

11. 地球規模フォールアウト⁹⁰Srによる日本人の健康リスク評価と低減策

JAPANESE HEALTH RISKS INDUCED BY GLOBAL FALLOUT SR-90 AND THEIR REDUCTIN

山並憲正*、森澤眞輔**、井上頼輝**

Norimasa YAMANAMI, Shinsuke MORISAWA, Yoriteru INOUE

ABSTRACT; Japan imports almost 70% of its food on the calorie base. Japanese people take Sr-90 with food from foreign countries, therefore in order to evaluate the daily intake of Sr-90 it is essential to take the food imports effects into account. The main purpose of this study is to evaluate the dynamic global performance of Sr-90 in the environment and to analyze its accumulation in Human body. Global fallout of Sr-90 model was developed and combined with Sr-90 intake model and Sr-90 bone accumulation model.

Using the mathematical model, numerical simulations were done to obtain the characteristics of Japanese people's Sr-90 intake through daily food, their variation since late 1940's and to find practically feasible health risk reduction options.

KEYWORDS; Sr-90, radioactive fallout, global fallout, accumulation in human body, health risks, mathematical model

1.はじめに

微量有害物質による人体の低濃度長期暴露を評価するためには、各々の有害物質についてそれらの環境内動態を検討する必要がある。核実験により大気圏に放出された放射性物質が食品とともに日本人に摂取されていることは実測値から明らかである。我が国の1993年度のカロリーベースの食糧自給率は37%である。食用、飼料用を合わせた穀物自給率も22%となっている。自給率が低い日本において、日本人の放射性核種の経口摂取量を評価するためには、地球規模で降下した放射性フォールアウトが食糧と共に我が国へ人為的に輸送され、日本人に摂取される経路を無視することはできない。本研究では、核実験により大気圏に放出された放射性核種⁹⁰Srを指標

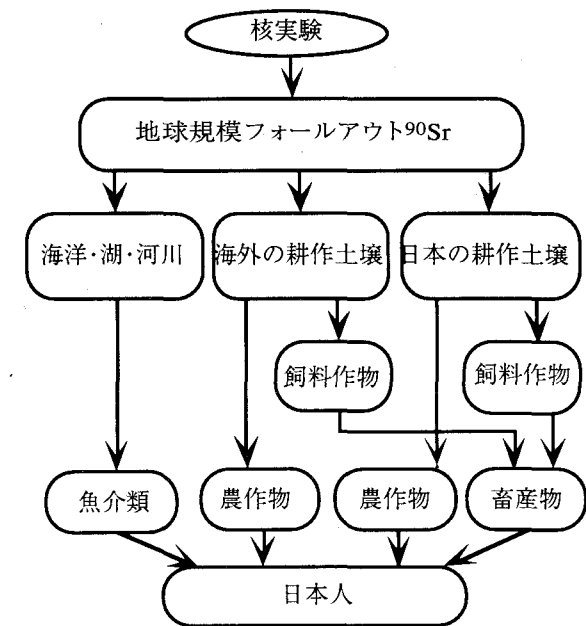


図1 地球規模フォールアウト⁹⁰Srの日本人への経路

* 日立造船株式会社(Hitach Zosen Co., Ltd) ** 京都大学工学部(Faculty of Eng., Kyoto Univ.)

にして、環境中の微量汚染物⁹⁰Srが地球規模で分散し地表に降下し、農畜産物へ移行し、食糧の輸入を介して日本に運ばれ、日本人に摂取されるに至る経路を把握することを目的とする。また日本人の骨中⁹⁰Sr濃度の実測値をもとに⁹⁰Srの人体内蓄積のメカニズムを明らかにするとともに、構築したモデルを用いて数十年に及ぶ期間の低線量・長期曝露の影響を、白血病誘発の長期的なリスクを推算することによって評価する。併せてリスクの低減策についても言及する。

2. 数学モデル

2.1 評価モデルの構成

本研究では、評価対象期間を1945年～1992年の48年間とし、評価対象を日本人によるフォールアウト⁹⁰Srの経口摂取量、体内蓄積量等とする。日本人が摂取する食品は、植物性食品(米類、小麦類、いも類、野菜類、果実類、豆類、海藻類)と動物性食品(牛肉、豚肉、鶏肉、鶏卵、牛乳、魚介類)の13種類とする(日本人の食品摂取の約85%を考慮)。一方家畜飼料はとうもろこし、こうりゃん、小麦、大裸麦、その他穀類、ふすま、その他槽糖類、アルファルファ、大豆油かす、その他油かす、粗飼料の11種類に分類する。畜産物の輸入は、外国の家畜の飼料の輸入割合、配合割合のモデル化が困難なため無視し、畜産物は輸入飼料、国内産飼料を用いて国内で生産されると仮定した。また農畜産物は、調理、加工、保存されて食品として人間の口に入るが、これらの過程で物理的崩壊による⁹⁰Srの減少はないものとし、本研究では無視した。但し、肉類については可食部(軟組織)のみを、卵については卵黄、卵白等、最終的に人に摂取される部分のみを評価の対象としている。

日本人によるフォールアウト⁹⁰Srの経口摂取量を評価する数学モデルは、①地球規模での⁹⁰Srの緯度別降下特性を評価するサブモデル、②農産物中および③畜産物での⁹⁰Sr濃度を評価するサブモデル、④海産物中⁹⁰Sr濃度を評価するサブモデル、⑤農畜産物の輸出入と市場での混合を評価するサブモデル、⑥日本人の⁹⁰Sr経口摂取量を評価するサ

ブモデル、⑦日本人の骨中⁹⁰Sr濃度を評価するサブモデル、で構成されている。

⑦において⁹⁰Srの骨中残留率を算定する場合の年齢依存については、これまで生理学的な研究成果は報告されていない。本研究では成人に適用される残留関数で年齢依存を考慮するために次式のように関数内に年齢

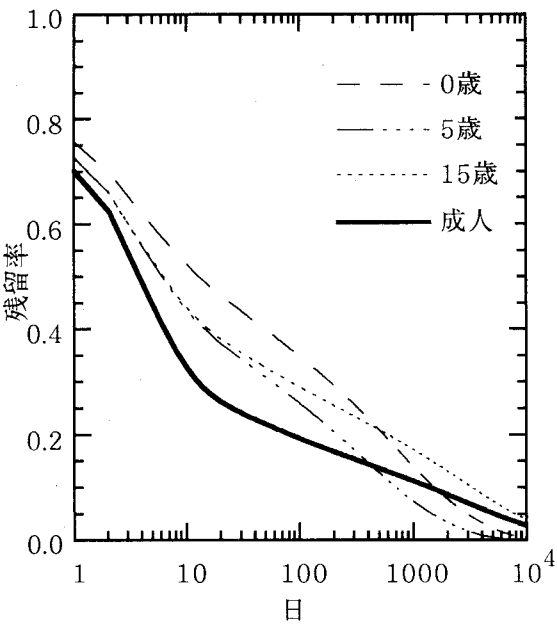


図2 年齢別の残留関数

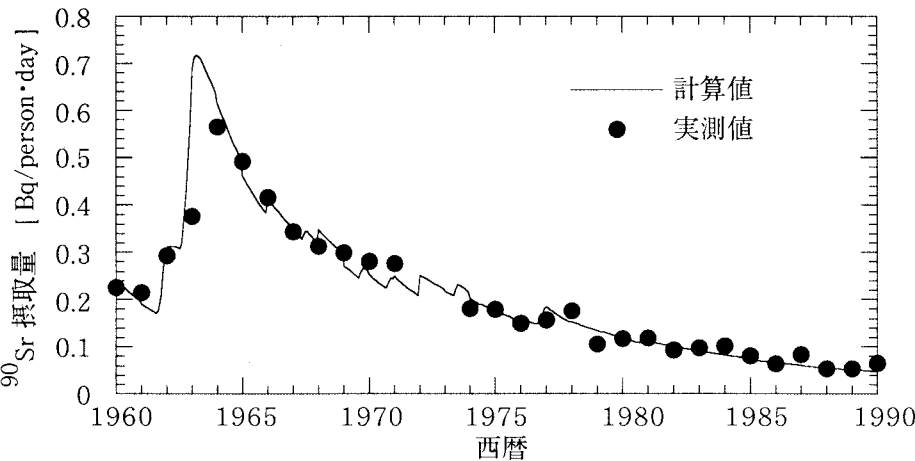


図3 日本人による⁹⁰Sr経口摂取量の計算値と実測値

性食品のうちでは降下率が大きい1960年代前半においては野菜類が、降下率が小さくなった最近では小麦類の寄与が大きい。1992年12月において、 ^{90}Sr の経口摂取への寄与率を食品別にみると、小麦類43.3%、野菜類17.2%、豆類10.2%、乳製品12.8%、海産物2.3%である。

骨中 ^{90}Sr 濃度の計算結果を図4(A)~(C)に示す。骨中 ^{90}Sr 濃度については、全年齢において実測値とよく一致しているといえる。0~4歳の1986年以降は実測値が高くなっているが、これはチェルノブイリ原発事故の影響を受けていると思われる。本研究ではチェルノブイリ原発事故は考慮していないので計算値が大きくなる。5~19歳については実測値と計算値はよく一致しているといえる。20歳以上については、実測値と比較して1966年~1969年の計算結果が大きくなっている。20歳、30歳、40歳の骨中 ^{90}Sr 濃度の計算結果から、1960年代後半の計算値は20歳以降急激に低下しており、高年齢者主体の実測値であると思われる。また年齢が高くなるにつれてピークがはっきりしなくなっていることがわかる。これは1965年前後に ^{90}Sr の経口摂取量が多くなったがその時期にはすでに残留率の大きい低年齢期を過ぎていたためである。

3. リスク評価

2で得られた骨中 ^{90}Sr 濃度の算定値と、骨髓が受ける年間吸収線量を推定する線量係数(成人の場合は $1\text{pCi}\cdot\text{年}\cdot(\text{gCa})^{-1}$ あたり 1.4mrad)から、ある年における骨髓の年齢別累積線量当量を推定した。さらにこの値に、線量当量をが

ん誘発率に変換するリスク係数 0.002 [1/Sv] (白血病を誘発する場合)と、同年の年齢別人口とを乗じることによって、1970年、1980年、1985年および1990年時点で白血病にかかる人数の期待値を年齢別に算定した(図5、6参照)。その結果、 ^{90}Sr による各年の放射線白血病死亡者数は、それぞれ23人、57人、75人、80人となった。

白血病の原因はまだ完全には解明されていない。本研究では、 ^{90}Sr の経口摂取による白血

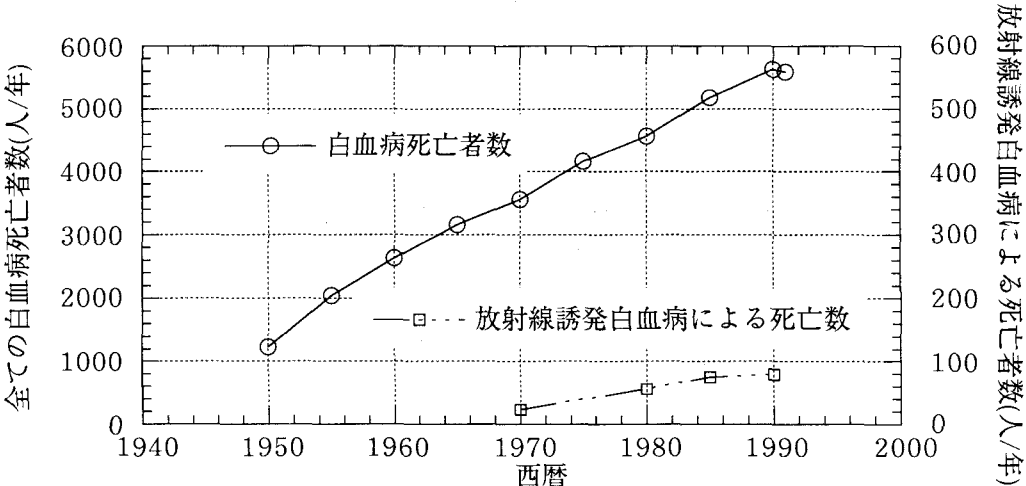


図5 白血病死亡者数の経年変化

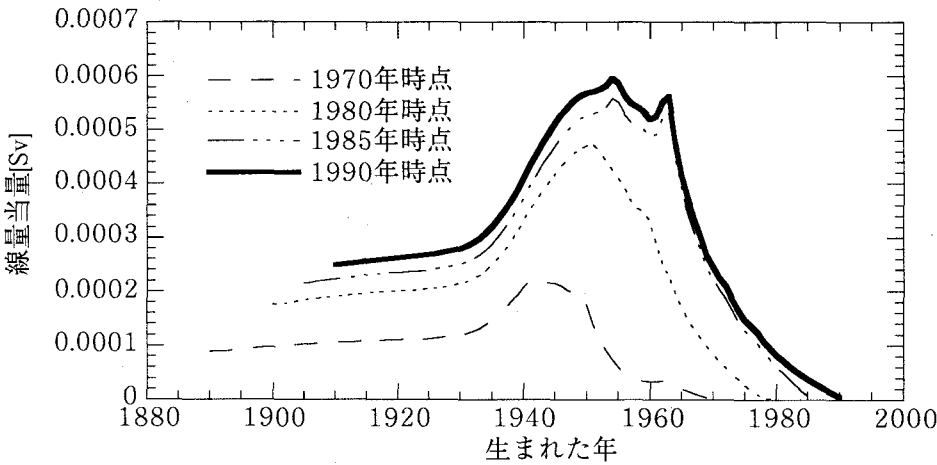


図6 ある年までの累積線量当量

依存のパラメータを導入した。

$$R(t) = (1 - p_t) \times \exp(-0.25 t) + p_t \times 0.2^{b_t} (t + 0.2)^{b_t} \times \{ 0.555 \times \exp(-0.949 \times \lambda_t \times t / 360) + 0.445 \times \exp(-0.949 \times 4 \times \lambda_t \times t / 360) \} \quad (1)$$

λ_t はCOMPACT BONEに

おける ^{90}Sr の総入れ換えに関連するパラメータ[1/year]で、 p_t は吸収された放射性核種の内、体内での代謝速度が遅い分率を表すパラメータ、 b_t は骨から血液への放射性核種の溶出と体からの放射性核種の排出に関連するパラメータである。これら3つのパラメータを年齢によって変化させることによって残留関数に年齢依存を持たせ、日本人の骨中 ^{90}Sr 濃度の実測値と照らしあわせながら年齢別の残留関数を求めた(図2参照)。幼児期つまり0歳~5歳程度の期間は、残留率は成人の残留率よりも高く、その後は成人よりも残留率が低くなる。人種によって程度の差はあるが、日本人については ^{90}Sr の残留関数に本研究で決定したような年齢依存があると思われる。

2.2 計算結果

本研究によって得られた日本人の ^{90}Sr 経口摂取量の計算値と実測値を図3に示す。実測値と計算値は良好に一致しているといえる。 ^{90}Sr 経口摂取量の大部分は植物性食品とともに摂取されており、植物

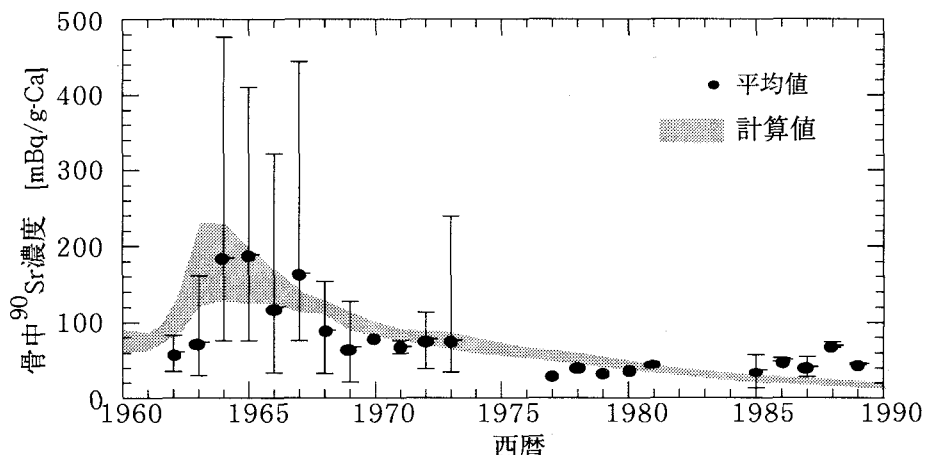


図4(A) 0~4歳の骨中 ^{90}Sr 濃度
(計算値は上限値と下限値との間の変動幅を表示)

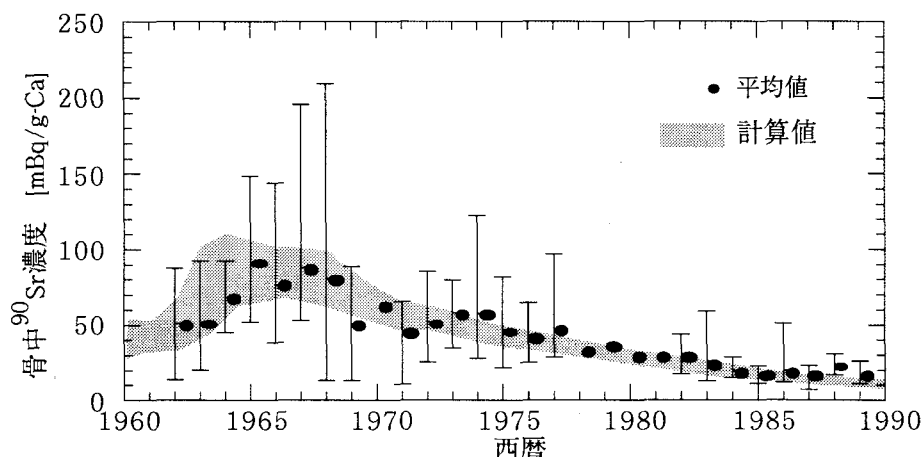


図4(B) 5~19歳の骨中 ^{90}Sr 濃度
(計算値は上限値と下限値との間の変動幅を表示)

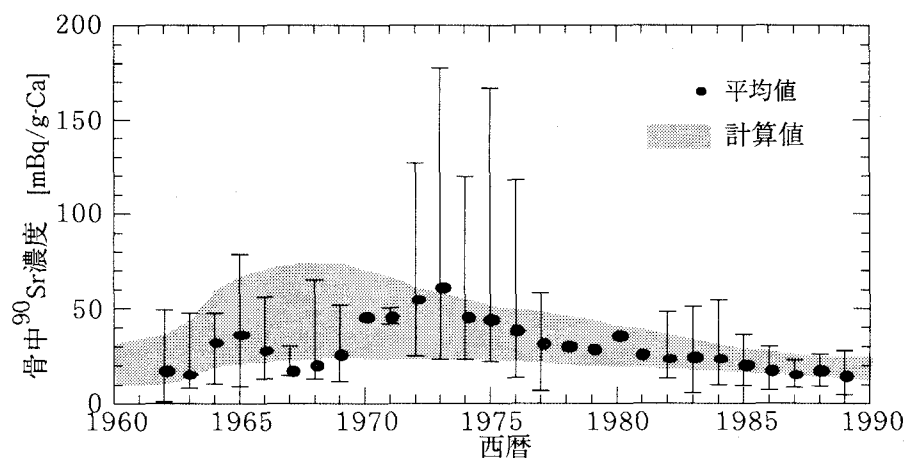


図4(C) 20歳以上の骨中 ^{90}Sr 濃度
(計算値は上限値と下限値との間の変動幅を表示)

病の誘発リスクは思ったほど高くはないという結果が得られた。しかし実測値は高年齢になるにつれ白血病による死亡者は増加しており、計算結果とは違っている。恐らく白血病誘発のリスク係数は高年齢になるとさらに大きくなる可能性がある。また白血病による死亡と判断する判断基準によって実測値自体変わってくると思われる。

4. リスク低減策

2で構築したモデルを用いて、あくまで⁹⁰Srに限り、どの程度日本人による経口摂取量を低減できるか検討することを目的とする。①食習慣を変えた場合（必要カロリーを米から得るか、小麦から得るかによってどの程

度⁹⁰Sr摂取を低減できるか）の結果を図7(A)に示す。1992年12月の時点では小麦のカロリーの半分を米に切り替える場合、⁹⁰Srの経口摂取量を約22%低減することができる。非現実的ではあるが小麦の摂取をやめ米食に全て切り替えた場合、⁹⁰Srの経口摂取量は約43%低減することができる。また②吸収抑制剤を土壤に散布した場合（大谷石の5%、20%添加）の結果を図7(B)に示す。1992年12月の時点では、大谷石を5.0%添加することにより⁹⁰Sr摂取量を約62%低減することができる。また経済的な効率はいくつか、大谷石を20.0%添加した場合⁹⁰Sr摂取量を約84%も低減することができる。両政策とも低減策としてはかなり有効であることがわかった。

5. 結論

- (1) ⁹⁰Srが地球規模で分散し、地表に降下し、農畜産物へ移行し、食糧の輸入を介して日本に運ばれ、日本人に摂取されるに至る経路を把握し、人体内に蓄積し長期間にわたって人に与える影響を評価する数学モデルを構築し検証した。
- (2) 任意の年に誕生した人が環境中に存在する⁹⁰Srを生態学的連鎖を経て経口摂取し任意の年齢までに受ける総線量当量を算定することができるモデルを構築した。また骨髓および骨内膜細胞が受ける年間吸収

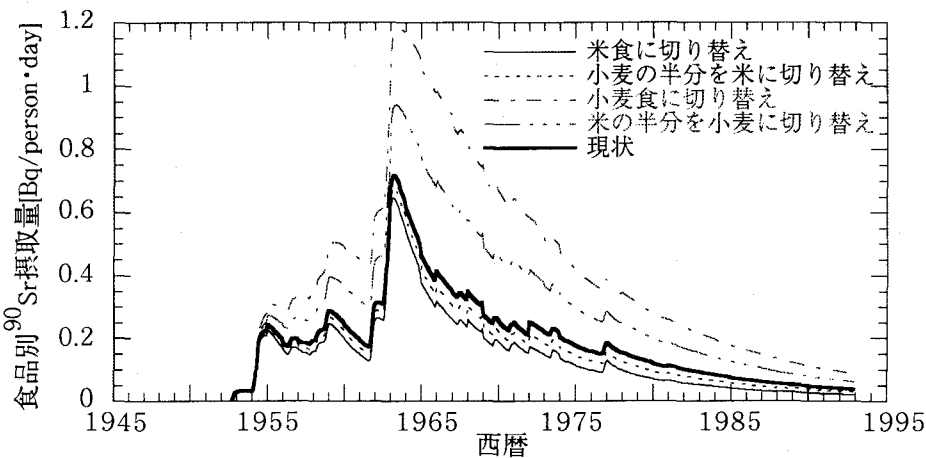


図7(A) 食習慣を変えた場合

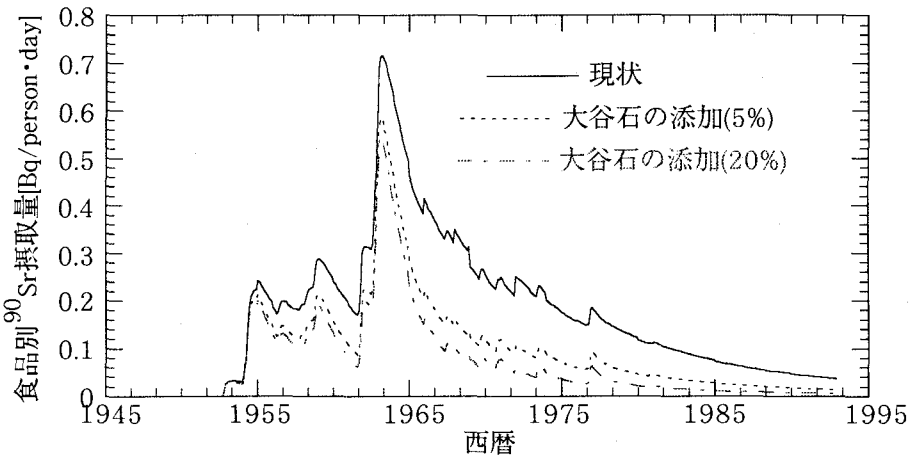


図7(B) 吸収抑制剤を用いた場合

線量を推定する線量係数やリスク係数の年齢依存性が解明された場合にも即座に対応できるようにモデルは構成されている。

- (3) 核実験由来の ^{90}Sr を経口摂取することによる日本人の白血病および骨がんの誘発リスクは白血病の方が3倍ほど高く、両リスクをあわせると1990年時点では日本中で年間100人程度に両がんが誘発されるレベルにある。
- (4) どの手段も ^{90}Sr の経口摂取を低減する策としては有効であるが、単独で低減率を上げるのは困難であり、複数の策を同時に行うことがよいと思われる。
- (5) 他の有害物質、例えば ^{137}Cs については同じリスク低減政策を採った場合、 ^{137}Cs の経口摂取量が逆に増える可能性もあり、総合的に判断するには、 ^{90}Sr 以外の有害物質の環境内での挙動を評価する必要がある。

本研究の計算には京都大学大型計算機センターのFACOM M1800を使用しました。

参考文献

- (1) 佐伯誠道: 環境放射能、一挙動・生物濃縮・人体被曝線量評価一、ソフトサイエンス社、(1984).
- (2) 日本原子力学会: 環境被曝線量評価、(1975).
- (3) 厚生省: 国民栄養調査、(1946～1992).
- (4) The International Commission on Radiological Protection: Alkaline Earth Metabolism in Adult Man、ICRP Publ-20、(1973).
- (5) 総務庁統計局: 第四十三回日本統計年鑑、日本統計協会、(1993).
- (6) 科学技術庁: 第10～32回環境放射能調査研究成果論文抄録集、(1963～1992).
- (7) The International Commission on Radiological Protection: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides Part1、ICRP Publ-56、(1989).
- (8) 放射線医学総合研究所監訳: 放射線の線源、影響及びリスク、実業公報社、(1990).
- (9) 篠原邦彦: 放射性核種慢性摂取に対する線量評価における摂取開始年齢の影響に関する試算、保健物理、Vol.29、pp.201～205、(1994).
- (10) (財)放射線影響協会: 国民線量推定のための基礎調査(5)、(1981).
- (11) 石川 友清編: 放射線概論-第1種放射線取扱主任者試験用テキスト、通商産業研究社、(1991).
- (12) 日本学術振興会: 研究報告集録、放射線影響編、(1964～1969).
- (13) National Institute of Radiological Science : Radioactive Survey Data in Japan No.1-No.99、(1963～1992)
- (14) 林 寛: 栄養学総論、三共出版、(1988).
- (15) Larsen,RJ.: Graphic presentation of quarterly Sr-90 fallout data 1954-1982 , EML-424, New York, Environmental Measurements Laboratory、(1984).
- (16) 松原純子: リスク科学入門—環境から人間への危険の数量的評価、東京図書、(1989)