

埋蔵文化財発掘調査および建設工事が環境放射線 に及ぼす影響に関する基礎的検討

永松知洋^{1, 3*}・花元克巳^{2, 3}・小野俊朗¹・山岡聖典^{2, 3}

¹岡山大学自然生命科学研究支援センター, ²岡山大学医学部

³岡山大学大学院保健学研究科

〒700-8558 岡山市鹿田町 2-5-1

(平成 17 年 9 月 27 日受理)

Basic study on the effects of the archeological investigation and the construction work on the environmental radiation

Tomohiro Nagamatsu^{1, 3*}, Katsumi Hanamoto^{2, 3}, Toshiro Ono¹
and Kiyonori Yamaoka^{2, 3}

¹Advanced Science Research Center, Okayama University, ²Okayama University Medical School,

³Graduate School of Health Science, Okayama University

5-1 Shikata-cho, 2-chome Okayama-shi, Okayama 700-8558, Japan

Abstract: In this paper, we investigated how the excavation of ruins and the construction work affected the environmental radiation in the Shikata campus of Okayama University (S-campus). The environmental radiation was steady in the S-campus until 1997, but began to change since 1998, while the ruin's survey and the construction work started frequently after 1998 in the S-campus. In general, the soil and the concrete include the natural radioisotope (uranium series and thorium series, etc). When ruins are surveyed, it is necessary to move a large amount of the soil. In addition, a large amount of the concrete is used for the construction work. To measure the environmental radiation, the monitor posts were set up on the east and west sides of the building of the Radioisotope Center (RIC). We sampled the soil in the container in each place. We used the high-purity germanium detector to analyze them. The monitor posts showed the difference in the in-air dose rate in each place in the S-campus. The in-air dose rate at the east side of the RIC was higher than that at the west side. The result of analysis showed that the soil includes the ⁴⁰K at the east side. While the specific activity of the ⁴⁰K was 0.849Bq/g at the east side, the ⁴⁰K was hardly detected in the soil at the west side. The each soil included the 214-lead and 214-bismus (²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi), however, there was no significant difference in the specific activity of the each soil. The concrete included ⁴⁰K, whose specific activity was 0.492Bq/g. It was suggested that the change of the environmental radiation was attributed to radon and its daughter nuclides in the soil rather than the radiation from the concrete in the buildings.

Key word: archeological investigation, construction work, environmental radiation, soil, concrete

1. 緒 言

環境放射線は、自然放射線と人工放射線に分類される。自然放射線は宇宙線、大地、体内核種などに由来する放射線である。また、人工放射線は原水爆実験により生じたフォールアウトなどに由来する放射線である^{1),2)}。地球の歴史からみると、

環境放射線が変動を示す主な原因は大地からの放射線と考えられている³⁾。また、測定地点近傍(数10m範囲)の土木工事による土の入替などで土質が変わると、空間線量率が変化する(土砂、岩石に含まれる自然放射線の種類・量が関係する。例えば、花崗岩類などの自然放射線を多く含むものは高く、火山岩類は低い)などの報告が原子力環

境監視センターなどからなされている。

岡山大学自然生命科学研究支援センター光・放射線情報解析部門鹿田施設(以下「鹿田 RIC」)は、同大学鹿田キャンパス(以下「キャンパス」)内西端にある。キャンパス内の主な建物との位置関係を図1に示す。鹿田 RIC の北側には1976年建立の古いA棟があり、東側には1999年に完成した比較的新しいB棟、及び南側には1982年建立のC棟が位置している。

鹿田 RIC では1996年1月、西側にD棟を設置し、低レベル放射性固体廃棄物の焼却実験を2002年12月まで行っていた。しかし、これを主因とした環境放射線への影響は認められなかった⁴⁾。2000年に RIC の南東約150mではE棟の建設工事、さらに2002年にはB棟の東においてF棟新設のための埋蔵文化財の発掘調査(以下「発掘調査」)が行われ、2003年に完成した。一方、RICの西側にはキャンパス西端の境界壁があり、さらにその西側は消防署や民家などが建ち並ぶ一般区域になっている。

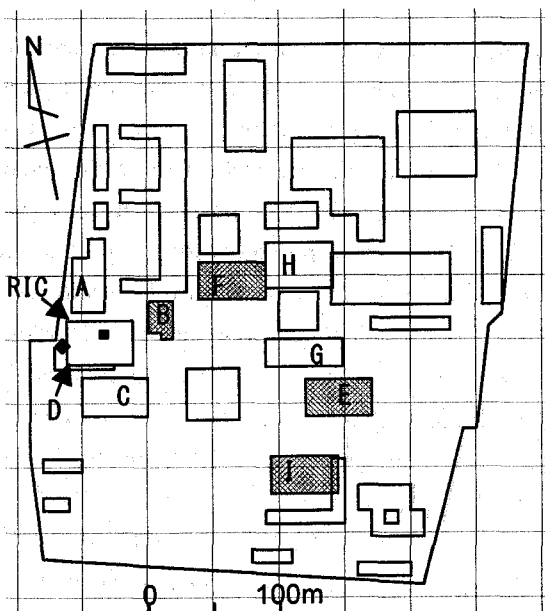


図1. 鹿田キャンパスの建物配置の概略図

実線で囲んでいる外側の線がキャンパスの境界壁を示し、その他の囲い線の内は建物を表す。網かけは鹿田RIC棟完成以降の建物を示す。

A:基礎講義棟, B:基礎研究棟, C:動物資源部門, D:焼却研究棟, E:新病棟, F:総合教育研究棟, G:東西病棟, H:臨床研究棟, I:エネルギーセンター, ■;東側モニタリングポスト, ◆;西側モニタリングポスト

1998年1月以降、それまで安定していた環境放射線測定用のモニタリングポスト⁵⁾(以下「ポスト」)の線量データ(図2)に有意な変動がみられるようになった。

このため、著者らは1998年から鹿田 RIC 周辺における環境放射線の変動に関し原因を究明することを目的に基礎的検討を行い、得られた成果を本論文にまとめた。

2. 方法

2・1 鹿田 RIC 東西の積算線量の比較

鹿田 RIC 周辺にはキャンパス内の環境放射線の測定を目的としてポストを数カ所設置している。ポスト内には線量計(長瀬ランダウア社製のルクセルバッジ)を3個ずつセットし、その平均値を3ヶ月毎の積算線量(以下「積算線量」)として記録し、継続して測定している。今回対象にしたポストは、1箇所は鹿田 RIC の西側にあり、ここは鹿田キャンパスとその西側の一般区域との境界壁がある。もう1箇所は鹿田 RIC の東側に設置している。これら2箇所のポストで得られた積算線量の比較検討をした。

2・2 発掘調査および建設工事に伴う土壌移動量、コンクリート使用量、およびその放射能

本学では新たな建設予定地については、本学の埋蔵文化財調査センターが中心となり、工事を行う前に埋蔵文化財の発掘調査を行うが、その際に多量の土壌を掘り起こし移動させている。さらに調査終了とともに土壌の埋め戻しが行われる。次に建設工事が始まり、工事が進むにつれ建設に伴うコンクリート使用量は増加する。

このような観点から、下記の調査および測定分析をした。その際、本学埋蔵文化財調査研究センター紀要^{6,7)}から、建物毎に発掘調査と建設工事の各々の期間を調べた(表1)。

各建物について発掘調査と建設工事に分けて調査した。各発掘調査について、調査面積・採掘深度から採掘土壌量を計算し、IAEA 報告書2003を基に²³⁸Uの放射能を算出するとともに、実際に採取した土壌を高純度ゲルマニウム(HPGe)半導体検出器で定量し、採掘土壌中の総放射エネルギーを推定した。各建設工事については、工事期間・コンクリート推定使用量を岡山大学施設部保管のデータ集と工事内訳書より抽出するとともに、実際に採

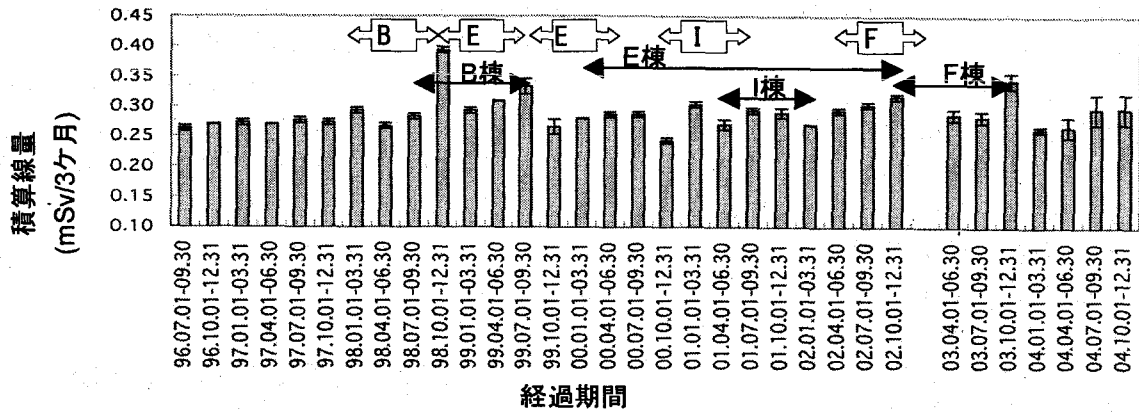


図2. 鹿田キャンパス内の各建物の発掘調査および建設工事に伴う鹿田RIC棟西側のモニタリングポストにおける積算線量の3ヶ月毎の推移

囲まれた矢印の範囲は建物(B, E, I, F棟)の発掘調査期間を示し、←→矢印の範囲はそれぞれに対応した建設工事期間を表す。

取したコンクリートを同様に測定し、建物毎の総放射エネルギーを推定した。その際、土壌およびコンクリートに含まれる核種の同定と放射能濃度の定量は次のようにして実施した。すなわち、各建物近辺の土壌およびコンクリートをU-8容器に採取し、前処理としてVACUUM DRYING OVEN(ヤマトDP32)にて乾燥処理(50℃, 1時間)後、HPGe半導体検出器により24時間測定し分析した。

3. 結果および考察

3・1 鹿田RIC東西の積算線量の比較

ポストにおけるデータを比較すると、1998年1月に変動が始まる以前から東の方が西側に比べ平均0.03mSv(Sv;シーベルト, J/kg)/3ヶ月の幅で積算線量が高かった。その後も両者はその幅を保ち

つつほぼ同様の変動を示していることがわかった。図2は、この内、西側のポストデータを示している。なお、2003年1月から3月のデータはない。

土壌中の核種の分析と放射能濃度の定量をした結果、ウラン系列、トリウム系列、およびそれぞれの娘核種については東西に有意な差は見られなかった。自然の放射性核種である⁴⁰Kについて、東の土壌は0.849Bq(Bq;ベクレル, 原子数が毎秒1壊変)/gであったのに対し西の土壌は有意な計数率が見られなかった。これは、HPGe半導体検出器で測定する際には、測定試料を入れずに測定した値(バックグラウンド計数率)を差し引いた値を正味計数率として放射能に換算するが、西の土壌中にはこのバックグラウンド計数率を差し引いた結果、有意な計数率が得られなかったということである。⁴⁰Kは1.461MeVの高エネルギーγ線を

表1. 鹿田キャンパス内の各建物の発掘調査および建設工事に伴う土壌移動量、コンクリート使用量、およびその放射能

建物	調査期間	調査面積(m ²)	探掘深度(m)	探掘土壌量(m ³)	IAEA(2003)に基づく推定総放射能(Bq)			工事期間	使用開始	コンクリート推定使用量(m ³)	建物コンクリート中の実測に基づく推定総放射能(Bq)	
					²³⁵ U換算	²³⁸ U換算	⁴⁰ K				²³⁵ U換算	⁴⁰ K
鹿田RIC	1990.11-1991.6	690	2.3	1,587	1.98 × 10 ⁹	6.68 × 10 ⁷	2.25 × 10 ⁹	1991.7-1993.4	1993.5	2,429	8.99 × 10 ⁷	2.77 × 10 ⁹
D棟	同上	-	-	-	-	-	-	-	1996.1	-	-	-
B棟	1998.2-1998.8	829	2.2	1,824	2.28 × 10 ⁹	7.91 × 10 ⁷	2.58 × 10 ⁹	1998.9-1999.7	1999.8	2,437	9.02 × 10 ⁷	2.77 × 10 ⁹
E棟	1998.11-1999.5	2088	2.2	4,594	5.74 × 10 ⁹	1.99 × 10 ⁸	6.51 × 10 ⁹	-	-	-	-	-
	1999.8-1999.12	2020	探掘なし	-	-	-	-	2000.1-2002.8	2002.11	22,837	8.46 × 10 ⁸	2.60 × 10 ¹⁰
I棟	2000.10-2001.5	1897	1.5	2,819	3.52 × 10 ⁹	1.22 × 10 ⁸	3.99 × 10 ⁹	2001.6-2002.1	2002.2	4,444	1.65 × 10 ⁸	5.06 × 10 ⁹
F棟	2002.4-2002.10	934	1.9	1,798	2.25 × 10 ⁹	7.80 × 10 ⁷	2.55 × 10 ⁹	2002.9-2003.12	2004.1	2,970	1.10 × 10 ⁸	3.38 × 10 ⁹

注) *は埋蔵文化座調査研究センター紀要2003:付表2 2002年度以前の構内主要調査(1983-2002年度)の値を、

**は岡山大学施設部データ集および工事内訳書の値をそれぞれ参考にした。

放出するため、これが東西の積算線量に差を生じさせた原因の一つと考えられた。

3・2 発掘調査および建設工事に伴う土壌移動量、コンクリート使用量、およびその放射能

3・2・1 発掘調査および建設工事の期間以外における環境放射線の変動

発掘調査および建設工事が両方とも行われていない1996年7月から1997年12月まで、2004年4月から同年12月までの各期間の積算線量に着目し比較検討した結果、発掘調査や建設工事を両方とも行わない期間は有意な変動は見られないことがわかった(図2)。

3・2・2 複合期間における環境放射線の変動

1997年12月までは比較的安定していた線量が、B棟の発掘調査が始まった時期(1998年1月)からF棟の建設工事が終了し使用が開始された時期(2004年3月)までの期間に有意な変動が見られた。この期間は各棟の発掘調査および建設工事のいずれかの期間が重なる複合期間となっていた。また、この期間の積算線量の最大値と最小値の差は約0.15mSv/3ヶ月であった(図2)。具体的には、E棟の発掘調査期間にはB棟の建設工事が平行して行われ、I棟およびF棟の発掘調査期間にはE棟の建設工事が平行して行われていた。そしてE棟の発掘調査期間(1998年11月から1999年5月)の積算線量は0.39mSv/3ヶ月と高い値から0.29mSv/3ヶ月に下がり、次の3ヶ月で0.31mSv/3ヶ月となった。I棟の発掘調査期間(2000年10月から2001年5月)の積算線量は0.24mSv/3ヶ月から0.30mSv/3ヶ月に上昇し0.27mSv/3ヶ月となった。またF棟の発掘調査期間(2002年4月から同年10月)の積算線量は0.29mSv/3ヶ月、0.30mSv/3ヶ月そして0.32mSv/3ヶ月と右肩上がりに上昇する結果となった。E棟、I棟およびF棟の発掘調査期間中の積算線量の変動はいずれも違う結果となった(図2)。

次に、複合期間における各棟の建設工事期間中の積算線量について述べる。まず、B棟については先に述べた0.39mSv/3ヶ月(1998年10月から同年12月)を除くと、その後工事終了に向けて積算線量が上昇している(図2)。また、I棟についてはE棟と平行して行われており、両者からポストへの距離も同程度である。しかし、コンクリート推定使用量についてはE棟に対して約1/5の

4444m³でありそれに含まれる推定総放射能は、それぞれ1.65×10⁸Bq(238U換算)、⁴⁰Kは5.06×10⁹Bqであった(表1)。I棟の当該期間(2001年6月から2002年1月)の積算線量については0.29mSv/3ヶ月(2001年7月から同年12月)であり、有意な変動は見られなかった。

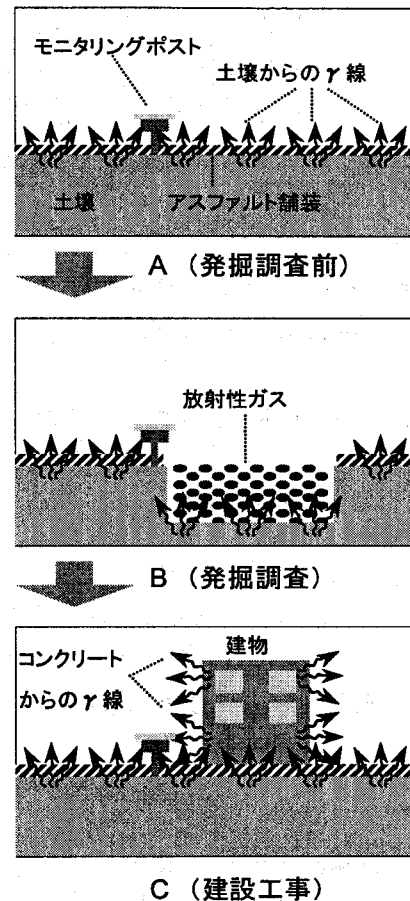


図3. モニタリングポストに及ぼす環境放射線の変化モデル

A; 調査前のアスファルトで舗装された地面の上にモニタリングポストが設置された状態である。土壌からの直接γ線がモニタリングポストへ届く。B; 発掘調査のためアスファルト舗装がなく土壌がむき出し状態である。放射性希ガス(²²²Rn, ²²⁰Rn)が滞留し、その娘核種(²¹⁴Pb, ²¹⁴Biおよび²¹²Pb, ²⁰⁸Tl)からのγ線がモニタリングポストへ及ぼすものとして加わる。C; 調査が終了して土壌の埋め戻しが行われて、建物がたち土壌からの放射性希ガスがなくなる。代わりに建物(主にコンクリート)からのγ線が加わる。

3・2・3 発掘調査における環境放射線の変動

発掘調査の作業工程の中には土壌の搬出があり、作業が終了すると土壌の埋め戻しが行われる。本調査の結果、発掘調査期間中の積算線量に有意な変動が見られた(図2, 表1)。特に、B棟の発掘調査期間中において、積算線量が0.28mSv/3ヶ月から0.29mSv/3ヶ月に上がり、次の3ヶ月で0.27mSv/3ヶ月に下がった後、調査終了と同時に調査前の平均レベル0.28mSv/3ヶ月に戻るといった特徴的な変動を示した。ただし、発掘調査も建設工事も行われていない2004年1月から2004年12月までの変動が大きく見えるのは、ポスト内に設置している3つの測定器の測定値において、ばらつきがあり、標準偏差が大きくなったためである。B棟の発掘調査期間中の積算線量については、標準偏差が小さいため有意に差があると考えられた。この変動の主な原因の一つとして、発掘調査では多量の土砂の搬出及び埋め戻しが行われたため、土砂中に含まれるウラン系列およびトリウム系列の娘核種や ^{40}K の関与が推定された。1998年の10月から12月までの3ヶ月に積算線量が顕著に高くなっているが、この時期にはE棟の発掘調査で約4593.6m³の土壌を撤去している(図2, 表1)。

他方、E棟付近で採取した土壌中に含まれる放射能濃度から、撤去土壌中の放射能を算出した結果、 ^{238}U 換算で約 $1.99 \times 10^8 \text{Bq}$ 、 ^{40}K では $6.51 \times 10^9 \text{Bq}$ の放射能の移動になることがわかった。これは、IAEA報告書(2003)によるデータから算出した値より一桁少ない結果であった⁹⁾。また、当該期間はB棟の建設工事とE棟の発掘調査が行われている期間である。1998年10月から同年12月までの積算線量は0.39mSv/3ヶ月と最も高い値を示した。B棟の建設工事による影響に関しては建物が立っていないためコンクリートによる積算線量への影響はないものと考えられる。逆に後者については、大量の土壌を撤去しているので低くなると考えられたが、結果は予想に反して高くなった。これは、E棟の発掘調査の位置からモニタリングポストまでの距離が約150mあるので、土壌からの直接の放射線による影響はほとんどないものと考えられた(図2, 図3)。しかし、撤去した際に、掘り起こした場所からラドン(^{222}Rn)およびトロン(^{220}Rn)の自然の放射性希ガス(以下「 ^{222}Rn , ^{220}Rn 」)が発生しやすい状況であったとも考えられた。ここで、ポストへ環境放射線が及ぼすモデルを作成してみた(図3)。すなわち、発

掘調査前は地面がアスファルト舗装されており、この放射性ガスが地上に放出されにくい状況にある(図3A)。発掘調査が始まると地面を覆っていたアスファルトがなくなり、しかも土壌を撤去するため、その穴の部分に前後左右および底面の5面から発生した放射性ガスが滞留する可能性がある(図3)。すなわち、土壌を撤去した期間、一時的にこのガスが放出されやすい状況になり、この時期に積算線量が上昇したものと考えられた。

I棟およびF棟については、複合期間にあたるため3・2・2で述べたとおりである。

3・2・4 建設工事における環境放射線の変動

建設工事の行程は、大型機械の搬入、基礎工事、骨組み(鉄骨)の組み上げ、外壁コンクリートの流し込み作業、外壁仕上げ塗装、内装仕上げ塗装、空調ダクト工事、電気工事、建物内への物品の搬入、大型機械撤収という流れで行われる⁸⁾。建物が完成すると、そのコンクリート中に含まれるウラン系列およびトリウム系列の自然の放射性核種より放射線が放出される。ここで、各建物の建設工事に要したコンクリートの使用量とそれに含まれる放射能の推定値を表1に示す。

E棟の建設に要したコンクリート量は22837m³と最も多く、それに含まれる放射能(^{238}U 換算)も約 $8.46 \times 10^8 \text{Bq}$ となった。また、 ^{40}K の放射能濃度は0.492Bq/gであり、この場合 $2.60 \times 10^{10} \text{Bq}$ となった(表1)。しかし、建設工事の完成に向けて積算線量が増加していくという結果にはなっていなかった(図2)。これは、E棟からポストへの距離が約150mも離れているため、コンクリート中の自然の放射性物質からの γ 線の影響はほとんどないものと考えられた(図2, 図3)。また、F棟については、建設工事期間(2002年9月から2003年12月)のうち積算線量が0.28mSv/3ヶ月(2003年7月から同年9月)から0.34mSv/3ヶ月(2003年10月から同年12月)に上昇し期間終了後の次の3ヶ月で0.26mSv/3ヶ月(2004年1月から同年3月)と下がっている。なお、これについてはコンクリートから発生するラドンなどの放射性ガスからの影響も考えられたが、本研究では空気中の放射性ガスの濃度測定は行っておらず、今後の検討課題である。なおB棟およびI棟については複合期間にあたるため3・2・2で述べたとおりである。

土壌やコンクリートにはウラン系列やトリウム系列などの自然の放射性核種が含まれている。一般的に、地上における空間線量率は天候に左右されやすく、空気の流れの少ない夜から朝にかけて、また降雨時には ^{222}Rn 、 ^{220}Rn などの濃度が増える傾向があるため、線量が上昇する可能性があるとの報告例がある⁴⁾。これを踏まえ、気象庁のデータベースより岡山県南部の当該期間の降水量、風向、および風速について検討を行ったが、積算線量と気象データとの有意な相関性は見いだされなかった。その理由として、キャンパス内の建物の高さや配置などによって、実際の風向、風速はかなり複雑になっていることなどが考えられた。

4. 結 論

鹿田 RIC の東西における線量率の差は、土壌に含まれる自然の放射性核種である ^{40}K などからの放射線の関与があり、その差はそれぞれの土壌に含まれる放射能濃度の差が影響していると推定できた。また、線量率の経時的変動については、土壌由来のラドンおよびその娘核種などからの放射線が関与していることが示唆できた。しかし、これには風向、風速などの気象要素だけではなく、建物の形状や配置などによりそれらが複雑に関係していると考えられ、今後、これらの因子が環境放射線に及ぼすメカニズムの解明についてさらに詳細に研究する必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご助言を頂いた本学旧アイソトープ総合センター助教授（当時）の湯本泰弘先生、また測定試料として建設に使用する資材などを快くご提供頂いた大林・三井住友・蜂谷特定建設工事共同企業体副所長の奥山洋一氏、本学埋蔵文化財調査研究センターの野崎貴博先生および施設企画部施設整備課の宮畑裕治氏には、この場をお借りして感謝申し上げます。

本研究は、平成14年度科学研究費補助金奨励研究（課題番号14922147）の採択を受け実施し、その後も調査を継続して行ってきた。

- 1) UNSCEAR2000 年報告, 放射線の線源と影響 (2000).
- 2) 藤元憲三 他: 屋内ラドン濃度全国調査, 保健物理, 32, 41-51(1997).
- 3) 藤元憲三: 10.環境放射線 (能) (2) UNSCEAR 的な観点からみた環境放射線, Radioisotopes, 50, 139s-147s(2001).
- 4) Yumoto, Y., Hanafusa, T., Nagamatsu, T. and Okada, S.: Experimental Incineration of Low Level Radioactive Samples, Health Phys., 79, s25-s32 (2000).
- 5) 文部科学省編, 放射能測定法シリーズ18, 熱ルミネセンス線量計を用いた環境 γ 線量測定法, 6-8(1990).
- 6) 岡山大学埋蔵文化財調査研究センター紀要 2001, 37-39(2003).
- 7) 岡山大学埋蔵文化財調査研究センター紀要 2002, 65-67(2004).
- 8) 埋蔵文化財発掘調査体制等の整備充実に関する調査研究委員会, 埋蔵文化財の本発掘調査に関する積算標準について (報告), 月刊文化財, 11, 別紙4 (2000).
- 9) IAEA Report 2003, Depleted Uranium FAQs, (2004).