

# 原子力発電所の事故被害試算

京都大学原子炉実験所・原子力安全ゼミ

2004年6月9日

パク スンジュン

朴勝俊

京都産業大学経済学部講師

# はじめに：原子力発電所の 過酷事故の潜在的被害額について

- 従来から研究事例が少ない  
日本では科学技術庁/原子力産業会議(1960)
- エネルギーの「外部費用」推定の試み  
外部費用(期待リスク単価)  
$$= \frac{\text{被害総額} \times \text{年発生確率}}{\text{年発電量}}$$

欧州ExternEの発電外部費用推定(円/kWh)

| 原子力          | 石炭火力 | 石油火力 | 天然ガス | 太陽光 |
|--------------|------|------|------|-----|
| 1.0 正常運転     | 6.7  | 18.3 | 5.0  | 0.7 |
| 0.0006 事故期待値 |      |      |      |     |

# 参考：ドイツでの原発事故被害研究の比較

|   | Ewers/Rennings<br>1992   | Friedrich<br>1993        | Krewitt<br>1997                              |
|---|--------------------------|--------------------------|--|
| 0.原子炉型式   | ビブリスB<br>(1976年型)        | ビブリスB<br>(1976年型)        | 最新の加圧水型<br>軽水炉                               |
| 1.事故発生確率<br>一基あたり                               | 3.3万年に一度                 | 27万年に一度                  | 一千万年に一度                                      |
| 2.集団被曝線量<br>(百万人Sv)                             | 33.6                     | 4.2                      | 1.15   |
| 3.被曝死<br>(1万人Svあたり)                             | 約168万人<br>(ICRP=500)     | 約21万人<br>(ICRP=500)      | 約5.75万人<br>(ICRP=500)                        |
| 4.損害の金銭評価<br>・確率的生命価値(VSL)<br>・死亡被害総額           | 600万マルク/人<br>10.08兆マルク   | 530万マルク/人<br>1.113兆マルク   | 584万マルク/人<br>3360億マルク                        |
| 5.被害総額<br>・物的人的被害総額<br>・kWhあたり<br>c.f.GDPは約3兆DM | 10.697兆マルク<br>4.3ペニヒ/kWh | 1.181兆マルク<br>0.06ペニヒ/kWh | 9250億マルク<br>0.00086 Pf/kWh<br>0.00015 Pf/kWh |

出典：Hennicke und Lechtenböhrer 1999より作成<sup>3</sup>

## 原子力なんでも相談室 FAQ (よくある質問)

### Q 原子力発電所を関東近辺、東京湾に作らない理由はなにか

原子力発電は「安全」と答えがかえってきますが、「安全」ならなぜ関東近辺、東京湾に作らないのでしょうか？また、現状でもちょっと人里離れているような所ですがなぜ？建設費(土地代)より送電設備の維持費のほうが長い目を見た場合莫大な金額になるはずですが。

A 原子力発電所の立地選定に当たっては、次の事が重要な条件となっています。

- ・強固な地盤を有していること。
- ・冷却水(海水)が得やすいこと。
- ・広い敷地を確保できること。

わが国の都市は、一般的に大きな河川の沖積層の平野部に集まっています。これは地質学的にみて原子力発電所を立地できる強固な地盤とはいえません。これは東京湾、大阪湾近郊の地域も例外ではありません。

また、念には念を入れた安全対策として、現実には起こるとは考えられない、万一の事故を想定した場合でも、周辺の人々の安全を確保できるよう、原子炉立地審査指針に適合する十分な広い面積の用地を必要としますが、都市近郊では経済的で広大な土地を入手することは困難です。

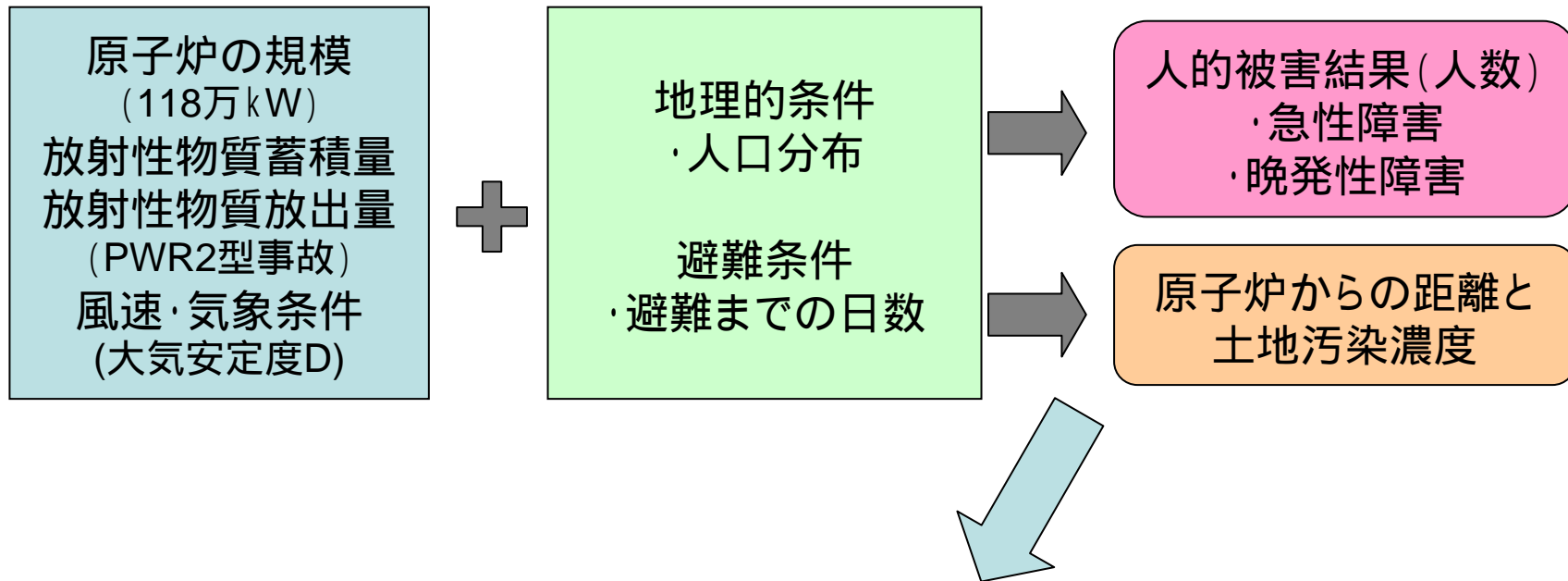
こうしたことから、大都市に原子力発電所を建設することは、現実には不可能です。

[所轄機関・部署] 資源エネルギー庁原子力政策課

(回答日:平成14年11月13日)

# 事故被害計算の考え方と手法

SEOコード(京大原子炉実験所・故瀬尾健氏)  
を関西で最大の大飯原子力発電所3号機に適用



**経済的被害計算**：SEOコードの被害者数の結果より人的被害額、土地汚染濃度より物的損害額を計算

# PWR2型事故(WASH-1400に基づく)

起因事象(第1期):「炉心冷却系の故障」  
すなわち、冷却材配管の破断や、蒸気発生器細管破断等による冷却機能の損失が考えられる

転機(第2期～第5期)  
緊急冷却機能等が十分に機能を発揮できないとき  
「炉心溶融」につながる

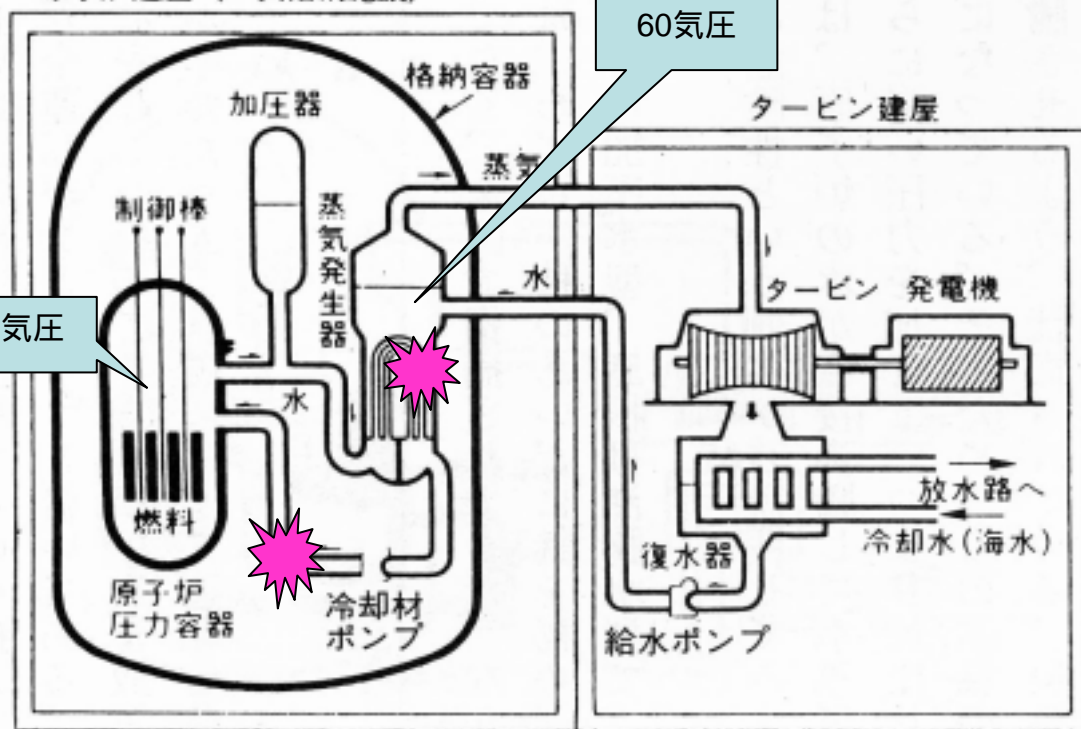
## 加圧水型軽水炉 PWR

原子炉建屋 (二次格納施設)

タービン建屋

60気圧

157気圧



結末(第6期～第7期)

「格納容器スプレイと熱除去系も故障するため、格納容器内の圧力上昇を抑えることができず、ついには格納容器の耐圧限度を突破して破裂する。かくして格納容器内に充満していた大量の放射能が環境に吹き出す」

(以上、瀬尾健氏の著書より引用)

# 本研究とチェルノブイリ事故における放射能蓄積量・放出量は 同じオーダーにある

| 万キュリー     | 半減期   | WASH-1400<br>内蔵量 | チェルノ<br>ブイリ<br>内蔵量 | WASH-1400<br>放出量<br>PWR2型<br>(放出率%)   | チェルノブイリ<br>放出量・推定<br>(放出率%) |
|-----------|-------|------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| ヨウ素131    | 8.05日 | 8500             | 3650               | 有機 59.5<br>(0.7)<br>無機 5950<br>(70.0) | 730 - 2540<br>(8.6 - 29.9)  |
| セシウム137   | 30.2年 | 470              | 770                | 235<br>(50.0)                         | 100 - 435<br>(13.0 - 56.5)  |
| ルテニウム103  | 39.3日 | 11000            | 11000              | 220<br>(2.0)                          | 72 - 1040<br>(0.7 - 9.5)    |
| ストロンチウム90 | 28.8年 | 370              | 550                | 22.2<br>(6.0)                         | 22 - 53<br>(4.0 - 9.6)      |
| ジルコニウム95  | 64日   | 15000            | 11900              | 60<br>(0.4)                           | 23 - 400<br>(0.2 - 3.4)     |
| セリウム144   | 284日  | 8500             | 8570               | 34<br>(0.4)                           | 14 - 460<br>(0.2 - 5.4)     |
| プルトニウム241 | --    | 340              | 470                | 0.031<br>(0.4)                        | 14 - 25<br>(3.0 - 5.3)      |

代表的核種のみ。参考：今中(1996)、小出・瀬尾(1997)、US-NRC(1975), Appendix IV7

# 事故被害の 地理的範囲

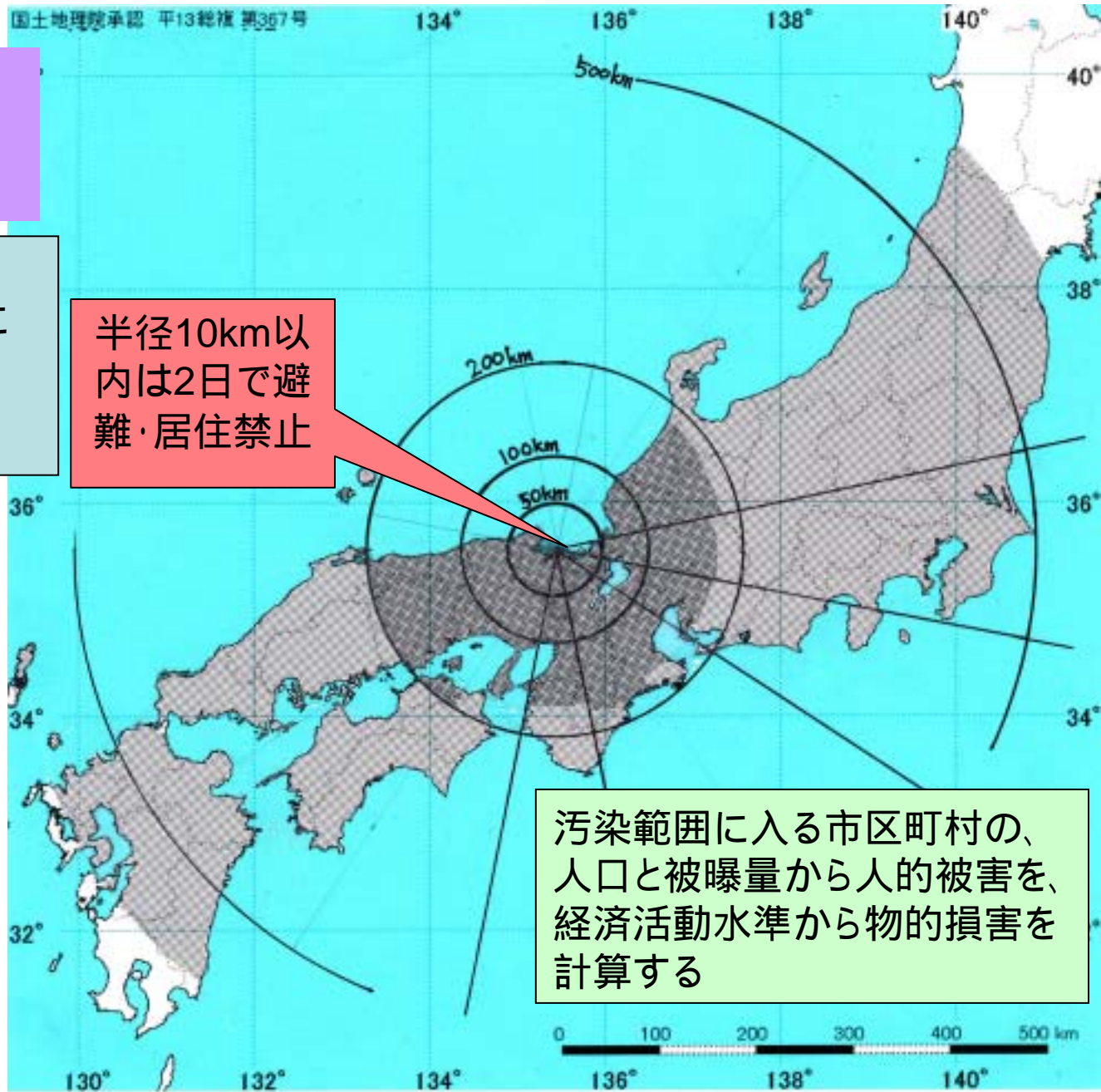
大飯3号炉を中心に、  
全方位を16の風向に  
分割して評価した  
(被害は一方向の風下の  
くさび形の範囲のみ)

半径10km以  
内は2日で避  
難・居住禁止

濃いアミが、  
高濃度汚染区域  
148万Bq/m<sup>2</sup>  
(40キュリー/km<sup>2</sup>)  
約2週間で避難・  
居住禁止

薄いアミが  
中濃度汚染区域  
18.5万Bq/m<sup>2</sup>  
(5キュリー/km<sup>2</sup>)  
居住許可・農業禁止

汚染範囲に入る市区町村の、  
人口と被曝量から人的被害を、  
経済活動水準から物的損害を  
計算する



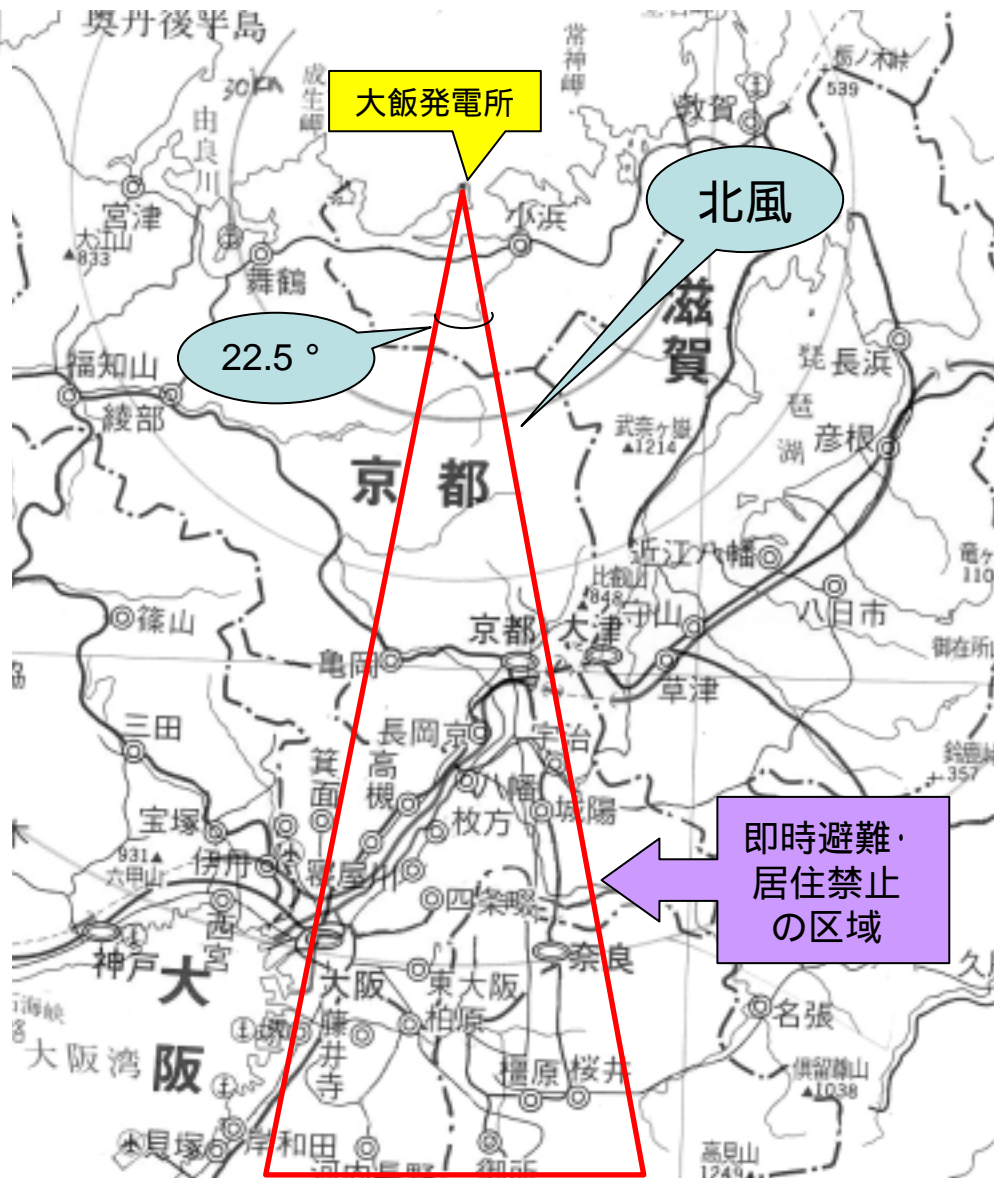


# 人的被害・物的損害の計算方法の概略

・発電所の風下22.5度の範囲を汚染地域とする。  
・役場所在地点の緯度・経度で市区町村全体を代表させる。自治体の人口データ・経済データ(年生産額等)を用いる。

・[人的被害]汚染地域の居住者・高濃度汚染地域の避難者の被曝量と人口から、死者・発病者の数を推計

・[物的損害]50年間の居住制限・農業生産制限等を仮定し、その間の生産・所得の損失額を物的被害額とする



# 事故被害計算の考え方(物的損害)

|      | 損害分類      | 損害項目       | 計算の仮定   | 単位損害仮定     |
|------|-----------|------------|---|------------|
| 物的損害 | 被曝防止措置    | 緊急避難・移住費用  | 移動交通費、一時宿泊(2週間)、<br>中期的居住(1年)                 | 39万円/<br>人 |
|      |           | 農産物廃棄損失    | 農業の年間粗生産額の半分<br>( 休耕時期は被害なし)                  | 市区町<br>村統計 |
|      |           | 漁業禁止による損失  | 近隣府県で3ヶ月間の漁業禁止                                | 市区町<br>村統計 |
|      | 人的資本の所得損失 | 一定期間の非就業   | 避難・強制移住・農業禁止の<br>対象者は1年間非就業                   | 市区町<br>村統計 |
|      |           | 転職に伴う賃金低下  | 1年後に再就職し、<br>賃金は30%下落                         | 市区町<br>村統計 |
|      | 物的資本の所得損失 | 土地・設備の所得損失 | 1480[kBq/m <sup>2</sup> ]以上の汚染地は<br>50年間の居住禁止 | 市区町<br>村統計 |
|      |           | 農地からの所得損失  | 185[kBq/m <sup>2</sup> ]以上の汚染地は<br>10年の農業禁止措置 | 市区町<br>村統計 |

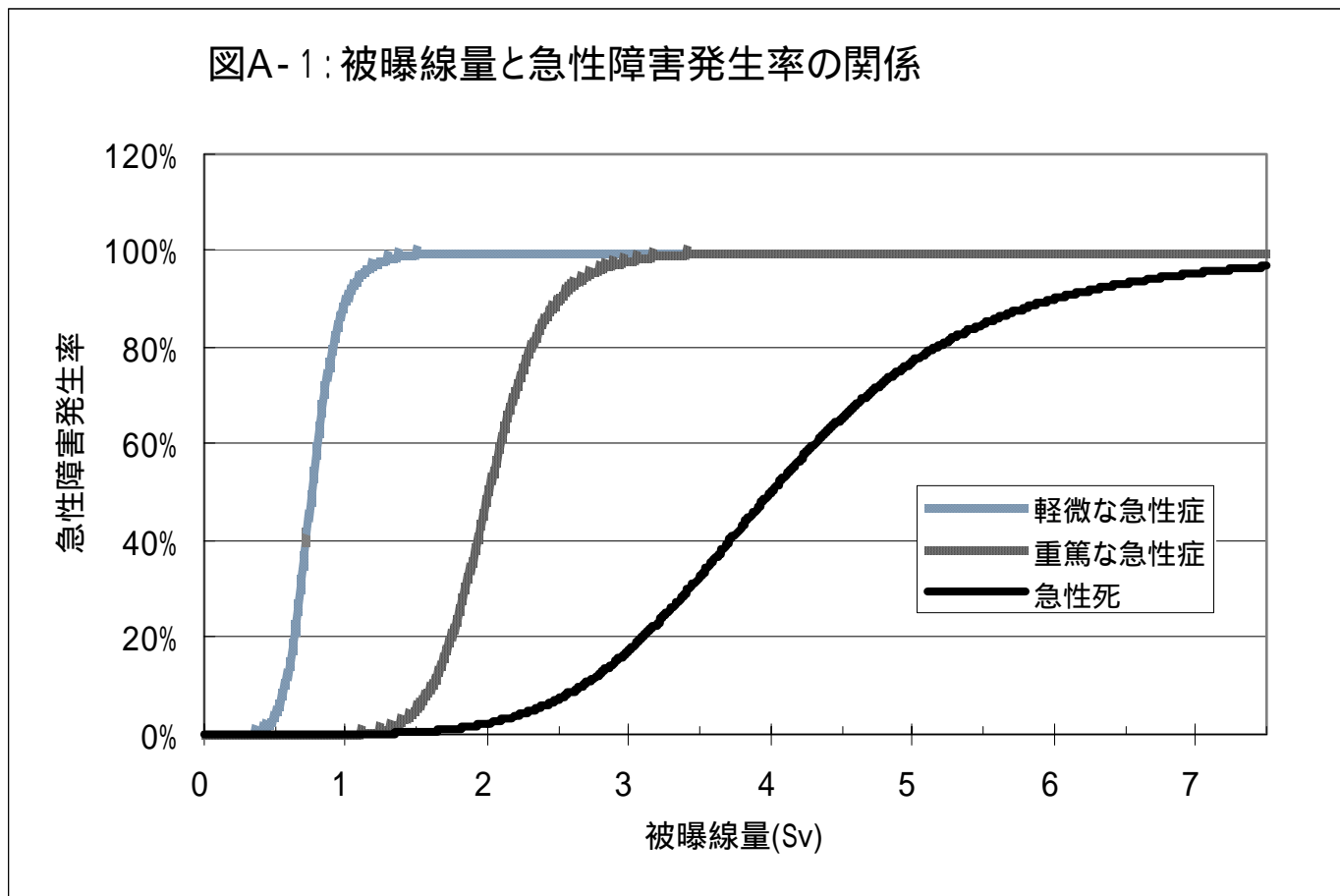
# 事故被害計算の考え方(人的損害)

|      |       |          |  |               |
|------|-------|----------|--|---------------|
| 人的被害 | 急性障害  | 軽微な急性障害  | 半数発症線量0.75[Sv]、<br>90%発症線量1.00[Sv]、治療費 | 3.0<br>万円/件   |
|      |       | 重篤な急性障害  | 半数発症線量2.00[Sv]、<br>90%発症線量2.50[Sv]、治療費 | 74.0<br>万円/件  |
|      |       | 急性死      | 半数致死線量4.00[Sv]、<br>90%致死線量6.00[Sv]、VSL | 45074<br>万円/件 |
|      | 晩発性障害 | ガン死      | 0.0500[件/人Sv]、<br>ICRPの1991年勧告に準ずる、VSL | 45165<br>万円/件 |
|      |       | 治癒される発ガン | 0.1235[件/人Sv]、ICRPの<br>1991年勧告に準ずる、治療費 | 196.1<br>万円/件 |
|      |       | 遺伝的障害    | 0.0100[件/人Sv]、ICRPの<br>1991年勧告に準ずる、治療費 | 75.7<br>万円/件  |

確率的生命価値(VSL)は欧州の外部費用研究(ExternE)で用いられた、**336万ユーロ(約4.5億円)**を利用

表A-5:被曝線量と急性障害発生率の関係

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



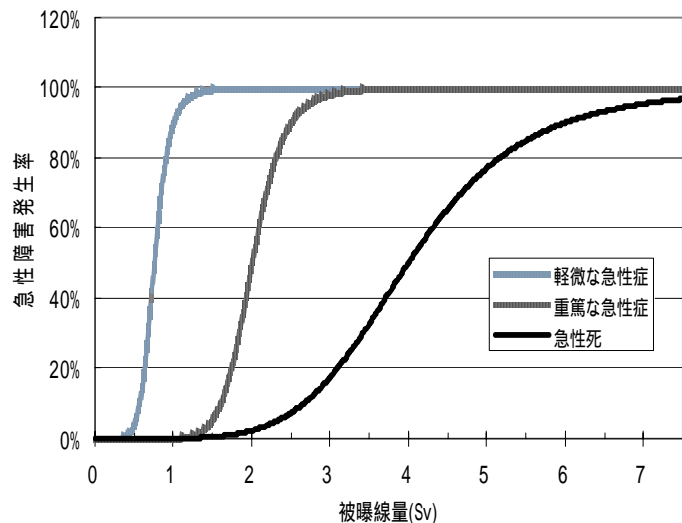
# 人的被害の計算例



## 名田庄村

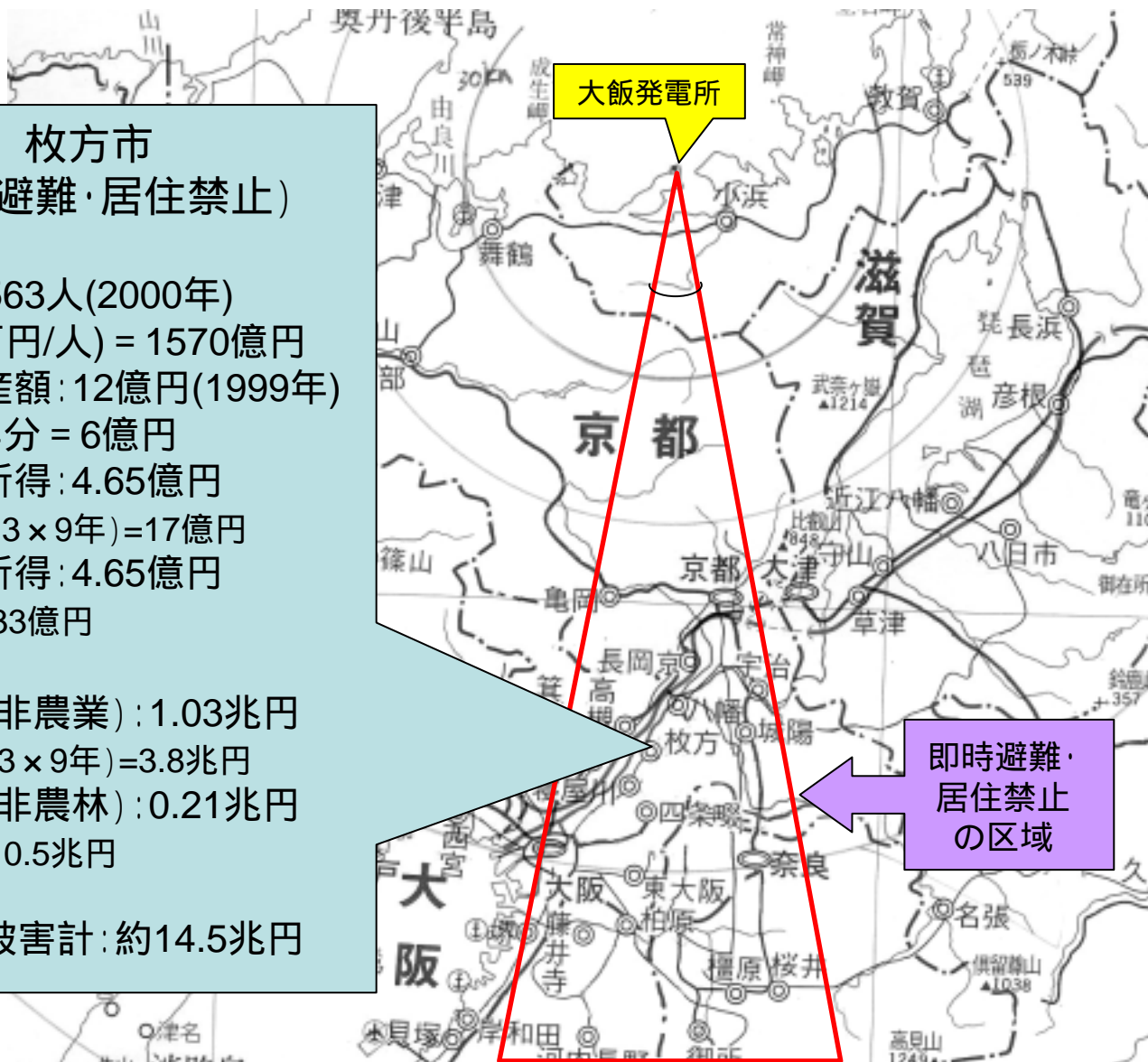
人口: 2952人(2000年)  
 距離: 17.8km  
 被曝量(SEOコード結果)  
 短期 2.453[Sv]  
 急性死比率 7.86%  
 急性死数 233人  
 重篤急性症 91.3%  
 発病者数 2695人  
 長期 3.651[Sv]  
 集団被曝量 9927[人Sv]  
 (生存者のみ、2952-233人)  
 ガン死係数 500[万人Sv]  
 推定ガン死数 496人

図A-1: 被曝線量と急性障害発生率の関係



即時避難・  
居住禁止  
の区域

# 物的損害の計算例



枚方市  
(即時避難・居住禁止)

人口: 402563人(2000年)  
× 39(万円/人) = 1570億円  
農業粗生産額: 12億円(1999年)  
× 0.5年分 = 6億円  
農業労働所得: 4.65億円  
× (1年+0.3×9年) = 17億円  
農業資本所得: 4.65億円  
× 50年 = 233億円

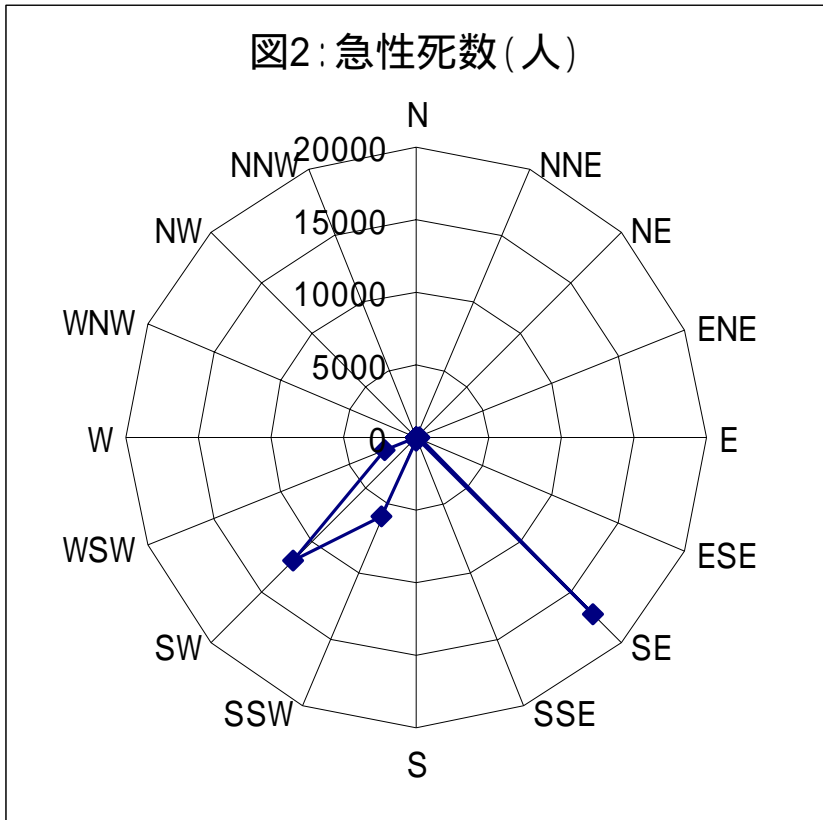
労働所得(非農業): 1.03兆円  
× (1年+0.3×9年) = 3.8兆円  
資本所得(非農林): 0.21兆円  
× 50年 = 10.5兆円

50年間の被害計: 約14.5兆円

# 人命被害の件数

これ以外にも死に至らない障害が数倍の数で発生する  
速やかな避難と居住禁止措置を前提に計算した

図2: 急性死数(人)

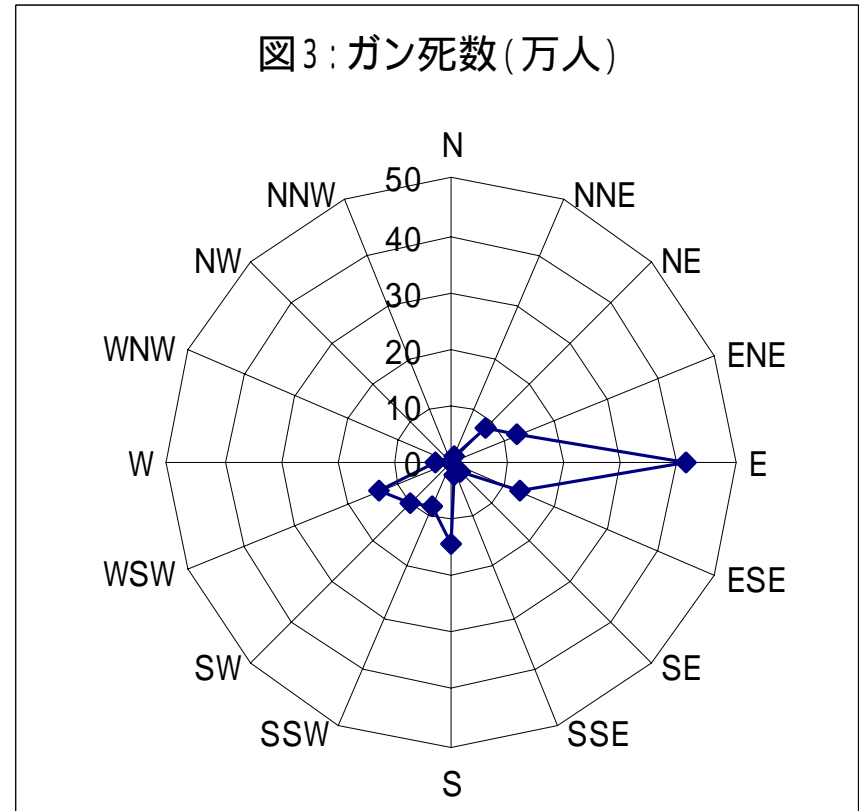


件数の多い方向

- ・南東: 17072人
- ・南西: 11871人

近隣市町村の役場の方角

図3: ガン死数(万人)



件数の多い方向(50年間)

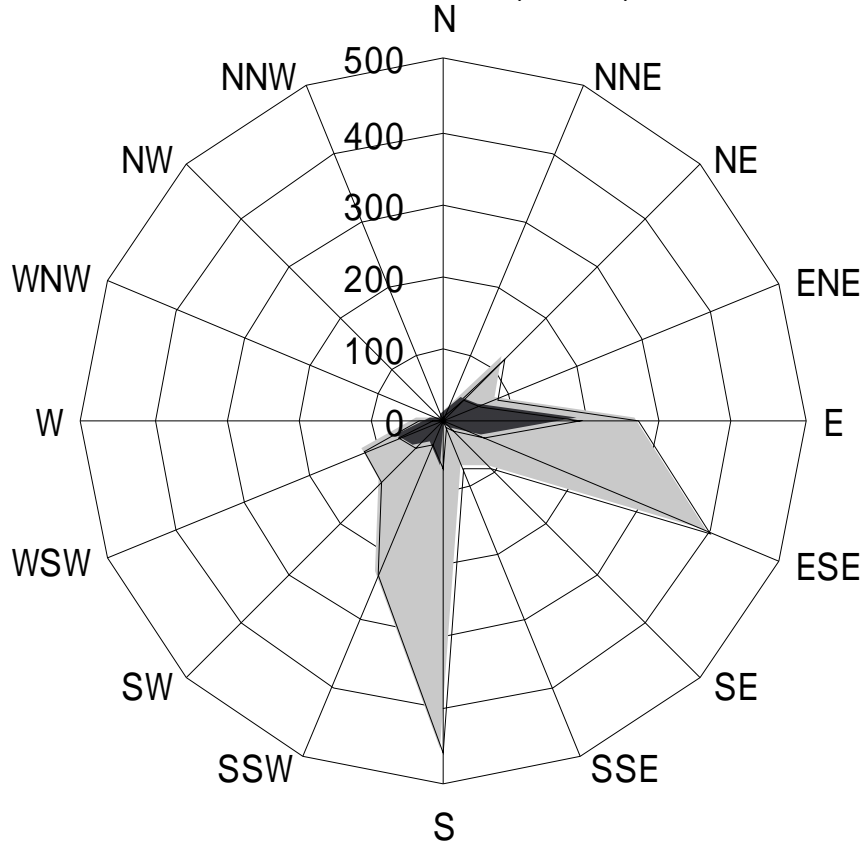
- ・東: 409820人
- ・南: 145233人
- ・西南西: 139468人 など



# 人的・物的被害総額

50年間にわたる被害額(割引率ゼロを仮定)

図4:被害総額(兆円)



計算では、事故直後の速やかな避難と、居住禁止措置のため、人的被害は抑制されている。

半面、居住不能とされた地域での経済的損失が大きくなる。

人的被害の大部分は晩発性障害に伴うものであり、現実には因果関係の立証は困難

|     | 人的被害  | 物的損害  | 総被害額  |
|-----|-------|-------|-------|
| 東   | 187兆円 | 81兆円  | 268兆円 |
| 東南東 | 61兆円  | 340兆円 | 401兆円 |
| 南   | 66兆円  | 391兆円 | 458兆円 |
| 平均  | 24兆円  | 79兆円  | 104兆円 |

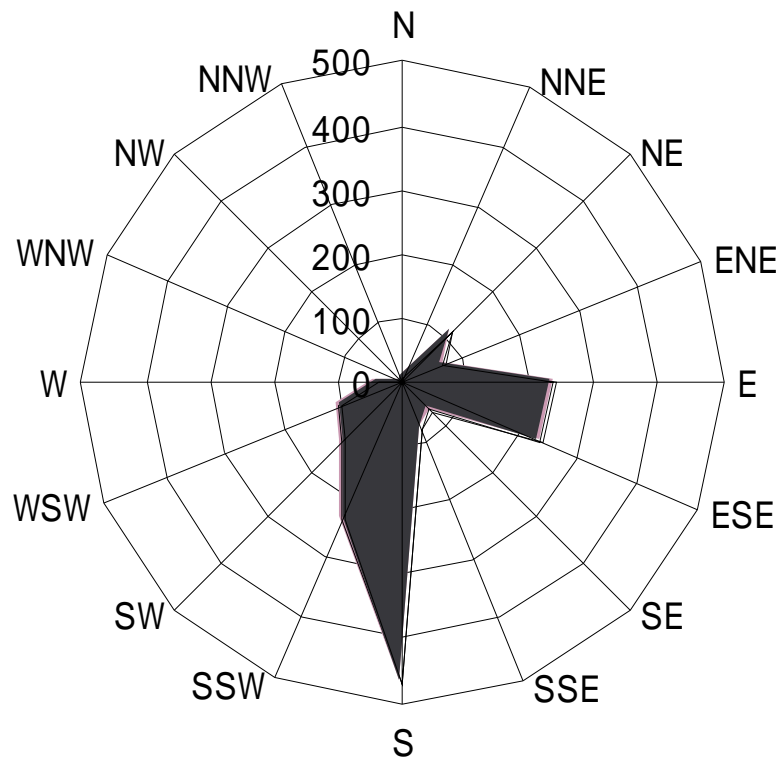


# 感度分析：人的・物的被害総額

## 居住禁止区域を半径50kmに制限した場合

### 50年間にわたる被害額(割引率ゼロを仮定)

図7：居住禁止を緩和した際の被害総額(兆円)



大都市圏での居住・経済活動が認められることで、物的被害は大幅に抑制できるが、発ガンに伴う人的被害が大きく増加する。

|     | 人的被害  | 物的損害 | 総被害額  |
|-----|-------|------|-------|
| 東   | 234兆円 | 8兆円  | 241兆円 |
| 東南東 | 235兆円 | 4兆円  | 239兆円 |
| 南   | 467兆円 | 3兆円  | 458兆円 |
| 平均  | 90兆円  | 3兆円  | 93兆円  |

参考：基準的計算の結果

|     | 人的被害  | 物的損害  | 総被害額  |
|-----|-------|-------|-------|
| 東   | 187兆円 | 81兆円  | 268兆円 |
| 東南東 | 61兆円  | 340兆円 | 401兆円 |
| 南   | 66兆円  | 391兆円 | 458兆円 |
| 平均  | 24兆円  | 79兆円  | 104兆円 |

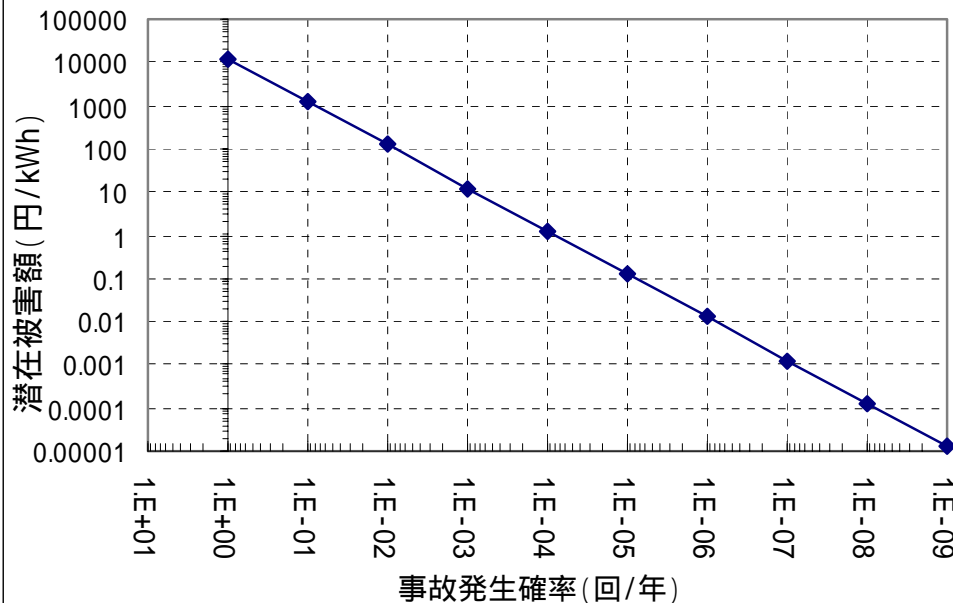
# おわりに：問題提起

(1)原子力損害賠償制度は充分か？

損害賠償措置(保険等)の額は600億円

(2)「事故確率(回/炉年)」と「外部費用(円/kWh)」

図8：1kWhあたりの潜在的被害額と事故発生確率との関係



左のグラフにおいて、仮想事故の潜在的被害額は平均値(103.5兆円)を仮定した。

PSAによる事故確率の推定が、他の電源との外部費用比較の際にもっとも大きな影響を与えている。

「外部費用」を電源選択の基準としてよいのか？