

六ヶ所再処理工場に伴う被曝 - 平常時と事故時

京都大学原子炉実験所 小出 裕章

・再処理工場が取り扱う歴大な放射能と被曝の規制

今日標準的となった 100 万 kW の原子力発電所は、広島原爆で核分裂したウランに比べて約 1000 発分のウランを毎年燃やし、それだけの核分裂生成物を生み出す。一方、六ヶ所再処理工場は、原子力発電所約 30 基が 1 年毎に取り替える量に相当する 800 トンの使用済燃料を毎年取り扱う（図 1 参照）。その上、再処理とは使用済燃料中に生成・蓄積したプルトニウムを取り出すための操作である。原子炉の段階では曲りなりにもプルトニウムや核分裂生成物を閉じ込めていた燃料棒を、再処理工場では細かく切り裂き、硝酸に溶かした上で化学的にプルトニウムを分離しなければならない。当然、環境に放出する放射能の量は桁違いに多くなり、原子力発電所が 1 年で放出する放射能を 1 日で放出するといわれる。

もともと再処理は核兵器材料であるプルトニウムを取り出すことを目的に開発された核軍事の中心技術である。かつての戦争の敗戦国日本は一切の核研究を禁じられ、核=原子力技術では欧米諸国に決定的な遅れをとった。そのため、日本の原子力発電所が生み出した使用済燃料は英国ウィンズケール(セラフィールドとも呼ばれる)とフランスのラ・アーク再処理工場に送って再処理してもらってきた。その英国ではウィンズケール(最近では、セラフィールドと呼ばれる)に再処理工場があるが、これまでに 120 万キュリー(広島原爆の 400 倍)を超えるセシウム 137 が内海であるアイリッシュ海に流された(図 2)。すでにアイリッシュ海は世界一放射能で汚れた海になってしまっており(図 3)、対岸のアイルランド国会、政府は度々再処理工場の停止を求めてきた。

日本の法令では、一般人の被曝許容限度は 1 年当り 1 ミリシーベルト(1000 マイクロシーベルト)と定められている。しかし、人々に被曝を与える施設は多数存在するため、個々の施設に年間 1 ミリシーベルトの被曝を許せば、個人の被曝は年間の被曝許容限度を超えてしまう。そこで、個々の原子力発

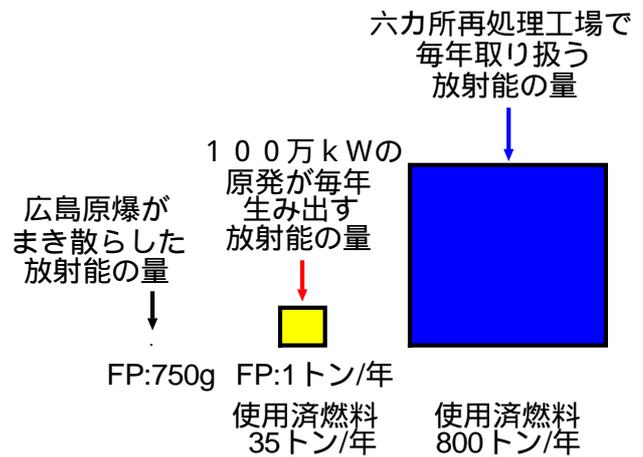


図 1 再処理工場が取り扱う歴大な放射能

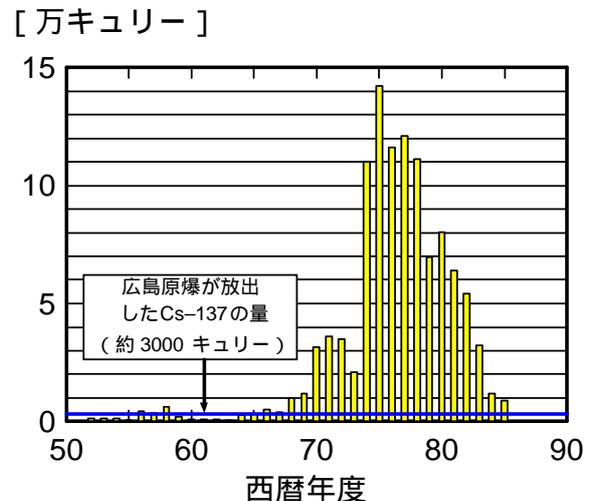


図 2 ウィンズケール再処理工場からのセシウム 137 放出実績

電所に対しては年間 50 マイクロシーベルトを被曝の目標値とするよう定められている。その上で、原子力発電所が環境に放出する放射性物質に対しては、気体についても液体についても濃度規制が課せられる。再処理工場の場合、気体で放出される放射能に対しては敷地境界外に出るまでの大気中での希釈効果を考えてよいことにされており、原子力発電所と同等の濃度規制が課せられる。しかし、例えば液体として放出が予定されているトリチウムを原子力発電所の規制に適合させようとするれば、毎日 100 万トンもの希釈水が必要となっ

てしまう。そのため、再処理工場が放出する液体の放射能に対してはもともと濃度規制がなく、住民の被曝線量を計算し、その計算値が規制値を下回ればよいとされた。そして、日本原燃と国は、平常運転時の住民の被曝線量を計算したところ、年間 22 マイクロシーベルトにしかならなかったと言う。

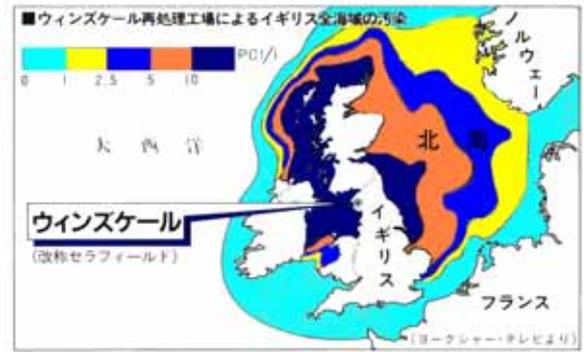


図3 ウィンズケール再処理工場が放出した放射能による海の汚染

．平常運転時の被曝の評価

被曝線量の評価は、図4に示すように、再処理工場で取り扱う放射能の量の評価から始まり、幾つもの中間段階の評価を経て被曝量の評価、そして本来なら影響の評価に至る。日本の安全審査では影響の評価はもともとなされないが、それでもたくさんの仮定が積み重ねられる。仮定の如何によって、得られる結果は数分の1になったり、数倍になったりするし、桁で違ってくる場合すら少なくない。当然、最終的に得られる結果には大きな誤差が付随する。日本原燃は安全審査の申請書において被曝量の計算値を有効数字2桁で示し、あたかも厳密で科学的なものであるかの様に装っているが、こうした評価値の有効数字はせいぜい1桁である。2桁もの有効数字で示すこと自体が科学的でないし、本来であれば、誤差の上限と下限を示すべきものである。

仮定に仮定を積み重ねた計算

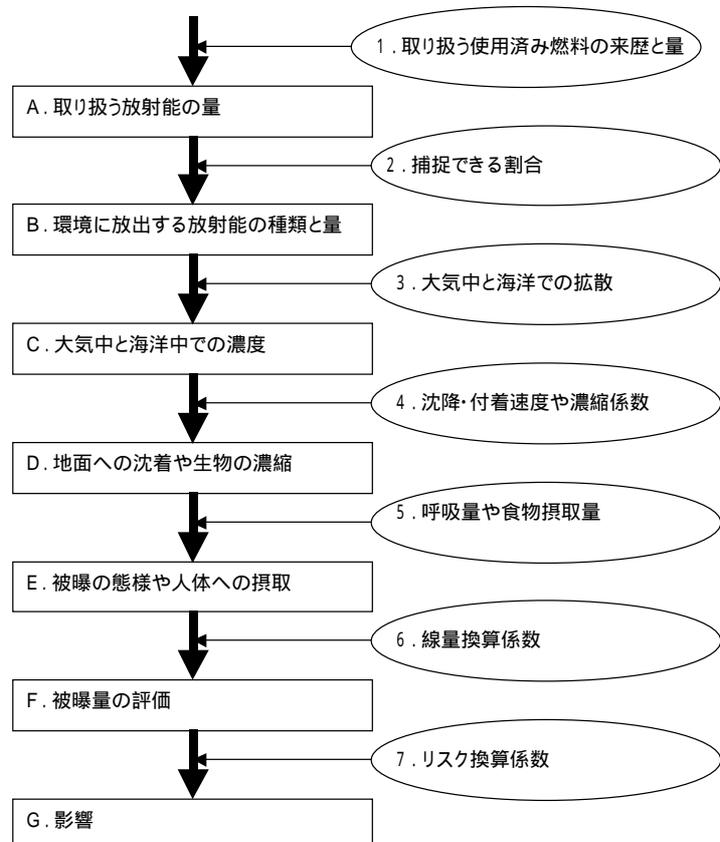


図4 被曝評価の流れ

また、その評価値が住民の被曝の最大値を表しているわけでもない。図4の右側の楕円中には計算に当て仮定しなければならない項目を記載したが、日本原燃の仮定がそのすべてで最も厳しいものにはなっていないし、極端に甘い仮定になっている場合もある。たとえば、海産物摂取で最大の被曝を与える経路は海草摂取によるよう素の被曝であるが、海水から海藻類への濃縮係数は2000という値が採用されている。しかし、原子力発電所の安全審査では4000という値が使われており、再処理工場の評価値は2分の1の過小評価になっている（楕円の4番の仮定）。

食物の摂取量についても、青森県の評価では1日の牛肉摂取量を20グラムとしているが、原燃の評価では1日わずか6グラムという値が採用されている（楕円の5番の仮定）。もっと多くの牛肉を食べる人はもちろんいるだろうから、この点でも原燃の仮定は最大値を示していない。線量換算係数については、歴史的に度々改定されてきて、その値は相互に何桁も異なる場合がある。六ヶ所再処理工場の被曝評価では、そのうちの低めの値を使っている場合がある。たとえばよう素¹²⁹(I-129)についての経口摂取の線量換算係数は最新の法令では 1.1×10^{-4} mSv/Bqだが、六ヶ所の評価で採用された値は 4×10^{-5} mSv/Bqで、ここでも被曝を約3分の1に過小評価している（楕円の6番の仮定）。

性格の違う別の問題もある。また、日本の東海再処理工場はフランスに作ってもらった。その技術を模倣しながら身につけ、日本の技術で作るはずであった六ヶ所再処理工場もついには再度フランスに頼んで作ってもらった。再処理工場から放出される放射性核種のうちルテニウムは揮発性の酸化物(RuO_4)を生じる。そのため、英国でもフランスでもその閉じ込めに苦勞し、たびたび環境汚染を引き起こしてきた。ラ・アーグ再処理工場から海に放出されてきたルテニウム¹⁰⁶(Ru-106)の量は、再処理する使用済燃料の量を六ヶ所の規模に合わせれば、毎年約 1×10^{13} Bqである。それに対して、六ヶ所再処理工場から海に放出されるRu-106は毎年 2.4×10^{10} Bqだと言う。フランスの技術で作ってもらった六ヶ所再処理工場が、フランスでの実績よりも400分の1しかRu-106を放出しないというのである（楕円の2番の仮定）。もし、六ヶ所での放出量がラ・アーグ並になるとすれば、Ru-106の海産物摂取だけで被曝量は約13マイクロシーベルトになってしまう。

被曝の評価シナリオ自体に欠陥がある

六ヶ所再処理工場の被曝評価では、排気筒から放出される放射能は気体として、排水口から放出される放射能は液体としてのみ挙動すると仮定される。しかし、排気筒から放出された放射能の一部は海に降り注いで海産物を汚染するし、海に放出された放射能の一部は陸に戻ってくる。後者の現象は、すでにウインズケールの周辺環境で実際に観測されている。すなわち、液体として排水口から放出されたプルトニウムなどの不溶性の放射能が海底を汚染し、その一部が風で陸域に戻ってきて、家庭の掃除機の手すりからも観測される。プルトニウムを含んだ食物を食べた場合、プルトニウムの大部分は体内に吸収されずに、被曝に大きな寄与をしない。しかし、空気中を飛んできたそれを吸い込む場合には、肺に沈着して不均等な被曝を与え、重大な脅威になる。六ヶ所再処理工場の被曝評価では、そのような被曝経路についての評価がなされていない。

また、別の重大問題もある。六ヶ所再処理工場の被曝評価では、放出された放射性物質は大気中や海洋中で一様に拡散していき、どこにも沈着も蓄積もしないと仮定されている。その結果、特定の1年間に放出された放射能による汚染は、その1年を超えては被曝を与えないと仮定されている。しかし、再処理工場で取り扱う放射能は超ウラン元素など長寿命の放射能が多く、それらが一度環境に放出されれば、汚染は長期にわたって蓄積していく。ウインズケール再処理工場でも、ある年の海産物の

汚染はその特定の1年に放出された放射能の量ではなく、むしろそれまでに放出された放射能の総量に比例している⁷⁾。汚染の長期蓄積を考慮しない被曝評価は、それだけで現実を表していない。

・経済性がすべてを決める社会の犯罪

再処理は軍事上の至上命令のために開発され、それがどんなに不経済であっても、どんなに環境汚染を引き起こしても運転が許された。「平和利用」を標榜して行われる日本の六ヶ所再処理工場の場合、何よりも経済性が重視されて設計されたし、運転される。

六ヶ所再処理工場で平常運転時に放出が予定されている放射能と、それによる被曝量の評価結果を図3に示す。気体状の放射能の寄与が圧倒的で、そのうちでもクリプトン85(Kr-85)、トリチウム(H-3)、炭素14(C-14)の3核種だけで約7割になる。日本原燃はそれらの核種は「フィルタでは取り除けません。・・・充分な拡散・希釈効果を有する高さ約150mの主排気筒、沖合い約3km、水深約44mの海洋放出口から放出します」と書き、全量を放出するとしている。

しかし、クリプトンは沸点が零下152で、その温度まで冷やしさえすれば、液化して捕捉できる。六ヶ所再処理工場から放出されるKr-85は年間 3.3×10^{17} ベクレルで、それを重量に換算すれば23kgでしかない。クリプトンの捕捉技術開発にはすでに160億円の国費が費やされたが、それを活かすことなく全量を放出すると言う。トリチウムについては、その一部を飽和蒸気として排気筒から放出しているが、トリチウムを排気筒から放出する場合、等量の排水口からの放出に比べて17倍の被曝を与えると日本原燃自身が評価している。放出する空気の除湿は簡単なことであり、除湿して捕捉したトリチウムを排水口から放出しさえすれば、被曝量は大幅に低減できる。また、費用はかかるが、トリチウムの同位体濃縮技術はすでに確立されており、トリチウムを捕捉しない理由も要は経費がかかるというだけである。炭素14についても、全量放出とされている。炭素の捕集は化学的な手法で可能であるから、たとえば水酸化ナトリウムと反応させれば固体化できる。

もともと放射能に「安全量」はない。「充分な拡散・希釈」とは、広範囲に汚染を広げることである。

六ヶ所再処理工場が毎年放出するKr-85は全地球規模に汚染を広げ、全世界では1320人・Svの被曝を与える。1000人/1万人・Svというがん死のリスク係数を当てはめれば毎年約130人、40年の操業では約5000人ががん死することになる。

再処理工場の運転は立地地域の住民にかつてない被曝を与える。放射性物質のクリアランス基準は年間10マイクロシーベルトであり、国

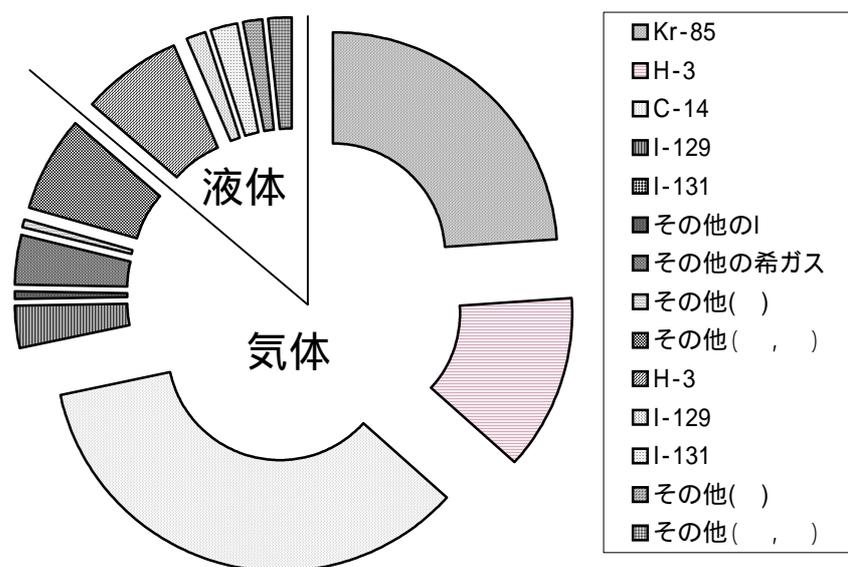


図5 放出される放射能と被曝線量への寄与割合

や日本原燃による 22 マイクロシーベルトという被曝評価値は、すでにその値を 2 倍以上超えている。また、放射能の捕捉をせずに「希釈・拡散」させるのであれば、地球規模での汚染を生じさせる。経済的な費用を惜しんで本来為すべき処置も取らない工場を稼働させることは故意の犯罪だと私は思う。

．万一の事故時の被曝

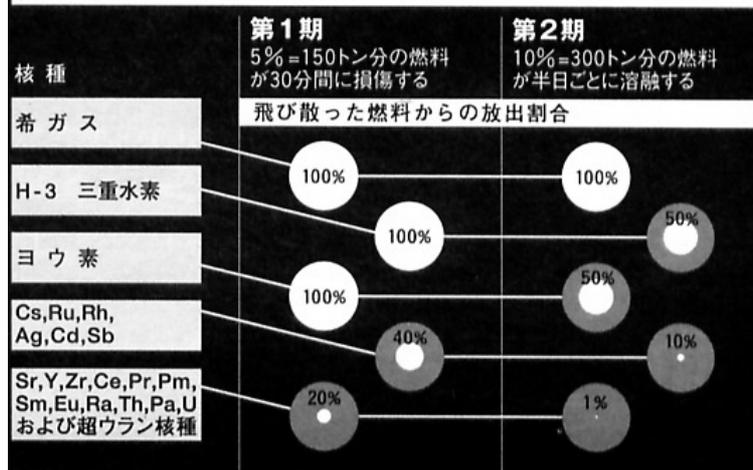
すでに述べた様に六ヶ所再処理工場は、使用済み燃料を 3000 トン分貯蔵し、年間 800 トン分の再処理を行う計画である。原子力発電所の炉心に存在する核燃料が 100 トンから 150 トンであるのに比べて、はるかに多い。ただし、再処理工場に搬入される燃料は、原子力発電所で使用済みとなり、その後数年間発電所内に保管された後に運び込まれるものである。そのため、運転中の原子力発電所の事故に比べれば、短寿命の放射性核種は減衰してなくなってしまっている。一方、再処理工場に搬入される使用済み燃料は原子炉で燃え尽くされるほどに燃やされたものであり（燃焼度が高い）、長寿命の核種の蓄積が多い。それらの核種は超ウラン元素と呼ばれる一群の核種であり、その多くはアルファ線を出して、生物毒性が高い。

万一の事故時の被害をシミュレーションして評価することはできる。ただし、シミュレーションはあくまでもシミュレーションで、仮定に仮定を積み重ねてやるしかない。その限界を頭に入れた上で、再処理工場が万一と呼ばれるような事故を起こした場合に、どのような被害が出るか、シミュレーションしてみよう。六ヶ所再処理工場の場合、南 24km のところに米軍三沢基地があり、戦闘機による飛行訓練が日常的に為され、時には事故も起きてきた。そこで、バンカーバスターを積んだ米軍の戦闘機が使用済み燃料プールに墜落したらどうなるかを、一つの事故想定として計算してみた。その結果は、すでに明石昇二郎さんが「週刊・金曜日」に「六ヶ所炎上」として紹介してくれた。

そのような事故が起きれば、まず事故直後に一部の燃料が破損し、放射能が飛散することになるし、その時点で損傷を免れた燃料もプールの水が失われて冷却できなくなれば、順次溶融して放射性物質を環境に撒き散らすことになる。一体どの程度の割合が撒き散らされるかについては経験がないし、正確な評価はできないであろう。ここでは、バンカーバスターの爆発・炎上によってプールに存在する使用済燃料のうち 5% が損傷する（第 1 期）とし、それに続く第 2 期としては、半日ごとに燃料の 10% ずつが溶融するとした。それぞれの期間に放出される核種の割合などは図 6 のごとく仮定した。第 1 期における急性死者が生じる確率と距離を表 1 に、長期間の防災を考えるために、Cs-137 による汚染距離を表 2 に示す。

図 6 事故シナリオの仮定

放射能の放出は、前期と後期の二つに分けて考えることにした。まずは、戦闘機とバンカーバスターの爆発・炎上によって直ちに放出が始まり、30分間で放出が終わるものを「第1期」とした。その後、使用済み燃料プールの水が抜け、冷却ができなくなるに従い、半日ごとに燃料の10%ずつが溶融するとした。この際に放出されるものを「第2期」とした。そして、周辺に放出される放射性核種の割合については下の表のように仮定した。これらの核種が放出された後の、大気中の拡散、沈着については、米国原子力規制委員会の「原子炉安全性研究」の仮定にそのまま従った。



40[Ci/km²]はチェルノブイリ事故において事故直後に強制避難をさせられた地域、15[Ci/km²]はその後汚染が判明した後に強制避難をさせられた地域である。また、日本の法令においては1[Ci/km²]以上の汚染がある場所は放射線の管理区域としなければならないし、放射線の管理区域であっても労働者が容易に触れることができる壁や床などの表面は10[Ci/km²]以上の汚染があってはならない。

また、晩発生の癌で死ぬ人数を風向別に図7に示す。風が東京に向かう場合には東京での40万人を含め190万人もの人が犠牲になる。

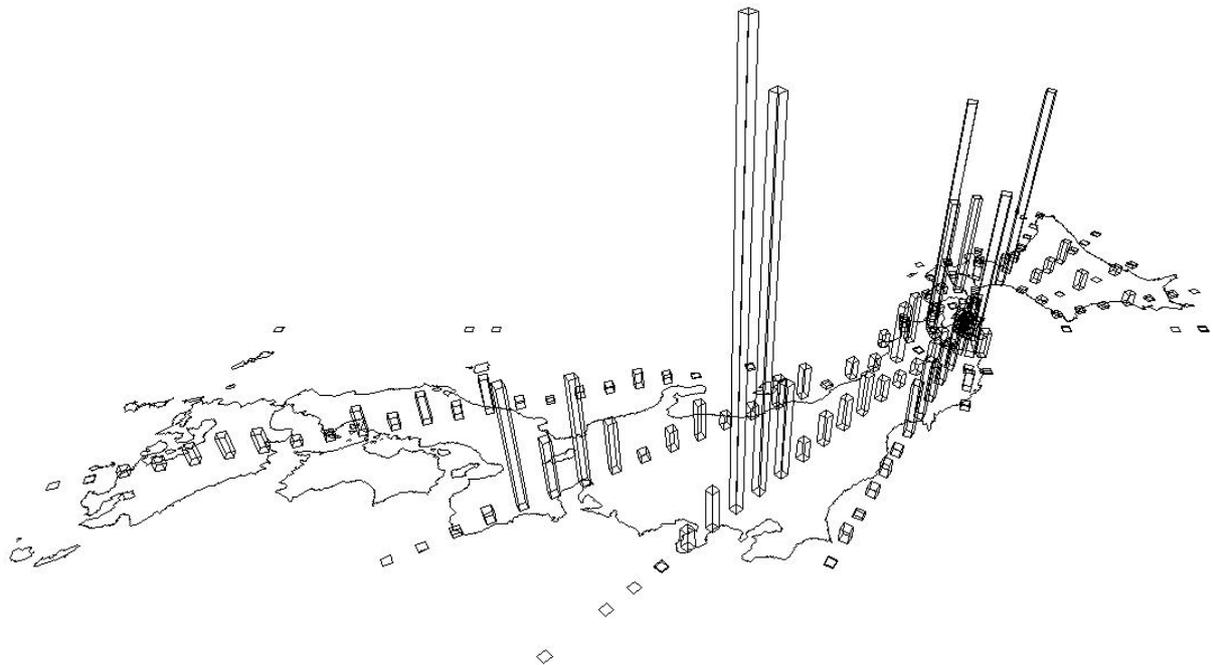


図7 第1期の影響でがん死者が出る地域

第2期における急性死者が生じる確率と距離を表3に、長期間の防災を考えるためのCs-137による汚染距離を表4に示す。第2期については、プールに存在していた燃料の10%分(300トン)が半日ごとに溶融しながら環境に放出されると仮定しており、半日間の風向のぶれも考慮して、45度の広がり角に一樣に放射能が広がるとした。そして、4日にわたってこの放出が続き、風が一樣に全方向を覆うとすれば、360度すべ

表1 急性死者が生じる確率と距離(短期被害の目安)

死亡確率[%]	99	90	50	10	5
全身換算被曝線量[Sv]	9.3	6.0	4.0	2.7	2.3
距離[km]	6.0	7.9	10.2	13.3	14.5

表2 Cs-137による汚染(長期避難の目安)

汚染密度[Ci/km ²]	40	15	10	5	1
距離[km]	356	671	858	1267	2691

表3 急性死者が生じる確率と距離(短期被害の目安)

死亡確率[%]	99	90	50	10	5
全身換算被曝線量[Sv]	9.3	6.0	4.0	2.7	2.3
距離[km]	0.9	1.2	1.5	1.9	2.1

表4 Cs-137による汚染(長期避難の目安)

汚染密度[Ci/km ²]	40	15	10	5	1
距離[km]	105	207	272	432	1151

ての方向が被害を受ける。そこで、風が真北に向かう場合から 45 度ずつ風向を変化させながら、それぞれの風向別にどれだけのがん死者が出るかを図 8 の鳥がん図に示す。図 7 に示した第 1 期の場合に比べれば、がん死者の数は 1 桁以上小さくなり、放射能が南に流れる場合でも、がん死者の数は 11 万人程度である。ただし、第 1 期の場合とは異なり、こちらの場合には、すべての方角に図に示した被害が出ることになる。

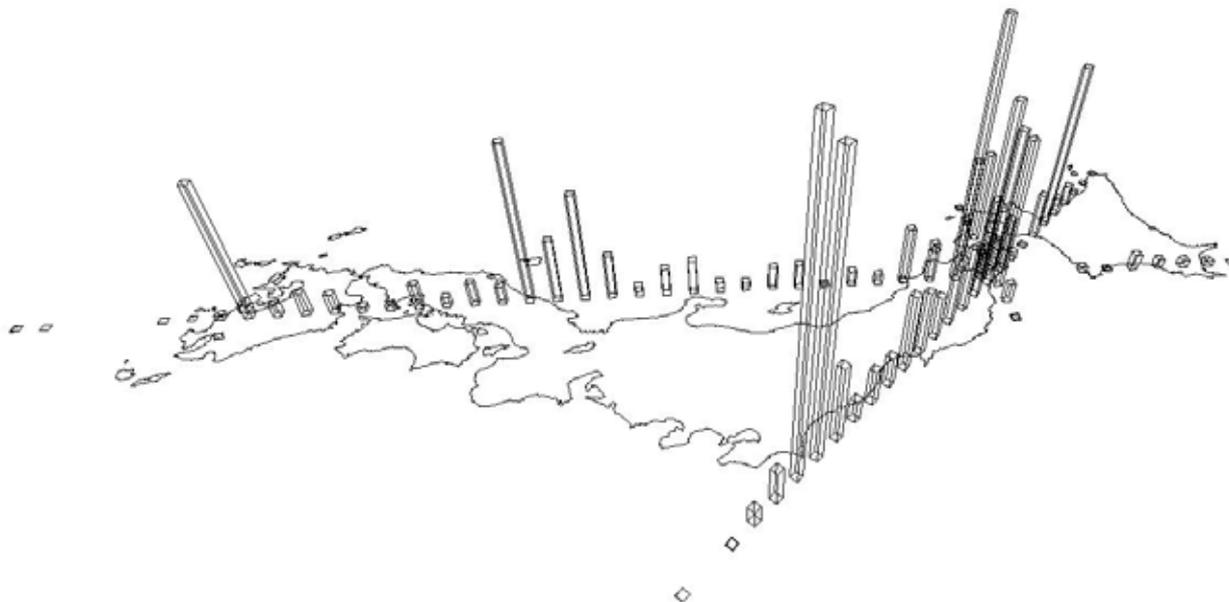


図 8 第 2 期の影響でがん死者が出る地域

表 2 に示した第 1 期の事故の汚染は、およそ 2700km のかなたまで放射線の管理区域にしなければならない汚染が生じることを示しているが、この場合には汚染が生じるのはおよそ 15 度角の風下だけである。一方、第 2 期の事故は 4 日にわたって続いて全方位に放射能を拡散させると考えているので、表 4 に示した Cs-137 による汚染は六ヶ所再処理工場を中心にあらゆる方向に適用できる。そして、1100km を越えるかなたまで放射線の管理区域にしなければならないということをこの表は示している。

追記

本メモでは、六ヶ所再処理工場の平常運転時及び事故時の被曝問題を取り扱った。一方、アクティブ試験開始以降、「協力会社 = 下請け」作業員の内部被曝が頻発しており、労働者被曝の問題が重要になるであろう。