

第五福竜丸の内部被ばくの線量の推計方法

1 推計方法

第五福竜丸船員については、甲状腺計測や尿バイオアッセイの結果が得られていることから[1]、これらに基づき内部被ばく線量を試算した。その方法は、国際放射線防護委員会(ICRP)が推奨する方法に準拠するとともに、測定時には未検出となった短半減期核種については、Simonら[2]が島民の内部被ばく線量推定において考慮した63核種を対象とし、それらの放射能比はHicks[3]の計算値を参考とした。表1に考慮した63核種とその物理半減期、胃腸管吸収割合(f_1)及び経口摂取における線量係数を示した。線量係数は、日本原子力研究所(現、日本原子力研究開発機構:JAEA)で開発されたIDECコードを用いて得た。摂取経路は、フォールアウトによって船上に沈降した粒子の大きさが大きいことから、経口摂取を仮定した。摂取時期は、Simonらの考え方を参考にして、ブラボー水爆実験の爆発時刻から9時間後とした。試算した第五福竜丸船員の内部被ばく線量は、Simonらが評価したロンゲラップ島民の内部被ばく線量推定値との比較により、その妥当性を評価した。

2 推計結果

(1) 甲状腺計測に基づく内部被ばく線量評価

表2は、文献[1]から引用したデータと当時の資料を比較し、誤記と思われた箇所を修正した第五福竜丸船員の甲状腺計測のデータである。同文献には、複数回の測定値、甲状腺残留放射能の有効半減期は4.8~7日であること、第1日目の沈着量は3.3~28.1 μCi であり、照射線量は19.6~118 radとの記録が残されている(表3)。

表3から、4名の甲状腺線量は0.2~1.18 Gyとなる。甲状腺計測が行われた測定日を考慮すると、 ^{131}I 以外の放射性ヨウ素(^{132}I 、 ^{133}I 、 ^{135}I)は検出されておらず、表3中の積算線量は ^{131}I による甲状腺線量を評価したものと推察される。本研究では、 ^{131}I 以外の核種を含めた線量評価を行うため、Hicksが計測した核種毎の放射能比と表2のデータから求めた ^{131}I の初期摂取量から、 ^{131}I を除く62核種の初期摂取量を算定した。

表2の甲状腺計測の結果から、T2、T6、T7、T8の初回または2回目の計数値はそれぞれ248、170、222、204 cpmとなるが、表3にある実効半減期を用いて第1日目の計数値をブラボー水爆実験が行われた3月1日として計算すると 1.75×10^4 、 6.60×10^4 、 1.57×10^4 、 8.78×10^4 cpmとなる。この計数値が表3中の放射能に対応するものとして比較すると、図1に示す様な関係が得られる。同図の近似直線の傾きが、甲状腺計測に用いられた検出器の計数効率に相当すると考えられる。図2に示すのは表2に示した甲状腺計測の結果をプロットしたグラフであるが、被検者毎に得られた全データを用いて適合関数を決定し、それから実効半減期を求めた。その結果、T2、T6、T7、T8の実効半減期は6.6、8.3、7.1、9.1日となり、その他の被検者についても ^{131}I の実効半減期に近い数値が得られた。従来の評価ではT8の実効半減期は4.8日であり、そのためにT8よりも後に測定を受け、かつ、測定値の高いT2の甲状腺線量の方が低くなっているが、今回の評価ではT2の甲状腺線量の方が高くなっており、 ^{131}I の実効半減期がほぼその物理半減期によって決定されることを考えるとより自然な結果となっている。実効半減期が異なった理由としては、用い

たデータの数や有効桁数の扱いの違いなどが考えられる。例えば、T8の実効半減期は当時4.8日(表3)と評価されているが、これは表2に示す最初の2データのみを用いて計算すると4.72日となり、ほぼ再現する。

表4に、 ^{131}I 以外の核種も含めた7名の船員の内部被ばく線量を今回新たに算定した結果を示す。7名の実効線量と甲状腺線量は、それぞれ0.03~0.33 Sv、0.15~1.89 Svの範囲であった。摂取時刻を爆発から9時間後とした場合、甲状腺線量全体に占める ^{131}I の線量寄与割合は21.5%となる。従前の評価と比較するため、 ^{131}I のみによる甲状腺線量を計算すると、0.41 Sv (T2)、0.09 Sv (T6)、0.25 Sv (T7)、0.07 Sv (T8)となるが、従前の評価で実効半減期が7日であったT2とT7については比較的良好一致を見ている(表3において、1 rad = 0.01 Gy、また、 ^{131}I から放出される β 線及び γ 線の放射線加重係数が1であるので、臓器吸収線量1 Gyを等価線量1 Svに置き換えると、T2は0.26 Sv、T7は0.20 Svとなる)。

表1 内部被ばく線量評価の対象核種(1/2)

| No. | 核種 | 半減期 | f_1 | 線量係数(Sv/Bq) | | | | |
|-----|---------|-------|---------|-------------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | 実効線量 | 赤色骨髄 | 甲状腺 | 胃 | 結腸 |
| 1 | Fe-55 | 2.7 a | 1.0E-01 | 3.3E-07 | 1.1E-09 | 8.5E-11 | 9.2E-11 | 2.6E-10 |
| 2 | Cu-64 | 13 h | 5.0E-01 | 1.2E-07 | 1.9E-11 | 1.2E-11 | 1.7E-10 | 6.8E-10 |
| 3 | As-77 | 39 h | 5.0E-01 | 4.0E-07 | 2.5E-11 | 2.4E-11 | 2.8E-10 | 2.8E-09 |
| 4 | Br-83 | 2.4 h | 1.0E+00 | 4.5E-08 | 7.3E-12 | 7.3E-12 | 3.0E-10 | 1.5E-11 |
| 5 | Rb-88 | 18 m | 1.0E+00 | 9.0E-08 | 2.6E-12 | 2.2E-12 | 7.3E-10 | 4.9E-12 |
| 6 | Sr-89 | 51 d | 3.0E-01 | 2.6E-06 | 4.8E-09 | 2.0E-10 | 8.7E-10 | 1.4E-08 |
| 7 | Sr-90 | 29 a | 3.0E-01 | 2.8E-05 | 1.8E-07 | 6.6E-10 | 9.0E-10 | 1.3E-08 |
| 8 | Y-90 | 64 h | 1.0E-04 | 2.7E-06 | 3.7E-13 | 1.3E-14 | 1.1E-09 | 2.1E-08 |
| 9 | Sr-91 | 9.6 h | 3.0E-01 | 6.6E-07 | 1.6E-10 | 2.0E-11 | 8.5E-10 | 3.8E-09 |
| 10 | Y-91m | 50 m | 1.0E-04 | 1.2E-08 | 2.2E-12 | 6.9E-14 | 4.9E-11 | 2.6E-11 |
| 11 | Sr-92 | 2.7 h | 3.0E-01 | 4.4E-07 | 6.4E-11 | 1.1E-11 | 5.3E-10 | 2.7E-09 |
| 12 | Y-92 | 3.5 h | 1.0E-04 | 5.2E-07 | 4.8E-12 | 1.2E-13 | 1.4E-09 | 2.6E-09 |
| 13 | Y-93 | 10 h | 1.0E-04 | 1.2E-06 | 4.4E-12 | 9.9E-14 | 1.3E-09 | 8.3E-09 |
| 14 | Zr-95 | 64 d | 1.0E-02 | 9.6E-07 | 4.7E-10 | 4.2E-11 | 3.8E-10 | 5.1E-09 |
| 15 | Nb-95 | 35 d | 1.0E-02 | 5.9E-07 | 1.8E-10 | 1.3E-11 | 2.8E-10 | 2.8E-09 |
| 16 | Zr-97 | 17 h | 1.0E-02 | 2.1E-06 | 1.3E-10 | 3.9E-12 | 1.2E-09 | 1.5E-08 |
| 17 | Nb-97m | 53 s | 1.0E-02 | 1.3E-09 | 9.8E-14 | 5.2E-15 | 7.4E-12 | 2.1E-12 |
| 18 | Mo-99 | 66 h | 1.0E+00 | 6.1E-07 | 6.1E-10 | 2.5E-10 | 7.4E-10 | 4.9E-10 |
| 19 | Tc-99m | 6 h | 5.0E-01 | 2.3E-08 | 4.3E-12 | 4.7E-11 | 5.5E-11 | 6.7E-11 |
| 20 | Ru-103 | 39 d | 5.0E-02 | 7.4E-07 | 1.6E-10 | 6.7E-11 | 3.1E-10 | 4.3E-09 |
| 21 | Rh-103m | 56 m | 5.0E-02 | 4.0E-09 | 5.0E-15 | 3.3E-15 | 2.6E-11 | 5.7E-12 |
| 22 | Ru-105 | 4.4 h | 5.0E-02 | 2.7E-07 | 2.2E-11 | 1.7E-12 | 5.0E-10 | 1.5E-09 |
| 23 | Rh-105 | 35 h | 5.0E-02 | 3.7E-07 | 1.2E-11 | 3.0E-12 | 1.9E-10 | 2.7E-09 |
| 24 | Ru-106 | 370 d | 5.0E-02 | 7.0E-06 | 1.5E-09 | 1.4E-09 | 3.1E-09 | 4.5E-08 |
| 25 | Pd-109 | 14 h | 5.0E-03 | 5.6E-07 | 8.0E-13 | 9.6E-14 | 4.8E-10 | 4.1E-09 |
| 26 | Ag-112 | 3.1 h | 5.0E-02 | 4.5E-07 | 1.2E-11 | 1.4E-12 | 1.4E-09 | 2.1E-09 |
| 27 | Cd-115 | 53 h | 5.0E-02 | 1.4E-06 | 6.4E-11 | 9.8E-12 | 4.6E-10 | 1.0E-08 |
| 28 | Cd-117 | 2.5 h | 5.0E-02 | 2.9E-07 | 2.1E-11 | 1.4E-12 | 6.2E-10 | 1.5E-09 |
| 29 | In-117m | 2 h | 2.0E-02 | 1.2E-07 | 5.2E-12 | 1.7E-13 | 4.5E-10 | 4.3E-10 |
| 30 | Sn-121 | 27 h | 2.0E-02 | 2.3E-07 | 2.3E-12 | 2.0E-13 | 1.3E-10 | 1.8E-09 |
| 31 | Sb-125 | 2.8 a | 1.0E-01 | 1.1E-06 | 1.5E-09 | 2.6E-10 | 4.9E-10 | 4.1E-09 |
| 32 | Sn-127 | 2.1 h | 2.0E-02 | 2.1E-07 | 2.4E-11 | 9.3E-13 | 6.2E-10 | 8.2E-10 |

表1 内部被ばく線量評価の対象核種(2/2)

| No. | 核種 | 半減期 | f ₁ | 線量係数(Sv/Bq) | | | | |
|-----|---------|-------|----------------|-------------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | 実効線量 | 赤色骨髄 | 甲状腺 | 胃 | 結腸 |
| 33 | Sb-127 | 3.9 d | 1.0E-01 | 1.7E-06 | 3.0E-10 | 2.9E-11 | 5.7E-10 | 1.2E-08 |
| 34 | Te-129 | 70 m | 3.0E-01 | 6.6E-08 | 9.4E-13 | 7.5E-13 | 4.0E-10 | 1.2E-10 |
| 35 | Sb-129 | 4.4 h | 1.0E-01 | 4.4E-07 | 4.2E-11 | 4.1E-12 | 7.2E-10 | 2.4E-09 |
| 36 | Te-131m | 30 h | 3.0E-01 | 2.0E-06 | 2.6E-10 | 1.8E-08 | 6.7E-10 | 5.9E-09 |
| 37 | I-131 | 8 d | 1.0E+00 | 2.2E-05 | 1.0E-10 | 4.3E-07 | 3.0E-10 | 1.2E-10 |
| 38 | Te-132 | 78 h | 3.0E-01 | 3.8E-06 | 5.3E-10 | 3.1E-08 | 7.6E-10 | 1.3E-08 |
| 39 | I-132 | 2.3 h | 1.0E+00 | 2.9E-07 | 2.6E-11 | 3.4E-09 | 6.3E-10 | 4.6E-11 |
| 40 | Te-133m | 55 m | 3.0E-01 | 3.3E-07 | 1.3E-11 | 3.2E-09 | 6.7E-10 | 2.1E-10 |
| 41 | I-133 | 21 h | 1.0E+00 | 4.3E-06 | 4.7E-11 | 8.2E-08 | 5.5E-10 | 1.1E-10 |
| 42 | I-135 | 6.6 h | 1.0E+00 | 9.3E-07 | 4.0E-11 | 1.6E-08 | 5.4E-10 | 7.3E-11 |
| 43 | Cs-137 | 30 a | 1.0E+00 | 1.4E-05 | 1.3E-08 | 1.3E-08 | 1.3E-08 | 1.5E-08 |
| 44 | Ba-139 | 83 m | 2.0E-01 | 1.3E-07 | 2.9E-12 | 3.8E-13 | 6.9E-10 | 3.0E-10 |
| 45 | Ba-140 | 13 d | 2.0E-01 | 2.6E-06 | 1.2E-09 | 8.7E-11 | 6.3E-10 | 1.7E-08 |
| 46 | La-140 | 1.7 d | 5.0E-04 | 2.0E-06 | 2.6E-10 | 5.2E-12 | 1.1E-09 | 1.3E-08 |
| 47 | La-141 | 3.9 h | 5.0E-04 | 3.8E-07 | 9.4E-13 | 3.5E-14 | 9.3E-10 | 2.0E-09 |
| 48 | Ce-141 | 33 d | 5.0E-04 | 7.1E-07 | 1.9E-11 | 3.0E-13 | 2.2E-10 | 5.5E-09 |
| 49 | La-142 | 91 m | 5.0E-04 | 1.9E-07 | 1.9E-11 | 8.9E-13 | 8.5E-10 | 4.7E-10 |
| 50 | Ce-143 | 33 h | 5.0E-04 | 1.1E-06 | 3.5E-11 | 3.6E-13 | 5.6E-10 | 8.3E-09 |
| 51 | Pr-143 | 14 d | 5.0E-04 | 1.2E-06 | 1.7E-12 | 1.1E-14 | 3.6E-10 | 9.3E-09 |
| 52 | Ce-144 | 280 d | 5.0E-04 | 5.3E-06 | 1.9E-10 | 1.2E-11 | 1.1E-09 | 4.2E-08 |
| 53 | Pr-144 | 17 m | 5.0E-04 | 5.1E-08 | 3.4E-14 | 2.7E-15 | 4.1E-10 | 1.0E-11 |
| 54 | Pr-145 | 6 h | 5.0E-04 | 4.1E-07 | 4.6E-13 | 1.6E-14 | 7.0E-10 | 2.6E-09 |
| 55 | Nd-147 | 11 d | 5.0E-04 | 1.1E-06 | 3.1E-11 | 2.2E-13 | 3.6E-10 | 8.2E-09 |
| 56 | Pm-149 | 53 h | 5.0E-04 | 1.0E-06 | 2.1E-12 | 2.5E-14 | 4.2E-10 | 7.8E-09 |
| 57 | Nd-149 | 1.7 h | 5.0E-04 | 1.3E-07 | 3.8E-12 | 6.6E-14 | 4.5E-10 | 5.5E-10 |
| 58 | Pm-151 | 28 h | 5.0E-04 | 7.4E-07 | 3.6E-11 | 3.5E-13 | 4.2E-10 | 5.2E-09 |
| 59 | Sm-153 | 46 h | 5.0E-04 | 7.5E-07 | 9.5E-12 | 2.4E-14 | 3.3E-10 | 5.7E-09 |
| 60 | U-237 | 6.8 d | 2.0E-02 | 7.7E-07 | 3.7E-11 | 9.9E-13 | 2.7E-10 | 5.7E-09 |
| 61 | U-240 | 14 h | 2.0E-02 | 1.1E-06 | 2.7E-11 | 8.4E-13 | 8.5E-10 | 8.1E-09 |
| 62 | Np-240m | 7.2 m | 5.0E-04 | 1.5E-08 | 1.5E-13 | 1.0E-14 | 1.2E-10 | 1.1E-12 |
| 63 | Np-239 | 2.4 d | 5.0E-04 | 8.7E-07 | 2.6E-11 | 1.5E-13 | 3.4E-10 | 6.0E-09 |

表2 甲状腺計測の結果

| 測定日 | T1 | T2 | T3 | T5 | T6 | T7 | T8 |
|-----------|----|-----|-----|-----|-----------|------------|------------|
| 1954/3/26 | | | | | | 1167 | |
| 1954/4/12 | | | | | | | <u>204</u> |
| 1954/4/13 | | 248 | | 138 | 170 | 222 | |
| 1954/4/17 | 71 | 168 | 152 | 121 | | | |
| 1954/4/19 | | | | | <u>74</u> | <u>118</u> | <u>73</u> |
| 1954/5/7 | 10 | 20 | 30 | 35 | 21 | 19 | 27 |

注) 文献[1]から引用。数値の単位は cpm。なお、文献[1]にある 4/13 の T8 のデータは 4/12 に取得されている。また、4/17 の T6、T7、T8 のデータは 4/19 に取得されていることから、修正した。

表3 甲状腺の放射能と照射線量

| Case | 実効半減期 (day) | 1日目の 放射能(μCi) | 積算線量 (rad) |
|------|----------------|-------------------------------|---------------|
| T7 | 7 | 3.3 | 19.6 |
| T2 | 7 | 4.4 | 26.3 |
| T6 | 5 | 19.0 | 80.5 |
| T8 | 4.8 | 28.1 | 118.0 |

注) 文献[1]から引用

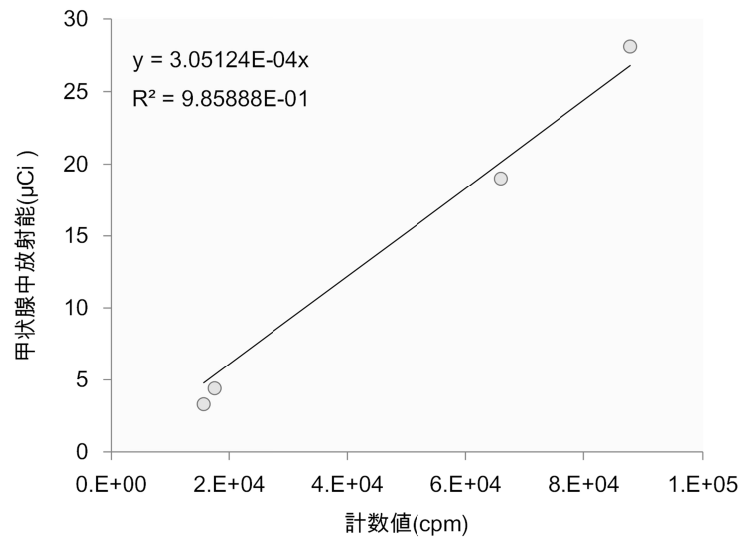


図1 甲状腺計測における計数値と放射能の関係

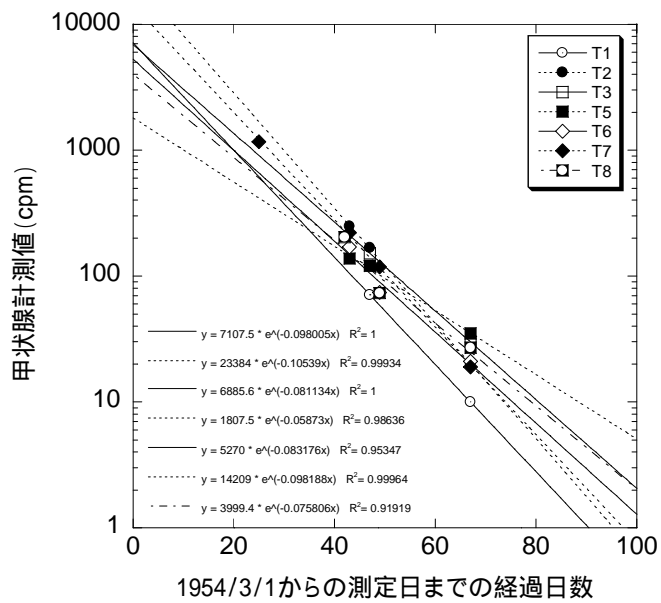


図2 甲状腺計測値

表4 甲状腺計測に基づく第五福竜丸船員の内部被ばく線量

| | 全核種(Sv) | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 実効線量 | 赤色骨髄 | 甲状腺 | 胃 | 結腸 |
| T1 | 0.10 | 0.01 | 0.58 | 0.07 | 0.46 |
| T2 | 0.33 | 0.02 | 1.89 | 0.22 | 1.52 |
| T3 | 0.10 | 0.01 | 0.57 | 0.07 | 0.46 |
| T5 | 0.03 | 0.00 | 0.15 | 0.02 | 0.12 |
| T6 | 0.08 | 0.00 | 0.44 | 0.05 | 0.35 |
| T7 | 0.20 | 0.01 | 1.16 | 0.14 | 0.93 |
| T8 | 0.06 | 0.00 | 0.33 | 0.04 | 0.27 |
| I-131線量割合 | 6.34E-02 | 5.66E-03 | 2.15E-01 | 1.28E-03 | 7.46E-05 |

(2) 尿バイオアッセイに基づく内部被ばく線量評価

表5に、文献[1]に示された尿バイオアッセイの結果を示す。同結果では尿中⁸⁹Sr放射能が得られており、ブラボー実験実施日から尿採取日までの経過日数(25日または28日)に対する尿中排泄率を用いて⁸⁹Sr摂取量を求め、これから他核種の摂取量をHicksが計算した放射能比に基づき計算した。なお、一部の被検者については、尿中放射能はSrとBaの合計値として得られているが、ここでは全量を⁸⁹Srと見なした。表6に船員の実効線量及び甲状腺線量の計算結果を示す。後者は、甲状腺への線量寄与が高い8核種を考慮した。

表5 尿バイオアッセイ結果

| Case | 採取日 | Total FP (d/m/l) | Total activity/24 hrs (d/m/24h) | % Sr-89 | % Ba-140 |
|------|-----------|------------------|---------------------------------|---------|----------|
| T1 | 1954/3/29 | 6100 | 3540 | 5 | 8.2 |
| T2 | 1954/3/29 | 6000 | 3360 | 0.4 | 4.0 |
| T3 | 1954/3/29 | 8400 | 5380 | 9 | 4.6 |
| T5 | 1954/3/29 | 54000 | 76680 | 6.9 | * |
| T6 | 1954/3/29 | 1300 | 1170 | | |
| T7 | 1954/3/26 | 550 | 495 | 18 | * |
| T8 | 1954/3/26 | 230 | 300 | 21 | * |

* Sr+Ba

注) 文献[1]から引用

表6 尿バイオアッセイに基づく第五福竜丸船員の内部被ばく線量(実効線量・甲状腺線量)

| 実効線量 (mSv) | 甲状腺等価線量(mGy) | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|-------|-------|-------|--------|---------|--------|---------|-------|------|
| | I-131 | I-132 | I-133 | I-135 | Te-129 | Te-131m | Te-132 | Te-133m | Total | |
| T1 | 8 | 12 | 0 | 32 | 9 | <0.1 | 0 | 3 | <0.1 | 56 |
| T2 | 1 | 1 | <0.1 | 2 | 1 | <0.1 | <0.1 | 0 | <0.1 | 4 |
| T3 | 21 | 33 | 1 | 88 | 22 | <0.1 | 1 | 8 | <0.1 | 152 |
| T5 | 230 | 357 | 9 | 958 | 245 | <0.1 | 10 | 82 | <0.1 | 1660 |
| T6 | 3 | 4 | 0 | 11 | 3 | <0.1 | 0 | 1 | <0.1 | 20 |
| T7 | 3 | 5 | 0 | 13 | 3 | <0.1 | 0 | 1 | <0.1 | 22 |
| T8 | 2 | 3 | 0 | 9 | 2 | <0.1 | 0 | 1 | <0.1 | 16 |

3 考察

第五福竜丸船員の内部被ばく線量を、当時得られた甲状腺計測及び尿バイオアッセイの結果に基づき算定した。個人毎に見ると、2つの方法で得られた内部被ばく線量には乖離があるものの、全体的に見ると線量のオーダーは一致する結果が得られた。尿バイオアッセイによる方法は、分析された ^{89}Sr の放射能割合が被検者によって大きく異なり、また、個人の代謝の違いによる影響が大きく、1試料のみから内部被ばく線量を評価することは注意を要するものと思われる。Hicksが計算した核種の放射能比及び尿排泄率から、採取日における尿試料中の ^{89}Sr の放射能は全放射能の約30%と計算されるが、尿バイオアッセイの結果では ^{89}Sr の割合はそこまで高くなく、また計算上は微量となるはずの ^{140}Ba が ^{89}Sr と同程度検出されている理由も現時点で不明である。

甲状腺計測にはNaI検出器が用いられたものと推察されるが、検出器の仕様、測定条件や校正方法に関する情報は収集することが出来なかった。しかしながら、甲状腺に集積した放射性ヨウ素に対する直接計測であり、測定自体の誤差は比較的小さいものだったと考えられる。図3には、爆発からの経過時刻に伴う甲状腺線量に占める ^{131}I の線量寄与割合の変化を示した。今回の線量評価では摂取時刻を爆発の9時間後に設定したが、爆発から数時間後から1日以内では変化が小さく、過小評価の可能性は低いと考えられる。

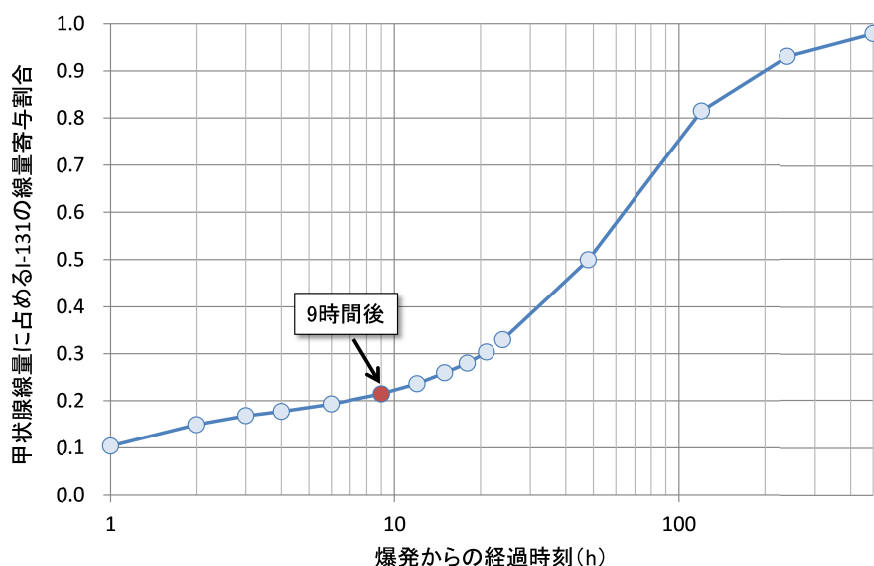


図3 摂取時刻による ^{131}I の甲状腺線量の寄与割合の変化

第五福竜丸船員の内部被ばく線量結果を表4及び表6に示すが、甲状腺線量の最大値は2 Gy程度となった。表7には、Simonらが評価したマーシャル諸島島民の代表的集団(成人)の累積内部被ばく線量及び外部被ばく線量を文献[2]から引用した。これらの線量は、マーシャル諸島で行われた全核実験による合計である。第五福竜丸船員の内部被ばく線量の比較対象となるのは、同様にブラボー水爆実験直後のフォールアウトに曝されたロンゲラップ島民の結果であるが、甲状腺線量については第五福竜丸船員(最大値)がロンゲラップ島民の数分の一程度であった。甲状腺線量に次いで大きいのが結腸線量であるが、第五福竜丸船員の最大値が1.5 Gy (Sv)に対し、ロンゲラップ島民では2.8 Gyであった。なお、結腸線量に寄与するのは ^{239}Np 、 ^{240}U 、 ^{97}Zr などであった。以上の結果は、ロンゲラップ島民が第五福竜丸船員と類似した時期のフォールアウトによる曝露であること、また、放射性プルームの曝露時間としてはロンゲラップ島民の方が長かったと推測されることから

合理的な説明がつくものと思われる。第五福竜丸は被災した海域から直ちに離れたのに対し（図 4）、ロンゲラップ島民は爆発の 51 時間後に避難したとされる [4]。ただし、今回の第五福竜丸船員の内部被ばく線量評価は、放射性核種の摂取日を 3 月 1 日のみとした条件（急性摂取シナリオ）で行っているため、過大評価の可能性が高い。また、内部被ばくに寄与する各臓器線量で最も大きいのは甲状腺であることは第五福竜丸船員とロンゲラップ島民について一致している。一方、甲状腺線量に対する外部被ばく線量（全身）の比は両者で大きく異なり、第五福竜丸船員の方がロンゲラップ島民よりも高く、すなわち、前者の方が内部被ばくに比べて外部被ばくの割合が高い。今回の調査では、文献[1]に示されたデータのみから、第五福竜丸船員（T1~T8）の外部被ばく線量（全身）は 2.5~6.9 Sv であり、これまで報告書と大きく異なるものではなかった。これに対する内部被ばくによる甲状腺線量の比は 0.022~0.429（幾何平均値 0.136）となるが、ロンゲラップ島民では同比は 4.75（=7600 mGy/1600 mGy）となる（表 8）。この違いの理由としては、ロンゲラップ島民やその他の島民は飲食物を介しての放射性核種の摂取が継続されたこと、ロンゲラップ島民の避難後における外部被ばく線量は比較的小さいこと（第五福竜丸船員の外部被ばく線量は爆発当日と 2 日目から帰港までの期間で約半々と推定されている）などが考えられる。

表 7 4 つの代表的集団に対する累積内部被ばく及び外部被ばく線量

| Organ/Mode of exposure | Population group | | | | |
|-------------------------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------------------|------|
| | Majuro residents | Kwajalein residents | Utrik community | Rongelap Island community | |
| Thyroid | | | | | |
| Acute internal | | 22 | 66 | 740 | 7600 |
| Chronic internal | | 0.76 | 1.3 | 25 | 14 |
| Total internal | | 23 | 67 | 760 | 7600 |
| RBM | | | | | |
| Acute internal | | 0.11 | 0.25 | 2.3 | 25 |
| Chronic internal | | 0.98 | 1.7 | 33 | 17 |
| Total internal | | 1.1 | 2 | 35 | 42 |
| Stomach wall | | | | | |
| Acute internal | | 0.32 | 1.1 | 16 | 530 |
| Chronic internal | | 0.75 | 1.3 | 24 | 14 |
| Total internal | | 1.1 | 2.4 | 40 | 540 |
| Colon | | | | | |
| Acute internal | | 4.4 | 12 | 180 | 2800 |
| Chronic internal | | 0.99 | 1.7 | 32 | 17 |
| Total internal | | 5.4 | 14 | 210 | 2800 |
| Whole body (external dose) | | | | | |
| | | 9.8 | 22 | 130 | 1600 |

文献[2]から引用 単位は mGy

第五福竜丸以外の漁船船員の内部被ばく線量については、個人の測定データが得られていないために直接的な評価は行えないものの、第五福竜丸船員や Simon らのマーシャル諸島島民の内部被ばく線量推定値を基に、各漁船の航路情報やマーシャル諸島海域における放射性核種の拡散状況等から推定できると考える。ただし、大まかな推計としては、公開された漁船の航路情報から今回新たに算定された各漁船の外部被ばく線量が最大でも 1 mSv 程度であること[5]、第五福竜丸船員が受けた内部被ばく線量は外部被ばく線量に比べて小さく、

内部被ばく線量（実効線量）では外部被ばく線量（全身）の1割にも満たないことから（表8）などから、その他の漁船船員の内部被ばく線量が特別高いとされる根拠は見当たらなかった。

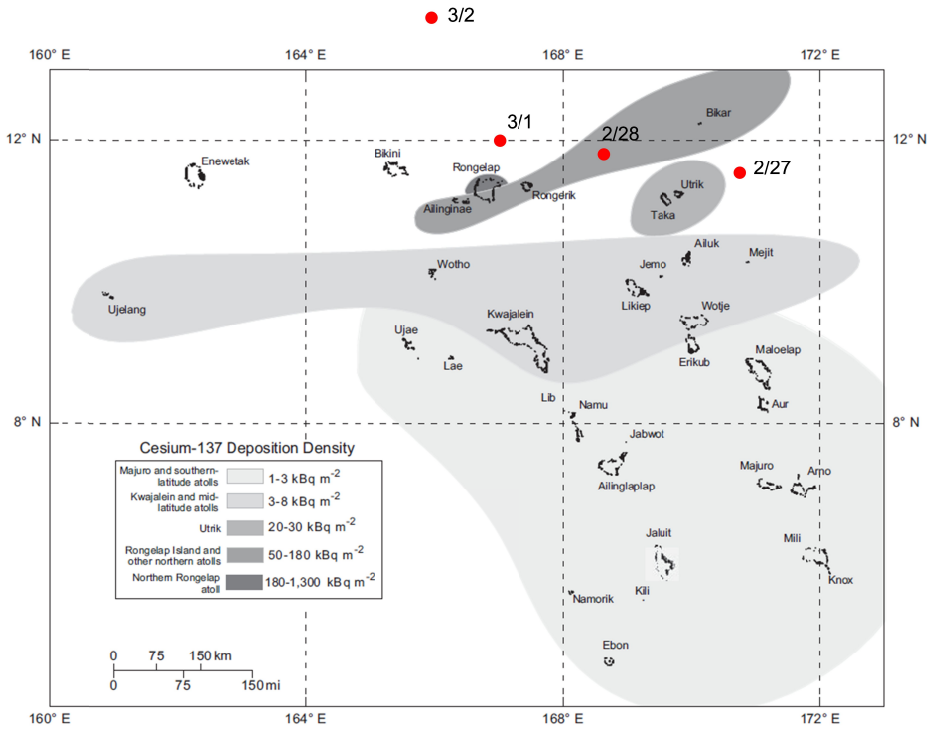


Fig. 2. Geographical variation of total (cumulative) ¹³⁷Cs deposited (kBq m⁻²) from all Marshall Islands nuclear tests (see Table 5) illustrating four areas with similar deposition. Taongi Atoll, located beyond the boundaries of the map at 14° 32' north latitude, is not shown and not included in the range of depositions shown in the key for the northern atolls. Shaded areas also describe groups of atolls with similar values of organ dose (Table 5) and cancer risk (Table 11).

図4 第五福竜丸の航路と¹³⁷Csの沈着マップ
注) 文献[2]から引用した図に追記して作成

表8 第五福竜丸船員の外部被ばく線量と内部被ばく線量の比較

| | 外部被ばく線量 (Sv) | | | 内部被ばく線量 (Sv) | | 内部/外部 | |
|----|--------------|--------|-----|--------------|------|-------|-------|
| | 1日目 | 1日目を以降 | 合計 | 実効線量 | 甲状腺 | / | / |
| T1 | 2.9 | 2.1 | 5.0 | 0.10 | 0.58 | 0.020 | 0.116 |
| T2 | 2.6 | 1.8 | 4.4 | 0.33 | 1.89 | 0.074 | 0.429 |
| T3 | 2.0 | 1.1 | 3.1 | 0.10 | 0.57 | 0.032 | 0.184 |
| T5 | 4.3 | 2.6 | 6.9 | 0.03 | 0.15 | 0.004 | 0.022 |
| T6 | 1.8 | 0.7 | 2.5 | 0.08 | 0.44 | 0.030 | 0.174 |
| T7 | 1.9 | 0.8 | 2.7 | 0.20 | 1.16 | 0.074 | 0.428 |
| T8 | 3.6 | 2.1 | 5.7 | 0.06 | 0.33 | 0.010 | 0.058 |
| | 幾何平均値 | | | | | 0.024 | 0.136 |

注) 表中の外部被ばく線量は、文献[1]に示された単位 (rad) の数値から、1 rad = 10 mGy、1 Gy は 1 Sv として近似的に換算した。内部被ばく線量は表4の数値を再掲した。

4 結論

第五福竜丸船員の内部被ばく線量を、当時行われた甲状腺計測及び尿バイオアッセイの結果に基づき評価した。その結果、甲状腺線量の最大値は約 2 Gy であり、Simon らが評価したロンゲラップ島民の甲状腺線量の

数分の一程度となった。第五福竜丸以外の漁船船員の内部被ばく線量については、個人の測定データが得られていないために直接的な評価は行えないものの、公開された航路情報を基に今回新たに算定された各漁船の外部被ばく線量（最大でも 1 mSv 程度）よりも小さかったと推定される。

5 参考文献

- [1] 三好和夫、熊取敏之. ビキニ放射線症の臨床並びに血液学的特徴(被曝後 9 年間の経過を含めて). 日本血液学全書抜刷第 3 巻. 660-703 (1964).
- [2] S. L. Simon, A. Bouville, C. E. Land, H. L. Beck. Radiation doses and cancer risks in the Marshall islands associated with exposure to radioactive fallout from Bikini and Enewetak nuclear weapon tests: summary. Health Phys. 99, 105-123 (2010).
- [3] H. C. Hicks. Results of calculations of external gamma radiation exposure rates from local fallout and the related radionuclides compositions of selected U.S. Pacific events. UCRL-53705. Lawrence Livermore National Laboratory (1984).
- [4] National Cancer Institute. Estimation of the baseline number of cancers among Marshallese and the number of cancers attributed to exposure to fallout from nuclear weapons testing conducted in the Marshall islands (2004).
- [5] 辻村憲雄. 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）分担研究報告書 (2016).

6 その他

当該分析は、栗原 治氏、金ウンジュ氏（放射線医学総合研究所 REMAT 線量評価室）の協力を得て実施した。