

原子力発電所の事故被害額試算

朴勝俊*

2003年8月末作成、2004年3月30日加筆修正

(学会用論文:未刊のため引用・転載はお控えください)

0. はじめに

京都議定書の温室効果ガス削減目標を達成するためには、原子力発電が一層重要になるとの見解が強い。しかし、原子力の意義は直接的に温室効果ガスを排出しないという便益面だけでなく、廃炉費用、放射性廃棄物保管費用や、炉心溶融事故の潜在的な被害額など、見えにくい費用も考慮して判断すべきである。大事故時の被害額に関しては、欧米では最近でもいくつかの試算が出されているが、日本では「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」(科学技術庁/原子力産業会議 1960)以来、それに引き続く定量的評価はみられない。そこで本研究では、現時点で大規模な放射性物質の放出を伴う原子力発電所事故が起こったとき、周辺住民に及ぼす被害の金額を、決定論的な手法を用いて推計した。欧米では確率論的安全評価(PSA)を応用して、発電された電力キロワット時あたりの「外部費用」を推定する試みも多くみられる。本文中に説明する理由により、この論文は PSA に基づく推計には関心を置いていないが、「外部費用」に関しては、総被害額の結果を応用して試算を展開した。

1. 原子力発電所の事故被害推計をめぐって

日本における試算として上で紹介した科学技術庁/原子力産業会議の試算は、当時は公開されなかった。熱出力 50 万 kW の原子炉の事故被害額が、最悪の条件下で 3.7 兆円(当時の国家予算の約二倍)と見積もられたためである。この試算は 1960 年と古く、現在の原子力発電所の規模、貨幣価値、一人当たり損害額を考えれば、さらに金額は膨らむであろう。

米国の評価では、WASH-740(1957年)において 50 万~70 億ドルと見積もられ、その 18 年後には、確率的安全評価(PSA)を本格的に活用した WASH-1400(1975年)が発表された。最悪の場合 3300 人が急性死、年あたり 1500 人のガン死者が 30 年間にわたり発生、人的被害を除く財産損害は最大 140 億ドル規模の損害となるが、こうした事態に至る確率は炉・年あたり 10 億分の 1 というものである。この報告は公表直後から確率的安全評価の方法に様々な疑義が唱えられ、1979 年 1 月 18 日に米国原子力規制委員会が支持を撤回、その直後の 3 月 28 日にはスリーマイル島原子力発電所事故が実際に発生した。その後も

* 京都産業大学経済学部専任講師

この研究においては、京都大学原子炉実験所の小出裕章氏に SEO コード活用に関する懇切丁寧なご支援を、神戸大学大学院経済学研究科の竹内憲司氏からは人的被害の金銭評価に関する貴重な助言をいただきました。ここにお礼申し上げます。本論文においてあり得べき誤謬はすべて著者の責に帰すべきものです。

NUREG-1150などでPSA研究は続けられたが、規制に用いられる決定論的安全評価を補完し、プラントの弱点を明らかにして克服してゆくことに主眼が置かれており、炉心溶融事故などの発生確率の絶対値を安全性の証明として用いるべきものではない。

しかし、PSAは原子力発電の「外部費用」(電力キロワット時あたりの潜在的被害額)を求める際にしばしば用いられている。OECDの報告書(OECD/NEA 2000)は、欧米で行われた11の研究をレビューしており、多くはフルスコープ(全過程対象)のPSAを用いたものである。外部費用はキロワット時あたり最大で数十セントから、最小で0.00001セントのオーダーまで六桁もの大きな差がある。このレビューでは、事故被害額の総額と解釈できるものが明示されていないが、最悪の事故の際の損害総額そのものには何桁もの乖離が生じると考えにくく、確率の推定値が結果に大きく影響していると考えられる。

Hennicke & Lechtenböhmer (1999)は、ドイツで行われた立場の異なる三つの研究をレビューし、人的・物的被害総額はせいぜい10倍程度(GDPの約3分の1~3倍)しか変わらないが、事故発生確率は300倍の差があり、これがkWhあたり外部費用の差となって現れていることを示した(表1)。

表1：ドイツでの原発事故の外部費用研究の比較

	Ewers/Rennings 1992	Friedrich 1993	Krewitt 1997	備考
0.原子炉型式	ビブリスB (1976年型)	ビブリスB (1976年型)	最新の加圧水型 軽水炉	ビブリスBの安全基準 はドイツ原発の中位の 水準と言える
1.事故発生確率	33000年に一度	270000年に一度	一千万年に一度	米国では1/3333という 推計も(Ottinger 1990)
2.集団被曝線量 (百万人シーベルト)	33.6	4.2	1.15	
3.被曝による死亡数 (1万人シーベルトあたり)	約168万人 (500)	約21万人 (500)	約5.75万人 (500)	国際放射線防護委員会 (ICRP)の1990年勧告
4.損害の金銭評価 ・確率的生命価値 ・死亡被害総額	・600万マルク/人 ・10.08兆マルク	・530万マルク/人 ・1.113兆マルク	・584万マルク/人 ・3360億マルク	
5.人的・物的被害総額 ・総額 ・kWhあたり	・10.697兆マルク (GDPの約3倍) ・4.3ペニヒ/kWh	・1.181兆マルク (GDPの約1/3) ・0.06ペニヒ/kWh	・9250億マルク (GDPの約1/3) ・0.00086Pf/kWh 0.00015Pf/kWh	Krewittの総額は、単位外 部費用から逆算 割引率0% 割引率3%

参考：1990年代のドイツの年間GDPは約3兆マルク。 出典：Hennicke und Lechtenböhmer 1999より作成

PSAについては桜井(1994)に詳しい。桜井のレビューによればPSAは炉心溶融の確率に関して炉年あたり 10^{-5} ~ 10^{-7} という非常に低い値を示す。しかしPSAのイベントツリーには全ての事故経路を含むことが出来ず、また機器の故障率についても信頼できるデータの蓄積が十分とは言えないため、確率の絶対値を額面どおり信頼することはできない¹。もし信頼しうるなら、本研究が示すような数百兆円レベルに達すると考えられる原子力の潜在

¹ 小出(1977)を参照。WASH-1400批判であるが、この指摘は現在でも通用する。

的被害に対して、原子力事業者は満額の責任を負い、民間保険会社は PSA を用いたリスク計算に基づく低額の保険料²で責任保険を引き受けることもできようが、日本の原子力損害賠償制度はそのようになっていないのである³。この問題については第 5 節で改めて論じる。

結局現在のところ、原子力のリスクは潜在的な被害者である国民が、政治的決定を通じて引き受けていることになっている。国民の原子力に対する政治的受容性は最悪の事態における潜在的な災害規模と、国民が主観的に想定する事故発生確率の二つの要因から決まるであろうが、とりわけ前者について十分な判断材料が与えられてこなかった。本研究は、この被害額の推計値を与えることで、その判断の一助となることと、万一の場合に被害者が十分な補償を受けられる仕組みについて考える基礎となることを目的とする。

2. 事故被害計算の考え方と手法

原子力発電所の過酷事故の被害人口・被害面積の計算のために開発された SEO コード(京都大学原子炉実験所、故瀬尾健氏による)を、近畿圏で最大級の大飯 3 号機(福井県大飯町)に適用した。ただし、SEO コードは経済的損害を計算するためのプログラムを備えていないので、これについては SEO コードの結果を用いて別途計算を行った。ここでは簡潔に手法と結果を解説し、詳細は巻末の付録を参照していただくこととする。

SEO コードでは、ある発電所の地理的条件(周辺の人口分布等)と気象条件の下で、放射性物質の放出を伴う事故が起こったとして、土地汚染度や被害人口を計算する。事故類型は米国の「原子炉安全研究(WASH-1400)」(1975)に準拠して複数用意されており、本研究で用いた PWR2 型事故は、チェルノブイリ事故の放出量推定値にも近い(巻末 A-2-1)。被害の計算は大飯 3 号炉を中心に 16 方位に分けて行った。放射性物質を含んだ低空の雲は上空の空気へと拡散せず、風下に向かって 22.5 度の角度でくさび型に拡散してゆくものと考えている。風向頻度や風速などの気象条件は福井県のデータを参考に設定している(巻末 A-2-2)。放射性物質の降下した地域における土地の汚染度と、公衆の被曝値から、急性障害・晩発性障害(発ガン等)の件数が得られる(仮定の詳細は表 2 および巻末 A-4 を見よ)。

その結果を用いて、物的損害(被曝防止措置費用、人的資本の所得損失、物的資本の所得損失)と、人的被害(死亡・疾病・その他)の総額を推計する。物的損害は、被害者の緊急避難等に伴う避難費用や労働損失、汚染地域での一定期間の居住禁止・農業禁止措置等によって失われる生産額として計算する。発電所から半径 10km の範囲は 2 日程度で全員避難、セシウムの放射能が 148 万ベクレル/m² を超える地域は 2 週間程度で全員避難とし、

² 日本原子力保険プールによれば、賠償措置額(=責任保険額)が 300 億円だった 1997 年には、23 件で約 23 億円の保険料が支払われていた。これを純保険料とみなせば、300 億円を超える事態が起こる頻度は一件あたり年間 300 分の 1 と見積もられていることになる。

³ 責任保険額はわずかに 600 億円、ただし地震・噴火等による事故に対しては同額の原子力補償契約を政府が引き受け、それを超える金額は原子力事業者(主に電力会社)の責任であるが、国会の決議に基づいて政府が補助する可能性もある。異常に巨大な天災地変・戦争・社会的動乱に伴う原子力事故では原子力事業者は責任を問われない。

経済活動は恒久的に禁止される。同 18.5 万ベクレル/m² を超える地域は農業が 10 年間禁止される。従って、これらの対策の対象範囲に経済活動の中心地が含まれると、物的損害額は大きくなる。

人的被害は、これらの緊急措置が採られた上でも発生が避けられないものとして計算されている。被害額は急性障害・晩発性障害の推定発生件数に一人当たり医療費や確率的生命価値の推定値を乗じて求める。これらの計算の前提・根拠は表 2 および付録 A-5 に示す。

計算は事故発生後の 50 年間を対象に行う。計算に用いたデータは市区町村レベルの人口・経済活動統計であり、その位置は役場所在地で代表させている。計算の対象となる項目は表 2 のとおりである。

最終的に、これらの損害額を風向頻度に基づいて加重平均し、平均的な損害額を求める。

表 2：本研究における損害・被害の考え方

	損害分類	損害項目	計算の仮定	単位損害仮定
物的 損害	被曝防止 措置	緊急避難・移住費用	移動交通費、一時宿泊(2週間)、中期的居住(1年)	39万円/人
		農産物廃棄損失	農業の年間粗生産額の半分(休耕時期は被害なし)	市区町村統計
		漁業禁止による損失	近隣府県で3ヶ月間の漁業禁止	市区町村統計
	人的資本の 所得損失	一定期間の非就業	避難・強制移住・農業禁止の対象者は1年間非就業	市区町村統計
		転職に伴う賃金低下	1年後に再就職し、賃金は30%下落	市区町村統計
	物的資本の 所得損失	土地・設備の所得損失	1480[kBq/m ²]以上の汚染地は50年間の居住禁止	市区町村統計
農地からの所得損失		185[kBq/m ²]以上の汚染地は10年の農業禁止措置	市区町村統計	
人的 被害	急性障害	軽微な急性障害	半数発症線量 0.75[Sv]、90%発症線量 1.00[Sv]、治療費	3.0万円/件
		重篤な急性障害	半数発症線量 2.00[Sv]、90%発症線量 2.50[Sv]、治療費	74.0万円/件
		急性死	半数致死線量 4.00[Sv]、90%致死線量 6.00[Sv]、VSL	45074万円/件
	晩発性障害	ガン死	0.0500[件/人 Sv]、ICRP の 1991 年勧告に準ずる、VSL	45165万円/件
		治療される発ガン	0.1235[件/人 Sv]、ICRP の 1991 年勧告に準ずる、治療費	196.1万円/件
		遺伝的障害	0.0100[件/人 Sv]、ICRP の 1991 年勧告に準ずる、治療費	75.7万円/件

詳しくは巻末付録を参照

3. 結果とその解釈

それぞれの風向に対する詳細な結果については、集約表 1～5 を参照していただき、ここでは代表的な結果について検討を加える。

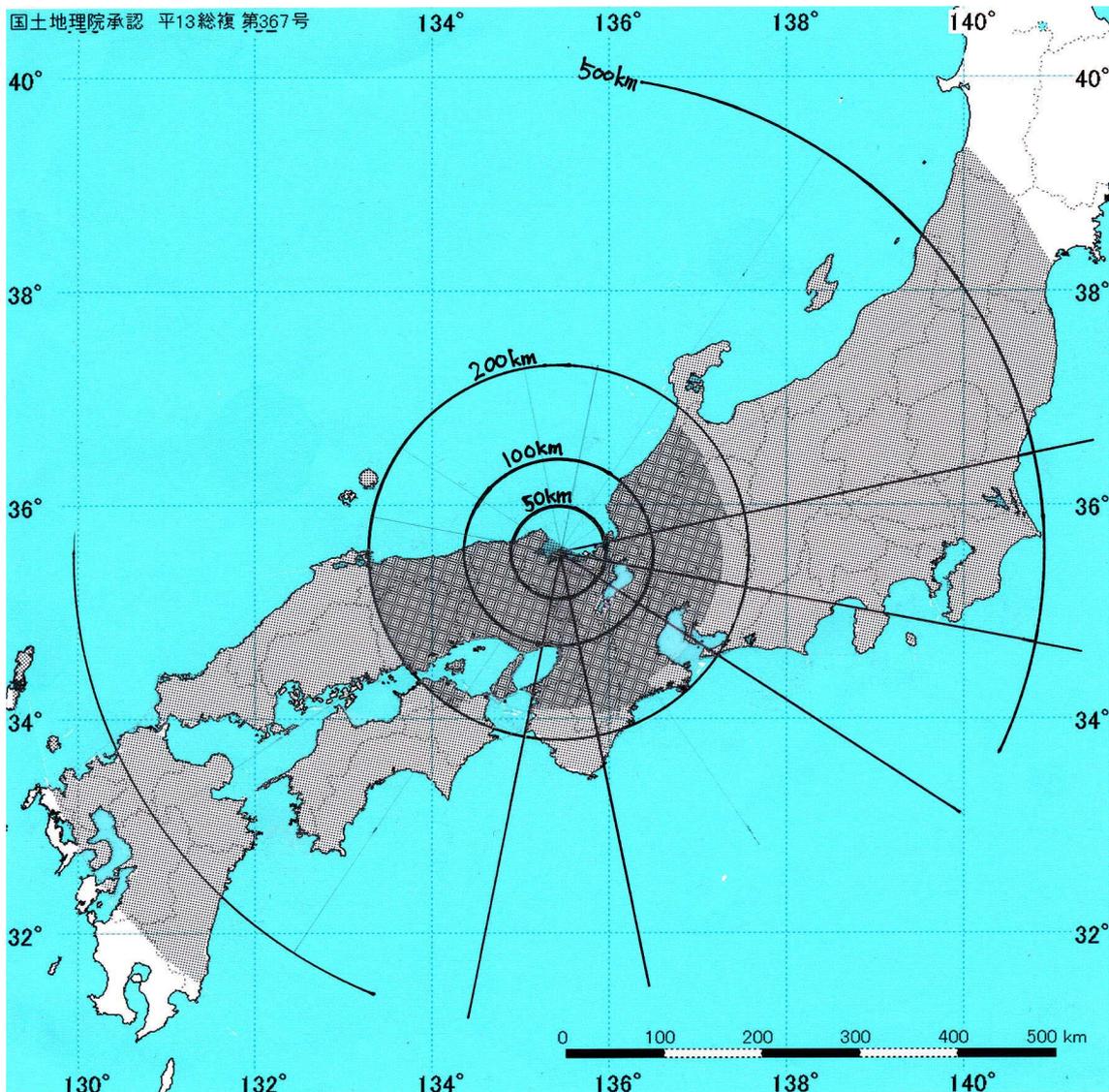
大事故によって、風下 160～200km の範囲まで居住禁止となり、農業が禁止される地域は風下 500km を超える。これは、例えば西風の場合には岐阜県の大部分まで居住禁止となり、千葉県まで農業が禁止されることを意味する(図 1)。

半径 10km の住民は(風下でなくとも)2 日程度で、セシウムの汚染度が 148 万 Bq/m² の地域では 2 週間程度で全員が避難するが、避難までに摂取した放射性物質によって、多くの住民が急性放射性障害で命を落とす。最悪の場合は風下に人口の多い地域が近接している場合で、北西の風のさい 17072 人が、北東の風では 11871 人が死亡すると予想されるが、それ以外の風向では大幅に少なくなり、海側に向けて風が吹く(南東～南西の風の)場合には急性障害は発生しない(図 2)。

発ガンは発電所からはるかに遠距離でも、長期間にわたって発生してゆくので、人数は多くなる。ここでは、高汚染地域から避難した住民の体内被曝による発ガンと、居住が認

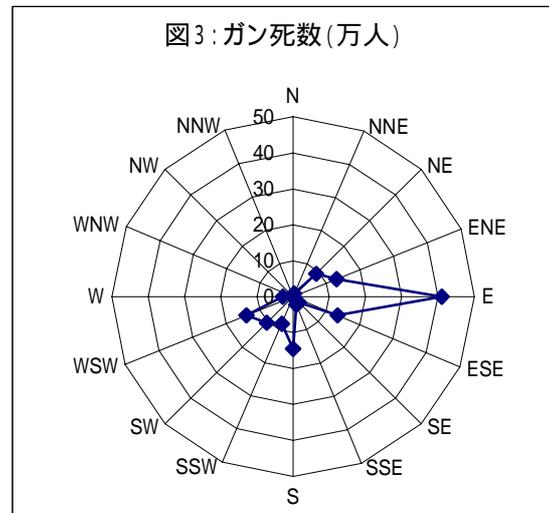
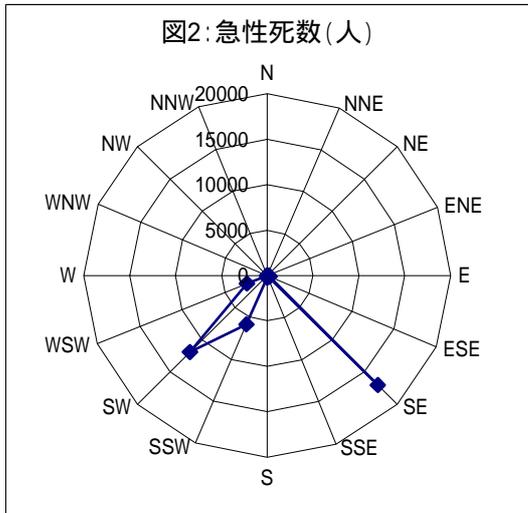
められる遠距離の汚染地域における体内・体外被曝による発ガンが計算に含まれる。最も多くなるのは東京・神奈川まで汚染される西風の場合(約 41 万人)と、京都・大阪の大都市が風下となる北風の場合(約 14.5 万人)である。本研究の推計値は、高濃度汚染地の住民は早期避難を仮定しているためガン死数が抑えられている⁴。ここでも、人口の少ない方向や海側に放射性物質が流れる場合には被害はほとんどなくなる(図 3)。

図 1：被害を受ける地域の範囲



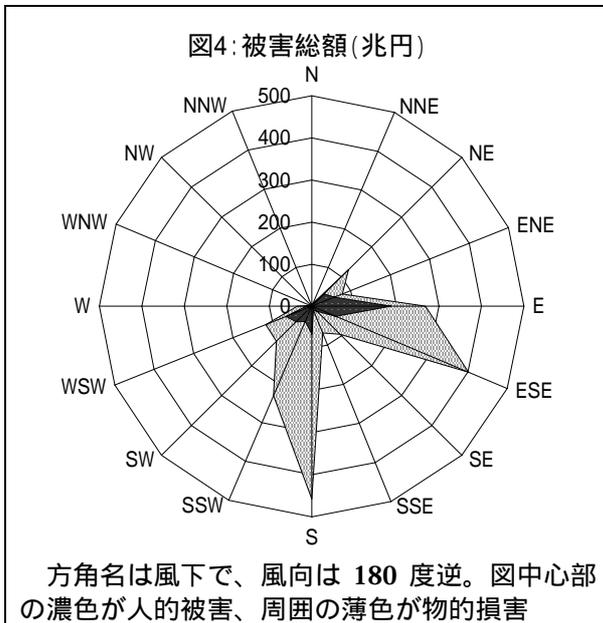
濃いアミは居住禁止、薄いアミは農業禁止を示す

⁴ 瀬尾(1995)では大飯 2 号炉の事故に対し、近畿地方で 500 万人規模のガン死を予想した。ガン死リスク係数(A-4-2 参照)と被曝時間・地面遮蔽係数の違いが結果に現れている。



方角名は風下を示す。風向は 180 度逆の方角である

居住禁止となる地域が広くなるにつれ、またそこに大都市や生産拠点がふくまれるにつれ、物的損害の総額は大きくなる。北風の場合には京都・大阪が、また西北西の風の場合には名古屋周辺まで居住禁止となるため、損害額は 391.3 兆円および 340.2 兆円ときわめて大きい金額となる。これは推計対象期間である 50 年間の生産損失額として求めたものであるが、固定資産価値の損失としては事故直後に一斉に発生すると思われる。



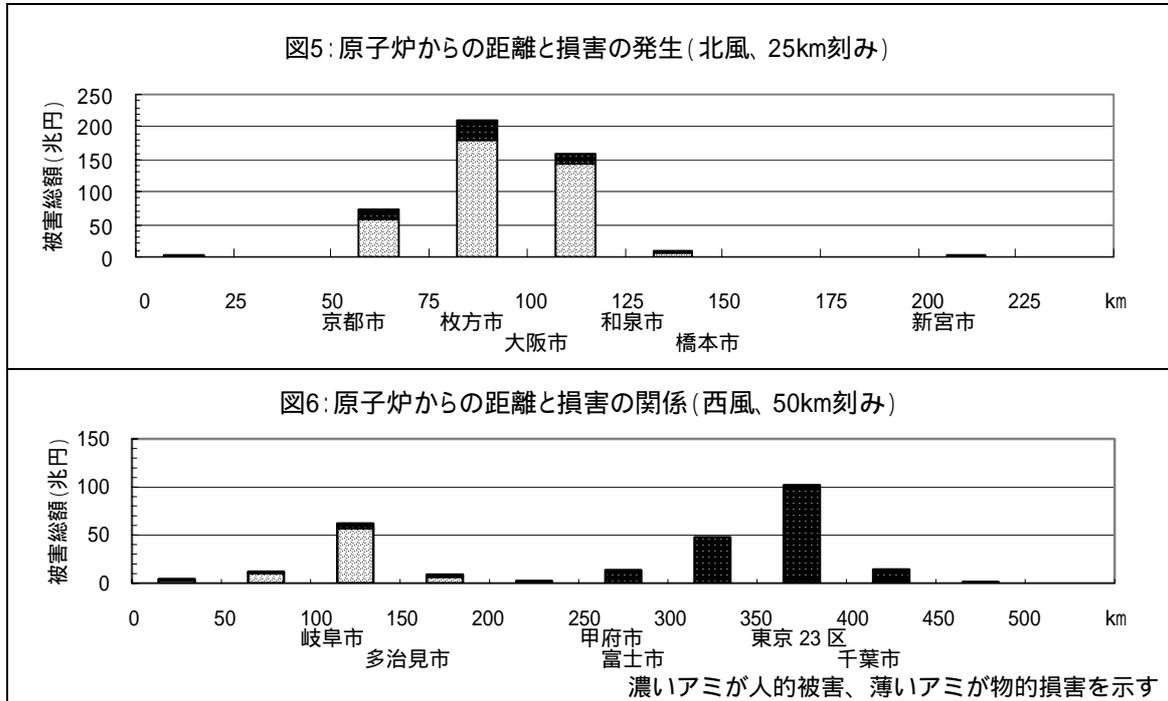
物的損害の総額と、人的被害を金額化したものを積み重ねてグラフ化したものが図 4 である。図の中心部で濃く示した部分が人的被害、薄く示した部分が物的損害であり、中心からグラフ先端までの距離が、その合計としての総被害額を示す。各方角の損害額を風向頻度に基づいて加重平均した平均損害額は約 103.7 兆円(うち物的損害 79.4 兆円)となる。これは、原子力損害賠償責任保険の保険額 600 億円の約 1728 倍にあたる。

方角名は風下で、風向は 180 度逆。図中心部の濃色が人的被害、周囲の薄色が物的損害

早期避難を含む基本的な想定のもとでは、物的損害の方が人的被害よりも大幅に

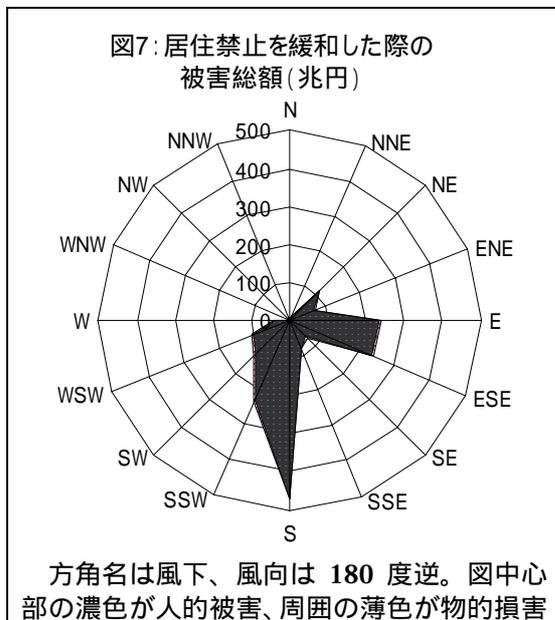
大きい。例えば、京都・大阪を含む地域が居住禁止となり損害額が最大となる北風の場合、被害総額 457.8 兆円の内訳は、人的被害 66.5 兆円、物的損害 391.3 兆円である。距離(主要都市)と損害発生の関係を示したものが図 5 および図 6 である。北風の場合を示した図 5 では、京都市・大阪市など人口密度の高い地域を居住禁止にすることによる経済的損失が

大きいことがわかる。西風の場合を示した図6では、居住禁止となる200km以内の範囲で物的損害が大きく、遠距離でガン死等による人的損害が大きく発生することがみてとれる。



4. 前提の変更による結果の変化に関する考察

4-1 居住禁止措置の緩和



物的損害が居住禁止措置によって発生することから、160~200kmの居住禁止対象を縮小すれば物的損害を減らすことができる。しかし他方で、高濃度の汚染地まで人々の居住を認めることは晩発性障害の大幅な増加を容認せねばならない⁵。仮に急性死の発生限界距離を目安にして、半径50kmまで居住禁止地域を縮小した結果を示したものが図7である。これを見ればわかるように、この措置によって物的損害を数兆円規模まで減らすことができる(グラフでは周囲にほとんど見えないほどに示される)が、晩発性障害による人的被害が大幅に増加し、ほとんどの方角で被害総額はあまり変わらない。

つまり、居住禁止の距離を決定する際に物的損害と人的被害のトレードオフ関係が存在す

⁵ 例えば50kmの距離にいる住民は長期的に約5Svの被曝を被る。この場合、住民の4人に1人がガン死する計算になる。現実的にこの距離まで居住を許可することは考えにくい。

るわけである。

例えば、京都・大阪が被害を受ける北風の場合、居住禁止を緩和する結果、物的損害は2.7兆円まで引き下げることができるが、人的被害は466.9兆円まで増加し、被害総額は469.6兆円と僅かに増加することになる。名古屋地域が被害を受ける西北西の風の場合に、物的損害の減少が人的被害の増加を上回るが、首都圏など主に遠距離で晩発性障害が発生する西風の場合には「改善効果」はほとんど得られない。

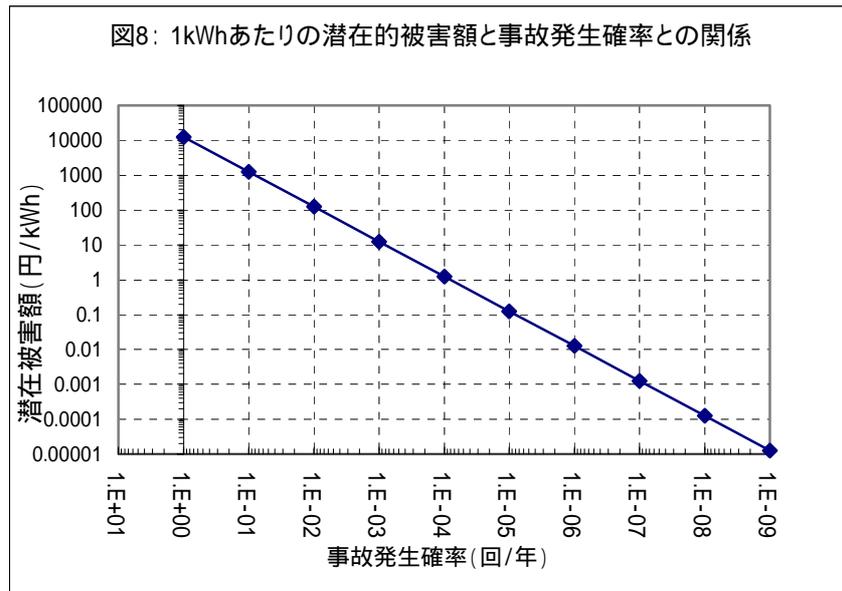
4-2 割引率の変更

上の結果は割引率をゼロとして計算していた。しかし、晩発性障害による人的被害と、物的損害は将来の一定期間にわたって発生するため、割引率を考慮しなければ適切な評価とみなされないかもしれない。ここでは一種の感度分析として、3%の割引率を想定して計算を行った。

各風向について加重平均した被害総額でみた場合、人的被害は約24.3兆円から約12.5兆円と半減し、物的損害は約79.4兆円から約49.3兆円へと、約38%減少することになる。総被害額は約103.7兆円から約61.8兆円へと、4割の減少となる(結果は集約表5を参照、計算上の仮定については巻末A-10を参照)。

5. 電力1kWhあたりの潜在的被害額と、賠償措置の考え方

この研究は確率論的安全評価(PSA)を用いて、1kWhあたりの潜在的被害額(「外部費用」とも呼ばれ、純保険料とも関係する)を積極的に推定しようとするものではない。しかし、推計された被害総額と対象とする発電所の年発電量を用いて、事故発生確率と1kWhあたり潜在的被害額との関係をグラフに表現することは容易に可能である。



大飯3号炉の出力は118万kWであり、年間の設備利用率を80%とすれば一年間に82.7

億 kWh の電力を生産できる計算になる。従って、全風向の平均的な総被害額である約 103.7 兆円をこの発電量で割れば、年当たり事故確率が 100% の場合に 1.25 万円/kWh の潜在的被害額となる。対象とする発電所がこの一件の場合、発電量に応じてこの金額を積み立てておけば、一年の最後の瞬間にこの事故が起こる場合に全額の損害賠償が可能となる。年事故確率が 10 分の 1 ずつ下がるごとに、潜在被害額も 10 分の 1 ずつ低下する（図 8）。事故確率が年あたり一千万分の 1 回(1E-07)の時には潜在的被害額が 0.00125 円/kWh とほぼ無視しうる水準となる。この場合も、一千万年目の最後の瞬間に事故が起こった場合に積み立てた額で全額の賠償が行える。

一般には総被害額に事故確率をかけたこの金額を「外部費用」として発電単価に上乗せして、他の電源と比較する手法が用いられているが、ここに疑問が生じる。PSA の信頼性の問題については第一節で述べたのでここではさておき、たとえ「外部費用」が同じでも、頻繁に発生するが被害額の小さいものと、めったに発生しないが損害額が極めて大きいものを同等と評価できるのだろうか？また、保険の論理では、潜在被害額に相当する保険金に対して、それを発生確率で割った純保険料（上の「外部費用」に対応）で保険会社の収支が均等することになるが、低頻度・大損害を特徴とする原子力事故の場合にそれが成り立つのであろうか？現在の原子力損害賠償制度の下で、保険金額がわずか 600 億円で潜在的被害額のごく一部しかカバーされていない事実は、リスク管理のプロである保険業界の懸念が制度に反映しているものであり、同じ懸念を国民が抱くことは当然のように思われる。その意味で、国民は「外部費用」の数値だけでなく総被害額に関する情報も与えられた上で、エネルギー選択に関する議論への参加を求められるべきであろう。

いずれにせよ、原子力を利用してゆく上では、潜在的な被害者が万が一の時に十分な補償を受けられる仕組みが整備されていなければ問題である。しかし保険では制度の出発段階において賠償のための十分な積み立てが存在せず、もし早い時期に大きな事故が起これば対応できない。十分な積み立てを早期に実現するために、仮に 10 年で原子力発電全体への料金上乗せを通じて 103.7 兆円を集めるとすれば、近年の年間原子力発電量が約 3200 億 kWh であるから、原子力発電単価はキロワット時あたり約 32.4 円上昇することとなる。

例えば米国では、万一の事故に対し原子力事業者が事後的に賠償責任額を分担する事業者間相互扶助制度があるが、このような仕組みは現実的である⁶。また、原子力リスク債券（原子力事業者が債券を発行して損害賠償額を事前的に集め、発電所が安全に運転される限り配当を支払い、事故が起これば元本を没収する）のような金融的手法も検討に値する。

6. 結び

⁶ 米国では、事前的強制保険（保険金額 2 億ドル）に加えて、遡及賦課保険料の事後拠出を行う事業者間相互扶助制度（一基 8390 万ドル × 110 基 = 92.3 億ドル）がある（卯辰 2002、p.78）。本研究の総被害額試算に比べれば 94.3 億ドル（約 1.1 兆円）は総額としては十分と言いがたいが日本の 600 億円よりはるかに大きく、制度的側面は十分に参考にしうる。

大型原子力発電所の大事故が現実化すれば、早期の避難を行っても最大 1.7 万人もの住民が急性障害で死亡し、晩発性のガンで死亡する住民も最大 40 万人に昇る。経済的には平均して約 103.7 兆円、最大約 457.8 兆円もの人的被害・物的損害が長期にわたって発生することになる。最悪の場合での年間 GDP に匹敵する被害額は、前半で示したドイツの評価とも対応する。このような潜在的危険性は、日本が原子力を推進してきた上で十分に考慮されてこなかったと思われる。日本の原子力損害賠償責任保険の金額は、現在 600 億円に限られているが、この金額は 103.7 兆円の 1728 分の 1 で、457.8 兆円に比べると 7630 分の 1 に過ぎず、万一の事態が生じた場合には、ほとんど被害者は補償を受けることができない。今後も原子力を利用してゆくのであれば、損害保険以外にも、電力会社間の事後責任分担制度や原子力リスク債券などを活用して、潜在的な被害者に対する補償に備えた制度の再構築が早急に求められる。また、それが不可能であるとするならば、大事故が起こる確率は無視しうるほど低いとする考え方自体が、大きな疑念に直面することになるおそれがある。

集約表 1: 人的被害発生数と被害額

風向	風速	風向頻度	住禁距離	軽微障害	重篤障害	急性死	非致死癌	ガン死	遺伝障害	被害額
	m/s	%	km	人	人	人	人	人	人	十億円
南	1.9	0.015	184	0	0	0	0	0	0	0
南南西	2.0	0.017	181	5	0	0	23553	9530	1908	4,352
南西	1.9	0.020	184	937	0	0	223656	90548	18108	41,348
西南西	2.0	0.020	181	49448	15	16	318615	128986	25796	58,909
西	2.3	0.035	173	22288	3747	202	1012668	409996	81995	187,316
西北西	2.5	0.060	168	20598	4461	209	330757	133913	26784	61,248
北西	2.8	0.075	161	39795	33263	17072	65765	26623	5412	19,864
北北西	2.1	0.063	179	3463	0	1	58828	23818	4767	10,877
北	2.5	0.077	168	6159	2698	233	359214	145423	29080	66,513
北北東	2.2	0.053	176	13700	7040	5825	201298	81494	16330	39,840
北東	1.3	0.014	197	26000	12121	11871	256352	103785	20754	52,744
東北東	1.1	0.013	198	96655	51946	2405	344492	139468	27900	64,809
東	1.3	0.050	197	18178	2	3	68651	27797	5555	12,695
東南東	2.0	0.276	181	2673	1	1	4137	1676	337	766
南東	2.2	0.174	176	0	0	0	0	0	0	0
南南東	1.9	0.031	184	0	0	0	0	0	0	0
平均		1.000		10769	4351	1838	127032	51430	10294	24,315

無風の場合を除く全体を 100%とし、風向頻度で加重平均をとったもの

集約表 2: 物的損害額

風向	頻度	避難費用	人的資本 所得損失	物的資本 所得損失	農産物 損失	農業労働 所得損失	農業資本 所得損失	漁業 被害額	物的損害 総額
方位	比率	十億円	十億円	十億円	十億円	十億円	十億円	十億円	十億円
南	0.015	16	298	1,400	1	3	7	11	1,735
南南西	0.017	31	593	2,784	13	15	41	11	3,488
南西	0.020	809	17,013	61,005	406	532	1,437	11	81,211
西南西	0.020	136	2,781	12,382	673	1,045	2,824	11	19,851
西	0.035	662	14,360	61,545	683	1,100	2,973	0	81,322
西北西	0.060	2,768	66,728	268,669	279	472	1,277	0	340,193
北西	0.076	743	15,002	60,549	118	123	333	0	76,869
北北西	0.064	482	9,733	47,451	32	48	129	0	57,875
北	0.078	4,244	97,849	288,590	93	147	398	0	391,321
北北東	0.053	2,313	50,455	137,259	105	191	515	0	190,839
北東	0.014	769	16,228	45,799	360	505	1,365	0	65,026
東北東	0.013	572	11,576	37,849	315	409	1,106	0	51,827
東	0.050	248	4,861	15,988	78	104	282	11	21,572
東南東	0.278	28	566	2,316	4	8	20	11	2,952
南東	0.175	16	298	1,400	1	3	7	11	1,735
南南東	0.031	16	298	1,400	1	3	7	11	1,735
平均		792	17,844	60,177	101	154	416	6	79,411

無風の場合を除く全体を 100%とし、風向頻度で加重平均をとったもの

集約表 3: 居住禁止措置を緩和した場合の人的被害発生数と被害額

風向	風速	風向頻度	住禁距離	軽微障害	重篤障害	急性死	非致死死	ガン死	遺伝障害	被害額
方位	m/s	比率	km	人	人	人	人	人	人	十億円
南	1.9	0.015	50	0	0	0	0	0	0	0
南南西	2.0	0.017	50	8	0	0	33521	13566	2714	6,195
南西	1.9	0.020	50	1500	0	0	579366	234566	46913	107,113
西南西	2.0	0.020	50	55896	30	23	401438	162531	34449	74,232
西	2.3	0.035	50	22536	3747	202	1263323	511478	102296	233,657
西北西	2.5	0.060	50	20982	4461	209	1269035	513780	102757	234,711
北西	2.8	0.075	50	39891	33263	17072	315384	127685	25618	66,015
北北西	2.1	0.063	50	4383	0	2	411656	166662	33334	76,106
北	2.5	0.077	50	7920	2698	233	2525018	1022275	204455	466,921
北北東	2.2	0.053	50	14086	7040	5825	1231743	498677	99764	230,344
北東	1.3	0.014	50	26368	12121	11871	633598	256670	51335	122,557
東北東	1.1	0.013	50	98121	51946	2405	528850	214099	43185	98,891
東	1.3	0.050	50	20409	2	3	199330	83107	16620	37,940
東南東	2.0	0.276	50	2885	1	1	17840	7223	1446	3,299
南東	2.2	0.174	50	0	0	0	0	0	0	0
南南東	1.9	0.031	50	0	0	0	0	0	0	0
平均		1.000		11361	4351	1838	483864	196020	39256	90,341

無風の場合を除く全体を 100%とし、風向頻度で加重平均をとったもの

集約表 4: 居住禁止措置を緩和した場合の物的損害額

風向	頻度	避難費用	人的資本 所得損失	物的資本 所得損失	農産物 損失	農業労働 所得損失	農業資本 所得損失	漁業 被害額	物的損害 総額
方位	比率	十億円	十億円	十億円	十億円	十億円	十億円	十億円	十億円
南	0.015	16	298	1,400	1	3	34	11	1,735
南南西	0.017	16	298	1,400	13	15	207	11	1,795
南西	0.020	17	315	1,479	406	532	7,184	11	4,195
西南西	0.020	42	802	3,767	673	1,045	14,118	11	9,163
西	0.035	27	524	2,561	683	1,100	14,866	0	7,868
西北西	0.060	16	298	1,400	279	472	6,385	0	3,743
北西	0.076	30	577	3,099	118	123	1,664	0	4,279
北北西	0.064	16	298	1,400	32	48	646	0	1,923
北	0.078	19	375	1,691	93	147	1,990	0	2,724
北北東	0.053	26	507	2,116	105	191	2,575	0	3,460
北東	0.014	37	741	3,031	360	505	6,823	0	6,038
東北東	0.013	55	1,120	4,214	298	387	5,235	0	7,121
東	0.050	27	545	2,244	78	104	1,410	11	3,292
東南東	0.278	17	324	1,488	4	8	102	11	1,871
南東	0.175	16	298	1,400	1	3	34	11	1,735
南南東	0.031	16	298	1,400	1	3	34	11	1,735
平均	1.000	20	392	1,808	101	154	2072	6	2,893

無風の場合を除く全体を 100%とし、風向頻度で加重平均をとったもの

集約表 5: 被害の総額 (割引率 0% および 3% の場合の比較)

	割引率 0%			割引率 3%		
	人的被害計	物的損害計	被害計	人的被害計	物的損害計	被害計
	十億円	十億円	十億円	十億円	十億円	十億円
南	0	1,762	1,762	0	1,071	1,071
南南西	4,352	3,654	8,006	2,174	2,261	4,435
南西	41,348	86,958	128,306	20,660	55,689	76,349
西南西	58,909	31,146	90,055	29,439	23,236	52,675
西	187,316	93,215	280,531	93,603	60,965	154,568
西北西	61,248	345,301	406,549	30,612	211,646	242,258
北西	19,864	78,200	98,064	12,741	48,053	60,794
北北西	10,877	58,392	69,269	5,436	35,050	40,486
北	66,513	392,913	459,426	33,245	247,399	280,644
北北東	39,840	192,899	232,739	21,142	123,094	144,236
北東	52,744	70,485	123,229	29,015	46,485	75,500
東北東	64,809	56,251	121,060	32,944	36,316	69,260
東	12,695	22,700	35,395	6,344	14,526	20,870
東南東	766	3,034	3,800	383	1,877	2,260
南東	0	1,762	1,762	0	1,071	1,071
南南東	0	1,762	1,762	0	1,071	1,071
平均	24,315	81,072	105,387	12,475	50,794	63,269

無風の場合を除く全体を 100% とし、風向頻度で加重平均をとったもの

付録 A: 原子力発電所事故評価の考え方

A-1. 計算プログラムと計算の概要

被害住民の被曝量や土地汚染に関しては京都大学原子炉実験所の故・瀬尾健氏の開発した SEO コード(NEC PC-9801 シリーズ用)を用いて計算する。原子炉内の核分裂生成物蓄積量や放出時間・放出量、風向・風速・大気安定度、周辺の地理的条件などの入力条件から、風下地域の放射能汚染度や、被害住民の被曝量、急性死者・ガン死者数の推計等を行うことができる。原子力発電所を中心とする 16 方位の全方向について個別に評価を行った。本研究においては、SEO コードで罹患者数も計算できるように改造した。SEO コードに関して詳しくは、小出・瀬尾(1997)あるいは瀬尾(1995)を参照。

物的損害については、付近住民の緊急避難に要するコストの他、SEO コードから出力される風下距離と土地汚染度の関係を受けて、一定期間の居住禁止区域や農業禁止区域の範囲を定め、これらの措置によって失われる付加価値額を求め、これを損害額とした(A-6)。人的被害に関しては、SEO コードの死亡・罹患者の結果を、確率的生命価値や標準的医療費を用いて金銭換算した(A-5)。最終的には、16 方位の被害額を個別に示した後、風向頻度を用いて加重平均の被害額も算出した。これらの計算は Windows 用の Microsoft Excel を用いて行った。

人的被害・物的損害ともに、計算対象期間は事故後 50 年とする。これは、SEO コードの人的被曝量計算が 50 年を基準に行われているためである。

A-2. SEO コードに入力すべき基本的前提条件

SEO コードで放射能被害を計算する際には、発電所名(位置・出力規模・放射性核種蓄積量に関連)、事故類型(どのような原因から炉心溶融が生じ、外部にどの核種がどれだけ放出されるかを示したもので、SEO コードでは米国の WASH-1400 を参考に 15 類型が用意されている)、風速・大気安定度(放射性物質の拡散に関係)、滞在時間(被害住民の域外避難までに要する時間で、滞在中は外部被曝を受ける)、地面遮蔽係数(屋内の放射線が屋外に比べどれだけ弱まるかを示す)などの前提条件の入力が必要である。これらに合理的な仮定を与える考え方を以下に示す。

A-2-1. 原子力発電所名と事故形態

近畿地方で最大の大飯 3・4 号基(1180MW)を対象に計算する。近年新しく建設される原発はコストダウンのため大型化を進め、1300MW を超えるクラスが主流であるが、近畿地方に実在の原発としては、それにもっとも近いものである。事故類型は、大型の事故としては比較的典型的な PWR-2 型を用いる。これは「炉心冷却系が故障して炉心溶融。さらに格納容器スプレイトと熱除去系も故障するため、格納容器系の圧力上昇を抑えることが出来ず、ついには格納容器の耐圧限度を突破して破裂する」という事故経路をたどる(瀬尾 1995, p.176)。表 A-1 に示すように、PWR-2 型の主要核種の放出量は、チェルノブイリ事故の放出量推計の範囲内にほぼ収まるものである。

表 A-1：本研究とチェルノブイリ事故における放射能蓄積量・放出量比較（万キュリー）

	半減期	WASH-1400 内蔵量	チェルノ ブイリ 内蔵量	WASH-1400 放出量 PWR 2 型 (放出率%)	チェルノブイリ 放出量・推定 (放出率%)
ヨウ素 131	8.05 日	8500	3650	有機 59.5 (0.7) 無機 5950 (70.0)	730 - 2540 (8.6 - 29.9)
セシウム 137	30.2 年	470	770	235 (50.0)	100 - 435 (13.0 - 56.5)
ルテニウム 103	39.3 日	11000	11000	220 (2.0)	72 - 1040 (0.7 - 9.5)
ストロンチウム 90	28.8 年	370	550	22.2 (6.0)	22 - 53 (4.0 - 9.6)
ジルコニウム 95	64 日	15000	11900	60 (0.4)	23 - 400 (0.2 - 3.4)
セリウム 144	284 日	8500	8570	34 (0.4)	14 - 460 (0.2 - 5.4)
プルトニウム 241	--	340	470	0.031 (0.4)	14 - 25 (3.0 - 5.3)

代表的核種のみ。参考：今中(1996)、小出・瀬尾(1997)、US-NRC(1975), Appendix IV

A-2-2. 風速・大気安定度

これらの条件は、福井県のホームページ「大気汚染情報総合メニュー」における、風速別風向頻度表を参考に定めた。風速は、大飯原発に最寄りの小浜観測所における、2000年11月～2002年10月の観測実績から、16方位それぞれの年間平均風速を用いた(表 A-2、左から3列目)。

表 A-2: 風下方向の方角・風速(2000.11～2002.10、観測局:小浜)と汚染地距離

風向	風向値 (度)	年平均 風速 (m/s)	当該風向 頻度 (%)	居住禁止 距離(km) 148 万 Bq/m ²	農業禁止 距離(km) 18.5 万 Bq/m ²	風下の 方角
N	180.0	2.5	7.7	168	594	S
NNE	202.5	2.2	5.3	176	594	SSW
NE	225.0	1.3	1.4	197	551	SW
ENE	247.5	1.1	1.3	198	522	WSW
E	270.0	1.3	5.0	197	551	W
ESE	292.5	2.0	27.6	181	593	WNW
SE	315.0	2.2	17.4	176	594	NW
SSE	337.5	1.9	3.1	184	591	NNW
S	000.0	1.9	1.5	184	591	N
SSW	022.5	2.0	1.7	181	593	NNE
SW	045.0	1.9	2.0	184	591	NE
WSW	067.5	2.0	2.0	181	593	ENE
W	090.0	2.3	3.5	173	596	E
WNW	112.5	2.5	6.0	168	594	ESE
NW	135.0	2.8	7.5	161	589	SE
NNW	157.5	2.1	6.3	179	594	SSE

計算の際には、事故後は風向が変化しないと仮定する。大気安定度は、同じホームページの

「時刻別平均値表」を用い、同期間の気象三国観測局のパスキル大気安定度データを参考に、年間頻度の大きいD型(地表の空気があまり上空へと拡散しない状況)を想定する。以上の入力値の他、16方位別の汚染評価が隙間なく行えるように(放射能拡散角度がちょうど 22.5° となるように)、拡散角度に関連する放射能放出時間のパラメタを調整した(SEOコードでは本来、事故類型に応じて拡散角度が変化する。ちなみに、これより広い角度で汚染が拡散すると、住民の多くが健康被害を受けたり、土地が高濃度で汚染される距離は短くなると考えられる)。

A-2-3. 滞在時間と汚染地距離

放射能が日本海側に流れない場合は、風下にかかわらず半径10km以内の地域では平均2日で全員が域外に避難(滞在時間2日)し、風下でセシウムの地表汚染が148万ベクレル/ m^2 (40キュリー/ km^2)を超える地域は平均15日で全員避難(滞在時間15日)、それ以遠はそれまでどおり居住が認められる(滞在時間50年=18263日)と想定する。

ちなみに、政府の防災指針『原子力施設等の防災対策について』によって、原子力防災対策を重点的に充実すべき地域(EPZ)に含まれる地域は8~10kmとされ、住民の被曝を抑制する措置が予定されている。大事故の場合、域内の住民は一刻も早く域外へ移動するのが望ましいが、防災指針における避難は必ずしも域外への移動ではなく避難所への集合を意味する。チェルノブイリ事故時やJCO事故時の避難・退避措置の検討・決定状況を参考に考えると、事故発生から主務大臣への通報を通じ、対策本部が設置されるまでに数時間の遅れが生じること、強制避難が必要との政策的判断を行い、バス等の交通手段を手配するのにさらに時間が経過するとみられること、実際の避難には交通上の混乱が生じうるおそれがあることから、好ましい条件下でも全員避難を完了するまでに2日程度の時間がかかると考えられる。この場合、住民は連絡の遅れなどから3割の時間いつも通りの生活を行い、残りの七割を遮蔽度の高い避難所で避難を待つと仮定する。

10km以遠はEPZに含まれないが、本研究で想定する規模の原発事故では相当の距離まで深刻な放射能汚染が生じる。事故ののち風下地域での放射線測定などの結果、汚染の実態が明らかとなるにつれて、汚染度の高い地域では全員避難の措置をとる必要が生じるであろう。半径10km圏に加え、ここではセシウム148万ベクレル/ m^2 (40キュリー/ km^2)を超える汚染値を全員避難の対象とし、実態解明から避難の政治的決定、受け入れ先の確保、交通手段の準備と避難完了までには2~3週間程度(平均15日程度)の時間がかかると想定した。この場合、半分の住民は通常通りの生活を行うが、もう半分の住民は遮蔽条件のよい避難所で避難を待ち、外出や経済活動は最小限にとどめると仮定する。セシウム148万ベクレル/ m^2 の制限基準は旧ソ連がチェルノブイリ事故被災地に対して設定したものを参考にした。旧ソ連ではこれより汚染が低ければ、住民は生涯被曝線量(70年を想定)が0.35シーベルト[Sv]を超えないとされた。ただしこれも国際放射線防護委員会(ICRP)や世界保健機関(WHO)の年間被曝制限値(1mSv/年)やベラルーシ共和国の避難基準(15キュリー/ km^2)に照らせば非常に高い。ここでは、避難対象を広げると居住禁止面積が急激に拡大するためとして、政策的な判断としてこの範囲に制限するものとする。実際には、この水準でも境界線が200km近い距離に達する(表A-2)。これ以遠の汚染地域では住民はこれまで通りの

居住を続けるものと想定する⁷。

A-2-3. 地面遮蔽係数

SEOコードの想定では、放射能雲からの被曝はほとんど防ぐことができない(事故発生から、住民に実態が知らされ、コンクリート製建物に退避するまでに、数時間が経過し、放射能雲が通過してしまうと考えられるため)が、地面に沈着した放射性物質からの被曝は、建物によってある程度遮蔽できるとされている。表 A-3 の低減係数より、平均的な生活パターンと、建築構造の異なる住宅の比率を用いて、以下に示すような論理で遮蔽係数を 0.37 と設定した。

表 A-3:沈着した放射性物質のガンマ線による被ばくの低減係数

場所	低減係数
理想的な平滑な面上1m(無限の広さ)	1.00
通常土地の条件下で地面から1mの高さ	0.70
平屋あるいは2階建ての木造家屋	0.40
平屋あるいは2階建てのブロックあるいは煉瓦造りの家屋	0.20
その地下室	0.10 以下
各階が約 450 ~ 900 m ² の面積の3 ~ 4階建て建物1階及び2階	0.05
その地下室	0.01
各階の面積が約 900 m ² 以上の多層建築物上層	0.01
その地下室	0.005

原子力安全委員会『原子力施設等の防災対策について』

具体的には、「社会生活基本調査(平成 8 年度)」を参考に、平均的な日本人の時間利用比率を、在宅時間を 7 割、通勤等の外出時間を 1 割、在職・在学等の時間を 1 割と想定する。在職・在学等の時間は三等分し、それぞれ屋外、自宅と同じ条件、遮蔽条件のよいコンクリート建築内で過ごす想定とする。他方、「住宅・土地統計調査(平成 10 年度)」に基づいて、住宅の構造を調べ比率を明らかにした(表 A-4)。建物の被曝低減係数は、表 A-3 を参考に木造建築 0.4、一戸建て・長屋非木造 0.2、共同住宅非木造 1 ~ 2 階 0.05、共同住宅非木造 3 階以上 0.01 とする。これはおそらく、屋内に放射性物質が侵入していない状況に基づく仮想的な値で、過小評価につながるおそれがあるが、このまま用いることにする⁸。低減係数を加重平均することによって、地面遮蔽係数 0.3767 を導出したが、小数第三位以下を切り捨てて 0.37 とする。

また仮定によれば、10km 圏内で域外避難を待つ住民が 7 割の時間を遮蔽条件のよい避難所(遮蔽係数 0.01)で過ごすため地面遮蔽係数は約 0.12、148 万ベクレル/m²以上の風下汚染地域で域外避難を待つ住民の半分が遮蔽条件のよい建物で過ごすよう心がけるため、同様の計算から

⁷ 実は 150km 以上離れても住民の被曝は大きい。例えば風向 135 度のとき、161km の距離でも 50 年間で 0.70 Sv の被曝となる(旧ソ連の 0.35Sv と計算方法はおそらく異なるが同じオーダーであることがわかる)。ICRP(1990)のガン死リスク係数(500 人/万人 Sv)に基づくと、人口の 3.5%がガン死する計算となる。

⁸ ちなみに、チェルノブイリ周辺での実測値はこれより高く、建物の類別はないが、戸内と戸外の放射線量の比は 13 地点で 0.25 ~ 0.72、単純平均は 0.47 である (Malko 1998)

地面遮蔽係数は約 0.19 とする。

表 A-4:住宅構造別比率(平成 10 年)および被曝低減係数

	一戸建・長屋 木造	一戸建て・長屋 非木造	共同住宅 非木造 1~2 階	共同住宅 非木造 3 階以上	合計および 加重平均
戸数(千戸) (百分比)	28275 (64)	2230 (5)	4255 (10)	9162 (21)	43922 (100)
被曝低減係数	0.4	0.2	0.05	0.01	0.3767

$$\begin{aligned} & \text{自宅低減係数} \times \text{在宅時間} + \text{無遮蔽条件} \times \text{外出時間} + \text{在職在学時低減係数} \times \text{在職・在宅時間} \\ & (0.4 \times 0.64 + 0.2 \times 0.05 + 0.05 \times 0.10 + 0.01 \times 0.21) \times 0.7 + 1.0 \times 0.1 \\ & + \left[1.0 \times \frac{1}{3} + (0.4 \times 0.64 + 0.2 \times 0.05 + 0.05 \times 0.10 + 0.01 \times 0.21) \times \frac{1}{3} + 0.01 \times \frac{1}{3} \right] \times 0.2 \\ & \approx 0.3767 \end{aligned}$$

A-3. 農作物・畜産物の廃棄、農業の放棄

SEOコードでは、内部被曝の推計には事故時に吸入した放射性物質からの被曝を用い、食物摂取による被曝量は、事故後の対応によって大きく変化しうるためこれを捨象している。これは、内部被曝に関して著しい過小評価につながるものであるが、これと整合性をとるには、農作物に対し厳しい放射能汚染基準を想定する必要がある(A-7)。

A-4. 被曝と健康被害の関係

A-4-1. 急性障害と急性死

SEOコードの初期設定にしたがい、急性障害の見積もりは短期線量(当初7日間の線量と、以後23日間の線量の半分を足したもの)に基づき、以下の関数によって行う。

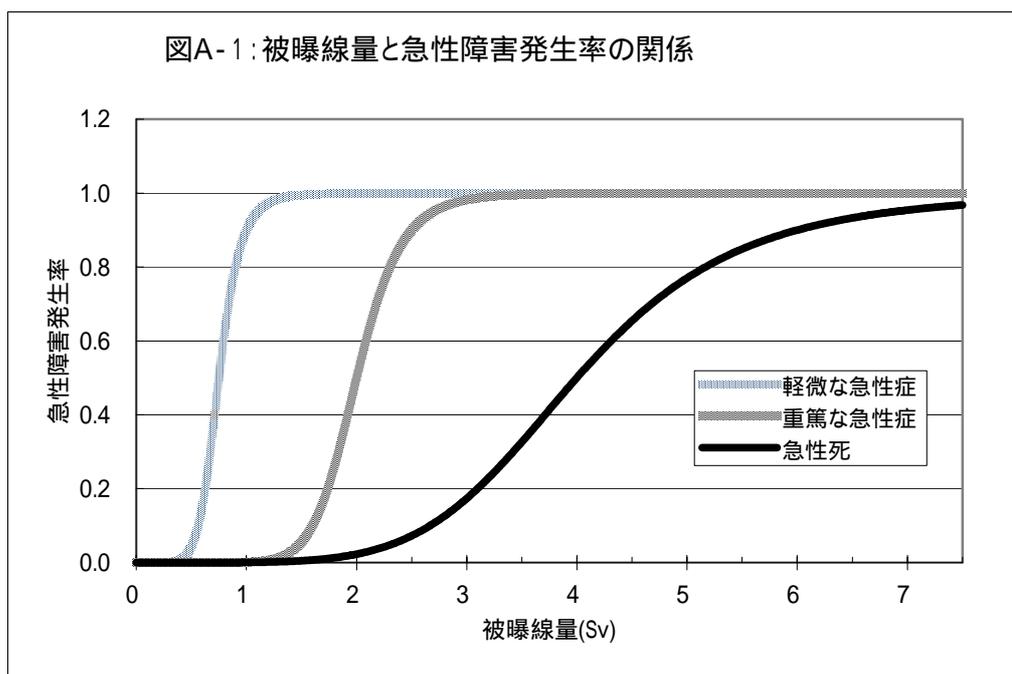
$$L(D) = \frac{1}{1 + \left(\frac{D_1}{D} \right)^a}$$

ただし、Dは短期線量、D₁は半数致死線量、aはパラメタである。パラメタaを求めるために、ICRP(1991)等を参考に、軽微な急性症(頭痛・倦怠感などの軽微な自覚症状を含み、検査や簡単な手当を必要とするもの)、重篤な急性症(嘔吐・下痢等の消化器系疾患、白血球減少等の血液異常、放射線火傷・脱毛などの症状を見せ、入院を必要とするもの)、急性死(重篤な急性症による致死)の線量と発生率の関係を表A-5のように想定する。

表 A-5:被曝線量と急性障害発生率の関係

発生率	軽微な急性症	重篤な急性症	急性死
半数発症・致死線量(Sv)	0.75	2.00	4.00
90%発症・致死線量(Sv)	1.00	2.50	6.00

これを図示したのが図 A-1である。軽微な急性症は 0.25 シーベルト前後で発生しはじめ、急激に曲線が立ち上がり、1 シーベルト程度でほとんどの人が検査や手当を必要とする。1.5 シーベルトを超えるあたりから、重篤な急性症を呈する人が現れはじめ、2.5 シーベルトではほとんどの人がこのような急性症を発する。ここまでの線量でも、一部は死に至るが、4 シーベルトを超えると半数が死亡し、6 シーベルトでは 9 割が死亡すると想定する。



A-4-2 晩発性障害: 発ガンと遺伝的影響

晩発性障害として、発ガンと遺伝的影響を取り挙げる(胎内被曝の先天的影響については割愛する)。これらは、低線量被曝の直線的影響が直線的であるとの仮定のもとで、長期の集団被曝線量(50年間の積算線量)に基づいて計算する。ICRP(1991)を参考にリスク係数を定める。すなわち1万人シーベルトの被曝によって、500人がガン死し、非致死性のガンも1235件(うち998件は治癒率の高い皮膚ガン)発生、それに重篤な遺伝的影響が100件生じるものとする⁹。ガン死数は本文の表1で示したドイツの研究にも対応する。なお、瀬尾はICRPのガン死リスク係数(500人/万人 Sv)を過小評価と考えており、本来のSEOコードでは彼が最も適切と考えるゴフマンの係数(4000人/万人 Sv)を用いていた。これに従えば、ガン死・発ガン推計値は約8倍に増加することになる。

晩発性障害の係数は急性死を免れた人口のみに適用し、急性死とガン死は重複しない。

⁹ ICRP(1991)の p.157 および p.160 を参照。「損害」で示される要約表を用いたものではないので注意。非致死性ガンはICRPの提案するガン致死割合(k)を用いて筆者が計算(非致死ガン数 = 致死ガン数 × (1 - k) ÷ k)。

A-4-3. 被曝計算上の注意事項

死亡数・罹患数の計算に際しては、上述の 6 つのカテゴリ(急性死・重篤な急性障害・軽微な急性障害・ガン死・非致死性発ガン・遺伝的影響)のそれぞれに対して、さらに原発からの距離(居住期間と被曝量に関連)に応じて近距離・中距離・長距離 3 つのカテゴリに分類した。従って、一つの方角に対して 18 種の人的被害発生数が計算される。

急性障害については、距離に応じて決まる住民の被曝量から急性障害発生率が決まり、これを風下の市町村の人口に乗じることで被害者数が求まる。晩発性障害については、被曝量と人口の積である集団被曝量にリスク係数を乗じることによって被害者数を求めることができる。これらの被害は市町村を単位として把握する。市町村の位置情報は役場所在地の北緯東経に代表させているので、人口は県庁所在地に集中しているかのように解釈することになる。

A-5. 人的被害の金銭評価

前項の計算で得られた死亡数と罹患数を用いて、人的損害の総額を求める。

急性死・ガン死に適用する確率的生命の価値には、欧州の ExternE プロジェクトで採用された 336 万ユーロ(2000 年価格)を用いる(Friedrich et al. 2001, p. 88)。これは表 1 に示したドイツの評価とも対応する値である。これを 1 ユーロ = 約 135 円として円換算し、丸めてちょうど 4.5 億円と設定した。放射性被曝に伴っておこる、死亡に至らない疾患については、日本では損失余命価値等に関して信頼できる研究がなかなか見られないため、今回は評価に含めず、入院・治療の費用だけを計上する。なお、急性障害に関する罹患・入院時の労働所得損失は、物的損害に含めて別途計算が行われている。

発ガンと重篤な急性障害は入院を必要とする。一人当たりの入院費用は、「厚生労働省統計表データベースシステム」から得られた「傷病分類、入院 - 入院外・年齢階層別一般診療医療費(平成 12 年度)」と「総患者数、性 - 年齢階級・傷病大分類別(平成 11 年)」を用いて計算した。「悪性新生物(ガン)」の入院費は総額が 20913 億円、患者数が 127.0 万人であることから 164.7 万円/人、晩発性障害であるため罹患・入院による労働所得の損失が別途 31.4 万円上乗せされ、合計 196.1 万円となる。この労働所得損失は、平均入院日数 31.4 日、一人一日あたり損失を一万円として計算したが、この一万円は日本の 2001 年の一人一日あたり GDP にほぼ一致する。

放射線被曝による重篤な急性障害は、おもに「消化器系の疾患」と「血液及び造血期の疾患並びに免疫機構の障害」として現れると考えられる。前者については、入院費総額は 17313 億円、患者数が 180.3 万人であることから 96.0 万円/人、後者については、入院費総額は 1313 億円、患者数が 25.2 万人であることから 52.1 万円/人となる。放射線被曝に伴う両疾患の比率は不明なので 1:1 と仮定し、一人当たり入院費は単純平均より 74.0 万円と設定する。

死に至るガンや急性死の場合にも入院が必要であるから、確率的生命価値に上述の一人当たり入院費を上乗せする。

重篤な遺伝的障害が何を意味するのかは、ICRP(1991)においても必ずしも明白ではない。厚生労働省のデータベースにおいて関連する疾病類型は「先天奇形・変形及び染色体異常」であるため、これを援用する。入院費総額は838億円、患者数が11.1万人であることから、一人当たり医療費は75.5万円となる。

軽微な急性障害は、被害者にとって一時的な自覚症状があるが、医師の検査・診察を受け安静にしたり、簡単な治療・投薬を受けることによって容易に回復するものとする。これらに必要な金額は、一人当たり3万円と仮定する。

これらをまとめたものが表A-6である。これらをA-4で求めた被害者の総数に乗じることによって、人的被害の総額を求めることができる。ただし、晩発性障害は50年間にわたって発生するものであるから、被害の大部分は毎年少しずつ発生してゆくものとするべきである。

表 A-6：一人当たり人的被害額

軽微な急性障害	30000 円/人	非致死ガン	196.1 万円/人
重篤な急性障害	74.0 万円/人	ガン死	45164.7 万円/人
急性死	45074.0 万円/人	遺伝的障害	75.5 万円/人

A-6. 物的損害の基本的な考え方

物的損害の試算で取り扱うのは、被害個人の被る金銭的費用、事故対応措置により生じる所得損失、およびその純総和としての社会的費用である。健康被害・医療費用等については人的被害試算で取り扱ったので、ここでは除外すべきである。取り扱う物的損害の範囲は、事故原発の風下にあたる市町村における定量化容易なものに限り、域外への波及効果（人の移動、食料等の需要増加、金融資産の再投資などによるもの）、生態系被害、風評被害などについては捨象する。また、韓国・ロシア等周辺諸国への被害も考慮の外にある。

損害計算の時間的範囲は50年であるが、経済成長を捨象し、各年の経済指標は基準年の水準のまま一定であると仮定する。実際に物的損害が発生するのは、主に政府の命令による強制移住や農業禁止措置のためと想定して、それぞれに禁止期間を定める。原発から半径10kmおよびセシウム148万ベクレル/m²（40キュリー/km²）を超える汚染地域では全員が強制移住させられ、すべての経済活動が停止するものと仮定する。

また、人的被害計算において、体内被曝を捨象していることから、整合性を保つために汚染地域に対する厳しい農業制限を前提とする必要があった。従ってセシウム18.5万ベクレル/m²（5キュリー/km²）では農林水産業を10年間にわたって完全に禁止すると想定する（表A-2）。この汚染濃度は、ウクライナ共和国で91年2月に決定された法律「汚染地域の定義」における、暫時住民避難が行われるとともに、食料の自給生産をやめ外部から非汚染食品を入手する体制への切り替えが推奨される基準を参考に設定した。セシウム5キュリー～40キュリーの範囲にある農業禁止地域でも、住民の居住は認められ、工業・商業については事故前と同様の正常な業務が継続できるものと仮定する。

人的被害計算と同様、これらの被害は市町村を単位として把握する。市町村の位置情報は役場所在地の北緯東経に代表させているので、人口は県庁所在地に集中しているかのよう
に解釈する。以下の説明から理解されるように、各市町村の人口や経済指標は基本的に、各市町村のフロー・データによって容易に計算可能なものとなる。

A-7. 物的損害の概念

取り扱う物的損害の範囲は以下のとおり

被曝防止措置の実施費用

人的資本からの所得損失

物的資本からの所得損失

いずれにしても、二重計算とならないように配慮する。さらに、金融資産は汚染されな
いため、これらの物的所得は計算から捨象する。

A-7-1. 被曝防止措置の実施費用

被曝防止措置の費用には、緊急避難・移住のために必要な一時的費用、汚染食料廃棄、
一時的な漁業禁止措置の費用が含まれる。汚染除去活動は想定困難のため本研究では捨象
する。

a) 避難・移住費用

緊急避難・移住のための費用は、人の移動のための交通費、および一時的な宿舍・住居
のための費用である。緊急避難・移住は、二週間まで被災地域外のホテル等の宿泊施設に、
それ以降は一般的な賃貸住宅に居住するものとする。移住者は一年間にわたり就業困難
と想定されるので（A-7-2）、その間の家賃は支援されるべきものとする。以下のように
一人当たりの費用を定め、それに対象人数・日数を乗じることで計算する。

ア) 移動のための交通費：1人あたり1万円

イ) 一時的宿泊費用：1日1人あたり1万円×14日＝14万円/人

ウ) 約一年間の居住費：1月1人あたり2万円×12ヶ月＝24万円/人

エ) 上記合計：39万円/人

b) 食料廃棄による損失

風下地域の汚染食料廃棄については、栽培中の作物を全て破棄するものとする。一年
の半分が休耕期間であると仮定すれば、被災地・汚染地の年間農業粗生産額の半分が失わ
れるものとして計算する。粗生産額は市町村間の苗等の中間財取引による重複の可能性
もあるため、この項目はやや過大評価となっているかもしれないが、全体的な計算結果を
大きく左右するものではない。

c) 漁業禁止による損失

南風の場合には日本海に放射能雲が流れるため、本研究の分析枠組みでは人的被害と農業被害は発生しないと考えられるが、漁業については、近海の魚介類の放射能汚染に注意して、日本海で一時的な漁業禁止措置がとられるものとする。ここでは、近隣 5 府県（新潟・富山・石川・福井・京都）で 3 ヶ月間の漁業禁止措置を想定する。『平成 12 年漁業生産額』によれば近隣 5 府県の漁業生産額は合計 771 億円であるが、遠洋漁業は直接の影響を受けないと考え、全国の遠洋漁業比率にあたる 14%を控除すると 661 億円となる。三ヶ月分の粗生産額損失は、この四分の一として約 166 億円である。これに 1999 年産業連関表に基づく付加価値比率 0.632 を乗じて、損害額は約 105 億円と推計できる。

A-7-2. 人的資本からの所得損失

人的資本の損害は、退避・非難・移住および治療のため一定期間就業できないこと、および一部の人の転職に伴う賃金低下からくる所得損失である。全員が強制移住させられるセシウム 148 万ベクレル/m²以上の汚染地については、人々が移住先で再就職するまで一年かかり、再就職時の賃金所得の下落幅は平均して 30%と仮定する。それ以遠の汚染地域では農林水産業のみが禁止措置を受けるため、これらの職業に従事していた人々は、域内または域外で転職することにより労働所得を 30%失うとする（農地に関する資本所得分は次項で取り扱う）。農業禁止と作物廃棄の重複を避けるため、農業の耕作期間は、事故に伴う作物廃棄を行った次の耕作年より起算すると解釈する。再就職後 9 年が経過すると、再熟練・昇進・世代交代等によりもとの所得水準に回復すると想定する。個人企業については、所得の半分が労働によるものと仮定する。

再就職先の地方での所得増加等は重複計算を避けるために捨象している。

・全員強制移住となる汚染地：

人的所得損失額 = (1 年分の雇用者所得 + 9 年分の雇用者所得 × 0.3)
+ (1 年分の個人企業所得[持ち家を除く] + 9 年分の個人企業所得[持ち家を除く] × 0.3) × 0.5

・農業が 10 年間禁止される汚染地：

人的所得損失額[農林水産業] = 個人企業所得[農林水産業] × 0.5 × (1 + 9 × 0.3)

A-7-3. 物的資本からの所得損失

土地や生産設備などの物的資本の損害は、その資本からの将来所得損失と、現時点での資本価値損失の両面から把握することが可能である。

理論的には資本の将来所得の現在割引価値が資本価格に一致するとされ、両者を計上すると二重計算となる。ここでは、統計利用の便宜のために、その資本より得られるはずであった所得の損失の面から損害を計算する方法をとる。持ち家についても、統計上は帰属

計算によって借家と同様に家賃を生じるものと解釈されるため、居住サービスを提供する「生産設備」としてひとくくりに取り扱う。

全員が強制移住させられる被災地については、恒久的に経済活動が禁止されるものと考ええる。本試算は 50 年の時間範囲について行うため、域内の企業所得および家賃収入が 50 年分失われるとして計算する。農業を含む個人企業については、個人企業所得の半分が土地・生産資本から得られたものと仮定する。10 年間にわたって農業活動が禁止される汚染地域では、農業に関する 10 年分の土地・資本所得が消滅するとする。

全員強制移住となる汚染地：

物的資本所得損失額 = 50 年分の物的資本所得

農業が 10 年間禁止される汚染地：

物的資本所得損失額 = 10 年分の農業の物的資本所得

A-7-4. その他の既存資産の損失の取り扱いに関して

前項でみたように、土地・生産設備・住宅等の物的損害のみが所得損失として把握されるため、既存資産の損失として把握される対象は限られる。持ち運び可能な消費財・耐久財等は（若干甘い仮定であるが）汚染地域外に持ち出し、洗浄するなどしてこれまでどおり利用できるものとみなし、これらの損害（洗浄費用も含め）を捨象する。また、持ち運び不能な耐久財は物的資本の一部ととらえ、A-7-3 での計算にすでに含まれているととらえる。また、金融資産は汚染されず何ら損失を被らないため計算の対象とならない（これら金融資産は非汚染地に再投資され、同額の資本所得をもたらすと解釈すればよい）。

結局、汚染によって破棄せざるを得ないものとして最も重要なものは農産物などであるが、これは A-7-1 ですでに計算されている。したがって、この項において特段追加すべき項目はない。もちろん、このような処置は損害額をある程度過小評価することにつながると考えられる。

A-8. 計算手法

物的損害の計算は、市区町村を単位としたデータを用いた簡便な方法で行う。事故原発の風下 22.5 度の角度に収まる地域で、一定距離内に入り禁止措置の対象となった市区町村ごとに均質に被害が発生するものと考え、各市区町村の一定期間の所得減少額などを計算する。計算簡略化のために、市区町村の位置は役場所在地によって代表するため、実際には 10km や 200km の境界はきれいな弧を描かない。つまり、自治体の面積の大部分が汚染地域の境界内に含まれなくても、役場さえ含まれば自治体全体が汚染地域に含まれるとみなして計算する。これは一部では過大評価となるかもしれないが、一部では過小評価につながり、全体として結果に大きく影響するものではないと思われる。これは、人的被害の計算においても同様である。

被害発生期間が長期にわたるため、将来発生する所得の損失でみた損害は現在割引価値を計算をすることも考慮に入れている(A-10)。

A-9. データ

計算に用いるデータは1999年に関する市区町村データであるが、入手可能性に応じて前後する年・年度の系列も区別なく用いることがある。必要な系列は以下の通りである：

人口
 農業粗生産額
 労働所得（農林水産業を除く）
 物的資本所得（農林水産業を除く）
 農業労働所得
 農業物的資本所得
 漁業生産額

用いるデータは、『統計でみる市区町村のすがた 2002』（以下統計A）『平成11年度県民経済計算』（統計B）『平成12年農業粗生産額及び生産農業所得』（統計C）および『平成12年漁業生産額』（統計D）から得た。

の人口および の農業粗生産額については、統計Aの数値がそのまま利用できる。

の労働所得および 物的資本所得（それぞれ農林水産業を除く）については、統計Aの各市区町村のデータが利用できないため、統計Bの「県民所得勘定」の都道府県データを以下のように加工し、人口に応じて各市区町村に割り振って用いる。 の労働所得（農林水産業を除く）は、統計Bにおける「雇用者所得」に、「その他の産業」の「個人企業所得」の半分を労働からの所得として加えたものである。「雇用者所得」は、「賃金・俸給」、「社会保障雇主負担」、「その他の雇主負担」の三項目より構成されるが、その全てを組み入れる。 の物的資本所得は、統計Bにおける「家計受取賃貸料」と、「企業所得」の大部分を加えたものである。「企業所得」は「民間法人」・「公的企業」・「個人企業」から構成され、上述のように「個人企業」はさらに「農林水産業」、「その他の産業」、「持ち家」からなるが、ここでは「その他の産業」の半分と「持ち家」を加えたものが必要となる。

の農業労働所得および の農業物的資本所得は、統計Cによる各県の「生産農業所得」(p.13)から得る。農業所得は、半分が労働、半分が土地・資本から生じると仮定し、 とそれぞれが「生産農業所得」の半分と考える。いずれも、統計Aの「第一次産業就業者数」に応じて各市区町村に割り当てるもとする。 の漁業生産額は、統計Dの県別の漁業生産額をそのまま利用する。

A-10 割引計算を用いた感度分析の考え方

本編は割引率ゼロの場合の結果を主に示したが、感度分析として3%の割引率を用いた計

算も行った。Friedrich et al. (2001)によれば0%と3%の割引を考えれば十分と言える。

物的損害については、数年～数十年にわたって発生する損害項目に対し、各年ごとに $(1.03)^{-1}$ の割引因子を乗じて現在割引価値を計算した。

人的被害で割引が必要なものは晩発性障害に伴う費用であるが、SEOコードは結果を時系列的に表示するものでないため、以下の仮定に基づいて、割引後と割引なしの損害額の比率を求めた。発ガン・ガン死は事故後50年間にわたり発生するが、年ごとに直線的に増加し、25年目にピークを打ち、50年後にゼロになると想定して、各年毎のガン発生率に割引を適用する前後の比率を下に示す式1を用いて0.4997と求めた。また、遺伝的障害は50年間にわたって、時間に比例して増加するものとして、式2をもちいて0.4015と求めた。

$$\frac{\sum_{t=0}^{49} \left(1 - \frac{|t-25|}{25}\right) \left(\frac{1}{1+r}\right)^t}{\sum_{t=0}^{49} \left(1 - \frac{|t-25|}{25}\right)} \approx 0.4997 \quad (\text{式1}) \quad \frac{\sum_{t=0}^{49} t \left(\frac{1}{1+r}\right)^t}{\sum_{t=0}^{49} t} \approx 0.4015 \quad (\text{式2})$$

<参考文献>

- ICRP(1991) 『国際放射線防護委員会の1990年勧告』(社)日本アイソトープ協会
 今中哲二(1996) 「チェルノブイリ原発事故による放射能放出量」、原子力資料情報室編 『チェルノブイリ10年：大惨事がもたらしたもの』所収
 卯辰昇(2002) 『現代原子力法の展開と法理論』日本評論社
 小出裕章・瀬尾健(1997) 「原子力施設の破局事故についての災害評価手法」、原子力安全研究グループ・原子力安全問題ゼミ、京都大学原子炉実験所
<http://www-j.rrri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/No68/kid9708.html>
 小出裕章(1977) 「「原子炉安全性研究」(WASH-1400)とその波紋」 『公害研究』VOL.7, NO.2
 ゴフマン、J・W(1991) 『人間と放射線』社会思想社
 桜井淳(1994) 『原発システム安全論』日刊工業新聞社
 瀬尾健(1995) 『原発事故・・・その時、あなたは!』風媒社
 広河隆一(1996) 『チェルノブイリの真実』講談社

Friedrich and Bickel eds.(2001) *Environmental External Costs of Transport*, Springer

Hennicke, Peter & Stefan Lechtenbömer (1999), Kurzexpertise: Risiken und externe Kosten eines auslegungsüberschreitenden Kernschmerzunfalls, in Rahmen des Projekts: Bewertung eines Ausstiegs aus der Kernenergie aus klimapolitischer und volkswirtschaftlicher Sicht. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Malko, Mikhail V. (1998), Assessment of the Chernobyl Radiological Cosequences, in: Imanaka T.

eds. *Research Activities about Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities to Assist the Suffers by the Accident*, KURRI-KR-21, March 1998

OECD/NEA (2000) *Methodologies for Assessing the Economic Consequences of Nuclear Reactor Accidents*

US-AEC (1957) *Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants* (WASH-740)

US-NRC (1975) *Reactor Safety Study* (WASH-1400, NUREG 75/014)

US-NRC (1984) *Reactor Risk Reference Document* (NUREG-1150), Main Report, Draft for Comment

<資料・統計>

原子力安全委員会『原子力施設等の防災対策について』http://www.bousai.ne.jp/2_6.html

厚生労働省『厚生労働省統計表データベースシステム・厚生統計要覧』

http://www.dbtk.mhlw.go.jp/toukei/youran/indexyk_2_2.html

総務庁統計局『住宅・土地統計調査(平成10年度)』<http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/>

総務庁統計局『社会生活基本調査(平成8年度)』<http://www.stat.go.jp/data/shakai/>

総務庁統計局『統計でみる市区町村のすがた2002』、総務省統計局

<http://www.stat.go.jp/data/ssds/4-3.htm>

内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部『平成11年度県民経済計算』

農林水産省統計情報部(2000)『平成11年農業粗生産額及び生産農業所得』、農林水産統計速報12-263(経営-54)<http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/12-263.pdf>

農林水産省統計情報部(2001)『平成12年漁業生産額』、農林水産統計速報13-222、

<http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/13-222-15.pdf>

福井県『大気汚染情報総合メニュー』<http://www.erc.pref.fukui.jp/tm/index.asp>