



出土米ブロックに保存されていた粃からわかった弥生時代のイネの姿

公益財団法人日本植物調節剤研究会奈良試験地 主任
奈良県立橿原考古学研究所特別指導研究員

稲村 達也

Ⅲ. 出土米ブロックに保存されていた粃からわかった弥生時代のイネの姿

人々は、より多くのコメを得るために、野生稲に特有な脱粒性や成熟の不均一性を無くし、種子と穂を大きくするなどの稲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。中国において約1万年前から3000年前までに非脱粒性を獲得した温帯ジャポニカ型の栽培稲系統が野生稲から選抜され (Konishi *et al.* 2006), 日本へ導入されたと考えられている。しかし、日本列島へのイネの伝播後における水田で栽培されていたイネの姿には未解明な部分が多い。その中で、和佐野 (1995) は、北部九州、中国および韓国の多数の遺跡から検出された穂から分離されたバラバラの粃や玄米の形態調査を行い、その粒形の遺跡内変異と頻度分布を解析し、その粃および玄米が所

属していたイネ群落 (母集団) の特徴を推定している。すなわち、当時のイネ群落が遺伝的に固定した単一系統か複数系統の混合か、もしくは遺伝的に未固定の分離集団あるいは遺伝的異質集団かなどを推定することができるとしている。

今回は、穂から分離されたバラバラの粃ではなく、粃と穂の塊である出土米ブロックを対象に、弥生時代の出土米ブロックに含まれる粃の形の遺跡内・遺跡間変異の解析結果から、日本に水田稲作が導入された当時とその後における水田で栽培されていたイネの姿の一部についてお話ししたい。

1. 粃の形は今と同じ温帯ジャポニカ型だった

今回、お話しするのは表-1に示した12個の出土米ブロックの粃の形についてである (稲村ら 2021)。これらの出土米ブロックの外観は前回のシリーズ2で示している。その出土米ブロックを検出した遺跡とそのブロック数は、新村・柳

表-1 供試出土米ブロックの時代区分、来歴および粃の形状

試料 番号	試料名	時代区分	遺跡名	所在地	形状 (mm)	ブロック内 総粃数	調査 粃数	粃長 (mm)	粃幅 (mm)	脱粒割 合 (%)	
1	新村	弥生時代 前期	新村柳原遺跡	奈良県葛城市	32×26×14	140	43	5.73	3.00	12.6	
2	747-1		唐古・鍵(第20次)	奈良県田原本町	44×17×16	259	91	4.82	2.87	6.9	
3	747-2				54×21×22	567	157	4.92	2.68	0.0	
4	677-2	弥生時代 中期	唐古・鍵(第79次)	奈良県田原本町	39×31×20	213	153	5.79	3.17	3.8	
5	9		唐古・鍵(第67次)	100×50×40	608	42	5.81	3.24	4.7		
6	447		唐古・鍵(第76次)	奈良県田原本町	46×22×15	241	134	5.28	3.01	6.8	
7	SD1020	弥生時代 後期	大福(第28次)	奈良県桜井市	70×47×15	658	108	5.36	2.86	10.0	
8	n1				69×48×22	638	120	5.16	2.69	10.8	
9	久原小01		久原小学校内遺跡	東京都大田区	49×24×17	164	105	5.22	2.71	11.5	
10	1516a	弥生時代 後期末～ 古墳時代 前期初頭	青谷上寺地遺跡	鳥取県鳥取市	66×41×23	616	158	5.21	3.25	8.8	
11	1516b				55×35×24	425	194	5.45	3.29	0.6	
12	1519				62×45×21	317	94	5.21	3.00	0.0	
13	TL-1	1300～ 1400年	トゥン・ノイ・ラム	ベトナム ニンビエン省	132×73×43	3020	* 179	5.94	2.33	56.4	
							**129	6.72	2.06	81.4	
参考)	1940～1944年に鴻巣試験地で栽培した日本原産の水稲384品種の平均値(松尾 1952)								6.81	3.33	—

*: ジャポニカ型, **: インディカ型。

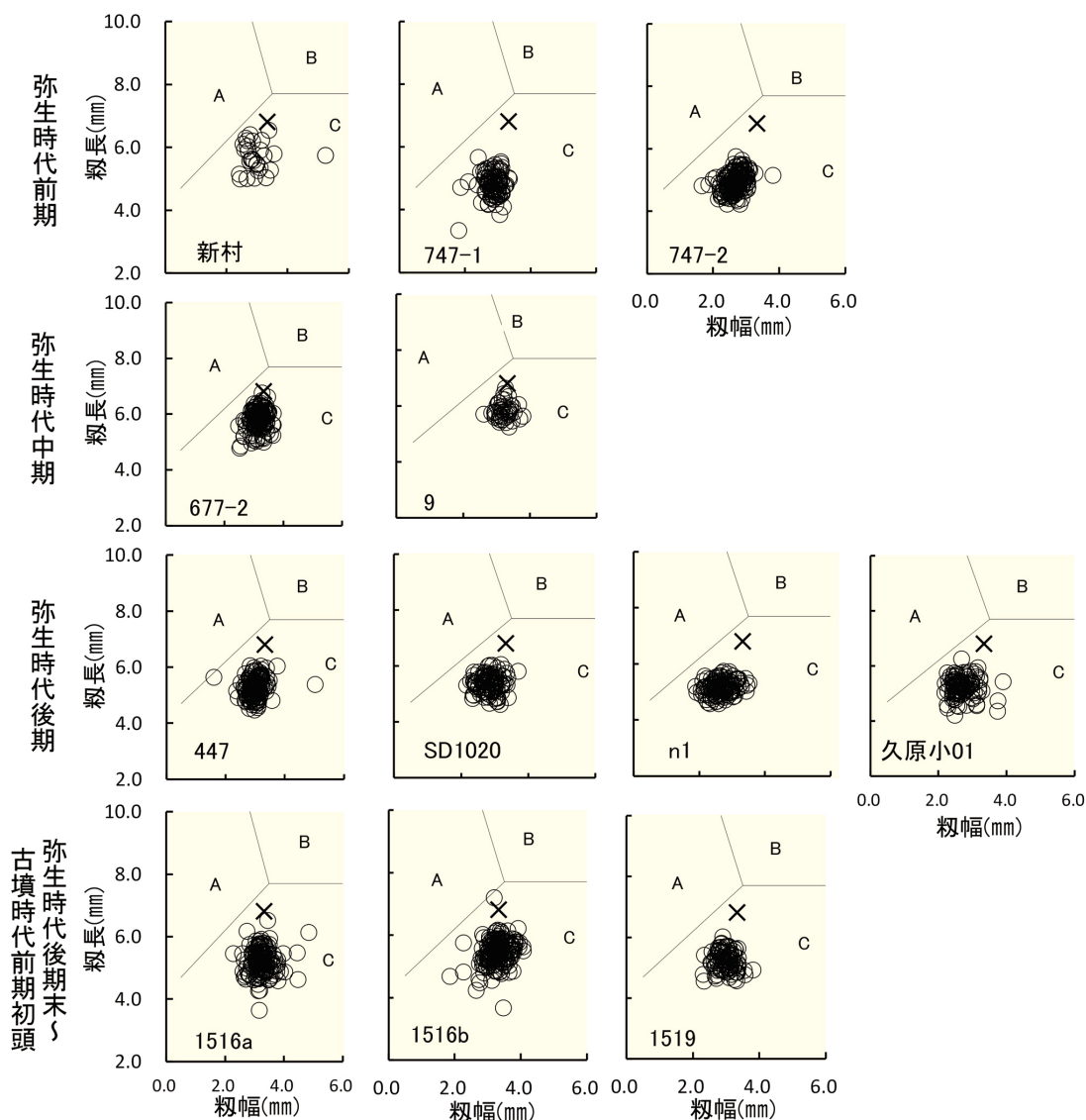


図-1 粒長と粒幅との関係から見た出土米ブロック内の米の粒型分類
A：インディカ、B：熱帯ジャポニカ、C：温帯ジャポニカ（松尾 1952）
×：日本原産の水稲 384 品種の粒長、粒幅の平均値（松尾 1952）

原遺跡（奈良県葛城市）1 ブロック、唐古・鍵遺跡（奈良県田原本町）5 ブロック、大福遺跡（奈良県桜井市）2 ブロック、久原小学校内遺跡（東京都大田区）1 ブロックおよび青谷上寺地遺跡（鳥取県鳥取市）3 ブロックである。X 線 CT 計測は、SPring-8（理化学研究所、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）を用い実施した。計測画素サイズは 25 μ m/pixel から 25.4 μ m/pixel、そして X 線エネルギーは 18keV から 30keV である。なお、米の長さは芒を除いた外穎の長さ、米の幅は最大長とした。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 方向 (X, Y, Z) からの 2 次元連続画像を用いて、米の長さおよび幅を計測し、松尾（1952）に準じて粒長と粒幅

との関係から米の形の類型化、すなわち、米の形が温帯ジャポニカ型、熱帯ジャポニカ型およびインディカ型のいずれに属するかの判定を実施した。その結果、すべてのブロックの米の形が温帯ジャポニカ型に分類された（図-1）。供試した 12 個の出土米ブロックに含まれる米は、日本の水稲 384 品種の粒長と粒幅の平均値、それぞれ 6.81mm および粒幅 3.33mm（表-1）に比較して、粒長が小さく、粒幅がほぼ同じかやや小さい温帯ジャポニカ型イネであった可能性が強いと考えられる（図-1）。

以上では、当時の栽培環境で形成された（発現した）米の形の解析について述べてきた。これとは異なり、弥生時代の遺跡から出土した米や玄米の DNA 分析が実施され、温帯ジャポニカ型、熱帯ジャポニカ型、および温帯ジャポニカ型

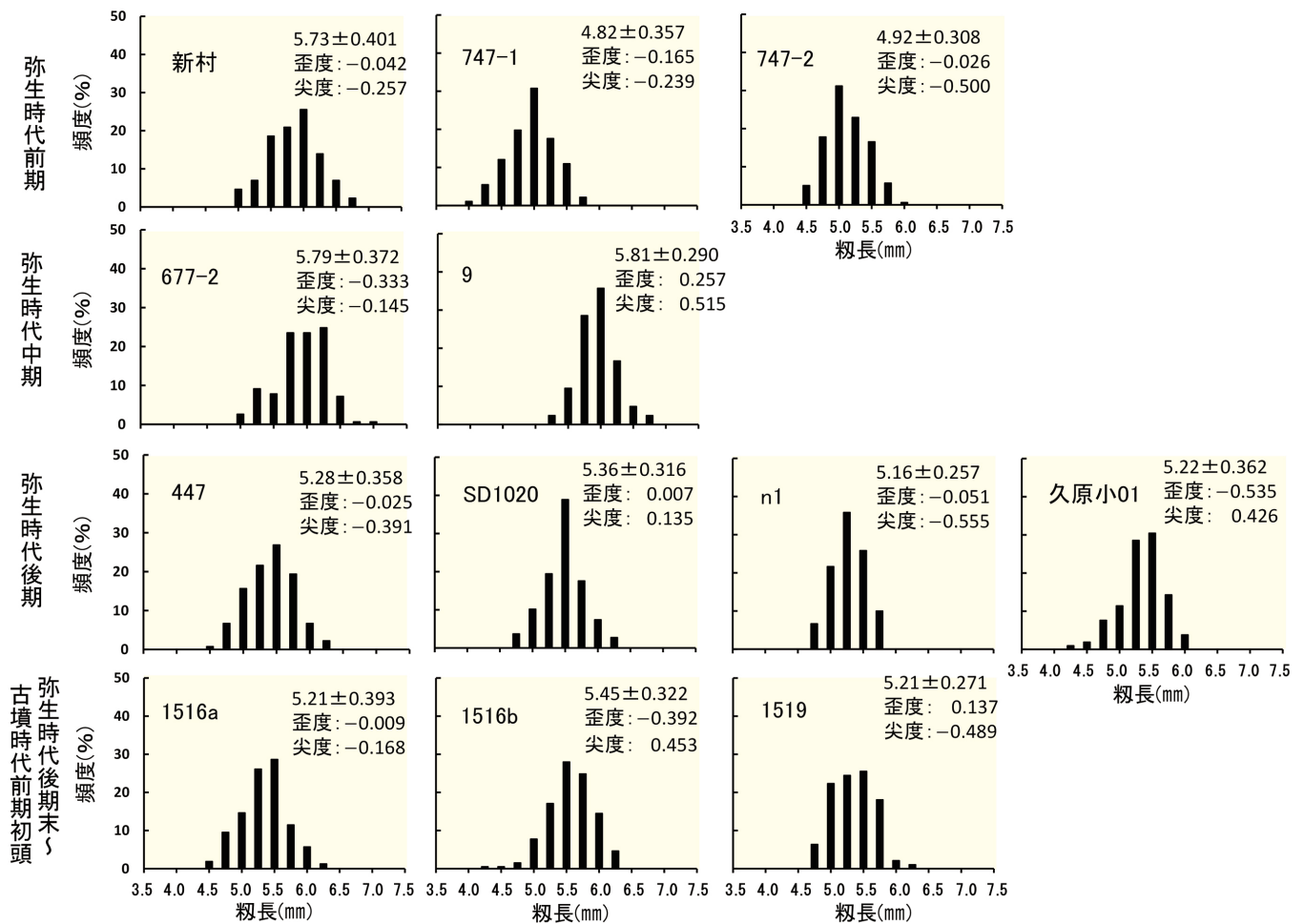


図-2 出土米ブロック別に見た粳長の頻度分布
粳長の平均値±標準偏差。歪度と尖度については、本文を参照。

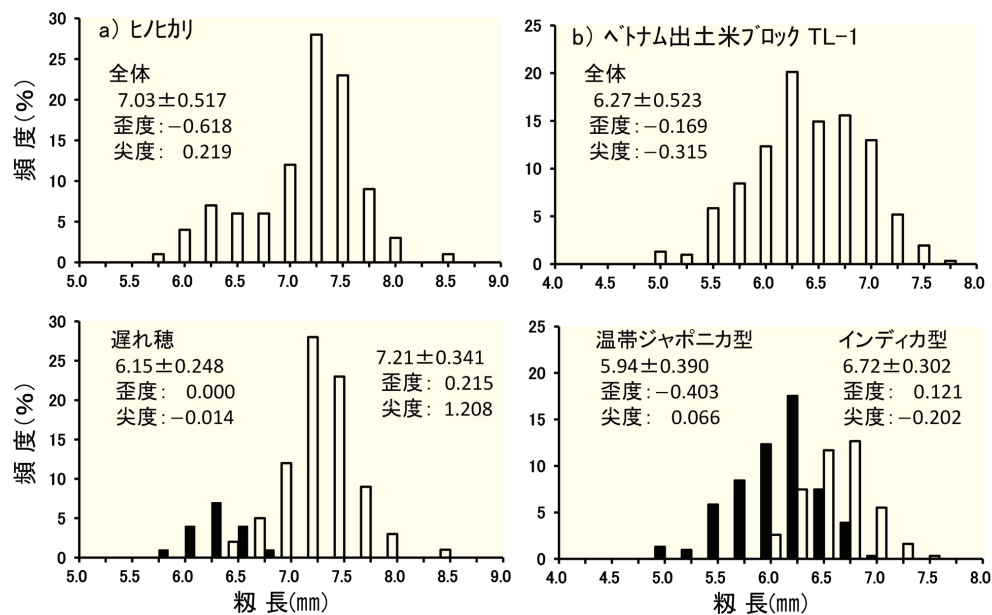


図-3 異なる粳形の集団に由来する試料の頻度分布
上段は異なる粳形の集団由来の粳が混合された試料全体。
下段は異なる集団別に粳を分離してそれぞれの粳長を示したもの。
粳長の平均値±標準偏差。歪度と尖度については、本文を参照。



図-4 ベトナムのトゥン・ノイ・ラム遺跡から検出された出土米ブロック（稲村ら 2022）

と熱帯ジャポニカ型との雑種などの存在が示唆されている（花森ら 2011）ことを指摘しておきたい。

2. 出土米ブロックのイネは、どの様なイネ群から刈取られたのか

出土米ブロックに内在する籾が、どの様なイネ集団から刈取られたものであるのかを推定するため、各ブロックに内在する籾の籾長を例に、それらの頻度分布を図-2 に示した。図中に表記した歪度（わいど）は、頻度分布が左右対称となるときにゼロになり、右裾が長くなり左に偏った分布のときに正の値をとり、そして左裾が長くなり右に偏った分布のときに負の値をとる。尖度（せんど）は、平均値の近くにデータが集中することで尖った分布になるときに正の値をとり、データが扁平な分布を示すときに負の値をとる。

検討に入る前に、異なる籾形の集団に由来する試料の頻度分布を図-3 に示した。上段は異なる籾形の集団由来の籾が混合された試料全体のもので、下段は異なる集団別に籾を分離してそれぞれの籾長を示したものである。図-3 の a) は一株のヒノヒカリの穂と遅れ穂に着生していた籾を対象としたものである。図-3 の b) はベトナムの出土米ブロック（図-4、表-1）に含まれていた温帯ジャポニカ型とインディカ型の籾を対象としたものである（稲村ら 2022）。温帯ジャポニカ型とインディカ型の区分は、出土米ブロック内での穂の配置の規則性から同一配置の複数の穂を識別し、その同一配置の穂ごとの脱粒程度の大小に拠った（表-1）。

図-3 の a) および b) において、異なる籾形の集団由来の籾が混合された試料全体（図-3 の上段）の頻度分布は、分布の変異幅が大きく、そして2頂性である。図-2 において、図-3 の a) の様な籾長の変異がやや大きく歪度がやや大きな負の値である2頂性の分布の傾向を示すのは、677-2 および久原小 01 である。この2個の出土米ブロックは、平

均籾長が小さな穂を含む籾長の変異がやや大きなイネ群から刈取られた可能性があると考えられる。新村は、籾長の変異がやや大きく、図-3 の b) の様な2頂性の分布の傾向を示すことから、平均籾長が異なる二つのイネ群から刈取られた可能性がある。

その他の出土米ブロックは、籾長の頻度分布の変異幅が小さく単頂性であることから、図-3 の a) や b) の様な平均籾長が異なる穂を含まないイネ群から刈取られた、もしくは平均籾長が異なる穂を含まないように刈取られた可能性があると考えられる。その中で、1519 では平均籾長を含む広い頂上が高く平らな頻度分布を示しているが、平均籾長に近い籾の頻度が高い理由について判断できなかった。

本研究では、出土米ブロック内の籾を穂別に識別して解析していない。そのため、刈取りの対象となったイネ群のどのような穂が刈取られ出土米ブロックが形成されたのか、すなわち、出土米ブロックのイネが、どの様なイネ群から刈取られたのかを明確にできなかったと言える。籾の穂別認識については、「あとがき」でふれておく。

3. 籾の形には遺跡間差が認められた

弥生時代に行われていたとされる穂刈りは、穂の違いを識別することで新しい形質を持つ系統の選抜と共に、選抜された形質の維持・繁殖を可能としたと考えられている（古川 2007）。もし、この様な刈取りが籾の形を対象に行われていれば、出土米ブロック内の籾の形がブロック間（遺跡間）で異なる場合があると思われる。そこで、籾長と籾幅との関係から見た出土米ブロックごとの籾の形の分布を図-5 に示した。弥生時代中期の唐古・鍵遺跡からの出土米ブロック（破線楕円で囲まれた 667-2 と 9）に含まれる籾は、ブロック間で籾長、籾幅ともに有意な差が認められず、両ブロックの籾は同じ粒形である可能性が示唆された。また、出土年代と遺跡が異なる組合せ（破線楕円で囲まれた 447 と 1519）、および同じ出土年代（弥生時代後期）であるが遺跡が異なる組合せ（破線楕円で囲まれた n1 と 久原小 01）において、それぞれの組合せのブロック間で籾長および籾幅に有意な差が

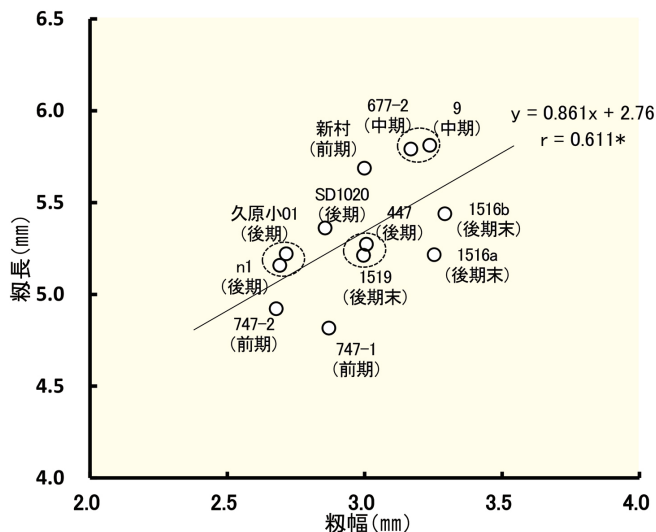


図-5 出土米ブロック別に見た粒長と粒幅との関係
破線楕円：ブロック間で粒長と粒幅に5%水準で有意差がないことを示す。

認められず、それぞれの組合せで両ブロックの粒は同じ粒形である可能性が示唆された。これら3事例は、12個の出土米ブロックの出土年代と遺跡間を込みにした組合せ66通りの4.5%に相当する。

上記の組合せ以外の出土米ブロック間では、粒長および粒幅が互いに異なっている。このことから、穂の違いを識別して、それぞれの栽培環境において望ましい形質を持つイネを選抜し続けると共に、選抜された形質を持つイネを出土米ブロック単位で維持・管理していた可能性があると考えられる。

そして、粒幅の増加に伴って粒長が長くなる傾向が認められ、遺跡と出土年代とを込みにした12ブロックの粒幅と粒長との間には、有意な直線回帰が得られた。すなわち、収量の増大に関与する粒のサイズにおいて、粒幅と粒長の両者が共に寄与していた可能性が示唆されたのである。

4. 粒の登熟程度から弥生時代の脱粒性を評価する

粒の登熟が進むに伴い脱粒性程度が増大する（伊藤ら1969; 江幡・田代1990）ため、脱粒程度の評価では粒の登熟程度を加味しなければならない。出穂後の同化産物の転流による玄米の一次生長で玄米の長さに続き幅が決まり、その後の二次生長で玄米の厚みが最後に決まるとされている。そこで、玄米の厚みで粒の登熟程度を判断することとした。ここで、玄米の厚みを相対的に評価するために玄米厚と粒厚との比（玄米厚/粒厚比）を粒の登熟程度の指数として使用した。

玄米厚/粒厚比と脱粒割合との関係を図-6に示した。供試した12個の出土米ブロックは、玄米厚/粒厚比に関わらず脱粒割合がゼロか非常に小さい3個の出土米ブロック（747-2, 1516b, 1516）と、玄米厚/粒厚比がこれらのブ

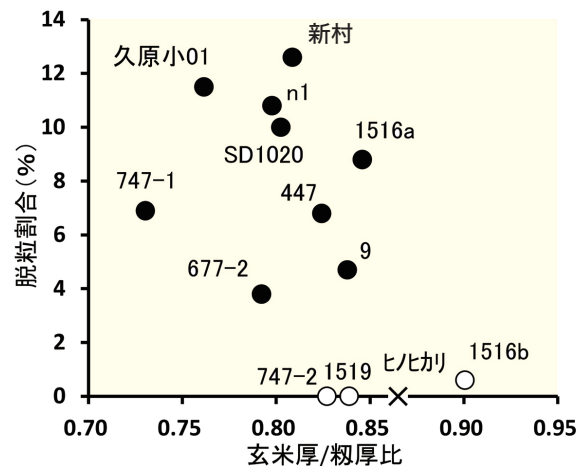


図-6 出土米ブロック別に見た玄米厚/粒厚比と脱粒割合との関係

ロックと同じか小さいが脱粒割合が大きな9個のブロックに2分された。これらのことから、遺跡と年代を込みにして、粒の登熟程度に関わらず脱粒性が極めて低いイネ群と、粒の登熟程度が低い時に刈取られた、すなわち早刈りされても脱粒程度がなお高いイネ群が存在していたことを示唆していると考えられた。これらの早刈りされたと推定されるイネ群は、刈取り時期を遅らせるとさらに脱粒割合が高くなったと推察される。当時の脱穀方法は打付け脱穀とされており、この様に脱粒割合の高いイネ群、すなわち容易に脱穀できるイネ群が必要であったが、早刈りすることでその高い脱粒割合を適度に抑制していたのかもしれない。

5. あとがき

著者らは、図-7に示した全国の20都県の40遺跡から176個の出土米ブロックを関係機関から借用し、それらのX線CT画像を取得している。今回の報告では、その中の12個の出土米ブロックを対象としたにすぎない。出土米ブロック内の粒の画像解析では、ブロック内の粒を別々に識別して、それらの粒のサイズなどを計測する。そのために、個々の粒に通し番号を振ることになる。しかし、粒の不規則な欠損および粒の重複などのため既存の画像解析ソフトでは粒を正確に判別できない。そこで、3方向（X, Y, Z）からの2次元連続画像における同一粒の連続性から粒に通し番号を目視によって振り、そして粒の形を計測することになる。さらに、ブロック内の粒を穂別に判別すれば、これらの作業に非常に多くの時間を要するのである。いまだ多数の出土米ブロックで粒を穂別に判別し、それらの粒に通し番号が振られていない。そこで、研究協力者が、事前に目視によって通し番号を

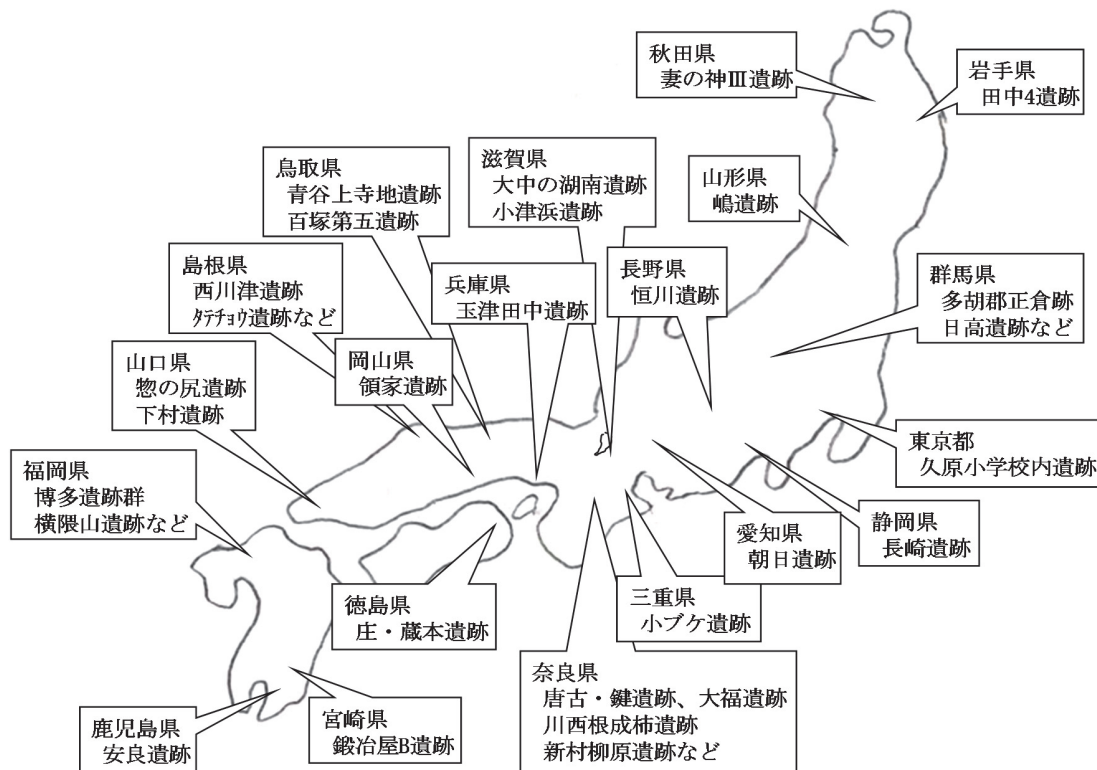


図-7 調査対象とした出土米ブロックが出土した遺跡の所在地

振った2次元連続画像を学習させたAIにより,出土米ブロックの2次元連続画像から個々の籾を検出し,それに通し番号を振り,さらに籾長,籾幅および籾厚を計測するシステムのプロトタイプを開発した。なお,このシステムによる籾検出の正答率は約80%である。今後,このシステムの能力を向上させることで,出土米ブロック内において全ての籾を穂別に判別し,籾を対象とした解析を穂別に実施することが可能となれば,穂の集合体である刈取りの対象となったイネ群の姿をより明確に解析できると期待している。

謝辞

ベトナム社会科学院考古学院のNguyễn Thi Mai Hươngさん,そして奈良県立橿原考古学研究所の岡田憲一ならびに絹島歩の各氏には出土米ブロックの借用ならびにデータ解析において多くのご助言・ご協力を頂いた。JASRI/SPRing-8の星野直人博士ならびに上杉健太郎博士にはX線CT計測ならびに画像解析において多くのご助言・ご協力を頂いた。

本研究は,高輝度光科学研究センター(SPRing-8)の課題番号2014B1063,2015B1816,2017A1716,2018A1700および2020A1279によって実施され,JSPS 科研費25580167,15K12945,17K18511および19K21649の助成を受けた。

引用・参考文献

- 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, 1392-1396.
- 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, 3-52.
- 稲村達也・岡田憲一・絹島歩 2021. 奈良県, 鳥取県, 東京都の遺跡から検出された弥生時代の出土米ブロックに含まれる籾の形状. 作物研究 66, 13-19.
- 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, 1-111.
- 花森功仁子・石川智士・齋藤寛・田中克典・佐藤洋一郎・岡田喜裕 2011. DNAの欠失領域を用いた栽培イネ *Oryza sativa* L. の熱帯ジャポニカ型と温帯ジャポニカ型の識別マーカの作出と登呂I期遺跡から出土した炭化種子への応用. 東海大学紀要海洋学部「海—自然と文化」9 (3), 19-25.
- 田中克典・佐藤洋一郎・上條信彦 2015. 日本の出土米2 佐藤敏也コレクションの研究. 六一書房 東京 1-247.
- 稲村達也・Nguyễn Thi Mai Hương・藤田三郎・鈴木朋美・絹島歩・岡田憲一 2022. X線CT計測による遺跡から検出された出土米ブロックおよび出土稲わらブロックに内在する穂首節間における大維管束の評価. 作物研究 67, 41 ~ 49.
- 古川久雄(訳・解説) 2007. 「中国農業史」. 京都大学学術出版会, 362 ~ 371.
- 伊藤健次・井之上準・近井謙 1969. 作物における種子の脱粒に関する研究. 日作紀 38, 247-252.
- 江幡守衛・田代亨 1990. イネの脱粒性に関する研究. 日作紀 59, 63-71.