

ビキニ水爆実験による放射線量の評価の方法 と有識者会議報告書の問題点

星 正治

広島大学名誉教授

元原爆放射線医科学研究所

はじめに

放射線の被曝では通常は グレイ (Gy) もシーベルト (Sv) も同じとしてよい

- $\text{グレイ (Gy)} = \text{シーベルト (Sv)}$

- $\text{mGy} = \text{mSv},$

- $\mu\text{Gy} = \mu\text{Sv}$

- 通常私どもが体験する放射線は、レントゲンや自然放射線で、X線とガンマ線とベータ線である。
- この場合はグレイとシーベルトは等しい。
- 問題になるのは中性子線やアルファ線であるが、核爆発の際に発生する。原爆や東海村の被曝がその例である。

1年あたりの被ばく

100 mSv – 放射線の影響が見えはじめる

20 mSv – 職業人の被ばくの限度、
福島やチェルノブイリでの避難区域



この間の線量をどうするかが議論の対象

1 mSv – 一般人の被ばくの限度

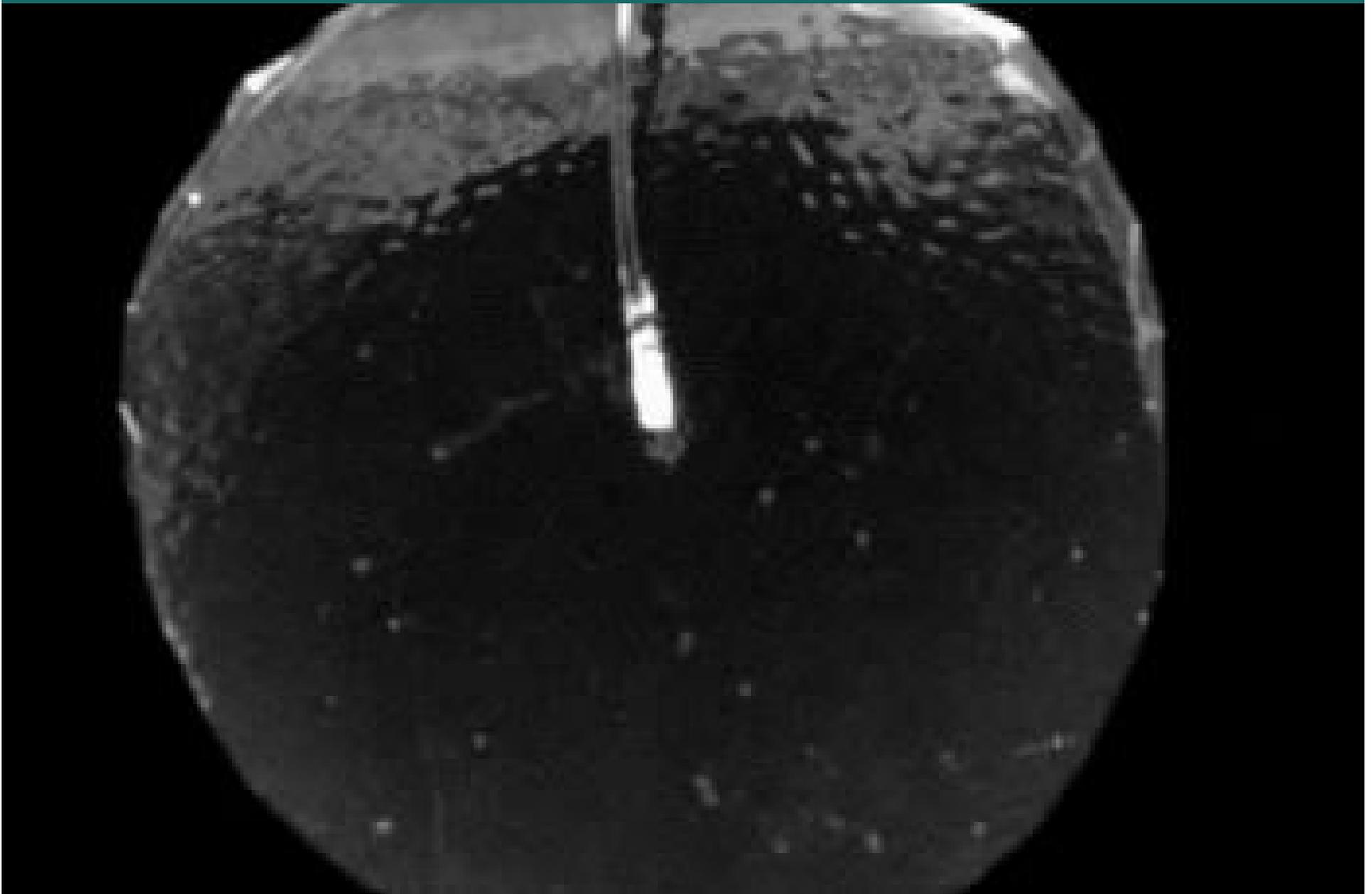
日本人の日常生活・産業生活におけるリスクによる死者の期待値
(10万人あたり、1年あたり)

日常生活		産業生活	
交通事故	10.8 人	林業	49.2 人
内訳:		漁業	58.3人
自動車事故	10 人	鉱業	131 人
船舶事故	0.4 人	建設業	19.9 人
鉄道事故	0.36 人	製造業	5.4 人
航空機事故	0.044 人	運輸業	12.7 人
		電気・ガス・水道・熱供給業	2.5 人
喫煙	28 人	その他	2.5 人
大気汚染その他の事故	0.76 人	全事業	7.4 人
自然放射線	2 人		
医療放射線	3 人		

放射線の発見の歴史

1. 1895: ドイツレントゲン、X線の発見
2. 1896: フランスのベックレル、放射能の発見
3. 1898: フランスのキュリー夫妻、ラジウムの発見
4. 1902: イギリスのラザフォード、 α 線、ベータ線、ガンマ線の発見

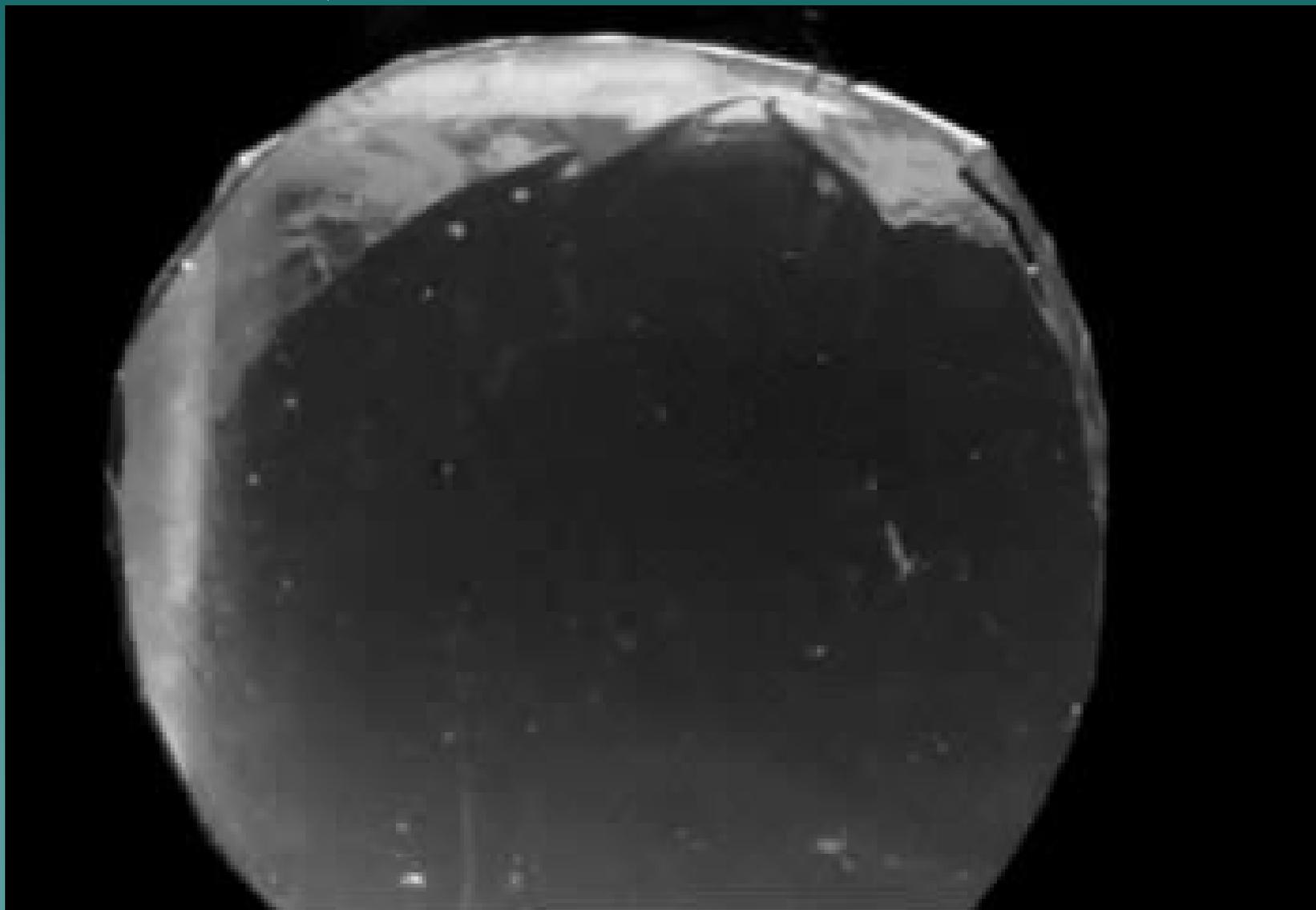
α 線画像



β線画像



宇宙線、ラドンからの放射線画像



ビキニ環礁水爆実験による
元被保険者の被ばく線量評価に関する報告書

目次

I. 総括	1
II. 第13光栄丸船員の赤血球数と血色素値からの放射線影響評価	11
III. 外部被ばくによる線量の評価	19
IV. 内部被ばくによる線量の推計	89
V. 米国のビキニ水爆実験により放射線被ばくをしたという漁船員の線量評価に関するコメント	99

平成 29 年 12 月

全国健康保険協会船員保険部

「I. 総括」に関するコメント

昭和29年3月1日

礁で計6回の水

爆実験が行われた。当該水爆実験後にこの海域で操業もしくは通過したとされる漁船（第13 光栄丸、第7 大丸、第11 高知丸、第2 幸成丸、第5 海福丸、第5 明賀丸、第8 順光丸及び第1 月山丸）について、乗組員の放射線被ばくによる線量を評価した。個々人の被ばく線量の評価については、それぞれの船舶上での行動様式を考慮する必要があるため、船舶毎に一定の条件の下に評価を行った。これは、ビキニ水爆実験が60年以上前に行われたものであること、また当時の記録・資料、文献などは限定されているためである。請求者から提出された血液検査データを分析した結果、白血球数及び赤血球数、また血色素の値からは明らかな放射線による影響を認める所見は確認することはできなかった。一方、米軍及びその関係機関によって行われた放射線モニタリング結果と厚生労働省が開示した資料にあった船舶毎の航路を基に、ブラボーを含め各実験における対流圏及び局地放射性降下物についてのセシウム(^{137}Cs) 沈着密度及び線量率分布図を作成し、漁船の航路に重ね合わせることで、外部被ばくによる線量を評価した。外部被ばく実効線量は、最大で2.20 mSv (ミリシーベルト)であった。また海水による入浴から生じる線量は、一日当たり20分の入浴と考えても0.2 μSv であった。内部被ばく線量は、放射性降下物の吸入摂取と汚染魚の経口摂取から推定した。吸入摂取による内部被ばく線量は、吸入があったという前提にたち ^{137}Cs 沈着密度及び速度から、また経口摂取による線量は、漁獲物の汚染検査の記録から線量を評価した。吸入摂取及び経口摂取による乗組員の内部被ばく線量(預託実効線量)は、最大で各々0.14 mSv と 0.03 mSvであった。さらに提出された資料中の、歯エナメル質に記録された CO_2 -ラジカル量の電子スピン共鳴 (ESR) による測定及び末梢血リンパ球による染色体異常の頻度による線量評価に関して分析・検討したが、放射性降下物による被ばくを確認することはできなかった。これらの分析結果から、放射線による健康影響が現れる程度の被ばくがあったことを示す結果は確認できなかった。

最も重要な第5福竜丸はなぜ入っていないのですか？

曖昧、100mSvを超える人がいたことを証明すれば良いと考えます。

結論

100mGyで良いのではないのでしょうか？

検討に値する可能性があるのは、I 氏の場合はサンプル No.1 (臼歯) に見られた値であるが、大白歯であれ小臼歯であれ 100mGy では過剰被ばくには当たらない。Y 氏の場合も、測定結果は試料が小臼歯であったとの印象が強く、その場合は検討に値しない。

もしも Y 氏の試料が大白歯であった場合は、頬側が舌側よりも 200mGy も高い推定線量であることに違和感が強い。この場合、舌側についての推定線量である 177mGy から自然放射線と医療被ばくを引いた 82mGy が体の深部における過剰被ばくの可能性ということになる。しかしたとえ大白歯であったとしても、頬側と舌側の差を説明しようとするならば、フォールアウトのガンマ線 (平均 0.7MeV) では整合性が取れない。

ベータ線のことをお忘れでは？

以上、今回の漁船員の歯を用いた線量評価の情報に接する限り、ビキニ核実験の被災により相当多量の放射線被ばくを受けたとは結論できなかつた。「臼歯」という、大白歯か小臼歯か分からない曖昧な記述は、訴えの内容に比べて真摯さが問われる。

世界的には大白歯以外も認められています。世界的標準化の試みにも参加されもっと勉強されては？大切な原爆被爆者の歯を預かって測定されているのですから。私たちは数少ない貴重な試料から測定し、検討しているのです、すべてを捨ててしまったらなにも分かりません。

文
1)
diff
fro

to
eth

「III. 外部被曝線量の評価」に関するコメント(p19 - p88)

1. 計算式は実測値と合っていることが検証されて初めて使える。
2. 唯一の実測値である第5福竜丸のデータと比較されていない。私たちが同じ方法で計算したが、0.08mSvであった。これは当時放医研が評価した線量1.7 ~ 6.0Gyと比較して1万分の1以下であった。
 - 測定値が再現できない計算式は使い物にならない。
3. 他の船も同じ方式で計算してみたが、彼らと同様に何れも低い被曝線量となった。何れも私たちの染色体異常や歯の測定結果と合わない。

「Ⅲ. 内部被曝線量の推計」に関するコメント(p89 - p98)
肺に吸入摂取された内部被ばく線量推定に、使えない外部被曝
線量推定法を使っている。

」――使えない計算方式でいくら計算しても結果は無意味である。

内部被ばくによる線量の推計

要 旨

昭和 29 年 3 月から 5 月にかけて行われたビキニ水爆実験によって被災したとされる漁船
(第 13 光栄丸、第 7 大丸、第 11 高知丸、第 2 幸成丸、第 5 海福丸、第 5 明賀丸、第 8 順光
丸及び第 1 月山丸) について、乗組員の内部被ばく線量を推計した。内部被ばくの経路と
して、放射性降下物の吸入摂取と汚染魚の経口摂取を仮定し、前者は外部被ばくによる線
量の推計で用いられた ^{137}Cs 沈着密度から、後者は漁獲物の汚染検査の記録から内部被ばく
線量を算定した。その結果、吸入摂取及び経口摂取による乗組員の内部被ばく線量の最大
値は、それぞれ 0.14 mSv と 0.03 mSv (いずれも預託実効線量) と算定された。

使えない外部被曝線量推定法を使っている。――内部被曝線量評価も無意味

「V. 米国のビキニ水爆実験により放射線被ばくをしたという漁船員の線量評価に関するコメント」に関するコメント 「p100より」

はじめに

過去の放射線被ばくを調べる方法にはふたつの方法がある。ひとつは歯エナメル質に記録された CO_2^- ラジカル量を電子スピン共鳴（ESR）という方法で測定するものであり、他方は血液リンパ球を培養して分裂細胞に見られる染色体異常の頻度を測定するものである。

以下に各方法についてその性質を説明しておきたい。

歯エナメル ESR 法の特徴

- ・ 歯のエナメル質に記録されている CO_2^- ラジカルを測定する。
- ・ CO_2^- ラジカルの信号強度は、放射線量の増加と共に直線的に増加する。
- ・ ESR 信号強度は光子エネルギー依存性がある（0.2MeV 以下で信号強度が大きくなる）
- ・ 線量率に依存しないので低線量率被ばくでも測定量が減ることはない。合計量だけが測定される。
- ・ この性質故に考古学で骨や歯の年代測定にも使われる。
- ・ TLD（熱蛍光線量計）とは異なり同じ試料を何度でも測定できる。
- ・ 線量測定には大白歯しか適していない。
- ・ 大白歯以外の歯は、放射線被ばくとは関係のない信号が強く表れるので、使えない。
- ・ 象牙質にはラジカル信号は正しく記録されないので除去しないとイケない。



Applied Radiation and Isotopes

Volume 62, Issue 2, February 2005, Pages 163-171



The 3rd international intercomparison on EPR tooth dosimetry: Part 1, general analysis

A. Wieser^a ✉, R. Debuyst^b, P. Fattibene^c, A. Meghzifene^d, S. Onori^c, S.N. Bayankin^e, B. Blackwell^f, A. Brik^g, A. Bugay^h, V. Chumakⁱ, B. Ciesielski^j, M. Hoshi^l, H. Imata^l, A. Ivannikov^m, D. Ivanov^e, M. Junczewskaⁿ, C. Miyazawa^o, B. Pass^p, M. Penkowski^j, S. Pivovarov^q, A. Romanyukha^r, L. Romanyukha^r, D. Schauer^r, O. Scherbina^g, K. Schultka^j, A. Shames^s, S. Sholomⁱ, A. Skinner^j, V. Skvortsov^m, V. Stepanenko^m, E. Tielewuhan^k, S. Tovoda^l, F. Trompier^t



Contents lists available at ScienceDirect

Radiation Measurements

journal homepage: www.elsevier.com/locate/radmeas



The 4th international comparison on EPR dosimetry with tooth enamel Part 1: Report on the results

P. Fattibene^{a,*}, A. Wieser^{b,1}, E. Adolfsson^c, L.A. Benevides^d, M. Brai^e, F. Callens^f, V. Chumak^g,
B. Ciesielski^h, S. Della Monaca^{a,i}, K. Emerich^{h,j}, H. Gustafsson^c, Y. Hirai^k, M. Hoshi^l, A. Israelsson^c,
A. Ivannikov^m, D. Ivanovⁿ, J. Kaminska^h, Wu Ke^o, E. Lund^c, M. Marrale^e, L. Martens^f, C. Miyazawa^p,
N. Nakamura^k, W. Panzer^b, S. Pivovarov^q, R.A. Reyes^r, M. Rodzi^l, A.A. Romanyukha^d, A. Rukhin^q,
S. Sholom^{g,2}, V. Skvortsov^m, V. Stepanenko^m, M.A. Tarpan^f, H. Thierens^f, S. Toyoda^s, F. Trompier^t,
E. Verdi^b, K. Zhumadilov^l

リンパ球における染色体異常測定の特徴

- ・血液 2ml を使用するが、その入手は ESR に使用する大白歯と比較すれば遙かに容易。
- ・被ばく後早期の場合は、観察の容易な不安定型染色体異常（2 動原体、ring）を観察する。
- ・不安定型染色体異常は細胞分裂に支障があるので数年の半減期で消失してゆく。
- ・被ばく後長い年数（10 年以上）を経た場合には、観察の難しい安定型染色体異常を測定する。
- ・安定型染色体異常は細胞分裂に支障がないので生涯残存する。
- ・線量反応は、急性被ばくの場合は 2 次関数的、慢性被ばくの場合は直線に近づく。
- ・不安定型染色体異常（2 動原体、環状）の自然頻度は 10^{-3} （1000 個の細胞に数個）レベル。
- ・安定型染色体異常（転座、逆位）の自然頻度は 10^{-2} （100 個の細胞に数個）レベル。
- ・どちらの異常も自然頻度は年齢と共に増加する。
- ・線量率依存性がある（長い時間をかけて被ばくした場合には 同じ線量でも異常が少ない）。

結論

Tanaka らは文献 1 の論文で、原爆被爆者の染色体異常頻度と推定被ばく線量との関係を用いて、被災漁船員の平均被ばく線量は約 100mGy と結論づけている。しかしフォールアウトによる放射線被ばくは原爆放射線の被ばくよりも遥かに長い時間 (少なくとも数日) に及ぶと考えられるので、Tanaka らが以前に報告した数日にわたる低線量率照射の実験結果を検量線として用いる方が望ましい。この場合、線量率が下がると検量線の勾配が小さくなるので、同じ 0.9% の頻度増加であっても、それを生じた線量は大きくなる。即ち、推定被ばく線量は約 100mGy ではなくて約 400~500mGy になる。問題はこうして得られた 500mGy に近い線量の放射線被ばくが本

当にあったのか、それとも 9 人の対照群の平均値と比べてたまたま平均値に差が出たのかである。歯のエナメル質に蓄積された放射線被ばくの信号は、線量率には依存せず合計線量を信号として記録しているものであるが、ESR 測定の結果は約 500mGy というレベルの放射線被ばくを支持していない。

染色体のデータそのものを問題にしていない。セミパラのデータからは500mGyもあり得る。ただ彼らの方式が正しいかどうかすら分からない。いずれにしても100mGyは超えている
 60 人も出るということである)。従って、ふつう個々人における被ばく前の転座頻度など調べたりすることはないから、0.9%の頻度増加があっても、個人の被ばくの証拠とするのは無理である。この問題を克服するために、今回の論文では対照群 9 名、被ばく群 19 名の平均値の差を被ばくの根拠としている。しかしその差は、歯 ESR のデータによって支持されるものではなかった。その食い違いの理由は不明であるが、対照群の 9 名は「被ばく群と年齢を合わせた漁師や工場勤務者」とあるところに一抹の不安を覚えた。遠洋漁業者でドミニカに行っていない人を対照者として調べて欲しかったからである。第 1 部の ESR 測定で用いられた歯の種類に関する記述(「臼歯」)も同根であるが、科学における客観性の担保には厳密性が必要とされることを喚起したい。

そのとおり！あなたもそうあって下さい。

修正要求 1

III. 外部被曝線量の評価： p19-88の削除

この方法ではホットスポットが再現できません。たとえば唯一被曝線量がわかっている第5福竜丸につきましてこの方法で計算しますと、0.1mSv以下となります。実際の線量の1万分の一以下です。従いまして、実際の被曝線量が評価できないこの方法を使ってはいけません。他の船につきましても同様に使ってはいけません。使えないだけでなくその結果がひどく過小評価となることが問題です。

IV. 内部被曝線量の評価： p89-98の削除

内部被曝も上記の外部被曝線量の計算方式を使っています。だめな方式を使った結果も無意味です。

修正要求 2

V. 私たちの線量評価に対する批判の部分： p99以降の大幅修正

私たちの使った歯は奥歯です。確認もなさらずに批判されていますが、あなた方のその態度は研究者とはいえません。また奥歯以外を使ってはいけないと強調されていますが、世界の科学者は奥歯以外も使っています。世界には20近い研究グループがありますが、彼らに対して「これからは奥歯以外を使ってはいけない」と論破してください。あなたたちだけの内輪の議論ではなく、世界に通用する議論にしてください。あなた方との議論はそれからにしましょう。

また一言申し上げますが放射線にはベータ線もあることをお忘れのようです。

染色体異常の測定と評価の部分につきましてですが、異常率の問題ではなくmSvへの変換係数を問題にされています。私たちは普通に使われている係数を使ったのですが、あなたがたが主張されている変換係数の方が良いと言われるのでしたらそうしましょう。そうすると線量は数倍になります。結果は最大で500mSvくらいとなります。この線量はこれまでの私たちや世界の研究者の結果と矛盾しません。例えばセミパラチンスクの結果と比べても矛盾はありません。そうですから変換係数はあなた方の係数を使いましょう、そうしましょう。そうすれば漁船員の方々はさらに大きな被曝をされたことが分かります。

修正要求 3

I. 総括の部分：p1-10の大幅修正

以上を踏まえれば残る部分はほぼありません。

あえて書かせていただきますと、以下ようになります。

歯の結果からは100mSvを超える線量が、また染色体異常の測定の結果からも多数の方が100mSvを超えていることが分かりました。マグロ漁船員の方々には高い線量の被曝をされました。そしてもうご高齢でもあります。一刻も早く健康調査やそれに伴う支援が必要です。

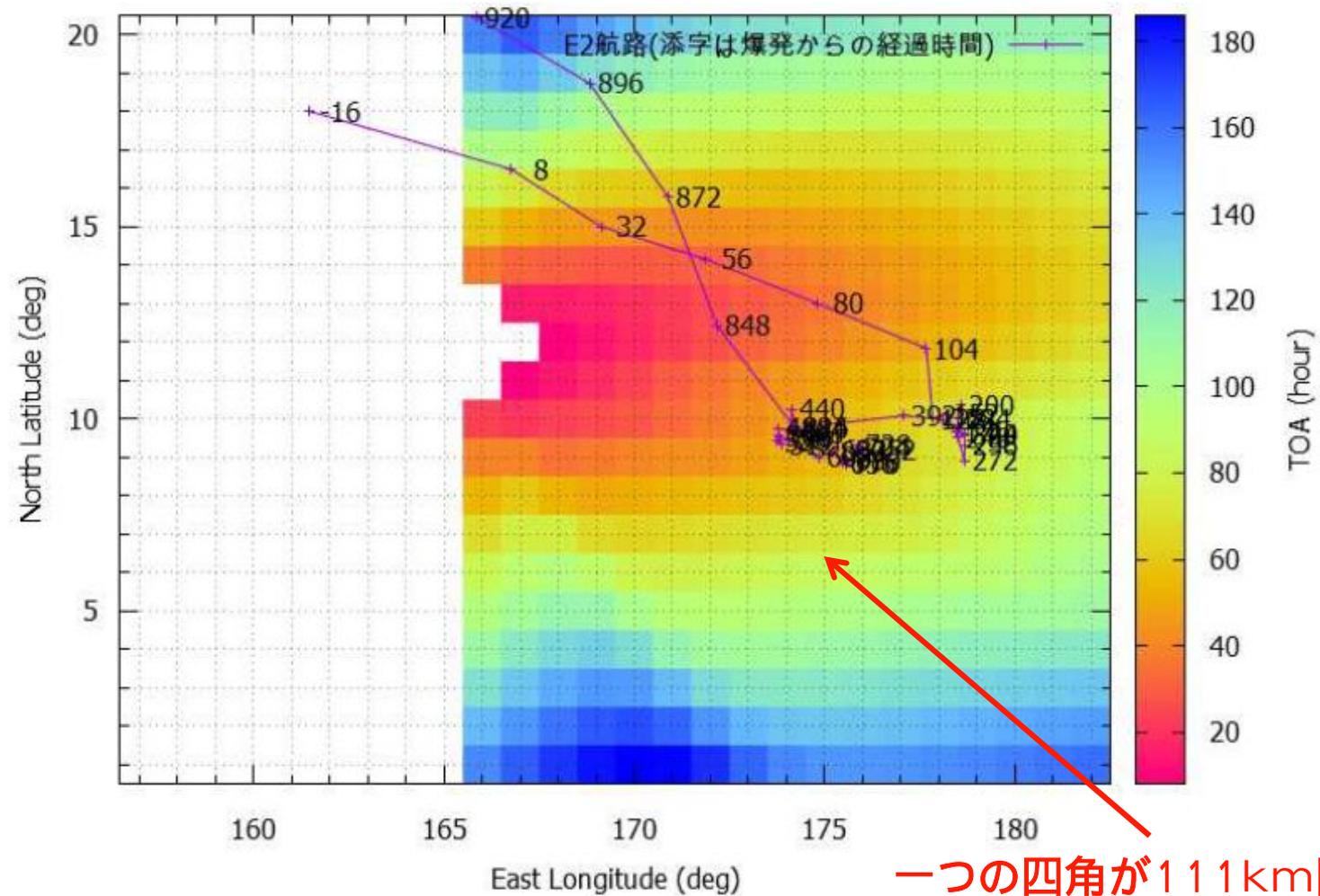
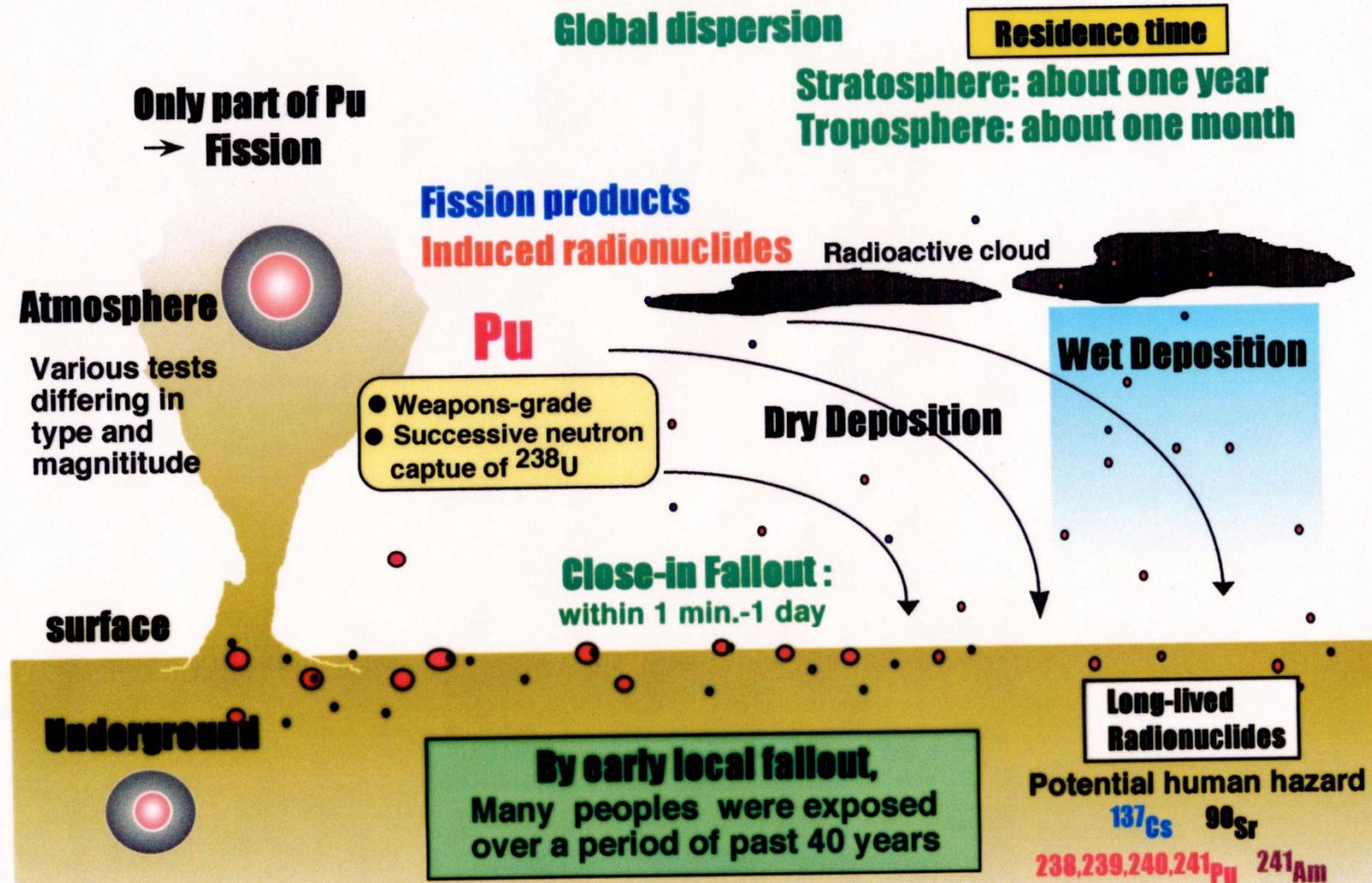
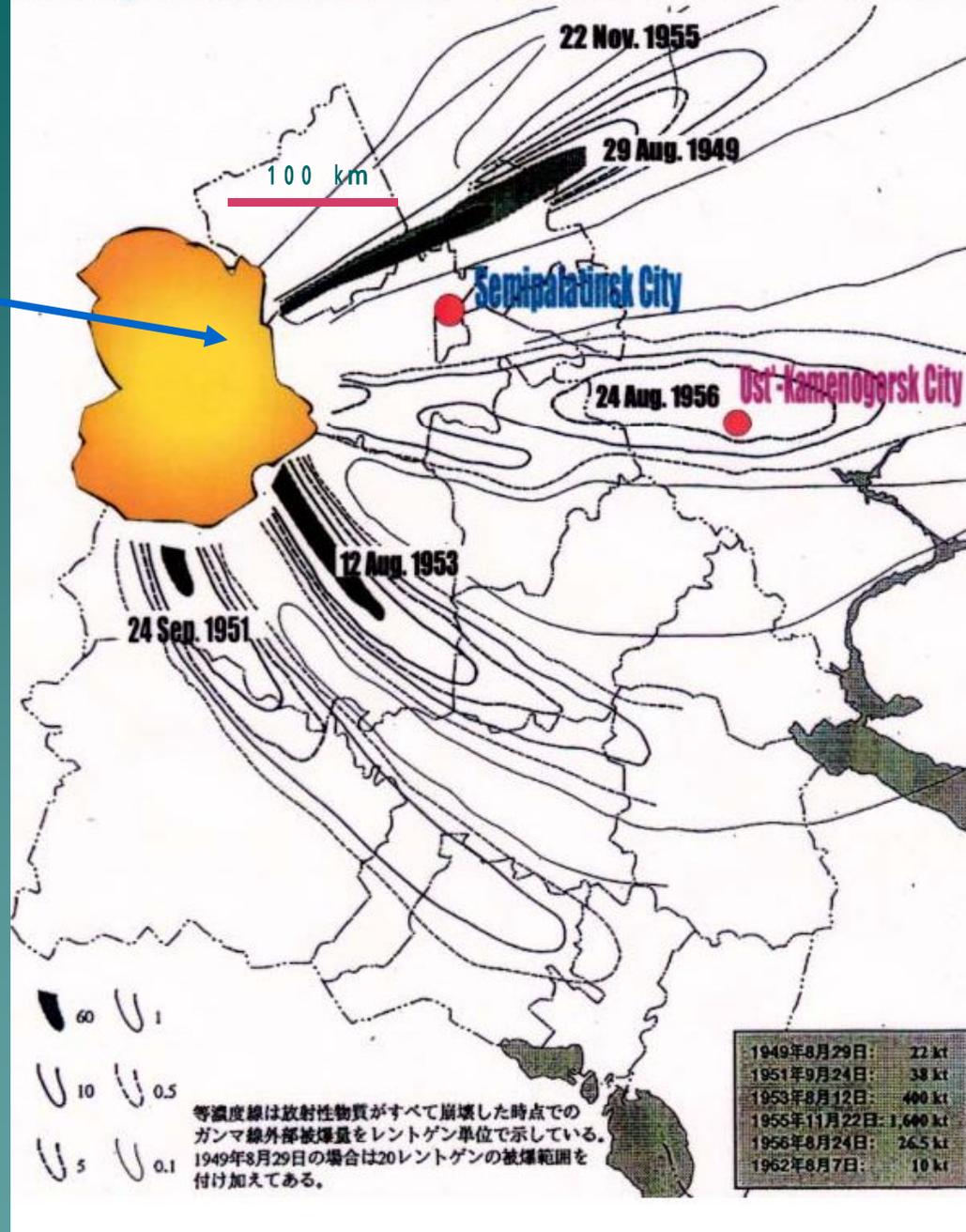


図 7(b) プラボー実験における対流圏放射性降下物成分の ^{137}Cs 沈着密度及び到着時間 (TOA) と第 11 高知丸の航路

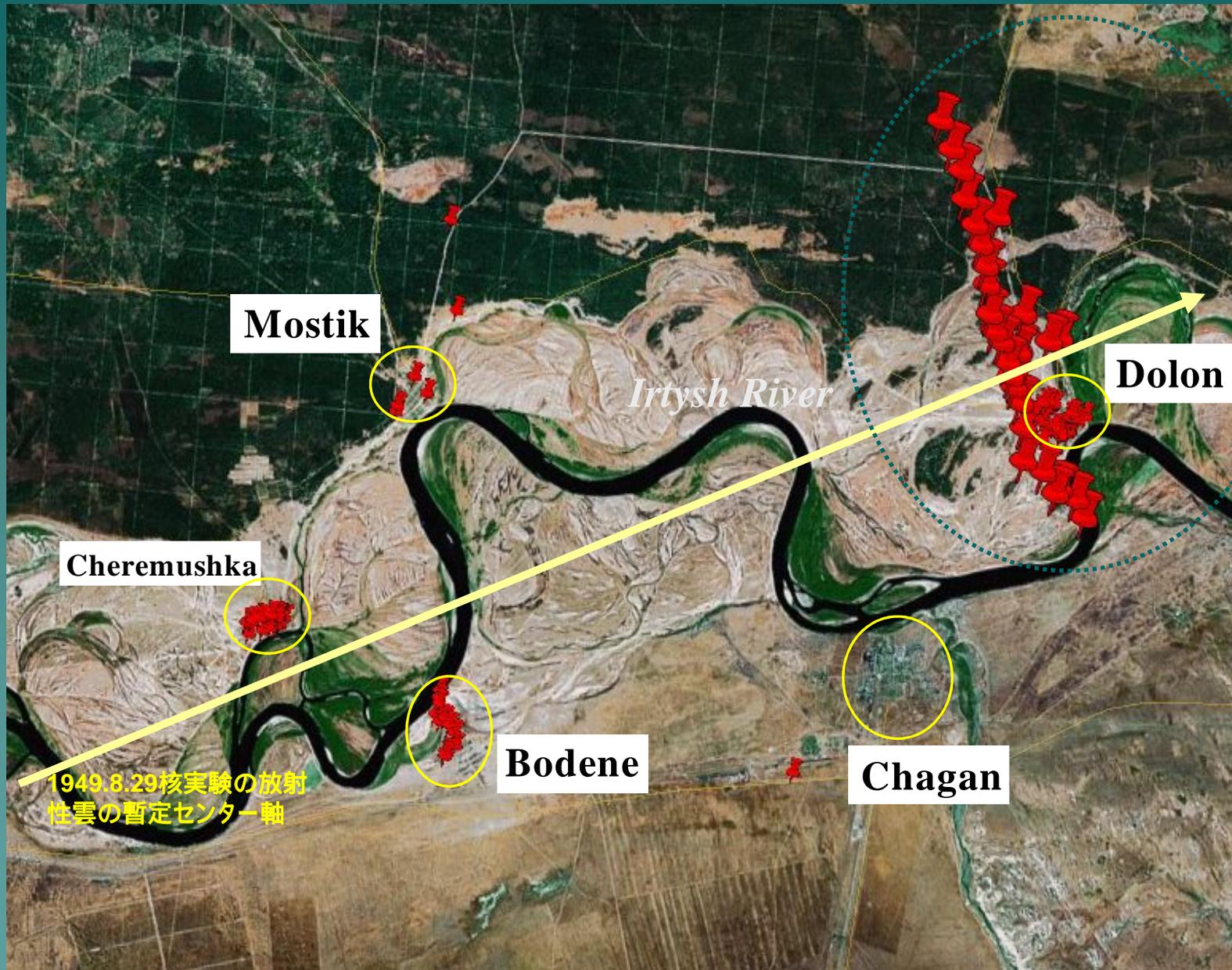
Schematic view of the contamination. Yamamoto



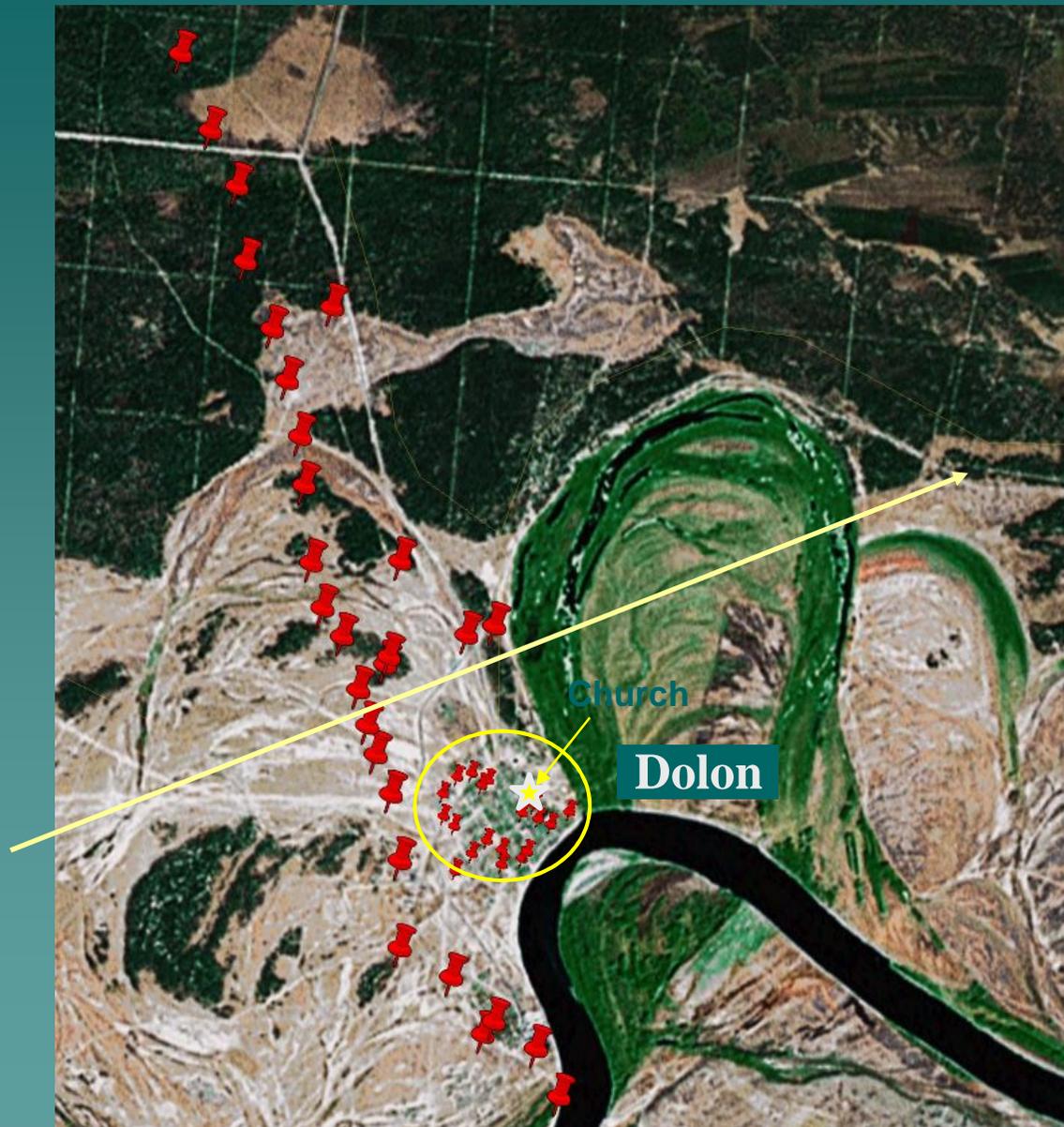
External gamma-ray dose outside the SNTS territory from some stronger explosions



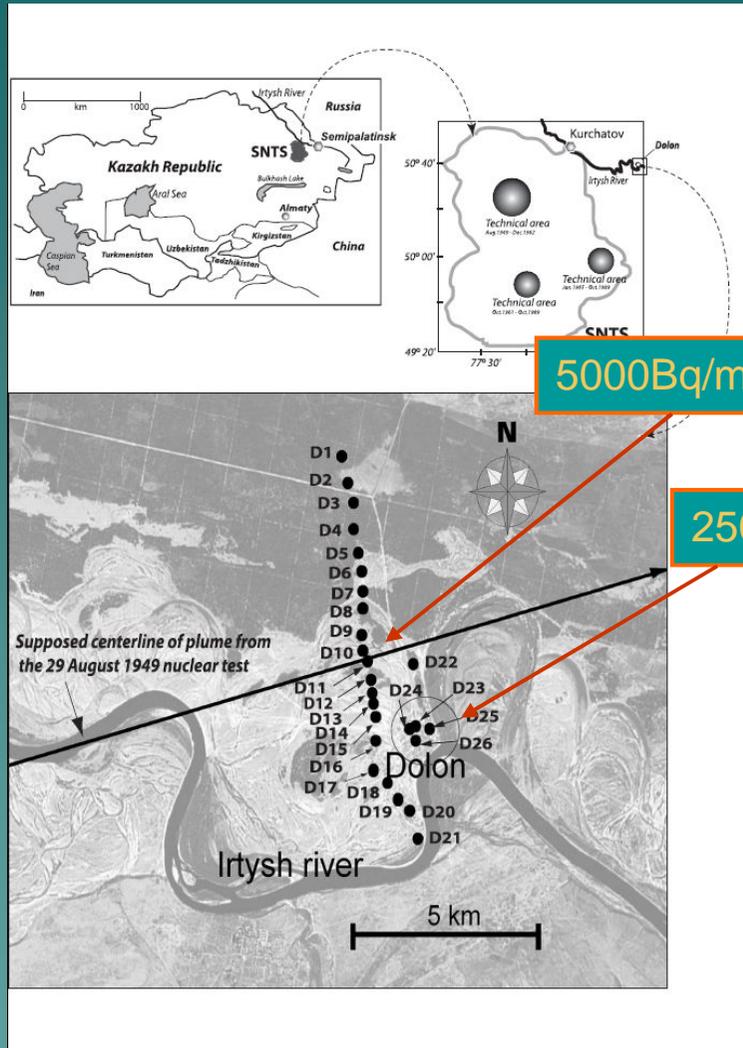
ドロンと付近の村



ドロン集落付近での土壌採取地点

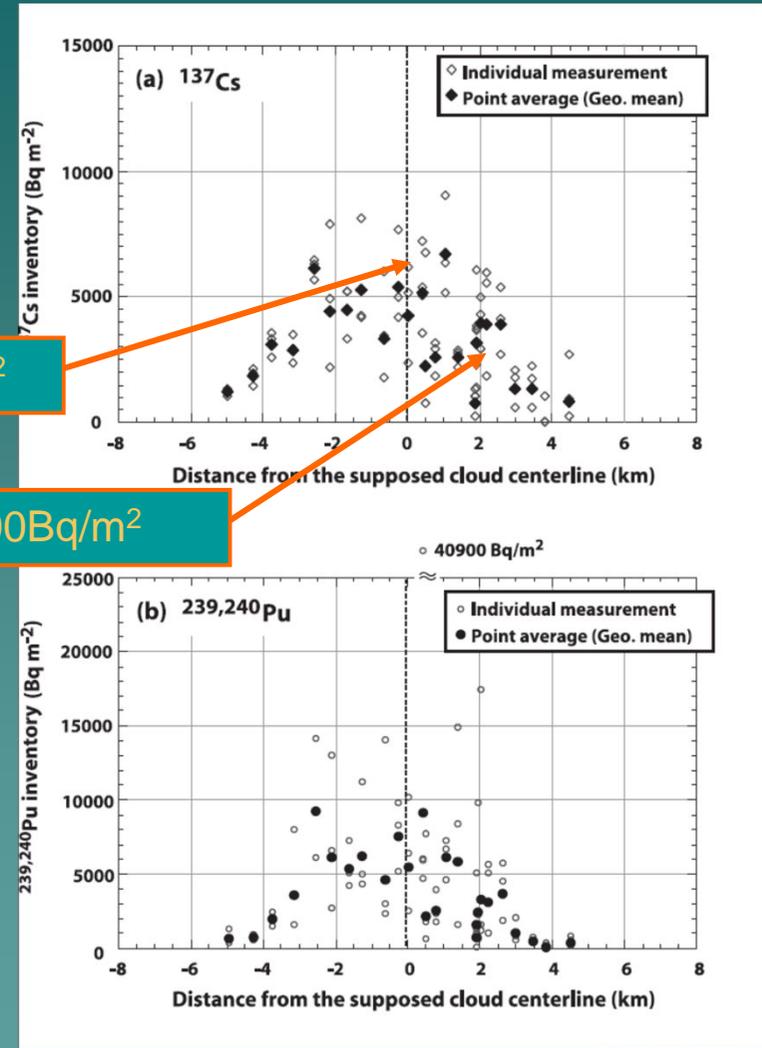


ドロン村の測定



5000Bq/m²

2500Bq/m²



2500Bq/m² ≙ 500mGy
(1000Bq/m² ≙ 200mGy)

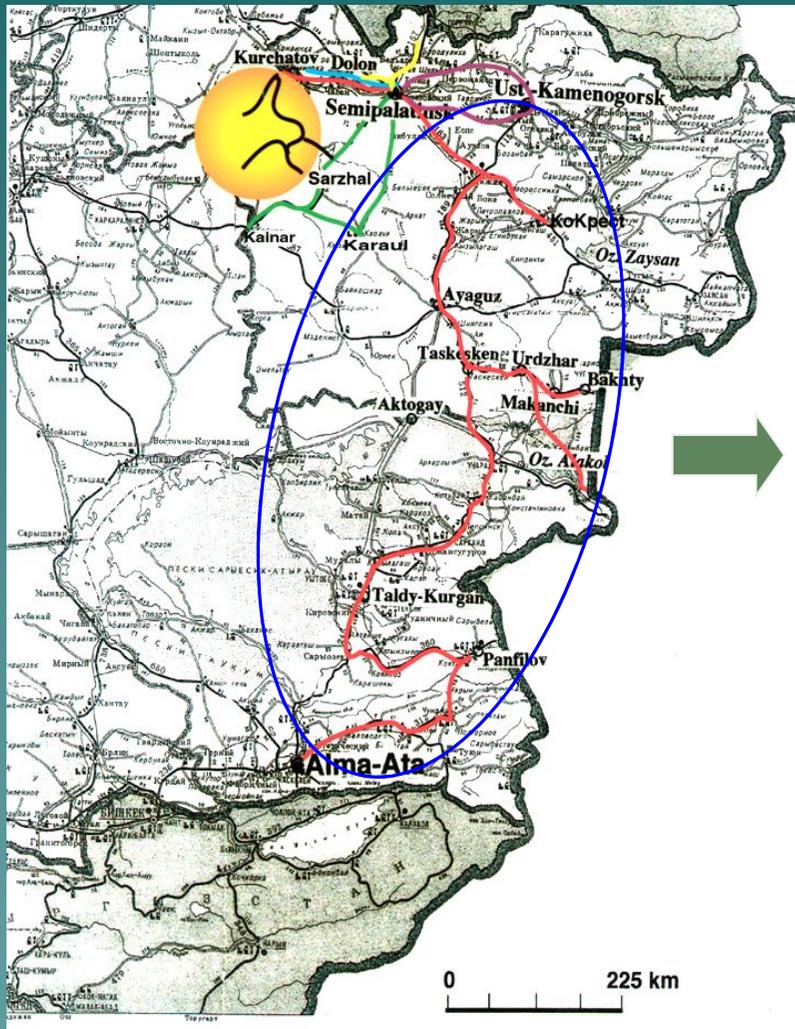
Summary of different dose evaluation in Dolon

Method	Dose (mGy)
Tooth enamel	140
Brick	440
Calculation (Stepanenko)	645
From Cs data (Imanaka)	500
Chromosome aberration	180

2500Bq/m² **500mGy**
(1000Bq/m² **200mGy)**

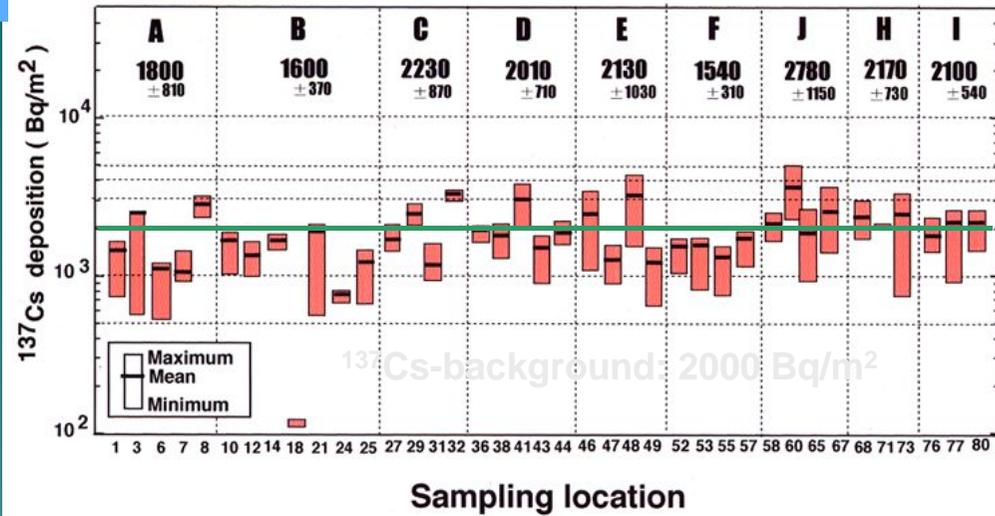
Rout map of spoil sampling from Chinese border.

Yamamoto Sakaguchi,

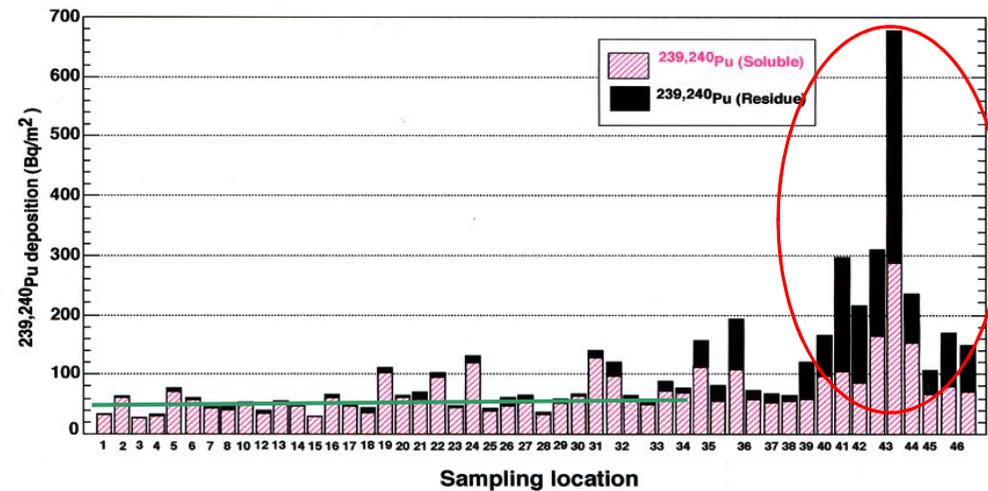


中国国境沿いの土壤中¹³⁷Cs の蓄積量

1地点：3-5試料〔殆どは3試料で0-10 cm 深さ（直径4.7cmパイプ、幾つか0-30cm深さ）
測定：50-80g, γ線スペクトロメトリー, 一日測定, 全部で125試料

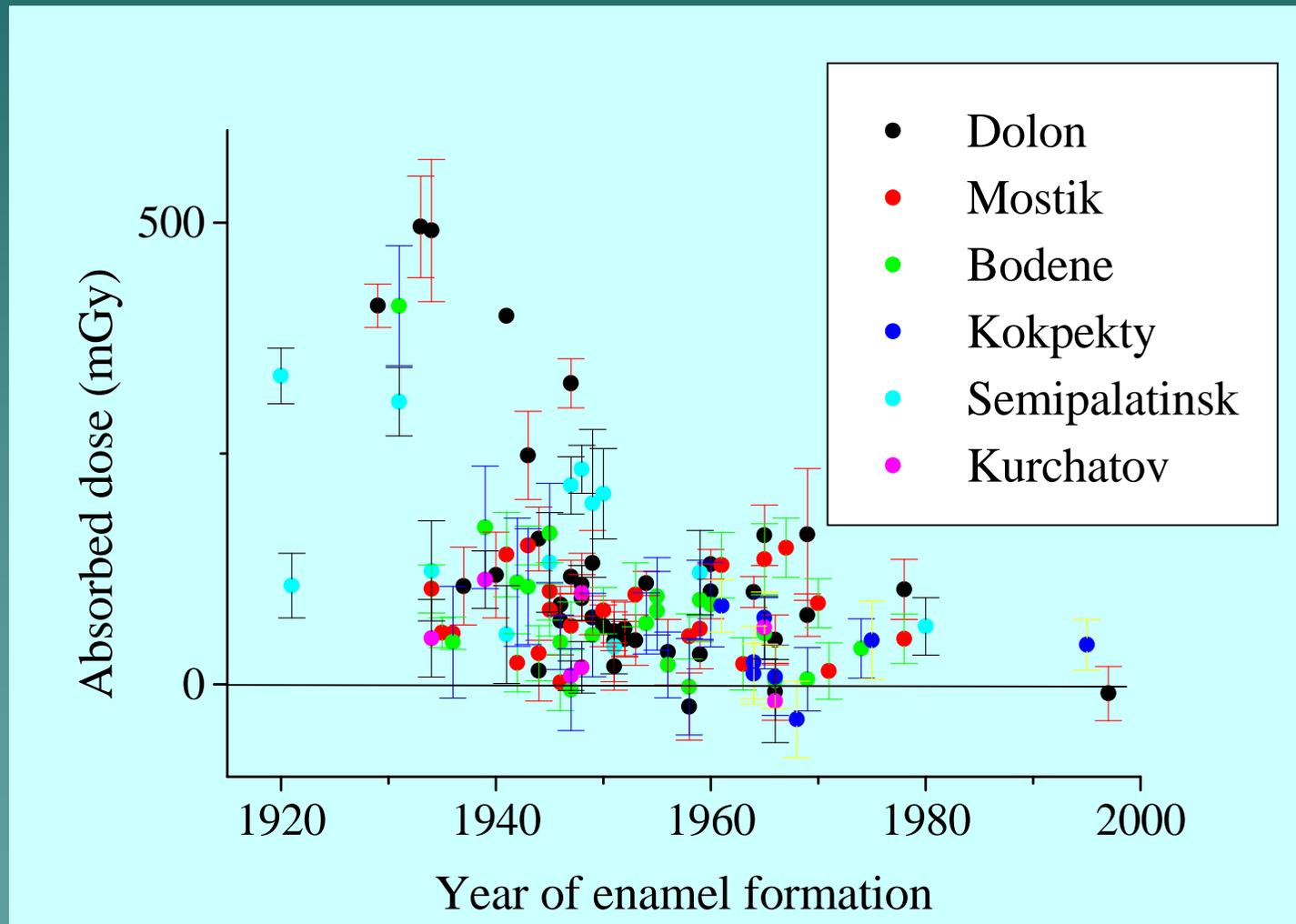


Soluble Pu=Hot leaching (2 times) with HNO₃+H₂O₂ Residue Pu = Decomposition with HNO₃+HF+HClO₄



セミパラチンスクでの歯の測定

Experimental doses absorbed in enamel versus the year of enamel formation

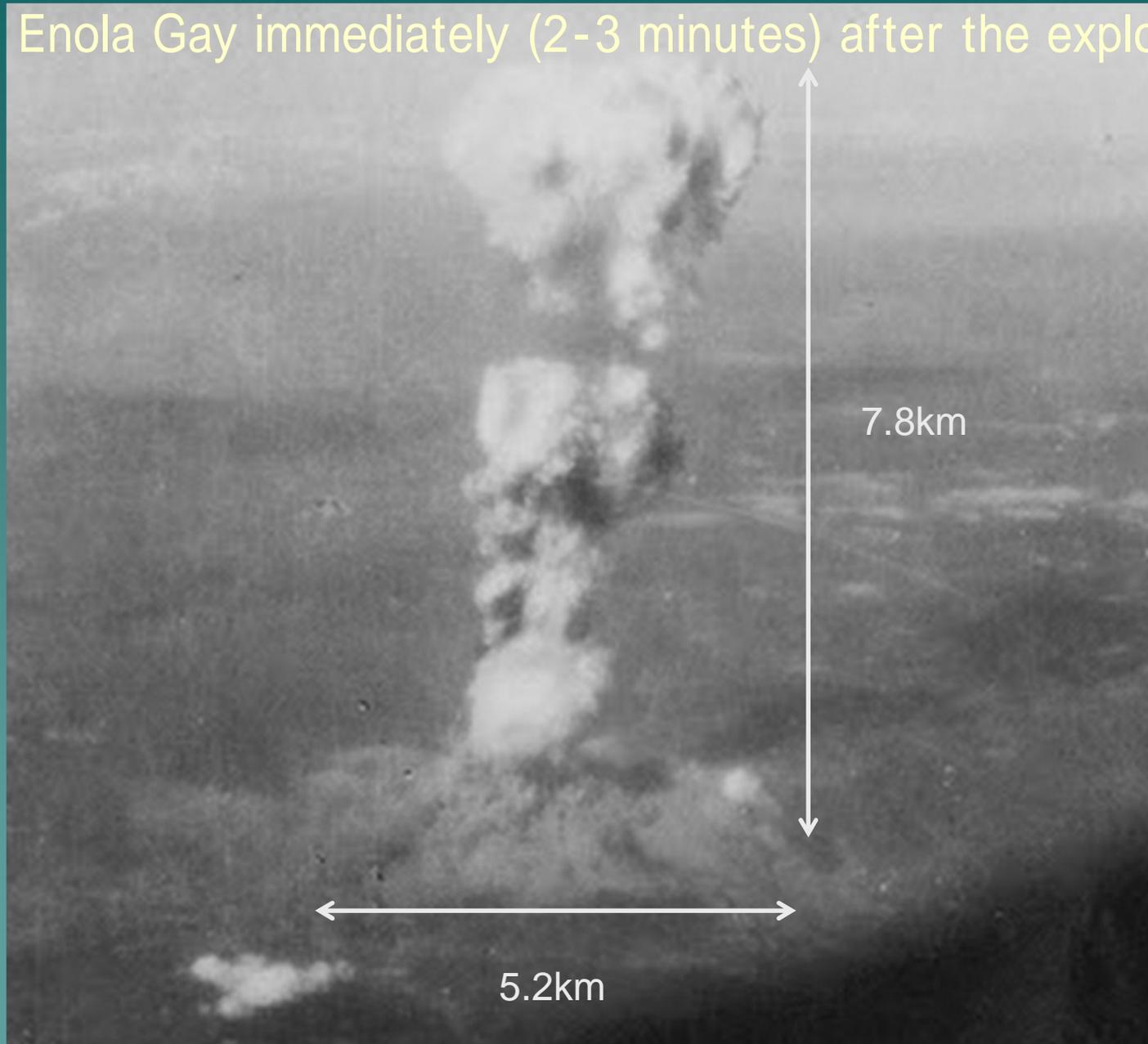


微粒子効果

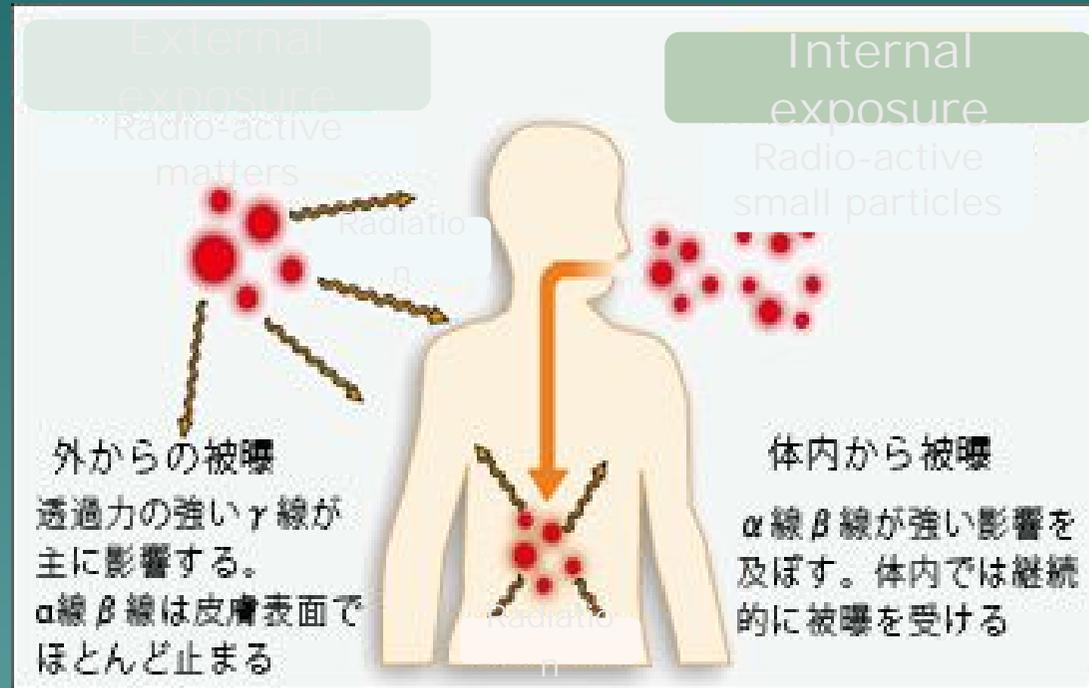
Microparticle effects

広島原爆の写真(爆発の2-3分後)

The mushroom cloud of the Hiroshima atomic bomb taken from Enola Gay immediately (2-3 minutes) after the explosion



外部被ばくと内部被曝のイメージ。 Image of External Exposure and Internal Exposure



<http://ameblo.jp/sunamerio/theme-10054106876.html>

Currently, in dose assessment for radiation exposure to human body the average dose on organ/tissue is used, which is referred to as absorbed dose or equivalent dose.

広島・長崎、チェルノブイリ、セミパラチンスク、他で共通の 未知の放射線の健康影響があるようだ

Radiation effects maybe happening but cannot be explained, such as epilation etc. ,,,

1. 人への影響がどこでも同じ、しかし証明されていない。

*仕事ができないほどの強い倦怠感、
原爆ぶらぶら病、カイナール症候群、アメリカの
湾岸戦争の兵士、等々。

*脱毛、なども。

*2km以遠、黒い雨、放射能の降下地域、何れの地域でも外部被曝線量は数mSvで通常健康影響があるとは考えられない線量。ただし内部被曝はわからない。

まとめ (Summary)

早期入市者のリスクの増加(過剰リスクERR)

ERR by at the time of exposure (ate) and the day of entrance compared with the August 9 or later entrants

男、Male

ate	Aug.6	Aug.7	Aug.8
[0, 10)	—	↑	↑
[10, 20)	—	↑	—
[20, 30)	↑	—	—
[30, 40)	↑	—	—
[40, 50)	↑	—	—

女、Female

ate	Aug.6	Aug.7	Aug.8
[0, 10)	—	—	—
[10, 20)	—	—	—
[20, 30)	—	—	—
[30, 40)	—	—	—
[40, 50)	↑	—	—

原因を証明するには動物実験も必要と考えるようになった

The unknown effects may be due to **radioactive
dusts**

放射能を帯びた埃が原因では？

This is from the analysis of the atomic bomb
survivors

by Profs. 大瀧、大谷

原因となる放射能はマンガン56

Possible candidate in Hiroshima and
Nagasaki Neutron activated soil dust

Radioactivity: Mn-56(2.6h), Na-24(15h)

Chapter 6

RADIATION DOSES FROM RESIDUAL RADIOACTIVITY

Shunzo Okajima and Shoichiro Fujita
Radiation Effects Research Foundation

John H. Harley
Consultant

Table 6. Induced Radionuclides of Possible Dosimetric Interest.

Nuclide	Half-life	Comment
²⁸ Al	2 min	
⁵⁶ Mn	2.6 h	
³¹ Si	2.6 h	Not significant
⁴² K	12.4 h	Not significant
²⁴ Na	15 h	
⁵⁹ Fe	44.5 d	Not significant
⁴⁶ Sc	83.8 d	
¹³⁴ Cs	2.1 yr	
⁶⁰ Co	5.3 yr	

Radionuclide	Initial Exposure Rate (R/h)	Cumulative Exposure (R)
⁵⁶ Mn	7	26
²⁴ Na	2.1	45
²⁶ Sc	0.00013	1
Rounded Total	9	70

^{56}Mn の作り方

1. The thermal neutrons were irradiated at the Nuclear Reactor in Kurchatov. (クルチャトフの原子炉を使う)

2. Irradiated 4.0×10^{14} thermal neutrons/cm² to 100mg MnO₂ 3μm size powder, which produce 2.74×10^8 Bq (7.6 mCi) of ^{56}Mn .

This correspond to 0.196 Bq per 3μm particle, which is equal to 2.627×10^3 decays.

(3ミクロンの二酸化マンガン粉末100mgに中性子を照射)

3. 4.0×10^{13} thermal neutrons/cm² = Hiroshima neutrons at the ground zero.

Therefore the neutron fluence correspond to 10 times of Hiroshima neutrons at the ground surface.

(照射した中性子数は広島原爆の10倍)

^{56}Mn はたくさん放射線を出す

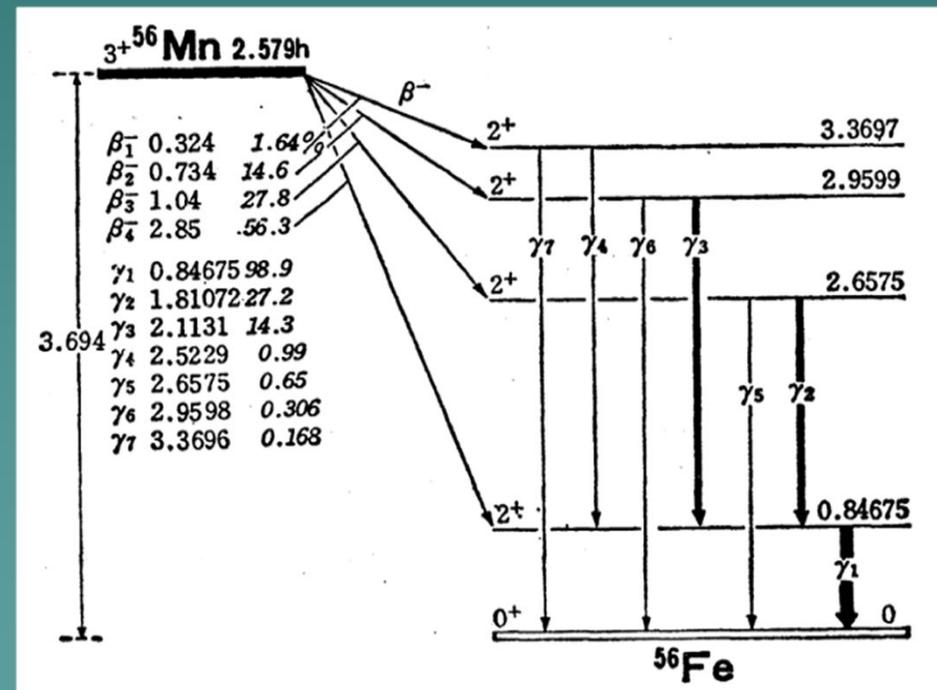
Beta rays

325.7 keV	1.20%
735.6 keV	14.5%
1037.9 keV	27.5%
2848.7 keV	56.6%

Gamma rays

846.7 keV	98.9%
1810.7 keV	26.9%
2113.1 keV	14.2%
2523.1 keV	1.02%
2657.6 keV	0.65%
2959.9 keV	0.301%

Half life: 2.58 hours



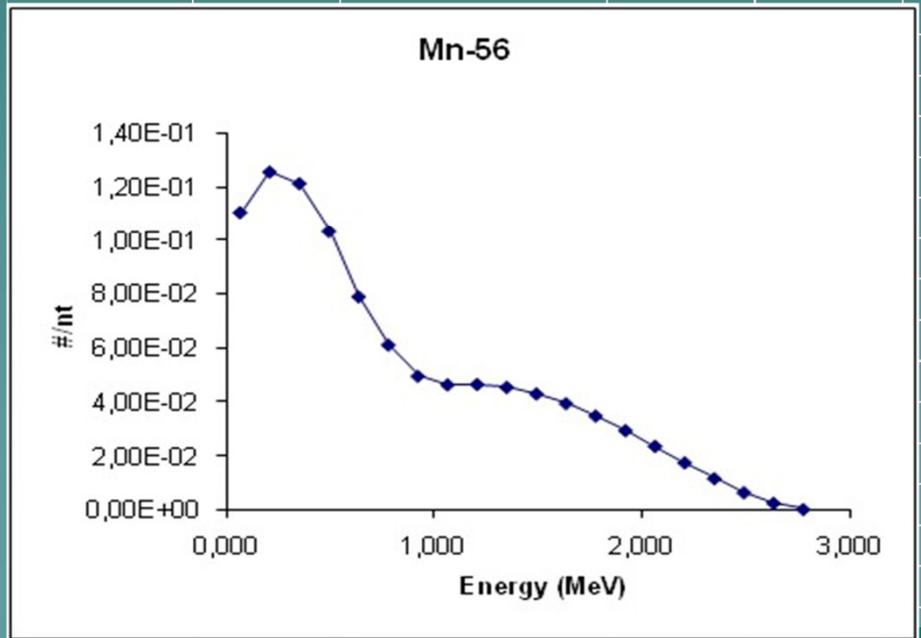
56Mn: AUGER ELECTRONS						
Type	Energy (keV)	electrons/decay	R99,			
			(loss of 99% of initial energy at R99 - radius of tissue sphere around isotropic microsource), cm			
KLL	5.51	1				
			8.8 E-6			
KLX	6.28	0.274				
			1.1 E-4			
KXY	7.01	0.0187				
			1.3 E-4			
L	0.57	3.07				
			2.1 E-6			
56Mn: X-RAYS						
Type	Energy (keV)	photons/decay	R99,			
			(loss of 99% of initial energy at R99 - radius of tissue sphere around isotropic microsource), cm			
K 2	6.39	0.51				
K 1	6.4	1	about 1 E-2 cm			
K 1	7.06					
K 5	7.1	0.21 (total for all K)				

56Mn: MAIN GAMMA-RAYS

Type	Energy (keV)	photons/decay	R99, (loss of 99% of initial energy at R99 - radius of tissue sphere around isotropic microsource), cm
Gamma-1	846.8	0.989	about 80 cm
Gamma-2	1811	0.272	> 100 cm
Gamma-3	2113	0.143	> 100 cm
Gamma-4	2598	0.173	> 100 cm

56Mn: MAIN BETA-RAYS

Intensity is 100%, average energy is 829.21 keV (mean R99 is about 1.8 cm), and maximal energy is 2848.00 keV (maximal R99 is about 6 cm)

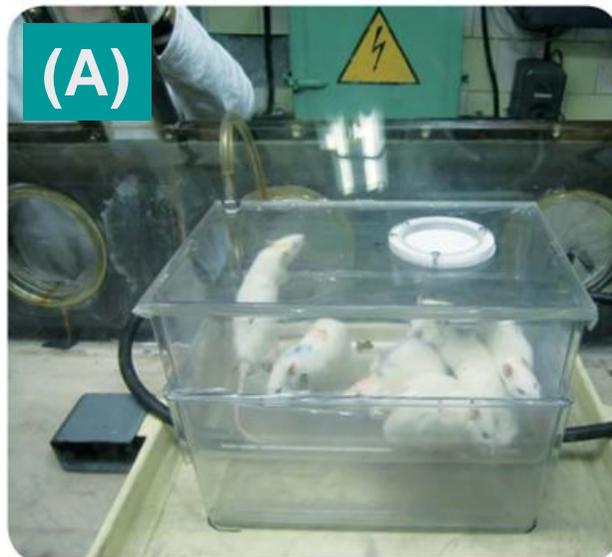


実験計画



内部被曝実験。クルチャトフの原子炉。

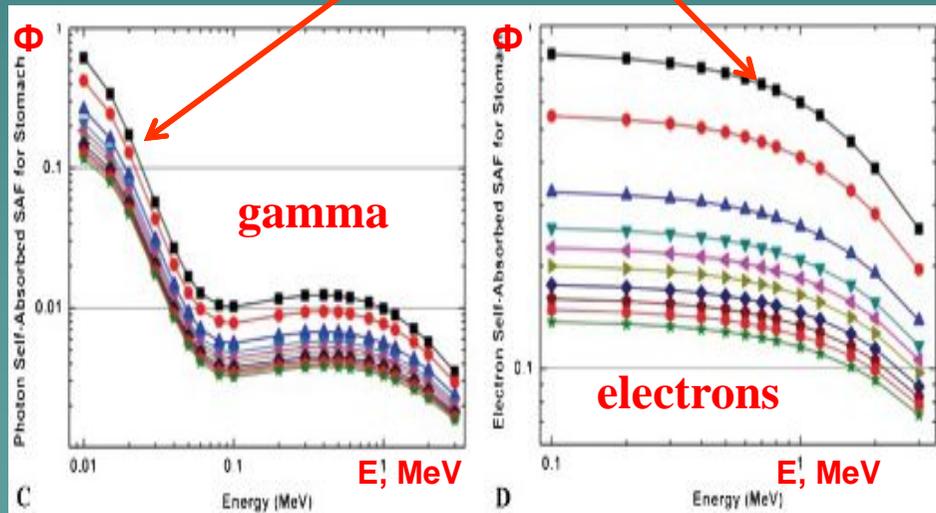
照射中のラット(A), 防護用のグローブボックス(B)



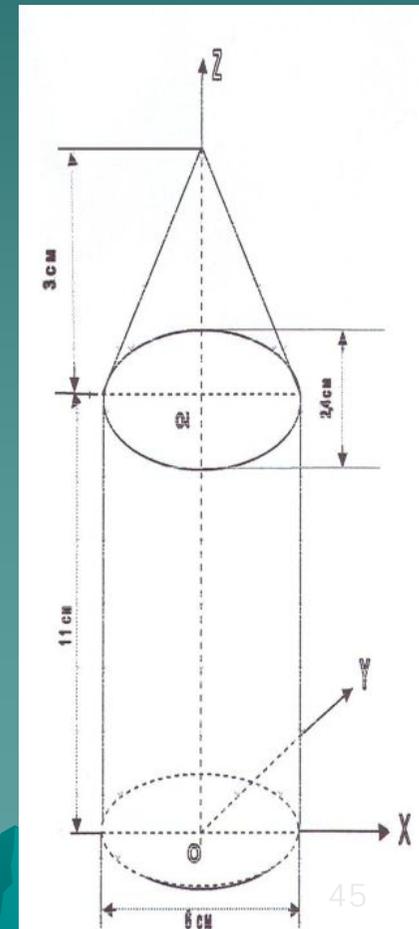
Internal dose estimations were performed on the base of the results of experimental animal's radiometry.

Monte Carlo code (MCNP-4C code with corresponding Library of cross sections for electrons and gamma quants) and age depended mathematical phantom of experimental rat (Stepanenko et al., 2010) were used for calculation of absorbed fractions of beta and gamma irradiation of rats organs

$$H_T = k \sum N_s \sum f_i \times E_i \times \Phi_i(T \leftarrow S) \times Q_i / m_T$$



Example: absorbed fractions Φ VS energy E



Results of internal dose estimations (as to 08-07-2015):
 comparison between first /second experiments with Mn-56 powder and rats in Kurchatov reactor (Kazakhstan)

Organs	A ₀ , kBq/g (1 st /2 nd experiments)	D, Gy, (1 st /2 nd experiments)
Liver	4.14 ±0.15/0.478±0.013	0.015±0.0006/0.0017± 0.00022
Heart	5.46± 0.17/0.470±0.018	0.016±0.0005/0.0013± 0.000943
Kidney	3.97± 0.26/0.100±0.0053	0.013±0.0007/0.00032±0.000045
Tongue	45±2.5/7.08±0.28	0.069±0.004/0.010± 0.00008
Lung	71.8± 2.3/2.33±0.12	0.10±0.003/0.0030± 0.00027
Esophagus	25.5 ±3.9/3.6±0.37	0.050±0.008/0.0071± 0.00078
Stomach	148±11/69±5.60	0.24±0.02/0.11± 0.012
Small intestine	811± 58/89±4.2	1.33±0.09/0.15± 0.017
Large intestine	1011± 36/280±1.40	1.65±0.06/0.4± 0.050
Trachea	5.79 ±0.23/3.03±0.18	0.014±0.0006/0.0073± 0.0008
Eyes	13.2± 0.48/16.5±0.54	0.021±0.0008/0.026± 0.036
Skin	40.6 ±1.6/39.3±0.71	0.076±0.003/0.073± 0.011
Teeth	19.7 ±1.5/15±0.24	0.030±0.002/0.023± 0.002
blood	—/0.162±0.012	—/0.0011± 0.00024
Whole body	83.4± 2.3/26.7± 1.4	0.15±0.004/0.021± 0.007

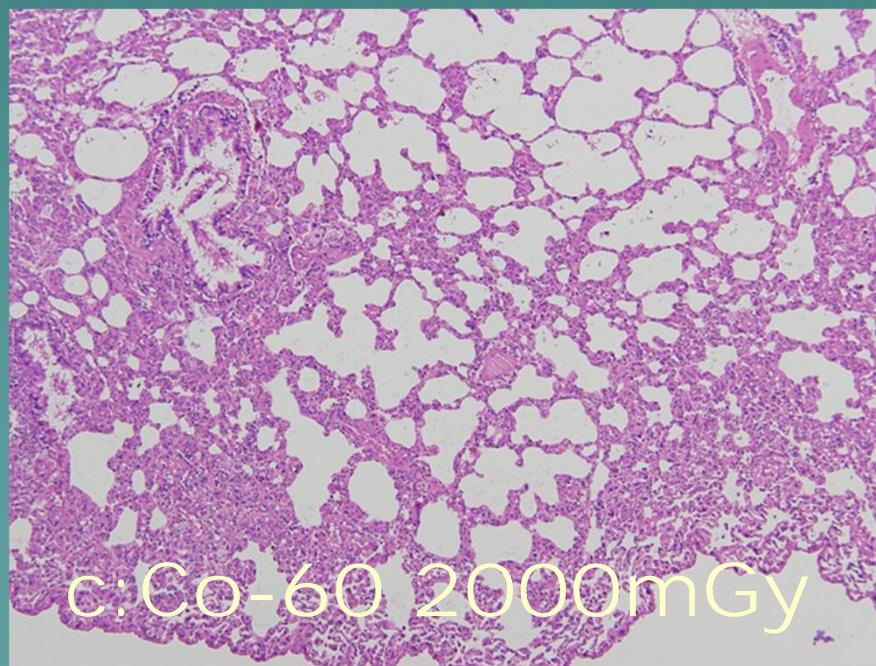
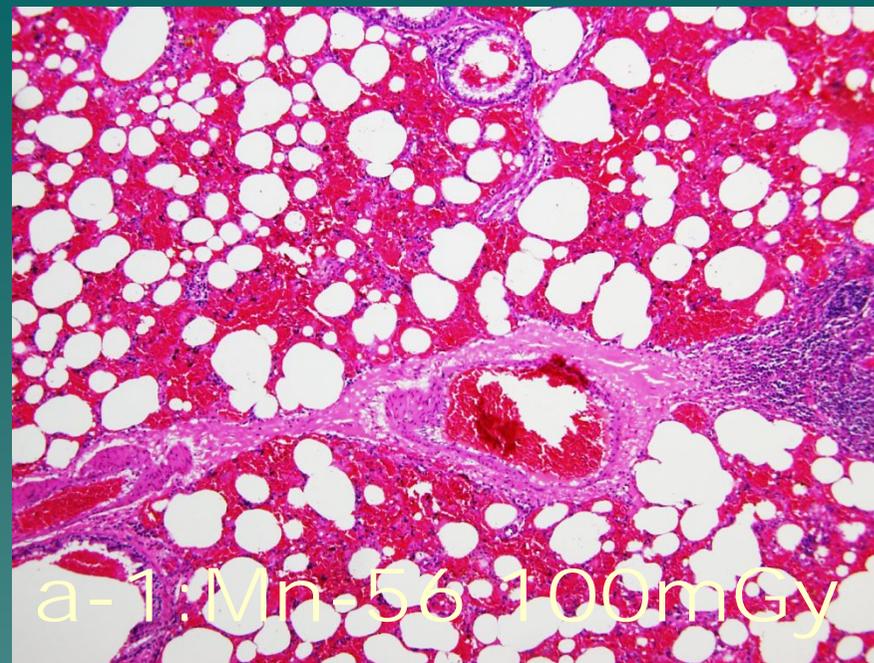
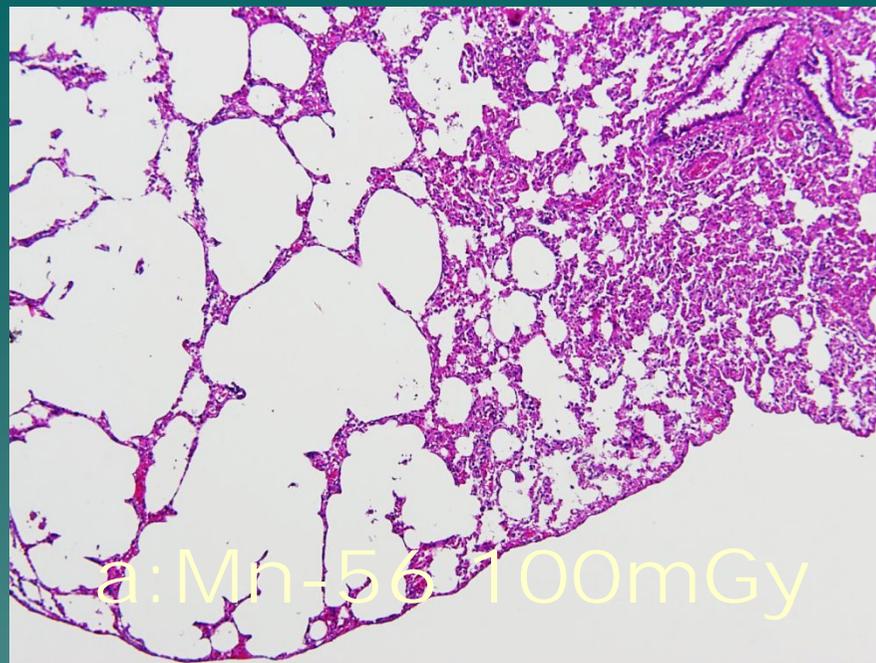


Table 4. Histological findings in the lung in rats exposed to Mn-56, Mn and Co-60 and cont Experiment 1

内部被ばく
100mGy

		Day3	Day14	Day60
Mn-56	Hemorrhage	+++	++	+
	Emphysema	++	+	+
	Inflammation	+++ ^{a)}	++	+
Mn	Hemorrhage			+
	Emphysema	+		
	Inflammation	+		+

出血
肺気腫
炎症

外部被ばく
2000mGy

Co-60	Hemorrhage	◆	◆	
	Emphysema	◆	◆	
	Inflammation	◆	◆	
Control	Hemorrhage	+	+	
	Emphysema			
	Inflammation	+	+	

出血
肺気腫
炎症

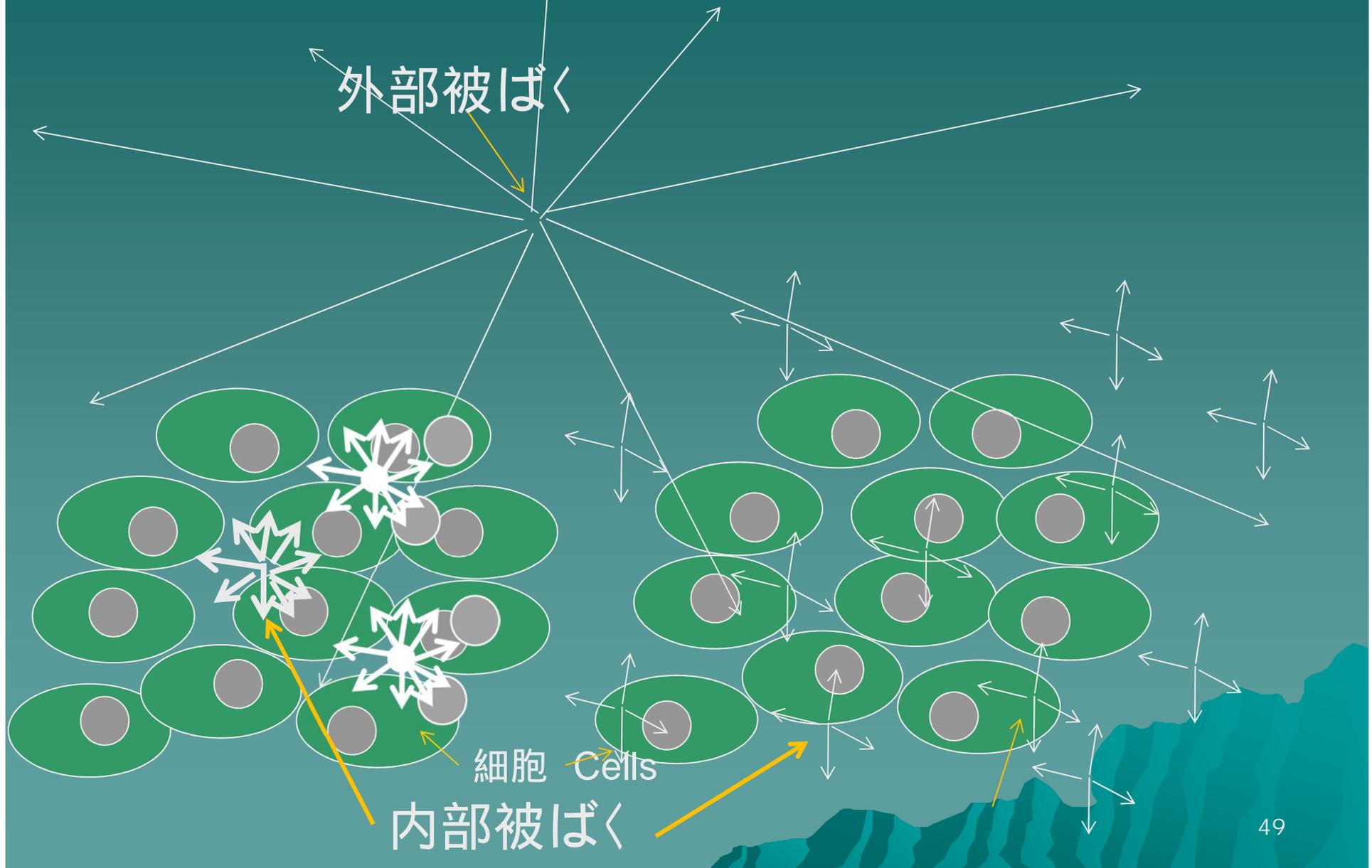
Experiment .2

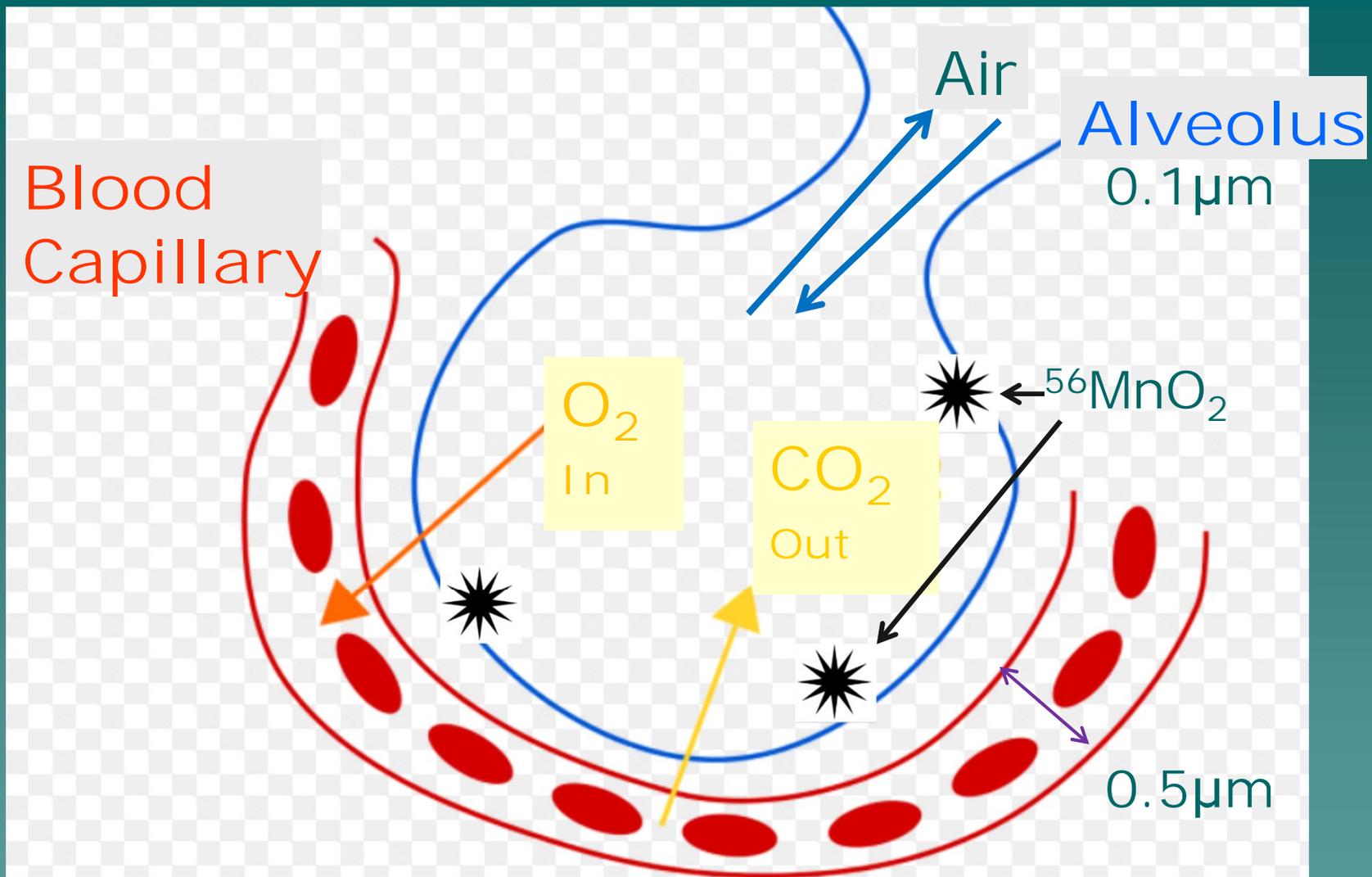
		Day3	Day14	Day60
Mn-56	Hemorrhage	2 (+) ^{b)}	2 (+)	
	Emphysema		2 (+)	
	Inflammation	3 (+~+++)	3 (++)	2 (+)
Mn	Hemorrhage			
	Emphysema			
	Inflammation	3 (+)	2 (+)	2 (+~+++)
Co-60	Hemorrhage			
	Emphysema			1 (+)
	Inflammation	3 (+~+++)	2 (+)	2 (+)
Control	Hemorrhage		1 (+)	
	Emphysema			
	Inflammation	1 (++)	2 (+~+++)	2 (+)

a) Pathological grades were scored from - to +++.
 b) Incidence and pathological grades (in parenthesis).
 c) Occasional lymphoid follicles and alveolar wall hypertrophy were noted without significant differences among the exposed and control groups.

微粒子効果

外部被ばく





Possible scenario of the damages for the lung.

1. Radiations from the micro particles of $^{56}\text{MnO}_2$ kill cells near by.
2. The alveolus break down.

Absorbed dose (up to whole decay of ^{56}Mn) is equal to:

1. 160 Gy:

("surface" of alveolar epithelium layer at 1×10^{-6} cm);

2. 8,9 Gy:

("bottom" of alveolar epithelium layer at 6×10^{-6} cm,
- in a case minimal thickness of epithelium cells);

3. 0.4 Gy:

("bottom" of alveolar epithelium at 3×10^{-5} cm
-in a case maximal thickness of epithelium cells)

まとめ Summary

結果 (Exp 1, 2014)

1. ^{56}Mn 粉末による内部被ばく: 100 mGy
(この時の外部被ばく: 5.8mGy)
2. ^{60}Co :による外部被ばく: 2000 mGy

影響は
ほぼ同じか
むしろ
内部被曝の
方が大き
かった

3. 肺の病理組織を顕微鏡で観察した。
内部被曝100mGyと外部被ばく2000mGyと比較した
ところ内部被曝の方が大きかった。(20倍以上)

その1

ビキニ水爆実験による漁船員の
放射線被ばくに関する研究会
2014年6月27日(於広島大学)

航跡データによる船単位の 被ばく線量の推定

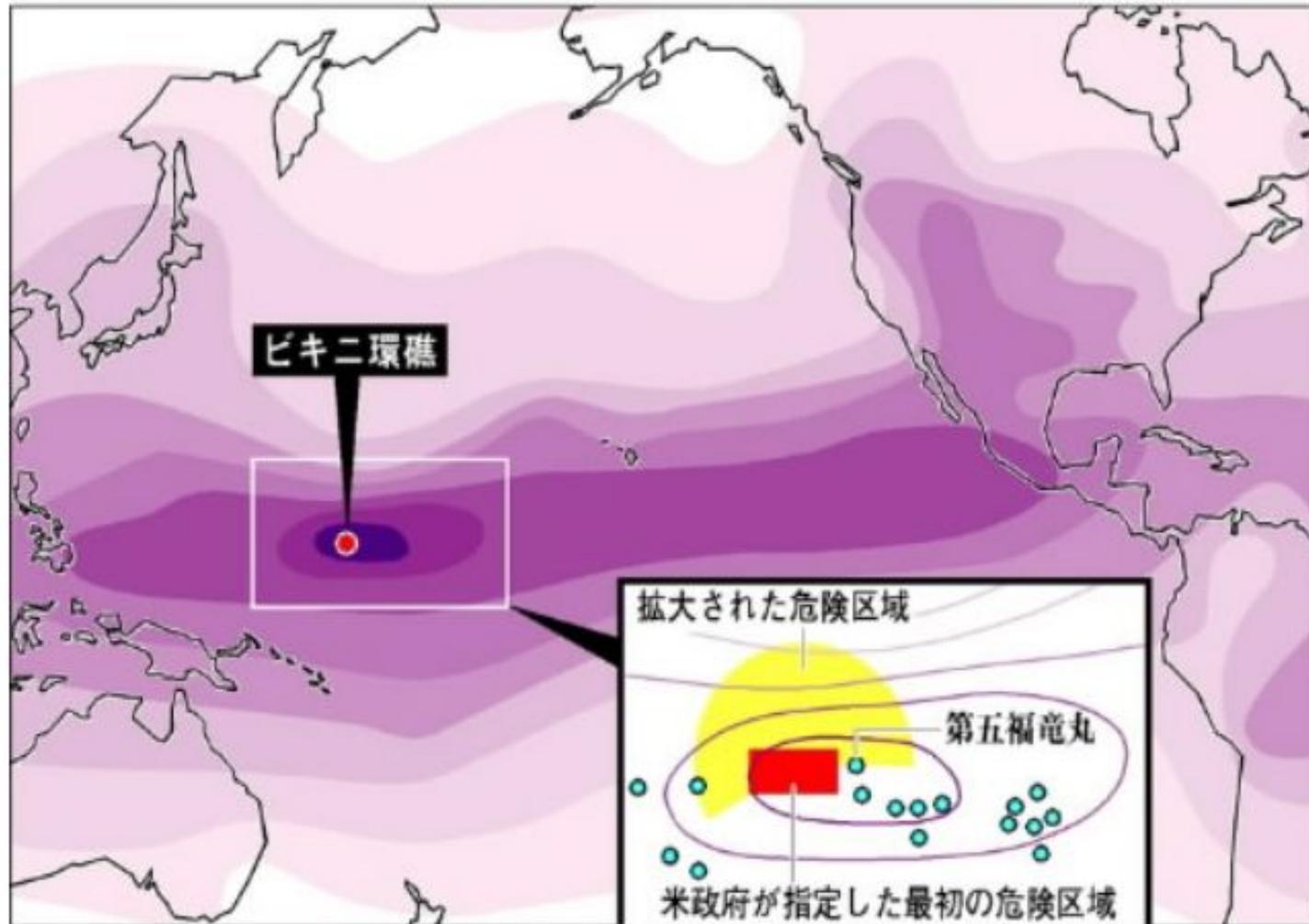
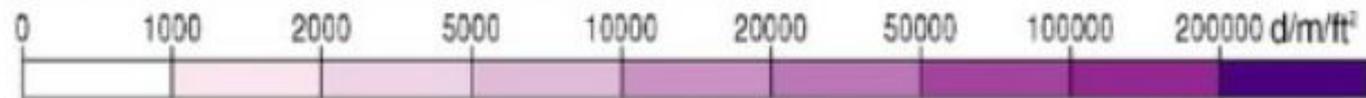
大瀧 慈、星 正治

高橋博子

野口邦和

NHK

6回の爆発による放射性降下物の総量 (1954年7月1日時点、米公文書から作成)



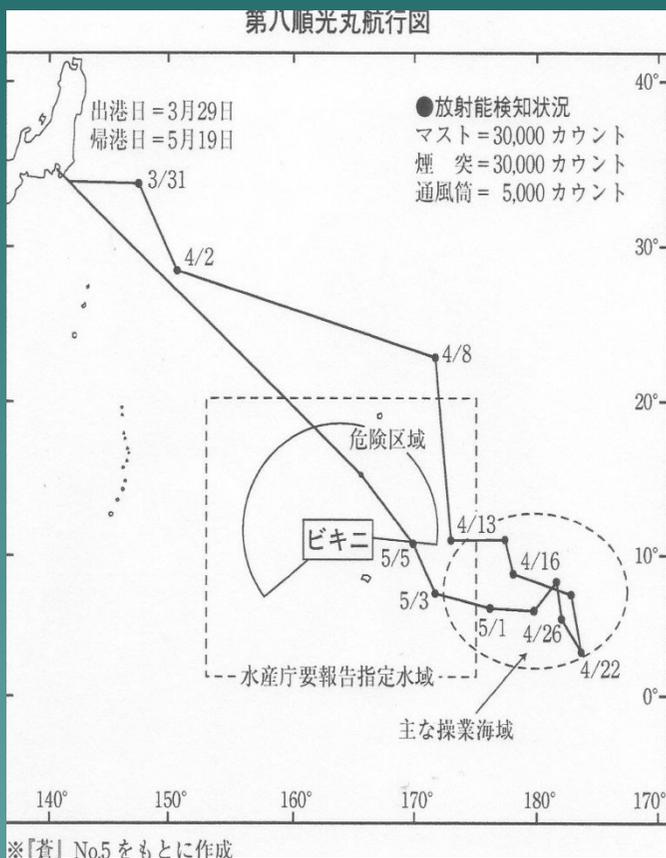
● 船体に放射能があった船の操業地点 ※東京都の報告書から作成

まぐる漁船の操業航行図

マーシャル諸島海域—往路・復路(28日) 操業(20日前後)

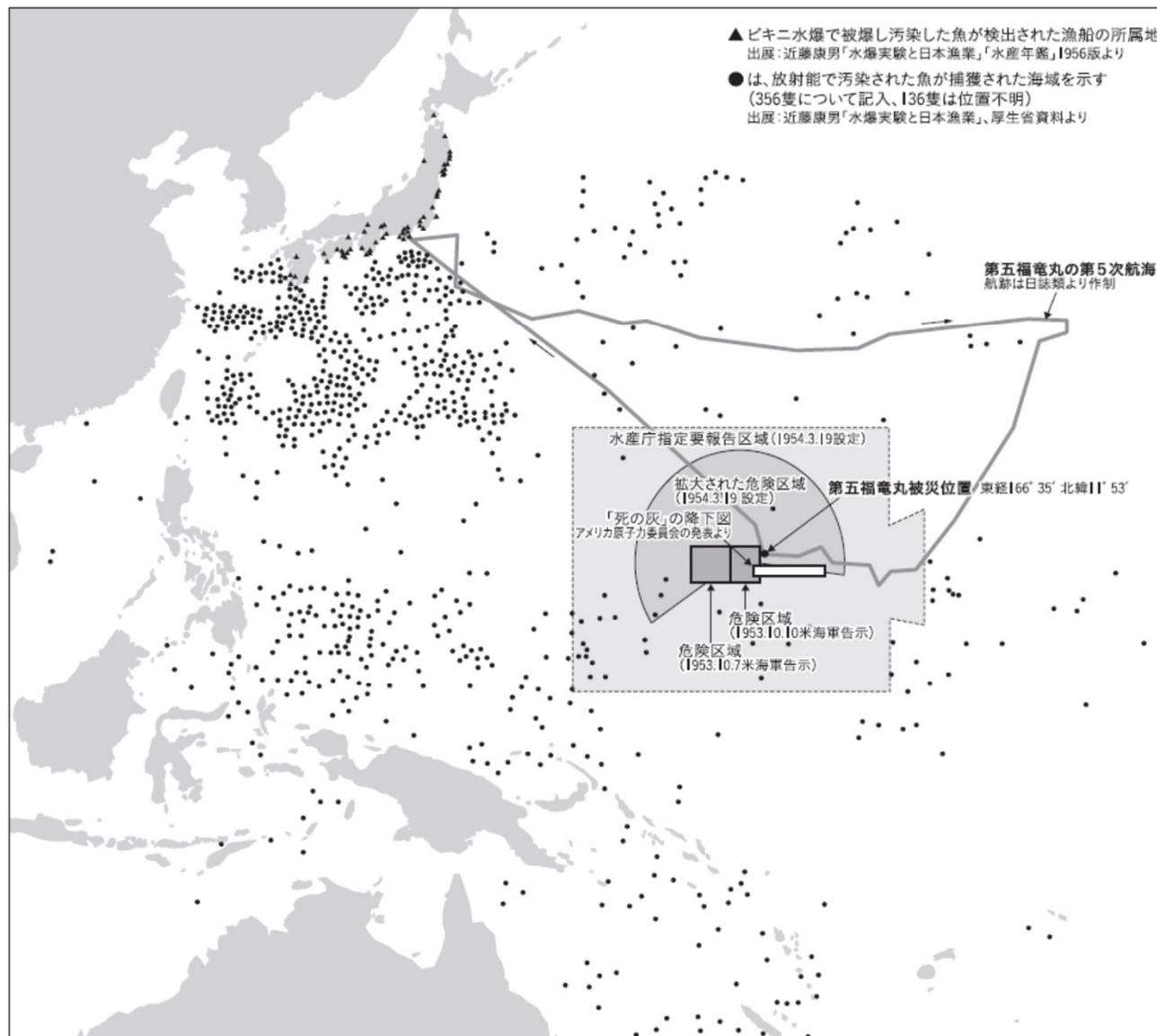
第8順光丸

第2幸成丸

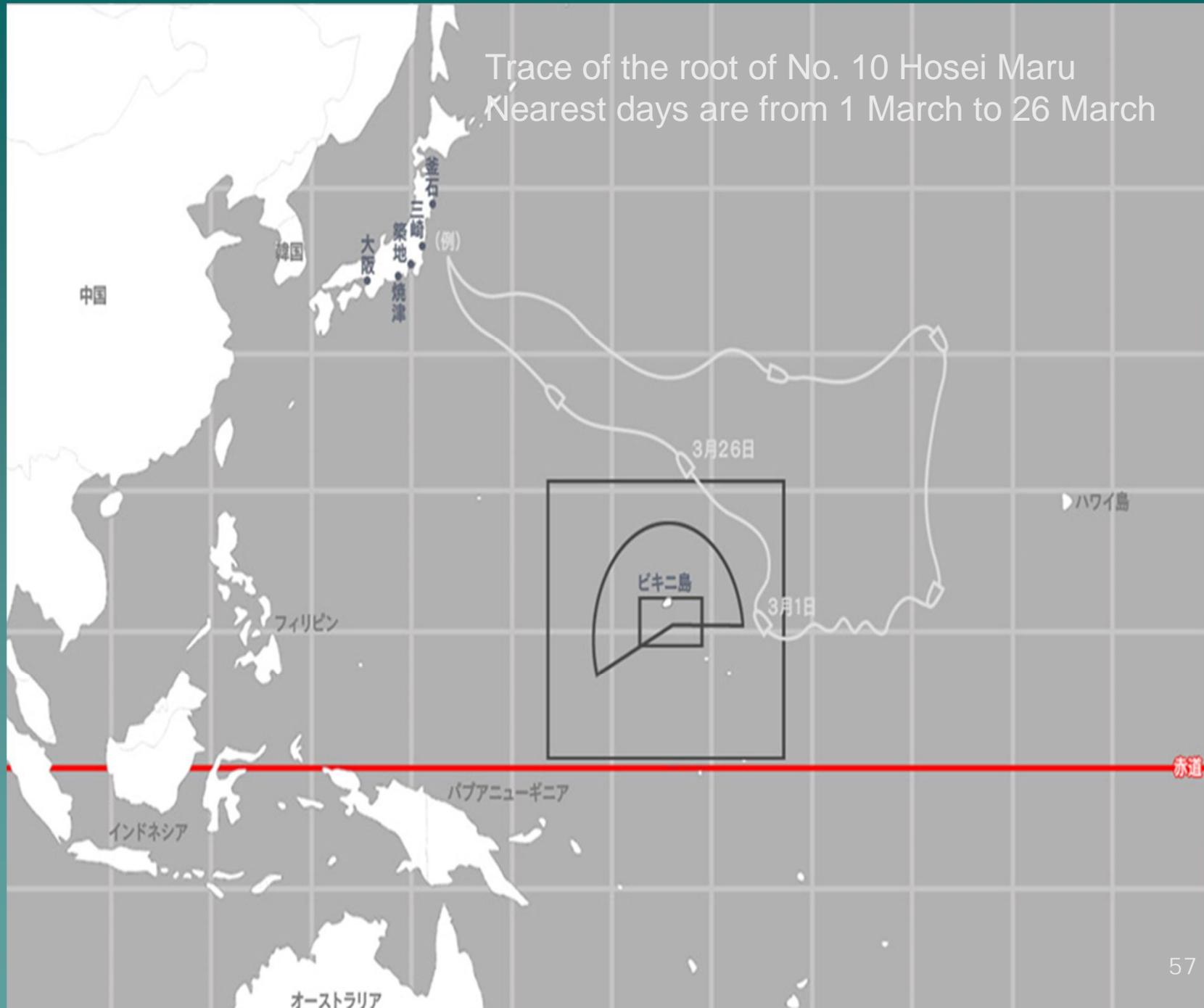


汚染されたマグロが捕獲された位置

図1 太平洋の広い海が放射能で汚染された



Trace of the root of No. 10 Hosei Maru
Nearest days are from 1 March to 26 March



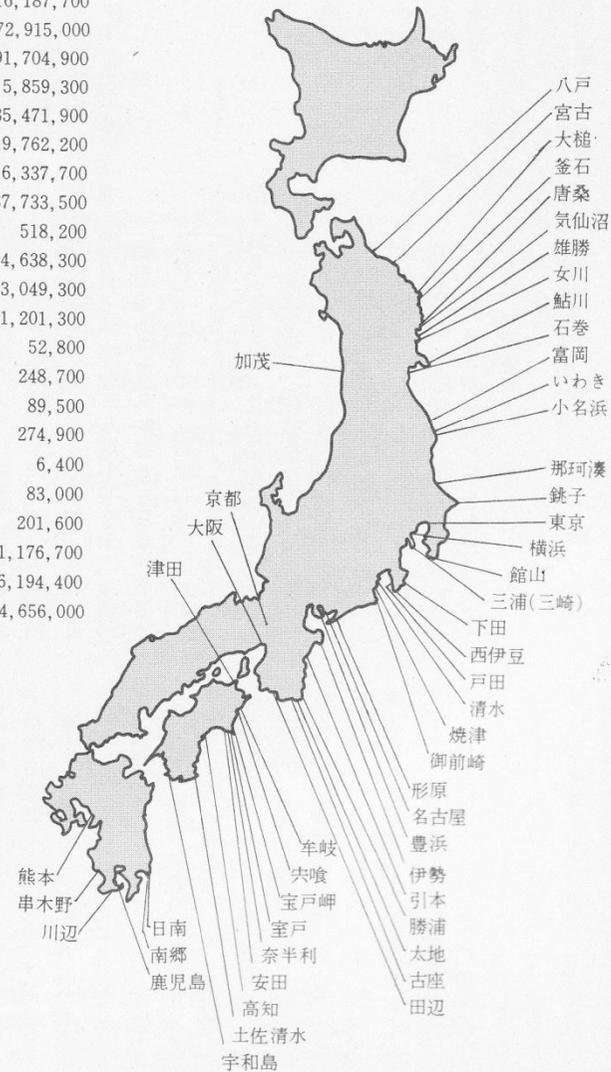
第五海福丸(室戸船籍 157トシ) 乗組員名簿

(死亡、 生存、 不明)
 死亡12人—
 死因(がん6、心筋梗塞1、胃潰瘍1、
 病死3、事故1)
 生存者8人
 (胃潰瘍手術1、脳手術1、認知症2、
 結核1など)
 不明者3人
 = 2012年2月現在

名前	役職	生年月日	住所	症状、没年月日など
	漁労長	(74歳)	室戸市	心筋梗塞(1984.12.27死亡)
	船長	(57歳)	徳島県海陽	66年吐血胃潰瘍手術 肝臓がん、 死亡。
	機関長	(49歳)	室戸市	34、35年前に腎臓がん死亡。
	操機長	82歳	土佐清水市	体の痛み 56年結核1年療養 糖 尿病
	通信長	82歳	広島市中区	実験時乗船かどうかは要確認
	甲板員		黒潮町佐賀	08年に電話止まる
	甲板員		室戸市	甲状腺肥大 がん死亡
	甲板員		神戸市	01年脳に水、手術、脊椎圧迫
	甲板員		土佐清水市	胃潰瘍 5、6回手術死亡
	甲板員		土佐清水市	病気、死亡、
	甲板員		土佐清水市	腸がん、死亡
	甲板員	(21歳)	土佐清水市	ケンカで刺され21歳のころ死亡
	甲板員	82歳	徳島県海陽	足に動脈瘤、アルツハイマー
	甲板員		徳島県海陽	
	甲板員		室戸市	奈良県在住、
	甲板員		室戸市	認知症で施設入所
	機関員		安芸市	リューマチ 肋骨変形 甲状腺
	機関員	78歳	宿毛市	肩張り、リンパ腺がん死亡
	機関員	78 歳	室戸市	当時、めまい、胃潰瘍手術
	コック長	(69歳)	土佐清水市	胃がんで死亡
			高知市	長期入院、二十回手術(骨)か
	機関員		室戸岬町	心臓病、白血球少ない。
			長崎出身	

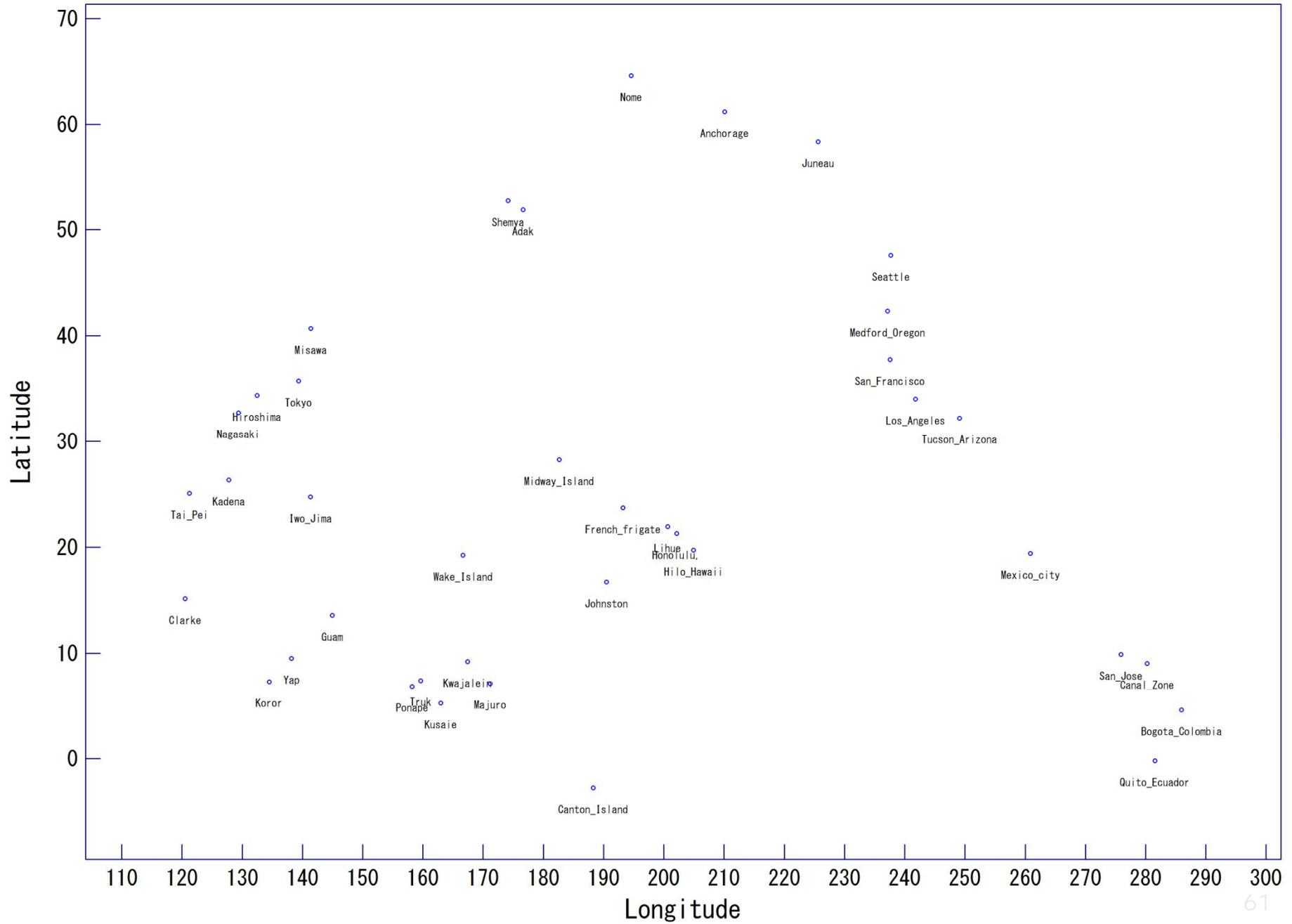
ビキニ水爆被災漁船の所属地全国分布および慰謝料配分額

都道府県別	慰謝料額
青森	2,570,300
岩手	14,034,100
宮城	44,403,900
福島	5,573,600
茨城	9,419,400
千葉	17,947,400
東京	16,187,700
神奈川	172,915,000
静岡	91,704,900
愛知	5,859,300
三重	35,471,900
和歌山	19,762,200
徳島	6,337,700
高知	87,733,500
長崎	518,200
宮崎	4,638,300
鹿児島	23,049,300
北海道	1,201,300
秋田	52,800
大分	248,700
岡山	89,500
香川	274,900
福岡	6,400
熊本	83,000
大分	201,600
不登簿	1,176,700
その他保留	16,194,400
合計	584,656,000



(参考資料・近藤康男『水爆実験と日本漁業』、『水産年鑑』1956年版)

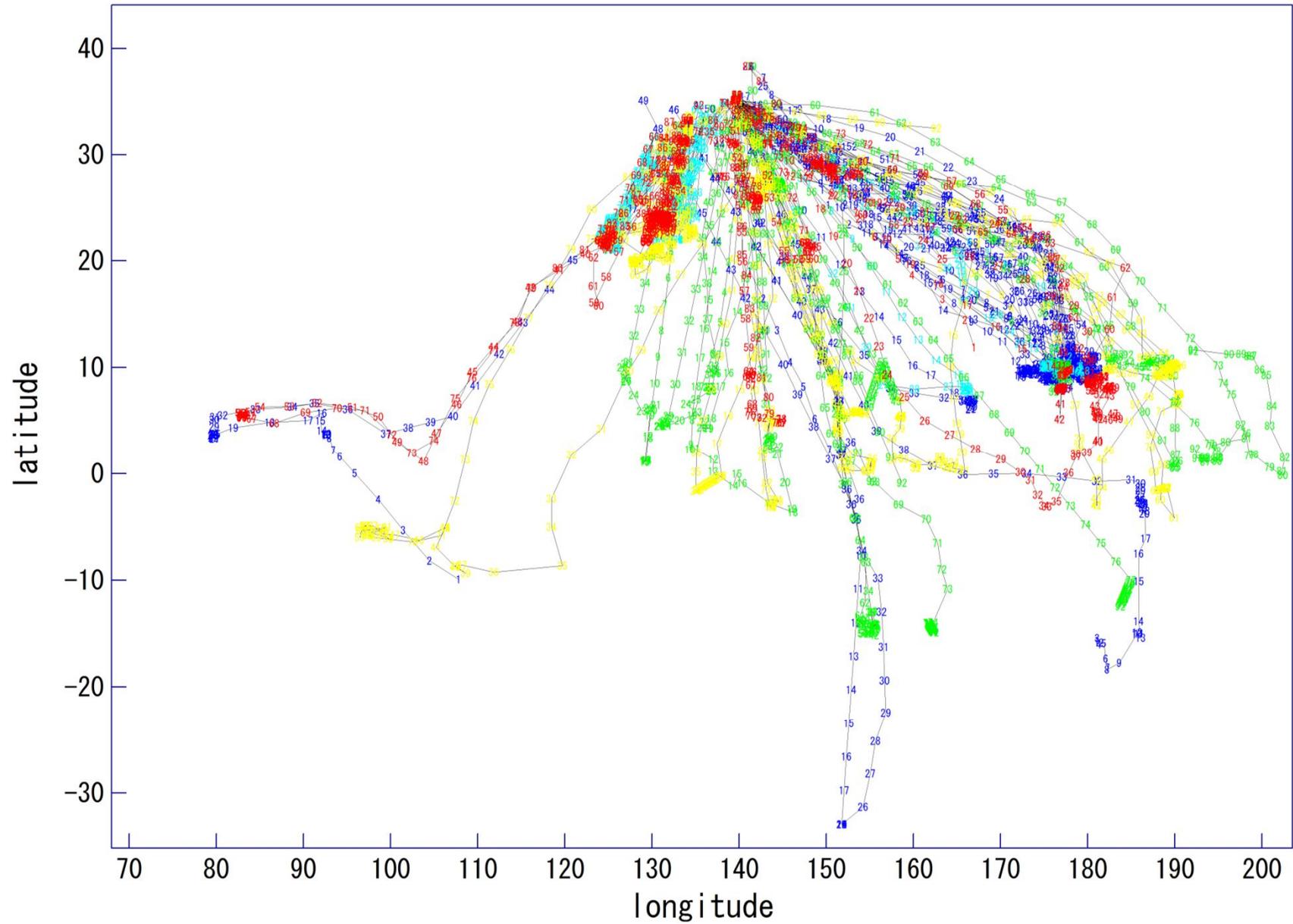
Post_Location2.csv



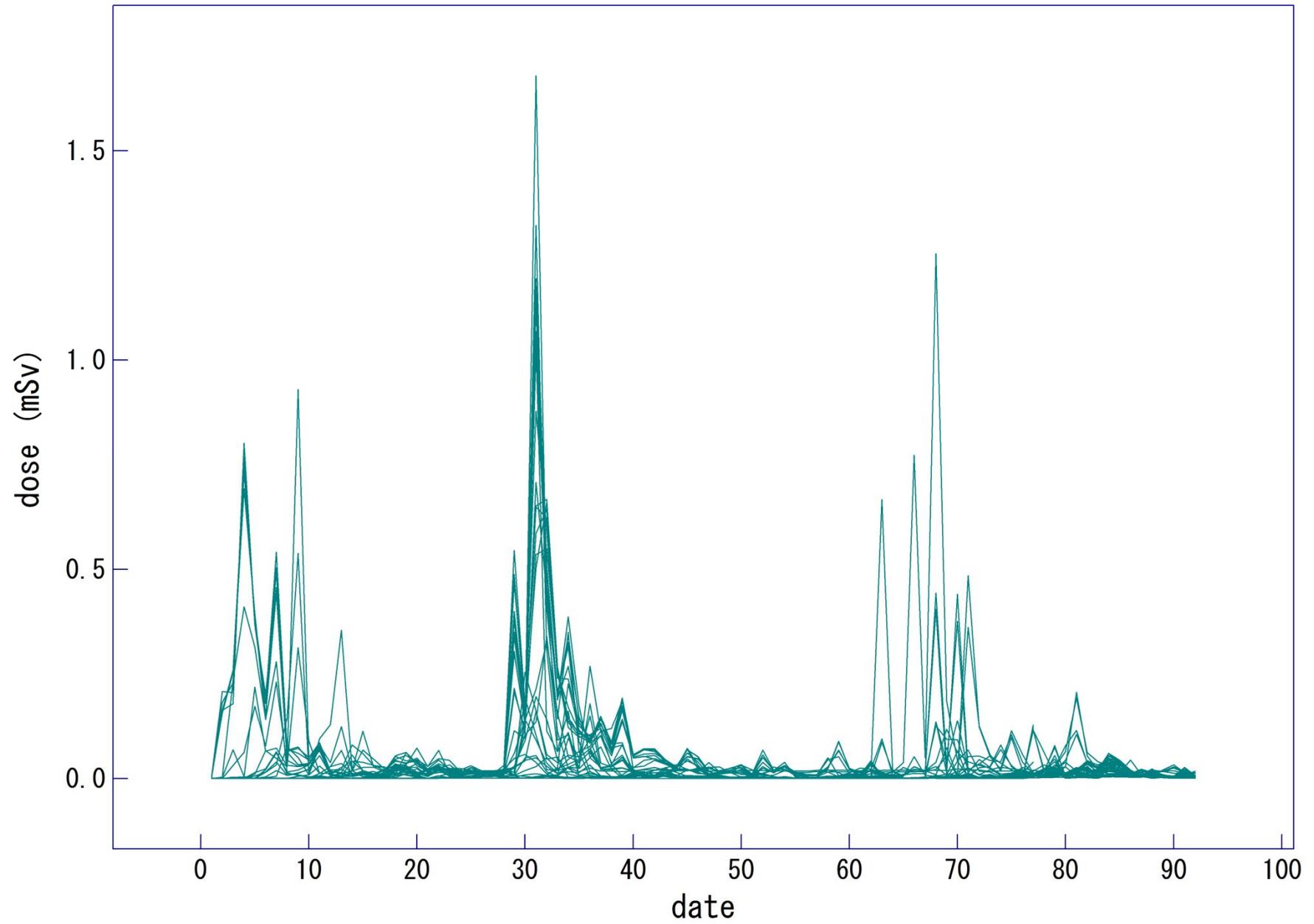
ポスト毎に測定された放射線強度データ(D値)

sid	pid	pcd	date	lat	long	data	data1	pname	date d
1	1	401	1	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月1日
4	1	401	4	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月4日
5	1	401	5	47.6	237.67	0.00	1.0	Seattle	3月5日
6	1	401	6	47.6	237.67	0.00	1.0	Seattle	3月6日
8	1	401	8	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月8日
9	1	401	9	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月9日
10	1	401	10	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月10日
11	1	401	11	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月11日
12	1	401	12	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月12日
13	1	401	13	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月13日
14	1	401	14	47.6	237.67	0.48	3.0	Seattle	3月14日
15	1	401	15	47.6	237.67	0.70	5.0	Seattle	3月15日
16	1	401	16	47.6	237.67	0.00	1.0	Seattle	3月16日
17	1	401	17	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月17日
18	1	401	18	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月18日
19	1	401	19	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月19日
20	1	401	20	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月20日
21	1	401	21	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月21日
22	1	401	22	47.6	237.67	-1.00	0.1	Seattle	3月22日
23	1	401	23	47.6	237.67	1.72	52.5	Seattle	3月23日
24	1	401	24	47.6	237.67	0.70	5.0	Seattle	3月24日
25	1	401	25	47.6	237.67	0.60	4.0	Seattle	3月25日
26	1	401	26	47.6	237.67	0.30	2.0	Seattle	3月26日
27	1	401	27	47.6	237.67	0.95	8.9	Seattle	3月27日
28	1	401	28	47.6	237.67	2.27	186.2	Seattle	3月28日
29	1	401	29	47.6	237.67	0.90	7.9	Seattle	3月29日
30	1	401	30	47.6	237.67	0.60	4.0	Seattle	3月30日
31	1	401	31	47.6	237.67	1.08	12.0	Seattle	3月31日

TRACES OF TUNAFISHING BOAT SAILINGS (March 1 – May 31, 1954)



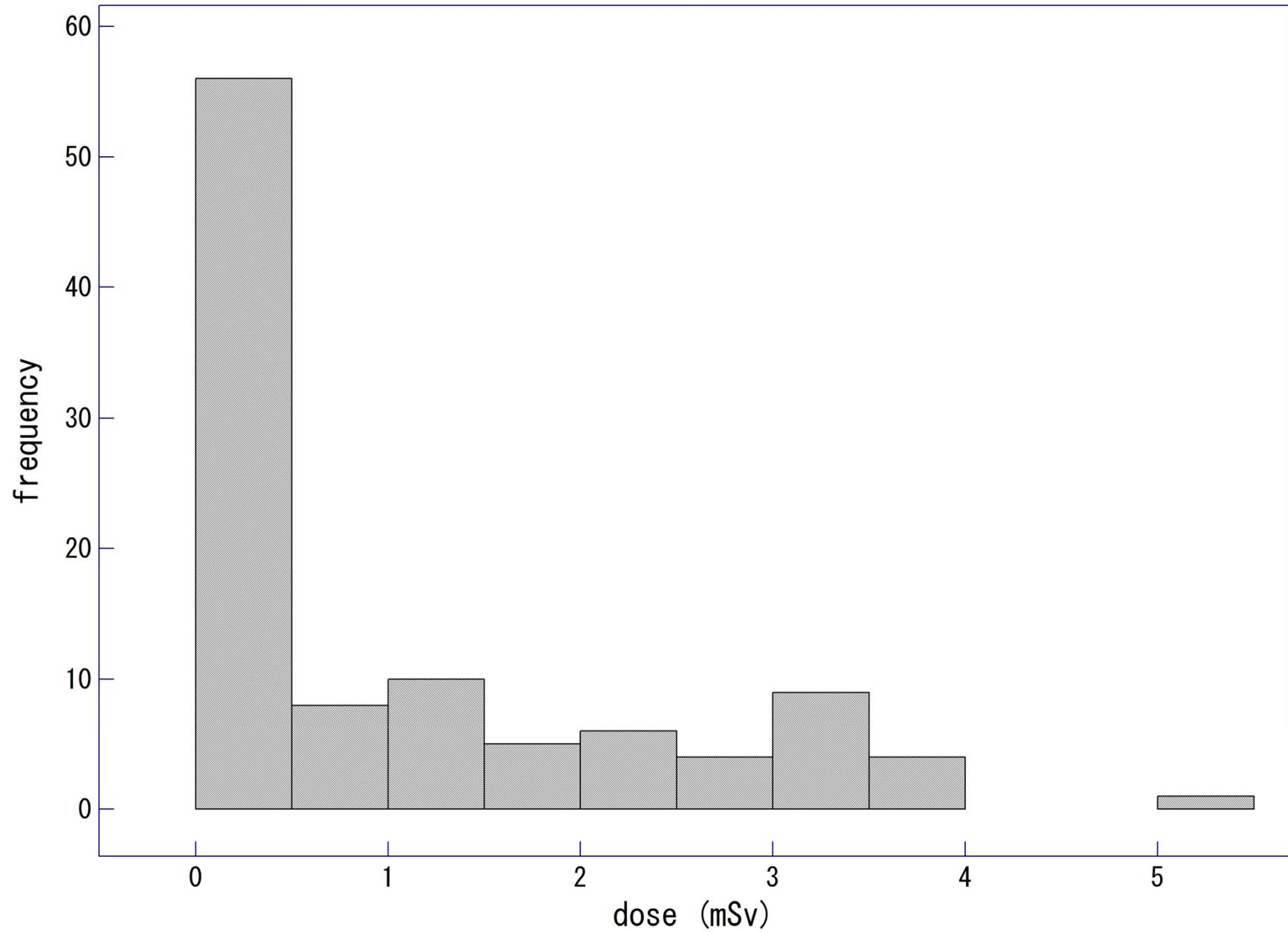
SHIP-SPECIFIC ESTIMATED DAILY DOSE



船毎の放射線被曝線量の推定結果 (mSv)

AID	NC	NS	SA	SB	DOSE	S DATE	SNAME
1	1	1	7494.9	15629.9	2.250706	1	第十二宝幸丸
2	2	2	17449.9	23738.3	3.418315	1	尾形海幸丸
3	3	3	1328.7	1559.4	0.224554	36	第二興洋丸
4	4	4	1352	1573.1	0.226526	36	第三興洋丸
5	5	5	20455.8	24596.1	3.541838	8	孝勇丸
6	6	6	21085	24231	3.439264	9	地洋丸
7	7	7	18330.4	22757.7	3.277109	16	第二栄丸
8	8	8	15709.6	22790.3	3.231803	15	第二大慶丸
9	9	9	21526.3	25265.2	3.638189	12	第二成洋丸
10	10	10	12473.4	22910.5	3.299112	1	瑞洋丸(1)
11	11	11	16857.7	23923.1	3.444926	6	第七明神丸
12	12	12	9015.2	14162.7	2.039429	6	第二吉祥丸
13	13	13	10629.7	14085.7	2.028341	1	靖川丸
14	14	14	10737.8	11308.9	1.628482	1	第十一福生丸(1)
15	15	15	648.3	832.1	0.119822	1	第十二海王丸(1)
16	16	16	17636.4	24626.1	3.546158	5	第一金比羅丸[a]
17	17	17	19174.1	24390.3	3.512203	15	第五明賀丸
18	18	18	1146.7	1376.3	0.198187	36	凶南丸
19	19	19	23533	35885.3	5.167483	1	第十一高知丸
20	20	20	10932.9	13915.8	2.003875	1	第十二高知丸

HISTOGRAM OF ESTIMATED SHIP-SPECIFIC DOSE



その2

ビキニ環礁水爆実験遭遇漁船員の リンパ球の染色体異常—最終報告

田中公夫(広島大学、公財環境科学技術研)



第五福竜丸展示館にて

1954年3月～5月米国 水爆実験キャッスルテスト

実験日	場所	種類	大きさ
3月1日	ビキニ環礁	地上	15 メガトン以上
3月27日	ビキニ環礁	水面	10 メガトン以上
4月7日	ビキニ環礁	地上	110 キロトン
4月26日	ビキニ環礁	水面	7 メガトン近く
5月5日	ビキニ環礁	水面	10 メガトン以上
5月14日	ユニウエスト環礁	水面	2 メガトン以下

目的

ビキニ環礁でのビキニ被ばくに遭遇した漁船員の健康影響調査は福竜丸以外の漁船では全く調べられていない。健康影響を把握するためにはまず被ばくの程度と被ばく線量を知る必要がある。

調査対象者と方法

1954年3月-5月に米国が行ったビキニ環礁核実験、キャスルテストに遭遇した漁船特に3月1日～5月末までの実験時に危険海域、水産庁指定海域近郊を航行した漁船等の船員

・漁船員：男性、19名 漁船8隻（第八順光丸 第五海福丸、第二幸成丸、第五明賀丸、第一金毘羅丸、第十宝成丸 第七大丸、第二明神丸）

と貨物船1隻（弥彦丸） 現居住地：室戸、土佐清水、三浦、石巻、気仙沼 等
採血時の年齢は76歳～89歳、がんの病気の者は除く。

・比較対照者：同年齢、同じ生活環境にある高知県の（室戸市）在住者、
男性、9名、75歳～84歳、漁業関係者が多い

・医療被ばく：CT検査、胃透視検査受診のある者多いが、最近1年内の者はいない。

方法：リンパ球の染色体異常の検査 転座型異常、二動原体、環状染色体異常

ビキニ被災船員への当時の事件の聞き取り調査

1954年(昭和29年)3月1日のビキニ環礁での実験時の事を御尋ねします。

- ・操業されていた漁船の名前：
 - ・ご自身の職種(甲板員、機関員、通信員、コックなど)
 - ・操業中の船上でビキニ環礁実験によるきのこ雲を見ましたか。
 - ・操業中の船上でビキニ環礁実験時に空から灰が落ちてきましたか。
 - ・ご自身は灰を浴びましたか。
- ・ビキニ水爆実験時の日本出港と遭遇時の位置、帰港した港までの航路を教えてください。
 - ・同僚の漁船員のその後の動向、り患した病気や死亡年齢など
- ・操業中にビキニ環礁実験に遭遇した時にカッパを着用していましたか。
 - ・帰港後、船体、船、人体の検査を受けましたか。
 - ・その結果はどうでしたか。

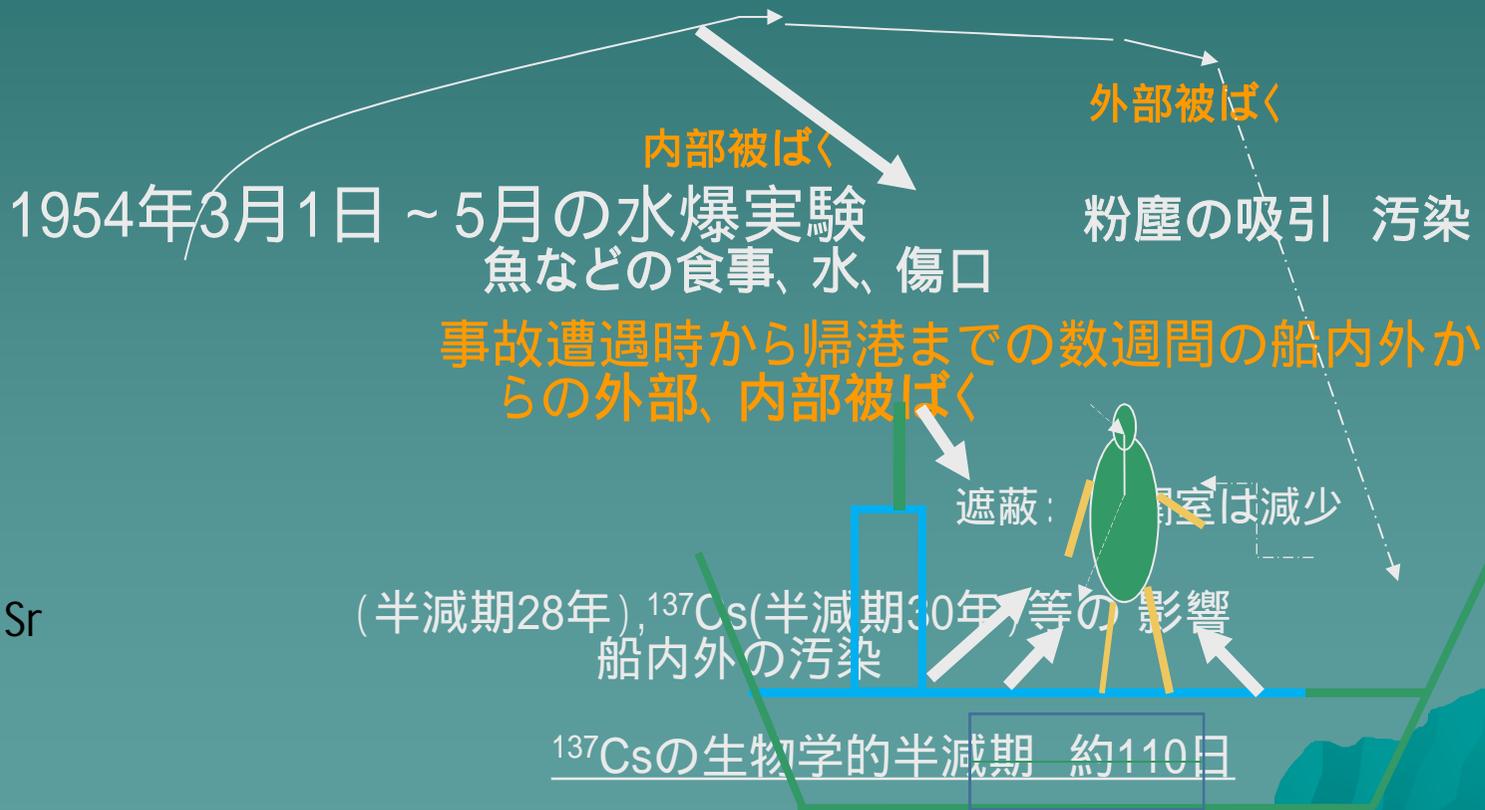
・回答：

- ・閃光を見た 0名
- ・船上に少し白い灰が降った。 2名
- ・キノコ雲を見たような気がする 1名
- ・スクロール時に黒い雨に会った 0名
- ・漁港に帰還後、衣服(カッパ)、船室内外の放射能汚染 あり 19名全員
- ・収穫した魚の汚染で廃棄した記憶あり 19名全員
- ・本調査対象者には急性症状を呈した者はいない。
- ・一部の船には同僚の船員に急性症状があった記録がある。
- ・同僚の漁船員が40-50代の早期に死亡したという漁船もある。

ビキニ環礁水爆実験に遭遇した漁船員の被ばく様式

水爆実験により大量の放射線物質が放出
 Xe , ^{131}I , ^{133}I , ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr 等

100 - 1000 km圏内
放射性物質を含む雲 (plume)の移動



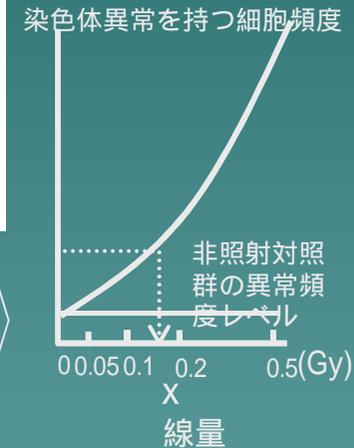
< 染色体解析 >

放射線被ばく者のリンパ球の染色体異常頻度から被ばくの影響と被ばく線量を推定する方法

過去に被ばくをした人体内の細胞は、被ばく後も長い間、染色体異常を保持する。この性質を利用する。

G-バンド法、FISH法を用いる。転座、二動原体異常などを顕微鏡で約1000個の染色体画像解析による異常の検出

染色体異常頻度 - 線量効果の標準曲線



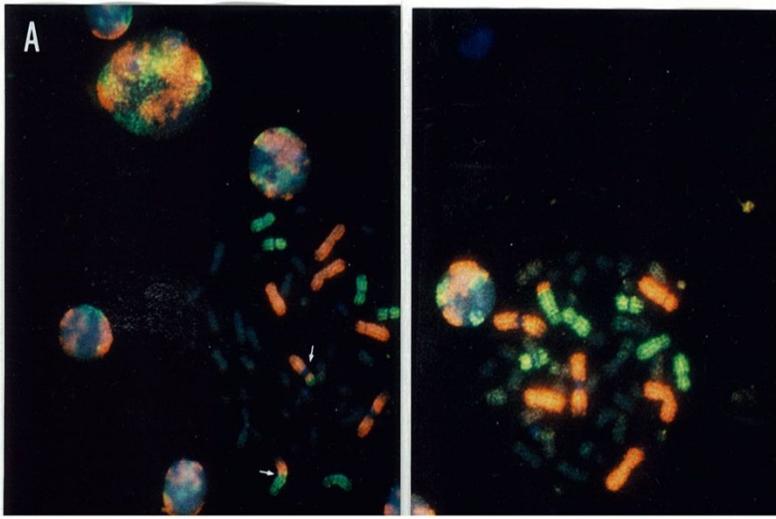
PHA添加してリンパ球を刺激して培養 48時間 37度C

培養細胞の回収・染色体標本の作製

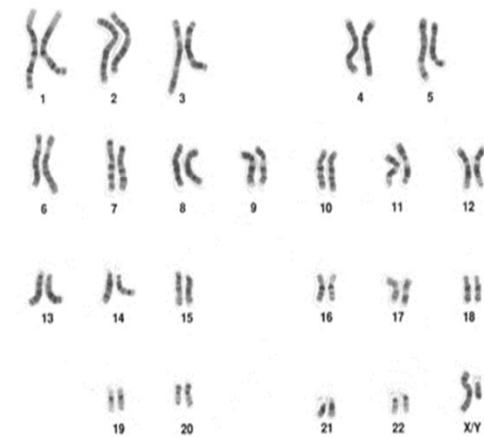
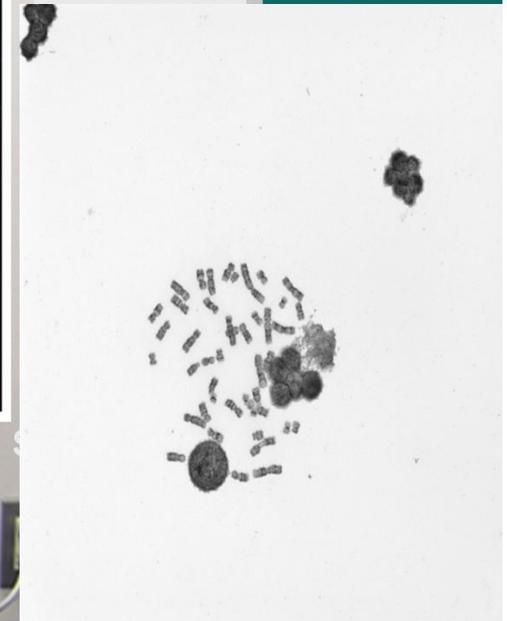
染色体異常を持った細胞の頻度から、被ばくの有無と被ばく線量Xを推定する。

ヘパリン添加で末梢血を10ml採取 全血培養

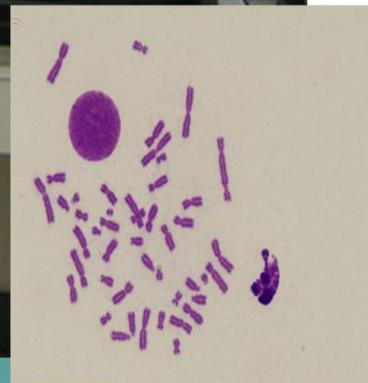
染色体分裂像
自動探査装置
(メタフェース
ファンダー)



転座型
異常

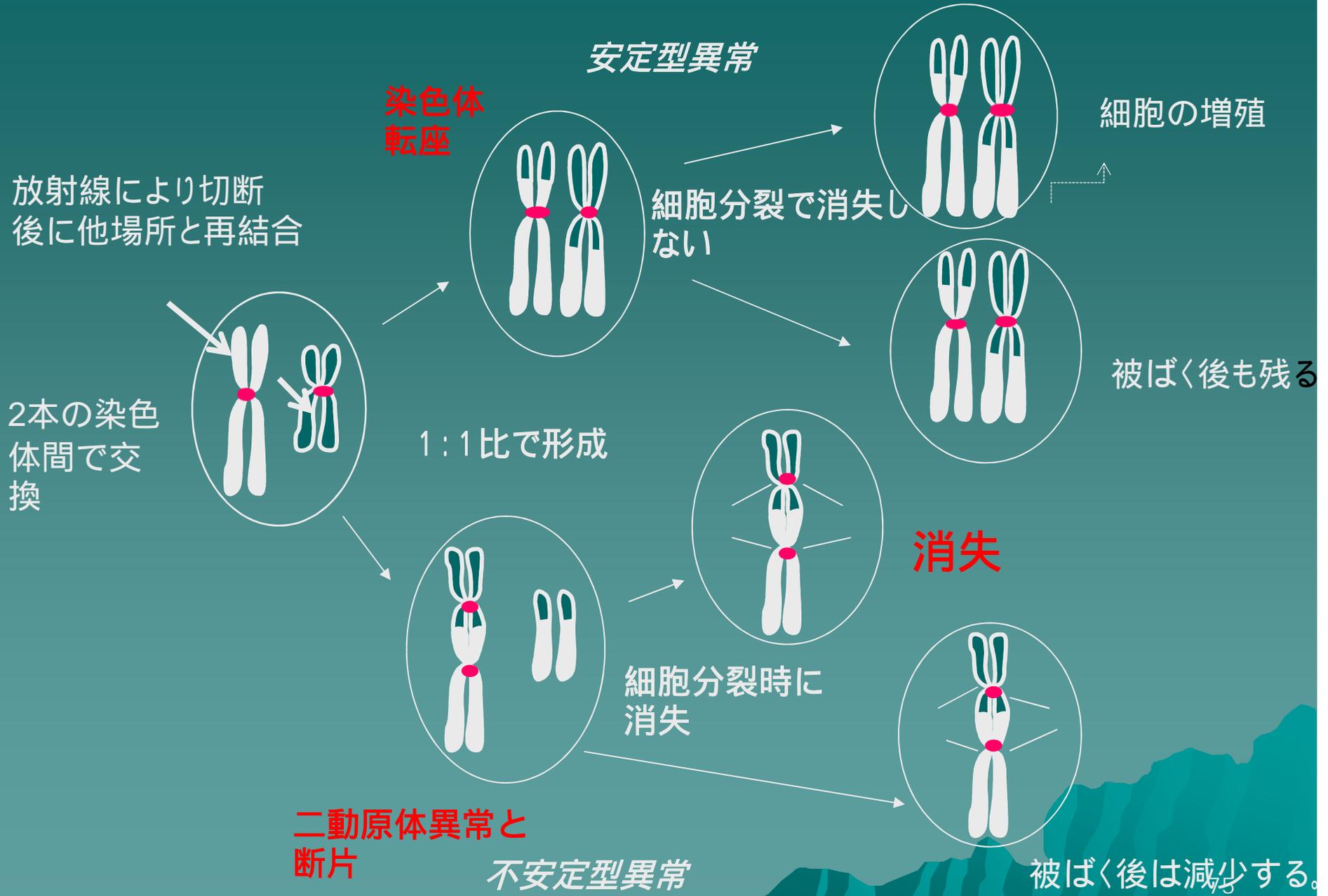


Gバンド法によるヒトの染色体(男性)

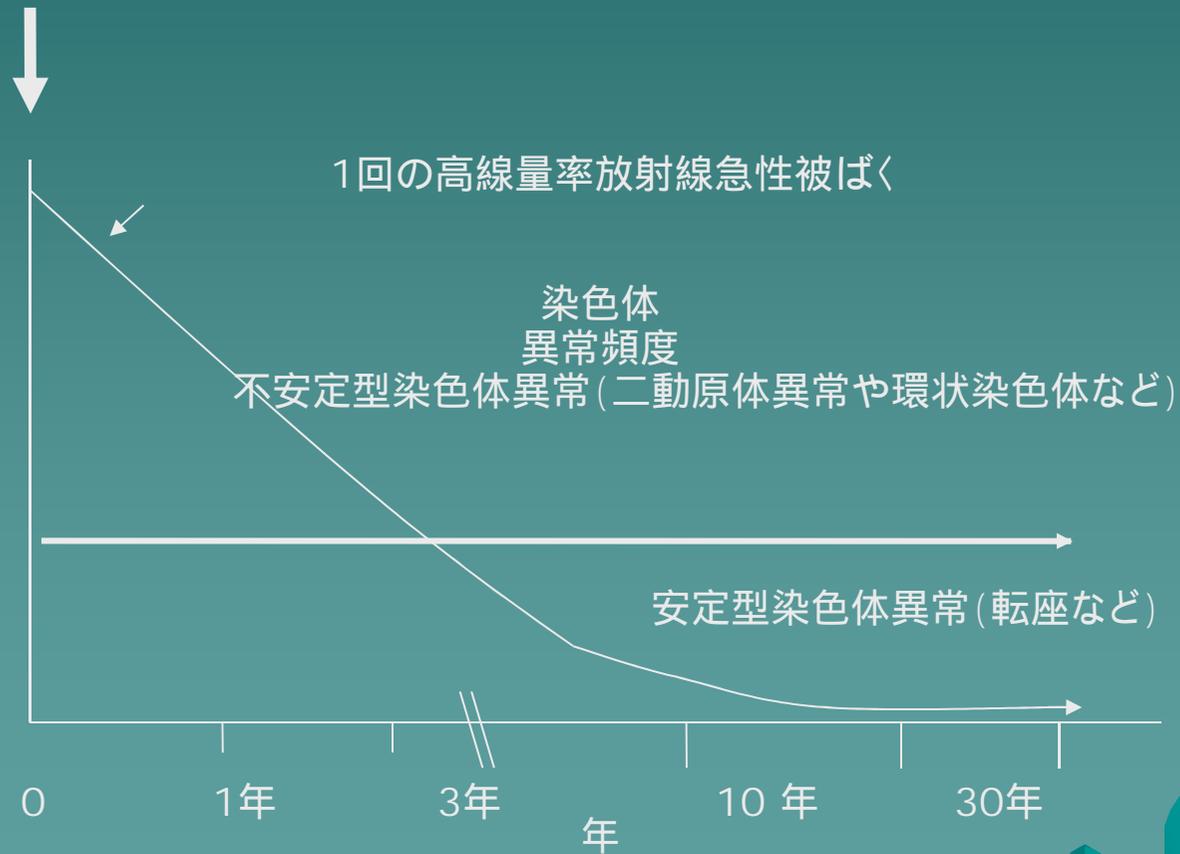


放射線被ばくで生じる染色体異常

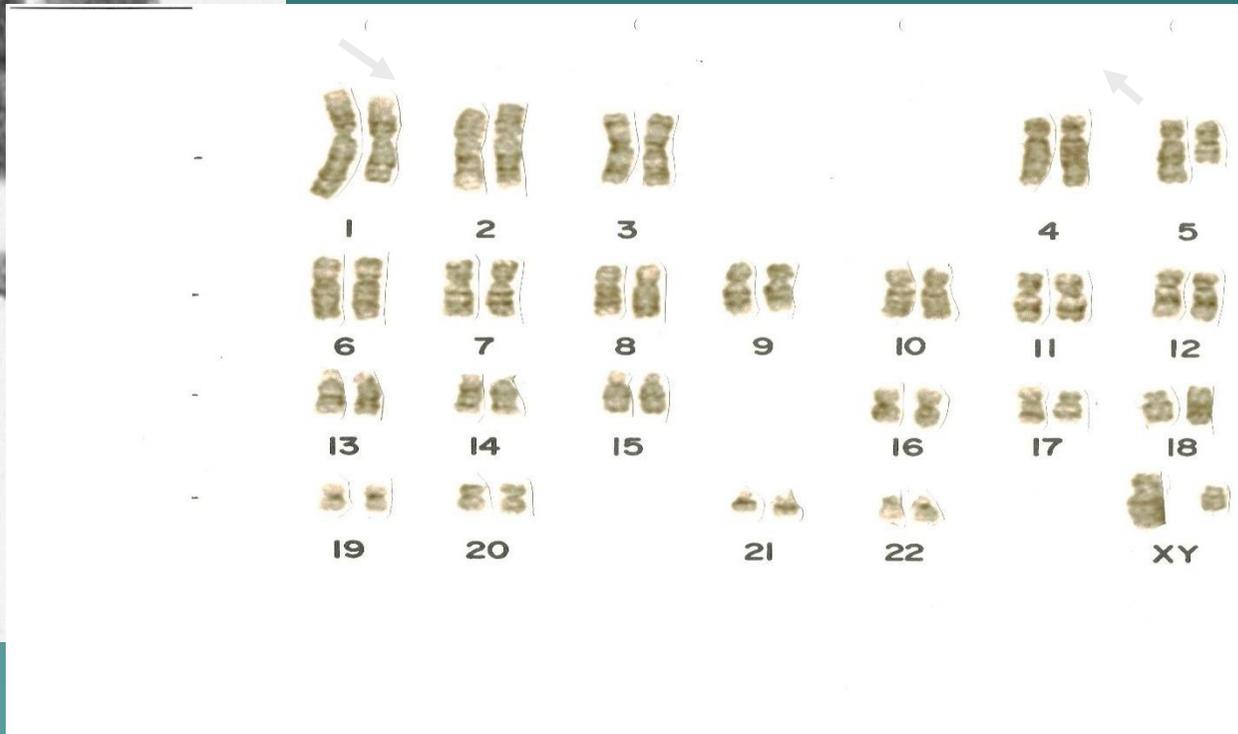
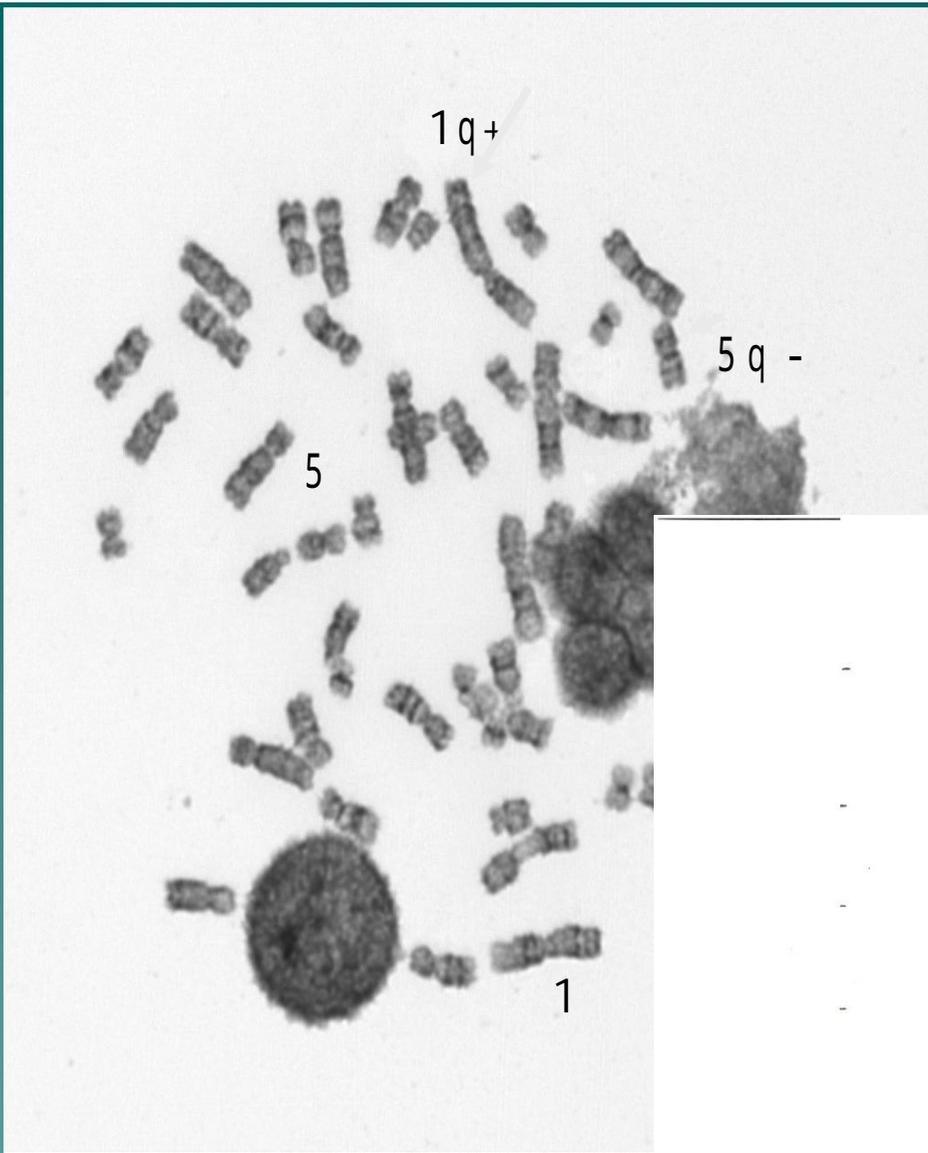
クローンの形成



放射線被ばく線量推定に用いる染色体異常の性質 (原爆被爆者や放射線治療患者の調査から)



転座 t(1q+;5q-)



水爆実験遭遇船員のおよその被ばく線量の推定

(*ABS93Dより)

船 No.	船名	被ばく距離 (km)	二動原体個数 (100細胞あたり)	<i>In vitro</i> 照射曲線からの推定	安定型異常細胞の頻度(%) (対照群との差)	原爆被爆者の物理線量・染色体異常頻度 関係式*から推定	Qdr法 (Dic+frag)/Cu
1	第八順光丸	420	0.06	N.D.	2.72	295 mSv	
2	弥彦丸	569	0.37-0.49	82、112 mGy	1.14、1.15	118、164 mSv	
3	第五海福丸	760	0.22	44 mGy	0.73、1.36	72、143 mSv	
4	第二幸成丸	1000	0.14-0.4	24-90 mGy	0.67、0.76	65、75 mSv	
5	第五明賀丸	1100	0.16	29 mGy	1.35	142 mSv	
6	第一金毘羅丸	1100	0.37	82 mGy	0.5	46 mSv	
7	第十宝成丸	1100	0.09-0.37	11、82 mGy	1.19、1.52	124、161 mSv	
8	第七大丸	1200	0.76	177 mGy	1.51、1.66	160、176 mSv	
9	第二明神丸	1200	0.21	42 mGy	0.35	39 mSv	
全員	19名平均値		0.25	52 mGy	0.9	91 mSv	約100 mGy

まとめ

1. 安定型異常(転座型異常など)と二動原体染色体異常ともに異常頻度は対照群と比べて有意に高い。
2. 安定型異常頻度より、平均で90 mSv相当の被ばくが考えられる。
3. クローン性の異常が被災船員群のみ3名に見られる。
4. 船内の個人間でも異常頻度の差が大きい。例:甲板員と機関員
5. 複雑な異常が対照群よりも多い傾向があるが、有意ではない。
-----高エネルギー放射線の影響があるのかも?
6. 実験場により近い船の船員ほど異常頻度は高い。
しかし、1000km以遠でも高い船、船員がいる。
7. 福竜丸の漁船員での異常頻度と比べ違いはどの程度か?
8. 被験者には異常頻度の持つ意味の適切な説明が必要。

調査研究協力者

- ・内田脳神経外科 理事長 内田 泰史
- ・高知医療生協四万十診療所 所長 佐沼 興一
- ・浜北医療生活協同組合 生協きたはま診療所所長 聞間 元
- ・太平洋核被被災支援センター 山下正寿

その3

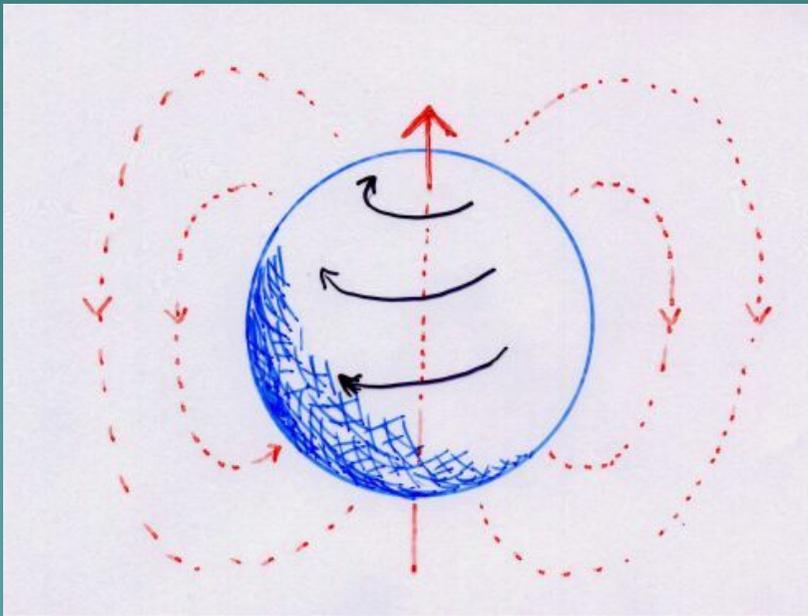
ビキニ水爆実験による日本人漁船員 のESR被曝線量計測

豊田 新
岡山理科大学

E S R (電子スピン共鳴)とは

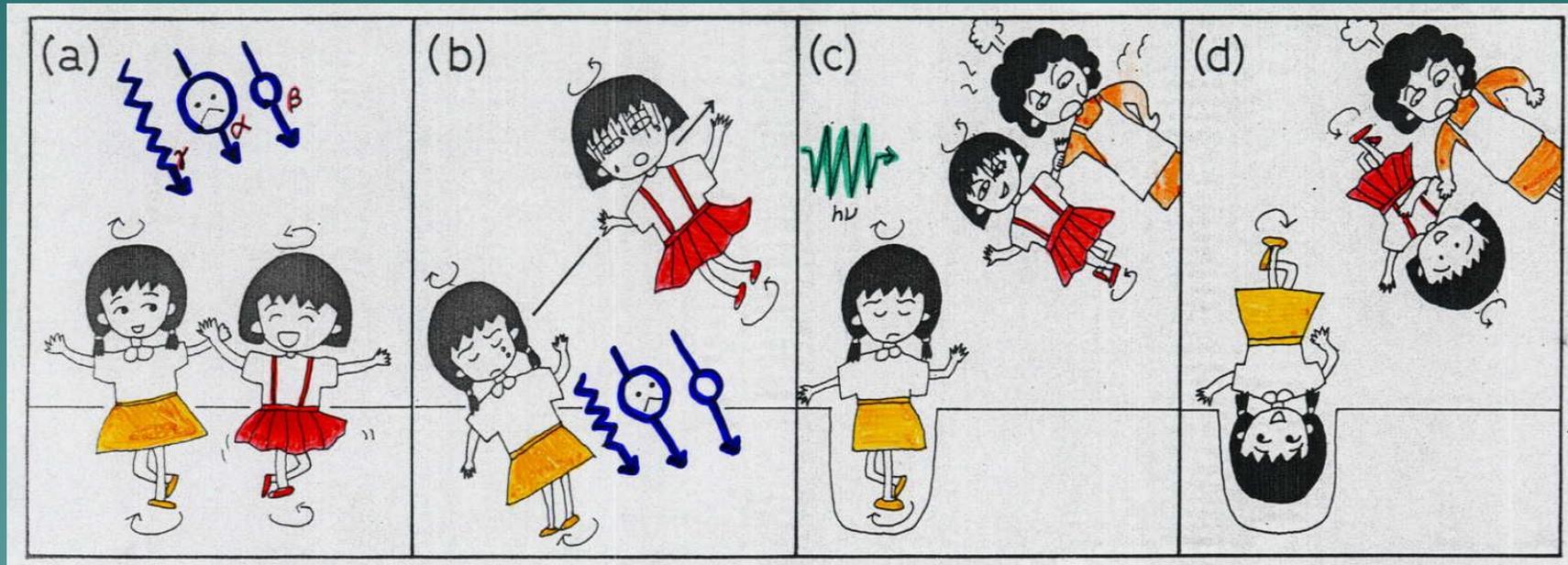
不対電子のゼーマン効果を利用して、

不対電子を検出する。



電子はスピン(回転)しているため、小さな磁石とみなすことができる。

ESR年代測定・線量計測の原理



電子スピン共鳴

(ESR, electron spin resonance)

不対電子を検出

自然放射線

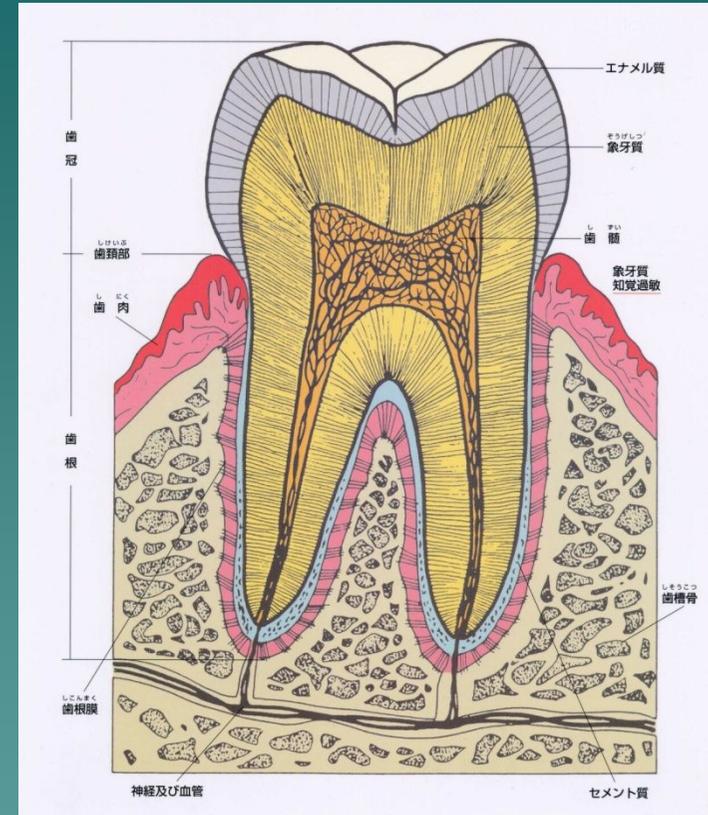
事故放射線

年代測定

線量計測

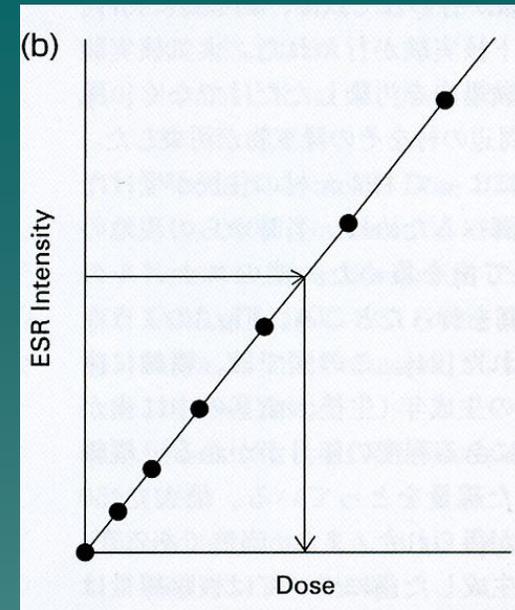
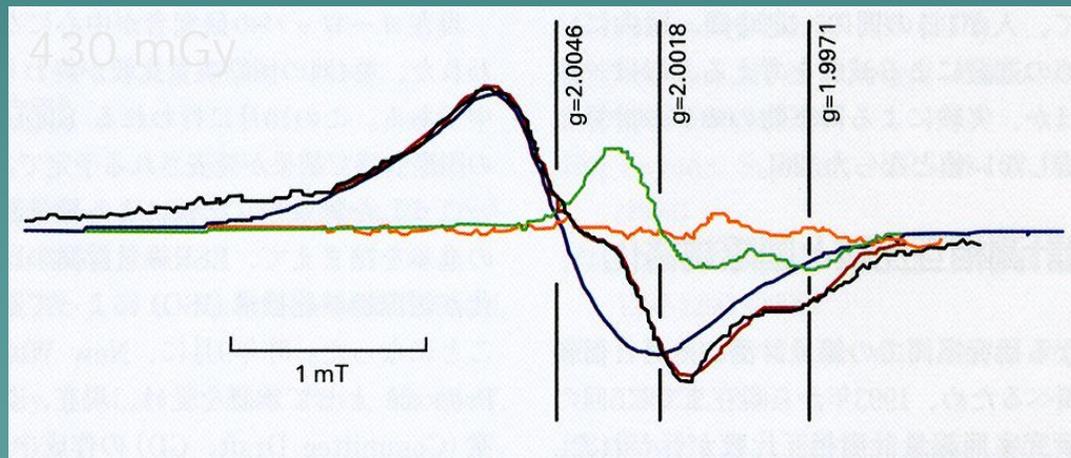
歯のエナメルを用いたESR線量計測

結晶性の良いヒドロキシアパ
タイト $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
感度の高いESR線量計素子
放射線によって CO_2^- ラジカ
ルを生成
100万年のスケールで安定
蓄積被曝線量を計測できる。



ESR計測法 Method of ESR dosimetry

線量応答信号の分離
標準試料を用いた校正直線へのあてはめ
Detection limit: 30mGy
(Romanyuka et al., 2006)



:測定されたESRスペクトル
:有機ラジカルの信号成分
:CO₂-信号の成分

:測定スペクトルと再
構成したスペクトル
の残差

電子スピン共鳴装置 (ESR)

測定条件

Mn=550

Power 2 [mW]

Center Field=336.000[mT],Width+/-=5.000[mT]

Mod Freq=100.00[kHz],Width=0.2000[mT]

Time Constant CH1=0.03

Sweep Time 30.0[s]

Accum:40

Amplitude CH1=2000.0

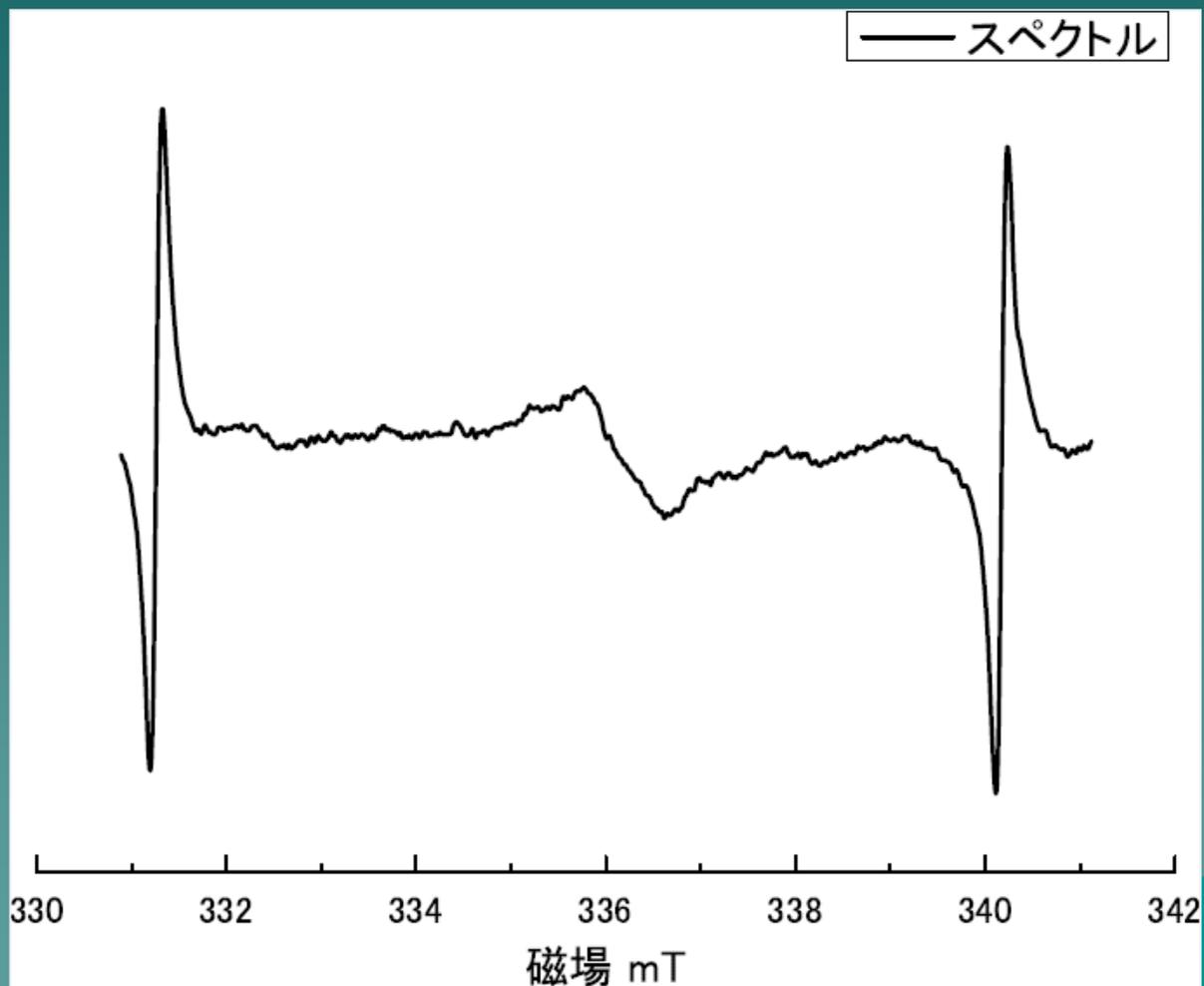


被曝したと思われる歯の線量計測

歯を内側(舌側)と外側(頬側)に切断した後、象牙質を削り取る



測定結果



線量を測定した歯(外側)のスペクトル

船	氏名	番号	線量 (mGy)
第十宝成丸	Y. (I.)	1 臼歯 内	109 ± 10
		1 臼歯 外	92 ± 17
		2 3番犬歯 内	164 ± 11
		2 3番犬歯 外	252 ± 8
第五明賀丸	Y.	臼歯 内	177 ± 27
		臼歯 外	414 ± 11

試料提供者(除本さん)の自然放射線と被曝線量

医療被ばく線量

- ・レントゲン照射1 mSv × 5回
- ・パノラマ照射2.5mSv × 1回

$$= 7.5\text{mSv} \times 5 \sim 8 = 37.5\text{mSv} \sim 60\text{mSv} \text{の中間点として}$$
$$= \text{【約50mSv】}。$$

自然放射線量は

$$0.03 \times 24 \text{時間} \times 365 \text{日} \times 22 \text{年} \text{「海上生活期間」} + 0.08 \times 24 \times 365 \text{日} \times (78 \text{年} - 22 \text{年}) \text{「陸上生活期間」}$$
$$= \text{【約45mSv】}。$$

Yさん

臼歯外の場合:

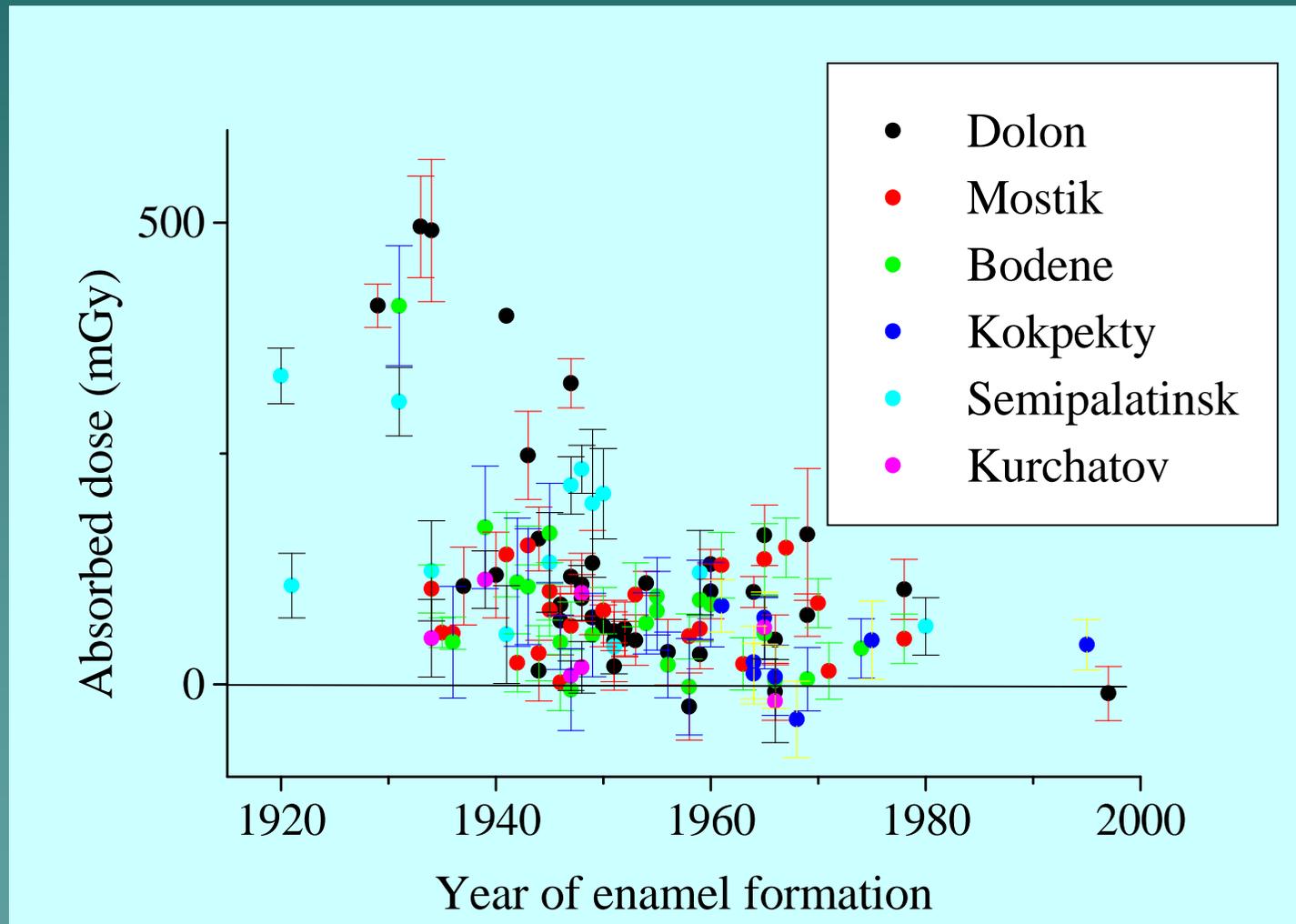
$$【414 \pm 11】 - \text{【約50mSv】} - \text{【約45mSv】} = \text{【319】 mSv}。$$

(核実験による被曝)

DS02の値を使えば、広島の実験者が爆心値からの距離で【1.6km】の近距離で浴びた被ばく線量に匹敵する。

セミパラチンスクでの歯の測定

Experimental doses absorbed in enamel versus the year of enamel formation



その4 結語

結論

- ・マグロ漁船は第5福竜丸だけでなく500隻近く存在、船員は約1万人にもなる。

今回の調査で染色体異常と歯を調べいずれも100mSvないしそれ以上の被曝があったことが証明された。

- ・これはセミパラチンスクなど他の被曝地ともよく似ている。
- ・今後のさらなる調査が必要

ありがとうございます。