

シリアのユーフラテス河中流域にあるラッカ市及び ガーネム・アルーアリ遺跡周辺環境試料の¹⁴C濃度

¹⁴C concentrations of environmental carbonaceous materials
collected around Tell Ghanem al-Ali archeological site and
Raqqa city along the Middle Euphrates in Syria

中村俊夫 (NAKAMURA Toshio)¹⁾・星野光雄 (HOSHINO Mitsuo)²⁾・
田中 剛 (TANAKA Tsuyoshi)²⁾・吉田英一 (YOSHIDA Eiichi)³⁾・
齊藤 毅 (SAITO Tsuyoshi)⁴⁾・東田和弘 (TSUKADA Kazuhiro)³⁾・
桂田祐介 (KATSURADA Yusuke)⁵⁾・太田友子 (OHTA Tomoko)¹⁾

- 1) 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
- 2) 名古屋大学大学院環境学研究科
Graduate School for Environmental Studies, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8602 Japan
- 3) 名古屋大学博物館
The Nagoya University Museum, Chikusa, Nagoya 464-8602 Japan
- 4) 名城大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Meijo University, Nagoya 468-8502 Japan
- 5) 名古屋大学学生相談総合センター
Center for Student Counseling, Nagoya University, Nagoya 464-8601 Japan

Abstract

During a field survey on archeological sites, as well as in the geological and geographical environments in the Bishri Mountains along the middle Euphrates River in Syria, we have collected environmental carbonaceous materials. The materials were measured for radiocarbon (¹⁴C) concentration (or ¹⁴C dates) to evaluate carbon cycling around this region. Inorganic carbon dissolved in the river water of Euphrates was ¹⁴C dated as from 1223 to 1272 BP. This old apparent age (depleted in ¹⁴C) is due to dead carbon (carbon containing no ¹⁴C atoms) supplied to the river water by dissolving carbonate sediments around this region. Submerged plants from the river water also showed similar ¹⁴C age (1314±28BP). On the other hand, wheat and cotton wool cultivated by using irrigation water from the Euphrates River showed ¹⁴C concentration as high as that of atmospheric CO₂. Plants grow at irrigation farms utilize atmospheric CO₂ but not carbon dissolved in irrigation water to make up their bodies. Thus charcoal materials that were produced by lively activities of ancient inhabitants at the sites give us the exact ¹⁴C dates to be used for constructing absolute chronology of the sites.

1. はじめに

科学研究費補助金特定領域研究「セム系部族社会の形成－ユーフラテス河中流域ビシュリ山系の総合的研究」は、シリア・アラブ共和国の中央部でユーフラテス河に沿って河南一帯の砂漠を構成するビシュリ山系に散在する遺跡を主たる調査区域として、平成 17 (2005) 年度から 5 年継続で開始された。この特定領域研究の計画研究の一つとして「環境地質学、環境化学、¹⁴C 年代測定にもとづくユー

フラテス河中流域の環境変遷史」の研究が進められた。この研究において、ユーフラテス河中流域に所在する遺跡の一つであるガーネム・アルーアリ遺跡が考古隊によって発掘され、我々は、そこで発掘された遺物の年代測定を加速器質量分析 (AMS) 法による ^{14}C 年代測定を実施し、同遺跡の前期青銅器時代の数値編年を組み立てることができた (中村ほか 2009; Nakamura 2010; Nakamura *et al.* 2010)。

一方で、遺跡から採取された炭素含有試料の ^{14}C 年代測定を高精度に行うには、遺跡周辺の炭素循環を調査しておくことが肝要である。この地域は、かつて海底にあって堆積したものが隆起して陸地として形成されたものである。このため、この地域の地表には、海底に堆積した海成の有機物が多く含まれ、これらは、 ^{14}C の半減期 5730 年に比べて形成年代がずっと古いため ^{14}C を含まない炭素からできている。このような地質条件のもとで、現代の炭素試料に対する古い炭素の影響を推定するために、ユーフラテス河の河川水に溶解している炭素、泉の湧水中の炭素、さらにその水の供給を受けて古い堆積物地帯を耕地として育った植物の炭素など、環境中の炭素の ^{14}C 濃度を正確に調べておく必要がある。本論文では、その調査結果を報告する。

本研究では、炭素試料の ^{14}C 濃度 (見かけの ^{14}C 年代) 測定に AMS 法を用いる。この方法は、分析に用いる炭素量が 1mg 程度ですむ、高精度でありかつ正確度が高く、定常の測定で ^{14}C 濃度値の誤差が 0.4% 以下となる、 ^{14}C バックグラウンド (ブランク試料の ^{14}C 計数) が低く古い試料の測定が可能である、測定時間が短い、等の長所を持つ。AMS ^{14}C 年代測定法の詳細については、既報の解説文 (中村 1999; 2003a; Nakamura *et al.* 2004) を参照されたい。

2. ^{14}C 濃度測定のための環境資料の採取

星野光雄代表者の研究グループによるシリア共和国ガーネム・アルーアリ遺跡調査のうち筆頭著者が参加したのは、2007 年 3/11-3/14, 2007 年 11/6-11/14, 2008 年 4/30-5/7, 2009 年 3/7-3/13 の計 4 回である。環境試料の採取は、2 回目から 4 回目にかけて行い、表 1 に示す環境試料をそれぞれの場所 (図 1) にて採取した。水試料は、ラッカ市内を流れるユーフラテス川の流水、ガーネム・アルーアリ遺跡周辺の灌漑用水、羊飼料工場の建設現場の湧水、ビシュリ山中の泉の水、ラッカで宿泊したホテルの水道水、及び飲用に購入したペットボトルの水である。採水は、100ml のプラスチックボトル (テクノボトル, ニッコー (株)) に取り、きつく蓋を閉じて、ビニールテープで蓋の部分を巻き、ボトルの底を上にして保管した。植物試料は、灌漑用水中にて生育した沈水水草、ビシュリ山中に生育していた植物の葉片、ガーネム・アルーアリ遺跡周辺で栽培されていた麦の穂、綿花を採取した。また、メンハ・ガンビ火山調査の際に丘の地表面から巻き貝の殻を数点採取した。

3. 環境試料の ^{14}C 測定のための調製

3.1. 水中の溶存炭素

水試料から溶存無機炭酸を抽出する操作を図 2 に示す。100ml のプラスチックボトル (テクノボトル, ニッコー (株)) に入っている水試料を 100ml のナスフラスコに素早く移し、塩化ストロンチウム 10ml を加えて密栓した。全体の重量を測定して、その重量から、既に測定しておいた水試料以外の重量を差し引いて水試料の重量を算出した。数日間放置し、炭酸ストロンチウムの沈殿を熟成した。大気中 CO_2 による汚染を排除するために、グローブボックス内に水酸化ナトリウムを主体とするアスカライトを設置して内部の CO_2 を完全に吸収させて CO_2 -free となったグローブボックス内で、ナスフラスコ内の上澄み液を捨てた。次に、ナスフラスコ内に 5ml の 100% リン酸を入れたバイアル

表1 環境試料の¹⁴C濃度（見かけの¹⁴C年代）

番号	試料番号	採取日	試料物質	採取場所	δ ¹³ C (‰)	¹⁴ C age (BP)	Lab # (NUTA2-)
1	SYRY-W2	2007/11/12	河川水	ラッカ市内のユーフラテス河	-9.9	1272 ± 24	13604
2	S0506-3	2008/05/06	河川水	ラッカ市内のユーフラテス河	-5.7	1223 ± 27	13384
3	S0505-1	2008/05/05	灌漑用水	メンハ・ガルビ火山近辺の灌漑用水路	-3.7	1265 ± 27	13381
4	SY-IRR09	2009/03/10	麦畑中の灌漑用水	ガーネム・アルーアリ遺跡	-7.8	1244 ± 26	13959
5	S0503-1-1	2008/05/03	羊飼料工場内の湧水	ガーネム・アルーアリ遺跡	-10.5	659 ± 27	13380
6	SY-WELL0308	2009/03/08	泉(1)の水	ワディ・ハラール	-14.0	2784 ± 27	13960
7	SY-W090310-1	2009/03/10	泉(1)の水	ワディ・ハラール	-11.0	2771 ± 27	13994
8	SY-W090310-2	2009/03/10	泉(2)の水	ワディ・ハラール	-9.6	700 ± 26	13995
9	S0506-1	2008/05/06	水道水	ラザワルドホテル	-4.9	1327 ± 27	13382
10	S0506-2	2008/05/06	ペットボトル水	ラッカ市内	-15.9	2567 ± 28	13383
11	PB-RAQQA	2009/03/12	ペットボトル水	ラッカ市内	-9.1	3763 ± 28	14000
12	SYRY-W1	2007/11/15	ペットボトル水	ダマスカス市内	-8.0	9040 ± 35	13534
13	PB-DAMAS	2009/03/06	ペットボトル水	ダマスカス市内	-7.6	5647 ± 30	13999
14	RAQ-WP-1	2008/05/05	沈水植物	メンハ・ガルビ火山近辺の灌漑用水路	-19.8	1317 ± 28	13474
15	RAQ-WH-1	2008/05/01	麦の穂	ガーネム・アルーアリ遺跡周囲の小麦畑	-22.1	104.2 ± 0.3 (pMC)*	13522
16	RAQ-PL-1	2008/05/05	一年生草本	メンハ・ガルビ火山	-25.0	104.3 ± 0.3 (pMC)*	13520
17	RAQ-COT-1	2008/05/01	綿花	ガーネム・アルーアリ遺跡周囲の綿花畑	-27.0	105.2 ± 0.4 (pMC)*	13385
18	RAQ-SN-1	2008/05/05	巻き貝の殻	メンハ・ガルビ火山	-7.3	559 ± 25	13521

* pMC (percent modern carbon) は、試料の¹⁴C濃度を表す単位の一つである。¹⁴C年代が0 BPの標準試料の¹⁴C濃度を100.0%とするときに、未知試料の¹⁴C濃度をそれに対する比として%で示す。104.2 pMCでは、試料の¹⁴C濃度は、¹⁴C年代が0 BPの標準試料の¹⁴C濃度よりも、4.2%高いことを意味する。



図1 シリア・アラブ共和国のユーフラテス河中流域にあるラッカ市およびガーンム・アル＝アリ遺跡周辺の環境試料採取場所
X：試料採取場所

瓶を立てて設置した。そのまま真空装置に接続し、ナスフラスコ内を真空に排気して、真空コックを閉じてナスフラスコを密閉した後、バイアル瓶を倒してリン酸と炭酸ストロンチウムを反応させてCO₂を生成した。1昼夜放置した後、ナスフラスコを真空ラインに接続して、生成したCO₂を精製・回収・定量し、CO₂を外径6 mmのピレックス管に封入して保存した。使用した水試料の量、回収された炭素の量、水中の無機炭素の濃度を表2にまとめて示す。

次に、回収した二酸化炭素のうちの1.5mg程度を分取し、水素還元法により鉄粉触媒の表面にグラファイトを生成したあと、鉄粉とグラファイトを良く混合してアルミニウム製のターゲットホルダーに圧入して、これをタンデトロン加速器質量分析計の分析試料とした。また、米国国立標準技術研究所が提供しているシュウ酸標準物質 (SRM4990C: HOxII) から、さらに¹⁴C ブランク試料 (¹⁴Cを全く含まない標準物質：キシダ化学 (株) 製の特級シュウ酸試薬 (#57952)) から抽出したCO₂について、水中の溶存無機炭酸試料として回収したCO₂と同様な工程によりグラファイトを合成し、年代測定標準体として用いた。

3.2. 貝殻

巻き貝の殻を小さくつぶして、蒸留水を用いて10分間の超音波洗浄を3回行い、0.6規定塩酸を用いて殻の表面を溶解除去した。蒸留水で洗浄して乾燥した後、ステンレス乳鉢で粉末にし、約30mgを分取して二股管の片方に入れ、他方に85%リン酸を3.5ml取り、二股管を真空ラインに接続して高真空に排気した。その後、二股管の上部の真空コックを閉じて、二股管を回転させてリン酸と貝殻粉末を反応させてCO₂を発生させた。1昼夜放置し、真空ラインでCO₂を精製・回収し、定量したあとCO₂を外径6 mmのピレックス管に封管して保存した。回収した二酸化炭素の1.5mg程度を分取し、水素還元法で鉄粉触媒の表面にグラファイトを合成したあと、タンデトロン加速器質量分析計の分析試料とした。

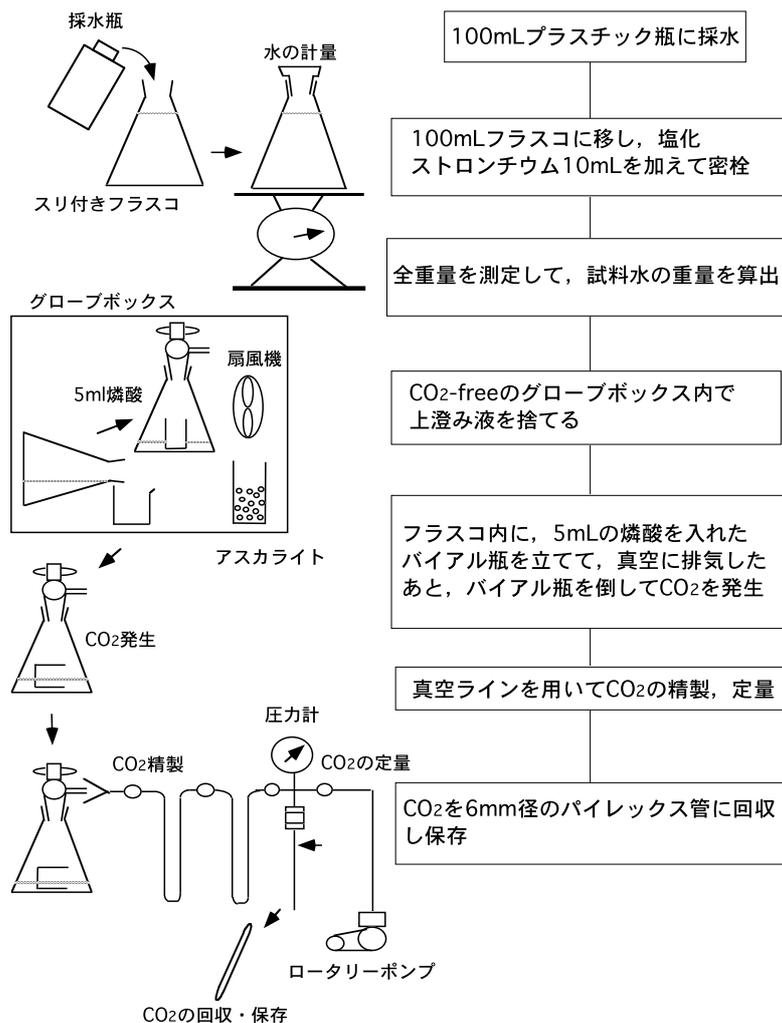


図2 水試料中の全無機炭酸の回収方法の概略

表2 水試料の分析使用量、回収された無機態炭素の量と水中の無機態炭素の濃度

番号	試料番号	採取日	試料物質	水の量 (mL)	回収炭素量 (mg)	無機態炭素濃度 (mg/L)
1	SYRY-W2	2007/11/12	河川水	132.8	3.53	26.58
2	S0506-3	2008/05/06	河川水	125.3	3.09	24.67
3	S0505-1	2008/05/05	灌漑用水	125.9	3.19	25.33
4	SY-IRR09	2009/03/10	麦畑中の灌漑用水	126.2	3.57	28.29
5	S0503-1-1	2008/05/03	羊飼料工場内の湧水	126.1	1.97	15.62
6	SY-WELL0308	2009/03/08	ワディ・ハラールの泉(1)の水	92.9	2.05	22.08
7	SY-W090310-1	2009/03/10	ワディ・ハラールの泉(1)の水	125.7	2.71	21.54
8	SY-W090310-2	2009/03/10	ワディ・ハラールの泉(2)の水	127.3	1.65	12.93
9	S0506-1	2008/05/06	ホテルの水道水	125.8	3.18	25.29
10	S0506-2	2008/05/06	ペットボトル水	126.2	3.32	26.29
11	PB-RAQQA	2009/03/12	ペットボトル水	127.7	2.91	22.79
12	SYRY-W1	2007/11/15	ペットボトル水	123.1	4.72	38.30
13	PB-DAMAS	2009/03/06	ペットボトル水	155.7	5.08	32.60

3.3. 植物質試料

採取した植物質試料の一部を分取して、蒸留水を用いて超音波洗浄し、1.2 規定の塩酸溶液、1.2 規定の水酸化ナトリウム水溶液、さらに 1.2 規定の塩酸溶液の順に化学洗浄処理を繰り返して、炭酸塩や人為的取り扱いなどにより付着した可能性のある汚染物を除去し、乾燥した。乾燥試料 7mg を約 500mg の酸化銅と共に石英ガラス容器内に詰め、高真空に排気して封じきり、900℃にて 3 時間加熱して試料中の炭素を二酸化炭素に変えた。それを真空装置で分離・精製して純粋な二酸化炭素を回収した。回収した二酸化炭素の 1.5mg 程度を分取し、水素還元法で鉄粉表面にグラファイトを合成したあと、タンデトロン加速器質量分析計の分析試料とした。

4. ^{14}C 濃度測定

タンデトロン加速器質量分析計を用いて、試料、 ^{14}C ブランク標準体および ^{14}C 濃度既知の標準体の炭素同位体比 ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比) を測定し、それらの測定結果から ^{14}C 年代を算出した。測定した $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ から ^{14}C ブランク値を引き算し、標準体の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ に対する比を算出して、試料の ^{14}C 濃度を得た (中村 2003a)。この ^{14}C 濃度から試料の見かけの ^{14}C 年代を算出した。 ^{14}C 年代は、西暦 1950 年から遡った年数として BP (before present) を付けて示される (表 1)。 ^{14}C の半減期は 5568 年を用いた。誤差は 1 標準偏差を示す。 ^{14}C 濃度の算出では、試料及び標準体の ^{14}C の減衰補正を行った (中村 2003a)。 ^{14}C 濃度の表示は、pMC (percent modern carbon) を用いた。pMC は、 ^{14}C 年代が 0 BP の標準試料の ^{14}C 濃度を 100.0% とするときに、未知試料の ^{14}C 濃度をそれに対する比として % で示す。104.2 pMC では、試料の ^{14}C 濃度は、 ^{14}C 年代が 0 BP の標準試料の ^{14}C 濃度よりも 4.2% 高いことを意味する。

5. 結果および考察

5.1 ユーフラテス河の水の ^{14}C 濃度

ユーフラテス河を現在流れている河川水を取って、河川水中に溶けている無機炭酸を回収し ^{14}C 濃度 (^{14}C 年代) を測定した。無機炭酸の ^{14}C 濃度を測って、それを年代に換算すると、表 1 に示す様に見かけの ^{14}C 年代は 1223 ~ 1272BP と得られた。これは、河川水の年代 (例えば、雨として降った水が地表面で経過した年数) が得られるというわけではなく、河川水に溶存する炭素の ^{14}C 濃度が、現在の大气中二酸化炭素の ^{14}C 濃度に比べて、相対的に低いということで、その ^{14}C 濃度低下の割合を年代に換算すると 1250 年前ぐらいになるということである (表 1 の試料番号 SYRY-W2 および S0506-3)。ユーフラテス河が流れる土地は石灰岩を多く含んでおり、これらの石灰岩を流水が溶解して、石灰岩に含まれる古い炭素が河川水中に溶出していることがこの結果から示される。

Raqqa 市の北東方向のユーフラテス河の北側に二つの火山 (西側: メンハ・ガルビ火山, 東側: メンハ・シャルキ火山) があって (図 1), そこで玄武岩層の調査を実施したことがある。このときに、途中の車道を横切って立派な用水路があって、大量の用水が流れていた。この水は、地下水を汲み上げたものか、それともユーフラテス河から引かれたものか。これは、水を取って ^{14}C 濃度を測ってみると分かる筈である (S0505-1)。測定結果から、用水の ^{14}C 年代 (1265 ± 27 BP) はユーフラテス河の河川水の ^{14}C 年代値とよく一致した値となっていることから、ユーフラテス河から引かれた用水と考えてよい。また、同じ用水の中に完全に沈水した植物 (RAQ-WP-1) があったので、これを採取して ^{14}C 年代を測ってみると、 1317 ± 28 BP と得られ、用水の年代値とほぼ一致する。すなわち、このような沈水の植物は、光が届いているので光合成を行っているが、そのときには、水に溶けている二

酸化炭素を光合成で固定して、自分の体を作っていることがこの結果から示される。

5.2 地下水の湧水の ^{14}C 濃度

ガーネム・アルーアリ遺跡の敷地に隣接して、羊の飼料工場の建設現場がある。そこでは、遺跡の堆積物と同様に、人の活動の痕跡を残す堆積物があり焼土や木炭が層となって堆積していることが確認された。この飼料工場の建設現場に、建物建設用に彫り込まれた敷地に湧水がわき出していた。この湧水を採取して ^{14}C 濃度を測定したところ 659 ± 27 BP と得られた。ユーフラテス河の地下水脈に連なっているものと考えられるが、ユーフラテス河の水よりも若い見かけの ^{14}C 年代が得られていることから、 ^{14}C 濃度の高い現在の大気中の二酸化炭素の影響を受けていることが推察される。

ユーフラテス河の低位段丘から南に約 4 km 上流のワディ・ハラールの支流に広さ $5\text{m} \times 10\text{m}$ 程度、深さ 70-80cm の泉があり、さらにその下流にも小さな泉がある。大きい方の泉 (SY-Well0308, SY-W090310-1) 及び小さな泉 (SY-W 090310-2) から、水試料を採取し ^{14}C 年代を測定した。大きい方の泉の 2 試料はほぼ一致して、 $2771 \sim 2784$ BP の ^{14}C 年代を示した。地下水脈から湧き出しているものと思われる。一方、小さな泉の試料は 700 ± 26 BP と若い年代を示し、大きい方の泉に比べて大気中の二酸化炭素の影響をより強く受けていると思われる。

5.3 ホテルの水道水の ^{14}C 濃度

著者等が客として使ったラザワルドホテルの水道水は地下水を汲み上げたものなのだろうか。同様にして水道水中の炭酸の ^{14}C 年代を測ってみたら (1327 ± 27 BP)、ほとんどユーフラテス河の水と同じ ^{14}C 年代を示している。このことから、多分、このホテルでは河川水を引っ張ってきてフィルターで濾し消毒した後、客室に供給していると考えられる。

5.4 ^{14}C 濃度の低い水で生育した植物の ^{14}C 濃度

また、「 ^{14}C 濃度が低い灌漑用水を使って植物を成長させると、それらの植物では実際よりも古い年代が得られるのではないか？」という危惧があるかも知れない。植物の ^{14}C 年代は生育に利用される灌漑用水中の炭素の ^{14}C 年代には影響されるのであろうか。現在ガーネム・アルーアリ遺跡の近くの畑で麦や綿花が栽培され収穫されている。そこで、麦の穂及び綿花を採取した。これらは両方とも畑で作られており、灌漑用水路を使って河川水の供給を受けている。また、比較用の植物試料として、砂漠に自生する植物を採取した。自生の植物は自力で周囲の水を吸い上げて生きているのだと思われる。これらの試料の ^{14}C 濃度を表 1 に示す。これまでの基礎研究から現生の単年生植物の ^{14}C 濃度は、ほぼ $104 \sim 106$ pMC (percent modern carbon) を示すことが調べられている (中村ほか 2008)。ガーネム・アルーアリ遺跡で採取した植物試料の ^{14}C 濃度は互いにそろっており、このような現代の ^{14}C 濃度とよく一致している (表 1)。決して、ユーフラテス河の灌漑用水の沈水植物のように、 1300 BP のような古い見かけの ^{14}C 年代を示すことはない。すなわち、このような地表の植物は、やはり大気中から二酸化炭素を吸収して、そこに含まれる炭素を用いて自分の体を作っているわけで、灌漑用水路から供給された水に溶存する炭素を使って体を作っているわけではないということが分かる。従って、今回の研究で、ガーネム・アルーアリ遺跡が使用された年代として、遺跡の発掘により得られた木炭を ^{14}C 年代測定して得た年代は、 ^{14}C 年代が古い灌漑用水に溶存する炭素の影響を受けていない。遺跡の年代として報告した木炭の年代 (中村ほか 2009; Nakamura 2010; Nakamura *et al.* 2010) は正しい値である。ユーフラテス河の河川水の炭素リザーバー効果 (中村 2003b) が植物

の生育に影響を及ぼして植物試料を用いた¹⁴C年代が実際よりも古い年代を示すことは決してない。

5.5 ペットボトル水の¹⁴C濃度

ダマスカス市内およびラッカ市内で販売されているペットボトル水について、溶存炭酸の¹⁴C濃度（年代）を測定した。ラッカ市内で購入したペットボトル2本の水では、 2567 ± 28 BP, 3763 ± 28 BPと、また、ダマスカス市内で購入したペットボトル2本の水では、 9040 ± 35 BP, 5647 ± 30 BPと得られた。ラッカのペットボトル水の¹⁴C年代は、ユーフラテス河の水の¹⁴C年代（1223～1272 BP）とは一致せず、ユーフラテス河の水を加工してペットボトルに詰めたものではないことがわかる。同様に、ダマスカス市内のペットボトルの水ではもっと古い¹⁴C年代が得られている。清浄な地下水を汲み上げてペットボトルに詰めたものであろう。

5.6 貝殻試料の¹⁴C濃度

2001年に沖縄島にて採取された現生のマイマイ（シュリマイマイ）の¹⁴C濃度は、 110.8 ± 0.3 pMCと報告されている（大塚ほか2008）。今回、メンハ・ガルビ火山の丘の頂上付近で採取した巻き貝の殻は生きていたものではないが、地面上に数箇所がっていた中の一つであり、年代を経たものとは考えられない。この火山丘で巻き貝が生育するためには、水と炭酸カルシウムが必要である。恐らく、石灰岩起源の細粒の風成塵の堆積があり、そこで天水との組み合わせで巻き貝が生育する条件ができたものであろう。見かけの¹⁴C年代が560 BPと古いのは、石灰岩に含まれる古い炭素からの寄与と推察される。

5.7 試料水の溶存無機炭酸の濃度

ユーフラテス河の河川水、灌漑用水、ラザワルドホテルの水道水は、どれも似たような¹⁴C年代を示したが、それらの水試料に溶存する無機炭酸の濃度も $24.67 \sim 28.29$ mg/kgとほぼ同様な値を示した。琵琶湖湖水の無機炭酸濃度はほぼ6mg/kg（Nakamura *et al.* 1998）であるのに対して、ユーフラテス河の河川水では4～5倍濃度が高い。ワディ・ハラールの大きい方の泉の水試料2点の炭素濃度は22.08および21.54mg/Lとほぼ同じ値を示した。一方、下流側の小さな泉の水試料の炭素濃度は12.93mg/Lと低くなっており、大きい泉とは蓄える水の起源が異なっているように思われる。ラッカ市で購入したペットボトルの炭酸濃度は、ユーフラテス河の河川水の炭素濃度と同程度であるが、ダマスカスにて購入したペットボトル水は、 $32.60 \sim 38.30$ mg/Lと炭素濃度が高い。炭酸をより多く含んだ地下水が源水として用いられていることがわかる。

6. まとめ

ユーフラテス河の河川水に溶存する炭素を抽出して¹⁴C濃度を測定したところ、その¹⁴C濃度は標準¹⁴C濃度よりも低く、見かけの¹⁴C年代は1223～1272 BPである。この河川水が灌漑用水として利用されている場所で、用水中に沈水性植物として生育している植物の¹⁴C年代は、 1314 ± 28 BPと得られ、用水中に溶存する炭素の影響を受けている。

一方、ユーフラテス河の河川水を灌漑用水として用いて畑で栽培されている麦や綿花の¹⁴C濃度は、大気中CO₂の¹⁴C濃度と一致した。すなわち、陸生の植物は大気中CO₂の固定を行って、それを炭素原料として用いる。根から吸い上げた水分中の炭素を用いるわけではない。また、遺跡の年代測定に用いられる、遺跡の発掘において堆積物中から採取された木炭などは、それらの植物が光合成

により大気中 CO₂ を固定したときの年代を正しく示すことが結論される。

遺跡の周辺で採取した環境試料やペットボトル水の ¹⁴C 濃度（見かけの ¹⁴C 年代）は、環境中の炭素循環の考察に役立つものと期待される。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金特定領域研究「セム系部族社会の形成－ユーフラテス河中流域ビシュリ山系の総合的研究」（課題番号：17063005）の補助による。

参考文献

- 中村俊夫（1999）放射性炭素法。「考古学のための年代測定学入門」。長友恒人（編），古今書院，1-36。
- 中村俊夫（2003a）加速器質量分析（AMS）による環境中およびトレーサ放射性同位体の高感度測定。*Radioisotopes*, **52**, 3, 145-171.
- 中村俊夫（2003b）放射性炭素年代測定法と暦年代較正。環境考古学マニュアル，松井 章編著，同成社，p.301-322.
- 中村俊夫・渡邊隆広・松中哲也・西村弥重・朱 立平・太田友子・南 雅代（2008）標高 5000m のチベット高原に生育する植物は低地の植物より ¹⁴C 濃度が高いのか？ 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書，**XIX**, p.100-116.
- 中村俊夫・星野光雄・田中 剛・吉田英一・齊藤 毅・東田和弘・桂田祐介・長谷川敦章・太田友子（2009）シリアのユーフラテス河中流域にある Tell Ghanem al-Ali 遺跡発掘資料の ¹⁴C 年代。「セム系部族社会の形成」ニューズレター，No.16, 16-21.
- Nakamura, T., Kojima, S., Ohta, T., Oda, H., Ikeda, A., Okuno, M., Yokota, K., Mizutani, Y., and Kretschmer, W. (1998) Isotopic analysis and cycling of dissolved inorganic carbon at Lake Biwa, central Japan. *Radiocarbon*, **40**(2), 933-944.
- Nakamura, T, Niu, E, Oda, H, Ikeda, A, Minami, M, Ohta, T, Oda, T. (2004) High precision ¹⁴C measurements with the HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University. *Nucl. Instr. and Meth. B223-224*: 124-29.
- Nakamura, T., Hoshino, M., Tanaka, T., Yoshida, H., Saito, T., Tsukada, K., Katsurada, Y. Aoki, Y., Ohta, T. Hasegawa, A., Kiuchi, T., Ohnuma, K., Khabour, A. A. and Maqdissi, M., A. (2010) Early Bronze Age strata at Tell Ghanem al-Ali along the Middle Euphrates in Syria: A preliminary report of radiocarbon dating results. *Radiocarbon*, **52** (2-3), 383-392.
- Nakamura, T. (2010) The Early Bronze Age chronology based on ¹⁴C ages of charcoal remains from Tell Ghanem al-Ali. *Al-Rafidan, Special Issue*, 119-129.
- 大塚裕之・中村俊夫・太田友子（2008）琉球列島における脊椎動物化石含有層の ¹⁴C 年代。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書，**XIX**, 135-153.

（2010年10月15日受付，12月25日受理）