x	—		△
BMY188	Bamiyan	p	w			△	◎	x	x	x				—	—			△
BMY224	Bamiyan	p	w			△	◎	x	—	x				—	—			x
BMY225	Bamiyan	p	y			△	◎		—	x				x		x		△
BMY139	Bamiyan	p	g			○	◎			x				—	x	—		○
BMY148	Bamiyan	p	w			△	◎		x	—				—	—			x
BMY090	Bamiyan	l.p	w			△	◎	x	x	—				—		x		△
BMY124	Bamiyan	r	g			△	◎	x		—				—	x	x		○
BMY226	Bamiyan	r	w			○	◎		x	x	—			—				x
BMY174	Bamiyan	l.y	w			△	◎		x	x				—				x
BMY227	Bamiyan	l.p	w	○	x	x	◎		x	x				—				—

Table 3 Chemical composition of glazes from Tashkent, Samrqand, Termez and Bamiyan. Concentration ◎ >30 wt.% ○ 10-30 wt.% △ 5-10 wt.% × 1-5 wt.% — minor. Color of the fabric and glaze: l.p-light pink p-pink, l.y-light yellow; y-yellow, r-red, w-white, b-blue, br-brown, g-green.

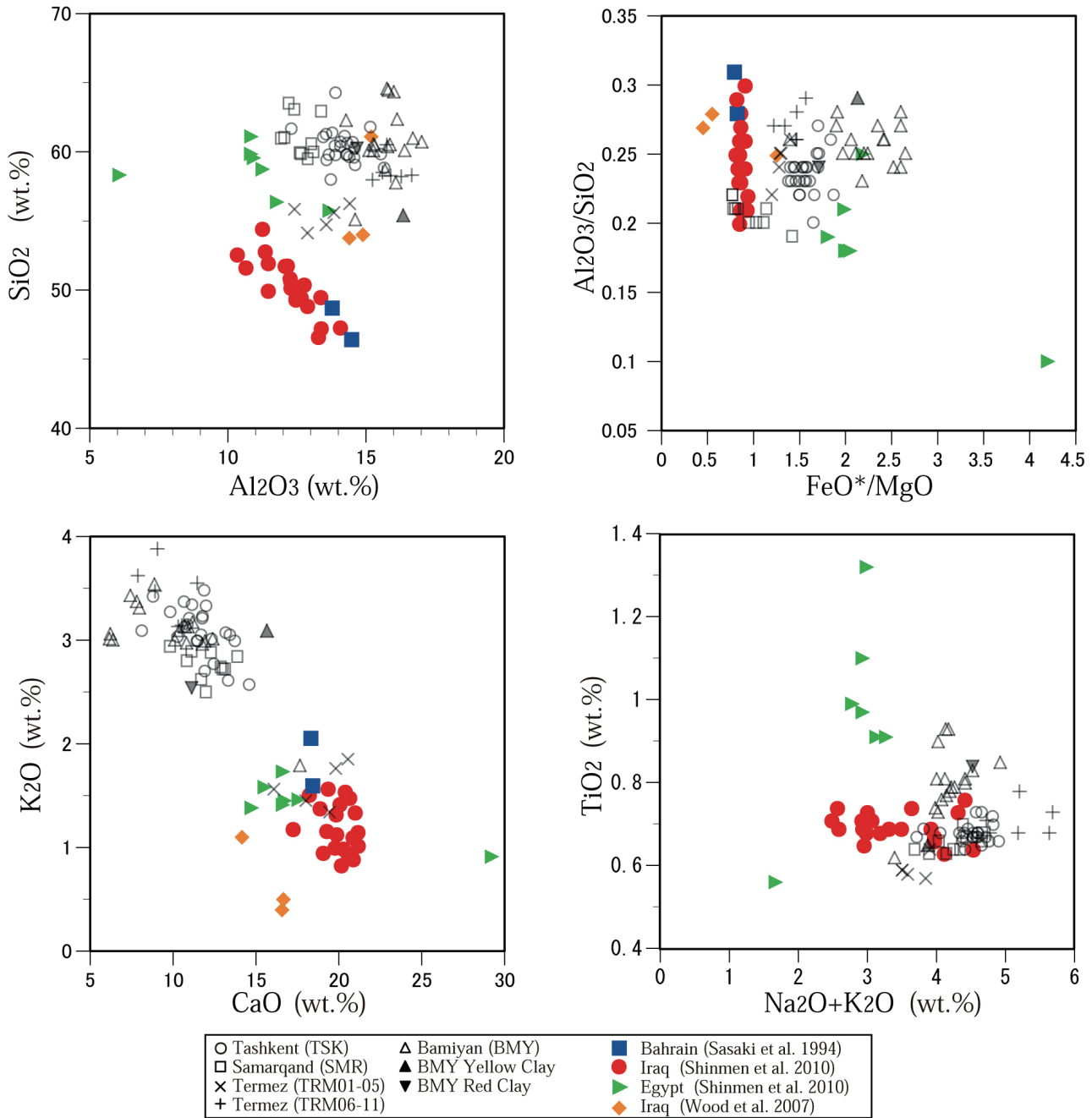


Fig. 11 Major element variation diagrams of ceramic sherds excavated from Bahrain, Egypt and Iraq. Data sources are after Sasaki et al. (1994), Wood et al. (2007) and Shinmei et al. (2010).

Chemical analyses of central Asian ceramics and their provenances

Tatsuo Sasaki, Kazuto Koizumi and Hanae Sasaki

Preface

Central Asian countries have produced many ceramic wares that have similar decorations and techniques. This suggests frequent personnel and cultural movements by the land route. However, research at Turkmenistan, Uzbekistan and Afghanistan has revealed that the ceramics found from these sites are mostly locally made and very few have been imported from other areas (Sasaki et al. 2007,2008).

Using chemical analysis, this paper aims to confirm the technical propagation and trade conditions of glazed ceramics, found at sites in Tashkent, Samarkand, Termez and Bamiyan, which run broadly from north to south with about 270 km between each site. The overall direct distance from Tashkent to Bamiyan is 730 km. The results of chemical analyses of the fabrics of glazed wares from Samarkand, Termez and Bamiyan have already been reported (Sasaki et al. 2009). In this paper, samples from Tashkent are added and the results by polarized light microscopy and chemical analysis of glazes are also included.

History of the area

Uzbekistan is a landlocked country with huge deserts and high mountains. Two rivers, Syr Darya and Amu Darya allow very limited agriculture at the oases along the rivers. Its present capital city Tashkent has been a well-known trading oasis-town from the 7th to the 8th centuries under Islamic influence. At the beginning of the 13th century, the town was destroyed by the Mongolian invasion, but was later rebuilt by Timur. The historical city of Samarkand locates on a tributary of Amu Darya and has played an important role as one of the intersect towns on trade routes that connect China and western regions, India and Iran from the 7th century or 8th century. Samarkand was demolished by the Mongols in 1220 but was reconstructed and then

flourished between the end of the 14th century and the 15th century as the capital of the Timurid Empire. Termez is located on the banks of the Amu Darya, which divides Uzbekistan from Afghanistan. It belonged to Bactria. During the first and the 3rd century, Termez was influenced by Buddhism and then converted to Islam in the 7th century. At the time of Timur, Termez enjoyed its most prosperous period. Bamiyan is the well-known historical Buddhist city in Afghanistan. Although it is located in a 2500m high basin, Bamiyan served as a commercial crossroad of trade routes. Bamiyan flourished as a Buddhist city between the 6th century and the 10th century, after which the influence of Islam became stronger until it was destroyed by the Mongolian invasion in the early 13th century.

Geological feature

The Central Asian Orogenic Belt, which stretches from the eastern Tibetan plateau, characterizes this area, exposing a wide variety of horizontal rock strata of long geological periods - from the Neoproterozoic (c.600 milion BP) to the Mesoproterozoic (c.100 milion BP).

The geology of Uzbekistan is distributed from the north to the south. It consists of marine sedimentary rocks of the Paleozoic (c.300-400 milion BP), marine sedimentary rocks and igneous rocks of the upper Neoproterozoic to the lower Paleozoic era. There is also a mélange of a variety of rocks including ophiolite composed of marine sedimentary rocks and plutonic rocks that are rich in Mg and Fe and date to the upper Paleozoic eras (Teraoka and Okumura 2007, Ishihara 2000). The Paleozoic marine sedimentary rocks are exposed in the Tashkent area, and the Paleozoic granite rocks are widely distributed at the eastern area. The ophiolite rocks are exposed at the north edge of the Tien Shan mountains, to the south of Tashkent. Commonly found rocks in the Samarkand area are Paleozoic marine sedimentary rocks

(mudstone and sandstone) and granite, together with limestone and other carbonate rocks. Mesozoic marine and terrestrial sedimentary rocks, and granites are widely distributed around the Termez area.

Uzbekistan is famous for its underground resources, and produces copper, gold, lead and zinc. In particular gold production has a long history and it is known that a huge amount of gold was produced around Tashkent in the 15th century under the Timurid Empire (Metal Mining Agency of Japan 1995).

Geological features in Afghanistan also comprise complicated structures of the Central Asian orogenic, like Uzbekistan. In the Bamiyan area, marine sedimentary rocks from the Paleozoic era to the Tertiary period (c. 60 million BP) are distributed widely, and granite and acid volcanic rocks are partly observed among the rocks of different ages (Teraoka and Okumura 2007).

Analyzed materials

65 ceramic fragments were examined, which consist of 24 glazed wares from Tashkent (northern Uzbekistan), 12 glazed wares from Samarkand (central Uzbekistan), 11 glazed wares from Termez (southern Uzbekistan) and 18 glazed wares from Bamiyan (Afghanistan). These were analyzed by powder X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and X-ray diffraction (XRD) for the main elements and trace elements, together with polarizing microscopic observation of the minerals in the fabrics and glazes. Fig. 2-5 are analyzed shards, in which the abbreviations TSK, SMR, TRM and BMY stand for Tashkent, Samarkand, Termez and Bamiyan.

Archaeologically, their dates are estimated as follows; Tashkent samples TSK 32-34 (9th century), TSK 1-5, 7-9, 11-14, 18-20, 23, 24, 26, 27, 29, 31 (10th century), TSK 6, 10, 15-17, 25 (11th century), TSK 35, 36 (11th to 12th centuries), TSK 21, 28 (12th to 13th centuries), TSK 37 (16th century) and TSK 38, 39 (17th century). Samarkand samples SMR 8, 9 (9th century), SMR 3-7 (10th to 11th centuries), SMR 2 (12th century), SMR 10 (16th century), SMR 1, 11 (17th century) and SMR 12 is not identified. Termez samples TRM 1-5 (9th century), TRM 7-10 (10th century), TRM 11 (11th century) and TRM 6 (12th century).

Bamiyan sample BMY 174 (9th century), BMY 13, 167, 172, 222 (11th century) and the others are from the 12th to 13th centuries.

Shards from Tashkent were found at the Binket site where Dr. Saida Ilyasof worked. Those are the representative glazed wares of Tashkent and they seemed to be influenced from other areas. Most of the samples bear green glaze decoration on opaque-white glazes and polychrome painted wares with yellow or pink fabrics. These are archaeologically considered to be the main products of the 9th century and also the 10th to 11th centuries. They include two other samples of the 12th to the 13th centuries, one of the 16th century and two of the 17th century.

Shards from Samarkand and Termez are the more commonly found wares at each area. Most of the Samarkand shards are from Afrasiab and stored in the State Museum of Culture History of Uzbekistan. Major samples are polychrome painted wares with pink fabric of the 10th to the 11th centuries. Green-glaze decoration on opaque-white glazed ware with yellow fabric of the 9th century (SMR 8, 9) and polychrome glazed incised ware of the 10th to 11th centuries (SMR 7) were also analyzed. Shards SMR 10 and SMR 12 are quartz-based stone paste fabric, which is a quite different fabric from the others. Most of the samples are dated to the 10th to 12th centuries, while SMR 10 is from the 16th century, while SMR 1 and SMR 11 are from the 17th century.

Shards from Termez were selected, together with Dr. Jangar Ilyasov, from the range of excavated material. Five samples of the 9th century opaque-white glazed ware (TRM1, 2) and green glaze decoration on opaque-white glazed ware (TRM3, 4, 5) were placed in the yellow fabric group. Polychrome glazed incised ware (TRM7, 8), green glaze decoration on opaque-white glazed ware (TRM 9), and polychrome painted ware (TRM10) are from the 10th century and placed in the pink fabric group, together with the 11th century TRM 011 and the 12th century TRM 006. Although TRM 009 is the green glaze decoration on opaque-white glazed ware, which type was popular in the 9th century, it is considered archaeologically to be a 10th century ware because of its pink fabric. The fact that TRM1-6 and TRM9 used a lead-tin glaze, and there is no

other sample which used a tin containing glaze with a pink fabric, supports the view that TRM9 was made during the transitional period between the 9th century and the 10th century.

Shards from Bamiyan were excavated by the Tokyo National Research Institute for Cultural Properties and studied in 2007 as a joint project with Kanazawa University. One shard from the excavated site at Taibuti (BMY013), five shards from Gharibabad (BMY132, 167, 161, 188, 174), eight shards from Qazi Dauti (BMY222, 223, 224, 225, 148, 226, 227, 228) and four shards from Ju-yi Shahr (BMY139, 90, 124, 134) were studied. Glazed Bamiyan shards from the 10th to the 13th centuries were grouped with 13 shards of red fabric ware, one red earthenware (BMY228), one opaque-white glazed ware with yellowish white fabric (BMY174), one green and brown glazed ware with pink fabric (BMY161), one transparent glazed ware with stone paste fabric (BMY227) and one kiln shelf support (BMY134). Archaeologically, those are considered to be Bamiyan products, except BMY161, 174, 227. Most of the glazed wares from Bamiyan have red fabrics, but BMY174 has a yellowish white fabric which resembles the fabric of TRM1 and TRM2. For the comparative study, modern brick materials of yellow clay (BMY-Y) and red clay (BMY-R) were tested by XRF and XRD. A report of the joint project was published in 2008 (Sasaki et al.), and the same sample numbers are used in this paper.

Chemical analytical method

Chemical analysis of the fabrics and glazes were made from 65 samples from the four archaeological sites, Tashkent, Termez, Samarkand and Bamiyan.

Major elements (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) and trace elements (Ni, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Co, Cr, V) of the fabrics were determined by X-ray fluorescence spectrometry (XRF), using Rigaku 3270 X-ray spectrometer at Kanazawa University for fused glass of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ -sample powder mixture and pressed pellets of sample powder, respectively. The analyses were made at 50 kV accelerating voltage and 20 mA beam current. Mineral species and the elemental-contents of the fabrics were analyzed by powder X-ray diffraction (XRD) with a horizontal Bragg-Brentano

goniometer and power conditions (40 kV/ 30 mA), using Rigaku RINT1200 at Kanazawa University. Chemical analysis of the glazes of the shards were also obtained by energy-dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) using EDAX Eagle-II XPL with a Rh target, Si detector and an irradiated spot of 300 μm . The working voltage was 30 kV at an intensity of 1000 μA and 15 chemical elements (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Pb, Sn) were measured. Polarized light microscopy was used for the petrographic analysis of fabrics in the thin sections.

Petrographic microscopy and X-ray powder diffraction (XRD) of the fabrics

The fabric of the analyzed shards can be grouped by color. Most of the Tashkent samples have pink fabrics and some show yellow. Samarkand and Termez samples have yellow or pink and red fabrics. Most of the Bamiyan samples bore red fabrics. Stone paste samples of Termez and Bamiyan (SMR10, 12, BMY227) have quartz-based white fabrics.

The photomicrographs of fabrics from Tashkent, Samarkand, Termez and Bamiyan are shown in Fig.6, 7. According to petrographic microscopy, all minerals in the samples have been slightly vitrified, and are mainly composed of silt to sand grain sized quartz and feldspar. Biotite and Fe-Ti oxides of brown or black colored opaque minerals were also observed.

Samples from Tashkent were generally composed of sub rounded quartz and feldspar, and their grain size is roughly 0.03 mm. Sometimes feldspar grains of more than 0.2 mm exist. Biotite and Fe-Ti oxides of brown color grain also occur. Fine voids are common and filled with quartz and cristobalite. Rarely, more than 0.5mm length of volcanic rocks (TSK2, 23) and black colored opaque minerals are present (TSK014, 31, 37).

Samples from Samarkand show similar features to that of Tashkent. Some Termez samples include comparatively rounded fine grains of quartz and feldspar, and plenty of biotite and brown-opaque minerals and a few calcite-filled glassy matrices occur between the grains of quartz and feldspar. Most of the quartz and feldspar are 0.03 mm to 0.05 mm in length, but there are samples which have more than 0.2 mm length of quartz, feldspar and an aggregate of

brown-opaque minerals.

Samples from Termez show a content-difference of brown colored minerals, such as biotite and Fe-Ti oxide-substances, between the yellow fabric (TRM1-5) and pink fabric (TRM6-11). TRM1-5 contains fine quartz and feldspar of 0.02-0.03 mm in diameter. Compared to TRM6-11, TRM1-5 have less biotite and opaque minerals between quartz and feldspar grains, and are rich in black colored opaque minerals, such as magnetite, and a glassy matrix. TRM6-11 presents similar feature to Tashkent and Samarkand samples. These consist mainly of 0.02-0.03 mm sized quartz and feldspar, but often contain more than 0.2 mm lengths of sharp coarse quartz and feldspar, which appears more frequently than in Tashkent samples. Similarly, the Bamiyan sample TRM006 contains coarse quartz and feldspar, filled with biotite, brown colored Fe-Ti oxides substances and matrix. The Termez samples also show formed voids, filled with calcite and secondary formed minerals.

Samples of Bamiyan presents larger grains of minerals than those from Uzbekistan, which contain irregularly shaped angular quartz and feldspar. These are generally 0.05-0.1 mm in size but frequently contain 0.2-0.3 mm, and often more than 0.5 mm sizes grains. Also, fragments of volcanic rocks, which include plagioclase of more than 0.5 mm long often appear. Glassy matrices, abundant brown colored biotite and Fe-Ti oxides and calcite which fills the voids are also perceived.

Stone paste samples from Bamiyan and Samarkand consist from 80-90% of coarse quartz of 0.01-0.05 mm in size, feldspar, biotite and a glassy matrix. Comparatively, a sample of Bamiyan (BMY227) consists of larger sized quartz than that of Samarkand.

The results of XRD analysis are shown on Fig.8. Quartz and feldspar were determined as the main elements, and pyroxene, diopside, olivine, Fe-Ti oxides and calcite are also identified. Clay minerals cannot be detected as they change to an amorphous body. Quartz is the only major element in the stone paste fabrics (SMR10, SMR12, BMY227).

From all the samples of Tashkent, quartz, sodium-calcium feldspar, pyroxene and cristobalite were identified. Also,

olivine, Fe-Ti oxides, calcite, chlorite and mica were detected from some of them. Minerals identified in the samples from Samarkand were almost limited to quartz, feldspar and pyroxene. From the Termez samples, pyroxene was found with quartz and sodium-calcium feldspar, and, from a few samples, olivine, Fe-Ti oxides and calcite were found. Specially the samples TRM1, TRM3-TRM5 were characterized by the presence of olivine. Unlike samples from Uzbekistan, pyroxene was found in a few samples from Bamiyan. Calcite is common in Bamiyan and Fe-Ti oxides also exist. Yellow clay (BMY-Y) and red clay (BMY-R), which are the modern materials of building brick, were analyzed for the comparative study. Quartz, feldspar, calcite, chlorite, mica and clay minerals were observed.

Cristobalite formed commonly in the Tashkent samples, but not in those from Termez, Samarkand and Bamiyan. Though mullite, which appears under the high temperature firing, could not be clearly identified, cristobalite was detected in the Tashkent samples and this proves Tashkent wares were fired under higher temperature than the other kilns.

X-ray fluorescence (XRF) analysis

1. Chemical composition of the fabrics

Table 2 shows the results of XRF analysis, which was partly published in 2009 (Sasaki et al.). Major and trace element data are plotted in Fig.8. Three stone paste samples showed high SiO₂ content and poor amounts of the other elements, which distinguishes them from the other samples. These are not plotted in this table. Termez samples can be divided by the fabric colors: yellow fabric group (TRM1-5) and pink fabric group (TRM6-11). With the exception of TRM9, which is supposed to have been produced during the technical transition period of the 9th to 10th centuries, those two groups are clearly divided from the others and are plotted as a group.

Most of the fabrics have similar contents of SiO₂, approximately 60 wt.%, although samples from Termez are relatively low in silica. Compared by the FeO* and MgO levels, Samarkand samples are poor in FeO* but high in MgO, as some show more than 5 wt.%. Termez samples show 4-6 wt.% of FeO*. As for MgO, Termez

wares are richer in magnesia than Bamiyan and Tashkent but poorer than Samarkand. Except BMY174, all Bamiyan samples show rich FeO* and poor MgO, and the result almost matches that of modern yellow clay collected from Bamiyan valley. Samples from Tashkent contain FeO* 3.8-5.3 wt.% and MgO 2.4-3.6 wt.% in average. K₂O and CaO show a similar frequency to all the samples, but in the Termez samples it was clear that the yellow fabric samples presented high CaO and poor K₂O, and that the pink fabric examples showed opposite ratios. Compared by the alkali-elements (Na₂O+K₂O) and TiO₂, Bamiyan samples are richer in TiO₂ than Uzbekistan, and the Termez pink fabric is richer in alkali elements. However, unlike other Bamiyan samples, BMY174 showed different contents of K₂O, CaO and TiO₂, which resembles the yellow fabric group of Termez.

FeO*/MgO ratios in Samarkand samples are 0.8-1.4, Termez is 1.2-1.5, Tashkent is 1.4-1.9, Bamiyan is as high as 1.9-2.6 except BMY117. This suggests a difference between the Uzbekistan and Afghanistan clays, with Bamiyan's FeO*/MgO ratio higher than Uzbekistan's. Generally, the origin of the Al₂O₃ is feldspar, clay minerals and mica, and SiO₂'s origin is minerals and rock fragments. Because these contents are influenced by the quantity of quartz, Al₂O₃/SiO₂ ratios change with feldspar/quartz, with clays that originate from volcanic rocks showing high ratios. As Samarkand samples show the Al₂O₃/SiO₂ ratio 0.19-0.21, Termez 0.22-0.29, Bamiyan 0.23-0.28 and Tashkent 0.20-0.27, Samarkand presents lower Al₂O₃/SiO₂ ratio than the other area (Fig.8).

Trace elements also show locality differences. Except BMY174, Fig.9, which shows that Bamiyan samples are poor in Sr content, rich in Rb, Zr, Nb, Co and Ni contents, and high Zr/Ba and Zr/Sr ratios, compared to the Uzbekistan samples. Modern clay collected at Bamiyan (BMY-Y, BMY-R) presented similar main elements compositions with Bamiyan samples, and by trace element, yellow clay (BMY-Y) showed closer results than Bamiyan samples. On the other hand, Tashkent, Samarkand and Termez samples showed similar Sr, Rb and Zr contents. However, Tashkent samples are characterized by rather high Ba contents, and with some exceptions, low Cr and Zr/

Ba ratios. Samarkand samples demonstrate high Cr contents and Zr/Ba ratios, and high Zr contents. Termez samples can be divided in two by their main components but no disparity was found in their Zr contents. The yellow fabric presents high Sr and low Rb, Nb and Co content. The pink fabric presents high Rb and Co. The Rb content is clearly different, but Zr/Ti and Zr/Sr ratios show similarity. The two groups of Termez samples, divided by color, also group by age. Nonetheless, all wares are presumed to have been made from local clay.

Fig.10 presents Upper Continental Crust (UCC) normalized multi element plots of fabrics from four sites. Most samples present relatively common characteristics, rich in Ca, Th and Mg, and with less K, Zr, Na, Rb and Y. Instead, Bamiyan modern yellow and red building clay reveals the difference of Ca, Na and Ba from UCC, and Th data is extremely different from the Bamiyan samples from the sites. As for the stone paste fabrics, except for a few elements, they group clearly away from the other samples for their poor trace elements.

2. Chemical composition of the glazes

The results of semi-quantitative analysis to the surface of the glazes are shown on Table 3, with the exception of glazed samples BMY134 and BMY228. Determinable elements are limited from Na to U and one needs to consider the contamination caused by the fabric when samples have thinner glaze layers. Element concentration is expressed by wt.%. Samples are measured by the Fundamental parameter method (FP), and the results are shown by the elements symbols, not by the quantitative value. Glaze, consisting of mixtures of silica stone, clay and metals such as lead, is the glassy coating of the fabric caused by the kiln firing. Samples can be divided in two groups by the glaze color: monochrome (mainly green, yellow, brown or black) and polychrome glaze. Most of the glazed samples made after the 11th century are polychrome with white slip between the transparent glaze and the fabric (Sasaki et al. 2008). For analysis, the transparent-glazed part on the white slip and the surface of the polychrome glaze were targeted.

From almost all the glazed samples, typical components of glass such as Si, Al, K and Ca, and some Fe and other

metal elements were detected. The use of lead glaze and alkaline glaze for Islamic wares are known, and the existence of lead (Pb) in many examined samples supports the use of lead glaze scientifically. Our study indicates that Tashkent lead glazed wares presents very high Pb contents (higher than 30 wt.%) followed by Bamiyan lead glaze (c.10-20 wt.%). All the Termez yellow fabric wares (TRM1-5), and pink fabric wares TRM6 and TRM9, contained tin (Sn) together with lead, which suggests that lead-tin glazes were used for the 9th century wares and also for some later wares. From the samples TSK39, SMR1 SMR11, SMR12 and BMY227, Na and Ca alkali elements were detected, and this indicates that alkaline glaze was used for the later wares. Production dates of TSK39, SMR1 and SMR11 will be the 17th century, stone paste SMR12 is unknown and stone paste BMY227 can be later than the 14th century.

Among Bamiyan samples, there are pieces that contain zine (Zn) in addition to lead, such as BMY13, 172, 223, 225, 139, 148, 90, and BMY124. Some of the samples with lead also contain phosphorus (P), which can be caused by secondarily created fine-crystal contamination on the surface. There were samples which do not contain lead, tin and alkali elements. Blue glaze and green glaze contain copper (Cu), yellow glaze contain iron (Fe) and brown or dark brown glazes contain Manganese (Mn) or iron, and those elements reflect the color of glazes.

Discussion—features of central Asian ware

Tashkent, Samarkand, Termez and Bamiyan locate in a line from north to south with about 270 km distances between the sites. Geographically, these areas have similar complicated strata of rocks. Through the microscopic observation of fabrics prepared for thin-section, it was found that a few volcanic-origin rock grains exist in the samples of Tashkent and Bamiyan, but not in the samples of Samarkand and Termez. This reflects the outcrop of the volcanic rocks at the nearby areas of Tashkent and Bamiyan and shows that the geology of Samarkand and Termez is on the sedimentary rocks, but no characteristic minerals or debris which specify the provenances were observed. The result of analysis leads us to understand the difficulty of finding geological features that can associate clay and

provenances by particular minerals and elements, as is seen Fig.10 and the thesis by Tailor and McLennan 'The Continental Crust: Its Composition and Evolution'(1985).

Glazed ware samples selected at the four archaeological sites are mainly the wares produced in the 9th to the 13th centuries with similar clays, decorations and techniques. The results of microscope observation and chemical compositions of these fabrics were similar, but minor differences of chemical composition can be useful for division into groups.

The composition of main and trace elements of the Tashkent samples showed similar feature but TSK37 and TSK39 showed difference from the other Tashkent samples, which are low in Al_2O_3 content with high ratios of Sr, Zr and Zr/Ti. By archaeological observation, those two samples are considered to be later, possibly made in the 16-17th centuries. This difference may suggest a change of ceramic clay source according to age.

Samarkand samples presented similar results with those from Tashkent, but are characterized by low ratios of FeO^*/MgO (0.8-1.4) and Al_2O_3/SiO_2 (0.19-0.21), and are rich in MgO and Cr. Samples SMR1 and SMR11 resemble have similar fabric and decoration, and showed similar chemical composition with low Cr contents, as in the Tashkent samples. Similarly with TSK37 and TSK39, which were rich in Sr and Zr and had high ratios of Zr/Ti, these Samarkand samples SMR1 and SMR11 which can be dated to the 17th century, are possibly made in Tashkent.

Termez samples can be clearly divided in two groups by the fabric color of yellow (9th century) with high CaO and low K_2O composition, and the fabric color of pink (10-12th centuries) with low CaO and high K_2O compositions. Microscope observation shows the tendency of less brown color minerals in the yellow fabric than in the pink fabric, which suggests the influence of Iraqi opaque-white glazed ware of yellowish white fabric. Yellow fabric samples show clear differences from all the other samples in the low presence of SiO_2 , TiO_2 , Ba and Rb. Pink fabrics shows similar chemical features with the Tashkent and Samarkand samples, but there is slight difference in higher Al_2O_3/SiO_2 ratio (0.25-0.30) and in the amount of alkalis (Na_2O+K_2O) and Co.

Compared to the Uzbekistan samples, Bamiyan samples present coarse and varied grain sizes of minerals and rocks under the microscope. This phenomenon might be caused by the difference of geological conditions, that is, Bamiyan locates in the deep mountains, while the other cities locate downstream. Chemically analyzed data also divide the Bamiyan samples from the other samples with less Sr, rich in Rb and Zr, and high ratios of FeO^*/MgO (1.9-2.6), $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (0.23-0.21) and Zr/Sr . BMY174, the opaque-white glazed ware with yellow fabric is exceptional among the other Bamiyan samples, which show a red fabric. Chemical composition differs also, and it resembles that of Termez yellow fabric (TRM1-5). From this fact, it would be possible to presume that BMY174 is 9th century Termez ware, transported to Bamiyan where glazed ware was not produced. Other analyzed Bamiyan samples matched to that of modern yellow clay and red clay, so it can be concluded that Bamiyan wares were locally made using the clay in the Bamiyan valley (Sasaki et al.2009).

From the results of chemical analysis of the glazes, samples can be divided into three types.

Type 1. Lead glazed ware. This type was commonly found and includes all the Tashkent samples except TSK39, all the Samarkand samples except SMR1, SMR 10, SMR 11, all the Termez samples except pink fabric TRM7, TRM8, TRM10, TRM11 and all the Bamiyan samples except BMY226, BMY227. The result of simple quantitative analysis indicated that the lead content in Tashkent and Bamiyan samples is rather high, comparatively, and Tashkent samples showed an especially rich lead content. High ratios of lead cause low melting points and lower kiln temperatures. Mason and Tite mentioned in their theses (1997) that the ratios of lead content in the glazes changes according to the period and place in the 9th to the 12th centuries. The difference of lead contents in our samples may be also reflect changes in time and place.

Type 2. Lead-tin glazed ware. Termez opaque-white glazed ware and green glaze decoration on opaque-white glazed ware with yellow fabric (TRM1-5), green glaze decoration on opaque-white glazed incised ware with pink fabric (TRM6) and green glaze decoration on opaque-white glazed ware with pink fabric (TRM9) are included.

Chemical analysis to the fabric of BMY174 showed resemblance to that of Termez lead-tin opaque-white glazed ware with yellow fabric; tin was not detected in BMY174's glaze. The lead-tin opaque-white glazed ware is considered to have been made in Iraq, or Mesopotamia from about the 9th century, and the glaze spread to the nearby area in the 10th century and was also copied in central Asia (Sasaki et al.1993. Sasaki 1993, Mason and Tite 1997). Termez samples (TRM1-5) of lead-tin glazed ware with a yellow fabric are archaeologically considered to be of the 9th century, and these samples prove that the lead-tin glaze had been used in central Asia in the 9th to 10th centuries. TRM9 was archaeologically dated to the 10th century but features of the fabric resemble that of Termez pink fabric group, dated to be from the 10th to 12th centuries. It is considered that lead-tin glazed ware was made in Termez using local clay in the 9th to 10th centuries, and BMY174 was possibly made at Termez in the 9th century, before the lead-tin glaze became popular.

Type 3. Alkaline glazed ware. Alkaline and alkaline-earth elements (Na_2O , CaO) and MgO were examined from TSK39, SMR1, SMR 11 and SMR 12. Those are the later samples and the result of chemical analysis to the fabric showed slightly differences from the lead glazed wares. Although alkali elements cannot always be detected because of its efflux from the glaze caused by natural water effects, the use of alkali glaze may start later in central Asia than in Mesopotamia.

In central Asia, the production of glazed ware seems to start during the 9th century. The prototype of central Asian glazed ware is assumed to be the 9th century Mesopotamian opaque-white glazed ware, and green glaze decoration on opaque-white glazed ware, which were found at the Samarra site (Sasaki 1995), and known to have been distributed widely, even to the area along the Arabian Gulf (Sasaki 1996, Sasaki et al.2000). The samples of the 9th century, TSK32, TSK 33, SMR8, SMR9, TRM1-5, BMY 174 were examined. Fabric analysis shows that Termez yellow fabric (TRM1-5) and Bamiyan (BMY174) are similar, but Termez pink fabric (TRM9), Samarkand (SMR8, 9) and Tashkent (TSK32, 33) differ from each other. Data show similarities among the pink fabric group, but main elements ratios of

FeO*/MgO and Al₂O₃/SiO₂, and trace elements composition differ at each place. Glaze analysis showed the existence of lead-tin glaze only on a Termez sample, while the other samples were lead-glazed. Termez samples of opaque-white glazed ware, and green glaze decoration on opaque-white glazed ware, are commonly found at the sites in Termez, and these Termez wares show slight differences in their opaque glaze and fabric colors to wares found in Samarra, so these Termez wares seem not to have been imported from Iraq. Compared with major element fabric-analysis of Iraqi and Egyptian wares found at A'Ali in Bahrain (Sasaki et al. 1994), Iraq (Wood et al. 2007) and Fustat in Egypt (Shinmen et al. 2010), Termez yellow fabric samples resemble these data on their contents of K₂O and CaO, but are obviously different on their contents of SiO₂, MgO and TiO₂ and FeO*/MgO ratio (Fig.11). These data also prove that these Termez ware are not imported from Iraq. However, the samples analyzed by Wood are the Iraqi cobalt-decorated opaque-white glazed ware of the 9th -10th centuries and the samples used in the thesis by Shinmen are the 10th century Iraqi luster ware found at Fustat. The opaque-white glazed ware and green glaze decoration on opaque-white glazed ware are different types from those samples, even though it presents similar fabric and glazes. For further research, comparative analysis of the opaque-white glazed ware to the Iraqi and Termez wares is awaited. It is presumed that mainly bowls and dishes of opaque-white glazed wares, including green glaze designed opaque-white glazed ware, were introduced from Samarra to central Asia, but it is possible that Termez may also have been an early production center of this glazed ware.

Stone paste is quartz-based, and it shows quite different features from the other fabrics, being rich in SiO₂ and poor in trace elements. Samarkand sample SMR10 is slightly poor in alkali elements (Na₂O+K₂O) and richer in Cr than SMR12, but both show almost similar features. Compared to Samarkand samples, Bamiyan sample BMY227 has features that are rich in SiO₂ and poor in Al₂O₃, CaO, MgO and Ba, which shows the difference between stone pastes according to their excavated places. The glaze of SMR10 is not identified, but the two others are alkali glazes. According to Tite who analyzed the 14th century

Samarkand stone paste wares, Samarkand stone paste can be divided in two groups, one with coarse grains, rich in SiO₂ (92.9 wt.%) and poor in alkali contents (Na₂O+K₂O=2.2wt.%), and another with fine grains, poor in SiO₂ (average of 2 samples 82.3 wt.%) and rich in alkali contents (average of 2 samples Na₂O+K₂O=4.4wt.%) (Tite et al. 2011). SMR10 and SMR12 bear fine quartz grains (0.05-0.10mm), and SiO₂ is 83.2 wt.% and 82.9 wt.% respectively, while the content of alkali elements is 2.3 wt.% and 3.6 wt.%. These data suggest that Bamiyan stone paste is similar to Tite's poor SiO₂ group. BMY227 bears rich SiO₂ but, as its chemical features differ from Tite's rich SiO₂ Samarkand group, it may have been imported from another area. It is pointed out that stone paste contains higher quartz at the later periods and bears richer SiO₂ (Tite et al. 2011).

Very rare wares excavated in Bamiyan (BMY13, 167, 172, 222) are estimated to be from the 11th century. BMY188 and BMY224 are also included for examination. These are characterized by low contents of CaO, Sr, high contents of Al₂O₃, TiO₂, Rb, Zr, Ni, Co, and high ratios of FeO*/MgO, and clearly divided from Termez, Samarkand and Tashkent. Although BMY13 and BMY224 show similar contents of SiO₂ and CaO with that of Uzbekistan, Bamiyan, trace element composition resembles Bamiyan modern yellow clay (Fig.8,9). Except BMY174 which is supposed to be from Termez and these very rare samples, the rest of the Bamiyan samples plot close to Termez and Samarkand. This suggests that these very rare samples resemble those of Termez and Samarkand wares in glaze and decoration, but are not imported from Uzbekistan but are locally made wares, using an influenced technique from the Samarkand area on the local fabric. However, the possibility of importation from the east of Iran to Bamiyan cannot be excluded, so further study of the Bamiyan clay and a similar type used for east Iranian ware is expected.

According to Tite (2011), who published the analyzed data of the 8th to 14th centuries Islamic wares from Egypt, Iran, Iraq and Syria, alkali glazes and alkali-lead glazes are often applied to the quartz-based fabrics, while lead glaze is commonly applied to the calcium-rich fabrics. Samples of our central Asian sites are mostly low in SiO₂ content

and rich in calcium in their fabrics and lead glazes were used on all the wares. The Silk Road actively connected the east and the west at the time of the 10th century, and as a result, knowledge could influence technical development on decoration, but the manufacture itself continued locally.

Conclusion

Chemical analysis of glazed wares found in Egypt and Mesopotamia has been actively studied, but the systematic analysis of glazed wares found in central Asia has been somewhat lacking. This paper aims to understand the trade conditions of glazed wares in central Asia, using chemical analysis of 65 samples, collected from archaeological sites at Termez, Samarkand, Tashkent and Bamiyan. As a result, although the wares are technically similar, it became clear through chemical analysis of fabric and glaze that wares from each production center all showed different features. Very few wares were imported from other areas but were instead copied with locally made wares. The technical differences established indicate the date of production. For example, Iraqi opaque-white glazed ware with yellowish white fabric became fashionable at the end of the 8th century to the 9th century and central Asian countries copied the Iraqi ware with tin oxide opacified glazes that replaced the earlier quartz-based glazes. A yellow fabric with a lead-tin glaze is the early manufacture, and then the clay source and the kiln temperatures change to create wares with lead glazes with a pink fabric. Thus, science reveals the invisible historical conditions of the Silk road, whereby, central Asia and Mesopotamia were connected closely by knowledge, but the commodity itself seems not to have travelled so far.

Acknowledgements

We are grateful to Dr. Jangar Ilyasov, Dr. Saida Ilyasov, Dr. Bogomolv Gennadiy, Dr. Minasianth Vazgen, Gauhar Saodatoua and Dr. Kazuya Yamauchi for their kind permission for the use of material. Thanks go to Profs. Akira Ishiwatari, Masaaki Okuno, Tomoaki Morishita, Syouji Arai and Dr. Akihiro Tamura for the use of analysis machines at Kanazawa University, and their support were greatly helpful to our study. For the EDX analysis, thanks are due to Yamanashi industrial technology center for the use of systems. We also wish to express our gratitude to Dr. Nigel Wood for editing the

English. We deeply express our thanks to all for their help for the quality of this paper.

Bibliography

Please refer to Japanese papers for cited references (page 88).

Figures

Fig.1 Location of Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan.

Fig. 2 Samples for analysis from Tashkent, Uzbekistan.

Fig. 3a, 3b Samples for analysis from Samarqand, Uzbekistan.

Fig.4a, 4b Samples for analysis from Termez, Uzbekistan.

Fig.5a, 5b Samples for analysis from Bamiyan, Afghanistan.

Fig.6 Crossed-polarized Photomicrographs of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan

Fig.7a, 7b Photomicrographs of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan (LEFT plane-polarized light. RIGHT crossed-polarized light.)

Fig.8 Major element variation diagrams of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan.

Fig.9 Trace element variation diagrams of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan.

Fig.10 Upper Continental Crust (UCC) normalized multi element plots of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan. UCC values are after Taylor and McLennan (1988).

Fig.11 Major element variation diagrams of ceramic sherds excavated from Bahrain, Egypt and Iraq. Data sources are after Sasaki et al. (1994), Shinmei et al. (2010) and Wood et al. (2007).

Tables

Table 1. X ray diffraction data summary of ceramic sherds from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan.

Intensity: ○ major; △ identification; × minor.

Mineral name: Qtz - Quartz; Fld - Feldspar; Px - Pyroxene; Ol - Olivine; Fe - Fe-Ti oxide; Cal - calcite; Crs - Crystalite; Mica - Mica; Zeo - Zeolite; Ill - illite; Chl - Chlorite; Clay - Clay mineral.

Table 2. Major and element compositions of ceramic shards from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan. FeO* is total iron as FeO. n.d.: not determined.

Table 3. Chemical composition of the glazes from Tashkent, Samarqand, Termez and Bamiyan.

Concentration: ◎ >30 wt.%; ○ 10-30 wt.%; △ 5-10 wt.%; × 1-5 wt.%; — minor.

Color of the fabric and glaze: l.p - light pink; p - pink; l.y - light yellow; y - yellow; r - red; w - white; b - blue; br - brown; g - green.