



〈レフェリー付き論文〉 原子力発電所の過酷事故に伴う被害額の試算

朴, 勝俊

(Citation)

国民経済雑誌, 191(3):1-15

(Issue Date)

2005-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00055987>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00055987>



原子力発電所の過酷事故に伴う被害額の試算

朴 勝 俊

レフェリー付き論文

初稿受付日 2003年10月 6日 採択決定日 2004年 9月22日

日本では温暖化防止のために原子力発電が一層重要になるとの見解があるが、その危険性も慎重に考慮して進める必要がある。本論文ではその参考として放射性物質放出事故時の被害額を推計した。原子力事故被害計算用の瀬尾コードを近畿圏で最大級の原子力発電所である大飯3号機に適用し、その結果を用いて人的被害・物的損害を金額化した。被害総額は風向きによって異なるが、平均して約62兆円、最悪の場合に約279兆円に達する（事故後50年間の総額の現在価値）。人的被害と物的損害の比率は平均 20：80 であるが、この比率も方位によって大きく異なる。平均62兆円という総被害額は、現在の原子力損害賠償制度が原子力事業者に義務づける損害賠償措置（責任保険／補償契約）の上限額600億円の1000倍を超えるため、万一の事故の際に被害者が十分な保護・補償を得られる制度構築が求められる。

キーワード 原子力発電所, 事故, 損害, 被害額

1 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ある。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)に続く定量的評価はみられない。その点で本研究は、現時点で大規模な原子力発電所事故が起こった際に周辺住民に及ぶ被害額の推計方法と推計値に関する参考資料として意義を持ちうるものである。

2 原子力発電所の事故被害推計をめぐって

上述の科学技術庁と原子力産業会議による試算は当時非公開とされた。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、現状では金額はさらに膨らむであろう。

Hennicke und 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（ドイツのGDPの約3分の1から約3倍まで）しか違わないが、事故発生確率の想定には300倍もの開きがあり、結果として電力kWhあたりの外部費用は4桁以上もの違いが生じていることを示した。特に事故確率を一千万分の一と仮定した研究では、kWhあたりの外部費用は0.00015～0.00086ペニヒと無視しうる値になる（1ペニヒはおよそ0.7円）。

米国初の事故評価ではWASH-740（1957年）において50万～70億ドルと見積もられた。その18年後に発表されたWASH-1400（1975年）では、最悪の場合3300人が急性死、年当たり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（1975年の名目GDPの約0.8%）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とされた。この報告は公表直後から確率計算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。

原子力事故の確率計算（確率的安全評価＝PSA, Probabilistic Safety Assessment）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。外部に放射性物質を放出する事故の確率はさらに低くなる。しかし小出（1977）によれば、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「安全性の証明」として額面どおり受け入れることはできない。

国民の原子力に対する政治的受容性は、国民が主観的に想定する事故発生確率と、最悪の事態における潜在的な災害規模の二つの要因から決まるであろう。前者については専門機関のPSAや、保険会社の保険料設定の考え方などを参考にできるとしても、後者については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を目的とする。

3 事故被害計算の考え方と手法

原子力発電所の大事故の被害人口・被害面積の計算のために開発された瀬尾コード（京都大学原子炉実験所、故瀬尾健氏による）を、大飯3号機（福井県大飯町）に適用し、その結果を用いて被害額の評価を行った。¹⁾

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。

瀬尾コードでは、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（瀬尾 1995）。瀬尾は WASH-1400（1975）の確率計算については批判的であったが、最大限の事故を想定する上で WASH-1400 の非確率論的箇所（事故経過や放射性物質の蓄積・放出に関するもの）を援用している。本研究では、用意された事故類型のうち PWR2 型を用いたが、この事故の放射性物質放出量は、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観測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 1 および巻末 A-4 を見よ）。

表 1 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
		治癒される発ガン	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

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 10 km 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、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大都市が含まれると物的損害額は大きくなる。

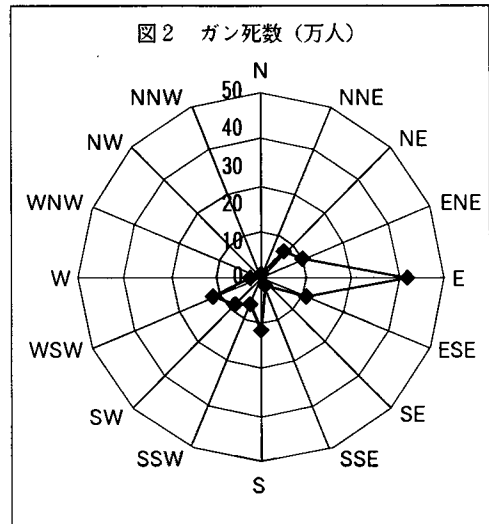
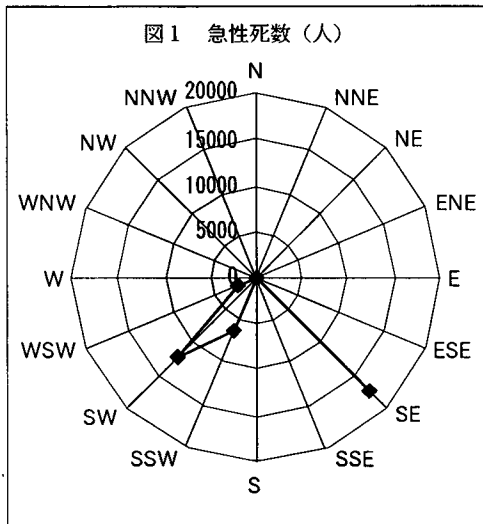
人的被害は、これらの緊急措置が採られた上でも発生が避けられないものとして計算し、過大評価を避けている。被害額は急性障害・晩発性障害の推定発生件数に一人当たり医療費や確率的生命価値 (VSL, Value of Statistical Life) の推定値を乗じて求める。これらの計算の前提・根拠は表 1 および付録 A-5 に示す。

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。

4 結果とその解釈

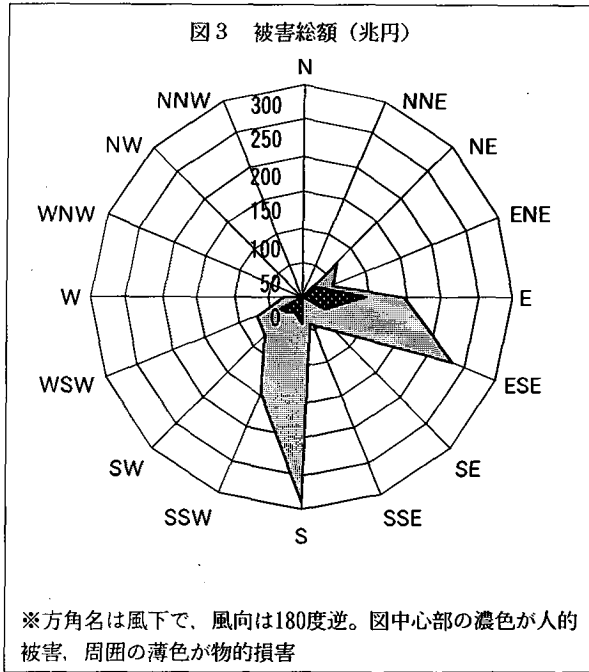
それぞれの風向に対する詳細な結果については、14～15ページの集約表を参照していただき、ここでは代表的な結果について検討を加える。

大事故によって、風下160～200 km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500 km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。



※方角名は風下を示す。風向は180度逆の方角である

付近住民はすみやかに避難するが、避難までに摂取した放射性物質のために多く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人が急性死すると予想される(図1)。発ガンは発電所から遠く離れた住民の間でも長期間にわたって発生してゆくため人数が多くなる。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³⁾。いずれにせよ、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)。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266.6兆円および208.1兆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年間の生産損失額の現在割引価値(割引率3%)として求めたものである⁴⁾。

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3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。

各方向の被害額を風向頻度に基づいて加重平均した平均被害額は約62.1兆円(うち物的損害49.6兆円)となる。

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279.8兆円の内訳は、人的被害33.2兆円、物的損害246.6兆円である。

ここでは詳細を示さないが、居住禁止措置を緩和(50 km 以遠は居住可能と)したケースも試算した。そのさい物的損害の金額は数兆円水準まで激減するが、その半面晩発性障害が増加するため、被害総額はほとんど変化しないことが別途の計算よりわかっている。

任意の事故確率を用いて、これらの被害額を電力 1 kWh あたりの期待リスク(いわゆる「外部費用」)に換算できる。計算式は [総被害額(円)] ÷ [年発電量(kWh)] × [年事故確率] である。例えば、大飯3号炉(118万 kW)が80%の設備利用率で一年間稼働すれば82.7億 kWh の電力を生産できるから、被害額が62.1兆円ならば、年事故確率が一千万分の一ならば 0.00075円/kWh の水準となる。しかし原子力事故の性質上、このような期待リスクが実際の保険料率算定など実用的な意味を持つか疑問であり、期待リスクだけでなく用いられた確率と総被害額が示されるべきである。

これまでの結果は割引率を3%として計算していたが、経済成長率を0%と想定しているため、割引率を0%とする考え方もありうる。一種の感度分析として、別途0%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12.5兆円から約24.1兆円と倍増し、物的損害は約49.3兆円から約79.9兆円へと、約62%増加することになる。総被害額は約62.1兆円から約104.0兆円へと約67%増加する。

5 結 び

大型原子力発電所の重大事故が現実化すれば、早期の避難を行っても最大約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約41万人にのぼる。経済的には平均して約62.1兆円、最大約266.6兆円もの人的被害・物的損害が長期にわたって発生することになる。最悪の場合での被害額は日本の年間 GDP の半分を超える。これはもちろん、多くの仮定に基づく試算に過ぎず、仮定のいかんにより結果が変わりうるものであるが、総じてこのような原子力事故の絶対的規模については十分に広く認識されてこなかったと思われる。

万一の重大事故の場合、被害者が十分に救済されることが求められる。日本では原子力施設の事故について電力会社が無過失無限責任を負っており、損害賠償の原資を確保するため原子力損害賠償措置（保険など）を講じねばならない。賠償責任保険・賠償補償契約の金額は現在600億円と定められているが、この金額は62.1兆円の1033分の1で、266.6兆円に比べると4443分の1に過ぎない。それを超える部分は電力会社が行う賠償に対して政府が国会の議決に基づき必要な援助を行うという法規定であるが、このようなあいまいなルールでは被害者だけでなく電力会社にとっても心許ないように思われる。今後も原子力を利用してゆくのであれば、潜在的な被害者に対する補償に備えた制度の再構築が求められる。当面必要となる対応として、①賠償措置額の引き上げ、②米国のような事後的な事業者間相互扶助制度、③原子力災害債券等を用いたリスク市場化（卯辰 2002）などの案について、日本での実現可能性を検討する段階に来ているのではないだろうか。

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瀬尾コードを用いて計算する。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（詳しくは、小出・瀬尾（1997）あるいは瀬尾（1995）を参照）。瀬尾コードは、本研究では罹患者数も計算できるよう改良された。

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、瀬尾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、瀬尾コードの結果を、確率的生命価値や標準的医療費を用いて金額換算した（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。

人的被害・物的損害ともに、計算対象期間は事故後50年とし、その現在割引価値を求める。これは、瀬尾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 瀬尾コードに入力すべき基本的前提条件

瀬尾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、瀬尾コードでは米国の 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くら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。可能な限り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

今後の新設炉大型化に対応して、近畿地方で最大の大飯3・4号基（1180MW）を対象とする。事故類型は、大型事故として比較的典型的な 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）。PWR-2 型の放射性物質放出量はおおむねチェルノブイリ事故の放出量の推計値に相当すると考えてよい。

表A-1 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

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-1、左から3列目）。

計算において、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。

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、半径10km以内の地域では風下方向に含まれるかどうかにかかわらず平均2日で全員が域外に避難（滞在時間2日）し、風下範囲内でセシウムの地表汚染が148万ベクレル/m²（40キュリー/km²）を超える地域は平均15日で全員避難（滞在時間15日）、それ以上は平常どおり居住が認められる（滞在時間50年＝18263日）と想定する。これらは、政府の防災指針や、チェルノブイリ事故後のロシアやベラルーシ等の対応を参考に決めていく。

A-2-4 地面遮蔽係数

瀬尾コードの想定では、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。長期にわたり居住を続ける汚染地域では外出を含む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参考にして遮蔽係数を0.37と設定した。また、避難を待つ住民の場合は、遮蔽条件のよい避難所や家屋内で過ごす時間が長くなると考え、10km圏内については約0.12、148万ベクレル/km²以上の汚染地域は約0.19とする（『原子力施設等の防災対策について』、『社会生活基本調査』、『住宅・土地統計調査』などを参考に設定）。

A-3 農作物・畜産物の廃棄、農業の放棄

瀬尾コードでは、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のみを用い、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ので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

瀬尾コードの初期設定にしたがい、急性障害の見積りは短期線量（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-2のように想定する。

表A-2 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

これによれば、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。これらは、公衆被曝量に比例して晩発性障害が発生す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件発生（うち998件は治癒率の高い皮膚ガン）、それに重篤な遺伝的影響が100件生じるものとする。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、本来の瀬尾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。

A-4-3 被曝計算上の注意事項

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）。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。

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、入院一入院外・年齢階層別一般診療医療費（平成12年度）」と「総患者数、性一年齢階級・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、罹患・入院による労働所得の損失が別途31.4万円上乘せされ、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。ただし、事故直後の労働所得の損失は物的損害計算の対象に含まれるのでここには含めない。

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乘せする。

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は本文中の表1にすでに示した。これらを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。現在価値の計算は、ガンについて25年後まで直線的に増加し、その後ゼロまで直線的に減少すること、遺伝的障害については50年後まで直線的に増加するものと想定して、各年の損害額を割引計算して足し合わせた。

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10 km 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。チェルノブイリ事故後のウクライナの措置を参考に、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。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。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、①被曝防止措置の実施費用、②人的資本からの所得損失、③物的資本からの所得損失、の3項目である。

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 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

算しうる。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、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が行われるとする。『平成12年漁業生産額』などのデータを用いて、損害額は約105億円と推計された。

A-7-2 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。それ以外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た。

A-7-3 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から推計する。

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られる。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。

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。従ってこの項において特段追加すべき項目はない。

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。

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：①人口、②農業粗生産額、③労働所得（農林水産業を除く）、④物的資本所得（農林水産業を除く）、⑤農業労働所得、⑥農業物的資本所得、⑦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11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。

①の人口および②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。

③の労働所得および④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。③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、「黄金・俸給」、「社会保障雇主負担」、「その他の雇主負担」

集約表1 人的被害発生数と被害額（50年間にわたる損害につき割引率3%での現在割引価値）

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	2,174
南西	1.9	0.020	184	937	0	0	223656	90548	18108	20,660
西南西	2.0	0.020	181	49448	15	16	318615	128986	25796	29,439
西	2.3	0.035	173	22288	3747	202	1012732	409820	82001	93,603
西北西	2.5	0.060	168	20598	4461	209	330831	133734	26790	30,612
北西	2.8	0.075	161	39795	33263	17072	80104	21946	6486	12,741
北北西	2.1	0.063	179	3463	0	1	58838	23821	4768	5,436
北	2.5	0.077	168	6159	2698	233	359319	145233	29089	33,245
北北東	2.2	0.053	176	13700	7040	5825	201647	81142	16818	21,142
北東	1.3	0.014	197	26000	12121	11871	256426	103710	22163	29,015
東北東	1.1	0.013	198	96655	51946	2405	344492	139468	27900	32,944
東	1.3	0.050	197	18178	2	3	68651	27797	5555	6,344
東南東	2.0	0.276	181	2673	1	1	4137	1676	337	383
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	128151	51025	10423	12,475

※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 (50年間にわたる損害につき割引率 3%での現在割引価値)

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	269	742	1	2	18	11	1059
南南西	0.017	31	534	1476	13	14	66	11	2144
南西	0.020	809	15338	32334	406	479	1559	11	50936
西南西	0.020	136	2508	6563	673	942	2638	11	13470
西	0.035	662	12947	32621	683	992	2940	0	50843
西北西	0.060	2768	60160	142403	279	426	2050	0	208087
北西	0.076	743	13526	32093	118	111	877	0	47468
北北西	0.063	482	8775	25150	32	43	336	0	34818
北	0.078	4244	88218	152962	93	133	911	0	246561
北北東	0.053	2313	45489	72752	105	172	1043	0	121874
北東	0.014	769	14631	24275	360	455	1509	0	41999
東北東	0.013	572	10436	20061	298	349	1283	0	32999
東	0.050	248	4382	8474	78	94	554	11	13841
東南東	0.278	28	510	1228	4	7	46	11	1833
南東	0.175	16	269	742	1	2	18	11	1059
南南東	0.031	16	269	742	1	2	18	11	1059
平均※		792	16072	31864	101	138	610	0	49576

※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

の三項目より構成されるが、その全てを組み入れる。④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。

⑤の農業労働所得および⑥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、⑤と⑥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のとする。⑦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。

注

瀬尾コードにつき、開発者の瀬尾健氏、懇切にご指導下さった小出裕章氏に厚くお礼申し上げます。また、匿名の査読者の貴重なコメントにもこの場を借りて感謝申し上げます。

- 1) 瀬尾コードは計算前提やプログラムが公開されており、個人用のPCで容易に利用できるため広く応用されている。また、大飯3号は今後の原子力発電所大型化に対応して近畿圏で最大のものとして選択したものであり、他と比べ危険性が大きいと考えたためではない。
- 2) 同じ方向に風が吹き続けるとの想定は現実的ではないが、ここでは16方位全部について計算し加重平均をとるため、全体として見れば大きな問題にはつながらないと考えられる。
- 3) 瀬尾(1995)では大飯2号炉の事故に対して近畿地方で500万人規模のガン死を予想している。ガン死リスク係数(A-4-2参照)や被曝時間、遮蔽係数等の違いが結果に現れている。

- 4) 域内の固定資産については、その資産からの将来所得の現在価値が資産価値に対応する。

参 考 文 献

- Friedrich, Rainer and Bickel, Peter, eds. (2001) *Environmental External Costs of Transport*, Springer
- Hennicke, Peter und Lechtenbömer, Stefan (1999) “Kurzexpertise: Risiken und externe Kosten eines auslegungsüberschreitenden Kernschmelzunfalls”, in Rahmen des Projekts: *Bewertung eines Ausstiegs aus der Kernenergie aus klimapolitischer und volkswirtschaftlicher Sicht*. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
- 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
- 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
- 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 (1977) 「原子炉安全性研究」(WASH-1400) とその波紋』『公害研究』VOL. 7, NO. 2
- 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-jrri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/No68/kid9708.html>
- 横井淳 (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

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>