

ヒト歯牙中 ^{14}C を用いた人体年齢の精密推定
Accurate age estimation using ^{14}C in human teeth

國田圭佑^{1*}・中村俊夫²
Keisuke Kunita^{1*}, Toshio Nakamura²

¹ 名古屋大学大学院 環境学研究科

² 名古屋大学年代測定総合研究センター

¹ Graduate school of Environmental Studies, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

² Center for Chronological Research, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

*Corresponding author. E-mail: kunita@nendai.nagoya-u.ac.jp

Abstract

One of the important tasks of forensic science is characterization of the unidentified dead bodies produced accidentally or criminally. These days, the estimation of the date of birth using bomb-produced ^{14}C is almost established in the north Europe and the US. The most accurate age estimation is the method of using human teeth enamel. However, in Japan, such studies have not been carried out yet, because of the necessity of examination for zonal effect of ^{14}C concentration and the difference of formation duration of teeth of the Japanese.

This study intended to establish the age estimation using teeth of the Japanese, and measured ^{14}C concentration of not only enamel but also collagen and inorganic matter of root of tooth. The ^{14}C analysis of roots suggested that the formation of the inorganic matter continued a few years after that of the collagen. And, by using the ^{14}C concentration of the root, the appropriate formation age ranges of enamel can be selected. Age estimation using teeth enamel can be conducted with an average error of 1.7 ± 1.4 years. This value is as accurate as those obtained by the previous studies conducted in the north Europe and in the US.

Age estimation using tooth of Japanese can be accurately conducted, and the result of this study assists with criminal investigation and forensic works in Japan to clarify the identity of unidentified cadavers.

Keywords: human tooth, enamel, ^{14}C , forensic science, nuclear bomb testing, age estimation

1. はじめに

1950年代後半から1960年代前半にかけて汎世界的に行われた大気圏内核実験により、大気中 ^{14}C 濃度は数十年間に急増と急減を示した(Hua *et al.*, 2013). 近年では、核実験由来高濃度 ^{14}C (グローバルな経年変動を記録)をトレーサーとして、科学捜査へ利用する研究が注目されている。なかでも、ヒト歯牙エナメル質中 ^{14}C を用いた誕生年推定法は、 ± 3 年と非常に優れた精度を誇り、身元不明遺体の個人特定の際、有力な情報となる(Spalding *et al.*, 2005; Calcagnile *et al.*, 2013). この方法は日本では未だ導入されておらず、主に北米・北歐地域における利用に留まっている。

2. 誕生年推定法の概要と日本での利用における問題点

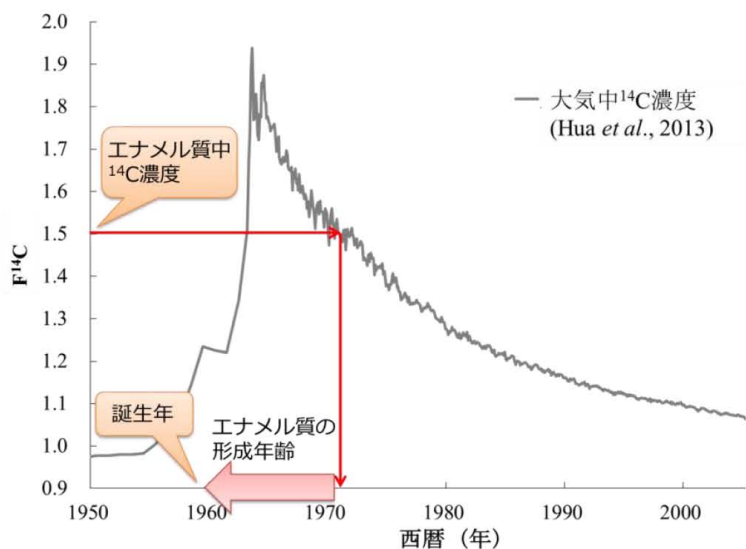


図1 エナメル質中¹⁴C濃度より誕生年を導く方法の概念図
Fig.1 Determination of the Date of Birth from ¹⁴C in tooth enamel

図1には誕生年推定方法の概念図を示した。まず、エナメル質中¹⁴C濃度より、大気中¹⁴C濃度変動のグラフ上を追うことで年代を得る。その後、与えられた年代から「エナメル質の形成年齢」を差し引く。この値が誕生年となる。歯牙エナメル質中¹⁴C濃度を用いた人体年齢精密推定法を、日本人に対し用いるためには以下の2つについて検討しなくてはならない

① 日本人歯牙エナメル質と大気中¹⁴C濃度の差

上述のように、この方法は、大気中¹⁴C濃度との直接

比較により、年代を導く。したがって、日本における大気中¹⁴C濃度変動(NH zone2, Hua et al., 2013)と日本人歯牙中¹⁴C濃度との間の差が無視できる程度であることを確認しなくてはならない。

② 人種による歯牙組織形成年齢の違い

歯牙組織の形成年齢は人種によって異なることが知られており(Smith 1991), 例えば, 第三大臼歯の形成年齢は, アメリカ人女性で14.0歳(Nolla 1960), 日本人女性で11.4歳(田中・大東, 1992)であるとされる。したがって, 日本人の誕生年推定を行う際には, 日本人の値を用いなくてはならない。表1に日本人エナメル質の形成年齢を示した。

表1 日本人歯牙エナメル質の形成年齢
Table1 Enamel formation age of the Japanese.

Tooth formation age of the Japanese													
Upper Teeth							Lower Teeth						
Tooth #	BOYS		GIRLS		AVERAGE		Tooth #	BOYS		GIRLS		AVERAGE	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right		Left	Right	Left	Right	Left	Right
1	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	1	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6
2	4.8	4.8	4.4	4.4	4.6	4.6	2	4.1	4.1	3.9	3.9	4.0	4.0
3	4.8	4.8	4.2	4.2	4.5	4.5	3	4.7	4.7	4.2	4.2	4.4	4.4
4	4.8	4.9	4.6	4.8	4.7	4.8	4	5.3		5.0		5.2	
5	6.0	6.1	5.9		6.0	6.0	5	6.1	6.2	5.9	6.0	6.0	6.1
6	2.7	2.6	2.7	2.8	2.7	2.7	6	2.6		2.6		2.6	
7		6.6	6.5		6.5	6.5	7	6.7		6.4		6.5	
8		11.7	11.4		11.5		8	12.3		12.3		12.3	

エナメル質形成年については、以下の論文を参照

上顎下顎1-3：西原・大東(1989)

上顎4-7：田中(1988)

下顎4-7：大東ほか(1997)

上顎下顎8：田中・大東(1992)

但し、核実験期の¹⁴C濃度変動はパルス状の変動をしているために、複数のエナメル質の形成年の候補が出てきてしまう。この問題の解決のため、種類が異なる複数の歯牙エナメル質を用いる方

法が挙げられているが、その他にも歯根中炭素成分を用いる方法が提案されている (Cook *et al.*, 2006; Alkass *et al.*, 2013) . 歯根はエナメル質よりも後に形成される。したがって、歯根中炭素の年代を算出し、エナメル質年代との比較を行うことで、エナメル質形成年を絞り込むことが可能となる。しかしながら、歯根中の炭素成分は有機成分(コラーゲン)と無機成分(アパタイト)が存在する。両者を同時に測定した先行研究はなく、誕生年推定に用いるにあたり、どちらが適当であるかも明らかにされていない。したがって、本研究では、歯根中有機成分・無機成分の ^{14}C 濃度の比較を行う。

本研究の目的は、「歯牙エナメル質中 ^{14}C 濃度を用いた年齢推定法の日本における導入」である。

3. 試料と研究方法

歯科医より提供して頂いた歯牙試料より、エナメル質試料 44 点 (核実験以前 13 点, 核実験期以降 31 点), 歯根コラーゲン 7 点, 歯根無機質 9 点の計 60 点を測定に用いた。

各試料は、化学処理によって洗浄した。エナメル質及び無機質はリン酸分解, コラーゲンは燃焼により, CO_2 ガスを生成した。 CO_2 は精製後, 一部分取し, 質量分析計 MAT-252 による $\delta^{13}\text{C}$ 値の測定, 残りは鉄触媒を用いた水素還元法により, グラファイトを調製し, タンデム加速器にて ^{14}C 濃度の測定を行った。

4. 結果と考察

4-1. 歯牙エナメル質中 ^{14}C 濃度と大気中 ^{14}C 濃度の差について

図 2 は、大気中 ^{14}C 濃度変動 (Hua *et al.*, 2013; Reimer *et al.*, 2013) のグラフ上に歯の持ち主の誕生年から推定されるエナメル質試料の形成年代に対して、 ^{14}C 濃度をプロットしたものである。すなわち試料については、横軸は形成年でプロットしてある。全体的にエナメル質中 ^{14}C 濃度の変動傾向は、大気中と類似しており、誕生年推定を行うにあたり、推定年のズレは小さいと考えられる。特に、1955 年以前の試料中 ^{14}C 濃度が核実験期高濃度 ^{14}C を記録していないことから、エナメル質中炭素成分はエナメル質形成後の炭素の取り込みや置き換わりがないことが示唆される。図 2 中で丸で囲った 3 点の試料に関しては、同時期の大気中 ^{14}C 濃度と比較し、著しく低い値もしくは高い値を示した試料であり、大気中 ^{14}C 濃度に対し、約 40% 程度外れた値を示した。これらは、いずれも 1961-1963 年の大気中 ^{14}C 濃度の急増期(約

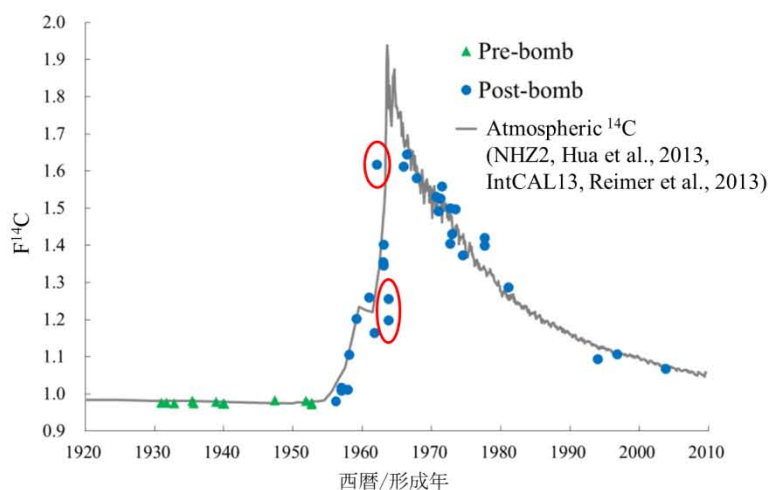


図2 エナメル質中 ^{14}C 濃度の測定結果及び大気中 ^{14}C 濃度変動
Fig.2 ^{14}C concentration of tooth enamel and variation of atmospheric ^{14}C

丸で囲んだ点は大気中 ^{14}C 濃度との差が特に大きい点

35-40%/年)に形成されたものである。エナメル質の形成年齢は、 ± 1 年程度の個人差がある事が知られており、この時期に限り、その僅かな差が大きな濃度差を生じ得る。個人差が原因と考えられるズレが推定結果に出てくることが推察されるが、誕生年推定を行う上では、大気中と日本人歯牙の ^{14}C 濃度の差はほぼな

いといえる。

4-2. エナメル質を用いた誕生日推定

核実験期以前の試料の結果を図 3a に示す。大気中 ^{14}C 濃度の変動が乏しい時期であるため、推定年代の誤差が非常に大きく、15-20 年程度を示した。実際の誕生日との差を求めると、 9 ± 8 年(実際の誕生日と推定誕生日の中央値の差の絶対値の平均値 $\pm 1\sigma$)であった。年代を絞り込むためには他の法医学的手法との組み合わせを検討する必要があると言える。

推定誕生日の中央値に注目すると、いずれの試料でも、1920-30 年に値が集中するという特徴が挙げられる。特に 1940-50 年を誕生日とする試料でも同様の傾向が見られるため、この点については留意しておく必要がある。

骨の形態学的な評価などの手法では、死亡時の年齢はわかるものの、具体的な死亡時期や生存期間については絞り込めない。その点に対し、本研究方法を用いることで、具体的に年代を与えることができるという点において非常に有用である。

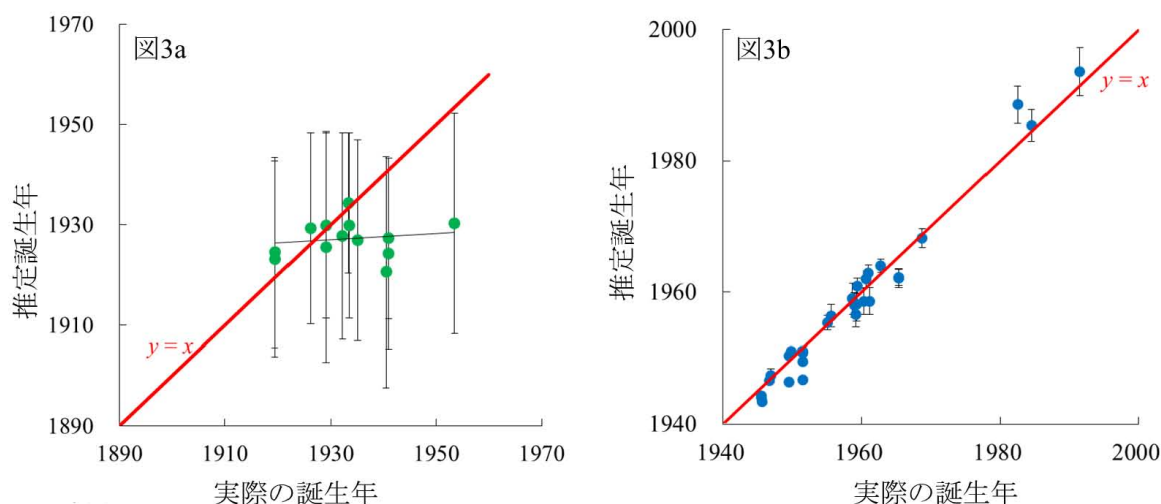


図3 誕生日推定の結果(3a. 核実験期前, 3b. 核実験期以降)

Fig.3 Date of birth estimation (3a. Pre-bomb, 3b. Post-bomb)

一方、核実験期以降では、 $R^2=0.976$ と非常に高い正の相関を示した(図 3b)。実際の誕生日との差は 1.7 ± 1.4 年 ($n=31$)であり、この値は、先行研究の誤差 1.6 ± 1.3 年($n=33$, Spalding *et al.*, 2005), 1.8 ± 1.3 年($n=66$, Alkass *et al.*, 2013)と同水準である。この値はエナメル質形成時期の個人差の期間を示しているものと考えられる。

以上より、日本人歯牙の成長評価を用いることにより、先行研究と同精度の年齢推定が可能であり、人種による形成年齢の違いは適切な年齢のデータを用いることで解決可能であると言える。

4-3. 歯根中炭素成分の相互比較

歯根のコラーゲンと無機成分の測定結果を、図 5 に示す。両者の ^{14}C 濃度は互いに非常に近い値を示した。両者のわずかな差は、形成時期の違いを示すと考えられる。両者の ^{14}C 濃度の大小関係は、1963 年の大気中 ^{14}C 濃度ピークを境に入れ替わり、1964 年以降は、無機炭素が相対的に小さい値を示した。したがって、歯根無機炭素は有機成分より後に形成されると推測される。

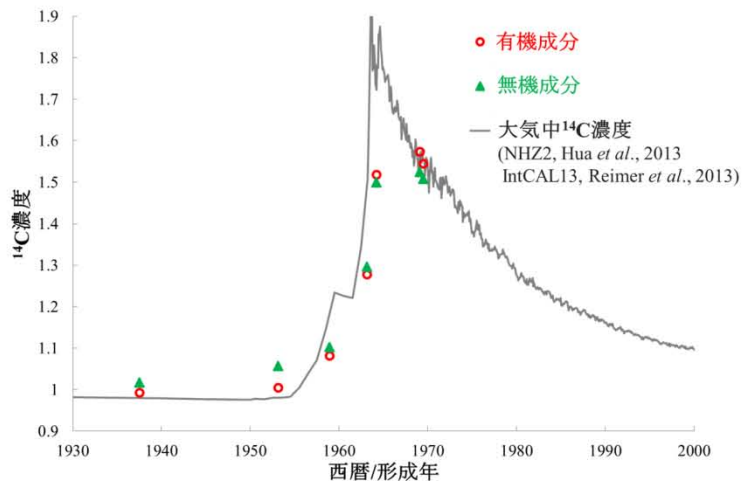


図4 歯根中有機・無機成分の測定結果及び大気中 ^{14}C 濃度変動
Fig.4 ^{14}C variation of atmospheric $^{14}\text{CO}_2$ concentration, $F^{14}\text{C}$ of collagen and inorganic carbon extracted from a human teeth

歯根の有機・無機成分で互いに示す年代は変わるものの、その差が非常にわずかであることから、エナメル質の年代の絞り込みに用いる場合には、有機・無機成分のいずれを用いても問題ないと言える。

実際の科学捜査の現場で用いる際には、遺体の損傷状態に応じて選択すれば良い。(例えば、有機成分は炭素量が多いものの、火事現場の犠牲者では利用できない。)

5. まとめ

日本人歯牙中 ^{14}C 濃度は、核実験期以降では、大気中 ^{14}C 濃度変動とほぼ等しい。日本において、歯牙エナメル質を用いた年齢推定法を利用する場合、日本人の歯牙形成年齢を用いることで、実際の誕生年と推定誕生年の差が 1.7 ± 1.4 年と海外における先行研究と同精度で決定することが可能である。

歯根中の無機成分は有機成分よりも後の時代のものを反映していることがわかった。両者の間には、相対的な年代差があるものの、その差は極めて小さく、エナメル質の複数の候補年代を絞り込むにはどちらの利用も可能である。

本研究の結果より、日本における歯牙を用いた人体誕生年の精密推定法確立のための土台が完成された。

謝辞

本研究を行うにあたり、名古屋大学の西澤邦秀名誉教授、愛知学院大学歯学部に加藤一夫准教授を始め、田口祐一氏及び中村文彦氏には歯牙試料を提供して頂きました。

試料処理においては、名古屋大学年代測定総合研究センターの池田晃子氏、太田友子氏、西田真砂美氏にご指導頂きました。

この場を借りて重ねて感謝申し上げます。

引用文献

Alkass, K., Satoh, H, Buchholz, B.A., Bernard, S., Holmlund, G., Senn, D.R., Spalding, K.L. and Druid, H., 2013, Analysis of Radiocarbon, Stable isotopes and DNA in Teeth to Facilitate Identification of Unknown Decedents. *PLOS ONE*, Vol. 8, Issue7, e69597.

Calcagnile, L., Quarta, G., Cattaneo, C. and D'Elia, M., determining ^{14}C content in different human tissues: implications for application of ^{14}C bomb spike dating in forensic medicine. *Radiocarbon* 55,

1845-1849.

- Cook, G. T., Dunbar, E., Black, S. M., and Xu, S., 2006, A preliminary assessment of age at death determination using the nuclear weapons testing ^{14}C activity of dentine and enamel. *Radiocarbon*, **48**, 305-310.
- 大東美穂・園本美恵・木村圭子・三村雅一・嘉藤幹夫・大東道治, 1997, 下顎永久歯の石灰化に関する研究. 小児歯科学雑誌 **35**(1), 96-110.
- Hua, Q., Barbetti, M. and Rakowski, A.Z., 2013, Atmospheric radiocarbon for the period 1950-2010. *Radiocarbon*, **55**, 2059-2072.
- 西原五郎・大東道治, 1989, 歯の石灰化に関する臨床的研究 -とくに永久歯前歯部について-. 歯科医学, **52**(6), 771-810.
- Nolla, C. M., 1960, The development of the permanent teeth. *Journal of Dental Children*, **27**, 254-263.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliadason, H., Hajdas, I., Hattè, C., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M. and van der Plicht J., 2013, IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP, *Radiocarbon* **55**(4), 1869-1887.
- Smith, B.H., 1991, Standards of human tooth formation and dental age assessment, *Advances in Dental Anthropology*, Wiley-Liss Incorporation, 143-168.
- Spalding, K. L., Buchholz, B. A., Bergman, L. E., Druid, H., and Frisén, J., 2005, Forensics: age written in teeth by nuclear tests. *Nature*, **437**, 333-334.
- 田中克, 1988, 歯の石灰化に関する研究 -特に永久臼歯について-. 歯科医学, **51**(4), 739-800
- 田中利一・大東道治, 1992, 第三大臼歯の発育についての臨床的研究 -オルソパントモグラムによる観察-. 歯科医学 **55**(4), 337-348

日本語要旨

法医学上, 重要な目的の一つには, 身元不明遺体の個人特定が挙げられる. 近年, 核実験由来 ^{14}C を利用することでヒトの年齢推定を行う研究が北欧・北米で多く行われつつある. 中でもヒト歯牙エナメル質中 ^{14}C を用いた誕生年推定は, ± 3 年以内とかなりの高精度を誇る. しかしながら, 日本においては, 大気中 ^{14}C 濃度と日本人歯牙中 ^{14}C 濃度の間の差が明らかにされていないこと, 人種による形成年齢の違いが存在することなどが原因で, このような研究は進展していない.

本研究では, 日本人歯牙を利用した誕生年推定法の確立を目指した. エナメル質に限らず, 歯根中有機・無機成分の測定を行うことで, 複数与えられるエナメル質形成年を1つに絞り込む方法を提示した. エナメル質について, 日本人の形成年齢を用い, 実際の誕生年と推定誕生年の差を算出したところ, 核実験期以降において, 1.7 ± 1.4 年であった. これは, 先行研究でのスウェーデン人, アメリカ人における値とほぼ同精度を示す値である.

日本人歯牙中 ^{14}C を用いた人体年齢の精密推定は, 高い精度で行えることが明らかになった. 本研究の成果を利用することで日本における身元不明遺体の個人特定を目的とした科学捜査の際に, 誕生年という非常に有用な情報が提供できる.