

東京都下宅部遺跡出土土器付着物の 炭素14年代測定研究

——関東地方縄紋時代後・晩期の実年代——

Radiocarbon Dating of Charred Materials on the
Jomon Pottery of Simoyakebe-SITE in Tokyo Metropolis

小林 謙 一

要 旨

東京都下宅部遺跡出土の縄紋時代後半期の土器付着物試料について、AMS炭素14年代測定およびIRMS安定同位体比測定をおこなった。下宅部遺跡は、縄紋時代後・晩期の低湿地遺跡として著名である。なお、以前にも年代測定をおこなっているので、今回の成果と併せ検討する。

測定の結果、下宅部遺跡では縄紋後半期の各型式の年代として、整合的な年代が測定された。併せて同位体分析をおこなった結果、海洋リザーバー効果の影響がある可能性をもつ試料は少なかった。下宅部遺跡での海産物の利用は多くはないと考えられる。

キーワード

縄紋時代, 年代決定, 炭素14年代測定, 安定同位体比, 土器付着物

1. 研究の目的と方法

筆者は、日本列島の先史時代である縄紋時代の実年代による高精度年代体系化を進めてきた。土器型式編年研究による相対的年代序列の成果を基としてきた縄紋文化の段階区分について、実年代での記述が求められている。土器付着物や遺跡出土の木材、炭化材、漆、種実等植物遺体などの炭

素14（以下 ^{14}C ）年代測定をおこない、較正年代を検討して、実年代での年代体系化を完成させる必要がある（小林 2019a など）。同時に、土器付着物では、安定同位体比と炭素量・窒素量の比率を検討することで、調理具としての土器を用いて、縄紋人が何を煮炊きしたか、調理物・内容物の由来についても検討してきた。人文科学研究所での共同研究において以下のように、研究を継続してきた。まずは神奈川県内の縄紋・弥生時代遺跡を対象とした年代研究（小林 2015, 2016, 2017a, 2018）を重ね、その後は、地域を変え兵庫県（小林 2019b）、徳島県（小林 2020）、新潟県（小林 2021）、佐賀県（小林 2022）の縄紋遺跡を取り上げて年代測定例を示してきた。本稿では、改めて関東地方に戻り、東京都下宅部遺跡の縄紋後期および晩期土器付着物試料について年代測定結果を検討する。なお、今回検討する試料は、科学研究を次世代に伝えるための事業である「ひらめきときめきサイエンス」事業の成果でもある。

2. 測定試料について

下宅部遺跡は東京都東村山市に所在し、東村山市教育委員会によって発掘調査されている。縄紋時代後・晩期の土器・漆製品などが大量に出土した低湿地性の遺跡で、水場遺構や多量の木製品や編組製品が出土した遺跡として著名である。その年代を明らかにするため、土器付着物の ^{14}C 年代および同位体比測定をおこなっている（国立歴史民俗博物館年代測定研究グループほか 2006・工藤ほか 2007ab, なお、西本編 2009にも提示¹⁾）。その際の測定は、試料記号 TTHS として、出土土器から多量の付着物を採取したが、結果的に図 1・2 に示す40個体から内外・再測定を含めて45測定をおこなった。うち、2個体は漆要器の内面付着生漆（TTHS-NG22・25）で残り43測定（内面付着（aとする）10個体分12測定、外面付着（bとする）31個体分31測定）は土器付着炭化物である。その土器付着炭化物43例のうちの3測定は同一個体

表1 測定対象資料一覧

TTHS-	報告書／図	部位	土器型式	時期
327	図2-666-VI-258	外	安行3d	B4
337	図作成 rt再測定	外	加曾利B3	K6
342b	図作成	外	加曾利B3	K6
336ab	図作成 a内, b外	内外	加曾利B3	K6
338	図作成 rt再測定	内	加曾利B3～高井東	K6・7
339ab	図作成 a内, b外	内外	高井東	K7
330ab	図2-671-VI-327 a内, b外	内外	大洞B?	B1
340a	TTHS72 (口縁外面) 同個	内	安行3bか	B2
341	TTHS74 (未測定) 同個	外	安行3b	B2
329a	図2-671-VI-328	内	大洞BC	B2
335	図作成	外	晩期粗製	B3
334	図作成	外	晩期粗製	B3
311ab	図2-667-VI-261 a内, b外	内外	晩期中葉か	B3
326a	図2-666-VI-257	内	安行3d	B4
324a	図2-666-VI-255	内	安行3d	B4
302	図2-126-I-341	外	晩期末-弥生前期	Y
308	図作成	外	弥生前期? 条痕	Y

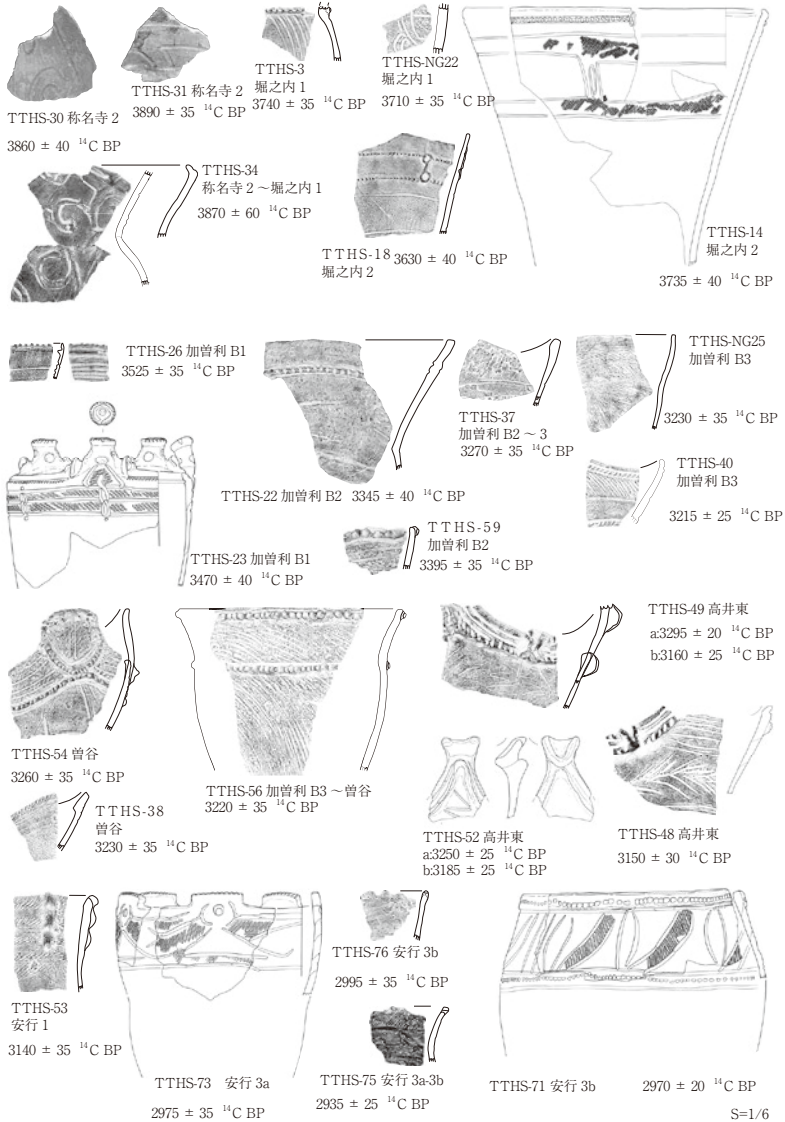
から内外面の付着物を測定 (TTHS-49・52・69), TTHS-49a (r)・69a (r) は同一試料を再度測定した測定例である (国立歴史民俗博物館年代測定研究グループほか2006・工藤ほか2007a)。これらについては、すでに報告済であるが、AMS測定結果については図1・2, 後述するIRMS測定結果については参考値として表4に示す。なお、土器付着物以外に、出土種実、水場遺構構成材などの植物遺体を測定しているが、既報告を参照されたい (工藤ほか2007b)。

その後、2020・2021年度に「ひらめきときめきサイエンス」事業 (以下「ひらとき事業」と略す) として、改めて東村山市教育委員会の許可を得て、

縄紋時代後・晩期の土器付着物試料について、中央大学においてひらとき事業参加者が採取し、2020年度および2021年度、2023年度の3回に分けてAMS¹⁴C年代測定およびIRMS安定同位体比測定をおこなった。

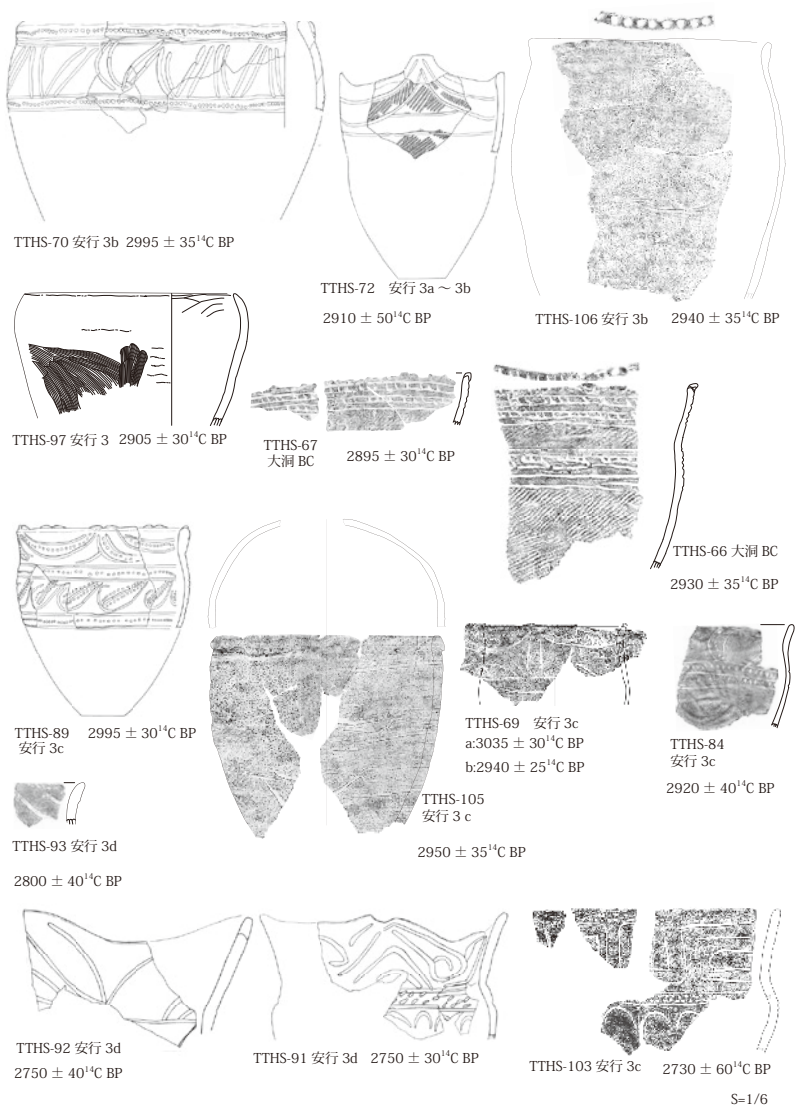
今回新たに採取し、測定結果を得た試料が付着していた土器を表1および図3に示す。これらは、TTHSを試料記号とし、301から任意にナンバーを付して、小林が指導しつつ「ひらとき事業」参加の小中学校生徒が採取した。そのうち、年代測定に適したものと判断した17個体23測定（内面（a）9個体分10測定、外面（b）12個体分13測定）の土器付着物について年代および同位体比の測定をおこなった。このうち、4個体（TTHS-330ab・311ab・336ab・339ab）については内外の付着物を採取し、かつ別の2個体については特に付着物が多い土器であったため「ひらとき事業」の体験学習の都合上、2年度にわたり同一土器から採取し再測定をおこなった（TTHS-337rt・338rt）。図3には、報告書に土器の図が掲載されているものを上段に、報告書未掲載資料については中央大学考古学研究室で拓本断面作成をおこない図化したものを下段に掲載する。このうち、TTHS-340a（内面）は、既測定試料TTHS-72（外面）と同一個体で部位が異なる試料であることが、TTHS-341（外面）は未測定試料TTHS-74（外面）と同一個体で同じ外面付着物を再採取した試料であることが後から判明した。以上より、通算すると、これまで以下宅部遺跡出土資料から、私に関係して測定した土器付着物試料は、56個体、68測定と数えられる（うち、2個体は漆、7個体は内外面の測定、5測定は再測定）。以下では、「ひらとき事業」による新規の測定試料について報告した上で、年代的考察において既報告分を含めて検討することとする。

東京都下宅部遺跡出土土器附着物の炭素14年代測定研究



工藤ほか 2007a を改変

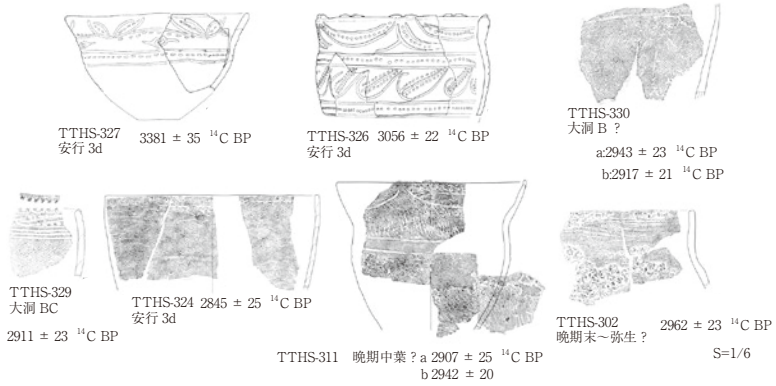
図1 東京都東村山市下宅部遺跡の測定試料1



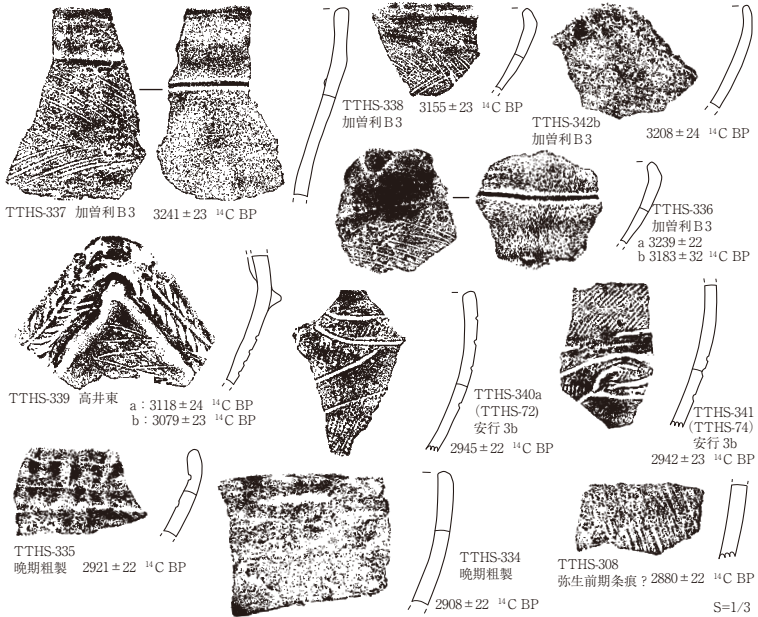
工藤ほか 2007a を改変

図 2 東京都東村山市下宅部遺跡の測定試料 2

東京都下宅部遺跡出土土器付着物の炭素14年代測定研究



新規測定試料 1 (歴博年代グループほか 2006改変)



新規測定試料 2 (新たに図化した資料)

図3 東京都東村山市下宅部遺跡の新規測定試料

3. 測定試料の前処理・化学処理工程

これらの測定試料の前処理²⁾は、小林が国立歴史民俗博物館年代測定資料実験室においておこなった。前処理については、これまでの方法によっ

表2 試料の前処理状況 (単位は mg)

	採取 mg	処理 mg	回収 mg	回収率 (%)
TTHS-302	65	65	3.87	6.0
TTHS-306	30	30	0	
TTHS-308	61	61	16.07	26.3
TTHS-311a	49	49	1.36	2.8
TTHS-311b	58	58	2.5 (0.67)	4.3
TTHS-323	16	16	0	
TTHS-324a	149	149	69.01	46.3
TTHS-325	23	23	0	
TTHS-326	109	109	39.32	36.1
TTHS-326	31	31	0	
TTHS-327	48	48	3.03	6.3
TTHS-329	76	76	19.48	25.6
TTHS-330a	67	67	18.37	27.4
TTHS-330b	95	95	35.11	37.0
TTHS-334	101	58	24.74	42.7
TTHS-335	102	51	4.7	9.2
TTHS-336b	177	70	1.05	1.5
TTHS-336a	16	16	2.76	17.3
TTHS-337	108	55	14.77	26.9
TTHS-338	149	39	14.64	37.5
TTHS-339a	144	111	73.24	66.0
TTHS-339b	34	34	13.55	39.9
TTHS-340a	36	36	3.48	9.7
TTHS-341	21	21	4.87	23.2
TTHS-342a	10	10	0.53	5.3
TTHS-342b	31	31	7.67	24.7

ている。アセトン中で5分間の超音波洗浄をおこなった後、クロロホルムとメタノールを容量2対1で混合した溶媒（CM混液）による30分間の還流2回、アセトン中で5分間の超音波洗浄1回をおこなった。この操作で汚染の基となる油分や接着剤などの成分が除去されたと判断できる。

酸・アルカリ・酸（AAA: Acid Alkali Acid）処理として、酸処理では、1 mol/l（1 M）の塩酸（HCl）を用いて80度で60分の処理を2回おこなった。アルカリ処理では各1 Mの水酸化ナトリウム（NaOH）水溶液を用いて、各60分の処理を、溶液に着色がほぼなくなるまで4～5回おこなった。TTHS-311bはミスにより一部取りこぼした。TTHS-306, 323, 325, 326, 336aについてはアルカリに溶解し、炭素が回収できなかった。それ以外は、前処理の結果、十分な炭素量が回収され、それぞれの試料は良好な炭素を含み測定に適すると判断した（表2）。

4. IRMSによる安定同位体比の測定

年代測定に十分な炭素量以上に回収された土器付着物については、前処理した試料を分取して、 ^{14}C 年代測定と別に、IRMS (Isotope Ratio-Mass Spectrometry) によって炭素と窒素の安定同位体比、炭素および窒素の重量含有率の測定は、2020・2021年度に東京大学総合研究博物館放射性炭素年代測定室において、Thermo Fisher Scientifics社製のFlash2000元素分析を前処理装置として、ConFlo IVインターフェースを経由して、Delta V安定同位体比質量分析装置で測定する、EA-IRMS装置を用いておこなった。約0.5mgの精製試料を錫箔に包み取り、測定に供した。測定誤差は、同位体比が値付けされている二次標準物質（アラニン等）を試料と同時に測定することで標準偏差を計算した。通常の測定では、 $\delta^{13}\text{C}$ の測定誤差は0.2‰、 $\delta^{15}\text{N}$ の誤差は0.2‰である。

表3に示すように、炭素・窒素安定同位体比、炭素・窒素含有量とC/N

表3 安定同位体比・炭素窒素比

試料名	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	炭素濃度(%)	窒素濃度(%)	C/N比(%)
TTHS-302	-25.5	6.4	56.1	2.7	24.7
TTHS-308	-24.5	5.8	62.9	3.5	21.0
TTHS-324	-26.5	9.4	64.6	2.2	35.0
TTHS-326	-25.0	11.3	57.8	8.0	8.4
TTHS-329	-25.4	5.9	51.9	6.7	9.1
TTHS-330a	-25.8	4.4	59.2	4.5	15.5
TTHS-330b	-26.0	8.6	63.4	2.7	27.2
TTHS-334	-26.3	9.9	67.8	2.6	30.2
TTHS-335	-25.1	10.0	61.7	3.4	21.0
TTHS-337	-27.1	8.5	69.9	2.5	33.3
TTHS-338	-26.4	5.7	62.3	6.4	11.3
TTHS-338rt	-26.8	5.7	59.7	6.2	11.3
TTHS-339a	-26.1	6.2	69.6	6.1	13.3
TTHS-339b	-25.6	10.3	66.6	4.3	17.9
TTHS-340a	-27.0	7.2	46.9	4.6	11.9
TTHS-341	-25.7	10.4	60.5	3.1	23.0
TTHS-342b	-25.8	10.2	59.9	3.8	18.2

比(炭素・窒素モル比)を算出した³⁾。

なお別に既報告試料として土器付着物の安定同位体比の測定に表4に示す例がある(国立歴史民俗博物館年代測定研究グループ2006)。

以上のうち、安行3c式土器期胴内面付着物のTTHS-89は $\delta^{13}\text{C}$ 値が -23.2‰ 、安行3c式土器胴内面付着物のTTHS-103は $\delta^{13}\text{C}$ 値が -22.6‰ 、安行3d式土器口縁外面付着物のTTHS-92は $\delta^{13}\text{C}$ 値が -23.6‰ と重く、海洋リザーバー効果の影響を受けている可能性を検討する必要がある。

表4 既報告試料の安定同位体比

測定試料名	部位	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C (%)	N (%)	C/N
TTHS-3	胴外	-26.8	11.2	64.6	2.14	35.2
TTHS-14	口縁外	-25.5	12.0	61.9	2.26	31.9
TTHS-22	口縁外・胴外	-26.7	11.1	64.4	2.97	25.3
TTHS-23	口縁外	-26.2	11.1	62	3.08	23.5
TTHS-26	口縁外	-25.6	12.1	61.2	2.58	27.7
TTHS-31	胴外	-26.0	11.5	60.5	2.98	23.7
TTHS-34	胴内	-26.5	3.7	58	6.31	10.7
TTHS-37	口縁外	-26.3	10.1	64.7	3.05	24.7
TTHS-38	口縁外	-26.9	12.6	64.9	3.68	20.6
TTHS-53	口縁外	-26.1	10.2	61.1	3.05	23.4
TTHS-54	口縁外	-26.0	10.5	59.5	3.07	22.6
TTHS-56	口縁外	-26.0	12.5	61.2	3.79	18.8
TTHS-59	口縁外	-25.8	12.9	61.2	3.65	19.6
TTHS-66	胴内	-25.7	4.6	54.6	9.0	7.1
TTHS-67	口縁外	-26.2	9.1	62.8	3.2	23.0
TTHS-70	口縁外	-25.5	8.4	61.1	3.9	18.4
TTHS-72	口縁外	-25.9	10.0	63.7	4.1	17.9
TTHS-76	口縁外	-26.0	8.9	63.5	2.8	26.9
TTHS-89	胴内	-23.2	8.4	61.3	7.1	10.1
TTHS-91	口縁外	-26.6	9.3	66.6	2.1	37.9
TTHS-92	口縁外	-23.6	6.1	68.7	3.6	22.4
TTHS-97	胴内	-25.2	5.4	54.6	9.5	6.7
TTHS-103	胴内	-22.6	2.7	64.2	3.3	22.8
TTHS-105	胴外	-24.4	6.3	65.6	3.2	23.8

5. AMS測定および測定結果と較正年代

炭素精製およびグラファイト化は、東京大学総合研究博物館に委託し、石英ガラス製二重封管に酸化銅・サルフィックスとともに真空封入し、電

表5 グラファイト化の結果

試料名	試料重量 (mg)	グラファイト 化率 (%)	グラファイト 重量(mg)	Fe重量 (mg)	C/Fe比
TTHS-302	2.01	80.8	1.00	2.11	0.474
TTHS-308	2.28	89.8	1.29	2.16	0.597
TTHS-311a	1.19	104.6	0.61	2.01	0.303
TTHS-311b	0.53	86.3	0.134	4.24	0.032
TTHS-324	2.34	92.7	1.06	1.93	0.549
TTHS-326	2.01	87.9	1.03	2.02	0.510
TTHS-327	1.97	94.0	0.15	4.04	0.038
TTHS-329	2.27	79.8	0.96	2.15	0.447
TTHS-330a	2.22	89.6	1.19	2.10	0.567
TTHS-330b	2.41	80.0	0.95	2.04	0.466
TTHS-334	2.38	83.9	0.98	2.13	0.460
TTHS-335	2.28	84.9	1.14	1.93	0.591
TTHS-336a	2.27	83.7	0.102	4.09	0.025
TTHS-336b	0.62	91.7	0.17	3.99	0.042
TTHS-337	2.43	82.8	0.98	1.94	0.505
TTHS-337rt	2.61	77.0	1.01	2.12	0.476
TTHS-338	2.44	60.5	0.64	1.95	0.328
TTHS-338rt	2.28	86.8	1.20	2.17	0.553
TTHS-339a	2.17	81.6	1.15	2.00	0.575
TTHS-339b	2.23	85.2	1.20	1.97	0.609
TTHS-340a	2.28	84.0	1.08	2.01	0.537
TTHS-341	2.16	83.6	1.05	2.03	0.517
TTHS-342b	2.19	81.3	1.11	1.95	0.569

気炉で850℃に3時間加熱 (Minagawa et al. 1984), 発生した二酸化炭素を真空ラインを用いて精製した。二酸化炭素からグラファイトへの還元は, コック付き反応管に鉄触媒約 2 mg および水素 (炭素モル数の2.2倍相当) を封入して, 650℃で6時間加熱して実施した (Kitagawa et al. 1993)。

TTHS-327については、燃焼後、炭素精製の際に確認された炭素量が400 μg 以下であったため、同等量の標準試料を用意し、微量炭素用のプロトコル (大森ら 2017) にてセメントイトを生成し、AMS測定をおこなった。表中のグラファイト量欄にはセメントイト生成後の秤量値ではなく、炭素精製の際に見積もられた炭素量を記した。

表 6 ^{14}C 年代測定の結果

試料名	機関番号	^{14}C 年代 (BP)	補正用 $\delta^{13}\text{C}$ (‰)
TTHS-302	TKA-24196	2962 \pm 23	-27.0 \pm 0.9
TTHS-308	TKA-24197	2880 \pm 22	-26.3 \pm 0.7
TTHS-311a	TKA-24198	2907 \pm 25	-33.2 \pm 0.9
TTHS-311b	TKA-27143	2942 \pm 20	-22.0 \pm 0.3
TTHS-324	TKA-24199	2845 \pm 25	-32.1 \pm 0.8
TTHS-326	TKA-24205	3056 \pm 22	-25.3 \pm 0.8
TTHS-327	TKA-24231	3381 \pm 35	-24.3 \pm 0.2
TTHS-329	TKA-24200	2911 \pm 23	-30.9 \pm 0.8
TTHS-330a	TKA-24201	2943 \pm 23	-28.8 \pm 0.9
TTHS-330b	TKA-24202	2917 \pm 21	-29.4 \pm 0.6
TTHS-334	TKA-22755	2908 \pm 22	-27.0 \pm 0.4
TTHS-335	TKA-22756	2921 \pm 22	-23.9 \pm 0.3
TTHS-336a	TKA-27144	3239 \pm 22	-23.4 \pm 0.3
TTHS-336b	TKA-22825	3183 \pm 32	-28.7 \pm 0.6
TTHS-337	TKA-22757	3241 \pm 23	-21.7 \pm 0.5
TTHS-337rt	TKA-24203	3251 \pm 23	-28.0 \pm 0.8
TTHS-338	TKA-22758	3155 \pm 23	-27.2 \pm 0.3
TTHS-338rt	TKA-24204	3146 \pm 23	-29.2 \pm 0.8
TTHS-339a	TKA-22759	3118 \pm 24	-26.2 \pm 0.5
TTHS-339b	TKA-22760	3079 \pm 23	-25.2 \pm 0.3
TTHS-340a	TKA-22761	2945 \pm 22	-25.4 \pm 0.4
TTHS-341	TKA-22762	2942 \pm 23	-26.4 \pm 0.4
TTHS-342b	TKA-22763	3208 \pm 24	-28.1 \pm 0.4

AMS (Accelerator Mass Spectrometry) 測定は、東京大学総合研究博物館（機関番号TKA）の加速器質量分析装置（AMS）を用いて2020年10月5日（プロジェクトID:P-20032a）、2020年11月19日（プロジェクトID:P-20032b）、2021年10月5日（プロジェクトID:P-21050a）、2023年4月（プロジェクトID:23013）の4回に分けて、TTHS-334～342を2020年度、TTHS-302、308、311、327、337rt、338rtを2021年度、前処理をやり直した311b、336aを2023年度におこなった。なお、TTHS-337rtおよび338rtは、2021年度「ひらとき事業」において、2020年度と同じ土器破片・部位から採取した付着物を再測定したものである（表6）。慣用¹⁴C年代（BP年代）⁴）を算出するために、同位体比分別の補正に用いる $\delta^{13}\text{C}$ 値はAMSにて同時測定した値を用いている（Stuiver and Polach 1977）。

すでに報告している土器付着物試料の年代測定結果については、表7に示すとともに較正年代分布を後述する図7・8に、今回の測定分とともに示す。

¹⁴C年代の誤差は1標準偏差を示す。

表7 既測定試料の¹⁴C年代測定結果

試料名	機関番号	時期	¹⁴ C (BP)
TTHS-30	Beta193771	K 1 - 3	3860 ± 40
TTHS-31	MTC06221	K 1	3890 ± 35
TTHS-3	MTC06216	K 2	3740 ± 35
TTHS-34	MTC06717	K 2	3870 ± 60
TTHS-NG22	MTC04599	K 2	3710 ± 35
TTHS-14	MTC06217	K 3	3735 ± 40
TTHS-18	Beta211229	K 3	3630 ± 40
TTHS-23	MTC06219	K 4	3470 ± 40
TTHS-26	MTC06220	K 4	3525 ± 35
TTHS-22	MTC06218	K 5	3345 ± 40
TTHS-59	MTC06224	K 5	3395 ± 35

東京都下宅部遺跡出土土器付着物の炭素14年代測定研究

TTHS-37	MTC06222	K 6	3270 ± 35
TTHS-40	MTC4633	K 6	3215 ± 25
TTHS-NG25	MTC04600	K 6	3230 ± 35
TTHS-56	MTC06223	K 6	3220 ± 35
TTHS-49 a	PLD4635	K 7	3295 ± 20
TTHS-49 a (r)	MTC07164	K 7	3285 ± 30
TTHS-49 b	PLD4636	K 7	3160 ± 25
TTHS-52 a	PLD4637	K 7	3250 ± 25
TTHS-52 b	PLD4638	K 7	3185 ± 25
TTHS-48	PLD4634	K 7	3150 ± 30
TTHS-38	MTC04601	K 7	3230 ± 35
TTHS-54	MTC04603	K 7	3260 ± 35
TTHS-53	MTC04602	K 8 - 1	3140 ± 35
TTHS-68	PLD4639	B 1	3475 ± 35
TTHS-72	MTC04606	B 2	2910 ± 50
TTHS-73	MTC04607	B 1	2975 ± 35
TTHS-75	PLD4643	B 1	2935 ± 25
TTHS-106	MTC06734	B 2	2940 ± 35
TTHS-76	MTC04608	B 2	2995 ± 35
TTHS-70	MTC04605	B 2	2995 ± 35
TTHS-71 a	PLD4642	B 2	2970 ± 20
TTHS-66	MTC06718	B 2	2930 ± 35
TTHS-67	MTC04604	B 2	2895 ± 30
TTHS-69 a	PLD4640	B 3	3070 ± 25
TTHS-69 a (r)	MTC07165	B 3	3035 ± 30
TTHS-69 b	PLD4641	B 3	2940 ± 25
TTHS-105	MTC06733	B 3	2950 ± 35
TTHS-84	Beta193770	B 3	2920 ± 40
TTHS-89	MTC04609	B 3	2995 ± 30
TTHS-103	IAAA40508	B 3	2730 ± 60
TTHS-91	MTC04610	B 4	2750 ± 30
TTHS-92	IAAA40506	B 4	2750 ± 40
TTHS-93	IAAA40507	B 4	2800 ± 40
TTHS-97	MTC06719	B	2905 ± 30

測定試料のうち、TTHS-340aは、既測定のTTHS-72と同一個体で、付着部位が異なるものであり、TTHS-340aは胴内面付着物(2945±22)、TTHS-72は口縁外面付着物(2910±50)と誤差範囲内で一致する測定値である。

6. 年代的検討

測定値を較正曲線IntCal20 (^{14}C 年代を暦年代に修正するためのデータベース、2020年版)(Reimer et al. 2020)と比較することによって暦年代(実年代)を推定できる。両者に統計誤差があるため、統計数理的に扱う方がより正確に年代を表現できる。すなわち、測定値と較正曲線データベースとの一致の度合いを確率で示すことにより、暦年代の推定値確率分布として表す。暦年較正プログラムは、オックスフォード大学によるベイズ統計を用いたプログラムOxCal Programを用いる。統計誤差は2標準偏差(2 σ)に相当する、95%信頼限界で計算した。年代は、較正された西暦(cal BC)、後述する表8ではcal BP(1950年起点の表記)で示す。()内は推定確率である。

以下に、表6および表7に示したAMSによる測定結果($^{14}\text{CyrBP}$ および誤差)について、表8にIntCal20(Reimer et al. 2020)を用いてOxCal(Ramsey 2009)で算出した較正年代をcal BP(1950年起点の表記)でベイズ統計による確率分布密度とともに記す。なお、表8にはOxCalでの算出結果を1の位まで記すが、通常は1の位は5年または10年単位に丸めて表記するため、下記では ^{14}C 年代・較正年代を5年単位に丸めて表記する。較正年代について、試料ごとに較正年代確率密度分布図を図4～6、型式時期順に配した図を図7、試料ごとに較正曲線の上に配した図を図8に示す。

なお、較正年代は1の位まで計算されるが、較正年代としては1の位は丸めて表記することになっている。表では計算上の数値で記すが、本文で ^{14}C 年代や較正年代を論ずる場合は1の位は5または10に切り上げ・切り捨てして表記する場合があるので注意されたい。

東京都下宅部遺跡出土土器付着物の炭素14年代測定研究

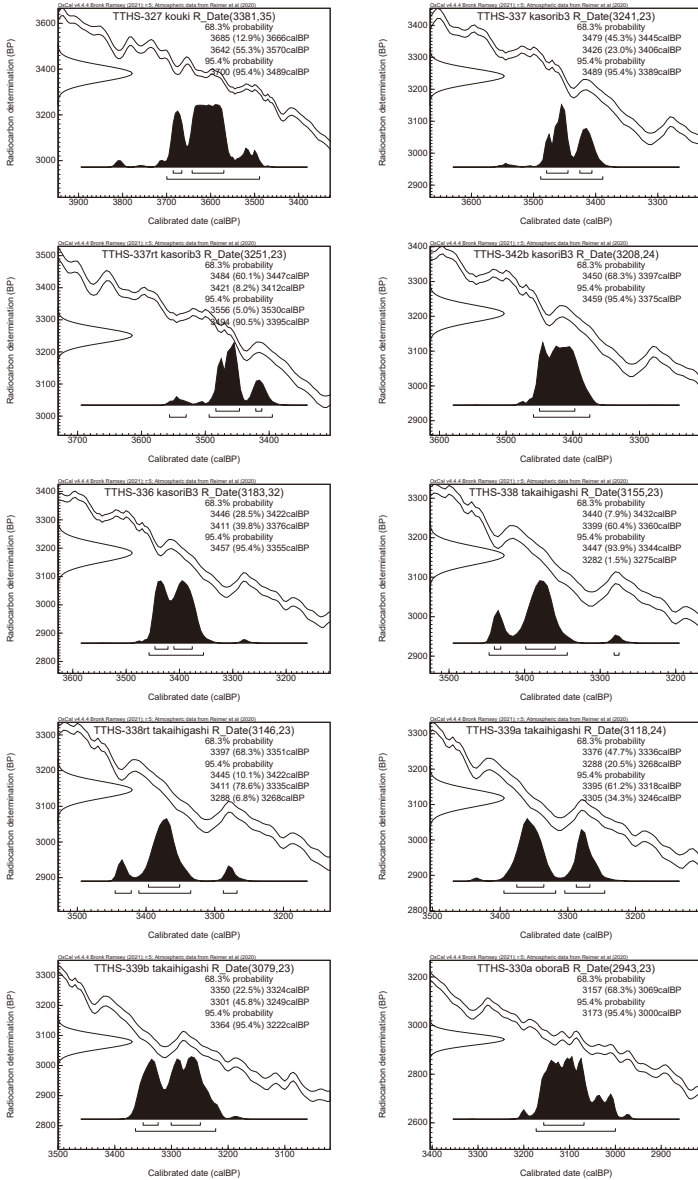


図4 較正年代確率密度分布 (1)

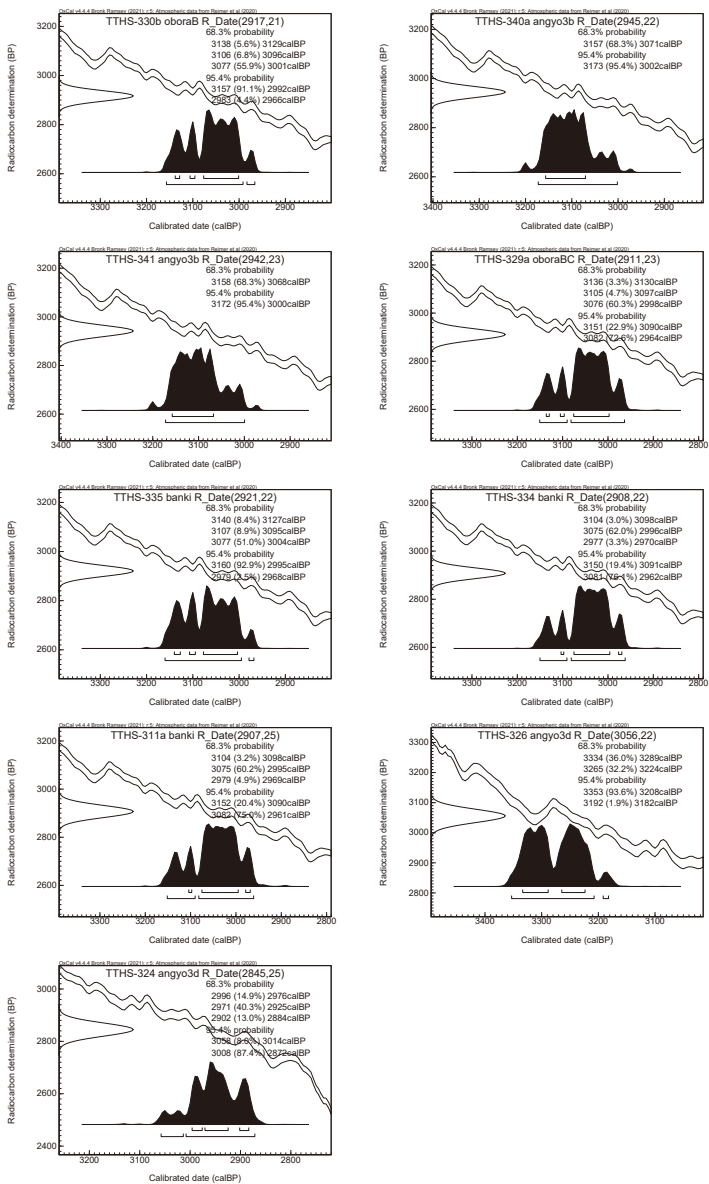


图5 校正年代概率密度分布 (2)

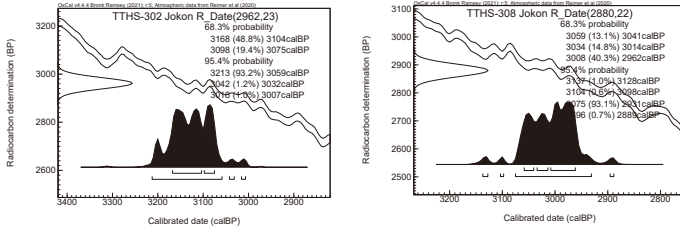


図6 較正年代確率密度分布 (3)

表8 推定される較正年代 (cal BP表記)

試料名	較正年代 (1 SD)	較正年代 (2 SD)
TTHS-302	3168 (48.8%) 3104 cal BP 3098 (19.4%) 3075 cal BP	3213 (93.2%) 3059 cal BP 3042 (1.2%) 3032 cal BP 3016 (1.0%) 3007 cal BP
TTHS-308	3059 (13.1%) 3041 cal BP 3034 (14.8%) 3014 cal BP 3008 (40.3%) 2962 cal BP	3137 (1.0%) 3128 cal BP 3104 (0.6%) 3098 cal BP 3075 (93.1%) 2931 cal BP 2896 (0.7%) 2889 cal BP
TTHS-311a	3104 (3.2%) 3098 cal BP 3075 (60.2%) 2995 cal BP 2979 (4.9%) 2969 cal BP	3152 (20.4%) 3090 cal BP 3082 (75.0%) 2961 cal BP
TTHS-311b	3154 (68.3%) 3069 cal BP	3168 (95.4%) 3004 cal BP
TTHS-324	2996 (14.9%) 2976 cal BP 2971 (40.3%) 2925 cal BP 2902 (13.0%) 2884 cal BP	3058 (8.0%) 3014 cal BP 3008 (87.4%) 2872 cal BP
TTHS-326	3334 (36.0%) 3289 cal BP 3265 (32.2%) 3224 cal BP	3353 (93.6%) 3208 cal BP 3192 (1.9%) 3182 cal BP
TTHS-327	3685 (12.9%) 3666 cal BP 3642 (55.3%) 3570 cal BP	3700 (95.4%) 3489 cal BP
TTHS-329a	3136 (3.3%) 3130 cal BP 3105 (4.7%) 3097 cal BP 3076 (60.3%) 2998 cal BP	3151 (22.9%) 3090 cal BP 3082 (72.6%) 2964 cal BP
TTHS-330a	3157 (68.3%) 3069 cal BP	3173 (95.4%) 3000 cal BP
TTHS-330b	3138 (5.6%) 3129 cal BP 3106 (6.8%) 3096 cal BP 3077 (55.9%) 3001 cal BP	3157 (91.1%) 2992 cal BP 2983 (4.4%) 2966 cal BP

TTHS-334	3104 (3.0%) 3098 cal BP 3075 (62.0%) 2996 cal BP 2977 (3.3%) 2970 cal BP	3150 (19.4%) 3091 cal BP 3081 (76.1%) 2962 cal BP
TTHS-335	3140 (8.4%) 3127 cal BP 3107 (8.9%) 3095 cal BP 3077 (51.0%) 3004 cal BP	3160 (92.9%) 2995 cal BP 2979 (2.5%) 2968 cal BP
TTHS-336a	3467 (41.0%) 3445 cal BP 3421 (27.3%) 3406 cal BP	3485 (95.4%) 3390 cal BP
TTHS-336b	3446 (28.5%) 3422 cal BP 3411 (39.8%) 3376 cal BP	3457 (95.4%) 3355 cal BP
TTHS-337	3479 (45.3%) 3445 cal BP 3426 (23.0%) 3406 cal BP	3489 (95.4%) 3389 cal BP
TTHS-337rt	3484 (60.1%) 3447 cal BP 3421 (8.2%) 3412 cal BP	3556 (5.0%) 3530 cal BP 3494 (90.5%) 3395 cal BP
TTHS-338	3440 (7.9%) 3432 cal BP 3399 (60.4%) 3360 cal BP	3447 (93.9%) 3344 cal BP 3282 (1.5%) 3275 cal BP
TTHS-338rt	3397 (68.3%) 3351 cal BP	3445 (10.1%) 3422 cal BP 3411 (78.6%) 3335 cal BP 3288 (6.8%) 3268 cal BP
TTHS-339a	3376 (47.7%) 3336 cal BP 3288 (20.5%) 3268 cal BP	3395 (61.2%) 3318 cal BP 3305 (34.3%) 3246 cal BP
TTHS-339b	3350 (22.5%) 3324 cal BP 3301 (45.8%) 3249 cal BP	3364 (95.4%) 3222 cal BP
TTHS-340a	3157 (68.3%) 3071 cal BP	3173 (95.4%) 3002 cal BP
TTHS-341	3158 (68.3%) 3068 cal BP	3172 (95.4%) 3000 cal BP
TTHS-342b	3450 (68.3%) 3397 cal BP	3459 (95.4%) 3375 cal BP

まず、同位体比から海洋リザーバー効果の可能性を検討する。これまでの測定例から、IRMSによる安定同位体比において $\delta^{13}\text{C}$ 値が $-20.0\sim-23.9$ ‰の値を示す試料は、共伴する炭化物試料や同一土器型式土器付着物の測定結果と比べて数百 ^{14}C 年古い測定値を示す場合があり、海産物の調理による焦げなどに由来し、海洋リザーバー効果の影響を受けている結果と考えられる(小林・坂本2015)。

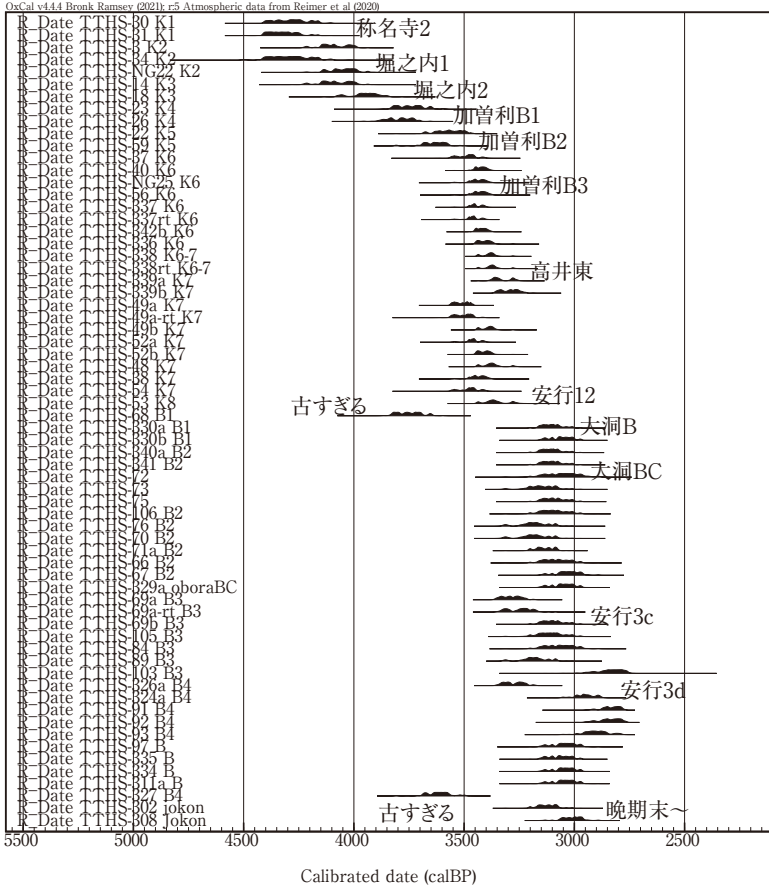


図7 型式順の較正年代確率密度分布（全測定）(IntCal20・OxCal4.4)

$\delta^{13}\text{C}$ 値が -23.9‰ よりも重く、かつ他の同一型式の土器の付着物に比べ数百 ^{14}C 年古い値を示す試料は、今回測定分では顕著には認められていない。やや古い年代を示す例（TTHS-89など）については、後述する。

以上より、今回測定した試料では、内面付着物は陸性の植物質食料主体の調理痕跡の煮焦げ、外面付着物は燃料材由来のススが多いと捉えられる。

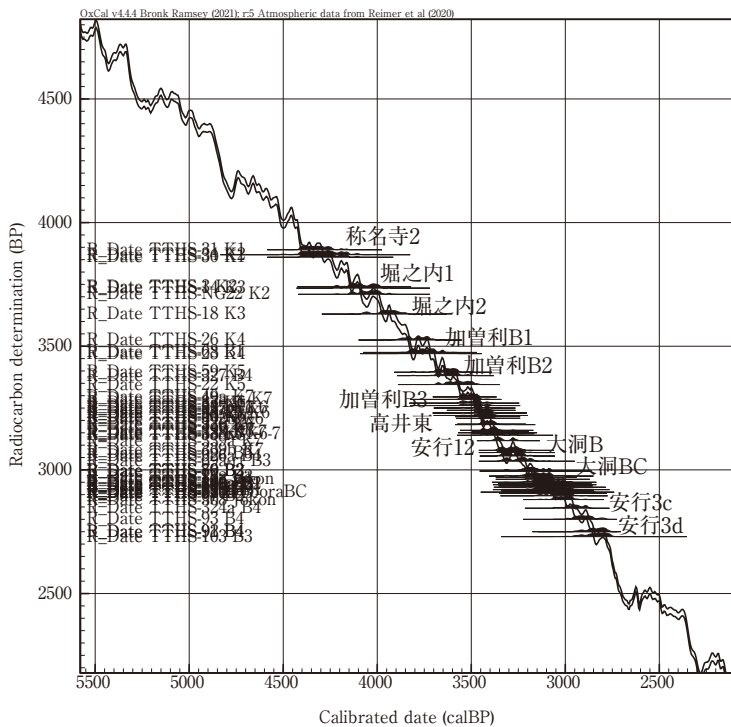


図8 炭素14年代と校正曲線（全測定）（IntCal20・OxCal4.4）

以下に、校正年代を示す。校正データにはIntCal20（Reimer et al. 2020）、校正年代の算出には、OxCal4.4.4（Bronk Ramsey 2009）を使用した。

7. まとめと展望

新規に測定した試料を検討すると、安定同位体をみると概ね陸上の植物由来と考えられる試料が多く、海洋リザーバー効果などにより古い年代に引っ張られていると捉え得る試料は考えにくいですが、実際にはいくつか年代が整合的とはいえない試料がある。このうち、晩期終末～弥生前期末の可

可能性が指摘される TTHS-302・308については後述するが、型式認定について再検討が必要と考える。

文様等からみて明らかに晩期中葉の安行3d式に属する TTHS-327については、AMS測定値が $3381 \pm 35\text{BP}$ と明らかに古いですが、その原因は不明である。外面付着のススであり、海洋リザーバー効果などの影響は考えにくい。しかし、前処理の状況を見るとアルカリ溶液にかなり溶解しており、AAA処理後6%しか回収されていない。グラファイト作成においても回収された試料が $400\mu\text{g}$ 以下であったため、微量炭素用のプロトコル(大森ら2017)にてセメントイトを生成し、AMS測定をおこなった試料である。すなわち、付着物自体が調理時のしっかりしたススなどの炭素ではなかった可能性が考えられ、埋没中の土壌などから浸透した古い炭素を除去できていなかった可能性が考えられる。汚染除去については、まだ絶対的な処理方法が確定されたわけではなく、本例のような測定値が異常値を示す事例についてもその状況をきちんと報告し、整理していく必要がある。そうした事例の一つと考えたい。

土器の上で弥生前期末条痕文土器の可能性が指摘されている TTHS-302および308については、302は晩期前葉、308は晩期中葉前半頃の較正年代が得られた。ともにスス状の外面付着物であり海洋リザーバー効果によって古くなった可能性は少ない。可能性としては、汚染等による影響があった可能性も否定はできないが、ともに粗製土器であり、文様要素が少ないため型式認定に困難な要素もあることから、これらの土器が晩期前半に伴う可能性もあり得る。事例を増やして検討する必要がある。

以上の事例を除くと、概ね整合的な年代値が得られたと考える。既測定試料を含めて、南関東地方縄紋後期～晩期の年代推移をみるために、較正年代を検討する。図7は、土器型式の順に較正年代確率分布グラフを並べたもの、図8は較正曲線 IntCal20の上に配置した図である。なお、土器型

式は小林謙一による時期区分に従って後期を K1～K8 期，晩期を B1～B6 期としている（小林 2019a）。後期称名寺 2 式期（K1 期）から晩期大洞 C2・安行 3d 式（B4 期）まで，概ね型式順に測定値は整合的に配置し得る。今回はデータ提示にとどめるが，関東地方の土器型式ごとの年代推移を推定していく上での貴重なデータであるといえよう。

これまでに筆者が測定したデータから推定した関東地方の土器型式時期別の実年代推定は，下記の通りである（小林 2019a）。

後期：K1 期 称名寺式期 4490～4235 年前 cal BP（2540-2285cal BC）頃。

K1-1 期 称名寺 1a・1b 式 石井寛（1992）の編年による称名寺式第 1・2・3 段階，新地平編年 14 期。

4490～4395 cal BP（2540-2445cal BC）頃。

K1-2 期 称名寺 1c 式 石井編年の第 4・5 段階，新地平編年 15 期。

4395～4280 cal BP（2445-2330cal BC）頃。

K1-3 期 称名寺 2 式 石井編年の第 6～7 段階，新地平編年 16 期。

4280～4235 cal BP（2330-2285cal BC）頃。

K2 期 堀之内 1 式 4235～4050 cal BP（2285-2100cal BC）頃。

K3 期 堀之内 2 式 4050～3900 cal BP（2100-1950cal BC）頃。

K4 期 加曾利 B1 式 3900～3750 cal BP（1950-1800cal BC）頃。

K5 期 加曾利 B2 式 3750～3525 cal BP（1800-1575cal BC）頃。

K6 期 加曾利 B3 式 3525～3420 cal BP（1575-1470cal BC）頃。

K7 期 曾谷式 3420～3370 cal BP（1470-1420cal BC）頃。

K8 期 後期安行式 3370～3220 cal BP（1420-1270cal BC）頃。

晩期：B1 期 安行 3a 式（大洞 B 式併行）3245cal BP～3130 cal BP（1295-1180cal BC）。

B2 期 安行 3b 式（大洞 B-C 式併行）3130～3065 cal BP（1180-1115cal BC）。

B3 期 安行 3c 式（大洞 C1 式併行）3065～2895 cal BP（1115-945cal BC）。

- B 4 期 安行 3 d 式 (大洞 C 2 式併行) 2895~2750 cal BP (945-800cal BC)。
B 5 期 晩期終末 (大洞 A 式併行) 2750 cal BP (800cal BC)。
B 6 期 荒海式 (大洞 A 式併行) (荒海川表例や青田例から2360cal BP (410cal BC) 頃までか)。

下宅部遺跡出土土器付着物の較正年代について、前述した明らかに古い年代が出ている TTHS-327, 302, 308 をのぞき、検討する。まず、安定同位体比、特に $\delta^{13}\text{C}$ 値からみて海洋リザーバー効果の影響を受けている可能性がある安行 3 c 式土器期胴内面付着物の TTHS-89 ($\delta^{13}\text{C}$ 値-23.2%) は 2995 ± 30 , TTHS-103 ($\delta^{13}\text{C}$ 値-22.6%) は 2730 ± 60 , 安行 3 d 式土器口縁外面付着物の TTHS-92 ($\delta^{13}\text{C}$ 値-23.6%) は 2750 ± 40 の ^{14}C 年代で、IntCal20 で較正すると、TTHS-89 は 1σ の有効範囲で 3228 (57.9%) 3145calBP, 3122 (4.5%) 3112calBP, 3092 (5.9%) 3080calBP, 2σ の有効範囲で 3328 (7.1%) 3295calBP, 3254 (88.3%) 3071calBP に含まれる較正年代であり、上記の実年代推定と比較してやや古い年代となり、海産物の煮コゲである可能性が考えられる。TTHS-103 は B 3 期の年代として整合的な年代を含み、海洋リザーバー効果の影響は考えにくい。TTHS-92 は 1σ の有効範囲で 2874 (68.3%) 2780calBP, 2σ の有効範囲で 2941 (95.4%) 2762calBP に含まれる年代であり新しい方の年代範囲であれば推定範囲に含まれる年代である。TTHS-92 は外面付着物でありススと考えられることから海洋リザーバー効果と捉えなくても良いともいえる。安定同位体比からは特に重たい値ではない試料の中でも、TTHS-49 や 52, 69 は内外面付着物を測定しているが他の同一型式の資料の値よりも古く、かつ内面付着物が外面付着物よりも古い値であることから、海産物を含む煮焦げで海洋リザーバー効果の影響である可能性も考えられる。この他に片方の部位しか測っていない試料であるが、内面付着物の TTHS-326 は帰属型式に比べてやや古い年代値であり、今後検討を要する。

そうした一部の試料を除くと、今回集成した下宅部遺跡の年代測定結果

も概ね整合的であり、上記の実年代推定を補強する材料となる。

以上、関東地方の縄紋後期から晩期にかけての貴重な年代測定結果を得ることができた。列島各地の年代値を集積し、比較検討していくことで、列島の先史文化の位置づけを明確にしていきたい。しかし、縄紋文化の精緻な年代を体系化するには、列島全体で考えれば十分な測定数にはまだまだ達していない。さらに、測定の蓄積を図っていく必要がある。

謝辞

本稿における年代測定試料は、東村山市教育委員会提供によるものである。AMS年代測定・IRMS同位体比測定およびその解析は、日本学術振興会科学研究費助成基盤研究（B）「炭素14年代測定による縄紋文化の枠組みの再構築—環境変動と文化変化の実年代体系化」（課題番号25284153，研究代表小林謙一，平成25～29年度），同「東アジア新石器文化の実年代体系化による環境変動と生業・社会変化過程の解明」（課題番号18H00744，研究代表小林謙一，平成30～令和4年度），中央大学人文研共同研究「考古学と歴史学」（研究代表小林謙一，2016～2019年度），中央大学特定課題研究「縄紋文化の年代研究」（2022年度）による。

試料採取については、東村山市教育委員会の千葉敏朗，前処理においては、国立歴史民俗博物館の坂本稔，箱崎真隆各氏の助力を得ている。AMS測定については、工藤雄一郎，東京大学総合研究博物館の米田稜，尾寄大真，大森貴之，ひらめきときめきサイエンス事業については西本志保子，金子悠人，田代直也，奈良部大樹，難波江春風，佐藤舞優，柴田実季，榎谷洗明，本稿の図作成においては前述の西本，金子および小林尚子各氏の協力を得た。記して謝意を表したい。

註

- 1) 下宅部遺跡出土試料の年代測定研究は、当初、国立歴史民俗博物館年代研究グループによる学術創成研究「弥生農耕の起源と東アジア」（代表西本豊弘）（西本編2009）の一環として小林謙一が土器付着物を測定し報告した（国立歴史民俗博物館年代測定研究グループほか2006）。それとともに、工藤雄一郎が植物遺体の測定を重ね、水場遺構などの年代研究としてまとめた（工藤ほか2006ab・2007ab）。これらの測定研究を、本稿では既報告試料とした。
- 2) 前処理：酸・アルカリ・酸による化学洗浄（AAA処理）の工程を記す。

AAA 処理に先立ち、アセトン中で5分間の超音波洗浄をおこなった後、クロロホルムとメタノールを容量2対1で混合した溶媒（CM 混液）による30分間の還流を2回おこなった。次いで、アセトン中で5分間の超音波洗浄を2回おこなった。この操作で、油分や接着剤などの成分が除去されたと判断できる。AAA 処理として、80℃、各1時間で、希塩酸溶液（1.2N-HCl）で岩石などに含まれる炭酸カルシウム等を除去（2回）し、さらにアルカリ溶液（1N-NaOH）でフミン酸などを除去した。5回おこない、ほとんど着色がなくなったことを確認した。さらに酸処理（1.2N-HCl 1時間2回）をおこない中和した後、純水により洗浄した（4回）。

- 3) 炭素・窒素比（モル比）〔炭素・窒素重量比〕／（12.011／14.0067）
- 4) 年代データの¹⁴C BP という表示は、西暦1950年を基点にして計算した¹⁴C年代（モデル年代）であることを示す。¹⁴C年代を算出する際の半減期は、5,568年を用いて計算することになっている。誤差は測定における統計誤差（1標準偏差，68%信頼限界）である。

AMSでは、グラファイト炭素試料の¹⁴C/¹²C比を加速器により測定する。正確な年代を得るには、試料の同位体効果を測定し補正する必要がある。同時に加速器で測定した¹³C/¹²C比により、¹⁴C/¹²C比に対する同位体効果を調べ補正する。¹³C/¹²C比は、標準体（古生物 belemnite 化石の炭酸カルシウムの¹³C/¹²C比）に対する千分率偏差 $\delta^{13}\text{C}$ パーミル，‰）で示され、この値を-25‰に規格化して得られる¹⁴C/¹²C比によって補正する。補正した¹⁴C/¹²C比から、¹⁴C年代値（モデル年代）が得られる。 $\delta^{13}\text{C}$ 値については、加速器（AMS）による測定は同位体効果補正のため、必ずしも¹³C/¹²C比を正確に反映しないため、参考として付すに留める。

引用文献

- 石井寛 1992「称名寺式土器の分類と変遷」『調査研究集録』第9冊 横浜市ふるさと歴史財団
- 大森貴之・山崎孔平・椛澤貴行・板橋悠・尾寄大真・米田穰 2017「微量試料の高精度放射性炭素年代測定」第20回 AMS シンポジウム
- 工藤雄一郎・小林謙一・坂本稔・松崎浩之・千葉敏朗 2006a「東京都東村山市下宅部遺跡における¹⁴C年代測定」『日本考古学協会第72回総会発表要旨』73-76頁，日本考古学協会
- 工藤雄一郎・佐々木由香・小林謙一・坂本稔・松崎浩之 2006b「東京都下宅部遺跡における遺構群の¹⁴C年代と縄文時代後半期の種実利用の変遷」『日本植生

- 史学会第21回大会講演要旨集』61頁, 日本植生史学会
- 工藤雄一郎・小林謙一・坂本稔・松崎浩之 2007a「東京都下宅部遺跡における¹⁴C年代研究—縄文時代後期から晩期の土器付着炭化物と漆を例として—」『考古学研究』第53巻第4号(通巻212号), 37-55頁, 考古学研究会
- 工藤雄一郎・佐々木由香・坂本稔・小林謙一・松崎浩之 2007b「東京都下宅部遺跡から出土した縄文時代後半期の植物利用に関連する遺構・遺物の年代学的研究」『植生史研究』第15巻第1号, 5-17頁, 日本植生史学会
- 国立歴史民俗博物館年代測定研究グループ(小林謙一ほか)・工藤雄一郎 2006「下宅部遺跡出土土器付着物及び土器付着漆の¹⁴C年代測定」『下宅部遺跡Ⅰ』(下宅部遺跡調査団編), 301-311頁, 下宅部遺跡調査会
- 小林謙一 2015「横浜市内出土縄紋土器付着物の炭素14年代測定研究」『人文研紀要』第81号, 中央大学人文科学研究所
- 小林謙一 2016「藤沢市内出土試料の炭素14年代測定研究」『人文研紀要』第84号, 中央大学人文科学研究所
- 小林謙一 2017a「綾瀬市内出土試料の炭素14年代測定研究」『人文研紀要』第87号, 中央大学人文科学研究所
- 小林謙一 2017b『縄紋時代の実年代—土器型式編年と炭素14年代—』同成社
- 小林謙一 2018「神奈川県小田原市内出土試料の炭素14年代測定研究—縄紋時代前期前半・弥生時代中期を中心に—」『人文研紀要』第90号, 中央大学人文科学研究所
- 小林謙一 2019a『縄紋時代の実年代講座』同成社
- 小林謙一 2019b「兵庫県上郡町西田遺跡の年代測定研究—縄紋時代中期末葉から後期初頭土器の検討—」『人文研紀要』第93号, 中央大学人文科学研究所
- 小林謙一 2020「徳島県矢野遺跡出土土器付着物の炭素14年代測定研究—縄紋時代後期前半を中心に—」『人文研紀要』第96号, 中央大学人文科学研究所
- 小林謙一 2021「新潟県干溝遺跡出土土器付着物の炭素14年代測定研究—縄紋時代早・前期を中心に—」『人文研紀要』第98号, 中央大学人文科学研究所
- 小林謙一 2022「佐賀県東名遺跡出土土器付着物の炭素14年代測定研究—縄文時代早期後半について—」『人文研紀要』第101号, 中央大学人文科学研究所
- 小林謙一・坂本稔 2015「縄紋後期土器付着物における調理物の検討」『国立歴史民俗博物館研究報告』第196集
- 西本豊弘編 2009『平成16~20年文部科学省・科学研究費補助金学術創成研究 弥生農耕の起源と東アジア—炭素年代測定による高精度編年体系の構築—(課題番号16GS0118) 研究成果報告書』
- Bronk Ramsey, C.(2009). Bayesian Analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51

- (4), 337-360.
- Hogg, A. G., Quan, H., Blackwell, P.G., Niu, M., Buck, C.E., Guilderson, T.P., Heaton, T.J., Palmer, J.G., Reimer, P.J., Reimer, R.W., Turney, C.S.M. and Zimmerman, S.R.H. (2013). *SHCal13* Southern Hemisphere Calibration, 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 55 (4), 1889–1903
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E. (1993). A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS C-14 measurements. *Radiocarbon* 35, 295–300.
- Minagawa, M., Winter, D.A. and Kaplan, I.R. (1984). Comparison of Kjeldahl and combustion methods for measurement of nitrogen isotope ratios in organic matter. *Analytical Chemistry* 56 (11), 1859–1861.
- Miyata, Y., Horiuchi, A., Kondo, M. and Onbe, S. (2016). Marine Reservoir Effects Deduced from ^{14}C Dates on Pottery Residues, Bones, and Molluscan Shells from the Hamanaka 2 Archaeological Site, Rebun Island, Hokkaido, Japan. *Radiocarbon* 58 (4), 755–770.
- Omori, T., Yamazaki, K., Itahashi, Y., Ozaki, H. and Yoneda, M. (2017). Development of a simple automated graphitization system for radiocarbon dating at the University of Tokyo. The 14th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry.
- Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., J. Heaton, T., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., Palmer, J. G., Pearson, C., van der Plicht J., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Turney, C. S. M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S. M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. and Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62 (4), 725–757.
- Stuiver, M. and Polach, H.A. (1977). Discussion: Reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon* 19 (3), 355–363.

