

内部被曝について考える

矢ヶ崎 克馬 (琉球大学理学部)

1. 国際放射線防護委員会 (ICRP) 1990 年勧告は、内部被曝について評価する資格がない

1-1. 国際放射線防護委員会勧告

以下は、国際放射線防護委員会の規準です。

吸収線量の考え方

吸収線量は、ある一点で規定することができる言い方で定義されている。しかし、この報告書では、特に断らないかぎり、1つの組織・臓器の平均線量を意味する。(2.2 基本的な線量計測量)

放射線防護上関心のあるのは、一点に於ける吸収線量でなく組織・臓器にわたって平均し、線質について加重した吸収線量である。(2.2.2 等価線量)

国際放射線防護委員会の規準では吸収線量を、被曝した微小領域で本来規定すべきであるが、臓器当たりの平均量で評価することを規準とすると宣言しています。この方法は内部被曝を科学的に評価できるものではなく、著しく過小評価するものです。これを具体的に説明します。

1.2 内部被曝と外部被曝の違い

図1に示すように、放射能が身体の外にある場合と内部にある場合では、被曝の状況が根本的に異なります。

外部被曝

放射性物質(放射能)が体外にある場合には、飛程の短いアルファ(α)線やベータ(β)線は、放射線物質がすぐ近くにある場合を除いて、あまり身体には届きません。届いても

皮膚近くでとまってしまいます。ガンマ(γ)線だけが身体を貫きます。この場合は、身体全体に当たると仮定してよい状況で、国際放射線防護委員会(ICRP)モデルを適用できます。すなわち、身体で受けとめたエネルギー量を体重で割ったものが吸収線量だと評価できます。また、身体との相互作用が希薄であるためイオン化(後述)は疎(まば)らであり、体内のどこにあるいはどれだけ密集してイオン化がなされるかということも確率的であり、遺伝子や染色体の損傷も線量に比例していると考えるのが妥当です。

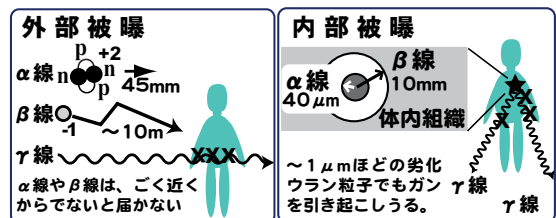


図1 外部被曝と内部被曝の被曝状況の違い

内部被曝と高密度イオン化

しかし、内部被曝の場合は事情が一変します。飛程の短い α 線と β 線は身体の中で止まってしまうので、持っているすべてのエネルギーが細胞組織原子のイオン化等に費やされます。

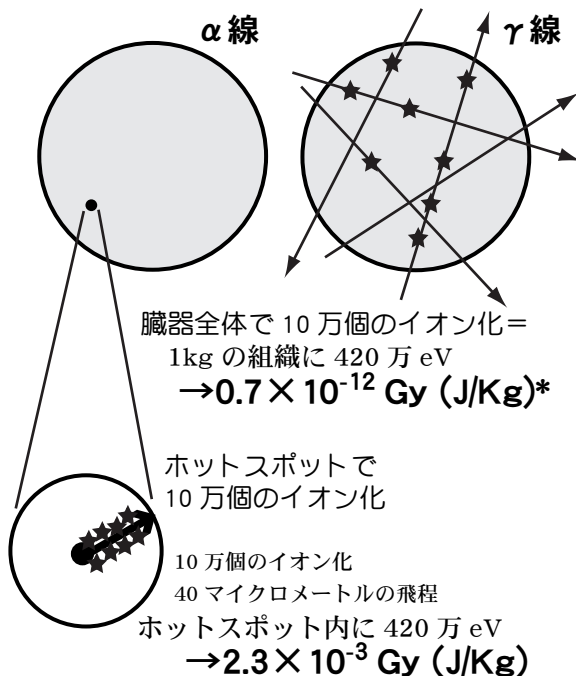
図2に示すように、特に α 線は飛程が40マイクロメートルで、その間に420万電子ボルトを失います(電子ボルトはエネルギーの単位:電子を1ボルトの電位差で加速して得られる運動エネルギーに等しい)。平均イオン化エネルギーは32.5電子ボルト程度なので、たった40マイクロメートルの間にほぼ10万個($\approx 4,200,000/32.5$)のイオン化がなされます。イオン化とは、マイナスの電気量を持った電子

が原子から吹き飛ばされ、原子がプラスの電気量を持つイオン（中性でなくなった原子や分子をイオンと呼びます）となることです。その時、結合していた原子同士が切断されます。放射線が染色体 DNA の鎖を切断すると遺伝子が損傷を受ける可能性があるのです。

α線 1 発のエネルギー分のイオン化が
1kg の臓器中で起こった場合の比較

内部被曝

ICRP モデル



*Gy : グレイ。放射線の吸収線量の単位。物質 1kg あたりに吸収する放射線のエネルギー（ジュール）を示す。

図2 集中したイオン化と ICRP モデル – ICRP モデルでは内部被曝の評価はできない–

1-3. 被曝の評価–こんなにも過小評価されている–

ウランの場合は α 線放射です。この場合、イオン化の程度は、α 線の短い飛程内の隣り合う原子すべてをイオン化するという密集度です。つまり、ものすごく高密度のイオン化がなされます。一方、図2の右図に示すように、もし、同じ 10 万個のイオン化が例えば 1 キログラムの臓器全体で疎らに発生する場合には、イオン化はすべて孤立した状態で散在することになり、γ 線の低線量被曝の状態と一致します（右図には γ 線被曝の状態を描い

ています）。この場合は文字どおり低線量被曝となり α 線内部被曝の場合と比較すると、質量当たりの吸収エネルギーでは 10 の 9 乗（10 億）倍もの差があります。

国際放射線防護委員会の規準は、図2の左図に示されるような被曝状況が右図に示される被曝状況に置き換えられて評価されるのです。隣り合う原子がすべてイオン化されているような密集したイオン化状況はなにも見えてきません。

1-4. まとめ

国際放射線防護委員会の規準では、α 線および β 線の内部被曝の評価は決してできません。γ 線に照射される場合、すべての γ 線が同時にやってくるとは限らず、イオン化する場所も体のあちこちです。γ 線の場合は時間的にも場所的にもイオン化は疎らです。それに対し、α 線の内部被曝は同時に 10 万個というイオン化を狭い場所（40 マイクロメートル内）に行うのです。そのため局所的には 10 億倍も線量評価が違うのです。

科学的に内部被曝を正しく考察することを放棄した ICRP「規準」で線量評価を行うと、「劣化ウラン弾の放射能は懸念するに当たらない」という判断を導き出すところとなります。加えて、このような判断が放射線被害を真に予防する立場から離れると、「使用しても差し支えない」論拠となりうることも指摘します。また、バスラ地区等で報告されている多量の発がん・がん死亡の原因についても、体内に取り込まれた劣化ウラン微粒子が「原因物質である可能性」を重視できず、「科学的に解明されていない」として、放射能物質を撒き散らす劣化ウラン弾が戦争で使用されたこと自体に対する批判の目を曇らせる作用を導いていることも否定できません。

1-5. 欧州放射線防護委員会 (ECRR) 勧告

欧州放射線防護委員会 (ECRR) は放射線の作用を分子、細胞レベルで具体的なメカニズムを通して評価しなければならないとし、ICRP が内部被曝を評価基準に採り入れていないことを批判しています。評価方法の体系に対しても ICRP の非合理性を指摘しています。また、疫学調査等の統計判断の観点はあくまで「健康被害の予防に徹する」立場を取るべきだと

し、ICRP 勧告を批判しています。結果として、核時代にはいつてからの人工的放射能の環境放出の結果もたらされた健康被害の評価も大幅に異なっています。ECRR の視点と方法は、幅広く深い思考の原理、哲学的根拠にふれながら展開されており、多少難しいところがあります。しかし、より科学的で、より鮮明な放射線被害予防の立場に立っており、是非広範な人々がこの勧告を知る必要があります。内部被曝の科学的認識は核時代の人類自体と地球環境の保全のために、大きな意識の変化が必要であることを提起しています。ICRP の基準は改定される必要に迫られています。

2. 高密度イオン化と低レベル放射能 -発がん率上昇をもたらす原因-

2-1. 異常再結合は高密度イオン化から

イオン化が高密度であることの影響は、単に打撃が集中していることだけではありません。生物学的にも（物理的に見ても）切られた結合は元に戻ろうとします。しかし、集中してイオン化を受けた場合には元の相手と一緒に成れない可能性が高まります。図3に、ちょん切られた原子同士が再結合するときの、イオン化が疎らである場合と高密度の場合の違いを示します。

イオン化が… 疎ら（ γ 線の場合）

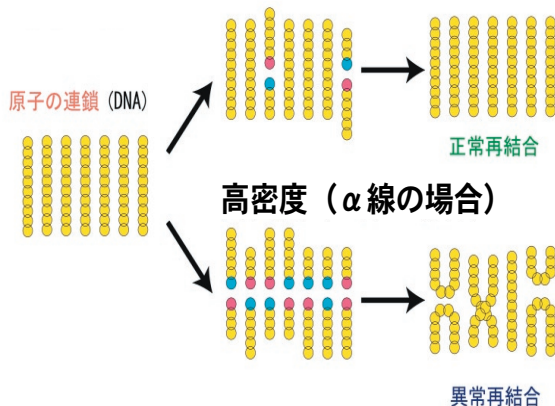


図3 再結合 -イオン化が疎らなときと密なときの違い-

高密度被曝の場合は再結合するときに相手

を間違え、DNAの塩基配列が正しく修復されない確率が高まります。これが一発一発の α 線で引き起こされるものですから、疎らにイオン化されたばあいと比較にならない危険度があります。もちろん、DNAが損傷を受けたとしても、遺伝情報やその発現のコントロールが影響を受けるのは一部の場合に限られますし、ヒトは発がんに対して2重3重の防御機構を持っているといわれます。しかし、多数の α 線による内部被曝でできるDNAの異常のすべてを防御できるものではありません。

α 線発生源が体内に取り込まれた場合には、周囲のごく狭い範囲に強い影響を及ぼすことを正当に評価すべきです。この特質は、劣化ウランの微粒子が体内に侵入した場合には、多数のがん患者が発生する可能性を説明する十分な根拠になります。ウランが発がんを誘発する根拠は充分すぎるほどあると言えるのです。

図4は、 α 線の飛ぶ距離と細胞の大きさのイメージ化です。細胞核にはDNAが詰まっています。 α 線が細胞核をヒットした場合、DNAに高密度被曝・イオン化を与えます。DNAが間違った再結合をして、もしそれが細胞の異常増殖等の活動を引き起こしたらがんや腫瘍の発生と結びつきます。なお、DNAの損傷は、水分子のイオン化等を媒介として、間接的なプロセスで行われることも知られています。

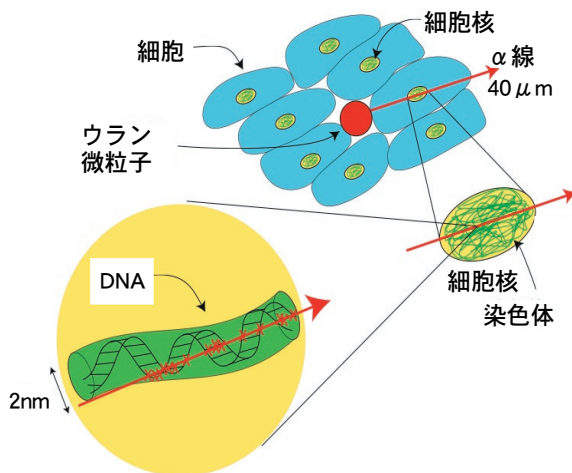


図4 α 線の放射と細胞、DNA

注： μ は百万分の1、nは10億分の1を示す

2-2. 低レベル放射能の危険

もし、ウラン微粒子から（1秒あたりに） α 線がものすごくたくさん打ち出されるならば、切られた原子同士が再結合しようとする暇無く、切られっぱなしとなります。その場合には細胞が死んでしまうと考えられます。それに対し、ウランからの α 線は“低レベル”といわれるように時間当たりにして少数の α 線が打ち出されます。試算すると、直径5マイクロメートル（千分の5ミリメートル）のウラン微粒子の場合に打ち出される α 線は1日当たり1個程度となります。直径がそれ以下だと充分再結合の時間があります。ウラン微粒子が体内の一カ所に長時間とどまる場合は、劣化ウランは低レベル放射能だからこそ、細胞死が生じないレベルでDNAなどの物質を損傷すると考えることができ、発がんの危険がより大きいともいえます。

2-3. 原爆と内部被曝

原爆の場合の、直接浴びた一次放射線は γ 線、中性子線です。中性子線は電子を吹き飛ばしてイオン化させるのではなく、原子核にぶつかり、原子を放射能化します。この場合主として β 崩壊の放射能となります。核分裂してできた原子はいずれも半減期の短い β 崩壊放射能です。黒い雨などに含まれる放射能の大部分は半減期の短い β 崩壊です。爆発直後はものすごい放射線の強さがありますが、半減期が短いものが圧倒的に多いので、時間とともに減衰し、やがて治まりました。 β 線（電子線）は α 線のばあいと同じように考察できます。 α 線放射も β 線放射も γ 線の放射が伴いますので、黒い雨に打たれた人や、原爆が炸裂してまもなく爆心地に入域した人は内部被曝だけでなく、外部（残留放射能）からの γ 線による被曝もともに健康を害したことです。しかし、内部被曝の影響の科学的評価がきちんとなされていたら、今日、原爆症認定の非人間的な国家基準はもっと形を変えていたかもしれません。原爆症認定のプロセスにおいても、低線量・低レベル放射能の内部被曝がキーポイントとなります。

2-4. WHOの見解

WHOの劣化ウランに対する考え方は、国際放射線防護委員会の規準そのものを言い換

えたにすぎず、結果として非科学的な評価をしています。

WHO (World Health Organization)

Depleted Uranium (劣化ウラン)

Fact Sheet No. 257

2003年1月

…しかしながら、DUはほんの弱い放射能だから、大量の（数グラムの程度の）DUの埃を吸い込まないならば、被曝したグループで、検出できるだけの肺癌の危険は高まらないだろう。

他の放射線誘起の白血病を含むがんの危険は、肺がんの危険より非常に少ないと考えられる。

WHOは昨年1月の劣化ウランと題する見解表明（ファクトシート257）で、現場の発がん率10倍化を知りつつ、発がん率の上昇は劣化ウランとは考えられない（低線量被曝は発がんの根拠にならない）、としています。その根拠の1つは、国際放射線防護委員会の規準にあります。根拠の2つ目は放射線科学の実験事実を根拠にしていると思います。すなわち“低線量で内部被曝をさせても発がん率の上昇にはならない”と。これについては、研究室で行う実験の限界を謙虚に評価すると、現実起こっている「規模は大きいが比率は小さい」事象を代弁できないことに気がつくはずです。

ある種のがんの発がん率が10年間で10倍化していても、10万人当たりの比率にしてみれば10人程度だったものが100人程度に増加したもの、百分比では0.01%が0.1%に増加したというレベルです。このように低率で、しかも長期間かかって発現することが、どれだけ実験によりとらえられるのでしょうか。実験室でそのまま再現するためには、何万匹もの実験動物を10年を越える長期間にわたって飼育する必要があります。これまでの実験で捉えられていないとしても、100万単位の人の中での発がんを否定する根拠には決してなりません。

また、WHOは“水溶性劣化ウラン酸化物は体内に入っても短時間で排出されるので、放射線被害はとるに足りない”としています。しかし、イラクの汚染地区の人々は、毎日、

毎日劣化ウラン微粉末を体内に取り込んで
いる可能性も高いと考えられます。いつも
体内に劣化ウランを蓄えていることにな
ります。このように生活環境が汚染され
た場合には、実験的にたった一回投与
して排出されたというようなデータを
そのまま楽観的に適用して現場の評
価をしてよいものでしょうか。加えて
極めて遺憾なことに、WHO は内部被
曝を論究した論文を隠蔽したと伝えら
れています（英紙サンデーヘラルド）。

3. アメリカにおける原子力発電による低線量被曝

2003 年 10 月にハンブルグにおいて行
われた劣化ウランシンポジウムで、Leuren
Moret 氏が提供した資料の一部を紹
介します。ICRP 規準では問題とされ
ない原子力発電所から放出される低レ
ベル放射能と小児の白血病等との関
わりについてのデータであり、The
Radiation and Public Health Project
(放射線と市民の健康プロジェクト) が
行ったデータ収集です。劣化ウランの
事象ではありません

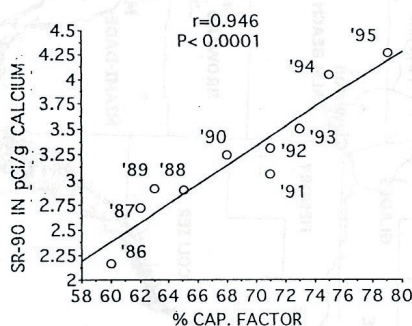
が、内部被曝という関わりで重大な関
連がありますので紹介致します。

3-1. ある種の病害発生と原子力発電量には 関がある

図 5 にはアメリカにおける小児の歯中
のストロンチウム-90 含有量と原子力
発電の全発電量に対する割合との関
係を示したものです。ストロンチウム
-90 含有量は原子力発電の稼働率上
昇とともに直線的に増加しています。

原子核分裂の生成原子のうち、スト
ロンチウム-90 は、通常のウラン-235
による核分裂の場合では約 7 % 生成
されるといいます。半減期は 28.8 年
で核分裂生成原子としては半減期の
長い方に属します。ストロンチウムは
、化学的には、カルシウムと同じアル
カリ土類金属で、骨に取り組みやすい
のです。図 5 は原子力発電所から常
時排出される「安全」と言われている
排気、排水の中に放射性物質が含ま
れており、それが体内に取り込まれて
いることを示しているのです。体内
に入った放射性物質は内部被曝を与
えます。

Fig. 1
AVERAGE SR-90 IN BABY TEETH IN THE U.S.
VS. AVERAGE ANNUAL PERCENT OPERATING
FACTOR OF U.S. NUCLEAR REACTORS
1986-95

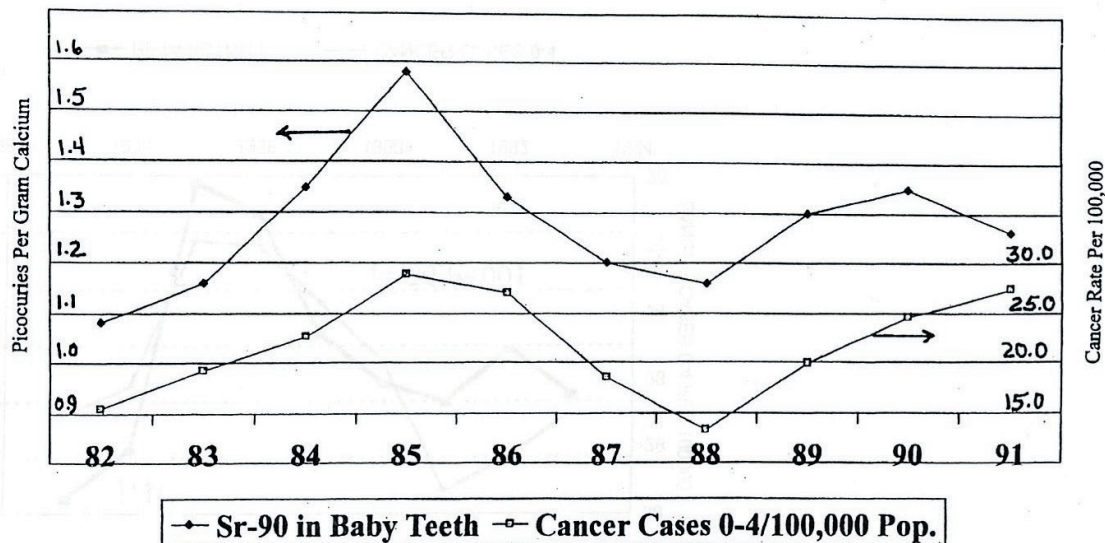


Source of data for the percent operating factor : NRC NUREG1350, Volume. 12, Table 7, 2000.
Strontium-90 measurements by REMS, Inc. by year of birth for 1277 deciduous teeth
collected by the Radiation and Public Health Project in picoCuries per gram Calcium.
Correlation coefficient $r = 0.946$. Probability of an accidental correlation P by t -test is less
than 1 in 10,000.

図5 小児の歯中のストロンチウム-90 含有量と原子力発電年間稼働率の関係

Fig. 6. Sr-90 in Baby Teeth vs. Cancer 0-4
Suffolk County, NY, 1982-1991

Four Year Lag (Sr-90 = 1982-91, Cancer = 1986-95)



Source: Radiation and Public Health Project. Based on 488 baby teeth, persons born 1981-92, and 262 cancer cases 0-4 diagnosed 1985-96. Uses three year moving averages.

図6 ニューヨーク州サフォーク郡における小児がんと歯中のストロンチウム-90の関係

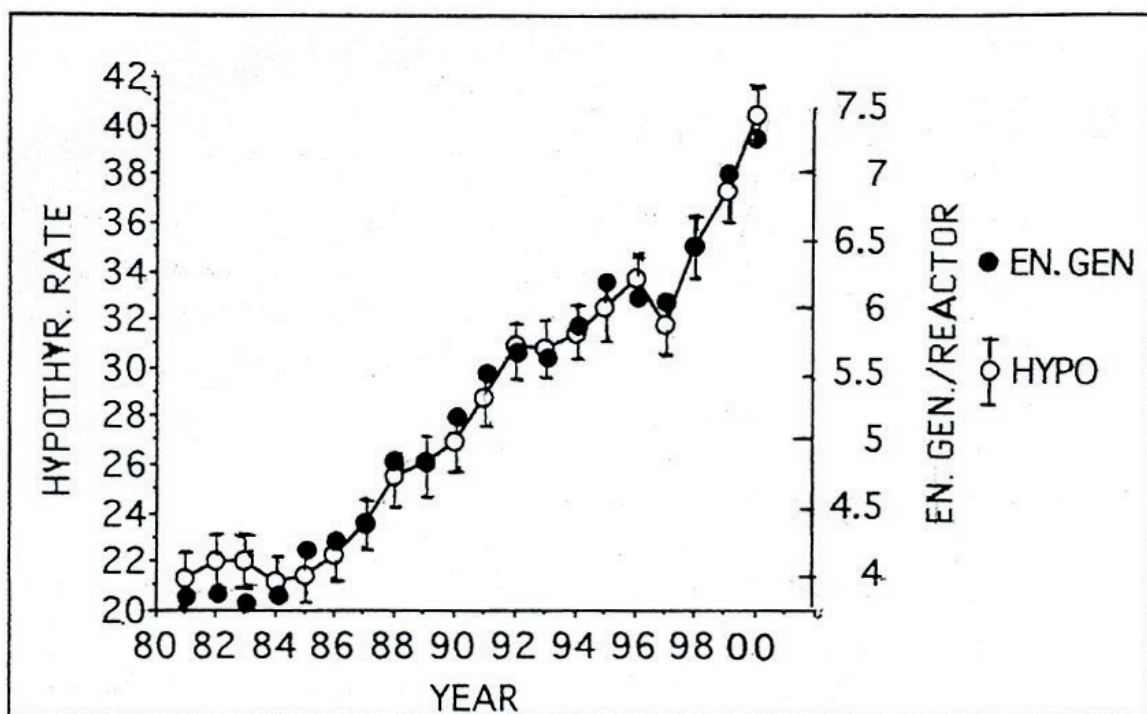


図7 新生児甲状腺機能低下症と原子力発電

図6には、ニューヨーク州サフォーク郡における0～4才児の小児がんと歯中のストロンチウム-90の関係を示したものです。図には小児がんの発生の年度を4年早めて表示されていますが、両者の増減は良く一致しています。図6は、骨中のストロンチウム-90濃度を物差しとした原子力発電による核分裂で環境中に放出された放射能の量と、小児がんの発生量とが、4年のずれで変化が良く対応していることを示します。体内に取り込まれた微量の放射能が、小児がんを誘発している可能性が示されているのです。

図7は、全米60%の新生児中の甲状腺機能低下症と原子力発電所の発電量の関わりを示したものです。両者の関係は全く1つのカーブで表すことができ、完璧な相関があります。さらに、図8にはカリフォルニアにおける自閉症の小児と原子力発電による発電量との関わりを示しています。自閉症小児数は、7,8年ほどの遅れで、発電量に強く依存しています。

3-2. 内部被曝の特別の危険性を重視しよう

原子力発電所からの排気に含まれる放射能は「低レベル」「自然放射能以下」等と言われ、問題にされないのが、アメリカや日本の「規準」です。原発由来の「低レベル放射能」が直接的に小児がん等を引き起こしたという因果関係の証明はたしかにここではなされていません。ここに示されているのは、放射能の排出の指標と、ある種の疾患の発生率が、統計学的に高度に一致しているという事実です。前述のとおり、体内に取り込まれた微量の放射能が細胞の分子を強く傷つけることは物理的メカニズムとして明瞭です。

以上のことから、内部被曝の特別の危険性を認めて取り組むことこそが科学的な態度といえるでしょう。ここでも、真に放射線被害を防止する立場に立つか否かが、「原因物質である可能性」を重視して対処するか、あるいは「科学的に解明されないかぎり」必要な措置はとれないとするか、科学の姿勢が異なってくることを指摘したいと思います。

(やがさき かつま・物理学)

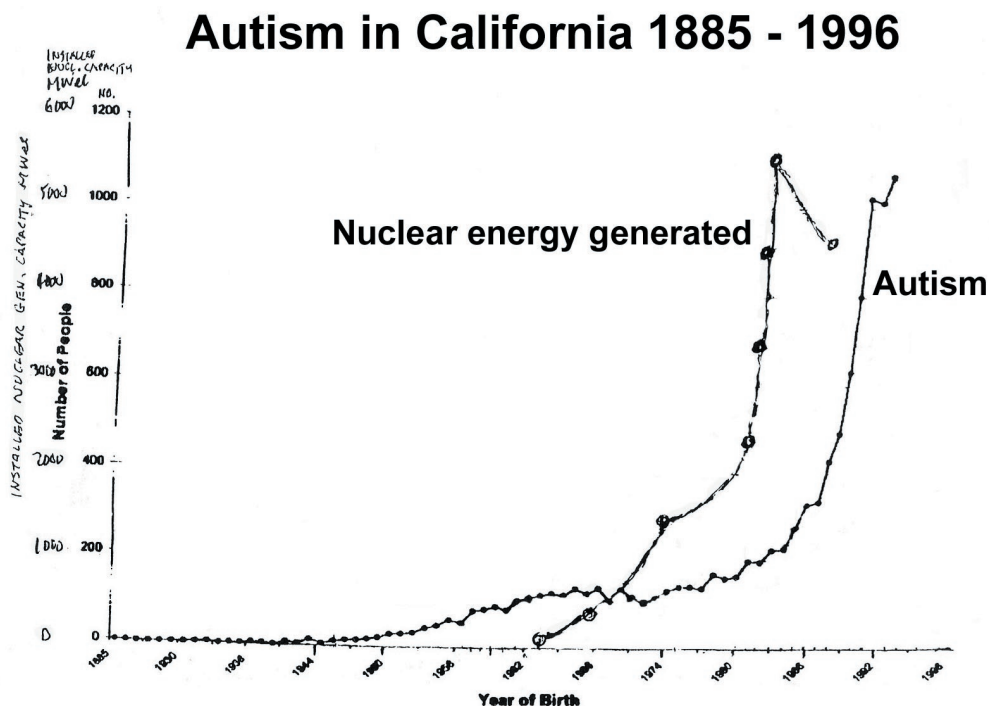


図8 カリフォルニアにおける自閉症児と原子力発電の発電量の関係

■ごあんない ～沖縄支部で普及している書籍から～

核のない世界へ ー医療人のための平和テキストー

2003 年 11 月刊

核戦争に反対し、核兵器廃絶を求める医師・医学者のつどい 編

http://www1.doc-net.or.jp/~no_nukes/ 発行所：平和文化 1600 円

ISBN4-89488-021-0

- 目次 序章 平和学習のすすめ …武居洋
第1章 被爆者とともに歩む核兵器廃絶運動 …児嶋徹
第2章 悪魔の兵器ー核兵器 …大場敏明
第3章 核時代の医学・医療 …蒔昭三
第4章 核抑止論 …渡植貞一郎
第5章 世界と日本の医師・医学者たちの平和への貢献 …蒔昭三
第6章 問われる日本の進路 …平山武久
第7章 戦争をくり返してはならない …武居洋
終章 核戦争の危機を克服し、青い地球を未来へ …武居洋・向山新

ジュゴンが危ない ー米軍基地建設と沖縄の自然ー

2003 年 12 月刊

亀山統一・大城保英・佐次田勉・宮城義弘著

新日本出版社〔四六判〕本体 1700 円（税別） ISBN4-406-03039-5

- 目次 ジュゴン泳ぐ海と島の自然 ー基地に脅かされる沖縄の生態系ー …亀山
どんな基地が計画されているのか …大城
米軍新基地押しつけを拒否 ー名護市民投票と民主主義ー …佐次田
豊かな島に基地はいらない …宮城

写真集 監視行動がとらえた基地オキナワ

Part II 先制攻撃戦略と日米安保体制

2004 年 1 月刊

編集・発行：沖縄県平和委員会 A4 判 112 頁建 / 巻頭カラー 16 頁 頒価 1,800 円

- 目次 第31 海兵遠征団 (31MEU) キャンプ・シュワブ キャンプ・ハンセン
ブルービーチ訓練場 嘉手納基地 普天間基地 伊江島補助飛行場
ホワイトビーチ 那覇軍港 レッドビーチ訓練場 機能強化・先制攻撃の要石
日米安保体制の維持 資料編

* 沖縄県平和委員会に直接ご注文ください。 電話 /Fax 098-862-6596

このリーフレットは JSA おきなわリーフレット「劣化ウランはなぜ恐ろしいのか ー身体に入った劣化ウランがガンを誘発するー」(矢ヶ崎 克馬著, 2004 年 1 月発行) の続編ですので、あわせてお読みください。JSA 沖縄支部の発行物は、ホームページからダウンロードできます。 <http://www.jsa.gr.jp/okinawa/> 教育目的を除き、本リーフレットの一部分または全部を無断で引用・転載することを禁じます。

JSA おきなわリーフレット 2004-2 2004 年 4 月 22 日発行

日本科学者会議(JSA)沖縄支部事務局

〒903-0213 西原町千原1 琉大農学部森林保護研究室気付

電話/Fax 098-895-8794

okinawa@jsa.gr.jp <http://www.jsa.gr.jp/okinawa/>