

北海道の温泉湧出地から放出されるγ線 Radiating Gamma-Ray from Hot Springs in Hokkaido, Japan

秋田 藤夫・柴田 智郎
Fujio Akita and Tomo Shibata

キーワード: γ線スペクトル, 温泉湧出地, 北海道
Key words: gamma-ray spectrum, hot springs, Hokkaido

I 目的

放射能探査の一種であるγ線探査は温泉調査の手法の一つとして古くから実施されている(例えば, 物理探査学会, 1989)。過去にγ線探査の結果に基づき温泉掘削が行われた事例も多い。特に, バブル期の終わりの1990年代前半に行われた全国の市町村に対するふるさと創生資金の交付に端を発し, ヘリコプターに搭載されたγ線探査機を用いた温泉調査が多くの地域で実施された。その結果に基づきボーリングが行われ, 数多くの温泉地が誕生した(落合, 1992)。しかし, 調査によって得られたγ線強度や放射性核種と温泉湧出の関係については必ずしも明らかにされていない。このことから, 地質研究所では道内の温泉湧出地から放出されるγ線強度分布の実態を明らかにし, その原因となっている放射性核種の同定を行うことを目的とした調査を実施した。ここでは, それらの結果を資料として取りまとめた。

II 地下から放出されるγ線とそのスペクトル

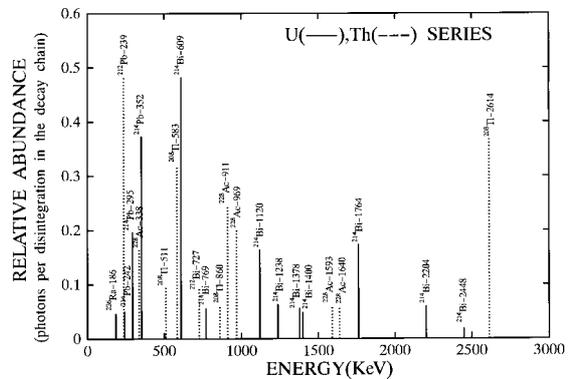
岩石や鉱物中には少量ではあるが天然放射性同位元素が含まれている。放射性同位元素としては, U, Th, ⁴⁰Kが一般的である。これらの元素の量比は, 地質により固有の値を示す(ADAMS, 1961)。U, Th放射系列に属する核種は, α崩壊, β崩壊を繰り返しながらそれぞれ安定核種に達するが, それに伴ってγ線等を放出する。⁴⁰KはU, Thと並ぶ代表的な天然放射性同位元素である。⁴⁰Kは天然に存在する全てのKに対する存在比が0.0117%で, 電子捕獲に伴いγ線を放出する。

天然に存在する放射性元素は, その崩壊過程で異なるエネルギーレベルのγ線を数多くの放出する(アイソトープ便覧, 1984)。地殻中に存在する放射性元素の多くは, 壊変系列中において移動しやすい不活性ガスであるラドンに変わるものがある。ラドンは狭義にはU系列の²²²Rn(ラドン), Th系列の²²⁰Rn(トロン)とAc系列の²¹⁹Rn(アクチノン)がある。地層内に固体で存在する²²⁶Raは放射性崩壊で気体の²²²Rnになるとその一部が地層外へ移動する。ラドンガスの一部は断層破砕

帯などの地殻中の割れ目を通して地層中を移動しながら安定元素である²⁰⁶Pbや²⁰⁸Pbになるまで壊変を続ける。ラドン自身はα壊変であるが, その娘核種の中にγ線を放出する元素がある。U系列中の²²²Rnの娘元素の中では, 半減期により決まる放射平衡の条件や放射エネルギー強度から主として²¹⁴Bi, ²¹⁴Pbによるγ線が放出される。Th系列では, ²⁰⁸Tl, ²¹²Pb, ²²⁸Acによるγ線が放出される。自然界でのラドンガスは, ²²²Rn以外は大気中での放射能強度が低い。ラドンガスの半減期が3.83日であるのに対し²²⁰Rnは54.5秒, ²¹⁹Rnは4秒と短いことから放射能探査においては通常²²²Rnのみを考慮すれば良いとされている(物理探査学会, 1989)。

放射能探査で測定されるスペクトルは, 単色スペクトルではなく, 特定のエネルギー分布を持ったスペクトルとなる(第1図)。通常, 岩石を測定して得られるスペクトルは, U系列, Th系列, ⁴⁰Kの含有量に応じてそれぞれのスペクトルが合成されたものとなる。したがって, γ線スペクトルから放射性核種の含有量を算定する事が可能である。

測定により得られるγ線スペクトルは, コンプトン連続部と光電効果, 電子対生成効果のピーク部から成る。



第1図 放射平衡にあるU系列核種, Th系列核種から放射される主要γ線の相対強度(日本アイソトープ協会, 1984)

Fig. 1 Relative intensities of main gamma-ray radiated from U-series and Th-series nuclides on radiation equilibrium (Japan isotope association, 1984).

光電効果のピーク位置のチャンネルは γ 線エネルギーレベルにほぼ比例している。また、ピーク面積は γ 線エネルギーの強度に比例しているのでスペクトル解析は光電効果のピークについて行われる（アイソトープ便覧, 1983）。 γ 線スペクトルデータの主な解析対象となる光電ピークは、 ^{212}Pb (239KeV), ^{214}Pb (352KeV), ^{208}Tl (511, 583, 2614KeV), ^{214}Bi (609, 1120, 1764KeV), ^{228}Ac (908, 969KeV), ^{40}K (1461KeV) である。

III 測定地点

現地調査は1995~1998年にかけて、北海道内の自然湧出する温泉地を中心に実施した。調査は温泉湧出地82カ所、その他比較のために温泉湧出地から充分離れた地域（以降、バックグラウンドと呼ぶ）で計26カ所実施した。全地点のうち、32カ所はNaI (TI) 検出器、76カ所はGe半導体検出器を用いて γ 線スペクトル測定を実施した。また、全ての測点で γ 線線量率の測定も行った。

IV 測定機器

使用した γ 線スペクトル装置はSEIKO EG&G ORTEC社製高純度Ge半導体検出器GEM-15180-P-LP及び同社製MCA NOMAD Plus Portable Spectroscopy Systemとキャンベラ社製シリーズ20MCA (2802型) 及びNaI (TI) シンチレーション検出器 (802-3型: 2in \times 2in) である。また、 γ 線線量率の測定はアロカ社製 γ 線シンチレーションサーベイメータTCS-121Cを使用した。機器の外観を写真1~写真3に示す。

V 測定方法およびデータ処理法

V. 1 測定方法

温泉湧出地における測定は、原則的に温泉湧出口あるいは温泉沈殿物が析出している近傍の放射能強度の強い地点で行った（写真4~6）。

NaI (TI) 検出器を用いたスペクトル測定では、検出器へのバイアス電圧を900Vに固定した。計測時間は600secとした。MCAのチャンネル数は4096で1チャンネルが約0.7KeVに対応するようにアンプ倍率を設定した。検出器のエネルギー分解能は約1.7KeVであった。

Ge半導体検出器を用いたスペクトル測定では、バイアス電圧を2,900Vとし、リニアアンプの波形整形の時定数は6 μ secとした。MCAのチャンネル数は8192とし、1チャンネルが約0.36KeVに対応するように設定した。計測時間は約3600secとした。検出器のエネルギー分解能は6.5%であった。

MCAによる測定を実施した地点では、ほぼ同一条件

でNaI (TI) シンチレーションカウンター TCS-121C による γ 線線量率 (50KeV以上) の測定を行った。 γ 線線量率の測定はアナログ指示計の直読によった。

現地におけるスペクトル測定はどちらの検出器も基本的なフローは同様であり、多量のデータを扱うことから、これらの処理はパソコンで行った。

V. 2 データ処理法

MCAで得られた γ 線スペクトルデータは、チャンネル毎に計数率に伴う統計誤差を含んでいる。したがって、スペクトルから有意なピークを検出し、各種情報を引き出すために統計処理を行った。各ピークチャンネルの同定からROI (関心領域) 毎の解析は以下のように行った。

●ピークサーチ法

ガウス型平滑化二次微分値フィルターを用いてピークサーチを行った。

●ピーク中心の計算

ピーク中心は、ピークにおいて平滑化二次微分係数が最小になる値とその前後のチャンネル計3点を放物線近似することにより求めた。この場合、ピーク中心チャンネルおよびピーク中心誤差も算出した。

●エネルギー校正法

エネルギー校正式は、増幅率が正しく調整されていても変化する可能性があるため、測定の都度スペクトル自身のピークを用いて再決定した。エネルギー校正はチャンネルと半値幅に対して二次方程式を用い最小自乗法により校正した。

以上の処理が終了した後、各ピーク領域がピークを中心にして正しく当てはめられているか、領域幅がピークを完全に含んでいるかを確認した。また、同定されたピークの中心チャンネルが γ 線のエネルギーに対応している事も確認した。そのうえで、各ROIの総面積、バックグラウンド、ピーク面積、ピーク面積誤差、ピーク中心チャンネル、半値幅、1/10幅等を求めた。光電ピーク面積の算定には連続分布差し引き法 (COVELL, 1959) を採用した。同手法は光電ピークが正規分布を示すと仮定し、光電ピークのベースとなる連続分布を取り除いた残りの部分をピーク面積とする。これら一連のデータ処理は科学技術庁指針 (科学技術庁, 1974;1990) に従った。

VI 測定結果

VI. 1 γ 線スペクトルの測定事例

第2図には、Ge半導体検出器とNaI (TI) シンチレーション検出器を用いてU系列、Th系列核種の γ 線が多量に放出される温泉湧出地とバックグラウンドで計測したスペクトルの事例を示した。

Ge半導体検出器を用いた結果 (第2図A,B,Cの上段)

は、個々のピークの半値幅が狭く核種の同定が容易である。主要な γ 線放出核種は ^{226}Ra (186KeV), ^{222}Rn の娘核種の ^{214}Pb (295, 235KeV), ^{214}Bi (609, 1120, 1764KeV) 等であり, Th系列は ^{220}Rn の娘核種の ^{212}Pb (239KeV), ^{228}Ac (911, 969KeV), ^{208}Tl (511, 583, 2614KeV) 等である。そのほか ^{40}K (1461 KeV) のピークが認められる。

U系列核種が卓越する事例(A)では, ^{40}K (1461KeV) のピーク付近に ^{214}Bi の1378, 1408, 1509KeVのピークがあるが, それぞれのピークは干渉することなく分離される。Th系列(B)が卓越する事例でもエネルギーレベルの隣り合うピーク同士 (例えば583KeVの ^{208}Tl ピークと609KeVの ^{214}Bi ピーク) が明瞭に分離出来る。

各図の下段には, NaI(Tl)シンチレーション検出器で得られた結果を示した。

NaI(Tl)シンチレーション検出器はエネルギー分解能が低いため, スペクトルピークは裾広がり形態を示している。例えば, U系列核種のカウント数が大きいスペクトルデータ(A)では, 609KeVの ^{214}Bi ピークと近接する583KeVの ^{208}Tl ピークとが一つのピークになっている。また, ^{40}K (1461KeV) 付近に ^{214}Bi の1378, 1408, 1509 KeVのピークが位置することから, ^{214}Bi によるカウント数が増えるにつれて ^{40}K と ^{214}Bi によるピーク分離が困難となる。グロスカウントだけを見た場合, ^{214}Bi によるカウント数が増えているにもかかわらず ^{40}K のカウント数が増加したと解釈される可能性がある。また, ^{208}Tl (2614KeV) のピークは近接する ^{214}Bi (2448KeV) のカウント数の増加により, 低エネルギー側の裾が不明瞭となっている。

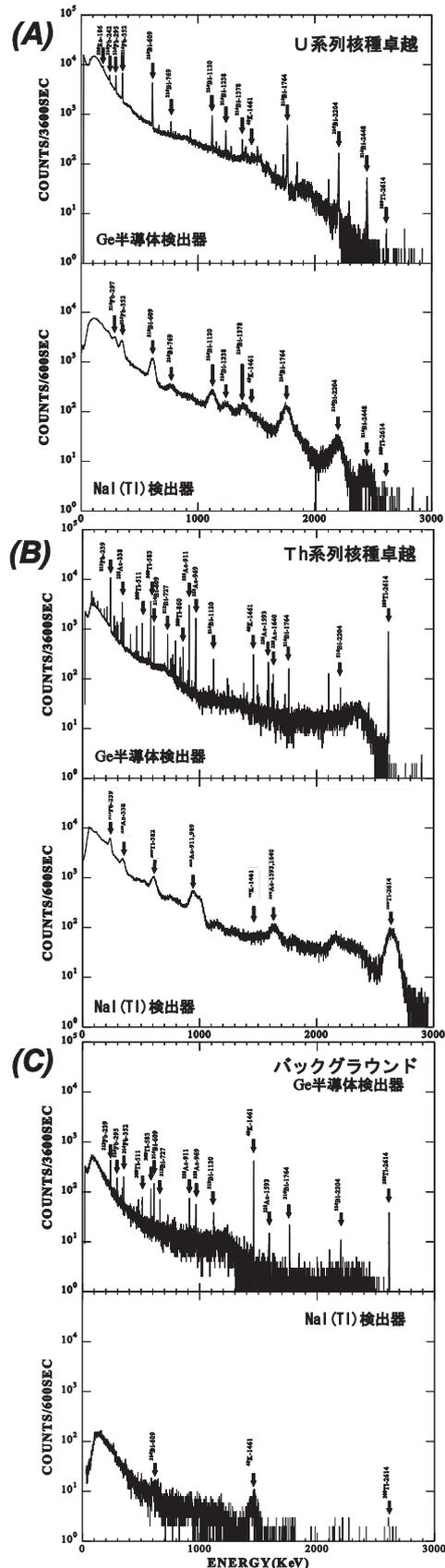
以上のように, NaI(Tl)シンチレーション検出器は γ 線のエネルギーが近接する場合, カウント数が増加するにしたがってスペクトルピークが干渉し合って個々の核種の分離が難しくなる場合もある。

VI. 2 測定データ

第1表と第2表には, 温泉湧出地とバックグラウンドにおける全測点のトータルカウント数 (200~2900 KeV), 線量率, ^{40}K , U系列の核種 ^{214}Bi (1764KeV), Th系列の核種 ^{208}Tl (2614KeV) のネットカウント数とそれらから算出した核比 $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$, $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ を示した。なお, 既に述べたように, 本調査では, NaI(Tl)検出器とGe半導体検出器を併用してスペクトル測定を行っていることから両者の計数値を直接比較することは出来ない。したがって, 両者のスペクトルデータを比較する場合は核比を用いる。

なお, この調査で用いたNaI(Tl)検出器とGe半導体検出器の200~2900KeVのトータルカウント数とほぼ同一条件で測定した γ 線線量率の関係を第3図に示した。この図から両検出器のカウント数と線量率とは, ほぼ直線関係にあることが判る。

前述の測定事例でも述べたように, スペクトル測定



第2図 Ge半導体検出器及びNaI(Tl)検出器を用いた γ 線スペクトル測定事例

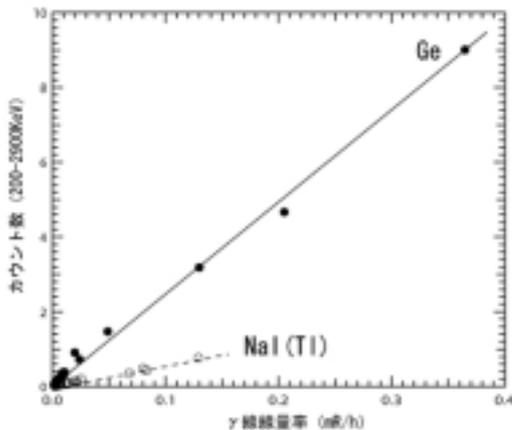
Fig. 2 Measurement examples of gamma-ray spectrum used Ge semiconductor detector or NaI(Tl) detector.

第1表 温泉湧出地における測定結果
Table 1 Measurement results at hot springs.

測点No.	温泉地名	Lat (°)	Long (°)	Total_Counts (200-2900 KeV)	⁴⁰ K (1461 KeV)	error	²¹⁰ Pb (1764 KeV)	error	²⁰⁸ Tl (2614 KeV)	error	²¹⁰ Pb/ ⁴⁰ K	²⁰⁸ Tl/ ⁴⁰ K	線量率 (mR/hr)	センサー	備考
1	相泊	44.18449	145.31770	130,392	3396.7	59.59	180.2	15.33	379.4	19.86	0.053	0.112	0.0040	Ge	N
2	瀬石	44.17793	145.31208	327,218	2122.1	49.41	1657.1	42.17	370.1	19.33	0.781	0.174	0.0108	Ge	N
3	羅臼	44.03324	145.15462	254,383	5341.8	74.50	369.5	21.92	929.5	30.66	0.069	0.174	0.0063	Ge	N
4	岩尾別	44.10998	145.09028	131,473	2509.0	51.76	282.2	18.07	359.4	19.40	0.112	0.143	0.0038	Ge	N
5	薫別	43.79772	144.94383	727,277	9583.4	101.93	3530.8	61.79	472.3	22.08	0.368	0.049	0.0240	Ge	N
6	川北	43.70258	144.91268	116,703	1436.6	39.45	247.8	17.20	346.0	18.65	0.172	0.241	0.0033	Ge	N
7	養老牛	43.58849	144.72241	9,014,102	1439.3	117.80	57339.8	255.97	846.0	31.02	39.839	0.588	0.3650	Ge	N
8	裏養老牛	43.58798	144.71413	1,475,089	351.0	48.45	10504.5	105.95	131.0	12.21	29.927	0.373	0.0490	Ge	N
9	弟子屈	43.48716	144.45159	69,982	1165.9	36.64	104.8	13.36	200.1	14.35	0.090	0.172	0.0023	Ge	B
10	川湯	43.63803	144.43446	115,479	1982.1	45.77	302.7	18.32	307.1	17.63	0.153	0.155	0.0033	Ge	N
11	池の湯	43.60058	144.34854	43,569	992.2	33.24	62.5	10.44	86.1	9.69	0.063	0.087	0.0013	Ge	N
12	和琴半島	43.58131	144.31268	57,307	1310.0	37.23	80.5	10.30	174.0	13.27	0.061	0.133	0.0018	Ge	N
13	雄阿寒	43.42189	144.14264	52,341	9858.1	101.03	727.5	29.25	927.3	30.64	0.074	0.094	0.0013	Ge	N
14	阿寒湖	43.43851	144.19240	131,829	393.0	21.98	159.6	14.79	424.3	20.87	0.406	1.080	0.0043	Ge	N
15	雌阿寒	43.39489	143.98422	157,573	3481.8	60.69	205.0	17.12	386.7	20.04	0.059	0.111	0.0043	Ge	N
16	オンネトー湯の滝	43.37014	143.97828	66,512	1654.2	41.45	100.0	11.14	155.2	12.75	0.060	0.094	0.0025	Ge	N
17	白滝	43.86105	143.17207	105,619	2072.9	46.59	137.3	13.55	298.3	17.59	0.066	0.144	0.0028	Ge	N
18	丸瀬布	43.91113	143.32698	173,105	3868.0	63.51	262.5	17.83	505.3	22.73	0.068	0.131	0.0048	Ge	N
19	シケレヘベンベツ	43.73856	143.42038	217,283	5730.4	76.88	273.2	18.78	551.3	23.63	0.048	0.096	0.0053	Ge	N
20	北見	43.78673	143.64225	203,484	4904.4	71.29	326.0	20.25	514.0	23.02	0.066	0.105	0.0048	Ge	B
21	芽登	43.39072	143.33307	131,527	2409.0	50.47	317.5	19.27	285.9	17.47	0.132	0.119	0.0035	Ge	N
22	カミホロ・翁	43.41803	142.63641	389,942	9858.1	101.03	727.5	29.25	927.3	30.64	0.074	0.094	0.0108	Ge	N
23	ベンガラ	43.43126	142.64254	222,915	2721.0	54.06	296.4	20.15	1163.3	34.33	0.109	0.428	0.0060	Ge	N
24	吹上	43.42979	142.63745	312,015	8197.2	92.20	479.4	24.60	1198.0	34.93	0.058	0.146	0.0090	Ge	N
25	豊富	45.07435	141.84022	166,368	2313.8	49.31	525.8	24.22	387.3	19.96	0.227	0.167	0.0043	Ge	B
26	旭	44.65924	141.85519	113,367	2360.7	49.50	153.7	14.66	366.0	19.44	0.065	0.155	0.0033	Ge	N
27	菅野	43.33090	143.04768	276,178	2654.0	58.26	386.9	27.11	411.4	21.22	0.146	0.155	0.0085	Ge	N
28	山田	43.30827	143.12566	58,793	402.4	23.11	45.7	10.75	58.1	8.47	0.114	0.144	0.0023	Ge	B
29	糠平	43.36480	143.18676	92,298	752.8	31.88	69.0	12.96	87.1	9.84	0.092	0.116	0.0035	Ge	N
30	然別	43.27158	143.10469	95,671	981.7	35.04	79.0	13.19	131.2	12.11	0.080	0.134	0.0038	Ge	N
31	幌加	43.46878	143.12568	3,182,827	407.9	101.72	7681.8	105.61	109.3	11.85	18.833	0.268	0.1300	Ge	N
32	岩間	43.52848	143.06189	120,837	940.9	34.82	97.2	14.62	106.2	11.03	0.103	0.113	0.0033	Ge	N
33	ヌブントムラウシ	43.49124	142.95845	206,571	4043.8	65.81	193.6	17.70	409.1	20.67	0.048	0.101	0.0053	Ge	N
34	トムラウシ	43.46081	142.87276	367,019	7884.2	94.45	621.0	32.29	1291.2	36.76	0.079	0.164	0.0088	Ge	N
35	高原	43.62710	142.93041	193,852	3265.4	62.15	490.5	26.48	526.4	23.73	0.150	0.161	0.0068	Ge	N
36	層雲峡	43.72341	142.95326	207,217	4257.5	69.06	378.4	24.72	696.4	27.12	0.089	0.164	0.0053	Ge	N
37	愛山溪	43.72006	142.81513	74,235	520.8	26.29	78.6	8.95	54.2	8.69	0.151	0.104	0.0028	Ge	N
38	旭岳	43.64849	142.79101	91,706	508.0	25.46	56.1	12.48	86.7	9.55	0.110	0.171	0.0038	Ge	N
39	天人峡	43.62202	142.78152	139,505	1173.5	38.69	74.7	15.54	112.6	11.50	0.064	0.096	0.0043	Ge	N
40	小金湯	42.96813	141.22035	123,503	2162.5	49.90	230.3	18.93	248.2	16.42	0.107	0.115	0.0028	Ge	N
41	定山溪	42.96544	141.16311	328,435	11269.7	108.89	263.8	19.95	541.0	24.35	0.023	0.048	0.0097	Ge	N
42	登別地獄谷	42.49636	141.14608	73,246	1427.1	40.28	146.9	15.30	144.2	12.87	0.103	0.101	0.0023	Ge	N
43	登別大湯沼	42.50216	141.14764	62,933	1258.6	37.52	88.7	12.51	175.2	13.95	0.070	0.139	0.0020	Ge	N
44	カルルス	42.51853	141.10804	120,745	1654.4	44.41	282.4	20.55	404.2	20.49	0.171	0.244	0.0038	Ge	B
45	泊茂岩	43.11500	140.45879	184,606	2835.5	57.89	494.6	25.53	393.3	20.46	0.174	0.139	0.0058	Ge	B
46	ニセコ山田	42.86579	140.69121	903,186	1824.2	62.32	885.4	50.42	6822.8	83.67	0.485	3.740	0.0198	Ge	N
47	五色	42.87543	140.63819	133,153	2409.7	52.45	235.7	20.27	440.2	21.48	0.098	0.183	0.0028	Ge	N
48	湯本鶴の湯	42.87070	140.59889	101,640	1174.9	37.98	213.9	18.74	335.3	18.99	0.182	0.285	0.0030	Ge	N
49	湯本大湯	42.86999	140.59897	75,892	489.3	26.43	258.1	19.05	203.1	14.66	0.528	0.415	0.0021	Ge	N
50	新見	42.88233	140.54810	135,512	1495.0	42.10	174.9	18.85	460.2	21.94	0.117	0.308	0.0033	Ge	N
51	雷電・朝日	42.91704	140.42479	252,321	3037.6	61.18	545.3	29.49	939.4	31.25	0.180	0.309	0.0065	Ge	N
52	昆布	42.84203	140.61998	52,722	607.3	27.04	108.6	12.76	149.1	12.60	0.179	0.246	0.0018	Ge	B
53	薬師	42.83364	140.59396	166,158	1923.8	48.66	309.0	22.30	599.2	24.87	0.161	0.311	0.0043	Ge	N
54	島牧村栄浜	42.67278	139.88835	4,665,156	2793.0	87.86	5890.3	97.88	35660.0	193.34	2.109	12.768	0.2050	Ge	B
55	文勢湖伊藤	42.78278	141.31309	91,750	2081.2	46.42	109.0	12.01	228.0	15.30	0.052	0.110	0.0023	Ge	N
56	鹿の子	43.61279	143.44217	171,851	3850.0	63.13	189.1	16.09	467.2	21.83	0.049	0.121	0.0038	Ge	B
57	北湯沢	42.61578	141.02289	68,188	1031.3	61.04	669.6	42.34	118.4	11.80	0.649	0.115	0.0125	NaI(Tl)	N
58	蟠溪	42.59000	141.02661	23,662	405.4	54.09	451.1	39.41	229.5	17.81	1.113	0.566	0.0030	NaI(Tl)	N
59	弁景	42.55823	140.98856	25,270	950.6	40.86	96.0	18.84	123.9	13.33	0.101	0.130	0.0046	NaI(Tl)	B
60	洞爺湖(四十三山噴気)	42.55964	140.83665	10,902	437.5	28.50	100.6	11.79	53.8	7.77	0.230	0.123	0.0023	NaI(Tl)	N
61	神恵内998	43.15551	140.45085	73,662	343.7	55.91	497.1	39.53	252.1	17.32	1.446	0.733	0.0136	NaI(Tl)	B
62	千走	42.64515	140.04215	133,233	704.2	81.40	764.1	59.87	376.5	26.04	1.085	0.535	0.0222	NaI(Tl)	N
63	宮内	42.67461	140.08537	35,655	959.5	46.23	235.5	26.46	174.5	14.00	0.245	0.182	0.0060	NaI(Tl)	B
64	二郎ラジウム	42.57666	140.23963	349,078	1023.2	54.19	3246.1	102.83	653.3	41.46	3.173	0.639	0.0680	NaI(Tl)	N
65	美利河	42.53928	140.25153	19,655	579.0	34.40	103.2	18.14	92.2	9.98	0.178	0.159	0.0030	NaI(Tl)	N
66	白別	42.22976	139.91876	202,428	1974.7	94.24	575.5	64.09	1231.8	44.65	0.291	0.624	0.0255	NaI(Tl)	N
67	貝取淵	42.19430	139.92837	49,416	1531.4	57.28	141.9	28.64	161.8	17.64	0.093	0.106	0.0070	NaI(Tl)	N
68	平田内	42.16115	139.99738	432,960	4998.2	154.81	4138.2	114.05	295.6	26.81	0.828	0.059	0.0830	NaI(Tl)	N
69	桜野	42.14801	140.29049	80,955	326.0	54.80	370.7	45.89	513.4	29.74	1.137	1.575	0.0136	NaI(Tl)	N
70	鉛川	42.17278	140.13118	62,521	447.7	46.41	168.2	37.99	481.6	26.10	0.376	1.076	0.0115	NaI(Tl)	B
71	落部上の湯	42.11963	140.37316	30,625	831.1	41.14	174.2	23.41	169.3	14.01	0.210	0.204	0.0030	NaI(Tl)	B
72	濁川	42.12898	140.44121	10,073	275.0	23.62	93.0	12.64	50.8	7.60	0.338	0.185	0.0020	NaI(Tl)	N
73	湯の岱	41.74766	140.24132	769,183	335.8	51.29	7864.1	153.08	93.7	17.53	23.416	0.279	0.1290	NaI(Tl)	N
74	知内	41.59739	140.29234	120,546	516.7	73.53	760.8	61.71	472.7	29.40	1.473				

第2表 バックグラウンドにおける測定結果
Table 2 Measurement results at background points.

測点No.	温泉地名	Lat (°)	Long (°)	Total_Counts (200-2900 KeV)	⁴⁰ K (1461 KeV)	error	²¹⁴ Bi (1764 KeV)	error	²⁰⁸ Tl (2614 KeV)	error	²¹⁴ Bi/ ⁴⁰ K	²⁰⁸ Tl/ ⁴⁰ K	線量率 (mR/hr)	センサー	備考
83	遠別町	44.65222	141.80000	108,491	2148.4	47.42	155.3	14.05	331.1	18.25	0.072	0.154	0.0028	Ge	BK
84	札幌市(1)	43.16944	141.39000	107,345	2402.4	50.16	160.0	14.54	300.1	17.43	0.067	0.125	0.0023	Ge	BK
85	札幌市(2)	43.01000	141.47667	94,689	1371.1	38.80	205.6	16.22	296.4	17.75	0.150	0.216	0.0025	Ge	BK
86	恵庭市	42.90667	141.60250	98,261	2291.8	48.82	154.0	13.82	252.3	16.11	0.067	0.110	0.0025	Ge	BK
87	追分町	42.92917	141.88389	61,599	1169.3	34.89	93.6	10.86	187.2	13.88	0.080	0.160	0.0018	Ge	BK
88	寿都町	42.75778	140.28278	126,387	1957.7	45.96	322.7	19.59	314.2	17.99	0.165	0.160	0.0031	Ge	BK
89	90歳市(1)	42.74278	141.40639	58,576	1238.5	35.89	80.0	10.49	164.0	13.19	0.065	0.132	0.0014	Ge	BK
90	90歳市(2)	42.79278	141.62222	43,801	955.2	31.52	50.4	8.08	95.0	9.95	0.053	0.099	0.0013	Ge	BK
91	苫小牧市(1)	42.70667	141.70750	79,950	1837.8	43.62	121.0	12.45	243.2	15.89	0.066	0.132	0.0015	Ge	BK
92	黒松内町	42.65500	140.30778	149,378	2069.0	47.09	308.6	19.13	500.6	22.69	0.149	0.242	0.0047	Ge	BK
93	苫小牧市(2)	42.66444	141.59417	67,354	1557.0	40.16	86.0	10.95	176.2	13.62	0.055	0.113	0.0018	Ge	BK
94	苫小牧市(3)	42.63500	141.62083	60,686	1165.1	35.00	100.3	10.55	149.2	12.51	0.086	0.128	0.0013	Ge	BK
95	瀬棚町	42.45694	139.85194	141,435	2751.7	53.60	261.9	17.65	449.2	21.28	0.095	0.163	0.0028	Ge	BK
96	八雲町	42.43967	140.30633	141,344	3395.4	59.35	284.0	18.28	322.3	18.26	0.084	0.095	0.0035	Ge	BK
97	留辺蘂町	43.72967	143.46567	113,780	2027.8	46.40	191.5	15.72	387.1	19.82	0.094	0.191	0.0033	Ge	BK
98	岩内町	42.97500	140.51800	139,004	3014.0	57.42	183.4	18.58	503.5	23.45	0.061	0.167	0.0038	Ge	BK
99	札幌市(3)	43.08145	141.33219	96,827	2315.6	50.58	113.9	14.19	291.1	17.34	0.049	0.126	0.0028	Ge	BK
100	登別市	42.53139	141.11250	63,746	1509.9	40.20	80.7	12.19	181.1	13.67	0.053	0.120	0.0018	Ge	BK
101	上富良野町	43.45300	142.51500	173,638	3377.8	59.46	243.0	18.14	654.0	25.65	0.072	0.194	0.0043	Ge	BK
102	大成町	42.23444	139.90111	19,904	686.5	35.15	59.1	13.40	95.8	10.60	0.086	0.140	0.0030	NaI(Tl)	BK
103	熊石町	42.13917	140.00556	15,994	612.2	28.14	104.3	15.77	86.0	9.62	0.170	0.141	0.0031	NaI(Tl)	BK
104	南茅部町	41.95389	140.92556	8,197	225.5	21.88	37.2	10.75	52.6	8.08	0.165	0.233	0.0015	NaI(Tl)	BK
106	函館市	41.77574	140.78219	21,496	455.9	35.34	151.2	25.41	83.4	9.72	0.332	0.183	0.0033	NaI(Tl)	BK
108	洞爺湖町	42.56797	140.80285	10,759	191.7	22.20	80.4	13.58	87.5	9.65	0.419	0.457	0.0030	NaI(Tl)	BK



第3図 Ge半導体検出器及びNaI(Tl)検出器のカウント数とγ線線量率の関係

Fig. 3 Relation between count numbers of Ge semiconductor detector or NaI(Tl) detector and gamma-ray dose.

の結果からは、多くの温泉湧出地でU系列の²²⁶Ra, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, Th系列の²¹²Pb, ²²⁴Ra, ²¹²Bi, ²²⁸Ac, ²⁰⁸Tl等の核種の放出が確認された。特に、U系列の²²²Rnを親核種とする²¹⁴Bi, Th系列の²²⁰Rnを親核種とする²⁰⁸Tlが大量に放出している地点が数多く確認された。⁴⁰Kに関しては、温泉湧出地とバックグラウンドの平均値がほぼ等しく、大きな差は認められなかった。本調査結果から14カ所の温泉湧出地において通常地域の5倍以上のγ線の放出が確認された。その内、11カ所はU系列の核種、3カ所はTh系列の核種の卓越することが判った。

VI. 3 γ線線量率

第4図には、地質図上に各測点のγ線線量率を示した。

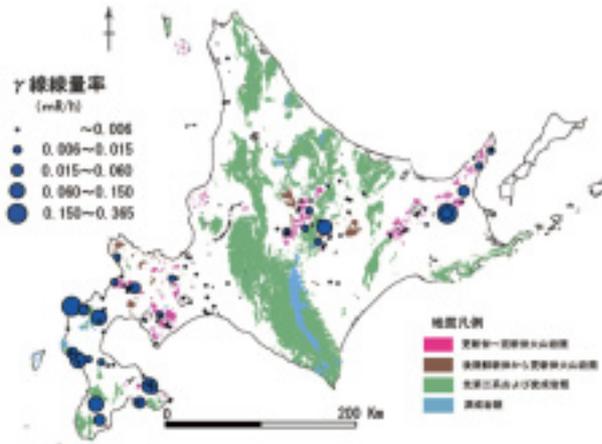
図のベースとなっているのは、北海道60万分の1地質図(北海道立地下資源調査所, 1989)で深成岩類, 新第三系および変成岩類, 後期鮮新世~更新世火山岩類, 更新世~完新世火山岩類を選択的に抽出したものである。第5図は温泉湧出地でのγ線線量率を対数表示した結果である。図中、赤の点線は温泉湧出地の平均値で、青の点線はバックグラウンドの平均値である。なお、データの番号は第1表の測点Noに対応している。

バックグラウンド値は、計26点で0.0013~0.0043 mR/hの幅を持ち、平均値は0.0027mR/hであった。一方、温泉湧出地計82カ所の平均値は0.0191mR/hである。バックグラウンドの平均値(0.0027mR/h)以上の線量率が観測された温泉湧出地は66カ所、平均値の2倍以上の値が観測された温泉湧出地は33カ所である。線量率の最大値は、養老牛温泉(測点No7)で観測され、バックグラウンド平均値の約135倍の0.365mR/hを示した。バックグラウンド平均値の10倍以上の線量率を示した温泉湧出地は8カ所あり、線量率の大きい順に示すと、養老牛, 栄浜, 幌加, 湯の岱, 平田内, 大船上の湯, 二股ラジュウム, 裏養老牛となる。γ線線量率の大きい温泉湧出地は、道南地域のほぼ全域, 大雪山系の一部と知床半島に沿って分布する。

VI. 4 ²¹⁴Bi(1764KeV)/⁴⁰K比

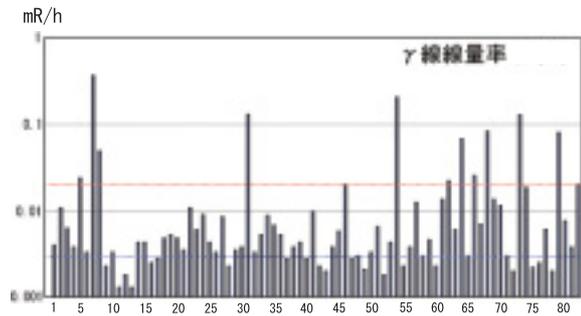
U/K, Th/Kの含有量の比は地質環境に関わらず岩石中ではほぼ一定の値を持つ(ADAMS and FRYER, 1964)。しかし、地下浅部におけるラドン等の放射性元素の濃集・移動・拡散現象により地表で測定される核比に変化が起こる。したがって、核比を調べることで、地下浅部で流体とともに移動する放射性核種の状況などが把握されることも期待される。

第6図には、U系列の²¹⁴Bi(1764KeV)と⁴⁰Kのカウン



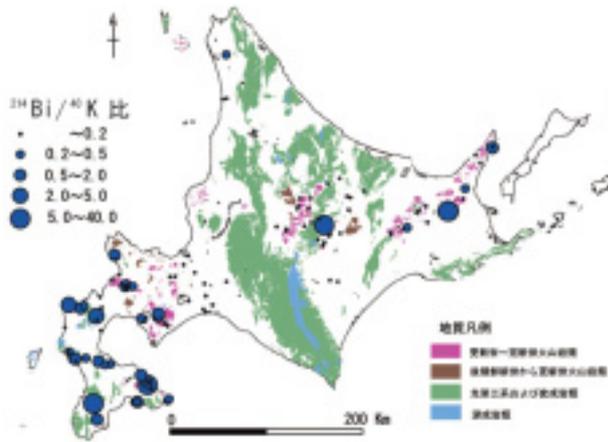
第4図 γ 線線量率分布 (全測点)

Fig. 4 Distribution of gamma-ray dose (All measurement points).



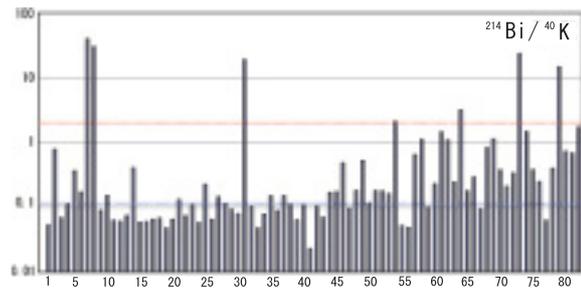
第5図 温泉湧出地における γ 線線量率 (赤点線は温泉湧出地の平均値, 青点線はバックグラウンドの平均値, 番号は第1表の測点Noに対応する.)

Fig. 5 Gamma-ray dose at hot springs (Red line is mean value of hot springs, blue line is mean value of background points, numbers correspond to measurement numbers in table 1).



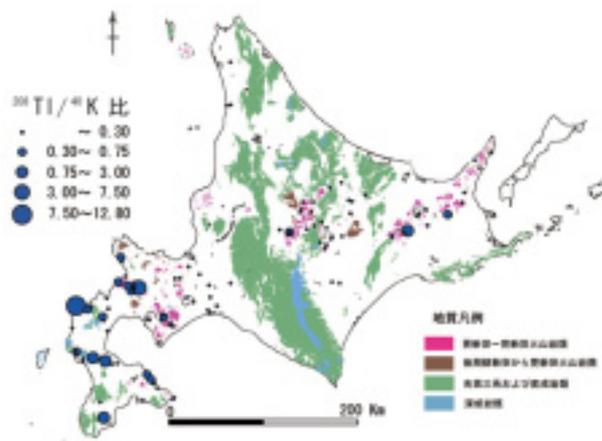
第6図 $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 比分布 (全測点)

Fig. 6 Distribution of $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ ratio (All measurement points).



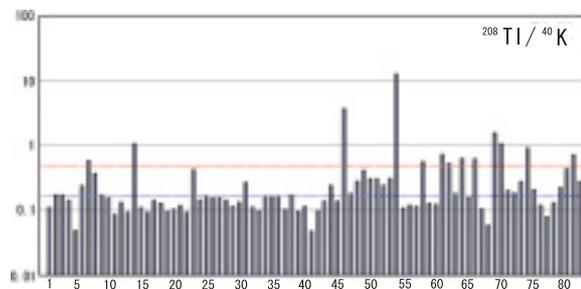
第7図 温泉湧出地における $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 比

Fig. 7 $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ ratio at hot springs.



第8図 $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ 比分布 (全測点)

Fig. 8 Distribution of $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ ratio (All measurement points).



第9図 温泉湧出地における $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ 比

Fig. 9 $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ ratio at hot springs.

ト数の比の分布を示した。

第7図は温泉湧出地の $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 比を対数表示した結果である。バックグラウンドにおける $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 比の平均値は、0.104である。それに対して温泉湧出地の平均値は1.87とバックグラウンドの約18倍の値を示した。

バックグラウンド平均値の2倍以上の $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 比が観測された温泉湧出地は32カ所あり、100倍を越える $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 比が観測された温泉湧出地は養老牛、裏養老牛、幌加、湯の岱、大船上の湯の5カ所である。その中でも養老牛温泉はバックグラウンドの380倍の $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 比が観測された。 $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 比の大きい地域は、道南地域のほぼ全域、大雪山系の一部と知床半島に沿って分布する。

VI. 5 $^{208}\text{Tl}(2614\text{KeV})/^{40}\text{K}$ 比

第8図には、Th系列の ^{208}Tl (2614KeV) と ^{40}K のカウント数の比の分布を示した。第9図は温泉湧出地の $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ 比を対数表示した結果である。バックグラウンドにおける $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ 比の平均値は0.153である。それに対して温泉湧出地の平均値は0.454でバックグラウンドの約3倍の値を示した。バックグラウンド平均値の2倍以上の $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ 比が観測された温泉湧出地は20カ所あり、5倍を越える $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ 比が観測された温泉湧出地はニセコ山田、栄浜、桜野、鉛川、知内の5カ所である。その中でも栄浜温泉は、バックグラウンドの約80倍の $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ 比を示した。 $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ 比の大きい地域は、主に道南地域に分布する。

VII. まとめ

北海道の温泉湧出地で γ 線を測定した。結果は以下にまとめられる。

(1)温泉湧出地82カ所の中でバックグラウンド平均値の5倍以上の γ 線線量率が測定されたのは14カ所であった。 γ 線線量率は、主に道南地域、大雪山系、知床半島で高い値を示した。

(2) $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 比は γ 線線量率と同じ地域で高い値を示した。

(3) $^{208}\text{Tl}/^{40}\text{K}$ 比は、主に道南地域で高い値を示した。

謝 辞

本研究には、経常調査費及びエネルギー資源調査費を用いた。現地調査に際しては、松波武雄氏、若濱 洋氏(元北海道立地下資源調査所)に協力頂いた。また、道内各地の温泉地の温泉所有者や温泉管理者をはじめとして、多くの方々からご協力を頂いた。分布図の基図として用いた地質図は、当所の小澤 聡研究職員から提供頂いた。また、当所の藤本和徳環境地質部長には、原稿の校閲をして頂いた。ここに銘記して、感謝の意を表する次第である。

文 献

- ADAMS,J.A.S(1961):Radiometric determination of thorium, uranium, and potassium in the field, Geol. Soc. Amer. Spac. Paper68, 125.
- ADAMS,J.A.S and FRYER G.E.(1964):Portable gamma-ray spectrometer for field determination of thorium,uranium and pottasium,Natural Radiation Environment,Chicago Univ. Press, 577-596.
- 秋田藤夫・松波武雄・若濱 洋・早川福利(1995):北海道幌加温泉における γ 線スペクトル調査. 温泉科学, 第45巻, 第4号, 277-1995.
- 秋田藤夫・柴田智郎(1998):Ge半導体検出器を用いた γ 線スペクトル調査—温泉湧出地での事例—. 物理探査学会第99回(平成10年度秋期)学術講演会講演論文集, 261-265.
- 秋田藤夫・柴田智郎(2006):北海道の温泉湧出地から放出される γ 線. 第59回日本温泉科学会大会講演要旨集, 31.
- COVELL,D.F.(1959):Determination of gamma-ray abundance directly from the total absorption peak.,Anal.Chem.,31, 1785-1790.
- 北海道立地下資源調査所(1980):北海道の地質と資源I, 北海道の地質, 60万分の1北海道地質図. 北海道立地下資源調査所, 113p.
- 科学技術庁(1974):NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ機器分析法. 75p.
- 科学技術庁(1990):ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー. 315p.
- 日本アイソトープ協会(編)(1984):アイソトープ便覧(改訂3版), 丸善, p844.
- 落合敏郎(1992):地下水・温泉調査のための放射能探査法, リーベル出版, p173.

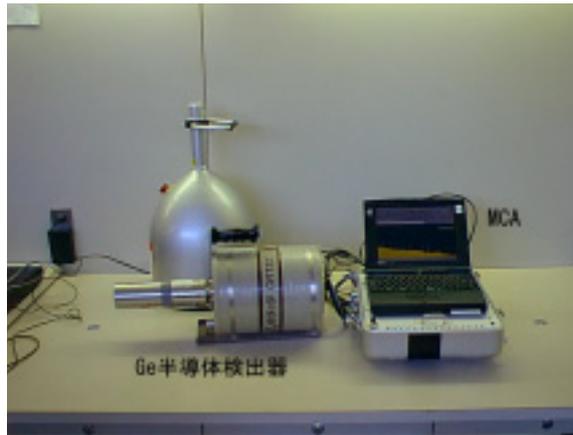


写真1 Ge半導体検出器を用いたMCA
Photo 1 The MCA used Ge semiconductor detector.



写真4 Ge半導体検出器を用いたMCAでの測定状況
(瀬石温泉)
Photo 4 Measurement situation of the MCA used Ge semiconductor detector(Seseki hot spring).



写真2 NaI(Tl)検出器を用いたMCA
Photo 2 The MCA used NaI(Tl) detector.



写真5 NaI(Tl)検出器を用いたMCAでの測定状況
(千走温泉)
Photo 5 Measurement situation of the MCA used NaI(Tl) detector(Chihase hot spring).



写真3 NaI(Tl)線量率計
Photo 3 The NaI(Tl) dosimeter.



写真6 NaI(Tl)線量率計による測定状況
(雄阿寒温泉)
Photo 6 Measurement situation used NaI(Tl) dosimeter(Oakan hot spring).