

34. 環境微量汚染物質による健康リスクの変遷、使用停止措置とその効果

Historical Review of the Japanese Health Risks due to the Several Environmental Micropollutants after the Ban

森澤眞輔*、米田 稔*、中山亜紀*

Shinsuke MORISAWA*, Minoru YONEDA* & Aki NAKAYAMA*

ABSTRACT; The organic lead added to gasoline to maintain its octane value, organochlorine agrochemical DDT widely used throughout the world were banned in early '70s in Japan, and the human exposure to them has been gradually decreased these decades. The atmospheric nuclear detonation tests, which were heavily practiced through '60s, were also regulated substantially in early '70s, and the radioactive fallouts like Sr-90 and Cs-137 were reduced these decades. These environmental micropollutants were examined for their environmental fates, human exposures and human health risks in the last half century, by using the environmental risk evaluation model.

Main results obtained in this study can be summarized as follows;

- (1) Lead concentration in ambient air, DDT and radionuclides in an environment were reduced right after the reduction of their release to an environment, and the related health risks have also been reduced.
- (2) The unleaded gasoline policy was evaluated to be effective for reduction of the potential health risks especially in the population group with the larger lead exposure. The base line lead exposure was not reduced because of the rather constant lead exposure through dietary pathway.
- (3) The lifespan cancer induction risk of the reference Japanese due to the DDT was evaluated to be larger than 10^{-5} level for people born before 1970, but for people born after 1970 the risk has been reduced to less than 10^{-5} level by the ban of DDT use in early 1970's.
- (4) The lifespan cancer induction risk of the reference Japanese due to the radioactive fallout Sr-90 and Cs-137 was evaluated to be 10^{-6} level for people born before 1960, but for people born after 1960 the risk has been reduced to less than 10^{-6} level by the ban of the atmospheric nuclear detonation tests.

KEYWORDS; Health risk, Leaded gasoline, DDT, Radioactive fallout, Historical review

1.はじめに

ガソリンに添加されていた四アルキル鉛、広範囲に使用されていた有機塩素系殺虫剤DDTはいずれも1970年代初頭にその使用が停止され、以後年を減るに従って経年的に環境構成要素中での濃度および人への曝露量が低減している。1960年代初頭に大規模に実施された大気圏内核実験も1970年代初頭には実質的な停止が実現し、Sr-90やCs-137等の放射性核種の地表面降下量も減少してきた。ここでは、環境への負荷が人為的な措置によって停止された物質を対象に、その環境内動態、人への曝露、それによってもたらされる健康リスクの経年的な変遷を環境モニタリングデータに照らして確認するとともに、構築した健康リスク評価モデルを用いて平均的な日本人にもたらされると期待される健康リスクを定量的に比較・評価する。

有鉛ガソリンや農薬DDT等は、既にわが国では使用されていないが、途上国においてはなお使用が続いている。使用禁止等の措置は、きわめてドラスティックなリスク対策であるが、そのような対策の効果がどの程度の時間遅れを伴って現れ、どの程度の大きさになると期待されるかは必ずしも明らかにされていない。本研究では、鉛およびDDTに加えて大気圏内核実験により地球規模に放出された核分裂生成物(Sr-90およびCs-137)に注目し、環境への放出停止が環境構成要素中濃度および日本人の健康リスクの低減にどのような効果をもたらしたかを経年的に明らかにする。本研究で採用した評価方法は、安全側に見積もったリスク値を算出する傾向があるため、本研究によって算出されたリスクも過大評価気味の値であることに留

* 京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻、Department of Global Environment Engineering, Graduate School of Environment, Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto City, 6068501 Japan

意する必要がある。

2. 停止措置に伴う環境内動態・人曝露量の低減

2.1 有鉛ガソリンの使用停止

かつてわが国のガソリンにはオクタン価の向上剤として四アルキル鉛が添加されていたが、1970 年 5 月の東京都新宿区牛込柳町の鉛公害事件を契機に同年 7 月から行政指導によるガソリンの低鉛化が開始された。その後 1975 年にレギュラーガソリンの無鉛化が、1983 年にプレミアムガソリンの無鉛化が達成され、以来、わが国ではガソリンに鉛は混入されていない。当時の大気中鉛の 98% はガソリン中の鉛に起因すると報告されたが、ガソリンの低鉛化、無鉛化対策により特に大都市圏の環境大気中に存在する鉛濃度は劇的に減少した (Fig.1 参照)。

堀口ら(堀口俊一他,1980)は、1970 年代半ばから 1980 年代の始めにかけて、標準日本食品成分表の各食品群分類ごとに日本人常用食品中の鉛含有量を調査した (Table 1 参照)。Table 1 のうち、保健所指定標準食および給食センターの献立を「一般家庭食」、自衛隊の献立を「強・重労作者食」と分類すると、一般家庭食では約 60~150[$\mu\text{g/day}$]、強・重労作者食では約 95~275[$\mu\text{g/day}$]の鉛を経口摂取することになる。これに水の形態で摂取する鉛量約 10~20[$\mu\text{g/day}$]を加えると、一般家庭食約 70~170[$\mu\text{g/day}$]、強・重労作者食約 105~295[$\mu\text{g/day}$]となる。堀口(堀口俊一,1959)は 1950 年代にも各食品中に含まれる鉛量を測定し、上記と同様の方法で実際の献立から経口鉛摂取量を算出したが、その結果は一般家庭食約 100~195[$\mu\text{g/day}$]、強労作者食約 90~250[$\mu\text{g/day}$]、重労作者食約 150~400[$\mu\text{g/day}$]としている。すなわち、ガソリンの無鉛化に伴って大気中の鉛濃度は特に大都市圏において大きく減少したが、食品等を介する鉛の経口摂取量は平均的にはあまり減少しなかったということになる。ここでは鉛の経口摂取量はほぼ一定に保たれたとみなすことにする。

2.2 農薬 DDT の使用停止

わが国では、殺虫剤 DDT(1,1'-(2,2,2-trichloroethylidene)-bis[4-chlorobenzene])は先ず 1971 年に農業や家庭用殺虫剤としての販売が禁止され、1981 年に至り全ての用途での製造・販売・使用が禁止された。この間、使用禁止を先取りする形で、環境中への DDT の意図的な放出はほぼ 1970 年の段階で停止している。にも関わらず、DDT およびその代謝生成物である DDE(1,1'-(2,2-dichloroethenyldiene)-bis[4-chlorobenzene])および DDD(1,1'-(2,2-dichloroethylidene)-bis[4-chlorobenzene])は現在においても環境中や食品中に微量ながら残留し、環境モニタリング等 (Fig.2 参照) によりその存在が確認され続けている。禁止措置の後、環境中での DDT およびその代謝生成物の濃度は減少を続け、Fig.2(F)に示すようにその経口摂取量も減少している。図中の実線は、フガシティモデルにより環境構成要素中の DDTs(DDT とその代謝生成物 DDE との和、以下同じ)濃度を算定し、標準的な日本人の食品摂取量に基づいて推定した経口摂取量の経年変化を示している (森澤真輔他、2000b : S.Morisawa et als., 2001)。

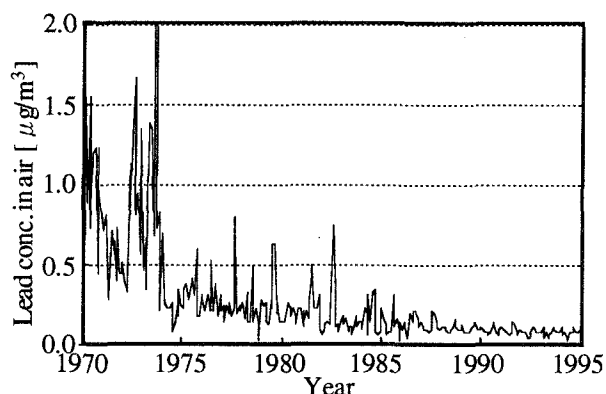


Figure 1 Variation of Lead Concentration in Ambient Air at Osaka City (Monitoring data by Japanese EPA(1972-1997) are illustrated)

Table 1 Dietary Intake of Lead Observed for Each Kind of Food Menu

Menu	Dietary intake [mg/day]	
	Minimum	Maximum
Reference menu No.1*	76.2	137.1
Reference menu No.2*	77.0	146.3
Reference menu No.3*	61.0	131.8
School food menu No.1	78.0	142.6
School food menu No.2	76.4	144.6
Self-Defense-Force menu No.1	95.4	273.7
Self-Defense-Force menu No.2	116.5	263.5

Note: * guided by the public health center.
Source: Horiguchi et al. (1980)

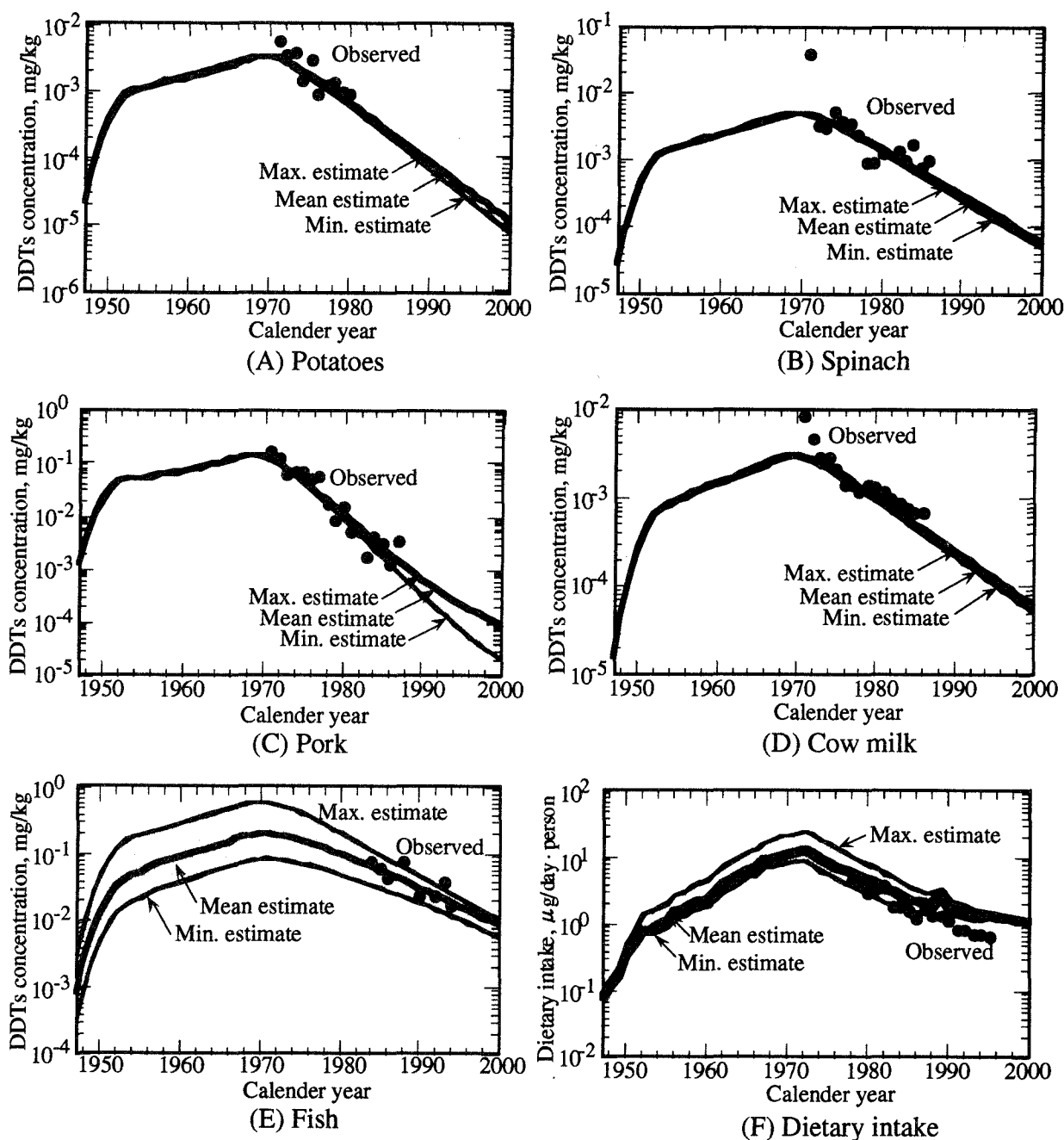


Figure 2 Comparison of the estimated and Observed DDTs concentrations in food and dietary intake

2.3 大気圏内核実験の停止

大気圏内の核実験は 1960 年代の前半に主として北半球において繰り返し実施され、大量の放射性核種が大気圏内に放出された。成層圏にまで達したこれらの放射性核種は、大気圏内核実験が完全に停止された 1981 年以降も地表面に降下し続け、世界各地で実施されている環境モニタリングにより降下量や環境構成要素中での濃度が測定されている。わが国産の白米に含まれる Cs-137 濃度の経年変化を Fig.3 に、食糧・飼料の輸入に伴う日本国内への輸送効果を含め、平均的な日本人による Cs-137 経口摂取量の経年変化を Fig.4 に示す。図中の○点はいずれも放射線医学総合研究所によるモニタリング結果(NIRS,1963-1999)を、実線は構築した数学モデルによる計算値(S.Morisawa et als., 2000)を示している。食品中 Cs-137 濃度、経口摂取量ともに 1960 年代中頃から減少を始め、核実験の実施による一時的な増加を示しつつ、減少を続けている。

3.停止措置に伴う健康リスクの低減

3.1 無鉛ガソリン政策による健康リスク低減

わが国においては最近の食品中鉛に関するモニタリングデータが存在しないこと、1950年代および1980年代において食品および飲料水からの鉛の経口摂取量がほとんど変化していないこと、土壌中の鉛存在量は1980年代と現在とでほとんど変化していないことなどから、現在においても、食品および飲料水からの経口摂取量は1980年代の摂取量とほぼ同等の数値であるとみなし、堀口(堀口俊一,1959:1980)らが献立材料の食品から算出した1日当たりの経口摂取量を用いて鉛による健康リスクを評価する。すなわち、現在の日本人の一般家庭食による鉛摂取量を70~170[μ g/day]、強・重労働者食による鉛摂取量を105~295[μ g/day]とする。

環境庁大気保全局(環境庁,1972)により測定された1970年度当時の大気中鉛は0.05~4.71[μ g/m³]であり、現在の濃度と比較して1~2オーダー高かったようである。石油統計およびエネルギー生産・需給統計(通産省,1965-1997)によれば、ガソリン低鉛化が始まった1970年度の年間ガソリン販売量は約204[億L]、1997年度の年間ガソリン販売量は約542[億L]と、ガソリンの需給量はこの27年間で約2.7倍にも増加している。ガソリンに鉛が添加されていた頃自動車ガソリンは大気中鉛の主な排出源であったこと、その他の製品に対する鉛の利用量は1970年と現在とでそれほど大差はないことから、ガソリンが無鉛化されずに現在まで添加され続けていた場合には、大気中鉛濃度はガソリン販売量に比例すると仮定する。すなわち、ガソリンが現在まで無鉛化されなかった場合、大気中鉛濃度は低鉛化が始まる前、つまり1970年の大気中濃度0.05~4.71[μ g/m³]の2.7倍(0.14~12.72[μ g/m³])に上昇するとして、無鉛化が行われなかった場合の血液中鉛濃度を算出する。ただし鉛の経口摂取量は無鉛化に関係なく一定(一般人70~170[μ g/day]、強・重労働者105~

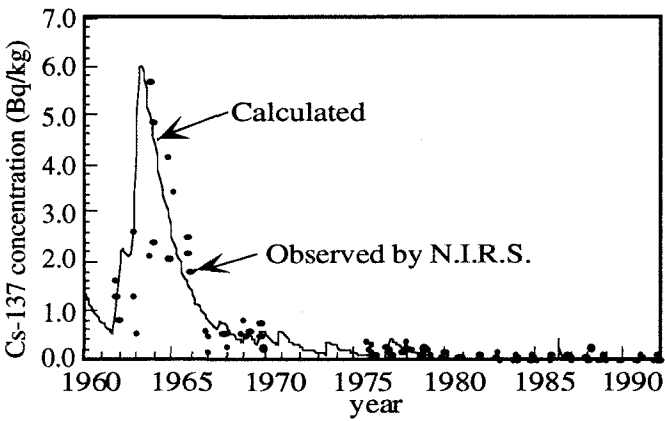


Fig.3 Comparison between the calculated and the observed Cs-137 concentration in polished rice in N40-30 zone

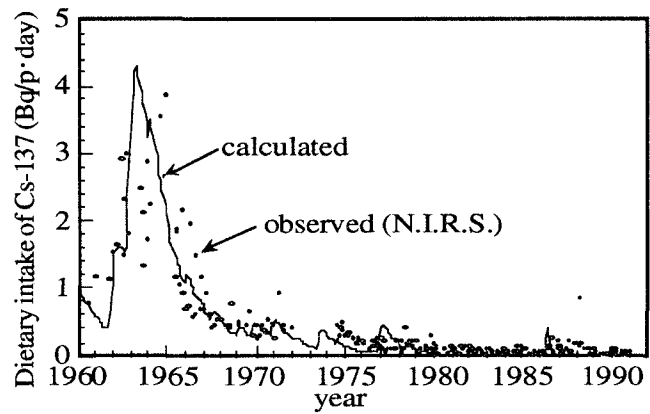


Fig. 4 Comparison between the calculated and the observed dietary intake of Cs-137 by the reference Japanese

Table 2 Lead Concentration in Blood, Estimated for the Cases with and without Leaded Gasoline Regulation

Simulation condition Cases	Lead Conc. in air [mg/m ³]	Lead concentration in blood [mg/dL]			
		General publics		Hard/heavy workers	
		Minimum (Dietary intake, 70[mg/day])	Maximum (Dietary intake, 170[mg/day])	Minimum (Dietary intake, 105[mg/day])	Maximum (Dietary intake, 295[mg/day])
Without leaded gasoline regulation*	0.14	3.0	6.8	4.3	11.2
	12.72	18.5	21.3	19.5	24.7
With leaded gasoline regulation	0.005	2.9	6.6	4.2	11.0
	0.130	3.0	6.8	4.3	11.2

Note: Evaluation was done in 1997.

* Simulation under the assumption that the lead concentration in ambient air is proportional to the gasoline consumption.

295[$\mu\text{g/day}$])であるとする。
結果を Table 2 に示す。血液中鉛濃度の算定には PBPK モデル (森澤眞輔他, 2000a) を用いた。

現在の血液中鉛濃度が一般人 2.9~6.8[$\mu\text{g/dl}$]、強・重労働者 4.2~11.2[$\mu\text{g/dl}$]であったのに対し、鉛が添加され続けていると仮定した場合の大気中鉛濃度から推定した血液中鉛濃度は一般人では 3.0~21.3[$\mu\text{g/dl}$]、強・重労働者では 4.3~24.7[$\mu\text{g/dl}$]となっ

た。有鉛ガソリンが使用され続けたとしても、平均的な日本人の血液中鉛濃度が機能障害に対する閾値 30[$\mu\text{g/dl}$]を越えることはないという推定結果が得られた。また、ガソリンの無鉛化による血液中鉛濃度の減少効果は、その低濃度側推定値ではほとんど認められないのに対し、高濃度側推定値では大きく認められることがわかる。ガソリンの無鉛化は鉛への高濃度曝露人口を減少させる効果があったといえる。

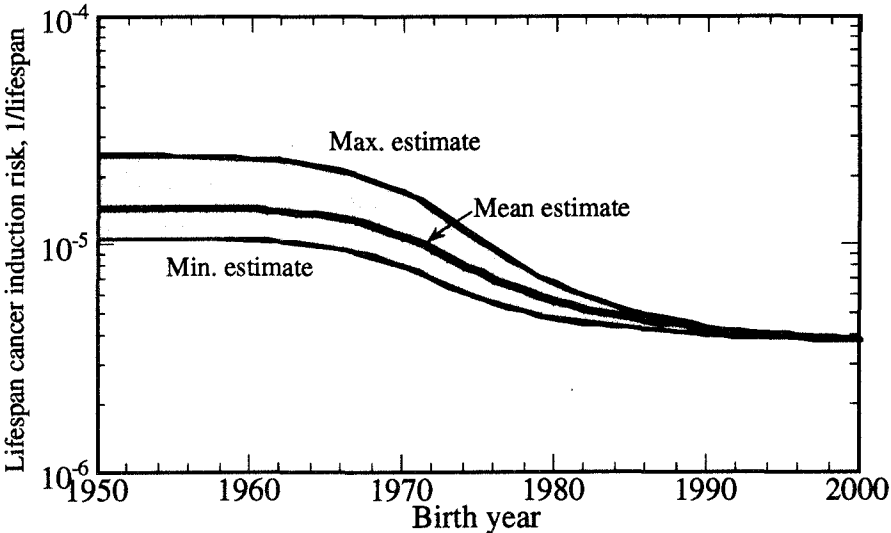


Figure 5 Lifespan excess cancer induction risks due to the dietary intake of DDTs, estimated for each birth year group

3.2DDT の使用禁止による健康リスクの低減

USEPAが発癌リスク評価に用いている線形マルチステージモデルを用いて一年間のDDTs経口摂取量による年間超過発癌リスクR(95%上限信頼限界値)を計算した。

$$R = SF \cdot (T/BW)/Ls$$

ここに、RはDDTs経口摂取による年間超過発癌リスク[-]、SFはSlope Factor(=0.34 [mg/(kg・day)]⁻¹)、TはDDTs経口摂取量 [mg/day]、BWは平均体重(=70[kg])、またLsは平均寿命(=75[year])である。これらの値を用いて一年当たり DDTs経口摂取による年間超過発癌リスクを計算し、生涯 (平均寿命75年) に渡って足し合わせるにより、西暦1950年から2000年の間に生まれた平均的な日本人の生涯発癌リスクを誕生年毎に算出し、結果をFig.5に示す。DDTs経口摂取による平均的な日本人の生涯発癌リスクは、概ね1970年以前に生まれた人では10⁻⁵を超えている。通常容認されるとされる1化学物質当たりの生涯発癌リスクが10⁻⁵~10⁻⁶であることを考えると、1970年以前生まれの日本人のDDTsによる生涯発癌リスクは比較的高いレベルにあるといえる。1980年以降では発癌リスクの推定値が一定値に近づくが、これは国内蚕食品中のDDTs濃度が次第に減少し、総DDTs経口摂取量に占める輸入食品の寄与が大きくなっているためである。ただし、本研究の計算では輸入食糧・飼料中のDDTs濃度は現時点での濃度が将来も維持されると仮定している。食糧・飼料の70%近くを海外に依存している日本人は、大気を介して外国から輸送されるDDTsを含め、健康リスクを更に低いレベルに低減させるためには、地球環境質の管理に着手せざるを得ない局面におかれていることを示している。

3.3 大気圏内核実験停止による健康リスクの低減

食品等の摂取により低濃度で継続的に曝露される Sr-90 および Cs-137 により平均的な日本人 (男性) に誘発される白血病による生涯致死リスクの評価結果(S.Morisawa et als., 2000)を Fig.6 に示す。同図は、今後大気圏内核実験が行われなとの仮定の下に Sr-90 および Cs-137 の降下量や各種食品中の濃度、輸入食糧・飼料の寄与を含めた食品中濃度を算定し、日本人に期待される生涯曝露量を評価し、これを誕生年度別に図示している。1960 年以前に誕生した (40 歳以上の) 平均的な日本人の生涯発ガン致死リスクは 10⁻⁶ の

レベルにあること、1960 年以降に誕生した日本人では誕生年の増加と共に指数関数的に減少すること、生涯致死リスクは骨に蓄積するため体内残留期間の長い Sr-90 による影響が Cs-137 よりも大きいこと、等がわかる。

4.おわりに

本研究によって得られた主要な結論を要約すると以下ようになる。

- (1) ガソリンの無鉛化、DDT の使用禁止、大気圏内核実験の停止等の措置により、環境大気中の鉛濃度、環境中の DDT 濃度、Sr-90 および Cs-137 濃度は減少を始め、以後持続的に減少を続けている。
- (2) 食品中鉛濃度および大気中鉛濃度の実測値と PBPK モデルとを用いて血液中鉛濃度を算出し、健康障害を誘発する血液中鉛濃度の閾値 $30[\mu\text{g}/\text{dl}]$ と比較することにより、平均的な日本人の健康傷害の有無を判定した。現在の日常生活における平均的鉛曝露レベルにより健康傷害は生じないこと、ガソリンの無鉛化による血液中鉛濃度の低減効果は、血液中鉛濃度が高い集団において現れることが推定された。
- (3) 平均的な日本人のDDTs曝露による生涯発癌リスクは、1970年以前に生まれた日本人で 10^{-5} を超えていると評価された。DDT使用禁止措置により、生涯発癌リスクは1970年以降に生まれた人では 10^{-5} を下回るレベルに低下している。また、発癌以外の健康リスクを評価するために、経口DDTs摂取量を曝露許容濃度のRfD値(DDTでは $0.0005[\text{mg}/\text{day}\cdot\text{kg}\cdot\text{BW}]$)と比較し、健康傷害が発現する可能性は低いという結果を得た。
- (4) 大気圏内核実験により放出された放射性核種Sr-90およびCs-137の地表面降下量は1960年代後半から減少を続け、平均的な日本人に対する経口曝露量も経年的に減少している。生涯曝露に起因する発ガン致死リスクは、Sr-90により誘発されるリスクがCs-137によるリスクを上回り、また曝露される人の誕生年(曝露期間)によって変化し、1960年以前に誕生した(40歳以上の)日本人では 10^{-6} のレベルにある。

本研究の成果には科学研究費補助金 No.10450190 および No.11691150 の交付を得て実施した研究の成果が含まれています。また本研究の数値計算には京都大学大型計算機センターの計算機を利用しました。

参考文献

- 環境庁大気保全局 (1972-1997): 国設大気測定網(NASN)測定結果
 通商産業大臣官房調査統計部(1965-1975): 石油統計年報
 通商産業大臣官房調査統計部(1980-1997): エネルギー生産・需給統計年報
 堀口俊一(1959): 食品中の鉛について、*労働の科学*、第 14 巻、pp.665-672
 堀口俊一・黒野俊式・二宮楠子・寺本敬子(1980): 最近における日本人の食品中の鉛について(その 9)、*生活衛生*、第 24 巻、pp.184-187
 森澤眞輔・日高大彰・米田 稔 (2000a): ガソリンの無鉛化による健康リスク低減効果の評価、*土木学会地球環境シンポジウム講演論文集*、第 8 巻、pp.283-288
 森澤新輔・加藤敦史・米田 稔・島田洋子(2000b): 日本における農薬 DDT の環境中動態と健康リスク評価、*日本リスク研究学会研究発表会講演論文集*、第 13 巻、pp.212-218
 National Institute of Radiological Science (1963-1999): *Radioactivity Survey Data in Japan*, No.1-123, NIRS, Japan
 S.Morisawa, Y.Shimada & M.Yoneda (2000): Flow, Stock and Destination of Radioactive Fallout Cs-137 in the Global Environment, *Water Science and Technology*, Vol.42, Nos.7-8, pp.155-162
 S.Morisawa, Atsushi Kato, Minoru Yoneda & Aki Nakayama (2001): The Dynamic Performances of DDTs in the Environment and Their Exposure to Japanese: A Historical Perspective after the Ban,(submitted for publication)

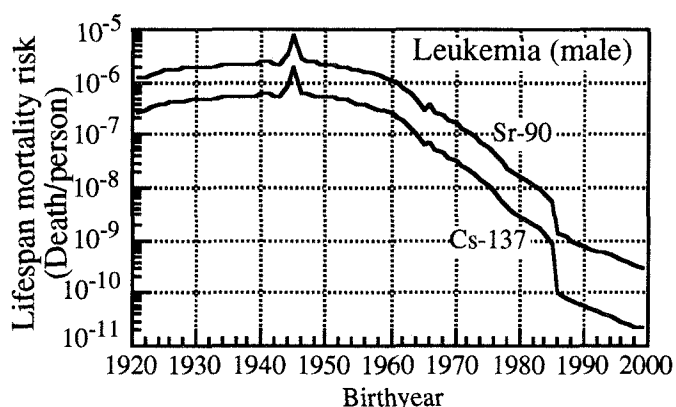


Fig.6 Japanese lifespan mortality risk due to the continuous lifetime dietary intake of fallout Sr-90 and Cs-137, estimated for each birthyear