

土器容量の算出について

－フリーソフトを利用した方法と有効性－

高瀬一嘉

1 はじめに

調理や貯蔵を目的として製作された土器の容量を正確にかつ簡便に計測することができれば、人々の生活の量的な単位を知るためのデータを手に入れることができる。

しかし正確に容量を知ることは容易なことではない。

これまでいくつかの方法で土器の容量を計測する試みが行われており、それぞれに一長一短がある。本稿では入手が容易なフリーソフトを使うことで、なるべくコストがかからない方法で土器の容量を算出し、実際の容量との誤差の検証を行った。そのうえでこの方法の有効性について検討した。

2 これまでの算出方法と評価

みだしの方法で土器容量の算出について述べる前に、これまで行われてきた測定法について簡単に紹介し、長所と短所について指摘しておきたい。

(1) 注入測定算出法

土器に直接液体（水など）や固体（砂など）を注ぎ込んで計測するもので、直接的な方法である。本稿では「注入測定算出法」と名付けた。

長所としてまず正確性があげられる。実際の容量を計測するには確実な方法で、可能であればこの方法で求めるのが良い。次に実測図がなくても算出することもできるのである。つまり計量カップと水があれば求めることができるのである。実際に備前焼の大甕に水を注入して容量を求めた例⁽¹⁾などがある。

しかし発掘調査では土器の大半が破片の状態で出土し完形のものはほとんどない。破片を接合して元の形に復元しても、欠損部分があればそこから漏れてしまう。この方法で算出できる個体数はかなり限定されるのである。長所の2番目の「実測図がなくても・・・」は、逆にいえば短所でもある。つまり実物がないと算出できないのである。また、資料をじかに取り扱うため、計測にかかる時間、その際の破損リスク、そしてこれらの事態を懸念する所有者から承諾を得る困難さなど、多くの短所を抱える。したがって、自前の資料を計測する場合を除いて、この方法は現実的な方法とは言えない。

計測に要する時間の個体差が大きいことも短所である。小型の壺なら数分もかからないが、大型の甕ともなればセッティングも含めて2時間以上要する場合もある。

(2) 円柱集計算出法

注入測定算出法が実物にモノを入れて算出するのに対し、この方法は実測図を利用して算出する。これを「円柱集計算出法」と名付けた。曲面で構成された土器を積み重なった円柱の集合体に置き換え、積み重なった円柱の総和を土器の容量とするものである。（図1）具体的に行われている例として、土器の実測図をもとに土器の内面を円柱（一例として高さ1cm）に分割しその総和で求める。土器に欠損部分があっても図上復元できていれば算出することができる利点がある。円柱の体積（ V ）は、半径（ r ）と高さ（ h ）から求め（ $V = \pi r^2 h$ ）、それを和する。これまでに多くの実践例があり、

土器の容量の統計処理によく使用されている。実測図をスキャナで取り込み、Illustratorなどの描画ソフトで円柱に分割し、エクセルなどで体積の計算するのが一般的である。またデジタルツールを使用せず直接実測図に線を引いて円柱に分割し、定規などで長さを測り、手計算で算出することもできる。

長所は実物資料が目の前になくても実測図のみで算出することができることである。1個体の体積を算出するのに要する時間は30分程度である。

しかし土器の曲線部分を円柱として直線処理するため誤差が生じることは避けられない。鈴木慎也（2015）は、高さ1cmの場合その誤差は10%前後としている。

(3) 3D変換算出法

2Dの土器の実測図の断面内面を360°回転させた回転体として3D化することで容量を算出するものである。これを「3D変換算出法」と名付けた。前述の鈴木はCAD（Computer Aided Design=コンピューターを用いて設計を支援するツール）を使用して算出している。具体的には、①はじめに実測図をスキャナで取り込む、②その画像をデジタルトレースする、③トレースしたデータをCADに取り込み実測図を2Dから3D化し体積化する、という手順となる。

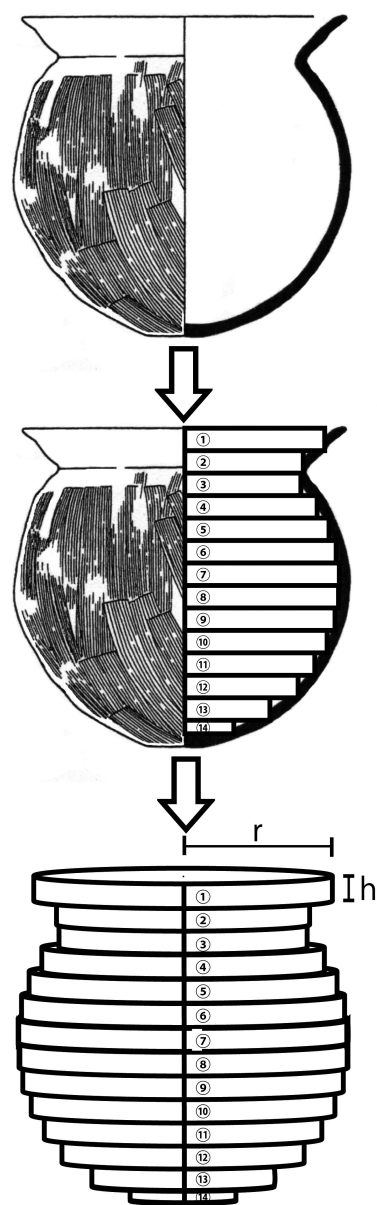
円柱集積算出法の抱える「土器の曲線部分の計測が正確にできない」という問題を解決している。

2 フリーソフトでの容量算出方法

(1) コストを抑えた土器容量算出方法の検討

器（うつわ）に実際にモノを注ぎ込んで算出する方法は別として、実測図を利用して容量を算出する2つの方法（円柱集積算出法と3D変換算出法）を比較すれば、3D変換算出法のほうが誤差は少ない。しかしこれまでの3D変換算出法は「CAD」というやや敷居の高いソフトを使用しているところに難点がある。一般論として取扱いが難しく有料のものは導入費用が高いのである。これまで使用されたCADが具体的にどのようなもの（ソフト名など）であったか詳しく知ることはできなかった。しかしCADソフトには様々な種類があり無料で使えるものから数百万するものまで幅広く流通している。有料のものは信頼性が高いと考えられるが、フリーのものも広く公開されており、無料でこれらの作業ができるものがある。加えて正確性に信頼が持てるものであれば費用をかけずにデータの取得が出来るのではないかと考えた。

そこで、無料のソフトを使って土器容量を算出し、実際の容量との差がどれくらいなのかを確かめてみることにした。



第1図 円柱集積算出法の考え方

(2) 算出の手順

手法は基本的には3D変換算出法をとる。紙ベースの2次元のアナログ画像をデジタル化し、回転させ3次元化させて容量を算出するものである。

基本的な手順は以下のとおりである。

手順1：報告書等の実測図をスキャナで取り込みJPEG（ラスター画像）化する

手順2：取り込んだ画像の傾きを補正し中心線を垂直にする

手順3：JPEG画像の必要な部分（ここでは土器断面の内面と口縁端部の水平線）をベクトル画像編集ソフト（ドローソフト）でトレースしたうえで、ラスター画像のSVG（Scalable Vector Graphics）に変換する

手順4：SVGのデータを3DCG（Three-Dimensional Computer Graphics）ソフトを使用して回転体に変換し、その容量を算出する⁽²⁾

※手順3の回転体に変換する手順で、CADソフトではなく3DCGソフトを使用するのが今回の試みの要点である⁽²⁾

(4) 使用した機材とソフト名

機材はノートパソコンのほかにスキャナを使用した。ソフトはすべてフリーソフトを使用した。

個別の器種とソフトの名称は以下のとおりである。

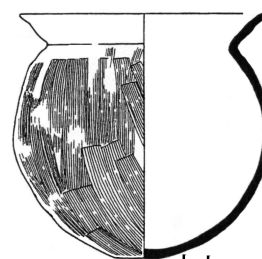
手順1：機材－スキャナ（EPSON GT-S640）

手順2：ソフト－「手軽に斜め直し」⁽³⁾

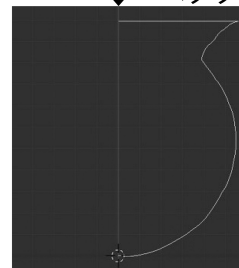
手順3：ソフト－「Inkscape」⁽⁴⁾

手順4：ソフト－「blender」⁽⁵⁾

ラスター画像(JPEG)を



↓
トレースして
ベクター画像に



↓
回転させて3Dに



第2図 3D変換算出法のイメージ

3 土器容量の算出と検証

(1) 3D変換算出法の技術的な要因に起因する誤差について

この方法は基本的に誤差が出ることは考え難い。しかし誤差が生じるケースは①中心線が傾いている場合（軸が傾いていると回転体に変換するときに正確な3D体にはならない）と、②土器の内面をトレースする場合の微妙な線のずれが生じた時である。具体的には土器の実測図（鉛筆描）の線を報告書図版にする際のトレース線（ロットリング等）の幅の誤差、そしてそれをさらに回転体を形成する際に行うデジタルトレースの際のそれぞれの誤差をどのくらい考慮しなければならないかということである。

これを確かめるため、この方法で算出した場合と理論値との誤差の検証を行った。方眼紙に縮尺1/4の円柱を描き、それをこの方法でトレースした後3D回転体に変換して体積を算出した。円柱は半径（r）8cm、高さ（h）20cmであるので、理論上の容積は4,021.12ml（ $\pi r^2 h$ ）である。これに対し3D換算算出法を用いて算出した数値は4,012mlとなった。理論値に対して99.8%であった。実測図をデジタルトレースをする際の精度に懸念があったが、体積が理論値と0.2ポイントのマイナス

にとどまることとなり、思ったより誤差は少ないことがわかった。

(2) 3D変換算出法による算出と注入算出法による検証

算出法に目途がたったため、算出と検証に着手した。

資料 玉津田中遺跡（神戸市）で出土した弥生時代後期から古墳時代前期にかけて土器を使用した。完形品か接合によってほぼ完形に近い甕と壺24点とした。

注入算出法による検証 すでに述べたように、液体などを注ぎ込んで計測できれば実際の容量を正確に知ることができる。しかし液体は隙間から漏れる、器壁から染みこむなど、扱いが困難であるため、条件が揃った資料しか計測することができずその数は限られる。そこで、液体の代わりに米を使って全点（24点）を計測して3D変換算出法で算出した容量との比較を行った。結果は表1に示したとおりである。

結果の評価 24点のうち誤差が上下5%以内のものが18点、5～10%のものが4点、10%を越えるものが2点となった。円柱集計算出法の誤差10%に比べ、好成績であり3D変換算出法は土器容量を算出するのに有効な方法であると考えられる。

(3) 注入算出法（米と水）の比較

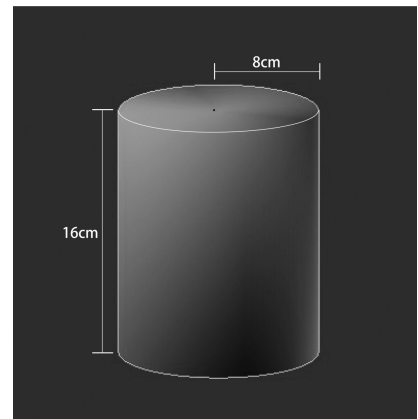
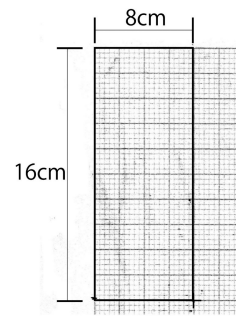
注入材について 3D変換算出法の数値検証のため、注入測定算出法で米を充てんして算出して比較した。一部では水を充てんし米での算出との差を確認した。水は非常に手間かかるのと、取扱いにデリケートさが要求されるため3点のみの検証となった。

方法 液状のものを注入する場合、注入算出法の最も困難な点は継ぎ目や小さな亀裂からの漏出をいかにして防ぐかということである。内側に皮膜を作り注入した液体（水）が漏れないようにする工夫が必要である。今回は非常に薄い（10 μ 厚）塗装用養生シートを土器の内面に敷き、水を口縁端部まで注入したのち、空の土器との重量差を容量として算出した。

結果 水と米の比較はNo.2の土器で0.5ポイント、No.21で0.4ポイント、No.22で2.6ポイントと比較的少ない。扱いやすさを考慮すれば注入材は米で十分その役割を果たすと考えられる。粒子の細かい珪砂などはさらに良い結果が期待できる。

(4) 実測図から算出することの限界とその解決方法

実測図の限界 土器の実測図は中心に垂直の線を引き、左側に外面、右側に断面と内面の調整を書き入れているが、必ずしも中心線を境に左右対称というわけではない。また弥生土器は均整がとれているものでも正確な回転体とは言えないものが多い。このよう



第3図 方眼紙から検証



第4図 左右非対称の土器（No.20）

な土器で実測図をもとに算出した場合、実際の容量とはどれくらいの誤差になるのだろうか？

そこで左右に分けた場合、大きさが違う（いびつな）個体1点（No.20）を選び算出してみた。

結果と対策 右側だけで回転体を復元して算出した数値は、実測容量（米）に比較して-13.5ポイントと大きな誤差となった。

これを改善するため、右半と左半それぞれで復元した回転体の容量を合算しその平均をとった⁽⁶⁾。

この方法で算出してみると実測容量との差はわずか0.5ポイントとなった。（表2）中心線を境に左右でそれぞれ算出するため2倍の手間となるが、正確な容量を算出するためにこの手法は非常に有効であると考えられる。

4 まとめ

実測図しか材料がない場合、容量を算出するのに3D変換算出法は有効であった。今回のようにフリーソフトを使用しでも同じ成果を得ることができた。

実際の作業ではデジタルトレースをする際やソフトの扱いにコツがあるが、慣れれば解消出来るレベルのものである。重要な点は、①実測図の傾きを正確にすること、②デジタルトレースの起点と終点を正確におさえること、③そして土器の内面の高さ（底部から口縁部まで）を正確に測ることなどがあげられる。

土器の容量を算出する際の安価で正確で手軽な方法の有効性を検討した。ロクロで成形した土器では精度がさらに信頼でき、より有効であると考えられる。

謝辞

本稿を執筆するにあたって次の方のお世話になりました。沼田真奈美氏には3DCGソフトの「blender」の選定と使用にあたって助言を頂きました。村上碧氏には画像処理の作業の際に何回もアドバイスを頂きました。パソコン作業があまり得意ではない私がなんとかこのレポートをまとめることができたのはお二人のおかげです。末筆ながら記して感謝申し上げます。



第5図 土器に米を入れて計量



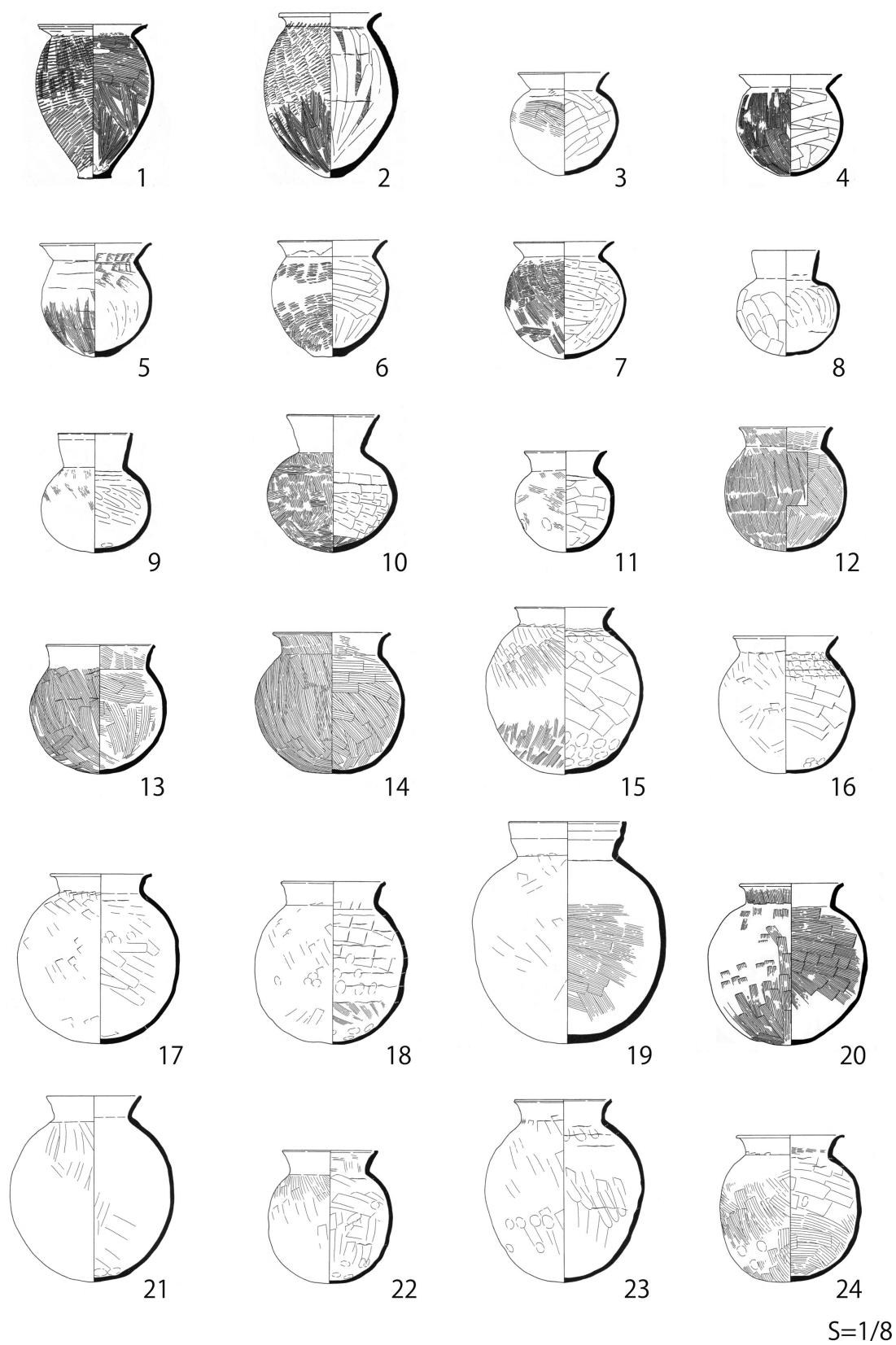
第6図 土器に水を入れて計量

表1 計測容量と実測容量の比較表

No.	a (ml)	b (ml)	c (ml)	a/b (%)	a/c (%)	図面評価	±	器種	発掘調査報告書	
	計算容量	実測容量	水注容量						図版	土器番号
1	2,641	2,522	—	+ 4.7	—	△	(+)	甕	79	2438
2	3,199	3,177	3,193	+ 0.7	+ 0.2	○		甕	80	2446
3	1,388	1,434	—	- 3.2	—	△	(-)	甕	86	2557
4	1,428	1,422	—	+ 0.4	—	○		甕	86	2559
5	1,892	1,898	—	- 0.3	—	△		甕	86	2561
6	1,939	2,031	—	- 4.5	—	△	(-)	甕	86	2564
7	2,204	2,232	—	- 1.3	—	○		甕	86	2565
8	1,334	1,288	—	+ 3.6	—	○		壺	92	2733
9	1,596	1,539	—	+ 3.7	—	○		壺	92	2736
10	2,183	2,231	—	- 2.2	—	○		壺	92	2737
11	1,090	1,090	—	0	—	○		甕	99	2917
12	2,209	2,306	—	- 4.2	—	○		甕	100	2927
13	2,952	2,978	—	- 0.9	—	○		甕	100	2928
14	3,839	4,162	—	- 7.8	—	△	(-)	甕	100	2929
15	4,960	5,210	—	- 4.8	—	○		甕	100	2934
16	3,353	3,032	—	+ 10.6	—	△	(+)	甕	101	2943
17	5,097	5,404	—	- 5.7	—	△	(-)	甕	102	2950
18	4,347	4,663	—	- 6.8	—	△	(-)	甕	102	2951
19	10,101	9,681	—	+ 4.3	—	○		甕	109	2995
20	4,412	5,098	—	- 13.5	—	×		甕	116	3074
21	5,578	5,847	5,881	- 4.6	- 4.2	○		甕	119	3135
22	2,587	2,631	2,563	- 1.7	+ 0.9	△	(-)	甕	123	3243
23	5,528	5,654	—	- 2.2	—	○		甕	124	3248
24	3,645	3,853	—	- 5.4	—	△	(-)	甕	128	3341

表2 左右半面ごとの復元と平均値からの容量算出例

No.	復元回転体	a(ml)	b(ml)	a/b
		計算容量	実測容量	
20	右側回転体	4,412	5,098	86.5%
	左側回転体	5,837	5,098	114.5%
	左右平均	5,125	5,098	100.5%



第7図 土器一覽

【註】

- (1) 昭和59年に岡山県立博物館の白井洋輔氏が備前焼の大甕に実際に水を入れて容量を算出している。その量はなんと380リットル。
- (2) 一般的にCADは設計用のソフトウェアとして、3DCGは作図用のソフトウェアとして開発されている。したがってCADと3DCGでは製図の目的が異なる。具体的にはCADは建築物や車、部品などのモデルを作成するさいに、3DCGはアニメやゲーム、キャラクターなどを作成するさいに使用される。
- (3) ソフトウェア作者Daytime氏が作成した画像回転に特化したフリーソフト。実測図の中心線に合わせて傾きを補正することができる。Windows標準の「フォト」と比較して正確に傾きが補正できた。
- (4) 2003年にベクトル画像編集ソフトSodipodiから派生してオープンソースで開発されたソフトウェア。オープン規格のSVG(Scalable Vector Graphics)をフォーマットとして採用している。
- (5) オープンソースの統合型3DCGソフトウェア。3Dモデリング、モーショングラフィックス、アニメーション、シミュレーション、レンダリング、デジタル合成などの機能を備えている。
- (6) 土器の実測図からは左側の器壁の厚みを知る術がないため、右側断面を参考にした。



手軽になめ直し
(画像回転ソフトウェア)



Inkscape
(ベクトル画像編集ソフトウェア)



blender
(3DCGソフトウェア)

第8図 ソフトのアイコン

【挿図出典】

第5図 兵庫県教育委員会1994『玉津田中遺跡－第2分冊－』(兵庫県文化財調査報告135-2), 兵庫県教育委員会

【参考文献】

- 神林幸太郎2016「土器の大きさ－甕形土器の容量計測－」『調査研究コラム』,公益財団法人福島県文化振興財団
- 鈴木慎也2015「容量からみたアナトリアにおけるウンゲントリウムの使用用途の変化－容量の変化とウンゲントリウムの副葬品化について－」『型式論の実践的研究Ⅲ 人文社会科学研究科研究プロジェクト報告書 第290集』,千葉大学大学院人文社会科学研究科
- 渡部裕司2010「山形盆地における古墳時代前期土師器甕の計測－容量と形態の特徴について－」『年報』,財団法人山形県埋蔵文化財センター
- 都出比呂志1982「機内第五様式における土器の変革」『考古学論考』小林行雄博士古希記念論文集,平凡社
- 白井洋輔「備前焼年銘入大甕の時代的特徴」『研究報告5』,岡山県立博物館,P49～76
- 野田芳1984「堺環濠都市遺跡発掘調査報告－車之町東1丁SKT21地点」『堺市文化財調査報告二十集』,堺市教育委員会