

須恵器3D-RGBA深層学習による導出 クラスターおよび考古学型式分類の乖 離およびマッチング

2022年8月18日 仏日考古研究会

藤田晴啓(新潟国際情報大)・山本亮・市川健太・南雲彩花

研究助成

- 科学研究費補助金 基盤研究(B)(一般)
「須恵器3D-RGBデータの深層学習クラスター解析による型式・年代分類基準の検証」(R4～R6)
- 科学研究費補助金 学術変革領域研究(A)
(土器を掘る/20A102) (公募研究R3～R4)
「3Dマルチ入力・マルチ出力土器分類DLモデルの開発研究」

研究の最終目標

- 課題：須恵器の「型式」や「年代」は専門家によって判断基準や種類分別が異なる
- 「ヒトの判断が介在しない」深層学習・クラスター解析により導出したクラスターと
- 「ヒトの判断基準による」分類グループとの
- 乖離を分析し専門家の分類基準の妥当性を検証

供試資料

- 東京国立博物館所蔵
 - 6世紀の完形・略完形須恵器坏108点
- 蓋：49点
- 身：59点

光学スキャナ

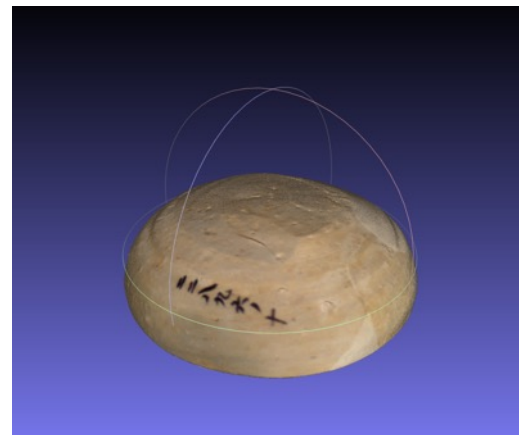
Go!SCAN SPARK コンポーネント



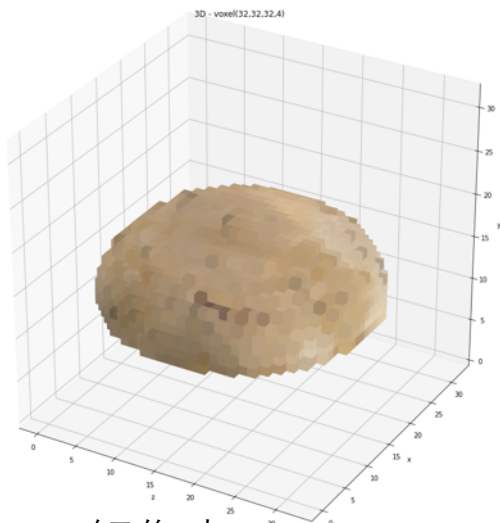
須恵器（蓋） スキャンデータVoxel化



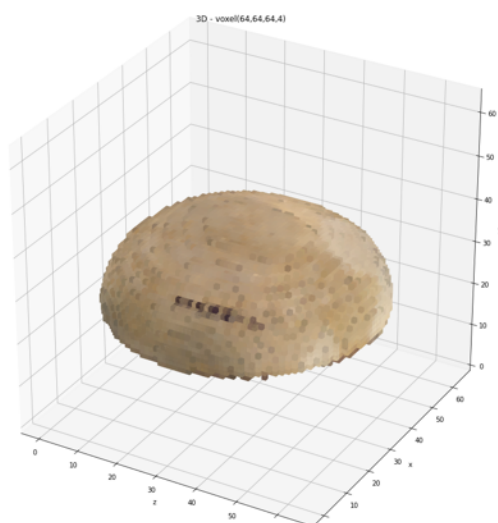
メッシュ
データ化



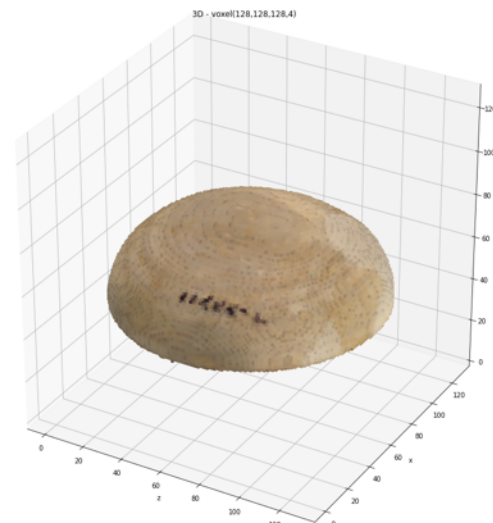
Voxel化 ↓



解像度 $32 \times 32 \times 32$

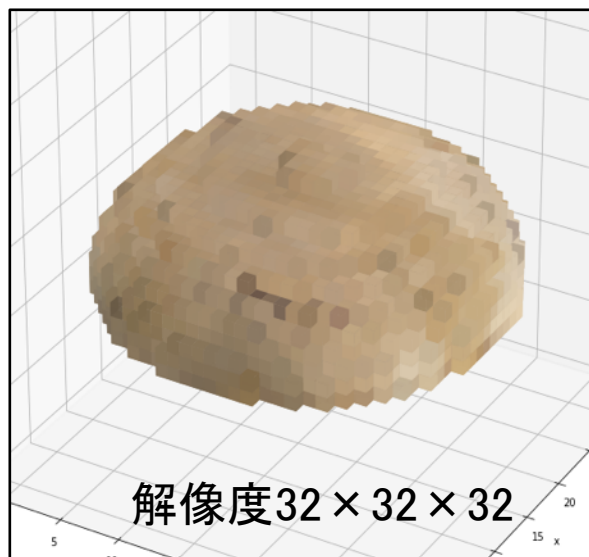


解像度 $64 \times 64 \times 64$

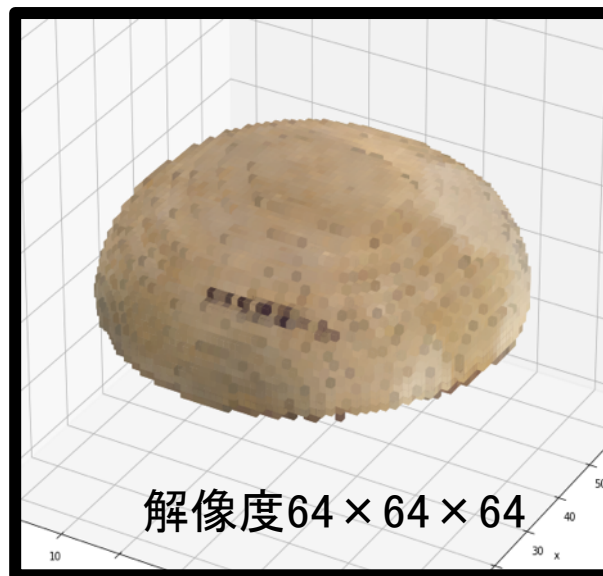


解像度 $128 \times 128 \times 128$

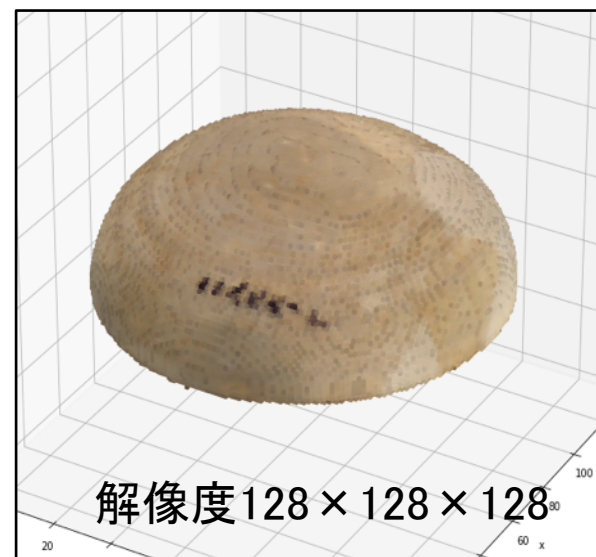
須恵器（蓋）Voxel解像度



- データサイズ小
- 輪郭が非常に粗い
- 注記が埋もれている



- データサイズ中
- 輪郭の粗さが軽減
- 注記の判読は不能

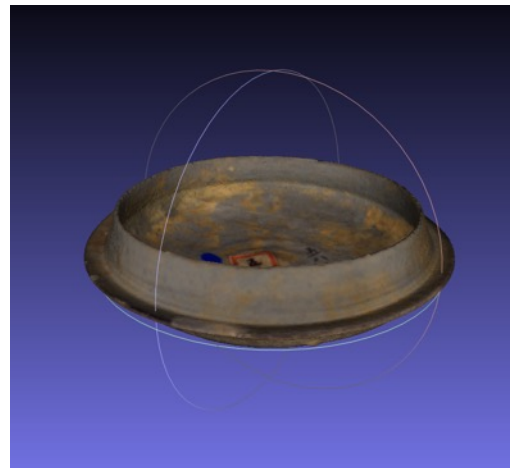


- データサイズ大
- 輪郭が鮮明
- 注記が判読可

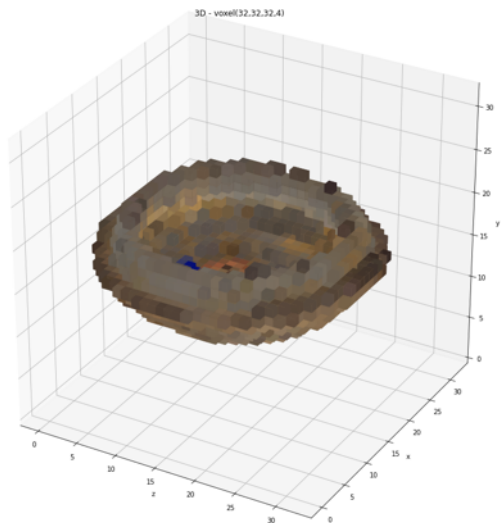
須恵器（身） スキャンデータVoxel化



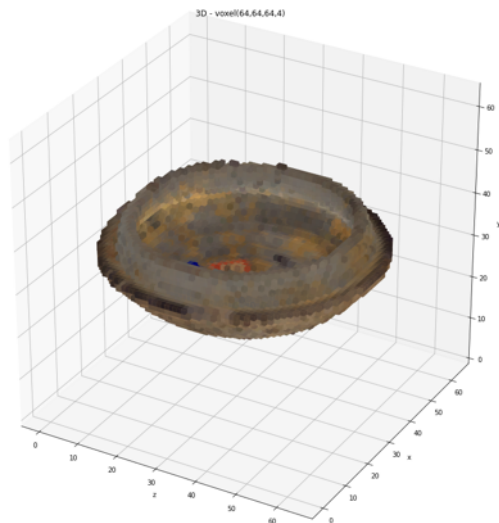
メッシュ
データ化



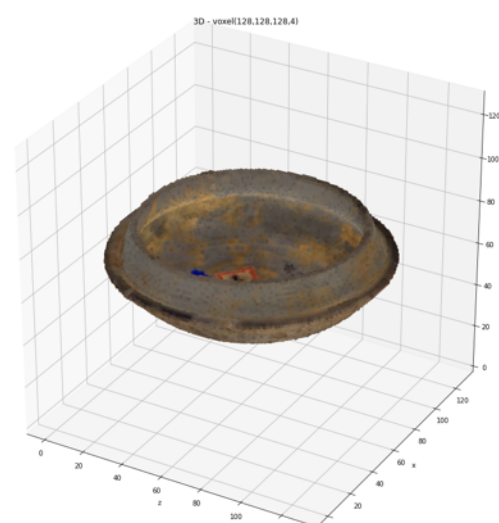
Voxel化 ↓



解像度 $32 \times 32 \times 32$

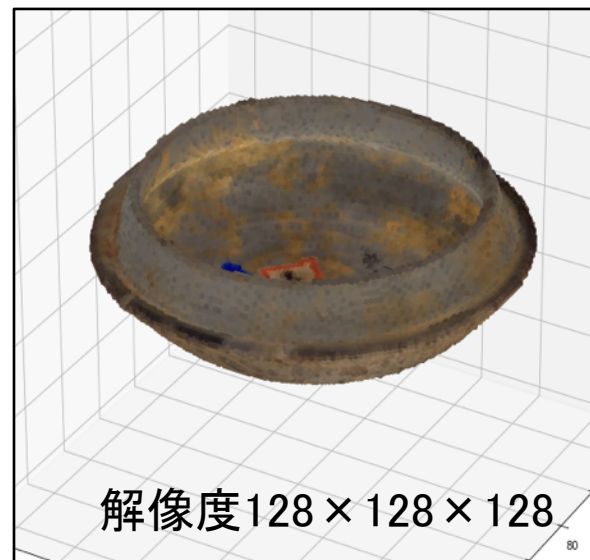
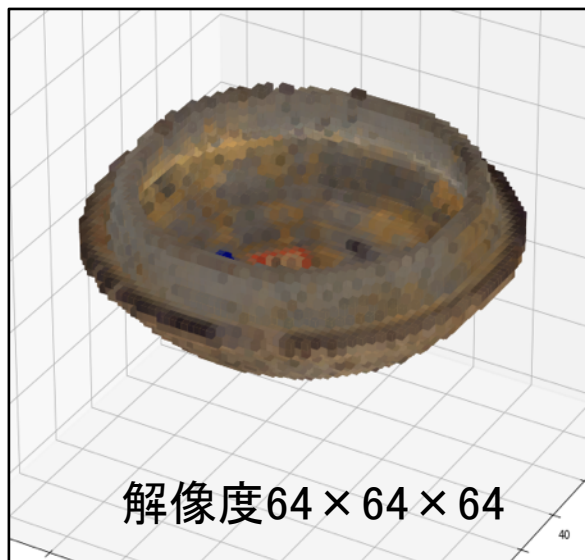
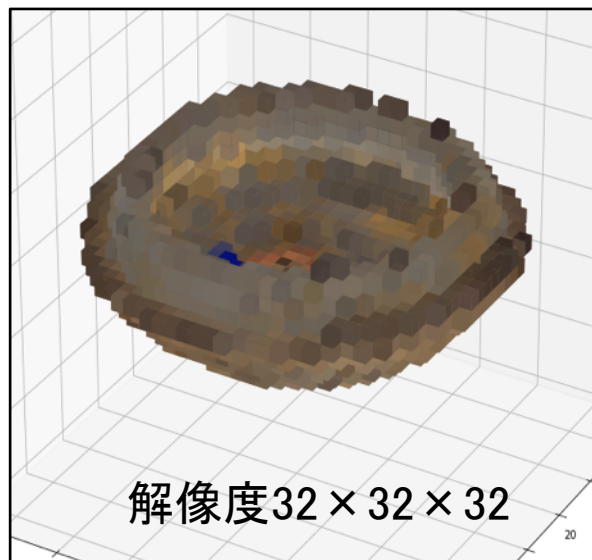


解像度 $64 \times 64 \times 64$



解像度 $128 \times 128 \times 128$

須恵器（身）のVoxel解像度



第3図 異なるボクセル解像度による出力

- データサイズ小
- 輪郭が非常に粗い

- データサイズ中
- 輪郭の粗さが軽減

- データサイズ大
- 輪郭が鮮明

擬似ラベル教師付分類+クラスターモデル

基本的な次元圧縮+クラスタリング手法

→(データ拡張の)回転や向きの影響大きくなる

今回適用したモデル:【Deeper Cluster】

1. 疑似的なラベルを付け, CNNから特徴量を得る
2. 次元圧縮+クラスタリングした結果からサンプリングし、CNNを訓練させる
3. もう一度クラスタリングをする

①3D 点群情報

②Voxel化

③3次元畳込み
ニューラルネットワーク

③疑似ラベルを使った教師あり学習

疑似ラベル

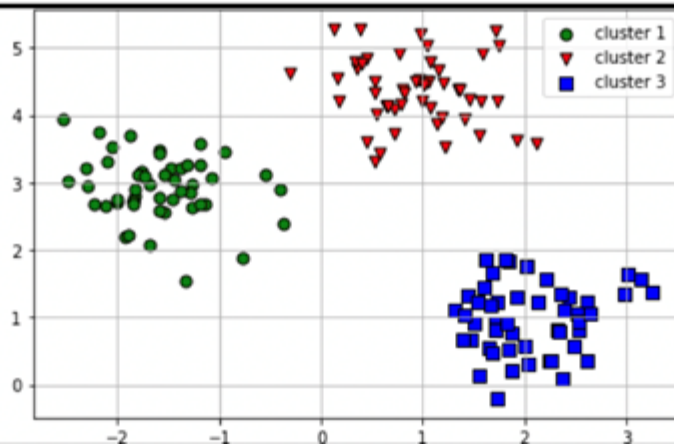
④特徴ベクトル

⑤主成分分析/k-平均法
クラスタリング

③～⑥
【疑似ラベルを使った教師あり学習+ク
ラスタ】 モデル
今回は③～⑥を50 Epoch 行った

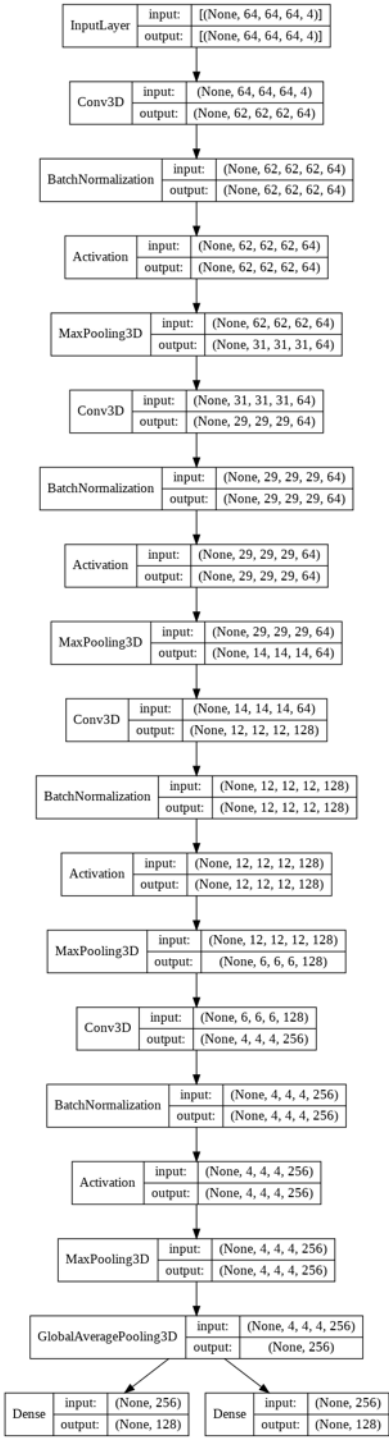
⑥クラスタ結果

⑦主成分分析・t分布確率的近傍埋込による可視化



③

4層の3D-CNN (3次元畳込みニューラルネットワーク) の構造



データセット

蓋49資料と身59資料に分け
1資料あたり元の3DデータをY軸(垂直方向)を回転の軸
として30度ずつ回転させデータを拡張

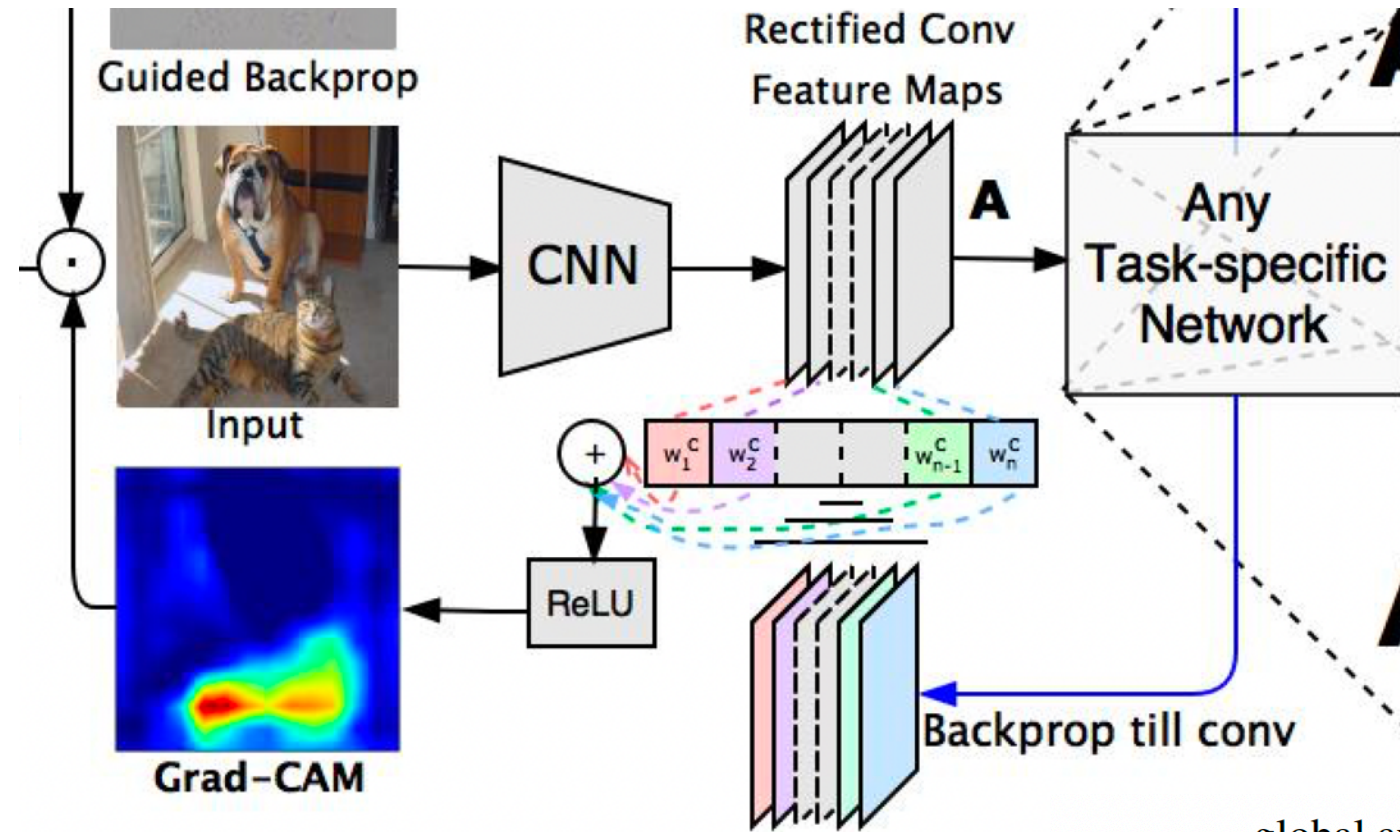
蓋

年代（6世紀） 型式		
前葉	Ⅱ－1	6
	Ⅱ－2	6
中葉	Ⅱ－3	14
後葉	Ⅱ－4	8
	Ⅱ－5	15
総計		49

身

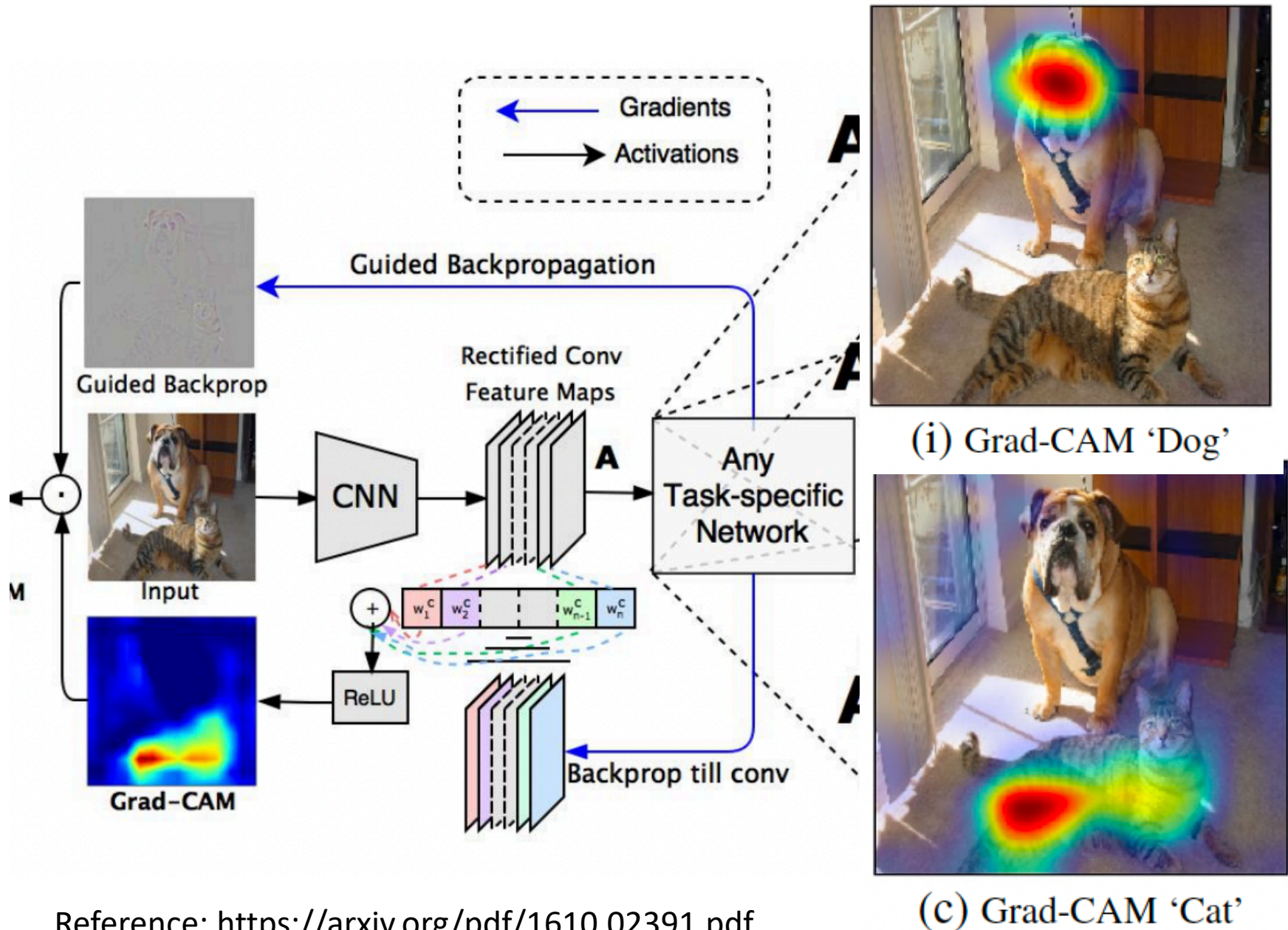
年代（6世紀） 型式		
前葉	Ⅱ－1	7
	Ⅱ－2	7
中葉	Ⅱ－3	16
後葉	Ⅱ－4	13
	Ⅱ－5	16
総計		59

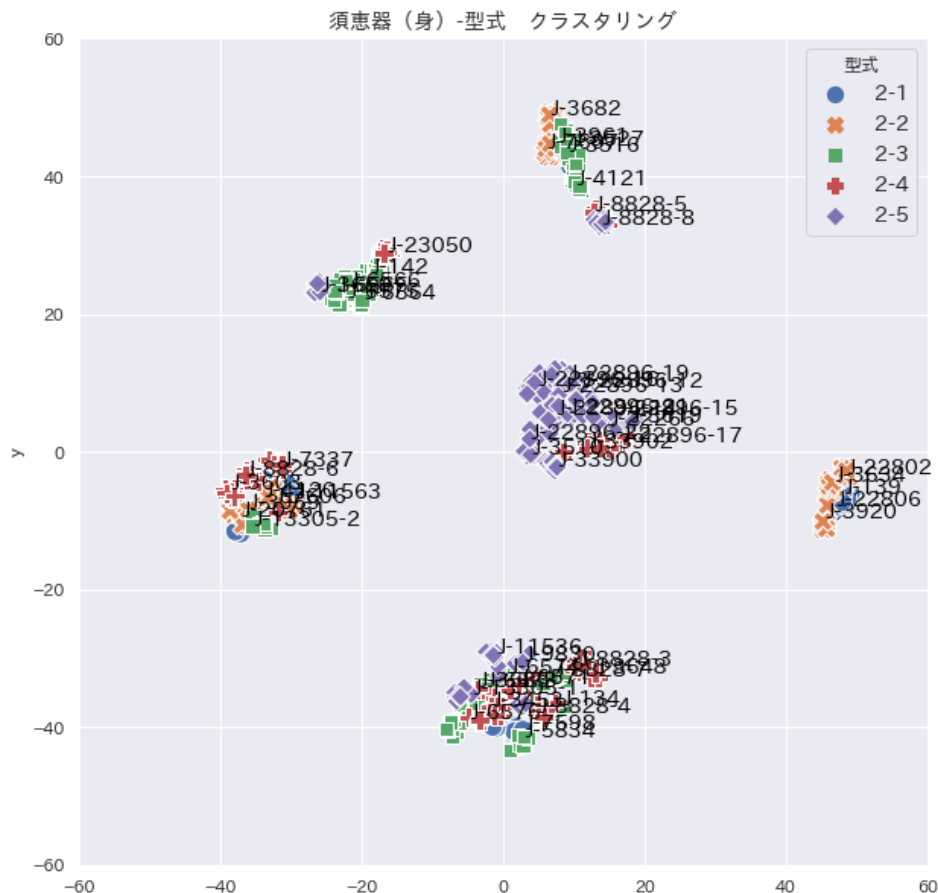
Grad-CAM (class activation mapping)



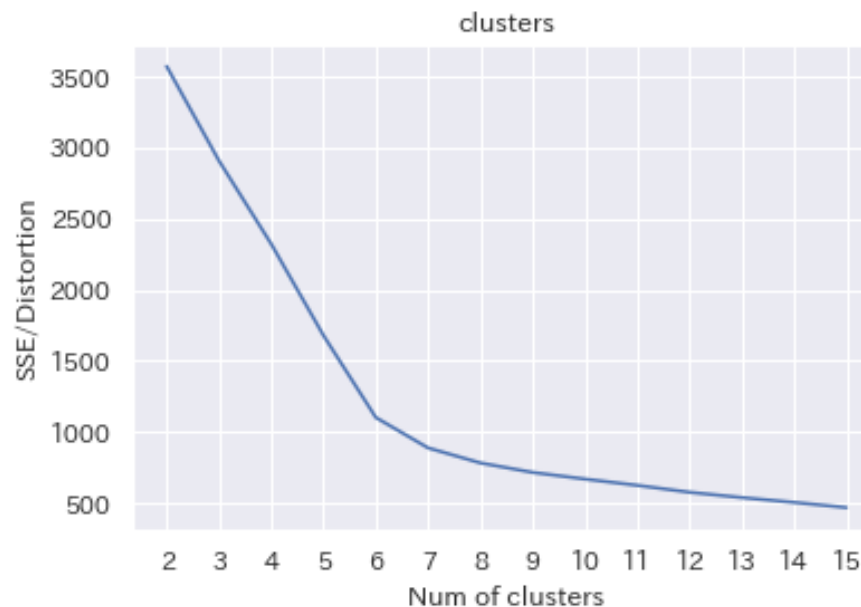
$$L_{\text{Grad-CAM}}^c = \underbrace{\text{ReLU} \left(\sum_k \alpha_k^c A^k \right)}_{\text{linear combination}} \quad \alpha_k^c = \underbrace{\frac{1}{Z} \sum_i \sum_j}_{\text{global average pooling}} \underbrace{\frac{\partial y^c}{\partial A_{ij}^k}}_{\text{gradients via backprop}}$$

Grad-CAM (class activation mapping)

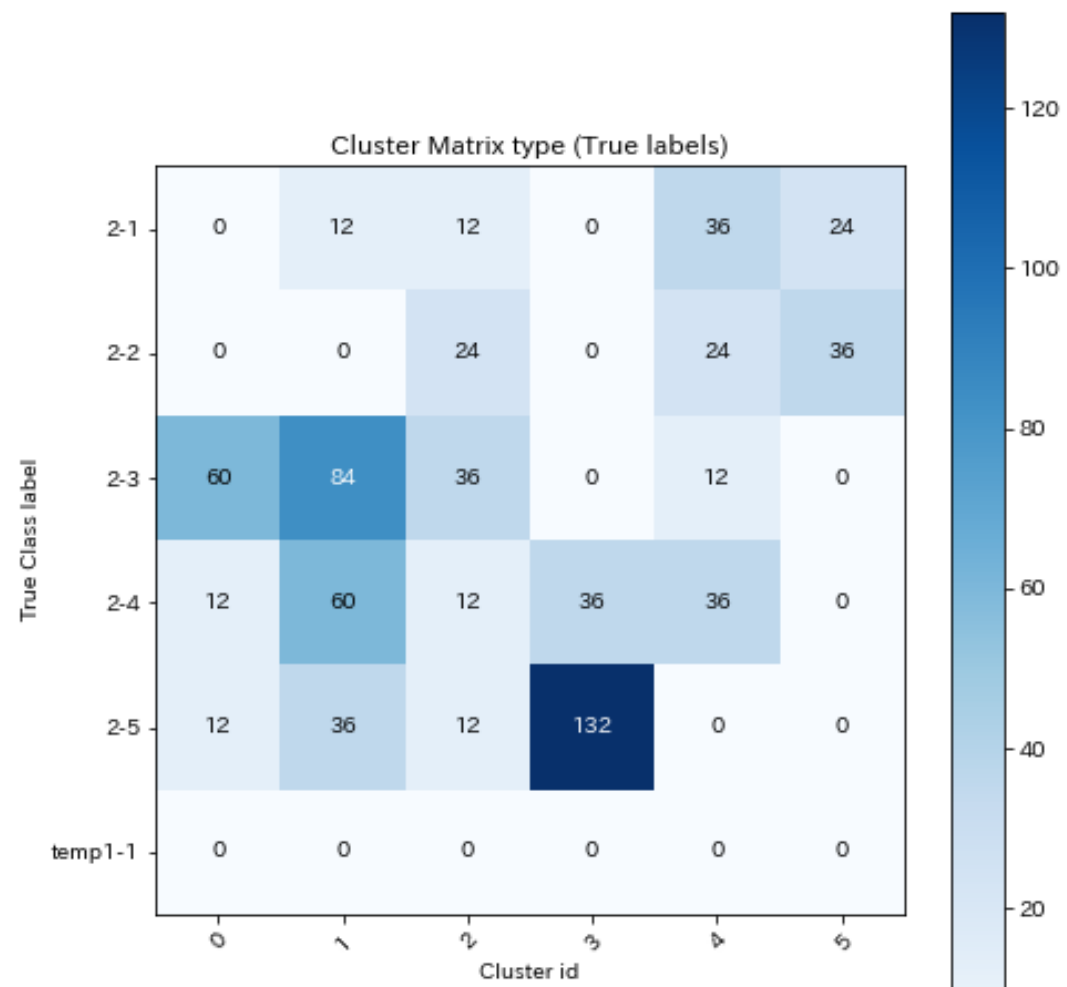




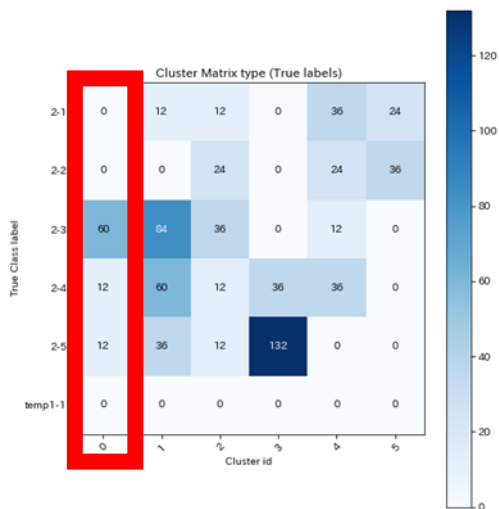
Non-color 3D data
Principal Component
Analysis →
Standardization →
Elbow method



Cluster matrix of true class & clusters

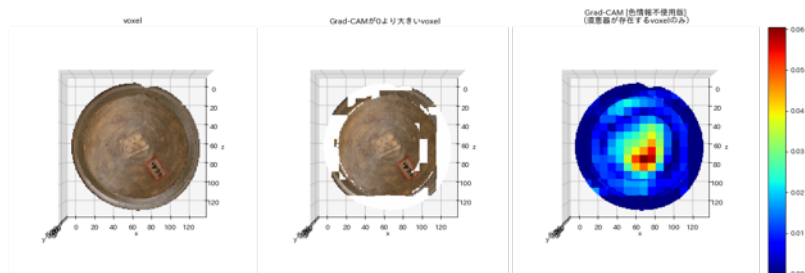


第5図 専門家ラベルとクラスター

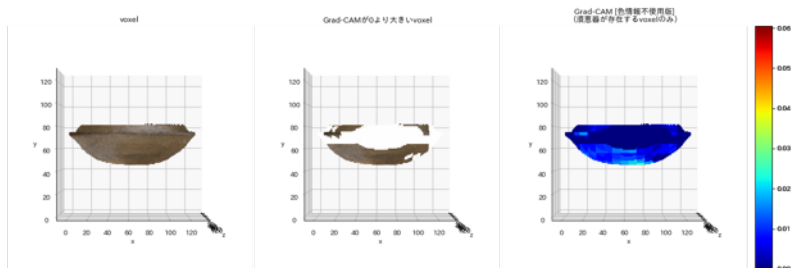


Cluster ID-0

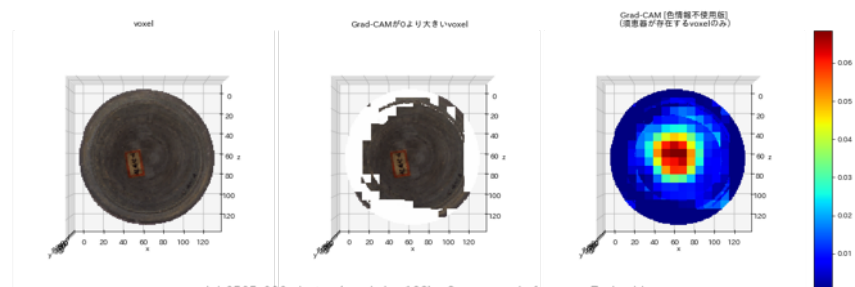
mi_J-3650_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
 正解-型式:2-5, 正解-年代:後葉,
 疑似-ID:0, クラスター-ID:0



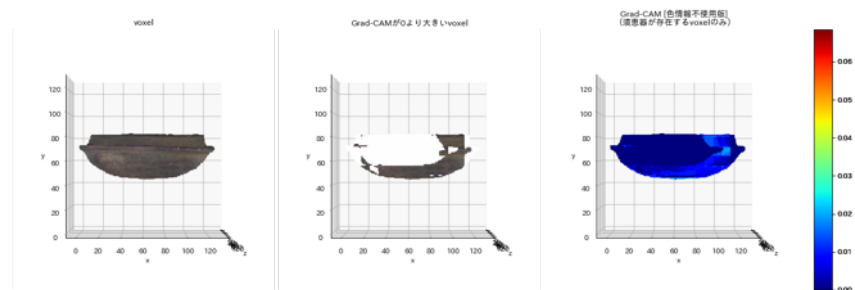
mi_J-3650_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxZaxis_side
 正解-型式:2-5, 正解-年代:後葉,
 疑似-ID:0, クラスター-ID:0



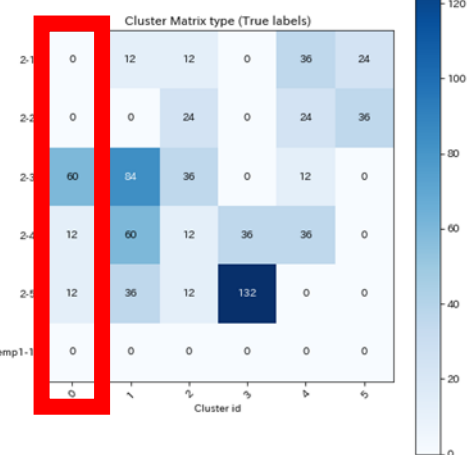
mi_J-6565_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
 正解-型式:2-3, 正解-年代:中葉,
 疑似-ID:0, クラスター-ID:0



mi_J-6565_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxZaxis_side
 正解-型式:2-3, 正解-年代:中葉,
 疑似-ID:0, クラスター-ID:0

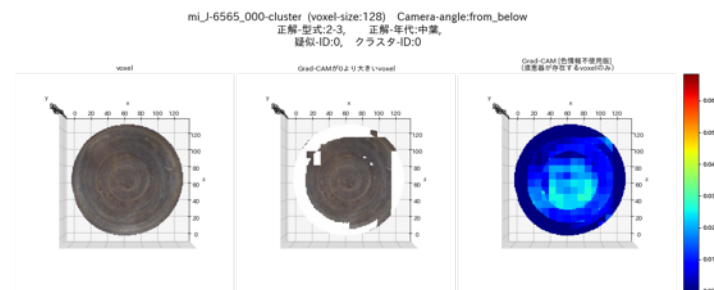
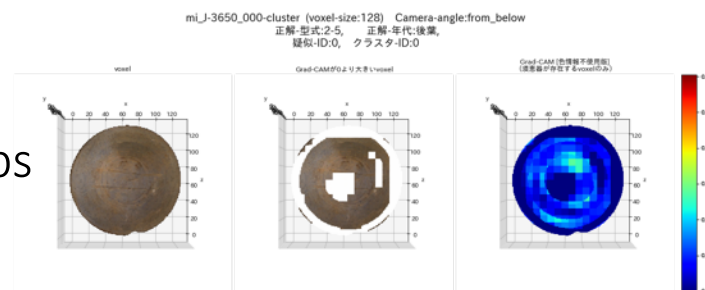
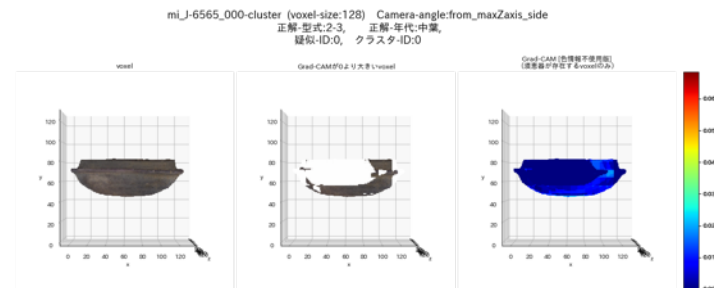
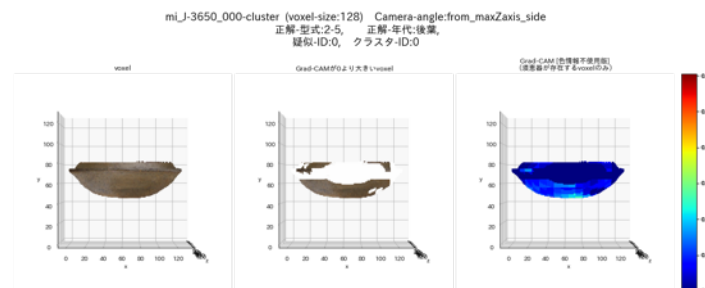
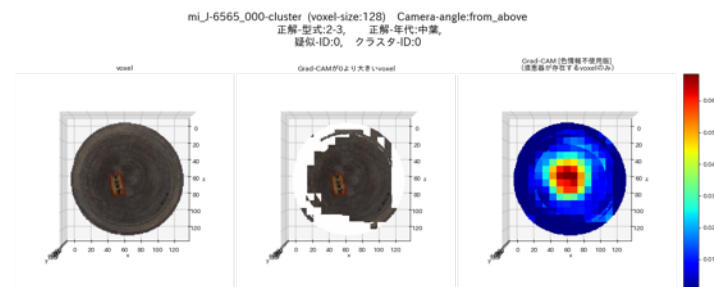
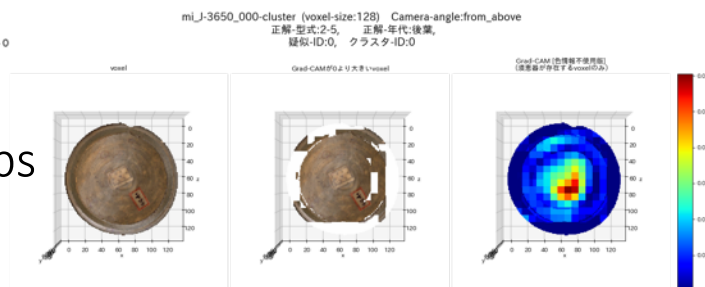


seems clustered referring bottom of cups

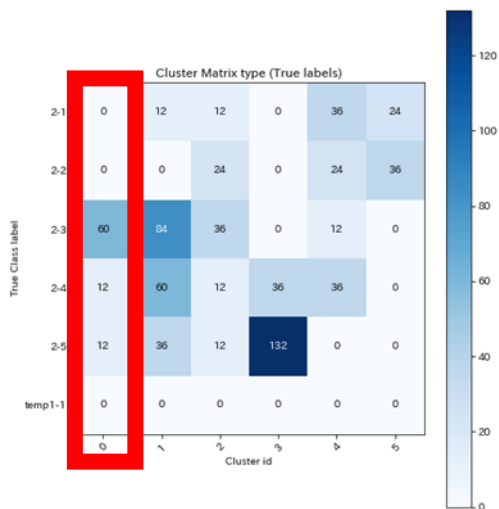


Cluster ID-0

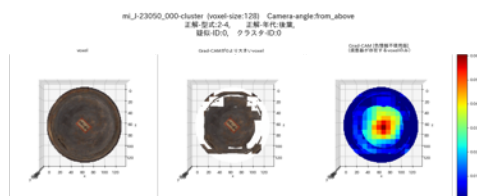
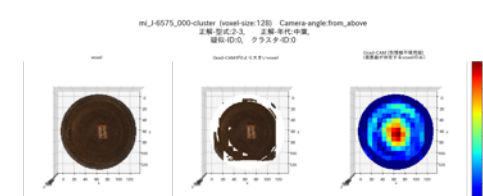
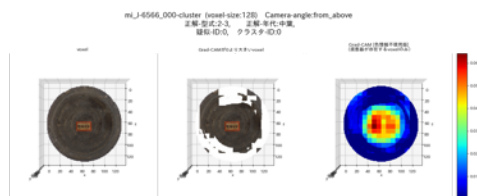
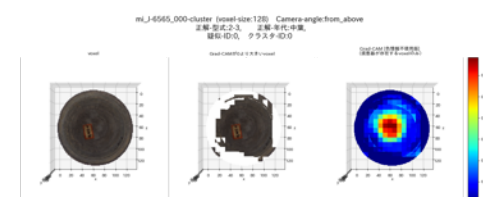
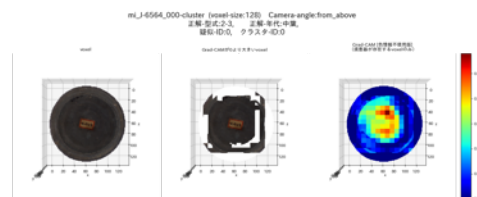
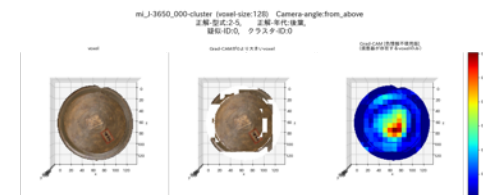
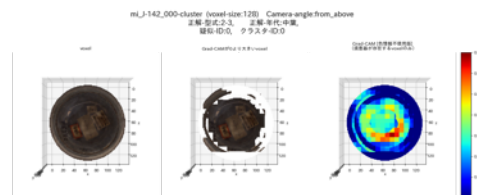
at the bottom of cups
(from above)



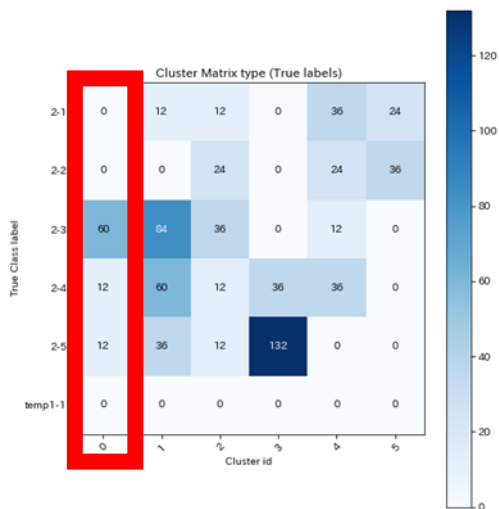
on the bottom of cups
(from below)



Cluster ID-0 (all, from above)



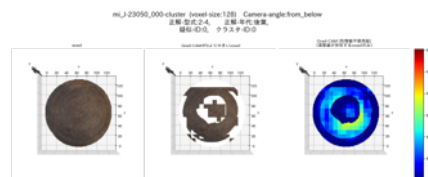
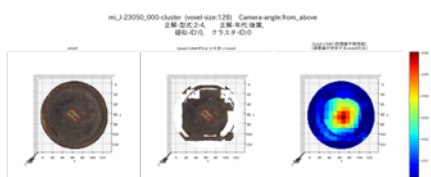
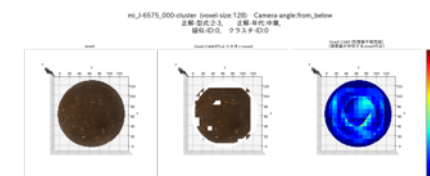
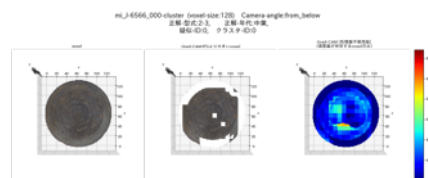
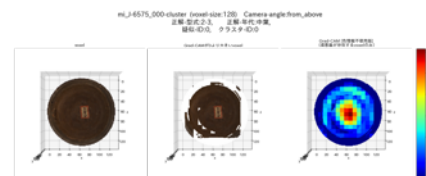
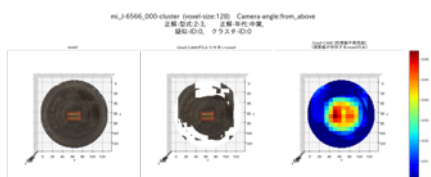
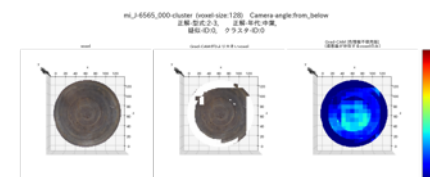
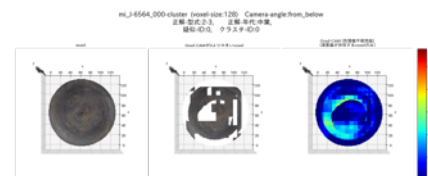
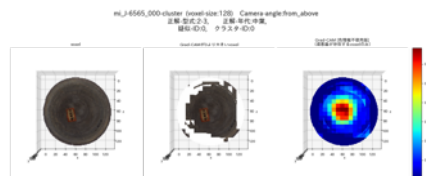
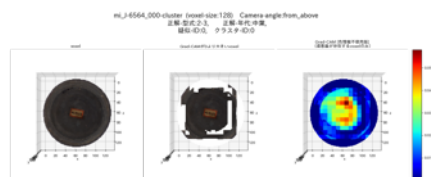
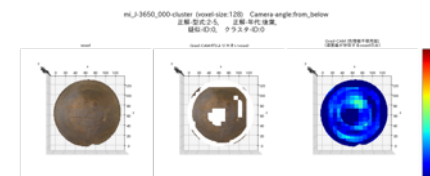
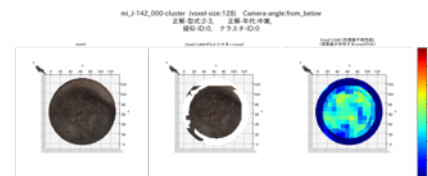
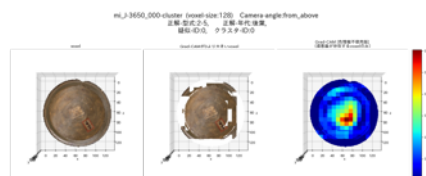
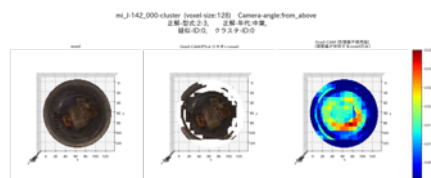
seems clustered referring bottom of cups



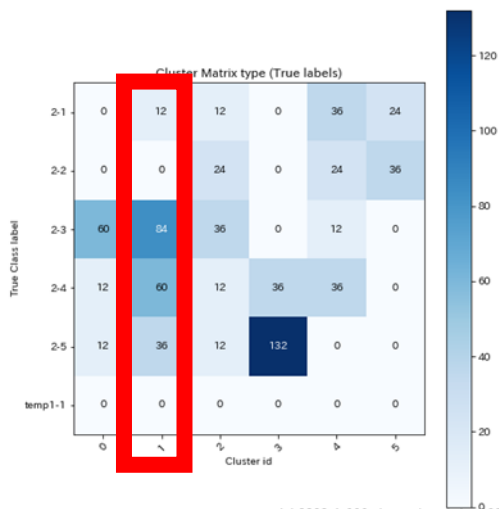
Cluster ID-0 (all)

from above

from below

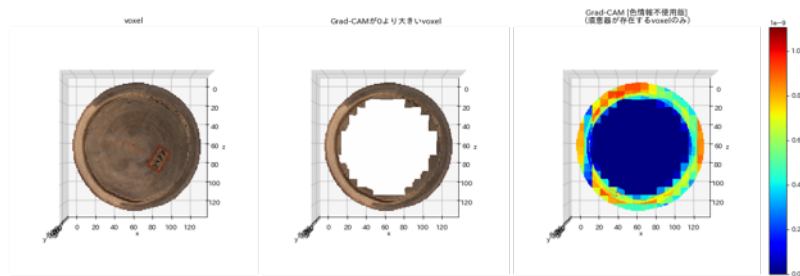


seems clustered referring bottom of cups

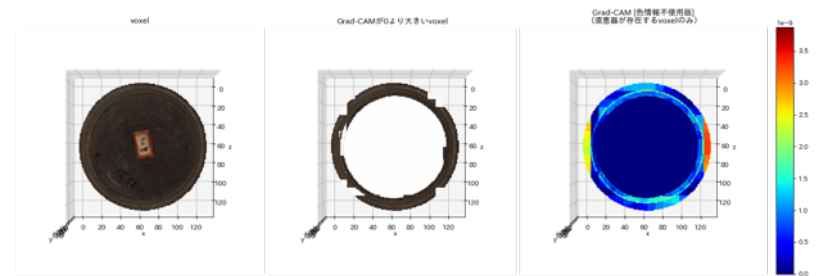


Cluster ID-1

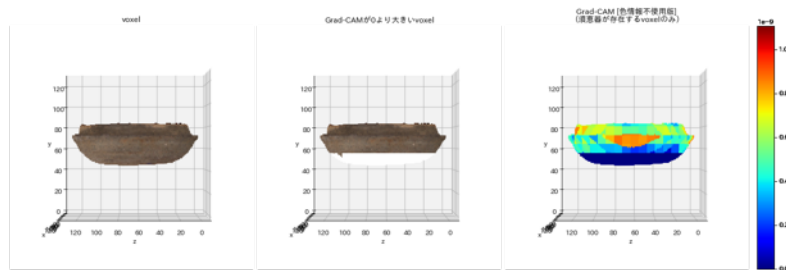
mi_J-8828-4_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
 正解-型式:2-4, 正解-年代:後葉,
 疑似-ID:1, クラスター-ID:1



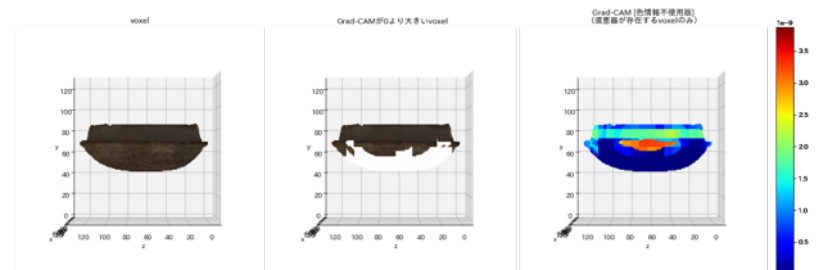
mi_J-134_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
 正解-型式:2-3, 正解-年代:中葉,
 疑似-ID:1, クラスター-ID:1



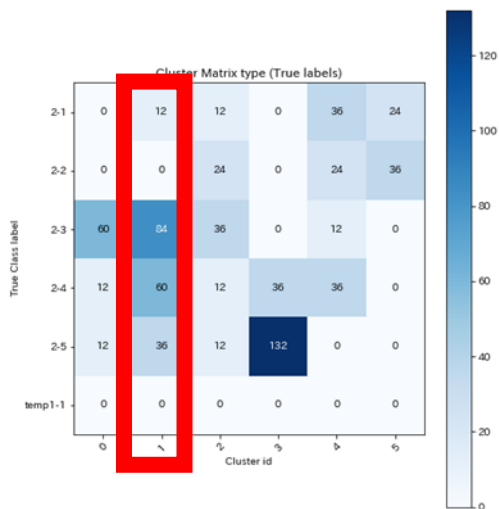
mi_J-8828-4_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
 正解-型式:2-4, 正解-年代:後葉,
 疑似-ID:1, クラスター-ID:1



mi_J-134_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
 正解-型式:2-3, 正解-年代:中葉,
 疑似-ID:1, クラスター-ID:1

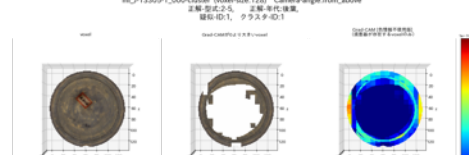
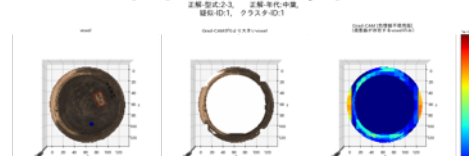
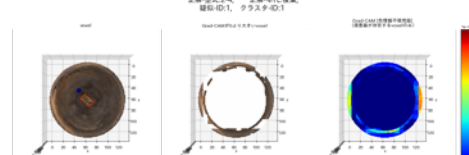
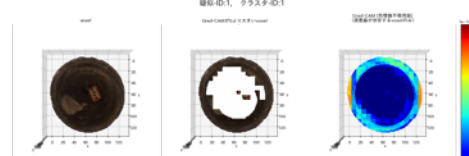
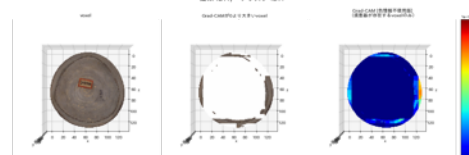
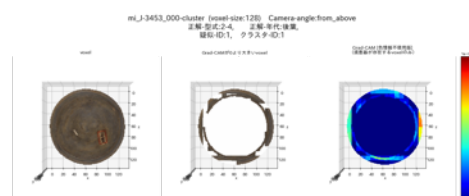
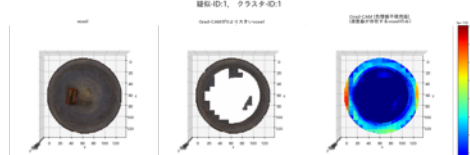
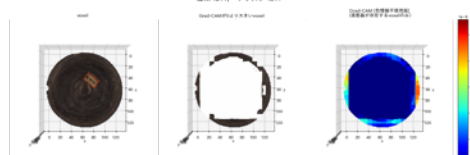
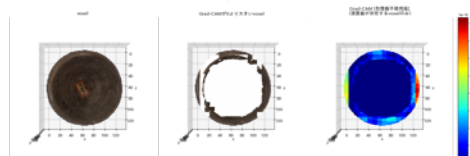
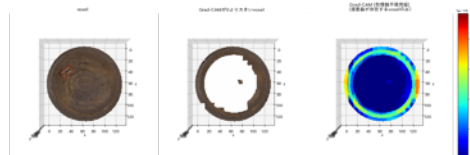
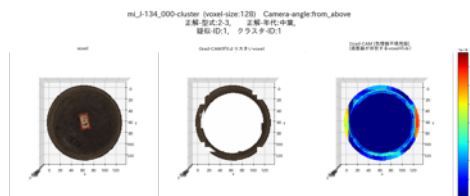
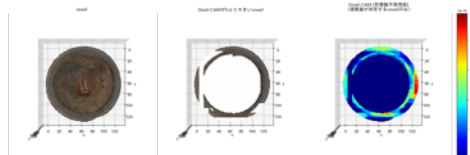
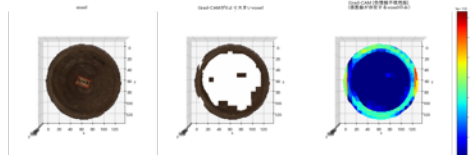
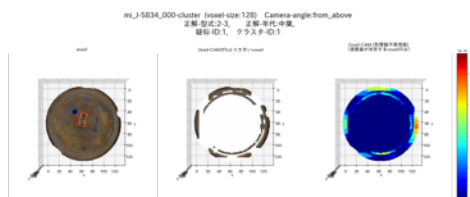


seems clustered referring cup edges partial high gradient values in red color



Cluster ID-1

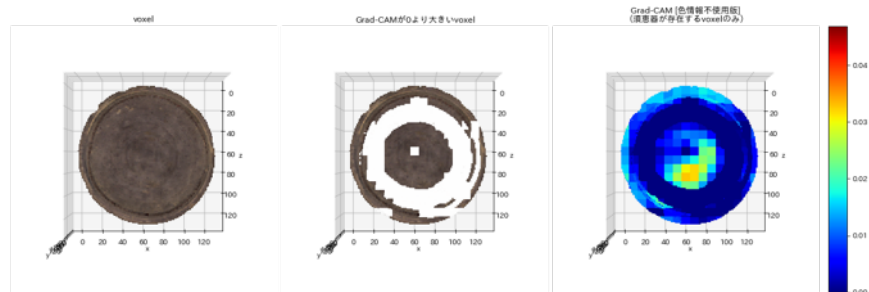
(all, from above)



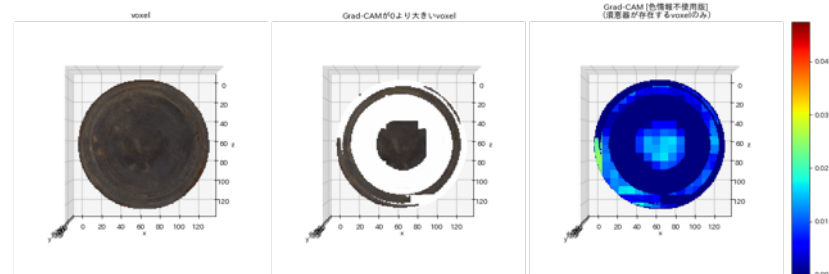
seems clustered referring cup edges partial high gradient values in red color

Cluster ID-3

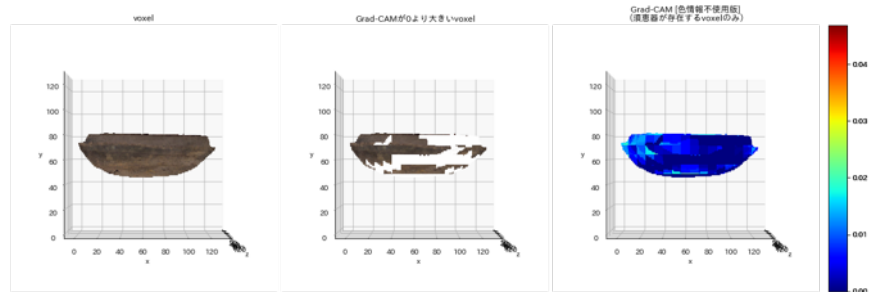
mi_J-22896-15_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
正解-型式:2-4, 正解-年代:後葉,
疑似-ID:3, クラスタ-ID:3



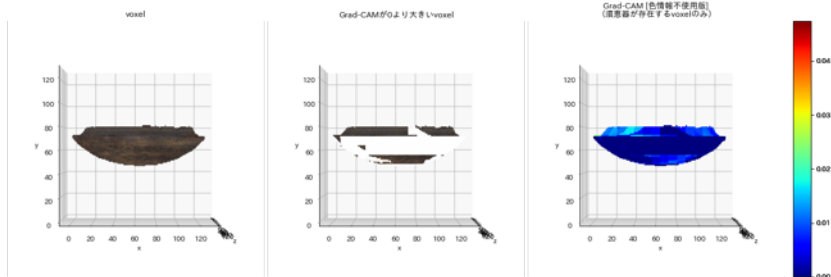
mi_J-33900_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
正解-型式:2-5, 正解-年代:後葉,
疑似-ID:3, クラスタ-ID:3



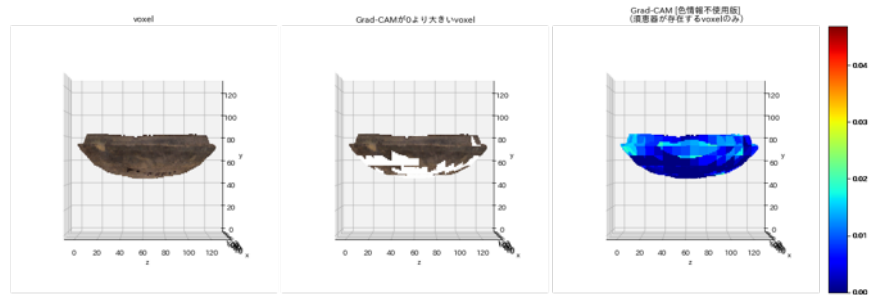
mi_J-22896-15_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
正解-型式:2-4, 正解-年代:後葉,
疑似-ID:3, クラスタ-ID:3



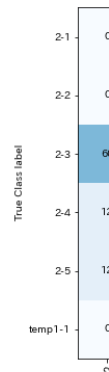
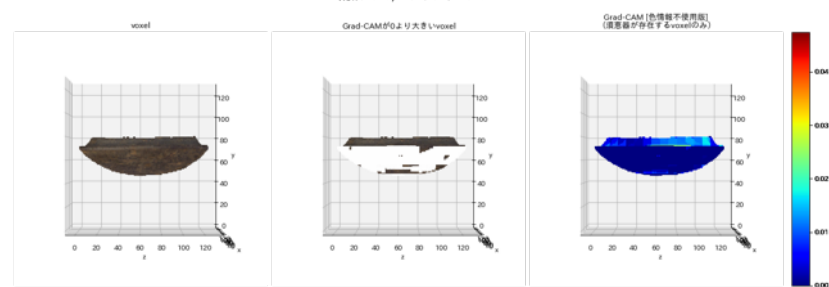
mi_J-33900_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
正解-型式:2-5, 正解-年代:後葉,
疑似-ID:3, クラスタ-ID:3



mi_J-22896-15_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_minAxis_side
正解-型式:2-4, 正解-年代:後葉,
疑似-ID:3, クラスタ-ID:3

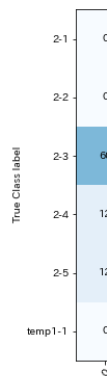
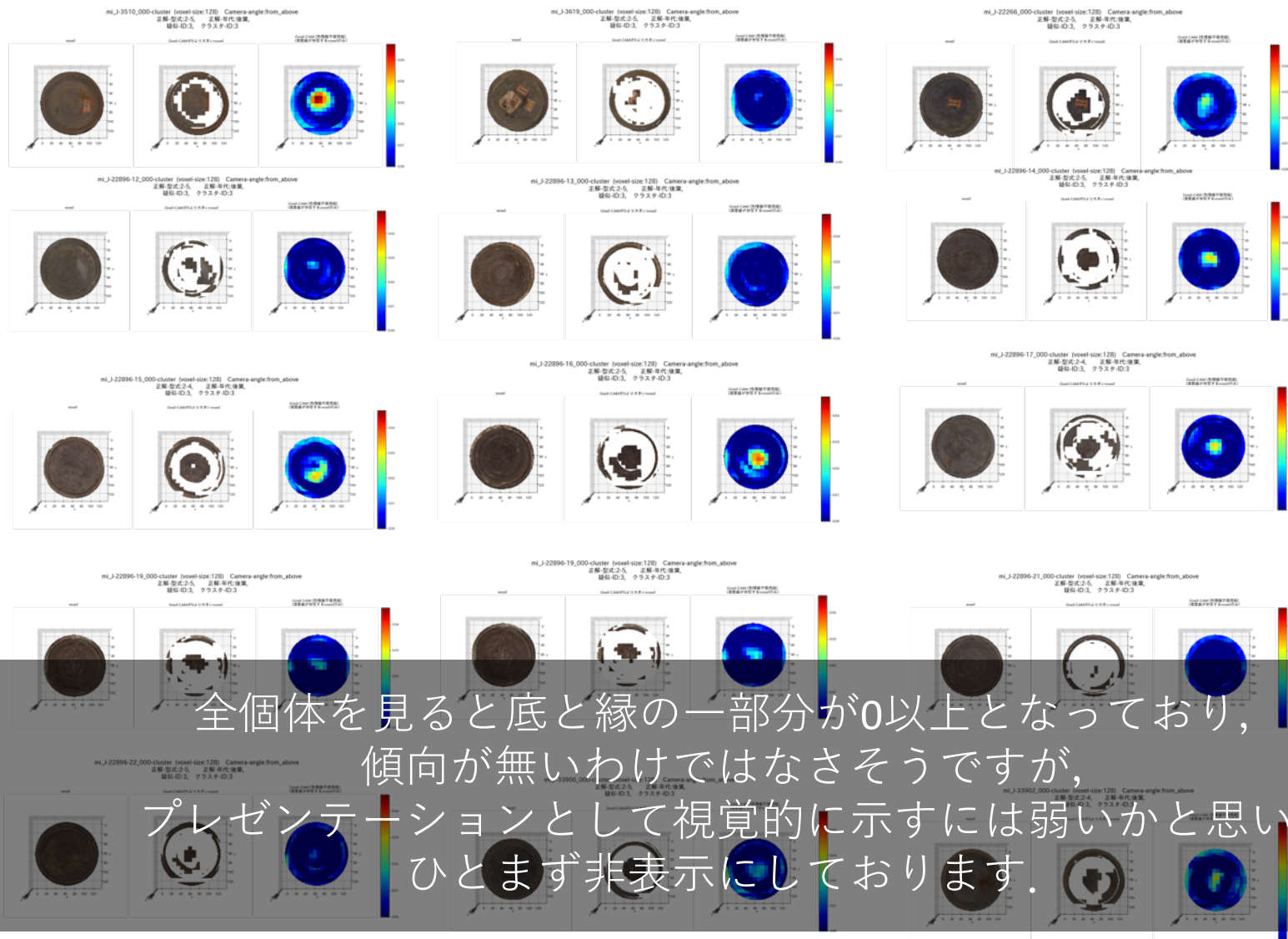


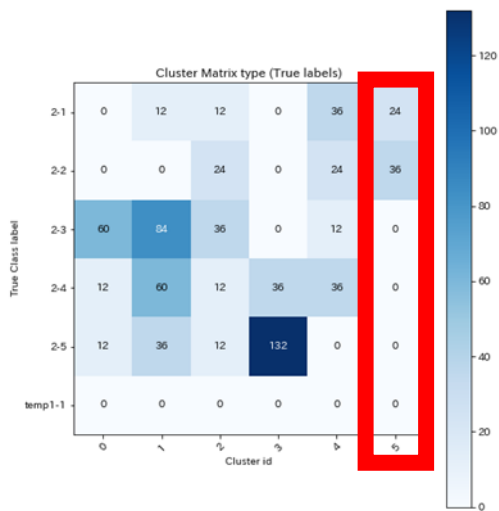
mi_J-33900_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_minAxis_side
正解-型式:2-5, 正解-年代:後葉,
疑似-ID:3, クラスタ-ID:3



Cluster ID-3

(all, from above)



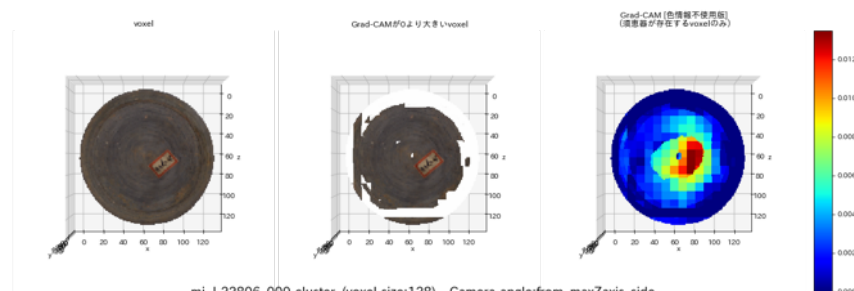


Cluster ID-5

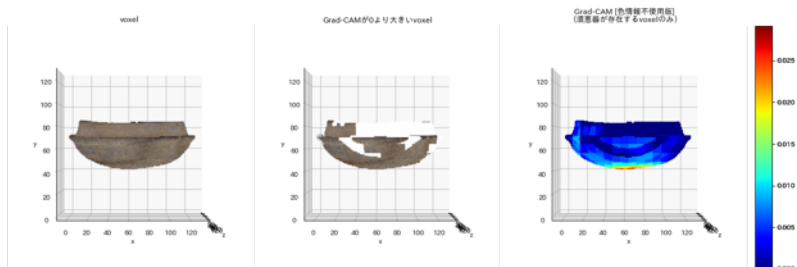
mi_J-3634_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
正解-型式:2-2, 正解-年代:前葉,
疑似-ID:5, クラスタ-ID:5



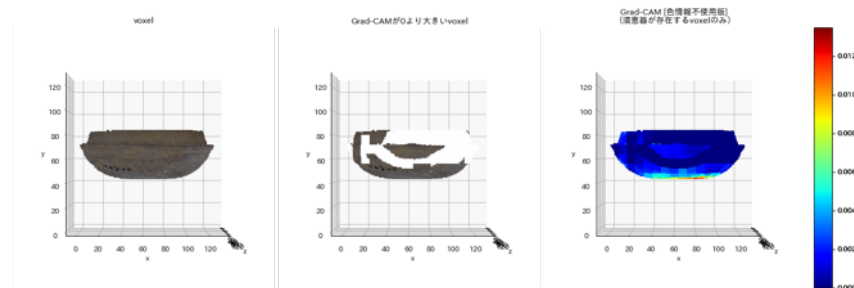
mi_J-22806_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
正解-型式:2-1, 正解-年代:前葉,
疑似-ID:5, クラスタ-ID:5



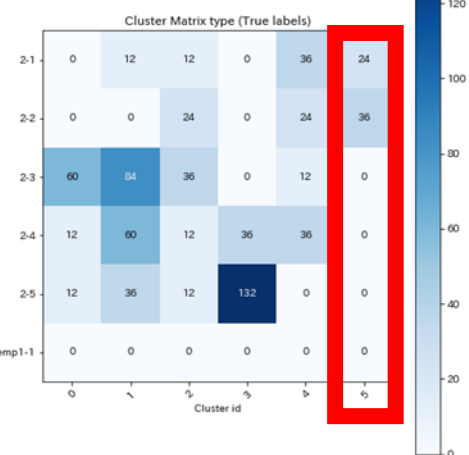
mi_J-3634_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
正解-型式:2-2, 正解-年代:前葉,
疑似-ID:5, クラスタ-ID:5



mi_J-22806_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
正解-型式:2-1, 正解-年代:前葉,
疑似-ID:5, クラスタ-ID:5

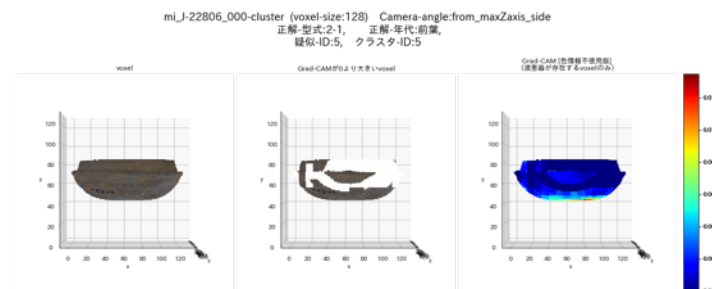
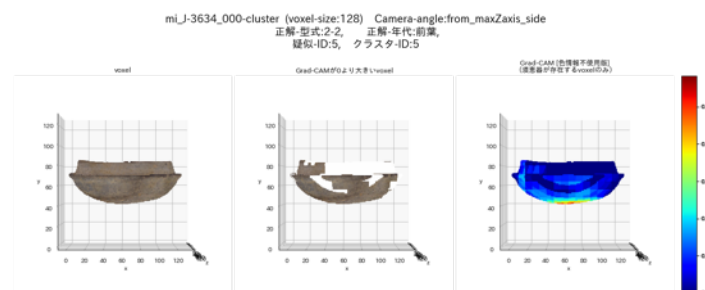
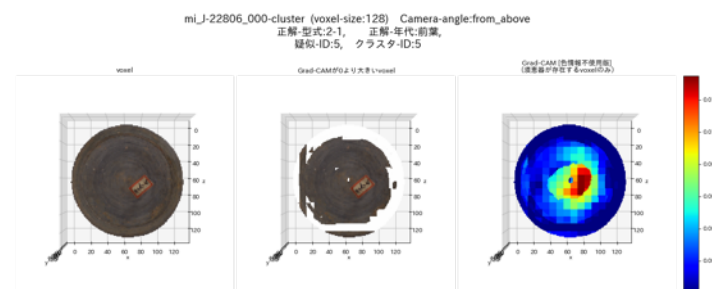
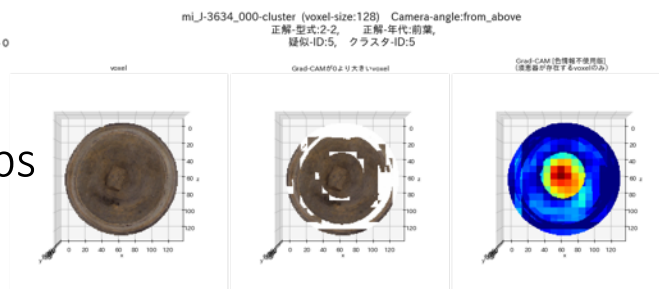


seems clustered referring bottom of cups

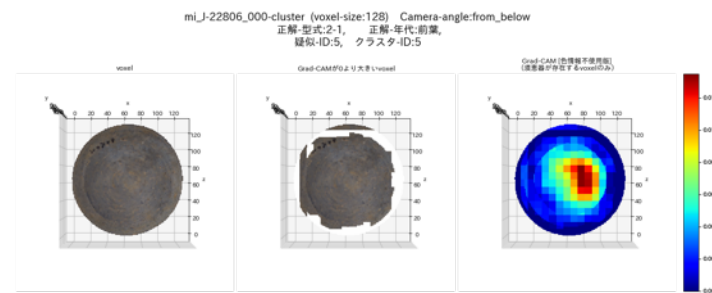
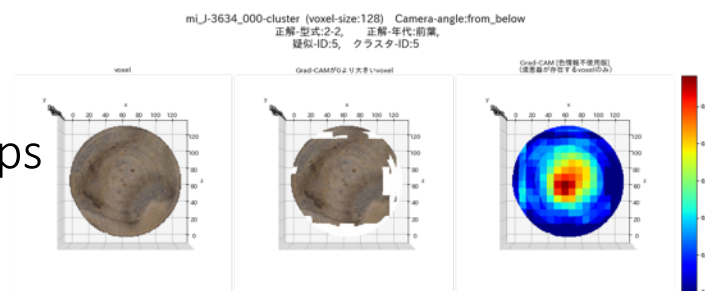


Cluster ID-5

at the bottom of cups
(from above)

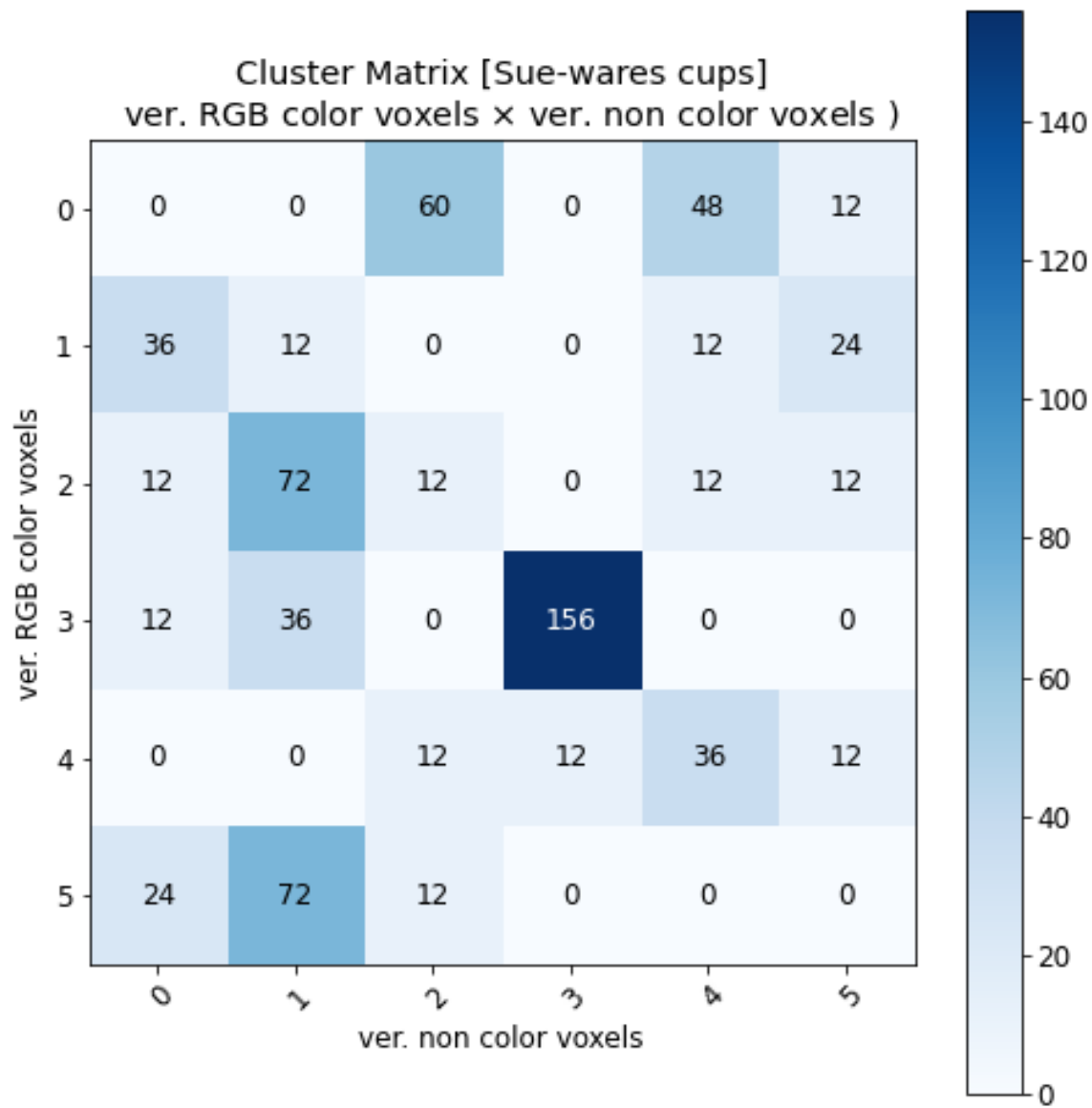


on the bottom of cups
(from below)



seems clustered referring bottom of cups

Confusion matrix of RGBA and A



Confusion matrix of RGBA and A

型式

- 2-1
- 2-2
- 2-3
- 2-4
- 2-5

Cluster-ID (RGB)	Cluster-ID (non-color)					
	0	1	2	3	4	5
0			J-3961 J-3682 J-7607 J-3527 J-8828-5		J-4120 J-11563 J-7337 J-8828-6	J-22802
1	J-6564 J-6565 J-6566	J-7598			J-7606	J-22806 J-3920
2	J-3650	J-3583 J-5834 J-3453 J-3648 J-8828-3 J-8828-4	J-3516		J-13305-2	J-3634
3	J-23050	J-9830 J-11536 J-13305-1		J-22896-15 J-22896-17 J-33902 J-3510 J-3619 J-22266 J-22896-12 J-22896-13 J-22896-14 J-22896-19 J-22896-21 J-22896-22 J-33900		
4			J-8828-8	J-22896-16	J-20761 J-3959 J-3603	J-139
5	J-142 J-6575	J-134 J-6573 J-6574 J-6576 J-8828-7 J-6571	J-4121			

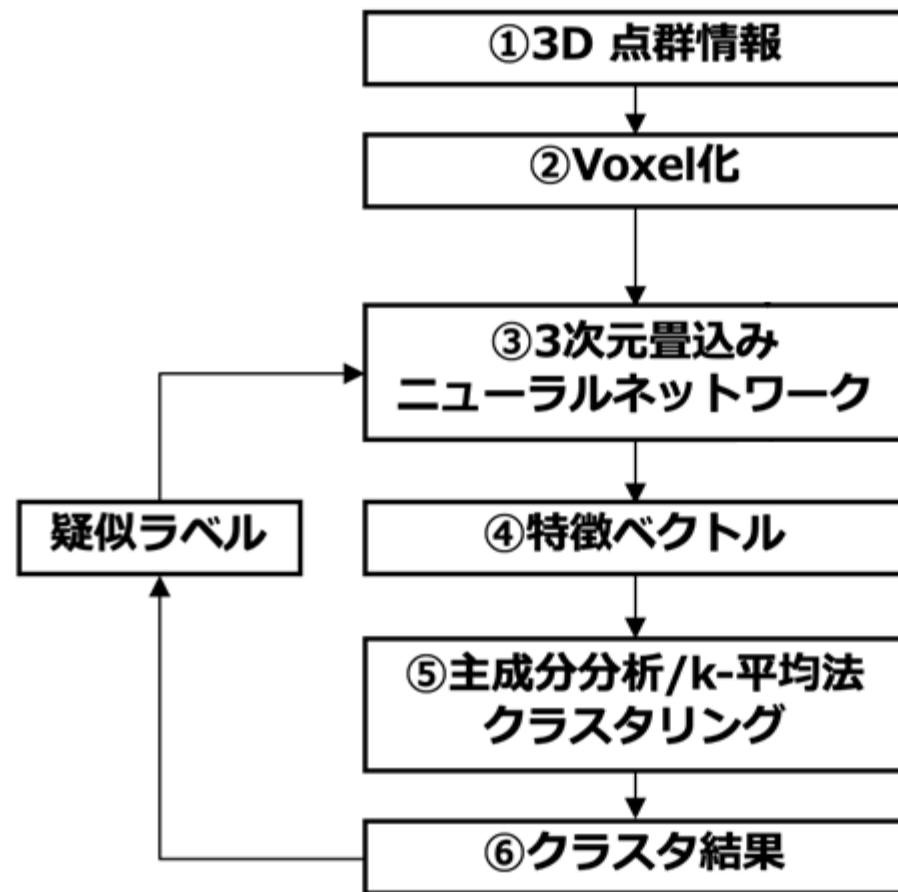
summaries of Sue-ware analyses

- ✓ Non-color clusters ID3 showed a strong correlation with human labels of 2-4 & 2-5
- ✓ Non-color clusters ID5 showed some correlation with human labels of 2-1 & 2-2

今後の分析

- データA(色なし)クラスターID3, ID5, その他のID
以上3クラスにて教師付き分類を行う
- クラスターID3: ヒトラベル2-4および2-5に相当
- クラスターID5: ヒトラベル2-1および2-2に相当
- その他のID: ヒトラベル2-3

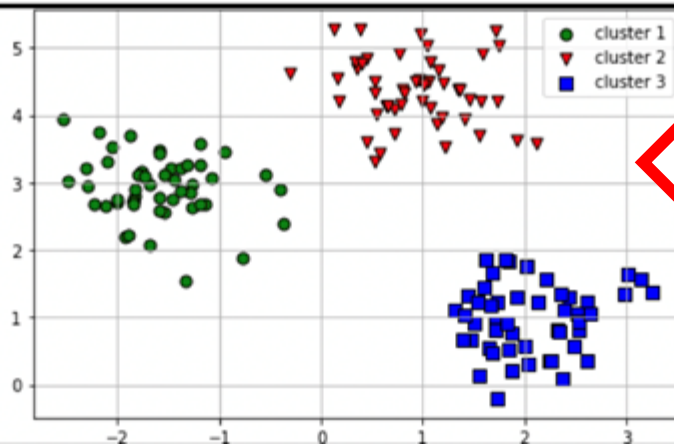
未完成



③疑似ラベルを使った教師あり学習

③～⑥
【疑似ラベルを使った教師あり学習+クラスタ】モデル
今回は③～⑥を50 Epoch 行った

⑦主成分分析・t分布確率的近傍埋込による可視化



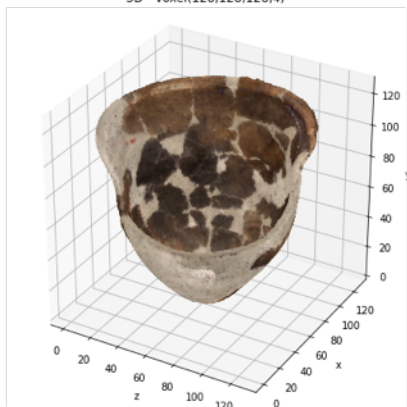
⑦3つのnon-colorクラスターラベルを使った教師あり3次元畳込みニューラルネットワークによる分類

⑧分類結果とヒト分類の比較検証

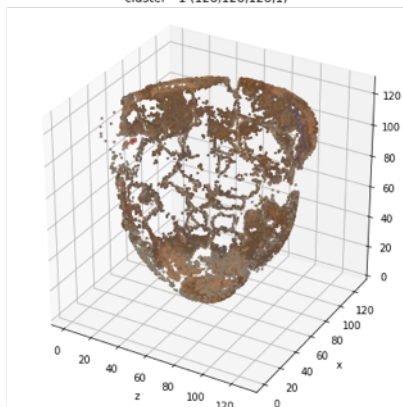
Jomon Potteries

Original parts were clustered successfully

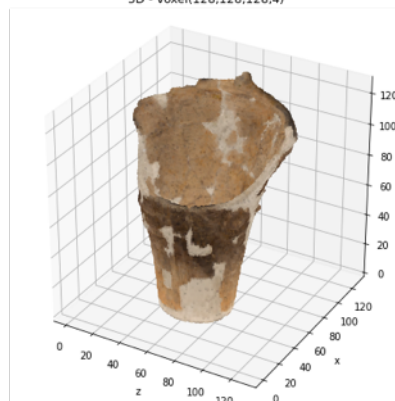
3D - voxel(128,128,128,4)



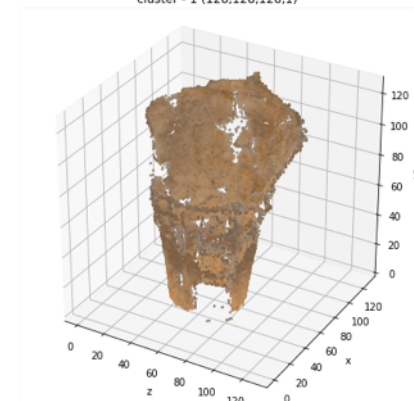
cluster - 1 (128,128,128,1)



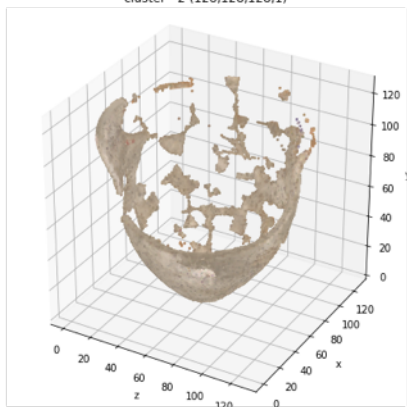
3D - voxel(128,128,128,4)



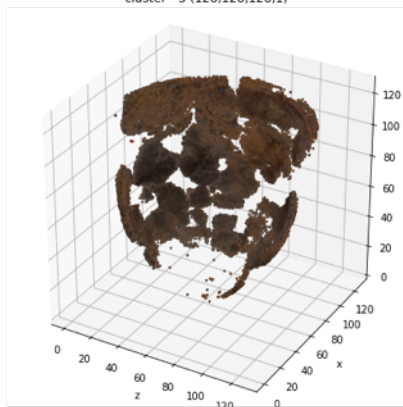
cluster - 1 (128,128,128,1)



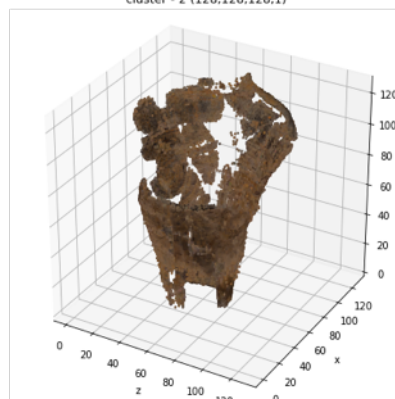
cluster - 2 (128,128,128,1)



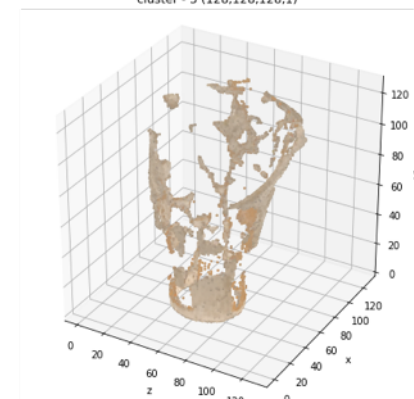
cluster - 3 (128,128,128,1)



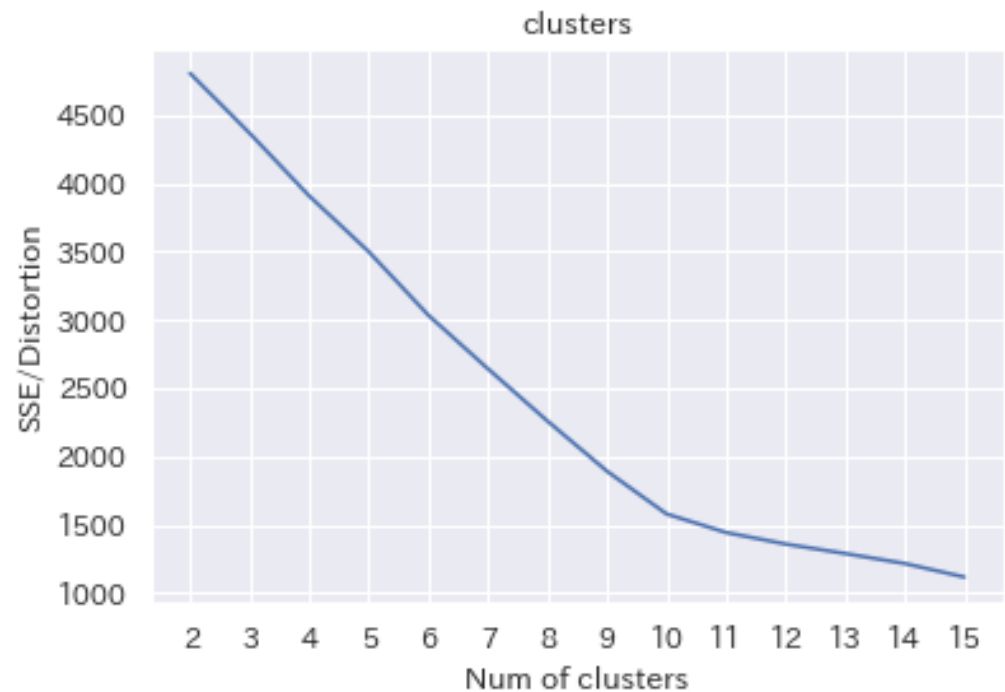
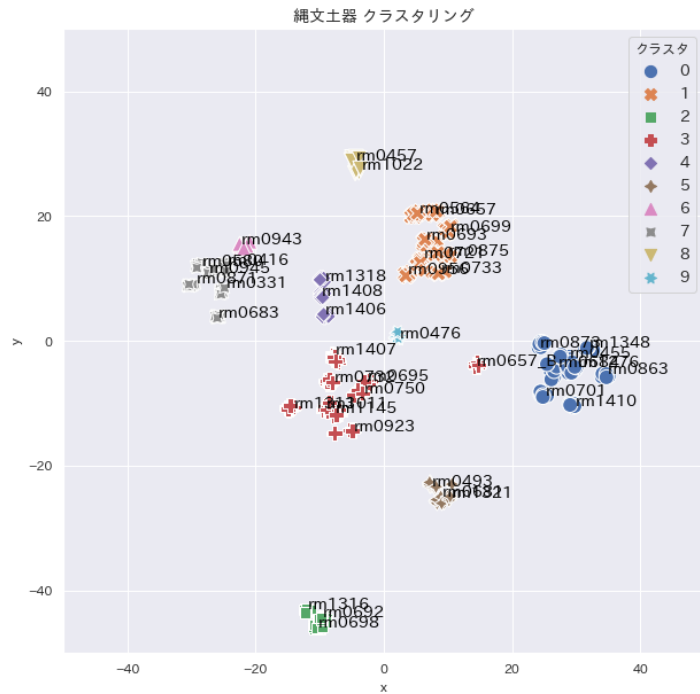
cluster - 2 (128,128,128,1)

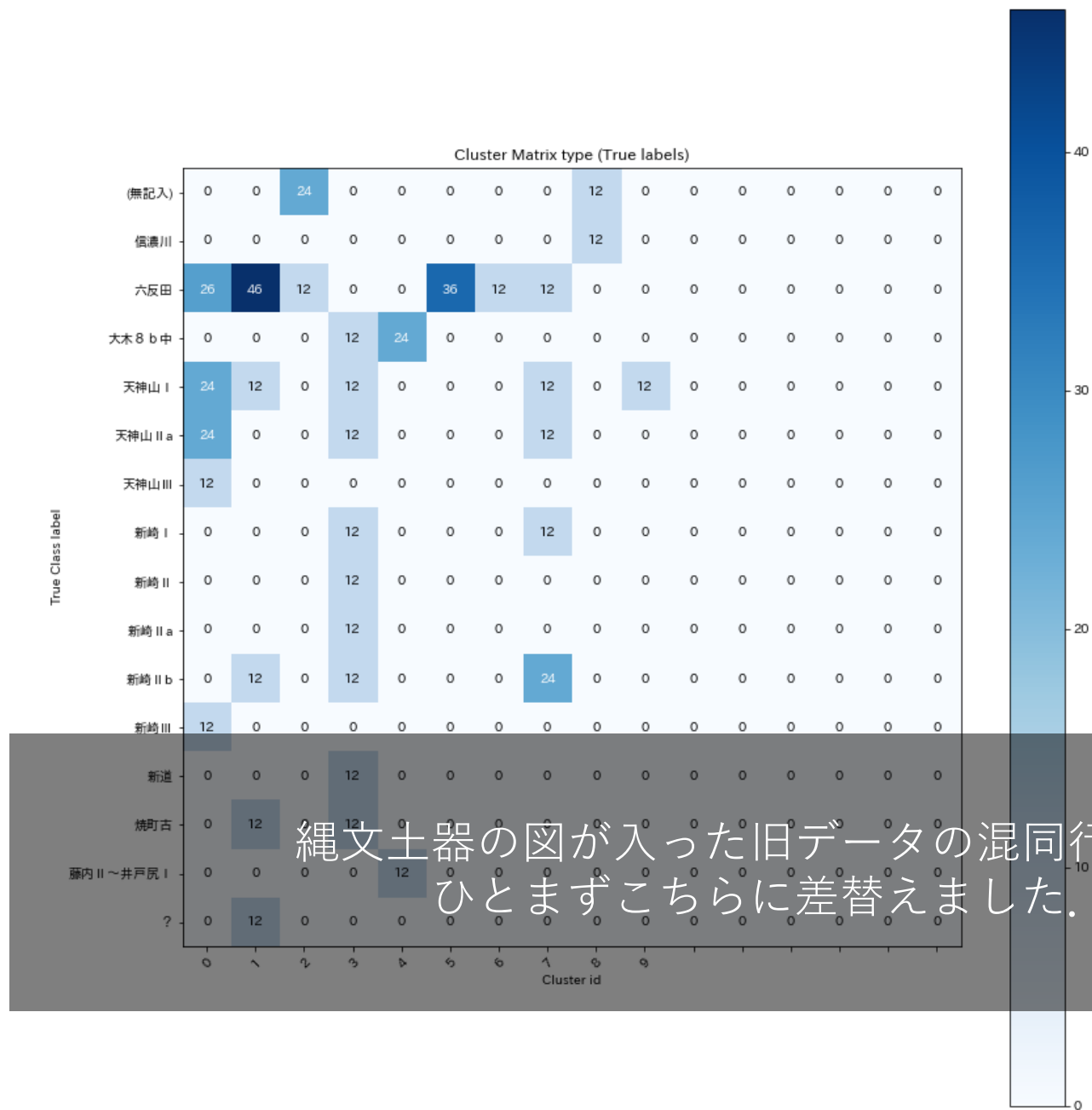


cluster - 3 (128,128,128,1)



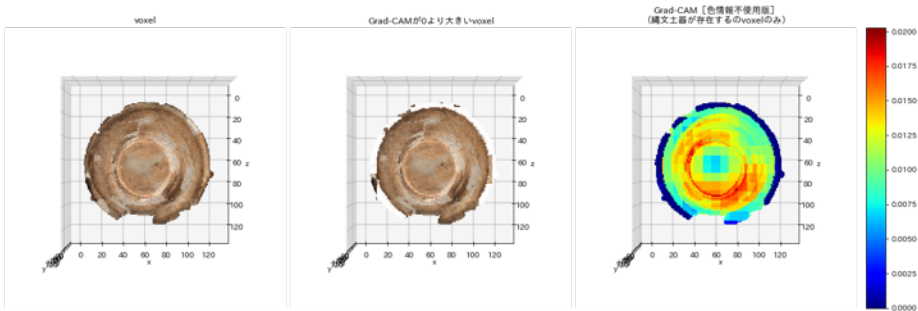
Principal Component Analysis → Standardization → Elbow method



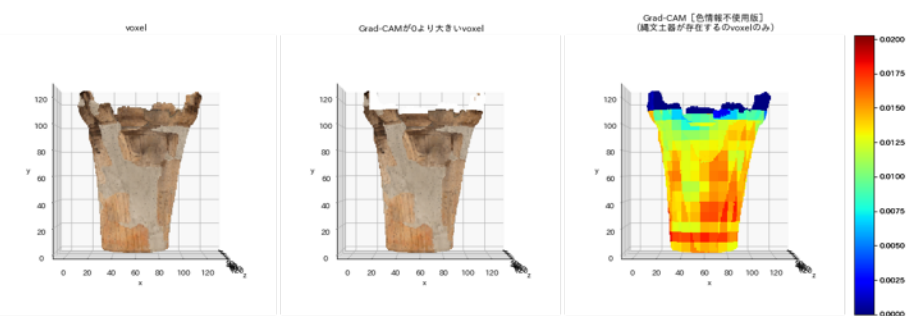


Grad-CAM Cluster ID-3

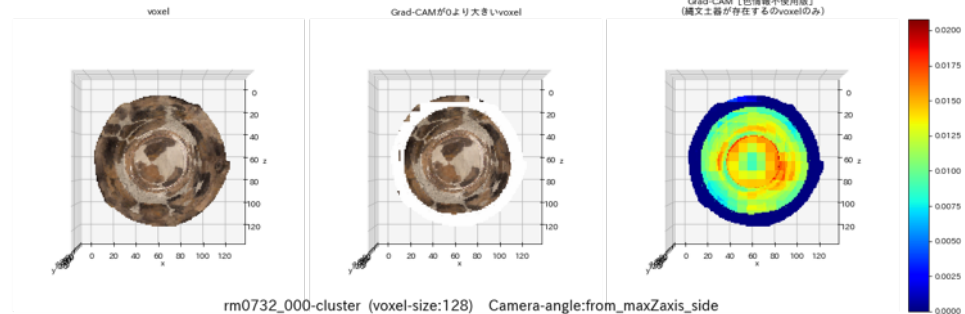
rm0695_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
初期-ID:0, 疑似-ID:5, クラスター-ID:3



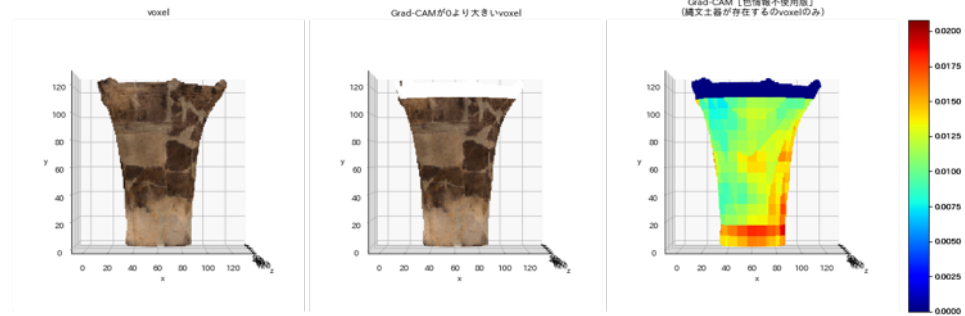
rm0695_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxZaxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:5, クラスター-ID:3



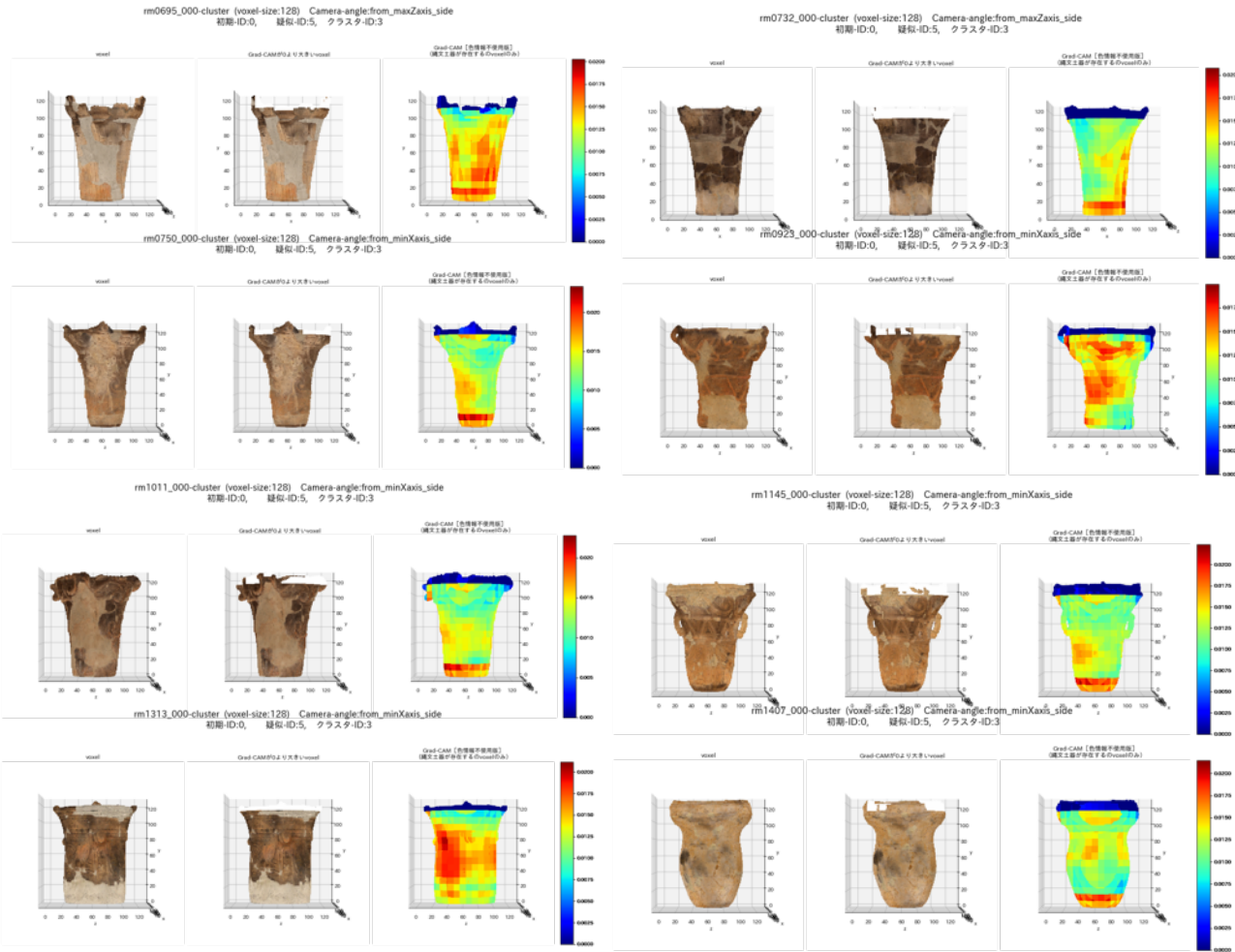
rm0732_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
初期-ID:0, 疑似-ID:5, クラスター-ID:3



rm0732_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxZaxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:5, クラスター-ID:3



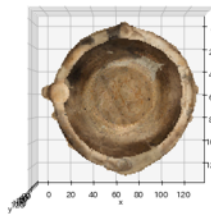
Grad-CAM Cluster ID-3 (all)



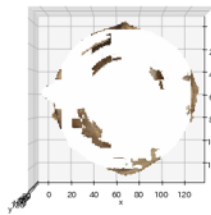
Grad-CAM Cluster ID-5

rm0493_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
初期-ID:0, 疑似-ID:2, クラスター-ID:5

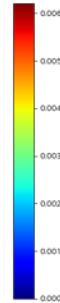
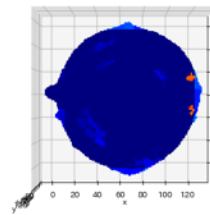
voxel



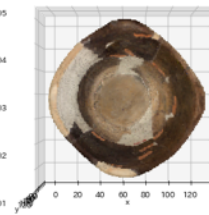
Grad-CAMがより大きいvoxel



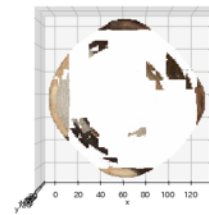
Grad-CAM【色情報不使用版】
(属文土器が存在するのvoxelのみ)



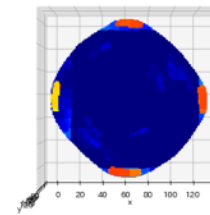
voxel



Grad-CAMがより大きいvoxel

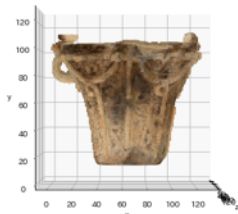


Grad-CAM【色情報不使用版】
(属文土器が存在するのvoxelのみ)

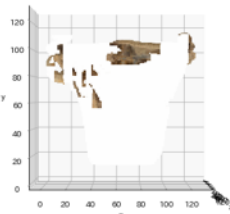


rm0493_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxZaxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:2, クラスター-ID:5

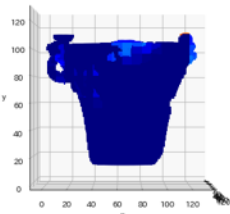
voxel



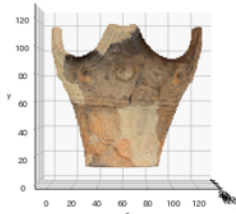
Grad-CAMがより大きいvoxel



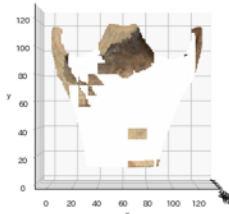
Grad-CAM【色情報不使用版】
(属文土器が存在するのvoxelのみ)



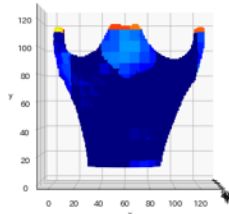
voxel



Grad-CAMがより大きいvoxel

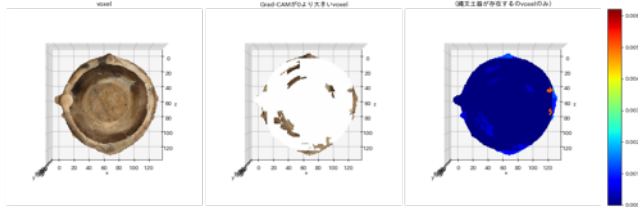


Grad-CAM【色情報不使用版】
(属文土器が存在するのvoxelのみ)

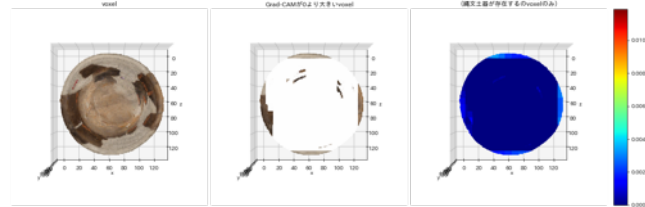


Grad-CAM Cluster ID-5 (all)

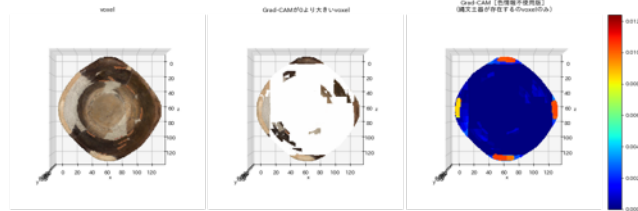
rm0493_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
初期-ID:0, 疑似-ID:2, クラスタ-ID:5



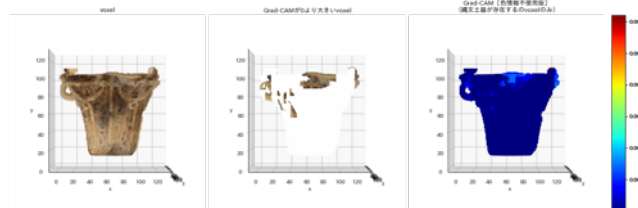
rm0681_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
初期-ID:0, 疑似-ID:2, クラスタ-ID:5



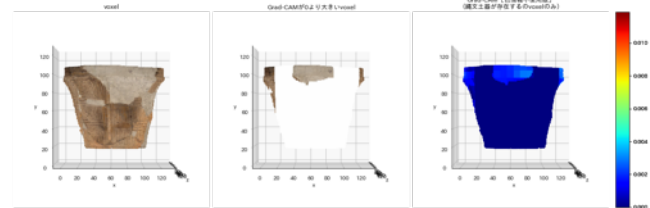
rm1321_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
初期-ID:0, 疑似-ID:2, クラスタ-ID:5



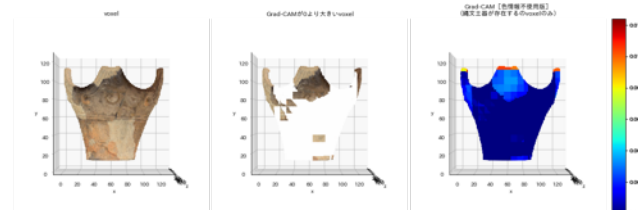
rm0493_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:2, クラスタ-ID:5



rm0681_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:2, クラスタ-ID:5

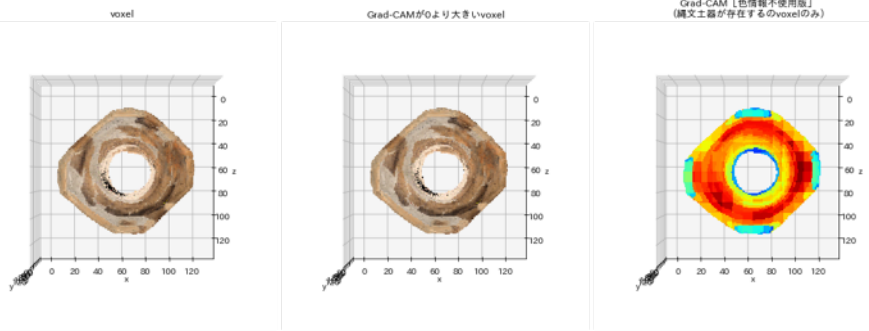


rm1321_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:2, クラスタ-ID:5

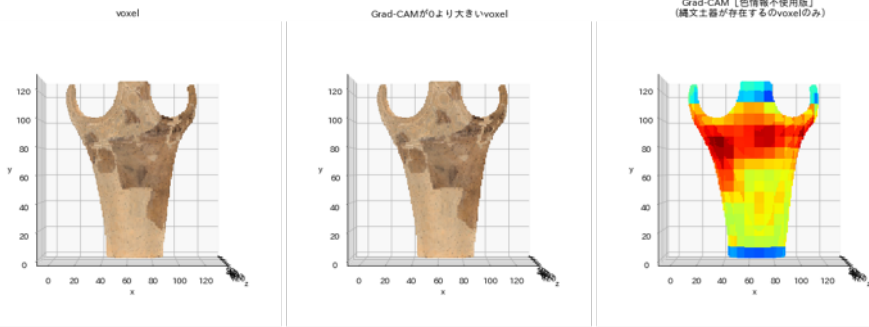


Grad-CAM Cluster ID-7

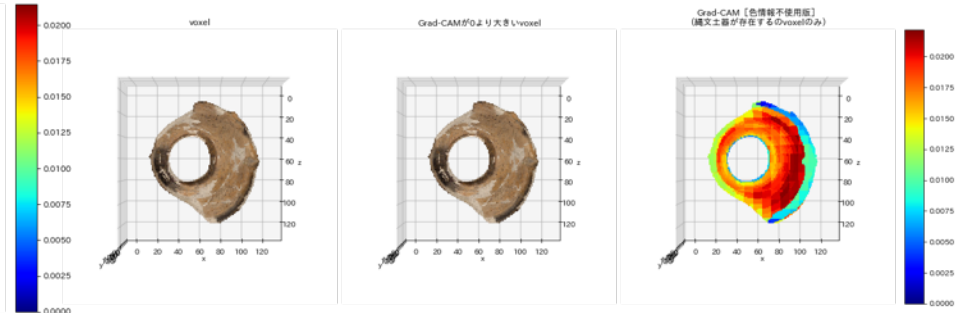
rm0331_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
初期-ID:0, 疑似-ID:6, クラスタ-ID:7



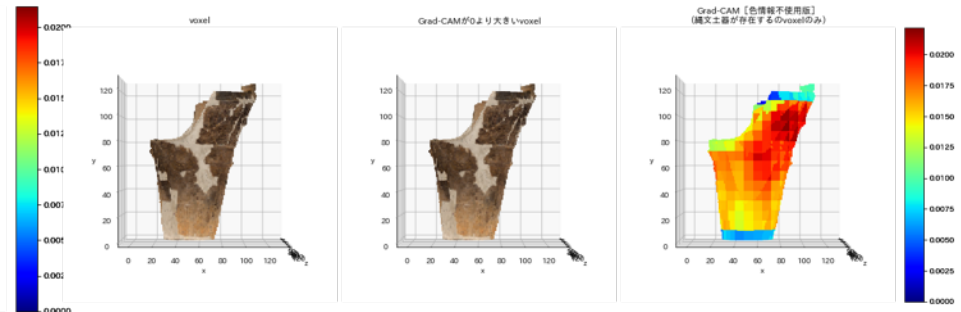
rm0331_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:6, クラスタ-ID:7



rm0416_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_above
初期-ID:0, 疑似-ID:6, クラスタ-ID:7

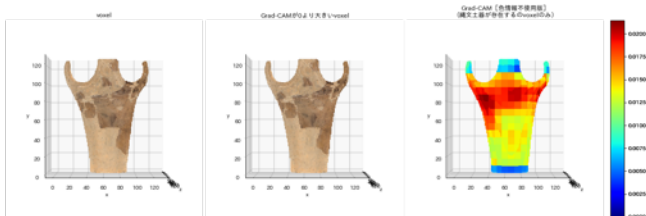


rm0416_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:6, クラスタ-ID:7

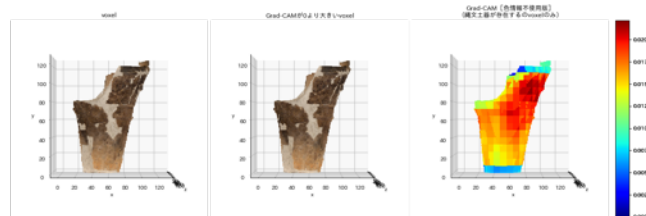


Grad-CAM Cluster ID-7 (all)

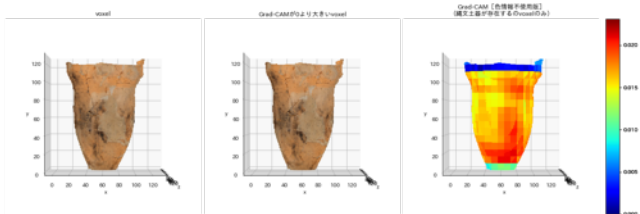
rm0331_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:6, クラスタ-ID:7



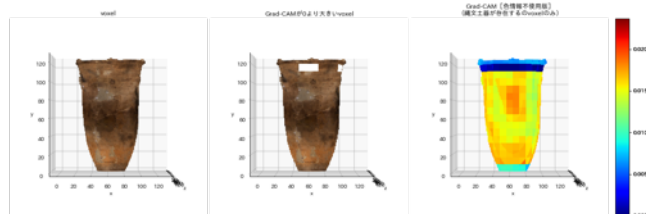
rm0416_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:6, クラスタ-ID:7



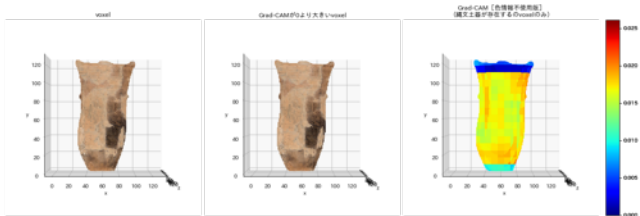
rm0580_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:6, クラスタ-ID:7



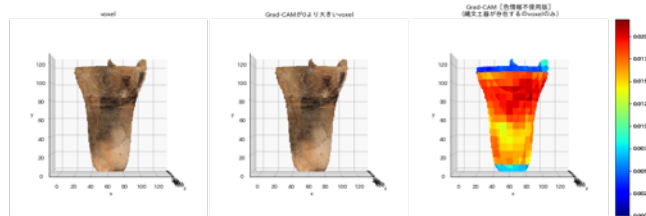
rm0683_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:6, クラスタ-ID:7



rm0871_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:6, クラスタ-ID:7



rm0945_000-cluster (voxel-size:128) Camera-angle:from_maxAxis_side
初期-ID:0, 疑似-ID:6, クラスタ-ID:7



Summaries and planning of Jomon

- clustering results of 44 voxels 128^3 shows no correlation with type classification
- Seems the model made primitive grouping by very rough shapes (No input of RGB colors)
- Jomon potteries seems more diversities in shape and colors than Sue wares
- **4000-5000 Jomon middle era deep bowls be measured**
- Rokutanda-south, Iwanonara, Dodaira, Nokubi, Oku-miomote

[色情報無し版]の全体的な傾向

現状、専門家による縄文土器の分類において重要な部分（縁の突起など）を無視してしまう傾向が見られる。

The current clustering results by this method tends to ignore important parts in the classification by experts (e.g., edge protrusions).

※間違いや誤訳等ございましたら訂正をお願いいたします。