



X線CT画像を用いて弥生時代のイナ穂の姿を復元する

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

IV. X線CT画像を用いて弥生時代のイナ穂の姿を復元する

弥生時代のイネの穂の形は、一般的に、どの様に想像されているのでしょうか。何に基づいて、弥生時代のイネの穂の形（大小など）を想像するのであるか。

イネの穂の形を判断する基準のひとつとして穂長がある（図-1）。穂の中心に穂軸があり、穂軸には複数の節があり、穂の最下位の節を穂首節と呼ぶ。穂長は、穂の穂首節から先端にある籾の頂部までの部分の長さである。そして、穂軸にある各節から一本ずつ枝が出る。これが一次枝梗である。この枝梗に籾が着生する。一穂当りの一次枝梗数や総籾数も穂の形の指標となる（図-1）。ところが、出土遺物には完全な形の穂を含んだものがほとんどない。それでは、どのように

して穂の形を復元すればいいのか。

ここで、穂首節の下につながる節間である穂首節間を縦走する大維管束^{注1)}が、穂首節を通過して、穂軸にある一次枝梗に一本ずつ通じていることが知られている。そして、穂首節間の直径が大きい茎では、幼穂が分化するときの幼穂基部直径が大きいために分化する籾数が多くなることで一穂籾数が多くなる。その結果、その茎の穂長も大きくなる。これらを受けて、現代の栽培稲では、穂首節間の大維管束数および直径が、その穂に着生している一次枝梗数や総籾数などを推定する指標となること（林 1976, 山岸ら 1992, 笹原・福山 1999）が報告され、多収栽培や多収品種育成の理論として活用されている。

弥生時代の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や稲わらには、穂首節を有するものがある。この様

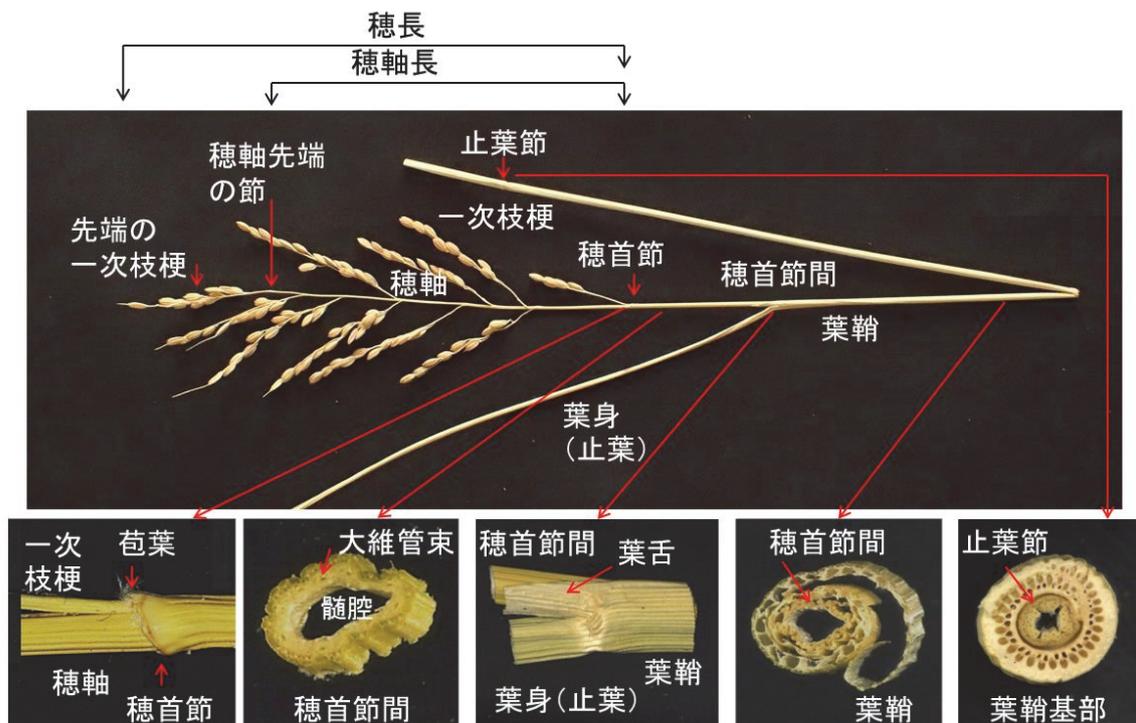


図-1 穂と穂首節間の外部形態と内部構造（稲村 2023 を改変）

上図における穂首節間（穂首節と止葉節との間の茎）は図右端で折り曲げられている。

注1) 維管束は根からの水分や養分の移動通路である木部と葉で作られた光合成産物などの移動通路である篩部からなる。稲には大きさと構造の異なる大維管束と小維管束がある。茎や穂軸では大維管束は内側を、小維管束は周辺部を走向する（図-3, 4）。

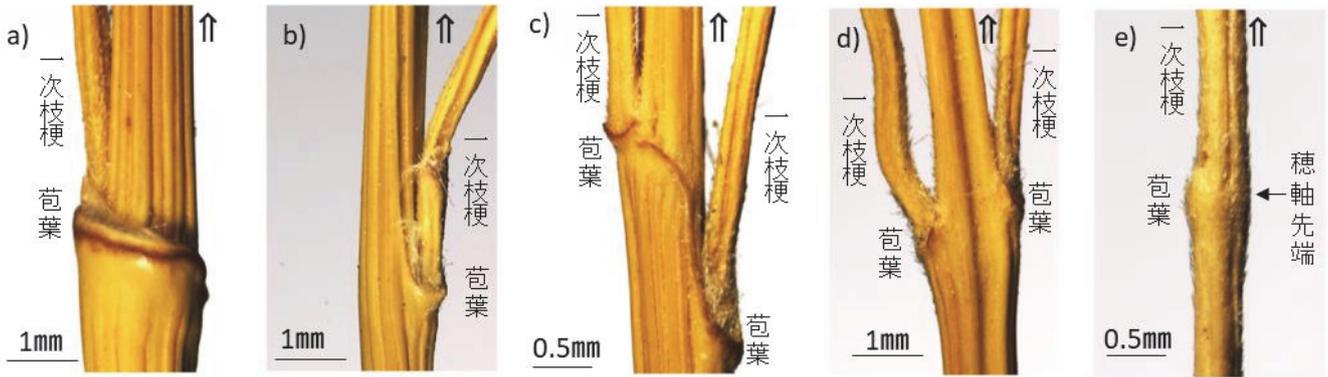


図-2 穂軸の外部形態
a) : 穂首節, b) : 第2番目の節, c) 第2番目の節, d) : 第3番目の節, e) : 最先端の節 ⇒ : 穂頂方向

な考古学資料に内在する穂首節間の大維管束数または直径に基づいて、弥生時代の稲の一穂に着生する一次枝梗数や朶数、および一次枝梗数や朶数に支配される穂長を推定できれば、刈取りの対象となったイネ群落での穂の特徴の解明や、当時の水田生産力の復元への大きな一歩と言える。そこで、今回のシリーズでは、現代の栽培稲を対象とした研究成果を非破壊解析が前提である考古学資料に適用することで弥生時代のイネ穂の姿を復元する方法を、稲村ら（2022）に基づいてお話ししたい。

1. 穂首節を判別する手順

ー現代の栽培稲を対象とした復元のステップ1ー

現代の栽培稲を対象とした研究成果を非破壊解析が前提である考古学資料に適用するには、考古学資料のX線CT画像を用いて、① 穂首節の判別、② ①に基づく穂首節間の確認、③ 穂首節間の大維管束の確認と計測、そして④ 穂首節間の直径の計測の手順を踏まなければならない。この解析の出発点である「穂首節の判別」の基準となる穂首節の形態的特徴を、現代の栽培稲の穂の外部形態および穂の内部構造から解説し、考古学資料のX線CT画像を用いた解析の手助けとしたい。

1) 穂の外部形態から穂首節を判別する

「ヒノヒカリ」の穂軸の外部形態の画像を図-1 および図-2 に示した。図-2 において、a, b, d, e 図は同一の穂由来で、c 図はそれとは異なる穂由来である。穂軸の外部形態の画像は、ライカ DMS1000（ライカマイクロシステムズ株式会社）で得た。

穂首節では苞葉^{注2)}が穂軸を巻いて環状の突起を形成している（図-1 下段左、図-2a）。そして、苞葉の形態（苞葉の先端）と一次枝梗の着生位置（節の上下どちら側に着生する

か）から穂頂の方向を知ることができる（図-1 下段左、図-2a）。穂首節以外では一次枝梗の基部に退化・縮小した苞葉が認められ、一次枝梗が1本の場合、苞葉は一次枝梗の基部のみを巻くが穂軸を巻くことはなかった（図-2b）。しかし、一次枝梗が着生する節が近接している場合、それぞれの一次枝梗の基部に苞葉を形成し、図-2c のように苞葉がつながって穂軸を巻くように見られる事例と、図-2 d のように穂軸を巻かない事例が確認された。図-2c の場合、穂軸を巻くように見られた苞葉は、部分的に不連続であり（図-2c の左側の一次枝梗の基部）、苞葉が連続しているように見える部分（図-2c の穂軸の中央部）は穂首節の苞葉に比較して低く狭小であった。そして、穂軸の最先端の一次枝梗の基部に苞葉の痕跡として穂軸の先端を巻く小さなこぶ状の節が認められ（図-1 上段、図-2e）、この部分に穂軸の先端が退化したものが存在している（星川 1975）。

図-2 の穂軸を含む解析対象とした5本の穂軸における苞葉の長さは、穂首節では0.60～0.87mm、穂首節以外では0.18～0.43mm、穂軸の最先端では0.18～0.37mmであった。そして、穂首節以外の苞葉には、穂首節の苞葉に見られた先端を確認することができなかった。

以上の様に、穂軸において一次枝梗の基部に苞葉が付き、穂首節の苞葉が最も大きく、穂首節の苞葉のみが先端を有していた。穂首節では苞葉の基部が穂軸を巻くことで穂軸を完全に巻く環状の組織が形成されていたが、穂首節以外では一次枝梗の基部につく苞葉は、着生する一次枝梗数が単独の場合は、枝梗基部のみを巻くにとどまり穂軸を巻くことは無かった。しかし、一次枝梗数が着生する節が近接する場合には、不完全ながら穂軸を巻く場合もあったが、その節と苞葉の形状は穂首節とは大きく異なっていた。これらのことから、穂の外部形態、すなわち穂首節における苞葉の形状（苞葉の

注2) 穂には茎と同じように各節に一枚の葉と分げつが付き、穂では葉を苞葉と呼び、分げつに相当するものが枝梗である。苞葉は肉眼では見えにくい痕跡にとどまっている。

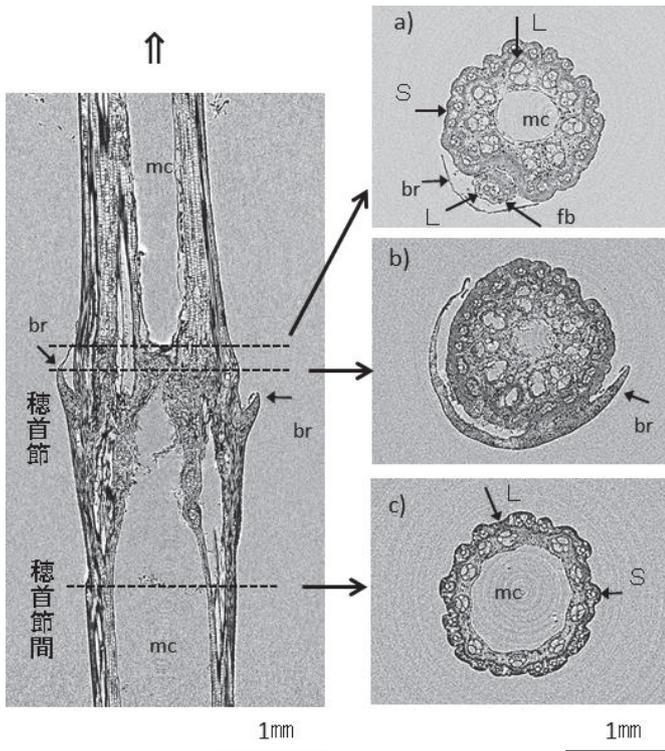


図-3 穂軸基部の縦断面(左)と横断面(右)
br: 苞葉, L: 大維管束, S: 小維管束, mc: 髓腔, fb: 一次枝梗,
⇒: 穂頂方向

先端)や一次枝梗の着生位置によって穂頂の方向を知ることができ、穂首節の下部に接続する穂首節間を判別できるのである。

2) 穂の内部構造に見る穂首節と大維管束

穂の内部構造の標準的なX線CT画像を得るために、移植栽培した水稻品種「ヒノヒカリ」の6本の穂を供試した。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、2018年に実施した。計測画素サイズは、 $2.75\mu\text{m}/\text{pixel}$, X線エネルギーは30keVである。なお、6本の穂は前項の5本の穂とは異なるものである。

穂首節を含む穂軸基部の縦断面画像と横断面画像を図-3に示した。右図aの一次枝梗が穂首節につく部分に、苞葉が認められた(図-3の左図, 右図b)。この苞葉は第一苞葉である。この穂首節の縦断面で確認された苞葉は、横断面(b)では穂軸の外側を巻いている。穂首節の縦断面(図-3の左図)における苞葉の形状(特に苞葉の先端の向く方法)と一次枝梗の穂首節での着生位置(節の上下どちらに着生しているか)から、穂頂の方向(図中の⇒)を知ることができ、その逆方向に位置する節間、すなわち穂首節の下部に接続する穂首節間を判別できる。

次に、穂首節以外において一次枝梗が着生する節の一例として、穂首節を1番目として穂頂に向かって5番目と6番

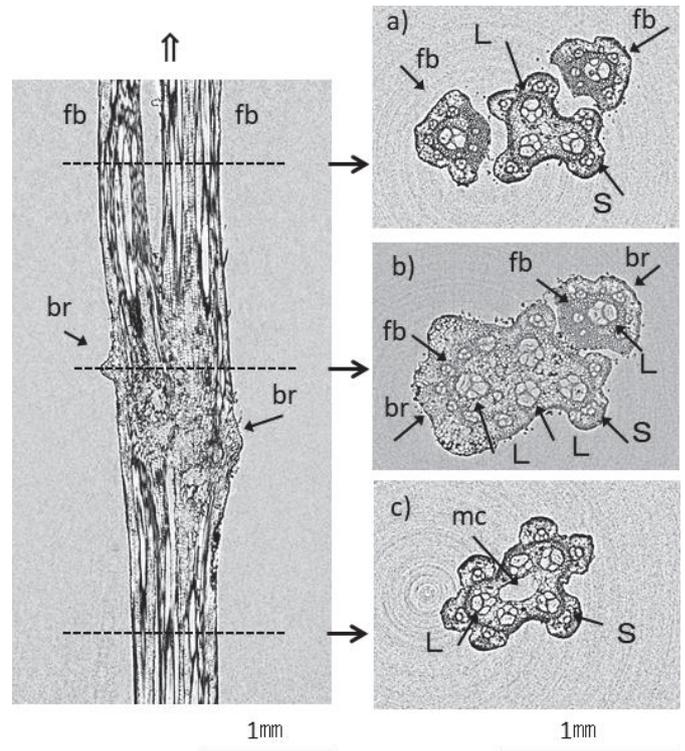


図-4 穂軸中段の縦断面(左)と横断面(右)
br: 苞葉, L: 大維管束, S: 小維管束, mc: 髓腔, fb: 一次枝梗,
⇒: 穂頂方向

目の近接する節の縦断面画像と横断面画像を図-4に示した。図-4の右図aの一次枝梗が二つの近接する節にそれぞれ着く部分に、穂首節の苞葉とは異なって穂軸ではなく一次枝梗の基部を巻く、縮小したこぶ状の苞葉の痕跡が認められる(図-4の左図および右図のb)。

そして、穂首節間の横断面(図-3の右図c)において、髓腔側に環状に一層に並ぶ10個の大維管束、および穂首節間の表面近くに環状に並ぶ小型の維管束である小維管束を確認することができる。そして、穂首節間および穂首節における10個の大維管束の内1本の大維管束が、1本の一次枝梗に分かれて入るため、穂軸の大維管束数が9個になっている(図-3の右図a)。5番目の節の下の穂軸にある5個の大維管束(図-4の右図a)が、5番目と6番目の近接する節の一次枝梗にそれぞれ1本の大維管束が入るため穂軸の大維管束数が3個となっている(図-4の右図a)。この様に、穂首節間を走向する大維管束は、一本ずつ一次枝梗に通じているのである。

以上のことから、考古学資料のX線CT画像を用いて、苞葉の形態の特徴と一次枝梗の着生位置を出土米ブロックおよび出土稲わらブロックに内包されている穂軸において確認することで、穂首節と穂首節間を判別でき、その穂首節間の横断面において髓腔側に環状に一層に並ぶ大維管束を小維管束と区別して評価できるのである。

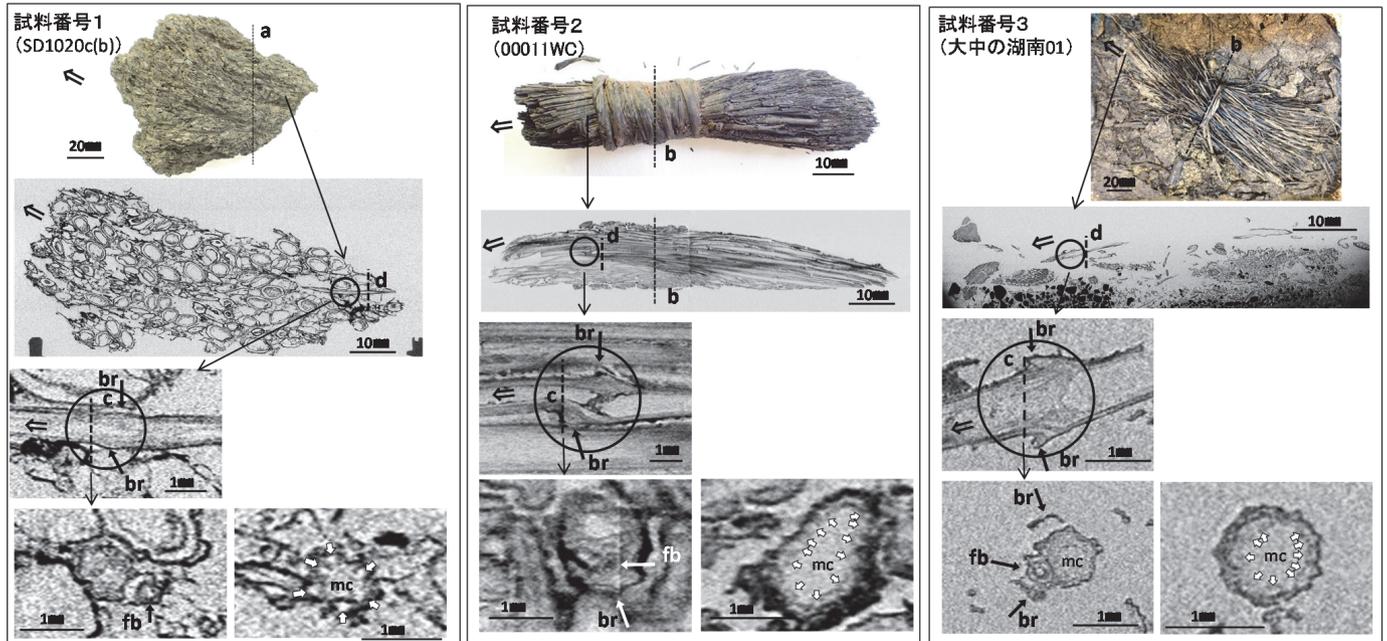


図-5 出土米ブロックおよび出土稲わらブロックの全体画像(上段), X線 CT 画像(上から二段目), 穂首節の縦断面(三段目), 穂首節の横断面(最下段左)および穂首節間の横断面(最下段右)
 br: 苞葉, fb: 枝梗, mc: 髓腔, : 大維管束, ⇒: 穂頂方向, ○: 穂首節。
 破線 a は穂軸, b は伸長茎, 破線 c は一次枝梗の着生および破線 d は大維管束をそれぞれ確認・計数した断面。
 試料番号 3 の X 線 CT 画像(二段目)は, 全体画像(上段)の左端の部分。

表-1 供試試料の形状, 時代区分およびX線 CT 計測条件

試料番号	試料名	形状(mm)	時代区分	遺跡名	所在地	画素サイズ ($\mu\text{m}/\text{pixel}$)	X線 エネルギー (keV)	X線CT 計測年
1	SD1020c(b)	104×86×57	弥生時代 後期	大福 (第28次)	奈良県 桜井市	25.1	30	2016
2	KRK-033- 00011WC	90×21×14	弥生時代 中期	唐古・鍵 (第33次)	奈良県 田原本町	25.1	30	2016
3	大中の湖南01	176×66×25		大中の湖南	滋賀県 近江八幡市	12.04	200 (白色)	2021
4	標準試料(ヒノヒカリ)	—	—	—	—	2.75	30	2018

試料番号1は出土米ブロック, 同2, 3は出土稲わらブロック。

2. 出土米ブロックと出土稲わらブロックにおける穂首節と穂首節間の確認 -復元のステップ2-

解析に供試した考古学資料は, 大福遺跡から検出された出土米ブロック, および唐古・鍵遺跡と大中の湖南遺跡から検出された出土稲わらブロックである(表-1)。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, BL28B2)を用い, 表-1に示した計測条件で実施した。

供試資料の全体画像と X 線 CT 画像を図-5に示した。試料番号1の出土米ブロックは籾を着生した穂の一部を含んでおり, 図-5に示した破線 a の断面において複数の穂軸の存在が確認された。確認された穂軸の数は, 試料番号1で

15本であった(表-2)。また, 試料番号2, 3の出土稲わらブロックは, 節間が伸長した茎(伸長茎と呼ぶ)を含んでおり, 図-5の破線 b の断面において, 確認された伸長茎は試料番号2で125本, 試料番号3で295本であった(表-2)。試料番号2の伸長茎の数は, 従来, その外観から73から76本と概算されていた(北條2014)。

供試試料の穂軸または伸長茎の縦断面と横断面の X 線 CT 画像(図-5)を用い, 「ヒノヒカリ」の穂軸の外部形態(図-2)および穂軸の内部構造(図-3, 4)を参考に, 苞葉の形状(図-5の上から三段目)によって穂首節であるかを判別した。すなわち, 試料番号1, 2, および3において, 節に着生する一本の一次枝梗を確認し(図-5の最下段左図), その基部に着生する苞葉が穂軸を完全に環状に巻いていることから(図-5の上から三段目), これらの節を穂首節であると

表-2 供試試料に含まれる穂軸または伸長茎の数、および大維管束数

試料番号	試料名	穂軸数*	伸長茎数*	大維管束数**
1	SD1020c(b)	15	—	⑥, 8, 9, 9
2	KRK-033-00011WC	—	125	9, 10, 10, ⑫
3	大中の湖南01	—	295	8, 8, 9, 9, ⑩
4	標準試料(ヒノヒカリ)	6	—	7, 9, ⑩, 11, 12, 12

*: 穂軸または伸長茎の数を計測した部位を図-5に示した。

** : ○で囲まれた大維管束の数は、図-3、図-5で示した穂首節間の大維管束の数である。

それ以外の大維管束の数は、図-3、図-5とは別の穂首節間で計測した大維管束数である。

判断した。そして、試料番号1の苞葉の長さは、穂首節で0.93mmであった(図-5の上から三段目)。試料番号2, 3では、穂首節と判別した苞葉の長さは、それぞれ1.13mmおよび0.74mmであった(図-5の上から三段目)。

これら供試試料の苞葉の長さが、前述した「ヒノヒカリ」の穂首節の苞葉の長さ0.60～0.87mmと同等かやや大きかった。そして、「ヒノヒカリ」の穂首節以外の0.18～0.43mmおよび穂軸の最先端の0.18～0.37mmに比較して極めて大きいことは、試料番号1, 2, 3での穂首節の判別を補完すると考えられるのである。

次に、判別された穂首節における先端を有する苞葉の形状(図-5の上から三段目)および図-5の上から三段目図中の破線cで示した横断面において確認した一次枝梗の着生(図-5の最下段左図)、すなわち一次枝梗の着生位置と穂首節の位置関係から穂頂の方向を決定した(図-5の上から三段目の矢印)。そして、穂首節間は、穂首節の株元方向(穂頂と逆方向)に接続する節間である判断したのである。

試料番号1のX線CT画像から判別された穂頂の方向は、X線CT画像(図-5の上から二段目)において籾の頭頂部の方向から推定した穂頂の方向と一致していた。また、試料番号3で判別された穂頂の方向は、調査報告書(滋賀県教育委員会1967)の写真画像から推定した方向と一致していた。しかし、試料番号2で判別された穂頂の方向は、従前に推定されていた方向(北條2014)と逆方向であった。

以上より、出土米ブロックと出土稲わらブロックに包含される穂軸または伸長茎の横断面と縦断面のX線CT画像を用いることで、苞葉の形状によって穂首節を判別することができ、そして苞葉の形状および一次枝梗の着生位置から穂頂の方向を知ること、穂首節に接続している穂首節間を特定することが可能であると判断された。ただし、試料番号1, 2, 3に包含されていた穂軸または伸長茎の全てが穂首節を有していることはなかった。

3. 出土米ブロックと出土稲わらブロックの穂首節間の大維管束の確認 —復元のステップ3—

前項で確認された穂首節間の横断面のX線CT画像を図-5の最下段右図に示した。この横断面は、図-5の上から二段目の図中の破線dで示した穂首節直下の穂首節間の部位である。「ヒノヒカリ」の図-3を参考に、X線CT画像において、髓腔側に環状に一層に並ぶ大維管束を確認し(図-5の最下段右図中の⇒が指し示すのが大維管束)、その大維管束の数を計測した。試料番号1, 2および3において図-5で計測した大維管束数は、それぞれ6, 12および10であった(表-2)。これらとは別に確認された穂首節の直下における大維管束数は、試料番号1, 2および3で、それぞれ8～9, 9～10および7～12であった(表-2)。

なお、前項において、伸長茎の全てが穂首節を有していることがなかった事を指摘した。この様な場合には、どのようにして穂首節間であるかを判断するのか。日本稲品種の穂首節間の大維管束数が主稈^{註3)}で8.6～13.0(新田ら2000)そして株全体で6.0～9.6(林1976)との報告があり、そして穂首節間に続く第二節間の大維管束数が穂首節間の2～3倍とされている(林1976)。これらのことから、穂首節のない伸長茎の場合は、それらの大維管束数から穂首節間であるかを判断することができ、その大維管束数を計測できるのである。

4. あとがき —弥生時代のイネの穂は小さかったのか—

日本における黎明期の農耕社会の実態解明のため、初期水田稲作に関する多様な研究が進められ、社会経済史的な視点として水田生産力の復元がある。その中で、弥生時代のイネの穂の形を穂長や一穂当りの籾数から推定した事例が紹介されている(菊池・三好2007)。本シリーズの試料番号3(大中の湖南01)の稲束(滋賀県教育委員会1967)と奈良県唐古・鍵11次調査で検出された稲穂束(寺沢1981)の外部形態から穂長を8～10cmと推定し、現代の栽培稲のオクレボ(遅発分げつ)のように小さな穂であったとしている

注3) イネ科植物の茎を稈とも呼び、種籾から出芽して茎となったものが主稈である。

(寺沢・寺沢 1981)。そして、弥生時代中期末の手捏ね土器の糊圧痕(高畑・福田 1977)を参考に、12粒の一穂粒数を推定している(高畑 1984)。試料番号3(大中の湖南01)が検出された滋賀県の水稲奨励品種(12品種)の品種特性を見ると、穂長が18.2~21.4cm(平均19.7cm)、そして一穂粒数が71~95粒(平均82.8粒)となっている(水陸稲・麦類・大豆奨励品種特性表 平成28年度版)。このことから、考古学資料から推定されたイナ穂の大きさの事例は現代の栽培稲と比較して小さいと言えるのである。

ここで、日本で育成・栽培されている日本型稲では、穂首節間の大維管束は1本ずつ一次枝梗に通じ、一次枝梗数に対する大維管束数の比(維管束比:大維管束数/一次枝梗数)はおおむね1であるとされている(新田ら 2000)。この理論が、弥生時代のイネにおいても成立すると仮定すれば、試料番号1の一次枝梗数は6~9、試料番号2は同9~12、そして試料番号3は同8~10となる。大維管束数が7~12のヒノヒカリで実測された一次枝梗数は6~11であった。試料番号1, 2, 3で推定された一次枝梗数は、ヒノヒカリの実測値とほぼ同じである。弥生時代の刈取り方法は穂刈とされており、一次枝梗数の多い穂を穂刈によって選んだとしても、弥生時代のイネには一次枝梗数がヒノヒカリの実測値のような大きさの穂を持つイネがあったと考えられる。ただし、一次枝梗に着生する粒数は栽培環境の影響を受けるため、弥生時代のイネがその穂にどの程度の粒数を持っていたかと、それに基づく穂の長さについては今後の解析にゆだねられていることを指摘しておきたい。

今回は、試料番号3の295本の穂首節間の形状から、穂刈の実態についてお話ししたい。なお、試料番号2の出土稲わらブロックはX線CT計測後の2018年10月に国の重要文化財に指定されている。

謝辞

奈良県桜井市教育委員会、奈良県田原本町教育委員会および滋賀県立安土城考古博物館から供試試料の提供を受けた。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

のご協力・ご助言を頂いた。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ご指導を頂いた。これらの方々に謝意を表します。

本研究は、高輝度光科学研究センター(SPring-8)の課題番号2016B1797, 2018A1700および2020A1279によって実施され、JSPS 科研費15K12945, 17K18511および19K21649の助成を受けた。

引用・参考文献

- 林把翠 1976. 水稲の大維管束数と穂の形成に関する研究 第3報 分げつにおける大維管束数の推移と穂の形成との関係. 日作紀 45, 336-342.
- 山岸順子・矢島経雄・衛藤邦男・鈴木晴雄・稲永忍 1992. イネ品種における1穂類花数と茎葉形質および幼穂分化期の生長点付近の大きさとの関係. 日作紀 61, 568-575.
- 笹原英樹・福山利範 1999. 日本型イネ品種における穂首維管束系と収量構成要素との関係. 育種学研究 1, 77-81.
- 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.
- 稲村達也 2023. 「X線CT計測による大中の湖南遺跡から出土した稲束の形態解明」『橿原考古学研究所論集 第十八』奈良県立橿原考古学研究所, 八木書店 東京. 21-27.
- 星川清親 1975. イネの生長. 農文協. 東京. 216-237.
- 北條芳隆 2014. 稲束と水稲農耕民. 日本史の方法 11, 5-28.
- 滋賀県教育委員会 1967. 「大中の湖南遺跡調査概要」『滋賀県文化財調査概要 第5集』滋賀県教育委員会. 50.
- 新田洋司・姚友礼・山本由徳・吉田徹志・松田智明・宮崎彰 2000. 水稲の穂首節間を走向する大維管束の種類と数および横断面積の品種比較. 日作紀 69, 61-68.
- 菊池有希子・三好伸明 2007. 弥生時代の米収量について. 古代 120, 87-107.
- 寺沢薫 1981. 「ドングリピットとイネの穂束」『昭和55年度 唐古・鍵遺跡 第10・11次発掘調査概報』田原本町教育委員会. 橿原考古学研究所編. 18.
- 寺沢薫・寺沢知子 1981. 「弥生時代植物質食料の基礎的研究」『橿原考古学研究所紀要考古学論攷 第5冊』奈良県立橿原考古学研究所. 1-129.
- 高畑知功・福田正継 1977. 「野田畝遺跡」『中国縦貫自動車道建設に伴う発掘調査11』岡山県埋蔵文化財発掘調査報告 21 岡山県教育委員会. 61-408.
- 高畑知功 1984. 「田植えと収穫量」『百間川原尾島遺跡2』岡山県埋蔵文化財発掘調査報告 56 岡山県教育委員会. 678-682.
- 水陸稲・麦類・大豆奨励品種特性表 平成28年度版 農林水産省政策統括官付編. 118-121. (農林水産省 図書館 WEB サイトより)