

まほろん収蔵資料の放射性炭素年代測定の応用

— ^{14}C ベイズ推定の利用試論 —

三浦 武司

要 旨

まほろんでは、平成26年から5か年にわたって収蔵資料の放射性炭素年代測定の研究を行った。その結果、暦年較正年代値が平坦になる時期(縄文時代中期前葉から中葉、縄文時代晚期後葉から弥生時代前期)が観察された。そのため、これらの時期は広範な暦年代値を示すこととなる。広範な暦年代値は、 ^{14}C ベイズ推定を用いた解析を行うことで、限定した暦年代へ絞り込みが可能であるのか実験的な視点と手法を試行した。本報告では ^{14}C ベイズ推定による解析を考古学に応用することで、より高精度な測定結果を得ることが可能であるのかを目的とした。対象は、法正尻遺跡出土の縄文時代中期前葉から中葉の資料について解析を行った。 ^{14}C ベイズ推定は、OxCAL プログラムを利用し、考古学が年代把握のために用いる情報を基に、暦年代値に制約を与える解析を行うことでその結果を示した。また、今後の年代測定結果の活用及び目的化した測定資料の採取についての方向性も提言する。

キーワード

放射性炭素年代測定 暦年較正 ベイズ推定

1 はじめに

福島県文化財センター白河館(以下、「まほろん」と言う。)では、収蔵資料の放射性炭素年代測定及び炭素・窒素安定同位体比分析を平成26年度から平成30年度までの5か年にわたって実施した。この内容と結果については、その都度『福島県文化財センター白河館研究紀要』にて報告(吉野ほか2015、三浦2016・2017、(公財)福島県文化振興財団ほか2016・2017・2018・2019、三浦ほか2019、笠井2019)及び様々な場での公開^{註1}に努めてきた。

筆者は、それらの研究結果から縄文時代中期前葉から中葉頃の土器型式の暦年代値が相互に重なる範囲が広いことについて指摘した(三浦ほか2019)。重なる範囲は、3300-2900cal BC頃であり、平坦になる較正曲線の影響を多分に受けている。この暦年代値の頃の当地域の土器型式は、大木7a式・大木7b式・大木8a式土器が該当する。また同様に較正曲線が平坦となる時期としては、縄文時代晚期後葉から弥生時代前期にかけての時期が広く知られているところである。縄文時代においては、暦年代値が広範になる時期が、大きく2時期あることがわかつてきた。まほろん収蔵資料を用いた測定結果においても、この2つの時期においては確率分布が分散してしまう傾向が見られた。そのため、考古学的

所見との比較検討が必要な時期であることがわかつている(三浦ほか2019)。

^{14}C 年代測定の測定精度の限界は、±0.2%程度であり、 ^{14}C 年代測定での誤差は±16年ほどに相当すると考えられている(今村2007)。暦年較正年代は、 ^{14}C 年代測定の誤差、 ^{14}C 較正年代の推定誤差と較正曲線の影響を受ける。 ^{14}C 年代測定の測定精度が同じでも、時代や時期によって推定される期間の長さが異なる。較正曲線が平坦な時代や時期では、較正年代の推定される範囲は長くなる。資料によっては較正年代の範囲が、数百年にわたることもある。一方、較正曲線の変化が大きい時代では、較正年代の精度が高まることが分かっている。

上記のように年代測定の精度に原理的な課題が存在する。そのため、 ^{14}C 年代の測定限界を補完し、より高精度な年代決定を行う統計的な解析法の一つとして ^{14}C ベイズ推定を利用する事が、近年の中央アジアや中南米の調査研究で試みられている(渥美ほか2008、大森ほか2012、金崎ほか2019、K. TUKAMOTO ほか2020)。

本報告は、年代測定において、考古学的所見を与えることが、年代値を絞り込む方法として有効か試すことを目的とする。 ^{14}C 年代測定プログラムであるOxCALには、各種データの尤度確率分布を演算したり解析したりするためのツールモデルが実装され

ている。そこで、考古学的所見を付加した¹⁴Cベイズ推定を用いて、より高精度の測定結果を導き出すことが可能であるのかを実験的に行った。

2 方法

本報告で使用する測定資料は、平成28年度に報告したまほろん収蔵資料のAMS年代測定結果である((公財)福島県文化振興財団ほか2017)。当時の較正プログラムは、IntCal13(Reimer et al. 2013)を用い、OxCal4.2較正解析プログラム(Bronk Ramsey2009)を使用している。その結果は、福島県文化財センター白河館研究紀要((公財)福島県文化振興財団ほか2017)に掲載している^{註2}。本報告ではその結果を基に、2020年にリリースされたIntCal20(Reimer et al. 2020)、OxCal4.4較正解析プログラム(Bronk Ramsey2021)を用いることとする。上記の測定資料をIntCal20で再較正した暦年代値のマルチプロット図(第1図)及び測定資料一覧(表1)を参考として掲載した。

上記の放射性炭素年代測定結果に、考古学で用いる年代把握のための手法である地層累重の法則と土

器型式の情報を与えることとする。OxCalプログラム中に実装されている¹⁴Cベイズ推定の様々なモデルから、測定資料情報の特徴に適した制約モデルを選択することが肝要である。

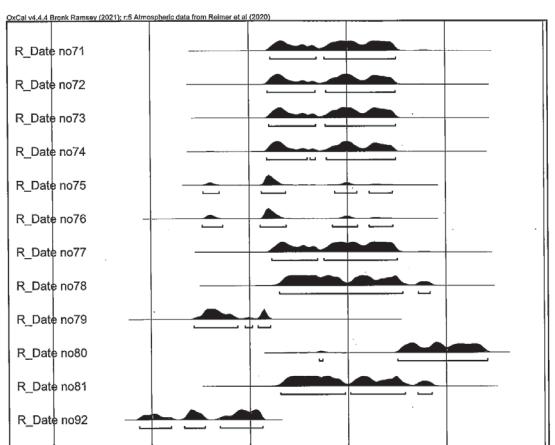
ベイズ推定は、条件付き確率を算定するためのベイズ定理に基づき、様々な条件を付与しながら、より尤もらしい解を導き出していく統計手段のことである。¹⁴Cベイズ推定は、データの持つ数値情報のみならず、データ以前の情報なども加味し、統計計算に反映させることで、より高度な年代測定の解析に応用できる手法である(大森他2012)。放射性炭素年代におけるベイズ推定の場合、確率として与えられる較正年代に、考古学的な前後関係を利用した制約を与えながら、導き出したいイベントの暦年代について、多様なモデルによる多角的な視点から検証することになる。

次章では、実際に考古学的資料を用いて解析を行う。考古学的な前後関係として層序の前後関係、及び考古学的な型式学を利用し制約を与えることとする。層序の前後関係では、地層累重の法則を利用した堆積モデルを用いる。また、型式学では土器型式を利用し、相対的な順序やまとまりを表すモデルで新旧関係に制約条件を与えることとした。

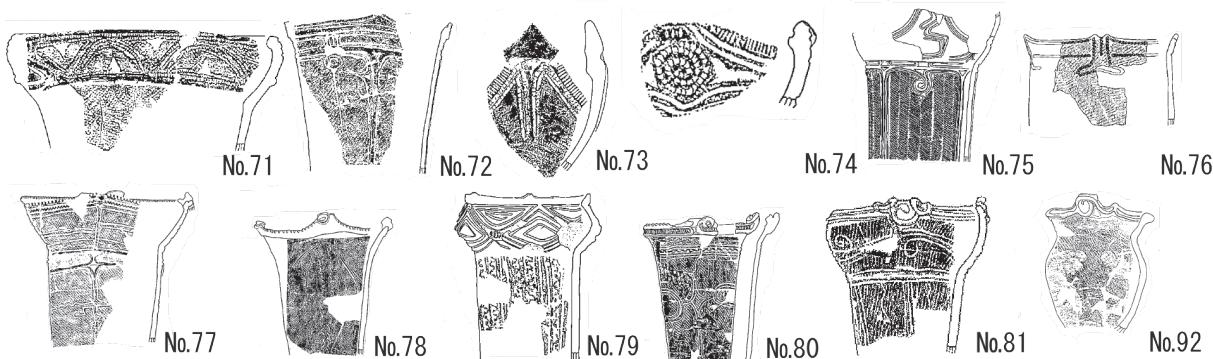
3 実験と解析

第2図には、解析で対象とした磐梯町・猪苗代町に所在する法正尻遺跡出土資料12点を掲載した。さらに、表2には、土器型式と出土層位との対比関係をまとめた表を作成した。

土器は、L I、L II、L III bより出土している。L I下部から出土しているのは、No.74(大木7a式)、No.75(大木7b式)である。L II出土は、No.76・79(大木7b式)である。L III b中部から出土しているの



第1図 測定資料マルチプロット図



第2図 測定資料土器(法正尻遺跡)

表1 測定資料一覧

測定No.	紀要2016No.	報告書図No.	型式名	採取部位	グリッド	層位	年代値(yrBP)	較正年代(cal bc)Intcal13	較正年代(cal bc)Intcal20
71	11	677-1	大木7a	口縁部内面	テ31	L III b 中部	4516±29	3354 (32.1%) 3263 3245 (63.3%) 3101	3357 (30.9%) 3263 3247 (64.5%) 3101
72	12	677-4	大木7a	口縁部外側	セ57	L III b 下部	4529±29	3360 (32.2%) 3264 3241 (63.2%) 3103	3363 (31.4%) 3265 3244 (64.1%) 3102
73	13	679-2	大木7b	口縁部外側	サ46	L III b	4522±27	3355 (31.2%) 3264 3241 (64.2%) 3103	3360 (30.3%) 3265 3245 (65.2%) 3102
74	14	679-10	大木7a	口縁部外側	ケ・コ49	L I 下部	4533±28	3362 (24.1%) 3308 3303 (7.3%) 3264 3240 (64.0%) 3104	3365 (30.1%) 3282 3276 (1.7%) 3266 3243 (63.7%) 3102
75	15	689-1	大木7b	胴部上位外側	オ49	L I 下部	4478±26	3339 (56.5%) 3207 3196 (34.8%) 3087 3058 (4.1%) 3031	3340 (54.0%) 3205 3199 (36.7%) 3087 3058 (4.7%) 3031
76	16	694-4	大木7b	口縁部内面	ヒ18	L II	4582±29	3498 (17.3%) 3454 3379 (54.5%) 3327 3219 (12.9%) 3174 3161 (10.7%) 3119	3496 (17.8%) 3454 3379 (55.1%) 3326 3231 (14.1%) 3180 3157 (8.4%) 3108
77	17	704-1	大木7b	口縁部内面	サ44	L III b 中部	4512±27	3351 (31.9%) 3263 3246 (63.5%) 3100	3356 (30.4%) 3162 3249 (65.0%) 3100
78	18	705-1	大木7b式期	口縁部内面	ト29	L III b 中部	4480±26	3339 (57.2%) 3205 3197 (35.3%) 3089 3052 (2.4%) 3034	3340 (91.5%) 3089 3057 (3.9%) 3033
79	19	718-3	大木7b	口縁部内面	セ44	L II	4635±27	3514 (74.9%) 3423 3404 (0.7%) 3399 3385 (19.8%) 3356	3514 (74.1%) 3425 3410 (3.4%) 3396 3384 (18.0%) 3359
80	20	749-1	大木8a	口縁部外側	ソ34	L III b 下部	4400±27	3095 (95.4%) 2921	3260 (0.8%) 3253 3100 (94.7%) 2916
81	21	749-6	大木8a	口縁部内面	二32	L III b 下部	4475±26	3338 (56.3%) 3208 3195 (33.5%) 3086 3061 (5.6%) 3029	3339 (53.8%) 3207 3196 (35.8%) 3085 3059 (5.9%) 3030
92	32	751-1	大木8a	口縁部内面	ス49	L III b 中部	4716±28	3632 (29.9%) 3564 3536 (20.9%) 3496 3461 (44.6%) 3376	3629 (21.8%) 3561 3534 (23.8%) 3492 3462 (49.9%) 3376

は、No.71(大木7a式)、No.77・78(大木7b式)、No.92(大木8a式)である。L III b 下部から出土しているのは、No.72(大木7a式)、No.80・81(大木8a式)である。No.73(大木7b式)については、L III b の中からの出土である。

法正尻遺跡は、丘陵上に立地し緩斜面に包含層が堆積している。さらに地区ごとに土質や堆積環境が異なっていると報告されている((財)福島県文化センター1991)。各層の特徴は、以下のとおりである。

L Iは表土であり、耕作による攪乱が著しい。L IIは標高の低い地区に堆積しているため、各時期の遺物が出土する。L III aは限られた地区にのみ堆積している層であり、本報告で対象とした資料は含まれていない。L III bは、ほぼ遺跡全体に認められる層であり、大木6式から大木8a式土器が出土している。これらのことから、法正尻遺跡は層位による遺物の年代差が明

確ではなく、層序と土器型式との関係から土層の年代を検討する対象としては適切ではない遺跡であると理解している。しかし、本報告は¹⁴Cベイズ推定の利用を主眼としているため、層序と出土土器との関係が希薄であることを認識した上で実験的に試みていることを理解していただきたい。

層序と土器型式について¹⁴Cベイズ推定を用いて解析した。解析には、出土層位に上下関係のある遺物については、Sequence モデルを用いた。同層

表2 土器型式と層序の対比関係

層位		大木7a	大木7b	大木8a
L I	下部	No.74	No.75	
L II			No.76・79	
L III b	上部			
	中部	No.71	No.77・78	No.73
	下部	No.72		No.80・81

序出土資料のまとまりについては、Phase モデルを選択した。同一層序の¹⁴C ベイズ推定解析図(第3図)と土器型式の¹⁴C ベイズ推定解析図(第4図)に測定した結果をまとめた。各図の白抜きの曲線は¹⁴C 年代測定値による確率分布、濃い色の部分は¹⁴C ベイズ推定による確率分布をそれぞれ示している。

(1) 層序

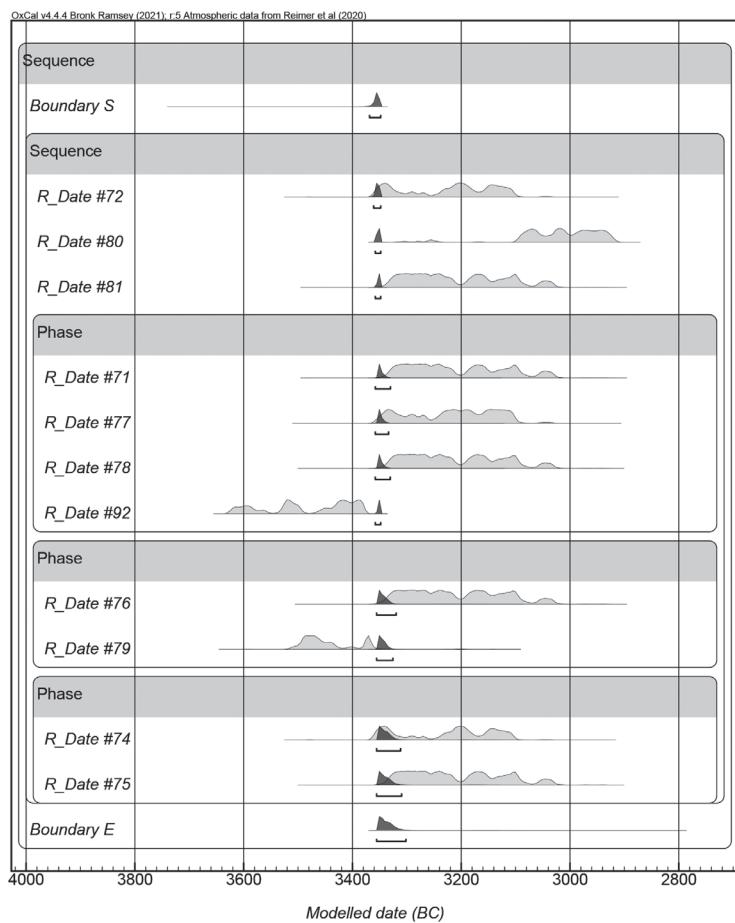
第3図には、各層より出土した資料のまとまりの新旧関係を制約条件として解析した結果を図示した。それぞれ下から L I 下部、L II、L III b 中部、L III b 下部の¹⁴C ベイズ推定による年代値である。L I 下部の暦年代値は3360–3300cal BC、L II は3360–3320cal BC、L III b 中部の4点は3350–3330cal BC、L III b 下部の3点は3350–3340cal BC という結果を得た。

この解析結果は、新しい層序である L I 下部に大木 7 a 式(No.74)・大木 7 b 式(No.75)の古い土器の年代値が含まれていること、また古い層序である L III b 下部中に大木 8 a 式(No.80・81)の新しい土器の年代値が含まれていることで、層序と土器型式との関係が整合的ではない。解析対象とする資料の選定が重要であることを認識する結果となった。

(2) 土器型式

第4図には、土器型式のまとまりの¹⁴C ベイズ推定結果を示した。大木 7 a 式は3350–3100cal BC 頃(第4図①)の範囲となった。この暦年代値は、¹⁴C ベイズ推定解析を用いる以前の範囲値と大きな差は認められなかった。大木 7 b 式は3350–3100cal BC の年代範囲を示すが、年代値のピークは3350–3300cal BC 頃に収斂する(第4図②)。大木 8 a 式は3300–2900cal BC 頃の年代範囲が示された(第4図③)。大木 8 a 式のピーク値は比較的3000cal BC 寄りの値を示している。

測定した大木 7 b 式 6 点は、測定資料数の半分を占める。それら 6 点の資料の最も共通したピーク値が、3350–3300cal BC であったのだろう。それぞ



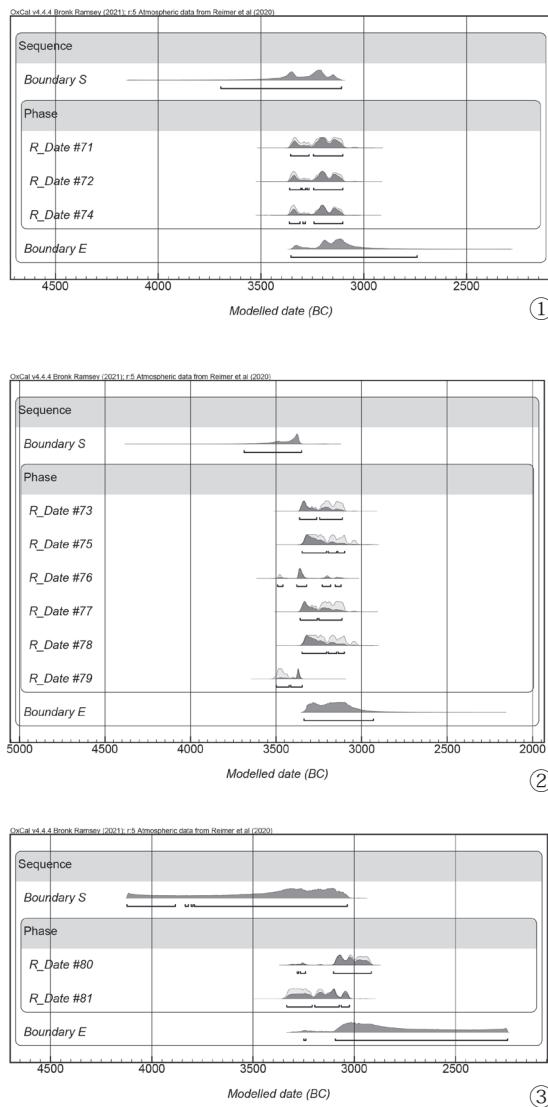
第3図 層序の¹⁴C ベイズ推定解析

れの資料の年代範囲が広くても多くの資料をまとまりで解析することで、絞り込める時期はより小さくなるようだ。

大木 7 b 式の推定年代値を軸に前後の土器型式の年代値を推定すると、下記の通りになる。大木 7 a 式は型式学的編年において、大木 7 b 式の暦年代値以前であることから、3350cal BC 以前よりも古い暦年代値が尤もらしい値となる。大木 8 a 式の年代値は、推定された最も古い暦年代値が3300cal BC である。大木 7 b 式よりも新しい年代値であるため、この制約条件のみでのさらなる絞り込みは、難しい。これら新たに与えた制約情報で、わずかだが絞り込みが認められた。今後、制約条件次第で、より精度の高い年代値が提供できると考えられる。

4 結果と考察

本報告では、法正尻遺跡出土資料12点に焦点を当て、¹⁴C ベイズ推定を用いた実験的結果を報告した。¹⁴C 年代測定と¹⁴C ベイズ推定を用いた暦年代値では、¹⁴C ベイズ推定を用いることで、暦年代値が



第4図 土器型式の¹⁴Cベイズ推定解析

(①: 大木7a式 ②: 大木7b式 ③: 大木8a式) 絞り込まれたり、ピーク範囲に変化が生じることが認められた。層序の解析については、今回対象とした資料が層序と土器の関係性が希薄であったため、整合的な暦年代値とはならなかつた。層中の土器型式の出土情報や包含層の堆積情報などもプログラムに挿入することで、この問題は解消できるのかもしれない。今後の課題である。土器型式の解析では、中間にある土器型式の暦年代値が絞り込まれたことで、その前後の土器型式の暦年代値についても、ある程度限定できる結果となつた。

日本考古学は、土器研究が盛んであり、精緻な土器型式による編年が各地域・各年代において、ほぼ整備されている。そのため、ベイズ統計学を利用せずとも、相対年代により年代論について検討できる材料が豊富であることも承知している。しかし、

¹⁴Cベイズ推定を用いたことで広範な暦年代値が、より絞り込むことができる可能性が見えてきた。今回の実験的な取り組みでは、放射性炭素年代測定をベイズ推定解析に応用し、その有効性の一端を示すことができたと考える。県内の報告において、これまでベイズ推定を年代解析に応用した例はなく、本報告が嚆矢となるであろう。また、国内にも類例は少ない。今後さらに、¹⁴Cベイズ推定を利活用した研究も進んでいくものと思われる。

今後の年代測定では、単なる¹⁴C年代測定を行うだけでなく、¹⁴Cベイズ推定を行なうための戦略的な年代測定の試料選択を行うことを提言したい。特に、較正曲線が平坦になる縄文時代中期前葉から中期中葉及び縄文時代晩期後葉から弥生時代前期にかけての2時期や土器編年が曖昧な時期に係る遺跡では、積極的に利用すべきであろう。¹⁴Cベイズ推定に考古学的情報・手法を取り入れることで、土器型式ばかりでなく遺跡ごとや遺跡内での運用も可能となり、暦年代値による編年がさらに進んでいくものと思われる。年代測定を得られた単なる値として報告するばかりではなく、¹⁴Cベイズ推定を用いることで、年代構築のための有益な情報が得られるのではないかと考えている。¹⁴Cベイズ推定と¹⁴C年代測定の結果を有効に利用することができれば、年代学研究を推し進める要素になると考えている。

さらに過去の年代測定を含めた理化学分析の成果を現代の目で再検討することで、新たな事実を掘り起こすことが可能になるであろう。

本報告は、¹⁴Cベイズ推定から得られた暦年代値を積極的に活用し評価したものである。実際に、今回示した実験的な試みは、単純な解析プログラムを使用したに過ぎない。適正な解析モデルの使用法や制約条件の与え方など、検討すべき課題は残る。

謝辞

本稿を草するにあたり、立命館大学総合科学技術研究機構古気候学研究センター長 中川毅氏には、¹⁴Cベイズ推定を利用することの有効性とOxCalプログラムの利用法をご提言いただき、本稿を執筆するきっかけとなった。また、山形大学高感度加速器質量分析センター長 門叶冬樹氏には、ベイズ推定プログラムに関して貴重なご助言をいただいた。ここにお名前を記して感謝の意を表する。

【註】

- 註1 下記のような展示公開、講演会・講座を開催した。
- 平成 26 (2014) 年度
講演会：東京大学総合研究博物館の吉田邦夫氏による「考古遺物の年代測定—¹⁴C 年代測定を知り尽くす—」
- 平成 27 (2015) 年度
企画展：「縄文土器の年代—その古さを読み解く—」
講演会：(株) 加速器分析研究所の早瀬亮介氏による「縄文早・前期土器群の AMS 年代測定」、まほろん職員山内幹夫により「縄文土器の地域性—浜通りの特性を中心に—」
- 平成 28 (2016) 年度
企画展：「縄文土器の年代II—縄文中期の世界に迫る—」(前期展)
講演会：筆者による「縄文早期の土器群について」、「縄文土器の年代ーススとコグからなぞをとく—」
展示：プロムナードギャラリー展示、常設展示「みんなの研究広場」
- 平成 29 (2017) 年度
企画展：「縄文土器の年代II—縄文中期の世界に迫る—」(後期展)
講演会：(公財) とちぎ未来づくり財団の塚本師也氏による「縄文時代中期の世界について」、筆者による「縄文時代の年代と地域性」、「縄文土器からわかる地域間交流」、
展示：プロムナードギャラリー展示
- 平成 30 (2018) 年度
プロムナードギャラリー展示、常設展示「みんなの研究広場」・「話題の遺跡」
- 平成 31 (2019) 年度
企画展：「時を測る—縄文・弥生時代の年代—」
講演会：(株) 加速器分析研究所の早瀬亮介氏による「縄文土器編年と放射性炭素年代測定—縄文時代早・前期を中心に—」、立命館大学総合科学技術研究機構古気候学研究センター中川毅氏による「気候変動と人類の歴史—おだやかな時代はいつまで続くのか—」、筆者とまほろん職員笠井崇吉による「縄文時代・弥生時代の年代」
展示：プロムナードギャラリー展示
- 註2 5か年の成果のまとめ及び報告の修正は、「まほろん収蔵資料の放射性炭素年代測定及び炭素・窒素安定同位体比分析の5か年の総括報告」『福島県文化財センター白河館研究紀要 2018』2019に記載されている。

【引用・参考文献】

- Bronk Ramsey C 2009 Bayesian of Radiocarbon Dates. Radiocarbon 51 (1), 337-360
- K. TUKAMOTO・F. TOKANAI・T. MORIYA・H. NASU 2020 「BUILDING A HIGH - RESOLUTION CHRONOLOGY AT THE MAYA ARCHAEOLOGICAL SITE OF EL PALMAR, MEXICO」『archeometry』
- 渥美晋・米田穣・柴田康行・中井泉 2008 「中央アナトリア、カマシ・カレホニック遺跡における青銅器時代の放射性炭素年代による編年」『考古学と自然科学』日本文化財科学会
- 大森貴之・中村俊夫 2012 「青銅器時代におけるアナトリア地域の放射性炭素年代測定」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 XXIII』
- 笠井崇吉 2018 「弥生時代を中心とした土器型式と¹⁴C 年代測定—福島県文化財センター白河館収蔵資料から—」『福島県文化財センター白河館 研究紀要 2017』福島県文化財センター白河館
- 金崎由布子・大森貴之 2019 「アンデス文明形成後期社会の変容—「チャビン現象」終了年代の遺跡間・地域間比較をもとに—」『年報人類学研究』第 9 号
- 北川浩之 2014 「炭素 14 年代法における高精度年代決定と編年モデル構築」『ぶんせき』日本分析化学会
- 小林謙一 2017 『縄文時代の実年代 - 土器型式編年と炭素 14 年代

-』同成社

- (公財) 福島県文化振興財団・福島県文化財センター白河館編 2016 『平成 27 年度 企画展図録 縄文土器の年代—その古さを読み解く—』福島県文化財センター白河館
- (公財) 福島県文化振興財団・(株) 加速器分析研究所 2016 「まほろん収蔵資料の AMS 年代測定結果の報告 (平成 26・27 年度分)」『福島県文化財センター白河館 研究紀要 2015』福島県文化財センター白河館
- (公財) 福島県文化振興財団・福島県文化財センター白河館編 2017 『平成 28 年度 企画展図録 縄文土器の年代 II - 縄文中期の世界に迫る -』福島県文化財センター白河館
- (公財) 福島県文化振興財団・(株) 加速器分析研究所 2017 「まほろん収蔵資料の AMS 年代測定結果の報告 (平成 28 年度分)」『福島県文化財センター白河館 研究紀要 2016』福島県文化財センター白河館
- (公財) 福島県文化振興財団・(株) 加速器分析研究所 2018 「まほろん収蔵資料の AMS 年代測定結果の報告 (平成 29 年度分)」『福島県文化財センター白河館 研究紀要 2017』福島県文化財センター白河館
- (公財) 福島県文化振興財団・(株) 加速器分析研究所 2019 「まほろん収蔵資料の AMS 年代測定結果の報告 (平成 30 年度分)」『福島県文化財センター白河館 研究紀要 2018』福島県文化財センター白河館
- (財) 福島県文化センター 1991 「法正尻遺跡」『東北横断自動車道 遺跡調査報告』11
- 坂本稔・横山操 2021 『樹木・木材と年代研究 国立歴史民俗博物館研究叢書 8』朝倉書店
- 中村俊夫 2007 「加速器質量分析による¹⁴C 年代測定の高精度化に向けての課題と検討」『国立歴史民俗博物館研究報告』第 137 集
- 今村峯雄 2007 「炭素 14 年代較正ソフト RHC3.2 について」『国立歴史民俗博物館研究報告』第 137 集
- 三浦武司 2016 「縄文時代早期から羽状縄文土器成立期の¹⁴C 年代測定—福島県文化財センター白河館収蔵資料から—」『福島県文化財センター白河館 研究紀要 2015』福島県文化財センター白河館
- 三浦武司 2017 「縄文時代前期後葉から中期後葉の¹⁴C 年代測定—福島県文化財センター白河館収蔵資料から—」『福島県文化財センター白河館 研究紀要 2016』福島県文化財センター白河館
- 三浦武司・(株) 加速器分析研究所 2019 「まほろん収蔵資料の放射性炭素年代測定及び炭素・窒素安定同位体比分析の 5 か年の総括報告」『福島県文化財センター白河館 研究紀要 2018』福島県文化財センター白河館
- 山内清男 1939 ~ 1941 『日本先史土器図譜』1967 復刻版 先史考古学会
- 吉田邦夫編 2012 『アルケオメトリア 考古遺物と美術工芸品を科学の目で透かし見る』東京大学総合研究博物館
- 吉野滋夫・佐藤啓・國井秀紀・三浦武司・山本友紀・柿沼梨沙 2015 「まほろん収蔵資料に関する AMS 年代測定結果の集成」『福島県文化財センター白河館 研究紀要 2014』福島県文化財センター白河館

【表・図】

- 表 1・2、第 1・3・4 図 筆者が作製した。
- 第 2 図 (公財) 福島県文化振興財団・(株) 加速器分析研究所 2017 「まほろん収蔵資料の AMS 年代測定結果の報告 (平成 28 年度分)」『福島県文化財センター白河館 研究紀要 2016』の表 1 より、抜粋、一部改変して作図した。