

^{14}C 年代から暦年代への校正に関連する諸問題 Problems related with calibration of ^{14}C age to calendar date

中村俊夫¹・増田公明²・三宅美沙²・永治健太朗²・吉光貴裕¹

Toshio NAKAMURA¹, Kimiaki MASUDA², Fusa MIYAKE², Kentaro NAGAYA² and
Takahiro YOSHIMITSU¹

¹名古屋大学年代測定総合研究センター (Center for Chronological research, Nagoya University)

²名古屋大学太陽地球環境研究所 (Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University)

**Correspondence to: Toshio Nakamura; E-mail:nakamura@nendai.nagoya-u.ac.jp*

Abstract: In establishing the accurate chronology of any archeological events in Holocene, in particular, Yayoi, Kofun and younger periods in Japan by ^{14}C dating, a proper calibration method of ^{14}C age to calendar date is required. The calibration data, IntCal04/Intcal09, that are normally applied to ^{14}C ages of terrestrial plant materials produced in the northern hemisphere, were tested for their consistency with the relevant relations between ^{14}C age and dendro-age for tree-ring samples formed in the Japanese Archipelago. Some parts of dendro-dated tree-rings, formed from the 10th century BC to the AD 18th century, have been analyzed for ^{14}C ages, and the resulting relations were almost consistent with those of IntCal04/IntCal09, except for a clear discrepancy at around AD50 to AD250; ^{14}C ages for the tree ring samples formed in Japan were older than those of IntCal04/IntCal09 by about 50-80 ^{14}C years. In addition, more frequent periods in which such discrepancies had occurred were observed in the last two millennia for Yaku-sugi trees, grown in the southern part of Japan. The present status in the studies of the ^{14}C -age-calibration issues for Japanese samples is discussed.

Keywords: radiocarbon age, accelerator mass spectrometry, dendrochronology, ^{14}C age calibration, carbon reservoir

1. はじめに

最近では, さまざまな年代測定資料について得られた ^{14}C 年代について, ^{14}C 年代から暦年代への校正(換算)は不可欠なものとなっている。暦年代校正には, 資料を産した炭素リザーバに応じていくつかの校正データが使い分けられる。北半球中緯度に位置する日本の資料の ^{14}C 年代は, 一般に世界標準の暦年代校正データ IntCal04/IntCal09 (Reimer et al. 2004; 2009) を用いて校正される。IntCal は, 主として北米や欧州産樹木の年輪を用いて作成されたものである。一方で, 国立歴史民俗博物館, 名古屋大学, 山形大学では, さまざまな日本産の樹木について年輪年代と ^{14}C 年代の関係を調査し, IntCal との一致度を比較してきた。これまでに日本の研究グループにより調べられた年輪試料の暦年代範囲は, 現在から 3000 年前までのうち, 飛び飛びで 2000 年間程度の範囲であるが, ^{14}C 測定の誤差範囲内でほとんどの暦年代範

図で IntCal データと調和的である。しかし、一部の範囲（紀元 1 世紀から 3 世紀）では顕著なズレが生じていることが明らかになった（尾崎 2009）。この顕著なズレの時期は弥生後期から古墳中期に含まれている。すなわち、弥生後期から古墳中期にかけては、IntCal04/IntCal09 を校正に使うかぎり、 ^{14}C 年代測定法では日本産資料の暦年代を正しく推定することができないことになり、日本の考古学研究、歴史学研究に大きく支障をきたすことになる。国立歴史民俗博物館では、日本産試料独自の校正データ（J-Cal）の整備が進められてきた。名古屋大学では、年代測定総合研究センターと太陽地球環境研究所との共同で、奈良県産の杉巨木、屋久島産の屋久杉巨木を用いて、過去 2000 年間の暦年校正データの検討を進めているところである。

2. ^{14}C 年代の暦年代校正の現状

古文化財資料や考古学資料の編年を研究する場合、まず始めに明らかにしたいのはそれぞれの資料の暦年代である。文献史学などの古記録の情報から暦年代が明らかにできない場合には、理化学的な年代測定法、例えば年輪年代測定法や ^{14}C 年代測定法などが適用される。年輪年代法では、誤差なしで年輪年代（暦年代）が推定できるが、樹種、生育した地方、さらに樹木の年輪数などについて制限がある（光谷 2001）。他方、さまざまな資料について直接測定が可能な ^{14}C 年代は、資料の暦年代から明らかにずれることが知られている（中村 2007）。歴史に刻まれる 1 年は地球が太陽を 1 周するのに要する時間であるのに対し、 ^{14}C 年代の 1 年は閉鎖系にある炭素中の ^{14}C の個数が 0.012% 減少するのに要する時間である（ ^{14}C の半減期を 5730 年とした場合）。

そこで、 ^{14}C 年代から暦年代へ換算するために、国際的な ^{14}C 年代測定グループは、樹木年輪や海底堆積物の年縞の計数及びサンゴの U-Th（ウラン-トリウム）年代測定から得られる年代を暦年代に相当するとして、暦年代とそれらの試料の ^{14}C 年代の対応関係を調べてきた。両者の対応関係がわかれば、 ^{14}C 年代から暦年代への換算ができる。30 年近い歳月をかけた研究の成果が、全世界的に ^{14}C 年代から暦年代への変換に使われている ^{14}C 年代校正曲線の最新版 IntCal09 あるいは古い版である IntCal04 や IntCal98 データセットである。IntCal98 から IntCal04 への改訂に際しては、校正データセットを構成する個々の測定データのスムージングが取り入れられ、さらに、環境中の炭素リザーバを大別して、それぞれについて校正データが用意された。すなわち、IntCal04/IntCal09 は、北半球の陸上植物の ^{14}C 年代についての校正データであり、その他に、SHCal04（南半球の陸上植物用）、Marine09（海産物用）、UW-single-year-98（北半球の陸上植物用、ただし、単年毎の ^{14}C データ）がある（図 1）。資料の ^{14}C 年代を暦年代へ校正する場合には、これらの 4 つのデータセットの一つを選ぶ。そのほか、陸産物と海産物を混合して食資源として生長した人類などの動物骨試料の場合には、陸産食資源と海産食資源の摂取の混合割合に応じて組み立てた校正データである Mixed-Marine-NH（海産物と北半球陸産物のある割合で混合して食した場合）あるいは Mixed-Marine-SH（海産物と南半球陸産物のある割合で混合して食した場合）を用いることができる。なお、2009 年末には、最新の校正データセット IntCal09, Marine09 が公開された。IntCal09 では、IntCal04 における 12 cal kBP から 26 cal kBP の年代区間の若干の修正と、26 cal kBP～50 cal kBP の年代区間の追加であ

る。12 cal kBP よりも新しい年代区間についての変更はない。最新の較正データセット IntCal04/IntCal09 の詳細については、Radiocarbon 学会のホームページ (www.radiocarbon.org) を参照されたい。

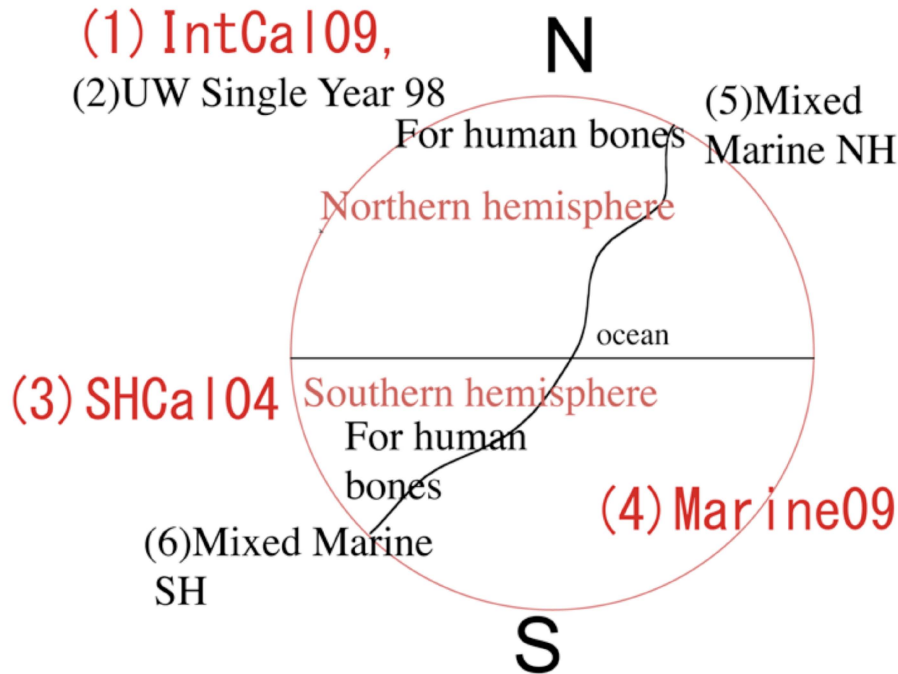


図1 現在、国際的に提供されている較正データセット

- (1) 北半球陸産物試料：IntCal09, UW Single year 98,
- (2) 南半球陸産物試料：SHCal04,
- (3) 海産物試料：Marine09,
- (4) 北半球陸産物試料と海産物試料の混合：Mixed Marine NH,
- (5) 南半球陸産物試料と海産物試料の混合：Mixed Marine SH

3. 名古屋大学における取組

宮原ほか (2005), 三宅ほか (2012) や吉光ほか (2012) は、奈良県室生寺から採取されたスギ材から AD1617～AD1739 の年輪を、また鹿児島県屋久島で伐採された 2 本の屋久杉のうち、小型屋久杉から AD1413～AD1615 及び大型屋久杉から AD146～AD1072 の年輪を選別し、1 年輪ごとに分割して ^{14}C 濃度を測定した (図 2)。Miyahara et al. (2006) はこれらの年輪データをもとに、過去の太陽活動の強弱変動の周期を解析している。日本産樹木年輪のこれらの ^{14}C 測定によると、日本産樹木の ^{14}C 年代は、IntCal09 が示す ^{14}C 年代に対して、AD146～AD1072 の年輪で $+24.7 \pm 30.4$ ^{14}C 年、AD1413～AD1615 の年輪で $+15.9 \pm 22.1$ ^{14}C 年、AD1617～AD1739 の年輪で $+5.3 \pm 24.0$ ^{14}C 年ほど古い年代側へのずれが見られた。同じ年輪年代について、日本産樹木の ^{14}C 年代の IntCal09 の ^{14}C 年代からのずれの大きさを図 3 に示す。図 3 には、また、SHCal04 の ^{14}C 年代の IntCal09 の ^{14}C 年代からのずれの大きさを合わせて示した。日本産樹木の ^{14}C 年代と IntCal09 の ^{14}C 年代のずれは、 ^{14}C 年代のばらつきの範囲内ではあるが、日本産の樹木の方が IntCal09 に比べて古い ^{14}C 年代を示す傾向にあることが明らかである。こ

これらのずれは、 ^{14}C 年代較正の正確度にかかわる大問題であり、今後、高精度のデータを蓄積し詳細な検討が必要である。なお、これらの比較検証には、年輪年代法により暦年代が確定された木材試料を用いている。

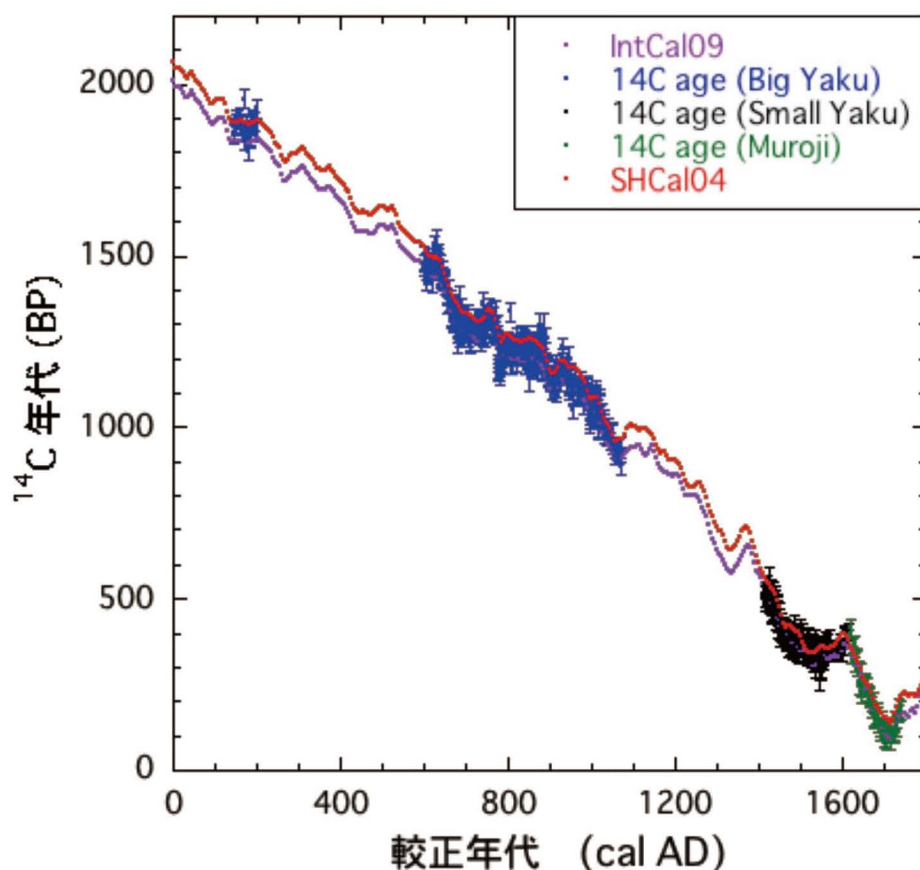


図2 日本産スギ材年輪の ^{14}C 濃度と IntCal09 及び SHCal04 との比較 (AD 146-AD1739)

4. IntCal と J-Cal

大気循環により局所的な大気中二酸化炭素の経時的な ^{14}C 濃度変動が起こることが Hua and Barbetti (2007)により指摘されている(図4)。東アジア周辺は、夏季には太平洋高気圧が発達するため海洋気団の影響を受け、逆に冬季にはシベリア高気圧の発達で大陸気団の影響を受ける。南半球の低緯度からもたらされる海洋気団に影響を受けると、その影響を受けて育つ陸上植物の ^{14}C 濃度は相対的に低くなる。こうして、夏季に太平洋高気圧が異常に発達する気候が数年～数十年間継続することがあれば、東アジア地域で生育した陸上植物に、 ^{14}C 濃度が相対的に低い(すなわち、これらの植物の ^{14}C 年代が通常の北半球陸産植物の ^{14}C 年代よりも古く得られる)期間が発生しうることになる。日本は北緯30度以北にあるが、夏季には熱帯収束帯(inter tropical convergence zone; ITCZ)の北端境界付近に位置する(図4)ことになり、上記のような影響を受ける可能性がある。

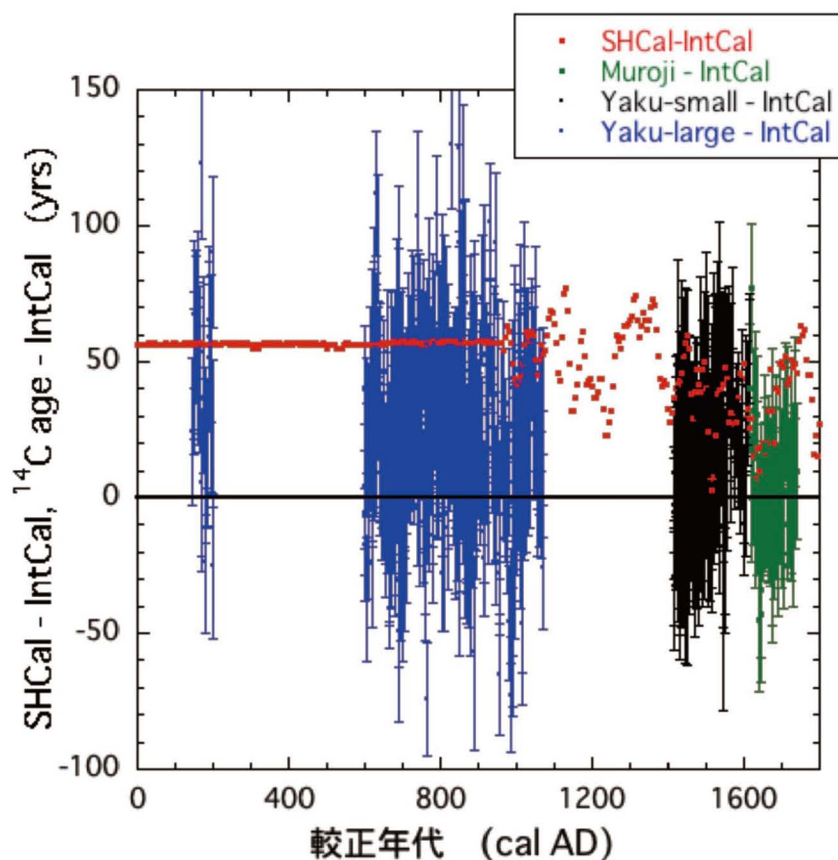


図3 日本産樹木 ^{14}C 年代および SHCal04- ^{14}C 年代の IntCal09- ^{14}C 年代からのずれ

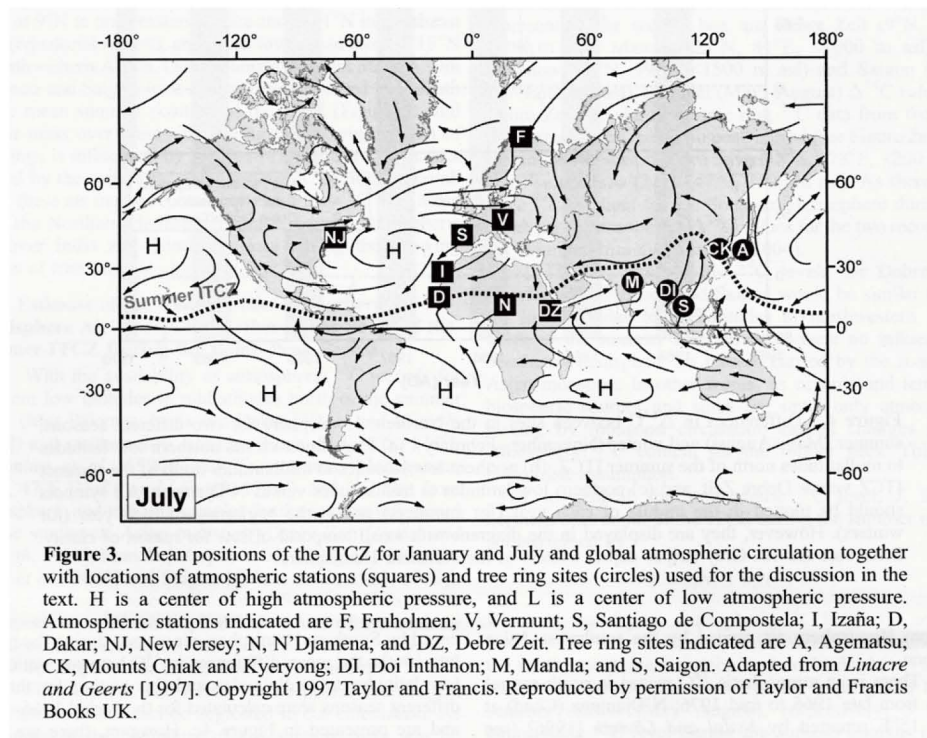


図4 夏季（7月）における平均的な風向と熱帯収束帯（ITCZ）の北への偏り

南半球低緯度の海洋気団の影響を受けて育つ陸上植物の ^{14}C 濃度は低くなる。そうすると、北半球で育った陸上植物でも、気候変動に応じて、IntCal09 校正データが使えない期間が発生しうる。通常、北半球中緯度に位置する日本に産する ^{14}C 年代測定試料は、IntCal09 を用いて暦年代へ校正可能であるとしているが、国立歴史民俗博物館 (Sakamoto et al. 2003, 尾寄ほか 2009) や名古屋大学 (中村ほか 2004) の指摘にもあるように、日本の樹木が IntCal09 からずれる期間 (例えば、紀元 1 世紀から 3 世紀) があることがわかってきた。 ^{14}C 年代の暦年校正を正確に行うためには、国立歴史民俗博物館を主として行われてきた日本版の校正データ (J-Cal) の作成を急ぐ必要がある。また、名古屋大学でも、屋久杉年輪を用いて日本領域内の ^{14}C 年代-歴年代換算データの作成が粛々と行われている。

参考文献

- 光谷拓実 2001 「年輪年代法と文化財」『日本の美術』6 (No.421) pp.100
- 三宅美沙・永治健太郎・増田公明・村木 綏・中村俊夫 2012 「樹木年輪中放射性炭素濃度測定による 7-8 世紀の太陽活動周期の研究」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』XXIII, (本報告書, 印刷中).
- 宮原ひろ子・毛受弘彰・桑名宏輔・増田公明・村木 綏・中村俊夫 2005 「樹木年輪中 ^{14}C で探るマウンダー極小期の太陽活動変動」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』XVI pp.57-64
- 中村俊夫・福本浩士・光谷拓実・丹生越子・小田寛貴・池田晃子・太田友子・藤根 久 2004 「年輪年代と ^{14}C 年代の比較」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』XV pp. 206-214
- 中村俊夫 2007 「 ^{14}C ウィグルマッチングによる考古学・文化財科学関連資料の暦年代の高精度推定 - AMS による ^{14}C 年代測定結果の留意点 第 3 回」『考古学ジャーナル』556 pp.25-30
- 尾寄大真 2009 「日本版校正曲線の作成と新たな課題」『弥生農耕の始まりとその年代. 新弥生時代の始まりシリーズ』第 4 巻, 西本豊弘編, 雄山閣, pp. 4-8.
- 吉光貴裕・中村俊夫 2012 「日本産樹木年輪の炭素 14 濃度測定および IntCal09 との比較検討」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』XXIII, (本報告書, 印刷中).
- Hua, Q and Barbetti, M. 2007 Influence of atmospheric circulation on regional $^{14}\text{CO}_2$ differences. *J. Geophys. Res.*, 112, D19102
- Miyahara, H. Masuda, K., Muraki, Y., Kitagawa, H., Nakamura, T. 2006 Variation of solar cyclicity during the Spoerer minimum. *J. Geophys. Res.*, 111, A03103.
- Nakamura, T., Miyahara, H., Masuda, K., Menjo, H., Kuwana, K., Kimura, K., Okuno, M., Minami, M., Oda, H., Rakowski, A., Ohta, T., Ikeda, A., and Niu, E. 2007 High precision ^{14}C measurements and wiggle-match dating of tree rings at Nagoya University, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, B259, 408-413.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C., Blackwell, P.G., Buck,

- C.E., Burr, G., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S., Bronk Ramsey, C., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. 2004 IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46(3) pp.1029-1058
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaise, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S., W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. 2009 IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51(4) pp.1111-1150
- Sakamoto, M., Imamura, M., Plicht, J. van der, Mitsutani, T., Sahara, M. 2003 Radiocarbon calibration for Japanese wood samples. *Radiocarbon*, 45 (1) pp. 81-89