

日本における地表 γ 線の線量率分布

湊

進*

Distribution of Terrestrial γ Ray Dose Rates in Japan

Susumu MINATO*

Abstract

Nationwide in-situ measurements of terrestrial gamma ray dose rates have been carried out using a scintillation counter. A database of over 4300 entries has been compiled by adding data taken from literature to the data collected by the mentioned survey. A contour map of dose rates in Japan calculated from the database is presented along with a table of dose rates for each bedrock type.

Key words : terrestrial gamma rays, air absorbed dose rate, scintillation counter, contour map, bedrock type

キーワード : 地表 γ 線, 空気吸収線量率, シンチレーション・カウンタ, 等高線, 基盤岩石種

I. はじめに

この論文の目的は二つある。一つは日本列島(ただし沖縄県および一部の離島を除く)における地表 γ 線空気吸収線量率分布の詳細な地図を提示すること, もう一つは基盤岩石別にその γ 線量率の統計値(平均値 \pm 標準偏差)をまとめることである。

地表 γ 線分布の調査を目的にわが国で初めて全国サーベイを実施したのは Yamagata and Iwashima (1967) である。彼らは主要道路沿いに 230 地点で土壌を採取した。そして土壌中のウラン, トリウムおよびカリウム濃度を定量し線量率に換算した。

その後, 放射線医学総合研究所(以下「放医研」あるいは「NIRS」と略記)が 10 年の歳月をかけて全国 768 地点(ほとんどが小学校校庭)で現場測定を行った(Abe *et al.*, 1981)。古川(1993)

は放医研データを基に線量率の地理的分布を等高線にまとめた。そしてこれを基に線量率レベルを決定づける要因を地質学的に考察している。

放医研の全国データ公表後, 大学や地方公設機関が個別に 23 の道府県で詳細な現場測定や土壌採取を実施し線量率データが蓄積されていった。産業技術総合研究所中部センター(以下「産総研中部」と略記)は 2002 年に上記 23 県以外の都府県のサーベイを開始した。その後, 産総研中部の事業は放射線地学研究所(以下「放地研」あるいは「RESL」と略記)に引き継がれ, 2005 年に完了した。

現在, 放地研は大学, 公設機関および産総研中部・放地研が実施した全国 4372 地点の線量率および地質データを所有している。これは γ 線量率の地理的分布の成因をより詳細に考察するための基礎資料として役に立つはずである。そのため今回このデータに基づく等高線を作成し, 基盤岩石

* 放射線地学研究所

* Radiation Earth Science Laboratory

別の統計値をまとめることにした。

放医研のデータは同一測定手法を用いて全国サーベイを実施した点で貴重である。しかし主な測定対象であった校庭はマサ土などを客土した可能性が高い。従って当該地域の地質との関連で論を進めるには注意を要する。

放地研でとりまとめたデータは都市部では校庭に限らず寺院、神社、公園、植え込み、人家の庭、空き地、河川敷などを対象にしている。また都市部以外では主に空き地での土壌を対象にして、サンプリング地点の特性の偏りを少なくしている。そのため地質との関係を調べる上で校庭よりは優位にあると考える。ただし放地研でとりまとめたデータは各機関が別々の測定法を採用して得たデータを集めたものなので、放医研データよりも精度が劣るのではないかという疑問が浮かぶ。しかしながら、この点については後節で詳しく検討し、精度に何ら問題はないことを示す。

II. 基礎データ

表1は都道府県ごとに参照した文献とそこに記載されているデータ数である。前述のごとく他機関の測定器は半導体検出器(Ge)、ガラス線量計(GD)、熱蛍光線量計(TLD)、NaIシンチレータ(NaI)など多岐にわたる。なお、表1では検出器は括弧内の略称を用いている。

表1において「新データ」と表記されているものが産総研中部および放地研で実施した現場測定である。ここで使用した測定器は電池駆動型携帯用1"φ×2"NaI(Tl)シンチレーション・カウンタである。自然環境において、このシンチレーション・カウンタと同時測定した3"φ×3"NaI(Tl)シンチレーション・スペクトロメータにより得た線量率で校正した。線量率は50 keV以上3 MeV以下のγ線による波高分布から応答行列法(Minato, 2001)で求めた。図1は原点を通る直線を最小自乗法で決定したものである。直線の勾配が換算係数である。計数率から線量率を求める方法では測定地点のカリウム、ウラン、トリウムが存在比により換算係数がある程度ばらつく。しかしその誤差は大きくない。バラツキの変動係

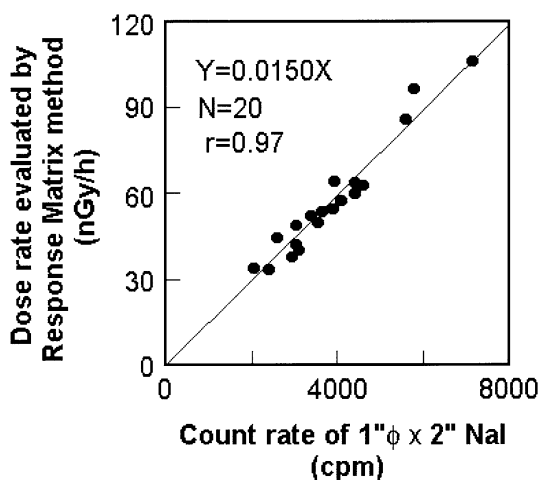


図1 応答行列法(3"φ×3"NaI使用)によるカウンターの校正。

数は4%程度である(Minato, 1998)。測定場所としては周囲に建物や崖などが無い平地を選び、地表面上に水平に検出器を置いて測定した。

表1において北海道の利尻、礼文、奥尻島のデータ、および徳島県のデータは1 cm線量当量率で得られたものである。そのため本報告では空気吸収線量率への換算係数0.82(森内ほか, 1990)を乗じたデータを使用している。また、秋田、福島、島根県のデータはTLDによる測定である。これらは宇宙線および自己汚染の寄与が含まれているためこれらの線量率30 nGy/h(長岡ほか, 1996)を差し引いて使用している。さらに、岐阜(奥平・木俣, 1997)、愛知(大沼ほか, 1985)、三重の各県のデータは科学技術庁方式により測定されたものである。この方式は全国的に標準化された方法でデータを集約するために考案されたものであり、絶対測定を目的としたものではない(沖ほか, 1975)。しかしデータの相対値は十分に精度が高い。そこで上記各県においては応答行列法で校正した測定器により10~30地点現場測定を行い、この値で元データを規格化した。

III. 等高線

図2は測定地点である。このうちデータ数が

表 1 基礎データ

都道府県	全データ	地図作製用	文 献	検出器
北海道	104	104	長門ほか (1997) 礼文・利尻・奥尻島のみ輪嶋ほか (1997)	Ge NaI GD
青森県	67	67	Iyogi <i>et al.</i> (2002)	
岩手県	32	32	新データ	
宮城県	14	14	新データ	
秋田県	14	14	Zeng <i>et al.</i> (1996)	TLD
山形県	22	22	新データ	
福島県	41	41	福島県原子力センター (1999)	TLD
茨城県	88	88	市村ほか (1993)	Ge
栃木県	22	22	新データ	
群馬県	23	23	新データ	
埼玉県	19	19	新データ	
千葉県	25	25	新データ	
東京都	29	24	新データ	
神奈川県	23	23	新データ	
新潟県	82	82	殿内ほか (1990), 殿内ほか (1991), 米田ほか (1992), 米田ほか (1993), 高橋ほか (1994)	Ge
富山県	21	21	新データ	
石川県	104	41	中谷ほか (1991)	Ge
福井県	465	35	長嶋ほか (2001)	NaI, Ge
山梨県	124	59	小林 (1997)	NaI, Ge
長野県	23	23	新データ	
岐阜県	202	92	奥平ほか (1997), 庄内川流域のみ Minato (1998)	NaI NaI
静岡県	46	46	新データ	
愛知県	220	88	大沼ほか (1985), 庄内川流域のみ Minato (1998)	NaI NaI NaI
三重県	84	84	尾辺ほか (1993)	
滋賀県	37	37	新データ	
京都府	22	22	新データ	
大阪府	234	41	柴山ほか (2004)	NaI
兵庫県	233	62	磯村 (2002), 淡路島のみ柴山ほか (2003)	NaI NaI NaI
奈良県	203	43	湊ほか (2002)	
和歌山県	21	21	新データ	
鳥取県	18	18	新データ	
島根県	284	56	島根県環境保健公社 (1999)	TLD
岡山県	70	55	杉山ほか (1996)	NaI
広島県	23	23	新データ	
山口県	28	28	新データ	
徳島県	22	22	木内 (1996)	NaI
香川県	20	20	新データ	
愛媛県	70	70	松浦ほか (1986)	NaI
高知県	458	53	Chikasawa <i>et al.</i> (2001)	NaI, Ge
福岡県	109	109	平井ほか (1995)	NaI
佐賀県	98	49	石橋ほか (1997)	NaI, Ge
長崎県	188	71	新データ	
熊本県	22	22	新データ	
大分県	92	57	新データ	
宮崎県	20	20	新データ	
鹿児島県	206	80	下園ほか (1989), 藤崎ほか (1994), 田島ほか (1998)	NaI, Ge
全国	4372	2068		

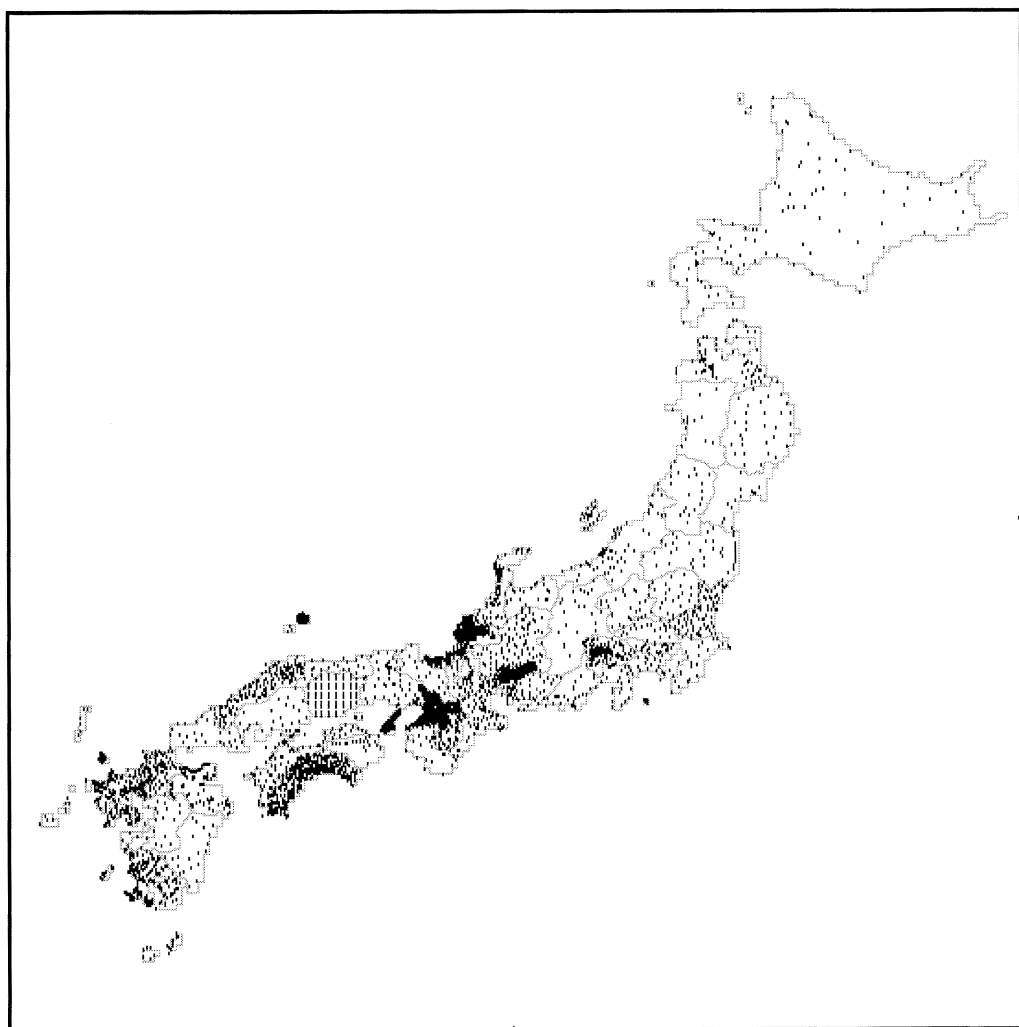


図 2 測定点.

多い府県は少ない府県とのバランスを考慮し減数した。その方法は以下の通りである。当該市町村に多くの地点が含まれる場合は算術平均を採り、位置を市町村の役所・役場の所在する地点（建設省国土地理院, 1992）とした。表 1 に「地図作製用」として減数データ数も示してある。

等高線作成には逆距離加重補間法（Franke, 1982）を用いた。ここでは全測定点に関して距離の 5 乗に逆比例する重みを採用している。図 3 はこのようにして得た等高線である。

前述したように放医研データも詳細な等高線で表されている（古川, 1993）。本稿で得られた分布と比較すると全国規模では大筋においては似たパターンとなっている。しかし地域規模ではかなりの差異も見られる。両者の標本の母集団が異なるため直接比較しても統計的には意味があるとは思えないが、この差異がサンプリング手法の違いによるものか、あるいは計測法に起因するのかを検討する価値はあるであろう。将来の課題としたい。

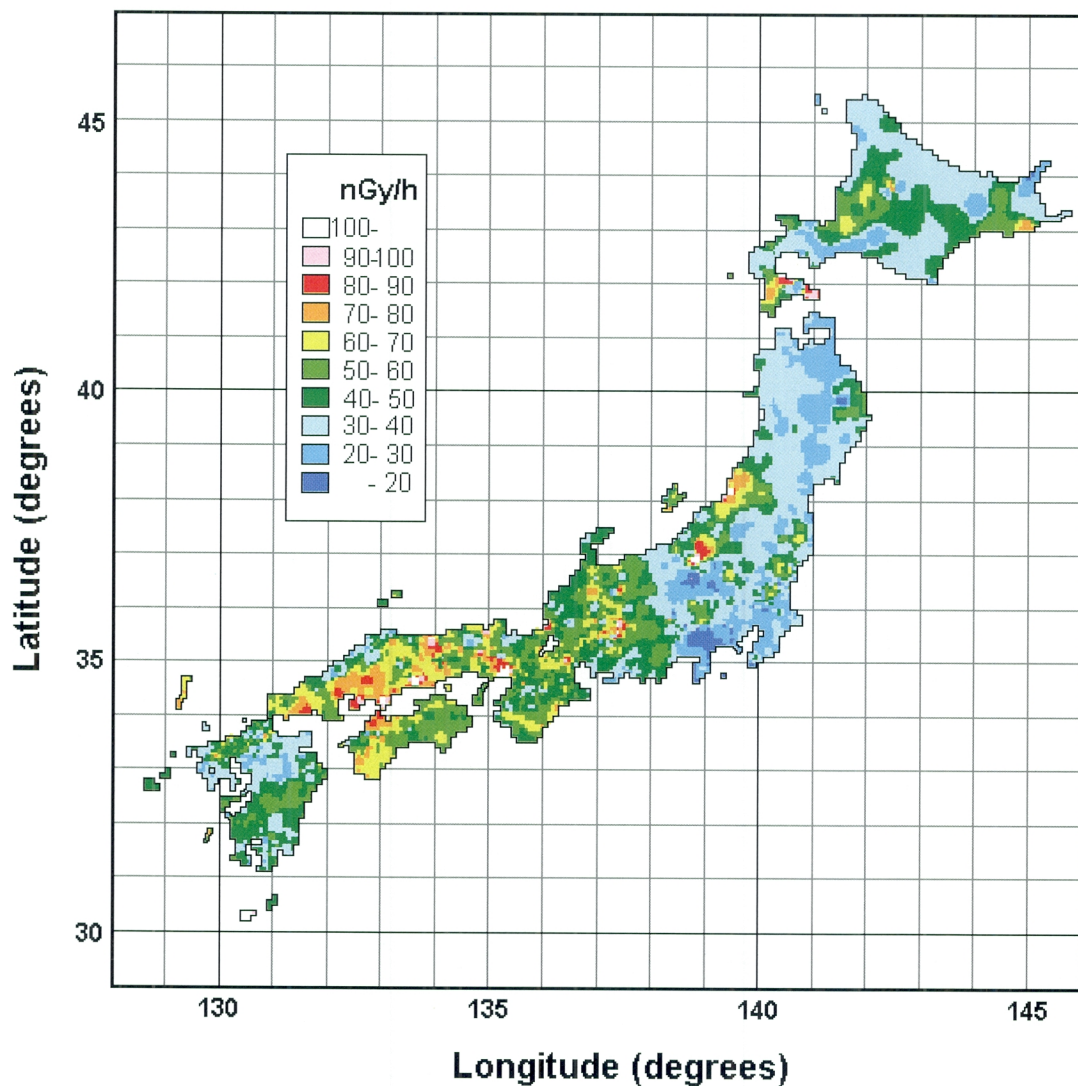


図 3 地表 γ 線の空気吸収線量率。

IV. 基盤岩別統計

表 2 は基盤岩石ごとの統計値である。統計には減数データを用いず全データを対象にした。標本数の少ない岩石は載せていない。深成岩、火山岩および苦鉄質岩起源変成岩の特定には共立出版の「日本の地質」を利用した（日本の地質『北海道地方』編集委員会編, 1990; 日本の地質『東北地方』編集委員会編, 1989; 日本の地質『関東地方』

編集委員会編, 1986; 日本の地質『中部地方 I』編集委員会編, 1988; 日本の地質『中部地方 II』編集委員会編, 1988; 日本の地質『近畿地方』編集委員会編, 1987; 日本の地質『中国地方』編集委員会編, 1987; 日本の地質『四国地方』編集委員会編, 1991; 日本の地質『九州地方』編集委員会編, 1992）。

変成岩および上記「日本の地質」で決定できなかった火山岩の特定には 100 万分の 1 地質図（地

表 2 基盤岩別統計.

火成岩	
名 称	算術平均値 ± 標準偏差 (標本数) (nGy/h)
花崗岩	79.4 ± 24.8 (143)
花崗岩および花崗閃緑岩	67.5 ± 17.9 (36)
アタメロ岩	62.1 ± 16.7 (52)
花崗閃緑岩	58.3 ± 15.1 (201)
トータル岩, 花崗閃緑岩および石英閃緑岩	49.4 ± 17.8 (39)
石英閃緑岩	33.4 ± 9.5 (25)
斑れい岩および閃緑岩	40.5 ± 10.8 (12)
斑れい岩	22.1 ± 4.7 (7)
流紋岩	70.5 ± 19.4 (13)
流紋岩およびデイサイト	63.9 ± 21.0 (96)
デイサイトおよび流紋岩	42.5 ± 11.9 (175)
安山岩	36.9 ± 10.1 (144)
角閃石安山岩	37.4 ± 6.4 (28)
輝石安山岩	26.4 ± 8.3 (33)
安山岩および玄武岩	34.8 ± 13.5 (188)
玄武岩	20.4 ± 12.0 (49)
変成岩	
名 称	算術平均値 ± 標準偏差 (標本数) (nGy/h)
飛驒	53.3 ± 13.7 (15)
三郡	44.2 ± 14.6 (26)
三波川	57.9 ± 19.9 (94)
領家	46.6 ± 13.1 (9)
苦鉄質岩起源	25.1 ± 7.3 (10)
堆積岩	
時 代	算術平均値 ± 標準偏差 (標本数) (nGy/h)
完新世	44.8 ± 13.3 (868)
更新世後期	41.3 ± 14.0 (304)
更新世中期	43.3 ± 15.0 (55)
更新世前期	39.0 ± 10.5 (86)
鮮新世	47.2 ± 13.6 (193)
中新世後期	44.1 ± 14.5 (77)
中新世前期	47.1 ± 14.1 (172)
漸新世	47.5 ± 16.5 (48)
暁新世～漸新世	56.8 ± 17.8 (112)
白亜紀後期	59.4 ± 15.4 (245)
白亜紀前期～後期	55.9 ± 13.9 (59)
白亜紀前期	53.6 ± 12.7 (32)
ジュラ紀中期～後期	56.9 ± 15.0 (75)
ジュラ紀前期～後期	57.8 ± 20.3 (104)
ジュラ紀前期～中期	53.5 ± 14.6 (128)
二疊紀	50.9 ± 14.6 (44)

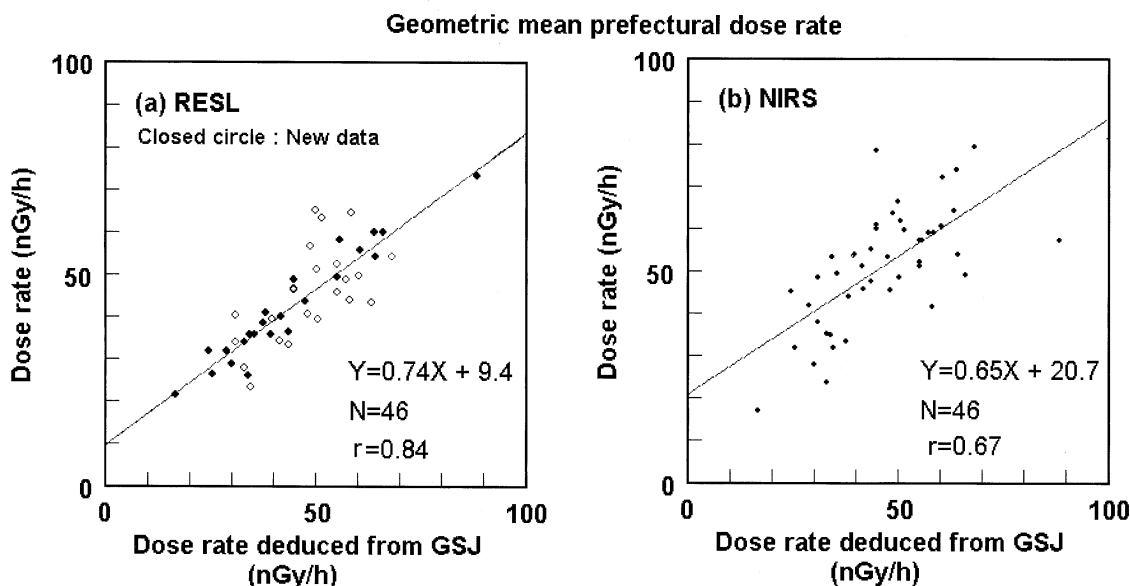


図 4 都道府県別幾何平均値に対する産業技術総合研究所地質調査センター（GSJ）データとの相関。
(a)放射線地学研究所(RESL)がとりまとめたデータ, (b)放射線医学総合研究所(NIRS)のデータ。

質調査所編, 1987) を, また堆積岩の時代調査には丸善の「日本列島の地質」附属の CD-ROM を利用した (日本列島の地質編集委員会編, 1997)。表 2 によれば火成岩は塩基性から酸性になるに従って線量率が増加していく。これは結晶分化作用が進むに従って不適合元素であるウラン, トリウム, カリウムがこの順序で濃縮されていくことを示している (Minato, 2005)。

変成岩については変成帯ごとに変化が見られる。将来, 標本数をさらに増やしてこの変化について考察してみたい。

堆積岩については漸新世を境に前後で有意のレベル差がある。この理由としては次のように解釈される。すなわち, 漸新世以降の堆積岩は東北日本に集中しているが, この時代の東北日本は苦鉄質火山岩の活動期にあたっているため線量率が低い。

V. 検 討

前節で述べたように本報告で用いたデータは研究機関ごとに異なる測定手法で得たものである。そのため測定法の違いに起因する誤差が大きい

ではないかと懸念される。本節でこの点を詳しく検討する。

産業技術総合研究所地質調査総合センター (以下「地調」あるいは“GSJ”と略記) は自然起源の元素によるバックグラウンド値を把握する目的で日本全土 3024 地点において河川堆積物を採取した。全試料に対し同一手法で 53 元素の濃度を評価し地球化学図として公刊した (今井ほか, 2004)。このうちのカリウム, ウラン, トリウム濃度を利用すれば次式 (Beck *et al.*, 1972) を使って線量率を算出できる。

$$D = 13.0C_K + 5.4C_U + 2.7C_{Th}$$

ここで D (nGy/h) は地上 1 m の高さでの線量率, C_K (%), C_U (ppm) および C_{Th} (ppm) はそれぞれカリウム, ウランおよびトリウムの濃度である。

地調データは放地研でとりまとめたデータと異なり母集団が河川堆積物である。しかし全国を一貫した測定法で評価している上に測定地点も多い。従って都道府県ごとに測定法の異なるデータを集めた放地研とりまとめのデータのバラツキの

程度を調べるためには地調データが有効であると判断する。

これら地調データは対数正規分布を示している。そのため都道府県別に幾何平均を採って本報告のデータと比較した。図4(a)がその結果である。同図によれば地調データとの相関係数は0.84と良好である。同図において表1に挙げている新データを黒丸で示したが、これも特に偏りは見られない。参考までに放医研データも調べてみた(図4(b))。これによれば放地研でとりまとめたデータは、放医研の一貫した測定手法で得たデータと比べて遜色ないと言える。

謝 辞

下記の都県については地元の研究者に協力していただいた。氏名(職名および称号略)と当時の所属機関を記して謝意を表する。

宮城は東北大学小林伸治氏、栃木・群馬・埼玉・千葉・東京は群馬県立県民健康科学大学の杉野雅人氏と中央医療技術専門学校の細田正洋氏、長崎・大分は佐世保工業高等専門学校の百武幹雄氏。

また、中部および近畿地方の一部の県については藤田保健衛生大学の下 道國氏の主宰した「せせらぎサーベイ」の一員に加えていただき多くの現場測定を実施できた。心より御礼申し上げる。

本稿の改訂に大変役に立った査読者の適切なコメントに感謝いたします。

文 献

- Abe, S., Fujitaka, K., Abe, M. and Fujimoto, K. (1981): Extensive field survey of natural radiation in Japan. *J. Nucl. Sci. Technol.*, **18**, 21-45.
- Beck, H. L., DeCampo, J. and Gogolak, C. (1972): In situ Ge (Li) and NaI (TI) gamma-ray spectrometry. USAEC Report HASL-258, New York, N.Y. 10014.
- Chikasawa, K., Ishii, T. and Sugiyama, H. (2001): Terrestrial gamma radiation in Kochi prefecture. Japan, *J. Health Sci.*, **47**, 362-372.
- 地質調査所編 (1987): 100 万分の 1 日本地質図—日本地質アトラス (1982)—。地質調査所。
- 藤崎 学・四反田昭二・今村博香・岩田治郎 (1994): 可搬型 Ge 半導体検出器を用いた鹿児島県における空間放射線量率の地域分布とその構成成分。鹿児島県環境センター所報, **10**, 69-77.
- 福島県原子力センター編 (1999): 福島県内自然放射能実態調査報告書。福島県。
- Franke, R. (1982): Scattered data interpolation: Tests of some method. *Math. Comp.*, **157**, 181-200.
- 古川雅英 (1993): 日本列島の自然放射線レベル。地学雑誌, **102**, 868-877.
- 平井英治・玉利俊哉・佐伯國男・岡村正紀・松岡信明・高島良正・松田広継・広 陽二・大林 誠 (1995): 電離箱検出器および NaI (TI) シンチレーション検出器を用いた福岡県の自然放射線量測定。 *Radioisotopes*, **44**, 846-855.
- 市村雄一・三好 徹・橋本和子・田辺芳次・平井保夫 (1993): 茨城県における空間ガンマ線量率分布とその構成要因。茨城県公害技術研究所年報, **5**, 23-31.
- 今井 登・寺島 滋・太田充恒・御子柴真澄・岡井貴司・立花好子・富樫茂子・松久幸敬・金井 豊・上岡 晃・谷口政碩 (2004): 日本の地球化学図。産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 石橋 博・吉田政敏・岩崎ゆかり (1997): 佐賀県内の空間放射線量率分布調査—土壌中の放射性核種との関連—。佐賀県環境センター所報, **13**, 45-64.
- 磯村公郎 (2002): 兵庫県における空間放射線線量率の地域分布。兵庫県立健康環境科学センター年報, **1**, 149-155.
- Iyogi, T., Ueda, S., Hisamatsu, S., Kondo, K., Haruta, H., Katagiri, H., Kurabayashi, M., Nakamura, Y. and Tsuji, N. (2002): Environmental gamma-ray dose rate in Aomori prefecture. Japan, *Health Phys.*, **82**, 521-526.
- 建設省国土地理院編 (1992): 日本の市区町村役所・役場経緯度一覧 (平成 4 年度版)。日本地図センター。
- 木内恒雄 (1996): 徳島県における自然放射線について。徳島大学総合科学部自然科学研究, **9**, 1-9.
- 小林規矩夫 (1997): 山梨県における自然放射線の分布。山梨県衛生公害研究所年報, **40**, 43-46.
- 松浦榮美・二宮 久・安永章二・矢野隆司・金子敏明・安井正良 (1986): 愛媛県における自然放射線分布。愛媛県公害技術センター所報, **7**, 32-37.
- Minato, S. (1998): A simple model analysis of terrestrial radioactivity balance in a drainage basin in central Japan. Proc. on Radioactivity and the environment, M. Mathews ed., Christchurch, New Zealand, 16-20 February 1998.
- Minato, S. (2001): Diagonal elements fitting technique to improve response matrixes for environmental gamma ray spectrum unfolding. *Radioisotopes*, **50**, 463-471.
- Minato, S. (2005): Uranium, Thorium and Potassium concentrations in Japanese soils. *Radioisotopes*, **54**, 509-515.
- 湊 進・池田 正・柴山元彦・平賀章三 (2002): 奈良県の地表ガンマ線量率調査。 *Radioisotopes*, **52**, 42-51.
- 森内 茂・堤 正博・斉藤公明 (1990): 自然放射線における空気吸収線量から実効線量当量への換算係数の評価。保健物理, **25**, 121-128.
- 長岡和則・本田幸一郎・宮野敬治 (1996): 環境 γ 線線量測定における宇宙線の寄与。 *Radioisotopes*, **45**, 665-674.

- 長嶋純一・高山裕美・徳山秀樹・大西勝基・早川博信・林 正樹、谷口 豊・渋谷 勝 (2001): 福井県における自然放射線量分布 (3). 福井県原子力環境監視センター所報, **8**, 47-59.
- 長門 徹・丹治辰男・沖野典夫・蛭田陽一・望月 定 (1997): 車を利用した北海道における環境 γ 線測定. 保健物理, **32**, 295-304.
- 中谷 光・四月朔日富司子・酒井道則・矢鋪満雄 (1991): 石川県における空間線量調査結果 (その3) —可搬型 Ge 半導体検出器を用いた空間線量調査—. 石川県衛生公害研究所年報, **29**, 176-182.
- 日本の地質『中部地方 I』編集委員会編 (1988): 日本の地質 **4** 中部地方 I. 共立出版.
- 日本の地質『中部地方 II』編集委員会編 (1988): 日本の地質 **5** 中部地方 II. 共立出版.
- 日本の地質『中国地方』編集委員会編 (1987): 日本の地質 **7** 中国地方. 共立出版.
- 日本の地質『北海道地方』編集委員会編 (1990): 日本の地質 **1** 北海道地方. 共立出版.
- 日本の地質『関東地方』編集委員会編 (1986): 日本の地質 **3** 関東地方. 共立出版.
- 日本の地質『近畿地方』編集委員会編 (1987): 日本の地質 **6** 近畿地方. 共立出版.
- 日本の地質『九州地方』編集委員会編 (1992): 日本の地質 **9** 九州地方. 共立出版.
- 日本の地質『四国地方』編集委員会編 (1991): 日本の地質 **8** 四国地方. 共立出版.
- 日本の地質『東北地方』編集委員会編 (1989): 日本の地質 **2** 東北地方. 共立出版.
- 日本列島の地質編集委員会編 (1997): 日本列島の地質. 理科年表読本. 丸善.
- 尾辺俊之・富森聡子・橋爪 清 (1993): 三重県内の空間放射線量率について. 三重県衛生研究所年報, **39**, 93-98.
- 沖岩四郎, 田村幸子, 杉浦 渉 (1975): 測定上の問題点の指摘 (科学技術庁方式による空間線量率の測定). 第 1 回放医研セミナー「環境放射線測定の現状と将来」, *NIRS-M-7*, 70-72.
- 奥平文雄・木俣長生 (1997): 岐阜県における放射線分布. 岐阜県保健環境研究所報, **5**, 14-21.
- 大沼章子・茶谷邦男・富田伴一・青山 幹・山田直樹・山田益生・浜村憲克 (1985): 愛知県における空間線量率. 愛知県衛生研究所年報, **35**, 43-50.
- 柴山元彦・平岡由次・湊 進 (2004): 大阪府における地表 γ 線量率と地質の関連について. 大阪教育大学紀要, 第 III 部門, **52**, 215-223.
- 柴山元彦・平岡由次・池田 正, 寺戸 真 (2003): 淡路島の地表 γ 線量率と地質. 大阪教育大学紀要, 第 III 部門, **53**, 9-16.
- 島根県環境保健公社編 (1999): TLD による環境放射線量バックグラウンド調査抄録. 島根県.
- 下園清香・四反田昭二・今村博香・福田大三郎 (1989): 鹿児島県における自然の空間放射線量分布. 鹿児島県環境センター所報, **5**, 101-110.
- 杉山広和・道広憲秀・清水光郎・片岡敏夫・柚木英二・森 忠繁 (1996): 岡山県における空間 (線量率調査. 岡山県環境保健センター年報, **20**, 49-53.
- 田島義徳・狸々伸博・今村博香・奥園和光 (1998): 薩南諸島における空間放射線量率分布. 鹿児島県環境センター所報, **14**, 54-63.
- 高橋 斉・小林 正 (1994): 新潟県内における自然放射線分布状況調査 (5) —長岡地域の空間放射線レベル—. 新潟県衛生公害研究所年報, **10**, 102-104.
- 殿内重政・霜島達雄・米田和広・田邊広和 (1990): 新潟県内における自然放射線分布状況調査—各種放射線測定器による柏崎刈羽地域の空間放射線レベルの測定 (1)—. 新潟県衛生公害研究所年報, **6**, 141-147.
- 殿内重政・米田和広・原 武彦 (1991): 新潟県内における自然放射線分布状況調査 (2) —下越地域の空間放射線レベル—. 新潟県衛生公害研究所年報, **7**, 147-151.
- 輪嶋隆博・細川洋一郎・竹腰光男・藤田 智・金子昌幸・安河内太郎 (1997) ポータブル型 γ -スペクトロサーベイメータを用いた北海道の環境 γ 線量の調査. *Radioisotopes*, **46**, 291-297.
- Yamagata, N. and Iwashima, K. (1967): Terrestrial background radiation in Japan. *Health Phys.*, **13**, 1145-1148.
- 米田和広・殿内重政・葉茸久尚・鈴木 斉 (1992): 新潟県内における自然放射線分布状況調査 (3) —魚沼及び上越地域の空間放射線レベル—. 新潟県衛生公害研究所年報, **8**, 160-164.
- 米田和広・殿内重政・梅津 了 (1993): 新潟県内における自然放射線分布状況調査 (4) —佐渡地域の空間放射線レベル—. 新潟県衛生公害研究所年報, **9**, 116-120.
- Zeng, X.S., Takizawa, Y. and Yamashita, J. (1996): Investigation on environmental radiation dose in Akita prefecture and radiophotoluminescence dosimeters used in environmental monitoring. *J. Health Physics*, **31**, 435-441.

(2005 年 9 月 1 日受付, 2005 年 12 月 19 日受理)