

栃原岩陰遺跡の土器付着炭化物の窒素同位体比からみた 完新世初頭の土器の機能

米田 穰・阿部 芳郎・栗島 義明・藤森 英二

栃原岩陰遺跡の意義

長野県南佐久郡北相木村に位置する栃原岩陰遺跡は、1965年から1978年に行われた15次の調査によって、表裏縄文土器群と押型文土器群を中心とした豊富な人工遺物と12体の保存状態のよい縄文時代早期人骨をはじめとする膨大な自然遺物が検出され、更新世から完新世の大きな環境変動を経験した縄文人の生活を復元するうえで極めて重要な遺跡である（西沢1982、北相木村 2019）。著者らは、これまで古人骨に含まれるコラーゲンを回収し、その炭素・窒素同位体比に基づいて、栃原岩陰遺跡に埋葬された早期人は雑穀などのC4植物や海産物はほとんど利用しておらず、C3植物を生産者とする遺跡周辺の生態系を利用していたことを示した（Yoneda et al. 2002、米田 2012）。さらに、コラーゲンを構成するアミノ酸のうち、フェニルアラニンとグルタミン酸の窒素同位体比に注目して、内水面の資源の利用も乏しく、陸上の資源でも動物質から多くのタンパク質を得ていたことを示した（Naito et al. 2013、内藤ら 2012）。また、これらの人骨において放射性炭素年代を測定し、早期中葉にあたる資料であることを確認し、早期の貴重な人骨群であることを確認した（米田 2019）。

縄文時代早期のはじまりは、最終氷期がおわり温暖で安定した気候の完新世がはじまる11,600年頃に相当する（堤 1999、谷口 2002、工藤 2012）。気候が不安定になった晩氷期にはじまった温暖化にともなって落葉広葉樹林帯が日本列島にひろまり、縄文時代はその森林に適応した「新石器文化」であり、早期のはじまりこそが縄文文化のはじまりとする意見がある（谷口 2002）。一方で、定住性の高い狩猟採集民の文化として縄文文化を定義する見解では、前期に環状集落など定住・コレクター型の生業戦略が完成した時点を縄文文化のはじまりとして、早期をその準備段階とする見解もある（Habu 2004、泉 2002）。人骨の同位体分析の結果からは、農耕の可能性が指摘されるほどの繁栄をしめした縄文時代中・後期北村遺跡の食生活と、早期栃原岩陰遺跡の食生活が類似

することが示された（Naito et al. 2013）。このような落葉広葉樹林の資源に適応した縄文人の適応戦略は、早期初頭に速やかに確立したのか、それとも4500年程度の長い時間幅を有する早期のなかで時間をかけて展開したのか、栃原岩陰の人骨群は9500～9100 cal BPという時間幅に集中しているので十分に明らかにできない。そこで、本研究では、より幅広い時間軸から食生活に関わる情報を得ることができる情報媒体として、土器に付着した炭化物で分析を試みた。

土器の機能と縄文文化

本研究で分析した土器付着物と従来の分析対象であった人骨は、等しく炭素・窒素同位体比という情報を提供するが、それぞれが反映する人間活動はことなる点には注意が必要だ。過去の人びとの食生活の復元に用いられる、人骨のコラーゲンにおける同位体分析は、生前に摂取された食物とくにタンパク質の特徴を反映する。それに対し、土器に付着する炭化物は、土器の中で加熱された有機物が主な材料と考えられ、ニカワや漆など食用ではない資源の加工に用いられた可能性がある（梶原 1998）。しかし、縄文時代早期には、土器の利用が一般化し、ひとつの遺跡でも大量に使用されるようになり、また小型から大型まで器種が多様化することなどから、食物の加工と調理に用いられたと考えられる。これは、植物質の加工具と考えられる石皿・磨石の増加や定住性の増加とも連動した、構造的な変化であるとして、縄文文化の確立・画期を早期のはじまりに求める意見は多い（宮下 1980など）。

縄文土器が1万年にまでさかのぼることが示された1960年代から、土器という新しい利器が生活や社会にもたらした大きな影響は生活全体にわたる構造的な変化として捉えられ、縄文時代の開始を土器の登場で定義する意見が今日でもひろく認められている。土器登場の文化史的な意義の議論は、1万年前が完新世の開始とほぼ一致していることから、落葉広葉樹林帯の拡大と海進

という完新世の新たな環境に対する適応的技術として土器を捉えており（岡本 1962、近藤 1965、渡辺 1968、小林1982）、「後水期技術革新論」や「後水期適応論」と呼ばれている（工藤 2013）。近年では、大平山元I遺跡における神子柴・長者久保石器群にともなう土器の年代がおよそ16,000年前の、晩水期に先立つ最終水期最寒冷期にまでさかのぼることが示され、土器登場の文化史的・適応的な意義については、あらたな条件での議論が必要になった。一方で、完新世開始にあわせて起こったとされる様々な生活様式の構造的変化は、早期に起こった文化史的变化に位置づけることが可能だが、その再検討は現状では十分ではない。

理化学分析による土器機能の研究

「後水期技術革新論」では土器の登場によって、堅果類などの植物質や海産物を利用することが可能になり、多様な食料資源を利用することができるようになった点が重視された（近藤 1965、渡辺 1968）。とくにデンプンは加熱して糖化すれば優れたエネルギー源となるので、土器をもちいて大量の堅果類をアク抜きして、加熱処理することは、食生活においても大きな変化をもたらしただろう。また、土器出現が更新世晩水期にさかのぼったとしても、旧石器時代からの植物質利用の文脈で土器の登場を説明する見解もある（宮下 1980）。深鉢が基本形である縄文土器の機能は煮炊きであり、その対象のひとつが植物質であることは、少なくとも早期以降の縄文文化の基本的な構成要素として広く共有されている（谷口 2002）。

一方、近年報告された土器の胎土に残留する脂質の分析では、草創期のみならず早期の土器でも水産物が主な加熱対象であり、草創期から利用法には大きな変化がない、と報告された（Lucquin et al. 2018）。更新世にさかのぼる草創期の土器については、水産物を対象として食料利用・加工に限らない利用が想定されていたが、早期の土器群の利用法が草創期と変化しないという結論は従来の考古学的見解と大きく異なる。脂質分析に基づく結論がただしいならば、早期に起こった構造的な変化から、土器を用いた植物質の利用は除外して考える必要があり、土器の一般化や大量使用、器種の多様化などについて、調理や加工とは別の理由を検討する必要がある。英国の研究者を中心に行われた一連の縄文土器における脂質分析は、最初期（草創期）の土器出現の意義についてだけではなく、縄文文化の全体像にかかわる極めて重要

な問題提起をしているが、それに対する日本考古学からの回答は保留されているようだ。

近年、著者らは縄文時代中・後期の土器付着炭化物の同位体分析を行い、それが過去の土器機能について有効な情報を保持していることを示すことができた。従来の土器付着物の同位体分析について、脂質研究からは方法論的な問題提起がなされており、それに対して一定の回答を示し、あらたな解析法を提案している（Yoneda et al. 2019）。本研究では、栃原岩陰遺跡から出土した完新世初頭の早期土器群に付着する炭化物で、窒素と炭素の安定同位体比と含有率を測定し、その材料を推定することで、栃原岩陰遺跡における土器の利用法と食生活の関係について考察する。栃原岩陰遺跡では、古人骨の同位体分析から早期中葉の食生活が推定されているので、土器機能と食生活の関係を直接的に比較できる点で重要である。それによって、完新世の新たな環境で早期の土器が果たした文化史的・適応的な役割について議論し、縄文文化成立において土器が果たした役割を検討することを目指す。

炭素に着目した同位体分析の限界

土器付着物の同位体研究は、炭素・窒素同位体分析が考古学に応用された初期に試みられたが（Hastorf & DeNiro 1985）、近年になって土器編年研究における放射性炭素年代の海洋リザーバ効果の指標として、日本先史時代の土器でとくに研究が盛んになった。同様に、海産物利用が多いヨーロッパ北部の土器で行われた方法論の検討では、付着炭化物の炭素・窒素同位体比では海産物の定量的な評価は困難であり、海洋リザーバ効果の補正には応用することはできず、水産物のバイオマーカーとしては多価不飽和脂肪酸や飽和脂肪酸の炭素同位体比の有用性が示された（Craig et al. 2007）。それに対して、縄文土器を用いた研究では、炭素と窒素の濃度に着目した独自のダイアグラムが考案され（吉田 2006）、デンプン中心の植物質、植物質と陸上動物の混合物、魚類など海産物の3群に炭化物の由来を区別することが試みられている。

土器付着炭化物の炭素・窒素同位体分析からは、草創期の土器が植物質と動物質を混ぜて煮ていたと解釈されたが（Yoshida et al. 2013）、残留脂質分析では水産物に特化した利用であるとされ（Craig et al. 2013）、両者の結論は大きく異なる（庄田・クレイグ 2017）。この矛盾に対して、脂質分析の研究者は炭化物の同位体分析の有

効性を認めつつも、炭化物の埋没中の変性の可能性など方法論の限界を指摘している (Heron & Craig 2015、庄田・クレイグ 2017、庄田 2017)。とくに炭素同位体比はC 3 植物と同程度の低い値をしめすが、窒素同位体比は比較的高い値をもつ炭化物が多く、食物の同位体比と比較してもうまく説明できない点が問題点であった。例えば、脂質分析で水産物利用に特化したと判断された福井県鳥浜貝塚の土器付着物でみると炭素同位体比はC 3 植物と類似しており、海産物の寄与はほとんどないが、窒素同位体比は海産魚類に類似する比較的高い値をしめす (図 1 a)。このような同位体比を説明できる食品は知られていない。また、C/N比と炭素同位体比の比較からは、デンプンを多く含む植物の証拠となるC/N比は高い試料はすくなく、「その他 (デンプン質でない) C 3 植物・動物」というカテゴリに多くが収まる (図 1 b)。これはYoshida et al. (2013) で報告された新潟県下の草創期遺跡の結果と類似する。

窒素に着目した、土器付着炭化物の新たな同位体分析

土器付着炭化物の同位体比に基づく内容物の推定が、脂質分析によるそれと全く異なることの原因は、従来の方法が炭素同位体比に着目しており、窒素同位体比については汚染や変性の影響があるとして十分な検討がなされていなかった点にある (Craig et al. 2007, 坂本 2007)。我々は、近年の炭化種実の同位体研究の成果を応用して、土器付着炭化物の窒素同位体比もN/C比と対応させて議論すれば、内面の炭化物は土器で加熱された内容物の特徴を記録する可能性を示した (Yoneda et al. 2019)。さきほど紹介した鳥浜貝塚の同じデータを、窒素同位体比とN/C比でプロットすると (図 1 c)、陸上生態系では説明できない高い窒素同位体比を示しており、同時に動物質の特徴である高いN/C比を示すことから、魚類や海獣類などの海洋資源がこのオコゲの窒素源であると解釈できる (Yoneda et al. 2019)。

さらに、大宮台地に位置する大木戸遺跡のデータで炭素に着目した解析と、窒素に着目した解析の違いは明らかだ (米田ら 2018)。図 2 a に示した炭素・窒素同位体比では、炭素同位体比はC 3 植物と類似するが、窒素同位体比は草食動物でも説明できないほど高いものが多数存在する。全体の窒素同位体比は鳥浜貝塚よりは低い、同位体比の傾向は類似しており、代表的な食料資源の混合では説明できない。炭素に着目した従来の同位体比分

析の解析法では、デンプン質以外のC 3 植物と陸上動物に類似するものが多く、デンプン質を非常に多く含む個体も少数ながら存在した (図 2 b)。鳥浜貝塚ではデンプン質のC 3 植物は認められないが、大木戸遺跡の分布と重なっており、炭素同位体比とC/N比では両者は区別できない。最後に、我々が考案した窒素を中心にした同位体分析では、大木戸遺跡の土器付着炭化物では窒素同位体比とN/C比の間に有意な相関があり、窒素含有量の多い資源が高い窒素同位体比を有しており、窒素含有量が少なく窒素同位体比が低い資源とあわせて2種類の間の直線的な混合であると推定した (図 2 c)。大木戸遺跡の立地と出土遺物から、前者は動物質の食資源、後者は植物質の食資源と考えられたので、これらのデータの95%確率分布楕円をC 3 植物生態系に由来する動植物質食料のオコゲとして示している。炭素と窒素の濃度をみても、炭素・窒素がともに多い動物質、炭素は多いが窒素は少ない植物質、両者ともに少ない無機質 (灰分や混入した胎土) の3者の混合の範囲に鳥浜貝塚も大木戸遺跡のデータも収まっており (図 3)、窒素に着目した土器付着炭化物の同位体分析は広く応用が可能であると考えられる。

炭素同位体比とC/N比は主に炭素の由来を反映するのでC 3 植物に類似した特徴を有すると考えれば、窒素同位体比や脂質分析の結果と異なる解釈になることが理解できる。なぜならば、土器付着炭化物がメイラード反応によって形成されるオコゲならば、炭素は糖すなわちデンプンが主な供給源になり、窒素はアミノ酸すなわちタンパク質が主な供給源になり、両者が複合した素材としてオコゲは炭素と窒素で別々の情報を示していると考えられるからだ。同様に、脂質の分析はあくまで脂質の由来ということになる。炭素同位体比に着目した土器付着炭化物の同位体分析で、炭素同位体比が高いC 4 植物である雑穀が検出されたことは (宮田ら 2007)、炭水化物を多く含む雑穀であれば炭素供給源となるので付着物の炭素同位体比にも影響を与えると考えれば、我々の考えを支持する結果といえる。

土器付着炭化物で分かること、分からないこと

本研究では、従来の炭素に注目した方法ではなく、窒素に注目して土器付着物の同位体比を解析する。炭素同位体比は炭水化物とくに植物のデンプンが主な供給源となるので、C 3 植物が卓越する日本列島ではその変化は乏しい。一方、窒素源となるタンパク質は、植物も含ま

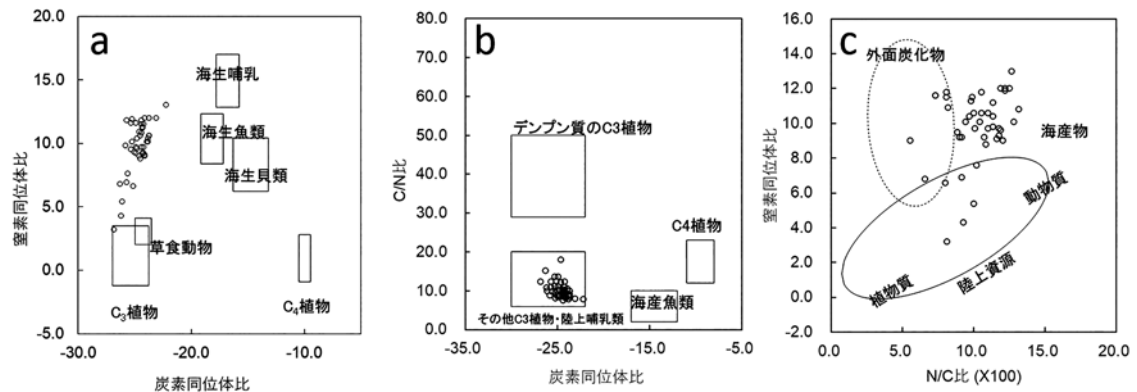


図1. 鳥浜貝塚出土の縄文草創期土器の付着炭化物における炭素・窒素同位体比と元素濃度比 (Craig et al. 2013)。炭素・窒素同位体比(a)と、炭素同位体比とC/N比(b)による従来の解析法と、N/C比と窒素同位体比(c)による新たな解析法。

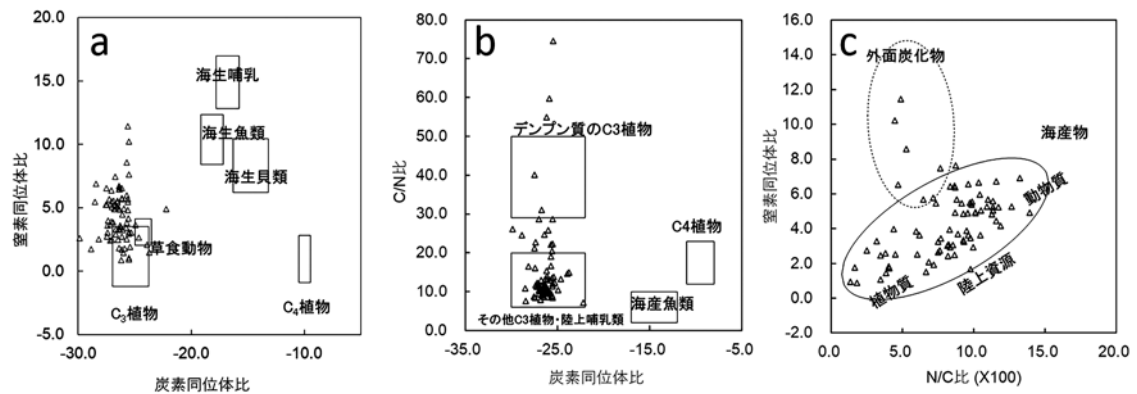


図2. 大木戸遺跡の縄文中期土器の付着炭化物における炭素・窒素同位体比と元素濃度比 (米田ら 2018)。炭素・窒素同位体比(a)と、炭素同位体比とC/N比(b)による従来の解析法と、N/C比と窒素同位体比(c)による新たな解析法。

れるが陸上の哺乳類や魚貝類により多く含まれる。植物が主の材料となったオコゲの検出も可能であり、「縄文クッキー」の窒素同位体比とN/C比は期待される特徴が示された (Yoneda et al. 2019)。すなわち窒素同位体比に着目することで、土器機能で注目される水産物の特殊目的での加工と、食料資源として植物質の調理・加工という2つの機能を明確に区別できるからである。残念ながら炭素同位体比では、炭素含有量の少ない魚貝類の検出はうまくできないことが多いようだ (図1 b 参照)。一方、脂質では水産物加熱の確実なバイオマーカーはあるが、植物についてはデンプンの分解産物を目印とした方法が応用されており (Shoda et al. 2018)、水産物と同様の脂質で目印になるものは知られていない。そのため、脂質分析では植物質の検出が困難という指摘は今日でも未解決の問題である (Reber & Evershed 2004)。そのため、縄文時代早期の土器機能とくに水産物と植物質の利用の双方をある程度量的に議論するには、土器内面に付着した炭化物の窒素同位体比に着目した方法が最も適してい

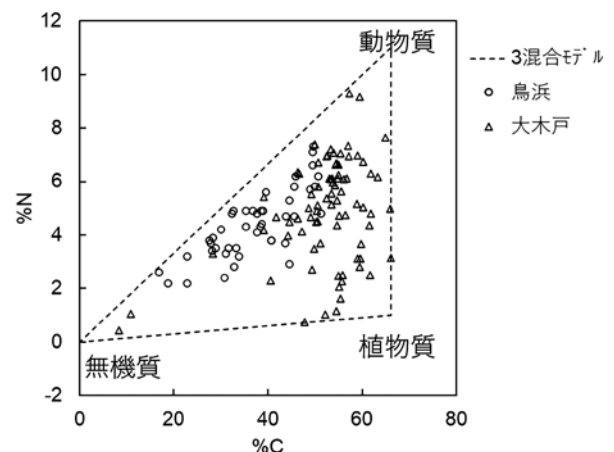


図3. 鳥浜貝塚と大木戸遺跡の土器付着炭化物の炭素・窒素濃度 (Craig et al. 2013、米田ら 2018)

ると考えられる。また、脂質は極めて微量なので放射性炭素年代を直接測定することはできないが、土器付着炭化物は放射性炭素年代測定によって、更新世晩水期から完新世初頭の頻繁な気候変動と対応して人間活動を検討できる点も重要だ。

表1. 窒素・炭素同位体分析に用いた試料と、それぞれの安定同位体比と元素含有率（重量％）

分析ID	資料番号	区画	深度 (cm)	土器タイプ	部位	%C	%N	C/N	N/CX100	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
TOCHIBARA-1	W-422	II-0	470-80	表裏縄文	胴	18.5	2.1	10.3	9.71	-26.2	4.6
TOCHIBARA-2	W-991	II-3	480-490	表裏縄文	口縁	18.4	1.7	12.4	8.07	-26.2	5.8
TOCHIBARA-3	W-1032	III	230	押型文(山形)	胴	16.9	1.1	18.5	5.40	-25.7	4.0
TOCHIBARA-7	W-1203	III-2	判読不能	表裏縄文	口縁	25.4	2.1	14.3	7.00	-25.6	5.2
TOCHIBARA-8	W-518	II-2	470-80	表裏縄文	口縁	17.6	2.1	9.8	10.22	-25.6	5.8
TOCHIBARA-9	C-14_No.1	II-1	440	撚糸文	口縁	8.5	1.3	7.6	13.23	-26.3	6.5
TOCHIBARA-10	C-14_No.2	II-2	530	表裏縄文	胴	33.3	2.8	14.0	7.15	-26.2	4.3
TOCHIBARA-14	W-273	I-0	490?480?	表縄文	口縁	7.8	0.6	14.8	6.75	-26.4	6.6
TOCHIBARA-15	W-572			表裏縄文	胴	19.8	2.3	10.2	9.79	-25.7	5.7
TOCHIBARA-18	W-994	0-4	365-385	撚糸文	胴	24.9	1.6	18.3	5.46	-25.6	5.5
TOCHIBARA-20	W-344	III-1	450-60	表撚糸裏縄文	胴	7.3	0.8	10.6	9.43	-26.2	6.7
TOCHIBARA-21	00017	II-3	480-90	表裏縄文	胴	34.3	3.8	10.6	9.47	-26.2	5.6
TOCHIBARA-22A	2406-A			表裏縄文	口縁	33.2	3.6	10.7	9.31	-26.4	5.2
TOCHIBARA-22B	2406-B			表裏縄文	口縁	17.9	1.5	13.9	7.18	-25.6	5.1
TOCHIBARA-23	10034			縄文	胴	22.0	2.5	10.4	9.60	-26.0	6.6
TOCHIBARA-26	2191.2193			表裏撚糸	胴	14.8	1.6	10.9	9.15	-25.7	5.0
TOCHIBARA-30	W-1105	II-1	505	表裏縄文	胴	23.2	3.2	8.5	11.79	-26.4	5.2
TOCHIBARA-32	W-V40			押型文(無文部)	胴	41.8	1.6	30.9	3.23	-25.8	5.3
TOCHIBARA-37	W-121	II-2	-535	表裏縄文	胴	17.3	1.4	14.2	7.02	-26.1	2.7
TOCHIBARA-38	W-295	III-1	460-470	表裏縄文	胴	14.7	0.8	22.3	4.49	-26.2	5.1
TOCHIBARA-39	W-1158	III-3	450-60	表縄文	胴	23.6	2.7	10.0	9.95	-26.3	4.7
TOCHIBARA-40	W-1168	II-3	450	表裏縄文	胴	17.0	1.9	10.5	9.54	-25.9	4.7
TOCHIBARA-41	W-1143			押型文(無文部)	胴	7.4	0.3	28.5	3.51	-27.3	7.1
TOCHIBARA-43	W-1115			表裏縄文	胴	24.8	3.2	9.2	10.91	-26.0	3.4
TOCHIBARA-46	W-525			表裏縄文	胴	14.5	1.8	9.6	10.44	-25.4	5.4
TOCHIBARA-47	W-538		砂層表面	表裏縄文	胴	25.9	2.7	11.3	8.85	-25.4	6.3
TOCHIBARA-50	W-965			表裏縄文	胴	19.9	2.9	7.9	12.66	-25.9	5.5
TOCHIBARA-54	W-323		450-460	表裏縄文	胴	26.8	2.9	10.6	9.43	-25.6	6.1
TOCHIBARA-62	IDなし			表縄文	胴	24.4	0.9	30.9	3.24	-25.1	5.6
TOCHIBARA-64	IDなし			表縄文	口縁	17.2	1.2	16.3	6.15	-25.7	3.8
TOCHIBARA-65	IDなし			不明	胴	30.7	1.9	19.0	5.25	-26.0	3.4

2. 資料と方法

北相木村考古博物館に保管されている栃原岩陰遺跡出土土器群のうち「下部」出土とされる土器を中心に悉皆的に観察し、内面に土器付着物がみられる資料を選択した。試料は金属製のスパチュラやメスを用いて、土器胎土が混入しないように慎重に剥離して、薬包紙に包んで実験室に持ち帰った。炭化物66点を採取したが、窒素・炭素同位体比分析に必要な試料量が得られた試料は31点である（表1）。さらに試料量が十分に確保された12点では、加速器質量分析で放射性炭素年代を測定した。土器の型式学的な特徴は阿部と栗島が判定し、同位体分析は米田が担当した。

従来の炭化物の安定同位体分析では、放射性炭素年代測定のために開発された酸・アルカリ・酸（AAAまたはABA）処理が基礎的な検討なしで応用されることが多かったが、炭化種実の研究ではアルカリ処理によって本来の窒素同位体比が変動する可能性が指摘されており（Ascough et al. 2011）、弱酸処理や前処理をしない方法なども提唱されている（Vaiglova et al. 2014）。本研究では、地下水に由来する炭酸塩沈着が無視できないと考えて、弱酸による洗浄を前処理として実施した（米田・阿部 2017）。具体的には顕微鏡下で毛根や土壌などの異物を除去した後、5～50mgの炭化物を15ml遠沈管にいれ、0.1M塩酸と80℃で10分加熱した後、純水で中性に戻

表2. 未校正の放射性炭素年代と、1標準偏差と2標準偏差に相当する校正放射性炭素年代の確率分布範囲

分析ID	資料名	土器タイプ	慣用 ¹⁴ C年代	AMS測定ID	校正 ¹⁴ C年代 (1標準偏差)	校正 ¹⁴ C年代 (2標準偏差)
TOCHIBARA-22B	2406-B	表裏縄文	9665±37 BP	TKA-19636	11179 (55.5%) 11086 cal BP 10922 (12.7%) 10890 cal BP	11200 (64.4%) 11068 cal BP 11016 (0.4%) 11010 cal BP 10955 (25.8%) 10865 cal BP 10848 (4.7%) 10800 cal BP
TOCHIBARA-8	W-518	表裏縄文	9566±37 BP	TKA-19633	11071 (39.4%) 10950 cal BP 10868 (28.8%) 10776 cal BP	11092 (95.4%) 10739 cal BP
TOCHIBARA-7	W-1203	表裏縄文	9526±32 BP	TKA-19632	11065 (19.0%) 11023 cal BP 11006 (16.6%) 10964 cal BP 10793 (32.6%) 10721 cal BP	11073 (44.4%) 10948 cal BP 10871 (51.0%) 10702 cal BP
TOCHIBARA-2	W-991	表裏縄文	9501±33 BP	TKA-19630	11060 (10.0%) 11034 cal BP 10992 (5.0%) 10977 cal BP 10787 (53.2%) 10697 cal BP	11070 (29.5%) 10953 cal BP 10867 (2.4%) 10846 cal BP 10827 (63.5%) 10660 cal BP
TOCHIBARA-64	IDなし	表縄文	9746±34 BP	TKA-19639	11215 (68.2%) 11175 cal BP	11236 (95.4%) 11135 cal BP
TOCHIBARA-39	W-1158	表縄文	9565±37 BP	TKA-19638	11071 (39.5%) 10950 cal BP 10868 (28.7%) 10774 cal BP	11092 (95.4%) 10738 cal BP
TOCHIBARA-14	W-273	表縄文	9349±36 BP	TKA-19635	10648 (10.6%) 10628 cal BP 10591 (57.6%) 10511 cal BP	10682 (93.2%) 10491 cal BP 10455 (2.2%) 10439 cal BP
TOCHIBARA-9	C-14_No.1	燃糸	9416±35 BP	TKA-19634	10691 (35.2%) 10645 cal BP 10632 (33.0%) 10589 cal BP	10737 (95.4%) 10567 cal BP
TOCHIBARA-3	W-1032	押型文 (山形)	8824±32 BP	TKA-19631	10115 (9.4%) 10082 cal BP 9920 (58.8%) 9766 cal BP	10146 (16.7%) 10060 cal BP 10040 (1.5%) 10023 cal BP 10014 (2.9%) 9989 cal BP 9954 (74.3%) 9702 cal BP
TOCHIBARA-32	W-V40	押型文	7897±31 BP	TKA-19637	8760 (68.2%) 8628 cal BP	8971 (0.6%) 8962 cal BP 8955 (3.8%) 8917 cal BP 8894 (0.6%) 8886 cal BP 8864 (4.5%) 8830 cal BP 8787 (85.9%) 8596 cal BP
TOCHIBARA-65	IDなし	不明	9423±34 BP	TKA-19640	10699 (39.3%) 10647 cal BP 10630 (28.9%) 10590 cal BP	10737 (95.4%) 10573 cal BP

るまで数回洗浄した。これを80℃で一晩乾燥させた後、1.5mgの炭化物を錫箔に秤量して、分析に供した。

炭素と窒素の濃度と同位体比は、元素分析計 (EA: ThermoFisher NA2000) と安定同位体比質量分析装置 (IRMS: Thermo DeltaPlus) を連結したEA-IRMSを用いて、東京大学総合研究博物館放射性炭素年代測定室で測定した。試料とともに繰り返し測定した標準物質では測定にともなう誤差は、炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) と窒素同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) の標準偏差でそれぞれ0.1‰と0.3‰程度と評価された。炭素と窒素の同位体比は、それぞれの標準物質 (VPDBとAIR) に対する相対的な差分の千分率として、次の式にしたがってあらわされる。

$$\delta = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000 (\text{‰})$$

$$R = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \text{ または } \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}}$$

弱酸処理した有機物が4mg以上得られた試料12点に

ついては、放射性炭素年代測定を行った。弱酸処理に続いて、土壌有機物をより確実に除去するために、アルカリ処理を行った (de Vries & Barendsen 1954)。アルカリ溶液の濃度と温度は状況を見ながら水酸化ナトリウム溶液を調整した (表2参照)。洗浄した炭化物試料を元素分析計で二酸化炭素に燃焼し、炭素1mgに相当する二酸化炭素と水素を鉄粉の触媒とともに封入して、650℃で6時間加熱することでグラファイトなどの固体炭素を作成し (Kitagawa et al. 1993)、加速器質量分析に供した。AMS測定は、東京大学総合研究博物館放射性炭素年代測定室のコンパクトAMS (National Electrostatics Corp.社) を用いて¹⁴C/¹²C比を測定した。慣用¹⁴C年代 (BP年代) 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)。大気中の放射性炭素存在比の変化や半減期によるずれをたすための暦年校正には、OxCal4.2を使用し (Bronk Ramsey, 2009)、校正データにはIntCal13を用いた (Reimer et al. 2013)。

3. 結果

安定同位体比の結果は、放射性炭素年代によって更新世・完新世の気候変動における位置づけを検討してから解釈するので、最初に放射性炭素年代測定の結果を検討する。表2に未校正の慣用放射性炭素年代と、IntCal 13を用いて校正した年代の確率分布を示した。表裏縄文土器は完新世初頭の11,000 cal BPから10,500 cal BPの間に集中し、外面のみに施文された縄文土器（以下、表縄文土器）と撚糸文土器もほぼ同じ年代である（図4）。押型文土器2点は10,000 cal BPから8700 cal BPの年

代を示した。先行研究でも示されたように表裏縄文土器と撚糸文土器はほぼ同時期で早期前葉に位置し、押型文土器はそれにつづき早期中葉の年代に相当すると考えられる。

炭素・窒素同位体比を測定できた31点について、最初に先行研究の比較で検討した3つのグラフで見てみよう（図5、表1）。炭素・窒素同位体のプロットでは、炭素同位体比はC3植物と同程度に低いが、窒素同位体比は植物と同程度の低いものもあるが、草食動物よりも高くなるものもみられた（図5a）。炭素を中心に解析

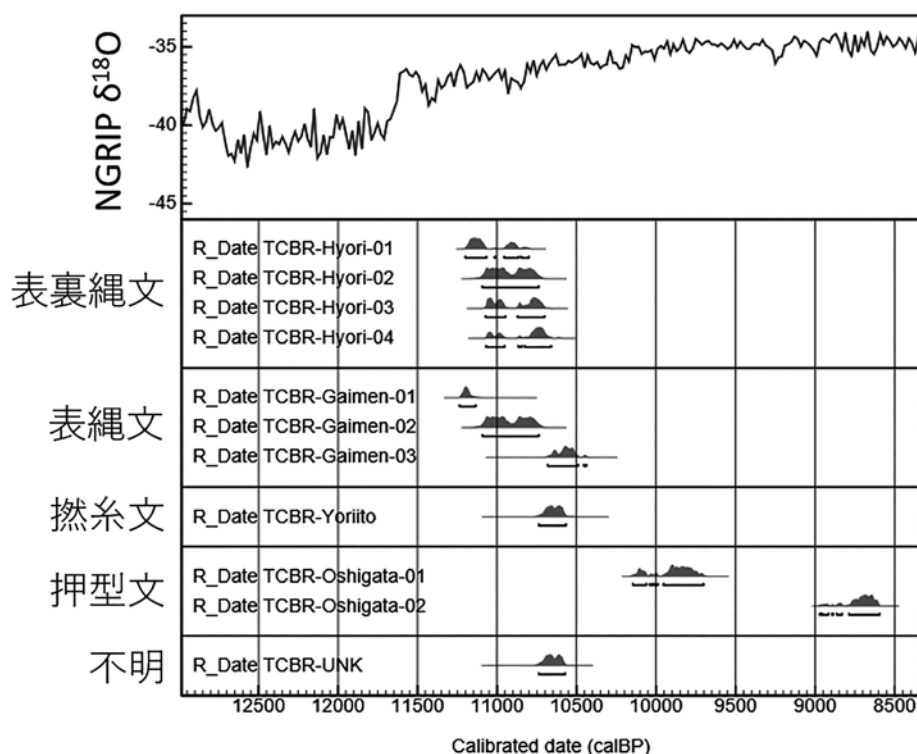


図4. 本研究で測定した栃原岩陰遺跡出土土器付着炭化物の校正放射性炭素年代の確率分布。下線は2標準偏差の分布範囲（95.4%）を示す。上部には、北半球の気候変動を反映するとされるグリーンランド氷床コア（NGRIP）の酸素同位体比を示した（NGRIP 2004）。

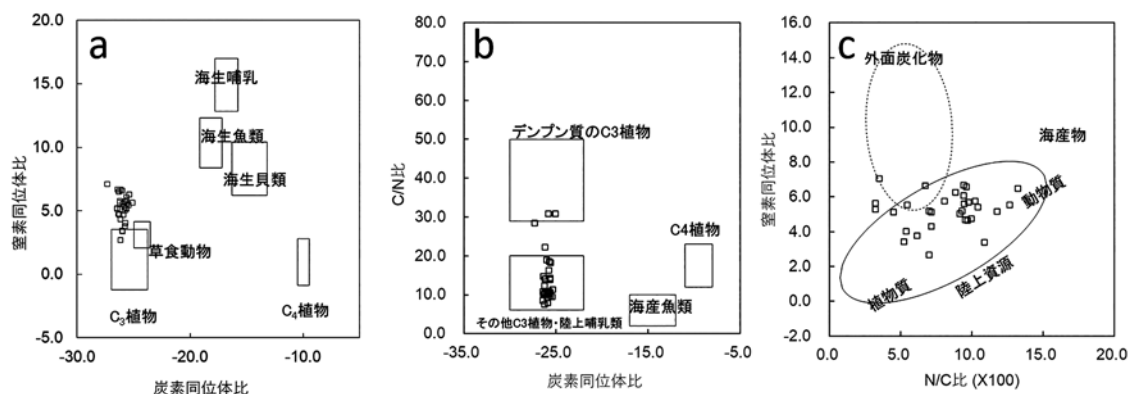


図5. 栃原岩陰遺跡の縄文早期土器の付着炭化物における炭素・窒素同位体比と元素濃度比。炭素・窒素同位体比(a)と、炭素同位体比とC/N比(b)による従来の解析法と、N/C比と窒素同位体比(c)による新たな解析法。

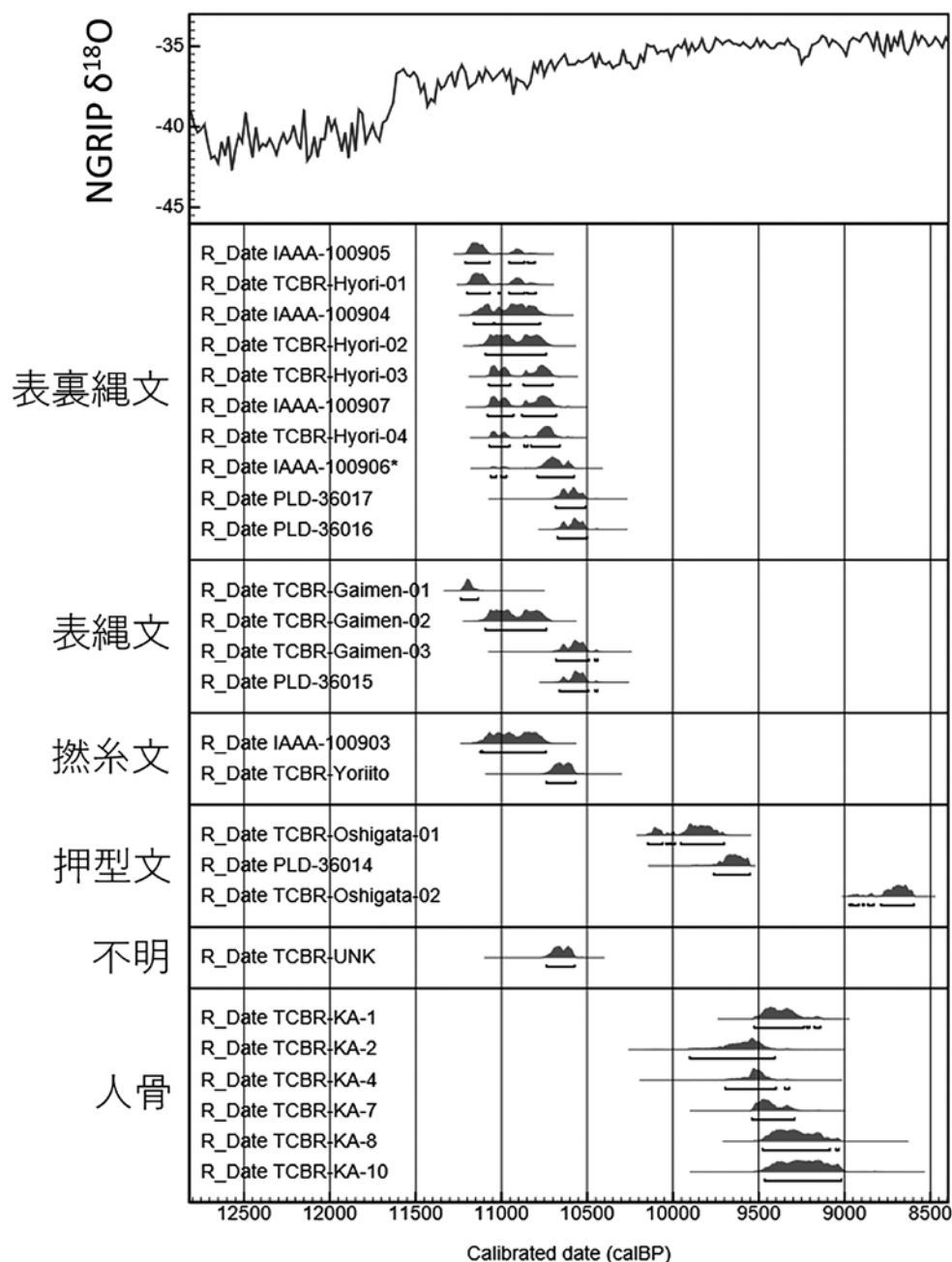


図6. 栃原岩陰遺跡出土土器付着炭化物の較正放射性炭素年代の確率分布。下線は2標準偏差の分布範囲（95.4%）を示す

する炭素同位体比とC/N比の散布図では、多くの資料がデンプン質以外のC3植物と動物というカテゴリに位置し、数点がデンプン質のC3植物と類似する(図5b)。C4植物や海産魚類と分類されるデータはみられなかった。ただし、この方法では水産物利用は検出できないので注意が必要である。最後に窒素を中心に解析する窒素同位体比とN/C比の散布図をみると、多くの資料が陸上生態系資源の範囲におさまっており、海産物など窒素が高いと期待される魚貝類については利用がなかったと推定された(図5c)。ただし、淡水魚では窒素同位体

比が低い場合も想定されるので、水産物利用についてはさらに検討が必要である。

栃原岩陰遺跡でC/N比が非常に高く、デンプン質のC3植物利用が示唆された3点については、窒素同位体比がかなり高いので外面の炭化物のように高温にさらされた可能性があり、デンプン質食料の証拠とするのは保留の方が良い。植物質あるいは動物質に偏るデータはすくなく、植物を単独で調理・加工してできたオコゲは今回分析した資料のなかには含まれていないようである。また、鳥浜貝塚と栃原岩陰のN/C比を比較すると

表3. 撚糸文土器に係る放射性炭素年代

番号	遺跡名	試料の種類	時代詳細	¹⁴ C年代	(1SD)	試料番号	図中番号
2815	黒姫洞窟	土器付着物, 焦, 口縁内	撚糸文	10060	60	MTC-08566	Yoriito-10
27512	三角山 I 遺跡	土器付着炭化物	岩本式・関東地方撚糸文土器	9890	60	MTC-05833	Yoriito-20
2814	黒姫洞窟	土器付着物, 焦, 胴内	撚糸文	9850	40	Beta-194820	Yoriito-12
18673	黒姫洞窟遺跡	土器付着物	撚糸文	9850	40	Beta-194820	Yoriito-13
6110	取掛西貝塚	ヤマトシジミ	撚糸文土器	9820	35	PLD-11156	Yoriito-02
23955	葛山大端ヶⅢ遺跡	土器付着炭化物	撚糸文	9820	40	IAAA-111831	Yoriito-16
6109	取掛西貝塚	ヤマトシジミ	撚糸文土器	9750	35	PLD-11155	Yoriito-03
2816	黒姫洞窟	土器付着物, 焦, 口縁内	撚糸文	9720	40	Beta-194819	Yoriito-11
18674	黒姫洞窟遺跡	土器付着物	撚糸文	9720	40	Beta-194819	Yoriito-14
7117	新宿六丁目遺跡	炭化物	撚糸文期	9510	100	Tka-12831	Yoriito-08
7118	新宿六丁目遺跡	炭化物	撚糸文期	9460	130	Tka-12832	Yoriito-07
32008	万太郎遺跡	炭化材	押型文土器・撚糸文土器	9355	30	PED-10156	Yoriito-17
6107	取掛西貝塚	炭化材片	撚糸文土器	9320	70	MTC-11932	Yoriito-05
32007	万太郎遺跡	炭化材	押型文土器・撚糸文土器	9230	30	PED-10155	Yoriito-18
6111	取掛西貝塚	種実(ミズキ炭化核)	撚糸文土器	9210	30	PLD-21550	Yoriito-04
6108	取掛西貝塚	炭化材片	撚糸文土器	9140	70	MTC-11933	Yoriito-01
18672	黒姫洞窟遺跡	土器付着物	撚糸文	9050	50	IAAA-40495	Yoriito-15
31474	尾花A遺跡	炭化材(コナラ属コナラ節)	撚糸文	8480	60	Beta-226351	Yoriito-19
(以下のデータは比較に使用しない)							
6466	井の頭池遺跡群C地点	黒シルト質粘土	撚糸文土器	8230	120	GaK-14023	
8843	東田原象ヶ谷戸遺跡	炭化物	撚糸文期	4420	30	IAAA-132351	
27467	桐木耳取遺跡	土器付着炭化物	瀬戸内系撚糸文土器	4380	50	PLD-3003	

後者が有意に低い値を示しており（ウィルコクソン順位
和検定 $W=368$, $p=0.0007427$ ）、淡水魚の影響ではなく
植物質の増加と判断できる。

考察

本研究で測定した12点の土器付着炭化物に、先行研
究で報告された土器付着炭化物ならびに人骨の放射性
炭素年代と比較する（図6；藤森 2012、Yoneda et al.
2002、北相木村教育委員会 2019）。先行研究で測定され
た表裏縄文・表裏撚糸文土器ならびに撚糸文土器（IAAA
あるいはPLDとして示されたデータ）は、本研究で示し
た年代とほぼ一致した。表裏縄文土器と撚糸文土器、表
裏縄文土器は、栃原岩陰遺跡では併用されたと考えられる。
人骨の年代は押型文土器の年代と一致しており、完新世
の最初頭ではなく、完新世開始から2000年ほど経過し
た、新たな環境に適応するには十分な時間を経過した人
類集団であることを意識する必要がある。

表裏縄文土器は、大谷寺洞窟や椈の湖遺跡の事例が山
内清男によって検討され、撚糸文土器に先行する土器群
として知られ、皮革加工具とされるスクレーパーとの関
係から、近年では晩水期のヤングドリラス寒冷期に対
応すると考えられてきた（保坂 1999、堤 2000）。しか
し撚糸文土器群に並行する早期前葉まで繰り下がるとい
う指摘がなされて（阿部1988、宮崎・金子 1995）、栃原
岩陰遺跡の資料群でも型式学的検討から、表裏縄文土器
の変遷では第2～4段階の早期前葉と位置づけられて
いる（藤山 2019）。そこで、国立歴史民俗博物館の遺跡
発掘調査報告書放射性炭素年代測定データベースを用
い（工藤ら 2018）、「フリーワード」で「撚糸文」と検
索して得られた21点（2020年5月13日現在）のうち、
明らかに外れ値である3点を除いた18点と比較した（表
3）。撚糸文土器は完新世開始直後の11,600 cal BPか
ら10,000 cal BPごろまでの数千年使用されていたが、
そのなかで栃原岩陰遺跡の表裏縄文土器は中頃の新宿六

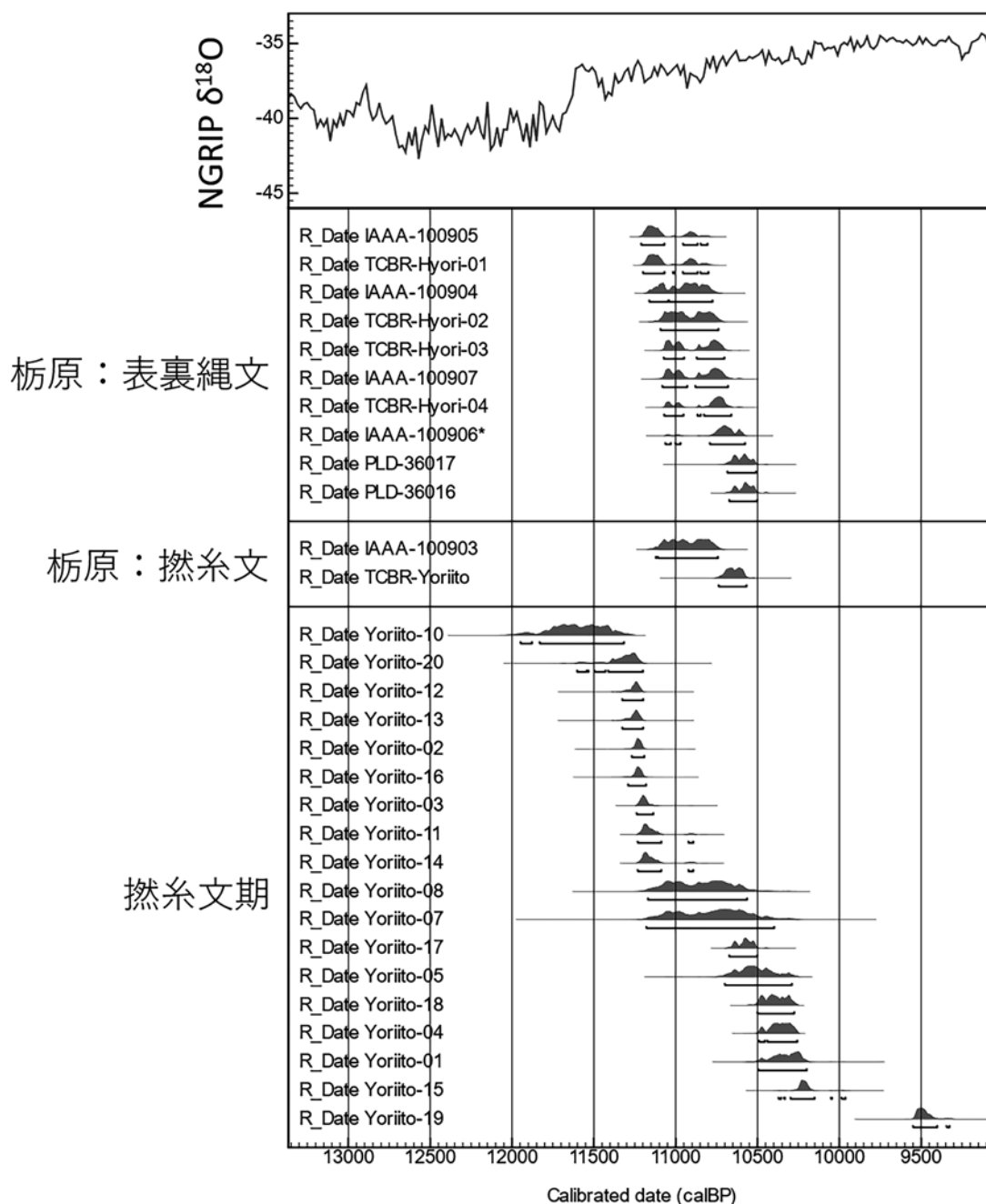
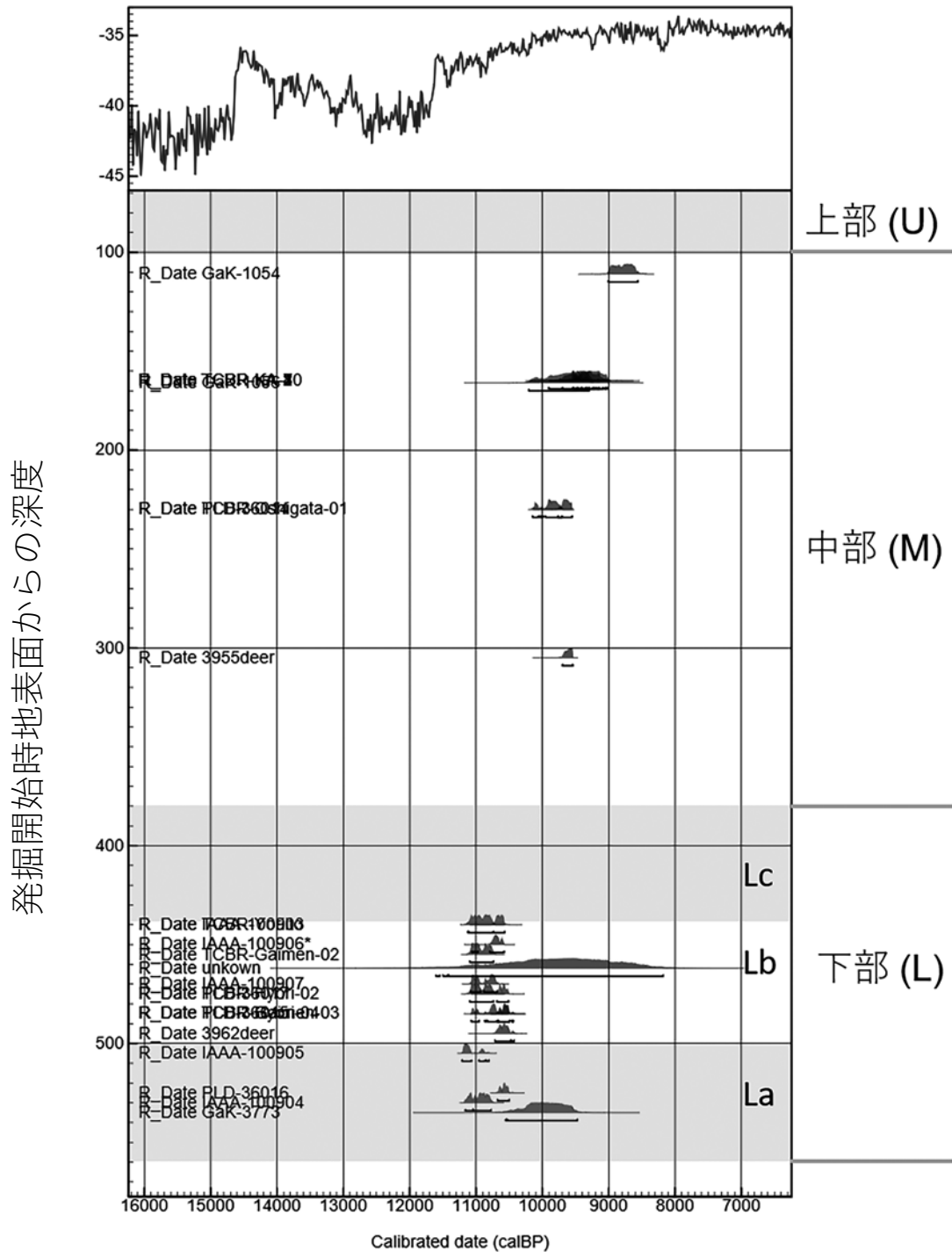


図7. 表裏縄文土器群と撚糸文土器群の較正放射性炭素年代の確率分布。下線は2標準偏差の分布範囲（95.4%）を示す

丁目遺跡（Yoriito-07と08）と黒姫洞窟遺跡（Yoriito-11と14）に近い年代で比定された（図7）。この年代は小林ら（2015）の区分では、3-3期とされた稲荷台式（江ノ島）・稲荷原式の年代範囲（11,090～10,690 cal BP）とほぼ一致する。栃原岩陰遺跡では下部中位（Lb：藤山2019による区分）に対応する深度から稲荷台式土器が確認されており、今回の年代学的検討と矛盾しない。

従来の評価では、栃原岩陰遺跡の表裏縄文土器は撚糸文土器と並行する「早期初頭」に位置づけられたが（小林 2012）、今回分析した栃原岩陰遺跡下部中位（Lb）

の表裏縄文土器群は撚糸文土器の最も古い段階よりはやや新しい可能性がある。本研究で分析した表裏縄文土器は深度が記録されているものは、すべて下部中位（Lb）に相当する。発掘調査報告書で報告された木炭や鹿骨の放射性炭素年代を加えて（北相木村教育委員会 2019）、現地表面からの深度と年代の関係を図示すると、ベータ線計測による計測値2点（GaK-3773とunknown）は大きくずれるが堆積には概ね層序と整合的であり、下部の年代は11,000～10,500 cal BPに集中する（図8）。下部の下位（La）がやや古い値を示しているが、深度不明



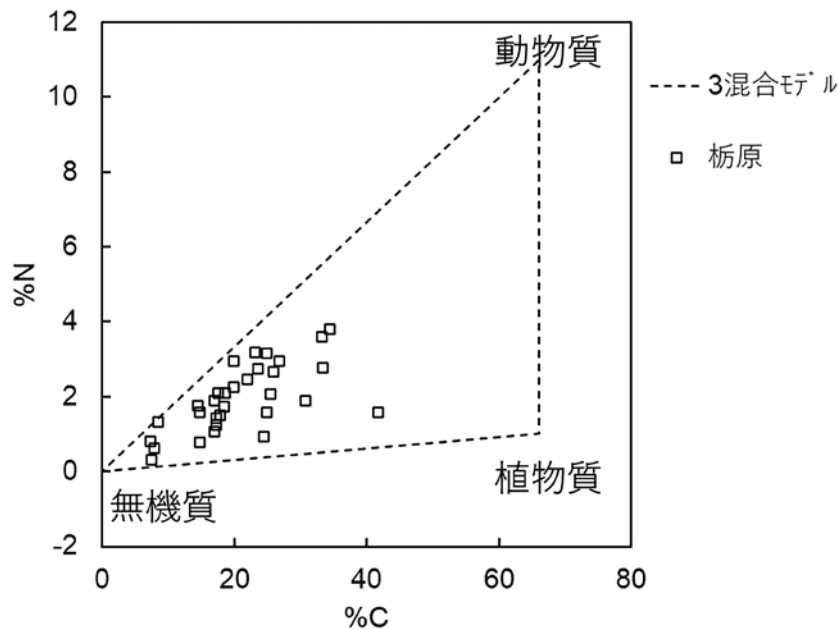


図9. 栃原岩陰遺跡の土器付着炭化物の炭素・窒素濃度

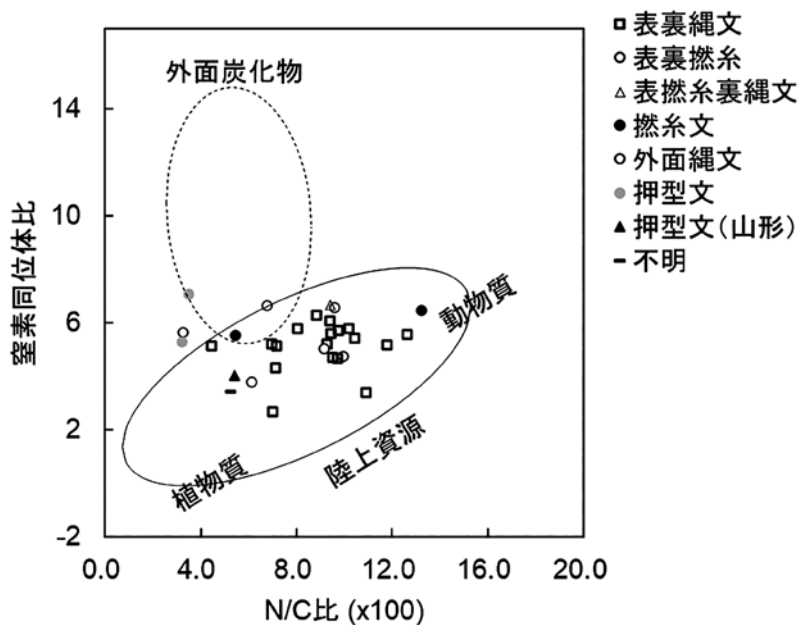


図10. 栃原岩陰遺跡出土土器の文様によるN/C比と窒素同位体比の比較

栃原岩陰遺跡の土器付着炭化物は主に陸上の動物と植物から形成されたと推定された。大宮台地で推定した陸上資源の範囲と大きくかわらない。また、3つの元素濃度がことなる素材が混合しているというモデルと比較すると (Yoneda et al. 2019)、無機物の割合が相対的に多いが矛盾しないことが示された (図9)。これらは、窒素を中心とした同位体分析が日本列島の広い範囲で応用できる可能性を示している。ただし、淡水魚では窒素同位体比が低い場合も想定されるので、淡水魚の利用についてはさらに基礎データが必要である。

栃原岩陰遺跡の土器付着炭化物は早期前葉の表裏縄文土器を中心に押型文期までの早期中葉の資料群であり、C4植物や海産物(遡上性のサケ類を含む)の利用は少なく、陸上の動物質食料と植物質食料を混合して形成されたオコゲだと考えられた。この結果からは、脂質分析から示された早期の土器も水産物加工に特化しているという推定は支持されない (Lucquin et al. 2018)。埼玉県デーノタメ遺跡の分析結果では、植物質を強く反映する土器付着物が確認され、植物質を加工するための道具が存在した可能性が示されたが (米田ら 2019)、栃原岩陰遺跡ではそのような植物加工容器の証拠は見つからなかった。これは植物質と動物質を一緒に調理した結果か、同じ容器を時には植物質、時には動物質に使用した情報の蓄積であるのか、土器付着物の形成期間についての検討が不十分で分からない。土器付着物と残留脂質が記録する情報の時間解像度については、今後さらに研究が必要だ。

もしも栃原岩陰遺跡で利用された淡水魚の窒素同位体比が低い値をしめすならば、今回の示された動物質のなかに水産物が含まれることを否定するものではない。しかし、鳥浜貝塚のよりも有意に低いN/C比は海産魚と淡水魚の違いでは説明できず、一定量の植物質が栃原岩陰遺跡

の土器付着炭化物には含まれていることを強く示唆する。脂質分析では水産物の利用を特異的なバイオマーカーから証明することができるが、それ以外の食資源については間接的な証拠しかなく、不在の証明はできない点に注意が必要だ。一方、付着物の同位体分析は植物質と動物質の寄与を量に応じて反映すると考えられるので、植物利用についてはより信頼できるデータと考えられる。縄文時代草創期から早期の植物利用については、土器付着物の炭素同位体比を検討した結果、いくつかの

海洋資源の利用が見られたが、C 3生態系の動植物を利用したという以上の解釈が困難であった（小林 2018）。今後、炭素ではなく窒素に着目して、土器付着炭化物の同位体比を再解析することが必要だ。

次に、土器文様で窒素の由来を比較すると、表裏縄文土器は広い分布を示すのに対し、2点の撚糸文土器のうち1点は最も動物質が多い傾向があるがもう1点は比較的植物質が多く、特定の傾向を見いだせないが、押型文土器では植物質が多い傾向にみられる（図10）。表裏縄文土器と撚糸文土器は放射性炭素年代からも、型式学的にも同時期に使用されていたと推定されたが、もしかすると使用方法に違いがあったのかもしれない。現時点では撚糸文土器については2点しかデータがなく傾向は見いだせないが、土器文様と使用方法の比較検討ができれば、縄文土器になぜ文様が施されたのか、議論するための手がかりになるかもしれない。今後さらにデータを増やして検討する意義があるだろう。

押型文土器は放射性炭素年代からも表裏縄文土器・撚糸文土器よりも新しい年代になることが示されており、押型文土器に付着した炭化物で植物質の寄与がより大きいという傾向は、早期前葉から中葉にかけての時代変化である可能性がある。押型文土器についてもデータ数が少ないので、今後さらに検討が必要だ。放射性炭素年代の対比から、栃原岩陰遺跡の人骨群は押型文期に比定された。押型文土器に付着した炭化物では、C 3生態系の動植物から構成され、表裏縄文土器よりも植物質が比較的多いと推定した。人骨でも、水産物の寄与が極めて少なく、C 3生態系の一員であると推測されており（Yoneda et al. 2002）、土器付着物の解釈と矛盾しない。しかし、アミノ酸窒素同位体比から推定した栄養段階は肉食動物に近く、動物質の寄与が大きいと推定された（Naito et al. 2013）。早期前葉の表裏縄文土器期の食生活では、押型文期よりもさらに動物質の割合が多かったのかもしれないし、押型文期には土器を用いない動物肉の調理法が採用されていたのかもしれない。植物加工具とされる磨石・凹石の8割が表裏縄文期の下部から出土しており（北相木村教育委員会 2019）、石器の用途も含め検討していく必要がある。土器や土器残留物の化学分析は土器の機能についての情報は提供できるが、必ずしも食生活全体の様相を示すとは限らない点に注意しながら、さらに人骨の同位体分析や石器組成と土器付着炭化物の比較検討を行い、土器の機能から見える食料資源の利用・獲得戦略について議論を深めていきたい。

謝辞

北相木村考古博物館には貴重な資料を分析する機会をいただいた。藤山龍造先生には重要な文献と貴重なご意見をご教示頂いた。記して謝意を表する。本研究は、科学研究費補助金基盤研究（A）「初期の縄文土器の機能に関する総合的研究」（20H00024）、明治大学資源利用史研究クラスターの研究成果の一部である。

引用文献

- Ascough, P.L., M.I. Bird, S.M. Francis, T. Lebl (2011) Alkali extraction of archaeological and geological charcoal: evidence for diagenetic degradation and formation of humic acids. *Journal of Archaeological Science* 38, 69-78.
- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51 (4), 337-360.
- Craig, O.E. et al. (2013) Earliest evidence for the use of pottery. *Nature* 496, 351-354.
- Craig, O.E., M. Foster, S.H. Andersen, E. Koch, P. Crombe, N.J. Milner, B. Stern, G.N. Bailey & C.P. Heron (2007) . Molecular and isotopic demonstration of the processing of aquatic products in northern European prehistoric pottery. *Archaeometry* 49, 135-152.
- de Vries, H.L. & G.W. Barendsen (1954) Measurements of age by the carbon-14 technique. *Nature* 174, 1138-1141.
- Kitagawa, H., T. Masuzawa, T. Nakamura, and E. Matsumoto (1993) A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS C-14 measurements. *Radiocarbon* 35, 295-300.
- Naito, Y.I., Y. Chikaraishi, N. Ohkouchi, and M. Yoneda (2013) . Evaluation of carnivory in inland Jomon hunter-gatherers based on nitrogen isotopic composition of individual amino acids in bone collagen. *Journal of Archaeological Science* 40, 2913-2923.
- Habu, J. (2004) "Ancient Jomon of Japan" Cambridge University Press
- Hastorf, C.A. & M.J. DeNiro (1985) Reconstruction of prehistoric plant production and cooking practices by a new isotopic method. *Nature* 315, 489-491.
- Heron, C. & O.E. Craig (2015) Aquatic resources in foodcrusts: identification and implication. *Radiocarbon* 57, 707-719.
- Lucquin, A. et al. (2018) The impact of environmental change on the use of early pottery by East Asian hunter-gatherers.

- Proceedings of National Academy of Science, U.S.A. 115, 7931-7936.
- North Greenland Ice Core Project member (2004) High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* 431, 147-151.
- Reber, E.A. & R.P. Evershed (2004) Identification of maize in absorbed organic residues: a cautionary tale. *Journal of Archaeological Science* 31, 399-410.
- Reimer, P.J., E. Bard, A. Bayliss, J.W. Beck, P.G. Blackwell, C. Bronk Ramsey, C.E. Buck, H. Cheng, R.L. Edwards, M. Friedrich, P.M. Grootes, T.P. Guilderson, H. Halldason, I. Hajdas, C. Hatté, T.J. Heaton, D.L. Hoffmann, A.G. Hogg, K.A. Hughen, K.F. Kaiser, B. Kromer, S.W. Manning, M. Niu, R.W. Reimer, D.A. Richards, E.M. Scott, J.R. Southon, R.A. Staff, C.S.M. Turney, and J. van der Plicht (2013) IntCal 13 and Marine 13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55 (4), 1869-1887.
- Shoda, S., A. Lucquin, C. Sou, Y. Nishida, G. Sun, H. Kitano, J.-h. Son, S. Nakamura, O.E. Craig (2018) Molecular and isotopic evidence for the processing of starchy plants in Early Neolithic pottery from China. *Scientific Reports* 8, 17044.
- Stuiver, M., and H.A. Polach (1977) Discussion: Reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon* 19 (3), 355-363.
- Vaiglova P, Bogaard A, Collins M, Cavanagh W, Mee C, Renard J, Lamb A, Gardeisen A, and Fraser R. (2014) An integrated stable isotope study of plants and animals from Kouphovouno, southern Greece: a new look at Neolithic farming. *Journal of Archaeological Science* 42:201-215.
- Yoneda, M., M. Hirota, M. Uchida, A. Tanaka, Y. Shibata, M. Morita, and T. Akazawa (2002) Radiocarbon and stable isotope analyses on the Earliest Jomon skeletons from the Tochibara rockshelter, Nagano, Japan. *Radiocarbon* 44 (2), 549-557.
- Yoshida, K., D. Kunikita, Y. Miyazaki, Y. Nishida, T. Miyao & H. Matsuzaki (2013) Dating and stable isotope analysis of charred residues on the Incipient Jomon pottery (Japan). *Radiocarbon* 56, 1322-1333.
- Yoneda, M., K. Kisida, T. Gakuhari, T. Omori, Y. Abe (2019) Interpretation of bulk nitrogen and carbon isotopes in archaeological foodcrusts on potshards. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 33, 1097-1106.
- 阿部芳郎 (1988) 「表裏縄文系土器群の再検討」『富士吉田市史研究』3号 (富士吉田市史編纂室), 24-49.
- 泉拓良 (2002) 「縄文文化論」『日本の時代史1 倭国誕生』, 129-170, 吉川弘文館
- 岡本明朗 (1962) 「日本における土器出現の自然的・社会的背景について」『考古学研究』8 (4), 10-16
- 梶原洋 (1998) 「なぜ人類は土器を使いはじめたのか—東北アジアの土器の起源—」『科学』68, 296-304.
- 北相木村教育委員会編 (2019) 『栃原岩陰遺跡発掘調査報告書 第1次～第15次調査 (1965～1978)』北相木村教育委員会
- 工藤雄一郎 (2012) 『旧石器・縄文時代の環境文化史』新泉社
- 小林謙一 (2012) 「栃原岩陰遺跡「下部」出土土器の炭素14年代について」『佐久考古通信』111, 7-8.
- 小林謙一 (2018) 「縄文時代草創期・早期土器付着物の同位体比の検討」『中央大学文学部紀要』271, 1-33.
- 小林謙一・米田稔・坂本稔 (2015) 「趣旨説明 縄文時代草創期から早期の年代と文化変化」『日本考古学協会第81回総会研究発表要旨』116-117.
- 小林達雄 (1982) 「総論」『縄文文化の研究3 縄文土器I』3-15, 雄山閣.
- 近藤義郎 (1965) 「後氷期における技術的革新の評価について」『考古学研究』12 (1), 10-15.
- 工藤雄一郎 (2013) 「土器出現の年代と古環境研究史の整理から」『国立歴史民俗博物館研究報告』178, 1-54.
- 工藤雄一郎・坂本稔・箱崎真隆 (2018) 「遺跡発掘調査報告書放射性炭素年代測定データベース作成の取り組み」『国立歴史民俗博物館研究報告』212, 251-266.
- 坂本稔 (2007) 「安定同位体比に基づく土器付着物の分析」『国立歴史民俗博物館研究報告』137, 305-315.
- 庄田慎矢 (2017) 「土器付着物塊状試料の窒素・炭素安定同位体比の解釈について」『SEED CONTACT』4, 33-34.
- 庄田慎矢・オリヴァー＝クレイグ (2017) 「土器残存脂質分析の成果と日本考古学への応用可能性」『日本考古学』43, 79-89.
- 谷口康浩 (2002) 「縄文早期の始まる頃」『異貌』20, 2-36.
- 堤隆 (1999) 「晩氷期へと突入する縄文草創期」『考古

- 学ジャーナル』442, 43-44.
- 堤隆 (2000) 「搔器の機能と寒冷適応としての皮革利用システム」『考古学研究』47, 66-84.
- 中村俊夫・辻誠一郎 (1999) 「青森県東津軽郡蟹田町大平山元I遺跡出土の土器破片表面に付着した微量炭化物の加速器¹⁴C年代」『大平山元I遺跡の考古学的調査』(大平山元I遺跡調査団編) 107-111
- 内藤裕一・力石嘉人・大河内直彦・米田穰 (2012) 「古人骨および動物遺存体のアミノ酸窒素同位体分析について」『佐久考古通信』111, 17-18.
- 西沢寿晃 (1982) 「栃原岩陰遺跡」『長野県史 考古資料編全1巻 (2) 主要遺跡 (北・東信)』, 559-584.
- 藤森英二 (2012) 「栃原岩陰「下部」出土土器のAMS法による放射性炭素年代測定」『佐久考古通信』111, 2-6.
- 藤山龍造 (2019) 「表裏縄文土器群の変遷観—栃原岩陰遺跡の再評価を通じて—」『古代文化』71, 169-190.
- 保坂康夫 (1999) 「縄文時代草創期段階の搔器について：山梨県高根町社口遺跡の分析から」『山梨考古学論集』IV, 1-20.
- 宮田佳樹・小嶋孝修・松谷暁子・遠部慎・西本豊弘 (2007) 「西日本最古のキビ 滋賀県竜ヶ崎A遺跡の土器付着炭化物」『国立歴史民俗博物館研究報告』137, 255-265.
- 宮下健司 (1980) 「土器の出現と縄文文化の起源 (試論)—自然環境の復元と土器の機能を中心として」『信濃』32-4, 421-457.
- 米田穰 (2012) 「栃原岩陰遺跡から出土した縄文時代早期人骨および動物骨の同位体分析」『佐久考古通信』111, 13-16.
- 米田穰・阿部芳郎 (2017) 「南鴻沼遺跡から出土した土器付着炭化物と植物遺存体における炭素・窒素同位体比」『さいたま市遺跡調査会報告書第177集 南鴻沼遺跡 (第3分冊)』(さいたま市遺跡調査会編) 245-269.
- 米田穰・阿部芳郎・岸田快正 (2018) 「土器付着炭化物の同位体分析」『埼玉県埋蔵文化座調査事業団報告書第444集 大木戸遺跡III 大宮西部特定土地地区画整理事業地内埋蔵文化財発掘調査報告 (第2分冊)』(埼玉県埋蔵文化座調査事業団編) 264-275, 埼玉県埋蔵文化財調査事業団.
- 米田穰 (2019) 「放射性炭素年代測定・人骨」『栃原岩陰遺跡発掘調査報告書 第1次～第15次調査 (1965～1978)』(北相木村教育委員会編), 298-299.
- 米田穰・大森貴之・覚張隆史・岸田快生・阿部芳郎 (2019) 「デーノタメ遺跡から出土した土器に付着する炭化物の炭素・窒素同位体比」『デーノタメ遺跡総括報告書 (第2分冊)』(北本市教育委員会編), 583-597.
- 吉田邦夫 (2006) 「煮炊きして出来た炭化物の同位体分析」『新潟県立歴史博物館研究紀要』7, 51-58.
- 渡辺誠 (1968) 「日本列島における土器出現の背景をめぐって」『古代文化』20, 171-177