

見かけ上の炭素年代差を用いた環境解析
—淡水湖産貝, 骨試料を例として—
**Environmental analysis by apparent radiocarbon age difference
: molluscan shells and bone samples from Lake Biwa**

宮田佳樹*・南雅代・中村俊夫
Yoshiki Miyata*, Masayo Minami, Toshio Nakamura

名古屋大学年代測定総合研究センター
Center for Chronological Research, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8602, Japan.

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

Abstract

We measured the radiocarbon ages of the samples such as molluscan shells, fish, Phragmites and pine leaves collected after 1966 year at Lake Biwa to examine the possibility of freshwater reservoir effects at Lake Biwa, Japan. The molluscan shells collected after 1990 year, were hardly affected from the nuclear bomb test, showed 330 - 450 ^{14}C yrs older radiocarbon ages than that of the coeval atmosphere. Then, the apparent difference in radiocarbon ages between the shell fossils and wood samples & soft-shelled turtles and terrestrial animals (~ 300 ^{14}C yrs) excavated from the Awazu submarine shell midden at Lake Biwa suggests that the freshwater reservoir effect existed in middle Holocene (the Middle Jomon period) at Lake Biwa. Because the present-day average residence time of Lake Biwa water is less than a decade, its direct influence on the reservoir effect is little, which suggests that old carbon has been supplied into Lake Biwa. The both age offsets of radiocarbon dating strongly indicate that there were likely to be freshwater reservoir effects at Lake Biwa from middle to late Holocene, which was corresponded to about 5000 years.

A great deal of organic matter has flowed into Lake Biwa. Some very old radiocarbon ages can result from retention of old carbon in peat layers formed by plants such as the ditch reeds that grow along the shore of Lake Biwa. This may have been the result of the inflow of aged subsurface waters that may have dissolved old carbon from the carbonate rocks of Mt. Ibuki and Mt. Ryouzen. Therefore the degree of freshwater reservoir effects at Lake Biwa had a possibility to fluctuate, depending on change of the lake environment such as inflow into the lake and circulation of the lake water.

In this paper, we discuss the relationships between the apparent radiocarbon age offsets and its lake environment to understand carbon cycle from middle to late Holocene at Lake Biwa, Japan.

Keywords: Radiocarbon dating; Reservoir effect; Lake Biwa; Apparent age difference; Carbon cycle
キーワード: 炭素年代測定; 淡水リザーバー効果; 琵琶湖; 見かけ上の年代差; 炭素循環

1. はじめに

これまで琵琶湖に生息するセタシジミなどの貝の炭素年代を測定し、縄文時代中期（3300～3200 cal BC）から現在まで琵琶湖水に含まれる溶存無機炭素の年代が同時代よりも 300～450 炭素年古い値を示す淡水リザーバー効果が琵琶湖に存在する可能性を指摘してきた（宮田他、2009）。同様に、遺跡から出土する魚介類やそれらを摂取する人間などの骨試料、それらが焦げて土器に付着した内面土器付着炭化物は、同時代よりも数百年古い炭素年代を示す。したがって、遺跡から出土した様々な種類の遺物に観察される海洋リザーバー効果の大きさの違い（見かけ上の炭素年代差）を利用して、その遺跡が存在したと推定される当時の遺物の生息域や食性、海洋環境を復元できる可能性を指摘してきた（宮田他、2009）。

そこで、本研究では琵琶湖沿岸の粟津湖底第三貝塚から出土した、貝、獣骨や現生琵琶湖産魚試料の炭素年代を測定し、淡水リザーバー効果の大きさの変遷を推定し、完新世後期以降の琵琶湖の炭素循環を復元することを最終目標とする。そのための比較材料として、同時期に採取した淡水湖である諏訪湖、野尻湖、八郎潟産のブラックバスも試料として用いた。

2. 試料と実験方法

遺跡出土試料は粟津湖底第3貝塚⑤区第Ⅶ層から出土したシカ、イノシシ、スッポンの骨、第④区北壁から出土したオニクルミ、セタシジミを用いた。現生生態試料は、2006～2008年に採取された琵琶湖産のブラックバスと鮎である。また、淡水湖のリザーバー効果を比較する試料として、諏訪湖、野尻湖、八郎潟の2006年産のブラックバスも対照試料として用いた。

骨試料は、コラーゲン抽出（南他、2000 など）、貝試料はリン酸分解（宮田他、2009）、クルミはAAA処理を行い、それぞれ二酸化炭素を精製した。それから、二酸化炭素をガラス製真空ラインで精製し、鉄触媒を用いて、一晩かけてグラファイトに還元した。生成したグラファイトは、ターゲットに詰め、AMSで炭素年代測定を行った（宮田他、2009）。

3. 結果と考察

3.1 これまでの研究の概要

琵琶湖水に淡水リザーバー効果が存在する可能性に関しては、これまで以下の議論を行ってきた（宮田他、2009）。1）琵琶湖沿岸の入江内湖遺跡から出土した同一個体8破片の土器付着炭化物の内、外面付着物を炭素年代測定したところ、内面付着物の年代（ 5053 ± 12 BP; N=5）が外面付着物の年代（ 4961 ± 22 BP; N=7）よりも、系統的に 90^{14}C yrs 古い値を示した。内面付着物の炭素同位体組成を測定したところ、海洋リザーバー効果の可能性がほとんど考えられないため、その炭素年代差が生じる原因の一つとして、琵琶湖産魚介類を煮炊きした際に生じる淡水リザーバー効果の可能性を指摘した（宮田他、2007）。2）琵琶湖の周辺伊吹山、霊仙山などの石灰岩地帯を起源と

する死滅炭素 (dead carbon) が河川や地下水などを通じて琵琶湖へ影響を及ぼしている可能性がある (南他, 2005)。また, 琵琶湖畔に生息するヨシ (アシ) などの植物遺体などを起源とする非常に古い泥炭層などの存在も古い炭素年代を持つ有機物の供給源の一部かもしれない。1950年前後の琵琶湖の堆積物 (深度3~4 cm) は, $\Delta^{14}\text{C} = -250 \sim -230\text{‰}$ であり, 炭素年代値に換算すると 2400~2200 BP とかなり古い炭素年代を示している。(中村他, 1986)。3) 琵琶湖産現生貝試料の炭素年代測定結果から, 1950年代後半以降, 大気圏核実験の影響を受けた ^{14}C 濃度の変動にも対応して, 二枚貝の炭素年代測定結果は, 同時代の大気に比べて調和的に古い炭素年代を示した。2008年産セタシジミの殻は, 大気中の ^{14}C 濃度に比べて, 330~450 ^{14}Cyr (炭素年) 古い炭素年代を示している。

表1. 粟津湖底第三貝塚出土遺物の炭素年代

Table 1. Radiocarbon ages of archaeological remains excavated from Awazu submarine site.

Sample	Excavated from	Lab. Code	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	^{14}C age (BP $\pm 1\sigma$)
シカ	⑤区	NUTA2-15807	-20.5	4.4	4485 \pm 35
イノシシ	⑤区	NUTA2-15803	-20.4	4.1	4500 \pm 40
スッポン	⑤区	NUTA2-15806	-19.4	8.4	4810 \pm 40
オニグルミ	④区	PLD-10178	-	-	4560 \pm 30
セタシジミ	④区	PLD-10176	-	-	4850 \pm 30

したがって, これらの炭素年代差を生じる原因として, 琵琶湖に供給される古い炭素年代を持つ有機物を起源とする淡水リザーバー効果の影響が考えられる。

3. 2 粟津湖底貝塚遺跡出土獣骨、貝から推定される淡水リザーバー効果
粟津湖底第三貝塚⑤区第Ⅶ層出土獣骨 (シカ、イノシシ、スッポン) の炭素年代を表1に示す。骨コラーゲンの同位体組成について考えてみる。陸獣であるシカ、イノシシと琵琶湖に生息するスッポンを比較すると、骨コラーゲンの炭素同位体比は1‰高い程度であるが、窒素同位体比は生物濃縮の影響を受け4‰高い値を示している。したがって、草食動物であるシカ、そし

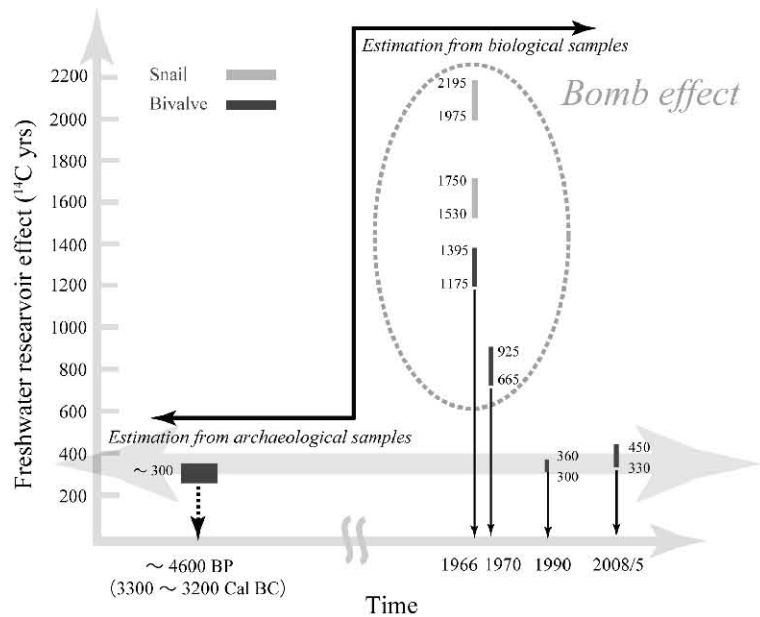


Fig. 1. Change of freshwater reservoir effect at Lake Biwa for 5000 yrs estimated by archaeological and biological samples (Data from Miyata et al. (2009)).

図1. 考古学的、生態学的試料から推定される過去5000年間の琵琶湖における淡水リザーバー効果の変遷 (データは、Miyata et al., 2009 参照)

て、雑食性であるが草食を主体とするイノシシは、陸上の生態系に属し、当時の大気中の炭素 14 濃度をよく反映している。一方、淡水獣であるスッポンは、琵琶湖産の魚介類を摂取し、湖内の生態系に属しているため、その炭素 14 濃度は、琵琶湖内の溶存無機炭素を反映しているものと考えられる。そこで、スッポンとシカ、イノシシの平均の炭素年代との差をとり、縄文時代中期 (3300 ~ 3200 cal BC) の琵琶湖水の溶存無機炭素の示す淡水リザーバー効果を 318 ± 66 ^{14}Cyr (炭素年) と推定した。

次に、粟津湖底第三貝塚④区北壁出土遺物の炭素年代に関して考えてみる (表 1)。琵琶湖産の貝は、琵琶湖内の溶存無機炭素を用いて外殻を形成するため、セタシジミの殻の示す炭素年代から当時の湖内の溶存無機炭素の炭素 14 濃度を反映している。一方、陸上の植物であるオニグルミは光合成によって、大気中の CO_2 を吸収するため、当時の大気中の炭素 14 濃度をよく反映している。そこで、セタシジミとオニグルミとの炭素年代との差をとり、縄文時代中期 (3300 ~ 3200 cal BC) の琵琶湖水の溶存無機炭素の示す淡水リザーバー効果を 290 ± 42 ^{14}Cyr と推定した。

宮田他 (2009) などで、報告されている琵琶湖の淡水リザーバー効果の値を合わせて、図 1 としてまとめた。大気圏核実験の影響をまだ強く受けている 1966 年の淡水リザーバー効果は最大 2000 ^{14}Cyr と非常に大きな値を示したものの、リザーバー効果の大きさは大気中の炭素 14 濃度の減少に伴い、速やかに減少し、1990 年には 300 ~ 360 ^{14}Cyr 、2008 年には 330 ~ 450 ^{14}Cyr と遺跡出土試料から見積もった 300 ~ 400 ^{14}Cyr レベルに落ち着いた。琵琶湖の淡水リザーバー効果 (溶存無機炭素中の ^{14}C 濃度) は、大気圏核実験という強力でかつ急激な入力に対して、40 年から 50 年程度と比較的速いタイムスケールで通常の状態に復元した。

したがって、縄文時代後期から大正までの琵琶湖水の淡水リザーバー効果の大きさに関する実測データはないため、推測の域を出ないが、琵琶湖周辺の石灰岩地帯や琵琶湖岸の泥炭層などに由来する古い炭素の影響によって、完新世後期のおよそ 5000 年間、琵琶湖の淡水リザーバー効果は、300 ~ 450 ^{14}Cyr レベルの一定の値であった可能性が高いと推定される。

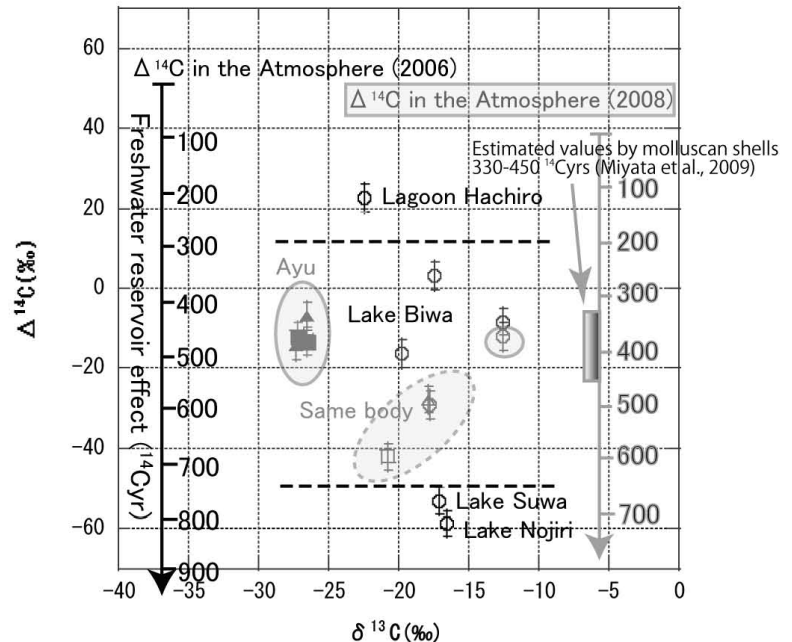


Fig.2 $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of bone collagens, skins and meats in fishes from Lake Biwa and other lakes (shaded samples, collected 2008; outline, black bass; bold, Ayu; circle, bone collagen; square, skin; triangle, meat).

図2. 琵琶湖とそれ以外の湖の魚の骨コラーゲン、皮と肉の $\Delta^{14}\text{C}$ と $\delta^{13}\text{C}$ 値 (灰色、2008年に捕集された試料; 白抜き、ブラックバス; 黒塗り、鮎; 丸、骨コラーゲン; 四角形、身; 三角形、皮)

3. 3 現世生態試料における炭素年代差を利用した環境復元

現世生態試料として、2006年（そのまま）と2008年（灰色でマーク）に採取したブラックバスと鮎の $\Delta^{14}\text{C}$ と $\delta^{13}\text{C}$ の関係を図2に示す。まず、琵琶湖に関して考える。2006年産のブラックバスの骨コラーゲン（ $N = 3$; 左側の軸）は、350~500 ^{14}Cyr のリザーバー効果を示しており、2008年産のセタシジミから推定されたリザーバー効果の大きさ（330~450 ^{14}Cyr ; 宮田他、2009）とほぼ一致した。次に、灰色でマークした2008年産の試料（4個体; $N = 8$ ）に関して考えてみる。異なる2個体の鮎の身と皮は $\Delta^{14}\text{C}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 値ともに、誤差範囲内でよく一致し、 $\delta^{13}\text{C}$ 値も-27~-26‰と琵琶湖の食物連鎖の最上位にランクされるブラックバスよりも遙かに小さい。通常 C_3 植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値が-25‰前後なので、この鮎の炭素同位体組成は、琵琶湖の鮎がミジンコなどの動物性プランクトンを摂取していることを示唆している。また、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が-12.5‰のブラックバスの骨コラーゲン（右側の軸）のリザーバー効果も、2008年産のセタシジミから推定されたリザーバー効果の大きさ（330~450 ^{14}Cyr ; 宮田他、2009）とほぼ一致した。残った同一個体のブラックバスの身と皮と骨コラーゲンに関しては、脂質はタンパク質よりも炭素同位体が軽くなることが知られているが、主として脂質から形成される皮（ $\delta^{13}\text{C} = -20.8\text{‰}$ ）は、確かに身（ $\delta^{13}\text{C} = -17.8\text{‰}$ ）よりも軽い。しかし、この同一個体の身、皮、骨コラーゲンの示すリザーバー効果は500~600 ^{14}Cyr であり、炭素14濃度は、セタシジミや他の魚試料に比べて遙かに低いことを示している。もし、琵琶湖に生息する魚介類の示すリザーバー効果が300~500 ^{14}Cyr 程度で一定と考えてよいならば、ブラックバスは雑食性なので、この個体のみが例外的に、非常に古い炭素年代を持つ餌を多く摂取したためかもしれない。もう少し測定例を増やして状況を観察してみたい。

最後に、2006年産の琵琶湖と他の淡水湖産ブラックバス（諏訪湖、野尻湖、八郎潟）の違いに関して考えてみる（6個体; $N = 6$; 左側の軸）。3個体とも、300~500 ^{14}Cyr のリザーバー効果を示す琵琶湖産ブラックバスの骨コラーゲンを基準にすると、諏訪湖と野尻湖産のブラックバスの骨コラーゲンは~800 ^{14}Cyr と非常に低い炭素14濃度を示す。これは、琵琶湖よりも古い年代を持つ湖底堆積物が貯まっており、その再分解の影響などを受けているためかもしれない。一方、八郎潟は最近埋め立てられた海跡湖であり、埋め立て前の湖底は、堆積速度の速い河川堆積物の影響を受けていたため、湖底堆積物の再分解が起こっても、他の三つの湖よりも相対的に若い炭素14濃度を示す環境にあるのかもしれない。また、琵琶湖のように、非常に古い炭素源である石灰岩地帯の影響を受けていないためかもしれない。

4. まとめ

遺跡出土試料と琵琶湖産現世試料の炭素年代を測定した結果、石灰岩や泥炭層などに由来する古い炭素の影響によって、琵琶湖の溶存無機炭素中の ^{14}C 濃度は縄文時代中期から現代まで、300~450 ^{14}Cyr 古い炭素年代を示す淡水リザーバー効果が存在していた可能性が高く、そのリザーバー効果の大きさもあまり変動していないものと推測された。

生物は硬組織と軟組織では異なる起源の炭素を利用しているため、貝の殻と身、魚の骨と身には炭素

年代差が生じるはずである。また、動物は種によって食性が異なるため、貝種や魚種の違いによっても、炭素年代差が生じるかもしれない。今後、現生の生態試料を積極的に活用し、見かけ上の炭素年代差の関係をきちんと検討することによって、琵琶湖を始めとする淡水湖の炭素循環の復元に炭素年代測定を活用していきたい。

謝辞

2006年産ブラックバスの採取は、後藤晶子博士に協力して頂きました。本稿の内容の一部は、「土器付着炭化物及び、吸着物を用いた先史時代の食性研究」(研究代表 宮田佳樹)の成果の一部である。

参考文献

- 中村俊夫, 中井信之, 木村雅也, 小島貞男, 前田広人 (1986) 琵琶湖底堆積物中の放射性核種分布, 堆積物研究会 XXV号, 1-14.
- 南雅代, 種紀彦, 小田寛貴, 横田喜一郎 (2005) 琵琶湖の湖底堆積物ならびに流入河川堆積物の炭素同位体比から探る堆積環境, 名古屋大学加速器質量分析計業務報告書 XVI, 73-83.
- 宮田佳樹, 遠部慎, 坂本稔, 今村峯雄 (2008) 低湿地遺跡における土器付着炭化物の炭素年代測定-内面,外面付着物の年代差と続成作用,淡水リザーバー効果の検討-,名古屋大学加速器質量分析計業務報告書 XIX, 73-78.
- 宮田佳樹, 南雅代, 遠部慎, 坂本稔, 今村峯雄 (2009) 低湿地遺跡における土器付着炭化物の炭素年代測定-内面,外面付着物の年代差と続成作用,淡水リザーバー効果の検討-,名古屋大学加速器質量分析計業務報告書 XX, 73-78.

日本語要旨

本研究では、琵琶湖沿岸の粟津湖底第三貝塚から出土した、貝、獣骨や現生琵琶湖産魚貝試料の見かけ上の炭素年代差を見積もり、琵琶湖水に観察される淡水リザーバー効果の大きさの変遷を推定した。

その結果、縄文時代後期から大正までの琵琶湖水の淡水リザーバー効果の大きさに関する実測データはないが、琵琶湖周辺の石灰岩地帯や琵琶湖岸の泥炭層などに由来する古い炭素の影響によって、完新世後期のおよそ5000年間、琵琶湖水中の溶存無機炭素中の炭素 14 濃度は、300~450 ^{14}Cyr レベルのリザーバー効果を示す一定の値に保たれていた可能性が高いと推定される。