

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12945

研究課題名(和文) X線CTと放射化分析による弥生時代前期における小区画水田群の湛水実態の評価

研究課題名(英文) Evaluation of the facts of flooding in the small boundary paddy fields in the beginning of the Yayoi period by X-ray CT and Activation Analysis

研究代表者

稲村 達也 (Inamura, Tatsuya)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：00263129

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：弥生時代前期の水田の湛水状態を推定するために以下の研究を行った。弥生時代前期の出土米ブロックに含まれる小穂のX線CT画像の解析によって、生育中の湛水状態に影響される玄米の成長程度を評価できることを明らかにした。異なる湛水状態で生育させたイネや雑草の種子のCdとAsの濃度分析から、Cd/As濃度比がそれらの生育した水田の湛水状態の指標となることを明らかにした。弥生時代前期の水田の作土表面の起伏の程度と畝の高さに支配される湛水深の空間変動の解析によって、当時における小区画水田群での潜在的な湛水状態を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The following researches were carried out in order to evaluate the facts of flooding of the paddy fields in the beginning of the Yayoi period.

The findings of the analysis of the X-ray CT image of the spikelet excavated from the remains in the early Yayoi Period suggested that the grain filling influenced by the flooding condition of that growing period can be estimated. The findings of the analysis of elemental composition of the seed of rice and weed under the different various flooding conditions suggested that the Cd-As concentration ratio can be an index of a flooding condition of paddy field which they were growing.

The findings of the geostatistical analysis of the water depth influenced by the undulating surface of plow layer and the height of boundary in the paddy fields in the beginning of the Yayoi period suggested that the potential flooding condition of the paddy field in that time can be clarified.

研究分野：栽培システム学

キーワード：弥生時代 水田稲作 水管理

1. 研究開始当初の背景

奈良県御所市の中西遺跡および秋津遺跡で検出された弥生時代前期の水田群は、縄文時代晩期の土層の上に形成されており、日本に水田稲作が導入された当時の初期水田と考えられる。検出された面積約 30,000 m²の弥生時代前期の水田遺構では、あぜで囲まれた 10~15 m²の長方形に区画された約 1,800 枚の小区画水田が整然と配置されている。この弥生時代前期の水田遺構では、水田の作土が洪水砂層を挟んで弥生前期前半、同前期後葉、同前期末の 3 期分残存している。洪水などによって水田が砂層に覆われた後も、その場所を再び水田として繰り返し利用しながらイナ作を続けていたと想像される。この様に、中西遺跡・秋津遺跡は、それぞれの水田作土層の存在した時期が判明しており、奈良盆地に導入された初期イナ作の変遷を推定できる条件が整う稀有な遺跡と考えられる。

申請者は、この水田群を対象にイネ生産力の解明を目指し、当時における水田土壌からの窒素供給量は水田面の均一性と水田の立地する微地形とに支配され、イネと雑草の生育は水田内・水田間で不揃いであることなどを明らかにしてきた。

しかし、窒素と共にイネ生産力の支配要因に強く影響する実際の湛水状態を推定するには至っていない。一方、イネの穂の形状および玄米や雑草種子の元素組成は、生育する水田の湛水状態に影響されることが知られている^{注1}。

そして、SPring-8 (公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI)、兵庫県佐用郡佐用町光都) と京都大学原子炉実験所 (大阪府泉南郡熊取町) の協力が得られ、X 線 CT 法や中性子放射化分析による出土米などの微細・微量な試料の 3 次元形状や元素組成の解析が可能となった。

そこで、遺跡から検出された出土米ブロックに含まれるイネの穂の 3 次元形状および出土した玄米や植物種子の元素組成を調査・解析し、当時の水田の湛水状態を明らかにできると考え本研究の着想に至った。

注 1) 湛水されて水田土壌が還元状態になると Cd は不可溶化し As は可溶化するため、イネや水田雑草の As 吸収量が増加する。一方、排水されて水田土壌が酸化状態になると Cd は可溶化し As は不可溶化するため、イネや水田雑草の Cd 吸収量が増加する。そして、出土米や出土した雑草種子の Cd 濃度と As 濃度が経年変化しても Cd/As 比は保たれるため、出土米や出土した雑草種子の Cd/As 比をそれらが生育していた水田の湛水状態の指標となると考えた。さらに、弥生時代水田において種子が大量に検出される水田雑草ホタルイは、多様な水環境

で生育するため、Cd/As 比を求める雑草種として最適と考えた。

ただし、コメや水田雑草種子が出土した水田土壌の元素組成 (Cd、As、Cd/As 比) により出土米や出土した雑草種子の Cd/As 比を補正しなければならない。

2. 研究の目的

日本に水田稲作が導入された当時の初期水田におけるイネ生産力の復元は、考古学や歴史学の発展に大きく寄与するとともに、社会的関心に応えられると考えられる。申請者は、奈良県御所市の中西遺跡・秋津遺跡で検出された弥生時代前期の小区画水田群を対象に、イネ生産力の支配要因 (水田土壌からの窒素供給量、雑草の発生状態、湛水機能を決定する水田の構造など) を調査・解析した。しかし、イネの生産力の支配要因に強く影響する実際の湛水状態を推定するには至っていない。

そこで、本研究では、湛水の有無を反映するイネの穂の形状や種子の元素組成に着目し、弥生時代前期の水田から出土した炭化米ブロックに含まれる穂の 3 次元形状および出土した炭化米や雑草種子の元素組成を調査・解析し、当時の湛水状態を推定することを目的とする。そして、その成果を公表する。

3. 研究の方法

1) 異なる湛水状態でイネと水田雑草 (ホタルイ) を栽培し、標準試料を作成する。
2) 出土米およびホタルイ種子、標準試料の玄米とホタルイ種子、および遺跡土壌と標準試料の栽培土壌の元素組成を ICP-MS^{注2}によりそれぞれ測定する。元素組成として、カドミウム (Cd)、ヒ素 (As) を用いる。

注 2) 元素組成を京都大学原子炉実験所において中性子放射化分析により測定する計画であったが、安全点検のため原子炉が使用できなかったため ICP-MS による分析のみとなった。

3) 1) の湛水状態と 2) の結果から、当時の水田の湛水状態を推定する手法を明らかにする。
4) X 線 CT 法により、遺跡で検出された炭化米ブロック内のイネの小穂の 3 次元形状を測定し、イネの生育中の湛水状態に影響される籾の登熟程度を評価する。
5) 調査地域の微地形 (高低差など) および作土表面と畝の高さに支配される湛水機能の水田間変動から、弥生時代前期における小区画水田群での潜在的な湛水状態を明らかにする。

4. 研究成果

1) イネおよびホタルイの子実中の Cd/As 濃度比が、それらが生育した水田の湛水状態の指標となることを明らかにした。しかし、イ

ネや雑草の生育が不良である場合、Cd/As 濃度比が湛水状態の指標として利用できない可能性が示唆された。また、出土米の As 濃度に出土米の包含層土壌の As 濃度の影響が示唆された。

2) 弥生時代前期 (BC480 ± 30) の包含層から出土した小穂 (籾) と穂の一部を含む塊状の出土米 (出土米ブロック) の放射光を用いた X線 Computed Tomography (CT) 計測を SPring-8 において実施し、画素サイズ 25 μm の計測条件で得られた籾と玄米の画像の解析から両者の厚みを比較することで、生育中の湛水状態に影響される籾の登熟程度を評価できることを明らかにした (図 1、2)。

3) 小区画水田は、低いあぜ (小畦畔) によって約 10~15 m²の長方形に区画されている点の特徴で、微地形に応じて大きさには違いがある。また、ひとつひとつの圃場を区画する小畦畔のほか、幅 1 m 程度の人が歩けるほどの大畦畔なども検出されている。さらに細かく弥生時代前期の水田遺構をみると、作土層は少なくとも上下 2 面あるが、やや地形の低くなる場所では、間層を挟んで年代の異なる 3 つの水田作土が確認されている。上から順に「作土 1」、「作土 2」、「作土 3」と呼ぶことにした。それらの年代を出土遺物から推定すると、作土 1 は弥生時代前期末、作土 2 は前期後葉、作土 3 は前期前半と考えられた。

4) 作土 1 と作土 2 の間には時として薄い細砂層があり、両者の水田の形やあぜの方向はほぼ同一で、水路の位置なども踏襲していた。作土 1、2 と作土 3 との間層は厚い砂礫層となっていた。さらに作土 3 の水田の形は作土 1、2 とほとんど変わらないが、あぜの方向が異なっており、作土 1、2 で検出された水路や堰などは確認されていない。このことから、弥生時代前期前半に緩い傾斜面に最初に水田 (作土 3) が拓かれた後、氾濫によって水田が埋没し、低いところを埋めるように堆積した砂礫によってやや平坦化したその上に、再び水田 (作土 2) が拓かれたのだと考えられた。弥生時代前期後半には、作土 2 の上面に薄い砂層が堆積するが、その量は地形を一変させるようなものではなく、先にあった水田を概ね踏襲しながら作土 1 が形成されたようである。こうした弥生時代前期後半の水田の維持にあたっては、その頃には設置されていた水路や堰の果たした役割が大きいと考えられた。

5) 弥生時代前期後半では、①小区画水田は微地形や小水路によって区分された単位ごとに水管理され (図 3)、②その管理単位間で水田の構造や湛水機能が異なることが判明した。さらに、弥生時代前期末には、③同前期後半の水田の上に拓かれた水田でその構造の改良によって湛水機能が著しく向上したと考えられる事例が確認された (図 4)。

一方、④弥生時代前期前半の奈良盆地に最初に導入されたと推定される水田は湛水機能が劣り、その利用形態がその後の弥生時代前

期後半とは異なる可能性が示唆された (表 1、2)。

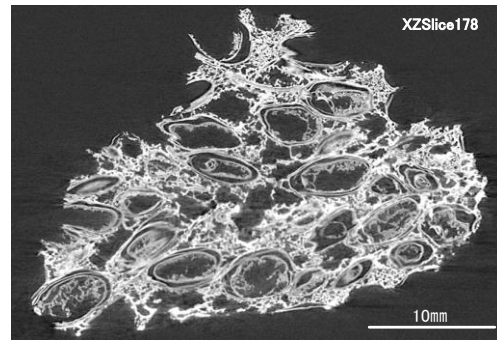


図1 出土米ブロックのX線CT画像。

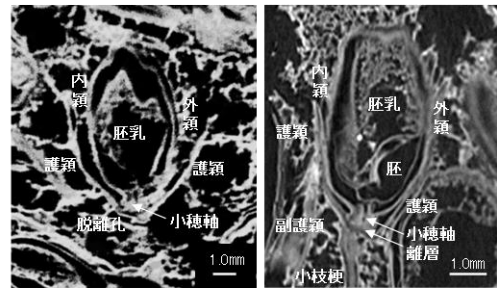


図2 胚乳(玄米)の生育状態(右図の胚乳の生育が不良)

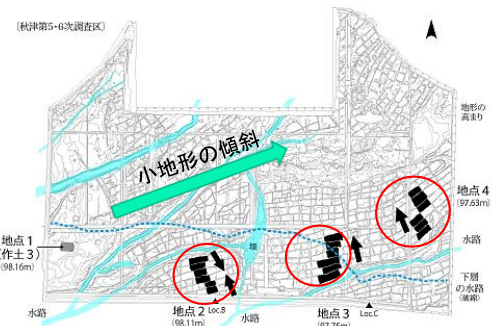


図3 調査圃場における灌溉管理単位(作土1、2) ■:調査圃場、→:微地形の傾斜の方向、○:管理単位

項目	単位	調査地点、年代					
		地点1 作土3	地点2の圃場2 作土1	作土2 後葉	地点3の圃場3 作土1	作土2 後葉	
標高	m	98.16	98.09	97.98	97.78	97.67	
圃場の形状	長辺	350	350		400		
	短辺	320	160		280		
作土の形状	作土厚	19±8	49±14	66±19	41±16	79±26	
	作土表面の均平度	0.179	0.466	0.151	0.677	0.552	
	作土表面高さ	40±16	29±15	53±26	30±11	68±21	
	傾斜(西→東)	0.00057	0.00897	0.01165	0.00576	0.01029	
	傾斜(南→北)	0.00077	—	—	0.00032	0.00581	
あぜの形状	平均あぜ高	48±16	61±11	111±33	61±16	129±56	
	東あぜ高	30	58	80	50	103	
	北あぜ高	55	—	—	58	100	
非湛水割合	東あぜ高まで湛水	71.4	2.9	23.5	3.7	1.9	
	北あぜ高まで湛水	14.3	—	—	3.7	5.6	
全窒素	%	0.071	0.061	0.137	0.058	0.103	
全炭素	%	1.108	0.814	1.953	0.860	1.504	
C4植物起源炭素の割合	%	35.9	5.4	24.8	0.0	0.0	

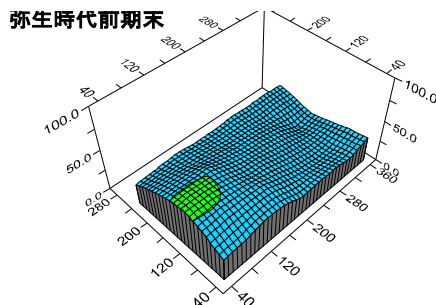
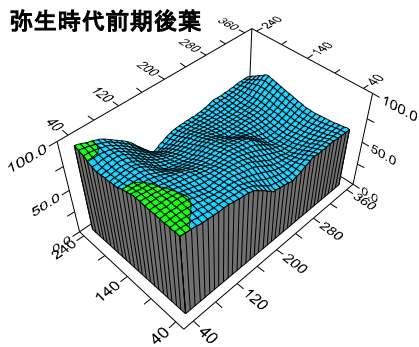
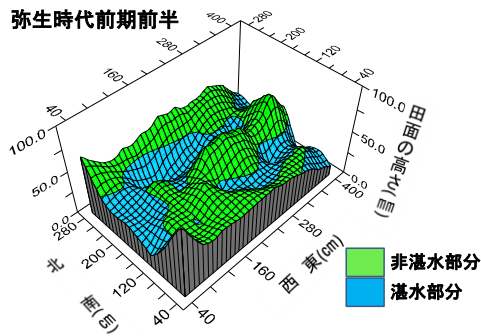


図4. 弥生時代前期における小区画水田の灌水機能の変遷(各図は一枚の小区画水田を表し、曲面は田面を示す。曲面の淡い灰色はあぜの平均高さまで灌水した時に水面から露出している部分を示す。)

表2. 弥生時代前期における小区画水田の構造と灌水機能の変遷(推定)

	田面の高低差	田面の均一性	あぜの高さ ^{注)}	灌水機能
前期前半	大きい	劣る	低い	否
前期後葉	大きい	劣る～優れる	高い	否～良
前期末	小さい	優れる	高い	良

注)田面の高さに対する、あぜの高低を相対的に評価

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

稲村達也・墨川明德・岡田憲一・岡見知紀・絹島 歩・菅谷文則

X線CT計測による弥生時代前期出土米の脱粒性の評価、

作物研究、査読有、61巻、2016、27-31

DOI : 10.18964/jcr.61.0_27

[学会発表] (計 1 件)

岡田憲一・本村充保・絹島 歩・木村理恵・西川加奈子・山田隆文・高木清生・岡見知紀・宇野隆志・岡林孝作、奈良盆地における近年の弥生時代水田遺跡の大規模調査、日本考古学協会第83回総会、2017年5月28日、大正大学(東京都豊島区)

[図書] (計 1 件)

岡田憲一、奈良県立橿原考古学研究所、中西遺跡I(奈良県立橿原考古学研究所調査報告第123冊)、2017、686

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲村 達也 (INAMURA, Tatsuya)

京都大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号：00263129

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

岡田 憲一 (OKADA, Kenichi)

奈良県立橿原考古学研究所・調査課・指導研究員

研究者番号：20372170

絹島 歩 (KINUHATA, Ayumu)

奈良県立橿原考古学研究所・調査課・主任

技師

研究者番号：50638103

(4) 研究協力者

- 墨川明德 (Akinori Sumikawa)
京都大学大学院農学研究科・修士
- 東條大輝 (Daiki Tojyo)
京都大学大学院農学研究科・修士
- 濱勇希 (Yuuki Hama)
京都大学大学院農学研究科・修士