

| | |
|---|---|
| 論 | 文 |
|---|---|

ソ連チェルノブイリ原子力発電所事故に伴う 放射性降下物の観測 (I)

森 嶋 彌 重, 古 賀 妙 子, 久 永 小枝美,
丹 羽 健 夫, 河 合 廣, 伊 藤 哲 夫,
三 木 良 太, 近 藤 宗 平, 明 神 正 和*,
敵 中 和 人*

Observations on the Radioactive Fallout originated from the Reactor Accident at Chernobyl in USSR (I)

Hiroshige MORISHIMA, Taeko KOGA, Saemi HISANAGA,
Takeo NIWA, Hiroshi KAWAI Tetsuo ITOH, Ryota MIKI,
Sohei KONDO, Masakazu MYOJIN* and Kazuto UNENAKA*

(Received July 20, 1986)

On 26 April a large amount of radioactive materials was accidentally released from the nuclear power station at Chernobyl in USSR. On 29 April radioactivity due to this release was detected in Sweden and other north-European countries. At the beginning of May the radioactivity was also detected at first at Chiba city in Japan, soon later at many places in country; the whole country was covered with radioactive plume transported from Chernobyl.

In Higashi-Osaka city district radioactivity was found in air-borne dust at dawn of 4 May. The health physics group at Atomic Energy Research Institute of Kinki University in Osaka analysed γ and β radioactivities in a large amount of environmental samples, such as air-borne dust, rain water, vegetations, milk on the market, tap water and Biwa-lake water etc. Gamma-ray spectral analyses and gross β analyses were carried out for the above samples and nuclides of fission products such as ^{131}I , ^{132}I , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{99}Mo (^{99m}Tc), ^{132}Te , ^{140}Ba and ^{140}La etc. were detected. Maximum ^{131}I concentrations in air-borne dust, rain water, milk on the market, tap water, vegetations and Biwa-lake water etc. were 2.45 pCi/m³ (0.0907 Bq/m³), 118 pCi/l (4.37 Bq/l), 91.4 pCi/l (3.38 Bq/l), 20 pCi/l (0.74 Bq/l), 7.9×10^3 pCi/kg fresh weight (292 Bq/kg fresh weight) and 0.81 pCi/l (0.0300 Bq/l), respectively. Thereafter average radioactivity concentrations in air-borne dust, rainwater, tap water and milk on the market etc. gradually declined to the normal value or below detectable limit. However, nuclides of long half-lives were expected to remain in vegetations and soils. After administration of ^{131}I through milk, the radioactivity concentration of which is 91 pCi/l (3.4 Bq/l), internal exposure is calculated to be 8.6 mrem/y (0.086 mSv/y), referring the guide-line issued by Japan Atomic Energy Commission for the purpose of exposure estimation near nuclear power stations.

* 理工学部原子炉工学科

1. はじめに

1962年に米ソ大気圏内核実験が停止されて以来、1964年10月16日に始まる中国の核実験、1965年1月15日ソ連地下核実験など^{1),2)}による環境試料の放射能汚

染は漸次減少し、ほぼバックグラウンドレベルの平衡値に達していた。

1986年4月26日に発生したソ連キエフ北方のチェルノブイリ原子力発電所の事故によって放射能が放出され、4月29日にスウェーデンをかわきりに北歐で異常な放射能が検出されたとの新聞報道に始まり、日本に

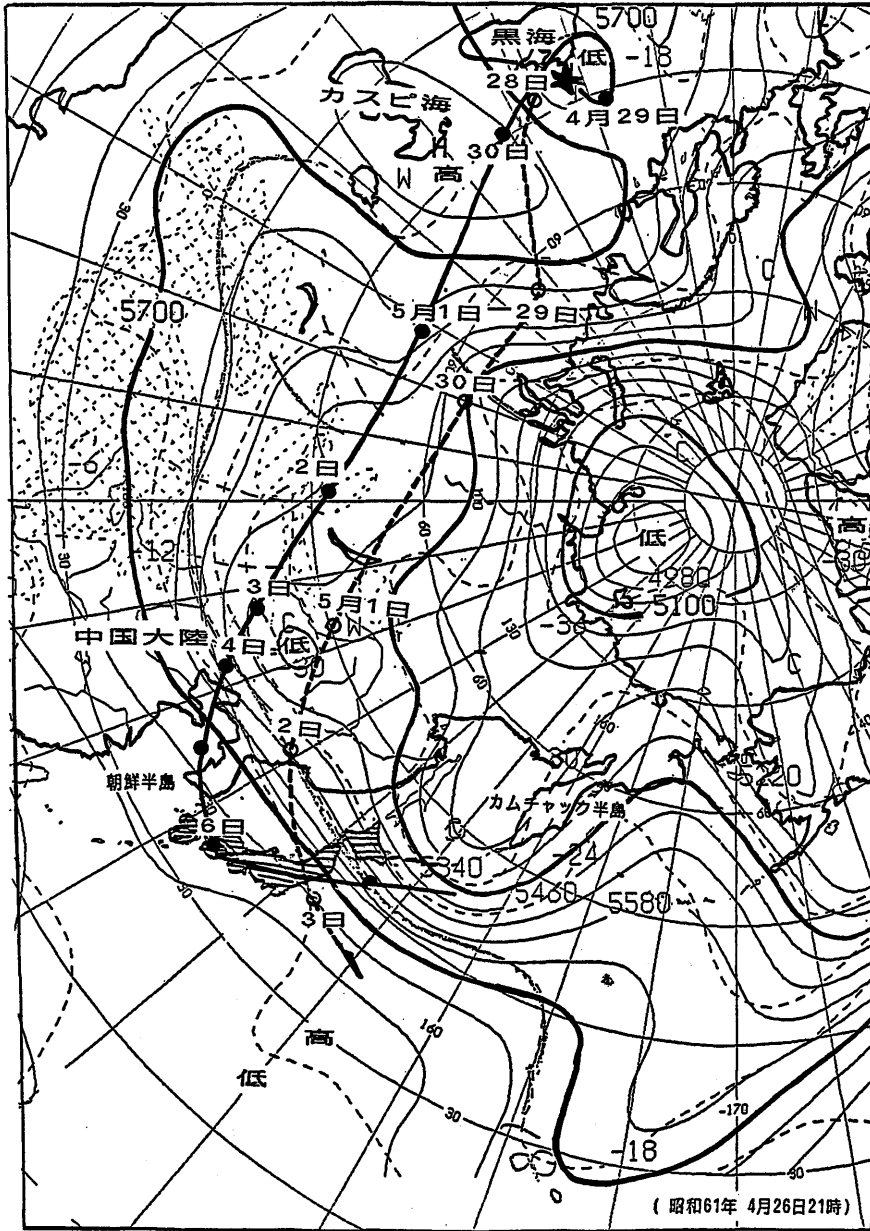


Fig. 1 世界の気圧配置図および放射性物質移動予測図

おいても5月3～4日にかけて影響が現われ、千葉市の雨水、ヨモギに異常放射能が検出され、4～5日には日本全域にわたり放射能汚染が広がった。放射性物質は炉心の高熱で上昇流となり成層圏へ到達、秒速約50mの偏西風に乗って8,000km以上離れたわが国にも到達する。その様子を4月26日21時の世界の気圧配置図*とともにFig. 1に示した。初めに北欧に影響を及ぼしたものが東日本へ5月3日に、更にチェルノブイリ上空の低気圧により一部南下したものは6日に西日本上空および日本全土に、第2陣として到達したと考えられる。原子力研究所では、1960年原子炉施設設置以来、大気中浮遊塵埃、雨水、陸水、植物および土壌などの環境放射能調査⁹⁾を継続して行ってきましたが、ソ連原子力発電所事故以後環境中の放射能濃度が増加し、平常時には検出されなかった核種が多種検出されています。そこで我々は、放射性降下物の放射能の観測を大阪府東大阪市における雨水、空気中浮遊塵埃、牛乳、水道水について現在調査を続行しているが、測定法などにおいて若干の検討を試みたのでそれとともに報告する。

2. 試料採取と測定

2.1 空気中浮遊塵埃

富士電機製の連続口紙式ダストモニター(DS-200E)を用い、流量250l/min、口紙速度25mm/hで24時間集塵し、吸引総空気量約330m³の集塵口紙(TOYO HE-40T)を(原則として0時に当る部分)一部切り取り、25mmφ試料皿に入れ全β放射能を、残りはポリエチレン袋に密封し、核種分析に供した。

2.2 雨水

原子力研究所研究棟屋上に設置した3,180cm²の容器で全降雨水を採取し、内1lを蒸発乾固し、ステンレス試料皿(25mmφ)に入れ、残量をU-8型ポリスチレン製容器(内寸48φ×68mm)に移し赤外線電球下で乾燥し、それぞれ全β放射能測定および核種分析のための試料とした。

2.3 水道水、牛乳および母乳

飲料水として東大阪市上水および市販牛乳を2l容の塩化ビニール製マリネリ容器(Fig. 2)に無処理のまま充し、測定試料とした。母乳については、近畿大

*日本気象協会関西本部による。

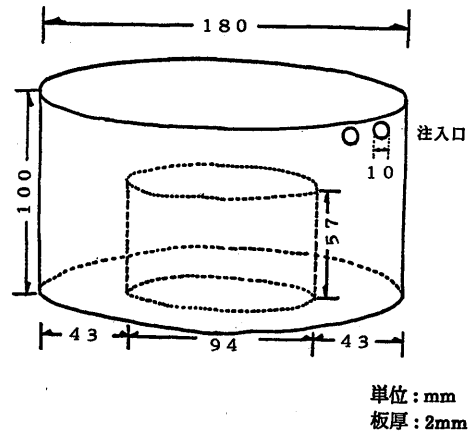


Fig. 2 マリネリ容器 (塩化ビニール製)

学医学部付属病院において採取した。

2.4 植物

植物試料については原子力研究所構内で生体重量で300～500gを採取し、乾燥、灰化後、全β放射能は灰分500mgを試料皿(25mmφ)、U-8容器に乾燥物および灰化物を充填しγ線波高分析を行うが、今回の報告には乾燥試料についての測定結果を示した。

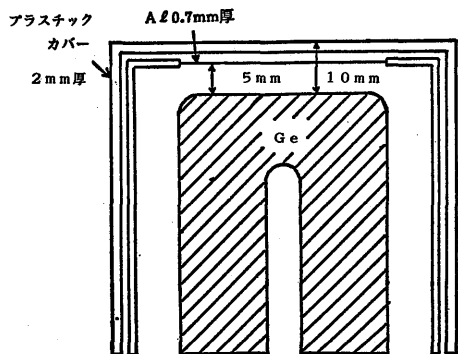
2.5 陸水

陸水試料としては近畿地区の水道水の原水源となる琵琶湖において琵琶湖大橋の水深1mで湖水を1m³採取しロータリーエバポレーターを用い、浴温70℃減圧濃縮、乾固し測定試料とした。

いずれの試料についても、科学技術庁編「放射能測定シリーズ」⁴⁾に準拠して行った。

2.6 放射能測定

全β放射能はローバックグラウンド2πガスフロー計数装置(Aloka製、LBC-451、Qガス使用)により、またγ線エネルギー波高分析は低バックグラウンドガンマ核種放射能測定装置(ゲルマニウム半導体検出器)で測定した。Ge半導体検出器(Fig. 3)は同軸型、有効容積80ml、相対効率20%、半値巾2keVのプリストンガンマテック社製IGC-20、4096チャンネル多重波高分析装置はNAIG製Eシリーズ、γ線エネルギースペクトルの解析には測定系に組み込まれた小型コンピュータ(横河ヒューレットパッカード社製、YHP-45)により、データ処理(NAIG、CLC-3)を行った。



同軸型
 $49\text{mm}\phi \times 50.1\text{mm}$ 80cm^3
 3200VDC (+)
 相対効率 20.2%
 ピーク/コンプトン比 49.7
 半値幅 1.95keV
 1/10値幅 3.58keV

Fig. 3 真性 Ge 半導体検出器

Ge 半導体検出器の微弱放射能測定用遮蔽体は Fig. 4 にその模式図を示した様に鉛 50mm, 古鉄 127mm により構成された内容積 $25 \times 25 \times 26\text{cm}$ のもので鉛からの特性 X 線を防ぐため 5mm の銅とアクリルで内張りをしている。鉛材料は ^{60}Co 含有量の少ない材料として 1960 年頃のローバックグラウンド計数装置用の遮蔽材を使用している。

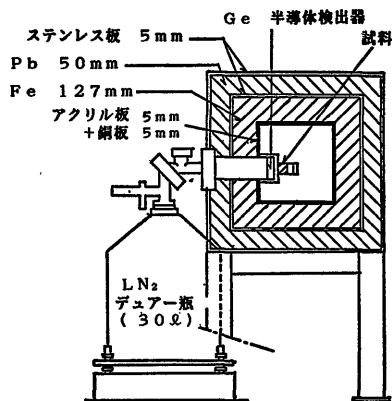


Fig. 4 Ge 半導体検出器の微弱放射能測定用遮蔽体

3. 結果と考察

3.1 測定法の基本的特性について

3.1.1 γ 線エネルギー・スペクトル波高分析について

現在、当研究所で設置している Ge 半導体検出器を

用いた ローバックグラウンド多重波高分析装置は、 γ 線エネルギー・スペクトルの測定用として NaI(Tl) シンチレータに比較して分解能に秀れ、核種の検出、同定能力が大である。計数効率の絶対測定には LMRI 製（仏）の標準線源 ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{88}Y を使い、 ^{241}Am 59.5 keV より ^{88}Y 1,836 keV について点線源による絶対計数効率の変化を Fig. 5 に示した。面線源およびマリネリ容器による測定では、口紙 $4 \times 6\text{cm}^2$ およびマリネリ容器 2l に ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs を、それぞれ付着および蒸留水に溶解させたものを用いて行った。

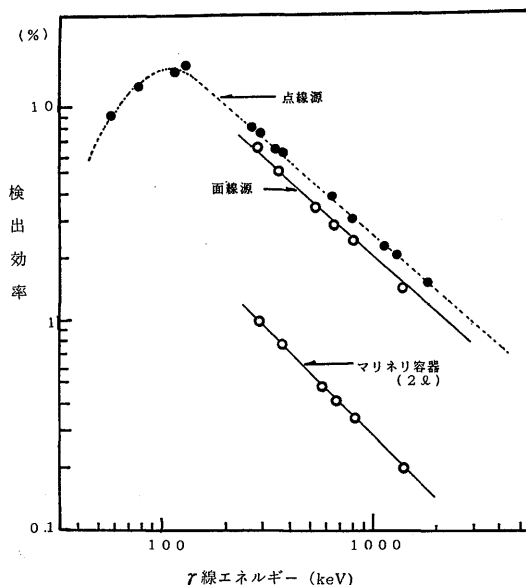


Fig. 5 γ 線エネルギーと検出効率との関係

点線源および面線源はポリエチレン袋に密封した状態で Ge 半導体検出器のアクリル樹脂製カバーに密着（Ge 半導体検出器表面より、10mm）状態で測定したもので γ 線エネルギー、120keV \sim 2MeV の範囲において両対数グラフで γ 線エネルギーが高くなるにつれて計数効率が、直線的に減少する傾向を示した。試料水をそのまま無処理で測定するマリネリ容器を用いる迅速測定法においては、検出器の周囲に試料が密着状態で測定できるような容量 2l 容のものを作製し、測定を行ったが、これによると面、点線源に比べて約 1 桁低い計数効率を示している。マリネリ容器を用いた ^{131}I の計数効率は 364 keV の光電ピークについて 0.75%、点線源密着状態については 6% であった。測定に用いた Ge 半導体検出器の核種別の定量可能レベルを

Table 1 Ge 半導体検出器による定量可能レベルの下限

| 試料 | 供試量 | 単位 | ¹³¹ I (364.5keV) | ¹⁰³ Ru (497.1keV) | ¹³⁷ Cs (661.6keV) | ⁹⁰ Zr (724.2keV) | 測定時間 (sec) |
|------|------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|
| 浮遊塵埃 | 330m ³ (濾紙) | pCi/m ³ | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 4,000 |
| 陸水 | 20ℓ (乾固物) | pCi/ℓ | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.16 | 70,000 |
| 飲料水 | 2ℓ (マリネリ容器) | pCi/ℓ | 1.4 | 1.3 | 1.7 | 3.1 | 50,000 |
| 植物 | 100g (生体) | pCi/kg | 280 | 280 | 300 | 670 | 3,000 |

Table 2 定量可能レベルの測定時間による影響

| 核種 | 定量可能レベル(下限) (pCi) (変動係数) | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 3×10 ⁴ sec | 6×10 ⁴ sec | 9×10 ⁴ sec | 2×10 ⁵ sec | 4×10 ⁵ sec |
| ²²⁶ Ra (186keV) | 19.7 (43.3%) | 14.9 (37.4%) | 11.6 (28.0%) | 7.51 (13.3%) | 4.01 (9.3%) |
| ⁴⁰ K (1461keV) | 11.1 (8.5%) | 8.50 (7.1%) | 6.60 (5.0%) | 3.71 (3.1%) | 2.86 (2.4%) |

Table 1 に、測定に必要な試料の供試量とともに示した。定量可能レベルは測定値の有意性を検討する上でバックグラウンドの標準偏差の3倍を最小検出限界すなわち定量可能レベルの下限とした。浮遊塵埃は1日間連続口紙式ダストモニターで空気 330m³ を吸引し口紙に集塵したものを、4,000秒の測定で ¹³¹I, ¹⁰³Ru, ¹³⁷Cs などについての定量可能レベルの下限は 0.02 pCi/m³ であった。陸水試料については 20ℓ の蒸発乾固物を U-8 容器に入れ、7,000秒の測定で、0.07~0.16 pCi/ℓ、2ℓ 容のマリネリ容器に直接処理しないで試料を 2ℓ 入れ、測定時間5,000秒で測定した直接法では、供試量を 1/10 にすると定量可能レベルは約 1/20 となり、1.4~3.1 pCi/ℓ が定量可能な下限である。植物について乾燥物について測定した結果を示した。3,000秒の測定で 300 pCi/kg であった。Table 2 に定量可能レベルの下限の測定時間による影響を観察したが自然放射性核種 ²²⁶Ra について測定時間が増加する

につれて定量可能レベルは良くなり、3×10⁴ 秒では 20pCi あったものが 4×10⁵ 秒の測定では 4pCi まで定量可能となった。

3.1.2 マリネリ容器を用いた直接測定法と蒸発乾固法との比較

Ge 半導体検出器による直接測定法と蒸発乾固法による測定法の比較を5月4日の降雨水について行った結果を Table 3 に示した。マリネリ容器を用いた直接測定法では測定時間を50,000秒と蒸発乾固法の約10倍にしても定量可能レベルはまだ2倍と若干悪い。この雨水はチェルノブイリ原発事故の影響の出た直後のもので、検出された核種は、¹³²Te, ¹³¹I, ¹⁰³Ru, ¹³²I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs などでも表中の上段に核種別の放射能濃度を示した。

これによると蒸発乾固法による測定結果では ¹³²Te が検出されず、¹³¹I, ¹³²I の両放射性ヨウ素は直接法

Table 3 Ge 半導体検出器による直接測定法と蒸発乾固法との比較

| 核種 | 測定法 | ¹³² Te (228keV) | ¹³¹ I (364keV) | ¹⁰³ Ru (497keV) | ¹³² I (667keV) | ¹³⁴ Cs (604keV) | ¹³⁷ Cs (661keV) | 測定時間 (sec) |
|-------------------|-----|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|
| マリネリ容器(2ℓ)による直接測定 | | 18.4 (1.4) | 80.2 (1.4) | 4.28 (1.3) | 8.35 (1.8) | N.D. (1.4) | 2.14 (1.7) | 50,000 |
| 蒸発乾固法(11ℓ) | | N.D. (1.4) | 22.4 (0.72) | 5.60 (0.40) | 6.68 (0.61) | N.D. (0.75) | 3.04 (0.62) | 4,000 |

() 内定量可能レベルの下限 (単位: pCi/ℓ)

森嶋他：ソ連チェルノブイリ原子力発電所事故に伴う放射性降下物の観測（I）

に比較して約 1/4~1/2 に減少しているが他の核種 ^{103}Ru , ^{134}Cs , ^{137}Cs についてはほぼ同じレベルを示した。 ^{131}I , ^{132}I , ^{132}Te については蒸発乾固による損失が見られ、放射能濃度は過少評価となると思われる。マリネリ容器を用い、試料を処理しないでそのまま直接測定する方法は pCi/l オーダーの水試料の測定に十分利

用できると思われる。

3.2 空气中浮遊塵埃

通常の空气中浮遊塵埃の全 β 放射能濃度の測定には、連続口紙式ダストモニタ (Fuji DS-200E) を用いて実施しているが、定量可能な下限は 5.1 pCi/m³ と

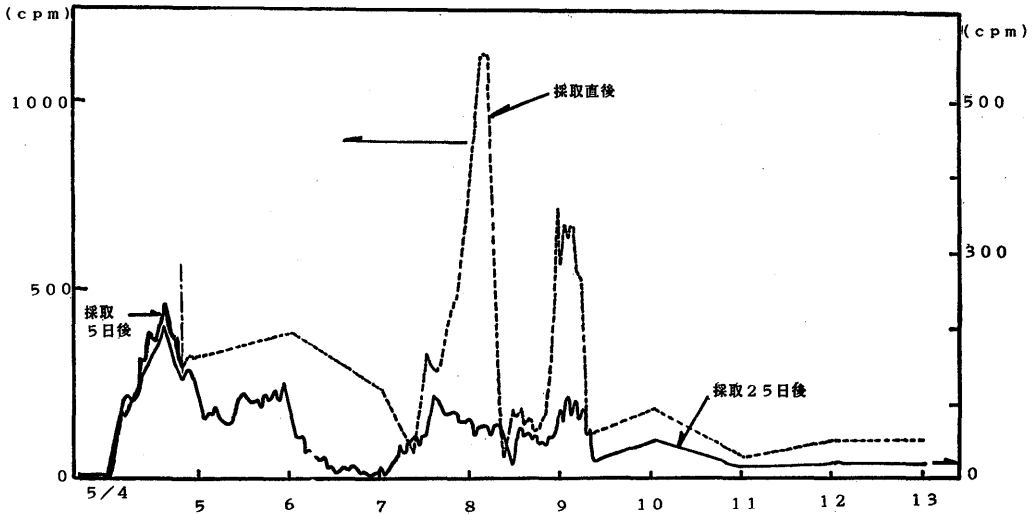


Fig. 6 空气中浮遊塵埃の全 β 放射能濃度の経時変化

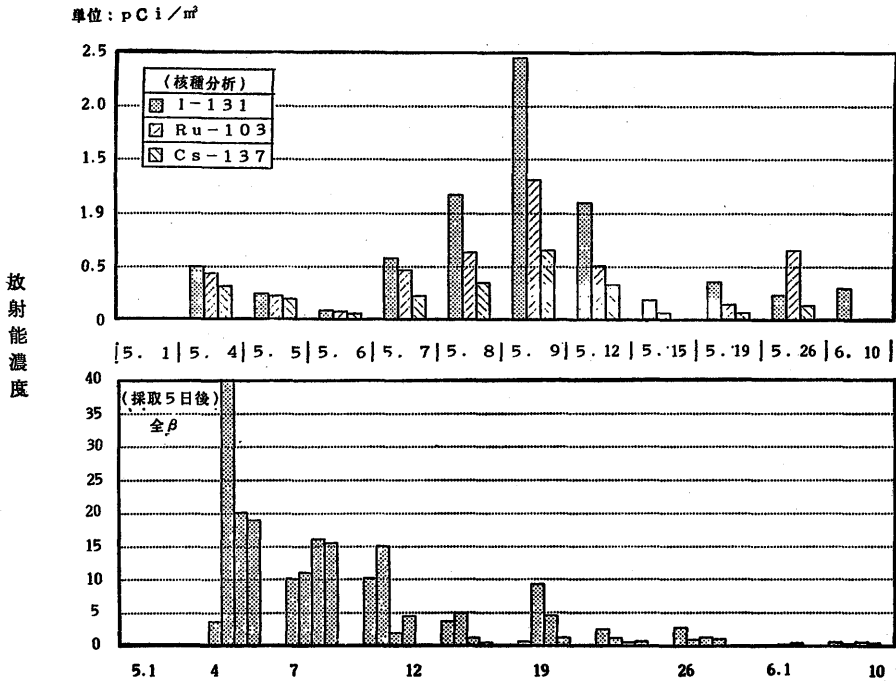


Fig. 7 空气中浮遊塵埃の放射能濃度

Table 4 空气中浮遊塵埃中の放射能濃度(核種分析)

(pCi/m³)

| 試料採取日 | 全 β 放射能濃度* | ^{99m} Tc | ¹³¹ I | ¹⁴⁰ La | ¹⁰³ Ru | ¹⁴⁰ Ba | ¹³⁴ Cs | ¹³⁷ Cs | ¹³² I | 備 考 |
|------------|---------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| | | 288ch. 141keV (95%) | 745 364 (82) | 998 487 (47) | 1018 497 (90) | 1100 537 (34) | 1238 604 (98) | 1354 661 (85) | 1367 667 (144) | |
| 1986. 4.30 | 0.035 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | 集塵直後の値に補正 *吸引停止5日後の値 |
| 5. 1 | 0.149 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 5. 2 | 0.088 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 5. 3 | 0.383 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 5. 4 | 39.97 | 0.21 | 0.87 | 1.32 | 0.44 | N. D. | 0.13 | 0.31 | 2.1 | |
| 5. 5 | 20.19 | 0.12 | 0.28 | N. D. | 0.22 | N. D. | 0.079 | 0.19 | 0.42 | |
| 5. 6 | 19.10 | 0.018 | 0.091 | N. D. | 0.074 | N. D. | 0.024 | 0.054 | 0.052 | |
| 5. 7 | 10.07 | 0.105 | 0.60 | N. D. | 0.47 | 0.028 | 0.114 | 0.22 | 0.273 | |
| 5. 8 | 11.04 | 0.52 | 1.35 | N. D. | 0.64 | N. D. | 0.19 | 0.35 | 0.42 | |
| 5. 9 | 16.06 | 0.60 | 2.76 | N. D. | 1.31 | 0.14 | 0.35 | 0.66 | 0.58 | |
| 5.10 | 10.20 | N. D. | 0.53 | 0.074 | 0.26 | N. D. | 0.10 | 0.23 | 0.073 | |
| 5.11 | 15.05 | N. D. | 0.54 | N. D. | 0.49 | N. D. | 0.11 | 0.28 | 0.18 | |
| 5.12 | 4.46 | N. D. | 1.15 | 0.098 | 0.51 | 0.09 | N. D. | 0.33 | N. D. | |
| 5.13 | 3.71 | N. D. | 0.37 | 0.025 | 0.18 | 0.01 | N. D. | 0.066 | N. D. | |
| 5.14 | 4.88 | N. D. | 0.85 | 0.16 | 0.49 | 0.09 | N. D. | 0.25 | N. D. | |
| 5.15 | — | N. D. | 0.18 | N. D. | 0.06 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 5.16 | 1.27 | N. D. | 0.46 | 0.18 | 0.18 | N. D. | N. D. | 0.11 | N. D. | |
| 5.17 | 0.493 | N. D. | 0.16 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 5.18 | 0.678 | N. D. | 0.25 | N. D. | 0.06 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 5.19 | 9.30 | N. D. | 0.36 | N. D. | 0.14 | N. D. | N. D. | 0.06 | N. D. | |
| 5.20 | 4.61 | N. D. | 0.21 | N. D. | 0.10 | N. D. | N. D. | 0.05 | N. D. | |
| 5.21 | 1.28 | N. D. | 0.11 | N. D. | 0.15 | N. D. | N. D. | 0.04 | N. D. | |
| 5.22 | 2.53 | N. D. | 0.20 | N. D. | 0.22 | N. D. | N. D. | 0.11 | N. D. | |
| 5.23 | 1.22 | N. D. | 0.16 | N. D. | 0.20 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 5.24 | 0.529 | N. D. | 0.07 | N. D. | 0.10 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 5.25 | 0.677 | N. D. | 0.09 | N. D. | 0.09 | N. D. | N. D. | 0.05 | N. D. | |
| 5.26 | 2.65 | N. D. | 0.23 | N. D. | 0.66 | N. D. | N. D. | 0.13 | N. D. | |
| 5.27 | 0.856 | N. D. | 0.15 | N. D. | 0.37 | N. D. | N. D. | 0.10 | N. D. | |
| 5.28 | 1.30 | N. D. | 0.11 | N. D. | 0.41 | N. D. | N. D. | 0.10 | N. D. | |
| 5.29 | 1.04 | N. D. | 0.08 | N. D. | 0.25 | N. D. | N. D. | 0.03 | N. D. | |
| 5.30 | 0.138 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 5.31 | 0.140 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6. 1 | 0.206 | N. D. | N. D. | N. D. | 0.05 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6. 2 | 0.411 | N. D. | 0.03 | N. D. | 0.05 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6. 3 | 0.470 | N. D. | 0.03 | N. D. | 0.08 | N. D. | N. D. | 0.02 | N. D. | |
| 6. 4 | 0.381 | N. D. | N. D. | N. D. | 0.06 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6. 5 | 0.496 | N. D. | N. D. | N. D. | 0.04 | N. D. | N. D. | 0.02 | N. D. | |
| 6. 6 | 0.319 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6. 7 | 0.192 | N. D. | N. D. | N. D. | 0.03 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6. 8 | 0.217 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6. 9 | 0.200 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.10 | 0.266 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.11 | 0.267 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.12 | 0.252 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.13 | 0.319 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.14 | 0.256 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.15 | 0.125 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.16 | 0.044 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.17 | 0.230 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.18 | 1.641 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.19 | 0.129 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.20 | 0.085 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.21 | 0.067 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.22 | 0.117 | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| 6.23 | 0.115 | } N. D. | } N. D. | } N. D. | } 0.19 | } N. D. | } N. D. | } 0.08 | } N. D. | |
| 6.24 | 0.234 | | | | | | | | | |
| 6.25 | 0.108 | | | | | | | | | |
| 6.26 | 0.020 | | | | | | | | | |

森嶋他：ソ連チェルノブイリ原子力発電所事故に伴う放射性降下物の観測（I）

比較的感度が悪いので、この口紙の一部を切り取り、ローバックグラウンド計数装置で測定することでほぼ2桁低い0.03pCi/m³まで検出可能となる。Fig. 6に

空气中浮遊塵埃の5月3日～13日までの経時変化を1時間ごとに採取直後と採取25日後の測定値で示した。これによると5月4日0時より徐々に増加し始め4日

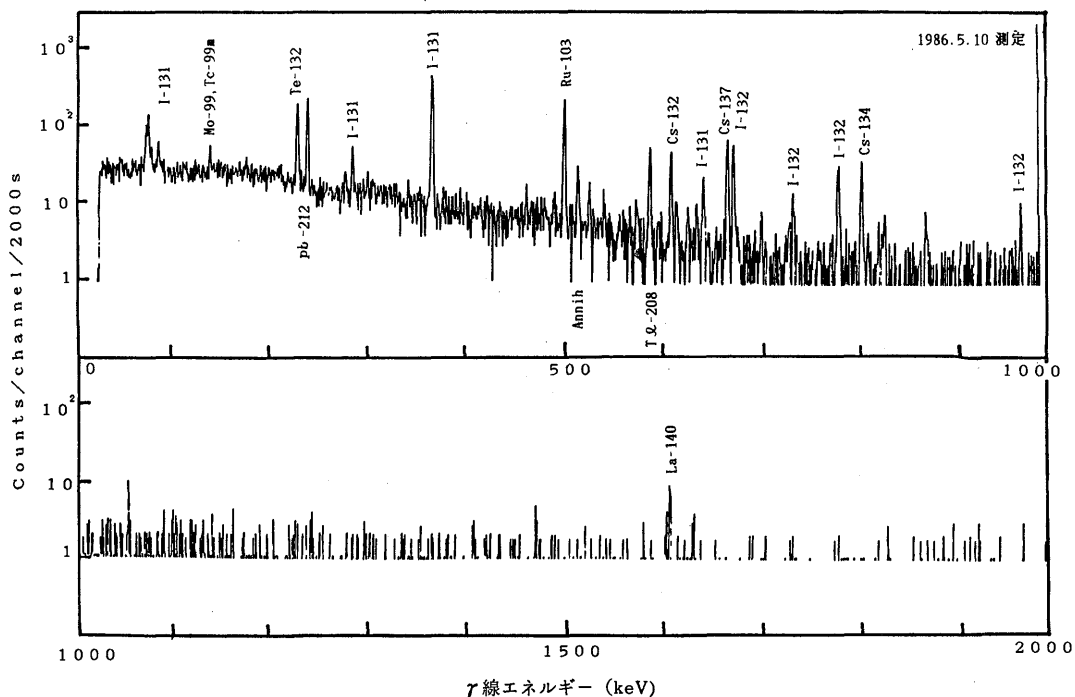


Fig. 8 空气中浮遊塵埃（1986.5.9）のγ線エネルギー・スペクトル

Table 5 降雨水中の放射能濃度

(pCi/ℓ)

| 採取年月日 | 雨量 (mm) | 全β放射能濃度 | ¹³¹ I 364keV | ¹⁰³ Ru 497keV | ¹³⁴ Cs 604keV | ¹³² I 667keV | ¹³⁷ Cs 661keV | 備考 |
|-----------|---------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| S61. 5. 2 | 2.5 | 9.0 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 5. 1 23 : 00 ~ 5. 2 9 : 00 |
| 5. 4 | 46 | 46.3 | 18.1 | 5.54 | 1.33 | 5.19 | 2.59 | 5. 2 9 : 00 ~ 5. 4 5 : 00 |
| 5. 6 | 1.5 | 182.2 | 104.55 | 14.31 | N.D. | N.D. | N.D. | 5. 6 7 : 00 ~ 5. 6 9 : 00 |
| 5. 6 | 22.5 | — | 28.8 | 7.94 | N.D. | 7.45 | 5.41 | 5. 6 7 : 00 ~ 5. 6 18 : 00 |
| 5.11 | <0.5 | 235.9 | 117.6 | 70.4 | N.D. | N.D. | 36.8 | 5.11 17 : 00 ~ 5.15 |
| | 16.5 | 47.8 | 9.32 | 4.64 | N.D. | N.D. | N.D. | 5.14 10 : 00 ~ 5.15 3 : 00 |
| 5.16 | 1.5 | 160.6 | 32.89 | 46.90 | N.D. | N.D. | 21.91 | 5.16 13 : 00 ~ 5.16 17 : 00 |
| 5.19 | <0.5 | 58.8 | 29.49 | 15.95 | N.D. | N.D. | 19.26 | 5.19 8 : 00 ~ 5.19 9 : 00 |
| 5.20 | 90.0 | 33.8 | 1.57 | 2.20 | N.D. | 1.71 | 1.07 | 5.19 9 : 00 ~ 5.20 15 : 00 |
| 5.30 | 11.0 | 97.3(100ml 降り始め) | 1.14 | 6.16 | N.D. | N.D. | 3.00 | 5.29 13 : 00 ~ 5.30 8 : 10 |
| 6. 7 | 8.5 | 17.0 | N.D. | 5.19 | N.D. | N.D. | 1.88 | 6. 6 15 : 00 ~ 6. 7 12 : 00 |
| 6.18 | 54.5 | 54.5(300ml 降り始め) | N.D. | 0.27 | N.D. | N.D. | 0.17 | 6.16 15 : 00 ~ 6.18 3 : 00 |
| 6.21 | 0.5 | 7.39 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 6.21 13 : 00 ~ 6.21 14 : 00 |
| 6.24 | 21.5 | 13.8 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 6.23 4 : 00 ~ 6.24 9 : 00 |
| 6.25 | 10 | 4.83 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 6.24 9 : 00 ~ 6.25 21 : 00 |

午後最高値をそして6日未明および8日にピークが現われる。ここで採取直後の測定値については自然の放射性核種であるラドン、トロン娘核種の影響が大きいため、0時に集塵した試料について集塵5日後の測定値で空气中浮遊塵埃の全β放射能濃度を Table 4, Fig. 7 に示した。これによると、5月4日に最高値 40 pCi/m³ を示し、5月9日、19日と第2、第3のピークを示しながら徐々に減少し、1ヶ月後には平常時の変動範囲になり若干の小さな波を示して平衡状態となっている。Fig. 8 に5月9日の空气中浮遊塵埃のγ線エネルギースペクトルを示したがこれによると検出された核種は⁹⁹Mo, ¹³¹I, ¹⁴⁰La, ¹⁰³Ru, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹³²I などであった。Table 4 に核種毎の放射能濃度も示したが、この値は集塵直後に減衰補正をした値になっている。¹³¹I は5月4日より検出され5月9日に最高値2.76 pCi/m³ を示し、1ヶ月後には検出限界以下となった。空气中浮遊塵埃の核種毎の放射能の変動を Fig. 7 に示した。

3.3 降雨水中の放射能濃度

全β放射能濃度と主要核種毎の変動を Table 5, Fig. 9 に示した。これによると原発事故以後最初の5月2日の雨水中の全β放射能濃度は9 pCi/l と平常値とまだその影響はなく、5月4日の雨水より放射能濃度は異常値 46.3 pCi/l として検出され始め、空气中浮遊塵埃と同様の傾向のパターンを示した。その中でも5月11日の降雨は 0.5mm 以下でごくわずかの雨であったが、全β放射能濃度の最高値 235 pCi/l を示し、以後徐々に減少した。¹³⁷Cs に対する核種 ¹³¹I および ¹⁰³Ru の比の変動を Fig. 10 に示した。5月11日の雨

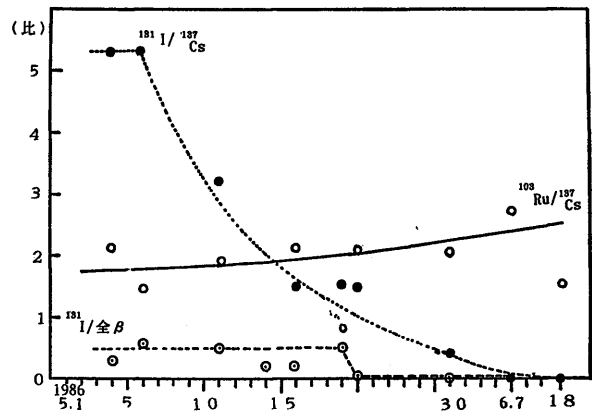


Fig. 10 雨水中の ¹⁰³Ru/¹³⁷Cs, ¹³¹I/¹³⁷Cs および ¹³¹I/全β 放射能比の変動

水の ¹³¹I/¹³⁷Cs 比および ¹⁰³Ru/¹³⁷Cs 比はそれぞれ3.2 および1.9と L. Devell et al.⁵⁾ の空气中の浮遊塵の値とほぼ同じレベルであるが、スウェーデンで採取したホットパーティクルの核種の組成では ¹⁰³Ru の比率が極端に大きいことと日本の値とは非常に異っている。これは日本へは揮発性の核種 (¹³¹I, ¹³⁷Cs, ¹³²Te など) の飛来が多く、従来の核実験のようにホットパーティクルは原発周辺に落下し検出されなかったものと思われる。雨水中の放射性ヨウ素/全β放射能比の中国核実験による降下物との比較を Table 6 に示した。全β放射能に対する放射性ヨウ素の占める割合が中国核実験の降下物については起爆後徐々に減少しているが、今回のソ連原発事故の推移については9日目より23日目まで若干の変動はあるがほぼ平衡値を示し、以後徐々に減少し約1ヶ月後に0になった。核実験の場合、放射性ヨウ素は初期に全β放射能の10~15%を占め時間の経過とともに徐々に減少している⁶⁾ のに対

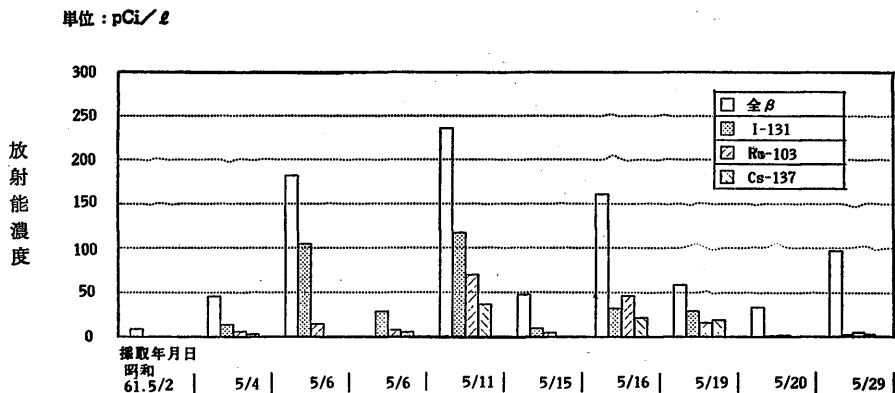


Fig. 9 降雨水中の放射能濃度の変動

Table 6 雨水中の放射性ヨウ素/全β放射能比の中国核実験による降下物との比較

| 経過日数 | 中国核実験 ⁹⁾ | ソ連原発事故 |
|------|---------------------|--------|
| 1 | 0.095 | — |
| 2 | 0.15 | — |
| 3 | — | — |
| 4 | 0.0372 | — |
| 5 | 0.0342 | — |
| 6 | 0.0015 | — |
| 7 | 0.0044 | — |
| 8 | — | — |
| 9 | 0.0047 | 0.31 |
| 10 | 0.0013 | 0.57 |
| 15 | — | 0.50 |
| 19 | — | 0.19 |
| 20 | — | 0.20 |
| 23 | — | 0.50 |
| 24 | — | 0.046 |
| 33 | — | 0.012 |
| 42 | — | 0 |
| 60 | — | 0 |

し、その傾向が異なっていることは新聞等で報道されている様に原子炉遮蔽容器をコンクリートで密閉したのが、5月14日であることと考え合わせると比較的長い期間に渉り放射性ヨウ素は放出され続けた事を示唆している。

3.4 市販牛乳および飲料水の¹³¹I放射能について

牛乳および東大阪市上水中の¹³¹I放射能の変動を空气中浮遊塵埃中の¹³¹I放射能濃度とともにFig. 11に示した。水道水の核種分析についてはほぼ1ヶ月間測定を行ったが、5月15日までは¹³¹Iが検出され、最高値は20 pCi/lであった。以後放射能濃度は検出限界以下となり急激に検出されなくなった。東大阪で購入した8業者の市販牛乳について調べた結果をTable 7に示した。核種は¹³¹Iおよび¹³⁷Csが検出され¹³⁷Csについては5月28日付牛乳で17.6 pCi/lであった。¹³¹Iは5月8日にはじめて検出され、最高値は5月14日に91.4 pCi/lを示した。水道水の¹³¹I濃度が比較的早く検出され、その濃度が減少して検出限界以下になるのも早いのに対して牛乳中については、水道水に

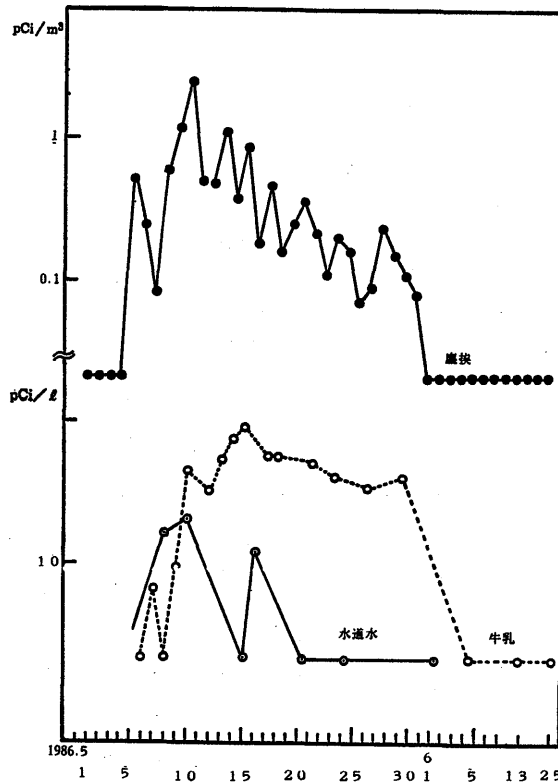


Fig. 11 牛乳、水道水中および塵埃のI-131放射能濃度

Table 7 牛乳中の放射能濃度

(pCi/l)

| パック年月日 | 製造会社 | ¹³¹ I (364keV) | ¹³⁷ Cs (661keV) |
|------------|-------|------------------------------|-------------------------------|
| 1986. 5. 5 | グ リ コ | N. D. | N. D. |
| 5. 6 | 〃 | 6.28 ± 2.00 | N. D. |
| 5. 7 | 〃 | N. D. | N. D. |
| 5. 8 | 〃 | 8.95 ± 2.34 | N. D. |
| 5. 9 | 森 永 | 43.75 ± 5.28 | N. D. |
| 5.11 | グ リ コ | 32.3 ± 4.68 | N. D. |
| 5.12 | 森 永 | 53.2 ± 4.74 | N. D. |
| 5.13 | グ リ コ | 32.2 ± 10.2 | N. D. |
| 5.13 | 森 永 | 73.1 ± 4.94 | N. D. |
| 5.14 | グ リ コ | 28.5 ± 3.47 | N. D. |
| 5.14 | c g c | 91.4 ± 9.48 | N. D. |
| 5.16 | グ リ コ | 57.3 ± 10.29 | N. D. |
| 5.17 | 森 永 | 55.2 ± 16.70 | N. D. |
| 5.20 | グ リ コ | 37.8 ± 4.54 | N. D. |
| 5.20 | 森 永 | 51.1 ± 3.47 | N. D. |
| 5.22 | グ リ コ | 22.6 ± 3.27 | N. D. |
| 5.22 | 森 永 | 40.1 ± 4.94 | N. D. |
| 5.25 | 〃 | 34.3 ± 4.07 | N. D. |
| 5.27 | グ リ コ | N. D. | N. D. |
| 5.28 | 信 濃 | 21.8 ± 4.07 | 17.6 ± 3.81 |
| 5.28 | 毎 日 | 29.1 ± 5.08 | N. D. |
| 5.28 | 農 協 | 40.0 ± 8.15 | N. D. |
| 5.28 | 森 永 | N. D. | N. D. |
| 5.28 | 雪 印 | N. D. | N. D. |
| 5.28 | c g c | N. D. | N. D. |
| 6. 3 | 森 永 | N. D. | N. D. |
| 6.13 | 森 永 | N. D. | N. D. |

1日遅れて検出、徐々に増加して事故後18日目に最高値、約1月間検出され、長期に渉って影響が続いた。水道水が浮遊塵と同じ傾向にあるのに比べ、牛乳中の¹³¹Iの汚染は遅れて検出され、その影響は長く続いた。また濃度も6.3~91.4 pCi/lと大きく変動しているが、これは原乳の採取地の違いによるものと思われる。母乳については6月1日および6月11日に提供を受けた試料について調査したが、¹³¹Iは検出限界以下であった。

3.5 植物の放射能濃度

原子力研究所構内で5月5日および5月24日に2日に分けて採取した17種の植物について風乾物の状態で測定した放射能濃度をTable 8に示した。検出された主な核種は¹³¹I、¹⁰³Ru、¹³⁷Cs および⁹⁵Nbであった。

この内“くぬぎ”について採取日5月24日で約8,000 pCi/kg生体、減衰補正をすると約40000 pCi/kg生体(5月5日現在)となり、また半減期の比較的長い¹⁰³Ru、¹³⁷Csが最高値を示していることを考慮に入れると、今回の調査の内では“くぬぎ”がもっとも放射能の高い植物の1つであった。

3.5 琵琶湖水の放射能濃度

近畿地区の上水の水源地であり、日本における比較的大容積の器として日本列島の中央部に位置すると思われる琵琶湖の水中の放射能濃度の測定を実施し、5月28日に採水した1m³の湖水中の放射能濃度をTable 9に示した。琵琶湖の平均水深を41mとすると¹³¹I濃度0.86 pCi/lにより¹³¹Iの降下量は1986年5月初めに補正して6.8 pCi ÷ (1/4.1 × 10⁴ m²) = 279 kpCi/m²

Table 8 植物中の放射能濃度

(pCi/kg生体)

| 試料 | 採取日 | ¹³¹ I 364.5keV | ⁹⁵ Nb 765.8keV | ¹⁰³ Ru 497.1keV | ¹³⁷ Cs 661.6keV | 備考 |
|-------------|------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|
| ツバキ(花) | 1986. 5. 5 | 3039±263 | N. D. | N. D. | N. D. | 風乾物で測定 採取日の濃度 |
| ツバキ(葉) | " | 3695±280 | N. D. | N. D. | N. D. | |
| ヨモギ(葉) | " | 13639±426 | 4442±1001 | 493± 64 | 359± 58 | |
| クスノキ(葉) | 5.24 | 624±158 | N. D. | N. D. | N. D. | |
| アレチノギンギシ(葉) | " | 1735±199 | N. D. | 251± 55 | 224± 49 | |
| カモジグサ | " | 483±157 | N. D. | N. D. | N. D. | |
| カラスノエンドウ | " | 900±186 | 136± 45 | 330± 74 | 380± 77 | |
| ヤナギ | " | 848±148 | N. D. | 185± 50 | 140± 42 | |
| ヒメジオン | " | 687±145 | N. D. | N. D. | 247± 60 | |
| カシワ | " | 3310±348 | N. D. | 435±101 | N. D. | |
| ナンキンハゼ | " | 2059±219 | N. D. | N. D. | N. D. | |
| ツバキ | " | N. D. | N. D. | N. D. | N. D. | |
| サンゴジュ | " | 1570 | N. D. | N. D. | N. D. | |
| クヌギ | " | 7892±709 | N. D. | 803±153 | 563±121 | |
| ウマゴヤシ | " | 2598±347 | N. D. | 264± 78 | N. D. | |
| ギシギシ | " | 919±151 | N. D. | N. D. | 107± 35 | |
| メタセコイヤ | " | 5487±431 | N. D. | 356± 76 | N. D. | |

Table 9 琵琶湖水の放射能濃度

| | | 放射能濃度 (pCi/l) | 備考 |
|---------|-------------------|------------------|---------------|
| 全β放射能濃度 | | 1.59±0.10 | 1986年 7月 3日現在 |
| 核種 | ¹³¹ I | 0.86±0.02 | 1986年 5月28日現在 |
| | ¹³⁴ Cs | 0.04±0.00 | |
| | ¹⁰⁶ Ru | 0.05±0.01 | |
| | ¹³⁷ Cs | 0.10±0.00 | |
| | ¹⁰³ Ru | 0.15±0.00 | |

4. まとめ

1986年4月26日にソ連チェルノブイリ原子力発電所事故による放射性降下物は東大阪地区においては5月4日未明に空気中浮遊塵埃にその影響が現われた。環境試料として空気中浮遊塵埃、雨水、市販牛乳、東大阪市内上水、植物、琵琶湖水などについて全β放射能の測定およびγ線エネルギースペクトル分析を行い、核分裂生成核種 ¹³¹I, ¹⁰³Ru, ¹³⁷Cs, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁴Cs, ⁹⁹Mo, ^{99m}Tc, ¹³²I, ¹³²Te, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴⁰La などが検出された。

¹³¹I について最高値はそれぞれ採取日現在、2.76 pCi/m³, 118 pCi/l, 91.4 pCi/l, 20 pCi/l, 7.9×10⁸ pCi/kg 生体および0.86pCi/lであった。その後空気中浮遊塵埃、雨水、水道水、市販牛乳などについての放射能濃度は平常値あるいは検出限界以下にまで漸減したが、植物、土壌中など蓄積した長半減期の放射性核種の影響が残っており、今後の観測が望まれる。牛乳中の¹³¹I濃度91 pCi/l(3.4 Bq/l)とし、公衆の被ばく線量評価^{8),9)}(主として原子力委員会が軽水型発電炉周辺の被ばく線量を評価する目的で標準的な計算モデルとパラメータ等を定めた指針などに準拠)を行った結果、91 pCi/lの¹³¹Iを含む牛乳を毎日200ml、1年間飲んだとしても牛乳中の放射性ヨウ素に起因する甲

(10.3 kBq/m²)となりイギリス北部の植物の降下量⁷⁾に匹敵する。ここでつぎのような極端に簡単な仮定をする。¹³¹Iの雲が打ち上げられ、そこから逆二乗法則で全方向に一様に拡散する。日本の方向への拡散では、途中降下はゼロで日本上空で一気に全部降下したとするとチェルノブイリまでの距離は約8,000 kmだから、¹³¹Iの全放出量は2×10⁸ Ci(7.5×10¹⁸ Bq=7.5×10⁹ GBq)となる。この値は炉内の¹³¹Iの全貯蔵量⁵⁾の約5倍である。くいちがいは仮定が単純すぎたためであるが予想外によくあったと驚いている。このことはチェルノブイリから日本方向への特別の気流があって、それに¹³¹Iがのって途中であまり降下せず、日本へ到達したためであろう。

状腺に対する内部被ばく線量は 8.6 mrem/y (0.086 mSv/y) と推定される。

謝 辞

本研究の遂行にあたり試料採取、試料の処理および貴重なる資料の提供をいただきました近畿大学医学部長 野田起一郎教授、株式会社西日本技術コンサルタント分析センター所長 進藤昭次氏、滋賀県生活環境部環境室主査 深田富美男氏、日本気象協会関西本部小谷純久氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 河合 廣, 本田嘉秀, 森嶋彌重, 古賀妙子, 木村雄一郎, 西脇 安; 近畿大学原子力研究所年報, **4, 5**, 39 (1965, 6)
- 2) 河合 廣, 本田嘉秀, 森嶋彌重, 古賀妙子, 木村雄一郎, 西脇 安; 近畿大学原子力研究所年報, **4, 5**, 45 (1965, 6)
- 3) 森嶋彌重, 古賀妙子, 三木良太, 河合 廣, 本田嘉秀, 他; 近畿大学原子力研究所年報, **1~22** (1963~1984)
- 4) 科学技術庁編; 放射能測定法シリーズ No. 1, 4, 7, 13, 15, 財団法人分析センター (1976~1984)
- 5) L. Devell, H. Tovedal, U. Bergstrom, A. Appelgren, J. Chyessler & L. Andersson; *Nature*, **321**, 192p, 15 May (1986)
- 6) 田中義一郎; 第7回放医研環境セミナー, 最近の環境におけるヨウ素の諸問題報文集, 204p, 科学技術庁 (1979)
- 7) F. A. Fry, R. H. Clarke & M. C. O'Riordan; *Nature*, **321**, 193p, 15 May (1986)
- 8) 山県登監修; 環境放射線ハンドブック, 275p, 情報センター出版会 (1985) 東京
- 9) ICRP Publication 30 Part 1; 作業者による放射性核種の摂取の限度, 日本アイソトープ協会 (1980) 東京