

# 岡山県における過去30年間の放射性降下物に係る環境放射能調査について

清水光郎・道広憲秀・宮崎 清・信森達也（放射能科）

【資 料】

## 岡山県における過去30年間の放射性降下物に係る環境放射能調査について

清水光郎・道広憲秀・宮崎 清・信森達也（放射能科）

### 要 旨

岡山県では1957年から大気圏内核爆発実験によるフォールアウト降下物の影響を把握するために環境放射能調査について、主なる調査地点を岡山市内に設定し実施している。1975年から2004年の過去30年間における月間降下物、陸水、土壌、野菜、牛乳、日常食及び海産生物の調査結果をまとめた。

大規模な大気圏内での核爆発実験は、1940年代の中頃から開始され1950年代の後半から1960年代の前半にかけて北半球を中心にアメリカ、旧ソ連、英国、フランス、中国等によって盛んに行われていた。しかし、1980年の中国を最後に中止され、それ以降は地下実験へと切替わったため、日本への直接的な影響が無くなった。また、大気圏内核爆発実験によって大気中に放出された放射性物質のうち、大気圏内に拡散されたものは比較的短期間に降下する。一方、成層圏に注入されたものは数ヶ月から数年の滞留期間があり、偏西風に乗って日本上空に達しフォールアウトとして地表面に降下した後も、土壌環境中に長く留まる。

大気圏内核爆発実験によって生じる核分裂生成物の代表的な放射性核種は $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ であり、月間降下物等において1960年代前半をピークに全国的に高い濃度が検出された。しかし、大気圏内核爆発実験が停止した後はチェルノブイリ原子力発電所事故が起こった1986年を除くと、岡山県においても各種試料中の $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ は減少傾向あるいは横ばい傾向であり、全国平均とほぼ同レベルで推移していた。なお、 $^{90}\text{Sr}$ ではチェルノブイリ原子力発電所事故の影響はほとんど見られなかった。

[キーワード：環境放射能, 大気圏内核爆発実験, チェルノブイリ原子力発電所事故,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ]

### 1 はじめに

1954年のビキニ環礁における米国の大気圏内核爆発実験を契機として、我が国における放射性降下物（以下「フォールアウト」）の環境放射能調査が全国的に開始された<sup>1)</sup>。さらには、1961年に一時中断されていた米国・ソ連の大気圏内核爆発実験が再開されたことで、我が国にも相当量の放射性物質が飛来したため放射能調査網の拡充が図られた<sup>1)</sup>。その大気圏内における核爆発実験<sup>2)</sup>は、1945年から1980年までに延543回行われ、核分裂によって生成された人工放射性核種は雨水とともに地表に降下し、我が国の環境へも僅かではあるが影響を与えていたが、1980年以降は地下へと実験が移されたため直接的な影響は無くなった。

岡山県においても文部科学省（旧科学技術庁）の委託を受けて、大気圏内核爆発実験によるフォールアウトの実態を把握するために環境放射能調査を実施してきた。調査の開始当初は、全 $\beta$ 放射能測定を行うこと

により ①精密な測定を行うための判断材料とする ②基準レベルを超えたかどうかの判断材料とする ③放射能レベルの時間的、空間的な変動の監視 ④環境放射能における推移等、公衆への情報提供を行うことが目的であった<sup>1)</sup>。しかし、全 $\beta$ 放射能測定には自然放射能の寄与が含まれ、人工放射能の検知には不確定さが大きいという問題があった。また、1986年4月26日にはソ連ウクライナ共和国西部のチェルノブイリ原子力発電所4号炉で炉心熔融事故（以下「チェルノブイリ原子力発電所事故」）が起こった。そのため、環境中に放出された $^{131}\text{I}$ や $^{137}\text{Cs}$ 等の放射性物質が数日後には日本へ到達して深刻な社会問題となり、これを契機に環境放射能調査網が全国47都道府県に拡大された<sup>1)</sup>。このことから、核種分析の可能なGe半導体検出器の測定機器が当センターにも整備され、その後は環境放射能汚染による影響を正確に捉えることが可能となった。

本稿では、比較的長半減期である $^{90}\text{Sr}$ （半減期：28.8年）及び $^{137}\text{Cs}$ （半減期：30.0年）について、その推移をまとめたので報告する。

なお、この調査報告資料は、電源開発促進対策特別会計法に基づく文部科学省からの受託事業として、岡山県が実施した1975年度から2004年度「環境放射能水準調査」の成果です。

## 2 実験方法

本調査は文部科学省監修の「環境放射能水準調査・委託実施計画書」<sup>1)</sup>に従い、月間降下物、陸水（蛇口水）、土壌（表層：0～5cm・下層：5～20cm）、野菜（葉菜類・根菜類）、牛乳（市販乳）、日常食及び海産生物を対象として実施した。また、試料採取及び測定試料の前処理調製方法は、放射能測定法シリーズ16「環境試料採取法」<sup>3)</sup>及び放射能測定法シリーズ13「ゲルマニウム半導体検出器を用いる機器分析のための試料の前処理」<sup>4)</sup>に基づいて行った。

### 2.1 月間降下物

岡山市内の当センター屋上（移転により、いずみ町・古京町・内尾に採取場所を3回変更）にステンレス製の大型水盤（受水面積：約5,000cm<sup>2</sup>）を設置して、1ヶ月間の降下物を採取した。ホットプレート上で蒸発濃縮後にスチロール製測定容器（以下「U8容器」）へ移して測定試料とした。

### 2.2 陸水（蛇口水）

当センターの水道蛇口から6月及び12月に100Lを採取して、ホットプレート上で蒸発濃縮後にU8容器へ移して測定試料とした。

### 2.3 土壌

畜産センター敷地内（1988年までは津山市の旧酪農試験場敷地内であったが、1989年には美咲町に移転）で、周囲に建造物及び人為的に攪乱が無い場所の未耕地を選んだ。同地点から8ヶ所に土壌採取器（φ5cm）を打ち込み、表層（0～5cm）と下層（5～20cm）の2層を採取した。植物根・岩石れき等を除き、約105℃で乾燥後に2mmふるいによって小石等を除いて均一に混合を行い、U8容器に分取して測定試料とした。

### 2.4 野菜

葉菜類（ほうれん草）と根菜類（ダイコン）を収穫時期に岡山市内のスーパーマーケットから購入した。

葉菜類、根菜類は水洗いによって土壌等を取り除いた後（ほうれん草は根、ダイコンは葉とひげを除く）に、水切りを行なった。さらに、食用部分を細かく切り約105℃で乾燥後に電気炉を用いて450℃で灰化し、U8容器へ分取して測定試料とした。

### 2.5 牛乳

岡山市内のスーパーマーケットで8月と2月に購入した。その試料の2Lを直接マリネリ容器へ分取して測定試料とした。

### 2.6 日常食

岡山市に居住する健康な成人が、日頃摂取する飲食物の大人5人分を陰膳方式により年2回（6月及び12月）採取した。試料は約105℃で乾燥後に電気炉を用いて450℃で灰化し、U8容器に分取して測定試料とした。

### 2.7 海産生物

牛窓漁業協同組合に依頼して瀬戸内海で採取したボラを骨、内臓、皮等を除き三枚おろしにした。可食部を約105℃で乾燥後に電気炉を用いて450℃で灰化し、U8容器に分取して測定試料とした。

前処理後の測定試料は、放射能測定法シリーズ7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」<sup>5)</sup>に基づき、Ge半導体検出器を用いて80,000秒の測定を行った。その試料を（財）日本分析センターに送付して放射化学分析<sup>6)</sup>も行った。

なお、測定結果の取りまとめには、文部科学省が監修し（財）日本分析センターが整備している「環境放射線データベース」に収録<sup>7)</sup>されている1975年から2004年までのデータを用いて、対象媒体ごとに月間値、単純年度平均値及び30年平均値などとして整理した。

## 3 結果及び考察

### 3.1 月間降下物

月間降下物とは1ヶ月間の降水及び自然に地表面に降下したじん埃等である。経年変化を図1に示す。

大気圏内核爆発実験に由来した $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ は1981年頃までは検出されたが、その濃度は全国平均レベル以下であった。また、1986年には顕著に高い濃度の $^{137}\text{Cs}$ が全国平均と同レベルで検出されたが、これはチェルノブイリ原子力発電所事故の影響であった。しかし、 $^{90}\text{Sr}$ は $^{137}\text{Cs}$ に比べて約1/120以下の濃度で、チェ

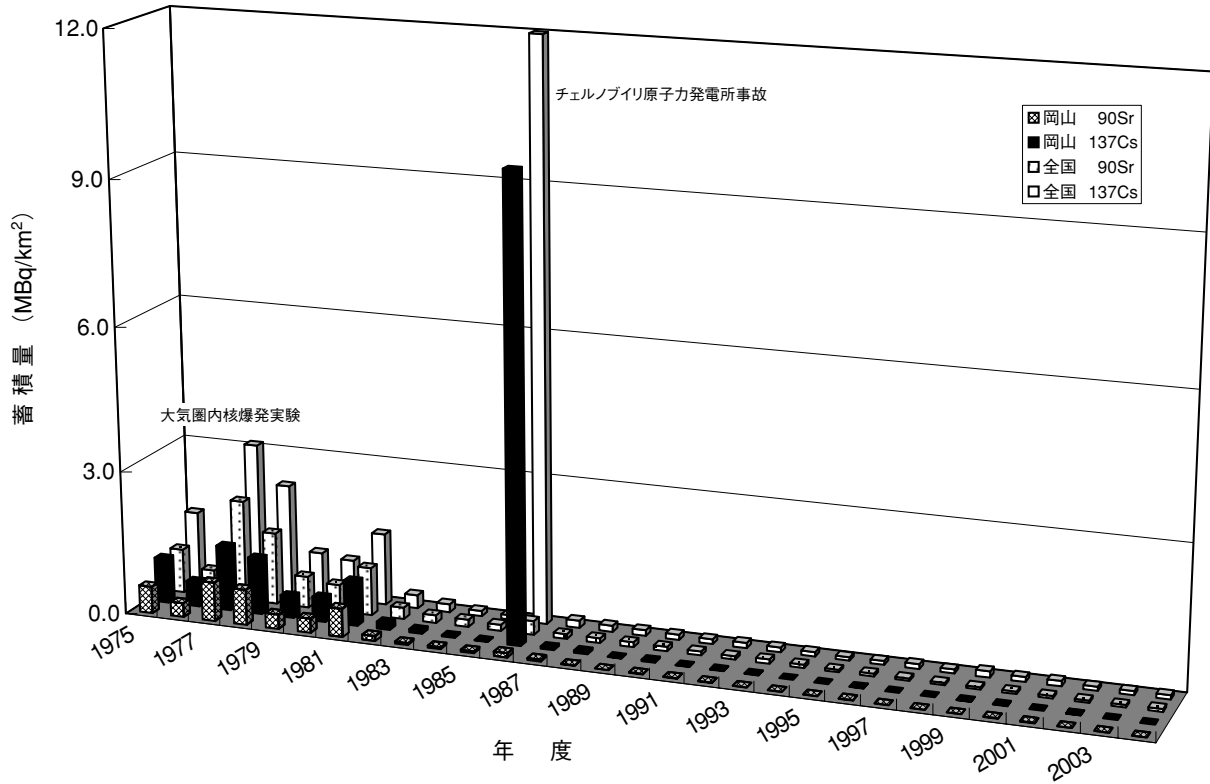


図1 月間降下物中における<sup>90</sup>Sr及び<sup>137</sup>Csの経年変化

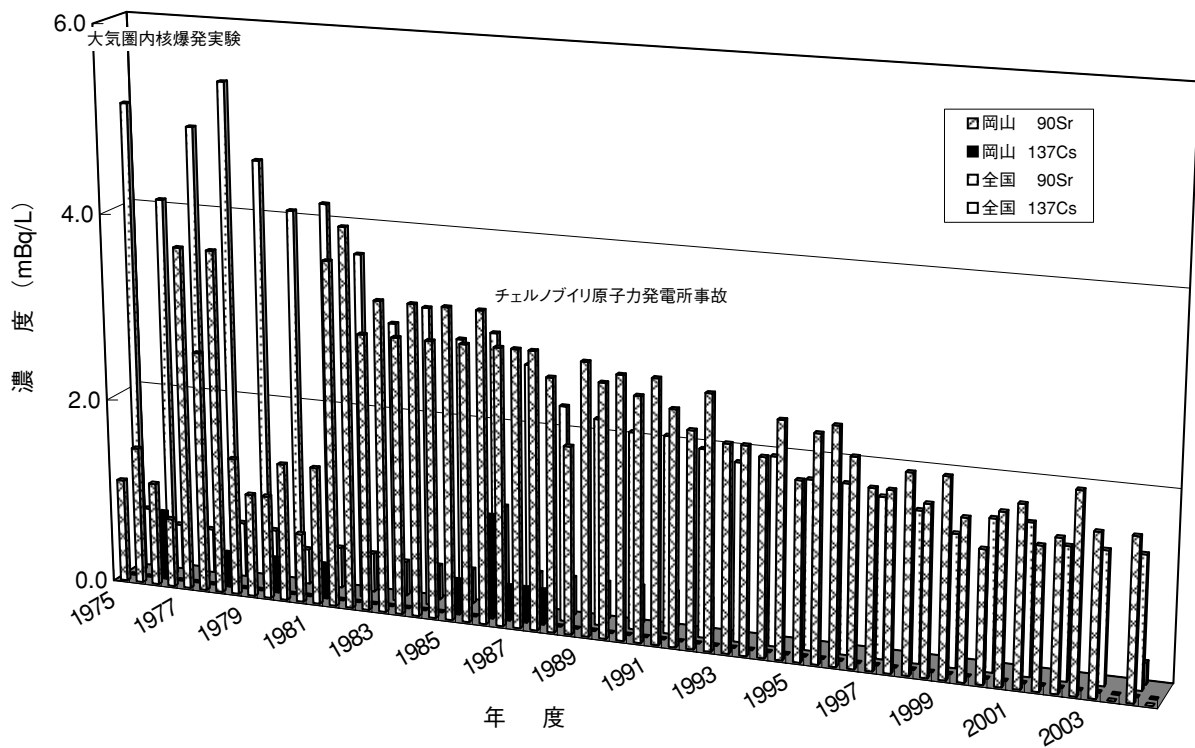


図2 陸水（蛇口水）中における<sup>90</sup>Sr及び<sup>137</sup>Csの経年変化

ルノブイリ原子力発電所事故による影響はほとんど認められなかった。

### 3.2 陸水（蛇口水）

蛇口水の経年変化を図2に示す。

$^{90}\text{Sr}$ は全年度から検出されたが、1981年以降はゆるやかに減少した。その濃度は全国平均レベルにあり、最高値は1982年6月の4.1mBq/Lであった。大気圏内核爆発実験によって $^{90}\text{Sr}$ が土壤等に蓄積されると、その後は1～10%の割合で毎年河川水によって海洋へと運ばれている<sup>2)</sup>。また、日本近海における表層海水中の $^{90}\text{Sr}$ は約3～4 mBq/Lとの報告<sup>8)</sup>がある。その表層海水中の $^{90}\text{Sr}$ と蛇口水中の $^{90}\text{Sr}$ とは、ほぼ同レベルの濃度であり経年変化の推移も類似していることから、原水である河川水の濃度を反映していると推測された。また、チェルノブイリ原子力発電所事故の影響は、ほとんど区別できなかった。このことは、揮散性が低い $^{90}\text{Sr}$ の特徴を表している。

$^{137}\text{Cs}$ は1986年6月には最高値である1.1mBq/Lを検出したが、全国でも高い濃度が検出されている。日本近海の表層海水においても高い濃度で検出<sup>8)</sup>されており、チェルノブイリ原子力発電所事故による影響であることは明らかであった。

### 3.3 土壤

フォールアウトが地表面に落ちて土壤中を上層から下層へと浸透することから、2層の蓄積傾向を把握する。未耕地土壤（表層：0～5cm及び下層：5～20cm）の経年変化を図3、図4に示す。

$^{90}\text{Sr}$ の平均値は表層が0.90Bq/kg乾（範囲：0.00～4.1Bq/kg乾）、下層が0.75Bq/kg乾（範囲：0.00～2.8Bq/kg乾）で、全国平均より低い傾向であった。深度別では1986年まで下層がやや高く、1993年からは表層で高い傾向であったが採取場所の変更による影響と考えられる。

$^{137}\text{Cs}$ の平均値は表層が2.0Bq/kg乾（範囲：0.00～8.1Bq/kg乾）、下層が1.9Bq/kg乾（範囲0.00～7.8Bq/kg乾）で、全国平均より低い傾向であった。深度別では1986年を除くと1985年までは表層と下層には大きな濃度差は見られない。しかし、1986年にはチェルノブイリ原子力発電所事故の影響により、それほど顕著ではないが下層でやや高い濃度の $^{137}\text{Cs}$ が検出された。大気中から地表面に沈着すると、大部分は地表

面から約30cm以内の深さに留まる<sup>2)</sup>ことなどから、 $^{137}\text{Cs}$ が地表面に落ちて降雨等により土壤の深部まで直ちに浸透したと考えられる。しかし、1989年からは低いレベルではあるが、1997年、1998年、2003年及び2004年には表層が下層よりやや高い結果であった。

$^{90}\text{Sr}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ は地上に降下した後にも環境中に長く留まるため、地形、地質等により局地的に濃度変動<sup>9)</sup>が起こることが考えられる。また、 $^{137}\text{Cs}$ は土壤粒子に吸着され易いことや、 $^{90}\text{Sr}$ は土壤粒子の間隙水と共に移動したり有機酸とキレート結合して $^{137}\text{Cs}$ よりも移動しやすい<sup>10)</sup>ことなどが影響することが示唆された。

### 3.4 野菜

フォールアウトは、土壤や付着物を經由して野菜に取込まれる。調査対象である葉菜類（ほうれん草）と根菜類（ダイコン）の経年変化を図5、図6に示す。

葉菜類の平均値は $^{90}\text{Sr}$ が0.088Bq/kg生（範囲：0.000～0.44Bq/kg生）、 $^{137}\text{Cs}$ が0.021Bq/kg生（範囲：0.000～0.13Bq/kg生）であり、 $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ とも全国平均より低い傾向であった。葉菜類は付着物の影響により濃度変動が大きくなることが特徴的であるが、1985年に $^{90}\text{Sr}$ が最大値を示した原因は不明である。根菜類の平均値は $^{90}\text{Sr}$ が0.30Bq/kg生（範囲：0.000～2.1Bq/kg生）、 $^{137}\text{Cs}$ が0.031Bq/kg生（範囲：0.000～0.16Bq/kg生）であった。根菜類は全国平均よりも $^{137}\text{Cs}$ が低く、 $^{90}\text{Sr}$ は高い傾向であった。

葉菜類に比べて根菜類は $^{90}\text{Sr}$ が約3倍高い濃度であるが、 $^{137}\text{Cs}$ には差が見られなかった。差異が生じた原因は、次のように考えられる。自然界における $^{90}\text{Sr}$ はCaと化学的挙動が類似することが知られている。一方、食品成分表<sup>11)</sup>によると根菜類のダイコンは、葉菜類のほうれん草に比べてCa含有量が成分として数倍程度は高い。しかし、 $^{137}\text{Cs}$ と化学的挙動が類似した植物の主要成分であるKの成分量には、ダイコンとほうれん草には差が無い。このことから、食物が生育する際にCaと連動して $^{90}\text{Sr}$ が摂取されるため、Ca成分の多いダイコンが高い濃度になると考えられる。

### 3.5 牛乳

大気圏内核爆発実験等によって環境中に放出された放射性核種がフォールアウトとして牧草等に付着すると牛乳へ顕著に影響が現れる。経年変化を図7に示す。

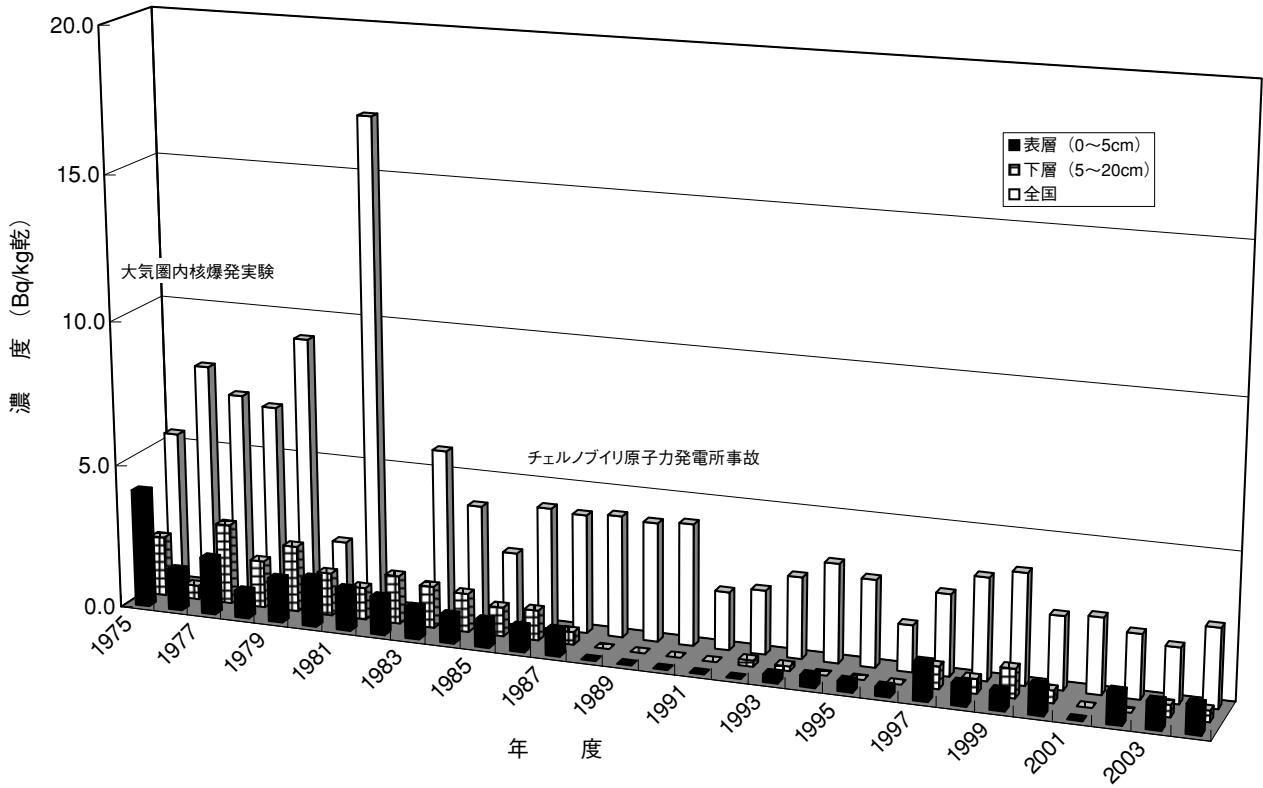


図3 土壌中における $^{90}\text{Sr}$ の経年変化

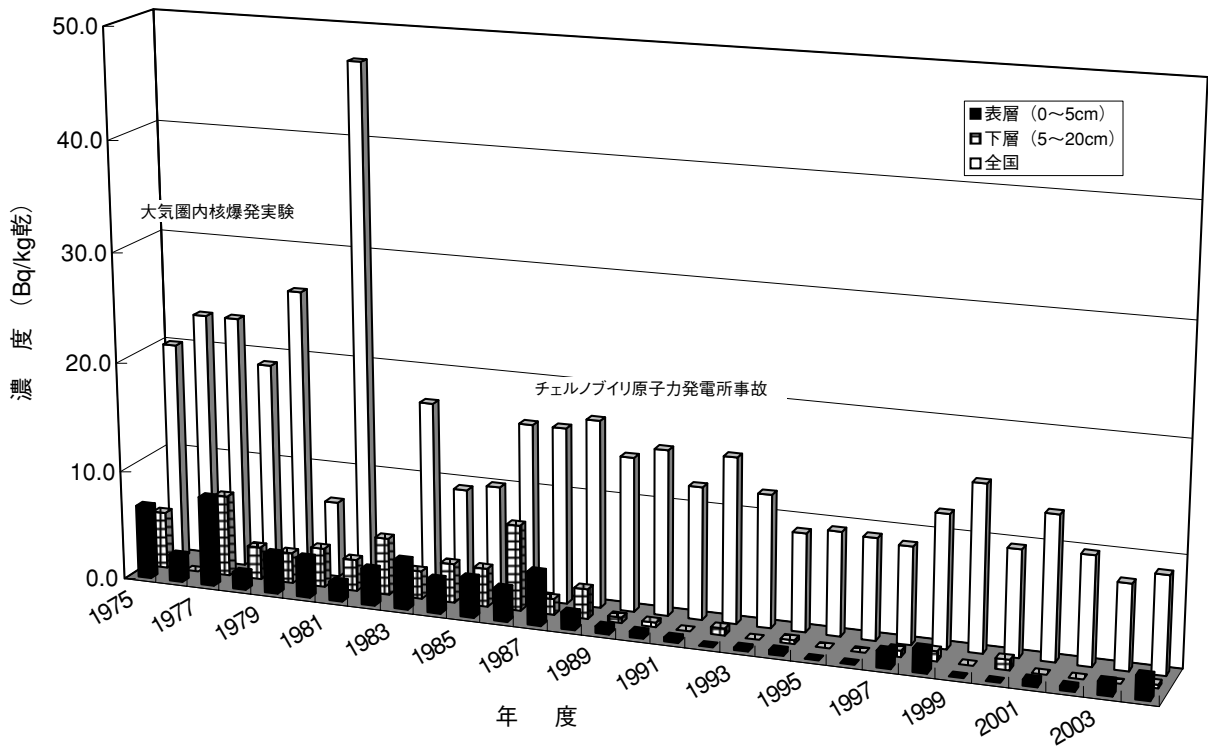


図4 土壌中における $^{137}\text{Cs}$ の経年変化

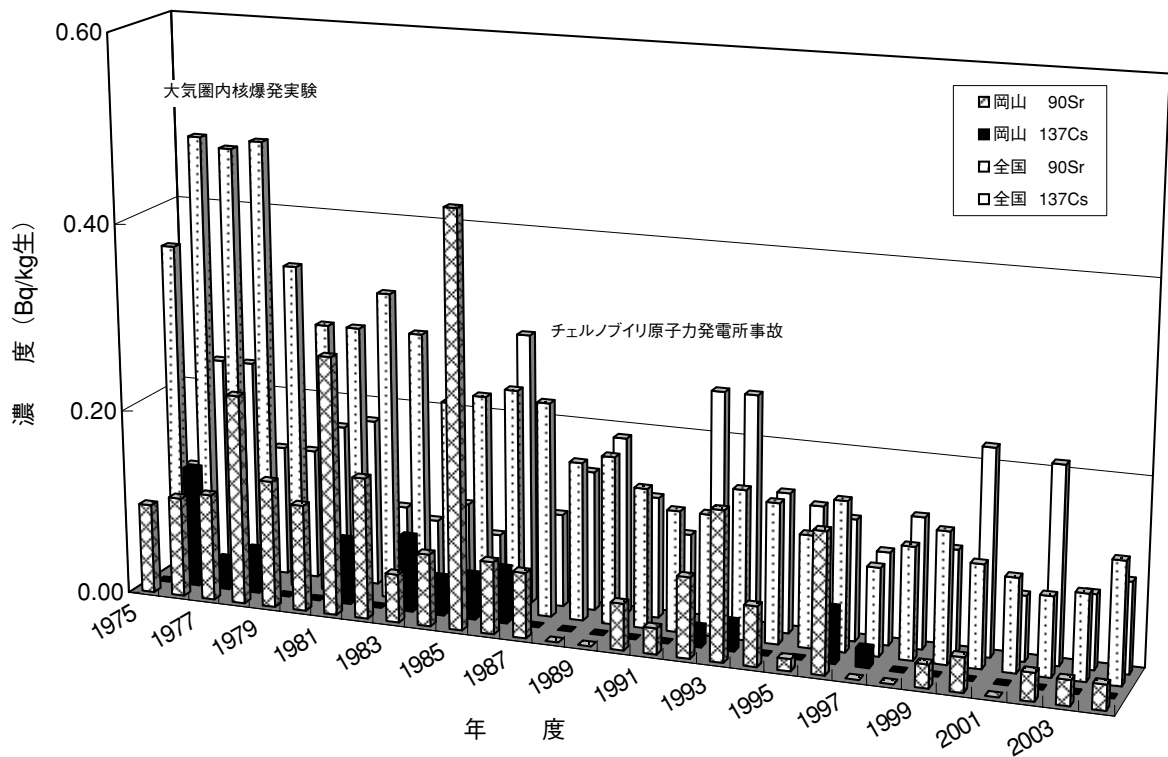


図5 葉菜類中における<sup>90</sup>Sr及び<sup>137</sup>Csの経年変化

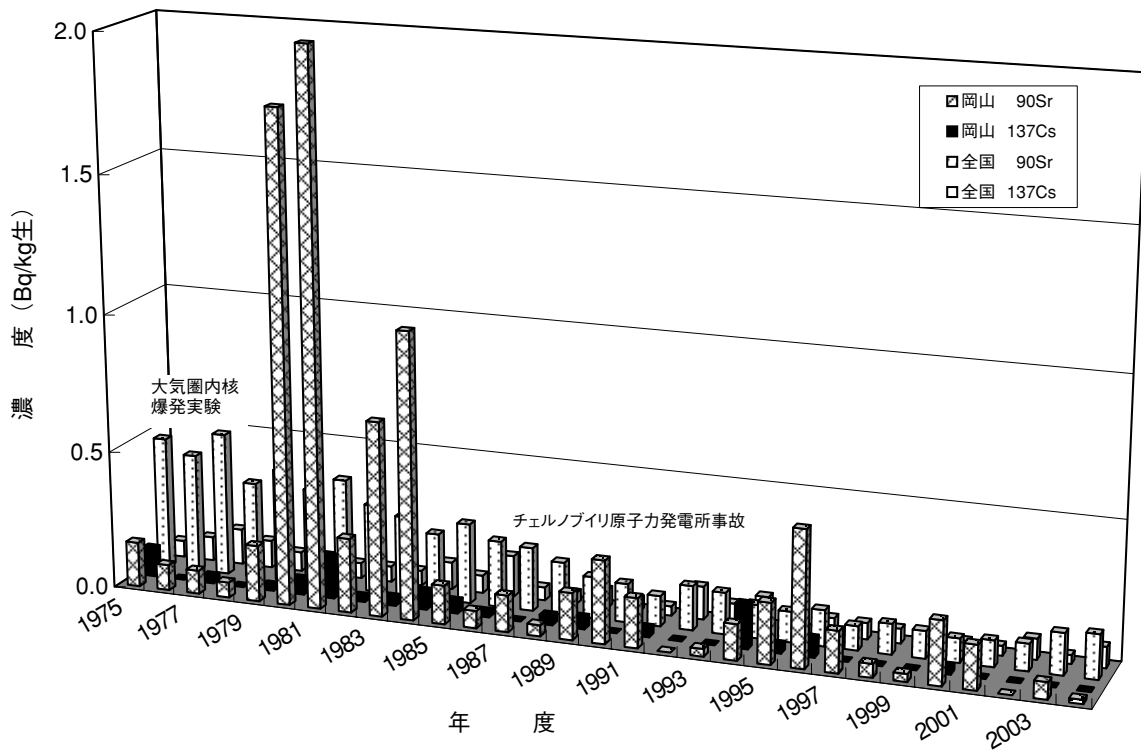


図6 根菜類中における<sup>90</sup>Sr及び<sup>137</sup>Csの経年変化

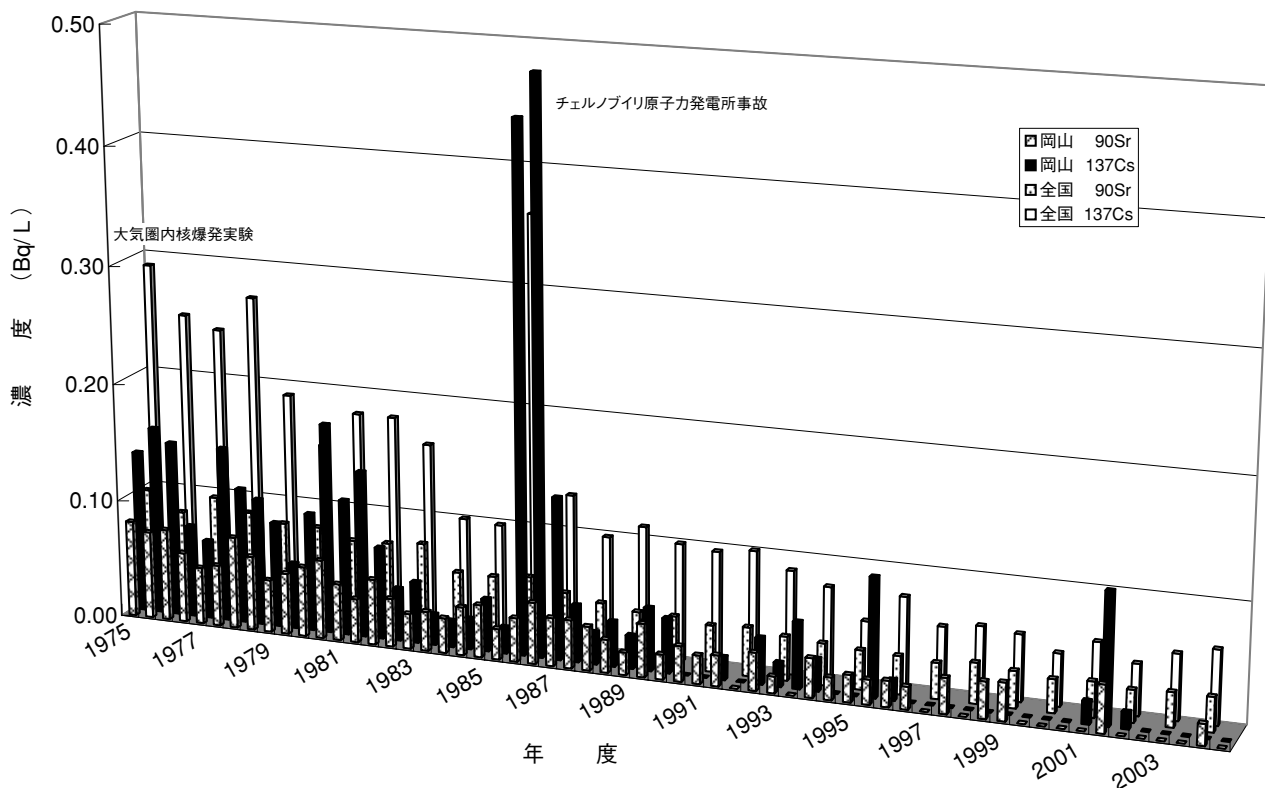


図7 牛乳中における<sup>90</sup>Sr及び<sup>137</sup>Csの経年変化

<sup>90</sup>Srの平均値は0.032Bq/L（範囲：0.000～0.081Bq/L）であり、1980年以降は減少傾向で全国平均よりやや低い傾向であった。<sup>137</sup>Csの平均値は0.063Bq/L（範囲：0.000～0.48Bq/L）であり、1980年代始めまではやや高い傾向であった。また、1986年8月及び2月には高い濃度で<sup>137</sup>Csが検出されたが、チェルノブイリ原子力発電所事故が起こった直後の食物連鎖によって牛乳に移行したものであると推測される。また、その濃度は全国平均よりもやや高い傾向であった。

季節別では、<sup>137</sup>Csは8月の平均値が0.058Bq/L（範囲：0.000～0.44Bq/L）、2月の平均値が0.069Bq/L（範囲：0.000～0.48Bq/L）であり、2月がやや高い傾向であった。乳牛は配合飼料が主食になっているが、夏には生の牧草を食べ、冬には干し草を食べる等の季節間による食餌の違いによる影響が出ていると考えられる。

### 3.6 日常食

フォールアウトは食物連鎖を通じて最終的には人体に摂取されるが、日常食についての経年変化を図8に示す。

<sup>90</sup>Srの平均値は0.086Bq/人/日（範囲：0.024～

0.21Bq/人/日）であり、全国平均とほぼ同レベルであった。1983年頃まではやや高い濃度で検出されていたが、これは全国的な傾向である。

<sup>137</sup>Csの平均値は0.076Bq/人/日（範囲：0.000～0.22Bq/人/日）であった。1986年（6月・12月）及び1987年（6月・12月）には高い濃度の<sup>137</sup>Csが全国平均と同レベルで検出されたが、チェルノブイリ原子力発電所事故による影響を受けたものと考えられる。また、輸入食品の制限措置も当時は行われていたが、影響は2年間に渡ったことになる。

季節別による<sup>90</sup>Srの平均値は、6月が0.079Bq/人/日（範囲：0.024～0.21Bq/人/日）であり、11月が0.094Bq/人/日（範囲：0.037～0.21Bq/人/日）であった。6月に比べて11月がやや高い傾向であったが、季節による食事内容の違いを反映したことが考えられる。また、他県においても夏季より冬季の方が、<sup>90</sup>Sr及び<sup>137</sup>Csとも10～20%程度高い傾向であった<sup>10)</sup>。

### 3.7 海産生物

海産生物（ボラ）への蓄積傾向について、経年変化を図9に示す。

<sup>90</sup>Srの平均値は0.012Bq/kg生（範囲：0.000～



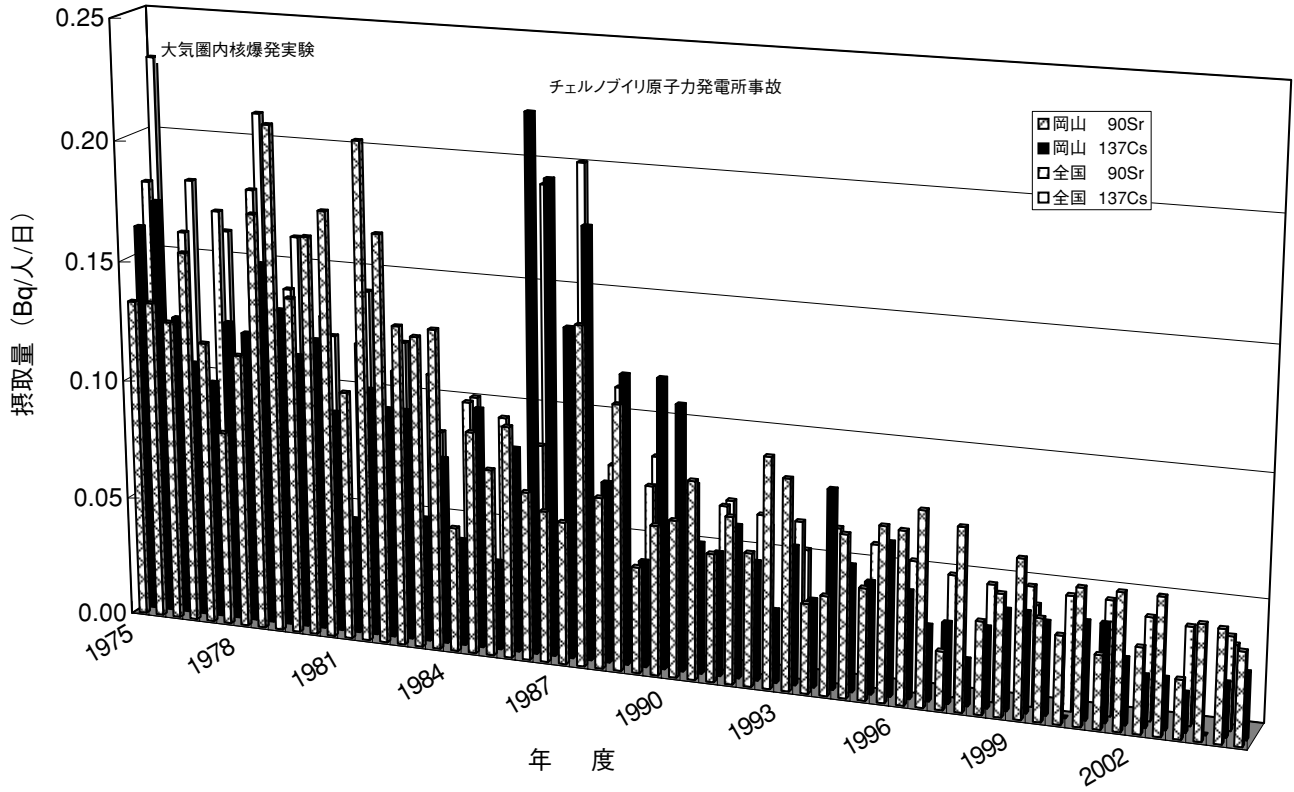


図8 日常食中における<sup>90</sup>Sr及び<sup>137</sup>Csの経年変化

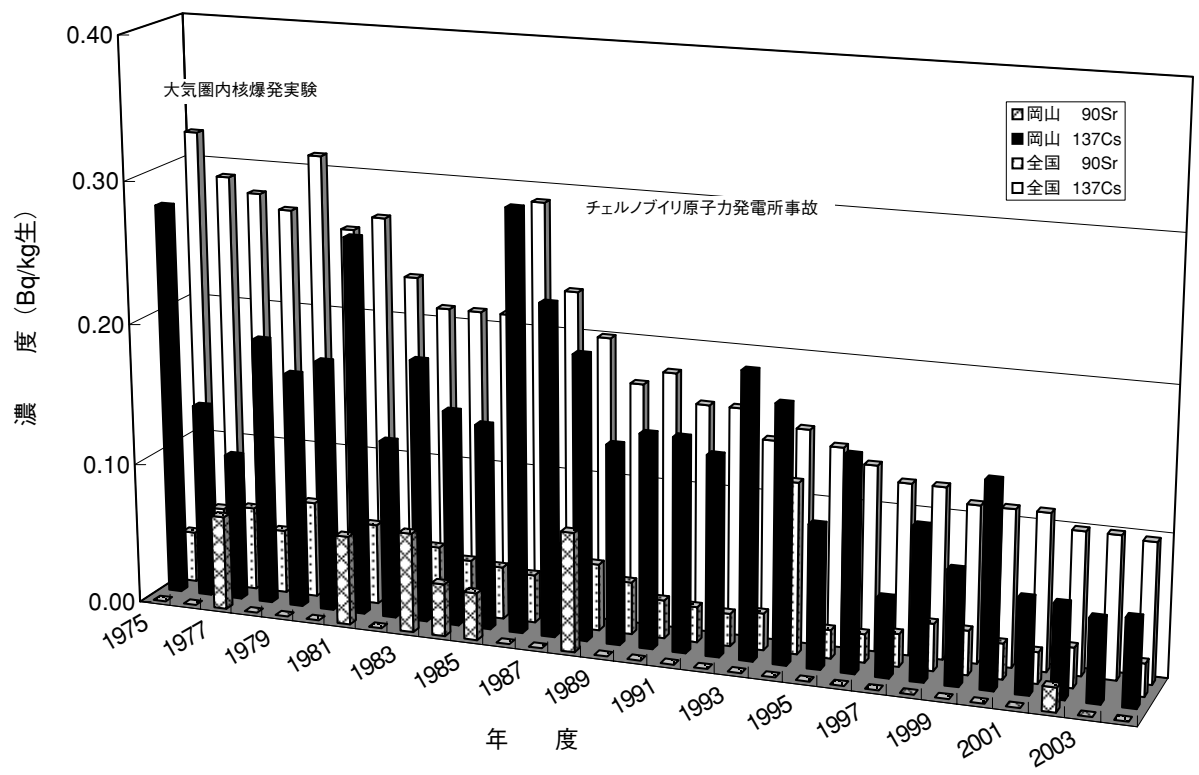


図9 海産生物中における<sup>90</sup>Sr及び<sup>137</sup>Csの経年変化

0.084Bq/kg生)であり、低い濃度で推移していた。

$^{137}\text{Cs}$ の平均値は0.15Bq/kg生(範囲:0.055~0.30Bq/kg生)で、ゆるやかな変動を示したが、全国平均よりもやや低い傾向であった。最高値は1986年の0.30Bq/kg生であるが、チェルノブイリ原子力発電所事故による影響であったと考えられる。 $^{137}\text{Cs}$ は $^{90}\text{Sr}$ に比べて約10倍高い濃度であるが、これは食物連鎖による魚類体内への蓄積の差異であると考えられる。 $^{137}\text{Cs}$ は全身に分布する性質<sup>12)</sup>があり、 $^{90}\text{Sr}$ は骨に集まる性質<sup>12)</sup>があるが、骨は測定試料から内臓や皮等とともに取り除かれていることを反映したと考えられる。

#### 4 まとめ

岡山県下における環境中の $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ の影響を把握する目的で、過去30年間(1975年~2004年)の月間降下物、陸水(蛇口水)、土壌、野菜、牛乳(市販乳)、日常食及び海産生物を対象とした調査を取りまとめた。

1. 月間降下物には、岡山県でも大気圏内核爆発実験による影響が見られた。チェルノブイリ原子力発電所事故は、 $^{137}\text{Cs}$ の濃度レベルを一時的に増加させたが全国平均とほぼ同レベルであり、 $^{90}\text{Sr}$ は $^{137}\text{Cs}$ に比べて約1/120以下の濃度であった。
2. 蛇口水では近年も一定レベルの $^{90}\text{Sr}$ が検出されているが、地表面に降下したものが長期間に渡り河川を経て蛇口水へと供給されていると考えられる。
3. 土壌は $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ とも全国平均より低いが、地形、地質等の周辺環境の状況が蓄積傾向に大きく影響することが示唆された。
4. 野菜では葉菜類に比べて根菜類が約3倍高い濃度で $^{90}\text{Sr}$ が検出されたが、その差は試料中のCa分量に起因すると考えられた。
5. 牛乳ではチェルノブイリ原子力発電所事故の影響によって、高い濃度の $^{137}\text{Cs}$ が一時的に検出された。
6. 日常食では高い濃度の $^{137}\text{Cs}$ が検出されたが、大気圏内核爆発実験やチェルノブイリ原子力発電所事故の影響を受けた流通食品等を摂取したことに

起因すると考えられた。

7. 海産生物は全年度において $^{137}\text{Cs}$ が検出(平均値:0.15Bq/kg生、範囲:0.055~0.30Bq/kg生)されたが、全国平均よりもやや低い傾向であった。

謝 辞

「環境放射線データベース」に収録されているデータを取りまとめるにあたり、御指導下さった(財)日本分析センターの野中信博分析部次長に厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 文部科学省監修、「放射能測定調査・環境放射能水準調査」委託実施計画書
- 2) 浅田忠一他監修：原子力ハンドブック，オーム社，東京，1995
- 3) 文部科学省放射能測定法シリーズ16「環境試料採取法」昭和58年
- 4) 文部科学省放射能測定法シリーズ13「ゲルマニウム半導体検出器を用いる機器分析のための試料の前処理」昭和57年
- 5) 放射能測定法シリーズ7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」平成3年
- 6) 放射能測定法シリーズ2「放射性ストロンチウム分析法」昭和58年
- 7) 文部科学省監修「日本の環境放射能と放射線」<http://www.kankyo-hoshano.go.jp/> (財)日本分析センター
- 8) 第47回環境放射能調査研究成果論文抄録集(平成16年度)文部科学省 平成17年12月
- 9) 近澤紘一史他：葉草中の $^{137}\text{Cs}$ ，高知県衛生研究所，51，53-62，2005
- 10) 飯田容子他：環境試料中の $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度の推移，JCAC，No23，29-37 1993
- 11) 香川 綾監修：四訂食品成分表，女子栄養大学出版部，1995
- 12) 安斎育郎著：からだのなかの放射能，合同出版，1982