

トルコ共和国カマン・カレホユック遺跡前期鉄器時代の¹⁴C変動について
¹⁴C changes in early Iron age at the Kaman-Kalehöyük site, Turkey

大森貴之^{1*}・中村俊夫²
Takayuki Omori^{*}, Nakamura Toshio²

¹名古屋大学環境学研究科・²名古屋大学年代測定総合研究センター

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8602, Japan.

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

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

Abstract

In the Anatolian area, regional ¹⁴C offsets have been discussed in considerable ¹⁴C research so far. In this report, we present a new ¹⁴C data of 7 tree samples found from the Kaman-Kalehöyük site, turkey, and discuss the Anatolian regional ¹⁴C offsets in comparison with our results and IntCal dataset. An exact age of each tree sample was derived from ¹⁴C wiggle-matching and dendrochronological analysis.

The ¹⁴C measurements are arranged from 12th to 10th century BC, and consistent with IntCal dataset well. The specific changes in the dated period such as a regional ¹⁴C anomaly were not identified clearly from our result.

Keywords: Anatolia; tree ring; ¹⁴C wiggle-matching; dendrochronology

キーワード: アナトリア; 樹木年輪; ¹⁴C ウィグルマッチング; 年輪年代

1. はじめに

¹⁴C年代を暦年代として扱うためには、年代の較正を行う必要がある。大気中の¹⁴C濃度が定常的に保たれていると仮定する¹⁴C年代に対して、実際の¹⁴C濃度は太陽活動や地磁気変動の影響から常に変動している。したがって、¹⁴C年代を実際の年代へ変換する際には、測定試料の炭素交換が行われていた当時の¹⁴C濃度を用いて再計算することになる。過去における¹⁴C濃度の変動は、樹木年輪や年縞堆積物など年代概値試料の¹⁴C年代測定によって与えられ、年代較正に最も一般的な国際較正曲線IntCalは現在から5万年前までの¹⁴C変動がデータベース化されている(Reimer *et al.* 2009)。IntCalに収録されるデータはすべて北半球の平均的な¹⁴C濃度として整理されており、¹⁴C測定試料の採取地点が北半球に所在すればIntCalを用いた年代較正がおこなえる。IntCalの適用範囲が北半球に限定されているのは、¹⁴C変動が地域や炭素リザーバでそれぞれ異なるからである。例えば、陸地面積が少なく熱帯収束帯の影響で北半球の大気と隔たりがある南半球に対してはShCal (McCormac *et al.* 2004)、大気の炭素循環と異なった系を持つ海洋環境下ではMarine (Hughen *et al.* 2004)が用意されている。年代較正では測定試料の炭素源に適した較正曲線を選択する必要があり、異なった較正曲線で較正した場合、当然異なった較正年代が得られてしまう。

このように、特定の地域や炭素リザーバで¹⁴C濃度変動に及ぼす原因が明確で十分な¹⁴C測定が行われている系に対しては独自の較正曲線が作成されているが、報告されている較正曲線で網羅されていない局所的な地域で定常的あるいは一時的な固有の¹⁴C変動が存在した場合、一般的な較正

曲線による年代較正では正しい年代を得ることができない。地域固有の ^{14}C 濃度変動を示唆する研究はこれまでに様々な地域で報告されており (Damon *et al.* 1996, Sakamoto *et al.* 2003), 該当地域にて高精度な年代推定を行うためには, その原因解明と適した較正曲線を用意する必要がある。

中近東アナトリア地域では, エーゲ海年輪年代計画において kuniholm, kromer らによる年輪年代測定および ^{14}C 年代測定が進められ, その結果からこの地域固有の ^{14}C 変動の存在を示唆する報告がなされた。トルコ共和国ゴルディオン遺跡から出土した樹木試料の ^{14}C 測定結果からは, 特に BC1600 年頃と BC1000-750 年頃に IntCal と異なった変動を見ることができる (図1)。前者は, BC1630 年頃におけるサントリーニ島の火山の噴火が主な原因 (Kuniholum *et al.* 1996) としているが, 後者の期間についてはアナトリア地域の季節変化を理由に挙げるも十分な根拠にはなっておらず, 測定点数も十分でない。アナトリア考古学においてヒッタイト帝国期が終焉した後の BC12-9 世紀の期間は, 暗黒時代とも称されるほど考古資料に乏しい期間であり, 考古編年構築における主な年代決定は ^{14}C 年代測定法によるところが大きい。アナトリア地域 1 千年紀前期に示唆される ^{14}C 変動の差異は数十年と ^{14}C 年代法においては必ずしも大きいものではないが, 数十年単位で統治交代が行われていたとされるこの期間の編年構築においては危惧される問題となっている。

そこで, 我々は同国カマン・カレホユック遺跡より出土した樹木試料を年輪年代および ^{14}C 年代測定をすることでアナトリア地域の ^{14}C 変動を検証する。

2. 樹木試料の ^{14}C 年代測定と年輪年代測定

2.1 測定試料

対象試料は, トルコ共和国カマン・カレホユック遺跡 IId 層より出土した建材の一部である。カマン・カレホユック遺跡は, 中央アナトリアに所在し首都アンカラから南西 150km, ゴルディオン遺跡からは西南西へ 140km に所在する。両遺跡ともステップ気候に区分され, 極めて近い気象環境下にある。測定試料の樹種は, コーネル大学年輪年代研究室らの調査から Common Oak (*Q. robur*) と同定されている (Huber 1995)。測定試料 7 点すべては, 炭化しており, コナラ属に特有の多孔質で緻密な年輪を持っている (図 2)。各樹木試料が保持する年輪数を表 1 にまとめた。

樹木試料は, サンドペーパー (#100-#600) を用いて平面の削り出しを行い, 年輪計測後, 実体顕微鏡下にて 5 年輪毎を基本に測定試料を切り出した (表 1 参照)。

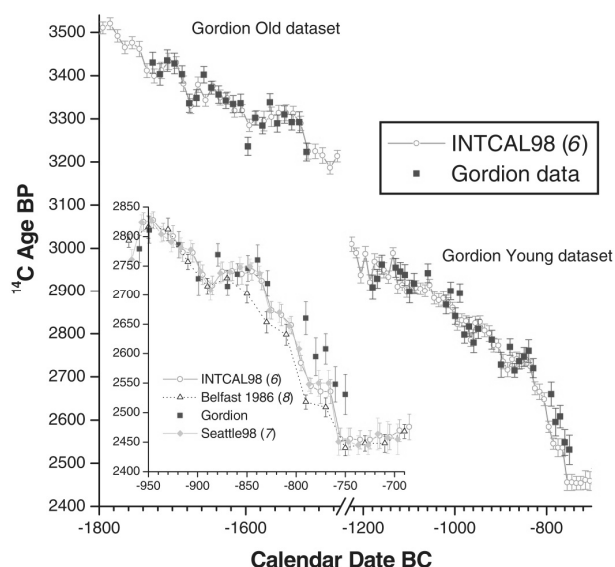


図 1 トルコ共和国ゴルディオン遺跡の ^{14}C データと IntCal98 の比較 (Manning 2001 より)。

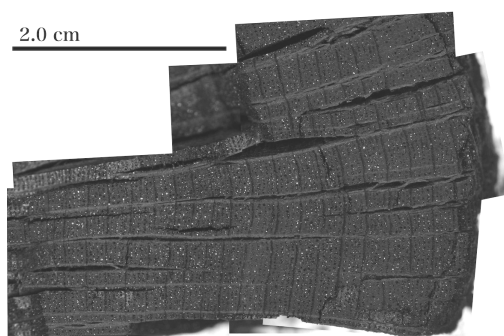


図 2 樹木試料 (B-1). 縦方向のクラックは 5 年輪を識別するための指標。

表 1 年輪数と ^{14}C 測定用試料数

試料名	年輪数	^{14}C 試料数
18A1	39	6
18A2	35	5
18A3	22	3
82A1	16	2
82A2	15	3
82A3	32	6
B-1	105	20

2. 2 年輪計測

年輪計測は、デジタル画像を用いて行った。試料とデジタルカメラの平行性を確保しながら撮影し、Adobe PhotoshopCS4 Expanded の計測ツールを用いて年輪幅データを取り出した。

計測方法は、Huber (1995) によるコーネル大学年輪年代測定室の手法に依拠している。通常の年輪計測では、異なった 2 成長方向以上に対して計測をおこなうが、測定試料の一部（特に 82A1 や 82A2）は試料自体が十分に保存されておらず 1 成長方向での年輪計測に限られる。ただし、同一方向での計測でも年輪幅の平均化をするため、複数回（5 回以上）のデータを収集した。得られた年輪幅データは、5 年移動平均を行い標準化し、ゴルディオオン遺跡の年輪年代基準パターンと照合した。

今回の年輪年代は、非常に年輪数が少なく、かつ基準パターン（樹種は *Juniperus*）と樹種が異なる難しい条件下にある。したがって、 ^{14}C 年代測定によって得られた年代を参照しながら年輪のパターン合せを行い、最も t 値が高かった年代を年輪年代結果としている。

2. 2 ^{14}C 年代測定

試料調製および ^{14}C 測定は、名古屋大学年代測定総合研究センターにて行った。

樹木試料から取り分けられた木炭試料は、酸およびアルカリ溶液によって洗浄（Acid-Base-Acid 処理）された。それぞれ、塩酸は 1.2M で 12 時間以上（80°C）、水酸化ナトリウム水溶液は、1.2M までの濃度を適当に選択し 12 時間以上（80°C）、2 度目の酸処理は 1.2M 塩酸にて 5 時間（80°C）処理した。洗浄した試料を、燃焼し CO_2 を生成し真空ラインにて精製後、Fe を触媒に H_2 雰囲気下で還元シグラファイトを得た。 ^{14}C 測定は、年代測定総合研究センタータンデトロン 2 号機にて行われた。

得られた ^{14}C 年代値は、年代較正ソフト OxCal4.1 (Ramsey 2009a) の D_Sequence コマンドのモデルを用いて、得られた ^{14}C 年代値は R_Date() コマンドで、各測定間の間隔は Gap() コマンドで定義し、 ^{14}C ウィグルマッチングを行った。ここから、 3σ の範囲で示される較正年代を年輪年代決定のための候補値として利用した。

2. 3 IntCal との比較

測定結果と IntCal の定量的な比較検証を行うために、OxCal4.1 に実装される異常値分析 (Ramsey 2009b) を用いて評価をした。

年輪年代で決定された数値年代をもとに ^{14}C 年代を連続するひとつのデータとして整理し、再度 D_Sequence コマンドを用いた ^{14}C ウィグルマッチングプログラムを作成する。これを、Outlier_model("name",N(0,x),"s") コマンドおよび個々のデータに対して Outlier() コマンドを使って、カマンデータの異常値を判別した。Outlier_model("name",N(0,x),"s") コマンドは、 ^{14}C 測定の正確さに対して異常値を判別するプログラムとして使用されるものであり（コマンド中"s"は、このタイプの異常値分析を定義するためのコード）、測定値の分布を正規分布すると仮定する。このコマンド内の x は、定義された正規分布の標準偏差 $x\sigma$ に含まれないものを異常値と判別するための変数である。また、データセット中における個々の ^{14}C 年代値を定義している R_Date() コマンドに追加する Outlier() では、測定値が異常値となる（事前）確率を定義しており、コマンドカッコ内中にその確率をあてはめる。例えば、 2σ の正規分布で異常値の分布を定義した場合には、各データの Outlier() に対して 0.05 の事前確率を与えて解析する。

今回の分析では、 1σ 、 2σ 、 3σ の標準偏差における異常値分析を行った。同時に、それぞれのベイズ分析結果の妥当性を示す Agreement Index も外れ値の指標とした。

5. 結果と考察

樹木試料7点それぞれの ^{14}C ウィグルマッチング結果を表2に示した。マッチングの妥当性を示す Agreement index も、信頼性を保証する基準とされる60%を大きくこえ、データが示した範囲で十分信頼できる値であることを確認できる。数十年程度の年輪試料の年代結果は、 2σ の較正範囲で100年程度の年代幅をもち、 ^{14}C ウィグルマッチングを効果的に応用出来ていないが、100年以上の試料B-1は年代幅30年程度と非常に精度の高い結果が得られた。

ここで得られた年代値をもとに、ゴルディオオン遺跡の年輪標準とそれぞれの年代パターンを比較した。年輪パターンの比較には、最適化する可能性がある範囲を ^{14}C ウィグルマッチングによって得られた 3σ (99.7%)の年代幅で行った。ゴルディオオン遺跡の年輪標準パターンと各資料との関係を図3に示した。本件研究で扱った7つの年輪試料の年代は、BC1125年から914年にかけて連続している。

カマンカレホユック遺跡のIId層後期より出土した試料は10世紀後半であることが明らかになった。これはおおそ考古学的手法により推定されている年代 (IId層: BC1200~800年 (Omori *et al.* 2005)) とよく整合するものの、該当層位の後期にあたる年代としては古い年代と言える。ただし、出土建築遺構の年代決定を行うためには、測定試料が樹木という特性上、伐採年代と使用年代のオフセットを考慮する必要がある。伐採後から建築時にどの程度時間経過があったか、あるいは建築後どの程度該当遺構が使用され焼失したかは考古学調査からは明確になっていないが、炭化穀物試料を中心とした ^{14}C 年代測定結果をベイズ解析でIId層-IIc層境界年代を求めたところ、BC890-840年と推定されている。したがって、今回扱った試料の全てが同程度の樹齢をもち同時期に伐採されたとすると、BC910年に以降に該当以降が建築され、20年から最長で見積もって70年程度利用されたことが考えられる。対象とする遺構が正確にいつ破壊されたかを見積もるため、現在、本研究で扱った試料と同じ建築層より採取した炭化穀物試料を分析中である。

図4では、年輪年代測定から得られた年代をもとに構築したカマン ^{14}C データを、IntCal04およびゴルディオオン ^{14}C データと比較した。カマン ^{14}C データは、IntCal04は非常によく一致しており、この時期におけるゴルディオオン ^{14}C データとも概ね大きな差はみられない。IntCalデータにおける

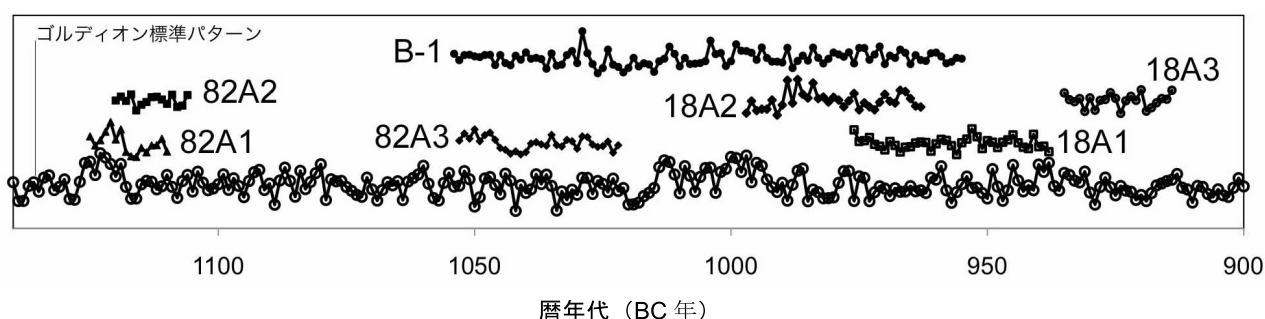


図3 分析樹木試料の年輪パターンとゴルディオオン遺跡の標準年輪パターンの比較. 各分析試料の年輪パターンは、 ^{14}C ウィグルマッチングの結果をもとに年代を決定がなされ、年輪パターンの最もよく適合する年代にプロットした。

表2 樹木試料の ^{14}C ウィグルマッチングの結果.

試料名	^{14}C ウィグルマッチング結果		Agreement
	cal BC (95.4%)	cal BC (99.7%)	
18A1	980 - 915	995 - 905	A=149.1%
18A2	1000 - 945 935 - 910	1010 - 905	A=97.4%
18A3	990 - 895	1005 - 885 870 - 845	A=142.4%
82A1	1190 - 1140 1130 - 1015	1250 - 1235 1210 - 1005	A=116.6%
82A2	1190 - 1175 1155 - 1140 1130 - 1030	1200 - 1010	A=133.1%
82A3	1110 - 1020	1115 - 1020	A=141.8%
B-1	980 - 950	990 - 940	283.7%

カマン ^{14}C データの外れ値を OxCal によって解析した結果からも、異常値判定は得られなかった。また、カマン ^{14}C データを一連の ^{14}C ウィグルマッチングデータと仮定したときの Agreement Index も 304.2% と非常に良好な結果が得られた。図 5 では、カマン ^{14}C データの IntCal データに対する分布を表している。当然、今回扱ったカマン ^{14}C データには、地域特有の ^{14}C 濃度傾向をあらわすような分布は見られない。BC1100 年から BC1050 年の間では、カマンデータにおいても ^{14}C データを得られていないため該当時期におけるゴルディオオンデータでもっともばらつきが大きく見られる BC1050 年のデータの検証は十分に行えないが、BC1010 年から立ち上がる傾向にあるゴルディオオンデータに対してカマンデータは、その傾向がほとんど見られなかった。

6. 結論

BC1125-915 年の間におけるカマン・カレホック遺跡周辺の ^{14}C 変動は、IntCal と十分に一致することが示された。ただし、BC1100-1050 年の間においてはデータが得られておらず、アナトリア地域特有の ^{14}C 変動が顕著とされる BC9-8 世紀のデータを網羅していない。ゴルディオオンデータ自体も測定点数が十分でないため、今後ゴルディオオン遺跡出土試料も分析対象として、 ^{14}C データが不足する期間に対して AMS ^{14}C 年代測定を行う必要がある。

一方、十分な ^{14}C 年代測定に基づいた年輪パターンを得たことにより、カマン市周辺におけるコナラ属の年輪パターンを構築することができた。前期鉄器時代には非常に豊富な炭化材が埋没しているため、今後これを年輪標準とした年輪年代測定が期待される。

謝辞

本研究を行うにあたって、中近東文化センター附属日本アナトリア考古学研究所大村幸弘隊長および調査隊員の皆様には、試料提供だけではなく考古学的見地から様々な助言をいただいた。また、資料提供については、コーネル大学年輪年代測定研究室からの支援もいただき、有益な樹木試料を分析することができた。年輪年代測定においては、アリゾナ大学年輪年代測定研究室 Jeff Dean 教授をはじめとした多くの技術員の方に指導、助言をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

なお、本研究は日本学術振興会の平成 21 年度研究奨励補助金の助成を受けて行われた。

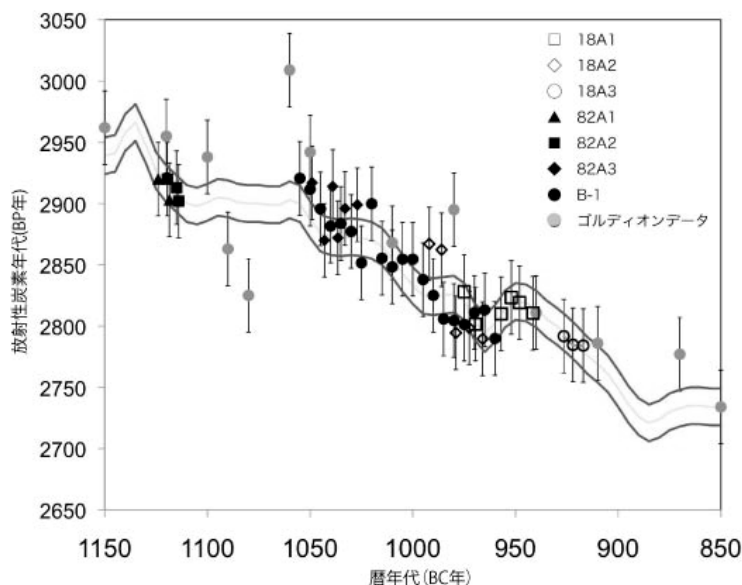


図 4 カマンカレホック遺跡における ^{14}C 変動と IntCal データセットおよびゴルディオオンデータとの比較. IntCal04 データは 1σ で囲まれた連続する曲線で表した。各測定データの誤差も 1σ 。ゴルディオオンデータは, *kuniholm et al. 1996* より抜粋。

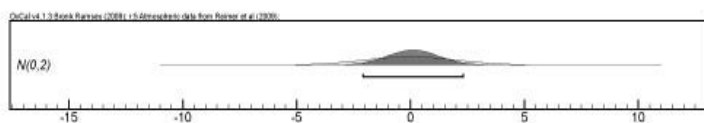


図 5 IntCal04 データに対するカマン ^{14}C データの分布。仮に得られたデータに地域特有の ^{14}C 濃度傾向があれば、 ^{14}C 測定の正規分布に対して測定値の分布 (薄墨) が正規分布とは異なった分布あるいは移動が見られることになる。

参考文献

- Damon, P.E., Burr, G., Peristykh, A.N., Jacoby, G.C., Darrigo, R.D. (1996) Regional radiocarbon effect due to thawing of frozen earth, *Radiocarbon*, 38(3), 597–602.
- Huber J.J. (1995) A Dendrochronological analysis of an Iron Age Anatolian site: R39 at Kaman-Kalehöyük, *Anatolian Archaeological Research*, IV, 179-204.
- Hughen, K.A. *et al.* (2004) Marine04 marine radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP, *Radiocarbon*, 46(3), 1059-1086.
- Kuniholm, P.I., Kromer, B., Manning, S.W., Newton, M., Latini, C.E., Bruce, M.J. (1996) Anatolian tree rings and the absolute chronology of the eastern Mediterranean, *Nature*, 382, 780-783.
- McCormac, F.G. *et al.* (2004) SHCal04 southern hemisphere calibration, 0-11.0 kyr BP, *Radiocarbon*, 46(3), 1087-92.
- Manning, S.W., Kromer, B., Kuniholm, P.I., Newton, M.W. (2001) Anatolian Tree Rings and a New Chronology for the East Mediterranean Bronze-Iron Ages, *Science*, 294, 2532-2535.
- Omori, T., Nakamura, T. (2005) Radiocarbon Dating of Archeological Materials Excavated at Kaman-Kalehöyük; Initial Report. *Anatolian Archaeological Research*, 15, 263-269.
- Omori, T., Nakamura, T. (2006) Radiocarbon Dating of Archeological Materials Excavated at Kaman-Kalehöyük; Second Report. *Anatolian Archaeological Research*, 16, 112-123.
- Ramsey, C.B. (2009a) Bayesian analysis of radiocarbon dates, *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.
- Ramsey, C.B. (2009b) Dealing with outliers and offsets in radiocarbon dating, *Radiocarbon*, 52(3), 1023-1045.
- Reimer, P.J. *et al.* (2009) Intcal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP, *Radiocarbon*, 51(4), 1111-1150.
- Sakamoto, M., Imamura, M., van der Plicht, J., Mitsutani, T., Sahara, M. (2003) Radiocarbon calibration for Japanese wood samples, *Radiocarbon*, 45(1), 81–89.

日本語要旨

これまでに中近東アナトリア地域に地域特有の ^{14}C 濃度変動を示唆する研究が多く報告されている。我々は、新たな樹木試料7点の ^{14}C 測定を通して、このアナトリア地域における ^{14}C 変動の再検証を試みた。試料の年代を ^{14}C ウィグルマッチングおよび年輪年代で正確にもとめ、IntCalデータセットと比較することで、この地域性について議論する。

試料より得られた年代は、BC12世紀から10世紀の間に年代付けされ、非常によくIntCalデータセットと整合していた。したがって、本結果よりアナトリア地域特有の変動を表すものは検出されなかった。