

論文

世界の高自然放射線地域の線源、線量測定および線量分布

森嶋禰重^{*1}, 古賀妙子^{*1}, 藤波直人^{*2}, 菅原 努^{*3}**Dose Measurement, Radiation Sources and Their Distribution
on the High Background Radiation Areas of World**Hiroshige MORISHIMA^{*1}, Taeko KOGA^{*1}, Naoto FUJINAMI^{*2}
and Tsutomu SUGAHARA^{*3}

Some High Background Radiation Areas are well-known all over the world, Misasa Spa area, Tottori, Japan, Yangjiang Area, Guangdong, China where are descend from the granite, Ramsar, Iran caused spa sediments, and Sea side areas of Guarapari, Brazil and Kerala, India caused the monazite, for representative example. In their areas, the concentration of Uranium, Thorium and Potassium are higher than the other areas, because the area's radiation doses become to high levels, maximum $73 \mu\text{Gy/h}$ in Ramsar, spottily. The environmental radiation dose rates are influenced by the natural radioactive nuclides concentrations of the bed rocks. The movements and distributions of the natural radioactive nuclides in the environmental soils fluctuated due to the location, the season and the life conditions. As a part of the cooperative research on the natural radiation epidemiology, we have carried out a dose assessment study to evaluate the exposure dose due to natural radiation in the high background radiation areas of world in order to investigate the radiation sources and the movements and the distribution of the natural radioactive nuclides on the world.

Keywords: natural radionuclide, measurement, exposure dose rate, Ramsar, Guarapari, Kerala

^{*1} 近畿大学原子力研究所 Kinki University Atomic Energy Research Institute

^{*2} 京都府保健環境研究所 Kyoto Pref. Institute of Hygienic and Environmental Science

^{*3} (財) 体質研究会 Health Research Foundation

1. はじめに

21世紀には、地球温暖化現象および環境汚染などの解決が、全世界的に強く求められ、環境と人類の協調が求められる課題となっている。我々が生活している環境中には、地球の外からの宇宙線、大地からの自然放射線、大気中のラドン等、食物に含まれている自然放射性物質からの放射線など、人類は数百万年前より、暮らしながら進化してきた。地球の年齢に匹敵するか、それ以上の半減期を持つ核種、 ^{238}U (約45億年)、 ^{232}Th (約141億年)、 ^{40}K (約13億年)などが、今日なお自然環境に存在し、大地の放射線の発生源になっている。

^{238}U および ^{232}Th は崩壊系列をなし、 ^{238}U 崩壊系列に属する ^{226}Ra (半減期約1600年)が α 線を放出して ^{222}Rn (以下ラドンとする)となり、 ^{232}Th 崩壊系列に属する ^{228}Ra より生成する ^{220}Rn (トロン)などは、地球のあらゆる所に発生し、希ガスで化学的に不活性

なため、どこにでも侵入し、電氣的に帯電せず、大気中に拡散される。ラドンは、地殻に起源を持つが、 ^{226}Ra や ^{228}Ra の濃度分布だけでなく、地面からの逸散を左右する土壌空隙率や気圧分布、降水などの気象条件にも大きく影響される¹⁾。それらの放射線レベルは時間的、空間的に変化し、地域的にも大きく変動し、その分布は一樣ではない。大地に起因するレベルは、土壌中に含まれる ^{238}U 、 ^{232}Th および ^{40}K などの自然放射性核種の濃度分布に依存し、大気中放射性物質の濃度分布および変動は、大気の流れ、屋内では換気にも大きく影響される。

2000年国連科学委員会²⁾によると、世界平均で自然放射線は、**図1**に示すように、年間2.4mSv、その1/2をラドン・トロン崩壊生成核種の吸入による被ばく、それに食物摂取による内部被ばくを加えると、1.5mSv、外部被ばく (大地放射線および宇宙線) は0.9mSvと報告している。

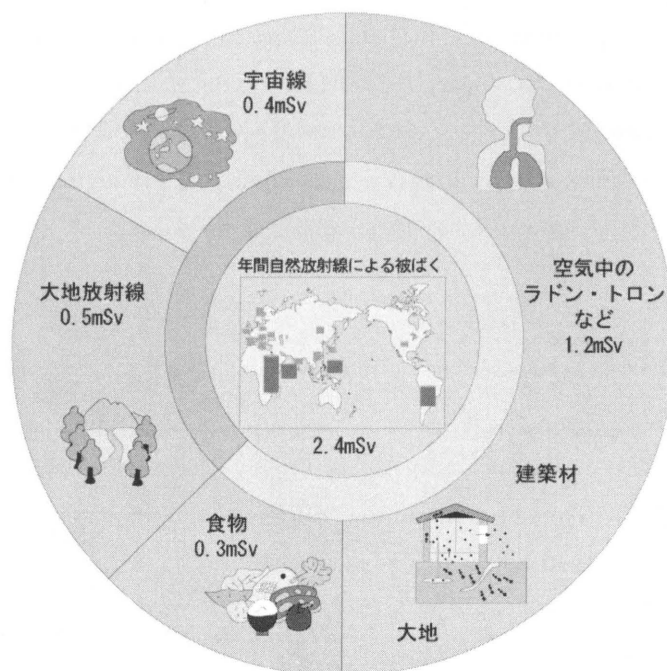


図1 国連科学委員会2000年報告による年間自然放射線による被ばく (世界平均)

我々は、日本はもとより世界的にも自然放射線の高い地域において自然放射線疫学研究の一環として、1991年以来、中国・広東省の陽江高自然放射線地域における自然放射線による住民の被ばく線量評価のために、線量測定に現地に入り調査を行ってきた。1994年にインド・ケララ高自然放射線地域、1998年ブラジル・ガラパリ高自然放射線地域、1999年イラン・ラムサール高自然放射線地域など世界的に有名な高自然放射線地域における線量測定調査を行うことが出来た。

図2に日本の自然放射線分布を示したが、放射線医学総合研究所の調査されたもので、花崗岩が露出している関西地方が高く、関東地方が低いことが明確である。我々は全国の温泉水のラドン測定をしているが、自然放射線を測定しながら、やはり花崗岩を探しつつ調査していることになる。この夏、岐阜県ローソク温泉に山梨・増富温泉の帰りに立ち寄っ

たが、いたるところに花崗岩がごろごろしており、その岩石の表面がかなり放射線が高く、水中および空気中のラドン濃度も高いことが実証されている。

2. 世界の高自然放射線地域のγ線線量率変動分布

日本の温泉周辺の高自然放射線地域における自然放射線疫学研究⁶⁾と同様に、世界的にも日・中・印共同自然放射線疫学研究(財体質研究会)の一環として、1991年以来中国・広東省陽江高自然放射線地域における自然放射線による住民の被ばく線量評価のために、線量測定の現地調査を行ってきた⁷⁻¹⁰⁾。外部被ばく線量については、ポケット線量計などによって、直接住民すべてについて測定すれば良いが、多数の測定をすることは難しい。サーベイメータで測定した環境放射線および居住係数(問題とする場所に人が居住する時間の割合を示す係数)

宇宙、大地からの放射線と食べ物から受ける放射線の量
(ラドンなどによるものを除く)

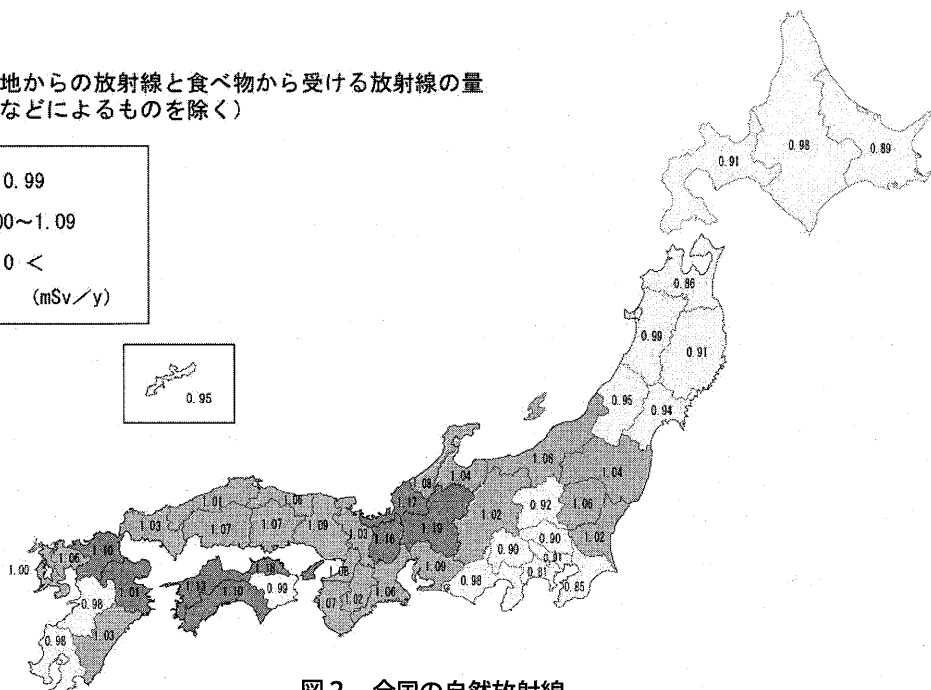
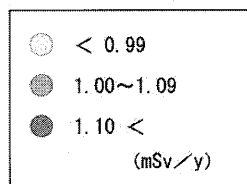


図2 全国の自然放射線
(ミリシーベルト/年・放射線医学総合研究所 1988年)

から個人被ばく線量を推定する間接法についても採用してきた⁹⁾(図3)。外部被ばく線量は環境放射線に大きく依存することにより、環境γ線線量率を正確に測定することは重要である。環境放射線の測定には、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ(Aloka TCS-166)を用い、個人の被ばく線量測

定には電子ポケット線量計(Aloka PDM-101又は111)(図4)および熱蛍光線量計(TLD, 松下電器産業(株), UD-200S)を用いて、それぞれ24時間および2~3ヶ月間携帯して測定を行った。表1に線量測定に用いた放射線モニタの特性を示した。



$$D = \sum_{i=1}^n (q_i \times A_i)$$

- D = 個人被ばく線量率
- q = 居住係数
- A = 環境放射線量率

図3 個人被ばく線量率の測定

図4 半導体検出器使用
電子ポケット線量計

(Aloka, PDM-111)

測定線種	γ(X)線(60keV~)
検出器	PN接合型シリコン半導体検出器
エネルギー依存性	70keV~3MeV ±30%以内
測定範囲	0.01~99.99μSv
積算指示誤差	±10%以内

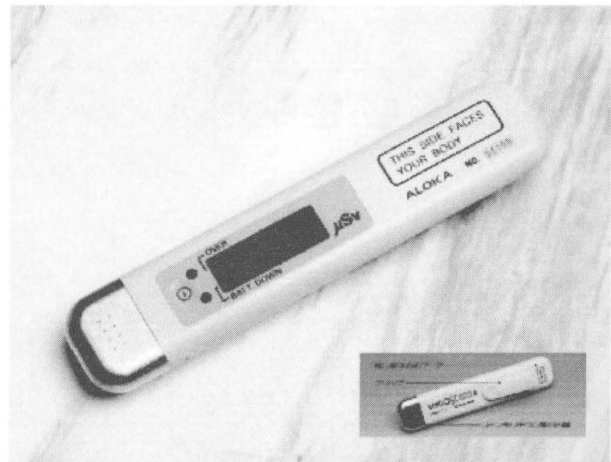
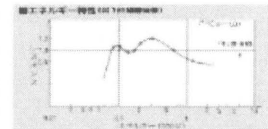


表1 線量測定に用いた放射線モニタの特性

放射線モニタ	屋内バックグラウンドレベル	変動係数(%)	測定可能エネルギー	測定可能範囲	変換係数(1MeV γ線)
シンチレーションサーベイメータ (Aloka TCS-166)	0.093 ± 0.006 (μGy/h)	5.0	50keV~1MeV	~30μGy/h	(in air) 0.79
電子ポケット線量計 (Aloka PDM-101)	0.091 ± 0.005 (with phantom)	5.0	60keV~3MeV	~99.99μSv	(in air(Gy/Sv)) 0.87 ± 0.01
	0.076 ± 0.004 (μSv/h)				(with phantom) 0.89 ± 0.01
熱蛍光線量計 (National TLD UD-200S)	0.093 ± 0.007 (μSv/h)	7.6	30keV~10MeV	~200mSv	(in air(Gy/Sv)) 0.99 ± 0.10 (with phantom) 0.93 ± 0.1

世界各地の大地から受ける年間自然放射線量を地図上に値は平均値で単位はmGy、()は最高値を図5に示し、1993年国連科学委員会報告書により作成したものである。1991年中国・広東省の陽江高自然放射線地域、1994年インド・ケララ高自然放射線地域、1998年ブラジル・ガラパリ高自然放射線地

域、1999年イラン・ラムサール高自然放射線地域と我々が実際に調査を行った所で測定した結果を入れている。表2に世界・高自然放射線地域における大地放射線量をUNSCEAR (1982) およびM. Sohrabi による値を含めたもので示した。

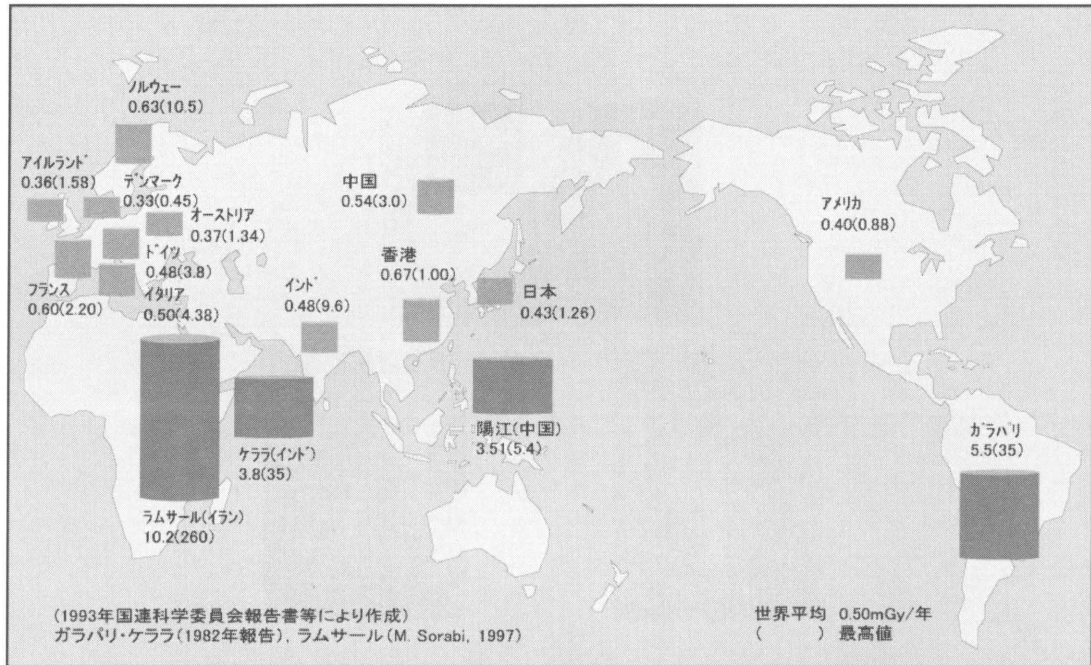


図5 世界各地の大地から受ける年間自然放射線量

表2 中国HBRAおよびCAにおける被ばく実効線量評価

		(mSv/y)		
		HBRA (陽東県・麻地村)	C A (恩平県・横波仔村)	
外部被ばく線量 (mSv/y)		3.54	0.90	
内部被ばく線量 (mSv/y)	ラドン吸入	1.24	0.49	
	トリウム吸入 ^{*1}	0.51	0.05	
	食物摂取	⁴⁰ K ^{*2}	0.167	0.167
		⁸⁷ Rb ^{*3}	0.006	0.006
	²³⁸ U + ²³² Th	0.41	0.055	
全被ばく線量 (mSv/y)		5.87	1.67	

*1 UNSCEAR を基に推定

*2 ⁴⁰K UNSCEAR により K 含有量 0.18%, ⁴⁰K 存在比 0.012%, 体重70kg
K = 3 μSv/y/Bq/kg

*3 UNSCEAR 93 による

3.1 中国・陽江高自然放射線地域

環境放射線の測定には、NaI (Tl) シンチレーションサーベイメータ (Aloka TCS-166) を、個人線量被ばく線量測定には、電子ポケット線量計 (PDM101) および熱蛍光線量計 (TLD, 松下電器産業(株), UD-200S) を用いて、それぞれ24時間および2～3ヶ月間設置して測定を行った。図6に実際に住民の方に付けて個人被ばく線量の測定の様子を

写真に示している。

陽江地域は、周辺が花崗岩の山に囲まれたのどかな農村地帯で、長年の歳月を経て山から雨や風化によって流されてきた土壌が、盆地であるこの地域に堆積したもので、集落は約366あり集落により環境線量も違い、大きく分けると陽東、陽西に分けられる (図7)。陽東地方に近い恩平県を、コントロール (対照地域) に選んだ。図8に陽江地域

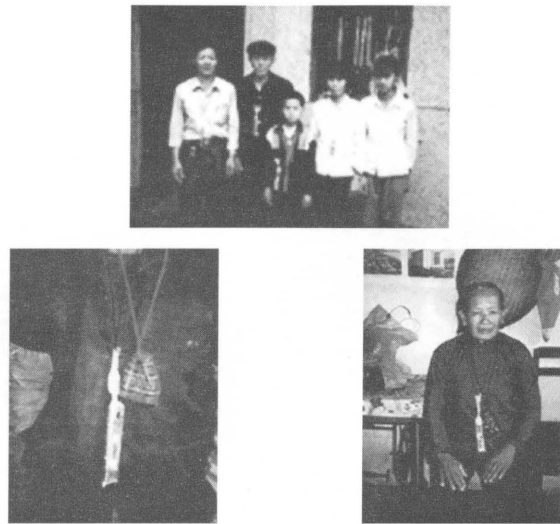


図6 個人被ばく線量測定方法 (中国)

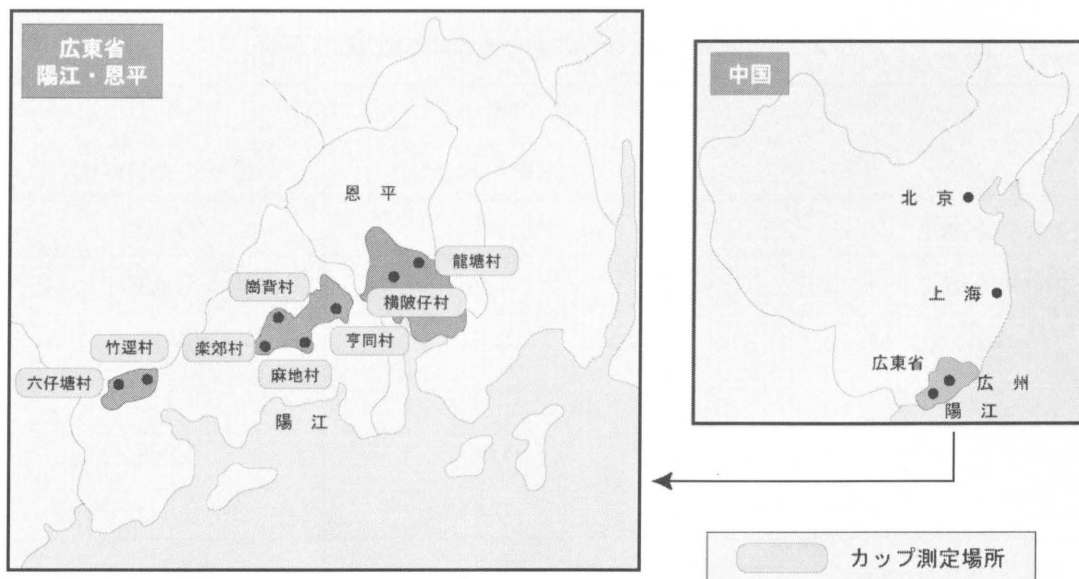


図7 陽江市・恩平県放射線環境調査実施地域

(HBRA) および恩平地域 (CA) における屋内線量率の頻度分布を示した。この中からそれぞれ長楽村、麻地村および横坡仔村などを選んで調査を行った。図9に典型的な村 (歴屯村) の状況と環境線量率分布を示した。集落は、中国特有で同じ形の家が集中して1つの村を形成している。村には入り口に

は、門、集会場や作業場があり、村に入る道路から住宅に近づくほど、そして中央に行くほど環境線量率は高くなり、周辺部より高い傾向を示している。線量は、近くで採取された土壌・粘土で作られた壁、瓦など建築材料の影響を受けている。

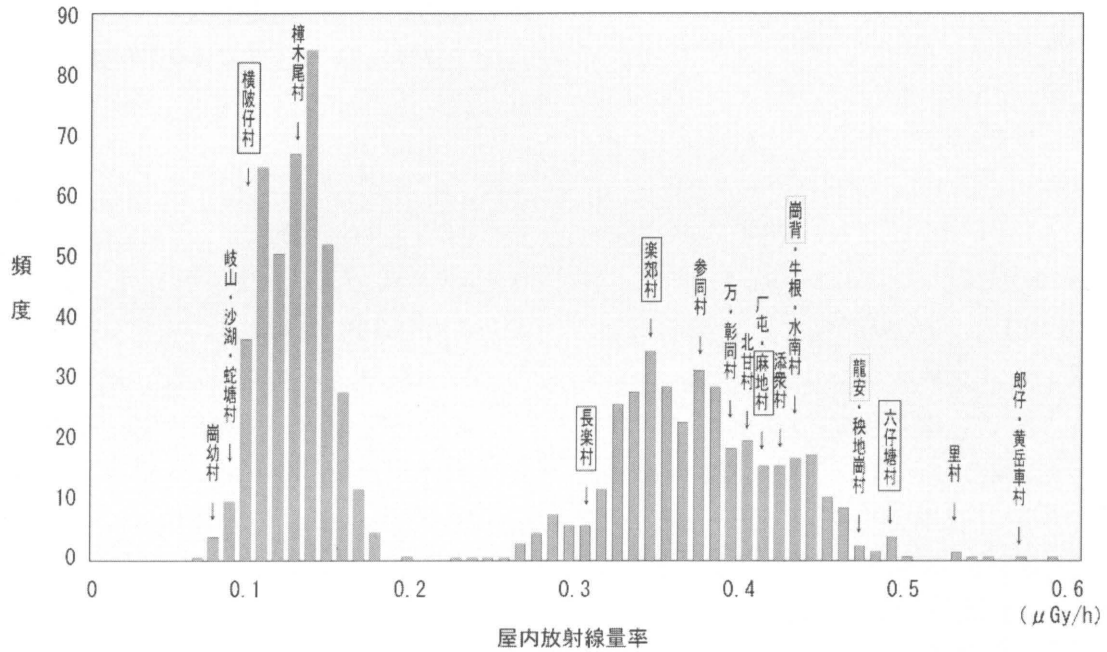


図8 陽江HBRAおよび恩平CAにおける屋内線量率の頻度分布

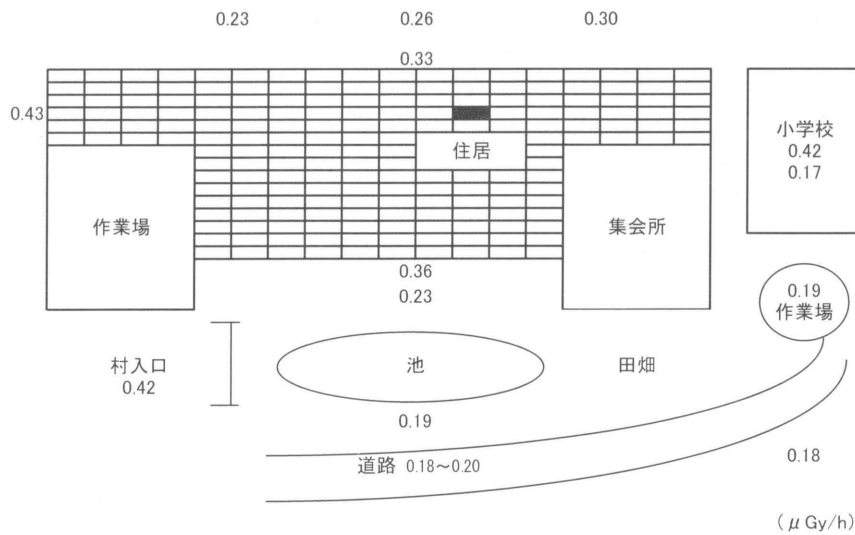


図9 高自然放射線地域における環境放射線量分布 (歴屯村)

屋内線量率は屋外よりも約2倍高く、部屋の壁際が特に高く、小さい部屋では顕著になり、壁から離れるに従って低くなった。壁材料中の放射性核種分析をGe半導体検出器とした γ 線エネルギースペクトルの測定により実施した結果、レンガ中の ^{232}Th および ^{238}U の崩壊生成核種濃度が対照地域のレンガと比べ数倍であること、村全体の線量を測定し分布を調べた結果、村の中央に位置する線量がやや周辺部より高いこと、および屋内線量率と建物の建築年代との間にやや逆相関があり、新しい家では低いなど、同じ村でも建築材料中の放射性核種のレベル、建築の年代、村内の家の配置状態により分布に変動があることが分った⁹⁾。村の農作地で線量測定中に、**図10**の様に、地上より10m位、粘土地層迄掘り、切り出してレンガを製作している光景に出会った。粘土層の放射線レベルは高く、これらのレンガで作った家では、屋内線量率が高くなる原因となり、ラドン濃度も高くなる。しかし、この地域は亜熱帯に位置し、冬季（11月～3月）も、温暖で過ごしやすい期間で、夏季は高温多湿のため、寝室のみ扉が閉められて、窓が小さくラドン濃度は、換気の

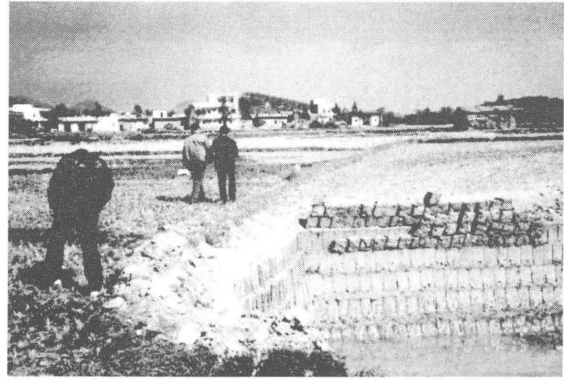


図10 はるか彼方に陽東市麻地村

影響により変動が大きくなり、他の部屋で、戸はなく、窓は1年中開放状態で、ラドン濃度は実際には予想よりも低くなった。空気中のラドン濃度より、**図11**に示すUNSCEAR報告による空気中 ^{222}Rn および ^{220}Rn 濃度の吸入による内部被ばく線量評価を行う。**表2**に中国高自然放射線地域（陽江麻地村）および対照地域（恩平県）における被ばく線量評価を示した。その結果によると、HBRAにおける全被ばく年線量は、CAにおける被ばく線量の3.5倍であった。

Rn-222吸入による内部被ばくは、UNSCEAR 1993年報告による被ばく評価による次式により計算した。

$$H (\text{mSv/y}) = K \cdot X \cdot T \cdot F$$

K : 実効線量換算係数 ($9.0 \times 10^{-6} \text{mSv/Bq} \cdot \text{h/m}^3$)

X : ラドン-222 濃度 (Bq/m^3)

T : 居住係数 (—) (屋外 0.26, 屋内0.74)

F : 平衡ファクター (—) (屋外 0.8, 屋内0.4)

Rn-220吸入による内部被ばくは、

$$H (\text{mSv/y}) = K \cdot X \cdot T \cdot F$$

K : 実効線量換算係数 ($3.2 \times 10^{-5} \text{mSv/Bq} \cdot \text{h/m}^3$)

X : ラドン-220 濃度 (Bq/m^3)

T : 居住係数 (—) (屋外 0.26, 屋内0.74)

F : 平衡ファクター (—) (屋外 0.01, 屋内0.1)

図11 空気中Rn-222およびRn-220濃度の吸入による内部被ばく線量評価

3.2 空气中ラドン濃度分布

公衆が受ける自然放射線による被ばく線量の半分が、ラドンおよびその崩壊生成核種の吸入に基づく内部被ばくに起因する²⁾と報告され、北欧諸国でのレンガ造りの建物や地下室などで屋内ラドン濃度が非常に高いことが報告され、環境中のラドンが注目されるようになって、世界各国で、日常生活においても興味のある問題で、多くの研究が行われている。

(1) 空气中ラドン測定法の特性

空气中のラドンの測定には、アクティブ法およびパッシブ法の2つに分けられ、前者はエアポンプなどを用いて比較的短期間にサンプリングし、測定

するもので、シンチセル法などが相当する³⁾。後者は、動力を使わず捕集し、長期間設置し、 α 線による飛跡を検出する積分型で、低レベルの測定には長時間を要し、むずかしい。空气中ラドン測定法の検出特性を表3に示したが、これによるとカップ法、ピコラド法が後者に相当する。シンチセル法は、真空真近までに保った検出器の栓を開放し、ルーカセル300Aで270mlの空気を吸引サンプリングし、 α 放射能をZnS (Ag) シンチレータで計数するもので、最小検出限界は 7.6Bq/m^3 で³⁾、瞬時サンプリングのため量が少なく感度は良くないが、70倍の容量のチェンバーでは1桁低い 0.58Bq/m^3 と屋外ラドン濃度(数 Bq/m^3)が検出可能となる。

表3 使用したラドン測定法の検出特性

	シンチセル法 (ルーカセル300A)	カップ法	ピコラド法
最小検出限界 (Bq/m^3)	7.6	11	1.7
精 度 (%)	23	10	7
サンプリング	瞬時	3ヶ月間	24時間
備 考	α シンチレーション 計数装置 0.27ℓ 30分測定 パイロン製	LR115 (硝酸セルロース) マック・スコープ (検鏡法) 名古屋大学法	活性炭ピコラド検出器 (20ml) 液体シンチレーションスペクトロメータ (TRI-CARB 2250CA) 200分測定 パッカー製

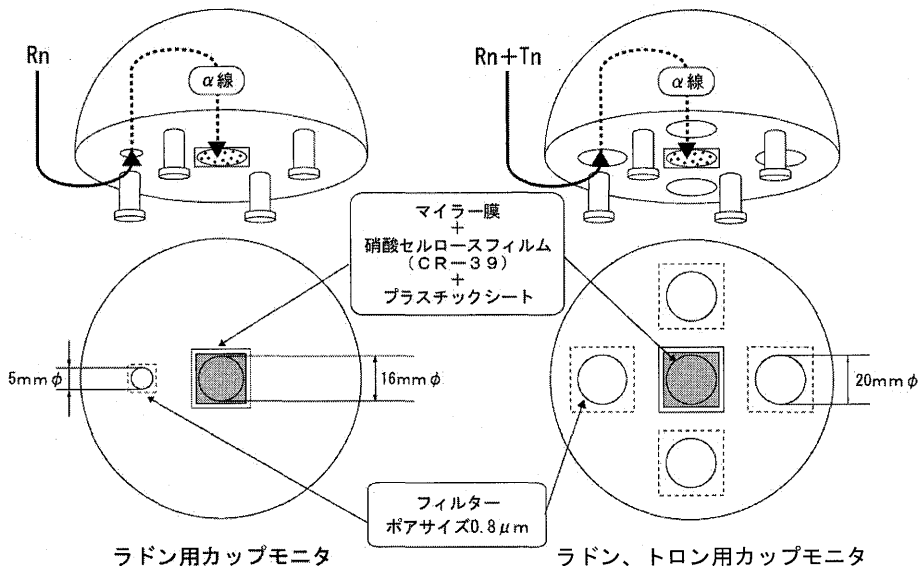


図12 カップ式ラドン・トロンモニタ

カップ法は、図12に示すように、直径50mmの半球状のステンレス製カップにφ16mmの固体飛跡検出器として硝酸セルロース (LR-115 type2) をセットし、ミリポアフィルタにより気体のラドンのみをサンプリングし、ラドンおよびその崩壊生成核種によるα線飛跡を2.5N-NaOH溶液で60℃、160分エッチングし、ピットを光学顕微鏡で画像処理により計数し、ラドン濃度に変換するもので、3ヶ月間の測定では最小検出限界は11Bq/m³のため、設置期間を長くすると屋外濃度の測定も可能となる。この方法では、設置期間中の変動はその間の平均濃度として測定している (図13)。

パッカー社製のピコラド検出器は、空気中のラドンが検出器中の活性炭に非常によく吸着するという性質を利用して、検出器の蓋を開放し24時間測定地点に、屋内と屋外 (地上1m) のセットで設置してラドンの捕集を行った後、液体シンチレータ溶液 (Insta-fluor) を10ml添加し、15秒間振とうし、有機層に抽出する。空気中のラドン濃度は、液体シン

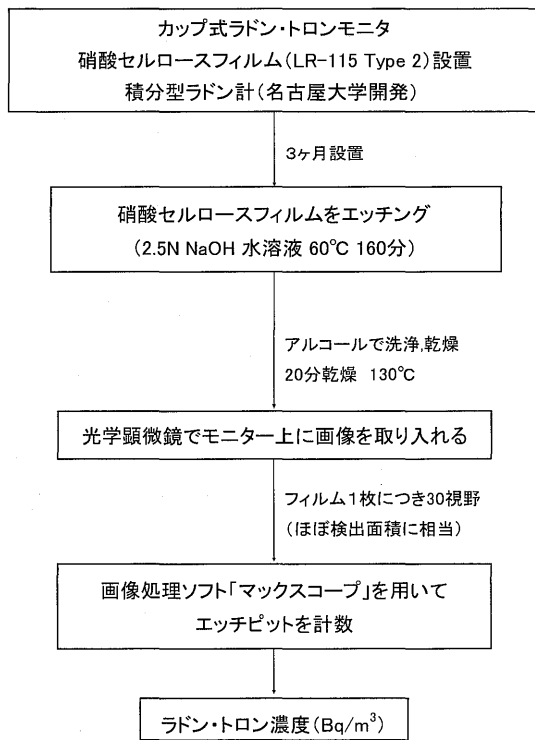


図13 カップ法によるラドン・トロン濃度測定法

チレーシヨンスペクトロメータで α および β 放射能を測定し、求める⁴⁾。測定に用いたピコラド法は、計測時間を最大200分とした場合、ラドンの半減期を考慮すると、サンプリングしてから1週間で数10個の試料を計測出来る。固体飛跡検出器によるパッシブ型積算モニタに比べると、1日のサンプリング時間で簡便に感度良く、ラドン濃度を測定出来、濃度分布図の作成が可能となる長所がある。ピコラド法による最小検出限界は計数時間200分で $1.7\text{Bq}/\text{m}^3$ と、非常に小さい検出器(20ml容)でありながら、精度10%と簡便に、屋外濃度も測定可能で、ラドンの半減期(3.8日)のため、測定は限られ早く終了する必要があるが、多数の試料を処理出来る。

4. ブラジル・ガラパリ高自然放射線地域

1998年9月にガラパリに線量測定を実施した

(図14)。測定は、中国で行った方法と同じ、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ(Aloka TCS-166)により行ったが、海岸付近など特異な地点を除くと、ガラパリおよびメアイペの路上における線量率は $0.1 \sim 0.4 \mu\text{Gy}/\text{h}$ であり、屋内についても最高 $0.4 \mu\text{Gy}/\text{h}$ であった。UNSCEAR¹¹⁾などの報告による1960年代の測定値 $1 \sim 2 \mu\text{Gy}/\text{h}$ に比べてかなり低く、道路の舗装化並びに建築材料と構造の変化など、都市化に伴ってガラパリ周辺の自然放射線環境が変化したことが考えられる。この地帯は長く伸びたブラジル大西洋岸に平行に走る山脈中の古片麻岩の長年の風化と分解によって、チタン鉄鋼ジルコナイト・モナザイト鉱物が自然に分離し、細粒となり、川や海に沈積し、海から波とともに小さな砂として浜に戻ってきたといわれている。ガラパリ砂浜における線量率は最高で $6.2 \mu\text{Gy}/\text{h}$ 、表面では $15 \mu\text{Sv}/\text{h}$ に達する黒い砂もあったが、

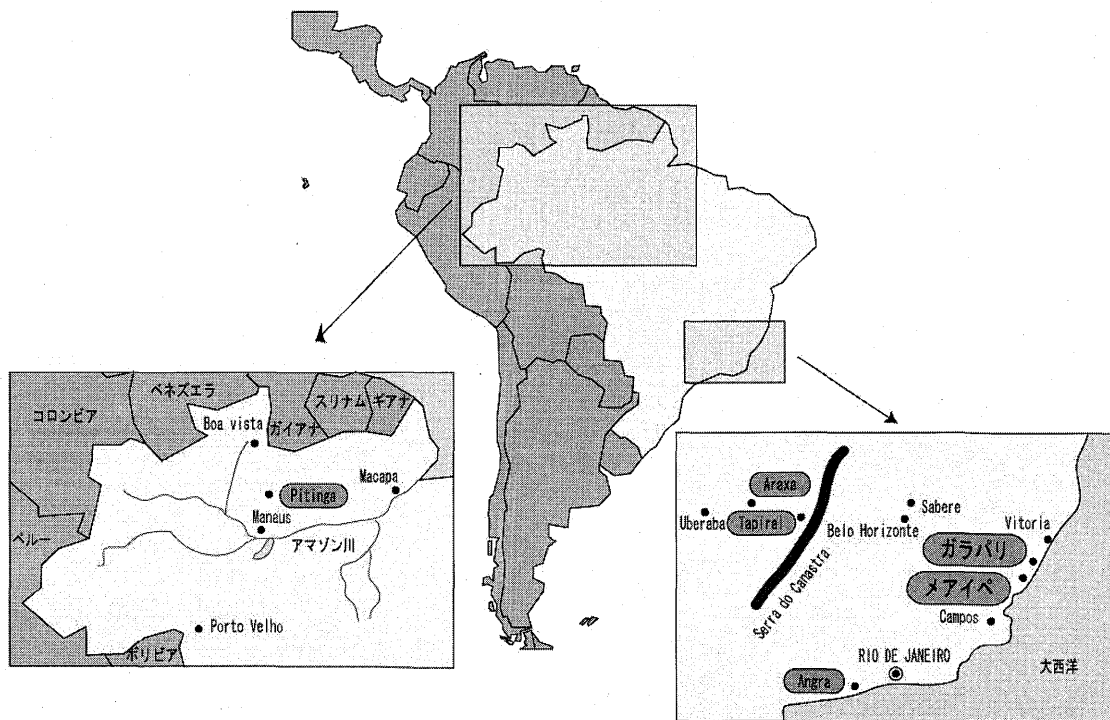


図14 ブラジル高自然放射線地域

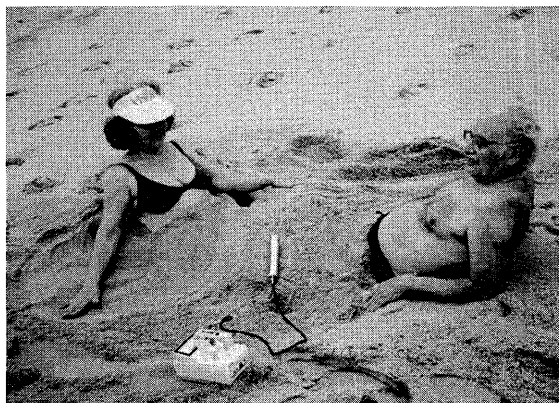


図15 温熱療法を楽しむ夫婦

0.09 μ Gy/hとバックグラウンドレベルのところも多く、図15に示すように、砂浜の黒い砂は健康に良いと信じられており、砂風呂の感じで年配のご夫婦が療養している姿が見られた。この黒い砂は、お土産としてガラスに封入しペンダントとして販売されており、周辺のホテルには、ラジウム、トリウムホテルと命名され宣伝効果を挙げており、保養地の町としてブラジルの教科書にも載っているそうであ

る。採取した砂や土壌の核種分析では ^{232}Th 濃度は $\sim 38.4\text{kBq/kg}$ 、 ^{226}Ra は $\sim 4.09\text{kBq/kg}$ と ^{232}Th 含有量が多い結果が得られている¹²⁾。

5. インド・ケララ高自然放射線地域

1994年12月にチャバラ、ニンダカラ、カルナガバリおよびトリバンダム市内において、NaI (TI) シンチレーションサーベイメータ (TCS-166) により線量測定調査を行った (図16)。トリバンダム市内においては、砂上1.5mで $0.4 \mu\text{Gy/h}$ 、アスファルト舗装上では $0.2 \mu\text{Gy/h}$ としゃへい効果で低くなっている。チャバラカリトラ海岸において、3~5mの石積み防波堤があり、さらに3~5m離れて民家が並んでいる。最も高かった所は、海岸線より10m位の砂地の地表面1.5mで $8.0 \mu\text{Gy/h}$ を示し、海岸線より数m毎に高低を繰り返し、帯状に拡がって分布している所もあり、ブラジル・ガラパリと同様にモナザイトの細砂が海から波とともに浜に戻り、高

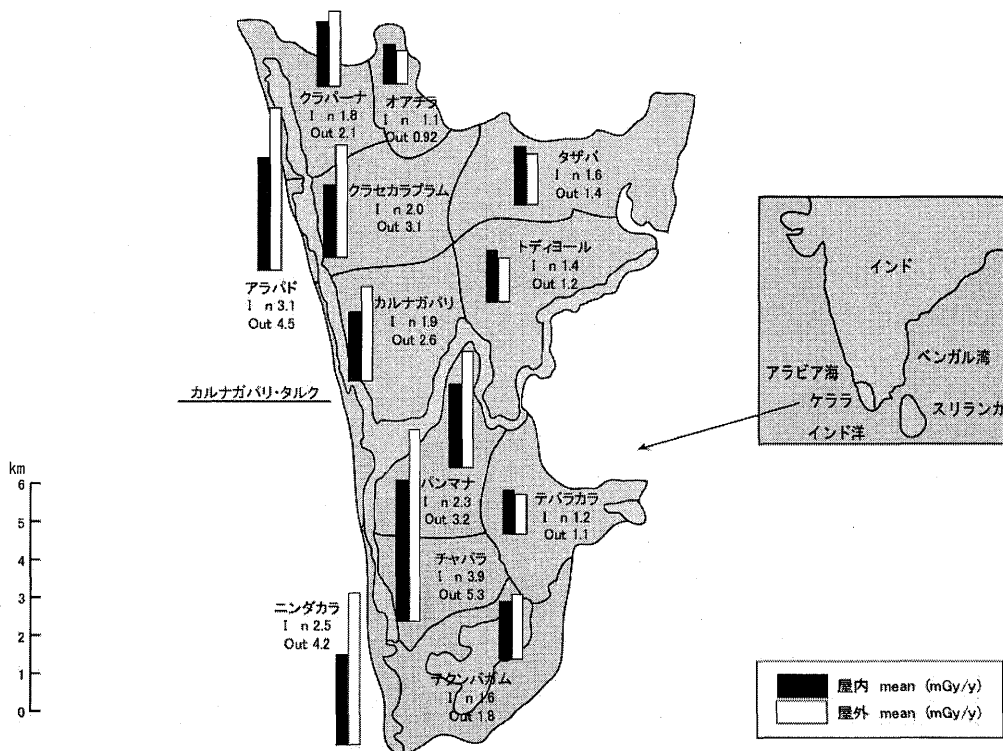


図16 インド高自然放射線地域 (ケララ・カルナガバリタルクパンチャト)

線量率を呈しているが(図17)、海岸線より1.5km位離れると0.09~0.16 μ Gy/hとバックグラウンドレベルに減少している。図18に示したように、砂上に椰子の葉を屋根にした裸土の家屋およびコンクリート舗装の床の家もあり、後者は、屋内線量率は低く、砂上の家の屋内の約1/3となる。²³²Thおよびその崩壊生成核種を多く含むモナザイトが線源となり、線量分布の変動が大きいため、住民の個人被ばく線量は、直接線量計による測定でないといふ被

ばく線量評価をすることが出来ないと思われる。また、この地域の住民の内、男性は海上で漁師として働くが、海上では放射線量率は0.027 μ Gy/hと低く、宇宙線の一部を測定されたのみで、1日中砂上で生活する女性に比べて低くなり、環境線量率よりの推定は大変難しくなる。被ばく線量における男女の差が、考えられ、男性が漁業を主とした職業で低く、女性は海岸の工場で線量の高い砂の上に座っての作業で、高いと予想される。

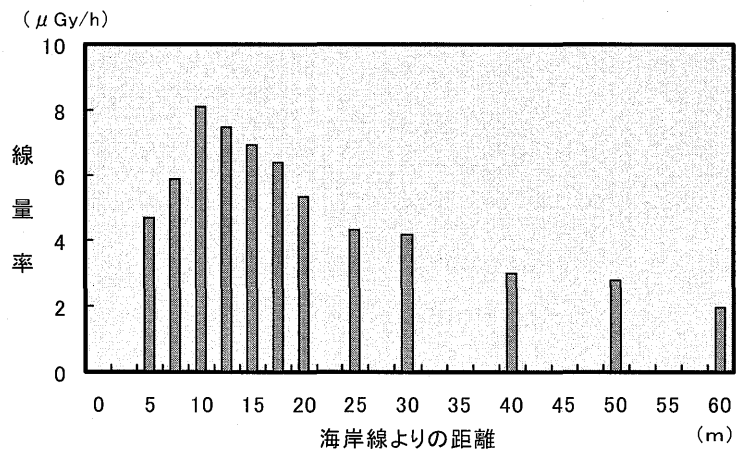


図17 ケララ・チャバラ・カリトラ海岸における線量率分布

住居 (A) コンクリート (床)

住居 (B) 裸土 (床)

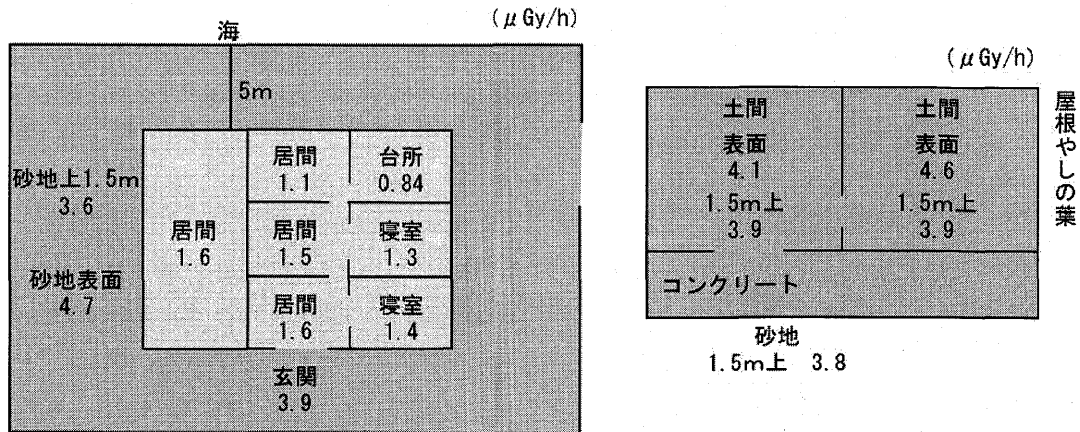


図18 カリトラ・アンダパン家における線量率分布

6. イラン・ラムサール高自然放射線地域

ラムサールは、イラン北部に東西に延びるエルブルツ山脈の北側の麓に位置するカスピ海沿岸の町で、**図19**に示したように温泉の湧出地より温泉水が流れ、放射線量は温泉堆積物の分布に大きく依存するため、下流方向近辺にスポット状に高線量の地点が点在する。このため、屋外では不規則に、かつ近距離でも線量率はかなり変動する。温泉の湧き出し口やその下流では1 mの高さで $22 \mu\text{Gy/h}$ 、表面で $73 \mu\text{Gy/h}$ に達する場所もあったが、人家や畑とは離れている。近くの3軒の屋内線量率を測定したが、1軒は非常に高く、床上1 mで $28 \mu\text{Gy/h}$ 、壁表面では $130 \mu\text{Gy/h}$ に達する場所があったが、建築材料として近くの土壌を使用しているものと思われる。寝室の線量率 $15 \mu\text{Gy/h}$ 、屋内平均線量率 $9 \mu\text{Gy/h}$ 、屋外の畑等の平均線量率を $1 \mu\text{Gy/h}$ と



図19 温泉の流れにより生じた湯華

し、それぞれの居住係数を0.29、0.38および0.33とすると、年間の外部被ばく線量評価は 71mGy/y と推定され、現在測定に入った国では最高値を示した。採取してきた温泉堆積物など土壌のGe半導体を検出器とした γ 線核種分析では、線源の主要核種は、 ^{226}Ra とその崩壊生成核種が原因であることが確認された。居住している人家は少ないが、染色体異常など細胞遺伝学的研究に期待が寄せられる。

7. まとめ

高自然放射線地域は世界中でいくつか知られており、日本・鳥取三朝温泉地域、中国・広東省陽江地域の花崗岩由来の地域、温泉堆積物によるイラン・ラムサールおよびブラジル・ガラパリ、インド・ケララ州などのモナザイトに由来する海砂地域などが代表例である。

それらの地域では ^{232}Th 、 ^{238}U 、 ^{226}Ra などの含有量が多く存在し、それが原因で放射線レベルが高く、調査に入った地域では、最高はイラン・ラムサールで大地放射線で $73 \mu\text{Gy/h}$ であった。モナズ石はペクマタイトや花崗岩に伴って産出し、風化されにくい性質を持っている。日本においても、山梨・増富温泉近くの鉱泉湧き出し口付近で最高 $8 \mu\text{Gy/h}$ とスポット的に高い所もあった。自然放射性核種の挙動と分布は、場所により、経時的にそして生活環境によっても変化し、今後も変化し続ける。私たちは、世界各地の高自然放射線地域における放射線の被ばく評価を正確に実施することにより、放射線影響研究の一環としての住民の被ばく線量評価を確実にするために次のことに留意して研究を進めている。

- (1) 高自然放射線地域において被ばく線量を直接測定するにあたって、被ばく線量評価には、まず環境放射線レベルの把握、測定器の選定、線源は何かを確認する必要がある。中国、イランは、ラジウム、ウラン崩壊生成核種系列、インド、ブラジ

- ルは、モナズ石、トリウム崩壊生成核種系列など、地質的な差が重要となる。
- (2) 高自然放射線地域と対照地域の設定が重要である。対照地域の設定に、生活条件がかなりHBRAに似ているということで選ぶと、高放射線地域に近くなり、放射線に差がなくなる。高自然放射線地域より十分レベルが低いところを選ぶ必要がある。
- (3) 放射線レベルのグループを3群に分けて、高自然放射線地域のあらゆる範囲のレベルでの調査を行う。
- (4) 環境放射線の屋内・屋外などを比較すると、中国、イランは屋内が高く、インドは特に屋外が高くて、屋内が低いなど線源、生活条件によって相違する。
- (5) 食物摂取による内部被ばく線量評価のために、野菜、魚、肉など食べ物、栽培土壌、河川水、飲料水をサンプリングし、灰化、濃縮、乾固した状態で放射能濃度を測定する。
- (6) 空気中のラドン、トロンおよびそれらの崩壊生成核種による吸入被ばく評価のため濃度を測定する。
- 度(3)の測定(3), 近畿大学原子力研究所年報, 33, p11-23 (1996)
- 5) 放射線医学総合研究所ラドン濃度測定, 線量評価委員会; ラドン濃度全国調査最終報告書, NIRS-R-32 (1997)
- 6) T. Sobue, W. Ye, V. S. Lee, H. Tonooka, M. Mifune, A. Suyama, T. Koga, H. Morishima and S. Kondo; Cancer incidence in Misasa: A Spa Area in Japan with Elevated Radon Levels, Kodansya scientific LTD. Indoor Radon Exposure and Its Health Consequences, p19-26 (1999)
- 7) H. Morishima, T. Koga, K. Tatsumi, S. Nakai, T. Sugahara, Y. Yuan, L. Wei, X. Qiu and L. Zha; Dose measurement at the High Background Radiation Area in China., Proc. of Asia Congress on Radiation Protection, p553-556 (1993)
- 8) H. Morishima, T. Koga, K. Tatsumi, S. Nakai, T. Sugahara, Y. Yuan, L. Wei and X. Qiu; Dose measurement and its problems on the HBRA in China., Proc. of Int. Congress Radiation Protection IRPA-9, 2, p213-215 (1996)
- 9) H. Morishima, T. Koga, K. Tatsumi, S. Nakai, T. Sugahara, Y. Yuan and L. Wei; Study of the indirect method of personal dose assessment for the inhabitants in HBRA of China. High Levels of natural Radiation 1996 ? Radiation Dose and Health Effects. L. Wei, T. Sugahara and ZF. Tao, p235-240, Elsevier Science BV, Netherlands (1997)
- 10) L. Wei, T. Sugahara and ZF. Tao; High Levels of Natural Radiation 1996 ? Radiation Dose and Health Effects, Elsevier Science BV, Netherlands (1997)
- 11) UNSCEAR; Ionization Radiation; Sources and biological effects, p773 (1982)

参考文献

- 1) 総説 宇宙と地球の放射線環境; 藤高和信編, 月間「地球」, 海洋出版(株) (1998)
- 2) 国連科学委員会; II Terrestrial radiation UNSCEAR 2000 Report-Annex A; Exposures from natural sources of radiation (2000)
- 3) 古賀妙子, 森嶋彌重, 御船政明 他; シンチセル・ラドンモニタによる空气中ラドン濃度の測定, 近畿大学原子力研究所年報, 36, p15-23 (2000)
- 4) 古賀妙子, 稲垣昌代, 森嶋彌重, 御船政明他; ピコラド検出器を用いた液体シンチレーション計数法による鳥取・三朝地域におけるラドン濃

森嶋他：世界の高自然放射線地域の線源、線量測定および線量分布

- 12) 藤波直人, 古賀妙子, 森嶋彌重；ブラジル・ガラパリ周辺の空間線量率予備調査, 保健物理, 34 (3) , p253-268 (1999)
- 13) 森嶋彌重, 古賀妙子, 藤波直人；低線量放射線に対する適応応答に関する研究 (平成11年度報告書), (財) 産業創造研究所 (2000)