

5.

創意工夫

5.1. 自然放射能探査

既存資料の収集整理および分析を踏まえた自然放射能探査を、発注者と協議を行い「創意工夫」として行った。

(1) 原理と方法

地殻構成物質である造岩鉱物の中に、ウラン・トリウム・アクチニウム系列に属する全ての元素及び単独に微弱な放射能を示すカリウム・ルビジウム・サマリウム等の放射性同位体が含まれている。従来の放射能探査においては、これらの全放射性元素から放出される γ 線総量を測定していた。

岩石毎の γ 線強度を比較すると図-5.1.1に示す様な傾向を示す。花崗岩などの酸性岩が最も強く塩基性岩は弱い値を示す。堆積岩では頁岩系統が強く砂岩・凝灰岩で弱く、石灰岩では更に弱い値となる。

従って、 γ 線総量の測定によってもある程度の岩種判定、それに伴う断層等の境界線の判定等が可能である。しかし被覆層の性質と厚さ、あるいは含水状況による影響が大きく、 γ 線総量のみの判定には不確かさが伴う。

γ 線スペクトル法はエネルギーレベルに依存したスペクトル解析を行って、注目する元素ごとの γ 線強度を求め、岩種の区分や断層位置を確認等で利用する方法である。

地層中に含まれていて、 γ 線を放出する核種の代表的なものに ^{40}K (カリウム)、 ^{214}Bi (ビスマス)、 ^{208}Tl (タリウム)が有り、その γ 線エネルギーは、それぞれ1.46MeV(百万電子ボルト)、1.76MeV、2.61MeVと大きい。また互いに近い値なので、線源から検出器までの間で水や土壌によって失われる損失率も近い値になり、ことに $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 、 $^{214}\text{Bi}/^{208}\text{Tl}$ の様に比をとると、途中での損失を殆ど無視出来る様になる。

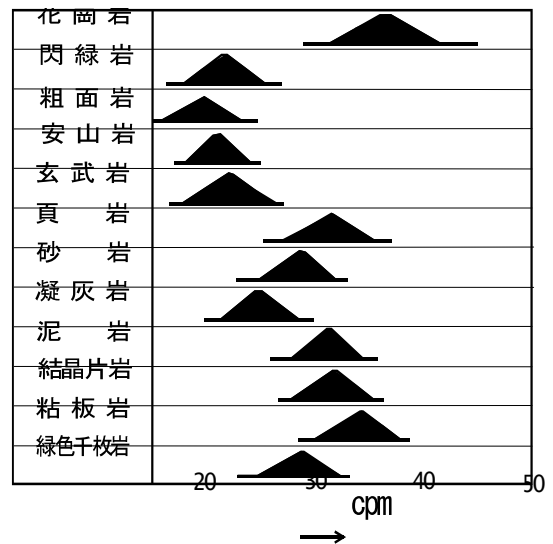
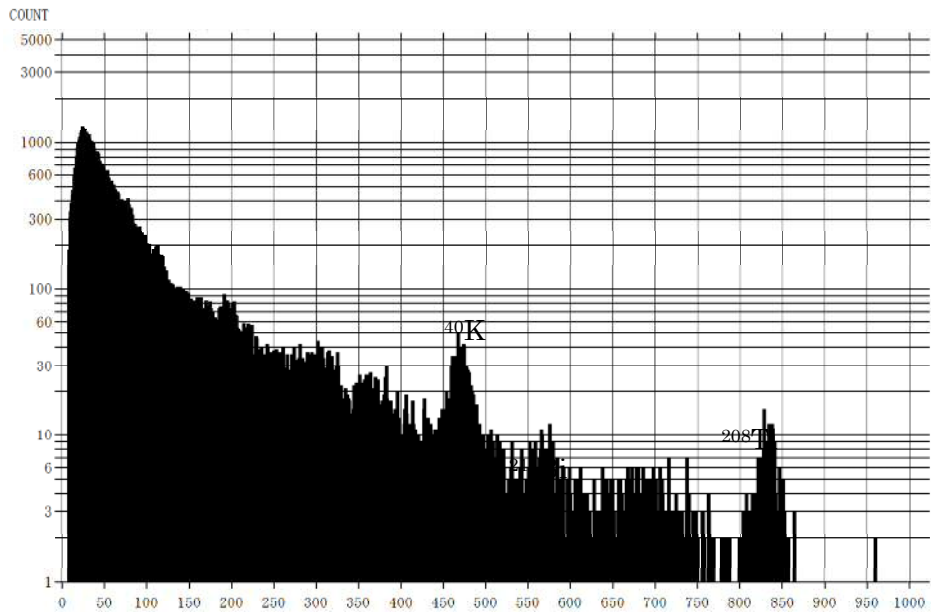


図- 5.1.1 岩石別自然放射能強度

《地盤の γ 線スペクトル》

地表上でNaI（沃化ナトリウム）の結晶を用いた検出器で γ 線を測定すると、各元素のエネルギーレベルに応じたスペクトルが得られる。例として図-5.1.2に γ 線スペクトル図を示す。横軸はエネルギーレベルをチャンネル(ch)表示で示し、縦軸は γ 線カウント数の積算値である。探査上注目する ^{40}K 、 ^{214}Bi 、 ^{208}Tl のエネルギーレベルと、それに相当するスペクトルのチャンネル域は以下の通りである。



^{40}K	... 1.46 MeV	... 470 ch 付近
^{214}Bi	... 1.76 MeV	... 564 ch 付近
^{208}Tl	... 2.61 MeV	... 832 ch 付近

図- 5.1.2 γ 線スペクトル図の例

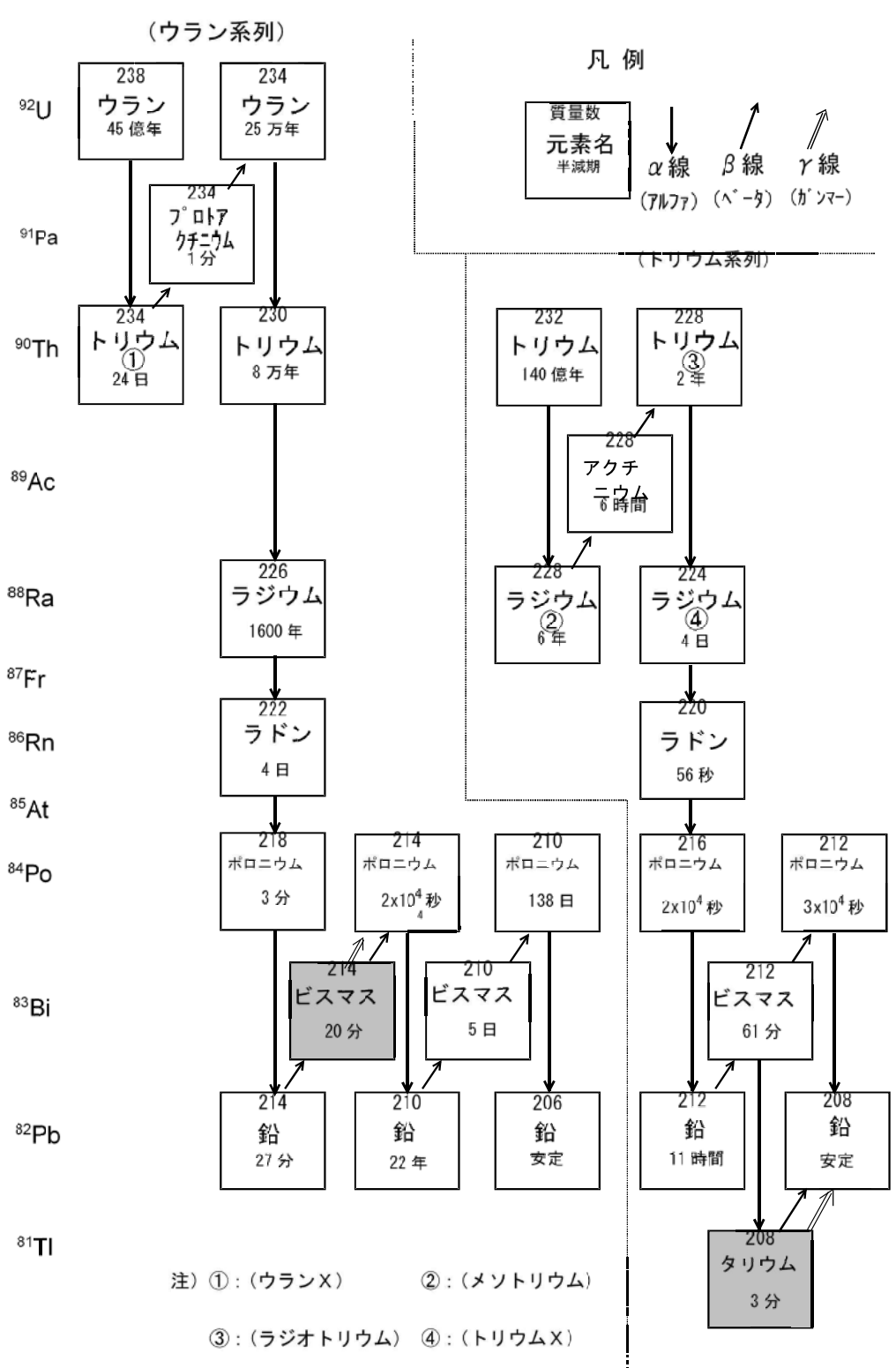


図- 5.1.3 自然の主な放射性元素の壊変系列

〔カリウム(^{40}K)〕

カリウムは岩石中に比較的多量に存在するが、そのうち0.0119%含まれている放射性同位体のカリウム(^{40}K)が外殻電子を捕獲する際に γ 線を放出する。その半減期は 1.28×10^9 年と極めて長い。

〔ビスマス(^{214}Bi)〕

図-2-2-3に示す様にウラン系列に含まれ、ウラン(^{234}U)が壊変し、ラドン(^{222}Rn)を経て安定な鉛(^{206}Pb)に至るまでの過程の中で、ビスマス(^{214}Bi)がポロニウム(^{214}Po)に壊変する際に γ 線を放出する。ビスマス(^{214}Bi)の半減期は20分である。

ウラン系列の核種のうちラドン(^{222}Rn)～ポロニウム(^{214}Po)は気体として存在し、その前後は固体として存在する。ラドン(^{222}Rn)～ポロニウム(^{214}Po)は気体として、或いは地下水に溶け込んで移動するので、亀裂や断層破碎帯のような気体の通り易い所での濃度が増加する。従ってビスマス(^{214}Bi)の濃度が増加し、 γ 線強度が増大する。

〔タリウム(^{208}Tl)〕

同じ図に示す様に天然放射性元素の壊変系列のトリウム系列に含まれるもので、トリウム(^{232}Th)が放射壊変し、ラドン(^{220}Rn)を経て安定な鉛(^{208}Pb)に至るまでの過程の中でタリウム(^{208}Tl)が鉛(^{208}Pb)に壊変する際に γ 線を放射する。タリウム(^{208}Tl)の半減期は3分である。この様にトリウム系列の娘核種の半減期は比較的短い。また親核のトリウムは可溶性の塩類を作らず、放射平衡*が崩れ難い。

*：放射平衡

娘核種の半減期が十分に短い場合、親核種から引き離されると娘核種は直ぐ無くなってしまいが、親核種と共に存在すると壊変して新たに出来る核種が加わり、急に数を減らす事無く両者が同じ割合で減少する。この場合、娘核種と親核種とは過渡平衡の状態にあると言い、ある短い時間をとって考えると親核種および娘核種の原子数は一定であるとみなしても良い。このような状態を永続平衡といい、過渡平衡と併せて放射平衡と言う。

(2) 自然放射能探査の方法

測定はNaI（ヨウ化ナトリウム）シンチレーションプローブ（検出器）を測点位置の地表面に置いた状態で、300秒間連続的に計測を行った。シンチレーション検出器は図-2-2-4の様な構造をしたもので、 γ 線がシンチレーターに当たると蛍光を発生し、この蛍光を光電子増倍管で増幅し電気信号に変換している。

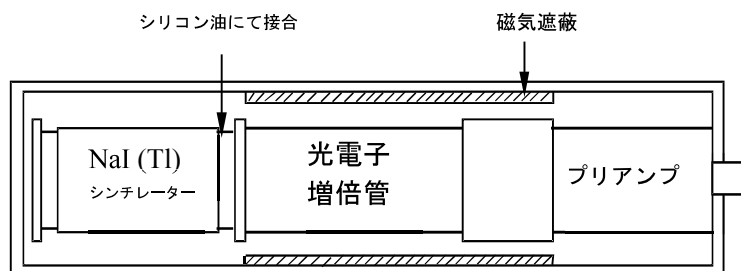


図- 5.1.4 シンチレーションプローブの構造

(3) 解析方法

測定値はエネルギー [MeV] ごとの強度（カウント数）として得られる。各測点でのスペクトル図は巻末に示す。このスペクトル図から、K（カリウム）、Bi（ビスマス）、Tl（タリウム）の強度をそれぞれ抽出した。Kは最も高い強度を示し、亀裂に関係なく存在する。またBiやTlは不活性ガスであるラドン（Rn）の濃度に相関するため開口性の亀裂の存在を反映すると考えられている。このため調査目的を考えるとBiやTlの測定値の高い測点に注目する必要があるが、実際には各測点での地表条件などの違いが影響するため、ここでは比をとる（無次元化する）ことでこの差異を軽減させている。

γ 線異常の判定基準については絶対的なしきい値は設けられておらず、調査地域の地質構成や測定条件等により異なり相対的なものとなる。

今回は各値を「低強度：平均値未満」「中強度：平均値以上～平均値＋標準偏差値以下」「高強度：平均値＋標準偏差値以上」の3段階に区分し、強度分布を表現する。

(4) 機器仕様

今回の調査で使用する自然放射能探査測定器は「 γ 線スペクトロメータ EMF-211 型：EMFジャパン（株）製」である。下表に主な仕様を示す。

表- 5.1.1 γ 線スペクトロメータ 機器仕様

γ 線スペクトロメータ EMF-211 型 (EMF ジャパン (株) 製)	
・測定放射線	γ 線
・シンチレータ	NaI (Tl) ϕ 3inch \times 3inch
・ γ 線測定エネルギー範囲	0.03 \sim 3 MeV
・チャンネル数	1024ch
・PC インターフェイス	USB
・電源	5V - 0.15A (USB 経由でデータ収録 PC より供給)
・エネルギー分解能	662keV において $6.5\pm 0.5\%$
・使用温度範囲	-10 \sim +40 $^{\circ}$ C (但し急激な温度変動及び結露が無いこと)
・寸法、質量	ϕ 92mm \times 315mm、約 3.4kg
・付属データ収録 PC	Windows 8



(5) 自然放射能探査の結果

今回の調査では、調査対象地における断裂系の構造の存否についての情報を得る目的で、自然放射能探査を実施した。調査対象地では、可能な限り舗装部分や地下埋設物等を避ける様に測定に際しては十分に注意を払った。測点は図-5.1.5に示すように、電磁探査実施箇所やその周辺域に12点配置した。

測定はNaIシンチレーション検出器を格納したケースを地表においた状態で300秒間の連続測定を行った。核種の ^{40}K 、 ^{214}Bi 、 ^{208}Tl を、それぞれ以下ではK（カリウム）、Bi（ビスマス）、Tl（タリウム）と略称する。

測定値及び核種比の統計値をとりまとめ、自然放射能強度統計値として表-5.1.2に示す。また各測点の測定結果表は表-5.1.3に示す。結果図として図-5.1.6～7にBi/KならびにBi/Tlの強度分布図を作成し示している。「平均値未満」：低強度（緑）、「平均値以上～平均値+標準偏差値以下」：中強度（黄）、「平均値+標準偏差値以上」：高強度（赤）の3段階に区分し強度分布を表現した。また図-5.1.8にそれぞれの核種比における強度分布変化のグラフを作成し示している。

調査対象地における強度分布状況を見ると、Bi/KとBi/TlのいずれにおいてもR3（北側神社）、R5（南西側更地）、北東側の既存泉に近いR1（更地）やR9（公園）で比較的高強度部分が見られる。それ以外では、Bi/Kにおいては南側のR6（更地）や東側のR8（公園）、Bi/Tlにおいては旧国民宿舎のR4にやや高強度部分が点在する。概ね北東側の既存泉付近や旧国民宿舎周辺域の標高の高い台地上に比較的高強度部分を見いだすことが出来る。これらの高強度分布箇所については、周辺と比較して岩盤中の亀裂が多い箇所が分布することが考えられる。

表- 5.1.2 指標核種における自然放射線強度（測点数 12）

測点番号	K40	B $\bar{2}$ 14	T $\bar{2}$ 08	TOTAL	B \bar{i} /K	T \bar{l} /K	B \bar{i} /T \bar{l}
最大値	1641	251	252	120509	0.24107	0.21205	1.26144
最小値	896	119	136	61850	0.10105	0.11003	0.82540
平均値	1339.7	194.5	194.2	88870.3	0.14742	0.14707	1.00651
標準偏差	207.8	37.0	35.5	14007.8	0.03328	0.02924	0.12669
AVE+STD	1547.5	231.5	229.7	102878.1	0.18070	0.17631	1.13320

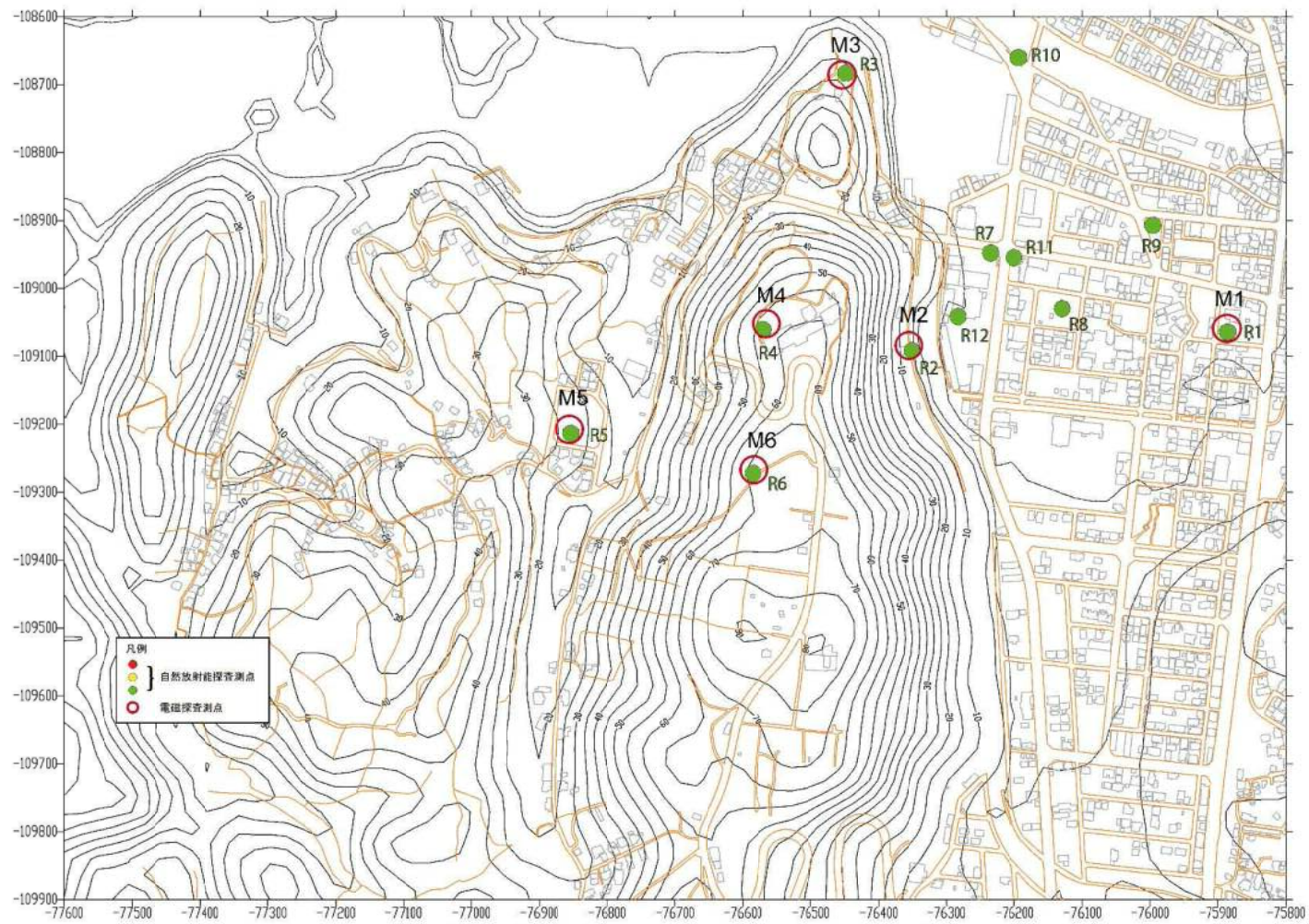


图- 5.1.5 测点位置图

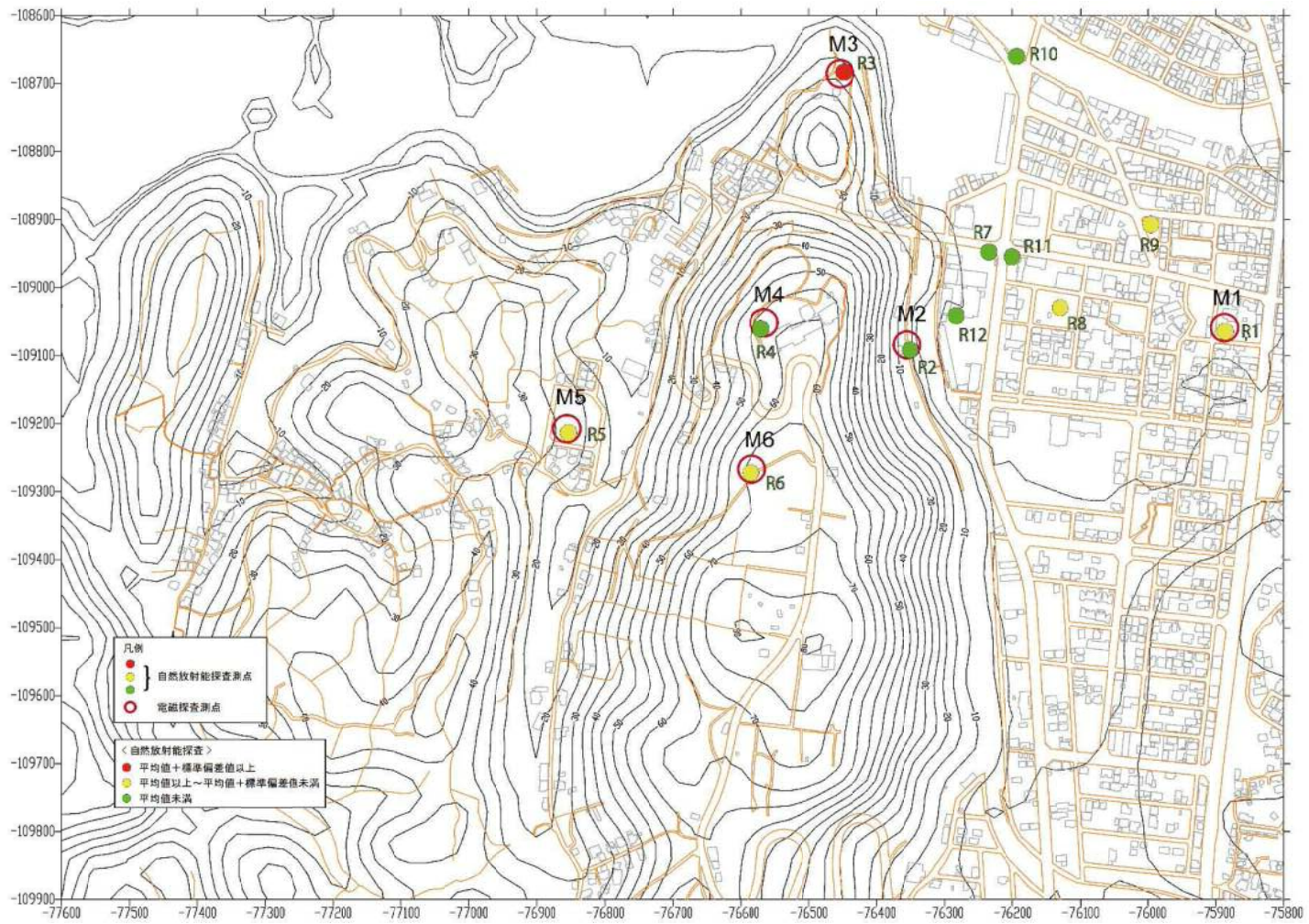


图- 5.1.6 強度分布 (Bi/K)

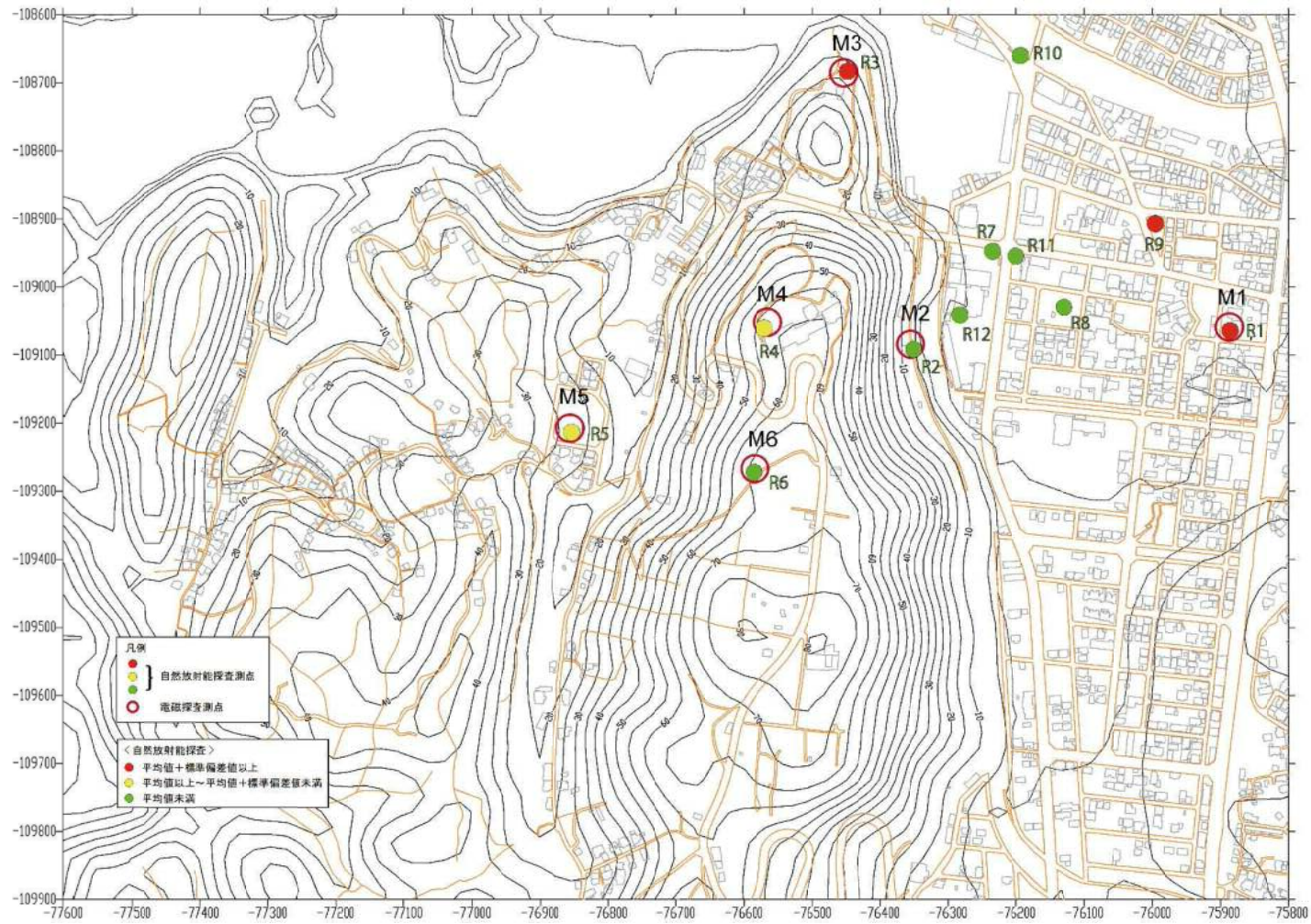


圖- 5.1.7 強度分布 (Bi/T1)

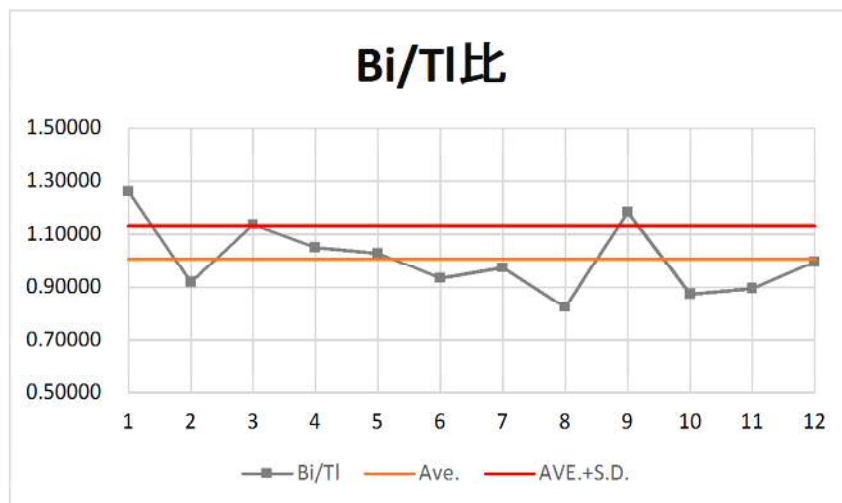
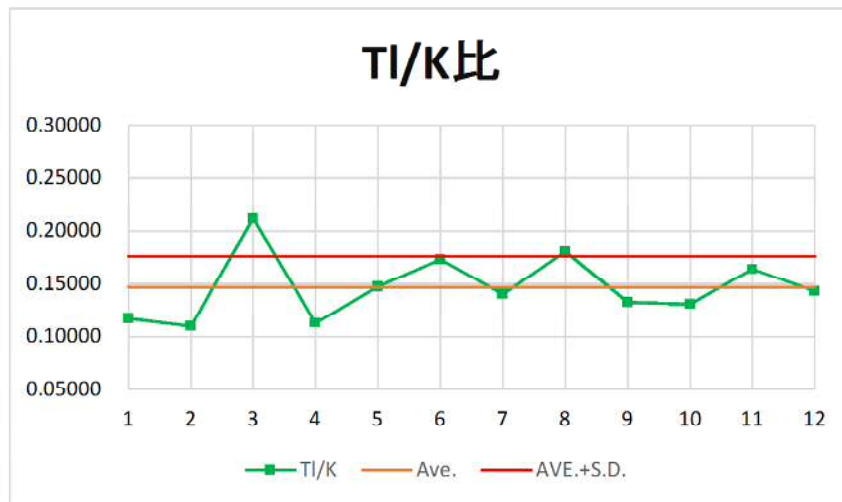
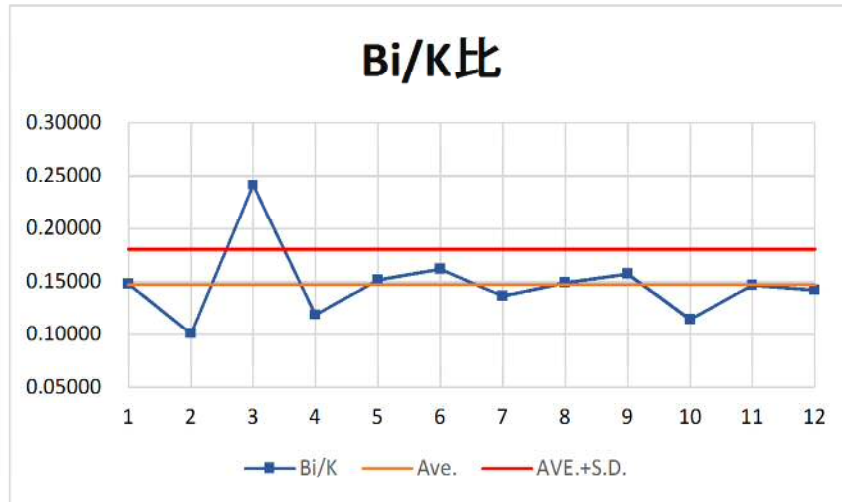


図- 5.1.8 核種比の強度分布

表- 5.1.3 測定結果表

測点番号	K40	B ₂ 14	T ₂ 08	TOTAL	B _i /K	T _i /K	B _i /T _i
1	1305	193	153	83221	0.14789	0.11724	1.26144
2	1336	135	147	82032	0.10105	0.11003	0.91837
3	896	216	190	75122	0.24107	0.21205	1.13684
4	1573	187	178	88628	0.11888	0.11316	1.05056
5	1641	249	242	120509	0.15174	0.14747	1.02893
6	1229	199	213	85539	0.16192	0.17331	0.93427
7	1341	183	188	88871	0.13647	0.14019	0.97340
8	1395	208	252	100007	0.14910	0.18065	0.82540
9	1596	251	212	102427	0.15727	0.13283	1.18396
10	1039	119	136	61850	0.11453	0.13090	0.87500
11	1397	205	229	93404	0.14674	0.16392	0.89520
12	1328	189	190	84834	0.14232	0.14307	0.99474

5.2. 無人航空機での撮影

現場着手時は、測定値の現況を受発注者間で共有することを目的に無人航空機で上空写真の撮影を行った。



図- 5.2.1 CSAMT測定位置 (M1~4)



图- 5.2.2 CSAMT测定位置 (M5~6)

以上