オスティアにおける基準升のオプティカルスキャナーを用いた分析

中澁　大喜

1. はじめに

1.1. 研究の背景と目的

オスティア遺跡はローマのテヴェレ川河口部に位置する遺跡である。この港湾都市の遺跡からは、図１のような円形の大小のくぼみが掘ってある石材がいくつか発見されている。この形状の特徴と同様の石材[1]が古代帝政ローマ帝国の影響下にあった都市の遺跡から発見されており、そのなかでも保存状態の良いものがアソスとポンペイの Mensa ponderaria(以下ポンデラリア) である。このポンデラリアは先行研究でくぼみに穀物、塩および液体を充填して体積を測る基準升とされている。この基準升は、アソスやポンペイといった互いに異なる寸法基準を使っている民族が入り混じる地域において、政官が商人から帝政ローマ帝国が決めたのすべての州で一定の税率で税を徴収したり、寸法体系の違う人々から固定価格で穀物を購入したりするための重要な道具だった[2]。本研究の対象地であるオスティア遺跡はテヴェレ川の河口部に位置しており、首都ローマに物資を供給するための物流の要[3]である港湾都市[4]として、オスティアは古代ローマ帝政期に発展していった。

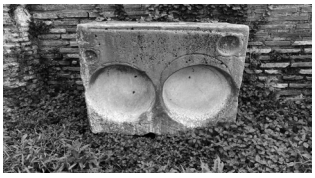


図１　Basilica Christiana(regio Ⅲ ,1,4) にある基準枡とみられる石材

この時代の物資の主要な輸送手段は水路であり、ローマ帝国との海上交易の労働者は主に他の民族（カルタゴ、ギリシャ、ユダヤ、シリア人など）だった[5]ため、海上交易の船が集まる当時のオスティアは国際色の強い都市であった。このような都市の性質から考えても、オスティア遺跡から発見された図１のような石材はアソスやポンペイなど確認されているポンデラリアと同様に基準升であるということが推定できる。

また、今回研究対象としたオスティアの基準升には、体積を測るとされている大きなくぼみと別に、左右の端部の近くに小さなくぼみが見られる。このくぼみはポンペイで出土したポンデラリアなど、他の遺跡で出土した基準升にも同様の形状が見受けられるが、未だこのくぼみの用途解明には至っていない。

本研究では、こうしたオスティアの基準升について、オプティカル・スキャナーを用いて測定した３Ｄメッシュデータをもとに、くぼみの形状の分析を行うことで、高い精度での長さ、体積の算出、小さなくぼみの用途等の考察を行う。

1.2 研究対象と方法

本研究所では５つ基準升[6]を対象とし、2.3. で後述の先行研究をもとに番号を振っている。それぞれのオスティア遺跡における分布は図２に示す。

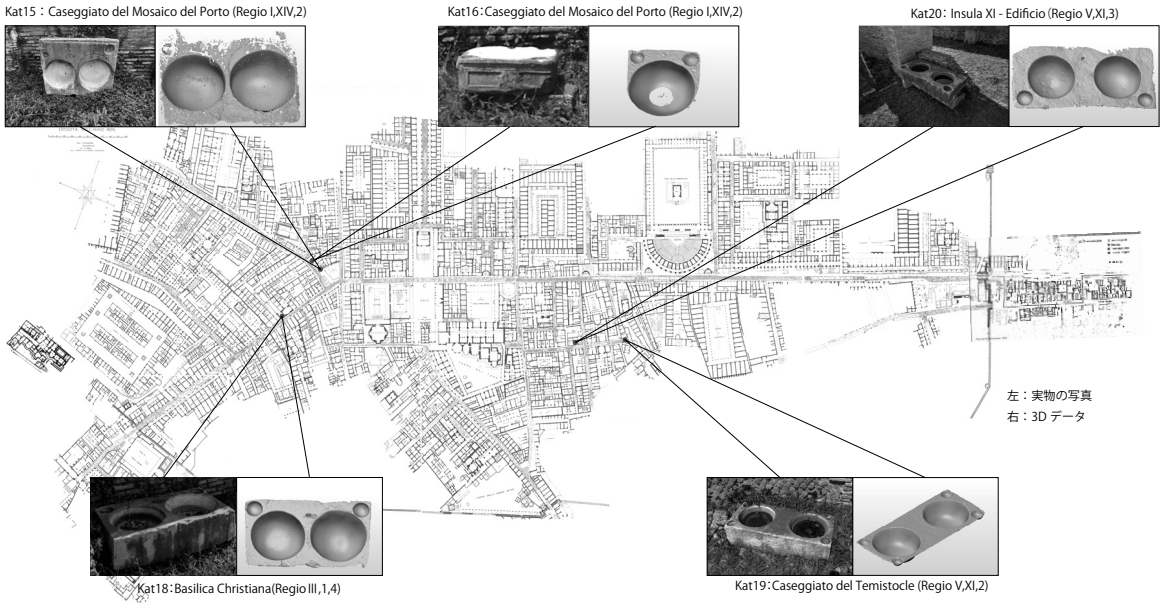


図２　升番号とオスティア内の分布

これらの基準升の実測データ[7]を用いて、データの処理、分析[8]を行う。ただし小さなくぼみの分析において、くぼみの実測データが半分以上欠如しており、データとして不十分であったため、基準升 Kat.15は除外して考える。

2. 先行研究

2.1. 古代帝政ローマの尺度

古代帝政ローマ期の長さ、体積の単位系については William Smith[9] らの定説があるので表1,2に示す。

名称		SI単位系
Digitus	1/16 pes	≒18.48mm
Palmus	1/4 pes	=73.92mm
Pes	1 pes	=295.7mm

表1　長さの単位系

名称	分類		SI単位系
Sextarius	両方	1 sextarius	=0.546L
Cochlearia	両方	1/48 sextarius	=0.011375L
Congius	液体	6 sextarius	=3.276L
Amphora	液体	48 sextarius	=26.208L
Modius	固体	16 sextarius	=8.736L

表2　体積の単位系

また、Oswald Dilke[10] は体積の尺度に関して液体は congius、固体はその6分の1の sextarius がおもに使われていたと述べている。本研究では単純化のために長さは pes、体積は sextarius に統一して分析を行うものとする。

2.2.Assos のポンデラリア

トルコ、エーゲ海沿岸部の Assos（アソス）遺跡から出土したポンデラリアは保存状態も良く、古代帝政ローマ帝国の影響下にあった遺跡から出土した数あるポンデラリアの中でも、その利用法を解明する重要な出土品である。このポンデラリアについて、F. B. Tarbell の先行研究[11] がある。その中で報告された体積は以下の通りである。

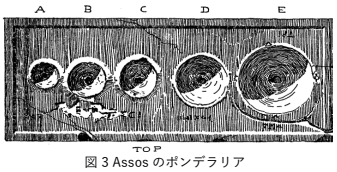


図3 Assos のポンデラリア

	A	B	C	D	E
くぼみの体積(L)	0.49	1	0.795	1.49	4.62
1/sextarius	0.897	1.832	1.456	2.729	8.462
Bronze Liningを使用した時の体積(L)	0.2736	0.821	0.547	1.094	3.283
1/sextarius	0.501	1.504	1.002	2.004	6.013

表3　Assos のポンデラリアの体積

この先行研究では 'the measures as determined on the bronze linings' という記述があり、測量の際に、ポンデラリアのくぼみに合わせて作られた青銅製のはめ物（以下 Bronze Lining）を使用していたことが指摘されている。本研究ではオスティアの基準升にも Bronze Lining が使用されたと想定する[12]。

2.3. ラツィオ州のポンデラリア

Lange Margret[13] によると、2019年までに、論文に記載されている41台のイタリア国内のポンデラリアのうち、20台が首都ローマやオスティア遺跡が位置するラツィオ州に分布する。このラツィオ州の20台のポンデラリアについて、全てが当てはまる訳ではないが、Lange Margret は

① 大理石から作られており、1つまたは2つの大きなくぼみと最大4つの小さなくぼみが対称的に配置されている。
② くぼみは円形で浅く、半径が深さよりも長くなる。
③ ポンデラリの使用に関する碑文[14]がない。
④ くぼみの縁の盛上り[15]がない。

という大まかな4つの特徴を挙げている。本研究で対象とした5つのオスティア遺跡内で確認されている基準升はこの4つの特徴が当てはまる。また、同氏は2010年までのラツィオ州内におけるポンデラリアについての調査[16]をもとに、ラツィオ州で発見されているポンデラリアの体積に微妙な差が見られるが[17]、この要因が測る対象のものによって寸法基準が異なったからという仮説を立てている。しかし、同氏は Bronze Lining について考慮していない。

3. 長さと体積の測定

本研究ではオプティカル・スキャナーを用いることで、実測したデータの処理、変形を可能にし、精密な分析ができるようになった。以下にその手法と分析結果を記述する。各くぼみの呼称は前述の Lange Margre の先行研究と統一するものとし、その名称と位置関係を図4に示す。

3.1. 長さ、体積の測定

体積や長さを求めるためにまず実測データを以下のように操作した[18]。

① まず、図5のようなくぼみだけ残る状態となるようにメッシュデータの削除を行う。
② その後、長さと体積の計算のために、図6のようメッシュデータを閉じる。

このような操作を各くぼみで行った。このデータをもとにそれぞれの基準升でくぼみの直径、深さ、体積を求める[19]。

3.2. 長さ、体積の測定結果

各くぼみの直径、深さの測定結果は表4,5に示す。深さ / 直径の比が大きなくぼみについて約0.33~0.37といった近い値になるため、今回研究対象の5つの基準升が、半径が深さよりも長く、プロポーションにあ

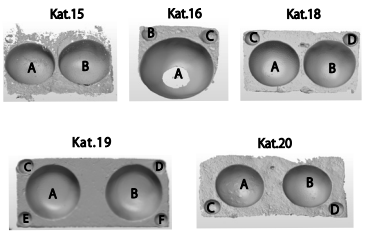


図4　各くぼみポリゴンデータとその呼称

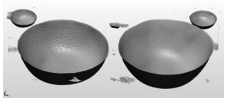


図5　くぼみの部分だけ残す

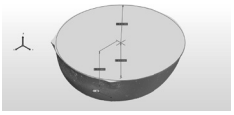


図6　処理後のポリゴンデータ

る程度の規則性があった事がうかがえる。小さなくぼみに関しても、深さ / 直径の比が0.29~0.34の値となり、大きなくぼみと同様の規則性が推定される。

体積についての測定結果は表6,7に示す。大きなくぼみの体積に関しては約15L の容積をもつ基準升、と20~26L の容積をもつ基準升があるが、Lange Margre の主張する通り、基準升それぞれで微妙な差がある。この誤差について Lange Margre は測る対象によって寸法基準が異なっていたから生じていると推定しているが、Bronze Lining によって一定の値に収束することも考えられる。3.3. 章では Bronze Lining の影響について考察する。

3.3.Broze Lining による体積

Bronze Lining に使われていた青銅製のはめ物は、一枚の青銅板金から実際にはめ込む基準升を型として打ち出しで製作していたことが推定される[20]。よって本研究では、厚さの一様青銅製のはめ物がくぼみに中空することなくはめられているという理想的な Lining の状態を仮定[21] し、Lining の厚みを2 ～ 5mm の間で変えながらその時の体積を算出[22] した。測定結果は表8 ～ 12のグラフに示す。

グラフから Lining の厚みを2 ～ 5mm の際に、体積がおおよそ2 ～ 3 sextarius 変動することがわかる。ここでは､2 ～ 3 sextarius の変動する体積の値の中で、基準升の理想的な体積を指定する。2.1. のローマ単位系の記述からも明らかなとおり、ローマの単位系は6の倍数に関わる単位が多く、ローマの寸法に直したくぼみの体積が、素因数分解した際に2、 3 、 5 のみで構成される体積が切が良いと言える。よってこの条件を満たすような体積となるようにそれぞれの基準升でグラフで示した値の幅で Lining の厚みのを想定する。グラフを見てみると、2つの大きなくぼみをもつ基準升では、対となるくぼみで共通の Lining の厚みを想定すると、どちらのくぼみも切の良い体積に収束していることがわかる[23]。

このことは本研究対象の基準升で Bronze Lining が利用されていたことが高いことを示しており、測るものによって基準が違うため基準升の体積に微妙な差があったのではなく、Bronze Lining の厚みで体積の微調節を行っていたためだと推定できる。

4. 小さなくぼみの水平器としての可能性

表7の数値からも明らかだが、小さなくぼみの容積は1 sextarius 以下のものがほとんどであり、体積を測るためのくぼみとしては小さいため、他の用途の可能性も無視できない。このくぼみのに関して、本項では水平器の利用の可能性について考える。本研究の対象である5つの基準升について、常置しておくための台座が確認されておらず、おおよそ3 ～ 4人程度で持

	Kat.15-C	Kat.15-D	Kat.16-B	Kat.16-C	Kat.18-C	Kat.18-D
長径(mm)	不明	不明	111.642	120.106	150.382	150.028
長径/pes	不明	不明	0.37755157	0.40617518	0.50856273	0.50736557
深さ(mm)	不明	不明	34.727	34.772	46.916	45.673
深さ/pes	不明	不明	0.11743997	0.11759215	0.1586608	0.15445722
深さ/直径	不明	不明	0.31105677	0.28951093	0.31197883	0.30442984
	Kat.19-C	Kat.19-D	Kat.19-E	Kat.19-F	Kat.20-C	Kat.20-D
長径(mm)	121.57	99.794	109.768	101.058	158.652	139.002
長径/pes	0.41112614	0.33748394	0.37121407	0.34175854	0.53653027	0.47007778
深さ(mm)	40.553	33.65	35.015	33.617	49.036	39.449
深さ/pes	0.13714237	0.11379777	0.11841393	0.11368617	0.16583023	0.13340886
深さ/直径	0.33357736	0.33719462	0.31899096	0.33265056	0.30907899	0.28380167

表 4　小さなくぼみの直径、深さ

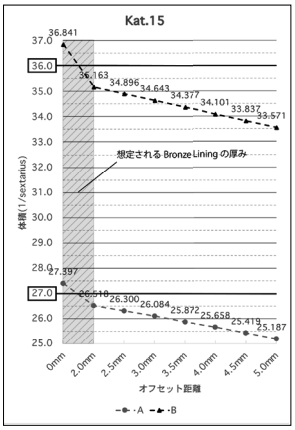


表 8 Kat.15 の Linnig 後の体積の推移と想定される厚み

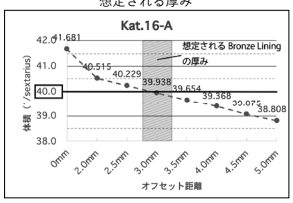


表 9 Kat.16 の Linnig 後の体積の推移と想定される厚み

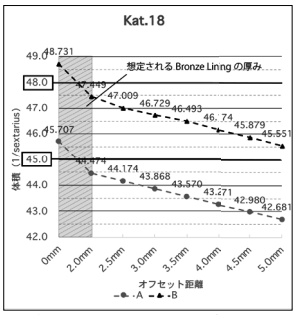


表 10 Kat.18 の Linnig 後の体積の推移と想定される厚み

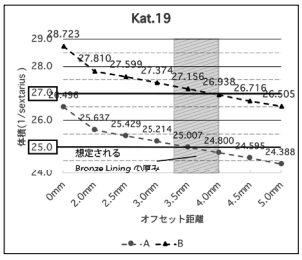


表 11 Kat.19 の Linnig 後の体積の推移と想定される厚み

	Kat.15-A	Kat.15-B	Kat.16-A	Kat.18-A	Kat.18-B	Kat.19-A	Kat.19-B	Kat.20-A	Kat.20-B
長径(mm)	427.906	457.982	507.126	510.956	524.756	432.25	445.628	448.626	452.072
長径/pes	1.447	1.549	1.715	1.728	1.775	1.462	1.507	1.517	1.529
深さ(mm)	141.521	171.711	176.853	180.116	188.789	145.61	155.287	155.603	147.373
深さ/pes	0.479	0.581	0.598	0.609	0.638	0.492	0.525	0.526	0.498
深さ/直径	0.331	0.375	0.349	0.353	0.360	0.337	0.348	0.347	0.326

表 5 大きなくぼみの直径、深さ

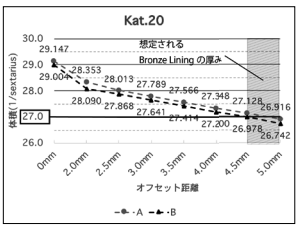


表 12 Kat.20 の Linnig 後の体積の推移と想定される厚み

	Kat.15-A	Kat.15-B	Kat.16-A	Kat.18-A	Kat.18-B	Kat.19-A	Kat.19-B	Kat.20-A	Kat.20-B
体積(L)	14.959	20.115	22.758	24.956	26.607	14.467	15.683	15.914	15.836
体積/sextarius	27.397	36.841	41.681	45.707	48.731	26.496	28.723	29.147	29.004

表 6 大きなくぼみの体積

	Kat.15-C	Kat.15-D	Kat.16-B	Kat.16-C	Kat.18-C	Kat.18-D	Kat.19-C	Kat.19-D	Kat.19-E	Kat.19-F	Kat.20-C	Kat.20-D
体積(L)	不明	不明	0.209	0.243	0.558	0.549	0.302	0.161	0.21	0.17	0.642	0.401
体積/sextarius	不明	不明	0.383	0.445	1.022	1.005	0.553	0.295	0.385	0.311	1.176	0.734

表 7　小さなくぼみの体積

ち運びできる大きさ[24]のため、これらの基準升を使用の状況に応じて移動させていたことが推定できる。この場合、「基準升が水平な状態で置いてある」という体積を正しく測るための条件を、移動先の設置場所で確認することが想定される。本稿ではその確認方法の１つとして「2つまたは４つの小さなくぼみに水を満杯に満たして、その満たした水の水面がくぼみの縁のラインと一致するか否かで水平を判断していた[25]。」という仮説を立て、実測データを用いて検証した。

4.1. 近似平面作成による升縁部分の評価

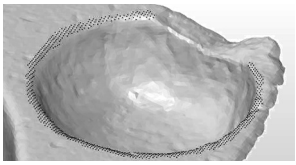


図 7 点の選択

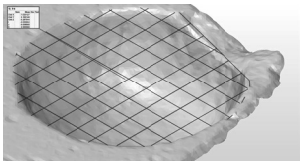
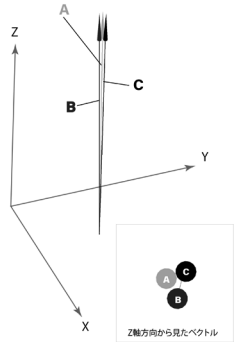


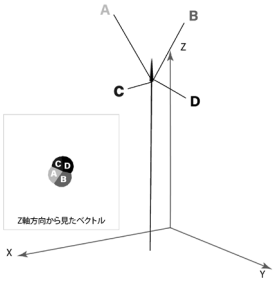
図 8 近似平面作成

水平を測ることが可能かどうか判断するために、同じ桝の穴の縁が平行の関係にあるのか確かめる[26]。くぼみの縁のポリゴンの点を選択し（欠けている部分は除く）、その点から近似平面を作成した。同様の操作をそれぞれのくぼみで行い、作成した近似平面をくぼみに満たされた水の水面と見立て、それらが平行か否か比べることで、水平器として利用できるか判断した。比較するにあたり作成した近似平面の法線ベクトルを用いた。



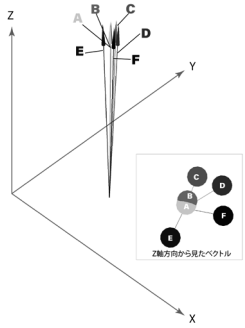
	A	B	C
X	-0.014802	-0.005312	0.002096
Y	-0.00593	-0.023153	0.000141
Z	0.999873	0.999718	0.999998

表 13 Kat.16 の近似平面の法線ベク



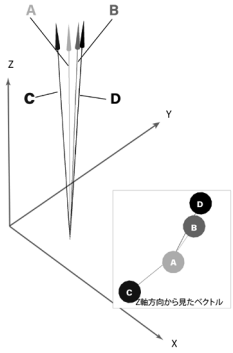
	A	B	C	D
X	-0.002655	0.000342	0.000664	0.002022
Y	0.002042	-0.000155	0.008905	0.009057
Z	0.999994	1	0.99996	0.999957

表 14 Kat.18 の近似平面の法線ベクトル



	A	B	C	D	E	F
X	0.00127	0.002154	0.010904	0.032781	-0.012763	0.033821
Y	0.003057	0.006789	0.027909	0.020052	-0.025941	-0.006733
Z	0.999995	0.999975	0.999551	0.999261	0.999582	0.999405

表 15 Kat.19 の近似平面の法線ベクトル



	A	B	C	D
X	-0.00049	0.01622	-0.035357	0.021404
Y	-0.005111	0.023503	-0.028929	0.042031
Z	0.999987	0.999592	0.998956	0.998887

表 16 Kat.20 の近似平面の法線ベクトル

4.2. 検証結果

4.1. の操作により得られた法線ベクトルを比較したものを表13~16に示す。各表を見てみると Kat.16 と Kat.18の縁は平行と言える。また Kat.19は E を例外として除けば、平行であり、Kat.20以外は、仮定した方法で水平器として利用できると判断できる。特に Kat.18は全て精度の良い水平で、B の容積が１アンフォラであることから、この仮定に基づくと、液体用の基準升であったことが推定できる。

5. 終わりに

本研究ではオスティアの基準升をオプティカル・スキャナーで実測し分析することで、正確な長さと体積を算出するとともに、Bronze Lining によって体積の微調節を行っていたことと、用途不明だった小さなくぼみが水平器として利用できる可能性を示すことができた。上記の２つの可能性を検討するにあたっては、計測数を増やす必要がある。特に小さなくぼみの用途は水平器以外も想定されるので、その他の可能性も含めてさらに分析を進めることが期待される。

【注釈】

1) 大きなくぼみは１つか２つ掘ってあり上面の円の半径が 210mm~270mm、小さなくぼみは左右の端部の近くに２つか４つ掘ってあり 50~70mm 程度。
2)Elena Klenina/Andrzej B. Biernacki, "Mensae Ponderariae from the North-Western Black Sea Region.Preliminary Approach" Vol 44 (2018): Proceedings of the First International Roman and Late Antique Thrace Conference “Cities, Territories and Identities” (Plovdiv, 3rd – 7th October 2016)p289~p298
3) 参考文献：池口　守（2013)「オスティアとポルトゥス　首都ローマを支えた双子の港湾都市」本村　凌二（編）「ローマ帝国と地中海文明を歩く」 講談社 p55~p70
4) 当時首都ローマへの積荷はオスティアの沖合やポルトゥス港でオスティア港の小型船に積み替えられ、 テヴェレ川を伝って物資を供給していた。(参考文献３より)
5) 首都ローマ周辺の多量の消費を補うため、アフリカやエジプトなどの属州から、租税として穀物を大量に輸入していた。当時穀物倉庫があり物流の拠点だったオスティアはそんな異国から物資を運んできた多くの民族で賑わっていた。(参考文献３より)
6) 本研究では研究対象がポンデラリアと断定出来ないのと、他の地域のポンデラリアと区別するために、基準升と呼称する。
7) 九州大学が２０１５年に実測したデータを使用。
8) 実測に用いた機材は CREA FORM 社のポータブルハンドヘルドスキャナー『Go!Scan3D』を、実測データの合成は『PollyWorks』、実測データの分析には前述の『PollyWorks』と『JRC 3D Reconstructor』というソフトウェアをそれぞれ用いた。
9) Sir William Smith(1851), "A new classical dictionary of Greek and Roman Biography, Mythology, and Geography: Partly based upon the dictionary of Greek and Roman Biography and mythology."
10)Oswald A.W. Dilke、和訳 山本啓二 (1996) " 失われた文字を読む〈9〉数学と計測（大英博物館双書）"p 55~59
11) F.B.Tarbell(1891) "A "Mensa Ponderaria" from Assos. "The American Journal of archaeology and of the History of the Fine Arts. Vol7 No.4
12) オスティアの基準升には Assos のポンデラリアなどに見られるような底部の孔が存在せず、この Bronze Lining がなければ測量後に測ったものを取り出す事が困難なため、使用していたと判断した。
13)Lange Margret(2019)"Mensae ponderariae in Lazio. Recently discovered or re-discovered"Archeologia Classica Vol. LXX, N.S. II, 9. 2019 p209~p224
14) ポンデラリアには碑文が刻まれているものも確認されており、例えばポンペイのポンデラリアにはローマ基準尺を移入した２人の執政管の名前が刻まれている。
15) ポンデラリアにはくぼみの縁部分が本体の上面より盛り上がっている物も確認されており、例えばアソスのポンデラリアは縁部分が約 1 cm ほど盛り上がっている。(参考文献 11 より)
16)Lange, M. (2010). Mensae ponderariae in Italien: Versuch einer Bestandsaufnahme und Analyse. Münster.
17) 例えば、今回研究対象である５つの基準升について、約 15L の容積をもつくぼみが比較的多いが、それらのくぼみの体積は１～ 2sextarius ほどのが微妙な誤差がある。
18) ソフトウェア上の操作については、綾塚郁宏「イタリア、ポンペイにおける Mensa Ponderaria と呼ばれる設備の実測と一考察」九州大学卒業論文　2014 年を参考にしている。
19) ポリゴンデータの処理、編集、計測は PolyWorks 上で行った。
20) 青銅版から打ち出しで作成した加工品として代表的なもので、ヘルクラネウム出土の青銅製の浴槽などがあり、当時の青銅の打ち出し加工は十分考えられる。
21) 実際は Linnig の厚みは叩いて加工するので一定ではなく、はめた物が中空していたこともあり得る。
22) ソフトウェア上で想定する Lining の厚み分だけポリゴンを内側へオフセットして体積を求めた。青銅の厚みが大きくなると、加工が困難になるため、本研究では厚みを最大 5mm までとした。
23) グラフの四角で囲まれた値。
24) 基準升の大きさはくぼみが２つあるものでおおよそ縦 600mm、横 1200mm、高さ 300mm 程度。図１のように基準升が壁際に立てて置かれていることからも移動可能なことが確認できる。
25) この場合、もし基準升が水平でなければ小さなくぼみに水を満杯に入れても、水のラインが縁のラインと揃わず、溢れでてしまう。
26) 基準升の底面との比較を加えて行えばさらに論の補強となったが、今回はデータの不足により行えなかった。

【図版出典】

図１ 九州大学堀　賀貴教授により撮影　図 2,4,5,6,7,8 筆者作成　図３参考文献 11 より

表 1,2 参考文献 9,10 より筆者作成　表３参考文献 11 より筆者作成
表 4 ~16 筆者作成