

欠席： 甲斐、杉浦、鈴木、種村  
代理： 上村、廣川  
常時： 傍聴：  
発言/傍聴：

米原委員 梶本副主査 本間主査 内藤幹事 石川委員

山本委員

富田委員

傍聴・予備

( 座席表 )

第7回 標準委員会 発電炉専門部会  
レベル3 PSA 分科会

・日 時； 2005年10月28日(金) 13:40～

・場 所； 原子力発電技術機構 第13A,13B会議室

市川委員

大森委員

佐藤委員

田南委員 成宮委員 武智委員 高橋委員 斯波委員

事務局 常時参加・発言者

入 口

(社)日本原子力学会 標準委員会 発電炉専門部会  
第6回 レベル3PSA分科会(P8SC)議事録(案)

1. 日 時 2005年5月27日（金） 13：40～17：00

2. 場 所 原子力安全基盤機構 第13A, 13B会議室

3. 出席者（敬称略）

（出席委員） 本間《主査》，内藤《幹事》，住田(梶本代)，石川，市川，大森，佐藤，杉浦，鈴木，斯波，高橋，武智，種村，上村(田南代)，外川，富田，廣川(宮田代)，山本，米原（19名）

（常時参加者） 福田，舟山（2名）

（事務局） 太田

4. 配付資料

P8SC6-1 第5回 レベル3PSA分科会議事録(案)

P8SC6-2 原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する手順書  
(レベル3 PSA編)

P8SC6-3 同 上 (レベル1 PSA編)

P8SC6-4 同 上 (レベル2 PSA編)

P8SC6-参考1 標準委員会/専門部会等スケジュール（案）

5. 議事

議事に先立ち、委員21名中代理委員を含め19名が出席しており、定足数を満足していることが報告された。

1) 前回議事録確認

前回議事録(案)について以下を訂正の上、承認した（P8SC6-1）。

・2頁1行： 屋内退避、避難など具体的なアクションの決めはないのか。  
→ （訂正後）・・・シナリオはあるか。

・同2行： 防災訓練でのシナリオ設定がある程度で、レベル3 PSA標準として参考になるものは無い。  
→ （訂正後）・・・はある。

2) レベル2 PSA実施基準の概要について

住田代理委員より、表記についての説明がなされ、以下のようない質疑が行われた。

(P8SC6-4)

- ・レベル2では、レベル1.5とレベル2までの場合分けがあるのか。  
→ 明確な区別があるわけではなく、実施基準の中では定義していない。ただし、8章の事故シーケンスの定量化までがレベル1.5と考えている。
- ・作業会だけで1年以上15回と審議を重ねられているので、規定について参考にしてほしい。特に、規定の全体のバランスを見ていきたい。レベル1とレベル2はHow toではなくて要求事項になっているが、最初からこの方針だったのか。  
→ 言葉尻は変わっているが基本方針は変わっていない。
- ・レベル3標準は、手順書を想定しており、地震PSAに近いまとめ方と考えているが、地震PSAは、原安協で膨大な議論をしたベースのこと細かい手順を解説している。そのようなベースがないレベル3標準では、どのようにまとめるかが難しい。特に、手順書ベースの場合、解説ではなく規定に書くものがどの程度必要なものか不明な点が多く、逆に要求ベースの方が、規定と解説でまとめやすいと考える。この様なことを踏まえて今後のレベル3標準の検討をして行きたい。
- ・前回の議事で話題になった他機関の動向で、ANSはレベル2、レベル3のPSAの手順書を作成する予定である。IAEAは安全基準文書の再編のなかで、PSAのガイド（スタンダードではない）を作る予定である。
- ・OHPの6ページで30項目のShall、80項目のShould等あるが、具体的な項目としてはどれか。  
→ 本文の黒枠で囲んでいるものが基本的 requirement の Shall で、その下に同じ文章を呼び込んで、片括弧英小文字までが具体的 requirement となっている。
- ・要求事項の書き方であれば、10章のソースターム解析を環境解析とすればそのまま規定書として成立するが、レベル3標準では各解析を分割して具体的要求事項に近い内容を書く方針とする。プロセスが明確に分かれているので、プロセス毎に記載する方法で問題ないと考える。
- ・不確実さについて、頻度の不確実さ解析と、ソースタームの不確実さ解析に言及しているが、両方とも必ず解析しなければならないことを常に要求するのか。  
→ 要求している。基本的にPSAの考え方自体に含まれている。
- ・ソースタームの伝播解析についても規定しているが、現状ではわずかの事例で検討しているのみで、要求事項にするには無理があるのではないか。  
→ 難しい問題であり、今後の検討課題となっている。

#### 4) レベル3PSA標準手順書（案）について

本間主査より、表記について現状でまとめた内容と、各章の担当者から説明がなされ、以下のような質疑が行われた。（P8SC6-2）

#### 4-1) 3. 評価の流れについて〔新規資料〕

舟山常時参加者より、表記について説明がなされ、以下のような質疑が行われた。

- ・人口データの処理については、手順としてはレベル3単独の入力部分であるが、レベル2のプラント特性の調査に対応させ、サイト特性の調査として気象サンプリングと人口データ等の社会環境データとしてまとめた項目にするのも良いのではないか
- ・レベル2では、図の手順に項目があれば本文に章立てが必要となる。
  - 図中の項番4をサイト特性の調査とし、気象サンプリングと人口データを併せて記載することも考えられる。また、項番5の大気輸送と項番6の沈着もまとめた方が良いとの考え方もある。
- ・結果の表示は、記載のとおりリスクの定量化の表現が良い。評価結果と発生頻度を用いて、CCDFや平均的個人リスクの定義を記載する。従って、今後、検討しなければならない項目は、リスクの定量化と、不確実さと感度解析、及び文書化となる。
- ・検証についても必要ではないか。→ 項番9に入ると考える。
- ・レベル2において、ソースターム解析のみ評価結果の検証が記載されているが、その他は必要ないのか。
  - 10章はソースターム解析と放出カテゴリーの定量化を別立てにする意見もあったが項目が増えることから一緒とした。検証は8章のイベントツリーの定量化結果の検証もあり、項目毎に記載している。
- ・ソースタームの検証とは何を要求しているのか、例えば他の解析コード比較なのか。
  - 解析結果のレビュー（合計値の一致）のような一般的な検証を要求している。
- ・妥当性の検証の類いではないのか。→ 妥当性の検証ではない。
- ・妥当性の検証のような内容は、解説の中にパラメータの検証や評価結果の意味を文献を引用することで示すことが重要となる。
- ・レベル2の場合は、図で示す通り検証結果によっては、見直しが他の項目にフィードバックするフローがあるが、レベル3は解析がワンスルーで行われると考えられる。ただし、何かフィードバックする要素がないか検討を願う。
- ・図中項番8で環境影響評価と記載されているが、主査は健康影響評価としている。一般的にレベル3 PSAでは、経済影響や防護対策の効果及び作物被害などを含むが、本レベル3標準の適用範囲でどこまで書くか検討する必要がある。最後の評価に経済評価は含めないなど、発電炉部会からの要求通り安全目標に対する個人リスクに限定してもかまわないが、一般的な記述との区別が必要と考える。
- ・ Chernobyl を参考にしても、健康評価モデルの内部被ばくの取扱をどのように考えるか問題である。

- 安全目標が求めている個人リスクの計算ができる手順のみとしても、ガン死亡リスクにおける内部被ばく経路からの線量をどう考えるか検討する必要がある。線量評価の中で内部被ばくの手順を明確化し解説で考慮すべきことを記載する。
- ・影響のところで、死亡リスクを問題にするが、レベル3としては甲状腺ガンも対象とする。→ NUREG/CR-4214 では死亡ガンに入っているが、手術で治癒するし、チエルノブイリではほとんど治っている状況である。
- ・致死ガンの分類であっても、ほとんど治癒しているものもあるが、ただし、現実モデルとしては致死ガンとしての標記ファクターを使用して評価しているが、実際の医療技術の進歩等による状況を解説に記載する。
- ・死亡だけが障害ではなく、今後、入院することが大きな損害と考えられ、発ガン自体が問題になるのではないか。発ガンが問題になれば治癒率も大きなファクターとなるが20年前に比べ大きく値も変わっているのではないか。
- 健康影響評価モデルは、死亡に絞らなくても良いと考えるが、非致死ガンの推定の精度は悪くなるのではないか。

- 人を対象にしているため健康影響には、死亡に限らず記載する方針とする。
- ・本標準モデルは、利用者が避難や食物制限に着目した検討にも利用するのであれば、日本の現状においては流通食物のようなパラメータを入れるべきではないか。
- 線量評価で内部被ばくの食物摂取経路での説明で記載する。流通をモデルで考慮することは難しいので、摂取制限以下であれば保守的な評価となり、摂取制限以上であれば個人被ばくは受けないという関係を明記する。
- ・幅広く言えば、レベル3の防護対策の知見等への応用などあるが、一般論をどこまで書いて、本標準でどこまで絞ったモデルを書くのかが重要となる。従って概要では、種々の評価の出力が可能であるが、適用範囲としては人の健康評価に限定すると記載することとする。

## 5) レベル1 PSA実施基準の概要について

- 村松レベル1主査より、表記についての説明がなされ、以下のような質疑が行われた。
- ・事務局としては、要求型の標準としたから手順を標準本体に書けないのでなくて、取上げられている手法が一例であって、それだけに限定できないものであるから解説に書いたと理解している。手順も規定事項が明確ならば本体に書くべきものである。本体は要求型で整理して、手順については付属書（規定）に書くような整理も考えられる。標準委員会委員の中には解説は見ないと言う人もいる。
  - ・決定事項として、レベル2では申しわたされているが、基本要求事項は「しなければならない」とし、具体的な要求事項は「する」としているが、議論の中で、具体的

要求事項のなかで基本要求事項を読み込むときは、「しなければならない」ではなく「する」とした方が文章の收まりとして良いと考える。

→ 全体をすべて「する」に統一することも考えられるが、shall で「しなければならない」が良いのであれば、具体的要求事項の一項目は基本要求事項と同様とすべきと考える。

・要求事項の「しなければならない」のみの場合、解説を読まなくても良いとしたら、要求事項のみの標準は何を目的として規定するのか不明である。手順ならば、手法で必ずやることを規定できるが、手法が解説に書いてある文書で標準となるのか。

→ 標準の目的には、基準的（指針）なものと、手順的（手引き）なものがあり、標準がどのような要求があるかによって変わってくる。レベル1は要求型で作成することになったが、要求だけでは手法が不明であるため書く必要が生じ、手法については方法が限定できないことから解説に書くこととなった。

・規定上は「する」としても「しなければならない」としても何ら変わりがなく、單なる書き手の気持ちの問題に過ぎない。

・レベル3標準は、目的の前提が使う人に便利である標準を作ることであるから、手順的なものが良いのではないかと考える。

・レベル1では、実際の規制に用いられることを想定して要件を作成してきた。詳細さが不十分なPSAの結果であると、その判定で判断しても良いかとの議論となる可能性があるため、十分に詳細であることを確保するためにいろいろな具体的要求事項を追加している。

→ 具体的 requirement の中で手順としてしなければならないことを規定して、品質を確保している。

・地震PSA標準の進行状況は？

→ ドラフトが作成されて、6月2日に中間報告が行われる予定である。手順書に近い内容となっている。

#### 4') レベル3 PSA標準手順書（案）について（続き）

##### 4-2) 4. ソースタームについて

佐藤委員より、表記について説明がなされ、以下のような質疑が行われた。

・入力データとしてそろえるべきものを規定する。

・レベル3 PSAの実施のためにレベル2 PSAの実施が必修となるのは違和感がある。ただし、事故影響解析はプロセスを議論しているためレベル2 PSAは必須ではないが、個人リスクを国の安全目標と比較する議論をする場合にはレベル2は必須である。ただし、ここで記載する必要はないと考える。

・不確実さの要因として項目を上げているが、ここは基本的に「設定する。」「何を用意しなければならない。」「してもよい。」で項目を列挙するようにする。

- ・ 4.2.4 放出エネルギーで、解説も拡散と重複した表記になっているためソースタームでは条件の設定のみの記載が良いのではないか。
  - 4.2.3 の放出高さについてもどちらで規定するか問題となる。
- ・ 4.2.4 放出エネルギーで「考慮してもよい」とした理由はなにか。
  - レベル3の評価コードによっては、考慮できるものとできないものがあり、要求事項にすると問題となる可能性があると考えた。
- ・ 4.2.4 はレベル2の計算結果から放出エネルギーを与えるとか、4.2.3と原子炉のデータか放出高さと形状を与えるとの表記がよいのでは。
  - 4.2.3 はこのままで良いのではないか。了解。
- ・ 解説 4.8 の中で、拡散パラメータまで踏込んで書かれている。大気輸送・拡散評価か、どちらかで記載すれば良いのではないか。
  - 「MACCS2 は、・・・保守的な評価結果となる。」(4行) は大気輸送・拡散評価で解説すべきことであるので削除する。
- ・ 4.2.6 化学的物性のよう素の化学形態は、ガス状と粒子状よう素に区別して評価するは、要求事項としてここまで必要とするのか。
  - 現実には、よう素はCsIで評価しているが、有機よう素もあり推定は困難であるが効果の影響は外部では大きい。沈着の所でも議論していると思うが、ここで区別すると書く必要があるか。ここで、評価するではなく区別するまで止める。
  - 梶本副主査と議論して、レベル2でI<sub>2</sub>を評価している訳ではなくCsI内のある割合をガス状として与えて評価している。NUREG-1345?などを見て非保守的にならぬように検討し記載している。MACCSなども区別して入力可能である。
  - ガス状を見込むことによって沈着を非安全側に評価しないことは問題ない。
  - 副主査と再検討して報告する。
- ・ 4.3 不確実さに燃焼度の仮定があるが、これはレベル2の手順書を参照できるのか。
  - 事象進展での問題はないが、インベントリー評価に対しては寄与が大きいと考える。ただし、影響を大きく与える核種は変わらない意見もある。
- ・ 燃焼度よりも熱出力で決定するのでは
  - 短半減期の核種は効かないが、Csなどの核種に効いてくるので1/4炉心評価など運転期間が影響する。

#### 4-2) 5. 大気輸送・拡散評価について

山本委員より、表記について説明がなされ、以下のような質疑が行われた。

- ・ 5.2 の拡散パラメータで要求事項であれば、線図を利用するとおり、手順書であれば記載の利用できるとの表記になるのか。
  - 原子力安全委員会の指針などは付属書に読み込む手がある。
  - 成宮委員より、利用できるとの表現は規制まで行かない表現として紹介された。

- レベル3は大きな標準書にならないと考えるので、なるべく構造を複雑にしないほうが見やすいと考える。
- 以前、石川委員から提案のあった線量率のような大きなデータ集とまとめて、付属書とすることも考えられる。
- ・不確実さの要因で、解説表5.7の専門家判断は、10章で書くべきことと考える。また、気象の年変動の不確実さは、気象サンプリングに入っているのか。
- 5.7に移したままだが前回のコメントにより、内容は一部削除している。
- ここでは1つの気象条件に対する濃度算出方式を示しているので、確率論的な検討が入ると分かりにくくなる。問題の1つとしてあげておく。
- (補足) 気象サンプリングでは、異常年検定について言及している。
- ・ガウス型ブルームモデルは、ガウス型モデルに変更してもらいたい。
- 式を規定のところに記載するか再検討願う。

#### 4-3) 6. 沈着評価について

大森委員より、表記について説明がなされ、以下のような質疑が行われた。

- ・「適切に評価する」との表現が散見されるが、規定にはそぐわない表現ではないか。
  - 以前の資料にも「適切な」等の修飾語はなるべく使用しないとの指示があったため全て取る方向で修正する。確かに、どこまでやるのが適切なのか不明瞭となる。
  - 適切、合理的などの副詞は曖昧になる。
  - 解説に事例があり、解説の手法を使用することが適切との認識している。
- ・解説の中のキーワードのような要件は、具体的な要求項目にして置いた方が良いと考える。例えば、拡散の式のように本標準で認知して標準的に使える式であるとし、他の式を使用する場合は妥当性を示すことを明記すれば、式について全て引用しなくても認知されたことになると考えられる。また、認知せずに、妥当性を示すことだけを要求する方法もある。
- ・減少効果は必要に応じて設定を行うと書いてあるが、線源減少(source depletion)モデルなどは一般的、標準的に使用されているので、式はともかく明記すべきではないか。
- ・崩壊が記載されていない。大気拡散の部分を含め検討のこと。

#### 4-4) 7. 線量評価について

種村委員より、表記について説明がなされ、以下のような質疑が行われた。

- ・一般的な記載方法として、モデルを記載して、拡散だったら拡散パラメータ、補正係数、沈着であれば沈着速度のアプローチとウォッシュアウトのアプローチとパラメータと、線量評価にもモデルがあってパラメータがきており統一感がある。
- ・沈着で乾性沈着とパラメータの内容が重複している。6.3は評価手法を記載して、解

説も含めパラメータで記載する内容を再検討願う。大気拡散、健康影響を含め構成を再検討する。

- ・7.1の個人リスクの部分は、前回の会議でのコメントを反映しているかも知れないが基本的には最初の段階で規定することと考える。

#### 4-5) 8. 線量低減措置について

武智委員より、表記について説明がなされ、以下のような質疑が行われた。

- ・防護対策のような指針に記載してあるものと付属書として位置付けるのか、部分記載するのか参照（出典）のみでよいのか、又は付属書としてそぐわないものなのか。
  - （事務局）。付属書（参考）と解説は明確な区別はなく、地震P S Aの場合は将来的に規格に成りえるが現状では成熟していないものを付属書（参考）と考え、例などは全て解説としている。すべての内容を記載しないのであれば解説でよい。
  - 例なのか、気象指針等を参照するのかで異なるが、防護対策のレベルはモデルのパラメータで使用すべき基準なので、むしろ本文で規定した方が良い。例えば、屋内退避の基準など。食物摂取制限の判断基準も規定して良いのではないか。

#### 5. 次回の予定

本間主査より、現状ベースで、メーカー及び事業者の立場から手順書としてのコメントと学識経験者から解説等の技術内容についてのコメントを内藤幹事まで提出のこと。

幹事会を組織して、ブラッシュアップしてから次回の日程を決める。

幹事会の参加については、梶本副主査、内藤幹事と調整して個別にお願いしたい。

以上

(社)日本原子力学会 標準委員会 発電炉専門部会 資料 P8SC7-  
レベル3PSA分科会(P8SC) 役割分担表 2005年10月28日

敬称略

検討分野	取纏担当	分科会委員	常時参加者	初回検討日
大気輸送・拡散	山本	市川、石川	松本	2005/1/13
沈着	大森	内藤	福田	2005/2/22
線量評価	種村	高橋、杉浦	舟山	2005/2/22
線量低減措置	武智	外川、成宮		2005/3/24
健康影響	本間	米原、甲斐		2005/3/24
ソースターム	佐藤	梶本、田南	上村	2005/4/20
気象サンプリング	斯波	宮田、富田	廣川	2005/1/13

	氏名	所属	
分科会委員	本間 俊充	日本原子力研究所 東海研究所 原子炉安全工学部 安全評価研究室	主査
	梶本 光廣	(独)原子力安全基盤機構 解析評価部 計画グループ	副主査
	内藤 真	(株)東芝 磐子エンジニアリングセンター 原子力システム設計部	幹事
	石川 智之	(株)CRCソリューションズ 科学システム事業部エネルギー産業技術部	
	市川 陽一	(財)電力中央研究所 環境科学研究所 大気環境領域	
	大森 利和	日本原子力発電(株) 発電管理室 技術・安全グループ	
	甲斐 優明	大分県立看護科学大学 人間科学講座環境科学	
	佐藤 憲一	(株)日立製作所 原子力計画部 原炉計	
	杉浦 紳之	東京大学 原子力研究総合センター 放射線管理室	
	鈴木 聖夫	経済産業省 原子力安全・保安院	
	斯波 宇司	日本エヌ・ユー・エス(株) 安全・環境解析ユニット	
	高橋 知之	京都大学 原子炉実験所 原子力基礎工学研究部門	
	武智 義典	三菱重工業(株) 原子力技術センター 原子炉安全技術部	
	種村 統令	(独)原子力安全基盤機構 解析評価部 サイクル施設解析グループ	
	田南 達也	東京電力(株) 原子力技術・品質安全部 原子炉安全グループ	
	外川 織彦	日本原子力研究所 東海研究所 環境科学研究部	
	富田 賢一	(株)ヴィジブルインフォメーションセンター システム開発グループ	
常時参加者	成宮 祥介	関西電力(株) 原子力事業本部 技術基盤プロジェクトチーム	
	宮田 浩一	(株)テブコシステムズ 電力システム本部 原子力エンジニアリング部	
	山本 一英	(有)ワイファースト	
	米原 英典	(独)放射線医学総合研究所 放射線安全研究センター	
	松本 和之	中部電力(株) 発電本部 原子力部 計画グループ	

## 目次

1. 適用範囲 .....	1
2. 引用規格 .....	1
3. 定義 .....	1
4. ソースタームの設定 .....	2
4.1 核種基本データ .....	2
4.2 放出データ .....	3
5. 気象データの収集及び気象サンプリング .....	3
5.1 気象データの収集 .....	3
5.2 気象シーケンスの選定 .....	4
6. 大気拡散及び沈着の評価 .....	4
6.1 大気拡散のモデル化 .....	4
6.2 沈着の評価 .....	6
7. サイトデータの収集及び処理 .....	6
7.1 人口, 土地利用, 農畜産物分布データの収集 .....	6
8. 被ばく線量評価 .....	7
8.1 被ばく経路 .....	7
8.2 評価モデル .....	7
8.3 パラメータ .....	8
9. 防護対策による線量低減解析 .....	9
9.1 短期的な防護対策 .....	9
9.2 長期的な防護対策 .....	9
9.3 モデル .....	9
10. 健康影響評価 .....	10
10.1 急性死亡のモデル化 .....	10
10.2 晩発性がん死亡のモデル化 .....	10
11. リスクの定量化 .....	11
11.1 個人の条件付平均死亡確率の評価 .....	11
11.2 個人の平均死亡リスクの評価 .....	11
12. 不確実さ解析及び感度解析 .....	11
12.1 不確実さ解析 .....	11
12.2 感度解析 .....	12
13. 文書化 .....	12
13.1 文書化 .....	13

# (社)日本原子力学会標準

## 原子力発電所の出力運転状態を対象とした 確率論的安全評価に関する手順書

### (レベル3PSA編) : 200\*

### (案)

#### 1. 適用範囲

この標準は、出力運転状態にある原子力発電所（以下プラントとも呼ぶ）を対象とする確率論的安全評価（Probabilistic Safety Assessment: PSA）のうち、内的事象に起因して環境への放射性物質の放出に至る事故シーケンスが発生した場合の公衆のリスクを求めるレベル3PSAを実施する際に、評価結果の品質を確保するための規定について定める。

なお、この標準では、放射線被ばくによる公衆の個人の急性死亡リスクと晩発性がん死亡リスクを対象とする。

#### 2. 引用規格

次に掲げる指針は、この手順書に引用されることによって、この手順書の規定の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

- ・発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針
- ・原子力施設等の防災対策について

#### 3. 定義

- a) ソースターク レベル 2PSA では、環境に放出される放射性物質の種類、性状、放出量、放出時期、放出期間、放出エネルギーのことをいう。
- b) 放出カテゴリ
- c) 放出開始時間
- d) 放出エネルギー
- e) エアロゾル 気体中に、液体又は固体の微粒子が分散しているものをいう。
- f) 拡散パラメータ プルームの広がりを正規分布と仮定した時の水平方向と垂直方向の標準偏差をいう。大気拡散式では $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$ として表される。
- g) 気象サンプリング レベル 3PSA に利用可能な、一定期間一連（例えば、毎時 1 年間）の気象データにより構成される多数の気象シーケンスの中から、実際の計算に適用する気象シーケンスを抽出する統計的処理をいう。抽出した各気象シーケンスに対応した発生確率を割当てることも含める。抽出処理は実際上、一定期間一連の気象

データに対応する各時刻の中から、放出開始時刻を決定することを意味する。

- h) **気象シーケンス** 原子力施設で事故が発生して環境中に放射性物質が放出された時点（放出開始）から、放出放射性物質が評価対象領域外に過ぎ去るまでの一連の気象条件をいう。気象シーケンスは、その開始時刻により特定される。
- i) **クラウド（放射性雲）** 大気中に放出された放射性物質が雲状となり拡散するものをいう。
- j) **混合層** 地表面が日射によって暖められることで対流が生じ、それにより上層と下層の空気の混合が盛んになる。この対流によって攪乱される高度を混合層高さと呼ぶ。
- k) **大気安定度** 日射量又は放射収支量及び敷地を代表する地上風の風速から決まる気象条件をいう。A（極不安定，Extremely unstable）～F（安定，Moderately stable）に分類され、それぞれ拡散物質の拡がりのパラメータと対応している。
- l) **ブルーム** エアロゾルやガスとして大気中に放出された放射性核種が風下に運ばれるときに形成する放射性雲をいう。
- m) **放出源の有効高さ** 吹き上げ高さに加えて、ブルームの拡散に及ぼす建屋や地形の影響を考慮した放出源高さをいう。
- n) **リッド** 混合層の上端をリッド（蓋）と呼ぶ。
- o) **ウェザリング** 放射性核種の土壤中への移行、降雨、風等による除去をいう。
- p)

#### 4. ソースタームの設定

ソースターム設定の目的は、レベル 3PSA を実施するために必要なソースタームを設定することである。ソースタームの設定では、軽水型原子力発電施設の原子炉の中に内包している放射性物質（以下、炉内内蔵量）の基本データや、レベル 2PSA による放射性物質の環境への放出割合の評価結果に基づいて、レベル 3PSA の入力データとして、放出カテゴリの発生頻度と各放出カテゴリの特性（放射性物質の種類放射性核種、物理的及び化学的性状、放出量、放出開始時期時間、放出継続時間及び放出エネルギー、警告時間）を与えるものとする。

##### 4.1 核種基本データ

ソースタームのうち、放射性物質核種の放出量の取り扱い方法は、レベル 2 PSA とのインターフェイスの方法によって変わりうるが、本標準では、レベル 3 PSA において核種基本データ（核種、崩壊定数、炉内内蔵量）を設定する（解説 4-1）。

**4.1.1 考慮すべき核種と炉内内蔵量** 炉心に内包されている放射性核種のうち、環境影響評価放射線被ばくの観点から重要な核種を設定する（解説 4-2）。炉内内蔵量は、想定される運転状態に基づいて条件を定める（解説 4-3）。

**4.1.2 核種（元素）のグループ化** レベル 2 PSA では、物理的、化学的に類似な限定され

た数の核種グループを定義し、放出量を評価するが、レベル3 PSA評価では、考慮すべきとして選定した核種の化学的性質に基づいて、入力データをグループ化して設定する（解説4-4）。

## 4.2 放出データ

レベル2 PSAの評価結果に基づいて、放出カテゴリ毎に放出頻度及び放出開始時間、放出割合量、放出継続時間、放出高さと放出形態、放出エネルギー、粒子径及び化学形を設定する。さらに、レベル2 PSAにおいて評価している場合には、放出エネルギーを設定してもよい。

**4.2.1 放出カテゴリと放出頻度** レベル2 PSAにおいて評価された放出カテゴリと、その放出頻度を用いる。また、原則として、レベル2 PSAで評価した放出カテゴリを全て取り扱う。放出カテゴリが著しく多い場合には、放出カテゴリの類似性（放出割合量及び放出タイミング）に着目して、評価において矛盾が生じないように再分類してもよい。

**4.2.2 放出開始時間、放出割合と放出継続時間放出タイミングと放出量** 放出カテゴリ毎に、放出が開始される時刻時間、放出割合量、そして放出継続時間をレベル2 PSAの評価結果に基づいて設定する（解説4-5）。放出カテゴリの特性として、単一の放出で模擬できない場合には、複数回の放出を考慮してもよい。この場合には、それぞれの放出について、放出の時間変化を考慮して、放出開始時間、放出割合量、放出継続時間を設定する（解説4-6）。

**4.2.3 放出高さと放出形態** 放出高さと放出形態は、放出カテゴリの特徴に基づいて、評価するプラントの設備の形状に応じて設定する（解説4-7）。

**4.2.4 放出エネルギー（浮力）** レベル2 PSAの評価結果に応じて、放出カテゴリ毎に、放出されるプルームの放出エネルギーを設定してもよい（解説4-8）。

**4.2.5 エアロゾルの粒子径分布** 大気中へ放出されたエアロゾルの粒子径に応じた拡散及び沈着が評価できるように、放出カテゴリごとのエアロゾルの粒子径分布を、レベル2 PSAの評価結果又は試験結果から設定する（解説4-9）。

**4.2.6 化学的物性** 放出された放射性物質の化学的性質は、健康影響評価の結果に対して重要な影響を与えるため、核種グループ毎に、設定する。特に、よう素の化学形態は、ガス状と粒子状よう素に区別して設定する。

## 5. 気象データの収集及び気象サンプリング

気象データの収集及び気象サンプリングの目的は、大気中に放出された放射性物質の挙動を評価するために必要な気象データを収集し、評価に用いる気象シーケンスを選定することである。

### 5.1 気象データの収集

放出された放射性物質の大気中の輸送・拡散及び地表面への沈着を評価するために必要なサイト及び地域を代表する気象データを調査し、収集する。

**5.1.1 気象パラメータ** ガウス型ブルーム拡散モデルに基づく事故影響評価では、気象パラメータとして一般的に風速、風向、大気安定度を用いる。この他、湿性沈着量の計算のために降水量を用いる。

**5.1.2 気象データの観測点** 大気状態の空間分布を考慮した解析を行うことが理想的であるが、評価範囲が 10 数 km 程度であれば、放出点を代表する対象領域内的一点における観測値を代表的に用いることは合理的である。原子力発電所で観測されている気象データは、通常、本標準が定める事故影響評価レベル 3PSA に用いることができる。(解説 5.1 参照)

**5.1.3 気象データの観測期間** 出現頻度は低くても事故影響評価上重要な気象条件をもらさないため、また年間の気象変動を適切にとらえるため、少なくとも毎時 1 年間の観測データを使用する。通常、事故影響評価では、1 年分の気象データで十分である。得られた気象データの代表性を確認するため、異常年検定を実施することが望ましい。(解説 5.2 参照)

## 5.2 気象シーケンスの選定

年間の全ての気象シーケンスを対象にレベル 3PSA を実施することは実際的でないので、気象シーケンスによる事故影響量の違いが大きいので、事故影響のスペクトルをできるだけ近似できるように一定の数の気象シーケンスを選定しても良い。できるだけ偏りのないように気象サンプリングする。

**5.2.1 気象サンプリング法** 気象シーケンスの選定には、気象データ全体を複数の気象シーケンスグループに整理し、抽出した気象シーケンスに適切な発生確率を割り振ることができる、 bin サンプリング法による気象サンプリングを実施する。(bin サンプリングだけに限定するか?) (解説 5.3 参照)

**5.2.2 気象シーケンスのグループ化** bin サンプリング法に採用する気象シーケンスのグループ化は、着目する事故影響量の大きさに敏感な気象条件を広い範囲でカバーするよう実施する。放出放射性物質の拡散や地表面沈着の計算結果に強く影響を及ぼす、降水、風速及び大気安定度等に着目してグループ化する。(解説 5.4 及び解説 5.5 参照)

## 6. 大気拡散及び沈着の評価

大気拡散及び沈着の評価の目的は、事故時に環境に放出された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ことである。

### 6.1 大気拡散のモデル化

大気中に放出されたブルームに対して図 7-1 に示すような現象を考慮するため、放射性物質の大気中における拡散を評価し、大気中濃度をもとめるための大気拡散のモデルに当たっては、以下を考慮する含める。

- 大気拡散モデル式
- 拡散パラメータ
- プルームの時間希釈
- プルームの上昇
- 建屋の影響
- 気象の確率論的扱い

**6.1.1 大気拡散モデル式** 大気拡散モデル式には、放射性物質の濃度分布を正規分布で仮定したガウス型プルームモデルを用いることができる。基本式は以下のとおりである。(式は削除?) (解説 6.1)

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (0-1)$$

$\chi(x, y, z)$  ; 風下位置(x,y,z)の大気中濃度の時間積分(Bq·s/m<sup>3</sup>)

$Q$  ; 発生源強度(Bq)

$\bar{u}$  ; 平均風速(m/s)

$\sigma_y, \sigma_z$  ; プルームの水平方向 y 及び垂直方向 z の拡散パラメータ(m)

(x=0, y=0, z=h) ; 発生源位置(m)

$h$  ; 放出高さ(m)

プルーム放射性物質が垂鉛直方向に充分に広がると、その広がりは地表面や混合層上部の安定層リッドによって制限されることから、地表面や混合層上端リッドは反射境界として扱う。

**6.1.2 拡散パラメータ** 水平及鉛直方向の拡散パラメータ $\sigma_y, \sigma_z$ は大気安定度ごとに求める。大気安定度別の距離と拡散パラメータの関係は Pasquill-Gifford 線図が利用できる。大気安定度分類は原子力安全委員会気象指針で示されている表 7-1 に示す分類が利用できる。(解説 6.2)

**6.1.3 プルームの時間希釈放出期間の考慮** プルームの放出期間に応じた濃度の補正を考慮する。放出期間による濃度の変化は、水平方向の拡散パラメータ $\sigma_y$ を補正することで行う。(解説 6.3)

**6.1.4 プルームの上昇** 運動量によるプルームの吹き上げとプルームの排熱が無視できない場合には浮力によるプルームの上昇を考慮する。(解説 6.4 及び 6.5)

- 有効高さ 吹き上げによる放出の有効高さは、放出状態、放出地点の地上高さ、地形等による影響を考慮して決める。
- 浮力によるプルーム上昇 浮力によってプルームが上昇するか、その後のプルームの上

昇が停止するかを条件によって判断する。排熱はブルームの熱エネルギーに基づき計算する。

**6.1.5 建屋の影響** 放出場所と風向によって、ブルームが建屋から離れる際の初期の大きさが決まる。ブルームが建屋の影響を受ける場合には拡散パラメータの変化を考慮する。  
(解説 6.6)

**6.1.6 気象の確率論的扱い** 放出後の風向変化を考慮しない拡散計算を行う場合には、風向発生頻度による重みを考慮する。また、年間全ての気象データを用いた評価を行ってもよい。(解説 6.7) (長期間放出時の風向変動の扱い?)

## 6.2 沈着の評価

放出された放射性物質の地表面への沈着を評価し、地表面濃度を求めるため沈着をモデル化する。放射性物質の沈着には、障害物への固着のような沈着(以下「乾性沈着」という。)及び降雨による捕捉(以下「湿性沈着」という。)がある。

乾性沈着及び湿性沈着は、影響評価上いずれも重要であり、適切に考慮する必要がある。

**6.2.1 乾性沈着** 乾性沈着に起因する放射性物質の地表面への沈着率濃度は、地表大気中気相中濃度と沈着速度 ( $V_d$ ) を用いて計算する。(解説 6.8)

この場合、沈着速度は、粒径依存性を適切に考慮する。(解説 6.9)

また、沈着を評価する場合、必要に応じて以下の補正を行う。(解説 6.10 及び解説 6.11)

a) 濃度変化 気相中の放射性物質濃度は、地表面への沈着による放射性物質の大気中濃度の減少効果を考慮するとしてもよい。

b) 重力沈降 重力沈降を考慮する必要がある場合、適切に考慮する。

**6.2.2 湿性沈着** 湿性沈着に起因する放射性物質の地表面への沈着率濃度は、地表大気中気相中濃度と単位時間当たりにブルームから除去される物質の割合(以下「ウォッシュアウト係数」という。)を用いて計算する。(解説 6.12)

ウォッシュアウト係数は、降雨率依存性を適切に考慮する。(解説 6.13 及び解説 6.14)

気相中の放射性物質濃度は、ウォッシュアウトによる放射性物質の大気中濃度の減少効果を適切に考慮する。

## 7. サイトデータの収集及び処理

サイトデータの収集及び処理の目的は、公衆の被ばく線量評価及び健康影響評価に必要な人口分布、農畜産物生産分布及び土地利用データを収集し、レベル 3PSA で用いる評価メッシュに対応するデータに変換することである。(解説 7.1 参照)

### 7.1 人口、土地利用、農畜産物分布データの収集

- a) **人口データ** 事故影響評価では、国勢調査から入手した人口データを用いる。放出サイトを中心とし、ラジアルライン ( $(r, \theta)$  グリッド) でリング状に分割する。（解説 7.2 参照）
- b) **土地利用データ** 事故影響評価では、陸地及び海や湖の割合を設定した土地利用データを用いる。陸面タイプ（都市部と農村部）の空間分布が必要となる場合にはそれを考慮する。（解説 7.3 参照）
- c) **農畜産物分布データ** 経口摂取による線量評価をする場合、農畜産物ごとの生産高、栽培期、収穫時期、収穫から消費までの期間及び家畜数、作物を栽培する土地面積等といった農畜産物分布データを用いる。この場合、作物の育成サイクルを考慮する。（解説 7.4 参照）

## 8. 被ばく線量評価

被ばく線量評価の目的は、事故時に環境に放出された放射性物質による公衆の個人の被ばく線量を被ばく経路毎に評価することである。

### 8.1 被ばく経路

被ばく経路としては以下を考慮する。

- a) クラウドからの吸入（内部被ばく）
- b) クラウドからの外部被ばく（クラウドシャイン）
- c) 汚染土壤からの $\gamma$ 線による外部被ばく（グランドシャイン）
- d) 汚染食物（汚染水を含む）の摂取による内部被ばく
- e) 汚染土壤からの再浮遊物質の吸入（内部被ばく）
- f) 皮膚沈着放射性物質による外部被ばく

このうち、放射線被ばくによる急性死亡と晩発性がん死亡からなる個人リスクに重要な経路として、(1)～(4)を評価する。

なお、対象とする施設により上記以外の被ばく経路が支配的となる場合にはそれを考慮する。

### 8.2 評価モデル

各被ばく経路に対する被ばく線量は以下の手法（パラメータ）を用いて計算することができる。各パラメータは現状の知見に基づくものとし、計算法の例を【解説】に示す。

#### 8.2.1 クラウドからの吸入（内部被ばく）（解説 8.1） 呼吸率、時間積分空気中濃度及び内部被ばく線量換算係数の積で計算する。

- a) **吸入防護** 吸入防護等の低減効果は考慮できる。
- b) **フィルターファクター** 屋内にいる人間に対してはフィルターファクター（屋内外の濃度差等）の低減効果を考慮してもよい。

**8.2.2 クラウドからの外部被ばく（クラウドシャイン）（解説 8.2）** 半無限雲近似として、時間積分空气中濃度及び線量係数の積で計算する。

- a) **有限雲近似** 有限雲として扱う場合には、補正係数（オフセンターライン係数等）により補正する。
- b) **防護係数** クラウドシャイン防護係数（遮へいファクター）の低減効果を考慮してもよい。

**8.2.3 汚染土壤からの $\gamma$ 線による外部被ばく（グランドシャイン）（解説 8.3）** 地表面汚染濃度と外部被ばく線量換算係数（単位表面汚染濃度に対する地表面での線量率）の積で計算する。

- a) **ウェザリング** ウェザリング（放射性核種の土壤中への移行、降雨、風等による除去）による低減効果を考慮してもよい。

- b) **遮蔽ファクター** 建屋による遮へいファクターの低減効果を考慮してもよい。

**8.2.4 汚染食物の摂取（内部被ばく）（解説 8.4）** 食糧に沈着した放射性物質量と消費量で摂取放射能量を求める。

- a) **食物中の放射性核種濃度** 食物中の放射性核種濃度は時間依存で通常、単位沈着量に規格化してダイナミック食物連鎖モデル（要解説）で評価される。これに単位摂取放射能あたりの線量（摂取線量換算係数）を乗じて計算する。

- b) **摂取線量換算係数** 摂取線量換算係数は代謝モデル（要解説）により求められる。

- c) **ウェザリング** ウェザリングによる低減効果を考慮してもよい。

**8.2.5 汚染土壤からの再浮遊物質の吸入（内部被ばく）（解説 8.5）** 地表付近の空气中時間積分濃度（空气中濃度と沈着量の関係は時間依存の再浮遊係数（空气中濃度と初期表面濃度比）で表される）と吸入による内部被ばく線量換算係数、呼吸率の積で計算する。吸入防護係数による低減効果を考慮してもよい。

**8.2.6 皮膚沈着放射性物質による外部被ばく（解説 8.6）** 皮膚と衣服に沈着する放射性核種の量は、空气中濃度と皮膚への沈着速度から計算する。この量に皮膚線量変換係数を乗じて皮膚線量を計算する。頭部を除きその他は $\beta$ 線被ばくに対し衣服の遮へい効果（皮膚遮へい係数）を考慮してもよい。

### 8.3 パラメータ

（解析 8.7）

**8.3.1 呼吸率** 年齢及び活動状況を考慮することができる。基本的には ICRP 等国際基準に準拠する。

**8.3.2 内部被ばく線量換算係数** 基本的には ICRP 等国際基準に準拠する。

**8.3.3 外部被ばく線量換算係数** 空気カーマから線量を計算する場合には線量換算係数（Dose Conversion Factor），放射能量（Bq）等から計算する場合には線量係数（Dose Coefficient）を使用する。基本的には ICRP 等国際基準に準拠する。

**8.3.3 移行率** 食物連鎖では摂取する経路、摂取時期に対応した移行率を考慮する。

**8.3.4 ウエザリング** グランドシャインと食物摂取による被ばくでは、放射性核種の土壤中への移行[放射性核種の化学形、土壤の性質、天候に依存]又は降雨による除去効果を考慮する。

## 9. 防護対策による線量低減解析

防護対策による線量低減解析の目的は、公衆の被ばく線量を現実的に評価するため、事故時に実施される防護対策によって得られる線量低減の効果を解析することである。設定に際して、実施時期や緩和効果を考慮し、線量低減措置を短期的な防護対策及び長期的な防護対策に大別する。

### 9.1 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、次に示す対応可能な短期的な防護対策を考慮することができる（解説 9.1 参照）。

- a) 屋内退避
- b) 避難
- c) 安定ヨウ素剤予防服用

ここで、上記の防護対策のための指標は、“原子力施設等の防災対策について”（昭和 55 年 6 月 30 日原子力安全委員会決定、平成 15 年 7 月一部補正）に基づくものとする（附属書 1,2（参考）参照←引用規格）。

### 9.2 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、次に示す対応可能な長期的な防護対策を考慮することができる（解説 9.2 参照）。

- a) 一時移転
- b) 移住
- c) 除染
- d) 飲食物摂取制限

ここで、一時移転及び移住のための指標は、国際原子力機関（IAEA）等の基準に準拠するものとし（附属書 3（参考）参照）、飲食物摂取制限のための指標は、“原子力施設等の防災対策について”（昭和 55 年 6 月 30 日原子力安全委員会決定、平成 15 年 7 月一部補正）に基づくものとする（附属書 4（参考）参照←引用規格）。

### 9.3 モデル

地域防災計画等を考慮し、線量低減措置を適切に評価する（解説 9.3 参照）。

**9.3.1 パラメータ** 線量低減措置のパラメータ設定の留意点を次に示す（解説 9.4 参照）。

- a) **防護対策実施範囲** 設定に際しては，“原子力施設等の防災対策について”の第3章に示されている屋内退避、避難等の防護対策の実施範囲に留意する。
- b) **警告時間** 設定に際しては，“原子力施設等の防災対策について”の付属資料4の別添2に示されている原子力防災法に係る施設毎の緊急事態（原子力災害対策特別措置法第15条の緊急事態）に至る時間に留意する。
- c) **遅れ時間** 設定に際しては、地域防災計画等を考慮し、避難・屋内退避等の措置の検討・決定に要する時間に留意する。
- d) **避難速度** 設定に際しては、地域防災計画等を考慮し、避難誘導及び避難者の緊急輸送の速度に留意する。
- e) **避難終了距離** 設定に際しては、防護対策の実施範囲との相関に留意する。
- f) **防護対策実施割合** 設定に際しては、周辺住民等への情報提供等に留意する。
- g) **遮へい係数** 設定に際しては、IAEA (IAEA-TECDOC-225) に示されているガンマ線による被ばくの低減係数（附属書5（参考）参照）に留意する。
- h) **フィルタ効果（呼吸率に掛けるファクター）**： 設定に際しては、建屋の気密性に留意する。

**9.3.2 防護対策指標** 設定に際しては、屋内退避、避難、安定ヨウ素剤予防服用及び飲食物摂取制限に関する指標（附属書1,2,4（規定）参照）、一時移転及び移住に関する指標（附属書3（参考）参照）に留意する。

## 10. 健康影響評価

健康影響評価の目的は、事故時に環境へ放出される放射性物質による放射線被ばくに起因する有害な人体への健康影響のうち、サイト周辺の公衆の個人に生ずる急性死亡と晩発性がん死亡を推定することである。（解説10.1）

### 10.1 急性死亡のモデル化

**10.1.1 対象とする障害** 放射線被ばくによる早期の致死的影響として、骨髄、肺、胃腸管（及び皮膚）の障害を適切に考慮する。（解説10.2）

**10.1.2 死亡リスクの評価法** 放射線被ばくによる急性死亡のリスクは、ハザード関数を用いて評価することができる。（解説10.3）

**10.1.3 線量率の考慮** 急性死亡のリスクを推定する際には、線量率の影響を適切に考慮しなければならない。これは、ハザード関数で用いる致死線量の中央値を修正することによって考慮できる。（解説10.4）

**10.1.4 使用するデータ** 骨髄、肺、胃腸管の各障害に対する半致死線量、しきい線量、形状因子のパラメータ（解説10.5）

### 10.2 晩発性がん死亡のモデル化

**10.2.1 対象とするがんのタイプ** 放射線被ばくによる晩発性がん死亡として、白血病、骨がん、乳がん、肺がん、胃腸管がん、甲状腺がん、その他のがんを適切に考慮する。(解説 10.6)

**10.2.2 死亡リスクの評価法** 放射線被ばくによる個人のがん死亡リスクは、線形の線量一反応モデルを用いて評価することができる。がん死亡リスクを推定する際には、低線量、低線量率の効果を適切に考慮しなければならない。(解説 10.7)

**10.2.3 生涯リスクの推定法** 事故による放射線被ばくの結果として被ばく集団において最終的にがん死亡する人の割合は、被ばく集団の人口動態データを考慮し、絶対リスク予測（相加的リスク予測）モデル又は相対リスク予測（相乗的リスク予測）モデルを用いて推定できる。(解説 10.8)

## 11. リスクの定量化

リスクの定量化の目的は、レベル 2PSA から得られた放出カテゴリごとの発生頻度とソースタームを用いて、サイト周辺の公衆個人の平均死亡リスクを定量化することである。

### 11.1 個人の条件付平均死亡確率の評価

設定したソースタームに対して、気象シーケンスの生起確率を考慮し、気象シーケンス毎に得られた各評価メッシュの個人死亡確率と人口からソースタームに対する個人の条件付平均死亡確率の確率分布を求める。

### 11.2 個人の平均死亡リスクの評価

レベル 2PSA から得られた放出カテゴリごとの発生頻度と設定したソースタームに対する個人の条件付平均死亡確率の確率分布から個人の平均死亡リスクを求める。

## 12. 不確実さ解析及び感度解析

不確実さ解析及び感度解析の目的は、公衆個人の平均死亡リスクの不確実さ幅とそれに影響を与える因子の感度を把握するため解析を行うことである。

### 12.1 不確実さ解析

健康影響解析で得た公衆の急性死亡及び晩発性がん死亡（10 参照）から定量化した平均的な個人リスク（11 参照）に対して、不確実さ伝播解析によって、公衆の平均的な個人リスクの平均値及び不確実さの幅を求める。

#### 12.1.1 確率分布の設定

不確実さ伝播解析のために、次の a)から f)の諸量を設定する。

a) ソースタームについて、以下のパラメータを設定する。

- ・炉内内蔵量の評価における燃焼度の仮定
- ・放出カテゴリごとの発生頻度とソースタームの平均値と分散

- b) 大気拡散・沈着について、以下のパラメータを設定する。
  - ・拡散パラメータ  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$
  - ・ $\sigma_z$ の補正に使用される表面粗さ
  - ・ブルーム上昇のリフトオフ条件に使用される臨界風速とブルーム上昇高さ
  - ・粒径分布
  - ・乾性沈着速度
  - ・沈着モデル
- c) 線量評価について、以下のパラメータを設定する。
  - ・濃度ファクター
  - ・ウェザリング
  - ・移行率
- d) 線量低減措置について、以下のパラメータを設定する。
  - ・遅れ時間
  - ・避難速度
  - ・防護対策実施割合
- e) 健康影響評価について、以下のパラメータを設定する。
  - ・半致死線量
  - ・しきい線量
  - ・形状因子

**12.1.2 不確実さの評価** 設定した確率分布を入力としてモンテカルロ法又は同等の不確実さ伝播解析手法を用いて、公衆の平均的な個人リスクについて平均値及び不確実さの幅を解析する。

## 12.2 感度解析

公衆の平均的な個人リスクを評価するモデル上の不確実さの要因及び重要な解析条件を特定し、結果への潜在的な影響を把握しなければならない。

**12.2.1 感度解析の実施** 大気拡散・沈着解析、線量解析、線量低減措置の設定、健康影響解析で用いた主要なモデル上の仮定及び工学的判断で設定した解析条件に対して、線量の解析結果及び健康影響の解析結果から、感度解析のパラメータを設定し、感度解析を実施して、結果への潜在的な影響の範囲を確認する。

## 13. 文書化

文書化の目的は、レベル 3PSA の結果の利用、更新、専門家によるレビューにおいて、PSA の内容の理解が容易にできるよう、実施にあたり用いた手法、条件、データ、評価結果等を記述することである。（解説 13 参照）

### 13.1 文書化

レベル3PSAの結果の利用、更新、専門家によるレビューにおいて、PSAの内容の理解が容易にできるよう、実施にあたり用いた手法、条件、データ、評価結果等を記述しなければならない。

**13.1.1 目的・範囲・結果の文書化** レベル3PSA実施の目的、評価範囲、及び評価結果を示す。

**13.1.2 要求事項への適合性の文書化** 「4. ソースターム」から「12. 不確実さ解析及び感度解析」までの各具体的な要求事項を満足していることを示す。

**13.1.3 除外事項等の適用妥当性の文書化** 「4. ソースターム」から「12. 不確実さ解析及び感度解析」までの具体的な要求事項で許容されている除外事項や例外事項を適用した場合には、その妥当性を示す。

## 原子力学会標準 原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する手順書（レベル3 PSA編）案

## 産業界委員（ユーザーの観点）からのコメント

ページ番号、章、節	(案) の記載	コメント
1 全般	「章」という表現	「章」という表現が各所にあります。レベル1PSA 標準では避けています。（標準の体裁の問題？）
2 全般	解析、評価、算出、分析といった類似語	解析、評価、算出、分析といった類似語が特にその違いを意識せずに使用されているように思われますが、このままで良いのでしょうか。
3 全般	「考慮する」という表現	「考慮する」という表現は、要求事項としてはなじまないため、レベル1PSA 標準では極力使用しないようにしていましたが、こちらではいかがでしょうか。
4 全般	「適切に」という表現	「適切に」という表現が散見されますが、どうしたら適切になるのかとセットで提供するべきと考えます。表現を変更するか、このような表現を使用する場合には、解説によりその適切な取扱を記載するようにすべきだと思います。
5 全般	「基本的には」という表現	「基本的には」という表現は不要と思います。
6 まえがき		まえがきは、「ですます調」で書かれていますが、レベル1PSA 標準では、「である調」でした。
7 目次		「5.4 フレームの時間希釈」は、「5.6 建屋の影響」の後が良いように思います。
8 目次		「5.7 気象の確率論的扱い」は、気象サンプリングヒダブつているので、不要と考えます。
9 目次		6.1, 7.1, 8.1, 9.1 は、いずれも「～の目的」となっています。

		すが、他のところでは、「目的」の文章は、各章の頭に章立てせずに記載しているので、統一が必要です。
10	目次	一部の章で「モデル」と「パラメータ」が別々に章立てされていますが、目次の中で、単に「パラメータ」と書くと何のことだかわかりにくいこと、モデルとパラメータは表裏一体のものであることから、別々にわけない方が良いのではないでしょうか。
11	2. 定義	「混合層トリッド」 「混合層トリッド」とありますが、2つに分けた方が良い。
12	2. 定義	以下の定義が欲しいです。 エアロゾル、ソースターム、ガンマーシャイン、クラウド、ウェザリング
13	P1 2. 定義	平均個人リスクの定義を明確にしてはどうか思います。 「評価範囲内における被ばくによる死亡者数を全人口で除した値・・・」  あとどこに入れればよいのか分かりませんが、評価対象範囲の考え方（若しくは、急性1km圏内、ガン10km圏内など）についても記載が合ったほうがやり易いです。
14	3. 評価の流れ	
15	p.2 解説1	3. 評価の流れ、としてレベル3 解説に手順の記載があるのは分かりやすくてよい。ただし、P S A実施手順の概要を説明。これは解説であるので、手順の規定はされていないことになる。事業者としては、L 3 P S A実施計画を検討する際に、

		作業ステップの順番と関係を明確に把握しておきたい。解説でよいが、ソーススターm分析から文書化に至る流れは1本か?たとえば気象データと人口データは平行して作業は可能ではないのか?
16	p.2 解説1 5行目	公衆のリスクを解析
17	p.2 解説1 7行目	「放射性物質の大規模な環境への放出」
18	p.2 a) 實施手順の概要	「大規模」は不要では。
19	p.2 2) 気象サンプリング	記載項目と1)から7)の標題が一致していない。大気拡散は、大気輸送・拡散解析に統一してはどうか。また、本標準の他の部分とも用語を統一する必要がある。 「なお、～しても良い」は、要求事項的な書き方なので、「なお、～することもある」として、評価の流れとしての記載にするのが良いのでは。
20	p. 2 3) 人口データの処理	人口データの分割処理に関連して、計算グリッドの分割や地表データについても用語を入れて 解説した方がわかりやすい。 (1) 「陸地割合の処理」を追加してはどうかと思います。 長期ガン死亡リスクにおいては重要なファクターであり、後に出てくる土地利用、経済データの分析と密接に関連する。
21	P2 3. a) 評価の流れ	評価の流れとしての記載ぶりにするのが良いと思います。 「米国、OECD諸国、～開発され ており、～同時に遂行できる」 (例)「環境影響解析コードにより大気輸送・拡散解析、線量 解析、及び環境影響解析を実施する」
23	p.3 6) 環境影響解析	「保健物理、～を分析する」 わかりにくい表現と思います。
24	p.3 7) リスクの定量化	「レベル2PSA結果」「レベル2PSAの結果」と思われます。

25	p.3 7) リスクの定量化	「原子力発電所の事故によって引き起こされる放射線被ばく」	「原子力発電所の事故によって引き起こされる」は不要と考えます。
26	p.4 「b」 3」 不確実さ解析と感度解析」の2行目	「ソーススタークの確率分布」	その後ろの表現と同じ物でしょうか。やや、わかりにくく表現かと思います。
27	4. ソーススターク		
28	p.6 4.1.1 考慮すべき核種と炉内内臓量	「評価において考慮すべき核種としては、」	⇒削除
29	p.6 4.1.2 核種のグループ化	「核種グループに対して放出量を評価するため、」	⇒核種グループを定義し、放出量を評価するが、
30	同上	「考慮すべき核種として選定した核種に基づいて」	⇒「考慮すべき核種として選定した核種の拡散・沈着特性に基づき」
31	同上 及び p.8 の解説 4.4		レベル 2 PSAにおいて実施されるソーススタークの分析について、核種をグループに分類する理由が、レベル 3 PSAを行うためなのか、レベル 2 PSAで分類されているからなのかがわかりにくく感じます。必要であれば、なぜレベル 2 PSAで核種がグループに分類されているのかについても解説の中で言及すべきではないでしょうか。
32	p.6 4.2 放出データ 最終行,	「定義してもよい」	⇒「設定してもよい」
33	p.6 4.2.1 放出カテゴリと放出頻度	「放出カテゴリの類似性に着目して再分類してもよい。～」	⇒「放出カテゴリの類似性(放出割合及び放出タイミング)に着目して、評価において矛盾を生じないよう再分類してもよい」
34	p.7 例えば、4. 2. 2		この標準は、満たすべき要求事項を規定する形に取りまとめたもの、とされています。具体的な記載の中では、要件とし

		て記載されているのか、手法の説明をされているのか分かり難い箇所があります（例えば、4. 2. 2）。このため、要件を本文に記載し、採用しうる別の方針や手法の説明は解説に記載するなどにより要件かどうかを区別した方がよいのではないかと思われます。
35	p.7 と 24	4. 2. 3と5. 5の2箇所でブルームの吹き上げと浮力による上昇について規定している。同様に5. 6で建屋の影響を規定している。
36	p.7 4.2.4 放出エネルギー(浮力) 文章	「放出される放射性雲の放出エネルギーを考慮する場合には、レベル2PSAの評価結果と整合するようにすること。」と思います。
37	p.7 4.2.6 化学的物性	「特に、よう素の化学形態は、ガス状と粒子状よう素に区別して評価する」
38	p7 4. 2. 6 化学的物性	「特に、よう素の化学形態として、有機よう素と無機よう素を考慮することとし、それぞれの物理形態をガス状と粒子状に区別して評価する」ではないでしょうか。
39	p7 4. 3 不確実さ	4. 2. 6 化学的物性と P41 2. 蒸気(3)の記載で、有機ヨウ素の取扱いが一致した記述になっていないのです。 「炉内内蔵量の評価における燃焼度の仮定」が挙げられていますが、解説の4-3には、「炉内内蔵量は、装荷した燃料の条件、燃焼期間としてのサイクル数、各サイクルにおける燃料交換割合、そして”集合体最高燃焼度”を想定して評価することができます。」

		不確実さという観点から、”燃焼度の仮定”的イメージが良く理解できない。
40	p.8 解説4.1	なお、レベル3PSAの実施のためには、レベル2PSAは必須ではなく、ソースタームをパラメータとして、環境影響上あるいは健康影響上の目標を逆算することにも利用可能である。
41	p.8 解説4.4	核種のグループ化について 「バリウム類をバリウムとストロンチウムに分け」は、表を正にすると、「ストロンチウム類をバリウムとストロンチウムに分け」？
42	p.8 解説4.4	核種のグループ化について レベル2 PSAの核種グループとの対応関係を示す必要はないでしょうか。
43	p.9-10 解説4.9	エアロゾルの粒子径分布について ・溶融デブリの機械的破壊によって生成されるエアロゾルが計算できたとしたら（現状は解析評価できませんが）、どの核種グループに入れるか？ ・「粒子径分布を包絡するような乾式沈着係数で代表することができ」は、最大粒子径で見るという意味？「粒子径分布を包絡する」とは具体的にどうするのか？大き目の沈着速度を使用するごとが、保守的な結果を与えるか？近傍で沈着せずに降雨で大量に沈着する方が厳しくないか。
44	P9 (解説4-6)	複数回放出となつた場合の”リストラミナント”的設定について記述が必要かと思います。例えば、ブルームを4つに分割した例

		で、2番の放出量が突出して多い場合、通常2番目のプルーム放出開始時刻を、気象サンプリングデータの開始時刻と一致させ、ドミナントとなるプルームが気象カテゴライズと一致した計算となるよう設定されます。
45	同上	<p>「単一プルームに対する放出継続時間の代表性を考慮して、当該プルームにおける積分放出量を単位時間あたりの放出量の最大値で除した値を、実効的な放出継続時間として当該プルームの放出継続時間としてもよい。」</p>
	X. 気象サンプリング	
46	p.13 本文 X. 1 b)	<p>気象データの観測点</p> <p>…原子力発電所で観測されている気象データは、通常、本標準で定める事故影響評価計算に用いることができる。</p> <p>事業者としては、サイト観測データが利用できるのは望ましいことだが、利用できる条件は「気象指針」に従った観測であることが、「通常、原子力発電所で観測されている」だけでは解釈に幅が出るおそれがある。</p>
47	p.13 X. 全体	事故影響評価という用語
48	p.14 と 25	解説表X. 1-2と表5-1で大気安定度の同じ表を掲載。

49	p.14 解説表 X.1-2	大気安定度 G	G は F とみなしてデータ整理することを付記しておいてはどうか。
50	p.15 解説 X.3 ピンサンプリング法	8 行目からの「サンプリングの手法には…割り振ることがある。」	ピンサンプリング法以外の説明が、ピンサンプリング法の説明の途中に挿入されているので分かりにくい。段落を分けて、説明を追加し明確化はどうか。
51	p.17 3行目	放出点から100km以内	解説表 X.4-1 の中央欄には 0 ~ 3.2 km しかない。100km と矛盾しないか。
52	p.17		OSSCAR がここで突然出現。P.3 の環境影響解析のことろで、解析コード名を入れておいたらどうでしょう。
53	p.17 例1)	距離インターバルとして、0.5, 2.5、及び 15.0mm/h …	距離インターバルではなく、降水強度ではないか。解説表 X.4-1 では、これらの数値は降水強度の欄に記載されている。
54	p.20 解説 X.5	MACCS	コードの名称として、MACCS を使用するか、MACCS2 を使用するか、両方使うか。
55	p.20 解説 X.5 (1)評価条件	…風速により 20 の分類	気象 BIN は 36 あるので、分かりにくい表現である。
56	p.20 解説 X.5 (3)3行目	…図示されている。	本図書では図示されていないので、検討されている、くらいがいいのではないか。
57	p.20 解説 X.5 (3)5行目	2~3 行程度である。 ) は不要です。	) は不要です。
	5. 大気輸送・拡散評価		
58	冒頭の文章	「大気拡散モデルとして以下を考慮する」	⇒ 「大気拡散モデルに以下を含める」
59	p.23		最初のパラグラフの文章?
60	冒頭	a)~g)の並び	a)~g)の並びはこれで良いのでしょうか。e)が b)と c) の間のような気がします。

61	5.3 地表面及びリッドによる反射	「リッドによって制限される。そ の際、～」	⇒ 「リッドによって制限されることから、」
62	5.4 プルームの時間希釈		「時間希釈」は一般的に使用されている用語でしょうか。
63	5.5 プルームの上昇	「排熱が無視できない場合には 浮力によるプルームの上昇を考 慮する」	文章をソースターク側と整合させるよう、⇒ 「排熱による浮 力を考慮してプルームの上昇をモデル化しても良い」
64	P24 5.7 気象の確率論的扱い	「放出後の風向変化を考慮しない 拡散計算を行う場合には、風向発生 頻度による重みを考慮する。」	間違いと思われる。風向変動を考慮した場合も、風向発生頻度に よる重みを考慮できます。但し、避難モデルがネットワークモ デルとなつた場合にのみ、風向発生頻度による重みは考慮されな くなります。
65	p. 28 解説 5.4	吹き上げ高さ	・全体的にとても分かり難い。（安定度で式を使い分けていたよ うな）
	6. 沈着評価		
66	p.39 から 44	6. 沈着評価では、本体規定を性能 規定化し、見やすいが、解説の中 に、規定期的な表現が多い。 解説 6. 1 乾性沈着の評価は、以 下の計算方法による。	解説 6 シリーズの中で、規定期的な表現は附属書(規定)とするのが 望ましい。
67	p. 40 粒子物質の解説		<ul style="list-style-type: none"> <li>「Vdが0.1～10cm/sの範囲、…妥当、…」の根拠（出典） は何でしょうか？できれば、「何々によれば」を追加したほうが 良いかと思う。・0.1～10cm/sの範囲が妥当であれば、中央の1cm/sを採用してい</li> </ul>

		るWASH-1400は保守的ではないと思いますが. . . ・大気安定度分類で $V_d$ 値の考え方の例はどう理解したら良いか?
68	p. 41	・「しかしヨウ化メチルは、～影響計算においては無視することができる」とありますが、これは放出ゼロとしても良いということ? ・「元素により異なった粒径分布を取りうる」、「全てのパルームセグメントは～同じ粒径分布を持つが」等、このパラグラフ分かり難いです。
69	P42 (解説 6.3) 、 (解説 6.4)	MACCSのモデルディスクリプション記述の式と若干異なるのですが、見比べるとここで言う重力沈降は、MACCSでは乾性沈着速度に全て含まれて表現されているように思われる。また、ここで示される方法で、重力沈降はMACCSでは評価されない。
70	p. 42 解説 6. 4	・「15ミクロン程度より小さい粒子に対しては重力沈降は無視できる。」と参考図の解説(解説6.2)が混乱する。 乾着の評価とガウスブルーム式で重力沈降考慮とで違いがあるようですが、2重で評価することにはならないでしょうか?
7.	線量評価	
71	7.1 線量評価	「ここでは、成人に対する～個人リスクを対象とする」 このような記載は適用範囲マターではないでしょうか。
72	7.2 被ばく経路	(5)(6)は評価対象外としていますが、解説があるとありがたい

			です。
73	該当箇所 7. 2	対象とする施設が異なることに より別の被ばく経路が支配的と なる場合にはそれを考慮するこ と	本標準の対象は、発電用原子炉施設とされており、「対象とす る施設により」とは具体的にどのような施設かが記載される べきでないかと考えられます。
74	該当箇所の例 7. 3	PSA の特徴として、PSA は原子力 発電所の安全性に係る評価を現 実的な仮定のもとに論理的かつ 包括的に行うことができるこ とが記載されています。	すなわち、リスク評価は保守性をできるだけ排除したベスト エスティメイトであるべきと考えられます。これに対して、 この標準が安全目標への適合性評価に用いられることを考慮 して、保守性のある評価が行われればよいと考えられている と思われる箇所があります（該当箇所の例 7. 3）。安全目標 をもとにして性能目標を検討する場合と、個別の発電所の安 全目標への適合性を確認する場合では保守的な評価を採用す るかどうかが変わるものではないかと考えられます。このこと について、まえがきなどにおいて説明されるべきでないかと 考えられます。
75	7.3 評価モデルの冒頭	「各パラメータは現状の知見に 基づくものとし、計算法の例を 【解説】に示す。」との表現	一般的なものであり、不要ではないでしょうか。
76	7.3 評価モデル(1)(2)(3)(5)(6)	低減効果の記載	これは、「8. 線量低減措置」で扱われるものではないですか。
77	7.3 評価モデル」(2)の文章	「半無限雲近似として、～計算す る。有限雲の場合には、～補正す ること」	⇒ 「半無限雲近似として、～計算するが、有限雲として扱う 場合には、～補正する」
78	7.3 評価モデル」(4)	「ダイナミック食物連鎖モデ	これらの解説が欲しいです。

	ル」、「代謝モデル」	
7.3 評価モデル」(4) p.49 と 54	「なお、ウエザリングによる低減効果を考慮してもよい」 7.3評価モデルで(4)汚染食物の摂取が被ばく経路として考慮することとなっており、解説7.4で経路と汚染形態の6ケースがあげられている。	他の防護措置としての低減効果と区別するために、「低減効果」以外の表現にする方がよいのではないかでしょうか。 摂取ルートは、これら6ケースが全てであることの考え方を解説してほしい。今は、 $a \times R$ を考えると、「汚染土壤から植物の根から吸収される場合」とすべき。
80 p.49 と 56	7.4パラメータ (4)移行率で、「… 摂取時期に対応した移行率を考慮すること」 解説7.7 (4)移行率で、「最新のデータに基づき計算すること」	計算に必要となる移行係数は、7.4パラメータにも記載のあるように摂取の状況を現実的に考えて期間、タイミングなどを決めることが望ましいが、係数設定の例示をしてほしい。 また、8.線量低減措置に飲食物摂取制限として規定されているので、それを考慮することを7でも記載してほしい。
81 「7.4 パラメータ」(1)	「年齢及び活動状況を考慮することができる」	対象を成人にすることではなかったでしょうか。
82 P55 (解説 7.7)	P55 (解説 7.7) と P61 (解説 8.4) で示される呼吸率の値が相違している。	
	8. 線量低減措置	
83 8.1 目的 84 p.58	「～の留意点を記述する」 8. 線量低減措置として、パラメータ設定の留意点を記載している。	, 他の章とトーンが合っていません。 本標準は手順書があるので、8章のような留意点は7章の中に含めた方が使いやすい。しかし性能規定標準とするなら、留意点として独立していても、手順が別途存在しI/Oの関係が明確なら問題

		ない。
85	P61 (解説 8.4) c)	明確なガイダンスはないが、プレームが3方位にまたがるとすれば、10マイル地点のプレーム中心に居る人が、直進するプレームの影響を逃るために1.5方位の円弧を移動すれば理論上プレームの影響から逃れられると考えられます。よって、 $10\text{mile} \times \sin(33.75^\circ) = 10\text{mile} \times 0.555 = \text{約}6\text{mile}$ となる。よって、10mile 地点に居る人は直進距離に換算して最低16mileの地点が避難の最大移動距離と考えられる。分かりにくい説明ですが、15mile より、16mile としてはどうでしょうか？
86	P61 (解説 8.4) d)	評価上平均個人リスクに対する評価しているので、屋内退避などコンクリート建屋に居る人もいれば、木造建屋に居る人も想定される。それらを考慮した遮へい係数の設定が必要であることを記載しないと誤解が生じるのではないかと思われます。例えば下記のような文章を追加する。 尚、遮へい係数の設定においては、例えば、公衆が取りうる避難の手段が複数考慮される場合は、 サイト近傍公衆の平均個人に適用される遮へい係数を考慮する。 晚発性ガン死亡リスクについて、死亡リスク係数及びDDREF の推奨値を是非追記して欲しい。
87	P62 9. 健康影響評価	
88		
89		

## Level 1、Level 2 及び地震 PSA 標準の審議状況について

2005 年 10 月 28 日

Level 1、Level 2 及び地震 PSA 標準は、以下のような審議状況です。

### 1. Level 1 PSA 標準

#### (1) 発電炉専門部会紙面投票結果

7月 22 日より 8月 22 日までの期間で書面投票を実施。

書面投票の結果は、可決。ただし、5名の方々よりご意見が寄せられました。

#### (2) 発電炉専門部会での審議

9月 21 日第 19 回発電炉専門部会にて書面投票結果及び書面投票が可決されたことが報告され承認された。

書面投票で提出された意見に対する説明が分科会より報告され、意見と意見を反映した標準の改訂は技術的な内容ではなく編集上の内容であることが承認された。

標準の改訂編集が終了後、発電炉専門部会のご確認をいただき標準委員会の書面投票に移行することが承認された。

9月 27 日に行われる標準委員会にて説明を行い書面投票へ移行することを提案する事が了承された。

#### (3) 標準委員会での審議状況

9月 27 日第 22 回標準委員会にて本標準が発電炉専門部会の書面投票をパスしたことが報告された。また、発電炉専門部会で書面投票の結果寄せられた意見について審議した結果、標準の編集上の改訂内容であることが承認されたことが報告された。分科会より標準案の説明があり、標準の編集改訂終了後に標準委員会の書面投票に移行することが提案され承認された。

#### (4) 現状

現在、分科会では鋭意編集上の改訂作業を実施している状況です。

### 2. Level 2 PSA 標準

#### (1) 発電炉専門部会での説明

9月 21 日第 19 回発電炉専門部会にて書面投票に向け説明した。標準案の書面投票への移行について、反対がなく可決されたがコメント及び意見が出された。今後、コメント等を反映し、標準案の編集上の訂正を実施した上で専門部会委員の確認後、標準委員会の書面投票に移行することが了承された。

#### (2) 現状

作業会にてコメント等を検討し、標準案の編集上の訂正を実施した上で専門部会委員の確認後、標準委員会の書面投票に移行する予定。

### 3. 地震 PSA 標準

第 6 回分科会で標準案ドラフト 1 の審議。第 7 回（11 月下旬を予定）で標準案ドラフト 2 を審議予定。発電炉専門部会の書面投票については、次々回の発電炉専門部会にて審議を計画。

以上

## 「9. 線量低減措置」に関する改訂作業等について

### (1) 定義が必要な用語の抽出とその定義

- a) 確定的影響 放射線による重篤度が線量の大きさとともに増大し、影響の現れないしきい線量が存在すると考えられている影響をいう。しきい線量を超えた場合に影響が現れ、線量の増加とともに影響の発生確率が急激に増加し、また、影響の程度すなわち重篤度も増加する。ある線量に達すると被ばくしたすべての人に影響が現れる。がんおよび遺伝的影響以外の影響はすべてこれに区分され、例えば、皮膚障害、白内障、組織障害、個体死等がある。これを防止するためには、線量限度を十分低い値に設定して、生涯の全期間あるいは全就労期間の後でもしきい値に達しないようにすることが必要である。過去においては、確率的影響に対する語として非確率的影響と呼んでいた。
- b) 確率的影響 放射線による影響の起こる確率が線量の関数となっていて、しきい線量が存在しないと仮定されている影響である。確率的影響としては、がんと遺伝的影響がある。これを防ぐには、個人に対しては適切な線量限度を超えないこと、期間に対しては、正当であるとされる被曝を、経済的および社会的要因を考慮に入れながら合理的に達成可能な限り低く保つ（ALARA）ことが必要とされている。確率的影響については、放射線防護上は、低い被曝線量の範囲内では線量と影響の起こる確率の間に比例関係が存在すると仮定している。
- c) 安定ヨウ素剤 原子力施設等の事故に備えて、服用のために調合した放射能をもたないヨウ素を安定ヨウ素剤という。ヨウ素は、甲状腺ホルモンの構成成分として必須の微量元素である。甲状腺にはヨウ素を取り込み蓄積するという機能があるため、放射線事故で環境中に放出された I-131（放射性ヨウ素）が呼吸や飲食により体内に吸収されると、甲状腺で即座に甲状腺ホルモンに合成され濃集し、甲状腺組織内で放射能を放出し続ける。その結果放射能による甲状腺障害が起り、晩発性の障害として甲状腺腫や甲状腺機能低下症を引き起こすとされている。これらの障害を防ぐためには、被ばくする前に安定ヨウ素剤を服用し甲状腺をヨウ素で飽和しておく。この処置により、被ばくしても I-131 が甲状腺には取り込まれないので、予防的効果が期待できる。ヨウ素剤の効果は投与時期に大きく依存し、被ばく直前の投与が最も効果が大きい。
- d) 除染 放射性物質が付着して汚染されている人体や施設を対象として、この放射性物質を取り除くことをいう。事故で汚染した場合、施設を撤去し管理区域を一般区域に戻すときのほか、運転している施設を止めて定期的に行う場合がある。除染の方法にはブラッシング、研磨のような機械的方法と、洗剤、有機溶媒、酸、アルカリを使用する化学的除染がある。
- e) 防災対策 原子力発電所等の大きな原子力施設は、設計段階で十分な安全確保のための配慮がなされている。とくに想定事故としては、技術的に考え得る最大事故、技術的には考えられないがそれをさらに上回る仮想事故時にも周辺公衆に放射線災害を与える

いように設計されている。しかし万一放射性物質が大量に周辺環境に放出されるという事態も考慮してその対策が取れるような体制が整えられている。わが国では、大規模自然災害と同様「災害対策基本法」の適用によって、国、都道府県、市町村、指定公共機関、の責務が記述されている。TMI事故後、「原子力発電所等に係る防災対策上当面とるべき措置について」が決定され、具体的活動が示されている。これらを指して防災対策という。

- f) 遮へい係数 外部全身被ばくについては、大気中に浮遊している放射性物質及び地表面及び建物に降下した放射性物質からのガンマ線に対する建物による遮へい性能に依存する。その効果について、屋外での浮遊放射性物質及び沈着した放射性物質のガンマ線による被ばくを1とした場合の屋内等での被ばくの低減係数をいう。
- g) フィルタ効果 屋内に浮遊している放射性物質の濃度は、建屋の気密性に依存して屋外での浮遊放射性物質の濃度より薄くなり、この濃度の違いを呼吸率に掛けるファクタとして表したものを見たものをフィルタ効果という。

## (2) 解説の改訂（充実）の方針

- a) 線量低減措置の指標は基本的に規定本文からはずし、規定本文では防護対策の項目のみを記述する。具体的には、「原子力施設等の防護対策について」（以下、「防災指針」という。）に記載されている介入レベルは、附属書（参考）として記述するものとし、それ以外の附属書3及び5は解説にまわす。解説にまわす指標については、その指標値をモデルのパラメータとして組み込むようになるので、「9.3 モデル」の解説に記述する。
- b) 解説9.1、9.2は防護対策の効果についても書いてあるが、効果に関しては「9.3 モデル」あるいは「9.4 パラメータ」の解説として、必要に応じてその効果を数式（場合によってはファクタ掛けになる）または図を提示して、記述をわかりやすくする。
- c) 解説9.3は現行のコードに使用されているモデルを例として示す形式とする。米国の例だけでなく、COSYMAやCONDORの例も調査し、解説に載せられるかどうか検討する。また、長期的対策（移転、除染、食物摂取制限）のモデル上の扱いも調査し、解説に載せられるかどうか検討する。
- d) 「9.3 モデル」で、モデルに必要となるパラメータを文章で記述し、その記述したパラメータについて「9.4 パラメータ」で記述するという形式にする。（「9.4 パラメータ」は留意すべきパラメータを記述するのではなく、「8. 線量評価」に合わせる。）また、遮へい係数、フィルタ係数等のパラメータについてはどのように定めるのか、NUREG/CR-4551を参考に、NUREG-1150でのパラメータ設定の手順を調べて、参考となる値は解説に載せられるかどうか検討する。

「線量評価」に対するコメント及びコメント回答（案）

	7. 線量評価	(案) の記載	コメント	コメント回答（案）
71	7.1 線量評価	「ここでは、成人に対する個人リスクを対象とする」	このような記載は適用範囲マスターではないでしょうか。	「適用範囲」に移す。
72	7.2 被ばく経路		(5)(6)は評価対象外としています が、解説があるとありがたいです。	理由につき、説明を追加する。
73	該当箇所 7. 2	対象とする施設が異なることにより別の被ばく経路が支配的となる場合にはそれを考慮すること	本標準の対象は、発電用原子炉施設とされており、「対象とする施設により」とは具体的にどのような施設かが記載されなければならないかと考えられます。	具体的には、再処理施設、高速炉です。記載するかについては、分科会で議論していただきます。
74	該当箇所の例 7. 3		PSA の特徴として、PSA は原子力発電所の安全性に係る評価を現実的な仮定のもとに論理的かつ包括的に行なうことができることが記載されています。	分科会にて議論していただきます。 すなわち、リスク評価は保守性をできるだけ排除したベストエスティメイトであるべきと考えられます。 これに対して、この標準が安全目標への適合性評価に用いられることを考慮して、保守性のある評価が行われればよいと考えられています（該当箇所の例 7. 3）。安全目標をもとにした性能目標を検討する場合と、個別の発電所の安全目標への適合性を確認する場合は保守的な評価を

		採用するかどうかが変わるのではないかと考えられます。このことについて、まえがきなどにおいて説明されるべきでないかと考えられます。
75	7.3 評価モデルの冒頭	「各パラメータは現状の知見に基づくものとし、計算法の例を【解説】に示す。」との表現
76	7.3 評価モデル (1)(2)(3)(5)(6)	低減効果の記載
77	7.3 評価モデル」(2)の文章	「半無限雲近似として、～計算する。有限雲の場合には、～補正すること」
78	7.3 評価モデル」(4)	「ダイナミック食物連鎖モデル」、「代謝モデル」
7.3	評価モデル」(4)	「なお、ウエザリングによる低減効果を考慮してもよい」
79	p.49 と 54	7. 3評価モデルで(4)汚染食物の摂取が被ばく経路として考慮することとなっており、解説7. 4では、a×口を考えると、「汚染土壤から

		経路と汚染形態の6ケースがあげられている。	植物の根から吸収される場合」とすべき。 これら 6 ケース以外に急性死亡、晚発性がん死亡の観点から刻く経路あるか？要議論。
80	p.49 と 56	7. 4 パラメータ (4) 移行率で、「…摂取時期に対応した移行率を考慮すること」 解説 7. 7 (4) 移行率で、「最新のデータに基づき計算すること」	計算に必要となる移行係数は、7. 4 パラメータにも記載のあるように摂取の状況を現実的に考えて期間、タイミングなどを決めることが望ましいが、係数設定の例示をしてほしい。 また、8. 線量低減措置に飲食物摂取制限として規定されているので、それを考慮することを7でも記載してほしい。
81	「7.4 パラメータ」(1)	「年齢及び活動状況を考慮することができる」	対象を成人にするということではなかったでしょうか。 「パラメータ」として考慮できることを記載しているのであり、対象が成人であれば成人に対する値を使用する。
82	P55 (解説 7. 7)		P55 (解説 7. 7) と P61 (解説 8. 4) で示される呼吸率の値が相違している。 〔線量評価〕での値 : $3.33 \times 10^{-4}$ ( $1.2 \text{m}^3/\text{h}$ ) は ICRP Pub. 71 の成人活動時、「線量低減措置」での値 : $2.66 \times 10^{-4}$ ( $23 \text{m}^3/\text{h}$ ) は成人 1 日平均である。

「線量評価」

用語の定義

- 1) クラウドシャイン 放射性雲（クラウド）からの放射線（ガンマ線）による外部被ばく
- 2) グランドシャイン 大気中に放出され拡散した放射性物質が地表面に沈着し、そこから放出される放射線（ガンマ線）による外部被ばく
- 3) 再浮遊 大気中に放出され拡散した放射性物質が、地表面に沈着した後に風の作用等により再び大気中に浮遊し拡散する現象
- 4) 内部被ばく 生体内に取り込まれた放射性物質による体内照射
- 5) 外部被ばく 放射線を身体の外部から受けること

### 【解説8. X】ダイナミック食物連鎖モデル

生物が取る食餌または栄養を通して、食べる側と食べられる側との関係で食物間に連鎖関係が成り立つ。これが食物連鎖である。例えば、海中の放射性物質は、海水→プランクトン→小魚→大魚→人間という食物連鎖で人間に取り込まれる。環境放射能による影響を評価する時の基本的概念の一つである。(図1、図2)

この概念でダイナミック食物連鎖モデルとは、MACCS2のために開発された COMIDA2 で採用されたモデルで、放射性物質の移行過程で物理的崩壊及び娘核種の生成を考慮して各経路での沈着量を算出するモデルである。

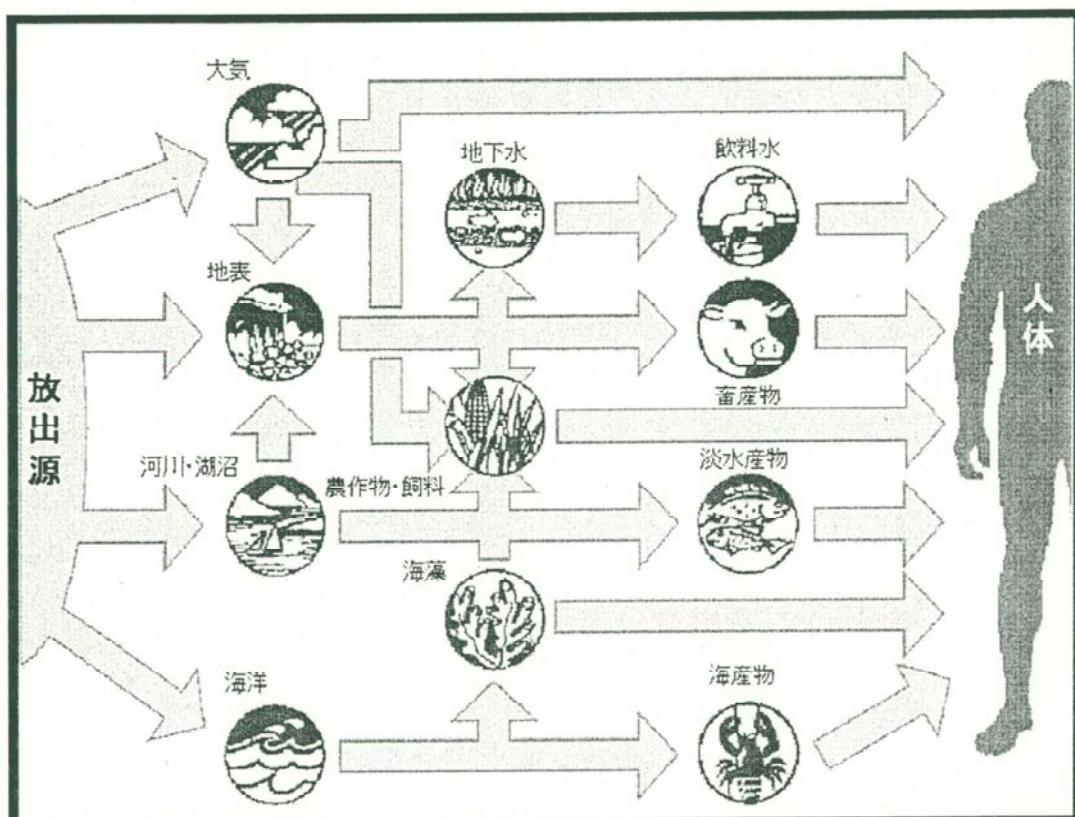


図1 放射性物質の人体への移行経路

[出典] Radiation in Perspective – Application, Risks and Protection, OECD/NEA(1997), p.38

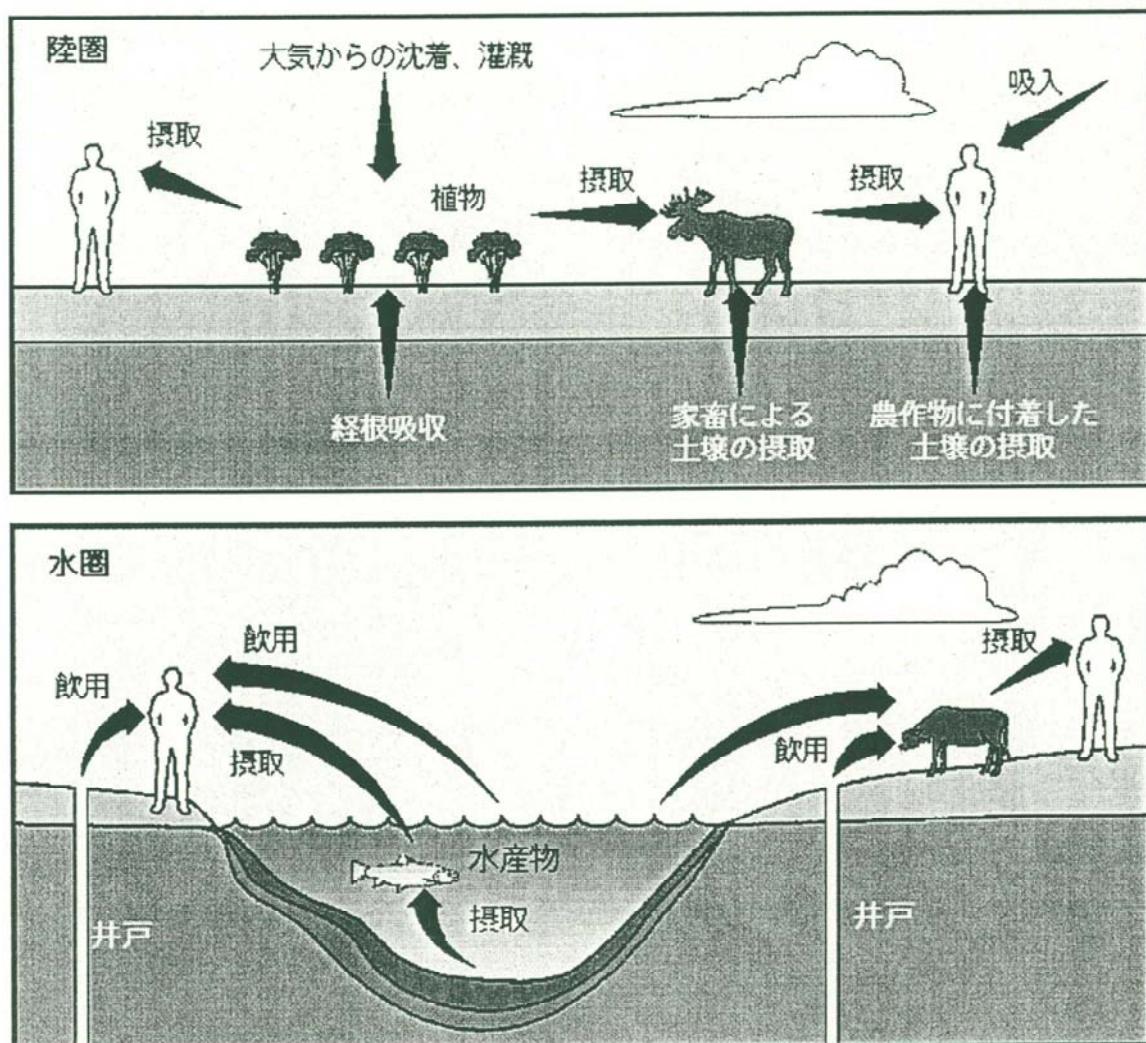
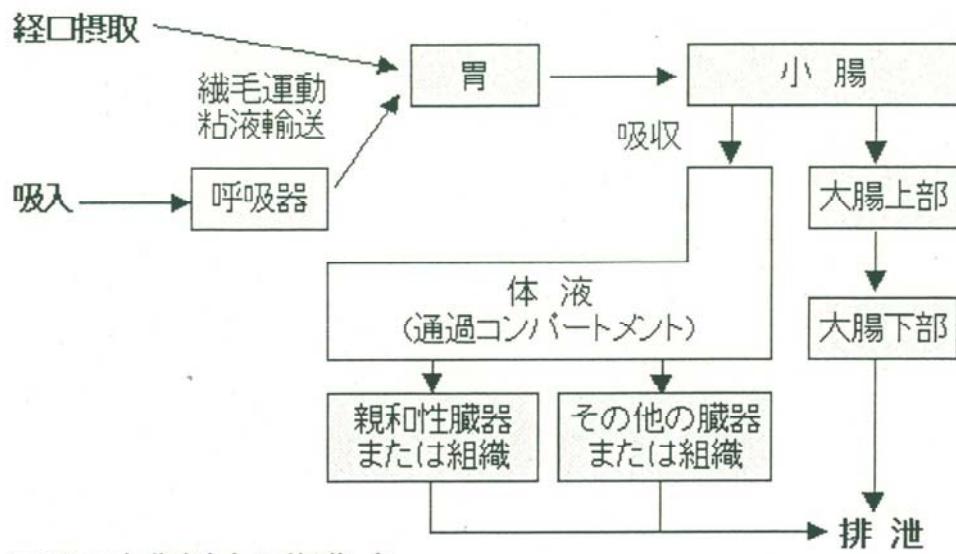


図2 陸圏及び水圏における移行経路(食物連鎖)

[出典] P.A.Davis et al.:The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste – The Biosphere Model,BIOTRAC,for Postclosure Assessment,AECL-10720, COG-93-10,AECL(1993)

【解説8. Y】代謝モデル

吸入、経口摂取後の人體中を移動する放射性核種を追跡し、個別器官線量を計算するモデル。ICRP代謝モデルの模式化したものを見図1に示す。



下記の出典をもとに作成した。

**図1 ICRP代謝モデルの模式化**

[出典]ICRP Publ.30 Part1

## (社)日本原子力学会標準

# 原子力発電所の出力運転状態を対象とした 確率論的安全評価に関する手順書 (レベル3PSA編) : 200\* 解説

**【解説1】 レベル3PSA実施手順の概要** 原子力発電所の確率論的安全評価は、炉心損傷頻度を解析するレベル1PSA、放射性物質の大規模な環境への放出をもたらす事故シーケンスの発生頻度とソースタームを解析するレベル2PSA、これらをもとに公衆のリスクを解析するレベル3PSAに分かれる。レベル3PSAの実施は、一般に、対象とするプラントのレベル2PSAが実施されていることを前提にしている。しかしながら、放射性物質の大規模な環境への放出に至る特定の放出カテゴリのソースターム及びその発生頻度が明らかな場合は、その結果を用いてこの標準の実施基準に従い、公衆のリスクを評価できる。

レベル3PSAの実施手順の概要を解説図1.1に示す。図中の枠内の番号は、本標準の章番号と一致している。

a) **実施手順の概要** レベル3PSAのうち、主要な手順は、ソースタームの分析、気象データの選定及び気象サンプリング、大気輸送・拡散解析、サイトデータの収集及び処理、線量解析、健康影響解析、個人リスクの定量化である。

1) **ソースタームの分析** レベル2PSAから得られた放出カテゴリ別のソースタームから、放射性物質の種類、性状、放出量、放出開始時期、放出継続時間及び放出エネルギーを分析し、プルームモデルの設定に必要な情報を収集する(解説図1.1の4項)。

2) **気象データの収集及び気象サンプリング** 環境における放射性物質の挙動を適切に評価するために、年間の1時間ごとの気象データを収集する。

収集した年間の1時間ごとの全気象データから、風向、風速、大気安定度、降水量等が類似する気象カテゴリにグループ化し、各カテゴリから気象シーケンスをサンプリングする(解説図1.1の5項)。

なお、気象サンプリングを行わずに、年間の全気象データを使用して大気輸送・拡散解析を実施してもよい。

3) **大気拡散解析** 放出カテゴリごとの環境における放射性物質の挙動を計算し、大気中濃度及び地表面濃度を解析する(解説図1.1の6項)。解析に際しては、放射性物質の拡散及び沈着条件を分析する。

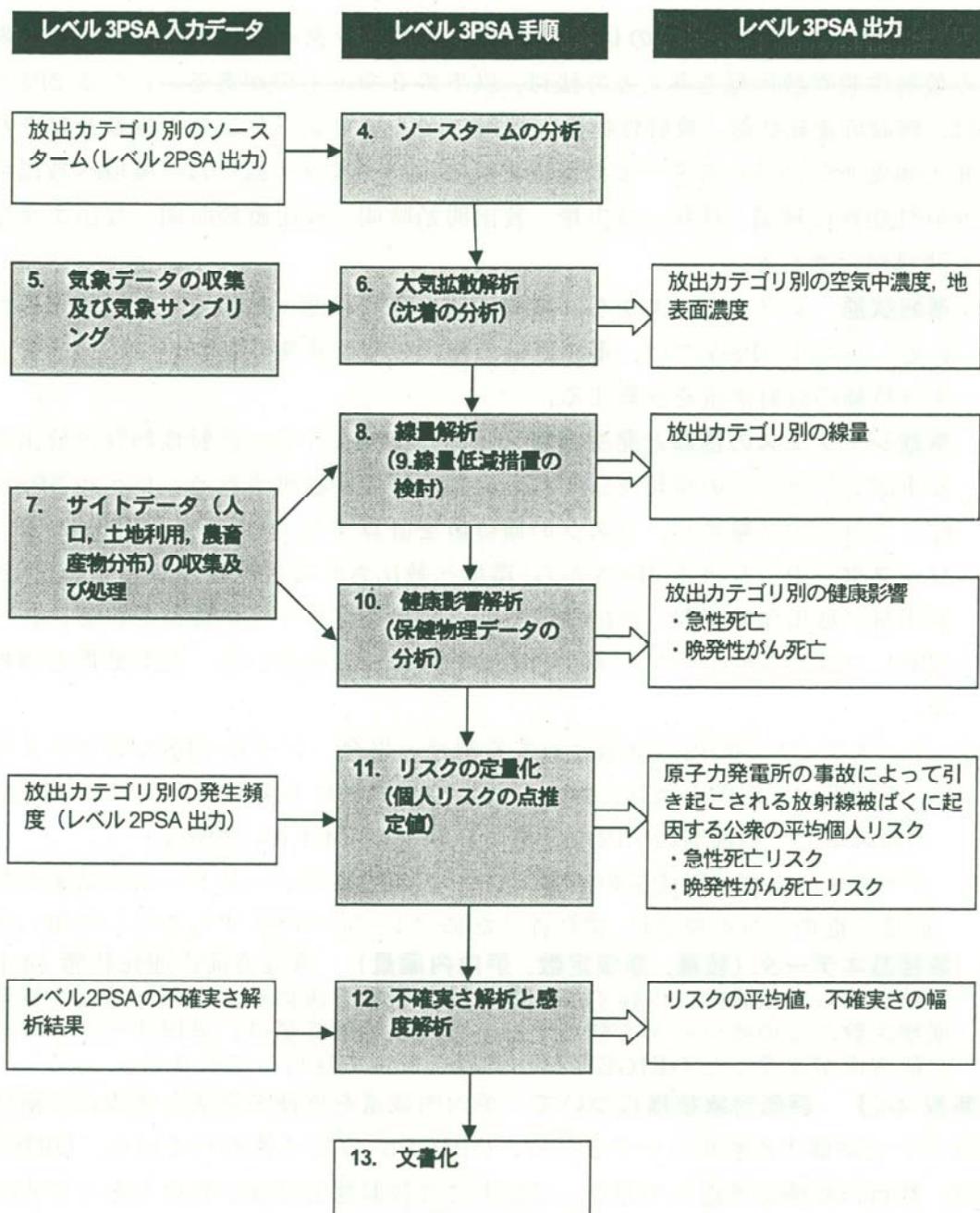
4) **サイトデータの収集及び処理** 線量解析及び健康影響解析に用いるために、国勢調査などから入手した人口データを、放射性物質の放出地点を中心とし

た ( $r$ ,  $\theta$ ) 座標に分割処理する。さらに、原子力施設周辺の土地利用及び農畜産物分布データを収集する（解説図 1.1 の 7 項）。

- 5) **線量解析** 大気輸送・拡散解析の結果を基に、被ばく経路別の線量を解析する（解説図 1.1 の 8 項）。解析に際しては、線量の低減措置条件を分析する（解説図 1.1 の 9 項）。
- 6) **健康影響解析** 線量解析の結果を基に、放射線被ばくに起因する公衆の健康影響（急性死亡及び晩発性ガン死亡）を解析する（解説図 1.1 の 10 項）。米国、OECD 諸国、日本などで、シビアアクシデント時の環境影響を予測する解析コードが開発されており、これらを利用すると大気輸送・拡散解析（解説図 1.1 の 6 項）、線量解析（解説図 1.1 の 8 項）及び健康影響解析が同時に遂行できる。解析に際しては、保健物理の条件を分析し、設定する。
- 7) **リスクの定量化** 健康影響解析の結果である公衆の健康影響とレベル 2PSA の結果から得られた放出カテゴリ別の発生頻度を用いて、放出カテゴリ別の公衆の平均個人リスク（急性死亡、晩発性ガン死亡）を求める。更に、急性死亡、晩発性ガン死亡ごとに、放出カテゴリ別の平均個人リスクをそれぞれ集計し、原子力発電所の事故によって引き起こされる放射線被ばくに起因する公衆の平均個人リスクを評価する（解説図 1.1 の 11 項）。

これらの一連の手順で、公衆の平均的な個人リスクが決まり、レベル 3PSA の大枠が終了する。

- 8) **不確実さ解析と感度解析** 公衆の平均的な個人リスクに対して、不確実さ解析を実施して、それらの平均値及び不確実さの幅を評価する（解説図 1.1 の 12 項）。
- 9) **文書化** 適用範囲、解析条件、解析結果などをとりまとめ、報告書を作成する（解説図 1.1 の 13 項）。
- b) **レベル 2PSA とのインターフェイス** レベル 2PSA とのインターフェイスが生じるのは、~~解説図 1.1 で示したとおり~~、ソースタームの分析、リスクの定量化及び不確実さ解析の項目である。
  - 1) **ソースタームの分析** 大気輸送・拡散解析に必要なソースタームの情報は、放射性物質の種類、性状、放出量、放出開始時期、放出継続時間及び放出エネルギーなどである。
  - 2) **リスクの定量化** リスクの定量化で必要なレベル 2PSA の結果は、放出カテゴリ別の発生頻度の情報である。
  - 3) **不確実さ解析と感度解析** 不確実さ解析で必要なレベル 2PSA の結果は、放出カテゴリのソースタームの確率分布を作成するための放出カテゴリ別のソースタームとその発生頻度の平均値と不確実さの幅である。



解説図 1.1—レベル3PSA 標準の実施基準の項目とレベル3PSA 実施手順との関係

**【解説 4-1】 ソースタームのレベル 2 PSA とのインターフェイスについて** 環境への放射性物質放出量を与える方法は、以下の 2 つのものがある。レベル 2PSA からは、施設の運転状態、放射性物質の放出に至る事故シーケンスの種類及びそれらの発生頻度並びにソースタームが提供される。ソースタームには、環境へ放出される放射性物質の種類、性状、放出量、放出開始時間、放出継続時間、放出エネルギーの諸量が含まれる。

- a) **運転状態** レベル 2PSA から、事故直前の運転状態（熱出力）の情報が提供される。レベル 3PSA では、事故直前の施設の運転状態に基づいて、施設に内在する核種の放射能量を計算する。
- b) **事故シーケンスの種類と発生頻度** レベル 2PSA から、放射性物質の放出に至る事故シーケンスの種類及びそれらの発生頻度が提供される。レベル 3PSA では、これらの諸量から、リスクの期待値を計算する。
- c) **ソースターム** レベル 2PSA から、環境へ放出される放射性物質の種類、性状、放出量、放出開始時間、放出継続時間、放出エネルギーが提供される。レベル 3PSA では、事故シーケンスごとのソースタームを用いて、大気拡散を解析する。
  - 1) ソースタームが炉内内蔵量に対する割合の場合 レベル 2PSA のソースタームの結果が、炉内内蔵量に対する割合で提供される場合は、レベル 3PSA の手順の中で、核種別の炉内内蔵量を計算する（4.1 d）参照）。
  - 2) ソースタームが放射能量の場合 レベル 2PSA のソースタームの結果が放射能量で提供される場合は、整合性のためにレベル 3PSA でもそれらを用いる。
- d) **核種基本データ（核種、崩壊定数、炉内内蔵量）** 事故直前の運転状態（4.1 a）参照）から、施設内に内在する核種の放射能量を求める。このために、核種の崩壊定数などの核データを整理する。核種の放射能量は、米国オーバーリッジ国立研究所が開発した ORIGEN コード等を用いて解析しても良い。

**【解説 4-2】 評価対象核種について** 炉内内蔵量を核種の崩壊と生成の平衡状態に基づいて評価する解析コードとして、ORIGEN が広く使われている。ORIGEN では、数百の核種を考慮しており、この中には放射性ではないものも多く含まれるが、放射性核種の数に限っても数百を下らない。この放射性核種の大部分は、被ばく評価に対して影響を与えないものとして無視できることがわかっており、評価対象核種を選定することができる。

核種を選定する際には、WASH-1400 (CRAC) では、(1) 内蔵量 (ベクレル数)、(2) 放出割合、(3) 放射線の種類及びエネルギー、(4) 化学的特性、そして (5) 半減期の 5 つの因子を考慮している。このような観点に基づいて評価対象核種を選定した結果として、解説表 4.1 に CRAC/CRAC2 と MACCS2 において考慮している核種を示す。解説表 4.1 に示すように、CRAC/CRAC2 では 54 核種を考慮し、MACCS2 では 60 核種を考慮している。

評価対象とする核種に対しては、MACCS2 では、半減期、親核種、物理的特性（希ガス又はエアロゾル）、化学的特性を設定する必要がある。

**【解説 4-3】 炉内内蔵量の評価条件について** 炉内内蔵量は、装荷した燃料の条件、燃焼期間としてのサイクル数、各サイクルにおける燃料交換割合、そして集合体最高燃焼度を想定して評価することができる。

**【解説 4-4】 核種のグループ化について** 評価対象核種として選定した核種を、物理的特性や化学的特性の類似性を考慮してグループ化する。

- a) **グループ化の例** WASH-1400 (CRAC) では、希ガス類、よう素類、セシウム類、テルル類、バリウム類、ルテニウム類、ランタン類の 7 種類にグループ化している。NUREG-1150 (MACCS) では、ストロンチウム類をバリウムとストロンチウムに分け、さらにランタン類をランタン類とセリウム類を分けて 9 種類にグループ化している。CRAC/CRAC2 及び MACCS2 の核種グループを解説表 4.2 に示す。
- b) **レベル 2PSA との整合** レベル 2PSAにおいても、放射性物質を化学的性質でグループ化してソーススタークを解析する。レベル 3PSA では、レベル 2PSA の放射性物質のグループを適切にレベル 3PSA のグループに割り付けることが重要である。解説表 4.3 に、レベル 2PSA の放射性物質のグループ化の例を示す。

**【解説 4-5】 放出開始時間について** 放出開始時間は、原子炉停止から放出開始までの間における放射性物質の放射性崩壊による減衰の評価に使用される。放出開始時間は、事故シーケンス ~~放出カテゴリ~~ の特徴に応じて設定する必要があり、炉心損傷が格納容器破損に先行する場合は格納容器破損が放出開始時間であり、炉心の損傷よりも格納容器破損が先行する場合はギャップ放出又は炉心損傷が放出開始時間となることに注意する必要がある。

なお、原子力発電施設の特徴により、格納容器破損が生じても環境への放射性物質の放出が開始される時間が一致しない場合があるが、このような場合の放出開始時間としては、格納容器破損時間ではなく、環境への放射性物質放出開始時間を用いてよい。

**【解説 4-6】 複数回の放出と放出継続時間について** 事故シーケンス ~~放出カテゴリ~~ の特性として、単一の放出で模擬できない場合には、複数回の放出を考慮してもよい。この場合には、それぞれの放出について、放出の時間変化を考慮して、放出開始時間、放出量割合、放出継続時間を設定する。

MACCS2 コードでは、プルームの放出形態を考慮して、プルームを最大 4 つまで分割することができるため、事故シーケンス ~~放出カテゴリ~~ の特徴に応じて、複数回の放出を考慮することができる。また、MACCS2 コードでは、プルームの積分放出量が、放出継続時間におけるある 1 点（放出代表時刻）に放出されるものと想定している。

一般に、プルームの放出量は時間に応じて変化することから、放出代表時刻および放出継続時間は、プルームの放出モードを考慮して適切に定める必要がある。放出代表時刻は、単位時間当たりの放出量が最大となる時刻として設定することができる。特に先頭プルームの場合は、保守性を考慮して、放出開始時刻を放出代表時刻に設定してもよい。

単一プルームに対する放出継続時間の代表性を考慮して、当該プルームにおける積分放出量を単位時間あたりの放出量の最大値で除した値を、実効的な放出継続時間として当該プルームの放出継続時間としてもよい。

なお、MACCS2 コードで設定することができる放出継続時間は最大 24 時間である。

**【解説 4-7】 放出高さと放出形態について** 最も簡単な設定方法は、ある高さの单一の放出源からの放出を仮定することである。例えば、排気塔からの放出となる事故シーケンス放出カテゴリでは、排気塔の形状（高さ）を考慮すればよい。放出形態に関しては、放出源の形状を特定できない場合、地表面からの放出の場合、又は、建屋からの放出の場合には、建屋の形状を考慮した混合を仮定する。この場合には、建屋の形状に関するデータとして、建屋高さ及び風向に垂直な面の建屋の幅が必要となる。

**【解説 4-8】 放出エネルギー（浮力）について** 放出エネルギーを考慮する場合に必要な情報としては、単位時間当たりのエネルギー放出がある。これにより、放射性物質の吹き上げを評価することができる。レベル 2 PSAにおいてソーススター ム評価のために用いられる解析コードには、この値を評価できるようになっているものがある。

MACCS2 では、環境中への放出熱量を入力として与えている。これは、放射性雲の拡散に関連するパラメータであり、放射性雲の上昇が生じる基準風速の評価に用いるものである。放出熱量が小さいほど基準風速は小さく、放射性雲の上昇が発生しないので、サイト遠方への移行量が小さくなり、保守的な評価結果となる。

放出熱量は、現実的な放射性雲拡散現象評価を行うために、各放射性雲の放出期間中の平均放出熱量としてもよい（放射性雲毎の累積放出エネルギーを放出継続時間で割った値）。

**【解説 4-9】 エアロゾルの粒子径分布について** 水蒸気爆発や格納容器雰囲気直接加熱現象時のエアロゾルの粒子径分布は、溶融デブリの機械的破壊が支配するので、エアロゾルの質量中央直径が  $100 \mu\text{m}$  よりも大きい。水蒸気・非凝縮性の蓄積による格納容器過圧破損時のエアロゾルの粒子径分布は、凝集及び凝縮による成長と格納容器内での沈着との均衡が支配するので、エアロゾルの質量中央直径が数  $\mu\text{m}$  程度である。

また、格納容器内でのエアロゾル形成時期によって、粒子径ごとに組成が異なる。

粒子径ごとの組成の違いを精度良く解析する方法が、F. Gelberd (1982年) らによって提案されているが、凝集によるエアロゾル粒子の成長では組成比が比較的保たれること、凝縮による成長では Kelvin 効果の影響があるものの広範な粒子径に渡って均質に生じることなどから、粒子径ごとに組成比は同程度と近似することができる。

このため、レベル 3PSA のソースタームの設定において、粒子径分布については、乾式沈着挙動に影響があるものの、粒子径分布の平均値に対する乾式沈着係数で代表することができ、また、組成については大気中への放出量比で代表することができる。

**【解説 4-10】 放射性物質の化学形について** 環境へ放出される放射性物質は、霧囲気条件に応じて化合物を形成する。シビアアクシデント時に環境へ放出される放射性物質の化合物の種類は、熱化学平衡を想定した解析から、次のように推定されている。

希ガス	Xe, Kr
よう素	CsI
セシウム	CsOH
ストロンチウム	SrO
バリウム	BaO
テルル	Te, TeO <sub>2</sub>
モリブデン	MoO <sub>3</sub>
セリウム	CeO <sub>2</sub>
ランタン	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

このうち、環境への影響が大きいセシウムの扱いが重要である。原子炉では、よう素の約 10 倍程度のセシウムが蓄積しており、シビアアクシデント時には、よう素もセシウムも全量近くが炉心から放出される。よう素のほとんどはセシウムと反応して CsI になり、また、残りのセシウムのほとんどは、CsOH になる。このため、環境へ放出されるセシウムの放出量は、CsI で放出されるセシウムの量を合算することが重要である。この場合、ガス状又はエアロゾル状の区分ごとに、CsI のセシウムの放出量と CsOH のセシウムの放出量とを合算する。

解説表 4.1 評価対象核種

核種名	解析コード	
	CRAC/CRAC2	MACCS/MACCS2
Co-58, 60	○	○
Kr-85, 85M, 87, 88	○	○
Rb-86	○	○
Sr-89, 90, 91	○	○
Sr-92	—	○
Y-90, 91	○	○
Y-92	—	○
Y-93	—	○
Zr-95, 97	○	○
Nb-95	○	○
Mo-99	○	○
Tc-99M	○	○
Ru-103, 105, 106	○	○
Rh-105	○	○
Sb-127, 129	○	○
Te-127, 127M, 129, 129M, 131M, 132	○	○
I-131, 32, 33, 34, 35	○	○
Xe-133, 135	○	○
Cs-134., 136, 137	○	○
Ba-139	—	○
Ba-140	○	○
La-140	○	○
La-141	—	○
La-142	—	○
Ce-141, 143, 144	○	○
Pr-143	○	○
Nd-147	○	○
Np-239	○	○
Pu-238, 239, 240, 241	○	○
Am-241	○	○
Cm-242, 244	○	○

解説表 4.2 核種グループ

CRAC/CRAC2		MACCS2	
核種グループ	核種名	核種グループ	核種名
希ガス	Kr-85, 85M, 87, 88	希ガス	Kr-85, 85M, 87, 88
	Xe-133, 135		Xe-133, 135
ヨウ素	I-131, 132, 133, 134, 135	ヨウ素	I-131, 132, 133, 134, 135
セシウム類	Rb-86	セシウム類	Rb-86
	Cs-134, 136, 137		Cs-134, 136, 137
テルル類	Sb-127, 129	テルル類	Sb-127, 129
	Te-127, 127M, 129, 129M, 131M, 132		Te-127, 127M, 129, 129M, 131M, 132
ストロンチウム類	Sr-89, 90, 91	ストロンチウム	Sr-89, 90, 91, 92
	Ba-140	バリウム	Ba-139, 140
ルテニウム類	Co-58, 60	ルテニウム類	Co-58, 60
	Mo-99		Mo-99
	Tc-99M		Tc-99M
	Ru-103, 105, 106		Ru-103, 105, 106
	Rh-105		Rh-105
ランタン類	Y-90, 91	ランタン類	Y-90, 91, 92, 93
	Zr-95, 97		Zr-95, 97
	Nb-95		Nb-95
	La-140		La-140, 141, 142
	Pr-143		Pr-143
	Nd-147		Nd-147
	Am-241		Am-241
	Ce-141, 143, 144	セリウム類	Ce-141, 143, 144
	Np-239		Np-239
	Pu-238, 239, 240, 241		Pu-238, 239, 240, 241
	Cm-242, 244		Cm-242, 244

### 【解説 5.1】 プラント／サイト固有データの入手

影響分析コードは、大量のサイト／プラント固有の入力データを必要とする。必要となる主なタイプのデータを以下に挙げる。

- ソースターム
- 気象データ
- 人口
- 対策
- 農業生産
- 土地
- 食糧配分
- 経済

上記タイプのデータがすべて必要というわけではない。なぜならば、使用する特定の影響分析コードとどのような結果を望むかによって、当該データが必要か否かが決まるからである。場合によっては、ユーザがコードのデフォルトデータの変更を進んで検討する可能性もある。コードのデフォルトデータ（例：放射線データ）は、サイト／プラント固有のデータではない。一般に、これらのデータ収集は、時間のかかるプロセスであり、できるだけ早く開始すべきである。また、データ収集に要する総時間を最小限に抑え為に、様々なタイプのデータを並行して収集すべきである。

### 【解説 5.2】 気象指針における気象パラメータ

我が国の原子力発電所では「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」（原子力安全委員会）<sup>参考(1)</sup>に基づく気象観測を実施しており、これらのデータを用いてレベル 3PSA を実施するのが通例と考えられるため、当該指針における気象パラメータの取り扱いについて解説する。

指針では、気象観測を通常観測と特別観測に区分している。通常観測は、原子炉施設の設置許可申請前の少なくとも 1 年前から開始し、原子炉施設が廃止されるまで連続して行うものである。また特別観測は、原子炉施設設置前の安全解析に際し特定の期間実施するものである。通常観測の項目として、原子炉施設の敷地内における風向、風速、日射量及び放射収支量があり、これらの観測方法については解説表 5.2-1 に示す。大気安定度は、「敷地を代表する地上風」の当該時刻の風速ならびに日射量及び放射収支量を基に解説表 5.2-2 によって分類する。なお、これら測定値の欠測率を連続した 12 ヶ月間で 10% 以下とし、連続した 30 日間で 30% 以下にするよう努力することとしている。

指針に規定のない観測地点での降水量については、最小単位で 0.5mm/hr 程度の降水量のデータを用意することが評価上望ましい。

### 【解説 5.3】 異常年検定

「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」(原子力安全委員会) 参考(1)における「解説 X その他の気象条件の取扱い」では、気象現象の年変動として、次のように記載がなされている。

気象現象は、ほぼ 1 年周期でくり返されているが、年による変動も存在する。

このため、想定事故時の線量計算に用いる相対濃度についてその年変動を比較的長期にわたって調査してみると、相対濃度の平均値に対する対する各年の相対濃度の偏差の比は、30%以内であった。

のことから、1 年間の気象資料に基づく解析結果は、気象現象の年変動に伴つて変動するものの、その程度はさほど大きくないので、まず 1 年間の気象資料を用いて解析することとした。

その場合は、その年がとくに異常な年であるか否かを最寄の気象官署の気象資料を用いて調査することが望ましい。

また、2 年以上の気象資料が存在する場合には、これを有効に利用することが望ましい。

検定法としては、一般的に不良標本の棄却検定法が用いられる。棄却検定法には、F 分布検定及びグラブスの検定参考(2)等があり、これらの手法により、着目した気象観測期間が異常な年であるかどうか判断することができる。

解説表 5.2-1 気象指針における観測方法

観測項目	測定の単位	測定値の最小位数	観測高度
風向	16 方位	1	(1) 敷地を代表する地上風の風向及び風速は、原則として地上約 10m の高さで測定する。
風速	m/s	1/10	
日射量	kW/m <sup>2</sup>	1/100	原則として、露場の地上約 1.5m の高さ
放射収支量	kW/m <sup>2</sup>	1/500	露場の地上約 1.5m の高さ

解説表 5.2-2 大気安定度分類表

風速(U) m/s	日射量(T) kW/m <sup>2</sup>				放射収支量(Q) kW/m <sup>2</sup>		
	T $\geq$ 0.60 $\geq$ 0.30	0.60 > T $\geq$ 0.15	0.30 > T $\geq$ 0.15	0.15 > T	Q $\geq$ -0.020	-0.020 > Q $\geq$ -0.040	-0.040 > Q
U < 2	A	A-B	B	D	D	G	G
2 $\leq$ U < 3	A-B	B	C	D	D	E	F
3 $\leq$ U < 4	B	B-C	C	D	D	D	E
4 $\leq$ U < 6	C	C-D	D	D	D	D	D
6 $\leq$ U	C	D	D	D	D	D	D

#### 【解説 5.4】人口データ

影響分析コードでは、人口データを輪状に割り当てること、放出サイトを中心とすること、ラジアルラインで分割する（即ち、 $(r, \theta)$  グリッド）ことが必要である。このセクターの方向は、風のセクターの方向と一致すべきである。既存の人口データを $(r, \theta)$  グリッドにマッピングする必要がある。通常は、国勢調査データから人口情報を入手できるが、放出場所のごく近辺の現地データで補足することが恐らく必要となる。国勢調査データは、それを使用する時には、ある程度時代遅れになるが、影響評価を目的とした場合、一般に、そのデータで十分である。但し、国勢調査が行われた後に発電所周辺地域で大きな人口変化があった場合は、その限りではない。

多くの地域で、人口は、一年のうちの時期に応じて大きく変化する。その明らかな例がホリデーリゾートである。通勤、通学時や職場や学校等からの帰宅時に人口の移動があるので、一日や一週間のうちでも大きな人口変化がある。それらの影響は、CCDF 結果の不確実性に大きく寄与するとは思われないので、一般には無視されている（参考文献[4]参照）。しかし、この問題は、扱う必要があるし、この問題が重要と見なされた場合は、コードの入力データとして使用する人口分布において、その説明を行うべきである。

#### 【解説 5.5】土地利用データ

現行の影響分析コードのほとんどは、どのエリアが大地でどのエリアが海や湖であるかに関する情報が必要となる。一般に、大地に相当する $(r, \theta)$  グリッドの各空間エレメントの比率（湖、海などに対して）を定義することによりこの情報が得られる。特定のサイトの場合、これらのデータは、通常、小規模／大規模マップの両方からかなり迅速に推定できる。また、大地部分については、さらに都市部と農村部に細分する必要があるかもしれない。大地部分のデータ、人口情報、臨界人口密度（例： $\text{km}^2$ あたり 100 人。これを超えるとその空間エレメントは都市部と分類し、それを下回ると農村部と分類する）を使ってこの情報を得ることができる。

#### 【解説 5.6】農畜産物分布データ

ほとんどの影響分析コードでは、経口摂取による集団線量を評価するには、人口データに使用したと同じ $(r, \theta)$  グリッド上に農畜産物分布データもマッピングする必要がある。厳密にどのような農業データが必要となるかは、影響分析コードによって決まる。詳しくは、使用するコードのユーザガイドを参考にする。しかし、必要データの範囲を示す時には、以下の標準農産物リストを使用する。

- (a) 牛乳（ミルクとして消費される）
- (b) 牛乳製品

- (c) 青物野菜
- (d) 根菜
- (e) 牛肉
- (f) 牛の肝臓
- (g) 羊肉
- (h) 羊の肝臓
- (i) 穀類

このリストは、主に、現在最も使用されているコードが作成された国での食糧生産慣行に基づく。食糧生産慣行や消費パターンがこれとは異なる国の場合には、データが必要となる農作物の範囲も異なる。一般に、各産物について生産高、栽培期、収穫時期、収穫から消費までの期間といったデータが必要となる。一部のコードでは、その経済モデルについて、以下の補足的農業データを必要とする場合がある。

- (j) 家畜数
- (j) 作物を栽培する土地面積

一般に、人口データよりも農業データ入手する方が難しい。ここでも、使用する  $(r, \theta)$  グリッド上に入手データをマッピングする必要がある。よく遭遇する問題点として、農業生産データが把握されているエリアが広大であるという点があるが、農業生産データは、人口データと同じレベルの空間的詳細を必要としないので、その点は、通常、大きな短所ではない。汚染水からの経口摂取線量が必要な場合は、地表水や水消費量に関する詳細データも必要となる。

### 【解説 6.1】 ピンサンプリング法

事故影響評価の結果は、事故後の気象条件に大きく依存するが、毎時 1 年分 (8760 シーケンス) の計算量は膨大である。適切な気象サンプリング法（ここではピンサンプリング法とする）により、より少ないシーケンス数で事故影響評価を実施することができる。

ピンサンプリング法は、放出物の拡散を支配する気象パラメータにより気象シーケンスを同程度の影響をもたらすような気象カテゴリにグループ化し、各カテゴリ毎に気象シーケンスをサンプリングして事故影響評価を行い、得られた結果に対して各カテゴリの出現割合に基づいた重み付けすることで、より現実的な発生確率を割り振る手法である。**解説図 6.1-1** にピンサンプリング法の概念を表したフローチャートを示す。サンプリングの手法には、事故影響評価を行う気象シーケンスの出発点をランダムに選択するランダムサンプリング法や周期的に選択するサイクリックサンプリング法があるが、これらのサンプリング法は通常良く出現するような気象シーケンスを選択する傾向が強い他、事故影響結果に割り振る確率が一定のため、出現頻度の低い気象シーケンスがサンプリングされた場合には過剰な発生確率

を割り振ることがある。ピンサンプリング法では、上記のような手続きを取るため、事故影響評価上、重要な気象シーケンスをサンプリングしないケースを減少することができるとともに、適切な発生確率を割り振ることが可能である。

### 【解説 6.2】 気象シーケンスのグループ化

被ばく線量に最も寄与するパラメータは、線源から評価地点までの距離、拡散の進み具合及びプルームが降水に遭遇するかどうかである。気象シーケンスをグループ化する際には、大きく二つのタイプに分けることができる。一つは降水があるタイプ、もう一つは降水がないタイプで、それぞれウェットシーケンス、ドライシーケンスと呼ぶ。

ドライシーケンスは、放出時及び放出後数時間の風速及び大気安定度によってグループ化するのが通例である。ウェットシーケンスでは、被ばく線量は、降水率、プルームにおける放射能の残留量と降水によるプルームからの除去量、そして人口密集地で降水があるかどうか、といった要因に依存し、放出点近傍だけでなく、放出点から離れた地点においても高濃度の地表面汚染をもたらす可能性があるため、ウェットシーケンスをグループ化する際の基準としては、これらの要因を考慮すべきである。

多くの場合、すなわち条件付発生確率（事故の発生ありきとした場合の影響発生の確率）が  $10^{-3}$  程度の事故影響の頻度分布を求めるような場合には、次に示すような気象シーケンスのグループ化手順で十分とされている参考<sup>(3)</sup>。

- 1) 放出点から 100km 以内で降水がある気象シーケンスを調べ、降水量と降水場所によってグループ化する（ウェットシーケンス）。
- 2) 残りのシーケンス（ドライシーケンス）を、放出後数時間における風速および大気安定度でグループ化する。
- 3) 全体で 30 ないし 50 のカテゴリを定義し、各カテゴリからランダムに数個のシーケンスを選択する。

以上の考え方に基づいて、MACCS2 及び OSCAAR での気象ピンサンプリング法により気象シーケンスをグループ化した例を示す。

#### 例1) MACCS2 における気象サンプリングの例

・ ウェットシーケンスである降水ビンの設定距離インタバ尔斯を 4、設定降水強度数を 3 とした場合、降水ビンとして設定されるビン分類数は、 $16(=4 \times (3+1))$  となる。降水地点の距離インタバ尔斯として、0.5, 2.5, 及び 15.0mm/h を設定すると解説表 6.2-1 のような分類になる。

各気象シーケンスは、まず降水ビンに優先的に分類され、それ以外の気象シーケンスは、当該時刻における大気安定度と風速に着目した気象ビン（ドライシーケン

ス)に分類される。これらの気象ビンは固定の解説表 6.2-2 の 16 種類 (16 ビン) である。

#### 例2) OSCAAR における気象サンプリングの例

気象シーケンスの分類条件として、降水の有無、大気安定度、放出物質の滞留時間を探用している。また、対象サイトの地形や立地条件を反映するために、風向によっても分類している。解説表 6.2-3 に気象サンプリングの分類例を示す。気象ビンの総数は以下の 11 ビンに方位の分類数を掛けた数となる。

#### 【解説 6.3】 気象サンプリングによる統計的誤差について

MACCS コードを用いたビンサンプリングによる評価値のばらつきについて、日本原子力研究所の研究成果がある参考<sup>(4)</sup>。当該研究成果は、特定のパラメータ設定のもとでの評価結果にもとづくものであり、他のパラメータ設定では結論が異なることもあり得るとしているが、ビンサンプリングによる不確定性に関する有益な知見が含まれていることから、以下にその概要と得られる知見を記す。

##### (1) 評価条件

気象及びサイトデータは、米国サリー発電所のもの、ソースタームは希ガス 100%、ヨウ素 68% 等が事故発生後 3,700 秒で地上放出され、1,800 秒間にわたり放出が継続するというものである。

気象ビンは、降水の有無、大気安定度及び風速により 20 の分類としている。

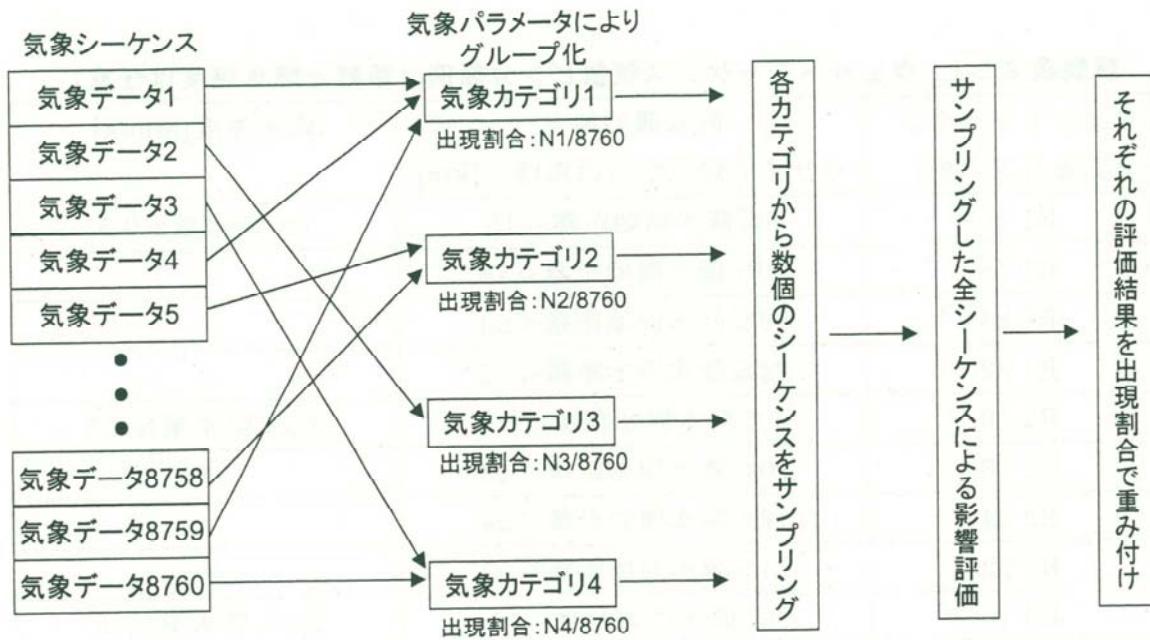
##### (2) 評価指標

急性死亡数及びガン死亡数を指標として評価している。

##### (3) 主な結果と得られる知見

各ビンから 100 の気象シーケンスをサンプリングし(当該ビンに割り当てられた気象シーケンス数が 100 未満の場合は全て)、各ビン内の評価指標のバラツキ、ビン間の評価指標のバラツキが図示されている。

ビン内でのバラツキは、急性死亡の場合 7-8 枝にも及ぶ場合があるが、ガン死亡の場合は 2-3 枝程度である。一方、ビン間でのバラツキについて、ビン平均値を見ると(解説図 6.3-1)、一部のビンを除き、各指標ともビン間の違いは大きくはない。このことは、ビンの定義の仕方による評価指標への影響はビン内でのバラツキの扱い(サンプリングの仕方)による影響より小さいことを示唆している。各ビンに割り振られる気象シーケンス数は多い場合で数百になり、その中の各気象シーケンスにおける評価結果のバラツキは大きいと考えられることから、このようなビンからの、サンプリング数が小さくならないよう注意が必要である。



N1~N4: 各カテゴリの出現回数

解説図 6.1-1 ピンサンプリング法のフローチャート

解説表 6.2-1 ウエットシーケンス気象ビン分類例（距離と降水強度は任意）

ウェットシーケンス気象ビン（例）	降水開始地点 (サイト地点からの距離) [km]	降水強度[mm/h]
R1 10	0≤降水開始距離<10	0<降水量≤0.5
R1 16	10≤降水開始距離<16	"
R1 24	16≤降水開始距離<24	"
R1 32	24≤降水開始距離<32	"
R2 10	0≤降水開始距離<10	0.5<降水量≤2.5
R2 16	10≤降水開始距離<16	"
R2 24	16≤降水開始距離<24	"
R2 32	24≤降水開始距離<32	"
R3 10	0≤降水開始距離<10	2.5<降水量≤15
R3 16	10≤降水開始距離<16	"
R3 24	16≤降水開始距離<24	"
R3 32	24≤降水開始距離<32	"
R4 10	0≤降水開始距離<10	15<降水量
R4 16	10≤降水開始距離<16	"
R4 24	16≤降水開始距離<24	"
R4 32	24≤降水開始距離<32	"

解説表 6.2-2 ドライシーケンス気象ビン分類（16種類固定）

ドライシーケンス 気象ビン	大気安定度	風速[m/s]
1	A または B	0 < 風速 ≤ 3.0
2	"	3.0 < 風速
3	C または D	0 < 風速 ≤ 1.0
4	"	1.0 < 風速 ≤ 2.0
5	"	2.0 < 風速 ≤ 3.0
6	"	3.0 < 風速 ≤ 5.0
7	"	5.0 < 風速 ≤ 7.0
8	"	7.0 < 風速
9	E	0 < 風速 ≤ 1.0
10	"	1.0 < 風速 ≤ 2.0
11	"	2.0 < 風速 ≤ 3.0
12	"	3.0 < 風速
13	F	0 < 風速 ≤ 1.0
14	"	1.0 < 風速 ≤ 2.0
15	"	2.0 < 風速 ≤ 3.0
16	"	3.0 < 風速

解説表 6.2-3 気象サンプリングの分類例

降水あり (10kmまで)	5mm未満	グループ1		
	5mm以上	グループ2		
降水なし (10kmまで)	滞留時間 (20kmまで)	大気安定度(10kmまで)		
	不安定	中立	安定	
	<150分	グループ3	グループ6	グループ9
	<300分	グループ4	グループ7	グループ10
	≥300分	グループ5	グループ8	グループ11

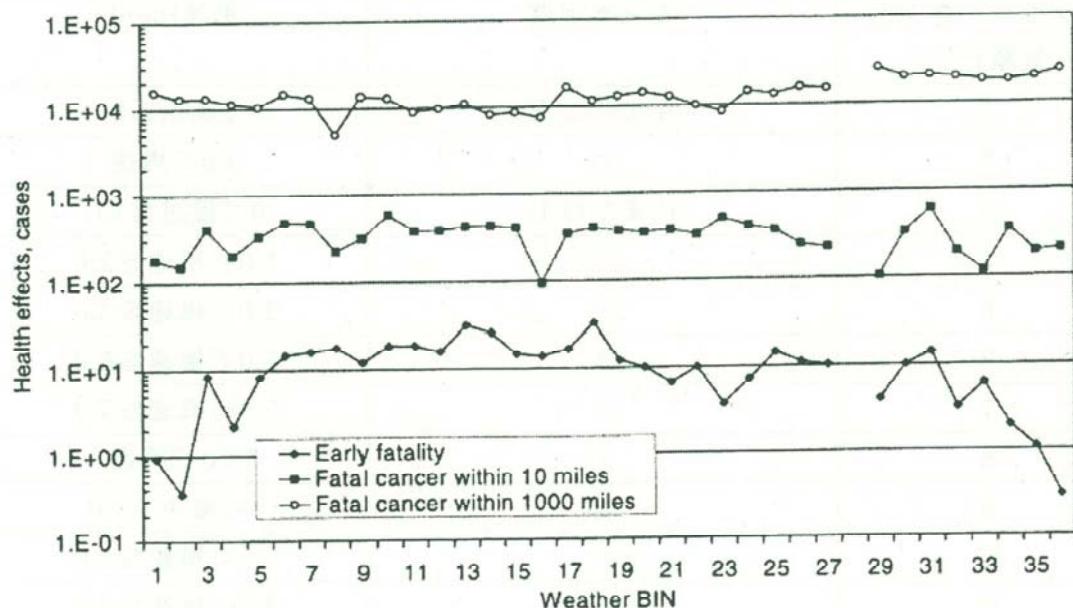


Figure 25. The average of health effect estimation results in each BIN, including early fatality, and fatal cancer within 16km and 1601km. No sample available for BIN28.

解説図 6.3-1 各気象ピンでの評価指標の平均値

## 解説 参考文献

- (1) 内閣府原子力安全委員会事務局監修, 「原子力安全委員会指針集（第 11 版）」, 大成出版社, 2003
- (2) 石川, 久米, 藤森, 「化学者及び化学技術者のための統計的方法（第 2 版）」, 東京化学同人, 1990
- (3) CEC, Methods for Assessing the Off-site Radiological Consequences of Nuclear Accidents, Rep. EUR-10243-EN, Commission of the European Communities, Luxembourg, 1986
- (4) Xinhe LIU and Toshimitsu HOMMA , Variation of Radiological Consequences under Various Weather Conditions, JAERI-Tech 2001-054, 2001

**【解説 7.1】 大気拡散式** プルームは輸送される際、大気中での乱流により水平方向、垂直方向に拡散する。拡散と輸送の過程はしばしば”拡散”という表現に集約される。大気拡散式は、風に対して水平直角及び垂直方向の放射性物質の濃度分布と拡散するプルームの風下への輸送を表し、濃度分布を正規分布で仮定したガウス型プルームモデルが一般的に用いられる。放射性物質の放出後及び放出中の時間的な気象状態を更新していく（時間的に変化する気象）方が望ましいが、一般的には放出時の気象条件でプルームの拡散が支配されると仮定される（時間変化しない気象）。

- ガウス型プルームモデルが環境影響評価で広く使用されている主な理由として
- ・ガウス分布が大気拡散を概ね妥当に表現していることが経験的に判っている。
  - ・モデル化適用が容易であり、モデルに必要な気象データも入手しやすい。
  - ・最小限の計算時間で、様々な気象や放出源の状態に基づく平均的な予測結果が得られる。
  - ・長期放出に対して必要な気象や放出源を変化させた複数のプルームをモデル化できる。

が挙げられる。

ガウス型プルームモデル以外の大気拡散モデルとして、ガウス型パフモデルや長期の流跡モデルも現在の環境影響評価コードで広く利用されている。それらの拡散モデルのイメージを解説図 7.1-1 に示す。これらのモデルの利点としては、プルーム輸送の風向変化を考慮できることにある。しかし、広範な気象データが必要なモデルだと、その公開性、入手性または使用性に制限がある場合には、複雑なモデルが良いとは限らない。また、プルームの拡散には、ガウス型プルームモデルに限らずモデル式で表現しきれない種々の要因が関与しており、より詳細なモデルは計算時間がかかるだけでなくモデルの構築も困難である。なお、PCA(Probabilistic Consequence Analysis)コードではモデルと実際の違いを、補正係数等を与えて調整することで、より実際に即したものを見ようとしている。

**【解説 7.2】 拡散パラメータ** 拡散パラメータと距離の関係を示す曲線は、野外トレーサ実験によって観測された結果に基づくもので、その一つである Pasquill-Gifford 線図 (P-G 線図) を解析コードに用いるための近似式が幾つか提示されている。PCA コードでは、風下距離と拡散パラメータの関係をべき乗則等の近似式で与えている。解説図 7.2-1 は安全審査指針の気象指針の近似式、MACCS コードのデフォルト設定に使用された Tadmor-Gur 近似式、また、NUREG/CR-4551 で検討された Klug,, Geiss の近似式を示している。

上記に挙げた 3 つの曲線は以下のように表現されている。

## (1) 安全審査指針気象指針における近似式

$$\sigma_y = 0.67775 \cdot \theta_{0.1} \cdot (5 - \log x) \cdot x \quad (0-1)$$

$$\sigma_z = \sigma_1 \cdot x^{a_1 + a_2 \log x + a_3 (\log x)^2} \quad (0-2)$$

ここで、 $\theta_{0.1}$ (deg)は、0.1kmにおける $\theta$ の値で解説表7.2-1で与えられる。また、xは風下距離(km)である。また、 $\sigma_1$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ 及び $a_3$ は定数で解説表7.2-2, 解説表7.2-3で与えられる。

## (2) べき乗則における近似式

べき乗則による近似式は以下で表現される。

$$\begin{aligned}\sigma_y &= a \cdot x^b \\ \sigma_z &= c \cdot x^d\end{aligned} \quad (0-3)$$

TadmorとGurら<sup>\*1</sup>の近似式はMACCSコードで用いられており、式(0-3)のパラメータa~dは、解説表7.2-4に示す値である。なお、表値はTadmor-Gurらが提示した0.5~5km範囲のべき乗近似式である。Klugの近似式のパラメータは解説表7.2-5に、Geissの近似式のパラメータは解説表7.2-6に示した。Geissの近似式は、風下11km地点の地上50mで観測された結果に基づいて導出されたものである。

**【解説7.3】拡散パラメータの補正** 評価時間が長くなると、ブルームの拡散幅が広がることが知られている。放出期間によるブルームの時間希釈効果は、水平方向の拡散パラメータ $\sigma_y$ 値を補正することで表現される。

$$\sigma_y = \sigma_{y\_ref} \left( \frac{T_E}{T_{ref}} \right)^m \quad (0-4)$$

ここで、 $\sigma_{y\_ref}$ と $T_{ref}$ は、標準の水平方向拡散パラメータ値と放出期間であり、 $T_E$ は評価対象のブルームの放出期間である。Giffordは、放出期間 $T_E$ が1時間以内の時 $m=0.2$ 、1時間を越える時 $m=0.25$ を推奨している。なお、垂直方向の拡散パラメータ $\sigma_z$ については、評価期間の影響は小さいため補正しない。

**【解説7.4】ブルームの上昇** 排気筒から放出される場合の吹き上げ高さは次式で求めることができる。

---

\*1 J.Tadmor and Y.Gur, "Analytical Expressions for the Vertical and Lateral Dispersion Coefficients in Atmospheric Diffusion," Atomos. Envir., Vol.3, p688, 1969.

$$\Delta H = 3 \frac{W}{U} D \quad \text{--- (0-5)}$$

$\Delta H$  ; 吹き上げ高さ(m),  $W$  ; 吹き出し速度(m/s)

D；排氣筒出口內徑(m), U；風速(m/s)

ブルームが上昇するか否かは、放出時の風速とブルーム上昇となる臨界風速との大小関係（リフトオフ条件）に依存する。浮力によって上昇したブルームは、ある条件を満たすとその上昇が停止する。

Briggs<sup>\*2</sup>によって提唱されたリフトオフ条件式は下式で表される。

$$u_c = \left( \frac{9.09F}{L_p} \right)^{1/3} \quad (0-6)$$

$\mu_c$  : プルームのリフトオフ条件の臨界風速(m/s)

$E$  : 発生源からの上昇流束 ( $m^4/s^3$ )  $\doteq 8.8 \times Q$

$Q$  : エネルギー放出率 (J/s)

$L_p$  : 原子炉建屋の相当高さ(m)

上式の臨界風速の条件によりブルームが上昇する場合、その上昇距離は Briggs によって提唱された下式のべき乗法則により算出される。

$$\Delta h = \frac{1.6 \cdot F^{1/3} x^{2/3}}{\bar{u}} \quad (\text{大気安定度 A} \sim \text{D の時}) \quad \dots \quad (0-7)$$

$$\Delta h = 2.6 \left( \frac{F}{\bar{u} S} \right)^{1/3} \quad (\text{太気安定度 E, F の時}) \quad \dots \quad (0-8)$$

$\wedge h$  : プルームの上昇距離 (m)

x 風下距離 (m)

$\bar{u}$  · 平均風速 (m/s)

S : 大気安定度パラメータ

渾力によるプルームの上昇は、以下の条件のいずれかにより停止する。

- a) Briggs 提唱の  $\Delta h$  が  $300F/\bar{u}^3$  に達したとき  
 b)  $H$ (プルーム高さ) =  $L$  (混合層高さ)

【解説 7.5】プルームの上昇高さ 拡散パラメータ  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  の不確実さ幅については、EC（欧州共同体）と米国 NRC（原子力規制委員会）が共同で実施した「確率論的

\*2 Briggs, G.A., "Lift-off of Buoyant Gas Initially on the Ground", ADTL Contribution File No.87 Air Resources Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory, NOAA, Oak ridge, Tennessee, 1973.

事故影響評価(PCA)コードの予測結果に付随する不確実さの推定に関する研究」で大気拡散沈着の分野で報告された NUREG/CR-6244 に専門家判断による結果が提出されている。解説表 7.5-1 にその集約データの例を示す。また、その報告書を元に拡散パラメータをべき乗則で表現した場合の不確実さ分布を算出したものが EUR 18822 レポートに掲載されており、それを解説表 7.5-2 に示す。

表面粗さについては、P-G 線図の元となった拡散実験が、約 3cm の平坦な草地で実施されたものであることから、より大きな表面粗さを有する地域に適用するための補正が必要となる。MACCS コードでは、その補正に下式が用いられ、10cm の表面粗さを想定して得られた 1.27 を  $\sigma_z$  のスケーリングファクター（補正係数）を与えていた。

$$\sigma_{z,new} = \sigma_{z,P-G} \left( \frac{z_{0,new}}{z_{0,P-G}} \right)^{0.2} \quad \dots \quad (0-9)$$

各添字は、new(補正)と P-G (Pasquill-Gifford) での値であり、 $z_{0,new}$  は解析対象の表面粗さである。郊外住宅地で 100cm、田舎で 30cm、森林で 20~200cm とされる。

臨界風速や上昇過程についてはモデル化が十分でなく、不確かさが大きい。

PCA コードでは、これらの不確実さをユーザが定義できるように、ある係数を掛けて補正できるようにしており、その係数をスケーリングファクターと呼んでいる。NUREG/CR-4551<sup>3)</sup>では、プルーム上昇のスケーリングファクターとして解説表 7.5-3 に示す値を推奨している。臨界風速については、式(0-6)の係数 9.09 に対して約 2 のファクター (0.5~2) の不確実さがあり、プルーム上昇高さについては、Hanna, Briggs ら<sup>\*3</sup>が式(0-7)中の係数 1.6 に±40% の不確実さがあるとの指摘を参考に、スケーリングファクターを 1.0±0.5 としている。

CEC (欧州共同体委員会) から出された EUR-8935-EN 文献でのスケーリングファクターは、プルーム上昇高さについては、大気が安定な状態下での式(0-8)中の係数 2.6 が実験データとの整合性がとれるのは 2.3~2.9 の範囲であるとしている。また、式(0-8)中の 2.6 の係数を、式を変換して  $\{3/(2 \cdot \beta)\}^{1/3}$  と表現すると、 $\beta$  値の 90% 信頼幅が 0.3~5.0 の時の係数値は 0.39~2.55 となる。

**【解説 7.6】 建屋の影響** プルームが放出後ただちに原子炉建屋周辺の後流に巻き込まれると、拡散パラメータで決定されるプルームの大きさは、(0-1)式の分母部分である  $1/\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z$  を  $1/\bar{u}(\pi\sigma_y\sigma_z + cA)$  に置換して補正する。ここで A は風向に垂直

\*3 S.R.Hanna, G.A.Briggs, et al., "Handbook on Atmospheric Diffusion, DOE/TIC-27601, U.S.DOE, Washington, DC, 1982.

な平面に投影した建屋面積,  $c$  は定数 ( $\leq 0.5$ ) である (Gifford, 1976)。もし、そうでなければ、点源の放出となる。建屋から放出される初期のプルームの大きさは、放出モードや放出時の風速によって決まるが、一般にプルームが放出される建屋の大きさと関係づけられる。放出モードは解説図 7.6-1 で示される。建屋の大きさは、放射性物質が放出される建屋の高さと幅で定義される。事故時には原子炉建屋が対象となる。MACCS コードでは、建屋の大きさと初期プルームの大きさの関係を下式で与えている。

$$H_b = 2.15 \sigma_z \quad W_b = 4.3 \sigma_y \quad \text{--- (0-10)}$$

ここで、 $H_b$ ；建屋高さ、 $W_b$ ；建屋幅

上式は、ブルームが建屋からリフトオフする際に、ブルーム内が混合された状態で建屋から離れていく場合の理論と経験則から導出された式である。

**【解説 7.7】 気象の確率論的扱い** PCA コードでは一般的に、放出後の風向変化を考慮しない直線プルームモデルにより濃度分布を求め、風向頻度で分配する方法がとられる。複数回の放出を表す多重放出ソースタームの場合、放出開始時刻が異なっても同一方向にプルームが移動するとして計算する場合と、各プルームが放出時点の風向に従って風下方位に移動するとして計算する場合がある。

MACCS2 コードではこれらのオプションが用意されている。

解析表 7.2-1  $\theta_{0.1}$  のパラメータ値

大気安定度	A	B	C	D	E	F
$\theta_{0.1}$ (deg)	50	40	30	20	15	10

解説表 7.2-2  $\sigma_1$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  及び  $a_3$  (風下距離が 0.2km 以遠)

大気安定度	$\sigma_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
A	768.1	3.9077	3.898	1.7330
B	122.0	1.4132	0.49523	0.12772
C	58.1	0.8916	-0.001649	0.0
D	31.7	0.7626	-0.095108	0.0
E	22.2	0.7117	-0.12697	0.0
F	13.8	0.6582	-0.1227	0.0

解説表 7.2-3  $\sigma_1$  及び  $a_1$  (風下距離が 0.2km 未満)

大気安定度	$\sigma_1$	$a_1$
A	165	1.07
B	83.7	0.894
C	58.0	0.891
D	33.0	0.854
E	24.4	0.854
F	15.5	0.822

但し,  $a_2$  及び  $a_3$  は 0 とする。

解説表 7.2-4 MACCS コードにおける  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  のべき乗則のパラメータ値

大気安定度	べき乗則のパラメータ			
	a	b	c	d
A	0.3658	0.9031	0.00025	2.125
B	0.2751	0.9031	0.0019	1.6021
C	0.2089	0.9031	0.2	0.8543
D	0.1474	0.9031	0.3	0.6532
E	0.1046	0.9031	0.4	0.6021
F	0.0722	0.9031	0.2	0.6020

解説表 7.2-5 Klug の  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  のべき乗則のパラメータ値

大気安定度	べき乗則のパラメータ			
	a	b	c	d
A	0.469	0.903	0.017	1.380
B	0.306	0.885	0.072	1.021
C	0.230	0.855	0.076	0.879
D	0.219	0.764	0.140	0.727
E	0.237	0.691	0.217	0.610
F	0.273	0.594	0.265	0.500

解説表 7.2-6 Geiss の  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  のべき乗則のパラメータ値

大気安定度	べき乗則のパラメータ			
	a	b	c	d
A	1.503	0.833	0.151	1.219
B	0.876	0.823	0.127	1.108
C	0.659	0.807	0.165	0.996
D	0.64	0.784	0.215	0.885
E	0.801	0.754	0.264	0.774
F	1.294	0.718	0.241	0.662

注 ; 風下 11km 地点, 地上 50m 高さでの観測から算出されたもの

解説表 7.5-1 NUREG/CR-6244 における  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  の不確実さデータ例  
単位 ; m

拡散パラメータ ( $\sigma_y$ )	5%値	50%値	95%値
3km 地点	267	828	3748
10km 地点	735	2682	12451

上記は複数の専門家から提出された不確実さデータを集約したもの。表値は図の読み取り値。また、上記は大気安定度 A の場合。 $\sigma_z$  や他の大気安定度及び風下距離の集約分布は掲載されていない。

解説表 7.5-2 EUR 18822 における  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  のべき乗則の不確実さ幅

安定度	5 % 値	50 % 値	95 % 値	5 % 値	50 % 値	95 % 値
	a			b		
A/B	0.29	0.836	1.77	0.768	0.877	1.02
C	0.21	0.428	0.545	0.797	0.867	0.979
D	0.166	0.21	0.357	0.767	0.917	1.03
E/F	0.0875	0.252	0.442	0.757	0.878	0.955
	c			d		
	0.145	1.77	8.13	0.396	0.74	1.08
C	0.0772	0.231	0.435	0. 596	0.885	1.05
D	0.229	0.901	3.06	0.313	0.592	0.866
E/F	0.206	1.26	47.6	0.121	0.356	0.529

注 ; 上記 a, b, c, d は次式で表される係数とべき乗数  

$$\sigma_y = a \cdot x^b, \sigma_z = c \cdot x^d$$

解説表 7.5-3 NUREG/CR-4551 におけるスケーリングファクター

対象パラメータ	大気安定度	スケーリングファクター	
		標準値	不確実さ幅
臨界風速		1.0	0.5~2.0
プルーム上昇高さ	A~D	1.0	0.5~1.5
	E, F	1.0	0.5~1.5

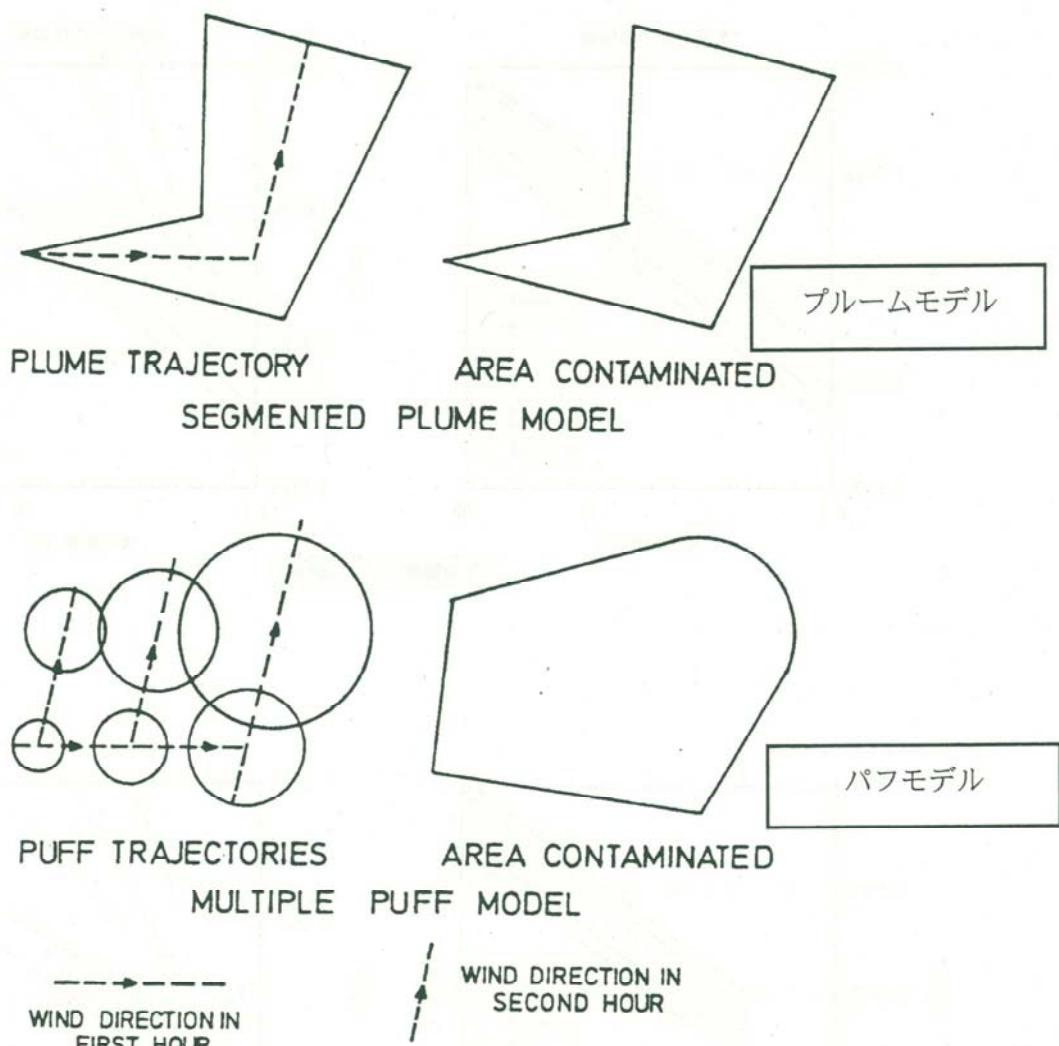
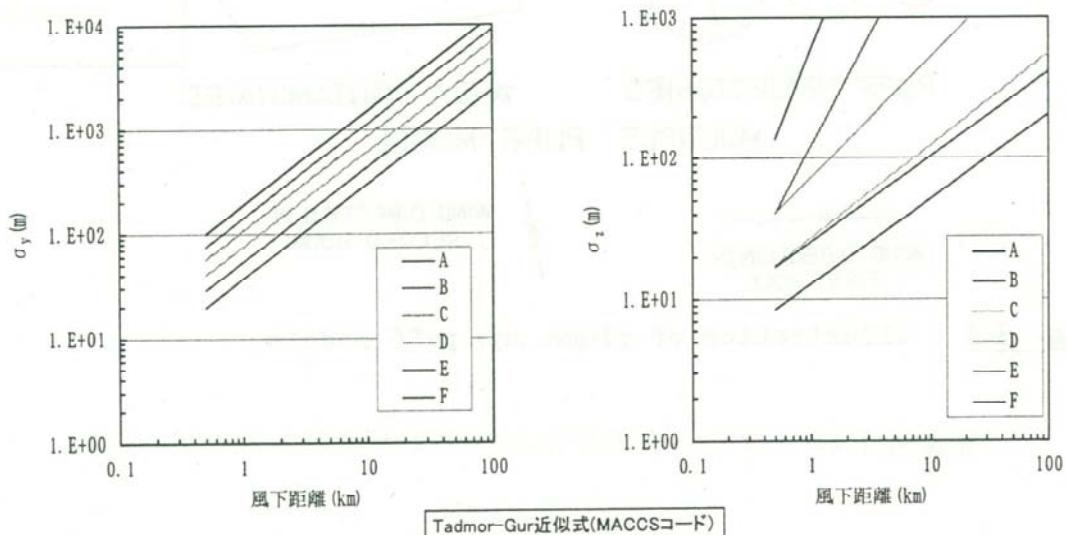
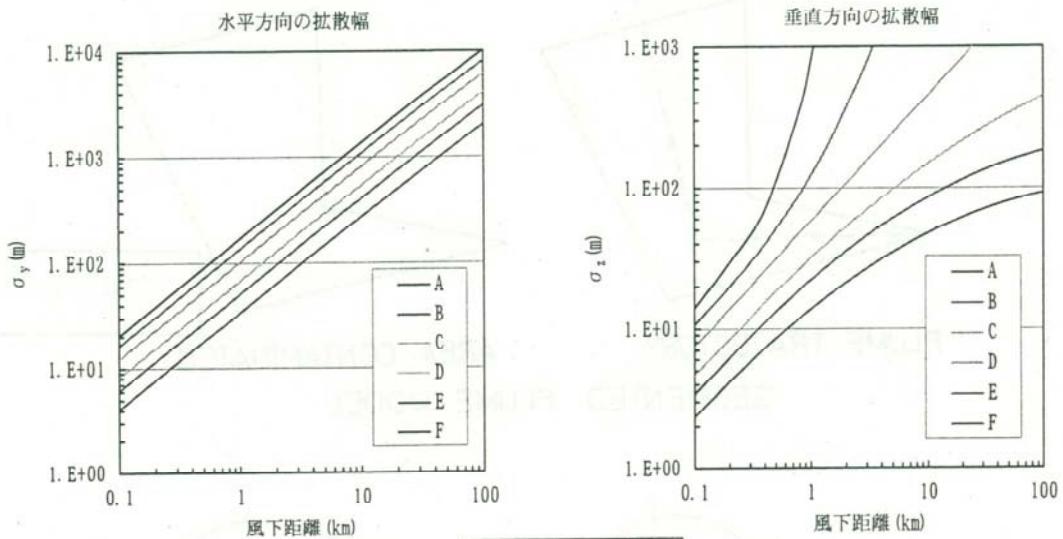


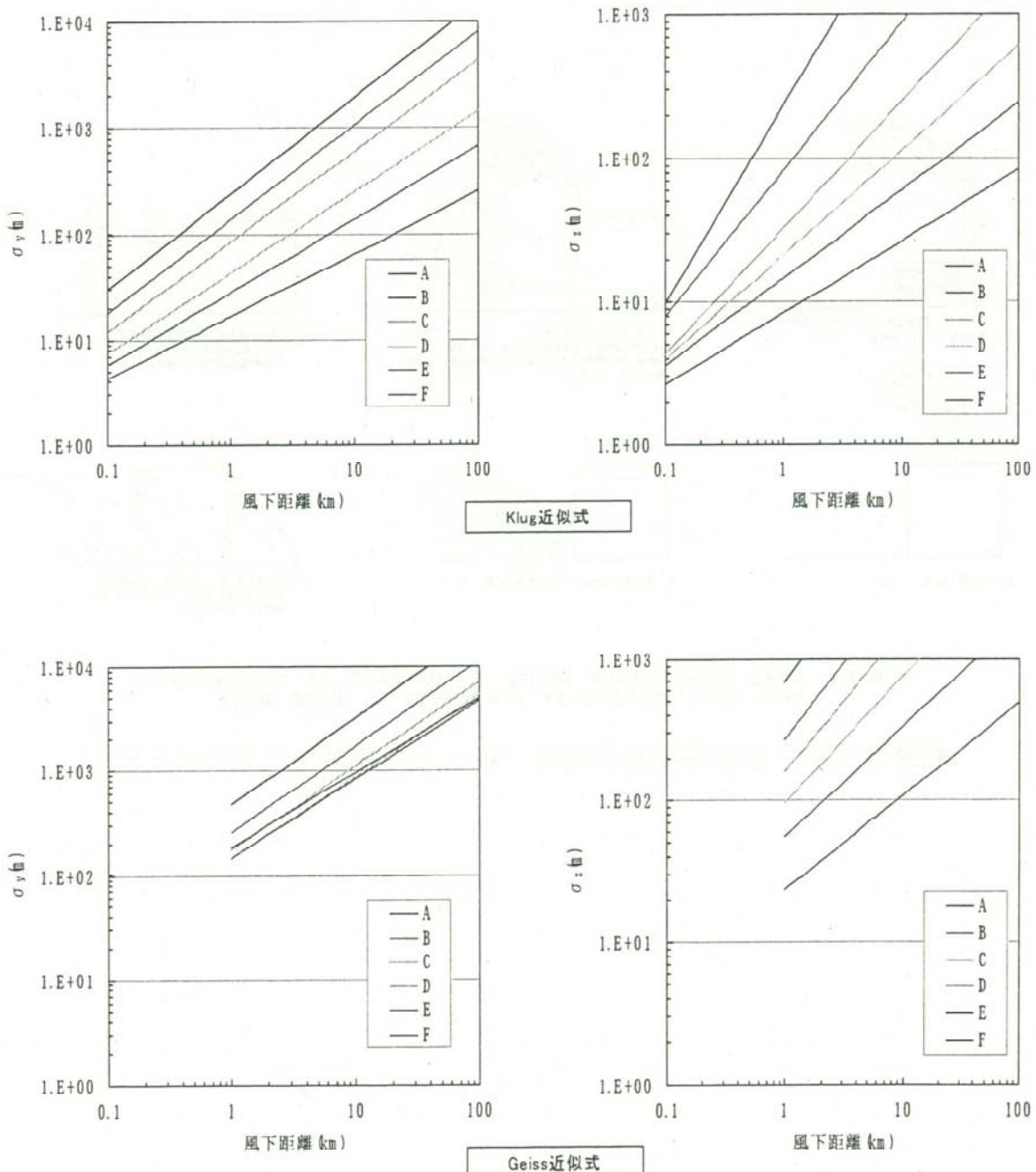
Fig. 3.1 Illustration of plume and puff models

解説図 7.1-1 プルームモデルとパフモデルのイメージ



注 ; 0.5km 以下は適用外

解説図 7.2-1 水平拡散パラメータ  $\sigma_y$  と垂直拡散パラメータ  $\sigma_z(1/2)$



解説図 7.2-1 水平拡散パラメータ  $\sigma_y$  と 垂直拡散パラメータ  $\sigma_z$  (2/2)

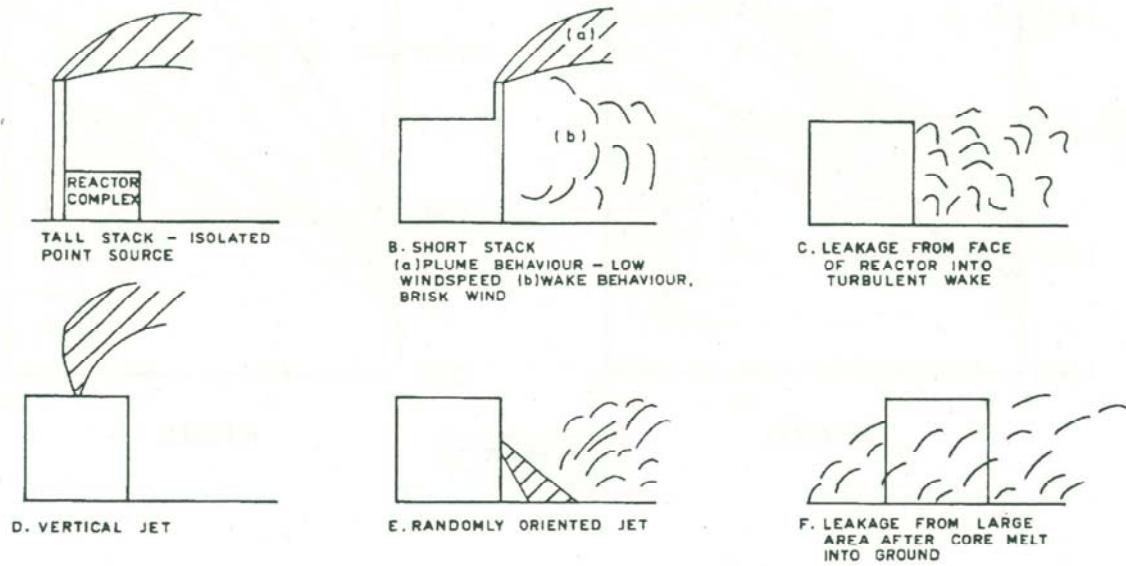


FIG. 2.2 SOME CONCEIVABLE MODES OF RELEASE OF RADIOACTIVITY  
INTO THE ATMOSPHERE FOLLOWING A CORE MELT

解説図 7.6-1 原子炉建屋からのプルームの放出モードのイメージ

## 参考文献

- 1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plant (Level 3), Safety Series No. 50-P-12, IAEA, Vienna (1996).
- 2) CEC, Methods for Assessing the Off-site Radiological Consequences of Nuclear Accidents, Rep. EUR- 10243-EN, CEC, Luxembourg (1986).
- 3) J.L. Sprung, J.A.Rollstin, J.C. Helton and H-N Jow, "Evaluation of Severe Accident Risks: Quantification of major Input Parameters, MACCS Input", NUREG/CR-4551 Vol.2, Rev.1, Part 7(1990).
- 4) UNDERWOOD,B.Y., COOPER,P.J., et al., Review of Specific Effects in Atmospheric Dispersion Calculations, Rep. EUR-8935-EN, CEC, Luxembourg (1984).
- 5) Probabilistic Accident Consequence Uncertainty Analysis, Dispersion and Deposition Uncertainty Assessment, Appendices A and B, NUREG/CR-6244 Vol.2 (1995).
- 6) Methods and Codes for Assessing the Off-site Consequences of Nuclear Accidents (Proc. Sem Athens 1990) Reps EUR-13013/1-EN; EUR-13013/2-EN, CEC, Luxembourg (1991).
- 7) 内閣総理大臣官房原子力安全室監修, 原子力安全委員会安全審査指針集, 改訂 10 版, 大成出版社, 2000 年 11 月

**【解説 7.8】乾性沈着** 乾性沈着の評価は、以下の計算方法による。

$$\chi_D(x,y) = V_d \chi(x,y,0)$$

ここで、 $\chi_D(x,y)$ ：地表面（汚染）濃度 ( $Bq/m^2$ )

$\chi(x,y,0)$ ：地表面高さ付近での時間積分濃度 ( $Bq \cdot s/m^3$ )

$V_d$  : 沈着速度 (m/s)

**【解説 7.9】沈着速度** 沈着速度  $V_d$  は、重力沈降、乱流、分子拡散及び慣性力による効果を含んだ多くのプロセスによって生じる。また、簡単化のため、乾性沈着速度は、微粒子物質に対して一定であると仮定する。

**7.9.1 粒子物質** 粒子に対して、 $V_d$  は、沈着物質の化学的特性、粒子サイズと形状、表面粗度長さ  $Z_0$ 、植生の性状、大気安定度分類など種々のパラメータに依存する。

a) **標準的な沈着速度**  $V_d$  の値は、公表されたデータでは、0.0001～20cm/sec の範囲であるが、原子炉事故直後に放出される粒子状物質に対しては、 $V_d$  が 0.1～10cm/s の範囲にあると仮定することは妥当であるとされている。

WASH-1400 (Reactor Safety Study ,RSS) では 1 cm/s を採用しているが、この値は保守的な値である。

なお、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」の解説では、無機よう素の牧草への年間平均沈着速度を 0.5 cm/s、葉菜に対する年間平均沈着速度を 1 cm/s としているが、牧草の値は、欧米の野外実験結果を参考に、さらに降水沈着の影響（降水時の沈着率は、乾燥時の 2～3 倍大きな値になると計算）を考慮し定めた値であり、また葉菜の値は、さらに両者の成育密度の差（2 倍程度）を考慮し 2 倍の値にしたとしている。

b) **大気安定度との関係**  $V_d$  を、大気安定度分類 A～D に対して 0.1～10.0cm/s、大気安定度分類 E に対して 0.1～3.0cm/s、大気安定度分類 F に対して 0.1～1.0cm/s の間で変わるパラメータとして、モデルに組み込むやりかたもある。

c) **沈着速度の具体例**  $V_d$  の一例を、参考図に示す。図中右側の  $V_d$  の大きい領域は、重力沈降速度支配のためである。左側端の粒子直径の減少に伴う  $V_d$  の増加は、表面への粒子の移動手段としてブラウン運動が増加するためである。直径 1 m 付近の  $V_d$  の最小となる領域は、ブラウン運動

や重力沈降のいずれも相対的に効果がないという粒子サイズに対応する。

図は、種々の粗度長さや粒子密度に対する粒子直径  $d$  の関数として  $V_d$  に対する Sehmel の理論的な予測の典型的な例である。これらの予想は、沈着粒子に対する表面質量移行抵抗に関して風洞データから導出した相関関係に基づいている。密度の効果の例もまた示されている。1 ~ 10 cm の粒子直径に対して、乾性沈着速度は  $Z_0$  の感度のある関数であることを、この図は示している。しかし実際には、問題は、もっと複雑であり、 $V_d$  の値は、粗度要素の性質、たとえば、それらが滑らかなのかくっつきやすいのかによってもまた影響される。

**7.9.2 蒸気** 影響解析において重要な気体又は蒸気状の核分裂生成物は、希ガス、元素状よう素、そしてよう化メチルである。これらの沈着速度については、以下のことが言える。

a) **希ガス** 沈着速度は、ほぼ完全に非反応性のため、ゼロである。

b) **元素状よう素**

1) **元素状よう素の沈着速度** 元素状よう素に対する  $V_d$  値については多くの研究があり、0.02 ~ 26 cm/sec の範囲を示している。これらの結果は非常にバラツキが大きい。

2) **元素状よう素と CsI** しかしながら、その後の研究により、影響解析において元素状よう素が重要とする仮定は誤りかもしれないことが示唆されている。実験結果からよう素は元素状の形態で燃料から放出されることはあるそもそも無いこと、それはたぶん金属状のよう素で、熱力学的な議論からほとんどよう化セシウムであると思われること、ヨウ化セシウムは粒子上に凝縮されることが期待され元素状よう素よりはるかに揮発性ではない、ということが言える。したがって、 $V_d$  は粒子状物質に対する値と同じとしてもよい。

3) **よう化メチル** よう化メチルは、かなり非反応性の化合物であり、そのことは沈着速度が小さいことを意味するが、実験では  $10^{-4} \sim 10^{-2}$  cm/sec の範囲の  $V_d$  値が与えられている。

しかしそう化メチルは、公衆のリスクへほんの小さな寄与をするだけなので、影響計算においては無視することができる。

なお、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」の解説では、有機よう素の沈着の程度は無機よう素に比して  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  も小さいとしているが、混合比に関する知見が不十分のため、放出される放射性よう素は全て無機よう素として計算するとしている。

**7.9.3 解析コードにおけるサンプルパラメータ** 各々の元素グループの物

質はいくつかの粒径グループに分布し、元素により異なった粒径分布を取りうる。各元素グループの粒径分布は放射性物質放出データの中で与えられる。全てのブルームセグメントは放出時点では同じ粒径分布を持つが、ブルームの移動に伴い粒径分布は変化する。

M A C C S 2 コードの乾性沈着に関するサンプルパラメータは以下のとおりとしている。

粒径分布のグループ数 3

乾着速度 (m/s) 0.001, 0.01, 0.02

**【解説 7.10】沈着速度の補正** 沈着を評価する場合、ガウス型モデルについて必要に応じて以下の補正を行う。

- a) **沈着に伴う濃度分布の補正** 地表面への沈着による気相中の放射性物質濃度の減少効果を考慮する。ガウス型ブルームの基本拡散式において、見かけ上の放出量減少として表現する。すなわち、総放出量  $Q$  を風下距離  $x$  において残留する放射能量  $Q(x)$  で置き換える。

$$\frac{Q(x)}{Q} = \exp \left\{ - \left( \frac{2}{\pi} \right)^{1/2} \frac{V_d}{u} \int_{\sigma_z(x')} \frac{dx'}{\sigma_z(x')} \exp \left[ - \frac{h^2}{2\sigma_z^2(x')} \right] \right\}$$

この補正は、典型的な影響解析において考慮されるであろうほとんど全ての状況において十分な方法である。

- b) **反射項による補正** ガウス型ブルームの基本拡散式における地表面での反射項において、補正係数  $\alpha$  を掛けて沈着による減少を表現する。なお、本式には後述する重力沈降を含んでいる。【解説 3.4】

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q(x)}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left( - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \left[ \exp \left\{ - \frac{(h - V_s x / u - z)^2}{2\sigma_z^2} \right\} + \alpha(x) \exp \left\{ - \frac{(h - V_s x / u + z)^2}{2\sigma_z^2} \right\} \right]$$

ここで、

$$\alpha(x) = 1 - \frac{2V_d}{V_s + V_d + (uh - V_s x) / \sigma_z \cdot (d\sigma_z / dx)}$$

$V_d$  : 乾性沈着速度 (m/s)

$V_s$  : 粒子沈降速度 (m/s)

### 【解説 7.11】重力沈降

① 粒子は拡散過程において重力により沈降するが、 $15 \mu\text{m}$ 程度より小さい粒子に対しては重力沈降は無視できる。原子炉事故直後に見られる可能性のある典型的な粒子直径の評価は、数  $\mu\text{m}$  の値が与えられており、したがって、重力沈降は一般的に、影響モデル化においては無視されてきた。

しかし、事故シーケンスによっては、重力沈降が無視できないほど大きな直径の粒子が放出されることが考えられ、この場合、重力沈降を考慮する必要がある。

### ② 重力沈降を考慮する方法

ガウス型プルームモデルでは、固定の放出高さ  $h$  を、 $h' = h - v_s x / u$ 、すなわち、プルームの中心線が重力沈降速度に等しい割合で下降するというモデルで置き換えることによって修正することができる。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q(x)}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left\{-\frac{(z-h+v_s x/u)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+h-v_s x/u)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right]$$

### 【解説 7.12】湿性沈着

湿性沈着は、簡単な指數関数的な除去率によってモデル化する。この除去率（単位時間当たりにプルームから除去される物質の割合）は、ウォッシュアウト係数 ( $\Lambda$ ) といい、それは降雨率に依存するが、全ての計算領域で一定の率で雨が降っているという単純なケースに対しては以下のようになる。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q \exp[-y^2/2\sigma_y^2(x)]}{2\pi \sigma_y(x) \sigma_z(x) u} \left\{ \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right] + \exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right] \right\} \exp\left(-\frac{\Lambda x}{u}\right)$$

また、点  $(x, y, 0)$ における単位面積あたりの地面上に沈着した物質の量は、次のとおりである。

$$\chi_D(x, y) = \chi(x, y, 0) \left\{ v_d + \Lambda \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_z(x) \exp\left[+\frac{h^2}{2\sigma_z^2(x)}\right] \right\}$$

ここで、 $V_d$  は乾性沈着速度である。

(上式第2項中の  $\sqrt{\pi/2}$  は、調査原文(NUREG/CR-2300, 9-18式)では  $\sqrt{2\pi}$  であるが、これは誤りだと思われる。)

### 【解説 7.13】ウォッシュアウト係数

1. ウォッシュアウト係数は、以下のように定義される。

$$\Lambda = -\frac{1}{\chi} \frac{d\chi}{dt}$$

$\Lambda$  の理論的計算は、例えば、熱泳動(thermophoresis), 拡散泳動(diffusiophoresis), 乱流, 雨滴蒸発, 凝縮のように非常に多くの物理過程を含んでいるため、容易ではない。したがって、過程を単純化することが必要であり、実験結果から以下のようにしている。

$$\Lambda = CR^\alpha$$

ここで、R は降雨率 (mm/hr),  $\alpha$  は固定の定数、そして C は可変定数であり、安定及び中立の大気状態に対して  $10^{-4} \text{ sec}^{-1}/\text{mm}\cdot\text{hr}$  のオーダー、不安定な大気状態(すなわち、対流性のストーム)に対して  $10^{-3} \text{ sec}^{-1}/\text{mm}\cdot\text{hr}$  のオーダーある。

$\Lambda$  の値は、 $10^{-5} \sim 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$  の範囲で変わる。

2. ウォッシュアウト係数と降雨率の関係は、種々の文献があるが、一定であるとするもの、直線関係であるとするもの、指數関数であるとするもの、と種々の議論がある。

ウォッシュアウト係数  $\Lambda$  の推奨値として、以下の例がある。

①  $\Lambda$  (粒子) =  $1.2 \times 10^{-4} R^{0.5}$

$\Lambda$  (元素状よう素蒸気) =  $8 \times 10^{-5} R^{0.6}$

②  $\Lambda$  (粒子) =  $(3 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-4}) R^{(0.7 \sim 0.9)}$

③  $\Lambda$  (粒子) は、降雨率 R の 0.75 乗に比例する

上記①～③の出典：

① Brenk,H.D. and Vogt,K.J., "The Calculation of Wet Deposition from Radioactive Plumes," Nuclear Safety, Vol.22, 362(1981)

② The Uncertainty in Dispersion Estimates Obtained from the Working Group

Models, The Seventh Report of a Working Group on Atmospheric Dispersion, NRPB-R199, August 1986

③ Atmospheric Dispersion Modelling Liaison Committee Annual Report 1998/1999, NRPB-R322, June 2000

### 3. 解析コードにおけるサンプルパラメータ（例）

MACCS2コードでは、ウォッシュアウト係数の計算モデルは  $\Lambda = CR$  としており、 $\Lambda$  を算出するためのパラメータ値は以下のとおりとしている。

$$C = 9, \quad 5 \times 10^{-5}$$

$$\alpha = 0.8$$

なお、CRACコード ( $\Lambda = CR$ ) においては、 $\Lambda$  は、中立や安定な気象条件での降雨に対して  $10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ 、対流（不安定）状態において  $10^{-3} \text{ sec}^{-1}$  を設定している。

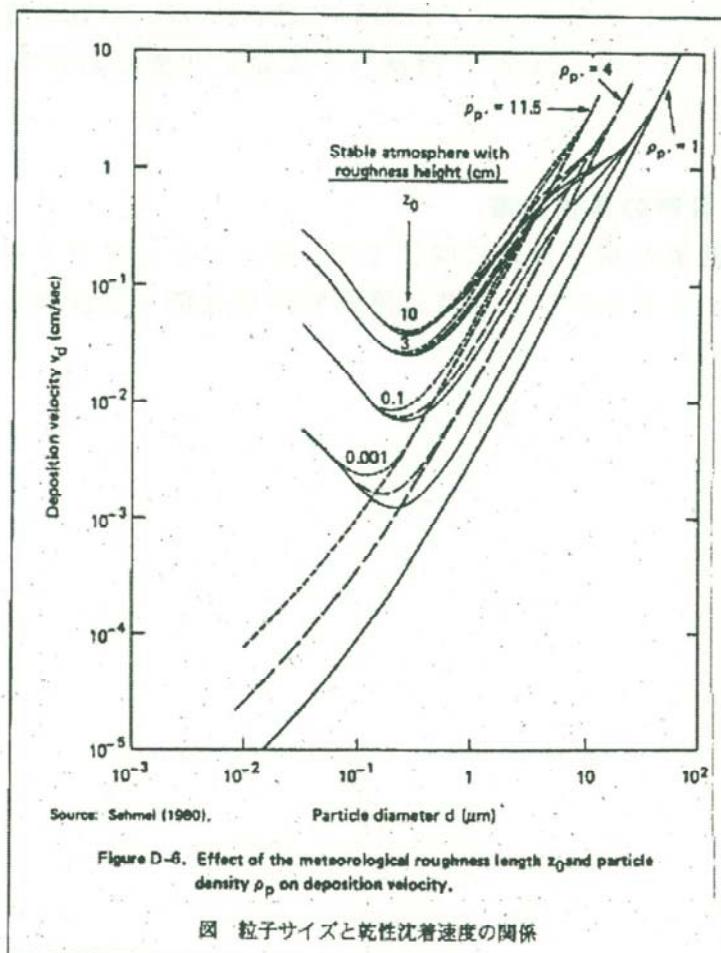
### 【解説 7.14】降雪時の湿性沈着

降雪時の湿性沈着の取り扱いに関しては、ウォッシュアウトモデルを使用し、使用するウォッシュアウト係数は降雨時の値と別々に設定している影響解析コードもある。

RASCAL で使用するウォッシュアウト係数 ( $s^{-1}$ )

強さ	雨	雪
弱い	$2.2 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$
中程度	$6.1 \times 10^{-4}$	$3.3 \times 10^{-4}$
強い	$1.1 \times 10^{-3}$	$6.4 \times 10^{-4}$

(NUREG/CR-6853 (Oct., 2004))



## 参考文献

- ( 1 ) NRC(1983),Probabilistic Risk Analysis: Procedures Guide,NUREG/CR-2300,U.S.  
Nuclear Regulatory Commission, Washington,DC
- ( 2 ) IAEA(1992),Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants(Level 3), Safety Series No.50-P-12, IAEA,Vienna
- ( 3 ) MELCOR Accident Consequence Code System(MACCS),Model Description, NUREG/CR-4691, SAND86-1562, Vol.2(February 1990)
- ( 4 ) Code Manual for MACCS2, User's Guide, NUREG/CR-6613, Vol.1, SAND97-0594, (May 1998)

### 【解説 8.1】吸入による内部被ばく

プルーム中放射性物質の吸入による急性内部被ばく線量及び生涯線量預託は以下で与えられる。

$$DI_k = \left[ \sum_i (AC_i \cdot DFI_{ik}) \right] \cdot BR \cdot J \cdot F \cdot SFI$$

DI<sub>k</sub> : 臓器 k のプルーム中放射性物質の吸入による内部被ばく線量(Sv)

AC<sub>i</sub> : 核種 i の地表付近の空気中時間積分濃度(Bq · s/m<sup>3</sup>)

DFI<sub>ik</sub> : 吸入による内部被ばく線量係数(Sv/Bq)

BR : 呼吸率(m<sup>3</sup>/s)

J : オフセンターライン補正係数(-)

F : プルーム通過中の被ばく割合(-)

SFI : 吸入防護係数(-)

#### (備考)

・核種については「ソースターム」参照

・吸入防護係数（ハンカチーフ等による吸入粒子の除去効果）（「線量低減措置」参照）

### 【解説 8.2】クラウドシャイン(外部被ばく)

半無限近似によるクラウドシャイン線量は以下で与えられる。

$$DC_k = \left[ \sum_i (AC_i \cdot DFC_{\infty ik}) \right] \cdot C \cdot F \cdot SFC$$

DC<sub>k</sub> : 臓器 k のクラウドシャイン線量(Sv)

AC<sub>i</sub> : 核種 i のプルーム中心軸上における空気中時間積分濃度(Bq · s/m<sup>3</sup>)

DFC<sub>∞ik</sub> : 核種 i の臓器 k に対する線量換算係数(Sv · m<sup>3</sup>/Bq · s)

C : オフセンターライン補正係数(-)

F : プルーム通過中の被ばく割合(-)

$$F = \frac{\text{被ばく時間(s)}}{\text{プルームの通過時間(s)}}$$

SFC : クラウドシャイン防護係数(-)

#### (備考)

・オフセンターライン補正係数は、有限雲の場合の半無限雲から補正する有限雲線量補正係数。

- CRAC2 は有限雲の場合の半無限雲から補正は  $\sigma_z$  と  $z/\sigma_z$  の関数として編集 (Ref. Meteorology and Atomic Energy-1968(Slade, 1968))
- クラウドシャイン防護係数 (=建屋等による遮へい効果) (「線量低減措置」参照)

### 【解説 8.3】グランドシャイン(外部被ばく)

グランドシャイン線量は、以下で与えられる。

#### (1) プルーム通過中

臓器  $k$  に対する地表面に沈着した放射性物質からの外部被ばく線量

$$DG_k^1 = GDR_k(t_0) \int \frac{t_2(t-t_0)}{t_1(t_0-t_0)} dt$$

- $DG_k^1$  : プルーム通過中の臓器  $k$  に対する外部被ばく線量(Sv)  
 $GDR_k(t_0)$  : 時間  $t_0$  における臓器  $k$  に対する外部被ばく線量率(Sv/s)  
 $t_e$  : プルームがセクターに到着する時間(s)  
 $t_0$  : プルームがセクターを離れる時間(s)  
 $t_1$  : 人がセクターに到着する時間(s)  
 $t_2$  : 人がセクターを離れる時間(s)

$$GDR_k(t_0) = [\sum_i \{GC_i(t_0) \cdot DRFG_{ik}\}] \cdot J \cdot SFC$$

$GC_i(t_0)$  : 時間  $t_0$  における核種  $i$  の地表面濃度(Bq/m<sup>2</sup>)

$DRFG_{ik}$  : 外部被ばく線量率換算係数(Sv · m<sup>2</sup>/Bq · s)

$J$  : オフセンターライン補正係数(-)

$SFC$  : グランドシャイン防護係数(-)

#### (2) プルーム通過後

プルーム通過後  $t_1 \sim t_2$  間の地表面に沈着した放射性物質からの外部被ばく線量

$$DG_k^2 = \sum_i [GC_i(t_0) \cdot DFG_{ik}]$$

- $DG_k^2$  : 臓器  $k$  に対する任意の時間期間のグランドシャイン線量(Sv)  
 $GC_i(t_0)$  : 核種  $i$  のプルームがセクターを離れる時間  $t_0$  のプルーム中心軸上の  
地上付近空気中濃度(Bq/m<sup>2</sup>)

- $DFG_{ik}$  : 臓器  $k$  に対する任意の時間期間のグランドシャイン線量  
換算係数(Sv · m<sup>2</sup>/Bq)

上記で、プルーム通過後の、0,1000,3000,9000,150000,360000,604800 秒 (1 週間) の線

量を求め、積分する。(従来は8時間と1週間)

$DG_k^1, DG_k^2$ を合計して臓器 k のグランドシャイン線量とする。

(備考)

グランドシャイン防護係数(建屋等の遮へい効果)(「線量低減措置」参照)

#### 【解説 8.4】経口摂取

被ばく経路(3経路)と汚染形態(2形態)を考慮する。

・被ばく経路(3)

- 人口集団の作物の直接摂取
- 放射性物質を摂取した動物の生産したミルクを人口集団が消費する経路
- 放射性物質を摂取した動物の生産した食肉を人口集団が消費する経路

・汚染形態(2)

① 成長期の作物に直接沈着する場合

② 汚染土壌から植物の根に吸収されて結果的に動物に摂取される場合

(a,b,c)×(1,2) : 6 ケースについて評価

この場合、ケースに対応した移行係数を使用する。

(備考)

食用草木の摂取により許容できない被ばくをもたらすような土壤汚染のエリアは既に他の制限により禁止されている。(例えば、外部被ばく) (NUREG/CR-2300)

#### 【解説 8.5】再浮遊

早期被ばくモデルとしてブルーム通過後に被ばくした時の急性被ばく線量と生涯線量預託(50年)を求める。

$$DR_k = [\sum_i (GC_i \cdot DFI_{ik})] \cdot BR \cdot J \cdot RF \cdot SFI$$

DR<sub>k</sub> : 地表面から再飛散した放射性物質の吸入による臓器 k に対する内部被ばく線量(Sv)

GC<sub>i</sub> : 核種 i の地表付近の空気中時間積算濃度(Bq · s/m<sup>3</sup>)

DFI<sub>ik</sub> : 吸入による内部被ばく線量換算係数(Sv/Bq) (急性被ばく線量換算係数または生涯線量預託換算係数)

BR : 呼吸率(m<sup>3</sup>/s)

J : オフセンターライン補正係数(-)

RF : 時間積分した再飛散係数(s/m)

SFI：吸入防護係数(-)

$$RF = \frac{RC[\exp(-\lambda \cdot t_1) - \exp(-\lambda \cdot t_2)]}{\lambda}$$

RC：再飛散係数(1/m)

$\lambda$ ：再飛散崩壊定数(下式)(1/s)

$$\lambda = \frac{\ln 2}{RC_{half}}$$

RC<sub>half</sub>：再飛散半減期(s)

t<sub>1</sub>：プルーム通過後から被ばく期間の開始(s)

t<sub>2</sub>：プルーム通過後から被ばく期間の終了(s)

(備考)

吸入防護係数（ハンカチーフ等による吸入粒子の除去効果）（「線量低減措置」参照）

#### 【解説 8.6】皮膚沈着放射性物質のβ線による外部被ばく

放射性雲に直接浸された場合、皮膚に放射性物質が沈着し、被ばくする。

時間積分地上大気濃度と皮膚への沈着速度及び皮膚線量換算係数から計算する。

皮膚線量換算係数は以下の仮定で計算される。

- ①皮膚上での沈着物質は単一β線を放出する。
- ②皮膚上での初期沈着後、娘核種の生成は生じない。
- ③全ての沈着物質は沈着後8時間残留するとする。

#### 【解説 8.7】パラメータ

(1)呼吸率

$3.33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$  (安全評価に関する審査指針：成人活動時)

(DOE は  $3.33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$  推奨：ICRP-30)\*

(備考)

\*MACCS2 Computer Code Application Guideline for Documented Safety Analysis, Final Report (DOE-EH-4.2.1-MACCS2 Code Guidance June 2004)  
呼吸率は成人活動時の  $1.2 \text{ m}^3/\text{h} = 3.33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$  (ICRP Pub.71(1995))と同じ。

(2)内部被ばく線量換算係数

ICRP に準拠する。

(3)外部被ばく線量換算係数

ICRPに準拠する。

(備考)

- ・線量換算係数は人口の年齢分布を適切に考慮すること。
- ・評価対象線量（急性、預託の健康影響等）に応じて使用すること。
- ・ICRPに準拠したデータベースを使用すること。

(4)移行率

最新のデータに基づき計算すること。

(5)ウェザリングファクター

最新のデータに基づき計算すること。

【解説 8.8】

不確実さ：

(1)濃度ファクター (Ci/Ci·m<sup>-2</sup>)

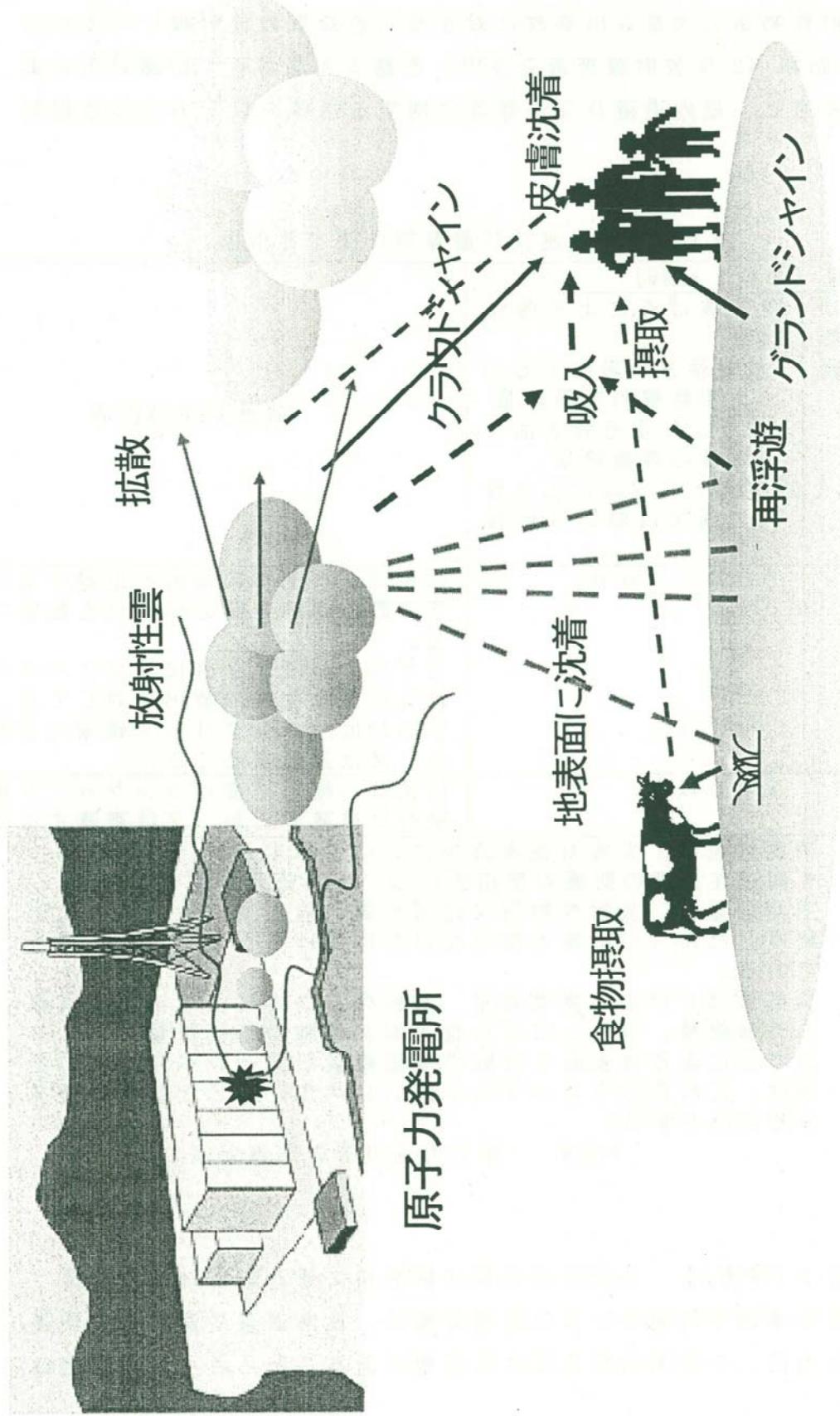
(CRAC2 コードで使用)

(2)ウェザリングファクター

(3)移行率 (食物摂取)

(備考)

- ・濃度ファクターは多くの仮定と複雑な計算をしており、不確実さがある。
- ・Cs-137に対するウェザリングファクターは実験的に示されているが、他の核種に対するウェザリング効果はほとんど分かっておらず、全ての核種は Cs-137 と同じと想定されている。
- ・移行率は、植物の根の吸い上げ速度と土壤中への浸透速度、食物の生育期に依存している。さらに、汚染食物を摂取した牛のミルク、食肉部への移行率についても考慮する。



図B.1 主な被ばく経路

【附属書 1 (参考)】 屋内退避及び避難等に関する指標

“放射性物質の大量放出事故に対する応急対策の放射線レベルについて”(昭和 42 年放射線審議会答申)を踏まえながら、防護対策の実効性も考慮し、屋内退避及び避難等に関する指標を以下のとおり提案する。

表 1 屋内退避及び避難等に関する指標

予測線量 (単位 : mSv)		防護対策の内容
外部被ばくによる実効線量	内部被ばくによる等価線量 ・放射性ヨウ素による小児甲状腺の等価線量 ・ウランによる骨表面又は肺の等価線量 ・プルトニウムによる骨表面又は肺の等価線量	
1.0 ~ 5.0	1.00 ~ 5.00	住民は、自宅等の屋内へ退避すること。 その際、窓等を閉め気密性を配慮すること。 ただし、施設から直接放出される中性子線又はガンマ線の放出に対しては、指示があれば、コンクリート建家に退避するか、又は避難すること。
5.0 以上	5.00 以上	住民は、指示に従いコンクリート建家の屋内に退避するか、又は避難すること。

- 注) 1. 予測線量は、災害対策本部等において算定され、これに基づく周辺住民等の防護対策措置についての指示等が行われる。  
 2. 予測線量は、放射性物質又は放射線の放出期間中、屋外に居続け、なんらの措置も講じなければ受けとると予想される線量である。  
 3. 外部被ばくによる実効線量、放射性ヨウ素による小児甲状腺の等価線量、ウランによる骨表面又は肺の等価線量、プルトニウムによる骨表面又は肺の等価線量が同一レベルにないときは、これらのうちいずれか高いレベルに応じた防護対策をとるものとする。

(出典：“原子力施設等の防護対策について”)

【附属書 2 (参考)】 安定ヨウ素剤予防服用に係る防護対策の指標

安定ヨウ素剤予防服用に係る防護対策は、屋内退避や避難等の防護対策とともに、その実効性を高める必要があること、さらに、安定ヨウ

ウ素剤予防服用に関する国際機関及び各国における提案を考慮し、安定ヨウ素剤予防服用に係る防護対策の指標として、性別・年齢に関係なく全ての対象者に対し一律に、放射性ヨウ素による小児甲状腺等価線量の予測線量 100mSv を提案する。

(出典：“原子力施設等の防護対策について”)

**【附属書 3（参考）】 一時移転及び移住に関する指標**

一時移転及び移住に関する指標については、下記の IAEA 等の基準を参考とする。

**a) 国際原子力機関 (IAEA)**

長期的な防護対策	回避線量
一時移転	30mSv/月（最初の一月） 10mSv/月（それ以降の一月）
移住	1Sv/生涯

(出典：IAEA Safety Series No.109, "Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency" )

**b) 国際放射線防護委員会 (ICRP)**

介入の種類	回避線量についての介入レベル	
	ほとんど常に正当化される値	最適値の範囲
移住	1000mSv	長引く被ばくに対して 5~15mSv/月

(出典：ICRP Pub.63, "Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency" )

**c) 米国環境保護局 (EPA)**

防護措置	防護措置指針 (1年目の予測線量)	コメント
移転	≥ 2 rem	ベータ線の皮膚に対する線量は 50 倍高くてもよい。
簡単な線量低減方法の適用	< 2 rem	線量をできる限り低くするために防護措置を実施すべきである。

(出典：EPA 400-R-92-001, "Manual of Protective Action Guides and Protective Actions for Nuclear Incidents" )

【附属書 4 (参考)】 飲食物摂取制限に関する指標

飲食物摂取制限に関する放射性元素として、放射性プルームに起因するヨウ素、ウラン及びプルトニウムを選定するとともに、旧ソ連チエルノブイル事故時の経験を踏まえてセシウムを選定した。そして、これらの核種による周辺住民等の被ばくを低減するとの観点から実測による放射性物質の濃度として表2のとおり飲食物摂取制限に関する指標を提案する。

表2 飲食物摂取制限に関する指標

対象	放射性ヨウ素（混合核種の代表核種： $^{131}\text{I}$ ）
飲料水	$3 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ 以上
牛乳・乳製品	
野菜類（根菜、芋類を除く。）	$2 \times 10^3 \text{Bq/kg}$ 以上

対象	放射性セシウム
飲料水	$2 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ 以上
牛乳・乳製品	
野菜類	
穀類	$5 \times 10^2 \text{Bq/kg}$ 以上
肉・卵・魚・その他	

対象	ウラン
飲料水	$20 \text{Bq/kg}$ 以上
牛乳・乳製品	
野菜類	
穀類	$1 \times 10^2 \text{Bg/kg}$ 以上
肉・卵・魚・その他	

対象	プルトニウム及び超ウラン元素のアルファ核種 ( $^{238}\text{Pu}$ , $^{239}\text{Pu}$ , $^{240}\text{Pu}$ , $^{242}\text{Pu}$ , $^{241}\text{Am}$ , $^{242}\text{Cm}$ , $^{243}\text{Cm}$ , $^{244}\text{Cm}$ の放射能 濃度の合計)
飲料水	
牛乳・乳製品	$1 \text{Bq/kg}$ 以上
野菜類	
穀類	
肉・卵・魚・その他	$10 \text{Bq/kg}$ 以上

(注) 乳児用として市販される食品の摂取制限の指標としては、ウランについては  $20 \text{Bq/kg}$  を、プルトニウム及び超ウラン元素のアルファ核種については  $1 \text{Bq/kg}$  を適用するものとする。ただしこの基準は、調理され食事に供される形のものに適用されるものとする。

(出典：“原子力施設等の防護対策について”)

【附属書 5 (参考)】 屋内退避等の有効性について

屋内退避の有効性は、外部全身被ばくについては、大気中に浮遊している放射性物質並びに地表面及び建物に降下した放射性物質からのガンマ線に対する建物による遮蔽性能に依存する。これらの効果について、めやすとして IAEA がまとめたものを表 3, 4 に例示する。

表 3 浮遊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
屋外	1.0
自動車内	1.0
木造家屋	0.9
石造り建物	0.6
木造家屋の地下室	0.6
石造り建物の地下室	0.4
大きなコンクリート建物（扉及び窓から離れた場合）	0.2 以下

(出典 : IAEA-TECDOC-225, "Planning for Off-Site Response to Radiation Accidents in Nuclear Facilities")

表 4 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 1 m (無限の広さ)	1.00
通常の土地の条件下で地面から 1 m の高さ	0.70
平屋又は 2 階建ての木造家屋	0.40
平屋又は 2 階建てのブロック又は煉瓦造りの家屋	0.20
その地下室	0.10 以下
各階が約 450~900m <sup>2</sup> 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 900m <sup>2</sup> 以上の多層建築物上層	0.01
その地下室	0.005

(出典 : IAEA-TECDOC-225, "Planning for Off-Site Response to Radiation Accidents in Nuclear Facilities")

### 【解説 9.1】 短期的な防護対策

原子炉事故時に有効な短期的な防護対策として、屋内退避、避難及び安定ヨウ素予防服用が挙げられる。

#### a) 屋内退避

放射性核種が環境に比較的短期間に放出される事故早期段階では、ブルームが通過しているときの吸入による線量は外部放射線による線量より大きい。建物は吸入線量をファクター2程度低減するが、その効果は数時間で急速に低下するため、長期的な放出に対して屋内避難の効果は小さくなる。外部線量はレンガ造りや大きな商業建物で1桁低減するが、開放的な軽い建物では防護効果が小さくなる。屋内退避や避難の有効性は、事故段階（放射性物質放出までの時間）に対するそれらの防護対策の実施タイミングに強く依存する。屋内退避時の換気は、ブルームが通過し放射性核種濃度が低下したときに行うべきである。

#### b) 避難

避難は事故の様々な段階で実施できるが、放射性物質が放出される前の予防策として実施するのが被ばくを避けるのに最も有効である。

放射性物質の放出中の避難によりブルームを通り抜け、屋内退避よりも高い線量を被る可能性があり、不十分な警告は予防線量に影響を与える可能性がある。避難や屋内退避の効果は事故の予測や気象の変化にかなり依存し、これらの因子は場所や事故の特性によって変化するため、最適な避難コースを一般化することはできない。

#### c) 安定ヨウ素剤予防服用

安定ヨウ素の服用は放射性ヨウ素の吸入摂取及び経口摂取による甲状腺線量を低減する対策である。甲状腺線量を最大限に低減するには放射性ヨウ素を取り込む前に安定ヨウ素を服用することである。放射性ヨウ素を取り込む6時間前以内に安定ヨウ素を服用するとほとんど完全に予防でき、放射性ヨウ素の吸入時に安定ヨウ素を服用しても約90%予防できる。この対策は遅れると効果が低下するが、放射性ヨウ素取り込み後数時間以内に安定ヨウ素を服用しても約50%に低減できる。

安定ヨウ素をできるだけ早く服用することが重要であり、放射能放出の前に安定ヨウ素が配布されるのが理想である。また、安定ヨウ素の服用単独の防護対策ではなく、避難や屋内退避の実用性や有効性、放射性核種の組成を考慮した防護対策を適切に組み合わせるべきである。

## 【解説 9.2】 長期的な防護対策

屋内退避、避難及び安定ヨウ素剤予防服用のような短期的な防護対策以外に、汚染エリアからの一時移転、移住、除染及び飲食物摂取制限のような長期的な防護対策がある。

長期的な防護対策の目的は、被ばく者の確率的影響及び次世代の遺伝的影響を低減することであり、確定的健康影響を防止するレベルに抑えることも重要である。

### a) 一時移転

一時移転による健康リスクの低減がその他のコストに見合うように介入レベルが設定される。直接的、間接的コストは事故の状況によって大きく変化し、それらの重要性は政治的、社会的判断に影響されやすい。多くの場合、放射線リスク、線量低減のための努力や資源、個人的、社会的混乱が考慮されるが、精神的健康や政治的因素も影響する。

汚染されたエリアから仮設住宅に人が移動する資源は一度だけ必要であるが、宿泊や収入喪失のような資源は防護活動が終わるまで必要である。一時的に移住した人が仕事を続けられるかどうかは事故の規模に依存し、事故の規模が小さい場合には移転によって仕事はそのエリアで継続できるが、大規模な事故の後では一時的に雇用がなくなる。

一般に、一時移転によるリスクは比較的小さく、仮設住宅の危険性は元の住宅より十分小さいが、リスクが高い人（例えば入院患者）については十分気をつける必要がある。

介入レベルは1ヶ月当たりの回避線量で表わされ、元のエリアに戻るのが正当化されるかどうかを示すもので、避難した人を家に戻せるかどうか決定する。一時移転のコストは1年～5年で移住のコストを超えるので、社会的因素を考慮して一時移転は1年程度とすべきである。

### b) 移住

長半減期核種による線量率は比較的ゆっくり低下するので、線量が高い場合には一時移転ではなく、移住が正当化される。移住の決定には、要求される資源、避けられる線量、個人的、社会的混乱、精神的、政治的因素が考慮される。

移住に必要な資源には、人の移動、家や公共施設、収入の一時的喪失がある。移住に対する介入レベルは、個人の生涯における回避線量で表わされる。生涯線量は平均的な個人に対して評価されるが、最も感受性の高いグループである子供を防護するためには、一生は70年とされる。

介入レベルを丁度下回るような線量では個人リスクがかなり高くなるので、事故が発生した場合にはより低いレベルで介入できるように考慮すべきである。

c) 除染

除染には人に対する防護対策及び環境に対する復旧対策がある。除染の目的は、沈着した放射性物質からの外部線量を低減し、人、動物及び食料品への放射性物質の移行を低減して、放射性物質の再浮遊や拡大の可能性を少なくすることであり、建物や土地の除染を含む復旧対策は、事故前の状態に可能な限り戻すことである。

一般に、物理的、化学的な表面汚染の付着力は時間と共に増加するため、除染作業が早い程効果が大きくなる。一方、除染作業の開始が遅れると、放射性崩壊やウエザリングによって放射線レベルが低下するので、除染の線量やコストが低減できる。その結果、除染作業開始時間と達成される除染効果には相互関係があり、移転した人が元に戻る時間にも影響を与える。

d) 飲食物摂取制限

事故後の食物汚染レベルは、食物の種類、沈着のパターン、放射性核種の物理的、生物学的半減期、土壌の種類や農業経営と言った様々な要因で変化する。防護対策実施後の食料品汚染分布はゼロからアクションレベルまで拡がっているが、洗浄や料理の準備により食物の放射性核種濃度は1桁低下する。

食物に対する介入基準は直接測定できる量 (Bq/kg) で表わされる。間接的に測定できる量には地表濃度、飼料濃度、その他の食物濃度があるが、これらはアクションレベルとして使用されない。

放射性核種が食物連鎖に入るまでに時間があるので、食物制限は避難や屋内退避のような緊急対策には分類されない。例えば、牛乳は牧草に Cs-137 が沈着した後 1 日程度まで汚染されないが、肉の濃度は数週間後にピークが現れる。勧告されるアクションレベルは緊急時計画に適切なレベルを明記すべきである。

全ての農作物をモニタするのは現実的でないので、アクションレベルに基づきエリアを制限すべきである。この制限は、統計的基準を適用したサンプリングによって行われ、アクションレベルから地表面濃度が推定される。

飲料水が放射能放出によって汚染されるのは稀であるが、ブルームか

ら放射性核種を洗い流した降雨を直接飲んだ場合に線量が高くなるので、降雨の放射能レベルが高い場合にはそのリスクを警告すべきである。地表面の水が汚染された場合には、洗浄するかどうか注意深く評価すべきである。

### 【解説 9.3】 屋内退避及び避難モデルの例

屋内退避及び避難モデルの例として、CRAC2 及び MACCS2 の防護対策モデルを以下に示す。

#### a) CRAC2 の防護対策モデル

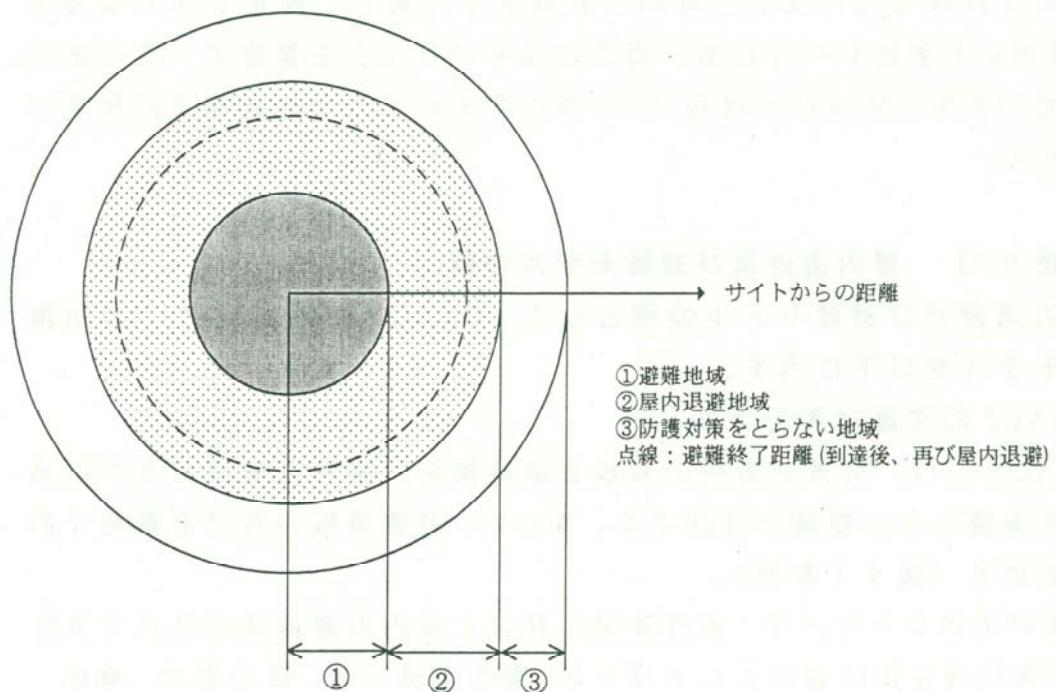
CRAC2 では、防護対策時の領域を避難領域、屋内退避領域及び防護対策を実施しない領域に分割する。さらに、避難領域の外に避難終了領域を設ける（図 9.1 参照）。

防護対策のシナリオは、避難領域の住民と屋内退避領域の住民で異なる。避難領域住民に対するシナリオは、警告時間の後、屋内退避、避難、さらに避難先での屋内退避の順で進められる。屋内退避時間終了後は、速やかに汚染地域から移動する。避難方向は、径の外側方向に避難するモデルである。一方、屋内退避領域住民に対するシナリオは警告時間の後、屋内退避が進められる（図 9.2 参照）。

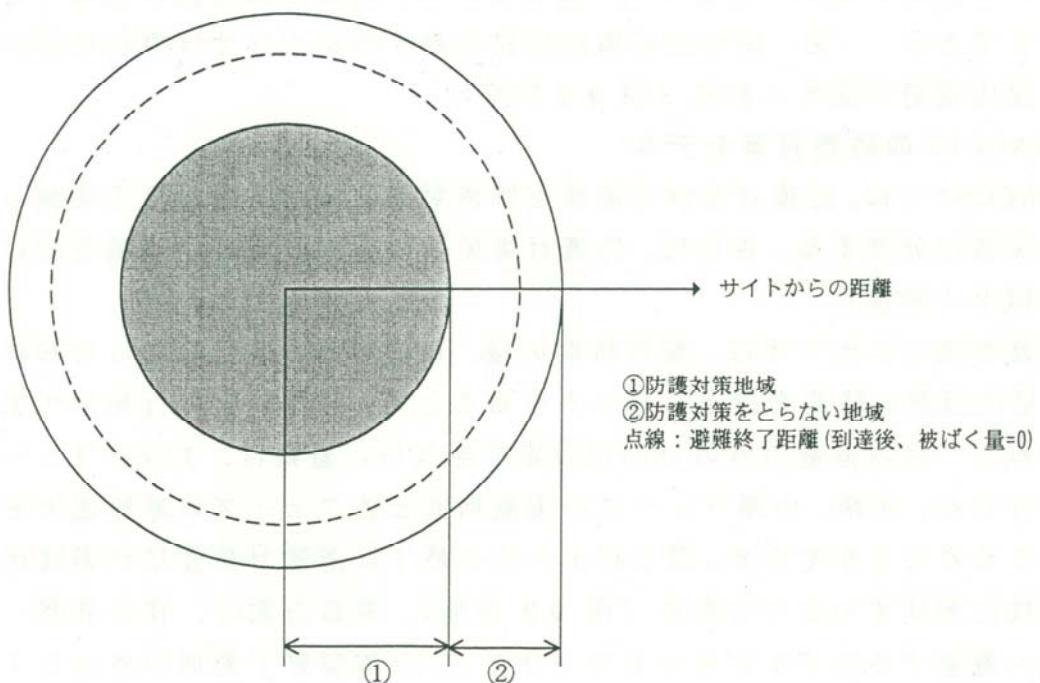
#### b) MACCS2 の防護対策モデル

MACCS2 では、防護対策時の領域を防護対策領域と防護対策を実施しない領域に分割する。さらに、防護対策領域の外に避難終了領域を設ける（図 9.1 参照）。

防護対策のシナリオは、警告時間の後、屋内退避、避難の順に行われる。屋内退避の時間を設定しないとすることで、避難のみの行動が可能であるが、屋内退避のみの対応は設定できない。避難は、3つのフェーズに分かれ、初期、中期フェーズの実施期間と各フェーズの避難速度を変化させることができる。第三フェーズの終了は避難対象住民が避難終了領域に到達するまでである（図 9.2 参照）。避難方向は、径の外側一方向へ避難するモデルとネットワークモデル（避難終了領域の各エレメントに避難方向を指定する）がある。

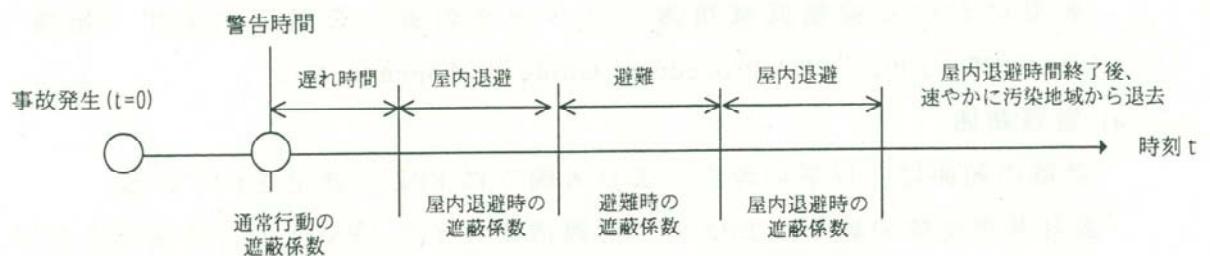


CRAC2の防護対策行動の領域分割モデル

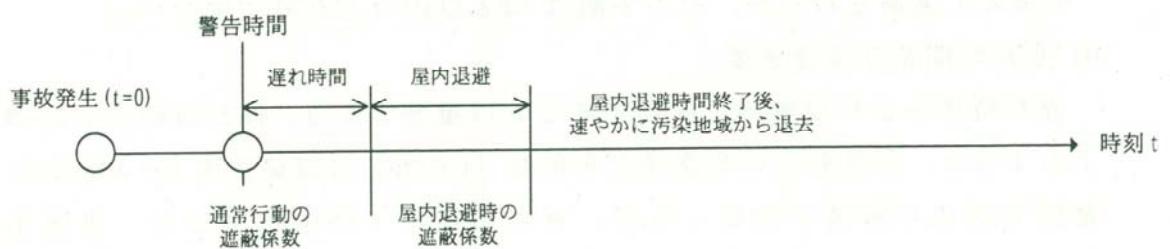


MACCS2の防護対策行動の領域分割モデル

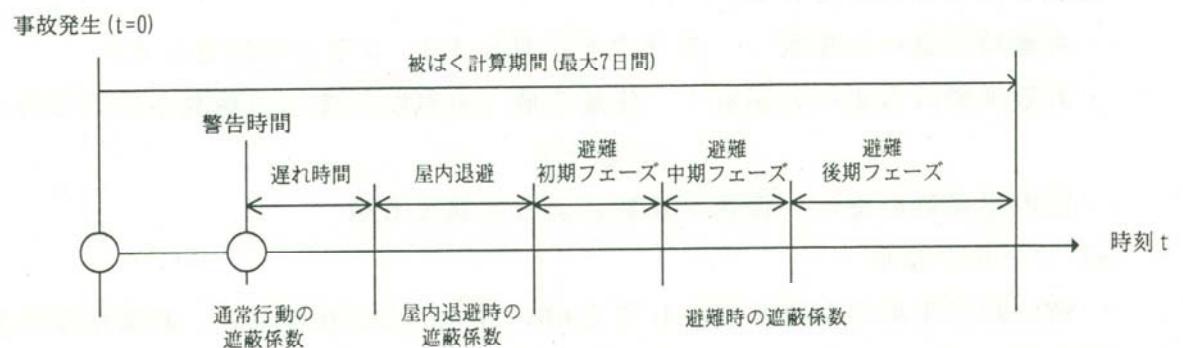
図 9.1 CRAC2 及び MACCS2 の防護対策行動の領域分割モデル



CRAC2における避難領域の住民に対する防護対策シナリオ



CRAC2における屋内退避領域の住民に対する防護対策シナリオ



MACCS2における防護対策シナリオ

図 9.2 CRAC2 及び MACCS2 の防護対策シナリオ

#### 【解説 9.4】 パラメータ

米国における線量低減措置パラメータの扱いを以下に示す（出典： NUREG/CR-2300, “PRA Procedures Guide”, Appendix E）。

##### a) 避難範囲

避難の範囲は、以下の理由により米国では EPZ が選定されている。

- ・ 設計基準事故の線量は EPZ 外で防護活動ガイド (PAG) レベルを超えない。
- ・ 炉心溶融シーケンスの線量は EPZ 外で PAG レベルを超えない。
- ・ 最悪の炉心溶融シーケンスでも EPZ 外で生命危機線量を超えない。
- ・ EPZ 以内で詳細な緊急時計画が用意されている。（緊急時対応手順は EPZ を超えて実施されるが、その手順は EPZ 以内ほど有効ではない。）

##### b) 遅れ時間及び避難速度

遅れ時間をより現実的に評価することは重要である。遅れ時間を 3 時間以上とすると、急性死亡の余累積分布関数 (CCDF) は避難速度 5~40 mile/h の範囲であまり感度がなかったが、遅れ時間を 1 時間とすると、避難速度 10 mile/h で CCDF は大きく低下した。

##### c) 避難終了距離

避難終了距離に関する明確なガイダンスはないが、避難範囲を 10 マイルとした場合、避難最大距離を 15 マイルとするのは合理的と思われる。

##### d) 遮へい係数

クラウドシャインとグランドシャインの遮へい係数は、様々な建物（木造、レンガ造り、大きな商業建物）及び活動（避難、避難準備、屋内退避、通常）に対して与えられている。

- ・ 避難時の遮へい係数： クラウドに対し 1.0, グランドに対し 0.7
- ・ 避難準備時の遮へい係数： 任意の値（避難時の遮へい係数と同等又はそれ以下）
- ・ 屋内退避時の遮へい係数： 建物によって異なる値

##### e) フィルタ効果

通常時の平均的な呼吸率として  $2.66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  が使用され、避難準備時及び避難時の呼吸率も便宜上この値が使用されている。屋内退避時の呼吸率は、建物内でのフィルタ効果をかけることにより、上記の値より小さくなる。

### 【解説 10.1】健康影響

放射線被ばくによる有害な健康影響には、被ばくした個人に現れる「身体的影響」と子孫に現れる「遺伝的影響」がある。身体的影響は、さらに被ばく後短期間にその影響が現れる「早期影響」と、被ばく後長時間経てから発現する「晩発性影響」に区別される。事故影響評価では、一般に、早期の身体的影響である確定的影響（または非確率的影響）と晩発性の身体的影響である確率的影響の2つを考慮しており、遺伝的影響を考慮する場合もある。

確定的影響は、比較的高い「しきい線量」を超えた時にのみ発生し、このしきい値は、疾病によって異なり、個人（年齢、体重、性、種別及び健康の一般的な状態）及び個々の環境（例えば、利用可能な医療の程度）によって変動する。しかし、集団を対象とした場合には、このしきい線量の変動範囲は限られ、それ以下では如何なる個人もその影響を生じないであろう線量を下限とし、それ以上では全ての個人が発現する線量が上限となるであろう。高線量の事故的な被ばく後に現れる確定的影響は数多く存在し、その中には死亡の他、一時的又は恒久的な種々の形態の疾病（白内障、不妊症、嘔吐、肺纖維症、甲状腺機能亢進症等）がある。これらは、被ばく後、1日や1週間で発症するため、「早期影響」と呼ばれるが、数ヶ月も現れない確定的影響もある。

一方、確率的影響は、現時点ではしきい線量が無いと仮定されており、その影響は、被ばく者にがんを誘発させ、個人の子孫に遺伝的な影響を与える。あらゆる放射線に対する被ばくは、確率的影響の頻度を増加させると考えられるが、線量と影響の関係、特に影響が線量で変化する部分に関しては、非常に不確実さがある。確率的影響は被ばく後、直ぐに発現せず（潜伏期間）、その発現確率は、被ばく後の経過時間で変わる。この時間的な確率分布は、健康影響の種類や個人差で変わる。潜伏期間後、発現確率は最大値まで上昇し、再びある期間で減少する。これらの確率的な傷害は、被ばく後から多くの年数を経て発現するので、晩発性影響と呼ばれている。

子孫に現れる晩発性の確率的影響である遺伝的影響には、被ばくした集団の子供の出生異常が増加する直接的なリスクと潜在的な突然変異を通して孫以降の子孫に現れる間接的なリスクがある。原爆被爆者の子供についての研究という限られた人のデータからは遺伝的影響の過剰発生は認められていないが、遺伝的リスクの説を否定するほど強力な結果ではない。そのため、遺伝的リスクの推定は動物モデルからの外挿に基づいている。遺伝的影響の推定では、単一遺伝子障害、染色体異常、多因子性疾患に分け、基本的に晩発性身体的影響と同じ表式のモデルを用い、それに各世代に現れる累積リスクの項を付加して評価を行っている。

### 【解説 10.2】早期影響

原子力発電所のシビアアクシデント時には、近接住民が“早期及び持続性”の放射線影響を被るに十分大きな線量を受ける可能性がある。早期影響には、骨髄、肺、胃腸管の障害による致死的影響と、嘔吐、下痢、皮膚の火傷等の疾病影響があるが、通常は被ばく後の数日か数週間以内に発生する。甲状腺機能低下、肺炎、精子数減少／排卵抑制、白内障等の継続的影響は、発現に多少の時間を要するか、又は被ばく後数年間症状が継続する場合もある。妊婦が被ばくする場合には、流産、胎児死亡又は出生後の精神遅滞のリスクが増加し得る。これらの影響のリスクについては、主に次の4種類の研究から得られる。

- ・治療の際に被ばくした人の放射線関連の副作用に関する研究
  - ・広島と長崎の原爆被爆者の追跡研究
  - ・種々の事故で大量の放射線を受けた比較的少人数の集団に見られる健康影響の調査
  - ・実験的に放射線を照射した動物に見られる影響の調査

早期影響の生物学的な性質の科学的理解は、しきい値をもつ影響であるということである。すなわち、如何なる個人も、その影響はしきい線量を超えないならば経験しないであろうということであり、このような非確率的影響に対する集団の線量－反応関係は、単に個人のしきい値の集団における分布を反映したものである。

### 【解説 10.3】急性死亡モデル

現在、事故影響評価で用いられている健康影響のモデルの多くは、米国原子力規制委員会(USNRC)の報告書(NUREG/CR-4214)を基礎としている。ここでは、早期及び持続性の影響のリスクは、ハザード関数を用いてモデル化され、リスクとハザードの関係は以下で与えられる：

$$r = 1 - \exp(-H) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

ここで、 $r$  は個人が着目する影響を受ける確率、 $H$  は累積ハザード関数であり、線量とリスクの関係は、線量とハザードの関係の中に含まれている。累積ハザード  $H$  は、被ばく集団の半数が影響を受ける線量レベル  $D_{50}$  と形状因子  $s$  の 2 つのパラメータをもつワイブル関数

$$H = \ln 2 \left( \frac{D}{D_{50}} \right)^s \quad D > T \quad \dots \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 $D$  は確定的影響の対象とする臓器の平均吸収線量、 $T$  は集団のしきい線量である。実験領域では、ほとんど全てのシグモイド関数がデータを記述できるので、2つのパラメータをもつワイブル関数を選択するかどうかは任意である。

骨髓、肺及び胃腸管への線量に起因する急性死亡のリスクは、以下のように累積ハザードの和によって推定される：

$$r = 1 - \exp\left\{-(H_b + H_p + H_g)\right\} \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 $H_b$ ,  $H_p$ ,  $H_g$ は、それぞれ骨髄、肺及び胃腸管の累積ハザードである。

#### 【解説 10.4】線量率の考慮

ほとんどの早期影響で、低線量率で受けた線量は高線量率の線量に比べ効果が小さい。この現象はハザード関数で用いる致死線量の中央値を修正することによって考慮できる。最も簡単な方法は、 $D_{50}$ として低線量率で受けた線量に対して用いる値と、高線量率で受けた線量に対する値の2つを用いるものである。この方法は簡便ではあるが、致死線量の中央値が線量率に強く依存する場合には不正確なリスク推定をもたらす。

より良いリスク推定は、(2)式の項を2項ではなく項数を増やしていくもので、極限では以下のような積分の式で表わすものである：

$$H = \ln 2 \left[ \int \frac{\dot{D}}{D_{50}(\dot{D})} dt \right] \dots \dots \dots \quad (3)$$

ここで、 $\dot{D}$ は時間  $t$ における線量率、 $D_{50}(\dot{D})$ は線量率  $\dot{D}$ で受けた線量に適用する致死線量の中央値である。この形式は、骨髄及び肺障害による死亡リスクを計算する際に推奨される。これらの影響では、線量率と中央しきい線量との関係は、以下でモデル化できる：

$$D_{50}(\dot{D}) = \theta_\infty + \theta_1 / \dot{D} \quad \dots \quad (4)$$

ここで、 $\theta_\infty$ (Gy)は中央致死線量の極限値、 $D$ (Gy/hr)は線量率、 $\theta_1$ (Gy<sup>2</sup>/hr)は線量率に対する中央致死線量の感度を反映したパラメータである。

### 【解説 10.5】パラメータ

高線量率の短期照射によるリスク推定のために推奨されるパラメータ値を表 10.1 に、低線量率の遷延照射の影響を評価する場合は、表 10.2 に与えられる(3)及び(4)式に基づく線量率依存モデルが推奨される。

### 【解説 10.6】晩発性がん

がんリスクの推定は、主に放射線による被ばくを受けた人集団の研究からの知見に基づいている。このような集団としては、広島、長崎の原爆被爆生存者、急性産褥期乳腺炎に対する X 線治療患者、頭皮白癬に対する X 線治療を受けた子供、強直性脊椎炎患者、胸部 X 線診断を受けた女性、バセドウ氏病又は他の甲状腺疾患に対するヨウ素 131 による治療患者、妊婦期の X 線骨盤計測を受けた女性から生まれた子供がある。

これらの集団のほとんどは、高線量率で比較的高い線量の被ばくを受けており、その被ばく者の多くは生存中で調査が終結していないため、調査結果を解釈する上で 2 つの重要な問題を抱えている。1 つは、より低い線量（及び線量率）の状況に使用するための結果の外挿方法であり、もう 1 つは、不完全な追跡調査の影響を推定する方法である。

### 【解説 10.7】晩発性がん死亡モデル

被ばく集団に現れる致死性及び非致死性のがんリスクの推定には、線量及び線量率の効果を考慮して、通常、がんのタイプ別に以下の線形の線量－反応関係が用いられる：

$$r = \left( \frac{1}{DDREF} \right) cD \quad (6)$$

ここで、D は対象とする臓器の吸収線量(Gy)、c は高線量及び線量率における疫学調査で得られた単位リスク係数（1000 人当たり Gy 当りのがん発生又はがん死亡数）、DDREF は線量・線量率効果係数である。ほとんどのがんタイプのリスクの中央推定に対して、USNRC の報告書では、低 LET 放射線の DDREF として 2 すなわち、低線量、低線量率で受けた線量は、高線量率で受けた線量の半分の効果としている。乳がんと甲状腺がんは例外で、リスクの

中央推定には、その効果を導入していない。

### 【解説 10.8】生涯リスク推定法

不完全な追跡調査の影響を推定する方法として、絶対リスク予測（相加的リスク予測モデル）と相対リスク予測（相乗的リスク予測モデル）が普通用いられる。両方法とも、放射線寄与のがんリスクが発現しない潜伏期と、リスクが現れる発現期間を考慮している。発現期間は、一定の期間又は被ばく後、生涯にわたって続くと仮定される。両リスク予測モデルの重要な違いは、発現期間中の放射線誘発によるがんの過剰リスクのパターンに関する仮定である。絶対リスク予測モデルでは図 10.1 に示すように、被ばく後 1 年の潜伏期間後に  $P$  年の発現期間（プラトー）中に放射線誘発のがん死亡（罹患）の絶対的な増加があるとする。一定のプラト一期又は生涯にわたる発現期間中ににおける死亡（罹患）率は一定であると仮定し、1 万人・年当たり・1Gy 当たりの死亡（罹患）数として表わされる。線量に関しては線量反応関係で示される線形関係に依存し、性別、人種又は被ばく時年齢等の要因にも依存する可能性がある。USNRC の報告書では、白血病、骨がん、甲状腺がん、皮膚がん、子宮内被ばくによる白血病及び他の全てのがん、良性甲状腺結節の 7 つの晩発性身体影響に対するリスクの予測に絶対リスク予測モデルが用いられている。

これに対し、相対リスク予測モデルは図 10.2 に示すように、被ばく後 1 年の潜伏期間後に放射線誘発のがん死亡（罹患）が自然がん死亡（罹患）の一定の割合で増加するという発現パターンを持ち、死亡（罹患）率は自然のがん死亡（罹患）率に対する 1Gy 当たりの増加百分率として表わされる。その増加率は絶対リスク予測モデルと同様、線量に関しては線量反応関係で示される線形関係に依存し、性別、人種又は被ばく時年齢等の要因にも依存する可能性がある。USNRC の報告書では、胃腸管がん、肺がん、乳がん、その他のがんの 4 つの晩発性身体影響に対するリスクの予測に相対リスク予測モデルが用いられている。

原子炉事故による被ばく集団の晩発性影響の計算は、

- 被ばく集団の年齢構造及び平均余命
- 放射線誘発による影響が現れる前に、自然死に至る割合
- 長期間の遷延被ばくによる線量の時間変化

等の考慮が必要で複雑なため、事故影響評価コードとは独立に、あらかじめ対象集団について生涯リスクを計算しておき、事故影響評価コードで使用するデータベースとして準備してあるのが普通である。

表 10.1 低 LET 放射線の短期被ばくによる急性死亡のモデル  
(NUREG/CR-4214, Rev.2, Part I , p.19)

リス ク 推定 :	中央値			下限値			上限値			
	LD <sub>50</sub>	T	V	LD <sub>50</sub>	T	V	LD <sub>50</sub>	T	V	
影響	LD <sub>50</sub>	T	V	LD <sub>50</sub>	T	V	LD <sub>50</sub>	T	V	
骨髄障害										
	最低治療	3.0	1.5	6	3.5	2	8	2.5	1	4
支持的治療	支持的治	4.5	2	6	5	3	8	4	1.5	4
肺障害	10	5	12	12	6	14	8	4	9	
胃腸管障害	15	8	10	20	8	10	10	8	10	

表 10.2 急性死亡の D<sub>50</sub>を当該臓器への線量率の関数として計算するための数式

(NUREG/CR-4214, Rev.2, Part I , p.15)

障害 <sup>a</sup>	造血器	肺	
医療処置 <sup>b</sup>	最低限	支持的	(区分なし)
推定値			
中央値	$3.0 + 0.07/\dot{D}$	$4.5 + 0.10/\dot{D}$	$10 + 30/\dot{D}$
下限値	$2.5 + 0.06/\dot{D}$	$3.7 + 0.08/\dot{D}$	$8 + 45/\dot{D}$
上限値	$3.5 + 0.08/\dot{D}$	$5.3 + 0.12/\dot{D}$	$12 + 15/\dot{D}$

a. ワーキンググループは胃腸管症候に対しては  $\alpha$  線量を考慮しないと結論している (NUREG/CR-4214 Rev.2, P. 18)。

b.  $\dot{D}$  は骨髄への瞬間的な線量率により補正する。[(低 LET 線量率 +  $\alpha$  線線量率) × RBE]

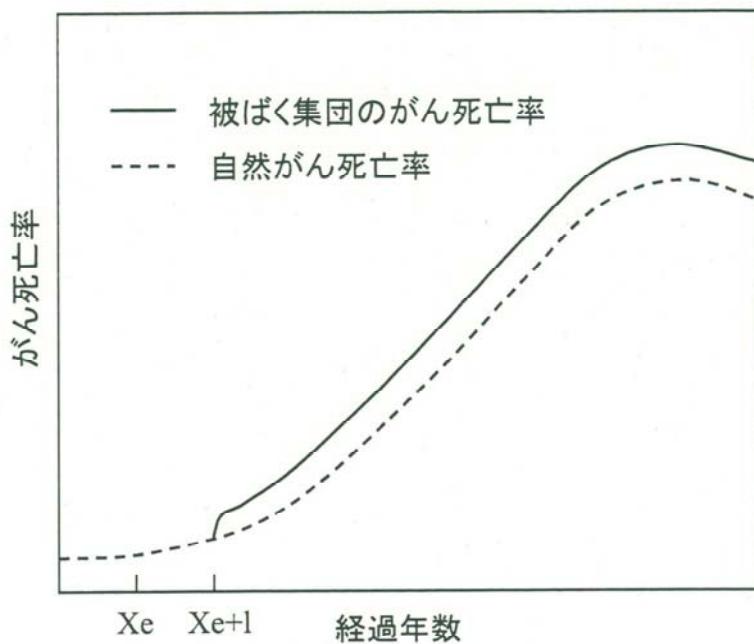


図 10.1 絶対リスク予測モデルの概念図

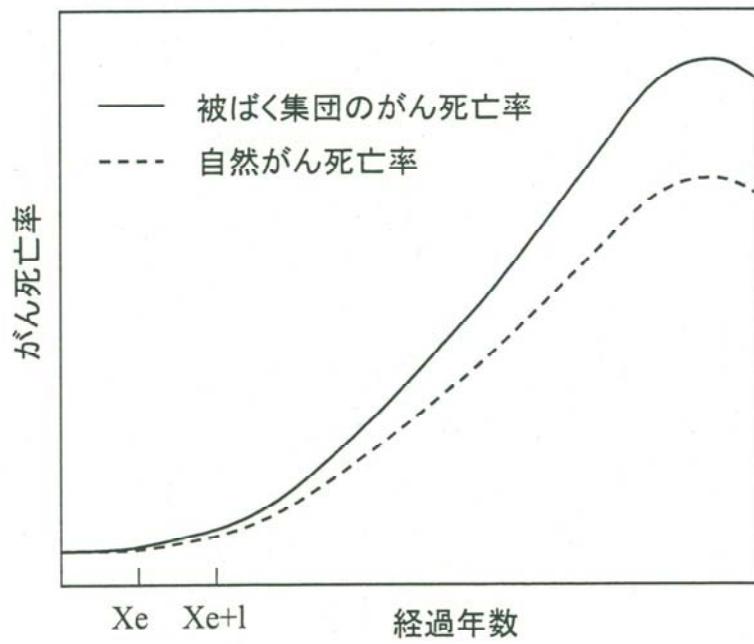


図 10.2 相対リスク予測モデルの概念図

## 大気拡散の解説について

'05.10.28

仕様規定的にすれば他の方法はあまり記述せず、性能規定的なものだと他の方法も記述することになると思われるが。→ どちらを想定すべき？

- ・気象指針レベル（予測方法は一つに決めている）→ 仕様規定的
  - ・マニュアルレベル（基本はあるが、いろいろな方法を選択できる）→ 性能規定的
- 単に、教科書的解説を加える？

### [大気拡散]

本文：

大気拡散式は提示しない。ガウス型モデルを利用できる（というスタンス）とする。

解説：

- (1) 以下の拡散モデルを参考文献1)～5)を参考に説明する。ガウス型がPSAには最適（と記載）
  - ・ガウス型の拡散式
  - ・K理論型の拡散モデル
  - ・粒子型拡散モデル
  - ・高次の乱流モデル
- (2) PSAへの適用モデル。既存コードでの使用実績がある旨の説明と紹介を加える。
  - ・ガウス型の拡散式
  - ・トラジェクトリー型モデル

### [放射性崩壊]

本文、解説に追加

### [拡散モデルに必要なデータ、パラメータ]

- ・拡散幅；相関式は数多く載せるべき？
- ・表面粗さ、ブルーム上昇、建屋影響；文献6)を参考に式、図による説明を充実させる？

### [その他－大気拡散のパーツに掲載するかは不明]

- ・混合層高さ；求め方や必要な気象データの記述は？
- ・地形；その影響について記載するべきか？

### 参考文献

- 1) 公害研究対策センター、「窒素酸化物総量規制マニュアル〔新版〕」、2000
- 2) 岡本真一、「大気環境予測講義」、ぎょうせい、2001
- 3) 電力中央研究所、「大気拡散予測手法」、電中研レビュー38、2000
- 4) 市川陽一、佐田幸一、朝倉一雄：高次の乱流量をもとにした大気拡散モデル
- 5) 一ラグランジュ型粒子モデルを軸として一、大気汚染学会誌、29、297-312,1994
- 6) UNDERWOOD,B.Y., COOPER,P.J., et al., Review of Specific Effects in Atmospheric Dispersion Calculations, Rep. EUR-8935-EN, CEC, Luxembourg (1984).

平成 17 年 10 月 28 日

レベル 3 P S A 分科会 (P8SC) :

用語の項目抽出とその定義、及び解説の改訂（充実）の方針  
[気象サンプリング]

## 1. 用語の項目と定義

- 気象サンプリング
- 気象シーケンス

手順書(案)に収録済み。それ以外は特になし。

## 2. 解説改訂方針

文章修正のみ。（以下、赤字部分）

## 【解説 5.2】 気象指針における気象パラメータ

<<省略>> 大気安定度は、「敷地を代表する地上風」の当該時刻の風速ならびに日射量及び放射収支量を基に解説表 5.2-2 本文表 7-1 によって分類する。

## 【解説 6.2】 気象シーケンスのグループ化

## 例1) MACCS2 における気象サンプリングの例

ウェットシーケンスである降水ビンの設定距離インターバル数を 4、設定降水強度数を 3 とした場合、降水ビンとして設定されるビン分類数は、 $16 (=4 \times (3+1))$  となる。降水地点の距離インターバルとして、10, 16, 24, 及び 32km、また降水強度として 0.5, 2.5, 及び 15.0mm/h を設定すると解説表 6.2-1 のような分類になる。

## 例2) OSCAAR における気象サンプリングの例

気象シーケンスの分類条件として、降水の有無、大気安定度、放出物質の滞留時間を採用している。また、対象サイトの地形や立地条件を反映するために、風向によっても分類している。解説表 6.2-3 に気象サンプリングの分類例を示す。気象ビンの総数は以下同表の 11 ビンに方位の分類数を掛けた数となる。

## 【解説 6.3】 気象サンプリングによる統計的誤差について

## (1) 評価条件

<<省略>>

気象ビンは、降水の有無、大気安定度及び風速により 2036 の分類としている。

以上

## 2. 定義（ソースターム）

- a) ソースターム レベル 2PSAにおいて評価される、環境に放出される放射性物質の種類、性状、放出量、放出時期、放出期間、放出エネルギーのことをいう。
- b) 放出カテゴリ レベル 2PSAの結果を、プラント損傷状態、放射性物質が放出される時期、格納容器破損モード及び放射性物質の放出等の類似性によって事故シーケンスをグループ化したものをいう。
- c) 放射性物質 放射性核種を含む物質を一般的に放射性物質という。この標準では、主に、燃料の核分裂によって生成される物質のことをいう。
- d) エアロゾル 一般に固体または液体の微細粒子が気体のなかに分散した状態のことをいう。煙霧質とも呼び、本来は、コロイド状の懸濁物、分散物の状態をいう。慣用的には微細粒子そのものを指す。
- e) レベル 2 PSA 炉心の損傷を起因として環境への放射性物質の放出に至る事故シーケンスに着目し、その発生頻度及びソースタームを求める評価
- f) 崩壊定数 放射性核種が単位時間に崩壊する確率 $\lambda$ を崩壊定数といい、核種に固有の量である。単位時間に崩壊して減少する放射性核種の原子の数 $-dN/dt$ は、その時刻 $t$ に存在する放射性核種の総数 $N$ に比例する。このときの比例定数が崩壊定数である。
- g) 炉内内臓量（炉内インベントリ） 炉心内が内蔵する放射性物質の種類、量をいう。
- h) 放射性核種 原子または原子核の種類を示す。
- i) 放出形態 原子力施設から放出される物質の形状のこと。形態には、気体、液体、固体がある。被ばく評価では、放射性物質の放出形態及び種類によって、重要な被ばく経路が異なってくる。例えば、大気中に放出された場合には、呼吸に伴う内部被ばく、植物への沈着に起因する内部被ばく、放射性雲からの外部被ばくなどが重要な経路となる。
- j) プルーム（放射性雲） 一般に、大気中に煙が放出されるとき、この煙の流れをプルーム（煙流）という。Level3PSAでは、事故時にスタック（煙突）又は建屋から大気中に放出される放射性物質の煙をプルームと呼ぶ。~~放射性~~~~放射性~~ 煙
- k) 格納容器過圧破損 崩壊熱除去失敗又は原子炉未臨界確保失敗時に発生した水蒸気によって格納容器が過圧破損することをいう。

4. ソースタームの設定 ソースタームは、軽水型原子力発電施設の原子炉の中に内包している放射性物質（以下、炉内内蔵量と略。）の基本データや、レベル2 PSAの環境への放出割合の評価結果に基づいて、レベル3 PSAの入力データとして、放出カテゴリの発生頻度と各放出カテゴリの特性（放射性物質の種類、性状、放出量、放出開始時期、放出継続時間及び放出エネルギー）を与えるものである。

こ<sup>々</sup>  
回<sup>回</sup>  
以<sup>以</sup>  
下<sup>下</sup>  
モ<sup>モ</sup>  
ジ<sup>ジ</sup>

4.1 核種基本データ 放射性物質の大気拡散及び沈着の解析に必要な諸量のうち、ソースタームのうち、放射性核種物質の放出量の取り扱い方法は、レベル2 PSAとのインターフェイスの方法によって変わりうるが、本標準では、レベル3 PSAにおいて核種基本データ（核種、崩壊定数、炉内内蔵量）を設定する（解説4-1）。

4.1.1 考慮すべき核種の選定 炉心に内包されている放射性核種のうち、放射線被ばく環境影響評価の観点から重要な核種を選定する（解説4-2）。

4.1.2 炉内内蔵量の設定 炉内内蔵量は、想定される運転状態に基づいて解析条件を定め、事故直前の炉内内蔵量を設定する（解説4-3）。

4.1.3 核種（元素）のグループ化 レベル2 PSAでは、物理的、化学的に類似な限定された数の核種グループを定義し、放出量を評価するが、レベル3 PSA評価では、考慮すべき核種として放射性物質の大気拡散を系統的に解析するために、大気拡散及び沈着特性が類似する核種をグループ化する（解説4-4）。

4.2 放出データ レベル2 PSAの評価結果に基づいて、事故シーケンス放出カテゴリ毎に放出頻度及び放出開始時間、放出量割合、放出継続時間、放出高さと放出形態、放出エネルギー、粒子径及び化学形を設定する。さらに、レベル2 PSAにおいて評価している場合には、放出エネルギーを設定してもよい。

4.2.1 事故シーケンス放出カテゴリと放出頻度 レベル2 PSAにおいて評価された事故シーケンス放出カテゴリと、その放出頻度を用いる。また、原則として、レベル2 PSAで評価した事故シーケンス放出カテゴリを全て取り扱う。事故シーケンス放出カテゴリが著しく多い場合には、事故シーケンス放出カテゴリの類似性（放出量割合及び放出タイミング）に着目して、評価において矛盾が生じないように再分類してもよい。

4.2.2 放出タイミング開始時間、放出割合と放出量継続時間 事故シーケンス放出カテゴリ毎に、放出が開始される時間刻（解説4-5）、放出量割合及び放出継続時間（解説4-6）をレベル2 PSAの評価結果に基づいて設定する。放出カテゴリの特性として、单一の放出で模擬できない場合には、複数回の放出を考慮してもよい。この場合には、それぞれの放出について、放出の時間変化を考慮して、放出開始時間、放出量割合、放出継続時間を設定する（解説4-6）。（この二重消線の部分は、解説4-6へ移

動)

**4.2.3 放出高さと放出形態** 放出高さと放出形態は、レベル 2 PSA の評価結果と整合させる。放出カテゴリの特徴に基づいて、評価するプラントの設備の形状に応じて設定する（解説 4-7）。

**4.2.4 放出エネルギー（浮力）** 放出される放射線雲の放出エネルギーを考慮する場合は、レベル 2 PSA の評価結果と整合させる。に応じて、放出カテゴリ毎に、放出されるブルームの放出エネルギーを設定してもよい（解説 4-8）。

**4.2.5 エアロゾルの粒子径分布** 大気中へ放出されたエアロゾルの粒子径に応じた拡散及び沈着が評価できるように、事故シーケンス放出カテゴリごとのエアロゾルの粒子径分布を、レベル 2 PSA の評価結果又は試験結果から設定する（解説 4-9）。

**4.2.6 化学的物性** 放出された放射性物質の化学的性質は、大気中の拡散・沈着挙動、吸入によって体内に取り込まれた場合の肺における沈着挙動あるいは経口摂取された場合の代謝に健康影響評価の結果に対して重要な影響を与えるため、核種グループ毎に、設定する。特に、よう素の化学形態として、有機よう素はガス状とし、無機よう素はガス状と粒子状よう素に区別する（解説 4-10）。

動)

**4.2.3 放出高さと放出形態** 放出高さと放出形態は、レベル 2 PSA の評価結果と整合させる。放出カテゴリの特徴に基づいて、評価するプラントの設備の形状に応じて設定する（解説 4-7）。

**4.2.4 放出エネルギー（浮力）** 放出される放射線雲の放出エネルギーを考慮する場合は、レベル 2 PSA の評価結果と整合させる。に応じて、放出カテゴリ毎に、放出されるブルームの放出エネルギーを設定してもよい（解説 4-8）。

**4.2.5 エアロゾルの粒子径分布** 大気中へ放出されたエアロゾルの粒子径に応じた拡散及び沈着が評価できるように、事故シーケンス放出カテゴリごとのエアロゾルの粒子径分布を、レベル 2 PSA の評価結果又は試験結果から設定する（解説 4-9）。

**4.2.6 化学的物性** 放出された放射性物質の化学的性質は、大気中の拡散・沈着挙動、吸入によって体内に取り込まれた場合の肺における沈着挙動あるいは経口摂取された場合の代謝に健康影響評価の結果に対して重要な影響を与えるため、核種グループ毎に、設定する。特に、よう素の化学形態として、有機よう素はガス状とし、無機よう素はガス状と粒子状よう素に区別する（解説 4-10）。

**4. ソースタームの設定** ソースタームは、軽水型原子力発電施設の原子炉の中に内包している放射性物質（以下、炉内内蔵量と略。）の基本データや、レベル 2 PSA の環境への放出割合の評価結果に基づいて、レベル 3 PSA の入力データとして、放出力カテゴリの発生頻度と各放出力カテゴリの特性（放射性物質の種類、性状、放出量、放出開始時期、放出継続時間及び放出エネルギー）を与えるものである。

**4.1 核種基本データ** 放射性物質の大気拡散及び沈着の解析に必要な諸量のうち、ソースタームのうち、放射性核種物質の放出量の取り扱い方法は、レベル 2 PSA とのインターフェイスの方法によって変わりうるが、本標準では、レベル 3 PSA において核種基本データ（核種、崩壊定数、炉内内蔵量）を設定する（解説 4-1）。

**4.1.1 考慮すべき核種の選定** 炉心に内包されている放射性核種のうち、放射線被ばく環境影響評価の観点から重要な核種を選定する（解説 4-2）。

**4.1.2 炉内内蔵量の設定** 炉内内蔵量は、想定される運転状態に基づいて解析条件を定め、事故直前の炉内内蔵量を設定する（解説 4-3）。

**4.1.3 核種（元素）のグループ化** レベル 2 PSA では、物理的、化学的に類似な限定された数の核種グループを定義し、放出量を評価するが、レベル 3 PSA 評価では、考慮すべき核種として放射性物質の大気拡散を系統的に解析するために、大気拡散及び沈着特性が類似する核種をグループ化する（解説 4-4）。

**4.2 放出データ** レベル 2 PSA の評価結果に基づいて、事故シーケンス放出力カテゴリ毎に放出頻度及び放出開始時間、放出量割合、放出継続時間、放出高さと放出形態、放出エネルギー、粒子径及び化学形を設定する。さらに、レベル 2 PSA において評価している場合には、放出エネルギーを設定してもよい。

**4.2.1 事故シーケンス放出力カテゴリと放出頻度** レベル 2 PSA において評価された事故シーケンス放出力カテゴリと、その放出頻度を用いる。また、原則として、レベル 2 PSA で評価した事故シーケンス放出力カテゴリを全て取り扱う。事故シーケンス放出力カテゴリが著しく多い場合には、事故シーケンス放出力カテゴリの類似性（放出量割合及び放出タイミング）に着目して、評価において矛盾が生じないように再分類してもよい。

**4.2.2 放出タイミング開始時間、放出割合と放出量継続時間** 事故シーケンス放出力カテゴリ毎に、放出が開始される時間刻（解説 4-5）、放出量割合及び放出継続時間（解説 4-6）をレベル 2 PSA の評価結果に基づいて設定する。放出力カテゴリの特性として、单一の放出で模擬できない場合には、複数回の放出を考慮してもよい。この場合には、それぞれの放出について、放出の時間変化を考慮して、放出開始時間、放出量割合、放出継続時間を設定する（解説 4-6）。（この二重消線の部分は、解説 4-6 へ移

### 定義（案）（沈着関係）

**重力沈降** 放射性物質のプルームが、風下へ移行する際に、粒子状物質のうち、比較的粒径の大きなものは重力によって沈降し、気相中から地表面へ沈着する。この重力による沈降をいう。

**ウォッシュアウト** 放射性物質のプルームが、風下へ移行する際に雨に遭遇した場合、エアロゾルのようなものは雨に補足され、気相中から地表面へ洗い流される。この降雨による除去をいう。