

# 三重津海軍所跡からの出土磁器の元素組成による生産地推定

田端 正明

佐賀大学

【序】三重津海軍所跡は江戸時代幕末期の鍋島藩の蒸気船海軍基地であり、2015年7月世界文化遺産に登録された。遺跡からは蒸気船の修理と建造に必要な銅製品や鉄製品、それらを溶かした坩堝などのほか、「海」や「船」の文字および「灘雄越蝶文」絵柄のある碗や皿が多数出土した。これらの磁器や皿は三重津海軍所特有のものであり、他の地域に類似品の出土はない。そのため、これらは遺跡の特徴を知る上で重要な資料である。本研究では、同遺跡及び同時期の近郊の窯元から出土した磁器の胎土分析を行い、元素組成から海軍所跡出土磁器の生産地を推定した。

【実験】九州シンクロトロン光研究センターBL07(5keV~35keV)で、シリコンドリフト検出器(SII Nano Technology USA Inc. Vortex-EM)を用いて蛍光X線分析を実施した。Zr(15.75 keV)でエネルギーを合わせた。ビームサイズは1.0 mm(W) x 1.0 mm(H)である。X線と同軸のレーザービームで試料の破片箇所当たるX線照射位置を決めた。入射光強度が同じになるように相対強度に換算した。試料は、三重津海軍所跡の碗と皿の104点と比較のために幕末に肥前地域で製造された磁器135点の合計239点である。

【結果と考察】磁器の胎土は13 keV~16 keV域にRb, Sr, Y, Zr, Nbの特徴的な蛍光X線スペクトルを示したので、これらの成分に着目した。陶石は流紋岩が熱変成したものであるので、水に可溶性な元素は溶解し難溶性の化合物は陶石に残る。また、陶土製造で行われる水籤工程でも、水に可溶性な成分は溶解し難溶性の泥漿が残る。更に、圧縮過程でも可溶性化合物は水と一緒に絞り出される。従って、上記元素の化合物の溶解度を比較した。Zr, Nbは殆ど水に溶けない。一方、Rb化合物は水に溶ける。従って、Rb/NbとZr/Nbの蛍光X線強度比をプロットした。碗は生産地毎に三つのグループに分かれた(図1)。同様に、三重津海軍所から出土した磁器も三つのグループに分かれた(図2)。プロットの類似性から出土磁器の産地を推定した。殆ど志田・吉田地域で生産されたが、一部は有田(年木谷、広瀬向)と波佐見で生産されたことが明らかになった。

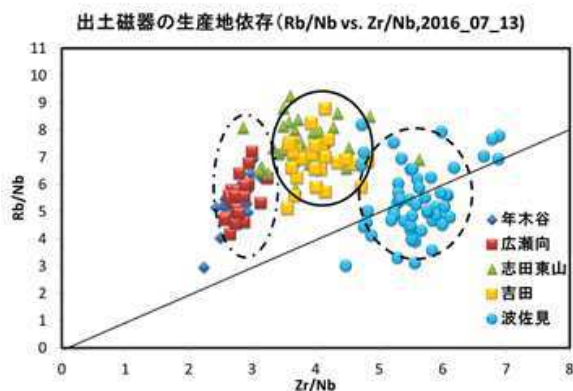


図1. 肥前窯元の出土磁器の胎土組成

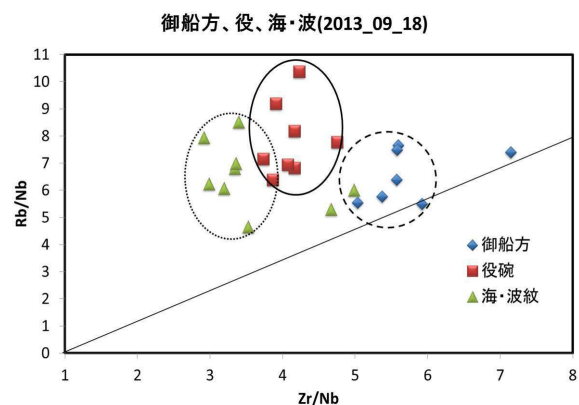


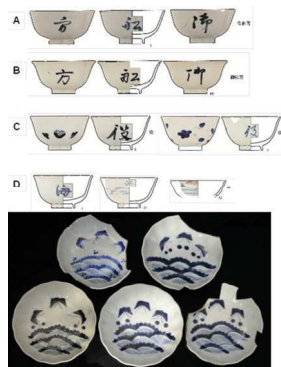
図2. 出土磁器(碗)の胎土組成

## 三重津海軍所跡からの出土磁器の 元素組成による生産地推定 田端 正明(佐賀大学)



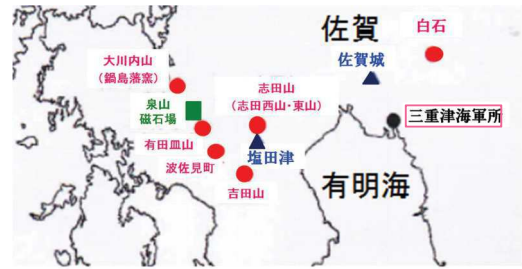
三重津海軍所(佐賀市、川副町、  
諸富町)  
「明治日本の産業革命遺産」  
(2015年7月)

「蕪越蝶文」絵柄の皿、「御船方」、  
「役」、「船」「海」の銘がある皿や碗等  
が多数出土。しかし三重津海軍所の  
特注品であるので生産地は不明。



1

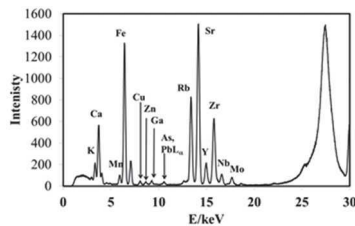
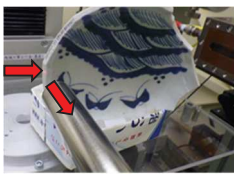
## 肥前地域磁器生産地と陶石採石場



鍋島藩内の窯元から出土した磁器(年木谷、広瀬向、志田東山・西山、  
吉田、波佐見)と三重津海軍所出土磁器を分析・比較し、胎土組成元  
素の化学的性質にもとづいて産地推定を行った。

2

## シンクロトロン蛍光X線分析



九州シンクロトロン光研究センター-BL07(5keV~30keV)で、蛍光分析を実施  
ビームサイズ:1.0mm(W)×1.0mm(H)

測定試料:出土した磁器

試料位置合わせ:X線と同一方向から来るレーザービームで試料へのX線の照射  
位置を決めた。

蛍光強度:測定時の入射電流強度( $I_0$ )を測定開始時と終了時に試料毎に測定し、  
相対蛍光X線強度に換算した( $I_0 = 1$ )。

3

## 磁器の製造工程

- 陶石の採掘
- 粉碎
- 水簸(水を加え泥漿を分離)
- 製土(フィルターで圧縮濾過)
- 土こね
- 成形
- 素焼き(900°C)
- 下絵付け
- 施釉薬
- 本焼き(1300°C)



(有)淵野陶磁原料(佐賀県嬉野市)

4

## 磁器の胎土成分を決める要因

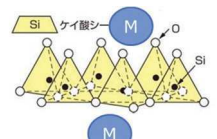
1. 陶石成分由来
  - 陶石は流紋岩の熱水変成により生成される。  
熱水変成により可溶性成分が溶け出すため陶石の組成は産地により異なる。
2. 水簸由来
  - 粉碎した陶石に水を加え溶けにくい粒子を除く。  
多段階の水簸で中間層の泥漿を集める→圧縮→陶土
  - 粒状化合物(シリカ)や水に可溶性な元素は減少または除去される。

5

## 胎土成分元素の化学的性質による分別

### Rb/Nb vs. Zr/Nb プロット

- 磁器製作過程で陶石成分は水に可溶性な元素と難溶性の元素に分離される。
- 電荷が大きく、イオン半径が小さいイオンほど溶けにくい。
- 水に可溶性元素: Rb,
- 難溶性元素: Zr, Nb
- 陶磁器の胎土成分となる。



静電相互作用  
ポルンの式

$$E_{ij} = \frac{Z_i Z_j e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}^2}$$

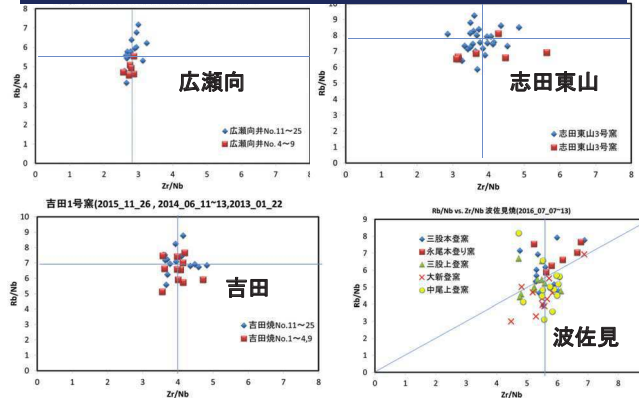
6

## 出土磁器中の胎土成分の化学的性質

元素	電荷	イオン半径 (配位数)		酸化物	溶解度
Rb	1+	1.52(6)	1.61(8)	Rb <sub>2</sub> O	易溶
Sr	2+	1.32(6)	1.4(8)	SrO	易溶
Y	3+	1.04(6)	1.16(8)	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	難溶、希酸に溶解
Zr	4+	0.86(6)	0.98(8)	ZrO <sub>2</sub>	難溶、酸に溶解

7

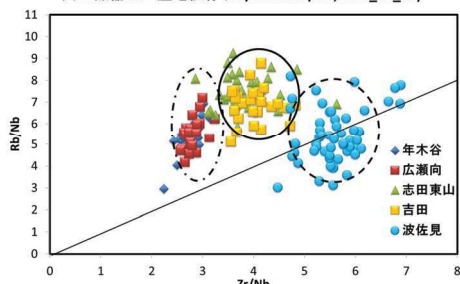
## 出土磁器中のRb/Nb vs. Zr/Nb プロット



8

## 出土磁器の産地依存性

出土磁器の産地依存 (Rb/Nb vs. Zr/Nb, 2016\_07\_13)

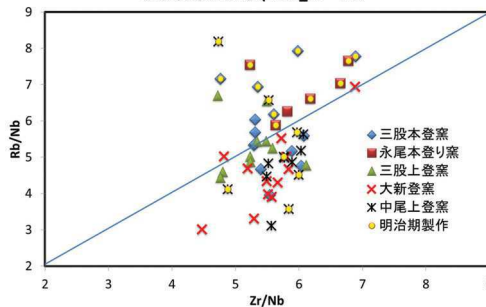


- 三つのグループに分かれた。右側の産地程Zrが多い。
- 横軸の広がりには陶石の組成が一定でないことを示す。
- 縦軸は水銀によるRbの減少を示す

9

## 波佐見窯元出土磁器の産地依存性

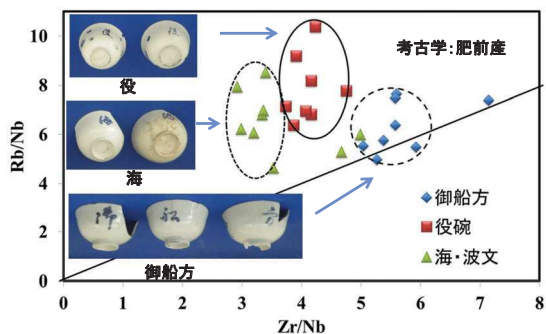
波佐見窯元比較(2016\_07~13)



波佐見産でも窯元によって磁器の胎土組成、特にRb/Nb、が違う。類似の陶石を使っているが、水銀などの製作工程が違う。

10

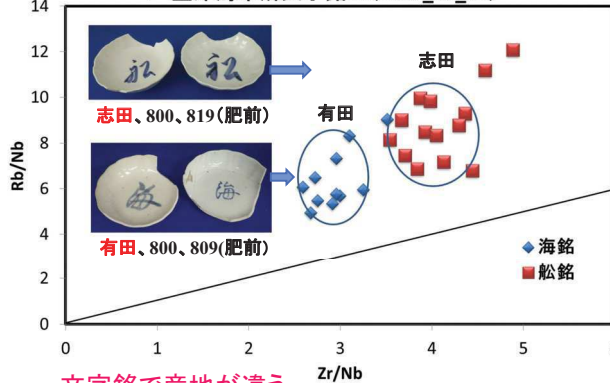
御船方、役、海・波、Rb/Nb vs. Zr/Nb(2013\_09\_19~2014\_01\_30)



- 碗の種類に応じてZrの含有量が違う。異なった窯元で生産されたと考えられる。
- 海・波文は年木谷・広瀬向で、役は志田東山・吉田で、御船方は波佐見で生産された磁器の胎土組成と類似している。

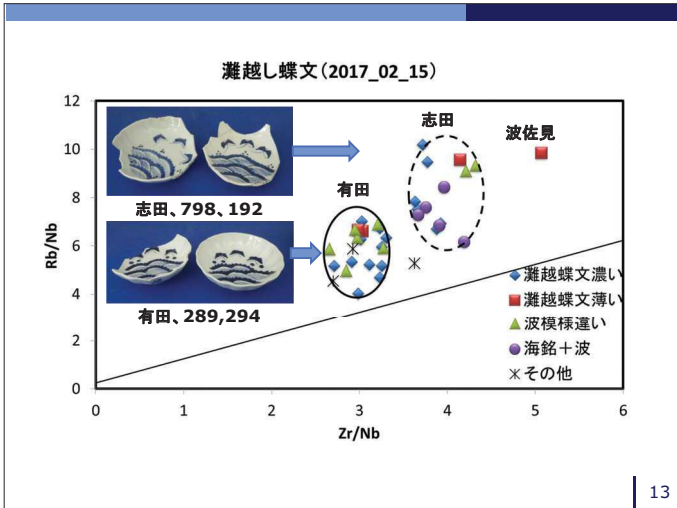
11

三重津海軍所文字銘皿 (2017\_11\_15)



文字銘で産地が違う

12



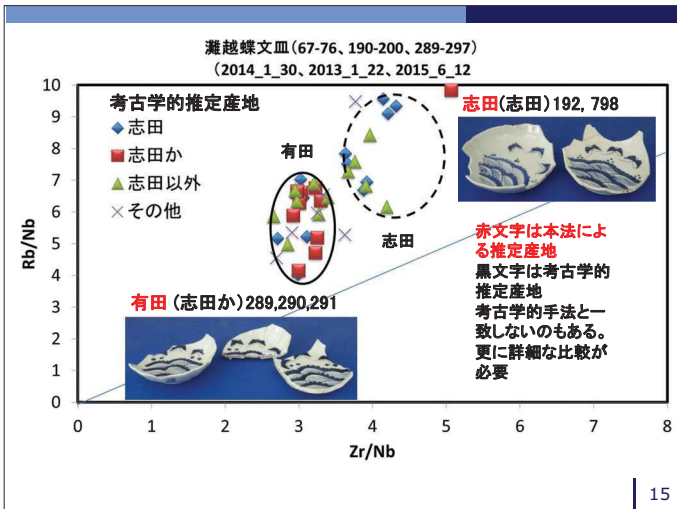
### 考古学的推定産地との比較

考古学的方法

- 「白化粧土」跡がある磁器は志田焼
- 碗や皿の形状の違い
- 高台の高さ、大きさ
- 磁器の白さ・黒さ
- 絵柄の違い
- 文字の書き方

磁器の違いは分かるが生産地は不明

14



### 有田と志田の比較

灘越し蝶文皿

有田

- 蝶の数: 3匹
- 波しぶき: 2個、2対、波の形: 3段
- 呉須の色が濃い

志田

- 蝶の数: 2匹、3匹、
- 波しぶき: 3個、3対、波の形: 3段
- 呉須の色が薄い

18

## まとめ

### 磁器生産地の推定

- 磁器の胎土分析から生産地を次のプロットから考察した。  
 $\log(\text{Rb}/\text{Sr})$  vs.  $\log(\text{Zr}/\text{Sr})$   
 $\text{Fe}/\text{Rb}$  vs.  $\text{Sr}/\text{Rb}$   
 $\text{Rb}/\text{Nb}$  vs.  $\text{Zr}/\text{Nb}$
- 陶石に由来する元素の水鏡による組成変化から生産地を推定できた。
- 肥前産の磁器が3つのグループに分かれることを明らかにした。
- 考古学的手法の結果と本研究の結果を比較した。
- 生産地の違いを細かく推定することができた。

19

## 課題

- 本研究結果と考古学的手法との比較を深める。
- 解析精度を上げて、近郊の窯元(志田東山、志田西山、吉田)、波佐見)での磁器の違いを区別する。  
→ 蛍光強度比を指標にしているが、個々の元素の蛍光スペクトルの面積比を比較するようにする。  
→ スペクトル解析ソフト(Light Stone)を用いて蛍光スペクトルの重なりを分割する。
- 本解析法を他の地域の出土磁器の産地推定法として展開する。

20

## 謝辞

- 試料提供  
佐賀市教育委員会、嬉野市教育委員会、波佐見町教育委員会、有田町教育委員会、有田町商工観光課、佐世保市教育委員会、肥前陶土工業協同組合、みやき町教育委員会、肥前陶土工業協同組合
- 指導助言  
大橋康二(佐賀県立九州陶磁文化館)、徳永貞紹(佐賀県立陶磁文化館)、峯崎幸清(元嬉野市教育委員会)  
岡毅、太田睦(みやき町教育委員会)、藤永正広(みやき町商工会)、青木克己(志田焼の里博物館)  
角縁進(佐賀大学)、渡辺芳郎(鹿児島大学)、隅谷和嗣、河本正秀(佐賀県立九州シンクロトン光研究センター)

21

御静聴ありがとうございました  
Thank you for listening.



見えた! 三重津海軍所  
佐賀藩海軍所  
特注磁器の謎



平成30年  
8/22(水)~  
9/17(月・祝)

佐賀大学美術館 2階

SIAM

協賛: 佐賀県、佐賀市、佐賀大学、佐賀市教育委員会

協力: 海軍歴史博物館