

大型原子炉の事故の理論的可能性 及び公衆損害額に関する試算

[もどる / 次](#)

まえがき

本報告書は、科額技術庁が日本原子力産業会議に委託した調査「大型原子炉の事故の理論的可能性及び公衆損害に関する試算」の結果をとりまとめたものである。

本調査の目的は、原子力平和利用に伴う災害評価についての基礎調査を行い、原子力災害補償の確立のための参考資料とすることにある。その第一段階として本調査は大型原子炉(とくに発電用大型原子炉)を想定し、種々の条件下における各規模の事故の起る可能性および第3者に及ぼす物的人的損害を理論的に解析評価したものである。

諸外国においてもこの種の調査はほとんど前例がなく、わずかに米国において1957年に原子力委員会が行った調査「公衆災害を伴う原子力発電所事故の研究」(原題 Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidentes in Large Nuclear Power Plants,(WASH-740)があるだけであり、本調査の委託に当つてもこの米国の調査(以下 WASH と略称する)の解析方法を参考とすることが指示されていた。従つて我々は時間的経済的制約の下で本調査を行うに当つて、できるかぎり WASH の解析方法などを利用しようとし、そのためにまず WASH の検討から手をつけた。しかし WASH の研究が行われてからすでに3年を経過していること、また我国の特殊事情などのために WASH をそのまま流用しうる部分は少ないことが判明したので、このような観点から現在の時点において我々に課せられた範囲内でできるかぎり科学的根拠をもつた解析をしようと試みた。

大型原子炉の運転が出じうる公衆への危険の大きさを全休に評価するためには、次の4つの本質的且つ非常に困難な問題をといて行かねばならない。すなわち

- (1) 分裂生成物が原子炉から放出されて公衆のいる地域へ放散される可能性如何。
- (2) 放散された放射能の公衆地域への分布をきめる要素又は条件如何
- (3) 人的又は物的損害を生ずる曝射あるいは汚染の水準如何
- (4) 万一分裂生成物の放散があつたときその結果生じうる死亡者障害者の人数および物的人的損害額如何

本報告は第1章において(1)の問題を論じており、第2章において(2)、(3)の説明すなわち損害額の試算に当つて採用した基本的考え方と仮定を明らかにし、第3章においてその結果すなわち(4)を記述した。

この調査において取組んだ重要な要素の大部分は理論的にも実験的にも未確定のものであり、最終的にはそれぞれの分野の専門家の意見をもとにして割切つて行くという方法をとらざるをえないものである。そういう事情から、本調査全体は、重要な諸問題点を指摘確認し、それら諸問題点の現在可能な最良の評価を行うことにあり、その複合された結果の大ざつばな近似以上のものではない。

最後にとくに強調したいことは、この報告書に含まれた結論は、多くの本質的で重要な条件を前提としたものであり、又大きな不確かさを伴つていることである。これらの条件や不確かさをぬきにしては本報告の結論自体全くその意味を失うといつても過言ではない。それほど本報告の結論と

その前提条件・不確かさとは密接不可分のものであり、これらを一括して正しく読みとつてはじめて、おこりうる公衆損害の標準的な大きさの桁を与え、一応の限界を定めうるものである。本報告書を利用される方々はこの結論や結果の数字だけを濫用されることのないよう、くれぐれもおねがいしておきたい。

なお、報告書とりまとめを急いだため表現の不統一などが多くなつたが、御寛恕をおねがいしておきたい。

[表紙](#) / [戻る](#) / [目次](#)

目次

<u>まえがき</u>	
第1章 <u>公衆損害を伴う大型原子炉事故の可能性</u>	1
第2章 <u>損害試算の基本的考え方と仮定</u>	6
第3章 <u>試算結果とその評価</u>	15
附録 A <u>事故の種類と規模</u>	21
附録 B <u>想定する原子炉設置点と周辺の状況</u>	31
附録 C <u>煙霧の拡散、沈下</u>	49
附録 D <u>放出放射能の人体及び土地使用に及ぼす影響</u>	87
附録 E <u>放出放射能の農漁業への影響</u>	189
附録 F <u>物的、人的損害額の試算基礎</u>	207
附録 G <u>大型原子炉から生じる人的物的の公衆損害の試算結果</u>	235

[まえがき](#) / [戻る](#) / [第1章](#)

第1章

公衆災害を伴う大型原子炉事故の可能性

いうまでもなく、大型原子炉が万一大事故を生じた場合、敷地外の公衆に災害を与える可能性をもつ所以は大抵の大型原子炉中に大量の放射性物質が貯えられているためである。大ざっぱに言えば原子炉が停止して後約1日後において、内蔵されている放射能は熱出力1Wあたり1キュリーであるといえる。つまりここで取扱おうとする熱出力50万KWの原子炉では内蔵されている放射能の全量は約 5×10^8 キュリーになるということである。多くの核分裂生成物に対する人体の許容量がマイクロキュリー(1キュリーの100万分の1)のオーダーで測られるものであることを考えるならば、核分裂生成物から生じうる潜在的危険は非常に大きいものであることがわかるであろう。

しかし、現在建設中や運転中の原子炉が公衆災害を生ずるような大事故を起こす危険性があるかどうかということは又別の問題である。原子炉内に内蔵されている放射能が万一敷地外に放散されたなら公衆に大きな災害を及ぼすおそれのあることは、原子炉設計の初期から痛切に認識され、そのような事故を未然に防ぐためのあらゆる合理的な予防措置が考案され実施されてきた。その上大型原子炉を人口居住地域に設置する必要が生じてくるやいなや、一層嚴重な事故予防措置が採用されることとなつた。そのような予防措置には、原子炉施設自体の事故を防ぐ安全装置と、炉自体の事故発生防止装置には一応無関係に事故から公衆を防護する格納施設と大別することができよう。濃縮ウラン炉を二次格納殻(コンテナ)で包む方法や地下に格納する方法は後者の例であり、緊急停止装置や緊急冷却装置などは前者の例である。このような努力の結果、すでに原子炉が開発されはじめていらい18年間たつた今日、原子力の安全の歴史は、かなり輝やかなしいものであるといえよう。すなわちこの間に公衆に影響を与えた大事故は、英国ウインズケールのプルトニウム生産用原子炉が黒鉛のウイグナー放出作業中におこしたもの(不確実情報としてはソ連のスウェルドロフスクでおきた大事故がある)が唯一のものであり、この場合も放出された放射能は約 2×10^4 キュリーで、上述の内蔵放射能の量の1000分のないし10,000分の1にすぎないものであつた。しかしこのウインズケールの事故は、大型原子炉のもつ潜在的危険性を今更のように再認識させた点で貴重な体験だつたといふことができる。

国によつて原子炉の安全審査に対する考え方は若干のちがいはあるが公衆への影響という見地からすれば、米英とも大体次のような考え方によつて設置許可が発給されているようである。すなわち、

- (1) 平常運転時、原子炉からの(大気、地表、地中への)放射性放出物の流れは、敷地境界およびこれより遠い、いかなる地点においても、放射線レベルが連続曝射に対する最大許容量をこえないこと。
- (2) 緊急の事態において敷地境界をこえて放出される放射能の量は、“その発生がありうると信じられる最悪の事故”(“Maximum Credible Accident”)の場合でも大体において一般人があびる放射線量は最大緊急許容線量をこえないこと。

この考え方はわが国においても一応踏襲されており、日本原子力発電株式会社が英国から導入する発電炉についていえば、200キュリーの放射能が数時間にわたって放散される事故が Maximum Credible Accident(以下 MCA と略称する)であるとされ、適当な措置をとれば、そのときにも敷地外の公衆には殆んど危険を与えないと判定された。

ここで米英の例についてそれぞれ MCA と考えているものを概観してみよう。MCA のうち直接の原因が炉自体に由来するものとしては、反応度事故と冷却能力喪失事故とが考えられる。制御棒の引抜事故などによつて反応度の急上昇がおこれば、出力が上昇しいわゆる暴走をおこして大事故に到るおそれがある。しかし普通の発電炉では炉自体に自己制御性をもたせたり、制御棒の引抜に制限装置を附したりすることにより反応度が異常に上ることを防止するほか、万一或る程度以上の上昇がおこれば種々のスクラムによつて原子炉を急停止するようになっていることを考慮して、MCA では殆んどの場合反応度事故は取上げられていない。一方、何らかの原因で冷却材で失われたり減少したりしたときは、燃料温度が上昇し、燃料或いはその被覆が溶融するおそれがある。多くの場合、MCA では燃料溶融がおきる場合について解析を行なっているが、ガス冷却炉ではもともと冷却材の冷却能力が低く出力密度も低いので、冷却ガスがなくなつても原子炉が停止されるかぎりでは燃料がとけるまでに何時間かの余裕があるという理由から英国や前述の原電の場合には MCA としては燃料溶融は考えられていない。

以上の2つは事故の原因と考えられるものであるか、さらにもしそのような原因で事故が発生して温度上昇、燃料溶融がおこつたとき、それをさらに重大化し拡大化するおそれのある要素として、炉材料の化学反応がある。たとえば温度上昇した炉内に空気が侵入すればジルコニウム、ウラン、ウラン合金などの急激な酸化反応が、水が侵入すればジルコニウム、或る種のウラン合金、ナトリウム等と急激な化学反応がおきる可能性があり、また有機材のような特殊なものでは、それ自体が燃焼性が高いということもある。このような化学反応に関しても、目下研究実験が行われている段階であり、事故の際の効果はまだ明らかになつていないので、現在のところ MCA では、化学反応は何らかの原因で事故が生じたときに放出放射能が増加する要素として取扱われている。

以上を要約していえば、多くの場合 MCA では、(1)何らかの原因で冷却材喪失がおきたとし、炉自体の性質や種々の安全装置の作動によつて原子炉は停止されるものとするが、(2)燃料体中の放射能熱により燃料が溶融したり、溶融しなくとも燃料被覆のピンホールから空気が侵入し燃料を酸化とすることによつて、或る量の放射能が燃料から放出され、(3)コンテナがついている場合はそれからの漏洩、またはコンテナの破損によつて、前記の放射能の一部又は全部が大気中に放散されるものとしている。原子炉が暴走事故に到る場合をも MCA として考察の対象としているものも少なくはないが、多くの場合以上のような MCA の考え方が取られているようである。

MCA の結果として大気中に放散される放射線量としては200キュリーから約 10^4 キュリーという大きな幅にわたっているが、普通 10^4 キュリー程度が短時間(事故の際に内圧上昇や内部からの飛弾によつてコンテナが破損)又はかなり長時間(燃料酸化の場合、或いはコンテナから1日0.1%—1%の割合で漏洩する場合)にわたつて大気中に放散されるものとしている。

以上のように、同じ MCA でもその考え方と放散量にはこれほど大きな相違がある。これは、部分的にはたしかに原子炉型式の相違や安全設計の相違に起因するものもあるが、それよりも個々の原子炉の設計者または許可者がどの程度の事故をcredible(起こると信じる)のものとするかという、多少とも主観的な要素に左右されていることは事実であろう。*

(※) MCA を出来るだけ客観的なものに統一しようとする試みもある。たとえば、国際原子力機関の研究炉安全マニュアル草案では、「MCA とは考えられる事故原因2つの最悪の組合せ」という意味の定義を提案している。しかし MCA を完全に客観化することは非常に困難であろう。

以上のことによつて、MCA を問題にするかぎりにおいては巨大な公衆災害を生ずることはありえないことになる。しかし果して大型原子炉は公衆に災害をもたらす可能性が“絶対的”にないといえるであろうか。ここにおいて問題となることは、MCA の評価に主観性が伴うという事実である。そして、その一つの岐かれ目は、原子炉の暴走を生ずるような事故を MCA と考えるか否かであり、もう一つは燃料熔融を考えるか否かの点にある。MCA でも公衆災害をほとんど生じないというのは、設置者や許可者の慎重に仮定した原因と経過に従つて事故がおきるという保証があるときに限られるということができるであろう。このような保証が技術の進歩によつて漸次確かめられつつあることも確実であろう。しかし一方今日までにおきた事故—それはウインズケールをのぞき全く小規模のもので多くは研究室内に止まるものである—の経緯を検討してみると(附録(A)表2を参照)そのすべてが人為的な錯誤に起因している。多くの場合は全くの過失であり、又他の場合は知識の不完全性のため全く予期しなかつた現象が生じたことによるということができる。(※※)

したがつて我々は公衆災害を考察するに当つては、質的にも量的にも MCA 以上の事故を考察しなければならぬと考える。と同時に米英等においても、一方で原子炉が公衆災害を生じるとは信じられない(non-credible)という立場で原子炉の設置運転許可を与えながら、他方で万一 MCA 以上の事故が生じたとき第三者賠償に当てうる資力を設置者に要求し、またその能力をこえる事故が生じたときに国家が何らかの形で補償を行なうようにしていることは我々の考え方を裏付けているということかできよう。したがつて我々は、本調査では MCA 以上の規模の事故を対象とすることにしている。

本調査では 10^4 キュリーをこえる量が大気中に放散される事故を対象とする。こういう大事故の可能性については前述のことからも明らかであるように本質的に確率を計算できないものであり(※※※)またそれ故にこそ、それに対して民間賠償責任保険以外の措置の必要が強調されているといえよう。

WASH においてもこの可能性の点については何人かの専門家のカンによる推定を集めようとしたが、大部分の専門家はこれを確率数値で表すことをことわつたと述べている。(×)

(※※) 顕著な例として1958年10月におきたユーゴの臨界超過事故(1名死亡)あげることができよう。この場合、計器が事故の発生を伝えていたにもかかわらず、操作員が安全性に対して過度の信頼をもつていたため、計器

の方が故障しているものと思いきみそのため対策が著しくおくれってしまった。なおこの場合も勿論公衆損害は生じていない。）

(※

※ MCA の範囲内では或る程度根拠のある確率の推定も可能であろう。

※)

(×) WASH には専門家のカンによる確率が非常に幅のある数字として示されている。これは全く科学的根拠のないものではあるが、だからといって科学的根拠のある推定は今日では何人もなしえないところであろう。

[目次](#) / [戻る](#) / [第2章 損害試算の基本的考え方と仮定](#)

第2章 損害試算の基本的考え方と仮定

次にいよいよ本調査に与えられた主題である大型原子炉の事故から生じる公衆損害額の試算に入るわけであるが、そのためには、まず本試算の前提となる種々の仮定を明らかにしておく必要がある。

まず我々の試算の基本的態度といったようなものについておきたい。本試算は、近い将来我が国に設置される大型原子炉が何らかの原因で大事故を生じた場合に公衆に対して(人数や金額でいつ)どれくらいの損害を生じうるであろうことを把むことを目的とするものである。したがって我々は、どういう型式規模の原子炉がどういう敷地に設置されるべきであるとか、個人の補償額はいかほどであるべきか、といったいわゆる当為に属する問題については検討しようとしてはいない。つまり以下にのべる仮定はすべて、科学的な合理性をもつという理由で採用したものではなく、近い将来我が国において現出するであろう状態を想定して、それを一般化し典型化した結果えられた仮定が以下にのべる諸仮定であるということが出来る。勿論我々は以下の仮定がそれぞれ或る程度の合理性をもっていることを信じてはいるが、本調査の目的からいつてもまた時間の制約からも、合理性を追及することよりもむしろ一般性をもたせることに努力したことを強調しておきたい。

さらに個々の問題について町、経験も実績も科学的知識も限られているため、種々の面で思いきつた判断を行うことによつて内容の本質を明白な形で示していくという方法をとらざるをえなかつた。そういう場面には非常に多く遭遇したが、その際判断の原理とした考え方は、次の通りである。すなわち、まずできるかぎり現在の科学技術の水準と傾向および現在の時点における社会的経済的与件にたち、近い将来の状況を想定したが、その結果一つのケースにしぼることが不可能であつたり幅をもつた予想しか得られない場合は、やはり上述の通り一般性をもつ方向に割り切るという方法をとつた。

以上を要約すれば、本調査の目的からいつて、又調査の実施上の要請からしても、合理的な範囲内で一般性をもたせるということが、本調査の基本的考え方となつている。

次に本調査の最終結果が過大評価になつているか過少評価になつているかということについて一言しておこう。本調査の目的からして取上げた事故の前提条件として非常に悪い場合をとり上げていることは第1章でものべた通りであるが、その評価はむしろ過少評価の側にあるものといえる。というのも一つには、調査に当然取り上げるべきでありながら諸般の理由で除外した重要な項目がかなり多いことであり、二つには過少評価であることが明らかでありながらデータの不足のため止むをえず採用したデータが少くないことである。前者の例は、人体障害の評価において晩発性障害や遺伝障害を損害試算の基礎において無形財産等をそれぞれ除外したことであり、後者としては人体障害の評価において健康な成人を対象としたことや損害試算の基礎において家計財産や土地面積を過少評価しているのがその例である。

個々の仮定の根拠については、附録(A)以降に詳記するが、以下その要点をのべる。

損害額試算の対象範囲

我々の試算の範囲はあくまでも公衆損害であつて、当核施設および従業員等が入っていない。また我々は物的損害のみならず人的損害をもできるがぎり算定した。WASH は物的損害だけを損害算出の対象としているのに対して我々が人的損害までを金額で算出しようとした理由は、公衆損害の総額をできるだけ実際の額に近づけようとしたためであつたが、その目的にどの程度近づきえているかはほとんど不明である。またいずれの場合もすべての項目を算出したのではなくて、総額において占めるとウエイトと資料の信頼性とを勘案して取捨してある。又損害試算に当つては外国領土に及ぶ部分は除外した。

典型的原子炉と炉内の分裂生成物の容量

考察する原子炉はウランを燃料とする熱出力約50万KW、中性子束平均約 10^{13} の原子炉で平均燃料取替周期は4年とする。この調査で仮定される事故は平衡に対したのち(すなわち分裂生成物が最大になつてから)におきるものとする。燃料取替の周期を長くつたこと、後に敷地条件の項でのべるように敷地は主として動力炉用地という観点からきめているので、本調査の結果は動力炉の場合に最もよく適合するものである。同じ出力であつても材料試験炉の場合は燃料サイクルが短いと想像されるので、放射能内蔵量とその内分けが変つくる上、燃料の種類、運転方法の相違などによつて同じ放散キュリー数の場合の損害額は若干変動するものと思われる。しかし材料試験炉や小型動力炉などの場合も、放散キュリー数を同じにとれば、本調査の結果は或る程度適用できる。

上記のような大型原子炉中の燃料サイクル末期における分裂生成物の蓄積量の送料は、事故後(すなわち原子炉停止後)24時間の値で約 5×10^8 キュリーとなつているはずである。放散放射能の人体および土地使用等におよぼす影響の評価のために、分裂生成物の崩壊とその組成を考慮してある。燃料サイクルを長くつたことによつて、WASH の場合よりもストロンチウム、セシウムなどの長寿命の各種の影響がちがった形ででてきている。なお、特定型式の炉にふくまれているその他の放射能についてはここでは除外した。*

(*) その一例として、重水型大型原子炉中には10年程度運転し後には、約 10^4 キュリーのトリチウムが内蔵されており、この元素の影響は小さくないとみられる。

典型的敷地

我々は、現在動力炉敷地として確定している茨城県那珂郡東海村、および近い将来の動力炉敷地の候補地点と目されてれる敷地点について調査した結果を本調査の目的にてらして典型化一般化して次のような仮想的な敷地をえた。すなわち、原子炉は海岸に設置されるものとし、敷地境界は炉から800mで、炉から20km、120kmのところそれぞれ人口10万、600万の都市があるものとする。損害額算出にあつては、我が国の場合直線距離で1000~1500Mmで外国領土に達することを考慮する。

人口分布は炉から半径20km以内の人口は $P=393R^{2.19}$ (P は半径 R kmの半円内の人口)で人口10万の都市は直径10kmの拡がりを、600万の大都市は直径25kmの拡がりをそれぞれもつものとし、大都市の周辺には巾20kmの比較的人口密度の高い周辺地帯がある。上記以外の地域は平均人口密度300人/km²とする。なお海岸線から80km、100kmを海岸線に平行して走るそれぞれ高さ500mおよび1,000mの稜線があるものとし、この稜線による影響を考慮に入れた。

放出分裂生成物の性質

公衆損害を考察する上で最も問題となるのは、放射能が原子炉から放出され大気により拡散されるような事故であろう。放射能が原子炉から放出されてもコンテナのような格納構造物中に含まれて直接大気中には拡散されないような事故については、コンテナからの直接ガンマ線による損害はWASHと同様な方法で検討した結果、公衆損害は殆んど生じないので取上げないこととし、その際コンテナから漏洩する放射能による損害のみを取上げることとした。

種々の気象条件のもとでの風下における影響を算出するとき問題となる要素は放散時間と放出物中に含まれる粒子の粒度分布と放出時の煙霧温度とである。放散時間については反応度事故を伴うような短時間放出の事故のほか、燃料の酸化、或いは上述のコンテナからの漏洩などのような比較的長時間にわたる放出を代表する場合として4時間放出の事故を想定して検討してみたが、人体への影響その他を具体的に検討した結果では両者の影響のちがいは他の要素に比べて小さいことが判明したので、本調査では短時間放出を対象とすることとした。

粒子の粒度分布と煙霧の温度については、WASHで与えられている以上の具体的な根拠をうることは実際に不可能であったので、WASHの値をそのまま採用し、それぞれおこりそうと思われる場合を代表する2つの場合を考えた。すなわち放出温度に対しては、高温(3,000° F、1650°C — 格納容器を破壊するに十分な圧力下の蒸気温度の代表)と低温(70° F 21°C — 普通の大気温度の代表)をとつた。粒度分布は直径1 μ 、7 μ を夫々中央値とする2つの分布の場合を考えた。3,000° Fはかなりの高温ではあるが酸化ウラン(UO₂)の溶融温度よりは若干低いものであり、粒度分布はそれぞれ煙と工場塵の典型であるとWASHには記載されている。

事故による放射性煙霧の分布をきめる要因

放射能を放出する事故がおきたと仮定したとき、風下の各地点における煙霧の分布をきめるのに影響する要素は数多くあるが、気象変数は、その組合がかぎりなくあるものから、変数の個数を大きな影響を与えるものだけに制限し、その各々に対して1個ないし2個の代表的な少数例について計算することにより損害の範囲に対する目安を得ることができる。

ここで取上げた気象変数としては、

- 天候 a) 乾燥
 b) 雨(影響ある全域にわたり影響される全時間に0.7mm/hr)
- 大気安定 a) 典型的な温度逡減(日中)
- 風速: 地上 4m/sec
 400 ~ 800m 7m/sec

b) かなり強い温度逆転

風速: 地上 2m/sec
400 ~ 800m 6m/sec

煙霧の上昇の高さ

- a) 低温放出 地上(高度0)
b) 高温放出
 通減時 高度360m
 逆転時 // 400m

風は大都市の方向に向かっているものとし、上記の気象変数は影響される全地域全時間にわたって継続するものと考えている。以上の数値は、本調査で典型的敷地をきめる基礎とした数個の敷地のうちから実際に気象データのある地点(又は近くの地点)の観測データから気象庁の協力によってえられたものである。なお個々の気象条件に遭遇する時間的割合は損害額試算結果の下欄に示してある。

分布を算出するための拡散方程式としては、附録(C)で述べられている英国気象庁方式、サットン方式、坂上方式の3つを数値的に比較検討しその計算結果は傾向的に一致を示すことがたしかめられたが、英国気象庁方式は、その表式が沈着の取扱いに不便なるため採用しなかつた。又坂上方式の特色ある取扱いは注目されたが、前記の強い温度逆転の場合について適当な常数が時間的にもえられなかつたので、本調査ではサットン方式を使用することとし常数は WASH のものを採用した。

放出放射能の人体および土地使用に及ぼす影響

次に、仮定された事故で放出された放射性煙霧に人体がさらされることによつてどの程度の障害を生じうるかの判定基準をきめなければならない。また地上に沈着した分裂生成物による曝射からも障害を生じうる。公衆に対するこの種の基準はまだどこにも公式に示されたものはないが「前者の曝射はかなり短時間のうちにおきるとみられるので退避などによつて障害を軽減することが困難であると思われるのに対して、後者の地上からの曝射については重大な障害が生ずる前に汚染地域から立退できる位の時間があるであろう。ところで種々の放射線量によつておきる障害をきめることは医学的にもきわめて困難であるが、本調査のように曝射線量が直接全身外部線量であたえられず、放射性煙霧に曝されることによつて体外および身体各部が線量をうけることから生ずる障害を推定することは一層困難である。

WASH は戒る組成の放射性煙霧にさらされたとき身体各部のうける線量とそれからおきる障害を別々に算出して機械的に加算するという方法をとつているが、これは医学的にみてかなり不合理とみられたので、本調査では全身および身体各臓器別に各核種別の効果を算出し、その被曝期間を1日以内、1年以内、数十年と3つに大別して、それぞれの効果を比較して最も厳しい核種と臓器とに相当する煙霧の量をもつて障害の判定基準とする方法をとつた。

この方法自体は WASH のそれよりも合理性をもつと考えるが、この種の検討分析に伴うデータの不足からする不確かさは必ずしも改善されているものとはいえないであろう。とはいえこの推定の過程を通じてえられた問題点は今後の研究にとつて有用なものとおもわれる。なおこの検討分析を通

じて放射線による人体障害に関するデータの不足があらためて痛感されたが、今後のこの分野の研究の促進は重要なことと思われる。附録(D)にのべるように人体障害の判定基準としては次のようなものを採用した。

なお、事故は被曝者の一生の間に一度だけ遭遇するものと考えている。

	粒 度	全 身 ガンマ線量 (レントゲン)	左欄と等価の曝射を与え る 放出分裂生成物密度
揮発性	小	700	550
		200	150
		100	80
		要観察	1 (3)
	大	700	550
		200	150
		100	80
		要観察	0.5 (2)
全放出	小	700	800
		200	200
		100	100
		要観察	0.5 (2)
	大	700	250
		200	80
		100	40
		要観察	1.0 (1.0)

(括弧内は6時間後被曝)

全身ガンマ線量でいつて700r以上は全員2週間以内に死亡、200r — 700r は全員障害を生ずるが一部は死亡、一部は治癒、100r — 200r は全員障害を生じて治癒、100r — 要観察は障害は生じないが医学的観察を要すると考えている。

沈着放射能によつて、立退範囲と土地使用の制限範囲がきまる。

近海漁業についても検討し附録(E)で一応の基準を作製したが、損害総額において占める比重が小さいことと具体的な損害額試算の困難性のためにこれは損害額試算からは除外した。

基準は次の通りとなつた。

--	--	--	--

	揮発性	全放出	備考
A 級	0.04C/m ²	0.07C/m ²	12時間以内に立退
B 級	0.01	0.002	1ヵ月くらいの間に立退
C 級	6×10 ⁻⁴	4×10 ⁻⁵	都市は6ヶ月間だけ退避、農村は農耕禁止
D 級	6×10 ⁻⁵	4×10 ⁻⁶	農業制限

損害評価の基礎的仮定

大型原子炉事故によつて生じうる敷地外の損害は、大別して死亡もしくは放射線障害といった人的損害と、それ以外の物的損害とに分類できる。WASH では、人的損害についての金銭的評価は行わず、単に事故により障害をうける可能性のある人数を算定するに止めているが、本調査では人的、物的損失の両者につき一応の損害額の試算を行つた。もちろん、不特定多数について人的損害額を算定することは極めて難しく、適切な結論をうることは不可能に近い。このことは物的損害額の試算についてもほぼ同様である。しかし、試算に非常な困難が伴うからといって、計算の比較的容易なもののみを抽出して試算を行い、それのみについての試算結果を示せば、応々にしてそれ以外の損害は全く発生しないとか、または発生しても無視して差支えないというような誤解を招くおそれがある。本調査の目的ができるだけ適正な損害の評価額を示すことにあるとするならば、こうした面への配慮は当然行われるべきであり、とくに過大評価にならない限り損害の発生の予想されるものについて試算を行つた。

以上のような考え方に基づいた試算も、既存資料の入手の限界や推算方法の関係から、一部脱漏したものもあり、また多くの場合過少評価とならざるをえなかつた。この意味で本調査に示す試算方法と結果は、決して唯一絶対なものでなく、さらによりよい手法を研究する余地は残されているといつてよからう。なお、ここに示す損害評価額は、種々な汚染、被曝量の基準に適應して計算できるように WASH と同様すべて1人当りないしは1平方軒当りの額とした。

損害評価基礎額

物的損害

	都会	農村	備考
A 級	600千円/人	350千円/人	長期間立退き
B 級	600千円/人	350千円/人	長期間立退き
C 級	100千円/人	350千円/人	都会は短期間 農村は長期間 立退き
D 級	0千円/人	4,700千円/人	農業制限

1.

人的損害

	当価全身被曝量	影響される程度	損害評価額
第1級	700r以上	全員2週倒以内に死亡	850千円/人

2.

第2級	700r~200r	死者は60日以内に死亡 障害者は180日で治癒	死亡 900千円/人 障害 400千円/人
第3級	200r~100r	90日で治癒	250千円/人
第4級	100r~25r	検査のみ	40千円/人

仮定した原子炉事故

原子炉事故が公衆損害を生じうる可能性については第1章に論じた通りであるが、そのような事故がおき場合に生じうる公衆損害の程度を示し、この損害額に対する上記の諸変数の持つ影響の輪郭をつかむため、ここでは次の2種の原子炉事故を取上げることにした。すなわち、

- (1) 揮発性放出 核種のうち揮発性のもの全部および放出されやすいものの一部だけが放出する。
- (2) 全放出 放出煙霧の核種別組成は(キュリー数で表わして)原子炉内に内蔵される放射能の組成と同じものとする。(念のため附言すれば、“全放出”とは炉内の放射能の全部が放出されるという意味ではない。)

なお、放出キュリー数の総量は第1章でのべた通り事故後24時間の値でいつて 10^4 キュリーをこえる量とする。

第1章 公衆災害を伴う大型原子炉事故の可能性 / 戻る / 目次 / 第3章 試算結果とその評価

第3章 試算結果とその評価

万一大型原子炉が事故を生じてその内蔵放射能の一部が大気中に放散されたとき生じる公衆損害は、第2章での述べた諸仮定にもとずいて試算することができる。その詳細な結果は附録(G)にのべてあるが、ここではその要約を紹介し、えられた結果を整理して簡単な説明を加えておこう。

本調査では大気中への放散量が(炉停止後24時間の値で)10⁵キュリー以上の場合を取扱うことは別記の通りであるが、ここでは全体の傾向をみるために、揮発性放出、全放出の場合につきそれぞれ10⁵キュリーの場合と10⁷キュリーの場合の要点をのべる。ここでこれらのキュリー数に対応する事故がどういった程度の事故を代表しているかをのべておこう。

10⁵キュリーは、放射能の量でいえば本調査で取上げた原子炉の内蔵する全放射エネルギーの約1/5,000に当たるわけであるが、たとえば天然ウラン黒鉛型でいえば約1万本装入されている燃料棒のうち10本が溶融してその分裂生成物の1/5の量が大気中に放散された場合にあたるといえよう。揮発性放出の場合上記の例でいえば、燃料棒10本分の分裂生成物のうち揮発性のものだけが全部大気中に放散されたとき、10⁵キュリー揮発性放出に当たる。またコンテナのある原子炉でコンテナが破損しない場合についていえば、10⁵キュリー揮発性放出とは何らかの事故で炉内の揮発性放射能の全部がコンテナ中に放出されそれが漏洩によつて大気中に(数時間のうちに)放散される場合に対応している。(同じく、コンテナの穴の閉止がおくれ、その約1000分の1が大気中に放散された場合に対応しているといつてもよい。)10⁷キュリー放出についても、同様な説明が可能であることはいままでもない。

すなわち放射能の量としては全内蔵放射能の約1/50に相当する量であり、上記炉型式でいえば、10⁷キュリー揮発性放出は燃料棒約1000本分の揮発性放射能が大気中に放散されるような非常に悲観的な場合を代表している。以上のような方法で以下にかかげる放出放射能の量がどういふ事故を代表しているかのべることができるであろう。それぞれの条件下で、10⁵キュリー、10⁷キュリー以外の種々のキュリー数に対応する公衆損害については附録(G)および本章でのべた結果から或る程度推定できよう。

(1) 放出キュリー数と損害との関係

(イ) 10⁵キュリー放散の場合

人的損害はほとんど生じないが、低温(地上放散)で放出粒子が小さいとき、温度逆転乾燥時には数千人から1万人程度の要観察が生じる。立退、農業制限などの物的損害は零から10億乃至200億円におよぶ。

(ロ) 10^7 キュリー放散の場合

人的損害は、低温放出ではかなり生ずる場合があり、放出粒子が小で逆転時には数 100 名の致死者、数 1,000 人の障害、100 万人程度の要観察者が生じうる。高温放出では人的損害はつねに零である。

物的損害は逆減時の全放出の場合が大きく、最高では農業制限地域が幅 20~30km 長さ 1,000km 以上に及び、損害額は 1 兆円以上に達しうる。(全放出、低温、粒定小で逆減の雨天時など)

(ハ) 以上のことから判るように、 10^5 キュリーと 10^7 キュリーすなわち放出放射能が 100 倍ちがつても、諸条件のちがいにより公衆損害の範囲は重なってくる。つまり 10^5 キュリーでも、悪条件の場合には 10^7 キュリーの好条件時よりも大きな公衆損害を生じうる。

(2) 気象条件

(1) でのべた公衆損害の大きな幅は気象条件のちがいによるところが最も甚しい。

(イ) 逆減時と逆転時

逆減時には放射性煙霧は上下方向によく稀釈されるので、一般に地上における人的損害は少ないが、逆転時はその逆で、とくに低温放出のときは人的損害は大きなものになりうる。しかし物的損害は地表面の沈着量からきまってくるので、様子が大分変り逆減時の方がかえって大きな被害を生ずる場合がある。*

(ロ) 乾燥時と雨天時

粒度小たるときは雨による沈着によつて物的損害は大きくなる。この傾向は低温放出のときにいちじるしく、たとえば逆減時低温放出粒度小(全放出)では、乾燥時の約 50 億円に対して雨天時はその 200 倍以上の損害を生じうる。

なお雨天時には逆転状態はほとんど皆無なので取上げていない。

* 風速のちがいと煙霧の拡がり方とのちがいにより、逆転時の方がかえって放射性粒子が比較的近いところで落ちてしまい、逆減時に比べて沈着の影響が近くに局限される場合がある(この傾向は粒度大のとき著しい。)

(3) 放出粒子の粒度のちがい

粒度大なる方が沈降速度が早いので、一般に物的損害は粒定小より大きくなりうるが、逆転時低温放出のように煙霧が地表面をはうような場合には、粒度大なるときは比較的近い地域に濃くおちるため、物的損害発生面積が相対的に小さくなつて被害額がかえって小さくなることもある。

(4) 全放出と揮発性放出のちがい

放出キュリー数が同じ場合、両者のちがいは損害を生ずる基のちがいに帰せられる。人的損害の判定基準は、粒度小のときは致死及び障害発生基準は全放出の方がゆるいが、要観察の基準になると逆に全放出の方がきびしくなり、粒度大のときは致死及び障害発生の基準は全放出の方がきびしいが要観察の基準になると逆に全放出の方がゆるくなる。物的損害の判定基準となると、緊急立退(12時間以内に立退)の基準以外は全放出の方が一桁位きびしい。以上を総合して、公衆損害を金額で表わすときはつねに全放出が多額になっている。

(5) 乾燥時と雨天時とのちがい。

雨天時は、普通の沈降に雨による沈降がつけ加わるので粒子が小なるときは物的損害が大きくなる。しかし粒度が大なる場合は、粒子自体の沈降速度がすでにかなり大きいので低温(地上放出)の場合のように粒子自体がすでに効果的に沈着しているようなときは、雨はかえつて被害を若干局限する方向に作用することもある。

(6) 概 括

以上のように諸要因がからみ合つてどういう場合に損害が大きくなるということは、一概にはいふことができない。そこで、以下そのしめくりとして、顕著な場合について被害程度からみたくつかの分類をあげておこう。

(イ)被害皆無。(10⁵~10⁷ キュリー)

1. 揮発性放出、高温、粒度小、逓減乾燥時
2. " " " 逆転時
3. " " 粒度大、逆転時

(ロ)人的損害は数 1,000 人以下の要観察のみだが、かなりの物的損害を生ずる。この場合の例としては次のような場合がある。

1. 全放出、 低温、粒度小、逓減、雨天時
2. 揮発性放出、低温、粒度大、逓減乾燥時
3. 揮発性放出、"、 粒度大、逓減雨天時
4. 全放出、 低温、粒度小、逓減、乾燥時
5. " " " " 乾燥時

以上はいずれも 10⁷ キュリーの場合で、物的損害が多い順序に列べてある。

(ハ)致死はじめかなりの人的損害を生じ物的損害もかなりの額になる。

1. 全放出、 低温、粒度小、逆転時
2. 揮発性放出、" " "
3. 全放出、 低温、粒度大、"

4. 揮発性放出、 " " "

以上のうち、3. と 4 は10人程度致死、100 人程度の障害、1,000 人程度の要観察者を生じ、1 と 2 は数 100 人の致死、数 1,000 人の障害、数100万人の要観察者を生ずる(10^7 キュリーの場合)。

(二)合計損害額が非常に大きい場合。

1. 全放出、低温、粒度小、遞減雨天時
2. 全放出、高温、 " "
3. 全放出、低温、粒度大、遞減乾燥時
4. 全放出、高温、 遞減雨天時
5. 全放出、低温、粒度小、逆転乾燥時

以上は損害額の大きい順序に列んでおり、いずれも 10^7 キュリー放出の際は 1 兆円をこえる。

第 2 章 損害試算の基本的考え方と仮定 / 目次 / 附録表紙 / 附録(A)

附 録

目次 / 附録(A)

附録(A)

事故の種類と規模

原子炉には核分裂の結果生じた分裂生成物が内蔵されており、これが仮りになんらかの原因で大量に放散されるような事態にたち到ると原子炉敷地の周辺に対して大きな災害を及ぼすようになることはいうまでもない。

このような原子炉事故の性質について実際的な知識のなかつた初期の研究においては種々の仮想的な放散の観点から理論的研究が行われ、これらの研究は原子炉の災害についての認識を与え、事故対策を樹立、推進するのに役立つが、今日では、原子炉の継続運転とそれに関連した研究による知識と経験も次第に増えており、より現実的な想定に基いて装置の故障あるいは運転の誤りによつて起り得ると考えられる事故の経緯を推測しその結果を考慮して原子力発電所の安全性を評価する手法が一般的に行われている。そしてそのような起り得ると考えられる事故のうちで最大のもの、Maximum Credible Accident(以下 MCA と略称する) が起きたとしても周辺の公衆に対してほとんどの障害をも及ぼさないように施設し、敷地を選定することが要求されている。ここで、当面我国に設置を予定されている水冷却炉、ガス冷却炉の最悪想定事故について夫々の主な開発国である米国、英国の考え方を概観して次に記す、

(1) 水冷却炉の MCA (米国の考え方)(参考文献 (2)、(3)、(7))

一次冷却系の大きな破損の結果、炉心の冷却が充分に行われなくなり、炉心の相当な部分(10%程度)に含まれていた分裂生成物が放散されて格納容器内に充満して、これが徐々に漏洩するような事故が考えられている。漏洩率は事故の直後において約 0.5% / 日であつて、(表 1 を参照)撒水その他の手段によつて圧力が低下するため、事故発生後半日間の漏洩量は約 0.1%程度と想定されている。※その後も多少の漏出はあろうが、半日以上も、一定の気象条件が続く可能性は少く、しかも、圧力低下による漏洩率の減少、分裂生成物の崩壊、住民の移動等によつて、その照射量は漸減する傾向にあり、最初の半日以内の漏洩によるものが支配的であると考えられる。

(2) ガス冷却炉の(英国の考え方)

燃料被覆に小さな漏洩がある状態で、一次冷却系が破損して空気が侵入しウランの酸化が進む状況を解析した結果、数時間に亘つて全汚度 250キュリー(全分裂生成物 2×10^3 キュリー相当)と少量の Sr が放散されると想定している。

以上のような MCA の際の災害は皆無といつてもよい程であり、逆にいえば、皆無に近いことが原子炉設置の基準とされているにもかかわらず、各国とも原子炉事故に伴う第三者災害保険制度を設けさらにある限度以上の事故に対しては国家補償を考慮している実情である。

この矛盾について、原子炉の事故をもう少し深く掘り下げて考えて見ると、MCAというものは、起り得ると信じられる事故 credible accidents (例えば、少量の分裂生成物が一次冷却系に充満するような事故)と、想像上の事故 conceivable accidents (例えば、格納容器に分裂生成物が充満しているとき何等かの原因で格納容器が破損するような事故)の境界にあるものであつて、未だ原子炉の運転経験に乏しく客観的な基準の得難い今日では、どこまでを起り得る (credible) と考えるかは専門家の洞察に基く判断に依存せざるを得ない状況の下にある。(Rf3、P/2407)

それ故我々は損害評価を行うべき事故の規模としては、MCA 以上の仮想的な事故を敢えて想像しその 100~1,000 倍の事故に相当する 10^5 - 10^7 キュリー放散の場合を考えることにする。なお現在までに実際におきた事故は少数で少規模のものであるが、参考のためその主要なものについての概略を表 2 にまとめておいた。

※ 500MW の原子炉のこの場合漏洩量は

$$(5 \times 10^8 \text{ キュリー}) \times 10/100 \times 0.1/100 = 5 \times 10^4 \text{ キュリー (全分裂生成物)}$$

$$\sim 10^4 \text{ キュリー (揮発性分裂生成物)}$$

となる。

表1 各種原子炉のコンテナ漏洩率(規定漏洩率は設計圧力における 24 時間の漏洩率を百分率で表してある)

名称	原子炉		格納容器			
	所有者	熱出力 (MW)	全容積 (ft ³)	設計圧力 (psig)	規定漏洩率(%)	建設された年
EBWR	米 AEC	20	597,500	15	0.25	1995
EBR-2	米 AEC	62.5	~595,000	24	0.2	1958
SIR-A	// AEC	n.a	6,000,000	20	0.5	1953
APPR-1	// USA	10	53,700	66.3	0.76	1956
VBWR	// GE	30	~160,000	45	1.0	1956
Shippingport	// AEC	231	6000,000	52.8	0.10	1956
Dresden	// Commonwealth Edison	626	3,600,000	29.5	0.5	1958
Elk River	米 AEC	73	405,200	21	0.1	建設中
Enrico Fermi	// PRDC	300	415,800	32	0.11	1957
Indian Point	// Consolidated Edison	385	2,140,000	25	0.1	建設中
Yankee	// Yankee	392	1,020,000	34.5	0.1	建設中
NASATR	// NASA	60	520,500	5	0.3	1958

PRTR	// AEC	70	504,500	15	0.2	建設中
AFNETR	// USAF	10	739,000	12.8	12.8	0.1
BR-3	ベルギー GEN	43	215,500	45	0.1	1959

表 2 主な原子炉事故

現在までに原子炉で発生した主な事故は 4 件ある。

1. 1952年12月12日 NRX(カナダ)の暴走
2. 1955年11月29日 EBR-1(アメリカ)の暴走
3. 1957年10月10日 Windscale (イギリス) の燃料体火災、放射能放出
4. 1958年 5月23日 NRU(カナダ)の燃料体火災

以下にその概略をのべる。

① NRX (カナダ、チョークリバー研究所)

NRX は天然ウラン、重水減速、軽水冷却型、熱出力 3 万KWの研究炉である。

日 時 1952年12月12日

原 因 起動のさいの過誤の重複による暴走

状 況 ○ 原子炉の停止中に、地下室の作業員が誤まって制御系統の空気弁を開いたため、制御系が動作不良となり、さらに誤まった起動操作が行われたため、暴走して出力が急に上昇した。

○ 起動して約 20 秒後に停止換作を行なったが効果なし。

○ さらに 20 秒後重水の排出を行なった。

○ さらに約 30 秒後に低出力にもどつた。

○ 空気の放射能が増加し退避命令を出した。

○ 冷却回路が破損して冷却水が噴出してきたが、冷却水を停止することなく原子炉の冷却をつづけた。

結 果 ○ 原子炉の炉心部が修理不能の程度に破損。

○ 燃料体が溶けて被覆、冷却系統が破損。

○ 強い放射能が炉内に残留。

○ 冷却水は、約4,000m³が約1万キュリーの放射能を帯びて地下室にあふれた。

○ 放射能がコンクリート内にしみこんだために、汚染除去が非常に困難。

損 害 ○ 除染作業および炉心交換作業で約130万ドル?

○ 14ヵ月後に運転再開。

○ 作業員の過剰被爆なし。

措 置 ○ 制御系統を改良した。

○ コンクリートを防水化して除染が容易になるようにした。

② EBR-1 (アメリカ、国立原子炉試験場)

EBR-1は、高速中性子増殖炉で、濃縮ウラン、Na冷却型、熱出力 1,400KW である。

日時 1955年11月29日

原因 出力急上昇実験中に、操作員の過誤により fast scram の代りに slow scram を行なつた。

状況 ○ 燃料体の温度係数の測定のため、出力急上昇実験を行なっていた。実験担当の科学者の指示により、操作員が fast scram を行なうことになっていたが、指示のあつたときに操作員が誤つて slow scram を行なつた。同科学者は事態に気付いて自ら約 fast scram を行なつた。冷却材は流されていなかった。

結果 ○ 15分後に建物の排気から放射能を検出。

損害 ○ 炉心の一部が融けた。
○ 放射能の大量放出なし。
○ 損害額不明

③ Windscale (イギリス)

Windscale の Pu 生産炉は天然ウラン、黒鉛減速・空気冷却型で、熱出力は不明。2基のうち、第1号炉で事故発生。

日時 1957年10月10日

原因 Wigner release 中に燃料体の過熱。

状況 ○ Wigner release のために、10月7日に第1回加熱を行ない、10月8日に第2回加熱を行なつた。

○ 計測装置が Wigner release に対して適切に配置されていないため、ウランの温度を正確に測定できないという欠点に気がつかず、計器の数値を信頼したため、温度を上げすぎた。

○ 10月8日に、すでに燃料体の破損が生じていたと推定される。

○ 10月10日、排気中に放射能を検出、燃料体の破損と見られたが、破損燃料体探査装置が操作不能となつていた。

○ 視察によつてウラン体が赤熱しているのを発見。

○ 炭酸ガスを注入したが効果なし。

○ 10月11日朝より注水を行なう(約24時間)。

結果 ○ 14名が週許容線をこえた。

○ I-131 20,000キュリー

○ Ce-137 600キュリー

○ Sr-90 100キュリー

を大気中に放散

○ 牛乳を一時的に飲用制限

○ 原子炉を2基とも閉鎖

○ 損害額不明

④ NRU(カナダ、チョークリバー)

天然ウラン、重水減速・軽水冷却型、熱出力 20 万 KW の研究である。

日時 1958年5月23日

原因 破損した燃料体交換機で貯蔵プールへ運ぶ途中で落下して発火。

状況 原子炉内で燃料体が破損したので、これを取り出して貯蔵プールへ燃料体交換機で運ぶ途中で落下して発火。作業員が防毒面をつけ湿つた砂をかけて15分で鎮火。

○ 建物内がひどく汚染された。一部は排気から外部へ放出、放射能の放出量不明。発火

したウラン全体には 20 万キュリー核分裂生成物 I-131-700キュリーを含む。

- 被害 ○ 最高被爆者 5.3 rem
- 損害及び除染作業費不明。
- 3ヵ月後に運転再開。

I 典型的原子炉と炉内の分裂生成物の容量

考察する原子炉はウランを燃料とする熱出力約 50 万KW、中性子束平均 10^{13} の原子炉で平均燃料取替周期は 4 年とする。この調査で仮定される事故は炉内燃料が平衡状況に達し分裂生成物が最大になつて後におきるものとする。燃料取替の周期を長くかつたこと、後に敷地条件の項でのべるように敷地は主として動力炉用地という観点からきめるので、本調査の結果は動力炉の場合に最もよく適合するものである。同じ出力であつても材料試験炉の場合は燃料サイクルが短いと想像されるので、放射能内蔵量とその内分けが変つくる上、燃料の種類、運転方法の相違などによつて同じ放散キュリー数の場合の損害額は若干変動するものと思われる。少くとも動力炉に関するかぎり現在においては燃焼率の向上と運転中燃料取替が進歩の方向であること、現在の設計値を集めてみると大雑把にいつて 1 年ないし数年にわたつてゐること、更に身体障害に影響をもつ核種のインベントリーはこれ位の燃焼時間では未だ飽和量に達していないこと、などを上記のような考え方によつて判断し、燃料サイクルは 4 年とすることにした。このような原子炉中にある分裂生成物の組成を計算し、次項にのべる放出の割合を考慮して、放出分裂生成物 1 キュリー中に含まれ種々の核種別のキュリーを決めた(附録(D)の表1を参照)

II 放散される分裂生成物の組成

放射能を持った燃料体を溶融させ、放散物を集めるという最近行われた一連の重要な実験の結果によれば、放散の割合は主として分裂生成物の蒸気圧によることが判明しており、その値は大体次の通りである。

希ガス	100%
沃度	50%
骨に集まる元素	1%
セシウム	10%

従つて、ここではこの割合で分裂生成物が放散される場合を第一に想定した。しかしながら、この点に関しては今後の研究にまつべき点も多いので、極端場合として分裂生成物が、その内蔵量に比例して一様に放散される場合も想定した。

III 放出分裂生成物の性質

種々の気象条件のもとでの風下における影響を算出するとき最も重要な要素は放散時間と放出物中に含まれる粒子の粒度分布と放出時の煙霧の温度とである。放散時間については、燃料の酸化或いはコンテナからの漏洩などのような比較的長時間にわたる放出を代表する場合として数時間に亘つて放散される場合と事故直後短時間に放散される場合の二つを想定した。

粒子の粒度分布と煙霧の温度については、WASH で与えられている以上の具体的な根拠をうることは実際に不可能であつたので、WASH の値をそのまま採用し、それぞれおこりそうと思われる場合を代表する 2 つの場合を考えた。すなわち放出温度に対しては常温と高温(3000° F、1650° C)をとつた。

粒度分布は煙と工場塵の典型に相当する直径 1 μ 、7 μ をそれぞれ質量中央値とする二つの分布を考えた。

参考文献

- (1) WASH-740, Theoretical Possibilities & Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants, U.S.A.E.C., March, 1957
- (2) Reactor Safty & Containment, Power Reactor Tecnology, AEC, June, 1959
(邦訳:原子力資料 No34、日本原子力産業会議、昭和 34 年 11 月)
- (3) Safety Factors to be Considered in Reactor Siting, by Clifford K.Beck, U.S.A.E.C., presented at the 6th Rome nuclear Conference, June 1959.(邦訳同上)
- (4) Siting in Relation to Normal Reactor POperation and Acciedent Conditions, by F.R.Farmer & P.T.Fletcher, presented at the 6th Rome Nuclear Conference, June 1959
- (5) A/conf. 15/P/1551, The experience in the United States with reactor operation and reactor safeguards, by C.Rogers McCollough, U.S.A.C.R.S., Sept. 1958
(邦訳:原子力資料 No27、日本原子力産業会議、昭和33年12月)
- (6) A/Conf. 15/P/1551, Reactor Safety, hazards evaluation and inspection, by C.K.Beck, M.M.Mann and P.A.Morris, U.S.A.E.C. Sept. 1958
- (7) 原子力発電所の安全対策(安全特別研究会中間報告書)
日本原子力産業会議原子動力研究会、1959年12月
- (8) 1958年度原子動力年次報告書、放射線防護篇(III)
" 原子力発電所の放射線防護について "
日本原子力産業会議原子動力研究会、1960年2月

附録(B)

想定する原子炉設置点と周辺の状況

I 典型的敷地

損害の評価に当つては、原子炉が設置される地域の状況を想定する必要がある。しかしわが国では、大型原子炉の敷地として現在確定しているのは東海村以外にない敷地基準というものも確定していない現状なので典型的な原子炉敷地を想定することは極めて困難である。

そこで東海村および若干の大型原子炉候補地の周辺状況を検討した結果、ここでは電力需要の中心地である大都市からおよそ 100Km ないし 150km 離れ、かつ海岸に面した任意の 2、3 の地点を選び、これらにもとづいて類型的な原子炉敷地と周辺の状況を想定することにした。

電力需要中心地からの距離は送電費にも関連し当然近い程有利であるが、「安全性の考慮によつて、在来発電所敷地として最適であると思われる地点から、30マイル離れた場所に設置するものと想定する」というアメリカ等での考え方 (1) からみても、上記の数字は、人口密度の高いわが国の場合、一応妥当なものと思われる。

また海岸附近に設置するとしたのは、常時多量の冷却用水を河川のみから得ることは、わが国河川の実態からみてかなりの困難さがあると考えられるからである。

さらに、わが国の一般的地理特性をも考慮する必要がある。周知のように、わが国は北東から南西にかけて弧状に長くのびた島国であるが、その 200Km ないし 300Km の狭少な幅をもつ陸地の中央部には、背稜山脈が走っており、沿岸および河川にそつて僅かに平野部が存在するのみである。

人口は概ねこの平野部に集っているが、そのうち比較的広い沖積平野をなし、かつ湾に面した京浜、阪神、中京地区にはとくに人口が密集し全国人口の約 1/3 がこの地域において所謂日本の 3 大工業地帯を形成している。たとえば、全国の平均人口密度が 241 人/Km²であるのに対して、東京都区部の人口密度は 12,236.8 人/Km²、大阪市は 12,591.2 人/Km²、名古屋市は 5,345.6 人/Km²で、その中には 3 万人を越す高い人口密度を示す地域すらある。

本調査に使用した資料 (2) は、昭和 30 年の国勢調査にもとづいたものであるが、人口の増加、とくに都市部における高い増加率を指摘しておかなければならない。すなわち昭和 25 年～昭和 30 年の全国平均増加率は、7.3% であつたのに対して、東京都区部 29.4%、大阪市 26.4%、名古屋市 23.4%であつた。

なお、わが国は四面海に接しているが、図 1 から明かなように、僅か 1,000Km ないし 1,500Km

にして、ソ連、中国、朝鮮など諸外国の領土に達することを、損害評価の上からあらかじめ十分留意しておく必要があると思われる。

以上の仮定およびわが国の特性から、損害評価に必要な原子炉設置点およびその周辺の状況を類型化して、図2 に示すようなものに想定した。

すなわち、全般的な地形の外観として、海岸線に平行に走る山地を考え、500km および 1,000m の等高線が原子炉の設置される海岸からそれぞれ 80Km および 100Km の地点にあるものとした。

原子炉の敷地境界は、アメリカの 2、3 の例をも参考とし、その半径を 800m と仮定した（シツピングポート、2,600フィート、ヤンキー、2,000フィート、ドレスデン 2,600フィート）。

つぎに、原子炉周辺の人口分布については、原子炉から50Km に至る地域の実際の人口について調べた結果、原子炉から半径 20Km 以内の地域における人口は、図 3 に示されているように、

$$P = 393R^{2.19}$$

(P は半径 Rkm の半円内の人口)

の式に従って増加すると考えるのが、適当であることがわかった。20Km 以遠の地域については、図 3 でも明かなように増加の傾向を異にしており別に考慮することにした。

図 4 は我々が取上げた地点のうち 2、3 のものについて、その周辺地域における都市の分布状況を示すものであるが、これは各地点におけるものを原子炉を中心とした同一円内に、大都市に向う方向を一致させてプロットしたもので、これによつて概略その特徴を知ることができた。すなわち、原子炉から 100Km ないし 140Km に大都市が集中しており、しかも大都市の周辺 30Km ないし 40Km にかかなり人口の密集が見られること、また原子炉から 15Km、ないし 20Km に、中小都市の散存していることが示された。

そこで都市人口の実態をも調べたのもち、これを典型的に、次のようなものに想定した。

すなわち、大都市は原子炉から 120Km の地点にあり、その拡がりは直径 25Km の円で、人口密度は 12,200人/Km² である(全人口 約 600 万人)。さらにその周りに人口密度 2,200人/Km²、20Km の幅をもつ都市周辺地帯がある。

また、原子炉の比較的近傍にある中小都市は、原子炉から 20Km の距離にあり、人口 10 万人、その拡がりは直径 10Km の円である(人口密度 1,270 人/Km²)。

その他の地域についても全国の平均人口および海岸地帯の特性を考慮して、300人/Km² の人口密度で一様に拡がっているものとする。

事故時における放射性煙霧の拡散状況とそれによる損害評価の性格からして、最も重要であ

るのは煙霧の通過する地帯の人口密度と拡がりとであり、また事故の程度、原子炉からの距離の相関関係によつて、全人口もまた重要な因子となつてくるのであろう。

こうした重要度の考察から、平均的というよりもむしろ類型的に上記の数字をあげたのであるが、これによつて損害の過少評価をさけるであらうし、また不当に過大なものともならないであらう。

なお、原子炉を海岸に設置するものと想定した当然の結果として、沿岸漁業に対する考慮も必要となる。全国の海岸延長が 26,819.1Km であるのに対して、第 1 種ないし第 4 種の漁港総数は 2,627 港で、海岸線約 10Km に 1 漁港の分布割合となる。

(第 1 種 2,199、第 2 種 294、第 3 種 78、第 4 種 56。計 2,627 — 昭和 32 年(3))

以上のように、原子炉設置点およびその周辺の状況を想定したが、もちろんこの通りの敷き地が現実に存在するかどうかは別問題であり、またこれが敷地基準となるべきものでもないことはいうまでもない。そうかといつて、これは全く非現実的な想定でもない。原子炉が大都市からおおよそ 100Km ないし 150Km の海岸附近に設置されるとすれば、おそらくかかる想定を現実なりなものとして考えざるをえなくなるであらう。

- 図 1 日本およびその周辺
- 図 2 想定する原子炉設置点およびその周辺の状況
- 図 3 半径 R Km の半円内の人口

参考文献

- (1) Reactor Safety and Containment — Power Reactor Technology, vol.2, No.3 June 1959
- (2) 総理府統計局 昭和 30 年国勢調査報告及び同附図
- (3) 総理府統計局 第 9 回日本統計年鑑、昭和 33 年

II 敷地と気候

上に典型的敷き地としてとりあげた敷き地における気象条件については、WASH のデータをそのまま使うことがゆるされないのはいうまでもない。我々は典型的敷地を作成したときとりあげた東海村ほか敷地点のうち現実に観測データが存在するものについてできるだけ正確な資料をうることを検討したが、我々が必要とするデータがすべてそろっている地点はほとんどないので、時間的資金的な制約を考慮して、東海村附近と島根県米子附近の 2 カ所について気象庁観測部の協力を得て調査を行なつた。なお米子附近をとりあげたということは、米子附近に大型炉の候補地が存在するという意味ではなく、いくつかの候補地と目されている地点と気象状況が比較的似ていると判断されかつデータが或る程度整備しているという理由にもとづくものである。結果的にみて表日本、裏日本の代表的と思われる 2 地点を調査対象にとりあげたので、現在のような敷地選定の考え方によつて敷地が選ばれるかぎり、ここに得られた気象データはかなりの普遍性をもっているものと思われる。それぞれの結果は次の諸表の通りである。このデータを平均化したものを

典型的敷地における気象条件とみなして、拡散方程式などに入れる常数はそれによつた。

東海村付近

	温度安定性	
	てい減 69%	逆転 31%
温度てい減率(° C/100m)	-1.2	1.1
平均気温(° C)	15.6	7.9
降雨時間(%)	17	0※
地表平均風速(m/sec)	3.7	2.3
400—800m		
平均風速(m/sec)	7.1	6.8

年間総降雨量 1,428mm
(平年 1,383mm)
最も多くあると思われる
降雨量率
0.7mm/hour
時間の 10% だけこえた
降雨量率
2.4mm/hour

※ 1% にみたない

表 2

風向	地表風		上層風 (400~800m)
	てい減	逆転	
N	10.7	7.0	2.4
NNE	5.1	1.1	5.4
NE	7.2	0.7	9.7
ENE	7.7	0.5	10.4
E	5.3	0.3	7.0
ESE	2.4	0.1	6.6
SE	1.7	0.1	4.9
SSE	1.3	0.3	4.0
S	2.3	0.6	5.4
SSW	3.4	1.0	10.1
SW	4.1	1.2	8.7
WSW	1.0	1.1	4.7
W	3.1	1.8	5.5
WNW	0.8	0.6	6.9
NW	1.9	3.0	5.7
NNW	7.5	8.1	2.7
Calm	3.9	3.9	0.0
	69.4	31.4	100.1

表 3 山陰地方(米子付近)

--	--

	温度安定性	
	てい減 76%	逆転 24%
温度てい減率 (° C/100m)	-1.2	1.1
平均気温 (° C)	16.0	12.5
降雨時間 (%)	23	0※
地表平均風速 (m/sec)	4.0	2.0
400 ~ 800m 平均風速	7.0	5.4

年間総降水量 2,130
(平年 1,811mm)
最もよくあると思われる
降雨量率
0.7mm/hour
時間の 10% だけこえた
降雨量率
2.2mm/hour

※1% にみたない

表 4

風向	地表風		上層風 (400~800m)
	てい減	逆転	
N	2.2	0.1	2.8
NNE	8.4	0.1	3.9
NE	11.0	0.7	7.3
ENE	2.9	0.9	8.5
E	1.6	0.7	3.9
ESE	1.0	1.1	2.1
SE	3.6	4.1	3.1
SSE	7.7	7.6	5.3
S	5.6	2.6	6.1
SSW	4.1	0.9	7.5
SW	4.3	0.5	10.6
WSW	5.0	0.5	13.5
W	6.1	0.4	11.7
WNW	4.5	0.2	6.4
NW	2.3	0.1	3.9
NNW	1.6	0.0	3.5
Calm	4.6	3.3	0.0
	76.0	24.0	100.0

1. 調査方法

(1) 資料

東海村付近

(イ) 1958年1月～12月の1か年にわたる下記の観測値を用いて統計してある。

- (ロ) 気温、降水量、地表風向、風速は水戸地方気象台における毎日の0、3、6、9、12、15、18、21時の1日8回観測値による。天気、雲量、雲形は3、9、15、21の1日4回観測値による。
- (ハ) 上層風の風向、風速は館野高層気象台における0、6、12、18時の1日4回観測値による。

山陰(米子)地方

(イ) 1959年1月～12月の1か年における下記の観測値を用いて統計してある。

- (ロ) 気温、降水量、地表風向、風速、天気、雲量、雲形は米子地方気象台における毎日の0、3、6、9、12、15、18、21時の1日8回観測値による。
- (ハ) 上層風の風向、風速は米子地方気象台における0、6、12、18時の1日4回観測値による。

(2) 逆転、てい減の区分

1日2回の高層観測では各時刻に対し定められないので、これらを参照の上他の気象観測資料(雲、天気現象)から求めた。雲、天気と逆転、てい減との関係は埼玉県川口市の鉄塔による減率観測結果ならびに英国気象局の安定度、分類方法を参照して次の規準により分類した。

(イ) 昼間はてい減状態

夜間は雲量、雲形と天気により区別する。快晴、晴、薄曇は逆転、高曇、本曇は大体てい

- (ロ) 減、雨の場合はてい減とし、その他風じん、雷雨、前1時間内の降水の場合はてい減、霧の場合は逆転と定めた。

(3)

1日2回(0、12時)の全国の高層観測結果から地上と200mの高さの温度差を $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ にしてそれぞれてい減、逆転の平均減率を求めてみたが全国ともほとんど同じ値であつたので全国平均を用いた。

(4) 降水量

- (イ) 年間総降水量は年によりかなり変動がみられるので参考のため累年平均値(1940～1952年)を括弧を付して表に示しておいた。
- (ロ) 最もよくあると思われる降雨量率は降水があつた場合50%の確率をもつ量であらわしてある。
- (ハ) 時間の10%だけこえた降雨量率は90%迄はこの値以下の量で発生しこの値以上が発生するのは10%であるという量でもつて示してある。

2 調査結果の評価

(1) てい減、逆転の発生時間率について

WASHにある米国の発生時間率は1日2回の特定時刻の観測値のみを用いて統計したものとわれ、ややかたよつた値となるが、今回の調査では1日8回の資料を用いて求めてあるので一層ならされた平均値と考える事ができる。

なお、埼玉県川口市の鉄塔高さ 300m において約 1 年間 (1943 ~ 1944年)にわたり毎時間の温度観測が行われているので、この資料によりしらべた結果はてい減 64% 逆転 36% で今回の調査(東海村)とほとんど同じ値が得られている。

(2)降雨時間について

降水状態で逆転が存在することは気象学的にも非常にわずかの回数と予想されるが、今回の調査でも全時間の 1% 以下であつた。さきに示した。川口市の鉄塔の観測によると、逆転 106 日のうちわずか 3 回だけが降水中に発生する逆転として観測され、全時間に対しては 1% 以下となつた。WASH にある全時間の 3% が逆転で降水をともなうという米国の結果とは若干異なる結果となつた。

(3) 地域による違いについて

気候学的に見ると東海村は表日本的、米子地方は裏日本的な気候特徴をもっているその影響が最もよく現われているのは逆転、てい減の比率であつて、米子地方でけ冬季、曇、雨天が多いので逆転の比率が小さい。それに関連して米子地方は降雨時間が長い。また逆転時の気温冷却は表日本の方が非常に大きいのも著しい特徴である。上層風の風向頻度は両地方とも大勢的にはよく似ているが地上風向は海岸線、地形などの影響が大ききいてくるので、食違いが大きく局地性が著しくあらわれている。

図 4 想定原子炉設置点周辺における都市分布状況

附録 (A) / もどる / 目次 / 附録 (C)

[附録 \(B\)](#) / [もくじ](#) / [戻る](#) / [附録 \(D\)](#)

附録(C) 煙霧の拡散、沈下

はしがき

原子炉の事故にともなつて放射性物質は原子炉の風下地域の空間および地表に分布する。そしてその濃度分布の様子は、原子炉附近では、事故の様相、すなわち、放射性物質の種類、温度、放出継続時間、放出速度や気象状態によつて左右される。原子炉から遠くはなれたところでは、主として気象因子が放射性物質の濃度分布に影響を及ぼす。本附録では分布の見積りめための方程式、および、放出物の初期条件、気象因子が拡散に及ぼす影響を記述する。

I 放出物の初期条件

放出物は、放射性物質の気体および微粒子からなる煙霧として風下地域に運ばれるのであるから、放出温度と放出の行なわれる時間とは拡散における重要な因子である。これらは、いずれも原子炉の事故の様相に依存している。拡散のはじまる放出源の高さは、その後の地表面での濃度に大きく影響する。しかし放出温度と高さとの関係は現在のところ精密には知られていない。本調査では WASH にしたがひ高温放出の場合には、通減時には 860m、送転時には 400m に上昇するものとした。これは放出物が 1,650° C の場合に対応している。

II 拡散方程式について

大気拡散の実験は規模が大きくなり、測定方法および装置も簡単でなく人員、経費も大きくなるのであまり行われていない。従つて、実験研究の報告は後に引用される二三のもの以外はほとんどないといつてよい。しかもそれらは比較的近距離の実験のみである。したがつて、大気中の拡散の研究の大部分は理論的研究である。その上、これら理論的研究も、濃度の空間分布を明確に示す式を与える報告は少なく、その分布の標準偏差が時間あるいは風下距離と共にどのように変わるか、気層の安定度との関係はどうかという研究が多い。(1)これに対し實際上必要な空間濃度分布に計算出来る具体的の式もいくつか出されている。(2)(3)(4)(5) それらは、たとえば WASH も指摘するように、厳密な理論的根拠に立つものではないが、拡散のパラメーターに適当な値をとるならば、たいいていの式は、許される範囲内の精度で使用することができるものとみられている。なかでも Sutton によつて与えられた式は、実際の計算上適当と考えられ、アメリカにおける災害評価要約報告 (Hazard Summary Report)(6)、イギリス気象局の方法(7)など現在行われている事故解析の大部分はこの式にもとづいて直接的、間接的に計算を実施している。

Sutton の式 持続点状源に対する Sutton の式は、風下の点(x, y, z)での空間濃度を X とすれば

$$x(x, y, z) = \frac{q}{u} \frac{e^{-\frac{y^2}{A}}}{\sqrt{\pi A}} \frac{e^{-\frac{(h+z)^2}{B}} + e^{-\frac{(h-z)^2}{B}}}{\sqrt{B\pi}} \quad (1)$$

$$A = C_y^2 x^2 - n \quad B = C_z^2 x^2 - n \quad (2)$$

で与えられる。ここで h は源の地上高、 x, y, z はそれぞれ濃度測定地点の源からの風下距離、主線から横方向の距離および地上高である、 q は単位時間の放出量、 u は平均風速、 n, C_y, C_z は気象状態により定まる常数である。

源の種々の状態に対する一連の濃度計算式が得られているが、この式の形、とくに垂直濃度分布を実測値と厳密に比較してその妥当性をデータの提示によつて吟味した論文はなく、また n, C_y, C_z の値と気象条件との関係も明確に定められてはいない。多くの論文たとえば後記の Chamberlain (13) の論文も Sutton によつて与えられた値の種々な不一致を指摘している。

しかしこれら主な困難は理論それ自身から生じてくるより、むしろ大気の状態変化の多様さから来るものとみられる。

坂上の式 坂上(7) は Sutton による垂直濃度分布の式が実測と合わない点を改良するため、新しい微分方程式を解き別の形の式を得た。すなわち(1)および(2)に対して

$$x(x, y, z) = \frac{q}{u} \frac{e^{-\frac{y^2}{A}}}{\sqrt{A\pi}} \frac{e^{-\frac{z^2}{B}}}{B} J_0\left(1 + \frac{2\sqrt{hs}}{B}\right) \quad (3)$$

$$A = 4\alpha x^2 = \gamma x^2$$

$$B = \beta x^{m1}$$

が、それである。ここで J_0 は零次の第 1 種 Bessel 函数であり、 i は虚数単位また $\beta, \gamma, m, m1$ は気象のパラメーターである。

両者の式のとくに大きい相異は(1)および(3)に判るように、鉛直方向の拡散を示す項の中に(1)では z^2 として、(3)では z として入っているし、又分母に入る量 B が(1)では \sqrt{B} であり(3)では B である。したがつて垂直分布の差の他に風下距離による濃度の稀釈率に大いに差があり、その差は遠距離の拡散には著るしく影響する。坂上の式と Sutton の式の比較は、最近公表された精密な濃度の空間分布の測定の報告 (8)(9)(2) にもとずいて、坂上自身によつてなされている。(10)(11) ここではその結果について詳しく述べることはできないが、近距離については水平濃度分布および垂直濃度分布について、Sutton の式より坂上の式がよりよい一致を見せたと発表されている。

英国気象局の方法 この方法は 1959 年英国気象局が発表したもので(7) いわゆる「英国法」とよばれているものである。これは Sutton の式を基礎にし地上濃度を

$$\lambda = 2.8 \times 10^{-5} \frac{q}{u H r \theta} \quad (\text{地上源の場合})$$

で与える。 r は源からの距離、 θ はその距離で最大濃度の 1/10 の濃度になる両端の位置の角距離、 H は雲の高さであつて、 θ および H は気象状態すなわち、風速、日射、雲量によつて定まる A~F の 6 つのカテゴリーについてそれぞれ図および表によつて与えられている。この方法の計算は比較的簡単で大体の見積もりには一応利用出来るが実測との比較資料が提示されていない。昭和 34 年 2 月および 6 月に原子力気象調査会が行つた水戸および東海村における 4 回の中立状態の方の拡散実験の結果だけが現在入手できる実測との比較の報告でそれによれば、10±1 の範囲内で合うとの結論が出されている。(12) なお、主線上濃度について上記三者を比較して結果を 図 1 および 図 2 に示す。

本調査で、人的損害および物的損害の試算にもちいた拡散の方程式は Sutton の式である垂直方向に分布に関して、近距離での実験値と m 、 C_y 、 C_z の気象パラメーターの気象学的根拠についていろいろ問題点が指摘されている。その Sutton の式を選んだのは主につぎの理由によつている。まず英国気象局の方法は計算も簡単で、風下地域における放出物分布のだいたいの様子を知るためには便利であるが、数式的にあらわされておらず、本調査で利用するためには不便なので採用しなかつた。また東海村での実験、その他近距離の実験の比較でよい結果を得たといわれる坂上の式と Sutton の式を比較したところすでに指摘したように遠距離で大きな差が見られた。図 4 に地表面での濃度分布を比較したものを示す。この図の計算に用いられた気象パラメーターは Sutton の式については WASH において使用された典型的逓減および典型的逆転に対する値を用い坂上の式については、気層の安定度を示すとのうち逓減および逆転に対応するものとして 0 および 0.3 が選ばれ計算につかわれている。この比較から、われわれは、Sutton の式をもちい、WASH でつかわれているパラメーターによれば本調査で要求されているような災害の上限と下限を示すことができるものと判断した。すなわち、この上限は過少評価になつていないという点で、また下限は過大評価になつていないという点で、十分意味をもつものであると 図 4 および考えたのである。

なお、図 5 には Sutton の式におけるパラメーターを、たとえば、最近問題になつた Farmer 論文(14) あるいは Chamberlain ら(15)が使用している値をつかつた場合その濃度分布がどう変わるか影響をうける面積がどう変わるかを示してある。

表1 本調査で使用した拡散のパラメーター

	煙霧の拡散が始まる高度(m)	n	C_y	C_z	風速u(m/sec)
逓減	0	0.25	0.40	0.40	4
	860	0.25	0.40	0.40	7
	0	0.55	0.40	0.05	2

逆転	0.40	0.55	0.40	0.05	6
----	------	------	------	------	---

拡散の結果は図 6 から図 10 に要約されている。(ただし図 9、図 10 は 10^7 キュリーの放出について人的被害の様子を例示したものである。)これらによれば逆転状態と遅減状態とではいちじるしい差が見られる。すなわち、逆転時には濃度のかなり濃い煙霧が相当遠距離まで運ばれる可能性があるということである。もちろんある気象状態が数時間にわたって継続すると考えることは現実的でない。しかし、それでも煙霧がかなりの距離に達すると考えられようし、また風向などの変化は、平均的には濃度は薄くなるであろうが、影響をうける面積はずつと拡がるであろう。格納構造物が破壊される程の急速な放出として仮定された高温放出の場合には煙霧は最初上昇し、それから拡散して地表にもどってくる。この高温放出の場合には大気により稀釈される効果が大きいので地表面での放出より当然地表最大濃度は小さくなり、また、原子炉からはなれたあの地点で最大になる。

III 沈着と雨による降下

原子炉から放散された放射性物質が微粒子あるいは気体として拡散する場合地表面に沈着したり、また雨によつて沈着したりすることが当然予想されよう。この問題は、原子炉事故の発生または原子炉の煙突等からの気体放射性物質廃棄にともなつて、風下地域の農作物、牧草、公衆の居住に大きな影響を及ぼす重要なものであることは明らかである。

図6、図7、図 8 はこれらの効果を考慮した場合の風下地表面の濃度をあらわしている。

本調査では沈着および降雨の効果の問題についての取扱は WASH と同様 Chamberlain による研究の結果を使つた。ただし微粒子の沈降速度としては質量中央値直径が 1μ の粒子グループに対しては 10^{-4} m/sec 7μ の粒子には 10^{-2} m/sec という値をもちいてある。

Chamberlain によれば、晴天では、微粒子は、このうちの低い部分だけから起ると仮定され、また地上に沈着した粒子の量だけ放出源の強さが直ちに減少したと同じ影響を受けるものと、仮定する。すなわち Sutton の式をもちいた場合沈着量 Δ は V_g を沈降速度とすれば

$$\Delta = \frac{2 \sigma v_g}{u_x C_y C_z x^{2-n}} e^{-\frac{4v_g x^{\frac{n}{2}}}{nu \pi^{\frac{1}{2}} C_z}} e^{-\frac{y^2}{C_y^2 x^{2-n}}} \quad (4)$$

また、地上濃度は

$$x = \frac{2q}{u\pi c_y c_z x^{2-n}} e^{-\frac{4v_g x^{n/2}}{nu \pi^{1/2} c_z}} e^{-\frac{y^2}{c_y^2 x^{2-n}}} \times \left[e^{-\frac{(z+h)^2}{c_z^2 x^{2-n}}} + e^{-\frac{(z-h)^2}{c_z^2 x^{2-n}}} \right] \quad \text{となる。} \quad (5)$$

雨によつておこる放出物の降下のために空中に存在する量の減少は、であらわされ、したがつて浮遊物の濃度は拡散の式にこの因子をかければよいことになる。

この場合の Λ の値は Chamberlain によつて与えられてものを使う。(表 2 は、われわれの計算に使用した値を示す)

一方雨による地表に運ばれた量 ω は

$$\omega = \int_0^\infty x \, dz = \frac{q\Lambda}{u \sqrt{\pi c_y^2 x^{2-n}}} e^{-\frac{\Lambda x}{u}} e^{-\frac{y^2}{c_y^2 x^{2-n}}} \quad (6)$$

で表わされる。雨によらない沈着量および降雨による沈着量は図 12 以下に示されている。

表 2

粒子	毎秒除去される煙霧の割合	
	降雨(0.7mm/hr)	降雨(2.4mm/hr)
大(7 μ)	2.3×10^{-4}	6.2×10^{-4}
小(1 μ)	1.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}

沈着による効果が地上濃度に及ぼすのは質量中央値 7 μ 相当の粒子で、しかも逆転時の場合に大きい。また降雨の影響は逆減時に粒子の大きい場合にきいてくる。なお、降雨の効果は(6)式からわかるように高温放出でも放出源の高さの影響はあらわれてこない。

参考文献

1. 井上、小倉ほか
2. Roberts, O.F.T., The Theoretical Scattering of Smoke in a Turbulent Atmosphere, Proc. Roy. Soc. (London) A 104 640-654, 1923
3. Bosanquet, C.H and Pearson, J.L., The Spread of Smoke and Gases from Chimneys, Trans. Faraday Soc., 32, 1249-1264 1936
4. Sutton, O.G, A Theory of Eddy Diffusion in the Atmosphere, Proc. Roy. Soc., A 135 143-

164, 1932

5. 坂上治郎 地面付近の湍動拡散、気象集誌II 19 1-7 Sakagami, J., On the Turbulent Diffusion in the Atmosphere Near the Ground, Natural Science Rep. Ochanomizu Univ. 5, 79-91, 1954
Sakagami, J., On the Atmospheric Diffusion of Gas and Aerosol Near the Ground, Natural Science Rep. Ochanomizu Univ., 7, 25-61, 1956
6. たとえば日本原子力産集会議原子動力研究会編”原子力発電所の対策”(1959年12月)
7. Meade, P.L., The Effects of Meteorological Factors on the Dispersion of Airborne Material, 1959 6 Rome International Symposium on Safty and Siting of Nuclear Plants
8. Stewart, N.G., Gale, H.J. and Crooks, R.N., The Atmospheric Diffusion of Gases Discharged form the Chimney of the Harwell Pile (BEPO), A.E.R.E. Harwell/JYH, 1954 HD 1332
9. Barad, M.L., Project Prairie Grass, A Field Program in Diffusion Vol. I, II, III, Geophysical Ressearch Papers No.59, G.R.D., ARCRC-TR-58-235
10. 坂上治郎 ”水戸における小規模拡散実験結果の整理について” 昭和 34 年 5 月 原子力気象調査会
坂上治郎 ”昭和 34 年 6 月拡散実験の解析” 昭和 34 年 9 月 原子力気象調査会
11. Sakagami, J., On the Analysis of the Results of Project Prairie Grass, Natural Science Rep. Ochanomizu Univ. 11 1960
12. 原子力気象調査会 ”東海村原子力気象調査 — 東海村の煙突から出る廃棄物の拡散に関する調査”昭和 34 年 12 月
13. Chamberlain, A.C., Aspects of travel and Deposition of Aerosol and Vapour Clouds, AERE HP/R, 1261, 1955
14. F.R.Farmer, P.T. Flecher, ローマ会議、1959 年 6 月
15. Chamberlain & Megaw. Sape Distance in Reactor Siting, AERE. HP/M 109



- 図 1 各種拡散の式の比較
- 図 2 各種拡散の式の比較
- 図 3 各種拡散方程式の地表面での濃度分布の比較(逓減時)
- 図 4 各種拡散方程式の地表面での濃度分布の比較(逆転時)
- 図 5 逓減時における主線上濃度
- 図 6 逆転時における主線上濃度
- 図 7 逓減時における降雨の効果を入れた主線上濃度
- 図 8 逆転時における降雨の効果を入れた主線上濃度
- 図 9 10^{-7} curio 全放出(粒度小)の場合の被害範囲(低温放出、逆転時)
- 図 10
- 図 11 分裂生成物の沈着量、逓減時、低温放出
- 図 12 分裂生成物の沈着量、逆転時、低温放出
- 図 13 分裂生成物の沈着量、逓減時、高温放出
- 図 14 分裂生成物の沈着量、逆転時、高温放出

- 図 15 降雨による沈着量、(低温放出遅減時)
- 図 16 雨による沈着量、高温放出遅減時

附録 (B) / もくじ / 戻る / 附録 (D)

附録(D)

放出放射能の人体及び土地使用に及ぼす影響

I はしがき

大型原子炉の重大事故に際して、原子炉より放出された分裂生成物によつて、人体が蒙る影響は非常に複雑な様相を呈するもので、これにより人体の受ける被曝を正確に評価することは非常に困難である。さらに放射性放出物が、土地・海水等を汚染し、これから何等かの food chain を通つて、人間が蒙る影響をも附加して考慮しなければならないとすれば、その実態の把握と評価とはさらにきわめて困難なものとなる。

従つて、これから考察する影響の本当の実態については未知、不明の要素があまりにも多く、科学的な推論といつても、その実は scientific fiction に近い面もあることはいなめない。

しかしながら、この種の影響についてのより合理的な推定を行うことは、重大事故より起りうる損害をより合理的に評価するために欠くべからざる要素の一つであるとともに、起りうべき損害を未然に防止するための基本となるべき資料の有力な手がかりを与える点から我々の推定は意味のある試みであると考えた。

そこで先ず、原子炉の事故に際して放出される核分裂生成物(又は燃料の一部を含む)によつて人体がどのような種類の被曝を蒙る可能性があるかと考察すると、大体図 1 にかかげる図式の如くなり、これを整理すると、概ね次の如くなる。

1. 外部被曝 (External Exposure)
 - (1) コンテナよりの γ 線被曝
 - (2) 放射能雲よりの γ 線被曝
 - (3) 土地・建物等に沈着した放射物よりの γ 線被曝
 - (4) 身体表面に沈着した放出物より身体が受ける γ - β 線被曝
(この内とくに皮膚の受ける β 線被曝が重要)
2. 内部被曝 (Internal Exposure)
 - (5) 放射性放出物の身体への侵入部位が蒙る被曝
 - (i) 呼吸器よりの侵入では * 肺
 - (ii) 消化器よりの侵入では 消化器
 - (6) 身体内に吸収された放出物による全身の受ける被曝
 - (7) 吸入摂取された放出物により、各 Critical Organ が受ける被曝
 - (8) 一度土地又は海水等に沈着した放出物が food chain を通じて、徐々に身体内に摂取されることにより、各 Critical Organ が受ける被曝

注⊕ 内部被曝は β 、 γ 線の被曝を共に受ける(燃料の一部が放出した場合は γ 線被曝も考えられる)が全身の被曝をのぞけば γ 線被曝は β 線被曝に対し影響が小さいので β 線被曝を主とし

て考える。

* 呼吸器よりの Aerosol の侵入においては常に一部は、消化器に移行すると考えるのが妥当である。

これらの身体各部への各種の被曝量を支配する諸因子はまた、非常に複雑であり、これらのすべてについて考慮することは不可能であるが、概ね次の如きものが考えられる。

図1.

1. 環境の諸因子

- (1) 風向、風速、温度勾配等の各種の気象条件、
- (2) 土地の起伏、水陸の分布等の地理的諸要因
- (3) 河川、海洋、地下水系等、水理学的、海洋学的諸要因
- (4) 土壌の性質、種類等の地質学的な諸要因
- (5) 環境の生態学的な諸条件

2. 放出物の物理的、化学的諸因子

- (1) 放出物の放射能特性 放出物の放射能濃度、各核種の含有成分比、エネルギー減衰特性など
- (2) 放出物の他の物理的特性 Gas - 非 Gas の成分比: Aerosol の粒度
Aerosol の拡散係数など
- (3) 放出物の化学的特性 各核種の化学的形態、溶解性揮発性などの性質、他の物との反応性など

3. 時間的諸因子

- (1) 事故発生後(又は放出後)被曝までの時間
- (2) 被曝が継続した時間
- (3) 被曝後何らかの汚染除去が行われるまでの時間
- (4) 被曝後、経過した時間
- (5) 汚染した食物、水などを摂取した時間

4. 生理的諸因子

- (1) 呼吸器の機能に関する諸因子 呼吸量、肺への Aerosol の沈着率、肺よりの排泄速度等
- (2) 消化器の機能に関する諸因子 消化器内の滞留時間、腸よりの吸収率等
- (3) 各 Organ における蓄積、分布を支配する諸因子 各 Organ における Metabolism 物質の分布状態 等
- (4) 排泄機能に関する諸因子 腎、消化器各 Organ 等における排泄速度等
- (5) その他 放射線又は他の影響による生理機能の変化、食物、水などの要求量、食習慣等

以上のごとく、身体の受ける被曝の種類とそれを支配する諸因子は誠に多岐に亘るのであつて、これらについてすべてを、科学的資料と合理的な基礎の上に考察することはほとんど不可能なことである。

従つて、今回の考察においては、被曝のあるものはこれを省略し、又あるものはその一部のみを考慮し、また諸因子についても、多数の未知な因子について一定の想定を行い、又あるものは全く無視するか、常に一定であるかの如き取扱いを行わざるを得なかつた。

故にこのようにして得られた結果については、現実に起り得べき被曝に対して、かなり大きな偏異をもっている事も考えられ、又、その結果について、適切な評価を行うことは甚だ困難であるが、その想定や省略を生物学的に見て出来るだけ合理的なものとするべく努力した。しかし、要求されている問題の精度に対して、不必要に精細な計算を行うことは労力と時間の制限からさげざるを得なかつたが、なお結果からみれば不必要な細かい考慮や、不当な省略がなかつたとはいえない。ただ限られた時間と労力とにおいては、これもやむを得ぬ事であつたと共に、今後の研究によつてこれらの不備な点を補足して行きたい。

従つてこの一文の論述においては、考えられる被曝の型の内(1)コンテナよりの γ 線被曝、(4)皮フ表面に沈着した放出物より身体及び体表面がうける被曝*及び(8) food chain を通つて体に入つたものよりの被曝**を除いた各被曝についてのみ考察することにしてゐる。

注* 身体表面に附着したものは何等かの人為的方法で払いおとし得るか又は洗い流し得るものとする。

** この点は後に論じられる。

附録(C) / もくじ / 戻る / II 基本的諸条件

I はしがき / もくじ / 戻る / III 身体の各部の受ける被曝線量

II 基本的諸条件

1. 原子炉事故における放出物より身体が蒙る影響を支配する諸因子として先に掲げるものの中、第一の環境的諸因子については他の部分について詳細に述べられることになるのでここでは全くふれない。

2. 次の放出物の物理・化学的諸性質については、

放出物は揮発性の放出物 (Volatile Fission Products) と全的放出物 (Total Fission Products) の二つを想定する。

その放射性特性は

揮発性放出物では、2 ~ 500 時間位の*の間では、減衰係数 -0.8 の時間の Power Function で減衰し、全放出物は -0.2 の Power Function で減衰するものと想定する。(WASH) 但しその中の Insoluble な部分の減衰については適切なデータがないので減衰係数を -0.2 と -0.1 の間にあるとし、二つの場合を算定して、その平均を取る事とした。

又その内に含まれる各核種の内骨、甲状腺等に蓄積する重要な核種の含有率については、他の専門家の検討の結果にもとずき、次に掲げる表のごときものと想定する。

注* ある場合この時間を数千時間まで外挿して計算を行つた場合もあるが、これは本当は正しくない。

放出される放射性生成物の量
1キュリー当りの各生成物の量

全生成物放出	炉停止直後		炉停止 24 時間後	
	揮発性放出	全生成物放出	揮発性放出	
Total	1.0	1.0	1.0	1.0
Noble Gases	0.092	0.57	0.021	0.13
I ¹³¹	0.015	0.047	0.014	0.043
I ¹³²	0.022	0.069	0.000022	0.000069
I ¹³³	0.033	0.11	0.015	0.049
I ¹³⁴	0.038	0.12	2.1×10^{-10}	6.7×10^{-10}
I ¹³⁵	0.030	0.093	0.0025	0.0077
Cs ¹³⁷	0.0029	0.018	0.0029	0.0018
(Soluble Total)	0.50	0.98~0.95	0.25	0.95

Sr ⁸⁹	0.024	0.0015	0.024	0.0015
Sr ⁹⁰ + Y ⁹⁰	0.0030	0.00019	0.0030	0.00019
Y ⁹¹	0.030	1.9 × 10 ⁻⁶	0.030	1.9 × 10 ⁻⁶
Zr ⁹⁵	0.032	1.5 × 10 ⁻⁵	0.032	1.5 × 10 ⁻⁵
Ba ¹⁴⁰	0.032	0.001	0.030	0.00095
La ¹⁴⁰	0.032	0.0005	0.030	0.00047
Nb ⁹⁵	0.032	1.5 × 10 ⁻⁵	0.032	1.5 × 10 ⁻⁵
Ce ¹⁴¹	0.030	0.0018	0.029	0.0018
Ce ¹⁴⁴	0.031	0.0019	0.031	0.0019
Pr ¹⁴⁴	0.031	?	0.031	?
Pm ¹⁴⁷	0.0085	?	0.0085	?
(Insoluble Total)	0.50	0.02~0.05	0.75	0.05
Pu ²³⁹	~ 5 × 10 ⁻⁵	~ 10 ⁻⁶	~ 5 × 10 ⁻⁵	~ 10 ⁻⁶

なおこの際、Soluble な部分と Insoluble な部分の含有比率については適切なデータがないので一応表に掲げた値であると想定した。

又この他多くの核種が各種の臓器に蓄積する可能性があるが、計算があまりにも複雑になるので省略することとした。

揮発性生成物の全ベータ及びガンマエネルギーの変化は 2 ~ 500 時間までは $t^{-0.8}$ に比例するが、これより早い時間、及び 500 時間の後ではこの法則は適用出来ないことが経験上わかっている。しかしある場合にはこの法則が 3 ヶ月以上にわたって適応されると想定した場合があるが、従つてその結果にはかなり大きな誤差を伴っているものと考えられる。

又、放出後 2 時間までは放出物の減衰はほとんどないものとして線量を算出したが、ここでも若干の誤差を生ずることは明かである。

3. 時間的因子

身体の受ける被曝線量(とくに蓄積線量)は、放出物の放射能の減衰があるため放出後被曝がはじまるまでの時間や被曝が継続している時間の長さによりかなり異なるものである。

ここに用いられた線量算出のために、被曝の量の単位を、キュリー・秒 / m³ であらわすことにする。これは $\mu\text{c} \cdot \text{秒} / \text{cc}$ と同じものであり、一般の空気中の放射性物質の濃度を表わす $\mu\text{c} / \text{cc}$ に時間(秒)を掛けた単位である。

このような単位を被曝量(又は放射能雲の被曝濃度)の単位として用いる理由は、生物学的な要求よりむしろ放射能雲の拡散や空間・時間的分布の程度を表わすのに便利なためである。

生物学的な評価の立場からみると、このような単位はむしろ若干の問題があり、ある場合には不便であるということも出来る。

例えばこの単位によれば $A \mu\text{c}/\text{cc}$ の濃度の空気に 1 秒間さらされた場合も $1/1000 A \mu\text{c}/\text{cc}$ の濃度の空気に 1000 秒間さらされた場合も被曝単位としては同じ量として表わされる。

もし、さらされる時間が比較的短時間の場合には両者の生物学的被曝量のちがいはあまり大きなものとならず同一と見做すことも出来るが、被曝時間が非常に短いか又は相当長くなる場合には生体に与えられる線量は物理的・生物学的に異つて来ることは明らかである。

従つて適切な生物学的評価の立場から、もしこのような単位を用いる場合には、被曝時間はあまり大きな差がないこと、被曝時間はあまり極端に短かくもなく(大体 1000 秒以上であることが望ましい)又あまり長くない事(数時間以内)が必要と考えられるので、ここでは被曝の継続時間は短時間(1000 秒位)と 4 時間(約 15000 秒)の二つの場合について考察することとした。被曝時間がこれより長くなる場合には濃度×時間の積が同一であつても、生物学的な被曝量の評価は次第に困難になつて、もはやこのような単位は使用が適切でなくなるのであろう。

次に問題となる重要な点は、事故が発生し、放射性物質が原子炉より放出されてから、これが人体に到達するまでの時間による影響である。

すでに述べた通り、放射性放出物は全体として、常にある速度で減衰をしているのであるから放出後時間が経過するに従つて、はじめの濃度は次第に少なくなつて行く。とくに揮発性放出物ではこの減衰ははじめの数時間では非常に著しいと考えられる。故に放出後どの位の時間で放射能雲が人体に到達するかということが、人体の受ける被曝の全量に対し非常に大きな差を生ずる(もし被曝時間が、各人に対しほぼ同じような値であるとすれば)ことになる。従つて、身体が受ける被曝線量を、適切に算定するためにはその人が放出後どの位の時間で放射能雲の被曝を受けるかを想定する必要があるが、地理的条件から見て、各場所にいる個人が放出後被曝を受けるまでの時間は連続的に変化するのであつて、これを一定時間と定めることは厳密には出来ないが、ここでは想定された地理的立地的条件から考え、気象的想定を加えることにより、一応、放出後、1 時間目に放射能雲に被曝した人と放出後 6 時間目にそれと同じ放射能雲に被曝した人の受ける被曝量のみを算出することとした。

これは想定された立地条件において、風速が大体 6m/sec 位とした場合に、前者は Reactor に近い小都市の人、後者は大都市に住む人が受ける条件にほぼあたる。

以上の二種類の時間的因子の他に、さらに、第三の因子として、被曝を受けてから後の時間を考えることが被曝量の算出には必須の条件である。しかしこれは身体の各部分の生理的な条件によつて、一様ではなく、ある臓器では非常に長期間に亘つて、考慮をしなければならぬしある臓器では、かなり短時間の被曝量のみを考慮すればあとはほとんど無視してもよい。従つてこれ等の時間的因子は各臓器毎に考慮の基準を変えねばならないのでこの点は、各論において考えることとする。

以上の点を考慮して、身体の受ける被曝線量と被曝濃度 - 時間との関係を考へて行くわけであるから被曝濃度 - 時間の表現を一定の単位できめておかなければならない。

従つて、ここにおいて単位は事故発生放出が起つて後 24 時間目における濃度 - 時間単位とし、常に、放出後 24 時間目のキュリー・秒/m³ で被曝量を表現するものと定める。

このようなやり方は実際問題として、事故発生後数時間以内に、空気中の放射能の濃度を有効適確に測定することが困難であり、通常 24 時間位たつた後において、比較的正確な測定乃至は推定がなされ得るであろうという点に理由がある。又、放出後被曝を受けるまでの時間や、被曝の継続時間の長短による影響をすべて同一の単位に修正して比較するために便利である。

以上の理由から、全体から見るとかなり複雑でわかりにくい算出を必要とするが、一応ここではすべての被曝量を放出後 24 時間目の被曝濃度 - 時間単位〔キュリー・秒/m³ (24時間)〕の何倍にあたるかという数値であらわすこととする。

さらに放射能雲の被曝を受ける場合にはいずれも同じ時間的な条件で被曝を受けたものと想定して算出を行つた。(即ち短時間被曝といへば他の条件は異つていても、被曝時間は皆 1000 秒位であつたとするという意味である。)

4. 次に、被曝量の算出は身体の被曝を受ける部分が決められねば不可能である。

従つて、その部分をどのように定めるかは生物学的評価の点からきわめて重要である。というのは身体のあらゆる部分の被曝量を全て算出することは理論的にも不可能であるばかりでなく、労力的にも實際上無理である。故に出来るだけ少数の部分で出来るだけ身体全体が受ける効果を適切に評価出来るような部分を算出する必要がある。

このような選択の基準は非常に決定困難なものであつて、現在学問的に完全な基準というものはない。従つて、ここでは次のような基準によつて、算出を行うべき身体の各部分を選定した。

- (i) 全身 全身が被曝を受けることは最も危険な状態であつて、又全身は多量の造血臓器を含み、全身被曝は Volume-dosis が最も大となる。
- (ii) 放射性放出物が身体に侵入する部分にあたる膀胱 即ち、肺及び消化器。これ等の Organ は最も早く被曝を受け又最も濃厚に被曝の危険にさらされる。
- (iii) 身体の内最も多量の被曝線量を受ける可能性があると考えられる臓器。

放出物の内容から見て、このような臓器の代表として、甲状腺と骨とを考える。

この他選択の基準として、最も放射線に対して感受性の強い臓器、生命の推移に最も重要な臓器などが考えられるが、これらに対する生物学的に評価の基準や線量算出の条件が不明なものが多いので、ここにおいては、前述の (i)全身* (ii)肺 (iii)消化器 (v) 甲状腺 (v) 骨の五つの身体部分のみを取上げて、被曝線量を計算し、これにより全体への効果を評価することとした。

注* 全身だけを計算すればそれですべてをつくしているように考えられやすいが、全身が受ける線量というものは他の臓器の受ける線量から見て必ずしも大きなものではなく、甲状腺、肺、骨などははるかに大きな蓄積線量を受ける。

ただ吸収線量というものは組織が小さく Organ の重量が小なものでは比較的大きく算出されるものであるから、生物学的立場からは吸収線量のみならず容積線量 (volume - dose) をも考慮する必要があるように思われる。この点では全身線量はいかにも重要な役割を有していると考えられるが、Volume-dosis と全体的な生物学的効果との関係が未だよく解明されない点が多いので、ここでは従来の習慣に従って、各器官(身体部分)の吸収線量で被曝の程度を意味づける方法を取った。

I はしがき / もくじ / 戻る / III 身体の各部の受ける被曝線量

II 基本的諸条件 / もくじ / 戻る / 2. 肺の受ける線量について

III 身体各部の受ける被曝線量

1. 全身の受ける外部線量(全身 γ 線量)

全身の受ける被曝線量は大きくわけて外部より γ 線によつて受ける被曝と、放出物が体内に摂取される事により、内部より全身が受ける被曝線量(主として β 線による)とにわかれるが、ここでは全身が外部よりの γ 線への被曝により受ける線量を算定する。

① 今 C c-sec/m^3 の濃度・時間の放射能雲に潜没 (immerse) した場合に放射能雲の拡がり、その γ 線の飛程に対して充分大きな空間にひろがっているとすれば、それから全身が受ける γ 線の線量は、

$$d = \frac{(C \text{ c-sec/m}^3) (3.7 \times 10^{10} \text{ dis/sec-n}) (E_{\gamma} \text{ Mev/dis})}{(100 \text{ erg/g-rad}) (12.9 \text{ g/m}^3\text{-air})} = 0.246 \text{ C } E_{\gamma} \text{ rad} \cdot$$

となる。

但し、 E_{γ} は γ 線の平均エネルギー (Mev)

C は放出後24時間目の濃度・時間とする。

ここに E_{γ} は 0.7 Mev とすれば、

$$d = 0.173 \text{ C rad である。}$$

今、被曝時間が短時間であつて、その間の放出物の減衰が無視出来るものとすれば放出後 t 時間目に放射能雲に immerse した人の全身の受ける γ 線の線量は

$$D = 0.173 \text{ C } (t / 24)^{-n} \text{ である。}$$

注* 組織-空気の stopping power ratio 考慮に入れなかつた。が、これを考慮すれば線量は約 10% 増となる。

但し n は 揮発性放出物では 0.8

全放出物では 0.2 とする。

又 t は放出後 1 時間目では 2 とする。

従つて、放出後 1 時間目の被曝では

揮発性放出物で $D = 0.173 (2/24)^{-0.8} \text{ C} = 1.26 \text{ C rad}$

全放出物で $D = 0.173 (2/24)^{-0.2} \text{ C} = 0.28 \text{ C rad}$

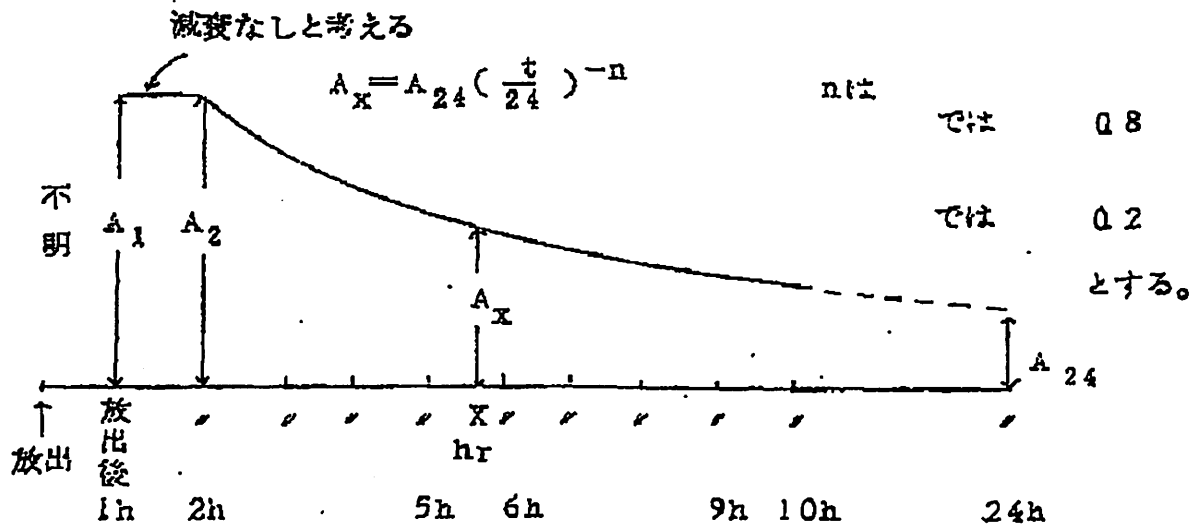
放出後6時間目の被曝では

揮発性放出物で $D_6 = 0.173 (6/24)^{-0.8} \text{ C} = 0.524 \text{ C rad}$

全放出物で $D_6 = 0.173 (6/24)^{-0.2} \text{ C} = 0.228 \text{ C rad}$

しかしながら、被曝時間が比較的長期に亘る場合は被曝中に放射能のエネルギーの減衰があるため実際受ける線量は、これより小となる。

今エネルギーの減衰が図の如く行われるとすれば、



放出後 1 時間目より被曝を受けて、それが 4 時間つづいたとすれば、減衰を考慮に入れて、平均 A_{av} のエネルギー強度で 4 時間被曝を受けたものと考えて線量を計算しても誤差が小さい。この場合、 A_{av} は次の如き式で表わせばよい。

$$A_{av} = \frac{A_1 + \frac{A_2 \int_2^6 (t/24)^{-n}}{3}}{2} \quad A_1 \rightarrow A_2 \text{ までは減衰がないものとする。}$$

又、放出後 6 時間目より被曝を受けたとすると

$$A_{av} = A_2 \int_6^{10} (t/24)^{-n} \quad \text{とおくことができる。}$$

$n = 0.8$ 及び 0.2 に対して、 A_{av} を夫々求めると次の表を得る。

n	1 時間目被曝の時	6 時間目被曝の時
0.8	$6.17A_{24}$	$2.41A_{24}$
0.2	$1.55A_{24}$	$1.25A_{24}$

この値はいずれもそれぞれの被曝時間後夫々 1.4 及び 2.0 時間たつたときの A の値に近いので、夫々 A_{24} 及び A_6 の値をもつて表わしてさしつかえない。

従つて、被曝が 4 時間つづいた場合には、全身の受ける γ 線量は、

放出後 1 時間目よりの被曝の場合は

$$0.246 \times 0.7 \times 6.170 = 1.07 \text{ C rad} \quad \text{Volatile F.P. のとき}$$

$$0.246 \times 0.7 \times 1.550 = 0.268 \text{ C rad} \quad \text{Total F.P. のとき}$$

放出後 6 時間目より被曝の場合

$$0.246 \times 0.7 \times 2.41 \text{ C} = 0.42 \text{ C rad} \quad \text{Volatile F.P. のとき}$$

$$0.246 \times 0.7 \times 1.25 \text{ C} = 0.216 \text{ C rad} \quad \text{Total F.P. のとき}$$

以上のの結果を総合すれば放出後 24 時間目の濃度 $C_0 - \mu\text{c}/\text{m}^3$ の放射能雲に潜没 (immerse) した人の全身の受ける線量は (γ 線被曝量) 次の図に掲げる如くである。(図1)

II 基本的諸条件 / もくじ / 戻る / 2. 肺の受ける線量について

1. 全身の受ける外部線量(全身γ線量) / もくじ / 戻る / 3. 消化器の受ける線量

2. 肺の受ける線量について

肺は放射能雲の吸入により肺に沈着又は吸収された放射性物質よりの放射線(主としてβ線を考えればよい)により被曝を受けるが、その被曝線量は、次の諸条件により異なる。

- 1) 吸入する放射性物質の空気中濃度 $\mu\text{C}/\text{cc}$ で表される。
- 2) 呼吸量率 一定時間に吸入する空気の量を示す。
- 3) 空気中の Aerosol の粒度 肺における沈着率を定める
- 4) 空気中の Aerosol の溶解性 肺にとどまる時間に関係する
- 5) 放射性物質の減衰の状態
- 6) 事故後被曝までの時間
- 7) 被曝の継続時間
- 8) 被曝後経過した時間 等

従つて、以上の諸条件に一応一定の値を想定しなければ、線量の算出が出来ない。

1)について、放射性放出物の空気中濃度は

放出後 24 時間目の濃度を $\text{C cc-sec}/\text{m}^3$ とするが 7) の被曝継続時間は、短時間の場合を、約 1000 秒、やや長くつづく場合を約 15000 秒 — 約 4 時間と想定する。

従つて、濃度は、短時間被曝は大抵 $\text{C} / 1000 \mu\text{C}/\text{cc}$

やや長時間被曝でほ大抵 $\text{C} / 15000 \mu\text{C}/\text{cc}$ であると想定されたことになる。

但しこの濃度は放出後 24 時間目の空気中の濃度である。

2)については

最近における科学技術庁資源調査局の調査によれば、我が国における色々な作業、労働時における空気の呼吸量は、

中等度作業	$10 \text{ M}^3/8\text{hr} \cong 21 \text{ l}/\text{min}$
一般作業	$6.5 \text{ M}^3/8\text{hr} \cong 13 \text{ l}/\text{min}$
坐作業、静止状態	$4 \text{ M}^3/8\text{hr} \cong 8 \text{ l}/\text{min}$

であるから、今放射能汚染空気を N hr 吸つたとし、その間、中等作業の時間：一般作業の時間：静止状態が、5：5：2 と想定すれば

$$\text{呼吸率は } \frac{20 \times 5 + 13 \times 5 + 8 \times 2}{12} = 15 \text{ l}/\text{min} = 250 \text{ cc}/\text{sec}$$

従つて、呼吸量は $15 \times 60 \text{ NI} = 90 \text{ QNI}$

故にここでは呼吸率として、

$$15 \text{ l/min} = 250 \text{ cc/sec} \text{ をとるものとする。}$$

4)については、粒度は一般にかなり巾のあるものであり、想定はかなり難しいが、ここでは比較的粒度大なる Aerosol として、粒度 7μ の場合と比較的粒度小なる Aerosol として粒度 1μ の場合の二つを想定する。

この想定は実際におこり得ると考えられているものの二つの典型をとつたものと考えてもよいであろう。現実にはこの二つの混合されたようなものが多くおこり、炉よりの距離がはなれるにつれ、粒度は小になる傾向があると考えられる。

この場合、肺における Aerosol の沈着率は、後に述べる理由により(注1)

前者では細胞沈着率(*)	50%
上気道 // (**)	5%
全 //	55%
後者では細胞 //	10%
上気道 //	65%
全 //	75%

と想定することを得る。

- 注(*) 一部の Lower respiratory における沈着を含み、機械的に肺外に排除されない。
 (**) 一部鼻、咽喉などへの沈着をのぞき、嚥下される可能性ある肺内沈着をいう

注1

今、空気中の Aerosol の粒度を 1μ 及び 7μ の二種類があるとすれば、そのおのおのが肺における沈着率は次の各図から次表のようになると考えられる。

沈着率\粒度	1μ	平均	7μ	平均
Rar	45~55%	50%	5~15%	10%
Rup	0~10%	5%	70~90%	80%*
Rt		55%		90%**

*この中 10~20% は鼻、咽喉への沈着と考える

鼻、咽喉への沈着をのぞくと肺内への全沈着率は 75% としてよい。

**但しこれは非常に conservative な想定ではない。

図

図

図

4)については、実際の放出物の溶解性(ここでは、厳密に言えば体液に対するものであるが、大気水に対する溶解性を考えることとする)は非常に様々であろう。しかしそれでは線量の算出が出

来ないので、一応、放出物を soluble なものと insoluble なものとの混合物と考え、前者は、肺の中でかなり速かに溶解し、大体平均して肺内での滞留時間は、100～1000 秒であると想定する。又後者は、肺内での溶解がきわめてゆつくりで、肺の生理的な排泄機序だけによつて、肺外へ排除されるものと想定する。

但、この二者の含有率は、前に掲げた放出された生成物の表中に掲げたものを参照し、

全放出物では放出後 1 時間目では	Sol : Insol = 0.5 : 0.5
" 6 時間目では	Sol : Insol = 0.4 : 0.6
揮発性放出物では一律に	Sol : Insol = 0.95 : 0.05

と想定する。

6) の被曝までの時間は
放出後 1時間及び6時間とする。

7) の被曝継続時間は既にのべた如く
1000 秒及約 4 時間(15000秒)とする。

8) については、
被曝後大体その 1 日間に受ける線量
 " 30 日間に受ける "
 " 90 日間に受ける "
 " 1 年間に受ける "

の 4 段階に分けて算出することにした。

又最後に 5) については

Volatile Fission Products の場合は

$$A_t = A_{24} \left(\frac{t}{24}\right)^{-0.8}$$

Total Fission Products

$$A_t = A_{24} \left(\frac{t}{24}\right)^{-0.2}$$

とし、又 Insoluble の物質だけを考慮する場合は
 $A_t = A_{24}(t/24)^{-0.2}$ 及び $A_t = A_{24}(t/24)^{-0.1}$ の二つの場合を想定して算出し、この中間の値を取ることとした。

以上のような想定にもとずいて、肺の受ける線量を算出することが出来るが、これは先ず被曝中(即ち放射能雲を吸入中)に受ける線量と、被曝が終わつてから一定時間までに受ける線量とにわけて考察する。溶解性の物質に対しては後者はほとんど考える必要がないが、不溶解後の部

分はかなり肺及びその附近に長時間とどまるものが考えられ、その肺に与える線量は非常に大きくなる場合がある。

又被曝時間が長くなればなる程不溶解性のものは、肺に蓄積する傾向があり、この点の影響を確かめるため被曝時間を 1000 秒、3500 秒(約 1 時間)7000 秒(約 2 時間) 10000 秒(約 3 時間)、15000秒(約 4 時間)の五段階に分けて比較して見た。

(A) 被曝時間中に肺の受ける線量を算出するには、

- (i) soluble は Aerosol の部分より受ける線量
- (ii) insoluble な部分により肺が受ける線量

これはされに二つに分かれ、(a) 肺胞に沈着したものより受ける線量と (b) 肺上気道に沈着したものより受ける線量とになる。

(i)と(ii)の線量の算出については参考文献(15)にゆずる〔本附録の末尾にある(注 2)参照〕。先ず Volatile F.P. に被曝したときを想定すれば

この場合 C c-sec/m³に被曝したとして

放出 1 時間後及び6時間後共に

Soluble のものが95% insoluble のものが 5% 含まれると想定する。

又 Total F.P. に被曝したときには

放出後 1 時間では、Soluble の量が 50%

insoluble のものが 50% と想定するが、6時間後では

soluble のものの decay が早いので、

soluble が 40% になり

insoluble のものが 60% になると想定する。

従つて Volatile F.P. の被曝では大部分の線量は、

soluble の Aerosol より来ると考えられるが。

Total F.P. の被曝の場合は

soluble からくるものつと、insoluble から来るものが半分くらいずつ

になると考えられる。

(B)

(1) Volatile F.P. に被曝したとき被曝中に受ける線量

今放出後24時間において、放射能雲の濃度が X_{24} c/m³のものに t 秒間さらされたとする。

$X_{24} \times t = C$ c-sec/m³であらわすものとする。

事故放出後1時間で被曝がはじまつたとすると、

C c-sec/m³より肺が受ける線量は

被曝時間(秒)	粒度 1 μ のとき	粒度 7 μ のとき
1,000	$0.28C + 15 \times 10^{-4}C = 0.28C$	$0.40C + 19 \times 10^{-4}C = 0.402C$
3,500	$0.24C + 53 \times 10^{-4}C = 0.245C$	$0.33C + 0.007C = 0.337C$
7,000	$0.20C + 0.011C = 0.211C$	$0.28C + 0.012C = 0.292C$
10,000	$0.20C + 0.015C = 0.215C$	$0.28C + 0.017C = 0.297C$
15,000	$0.16C + 0.036C = 0.196C$	$0.22C + 0.02C = 0.24C$

最高 0.245C

最高 0.337C

平均 0.22C

平均 0.3C

最低 0.196C

最低 0.24C

同上の比 1.25

同上の比 1.40

(2) Total F.P. に被曝したとき受ける線量

同様に、放出後24時における放射能雲の

濃度 × 時間を C c-sec/m³ で表わすと
被曝が放出後1時間の場合で N = 0.2 のとき

時間(秒)	粒度小	粒度大
1,000	$0.034C + 0.015C = 0.049C$	$0.046C + 0.02C = 0.066C$
5,000	$0.032C + 0.054C = 0.086C$	$0.044C + 0.069C = 0.11C$
7,000	$0.030C + 0.11C = 0.14C$	$0.041C + 0.123C = 0.16C$
10,000	$0.030C + 0.15C = 0.18C$	$0.041C + 0.168C = 0.21C$
15,000	$0.029C + 0.36C = 0.39C$	$0.040C + 0.22C = 0.24C$

最高 0.39C

最高 0.24C

最低 0.047C

最低 0.064C

比 8.3

比 3.75

事故発生後6時間で被曝がはじまつたとすると、

Volatile F.P. の場合は decay がすみやかであるので、

C c-sec/m³より肺が受ける線量は、減少する。

時間(秒)	粒度小	粒度大

放出後	被曝	粒度小		粒度大	
		0.2	0.1	0.2	0.1
1時間目	短 4hr	2.6 C'	3.4 C'	1.17C'	1.24C'
		1.88C'	2.58C'	0.72C'	0.77C'
6時間目	短 4hr	1.92C'	2.62C'	0.95C'	1.0 C'
		1.7 C'	2.32C'	0.63C'	0.68C'

ここに C' は C c-sec/m³中の insoluble の部分の濃度であつて、

Volatile F.P. の場合は $C' = 0.05C = \frac{1}{20} C$

Total F.P. の場合

放出後1時間目被曝では $C' = 0.5C = \frac{1}{2} C$

放出後6時間目被曝では $C' = 0.6C$

以上(A)(B)(C)を総合して C c-sec/m³に被曝した人の受ける線量は、放射性放出物の種類、粒度、被曝までの時間、被曝中の時間、放出物とくに insoluble の部分の減衰の速さ、及び被曝後の時間により次の表のごとく考えられる。

C c-sec/mlに被曝した人の肺が受ける線量(但しCは放出後24時間目の値とする。)

	粒度	放出後 被曝まで	被曝 時間	被曝中	被曝後	被曝後	被曝後	1ヶ月	被曝後	3ヶ月	被曝後
					20hr (0.1) まで	20hr (0.2) まで	0.1	まで 0.1	0.2	0.1	3ヶ月 ~1年
揮発性 放出物	粒度大	1時間目	短 4hr	0.4 C 0.24C	0.46C 0.28C	0.46C 0.28C	0.69C 0.46C	0.86C 0.59C	1.01C 0.7 C	1.58C 1.14C	<0.85C <0.65C
		6時間目	短 4hr	0.16C 0.15C	0.21C 0.18C	0.21C 0.19C	0.39C 0.34C	0.52C 0.47C	0.63C 0.56C	1.07C 0.97C	<0.65C <0.58C
	粒度小	1時間目	短 4hr	0.28C 0.2 C	0.41C 0.3 C	0.45C 0.33C	2.58C 2.06C	4.53C 3.46C	5.81C 4.46C	11.65C 8.96C	<8.5C <6.5C
		6時間目	短 4hr	0.12C 0.12C	0.22C 0.21C	0.25C 0.24C	1.98C 1.8 C	3.38C 3.06C	4.38C 3.96C	8.88C 8.04C	<6.5 C <5.85 C
全放出物	粒度大	1時間目	短 4hr	0.07C 0.24C	0.66C 0.60C	0.69C 0.63C	2.96C 2.4 C	4.7 C 3.73C	6.2 C 4.8 C	11.9C 9.2 C	<8.5C <6.5C
		6時間目	短 4hr	0.09C 0.26C	0.66C 0.64C	0.69C 0.60C	2.82C 2.59C	4.41C 3.95C	5.7 C 5.17C	13.7C 9.9C	<7.8C <7 C
	粒度小	1時間目	短 4hr	0.05C 0.39C	1.35C 1.33C	1.75C 1.68C	23.1C 18.9C	4.26C 3.3 C	55.4C 42.9C	114C 89C	<85C <65C
		6時間目	短 4hr	0.06C 0.4 C	1.21C 1.42C	1.63C 1.79C	22.4C 20.4C	39.2C 35.6C	51.2C 46.4C	132C 95C	<78C <70C

2. 肺の受ける線量について / もくじ / 戻る / 4. I混合物により甲状腺の受ける線量

3. 消化器の受ける線量

呼吸器に吸入されて沈着した放射性 Aerosol の一部及び口腔等に付着した Aerosol の一部は、生理的機序に従って、消化器へ移動する。

排泄機序は時間により変化するから、腸管の受ける線量を時間的に正確に算定することは非常に困難であるので、ここでは呼吸器及び口腔に沈着した Aerosol のある割合が一定の時間の後に消化器に到達し、且つそれが、一定時間消化管内を通つて、体外へ出るものと想定しその間に消化管が受ける総線量のみを算定する。

又放射性物質の吸入の続く時間及びその消化管への侵入は比較的短時間に完了するものと想定する。

放射性物質が消化器中にとどまる時間は I.C.R.P. によれば次の如く想定されている。

表I

	重量(g)	滞留時間	
胃	200g	1hr	但し、重量は日本人に対して補正してある。
小腸	900 "	4 "	
下部大腸	110 "	8 "	
上部大腸	120 "	18 "	

次に呼吸器に $Q \mu c$ が沈着した場合そのどの位の割合が消化器へ移行するかは、Aerosol の溶解性、と沈着部位に主として左右される。が、一応上気道に沈着したもののみがこうするし、

Volatile は soluble が 95% insoluble が 5%

Total は " 50% " 50% 含

まれるとし、soluble のものの10% insoluble の全部が移行するものとする。

又上気道及び口腔への沈着率を

粒度小なものでは 10%、粒度大なものでは 80% とする。しかるときには、消化管へ移行する放射性物質の量は空気中に含有されるものに次表の割合を掛けたものとなる。

表II 消化器へ移行する放出物の割合

	Volatile F.P.			Total F.P. (放出後1時間後)			Total F.P. (放出後6時間後)		
	Sol.	Insol.	合計	Sol.	Insol.	合計	Sol.	Insol.	合計

粒度小	0.001	0.005	0.006	0.005	0.05	0.055	0.004	0.06	0.064
粒度大	0.075	0.04	0.115	0.04	0.4	0.44	0.32	0.48	0.512

従つて、消化管内へ移行する放射性放出物の割合を次のごとく想定する。

表III

	Volatile F.P.		Total F.P. (放出後1時間後)		Total F.P. (放出後6時間後)	
	F.P.	μc	F.P.	μc	F.P.	μc
粒度小	1%	25C	5.5%	14C	6.5%	16C
粒度大	12%	30C	45%	112C	50%	125C

今 C c-sec/m³ に被曝した人の肺には CV μc の放出物が侵入する。故に 250C に表IIIの割合を掛けた放出物が消化器へ移行することになる。

消化管に移行する放出物の大部分は insoluble のものがあるから、この混合物の物理的減衰係数は 0.2 ~ 0.1 と考えられる。

今 C c-sec/m³ を放射後24時間後の値とすると、

放射後1時間目の放射物の強さは $C_{24} (2/24)^{-0.2} = 1.65 C_{24}$
 又は $C_{24} (2/24)^{-0.1} = 1.28 C_{24}$

但し、被曝が4時間続いたとすると、I節に述べた如く、

放出物の平均の強さは $C_{24} (24/24)^{-0.2} = 1.58 C_{24}$
 又は $C_{24} (24/24)^{-0.1} = 1.26 C_{24}$

としてこれが4時間つづいたと考えればよい。

放出後6時間目の被曝の場合には同様に考えて

短期被曝のとき 1.32 C₂₄
 1.15 C₂₄
 4時間被曝のとき 1.25 C₂₄
 1.12 C₂₄

従つて消化器に入る放出物の線量は次表の通りと考えられる。

表IV

放出後	減衰係数	被曝時間	Volatile F.P. の場合 μc		Total F.P. の場合 μc	
			粒度小	粒度大	粒度小	粒度大

1時間目	0.2	短 4時間	4.6C 4.2	55.5C 47.4C	25.9C 22.1C	207C 177C
	0.1	短 4時間	3.4C 3.15C	41.1C 37.8C	19.4C 17.6C	154C 141C
6時間目	0.2	短 4時間	3.3C 3.1C	39.6C 37.5C	22.1C 20.0C	165C 156C
	0.1	短 4時間	2.9C 2.8C	34.5C 33.6C	18.4C 17.9C	144C 140C

今、 $q\mu c$ が重量mgの消化管内にT時間あるときその消化管の受ける線量 D_{GI} は

$$D_{GI} = \frac{3.7 \times 10^4 \times 3600 \times 1.6 \times 10^{-6}}{2 \times 100 \times m} \int q F_{\beta} dT = \frac{1.06}{m} \int q E_{\beta} dT$$

但し、消化管は管状と考え β 線の飛程から考え organ への線量の吸収は 2π で行われるものとする。

E_{β} は放出物の β 線平均エネルギーとし、ここでは 0.4 Mev を想定する。

q は時間の函数で $q_T = q_0 T^{-n}$ とする。

但し q_0 ははじめの放射性物質の量である。

n は0.2乃至0.1であるとする。

q_0 は表 IV で示した数値である。

消化管の各部にとどまる時間及び organ の重量は表 I に示すとおりであると想定する。

又、被曝が短時間の場合は、吸入後平均して、2時間後に全放出物が胃に到着すると仮定すれば

胃の受ける線量は

$$D_{st} = \frac{1.06 \times 0.4}{200} \int_2^3 q_0 T^{-n} dT \text{ rad}$$

小腸の受ける線量は

$$D_{st} = \frac{1.06 \times 0.4}{900} \int_3^7 q_0 T^{-n} dT \text{ rad}$$

大腸の受ける線量は

$$D_{L.T.} = \frac{1.06 \times 0.4}{100 + 120} \int_7^{33} q_0 T^{-n} dT \text{ rad}$$

但し、a は小腸内における放出物の吸収率であつて、これは基だ明らかでないが、一応平均して 0.3 とする。

今 $n=0.2$ とすれば

$$D_{st} = 2.12 \times 10^{-3} q_0 \int 2T^{-0.2} dT$$

$$= 1.8 \times 10^{-3} q_0 \text{ rad}$$

$$D_{s,l} = 4.7 \times 10^{-4} q_0 \int 3T^{-0.2} dT$$

$$= 1.37 \times 10^{-3} q_0 \text{ rad}$$

$$D_{L,l} = 1.3 \times 10^{-3} q_0 \int 7T^{-0.2} dT$$

$$= 1.9 \times 10^{-2} q_0 \text{ rad}$$

$n = 0.1$ とすれば

$$D_{st} = 2.12 \times 10^{-3} q_0 \times \frac{1}{-0.9} (30^{0.9} - 2^{0.9}) = 1.93 \times 10^{-3} q_0 \text{ rad}$$

$$D_{s,l} = 4.7 \times 10^{-3} q_0 \times \frac{1}{-0.9} (70^{0.9} - 3^{0.9}) = 1.6 \times 10^{-3} q_0 \text{ rad}$$

$$D_{L,l} = 1.3 \times 10^{-3} q_0 \times \frac{1}{-0.9} (330^{0.9} - 7^{0.9}) = 2.4 \times 10^{-2} q_0 \text{ rad}$$

従つて、消化管の受ける全体の線量は

$$n = 0.2 \text{ のとき } D_{st} + D_{s,l} + D_{L,l} = q_0 (1.8 \times 10^{-3} + 1.37 \times 10^{-3} + 1.9 \times 10^{-3})$$

$$= 2.2 \times 10^{-2} q_0 \text{ rad}$$

$$n = 0.1 \text{ のとき } q_0 (1.93 \times 10^{-3} + 1.6 \times 10^{-3} + 2.4 \times 10^{-3})$$

$$= 2.75 \times 10^{-2} q_0 \text{ rad}$$

被曝が 4 時間続いた場合ににもその平均の強さの放出物が 1 時間に 1/4 ずつ入つてきたと考えると、全線量は同じ式で算出できる。故にこれらの結果を総合すれば、消化管の受ける総線量は次表のごとくなり、この総量は大体 30 ~ 40 時間の間に与えられる。

図 3



被曝後	減衰係数	被曝時間	Volatile F.P. の場合 (rad)		Total F.P. の場合 (rad)	
			粒度小	粒度大	粒度小	粒度大
1時間目	0.2	短 4時間	$10.1 \times 10^{-2}C$ $9.2 \times 10^{-2}C$	1.22C 1.04C	0.57C 0.49C	4.55C 3.9 C
	0.1	短 4時間	$9.4 \times 10^{-2}C$ $8.7 \times 10^{-2}C$	1.16C 1.04C	0.53C 0.48C	4.2 C 3.9 C
6時間目	0.2	短 4時間	$7.3 \times 10^{-2}C$ $6.8 \times 10^{-2}C$	0.87C 0.82C	0.49C 0.44C	3.63C 3.43C
	0.1	短 4時間	$8 \times 10^{-2}C$ $7.7 \times 10^{-2}C$	0.95C 0.92C	0.51C 0.49C	4.0 C 3.9C

§ 考察 §

消化器の受ける線量の算出で問題になるのは (i) 消化器内における生理的滞留時間 (ii) 消化器内における物質の吸収 (iii) 消化器内容物によるβ線の吸収、減弱等である。

第一の滞留時間は食物の種類、食習慣、個人的生理差の巾等かなり大きく、これより非常に、変化の巾があるものと予想される。従つて ICRP の想定が、どの程度、このような場合の評価において妥当であるかはよく解らない。

第二の点は、腸内の放射性物質は、その化学的性質や他の物との共存、生理的状态などで著しく異なるので、放出物全体として考慮することは本当は不可能である。従つて、吸収率 30% という数時にはあまり有力な根拠はない。又、腸内での吸収は一時に行われるのではなく、小腸を通過中に徐々に行われるのであるから、放射性放出物の量や割合も連続的に変つて行くものであると考えられるが、ここではその点は全く考慮していない。

もし小腸内での吸収が著しく悪いとすれば大腸がより大きな線量を受けることは明らかである。(滞留時間が長いから)

第三の点も腸内の物質は常に激しい流動や運動をしてまぜ合されているし、又、次第に流動体の濃度が変化していくのであつて、非常に想定が困難であるから、それによるβ線エネルギーの減弱はないものとして、ただ2πのジオメリーのみを想定した。

2. 肺の受ける線量について / もくじ / 戻る / 4.1混合物により甲状腺の受ける線量

3. 消化器の受ける線量 / もくじ / 戻る / 5. 吸収された放出物により骨が受ける線量

4. I混合物により甲状腺の受ける線量

今、 $C \text{ c-sec/m}^3$ (この値だけは便宜上24時間目の値ではない)の放射能雲に被曝した人は $CR_t V$ なる量の放射性物質を肺内に沈着させる。この中で I の占める割合を A とすれば、 $CR_t VA$ μc の I 混合物が肺に沈着する。

I 混合物の種類を $I_{131}, I_{132}, I_{133}, I_{134}, I_{135}$ とし、それぞれの含有量(%), 及び減衰を次の通りとする

表1

放出直後	Volat.F.P. 中%	Total F.P. 中%	半減期(hr)	λ (1hr)	実効エネルギー
I_{131}	4.7	1.5	1.93	3.6×10^{-3}	0.23
I_{132}	6.9	2.2	2.32	0.3	0.65
I_{133}	11.0	3.3	20.85	3.3×10^{-2}	0.54
I_{134}	12.0	3.8	0.86	0.8	0.82
I_{135}	9.3	3.0	6.71	1.03×10^{-1}	0.52
合計	43.9	13.8	(但し放出直後の含有量とする)		

I 混合物の物理的減衰は図VI A の如くなる。これによればI混合物の減衰は

1~2hr より 20hr までは $T^{-0.4}$ に比例し、

20hr より 200hr までは $T^{-0.65}$ に比例し、

200hr 以降は I_{131} の物理的減衰に従うものと見ることが出来る。

今放出後1時間目、6時間目等の I 混合物の含有%を求めると、次の表の如くなる。

表2

	1時間後	2.5時間後	6時間後	7.8時間後	20時間後
Volat F.P.	32%	24%	19%	17%	10.5%
Total F.P.	11%	8.5%	6.2%	5.5%	3.5%

又被曝が4時間つづいた場合は夫々2.5時間後及び7.8時間後の値が4時間つづいたものと考えてもよい。*

又 1~2~20hr までの平均実効エネルギー E_1 を 0.5**

20~200hr までの " E_2 を 0.3 と想定する。

今、 $C \text{ c-sec/m}^3$ に被曝した人の肺には

$q = CR_t VA \mu c$ の I 混合物が沈着するから、これが直ちに溶解吸収されるとすれば、これが1時間に与える線量は

$$D_{Thyr} = CR_t VA \times 0.3^{***} \times E1 \times \frac{3.7 \times 10^4 \times 3600 \times 1.6 \times 10^{-6}}{20 \times 100}$$

$$= CR_t VA \times 1.6 \times 10^{-2} \text{ rad/hr} = CR_t A \times 4 \text{ rad/hr}$$

但し、Aは、放出後1時間目より被曝の場合

被曝が短時間の場合は Total F.P. で 0.11
 Volatil F.P. で 0.32

被曝が4時間つづいた場合は

Total で 0.085
 Volatil で 0.24

又、放出後6時間目より被曝した場合は

被曝が短時間の場合は Total F.P. で 0.062
 Volatil F.P. で 0.19

被曝が4時間つづいた場合は Total で 0.055
 Volatil で 0.17

* $t^{-0.4}$ における1~4 hr 目 までの積分平均値を示す時間である。
 $t^{-0.65}$ における 6~10 hr 目

** 2~20hr の内の適当な時の各I核種の量 × Energy の平均

*** 血液中より甲状腺に移行するIの割合

である。又

R_t は、粒度小の Aerosol では 0.55

粒度大の " では 0.75 と想定したから、C c-sec/m³

に被曝した人の甲状腺が最初の1時間に受ける線量は、

		Total F.P. の場合		Volatile F.P. の場合	
		粒度小	粒度大	粒度小	粒度大
1時間	短	0.24C	0.33C	0.7 C	0.96C
	4時間	0.19C	0.26C	0.53C	0.72C
6時間	短	0.14C	0.19C	0.42C	0.57C
	2時間	0.12C	0.17C	0.37C	0.51C

次に被曝してから20時間の間に受ける線量を求めると、短時間被曝の場合は

$$D_{Thy} = D_{Thy} \int_1^{20} t^{-0.4} dt$$

$$= D_{thy} / 0.6 \times (20^{0.6} - 1^{0.6}) = 9.9 D_{thy}$$

被曝が4時間つづいた場合は

$$D_{Thy} = \int_0^4 D_{Thy} dt + D_{Thy} \int_4^{20} t^{-0.4} dt$$

$$= D_{Thy} \left\{ 4 + \frac{1}{-0.4} (200.6 - 50.6) \right\} = 11.2 D_{Thy}$$

従つて、C c-sec/m³ に被曝した人の甲状腺が被曝より 20 時間に受ける線量は次の表のごとくなるものと考えられる。

		Total F.P. の場合		Volatile F.P. の場合	
		粒度小	粒度大	粒度小	粒度大
1 時間	短	2.4C	3.3C	6.9C	9.5C
	4時間	2.1C	2.9C	5.9C	8.06C
6 時間	短	1.4 C	1.9 C	4.2 C	5.65C
	4時間	1.35C	2.9 C	4.15C	5.7 C

図 4 1000C の F.P. 中における I 混合物の減衰

図 5 Volatile F.P. 中の I 混合物の減衰

図 6 Total F.P. 中の I 混合物の減衰

但し放出後6時間より被曝の場合は $t^{-0.4}$ の法則が 26 時間まで保たれるものとして計算したから、実際よりは少し大きく見積もられている。

なお、20 時間位の間では甲状腺における生理的減衰はほとんどないものと見なして計算した。

次に、被曝後 20 時間経て後に甲状腺が受ける線量を算出する。20 時間より 200 時間(約 8 日間)までの線量を求めるには甲状腺の生理的減衰を考慮しなければならぬ。今被曝後 20 時間後における I 混合物の量は、甲状腺の生理的排泄を無視すれば、

$$0.3 \times CR_t \times V \times A_{20} \text{ で}$$

A₂₀ は、放出後1時間目の被曝のときは Volatile F.P. で 10.5%
 Total F.P. で 3.5%
 放出後6時間目の被曝のときは Volatile F.P. で 9.0%
 Total F.P. で 3.0%

とみなし得る。

又甲状腺の生理的減衰係数 λb は、

$$\lambda b = 0.693 / \text{生理的半減期} = 2.1 \times 10^{-4} / \text{hr} \quad \text{であると想定する。}$$

(138日)

又、 I_{132} 及び I_{134} はほとんど無視できる位 decay するから、平均実効エネルギーは、約0.3Mev と見なし得る。

従つて、甲状腺が 20~200hr 間に受ける線量は

$$0.3CR_tVA_{20} \times 0.3 \times \frac{3.7 \times 10^4 \times 3600 \times 1.6 \times 10^{-6}}{2.0 \times 10^4} \int_1^{180} t^{-0.65} e^{-\lambda bt} dt \text{ rad}$$

この前項は $4.8CR_tA_{20}$ であるが、後項の積分は解法が困難である。しかし、 $\lambda = 2.1 \times 10^{-4}$ 程度であるから $t \leq 200$ のハニイでは

$$e^{-\lambda bt} = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2}$$

とおいても誤差はきわめて少ないのでこれにより $e^{-\lambda bt}$ を置換してこの積分を解くと、

$$\int_1^{180} t^{-0.65} e^{-\lambda bt} dt = \left[t^{0.35} \left(\frac{1}{0.35} - \frac{\lambda t}{1.35} + \frac{(\lambda t)^2}{4.7} \right) \right]_1^{180}$$

$$= \left[180^{0.35} \left(\frac{1}{0.35} - \frac{3.8 \times 10^{-2}}{1.35} + \frac{1.45 \times 10^{-3}}{4.7} \right) - \frac{1}{0.35} \right]$$

$$= (6.15 \times 2.822 - 2.85) = 14.5$$

故に求める線量は $69.5CR_tA_{20}$ 即ち、下表の如くである。

	Total F.P.		Volatile F.P.	
	粒度大	粒度小	粒度大	粒度小
放出後1時間目被曝	1.35C	1.8C	4C	5.5C
放出後6時間目被曝	1.15C	1.55C	3.4C	4.7C

200時間目に甲状腺に残留するIはほとんど I_{131} のみであり、その量は

$$\text{Volatile F.P. の場合は } 0.3 \times CR_tV \times 0.025 \times e^{-2.1 \times 10^{-4} \times 200}$$

$$= 1.8 CR_t \mu c$$

$$\begin{aligned} \text{Total F.P. の場合は } & 0.3 \times CR_t V \times 0.0075 \times e^{-2.1 \times 10^{-4} \times 200} \\ & = 0.54 CR_t \mu c \end{aligned}$$

従つて、甲状腺が1日間に受ける線量は

$$\frac{3.7 \times 10^4 \times 1.6 \times 10^{-6} \times 3600 \times 24}{20 \times 20} \times E \times \frac{0.54}{1.8} \times CR_t$$

E は I_{131} の実効エネルギー、即ち0.23MeV

即ち、Volatile F.P. の場合は

$$2.56 \times E \times 1.8 CR_t = 1.05 CR_t \text{ rad}$$

Total F.P. の場合は

$$2.56 \times E \times 0.54 CR_t = 0.32 CR_t \text{ rad}$$

I_{131} の実効半減期は甲状腺に対して7.6日であるから、8日目より30日までに甲状腺の受ける線量は、

$$1.05 CR_t \int_8^{30} e^{-(0.693/7.6)t} dt = 1.05 CR_t \times 4.53 \text{ rad}$$

$$0.32 CR_t \int_8^{30} e^{-(0.693/7.6)t} dt = 0.32 CR_t \times 4.53 \text{ rad}$$

同様にして30日より90日までの甲状腺の線量を求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{即ち、} \int_{30}^{90} e^{-(0.693/7.6)t} dt & = 6.8 \text{ であるから } \\ \text{Volatile } & 1.05 CR_t \times 0.68 \text{ rad} \\ \text{Total } & 0.32 CR_t \times 0.68 \text{ rad} \end{aligned}$$

さて以上の計算において

C c-sec/ m^3 はこの節では放出後 24 時間目における放射能の濃度を意味してないから、放出後 t 時間目においては、これにある係数を掛けて、補正を行わないと、 t 時間目に被曝を受けた人の本当の被曝線量 24 時間後の濃度単位で表わすことが出来ない。

換言すれば 24 時間目の値で C c-sec/ m^3 の被曝を受けた人肺には、放出後 t 時間目においては本当は $q = a CR_t V A \mu c$ の I 混合物が沈着していることになる。

この係数 a は、放出後の時間、被曝の継続時間、放出物の減衰係数により次表のごくく変化するものと考えられる。

全放出物	放出後	短時間被曝	1.64
	1時間目	4時間 "	1.58
	放出後	短時間 "	1.32
	6時間目	4時間 "	1.24

揮発性放出物	放出後	短時間被曝	7.25
	1時間目	4時間 "	6.31
	放出後	短時間 "	3.03
	6時間目	4時間 "	2.41

以上の考察と、今までに算出された線量を総括して表示すれば次のごとき表を得る。但し R_1 は粒度大では 0.75 粒度小では 0.55 とする。

C c-sec/m³(24時間目の値)に被曝した人の甲状腺がその放出物中の I 混合物により受ける線量

C c-sec/m³(24時間目の値)に被曝した人の甲状腺がその放出物中のI混合物により受ける線量

放出物	粒度	放出後被曝まで		被曝中最初の1時間に受ける線量	被曝より20時間までに受ける線量	左の1日間の平均線量率	20時間目より200時間までに受ける線量	左の期間の平均1日線量率	8日目より30日までの受ける線量	左の期間の平均1日線量率	30日より90日までの受け線量
		短	被曝時間								
全放出物	小	1hr	短	0.39C	3.9C	4.8C	2.2C	0.29C	1.2C	0.06C	0.18C
			4hr	0.3C	3.3C	3.95C					
		6hr	短	0.19C	1.85C	2.25C	1.5C	0.2C			
			4hr	0.15C	1.65C	2.0 C					
	大	1hr	短	0.54C	5.4C	6.6C	2.95C	0.38C			
			4hr	0.41C	4.6C	5.5C					
6hr		短	0.25C	2.5C	3.0 C	2.0C	0.27C				
		4hr	0.21C	2.35C	2.85C						
揮発性放出物	小	1hr	短	5.07C	50.0C	60.2C	2.4C	3.2C	15.6C	0.72C	2.3C
			4hr	3.34C	37.2C	44.8C					
		6hr	短	1.27C	12.7C	15.3C	10.2C	1.3C			
			4hr	0.89C	10.0C	12.0C					
	大	1hr	短	6.96C	68.9C	82.6C	33C	4.4C			
			4hr	4.54C	50.8C	50.8C					
		6hr	短	1.73C	17.1C	20.6C	14.1C	1.9C			
			4hr	1.23C	13.7C	16.4C					

以上のごとく、最も大きな被曝を受けるのは、揮発性放出物を放出後 1 時間目に受ける人であつて、特に粒度大なるものでは、最初の 1 日間の被曝が 80~60C に及ぶ。これに対し全放出物では、これの 10 分の 1 にも及ばない。又放出後の時間がたつに従つて揮発性放出物より受ける線量は急速に少くなることが明らかとなつた。

又甲状腺の被曝量の約半分が最初の 1 日で与えられ、又、最初の 1 週間に 4/5 位を受けることが理解される。

3. 消化器の受ける線量 / もくじ / 戻る / 5. 吸収された放出物により骨が受ける線量

4. 混合物により甲状腺の受ける線量 / もくじ / 戻る / 5. 吸収された放出物により骨・消化器・肺・甲状腺以外の主要な身体部分が受ける線量

5. 吸収された放出物により骨が受ける線量

放射性 Aerosol 中に含まれる物質が身体中に吸収された時、その一部は血液中に入り、さらにその一部は骨に沈着し、そこに長時間滞留して大きな線量を与える。

しかしながらこの際放射性放出物中のどの部分がいくらの割合で骨に沈着するかを正確に定めることはきわめてこつこつであり、且つ、放出物中の Bone Seekers だけをまとめて取り扱うことは、夫々の化学的性質や生理学的特性が異なるので不可能である。

従つて、全放出生成物中の比較的含有量が多く、しかも骨における実効半減期が比較的長く、骨に多量の線量を与えると考えられる10種程度の核種を取り上げ夫々別個にこれが骨に与える線量を算出し、他の核種によるものについては無視することにした。

次に、これらの物質が体内に入り骨に到達する過程は、その物質を含む Aerosol の性質、又化学的性質、及びそれが肺胞を経て入るか又は消化管を経るかにより相当に異なるのであるが、それらの点をこまかく分析することは問題を甚だ複雑化し且つ、多くの不確実な仮定を行う必要があるので、それらをきわめて単純化し、次の仮定に基づいて計算することにした。

- (1) Aerosol に含まれて、肺に沈着したこれらの物質は、何等かの経路を通り、体内に入り、その一定の割合が骨に到達し、蓄積される。
- (2) この場合一定の割合は、各核種の種類とその呼吸器への沈着率と代謝の特性により異なるので、次の式によるものと想定する。

$$f_b = (R_{ov} + f_{ob} \times R_{oc}) \times f_{bc}$$

但し、 f_b は骨への移行率(吸入されたものの中骨に到達蓄積する割合)
 f_{ob} は腸管における核物質の吸収率
 f_{bc} は血液より Critical Organ へ移行する割合とする。
 又 R_{ov} 、 R_{oc} は夫々肺胞、上気道における Aerosol の沈着率とする。

f_{ob} 、 f_{bc} については ICRP の1958年度の報告にある値を夫々採用するものとし、 R_{ov} 、 R_{oc} についてはすでに肺の線量を計算するときに定めた値を取るものとする f_b について、次の如き表IIを得る。

- (3) 以上の経過(骨への蓄積)がおこるのは核種の実効半減期に対して、充分短い時間内におこり、従つて、その時間は骨に与える線量に対してあまり影響を与えないものとする。

ここではその期間を7日間と想定し、その間毎日各核種は同じ速度で骨に蓄積して行くものと想定した。

この想定は生理的におこり得ると考えられる各 Bone Seeker の代謝とはかなり異なるものであると考えられるが、計算の便宜のため、このような仮定を行うことにした。但しこのような仮定において算出された長期間の蓄積線量はより生理学的な想定より算出されるものに対して、そう大きな差はないと考えられる。(短期間の線量には若干の差異を生ずるであらうが)。

以上の想定にもとずき、ここでは放出された放射性核種の中で、とくに骨に与える線量が大きくなると考えられた11種のものについて骨に与える線量を算出し(2) その合計をもつて、骨に与えられる被曝線量とした。この11種の核種は Sr^{89} 、 $Sr^{90} + Y^{90}$ 、 Y^{91} 、 $Zr^{95} + Dra$ 、 Ba^{140} 、 La^{140} 、 Nb^{95} 、 Co^{141} 、 $Co^{144} + Pr^{144}$ 、 Pr^{143} 、 Pm^{147} である。

この内 Ba^{140} 、 Pr^{143} 、 La^{140} については(3)の想定は必ずしも適切でないで、骨への蓄積量について実効半減期(7日)に比較してかなり短いので考慮して若干の修正を行うことにした。

以上の各核種について、 f_b 及其算出のための各要素、及び放出物中の含有率、実効半減期等を表I及表IIに示す。

表I

核種	放出物1C中の核種のC数(A)		物理的半減期 日	実効半減期 日	** 実効エネルギー MeV	λ_{ef}
Total F.P.	Volat.F.P.					
Sr^{89}	0.024	0.0015	50.5	50.4	2.8	1.37×10^{-2}
$Sr^{90} + Y^{90}$	0.0030	0.00019	10^4	6.4×10^3	5.5	1.08×10^{-4}
Y^{91}	0.030	1.9×10^{-6}	58	58	2.9	1.19×10^{-2}
$Zr^{95} + Dra$	0.032	1.5×10^{-5}	63.3	59.5	1.1	1.16×10^{-2}
$Ba^{140} + La^{140}$	0.032	0.001	12.8	10.7	4.2	6.47×10^{-2}
La^{140}	0.032	0.0005	1.68	1.68	2.7	4.12×10^{-1}
Nb^{95}	0.032	1.5×10^{-5}	35	33.5	0.37	2.07×10^{-2}
Co^{141}	0.030	0.0018	32	31	0.81	2.33×10^{-2}
$Co^{144} + Pr^{144}$	0.031	0.0019	280	243	6.3	2.85×10^{-3}
Pr^{143}	0.031	0.001 *	13.7	13.6	7.6	5.09×10^{-2}
Pm^{147}	0.0085	0.001 *	920	570	0.35	1.21×10^{-3}

* 割合がよくわからないので Ba^{140} と同じと想定した。

** 骨に対する実効半減期である

表II

核種	f_{ob}	f_{bc}	f_b
粒度大		粒度小	

Sr^{89}	0.3	0.7	0.21	0.38
$Sr^{90}+Y^{90}$	0.3	0.3	0.09	0.165
Y^{91}	10^{-4}	0.75	0.075	0.375
$Zr^{93}+Dra$	10^{-4}	0.38	0.038	0.18
$Ba^{140}+La^{140}$	0.05	0.7	0.091	0.35
La^{140}	10^{-4}	0.4	0.04	0.2
Nb^{95}	10^{-4}	0.38	0.038	0.19
Co^{141}	10^{-4}	0.3	0.03	0.15
$Co^{144}+Pr^{144}$	10^{-4}	0.3	0.03	0.15
Pr^{143}	10^{-4}	0.4	0.04	0.2
Pm^{147}	10^{-4}	0.35	0.035	0.175

$$f_a = (R_{iv} + f_{ab} \times R_{ro}) \times f_{b-c}$$

但し 粒度大のとき $R_{iv} = 0.1$ $R_{ro} = 0.65$
 粒度小のとき $R_{iv} = 0.5$ $R_{ro} = 0.05$

今 C sec/m^3 (24時間目の値)に被曝した人の肺には $aCVR_A \mu\text{c}$ の夫々の核種が沈着する

但し、 a は放出後被曝までの時間による修正係数、 A は放出物1c中に含まれる各核種の割合

ここで R_A は肺への Aerosol の全沈着率であるが、このようにして肺に沈着した各核種はその後色々な生理的経過を経て骨に蓄積するわけでの蓄積する割合は前述の f_a であるから、かくて C sec/m^3 に被曝した人の骨には仮定により、1週間後には $aCVAf_a \mu\text{c}$ の夫々の各種が蓄積するものと考えられる。

但し、若干の核種は実効半減期が7日の比較して、かなり短いので蓄積量を修正する必要がある。

即ち、今、骨への核種の蓄積が7日間で完了し且つその間一定の速度で行われたとする。

毎日の蓄積量を Q とすれば

$$\frac{dQ}{dt} + \lambda_{ef} Q = K \quad Q = K/\lambda_{ef} \times (1 - e^{-\lambda_{ef} t})$$

$Ba^{140}, La^{140}, Pr^{143}$ をのぞいては λ_{ef} は $t=7$ の場合非常に小さいから $Q=kt$ とみなし得る。

故に7日までに骨が受けた線量は

$$\int_0^7 Q dt = K \left[\frac{t^2}{2} \right]_0^7 = D_{bone} \times \frac{7}{2} \text{ rad}$$

前述の3核種については、もし減衰がないとしたときの蓄積量を Q_0 とすれば、

$$Q_0 = Kt \quad K = \frac{Q_0}{t} \quad Q = Q_0 \frac{1 - e^{-\lambda_{ef} t}}{\lambda_{ef} t}$$

$t=7$ とおけば、実際の Q をもとめ得る。

これにより Q を修正するから、従つて $Ba^{140}, La^{140}, Pr^{143}$ が1週間に骨にあたる線量を上記のものよりは小となり、若干の修正を必要とする。

次に今、骨に $Q \mu\text{c}$ の放射性核種が沈着したとして、これが骨全体に均一に分布しているとする、その核種が1日間に骨に与える線量は

$$D_{bone} = Q \times \frac{3.7 \times 10^4 \times 3600 \times 24 \times 1.6 \times 10^{-8} \times E_{ef}}{100 \times \pi}$$

$$= 51.1 \times \frac{Q E_{ef}}{\pi} \text{ rad}$$

但し、 E_{ef} はその核種の実効エネルギー (R.B.E. 及

を考慮に入れた)。

π は骨の全重量であるがここでは $\pi = 5500\text{g}$ とする。

* 日本人の体重は I.C.R.P. の 70kg に対して約 8/10 である。骨の重量は大体体重と比例すると考えられるから、日本人の体重に応じて修正を行った。

故に、 $D_{bone} = 9.3 \times 10^{-3} \text{ QEof rad}$

即ち、第1週間目の1日の線量は D_{bone} である。この以前 Q は一定速度で蓄積するから、前述の如く、7日までの線量は、 $7/2 \times D_{bone}$ rad となる。又これ以後 Q は、実効半減期に従つて、減衰するから、 T 日までの骨の受ける線量は、

$$D \int_1^T e^{-\lambda_{ef} t} dt = D/\lambda_{ef} (e^{-\lambda_{ef}} - e^{-\lambda_{ef} T})$$

故に $T = 23日、83日、1年(360日)$ 50年とにおいて求めれば、次に掲げる如き表を得る

但しこの表にて30日間に受ける線量は、7日までに受ける線量+8日より30日までに受ける線量

80日間に受ける線量=7日までに受ける線量+8日より83日までの線量とする。

又1年間の線量=7日までの線量+8日より360日までの線量とする。

又 $\alpha\text{-fact}$ は $Ba^{140}, La^{140}, Pr^{143}$ のぞいては 1

La^{140} では 0.66

Pr^{143}, Ba^{140} では 0.95 とする。

以上の結果をまとめて表示すると、第1週間の終りに骨に蓄積する各核種の量およびそれにより骨が受ける被曝線量の総計はそれぞれ第III表及び第IV表の1)~4)に掲げる如くなる。

表III 放出後24時間目に測つて $1C\text{-sec}/m^3$ に被曝した人の骨に蓄積する核種および与える線量

核種	放出物1C中の核種の割合(A)		骨への蓄積率 f_b	1週間後に骨に蓄積する各核種の量 μC																実効エネルギー	1週間目の1日に骨にあたる線量
				探査放出線度大				探査放出線度小				全放出線度大				全放出線度小					
				全放出線度大	全放出線度小	探査放出線度大	探査放出線度小	探査放出線度大	探査放出線度小	全放出線度大	全放出線度小	探査放出線度大	探査放出線度小	探査放出線度大	探査放出線度小	探査放出線度大	探査放出線度小				
Sr^{89}	0.024	0.0015	0.21	0.38	2.02	1.85	3.53	2.85	0.59	0.25	1.0	0.43	2.8	0.053	0.043	0.092	0.075	0.016	0.00		
$Sr^{90} + Y^{90}$	0.0030	0.00019	0.09	0.155	0.11	0.09	0.19	0.15	0.031	0.013	0.054	0.023	5.5	0.008	0.005	0.011	0.008	0.002	0.00		
Y^{91}	0.030	1.9×10^{-6}	0.075	0.375	0.91	0.74	4.57	3.72	2.8×10^{-4}	1.2×10^{-4}	1.4×10^{-3}	8×10^{-4}	2.9	0.025	0.02	0.125	0.101	≈ 0	≈ 0		
$Zr^{95} + Dy^{95}$	0.032	1.5×10^{-5}	0.038	0.18	0.48	0.37	2.3	1.87	8.4×10^{-4}	3.8×10^{-4}	4.2×10^{-3}	1.8×10^{-3}	1.1	0.005	0.004	0.022	0.018	≈ 0	≈ 0		
$Ba^{140} + La^{140}$	0.032	0.001	0.091	0.35	0.89	0.72	3.38	2.67	10^{-3}	0.052	0.454	0.19	4.2	0.035	0.028	0.131	0.103	0.008	0.00		
La^{140}	0.032	0.0005	0.04	0.2	0.17	0.13	0.88	0.70	0.011	4.8×10^{-3}	0.056	0.024	2.7	0.005	0.004	0.022	0.018	0.0003	0.00		
Nb^{95}	0.032	1.5×10^{-5}	0.038	0.19	0.49	0.39	2.4	2.0	0.121	4.3×10^{-4}	5.0×10^{-3}	2.2×10^{-3}	0.37	0.002	0.001	0.009	0.008	≈ 0	≈ 0		
Co^{141}	0.030	0.0018	0.03	0.15	0.34	0.27	1.70	1.48	0.089	0.038	0.45	0.19	0.81	0.003	0.002	0.013	0.010	0.0008	0.00		
$Co^{144} + Pr^{144}$	0.031	0.0019	0.03	0.15	0.37	0.30	1.85	1.51	0.10	0.043	0.50	0.22	6.3	0.022	0.018	0.109	0.088	0.008	0.00		
Pr^{143}	0.031	0.001	0.04	0.2	0.42	0.34	2.08	1.69	0.059	0.025	0.29	0.13	1.8	0.008	0.005	0.032	0.028	0.001	0.00		
Pm^{147}	0.0085	0.001	0.035	0.175	0.12	0.10	0.57	0.47	0.07	0.030	0.36	0.15	0.35	0.0008	0.0005	0.003	0.002	0.0003	0.00		

表IV 1) 全放出線度大たる場合 $C\text{-sec}/m^3$ に被曝した人の骨が受ける線量

核種	被曝7日目の1日線量	被曝後1週間の線量	被曝後30日間の線量	被曝後90日間の線量	被曝後1か年間の線量	3ヶ月~1年間の線量	被曝後5年間の線量	1年後より5年間の線量	被曝後50年間の線量
	Sr^{89}	0.053C	0.185C	2.168C	2.801C	4.008C	1.208C	4.037C	0.028C
$Sr^{90} + Y^{90}$	0.008C	0.021C	0.181C	0.521C	2.198C	1.877C	10.073C	7.874C	48.048C
Y^{91}	0.025C	0.087C	0.591C	1.405C	2.157C	0.753C	2.187C	0.028C	2.187C
$Zr^{95} + Dy^{95}$	0.005C	0.018C	0.108C	0.253C	0.394C	0.141C	0.400C	0.008C	0.400C
$Ba^{140} + La^{140}$	0.035C	0.121C	0.511C	0.631C	0.633C	0.002C	0.880C	0.027C	0.858C
La^{140}	0.005C	0.007C	0.015C	0.015C	0.015C	0C	0.0198C	0.0045C	0.019C
Nb^{95}	0.002C	0.007C	0.040C	0.078C	0.095C	0.018C	0.095C	0C	0.095C
Co^{141}	0.003C	0.009C	0.055C	0.108C	0.124C	0.018C	0.124C	0C	0.124C
$Co^{144} + Pr^{144}$	0.022C	0.078C	0.581C	1.681C	4.974C	3.293C	7.888C	2.894C	7.711C
Pr^{143}	0.008C	0.021C	0.101C	0.138C	0.140C	0.002C	0.147C	0.008C	0.148C
Pm^{147}	0.0008C	0.002C	0.016C	0.051C	0.183C	0.132C	0.446C	0.332C	0.515C
合計	0.163C	0.552C	4.323C	7.881C	14.82C	7.242C	25.858C	10.938C	63.94C

放出後六時間目に被曝	Sr ⁹⁰	0.043C	0.151C	1.769C	2.287C	3.274C	0.987C	3.297C	0.023C	3.296C
	Sr ⁹⁰ +Y	0.005C	0.017C	0.131C	0.425C	1.795C	1.370C	8.226C	6.431C	39.239C
	Y ⁹¹	0.022C	0.071C	0.480C	1.141C	1.753C	0.612C	1.777C	0.024C	1.777C
	Zr ⁹⁵ + Dra	0.004C	0.013C	0.088C	0.205C	0.320C	0.114C	0.325C	0.005C	0.325C
	Ba ¹⁴⁰ + La	0.028C	0.097C	0.4125C	0.508C	0.508C	0.002C	0.531C	0.022C	0.531C
	La ¹⁴⁰	0.004C	0.008C	0.012C	0.0125C	0.0125C	0C	0.016C	0.004C	0.016C
	Nb ⁹⁵	0.001C	0.005C	0.032C	0.084C	0.076C	0.013C	0.076C	0C	0.076C
	Co ¹⁴¹	0.002C	0.007C	0.045C	0.088C	0.101C	0.014C	0.101C	0C	0.101C
	Co ¹⁴⁴ + Pr	0.018C	0.082C	0.458C	1.368C	4.042C	2.676C	8.231C	2.189C	6.285C
	Pm ¹⁴³	0.005C	0.017C	0.082C	0.112C	0.114C	0.0015C	0.119C	0.005C	0.119C
	Pm ¹⁴⁷	0.0005C	0.002C	0.013C	0.042C	0.150C	0.109C	0.367C	0.273C	0.423C
合計	0.131C	0.448C	3.519C	6.170C	12.147C	5.977C	21.066C	8.919C	52.17C	

表IV 2) 全放出粒度小たる場合 C c-sec/m³に被曝した人の骨が受ける線量

核種	被曝7日目の 1日線量	被曝後1週間 の線量	被曝後30日間 の線量	被曝後90日間 の線量	被曝後1か年 間の線量	3ヶ月~1年 の線量	被曝後5年間 の線量	1年後より5年 間での線量	被曝後50年間 の線量	
放出後一時間目に被曝	Sr ⁹⁰	0.092C	0.323C	4.790C	4.901C	7.018C	2.115C	7.084C	0.048C	7.084C
	Sr ⁹⁰ + Y ⁹⁰	0.011C	0.037C	0.281C	0.911C	3.847C	2.936C	17.827C	13.780C	84.084C
	Y ⁹¹	0.125C	0.437C	2.954C	7.024C	10.787C	3.783C	10.934C	0.147C	10.934C
	Zr ⁹⁵ + Dr	0.022C	0.078C	0.531C	1.264C	1.988C	0.704C	2.000C	0.032C	2.00C
	Ba ¹⁴⁰ + La	0.131C	0.455C	1.928C	2.375C	2.384C	0.009C	2.485C	0.101C	2.485C
	La ¹⁴⁰	0.022C	0.035C	0.077C	0.077C	0.077C	0	0.099C	0.022C	0.099C
	Nb ⁹⁵	0.009C	0.033C	0.198C	0.390C	0.468C	0.078C	0.468C	0	0.468C
	Co ¹⁴¹	0.013C	0.045C	0.275C	0.531C	0.621C	0.088C	0.621C	0	0.621C
	Co ¹⁴⁴ + Pr	0.108C	0.381C	2.808C	8.408C	24.873C	16.487C	38.346C	13.472C	38.557C
	Pm ¹⁴³	0.032C	0.107C	0.505C	0.691C	0.701C	0.096C	0.733C	0.032C	0.733C
	Pm ¹⁴⁷	0.003C	0.010C	0.078C	0.246C	0.885C	0.839C	2.180C	1.805C	2.480C
合計	0.569C	1.941C	13.421C	26.818C	53.627C	28.896C	82.537C	29.239C	149.53C	
放出後六時間目に被曝	Sr ⁹⁰	0.075C	0.262C	3.088C	3.968C	5.679C	1.712C	5.719C	0.039C	5.719C
	Sr ⁹⁰ +Y	0.008C	0.030C	0.228C	0.738C	53.114C	2.377C	14.270C	11.155C	68.088C
	Y ⁹¹	0.101C	0.355C	2.400C	5.707C	8.765C	3.058C	8.884C	0.119C	8.884C
	Zr ⁹⁵ + Dr	0.018C	0.084C	0.432C	1.884C	1.891C	0.007C	1.971C	0.080C	1.971C
	Ba ¹⁴⁰ + La	0.103C	0.361C	1.527C	1.884C	1.891C	0.007C	1.971C	0.080C	1.971C
	La ¹⁴⁰	0.018C	0.029C	0.082C	0.082C	0.082C	0	0.081C	0.018C	0.081C
	Nb ⁹⁵	0.008C	0.027C	0.166C	0.325C	0.390C	0.085C	0.390C	0	0.390C
	Co ¹⁴¹	0.010C	0.038C	0.224C	0.432C	0.504C	0.073C	0.504C	0	0.504C
	Co ¹⁴⁴ + Pr	0.088C	0.309C	2.280C	8.830C	20.210C	13.380C	31.156C	10.948C	31.327C
	Pm ¹⁴³	0.026C	0.087C	0.411C	0.581C	0.588C	0.008C	0.595C	0.028C	0.595C
	Pm ¹⁴⁷	0.402C	0.009C	0.085C	0.205C	0.737C	0.533C	1.800C	1.337C	2.075C
合計	0.457C	1.569C	10.862C	21.739C	43.52C	21.785C	68.995C	23.746C	121.24C	

表IV 3) 揮発放出物粒度大たる場合 C c-sec/m³に被曝した人の骨が受ける線量

核種	被曝7日目の 1日線量	被曝後1週間 の線量	被曝後30日間 の線量	被曝後90日間 の線量	被曝後1か年 間の線量	3ヶ月~1年 の線量	被曝後5年間 の線量	1年後より5年 間での線量	被曝後50年間 の線量
Sr ⁹⁰	0.016C	0.058C	0.394C	0.840C	1.202C	0.364C	1.213C	0.011C	1.212C

放出後一時間に被曝	Sr ⁹⁰ +Y	0.002C	0.005C	0.042C	0.138C	0.577C	0.441C	2.651C	2.074C	12.621C
	Y ⁹¹	≒0	≒0	≒0	0.0003C	0.0008C	0.0003C	6.4×10 ⁻⁴ C	≒0	6.4×10 ⁻⁴ C
	Zr ⁹⁵ +Dr	≒0	≒0	≒0	0.0008C	0.0008C	0.0003C	7.6×10 ⁻⁴ C	≒0	7.5×10 ⁻⁴ C
	Ba ¹⁴⁰ +La ¹⁴⁰	0.008C	0.017C	0.085C	0.081C	0.088C	0.012C	0.084C	0.017C	0.084C
	La ¹⁴⁰	0.0003C	0.0006C	0.001C	0.001C	0.0011C	0	1.2×10 ⁻³ C	≒0	1.2×10 ⁻³ C
	Nb ⁹⁵	≒0	≒0	≒0	≒0	negl	0	1.7×10 ⁻⁴ C	0	1.8×10 ⁻⁴ C
	Co ¹⁴¹	0.0008C	0.002C	0.012C	0.022C	0.027C	0.005C	0.027C	0	0.028C
	Co ¹⁴⁴ +Pr	0.006C	0.020C	0.151C	0.454C	1.344C	0.8904C	2.072C	0.728C	2.083C
	Pr ¹⁴³	0.001C	0.003C	0.014C	0.018C	0.019C	0.001C	0.0198C	0	0.019C
	Pm ¹⁴⁷	0.0003C	0.0011C	0.005C	0.022C	0.08C	0.058C	0.194C	0.148C	0.141C
合計	0.0342C	0.1088C	0.684C	1.575C	3.32C	1.772C	6.263C	2.976C	18.19C	
放出後六時間に被曝	Sr ⁹⁰	0.007C	0.025C	0.169C	0.360C	0.518C	0.158C	0.520C	0.005C	0.519C
	Sr ⁹⁰ +Y	0.001C	0.002C	0.018C	0.058C	0.247C	0.189C	1.138C	0.889C	5.41C
	Y ⁹¹	≒0	≒0	≒0	≒0	0.0002C	0.0001C	2.7×10 ⁻⁴ C	≒0	0.0002C
	Zr ⁹⁵ +Dr	≒0	≒0	≒0	≒0	0.0004C	0.0001C	3.2×10 ⁻⁴ C	≒0	0.0003C
	Ba ¹⁴⁰ +La	0.003C	0.007C	0.028C	0.035C	0.029C	0.005C	0.038C	0.007C	0.038C
	La ¹⁴⁰	0.0001C	0.0002C	0.0005C	0.0005C	0.0005C	0	5.3×10 ⁻⁴ C	≒0	0.0005C
	Nb ⁹⁵	≒0	≒0	≒0	≒0	≒0	0	7.2×10 ⁻⁵ C	0	negl
	Co ¹⁴¹	0.0002C	0.001C	0.005C	0.010C	0.012C	0.002C	0.012C	0	0.012C
	Co ¹⁴⁴ +Pr	0.003C	0.009C	0.085C	0.194C	0.576C	0.382C	0.888C	0.312C	0.893C
	Pr ¹⁴³	0.0004C	0.001C	0.008C	0.008C	0.008C	0.0008C	0.008C	0	0.008C
Pm ¹⁴⁷	0.0001C	0.0005C	0.002C	0.010C	0.035C	0.025C	0.084C	0.083C	0.097C	
合計	0.0148C	0.0457C	0.2835C	0.6756C	1.424C	0.76C	2.885C	1.276C	6.976C	

表IV 4) 揮発性放出物粒度小なる場合 C g-sec/m³に被曝した人の骨が受ける線量

	核種	被曝7日目の1日線量	被曝後1週間の線量	被曝後30日間の線量	被曝後90日間の線量	被曝後1か年間の線量	3ヶ月~1年間の線量	被曝後5年間の線量	1年後より5年間の線量	被曝後50年間の線量
放出後一時間に被曝	Sr ⁹⁰	0.027C	0.100C	0.682C	1.458C	2.089C	0.832C	2.102C	0.018C	2.102C
	Sr ⁹⁰ +Y	0.003C	0.009C	0.073C	0.237C	1.001C	0.784C	4.595C	3.595C	21.848C
	Y ⁹¹	≒0	≒0	≒0	0.0014C	0.003C	0.0014C	3.2×10 ⁻³ C	≒0	0.003C
	Zr ⁹⁵ +Dr	≒0	≒0	≒0	0.003C	0.004C	0.0014C	3.8×10 ⁻³ C	≒0	0.004C
	Ba ¹⁴⁰ +La	0.03C	0.083C	0.248C	0.302C	0.257C	0.045C	0.315C	0.083C	0.315C
	La ¹⁴⁰	0.0014C	0.003C	0.008C	0.008C	0.008C	0	6.2×10 ⁻³ C	≒0	0.008C
	Nb ⁹⁵	≒0	≒0	≒0	≒0	negl	≒0	8.4×10 ⁻⁴ C	0	0.001C
	Co ¹⁴¹	0.003C	0.010C	0.060C	0.112C	0.134C	0.022C	0.134C	0	0.140C
	Co ¹⁴⁴ +Pr	0.029C	0.102C	0.758C	2.288C	6.72C	4.452C	10.360C	3.640C	10.418C
	Pr ¹⁴³	0.004C	0.014C	0.070C	0.091C	0.098C	0.007C	0.098C	0	0.098C
Pm ¹⁴⁷	0.0013C	0.005C	0.027C	0.110C	0.393C	0.283C	0.958C	0.718C	1.103C	
合計	0.0987C	0.306C	1.920C	4.5884C	10.705C	6.208C	18.576C	8.034C	38.084C	
放出後六時間に被曝	Sr ⁹⁰	0.012C	0.043C	0.293C	0.624C	0.895C	0.271C	0.801C	0.008C	0.901C
	Sr ⁹⁰ +Y	0.001C	0.004C	0.031C	0.101C	0.428C	0.328C	1.988C	1.541C	9.375C
	Y ⁹¹	≒0	≒0	≒0	0.0008C	0.0012C	0.0008C	1.4×10 ⁻³ C	≒0	0.001C
	Zr ⁹⁵ +Dr	≒0	≒0	≒0	0.0012C	0.0018C	0.0008C	1.8×10 ⁻³ C	0	0.002C
	Ba ¹⁴⁰ +La	0.013C	0.027C	0.105C	0.129C	0.110C	0.019C	0.135C	0.027C	0.135C
	La ¹⁴⁰	0.0008C	0.0012C	0.0024C	0.0024C	0.0024C	0	2.6×10 ⁻³ C	≒0	0.003C
	Nb ⁹⁵	≒0	≒0	≒0	≒0	≒0	0	3.8×10 ⁻⁴ C	0	negl
Co ¹⁴¹	0.001C	0.004C	0.028C	0.048C	0.058C	0.010C	0.058C	0	0.08C	

	Co ¹⁴⁴⁺ Pr	0.013C	0.044C	0.324C	0.972C	2.880C	1.908C	4.440C	1.580C	4.484C
	Pr ¹⁴³	0.002C	0.008C	0.030C	0.039C	0.042C	0.003C	0.042C	0	0.042C
	Pm ¹⁴⁷	0.0005C	0.0023C	0.011C	0.047C	0.188C	0.121C	0.410C	0.308C	0.473C
合計	0.0431C	0.1315C	0.8224C	1.9642C	4.588C	2.661C	7.961C	3.444C	15.458C	

4. I混合物により甲状腺の受ける線量 / もくじ / 戻る / 6. 吸収された放出物により骨・消化器・肺・甲状腺以外の主要な身体部分が受ける線量

5. 吸収された放出物により骨が受ける線量 / もくじ / 戻る / 7. 考察及び総括

6. 吸収された放出物により骨・消化器・肺・甲状腺以外の主要な身体部分が受ける線量

身体に摂取された放射性放出物による上記各臓器に対する被曝線量は 2~5 節によつて算出されたが、体内に吸収摂取された放出物は上記の核臓器ばかりでなくその他全身体部分に対しても線量を与えるものと考えられる。

しかしながらどの核種が身体のどの部分にどの位の割合で蓄積し、且つ、どの程度の線量を与えるかはきわめて複雑な問題であつて、これを一つ一つの核種について考慮することは不可能であるので、非常に大雑把な想定により、放出物全体について、次のように考える。

- (1) 摂取された放出物の内、肺胞内に沈着した insoluble の物質と、消化管内に入つた insoluble の物質の内の一部をのぞき、すべては一応体液内に吸収されて、身体を循環するものとする。

C^{0-sec}/m^3 に被曝したとき、このように身体内に入り、一応体内を循環すると考えられる物質の割合は、次の想定によるものとする。

粒度小	Volatile F.P.		Total(放出1hr後)		Total(放出6hr後)	
	粒度大	粒度小	粒度大	粒度小	粒度大	
	%	%	%	%	%	%
肺(胞)内に長く滞留するもの	2.5	0.5	2.5	5	30	5
消化管へ移行するもの	1	12	5.5	45	6.5	50
消化管より吸収されるもの	0.5	3.5	1.5	10	2	10
消化管より直接排泄されるもの	0.5	8.5	4	35	4.5	40
一応循環系へ入つたもの	52*	71*	26*	40	20	35
体内に沈着した放出物の合計	55	80	55	80	55	80

*それぞれ50%、70%、25%とする。計算の便のように。

従つて、一応循環系へ入つた放射性放出物の量は、呼吸量を250cc/sec とすれば、次の通りとなる。

体循環系へ一応入つたと考えられる放出物の量

放出後	被曝時間	Volatile F.P. の場合		Total F.P. の場合	
		粒度小	粒度大	粒度小	粒度大
1時間目	短4時間	901.21 $\mu c \times C$	1257 $\mu c \times C$	115.6 $\mu c \times C$	185 $\mu c \times C$
		788.7 $\mu c \times C$	1104.2 $\mu c \times C$	98.7 $\mu c \times C$	158 $\mu c \times C$

6時 間目	短 4時間	$378.7 \mu\text{c} \times C$ $301.2 \mu\text{c} \times C$	$530.2 \mu\text{c} \times C$ $421.7 \mu\text{c} \times C$	$66 \mu\text{c} \times C$ $62 \mu\text{c} \times C$	$115.5 \mu\text{c} \times C$ $108.5 \mu\text{c} \times C$
----------	----------	--	--	--	--

但し、Cは放出後24時間目における放出物の濃度 - sec とする。

- (2) 骨、消化器、肺をのぞいた身体の主要部分の重量を、ここでは一応45,000g と想定する。

(日本人標準体重は55Kg とし、骨は 5.5Kg、肺は1Kg、消化管は 1.5Kg とし、さらに、その他 2Kg が放出物の浸とうしない部分とする)

$q \mu\text{c}$ の放射性放出物が身体内のにあり、この平均実効エネルギーを 0.4Mev と想定すれば、

qが身体に1時間に与える線量は

$$q \times 0.4 \times \frac{3.7 \times 10^4 \times 3600 \times 1.6 \times 10^{-6}}{100 \times m}$$

m は45000gであるから、この値は、 $1.9 \times 10^{-5} q \text{ rad}$ である。

これを D_{fq} とする。

- (3) 今、Volatile F.P. の約半分は、Noble Gas であるから、身体内に入った放出物は、被曝後1時間後に半分になると見ることができる。

この間物理的減衰がないとみなせば、この1時間に $D_f \times$ 表2の Volatile F.P. の数値 $\times 3/4$ の線量を与えられるが、実際は減衰が早いので線量はさらにその何割かになる。これは $A \int_1^2 A^{-0.8} dt/A$ としてまとめると約 3/4 となる。

従つて、この1時間に身体を受ける線量 D_f^1 は $D_f^1 = D_f \times$ 表2の Volatile F.P. の数 $\times 3/4 \times 3/4$ とみなしてよい。

ただし放出後1時間目の被曝の短いときは減衰がないので $D_f^1 = D_f A \times 3/4$ 、Total F.P. の場合には、Noble Gas は約 10% であるから、摂取した全放出物の生理的減衰はそれ程早くないとして取扱うことができる。

- (3) 被曝終了後1時間後には Volatile F.P. の量は $1/2 \times 3/4$ に減少しているから、この量を $3/8 A \mu\text{c}$ とする。Aは表 II の Volatile の数値である。一般に放射性物質の soluble なものを体内に入れた場合は非常に生理的な排泄速度が早く、90%程度がはじめの1日位のうちに、体外へ出る傾向があるから、これを一応20時間で90%を排泄するとすれば、約 $3/8 D_f A \times 1/2 \times 20 \text{ rad}$ の線量を排泄するまでに与えられられる。

この間 $t^{-0.8}$ の減衰があるとすれば、その補正により 1/4 位の線量と見なしてよい。

但し、放出後1時間目の短時間被曝の場合は3/8 は 1/2 とする。従つて、Volatile F.P. への被曝が終つてから20時間位までに全身に与える線量は、物理的減衰をも考慮すれば

$$D_f A \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{2} \times 10 \right) = 5.7 D_f A \text{ より}$$

$$D_f A \left(\frac{9}{16} + \frac{3}{8} \times 10 \times \frac{1}{4} \right) = 1.5 D_f A$$

位の間にあると考えられるので、平均 $3.5 D_f A$ と見なす。

20時間ごとに全身中に残る放出物の分量は5%位となる。これがさらに1週間で大部分焼失すると想定すれば、その間全身に与える線量は

$$D_f \times \frac{A}{20} \times \frac{1}{2} (170 - 20) = 3.5 D_f A$$

(但し、物理的減衰は)不明なので考えない)

従つて他以内に摂取された Volatile F.P. により、1週間以内に全身の主要部分に与えられる線量は、大体

$$(3.5 + 3.5) D_f A = 7 D_f A \text{ 程度である。}$$

又1週間以後は残りの各核種は消失するか又はそれぞれの Critical Organ は蓄積するものとする。

(4)

Total F.P. の場合は Noble Gas の割合が少いので、生理的排泄は Volatile F.P. ほど早くないので、一応体内に吸収されたものの 90% が 20時間で排泄され、残りは1週間の内に排泄されると想定すればはじめの20時間に全身の受ける線量は

$$D_f A \left(\frac{1 + 0.1}{2} \times 20 \right) = 11 D_f A$$

(N = 0.2とすれば大体 2/3 位)

その後1週間以内に受ける線量は、

$$D_f A \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} (170 - 20) = 7.5 D_f A$$

物理的減衰を考慮してもこの際は減衰係数が小であるとされるから大した減衰はないとする。(物理的減衰はないものとする。)

従つて被曝後1週間に受ける線量は、

$$18.5 D_f A \sim 15 D_f A \text{ 程度である。}$$

以上を総合すれば、放射性放出物の摂取により、身体の内部より全身の主要部分が被曝終了後1週間に受ける線量は、

Volatile F.P. の場合は大体 7 D_fA 程度
 Total F.P. の場合は大体 17 D_fA 程度 と考えられる。

以上に表2の数値をあてはめて計算すれば、全身の受ける線量(主にβ線により与えられるものとする。)は次の表の如くとなる。

	被曝時間	Volatile F.P. (rad)		Total F.P. (rad)	
	粒度小	粒度大	粒度小	粒度大	
放出後 1時間	短	0.12C	0.17C	0.04C	0.06 C
	4hr	0.10C	0.15C	0.03C	0.05 C
放出後 6時間	短	0.05C	0.07C	0.02C	0.04 C
	4hr	0.04C	0.06C	0.02C	0.035C

ここにおいて全身がγ線によつて受ける部分はほとんど negligible であると考えられる。

ここに算出された全身線量は外部よりのγ線被曝量に対して、比較的少量であるが、それでも約20~10%位の量となることを考えると決して、軽視できない場合がある。

とくに全身線量は、放射性感受性の強い組織や器官にも一様に与えられ、又 Volume-dosis より見るとかなり大きな値を示すものであつて注意すべきものであると考えられる。さらに骨及び甲状腺以外の個々の Critical Organ については考えなかつたので、全身を一つの代表的な値として考える。

ただ全身を Critical Organ として見たときの放射性物質の全体としての排泄速度や機序が甚だ未解明であるので、この計算には 2~3 倍の誤差が容易におこり得ることを考慮しなければならない。

5. 吸収された放出物により骨が受ける線量 / もくじ / 戻る / 7. 考察及び総括

6. 吸収された放出物により骨・消化器・肺・甲状腺以外の主要な身体部分が受ける線量 / もくじ / 戻る / IV 身体の 被曝線量より見た被曝濃度の安全限界の評価

7. 考察及び総括

以上身体各部の受ける線量として、

- (1) 全身の受ける外部 γ 線被曝量
- (2) 肺の受ける内部 β 線被曝量
- (3) 消化器の受ける内部 β 線被曝量
- (4) 甲状腺が I 混合物によつて受ける被曝量
- (5) 吸収された放出物中の 11 種の Bone Seeker より骨が受ける被曝線量
- (6) 摂取された放出物により、前4器官以外の主要な身体部分が受ける線量

を被曝後の色々な時間的段階において算出を試みた。

すでに述べた如く、身体全部が放射性放出物より蒙る被曝を単に上記の六つの部分の線量だけで代表させるということは、生物学的な評価の立場からは必ずしも妥当で合理的なものであるとはいえない。

しかし色々な未知の要素や労力を考え、一応これ等をもつて、身体が受ける代表的な被曝線量であると考えて、これにもとずいて起り得べき効果を評価することにした。従つて、今後未知の要素や労力の不足がのぞかれる場合には、さらに多くの重要な部分(生物学的に)の受ける線量が算出され且つ既算の数値が修正されて、より合理的な評価が可能になることが予想されるが、今回は上記の六部分の受ける被曝線量を評価の基準としC単位の倍数として総括したものが次の各表である。

表Aの1 Volatile Fission Products の粒度小なるものに被曝した

被曝が放出後1時間目に起つた場合											
身体区分 ＼時間の ファクター	被曝 継続時間	物理的 減衰係数	被曝 中	被曝より 20時間(約1 日)まで(最 初の1日 の間)	被曝より 8日まで(最 初の1週 間)	被曝 より1 ヶ月の間	被曝よ り3ヶ月 の間	被曝 より1 カ年 の間	3ヶ月 後より 1カ年 の終 わりま で	被曝 後5カ 年間	被曝 後50 年間
全身の受 ける線量 (内部、外 部照射を 含む)	短 長		1.26C 1.07C	1.30C 1.10C	1.38C 1.17C						
								<			

肺の受ける線量(主としてβ線によるもの)	短	0.2 0.1	0.28C 0.28C	0.41C 0.45C		2.58C 4.53C	5.81C 11.65C	14.5C < 20C	< 8.5C	無視できる。	
	長	0.2 0.1	0.2C 0.2C	0.3C 0.33C		2.06C 3.46C	4.46C 8.96C	< 11C < 13.5C	< 6.5C	無視できる。	
消化管の受ける線量(主としてinsolubleなものによる)	短	0.2 0.1		0.05C 0.05C	0.1C 0.094C		0.1C 0.1C		0		
	長	0.2 0.1		0.04C 0.04C	0.09C 0.087C		0.09C 0.09C		0		
甲状腺の受ける線量	短長			50.0C 37.2C	74C 61.2C	89.6C 76.8C	92C 79C		negl		
骨の受ける線量	/		無視できる		0.31C	1.92C	4.6C	10.7C	6.2C	18.6C	36C
表Aの2 被曝が放出後6時間目に起つた場合											
全身の受ける線量(内部、外部照射を含む)	短長		0.52C 0.42C	0.57C 0.36C	0.57C 0.46C			0			
肺の受ける線量(主としてβ線によるもの)	短	0.2 0.1	0.12C	0.22C 0.25C		1.98C 3.38C	4.38C 8.88C	< 11C < 15.5C	< 6.5C		
	長	0.2 0.1	0.12C	0.21C 0.24C		1.8C 3.06C	3.96C 8.04C	< 10C < 13C	< 5.85C		
消化管の受ける線量(主としてinsolubleなものによる)	短	0.2 0.1		0.04C 0.04C	0.073C 0.08C			0			
	長	0.2 0.1		0.03C 0.04C	0.068C 0.077C			0			
甲状腺の受ける線量	短長			12.7C 10.0C	22.9C 20.2C	30.7C 28C	32C 29C		negl		
骨の受ける線量			無視できる		0.13C	0.82C	1.96C	4.6C	2.7C	7.9C	15.5C

表Aの3 Volatile Fission Products の粒度大なるものに被曝した

被曝が放出後1時間目についた場合											
	被曝時間	及減衰	被曝中	被曝より20時間(最初の1日の間)	被曝より8日(最初の1週間)	被曝より1ヶ月の間	被曝より3ヶ月の間	被曝より1カ年の間	3ヶ月後より1カ年の終わりまで	被曝後5カ年間	被曝後50年間
全身の受ける線量	短長		1.26C 1.07C	1.40C 1.20C	1.43C 1.22C				0		
肺の受ける線量	短	0.2 0.1	0.4C	0.46C 0.46C		0.69C 0.86C	1.01C 1.58C	< 1.9C < 2.45C	< 0.85C		
	長	0.2 0.1	0.24C	0.28C 0.28C		0.46C 0.59C	0.7C 1.14C	< 1.35C < 1.8C	< 0.65C		
消化管の受ける線量	短	0.2 0.1		0.61C 0.58C	1.22C 1.16C		1.22C 1.16C		0		
	長	0.2 0.1		0.52C 0.52C	1.04C 1.04C		1.04C 1.04C		0		
甲状腺の受ける線量	短長			68.9C 50.8C	101.9C 83.8C	123.5C 105.4C	127C 109C		negl		
骨の受ける線量		negl		0.11C	0.68C	1.6C	3.3C	1.8C	6.3C	16.2C	
表Aの4 被曝が放出後6時間目についた場合											

全身の受ける線量	短長		0.28C 0.27C	0.30C 0.3 C	0.32C 0.3 C				0		
肺の受ける線量(主としてβ線によるもの)	短長	0.2 0.1	0.05C	1.35C 1.75C		23.1C 42.6C	55.4C 11.4C	< 140C < 200C	< 85C		
	短長	0.2 0.1	0.39C	1.33C 1.68C		18.9C 33 C	42.9C 89C	< 108C < 155C	< 65C		
消化管の受ける線量	短	0.2 0.1		0.29C 0.27C	0.57C 0.53C		0.57C 0.53C		0		
	長	0.2 0.1		0.25C 0.24C	0.49C 0.48C		0.49C 0.48C		0		
甲状腺の受ける線量	短長			3.9C 3.3C	6.1C 5.5C	7.3C 6.7C	7.5C 7 C		0		
骨の受ける線量		negl			1.94C	1.34C	26.8C	53.6C	26.9C	82.5C	149.5C

表A の6 被曝が放出後6時間目に起つた場合

全身の受ける線量	短長		0.23C 0.22C	0.25C 0.24C	0.25C 0.24C				0		
肺の受ける線量	短長	0.2 0.1	0.06C	1.21C 1.63C		2.24C 39.2C	51.2C 132C	< 130C < 210C	< 78C		
	短長	0.2 0.1	0.4C	1.42C 1.79C		20.4C 35.6C	46.4C 95C	< 117C < 165C	< 70C		
消化管の受ける線量	短	0.2 0.1		0.25C 0.26C	0.49C 0.51C				0		
	長	0.2 0.1		0.22C 0.25C	0.44C 0.49C				0		
甲状腺の							<				

受ける線量	短長		1.85C 1.65C	3.35C 3.15C	4.55C 4.35C	4.8C < 4.6C		0		
骨の受ける線量		negl		1.57C	10.9C	21.7C	43.5C	21.8C	67C	121.2C

表Aの7 Total Fission Products の粒度大なるものに被曝した

被曝が放出後1時間目に起つた場合											
	被曝時間	減衰	被曝中	被曝より20時間(最初の1日の間)	被曝より8日(最初の1週間)	被曝より1ヶ月の間	被曝より3ヶ月の間	被曝より1か年の間	3ヶ月後より1か年の終わりまで	被曝後5か年間	被曝後50年間
全身の受ける線量	短長		0.28C 0.27C	0.30C 0.30C	0.34C 0.32C				0		
肺の受ける線量	短	0.2 0.1	0.66C 0.69C		2.96C 4.7C	2.96C 4.7C	6.2C 11.9C	<15C < 20.5C	<8.5C		
	長	0.2 0.1	0.60C 0.63C		2.4C 3.73C	2.4C 3.73C	4.8C 9.2C	< 11.5C <16C	<6.5C		
消化管の受ける線量	短	0.2 0.1	2.3C 2.1C	2.3C 2.1C	4.55C 4.2C		4.55C 4.2C		0		
	長	0.2 0.1		2.0C 2.0C	3.9C 3.9C		3.9C 3.9C		0		
甲状腺の受ける線量	短長			5.4C 4.6C	8.4C 7.6C	10C 9.2C	10.3C 9.5C		0		
骨の受ける線量			negl		0.55C	4.3C	7.7C	14.9C	7.2C	26C	64C

表Aの8 被曝が放出後6時間目に起つた場合

全身の 受ける線量	短長	0.23C 0.22C	0.27C 0.26C	0.27C 0.265C				0		
肺の 受ける線量	短	0.2 0.1	0.09C	0.66C 0.69C		2.82C 4.41C	5.7C 13.7C	<14C <22C	<7.8C	
	長	0.2 0.1	0.26C	0.64C 0.60C		2.59C 3.95C	5.2C 9.9C	<13C <17C	<7C	
消化管の 受ける線量	短	0.2 0.1		1.8C 2.0C	3.63C 4.0C				0	
	長	0.2 0.1		1.7C 2.0C	3.43C 3.9C				0	
甲状腺の 受ける線量	短長			2.5C 2.35C	4.5C 4.35C	6.1C 6C	<6.5C <6.3C		0	
骨の 受ける線量		negl			0.45C	3.5C	6.2C	12.1C	6C	21C 52C

以上の結果を見て気をつくことは、身体各部の受ける線量は被爆よりの時間により大きく変化するが全身に対する線量は、大体最初の1日中に大部分を受けその後は微小な線量しか受けないが、肺はかなり長期間にわたって線量を受けつづけ、大体9～6か月間位つづく。又甲状腺は1か月間位の間にわたって、線量を受けるが最初の1週間位が最も大量の線量を受けることになる。

これに対し骨は、はじめの1週間位は線量が少いが、その後次第に蓄積線量が大となり、1か月後で約5倍、3か月後で約10倍、1年では20倍以上となる。そして、その後も50年間にわたってその数倍の線量を受けることになる。

以上の如く、全身各部の蓄積線量は時間と共に変化するばかりでなく、各部の受ける線量の比率も時間と共に著しく変化するのであるが、これを一括して、加算をするというようなやり方では本当の生物学的な効果を評価することは出来ない。

又、これによりわかる通り肺の受ける線量は大きな変動があるが、これは肺に沈着した Aerosol

の非溶解性のものの物理的減衰が不明であるためにおこつたもので、実際の値はこの中間にあると考えてよいであろう。

又全放出物による肺の線量が非常に大きくなつているが、これは放出物の半分は非溶解性で肺の中で体液にはほとんど溶解しないと仮定したからで、この仮定が修正されれば変るものであると考えられる。

又全身の受ける線量は γ 線による外部被曝と放出物摂取による内部被曝が加算してある。

6. 吸収された放出物により骨・消化器・肺・甲状腺以外の主要な身体部分が受ける線量 / もくじ / 戻る / IV 身体の■る被曝線量より見た被曝濃度の安全限界の評価

表B 放出後1時間目に C c-sec/m³ (24時間目の値として)に被曝した人が身体各部に受ける線量

1.

	身体各部	被曝後1日間に受ける線量	被曝後3ヶ月間に受ける線量	被曝後1か年間に受ける線量	4ヶ月目より1年終りまでに受ける線量	被曝後50年間に受ける線量
揮発性放出粒度小	全身	1.4 ~ 1.2 C (1.3C)	negl		0	
	肺	0.45 ~ 0.3C (1.3C)	11 ~ 5C (8C)	20 ~ 11C (16C)	9 ~ 6C (7.5C)	
	消化器	0.05 ~ 0.04C (0.05C)	0.1 ~ 0.09C (0.1C)		0	
	甲状腺	60 ~ 45C (53C)	92 ~ 80C (86C)		negle	
	骨	negl		10.7C	36C	

2.

	同上	同上	同上	同上	同上	
揮発性放出粒度大	全身	1.4 ~ 1.2C (1.3C)	negl		0	
	肺	0.46 ~ 0.28C (0.4C)	1.6 ~ 0.7C (1.2C)	2.5 ~ 1.5C (2.0C)	0.9 ~ 0.7C (0.8C)	
	消化器	0.6 ~ 0.5C (0.6C)	1.2 ~ 1.0C (1.1C)		0	
	甲状腺	82 ~ 58C (70C)	128 ~ 108C (118C)		negl	
	骨	negl		3.3C		16C

3.

	同上	同上	同上	同上	同上	同上
全放出粒度小	全身	0.31C	negl			
	肺	1.7 ~ 1.35C (1.5C)	110 ~ 4.5C (80C)	200 ~ 100C (150C)	90 ~ 55C (70C)	
	消化器	0.3 ~ 0.25C (0.3C)	0.6 ~ 0.5C (0.6C)			
	甲状腺	4.8 ~ 4C (4.4C)	7.6 ~ 7C (7.3C)			
	骨	negl		53.6C		150C

4.

	同上	同上	同上	同上	同上	同上
	全身	0.33C	negl			

粒度小	器 甲状腺 骨	2.3 ~ 2C (2.2C) negl	4.8 ~ 4.6C (4.7C)	43.5C	121C
-----	---------------	-------------------------	----------------------	-------	------

8.

	同上	同上	同上	同上	同上	同上
全放出 粒度大	全身	0.27C	negl			
	肺	0.7 ~ 0.6C (0.7C)	14 ~ 5C (10C)	22 ~ 13C (18C)	8 ~ 7C (7.5C)	
	消化器	2.0 ~ 1.7C (1.9C)	4 ~ 3.5C (4C)			
	甲状腺	3.0 ~ 2.9C (3C)	6.3 ~ 6.2C (6.3C)			
	骨	negl		12C		52C

即ち、この人は全身にわずかに 28rad 位の γ 線被曝を受けるだけで、その後摂取された放射性物質を考慮しても高々全身に 30rad 位しか受けませんが、その代り肺は3ヶ月位の間 10000~5000rad という大量の β 線被曝を受ける。この間甲状腺は、大体 750rad 位の被曝を受けるにすぎない。しかし腸管は 2~3日の間に約 55rad の被曝を受けるであろう。又骨ははじめは少いが時と共に蓄積線量は増大し3ヵ月では約 2700rad、5年では8250rad、50年間は実に15000rad位を受けることになる。このように同じ100 c-sec/m³ にさらされた場合といえども、その条件によりその人が受ける生物学的被曝は著しく異なるということが、明らかであるが、もう一つ考慮しなければならない重要なことは、色々な臓器の放射線への感受性とその受ける Dose rate が著しく異なるということである。例えば全身が受けた100rad と肺、甲状腺等が受けた100rad とは明かに生物学的には等価のものではない。又肺が100 rad を受ける場合と甲状腺が受ける場合とではその受ける期間が全然異り、甲状腺はその大部分を1ヵ月以内に受けるが、肺は9ヶ月位かかって受ける。従つて、平均の Dose rate は甲状腺の方が10倍位大きいと考えられる。

従つてこのように量的及び質的に異なる被曝を何か一つの単位に還元することが生物学的に可能であるかどうかは甚だ疑問であるが、少くも単なる加算は全く無意味であることは明らかである。そこで還元的な処理をもう少し生物学的に合理化するため次のような考え方を取つて見る。

即ち先ず身体各部分の受ける被曝を

- 1) 短期被曝 被曝後1日間位のきわめて短期間に受ける被曝量
 - 2) 中期被曝 被曝後1~2日後より約1ヵ年間位の期間に受ける被曝量
 - 3) 長期被曝 1年以上数年又は数10年にわたつて受けつづける被曝
- の3種類に分類して見る。

生物学的に見ると 1)によつて受ける影響は所謂急性効果 (Acute Effect) であつて組織の急性壊死と造血器病変とを主徴候とする典型的な障害をおこす。

2)によつておこると考えられるものは、所謂急性又は慢性的な臓器効果であつて、臓器の種類によつて夫々の特有な疾患を生ずると考えられる。

3)によつておこるものは、所謂超慢性的な効果であり、即ち、悪性新生物の発生率の増加、慢性

的退行性現象(寿命の短縮はその総合的あらわれ)などであると考えられる。

又 1)では期間が短いので、被曝量は線量率として考えてよいが、3)では線量率は通常きわめて小であつて、影響は大體総蓄積線量によつて左右されることが考えられる。
2)ではこの中間であつて、線量率と総線量とが両方関係するものと考えられる。

勿論この区分は相対的なものであるから、各期の長さはどの位が適當であるかは確實な根拠はないが、ここに問題とされている災害においては、
短期は一応、20時間以内(約1日)
中期は大體 1ヵ年以内
長期は骨のみについて問題があるので50年間とした。

そこで全身への被曝は大體大部分が20時間以内に終るので、短期だけを考え、又骨は数10年にわたつて被曝を受けるので長期だけを考え、他の臓器は大體1ヵ年以内に被曝が終るので短期と中期を考えるととする。

そこで、短期被曝による効果は主として全身急性効果を中心としたものであるから、この期間においては Critical Organ を全身とし、その他の臓器の受ける被曝はそれが、どの程度全身障害に対して寄与するかという点に注目して、評価を行うものとする。

この場合、各部分の受ける線量を全身に等価な線量に換算をする係数を定めて、これにより、各部の線量の加算をし、これを全身等価線量と定義する。

この場合全身等価換算係数は生物学的な影響を考慮して次の如く定めることとする。

肺	1/5
消化器	1
甲状腺	1/100*

* 肺は容積も大きく且つ附近に心臓などの重要器管があり、且つリンパ腺にも富んでいるので急性の被曝に対しては甲状腺より重く考える。消化管は急性全身症に対してはとくに関係が深く、影響が大きい。これに対し甲状腺は急性症状に対しは相当耐久性があると考えられる。

例えば、揮発性放出物粒度小 放出後1時間目の被曝の場合を例にとれば最初の約1日の被曝は大體全身1.3Crad 肺 0.4C rad 消化器 0.05C rad 甲状腺 53C rad であるから、これを短期の全身等価線量に換算すれば

$$1.3C + 0.4C \times \frac{1}{5} + 0.05C + 53C \times \frac{1}{100} = 1.96C \text{ rad}$$

となる。このようにして各場合の短期被曝量をそれぞれ全身の等価線量に換算することが出来る。

次に中期被曝ではこのような換算は生物学的にあまり意味がない。この間の被曝については、

もし各臓器間における Synergic な影響があまりないものとするれば、** 各部分の放射線感受性、各部の受ける平均的な線量率、各部分が生命の維持についての重要度等を考慮して、夫々の臓器について、臓器耐久線量を定め、夫々の臓器の受ける被曝がその何部に当るかを見ることにより、それぞれの部分の被曝の効果を比較検討することが出来ると考えられる。

そこでこのような考慮の下に、中期被曝の臓器耐久線量を一応次のように定めることとする***

肺では	75 ± 25 rad
消化器では	36 ± 12 rad
甲状腺では	75 ± 25 rad

** ここで取扱っている部分即ち肺、甲状腺、消化器では相互に Synorgic な影響はあまりないと考えられる。但し、線量が大きくなつてくると、それぞれの影響が全体の機能に大きく影響するようになるからこの考え方は適応できない。

*** 原子力委員会原子炉安全基準専門部会災害評価小委員会の提案による。

この線量でそれぞれの臓器被曝量を割つたものが臓器耐久単位と呼ぶ事とする。

最後に長期の被曝量を考えるが、ここでは骨だけが問題となる。

そこでこの場合、骨が50年間に受けることを許されると考えられる線量を基準とし、この線量で骨の50年間の蓄積線量を割つて、その商を、骨の蓄積許容単位と呼ぶことにする。そしてこの量をもつて他の臓器又は全身への効果と比較することとした。

そこで骨の蓄積許容線量であるが原子炉安全基準部会は骨に対して 45±15 rad を許すという提案をしているが、骨の受ける線量は、きわめて長時間徐々に与えられるので、むしろ年間の線量率というようなものを考える方が合理的かも知れない。

M.R.C.(British Medical Research Council) の提案によれば Sr⁹⁰ に対して年間 1.5rad を許し得るといつているから、これに50年を掛けると、50年間に75radまで許すとして、年間平均 1.5rad を許したことになる。

従つて、ここでは一応この二つの提案の値を基準として計算を行つた*

かくして、これ等の基準にもとずき表Bの各表の値に対しそれぞれ全身等価線量、臓器耐久単位、骨蓄積許容単位を算出し全身に1日に許し得る線量を12rad として、これで全身線量を割つたものを全身等価許容単位とすると、表Cを得ることが出来る。

* Evens et al. の研究によれば Ra を摂取した人約30名をしらべ、障害のなかつた群の最高の Body Burden は約 0.5 μc であつた。又摂取後の時間の平均は約20年間であつた。0.5 μc を20年間骨に保持したとして骨の受ける総線量に約 300 rad であるが I.C.R.P. に示された Ra の許容量 0.1 μc をとるとこの 1/5、即ち60rem が許容値だということになる。

表C 1 c-sec/m³(24時間後の値)に被曝した人が身体各部に受ける基準単位置

			全身等価	全身等価	肺耐久	GI耐久	甲状腺	骨蓄積単位
--	--	--	------	------	-----	------	-----	-------

			線量(rad)	単位	単位	単位	単位	(45rad)	(75rad)
放出後1 時間目	揮発性放出 "	粒度小	1.96	0.16	0.21	0.028	1.15	0.8	0.48
		粒度大	2.68	0.22	0.027	0.031	1.57	0.36	0.21
	全放出 "	粒度小	0.95	0.079	2	0.017	0.098	3.3	2.0
		粒度大	2.73	0.23	0.21	0.12	0.13	1.42	0.85
放出後6 時間目	揮発性放出 "	粒度小	0.78	0.065	0.17	0.022	0.28	0.34	0.21
		粒度大	1.22	0.10	0.02	0.025	0.55	0.155	0.093
	全放出 "	粒度小	0.82	0.068	2.2	0.014	0.063	2.7	1.61
		粒度大	2.34	0.19	0.24	0.11	0.084	1.15	0.69

但し 全身に1日間にゆるし得る線量を 12 rad とする
 肺に1か年間に許し得る線量を 75±25 rad とする
 GI に3か月間に許し得る線量を 36±12 rad とする
 甲状腺に3か月間に許し得る線量を 75±25 rad とする
 骨に50年間に許し得る線量を ①45±15 rad とする
 ②1.5rad/年×50年=75rad とする

又 短期被曝量の

全身等価換算係数は 肺 1/5
 消化器 1
 甲状腺 1/100 として算出する。

表D 上記の基準量を許し得るとしたときの安全限界 (24時間目の c-sec/m³として)

被曝時	放出物	粒度	全身に 対し	肺に対 し	GIに対 し	甲状腺に 対し	骨の蓄積線量により	
							(45rad)とし て	(75rad)とし て
放出後1時 間目	揮発性 放出	小	6.25	4.75	36	<u>0.87</u>	1.25	2.08
		大	4.55	37	32	<u>0.64</u>	2.8	4.75
	全放出	小	12.6	<u>0.5</u>	59	10.1	<u>0.3</u>	<u>0.5</u>
		大	4.35	4.75	8.3	7.7	<u>0.7</u>	<u>1.18</u>
	揮発性	小	15.4	5.95	45.5	<u>3.6</u>	2.95	4.75

放出後6時間目	放出	大	10	5.0	40	<u>1.8</u>	6.45	10.7
	全放出	小	14.7	<u>0.45</u>	71	15.9	<u>0.37</u>	0.62
		大	5.15	4.15	91	11.9	<u>0.87</u>	<u>1.45</u>

即ち C c-sec/m³(24時間後の値)の被曝を受けた人々は身体各部に表Cの値のC倍に当る相対的効果を受けていると判断することが出来る。

これ等の各効果は、生物学的な立場から見て質のちがったものであるから、これ等をむやみに足し重ねることは無意味である。

且つ、線量が非常に少い間はこれ等各効果の間には Synergic な影響は先ずないであろうと考えることは生物学的にはさほど不当ではない。

従つてこれ等の効果の内最高のもをとつて、これを1におさえるような被曝量を c-sec/m³単位で示すとすればこの量が生物学的に見て、人体に何等の障害をあたえることのない被曝の安全限界をあらわすものと考えことはあまり不合理ではないと思われる。

従つて、各単位が丁度1になるような被曝を、24時間後の放射能雲の濃度・時間単位 c-sec/m³で求めると表Dを得る。

即ちこの表Dの意味は、前述した各期間毎のそれぞれ身体部分における許容単位が1であるような被曝量は、それぞれの部分に対して、全く等価な影響を与えると考え、且つそれらの影響間には相互に Synergic な効果はないと想定するとき、各部分に与える効果が丁度許される限界に達するような放射能雲への被曝量を放出24時間後の c-sec/m³ の単位であらわしたものである。

従つて、各条件の場合この表の最低の値を安全限界としてとればその他の効果は絶対に許容限度をこえることはないので、Synergic の効果がないという想定が正しいとすればこれにより身体の中のどの部分も障害を蒙ることはないであろう。

従つて、ここではそのような濃度時間を被曝の無障害安全限界と定めることとする。

即ちこの限界は表中(下線)をひいた部分である。しかしながら、その部分が骨の蓄積許容量を50年間で45radとした点に集中されておるが、この量はRaによる人体の経験から見ても50年間の蓄積許容量としてはあまりに小さすぎると考えられる。

従つて M.R.C.の勧告による75rad(50年間)をとるとすれば表中のマークの部分の部分が安全限界をきめる値となる。従つてこれを整理すると

	粒度小	放出後1時間目	被曝の場合	0.87 c-sec/m ³
揮発性放出物		6時		3.6 "
	粒度大	1時		0.64 "
		6時		1.8 "

	粒度小	放出後1時間目被曝の場合	0.5	c-sec/m ³
全放出物	"	6時	"	0.45 "
	粒度大	"	1時	"
	"	6時	"	1.45 "

のような結果を得る。

この端数を適当に取捨する場合若干の他の部分への影響を考慮して整理すると、次の如き被曝濃度・時間(但し24時間後の値として)が無障害の安全限界であると考えて、生物学的にはあまり不合理でないと考える。

放出より被曝までの時間	揮発性放出物		全放出物	
	粒度1μ位	粒度7μ位	粒度1μ位	粒度7μ位
1時間	1 (甲状腺)	0.5 (甲状腺)	0.5 (肺・骨)	1 (骨)
6時間	3 (甲状腺)	2 (甲状腺)	0.5 (肺・骨)	1 (骨)

単位は放出後24時間目の値としての c-sec/m³
0内は安全限界をきめる場合の Critical Organ である。

従つて、この結果から最も危険な場合は、揮発性放出物の粒度大なるものを事故後比較的短時間に受ける場合、及び全放出物の粒度小なるものに被曝する場合であると考えられる。

又、全体的に見て、揮発性放出物は全放出物に対してより安全であり、安全の度合は大きな場合で6倍位に及ぶと考えることが生物学的に合理的であると考えられる。

又揮発性放出物の場合は、事故後放射能雲が到達するまでの時間が安全限界を定めるのに大きく影響し、即ち炉よりの距離が遠くなればなるほどより安全な範囲がが速に拡がるが、全放出物の場合は、拡散によるうすまりの他はあまり期待が持てないことがわかる。

7. 考察及び総括 / もくじ / 戻る / V 土地よりの立退基準及び住居制限

IV 身体の受ける被曝線量より見た被曝濃度の安全限界の評価 / もくじ / 戻る / VI Pu²³⁹ による危害の評価

V 土地よりの立退基準及び住居制限

1.

土地よりの立退及び住居の制限については土地に沈着した放射性放出物により人体が受ける被曝線量により評価されるべきである。

先ず汚染された土地よりのγ線量を見ると、線量は一様の汚染度 S_a c/m² の土地 (平面とする) の上の人体が高さhにおけるγ線量率はγ線の平均エネルギーを

$$E_{av}^{\gamma} \text{ とすれば} \quad (13)$$

$$R = 1.07 \times 10^2 (\mu m) \text{ tissue} \times E_{av}^{\gamma} S_a \left[\int_0^h \frac{e^{-y}}{y} dy + e^{-\mu h} \right] \text{ rad / hr}$$

となる。

但し(μm) tissue はE^γ 0.1 ~ 2Mev のハインイでは0.03cm²/gとする。

h = 1m とすれば、計算より

$$\left[\int_0^h \frac{e^{-y}}{y} dy + e^{-\mu h} \right] \approx 5.0$$

とすることが出来るから

$$E_{av}^{\gamma} = 0.7 \text{ Mev とすれば}$$

土地平面上 1m の高さの人体の受けるγ線量率は

$$R = 1.07 \times 10^2 \times 0.03 \times 0.7 \times 5.0 \times S_a = 11.2 \times S_a \text{ rad/hr}$$

今 S_a c/m² を事故後24時間後の沈着濃度とし、放射性物質の崩壊は t^{-m} の法則によるとすれば、事故後2時間目の汚染度は

$$S_a 2h = S_a \left(\frac{2}{24} \right)^{-m}$$

従つて2時間目より14時間目までに受ける線量は

$$D_{S_a}^{2 \sim 14} = 11.2 \times S_a \int_2^{14} \left(\frac{t}{24} \right)^{-m} dt \text{ rad}$$

Total F.P. のときは m=0.2 と想定するから、

$$D_{TFP}^{2 \sim 14} = 11.2 \times S_a \int_2^{14} \left(\frac{t}{24} \right)^{-0.2} dt = 11.2 S_a \times \frac{2.40.2}{0.8} (14^{0.8} - 2^{0.8})$$

$$= S_a \times 11.2 \times \frac{1.88}{0.8} (14^{0.8} - 2^{0.8}) = S_a \times 11.2$$

$$\times \frac{1.88}{0.8} (8.248 - 1.741)$$

$$= S_a \times 11.2 \times \frac{1.88}{0.8} \times 6.507 = 173 S_a$$

Volatile F.P. のときは m = 0.8 とするから

$$D_{V.F.P.}^{2 \sim 14} = 11.2 S_a \int_2^{14} \left(\frac{t}{24} \right)^{-0.8} dt = S_a \times 11.2 \times \frac{12.7}{0.2} \times 0.547 = 390 S_a$$

もし放出後6時間目に放射能雲が飛来したとすれば、

Total F.P. のとき

$$D_{TFP}^{6 \sim 18} = 11.2 S_a \int_6^{18} \left(\frac{t}{24} \right)^{-0.2} dt = 155 S_a$$

Volatile F.P. のときは

$$D_{VFP}^{6\sim 18} = 11.2 S_a \int_0^{18} \left(\frac{t}{24}\right)^{-0.8} dt = 250 S_a$$

Volatile F.P. の減衰を3ヶ月まで-0.8が有効と想定すれば、3ヶ月間に受ける線量は

Total F.P. では

$$D_{TFP}^{\sim 3ヶ月} = 11.2 S_a \int_0^{2160} \left(\frac{t}{24}\right)^{-0.2} dt = 12200 S_a \text{ rad}$$

Total F.P. では

$$D_{VFP}^{\sim 3ヶ月} = 11.2 S_a \int_0^{2160} \left(\frac{t}{24}\right)^{-0.8} dt = 2580 S_a \text{ rad}$$

となる。

従つて、1日目より3ヶ月までの、1日の平均線量率は

$$\begin{aligned} \text{Total F.P. では} & \quad 12200 S_a \div 90 = 135 S_a \text{ rad/日} \\ \text{Volatile F.P. では} & \quad 2580 S_a \div 90 = 29 S_a \text{ rad/日} \end{aligned}$$

となる。

2 土地よりの立退基準

今、被曝後12時間以内に12rad以上の被曝を受ける地域をA級の緊急立退地域とすればその限界は

揮発性放出	1時間後の被曝地では	$12/390 = 0.03 \text{ C/m}^2$
"	6 " "	$12/250 = 0.05 \text{ C/m}^2$
全放出	1 " "	$12/173 = 0.07 \text{ C/m}^2$
"	6 " "	$12/155 = 0.08 \text{ C/m}^2$

次に被曝後3ヶ月以内に25rad 以上を受けるおそれのある区域をB級の立退地域とすれば、これに当る土地汚染の限界は

全放出物の汚染では

$$25 \div 12200 = 2 \times 10^{-3} \text{ C/m}^2$$

揮発性放出物による汚染では

$$25 \div 2580 = 1 \times 10^{-2} \text{ C/m}^2$$

である。

3. 住居制限

地表面の汚染より受ける線量は自然の物理的減衰、雨、風等による地表面よりの移動等の原因により、次第に減弱するから、一定の期間の後には汚染された地上において単に居住する程度の事はさしつかえなくなるであろう。とくに都市においては食物等をたの汚染のない地域より移入し、又飲料水を適当に浄化する施設があるとすれば、単なる地面の若干の汚染により住居の永久制限をすることは甚だしく不経済であり、且つ、大きな社会的負担となるから、住居のみを許し得る限界、とくに一定の期間の後には再び住居してよい限界というものをきめる必要がある。このような限界をC級の住居制限限界とすれば、これをどのような基準で行うかが問題となる。

Volatile F.P. の自然減衰は比較的早く

$$\begin{aligned} \text{はじめの1ヶ月間の平均日線量率は} & \quad 53 S_a \text{ rad/日} \\ \text{3ヶ月間の平均日線量率は} & \quad 29 S_a \text{ rad/日} \end{aligned} \quad \text{である。}$$

従つて、1ヶ月以後毎日の線量として、0.033rad(年間12rad、13週間 3rad) を許される線量とすれば1ヶ月後に居住が許されると考えられる地域は、 $0.033 \div 29 \approx 1.1 \times 10^{-3} \text{ C/m}^2$ である。(長期の平均日線量率は明らかに $30 S_a \text{ rad/日}$ より小となる)

Total F.P. による汚染の場合は、自然減衰がかなりゆつくりであるから住居許容限界基準はより severe にする必要がある。

1ヶ月の平均日線量率は

$$D \sim \frac{1}{30} \text{ヶ月} = \frac{26.3 \times S_a (192.8 - 1.74)}{30} = 170 S_a \text{ rad/日}$$

3ヶ月の平均日線量率は

$$D \sim \frac{3}{90} \text{ヶ月} = \frac{26.3 \times S_a (464.5 - 1.74)}{90} = \frac{12200}{90} S_a = 135 S_a \text{ rad/日}$$

1か年間の平均日線量率は

$$D \sim \frac{1}{365} \text{年} = \frac{26.3 \times S_a (1424 - 1.74)}{365} = \frac{37060}{365} S_a = 100 S_a \text{ rad/日}$$

従つて、事故後1ヶ月たつて、居住を認めるとして、その後日平均線量率が 0.0135 rad をこえない(即ち年間5radをこえない)地域を居住許容地域とすれば、そのような地域は表面汚染として

$$0.0135 \div 135 = 10^{-4} \text{ G/m}^2 \text{ より低い地域とすれば間違いない。}$$

以上を総括して、C級の地域として、1ヶ月後に居住を容許し得る地域とし

揮発性放出物の汚染では	10 ⁻³ G/m ² 以下
全放出物の汚染では	10 ⁻⁴ G/m ² 以下

とすることが妥当と考えられる。

しかし、日本の特異性と計算の便宜とを考慮して、附録(E)にある農耕禁止の基準 $6 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-5}$ にそれぞれ合わせることにした。

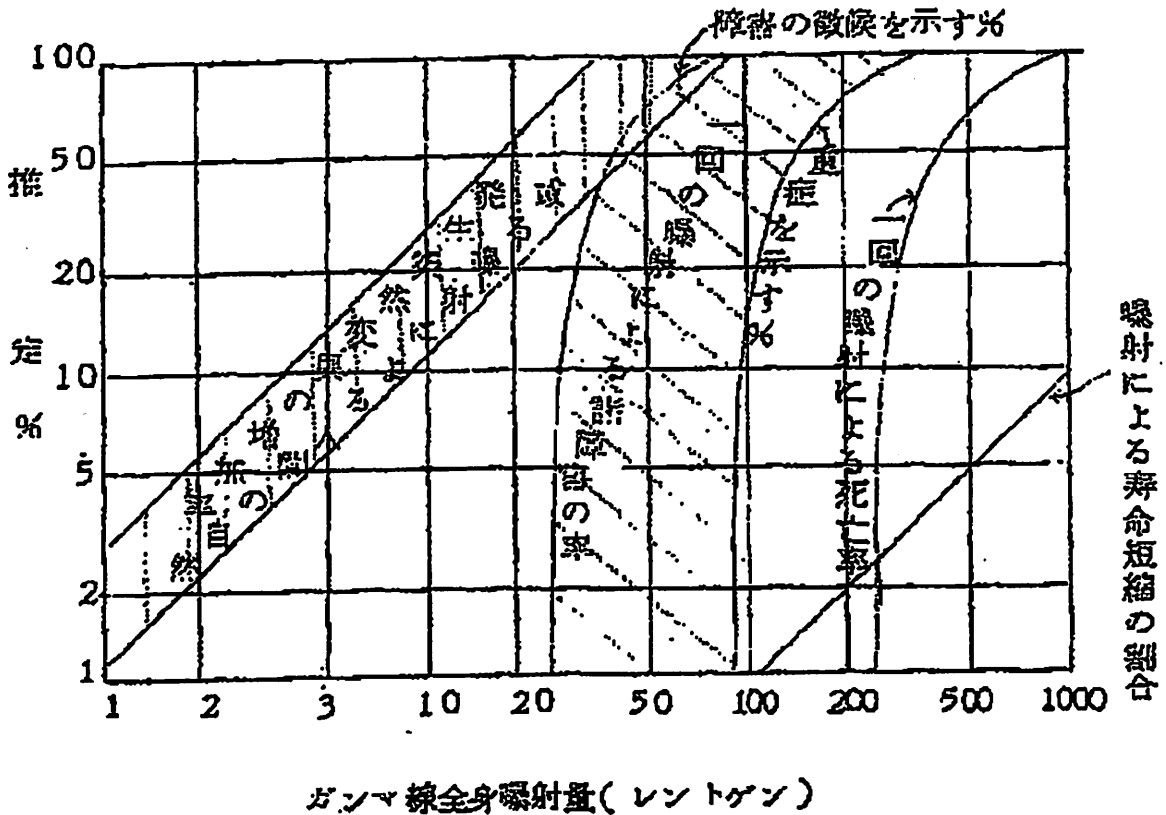
但し、気象条件などによる地表の除染効果を大きく認め得るとすればこの限界はさらに中に入り得ると考えられる。

二頁欠け。おそらく、この間にVからVIIに入ると思われる。入手次第掲載予定。

D 25 ~ 100r (90日間の医学的検査及び観察を必要。)

E 25r 以下 障害はない。

図 - 7



以上の想定の上、治療及び検査の内容を具体的にあてはめれば、それらの計算は可能となる。

2次に、事故後に放出された分裂生成物の煙霧に曝された場合、人体の受ける線量は別の計算により第B表の如くなる。この表のCの値を種々変えると、全身その他の臓器の被曝線量が分る。これにより、1で述べた全身一時被曝による障害と同程度の障害を与えると考えられるCの値を決定すれば、人体に対する災害の評価を行いうる。

この場合、判定の基準を主として被曝後1日間に受ける線量におき、それ以後の被曝量は参考とすることにした。その理由は、例えば骨が1年間に何rad受ければ死亡するが、或いは何radで治療を要する障害が現れるかということとは分っていないからである。勿論1日目の被曝にしても、各臓器の被曝が占める割合を決定的にいうのは困難であるが、長期のことを考えるよりは容易であろう。

また、白血病、骨腫瘍、白内障等が、放射線被曝によつて後年、発生率が高くなるであろうことは想像出来る。然し、被曝線量と発生率の関係は決定的なことはいえない。

従つて、ここではこれらの考え得る晩発症については、一応除外した。然し、これらの補償については別に考慮する必要がある。

1) 揮発性放出

500c-sec/m³の被曝では a) 粒度小で放出後1時間目なら、全身に715rad、肺に220rad、消化管に27.5rad、甲状腺には29.150radを第1日に受け、骨は1年間に5.885radを1年間に受けることになる。

この時の甲状腺の被曝は、放射能症の発生やそれによる死亡には、決定的な寄与をなすものとは考えられず、また、肺、消化管の被曝量は比較的少い。従つて全身被曝量のみを注目してよからう。

- 700r 相当量 = 550 c-sec/m³
- 200r " = 150 "
- 100r " = 80 "

b) 粒度大なる場合は、消化管の被曝量が、a)に比して約12倍となる。これは全身状態に影響するだろうが、550 c-sec/m³ の濃度で消化管は 330 radを受ける。消化管の被曝を全身被曝と等価とみると、700rに相当するのは400c-sec/m³位という計算になるが、両者にはそれ程大きい差は実際には存在しないだろう。

また、検査のみ実施する範囲は、安全限界を越える被曝で、100～相当濃度以下にすべきであろう。

放出後6時間目の被曝では、それぞれ1時間目に比し、約2倍の濃度となるだろう。

全放出物(1時間目及6時間目)

a)粒度小

上と同様にして推定するが、肺及び消化管の被曝を考慮して、全身被曝に加算した。

700～ = 800 c-sec/m³

200～ = 200 "

100～ = 100 c-sec

a)粒度大 同様にして

700r = 250 c-sec/m³

200r = 80 "

100r = 40 "

a)で最も問題となるのは、被曝後1年間に受ける骨の線量の判定であろう。従来も長年月(20年以上)のRa障害者に骨腫瘍の発生をみた報告もあるが、被曝後、初期における見通しは立てられない。また、投書の1年間に大量の被曝を骨が受ければ、造血障害も起り得ると思われるが、治療費の計算を行い得る程のデータはないため除外した。

以上の数値は大部分推量である。出来るだけ既存のデータを参考にしたが、これはあく迄も、災害評価のために引いたラインであると考えていただきたい。

IV 身体の異なる被曝線量より見た被曝濃度の安全限界の評価 / もくじ / 戻る / VI Pu²³⁹ による危害の評価

V 土地よりの立退基準及び住居制限 / もくじ / 戻る / VII 人体の障害の評価

VI Pu²³⁹ による危害の評価

事故による放出物中には、微量ではあるが Pu²³⁹ が含まれていることは II 節の第 1 表に記された如くである。Pu は色々な理由から非常に微量でもかなりな危害を与えることがわかっている。これについて一応の危害評価を行い、既に述べられた安全限界に対して、これがどのような程度の危害をもつかを検討する必要がある。

最近発表された Pu の生理学及危害評価の結果によれば* Pu は

- (i) 一度体内に摂取されると非常にゆつくり排泄されその半減期は約200年と考えられる。
 - (ii) Pu の大部分は非溶解性の形をもち、腸管よりの吸収はきわめて悪く 0.3% 位である。
 - (iii) Pu は体内では 70% が骨、30% が肝臓などの網状内皮系に蓄積する。骨では最も骨髄に近い部分に多い。
 - (v) 従つて、Pu はきわめて有毒であつて、Ra にくらべて 2~3 倍の毒性があると考えられる。故にその最大許容 Body Burden は $0.04 \mu c$ と考えられる。
- 等である。

この結果により今回の場合による危害の評定を行うと、最も危険な場合として、全放出物粒度小の 1 時間目被曝を考えると、 $1 c\text{-sec}/m^3$ に被曝した人は、肺内に $2 \times 10 \mu \mu c\text{-sec}/cc \times 0.5 cc/sec \times 0.5 = 2500 \mu \mu c$ の Pu を沈着させる。消化管へ移行したものはほとんど吸収されないうで排泄されるから無視する。

但し、これは 24 時間後の値としてであるからこれを放出後 1 時間目に換算するために係数 1.6 をかけねばならず、この人は 24 時間後の値として $1 c\text{-sec}/m^3$ に被曝した場合は実際は $2500 \times 1.6 \mu \mu c$ の Pu を体内に摂取すると考えられるが、これは $0.004 \mu c$ に当る。

今 Pu の生理的排泄は全く無いと考えると、許され得る Body Burden は $0.04 \mu c$ であるから、これに至るまでには $10 c\text{-sec}/m^3$ の被曝を受けても良いことになる。即ち Pu の Body Burden に着目した場合の安全限界は他の核種の混合物に比して 10~20 倍の値であるから、Pu はこの場合には limiting factor にならないと考えることが出来る。

* Physiology and toxicology of Pu-239 and its industrial medical control : W.H.Langham, Health Physics. Volum 2. Oct. 1959. No.2.

V 土地よりの立退基準及び住居制限 / もくじ / 戻る / VII 人体の障害の評価

例えば骨が1年間に何rad受ければ死亡するが、或いは何radで治療を要する障害が現れるかということは分っていないからである。勿論1日目の被曝にしても、各臓器の被曝が占める割合を決定的にいうのは困難であるが、長期のことを考えるよりは容易であろう。

また、白血病、骨腫瘍、白内障等が、放射線被曝によつて後年、発生率が高くなるであろうことは想像出来る。然し、被曝線量と発生率の関係は決定的なことはいえない。

従つて、ここではこれらの考え得る晩発症については、一応除外した。然し、これらの補償については別に考慮する必要がある。

1)揮発性放出

500c-sec/m³の被曝では a) 粒度小で放出後1時間目なら、全身に715rad、肺に220rad、消化管に27.5rad、甲状腺には29.150 radを第1日に受け、骨は1年間に5.885radを1年間に受けることになる。

この時の甲状腺の被曝は、放射能症の発生やそれによる死亡には、決定的な寄与をなすものとは考えられず、また、肺、消化管の被曝量は比較的少い。従つて全身被曝量のみを注目してよからう。

700r 相当量=550 c-sec/m³
 200r " =150 "
 100r " = 80 "

b) 粒度大なる場合は、消化管の被曝量が、a)に比して約12倍となる。これは全身状態に影響するだろうが、550 c-sec/m³の濃度で消化管は 330 radを受ける。消化管の被曝を全身被曝と等価とみると、700rに相当するのは400c-sec/m³位という計算になるが、両者にはそれ程大きい差は実際には存在しないだろう。

また、検査のみ実施する範囲は、安全限界を越える被曝で、100~相当濃度以下にすべきであろう。

放出後6時間目の被曝では、それぞれ1時間目に比し、約2倍の濃度となるだろう。

2)全放出物(1時間目及6時間目)

a)粒度小

上と同様にして推定するが、肺及び消化管の被曝を考慮して、全身被曝に加算した。

700~ =800 c-sec/m³
 200~ =200 "
 100~ =100 c-sec

a)粒度大 同様にして

700r =250 c-sec/m³
 200r =80 "
 100r =40 "

a)で最も問題となるのは、被曝后1年間に受ける骨の線量の判定であろう。従来も長年月(20年以上)のRa障害者に骨腫瘍の発生をみた報告もあるが、被曝後、初期における見通しは立てられない。また、投与の1年間に大量の被曝を骨が受ければ、造血障害も起り得ると思われるが、治療費の計算を行ひ得る程のデータはないため除外した。

以上の数値は大部分推量である。出来るだけ既存のデータを参考にしたが、これはあく迄も、災害評価のために引いたラインであると考えていただきたい。

VI Pu²³⁹ による危害の評価 / もくじ / 戻る / 参考文献

VII 人体の障害の評価 / もくじ / 戻る / 附録(E) 放出放射能の農漁業への影響

参考文献

1. Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accident in Large Nuclear Power Plants : WASH-740, U.S.A. E.C. 1957, Aug. by Beck, K. Clifford et al
2. Reactors. Hazard v s.Power Level : Nucl. Science and Eng. 2, 382-393 (1957) by Thomas, J. Burnett.
3. 原子炉等非常事故時における一般公衆に対する退避、食物制限等の措置に関する線量について:(中間報告)、Dec,1959 原子炉案線基準専門部会第1小委員会
4. Reprt of Committee II ; International Commission on Radiological Protection on Permissible Dose for Internal Radiation, 1958, Revision received by K.Z.Morgan, chairman of committee II.
5. Maximum Permissible Dietary Contamination after the Accidental Release of Radioactive Material from a Reactor: Report to Medical Research Council by its Committee on P Journal, April. 1959. p.967.
6. Industrial Dust: by Drinker and Hetch p.93-95. Second Edit. McGraw-Hill Co. 1954
7. The Shorter-term Biological Hazards of a Fall out Field: Edit by G.M.Dunnig, U.S.A.E.C., Dec. 1956 Topic II. IV and V. U.S.Gov. Print. Office. Washington D.C
8. Synergic Effects of Aerosol; Rate of Clearance from the Lung : by C.W. LaBelle and H.Brieger, A.M.A.Arch. Ind. Hlth. Vol.20, Aug. 1959. No.2.
9. Radon Inhalation Studies in Rato ; by Cohn, S.H. et. al. Arch. Ind. Hyg. 7 : 508, 1953.
10. Radiation Dosage to Lungo from Radon and its danghter products : by W.F.Bale and J.V.Shapiro Atoms for Peace Geneva Conf. Paper, Aug. 1955
11. Control of Radon and Daughters in U. mines and calculations on Biological Effects ; Section IV.; by D.A.Holaday et al. public Health Servece Public. No.494: U.S. Dept of Hlth. Educ. and Welf.; Pub. Hlth. Service.
12. Late Effects of Internally-deposited Radioactive Materials in Man : by J.C.Aub, R.D.Evans, L.H.Hempelmann and H.S. Martland. Medicine, Vol 31, No.3, Sept. 1952
13. Mathematical aids in the Understanding of the Biological Hazards of Residual Radiation. by J.T.Brennan. in Ref.7.
14. Physiology and toxicology of Pu-239 and its industrial medical Control : by W.H.Langham. Health Physics. Vol.2. Oct. 1959. No.2.
 「原子炉の事故時の放出放出物の吸入によつて肺の受ける線量について」: 鈴木間左支 (未発表資料.近く原子力学会誌に発表の予定)
 「原子炉の重大事故に際し、放出される放射性 Aerosol による危害の生物学的評価について」: 鈴木間左支(放射線医学総会研究所)(未発表資料)

(註2)

(1) 空気中の濃度 χ $\mu\text{c}/\text{cc}$ の Aerosol を毎秒 $V\text{cc}$ ずつ t 秒間吸入したとき肺内に沈着している Aerosol の量は

$$\chi VR / \lambda (1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda (T-t)}$$

但しRは肺内での沈着率、λは肺の生理的排除指数である。λは Soluble のものでは大きく10⁻³以上を考えてよい。(肺での滞留時間約1000秒とする。)

又 Insoluble には肺胞でのλは 0.8 × 10⁻⁷/sec (半減期100日)、上気道でのλは 0.8 × 10⁻⁴/sec (半減期2.5時間)と想定した。Tは被曝後の線量算出までの時間。

(2) 以上の事から Soluble のものから肺が受ける線量は、

$$d = 7.5 \times 10^{-2} RC \text{ rad}$$

Rは粒度により 0.75 又は 0.55。これに一定の係数 a をかければ放出後 t 時間目の肺の線量が算出できる。

(3) Insoluble については、肺胞と上気道をわけて計算する。肺胞ではλは非常に小さいとして

$$D(\text{肺胞}) = 1.85 \times 10^{-4} R_{av} a C t \text{ rad}$$

上気道ではλは10⁻⁴/sec 位であるから被曝中の生理的減衰を考えねばならないから

$$D(\text{上気道}) = 7.4 \times 10^{-7} \times R_{up} V E_{\beta} \times \frac{\lambda}{-\lambda} \int_0^t (1 - e^{-\lambda t}) dt$$

$$\approx 0.1 \times R_{up} a C \left(1 - \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda} \right) \text{ rad}$$

となる。以上のように insoluble のものよりの線量は C だけの函数ではなく、t の函数でもあるから被曝が長時間になると c.sec/m³ 単位で表わすことには問題がある。

(4) 放射能煙霧の吸入が終つて後の肺線量は insoluble だけを考えればよいが、このうち上気道に沈着したものは1日後においては95% 以上が排泄されてしまうと考えられるから、実際的には肺線量は肺胞からのものだけを考えればよい。

算出方法の概略は次の通り

t 放間の被曝が終了したとき肺胞間に存在する Aerosol の量は q(t) = q(t) = R_{av} Vac(μ c) とみてよいから1時間に受ける線量は

$$D = q \times \frac{3.7 \times 10^4 \times 3600 \times 1.6 \times 10^{-6}}{100 \times 80} E_{\beta} \text{ rad}$$

しかしその後 T 時間目に肺内にある放射能の量は

$$q(T) = q e^{-\lambda T}$$

であるから1時間目からT時間目までに肺の受ける線量は

$$D \int_1^T e^{-\lambda T} T^{-n} dT$$

である。T の大きくないときは、 λ を小として近似的な計算を行なった。T が大のときは $q(T)$ はかなり小となるから3ヶ月以上については生理的減衰だけを考慮して計算した。

VII 人体の障害の評価 / もくじ / 戻る / 附録(E) 放出放射能の農漁業への影響

[附録\(D\)](#) / [もくじ](#) / [戻る](#) / [附録\(E\) 後半](#)

附録 (E)

放出放射能の農漁業への影響

I 直接汚染による汚染度の推定

原子炉事故が起つた際、農地に生育中の作物は直接その放出物を受けるが、その程度は作物の生育のステージ、耕地上の作物の密度、作物の種類、形態によつて相異なる。そこで、大ざっぱな推算を行うには、次のように種々の想定を用いて食用部分への各核種の蓄積量を求める。

- a 放出物の降下量の 1/2 が食用植物に附着するものとする。
- b 葉菜類の収穫量を $2\text{Kg}/\text{m}^2$ (1) とし、水洗効果を 50% (2) とすれば、各核種が野菜に蓄積される量は

降下量/ m^2 \times 1/2 \times 1/2 \times 4/2 /Kg(生野菜)となる。

根菜類(いも、大根、ごぼう)では食用部分が葉部でないからこれよりかなり小さくなる筈である。又、豆類にてもその可食部は 1 部であり、また「さや」を食用としないものでは更に小さくなる。しかも、子実部がまだできないうちに被災した場合はより以上その蓄は小さい。

- c 米麦類では出穂期前に被つたとき、附着した $\text{Sr}^{89,90}$ の 0.05% 以下、 Cs^{137} の 10% が米麦粒中に入り、出穂後に被つたときは、 $\text{Sr}^{89,90}$ の 1%、 Cs^{137} の 10% が入るものとする。(3)

また、被災のときにと幼若なステージにあれば、収穫期までの雨による水洗効果、成長による稀釈があるからかなり小さくなる筈である。

- d したがつて、米麦収量を $0.3\text{Kg}/\text{m}^2$ (1) とすると、

$$\text{出穂期前被災のとき } \text{Sr}^{89,90} \rightarrow 1/2 \times 0.05/100 \times 3 = \text{降下量} / \text{m}^2 \times 10^{-3} / \text{kg}$$

$$\text{Cs}^{137} \rightarrow 1/2 \times 10/100 \times 3 = \text{ " } \times 10^{-1} / \text{kg}$$

$$\text{出穂期後被災のとき } \text{Sr}^{89,90} \rightarrow 1/2 \times 1/100 \times 3 = \text{ " } \times 10^{-2} / \text{kg}$$

$$\text{Cs}^{137} \rightarrow 1/2 \times 10/100 \times 3 = \text{ " } \times 10^{-1} / \text{kg}$$

によつて含有量が推定される。

ただしこれは玄米麦の場合であつて、精白部はこれより低くなるが、その値は被災の時期にも関係し正確な推算ができない。また、直接汚染と共に土壤中に降下した核種が吸収されて米麦粒中のものにプラスされるが、 Cs^{137} では土壤からの吸収率が低いので、直接汚染によるものと比較して無視できる。 $\text{Sr}^{89,90}$ の場合はかなりの程度プラスされることがあるが、被災の時から収穫までの期間の長短によつて非常に相異なる。

そこで、米麦の場合の出穂後被災のとき、野菜の場合では土壤からの吸収によるものを無視できるとし(それらの蓄積量表からみて)、出穂前被災の場合には、 Sr^{89} 、 Sr^{90} の値を 3 倍する。(上表中の $\times 3$ はその意味)。

- e I^{131} については米麦にては保存するから問題からはずし、野菜については Sr、Cs と同様な考慮

から降下量/m² × 1/2 × 1/2 × 1/2 /kg とする。

- f 被災地域の牛乳中にあらわれる核種は乳牛が被災時にそれらを吸入することと、汚染された食物をせつ取することによつて生ずるが、前者は短期間に限られ後者は持続されるので、或程度以上長い半減期をもつものについては吸入のえいきようは無視できる。また、¹³¹I(半減期 8 日)についても、その消化管吸収率が非常によいので、相対的に食物からのせつ取が主たるものと考えて計算できる。

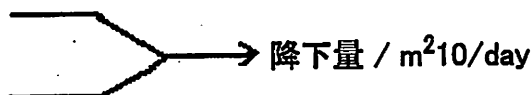
また、乳牛の飼料は欧米と異なり、北海道のようによく牧草地の発達した地域をのぞくと、非常に種々雑多である。種類を大別して牧草、野草、青刈作物(未成熟の作物のこと、トモロコシ、カブ、エンバク、サツマイモのツルなど)があり、これらの混合割合は甚だしく相異なる。また濃厚飼料(フスマ、ヌカ、大豆、ワラなど)を使用していることもある。

このように飼料の変化が大きいので一概に計算できないが、汚染の最も考えられる牧草、野草食の場合を算定しておけば被害はいずれの場合もこのうちに含まれ得るであろう。

- g 大ざつぱに、生育密度を野草 0.6 Kg/m²、牧草 4kg /m²とし、野草地における降下物の附着率を 1/8 牧草地のそれを殆ど 1 に近いとする。ただしこれは降下時のことで、気象状態によつて時間の経過と共に洗られて地中に入ることは当然である。成牛 1 日の生草せつ取を 50~60 kg とすると、1 日せつ取量は

$$\text{(野草)降下量/m}^2 \times 1/8 \times 60/0.6$$

$$\text{(牧草)降下量/m}^2 \times 1 \times 60/4$$



となる。

- h したがつて、このせつ取量から、牛乳中に出される各核種を計算すると次のようになる。

(1) ¹³¹I せつ取した草の¹³¹I がミルク中にでる割合は 5 ~ 10% (4)(5) 牛乳分泌量を 8 ~ 10 l/day とすると、牛乳中濃度は

$$\text{降下量/m}^2 \times 10 \times 1/10 \times 1/10 = \text{降雨量/m}^2 \times 1/10 \times 1$$

となる。これは Windscale の経験(6)(1) $1 \mu^{131}\text{C/m}^2$ の牧草にて 0.01 $\mu\text{c/l}$ 牛乳) とよく合う。

(2) Sr^{89,90} せつ取した草 Sr^{89,90} がミルク中にでる割合を 0.5~1.5% (平均 1%) (4) とすると、牛乳中 Sr^{89,90} 濃度は

$$\text{降下量/m}^2 \times 10 \times 1/100 \times 1/10 = \text{降雨量/m}^2 \times 1/100 \times 1$$

となる。

(3) Cs¹³⁷ ミルク中にでる割合を約 10% とする。(4)(5)¹³¹I と同じになるから、ミルク中濃度は

$$\text{降雨量/m}^2 \times 1/10 \times 1$$

となる。この値は Windscale の経験 (100m $\mu\text{cCs}^{137}/\text{m}^2$ の牧場にて 10 m $\mu\text{c/l}$ 牛乳であつた) とよく合う。

- i 以上の各食物における核種濃度の値は被災後の初期における濃度を示すものであつて、生長による希釈、雨による洗滌、放射性減衰、乳牛の飼料が冬になるに従つて保存飼料に置き換わることなどによつて、次第に減少することは当然である。従つて、許容濃度と比較する場合は、このことを計算に入れて、考察する必要がある。

- j 原子炉からの放出を全放出、揮発性放出にわけ、それぞれの場合における Sr^{89,90}、Cs¹³⁷、¹³¹I の全放射能(放出後 24 時間のときの値)に対する%(前出)から、全放射能にて 1c/m² 降下したときの各食品中の核種濃度を前述の計算式に従つて表にあらわすと次のようになる。

(2)全放出の場合

μC / kg	Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷	I ¹³¹
米 麦 (出穂前)	18 × 3=54	2 × 3=6	440	-
米 麦 (出穂後)	360	45	440	-
野 菜 (生)	3,000	380	440	1,800
牛 乳	240	30	290	1,400

(2)揮発性放出の場合

μC / kg	Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷	I ¹³¹
米 麦 (出穂前)	1 × 3=3	0.14 × 3=0.42	270	-
米 麦 (出穂後)	23	28	270	-
野 菜 (生)	200	24	270	5,400
牛 乳	15	2	180	4,300

II 農地汚染による作物の汚染度の推定

原子炉からの放出物が土壌中に入ると、直接に fission products を浴びた作物を収穫した後も、半減期の或る程度以上長いものについては翌年からその土地に生育する作物に吸収されることになる。そこで、この場合に、各核種について、半減期、土壌から作物への分裂生成物の収量、人体への危害の大小などが関係し、I¹³¹、Ba¹⁴⁰は半減期の短いこと、Ru¹⁰⁶(0.015)、Y⁹¹(0.006)、Ce¹⁴⁴(0.004)、Zr⁹⁵(0.02)などは土から作物体への Concentration factor (カツコ内の数字)が小さく⁽⁷⁾、かつそれらを人体がせつ取したときの消化管吸収が極めて悪い(みんな0.05%以下)⁽⁸⁾ので、Sr^{89,90}、Cs¹³⁷が農作物について問題となる。

a 農地であるから深さ 30cm くらいまで耕耘するものとし、土地に降下した核種はその深さまで同じように混合されたとする。日本の農地土壌のカルシウム濃度は極めて変異が多い(0.05 ~ 0.5% dry)が、概して低 Ca 濃度の土地も多い。

そこで、いま低 Ca 土壌として 0.05% (対乾土)の農地を考えると、1 平方メートルの土地で深さ 30cm までの Ca 量は大きい 150g となる。

そして土から作物への Sr-Ca 差別率は殆ど 1 に近いと考える。

だから、作物中の Sr^{89,90} / Ca は
 $Sr^{89,90} \text{ 降下量} / m^2 \times \times 1/150$
 となる。そして作物中 Ca 濃度として次の値をとると

	対 乾 物 Ca %	乾 物 1kg 中 Ca g
玄 米	0.015	0.15

白米	0.005	0.05
麦	0.004	0.4
野菜(乾)	1	10

各食物中の Sr⁸⁹, Sr⁹⁰ の濃度は後にでてくる表のように求められる。

b Cs¹³⁷ の土壌から作物への Concentration factor は、やさいにて 0.1 ~ 0.15⁽⁷⁾ 米麦粒にて 0.02 ~ 0.03⁽⁷⁾⁽⁹⁾ とし、平方メートル深さ 30cm の土地の乾土重量約 300 kg とすると、

野菜 降下量/m² × 1/300 × 0.15 / kg (乾物)
 米麦 降下量/m² × 1/300 × 0.03 / kg (乾物)

によつて求められ、野菜の場合水分を 90% くらいとして生重量に換算し、全放射能 1C / m² 降下した時の各作物中 Sr^{89,90}、Cs¹³⁷ 濃度を表に示す。

(1)全放出の場合

μ C/kg	Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷
玄米	7.2	0.9	
白米	24	3	0.3
麦	58	7	
野菜(生)	140	18	0.15

(2)揮発性放出

μ C/kg	Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷
玄米	0.45	0.06	
白米	1.5	0.2	0.18
麦	3.6	0.46	
野菜	9	1.1	0.1

III 土地汚染による牛乳の汚染

牧草、野草の利用又は枯死した後、次のシーズンに生育してくるそれらを飼料として乳牛がミルクを生産するが、その時の牛乳中の核種については、農地汚染においてのべたと同様の理由で、Sr^{89,90}、Cs¹³⁷ が問題となる。

a まず、土地は耕さないから Sr^{89,90} は表面から約 6cm くらいまでに大部分が吸着され移動することは少ない。土壌中 Ca 濃度は農地の場合と同じく少ない値をとつて 30 gCa/m² - 6cm とし、土→牧草→牛乳の Sr-Ca Discrimination factor を 0.1 ~ 0.15⁽¹⁰⁾ とすると、牛乳中 Sr^{89,90} / Ca 濃度は

$$\text{降下量}/\text{m}^2 \times 1/30 \times 0.15/\text{gCa}$$

であらわされる。そして牛乳 1l 中 Ca は約 1g 含まれているから、この値はそのまま、1l 中濃度として使用できる。

b 次に Cs^{137} は土壌への吸着が大きく、表土約 2.5cm くらいまでに保持され、雨などによつても動くことは殆どない。⁽¹¹⁾ m^2 —2.5cm の乾土は 2.5kg で、したがつて土中 Cs^{137} 濃度は降下量/ $\text{m}^2 \times 1/25/\text{kg}$ (乾土)となる。

そして土から牧草への concentration factor は 0.1~0.15 (乾土) だから牧草中の Cs^{137} 濃度は降下量/ $\text{m}^2 \times 1/25/\text{kg}$ (乾物)となる。1日せつ取量を生草 60kg (乾物にして 6kg)、ミルクへの分泌を 10%、ミルク生産量 10l /day とすると、ミルク中 Cs^{137} 濃度は

$$\text{降下量}/\text{m}^2 \times 1/25 \times 6 \times 0.1 \times 1/10/l$$

であらわされる。

c そこで、全放射能として 1C/ m^2 降下したときの $\text{Sr}^{89,90}$ 、 Cs^{137} が牛乳中にあらわれる推定値は次の表のようになる。

(1)全放出の場合

$\mu\text{C}/\text{l}$	Sr^{89}	Sr^{90}	Cs^{137}
ミルク	120	15	1

(2)揮発性放出の場合

$\mu\text{C}/\text{l}$	Sr^{89}	Sr^{90}	Cs^{137}
ミルク	7.5	1	0.65

IV 淡水食用魚の汚染

淡水域としては河川、湖沼において種々の魚その他が漁獲され食用にされる。その汚染度は、水中に加えられた放射性核種が水中に稀釈される割合、底土に吸着される割合などで甚だしく相異し、一概に決めることができない。また河川においては水流が長い地域を通過するから流域に吸着その他によつて核種の水中濃度は急速に減少する。

そこでいま水深 10m、水中 Ca 濃度 10mg/l(割合に低 Ca 濃度の湖水である)の湖水を想定し底土に吸着されることによる水中濃度の低下を考案しないでその場合の魚肉中 $\text{Sr}^{89,90}$ 、 Cs^{137} を推算してみる。実際には土壌中に相当の部分が吸着されるから、これより放射性核種の蓄積は少ないし、また魚体と水との間に Sr^{90} その他の出入が平衡状態に達するまでに時間を要するから現実の漁獲物はその放射能は少ない。しかし正確な推算を行うには未だ研究せねばならない幾多の問題があり、また、条件によつて甚だしく相異なるから、今后、この推定値を引下げることは十分可能である。

1 平方メートル当りの降下量に対し水中に完全に混合されたときの濃度は、

$$\text{降下量} / \text{m}^2 \times 1 / 10^4 \text{ l}$$

$$\text{又は降下量} / \text{m}^2 \times 1 / 10^4 \times 10^2 / \text{g Ca}$$

となる。

a そこで、水から魚肉への Sr-Ca Discrimination factor を $0.4^{(12)}$ とすると、魚肉中 $\text{Sr}^{89,90}$ 濃度は

$$\text{降下量} / \text{m}^2 \times 1 / 10^4 \times 10^2 \times 0.4 / \text{g Ca}$$

となり、魚肉中 Ca 量を $72\text{mg}/100\text{g}$ 生肉⁽¹³⁾ とすると、魚肉中 $\text{Sr}^{89,90}$ の g 当たりの濃度は

$$\text{降下量} / \text{m}^2 \times 1 / 10^4 \times 10^2 \times 0.4 \times 0.00072 / \text{g Ca}$$

となる。

b 水から魚肉への Cs^{137} の concentration factor を 3,000 (wet basis) とすると⁽¹⁴⁾、魚肉中 Cs^{137} 濃度は

$$\text{降下量} / \text{m}^2 \times 1 / 10^4 \times 1 / 10^3 \times 3,000 / \text{g (生肉)}$$

となる。

c これらの式に収量の表から $\text{Sr}^{89,90}$ 、 Cs^{137} の値を用いて全放射能 $1\text{C}/\text{m}^2$ 降下したときの各核種の魚肉中濃度を計算すると次の表の如くなる。

(1)全放出の場合

$\mu\text{C}/\text{l}$	Sr^{89}	Sr^{90}	Cs^{137}
生肉	0.07	0.0087	0.87

(2)揮発性放出の場合

$\mu\text{C}/\text{l}$	Sr^{89}	Sr^{90}	Cs^{137}
生肉	0.0044	0.00055	0.54

V 海洋生物の汚染推定

沿岸に放出物が降下した場合、沿岸海流、潮流その他の海水移動や海域の深度などによつて海水の汚染の拡がり方や上下混合に非常な差があり、また汚染水塊の拡散、流失などの状態も生物の汚染に大きく関係し、また回遊性の魚類自体の動きもその汚染度を左右する因子の一つとなつている。ここでは比較的動きにくく、また浅海域に生息して最も汚染を浮け易いものを選んでそれらの汚染度推定を行つた。しかもこれらの値は放射性核種の up take が完全に行われ外界と平衡になつた時のものであるから、汚染の最大値を示しており、実際に漁獲されるものはそれ以下の値となる場合が多いと考えてよい。殊に一定期間を過ぎても海水の汚染が稀釈されてくると、魚体中のそれらの濃度も次第に下つてくることは当然である。

a

まず、貝類(アサリ、ハマグリ、カキ)養殖場(水深 1m)、のり養殖場(水深 3m)、褐藻(コンブ、ワカメ)漁場(水深 5m)、沿岸漁場(定置網、釣など)(10m)を想定する。

$Sr^{89,90}$ 、 Cs^{137} 、 I^{131} (藻類における濃縮が大きいので特にこれを入れた)が降下したときの水中濃度は水深に従って各々容易に算出できない。これに次に示す各生物の各元素に対する水からの concentration factor (wet basis) をかけて、生物体中の最大濃度を算出した。用いた concentration factor を次に示す。ただし貝、魚においては値は可食部即ち肉の部分についての値である。

生物	貝類	のり	褐藻	魚
Sr	10(15)	20(15)	20(15,17)	1(15)
Sc	10(15)	11(15)	1(15)	10(15,18)
I	70(16)	200(16)	1,400(16)	30(16)

b

この値を用い、全放射能 $1C/m^2$ 降下したときの各生物中の放射性核種の最大濃度は次のようになる。

(1)全放出の場合

$\mu C/g$ (生肉)	貝類	のり	褐藻	魚
Sr^{89}	0.24	0.14	0.096	0.0024
Sr^{90}	0.03	0.018	0.012	0.0003
Cs^{137}	0.029	0.087	0.00058	0.0029
I^{131}	0.98	0.84	4.2	0.042

(2)揮発性放出の場合

$\mu C/g$ (生肉)	貝類	のり	褐藻	魚
Sr^{89}	0.015	0.009	0.006	0.00015
Sr^{90}	0.0019	0.0011	0.00076	0.000019
Cs^{137}	0.018	0.00054	0.00036	0.0018
I^{131}	3.0	2.6	13	0.13

附録(D) / もくじ / 戻る / 附録(E) 後半

附録 (E) 前半 / もくじ / 戻る / 附録 (F)

VI 汚染度抑制の為の対策

- a 直接汚染の場合の野菜の水洗効果はすでに計算の中に入っている。ただ、直接汚染の野草、牧草を乳牛に与えるとき、放牧式でなく、刈取つた餌料として与える場合、水洗を行うことによつて、牛乳中の¹³¹Iその他を半減させ得る。また、被災時には一切の生草を止め、保存飼料を用いることによつて牛乳の汚染を防止し得る。
- b 土地汚染による作物中 Sr⁹⁰ の摂取については、その土壌が低 Ca 濃度の酸性土壌の場合、石灰の投与によつて作物中 Sr⁹⁰ 濃度を低下し得る。土壌の塩基置換容量(30 ~ 40 meq/100g)に対し、150gCa/m²-30m(0.05% dry)の土壌は Ca がその 10% を占めるくらいであるから、Na、Mg などを考慮しなければ最大 1/10 まで土壌中の Sr⁹⁰/Ca を下げることができる。ただし、実際には地のイオンが存在するし、また塩基置換容量自体が小さい場合もよくあるので大ざっぱにいつて 1/2 ~ 1/5 ていどが精々であろう。
- c 汚染飼料を乳牛に与えねばならない場合、飼料にカルシウム剤を添加することは牛乳中 Sr⁹⁰の濃度を低下し得る。
- d ブルトーザーによる排土により汚染土壌を除去することによつて作物の汚染を防止し得る。この場合、Sr⁹⁰ については表面から7cm、Cs¹³⁷ については 3cm くらいに保持されているから、この 1.5~2 倍くらいの深さに排土するのが適当であろう。

VII 使用制限時間について

- a 土壌中に長寿命の放射性核種が入つて、農業に使用できないとき、その使用制限の予想される期間としては、Sr⁹⁰、Cs¹³⁷ の場合、排土を行わなければ、非常な長期間に亘ると考えられる。ただ、耕地において、石灰投与を行つてもそれが次第に下層に流失する現象がみられるので、それに伴つて少良の Sr⁹⁰ も移動流失することが考えられる。また、長期間の経過後には置換性 Sr⁹⁰ も僅かずつ土壌粒子中に固定化され、植物に利用されない形に変化することも考え得られる。そこで研究の進展に伴つて、制限期間を短縮することが可能となるであろうとは考えられる。
- b 淡水域、殊に河川にては汚染水塊の流出は短期間に行われその後、生物体中の放射性核種も次第に失われるから、制限期間は数ヵ月から 1年をとれば殆ど大丈夫と考えられる。

ただし湖沼にては水の流出がないか又は少ないので、大きい部分が底土に吸着固定された後はかなり長期間に亘つて汚染が残ると考えられる。しかしここで推算した魚体中濃度は放射性核種が底土に移行することによつて恐らくは 1/10 ~ 1/100 ある場合にはそれ以下に低下することが期待される。

そこで、数ヵ月から 1 年后、制限を 1 桁又は 2 桁ゆるめることが可能であろう。

- c 沿岸海域は水塊の移動、拡散による稀釈がはやいから、制限期間はかなり少なくてすむであろうが、個々のケースによつて甚だしく差があるので一概に決められないが、この場合の被害算定には 3 ヶ月をとれば大きな誤りはあるまいと考えられる。
- d 以上のようなことから、各地域における制限期間を次のように想定して被害算定を行うことにした。

	制限期間
--	------

耕地	10年以上
牧場	10年以上
河川	3ヶ月
湖沼	1年
沿岸漁場	3ヶ月

VIII 使用制限域の推定

a 各核種のせつ取量

厚生省の栄養調査⁽¹⁹⁾をもとにして1人1日の各食品せつ取量を定め、これまでの計算値を用いてその中に期待される核種の量を総計し、種々の場合における全放射能 $1\text{C}/\text{m}^2$ 降下した時のせつ取量を計算した。

(1) 全放出の場合

イ 事故時しばらくの期間(単位 μC)

せつ取源	重量 (生g)	Sr^{89}	Sr^{90}	Cs^{137}	I^{131}
野菜(直接汚染)	300	900	110	130	540
牛乳(〃)	200	48	8	58	280
沿岸魚	30	0.07	0.009	0.09	1.3
淡水魚	10	0.7	0.1	9	?
貝	10	2.4	0.3	0.3	9.8
計(成人)		951	116	197	831

	Sr^{89}	Sr^{90}	Cs^{137}	I^{131}
新生児(ミルク 200g)	48	6	58	280
6ヶ月(ミルク 800g)	200	24	230	1,120
3才(ミルク 400g野菜150g)	546	67	181	830
10才(ミルク 400g野菜200g)	696	86	202	920

ロ 新米収穫後(単位 μC)

せつ取源	重量 g	Sr^{89}	Sr^{90}	Cs^{137}
米麦(直接汚染)	480		26	3
		170(出荷后被災)	22(同左)	210

野菜(土地汚染)	300	42	5.4	0.05
牛乳(〃)	200	24	3	0.2
海草 のり	30	4.2	0.4	2.6
褐藻	20	1.9	0.2	0.02
計(成人)		98 242(出穂后被災)	12 31(同左)	213

ハ 翌年産米収穫後(μC)

せつ取源	重量 g	Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷
米 麦 白米	380	2.7	0.34	0.1
(土地汚染) 麦	100	5.8	0.7	0.03
野菜(土地汚染)	300	42	5.4	0.05
牛乳(土地汚染)	200	24	3	0.2
計		75	9.4	0.38

(2) 揮発性放出

イ 事故時しばらくの期間(μC)

せつ取源	重量g	Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷	I ¹³¹
野菜(直接汚染)	300	60	7.2	81	1,620
牛乳(〃)	200	3	0.4	36	860
沿岸魚	0.005	0.0006	0.05	4	
淡水魚	0.044	0.005	5.4	?	
貝	0.15	0.019	0.18	30	
計 (成人)		63	7.6	123	2,500
新生児(ミルク200)		3	0.4	36	860
6ヶ月(ミルク800)		12	1.6	144	3,440
3才(ミルク400、野菜150)		36	4.4	113	2,530
10才(ミルク400、野菜200)		46	5.6	126	2,800

ロ 新米収穫後(μC)

せつ取源	重量 g	Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷
米 麦(直接汚染)	480		1.4	0.2 130

		11(出穂后被災)	1.3(同左)	0.03
野菜(土地汚染)	300	2.7	0.3	0.03
牛乳(〃)	200	1.5	0.2	0.13
海草 のり	30	0.27	0.03	0.016
褐藻	20	0.12	0.015	0.007
計		6 15.6(出穂后被災)	0.75 1.8(同左)	130

ハ 翌年産米収穫後(μC)

せつ取源	重量 g	Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷
米 麦 白米	380	0.17	0.023	0.068
(土地汚染) 麦	100	0.1	0.02	0.018
野菜(土地汚染)	300	2.7	0.3	0.03
牛乳(土地汚染)	200	1.5	0.2	0.13
計		4.5	0.54	0.25

b 食品せつ取による被曝量の推定

体内に蓄積される核種の状況は大たい前節のようになり、全放出の場合は Sr⁹⁰ が、揮発性放出の場合は幼若児における I¹³¹ が最も重要な曝射を与えるものと考えられる。

そこで、全放出の場合、Sr⁹⁰ による骨線量を年間 1.5rad におさえたとき、Cs¹³⁷ による全身線量、I¹³¹ による甲状腺線量、Sr⁸⁹ による骨線量を計算して表に示す。ただしその計算は次の想定にもとづく。(20)

- (1) i 人 1 日 Ca せつ取量を 0.5g、食物から人骨への Discrimination factor を 0.5 とする。そこで 1 日 0.5mμC Sr⁹⁰ をせつ取すると人骨内では 500ストロンチウム、ユニットとなり、これによる線量率は年間 1.5rad 以下である。
- (2) Sr⁸⁹ は decay を計算に入れ初期 1 日 50mμc にて総線量は 15rad 以下となる。
Cs¹³⁷ は全身線量に関係するので、新生児体重 3.7kg、6カ月児 8.8kg、成人 70kg とし人体内
- (3) 半減期を140日、食品の Cs¹³⁷ 濃度減少を 70 日半減期として、総線量全身 10rad 以下にするには、新生児で初期 1 日せつ取量 60mμc、6カ月児で 150mμc、成人で 1150mμc でおさえればよい。
- (4) 食品中 Cs¹³⁷ の減少を考慮に入れたのは、Cs¹³⁷ が直接汚染のとき高く、土地汚染による作物中への蓄積が極めて悪いことを考えた上である。

骨に与える線量			全身	
Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷		
1.2rad	1.5rad	0.01rad	(成人)	0.07rad (成人)

(総線量)	(年間)	0.07	(6ヶ月児)	0.3	(10才)
		0.17	(新生児)	0.8	(3才)
			(総線量)	2.0	(6ヶ月)

(5) 6ヶ月児の甲状腺 1.8g、3才で 3~4g、10才で 9.2g、成人で 25g とし、半減期を考慮すると、初期 1 日せつ取量が 6ヶ月児で 60m μ c、10才で 300m μ c、20才以上で 1,300m μ c ならば甲状腺に与える総線量は 25rad を越えないとする。

次に揮発性放出の場合、6ヶ月児の甲状腺に与える総線量を 25rad におさえると、全放出のときと同様、他の線量は次の表のようになる。

骨に与える線量		全身		甲状腺
Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷	I ¹³¹	
0.33rad (総線量)	0.40rad (年間)	0.0018rad	(成人)	0.85rad (成人)
		0.17	(6ヶ月児)	4.0 (10才)
		0.10	(新生児)	10 (3才)
			(総線量)	25 (6ヶ月)
				(総線量)

これらのときの降下量は全放射能で

全放出の場合 $0.5/116 \times 10^3 = 4.3 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$

揮発性放出の場合 $60/3440 \times 10^3 = 1.7 \times 10^{-5} \text{ C/m}^2$

に相当することになる。

c 各地域の使用制限の推定

事故時における人体及びその器官に与える放射線量がどの程度まで許容され得るかについては、未だ多くの研究の余地が残されているが、いま次の値を基準として、⁽¹⁹⁾食品別に使用制限を推算する。

骨に与える線量		全身	甲状腺
Sr ⁸⁹	Sr ⁹⁰	Cs ¹³⁷	I ¹³¹
15rad	1.5rad	10rad	75rad (成人) 25rad (幼児)
総線量	年間線量	総線量	総線量

(1) 全放出の場合

前節の表に示した様に 4.3×10^{-6} C/m² の降下量にて Sr⁹⁰ による骨線量は年間 1.5rad となり、Sr⁸⁹、Cs¹³⁷、I¹³¹ の線量はそれぞれの基準値に比べて相当低いから、これを制限範囲にとることができる。そして、Sr⁹⁰ せつ取量の小さい品目についてはその濃度の範囲を上げることができる。

即ち、イ表では、沿岸魚で 10²、淡水魚及び貝にて 10 をかけることが可能である。又、ロ表では出穂后被災の米麦を除き全部 10 を、ハ表では全品目に 10 をかけることができる。

(2) 揮発性放出の場合

同じようにして、3才児の甲状腺線量を 25rad におきえるのに降下量を 1.7×10^{-5} C/m² に制限すると、他の核種による各線量は相当低いからこれを範囲とし、せつ取量の低いものについて制限範囲をゆるめると、各品目について全放出のときと全く同じように倍数をかけることができる。

以上をまとめて各食品とその生産場の使用制限範囲とその期間を一括して示す。

全放出の場合		C/m ²	期間	
作物補償	米 麦	出穂前被災	4×10^{-5} 棄却	
		出穂後被災	4×10^{-6} "	
	野 菜	4×10^{-6} "		
	牛 乳	4×10^{-6} "		
土地使用補償	水田、麦畑	4×10^{-5}	10年	
	野菜畑	"	"	
	牧 場	"	"	
	淡水漁場	"	河川3ヶ月 湖沼 1年	
	沿岸漁場	貝養殖場	"	3ヶ月
		のり養殖場	"	"
		海藻養殖場	"	"
沿岸漁業場	6×10^{-3}	"		
揮発性放出の場合		C/m ²	期間	
作物補償	米 麦	出穂前被災	6×10^{-4} 棄却	
		出穂後被災	6×10^{-5} "	
	野 菜	6×10^{-5} "		
	牛 乳		2×10^{-5} 保存	
			6×10^{-5} 棄却	
土地使用補償	水田、麦畑	6×10^{-4}	10年	
	野菜畑	"	"	
	牧 場	"	"	
	淡水漁場	"	河川 3ヶ月 湖沼 1年	
	沿岸漁場	貝養殖場	"	3ヶ月

値	のり養殖場	"	"
	海藻養殖場	"	"
	沿岸漁業場	6×10^{-3}	"

引用文献

- (1) 農林省統計表
- (2) NISHITA et al. (1957) UCLA Rep. 401
- (3) MIDDLETON (1958) Nature 181. p.1300
- (4) COMAR et al. (1956) Progress in Nuclear Energy, Series VI, Biol. Sci. vol. 1.
- (5) FAO (1959) Radioactive materials in food and agriculture. FAO/59/12/9811
- (6) DUNSTER, H. J. et al. (1958) 2nd Geneva Rep. vol. 18. p.296
- (7) REDISKE et al. (1956) 1st Geneva Rep.
- (8) HAMILTON, J. G. (1948) Rev. Mod. Phys. vol 20, NO. 4
- (9) 三井進午他 (1959)
- (10) COMAR, C.L. et al (1958) Sr-Ca movement from soil to man. Science 126. 485
- (11) CHRISTENSEN, C.W. et al (1958) 3rd Nuclear Engineerign and Science Conference, Chicago
- (12) ICHIKAWA (1960) Rec. Oceanogr. W. in Japna.
- (13) 食品成分表
- (14) PENDLETON et al (1958) 2nd Geneva Rep. vol. 18. p.419
- (15) KRUMHOLZ, L.A. et al (1957) The effects of atomic radiation on oceanography and fisheries
- (16) 大島幸吉 (1950) 水産動物化学
- (17) VINOGRADOV, A.P. (1953) Sears foundation for marine research memoir II, Yale Univ
- (18) CHIPMAN, W.A. (1956) Progress rep. 1956. U.S. Fish & Wildlife Series, Beaufort, N. C.
- (19) 厚生省 国民栄養の現状
- (20) MRC Rept. (1959) Brit. Med. J. April, 1959

附録(E) 前半 / もくじ / 戻る / 附録(F)

附録 (F)

物的、人的損害額の試算基礎

I はしがき

WASH においては、原子炉事故によつておこる損害額の計算に当り、物的損害については、一応の金銭的評価をおこなっているが、人的損害については、単に被曝線量とそれによる影響度を示した人数が算出されているのみで、その金銭的評価はおこなわれていない。

人的損害の金銭的評価が困難である、というよりも殆んど適正な評価が不可能であるということを知りつつも、われわれが敢えてこれをおこなつたのは、本調査の目的から原子炉事故にともなう損害の全評価額を算出することであり、その数値を多少なりとも適正な数値に近づけさせるためである。

そこでわれわれがこれをおこなうことの意義を見出したのは、次のような簡明な論理である。すなわち、破滅的原子炉事故は人的および物的という 2 つの損害を惹起するという、にも拘らず（それが、いかに困難であるからといって）、人的損害の評価を全くおこなわない、すなわち零とするならば、結果は全損害額 = 物的損害額となつてしまうおそれなしとしない。したがつて特に過大評価にならない限り、人的評価を零でないとする必要であるということに基づいている。もつとも物的損害額のみを算出してコメントをつける方法もあるが往往にしてこのような 1 つの数値が結果的に出された場合、コメントがはづされて独り歩きするものであり、そのようなことに基づく誤謬を避けるための配慮を怠つてはなるまい。

物的損害の評価方法については、WASH に一応例示があるが個々の数値について、その根拠または算出ルートが殆んど示されておらず、しかも明らかに推計方法の誤りと思われるものもあり、わが国の場合に引き移して考えるに際し、相当の補正をおこなわざるを得なかつた。また、人的損害の試算は極めて困難なものがあつたが、前述の考え方から、何とか数値を示すという意味で、最後まで一応評価をおこなうこととした。

その試算方法は後に示す如く、物的損害よりはるかに大胆な、大まかな推定や仮定がなされているが、結果からいえば、過大評価にはなつておらず、しかも零でないところに結論が出たという意味で満足するほかはないであろう。

以下物的損害および人的損害の試算基礎についてのべることとするが、ここに論じている損害の範囲は、実際に原子炉事故による損害が発生した場合のものよりも狭くなつていくことはとくに注意を要する。何故なら明らかに損害賠償の対象になるとは思われても一律にこれを算出手がかりが全くないものは計算されていないからである。実際の損害賠償の範囲はおそらく相当因果関係の範囲であろうからわれわれが試算した額より大きくはなつても小さくはないと思われる。

I はしがき / もくじ / 戻る / III 人的損害額の試算基礎

II 物的損害額の試算基礎

大型原子炉事故から生じうる敷地外の物的損害額の試算に当つて WASH では次のような見積り方法を探っている。(1) 原子炉事故によって影響をうける人数を算定する。(2) これらの人々をその影響の度合によつて 4 つの級別に分類する。(3) 1 人当りの平均額を確定する。本調査に当つての損失試算においても方法自体はほぼこの WASH と同様な方法をとつた。

すなわち、沈着放射能によつて影響をうける度合に従つて、附録 (D) に示したように以下の 4 級別に分け、その各人について 1 人当りの平均損害額を試算することとした。

	放射エネルギー		影響をうける度合
	揮発性放出	全放出	
A 級	0.04 C/m ²	0.07 C/m ²	12 時間以内に全員立退き
B 級	0.01 "	0.02 "	1 ヶ月以内に全員立退き
C 級	6 × 10 ⁻⁴ "	4 × 10 ⁻⁵ "	都会居住者は 6 ヶ月間だけ退避 農村居住者は全員立退き
D 級	6 × 10 ⁻⁵ "	4 × 10 ⁻⁶ "	1 カ年間農業制限

以下 1 人当り平均損害額の計算にあたり問題となるべき点を述べることにするが、その結果として示された損害額は、もし万一の重大事故が生じたときに支払われるであろう賠償額よりもかなり過少評価となつておそれがあることを指摘しておく必要がある。

これらは、もちろん物的損失に対する賠償の対象をどの範囲に限定するか、拡大するかのかの考え方の相異による面もあるが、またこの試算に採用する既存資料の限界から、当然計上すべき資産が除外されたという事情に基因した面もあつた。後者は今後さらに良い資料をうることによつてある程度解決する問題であり、本報告はその一例を示したものとして理解すべきである。

以上の諸点は各項において詳しく述べてあるが、仮りに事故に伴つて喪失するであろう資産の全てを誤りなく計算し、全額を補償したとしても、わが国の場合果して立退き先があるか、また立退き後それ以前と同様な経済活動を営みうるかは大きな問題として残されよう。

また本調査での試算は WASH と同様すべて全国の平均値である。附録 (B) において想定された原子炉設地点が海岸寄りの比較的人口密集地にある場合、全国を平均化することには若干問題がある。こうした配慮は本試算では全く行わなかつたが、実際の計算に当つてはこの面への調整は当然行われるべきものと考えられる。

1. 物的損害額試算の前提となる問題点

(1) 統計資料の年次

本試算について数多くの統計資料を取捨選択することとなるが、これらの統計資料の全部について統一した年次はとりにくい。もし年次の統一化を図れば、計数はかなり過去のものとなり現状と大幅なギャップを生じかねない。

WASH の場合についてみると、試算の全資料を「米合衆国統計大要 1955 年版」に求めている関係から、その内容は、1949 年現在の数値をそのまま引用することとなつたと考えてよく、この結果示された損害額は現状とかなりかけ離れたものとなつている。例えば、同統計大要によつて時間的ギャップをみると、再現可能有形財産は 1949 年 7,207 億ドルに対し 1952 年では 9,684 億ドルであり、3 年間で 34% の増加を示しており、年間増加率を推算してもこれから現状を推測することは容易でない。

このため本試算ではできる限り最近の数値を求めることとした。この結果各種統計について年次は不統一となることを免れなかつた。とくに有形資産 (家計資産を除く) については昭和 30 年末現在の資料を採用し、その一部を 33 年現在の資

料で置き替えるという大胆な試みも行った。これらの試みは経済成長率が高いというわが国の特殊事情を考慮したためである。がやはり全体的には昭和 30~33 年現在の数値となり、幾分現実の値に近づくことができたものの、やはりかなりの過少評価とならざるをえなかつた。

(2) 損害計算の対象範囲

WASHにおいては物的損害計算を 1 級および 2 級の場合、再現可能有形資産 (Reproducible Tangible Assets) と土地について行ったとしている。しかし、これを原資料についてみると、前者についてはその全部を計上しているが、後者については私有地のうち農地 (Farm) と森林 (Forests) のみを計上しているにすぎず、土地価額のほぼ、3 分の 2 を占める「その他の私有地」(Private) のうち Other と「公有地」(Public) は計算の対象から除外している。また無形資産に対する評価は全然顧慮していない。

本試算においては損失の予想される全資産の総体を計算するように努力した。WASH について問題となる土地についても耕地、山林のみでなく宅地、原野などについて適当な評価を行った。強いて本試算から脱漏した有形資産を示せば地下資源、立木などの天然資源、自然物であろう。

事故に伴って立退きを強制された場合には、その地域に存在する資産の全体を損害計算の対象とするべきであろう。したがって無形資産についても、有形資産と同様な評価を行うべきと考える。とくにわが国の場合、被害範囲の一部が海上に及ぶことは当然予想されることであり、もし漁業権などを考慮しなければ海上における損失は皆無となり、実情とかけ離れたものになる可能性がある。しかし無形資産については、有形資産と異り個々のケースで大きな相異があり平均化が困難であるばかりでなく、その統計資料の整備も不十分であるので本資産ではこれについての評価は行わなかつた。原子炉設置点を中心として一つのモデル地域を設定し、この地域について無形資産の現地調査を行えばある程度まで資料がえられるかも知れない。

このほか物的損失に伴う補償を考慮する場合、立退き後における生活権も問題として考えられる。WASH では第 3 級の場合について、移転のための往復日数 4 日間の収入損失を補償の対象としている他は、第 1 級、第 2 級の場合とも損害発生時点における資産のみを損失としている。住居、家財のみでなく収入先の会社、工場が被災した場合において、その収入に対する保証は何もない。多くの場合において長期間大幅な収入減が予想される。このことは一般勤労者に対してのみでなく、農業その他についても同様と考えられる。かかる収入減に対する損失計算は、無形資産の場合と同じく計算はほとんど不可能に近いが、といて実際的にはこの面への配慮も忘れてはならない。

(3) 有形資産の地理的区分

1 人当りの平均額を確定する計算を行うことは、損害額の総体を把握するための便宜的な手段であるが、1 人当りの平均額に換算することによる実情との遊離を少しでも少くするために、これを都会と農村に区分して計算した。被害地域面積が広がるほど平均的なものに近づくことはいうまでもない。極端いつて日本全土が被災した場合には、都会、農村の区分も不要となるわけである。しかし実際にはある任意の一定地域に限定されるところに問題がある。附録 (B) において想定されたように、想定被災地域には大都市も中小都市も、農村も漁村もあろう。その各々について財産の賦存状態は平等でない。したがって同じく 1 人当り平均額を考える場合にも、その各々について計算を行えば、誤差はより少くなろう。

つぎに都会資産、あるいは農村資産の定義はどうか。ここでいう都会、農村の区分は、都会あるいは農村という言葉で代表される地域上の分類である。農業のための資産であつても、それが都会地に存在する限り、それは都会資産と見做されよう。例えば、市部に存在する土地は、それが農地であつても都会の土地として整理されるのを至当とする。

本試算においては、以上 2 つの考え方、すなわち細く区分すること、明確な定義による区分を行うことに努力した。しかし、実際には都会と農村の 2 つに区分することすら厳密明確な統一の見地からは不可能であり、各資産項目のそれぞれについて便宜的方法によつた点の多いことをことわつておく。

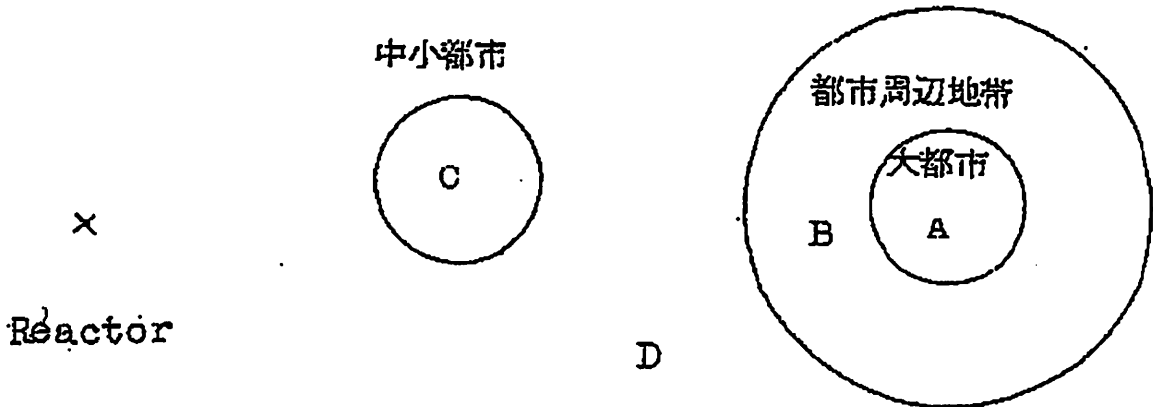
以上の 2 点を WASH についてみると、区分は都会、農村の 2 つとなつている。区分方法はさして明確とは思えない。公共団体所有 (Institutional) 政府所有 (Governmental) の構築物、生産者の耐久設備 (Producer Durables) の一部をそのまま都会資産として整理している。また、土地については前述の通り農地と森林を全部農村資産に計上しながら、その一部が都会にあると思われる「その他の私有地」「公有地」は全部脱漏している。この他は家畜類 (Live Stock)、作物 (Crops) など概ね農村に所在すると断定できるものを農村資産とし、農業用でない (Nonfarm) と明記されている構築物を都会資産とするな

ど無難なものも多いが、WASH の区分方法にもかなりの問題がある。

WASH の場合には都会資産と農村資産の 1 人当り平均額が偶然一致したのに対し、本試算では後述のように両者に大幅な差が生じたので、各級の損害計算にはかなり大きな影響をもつこととなつた。それ故、都会、農村の区分方法を詳述しておく方がよいと思われる。以下人口および各資産についてその区分方法を示せば次の通りである。

(イ)人口

附録 (B) で想定した典型的地理条件から考えて、仮定被災地域の区分を 4 種とすれば都会、農村人口の割合は次の通り 6:4 となる。



都会人口と農村人口の比率

	都会人口	農村人口
A	100	0
B	90	10
C	70	30
D	40	60
全国平均	60	40

この比率を昭和 32 年の総人口 91,100 千人に適用すれば、都会人口 54,660 千人、農村人口 36,440 千人となる。以上の計算は他の資料から推定される人口比率と大差はないので、本試算ではこの計算方法による人口をそのまま採用する。

(ロ)有形固定資産および棚卸資産(除く家計資産)

経済企画庁調べ昭和 30 年国富調査および大蔵省調べ法人企業統計の業種別分類から農林水産関係資産を農村資産とし、その他を全額都会資産とする。

(ハ)家計資産

上述の国富調査から引用したが、これを区分する適切な方法がないので、WASH における消費者の耐久設備 (Consumer durables) と同様に、都会、農村に平等に配分した。

(ニ)土地

土地価格の計算は便宜上耕地、山林、原野、宅地、牧場、その他の 6 種に分類したが、その面積について農林省の統計があるのみで他は正確な資料がない。その各々については土地価額の算出方法とともに後述するが、「自治庁調べによる課税対象民有地の市部、郡部の区分、および前述の人口区分を考慮して適宜査定した。

2 損害額の試算方法と結果 —— 1 人当りあるいは 1 平方軒当り損害額

前述の通り、沈着放射能により影響をうける度合に従い 4 つの級別に分けた。

A 級と B 級は、立退きの緊急性においてやや相違があるが、この級に属する人々は立退きを強制され 1 年かそれ以上家に戻ることを許されない。

C 級では、農業は相当長い間停止されるが、都会居住者は、一時的立退きで済む。都会居住者の立退き期間は 6 ヶ月として試算した。

D 級では、都会居住者は影響なく、農業においてのみ現有作物の破滅と 1 年間の農業制限をうけることとした。

本調査における他グループの研究結果によれば、WASH の場合と若干の相違はあるが、ほぼ以上の 4 級別の分類ができ、損害計算も容易となるので、この方法によつた。

A 級、B 級：立退き

1 人当り損害額	都会	600 千円
	農村	350 "

この級に属する人々は土地の使用不能を含め全財産を喪失する。したがつて、損害額は土地を含めた全資産の合計額となる。

試算結果は第 1 表の通りであるが、都会と農村の損害額は、WASH の場合と異り大幅な差異が生じた。わが国の場合、有形資産は主として都市に偏在し経済生活にも都会と農村とはかなりの懸隔があることを考えれば、このことはむしろ当然であろう。前述の通り、家計資産について都会、農村別ウエイトを同一にした点からみても、都会資産はむしろ相対的に過少評価されているともいえる。なお WASH では計算結果を 1 世帯の平均給与と比較して大まかな検証を行つているが、本試算結果について同様な検証を行える適当な方法はない。因みに、これを WASH の結果と比較してみると、都会では米国の 33% 農村では 20% となる。

損害の対象とした資産内容について前述の通りの土地の範囲、資料の採用年次に大きな相違のあること等を考慮して種々検討した結果、上記の数値は WASH の値との対比においても一応の妥当性をもつものと判断された。

(立退のための損害額試算方法)

① 有形固定資産および埋却資産 (除く家計資産)

基本として経済企画庁調べの国富調査(昭和 30 年)の有形資産評価額(除く家計)をとつた。本調査は調査年次が昭和 30 年であり、現状とかなりの差があると思われるので、このうち営利法人資産を大蔵省調べの法人企業統計(昭和 33 年)に表示された数値と置きかえた。

都会と農村との区分は、国富調査、法人企業統計とも農林水産業に属する資産を農村の有形資産とし、他を都会の有形資産とした。

② 家計資産

同じく国富調査から家計に属する有形資産評価額を探つた。調査年次は昭和 30 年。

③ 土地

前述の通り土地を 6 種類に分類して計算したが、面積および単位当り価格の出所は次の通り。

a 耕地

- 面積 …… 農林省統計調査部資料(昭和 32 年)
- 価格 …… 日本勧業銀行調査部調べによる全国平均中品等売買価格(昭和 33 年)
- 都会と農村の区分方法

自治庁税務部調べによる田畑の市部、郡部別の比率(昭和 31 年)を全面積に適用すると、やや都会の耕地面積が過大になると思われたので、市部に存在する民有地をそのまま都会の耕地面積とし、他を農村に所在する耕地とした。

b 山林

○ 面積

林野庁調査(昭和 31 年)によつたが、賠償の対象とする範囲と売買価格調査方法から考えて、全面積から「林道の新設によつて開発しうる森林」および開発の困難な森林(両者合計で全面積の 12.9%)を除く面積を採つた。

価格 …… 日本勧業銀行調査部調べによる全国平均山林素地売買価格(普通)― 昭和33年。

○

なお、この価格は市町村内の中庸地の価格であり、交通運材ともに不便な水源地帯などの分は含まれない。

○ 都会と農村の区分方法

自治庁税務部調べによる市部、郡部別の比率は 19.8 : 80.2 となるが、実情から考えて全面積を農村とした。

以上は全て山林素地についてであつて立木価額は資料の関係から計上できなかった。実際には素地のみでなく立木(蓄積石数と樹齢から考えた成長良)も賠償の対象として考慮すべきであろう。

○ 宅地

○ 面積

全国の総面積を調査した資料がえられなかつたので、自治庁税務部調べの課税対象民有地面積(昭和 31 年)を計上した。都会と農村の区分も同調査による市部、郡部の比率をそのまま採用した。

○ 価格

単位当りの売買価格の調査資料はない。しかし都市の売買価格については、自治庁税務部において勧銀調査資料から換算した推定売買価格(都市分)― 昭和 33 年 ― があるので、これを都会の宅地売買価格とした。

農村の宅地売買価格については推定した資料もない。それ故宅地以外についての自治庁の評価指示価格と勧銀の売買価格との比率を参考として評価指示価格から売買価格を推定し、これを農村宅地の売買価格とした。

d 原野および牧場

○ 面積および部市、農村の区分方法

原野の総面積について農林省統計調査部の資料(昭和 32 年)があるのでこれを探つたが、牧場については正確な資料がないので、自治庁税務部調べ(昭和 31 年)による課税対象民有地面積をそのまま全面積とした。

都会、農村の区分は、牧場については自治庁調べの市部、郡部別の面積を夫々都会、農村の面積とした。原野については、市部の民有地を都会の原野面積とし総面積からこれを差引いたものを農村の原野面積とした。

○ 価格

農村宅地と同様な方法によつて算出した。評価指示価格の売買価格に対する比率を 0.24 とした。

○ その他

以上の耕地、山林、宅地、原野、牧場の他の主なものとしては、塩田があるが、これは地域的に偏在しており、全国平均数値に算入するのは適切でないと思われるので、とくに価格の計算から除外した。

以上から、立退きのための全国平均 1 人当り損害額は表 1 の通りとなつた。

				都会 人口 54,660千人		
				農村 人口 36,440		
1. 都会				億円	千人	円/人
有形固定資産および棚卸資産	161,781	/ 54,660				/ 295,977
(除く家計)				億円	千人	円/人
家計に属する有形資産	60,054	/ 91,100				65,921
土地	124,273	/ 54,660				227,356
	計			589,254円/人		
2. 農村				億円	千人	円/人
有形固定資産および棚卸資産	11,209	/ 36,440				30,760
(除く家計)						
家計に属する有形資産	60,054	/ 91,100				65,921
土地	95,416	/ 36,440				261,844
	計			358,525 円/人		

C級：一時立退、または生活様式に厳重な制限

1人当り損害額 都会 100 千円
 農村 350 //

WASH によれば、この級での 1 人当り損害額の次のような考え方から計算されている。すなわち、農家については、農業が相当長期間停止される結果 B 級と同様な損失をうけるのに対し都会居住者は 6 ヶ月程度の一時立退で済むことになっている。

本調査においても、一応この WASH の規定した第3級の定義によつて損害額の平均の試算を行つてみた。

しかし、わが国の場合この C 級に示された損害額の計算方法の適用されるケースは、極めて少ないであらうと考えられる。何故ならば、この場合都会の建物については、6 ヶ月間における放射能の自然減衰と人為的な汚染除去によつて、その後における居住が可能になるわけであるが、このためには当然建物内の汚染程度は戸外に比しかなり低いことが前提となっていると考えられるからである。わが国の居住家屋の大半が木造であるとした場合、果して戸外、屋内の汚染程度の差を想定できるかは疑問であらう。大都市の中心部に位置するビル街については、ほゞ米国と同様に考えられようが、居住地域について建物の内外とも同程度汚染したと考えた方がよからう。したがつて、この級におけるような損害額算定方法は、理論上では一応想定できては余り意味がないといえる。

以上のことを敢えて無視して、都会居住者についての試算方法と結果を述べれば次の通りである。

都会居住者ほ、WASH と同様 6 ヶ月間住居を移転するものとする。移転先はもちろん千差万別であらうが、一応現住地から 500 軒以上の移転するものとする。なお、以下の数値は全て 1 世帯平均人員を 4.46 人（総理府統計局調べによる全都市勤労者世帯 — 33 年）としての計算の結果である。

一時立退きによる損害額 (1 人当り)

(a) 移転費用 10,000円

移転のための往復交通費のほか雑費を含む。

(b) 移転の間の収入喪失 2,044円

前述の通り、立退き期間中において当然予想される収入喪失ないし収入減少はあえて考慮せず、WASH と同様移転に要する往復期間のみ収入を喪失するものと仮定した。

計算は、総理府統計局調べの全都市勤労者世帯の実収入額、月額 34,663円（昭和 33 年平均）を基礎とした。

(c)新しい宿舍の費用 6,726円

立退き先が緑地であるか否かによつて費用は異なるであらうが、4.46人家族の居住可能家屋の平均家賃を月額5,000円とした。

(d)立退き期間中の家計支出の増加額 34,031円

短期間中における大人数の移転、家具などの汚染などの事情を考慮すれば、移転先に携行できるものは家財の一部にすぎず、大部分は現住居に放置することとならう。したがつて、移転先において家具、什器、衣服および身回り品などの最低生活必需品を新たに購入する必要がある。WASH ではこうした事情に基づく支出増加を考慮していないが、家具などが家屋に付随している米国の場合とは事情は異なる。

勤労世帯の家財(1世帯当り)

家具、什器	46,569 円
衣服および身回り品	105,209

計 151,778

(昭和 30 年国富調査)

(e) 所有物の汚染除去 46,285円

WASH の費用をそのまま計上した。

(f) 合計 (a-e) 99,086円

D級:手崩す作物-の破滅と1年間農業制限

1 平方軒当り損害額:5,000千円

WASHによれば、この級では損失は農業についてのみ考えればよく、損害額は1年間の農業収入を見積りの対象として
いる。

本調査もこれとほぼ同様に考えるが、1年間の農業制限の結果として1年間の農業所得の喪失を考慮するのは必ずしも
妥当といえない。

農業所得は月々かなり大幅な変動を示すのが普通である。したがって、原子炉事故が何時起るかによつて損害額は異
なる。こうした事故の時期について一つの仮定を設ける必要はないだろうが、仮りに1年間の農業制限とは、1年間農耕が営
めず、被災時にあつた収穫物は廃棄するものとすればこのことは少くとも1年半程度の農業収入の喪失となるであろう。た
とえば、いま原子炉事故が8月に起つたとしてみよう。稲作のみを収入源とする農家では、当該年間の収入喪失となるのみ
ならず、翌年の稲作も不能となる結果2年間の収入喪失となろう。また稲作と麦作を営む農家では、2年分の稲作収入と1
年分の麦作収入を失うだろう。この場合もし稲作と麦作所得とを同額とすれば、1年半の農業所得中喪失と仮定できる。し
たがって、本調査ではD級における損害額を1年半の農業所得相当額と考える。

① 全国平均農業所得 (昭和32年度)

1戸当り 192,713円 (A)

② 全国農家数 (昭和30年)

1戸当り 6,042,915戸 (B)

③ 全国農業所得 (1年)

(A) × (B) 11,645億円 (C)

④ 全国総面積

369,662平方軒 (D)

⑤ 1平方軒当り農業所得 (1年)

(C)
— 3,150千円 (E)

(D)

⑥ 1平方軒当り損害額

(E) × 1.5 4,725千円

(注)

- ① 農業所得、農家数はともに農林省統計調査部調べ
- ② 農業所得には自家消費分を含む
- ③ WASHの1平方マイル当り25千ドルを換算すると、1平方軒当り3,475千円(1年間)となる。

この場合、WASHにおいては被災地域が米国東部海岸に限られるとして計算しているが、わが国の場合最大事故に伴う
被災範囲半径には全国土が包含されることも予想されるので、特定地域を考えず全国平均の農業所得を損害計算の基礎
とした。

I はしがき / もくじ / 戻る / III 人的損害額の試算基礎

II 物的損害額の試算基礎 / もくじ / 戻る / 附録 (G)

III 人的損害額の試算基礎

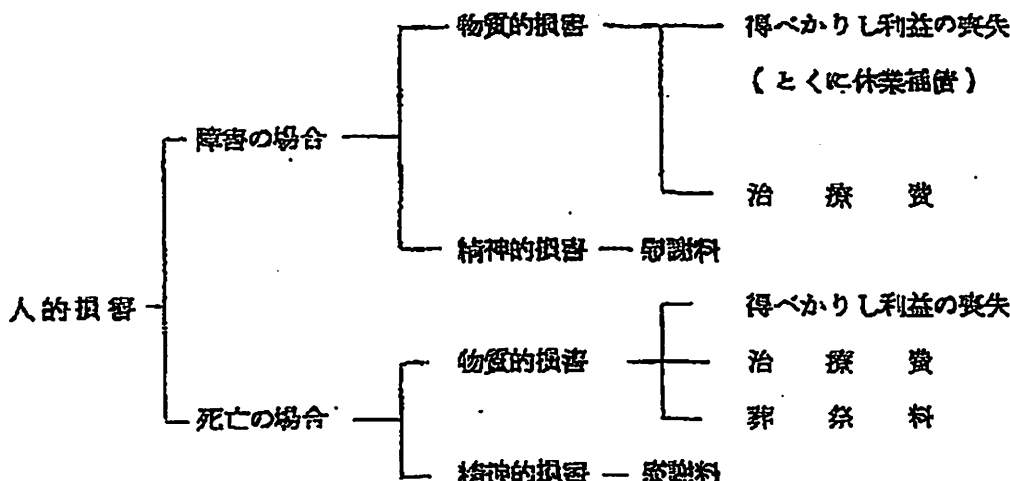
人的損害の評価に当って、まず問題となるのは、人間の価値を一律に金銭的に換算した価額が存在するかということである。人間の尊厳と平等の原理からすれば、何かこうした一定の絶対的な価額が存在して然るべきかめようにも思われるが、こうした数値は現実には見出せない。

身体、生命の侵害に際して支払われた額を実際の事例についてみると、その額は性別、年齢、社会的地位(主としてその者の収入)、損害発生状況、事後の経過等により全く千差万別である。精神的損害に対する慰謝料は、ある意味で財産的損害に比べて個々人の性別、年齢、社会的身分に左右されない固定的部分であるべきであるが、実際にはこれも損害賠償額の中で物質的損害の不均衡を是正したり、被害者と加害者との関係を調整したりする緩衝地帯的な役割を果たしているのにすぎない。

戦後発生した幾多の交通事故による集団災害についてみても、そのほとんどが訴訟事件とならず示談による慰謝金の支払となっており、表 2 に示す通り、その金額は 1,000 円から 1,000,000 円以上まで種々様々であり、しかも示談の場合には関係当事者がその内容の公表をはばかるため不明確な点が多い。

本調査における人的損害額の算出は、物的損害額の試算の場合と同様に、影響の度合によつて 4 つの級別に分け、その各々について 1 人当りの損害額を試算するという手法を採つたが、以上のような事情からその試算には非常は無理が伴つた。

このような平均一律の 1 人当りの損害額を試算するという方法は、主として人的損害の総額を算出するための計算上の便宜的手段ではあるが、といつてその結果に人数を掛けた損害額は必ずしも実情と全然かけはなれたものになるとはいえない。何故ならば、これを 1 人当りの評価額としてのみ考えたと無理のある数値であつても、特定の被災集団の年齢、性別、社会的身分等の構成が、全国のそれと全く同一のものであると考えるならば、この 1 人当りの数値に人数を乗じて得られる損害額は、より適正なものに近づくからである。本調査における人的損害の試算方法は、以下に述べる通り、次のような各項につき通常の損害賠償額の算出方法にのせてこれを評価した。



原子炉事故に伴う賠償金の支払いは、近く国会に上提が予定される原子力損害賠償保障法により、明確な法律上の損害賠償責任の履行という形をとるから、このような項目による損害額試算方法も決定的はずれのものでない。また試算結果については、実際に起つた集団災害の事例によつてこれをチェックした。

なお試算の前提とした放射線の被曝量と障害、死亡の発生率との関係は附録 (D) 第 7 図を参考として決めた。

以上を基礎として被曝線量と影響をうける度合との関係を次のように 4 つの級別に区分した。その各人における治療費および治療期間は表 1 に示す。

- 第 1 級 …… 被曝量 700r 以上
被曝後 2 週間以内に全負死亡
- 第 2 級 …… 被曝量 700r ~ 200r
全員放射線障害の病状を現わし一部は死亡
- 第 3 級 …… 被曝量 200r ~ 100r
障害はうけるが全員治療
- 第 4 級 …… 被曝量 100r ~ 25r
明確な障害の発生はないが、診療と検査は必要

表 1 放射線被曝量と治療費とその関係

1 点 (甲地) 10.50 円
(乙地) 10.00 円

○ 第 1 級 : 700r 以上 …… 被曝後 2 週間以内に死亡するものとする。

(a) 治療費

入院料 81 点 × 14 = 854 点
輸液 (糖リンゲル 3,000CC/日として)
167 点 × 14 = 2338 点
輸血 (400CC/日として)

325点×10=3,250点
 抗生物質 (テトラサイクリン 1.0g/日として)
 41点×14=574点

(b) 検査料

末梢血 58点×14=812点
 ヘマトクリット 12点×5=60点
 骨髓検査 110点×3=330点
 心電図 80点×2=160点
 脳波 180点×1=180点
 X線撮影 70.9点×4=283.6点
 電気泳動 50点×2=100点
 その他 300点×1=300点

○ 第2級: 200 ~ 700r …… すべて放射線障害の病状を現わし、別表の死亡率で死者を出すものとする。

(a) 治療費

(死者は 80 日以内に死亡するものとする)
 入院料 (180日の入院を必要とみて計算)
 第1月 81点×30=1,830点
 第2月 58点×30=1,740点
 第3月 // ×30=1,740点
 第4月 55点×30=1,650点
 第5月 // ×30=1,650点
 第6月 // ×30=1,650点
 輸液 (糖リンゲル 2,000CC/日として)
 133点×30=3,990点
 輸血 (20000/日として)
 185点×10=1,850点
 抗生物質 (テトラサイクロン 1.0g/日として)
 41点×20=820点

(b) 検査料

末梢血 58点×30=1740点
 ヘマトクリット 12点×20=240点
 骨髓検査 110点×10=1110点
 心電図 80点×5=400点
 脳波 180点×2=320点
 X線撮影 70.9点×5=354.5点
 電気泳動 50点×3=150点
 その他 600点×1=600点

○ 第3級: 100 ~ 200r …… 死者はないものとする。

(a) 治療費

入院料 (80日の入院を必要とみて計算)
 第1月 1,830点
 " 2 " 1,740点
 " 3 " 1,740点
 輸液 (糖リンゲル 1,000CC/日として)
 59点×14=826点
 輸血 (20000/日として)
 185点×10=1,850点
 抗生物質 (テトラサイクロン 1.0g/日として)
 41点×14=574点

(b) 検査料

末梢血検査 58点×30=1740点
 骨髓検査 110点×6=660点
 ヘマトクリット 12点×10=120点
 心電図 80 // ×2=160 //
 脳波 180 // ×2=320 //
 X線撮影 79.5 // ×3=238.5 //
 電気泳動 50 // ×3=150 //
 その他 500 // ×1=500

○ 第4級: 25r ~ 100r …… 検査のみ 90日間観察するものとする。

検査料

初診料 18点
 末梢血検査 58点×4=232点
 電気泳動 50 // ×1=50 //
 その他 300 // ×1=300

1 障害

物的障害

(c) 得べかり利益の喪失(休業損害)

ここでは障害を受けた人が病院に入院し治療までの期間職業につけないものとしてその場合の収入の喪失を計算する。その場合 1人1日の収入は次の如

く計算した。

昭和 33 年度経済企画庁編「国民所得報告書」の可処分所得のうち勤労所得と個人事業主所得の合計金額 68,865億円を、その年度の推定総人口 9,205万人で除すると 1 人当たり平均所得は年額 74,812円、1 日当たり約 205 円となる。したがって 180 日入院の場合は 36,800円、90 日の場合は 18,450 円となった。

この場合可処分所得のうち、障害を受けて働けなかつた期間に失うのは、主として勤労所得と個人事業所得であるから、死亡の場合も同じ、他の種類の所得はすべて対象としなかつた。ここでこれらの所得を総人口で割ることが問題であるが、所得を有する者と有しない者との区別を年令的に一線を引くことは繁雑であり、また特定被災地域の所得額を算出することはできないので、被災集団人口構成(有所得者と無所得者のだ比)およびその所得が全国平均と同じと考え、便宜上全員が所得を有することとした(他所においても同一の考え方)。

ここでは、休業補償のみを取扱い、一度一定の線量を受けたため、後で特定の職業にはつげなくなるとか、あるいは、レントゲン技師のような場合は治療しても再びその職業をつづけるのに困難を生ずるような場合は一生を通じての得べかりし利益の喪失があるが、算出の手がかりがつかめないので省略することとし休業補償のみを考えた。

㉒ 治療費

治療費は被曝線量と治療期間を示した表 1 にしたがって点数を計算しこれに甲地の 1 点単価 10,50 円を乗じてきめる。乙地の単価を採用しなかつたのは、これらの治療は都会の大きな病院でしかおこない得ないような種類のものが多いからであり、相当十分な手当をするものとした。年令、性別による治療期間の差違はここでは考えない。

治療費

- (i) 180日の入院 …… 10,50円 × 21,034.5点 = 220,862円(第 2 級)
- (ii) 90日の入院 …… 10,50円 × 12,248.5点 = 128,609円(第 3 級)
- (iii) 検査のみ …… 10,50円 × 600点 = 6,300円(第 4 級)

㉓ 精神的損害 — 慰謝料

前述の如く慰謝料には、一定の金額もまた確定された算出方法もない。したがって最近の判例のいくつかを参照して決めることとした。放射線障害では、交通事故の如く手、足を失ったりすることはないが、たとえ一度治療しても遅発性障害の危険性には絶えずおびやかされるものであり、この点から考えても以下の慰謝料は高くないと考えられる。第 4 級は5万円と一応考えたが治療費とのバランスから多少引き下げることにした。

昭和 32 年度の下級裁判所民事裁判例の交通事故の傷害についての慰謝料を算計すると表 2 の如く 5 万円から 15 万円の幅になる級別によつて下記のように分けた。障害の場合の慰謝料については、被害者の近親者からの請求も考えなければならないこともあるが、ここでは省略する。もつとも放射線障害の場合は、実際にはあまり問題にならないと思われる。

- 第 2 級 15万円
- 第 3 級 10万円
- 第 4 級 5万円

表 2 傷害の場合の慰謝料の金額

	5万円未満	5万円以上 10万円未満	10万円以上 15万円未満	15万円以上 20万円未満	20万円以上 25万円未満	25万円以上 30万円未満	30万円以上 35万円未満	35万円以上 40万円未満	40万円以上 45万円未満
男	7件	10	8	1	4			1	
女	1"	1							
子供		2	2		2				1
計	8"	13	10	1	6	0	0	1	1

2 死亡

(1) 物的損害

㉒ 得べかりし利益の喪失

一般に得べかりし利益の算出は、死亡した者の生存するはずであつた平均余命を調べて、その期間に入る収入を計算する。そしてさらにこれをホフマン式計算法により中間利息を控除して一時支払額を決定する方式をとつている。不特定多数の集団における得べかりし利益の算出をこのホフマン方式でおこなうこと自体無理であるが、何とかこの方式にのせる形をつくつてみると以下の如くなる。

死亡の場合の物的損害は死者の得べかりし利益の損害賠償請求権が相続された時に問題となる。この場合被扶養者が被扶養権の侵害という形で得べかりし利益の賠償をおこなうこともあるが、ここでは、一度本人に生じた損害賠償請求権が相続されたものとする(判例ではこの考えを否認したものもあるが学説はいろいろな角度からこれを説明して肯定する立場をとつている)。1 人当たり損害額についてホフマン方式をあてはめる場合に必要な数値は、得べかりし利益の年額と平均余命である。得べかりし利益は収入から生活費を差し引いたもので、収入金額としては前述の障害の場合と同じ国民所得の 1 人当たりの数値をとることとする。この点の考え方については前述の通りである。しかし判例では、現実に所得のない学生、女性について、前者の就職した場合の初任給、後者の一般的労働所得を類推してホフマン方式を適用した例もある(戦後では女性や学生等の場合請求する方が慰謝料しか請求していないので、この点は決定的ではない)。そのような考え方に立てば国民所得の実績にさらに何パーセントかプラスをしたものを得べかりし利益とせねばならないが、これについての適切な推定

方法がないので、評価の対象としなかつた。生活費は扶養家族のない場合には収入の 80% と見做されることとなつている。したがつて得べかりし利益の年額は 14,882円となる。

つぎに平均余命であるが、被災集団の年齢性別構成が全国平均と同じであると考えて、その集団の平均余命としては、男女各々の年齢別の平均余命に、その年齢の人口を乗じたものの総計を全人口で割つたものを用いることとする以外に方法がないと思われる。これを計算すると 41.2 年となるので法定利率を 5 分としてホフマン方式を適用することとした。以上の数値は最近の資料がないので、性別、年齢別人口は昭和 30 年の日本統計年鑑により、年齢別平均余命は第 9 回生命表(昭和 25 年～ 27 年)を使用した。

ホフマン方式として従来もつとも利用されたのは、Aを得べかりし純利益の年額、nを年数とすると、 $\frac{A \times n}{1 + 0.05 \times n}$ という式であつたが、これでは年々収入があるのに最初の第 1 年目の収入についても n 年分の利息を引くことになり、損害額は不当に小さくなるので、最近では、1 年毎の純利益について別々に中間利息を引く方法、すなわち

$$\frac{A}{1+0.05 \times 1} + \frac{A}{1+0.05 \times 2} + \dots + \frac{A}{1+0.05 \times n}$$

という式、さらには 1 ヶ月毎に計算する式、すなわち

$$\frac{A \div 12}{1 + \frac{0.05}{12} \times 1} + \frac{A \div 12}{1 + \frac{0.05}{12} \times 2} + \dots + \frac{A \div 12}{1 + \frac{0.05}{12} \times n}$$

という式が多く使われており、今後はこの式が一般式となろう。したがつてここでは第 3 式によることとした。この計算は非常に複雑であるが、速算表が出来ており、裁判所にも備えられている。

以下それぞれの場合を示すこととする

$$\frac{\text{国民の個人所得} \times \frac{2}{10}}{\text{総人口}} \times \text{国民の平均余命年数}$$

(第 1 式)

$$\frac{74,812 \text{円} \times \frac{2}{10} \times 41.2}{1 + 0.05 \times 41.2} = 201,134 \text{円}$$

第 2 式 平均余命年数後 1 度に収入するものとせず、1 年毎に、収入するものとして計算する

$$74,812 \text{円} \times \frac{2}{10} \times 21.97048397 = 328,724 \text{円}$$

第 3 式 1 月毎に収入するものとして計算する

$$74,812 \text{円} \times \frac{1}{12} \times \frac{2}{10} \times 288.278441 = 334,507 \text{円}$$

※法定利率による単利年金現価表による

㉔ 治療費

この場合は死亡までの治療費である。これは本来相続人ないしは扶養義務者から請求されるが、ここでは本人の損害として考えることとする。その期間と費用は以下の通りである。

- 治療費 (死亡までの)
- (i) 14日以内の入院後死亡 10,500円 × 9,221.8点 = 96,867円
 - (ii) 60日以内の入院後死亡 10,500円 × 14,344.5点 = 150,617円

㉕ 葬祭費

葬祭費については、全く一定した金額がないので、昭和 32 年度下級裁判所民事裁判例から、50,000円と推定した。その根拠は次のとおりである。

葬祭費用の例

- (i) 50,000円 女
- (ii) 100,000 " "
- 男 (iii) 87,000 " "
- (iv) 50,000 " 子供
- (v) 88,000 " "
- (vi) 85,000円
- (vii) 55,000 " "
- (viii) 16,000 " "
- (ix) 10,000 " "
- (x) 32,000 " "
- (xi) 48,000 " "

精神的損害 — 慰謝料

生命侵害の場合の慰謝料も、民法 711 条がある以上近親者の請求で問題となりうると考えた方が論理的で、慰謝料請求権は相続されず一身専属的なものであろうが、ここでは、一応物質的損害と同様に考えることとする。この算出も逐次定型化されつつあるが、現在未だ明確ではなく、障害の場合と同じく昭和 32 年度下級裁判所民事裁判例の中、交通事故による死亡に対する慰謝料をみると下記の如くであり、さらに集団災害の事例を考慮して 380,000円とした。

死亡者の場合

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

	0~ 5万円 未満	5万円 以上 10万円 未満	10万円 以上 15万円 未満	15万円 以上 20万円 未満	20万円 以上 25万円 未満	25万円 以上 30万円 未満	30万円 以上 35万円 未満	35万円 以上 40万円 未満	40万円 以上 45万円 未満
男		1	2		3		4		
女				1	1			1	1
子供		1		1	1	1	3		3
計		2	2	2	5	1	7	1	4

45万円 以上 50万円 未満	50万円 以上 55万円 未満	55万円 以上 60万円 未満	60万円 以上 65万円 未満	65万円 以上 70万円 未満	70万円 以上 75万円 未満	75万円 以上 80万円 未満	80万円 以上 85万円 未満
	1						
	1			1			
	1						1
	3			1			1

むすび

以上を一表にまとめると、それぞれの場合の1人当りの死亡および障害による損害賠償額は被曝量との関係において次の如くなる。

	第1級	第2級		第3級	第4級	
	700r以上	700r ~ 200r		200r ~ 100r	100r ~ 25r	
	全員2週間以内に死亡	死亡者は60日以内に死亡	障害者は180日で治癒	80日で治癒	検査のみ	
財産的損害	得べかり利益(死亡者)	334,507円	334,507円			
	休業補償(障害者)			36,900円	18,450円	
	治療費	96,827	150,617	220,862	128,609	6,300
	葬祭費	50,000	50,000			
	小計	481,334	535,124	257,762	147,059	6,300
精神的損害	慰謝金	350,000	350,000	150,000	100,000	30,000
総計(1人当り)	831,334	885,124	407,762	247,059	36,300	

ちなみに、戦後の著名な集団災害における慰謝金支払の例をみると次のようになる。

集団災害の慰謝金

事件名	事件発生年月日	死者数	1人当り慰謝金			
			備考			
児童(1才~10才)	青年男女(主として学生)	成人				
ジフテリア予防接種被害事件	23.10	68人	100,000円	—	平 —	平均年齢2才
桜木町事件	28.4.24	103人	187,000円	?	?	
木更号事件	27.4.9	37人	—	—	平均1,000,000円 一律100,000円	100,000円は葬祭料
洞爺丸事件	28.9.28	1,052人	事件当時 100,000円	300,000円	500,000円	海難審判で過失が確定
			65,000円	65,000円	65,000円	
			その後 200,000円	200,000円 + α	200,000円 + α	
			10,000円	10,000円	10,000円	
1人平均	1,050,000円になる					
相模湾事件	29.10.8	22人	—	1,000 ~ 2,000円	—	履行したか否かも不明
森永ドライミルク事件	30.6	79人	250,000円			
歩宮線	31.10.15	39人	—	平均 700,000円?	—	

II 物的損害額の試算基礎 / もくじ / 戻る / 附録 (G)

附録 (G)

大型原子炉事故から生じる人的物的の公衆損害の試算結果

本調査で仮定した数多くの前提にもとずいて公衆損害額の試算結果を示す。我々は大型原子炉の事故が生じた場合いかなる公衆損害を生ずるかについてその大きさの程度を知るため、次のようないくつかの場合の結果を示す。これらの結果を通して、それぞれの前提がちがった場合の結果を一般的に想定できるよう、種々の点につき楽観的悲観的な両方の代表を選ぶようにしている。実際の数値はこれらの幅の中におちるであろうと考えられる。但し、我々は楽観、悲観の代表をとっているのであつて両極端を取っているのではないから、これ以上乃至以下の損害が生じる可能性も理論的には存在するものである。

考察する原子炉は事故が起きる前に約 4 年間運転した熱出力 50 万 KW の動力炉とする。

- (1) 分裂生成物の放出について次の場合を示す。その他の場合の大体の傾向は以下の結果から推定できよう。
 - (イ) 揮発性放出 稀ガスの全部と妖度の 50% と向骨性元素の 1% とセシウムの 10% とが放出
キュリー数としては (24 時間後の値で)
 - (イ) 10^5 キュリー (ロ) 10^7 キュリー
 - (ロ) 全放出 炉内の内蔵分裂生成物に比例した割合で放出
 - (イ) 10^5 キュリー (ロ) 10^7 キュリー
- (2) 放出温度については 2 つの場合を考える。
 - (a) 低温 普通の大気温度
 - (b) 高温 約 3,000° F
- (3) 放出粒子の大きさについては質量の中央値が次の直径であらわされる 2 つの典型的分布を考える。
 - (a) 1 μ 煙の粒度分布に相当
 - (b) 7 μ 工場塵の粒度分布に相当
- (4) 気象条件については次の 2 つの気象変化の組合せを考える。
 - (a) 気温逡減又は逆転
 - (イ) 普通の温度逡減状態 日中に相当
 - (ロ) かなり強い温度逆転状態 夜間の或る時間に相当
 - (b) 乾燥又は湿潤
 - (イ) 乾燥 雨無し
 - (ロ) 羽 0.7mm 最もよくあると思われる降雨量率

但し、雨天時には温度逆転状態はほとんどないと考えられるので、これは除外する。

表 1 全放出、低温、粒度大

	逓減		逆転 乾燥
	乾燥	雨	
10⁵キュリー			
(1) 人的損害			
死亡(人)	—	—	—
障害(＃)	—	—	—
要観察(＃)	—	—	24
金額(百万円)			1
(2) 物的損害			
A 級(人)	84	93	160
B 級(人)			
C 級(人)	11,000	8,600	2,400
D 級(平方軒)	280	84	27
金額(百万円)	4,200	2,500	707
合計損害額(億円)	42	35	7.1
該当気象条件の時間 的割合 (以下同じ)	8%	1.5%	0.5%
10⁷キュリー			
(1) 人的損害			
死亡(人)	—	—	8
障害(＃)	67	15	90
要観察(＃)	2,700	1,300	1,400
金額(100万円)	120	7	87
(2) 物的損害			
A 級(人)	35,300	8,700	6,200
B 級(人)			
C 級(人)	8,000,000	120,000	49,000
D 級(人)	36,000	170	240
金額(100万円)	1,100,000	42,000	145,000
総計損害額	11,000	420	145

表 2 全放出、低温、粒度小

	逓減		逆転 乾燥
	乾燥	雨	
10⁵キュリー			
(1) 人的損害			
死亡(人)	—	—	—
障害(＃)	—	—	—
要観察(＃)	9	8	13,420

金額(百万円)	0.3	0.3	540
(2) 物的損害			
A 級(人)	—	—	64
B 級(人)			
C 級(人)	30	46,000	17,400
D 級(平方軒)	2.7	2,912	340
金額(百万円)	21	11,800	5,250
合計損害額(億円)	0.2	118	58

10⁷キュリー

(1) 人的損害			
死亡(人)	—	—	540
障害(＃)	—	—	2,900
要観察(＃)	6,780	6,600	4,000,000
金額(100万円)	272	270	163,000
(2) 物的損害			
A 級(人)	96	99,000	30,000
B 級(人)			
C 級(人)	13,500	17,600,000	3,700,000
D 級(平方軒)	350	150,000	36,000
金額(100万円)	5,100	3,700,000	800,000
総計損害額	53	37,300	9,630

表 3 揮発性、低温、粒度大

	乾燥	通減 雨	逆転 乾燥
<u>10⁵キュリー</u>			
(1) 人的損害			
死亡(人)	—	—	—
障害(＃)	—	—	—
要観察(＃)	9	20	66
金額(百万円)	0.3	0.8	3
(2) 物的損害			
A 級(人)	—	—	14
B 級(人)			
C 級(人)	340	910	420
D 級(平方軒)	16	30	7
金額(百万円)	160	380	154
合計損害額(億円)	1.7	3.8	1.6

10⁷キュリー

(1)人的損害			
死亡(人)	—	—	5
障害(＃)	—	—	163
要観察(＃)	6,700	3,700	1,900
金額(100万円)	270	150	125
(2)物的損害			
A級(人)	4,270	3,800	3,200
B級(人)	108,000	62,000	16,000
C級(人)	2,700	51	132
D級(平方軒)	37,200	13,700	5,400
金額(100万円)	375	138	55
総計損害額			

表 4 揮発性、低温、粒度小

	乾燥	運減	雨	逆転乾燥
10⁵キュリー				
(1) 人的損害				
死亡(人)	—	—	—	—
障害(＃)	—	—	—	—
要観察(＃)	—	—	—	3,800
金額(百万円)	—	—	—	150
(2) 物的損害				
A級(人)	—	—	—	—
B級(人)	—	—	—	—
C級(人)	—	—	110	350
D級(平方軒)	0.16	—	49	15
金額(百万円)	8	—	270	135
合計損害額(億円)	0.08	—	2.7	2.9
10⁷キュリー				
(1) 人的損害				
死亡(人)	—	—	—	720
障害(＃)	—	—	—	5,000
要観察(＃)	3,100	—	3,100	1,300,000
金額(100万円)	120	—	120	54,000
(2) 物的損害				
A級(人)	—	—	2,400	4,800
B級(人)	—	—	—	—
C級(人)	510	—	3,600,000	280,000
D級(平方軒)	20	—	37,500	34,000
金額(100万円)	2,250	—	565,000	59,700

総計損害額	23	5,650	1,140
-------	----	-------	-------

表 5 全放出、高温、粒度大

	乾燥	遅減 雨	逆転 乾燥
10⁵キュリー			
(2) 物的損害			
A 級 (人)	—	477	—
B 級 (人)	—	—	—
C 級 (人)	320	73,000	—
D 級 (平方軒)	120	1,160	—
金額 (百万円)	710	24,100	—
合計損害額 (100円)	7	241	—
10⁷キュリー			
(2) 物的損害			
A 級 (人)	—	—	—
B 級 (人)	6,700	220,000	—
C 級 (人)	4,700,000	8,700,000	2,000,000
D 級 (人)	24,800	1,500	36,000
金額 (100万円)	678,000	1,095,000	421,000
総計損害額 (億円)	6,780	11,000	4,210

その他の場合

高温放出の場合は、概して公衆損害は少なく、揮発性放出で乾燥時には、10⁵キュリー、10⁷キュリー放出に対しては公衆損害はゼロである。しかし、揮発性で高温の場合でも粒度大ならば遅減時には10⁷キュリーの時約 200 億円の物的損害を生ずる。

高温でも雨天時には物的損害は巨大なものになりうる。(表 5、10⁷キュリー、遅減雨天の項を参照)

図 1 放出キュリー数と合計損害額との関係

附録 (F) / もくじ / 戻る