氏名（本籍）　村　串　まどか（静岡県）
学位の種類　博士（理学）
学位記番号　甲第1185号
学位授与の日付　2019年3月19日
学位授与の要件　学位規則第4条第1項該当
学位論文題目　**非破壊オンサイト分析による日本およびシルクロードの古代ガラスの化学組成と流通に関する研究**

論文審査委員　（主査）嘱託教授　中井　　泉
教授　工藤　昭彦　　教授　田所　　誠
教授　駒場　慎一　　教授　山田　康洋

論文内容の要旨

本論文は日本国内およびアジア各地10ヵ国で出土した古代ガラスについての化学組成分析データをもとに，日本およびシルクロードにおける古代のガラス交易を明らかにすることを目的とした．本研究の特色は，世界最高水準の可搬型蛍光X線分析装置を用いることで，非破壊オンサイト分析が可能となり，約4000点の膨大な数の分析データをもとに，これまで議論されることの少なかった，海外出土ガラスとの化学組成の比較や統計的手法を用いた古代ガラスの流通についての議論が可能となったことである．以上より，本研究では同一分析装置を用いて得られたすべて同一水準の分析データに基づいて，日本を含むシルクロードのガラス流通に関する多くの新知見を得ることができた．

第1章

第1章では本研究の背景について述べる．まず考古学・歴史学資料を対象とする化学分析の重要性にはじまり，次に古代ガラスが辿ってきたシルクロードの交易について紹介する．近年，シルクロードはその一部が世界遺産に登録され，文化の伝来やモノの移動が行われた交易路としてその歴史的価値が評価されている．ガラスもその交易品の一つとして知られている．次にそのガラスについて化学的特徴や化学組成的分類，ガラスの誕生とその製造技術の発展の歴史について取り上げる．古代ガラスは基本的にケイ酸塩ガラスであり，アルカリケイ酸塩ガラスと鉛ケイ酸塩ガラスに大別され，それぞれさらに細分化されている．続いて本研究で主に対象としているアルカリケイ酸塩ガラスの各組成タイプ，カ

リガラス（K_2O-SiO_2），ソーダ石灰ガラス（Na_2O-CaO-SiO_2），アルミナソーダ石灰ガラス（Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2）の特徴に触れ，さらに本研究で対象とした中央アジア，南アジア，東南アジア，中国，韓国（朝鮮半島），日本で出土したガラスについて触れる．最後に本要旨の冒頭に示した目的と本論文の構成を述べる．

第２章

第２章では本研究で用いた方法について述べる．本研究の対象とする古代ガラスは貴重な文化財であり，破壊分析は許されない場合が多いことから非破壊分析が望まれる．同様に破損等の危険を避けるため資料の移動には制限が発生することもあり，非破壊分析であっても実験室に資料を持ち込む方法では，分析点数の確保が困難になる．特に分析対象が海外の資料になってしまうと，このようなハードルはより一層高くなる．そこで本研究では，可搬型蛍光 X 線分析装置をはじめ，非破壊オンサイト分析が可能な装置を使用して研究をおこなった．本章では用いた分析装置の原理と測定条件について述べる．

さらに膨大な出土数が報告されている日本の古代ガラスの迅速な組成タイプ分類を目的として，文化財研究で普及しているハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置を用いた分類方法の検討を行った．

第３章・第４章

第３章では日本出土ガラスを対象に行った現地分析調査の結果についてまとめた．はじめに化学組成分析からどのようにガラスのタイプ分類を行ったかを述べ，青森県・岩手県出土ガラス，岐阜県船来山古墳群出土ガラス，奈良県布留遺跡出土ガラス，長崎県壱岐市出土ガラス，長崎県対馬市出土ガラスの分析結果をそれぞれまとめている．

第４章では，大陸の交易品を対象に行った現地分析の結果をまとめた．本章では，中国内モンゴル自治区出土ガラス，キルギス・タジキスタンの出土ガラス，カザフスタン出土ガラスに加え，ロシア沿海州で出土した貨幣の分析結果を述べる．本研究はガラスを主軸としているが，ガラスの流通研究の中でも空白部分であった北アジアのガラス流通状況の解明の足掛かりとして貨幣の分析にも着手した．

第５章

第５章では日本の古代ガラス流通に関する考察を述べる．日本でガラスは弥生時代前期末（紀元前 3 世紀頃）の北部九州で出現しはじめ，その後瀬戸内，近畿，関東へと伝播していくことが知られている．まず，国内分析データを壱岐・対馬，九州，瀬戸内，近畿，関東，東北，北海道に地域区分し，各地域出土ガラスの組成タイプを明らかにしたところ，九州～近畿の西日本ではカリガラスからソーダ石灰ガラス，アルミナソーダ石灰ガラスへの移り変わりが共通していることが明らかになった．一方で壱岐・対馬，関東，東北，北海道では異なり，ガラスの組成分類結果とその時代的変遷にそれぞれ地域差があることがわかった．このことから西日本ではある程度統一的なガラスの流通システムがあり，それと比較して関東以北の東日本へは西日本で見られたような流通システムがなかったと考え

られる．

続いて古代の海上交易に関係する地域として壱岐・対馬の出土ガラスの分析結果をもとに，日本-大陸間のガラス流通を考察した．当地域で出土したガラスの分析結果と朝鮮半島（韓国）出土ガラスの組成変遷を比較したところ，当地域と韓国国内のガラスの組成変遷には対応が見られ，壱岐・対馬はガラス交易において少なからず朝鮮半島の影響を受けているか，あるいは朝鮮半島と同じ流通元からガラスが搬入された可能性が示された．また，朝鮮半島楽浪（現在の北朝鮮平壌付近）出土ガラスの中には，併行期の壱岐・対馬を含めた日本では，まだ出現していないアルミナソーダ石灰ガラスが多量に発見されている．この点では朝鮮半島が日本よりやや先行して同様なタイプのガラスが流通していた可能性も考えられる．

第６章

第６章では，日本およびシルクロードの古代ガラスの流通について考察する．まず，6.1では微量重元素（Rb_2O，SrO，ZrO_2）を用いて，日本，東南アジア，南アジア，中央アジア，北アジア，朝鮮半島の出土ガラス全体を比較したところ，日本出土ガラスは各ガラスタイプがそれぞれグループを形成し，明確に差別化された．アジア各地出土ガラスもそれと同様なグループに分けることができた．一方で，南アジアや朝鮮半島の出土ガラスには日本出土ガラスのグループとは異なる組成グループが形成された．このような組成のガラスは日本に伝わっていない組成タイプであると考えられる．このことから，日本へのガラス流通の中に含められなかったガラスが存在していたことが明らかになった．

続いて6.2ではシルクロードの関連地域のうち，陸路（オアシス路やステップ路）に関わる中央アジアと海路（南海路）に関わる南/東南アジアで，分類結果をもとに両地域の組成タイプ別の出土傾向について考察した．中央アジアではソーダ石灰ガラスが，南/東南アジアではアルミナソーダ石灰ガラスが多くを占め，両地域ともそれぞれのガラスタイプの製造地であることが結果に反映されていた．ここではさらにカリガラスに注目したところ，中央アジアで出土していたカリガラスはすべて南アジアが主要な製造地と考えられているタイプ（K-1タイプ）であることがわかった．これは南アジアから中央アジアへの交易ルートがあったことから，南アジアから伝来したものと考えられ，この交易ルートを利用してガラスの交易が行われたと考えられる．

次に6.3で各地域のガラスタイプの時代変遷に着目したところ，南/東南アジアにおいてはアルミナソーダ石灰ガラスとカリガラスがほぼ並行して流通していることがわかり，長きにわたって２種類のガラスが流通していたと考えられる．中央アジアでは一時的にソーダ石灰ガラスが衰退しており，これは西アジアでイスラーム文化が発展し，イスラームガラスが誕生した，ガラスの文化的変化を反映している可能性が挙げられる．北アジアでは中国起源のガラスタイプが流通していることから，貨幣の分析結果も合わせて，ガラスを含めた中国から北方へのモノの流れがあったと考えられる．

続いて6.4ではガラスの着色成分に着目したところ，今まで論じてきたガラス素材の組成比較と同様に，着色剤でも様々な組成的特徴が明らかになった．その一つとしてコバルト

着色の紺色カリガラスは，関連する元素で比較したところ地域差もなく一つに集約された．このことから，同様な化学組成を持ち，特定の原材料あるいは製造過程を経たガラスが，日本およびアジア各地に流通していたと考えられる．

6.5 では階層クラスター分析を利用してグルーピングした結果から日本出土ガラスおよび海外出土ガラスを比較し考察する．ここではカリガラスを細分化した２タイプ（K-1 タイプおよび K-2 タイプ），ソーダ石灰ガラスを融剤に基づいて細分化した２タイプ（植物灰ガラスおよびナトロンガラス），アルミナソーダ石灰ガラスの 5 タイプそれぞれで検討を行った．その結果，K-1 タイプのカリガラスと植物灰ガラスには，日本国内出土資料および海外出土資料に顕著な相違は確認されなかった．このことから，この２タイプは一定して，同様な化学組成のガラスが本研究の対象地域で流通していた可能性が示唆される．一方で残りの K-2 タイプのカリガラスとナトロンガラス，アルミナソーダ石灰ガラスには，グルーピングの結果に地域差があり，日本にあまり搬入されなかったタイプの存在などから，アジア各地から日本へのガラス流通には複数のルートがあると考えられる．

6.6 では第４章で報告する分析結果によって中国内モンゴル自治区，キルギス・タジキスタン，カザフスタンは，西アジアとは異なる中央アジア特有のガラスであることが分かった．そこで本章では，上記４地域の出土ガラス器の分析データと西アジアのガラス器の文献値を比較し，ガラス器の流通状況について考察する．階層クラスター分析を用いて比較したところ，4.3 の組成比較の結果と同様に，上記４地域の出土ガラス器は西アジアのガラス器とはグループが分かれ，組成的に異なっていることが示された．さらに中国内モンゴル自治区やタジキスタン出土ガラスはそれぞれ特定のグループに集約されたことから，同様な製造地や製造過程を経たガラス器が流通していた可能性が考えられる．

第７章

第７章では本論文の内容について，ガラスタイプや時代，地域に基づいて総括する．本研究では非破壊オンサイト分析によって，日本およびシルクロードの古代ガラス流通を化学的な視点により明らかにした．

論文審査の結果の要旨

本論文は日本国内およびアジア各地 10 ヵ国で出土した古代ガラスについての化学組成分析データをもとに，日本およびシルクロードにおける古代のガラス交易を明らかにすることを目的とした．本研究の特色は，世界最高水準の可搬型蛍光 X 線分析装置を用いることで，非破壊オンサイト分析が可能となり，約 4000 点の膨大な数の分析データをもとに，これまで議論されることの少なかった，海外出土ガラスとの化学組成の比較や統計的手法を用いた古代ガラスの流通についての議論を可能としたことである．その結果、すべて同一水準の分析データに基づいて，シルクロードのガラス流通に関する多く

の新知見を得ることができた．

第１章では化学分析の重要性、シルクロードの交易、ガラスの化学組成など研究の背景を述べる．さらに本研究で対象とした地域のガラスが紹介され、最後に本論文の目的と構成を示す．

第２章では本研究で用いた分析法について述べる．本研究では，可搬型蛍光 X 線分析装置をはじめ，非破壊オンサイト分析が可能な装置を使用し，装置の原理と測定条件について記す．

第３章では日本出土ガラスを対象に行った現地分析調査の結果についてまとめた．はじめに化学組成分析から組成タイプを分類し，各地域の出土ガラスの分析結果をそれぞれまとめている．

第４章では，大陸の交易品を対象に行った現地分析の結果をまとめた．本章では，中国内モンゴル自治区出土ガラス，キルギス・タジキスタンの出土ガラス，カザフスタン出土ガラスの分析結果を述べた．

第５章では日本の古代ガラス流通に関して考察を加えた．日本でガラスは弥生時代前期末の北部九州で出現しはじめ，その後瀬戸内，近畿，関東へと伝播していくことが知られている．まず，国内分析データを地域区分し，組成タイプを比較したところ，九州～近畿の西日本では組成的変遷が共通し，一方で壱岐・対馬，東日本では異なり，ガラスの組成分類結果とその時代的変遷にそれぞれ地域差があることがわかった．このことから西日本ではある程度統一的なガラスの流通システムがあったと考えられる．

続いて壱岐・対馬のガラスの分析結果をもとに，日本-大陸間のガラス流通を考察した．当地域と韓国国内のガラスの組成変遷には対応が見られ，壱岐・対馬はガラス交易において少なからず朝鮮半島の影響を受けているか，あるいは朝鮮半島と同じ流通元からガラスが搬入された可能性が示された．また，朝鮮半島楽浪出土ガラスの中には，併行期の壱岐・対馬を含めた日本では，まだ出現していないアルミナソーダ石灰ガラスが多量に発見された．この点では朝鮮半島が日本よりやや先行して同様なタイプのガラスが流通していた可能性も考えられる．

第６章では，日本およびシルクロードの古代ガラスの流通について考察した．まず，6.1 では微量重元素組成を比較したところ，日本とアジア各地出土ガラスは同様なグループに分けることができた．一方で，南アジアや朝鮮半島の出土ガラスには日本へのガラス流通の中に含められない組成タイプの存在が明らかになった．

続いて 6.2 ではシルクロードの陸路に関わる中央アジアと海路に関わる南/東南アジアで，組成タイプ別の出土傾向について考察した．中央アジアではソーダ石灰ガラスが，南/東南アジアではアルミナソーダ石灰ガラスが多くを占めそれぞれのガラスタイプの製造地であることを支持した。中央アジアで出土したカリガラスはすべて南アジアが主要な製造地と考えられる K-1 タイプで，南アジアから中央アジアへ伝来したことが分かった．

次に 6.3 で各地域のガラスタイプの時代変遷に着目した．南/東南アジアにおいてはア

ルミナソーダ石灰ガラスとカリガラスがほぼ並行して長期間流通していることがわかった．北アジアでは中国起源のガラスタイプが流通していることから，貨幣の分析結果も合わせて，ガラスを含めた中国から北方へのモノの流れがわかった．続いて 6.4 ではコバルト着色の紺色カリガラスは，関連する元素で比較したところ地域差もなく一つに集約された．このことから，同様な化学組成を持ち，特定の原材料あるいは製造過程を経たガラスが，日本およびアジア各地に流通していたと考えられる．

6.5 では階層クラスター分析を利用してグルーピングした結果から日本出土ガラスおよび海外出土ガラスを比較し考察した．6.6 では，上記４地域の出土ガラス器の分析データと西アジアのガラス器の文献値を比較し，ガラス器の流通について考察した．

第７章では本論文の内容について，ガラスタイプや時代，地域に基づいて総括した．

本研究では非破壊オンサイト分析によって，日本およびシルクロードの古代ガラス流通を化学的な視点により明らかにした．高精度の膨大な実証データをもとに得られた知見は新規性が高く、極めて貴重であることから、論文審査の結果，本論文が博士（理学）の学位論文として十分に価値あるものと認められる．