

レベル3PRA標準の改定とその意義

－レベル3PRA標準改定の概要－

2016年3月26日

本間俊充（原子力機構）

レベル3PRA分科会

改定の背景及び経緯

- ▶ レベル3PSA標準は2009年3月に発行以来、5年以上経過しており定例改定の時期を迎えており、福島第一原子力発電所事故後の知見など、レベル3PSA標準:2008以降の新しい知見を反映する必要がある。
- ▶ 福島第一事故を契機として、PRAによるリスク評価が重視されている。
- ▶ 自主的安全性向上を進めるにあたり、リスク情報の活用が必要。
- ▶ 2014年11月、“レベル3PRA分科会”と分科会名称を変更し、レベル3PRA標準の改定作業に着手した。

2008標準策定の方針

- ▶ 主要部分で特定の事故シーケンスに対応した事故影響評価のプロセスを記述し、最終的にレベル2から得られる様々な事故シーケンスの発生確率とソースタームを入力として、出力として事故影響のスペクトル（影響の大きさと出現頻度）又はその期待値（リスク）を計算する部分はリスクの定量化の項で記述した。
- ▶ 国で示された安全目標への適合性評価等の実施に資するため、適用範囲で事故のリスクとして、安全目標で示された放射線被ばくによる公衆の個人の急性死亡リスクとがん死亡リスクを対象とした。
- ▶ レベル3PSAの評価結果に要求される水準の目標としては、定量的安全目標の指標である施設からある範囲の距離（敷地境界から比較的近傍）にある公衆の個人の平均死亡リスクとの比較ができる品質の確保を可能とすることとして、用いる具体的手法を記述した。
- ▶ レベル3PSAに付随する不確実さは、EC/USNRCによる包括的な不確実さ評価研究（1993-1999年）が行われたことを踏まえ、レベル3PSAに係わるパラメータの不確実さ伝播解析等の定量的評価を求めた。

改定の基本方針

①体裁の更新

- ▶ 最近のPRA標準に倣って構成及び附属書・解説内容の見直し
- ▶ 引用規格（PRA品質確保標準、PRA共通用語標準）の追加

②参考文献等の更新、新しい知見の反映検討

- ▶ レベル3PSA標準:2008以降の文献を調査し、必要に応じて知見を反映
 - 防災指針→原子力災害対策指針
 - 米国NRC, SOARCA(the State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses)プロジェクトに関する情報
 - 米国NRC, 防護措置勧告(PAR)の研究(NUREG/CR-6953)に関する情報
- ▶ 福島第一事故等からの知見・教訓の反映
 - 影響の度合いから選定の候補となる被ばく経路の例を附属書（参考）に追加

③適用範囲拡張の検討

- ▶ 経済影響評価への拡張検討

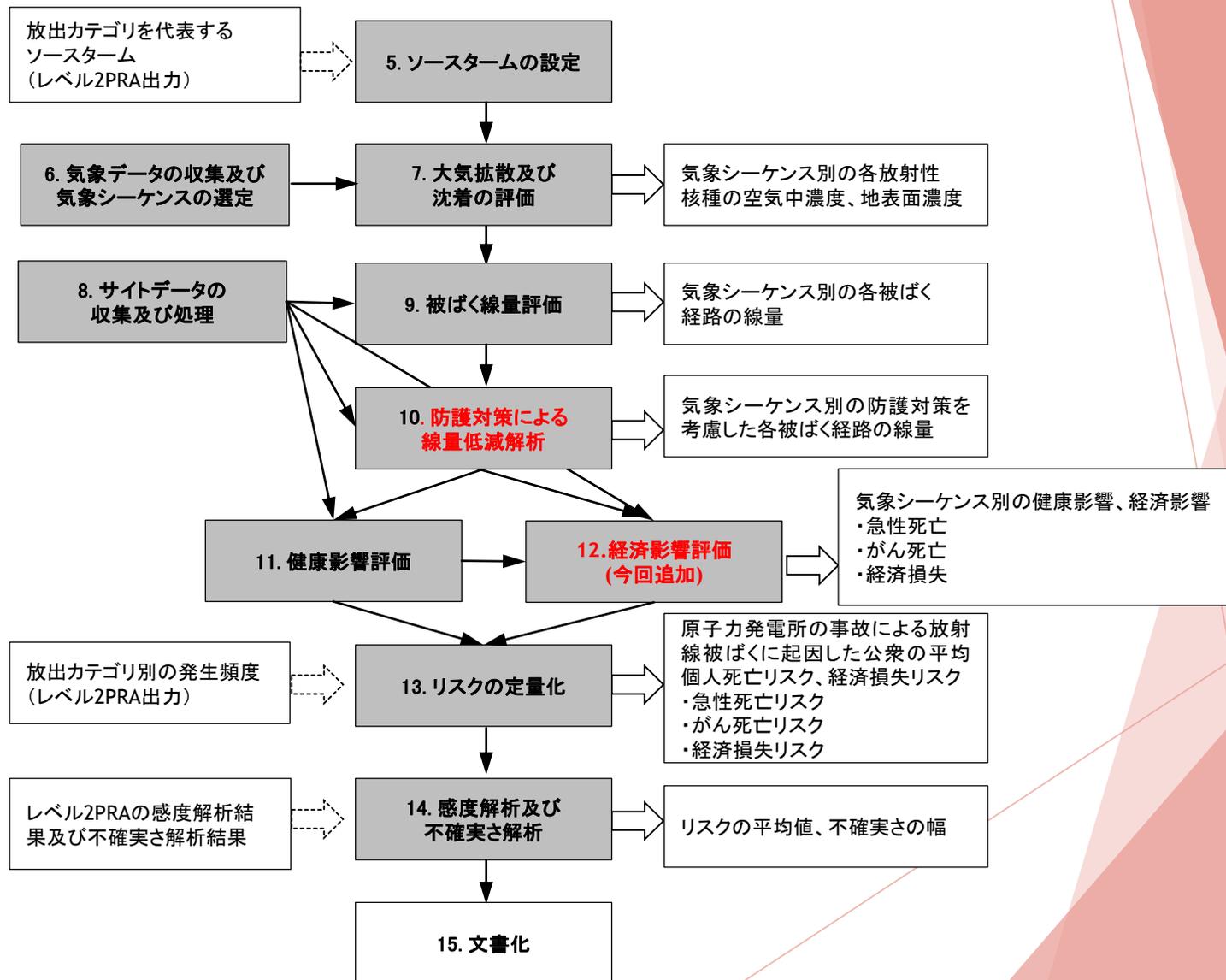
適用範囲

この標準は、原子力発電所（以下、プラントとも呼ぶ）を対象とする確率論的リスク評価（Probabilistic Risk Assessment：PRA）のうち、環境中への放射性物質の放出に至る事故シーケンスによる公衆の健康影響及び経済影響を求める事故影響評価を実施する際の要件及びそれを満たす具体的方法を、実施基準として規定するものである。なお、水系へ放射性物質が直接放出される事故シーケンスについては対象外とする。

この標準は、原子力発電所の出力運転及び停止時を対象とし、内的事象及び外的事象のいずれの起因事象にも適用できる。

なお、この標準では、公衆の健康影響として放射線被ばくによる個人の急性死亡とがん死亡を対象とし、経済影響として環境中に移行した放射性物質に起因する健康影響及び線量を低減するために実施される防護対策の費用（施設内対策は対象外）、並びに雇用・所得及び財の損失を対象とする。

レベル3PRAの手順



大気拡散及び沈着の評価（7章）

大気中に放出された放射性物質の挙動をモデル化し、事故シーケンスごとの放射性物質の大気中における拡散及び地表面への沈着を評価する。

7.1 大気拡散の評価 放出された放射性物質の大気中における拡散を評価し、空气中濃度を求めるために、次の項目を考慮してモデル化する。

- ▶ 大気拡散モデル：ガウス型モデルを用いてよい。放出の有効高さ等でサイト特性を反映。
- ▶ 拡散パラメータ：「気象指針」に準拠してよい。放出継続時間及び地表面粗度の考慮
- ▶ 放射性雲の上昇：放出エネルギーが与えられた時、浮力による上昇を考慮。
- ▶ 建屋の影響
- ▶ 風向変化の取り扱い
- ▶ 放射性崩壊の考慮

7.2 沈着の評価 放出された放射性物質の地表面沈着量を求めるために、沈着をモデル化する。沈着の評価では、地表面物質への乾性沈着及び降水への湿性沈着を考慮する。

- ▶ 7.2.1乾性沈着のモデル：沈着速度を導入。
- ▶ 7.2.2湿性沈着のモデル：ウォッシュアウト係数を導入。

被ばく線量評価（9章）

環境に移行した放射性物質に起因する公衆の被ばく線量を被ばく経路ごとに評価する。

9.2 被ばく経路 公衆に対して被ばくをもたらす経路として次六つを選定する。

- a) 放射性雲中の放射性物質の吸入による内部被ばく
- b) 放射性雲中の放射性物質からの外部被ばく（クラウドシャイン）
- c) 地表面沈着物からの外部被ばく（グランドシャイン）
- d) 汚染食物の摂取による内部被ばく
- e) 地表面から再浮遊した放射性物質の吸入による内部被ばく
- f) 体表面沈着物からの外部被ばく

e)及びf)は影響が小さいことが明らかかな場合には選定しなくてもよい。

9.3 線量評価モデル 各被ばく経路に対する被ばく線量計算手法を提示。線量は各健康影響の線量反応関係で用いる組織又は臓器に対して、対応する被ばく時間について計算する。

- ▶ 急性死亡の評価：a), b), c), e) 及び f)の被ばく経路を考慮する。
- ▶ がん死亡の評価：a), b), c) d), e) 及び f)の被ばく経路を考慮する。

防護対策による線量低減解析（10章）

環境に移行した放射性物質に起因する公衆の個人の被ばく線量の低減を解析する。

10.2 短期的な防護対策 確定的影響を防止し確率的影響を低減する線量低減措置として、次に示す短期的な防護対策が実施される場合の効果を考慮することができる。

- ▶ 屋内退避，避難及び安定ヨウ素剤予防服用。
- ▶ 対策範囲及び対策実施期間は、原子力災害対策指針や地域防災計画を参考に設定。

10.3 長期的な防護対策 確率的影響を低減する線量低減措置として、次に示す長期的な防護対策が実施される場合の効果を考慮することができる。

- ▶ 移転，飲食物摂取制限。
- ▶ 対策範囲及び対策実施期間は、原子力災害対策指針や地域防災計画を参考に設定。

健康影響評価 (11章)

放射線被ばくに起因して公衆の個人に生ずる急性死亡とがん死亡の確率を評価する。

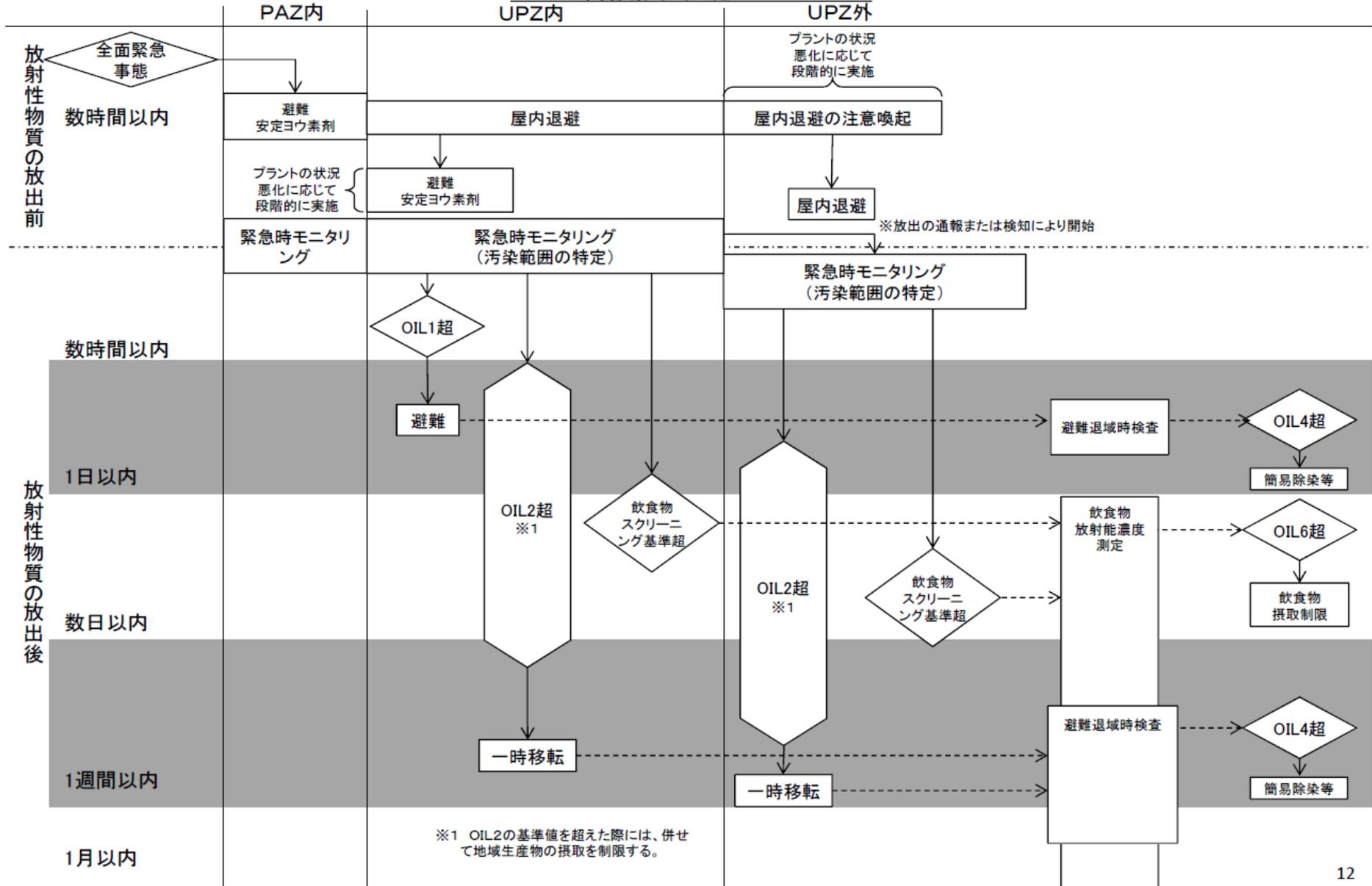
11.2 急性死亡の評価 放射線被ばくによる個人の急性死亡確率は線量に関してシグモイド形の依存性をもつハザード関数法を用いて解析する。

- ▶ 11.2.2 対象とする障害：骨髄，肺，胃腸管の障害。
- ▶ 11.2.3 線量と線量率の扱い
- ▶ 11.2.4 α線の扱い：生物効果比(RBE)を考慮。

11.3 がん死亡の評価 放射線被ばくによる個人のがん死亡リスクは、線形の線量－反応モデルを用いて評価する。

- ▶ 11.3.2 対象とするがん：白血病，骨がん，乳がん，肺がん，胃腸管がん，甲状腺がん，その他のがん。
- ▶ 11.3.3 低線量，低線量率の考慮
- ▶ 11.3.4 生涯リスクの推定法：絶対リスク予測，相対リスク予測モデル。

図1 防護措置実施のフローの例



水系に係る評価

- ▶ 水系へ放射性物質が直接放出される事故シーケンスについては対象外
- ▶ 福島第一原子力発電所事故関連の反映として、被ばく経路に関する記載を附属書（参考）に記載した。

H.8 その他被ばく経路

大気中に放出される放射性物質が直接又は間接的に公衆に対して放射線被ばくをもたらす経路のうち、影響が大きい経路を選定する必要がある。東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の経験から、9.2 a)からf)の経路以外に、影響度合いに応じては以下の経路が選定される可能性がある。

g) 飲料水に含まれる放射性物質の経口摂取による内部被ばく

h) 水産物に含まれる放射性物質の経口摂取による内部被ばく

i) 手に付着した土壌に含まれる放射性物質の経口摂取による内部被ばく

j) 手傷口からの侵入による内部被ばく

- ▶ 放射性物質の水系への移行挙動は評価対象とする地域（海域を含む）環境に大きく依存し、現時点では水産物中の放射性物質の濃度を評価するための検証された手法が十分確立されていない。したがって、箇条9.2 被ばく経路の選定で、この経路は規定していない。
- ▶ これに関連して、水産物の摂取制限に係る費用という経済影響評価は規定化していない。

福島第一事故における水産物、飲料水摂取寄与

- ▶ 食物摂取線量(1年目, 小児, 福島県) : 1.90mSv(実効), 32.8mGy(甲状腺)
- ▶ 水産物摂取線量の寄与は全線量 (1年目) の10%以下

Table 24. Predicted effective doses to different age groups from consumption of radionuclides in marine foods at various times after accident in 2011

Time after the accident (a)	Annual effective dose to different age groups (Sv/a)		
	Infant (1-year old)	Child (10-year old)	Adult
2	1.4×10^{-8}	2.1×10^{-8}	3.9×10^{-8}
5	3.1×10^{-9}	4.3×10^{-9}	8.2×10^{-9}
10	1.2×10^{-9}	1.7×10^{-9}	3.2×10^{-9}
20	8.6×10^{-10}	1.2×10^{-9}	2.3×10^{-9}
50	3.1×10^{-10}	4.3×10^{-10}	8.1×10^{-10}

- ▶ 飲料水摂取線量は、食物摂取線量に比べ小さい

Table 27. Estimated population-weighted, median, minimum and maximum doses for Fukushima Prefecture due to drinking water

Doses	Effective dose (Sv) (all radionuclides)			Thyroid dose (Gy) (all radionuclides)		
	Infant (1-year old)	Child (10-year old)	Adult	Infant (1-year old)	Child (10-year old)	Adult
Population-weighted	5.63×10^{-5}	2.82×10^{-5}	2.46×10^{-5}	1.12×10^{-3}	5.34×10^{-4}	4.60×10^{-4}
Median (districts)	2.55×10^{-6}	9.84×10^{-7}	1.37×10^{-6}	4.76×10^{-5}	1.76×10^{-5}	1.52×10^{-5}
Minimum (district)	$0.00 \times 10^{+00}$	$0.00 \times 10^{+00}$	$0.00 \times 10^{+00}$	$0.00 \times 10^{+00}$	$0.00 \times 10^{+00}$	$0.00 \times 10^{+00}$
Maximum (district)	4.79×10^{-4}	1.94×10^{-4}	1.65×10^{-4}	9.57×10^{-3}	3.72×10^{-3}	3.20×10^{-3}

適用範囲拡張の検討

経済影響評価の位置づけ

- ▶ 考えられる評価目的の中で、本標準の規定としては、原子力発電所の安全性向上に資するための対策を実施するにあたっての一つの判断材料の提供することを狙いとしている。
 - 上記の目的のもと、レベル3PRAで評価項目となっている影響を共通単位（貨幣価値）で計測・分析する方法を記載
 - 事故時の包括的な経済損害の評価を目指していない

適用範囲拡張の検討

経済影響評価の範囲

- ▶ 原子力事故における経済影響：広義において対象とする個々人の生活状態(well-being)を事故前の状態に復帰するために要する金額
- ▶ 放射線影響が直接にリスクに大きく関与し、定量化可能な項目を規定として要求した。
 - 健康影響（死亡）
 - 防護措置に要する費用（避難、移転、飲食物摂取制限、除染、防護対策関連に係る費用）
 - 汚染による雇用・所得及び財の損失

健康影響の費用

- ▶ 人的資本法(Human Capital Approach)
 - (i) 直接的な健康管理費用（医療処置費用を含む）
 - (ii) 逸失利益（治療、回復期間、生涯期待所得）
 - (iii) 心理的苦痛等
- ▶ 支払意思額法(Willingness To Pay: WTP)

死亡リスクを削減するために支払っても良い最大金額

 - 顕示選好法：人々の経済活動から間接的に評価
 - 表明選好法：人々に直接質問して評価
- ▶ わが国でも、WTP法を用いた評価手法の確立が求められている。（国土交通省：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針）

WTP法の評価例

表 K.2—支払意思額（WTP）に基づく確率的生命の価値の評価値

		10 ⁸ yen (2012)*				事例数
		中央値	平均	最小値	最大値	
合計		3.47	5.59	0.05	31.5	73
Consumer Behavior Study		2.78	2.90	1.39	4.29	11
米国 (US NRC, 1994) (16)	Wage/risk Compensation	5.80	7.05	0.75	20.4	25
	CVM	3.85	4.99	0.13	19.7	8
	Values employed by U.S. Government Agencies	1.83	2.64	0.38	8.20	10
	Risk-Reducing Regulations	3.66	8.07	0.05	31.5	11
日本		3.86	7.21	2.15	24.0	8

* 2012年時点での日本円に換算した値である。

防護対策費用

- ▶ 人の移動（避難、移転）に係る費用
 - 輸送費用
 - 一時的居住費用
 - 所得損失—GDP寄与で評価
- ▶ 飲食物摂取制限に係る費用
 - 食物生産に係る費用—地域のGDP寄与で評価
 - 土地資産の損失
 - 食物廃棄等費用、代替食品の費用
- ▶ 除染に係る費用
 - 除染技術に応じた実施費用（必要機器の経費、廃棄物の輸送・処理を含む）
 - 除染作業の労働費
 - 作業者の健康影響の費用

雇用・所得及び財の 損失に係る費用

- ▶ 防護対策の実施による労働生産低下に伴う逸失利益
 - 人の移動対象地域の所得損失としては、人口1人当たりのGDPへの貢献度を適用して算出する（個人が避難や移転をした時に、その期間中GDPが損失したと見なす）。
- ▶ 不動産の資産価値や資本減耗に係る財の損失
 - 一定期間不動産が使用されない場合、その市場価値は減少。この価値の減少は事故による資本の損失とみなすことができる。
 - 減価償却費と資本偶発損（事故や災害により想定される資本の損害額）からなる資本減耗はGDPに含まれるので、二重計上を生じないように注意する。