

名古屋大学年代較正プログラム構築に向けた取り組み

大森 貴之

名古屋大学 環境学研究科

(連絡先: omori@nendai.nagoya-u.ac.jp)

1. はじめに

^{14}C 年代を暦年代へ較正した多くの場合、暦年較正の原理的制約から得られる年代の示す範囲が広く拡大する。近年では、較正年代の更なる高正確度化を目指し、測定試料の持つ出土情報などを用いた統計解析およびその応用研究が盛んに行われている。確率密度関数としての性質を持つ較正年代を、試料に付随する新旧関係といった条件付けで解析する手法は、90 年代初頭から試みられ、今日では OxCal や CalPal といった主要な較正解析ソフトウェアに採用されている。

数十年単位での年代推定を要請する場合が少なくない考古学的研究では、出土情報や相伴遺物のデータを用いた統計解析が可能であり、その重要性は非常に大きい。しかしながら、解析手法の数学的あるいはソフトウェアのシステムの障壁から、十分に解析技術の認識がなされておらず、現段階では積極的なデータ解析を採用する研究者は多くない。そこで、直感的操作で扱いやすく、様々な研究に対応する自由度を持った年代較正ソフトウェアの構築を新たに試みている。

ここでは、較正解析ソフトウェアの外観と新たに実装する海洋リザーバを任意の割合で取り込んだ試料に対する補正プログラムについて述べる。

2. システム構造と概要

本システムでは、較正解析ソフトウェア OxCal の解析プログラムを実装させている。このプログラムを、Macintosh の Cocoa フレームワークを用いて再構築することで、グラフィカルで直感的操作を可能にするソフトウェア環境を提供することができる。プログラム言語は、Objective-C を採用し、オブジェクティブ指向の技法でソフトを構築させている。右図はその概略を示しており、各オブジェクトそれぞれが、独立した機能を持っており、アップデート等を開発面でも最小限の負担で済むような設計をしている。黒枠でかこった部分が OxCal プログラムであり、それに GUI や補足解析プログラム等をつなげ、独自のソフトウェアとして構成されている。

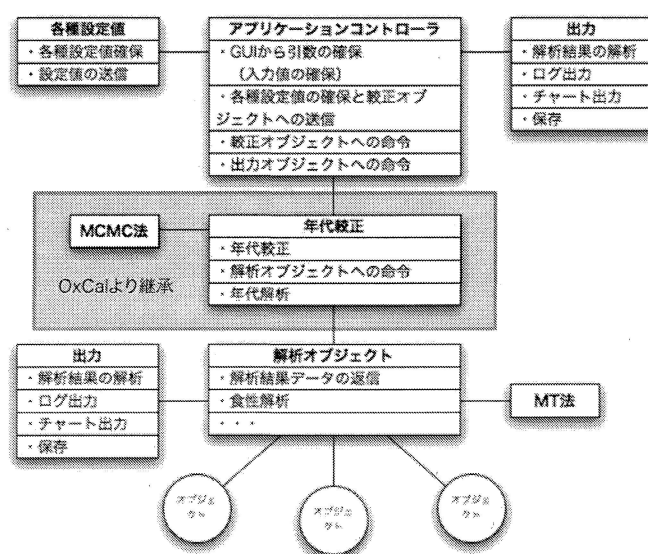
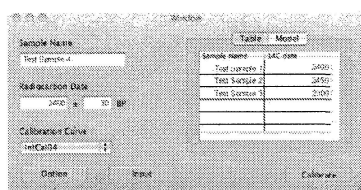
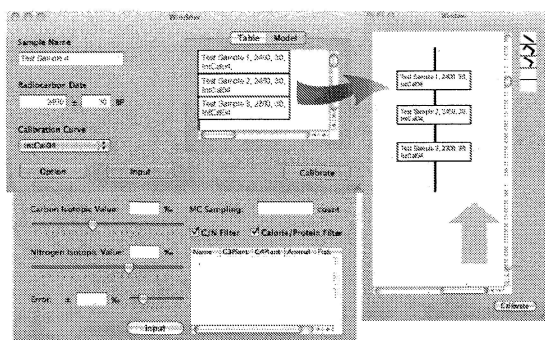


図1 較正解析ソフトウェアの概念図



a. メインウィンド



b. 解析パネルと解析オプション

図2 較正解析ソフトウェアの GUI

左図に現段階の GUI の様子を示した。 ^{14}C 年代値の入力および較正を行うためのメインウィンドは、図 2a のような形式をとっている。複数の年代較正は、入力毎に右リストに加えられ、“Calibration” ボタンを押すだけで解析される。一方、試料の新旧関係などを利用して年代値をベイズ解析するような場合では、図 2b 右にある解析パネルへ、測定データモデルをドラッグ&ドロップで追加し、解析モデルを容易に構築することが可能である。また試料や測定対象域の特異的性質がある場合、随時解析オプションを呼び出して、試料に適した較正解析が可能になっている。図 2b 下には、以下に述べる海洋リザーバの炭素を任意の割合で保持する個体に対する年代較正オプションパネルを示した。

3. 海洋リザーバを任意の割合で取り込んだ試料の年代較正について

海洋リザーバの炭素を任意の割合で取り込んだ試料に対する年代較正については、慣習的手法を利用し、その詳細を大森, 中村 (2008) で述べた。しかし、本手法を食性の複雑なヒトの解析に応用する場合いくつかの問題があった。1つは、食性解析における問題であり、もう1つは、その食性傾向を年代較正に反映させる方法である。以下では、この点について議論する。

食性解析は、南川ら (1992) や Phillips (2003) が報告しており、各食資源の利用割合を確率密度関数で表すことが可能である。2 つの変数、5 つの食資源を対象とした場合、以下の式から食性の推定が可能である。

$$\delta_M = f_A \delta_A + f_B \delta_B + f_C \delta_C + f_D \delta_D + f_E \delta_E \quad (1),$$

$$1 = f_A + f_B + f_C + f_D + f_E \quad (2)$$

ただし、 δ は変数(ここでは、炭素安定同位体比)であり、添字 M は、対象試料の測定値であり、 A から E は各食資源の安定同位体比である。 f は、各食資源の寄与率を表している。南川らが行っているモンテカルロ法では、各 f 値に対して乱数を発生させ仮想的に算出された δ_M 値と、実際に測定された同位体比とつきあわせることで各食資源の寄与率を導出する。

ただし、これらは各食資源が同様の炭素含有率を保持しているという仮定のもと食性解析が行われている。人骨などを扱う場合、様々な炭素含有率を持った物質を考慮する必要があるため、このような仮定での食性解析は適当ではない。炭素含有率における補正については、Phillips らが 2001 年に報告しているが、複数の食資源を扱う場合には対応していない。複数の食資源に対する食性解析を行うため、(1)式を以下のように拡張させた。

$$\delta_M = f'_A \delta_A + f'_B \delta_B + f'_C \delta_C + f'_D \delta_D + f'_E \delta_E \quad (3)$$

ここで, f'_x を炭素の混合割合算出時に(4)式, 窒素の混合割合算出時に(5)式のように定義する.

$$f'_X = \frac{R_X}{N_c(R_X + 1)} f_X \quad (4), \quad f'_X = \frac{1}{N_n(R_X + 1)} f_X \quad (5)$$

ただし, R_X は各食資源の C/N 比であり, N_c および N_n は以下のように定義される定数である.

$$N_c = \frac{R_A}{R_A + 1} f_A + \frac{R_B}{R_B + 1} f_B + \frac{R_C}{R_C + 1} f_C + \frac{R_D}{R_D + 1} f_D + \frac{R_E}{R_E + 1} f_E \quad (6)$$

$$N_n = \frac{1}{R_A + 1} f_A + \frac{1}{R_B + 1} f_B + \frac{1}{R_C + 1} f_C + \frac{1}{R_D + 1} f_D + \frac{1}{R_E + 1} f_E \quad (7)$$

(3)式を用いることで C/N 比を考慮した食性解析が行える. 各食資源の C/N 比は, それぞれ独立に乱数を発生させ, 炭素同位体比の場合は(4)式および(6)式に代入し, 窒素同位体比の場合は(5)式および(7)式に代入する. 各食資源の寄与率は, (1)式のときと同様に発生させた乱数を, (6)式あるいは(7)式に代入させ, 混合モデルにおける同位体比を算出する. この値が実際の測定値と一致した場合, f'_x を各食資源の寄与率として採用した.

食性解析により求まる各食資源寄与率は, 上述した式から確率密度関数(以後, PDF と略す)で表される. 解析により得られる PDF は, 多種多様な確率密度分布を呈し, 正規分布などの PDF に近似することは困難であり, 食資源寄与率および誤差の取り方に注意を要する. 複雑な混合系の場合, 確率で表現された食資源寄与率を一義的に決定することはできない. したがって, 海洋リザーバ効果が水産性食資源寄与率から全て反映したと仮定した場合, この寄与率から表現される PDF の全範囲を較正年代に反映, 解析することが望ましい. ここで, ^{14}C 年代 t における食資源寄与率を反映した較正年代を $R(t)$ とする. また, 食性解析から得られる PDF を $D(x)$, 寄与率の固有値を x とすると, 較正年代は以下のように表現できる.

$$R(t) = D(0)P(t, 0) + D(1)P(t, 1) + D(2)P(t, 2) + \dots + D(100)P(t, 100) \quad (8)$$

(8)式では, まず Intcal04 と Marine04 の混合モデルによって, 0%から 100%の場合における各較正年代 $P(t, x)$ をそれぞれ算出し, 食資源寄与率の確率密度 $D(x)$ によって較正年代の重み付けを行っている. 最終的に, 食資源寄与率を 0%から 100%の全範囲にわたって積算することで, 食性結果を反映した較正年代 $R(t)$ が得られる. (8)式をまとめると以下のように表される.

$$R(t) = \frac{\int_0^{100} D(x)P(t, x)dx}{C} \quad (9)$$

ただし, C は規格化定数である. この式から得られる較正年代は, 較正年代の分布域が広がるが, 食性解析結果をすべて表現できており, 海洋の炭素リザーバ効果を受けた試料に対して有意義な解釈が期待できる.

4. まとめ

今回の報告では、名古屋大学年代測定総合研究センターにて較正年代ソフトウェア構築に向けた取り組みとそれに実装する補足解析法について述べた。 ^{14}C 年代測定技術は、近年飛躍的に向上しているが、今後更なる較正年代の正確さを追求するためには、測定結果の統計解析は必要不可欠なものとなる。本解析技術を広く普及させるために、今後もソフト開発を継続させ、扱いやすく自由度の高い解析環境を様々な研究者に提供したいと思う。

参考文献

大森貴之, 中村俊夫 (2008), 大分県大分市横尾遺跡出土人骨の ^{14}C 年代測定, 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XIX, pp127-134.

Minagawa, M. (1992), Reconstruction of Human Diet from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in Contemporary Japanese Hair: a Stochastic Method for Estimating Multi-source Contribution by double isotopic tracers, *Applied Geochemistry*, 7, pp145-158.

Phillips, D. L. (2001), Mixing Models in Analysis of Diet Using Multiple Stable Isotopes: a Critique, *Oecologia*, 127, pp166-170.

Phillips, D. L. and Gregg, W. (2003), Source Partitioning Using Stable Isotopes: Coping with Too Many Source, *Oecologia*, 136, pp261-269.

Ramsey, C. B. (2001), Development of The Radiocarbon Calibration Program, *RADIOCARBON*, 43, pp355-363.

Stuiver, M. and Reimer, P. J. (1993), Extended ^{14}C Data Base And Revised CALIB 3.0 C-14 Age Calibration Program, *RADIOCARBON*, 35, pp215-230.

Outline of the radiocarbon calibration Program at Nagoya University

Takayuki OMORI

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Nagoya 464-8601

In this report, the outlines of a new calibration programs and optional calibration method for marine reservoir effect are introduced. In order to use statistics analysis for calibrated dates easily, I have built a radiocarbon calibration program at Nagoya University. The programs succeed to OxCal main programs, and rebuild by Cocoa frameworks from Macintosh (written in Objective-C). I present the graphical user interface of the program and the utility.

Added to those, the marine reservoir correction program is explained here. Radiocarbon age of materials incorporated marine carbon become older than that of contemporaneous terrestrial materials, on account of marine reservoir effect. In that case, it is necessary to estimate the contribution rate of marine source, and then calibrate the radiocarbon age by a modeled curve that is produced by mixing Intcal04 and Marine04 according to the obtained rate. However, the calibration procedure has some issues in the case of human individuals has complex diet. I suggested the new calibration program using probability density distributions of the calibration dates and marine contribution rates, and discuss the program details.