

② 自由課題研究

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—

渋谷 綾子（総合研究大学院大学文化科学研究科博士課程）

1. 研究の目的

本研究は三内丸山遺跡から出土した石皿を調査の対象とした。石皿は植物質食料の加工具として評価されており、堅果類の殻割りや製粉に使用されたと考えられている（黒坪，1983，1984；宮尾・宮内，2006；渡辺，1975）。しかし、石皿の表面に実際にどのような植物の痕跡が残留しているのかについてはわかっていない。しかも、種実分析や微化石分析による遺跡の周辺植生を復元した一連の結果において、根茎・塊茎類など残存の可能性の低いデンプン質植物の利用が反映されていることはほとんどない。そのため、これらの証拠を遺跡土壌や遺物から検出する方法が必要となる。

本研究では、三内丸山遺跡の石皿からデンプン質残留物の検出を試みることによって、残存の可能性の低いデンプン質植物の利用を解明した。さらに、古環境の復元結果と青森県内の民俗例に見られる食用植物の利用を組み合わせ、遺跡土壌や遺物にどのようなデンプン粒が残存するのかを考察した。

2. 残存デンプン分析と研究の学術的意義

植物のデンプンはエネルギーの貯蔵システムにおいて機能する微小な天然高分子で、主に球根や塊茎、種子などに見られる。デンプン粒は大きさや形、組成、性質などにおいて多様であり、菌類・藻類・その他の微生物の影響を受けるほかはどのような状況下であっても残存するといわれている。デンプンは65度以上の熱を受けると変成し始め、最終的には原形が損なわれてしまうが、デンプン

の痕跡は残っている。このような特徴を利用して、遺跡土壌や遺物に残されたデンプン質残留物から植物質食料の利用を解明する研究が残存デンプン研究である。

残存デンプン研究は、1970年代に先鞭がつけられたが（Briuer, 1978）、幅広い調査が行われるのは1980年代になってからである（Loy他, 1992）。1990年代には世界各地で報告されるようになり（マシウス・西田, 2006）、2000年代に入ると残存デンプンは世界中の人間居住地域で報告されている（図1）。

近年は各専門誌上に関連論文が多く発表されており（例：Atchison他, 2005；Barton, 2005；Fullagar他, 2006；Lentfer他, 2002）、中でもJournal of Archaeological Scienceには残存デンプン研究の論文が多く掲載されている。2006年に刊行された“Ancient Starch Research”（Torrence, Barton編, 2006）では、残存デンプンの研究史や課題がほぼ網羅されている。

このように残存デンプン分析は考古学の新しい方法論として急速に発展したが、研究そのものが試行錯誤の状態であり、問題は多数ある。特に、日本ではこの分野の研究は比較的新しく、海外で行われた研究方法が日本でも応用できるのかもわかっていない。必然的に日本における研究事例の蓄積が求められる。

三内丸山遺跡では、種実分析や微化石分析によってさまざまな植物が食料として利用されていたことが判明している（青森県史編さん考古部会, 2002；岡田・伊藤, 1995；久保他, 2006；辻他, 2006；能城・鈴木, 2006；吉川他, 2006）。しか

し、残存の可能性がきわめて低いデンプン質植物の利用についてはわからないことが多い。

そこで本研究では、三内丸山遺跡の遺物からどのような残存デンプンが検出できるのか明らかにすることを第一の目的とした。これは日本におけるデンプン研究の新しい事例を示すことになる。さらに、日本で残存デンプン研究を行うにはどのような疑義を解決すればよいのかを提示することも目的とした。これは国内外にデンプン研究の問題を発信することにつながる。

3. 調査資料

今回調査した資料は石皿28点である。対象の資料は近年出土したものを中心に、比較的大きな石皿を抽出した上で、さまざまな調査区から出土したものを選択した。

石皿の大きさに注目した理由は、石皿の出土後や整理作業過程における水洗によって、小形の石皿や破片は大形のものにくらべて表面の残留物が流出しやすいためである。さらに石質にも注目して、どの石質に最も多く付着物が残るのかを調べるため、安山岩、石英安山岩、溶結凝灰岩、凝灰岩、砂岩、流紋岩の石皿を選択した。

4. 試料採取と分析の方法

今回の研究では、石皿のどの部分にデンプン質残留物が見られるのかを正確に知るため、マイクロピペットと精製水を用いて試料を点的に採取する方法を選んだ(渋谷他, 2006)。本来は、平行光学系実体顕微鏡で試料を採取する方法が石皿表面の残留物を確認するために最適であるが、設備等の関係で難しかったため、肉眼やルーペで可能な限り表面の割れ目や穴の残留物を確認し試料を採取した(図2)。

調査では、使用痕の有無を問わず石皿の両面から、それぞれ1点の石皿につき合計5箇所から7箇所採取した。試料はすべてプレパラートにし、

グリセロールで封入した。グリセロールの屈折率は、現在のところ顕微鏡での分析にほとんど影響を与えていないことがわかっている。

作製したプレパラートはすべて偏光顕微鏡(Nikon ECLIPSE E600)で観察した。デンプン粒は偏光下でしばしば特有の複屈折(偏光十字)が観察される。これは、デンプン粒が物理的に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を含む不均質な物質であることによる。そこで、開放ニコルと直交ニコルの像を撮影した。

5. 分析結果

1) 検出状況

分析した石皿28点中、デンプン粒を検出したのは26点である(図3)。調査資料のうち、2点の石皿についてはデンプン粒を検出することができなかった。

デンプン粒を1粒のみ検出した石皿3点については、いずれも繊維や細胞組織の一部など植物性の物質を含んでおらず、確実に石皿に付着していたデンプンなのかどうか判然としなかった。試料はすべて石皿表面の割れ目や深い穴から採取したが、デンプン検出量が1粒のみの石皿については、混入の可能性が否定できない。他の試料はいずれも植物性の物質を同時に検出しており、デンプン検出量も非常に多く、特に石皿の使用痕内から採取した試料にデンプンが多く含まれていた。したがって、これらの検出したデンプンは石皿に付着していたものであると考える。

石質については、調査対象としたすべての石質の石皿からデンプンを検出した。そのうち、安山岩、石英安山岩、溶結凝灰岩、流紋岩の石皿からは非常に多くのデンプンを検出した。

2) 残存状態

検出したデンプン粒の多くは分解・損傷しており(図4・図5)、それらの度合いはさまざまであ

る。さらに、同じ試料に含まれていたデンプンであっても、分解の度合いは異なっていた。なお、損傷したデンプンについても、中央から欠けているもの、端から割れているものなどがあり、損傷の度合いも多様であった。

デンプンの残存過程では、気象や土壌などの環境的な要因とともに、加工や利用の技術など文化的な要因もかかわることが多い。つまり、三内丸山遺跡で検出した分解・損傷したデンプンは複数の残存条件が相互に作用した結果を示しているのである。このことは三内丸山遺跡の資料に限らず、他の縄文時代遺跡の石器に対して行った分析でも見られた。

現在の残存デンプン研究は、特に日本においては試行錯誤の状態にある。しかし、デンプンの残存過程が説明できれば、デンプンが残留する環境を予測するための理論的な基盤を確立することができる。したがって、今回の調査でさまざまな分解状態のデンプンを検出したことは、本研究の成果の一つである。

また、今回の調査では、部分的に青色を呈したデンプン、デンプン粒が植物細胞の中に含まれている状態のもの（図6）、繊維に密着したデンプンも検出した。部分的に青色の付いたデンプンは、混入した物質が青色を呈しているのではなく、デンプンそのものに青色が付いた状態であった。このようなデンプンの検出量は少ないが、他の遺跡の分析でも見られる。しかし、現生植物を用いて作製した参照デンプン標本ではこのようなデンプンを確認していない。つまり、青色の付く要因を解明することもデンプンの残存条件を考える上で必要となると考える。

植物細胞の中にデンプンを含んだ状態のものはいずれも検出量は少ないが、今回の分析に関しては混入の可能性が非常に低いと考える。本来石皿表面に残留していたものとは異なるデンプンが試料に混入する問題は、石皿が出土した後から整理

・保管にいたるまでの資料の取り扱い過程のどの段階でも生じる。しかし、植物細胞中のデンプンは、試料を採取する時に調査者が直接植物に触れていない限り、試料に混入してしまう可能性は極めて低い。そのため、これらのデンプンは石皿の表面に付着していたものであると考える。

3) 形態・大きさ

今回の分析では、原形をとどめていないほど分解したデンプンを多く検出したが、検出したデンプンの形は、概ね円形（図7）、角張った円形（図8）、楕円形（図9）、半楕円形（図10）、丸みをおびた三角形（図11）、丸みをおびた四角形（図12）、多角形（図13）に分けられる。

円形のデンプンの大きさについては、大きいものが径 $30\mu\text{m}$ 、小さいものが径 $5\mu\text{m}$ であり、単独粒（単独のデンプン）と複数粒（密集状態のデンプン）を検出した。角張った円形のデンプンは多種あり、多角形が丸みをおびて円形になったような形である。大きさから見ると、円形は大・中・小の3つのグループ、角張った円形は大・小の2つのグループに分かれる。

楕円形のデンプンも円形の次に多く検出しており、きわめて円形に近い楕円形のデンプンも検出した。半楕円形は楕円形のデンプンが損傷を受けたものではなく、デンプン自体が一方を直線となす形である。このデンプンの検出量は非常に少なかった。

そのほか、丸みをおびた三角形や四角形、多角形のデンプンも検出した。多角形のデンプンには五角形に近いものや六角形があり、1辺 $10\mu\text{m}$ のものが最大である。四角形も同様の大きさであった。なお、分解したデンプンは原形が円形であるものが多いようである。

検出したデンプンの形や大きさを見ると、7種類のグループに分けることができる。しかし、これらはそのまま7種類の植物に該当するわけではない。偏光顕微鏡で見ると、デンプンの形が7種

類の形態に分かれるのであって、他の電子顕微鏡等を使って立体的にデンプン粒の形をとらえる必要がある。同じ植物のデンプンであってもスライド上で2次元的にとらえると異なった形が存在しているように見えるからである。したがって、立体的にデンプン粒の形をとらえた上で、何種類のデンプンを検出したのかを判断し、植物を同定することが必要である。

今回の分析では、石皿からどのような形のデンプンが検出できるのかを調査したのみで、検出した7種類の形態のうち、どの形とどの形が同一の植物のデンプンを示しているのか検証することはできなかった。今後の課題の一つである。

6. 候補植物と同定

残存デンプン研究においては、植物の同定は残存デンプンと参照標本に十分に精通した上で行うべきであるため(マシウス・西田, 2006)、生物学で要求されるほどの厳密性をもって、どの植物のデンプンであると示すことはできない。しかしながら、参照標本と残存デンプンを比較すると、ある植物は検出したデンプンの候補から外せることがわかっている。

今回の研究では、種実分析や微化石分析の結果から、三内丸山遺跡における候補植物の一覧表を作成した。しかし、この中には根茎類や塊茎類が含まれていないため、青森県内および津軽地方の民俗例における植物利用を文献から調査し、ヤマノイモ (*Dioscorea japonica*)、サトイモ (*Colocasia esculenta* (L.) Schott)、ワラビ (*Pteridium aquilinum*) を追加した上で、参照標本と残存デンプンの形を比較した。その結果、検出した残存デンプンの形態がサトイモやヤマノイモ、ハシバミ (*Corylus heterophylla* Fisch. var. *thunbergii* Blume) のデンプンの形とは一致しないことが判明した。

サトイモのデンプン粒の大きさはおよそ1~4

μm と小さく(図14)、遺跡土壌や遺物においてしばしば密集した状態で発見されている

(例: Fullagar他, 2006; Horrocks, Nunn, 2007; Horrocks, Weisler, 2006)。ヤマノイモのデンプン粒は卵形や一部が平坦になった楕円球形が多く見られる(図15)。さらに、ハシバミのデンプン粒も小さいものが多く、参照標本では密集した状態で見られる(図16)。

このように、三内丸山遺跡から検出したデンプンはいずれもサトイモ、ヤマノイモ、ハシバミのデンプンとは形態的に一致しないため、候補植物から外せる。この結果を受けて、候補植物の一覧を作成した(表1)。

今回の分析では分解・損傷したデンプンを非常に多く検出しており、いずれも原形をとどめていない。しかも、最も多く検出した円形や角張った円形のデンプンは植物のデンプンに比較的多い形であるため、確実にどの植物のデンプンの形態と一致するのか、まだわかっていない。その他のデンプンについても現段階では不明である。これらは今後の課題である。

まとめ

三内丸山遺跡における植物利用の復元は、これまで植物遺体の分析や微化石分析によって行われてきた。今回の研究では、上述の分析ではわからない、残存の可能性が低い他のデンプン質植物の利用を明らかにするため、石皿の残存デンプン分析を行った。

結果として、調査対象としたほとんどの石皿からデンプン粒を検出し、それらのデンプンは形態的には7種類に分かれることが判明した。その上で、遺跡の調査で行われている古植生の復元結果と民俗例における植物利用から残存デンプンの候補となる植物を抽出し、検出したデンプンがヤマノイモ、サトイモ、ハシバミの形態とは一致しないことを明らかにした。今回の研究ではこれら

の検出したデンプンがどの植物のものか同定することはできなかったが、候補となる植物の一覧を作成することができた。

日本考古学では残存デンプン研究は非常に新しい分野であるため、「古植生の復元や民俗例における植物利用から、遺跡土壌や遺物にどのような残存デンプンがあるのか予見するモデルを作る」という研究の大きな課題を達成するには依然として多くの問題がある。しかし、残存デンプンの研究事例の蓄積、実験的な研究によるデンプンの残存条件の解明、さらに、参照デンプン標本データベースの構築によって、研究上の問題の大部分を解決することが可能となる。今回の結果をもとに研究を進め、検出した残存デンプンがどのような植物由来のものかを解明し、縄文時代遺跡における植物食の復元につなげたいと考える。

〔謝辞〕

本研究を遂行するにあたり、三内丸山遺跡対策室の方がた、研究全般にご指導いただいたP. J. マシウス先生（国立民族学博物館）、鈴木忠司先生（京都文化博物館）、西田泰民先生（新潟県立歴史博物館）、顕微鏡観察をお手伝いいただいた秋田総理氏（大阪大学大学院）、および標本データベース作製・資料作成にご協力いただいた生田節子氏に深く感謝いたします。

引用文献

- Atchison, J., L. Head, R. Fullagar. 2005. Archaeobotany of fruit seed processing in a monsoon savanna environment: evidence from the Keep River region, Northern Territory, Australia. *Journal of Archaeological Science* 32: 167-181.
- Barton, H. 2005. The case for rainforest foragers: the starch record at Niar Cave, Sarawak. *Asian Perspectives* 44.
- Briuer, F.L. 1978. New clues to stone tool function: plant and animal residues. *American Antiquity* 41: 478-483.
- Fullagar, R., J. Field, T. Denham, C. Lentfer. 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.
- Horrocks, M., P.D. Nunn. 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., M.I. Weisler. 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.
- Lentfer, C., M. Therin, R. Torrence. 2002. Starch grains and environmental reconstruction: a modern test case from West New Britain, Papua New Guinea. *Journal of Archaeological Science* 29: 687-698.
- Loy, T.H., M. Spriggs, S. Wickler. 1992. Direct evidence for human use of plants 28,000 years ago: starch residues on stone artefacts from the northern Solomon Islands. *Antiquity* 66: 898-912.
- Torrence, R., H. Barton, (eds.) 2006. *Ancient Starch Research*, p. 104. Left Coast Press, INC., Walnut Creek.
- 青森県史編さん考古部会. 2002. 青森県史 別編 三内丸山遺跡. 青森県, 青森.
- 岡田康博, 伊藤由美子. 1995. 円筒土器文化の植物利用—三内丸山遺跡の事例—. *月刊考古学ジャーナル* 389: 20-24.
- 久保淳子, 辻誠一郎, 村田泰輔, 辻圭子, 後藤香奈子. 2006. 最終氷期以降の青森平野の環境変遷史. 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), 7-17. 日本植生史学会, 仙台.
- 黒坪一樹. 1983. 日本先上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: 11-31.
- 黒坪一樹. 1984. 日本先上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: 17-33.

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 7: 17-24.

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.

能城修一, 鈴木三男. 2006. 青森県三内丸山遺跡とその周辺における縄文時代前期の森林資源利用. 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), 83-100. 日本植生史学会, 仙台.

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 7: 1-6.

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 7: 87-104.

吉川昌伸, 鈴木茂, 辻誠一郎, 後藤香奈子, 村田泰輔. 2006. 三内丸山遺跡の植生史と人の活動. 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), 49-82. 日本植生史学会, 仙台.

渡辺誠. 1975. 縄文時代の植物食. 雄山閣, 東京.

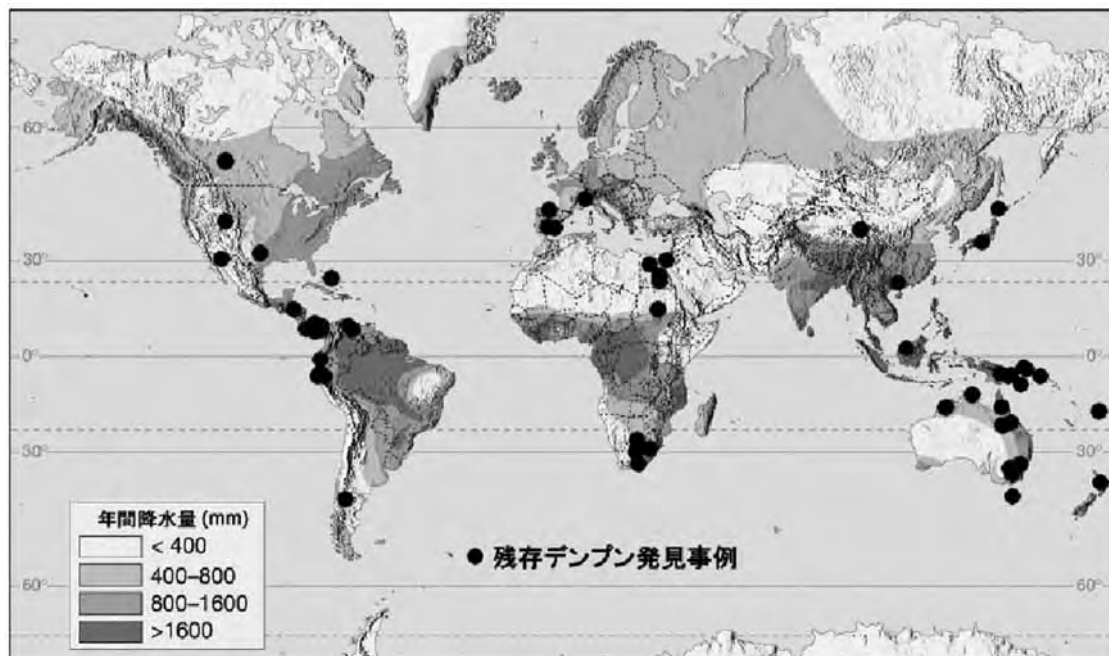


図1 残存デンプン発見事例の分布 (1976-2006)

残存デンプンが石器・土器・土壌から発見された地域を示す。東晶やセルロース、木質部など植物組織とともに検出された例もある。堆積物の分析に適したデンプン抽出プロトコルは検討の余地があり、花粉化石や植物珪酸体と一緒に回収する方法も現在開発されている。マシウス・西田(2006)とTorrence(2006)をもとに、Lutgens他(2001)に加筆。

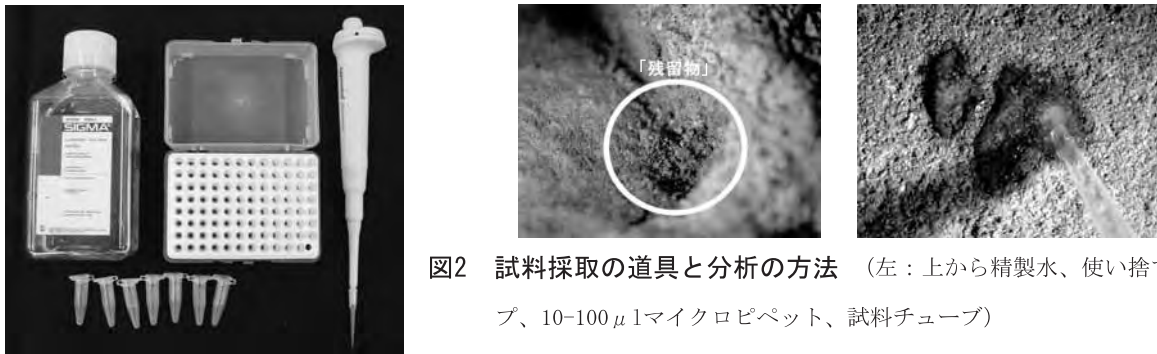


図2 試料採取の道具と分析の方法 (左: 上から精製水、使い捨てチップ、10-100 μ lマイクロピペット、試料チューブ)
 右: 「残留物」の拡大画像と分析中の様子

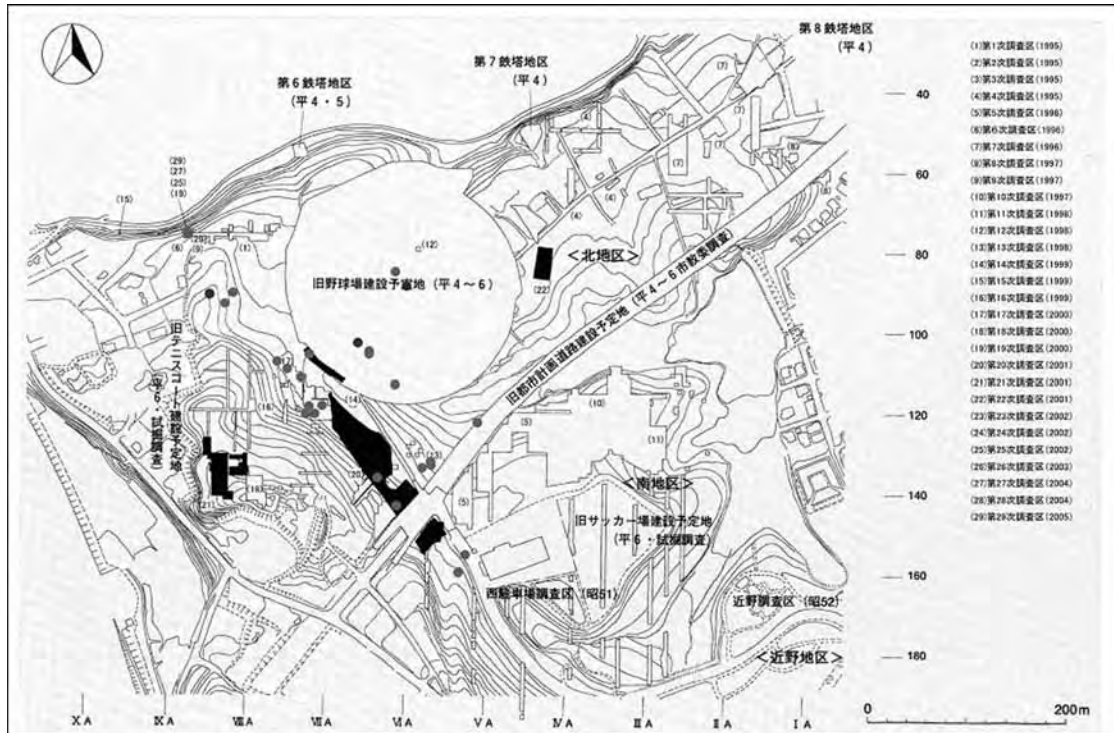


図3 デンプンを検出した石皿の出土場所(青森県史編さん考古部会, 2002に加筆)

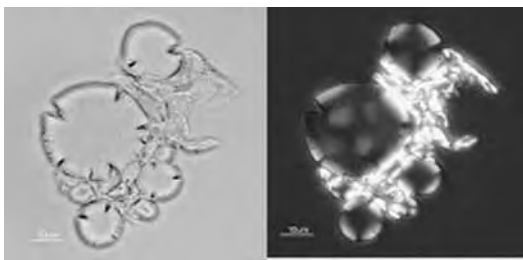


図4 遺物番号46298から検出した分解したデンプン
 (光顕400倍・縮尺10 μ m、以下同じ)
 左: 開放ニコル、右: 直交ニコル (以下同じ)

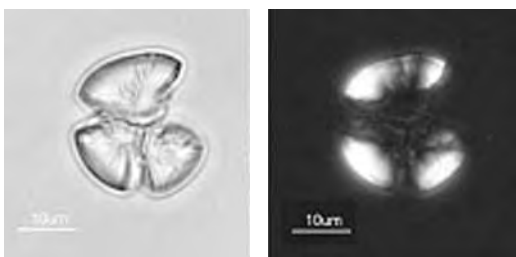


図5 遺物番号46436より検出した損傷したデンプン



図6 遺物番号46432より検出した植物細胞内にあるデンプン



図7 遺物番号46403より検出した円形のデンブン（どちらも同じ石皿より検出）



図8 角張った円形のデンブン（左：遺物番号46402より検出、右：遺物番号46432より検出）

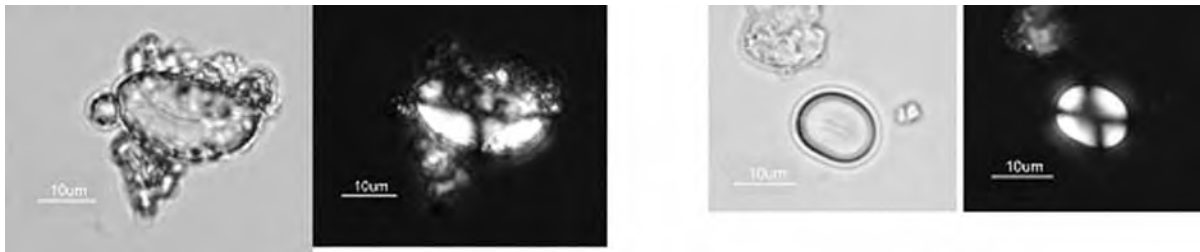


図9 楕円形のデンブン（左：遺物番号46403より検出、右：遺物番号46402より検出）

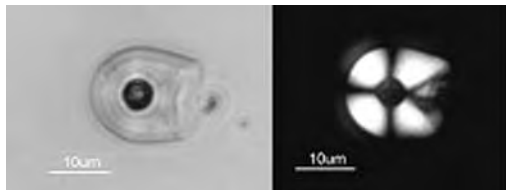


図10 遺物番号46436より検出した半楕円形のデンブン

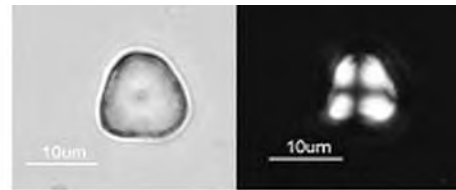


図11 遺物番号46432より検出した丸みをおびた三角形のデンブン

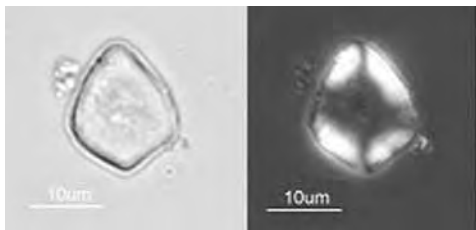


図12 遺物番号103494より検出した丸みをおびた四角形のデンブン

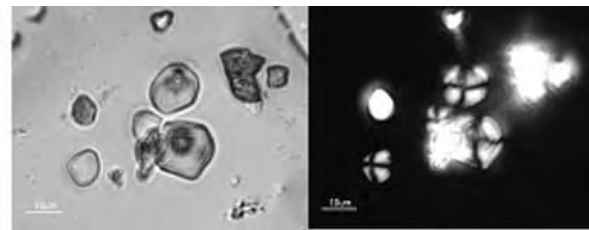


図13 遺物番号42077より検出したいろいろな多角形のデンブン

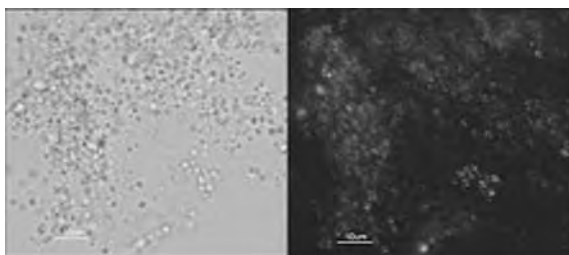


図14 サトイモのデンブン粒

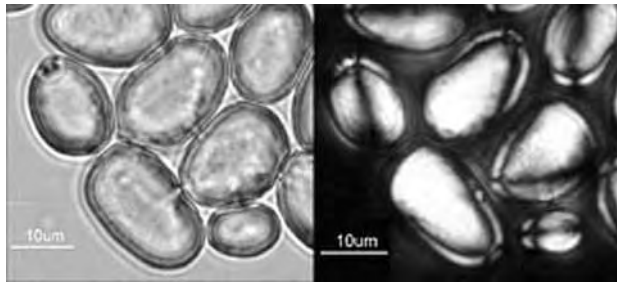


図15 ヤマノイモのデンプン粒

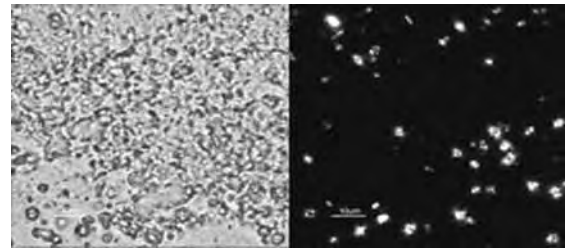


図16 ハシバミのデンプン粒

表1 三内丸山遺跡から検出した残存デンプンの候補植物

<u>Aesculus turbinata</u> Blume	トチノキ
<u>Aralia cordata</u> Thunb.	ウド
<u>Aralia elata</u> (Miq.) Seemann	タラノキ
<u>Carpinus cordata</u> Blume	サワシバ
<u>Castanea crenata</u> Sieb. et Zucc.	クリ
<u>Castanopsis</u>	シイノキ属
<u>Cephalotaxus harringtonia</u> (Knight) K. Koch.	イヌガヤ
<u>Chenopodium</u>	アカザ属
<u>Corylus*</u>	ハシバミ属*
<u>Cucurbitaceae</u>	ウリ科
<u>Fagus crenata</u> Blume	ブナ
<u>Gramineae</u>	イネ科
<u>Juglans ailanthifolia</u> Carr.	オニグルミ
<u>Lagenoria leucantha</u> Rusby	ヒョウタン
<u>Leguminosae</u>	マメ科
<u>Lysichiton</u> (Araceae)	ギボウシ属
<u>Magnolia</u>	モクレン属
<u>Magnolia kobus</u> DC.	コブシ
<u>Magnolia obovata</u> Thunb.	ホオノキ
<u>Melothria japonica</u> (Thunb.) Maxim.	スズメウリ
<u>Osmunda</u>	ゼンマイ属
<u>Pteridium aquilinum</u>	ワラビ
<u>Pterocarya rhoifolia</u> Sieb. et Zucc.	サワグルミ
<u>Quercus</u> subgen. <u>Lepidobalanus</u>	コナラ属コナラ亜属
<u>Schizopopon bryoniaefolius</u> Maxim.	ミヤマニガウリ
<u>Torapa japonica</u> Flerov.	ヒシ
<u>Trichosanthes kirilowii</u> Maxim. var. <u>japonica</u> (Mig.) Kitam.	キカラスウリ

*ハシバミ属はハシバミ (Corylus heterophylla Fisch. var. thunbergii Blume) をのぞく。