植生史研究　第 18 巻　第 1 号 p. 13–27　　2010 年 6 月　　Jpn. J. Histor. Bot.

原　著

渋谷綾子[1]：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

Ayako Shibutani[1]: A comparative starch reference collection in Japanese archipelago and its application to Japanese archaeological studies —focusing on morphological classification of archaeological starch grains

要　旨　残存デンプン分析は，遺跡土壌や遺物の表面から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方法である。日本では近年本格的に取り組まれており，遺跡から検出された残存デンプン粒を同定するため，現生標本の作製も進められている。本研究は，残存デンプン分析の世界的な研究動向と日本における研究の実情を把握した上で，旧石器時代から弥生時代に利用されていた植物の種類を同定する上でその基礎となる現生植物のデンプン粒標本の形態を検討し，遺跡間の比較を行うための方法論的な議論を行った。旧石器時代から弥生時代の代表的な可食植物とされる 17 種におけるデンプン粒を観察し分析したところ，サトイモ，ヤマノイモ，オニグルミ，ヒエ，イネ，キビ，アワのデンプン粒は他の植物より特徴的な形態をしており，コナラやクヌギなどの堅果類は形態上類似していることが判明した。さらに，デンプン粒の外形と大きさに着目し形態を分類すると，従来の残存デンプン分析でしばしば提示されてきた遺跡内での植物資源の利用モデルに対して，植物種の同定をより厳密に議論する必要があることが判明した。本研究の形態分類法は既存の考古学研究で証明が困難であった複数種類の植物加工を検証する方法として有効であり，現生標本との形態上の比較から残存デンプン粒の植物種を絞りこむことが可能であるため，遺跡での植物性食料の利用活動を検証する手段の 1 つとなり得る。
キーワード：形態分類，現生デンプン粒標本，残存デンプン分析，植物同定，デンプン粒の形態

Abstract Starch residue analysis can explore the past vegetation and plant utilization through extracting starch grains from archaeological sediments and artefacts. Its applicability to Japanese archaeology was demonstrated recently, and a modern starch reference collection has been established for taxonomic identification of starch grains. After reviewing research trends outside and inside Japan, this study shows morphological features of starch grains for specifying plants used in early Japan and presents methodology for comparative approaches to archaeological sites. The microscopic observation of starch grains from 17 plant species, thought to be typical food plants between the Palaeolithic and Yayoi periods, showed that starch grains from *Colocasia esculenta*, *Dioscorea japonica*, *Juglans ailanthifolia* var. *sieboldiana*, *Echinochloa esculenta*, *Oryza sativa*, *Panicum miliaceum*, and *Setaria italica* can be differentiated by their morphological attributes, but that starch grains of *Quercus serrata* are morphologically similar to those of *Quercus acutissima*. Against models presented by some researchers for specifying plants used in sites, the morphological classification of starch grains in this study showed that archaeological starch grains need to be identified more strictly. The present classification of starch grains can identify more than one species processed by archaeological artefacts and clarify plant food processing in early Japan.
Keywords: modern starch reference collection, morphological classification of starch grains, starch grain morphology, starch residue analysis, taxonomic identification

は　じ　め　に

本研究は，日本の先史時代遺跡における残存デンプン分析に不可欠となる植物ごとのデンプン粒の基準標本について，現生の植物体を用いて作製した結果を報告し，日本列島全体の遺跡を対象とした比較分析が可能となる指標の提示を試みるものである。残存デンプン分析は，遺跡土壌や遺物の表面から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新しい研究方法である。近年その重要性が認められ，世界各地で研究が進められているが (Fullagar, 1998; Torrence & Barton, 2006)，日本では分析そのものが考古学の研究に取り込まれてこなかった（マシウス・西田，2006）。そのため，日本で行われている残存デンプン分析は，調査・研究に関わるすべての手法を海外の研究事例に倣っている（渋谷，2009）。一方で，対象

[1] 〒 565-8511　大阪府吹田市千里万博公園 10-1，国立民族学博物館内　総合研究大学院大学文化科学研究科
The Department of Comparative Studies, the Graduate University for Advanced Studies, 10-1 Senri Expo Park, National Museum of Ethnology, Suita, Osaka 565-8511, Japan
（現：〒 565-8511　大阪府吹田市千里万博公園 10-1　国立民族学博物館）

©2010 Japanese Association of Historical Botany

とする時期や地域の環境の相違に応じて，試料の採取や分析における方法論的な議論は不可欠である。これらをふまえることにより，同様の手法で行われた研究結果との比較や検討が可能となる。

本研究では，まず残存デンプン分析の世界的な研究動向と日本における研究の実情を把握した上で，旧石器時代から弥生時代に利用されていた植物の種類を同定する上でその基礎となる現生植物のデンプン粒標本の形態を検討し，遺跡間の比較を行うための方法論的な議論を行うことを目的とする。

植物のデンプンは，光合成によって二酸化炭素と水から合成された植物体に蓄積される炭水化物（多糖類）の一種であり，種子の発芽や球根・塊茎の萌芽のエネルギー源として機能する微小な天然高分子である（藤本，1994；津川ほか，1988； 植田，1983）。多くの植物の貯蔵組織にある無色の色素体（白色体）や葉緑体のストロマ（葉緑体の内部領域）にあるデンプンは粒状になり，粒芯を中心とした同心円状の層状組織（半結晶ラメラ構造，図1）がみられる（不破ほか，2004；Sivak & Preis, 1998）。デンプン粒は偏光顕微鏡で見ると特有の複屈折（偏光十字）が観察できる。これはデンプン粒が構造上結晶部分と非結晶部分を含み，化学的にもアミロースとアミロペクチンが混在する不均質な物質であることによる（不破ほか，2004；Sivak & Preis, 1998）。偏光顕微鏡で見ると，粒子の形成核（粒芯の中央部で偏光十字が交差する箇所，ヘソ hilum）で交差した十字状の暗線が偏光十字として見える（不破ほか，2004）（図1）。さらに，デンプン粒は植物の種類によって大きさや形，糊化特性などの性質，形成核の位置が異なる。これはデンプン粒におけるアミロペクチンの分子構造，アミロースの構造や含有量などによるが（Gott et al., 2006；不破ほか, 2004), Gott et al.(2006)やSivak & Preis(1998)は，デンプン粒の形態は植物の各部位において同じ形状をしていると指摘している。

こうしたデンプンの特徴を活かした研究手法が残存デンプン分析である。この分析は1990年代以降に世界各地の考古学調査で導入が進められ（Fullagar, 1998; Torrence & Barton, 2006），研究方法として非常に高く期待されている。日本では近年本格的に取り組まれており（マシウス・西田，2006），旧石器時代から弥生時代までの現在15遺跡で石器（上條，2008；中村ほか，2009；渋谷2007，2008a，2008b，2009；渋谷ほか，2006）や土器の付着炭化物（渋谷，2007；Shoda et al., 2008），ならびに遺跡土壌（西田ほか，2005）より残存デンプン粒が報告されている。また遺跡から検出された残存デンプン粒を同定するため，現生デンプン粒標本の蓄積が進められており（渋谷，2006），残存デンプン粒の候補となる植物種の絞りこみも試みられている（渋谷，2007，2008a，2008b）。先行研究では，偏光顕微鏡や走査型電子顕微鏡（scanning electron microscopy，以下SEM）を用いて遺跡土壌や遺物から検出されたデンプン粒と現生植物のデンプン粒を観察し，両者の形態上の類似性を比較することを基本として（Torrence et al., 2004; Wallace, 1996），類似性の程度に応じて植物の同定が行われている（Hill & Evans, 1987; Torrence, 2006）。ただし，植物種を同定する基準が提示されていない研究事例が少なくない（Torrence, 2006）。同定の厳密な基準を提示する必要性を指摘している研究（Messner & Schindler, 2010; Wilson et al., 2010）もあるが，他の地域や他の時代における分析でも利用可能な基準は非常に少なく，再検証も容易ではない。たとえば，中国の上宅遺跡（7500–7000 cal BP）から出土した磨盤と磨棒の残存デンプン分析（Yang et al., 2009）では，2点の石器の付着物から抽出した残存デンプン粒と中国北部の現生植物20科40種に含まれるデンプン粒との形態学的な比較が行われている。検出された残存デンプン粒はクヌギ *Quercus acutissima* などの堅果類やキビ *Panicum miliaceum*，ササゲ属 *Vigna* のデンプン粒の形態と類似しているため，これらのデンプン粒である可能性が提起された（Yang et al., 2009）。しかし，現生標本の計測結果は一部の植物のみ提示され，植物同定については類似性の程度

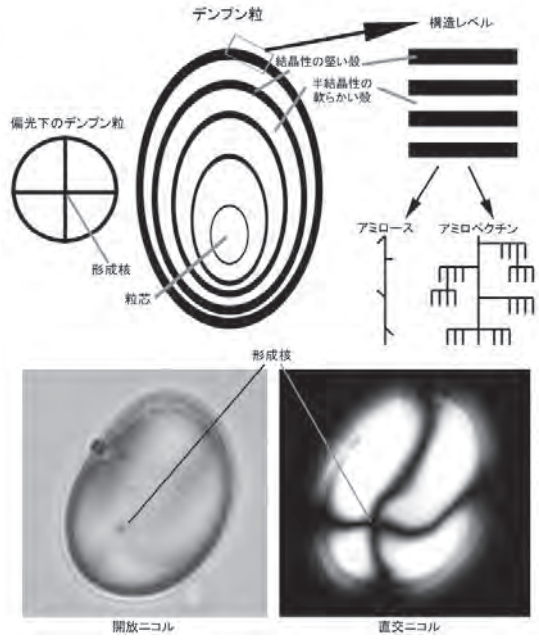

図1 デンプン粒の構造（不破ほか 2004; Gott et al. 2006 をもとに作製）.

Fig. 1 Schematic diagram of a starch grain (based on Fuwa et al., 2004; Gott et al., 2006).

に関する記述が少なく，他の遺跡や地域の分析でも同じ手法による植物同定が可能か検証することは難しい。

こうした植物同定の方法論的な問題に対応するため，近年残存デンプン粒の形態分類を行って植物種を同定する研究(Mercader et al., 2008; Parr, 2002; Torrence, 2006; Torrence et al., 2004）が進められており，植物同定の精度を高めるだけでなく，第三者の再検証を可能にする工夫が試みられている。

植物学では，多重対応分析（multiple correspondence analysis, MCA）によって現生植物 10 種のデンプン粒の形態学的な特徴を検討する研究（Devaux et al., 1992）や，SEM を用いてデンプン粒の形態を観察し，現生植物 54 種におけるデンプン粒の形態を識別する研究（Jane et al., 1994）がある。こうした統計学的な分析方法を応用し，残存デンプン粒の形態分類を試みたのがトレンスの研究（Torrence, 2006; Torrence et al., 2004）である。トレンスは現生資料の観察にもとづいて，外形や長さ，幅，偏光十字の位置など，デンプン粒の形態学的な特徴に関する 19 の分類項目を設けた。さらに，判別分析（discriminant analysis）を用いて現生植物 172 種におけるデンプン粒の形態を分類し，それらの形態上の特徴や植物の種類による形態の相違を検討した。彼女はこの方法を用いて，パプア・ニューギニアのガウア島で遺跡土壌における植物珪酸体と残存デンプン粒の分析を行い，完新世に起きた火山活動に伴ってガウア島で植生がどのように変化したのか，その様相を復元した（Lentfer & Torrence, 2007)。

トレンスの方法はデンプン粒の形態の量的な識別を試みたものであるが，偏光十字の形状や形成核の位置は視覚的な評価で識別されており（Torrence & Conway, 2006)，分類項目のすべてが数値化されているわけではない。そのため，第三者が行っても同じ結果が得られるのか検証する必要がある。

Parr（2002）は，オーストラリアに自生するグラスツリーに代表されるススキノキ科クサントロエア属 *Xanthorrhoea* に含まれるデンプン粒に着目し，デンプン粒の形態分類の基準を提示した。パーは，現生クサントロエア属 17 種におけるデンプン粒の外形と大きさ，形成核の位置（粒子の中央にみられるか外縁部にあるか)，偏光十字の形状(直線状か弧を描くか)，ラメラ構造の様子を偏光顕微鏡で観察し，これらの形態学的な特徴が残存デンプン粒の植物同定にどのように応用されるべきかを検証した。パーは現生標本の観察から，クサントロエア属のデンプン粒は外形や大きさが 17 種すべてで異なるため，これらのデンプン粒は種レベルで識別が可能であり，またデンプン粒の外形が細長い卵形や D 字形を示すなど特徴的であるため，オーストラリアの遺跡からクサントロエア属のデンプン粒が検出された場合は種の特定が可能であると指摘した。

パーの研究は偏光顕微鏡の観察結果にもとづいたデンプン粒の形態の比較分析であり，分類項目を設定する際の基準については詳細に検討されている。しかし，この形態分類を実際に考古学資料の残存デンプン分析で応用した結果が提示されておらず，デンプン粒の形態は視覚的な評価で識別され，量的な分析も行われていない。そのため，パーの方法の考古学研究への有用性については判断することができない。

Mercader et al.（2008）は，現生資料と考古学資料に含まれるデンプン粒の形態がどの程度の類似性をもつのかを検討するため，現生植物 39 科 96 属 129 種のデンプン粒について外形や大きさ，植物の部位によるデンプン粒の形態の相違を観察し，その結果にもとづく形態分類法の提示と応用事例を報告した。現生デンプン粒標本については，たとえばマメ科植物 Fabaceae の種子におけるデンプン粒は楕円形で，中果皮のデンプン粒は半円形であると指摘している。こうした観察結果にもとづいて，科レベルでの植物同定を可能にする 10 類型が設定された。さらにこの類型を用いて，モザンビークのニアッサ・リフト遺跡（中石器時代）から出土した石器の残存デンプン粒を分類し，モロコシ *Sorghum bicolor* など残存デンプン粒の候補となる具体的な植物名を提示した。ただし，その現生デンプン粒標本（Mercader et al., 2008: Table 5）では植物の採集時期とデンプン粒の形態との関係が考慮されておらず，標本のデンプン粒がその植物すべてを代表するものとして扱われているため，彼らの形態分類法は再検証する必要がある。

以上のように，先行研究では植物同定の精度を高めて第三者の検証を可能にするため，残存デンプン粒の形態分類法が提示されている。しかし，いずれも個別事例でのみ適用され，他の遺跡や地域の研究でも適用可能であるのかという検証は行われていない。本研究では，現生植物のデンプン粒の形態学的な特徴を検討した上で，日本列島全体の遺跡を対象とした比較分析を行うための新たな形態分類法を提示する。

方　　法

1．現生デンプン粒標本の作製と観察方法

現生デンプン粒標本の作製は，遺跡土壌や遺物の表面から検出した残存デンプン粒の植物同定を行うために必要な作業である（Field, 2006)。残存デンプン分析に用いることのできるデンプン粒と植物種との関係にかかわる情報は，植物学（藤本，1994；植田，1983）やデンプン科学（岩城・杉本，2004；栗波ほか，2008；杉本，2007；杉本ほか，2004；杉本・和辻，2006）の文献，残存デンプン分析の研究事例（Field, 2006; Lentfer, 2009）で示された現生

資料のデンプン粒における形態学的な特徴とともに，現生植物からデンプン試料を抽出し独自に作製する参照標本という2種類がある。

植物学やデンプン科学ではデンプンに関する研究が数多く行われており，一般的な食用デンプンを対象とした研究（金城・福場，1978；手塚ほか，2007；津川ほか，1988）が多い。残存デンプン分析において参照できる植物学の研究には，藤本（1994）が挙げられる。藤本は，現生植物72種のデンプンの外形や大きさ，偏光十字の形状，糊化温度などの特徴を個別に検討しており，植物の生態学的な特徴とデンプンの理化学的な性質を提示している。デンプン科学ではデンプンの構造や理化学的な性質が検討され，日本の先史時代における利用が想定される可食植物では，トチノキ（岩城・杉本，2004），コナラやクヌギ（杉本ほか，2004），サトイモ（杉本，2007），アワ（手塚ほか，2007）が検討されている。いずれもデンプンの外形や大きさ，アミロースやアミロペクチンの含有量，糊化温度が提示され，特定の植物種との比較に参照することができる。しかし，試料の作製方法が研究者によって異なるため，残存デンプン分析で用いる際は他の事例で示された特徴も参照する必要がある。

先行研究で示されたデンプン粒に関する情報は個別的であり，特定の植物種との比較や同定には有効である。しかし，遺跡から検出される残存デンプン粒を網羅的に比較するためには，植物種や植物群がある程度まとまった形で示された参照標本が必要となる。さらに，植物のデンプン含有量や性質は植生環境や採集時期によって異なるが（藤本，1994），既存の残存デンプン分析で提示された現生デンプン粒標本（Field, 2006など）では植物を採集した時期と場所が考慮されておらず，デンプン含有量や性質の検討も行われていない。本研究では，現生資料についてデンプン含有量が高い時期を可能な限り選んで採集し，花粉を除いたすべての植物部位からデンプン試料を採取して，植物の各部位におけるデンプン粒の含有状況や形態の検討が可能となるプレパラート標本49属73種を作製した。

現生標本の作製は，Field（2006）など先行研究で提示された方法にもとづいた。デンプンの比重は1.6～1.65と水よりも重いため，精製水（シグマ社製）に混ぜて試料としたデンプン水溶液をマイクロミニ遠心機（KUBOTA 1-13, 3 min^{-1}（×1000）を1分間使用）によって試料チューブの底に沈殿させ，グリセロール・ゼラチン（シグマ社製，屈折率1.46～1.48）でスライドに封入した。その際，プレパラートの乾燥中における異物混入を避けるため，試料をスライドに封入した後，カバーグラスの周縁を市販の透明色マニキュアで囲った。作製した標本は偏光顕微鏡（Nikon ECLIPSE E600，倍率：100～400倍）を用いて，接眼レンズを10倍，対物レンズを40倍とした視野条件で観察した。デンプン粒は100倍で観察できるが，各種植物のデンプン粒の外形や偏光十字の形状などの特徴を詳細に記録するため400倍で観察し，写真記録を行った。写真記録については，デンプン粒の外形や粒径，粒芯，層状構造を記録するために開放ニコルで撮影し，形成核の位置や偏光十字の形状を記録するために直交ニコルで撮影した。

SEMを用いればデンプン粒の立体構造の観察が可能となるが，デンプン粒の大きな特徴である偏光十字の形状を観察することはできない（Barton & Fullagar, 2006: 52）。しかも，SEM観察用試料の作製には前処理から導電処理まで多くの時間がかかり，植物の種類によりデンプン粒の浸透圧が異なるなど試料の性質も考慮する必要がある（Barton & Fullagar, 2006; Samuel, 2006）。そのため，先行研究では偏光顕微鏡でデンプン粒の観察を行い，内部の微細な構造を観察する時にSEMによる観察が行われてきた（Crowther, 2009; Robertson, 1996）。また，これまで報告されてきた分析事例では，遺跡土壌や遺物の表面から検出した残存デンプン粒の顕微鏡画像は開放ニコルのみ（Henry et al., 2009; Mercader et al., 2008; Piperno et al., 2004; Yang et al., 2009），あるいは直交ニコルのみ（Zarrillo & Kooyman, 2006）が提示されることが多い。植物学（藤本，1994）やデンプン科学（岩城・杉本，2004；杉本ほか，2004；杉本・和辻，2006）でも，デンプンの外形や内部構造，糊化温度などの理化学的な性質を検討するために開放ニコルの像が提示されている。しかし，遺跡から検出された残存デンプン粒について外形や大きさ，層状構造，偏光十字の形状などを検討し候補となる植物種を推定するとともに，再検証が可能となる資料を作製するためには，開放ニコルと直交ニコルの両方を記録し公表することが必要である。本研究ではデンプン粒の形態学的な特徴を詳細に記録するため，偏光顕微鏡を用いて観察し，開放ニコルと直交ニコルの写真記録を行った。

2．現生デンプン粒標本の形態学的な特徴の観察

以上の方法で作製した標本にもとづき，旧石器時代から弥生時代の遺跡から出土する大型植物遺存体のうちで代表的な可食植物とされる17種について，デンプン粒における形態上の特徴を検討した。

Torrence（2006）とTorrence et al.（2004）は，現生デンプン粒標本について種ごとにデンプン粒50～100個の粒径を計測しており，Mercader et al.（2008）は種ごとにデンプン粒34個の粒径を計測して，最大粒径をその植物のデンプン粒の大きさとしている。一方，藤本（1994）や杉本温美らの研究（岩城・杉本，2004；杉本，2007；杉本ほか，2004）では粒度分布計によってデンプン粒の

表 1　現生植物 17 種のデンプン粒の粒径
Table 1 Sizes of starch grains from 17 modern plants

種	ワラビ *Pteridium aquilinum*	オニグルミ *Juglans mandshurica* var. *sieboldiana*	クリ *Castanea crenata*	クヌギ *Quercus acutissima*	コナラ *Quercus serrata*	クズ *Pueraria lobata*	アズキ *Vigna angularis* var. *angularis*	リョクトウ *Vigna radiata*	トチノキ *Aesculus turbinata*	オオウバユリ *Cardiocrinum cordatum* var. *glehnii*	ヤマノイモ *Dioscorea japonica*	ヒエ *Echinochloa esculenta*	シコクビエ *Eleusine coracana*	イネ *Oryza sativa*	キビ *Panicum miliaceum*	アワ *Setaria italica*	サトイモ *Colocasia esculenta*
粒径 (μm)	10.0	16.7	3.2	8.0	10.0	7.6	29.7	18.0	14.8	37.8	12.9	9.4	6.0	6.1	7.2	10.0	2.0
	9.1	19.2	18.2	11.5	9.4	7.7	27.8	19.4	22.3	37.8	20.0	11.5	9.2	7.8	5.6	11.5	3.8
	9.1	17.7	18.2	15.4	6.1	7.7	51.1	17.2	15.4	38.9	22.2	11.5	7.7	6.1	7.2	7.7	1.5
	10.9	20.0	11.8	19.2	11.7	7.7	55.6	18.9	13.8	36.1	15.6	11.5	7.7	5.6	8.3	8.5	2.3
	7.3	23.1	15.5	15.4	14.4	7.7	38.9	16.7	19.2	25.0	15.6	7.7	10.0	5.0	8.3	11.5	3.1
	11.8	17.7	16.4	15.4	17.8	7.7	47.8	16.7	12.3	33.3	17.2	6.9	7.7	6.7	8.3	7.7	2.3
	10.0	23.1	18.2	7.7	11.1	6.9	38.9	18.3	15.4	63.9	20.0	10.0	5.4	6.7	8.3	7.7	3.1
	13.6	22.3	10.9	9.2	16.7	7.7	55.6	19.4	14.6	34.4	20.0	6.2	3.8	6.7	9.4	10.0	2.3
	10.0	23.2	9.1	16.2	6.7	7.7	30.6	17.8	19.2	31.1	22.2	7.7	10.0	7.2	6.1	11.5	2.3
	9.1	16.7	9.1	7.7	14.4	7.7	38.9	17.8	13.1	38.9	13.9	13.1	5.4	6.7	8.3	9.2	3.1
	13.6	19.2	16.4	7.7	14.4	4.6	50.0	17.8	16.2	34.4	16.7	11.5	5.4	8.3	8.3	8.5	3.8
	11.8	17.7	12.7	8.5	16.7	8.5	47.8	16.7	21.8	50.0	17.2	7.7	5.4	6.1	7.2	8.5	3.1
	8.2	20.0	4.5	10.0	15.6	9.2	58.3	16.7	14.6	37.8	20.0	10.8	5.4	6.1	11.1	11.5	2.3
	10.9	23.1	6.4	10.8	15.6	6.2	30.6	20.0	19.2	52.2	11.1	12.3	7.7	6.7	10.0	6.9	3.8
	7.3	17.7	3.6	10.0	22.2	5.4	36.1	16.7	13.1	48.9	21.1	11.5	7.7	5.6	9.4	7.7	3.1
	7.3	23.1	10.0	11.5	17.8	6.2	25.0	18.3	16.2	47.8	17.8	11.5	10.0	6.7	10.6	6.2	2.3
	9.1	22.3	3.6	11.5	17.8	6.2	25.6	19.4	21.8	58.9	16.7	11.5	10.0	5.0	10.6	7.7	2.3
	10.0	23.2	4.5	9.2	20.0	3.8	30.0	17.8	19.2	66.7	15.0	11.5	9.2	5.6	11.7	6.9	2.3
	18.0	23.2	15.3	20.5	16.2	10.0	43.2	20.0	21.8	56.8	21.6	10.0	12.4	6.8	10.0	13.2	2.0
	18.0	22.3	15.3	20.5	16.2	10.0	43.2	18.3	13.1	56.8	21.6	10.0	12.4	5.6	10.0	13.2	4.0
平均	10.8	20.6	11.1	12.3	14.5	7.3	40.2	18.1	16.9	44.4	17.9	10.2	7.9	6.3	8.8	9.3	2.7
中央値	10.0	21.2	11.4	11.2	15.6	7.7	38.9	17.9	15.8	38.9	17.5	11.2	7.7	6.4	8.3	8.5	2.3
最頻値	10.0	17.7	18.2	11.5	14.4	7.7	38.9	16.7	19.2	37.8	20.0	11.5	7.7	6.7	8.3	7.7	2.3
分散	9.5	6.5	29.2	18.7	17.7	2.5	114.3	1.3	11.4	139.4	10.7	3.9	5.9	0.7	2.7	4.6	0.5

粒径範囲と中央値が測定され，植物ごとにデンプン粒の大きさの相違が提示されている。植物の種類によるデンプン粒の形態の相違を検討するためには，藤本や杉本らの研究のように，粒径範囲，平均粒径，分散（ばらつき）を計測する必要がある。本研究では各植物種におけるデンプン粒の外形と大きさに着目し，植物種別にデンプン粒 20 個の外形を検討した上で，粒径範囲，平均粒径，分散を計測した。

結　　果

1．現生デンプン粒の形態学的な特徴

現生植物 17 種のデンプン粒の形態と大きさには大きな変異が認められた（図 2–4，表 1）。

ワラビ *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn

デンプン試料は京都市で 2 月に採集した根から採取した。デンプン粒の外形は球形やいびつな楕円形をしており（図 2：1a・1b），粒径範囲 7.3 ～ 18.0 μm，平均粒径 10.8 μm，分散 9.5 である（表 1）。

オニグルミ *Juglans ailanthifolia* Carrière var. *sieboldiana* (Maxim.) Makino

デンプン試料は青森県で 11 月に採集した種子の仁から採取した。オニグルミのデンプン粒はいびつな五角形で(図 2：2a・2b)，粒径範囲 16.7 ～ 23.2 μm，平均粒径 20.6 μm，分散 6.5 である（表 1）。

クリ *Castanea crenata* Siebold et Zucc.

デンプン試料は岩手県で 9 月に採集した果実から採取した。デンプン粒の外形は円形やいびつな楕円形，半円形で（図 2：3a・3b），粒径範囲 3.2 ～ 18.2 μm，平均粒径 11.1

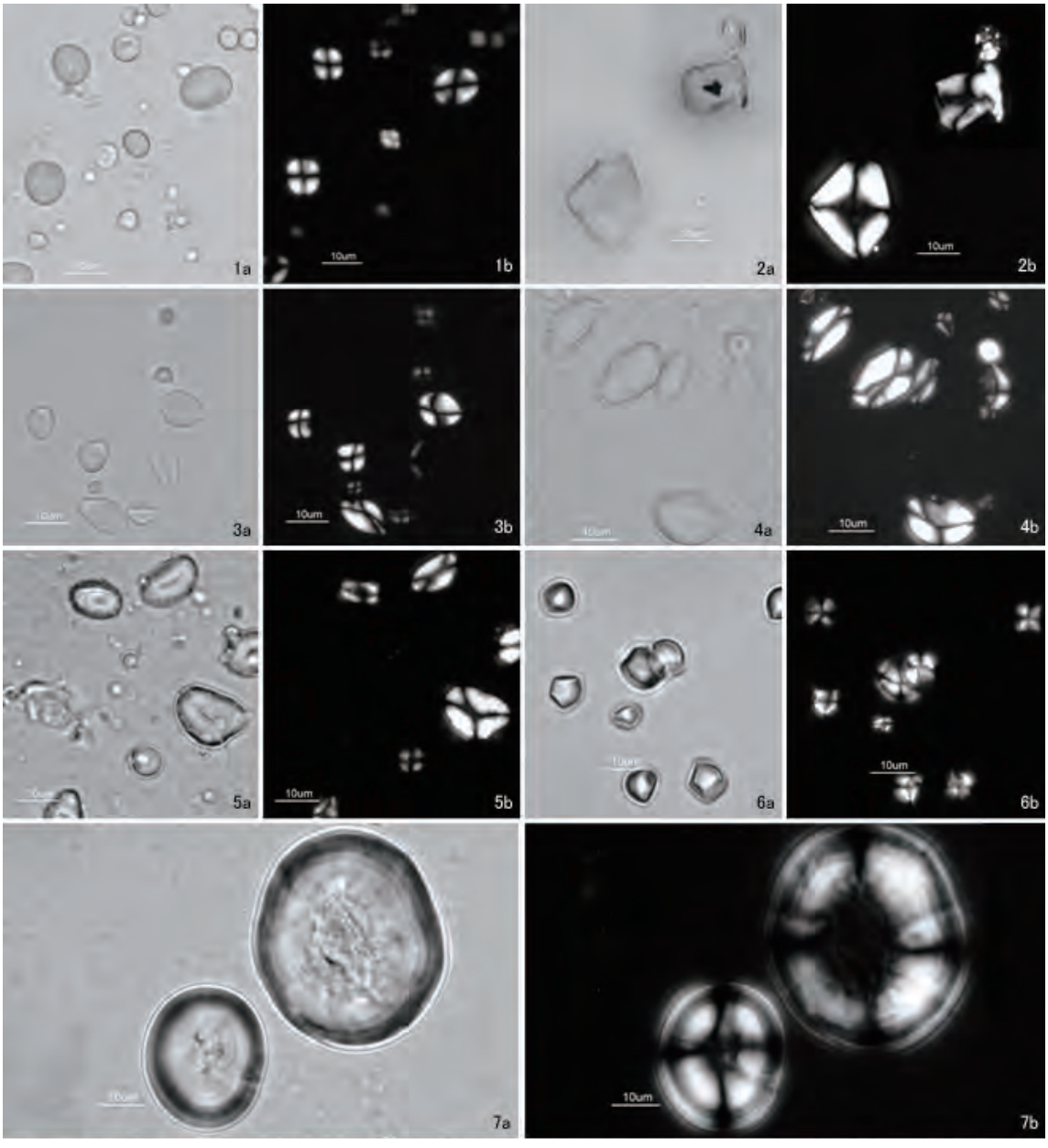

図 2　現生標本のデンプン粒（1）．— 1：ワラビ，2：オニグルミ，3：クリ，4：クヌギ，5：コナラ，6：クズ，7：アズキ．— a：開放ニコル；b：直交ニコル．

Fig. 2 Starch grains extracted from modern plant species (1). — 1: *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *2: Juglans ailanthifolia* Carrière var. *sieboldiana* (Maxim.) Makino, 3: *Castanea crenata* Siebold et Zucc., 4: *Quercus acutissima* Carruth., 5: *Quercus serrata* Thunb., 6: *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi, 7: *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi et H. Ohashi var. *angularis*. — a: brightfield; b: cross-polarised light.

μm，分散 29.2 である（表 1）。

本研究では鬼皮や葉からも試料を採取した。鬼皮にはデンプン粒は含まれていなかった。葉については 5 月に採集した試料ではデンプン粒が少量確認されたが，10 月に採集した試料には全く見られなかった。

クヌギ *Quercus acutissima* Carruth.

デンプン試料は京都市で 10 月頃に採集した果実の中心部から採取した。デンプン粒の外形は細長い楕円形や円形で（図 2：4a・4b），粒径範囲 7.7 ～ 20.5 μm，平均粒径

12.3 μm，分散 18.7 である（表 1）。

杉本ほか（2004）は，クヌギのデンプン粒は大粒のコナラより小さく，小粒のコナラの大きさと同程度であると指摘している。そこでは大きさをどのように識別したのかは示されていないが，本研究の標本においてもクヌギとコナラのデンプン粒の粒径範囲は重複している（表 1）。

コナラ *Quercus serrata* Thunb.

デンプン試料は岩手県で 9 月に採集した果実の中心部から採取した。デンプン粒の外形はおおむね楕円形で（図 2：5a・5b），粒径範囲 6.1 ～ 22.2 μm，平均粒径 14.5 μm，分散 17.7 である（表 1）。

本研究の標本を作製する際，植物の生長とデンプン粒の形態との関係を検討するため，4 月下旬から 5 月中旬，9 月下旬から 10 月中旬の 2 度に分けて果実を採集し，殻斗や葉，外皮から試料を採取して標本を作製し，観察を行った。その結果，5 月の採集時には殻斗や葉の中に微細な細胞組織の断片とともに非常に小さいデンプン粒が少量含まれていた。9 月以降では果実に多量の大きなデンプン粒が含まれ，外皮にも少量のデンプン粒が含まれていたが，殻斗や葉には細胞組織の断片のほかは含まれていなかった。

クズ *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi

デンプン試料は，静岡県掛川市で 10 月に採集した根からデンプンを採って精製された粉を使用した。このクズ粉は静岡県掛川市に在住する葛粉生産業者が市場に出荷する前に筆者に提供したものであり，クズ根の採集からデンプンの採集，粉の精製までの作業について，民俗事例の調査（山本，2002）で報告されたものと同様の方法で行われたことを聞き取り調査で確認している。デンプン粒の外形は角張った半楕円形や四角形で（図 2:6a・6b），粒径範囲 3.8 ～ 10.0 μm，平均粒径 7.3 μm，分散 2.5 である（表 1）。

アズキ *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi et H. Ohashi var. *angularis*

デンプン試料は岩手県で 9 月に採集した種子から採取した。デンプン粒の外形は円形で，開放ニコルでは 2 つの粒芯が連結した層状構造を確認することができ（図 2：7a・7b），粒径範囲 25.0 ～ 58.3 μm，平均粒径 40.2 μm，分散 114.3 である（表 1）。

リョクトウ *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek

デンプン試料は沖縄県武富島で 4 月に採集した種子から採取した。デンプン粒の外形は楕円形をしており，小さな円形も見られる（図 3：1a・1b）。粒径範囲 16.7 ～ 20.0 μm，平均粒径 18.1 μm，分散 1.3 であり，同じササゲ属のアズキよりも小さい（表 1）。

トチノキ *Aesculus turbinata* Blume

デンプン試料は長野県で 10 月に採集した種子の中心部分から採取した。デンプン粒の外形は扁平な楕円形が多く（図 3：2a・2b），粒径範囲 12.3 ～ 22.3 μm，平均粒径 16.9 μm，分散 11.4 である（表 1）。

トチノキのデンプン粒の粒径はコナラやクヌギなどの堅果類より大きく，岩城・杉本（2004）の指摘と矛盾しない。

オオウバユリ *Cardiocrinum cordatum* (Thunb.) Makino var. *glehnii* (F. Schmidt) H. Hara

デンプン試料は札幌市で 7 月に採集した鱗茎の白い中心部分から採取した。デンプン粒の外形は楕円形で粒径範囲 25.0 ～ 66.7 μm, 平均粒径 44.4 μm, 分散 139.4 であり（図 3：3a・3b，表 1），堅果類など他の植物のデンプン粒よりも非常に大きい。

ヤマノイモ　*Dioscorea japonica* Thunb.

デンプン試料は京都市で 6 月に採集した担根体の白い中心部分から採取した。デンプン粒の外形は卵形や半楕円形をしており（図 3：4a・4b），粒径 11.1 ～ 22.2 μm，平均粒径 17.9 μm，分散 10.7 である（表 1）。

ヤマノイモ属 *Dioscorea* のデンプン粒は，半円形または三角形，卵形など他の植物よりも特徴的な外形をもつことが植物学（Amani et al., 2004; Farhat et al., 1999; Wang et al., 2006a; Wang et al., 2006b）や残存デンプン分析の先行研究（Fullagar et al., 2006; Horrocks & Nunn, 2007; Lentfer, 2009）で提示されている。また，ナガイモ *Dioscorea polystachya* Turcz. の標本と比較したところ，ヤマノイモのデンプン粒とほぼ同じ外形で同じ大きさをもつことが確認され，両者の形態を識別することは容易ではないことが判明した。

ヒエ *Echinochloa esculenta* (A. Braun) H. Scholz

デンプン試料は山梨県で 9 月に採集した穎果を，乳鉢と乳棒で 1 mm メッシュ以下にすりつぶした粉から採取した。デンプン粒の外形は丸みをもった五角形で（図 3：5a・5b），粒径範囲 6.2 ～ 13.1 μm, 平均粒径 10.2 μm, 分散 3.9 である（表 1）。

イヌビエ *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. var. *crus-galli* やタイヌビエ *Echinochloa oryzicola* (Vasing.) Vasing. は，エノコログサ *Setaria viridis* (L.) P. Beauv. のデンプン粒と形態上の識別が難しいと指摘されている（藤本，1994）。これらの形態をヒエの標本と比較した結果，同じような外形と大きさをもつことが確認され，これらを明確

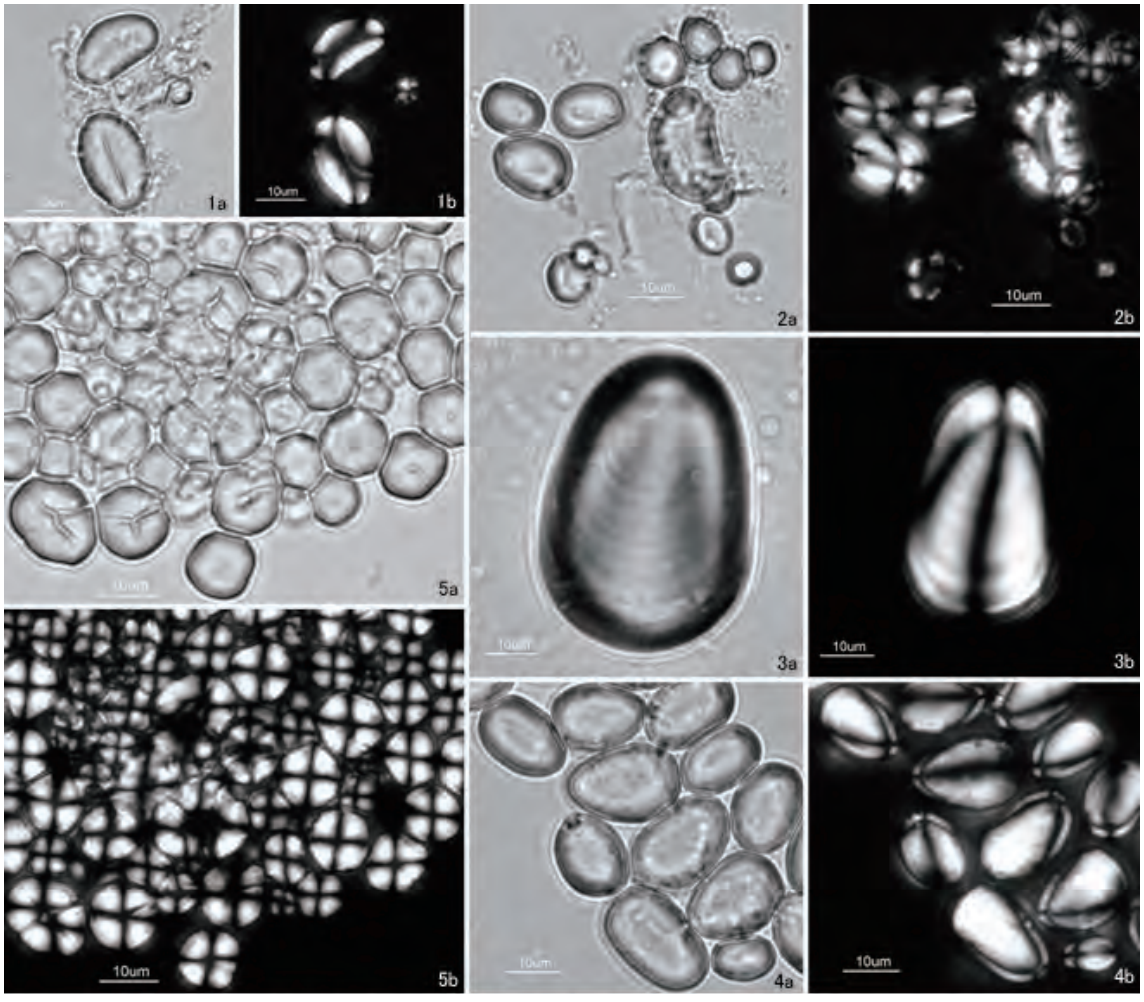

図3　現生標本のデンプン粒（2）．—1：リョクトウ，2：トチノキ，3：オオウバユリ，4：ヤマノイモ，5：ヒエ．— a：開放ニコル；b：直交ニコル．

Fig. 3 Starch grains extracted from modern plant species (2). — 1: *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek, 2: *Aesculus turbinata* Blume, 3: *Cardiocrinum cordatum* (Thunb.) Makino var. *glehnii* (F. Schmidt) H. Hara, 4: *Dioscorea japonica* Thunb., 5: *Echinochloa esculenta* (A. Braun) H. Scholz. — a: brightfield; b: cross-polarised light.

に識別することは容易ではないことが確認された。

シコクビエ *Eleusine coracana* (L.) Gaertn.

デンプン試料は山梨県で9月に採集した穎果を，乳鉢と乳棒で1 mmメッシュ以下にすりつぶした粉から採取した。デンプン粒の外形は丸みをおびた五角形で（図4：1a・1b），粒径範囲3.8～12.4 µm，平均粒径7.9 µm，分散5.9である（表1）。ヒエとシコクビエのデンプン粒の外形は非常に類似しており，両者の形態上の識別は容易ではない。

イネ *Oryza sativa* L.

デンプン試料は岩手県で9月に採集した穎果を，乳鉢と乳棒で1 mmメッシュ以下にすりつぶした粉から採取した。デンプン粒の外形はいびつな六角形で（図4：2a・2b），粒径範囲5.0～8.3 µm，平均粒径6.3 µm，分散0.7である（表1）。

キビ *Panicum miliaceum* L.

デンプン試料は沖縄県波照間島で4月に採集した穎果を，乳鉢と乳棒で1 mmメッシュ以下にすりつぶした粉から採取した。デンプン粒の外形は丸みをおびた五角形で（図4：3a・3b），粒径範囲5.6～11.7 µm，平均粒径8.8 µm，分散2.7である（表1）。

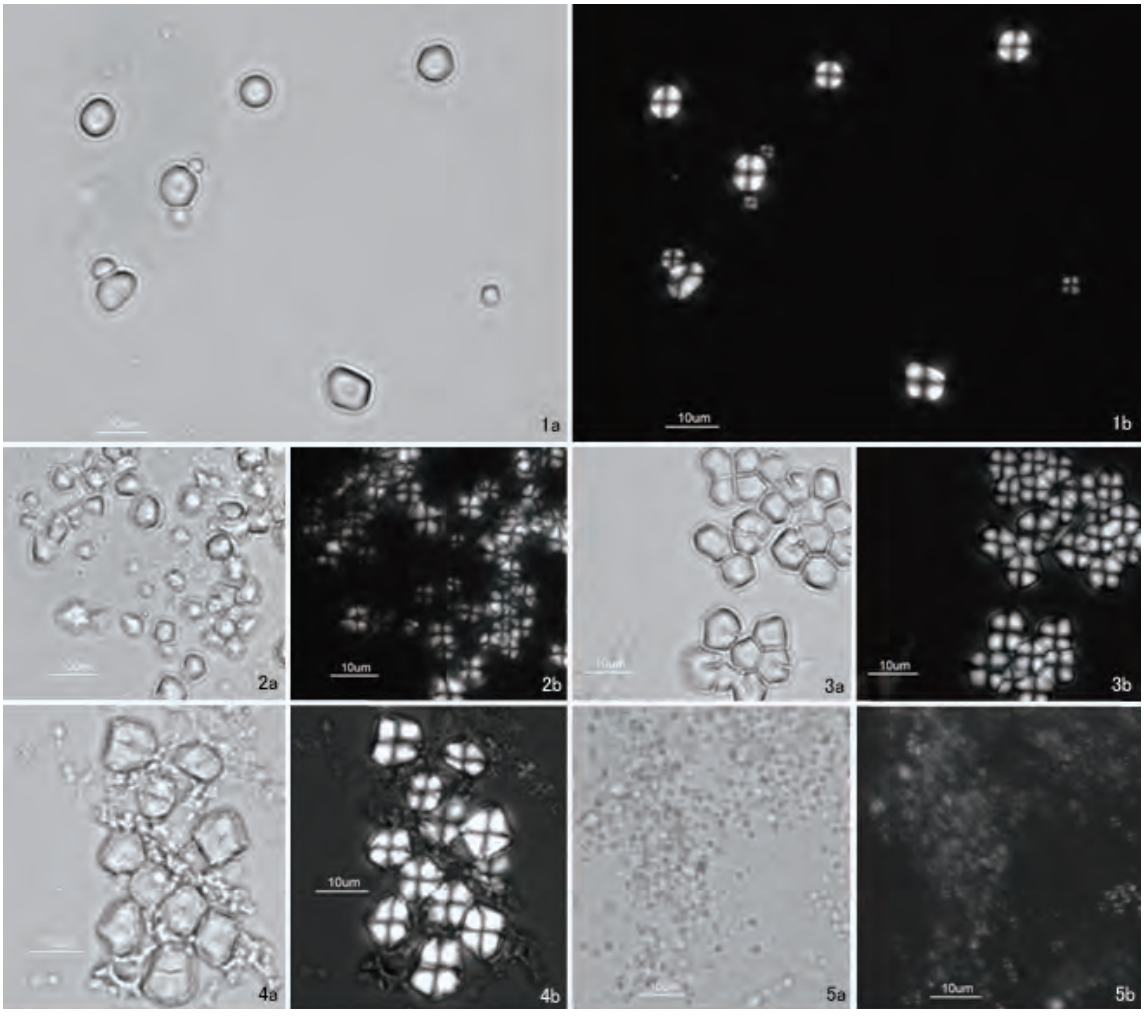

図 4　現生標本のデンプン粒（3）．—1：シコクビエ，2：イネ，3：キビ，4：アワ，5：サトイモ．— a：開放ニコル；b：直交ニコル．
Fig. 4 Starch grains extracted from modern plant species (3). — 1: *Eleusine coracana* (L.) Gaertn., 2: *Oryza sativa* L., 3: *Panicum miliaceum* L., 4: *Setaria italica* P. Beauv., 5: *Colocasia esculenta* (L.) Schott. — a: brightfield; b: cross-polarised light.

アワ *Setaria italica* P. Beauv.

デンプン試料は山梨県で 9 月に採集した穎果を，乳鉢と乳棒で 1 mm メッシュ以下にすりつぶした粉から採取した。デンプン粒の外形はいびつな五角形で（図 4：4a・4b），粒径範囲 6.2 ～ 13.2 μm，平均粒径 9.3 μm，分散 4.6 である（表 1）。

サトイモ *Colocasia esculenta* (L.) Schott

デンプン試料は京都市で 1 月に採集した塊茎の中心部から採取した。本研究で利用した 400 倍の視野条件ではデンプン粒の外形や偏光十字の形状が不明瞭であるが，おおむね円形である（図 4：5a・5b）。サトイモのデンプン粒は植物の中で最も小さく（Fullagar et al., 2006; Horrocks & Nunn, 2007; Horrocks & Weisler, 2006），標本の粒径範囲は 1.5 ～ 4 μm，平均粒径 2.7 μm，分散 0.5 で非常に小さかった（表 1）。

杉本（2007）は，サトイモのデンプン粒の平均粒径を 1.4 μm と報告しており，台湾産のタロイモ *Colocasia esculenta* var. *esculenta*2 種に含まれたデンプン粒の粒径は 0.9 ～ 2 μm および 1 ～ 6 μm と報告されている（Lii & Chang, 1991）。またサトイモのデンプン粒は，遺跡土壌や遺物の残留物から検出される場合，多数の粒が密集した状態（複数粒）や細胞組織内に粒子が詰まった状態で発見されることが多い（Fullagar et al., 2006; Horrocks &

Nunn, 2007; Horrocks & Weisler, 2006)。こうした発見事例が多いのは，サトイモのデンプン粒が非常に小さく，1粒単独の状態では見過ごされることが多いためである。柔組織が遺跡土壌から検出され，サトイモの細胞組織であると同定された事例（Paz, 2007）もあるが，日本の遺跡での検出事例はまだ報告されていない。

考　　察

1．デンプン粒の形態分類と残存デンプン分析における応用

先行研究の分類と本研究で作製した現生デンプン粒標本49属73種の観察結果をふまえ，デンプン粒の外形と大きさに着目して，植物の種類による形態の相違を検討した（図5）。先行研究（Mercader et al., 2008; Parr, 2002; Torrence, 2006; Torrence et al., 2004）では，デンプン粒の外形は円形主体（円形，楕円形，卵形），半円形または三角形，多角形という項目で分類されている。本研究では先行研究の方法をふまえ，デンプン粒の外形について，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項目を設定した。また大きさに関しては，デンプン科学の研究（杉本ほか，2004）のように，最大粒径を計測して大・中・小という相対的な分類が行われる一方で(Mercader et al., 2008; Parr, 2002), Torrence(2006)や Torrence et al.（2004）のように変数という形で扱われることもある。本研究で作製した標本の粒径の計測結果によると，10 μm未満にはハシバミ *Corylus heterophylla* var. *thunbergii* やシラカシ *Quercus myrsinifolia* Blume などの堅果類とサトイモ，ヒエ，キビ，ソバ *Fagopyrum esculentum* Moench などの穀類が入り，10～20 μmの範囲にはクリ，クヌギ，コナラなどの堅果類やクズ，ワラビなどの根茎・球根類，リョクトウなどのマメ類が，20 μmより大きいの範囲にはオニグルミなどの堅果類，オオウバユリなどの根茎・球根類，アズキなどのマメ類が含まれ，各領域に異なった植物群が該当する傾向が認められた。そこで，I：10 μm未満，II：10～20 μm，III：20 μmより大の3項目を大きさの分類として設定した。

この分類基準を用いて，先述した現生標本17種の形態分類を行い，形態の相違を図示した（図5）。この図は本研究の観察結果をもとに，これらの標本と同じ植物を検討した先行研究（Amani et al., 2004; Fullagar et al., 2006; Horrocks & Nunn, 2007; Horrocks & Weisler, 2006; 岩城・杉本，2004; Lentfer, 2009; Mercader, 2009; Piperno et al., 2004; 杉本ほか，2004）によって計測された粒径の値も参照して作製した。

デンプン粒の外形に対する量的な分析は，植物学やデンプン科学，残存デンプン分析の先行研究では実施されていない。酵母の形態を定量的に識別した方法（Ohya et al., 2005）を応用し，デンプン粒の外形に対して量的な分析を行うことが可能となれば，形状を数値化して図をより精緻なものにすることができるが，現段階では困難である。そこで本研究では，各標本20個に対して視覚的な評価によってデンプン粒の外形を識別し，図の縦軸において，たとえばデンプン粒の外形が正円に近いほど上にいき，いびつな円形ほど下にいくというように，各枠内でそれらの形状の相違を表現した。

この図は，しばしば残存デンプン分析によって遺跡内の植物資源の利用モデルを提示してきた既存の研究（Babot, 2003; Duncan et al., 2009; Haslam, 2003; Piperno et al., 2000; Zarrillo & Kooyman, 2006）に対して，植物同定をより厳密に議論する必要があることを指摘している。たとえばクヌギやコナラのように，円形のデンプン粒をもつ植物はデンプン粒の外形と大きさが重複する可能性が高く，デンプン粒の形態の分析のみで植物種を特定することは難しい。一方，ヤマノイモのデンプン粒は半円形や丸みをおびた三角形，卵形のデンプン粒をもつという特徴的な形態をしており（Amani et al., 2004; Fullagar et al., 2006; Horrocks & Nunn, 2007; Horrocks & Weisler, 2006; Lentfer, 2009; Wang et al., 2006a; Wang et al., 2006b），他の植物よりも植物種の同定が容易である。サトイモのデンプン粒については粒径が非常に小さく，遺跡から検出された事例は多数の粒子が密集した複数粒である場合や植物細胞内にデンプン粒を包含して見つかる場合であり，こうした状況で検出されたものはサトイモと同定できる。オニグルミや，ヒエ，キビ，アワ，イネについても，これらは多角形のデンプン粒をもつため，他の植物のデンプン粒の形態との相違が明確に識別できる。

こうした情報を用いれば，考古学的な研究，特に遺物の用途や遺跡内での植物性食料の利用活動の研究に対して，少なからず有意義な情報を残存デンプン分析は与えることができる。遺物の用途に関する先行研究のうち土器については，土器の内外面に付着した吹きこぼれや焦げ付き，煤などの炭化物がどのように生成されたのか，土器の使用実験（小林，1991，2008；長沢，1998；西田，2006）や炭化物に対する炭素・窒素の安定同位体分析（宮田ほか，2007；吉田，2006）など，土器の内容物の検討が行われている。また石器については，石器の使用痕や石器組成の分析を行う研究（上條，2008，2009；桐山，2005；黒坪，1983，1984，1998，2004，2007）において，石皿や磨石類は植物性食料の加工具と推定されている。しかし石器の研究では，具体的な証拠となる植物体の事例を提示した研究は必ずしも多くはない。

本研究の形態分類は，たとえば石器の分析で用いること

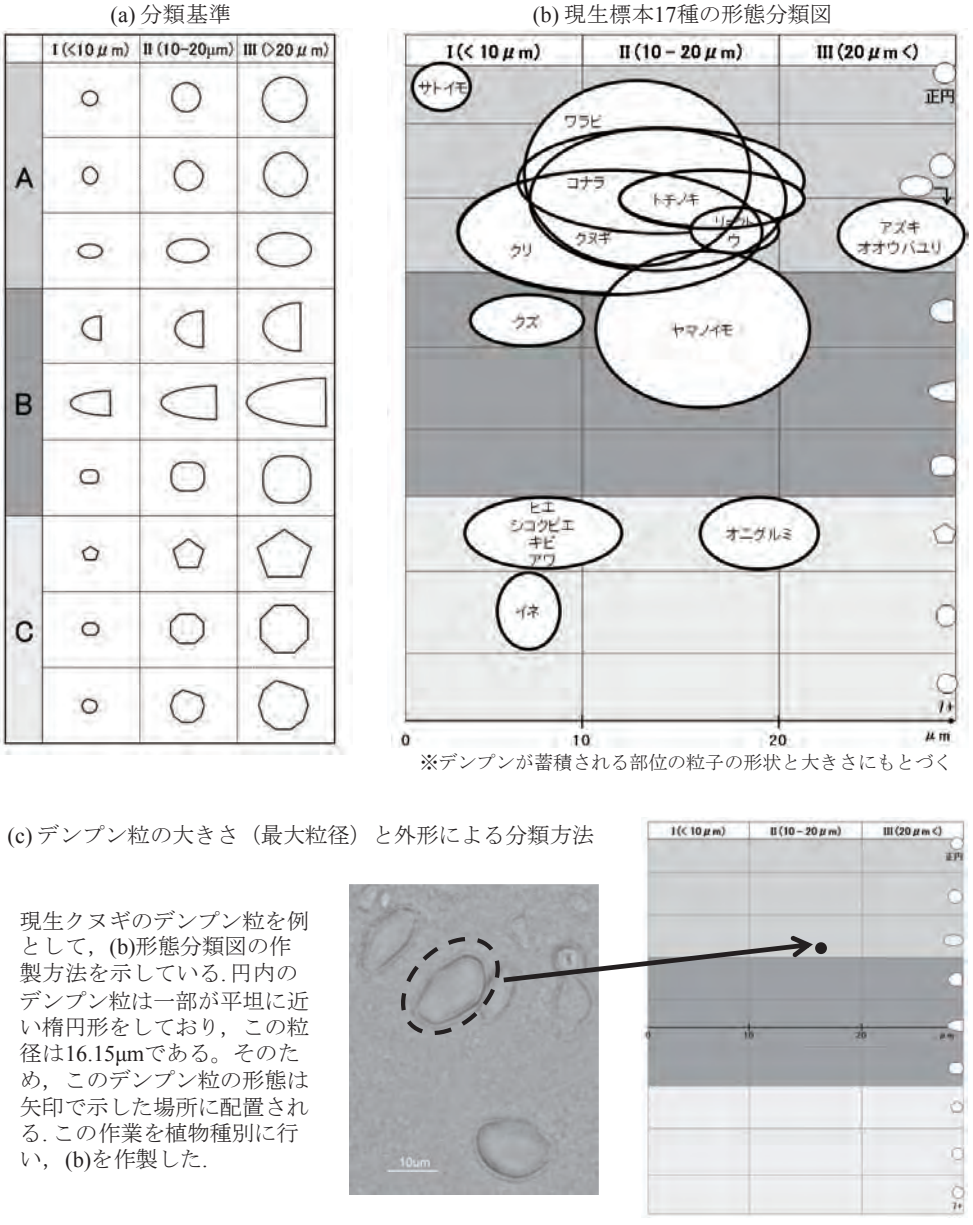

図 5　デンプン粒の形態分類の基準（a）と，現生標本 17 種の形態分類図（b），およびデンプン粒の大きさ（最大粒径）と外形による分類方法（c）.

Fig. 5 Key to starch grain morphology (a), morphology of starch grains from 17 species of modern reference plants (b), and classification of starch grains according to size (maximum diameter) and shape (c).

によって，A 類と B 類と同時に C 類の残存デンプン粒を同じ石器から検出したことが判明すれば，石器で複数の種類の植物が加工されたという具体的な証拠を提示することになる。土器の付着炭化物についても，他の分析手法とともに，内容物に含まれている植物が単一の種類か複数の種類であるのかを検討することができる。つまりこの分類法は，従来の考古学研究では証明が困難であった複数の種類の植物加工を検証する手段として有効といえるだろう。

また，デンプン粒はどのような土壌環境においても残存すると推論されており(Barton & Matthews, 2006; Evers & Stevens, 1985)，実際，さまざまな時期の遺跡から検出され，さまざまな埋没環境において残存デンプン粒が遺存していることが報告されている（渋谷，2009)。これは植物のセルロースがデンプンの酵素反応を促進する土壌の

pHや温度，微生物の活動などの要因への耐性をもつためであり（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定されている（Barton & Matthews, 2006)。

本研究の形態分類は，現生標本との形態上の比較から残存デンプン粒の植物種を絞りこむことができるため，土壌に分解されやすい性質をもつ根茎・球根類なども含めた遺跡での植物性食料の利用活動を検証することも可能である。石器や土器など遺物から検出した残存デンプン粒はそれらの遺物で加工された植物を解明することができ，遺跡土壌から検出した残存デンプン粒は遺跡空間の機能差を復元した研究（Balme & Beck, 2002; Lentfer & Torrence, 2007）のように，遺跡内の植物性食料の利用活動に関する具体的な様相を検討する手段の1つとなる。花粉分析や植物珪酸体分析など他の分析手法によって遺跡周辺の古植生が復元されていれば，現生デンプン粒標本のモデル図を作製することにより，遺跡土壌や遺物から検出した残存デンプン粒の候補となる植物の種類を絞りこむことができ，遺跡内の植物性食料の利用活動や遺物の機能を解明する手がかりを提示することができる。特に，残存デンプン粒の形態の出現頻度を分析すれば，遺跡でどの植物が主体的に利用されたのかという植物利用の状況を具体的に知ることができ，遺跡間の比較分析も可能となる。一方で遺跡の古植生が復元されていない場合は，検出された残存デンプン粒の形態は遺跡で利用された植物に関する情報を提供するため，周辺の古植生を復元する上で候補となる植物の種類を提示することができる。

したがって本研究の形態分類は，残存デンプン分析で植物種を同定する指標となるばかりでなく，旧石器時代から弥生時代における植物性食料の利用の様相を検証する手段の1つとなる可能性をもつと考えられる。

お わ り に

本研究では，旧石器時代から弥生時代に利用されていた植物の種類を同定する上でその基礎となる現生植物のデンプン粒標本について現生の植物体を用いて作製し，形態学的な特徴を検討するとともに，先行研究の成果をふまえながら，日本列島全体の遺跡を対象とした比較分析を行うための指標として，デンプン粒の外形と大きさに着目した新しい形態分類法を提示した。

旧石器時代から弥生時代の代表的な可食植物とされる17種のデンプン粒を観察し分析したところ，サトイモ，ヤマノイモ，オニグルミ，ヒエ，イネ，キビ，アワのデンプン粒は他の植物より特徴的な形態をしており，コナラやクヌギなどの堅果類は形態上類似していることが判明した。さらに，デンプン粒の外形と大きさに着目してデンプン粒の形態を分類すると，従来の残存デンプン分析でしばしば提示されてきた遺跡内での植物資源の利用モデルでは説明できないことが多く，植物種の同定をより厳密に議論する必要があることが判明した。本研究で提示した形態分類法は，既存の考古学研究で証明が困難であった複数の種類の植物加工を検証する手段として有効であり，現生標本との形態上の比較から残存デンプン粒の植物種を絞りこむことが可能であるため，遺跡内での植物性食料の利用活動を検証する手段の1つとなると考えられる。

日本の考古学研究に残存デンプン分析を取り入れることによって，さまざまな研究の進展を促す可能性については，近年の多くの研究成果から明らかとなっている。今後，時代や環境に応じた現生資料のデンプン粒標本を拡充すれば，地理的にも時代的にも残存デンプン分析で対応できる範囲が広がる。これによって，地域研究の中で植物性食料の利用活動における地域的，時代的な変化を残存デンプン分析から読み解くことが可能となるだろう。

謝　　辞

本稿は，2009年11月に総合研究大学院大学に提出した博士論文「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」にもとづいている。本研究を遂行するにあたり，下記の方がたから多くのご教示やご協力を賜りました。記して深く感謝申し上げます(敬称略)。

阿子島香，生田節子，大島たまよ，小野林太郎，上條信彦，木村高，工藤雄一郎，坂下ミワ，佐藤洋一郎，庄田慎矢，杉山真二，鈴木忠司，瀬口眞司，竹井恵美子，西田泰民，野林厚志，松山利夫，藤尾慎一郎，細谷葵，山崎健，山田喜代子，山本直人，米田穣，Sheahan Bestel, Richard Fullagar, Duncan Jones, Peter J. Matthews, 近江貝塚研究会，国立民族学博物館，総合研究大学院大学文化科学研究科

引　用　文　献

Amani, N. G. G., Bul'eon, A., Kamenan, A. & Colonna, P. 2004. Variability in starch physicochemical and functional properties of yam (*Dioscorea* sp) cultivated in Ivory Coast. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **84**: 2085–2096.

Ashman, M. R. & Puri, G. 2002. *Essential Soil Science: A clear and concise introduction to soil science*. 198 pp. Blackwell Science Ltd, Oxford.

Babot, M. D. P. 2003. Starch grain damage as an indicator of food processing. "*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, Canberra, Australia, August 2001, Canberra, Australia*"

(D. M. Hart & L. A. Wallis, eds.), 69–81. Pandanus Books, Canberra.

Balme, J. & Beck, W. E. 2002. Starch and charcoal: useful measures of activity areas in archaeological rockshelters. *Journal of Archaeological Science* **29**: 157–166.

Barton, H. & Fullagar, R. 2006. Microscopy. "*Ancient Starch Research*" (R. Torrence & H. Barton, eds.), 47–52. Left Coast Press, Inc., Walnut Creek.

Barton, H. & Matthews, P. 2006. Taphonomy. "*Ancient Starch Research*" (R. Torrence & H. Barton, eds.), 75–94. Left Coast Press, INC., Walnut Creek.

Crowther, A. 2009. Morphometric analysis of calcium oxalate raphides and assessment of their taxonomic value for archaeological microfossil studies. "*Terra australis 30: Archaeological science under a microscope: studies in residue and ancient DNA analysis in honour of Thomas H. Loy*" (M. Haslam, G. Robertson, A. Crowther, S. Nugent & L. Kirkwood, eds.), 102–128. University of Queensland Press, Brisbane.

Devaux, M. F., Qannari, E. M. & Gallant, D. J. 1992. Multiple-correspondence analysis optical microscopy for determination of starch granules. *Journal of Chemometrics* **6**: 163–175.

Duncan, N. A., Pearsall, D. M. & Benfer, R. A., Jr. 2009. Gourd and squash artifacts yield starch grains of feasting foods from preceramic Peru. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **106**: 13202–13206.

Evers, A. D. & Stevens, D. J. 1985. Starch damage. "*Advances in Cereal Science and Technology,* vol. 7" (Y. Pomeranz, ed.), 321–349. American Association of Cereal Chemists, St. Paul.

Farhat, I. A., Oguntona, T. & Neale, R. J. 1999. Characterisation of starches from West African yams. *Journal of Science of Food and Agriculture* **79**: 2105–2112.

Field, J. 2006. Reference collections. "*Ancient Starch Research*"(R. Torrence & H. Barton eds.), 95–113. Left Coast Press, Inc., Walnut Creek.

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., ed. 1998. *A Closer Look: recent Australian studies of stone tools*, Vol. 6. 200 pp. University of Sydney, Australia.

Fullagar, R., Field, J., Denham, T. & Lentfer, C. 2006. Early and mid Holocene tool-use and processing of taro (*Colocasia esculenta*), yam (*Dioscorea* sp.) and other plants at Kuk Swamp in the highlands of Papua New Guinea. *Journal of Archaeological Science* **33**: 595–614.

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*" (R. Torrence & H. Barton, eds.), 35–45. Left Coast Press, Inc., Walnut Creek.

Haslam, M. 2003. Evidence for maize processing on 2000-year-old obsidian artefacts from Copan, Honduras. "*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*" (D. M. Hart & L. A. Wallis, eds.), 153–161. Pandanus Books, 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.

Hill, H. E. & Evans, J. 1987. The identification of plants used in prehistory from organic residues. "*Archaeometry: further Australasian studies*" (W. R. Ambrose & J. M. J. Mummery, eds.), 90–96. The Australian National University, Canberra.

Horrocks, M. & Nunn, P. D. 2007. Evidence for introduced taro (*Colocasia esculenta*) and lesser yam (*Dioscorea esculenta*) in Lapita-era (c. 3050–2500 cal. yr BP) deposits from Bourewa, southwest Viti Levu Island, Fiji. *Journal of Archaeological Science* **34**: 739–748.

Horrocks, M. & Weisler, M. I. 2006. A short note on starch and xylem of *Colocasia esculenta* (taro) in archaeological deposits from Pitcairn Island, southeast Polynesia. *Journal of Archaeological Science* **33**: 1189–1193.

岩城啓子・杉本温美．2004．トチの実およびヒシの実デンプンの二, 三の性質について．日本家政学会誌 **55**: 13–19.

Jane, J., Kasemsuwan, T., Leas, S., Ia, A., Zobel, H., Il, D., Robyt, J. F. & Ia, A. U. S. A. 1994. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. *Starch/stärke* **4**: 121–129.

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.

金城須美子・福場博保．1978．沖縄産田芋澱粉のアミロース含量，ならびに糊化と粘性特性について．澱粉科学 **25**: 193–197.

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．1991．土器の器形と炭化物からみた先史時代の調理方法．北陸古代土器研究 No. 1: 15–30.

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．

栗波　哲・杉本雅俊・天谷美都希．2008．普通種ソバ澱粉の理化学的性質．*Journal of Applied Glycoscience* **55**: 95–99.

黒坪一樹．1983．日本先土器時代における敲石類の研究（上）―植物食利用に関する一試論．古代文化 **35**(12): 11–31.

黒坪一樹．1984．日本先土器時代における敲石類の研究（下）―植物食利用に関する一試論．古代文化 **36**(3): 17–33.

黒坪一樹．1998．亜寒帯における敲石類の分布―植物食利用

の比重をめぐって―.「網干善教先生古希記念考古学論集：上」(網干善教先生古希記念論文集刊行会編), 19–46. 明新印刷, 大阪.

黒坪一樹. 2004. 飛騨トチムキ石と岩宿時代敲石類研究への視点.「山下秀樹氏追悼考古論集」(山下秀樹氏追悼論文集刊行会編), 15–24. 山下秀樹氏追悼論文集刊行会, 京都.

黒坪一樹. 2007. 植物食利用具としての敲石. 月刊考古学ジャーナル No. 556: 7–10.

Lentfer, C. J. 2009. Building a comparative starch reference collection for Indonesia and its application to palaeoenvironmental and archaeological research. "*Terra australis 30: Archaeological science under a microscope: studies in residue and ancient DNA analysis in honour of Thomas H. Loy*" (M. Haslam, G. Robertson, A. Crowther, S. Nugent & L. Kirkwood, eds.), 80–101. University of Queensland Press, Brisbane.

Lentfer, C. & Torrence, R. 2007. Holocene volcanic activity, vegetation succession, and ancient human land use: Unraveling the interactions on Garua Island, Papua New Guinea. *Review of Palaeobotany and Palynology* **143**: 83–105.

Lii, C.-Y. & Chang, Y.-H. 1991. Study of starch in Taiwan. *Food Reviews International* **7**: 185–203.

ピーター・マシウス・西田泰民. 2006. 残存デンプン分析の先行研究と目的. 新潟県立歴史博物館研究紀要 No. 7: 1–6.

Mercader, J. 2009. Mozambican grass seed consumption during the Middle Stone Age. *Science* **326**: 1680–1683.

Mercader, J., Bennett, T. & Raja, M. 2008. Middle Stone Age starch acquisition in the Niassa Rift, Mozambique. *Quaternary Research* **70**: 283–300.

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.

宮田佳樹・小島孝修・松谷暁子・遠部慎・西本豊弘. 2007. 西日本最古のキビ―滋賀県竜ヶ崎A遺跡の土器付着炭化物―. 国立歴史民俗博物館研究報告 No. 137: 255–265.

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, 福島.

中村直子・寒川朋枝・真邉彩・大西智和・鐘ヶ江賢二. 2009. 南九州における食用植物の利用―とくに古墳文化周縁部の事例について―. 第24回日本植生史学会大会講演要旨集 (第24回日本植生史学会大会実行委員会, 編), 83–84. 日本植生史学会・九州古代種子研究会, 熊本大学.

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.

西田泰民・椿坂恭代・阿部千春. 2005. 遺跡土壌中の残存デンプン粒について. 日本文化財科学会第22回大会研究発表要旨集 (日本文化財科学会第22回大会実行委員会, 編), 110–111. 日本文化財科学会, 北海道大学.

Ohya, Y., Sese, J., Yukawa, M., Sano, F., Nakatani, Y., Saito, T. L., Saka, A., Fukuda, T., Ishihara, S., Oka, S., Suzuki, G., Watanabe, M., Hirata, A., Ohtani, M., Sawai, H., Fraysse, N., Latgé, J.-P., François, J. M., Aebi, M., Tanaka, S., Muramatsu, S., Araki, H., Sonoike, K., Nogami, S. & Morishita, S. 2005. High-dimensional and large-scale phenotyping of yeast mutants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **102**: 19015–19020.

Parr, J. F. 2002. The identification of Xanthorrhoea resins by starch morphology: prospects for archaeological and taxonomic applications. *Economic Botany* **56**: 260–270.

Paz, V. J. 2007. Latest advancements in archaeological parencymatous tissue determination. *International Symposium* "*Recent Advancements of Archaeobotany in Eurasia*" (Research Institute for Humanity and Nature Sato Project, ed.), 12. Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto.

Piperno, D. R., Ranere, A. J., Holst, I. & Hansell, P. 2000. Starch grains reveal early root crop horticulture in the Panamanian tropical forest. *Nature* **407**: 894–897.

Piperno, D. R., Weiss, E., Holst, I. & D.Nadel. 2004. Processing of wild cereal grains in the Upper Palaeolithic revealed by starch grain analysis. *Nature* **430**: 670–673.

Robertson, G. 1996. An application of environmental scanning electron microscopy and image analysis to starch grain differentiation. TEMPUS. Archaeology and Material Culture Studies in Anthropology. Australian Archaeology '95. "*Proceedings of the 1995 Australian Archaeological Association Annual Conference 6*" (S. Ulm, I. Lilley & A. Ross, eds.), 169–182. Anthropology Museum, Queensland.

Samuel, D. 2006. Preparing samples for the scanning electron microscope. "*Ancient Starch Research*" (R. Torrence & H. Barton, eds.), 214. Left Coast Press, Inc., Walnut Creek.

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 **59**(2): 116–126.

渋谷綾子. 2008a. 残存デンプン分析からみた三内丸山遺跡の植物食―加工・利用技術の発展と展開―.「特別史跡三内丸山遺跡年報 No. 11」(青森県教育庁文化財保護課三内丸山遺跡対策室編), 47–55. 青森県教育委員会, 青森.

渋谷綾子. 2008b. 鹿児島県の旧石器・縄文草創期の石器残存デンプン―立切・加栗山・掃除山・奥ノ仁田遺跡―. 古代文化 **60**(1): 130–140.

渋谷綾子. 2009. 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・ピーター・マシウス・鈴木忠司. 2006. 旧石器時代石器資料の残存デンプン分析調査報告. 新潟県立歴史博物館研究紀要 No. 7: 17–24.

Shoda, S., Shibutani, A., Kunikita, D. & Matsutani, A. 2008. A microcosm of charred remains of pottery. "*Sixth World Archaeological Congress (WAC-6)*" (The World

Archaeological Congress, ed.), 367. The World Archaeological Congress, University College Dublin, Ireland.

Sivak, M. & Preis, J. 1998. Starch: Basic science to biotechnology. "*Advances in Food and Nutrition Research*" (M. Sivak & J. Preis, eds.), 41. Academic Press, London.

杉本温美．2007．各種澱粉粒の理化学的特性に関する研究．*Journal of Applied Glycoscience* **54**: 47–54.

杉本温美・井ノ内直良・宮崎真由美・森川拡晃・不破英次．2004．数種のドングリ澱粉の構造と熱的性質．*Journal of Applied Glycoscience* **51**: 45–49.

杉本温美・和辻敏子．2006．ヒラ豆デンプンの二, 三の性質について．日本家政学会誌 **57**: 635–640.

手塚尚子・平尾和子・濱西知子・松永尚子・貝沼圭二・高橋節子．2007．アワ（*Setaria italica* Beauv.）澱粉の新調整法と得られた澱粉の理化学的性質．*Journal of Applied Glycoscience* **54**: 15–21.

Torrence, R. 2006. Description, classification, and identification. "*Ancient Starch Research*" (R. Torrence & H. Barton, eds.), 115–143. Left Coast Press, Inc., Walnut Creek.

Torrence, R. & Barton, H., eds. 2006. *Ancient Starch Research*. 104 pp. Left Coast Press, Inc., Walnut Creek.

Torrence, R. & Conway, R. 2006. Classification using image analysis and multivariate techniques. "*Ancient Starch Research*" (R. Torrence & H. Barton, eds.), 137–142. Left Coast Press, Inc., Walnut Creek.

Torrence, R., Wright, R. & Conway, R. 2004. Identification of starch granules using image analysis and multivariate techniques. *Journal of Archaeological Science* **31**: 519–532.

津川兵衛・トーマス・サセック・藤井　聰．1988．澱粉食品工業の原点；葛粉―その歴史，製造，性質，利用．食品工業 **31**(12): 17–49.

植田利喜造 , 編．1983．植物構造図説．356 pp．森北出版, 東京.

Wallace, C. 1996. Examining the use of starch grain residues to identify plants processed in Stone Age contexts. *Southern African Field Archaeology* **5**: 38–41.

Wang, S., Liu, H., Gao, W., Chen, H., Yu, J. & Xiao, P. 2006a. Characterization of new starches separated from different Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars. *Food Chemistry* **99**: 30–37.

Wang, S., Yu, J., Gao, W., Liu, H. & Xiao, P. 2006b. New starches from traditional Chinese medicine (TCM)—Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) cultivars. *Carbohydrate Research* **341**: 289–293.

Wilson, J., Hardy, K., Allen, R., Copeland, L., Wrangham, R. & Collins, M. 2010. Automated classification of starch granules using supervised pattern recognition of morphological properties. *Journal of Archaeological Science* **37**: 594–604.

山本直人．2002．縄文時代の植物採集活動―野生根茎類食料化の民俗考古学的研究―．250 pp．渓水社，広島.

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**: 1164–1171.

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.

Zarrillo, S. & Kooyman, B. 2006. Evidence for berry and maize processing on the Canadian Plains from starch grain analysis. *American Antiquity* **71**: 473–499.

（2010 年 4 月 23 日受理）