

図 11 ブラボー実験における ¹³⁷Cs 沈着密度及び TOA (ビカール環礁方面の放射性降下物成分) と第十二高知丸の航路の重ね合わせ

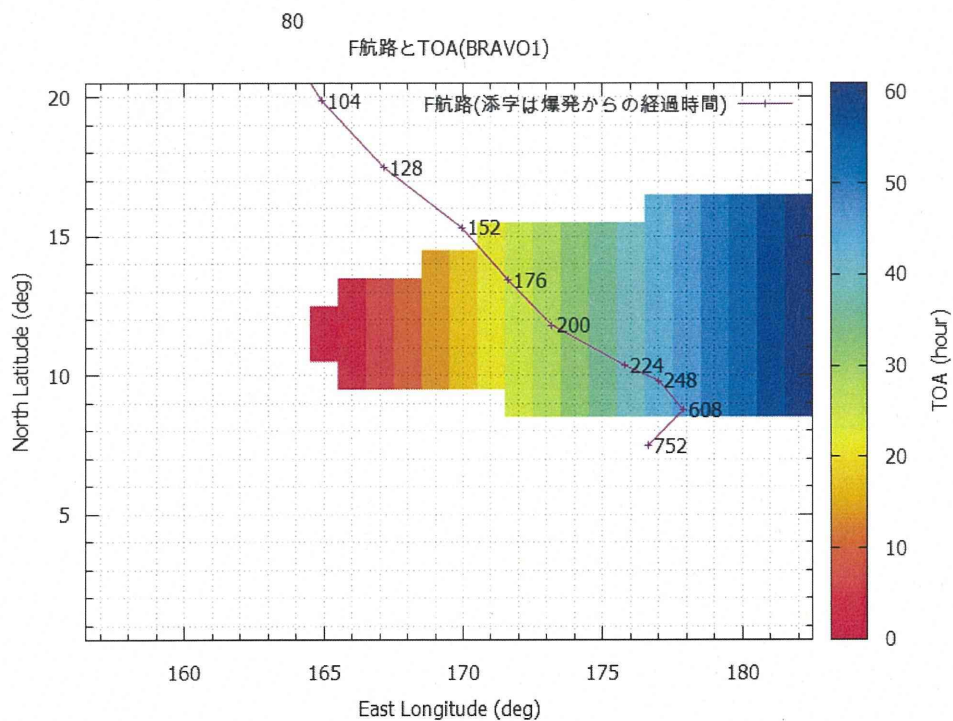
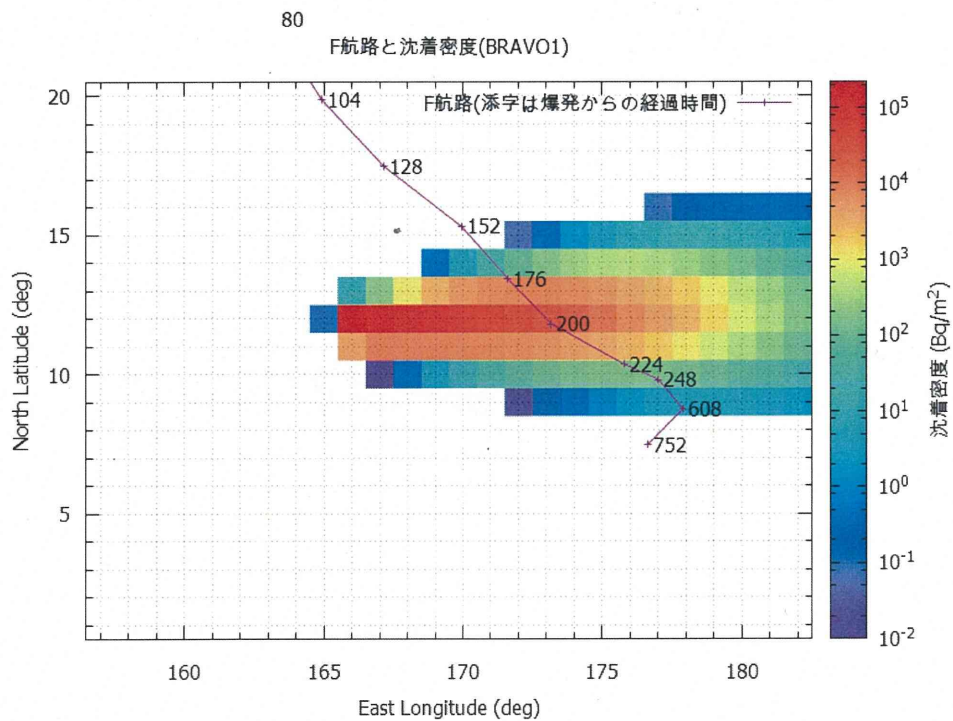


図 12 ブラボー実験における ^{137}Cs 沈着密度及び TOA (ビカール環礁方面の放射性降下物成分) と第二幸成丸の航路の重ね合わせ

平成 27 年度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

ビキニ水爆関係資料の線量評価に関する研究（生物学的線量評価）

研究分担者 児玉喜明（放射線影響研究所生物試料センター長）

研究要旨

本研究の目的の一つとして、線量評価に関して、日米政府の公文書、文献、記録等の必要な資料を収集することを目的としているが、そのうち、生物学的線量評価に関して調査した。

平成 26 年度は、本研究に参考となる資料として、マーシャル諸島ビキニ環礁での核実験に関連した論文 3 編、同時代にクリスマス島で行われた核実験に関連した論文 1 編、計 4 編の論文情報を得た。

平成 27 年度は、生物学的試料から被ばく線量を評価する方法として代表的な歯エナメル質検査及び染色体検査に関して、これまでの知見の収集及び整理を行い、被ばく線量を評価する際の留意点について取りまとめた。

A. 研究目的

本研究では、線量評価に必要な資料の収集に関しては、日米政府の公文書、文献、記録等必要な資料を収集することを目的としているが、そのうち、生物学的線量評価に関する文献について調査する。

B. 研究方法

日米政府の関係公文書等も含め生物学的線量評価に関する文献について幅広く調査を行う。

C. 研究結果

(1) 平成 26 年度に収集した文献に加えて、平成 27 年度には生物学的試料から被ばく線量を評価する方法として代表的な歯エナメル質検査及び染色体検査に関する代表的な文献を収集した。（別添 1）

(2) 歯エナメル質検査及び染色体検査に

関して、これまでの知見の収集及び整理を行い、被ばく線量を評価する際の留意点を取りまとめた。（別添 2）

D. 考察

生物学的試料から被ばく線量を評価する方法として代表的な歯エナメル質検査及び染色体検査に関しては有効な技術であることが確認された。一方、その結果については、技術的な問題点や推定値の限界についてもよく留意したうえで解釈する必要がある。

E. 結論

生物学的線量評価に関して必要な文献を収集することができた。また、歯エナメル質検査及び染色体検査によって被ばく線量を評価する際の留意点を取りまとめることができた。

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

なし

I. その他

当該研究は中村典氏（放射線影響研究所 顧問）の協力を得て実施した。

○生物学的線量評価に関する文献

1 マーシャル諸島ビキニ環礁での核実験等に関連した論文

Cytogenetic studies on fishermen exposed to fallout radiation in 1954 Ishihara T, Kumatori T, *Jap J Genetics*, 44: 242-251, 1969

Chromosome studies on Marshall Islanders exposed to fallout radiation. Lisco H. Conrad RA, *Science*, 157:445-7, 1967.

Effects of age and radiation exposure on chromosomes in Marshall Island population. Demise CF, Conrad RA, *J Gerontol*, 27:197-201, 1972.

Elevated chromosome translocation frequencies in New Zealand nuclear test veterans. Wahab MA, Nickless EM, Najjar-M'Kacher R, Parmentier C, Podd JV, Rowland RE, *Cytogenet Genome Res* 121:79-87, 2008.

2 歯エナメル質検査及び染色体検査に関する代表的な論文

(1) 歯エナメル質検査

Nakamura N, Miyazawa C, Sawada S, Akiyama M and Awa AA, A close correlation between electron spin resonance (ESR) dosimetry from tooth enamel and cytogenetic dosimetry from lymphocytes of Hiroshima atomic-bomb survivors, *Int. J. Radiat Biol*, 73:619-627, 1998

Nakamura N, Cullings HM, Kodama Y,

Wada T, Miyazawa C, Lee K and Awa AA, A Method to differentiate between the levels of ESR signals induced by sunlight and by ionizing radiation in teeth from atomic bomb survivors, *Rad Res*, 165: 359-364, 2006.

中村典, 歯エナメル質を用いた電子スピン共鳴法による原爆被爆者の個人線量評価, *電子スピンサイエンス*, 5:106-113, 2007

Romanyukha AA, Degteva MO, Kozheurov VP, Wieser A, Jacob P, Ignatiev EA and Vorobiova MI, Pilot study of the Urals population by tooth electron paramagnetic resonance dosimetry, *Radiat Environ Biophys*, 35:305-310, 1996.

Wieser A, Romanyukha AA, Degteva MO, Kozheurov VP and Petzoldt G, Tooth enamel as a natural beta dosimeter for bone seeking radionuclides, *Radiation Protection Dosimetry*, 65:413-416, 1996.

Romanyukha AA, Mitch MG, Lin Z, Nagy V and Coursey BM, Mapping the distribution of ⁹⁰Sr in teeth with a photostimulable phosphor imaging detector, 157:341-349, 2002.

(2) 染色体検査

International Atomic Energy Agency (IAEA), *Cytogenetic dosimetry: Applications in preparedness for and*

response to radiation emergencies, 2011.

<http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-Biodosimetry%20201>

Sigurdson AJ, Ha M, Hauptmann M, Bhatti P, Sram RJ, Beskid O, Tawn EJ, Whitehouse CA, Lindholm C, Nakano M, Kodama Y, Nakamura N, Vorobtsova I, Oestreicher U, Stephan G, Yong LC, Bauchinger M, Schmid E, Chung HW, Darroudi F, Roy L, Voisin P, Barquinero JF, Livingston G, Blakey D, Hayata I, Zhang W, Wang C, Bennett LM, Littlefield LG, Edwards AA, Kleinerman RA, Tucker JD, International study of factors affecting human chromosome translocations. *Mutat Res*, 652:112-21, 2008.

Burak LE, Kodama Y, Nakano M, K. Ohtaki K, Itoh M, Okladnikova ND, E. K. Vasilenko EK, Cologne JB and Nakamura N, FISH examination of lymphocytes from Mayak workers for assessment of translocation induction rate under chronic radiation exposures, *Int J Radiat Biol*, 77:901-908, 2001.

児玉喜明, 中村 典, 生物学的線量推定, A 染色体異常, p62-70, 原爆放射線の人体影響 第2版, 放射線被曝者医療国際協力推進協議会, 文光堂, 2012

歯エナメル質検査及び染色体検査から被ばく線量を評価する際の留意点

1. 歯エナメル質の検査

(1) 電子スピン共鳴被ばく線量計測について

大白歯のエナメル質を分離、それを電子スピン共鳴 (ESR : Electron Spin Resonance) という方法で CO_2 ラジカルの量を測定する。このラジカル量は被ばく線量と正比例するので、あらかじめ既知の線量を照射した標準試料を作って検量線を求めておけば、測定試料のラジカル量から線量が推定できる。

(2) 測定精度について

精度は得られるエナメル質の量と生じたラジカル量で決まる。線量が高ければエナメル質量は少なくてもよいが、線量が低い場合にはラジカル量も少ないので誤差が大きくなる。また、ラジカル信号は幅広い有機物信号の上に生じるので、線量が低い場合の線量評価は、バックグラウンドの信号をどうやって引き算するかによって影響が大きい。検出限界については研究者や手法によって数十～300mGy と幅が見られる。

なお、たばこなどの生活習慣の影響を受けるかどうかについては、電離放射線以外の環境物質がエナメル質に CO_2 ラジカルを生じるという報告はない。

(3) 内部被ばく (ベータ線) の影響

ロシア・テチャ川住民の調査では、象牙質に取り込まれた ^{90}Sr (β 線) などの放射性物質によってエナメル質が照射を受けた可能性を示す報告がある。

小児では歯が成長しているので内部摂取した放射性物質がエナメル質や象牙質に取り込まれてエナメル質を照射し続けることになる。しかし成人ではそのような影響の可能性は少ないと考えられる。

(4) 過去の被ばく線量を推計するに当たっての留意点

奥歯の使用が望ましい。前歯 (特に頬側＝外側) は大きな ESR 信号がでることがあり、避けるべきであろう。紫外線については明らかに電離放射線と同様の作用があるので注意が必要で、これが測定を奥歯に限定している理由である。なお、医療被ばくの影響を可能な限り排除すべきである。

なお、歯科のレントゲン撮影の影響はこれまで調査した限りでは電子スピン共鳴法自体の測定感度では影響を検出できない。

2. 染色体検査

(1) 染色体異常検査について

末梢リンパ球（2～5ml）を48時間培養し、標本作成後、顕微鏡下で染色体異常を調べる手法であり、生物学的線量評価のゴールドスタンダードとして広く用いられている。対照群のデータと比較することで被ばくの影響を検証することが可能であり、対照群より異常頻度が多ければ、検量線（照射実験によって得られた線量と染色体異常頻度の関係を示す線量反応曲線）を用いることで推定線量を数値として示すことができる。一方、次項で述べるように染色体検査には検出限界があり、低線量の場合、結果の解釈には注意が必要となる。

(2) 測定精度について

過去の被ばくであれば染色体検査は、安定型異常（転座）を調べるが、その検出限界の目安は急性被ばくで250mGyと言われている（不安定型異常（二動原体染色体）の場合は100mGy）（IAEA）。しかし転座頻度は加齢とともに増加することが知られており、検査時年齢が高ければ、300～400mGy以上でないといふ被ばくの証明は困難であると考えられる。

(3) 内部被ばく（ベータ線）の影響

染色体異常頻度は、慢性被ばく（内部被ばくを含む）については感度が低く、総線量が高くても被ばくの影響を検出できない場合もある。

(4) 過去の被ばく線量を推計するに当たっての留意点

放射線によって誘発される染色体異常には不安定型異常（二動原体染色体や環染色体）と安定型異常（転座や逆位）の2種類がある。不安定型異常は、その形態的特徴から通常のギムザ染色法で識別が容易であるが、時間の経過とともに体内から失われる（半減期は数年）。従って、被ばく後長時間が経過した場合は安定型異常（主に転座）を調べる必要がある。安定型異常（転座）の検出には現在では一般的にFISH法が用いられている。一方、技術的に煩雑ではあるがGバンド法による転座の検出も可能である。

3. 歯エナメル質の検査と血液検査を併せて実施した場合の評価

血液の染色体異常検査と組み合わせられれば有効性が高まると考えられる。血液は体が受けた線量の平均というメリットがあるが、染色体異常の頻度は、被ばく線量は同じでも慢性被ばくは急性被ばくよりも影響が少ないという特徴

がある。

歯はこのような線量率の違い（慢性被ばくと急性被ばくの違い）による影響を受けないメリットがある。一方、染色体検査に用いる血液と比べると検査材料（歯）の入手は困難である。

