

天然放射線をもちいたガーネム・アリ遺跡の土壌対比

Radio-Stratigraphy for Tell Ghanem al-Ali, northern Syria

田中 剛 (TANAKA Tsuyoshi)¹⁾・於保 俊 (OHO Suguru)¹⁾・
桂田祐介 (KATSURADA Yusuke)²⁾

1) 名古屋大学大学院環境学研究科

Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

2) 名古屋大学学生相談総合センター

Center for Student Counseling, Nagoya University

Abstract

An important aspect regarding the archaeological setting of the tell is in verifying whether Tell Ghanem al-Ali was built on a remnant edge of the old terrace or on the lowest Euphrates terrace. Geological survey of the area, however, is very difficult, because the terrace sediments do not contain any remarkable key beds like tuff. Thus, we performed on-site radioactivity measurements of gamma rays of ^{40}K , ^{214}Bi and ^{208}Tl using an InSpector 1000 portable gamma-ray spectrometer from CANBERRA Co., equipped with an IPRON-3 3×3-inch NaI detector. The measurements are actually performed for 1461 keV gamma rays of ^{40}K , 1764 keV gamma rays of ^{214}Bi and 2614 keV gamma rays of ^{208}Tl . ^{214}Bi and ^{208}Tl are the daughter nuclides appearing in the decay series of ^{238}U to ^{206}Pb and ^{232}Th to ^{208}Pb , respectively. Subsequently, we obtained the relative elemental abundances of potassium, uranium and thorium by these measurements.

Thirty points covering Squares 1 and 2 of the excavation sites of the tell were selected. Radioactivity was also measured in the surrounding wheat field and the river terrace along Wadi el-Kharar for comparison. The detector was held 1 m high and the radioactivity within a 3 m radius of the detector can be measured. It takes 600s to complete the measurement for each measuring point.

Activities for potassium range from 1000 to 4200 counts. These are common activities in natural environments in Syria as well as in Japan. Activities for potassium at the tell, more than 3000 counts, are higher than those at the wheat field and Wadi el-Kharar, which were mostly below 3000 counts. There is no significant difference between the tell and other places in uranium and thorium activity. Potassium is mostly contained in K-feldspar and mica minerals, and uranium and thorium are contained in accessory minerals such as zircon and monazite. The K-feldspar and mica minerals tend to weather easily, though the zircon and monazite resist weathering. K-feldspar is sparse in the river sediment because it is consumed (fragmented and dissolved) during transportation. On the other hand, zircon increases relatively in river sediments because of its resistance to weathering. Thus, we conclude that the sediments in the wheat field and the river terrace along Wadi el-Kharar exhibit the characteristics of river sediment, whereas the tell sediments do not. A large part of the tell sediments must be soils transported from non-river terrain, probably from the hills behind the Ghanem al-Ali village.

1. はじめに

本調査地域、ユーフラテス河畔の Tell Ghanem al-Ali は、セム系部族社会の形成を時間的・空間的に解き明かして行くフィールドの一つとして選ばれ、さまざまな考古学的調査が進められつつある。この Tell Ghanem al-Ali の地質環境の位置づけとその変遷を人間活動に関係づけて明らかにするのが本計画班の役割である。この地域の地質学的多様性と位置づけについては、東田ほか (2008) や Hoshino *et al.* (2010) により、段丘の形成機構については、齊藤 (2009, 2010) により、テルの層位と年代については、中村ほか (2009) や Nakamura *et al.* (2010) により、それぞれ概説がなされている。しかしながら、テルの層序学的な対比については、Hoshino *et al.* (2010) の Fig.6 に示されているように、連続性が悪く多様な岩相をもつ地層を、隣接した (数百メートル離れた) 段丘等に対比させる事は極めて困難である。齊藤 (2009) による段丘の区分においても、テルは段丘そのものとは異なる位置づけがなされている (齊藤, 2009 の図 1)。筆者らは、現地における土壌対比の試みとして放射線量を用いた (田中, 2009)。本報告はその詳報である。

考古学においても地質学においても、現在その場にあるものが、既知のどれと同じでどれと異なり、何処に由来するものか? — は根本に迫る事柄であるにもかかわらず、その答えを見いだすのが難しい疑問であろう。形態や色彩などは、もっとも基礎的な判断材料である。放射年代 (たとえば炭素 14 年代) や同位体比 (たとえば $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比) も、形態や色彩などに基づく判断を補強する強力な情報として用いられよう。しかし、最新の装置を用い、一見強力に見えるこれらの手法にも弱点がある。弱点の一つは、今回のフィールドとなった Tell Ghanem al-Ali 周辺の段丘のように、測定に用い得る物質が見いだされにくい場合であり、二つ目の弱点は、試料の分析が研究室内で、精密な装置を用いなければ出来ない事である。分析の結果、さらなる疑問点が生じて、次にそこを調査出来るのは、シリアの場合少なくとも半年先で、その結果が得られるのは更にその先である。時と場所に依っては再度の調査がかなわない事もある。

我々自然科学研究班は、これらの弱点を克服すべく、①何処にでも存在するものを試料に出来る ②フィールド調査中に、その場で結果がえられる、この 2 点を目標に、天然放射線の現場測定による土壌の同定を試みた。

2. 天然放射線とその測定

天然には上記の ^{14}C などさまざまな放射性核種が存在するが、その存在量と分布の測定は、その測定法自体が一つの学問分野を形成するほど難しいものが多い (たとえば中村・南, 2010; 金井, 2010 など)。ただ、天然の地質物質中に存在する ^{238}U , ^{232}Th および ^{40}K が、それぞれ ^{206}Pb , ^{208}Pb および ^{40}Ar に放射壊変する途中で放出するガンマ線は、比較的測定し易く、壊変系列が放射平衡にあれば、その強度は、ウラン、トリウムおよびカリウムの存在量の指標とすることができる。

今回の研究で用いた測定装置を図 1 に示す。米国 Canberra 社の InSpector 1000 で、3×3 インチの検出器を装着した。この装置は、核物質を扱うような過酷な環境下で簡便に使い、しかも正しい値を得られるように、と作られた測定器である。1000 スペクトルの記憶エリアを持ち、本体だけでピーク面積の積分や核種



図 1 : 本研究でガンマ線測定に用いた放射線測定装置。

米国 Canberra 社の InSpector 1000 分析装置と 3×3 インチのヨウ化ナトリウム (NaI) 検出器 (右側の円筒形の器具)

の同定など基本的な解析ができる。一昔以前なら、調査用車両1台を要したような性能を片手で持ち運ぶことができる。

図2に産業技術総合研究所から発行されている、代表的な岩石標準試料のカリウム、トリウムとウランの元素存在度（さまざまな手法で厳密に分析されている）と同じ岩石を上記放射線測定装置で測った3つのピークの大きさを比較して、それぞれ三角図2aと図2bに示す。両図上でピークの大きさの比（2b）が、元素存在度の比（2a）の分布傾向にほぼ合っている事がわかる。

Tell Ghanem al-Aliの露頭で測定中の場面を図3に示す。測定は、空間 γ 線スペクトル測定法（文部科学省, 1990）に従い、平地では図3aに示したように検出器を約1mの高さで下向きに固定し、発掘トレンチなどの壁面では、図3bに示したように、検出器を壁面に密着させ、各地点で600秒の測

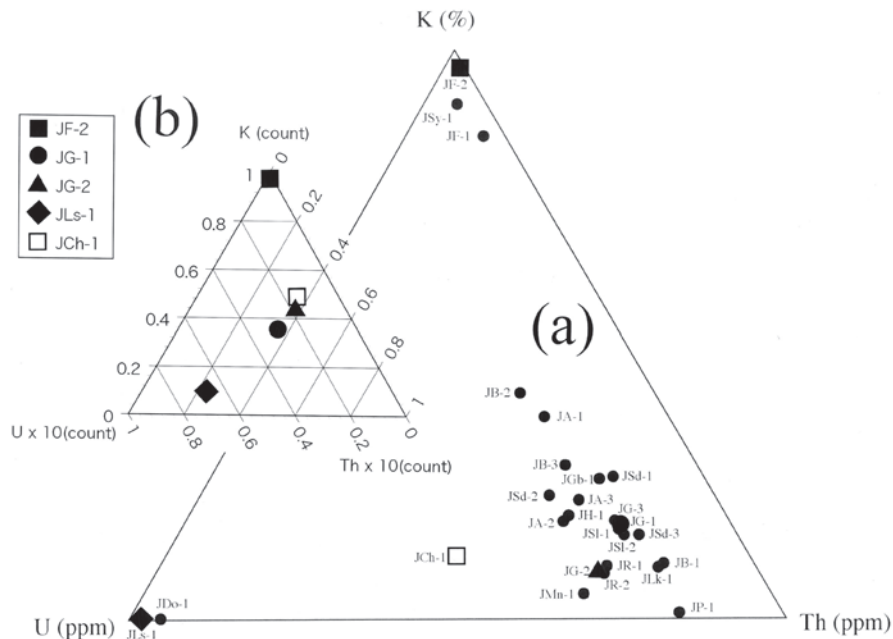


図2：産業技術総合研究所地質調査センターから発行されているさまざまな岩石標準試料のカリウム、トリウムおよびウランに起源をもつ核種からの放射線強度三角図（図2b）および、地質調査所での化学分析値から作成したカリウム-トリウム-ウラン三角図（図2a）。K-Th-U存在度の特徴が区別出来る。細かい位置の相違は、座標の係数を変える事で合わせることが出来るが、その意義は少ない。

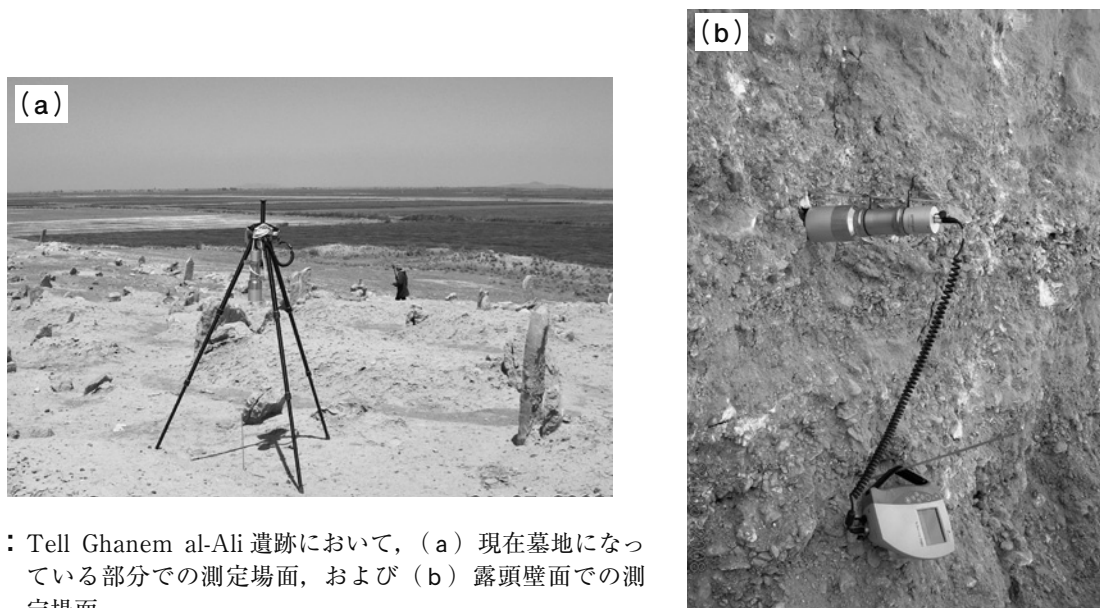


図3：Tell Ghanem al-Ali遺跡において、(a) 現在墓地になっている部分での測定場面、および(b) 露頭壁面での測定場面。

定を行った。図 3a の場合は、検出器直下を中心として、半径 2～3m 程の地面からの放射線が測定され、図 3b の場合は、検出器が接している地点の放射線が測定される。検出器は、四方八方からの放射線に感知するので、トレンチ壁面（立面）の測定の場合は、壁面だけでなく水平面（地面）や背面からの放射線も加わって検出されるので、同じ地質であってもその計数は平地での測定より多くなる。1 地点 600 秒の測定時間は、測定が必要な地点数と調査日程から割り出された最も長い時間である。

3. 測定場所

測定は、Tell Ghanem al-Ali 遺跡を中心とし、遺跡内 Square-2 の開削面、遺跡周辺の最低位段丘、遺跡近くの Wadi el Kharar 周辺に発達する複数の段丘面で行った。齊藤（2009 および 2010 本報告書）による段丘の区分図の上に本測定場所を示した（図 4）。Tell Ghanem al-Ali 遺跡においては、主たる発掘場所となったトレンチ Square-2 の周辺では、その 100m 四方を 20m 毎の升目に区切り、その 30 地点、トレンチ Square-1 および -2 の内部壁面と床面 6 地点での測定を行った。これらの位置を図 4 上図中に A 記号で示し、その詳細を図 4 下図に示した。また、Tell Ghanem al-Ali 遺跡南側の

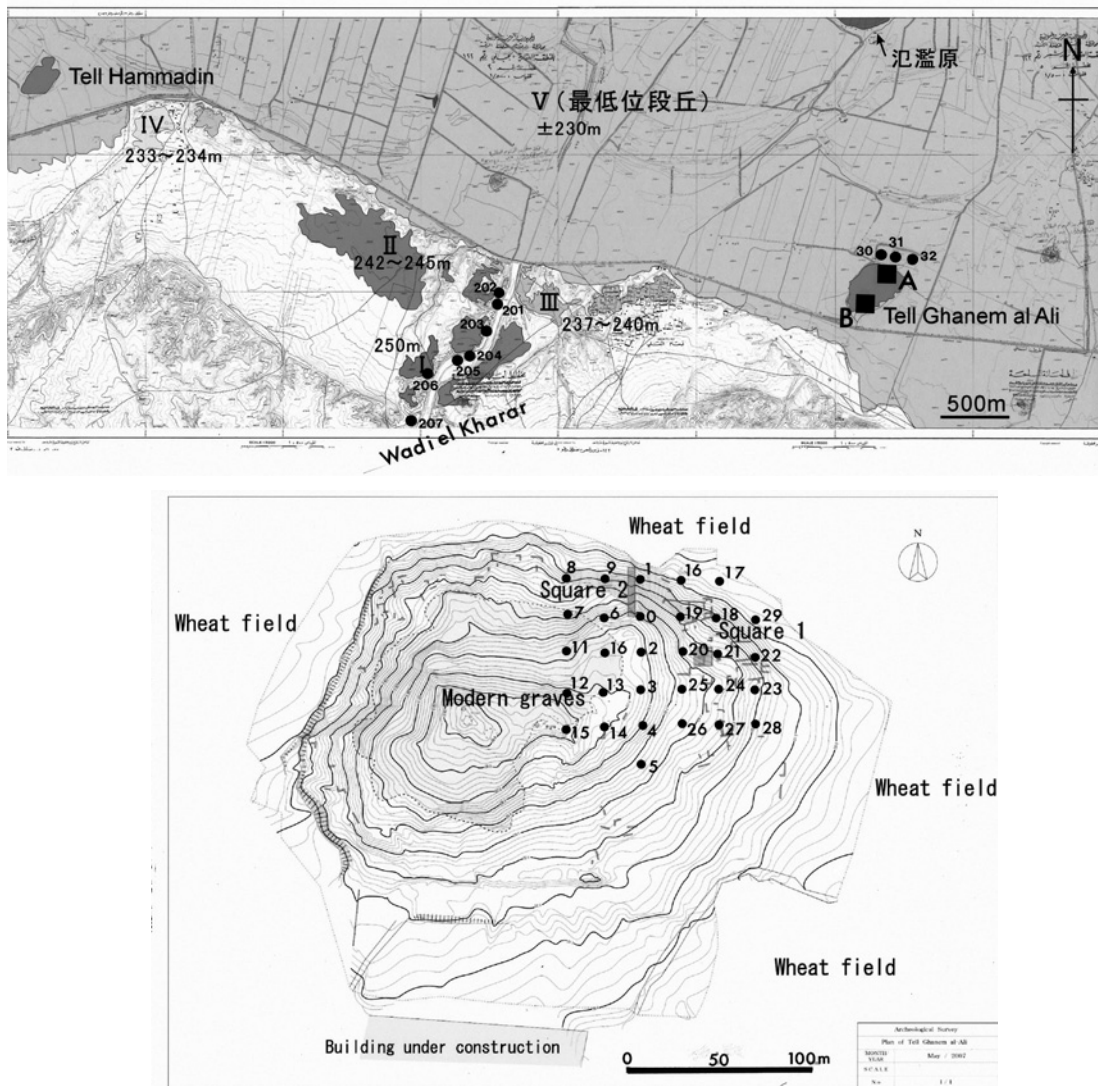


図 4：調査地域を段丘の分布図（齊藤，2009）上に示したもの。

上図：黒四角 A および B は、それぞれ Square 2 を含む Tell Ghanem al-Ali 遺跡上での測定地域（下図参照）および遺跡南側の工場建設現場における測定地域を表す。黒丸と番号は、個々の測定点と番号（表 1）を示す。I～III は、河岸段丘面を示す。下図：A 地点での測定点の分布を示す。

工場建設現場の崖 2 カ所で 20 点の測定を行った。その場所を図 4 中に B 記号で示す。また、対比の為に遺跡の北方の麦畑と豆畑など最低位段丘上で 3 地点 (30 ~ 32), Wadi el Kharar 周辺に発達する III, II, I の段丘面および Bishri Terrace 上の合計 7 地点 (201 ~ 207) でも測定を行った。それぞれの測定位置を図 4 に示す。

4. 測定結果

それぞれの測定点における 600 秒の測定後、装置には図 5 に示されるようなスペクトルが現れる。グラフの横軸はガンマ線のエネルギー (リニア目盛りで右端が 3125keV) を、縦軸は計測数 (対数目盛り) を表す。スペクトルのやや濃い色で示されている部分は、ガンマ線が検出されたピーク領域である。ピーク領域の判定 (ROI の設定) とピーク面積の積分は、InSpector1000 に内蔵されているプログラム機能によった。

図 5 に示されている ROI 領域は、すべて ^{40}K , ^{232}Th が ^{208}Pb に壊変する途中に生じる ^{208}Tl , および ^{238}U が ^{206}Pb に壊変する途中に生じる ^{214}Bi からの γ 線ピークである (^{208}Tl , および ^{214}Bi は分岐壊変により複数の γ 線を放出する)。本測定では、ピークの重なりが少なく、分岐割合の大きな 1461keV (^{40}K :10.7%), 1764keV (^{214}Bi :15.9%), および 2614keV (^{208}Tl :100%) を用いた (Potts, 1987 および文部科学省, 1990)。図 5a および図 5b は、本調査で特徴的な 2 カ所, Tell Ghanem al-Ali 遺跡 Square 2 の #0 地点, および Terrace III 上 #202 地点 (図 4 参照) のスペクトルを示す。

^{40}K からの 1461keV の γ 線ピーク, ^{232}Th が ^{208}Pb に壊変する途中に生じる ^{208}Tl の 2614keV の γ 線, ^{238}U が ^{206}Pb に壊変する途中に生じる ^{214}Bi からの 1764keV の γ 線の強さは、放射壊変の大元になった元素, すなわち、カリウム, トリウムおよびウランの量に対応している。測定条件を厳密に整えれば、これらのピークの大きさから、ウランやトリウムの含有量 (ppm) を計算できるが、野外の調査では、測定 (線源) 環境が測定地点ごとに異なるので、正しい含有量を得るのは難しい。しかし、ピークの大きさで示される『感度比』は測定装置毎に一定しているので、ピークの大きさの比から、地質環境中の相対的な元素存在度比を知ることが可能である。

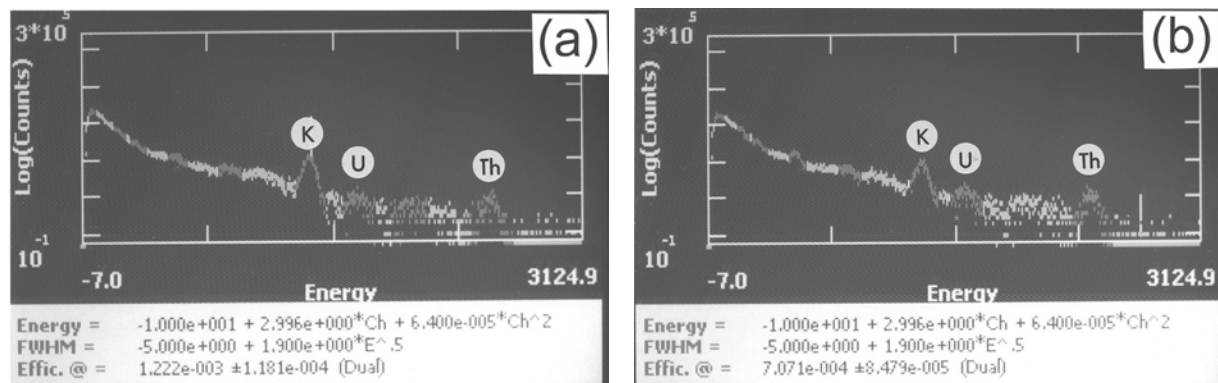


図 5 : 測定スペクトルの例。

(a) Tell Ghanem al-Ali 遺跡 Square II 南 #0 地点。

(b) Terrace III 上 #202 地点。

図の縦軸 (対数) は強度, 横軸は放射線のエネルギー (keV) を表す。中央の大きなピーク (1461keV), 右方のピーク (2614keV), および中間左寄りのピーク (1764keV) は、それぞれ、カリウム, トリウムおよびウランに起源をもつ, ^{40}K , ^{208}Tl および ^{214}Bi からの γ 線である。それ以外のピークも, ^{208}Tl , ^{214}Bi や ^{228}Ac などから放出されるエネルギーの異なる γ 線であるが、上記の 3 つが測り易い。(a) のカリウムのピークが大きい (表 1 から判るように、Tell Ghanem al-Ali 遺跡での測定値の中では小さい方である) のが特徴である。

測定結果（計測数と誤差 %）を表 1 に示す。 ^{214}Bi からの 1764keV は弱く、ピークを検出できない場合があった。その場合には、1764keV 近辺のベース計測数の 2 倍（70 カウント）を計測値とした。

カリウム (^{40}K) からの 1461keV の γ 線の計測数は、Tell Ghanem al-Ali 遺跡上の 4173 カウント (#5) から Terrace II 角礫層の 779 カウント (#205) まで変化がある。トレンチ Square II 内部が高いのは、上述の地質による囲まれ効果による。平地での測定値は、名古屋大学キャンパス内での測

第 1 表：シリア ラッカ県 Tell Ghanem al-Ali 地域の天然放射線計測値

測定点	K count	U count	Th count	K error %	U error %	Th error %	U/K	U/Th	Th/K	Remarks
Tell Ghanem al-Ali 表層										
0	2479	105	231	4	60	13	0.042	0.455	0.093	
1	2866	132	206	3	38	14	0.046	0.641	0.072	
2	3218	114	294	3	87	9	0.035	0.388	0.091	
3	2601	225	227	4	22	13	0.087	0.991	0.087	
4	2882	265	200	3	17	17	0.092	1.325	0.069	
5	4173	124	222	2	45	11	0.030	0.559	0.053	
6	3382	70	291	3	—	8	0.021	0.241	0.086	
7	3022	70	174	3	—	23	0.023	0.402	0.058	
8	3201	136	278	3	40	6	0.042	0.489	0.087	
9	2909	70	205	3	—	14	0.024	0.341	0.070	
10	2482	70	226	4	—	16	0.028	0.310	0.091	
11	3059	160	214	3	37	18	0.052	0.748	0.070	
12	2490	155	314	4	37	6	0.062	0.494	0.126	
13	2009	205	280	5	25	8	0.102	0.732	0.139	
14	3152	130	228	3	41	14	0.041	0.570	0.072	
15	2251	95	202	4	58	14	0.042	0.470	0.090	
16	2623	237	209	4	18	14	0.090	1.134	0.080	
17	2687	153	217	4	38	13	0.057	0.705	0.081	
18	2750	216	177	3	22	18	0.079	1.220	0.064	
19	2894	245	231	3	20	13	0.085	1.061	0.080	
20	2980	70	262	3	—	8	0.023	0.267	0.088	
21	3503	156	215	3	34	15	0.045	0.726	0.061	
22	3009	197	205	3	23	15	0.065	0.961	0.068	
23	3262	118	160	3	44	23	0.036	0.738	0.049	
24	3094	149	166	3	36	19	0.048	0.898	0.054	
25	2341	132	243	4	10	12	0.056	0.543	0.104	
26	2584	171	172	4	30	20	0.066	0.994	0.067	
27	2797	181	231	3	27	9	0.065	0.784	0.083	
28	2970	70	264	4	—	8	0.024	0.265	0.089	
29	3227	155	251	3	34	9	0.048	0.618	0.078	
30	1950	70	273	5	—	11	0.036	0.256	0.140	麦畑中央
31	1981	164	145	5	35	30	0.083	1.131	0.073	北 西
32	2006	70	330	5	—	8	0.035	0.212	0.165	南東豆畑との境

(Cont'd)

測定点	K count	U count	Th count	K error %	U error %	Th error %	U/K	U/Th	Th/K	Remarks
トレンチ Square 2内部										
101	4773	132	430	3	52	8	0.028	0.307	0.090	
102	5138	190	507	2	30	7	0.037	0.375	0.099	
103	4777	117	340	2	59	13	0.024	0.344	0.071	
104	5516	70	465	2	—	10	0.013	0.151	0.084	
105	5572	202	506	2	36	8	0.036	0.399	0.091	
106	5072	318	417	3	22	10	0.063	0.763	0.082	
工場内部崖鉛直分布										
I-1	2770	170	314	4	41	13	0.061	0.541	0.113	
I-2	3383	248	340	3	29	12	0.073	0.729	0.101	
I-3	3562	266	316	3	27	13	0.075	0.842	0.089	
I-4	3241	192	273	3	38	17	0.059	0.703	0.084	
I-5	2666	190	445	4	39	5	0.071	0.427	0.167	
I-6	2934	270	418	4	25	8	0.092	0.646	0.142	
I-7	2711	350	283	4	17	16	0.129	1.237	0.104	
I-8	3167	300	479	4	22	6	0.095	0.626	0.151	
I-9	2951	191	345	4	37	11	0.065	0.554	0.117	
I-10	2491	295	311	5	21	14	0.118	0.949	0.125	
I-11	2876	307	387	4	20	8	0.107	0.793	0.135	
II-1	3183	259	363	4	28	11	0.081	0.713	0.114	
II-2	3536	237	445	3	28	7	0.067	0.533	0.126	
II-3	3178	188	428	4	37	7	0.059	0.439	0.135	
II-4	3367	314	434	3	21	7	0.093	0.724	0.129	
II-5	3587	289	387	3	24	11	0.081	0.747	0.108	
II-6	3322	334	398	4	20	10	0.101	0.839	0.120	
II-7	3534	244	408	3	29	10	0.069	0.598	0.115	
II-8	3319	123	451	3	63	8	0.037	0.273	0.136	
II-9	3136	337	393	4	20	11	0.107	0.858	0.125	
Wadi el Kharar 段丘および Bishri 台地石膏上										
201	1791	186	282	5	32	14	0.104	0.660	0.157	黒い砂層 Terrace III
202	1626	241	345	6	27	10	0.148	0.699	0.212	台地上 Terrace III
203	2411	117	371	4	57	8	0.049	0.315	0.154	大露頭黒い砂層 Terrace II
204	1905	105	342	5	64	8	0.055	0.307	0.180	大露頭円礫層 Terrace II
205	779	156	182	8	24	7	0.200	0.857	0.234	大露頭角礫層 Terrace II
206	1871	255	295	6	24	13	0.136	0.864	0.158	台地上 Terrace I
207	927	120	170	7	36	16	0.129	0.706	0.183	台地上 ビシュリ台地

- 1 測定は Canberra InSpector 1000 に 3×3 インチ NaI を装着し、600 秒の計測結果（計数）をしめす。
詳細は本文参照。
- 2 ウランの計数誤差（error）欄に—が書かれているものは有為な計測数が示されなかった事を示す。
その場合の計測数は、平均的計数誤差の 2 倍 70 counts とした。

定値 7500 カウント（一部に建物の内部を含む）から 720 カウント（平均 3500 カウント）（片岡ほか（2009）のデータを 600 秒測定に換算）よりやや低い値を示すが、どちらも一般的な地質環境下での値の範疇にある。

トリウムの壊変系列核種 ^{208}Tl からの 2614keV の γ 線は、トレンチ Square2 内部を除いて、工場崖の 479 カウント（#1～8）から、Terrace II の 145 カウント（#31）まで変化が見られた。これらの測定結果は、名古屋大学キャンパス内での測定値 1600 カウント（一部に建物の内部を含む）から 240 カウント（平均 600 カウント）（片岡ほか（2009）のデータを 600 秒測定に換算）よりやや低い値が、一般的な地質環境下における値の範疇にある。

ウランの壊変系列核種 ^{214}Bi からの 1764keV の γ 線は、 ^{40}K や ^{208}Tl からの放射線に比べて弱く、ピークとして認識されなかった場合もある。しかし、放射線量が皆無ということはありませんので、その場合、表 1 には周辺のベース計数量の 2 倍の 70 カウントと記入し、誤差 % 欄に横棒を表示した。測定値は、工場内部崖の 350 カウント（#1～7）が最大で、平均は検出下限を含め 150 カウントである。これらの測定結果は、名古屋大学キャンパス内での測定値 480 カウント（一部に建物の内部を含む）からの検出下限（平均 140 カウント）（片岡ほか（2009）のデータを 600 秒測定に換算）とほぼ等しく、一般的な地質環境における値である。

5. 考 察

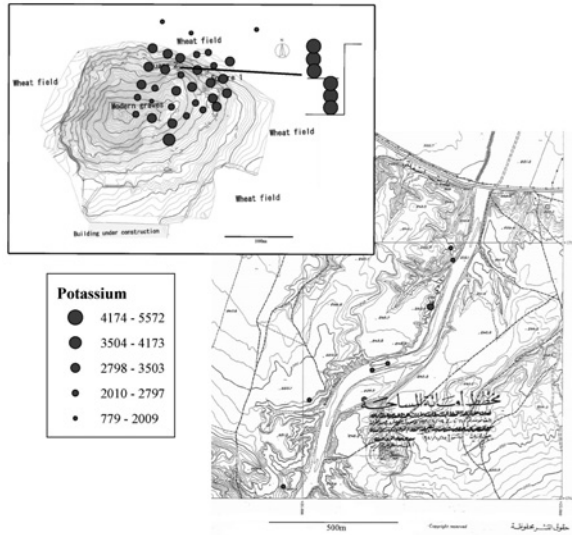
図 6 に、Tell Ghanem al-Ali の A 区域と Wadi el Kharar の段丘面におけるカリウム、トリウム、ウランに由来する放射線毎に、600 秒の測定時間に計測されたピークの大きさの積分値として示した。これらのカウント値は、装置毎の特性や、地形によって異なるので、別の研究でのカウント値と直接の比較は出来ない。しかし、本調査の内では比較が可能である。また、テルの発掘断面での測定値が大きいのは、これは、三面（底面と両側面）からの放射線が合わさって測定されていることによる。それ以外の点での測定条件はほぼ同じである。とはいえ、同じテルの中でも大きく変動している。『羊の糞の多少と関係はないか？』（糞が多い所にカリウムが多い？など）『現在の墓に埋葬された人骨に由来するカリウムが有るのではないか？』と注意はしたが、羊の糞が多い所にカリウムが多い傾向も無く、現在の墓の分布域にカリウムが多い傾向も無く、土壌の化学分析から（星野・上野，2010 本報告）もカリウムとリン（人骨にはリンが多い）の関係はなさそうであった。（ただし、地質環境における一般的な元素の挙動では、リンとカリウムは緩やかな正の相関を示す）。

テルとそれ以外の麦畑、段丘、で明らかに異なるのは、カリウムである。上記のように測定地点毎の変動があるとは言え、テルのカリウムは図 6a に示されるように強いシグナルを示す。麦畑（最下位段丘）と Wadi el Kharar 周辺の段丘のすべての測定点においてカリウムが少ない。星野・上野（2010 本報告書内）による化学分析においても、テルの建築層からの砂～シルト層は、Wadi el Kharar 周辺の砂～シルト層よりカリウムに富む。麦畑と段丘に共通する事は、そのどちらもがユーフラテス河によって運ばれた堆積物を主体とすることである。堆積物の中には、遠くトルコの地から運ばれたであろうチャートや風化に強い粗粒珪岩が含まれる（東田ほか，2008）。チャートや石英を主体とする珪質岩には、元来カリウムはほとんど含まれない。表 2 に示すように、カリ

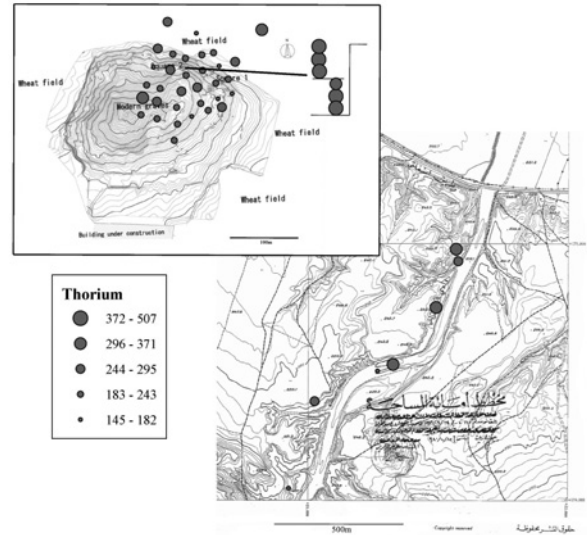
表 2：地球上における 1mm 結晶の平均存在期間¹⁾

鉱物	化学組成	存在期間(年)
石英	SiO_2	34,000,000
白雲母	$\text{KAl}_2\{(\text{OH})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}\}$	2,700,000
かんらん石	MgFeSiO_4	600,000
カリ長石	KAlSi_3O_8	52,000
輝石	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	6,800
斜長石	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	112

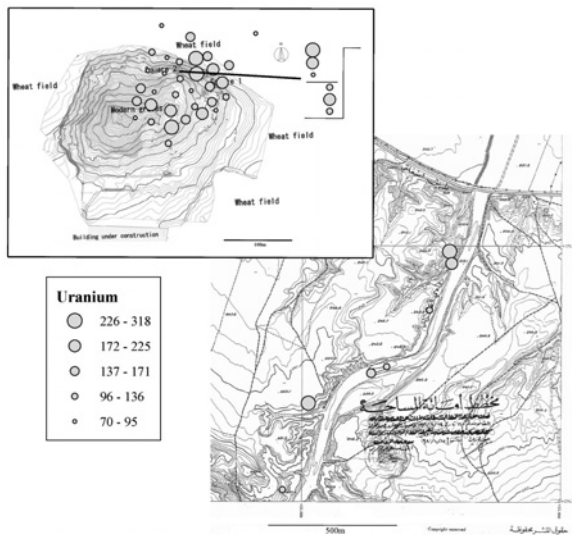
1) Lasaga (1984) による



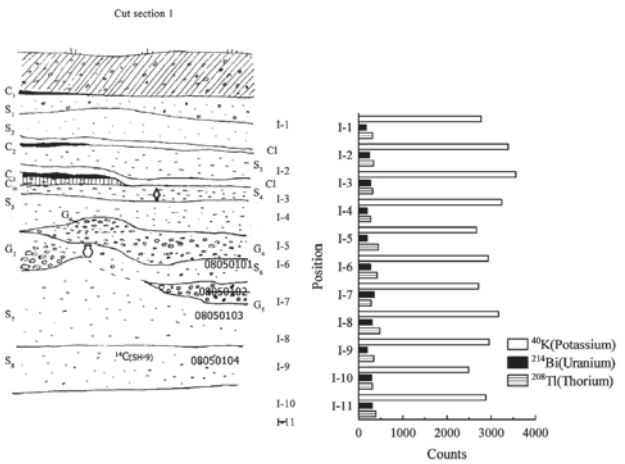
(a)



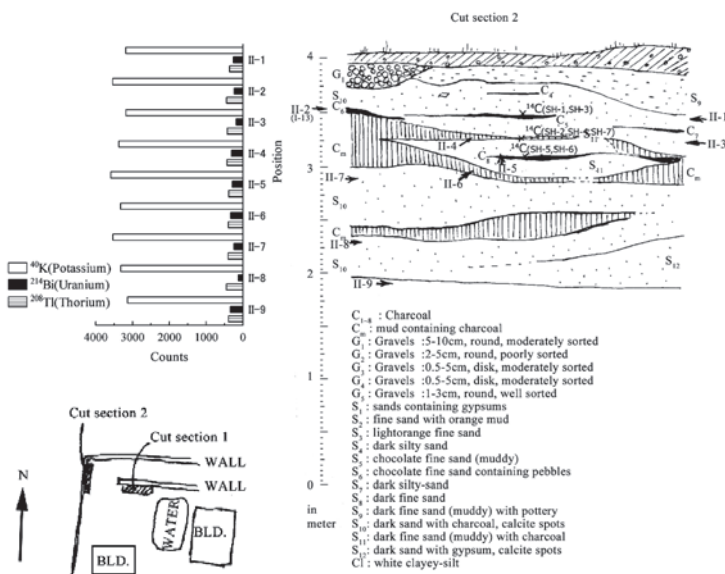
(b)



(c)



(d)



(e)

図6：Tell Ghanem al-Ali およびその西方の Wadi el Kharar に発達する段丘各部位における放射線強度。

強度は、600 秒の測定時間に積分されたそれぞれの核種のカウント数（面積比）で示す。Tell Ghanem al-Ali 以外（最低位段丘上の麦畑と Wadi el Kharar の段丘 I, II, III）では、カリウム（potassium）の強度が低いのが目立つ。d および e は、工場建設現場図 4B の北面（d）および西面（e）での測定地点と結果を示す。

ウムを含む長石や雲母などの鉱物は風化に弱い (Lasaga, 1984)。ウランやトリウムを含む鉱物 (たとえばジルコン) はとても風化に強く、遠くまで運搬されても変質しない。これらを合せて考えると、Tell Ghanem al-Ali 遺跡の土は、ユーフラテス河とは関係のない土を多量に含んでいる、と考えざるを得ない。その土の候補の一つはビシュリ台地の土である。ビシュリ台地は、数百万年以前に干上がった塩湖の名残で、さまざまな蒸発岩や泥岩を含む。Tell Ghanem al-Ali では、遺跡の土台や墓石に沢山の石材が用いられている。石材そのものは、石膏が主体である。ビシュリの石膏台地のカリウム線量はきわめて低い。しかし、それらの石材の間を埋める充填材には、ビシュリに産する粘土質の土が重用された可能性がある。また、この近辺では、日干しレンガが建築素材として多用されている。日干しレンガは、粘土成分すなわちカリウムに富んでいると予想される (実測定はしていない)。Tell Ghanem al-Ali 遺跡に見られる多数回の建築層の日干しレンガの残骸が、この遺跡に蓄積していると考えれば、カリウムに富む人為的な地層の形成も可能である。

シリアでは、航空機 (airborne) や自動車 (carborne) による核燃料物質の探査や環境評価を目的とした広域の天然放射線分布が調査されている (Aissa and Jubeli, 1997; Jubeli *et al.*, 1997)。今回の調査地域 Tell Ghanem al-Ali 遺跡は含まれていないが、Homs 東部と Deir Az-Zor 西部から Beer Sa'id にかけてのビシュリ台地が含まれている。二つの報告は、ともに特段に放射線が高い地域がないことを報告している。しかし、Homs 東部 (Jubeli *et al.*, 1997) では、ワジ流域での線量が特に少ないことと、線量分布が岩層境界の指標となる可能性が指摘されている。Deir Az-Zor 西部でも全体に線量は少ないが、含塩土壌の分布するユーフラテス河近くの土手や段丘、Qabaqeb playa とアルカリ玄武岩の分布地域でカリウムからの線量がやや高いと報告されている。

Tell Ghanem al-Ali 遺跡でもその表層に塩分の蓄積が観察される (図7)。この析出のようすから、塩分の蓄積は地表近くに最も多いと考えられる。析出塩分の化学組成は分析していないが、主体は石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) や食塩 (NaCl) で、一部に KCl を含むと考えられる。しかし、塩の析出がカリウムの濃縮の原因なら、カリウムの濃縮は、地下水が蒸発する地表近くに限られようが、地下深くの第7建築層からのシルトにも2%を超える K_2O が含まれ (星野・上野, 2010 本号)、工場建設地崖の地下水面に近い場所でもカリウムが多いこと (図6d および図6e) から、塩分の析出がすべての原因とは考えられない。

齊藤 (2009, 2010 本号) は、ユーフラテス河に関係した河成段丘ユニット1および2に加えて、それぞれの段丘面の表層には砂嵐に伴うような風成層や、一旦形成された風成層や表層部の土壌などが風雨によって二次堆積したようなユニット3が堆積していると考えている。このユニット3が微細な粘土粒子などを多く含むなら、土壌の削剥より堆積が多かったであろう Tell Ghanem al-Ali には、カリウムが蓄積していることも考えられる。しかし、同量の風成層が覆っていると考えられる Terrace III 上 #202 のカリウムは少ない。

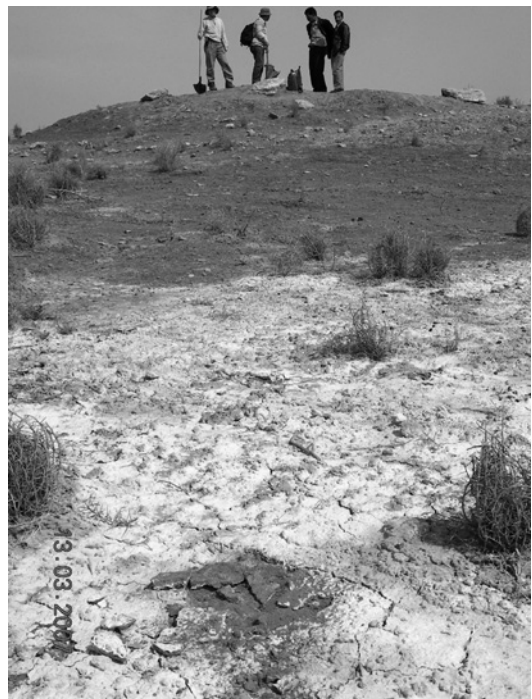


図7：Tell Hammadin 西麓 (図4左端に位置を示す) に見られる塩類の析出風景。

6. 結 論

シリア国 Tell Ghanem al-Ali 遺跡にポータブル γ 線測定装置を持ち込み、カリウム、トリウムおよびウラン系列核種に由来する環境放射線を on-site で測定した。その結果、Tell Ghanem al-Ali とそれ以外の最低位段丘や河成段丘では、カリウムからの線量に明確な差があり、Tell Ghanem al-Ali でより高いカリウム線量が測定された。Tell Ghanem al-Ali に相対的に多いカリウムが存在する理由として、1) Tell Ghanem al-Ali にはカリウムを多く含む土壌が建築素材などとして持ち込まれた、2) 台地故に地下水の蒸発に伴う塩類集積が低地より多かった、3) テルには他の段丘のような河成層ではなく、より新しい風成層がおおく堆積している、などが考えられた。しかし、いずれか一つの理由ですべてを説明することはできなかった。より多くのソース（たとえば、台地の構成物、段丘のシルトや粘土、日干しレンガ、playa 堆積物）からの情報が必要である。

とはいえ、遺跡調査における放射線測定装置による物質の同定能力は極めて高く、その結果は、試料を持ち帰っての化学分析結果とよく合致した。今後、考古学や地質学に限らず、on-site 測定はさまざまなフィールド調査に有用と考えられる。その第一歩として本研究は大きな成果を得た。

謝 辞

シリア考古学の Bassam Jamous 博士には本研究で使用した放射線測定装置のシリア国への持ち込みにご配慮を頂いた。考古学の Michel Al-Maqdissi 博士、Anas Al Khabour 博士、およびラッカ博物館の Mohamad Sarhan 館長、研究員の Ayham Al Fahry 氏、Ibrahim Khalil 氏、Nawras Mohamad 氏、Ahmed Sultan 氏を始めとする学芸員各位には、調査に際し多大なる便宜を図っていただいた。本研究は、文部科学省科学研究費補助金（特定領域研究・計画研究（No.17063005））によって実施されたものである。領域代表者の国士館大学大沼克彦教授はじめ、研究代表者の名古屋大学星野光雄教授、研究分担者の年代測定総合研究センター中村俊夫教授、博物館の吉田英一教授、東田和弘准教授ならびに連携研究者の名城大学齊藤毅准教授のご助言に深く感謝する。

文 献

- Aissa, M. and Jubeli, Y.M. (1997) Carbone Gamma-ray Spectrometric Survey of an Area East of Homs, Central Syria. *Appl. Radiat. Isot.* **48**, 135-142.
- 星野光雄・上野振一郎 (2010) シリア北西部ガーンム・アルーアリ遺跡堆積物と周辺の段丘堆積物の総化学組成。名古屋大学博物館報告 **26**, XX-XX.
- Hoshino, M., Tanaka, T., Nakamura, T., Yoshida, H., Saito, T., Katsurada, Y., Aoki, Y. and Oho, S. (2010) Geological and chronological study in the Bishri region. *AL-RĀFIDĀN*, **Special issue**, 9-20.
- Jubeli, Y.M., Aissa, M. and Al-Hent (1997) Merging Airbone and Carbone Radiometric Data for Surveying the Deir Az-Zor Area, Syria. *Appl. Radiat. Isot.* **48**, 667-675.
- 金井 豊 (2010) 天然放射能分析。地球化学実験法 地球化学講座第8巻 4.17, pp.332 培風館。
- 片岡良輔・沼田直樹・白川知恵・神田ゆか・小沢 萌・中村明博・小畑怜子・三浦 悟・竹内 誠・南 雅代・柴田理尋・田中 剛 (2009) 放射線を指標とする環境評価教育の開拓。名古屋大学博物館報告 **25**, 15-23.
- Lasaga, A.T. (1984) Chemical Kinetics of Water-Rock Interactions. *Jour. Geophysical Res.* **89**, 4009-4025.
- 文部科学省 (1990) 空間 γ 線スペクトル測定法。放射能測定法シリーズ **20**, pp.114.
- Nakamura, T. (2010) The Early Bronze Age chronology based on ^{14}C ages of charcoal remains from Tell Ghanem al-Ali. *AL-RĀFIDĀN*, **Special issue**, 119-130.
- 中村俊夫・南 雅代 (2010) 加速器質量分析。地球化学実験法 地球化学講座第8巻 4.11, pp.332 培風館。
- 中村俊夫・星野光雄・田中 剛・吉田英一・齋藤 毅・東田和弘・桂田祐介・青木義幸・於保 俊・太田友子 (2009) シリア Tell Ghanem al-Ali 遺跡発掘試料及びその周辺地域の段丘堆積物試料の ^{14}C 年代。「名古屋大学加速器質量分析計業績報告書」 **20**, 103-111.

- Nakamura, T., Hoshino, M., Tanaka, T., Yoshida, H., Saito, T., Tsukada, K., Katsurada, Y., Aoki, Y., Ohta, T., Hasegawa, A., Kiuchi, T., Ohnuma, K., Al Khabour, A. and Al Maqdissi, M. (2010) Early Bronze age strata at Tell Ghanem Al-Ali along the Middle Euprates in Syria: A preliminary report of ^{14}C dating results. *Radiocarbon* **52**, 383-392.
- Potts, P.J. (1987) *A Handbook of Silicate Rock Analysis*. pp.622. Blackie & Son Ltd, Glasgow.
- 齊藤 毅 (2009) Tell Ghanem al-Ali 周辺に発達する河成段丘. 文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究「セム系部族社会の形成」*Newsletter* **16**, 10-15.
- 齊藤 毅 (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 **26**, XX-XX.
- 田中 剛 (2009) テル・ガーネムアリの土はビシュリ台地から運ばれた? —天然放射線を用いた土壌対比の試み— 文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究「セム系部族社会の形成」*Newsletter* **15**, 25-31.
- 東田和弘・星野光雄・齊藤 毅・桂田祐介・吉田英一・田中 剛・中村俊夫 (2008) テル・ガーネム・アル・アリ遺跡周辺の地質. 文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究「セム系部族社会の形成」*Newsletter*, **12**, 1-6.

(2010年10月13日受付, 12月24日受理)