

4.4 原子力発電所の事故による住民のリスク

原子力施設の事故のリスクは、健康に関するリスクと経済的リスクとに分けることができる。ここでは健康に関するリスクのうちの、生命を失うリスクについて述べることにする。

原子力発電所の事故によって、生命を失うリスクは第3章の確率論的リスク評価によって求めることができる。しかし、チェルノブイリ事故の被害の実績を基にして、リスクを求めることもできる。

本節ではまずチェルノブイリ事故の被害の事例を基にしてリスクを評価し、次に確率論的リスク評価手法によるリスク評価の結果を述べる。

そのため、まず4.4.1節でチェルノブイリ事故による被ばくの状況について述べ、次に4.4.2節でわが国において原子力発電所の大事故に遭遇したときの住民のリスクを求める。次いで4.4.3節で、大事故の起こる確率を考慮した、原子力発電所の大事故のリスクを求める。

さらに、4.4.4節で、第3章の確率論的リスク評価で求めたリスクについて述べる。

4.4.1 チェルノブイリ事故のFP放出と住民の被ばく

チェルノブイリ原子力発電所の事故では最初に原子炉の暴走があり、さらに減速材の黒鉛が燃え、損傷炉心の高温状態が継続し、火災が終息したのは

核種	内蔵量の百分率	放射能 (pBq)	核種	内蔵量の百分率	放射能 (pBq)
^{133}Xe	100	6500	^{132}Te	25~60	~1150
^{131}I	50~60	~1760	^{89}Sr	4~6	~115
^{134}Cs	20~40	~54	^{90}Sr	4~6	~10
^{137}Cs	20~40	~85	^{140}Ba	4~6	~240

(注) p: ベタ=10¹⁵

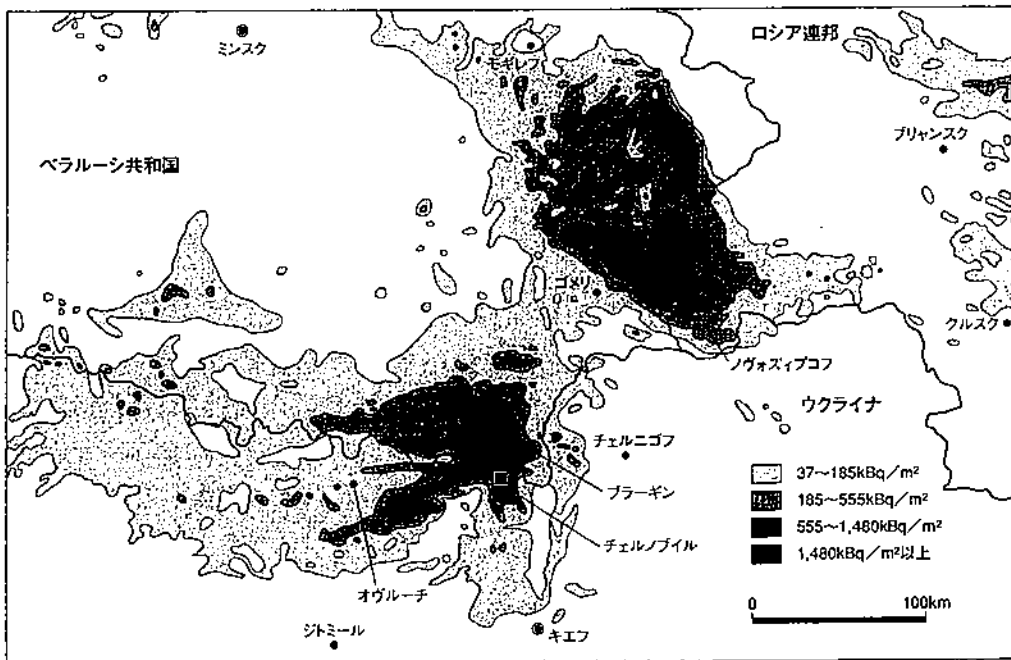
表 4.4-1 チェルノブイリ事故で放出された主な放射性物質⁽⁵⁾

10日後であった。すなわち放射性物質の環境への放出が10日間継続した。

この間に環境に放出された放射能は非常に多く、主要なものを示すと、表 4.4-1 のとおりである。

表に示すように ^{133}Xe が内蔵量の100%、6500pBq、 ^{137}Cs が内蔵量の20~40%、85pBq、 ^{90}Sr が内蔵量の4~6%、10pBqと、放出された放射能は極端に多い。

放出された放射能は微粒の粉塵となって遠距離まで風によって運ばれ、雨とともに地表に降下したので、チェルノブイリ発電所より遠く離れた地域の地表も汚染させた。図 4.4-1 にセシウム137による地上の汚染分布を示す⁽⁷⁾。



出典：ソ連原子力国家委員会資料（1986年8月 IAEA専門家会議）

図 4.4-1 チェルノブイリ事故によるセシウム137の汚染分布

図の1480kBq/m² (40Ci/km²) 以上の汚染区域は居住禁止区域とされ、住民は強制的に移住させられた。1480kBq/m²～555kBq/m² (15Ci/km²) の汚染区域は嚴重管理区域と指定されて、健康管理のもとに住民の居住は許された。

強制移住させられた1480kBq/m² (40Ci/km²) 以上の汚染区域に住んでいた住民および嚴重管理区域住民で移住を希望した住民に対する退避費用、移住費用、移住後の生活保障などの諸々の補償費用および汚染区域の汚染除去費用、汚染食品廃棄費用などの経済的な損失は莫大なものであるが、ここでは言及しない。

UNSCEAR (国連科学委員会) 2000年報告書⁽⁵⁾によれば、嚴重管理区域の住民の人口および事故発生年の1986年より1995年まで(事故後10年間)の集団線量の評価は表4.4-2のとおりである。すなわち旧ソ連邦の3国の合計で、人口は193,367人であり、この集団の1986年～1995年の10年間の集団線量は外部被ばくで6,055人・Sv、内部被ばくで1,963人・Svと評価されている。

国名	人口 (人)	集団線量 (人・Sv)	
		外部被ばく	内部被ばく
ベラルーシ共和国	97,593	3,433	1,150
ロシア連邦	95,474	2,611	799
ウクライナ国	300	11	14
合計	193,367	6,055	1,963

表4.4-2 嚴重管理区域住民の人口と集団線量の評価値(1986年～1995年)⁽⁵⁾

次に生涯(1986年～2056年の71年間)の集団線量を求める。UNSCEAR 2000年報告書のように、外部被ばくでは、最初の10年間(1986年～1995年)の集団線量は生涯の集団線量の60%とし、内部被ばくでは、最初の10年間の集団線量は生涯の集団線量の90%とすれば、内部被ばく、外部被ばく合計の生涯の集団線量は193,367人の集団で

$$6,055(\text{人} \cdot \text{Sv}) \div 0.6 + 1,963(\text{人} \cdot \text{Sv}) \div 0.9 = 12,273(\text{人} \cdot \text{Sv})$$

となる。

この値を、嚴重管理区域住民の人口10万人あたりに換算すれば、生涯の集団線量は $12,273(\text{人} \cdot \text{Sv}) \div 1,933,67 = 6,350 \text{人} \cdot \text{Sv}$ となる。1人平均では64mSvである。

この値がチェルノブイリ事故で、最も被ばくした集団の生涯の被ばく線量である。すなわち、現実起こった最大の原子炉事故において、最も被ばくする集団の生涯の被ばく線量と考えてよい。

なお、住民の放射線被ばくには、嚴重管理区域住民のほかに、事故時の退避住民の被ばくがあるが、退避住民の被ばく線量は嚴重管理区域住民の生涯の被ばく線量より少ないので、最も被ばくする住民集団の放射線被ばくとしては、嚴重管理区域住民の被ばくとなる。

また、ある集団が被ばくした集団線量をこの集団の単位人口で割った値、すなわち10万人あたりの集団線量の値は、地表の汚染分布が同じならば、日本のような人口稠密な国でも人口希薄な国でも変わらない。

そこで、わが国の原子炉事故のリスクを求めるにあたってこの値、すなわち10万人あたり6,350人・Svの値を用いることにする。^(註1)

4.4.2 原子力発電所の重大事故に遭遇したときの住民のリスク

わが国においては、現実起こるとは考えられないが、チェルノブイリ事故のような燃料大破損事故が起こり、40Ci/km²以上の汚染区域ができた想定して、その時のリスクを推定する。前提として、

I. 軽水炉の炉心損傷頻度もしくは格納容器破損頻度は、第3章で述べた確率論的リスク評価の結果を用いる。

II. 格納容器から放散される放射能による、住民の被ばくはチェルノブイリ事故の事例を用いる。すなわち

①事故が起こったときに、40Ci/km²以上の汚染区域ができたときには、この区域を居住禁止にする

^(註1) チェルノブイリ事故での甲状腺ガンの発生は、事故により放出された放射性ヨウ素が甲状腺に摂取、吸収されて起こったものと考えられるが、今まで欧米における甲状腺への放射線治療の経験などからは考えられないほどの多発である。

このような甲状腺ガンの多発は、この地方の住民の遺伝的素質や甲状腺のヨウ素欠乏、その他事故以外の因子の影響によるものと考えられている。

日本では甲状腺の放射性ヨウ素投与治療や放射線治療の結果からも、また日本人はヨウ素を含む海藻を摂る習慣からも、チェルノブイリ事故程度のヨウ素の吸入、摂取があっても甲状腺ガンはほとんど起こらないと考えられている。従って、わが国においては、ヨウ素の吸入、摂取による甲状腺ガンの発生は無視する。

②40Ci/km²~15Ci/km²の汚染区域は嚴重管理区域として住民の健康管理をしながら居住は認めることにする。そうすれば、嚴重管理区域住民が最も被ばくするグループとなるが、このグループの集団線量は、チェルノブイリ事故のときと同様に、人口10万人当たり6,350人・Svとすることができる。

また、一般人の放射線のリスク係数は0.079/Svとする。^(注1)

上述の前提の下では、集団の人口100,000人について生涯の死亡者は

$$6,350人 \cdot Sv \times 0.079/Sv = 502人$$

であるので、

$$\text{過剰死亡確率} = 502(人) \div 100,000(人) = 0.005$$

になる。

また事故により犠牲者の失う平均的な余命は30年^(注2)と考えられるので

$$\text{寿命の損失} = 30年 \times 0.005 = 0.15年$$

となり、これを日で表わすと50日となる。

この値を表4.6-1の「原発の重大事故に遭遇-チェルノブイリ事故」のリスクとして載せている。

4.4.3 原子力発電所の重大事故のリスク(事故発生頻度を勘案したリスク)

燃料が大破損するような重大事故は恐らく人の一生のうちに経験することはないであろう。子、孫の時代にも経験することがないであろうと考えられる。そこで何世代もの住民に対してどの程度のリスクになるのかを以下に述べる。

(注1) 放射線のリスク係数とは、単位被ばく線量当たりの生涯死亡率を言う。ここではリスク係数として、米国科学アカデミーのBEIR-V報告書⁽⁹⁾にある、一般人の0.1Svの全身被ばくの場合の男女平均の値の0.079/Svを用いることにする。

(注2) 住民の放射線被ばくによる被害の場合は、犠牲者の失う平均的な余命は30年となる。0.1Sv程度の放射線被ばく者の死亡は早い人で被ばく後数年、遅い人では数十年経過した後である。そこで、放射線被ばくによる犠牲者の発生は平均して被ばく後20年経過した後に発生すると考えるのが妥当であろう。すなわち乳幼児でも死亡するのは平均して20歳頃である。すると犠牲者の平均的な年齢は、20歳と平均寿命の80歳の平均値の50歳となる。従って犠牲者の失う平均的な余命は80(歳)-50(歳)=30(年)になる。

4.4.3.1 原子力発電所の格納容器破損頻度

原子炉施設には多数の事故防止のための機器が設置されて、嚴重な事故防止対策がなされている。従って幾つかの機器の故障や人の誤操作があっても燃料が大破損するような大事故には発展しない。しかしこの何重にも設けられた事故防止機器が同時にすべて故障するときには燃料の大破損事故が起こり得る。そしてさらに事故が発展すると格納容器が破損される。

第3章の確率論的リスク評価のレベル1およびレベル2の解析結果（アクシデントマネジメント策採用の場合）を再掲すると表4.4-3のようになる。

	BWR（／炉・年）	PWR（／炉・年）
炉心損傷頻度	8×10^{-9}	1×10^{-7}
格納容器破損頻度	5×10^{-8}	1.5×10^{-8}

表4.4-3 代表プラントの炉心損傷頻度および格納容器破損頻度

本節は住民のリスクを求めるものであるので、格納容器破損頻度に注目する。格納容器破損頻度は、BWR、PWRのうち高い値は 5×10^{-8} ／炉・年（1年間運転する原子炉1基あたり、格納容器の破損する頻度は1,000万年に0.5回）であるので、この値を用いることにする。

4.4.3.2 リスクの評価

上に述べたように、格納容器の破損の頻度は 5×10^{-8} ／炉・年と考える。またわが国の原子力発電所サイト当たりの原子炉の基数は、最大規模のもので10基と考える。日本人の平均寿命は80歳であるので、発電所周辺の住民が生涯の間に燃料大破損の事故に引き続き格納容器の破損事故を経験する確率は

$$5 \times 10^{-8} (\text{／基} \cdot \text{年}) \times 10 (\text{基}) \times 80 (\text{年}) = 4 \times 10^{-5}$$

となる。

4.4.2節で述べたように、原子力発電所が燃料大破損を起こし、大量の放射能が環境に放出される大事故によるリスクは、最大の被ばくをするグループで、過剰死亡確率が0.005、寿命の損失が0.15年である。発電所周辺の住民が生涯の間に大量の放射能放出事故を経験する確率は 4×10^{-5} であるので、原子力発電所そのもののリスクは、過剰死亡確率で

$$0.005 \times 4 \times 10^{-5} = 2 \times 10^{-7}$$

寿命の損失で表現すると

$$0.15(\text{年}) \times 4 \times 10^{-5} = 6 \times 10^{-6}(\text{年}) = 0.002\text{日}$$

となる。

この値を表4.6-1の「原発の重大事故－チェルノブイリ事故」のリスクとして載せている。

4.4.4 確率論的リスク評価による原子力発電所のリスク

4.4.2節および4.4.3節では、格納容器破損頻度は確率論的リスク評価のレベル2の結果を用い、格納容器から放出される放射能による住民のリスクはチェルノブイリ事故による被ばくのデータを用いて評価した。本節では、格納容器破損頻度は前と同じ値を用い、住民の被ばくのリスクは確率論的リスク評価のレベル3の解析結果を用いることにする。そして前と同様に、①原子力発電所の重大事故に遭遇したときのリスク、および②原子力発電所の重大事故のリスク（事故発生頻度を勘案したリスク）を求めることにする。

4.4.4.1 リスク評価の条件

4.4.2節および4.4.3節で用いたチェルノブイリ事故のデータは厳重管理区域の住民の被ばくデータである。すなわち厳重管理区域における住民の事故時の被ばく、および生涯における内部および外部被ばくを合計した線量に基づいてリスクを求めている。

確率論的リスク評価レベル3では、事故時の早期被ばくを求めているので、リスクを評価する条件は異なる。そこでできるだけ条件を似せるために、10kmの距離における住民が退避しない場合のリスクを求めることにした。

4.4.4.2 原子力発電所の重大事故に遭遇したときの住民のリスク

レベル3では過剰死亡確率（第3章では条件付平均個人リスクという語を用いている）を直接求めている。第3章の確率論的リスク評価レベル3の結果を用いると、表4.4-4のようになる。

	BWR	PWR
急性死亡	2×10^{-4}	3×10^{-3}
晩発性ガン死亡	4×10^{-3}	9×10^{-3}

表 4.4-4 距離10km、避難なしの場合の過剰死亡確率

表から、過剰死亡確率として最も大きい値を用いることにする。すなわち過剰死亡確率を 9×10^{-3} とする。

4.2.2節と同様に、事故により犠牲者の失う平均的な余命を30年と考えると

$$\text{寿命の損失} = 30\text{年} \times 0.009 = 0.27\text{年}$$

となり、これを日で表わすと100日となる。

この値を表4.6-1の「原発の重大事故に遭遇-PSA」のリスクとして載せている。

4.4.4.3 原子力発電所の重大事故のリスク(事故発生頻度を勘案したリスク)

4.4.3.2節に述べたように、日本人が生涯の間に、燃料大破損事故に引き続いて格納容器の破損に至る事故を経験する確率は 4×10^{-5} である。また前節で述べたように過剰死亡確率は 0.9×10^{-2} 、寿命の損失で0.27年であるので、原子力発電所そのもののリスクは、過剰死亡確率で

$$0.009 \times 4 \times 10^{-5} = 3.6 \times 10^{-7}$$

寿命の損失で表現すると

$$0.3\text{年} \times 4 \times 10^{-5} = 1.2 \times 10^{-5}(\text{年}) = 0.004\text{日}$$

となる。

この値を表4.6-1の「原発の重大事故-PSA」として載せている。