環境放射線の車による観測 (Ⅱ)*

— 北海道における観測結果 —

蛭田陽一、長門 徹、沖野典夫、丹治辰男、望月 定**

室蘭工業大学 工学部 情報工学科

Abstract. Using a high pure germanium portable spectrometer installed in a car, a survey of the distribution of environmental radiation levels was made in Hokkaido Island. In addition to the car-borne survey, in-situ monitorings were performed at some specific places selected in advance. Driving speed of the car was held from 40 to 50 km/h. The survey routes covered almost all areas along the main roads in Hokkaido.

The values of absorbed dose rates in air due to gamma rays were found to be distributed from 20 to 106 nGy/h, and the mean rate was calculated to be 38.2 nGy/h. The variation of total absorbed dose rate was found to be mainly originated in the variation of dose rate due to gamma rays radiated from the nuclides of Th-series.

1. まえがき

環境放射線レベルは、環境条件によって変動しており、地域による特性を有する。この地域特性を調査しておくことは、その後の環境放射線レベルの変動を知る上で必要なことである。特に、近年のように原子力発電所における事故や、核実験または核施設の解体によって生じる放射性物質による汚染の拡がり地球規模となっており、その汚染を評価する (Yamamoto et al.1990) 上でも重要である。しかし、広い地域にわたる環境放射線レベルの調査報告は少ない。

日本国内では、阿部等 (1981) が全国におよぶ調査を行なっているが、測定は固定点で行なわれた。また各地域別では、徒歩または電車、車等を用いる移動連続測定により東京都内を北原等 (1988) や長岡等 (1990a、1990b) が、岐阜県下を下等 (1993) が調査をしているが地域的にはまだ少なく、さらに広域の調査が必要とされている。

今回、著者等は北海道全域にわたる環境放射線分布図を短期間に作成することを目的として、可搬型高純度 Ge 半導体検出器を車に搭載し、走行しながら連続測定を行なった。

* An environmental radiation survey by a car (Ⅱ) -Results of the survey in Hokkaido-

**Youichi Hiruta, Toru Nagato, Michio Okino, Tatsuo Tanji, and Sadamu Mochizuki, Dept. of Eng., Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumotocho, Muroran 050, Japan

得られた計数のエネルギー分布からU-系列、Th-系列、K-40、人工核種別にそれぞれの放射線レベルを算出した。この報告では、得られた結果とその地域的な特徴について述べる。

2. 測定器及び測定方法

測定器及び測定時間は表-1に示した。測定器は、可搬型高純度Ge（以下HPGeと記す）半導体検出器とNaI(Tl)シンチレーション（以下NaIと記す）検出器を用いた。測定時間は、HPGe半導体検出器が900sec、NaI検出器が600secとした。測定には車を使用した（蛭田他、1996）。図-1に示すように車内に測定器を搭載した。

Table 1. Apparatus used. Detector dimension and measuring time.

Apparatus	Detector	Measuring Time
High Pure Germanium Spectrometer	49.9mm ϕ $\times$ 37.8mm	900sec
NaI(Tl) Scintillator	25.4mm ϕ $\times$ 50.8mm	600sec

T: Tripod G: HP-Ge sensor N: NaI(Tl) sensor DA: DC/AC inverter C: Controller
MCA: Multi-channel analyzer PC: Personal computer S: Spring
H: Height from the ground surface (=80cm)

Fig. 1. Schematic diagram of the measuring system.

HPGe半導体検出器とNaI検出器は、三脚を利用して固定した。特に、HPGeの検出部は振動を避けるために上下方向からバネで吊した。車種の違いによる検出効率の変化などの影響が無いよう車は同じものを用い、また車内における三脚及び測定器の位置は測定期間中常に一定とした。HPGe半導体検出器とNaI検出器の検出部は下向きにセットした。この時、地表面から検出器までの距離は80cmであった。

電源は車のシガーレットライター部から、DC-ACインバータ（容量360W）によりDC12VをAC100Vに変換して各測定器に供給した。HPGe半導体検出器に必要な冷却用液体窒素は測定期間に応じて10～15ℓ携行した。

観測車の平均速度は40～50 km/hとした。走行しながら連続測定を行なったので、HPGe半導体検出器によって得られる測定結果は、測定時間中に走行した10～12 km間の平均的なガンマ線計数スペクトラムである。走行距離40～50 kmおきに車を停止して固定点測定を行なった。固定点は道路からはずれて四方が50 m以上平坦な裸地を選んだ。

測定位置及び走行区間は観測中に現在地を確認しながら地図上に記載した。HPGe半導体検出器のデータはコンピュータにてフロッピーに集積した。

3. 測定期間及び地域

測定ルートは図-2に示した。測定期間は1994年4月から1995年7月にわたり、その間6回の観測を行なった。北海道を大きく4地域（東部、中央部、南部、北部）に分けて測定を行なったが一部重複しているところもあった。

Fig. 2. Map of the survey routes in Hokkaido.

測定ルートは主要道路を中心に、北海道内を沿岸部から内陸部へとメッシュ状になるように選んだ。固定点は98地点で、図-3に示した。阿部等(1981)と同一地域には番号に○印を付けた。

4. データ解析

観測から直接得られるデータは、エネルギーに対する計数スペクトルである。そのスペクトルから核種を同定し、U-系列、Th-系列、K-40、その他人工核種として算出した

Fig. 3. Map of the stationary measuring points (1 ~ 98).

○ denotes the same point where performed by Abe et al. (1981).

(蛭田他、1996)。その計算はBeck等(1972)の方法を用いた。また車による遮蔽効果は26%とした(蛭田他、1996)。

5. 測定結果

結果は図-4から9に測定地域別に示した。各図の(A)は、U-系列、Th-系列、K-40それぞれの値、及びその合計が測定点順に示されている。測定点の所在地を図に示した。

U-系列、Th-系列、及びK-40は、照射線量率($\mu\text{R}/\text{h}$)で示した。合計は、それらの和を空気吸収線量率(nGy/h)で表わした。(B)は全照射線量率中のU-系列、Th-系列、及びK-40存在比率を%で示した。図-10は、地図上に測定ルートに沿って結果を示した。この図では、U-系列、Th-系列、K-40及びその他人工核種の合計である全照射線量率を空気吸収線量率(nGy/h)で示し、 $20\text{nGy}/\text{h}$ 間隔で表わした。同一ルートを複数回通過し測定値の範囲が異なる場合は二重に示した。

図-11は、固定点における空気吸収線量率(nGy/h)を、 $20\text{nGy}/\text{h}$ 間隔で

Fig. 4. Survey result in the southern area (around Muroran).

Distribution of absorbed dose rates and exposure in air due to gamma rays (A), and ratio among U-series, Th-series and K-40 (B).

Fig. 5. Survey result in the southern area (Muroran to Niseko via Oshamanbe and via Noboribetsu).

Distribution of absorbed dose rates and exposure in air due to gamma rays (A), and ratio among U-series, Th-series and K-40 (B).

Fig. 6. Survey result in the southern area (Oshamanbe to Otaru via Hakodate).

Distribution of absorbed dose rates and exposure in air due to gamma rays (A), and ratio among U-series, Th-series and K-40 (B).

Fig. 7. Survey result in the central area (Muran to Furano via Sapporo and Asahikawa).

Distribution of absorbed dose rates and exposure in air due to gamma rays (A), and ratio among U-series, Th-series and K-40 (B).

Fig. 8. Survey result in the eastern area (Murooran to Abashiri via Nemuro).

Distribution of absorbed dose rates and exposure in air due to gamma rays (A), and ratio among U-series, Th-series and K-40 (B).

Fig. 9. Survey result in the northern area (Rumoi to Asahikawa via Wakkanai and Nayoro).

Distribution of absorbed dose rates and exposure in air due to gamma rays (A), and ratio among U-series, Th-series and K-40 (B).

Fig. 10. Distribution of absorbed dose rates in air due to gamma rays in Hokkaido.

These data were obtained by car-borne survey.

表わした。

6. 考察

6. 1 環境放射線レベルの分布について

環境放射線レベルの分布には、いくつか特徴的な変動が見られた。北海道全体の平均値は、 38.2 nGy/h であった。阿部等 (1981) の平均値は 69.4 nGy/h であるが、宇宙線の寄与 30 nGy/h を差し引くとほぼ一致した。また、 60 nGy/h 以上の高い地域は中央部の岩見沢-士別間、東部の帯広-根室間そして南部の長万部-函館間であった。また、 20 nGy/h 以下の低い地域は、道南近辺の登別-喜茂別と東部の斜里-羅臼間であった。

つぎに、各地域ごとにその特徴を述べる。

Fig. 11. Distribution of absorbed dose rates in air due to gamma rays.

These data were obtained from in-situ monitorings at stationary points.

6. 1. 1 道南域 (室蘭近辺、道南近辺、道南)

室蘭近辺 (図-4) は、室蘭市から伊達市が 30 nGy/h 前後を、伊達市から内陸に向けて昭和山、留寿都村、真狩村、ニセコ町までは 40 nGy/h を越える比較的高い値を示した。この地域では、Th-系列の比率が上りTh-系列の値そのものも大きくなっている。ニセコ町から豊浦町へと南下すると 30 nGy/h 前後となり、U-系列、Th-系列、及びK-40もほぼ同比率となっている。

道南近辺 (図-5) は、全体に $20 \sim 30 \text{ nGy/h}$ であった。U-系列、Th-系列、及びK-40はほぼ同比率で存在している。ただニセコアンヌプリで 50 nGy/h の高い値を示し、ここではTh-系列の存在比が増加している。

道南 (図-6) は、長万部から海沿いに八雲町、大沼、函館市、江差町、寿都町まではいずれも高い値を示し、特に長万部町では観測中最も高い値、 109 nGy/h を示した。Th-系列の存在比は高く、その値も大きい。U-系列、K-40は特に大きな変動はなかった。そして、泊村、積丹町、小樽市から内陸部の中山峠までは平均的な値、 $30 \sim 40 \text{ nGy/h}$ を示した。また、U-系列、Th-系列、及びK-40の比率はほぼ等しくなった。

6. 1. 2 道央域

道央域の観測では、道北、道東、道南の一部を含んでいる（図-7）。

室蘭市から内陸の札幌市へ向けて徐々に高くなり $40 \sim 60 \text{ nGy/h}$ で変動した。札幌市近辺では 60 nGy/h を越すところもあった。札幌市から北へ岩見沢市、旭川市へ向かうとさらに増加し、旭川市で 71 nGy/h を示した。士別市から名寄市、さらに沿岸部の天塩町、浜頓別町にかけては、 $20 \sim 40 \text{ nGy/h}$ となり、内陸部の深川市、富良野市、芦別市、夕張市にかけては比較的高く、 $40 \sim 60 \text{ nGy/h}$ を示した。

Th-系列の存在比率が全体にわたって高く、特に、 40 nGy/h 以上を示す地域では顕著である。

6. 1. 3 道東域

室蘭市から沿岸を襟裳岬へ、そして内陸の帯広市からさらに沿岸部に出て釧路市、厚岸町と徐々に高くなり、厚岸町で 69 nGy/h を示した（図-8）。Th-系列の比率は、帯広市を過ぎて急激に増加し川湯温泉まで続いている。厚岸町から内陸の標茶町までは徐々に減少し $40 \sim 60 \text{ nGy/h}$ の間で変化した。弟子屈町近辺の川湯温泉から斜里町へ北上すると 74 nGy/h から 15 nGy/h に急激に減少し、ウトロ（知床）を経て羅臼町まで 20 nGy/h 以下であった。この地域ではU-系列、Th-系列、及びK-40の比率はだいたい等しくなっている。羅臼町から標津町、網走市、紋別市さらに内陸部の愛別町、層雲峡、帯広市、千歳市では $20 \sim 40 \text{ nGy/h}$ の間で変化した。この地域では、標津町から紋別市の間でTh-系列の比率が高かったのを除くとU-系列、Th-系列、及びK-40の比率はおおよそ等しくなっている。

6. 1. 4 道北域

全体にわたり低く 20 nGy/h 前後を示し、U-系列、Th-系列、及びK-40は同等の比率を示している（図-9）。ただし、宗谷岬から浜頓別町、歌登町の間及び美深町、朱鞠内湖、幌加内町を経て深川市の間は、 $20 \sim 40 \text{ nGy/h}$ を示した。この地域はどちらもU-系列の比率が高い。

6. 2 U-系列、Th-系列、及びK-40の変動について

U-系列、Th-系列、及びK-40の存在比率に注目すると、その変動パターンは（Ⅰ）U-系列が支配的になる場合、（Ⅱ）Th-系列が支配的になる場合、そして（Ⅲ）U-系列、Th-系列、及びK-40が同じ比率の場合、の3つに分けることができる。

この観測から、放射線レベルの変動に大きく寄与する核種は、U-系列とTh-系列であることがわかった。特に、Th-系列が顕著であった。

その理由として、（1）K-40は固体で存在し娘核種をともなった崩壊系列を持たない、（2）U-系列の $Rn-222$ 、Th-系列の $Rn-220$ の発散率の違い、（3）土壌成分の違いや地質成分の違い（Wollenberg 等、1985、1987）が考えられる。

（1）からは、K-40の値はその地域における存在量によって決定されることがわかる。全道にわたりK-40の値に大きな変動がないという観測結果から、K-40は全道にほぼ均一に存在していると考えられる。

(2) については、トロンの発散率 (5.6×10^{-15} Ci/cm²·sec) は、ラドンの発散率 (4.0×10^{-17} Ci/cm²·sec) に比べ2桁大きく (例えば、Junge, 1963)、このことが一因となっているとも考えられる。

(3) については、火成岩質の地域から堆積岩質の地域へ移動したことによる急激な変化と思われる、川湯温泉-斜里間 (道東、1995/5/2観測) のように地質の変化にともなって観測結果が一致している所とそうでない所がある。

以上の(1)から(3)についてさらに詳しく論ずるには、今後土壌サンプルの採集を行ない定量分析をして、核種別に含有量の比較検討をする必要がある。

同じルートを重複して計測した時、値が大きく異なる場合もあった。例えば、道南域の長万部から海沿いに八雲町を経て大沼の間では、観測日1994年11月4日と1995年8月3日にそれぞれ測定を行ないU-系列、Th-系列、及びK-40の合計として、それぞれ80～100 nGy/h及び20～40 nGy/hの結果を得た。U-系列、Th-系列、及びK-40の比率は、どちらの測定でもTh-系列が支配的ではあるが、Th-系列の値が大きく異なっている。その原因として、Bi-214とPb-212の大気中濃度の季節変動 (望月等、1986) も考えられる。しかし、いまのところ確定的なことはいえない。これらの因果関係については続報にて議論する。

また、阿部等 (1981) のデータとの比較検討についても今後の課題としておく。

6. 3 雨や雪による影響

今回の観測中の降雨時は、図-4から-9の図中に示した。降雨中または直後の放射線レベルは、5-20%高くなる (Tompson et al., 1963) と言われている。しかし、観測中の降雨量が少なかったためか、そのような特徴的な変化は見られなかった。

降雪による影響は北海道地域で特に重要である。降雪による放射線レベルの減衰は、30-70% (Sievert et al., 1952) と言われている。今回の観測中、降雪に見舞われたことはなかったし、走行道路面が雪に覆われている箇所もなかった。しかし、走行道路周辺が雪に覆われている所はあった。観測期間1994年5月5日のニセコアンヌプリ近辺、及び1995年5月2日のウトロ～羅臼間の山間部ではそれぞれ1 m前後の雪に覆われていた。しかし、今回のデータ解析では特に補正を行っていない。

7. まとめ

可搬型高純度Ge半導体検出器を車に搭載し、北海道全域にわたり、核種別に環境放射線レベルの連続測定を行なった。全道の平均値は、U-系列、Th-系列、及びK-40の合計で38.2 nGy/hであった。この値は、阿部等 (1981) の結果とほぼ一致した。60 nGy/h以上の高い地域は、中央部の岩見沢-士別間、東部の帯広-根室間そして南部の長万部-函館間であった。また、20 nGy/h以下の低い地域は道南近辺の登別-喜茂別と東部の斜里-羅臼間であった。

U-系列、Th-系列、及びK-40の核種別に見ると、その存在比によりU-系列の比率が高い地域、Th-系列の比率が高い地域、U-系列、Th-系列、及びK-40がそれぞれ同比率の地域の3パターンに分類できた。そのパターンの中でもTh-系列が著しく大きな変動を示した。また、K-40の変動はあまり大きくないことから、全道にわたり、ほぼ均

一に分布していると推測される。

参考文献

- Abe, S., K. Fujitaka, M. Abe and K. Fujimoto, Extensive field survey of natural radiation in Japan, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 18, 21-45, 1981.
- Beck, H. L., J. DeCampo and C. Gogolak, In situ Ge(Li) and Na(Tl) gamma-ray spectrometry, HASL-258, 1972.
- 蛭田陽一、長門 徹、沖野典夫、丹治辰男、望月 定、環境放射線の車による観測 (I) -測定法及び解析-、*J. Atmosph. Electr.*, 16, 1996 (to be published).
- Junge, C. E., Air chemistry and radioactivity, Academic Press, New York and London, 213, 1963.
- 北原明治、猪越幸雄、鈴木隆司、杉浦城春、進藤幸太郎、千坂治雄、東京都内の電車における環境放射線、都ア研研報、5、35-52、1988.
- 望月 定、五十嵐義春、丹治辰男、沖野典夫、室蘭地域の大気中に出現するRn-222とその娘核 -名古屋地域で観測された変動パターンとの比較-、*Res. Lett. Atmosph. Electr.*, 6, 77-81, 1986.
- 長岡 鋭、坂本隆一、堤 正博、斉藤公明、森内 茂、居住環境における放射線場の特性 (I)、日本原子力学会誌、32、403-413、1990a.
- idem、居住環境における放射線場の特性 (II)、*ibid.*、32、506-513、1990b.
- 下 道国、杉野雅人、森内和之、湊 進、ケン・オブライエン、岐阜県下の環境放射線の調査、岐阜医療技術短期大学紀要、9、61-86、1993.
- Sievert, R. M. and B. Hultqvist, Variations in natural gamma-radiation in Sweden, *Acta radiologica*, 37, 388-398, 1952.
- Tompson, T. and P. A. Wiberg, Some observations of variation of the natural background radiation, *Tellus*, 15, 314-318, 1963.
- Wollenberg, H. A. and A. R. Smith, Radiogenic heat production of crustal rocks: An assessment based on geochemical data, *Geophys. Res. Lett.*, 14, 295-298, 1987.
- idem, Naturally occurring radioelements and terrestrial gamma-ray exposure rates, LBL-18741, 1985.
- Yamamoto, H., K. Terai, K. Fujii, S. Ezumi and A. Hosoda, The report on radiological consequences of Chernobyl nuclear accident in Shimane Prefecture, SHIMANE-TR-1, 1990 (in Japanese).

(Received December 15, 1995; revised January 29, 1996;
accepted January 30, 1996.)