

# 私のRI 歴書

## 公衆の放射線防護研究の50年

稲葉 次郎

Inaba Jiro

((公財)放射線影響協会研究参与,  
(独)放射線医学総合研究所 名誉研究員)



50年にわたって放射線防護特に内部被ばくに関連した研究に携わってきたことから、放射性核種との付き合いも長く、それらにつき簡単に紹介したい。と同時に、RI 歴書ということで、不定期な測定ではあるが長期間にわたる筆者自身の体内放射能に関するデータの蓄積があるので、それにも触れたい。

### 1. 私のRI 歴書

#### 1.1 放医研入所とコーネル大学留学など

1963年に文部科学省の前身である科学技術庁の研究所、放射線医学総合研究所（以下、放医研）に入った。かねてより新しい領域の研究職を希望していたことと、RI トレーサ法など当時としては新しい研究技法が使えるということで心弾ませての就職となった。渡辺博信先生が部長であった環境衛生研究部の市川龍資先生が室長の研究室に所属した。

放医研は1957年に設立されていたが、その背景には、第2次世界大戦後、原子炉の開発、放射線やラジオアイソトープなど人工放射線源の利用が飛躍的に増大し、放射線による障害とその防護の問題が広く注目を浴びるに至ったことがあり、これらに対する総合的な研究を担うことが任務とされた。

環境衛生研究部の研究は、環境での放射線及び放射性核種のレベルを観測し、その動態を明

らかにして、それらによる公衆の被ばく線量を算定し、よって公衆の放射線防護に役立てることであった。

当時、市川研究室には多くの先輩研究者がおられ、放射性物質の食物連鎖に着目して、当時大気圏内での核実験が大規模で行われていたことから問題視された $^{90}\text{Sr}$ の体内動態、特にSr-Ca 差別率に関し優れた成果を上げており、それら研究の手伝いという形で研究生活は始まった。当初は $^{89}\text{Sr}$ や $^{90}\text{Sr}$ 並びに $^{45}\text{Ca}$ などの $\beta$ 線放出核種を用いたが、後日には $^{85}\text{Sr}$ と $^{47}\text{Ca}$ の $\gamma$ 線放出核種が利用できるようになった。消化管吸収、臓器分布、骨沈着、乳分泌、腎臓排泄、胎児移行等いわゆる代謝を観察し、種々の類似元素、微量元素、糖、アミノ酸、更には年齢をはじめとする生体側の生理的因子などの元素代謝への影響に関する動物実験を行った。

放射性Csに関する実験も行った。ここでは、ラットやマウスに投与した $^{137}\text{Cs}$ あるいは $^{134}\text{Cs}$ の生物学的半減期を観察して顕著な年齢依存を見付けた。今思えば、この研究は筆者にとって重要な研究、その後の“放射性核種代謝における幼若児の特殊性に関する研究”と題する一連の研究につながった。Csと関連して $^{86}\text{Rb}$ 、 $^{42}\text{K}$ や $^{43}\text{K}$ を用いてアルカリ金属元素の動物体内での比較代謝研究も行った。

1969年9月から科学技術庁の原子力留学の制度によりニューヨーク州イサカにあるコーネ

ル大学の物理生物学研究室で1年間を過ごすことができた。この頃になると環境放射能の関心は核実験フォールアウトよりも原子力平和利用すなわち核燃料サイクルに関するものに移っていたことから、Pu等のアクチノイド元素に近い代謝を示すCeに着目した実験を行った。 $^{141}\text{Ce}$ あるいは $^{144}\text{Ce}$ の経口投与後の臓器残留の年齢依存を観察し、哺乳児の特殊な腸内残留の現象とその機序を明らかにした。美しいキャンパスでの1年は楽しく、思い出深い経験となった。F.W. Lengemann教授には留学期間中はもちろんその後も、米国出張の折にはご自宅に泊めていただくなど大変に親切にいただいた。

## 1.2 公衆の放射線防護

放医研に戻っても、対象とする核種を広げながら、これまでの研究を継続した。ただし、考え方として放射性核種代謝の生理学を深めるといふことより放射線防護に役立つ研究をしたいということに変わった。背景として、国際的に放射線防護を指導してきたICRPは高い線量を被ばくする可能性の大きい職業人を対象に防護の論理を展開してきたという事実がある。実際、内部被ばく線量の計算は職業人のものしか存在しなかった。公衆を対象とした放射線防護を進める必要があるとの認識を持つようになったのは市川先生の素晴らしい炯眼と指導のおかげである。

公衆の内部被ばく防護を考えるときの最大の問題点は、職業人は成人だけで構成されているが公衆には乳児や子供更には高齢者まで含まれることである。さらに、職業人では職業上取り扱う化学形の放射性物質について考えればよいが、公衆の場合には環境に放出されたものが食物連鎖を経て人体に取り込まれることである。これらを考え、研究室の西村義一さんと協力しながら、種々の放射性核種の体内動態の年齢依存に関する研究並びに放射性核種の体内動態における食物連鎖の関与に関する研究を進めた。実験に当たっては、内部被ばく線量計算

に用いる放射性核種の体内動態モデルとパラメータを明らかにすることに留意した。実験に用いた放射性核種は、前述の核種のほかに $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{115\text{m}}\text{Cd}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ などであり、実験動物としてはラットが中心であったが、マウス、ウサギ、モルモット、ビーグル犬なども用いた。

年齢依存に関する研究の結果は1984年の春にベルリンで開かれた第7回IRPA会議において発表したが、英国、米国、フランス、ドイツなどにも類似の研究を行った上で公衆用の線量評価法を確立すべきであるとの声があったことにはうれしく感じ、励まされた。後述するように年齢依存に関する研究は後にICRPの線量係数に活かされた。

## 1.3 国際原子力機関 (IAEA) 勤務

1984年秋～1986年秋の2年間ウィーンの国際原子力機関 (IAEA) に勤務する機会を得た。原子力安全部のA. Gonzalez率いる放射線安全課に属し、環境放射線防護オフィサーという役であった。放医研で一緒であった村松康行さん (現在 学習院大学教授) には、筆者より1年前にIAEAに赴任していたこともあり、公私にわたり大変にお世話になった。これまでと違った国際公務員という立場に戸惑いを覚えながらも、日本とはもちろん米国とも違ったヨーロッパでの生活は印象の深いものであった。現地のウィーンの人との付き合いは限定的であったが、Titze一家との付き合いは現在も続いている。

実際の業務は環境放射線モニタリングに関する指導書を作ることであり、さらにIAEAの新しいプログラムを考えることであった。1986年の春にチェルノブイリ原発事故が発生し、IAEA全体がその対応に追われ、筆者も8月に開かれたIAEAのPost-Accident Review Meetingの事務局を務め、また大使館からの要請にこたえて在欧日本人への情報提供なども行った。そのようなことがあって、指導書作りに関して

はドラフトの作成に終わってしまったことは残念であった。IAEAの新しいプログラムに関しては、ICRPの幹部を含むIAEA高級顧問会議の折に公衆用の年摂取限度を計算するための研究プログラムを提案し、その大筋が認められた。1986年の秋に放医研に戻ったため、こちらも筆者自身が手を付けることはできなかったが、後述するように内容はICRPのプログラムとして実現したことはうれしいことであった。

#### 1.4 国際放射線防護委員会(ICRP)への参加

1987年の春にICRPから公衆の放射線防護のための年齢依存内部被ばく線量を検討するタスクグループAGDOS(Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides)に参加するようとの要請の手紙を受けた。チェルノブイリ原発事故によって公衆防護に本格的に取り組む必要がICRPによって改めて認識され、ICRP自身が動き出したわけであり、IAEAでの提案が効いたのか筆者に声が掛かったのだと考えている。諦めかけていたところが意外な展開、もちろん喜んで参加した。タスクグループはドイツ連邦放射線防護庁(BfS)所長のA. Kaulを主査とする6人の小さなもの、小人数であることから効率良く検討が進められ、1989年には“公衆の構成員のための年齢依存線量”のシリーズの第1分冊をICRP Publication 56として刊行することができた。

1993年にはICRPから第2専門委員会に参加するよう招請を受けた。AGDOSも改組となり、内部被ばく一般を扱うタスクグループINDOS(Task Group on Internal Dose)となって引き続き多くの報告書の準備に当たった。2005年にICRPを退いたが、在任中に、前述した“年齢依存線量係数”の第2、第3、第4、第5分冊をはじめに、“放射線防護の用いる解剖学および生理学上の基礎データ：標準値”、“放射性核種の摂取にかかわる胎児線量係数”、“母乳経由放射性核種による乳児線量係数”、“ヒト消化管モデル”、“ICRP2007年勧告の線量諸量”等に関する検討と報告書の刊行に参加した。筆者自身

のあるいは放医研の仲間のデータに基づくことができたため、自信を持って検討に参加できたのは幸いだった。放医研内外からの協力をいただきながら1989年にはAGDOSの会合を、1998年にはINDOSの会合を放医研で開催した。

話が脇道にそれるが、東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故(以下、福島原発事故)には大きなショックを受けた。さらに、放射能による子供への影響が心配だとの声の高まりにも驚ろかされた。子供の被ばくとなると、どうしても感情的になるのは避けがたい。放射線による健康リスクは生体が受ける線量に依存する。年齢依存線量係数で示されているように、確かに同じ1 Bqの摂取でももたらされる線量は子供と大人では大きく異なることがある。その中で、ICRPが年齢依存線量係数を準備してあったことで、必要以上の心配を避けるのに少しは役立ったのではないかと考えている。子供の線量に関して科学的な配慮ができなかったチェルノブイリ原発事故当時とは大きく異なることである。ただし、同じ線量でも年齢によって放射線感受性が異なることは考えられ、広島・長崎での原爆被爆者においても年齢依存が明らかにされている。また、最近刊行されたUNSCEAR 2013 ReportのVolume IIでは“子供の被ばく”をテーマに線量の年齢依存とともに発がん感受性の年齢依存を取りまとめている。今後は、ICRPは情緒的になりやすい子供の被ばくに関し科学的に検討を加え、放射線防護体系を子供の被ばくに十分配慮したものに改良していく必要があると考えている。

#### 1.5 内部被ばく研究部への異動とそれ以降

1989年に環境衛生研究部からPu毒性研究を主務とする内部被ばく研究部に移った。松岡理部長の後任であった。自分自身ではほとんど実験ができなくなっていたが、多分野の有能な部員全員が力を合わせて実験研究を進め、核燃料サイクルの確立に向けて懸念された内部被ばく生物影響の問題解明に関する努力を行った。研究内容は、日本原子力研究所から入手してあ

た酸化プルトニウム  $^{239}\text{Pu}$  の溶解に始まり、化学調整、エアロゾル発生、エアロゾル特性測定、動物吸入投与、吸入量体内量の測定、線量評価、生涯飼育、体内動態、寿命調査、死因病理検査、キレート剤による排泄促進等々広範にわたった。 $^{241}\text{Am}$  を用いた実験も行った。Pu 研究は安全管理上の極めて厳しい規制の中で行われたが、多くの貴重な知見を得ることができ、高く評価されたのはうれしいことであった。

1996年に科学研究所官となったが、在任中に研究総務官と変更になり、1999年に退職した。任期中は、国立研究所としての放医研の在り方、そこで行わなければならない研究について考える機会を与えられたが、他方で日々の予定に追われてあわただしい時間を過ごすことも多かった。原子力利用と科学技術の進展の中、放医研は核医学や重粒子線がん治療などの医学利用を図り、同時に、国民が安心して放射線の恩恵を享受するため、放射線安全に関する研究をしっかりと担っていかなければならないとの意識は持ち続けた。

1999年に放医研退職、その後2005年までの6年間、青森県六ヶ所村の(財)環境科学技術研究所に赴任した。日本原燃(株)の使用済み燃料再処理工場等の本格稼働を前に、若くて優れた研究者が調査研究を精力的に進めており、北国での研究生活を楽しむことができた。気掛かりなことは、我が国の核燃料サイクルは東日本大震災と福島原発事故の以降は完全に停滞しているように見えることである。まず福島を復興させ、そして安全を確保した上で、1日も早い原子力の再興が望まれる。

2005年に千葉県に戻ったが、2006年に放医研からの友人であった荻生俊昭さんから依頼を受け、放射線影響協会がカザフスタンの原子力センターと共同で行ったセミパラチンスクでの核実験による被爆者を対象とした疫学調査の中で、線量評価の手伝いをした。60年前の核実験によって住民が受けた線量を評価することの難しさを実感しながら、なんとかしつかりした

データを出したいと努力しているところである。なお、調査の中心にいて頑張っておられた荻生さんが、病を得て一昨年に亡くなられたのが残念でならない。

## 2 私の身体の RI 歴書

### 2.1 放射性 Cs と $^{40}\text{K}$ の実測値

1940年代後半から1960年代初めにかけて大気圏内での核実験が盛んに行われ、地球規模での放射能による環境汚染の問題が生じていた。

放医研ではこの問題に着目し、1961年には飯沼武さんらにより NaI(Tl) を検出器とするベッド型の全身計測装置 WBC が整備された。1963年から放医研の職員を対象として放射性 Cs 及び  $^{40}\text{K}$  体内量の測定が開始され、その後は内山正史さんらによって精度の高い測定が継続された。国際的にもよく知られた貴重なデータである。筆者は1965年に測定の対象のグループに入った。筆者の体内量は放医研職員の平均値と極めて近い値であったことから、1984年には筆者の体内量は約 530 Bq であったと考えられる。実測に基づく私の体の中の放射性 Cs 並びに  $^{40}\text{K}$  の量を、後述の計算で求めた  $^3\text{H}$  や  $^{14}\text{C}$  の量と一緒に、表に示した。

表にも示したが、筆者の体格は日本人としてごく標準的、このことからして1960年代に成人であった日本人男性は当時 500~600 Bq の  $^{137}\text{Cs}$  を体の中に持っていたといえる。 $^{40}\text{K}$  は約 4,000 Bq であったが、近年になって低下傾向にある。体重は変わらないのに筋肉量が落ちているのであろう。さびしい限りである。

なお、米国留学の前で Cs も  $^{40}\text{K}$  も大きな変化は見られていなかったことから米国でも日本と同様のレベルであったといえるのかもしれない。

その後、1984年秋~1986年秋までの2年間を既に述べたようにオーストリアの首都ウィーンで過ごし、1986年4月に起きたチェルノブイリ原発事故の影響を受けた。当時、多くの市

表 私の身体の RI 歴書

暦年	年齢	身長	体重	$^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^3\text{H}$	$^{14}\text{C}$
	(歳)	(cm)	(kg)	(Bq)	(Bq)	(Bq)	(Bq)	(Bq)
1940	1	76.0	8.7					451
1945	5	109.0	18.0					934
1950	10	138.0	27.3					1,417
1955	15	160.0	46.4					2,481
1960	20	170.0	58.0					3,736
1961	21	170.0	59.0				297	
1962	22	170.0	59.0				1,328	
1963	23	170.0	59.0				5,274	5,814
1964	24	170.0	60.0	531		3,834	3,887	5,612
1965	25	170.0	60.0	263		3,910	1,565	5,371
1966	26	170.0	60.0	270		4,229		5,134
1968	28	170.0	60.0	48		4,085		4,665
1969	29	170.0	60.0	50		4,001	627	4,561
1970	30	170.0	60.0					
1971	31	170.0	60.0	51		3,909		
1975	35	170.0	60.0	18		4,096		4,571
1980	40	170.0	65.0	12		3,600	97	4,425
1984	44	170.0	65.0	8		3,762		
1985	45	170.0	65.0					4,226
1986/10/31	46	170.0	65.0	840	318	3,812		
1986/11/20	46	170.0	65.0	773	296	3,891		
1986/12/15	47	170.0	65.0	585	227	3,864		
1987/4/9	47	170.0	65.0	252	78	3,779		4,149
1990	50	170.0	65.0				36	3,922
1995	55	170.0	65.0					3,831
2000	60	170.0	65.0				24	3,680
2005	65	170.0	65.0				23	
2010	70	170.0	65.0					
2011/5/19	71	170.0	65.0	60	52	3,361		3,491
2012/4/10	72	170.0	65.0	45	28	3,205		
2014/3/4	74	170.0	65.0	20		3,272		

民は通常の生活をしていましたが、小学校では外遊びができず、日本人学校の遠足や運動会も延期され、砂場の砂の交換なども行われた。食品の放射能に関して報道があったので筆者の身体も汚染されていることは想像した。1986年の9月下旬にウィーンを出発、10月に帰国して早速放医研で全身計測をした。その後も経時的に全身測定を行った。帰国後の最大値は $^{137}\text{Cs}$ が840 Bq、 $^{134}\text{Cs}$ が318 Bqであった。なお、当時のドイツのミュンヘン市民の測定値は男性で1,000 Bqを超えていたことが報告されている。

2011年3月の福島第一原発事故は大量の放射性物質の環境放出をもたらした。今回放出さ

れた放射性Csによる一般公衆の体内量はこれまでの測定値と比べてどのようなレベルであるかについて実測によるデータを得ておくことは意味があると考え、忙しい中ではあったが放医研にお願いして測定してもらった。測定の頻度は少ないが2011年5月が最大で60 Bqであった。

表から、核実験フォールアウト、チェルノブイリ原発事故、福島第一原発事故と発生源は異なるがそれぞれに由来する放射性Csが筆者の身体の中に存在したことが分かる。なお、いずれのケースでも食事に関して特段の注意を払うことなく市販食品を摂取した。

## 2.2 計算で求めた<sup>3</sup>Hと放射性炭素

私たちの環境には<sup>40</sup>Kや放射性Csのほかにも種々の放射性核種があり、それらは人の体内にも存在する。代表的なものとして<sup>3</sup>Hと<sup>14</sup>Cがある。ともに宇宙線生成核種であり天然に存在する、と同時に核実験や原子炉運転によっても生成される核種でもあることから、環境中の濃度はそれらを反映している。ただし、いずれもβ線を放出する核種であるため、測定は<sup>137</sup>Csや<sup>40</sup>Kに比べて容易ではない。これら核種については筆者の身体そのものを試料とした測定の実験データはないが、放医研には環境試料中の濃度に関するデータベースが蓄積され、放医研のホームページで公開されており、それらから体内量を推定することは可能である。紙面の関係で詳細は略すが、種々の仮定を置きながら計算によって求めた筆者の身体内に存在した<sup>3</sup>Hと<sup>14</sup>C量を表に記載した。ただし、有効数字は1桁かせいぜい2桁であると思われる。

なお、前述の<sup>137</sup>Csや<sup>40</sup>Kを含め体内に存在する放射能による線量の評価は興味深いですが、ここでは触れない。

<sup>3</sup>Hは自然界で常に生成されており、降水や河川水中にある。その濃度は水1リットル当たり約0.5~1 Bqである。大気圏での核実験特に水爆実験により大量の<sup>3</sup>Hが放出され、年間平均降水中濃度の最大値は1963年のリットル当

たり約100 Bqまで上昇したがその後低下しており、現在は核実験の影響はほとんど認められないレベルになった。年間平均降水中<sup>3</sup>H濃度を基に計算すると、体内の<sup>3</sup>H量は1963年に約5,300 Bqまで上昇したと考えられる。ただし、実際には時間的遅れがあるかもしれない。

<sup>14</sup>Cも<sup>3</sup>Hと同様で、核実験等の前の濃度は炭素1 kg当たり約230 Bqであったが、核実験等により上昇し1963年に最大値(約420 Bq)となっている。こちらも大気圏内核実験の停止に伴い低下し、現在はほぼ核実験前のレベルに戻っている。これらが体内量に反映され、1963年に、環境濃度と体内濃度の時間的遅れを考慮すれば1964年に私の<sup>14</sup>C体内量は約5,800 Bqに達していたと思われる。

天然にも存在する<sup>3</sup>Hと<sup>14</sup>Cのレベルが“時代”の影響を大きく受けていることは興味深い。

### 【謝辞】

氏名の記載は最少にしましたが、これまで多くの方々にお世話になりました。お付き合いいただいた方々に心より感謝いたします。

私の身体のRI履歴書に関しては、放医研の内山正史さん、仲野高志さん、井上義和さん、武田洋さん、宮本霧子さん等のデータを使わせていただきました。お礼申し上げます。