



地質と環境放射線の関連性に関する研究

永崎 靖志 相馬 丞*

東濃地科学センター
*安全部

資料番号: 91-8

Study on the Correlation Between Geological Features
and Environmental Radiation

Yasushi Nagasaki Susumu Soma*
(Tono Geoscience Center
*Safety Division)

我が国の環境放射線強度分布には、地域差があることが報告されている。この地域差の主な要因として地殻の岩石に含まれる天然放射性核種による放射線が挙げられる。

動燃事業団では国内におけるウラン資源調査探鉱において、車載型放射線測定装置を用いた調査を実施した。その結果、地質と環境放射線の関連性に関する膨大かつ貴重なデータを蓄積した。

本稿では、過去の環境放射線データの吸収線量単位への変換の試みと、動燃事業団が保有する12本の円筒形NaI (TI) 検出器を備えた車載型放射線測定装置に付加した線量計測システムの概要について紹介する。

1. はじめに

原子力安全委員会の定める国の平成3～7年度の環境放射能安全研究年次計画においては、環境放射線による国民線量評価に関する研究が挙げられている。一般公衆の生活環境における天然放射性核種を含む各種放射線源については、国土全般におけるその強度分布や特性を把握することが重要となる。このためには、我が国のバックグラウンド放射線レベルとそのエネルギー分布を把握することがまず第一に必要となる。また、平常時における自然放射線の存在とその地域差の状況は、自然放射能・放射線に関する一般公衆の正しい理解にも役立つものと考えられる。

動燃事業団では、過去に行ったウラン資源調査探鉱の結果、日本全国の地質と環境放射線に関する貴重なデータを有していることから、環境放射能安全研究年次計画に基づき、平成2年度より“地質と環境放射線の関連性に関する研究”を開始することとなった。

2. 我が国におけるウラン資源調査探鉱の歴史

我が国の国土全般におけるウラン資源調査探鉱

は、核原料資源調査事業の一環として、昭和30年より通商産業省工業技術院地質調査所による車載型放射線測定装置（以下、カーボン）による調査に始まる。同年末には、岡山県と鳥取県の県境である人形峠のウラン鉱床発見の端緒をつかむ等放射能異常地域を数多く発見する成果を挙げ、昭和44年に調査を終了している。

原子燃料公社（動燃事業団の前身）および動燃事業団は我が国のウラン資源の賦存状況を把握するために、昭和31年より調査を開始し、昭和63年に終了した。この間、カーボン調査による調査面積は約12万km²、延べ走行距離は約11万kmに達している。（図1参照）

3. カーボン測定の実理

ウラン鉱床は、ウランが娘核種に崩壊していく過程において、 α 線、 β 線、 γ 線という放射線を放出する。したがって、これらの放射線をいくつかの簡便な方法で検出することによって、ウラン鉱床の露出部すなわちウラン露頭を発見することが可能となる。

カーボンはこの放射線の中で最も透過力の大き

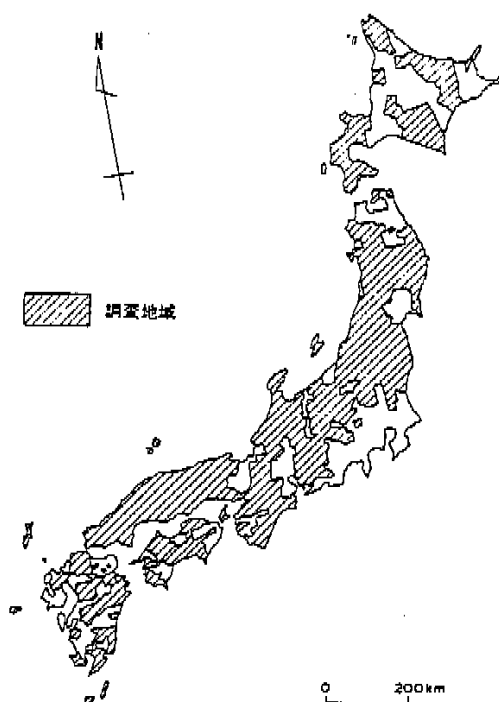


図1 カーボン調査地域

いγ線を検出する方法であり、ウランの娘核種であるビスマス (^{214}Bi) やトリウムの娘核種であるタリウム (^{208}Tl) 等の放出するγ線を計測することにより、断層の推定や地質構造区分を行うことが可能のため、民間の地質コンサルタント会社等により地下水調査や温泉調査への利用も進められている¹⁾。

NaI(Tl)シンチレーション検出器にγ線が入射すると、そのγ線は蛍光を発生し、光電子増倍管を経て最終的にそのエネルギーに見合った強度の電気的パルスとなる。このパルス信号を単位時間計数することにより、その場の放射線強度が明らかとなる。

NaI(Tl)シンチレーション検出器は、取扱いが割合に容易であるうえ、検出効率が高く、エネルギー波高分布が得られるという特徴があり、γ線測定を必要とする分野で幅広く使用されている²⁾。

動燃事業団が当初、国内ウラン資源調査探鉱に用いたカーボンは、4輪駆動車にγ線の検出器として5"φ×5" NaI(Tl)シンチレーション検出器を1本搭載していたが、国内ウラン資源調査探鉱の終了に伴いすでに廃棄している。

カーボンでの測定は、調査対象地域の道路を時速20～30kmで走行し、走行時の放射線計数値をレコーダーで記録し、γ線異常地点を発見する。γ線異常地点についてはその原因を探るために地質調査

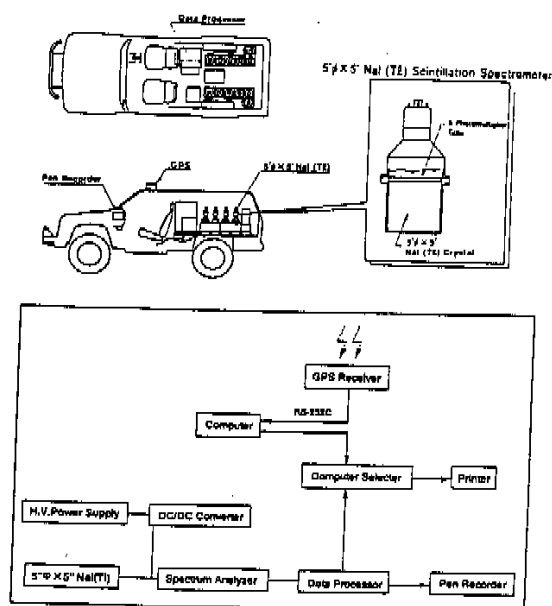


図2 現有カーボンシステム構成

を実施している。

現在、動燃事業団が現有するカーボンではウラン、トリウム、カリウムそれぞれのエネルギーの弁別により地質構造の識別、岩石の区分にも利用できるように改良を加えたシステムとなっており、5"φ×5" NaI(Tl)シンチレーション検出器が12本搭載されている。データはレコーダーおよびプリンターにより記録される(図2参照)。

4. カーボンにおける計数率と吸収線量率の関係

国内ウラン資源調査探鉱活動により蓄積した環境放射線データは、計数率(単位時間当りのγ線計数値)表示であることから、この計数率単位を環境放射線量の評価が可能な吸収線量率単位等に変換する必要がある。検出器固有の計数率表示から吸収線量率表示への変換は、吸収線量率を直接測定する基準測定器と現有カーボンとの相関および現有カーボンと国内ウラン資源調査探鉱データとの相関を合わせることで行った。以下にその結果を述べる。

4.1 基準測定器と現有カーボンとの比較について

現有カーボンの表示する計数率と吸収線量率との相関を知るため、基準測定器として京都大学原子炉実験所所有の3"φ球形 NaI(Tl)シンチレーション検出器と通商産業省工業技術院電子技術総合研究所で検定を受けている4気圧アルゴン電離箱を用いた。2つの測定器による測定値の関係は、あらかじめ

め京都大学原子炉実験所で調査している。本研究では、この結果をもとに3"φ球形 NaI(Tl)シンチレーション検出器と現有カーボンとの比較に関する調査を実施した。なお3"φ球形 NaI(Tl)シンチレーション検出器の測定値は照射線量単位であるレントゲンで表わされるがSI単位系になおすため、原子力安全委員会の安全審査指針「環境放射線モニタリングに関する指針について」に示されている換算係数 8.7×10^{-2} を乗じて便宜的に吸収線量に換算している³⁾。

① 測定：

比較測定は、兵庫県宝塚市から六甲山系を経由して六甲アイランドに至る経路で実施した。測定点は特に地形と空間線量率の相違を考慮して選定し、比較的平坦な場所やトンネル、片側が谷になっている場所および橋上等線源分布が多様な場所を選んだ。各測定点の状況については、A点は公共の駐車場、B点は民家の駐車場、C点はトンネル内、D点は花崗岩露頭脇、E点は公共の駐車場、F点は花崗岩露頭脇、G点は片側が崖、H点は橋上となっている。

測定器はそれぞれ地上1 m高さに設置した。

測定時間は1地点につき約30分である。

② 測定結果：

図3に各々の測定点における3"φ球形 NaI(Tl)シンチレーション検出器による吸収線量率と現有カーボンによる計数率の測定結果を示す。2つのデータの分布は以下の回帰直線で表わされる。

$$X(\text{nGy/h}) = 1.13 \times 10^{-2} [T(\text{cps}) - 4791(\text{cps})]$$

X：カーボンの計数率を吸収線量率に変換した値

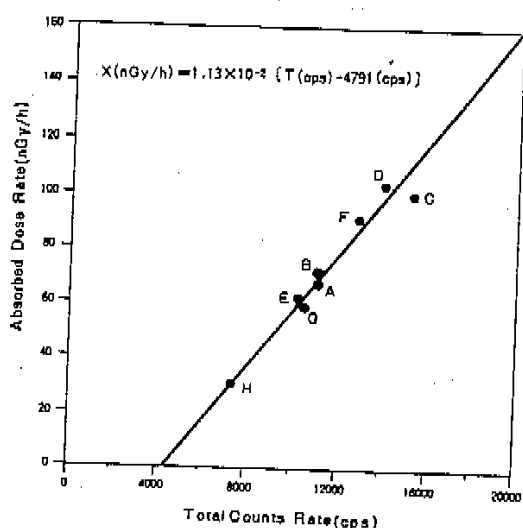


図3 現有カーボンによる全計数率と3"φ NaI(Tl)スペクトルメータによる吸収線量率の関係

T：現有カーボンでの計数率

図中C点のトンネル内の計数率が他の測定点に比べて大きくなる傾向が著しいが、これはトンネル天井部および側壁面等から放出されるγ線も計数しているためと考えられる。

この結果では相関係数は、

$$r = 0.972$$

と、きわめて良好な結果となっている。このことは、空間放射線のエネルギー分布や方向分布が変化しても線量率当たりの計数率に与える影響が相対的にはそれほど大きくないことを示すものと考えられる。

4.2 現有カーボンと国内ウラン資源調査探鉱データの比較について

基準測定器と現有カーボンとの比較結果を受けて、さらに過去に蓄積した国内ウラン資源調査探鉱データとの関係を検討した。

① 測定：

比較測定は、過去にカーボン測定が行われた岐阜県東濃地域（東濃地科学センター周辺）で、現在に至るまで道路状況等にあまり変化のない測定ルート（全長4.5km）を選定した。このルートを時速約7 km/hで走行し、過去のデータと状況変化のない放射線量ピーク箇所（13ポイント）を抽出しその関係を検討した。（図4参照）

② 測定結果：

図5に各々の放射線量ピーク箇所における吸収線量率〔現有カーボンの計数率を基準測定器（3"φ球形NaI(Tl)シンチレーション検出器）で吸収線量率に校正した値〕と過去のカーボン測定データである計数率を比較した。図5に示された回帰直線は以下の式で表わされる。

$$X(\text{nGy/h}) = 7.50 \times 10^{-4} \times T(\text{cpm}) + 18.4$$

X：過去のカーボン測定データである計数率を吸収線量率に変換した値

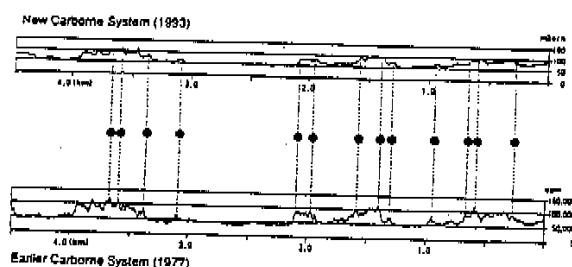


図4 カーボンチャート（上段：現有、下段：過去）

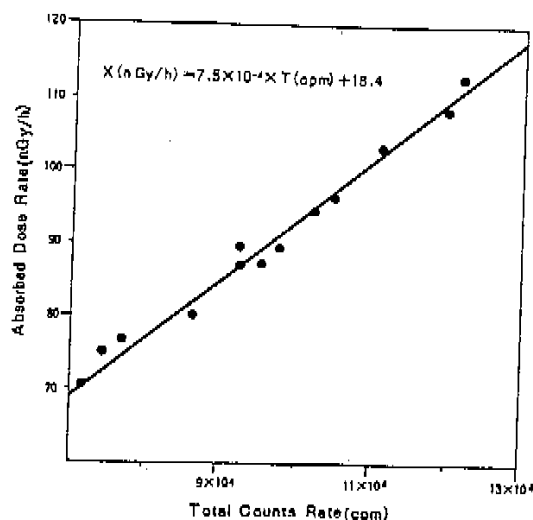


図5 過炭のカーボンによる全計数率と現有カーボンによる換算吸収線量率の関係

T: 計数率 (過去のカーボン測定データ)

この結果の相関係数は、

$$r=0.956$$

と、きわめて良好な結果となっている。

この結果、間接的ではあるが国内ウラン資源調査探鉱のカーボンデータが吸収線量率として換算され環境放射線量評価へ応用が可能となった。

5. 線量計測システムについて

現有カーボンは、前章で述べたように計数率を吸収線量率へ変換することが可能であることがわかったが、この場合絶えずレコーダーチャートからの読みかえが必要となる。そこでγ線エネルギー分布から環境中における放射線量評価が行える線量計測システムの整備を検討した。

5.1 環境の線量評価について

精度の良いγ線の測定評価を行うためには、γ線応答関数の正確な情報が必要となる。

通常NaI(Tl)シンチレーション検出器によって得られるγ線エネルギー波高分布は、検出器自身の応答特性を反映した吸収エネルギー分布であり、真のγ線エネルギー分布ではない。そのため測定された検出器のエネルギー波高分布と検出器の応答関数から入射γ線エネルギー分布に変換することが必要である。本システムでは、測定されるエネルギー分布を1次の近似的なγ線エネルギー分布と仮定して逐次真のγ線エネルギー分布に近づけていく逐次近似法を用いて解析を行うこととした。以下にその手順を示す。

まず、γ線エネルギー波高分布の第一近似 ϕ^1 として測定された波高分布 C^0 をとる。

$$\phi^1 = C^0 \quad (1) \text{式}$$

これにレスポンス行列Rを乗じたものを C^1 とする。

$$C^1 = R \cdot \phi^1 \quad (2) \text{式}$$

次に第二近似の ϕ^2 として ϕ^1 と C^1 の対応する要素の比に C^0 の対応する要素を乗じたものとする。

すなわち、 ϕ^2 の第i要素は、

$$(\phi^2)_i = ((\phi^1)_i / (C^1)_i) \cdot (C^0)_i \quad (3) \text{式}$$

を与えることができる。 ϕ^2 にさらにRをかけたものを C^2 とする。

$$C^2 = R \cdot \phi^2 \quad (4) \text{式}$$

同様に、

$$(\phi^3)_i = ((\phi^2)_i / (C^2)_i) \cdot (C^0)_i \quad (5) \text{式}$$

このような手続きを数十回繰り返すことにより、 ϕ は誤差内に収束し、γ線エネルギー分布を得ることができる。

ここで、計算時間を効率良くするために計算の打ち切り方法は以下の方式とした。

- ① ある一定のチャンネル群の中で最大の ϕ_k (逐次回数のK後のγ線数)を求める。
- ② その最大 ϕ_k より一定値を乗じて求めた値D以上の他チャンネル群の ϕ_k について逐次回数K-1で求めた ϕ_{k-1} と比較する。
- ③ すべてのチャンネル群における $\phi_k - \phi_{k-1}$ が一定値以下になった場合を収束したと見直し計算を終了する。

最後に線量当量換算係数を乗じて各々の線量値に変換する。なお、線量当量換算係数としては、ICRP Publication.51の平衡入射による1cm線量当量換算係数を用いた⁴⁾。(図6参照)

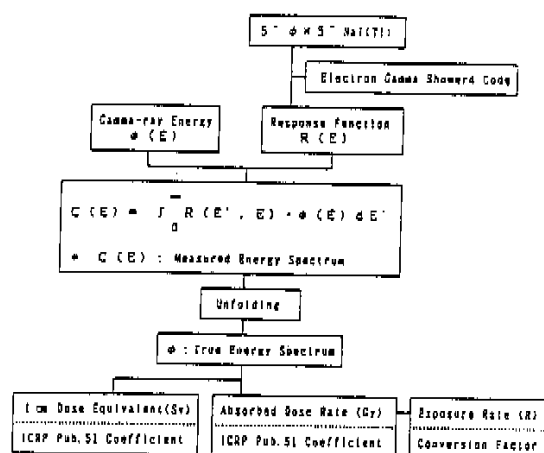


図6 線量計測システムフローチャート

表1 線量計測システムによる測定結果

CH.	UP-ENERGY	FLUX DATA	COUNT DATA	CH.	UP-ENERGY	FLUX DATA	COUNT DATA
1	3.1750-02	0.00000+00	0	17	1.3340+00	1.40960+00	1158
2	1.4750-01	8.98180-01	5050	18	1.6880+00	1.04820+00	209
3	2.8170-01	2.13580+00	8126	19	1.7810+00	7.88350+00	104
4	2.7500-01	1.38100+00	5440	20	1.8750+00	1.31540+01	122
5	4.6880-01	7.87340+00	1333	21	1.9890+00	7.25210+00	71
6	5.6250-01	4.52630+01	2255	22	2.0630+00	1.68250+01	53
7	6.5630-01	5.89810+01	1820	23	2.1550+00	3.07190+01	53
8	7.5000-01	8.12300+01	2226	24	2.2500+00	1.90460+00	76
9	8.4380-01	8.09680+01	1322	25	2.3440+00	7.83460+00	56
10	9.3750-01	3.81930+01	751	26	2.4380+00	4.99890+00	50
11	1.0310+00	2.38000+01	720	27	2.5310+00	4.37040+00	36
12	1.1250+00	3.37740+01	843	28	2.6250+00	1.13980+00	38
13	1.2190+00	1.21320+01	555	29	2.7190+00	6.41780+01	154
14	1.3130+00	1.24330+01	503	30	2.8130+00	0.00000+00	32
15	1.4060+00	2.06750+01	332	31	2.9060+00	0.00000+00	1
16	1.5000+00	3.28460+01	351	32	3.0000+00	0.00000+00	1

FILE NAME => A:AD1.DAT START DATE : 1992/12/4 9:19:11
 MEASURE TIME : 31. TOTAL COUNTS : 36423. ITERATION : 27
 DOSE RATE1 = 1.420-01 micro.Sv/h. 1.200-01 micro.GY/h. 1.380-01 micro.R/h
 DOSE RATE2 = 1.790-01 micro.Sv/h. 1.180-01 micro.GY/h. 1.360-01 micro.R/h
 DOSE RATE3 = 1.280-01 micro.Sv/h. 1.100-01 micro.GY/h. 1.280-01 micro.R/h
 DOSE RATE4 = 1.180-01 micro.Sv/h. 1.030-01 micro.GY/h. 1.180-01 micro.R/h

またNaI(Tl)シンチレーション検出器の応答関数を求めるコードとして、電子、陽電子および光子の挙動をモンテカルロ計算法により解析する電磁カスケード計算コードEGS4を用いた。このEGS(Electron Gamma Shower)コードとは、1960年代から米国のSLAC (Stanford Linear Accelerator Center)において開発されてきた「電磁カスケード」をシミュレーションするモンテカルロ計算コードである。EGS4コードはNRCC (National Research Council of Canada)が低エネルギー電子からの制動放射の改良等、主として低エネルギー領域を整備、拡張したものである⁵⁾。

5.2 測定

線量計測システムは、カーボン内に積載されているパソコンで取扱うことができる。任意の測定点でのγ線エネルギー分布データと緯度・経度情報を人工衛星信号より同時に取り込むことで、詳細なデータ管理が可能となった。

表1に任意の地点における環境放射線測定データを示す。

データは1cm線量当量率の他、吸収線量率および照射線量率が示されている。なお、γ線エネルギーは0.1MeV~3.0MeVの範囲をマルチチャンネルアナライザーにより32群に分割しており、各々のチャンネルでの線束データ、カウント値、逐次法によるアンフォールディングの回数等が表示される。測定は、線量測定および位置計測を含めて、1地点約3

分程度である。

8. おわりに

国内におけるウラン資源調査探鉱の終了に伴い、膨大でかつ貴重な環境放射線に関するデータの有効利用方策の一つとして実施してきた本研究は、過去に取得した環境放射線データを基準測定器等との比較試験を通じて間接的ではあるが環境放射線量評価に必要な吸収線量単位に変換するすることが可能であることが明らかになった。

今後、本研究を国民線量評価に資する環境放射線量評価へ応用するためには、特に人口の集中する都市部における評価等を付加していくことが必要不可欠である。また、我が国における環境放射線測定は、各研究者や各機関がそれぞれの立場において実施してきているため、今後は国や大学等の研究者と連携を密にし研究を進めていきたいと考えている。将来的には、これら各機関の測定データが一元的に管理、利用できるような体制の確立が望まれるところである。

参考文献

- 1) 木村重彦：自然γ線による地層割れ目の間接的調査法、職業土木Vol. 64, (1986)。
- 2) 図解・物理探査、物理探査学会 pp86~87 (1989)。
- 3) 環境放射線モニタリングに関する指針について、原子力安全委員会指針集、原子力安全委員会 pp971 (1989)。
- 4) ICRP Publication 61, 体外放射線に対する防護のためのデータ、日本アイソトープ協会 (1988)。
- 5) W.R.Nelson: The EGS 4 Code System, SLAC265 (1985)。