

II 青谷上寺地遺跡から発掘された出土米ブロックに含まれる 籾の外部形態の X 線 CT 計測による評価

稲村達也¹・中尾雅晴²・濱田竜彦³・絹畠 歩¹・岡田憲一¹

1 奈良県立橿原考古学研究所・2 京都大学農学部・3 とっとり弥生の王国推進課

1 緒言

人々は、より多くのコメを得るために、野生イネに特有な籾の脱粒性を無くし、種子の数・サイズを大きくするなどのイネの栽培化を図りながら、その生育する場所と栽培管理の改良を続けてきたと考えられている。遺構から出土したイネ種子の DNA 分析によって当時のイネの解析がすすめられ、脱粒性抑制遺伝子の解析から中国において非脱粒性を獲得したジャポニカ型イネ系統が選抜され、それが日本へ伝来したとされている (Konishi *et al.* 2006)。そして、出土米の形態測定が国内外の遺跡から検出されたバラバラの籾や玄米を対象に実施され (中尾 1957、佐藤 1971、和佐野 1993、1995)、籾長と籾幅の測定に基づく籾の粒型の判定などが行われてきた。しかし、供試された資料には籾基部の脱離構造が保存されておらず、その詳細な解析に基づいた脱粒性の評価を行った研究はない。さらに、発掘された一群の出土米の粒形の集団内変異の大きさと頻度分布の特徴が明らかにされているが、測定対象がバラの状態の籾または玄米であり、それらが属したであろう母集団を農学・生物学的視点から明らかにすることができていない。この様に、従来の出土米の形態測定では、バラの状態の籾または玄米、もしくは出土米ブロックの表面に露出した籾や玄米を対象としてきたが、近年、Computed Tomography (CT) スキャンを用いることで、出土米ブロック内に含まれる籾の形態解析が可能となった (京都大学 2010、田淵ら 2013)。

稲村ら (2016、2020) および三鍋ら (2019) は、強度が強くエネルギー分解能が高い放射光を用いた X 線 CT 計測によって、出土米ブロック内の微細構造が良く保存された籾の外部形態

を詳細に解析した。そして、個々の籾について脱粒性および粒型を判別し、籾長の頻度分布から出土米ブロック内の籾が単一系統に由来する可能性を示唆すると共に、長い芒や長い護穎を有する籾、すなわち栽培化の過程を示す籾の存在などを明らかにしてきた。本報告では、青谷上寺地遺跡において検出された土坑から出土した塊状の 3 個の出土米ブロックに含まれる籾の高分解能 X 線 CT 解析を SPring-8 において実施し、脱粒性判別、粒型分類、籾長・籾幅の頻度分布解析、および籾の芒と護穎の評価を試みた。

2 材料と方法

(1) 分析資料の検出状況と年代

青谷上寺地遺跡は鳥取市青谷町に所在し、勝部川と日置川の下流域に広がる青谷平野に立地する。弥生時代の青谷平野には浅い内湾が広がっており、その汀に形成された微高地が弥生時代前期後葉から古墳時代前期前葉にかけて人の活動拠点となった。また微高地周辺の低湿な環境に水田が営まれていたことが確認されている (鳥取県埋蔵文化財センター 2011)。

本分析に用いた資料は、第 4 次・8 次調査区の第 3 遺構面 (図 1) で検出された土坑、SK467 (図 2) から出土した炭化籾塊である。取上番号 1516 と 1519 からサンプリングを行った。遺物に付されたカードには、調査時の遺構名「SK12」とともに、「最下層 (⑤層)」から出土したこと、また備考に「稲穂 (炭化)」という記述が残されている。以下、調査報告書に記された報告をもとに、SK467 と炭化米に伴う土器について概略する (鳥取県埋蔵文化財センター 2004・2006)。



図1 分析資料の出土地点

SK467 は平面形が長方形の土坑である。上部の平面規模は長軸 149cm、短軸 67cm、断面形はU字形をしており、深さは 51cm である。①～③層に分けられた埋土から炭化米が出土しているが、特に③層は「ほぼ炭化米で形成」されており、炭化米は「いずれも稲穂が束になった状態で、その多くが油脂によって塊」になっていたと報告されている。取上番号 1516 と 1519 のカードに記された「(⑤層)」に相当する埋土はないが、調査時に「(⑤層)」は「最下層」と認識されていることから、報告書中の③層に該当する蓋然性が高い。また、③層からは土器、石庖丁、敲石や砥石、多数の木片も出土している。③層の土器片は①・②層に含まれる土器片に比べて大型のものが



図2 SK467 と出土土器 (鳥取県埋蔵文化財センター 2006)

多かったようで、土器の時期は「古墳時代前期初頭」に比定されている。

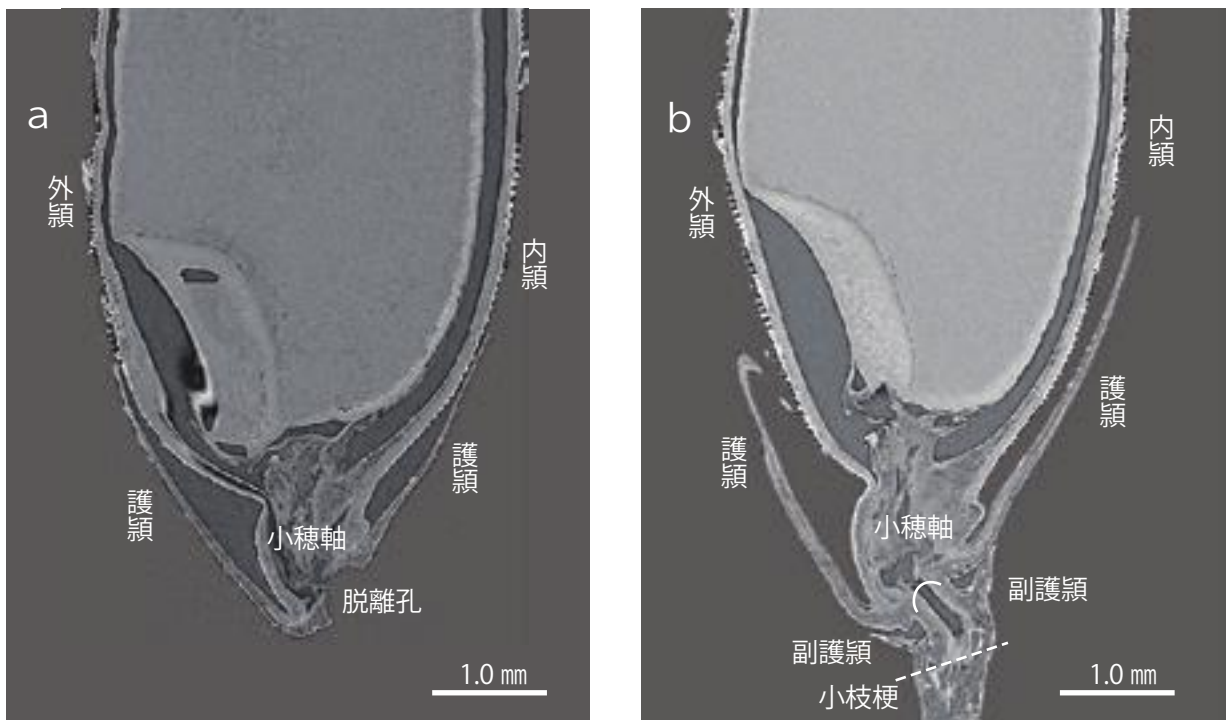
鳥取県域では弥生時代後期から古墳時代前期にかけて複合口縁を特徴とする甕や壺が製作、使用されている。弥生時代終末期に口縁部の無文化が進み、古墳時代前期になると口縁端部を面取りし、胴部が球形を指向する個体が増加する。ところが報告書（鳥取県埋蔵文化財センター 2004）に掲載されたSK467出土の甕形土器（図2-4・5・7・8）には、どれも口縁端部に明瞭な面取りが施されていない。全形が分かるものはないが、胴部上半の形状から推測すると、胴部はやや縦長で、最大径が上半に位置するものが多そうである。したがって、SK467③層出土の甕には古墳時代前期の甕に認められる特徴は希薄である。また小型の壺形土器（図2-11）の胴部に施された装飾の構成も弥生時代後期後葉～終末期に散見されるものである。よってSK467③層において炭化米に伴う土器は、弥生時代終末期後半に一般的な特徴を有すると理解すべきである。

なお、出土層位は示されていないが、SK467

から出土した炭化米を試料とした放射性炭素年代測定（AMS）が行われ、 $1830 \pm 30^{14}\text{CBP}$ という炭素年代が得られている（測定機関番号 IAAA-31452）。また、この炭素年代について RADIOCARBON CALIBRATION CALIB REV.4.4（Copyright 1986-2002 M.Stuiver and P.J. Reimer）による暦年代の較正が行われており、1標準偏差（ $1\sigma = 68.2\%$ ）の暦年代範囲が、2世紀中葉、2世紀後葉、3世紀前葉と報告されている（鳥取県埋蔵文化財センター 2004）。

(2) X線CT計測と解析方法

X線CT計測は、SPring-8（高輝度光科学研究センター、兵庫県佐用郡佐用町）において投影型マイクロCT装置（ビームラインBL20B2）を用い2016年に実施した。計測条件は、視野45mm、画素サイズ $25\mu\text{m}$ である。出土米ブロックの3方向（X、Y、Z）からの2次元連続画像を用いて、内在する籾の粒形と脱粒性を調査し、そして芒、護穎および脱粒部位などの形状を調査した。計測では、胚の位置から内穎と外穎を区別し、籾の幅と厚みの方向を識別した。なお、



白曲線は離層、白破線は小枝梗湾曲部を示す（稲村ら 2016）

図3 品種「戦捷」の脱粒籾（a）と非脱粒籾（b）のX線CT画像

粃の長さは、芒を除いた外穎の長さ、粃の幅と厚みはそれらの最大長とした。そして、粃の脱粒・非脱粒の判別は、稲村ら（2016）に準じて、粃基部に残存する小穂軸、小枝梗や脱離孔の有無を3方向からの2次元連続画像を用いて評価することで行った（図3）。2次元画像の解析ソフトとして、Image J（U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA）を用いた。

3 出土米ブロックの特徴

分析に供試した3個の出土米ブロックの試料番号には調査時の取上番号を割り当てた（表1）。その出土米ブロックの特性を表1および図4に示した。最も大きなブロック1516aは、長さ6.6cm、幅4.1cm、高さ2.3cm、重さ6.61gであり、簡易体積（長さ×幅×高さ）当りの重さは0.106g/cm³であった。最も小さなブロック1516bの簡易体積当たりの重さは0.091g/cm³であった。ブロック1519は、同0.062g/cm³と最も軽かった。どのブロックとも、表面に粃

表1 X線CT計測に供試した出土米ブロックの概要

試料番号 (取上番号)	出土遺跡	出土層位遺構	内在する 総粃数	出土米ブロックの形状			
				長さ (cm)	幅 (cm)	高さ (cm)	重量 (g)
1516a	青谷上寺地遺跡	SK467 (SK12)	616	6.6	4.1	2.3	6.61
1516b	青谷上寺地遺跡	SK467 (SK12)	425	5.5	3.5	2.4	4.20
1519	青谷上寺地遺跡	SK467 (SK12)	317	6.2	4.5	2.1	3.65

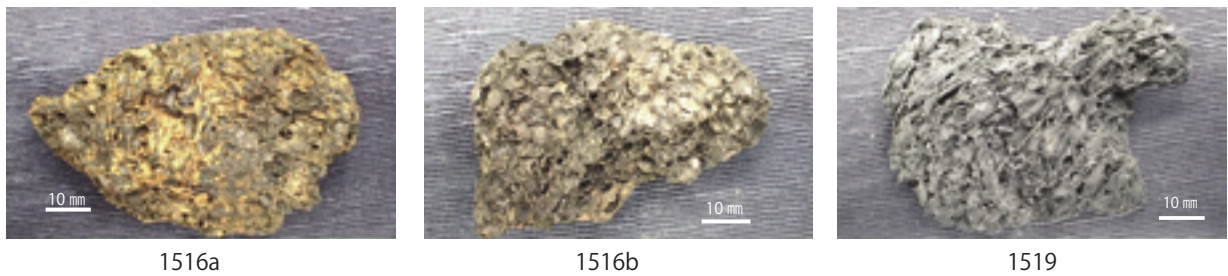
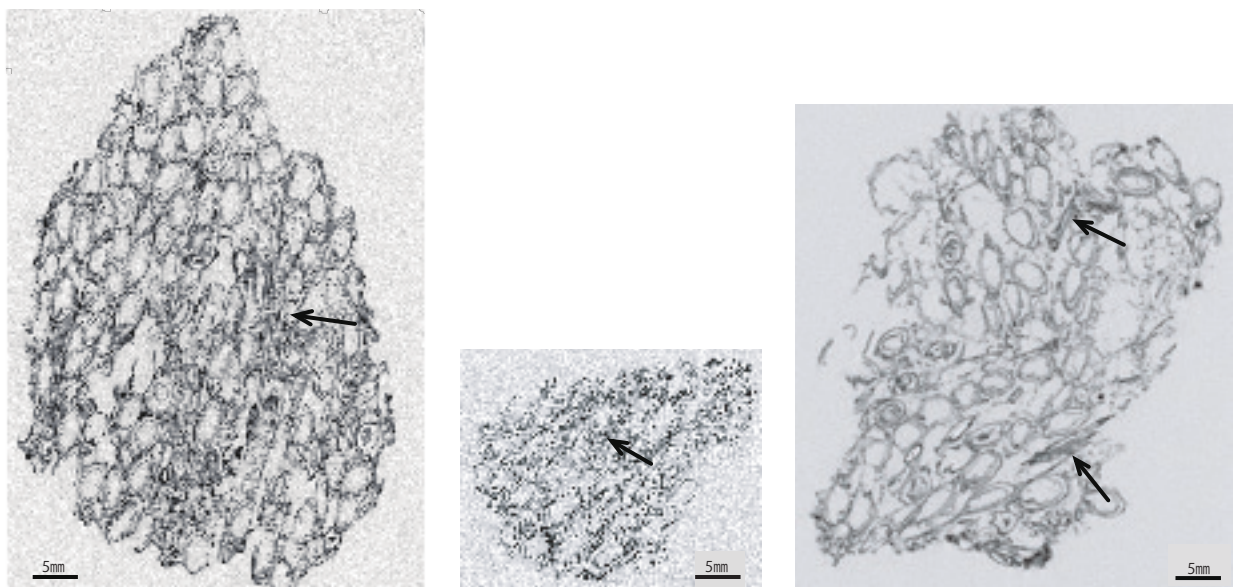


図4 X線CT計測に供試した炭化米ブロックの外観



→：穂軸

図5 出土米ブロックのX線CT画像

または籾殻が破損した玄米が露出しており、穂軸や枝梗と判断される組織が密に認められた。

出土米ブロックのX線CT画像の一例を図5に示した。出土米ブロックには多数の籾が含まれており、玄米の状態の穀粒は確認されなかった。芒、内外穎、護穎、胚乳と胚、籾基部の保存状態はほぼ良好であり、籾表面の微細構造(毛茸)も確認できた。図5において、ブロック内の籾の胚または籾基部が、それぞれのX線CT画像上において籾の下方に位置しており、籾の頭頂部が図5の上または右上の方向を向いていた。すなわち、ブロック内の籾は、図5の下または左下から上または右上の方向へ規則性をもって稲穂に付着しているように配置された状態であった。ただし、出土米ブロック1519では、籾が左下から右上の方向へ配置されたのちに左上の方向へ曲がって配置されていた。そして、ブロック内に複数の枝梗および穂軸が確認されたことから(図5)、ブロックは稲穂を含んでいると推察された。なお、出土米ブロック1516aと同1516bの外観は褐色～灰褐色で

あり、同1519は灰色を呈していたが、いずれのブロックにおいても胚乳の澱粉は熱変性していないと推察され、毛茸が確認され芒や籾基部の微細構造の良好な保存状態から、これらの出土米ブロックは強く直接的な熱を受けていないと判断された。

4 籾の形状

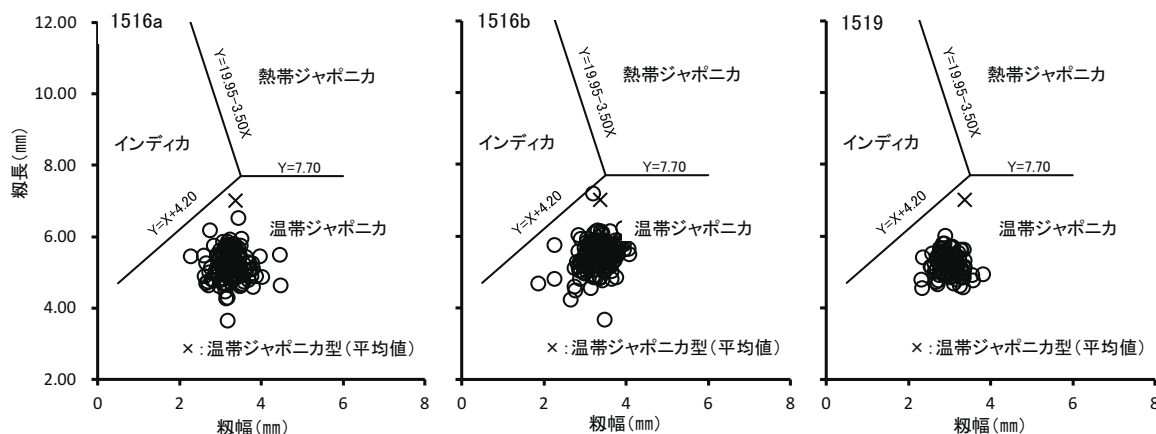
出土米ブロック内の籾の籾長、籾幅、籾厚、籾長/籾幅比を表2に示した。籾の粒型を松尾孝嶺(1952)に従って分類したところ、すべての籾が温帯ジャポニカ型に分類された(図6)。松尾(1952)は、温帯ジャポニカ型の206品種の成熟籾の平均長を $7.00 \pm 0.02\text{mm}$ 、平均幅を $3.37 \pm 0.01\text{mm}$ であると報告している(図6×印)。そして、出土米ではないが焼成煉瓦に含まれる籾は籾長方向0.2%、籾幅方向に1.2%縮んだ事例がある(渡部1977)。これらのことと、籾長/籾幅比が埋没中も大きく変化しないと仮定すれば、供試した3個の出土米ブロックに含まれる籾は、籾長/籾幅比2.1の

表2 出土米ブロックに含まれる籾の粒形と脱粒割合

試料番号	計測 籾数	籾長	籾幅	籾厚	籾長/籾幅比	脱粒割合 (%)
1516a	158	$5.21^a \pm 0.39$	$3.25^a \pm 0.33$	$2.28^a \pm 0.31$	$1.61^a \pm 0.23$	4.7
1516b	194	$5.44^b \pm 0.39$	$3.29^a \pm 0.32$	$2.46^b \pm 0.35$	$1.67^a \pm 0.19$	0.6
1519	94	$5.21^a \pm 0.32$	$3.00^b \pm 0.27$	$2.18^c \pm 0.36$	$1.75^b \pm 0.20$	0.0

※平均値(mm)±標準偏差

同一のアルファベットは5%水準で有意差がないことを示す(ダンカン検定)



粒型分類と温帯ジャポニカ型(平均値)は松尾(1952)による

図6 籾長と籾幅との関係から見た粒型分類

現代品種の温帯ジャポニカ型イネに比較して、
 籾長／籾幅比が小さくやや籾長と籾幅が小さな
 温帯ジャポニカ型イネであった可能性が強いと
 示唆された（表2、図6）。

出土米ブロック間で籾形を比較すると、表
 2に示す通り、出土米ブロック 1516b の籾
 長が同 1516a および同 1519 に比較して有意
 に大きく、同 1519 の籾幅が同 1516a および
 同 1516b に比較して有意に小さく、籾厚が同
 1516b、同 1516a そして同 1519 の順に有意
 に小さかった。また、出土米ブロック 1519 の
 籾長／籾幅比は、同 1516a および同 1516b に
 比較して有意に大きかった。これらのことから、
 出土米ブロック 1519 に含まれる籾は、同
 1516a および同 1516b の籾に比較して、籾幅
 と籾厚が小さく、籾長が同じかやや短いため
 にやや大きな籾長／籾幅比となる相対的に小型
 の籾であった可能性が示唆された。

次に、出土米ブロック 3 個に内在する籾の
 それぞれの籾長および籾幅の平均値からの差の
 頻度分布を図7に示した。比較として、移植栽
 培した水稲品種「ヒノヒカリ」の一株（3本植
 え）の籾を供試した。出土米ブロック 1516a、
 1516b および 1519 の籾長および籾幅の頻度
 分布は、それぞれヒノヒカリとほぼ同じ変異幅
 の小さな正規分布を示した。このことから、出
 土米ブロック 1516a、1516b および 1519 は、
 一株のヒノヒカリの籾と同じような均質な母集

団に由来する可能性が示唆された。

5 脱粒性の評価

形状を計測した籾の内で脱粒痕跡の保存が良
 好で脱粒性を判別できた籾は、出土米ブロッ
 ク 1516a、1516b および 1519 で、それぞれ
 148粒、173粒および90粒であり、その内、
 脱粒籾は、それぞれ7粒、1粒および0粒であ
 った。出土米ブロック 1516a において、籾が脱
 粒していた部位（脱粒痕跡）が小穂軸と小枝梗
 との接点に形成される離層もしくは小枝梗湾曲
 部であると推定されるが、脱粒割合が4.7%で
 あることから（表2）、これらのブロックに含
 まれる籾の脱粒性の程度は現代品種の脱粒性
 「やや難」に近かった可能性が示唆された。一
 方、出土米ブロック 1516b および 1519 の脱
 粒割合が0.6%および0.0%であることから（表
 2）、これらのブロックに含まれる籾の脱粒性
 の程度は現代品種の脱粒性「難」に相当する
 可能性が示唆された。

6 芒および護穎の形状

3個の出土米ブロックに含まれる籾には有芒
 の籾が多数含まれていた（図8）。出土米ブロッ
 ク 1516a、1516b および 1519 に含まれる籾
 の中で芒長が長いもの（図8a）の芒長は、そ
 れぞれ11.67mm、9.06mmおよび9.75mmと、
 籾長の1.9倍、1.6倍および1.8倍に相当する長

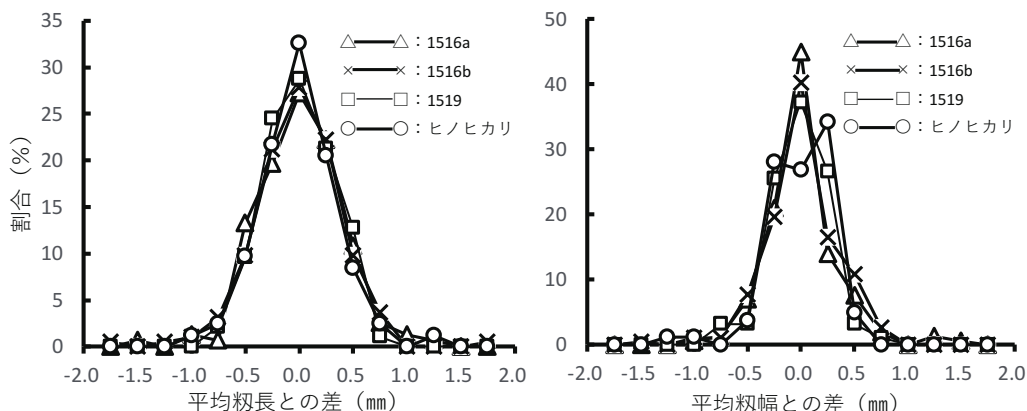
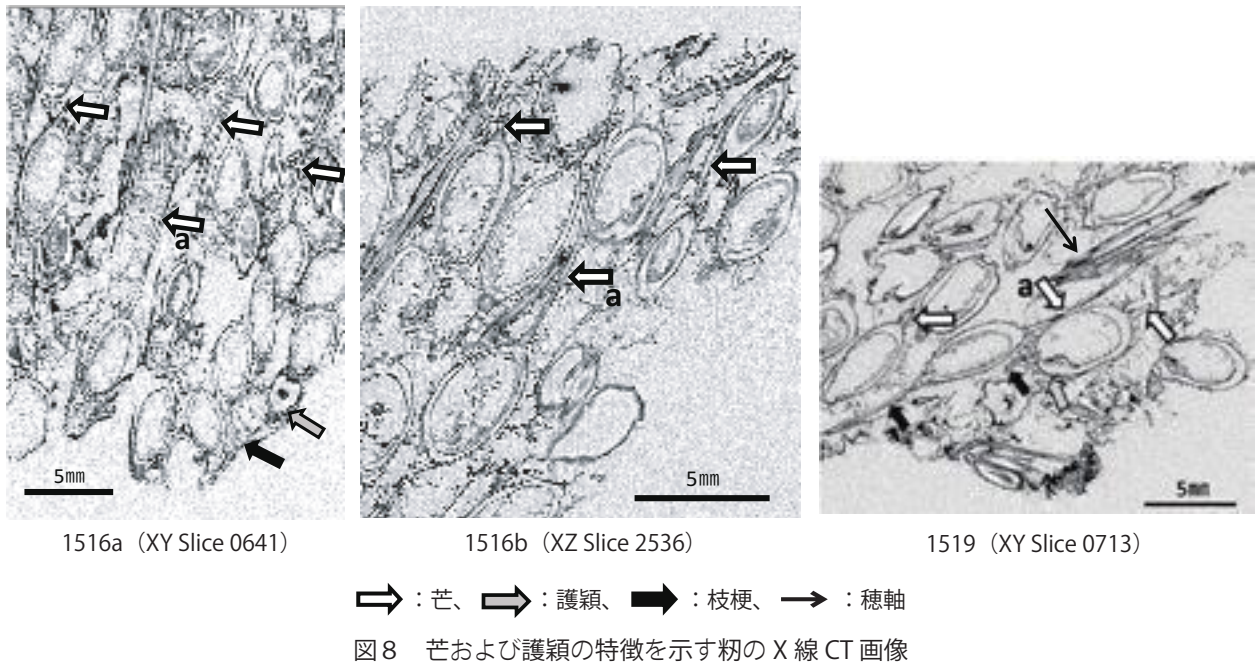


図7 出土米ブロック別に見た籾長および籾幅の頻度分布



芒であった。野生イネの多くは非常に長い芒を有しており、栽培化の過程で無芒のイネが選抜されてきたと考えられていることから、3個の出土米ブロックに含まれる籾は栽培化の過程を示すものと推察された。一方、出土米ブロック1519の護穎長は2.80mmと籾長の0.47倍であった(図8)。現代品種の護穎長は、一般的に2~3mmで、籾長の0.3~0.4倍であることから、この籾は現代品種とほぼ同じ護穎長である可能性が示唆された。

7 まとめ

SPring-8における放射光を用いたX線Computed Tomography(CT)計測で得られた画素サイズ25 μ mの出土米ブロックの画像の解析から、青谷上寺地遺跡の土坑から検出された出土米ブロックは同一方向に配列された穂を含んでいる可能性があり、出土米ブロックに内在するイネは、非脱粒性を獲得した、籾長/籾幅比がやや小さな小型の温帯ジャポニカに属する可能性が非常に高いと判断された。また、3個の出土米ブロックの籾長および籾幅の頻度分布が変異幅の小さな正規分布を示すことから、出土米ブロック内の籾は、それぞれ同質なジャポニカ型のイネ集団に由来する可能性が示唆され

た。そして、ブロック間で籾の長さ、幅、厚みが有意に異なる傾向が確認され、このことが遺伝的な要因または栽培管理に起因するかを、今後、明らかにすることが必要であると考えられた。さらに、これらの出土米ブロックは、長芒の籾、すなわち栽培化の過程を示すと推定される籾を含んでおり、考古学、遺伝学および農学にとって貴重な資料であると判断された。これらの出土米ブロックは穂を含んでいる可能性が非常に高く、今後、一穂収量を推定するために、さらに解析をすすめる計画である。

なお、本研究は、JSPS 科研費 15K12945 の助成を受け、高輝度光科学研究センター(SPring-8)の課題番号2016B1797によって実施された。

引用文献

- 稲村達也・墨川明德・岡田憲一・岡見知紀・絹島 歩・菅谷文則 2016「X線CT計測による弥生時代前期出土米の非脱粒構造の解析」『作物研究』61、p37-41
- 稲村達也・岡田憲一・絹島 歩 2020「X線CT計測による久原小学校内遺跡からの出土米ブロックに含まれるイネ籾の外部形態の評価」『大田区立郷土博物館紀要』第23号、p54-58

京都大学 2010 『X線 CT が明らかにした弥生時代のお米の謎!』

http://www.kyoto-u.ac.jp/static/ja/news_data/h/h1/news7/2010/100706_1.htm (2010年7月6日).

Konishi, S., T. Izawa, S. Y. Lin, K. Ebana, Y. Fukuta, T. Sasaki and M. Yano 2006 「An SNP caused loss of seed shattering during rice domestication」

『Science』312、p1392-1396

佐藤敏也 1971 『日本の古代米』雄山閣

田淵宏明・田中克典・佐藤洋一郎・矢頭治 2013 「釜蓋遺跡出土米の形態・CT スキャン分析解析」『史跡甲斐遺跡群釜蓋遺跡確認調査概要報告書1』上越市教育委員会、p47-48

鳥取県埋蔵文化財センター編 2004 『青谷上寺地遺跡 7 A・C調査区発掘調査概要報告書』鳥取県埋蔵文化財センター調査報告7

鳥取県埋蔵文化財センター編 2006 『青谷上寺地遺跡 8』鳥取県埋蔵文化財センター調査報告10

鳥取県埋蔵文化財センター編 2011 『青谷上寺地遺跡 景観復原調査研究報告書』鳥取県埋蔵文化財センター調査報告40

中尾佐助 1957 「河南省洛陽漢墓出土のコメについて」『東洋史研究』16(3)、p311-314

松尾孝嶺 1952 「栽培稲に関する種生態学的研究」『農業技術研究所報告D3』、p1-111

三鍋尚史・墨川明德・東條大輝・絹島歩・岡田憲一・藤田三郎・丹羽恵二・稲村達也 2019 「弥生時代の出土米ブロックに含まれる籾の粒形と脱粒性について—唐古・鍵遺跡と大福遺跡の事例から—」『作物研究』64、p37-42

和佐野喜久生 1993 「九州北部古代遺跡の炭化米の粒特性変異に関する考古・遺伝学的研究」『育種学雑誌』43(4)、p589-602

和佐野喜久生 1995 「東アジアの古代稲と稲作起源」和佐野喜久生編集 『東アジアの稲作起源と古代稲作文化。文部省科学研究費による国際学術研究 報告・論文集』、p3-52

渡部忠世 1977 『稲の来た道』NHKブックス