

## オラーン・ボラク匈奴墓地出土人骨の 同位体分析と放射性炭素年代測定

米田穰・尾崎大真・大森貴之

(東京大学総合研究博物館 放射性炭素年代測定室)

### I. はじめに

東京大学の学内共用事業の一環として、モンゴル国セレンゲ<sup>アイマク</sup>県ヨロー<sup>ソム</sup>郡オラーン・ボラク匈奴墓地から出土した人骨3点について、残存するコラーゲンを抽出・精製し、炭素と窒素の安定同位体比と放射性炭素年代を測定した。安定同位体比は主たるタンパク質源の特徴を反映するので食生活についての情報を、放射性炭素年代からはそれぞれの個体の死亡した時期を推定することが可能である。

### II. 資料と方法

分析は tomb 1、tomb 2、tomb 3 から出土した人骨3点(表1)を用いて、酸とアルカリによる洗浄に加えて、ゼラチン化処理によってコラーゲンを抽出。洗浄した [Longin 1971; Yoneda *et al.* 2002]。まず、サンドブラストと純粋中での超音波洗浄(10分間)で表面の付着物を除去し、0.4Mの塩酸中に39時間静置して、骨の無機成分であるヒドロキシアパタイトを脱灰した。純水中に6時間静置することで中性に戻してから、室温の0.1 M水酸化ナトリウム溶液中に1.5時間静置して、残存する土壌有機物(フルボ酸とフミン酸)を溶解した。再び純水中に3.5時間静置して中性に戻してから、塩酸でpH4に調整した溶液中で90℃に加熱して、コラーゲンをゼラチン化した。ゼラチン溶液から不溶成分を除去するために、ガラス繊維ろ紙(Whatman GF/

F)で吸引濾過し、回収された溶液を凍結乾燥することでゼラチンを得た。

炭素および窒素の重量含有率および安定同位体比の測定は、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装置を用いて行った。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。

年代測定に用いるグラファイト試料は、銀カップに秤量し、Elementar社製vario ISOTOPE SELECT元素分析計に導入し、燃焼後、精製された二酸化炭素を真空ガラスラインに導入し、あらかじめ鉄触媒約2mgを秤量したコック付き反応管に水素ガス(炭素モル数の2.2倍相当)とともに封入して、650℃で6時間加熱して作製した [Omori *et al.* 2017]。グラファイト化した炭素試料における放射性炭素同位体比の測定は、東京大学総合研究博物館が所有する加速器質量分析装置(AMS)を用いて測定した。慣用 $^{14}\text{C}$ 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]。 $^{14}\text{C}$ 年代の誤差は1標準偏差を示す。

測定結果である慣用 $^{14}\text{C}$ 年代から、より正確な暦年代を推定する暦年較正には、専用プログラムOxCal4.2を使用し [Bronk Ramsey 2009]、北半球の大気・陸上生物用の較正データセットIntCal20を参照して実施した [Reimer *et al.* 2020]。

表1 分析試料

資料名	資料ID	部位
Ulaan bulag, tomb 1	S-24131	指骨
Ulaan bulag, tomb 2	S-24132	指骨
Ulaan bulag, tomb 3	S-24133	肋骨

### Ⅲ．結果と考察

表 2 に前処理によるゼラチンの回収率 (重量%) を示す。回収率が 1% 未満の場合は、コラーゲンが変性している可能性が指摘されているが [van Klinken 1999]、いずれの資料も 13% 以上の高い値をしめしている。表 3 に炭素と窒素の元素分析と安定同位体比測定の結果をしめす。生体中のコラーゲンの場合、炭素と窒素の濃度 (重量%) がそれぞれ 13% 以上、4.8% 以上となること、C/N 比 (原子数) が 2.9 と 3.6 の間になると期待されるが [DeNiro 1985, van Klinken 1999]、今回抽出した 3 点ゼラチンはいずれの条件からも保存状態のよいコラーゲンから構成されることが示唆された。炭素同位体比は -15‰ と C3 植物を生産者とする生態系を利用した場合に想定される -21‰ よりも高い値を示しており、C4 植物である雑穀 (アワ・キビ) とそれを食べた家畜を多く利用したと考えられる。窒素同位体比が陸上生態系として高いのは、動物質が多かったことや乾燥による影響などが考えられる。

表 4 に慣用 14C 年代 (未校正 14C 年代) を、表 5 と表 6 に IntCal20 を参照して推定された校正 14C 年代の確率密度分布をまとめた。校正年代は、1 標準偏差 (68.2%) と 2 標準偏差 (95.4%) に相当する範囲で示され、表 5 は 1950 年を基準とした cal BP、表 6 は西暦に換算した結果となる。3 点のうち tomb 1 と tomb 2 の 2 点は紀元後 1 世紀ごろ、tomb 3 の 1 点は紀元前 1 世紀から紀元後 1 世紀に由来すると推定された (図 1)。

#### 引用文献

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51(4), 337-360.

表 2 前処理によるゼラチンの回収率

資料名	前処理 ID	処理前試料	ゼラチン	回収率
Ulaan bulag, tomb 1	PCO-5628	0.1329 g	20.27 mg	15.3%
Ulaan bulag, tomb 2	PCO-5629	0.1520 g	27.37 mg	18.0%
Ulaan bulag, tomb 3	PCO-5630	0.3999 g	52.31 mg	13.1%

表 3 元素および安定同位体比の分析結果

資料名	測定 ID	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	炭素濃度	窒素濃度	C/N 比
Ulaan bulag, tomb 1	YL48351	-15.5‰	9.3‰	41.2%	15.1%	3.2
Ulaan bulag, tomb 2	YL48352	-15.0‰	10.4‰	41.9%	15.3%	3.2
Ulaan bulag, tomb 3	YL48353	-15.0‰	12.0‰	41.8%	15.3%	3.2

DeNiro, M.J. (1985). Postmortem preservation and alteration of in vivo bone-collagen isotope ratios in relation to paleodietary reconstruction. *Nature* 317, 806-809.

Longin, R. (1971). New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature*, 230, 241-242.

Omori, T., Yamazaki, K., Itahashi, Y., Ozaki, H., 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., J. van der Plicht, C., 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., Talamo, S. (2020) The IntCal20 Northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62(4), 725-757.

Stuiver, M., and H.A. Polach (1977). Discussion: Reporting of  $^{14}\text{C}$  data. *Radiocarbon* 19(3), 355-363.

van Klinken, G.J. (1999). Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. *Journal of Archaeological Science* 26, 687-695.

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, 549-557.

表 4 放射性炭素年代測定の結果

資料名	測定 ID	<sup>14</sup> C 年代	補正用 δ <sup>13</sup> C
Ulaan bulag, tomb 1	TKA-26160	1961 ± 19 BP	-15.1 ± 0.2 ‰
Ulaan bulag, tomb 2	TKA-26161	1955 ± 20 BP	-14.2 ± 0.3 ‰
Ulaan bulag, tomb 3	TKA-26162	1982 ± 20 BP	-13.8 ± 0.3 ‰

表 5 推定される較正年代と注記 (cal BP 表記)

資料名	較正年代 (1SD)	較正年代 (2SD)	較正データ	注記
Ulaan bulag, tomb 1	1924 cal BP(56.5%)1869 cal BP 1852 cal BP(11.7%)1840 cal BP	1942 cal BP(95.4%)1828 cal BP	IntCal20	
Ulaan bulag, tomb 2	1923 cal BP(18.0%)1904 cal BP 1893 cal BP(29.3%)1867 cal BP 1855 cal BP(21.0%)1835 cal BP	1941 cal BP(95.4%)1826 cal BP	IntCal20	
Ulaan bulag, tomb 3	1977 cal BP( 5.8%)1968 cal BP 1943 cal BP(62.5%)1881 cal BP	1990 cal BP(15.7%)1959 cal BP 1950 cal BP(72.9%)1867 cal BP 1855 cal BP( 6.8%)1835 cal BP	IntCal20	

表 6 推定される較正年代と注記 (BC/AD 表記)

資料名	較正年代 (1SD)	較正年代 (2SD)	較正データ	注記
Ulaan bulag, tomb 1	26 AD(56.5%)81 AD 99 AD(11.7%)110 AD	9 AD(95.4%)123 AD	IntCal20	
Ulaan bulag, tomb 2	28 AD(18.0%)46 AD 57 AD(29.3%)84 AD 96 AD(21.0%)116 AD	10 AD(95.4%)125 AD	IntCal20	
Ulaan bulag, tomb 3	28 BC( 5.8%)19 BC 8 AD(62.5%)70 AD	41BC(15.7%)10 BC 1AD(72.9%)84 AD 96AD( 6.8%)115 AD	IntCal20	

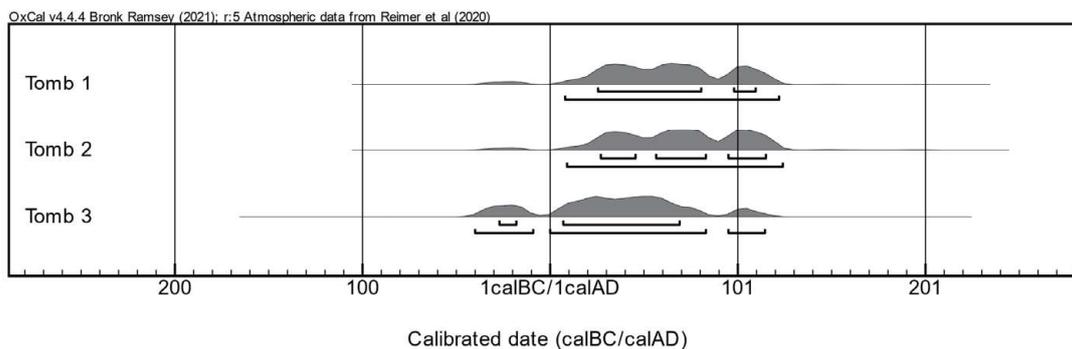


図 1 出土人骨 3 点の較正 <sup>14</sup>C 年代の確率密度分布  
下線の上が 1 標準偏差、下が 2 標準偏差に相当する範囲を示す。