

シリア国ラッカ市近郊のユーフラテス河中流域にある
最低位段丘堆積物の ^{14}C 年代

^{14}C age of the lowermost terrace sediments along the Middle Euphrates in Raqqa, Syria

中村俊夫¹⁾・齊藤 毅²⁾・星野光雄³⁾・桂田祐介⁴⁾・田中 剛²⁾・

吉田英一⁴⁾・東田和弘⁴⁾・太田友子²⁾

NAKAMURA Toshio^{1*)}, SAITO Takeshi²⁾, HOSHINO Mitsuo³⁾, KATSURADA Yusuke⁴⁾,

TANAKA Tsuyoshi²⁾, YOSHIDA Eiichi⁴⁾, TSUKADA Kazuhiro⁴⁾, OHTA, Tomoko²⁾

1) 名古屋大学年代測定総合研究センター

2) 名城大学理工学部

3) 名古屋大学大学院環境学研究科

4) 名古屋大学博物館

1) Center for Chronological Research, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8602 Japan

2) Faculty of Science and Technology, Meijo University, Nagoya 468-8502 Japan

3) Graduate School for Environmental Studies, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8602 Japan

4) The Nagoya University Museum, Chikusa, Nagoya 464-8602 Japan

*Correspondence to: Author 1; E-mail: nakamura@nendai.nagoya-u.ac.jp

Abstract

We have conducted a field survey on the lowermost terrace sediments along the middle Euphrates River, southeast of Raqqa, Syria. The aim of this study is to perform a chronological analysis as well as environmental surveys of the lowermost terrace deposits. We have collected two boring cores (RQ1: ca.15m long and RQ2: ca. 6m long) in 2009. To setup a chronology of the cores, total organic carbon (TOC) fraction was separated from soil deposits at 11 horizons of the RQ1 and three charcoal fragment samples were collected at two horizons from the RQ2, and ^{14}C dating was performed on the samples with an accelerator mass spectrometry (AMS) system of Nagoya University. We report here the results of AMS ^{14}C dating on 14 samples, which approximately showed a ^{14}C age-range from 107 ± 30 BP to 7600 ± 31 BP, although ^{14}C age of the deepest soil deposit was about 5000 BP and younger than ages at the intermediate depths of the cored sediment (ca 7600 BP).

Keywords: Syria; Middle Euphrates River; Lowermost terrace sediment; soil deposit; ^{14}C dating; paleoenvironment

キーワード: シリア; ユーフラテス河中流域; 最低位段丘堆積物; 泥質堆積物; ^{14}C 年代測定; 古環境

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， ^{14}C 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＝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について加速器質量分析（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；中村ほか2010；Nakamura 2010；Nakamura et al. 2010）。

一方で，ガーネム・アル＝アリ遺跡成立の歴史を理解するうえで，遺跡が立地する地形・地質環境が重要と考え，周辺の地質調査を行った（東田ほか2011，齊藤ほか2011，星野2011など）。その結果，海成の第三紀層を基盤として第四紀の河川成堆積物が表層を覆い，その後，ユーフラテス河の浸食によって少なくとも5段の段丘が形成されたことが明らかになった。そして，ガーネム・アル＝アリ遺跡は最低位段丘に立地していることが判明した（齊藤ほか2010）。

遺跡成立と密接な関係のある自然環境の変遷を調べるには，花粉化石など微化石の抽出が可能な泥質堆積物が必要である。段丘調査の過程で多くの露頭を観察することができたが，泥質堆積物はほとんどなかった。そこで，現在は埋まってしまった古い三日月湖からならば泥質堆積物を得られると考え，旧河川地形が残っている最低位段丘についてボーリング調査を実施した（Hoshino et al. 2010）。その結果，基底の礫層に達する泥質コア試料を得ることができた。本論文では，それらの試料について ^{14}C 年代測定を実施した結果を報告する。

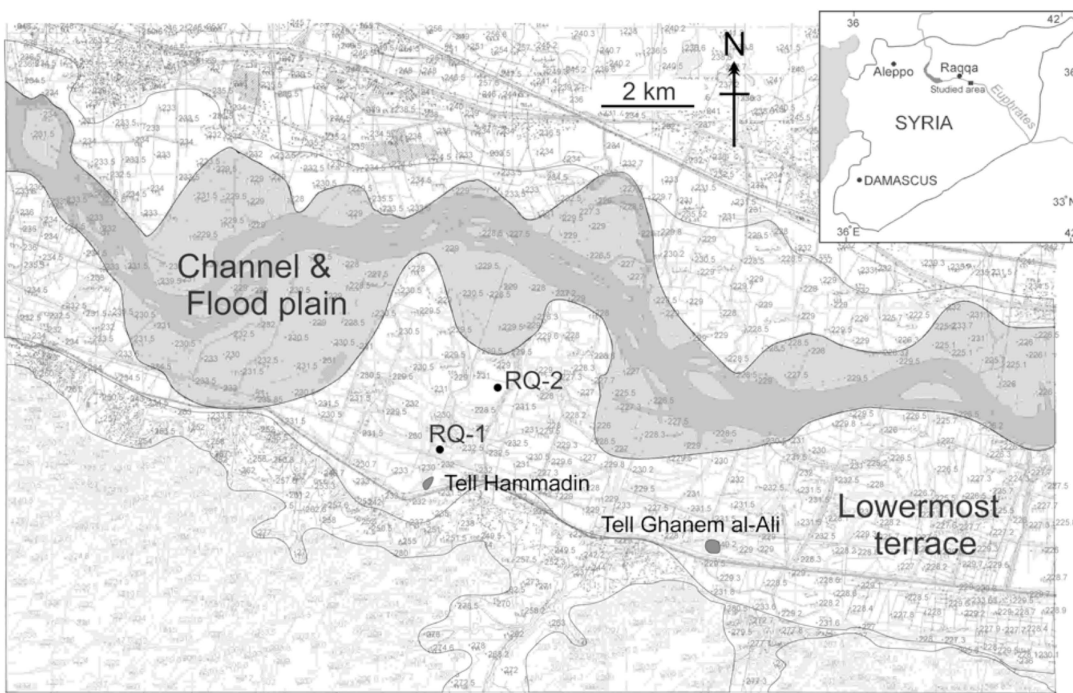


図1 シリア・ラッカ市近郊のユーフラテス河中流域にある最低位段丘堆積物のボーリングコア試料（RQ1, RQ2）の採取地点

2. 泥質堆積物試料の採取

試料はシリア国ラッカ市のユーフラテス河中流域右岸の段丘から掘削したボーリングコアから得た。掘削地周辺には少なくとも 5 段の河成段丘が認められており（齊藤ほか 2010）、ボーリングコアはそのうちの最低位段丘面から掘削されたものである（図 1, RQ1 および RQ2）。流水のある河道および両側の氾濫原に続く最低位の段丘面上にあたる。地平面からの高さ 15m 程度の丘状の高まりを構成する遺跡である Tell Hammadin から北へ約 1km(RQ1)および北東方向へ約 3km(RQ2)の計 2 地点である。掘削地は地形図や衛星写真から河道の痕跡が読み取れ、かつ周囲よりもやや標高の低い地点であり、かつて三日月湖であった可能性が高い場所である。現在は湿地となり、堆積物で埋まっている。

標高約 230m の 2 地点から機械式ボーリングでコアを採取した。コア採取の詳細は Hoshino et al. (2010)に記載されている。得られた堆積物および ^{14}C 年代測定用試料採取層準を図 2 に示す。堆積物は主として泥質堆積物からなり、RQ1 は約 15m, RQ2 では約 6m の堆積物を得た。コア堆積物は地上にあげると膨張するため、図 2 に示した堆積物の厚さと深度は一致しない。RQ1 の礫層に達したコア深度は約 14.4m, RQ2 で礫層に達したコア深度は約 5.9m である（Hoshino et al. 2010）。試料の層序的位置を示すため、小論ではコア深度と区別して「堆積深度（sediment depth）」と呼ぶことにする。

図 2 に示した ^{14}C 年代測定用の試料番号は、微化石分析用に取り分けた泥質試料の通し番号を示している。RQ1 の 10 層準 11 試料, RQ2 の 2 層準 3 試料の年代測定を行った。

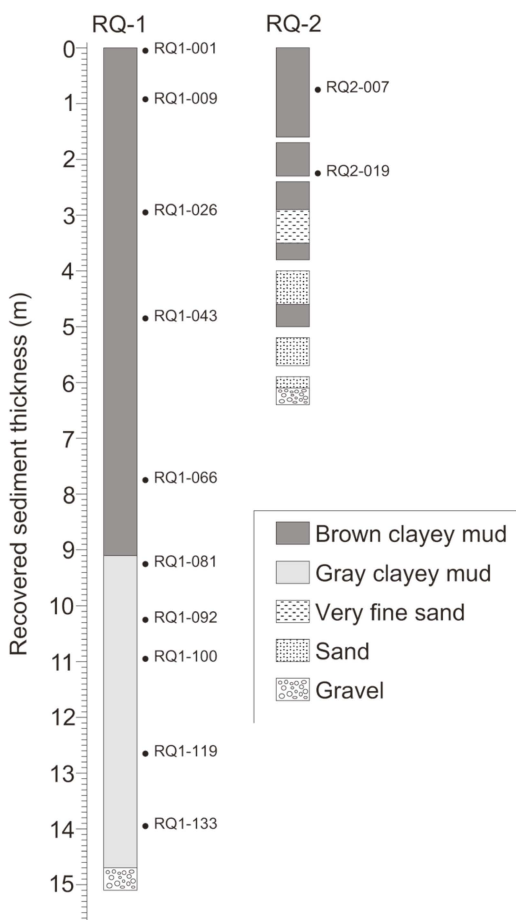


図 2 採取された堆積物コア試料の記載と、 ^{14}C 年代測定のための分析試料の分取深度

表 1 ラッカ市のユーフラテス河中流域右岸の最低位段丘から掘削したボーリングコア試料 RQ1 及び RQ2 から選別した ^{14}C 年代測定試料。
化学処理済み試料から回収された CO_2 重量, 炭素収率, $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, ^{14}C age 及び校正年代を示す。

資料 番号	堆 積 深度 (cm)	試料 物質	燃 焼 し た 試 料 量 (mg)	CO_2 収 量 (mgC) (収率%)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ by AMS** (‰)	^{14}C age (BP $\pm 1\sigma$)	^{14}C 年代を暦年代に校正し た年代 (Reimer et al. 2009) $\pm 2\sigma$ の暦年代範囲 (probability)	測定番号 (NUTA2-)
RQ1-001	5	泥質 堆積物	298.15	1.82 (0.87)	-22.1 $\pm$ 1.0	204 $\pm$ 22	1649-1684calAD (26.8%) 1736-1804calAD (50.0%) 1935-1954calAD (18.6%)	17021
RQ1-009	90	泥質 堆積物	206.86	0.92 (0.45)	-24.2 $\pm$ 1.0	3292 $\pm$ 26	1629-1501calBC (95.4%)	17022
RQ1-026	292	泥質 堆積物	201.04	0.33 (0.16)	-23.9 $\pm$ 1.0	7307 $\pm$ 29	6228-6082calBC (95.4%)	17049
RQ1-043	488	泥質 堆積物	230.95	0.43 (0.18)	-23.8 $\pm$ 1.0	7458 $\pm$ 29	6404- 6245calBC (95.4%)	17054
RQ1-066	774	泥質 堆積物	251.20	0.48 (0.19)	-23.4 $\pm$ 1.0	7601 $\pm$ 31	6494-6416calBC (95.4%)	17055
RQ1-081-1	922	泥質 堆積物	253.12	0.92 (0.37)	-25.6 $\pm$ 1.0	6174 $\pm$ 29	5216-5040calBC (95.4%)	17023
RQ1-081-2	923	泥質 堆積物	352.31	1.30 (0.37)	-24.2 $\pm$ 1.0	6141 $\pm$ 29	5208-5002calBC (95.4%)	17024
RQ1-092	1029	泥質 堆積物	251.10	1.66 (0.66)	-24.6 $\pm$ 1.0	5297 $\pm$ 27	4233-4043calBC (95.4%)	17025
RQ1-100	1093	泥質 堆積物	300.50	1.68 (0.56)	-24.8 $\pm$ 1.0	5226 $\pm$ 27	4222-4210calBC (2.1%) 4156-4133calBC (4.1%) 4064-3967calBC (89.2%)	17026
RQ1-119	1271	泥質 堆積物	300.51	1.45 (0.48)	-24.8 $\pm$ 1.0	5311 $\pm$ 27	4234-4048calBC (95.4%)	17029
RQ1-133	1396	泥質 堆積物	204.73	1.06 (0.52)	-26.2 $\pm$ 1.0	4988 $\pm$ 28	3931-3876calBC (11.3%) 3805-3696calBC (84.1%)	17030
RQ2-007	77	炭化 植物	7.10	3.54 (49.8)	-27.7 $\pm$ 1.0	107 $\pm$ 30	1680-1739calAD (27.3%) 1753-1762calAD (1.4%) 1802-1938calAD (66.7%)	14662
RQ2-019-1	199	炭化 木片	1.13	0.66 (58.2)	-28.8 $\pm$ 1.0	323 $\pm$ 34	1475-1645calAD (95.4%)	14661
RQ2-019-2	205	炭化 木片	4.44	2.43 (54.8)	-26.4 $\pm$ 1.0	226 $\pm$ 31	1638-1684calAD (40.7%) 1735-1806calAD (41.8%) 1930-1954calAD (12.9%)	14779

* $\delta^{13}\text{C} = [(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{sample}} / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}} - 1.0] \times 1000$ (‰),

ここで, PDB は Pee Dee Belemnite の略記で, 炭酸カルシウムからなる矢石類の化石であり, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比の標準体として用いられる。AMS を用いて測定された値をしめす。

3. 柱状コア試料の年代測定

3. 1 ^{14}C 年代測定のための試料調製

泥質堆積物の柱状コア試料の年代測定のための試料調製は中村 (1999; 2006) による。柱状コア RQ1 の 10 層準 11 試料につき, 泥質堆積物中の有機態炭素 (total organic carbon: TOC) を以下のようにして抽出した。表 1 に示した堆積深度の泥質堆積物につき約 2g 程度を分取し, 200ml のビーカーに入れ 1.2 規定塩酸を加えて溶液に懸濁させた。この際に, 年代測定に用いた全ての泥質堆積物で発泡があった。泥質堆積物中に石膏や石灰岩起源の微粒子が含まれており, これが酸によって分解されて二酸化炭素が発泡して放出されたものと考えられる。1.2 規定塩酸に浸して 70°C で一昼

夜加温した。念のためにこの塩酸処理を 2 回行い、蒸留水で洗浄して塩酸分を除去した。次に 0.6 規定の水酸化ナトリウム水溶液に浸して 70°C で一昼夜加温した。水酸化ナトリウム水溶液による処理を終えた試料は、順次、1.2 規定塩酸を用いて 70°C で一昼夜の加熱処理を行った。塩酸洗浄処理を終えた試料は、蒸留水による洗浄を繰り返して塩酸分を完全に除去し、90°C で乾燥した。

柱状コア RQ2 からは、表 1 に示すように 2 層準において、炭化した植物片 1 試料及び炭化木片 2 試料を選別し ^{14}C 年代測定を行った。試料を、ビーカーに蒸留水と共に入れて 90°C で加熱処理した。次に、1.2 規定塩酸で 90°C で 2 時間の処理を 2 回行い炭酸塩等を溶解除去した。さらに、1.2 規定水酸化ナトリウム水溶液を用いて 90°C で 2 時間処理してフミン酸などを溶解除去した。このアルカリ処理を 2 回繰り返した。さらに、1.2 規定塩酸を用いて 90°C で 2 時間の処理を 2 回行い、蒸留水でよく洗浄して塩酸分を完全に取り除いたあと乾燥した。

化学洗浄して乾燥した泥質堆積物試料を乳鉢で粉碎し、それぞれの堆積物試料約 200mg~300mg を、木炭試料については約 7mg を、分取した。これらの分取試料を約 500 mg の線状酸化銅と共に、外径 9mm の石英管に入れ、真空ラインに接続して排気したあと封管した。これらの試料を電気炉内で 900°C にて約 4 時間加熱して、試料中の炭素を燃焼して二酸化炭素に変えた。真空ライン中で、液体窒素（沸点：-196°C）、液体窒素により冷却したペンタン（融点：-128°C）、およびエタノールと液体窒素の混合物（約-100°C）を寒剤として用いて水分やイオウ酸化物を除去して二酸化炭素を精製した。表 1 に、回収された二酸化炭素の量を炭素の重量に換算して示す。炭素の重量にして 0.33mg~1.82 mg と大きくばらついた（表 1）。化学的洗浄処理のあとに試料中に残っていた全有機態炭素の割合は 0.16%~0.87%と大きく変動して得られたことから堆積環境の変動があったことが推測される。一方、木炭の炭素含有量は 50~58%と得られ通常の木炭試料とほぼ同じであった。

3. 2 グラファイトの合成

泥質堆積物試料から回収された二酸化炭素（炭素にして 0.33mg~1.82 mg）について、外径 9mm の石英管内で約 3mg の鉄粉末を触媒として、620°C にて水素で還元してグラファイトを得た。次に、合成して得た鉄粉混じりのグラファイトを 90°C で数時間乾燥したのちアルミニウム製の試料ホルダーに加圧封入し、炭素同位体比測定に用いる試料としてタンデトロン加速器質量分析計のイオン源に装填した。

^{14}C 年代測定に不可欠な、 ^{14}C 濃度が既知の標準体としては、米国国立標準技術研究所（NIST）から提供されている国際的な標準体であるシュウ酸（NIST-SRM-4990C (HOxII)）を用いた。さらに、試料調製過程および加速器質量分析計による ^{14}C 測定における、試料以外からの外来炭素混入の効果を補正するために、 ^{14}C を全く含まないはずの炭素含有物質としてキシダ化学（株）製の特級シュウ酸（2 水和物）試薬（57952）を用いた。両シュウ酸の約 14 mg を約 500 mg の線状酸化銅と共にパイレックス管に入れて排気したあと封管し、500°C にて 2 時間加熱することによって完全に燃焼して二酸化炭素を得た。次に、年代測定試料の場合と同様にして、真空ラインを用いて二酸化炭素を精製したあと、約 1.5mg の炭素に相当する二酸化炭素からグラファイトを合成し、これをアルミニウム製の試料ホルダーに加圧封入して ^{14}C 年代測定のための ^{14}C 濃度標準体および ^{14}C ブランク補正用標準体として用いた。

3. 3 加速器質量分析計による ^{14}C 年代測定

上述のようにして、泥質堆積物及び炭化植物片試料 14 点、シュウ酸標準体および ^{14}C ブランク

シュウ酸試薬から調製した固形の炭素試料について、タンデトロン加速器質量分析計を用いて ^{14}C 年代測定を行った（中村 2001）。タンデトロン分析計では、 ^{14}C と ^{12}C の存在比（ $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比(=R)）が未知試料（ R_{sample} ）と ^{14}C 濃度が既知の標準体（ R_{AD1950} ）とについて測定され、 $R_{\text{sample}}/R_{\text{AD1950}}$ 比が得られる。また、タンデトロン分析計では $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比も測定できる。測定された $R_{\text{sample}}/R_{\text{AD1950}}$ 比について、 ^{14}C ブランクの補正を行い、さらにタンデトロン分析計で測定された $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ を用いて炭素同位体分別の補正を行ったのち、試料の ^{14}C 年代値（conventional ^{14}C age（同位体分別補正 ^{14}C 年代））を算出した（表 1, 中村 2001 ; 2003a）。 ^{14}C の半減期としては、国際的な慣例に従って、Libby の半減期 5568 年を用いた。 ^{14}C 年代値は、西暦 1950 年から遡った年数として BP (before present) を付けて与えられ、誤差は 1 標準偏差を表示する。

得られた同位体分別補正 ^{14}C 年代を、 ^{14}C 年代-暦年代校正曲線（IntCal09, Reimer et al. 2009）および校正プログラム OxCal4.1 (Bronk Ramsey 2009)を用いて暦年代に校正した（表 1, 中村 2003b）。校正年代は、暦年代に相当する年代として cal BC/cal AD で示してある。cal (calibrated)は校正された年代を示す略記である。校正年代の誤差は、2 標準偏差で、可能性の範囲とその相対的確率で示される（表 1）。校正年代の可能性の範囲は、IntCal09 校正曲線の凸凹な変動に応じて飛び飛びに複数個存在することがある。

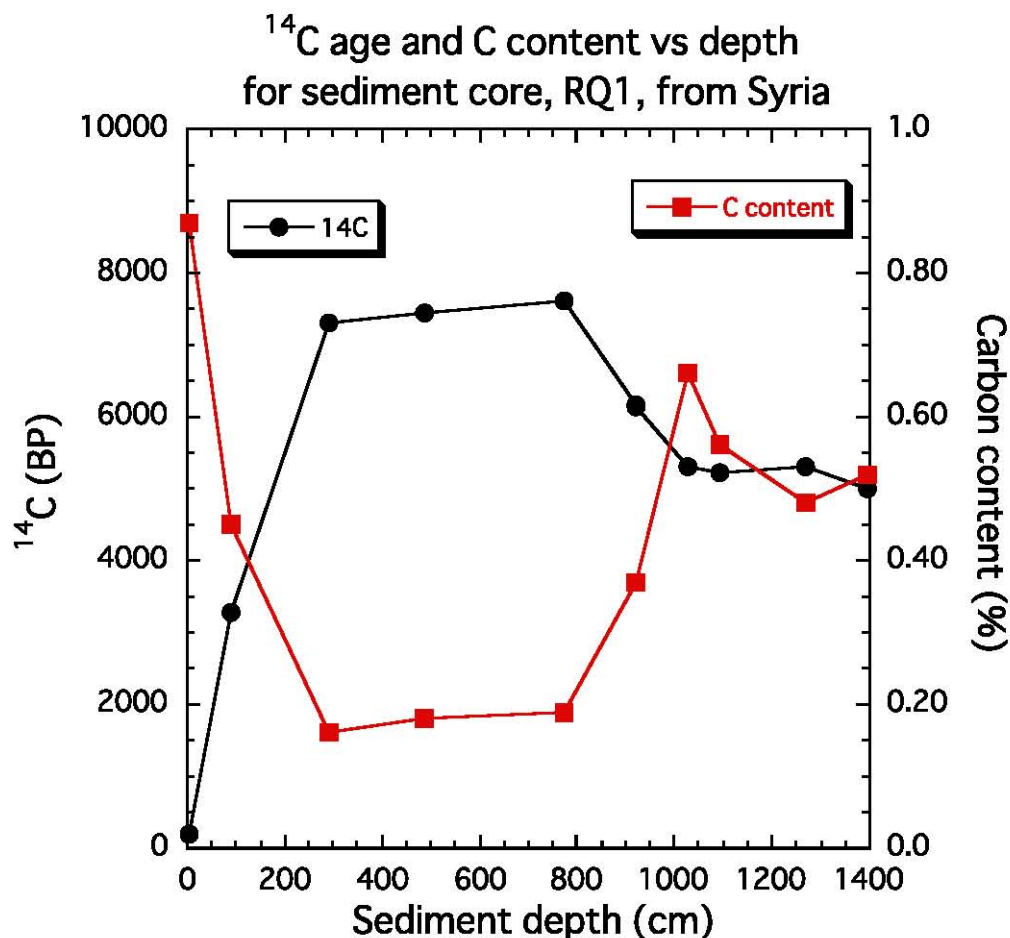


図 3 シリア国ラッカ市近郊のユーフラテス河中流域右岸にて採取されたボーリングコア柱状試料の有機態炭素(TOC)含有率と有機態炭素の ^{14}C 年代

4. 結果

表 1 に、炭素含有率、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 ^{14}C 年代および校正暦年代を示す。また図 3 に、RQ1 コア試料の ^{14}C 年代と炭素含有率の深度依存性を示す。 ^{14}C 年代は、最浅の堆積物 (RQ1-001) で 204 ± 22 BP とほぼ現代を示しており、基底部の礫層の直上では約 5000 BP を示している。一方、堆積深度が 200cm～800cm の堆積物試料は、TOC の含有率が 0.16-0.19% と低く、それらの ^{14}C 年代は 7300-7600 BP とほぼ一定の値が得られており、この年代値はより深い堆積深度の試料に比べて 200 年程度古い値を示している。一方、RQ2 コア試料のうち ^{14}C 年代測定を行った 2m 以浅の堆積物試料はほぼ現代を示しており、堆積年代の議論はできない。

5. 考察

我々が柱状試料を採取したあたりの最低位段丘の形成について、 ^{14}C 年代測定結果からは、以下のような堆積が考えられる。このあたりの最低位段丘の基底にある礫層の上に、約 5 ka のグローバルな温暖期に堆積深度 14m あたりで堆積層の形成が開始された。堆積深度 10m～14m の泥質堆積物の TOC 含有率は 0.5～0.7% であることから、地表面には多少の植生があり、それが堆積物に取り込まれて分解し土壌有機物として保存されたものと考えられる。その後、堆積深度が 200cm～800cm の堆積層は短期間のうちに洪水などによって古い時代の堆積物が他所から運ばれてきて堆積した可能性がある。表層は、現在の耕作土であり、TOC 含有率が 0.9% を示す事と矛盾はしない。

これらの堆積物コア採取地点から東南東に約 8km 離れた地点にあるテル・ガーネム・アル＝アリ遺跡では、考古学的な発掘調査が行われており、その基底層（“地山”）を覆う遺跡堆積物の校正年代はほぼ 3000 cal BC と推定されている（中村ほか 2010）。一方今回の分析から、コア試料掘削地点における最下層泥層堆積物の暦年代は約 4000 cal BC（表 1）と得られており、最低位段丘が形成されてから約 1000 年間経たのちテル・ガーネム・アル＝アリ遺跡の利用・形成が始まったことになる。

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；研究代表者：国士舘大学 大沼克彦教授）の経費により遂行された。

参考文献

- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51 (1) pp.337-360.
- Hoshino, M., Saito, T., Katsurada, Y. (2010) All-core boring survey in the river-terrace deposit. In Ohnuma, K., Sarhan, M. *Archaeological research in the Bishri region – report of the tenth working season - . Al-Rafidan*, XXXI, pp. 168-170
- 中村俊夫 (1999) 放射線炭素法. 考古学のための年代測定学入門, 長友恒人 (編), 古今書院, pp.1-36.
- 中村俊夫 (2001) 放射性炭素年代測定とその高精度化. 第四紀研究, 40 (6) pp.445-459.
- 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), pp.144-171.
- 中村俊夫 (2003b) 放射性炭素年代測定法と暦年代校正. 環境考古学マニュアル, 松井 章編著,

同成社, pp.301-322.

中村俊夫 (2006) AMS による ^{14}C 年代測定結果の留意点-第 2 回-AMS による ^{14}C 年代測定のための試料採取・保存・調製. 考古学ジャーナル, 548, pp.43-46.

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 ^{14}C 年代. 「セム系部族社会の形成」ニューズレター, No.16, 16-21.

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(2010)シリアのユーフラテス河中流域にある Tell Ghanem al-Ali 遺跡の AMS ^{14}C 年代による編年. 名古屋大学博物館報告, No. 26, pp. 33-42.

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 ^{14}C ages of charcoal remains from Tell Ghanem al-Ali. Al-Rafidan, Special Issue, 119-129.

Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk, R.C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., 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.

齊藤毅・星野光雄・東田和弘・中村俊夫・桂田祐介・田中剛・吉田英一 (2010)シリア・ラッカ県, Tell Ghanem al-Ali 周辺に発達する河成段丘. 名古屋大学博物館報告, No. 26 pp. 13-20