

縄文土器付着植物遺体と石器の残存デンプン粒分析からみた東京都下宅部遺跡の植物利用

Starch Residues of Plant Remains on Jomon Pottery and Stone Tools
from the Shimo-yakebe Site, Tokyo, Japan, and Their Implications for Plant Utilization

SHIBUTANI Ayako

渋谷綾子

はじめに

1970年代後半から1980年代以降の開発に伴う大規模発掘調査と低湿地遺跡の調査が進展したことによって、縄文時代の膨大な数の遺跡からの植物遺体の出土が報じられるようになり、多くの研究者が野生植物や栽培植物の利用を検討している〔宮本, 2000; 中山, 2009, 2012; 小畑, 2010; 山本, 2007〕。これにより、縄文時代における堅果類の体系的な利用や、外来栽培植物の利用、野生のマメ類の栽培化の可能性などが明らかになってきた。しかし、堅果類や雑穀類などのように硬い種皮や果皮をもつ植物は遺物として保存されやすいのに対し、鱗茎・根茎類などは容易に分解されてしまい、土器付着炭化物のような特殊な例〔長沢, 1998; 中沢, 2006, 2007, 2008; 佐々木, 2006〕を除き、遺物として検出されることは少ない。そのため、縄文時代における植物利用は検出事例の多い特定種の植物に研究が偏重してしまい、縄文人の植物利用の全体像を十分に反映したものとなっていない。

一方、1990年代以降、考古学調査における新たな研究の試みとして残存デンプン粒分析が本格的に開始された。これは植物の生産物の1つであるデンプン粒にもとづくもので、遺跡土壌や石器、土器、貝製品などの人工遺物の表面から当時の人びとが利用した植物に由来するデンプン粒を検出し、過去の植生や人間の植物利用を解明する研究手法である。中でも、石皿や磨石類に対する残存デンプン粒分析は、Bruier [1976] 以降、Fullagar [2006] や Pearsall et al. [2004] をはじめ、世界各地の考古学調査で多くの研究者によって取り組まれ〔Cooper & Nugent, 2009; Ebeling & Rowan, 2004; Liu et al., 2010a; Liu et al., 2010b; Liu et al., 2011; Revedin et al., 2010; Tao et al., 2011; Yang et al., 2012; Yang et al., 2009〕、植物加工工具としての用途や加工対象となった植物の解明が追究されている。

土器に対する残存デンプン粒分析は、近年ヨーロッパで土器の出現や利用の拡大を検証する目的、ならびに資源利用を解明する目的から積極的に導入されており〔Petó et al., 2013; Saul et al., 2012〕、中南米ではトウモロコシの利用開始時期を検討するため、土器付着物から残存デンプン粒の検出が試みられている〔Zarrillo et al., 2008〕。ただし、土器の付着炭化物から検出されたデンプン粒は内容物の調理に伴う加熱によって糖化し原形をとどめていないものが多く〔Braadbaart et al., 2004; Burrell, 2003; Evers & Stevens, 1985〕、これらの植物種の特定は容易ではない〔Lamb & Loy, 2005; 渋

谷, 2007; 庄田ほか, 2011; Weston, 2009]。そのため、糖化したデンプン粒を同定する試みとして、さまざまな種類の現生植物のデンプン粒をいくつかの条件のもとで加熱し、分解の程度を比較した実験が進められている [Collins & Copeland, 2011; Crowther, 2012; Henry et al., 2009; Messner & Schindler, 2010; Raviele, 2011]。Crowther [2012] は現生デンプン粒標本の加熱実験を行い、デンプン粒の残留状態は加熱方法や条件によって異なるが、むしろそれ以上に、植物の種類によってデンプン粒の変成度が異なることを指摘した。さらに、土器の付着物から検出されたデンプン粒の変成状態を検討することが土器の用途を解明する手がかりになると提案している。

日本では近年、筆者らによって土器付着物や石器に対する残存デンプン粒の分析調査が進められている [上條, 2008, 2009; 小林・上條, 2012; 大西ほか, 2012; 寒川ほか, 2012; 渋谷, 2011a, 2012b; 庄田ほか, 2011]。その結果、これまでの種実などの植物遺体研究では解明できなかった縄文時代の鱗茎・根茎類利用の解明に、残存デンプン粒分析が極めて有効であることが示された [渋谷, 2012b]。ただし、石器に比べて土器の分析は事例数が非常に少なく、検出されたデンプン粒の具体的な起源植物についてもわかっていないことが多い [渋谷, 2007; 庄田ほか, 2011]。

本研究では、東京都東村山市下宅部遺跡の植物利用に関する共同研究の一環で、縄文時代中期から後・晩期の土器付着植物遺体と石器を対象として残存デンプン粒の検出を試みた。下宅部遺跡は東京都東村山市多摩湖町、北緯 35°35'47", 東経 139°27'14" に位置し、縄文時代中期中葉から晩期中葉を中心とした低湿地遺跡である。すでに調査報告書 [下宅部遺跡調査団, 2006a, 2006b] が刊行されており、下宅部遺跡の植物利用に関しては、縄文時代中期中葉から晩期中葉までの植物利用体系の復元が行われ、多種類の植物が複合的に利用されていたことがわかっている [工藤ほか, 2007a; 佐々木ほか, 2007]。

そこで本研究では第1の目的として、土器付着植物遺体に対して残存デンプン粒分析を実施し、工藤・佐々木 [2010] によって行われた¹⁴C年代測定、炭素・窒素安定同位体比分析、C/N比の分析結果と比較することで、土器の内容物、当時の人びとが利用した植物性の食材について検討を行った。さらに、形状や使用痕から植物を敲打し磨るという使用状況が推定される石皿や磨石、凹石について植物加工が行われた可能性を検証するとともに、残存デンプン粒の形態学的特徴から土器と石器の加工対象物についてそれぞれの特徴を検討し、下宅部遺跡における植物利用の一端を解明することを第2の目的とした。

下宅部遺跡において土器や石器の残存デンプン粒分析を行う最大の意義は、土器と石器の加工対象物の解明や他の自然科学分析の結果との比較検討が可能であるばかりでなく、両者の付着物に含まれた残存デンプン粒の残留状態を検討し、デンプン粒のタフノミーを検証できることにある。1遺跡で同じ時期の石器と土器を対象として分析を行い、検出された残存デンプン粒の特徴を比較し、それぞれの加工対象物を検証する研究はほとんど行われていないのが現状である。タフノミーの問題は残存デンプン粒研究における課題の1つであり、実験的な研究にもとづき、遺跡で長期間デンプン粒が残留することのできる条件の検証が行われている [Barton, 2009; Barton & Matthews, 2006; Haslam, 2004, 2005; Haslam, 2009; Langejans, 2010]。しかし、同じ遺跡において土器や石器の付着物に含まれた残存デンプン粒の分析自体がほとんどなく、これらのデンプン粒が土器や石器の埋没中にどのような変成をしたのか、デンプン粒の変成過程についてはわかっていないことが多い。大型植物遺体や他の分析の結果から多種類の植物の複合的な利用が判っている下宅部遺跡におい

て、土器と石器の付着物から残存デンプン粒が検出され、両者の残留状態を比較検討すれば、残存デンプン粒にもとづく植物加工の検証が可能となるだけでなく、デンプン粒のタフノミーに関する新しい証拠を提示することにつながる。本研究ではこのタフノミーの問題を考えるため、デンプン粒の残留状態についても検討を行った。

1. 分析の対象とした土器付着植物遺体と石器

1) 土器付着植物遺体

土器付着植物遺体は土器の内部に炭化して付着した鱗茎、繊維、種実、編組製品などの植物起源の遺物を総称したものである。下宅部遺跡から出土したこれらの遺物はいずれも二次的に付着したのではなく、土器を用いた調理や植物加工のときに付着したものである [佐々木, 2006]。出土した土器付着植物遺体は 40 点あり、佐々木 [2006] が付着物を種類別に分類して、鱗茎、繊維、種実遺体、編組製品、不明植物遺体の 5 種類に分け、付着部位や付着した土器について検討を行った。鱗茎は地下茎の葉が層状になったものであり、ユリ科と推定される炭化鱗茎が付着した土器が鱗茎付着土器である [佐々木, 2006]。繊維付着土器は撚りがなく繊維状の形状で付着したもので、植物の茎や葉柄または植物を割り裂いた編組製品のひごの一部の可能性もある。種実遺体付着土器については、種実もしくは種実と考えられる炭化植物遺体が付着する土器であり、編組製品付着土器はひごを編んだり組んだりして製作した製品もしくはその痕跡が認められるもの、また、不明植物遺体付着土器は植物片と推定される付着物が観察されるものである。

種実や鱗茎は土器内での調理・加工中に付着し、繊維は内容物の加工過程で付着したか、食物や容器の一部の可能性もある。編組製品は容器としての用途が推定され、編組製品の内外で内容物を分けた可能性や、土器と編組製品を用いて「濾す」「蒸す」といった加工・調理方法が行われていた可能性が想定されている [佐々木, 2006]。

土器の型式からみた年代観は、時期不明の土器を除くと縄文時代後期初頭から晩期中葉と弥生時代初期に属する。これらは型式学的特徴に乏しい土器の底部・胴部片が中心であり、佐々木 [2006] では明確な時期は特定されていなかった。工藤・佐々木 [2010] によって、これら 40 点の土器付着植物遺体のうち 26 点について、 ^{14}C 年代測定、炭素・窒素安定同位体比分析、C/N 比の分析が実施され、それらの年代観と土器を用いた調理・加工対象物の考察が行われた。

分析された土器付着植物遺体は縄文時代中期中葉の 1 点を除き縄文時代後期・晩期に属し、3,300～2,700 cal BP の間に集中しており、ほとんどが縄文時代晩期前葉から中葉であることが判明した [工藤・佐々木, 2010]。特に、ユリ科鱗茎は中期中葉から晩期中葉まで利用され、他の付着物については後期末葉から晩期中葉に多いことから、縄文時代晩期前葉から中葉に土器を用いた植物加工が活発に行われていた可能性が指摘された。炭素・窒素安定同位体比と C/N 比からは、下宅部遺跡の土器付着植物遺体は、陸上動物起源の有機物や海洋起源の有機物の可能性が指摘される土器付着炭化物とは分布傾向が明確に異なり、 C_3 植物に特徴的な傾向を示したことが提示された。編組製品や繊維付着土器については、編組製品や繊維そのものと、それらと一緒に煮炊きした内容物の同位体比が異なることが指摘され、マメ科種子が編組製品や繊維と一緒に煮炊きした植物の候補の 1 つとして挙げられた。

この分析結果をふまえて本研究では、ユリ科鱗茎付着土器 11 点、編組製品付着土器 4 点、繊維付

着土器 8 点, 種実遺体付着土器 10 点, 不明植物遺体付着土器 5 点, 合計 38 点の資料を分析した (表 1)。これらの土器は発掘調査で出土した後にすべて水洗されており, 東村山ふるさと歴史館に保管されている。残存デンプン粒の検出結果と比較するため, 分析した 38 点のうち 25 点は工藤・佐々木 [2010] が分析したものを選択した。分析試料は, 土器付着植物遺体の付着状況を可能な限り維持するため, 植物遺体そのものはごく微量を採取し, 周囲に付着した炭化物を主に採取した。ユリ科鱗茎については土器片にまんべんなく付着していたため, 採取した炭化物のほとんどは鱗葉の一部であると考えられる。なお, 今回扱った土器はニワトコ種子付着土器 (表 1: 種実遺体 4) をのぞき, すべて河道 1 および河道 2 の堆積物中から出土したものである。

2) 石皿, 磨石, 凹石

出土した礫石器のうち, 表 2 のように, 石皿 16 点, 磨石 3 点, 凹石 1 点の合計 20 点を分析の対象とした。試料採取時の各石器に対する使用痕の観察では, 石器の面の中央部や側面端部を利用して対象物を敲打し磨るといふ磨石や凹石, 石皿の使用状況が推定された。これらの石器は土器付着植物遺体と同様に, すべて発掘調査で出土した後に水洗されており, 東村山ふるさと歴史館に保管されている。

石皿については, 五十嵐ら [2006] によって「石皿類 I 類」に分類された石皿を分析の対象とし, 加工を施した「成形石皿類」3 点 (石皿 1, 11, 13) と礫をそのまま使用した「不成形石皿類」13 点 (石皿 2~10, 12) の 2 種類を分析した。これらの出土地点については, 調査区 I から出土したものの 3 点, 調査区 II から出土したものの 6 点, 調査区 III から出土したものの 2 点, 調査区 V から出土したものの 5 点である (表 2)。成形石皿類のうち, 五十嵐らの分類 [五十嵐ほか, 2006] の成形 A 類に該当する脚付きの石皿 1 と石皿 11 は調査区 II の第 7 号または第 8 号水場遺構周辺で出土したものである。石皿 1 は多孔質の安山岩製で縁を形作って成形されており, 皿部全体に磨面が明瞭に見られた。石皿 13 は調査区 V から出土した破片資料であり, 同じ調査区 V からは不成形石皿類・石皿類 A 類に該当する石皿 2 が出土しており, こちらは平坦な磨面のみが観察された。

磨石については, 磨石類 I 類のうち磨面を単独で有する「磨石類 A 類」と分類された砂岩製の完形磨石 3 点を分析対象とした。磨石類 I 類は調査区 V での出土数が多く, これらの重量や出土状況から原位置を保っていると考えられており [五十嵐ほか, 2006], 分析した磨石 1・2 は調査区 V から出土したもので, 磨石 3 は調査区 I から出土したものである (表 2)。下宅部遺跡では磨石類 I 類のうち敲石にあたる磨石類 B 類が最も多く出土しており, 完形・略完形の遺存状態が良好な 382 点のうち 162 点が磨石類 B 類である。一方, 本研究で分析した磨石が含まれる磨石類 A 類は全体の出土点数が 29 点と, 磨石類 B 類よりも非常に少ない。そのため, 下宅部遺跡では植物加工や堅果類の粗割り, あるいは石器製作作業の一端を担ったと想定される敲く作業が高い割合で行われ, 磨る作業は敲く作業など他の作業とのかかわりの中で行われたと考えられている [五十嵐ほか, 2006]。

凹石は調査区 V から出土した 1 点であり, 五十嵐ら [2006] が報告した「磨石類 I 類」の磨面と敲打痕が複合する「磨石類 C 類」である。試料採取時の観察では石器中央部の敲打痕のみが明確に確認され, 磨面の識別は非常に困難であった。分析対象とした磨石 1~3 と区別するため, 本研究では以下「凹石」と表記する。

表1 土器付着植物遺体の分析試料と残存デンプン粒の検出個数 (IS: 第1次試料, 剥片: 微量の炭化付着物片)

分析した土器 付着植物遺体	工藤・佐々木 (2010)	報告書 の番号	採取 部位	検出 個数	分析した土器 付着植物遺体	工藤・佐々木 (2010)	報告書 の番号	採取 部位	検出 個数			
ユリ科鱗茎1	SY-11	表73-3	IS1	0	繊維4	SY-17	表73-11	IS1	1			
			IS2	0				IS2	0			
			IS3	0				IS3	2			
			剥片	1				剥片	1			
ユリ科鱗茎2	SY-12	表73-4	IS1	3	繊維5	SY-19	表73-13	IS1	1			
			剥片	7				剥片	0			
ユリ科鱗茎3	SY-14	表73-7	IS1	-	繊維6	-	表73-15	IS1	0			
			IS2	1				IS2	1			
			剥片	1				剥片	1			
ユリ科鱗茎4	SY-9	表73-1	IS1	1	繊維7	SY-20	表73-16	IS1	0			
			IS2	17				剥片	0			
			剥片	0				剥片	0			
ユリ科鱗茎5	SY-10	表73-2	IS1	1	繊維8	-	表73-17	IS1	1			
			IS2	1				剥片	0			
			剥片	0				剥片	0			
ユリ科鱗茎6	SY-13	表73-5	IS1	28	種実遺体1	-	表73-30	剥片	0			
			IS2	0				種実遺体2	-	表73-29	IS1	0
			IS3	0							IS2	0
			剥片	0							剥片	1
ユリ科鱗茎7	SY-16	表73-10	IS1	1	種実遺体3	-	表73-28	IS1	0			
			IS2	0				種実遺体4 (ニワトコ種子)	SY-24	表73-21	IS1	3
			剥片	0							IS2	1
ユリ科鱗茎8	SY-15	表73-9	IS1	0	種実遺体5 (マメ科炭化種子)	-	-	IS1	0			
			IS2	0				IS2	0			
			剥片	1				種実遺体6 (果皮または種皮片)	-	表73-26	IS1	0
ユリ科鱗茎9	-	表73-6	IS1	0	IS2	0						
			IS2	1	剥片	0						
ユリ科鱗茎10	SY-15	表73-9	IS1	0	種実遺体7 (果皮または種皮片)	-	表73-22	IS1	1			
			剥片	0				剥片	0			
ユリ科鱗茎11	-	表73-8	IS1	0	種実遺体8 (果皮または種皮片)	-	表73-23	IS1	0			
			剥片	0				剥片	1			
編組製品1	SY-28	表73-34	IS1	0	種実遺体9 (堅果類)	SY-30	表73-36	IS1	0			
			IS3	0				IS2	0			
			剥片	0				剥片	0			
編組製品2	SY-29	表73-35	IS1	1	種実遺体10 (果皮片)	SY-25	表73-24	IS1	2			
			剥片	0				剥片	27			
編組製品3	SY-27	表73-33	IS1	0	不明植物遺体1	-	表73-25	IS1	0			
			IS2	0				IS2	3			
			剥片	0				IS3	2			
			剥片	0				剥片	0			
編組製品4	SY-40	表73-31	IS1	0	不明植物遺体2	SY-31	表73-37	IS1	1			
			IS2	1				剥片	0			
			IS3	0				不明植物遺体3	SY-33	表73-39	IS1	0
			剥片	1							IS2	0
繊維1	SY-18	表73-12	IS1	2	不明植物遺体4	-	表73-40	IS1	0			
			IS2	0				剥片	0			
			IS3	1				不明植物遺体5	SY-32	表73-38	IS1	0
剥片	1	IS2	0									
繊維2	SY-39	表73-14	IS1	0	剥片	0	剥片	0				
			IS2	1								
			IS3	1								
繊維3	SY-21	表73-18	IS1	0	剥片	0	剥片	0				
			IS2	0								
			IS3	0								
			剥片	0								

表2 石器の分析試料と残存デンプン粒の検出個数 (IS: 第1次試料, 使用痕の識別は筆者自身の観察による)

分析した 石器	報告書 の番号	五十嵐ほか (2006)の分類	採取 部位	使用痕 の種類	検出 個数	分析した 石器	報告書 の番号	五十嵐ほか (2006)の分類	採取 部位	使用痕 の種類	検出 個数			
石皿1	II-138	成形石皿類	IS1	磨面	1	磨石1	V-78	磨石類 A 類	IS1	磨面	0			
				磨面	3					IS2	磨面	1		
				磨面	2					IS3	無	0		
				磨面	0					IS4	無	0		
				無	0					IS5	無	0		
				無	0					IS6	無	0		
石皿2	V-343	不成形石皿類	IS1	磨面	3	磨石2	V-346	磨石類 A 類	IS1	磨面	0			
				磨面	0					IS2	磨面	0		
				磨面	0					IS3	無	3		
				磨面	0					IS4	無	0		
石皿3	II-341	不成形石皿類	IS1	磨面	0	磨石3	I-300	磨石類 A 類	IS1	磨面	0			
				磨面	2					IS2	磨面	0		
				無	1					IS3	無	0		
				無	0					IS4	無	2		
石皿4	V-76	不成形石皿類	IS1	磨面	0	凹石	V-345	磨石類 C 類	IS1	無	0			
				磨面	0					IS2	敲打痕	0		
				磨面	0					IS3	敲打痕	0		
石皿5	I-203	不成形石皿類	IS1	磨面	0									
				磨面	1							IS4	無	0
				磨面	0								IS4	無
石皿6	II-114	不成形石皿類	IS1	磨面	3									
				磨面	0							IS3	磨面	1
				磨面	1								IS4	無
				磨面	0							IS4	無	1
石皿7	I-208	不成形石皿類	IS1	磨面	0									
				磨面	0							IS3	磨面	0
				磨面	0								IS4	磨面
				磨面	0							IS5	無	2
				無	0							IS6	無	0
				無	0									
石皿8	V-331	不成形石皿類	IS1	磨面	0									
				磨面	0							IS3	無	0
				無	0								IS3	無
石皿9	III-870	不成形石皿類	IS1	磨面	0									
				磨面	0							IS3	無	0
				磨面	0								IS3	無
石皿10	II-112	不成形石皿類	IS1	磨面	0									
				磨面	0							IS3	磨面	3
				磨面	0								IS3	磨面
石皿11	II-139	成形石皿類	IS1	磨面	0									
				磨面	0							IS3	無	0
				無	0								IS3	無
石皿12	I-204	不成形石皿類	IS1	磨面	2									
				磨面	0							IS3	無	0
				無	0								IS3	無
石皿13	V-77	成形石皿類	IS1	磨面	0									
				無	0							IS2	無	0
石皿14	V-79	不成形石皿類	IS1	磨面	0									
				磨面	0							IS3	無	0
				無	0								IS3	無
石皿15	II-113	不成形石皿類	IS1	磨面	3									
				磨面	0							IS3	磨面	0
				磨面	0								IS4	磨面
				磨面	0							IS4	磨面	0
石皿16	III-491	不成形石皿類	IS1	敲打痕	0									
				磨面	0							IS3	磨面	12
				磨面	0								IS4	無
				無	2							IS4	無	2

2. 分析方法

本研究では、2010年9月と2011年2月の2度にわたって、八国山たいけんの里で資料観察と分析試料を採取した。試料の採取時は異物の混入を避けるため、白衣の着用や資料ごとの手洗い等、採取条件に留意した。プレパラートの作製と顕微鏡観察は、国立民族学博物館の動植物標本資料室(2010年9月採取分)と広島大学総合博物館事務室(2011年2月採取分)で行った。

残存デンプン粒分析の試料を採取する方法は、分析の対象が遺跡の土壌であるか遺物の表面であるかによって異なる。石器からの試料採取では Fullagar [2006] の方法を参照し、敲打痕と磨面の確認された部位を主に選択するとともに、使用痕の外側の面、確認されなかった部位の試料も採取し、残存デンプン粒の有無と検出量を検討した。マイクロピペットにチップをはめて精製水(シグマ社製)を吸入し、採取する対象に注入、洗浄しながら試料が16 μ l 以上(複数枚のプレパラートを作製する必要量)になるまで吸引した(図1:A, B)。1資料につき試料を4~6箇所、石器の表面の凹所から採取した。この方法は、後期旧石器時代や縄文時代の石器に対する他の分析事例[渋谷, 2010a, 2011b, 2012b]でも採用している。

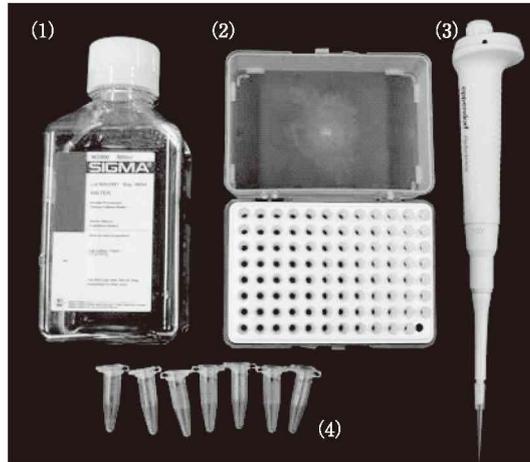
本研究ではデンプン粒の含まれていない水道水で洗浄された石器を分析対象とし、石器表面の割れ目や穴の深い部分から試料を採取した。遺跡から出土した後に水道水で洗浄された石器のうち、表面の凹凸を明瞭に確認できる石器を分析対象とすれば、試料に含まれたデンプン粒が土壌由来であるという可能性は極めて低くなる。これに加えて、石器表面の割れ目や凹部の深い所から分析試料を採取すれば、石器から検出した残存デンプン粒が植物加工によって付着した物質であると提示することが可能である[渋谷, 2009b]。本研究で検出されたデンプン粒は、石器による加工作業で付着した植物の残滓に由来すると考える。

土器の付着物からの試料採取では、花粉分析や土壌の残存デンプン粒分析で用いられる重液分離によってデンプン粒の抽出が行われる事例もあるが[Zarrillo et al., 2008]、本研究では石器と同じ方法で採取された試料(図1:B)とともに、メスで付着物の剥片を土器から削り取り、チューブに入れて精製水を添加したものを分析試料とした。これは Crowther [2005] が提示した方法であり、Saul et al. [2012] や筆者ら[渋谷, 2007; 庄田ほか, 2011] がすでにこの方法によって残存デンプン粒の検出に成功している。薬品による染色(たとえばヨウ素反応)や破壊など、デンプン粒への影響を可能な限り避けるため、本研究では Crowther の方法を採用した。

採取した試料はすべて、現生デンプン粒標本の作製[渋谷, 2006, 2010c]と同じ方法でプレパラートを作製し、試料を遠心後(13000 rpm・1分)、8 μ l をグリセロール・ゼラチン(シグマ社製、屈折率1.46~1.48)8 μ l で封入し、1試料につき2~3枚作製した(図1:C)。試料を入れないブランクスライドも毎回作製し、スライドグラスやカバーガラス、スライド封入剤における汚染の有無を確認した。

次に光学顕微鏡(2010年9月採取試料:Nikon ECLIPSE E600, 2011年2月採取試料:Olympus BX53-33Z, どちらも簡易偏光装置付)を用いて、接眼レンズを10倍、対物レンズを10~40倍、総合倍率100~400倍の視野条件で観察した(図1:C)。デンプン粒の外形や偏光十字の形状などの特徴を記録する際は400倍で観察し、写真記録を行った。

A 試料採取の道具



(1) 精製水, (2) ピペットチップ, (3) マイクロピペット, (4) 試料チューブ

B 試料を採取する方法

石器



① 石器の観察, 試料の採取箇所の決定



② 試料の採取箇所に精製水を含ませる



③ 浮かびあがった液体を採取



④ 試料をチューブに入れる

土器付着植物遺体



① 土器の観察, 試料の採取箇所の決定



② 試料の採取箇所に精製水を含ませる



③ 浮かびあがった液体を採取



④ 試料をチューブに入れる

C プレパラート作製と顕微鏡観察



① 試料を遠心 (13000rpm・1分)
※デンプン粒の比重は 1.6~1.65
と水よりも重く, 試料チューブ
の底に沈殿させる目的で使用



② 試料 8 μ l をスライド封入剤 (グリセロール・ゼラチン, 屈折率 1.46~1.48) 8 μ l で封入



③ 光学顕微鏡で観察 (2010年9月採取試料: Nikon ECLIPSE E600, 2011年2月採取試料: Olympus BX53-33Z, どちらも簡易偏光装置付)

図1 残存デンプン粒分析における試料採取の道具 (A), 採取方法 (B), プレパラート作製と顕微鏡観察の方法 (C)

顕微鏡観察の際は、現生植物を用いたデンプン粒標本の形態分類法 [渋谷, 2010c] をふまえ、検出したデンプン粒の形態を A: 円形・いびつな円形・楕円形, B: 半円形・三角形・四角形, C: 多角形の3つのカテゴリーに分類し、大きさは最大粒径を計測して I: 10 μm 未満, II: 10~20 μm , III: 20 μm より大, の3つのサイズクラスに分け、合わせて9つのタイプに分類した。これらとは別に、分解・損傷して原形の識別が難しい残存デンプン粒は「D: 分解・損傷」とした。

デンプン粒は植物の種類により大きさや外形、偏光十字の形状、形成核の位置が異なるが [不破ほか, 2004; Gott et al., 2006], 大きさや形状に分布がある。デンプン粒の形状を規定している分子機構は現段階ではまだわかっていないが [松島, 2012], 大きさの多様性はデンプン粒を主に構成するアミロース分子の大きさの変異幅によるものであり [楡作, 2004], 残存デンプン粒分析では現生標本で認められる粒径の最頻値から種の同定につなげている。残存デンプン粒を確認した場合は、上記の項目で形態分類を行うとともに、デンプン粒の外形や粒芯、層紋（半結晶ラメラ構造）、形成核（粒芯の中央部で偏光十字が交差する箇所、ヘソ hilum）の位置、偏光十字の形状も記録した。この作業を資料ごとに行い、それぞれ残存デンプン粒の形態分類図を作製した。

3. 分析結果

分析した土器付着植物遺体 38 点のうち 23 点より合計 122 個の残存デンプン粒を検出し（表 3）、石器 20 点のうち 13 点より合計 46 個の残存デンプン粒を検出した（表 4）。分解が進んで糖化し、原形が識別できないデンプン粒は土器付着植物遺体では 13 個、石器では 24 個あったが、他のデンプン粒は外形や偏光十字の形状を明確に識別することができた。

デンプン粒の分解の程度について、土器付着植物遺体では、不明植物遺体付着土器から検出した、粒子が膨張したうえに縁部から損傷し、偏光十字が完全に消失したデンプン粒（図 2: 11）、ユリ科鱗茎付着土器から検出した、偏光十字が交差する形成核付近で亀裂が入ったデンプン粒（図 2: 2）が見られた。一方の石器では、石皿 1 から検出した、形成核付近に小さい亀裂が入ったデンプン粒（図 3: 2）、石皿 2 の AII のデンプン粒（図 3: 4）や磨石 2 の AIII のデンプン粒（図 3: 7）のように、粒子自体は膨張していないが、偏光十字の幅がやや拡大したのが見られた。今回検出した分解デンプン粒の傾向として、土器から検出された残存デンプン粒の方が石器の残存デンプン粒よりも分解・損傷の度合いが比較的高く、同じ付着物から検出されたものでも、それぞれ度合いが異なっていることが確認された。デンプン粒が糊化し糖化する温度は植物の種類によって異なるため [藤本, 1994; Gott et al., 2006; Haslam, 2004], この傾向が植物種の差異を示す可能性は考えられる。ただし、現生標本の実験的な研究を実施して分解度の数値化を行う必要があり、今後検討すべき課題の 1 つとしたい。

残存デンプン粒の検出状態については、単粒（1 粒単独の状態）や複数粒（複数の粒が密集した状態、図 2: 8, 図 3: 8）、アミロプラストと呼ばれる細胞内構造体の中に包含されたデンプン粒（図 2: 1, 図 3: 9）を検出し、繊維や細胞組織の微細な断片、珪酸体などの植物性物質も同時に検出した。また形態については、土器付着植物遺体からは A 類, B 類, C 類のすべての形態を確認し（表 3）、石器からは A 類と B 類の 2 形態を確認した（表 4）。土器も石器も A 類のデンプン粒が最も多く検出された。ユリ科鱗茎 1, 編組製品 2, 石皿 10, 磨石 1 の残存デンプン粒は糖化していた

表3 土器付着植物遺体から検出した残存デンプン粒(単位:個)

分析した 土器付着植物遺体	工藤・佐々木 (2010)	報告書 の番号	円形主体			半円・三角・ 四角形			多角形			D	計
			AI	AII	AIII	BI	BII	BIII	CI	CII	CIII		
ユリ科鱗茎1	SY-11	表73-3										1	1
ユリ科鱗茎2	SY-12	表73-4	1	4	1					1	1	2	10
ユリ科鱗茎3	SY-14	表73-7										2	2
ユリ科鱗茎4	SY-9	表73-1	17									1	18
ユリ科鱗茎5	SY-10	表73-2	1	1									2
ユリ科鱗茎6	SY-13	表73-5	28										28
ユリ科鱗茎7	SY-16	表73-10		1									1
ユリ科鱗茎8	SY-15	表73-9											0
ユリ科鱗茎9	-	表73-6			1								1
ユリ科鱗茎10	SY-15	表73-9											0
ユリ科鱗茎11	-	表73-8											0
編組製品1	SY-28	表73-34											0
編組製品2	SY-29	表73-35										1	1
編組製品3	SY-27	表73-33											0
編組製品4	SY-40	表73-31	1	1									2
繊維1	SY-18	表73-12	1	3									4
繊維2	SY-39	表73-14		1								1	2
繊維3	SY-21	表73-18											0
繊維4	SY-17	表73-11	1	1			2						4
繊維5	SY-19	表73-13	1										1
繊維6	-	表73-15		1								1	2
繊維7	SY-20	表73-16											0
繊維8	-	表73-17			1								1
種実遺体1	-	表73-30											0
種実遺体2	-	表73-29			1								1
種実遺体3	-	表73-28											0
種実遺体4(ニワトコ種子)	SY-24	表73-21	2									2	4
種実遺体5(マメ科炭化種子)	-	-											0
種実遺体6(果皮か種皮片)	-	表73-26											0
種実遺体7(果皮か種皮片)	-	表73-22		1									1
種実遺体8(果皮か種皮片)	-	表73-23			1								1
種実遺体9(堅果類)	SY-30	表73-36											0
種実遺体10(果皮片)	SY-25	表73-24				1	27					1	29
不明植物遺体1	-	表73-25	3							1		1	5
不明植物遺体2	SY-31	表73-37		1									1
不明植物遺体3	SY-33	表73-39											0
不明植物遺体4	-	表73-40											0
不明植物遺体5	SY-32	表73-38											0
計			56	15	5	1	29	0	0	2	1	13	122

※A: 円形・いびつな円形・楕円形, B: 半円形・三角形・四角形, C: 多角形, D: 分解して原形の識別が困難なもの。
I: 10 μm 未満, II: 10~20 μm, III: 20 μm 以上。

表4 石器から検出した残存デンプン粒(単位:個)

分析した 石器	報告書 の番号	円形主体			半円・三角・ 四角形			多角形			D	計
		AI	AII	AIII	BI	BII	BIII	CI	CII	CIII		
石皿1	II-138	1		2							3	6
石皿2	V-343		2			1						3
石皿3	II-341		2								1	3
石皿4	V-76											0
石皿5	I-203						1					1
石皿6	II-114		1								2	3
石皿7	I-208						1				1	2
石皿8	V-331											0
石皿9	III-870											0
石皿10	II-112										3	3
石皿11	II-139											0
石皿12	I-204		1								1	2
石皿13	V-77											0
石皿14	V-79											0
石皿15	II-113		1								2	3
石皿16	III-491		4								10	14
磨石1	V-78										1	1
磨石2	V-346			1		2						3
磨石3	I-300		2									2
凹石1	V-345											0
計		1	13	3	0	3	2	0	0	0	24	46

※A: 円形・いびつな円形・楕円形, B: 半円形・三角形・四角形, C: 多角形, D: 分解して原形の識別が困難なもの。
I: 10 μm 未満, II: 10~20 μm, III: 20 μm 以上。

ため形態が識別できなかったが、検出された A 類のデンプン粒の多くがユリ科鱗茎付着土器や石皿でみられた(図4, 図5)。ユリ科鱗茎1, 編組製品2, 石皿10, 磨石1の残存デンプン粒は形態を識別することができなかったため、図4と図5には示していない。

1) 土器付着植物遺体から検出した残存デンプン粒

土器付着植物遺体から検出した残存デンプン粒は、外形や粒径に類似性の認められるものがいくつか確認できる(図4)。ただし、AIの正円形以外の残存デンプン粒は外形や粒径、偏光十字の形状の類似性がほとんど認められず、しかも植物遺体そのものの試料(剥片試料)に含まれたデンプン粒と、石器と同じ方法で採取された試料より検出されたデンプン粒とは形態的な差異がまったく見られなかった。これら2つの理由から、本研究で検出されたデンプン粒は、土器が出土した地点の河道1や河道2の堆積土壌に含まれたデンプン粒ではなく、植物遺体そのものに由来するデンプン粒である可能性がある。今回検出された残存デンプン粒は土器の内容物を示していると判断する。

まずユリ科鱗茎付着土器については、ユリ科鱗茎6からAIの残存デンプン粒が28個検出され、ユリ科鱗茎4からはAIが17個と分解したデンプン粒1個、ユリ科鱗茎2からはAI, AII, AIII, CII, CIIIの6類型と分解したデンプン粒1個が検出された(図2:1~4)。ユリ科鱗茎7はAIIを

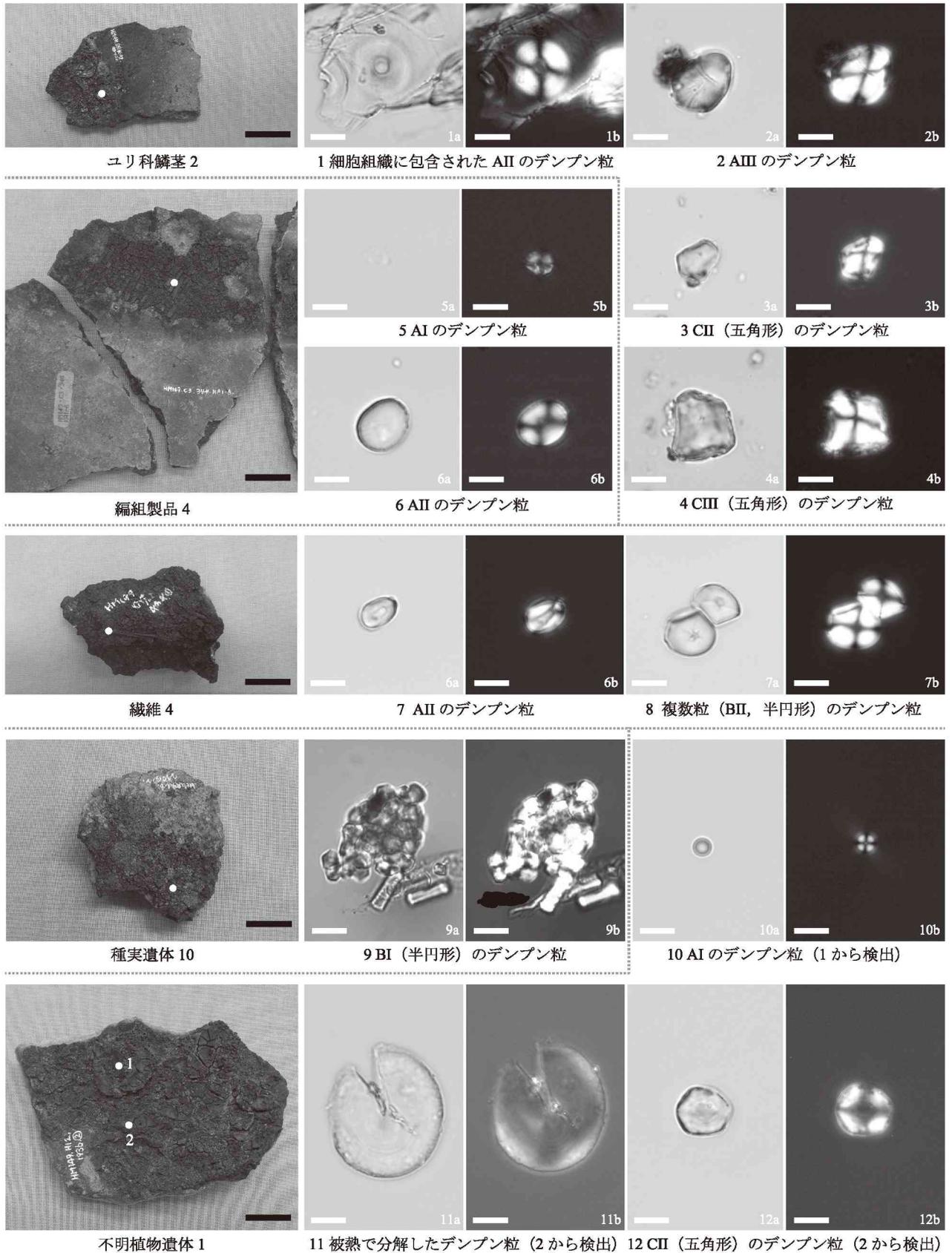


図2 分析した下宅部遺跡の土器附着植物遺体の例と検出された残存デンプン粒
白丸は試料採取箇所、土器写真のスケールバーは2 cm、残存デンプン粒写真のスケールバーは10 μmを示す。デンプン粒の写真はすべて400倍；a：開放ニコル，b：直交ニコル。

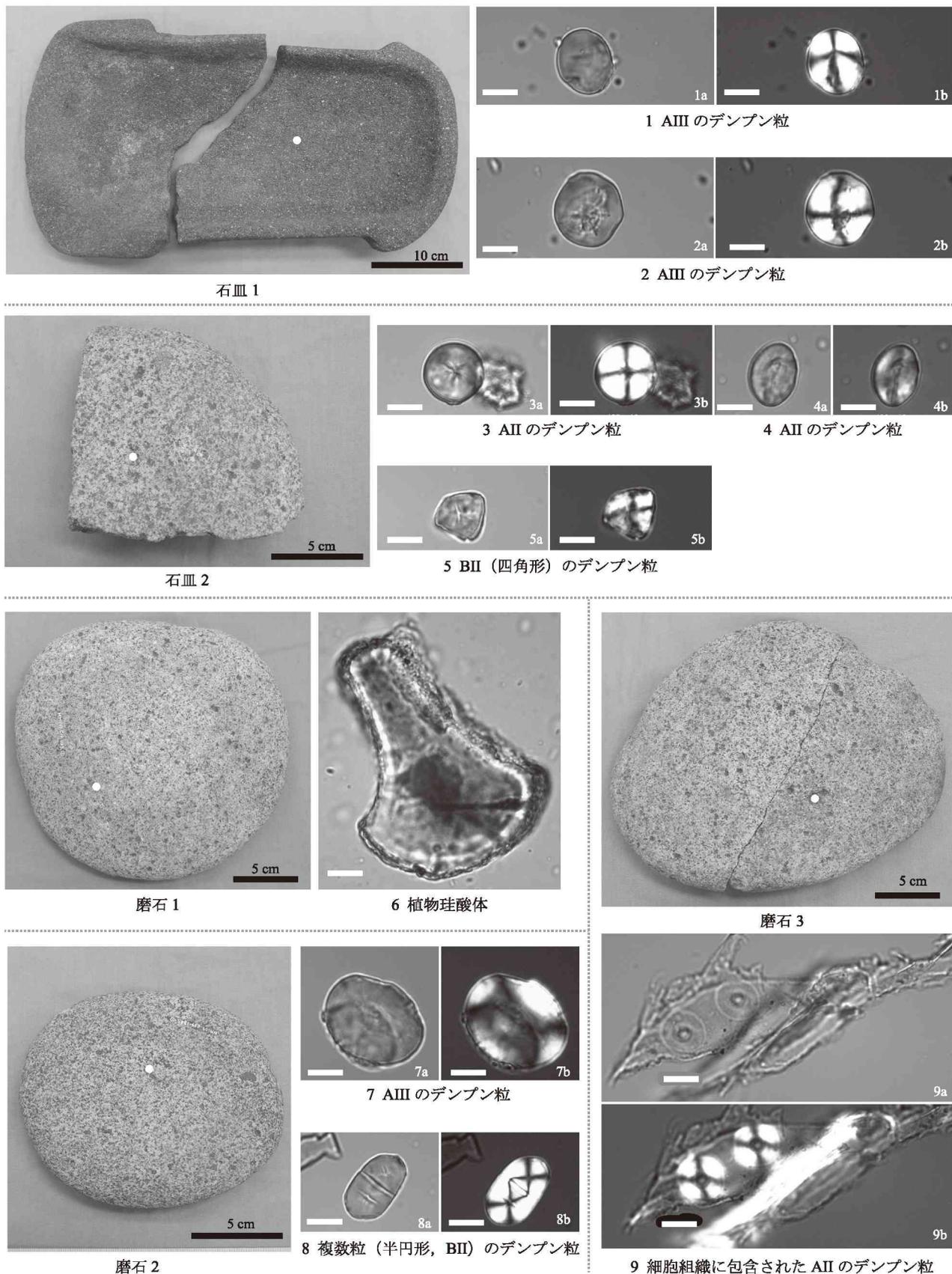


図3 分析した下宅部遺跡の石器の例と検出された残存デンプン粒

白丸は試料採取箇所、残存デンプン粒写真のスケールバーは10 μmを示す。デンプン粒の写真はすべて400倍；a：開放ニコル，b：直交ニコル。

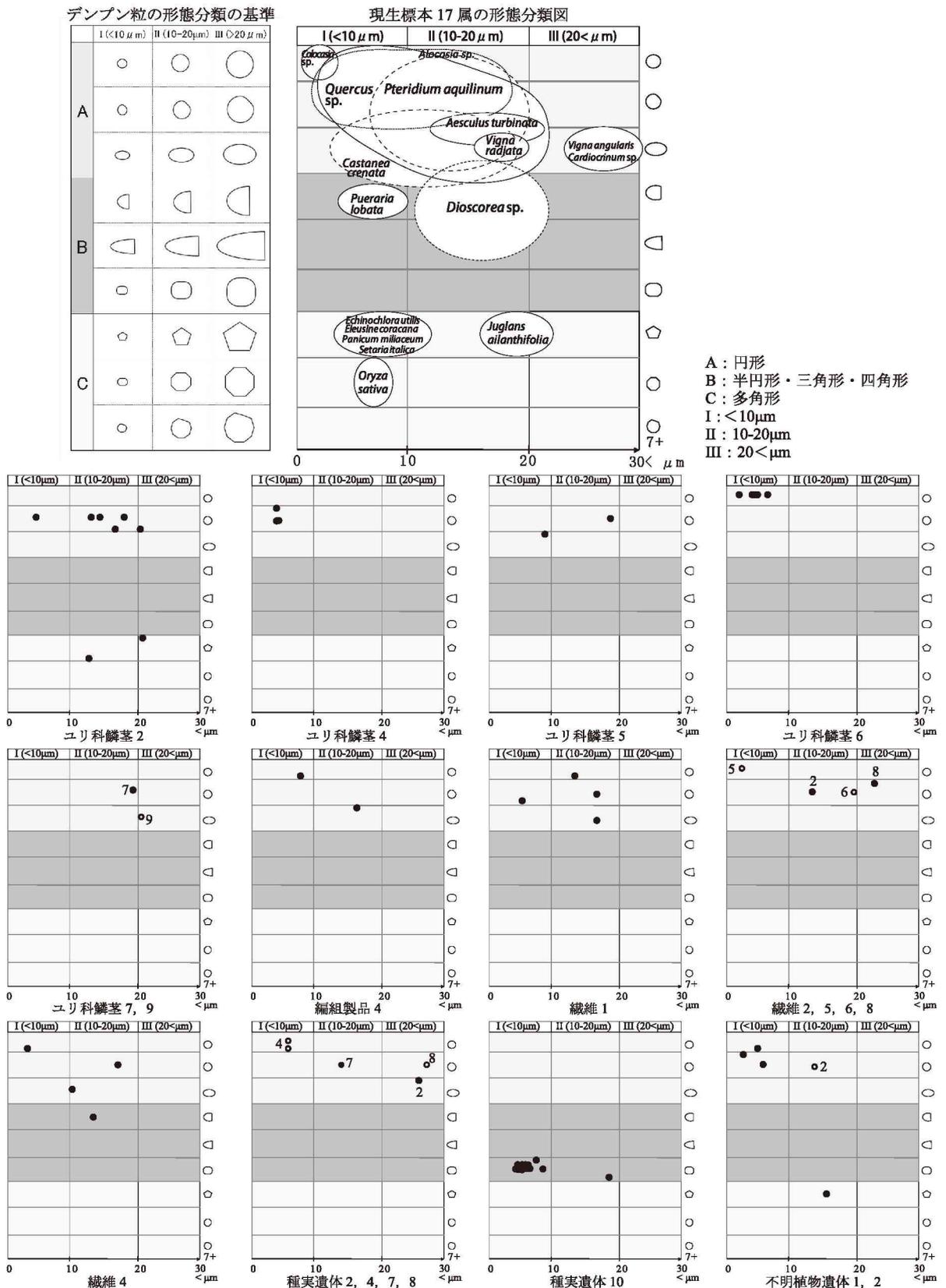
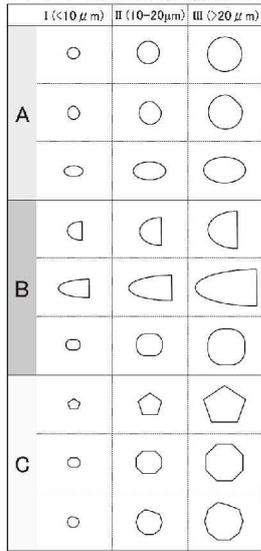
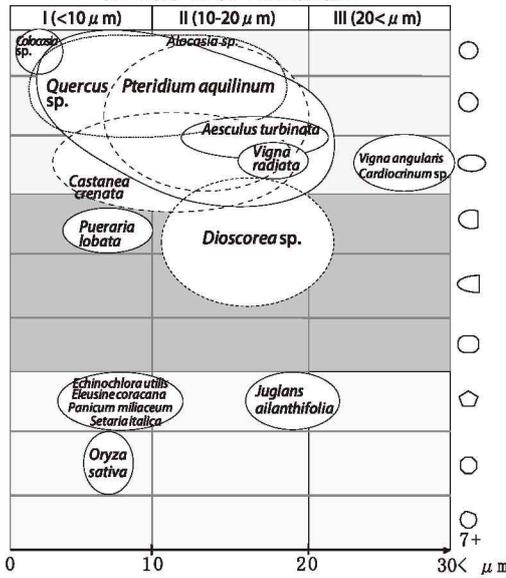


図4 デンプン粒の形態分類の基準と現生標本17属の形態分類図[渋谷2010bをもとに作製]、および土器付着植物遺体から検出した残存デンプン粒の形態分類図
黒丸・丸は形態が識別可能なデンプン粒の最大粒径、図中の番号は資料番号を示す。

デンプン粒の形態分類の基準



現生標本 17 属の形態分類図



A : 円形
 B : 半円形・三角形・四角形
 C : 多角形
 I : <10μm
 II : 10-20μm
 III : 20<μm

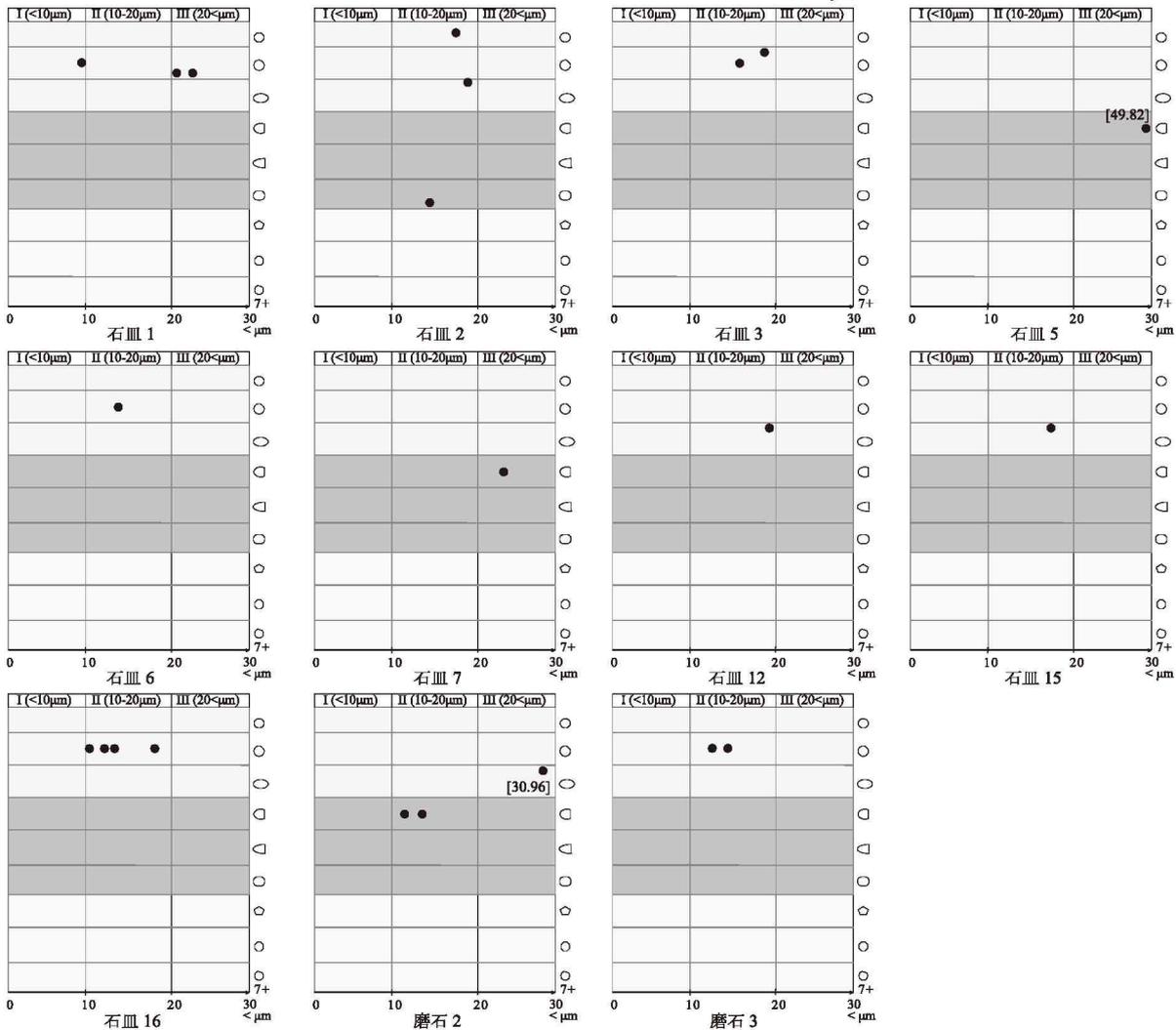


図5 デンプン粒の形態分類の基準と現生標本17属の形態分類図[渋谷2010b をもとに作製], および石皿・磨石・凹石から検出した残存デンプン粒の形態分類図
 黒丸は形態が識別可能なデンプン粒の最大粒径を示す。

1個、ユリ科鱗莖9からはAIIIを1個検出した。これらの試料には植物繊維や細胞組織などの植物性物質の断片が含まれていたが、デンプン粒が確認されなかったユリ科鱗莖8・10・11の試料にはほとんど含まれていなかった。

編組製品付着土器については、編組製品4からAIとAIIの残存デンプン粒が各1個検出され(図2:5,6)、編組製品2から分解したデンプン粒が1個検出されたが、編組製品1・3についてはデンプン粒が確認できなかった。また繊維付着土器の残存デンプン粒については、繊維1からAIを1個、AIIを3個検出し、繊維4からはAI、AII、BIIの3類型、合計4個を検出した(図2:7,8)。繊維2・6からはAIIと分解したものを各1個、繊維5からはAIを1個、繊維8からはAIIIを1個検出し、繊維3・7についてはデンプン粒が確認されなかった。

種実遺体付着土器では、種実遺体10(果皮片)の残存デンプン粒が29個と最も多く、BIが1個、BIIが27個と分解したデンプン粒1個が確認された(図2:9)。種実遺体4(ニワトコ種子)からはAIが2個、分解したデンプン粒が2個確認でき、種実遺体2はAIIIを1個、種実遺体7(果皮か種皮片)はAIIを1個、種実遺体8(果皮か種皮片)はAIIIを1個検出した。他の種実遺体からは残存デンプン粒が確認されなかった。

不明植物遺体付着土器の残存デンプン粒については、不明植物遺体1から分解したデンプン粒1個(図2:11)、AIが3個、CIIが1個(図2:12)確認された。分解したデンプン粒は、偏光十字が消失しつつあり、外形が膨張して外縁が損傷しているという特徴から、土器の被熱に伴って分解したと考えることができる。不明植物遺体2からはAIIが1個確認されたが、不明植物遺体3・4・5はデンプン粒が検出されなかった。

各試料の検出量の差異については、ユリ科鱗莖2・3・8、編組製品4、繊維6、種実遺体2・8・10の残存デンプン粒は植物遺体そのものの剥片試料から多く検出された(表1)。剥片試料から検出された残存デンプン粒は植物遺体そのものを示し、土器の内容物を反映している可能性が非常に高い。一方、ユリ科鱗莖4・5・6・7・9、編組製品2、繊維1・2・4・5・8、種実遺体4・7、不明植物遺体1・2については、精製水で吸い上げた試料からは残存デンプン粒が検出されているにもかかわらず、剥片試料からはゼロもしくは1個のみの検出量であった。これは、デンプン粒が土器の加熱や遺跡土壌に埋没している間に分解し失われた可能性と、採取した植物遺体の剥片にはデンプン粒自体が遺存しなかった可能性の2通りの解釈ができる。今回の分析で精製水によって吸い上げた試料に残存デンプン粒が含まれ、剥片試料には含まれていなかった土器については、別の部位の剥片にデンプン粒が含まれていないか再検討することが必要である。

2) 石皿、磨石、凹石から検出した残存デンプン粒

分析方法の章で既述したように、本研究で検出された残存デンプン粒は石器による加工作業で付着した植物の残滓に由来すると考える。さらに、同じ調査区で近接した地点から出土した石皿1・11、磨石2と凹石1、石皿6・10・15、石皿5・12、石皿13・14と磨石1など、残存デンプン粒が検出されたものと検出されなかったものがあり、各デンプン粒の検出状況も異なっている(表4)。これらの結果からも、出土地点の土壌に含まれたデンプン粒が分析した石器に付着し、それらが今回検出されたものとは考え難いため、検出されたデンプン粒はすべて加工対象物の残滓を示すと考える。

石皿については、成形石皿類の石皿1からAIが1個、AIIIが2個（図3：1, 2）と分解したデンプン粒3個の合計6個が検出されたが、石皿11・13からはデンプン粒が検出されなかった。これらの試料には、植物繊維や細胞組織の断片もほとんど含まれていなかった。一方、不成形石皿類である石皿16の残存デンプン粒が合計14個と最も多く、AIIが4個、分解したデンプン粒10個が確認された。同じく不成形石皿類の石皿2からはAIIが2個、BIIが1個検出され（図3：3～5）、石皿3・6・15からは、それぞれAIIの残存デンプン粒と糖化して原形をとどめていないデンプン粒の合計3個が検出された。石皿5はBIIIが1個、石皿7はBIIIが1個と分解したデンプン粒1個、石皿10は分解したデンプン粒3個のみ、石皿12はAIIが1個と分解したデンプン粒1個が検出された。石皿4・8・9・14の試料はいずれも植物繊維や細胞組織などの植物性物質がほとんど含まれていなかった。

磨石3点からはすべて残存デンプン粒が検出され、磨石2はAIIIとBIIの2種類の合計3個（図3：7, 8）、磨石3は細胞組織に包含されたAIIのデンプン粒を2個検出した（図3：9）。磨石1からは分解したデンプン粒1個とともに、メダケ節型の植物珪酸体（機動細胞由来）であるメダケ属メダケ節 *Pleioblastus* sect. *Nipponocalamus* が検出された（杉山真二氏の同定）。この珪酸体が検出された部位は明確な磨面が確認されなかったため、土壌に由来する可能性が高いと考える。凹石から採取した試料では残存デンプン粒が全く確認されず、植物繊維や細胞組織の断片もまったく含まれていなかった。

今回分析した石器からは円形のデンプン粒は比較的多く検出されたが、土器付着植物遺体から検出された五角形などの多角形の残存デンプン粒は確認できなかった（表4、図5）。

3) 土器と石器の残存デンプン粒の由来する植物

以上の検出結果を受けて、残存デンプン粒の形態と現生標本を比較し、土器と石器に付着していた残存デンプン粒の由来する植物を検討する。まず、土器付着植物遺体から検出された残存デンプン粒のうち、ユリ科鱗茎2からは細胞組織（アミロプラスト）に包含された円形のデンプン粒（図2：1）が検出された。植物繊維や細胞組織の中に包含されたデンプン粒は鱗茎・根茎類に由来する可能性が高い〔渋谷, 2009a, 2009b〕。ユリ科鱗茎2の分析試料は鱗葉の中央部から採取したものであり、今回検出された細胞組織内のデンプン粒はユリ科鱗茎そのものに由来する可能性が高い。同様に、繊維4の試料から検出された半円形で複数粒となったBIIのデンプン粒（図2：8）はクズ属 *Pueraria* sp. のデンプン粒の形態と非常に類似している。クズ *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi のデンプン粒は半円形で粒径範囲 3.8～10 μm、最頻値 7.7 μm であり〔渋谷, 2010c〕、粒子の平坦部分に対して X 字状に交わる偏光十字の形状をもつことから、繊維4のBIIのデンプン粒はクズに由来する可能性がある。したがって、ユリ科鱗茎2の細胞組織内のデンプン粒と繊維4の半円形のデンプン粒は、どちらも植物遺体そのもののデンプン粒を示している可能性が考えられる。

現生鱗茎類のデンプン粒標本では、ノビルやアサツキなどのネギ科ネギ属 *Allium* sp. については、デンプン粒が植物の生長するエネルギー源としてすぐに糖化し、植物のどの部位にもほとんど貯蔵されないことがすでに指摘されており〔Ernst & Bufler, 1994〕、考古資料からネギ属の残存デンプン粒が検出される可能性は極めて少ない〔渋谷, 2012a〕。今回分析したユリ科鱗茎はネギ属の可能性が

指摘されているが [佐々木, 2006], 検出した残存デンプン粒はネギ属ではないと考えられるため, 他のユリ科鱗茎類がその候補となる。さらに, デンプン粒が細胞組織に包含された状態は鱗茎・根茎類の種類によって異なる [渋谷, 2012a]。デンプン粒と細胞組織の双方を詳細に検討することで, デンプン粒の植物種を特定することは可能であり, 現在進めている現生標本の分析にもとづき, 今後対比していく必要がある。

ユリ科鱗茎 2, 編組製品 4, 繊維 4 の試料からは, ユリ科鱗茎 2 の AIII (図 2:2), 編組製品 4 の AII (図 2:6), 繊維 4 の AII (図 2:7) のように, 楕円形で偏光十字が粒子の長径に対して X 字状に交わるという特徴をもつ残存デンプン粒も同時に検出された。これらのデンプン粒は, クリ *Castanea crenata* やコナラ属 *Quercus* sp. のデンプン粒の形態と非常に類似している。クリのデンプン粒は円形やいびつな楕円形, 半円形で, 粒径範囲 3.2~18.2 μm , 最頻値 18.2 μm であり, 形態分類では AI・AII・BI・BII に分類される。楕円形や円形で粒径範囲 6.1~22.2 μm , 最頻値 14.4 μm のデンプン粒をもつコナラ *Quercus serrata* の形態は他のコナラ属にも共通して見られ, コナラ属のデンプン粒の多くは AI・AII・AIII や BI・BII に分類される [渋谷, 2012b]。ユリ科鱗茎 2, 編組製品 4, 繊維 4 から検出された残存デンプン粒はこれらのクリやコナラ属のデンプン粒と形態的に類似しており, 由来する植物の候補となる。さらに, ユリ科鱗茎 2 からは, CI と CII という五角形を呈する残存デンプン粒 (図 2:3, 4) が検出され, 不明植物遺体 1 からは CII の五角形のデンプン粒 (図 2:12) が検出された。十字の暗線が粒子の中央で垂直に交わる偏光十字の特徴とあわせると, 五角形で粒径範囲 16.7~23.2 μm , 最頻値 17.7 μm の形態が見られるオニグルミ *Juglans ailanthifolia* のデンプン粒 [渋谷, 2010c] と類似している。これら五角形の残存デンプン粒の由来する植物の候補として, オニグルミが考えられる。

分析した土器付着植物遺体の 10 点からは AI の残存デンプン粒が検出され (表 3, 図 2:10), ユリ科鱗茎 6 のように, 正円形の残存デンプン粒が多く確認された試料もある (表 3, 図 4)。大半のドングリ類の現生標本では非常に小さな正円形 (AI) のデンプン粒が確認されている [渋谷, 2012b]。ドングリ類と同様に非常に小さな正円形 AI のデンプン粒は, サトイモ属 *Colocasia* sp. [渋谷, 2010c], 堅果類のハシバミ *Corylus heterophylla* Fisch. ex Besser var. *thunbergii* Blume [渋谷, 2007], ツノハシバミ *Corylus sieboldiana* Blume の現生標本においても確認されている。今回検出された AI のデンプン粒は 1 粒単独の状態であり, 植物繊維や細胞組織, シュウ酸カルシウムの針晶などデンプン粒以外の植物性物質が同時に確認されていなければ, ドングリ類に由来するのか, サトイモ属やハシバミ属などの植物に由来するのか, 識別が非常に困難である。AI の残存デンプン粒のみが検出されたユリ科鱗茎 6 については, このデンプン粒がユリ科鱗茎そのものを示しているのか, それとも他の植物に由来するデンプン粒なのかどうか, 判然としなかった。今後, 現生標本の拡充を進める中で検討していきたい。

以上をまとめると, ユリ科鱗茎 2, 編組製品 4, 繊維 4 の試料からは, いずれも土器に付着した植物遺体そのもの, いいかえれば鱗茎類や根茎類自体の残存デンプン粒とともに, クリやコナラ属, オニグルミなどの堅果類に由来する可能性のある残存デンプン粒が検出されたことになる。

本研究で分析した土器付着植物遺体に対する炭素・窒素安定同位体比の分析 [工藤, 2012; 工藤・佐々木, 2010] では, 動物や植物を一緒に煮炊きした後に植物のみが残っていたのではなく, 植物の

みを煮炊きあるいは蒸すといった作業を行った可能性が指摘されており、付着物は C_3 植物に特徴的な傾向を示すという結果が提示され、マメ科種子が編組製品や繊維と一緒に煮炊きした植物の候補として挙げられている。今回、土器付着植物遺体から検出された残存デンプン粒の多くは鱗茎・根茎類や堅果類のデンプン粒に由来する可能性があり、工藤・佐々木 [2010] の分析結果とは矛盾していない。特に、ユリ科鱗茎 2 の試料から鱗茎類と堅果類に由来する可能性のある残存デンプン粒が検出されたことは、中沢 [2008] が指摘したように、鱗茎類にデンプン質のものを加えて煮炊きしたという可能性をうかがわせている。

その一方で、工藤・佐々木 [2010] が土器の内容物として可能性を提示したマメ科種子について、たとえばササゲ属 *Vigna* sp. やダイズ属 *Glycine* sp. に由来すると考えられる残存デンプン粒は、外形や粒径、偏光十字の形状などの形態学的な特徴が識別できたものの中には含まれていなかった。そのため、土器と一緒に煮炊きされていたがマメ科種子のデンプン粒は遺存しなかった可能性、調理によって熱を受けた結果、デンプン粒に糖化が起り、原形が識別できない状態となった、すなわち分解・損傷デンプン粒の中にマメ科種子が含まれている可能性、という 2 通りの解釈が考えられる。本研究で分析した以外の他の土器について、マメ科種子に由来する残存デンプン粒が検出されないかどうかの再検討や、現生マメ科種子のデンプン粒標本に対して加熱による分解過程を検討するなど、今後検討を進める必要がある。

次に、石器から検出された残存デンプン粒の形態から、デンプン粒の由来する植物を検討する。石器の残存デンプン粒については、磨石 3 から細胞組織に包含された円形のデンプン粒 (図 3:9) が検出された。既述のように、細胞組織の中に包含されたデンプン粒は鱗茎・根茎類に由来する可能性が高く、鱗茎・根茎類に由来すると考えられる。磨石 2 からは半円形で複数粒となったデンプン粒 (図 3:8) が検出された。偏光十字が粒子の平坦部に対して X 字状に交わっている特徴とあわせると、クズ属のデンプン粒の形態と非常に類似している。磨石 2 の同じ試料からは楕円形で最大粒径が 30.96 μm 、偏光十字が長径に対して X 字状に交わる AIII のデンプン粒 (図 3:7) も同時に確認された。ウバユリ属 *Cardiocrinum* sp. のデンプン粒と形態的に非常に類似しており、先のクズ属のデンプン粒の形態とは明確に異なっている。AIII のデンプン粒はトチノキやアズキ *Vigna angularis* でも見られるが、どちらも 2 つの形成核が接続した複粒構造を示す [渋谷, 2009b, 2010c]。検出したデンプン粒は形成核が 1 つであるため、ウバユリ属の可能性が高い。つまり、磨石 2 ではウバユリ属とクズ属の 2 種類が加工された可能性を考えることができる。

石皿 1 から検出された AIII (図 3:1, 2)、石皿 2 から検出された AII (図 3:3, 4) と四角形 BII (図 3:5) のデンプン粒は、クリやコナラ属のデンプン粒と形態的に非常に類似している。特に、石皿 2 の四角形のデンプン粒 (図 3:5) はクリのデンプン粒でしばしば確認される形状であり、クリが石皿 2 で加工された植物の 1 つとなり得る。同じ石皿 2 から検出された他の円形のデンプン粒と比較すると、偏光十字の交わる位置など形態学的な特徴から植物の種類が異なることも考えられる。つまり石皿 2 には、クリやコナラ属などの 2 種類以上の堅果類に由来するデンプン粒が付着していた可能性がある。さらに、これらの石皿 1 と石皿 2 を含め、残存デンプン粒が検出された石皿 10 点のうち 7 点からは AII のデンプン粒が検出されており、いずれも形態の類似からクリやコナラ属に由来すると考えられる。

なお、今回分析した石皿と磨石のいずれの石器からも、五角形や六角形などの多角形のデンプン粒がまったく検出されなかった(表4)。現生植物のデンプン粒では円形と多角形のデンプン粒をもつ植物の種類は全く異なる(図4, 図5)。鹿児島県水迫遺跡の分析例[渋谷, 2012b]のように、同じ石器から円形と多角形の残存デンプン粒が検出された場合、2種類以上の植物に由来するデンプン粒が石器表面に付着していた可能性を指摘できるが、今回は多角形のデンプン粒がまったく検出されず、2種類以上の植物の残滓かどうかの判断はできなかった。

4. 考察

1) 残存デンプン粒からみた土器の内容物と使用状況

縄文時代の土器付着炭化物の起源となった煮炊きした内容物については、炭素・窒素安定同位体比やC/N比の分析[工藤ほか, 2007b; 工藤ほか, 2008; 工藤・佐々木, 2010; 工藤・山本, 2009; 坂本, 2007; 吉田, 2004], 付着炭化物の生成実験とその付着物の分析[西田, 2006; 吉田, 2006; 吉田・宮崎, 2007]など、海洋起源の有機物の有無や起源となった有機物の種類について議論が活発に行われている。遺跡から出土する多くの土器付着物は煮炊きによってすでに調理前の食材の形態は失われており、さまざまな種類の食材が混在していた可能性はすでに論じられているとおりである。

今回検出した残存デンプン粒の形態学的特徴から考えられる土器の内容物について、既述した推定結果を再度まとめると下記のとおりである。これらは調理前の食材の形態が失われていても、残存デンプン粒の検討から土器の内容物の候補となる植物を推定できることを示す結果である。

ユリ科鱗茎2: ネギ属以外のユリ科鱗茎, オニグルミ, クリあるいはコナラ属の可能性

ユリ科鱗茎6: 判別不明

繊維4: 根茎類(クズ?), クリあるいはコナラ属の可能性

編組製品4: クリあるいはコナラ属の可能性

不明植物遺体1: オニグルミの可能性

土器自体は被熱によって赤化しており、植物遺体は土器内での加工・調理中あるいは加工過程で付着したものと考えられている[佐々木, 2006]。しかし、検出デンプン粒122個中109個は土器の被熱による影響をほとんど受けていない無傷の状態であり、粒子や偏光十字の形状を明瞭に識別することができた。

植物のデンプン粒は基本的にどのような土壌環境でも残存する[Barton & Matthews, 2006; Evers & Stevens, 1985]。これは植物のセルロース(植物細胞の細胞壁や繊維の主成分)が土壌のpHや温度、微生物の活動に対する耐性もち[Ashman & Puri, 2002], セルロースのこうした働きがデンプン粒の分解を防ぎ、土壌中に長期間残存させると推論されている[Barton & Matthews, 2006]。一方で、土器の加熱調理によって内容物に含まれたデンプン粒の酵素反応が促進され、分解が進んで糖化し原形がまったくわからないものが検出される事例は非常に多く[Braadbaart et al., 2004; Burrell, 2003; Evers & Stevens, 1985; Lamb & Loy, 2005; 渋谷, 2007; 庄田ほか, 2011; Weston, 2009], それらの由来する植物をたどることは困難である。今回、土器の被熱による影響をほとんど受けていないデンプン粒が多数検出されたことは、土器を用いた加熱調理の状況に対して次の2通りの可能性を考えさせる。

1つ目は、分析した土器付着植物遺体は完全に加熱されず、全体にまんべんなく火が通っていない、いわゆる「生焼け」の状態であり、その残滓のデンプン粒を検出したという可能性である。分析した試料は、付着物に対して精製水で吸い上げた試料と炭化物の剥片試料という2種類である。いずれも土器による加工・調理の過程で土器の内壁に炭化して付着したものであり、煮炊きされた後に大部分の内容物が取り去られ、内壁にこびりついたものの残留物であると考えられる。検出デンプン粒のうち、分解した残存デンプン粒はそれぞれの試料において1~2個、あるいはゼロと非常に少なかった。

他の遺跡、たとえば大阪府三宅西遺跡から出土した縄文時代後期の土器付着炭化物においては、変形がほとんど見られず、粒子や偏光十字の形状が明瞭に識別できるなど非常に良好な遺存状態のデンプン粒が分解デンプン粒の検出量よりも多く検出されたことが報告されている [渋谷, 2007]。時期や地域は異なるが、中国の加工食品炭化物 [Chen et al., 2012] やエクアドルの土器付着炭化物 [Zarrillo et al., 2008] など、炭化物から良好な遺存状態のデンプン粒が多数検出された事例もある。一方で、石川県中屋サワ遺跡から出土した縄文時代後期・晩期の土器付着炭化物においては、ウバユリ属やオニグルミなどの堅果類に由来する残存デンプン粒が検出されているが、熱によって分解したデンプン粒の検出量が多かったことも報告されている [上條ほか, 2012]。弥生土器の炭化付着物の分析でも、分解した残存デンプン粒が検出量の大半を占め、これらは熱による影響を受けたものであることが報告されている [庄田ほか, 2011]。土器付着物に対する分析例そのものが石器の分析よりも非常に少ない研究状況であるが、これらの事例を参照して、土器の内容物への熱の通り具合を推定すると、下宅部遺跡の場合は内容物の内面まで十分に熱が通っていない状態であった可能性を考えることができる。

2つ目の可能性は、土器の内容物に含まれた植物であるユリ科鱗茎、クズなどの根茎類、クリやコナラ属、オニグルミなどの堅果類のデンプン粒が、それぞれ糊化が進み糖化するまでの時間に達する以前に加熱調理が終了されたという可能性である。先述したように、植物の種類によってデンプン粒が糊化する温度は異なり、サトイモ *Colocasia esculenta* (L.) Schott は摂氏 43~63 度、スダジイ *Castanopsis sieboldii* (Makino) Hatus. ex T. Yamaz. et Mashiba は摂氏 66 度、アラカシ *Quercus glauca* Thunb. は摂氏 67 度、トチノキ *Aesculus turbinata* Blume は摂氏 74 度、ヤマノイモ *Dioscorea japonica* Thunb. は摂氏 79 度でヤマノイモ属は 65~72 度、オオムギ *Hordeum vulgare* L. は 52~70 度、イネ *Oryza sativa* L. は摂氏 61~78 度、エンドウ *Pisum sativum* L. は 61~68 度で糊化する [Crowther, 2012; 藤本, 1994; Gott et al., 2006; Haslam, 2004]。多くの植物では、これらの温度に達しただけでデンプン粒の粒子が膨潤し、粘性が高まって糊状になり、さらに糖化するという反応が即座に起きることはない。約 60~85 度の温度で加熱され、対象物の全体の水分量が 30% 以下となった後に加熱が止められ、加熱前の温度近くまで冷やされた時にデンプン粒の糊化が進んで糖化する [Crowther, 2012]。加熱温度だけでなく、加熱時間もデンプン粒の糊化や糖化を引き起こす要因である [Crowther, 2012; Henry et al., 2009; Raviele, 2011]。

不明植物遺体 1 のデンプン粒 (図 2: 11) のように、熱によって糊化した段階のデンプン粒は粒子が膨張し、偏光十字の幅が拡大し不明瞭な状態となり、粒子の外縁も損傷することが多い。しかし、検出された無傷のデンプン粒はいずれも粒子の膨潤や変形は見られず、偏光十字はややいびつ

な形状を示したもの(図4:5, 12)も存在したが、いずれも明瞭に確認できる状態であった。したがって、第2の可能性として、土器の内容物に含まれた全体の水分量が30%以上残っており、さらに、デンプン粒の糊化が進んで糖化する段階の前で加熱が止められたということを考えることができる。

縄文土器に付着した炭化鱗茎類について、中沢[2008]はユリ科鱗茎のツルボ *Scilla scilloides* (Lindl.) Druce を可食化するため、水を加えて3日から7日間という長時間加熱してアク抜きする民俗事例をふまえ、土器に付着した鱗茎類は煮詰めない程度に一定時間の加熱が行われたという可能性を指摘している。ツルボの調理法のように、下宅部遺跡の土器付着植物遺体、特にユリ科鱗茎が付着した土器も長時間加熱された可能性はある。しかし、被熱による分解デンプン粒が非常に少なかった今回の結果をみると、土器の内容物全体に含まれた水分がデンプン粒の糊化・糖化をもたらす量になっていなかったこと、いかえれば、土器の内容物には加熱時間中に多くの水分が加えられていたという調理状況を推定することができる。

既存の土器付着物の生成実験[小林, 2002, 2008; 長沢, 1998; 西田, 2006; 吉田・宮崎, 2007]では、土器の内外面にススヤコゲ、吹きこぼれがどのように付着するのか、炭化物の状態を復元する目的で行われることが多い。しかし、具体的にどの程度の熱が内容物に加わり、食材の内部はどのような変成を受けるのか、また、内容物の水分量はどれぐらい残っていたのか、といった検討はほとんど行われていない。本研究で残存デンプン粒の遺存状態から植物質の食材内部への加熱の度合いや水分量といった土器の使用状況が推定できることは、多くの先行研究で提示されてきた縄文土器を用いた植物の加工・調理に関わる仮説について、残存デンプン粒からも今後実証可能であるという研究の可能性を示した重要な成果であると考えられる。

2) 残存デンプン粒からみた石皿、磨石、凹石の加工対象物と用途

磨面や敲打痕のある範囲から検出された残存デンプン粒は、石器で加工された植物の痕跡である可能性が高い。表2で示したように、石皿1・3・5・6・12・16については磨面のある部位からデンプン粒が多く検出されたが、石皿2・3・5・6・10・12・15の磨面の一部、石皿16の敲打痕(IS1)と磨面(IS2)からは残存デンプン粒が検出されなかった。石皿7については磨面(IS1~4)からはデンプン粒が検出されなかったが、磨面のない部位(IS5)より2個検出された。磨面のある部位から多く検出された石皿1や石皿16のデンプン粒は、いずれも加工対象の植物を示すと考えることができる。石皿3は磨面のある部位から2個、確認されない部位からも1個検出されており、石皿16は磨面のある部位から12個、確認されない部位から2個検出された。磨面と残存デンプン粒の検出量という関連性から、検出されたデンプン粒は加工対象の植物を示すと考えられる。

一方、石皿4・8・9・11・13・14には磨面、凹石には敲打痕が観察されたが、これらの部位からは残存デンプン粒は検出されなかった。その理由として、石器製作など植物の加工以外の目的で使用された可能性と、植物加工に使用されたが、デンプン粒自体は遺存しなかった可能性の2通りの解釈ができる。特に、成形石皿類に該当する石皿11と石皿13は、それらの形態から石器製作具というよりも植物加工の道具である可能性が高いため、別の部位からデンプン粒が検出されないか再検討することが必要である。

磨石 1・2・3 については、数は少ないものの残存デンプン粒が検出された（表 2）。磨石 2・3 の磨面（IS1, IS2）からはデンプン粒が検出されなかったが、磨石 2 は IS3、磨石 3 は IS4 というどちらも磨面のない部位から残存デンプン粒が検出された。特に、磨石 3 では明瞭な磨面が確認されなかった部位から鱗茎・根茎類に由来する細胞組織内の円形のデンプン粒（図 3：9）が検出されている。このデンプン粒と同じ粒径、類似した形状の細胞組織に包含されたデンプン粒は、鹿児島県水迫遺跡から出土した縄文時代早期の石皿でも確認されている [渋谷, 2012b]。磨石 3 のデンプン粒が確認された部位の磨面は明瞭ではなかったが、水迫遺跡の石皿で加工対象物と同じ種の鱗茎・根茎類が加工された可能性を考えることができるかもしれない。

残存デンプン粒の形態学的特徴から考えられる石皿と磨石の加工対象物について、既述した推定結果を再度まとめると下記のとおりである。これらの残存デンプン粒とは別に、特に石皿から検出されたデンプン粒には、粒子の損壊が激しく原形の識別が困難なものが全検出量の約 50% を占めていた。

石皿 1（成形石皿類，調査区Ⅱの水場遺構周辺より出土）：クリあるいはコナラ属の可能性

石皿 2（不成形石皿類，調査区Ⅴより出土）：クリ，コナラ属の可能性

石皿 3（不成形石皿類，調査区Ⅱより出土）：クリあるいはコナラ属の可能性

石皿 6（不成形石皿類，調査区Ⅱより出土）：クリあるいはコナラ属の可能性

石皿 12（不成形石皿類，調査区Ⅰより出土）：クリあるいはコナラ属の可能性

石皿 15（不成形石皿類，調査区Ⅱより出土）：クリあるいはコナラ属の可能性

石皿 16（不成形石皿類，調査区Ⅲより出土）：クリあるいはコナラ属の可能性

磨石 2（磨石類 A 類，調査区Ⅴより出土）：ウバユリ属，根茎類（クズ？）の可能性

磨石 3（磨石類 A 類，調査区Ⅰより出土）：鱗茎・根茎類の可能性

先述したように、デンプン粒の遺存状態は酵素反応を促進する土壤の pH や温度、微生物の活動によって影響を受けるが [Barton, 2009; Barton & Matthews, 2006; Lu, 2003]、植物に含まれるセルロースの働きがこれらの影響をさえぎるため、デンプン粒が長期にわたって残留すると推定されている [Barton & Matthews, 2006]。分析した下宅部遺跡の石皿はいずれも被熱していない。デンプン粒の残留条件を考えると、損傷デンプン粒は石皿での磨り潰し作業の際に植物のセルロースごと部分的に損壊され、土壤での埋没中にその壊れた部位から酵素反応が進んで原形の識別ができなくなったこと、一方の無傷のデンプン粒はセルロースに、いわば守られる形で損傷を受けずに石皿に残留したこと、つまり、デンプン粒が損壊した植物とそうでない植物の両方の残滓が石皿に付着していたという仮説を提示することができる。

この仮説に関連して、考古資料の分析結果と実験用石皿で磨り潰した植物のデンプン粒を比較検討した報告 [Liu et al., 2013] がある。報告では、植物試料のコムギ連 2 種やキビ連 7 種、ナガイモ *Dioscorea opposita* やキカラスウリ *Trichosanthes kirilowii* の根茎類、ササゲ属 3 種 (*Vigna radiata*, *Vigna unguiculata*, *Vigna angularis*) を実験用石皿で磨り潰し、それぞれデンプン粒の損傷率を比べたところ、コムギ連が 30~63%、キビ連が 10~21% とやや高い傾向にあり、ナガイモやカラスウリ属、ササゲ属は 4~15% と比較的低かったという。

この実験結果を参照すると、石皿での加工作業時にデンプン粒が損壊する植物種と、損壊せずに

無傷のままの植物種が存在するということである。今回分析した石皿から多数の損傷デンプン粒とともに、クリやコナラ属に由来する無傷のデンプン粒が検出された結果は、これらの石皿の用途として、(1) 堅果類のみの磨り潰し、(2) 堅果類と他の植物の磨り潰し（ただし、他の植物のデンプン粒は損傷した）、という2つの可能性を考えることができる。一方の磨石1・2・3は残存デンプン粒の検出量自体が少なく、損傷デンプン粒との差異は確認することができなかった。しかし、磨石2はウバユリ属と根茎類（クズ?）を、磨石3については種は不明だが鱗茎・根茎類をそれぞれ磨ったという用途を推定することができる。

出土地点・出土状況とのかかわり、残存デンプン粒からみた石皿や磨石の用途が空間的な利用とどのように関わっているのかという問題については、石皿が調査区Ⅰ：3点、調査区Ⅱ：6点、調査区Ⅲ：2点、調査区Ⅴ：5点で、磨石は磨石1・2が調査区Ⅴからの出土、磨石3は調査区Ⅰから出土というように、今回の分析資料は全体的な傾向を把握することが可能な点数ではなかった。時間的・空間的な利用の差が、残存デンプン粒から復元できる用途とどのように関係するのかという問題については今後の検討課題としたい。

石皿や磨石類の機能や用途、特に植物加工具としての用途に関する研究は、明治以降現在に至るまで膨大な研究成果が積み重ねられてきた。2000年代以降に限っても、石皿や磨石類の形態学的な検討や地域的な分布状況にもとづいた編年的研究〔宮尾・宮内、2006〕、石皿・磨石類の使用痕や組成から、有縁石皿が植物の製粉具として利用され、無縁石皿は非常に平滑な磨面では製粉が行われ、凹凸の顕著な敲打痕では殻割りが行われたと論じた桐山〔2005〕や、縄文時代における石皿・台石の分布状況の調査と使用痕分析の結果から、石皿類の地域的な分布状況の違いと植生帯が関連しており、加工対象の植物の選択や作業の工程の差異を生じていると述べた上條の研究〔2007a, 2007b〕など数多く行われている。遺跡内から発見される炭化種実や低地遺跡から出土する植物遺体の一般的傾向〔宮路、2002；宮路・南木、1998；西田、2006；佐々木ほか、2007；辻ほか、2006；山田、1986〕、石皿や磨石の形態的な特徴、石器表面の摩耗や光沢面は植物のような軟質物を加工した痕跡と指摘する使用痕の研究結果〔池谷、2004；上條、2007a, 2007b, 2010b；桐山、2005〕によって、多くの研究者が石皿や磨石類が植物性食料との関連性をもつと考えている。

近年増えてきている、縄文時代の石皿や磨石類から堅果類や鱗茎・根茎類などの残存デンプン粒が検出されたという研究成果〔上條、2010a；小林・上條、2012；寒川ほか、2012；渋谷、2010a, 2010b, 2012b〕は、こうした仮説を実証しつつある。今回、下宅部遺跡の石皿と磨石から残存デンプン粒が検出され、それぞれ堅果類や鱗茎・根茎類の磨り潰しという用途をうかがわせることは、これらの仮説をさらに裏付けた事例の1つである。さらに、石器での磨り潰し作業において一部のデンプン粒が損壊し、損傷デンプン粒として検出された可能性があること、この損傷率は植物種によって異なり、今回検出された無傷のデンプン粒と同じ植物種あるいは他の植物種が損傷デンプン粒に含まれる可能性があること、という残存デンプン粒のタフォノミーの問題に対しても新しい仮説を提示することができる。今後、他の遺跡で報告されている損傷デンプン粒とともに、下宅部遺跡の石器の残存デンプン粒がどのような過程で損壊し残留したのか、石器を用いた植物の磨り潰し実験などを行い、デンプン粒の損傷率を比較検討することによって、このタフォノミーの仮説について検証し、縄文時代の植物利用活動の復元につなげたい。

おわりに

本研究では、下宅部遺跡から出土した縄文時代中期から後・晩期の土器付着植物遺体と石器の残存デンプン粒分析から、土器の内容物や石器の加工対象物についての検討を行った。その結果、以下の点が明らかとなった。

① 分析した土器付着植物遺体 23 点から合計 122 個の残存デンプン粒を検出し、石皿 10 点と磨石 3 点から合計 46 個の残存デンプン粒を検出した。残存デンプン粒はそれぞれ単独粒、複数粒、細胞組織内に包含されたデンプン粒という残留状態が確認でき、土器付着植物遺体のデンプン粒の形態は円形、半円形、五角形、石器のデンプン粒は円形や半円形を主体とする形態が確認された。

② ユリ科鱗茎付着土器からはネギ属以外のユリ科鱗茎、クリ、コナラ属、オニグルミなどの堅果類に由来する可能性のあるデンプン粒、繊維や編組製品付着土器からはクズ属などの根茎類、クリやコナラ属などの堅果類に由来する可能性のあるデンプン粒、不明植物遺体からオニグルミに由来する可能性のあるデンプン粒が検出された。この結果は炭素・窒素安定同位体比や C/N 比の分析結果とは大きく矛盾しておらず、鱗茎類や根茎類に別のデンプン質のものを土器に入れて煮炊きした可能性、土器を用いた植物の調理方法をうかがわせる結果となった。

③ 土器が被熱しているにもかかわらず、熱による影響をほとんど受けていない無傷のデンプン粒が 109 個と多数検出されたことは、植物質の食材内部まで完全に加熱されていなかったという可能性、ならびに土器の内容物全体に含まれた水分量の加熱による低下はデンプン粒を分解させるほどではなかったという可能性、すなわち土器を用いた食材の調理状況を推定させるものである。

④ 磨面から残存デンプン粒が検出された石皿や磨石は植物加工に用いられた可能性が考えられ、磨面は確認できるが残存デンプン粒が検出されなかった石器については、石器製作用など他の目的に使用された可能性とデンプン粒が遺存していなかった可能性が考えられた。ただし、分析した石器の出土地点・出土状況とのかかわりについては、各調査区の全体的な傾向を把握することが可能な点数ではなく、時間的・空間的な利用の差が残存デンプン粒から復元できる用途とどのように関わるのかという問題は今後の検討課題とした。

⑤ 石皿の残存デンプン粒はクリやコナラ属の堅果類に由来する可能性が考えられ、磨石の残存デンプン粒はウバユリ属などの鱗茎類とクズ属などの根茎類に由来する可能性を指摘することができた。さらに用途としては、石皿からは特に損傷デンプン粒が多数検出されていることと併せて、(1) 堅果類のみの磨り潰し、(2) 堅果類と他の植物の磨り潰し（ただし、他の植物のデンプン粒は損傷した）、という 2 通りの仮説を提示し、磨石については、磨石 2 がウバユリ属と根茎類（クズ？）、磨石 3 が鱗茎・根茎類の磨り潰しに用いられた可能性を考えることができた。

石器に対する残存デンプン粒分析の事例は日本では近年増加しつつある。しかし、本研究のように、1 遺跡において土器付着炭化物と石器の両方から残存デンプン粒の検出を試み、それぞれの用途を考える研究や、両者の付着物に含まれた残存デンプン粒のタフノミーを考察したものはほとんど行われていない。土器付着物の残存デンプン粒分析の事例自体が非常に少なく、被熱した土器にデンプン粒が残留する条件についての検討も多くはない。石器から検出された無傷の残存デンプン粒だけでなく、損傷デンプン粒の残留条件を検討した研究も同様である。しかし、土器の使用時

に付着した炭化物は土器の用途を考える上で重要な情報を含んでおり、炭化物が確認された土器に対して残存デンプン粒分析を行うことは、土器を用いた植物の調理方法を復元する1つの証拠を提示することにつながる。石器の分析についても、無傷のデンプン粒の由来する植物だけでなく、損傷デンプン粒の残留条件を併せて石器の用途について比較検討を行うことは、遺跡における植物利用の実態をより明らかにする手がかりを見つけ出すことになる。今後、石器の分析とともに土器付着物の分析事例を増やし、デンプン粒のタフノミーについてもあわせて検証することによって、縄文時代の植物利用の実態、特に土器や石器を用いた植物加工についての研究を進めていきたい。

謝辞

本稿で用いた研究は、国立歴史民俗博物館開発型共同研究「縄文時代の人と植物の関係史」（平成22-24年度、代表：工藤雄一郎）とともに、平成23・24年度科学研究費補助金（若手研究B）「残存デンプン粒分析を用いた縄文時代の植物利用に関する分析学的研究」（代表：渋谷綾子、課題番号23701013）の成果の一部を含んでいる。本稿をまとめるにあたり、多くのご教示をいただいた工藤雄一郎氏をはじめとする共同研究「縄文時代の人と植物の関係史」のすべての研究員と関係者の方がた、匿名査読者の方がた、ならびに以下の方がたに末筆ながら記して深く感謝申し上げます（敬称略）。

Sheahan Bestel, Oliver Craig, Richard Fullagar, Carl Heron, 細谷葵, 井上直人, Peter Jordan, 上條信彦, Carol Lentfer, Li Liu, 榎林啓介, Peter J. Matthews, 中沢道彦, 西田泰民, 中村大, 西本豊弘, Hayley Saul, 瀬口眞司, 杉山真二, 田淵悦子, 竹井恵美子, Robin Torrence, 山本直人, 山村聡, 国立民族学博物館, 国立歴史民俗博物館, 近江貝塚研究会, 東村山市教育委員会, 広島大学総合博物館

引用文献

- Ashman, M. R. & Puri, G. 2002. *Essential soil science: a clear and concise introduction to soil science*. 198 pp. Blackwell Science Ltd, Oxford.
- Barton, H. 2009. Starch granule taphonomy: the results of a two year field experiment. *terra australis 30: Archaeological Science Under a Microscope: Studies in Residue and Ancient DNA Analysis in Honour of Tom Loy* (Haslam, M., Robertson, G., Crowther, A., Nugent, S., Kirkwood, L. eds.). 129-140. University of Queensland Press, Brisbane.
- Barton, H. & Matthews, P. 2006. Taphonomy. *Ancient starch research* (Torrence, R. & Barton, H. eds.). 75-94. Left Coast Press, INC., Walnut Creek.
- Braadbaart, F., Boon, J. J., Veld, H., David, P. & Van Bergen, P. F. 2004. Laboratory simulations of the transformation of peas as a result of heat treatment: changes of the physical and chemical properties. *Journal of Archaeological Science* 31: 821-833.
- Bruier, F. L. 1976. New clues to stone tool function: plant and animal residues. *American Antiquity* 41 (4): 478-483.
- Burrell, M. M. 2003. Starch: the need for improved quality or quantity -an overview. *Journal of Experimental Botany* 54 (382): 451-456.
- Chen, T., Wu, Y., Zhang, Y., Wang, B., Hu, Y., Wang, C. & Jiang, H. 2012. Archaeobotanical study of ancient food and cereal remains at the Astana Cemeteries, Xinjiang, China. *PLoS One* 7 (9): e45137.
- Collins, M. J. & Copeland, L. 2011. Ancient starch: Cooked or just old? *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)* 108 (22): E145.

- Cooper, J. L. & Nugent, S. J. 2009. Tools on the surface: residue and use-wear analyses of stone artefacts from Camooweal, northwest Queensland. *terra australis 30: Archaeological science under a microscope: studies in residue and ancient DNA analysis in honour of Thomas H. Loy* (Haslam, M., Robertson, G., Crowther, A., Nugent, S., Kirkwood, L. eds.). 207-227. University of Queensland Press, Brisbane.
- Crowther, A. 2005. Starch residues on undecorated Lapita pottery from Anir, New Ireland. *Archaeology in Oceania* 40: 62-66.
- Crowther, A. 2012. The differential survival of native starch during cooking and implications for archaeological analyses: a review. *Archaeological and Anthropological Sciences*.
- Ebeling, J. R. & Rowan, Y. M. 2004. The archaeology of the daily grind: ground stone tool and food production in the Southern Levant. *Near Eastern Archaeology* 67 (2): 108-117.
- Ernst, M. & Bufler, G. 1994. Stems of *Allium cepa* L. Contain Starch. *New Phytologist* 128 (3): 403-406.
- Evers, A. D. & Stevens, D. J. 1985. Starch damage. *Advances in cereal science and technology* (Pomeranz, Y. ed.) VII. 321-349. American Association of Cereal Chemists, St. Paul.
- 藤本滋生. 1994. 澱粉と植物—各種植物澱粉の比較—. 233 pp. 葦書房, 福岡.
- Fullagar, R. 2006. Starch on artifacts. *Ancient starch research* (Torrence, R. & Barton, H. eds.). 177-203. Left Coast Press, INC., Walnut Creek.
- 不破英次・小巻利章・檜作進・貝沼圭二, 編. 2004. 澱粉科学の事典. 554 pp. 朝倉書店, 東京.
- Gott, B., Barton, H., Samuel, D. & Torrence, R. 2006. Biology and starch. *Ancient starch research* (Torrence, R. & Barton, H. eds.). 35-45. Left Coast Press, INC., Walnut Creek.
- Haslam, M. 2004. The decomposition of starch grains in soils: implications for archaeological residue analyses. *Journal of Archaeological Science* 31: 1715-1734.
- Haslam, M. 2005. Starch grain taphonomy and the interpretation of archaeological residue analyses. *Australasian Archaeometry Conference 2005. Plant Microfossils and the Archaeological Record*, Australian Key Centre for Microscopy and Microanalysis, The University of Sydney, N.S.W. 2006, Australia.
- Haslam, M. 2009. Initial tests on the three-dimensional movement of starch in sediments. *terra australis 28: New Directions in Archaeological Science* (Fairbairn, A., O'Connor, S., Marwick, B. eds.). 93-103. ANU E Press, Canberra.
- Henry, A. G., Hudson, H. F. & Piperno, D. R. 2009. Changes in starch grain morphologies from cooking. *Journal of Archaeological Science* 36: 915-922.
- 檜作進. 2004. 澱粉の分子構造. 「澱粉科学の事典」(不破英次・小巻利章・檜作進・貝沼圭二編). 11-33. 朝倉書店, 東京.
- 五十嵐睦・中島将太・早勢加菜・横井奏. 2006. 石器各節. 「下宅部遺跡 I (1)」(下宅部遺跡調査団編). 103-128. 東村山市遺跡調査会, 東村山市.
- 池谷勝典. 2004. 縄文時代石器の機能研究—使用痕分析を中心に—. 月刊考古学ジャーナル No. 520: 16-20.
- 上條信彦. 2007a. 石皿と磨石. 「なりわい—食料生産の技術—(縄文時代の考古学 5)」(小杉康・谷口康浩・西田泰民・水ノ江和同・矢野健一編). 88-101. 同成社, 東京.
- 上條信彦. 2007b. 縄文時代石皿・台石の研究—形態的分布を中心に—. 古文化談叢第 56 集: 25-54.
- 上條信彦. 2008. カラカミ遺跡出土磨石類の使用痕分析および残存デンプン粒分析. 「カラカミ遺跡」(宮本一夫編). 125-130. 九州大学大学院人文科学院考古学研究室, 福岡.
- 上條信彦. 2009. 先史時代磨盤・磨棒の使用痕観察と残存デンプン粒分析. 石器使用痕研究会会報 No. 9: 5-6.
- 上條信彦. 2010a. 山田 (2) 遺跡における残存デンプン分析. 「山田 (2) 遺跡 II 国道 280 号道路改築事業に伴う遺跡発掘調査報告」(青森県埋蔵文化財調査センター編). 286-293. 青森県教育委員会, 青森市.
- 上條信彦. 2010b. 「脱穀・粉砕技術からみた東北アジア先史時代食料加工の研究」. 博士論文, 九州大学, 福岡.
- 上條信彦・渋谷綾子・山本直人. 2012. 北陸の縄文後・晩期遺跡から出土した石器と土器付着物の残存デンプン粒. 「日本植生史学会第 27 回大会講演要旨集」(日本植生史学会編). 60-61. 日本植生史学会, 長岡市.
- 桐山秀穂. 2005. 縄文・弥生時代における石製製粉具の研究—中国・四国・近畿地方を中心として—. 「平成 14 年度～平成 15 年度科学研究費補助金 (若手研究 (B)) 研究成果報告書 (課題番号 14710278)」. 78 pp.
- 小林正史. 2002. 煮炊き用土器のコゲとススからみた弥生時代の米の調理方法: 中在家南遺跡を中心として. 北陸学

- 院短期大学紀要 No. 33 : 153-178.
- 小林正史. 2008. スス・コゲからみた縄文深鍋による調理方法. 「総覧縄文土器」(小林達雄編). 1015-1020. アム・プロモーション, 東京.
- 小林由紀恵・上條信彦. 2012. 石器の残存デンプン分析. 「下北半島における亀ヶ岡文化の研究 青森県むつ市不備無遺跡発掘調査報告書」(関根達人・上條信彦編). 第2分冊本文編2. 30-33. 弘前大学人文学部日本考古学研究室・弘前大学人文学部附属亀ヶ岡文化研究センター, 弘前市.
- 工藤雄一郎. 2012. 旧石器・縄文時代の環境文化史: 高精度放射性炭素年代測定と考古学. 373 pp. 新泉社, 東京.
- 工藤雄一郎・佐々木由香. 2010. 東京都下宅部遺跡から出土した縄文土器付着植物遺体の分析. 国立歴史民俗博物館研究報告第158集 : 1-26.
- 工藤雄一郎・佐々木由香・坂本稔・小林謙一・松崎浩之. 2007a. 東京都下宅部遺跡から出土した縄文時代後半期の植物利用に関連する遺構・遺物の年代学的研究. 植生史研究 15 (1) : 5-18.
- 工藤雄一郎・山本直人. 2009. 大阪府松原市三宅西遺跡から出土した縄文時代後期の土器付着物の¹⁴C年代測定. 「三宅西遺跡—遺構・遺物編—」(財団法人大阪府文化財センター編). 464-469. 財団法人大阪府文化財センター, 大阪.
- 工藤雄一郎・小林謙一・坂本稔・松崎浩之. 2007b. 下宅部遺跡における¹⁴C年代研究—縄文時代後期から晩期の土器付着炭化物と漆を例として—. 考古学研究 53 (4) : 51-71.
- 工藤雄一郎・小林謙一・山本直人・吉田淳・中村俊夫. 2008. 石川県御経塚遺跡から出土した縄文時代後・晩期土器の年代学的研究. 第四紀研究 47 : 409-423.
- Lamb, J. & Loy, T. 2005. Seeing red: the use of Congo Red dye to identify cooked and damaged starch grains in archaeological residues. *Journal of Archaeological Science* 32: 1433-1440.
- Langejans, G. H. J. 2010. Remains of the day-preservation of organic micro-residues on stone tools. *Journal of Archaeological Science* 37: 971-985.
- Liu, L., Bestel, S., Shi, J., Song, Y. & Chen, X. 2013. Paleolithic human exploitation of plant foods during the last glacial maximum in North China. *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)*: 1-6.
- Liu, L., Field, J., Fullagar, R., Bestel, S., Chen, X. & Ma, X. 2010a. What did grinding stones grind? New light on Early Neolithic subsistence economy in the Middle Yellow River Valley, China. *Antiquity* 84: 816-833.
- Liu, L., Field, J., Fullagar, R., Zhao, C., Chen, X. & Yu, J. 2010b. A functional analysis of grinding stones from an early holocene site at Donghulin, North China. *Journal of Archaeological Science* 37: 2630-2639.
- Liu, L., Ge, W., Bestel, S., Jones, D., Shi, J., Song, Y. & Chen, X. 2011. Plant exploitation of the last foragers at Shizitan in the Middle Yellow River Valley China: evidence from grinding stones. *Journal of Archaeological Science* 38: 3524-3532.
- Lu, T. 2003. The survival of starch residue in a subtropical environment. *terra australis 19: Phytolith and starch research in the Australian-Pacific-Asian regions: the state of the art. Papers from a conference held at the ANU, August 2001, Canberra, Australia* (Hart, D. M., & Wallis, L. A. eds.). 119-126. Pandanus Books, Canberra.
- 松島良. 2012. 澱粉粒の簡便観察法の開発とその利用. 応用糖質科学: 日本応用糖質科学会誌 No. 2 (2) : 147-149.
- 宮路淳子. 2002. 縄文時代の貯蔵穴—社会組織との関わりから—. 古代文化 No. 54 : 21-41.
- 宮路淳子・南木陸彦. 1998. 個遺跡出土の大型植物遺体. 「個遺跡—本州四国連絡道路建設に伴う埋蔵文化財調査報告III—」(兵庫県教育委員会埋蔵文化財調査事務所編). 兵庫県文化財調査報告第176冊. 第2分冊(自然科学・総括編). 39-51. 兵庫県教育委員会, 神戸.
- 宮本一夫. 2000. 縄文農耕と縄文社会. 「古代史の論点1 環境と食料生産」(佐原真・都出比呂志編). 115-138. 小学館, 東京.
- 宮尾亨・宮内信雄. 2006. 石皿の変化と植物質食料加工. 新潟県立歴史博物館研究紀要 No. 7 : 87-104.
- Messner, T. C. & Schindler, B. 2010. Plant processing strategies and their affect upon starch grain survival when rendering *Peltandra virginica* (L.) Kunth, Araceae edible. *Journal of Archaeological Science* 37: 328-336.
- 長沢宏昌. 1998. 縄文時代遺跡出土の球根類とそのオコゲ. 「列島の考古学—渡辺誠先生還暦記念論集—」(渡辺誠先生還暦記念論集刊行会編). 427-445. 纂修堂, いわき市.

- 中沢道彦. 2006. 縄文時代遺跡出土炭化球根類に関する覚書 (1). 佐久考古通信 No. 97 : 9-15.
- 中沢道彦. 2007. 縄文時代遺跡出土炭化球根類をめぐる諸問題. 「九州古代種子研究会第4回大会講演要旨集」(椎葉民俗芸能博物館・九州古代種子研究会編). 43-50. 椎葉民俗芸能博物館, 宮崎県椎葉村.
- 中沢道彦. 2008. 縄文土器付着炭化球根類の検討. 「極東先史古代の穀物3 日本学術振興会平成16~19年度科学研究費補助金(基盤B-2)(課題番号16320110)」『雑穀資料からみた極東地域における農耕受容と拡散過程の実証的研究』研究成果報告書(小畑弘己編). 3. 8-24. 熊本大学埋蔵文化財調査室, 熊本市.
- 中山誠二. 2009. 縄文時代のダイズ属の利用と栽培に関する植物考古学的研究. 古代文化 No. 61 (3) : 40-59.
- 中山誠二. 2012. 植物栽培と栽培植物. 山梨県考古学協会誌 No. 21 : 79-84.
- 西田巖. 2006. 佐賀市東名遺跡の調査概要. 「第16回九州縄文研究会大分大会『九州縄文時代の低湿地遺跡と植物性自然遺物』発表要旨集」(九州縄文研究会大分大会世話人坂本嘉弘編). 9-14. 九州縄文研究会・別府大学.
- 西田泰民. 2006. 炭化物の生成実験. 新潟県立歴史博物館研究紀要 No. 7 : 25-50.
- 小畑弘己. 2010. 縄文時代におけるアズキ・ダイズの栽培について. 先史学・考古学論究 V : 239-272.
- 大西智和・真邊彩・寒川朋枝・鐘ヶ江賢二・中村直子. 2012. 微小遺物・微小痕跡の分析に基づく食用植物利用の調査—とくにSLWでの取り組みを中心に—. 鹿児島考古 No. 42 : 99-108.
- Pearsall, D. M., Chandler-Ezell, K. & Zeidler, J. A. 2004. Maize in ancient Ecuador: results of residue analysis of stone tools from the Real Alto site. *Journal of Archaeological Science* 31: 423-442.
- Pető, Á., Gyulai, F., Pópitay, D. & Kenéz, Á. 2013. Macro- and micro-archaeobotanical study of a vessel content from a Late Neolithic structured deposition from southeastern Hungary. *Journal of Archaeological Science* 40: 58-71.
- Raviele, M. E. 2011. Experimental assessment of maize phytolith and starch taphonomy in carbonized cooking residues. *Journal of Archaeological Science* 38: 2708-2713.
- Revedin, A., Aranguren, B., Becattini, R., Longo, L., Marconi, E., Lippi, M. M., Skakun, N., Sinityn, A., Spiridonova, E. & Svoboda, J. 2010. Thirty thousand-year-old evidence of plant food processing. *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)* 107 (44): 18815-18819.
- 坂本稔. 2007. 安定同位体比に基づく土器付着物の分析. 国立歴史民俗博物館研究報告第137集 : 305-315.
- 寒川朋枝・福井俊彦・大西智和・桑畑光博. 2012. 宮城県都城市王子山遺跡における植物利用についての検討—ウォーター・セパレーション分析と残存デンプン分析から—. 九州考古学 No. 87 : 113-125.
- 佐々木由香. 2006. 土器付着植物遺体. 「下宅部遺跡 I (1)」(下宅部遺跡調査団編). 223-235. 東村山市遺跡調査会, 東村山市.
- 佐々木由香・工藤雄一郎・百原新. 2007. 東京都下宅部遺跡の大型植物遺体からみた縄文時代後半期の植物資源利用. 植生史研究 15 (1) : 35-50.
- 渋谷綾子. 2006. 日本の現存植物を用いた参照デンプン標本. 新潟県立歴史博物館研究紀要 No. 7 : 7-16.
- 渋谷綾子. 2007. 佃遺跡・更良岡山遺跡の石皿および三宅西遺跡の土器付着物における残存デンプン. 古代文化 No. 59 (2) : 116-126.
- 渋谷綾子. 2009a. 旧石器時代および縄文時代の石器残存デンプンの分析的研究. まなぶ: 吉田学記念文化財科学研究助成基金研究論文誌 No. 2 : 169-201.
- 渋谷綾子. 2009b. 日本の先史時代における植物性食料の加工と利用: 残存デンプン分析法の理論と応用. 博士論文, 260pp. 総合研究大学院大学, 神奈川県三浦郡葉山町.
- 渋谷綾子. 2010a. 高山寺貝塚, 溝ノ口, 市脇, 下芳養, 丁の町・妙寺遺跡から出土した縄文時代石器の残存デンプン粒分析. 和歌山市立博物館研究紀要 No. 25 : 105-117.
- 渋谷綾子. 2010b. 石器残存デンプンからみた三内丸山遺跡の植物利用の変遷. 特別史跡三内丸山遺跡年報13(青森県教育庁文化財保護課三内丸山遺跡対策室編). 79-88. 青森県教育委員会, 青森.
- 渋谷綾子. 2010c. 日本列島における現生デンプン粒標本と日本考古学研究への応用—残存デンプン粒の形態分類をめざして—. 植生史研究 18 (1) : 13-27.
- 渋谷綾子. 2011a. 鹿児島県西多羅ヶ追遺跡から出土した石器の残存デンプン粒と後期旧石器時代前半期における遺跡内の植物利用. 広島大学総合博物館研究報告 No. 3 : 73-88.
- 渋谷綾子. 2011b. 飛田給北遺跡から出土した石器の残存デンプン粒分析. 「調布市飛田給北遺跡 第9地点」(比田

- 井民子・田中純男・杉原重夫・渋谷綾子・上條朝宏・武笠多恵子編). 東京都埋蔵文化財センター調査報告第250集. 192-203. 財団法人東京都スポーツ文化事業団・東京都埋蔵文化財センター, 多摩市.
- 渋谷綾子. 2012a. 現生鱗茎・根茎類のデンプン粒における形態学的特徴—残存デンプン粒の同定をめざして. 「第27回日本植生史学会大会講演要旨集」(日本植生史学会・新潟県歴史博物館・新潟県考古学会編). 59. 日本植生史学会・新潟県歴史博物館・新潟県考古学会, 長岡市.
- 渋谷綾子. 2012b. 鹿児島県水迫遺跡出土石器の残存デンプン粒と縄文時代草創期・早期における植物利用. 植生史研究 21 (2): 55-66.
- 庄田慎矢・松谷暁子・國木田大・渋谷綾子. 2011. 岡山県上東遺跡出土の弥生土器に付着した炭化物の由来を探る. 植生史研究 20 (1): 41-52.
- Saul, H., Wilson, J., Heron, C. P., Glykou, A., Hartz, S. & Craig, O. E. 2012. A systematic approach to the recovery and identification of starches from carbonised deposits on ceramic vessels. *Journal of Archaeological Science* 39: 3483-3492.
- 下宅部遺跡調査団編. 2006a. 下宅部遺跡 I (1). 443 pp. 東村山市遺跡調査会, 東村山市.
- 下宅部遺跡調査団編. 2006b. 下宅部遺跡 I (2). 675 pp. 東村山市遺跡調査会, 東村山市.
- Tao, D., Wu, Y., Guo, Z., Hill, D. V. & Wang, C. 2011. Starch grain analysis for groundstone tools from Neolithic Baiyinchanghan site: implications for their function in Northeast China. *Journal of Archaeological Science* 38: 3577-3583.
- 辻圭子・辻誠一郎・南木睦彦. 2006. 青森県三内丸山遺跡の縄文時代前期から中期の種実遺体群と植物利用. 「植生史研究特別第2号 三内丸山遺跡の生態系史」(辻誠一郎・能城修一編). 101-120. 日本植生史学会, 仙台.
- Weston, J. 2009. Seeing red: the use of a biological stain to identify cooked and processed/damaged starch grains in archaeological residues. *terra australis* 28: *New Directions in Archaeological Science* (Fairbairn, A., O'Connor, S., Marwick, B., eds.). 77-91. ANU E Press, Canberra.
- 山田悟郎. 1986. 北海道における先史時代の植物性食料について. 北海道考古学 No. 22: 87-106.
- 山本直人. 2007. 縄文時代の植物食利用技術. 「なりわい—食料生産の技術—(縄文時代の考古学5)」(小杉康・谷口康浩・西田泰民・水ノ江和同・矢野健一編). 17-30. 同成社, 東京.
- Yang, X., Wan, Z., Perry, L., Lu, H., Wang, Q., Zhao, C., Li, J., Xie, F., Yu, J., Cui, T., Wang, T., Li, M. & Ge, Q. 2012. Early millet use in northern China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109 (10): 3726-3730.
- Yang, X., Yu, J., Lü, H., Cui, T., Guo, J. & Ge, Q. 2009. Starch grain analysis reveals function of grinding stone tools at Shangzhai site, Beijing. *Science in China Series D: Earth Sciences* 52 (8): 1164-1171.
- 吉田邦夫. 2004. 火炎土器に付着した炭化物の放射性炭素年代. 「火炎土器の研究」(新潟県立歴史博物館編). 17-36. 同成社, 東京.
- 吉田邦夫. 2006. 煮炊きして出来た炭化物の安定同位体分析. 新潟県立歴史博物館研究紀要 No. 7: 51-58.
- 吉田邦夫・宮崎ゆみ子. 2007. 煮炊きして出来た炭化物の同位体分析による土器付着炭化物の由来についての研究. 「日本における稲作以前の主食植物の研究 平成16-18年度科学研究費補助金基盤研究B(1)(研究代表者: 西田泰民: 課題番号16300290)研究成果報告書」(西田泰民編). 85-96. 新潟県立歴史博物館, 長岡市.
- Zarrillo, S., Pearsall, D. M., Raymond, J. S., Tisdale, M. A. & Quon, D. J. 2008. Directly dated starch residues document early formative maize (*Zea mays* L.) in tropical Ecuador. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America (PNAS)* 105 (13): 5006-5011.

(国立歴史民俗博物館研究部)

(2013年7月30日受付, 2013年11月15日審査終了)