

資料

三重県における 2018 年度環境放射能調査結果

西 智広, 森 康則, 吉村英基

キーワード：環境放射能, 核種分析, 全ベータ放射能, 空間放射線量率

はじめに

日本における環境放射能調査は、1954 年のビキニ環礁での核実験を契機に開始され、1961 年から再開された米ソ大気圏内核実験、1979 年スリーマイル島原発事故、1986 年チェルノブイリ原発事故を経て、原子力関係施設等からの影響の有無などの正確な評価を可能とするため、現在では全都道府県で環境放射能水準調査が実施されている¹⁾。

三重県は 1988 年度から同事業を受託し、降水の全ベータ放射能測定、環境試料および食品試料のガンマ線核種分析ならびにモニタリングポスト等による空間放射線量率測定を行って県内の環境放射能のレベルの把握に努めている。

さらに福島第一原子力発電所事故後は、国のモ

ニタリング調整会議が策定した「総合モニタリング計画」²⁾に基づき原子力規制庁が実施する調査の一部もあわせて行っている。

本報では、2018 年度に実施した調査の結果について報告する。

方 法

1. 調査の対象

調査対象は、定時降水（降雨）、降下物、大気浮遊じん、土壌、淡水（河川水）、蛇口水、穀類、農産物、牛乳、海産生物および空間放射線量率である。表 1 に測定項目、試料の種別、採取場所等を示す。海産生物の貝類について、2018 年度はあさがり不漁のため、はまぐりを試料として用いた。

表 1 放射能調査の試料種別の採取時期・場所

項目	試料の種別	採取月等	採取場所
全ベータ放射能	降水（雨水）	降水ごと（09:00）	三重県四日市市
ガンマ線核種分析	降下物（雨水+ちり）	毎月（1ヶ月間分）	三重県四日市市
	大気浮遊じん	四半期ごと（3ヶ月間分）	三重県四日市市
	淡水（河川水）	2018 年 10 月	三重県亀山市（鈴鹿川）
	土壌（草地）	7 月	三重県三重郡菰野町
	蛇口水	6 月	三重県四日市市
	穀類（精米）	9 月	三重県松阪市
	茶（荒茶）	5 月	三重県亀山市、多気郡大台町
	牛乳	8 月	三重県度会郡大紀町
	ほうれんそう	11 月	三重県四日市市
	だいこん	12 月	三重県多気郡明和町
	まだい	8 月	三重県北牟婁郡紀北町（熊野灘）
	はまぐり	4 月	三重県伊勢市（伊勢湾沿岸）
	わかめ	2019 年 2 月	三重県鳥羽市（答志島沖）
空間放射線量率	—	連続/毎月 1 回	三重県四日市市、三重県伊賀市、三重県伊勢市、三重県尾鷲市

2. 採取および測定の方法

試料の採取、処理および測定は、「環境放射能水準調査委託実施計画書」（原子力規制庁）¹⁾に基づき実施した。

1) 全ベータ放射能測定

試料の採取：三重県四日市市（34°59'31"，136°29'06"）の当所屋上（地上 18.6m）に設置した

降水採取装置で雨水を採取し、24 時間の降雨量が 1mm 以上（毎朝 9:00 時点）のとき、そこから 200mL（それ以下の場合は全量）を採り試料とした。

前処理：試料にヨウ素担体（1mg/mL）1mL、0.05mol/L 硝酸銀 2mL および硝酸（1+1）数滴を加え加熱濃縮し、ステンレス製試料皿（50mm φ）で蒸発乾固した。

測定：採取6時間後にベータ線自動測定装置で測定を行った。比較試料は、酸化ウラン (U₃O₈：日本アイソトープ協会製ベータ線比較線源 50Bq) を用いた。測定時間は測定試料，比較試料，バックグラウンド試料（空試料）すべて40分とした。

2) 核種分析

降下物：当所屋上に設置した大型水盤で、1ヶ月間に降下した雨水およびちりを採取し、濃縮後全量をU-8容器に移し乾固して測定試料とした。

大気浮遊じん：当所屋上に設置したハイボリウムエアサンプラを用いて、3ヶ月間で10回サンプリング（流速 54.0m³/h，24h）を行い、約13,000m³の大気を吸引して大気浮遊じんを10枚のろ紙（ADVANTEC HE-40T）上に採取した。このろ紙を円形に打ち抜き、U-8容器に充填して測定試料とした。

土壌：三重県三重郡菟野町地内の草地（山砂土）において梅雨明け後、2～3日降雨がない日に深度0～5cm、5～20cmの土壌を採取した。これを105℃で乾燥後、ふるい（2mmメッシュ）を通して得た乾燥細土100～120g程度をU-8容器に充填し測定試料とした。

淡水：鈴鹿川の河川水100Lを、三重県亀山市関町地内（勸進橋下）で採取し、塩酸（HCl(1+1) 2mL/L）を加えて濃縮後、全量をU-8容器に移し乾固して測定試料とした。

蛇口水：当所1階研究室の蛇口から水道水を100L採取し濃縮後、全量をU-8容器に移し乾固して測定試料とした。

食品：穀類（精米）および牛乳は、それぞれ年1回採取し、約2kgをそのまま2Lマリネリ容器に入れ測定試料とした。農産物（茶、野菜）、海産物（まぐり、はまぐり、わかめ）は、それぞれ

年1回収穫時期に採取し、可食部約4～8kgを、蒸発皿で炭化後、電気炉（450℃、24時間）で灰化した。灰化物を磨砕後、ふるい（0.35mmメッシュ）を通して異物を除去し、U-8容器に分取して測定試料とした。

これら測定試料は、Ge半導体検出器で測定時間を70,000秒とし放射性核種の測定を行った。

3) 空間放射線量率測定

モニタリングポストによる空間放射線量率の連続測定は県内4地点で実施する体制となっている。北勢局は当所の屋上（地上18.6mの位置）に検出器を設置している。その他3局は県伊賀庁舎（中勢伊賀局：三重県伊賀市）、県伊勢庁舎（南勢志摩局：三重県伊勢市）、県広域防災拠点施設（東紀州局：三重県尾鷲市）に設置しており、すべて地上1mの位置に検出器を置き、測定を実施している。4局の測定データ（10分間値）はオンラインで国へ報告され、ウェブサイト上で公表されている³⁾。

あわせて、月1回（毎月第2週水曜日10:00）当所前駐車場の地上1mの位置で、シンチレーションサーベイメータによる測定を行った。測定法は、時定数を30秒として30秒間隔で5回指示値を読み、その平均値をとる方法とした。

3. 採取・測定装置

1) 全ベータ放射能測定

採取装置：ステンレス製降水採取装置（受水面積：1,000cm²）

降雨量測定装置：（株）小笠原計器製作所製C-R543型雨量計、光進電気工業（株）KP-020型雨量計

測定装置：日立アロカメディカル（株）製β線自動測定装置JDC-3201

表2 定時降水中の全ベータ放射能測定結果

採取期間	降水量(mm)	試料数	検出数	降下量(MBq/km ²)
2018年4月	180.5	6	2	9.9
5月	224.5	8	-	N.D.
6月	266.0	10	1	9.2
7月	278.0	8	1	3.0
8月	270.0	9	-	N.D.
9月	389.5	14	-	N.D.
10月	29.5	6	-	N.D.
11月	52.5	5	-	N.D.
12月	66.0	8	-	N.D.
2019年1月	39.0	9	1	3.7
2月	62.5	6	1	7.6
3月	98.0	11	4	8.2
2018年度	1956.0	100	10	N.D.～9.9
2017年度	2181.0	97	19	N.D.～50
2016年度	2361.5	110	15	N.D.～70
2015年度	2300.5	105	12	N.D.～35

注) N.D.：不検出（計数値が計数誤差の3倍を下回るもの）。

2) 核種分析

降下物採取装置：ステンレス製大型水盤(受水面積：5,000cm²)

大気浮遊じん採取装置：柴田科学(株)製ハイボリウムエアサンプラ HV-1000F

核種分析装置：キャンベラ製 Ge 半導体検出器 GC2519-DSA2000, GC2520-DSA1000

3) 空間放射線量率測定

モニタリングポスト：日立アロカメディカル(株)製環境放射線モニタ装置 MAR-22

シンチレーションサーベイメータ：日立アロカメディカル(株)製 TCS-171

結果および考察

1. 全ベータ放射能測定

全ベータ放射能の測定は、同種の試料の放射能レベルの相互比較において、迅速に概略の情報を得られる手法であるため^{4,5)}、環境放射能水準調査では降雨ごとに全ベータ放射能を測定し環境中の放射能の推移などを把握することになっている¹⁾。表2に2018年度に測定を実施した100件の結果を示した。100試料中10試料から全ベータ放射能が検出された。全ベータ放射能が検出された試料は核種分析を実施したが、人工放射性核種は検出されず、特に異常と判断される試料はなかった。

表3 環境試料中の I-131, Cs-134, Cs-137 および K-40 濃度

試料	採取時期	試料数	単位	I-131	Cs-134*	Cs-137	K-40		
降下物	2018年	4月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	1.83	
		5月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	0.87	
		6月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
		7月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	1.23	
		8月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	1.20	
		9月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	1.00	
		10月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	0.62	
		11月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
		12月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
		2019年	1月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
			2月	1	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		2018年度	12	MBq/km ²	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.~1.83	
	2012~2017年度	72	MBq/km ²	N.D.	N.D.~0.631	N.D.~2.00	N.D.~1.96		
	2011年度	12	MBq/km ²	N.D.~13.3	N.D.~18.4	N.D.~17.7	N.D.~1.85		
1989~2010年度	264	MBq/km ²	N.D.~1.24	-	N.D.~0.348	N.D.~57.9			
大気浮遊 じん	2018年	4~6月	1	mBq/m ³	N.D.	N.D.	N.D.	0.189	
		7~9月	1	mBq/m ³	N.D.	N.D.	N.D.	0.122	
		10~12月	1	mBq/m ³	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	2019年	1~3月	1	mBq/m ³	N.D.	N.D.	N.D.	0.134	
		2018年度	4	mBq/m ³	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.~0.189	
	2012~2017年度	24	mBq/m ³	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.~0.310		
	2011年度	4	mBq/m ³	N.D.	N.D.~0.296	N.D.~0.317	0.239~0.317		
	1989~2010年度	88	mBq/m ³	N.D.	-	N.D.	N.D.~0.565		
淡水 (河川水)	2018年10月	1	mBq/L	N.D.	N.D.	N.D.	56.1		
	2012~2017年度	6	mBq/L	N.D.	N.D.	N.D.	50.5~81.3		
		1	mBq/L	N.D.	N.D.	N.D.	67.3		
	2003~2010年度	8	mBq/L	N.D.	-	N.D.	58.1~78.9		
土壌 (0-5cm)	2018年7月	1	Bq/kg 乾	N.D.	N.D.	N.D.	725		
	2012~2017年度	6	Bq/kg 乾	N.D.	N.D.	1.03~1.56	706~802		
		1	Bq/kg 乾	N.D.	N.D.	1.19	775		
	1989~2010年度	22	Bq/kg 乾	N.D.	-	N.D.~2.69	556~812		
土壌 (5-20cm)	2018年7月	1	Bq/kg 乾	N.D.	N.D.	N.D.	701		
	2012~2017年度	6	Bq/kg 乾	N.D.	N.D.	N.D.	711~765		
		1	Bq/kg 乾	N.D.	N.D.	N.D.	750		
	1989~2010年度	22	Bq/kg 乾	N.D.	-	N.D.~1.63	593~856		

注) N.D.：不検出(計数値が計数誤差の3倍を下回るもの)。

過去のデータの採取場所は、表1と異なるものがある。

Cs-134は2010年度以前には測定対象としていない。

2. 核種分析

環境放射能水準調査における核種分析は、原子力発電所の事故や核実験等により大気中に放出された放射性物質による影響を評価するため、大気浮遊じん、降下物、土壌、淡水の環境試料と蛇口水、精米、野菜類、茶、牛乳、水産生物の食品試料について実施している。

定量対象としている核種は、短半減期の核種⁶⁾のうち甲状腺への内部被ばくの影響が大きいI-131（半減期 8.02d）、比較的長半減期の核種⁶⁾の指標としてCs-137（半減期 30.04y）、比較の指標として天然放射性核種のうちK-40（半減期 1.277×10^9 y）⁷⁾と2011年度から福島第一原子力発電所の事故を踏まえて追加したCs-134（半減期

2.06y）⁶⁾の合計4核種である。なお、蛇口水、精米及び牛乳を除く食品試料は灰化して測定を行うため、I-131は定量対象としていない。

1) 環境試料

表3に2018年度における三重県内の降下物、大気浮遊じん、淡水、土壌のガンマ線核種分析結果を示す。

土壌表層（0-5cm）において例年検出されているCs-137は、2018年度では検出されなかった。K-40は降下物及び大気浮遊じんの一部、淡水、土壌から検出された。事故後の全国の環境放射能調査状況⁸⁾から見ると、2018年度の結果は特に異常は見られず、県内の環境に影響を与えるレベルではないと考えられるが、今後も継続し

表4 食品試料中のCs-134, Cs-137 およびK-40濃度

試料	採取時期	試料数	単位	Cs-134*	Cs-137	K-40
蛇口水	2018年6月	1	mBq/L	N.D.	N.D.	19.1
	2012～2017年度	6	mBq/L	N.D.	N.D.	16.9～23.1
	2011年度	1	mBq/L	0.408	0.434	24.5
	1989～2010年度	36	mBq/L	-	N.D.～0.313	17.6～69.9
穀類（精米）	2018年9月	1	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	21.5
	2012～2017年度	6	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	25.1～27.4
	2011年度	1	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	23.0
	1989～2010年度	22	Bq/kg 生	-	N.D.	21.9～34.2
茶（荒茶）	2018年5月	2	Bq/kg 乾	N.D.	N.D.	563～753
	2012～2017年度	12	Bq/kg 乾	N.D.～0.436	0.161～0.643	544～741
	2011年度	2	Bq/kg 乾	3.83～4.42	3.87～4.71	623～633
	1989～2011年度	42	Bq/kg 乾	-	N.D.～1.72	417～766
牛乳	2018年8月	1	Bq/L	N.D.	N.D.	46.4
	2012～2017年度	6	Bq/L	N.D.	N.D.	45.3～49.7
	2011年度	1	Bq/L	N.D.	N.D.	49.0
	1989～2010年度	36	Bq/L	-	N.D.	32.0～51.8
ほうれんそう	2018年11月	1	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	169
	2012～2017年度	6	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	141～214
	2011年度	1	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	146
	1989～2010年度	22	Bq/kg 生	-	N.D.～0.058	58.0～237
だいこん	2018年12月	1	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	77.7
	2012～2017年度	6	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	62.9～124
	2011年度	1	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	77.6
	1989～2010年度	22	Bq/kg 生	-	N.D.～0.056	63.0～106
まだい	2018年8月	1	Bq/kg 生	N.D.	0.156	152
	2012～2016年度	6	Bq/kg 生	N.D.	0.153～0.180	152～172
	2011年度	1	Bq/kg 生	N.D.	0.130	147
	1994～2010年度	17	Bq/kg 生	-	0.090～0.244	92.5～164
はまぐり	2018年4月	1	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	55.3
あさり	2012～2017年度	6	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	72.3～78.6
	2011年度	1	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	73.0
	2001～2010年度	10	Bq/kg 生	-	N.D.	31.9～83.2
わかめ	2019年2月	1	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	221
	2012～2017年度	6	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	198～267
	2011年度	1	Bq/kg 生	N.D.	N.D.	236
	1998～2010年度	13	Bq/kg 生	-	N.D.	105～278

注) Cs-134は2010年度以前には測定対象としていない。

た監視を行っていく必要があると考えている。

2) 食品試料

表4に2018年度における県内の蛇口水、県内で生産された精米、茶（荒茶）、野菜類（ほうれんそう、だいこん）、牛乳、県近海でとれた水産生物（まだい、はまぐり、わかめ）のガンマ線核種分析結果を示す。

まだいからCs-137が検出されたが、検出値は以前の結果⁸⁾と比較して特に高いものではなく平常の値の範囲内にあると考えられた。

2018年度の食品試料における放射性セシウムの検出値は、2012年4月に施行された食品の規格基準（飲料水 10Bq/kg、乳児用食品・牛乳 50Bq/kg、一般食品 100Bq/kg）⁹⁾を大きく下回る値であった。

K-40はすべての試料から検出されたが、表4に示した過去の結果および他県の結果⁸⁾との比較から、平常値の範囲と判断された。

食品試料においてもCs-137以外の人工放射性核種は検出されなかった。

3. 空間放射線量率測定

表5および6に2018年度の三重県内におけるモニタリングポストおよびサーベイメータによる空間放射線量率の測定結果を示す。モニタリングポストの測定値は、従前から報告してきた1時間値の平均値、最大値、最小値を記載した。

各局の最大値は降雨時に観測され、気象現象に伴う変動と判断された。特に2018年度は例年よりも突発的な豪雨が多く観測され、最大値が高くなる回数も多かった。

県内の4局の2018年度の測定結果は、過去3年間の結果および他都道府県の観測値³⁾と比較して異常な値は観測されていないことから、平常の範囲内にあつたと考えられる。

東紀州局の測定値が他局と比較して高い値となるのは、この地域の花崗岩質の地質によるものと推定している¹⁰⁾。

空間放射線量率を測定することで、公衆の線量当量を外部被ばく推定式(1)^{4,11)}により推定することができる。それぞれの地点の2018年度の年平均値を式(1)により換算すると、北勢局 46nSv/h、中勢伊賀局 66nSv/h、南勢志摩局 51nSv/h、東紀州局 83nSv/hとなり、すべての局で公衆の年線量当量限度（1mSv/年）⁴⁾の時間換算量（114nSv/h）を下回っており問題のない結果であると言える。

$$\text{Hex(Sv)}=\text{Dex(Gy)}\times 1.0\cdots(1)$$

Hex(Sv)：時間当たりの(実効)線量当量

Dex(Gy)：時間当たりの(空気)吸収線量

2018年度も福島第一原子力発電所事故を考慮し換算係数は緊急時の1.0を用いた。

地上1mでのサーベイメータによる測定についても、異常値は観測されていない。機器の精度、回数および測定条件等から、結果が変動しやすく、測定地点の違いからモニタリングポストの測定値より高い値を示す傾向があることを考慮すると、2018年度の測定結果は平常値の範囲と判断された。異常時に的確に対応するためには、さらに観測を継続して平常時における各地域の空間放射線量率の変動幅などについて把

表5 2018年度の空間放射線量率1（宇宙線による線量率(約30 nGy/h)を含まない)

測定年月	北勢局モニタリングポスト(nGy/h)				サーベイメータ(nGy/h) (地上1m)				
	測定回数	平均値	最大値	最小値	測定回数	測定値	平均値	最大値	最小値
2018年 4月	720	46	61	44	1	68	-	-	-
5月	744	47	67	44	1	67	-	-	-
6月	720	46	61	44	1	80	-	-	-
7月	744	46	77	44	1	66	-	-	-
8月	744	46	57	44	1	64	-	-	-
9月	720	47	63	44	1	68	-	-	-
10月	744	46	54	44	1	69	-	-	-
11月	718*	46	53	44	1	65	-	-	-
12月	744	47	65	45	1	67	-	-	-
2019年 1月	744	47	73	44	1	71	-	-	-
2月	666*	46	61	45	1	73	-	-	-
3月	744	46	57	44	1	67	-	-	-
2018年度	8752	46	77	44	12	-	69	80	64
2017年度	8743	46	86	44	12	-	66	70	61
2016年度	8750	46	91	34	12	-	66	69	61
2015年度	8751	47	79	41	12	-	68	74	65
2014年度	8751	46	75	40	12	-	67	69	65

注) 機器点検等のため欠測がある。

表6 2018年度の空間放射線量率2（宇宙線による線量率（約30 nGy/h）を含まない）

測定年月	中勢伊賀局(nGy/h)			南勢志摩局(nGy/h)			東紀州局(nGy/h)				
	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値		
2018年	4月	66	99	63	51	67	48	83	104	81	
	5月	66	88	63	51	75	48	84	110	80	
	6月	66	83	63	51	64	48	83	111	79	
	7月	65	109	63	51	91	48	83	100	79	
	8月	65	74	63	51	79	48	83	97	79	
	9月	66	79	63	51	73	45	83	138	79	
	10月	66	73	63	51	67	48	83	105	80	
	11月	66	79	64	51	65	49	83	98	81	
	12月	66	85	64	51	69	49	83	101	81	
	2019年	1月	67	102	64	51	79	49	84	125	82
		2月	66	88	63	51	75	49	83	107	81
		3月	66	94	63	51	70	48	83	99	81
2018年度	66	109	63	51	91	45	83	138	79		
2017年度	66	98	63	52	89	48	83	147	79		
2016年度	66	109	63	51	86	46	83	114	78		
2015年度	66	103	63	52	83	49	83	121	80		
2014年度	66	110	62	53	80	49	83	115	78		

握しておく必要があると思われる。

まとめ

1. 2018年度の三重県定点における降水中の全ベータ放射能測定からは、特に異常なデータは得られなかった。
2. 2018年度の環境試料（降下物、大気浮遊じん、陸水、土壌）および食品試料（蛇口水、農産物、水産物）中のガンマ線放出核種の測定結果では、人工放射性核種である Cs-137 が一部試料から検出された。検出濃度は問題となるレベルではなかったが、今後も調査を継続し推移を把握していく必要がある。
3. 2018年度の三重県定点におけるモニタリングポストによる連続測定、サーベイメータを用いた月1回の測定では、空間放射線量率の異常値は観測されなかった。
4. 2018年度の環境放射能水準調査で得られた結果は2017年度の観測結果とほとんど変化はなく平常の状態であったと言える。

本報告は、原子力規制庁からの受託事業として、三重県が実施した「環境放射能水準調査」の成果である。

文 献

- 1) 原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室：環境放射能水準調査委託実施計画書(2018)。
- 2) モニタリング調整会議：「総合モニタリング計画」(2013)。

- 3) 原子力規制委員会ウェブサイト「放射線モニタリング情報」。 <http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/>
- 4) 原子力安全委員会：環境放射線モニタリング指針(2008)。
- 5) 文部科学省：放射能測定法シリーズ1「全β放射能測定法」(1976)。
- 6) (社)日本アイソトープ協会：アイソトープ手帳11版，丸善(2011)。
- 7) Measurement of Radionuclides in Food and the Environment / A Guidebook, IAEA, VIENNA (1989)。
- 8) ウェブサイト「日本の環境放射能と放射線」。 <http://www.kankyo-hoshano.go.jp/>
- 9) 2012年3月15日付け食安発0315第1号厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知：「乳及び乳製品の成分規格等に関する省令の一部を改正する省令，乳及び乳製品の成分規格等に関する省令別表の二の(一)の(1)の規定に基づき厚生労働大臣が定める放射性物質を定める件及び食品，添加物等の規格基準の一部を改正する件について」。
- 10) 尾辺俊之，富森聡子，橋爪 清：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 (1993)。
- 11) 吉岡満夫：公衆の被ばく線量評価，中島敏行編 緊急時における線量評価と安全への対応，放射線医学総合研究所，17-40 (1994)。