

JAERI-Review



JP0550303

2005-021



エネルギー生産に関するリスク評価について

2005年7月

国井 克彦

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2005

編集兼発行 日本原子力研究所

エネルギー生産に関するリスク評価について

日本原子力研究所東海研究所エネルギーシステム研究部
国井 克彦

(2005年4月1日 受理)

発電などのエネルギー生産が健康や環境に与えるリスクは、今日では無視できないほどに大きくなっている。そこで本報では、まずリスクの評価の現状や課題について知るため情報収集を行った。レポートや文献を情報源とし、主に発電技術の外部コスト評価(健康や環境リスクの定量化が扱われている)について調べたが、そのほか災害、事故、投資・金融などのリスクおよびそれらの産業社会への影響等についても調べた。得られた主な知見は以下の通りである。i) 既往の発電技術の外部コスト評価では、技術やサイトなど評価条件がほぼ同じでも値が大きく異なる場合がある。信頼性も含めて、基礎データ、評価モデル、評価の背景、適用制約などに留意する必要がある。ii) 特に現段階では、基礎データが十分蓄積されていないため評価の信頼性は十分とはいえないと考えられる。

On Risk Assessment of Energy Production

Katsuhiko KUNII

Department of Nuclear Energy System
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 1, 2005)

Today we cannot ignore the risk of health and/or environment by energy production such as power generation since the risk has been made large enough. In this report an information survey has been done in order to know the outline and points of risk assessment. Based on the information of reports and literature about risk assessment, have been surveyed mainly the external cost assessment of power generation (in which quantification of health and/or environment risk has been done), in addition, risks of disasters, accidents, investments, finance etc. and impacts of those risks on social activities. The remarks obtained by the survey are as follows: i) Some of external cost assessment of power generation show different results even if the assessment conditions of technology, site, etc. are mostly the same. It is necessary to remark on the information such as basic data, model, background, application limit of assessment considering the reliability. ii) Especially it is considered that the reliability of risk assessment is not enough at present because of the lack of basic data.

Keywords: Risk, Assessment, External Cost, Power Generation

目 次

1. はじめに -----	1
2. 健康・環境リスク評価 -----	4
2. 1 各種エネルギー発電の外部性 -----	4
2. 2 原子力発電の外部性およびリスク -----	21
2. 3 まとめ -----	23
3. 各種のリスク評価の基礎情報 -----	24
3. 1 各種の災害および事故による価値損失 -----	24
3. 2 産業および経済における損失などの影響 -----	24
3. 3 リスクの認知とコミュニケーション -----	25
3. 4 その他の基礎情報 -----	26
3. 5 まとめ -----	26
4. おわりに -----	28
謝辞 -----	29
引用文献 -----	30
 付録 1 文献 Tables -----	31
付録 2 原子力発電外部コスト評価のレビューから -----	51
付録 3 リスク評価に関する参考情報 -----	65
付録 4 原子力発電の外部性評価留意事項（日本の場合）-----	74
付録 5 外部性の側面から見た日本のエネルギーセキュリティ概念 -----	75
付録 6 国民・行政(監督者)・産業界(事業者)により異なるリスク観 -----	79

Contents

1 . Introduction -----	1
2 . Health and/or Environment Risk Assessment -----	4
2. 1 Externality on Power Generation -----	4
2. 2 Externality and Risk on Nuclear Power Generation -----	21
2. 3 Summary -----	23
3 . Fundamental Information on Other Risks' Assessments -----	24
3. 1 Loss of Values Caused by Disasters and Accidents -----	24
3. 2 Socioeconomic Influences Such as Losses -----	24
3. 3 Acceptance and Communication on Risk -----	25
3. 4 Other Information -----	26
3. 5 Summary -----	26
4 . Concluding Remarks -----	28
Acknowledgement -----	29
Backward Citation -----	30
 Appendix 1 Literature Tables Surveyed -----	31
Appendix 2 Quotation from a Review on Assessment of Nuclear Power Generation External Cost -----	51
Appendix 3 Supplementary Remarks on Risk Assessment -----	65
Appendix 4 Remarks on Assessment of Nuclear Power Generation Externality (In the Case of Japan) -----	74
Appendix 5 Japan's Energy Security from a Viewpoint of Externality -----	75
Appendix 6 Thoughts of Risk of the Public, Government and Power Generation Companies -----	79

1. はじめに

昨今、発電による電気エネルギーなど各種のエネルギーがより快適に利用されるためには、安全の確保やコストの抑制などに加え、人々の健康や環境に影響が少ないと資源の供給が安定的になされることなど、いわゆる安定や安心が求められるようになってきた。これは、安定や安心を脅かす潜在的な恐れすなわちリスクが、発電などのエネルギー生産において考慮されねばならなくなつたことを意味している。そこで、リスクの十分な評価が求められるといえる。その基礎として、エネルギー生産に関するリスク評価の現状を知るための情報収集を行った。情報源は各種のレポートや文献とし、主に発電技術の外部コスト評価(健康や環境のリスク評価の定量化が扱われている)について調べた。また併せて災害、事故、投資・金融などのリスクおよびそれらの産業社会への影響等も調べた。本報告では、評価例など得た情報をあげながら、リスク評価の現状および課題などについてまとめた。

(i) リスクに関する情報

リスク評価に関する有用な情報は現在多くない。おおむね健康や環境などのリスクに関する情報が社会の各分野に散在している。具体的にいえば、健康・環境のリスクでは、進展が著しい外部性評価の結果(外部コスト等)が有用な情報であるが(健康・環境リスクの定量化が扱われ、リスクの低減に寄与するものと考える)、評価の信頼性は低い場合が多い。一方、その他のリスクに関しては(外部性関連以外の健康・環境のリスク、投資等の経営リスク、事故・災害のリスク、人間の心理に関わるリスクなど)、情報および評価例共に少なく、事例があったとしても基礎データ不足、適切な手法がないことなどから情報に信頼性、不確実性等が多々あるのが現状と考えられる。本報告はこのような状況下で集めた情報に基づきまとめたものである。得られた情報には偏りがあり基本的に情報不足の中での議論、記述となっていることは否めない。しかしながら、リスク評価の現状、課題および今後の評価の取り組み等について可能な限り有用な知見や見方を拾い上げるように努めた。

本報告において収集した情報は項目別に以下の通りである。抄録は付録1にまとめている。

①主に健康・環境リスク(外部性評価関連) (情報総数: 30件)	(本文中節番号)	(付録1)
・外部性評価およびリスク評価事例 (健康、環境など)	(15件) 2.1	文献 Table 1)
・原子力発電の外部性評価事例	(15件) 2.1, 2.2	文献 Table 2)
②各種のリスク (情報総数: 47件)		
・各種の災害および事故による損失	(8件) 3.1	文献 Table 2)
・産業、経済に対する影響、損失	(8件) 3.2	文献 Table 2, 4)
・リスクの認知とコミュニケーション	(16件) 3.3	文献 Table 5)
・エネルギー価格不安定のリスク、 金融技術によるリスクヘッジ	(6件) 3.4	文献 Table 6)
・エネルギーセキュリティ	(4件) 3.4	文献 Table 7)
・気候変動のリスク	(3件) 3.4	文献 Table 8)

(ii) 本報告の構成

本報告における記述内容のすべてはこの付録1の情報にもとづいている。2、3章は付録1の上記①、②の中で主な事例を引用あるいは参照する形で記述されている。2章ではExternE(Externalities of Energy)研究など発電に関する外部性研究、3章では災害や事故などリスク評価の基礎として不可欠な各種の損失に関する情報、リスクの産業社会への影響評価等について調べた内容について記した。各章のまとめはその事例にとどまらず、付録1の中で関連する情報も含め考察、検討された内容を記した。なお、2章で健康および環境のリスクに関して外部性評価を取り上げたのは、外部性評価(外部コスト等)の中で健康・環境リスクの定量化が扱われており、その結果がリスクの評価やその低減につながる有用な情報を与えていると考えたからである。また、外部性評価は進展が著しく多くの情報が与えられているという背景もある。なお、2、3章では取り上げなかったが参考になった情報があるため、本文とは別に最後に付録3としてそれらを記した。体系だったものではなく、概して孤立した情報で詳細さにも欠けるため、参考情報としてあげるにとどめたが、リスク評価を異なる視点からとらえようとするなど有用なものも含む。関連する事柄を付録4から6に記した。

(iii) 本報告におけるリスクおよび外部性のとらえ方

Fig.1は本報告で取り上げているエネルギー生産に関するリスクについて、社会一般のリスク、発電の外部コスト(外部性)などとの関係を模式的に示したものである。エネルギー生産に関するリスクは、環境、財務など社会の多方面のリスクと関係することがある。図では、災害、化学物質などのリスクをその例として示した。なお、発電の外部性をリスクの中に置いている。これは、外部性は下記のようにリスクとは概念的に異なるものであるが、上述のように外部性評価(外部コスト評価)の中で健康・環境リスクの定量化が扱われており、本報告でそれを対象にしたことによるものである。また、エネルギーセキュリティや国際情勢、政治や経済情勢に起因するリスクとされるものについては本報告では詳しくは取り上げていない。その影響についてのみ簡単に触れている。

また、本報告では2章の健康・環境リスク評価の中で外部性評価を取り上げているが、それらの違いは以下のようである。

リスク：生命の安全や健康、環境、資産、経済的利益などに対する潜在的危険性。

外部性：市場機構の外部におかれた経済的影響。正、負あり。

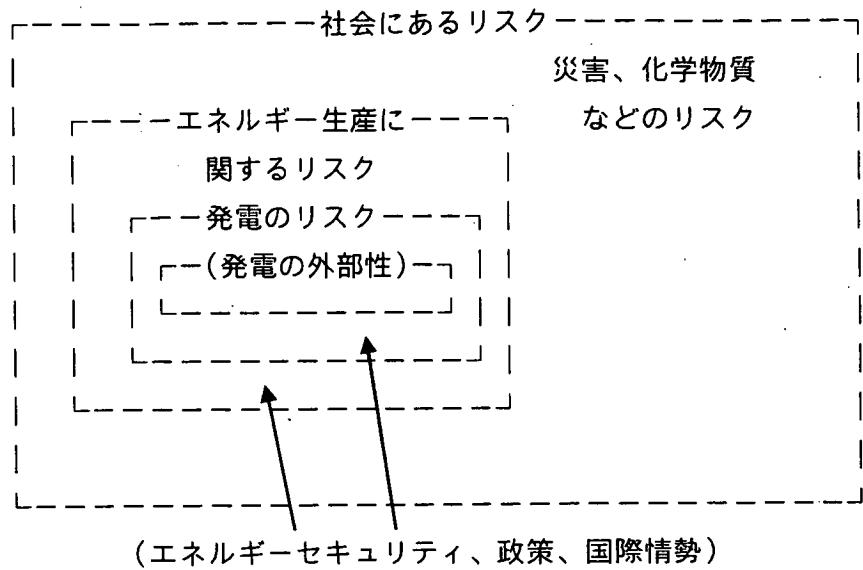


Fig. 1 A diagram of risks connecting with energy production

(iv) 各種情報や評価結果の詳細

本報告では各種情報や評価結果の詳細についてはあまりふれていない。その詳細は引用文献や付録1にあげた情報源に記されているため、そちらを参照されたい。評価に到った経緯・背景、方法、制約、結果等がよくわかるようになっている。

2. 健康・環境リスク評価

発電技術などの外部性評価は、その中で健康や環境に関するリスクの定量化を扱っており、その結果はリスクの評価や低減のために有用な情報を与えていると考える。健康や環境へのダメージがコストという形で表現され、リスク評価にとって有用な指標となるからである。外部性評価には近年大きな進展が見られ貴重な情報も提供されるようになった。しかし、その評価にも信頼性の問題など種々の課題が見られる。本章では、付録1 文献 Table 1), 2)にあげた情報の中から ExternE 研究など主なものをとりあげ、評価の課題や今後の取り組み方など、外部性評価において重要と考えられる事柄をまとめた。

2. 1 各種エネルギー発電の外部性

(i) ExternE 研究

EUにおいて発電技術の外部性評価が実施され、外部コストをはじめとするデータが公開された¹⁾。外部コスト評価のための手法の開発およびその EU 各国への適用、評価を主な目的とし、1991 年から 1997 年までフェーズ I、II、III として実施し、フェーズ III では、国別実施プロジェクトとして EU の 15 カ国が 60 を超えるケースを取り上げ検討している。これは 12 種の発電技術(化石燃料；石炭、褐炭、ピート、石油、オリマルジョン、天然ガス、原子燃料；PWR 軽水炉、再生可能エネルギー；バイオマス、水力、風力、太陽光、その他；都市ゴミ発電)を含むものである。ここでは、その主な結果である①電源別外部コスト、②国別外部コスト(発電プラントのみ)、および③影響項目別外部コスト(石炭でイギリス、ドイツの場合)を、それぞれ Fig.2.1、Fig.2.2、Table 2.1 に示す(③は中味は ExternE からであるが Sundqvist によりまとめられたもの²⁾である)。

これらの評価結果から得られる所見および留意点は以下の通りである。①の電源別の比較では、外部コストは概して、再生可能エネルギー、原子力で小さく、化石燃料では大きい。これは、化石燃料では大気汚染物質の排出による健康や環境への影響が大きいためで、その損失として大きなコストが算定されている。また②の国別(発電プラントのみ、他の燃料サイクル部は含まず)では、旧東ドイツで大きいのが目立つが全体的には国ごとの違いが大きいといえる。これは各国で各種の発電プラントが異なる状況で運用されていることによる。すなわち、欧州中央部と周縁部という都市部と地方などの立地の違いによる影響範囲の違い、発電技術と公害防止技術・規制の違い、などである。なお、①と②では評価値が大きい場合と小さい場合(①ではそれぞれ Highest damage, Lowest damage、②では High, Low と表記)を併記している。これは、コスト算定の過程で設ける条件が種々あり(例えば入力データの違い)、評価コストはその条件の選び方により大きく異なるためである。最大値と最小値の差は多くの場合で大きな差があり 10 倍を超えるものもある。よって、評価値の参照にはこの事実に十分留意する必要がある。また、別の留意点もある。すなわち、①の各電源の値、また②の各国の値は、本来 EU 各国の各サイトの各電源で大きく異なっている値を、それぞれ単純平均したものとなっていることである。①、②の結果にあわせて、その平均前の値が元々異なっていたと言うことについても留意すべ

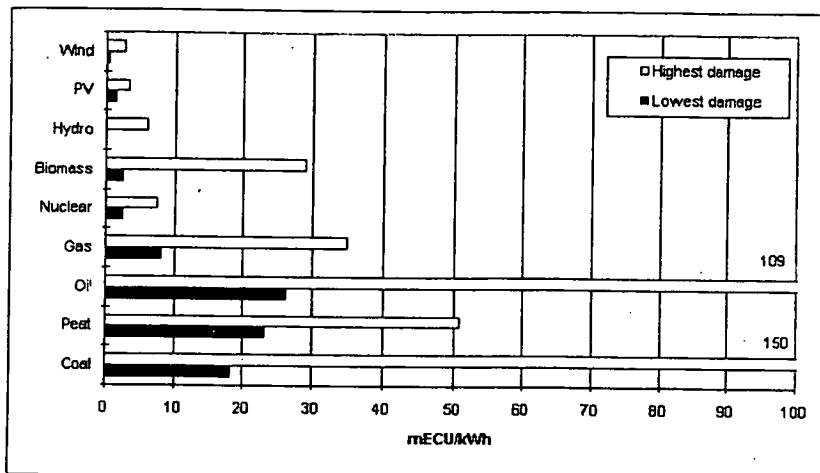
きである。

③は外部コスト評価の過程で算定する健康、建物などへの影響を細分化して示した例である。石炭の場合でドイツとイギリスについて示している。ともに先進国で同じような石炭火力発電技術を用いていると考えられるが、多くの項目で算定値に大きな違いがあることがわかる。また、③は評価の不確実性も示しており、不確実性は大きい場合が多いといえよう。

ExternE 研究を通じて①,②のような EU の電源別および国別外部コストが導き出された意義は大きい。概ねどれくらいのコストになるか、一種の基準を示し外部性研究の基礎を強固にしたといえる。原文⁴⁾でもそれを裏付けるように「外部性評価に関する不確実性がある下でも、このようなアウトプット(外部コスト)は国や EU レベルでの政策決定に役立つもの」との記述がある。

なお、ここでは各外部コストの比較や各算定の中味、意味合い等 ExternE 研究の詳細な内容について記述しなかった。原文はそれらのことさらに各国別の評価の中味等について詳しく紹介している。

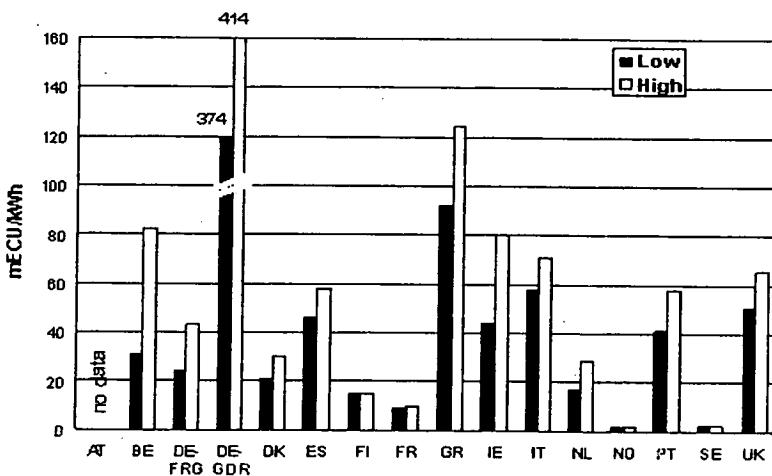
①電源別外部コスト



(Source. 1))

Fig.2.1 Overview of results per fuel cycle: for each cycle the case (technology, location) with the lowest and with the highest damage is given.

②国別外部コスト(発電プラントのみ)



Where,

AT ; Austria, BE ; Belgium, DE-FRG ; West Germany, DE-GDR ; East Germany, DK ; Denmark, ES ; Spain, FI ; Finland, FR ; France, GR ; Greece, IE ; Ireland, IT ; Italy, NL ; Netherlands, NO ; Norway, PT; Portugal, SE ; Sweden, UK ; United Kingdom

(Source 1))

Fig.2.2 Mean externalities of the electricity supply industry in 15 European countries

③影響項目別外部コスト(石炭火力発電に関するイギリスとドイツの比較)

Table 2.1 Externalities quantified and monetized in the ExternE Coal Study

Monetized Impact	Fuel Stage	Quantification Basis	Monetary Basis	Uncertainty	Total Estimate US cents/kWh
<i>Public health</i>	Generation	Air emissions: PM & O ₃ (G)	Air emissions: Mortality:	Medium-High	0.54 (UK) & 1.82 (G)
	Transportation	only): <i>Dose-response functions</i>	VSL Morbidity: Benefit transfer (<i>WTP to avoid different symptoms</i>)		
		<i>Accidents: National accident rates</i>	<i>Accidents: Benefit transfer</i>		
<i>Occupational health</i>	Mining	Air emissions: Diseases	Air emissions: Mortality:	Low-High	0.11 (UK) & 0.32 (G)
	Quarrying	(Radon): <i>Estimated data, Dose-response functions</i>	VSL Morbidity: Benefit transfer (<i>WTP to avoid different symptoms</i>)		
	Construction				
	Generation	<i>Accidents: National accident rates</i>	<i>Accidents: Benefit transfer</i>		
	Transportation				
<i>Materials</i>	Generation	Air emissions: SO ₂ & acidification: <i>Dose response functions</i> PM: <i>Emission data</i>	Air emissions: SO ₂ & acidification: <i>Repair costs</i>	Low-High	0.11 (UK) & 0.03 (G)
			PM: <i>Cleaning costs</i>		
<i>Agriculture</i>	Generation	Air emissions: SO ₂ , O ₃ (G only) & acidification (UK only): <i>Dose response functions</i>	Air emissions: SO ₂ & O ₃ : <i>Crop losses evaluated at market prices & acidification: Mitigation costs</i>	Medium-High	0.004 (UK) & 0.003 (G)
<i>Forestry</i>	Generation	Air emissions: O ₃ (G only) & acidification: <i>Dose response functions (G) & physical timber losses (UK)</i>	Mitigation costs (G) & Market prices (UK)	High	0.0006 (UK) & 0.001 (G)
<i>Amenity</i>	Generation Transport	Noise	Benefit transfer	High	0.02 (UK)
<i>Aquatic</i>	Generation	Air emissions: Acidification: <i>Estimated SO₂ & NO_x emissions</i>	Mitigation costs	Medium	0.0002 (UK) & 0.001 (G)
Aggregate:					0.86 (UK) & 2.25 (G)

Legend: G Lauffen, Germany

UK West Burton, UK

(Source 2))

(ii) 外部性評価の Sundqvist によるレビュー

上記の ExternE 研究は 1991 年から 1997 年まで EU の国々を対象にした発電システムの外部コストを算出している。ここでは、その ExternE 研究、さらにそれ以前のものも含むより時間的、地理的に広範囲な各種の外部性評価に対する Sundqvist のレビュー²⁾について記す。このレビューでは、発電技術の仕様やサイトなどの評価の背景や条件は統一されたものではないが、長期に渡る評価値、各種の評価法による評価値などを統計処理し、最大値、最小値およびその範囲、中央値などを求めている。その結果から、これまでなされてきた外部性評価の特徴、結果の意義、問題点などを分析し考察している。前記のように ExternE 研究の結果に関してもいくつかの課題が考えられたが、Sundqvist もより広い範囲で外部性評価について課題を指摘している。以下に、このレビューで示された代表的な図と表について記した。各種の評価の比較の結果として示されたものである。付記された Sundqvist によるコメントは以下のようである。

① 電源別外部コスト (Fig. 2.3)

- ・ 各評価値は幅広く分布している。どの電源でもそれが当てはまる。
- ・ その評価値の幅は各電源について互いにオーバーラップし違い見えなくしている。
- ・ ひとつの評価結果だけを見るならバイアスがある可能性があろう。
- ・ 評価値の幅はプラントの設置位置、評価上の仮定やデータなどの違いによって説明されるあろう。

② 年代別外部コスト (Fig. 2.4)

- ・ 最近の'90 年代後半は、以前より値の幅が大きくなつたといえよう。

③ 国別外部コスト (Fig. 2.5)

- ・ 西側諸国であれば国別の差は大きくない(値の幅が 10^2 内に収まっているため)。
- ・ 生じる差は発電所立地点の違いによるものであろう。

④ 評価方法別外部コスト (Fig. 2.6)

- ・ 異なる方法が異なる値を与えるとはいえない。各方法で Median Value が同じようだからである。なお Bottom-Up 法でレンジが広いのはおそらく適用例が多いためと考えられる。

⑤ ボトムアップ法の場合の年別損失コスト (Fig. 2.7)

- ・ 年により異なり、かつその違いの幅が大きくなる傾向がある。

(註； 図中 1999 年の値は一つの評価結果にのみよるもの)

⑥ 排出大気汚染物質に関する損失／低減コストの仮定値 (Table 2.2)

- ・ 概ね、低減コストは損失コストに比べ大きく評価されている。

これらの図、表および Sundqvist のコメントなど、このレビューに述べられた主要な情報についてまとめると以下のようになる。

①から⑥の結果は、これまでの評価結果を電源別などそれぞれの視点からとらえると大きな差があることを示している。中央値に注目するなど結果を控えめに見ても、2 倍から大きい場合で優に 10 倍を超える場合もある。なお、その要因については次の差異によるものとしている。

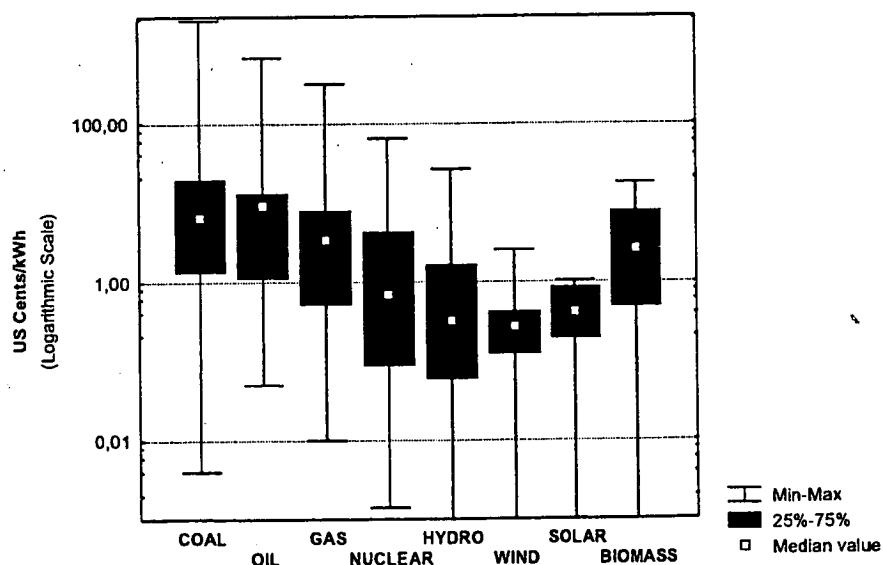
- ・ 対象地域 ・・・ 国や地域で発電技術、影響住民数が異なる など
- ・ 適用方法 ・・・ 低減コスト、損失コスト、トップダウン、ボトムアップ法の違い

- ・対象年 近年はボトムアップ法による評価が多くなっている
- ・対象発電プロセス どの発電プロセスまで含むかの差異
- ・評価の前提、仮定 汚染物質排出量、規制に含まれる内部化の程度などの違い

このような結果から、このレビューでは、一般に外部性の評価には個別性、すなわち各々の評価の値に差が顕著であること、また各々の評価結果の吟味には、各々の評価対象地域や技術などの差異によく配慮すべきこと、を強調している。すなわち、基本的に各評価の中身を知ることが求められるといえよう。また、Sundqvist のレビュー結果を見ると、評価の対象・条件等が同様でも、評価値にひらきが生じ最大値－最小値の差が大きい場合が多いことがわかる。また、外部コストについて、各種の発電技術の平均値、またある国・地域や評価法別の平均値を求めたとしても、この顕著な個別性があるために、その値の平均あるいは代表としての意味合いは薄いということになるといえよう。

このレビューは広範囲に及ぶ数多くの評価データ(主に外部コスト)を総括的に扱い、それらを最大－最小の範囲、中央値などとしてまとめており、その評価の意義は大きい。ただし、評価データは条件等で独自の背景を持つにもかかわらず、統計処理は同一の単純な手法で行うにとどまっていること(それ以外の処理は困難)、また、特に 20 年前など古くに評価されたものは、モデルやデータ不足という時代背景があることなどから、評価の確からしさにはかなりの問題があると考えられる。そこで、評価に不確かさが含まれることを考慮しつつ、評価の本質など重要な情報を見逃さない、拾い上げる視点が重要であると考えられた。最近の評価研究である ExternE 研究でも、不確実性やデータの少なさから評価に不確かさがあることをふまえれば、このようにいえると考えた。

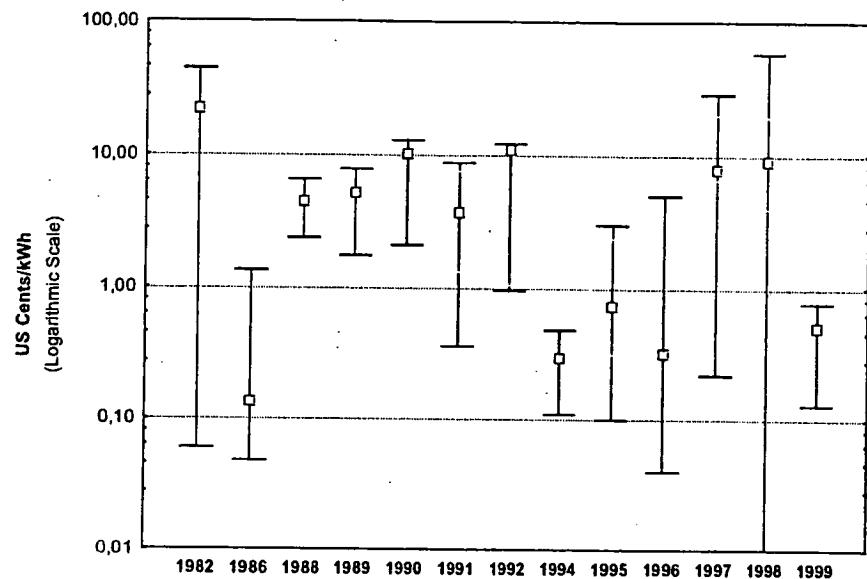
① 電源別外部コスト (1998 US\$)



(Source 2))

Fig.2.3 Range of external cost estimates for different fuel sources

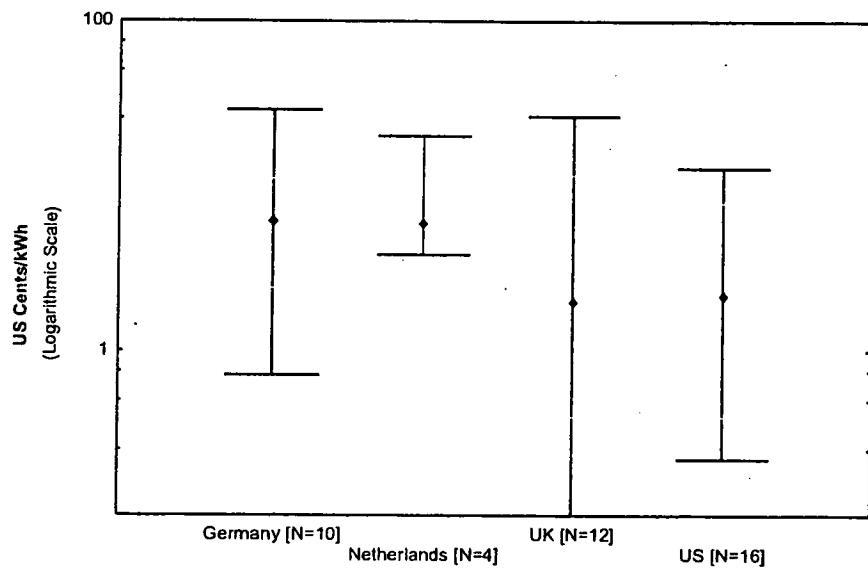
②年代別外部コスト (1998 US\$)



(Source 2))

Fig.2.4 External costs from fossil fuels over time

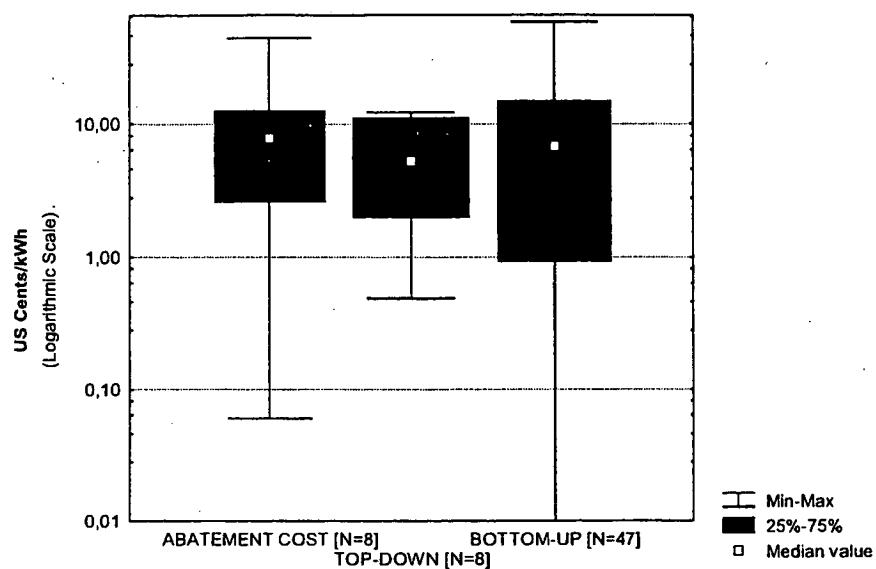
③ 国別外部コスト (1998 US\$)



(Source 2))

Fig.2.5 Range of external costs for fossil fuels in different developed countries

④評価方法別外部コスト (1998 US\$)

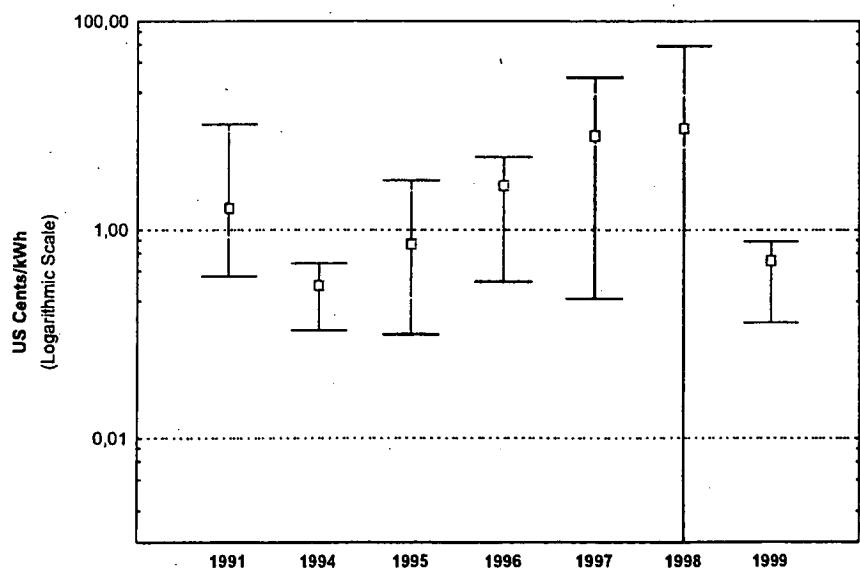


(Source 2))

Fig.2.6 Range of external costs for different methodologies (fossil fuels)

(註) ABATEMENT COST, TOP-DOWN, BOTTOM-UP の意味については後出の⑥を参照されたい。

⑤ ボトムアップ法の場合の年別損失コスト (1998 US\$)



(Source 2))

Fig.2.7 Bottom-Up damage cost estimates for fossil fuels over time

⑥ 大気汚染物質に関する損失／低減コストの仮定値

Table 2.2 Value of air emission reductions in California (USD/pound)

District	Methods	SO _x	NO _x	CO	ROG	PM
South Coast	Damage cost	4.88	9.52	0.00	4.55	31.32
	Abatement cost	13.02	17.4	6.12	12.43	3.75
Ventura County	Damage cost	0.99	1.08	0.00	0.18	16.05
	Abatement cost	4.08	10.85	Internalized	13.88	1.18
Bay Area	Damage cost	2.28	4.83	0.00	0.07	15.78
	Abatement cost	5.85	6.84	1.45	6.71	1.71
San Diego	Damage cost	1.76	3.66	0.00	0.07	9.35
	Abatement cost	2.37	12.03	0.72	11.51	0.66
San Joaquin Valley	Damage cost	0.99	4.26	0.00	2.45	2.47
	Abatement cost	11.71	5.98	2.10	5.98	3.42
Sacramento Valley	Damage cost	0.99	4.01	0.00	2.72	1.44
	Abatement cost	5.39	6.01	3.30	6.01	1.85
North Coast	Damage cost	0.99	0.53	0.00	0.31	0.37
	Abatement cost	1.98	3.96	Internalized	2.31	0.59
North Central Coast	Damage cost	0.99	1.29	0.00	0.53	1.89
	Abatement cost	1.98	6.01	Internalized	6.01	0.59
South Central Coast	Damage cost	0.99	1.08	0.00	0.18	2.71
	Abatement cost	1.98	6.01	Internalized	6.01	0.59
Southeast Desert	Damage cost	0.99	0.29	0.00	0.11	0.45
	Abatement cost	13.00	3.96	1.91	2.31	3.76

Sources: Adapted from Koomey & Krause [1997] (originally taken from CEC [1993]).)

(Source 2))

ここで、

- ・損失コスト (Damage cost)

外部不経済として生じる損害のコスト。地域の大気汚染などの損害を地域全体の一括負荷として扱い平均値的に算出する場合(トップダウン式)と、損害を個々の人々への健康影響、農産物や建物への悪影響などから算出し積み上げ方式で積算値として表す場合(ボトムアップ式)がある。上表の値がどちらの方法によるかはふれられていない。1993 年のデータに基づくものであるため多くの値は前者によっている可能性が高い。

- ・低減コスト (Abatement cost)

環境汚染などの低減対策、規制によって生じるコスト。規制に基づくものであるため一般に損失コストとは差が生じやすい。

いずれのコストも限界コストベースでの算出が基本となる。

(iii) モデル比較

外部性の評価は一つの標準的なモデルではなく各種のモデルによりなされてきている。前節まで述べたように外部性の評価結果には個別性が顕著であることを考慮すれば、その結果とモデルの違いの関係をどう見ればいいのか、何に留意すべきかについて知っておく必要はある。そこで、ここでは二つのモデルを取り上げその結果を比較した例について述べる。ExternE 研究の EcoSense と New York Study の EXMOD の両モデルによる結果を比較した研究¹¹⁾である。それぞれのモデルは同じボトムアップ方式で、対象発電技術も合わせるなど評価条件をできるだけ一致させるようにしているが、各モデルには特有の評価条件の設定などもありそれは合わせられないため、実際の評価体系では異なる部分も生じている。ここでは、主なものとして以下を取り上げた。記述された要因も併せて以下に述べた。

①評価値の比較 (Table 2.3)

②健康影響評価ファクターの比較 (Fig. 2.8)

③疾患に関する比較 (Fig. 2.9)

なお、この比較研究では火力発電所のサイトは一致させられなかった。New York 州内と Denmark 内であり、この違いによる結果への影響もあると述べている。

①では両モデルによる外部コスト評価に 5 倍以上の開きがある(2.84 に対し 15.72)。死亡 (Mortality) および温室効果に関する評価方法の違いが大きく影響している。この比較研究では EcoSense と EXMOD の両モデルにおける各種インパクトの違いとして以下をあげている。

- ・ 温室効果 EXMOD は含めていない
- ・ 死亡 EcoSense は YOLL 法で慢性、急性とも、EXMOD は VSL 法で急性のみ考慮
(YOLL; 損失余命の価値 Years of Life Lost,
VSL; 統計的生命の価値 Value of a Statistical Life)
- ・ オゾン EcoSense では NOx からの換算

②はこのインパクトの差についてさらに説明したものである。EXMOD の外部コストに EcoSense のインパクトを、また EcoSense の外部コストに EXMOD のインパクトを積み上げている。前者で横軸 1 の温室効果(GHG)と 4 の慢性疾患による死亡(Chr. mortality)が上述のように際だって大きい。なお、横軸 5 は貨幣換算(Monetary values)の差であるが EXMOD の方が大きいことを示す。すなわち、EcoSense は貨幣換算では小さいにもかかわらず、より大きな温室効果(横軸 1)や慢性疾患による死亡(横軸 4)を与えていているのである。③はそれをあらわす例である。Morbidity(疾患)の場合だが、それぞれのモデルに両モデルの貨幣換算値を用いてコストを求めている。EXMOD はより大きな貨幣換算値を用いていること、それでも EcoSense の方が大きい外部コストを与えることが示されている。

ExternE 研究の EcoSense モデルと New York Study の EXMOD モデルとでは、つくられた背景、想定評価項目などに違いがある。①から③に示した比較はそれによる結果の差異といえる。具体的には、基礎データや評価対象項目の違いなどによる差であるが、留意すべきは、そのようなモデル構成起因の結果の違いが他の多くのモデル評価によっても起こりうることである。数々ある外部性評価モデルあるいは評価体系において、インプットデータ、価値損失項目、評

価プロセス(影響経路)などそれぞれには差異があるからである。結果として評価値に差が出るのはやむを得ないと考えられる。よって、各々の評価結果がどのような評価構成を持つモデルから導かれたのか、モデル作成の背景、評価の目的、インプットデータ、プロセスなどに注意を払い、結果を吟味する必要があると考えられた。

①評価値の比較

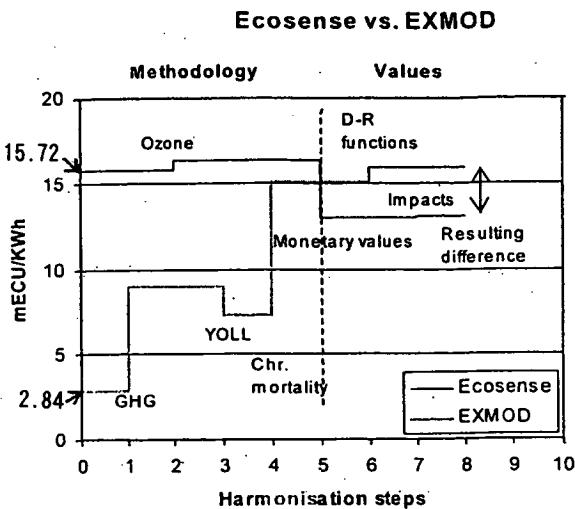
Table 2.3 Central estimates of external costs for a coal-fired plant

Externalities	The New York study (mECU/kWh)	ExternE (mECU/kWh)
Human health	2.42	9.27
Mortality	1.71	7.97 (32.46)
Morbidity	0.70	1.30
Crops	0.002	0.134
Materials	0.10	0.22
Other impacts	0.32	0
Greenhouse gas effect	0	6.10
Total	2.84	15.72 (40.21)

(Source 4)

(註 ()内の値は死亡 (Mortality)評価に VSL を用いた場合(YOLL の代わりに))

②健康影響評価ファクターの比較



- 1 ● Inclusion of greenhouse gases.
- 2 ● Inclusion of ozone.
- 3 ● YOLL versus VSL.
- 4 ● Inclusion of chronic mortality.
- 5 ● Difference in monetised values.
- 6 ● Difference in dose-response functions.
- 7 ● Difference in morbidity impacts.

(Source 4))

Fig.2.8 Differences in estimates of the effect on human health

左図の説明(原文) :

Before decomposition EXMOD starts with a central value of 2.84 mECU/kWh, while EcoSense starts at a value of 15.72 mECU/kWh (Table 2.3).

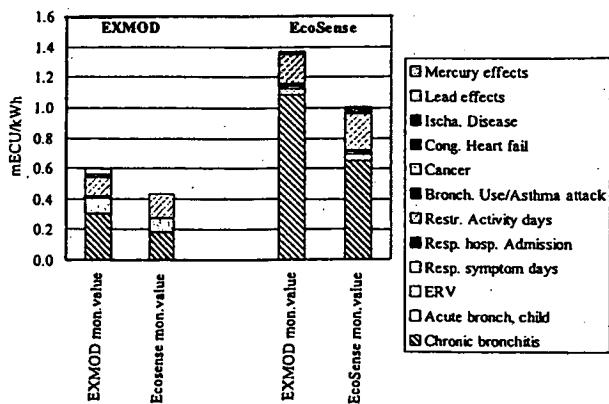
The first step of harmonisation is the inclusion of greenhouse gases in the EXMOD estimate. Including the value of this impact from EcoSense makes the external costs in the EXMOD line rise considerably. The next step is the inclusion of ozone impacts in EcoSense; however, including the value of this impact from EXMOD results in only a small increase in the EcoSense line.

The third step of the harmonisation is estimating mortality using YOLL. Using YOLL instead of VSL in EXMOD lowers the external costs for EXMOD. The fourth step of harmonisation, which seems to be a very important methodological factor, is chronic mortality. Chronic mortality is not included in EXMOD; including the value of this impact from EcoSense increases the external costs in the EXMOD line considerably, and the external costs for EcoSense and EXMOD come rather close to each other.

The monetary values used in the two models differ in some cases. The fifth step of harmonisation is therefore to include the monetary values from EXMOD in EcoSense, lowering the EcoSense value, and the EXMOD values become higher than the EcoSense values. The final two steps toward harmonisation are to include the same dose-response functions and morbidity impacts in the two models, which is shown in the last part of the figure. However, these differences are small compared to the other differences.

Having adjusted for the above-mentioned parameters there is a difference of 3 mECU/kWh in the two estimates. Most of this difference may be attributed to the different locations of the plants, which affect population density and background level of emissions. This will be analysed in a later paragraph.

③疾患に関する比較



(Source 4))

左図の説明(原文) :

In Fig.2.8 the damage costs for the same plant are compared using the EXMOD and EcoSense models. The first two columns in the figure represent the external costs calculated in EXMOD, the first column with monetary values from EXMOD, the second with monetary values from EcoSense. The last two columns represent the external costs calculated in EcoSense, the first column with monetary values from EXMOD, the second with monetary values from EcoSense. The figure shows two important facts:

- (1) The damage costs are higher when the EcoSense model is used than when the EXMOD model is used
- (2) The monetisation values in EXMOD are higher than in EcoSense.

Fig.2.9 Damage costs for morbidity calculated in EcoSense and EXMOD for the same power plant, central estimate

(iv) 費用対効果や費用効率性評価下の外部コスト

前節までは、外部性の内部化により健康や環境の改善などによる人間社会への寄与を前提とした外部性評価に関するものが主であった。ここでは、経済性の観点からの寄与に重点が置かれたものについて記す。アメリカにおける例であるが、統合資源計画(Integrated Resource Planning)、さらに経済インパクト評価の中で外部コストが取り上げられている。発電に関する費用対効果(Cost/Benefit)や費用効率性(Cost/Effectiveness)の評価を、外部コストを含めることにより、より確かに実施しようとする考えがその基礎にある。

① 統合資源計画における外部コスト

アメリカの例であるが、統合資源計画(Integrated Resource Planning)の中で外部コストが経済性の改善にどの程度寄与するかを見積もった例³⁾を紹介する。統合資源計画は、供給・需給サイドの資源を統合して必要な需要を賄おうと言うもので、DSM(*)を単なる負荷調整の手段としてだけでなく、新規電源などの供給資源と同等に資源の一つと見なし、長期的な供給計画に位置づけようとするものである。ここで挙げる例は、アメリカの電力・ガス会社が、各社の統合資源計画の中で外部コストが与える影響を調べたものである。

(*) DSM ; デマンドサイド・マネージメント(Demand-Side Management)

電力会社側から需要家側に積極的に働きかけて、望ましい需要(負荷のパターンおよび大きさ、品質)に誘導するもの。

Wisconsin Electric Power Company(WEPCO)による温室効果ガス(CO₂, CH₄, NO_x)の外部性評価結果をTable 2.4に示した(Wisconsin Electric's Resource Mix)。この結果などからWEPCOは次のように結論づけている。「温室効果ガスの外部不経済効果はほとんどない。それは外部性考慮なしの状態で、すでに電源構成(resource mix)がDSMおよび新ガス火力発電の計画を相当反映したものになっているため」また以下も付加している。

- ・ 温室効果ガスに限らず、外部性の考慮は電源選択をシフトさせるものではない。
- ・ 天然ガスへのシフトはコスト的に有利になろうとする効果に依存したもの。
- ・ 再生可能エネルギー利用増加の決定は将来の排出規制変化の不確実性に対する保険の意味を持つ。併せてコスト低下への経験を得ることも視野に入れている。

Pacific Gas and Electric(PG&E, California)による大気汚染外部性考慮(内部化)による電源計画の変化(評価結果)をTable 2.5に示した(California State, Pacific Gas and Electric's Resource Mix)。PG&Eは「効果はCombustion TurbineからCombined Cycleへのシフトのタイミングが早まるだけで、非化石燃料の電源計画量やDSMへの影響はない。化石燃料系発電は90%以上を既に天然ガスにしていること、さらに天然ガスは安くなつておりコスト的に有利であることが理由である」と述べている。

この文献3)では以上の評価に対し、次のようなコメントも残されている：

- ・(上記のような結論により)電力会社間の競争の中でWEPCOのマーケットシェア維持という最大の目標は保持されるであろう。しかしそれは、外部コストを内部化して理にかなつた私的あるいは社会的コストを用いるという本質的な目標には合致しないものとなろう。

役所と電気事業者間での意見の調整は困難である。外部コストに関し、役所は基本的に内部化を進める方向で行くべきとしているのに対し、電気事業者は内部化はコスト的に有利でなく DSM、統合資源計画の視点から意味をなさないと判断しているからである。

いずれにせよ、この二つの電力・ガス会社による評価をまとめれば、外部コストを内部化しても経済性の向上などの経済的な意味はないと言うことになる。

なお、アメリカでは Massachusetts 州で'89年、Wisconsin 州で'92年、California 州で'94年など早い時期に外部コスト(Damage cost)が見積もられている。排出削減コスト(Abatement cost)など規制関連のコストとの差も比較され、統合資源計画や DSM の中でよりコスト的に有利になる電源選択が検討されてきたと言える。既成の電源選択に関わるコスト体系では外部コストを小さいとして排除するもの(あるいは既にそのコスト要因を含むもの)となっているが、この文献 3)からも、このような見方は特に電気事業者の間で定着しているかのように考えられた。そこには上記のように、外部コストの内部化の検討において、電力会社と役所との駆け引きもあったといえる。

また、上記のような費用対効果や費用効率性重視を前面に出した外部性評価については議論もありうると考えられた。というのは、外部性評価において重要な位置付けにある健康や環境の影響評価にまだ精度上の問題があるとされる段階で、その評価結果を土台に経済性を議論しているためである。上記の二例では、一般に外部性は小さいとされる温暖効果ガスが取り上げられている、また健康や環境の外部性についての記述に乏しいことが見受けられた。実際にその検討で健康・環境影響がどの程度評価されたのかは定かではないが、評価の精度などで疑問が生じてもおかしくはないと考えられた。従って、費用対効果や費用効率性を前面に出した評価についてはその正当性や妥当性も含めて議論があるであろうと考える。ここではそれには触れないが、上記の二つのような評価が特にアメリカでは少なくないと述べておく。なお、このレポートにおいても損失評価関数(Damage Valuation Function、健康影響評価の影響経路法(Impact Pathway)で用いられる)などで不確実性は高いとのコメントがあることを最後に付記する。

**Table 2.4 Effect of monetized GHG externality values
on Wisconsin Electric's Resource Mix and Costs
(As a percentage relative to actual costs)**

Cost Component	Optimal Resource Mix, Without Considering Externalities		Optimal Resource Mix, With a Consideration of Externalities	
	Operate With Externalities	Operate Without Externalities	Operate With Externalities	Operate Without Externalities
Internal	101.1	100.0	101.3	100.2
External	55.5	56.9	55.3	56.7
Total	156.6	156.9	156.6	156.9

Note: GHG = Greenhouse gases.

Source: Wisconsin Electric Power Co., *Advance Plan 7: Planning Wisconsin's Electrical Future*, "Technical Support Document D1," Submitted to the Wisconsin Public Service Commission in January 1994, pp. D1.C-9 through D1.C-18.

(Source 3))

**Table 2.5 Pacific Gas and Electric's Analysis of the effects
of externality values on resource additions**

Year	Spot Purchases (megawatts)	BPA Exchange (megawatts)	Additions WITHOUT Consideration of Externalities			Additions WITH Consideration of Externalities		
			101.5 MW Combustion Turbine Units	215 MW Combined Cycle Units	Total MW Added	101.5 MW Turbine	215 MW Combined Cycle Units	Total MW Added
1994	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	200	300	0	0	500	0	0	500
1996	200	300	0	0	500	0	0	500
1997	200	300	0	0	500	0	0	500
1998	200	300	0	0	500	0	0	500
1999	200	300	0	0	500	0	0	500
2000	200	300	0	0	500	0	0	500
2001	200	300	0	0	500	0	0	500
2002	200	300	0	0	500	0	0	500
2003	200	300	5	0	1,008	3	2	1,235
2004	200	300	12	0	1,718	10	2	1,945
2005	200	300	17	1	2,441	11	4	2,477
2006	200	300	17	4	3,086	11	7	3,122
2007	200	300	17	5	3,301	11	8	3,337
2008	200	300	17	7	3,731	11	10	3,767
2009	200	300	17	9	4,161	11	12	4,197
2010	200	300	17	10	4,376	11	13	4,412
2011	200	300	17	13	5,021	11	16	5,057
2012	200	300	17	16	5,666	11	19	5,702

BPA = Bonneville Power Authority.

Source: Pacific Gas and Electric, 1994 *Electric Resource Plan*, submitted to the California Public Utility Commission.

(Source 3))

②産業連関型ライフサイクル評価手法の応用

発電に伴う経済的影響を発電燃料サイクル内だけでなく広範に地域や国全体の産業への影響としてとらえる試みもなされている。ここでは、アメリカの例として産業連関型ライフサイクル評価手法(EIO(Economic Input-Output)-LCA)の応用例⁵⁾を紹介する。100万米ドルの発電に必要な各産業部門のコストおよび外部コストを見積もった例である。産業連関およびLCA(Life Cycle Assessment)に関するデータを駆使し、発電に対する各種産業部門の経済影響を評価している。

各産業部門のコスト(1992年の場合)をTable 2.6に示した。100万米ドルの発電に例えれば約10万2000米ドルの石炭が必要なことを示している。石炭、修理・保守、原油・天然ガス、天然ガス供給・・・の順にコストが大きい。Table 2.7は上位産業10部門の外部コストを示したものである。インパクトの順位は石炭、原油・天然ガス・・・でありTable 2.6の場合とほぼ同じであるが、驚くのはlow, median, highの各々のケースの評価値にひらきが大きいことである。10倍を超えている。ここまでたびたびふれたが、ここでも確かな外部コストを求めるとの難しさがうかがわれる。なお、この評価によれば中間値(total)の場合で外部コストは約33万4000米ドルとなり、100万米ドルの発電コストに対し34%を占めることになる。この値に対し、この評価者は、その92%は発電プロセスからであり、また他の評価例として3から18%の値もある(発電コストに対し)、とだけ述べている。

評価値の確からしさには議論があるかもしれないが、いずれにせよ、ここであげたような産業連関とLCAを用いた評価は、発電に関わる他の各種の産業部門への影響を知る手がかりを与える。例えば、影響の大きい部門をねらって効果的に外部コストの削減を考えることができる。エネルギー政策において外部コストの削減を検討するもので、費用対効果や費用効率性重視型の場合には、このような評価情報の必要性は高まる。この研究では環境会計(Environmental Accounting)支援の一方法としてもとらえている。

(註) この文献5)の評価手法は産業連関型ライフサイクル(Economic Input-Output Life Cycle Assessment)に基づくもので、環境損失に関わる生産誘発額(total supply chain requirements)にリンクした485部門からなる1992年アメリカ商務省版産業連関表を用いたとのこと。環境排出はコモディティ(Commodity)ライフサイクルの生産段階でのものでその使用と場所に関する情報は考慮されていない。なお、Table 2.6がどのようにして求められたかについては“<http://www.eiolca.net/>”に詳細がある。

**Table 2.6 EIO-LCA supply chain effects of producing
\$1 million of electricity in the United States,
1992**

sector	economic \$mill
total	1.671088
electric services (utilities)	1.007134
coal	0.102573
other repair and maintenance construction	0.087334
crude petroleum and natural gas	0.041535
natural gas distribution	0.037961
railroads and related services	0.032541
wholesale trade	0.024300
petroleum refining	0.023054
real estate agents, managers, operators, and lessors	0.021044
banking	0.017472
all other sectors	0.276140

(Source 5))

**Table 2.7 Top 10 external cost-generating sectors
in the supply chain associated with producing
\$1 million of electricity in the United States***

sector	external cost (\$thousands)		
	low	median	high
total	85.8	338.8	946.9
electric services (utilities)	81.3	311.2	880.3
coal	2.2	15.4	26.4
crude petroleum and natural gas	0.5	3.4	6.8
other repair & maintenance construction	0.5	1.5	8.5
natural gas distribution	0.4	2.3	4.3
railroads and related services	0.4	1.8	9.8
petroleum refining	0.1	0.5	1.4
blast furnaces and steel mills	0.1	0.4	0.9
water transportation	0.1	0.2	0.8
truck and courier services, except air	0.0	0.4	1.4
all other sectors	0.3	1.7	6.3

* Conventional pollutants and GWP only, using min, median, and max externality costs from Table 1. Totals do not sum due to rounding.

(Source 5))

2. 2 原子力発電の外部性およびリスク

原子力発電には他の発電技術にはない放射線によるリスクがある。また、チェルノブイリ事故を始め社会的に大きな影響を残した原発事故もある。そのためと考えられるが、他種のリスクも含め、原子力発電は比較的多くのリスク評価あるいは外部コスト評価の例がある。ここでは、総括的に外部コストやリスクについて情報を提供している文献⁶⁾をとりあげ紹介した。詳細については原文⁶⁾にゆずるが、特に留意すべき内容を以下に記した。

①コスト化が難しい事項：

- ・ 被害軽減対策
- ・ 被災者補償・・・避難、仮住居、所得・財産補償 など
- ・ 心理影響
- ・ 地域経済インパクト・・・雇用、地域歳入歳出、社会資本などの損失
- ・ 長期的社会・政治インパクト
- ・ 環境影響

②シビアーアクシデントに対する外部コスト評価値の差 ・・・ Fig.2.10

③評価モデルに見られる差異 ・・・ 付録2

④評価研究に見られる差異、課題 ・・・ 付録2

シビアーアクシデントに対する外部コスト評価値の差を Fig.2.10 に示した。原子力発電の分野でも他の発電技術同様、評価結果の差異は顕著である。評価者による差および最大値と最小値の差が何桁にも及んでいる。また、この文献で示された評価モデルに見られる差異、および評価研究に見られる差異、課題を付録2に示した。それぞれの差異は確実にあり、それらが実際どの程度評価結果に影響するか確かなことはいえないが、まずは各種の評価モデルあるいは体系、そして評価値の確からしさに疑問を持つことが必要と考えられた。この文献では、評価の課題としてコスト化の難しさについてふれている。その主なものが上記①であるが、放射能の影響のため長期的な将来の考慮がさらに問題を難しくしていると述べている。

原子力発電のリスクや外部コストの評価に関して、他の文献やレポートでも重要な情報が提供されている。付録1 文献Table 2)および5)にそれをあげたので参考されたい。それらによれば、炉心損傷事故を確率のみで評価する根拠の合理性(確率的にはほぼゼロであってもひとつ事故が起これば重大な社会損失に到ることを評価できない)、心理面も含む放射能リスクの評価(リスク嫌悪など)、さらにリスクの認知とコミュニケーションの評価・検討なども、原子力の場合の課題とされている。このように原子力の場合には、人間の主観に依存するリスク評価(心理リスク)にも取り組みが及んでいるといえる。

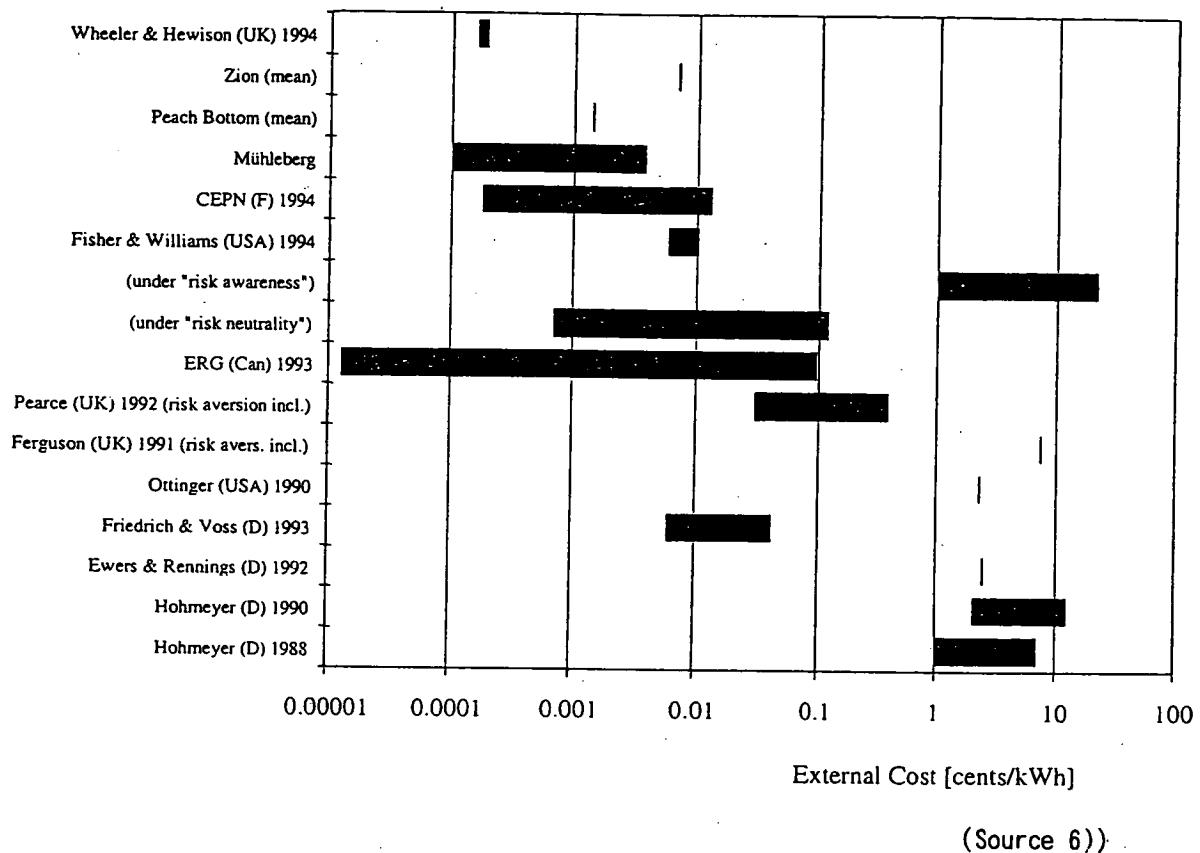


Fig.2.10 Span of estimated external costs of severe reactor accidents

2. 3 まとめ

本章では、健康や環境リスクの定量化を扱っている外部性評価について取り上げた。ExternE研究、Sundqvistによるレビュー、モデル比較、費用対効果や費用効率性評価下の外部コスト、原子力発電の外部コストを取り上げ、評価の概要、現状および課題についてまとめた。主なものは以下の通りである。

- ①「発電技術、国、さらに発電サイトそれぞれの違いにより外部コストの評価は大きく異なる。
評価プロセスの中身にも差異あり。不確実性も大きい」といえる。
- ②モデルが異なれば結果も異なることが多い。モデルの構成内容が異なるためと考えられる。
各外部コストの評価値がどのような評価構成を持つモデルから導かれたのか、基礎データはどうかなどを知り、結果の意味を吟味する必要がある。
- ③費用対効果や費用効率性評価に外部コストを含めたアメリカの例では、i)外部コストを統合資源計画プロセスに含めてもほとんどインパクトはない、ii)既に適用済みの統合資源計画やデマンド・サイドマネージメントが外部効果をほとんど意味のないものにしている、との結果。産業連関型ライフサイクル評価手法を用いた経済インパクト評価例では、この手法によれば一地域の産業構造に対して効果的に外部性を内部化するやり方を提示しうる、とのこと。
- ④原子力発電の分野でも評価の各所に差異が顕著。それは、評価の対象・目的、モデルなどの研究内容、さらにシビアーアクシデント時の評価値において見られる。健康被害の認定、心理リスクなどコスト化が難しい課題も多い。

概して、これまでなされた外部コスト評価では、結果の信頼性が十分でない場合が多いと考えられる。それは、まだ基礎データの蓄積が十分でないこと、評価プロセスの中身やモデルの構成、評価目的等にも不備が考えられるためである。実際のところ、多くの文献で評価結果に對して不確実性が大きいと述べている。従って、現段階で確かな外部コストの評価を行うことは困難と考えられた。既存の評価値に對しては、その評価の背景、条件に十分注意を払い参照していくべきと考えられた。

なお、エネルギー戦略などで総括的評価の中で、各種発電技術のコスト／ベネフィット等の代表値を用いる場合がある。外部コストに關してはそのように用いることはまだできないと考えられた。

以上から、外部コストの評価には、その土台となる基礎的な情報やデータの蓄積が欠かせないといえ、併せてこれまでなされた各種の評価ケースの参考、分析も必要であると考えられた。

3. 各種のリスク評価の基礎情報

健康や環境以外にも事故、災害、心理など各種のリスクがあるが、それらに関する情報は一般に少ない。またその情報は、エネルギー生産のリスクと関連がある社会の種々の分野に散在しているものである。本章は、そのような情報から、各種のリスク評価の現状や課題についてまとめたものである。なお、ここで記す内容は、情報が少ないとことなどから内容的に偏りがあることは歪めないことを付記する。

3. 1 各種の災害および事故による価値損失

2章で記したように、エネルギー生産のリスク評価あるいは外部性評価における基礎情報は十分に整ったものとはいえない。そこでここでは、基礎情報として重要な価値損失に関する情報を過去の災害や事故の事例から収集しようとした。社会や一般民衆に損害、恐れを与える対象として以下のようないもの(資産価値の損失(低下、喪失によるもの))を想定した。

- ・大気汚染など公害 　・ せん息など
- ・タンカー油流出
- ・放射能漏れ事故 　・ JCO事故補償、チェルノブイリ、TMI、カザフスタン核実験場跡
- ・地震・噴火災害 　・ 貸し付け利子緩和、義援金
- ・立ち退き(ダムや発電所などの社会基盤施設建設に伴う)、漁業権損失
- ・災害保険、損害補償保険による補償不足
- ・風評被害

収集したこれらの価値損失に関する情報を付録1 文献 Table 3)に示した。十分な情報ではないが、得られた主な情報や知見は以下のようである。

- ・災害および事故の種類により損失は千差万別。
- ・疾病、事故、災害の種類・程度、被災年齢および発生地域の違いなどによる差異が顕著。
- ・所得格差や社会の時流との関連をあげるものもある。

本節では、エネルギー生産のリスクに関する、社会の多岐に渡る価値損失について情報収集を試みた。付録1 文献 Table 3)に示した各種の価値損失に関する値は、リスク評価あるいは外部性評価にそのまま役立つものではないが、このような価値損失の情報を蓄積していくことが今は重要であると考えられた。それは、ひとつのリスクでも社会の多岐に渡っており、人間の精神面あるいは心理面にも大きな影響を及ぼすものであること、よって、それらの情報を収集・蓄積していくことがリスク評価の進展に重要であると考えられることによる。

3. 2 産業および経済における損失などの影響

リスクの地域経済に対する影響(インパクト)を産業連関表を利用して評価する場合を取り上げた。それは、リスクによるインパクトを生産、消費、労働人口の減少などのインパクトに換算して表すものである。地域経済へのインパクトが数量として表され理解が容易になる。産業連関表を用いた産業経済へのインパクト評価で主に評価される項目を参考までにあげる(付録1 文献 Table 2)-1など参照)。

(各種の事故、事件、災害による住民生活および産業経済活動への影響評価)

発生源 ; 事故・災害の内容、影響規模(源の強さ、範囲、人口)

連関 ; 生産、資本、労働、消費・最終需要、所得・付加価値、輸出入等の変化、
代替え保障・補償およびその形・種類 など

しかしながら、このような評価で確かな結果を得ることはまだ困難と考えられる。付録1 文献 Table 2)-1 の事例によれば、不確かさが大きいとのことであり、まだ試みの段階にあると考えられる。この評価に関連した情報を付録1 文献 Table 4)に紹介した。間接的ではあるが、地域の産業経済に対するインパクトを評価した例である。これらの情報からも、上記の評価はまだ難しい段階にあると考えられた。

最後に本節の情報収集で得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 地域の産業経済へのインパクトが直接金銭表示される。しかし結果の確度は低いとされ、また各事例には各々固有の事情(個別性)が見られる。実際的な適用はまだ困難といえる。
- ・ 根本的な課題「災害や事故影響の貨幣換算は困難」は残ったままである。
- ・ 連関による影響は千差万別。疾病、事故、災害の種類・程度、被災年齢および発生地域の違いなどによる差異は大きい。(前記 3. 1 と同様)

3. 3 リスクの認知とコミュニケーション

リスクには恐れ、嫌悪など人々の主觀に関わるものもある。人々の主觀性あるいは客觀性に関わるその心理リスクへの対処を社会科学的に行おうとする取り組みに、リスクの認知とコミュニケーションがある。心理リスクを正しく認識し、コミュニケーションによりリスク保持者のリスク低減を図るというものである。ここでは、それに関して収集した情報について記す。付録1 文献 Table 5)に得られた文献情報をまとめて示した。予備的な情報収集ではあるが、心理リスク概念のより確かな理解や低減に役立つものなど有用な情報がいくつか得られたと考える。以下にそれらをまとめた。

- ・ 価値損失など、心理リスクに関する定量評価は困難である。
- ・ 心理リスクについて専門家と一般人との間に認識の隔たりあり。一般人のリスク回避度が大きいほどそれは大きい。
- ・ 損失(損害)に対する事前補償と事後補償に差異が見られる場合がある(リスク認知バイアスといわれる?)。
- ・ 心理リスクに対し、認知およびコミュニケーションの重要性が多くの文献で共通に認識される。情報公開および住民参加はそのキーのひとつといえよう。そのキーファクターに信頼(Trust)、自発的か非自発的か(Voluntary v.s. Involuntary)、統制(Control)、利益/報償(Benefit/Reward)、知恵(Knowledge)、性別(Gender)、惨事に到る潜在的 possibility(Catastrophic Potential)をあげるものもある。
- ・ 変わる社会的背景(心理、政治・経済体制等)の中でのリスクのとらえられ方も重要。
- ・ これまで個々人や集団の心理(リスク)を先導してきたものとしてカリスマ的な言動があろう。

このような情報や知見は人々の恐れ、嫌悪などに関わる心理リスクの中身を鋭くとらえたものと考えられた。

心理リスクは個々人あるいはコミュニティ、一般民衆の考えに直接的に依存し形作られるものと考えられる。把握することは困難で、その対処についてはまだ一概にいえる段階ではない。各種の文献では、リスクに関わる対立者が認知あるいは受容しコミュニケーションを育て上げていく、そのような困難かつ地道な取り組みが求められる、といった考え方が示されている。また、ある研究は科学者に自戒を求める見解として次をあげる。「一般社会の科学技術不信を招いた責任は科学技術の専門家にもあり批判を浴びるべきかもしれない。コミュニケーションの重要性を軽視してきた欠陥が指摘されることがあるからである。」このような考え方、見解には議論もあるが、いずれにせよ、各文献は、リスク嫌悪などの心理的、社会科学的リスクとどのようにつきあっていくか(評価していくか)は難しい課題である、という一般的な見方をあげている。

なお、この心理リスクおよびコミュニケーションの課題は、発電所の立地や運転に関わるPA(Public Acceptance)に通じる内容があると考えられた。発電などエネルギー生産活動において重要な位置に置かれるべきものと考えられる。

3. 4 その他の基礎情報

ここまで述べた内容の他にも、エネルギー生産への影響が大きいリスクあるいはそれに関連した事柄(要因)がある。そのうち以下の内容に関する情報も簡単ではあるが集めた。付録1 文献Table 6),7),8)にそれらをまとめて記した。

- ・エネルギー価格不安定、金融技術によるリスクヘッジ(オプション、デリバティブ)
- ・エネルギーセキュリティ
- ・気候変動

これらのエネルギー生産への影響は大きいと考えられる。そのためか、実社会では因果関係がはっきりしないなど確かな情報がなくても、対処がなされている場合が多い。すなわち、不確かな情報下での最高責任者の決断、対策の実施などである。これは、リスクの評価や低減の検討は不確かなまま意志決定、実施にまで使われていることである。不確かさを多々伴うという状況下で、会社のトップの決断や策の実施に可能な情報支援を行うと言うスタンスも、リスク評価には必要であるといえよう。

なお、エネルギーセキュリティや国際情勢、社会的な政治・経済情勢に起因する潜在的な脅威については、健康や環境リスクと同じ評価法(枠組み)では扱いきれないと考えられた。セキュリティー不安など、実際に起こったときの影響は非常に大きい。それを十分に評価しうる別の体系が必要であると考えられた。

3. 5 まとめ

本章では、災害、事故、心理など各種のリスクについて取り上げ、評価の現状や課題についてまとめた。ただし、それらのリスクについては、情報および評価例共に少なくまた例があつ

たとしても基礎データ不足、適切な手法がないことなどから、情報の信頼性の点などで問題があるといえる。それらのリスク評価には、基礎的な情報、確かな情報の蓄積だけでなく、各リスクの生じる分野が多岐に渡ることから、それぞれの状況に応じてリスクの内容を適切にとらえることなどが、さらに必要になると考えられた。最後に、本章において特に重要と考えられたリスク評価のための見方、考え方を記す。

- ・各リスクの内容は各々異なる。基本的に別個に評価することが求められる。
- ・リスクの貨幣換算は特に難しい。
- ・心理リスクの軽減に認知とコミュニケーションは欠かせない。
- ・エネルギー価格変動、エネルギーセキュリティなど他にも影響の大きい要因が存在する。

4. おわりに

昨今、健康や環境に関するリスクなど、リスクのエネルギー生産への影響は避けられなくなつており、従つて、その影響を十分に評価することが求められる。そこで本報告では、その基礎としてリスク評価の現状およびその課題について知るための情報収集を行つた。レポートや文献を情報源とし、主に発電技術の外部コスト評価(健康や環境リスクの定量化が扱われている)について調べたが、加えてほかにも災害、事故、投資・金融などのリスクおよびそれらの産業社会への影響等も取り上げ調べた。得られた主な知見、課題および考えられたそれへの対処を以下の①から③に記した。

①健康・環境リスク評価

発電技術に関する健康や環境のリスクの定量評価を試みている外部コスト評価について取り上げた。発電の外部コストは技術、国、さらにサイトの違いにより大きく異なるのだが、概して、これまでなされた外部コスト評価では、結果の信頼性が十分でない場合が多いと考えられた。それは、まだ基礎データの蓄積が十分でないこと、評価プロセスの中身やモデルの構成、評価目的等にも不備が考えられるためである。実際のところ、多くの文献で評価結果に対して不確実性が大きいと述べている。従つて、現段階で確かな外部コストの評価を行うことは困難と考えられた。既存の評価値に対しては、その評価の背景、条件に十分注意を払い参考していくべきと考えられた。

基本的に、外部コストの評価には、その土台となる基礎的な情報やデータの蓄積が欠かせないといえ、これまでなされた各種の評価ケースの参考、分析も併せて必要であると考えた。

②各種のリスク評価の基礎情報

①以外の事故、災害、心理など各種のリスクについては、情報および評価例共に少なく、また例があったとしても基礎データ不足、適切な手法がないことなどから、情報の信頼性の点などで問題があるというのが現状と考えられた。それらのリスクの評価には、基礎的な情報、確かな情報の蓄積だけでなく、各リスクの生じる分野が多岐に渡ることから、それぞれの状況に応じてリスクの内容を適切にとらえることがさらに必要になると考えられた。重要と考えられたりisk評価のための見方、考え方を以下にあげる。

- ・各リスクの内容は各々異なる。基本的に別個に評価することが求められる。
- ・リスクの貨幣換算は特に難しい。
- ・心理リスクの軽減に認知とコミュニケーションは欠かせない。
- ・エネルギー価格変動、エネルギーセキュリティなど他にも影響の大きい要因が存在する。

③原子力発電のリスクおよび外部性評価

原子力発電のリスク評価および外部性評価にも課題が多い。本文で記したように事故・トラブル、立地、認知・受容などに關したものである。現段階で、それらの取り扱いに関しては慎重になるべきであると考える。わからないこと、明確でないことが多いためである。

なお、この情報収集を通じ総じて次がいえるのではないかと考えられた；現段階で十分なリスク評価は困難と考えられる。リスクの分析や評価では基礎データが十分蓄積されていないこと、また健康や環境など評価が進展している分野でも結果の信頼性が十分でないと考えられるためである。しかしながら、企業、国、国民など実社会では、リスクのエネルギー生産への影響が避けられない状況にあるため、不確かさを伴ってもその影響を何らかの形で取り込むようにしている。対案(Alternatives)の並行実施、保険の適用などによりである。リスクの十分で適切な評価およびその結果の適用が実社会では大いに望まれていると考えられた。

(*本報告内容の半分程度は第 31 回エネルギー環境システム解析研究会で公表している(2002 年 2 月開催))。

謝辞

本報告の半分程度を上述の第 31 回エネルギー環境システム解析研究会で公表した際に各委員の方々から貴重なご意見やご助言をいただいた。また原研システム評価研究グループリーダー佐藤治氏からもご助言をいただいている。ここにお礼申し上げる次第である。

引用文献

- 1)European Commission : ExternE Newsletter(1998), <http://externe.jrc.es/>.
- 2)T.Sundqvist :"Electricity externality studies: Do the numbers make sense?", Licentiate Thesis(2000), <http://epubl.luth.se/1402-1757/2000/14/index.html>.
- 3)DOE/EIA-0598 : "Electricity generation and environmental externalities: Case studies" (1995).
- 4)L.Schlesinger : "Comparison of methodologies for externality assessment", Energy Policy, 28, 1127(2000). (Copyright(2000) with permission from Elsevier)
- 5)H.S.Matthews and L.B.Lave : "Applications of environmental valuation for determining externality costs", Environ. Sci. Technol., 34, 1390(2000). (Reprinted with permission, Copyright(2000) American Chemical Society)
- 6)OECD/NEA : " Radiation Protection Methodologies for Assessing the Economic Consequences of Nuclear Reactor Accidents" , (c) OECD(2000).

付録1 文献 Table 1) 外部性評価およびリスク評価事例(健康、環境など)

著者、年	タイトル	国、地域	分野、部門	推計法	評価値(各分野、部門における)
1)-1 L.Schlesinger, 1999	Comparison of methodologies for externality assessment	主に EU、アメリカ	各種の発電燃料サイクル全般	EcoSense	ExternE(EcoSense 通用)と New York Study(EMOD 通用)の外部コスト[総和, m€/MWh, '95] ; 2.84, 15.72(前者の5倍大きい)。後者では地球温暖化および酸性雨による影響が無考慮、これが原因。両方法の比較
				EMOD(共にボトムアップ型、EMOD のためインパクト、貨幣換算、総量応答関数、地図などのデータも比較。	
				[は制御コスト法も含む]	
1)-2 DOE/EIA-0598, 1995	Electricity generation and environmental externalities: Case studies	Mass., Wis., Calif.の3州)	アメリカ(特に各種の発電燃料サイクル全般)	推計法(1989\$/ton); NOx 6500, SOx 1500, VOC 5300, TSP Matter 4000, CO 870, CO2 22, CH4 220, N2O 3960, Wf scorsim(1992\$/ton); CO2 15, CH4 150, NOx 2700, California(1992\$/ton, Nox, Sox, PM10, ROG, CO2 の順で); Southern Cal. Edison & San Diego Gas & Electric-Powerのなかで)	Massachusetts(1989\$/ton); NOx 6500, SOx 1500, VOC 5300, TSP Matter 4000, CO 870, CO2 22, CH4 220, N2O 3960, Wf scorsim(1992\$/ton); CO2 15, CH4 150, NOx 2700, California(1992\$/ton, Nox, Sox, PM10, ROG, CO2 の順で); Southern Cal. Edison & San Diego Gas & Electric-Powerのなかで)
				資源計画フレーム	
				Attainment-7467, 11720, 4608, 1301, 9	
				大気汚染規制目的のコスト(制御コスト)の意味合い強い?	
				(VOC: Volatile Organic Compounds, TSP: Total Suspended Particulates, ROG: Relative Organic Gases)	
1)-3 T.Sundqvist, 2000	Externality studies: Do the numbers make sense?	世界各地(主にEU、アメリカ等)	各種の発電燃料サイクル全般など	ボトムアップ、トルピングなど種々の方法をレビューア	外部コストと評価の差異 [cents/kWh, '98, mean(min,max), 評価総数およそ 40]; 石炭 88.58(0.004, 2000.00), 石油 45.74(0.05, 680.00), ガス 15.26(0.01, 317.00), 原子力 8.83(0.001, 64.44), 水力 3.56(0.26, 26), 風力 0.46(0.2, 53), 太陽光 0.49(0.1, 0.03), バイオマス 4.14(0.17, 70)。
1)-4 H.S.Matthews and L.B.Lave, 2000	Applications of environmental valuation for determining externality costs	アメリカ	種々、主に発電燃料サイクル全般	大気汚染物質外部コスト[平均, US\$/t, '92]; CO 520, NOx 2800, SO2 2000, PM10 4300, VOC 1600,002-WTP、賃金損失・医療支出測定など。	外部コストと評価の差異[cents/kWh, '98, mean(min,max), 評価総数およそ 40]; 石炭 88.58(0.004, 2000.00), 石油 45.74(0.05, 680.00), ガス 15.26(0.01, 317.00), 原子力 8.83(0.001, 64.44), 水力 3.56(0.26, 26), 風力 0.46(0.2, 53), 太陽光 0.49(0.1, 0.03), バイオマス 4.14(0.17, 70)。

1)~5 J.Carlén, Environmental externalities in electric power markets: acid rain, urban ozone, and climate change 1995	J.Carlén, Environmental externalities in electric power markets: acid rain, urban ozone, and climate change Selected case studies	Impact of incorporating environmental externalities on electric resource planning	Impact of incorporating environmental externalities on electric resource planning Selected case studies	各種の発電の燃料サイクル全般ではな い)	大気汚染規制に関するもの(制御コ ストなど?)	大気汚染の発電の燃料サイクル全般ではな い)	大気汚染物質外部コスト [US\$/t, '92] (Massachusetts, California の順で) ; SO2 4486, 1700, NOx 9120, 7200, PM10 4608, 4400, CO2 9, 24。	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	(州間協力下での市場を介した外部性の内部化の難しさを指摘。州により外部性に差異、越境する大 気汚染、市場の自由化・規制緩和に伴う競争強化、各州、電気事業者、その他の関係者など多くの関係 団体間での fair, consistent を持った協力調整の困難さなど問題点を指摘)
1)~6 J.Geidl and S.Kanhouse, 1996	Impact of incorporating environmental externalities on electric resource planning	化石燃料の発電のみ(資源耗減 による影響)	Economic Output Cycle Assessment	化石燃料の発電のみ(資源耗減 による影響)	Input- Life Cycle Assessment	大気汚染物質外部コスト [US\$/t, '92] (Massachusetts, California の順で) ; SO2 4486, 1700, NOx 9120, 7200, PM10 4608, 4400, CO2 9, 24。	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	外部性の影響は小さく考慮に値しない、に終始・資源計画(resource planning)、電気事業再編(変更 の燃料サイクル(EI0-LCA) Supply Chainなど)	
1)~7 W.Krenitt et al., 1999	Environmental damage costs from fossil electricity generation in Germany and Europe	化石燃料の発電 ドイツと他のヨーロッパの電力 エネルギー	化石燃料の発電 アップ型モデル、影響経路法もそれ に沿つたもの	化石燃料の発電 ドイツと他のヨーロッパの電力 エネルギー	化石燃料の発電 ツ(1996)の順で) – 総コスト ; 約 US\$ 70 billion, US\$ 1.8 billion, US\$ 4.5 billion。平均 [cent/kWh] ; 6.4, 0.9, 7.7。排出ガスあたり [US\$/t] ; SO2 6000, 8200, 7100, NOx 5000, 5400, 4300, PM10 13000, 17400, 1280。地球温暖化損害コスト [US\$ million], EU-15 か国(1990), 旧東 ドイツ(1996)の順で) – 4620–168800, 1000–36400, 370–13500。	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	外部コスト [mJ/l, '92] (at Syracuse, New York); 石炭(褐炭)2, 890, 天然ガス 0.276, 石油 1, 660, 石炭(流動床)0.998, 石炭ガス 0.906, 原子力 0.230, バイオマス(木材)4, 180, 風力 0.010。	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	施設の型、サイト、周辺人口などによる差大きいこと。 Syracuse(は)都市部; サイトの30km以内に 490000 人居住。
1)~8 R.D.Rowe et al., 1996	Critical factors in America computing externalities for York electricity resources	New York の燃料サイクル部(含ます)	損害閾限法 (New York の燃料サイクル部)	各種の発電(他の燃料サイクル部)	外部コスト [mJ/l, '92] (at Syracuse, New York); 石炭(褐炭)2, 890, 天然ガス 0.276, 石油 1, 660, 石炭(流動床)0.998, 石炭ガス 0.906, 原子力 0.230, バイオマス(木材)4, 180, 風力 0.010。	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	
1)~9 E.Ozdemiroglu, 1995	The external costs of electricity generation: A comparison of generation technologies	EU 主要国	いくつかの発電(他の燃料サイクル部)	EU 主要国	外部コスト(他例の紹介として)[Pence/kWh, '94 ?](in Scotland); 風力 0.03–0.05, 水力(小規模 から派生したもの) 0.05–0.08, 燃料食物(バイオマス) 0.44–0.59, 廃棄物埋め立て地ガス燃焼 0.79–0.81, 家庭廃棄物燃焼 0.89–1.32, 石炭 3.55–5.4	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	
1)~10 N.Eyre, 1997	External costs they mean for energy policy?	各種の発電燃料サイクル全般	参考提示で、基本的な大気汚染規制	各種の発電燃料サイクル全般	外部コスト(他例の紹介として)[Pence/kWh, '94 ?](in Scotland); 風力 0.03–0.05, 水力(小規模 から派生したもの) 0.05–0.08, 燃料食物(バイオマス) 0.44–0.59, 廃棄物埋め立て地ガス燃焼 0.79–0.81, 家庭廃棄物燃焼 0.89–1.32, 石炭 3.55–5.4	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	なしき み(資源耗減によるもの(制御コ ストなど?)	

1)-11 A.M.Freeman and R.D.Rowe, 1995	Ranking electric generating technologies with external costs	アメリカ New York 州とその隣接地域	各種の発電(他部コスト)とその部コスト	損害賃用法(New York 州環境外部 PM10 43800,3200, NOx -1100,900, SO2(without trade) 1200,700 モデル EMOD に基づく)	外部コスト(Natural Gas Combined Cycle の場合, EMOD による, Urban/Rural の順で, [\$/ton, '92]) ; PM10 43800,3200, NOx -1100,900, SO2(without trade) 1200,700
---	--	------------------------	---------------------	---	---

1)-12 European Commission DGXI, 1999(?)	Externalities of EU internal energy annexes	Externalities of EU internal energy Methodology	各種の発電燃料サイクル全般	EcoSense モデル (ボトムアップ型)	大気汚染疾病費用[ECU,'95] ; (急性)行動制約日 75, 症状日・軽い行動制約日 7.5, 胸部不快・せき込み性疾患 1200000, 大人の慢性気管支炎 105000, 非致死性ガス 450000, 慢性腫瘍 450000, 慢性のぜん息 105000, 子供の気管支炎流行 225, 子供のせき流行 225。
---	---	---	---------------	------------------------	---

1)-13 M.Dreicer et al., (CEN) 1995	The external costs of the nuclear fuel cycle: Implementation in France	フランス	原子力発電燃料サイクル全般	影響経路法(ボトルネック法) 原子力発電燃料サイクル全般 (ムアップ型)	原子力発電燃料サイクル全般の外部コスト ; 2.5(割引率 0%), 0.98(割引率 3%), 0.046(割引率 3%), 0.05(割引率 0%) ; 上記値にくらべ非常に小 - PWR1300MWe, PSA 確率 1E-5/reactor-year オおよび気象条件(144通りの場合設定、影響半径 3,000km)などを含む影響経路法適用、ソース一元化はコア放射能の約 1% のリリース、コード COSIMA 適用(健康影響、放射能被ばく指潜量(欠勤、他?)および農産物の損失に関するコストを評価)。
1)-14 W.Kennitt et al., 1998	Health risk of energy	ドイツとヨーロッパ全体	各種の発電のヨーロッパ全体	影響経路法(ボトルネック法) 健康影響(病理学的)	ドイツの職業人損失要因余命 [yr/70h] ; 石炭(coal) 6.9, 石炭(lignite) 0.2, 石油 2.8, ガス 0.1, 原子力 0.3, 太陽光 0.7, 風力 0.3, 排出ガスあたり(一般) 損失余命 [yr/t] (ドイツ平均, ヨーロッパ平均の順で) ; SO2 0.11, 0.08, NOx 0.07, 0.05, PM10 0.22, 0.17。 (詳しい)

1) 15 谷口武後, エネルギーシステムのリスク	アメリカ、力	各種の発電燃	(種々、影響経路	(これまでの各種のリスク評価の成果をレビュー、主にアメリカヨーロッパにおけるもの)
1995 評価	ナダ、ヨーロ	料サイクル全	法(ボトムアップ	

ツバ
般
型) . . .)

その他制御コスト法に関するものとして以下

(文献解説)

1) 16 S. S. Bertnow, (和訳) エネルギー計画と運	アメリカ	各種の発電?	制御コスト手法?	?
1990 (2) ~4 谷口 用のための環境外部性の価値			— 対策コストア	

付ナ
武後, 2001(ExternE
研究(1999 ?))より)

1) 17 DOE/EIA, (和訳) 京都議定書が米国の	アメリカ	各種の発電?	制御コスト手法?	?
1998 (2) ~4 谷口 エネルギー市場や経済活動に			— 対策コストア	

及ぼす影響
付ナ
武後, 2001(ExternE
研究(1999 ?))より)

付録1 文献Table 2) 原子力発電の外部評価事例 (* 文献Table 1)との重複いくつかあり)

著者、年	タイトル	国、地域	分野、部門	推計法	評価値(各分野、部門における)
2)-1 OECD/NEA, 2000	Methodologies for assessing the economic consequences of nuclear accidents	世界各地、主に EU、アメリカ	原子力発電燃料サイクル全般	損傷指標総額；300 million \$DRs(何の貨幣単位?)程度。	過疎事故の外部費用 ; 0.001~10 cents/kWh 程度(1990~1994)、risk 認知を含めたものは大きい方にあります。
					チエルノブリ事故がノルウェー農・畜産業に与えた経済損失(鶏肉)；レタス '86 \$45000(以上)、牛と山羊の乳・チーズ '86 と '87 \$2.4M(チーズだけ)、羊(肉、頭など) '86から'88 \$37M、トナカイ '86と'87 \$7.3M、牛肉 '86 と '87 \$7.3M、これらの分野で無補償損失あり。観光、不買(風評被害)は含まれます。
2)-2 European Commission, 1999(?)	Externalities of energy annexes	EU内数カ国	各種の発電燃料サイクル全般 (ボトムアップ型)	原電感覚法(ボトムアップ型)	I/O Table を用いたマクロ経済損失の評価値；France [m France Francs] - 遊離による付加価値損失 2300('80), 移住による付加価値損失 2 年計で 12300('80)、Spain('80) [m Pesetas] - 移住を含む経済効果 シナリオにより差があり直接影響地域 10'から 10'、非影響地域・産出損失 10'から 10'、非影響地域・産出増加 10'から 10' (産出損失の 2 から 6 倍)。
2)-3 M.Dreicer et al., (CEPN) 1995	The external costs of the nuclear fuel cycle: Implementation in France	フランス	原子力発電燃料サイクル全般	影響経路法(ボトムアップ型)	(* 1-12) に記載されている
2)-4 谷口武俊, 2001 (ExternE 研究(1999?))	ExternE 研究(1999?)のまとめ EU、特にイギリス、ドイツについて詳細データ	イギリス天然ガス cost 燃料サイクル全般の外部コスト ; YOLL ベース 11.2, VSL ベース 23.1 [mECU/kWh]。ドイツ原子力発電燃料サイクル全般の外部コスト ; YOLL ベース 4.61, VSL ベース 8.03 [mECU/kWh]。地球温暖化(付損害コスト)(割引率 3%) [ECU/t] ; CO2 19, CH4 350, N2O 6400(N2O は別モデルでは 11000)。			
2)-5 I.Taniguchi, 2000	Public health risk of nuclear and fossil power plants in Japan	日本	石炭およびガス火力、原子力	大気汚染;影響経路法	日本における外部コスト(公衆健康影響) [mECU/kWh] ; 火力 (PM10, O3, SO2, NO2) - 石炭 3.3E0(都市), 5.9E-2(地方)、ガス 2.3E-1(都市), 5.0E-3(地方)、原子力 通常運転時 1.E-9(40km 以内),
			火の燃料サイクル全般	Ver.2.0)。原子力 ; PSA 火災損傷	5.6E-10(40km から 100km), 4.3E-10(100km から 1000km)、過疎事故時 2.1E-4(40km 以内), 2.6E-4(40km から 100km), 1.2E-3(100km から 1000km)。
					確率使用。

2)-6 C.Schieder The external cost of theフランス	原子力発電燃 料サイクル全 般	おそらく影響経路 外部コスト； 料サイクル全 般型) ③に同 じ？	i)約0.00002 Euros/kWh(最大、公共影響を含わせた職業人影響で、発電および再処理の段階で生じ る) ii)約0.0001 Euros/kWh(リスク嫌悪(risk aversion)効果を仮定、事故時、値はかなり小さい)
2)-7 A.Voss, LCA/External costs in ドイツ 2001(口頭発表メモ から)	comparative assessment of electricity chains, Decision support for sustainable energy production	各種の発電燃 料サイクル全 般	ドイツにおける寿命限界が部コスト(euro cents/kWh)；石炭(lignite)が約3、ガス、Pfが約1、原子 力、風力、水力約0.1。騒音、温湿度、酸性雨、材料影響、農業影響、健康影響等考慮の外部コスト 型) ①-7 (euro cents/kWh)；石油火力が最大で約4。全コスト(euro cents/kWh)、private/direct costs を含 む?)；太陽光 80、最安の原子力 3。放出ガス量あたりのコスト(euro/t)；SOx 5650、NOx 5040、 a.l.(1999) 同 PM10 8700、NMOC 1770。ちなみに 1)-7 W.Krennitt et al.(1999)では damage cost として(1996 年評 議) LCA 結果を 値値、W；旧東ドイツ E；旧西ドイツ W；旧東ドイツ E；旧東ドイツ W；旧西ドイツ E；旧東 利用 W20000, E14600。SOx と PM10 の割合で差大。
2)-8 O.Hohmeyer et al., 1988 (川島 啓, 2000 の解説文)	Social costs of Energy consumption	ドイツ 事故)	原子力発電(重 大事故)
2)-9 PACE, 1990 Environmental costs of ? (川島啓, 2000 の解説文)	原子力発電(重 大事故)	トップダウン型	原子力発電の重大事故外部費用；1.2から12.0 [Pf/kWh, Pfはベニッヒ] …過大とされる。
2)-10 Friedrich External costs of ? and Voss, 1993 electricity generation (川島啓, 2000 の解説文)	Ontario Hydro's nuclear plants	原子力発電(重 大事故)	原子力発電(重 大事故) トッブダウン型 原子力発電の重大事故外部費用；0.008から0.07 [Pf/kWh]。 PSA を部分的に使 用
2)-11 ERG, 1993 Calculation of environment (川島啓, 2000 の解説文)	カナダ	原子力発電(通 常事故、重大 事故)	原子力発電(通 常事故) トッブダウン型 原子力発電の重大事故外部費用；0.002から0.051 [cent/kWh]。
2)-12 CEPN, 1995 European Commission, DG XII (External Phase II)、Science Research and Development, Externalities (川島啓, 2000 の解説文 および 2)-4 of Fuel cycles 'ExternE', 谷口武俊, 2001 より Project report No.5 Nuclear	フランス	原子力発電燃 料サイクル全 般	原子力発電(燃料サイクル全般)？、炉心損傷(溶融)事故時；0.0023から0.104 [mEUR/kWh]。 6)-3 M.Dreicer et al., (CEPN) 1995 の評価値と差あり。理由は？

2) 13 Fisher and Social costing approach for America 原子力発電の重大事故(何らかの原因)外部費用 ; 0.0059 と 0.0103 [cent/kWh]。

Williams, 1994 nuclear power plant 大事故 ? (おそらく PSA 原子力発電の重大事故(何らかの原因)外部費用 ; 0.0059 と 0.0103 [cent/kWh])。

(川島啓, 2000 の解説文)

2) 14 European External Phase III A country report for national implementation programme 2000 の解説文) ドイツ原子力発電重大事故外部コスト ; YOLL ベース 2.38E-4, VSL ベース 3.03E-4 [mEUR/kWh] (いづれも割引率 3%)。

Commission DG X report for national implementation programme II, 1997 (川島啓, 2000 の解説文) 影響経路法(ボトムサイクル全般の中です?)

2) 15 鳥井弘之, 論説室の怒り 矛盾した原子力損害賠償 ('Energy Forum' 内) 日本 原子力事故(発電以外の施設も含む) 原子力事故(発電以外の施設追従) 原子力事故(発電以外の施設も含む) 損害賠償額(1、2段階の総額) 600 右記の賠償指置額(1、2段階の総額)

1998 120 热出力 1万 kW 以下の施設 20 热出力 100 kW 以下の原子炉 120 プルトニウム加工施設 20 廃棄物処理施設 120 ガラス固化体の管理施設

付録1 文献Table 3) 各種の災害および事故による損失

著者、年	タイトル	国、地域	分野、部門	指針法	評価値(各分野、部門における)
3)-1 (財)日本原子力文化振興財団, 1997	「原子力」圖面集 の尺度 (出典:日本物理学会他「新・放射線の人体への影響」)	危険度 (先進国?)	人的価値損失 リスク一般	懲戒収集(?) 日常生活;	人の死亡予想値(人/yr 10万人): 自動車 0.4, 船舶 0.36, 航空機 0.044 トリハロメタン 0.024, 大気汚染物質 0.37, ガス事故 0.36, 直接費 28, 予防措置 0.01 自然放射能 2, 電気事故 0.1
		産業生活:			林業 49.2, 渔業 58.3, 鉱業 131, 建設 19.9, 製造 5.39, 運輸 12.7, 電気・ガス・水道・熱供給 2.52, その他 2.46, 全事業 7.44
3)-2 アメリカ疾病対策センター, 2002 (東京新聞 homepage 記事)	米のタバコ死者年44万人 死は20兆円以上と試算	アメリカ	人的価値損失 リスク(喫煙)	禁煙処理	喫煙による人的損失('95から'99年の年間値)の試算値; 死者 44万人(タバコが原因のガンや心臓病等) 損失 1570億ドル(20兆円)以上 (医療費などの社会的損失) 新生児 1000人 (胎内にいるとき母親の喫煙が原因、低体重などになり)
3)-3 環境省, 2002 (NHK homepage 記事)	車の排ガス 肺がんリスク試験	日本	人的価値損失 リスク(車の排ガス)	?	ディーゼル車排気ガスの粒子状物質吸引による人的損失の試算値; 肺がんになるおそれ 1E-3から 1E-5 (粒子状物質を市住地屋外と同じ濃度で 75年間吸い続いた場合)
3)-4 NUREG/CR-1916 A risk comparison BNL-NUREG-5138, ?(yr)	A risk comparison	アメリカ	損失余命	?	損失余命の試算値[days](いくつかのみ示す); 喫煙(男性) 2550、疣夫 1100、がん 980、ベトナム軍人 400、自動車事故 207、放射能施設従事者 40、火事 27、医療 X 線 7、原子炉事故(全アメリカの発電所が原子力と仮定した場合) 2、車のエアバッグ -50

3) 厚生労働省，長崎周辺の被爆者に20億円の日本 原爆による？ 「心の傷」への医療費支援；
 2001（朝日新聞 医療支援 握護法除外で
 homepage記事） (厚生労働省が医療費支援の本格展開に入った)

3)–6 L.Thurow, 原子力の時代？ 世界 石炭坑夫死亡？ 石炭坑夫死亡者[人/年]； 2001(?) (in 'The world's nuclear news agency 16 January 16, 2001 / Background №.1/01/A')	リスク アメリカ 55、中国 10,000 他の先進国ではアメリカと同じ死亡率、第三世界では中国と同じそれと仮定するなら、世界では 55 人/日の死亡、となる。
3)–7 金沢地裁，小松選鉱所、8億円余の賠償 2002（読売新聞 命じる homepage記事）	騒音被害者 ?(うるささ指数 騒音被騒音) 騒音被騒音(補清)；総額8億1384万7900円 MECPNL うるささ指数(MECPNL)75 以上の地域の住民に
3)–8 三菱総合研究 受託調査報告書 TRC消滅処理 いろいろな環境；公害 所、1990（原研究 収束・ベネフィット評価に 受託調査報告書） 関する調査 (P.96 社会的 費用の定量化方法、例)	直接支出・収入 社会的費用定量化例； 法、資産面直法、直接支出・収入法 防音費用 ¥4000/dB(A)/年/世帯、 面直意識法、アンケート方式、裁判 方式 騒音-住宅賃貸面直法 騒音-地面低下 ¥700～1284 /dB(A)/m ² 、 大気汚染-住宅賃貸面直低下 \$1700 /NDx(ppm)/住宅 面直意識法 騒音-不快感増加 ¥200000 /dB(A)/年 アンケート方式 騒音-リクレーシヨン面直低下 ¥1000 /dB(A)/世帯/月、水質汚濁-リクレーション面直低下 \$1～5 /日/ノゾム(ppm) 裁判方式 騒音-鉄道、高速道路沿線 裁判分析 ¥81～111 /dB(A)/日

付録1 文献Table 4) 産業、経済に対する影響、損失（対策；countermeasures も）

著者、年	タイトル	国、地域	分野、部門	推計法(、対策)	評価値(各分野、部門における)
4)-1 林野庁、? 森林の公益的機能の評価額 (2001 年 林野庁 Homepageより)	森林の社会的評価額	日本	森林の社会的 ? 評価額	森林功用の評価額[兆円]；水源涵養 27.1(保水・貯水 8.7, 水質浄化 12.8, 泥水防止 5.6)、野生鳥獣保護 3.8、保健休養 2.5、山地災害防止 8.4、土砂流出防止 28.3)、大気保全 5.1(CO2 吸収 1.2,025(3.9) (地球温暖化防止の評価額は記されておらず・不明?)	
4)-2 L.Mackellar et al.(IIASA), ?(2000) Estimating catastrophic risk exposure and the benefits of risk transfer in developing countries	natural developing countries	Sane Risk management	model analysis, stochastic simulation (?)	Risk exposure (研究者の指標、絶対値の方が risk 小) -0.027(with no replacement investment, 対策なし), -0.025(with replacement investment financed by post-event borrowing, 外国借り入れ), -0.011(with replacement investment financed by ex-ante risk transfer, 災害リスク補償政策)。他の設定での評価も試みているが、不十分の模様。	
4)-3 山陰中央新報、鳥取県西部地震復興への道 2001 (Homepageより)	鳥取県西部地震1年 のり	日本	地震被害の観 察計 光地風評被 害?	鳥取県西部地震(2000年9月発生)による入り込み客数(実人頭)減少率(前年比)；県内全体 4.9%, 米子・皆生温泉周辺 2.2%, 大山周辺 22.5% (鳥取県鶴が光署による)	
4)-4 内閣府；2000 防災白書 (Homepageより)	日本	自然災害への 行政事業・支 援	総計 社会的費用、 リスク管理	(日本の各種の災害；台風、豪雨、洪水、土砂災害、地震、津波、火山災害、事故(各種交通機 関、原子力、危険物、火災など)などに対する支援措置の内容、支援額等をまとめられている)	
4)-5 U.S.OMB(アメリカ行政予算管理局), 2000 Federal Regulators: 2000 Report	Reports to Congress on the costs and benefits of cost-effectiveness	アメリカ Interventions and their cost-effectiveness	社会的費用、 リスク管理	アメリカの社会的規制による年間便益、年間費用、純便益[\$ billion]; 環境 交通 15-18, 84-110, 66-95、労働 18-19, 28-30, 9-12、その他 17-22, 45-49, 23-32。	
4)-6 Tengs et al., 1995 U.S.EPA(アメリカ環境保護庁), 2000	Five-hundred life-saving interventions rule : Economic analysis	アメリカ 社会的費用、 リスク管理	社会的費用、 リスク管理	119 種の化学物質規制オプションに関するための費用[\$ '93]；\$10'から10'が約1%を占める。 約21%、\$10'から10'が約27%、\$10'から10'が約1%を占める。	
4)-7 U.S.EPA(アメリカ環境保護庁), 1990 analysis	Arsenic in drinking water rule : Economic analysis	アメリカ 社会的費用、 リスク管理	費用便益、リ スク管理	水道水中ヒ素の Maximum contaminant level (MCL) が 3.5, 10 ($\mu\text{g/L}$) の場合の費用、便益[\$ million、 約] ; 850, 350, 425, 275, 190, 170。	
4)-8 U.S.EPA(アメリカ環境保護庁), 1990 analysis	The benefits and costs of the Clean Air Act, 1970 to 1990	アメリカ 社会的費用、 リスク管理	費用便益、リ スク管理	Clean Air Act の'70 から'90 年までの便益、費用、純便益(便益-費用)[?おそらく \$ million, '97]; 22200, 523, 21700。便益費用比率 ; 42/1。	

付録1 文獻 Table 5) リスクの認知とコミュニケーション

著者、年	タイトル	国、地域	分野、部門	推進法	コメント(結果、特徴、問題点)
5)-1 A.Voss, 2001 (Confidential communication report, 2001)	— (Risk perception and communication)	原子力発電料サイクル全般	— (レビューの Risk perception and communication に関する事項についてレビュー。途上にあるこのデータにに対して以下をあげる; Trust, Voluntary versus involuntary, Control, Benefit/Reward, Knowledge, Gender, Catastrophic Potential)。また、核エネルギー利用分野の公衆 risk perception について以下の基本認識を提起; 一般民衆には理解されず専門家により操作される複雑な技術、國の中央機関により管理され民衆はその運営方針に関与できない、簡単な失敗や発生確率極低でも深刻な結果をもたらすがテンシャルあり、公衆 risk perception の明確な必要性、便益性が見えない、放射能は目に見えずという潜在的恐怖。	Risk perception & communication	
5)-2 Kaspersen, The social amplification of risk 1992 (川島啓, 2000 の解説文)	(in "Social theories or risk")	原子力発電 (種々の分野のリスクか?)	— (特に言えない?)	専門家と一般人との間の技術的および社会的側面を統合する理論群が何組みの必要性を指摘。	
5)-3 Bradbury, The policy implication of differing concepts of risk, science, technology and human values 1989 (川島啓, 2000 の解説文)	不特定	科学技術全般 (?)	— (特に言えない?)	技術的リスクを客観的リスク (objective risks) とし、社会的リスクを精神測定的リスク (psychometric risks) と文化的リスク (cultural risks) に分けた。	
5)-4 川島啓, 2000 (解説文)	重大事故リスクの評価 (2.専門家による重大事故評価の限界)	原子力発電 Expected Damages)アプローチとその限界	ED(Expert Expected Damages)アプローチによる評価がそれ。これによる評価額、これは、社会全体の(一般人の)リスク回避度が大きい原原子力の場合大きくなる。事故確率を個人の意思決定により主觀的に与えること・・・社会的忌避感を表現か。(真か偽かの問い合わせ)	専門家の期待値に基づく損害額 ED のアプローチでは、過小評価の可能性あり。すなわち、PSA の重大事故確率は、安全設計基準事象をはるかに越えるものの連続事象として捉えられるために、限りなくゼロに近い。	
5)-5 European Commission DG X Methodology II, 1995 (川島啓, 2000 の解説文)	External Phase II Vol.2 不特定	原子力発電(燃 料サイクル全般で?)	ED アプローチの損害評価額 ; 一般人のリスク回避系数が大きいほど、またリスク認知バイアスの効用	損害評価額 ; 一般人のリスク回避系数が大きいほど、またリスク認知バイアスの効用	損害評価額 ; 一般人のリスク回避系数が大きいほど、またリスク認知バイアスの効用
			と、大幅増加の傾向を確認(2から3折の増加)。	(ED アプローチの損害額 ; 効用函数を仮定した場合 — リスク回避、事前評価、リスク認知バイアスの効用)	

5)-6 L.Eckhardt	Risk aversion and the external cost of a nuclear accident.	原子力発電料サイクル	新規利用効率	原子力発電料サイクル	リスク嫌悪(Aversion)の期待効用関数による評価。リスク中立(neutrality)の値に乗数ファクタ(multiplying factor)をかけ求める。バランスのデータを用いた原電のシビアーアクシデントのケースを試算(シナリオ設定、炉心損傷確率(?)10 ⁻¹ /year、放射性物質の放出は元心の1%)。リスク嫌悪を含めた外部コスト(代表ケース)として 0.046€/Euro/kWh を算出(リスク嫌悪なしの場合 0.0023€/Euro/kWh)の 20 倍。相対リスク嫌悪係数 2、乗数ファクタ 20 を適用)。事故なしの原子力燃料サイクル全体の場合(0.1€/Euro/kWh、年割引率 3%)の 50%に相当(し大きい)のこと。
5)-7 田中豊, 1999	原子力発電所の社会的受容に及ぼすコミュニケーションの効果	日本	原子力発電	心理学的実験(コミュニケーションの効果測定)	原子力発電所の安全性に関するコミュニケーションの効果の測定。専門家による情報提供・質疑応答めぐる討論などが危険の認識低下・信頼感向上をもたらす、しかしその効果は一ヶ月後には減少、コミュニケーションの内容はわかりやすい・開心が持てると感じる方が被験者の態度変化をもたらしやすい。
5)-8 小杉繁子と土屋智子, 1999	科学技術のリスク認知・態度に対する情報環境の影響 – 一般と専門家、専門家間の比較	日本	科学技術全般	質問紙による調査分析	科学技術はダイオキシン、バイオテクノロジー、原子力発電。①一般人と専門家間の違い；一般人は専門家より危険と思う傾向大、特に原子力発電で大。専門家は自分以外の専門家が安全視していると推測。②専門家間の違い(電力中央研究所職員と大学教員)；ダイオキシンとバイオテクノロジーについてはどちらの専門家もリスク認知がほぼ同じ、原子力発電では研究室職員の方がより安全と評価の傾向。
5)-9 小杉繁子と土屋智子, 2000	科学技術のリスク認知ごとほす情報環境の影響 – 専門家による情報提供の課題	日本	科学技術全般	質問紙による調査分析	「効果的な情報提供とコミュニケーションのために、専門家は多様な人々との接触を通じて自分と他の情報環境の位置を認識し、他者の認知や態度についてより深く理解する必要あり。一般の人々のニーズを知り科学技術についての理解の基準を共有することが求められる。」のこと。

5)-10	The health risk of energy	不特定	各種の発電燃料サイクル	情報収集	'80年代半ばまでの各種燃料サイクルにおけるリスクを各国の研究文献から累計し分析。リスクは死亡に到る事故と疾病に関するもの。職業人・一般人・過効性・急性に分類。発電の通常運転時、および事故時
A.F.Fritzsch, 1989			一般		大地震・精油貯蔵庫・ダム決壊・原子炉・原発爆発等のシビアーアクシデント時に分類。定性的だが、リスクは大きい順から化石燃料、再生可能、原子力になると評価。再生可能な量が大量に必要となりそれに關わる人的損失が大きくなること、原子力では属性の職業人死亡リスクが大きめとなることを記述。シビアーアクシデントの発生確率は化石燃料が比較的高く原子力は小さいと述べる。
5)-11 S.Bastide et al., 1989	Risk perception and social acceptability of technologies: The French case	不特定	情報収集、回帰分析	'87年フランスでなされた身の回りのリスクおよびその受容(perception)に関する調査研究。死亡頻度の結果から発展させている。調査結果はアメリカとの強い類似を示すと述べる。リスク受容に関する重要な要因として二つあげる: ①セキュリティに関する社会的一般的な感じ(global feeling); ②個々の経済社会、福祉・健康、個人の好みに依存する、リスク嫌悪につながる。②リスクを含む行為・活動の社会、公の受け入れの度合い; 喫煙、麻薬など反社会的なものは強く嫌われ、原子力発電など世論が分かれているものはリスク/ベネフィットのバランスを含む中間的な位置に置かれる。なお、この結果は他国との類似が多いとも述べる。	
5)-12 G.T.Gardner and L.C. Gould, 1989	Public perceptions of the American and British publics' risks and benefits of technology	不特定	? 情報収集、回帰分析	'87年フランスでなされた身の回りのリスクおよびその受容(perception)に関する調査研究。死亡頻度の結果から発展させている。調査結果はアメリカとの強い類似を示すと述べる。リスク受容に関する社会的一般的な感じ(global feeling); ②個々の経済社会、福祉・健康、個人の好みに依存する、リスク嫌悪につながる。②リスクを含む行為・活動の社会、公の受け入れの度合い; 喫煙、麻薬など反社会的なものは強く嫌われ、原子力発電など世論が分かれているものはリスク/ベネフィットのバランスを含む中間的な位置に置かれる。なお、この結果は他国との類似が多いとも述べる。	
5)-13 リスク学事典編纂委員会, 1993	リスク分析の考え方とその方法	日本	社会全般	—	リスク: 災害(自然、都市、労働)、食品・医薬品、環境、バイオハザード・感染症、化学物質、放射線、廃棄物、グローバル・社会経済活動。リスク評価の方法、尺度・指標; 確率・統計学、システム工学的手法、決定理論、相対評価。リスク管理とリスク・コミュニケーション; バーセブーション、コミュニケーション、危機管理のための評価基準、避難行動の情報システム、製造物責任リスクと損害賠償、資源管理と予見的リスク管理、公共リスクと負担の公平性、リスク管理の行政法、リスク回避と保険、リスクと費用便益、リスクと社会・文化。

5)-14 谷口武俊, 原子力およびエネルギー関連 不特定 1993 リスク	各種の発電燃料サイクル全般	石炭、石油、天然ガス、原子力、再生可能エネルギーの燃料サイクル全般に渡る環境影響(外部性)について記載。ただし、リスク、外部性評価研究の先駆的なもの。
5)-15 松原純子, 「リスク科学とは何か」環 不特定 1989 境から人間へのリスクの数量的評価	リスク関連分 収集情報、知見の野全般(健康が 概説、主?)	リスク科学・評価の当時の現状を記載。対象は健康が主か。各種発電と自動車事故、屋内ラドン被爆の人的リスク比較、また方法として、リスク評価階層(Hazard Analysis/hazard の同定、原因解析、結果分析)、Risk Analysis(障害の可能性推定)、Risk Assessment(risk 評価の判断)、Risk Management(意思決定と行動計画))、リスクアセスメントの階層(risk 測定、管理、比較、評価) も記述。
5)-16 吉川肇子, リスク・コミュニケーション 不特定 1998 [における信頼]	リスク・コミュニケーション ユニケーション 関連分野	リスク・コミュニケーションの概論およびそれにおける信頼の重要性を記述。リスク・コミュニケーションの主要な目標の一つ;信頼を媒介として相互理解を深めることのできるような社会的風土(social climate)を醸成すること、も強調。
5)-17 伊藤慶四郎, 原子力の社会的受容 ーその 社会的変容とリスク・ベネフイットー 1998	原子力発電、— 社会的位置付け・影響	原子力発電の歴史的・社会的変遷を追い、変わる世界社会の中での位置付け、受容を論じた。「不可視の放射能」の特殊性などとどうまらず、社会心理、世界政治・経済体制のなかでも映る特殊性などにもふれている。
5)-18 A.Ploough and S. Krinsky, 1987 communication studies : Social and political context	リスク・コミュニケーション 不特定 ユニケーション 一般	リスク・コミュニケーション(あるいはリスク)への取り組みの中間見解的なものの。定義、技術的観点からの合理性、文化の視点からの合理性などについて記述。モデル開発、モデル分析に課題多し、また専門家と公衆とのリスクやそのコミュニケーションの認識にある格差、が問題と。

付録1 文献 Table 6) エネルギー価格不安定、金融技術によるリスクヘッジング

著者、年	タイトル	国、地域	分野、部門	推計法、対策手法	コメント(結果、特徴、問題点)
6)-1 J. Herbert, 1997	Putting economic power in distributed power	アメリカ(東海 岸)	分散型電源、天然ガス	財務計算モデル (電源、燃料の価格変動のリスク低減・回避(hedge)が、天然ガスによる分散型電源で可能と強調。各々のスポット及び将来価格予測の理解を、将来市場でのリスク回避に生かす。	
6)-2 P.W.Parfonak, 1997	Falling generation costs, environmental externalities and the economics of electricity conservation	アメリカ(左記 3州)	各種の発電(他の燃料サブイクル部も含ます)	各種限界コストの計算? (収集、積み上げ、統計処理)	節電等各種コストの観点から言及。節電コストは発電コストより高い可能性あり。より安い燃料と建設費面に異なりずつと環境外部性の価値付けに改存している(環境外部性の意味が増した)。評価対象は Massachusetts, Wisconsin, California の 9 つのプラント。
6)-3 多数, 2001	エネルギー効率、総力 特集 エネルギービッグバンと金融ビッグバン (2001)	日本(および世界)	電気事業における金融技術 (FT)	リスクヘッジ; 各種オプション、各種デリバティブ	電力車両における FT(金融工学、Financial Technology)について記述。エネルギー市場の自由化に伴いいくつかのリスクが顕在化と見る。金融自由化(金融ビッグバン、国際会計基準の導入)と相まって専門家たる FT をエネルギー分野でも適用しリスク分散・回避・ヘッジすべき。FT の手法を各種紹介。エネルギーをあげば、デリバティブ(天候、地震など)、オプション(取引)、電力設備証券化、電力卸売市場とリスク管理商品、事業リスク管理など。
6)-4 EnronJapan, 2001(既に会社解散)	EnronJapan Homepage : 事業内容 リスク・マネジメントの手法	日本(および世界)	各種エネルギー事業 一売買事業	各種オプション (スワップ、キャップやフロア、カーラー、ア、カーラー、それらを組み合わせたハイブリッド戦略などを図を用いてわかりやすく示す。特に天候データやリスク回避について詳しく解説。なお Enron Japan は 2004 年現在存在しない。しかしここで示されたリスクマネージメント手法は標準的なもの。他社の手法と大枠は変わらないと考えられる。	エネルギー事業におけるリスクマネージメントを丁寧に解説。スワップ、オプション(キャップ、フロア)を組み合わせたハイブリッド戦略などを図を用いてわかりやすく示す。特に天候データやリスク回避について詳しく解説。なお Enron Japan は 2004 年現在存在しない。しかしここで示されたリスクマネージメント手法は標準的なもの。他社の手法と大枠は変わらないと考えられる。

6) マーク・マト 戰略決定プロセス論(問われる日本 「セックら、電力自由化時代の意思決定/	日本 2001,2002 電力自由化時代の発電ポート フォリオ戦略／自由化時代に 向かた電力企業の対応“リスク マネージメント”)	電力自由化に おける戦略決 定プロセス	リスクマネージメ ント技術	電力自由化時代における経営のポートフォリオ、リスクマネージメントについてアメリカの例に基づき 議論・提言。ポイントは以下：
				・規制緩和は決められたレール上で意志決定ではなく正しい方案を選択する意志決定が重要となる より高い質の意志決定のための要素；①適切なフレームの設定、②創造的で実行可能な代替案の創 出、③有用かつリスクを織り込んだ情報の収集、④価値基準の明確化、⑤論理的で明晰なロジックの導 入、⑥関係者全体会の判断実行に対するコミットメントの確保。
				・各種の不確実性が解消することなく存在し続けることを前提に(電気事業やガス事業の動向、需要・ 天候・燃料価格などの変動、卸や小売市場参加者の動向、行政の対応など)。
				・発電事業の価値を認識すること：発電資産にかかるすべての価値の源泉を認識、その価値を実現する ためのアクションを見いたし実行。そのためには発電事業の深い理解、リスクプロファイル(リスクアリ ターンの関係)の理解、戦略オプションの洗い出しが欠かせない。
				・電力企業にとってのリスクマネージメントの対象は確立された電力卸市場における(コモディティと しての)価格変動ばかりではない。規制改革、競争相手の行動、業界内・業界間の競争度合い、新規・ 代替技術の出現、燃料枯渇、需要変動、天候、事故・計画外停止、テロ、地震等、各種の不確実性を伴 うものも対象であり一般に対処が困難なものである。
				・リスク要因を質に応じて分類、それそれに応じたアプローチの適用が有効。分類は以下のよう；①戦 略リスク、②トレード可能なリスク、③トレードすることが困難なリスク・オペレーション上のリス ク。
				・リスク管理に課される使命；構造変化に対する収益や財務状況に関する感応度の計測、VaR 等のリ スク量の計測、全社レベルのリスクドライバの把握とモデルによる定量化、各種シミュレーションやス トレステストの実施、経営方針に対する投下資本や資源配分の整合性チェック、サービス向上による利 便性の裏側に内包されるリスクの評価とコントロール、顧客ニーズの把握。
				電力自由化が日本の電力企業に与える影響は大きい。ここで議論は一つの重要な軸路を導くものの。

6)-6 山本要一, エネルギーデリバティ入門 日本
2002

各種エネルギー 各種エネルギー エネルギーデリバティについて入門的に詳しく解説。スワップ、オプション(キャップ)、ゼロコストト
一売買事業、 デリバティ取引 カラー、先物、先渡し、組み合わせ商品(スプレッド、他)などのデリバティ商品、さらにデリバティ
金融技術 引、リスク管理 ブリッジの実務、企業の内部管理について例をあげて数字を用いて説明。基本的にデリバティ取引について
「市場価格変動リスクに対する有効なヘッジ手段として、正しく理解しリスク管理のために積極的に
用いる体制を整えるべき」と述べる。他にも以下の記述あり：
・デリバティは危険なものとして遠ざけられる傾向がある。通常の商取引に比べ次の違いかあるため；

①利額の元手で大きな効果を得ることが可能、反面多額の損失被る可能性もある。

②デリバティに対する理解が必ずしも浸透していない。

・リスク管理を行う企業の内部管理について；

①エネルギーデリバティを扱う社内管理体制として3オフィス体制を推奨；フロントオフィス(市場
に向き合う部門、トレーダーや顧客にリスク管理制度の提案)、バックオフィス(会計処理や入出金処
理)、ミドルオフィス(リスク管理制度、トレーダーの取引状況のモニター・危険状況の回避、フロント
部門のオフィシネーターによる新商品のリスクチェック、取引相手の信用状況に応じた取引量抑制)

②市場価格変動リスク以外にもある様々なリスクを企業全体として把握・管理することが重要(エネル
ギー価格変動に関する専門家のエンロン幹部がエンロン破綻の教訓)としてこの趣旨の発言をした。
電力自由化の中で市場価格変動への適切な対応は欠かせない。デリバティ取引はリスクヘッジの有効
手段として使われていくものであろう。

付録1 文献Table 7) エネルギーセキュリティ

著者、年	タイトル	国、地域	分野、部門	推計法	コメント（結果、特徴、問題点）
7)-1 1995	F.Raniero, The risks of the nuclear policies	原子力発電関連の政策分野	マーケットシェアや他のエネルギー	エネルギー供給と環境に関するセキュリティの観点から原子力政策リスクを評価。マーケットシェアや他のエネルギー政策モデルを適用。実際と目標のギャップ、唯一の技術選択に伴うエネルギー戦略リスクに関するモディファイを検討。—エネルギー技術による自立ではなく国際協調、多様、柔軟な戦略の利点を目指す。	
7)-2 2002	K.Koyana, The North East Asia and the Middle East producing countries (Energy security in Asia - Alliance in the North east Asia -) (in SPEC 2002)	北東アジア、中東	一次エネルギー供給	時系列統計処理	北東アジアの供給セキュリティ確保は供給原分散(中東依存低減)、備蓄増強、産油国との協調強化、域内共有目標保有により。中東の需給セキュリティ確保は安定かつ十分な競入のためマーケット維持、北東アジアとの相互依存および共有目標保有により。北東アジア－中東双方に取引原油価格の合理化？(大きな価格変動、Asian Premium(\$1程度)の解消の達成も必要。この報告の提供者は分析結果および提言が主。具体的なAction、手段支援へつながる情報提供も望まれる(著者のターゲット外か？)
7)-3 2002	M.A.Al-Moneef, Prospects for East-West Asia energy cooperation (in SPEC 2002)	東アジア、中国	石油とガスの需給	時系列統計処理	供給サイドから石油、天然ガスの需給セキュリティを述べる。サウジアラビア側ですべきこと、政策：石油価格の適切な市場化・透明化、供給側キャバシティ余裕の確保・増強、アジアなど主要市場での精製市場ジョイントベンチャへの参加、紅海ペルシャ湾への輸出地分散、生産削減、消費削減促進。中東サウジアラビアは需要の不安定化を嫌悪するため(需要量、価格の変動嫌悪)。サウジアラビアの安定需給確保策(セキュリティ)；3.0mbd の供給備蓄、アジア市場(下流部門)への70mbd規模の投資。
7)-4	読売新聞 homepage記事, 2001	日本	電源ミックス	—	日本の自家発電設備・能力3000万kW超(2000年度末)は日本全体の約12%、原発20から30機分に相当。この10年間で5割近く増。コジェネレーション。コスト削減や省エネルギー対策としてだけではなく、非常用のバックアップにもなると注目。今のところ(2001年3月現在)工場やホテルなど大規模施設での導入が多いが、今後はコンビニエンスストアやスーパーなどでも導入の動き。

付録1 文献Table 8) 気候変動

著者、年	タイトル	国、地域	分野、部門	推計法	評価値(各分野、部門における)
8)-1 東京電力 , 2001 (東京ガスと共に実施)	夏期の気温リスク交換契約 (東京ガスと東京電力の間で)	日本	電力およびガス供給(8,9月の夏期)	一種の天候デリバティブタイプ	8,9月の平均気温と基準気温の差が0.5°Cを越えた場合金銭授受発生。差が2°Cで7億円まで線形増加。1°Cで2億3000万円余。最大支払額7億円。2°Cを越えても変わらず。2°C以上になると確率は4%程度のこと。基準温度は26°Cに設定(過去40年の平均気温にヒートアイランド化分の補正を加えて設定)。
8)-2 EnronJapan, 2001 (会社開設)	EnronJapan Homepage : 事業 内容 天候デリバティブとは?	日本(および世界)	各種エネルギー 一売買事業	天候デリバティブ	――
8)-3 環境省, 2001 (NHK homepage 記事)	炭素税導入 経済的影響少な い	日本	炭素税	? (エネルギー・環境・経済モデル分析)	炭素税: 20から30円/ガソリン1リットル

This is a blank page.

付録2 原子力発電外部コスト評価のレビュー から

③ 評価モデルに見られる差異

(Backward Citation 6) より)

Table 4.1 Aspects included in the models for the cost of short-term countermeasures

Table 4.2 Aspects included in the models for the cost of long-term relocation of population

Table 4.3 Aspects included in the models for the cost of food-bans

Table 4.4 Aspects included in the models for the cost of decontamination

Table 4.5 Aspects included in the models for the cost of health effects

Table 4.6 Gridded data sets in the models

This is a blank page.

Table 4.1 Aspects included in the models for the cost of short-term countermeasures

Type of countermeasure	Economic impacts	ARANO
Evacuation – short-term relocation	Management – monitoring	Costs not considered except for small scale accidents
	Transport	
	Lodging and food	
	Loss-of-income	
Sheltering	Loss-of-income	Not considered

Table 4.2 Aspects included in the models for the cost of long-term relocation of population

Economic Impacts	ARANO	MACCS
Management - monitoring	Not considered	Not considered
Transport	Single value per person	Single unitary cost (per day and person)
Lodging and food		
Loss-of-income	Single value per worker (loss-of-income) + Losses of production in 4 sectors (unit values per worker-day)	
Lost capital services	4 categories: <ul style="list-style-type: none">• Agriculture and forestry• Manufacturing and construction• Services (distributed as the number of workers in each sector)• Housing (distributed as population)	Non-farm property (single value per person): <ul style="list-style-type: none">• residential, commercial and public land, improvements, equipment and possessions Farm property (single value per hectare) In up to 99 regional values
	Losses increase linearly up to 10 years (total loss)	Depreciation of improvements (not land) during loss of usage

Table 4.1 Aspects included in the models for the cost of short-term countermeasures

MACCS	COCO-1 - COSYMA & CONDOR	MECA
Not considered.	Not considered.	Unit cost (per person and day). Reduced for relocation.
	Different unit cost for private and public transport (per person).	Different unit cost for private and public transport (per person and km).
Single unitary cost (per day and person).	Unit cost of accommodation lost (per person and day).	Different unit cost of lodging and food for private and public lodgings (per person and day).
	GDP (per person and year). Up to 15 regional values.	GVA (gross value added, per person and day) by economic sectors except agriculture. Distributed in the grid.
Not considered.	GDP (per person and year). Up to 15 regional values.	Not considered.

Table 4.2 Aspects included in the models for the cost of long-term relocation of population

COCO-1 - COSYMA & CONDOR	MECA	
Not considered.	Reduced unit cost (per person-day) during transitory period.	
Different unit cost for private and public transport (per person).	Different unit cost for private and public transport (per person-km). Transport of livestock (per km-head).	
Unit cost of accommodation lost (per person-year). Considering the costs up to a recovery time. Including depreciation	Different unit cost of lodging and food for private and public lodgings (per person-day). Only during transitory period. Reduced for relocation.	
GDP (per person-year). 15 regional values max up to a mean recovery time. Region indices distributed in the grid.	GVA (gross value added, per person-day) by economic sectors except agriculture. Distributed in the grid. Sector specific recovery time. Optional input-output model for impact on production, in and out of the relocation area (including positive and negative effects).	In Rural areas: • Land. Unit cost per unit area, up to 15 land uses and 17 region values. Areas of up to 15 types of land uses, distributed in the grid.
4 categories: • Non-residential. • Housing and buildings. • Consumer durable. • Land. (per person, up to 15 regional values)	5 categories in Urban areas: • Dwellings. • Public buildings. • Public open areas (per person in up to 17 regions). • Industrial installations. • Commercial and other buildings (per employee in industry & services). (number of employees by economic sectors distributed in the grid).	Only if permanent relocation. No depreciation for rural land.
Capital depreciation from recovery time for 1 and 2, for 3 and 4 all the time.	Normal capital depreciation + accelerated depreciation due to lack of use and maintenance (different rates for each category and period, before and after recovery times).	

Table 4.3 Aspects included in the models for the cost of food-bans

Economic impacts	ARANO	MACCS
Cost of lost food (first year).	Unit value of production losses, per agricultural worker-day. 3 categories: milk, corn and all other products. Costs evaluated for the first year and for the rest of the ban period.	Unit value of farm production, per unit area-year. 2 categories: milk and non-milk production. Milk losses for 3 months.
Cost of food bans (following years).		Lost capital services for farm property (as for long-term relocation).

Table 4.4 Aspects included in the models for the cost of decontamination

Economic impacts	ARANO	MACCS
Cost of rural decontamination.	Not directly considered.	Unit costs for up to 3 decontamination levels (per unit area).
Cost of urban decontamination.		Unit costs for up to 3 decontamination levels (per person).

Table 4.3 Aspects included in the models for the cost of food-bans

COCO-1 – COSYMA and CONDOR	MECA
<p>Lost food: gross output</p> <p>Lost agricultural capital:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-residential capital. • Buildings and land. • Including depreciation. <p>Food disposal</p>	<p>Lost food: price perceived by farmers (representative of the cost of crop losses).</p> <p>Production of up to 40 agricultural products, and livestock census of up to 10 species distributed in the grid.</p>
<p>Lost food: GDP contribution by products – during recovery time.</p> <p>Lost agricultural capital.</p> <p>Food disposal.</p>	<p>GVA (gross value added, per person-day) for agriculture.</p> <p>Distributed in the grid.</p>

Table 4.4 Aspects included in the models for the cost of decontamination

COCO-1 – COSYMA & CONDOR	MECA
<p>Unit cost of decontamination (per unit area).</p> <p>Single value for each time period.</p>	<p>Unit costs for up to 6 types of surfaces and 6 decontamination levels (per unit area).</p> <p>Areas of up to 15 types of land uses, distributed in the grid. Assigned to decontamination categories.</p>
<p>Unit cost of decontamination (per person).</p> <p>Single value for each time period.</p>	<p>Unit costs for up to 6 types of surfaces and 6 decontamination levels (per unit area).</p> <p>Areas of each decontamination category per person.</p>

Table 4.5 Aspects included in the models for the cost of health effects

Type of effect	Economic impacts	ARANO
Early health effects.	Medical treatment.	Single value per illness and fatality.
	Loss of "human capital".	Risk aversion considered with higher weighting factors for accidents causing large numbers of health effects.
Latent health effects.	Medical treatment.	
	Loss of "human capital".	

Table 4.6 Gridded data sets in the models

ARANO	MACCS
<p>Population.</p> <p>Number of workers in:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agriculture and forestry. • Manufacturing and construction. • Service. 	<p>Population.</p> <p>Regional values (up to 99) of:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Non-farm property. • Farm property. • Farm production. • Fraction of farm production for milk.

Table 4.5 Aspects included in the models for the cost of health effects

MACCS	COCO-1 – COSYMA & CONDOR	MECA
Not considered.	Unit cost per case of each type of health effect.	Unit cost per case of each type of health effect.
	Unit loss of an individual's contribution to economy (per year) times the number of years lost.	Unit loss per case input by the user (subjective valuation).
	Subjective valuation option: Single value per case	
Not considered.	Unit cost per case of each type of health effect.	Unit cost per case of each type of health effect.
	Time frame for discounting hardware.	Increase in medical treatment costs.
	Unit loss of an individual's contribution to economy (per year) times the number of years lost.	Unit loss per case input by the user (subjective valuation).
	Number of years lost due to cancers. Time frame for discounting hardware.	User input time frame for discounting.
	Subjective valuation option: Single value per case.	

Table 4.6 Gridded data sets in the models

COCO-1 – COSYMA & CONDOR	MECA
<p>Population.</p> <p>Agricultural production for human consumption for 9 products (only for ingestion dose calculation).</p> <p>Agri-economic production for 3 categories:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Milk. • Livestock. • Crops. 	<p>Population.</p> <p>Gross value added & number of workers in:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agriculture. • Industry. • Services. <p>Agricultural production for up to 40 products.</p> <p>Livestock census for up to 10 species.</p> <p>Farmland use (area) for up to 15 types of rural surface.</p>

付録2 原子力発電外部コスト評価のレビューから

(4) 評価研究に見られる差異、課題 (Backward Citation 6) より)

*Chapter 5***CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**

Based on the study summarised in this report, the Expert group drew several conclusions, based upon which it was felt that certain recommendations would be of value.

The cost of an accident

- The Expert group felt strongly that there is no single "cost of an accident". Various perspectives exist from which accident costs are approached, each based on different goals, rationale and needs. Earlier studies had focused on the cost of countermeasures in the perspective of accident management. Since that time, the interest has shifted to the external and the compensation costs. Debate of these issues continues among both professionals and the public.

Recommendations

- Future efforts should focus on the detailed assessment of cost elements. This is particularly the case with health effects, the costs of which are dominant in the case of large accidents with long-term impacts. Two different approaches to the assessment of health-care costs are currently most popular: the human capital approach and the willingness to pay approach. The current use of these two approaches in codes may contribute to large discrepancies in the results. Better understanding, and justification of these two approaches should be studied in the future.
- Studies of the externalities of the long-term impacts from all electricity-generation industries, including nuclear, should be performed on a consistent basis.
- Along with the detailed assessment of individual cost elements should be an assessment of those which should be addressed as a function of the perspective taken, their relative order of importance, as well as their perspective-specific characterisation.

Accident consequence assessment studies

- Attempts to compare studies of the costs of different, hypothetical accidents, even when costs were viewed from the same perspective, are extremely difficult because the final values are very dependant on the scenario(s) selected and the specific characteristics of the plant; the source term is particularly important. The diversity of numerical results observed between various published studies attests to this difficulty.

This is a blank page.

Table I.1 Characteristics of selected studies of external costs of nuclear reactor accidents

This is a blank page.

Table I.1 Characteristics of selected studies of external costs of nuclear reactor accidents

Type of study	Author(s)	Object	Estimated external costs	Some key analysis characteristics	Risk aversion considered
"Top-down".	Hohmeyer (1988 and 1990).	Biblis, Germany (PWR).	1.2-12.0 (Pf/kWh) 3.48-21.0 (Pf/kWh).	Use of Chernobyl consequences (further increased) CDF= "Worst" case freq.	No.
"Top-down".	Ottinger (1990).	US plant (unspecified).	2.3 (cents/kWh).	Same as Hohmeyer (1988)	No.
"Top-down".	Ewers and Rennings (1992).	Biblis, Germany (PWR).	4.3 (Pf/kWh).	Same as Hohmeyer (1988)	No.
Limited "Bottom-up"	Friedrich and Voss (1993).	German plant.	0.008-0.07 (Pf/kWh).	Based on PSA analysis for a US plant (Burke <i>et al.</i> , 1984).	No.
Limited "Bottom-up".	ERG (1993).	Darlington, Bruce and Pickering, Canada (CANDUs).	0.000013-0.096 cents/kWh.	Five categories of accidents for Darlington (frequencies assumed to represent bounding estimates).	No.
Limited "Bottom-up".	Masuhr and Oczipka (1994).	Swiss plants (BWRs and PWRs).	0.001-0.17 1.0-31.8 (Rp/kWh).	Use of Chernobyl consequences as reference value; Mühleberg source term frequencies for lower bound and arbitrary for higher	Yes, in the second case.
Limited "Bottom-up"	CEPN (1994).	French PWR.	0.0023-0.104 (mECU/kWh).	Assumed CDF and rough conditional containment failure probabilities; based on US PWR (NUREG-1150); hypothetical site in Germany.	No.
Limited "Bottom-up".	Fisher and Williams (1994).	Large hypothetical US PWR.	0.0059-0.0103 cents/kWh	CDF and containment probabilities as in CEPN analysis; two sites in US.	No.
Full scope "Bottom-up".	Hirschberg and Cazzoli (1994).	Mühleberg Switzer-land (BWR). Peach Bottom, US (BWR). Zion, US (PWR).	0.0012 (mean). 0.0001 (5-th). 0.0004 (50-th). 0.0038 (95-th). (cents/kWh). 0.0014 (mean). (cents/kWh). 0.0069(mean). (cents/kWh).	Fully based on state-of-the-art PSA Level 3. As above. As above.	No. No. No.
Full scope "Bottom-up".	Wheeler and Hewison (1994).	Hinkley Point, UK (proposed PWR).	0.00011-0.00013 (p/kWh).	Plant-specific (unclear origin).	No.

Table I.1 Characteristics of selected studies of external costs of nuclear reactor accidents

External events included	Uncertainty propagation	Full set of source terms	Computer code for probabilistic analysis	Cost Elements	Remarks
No.	No (two CDFs used).	"Worst" case.	Not applicable.	Health effects.	Correction for population density (over-estimated).
No.	No.	"Worst" case.	Not applicable.	Health effects and farm production losses.	
No.	No.	"Worst" case.	Not applicable.	Health effects.	Correction for population density (lower than Hohmeyer's).
Yes.	No.	Yes (for US plant; conservative).	CRAC (in Burke <i>et al.</i> , 1984).	Broad set of health effects and countermeasures.	Correction for population density.
Yes (arbitrary factor of two).	No (arbitrary factor of 20 included).	No (but bounding cases represented).	Not clear.	Health effects and property damage.	Extrapolation of Darlington results to Bruce and Pickering
Yes (implicit).	No (arbitrary set of frequencies postulated to reflect uncertainty).	No (but bounding cases represented).	Not applicable.	Health effects and some losses in agricultural production.	Mühleberg source term frequently used for all other Swiss plants.
No.	No.	No (four source terms).	COSYMA.	Full set in COSYMA.	Dominance of health effects.
No.	No.	No (four source terms).	MACCS.	Full set in MACCS plus health effects.	Dominance of non-health effects.
Yes.	Yes (LHS method).	Yes.	MACCS.	Full set in MACCS plus health effects	Dominance of health effects.
No.	Yes (but not fully available).	Yes.	MACCS.	As above.	As above.
No.	As above.	Yes.	MACCS.	As above.	As above.
Unclear.	No.	Broad (23 source terms).	CONDOR and MARC-I.	Full set in CONDOR Limited set in MARC-I.	Dominance of health effects.

付録3 リスク評価に関する参考情報

本報告において収集したリスクに関する情報(付録1)には様々な内容がある。本文2、3章の健康や環境、事故や災害に関するものが多いが、それ以外にも示唆に富むものがある。この付録では、そのような情報さらにそれに関連した内容について記した。体系だったものではなく、概して孤立した情報で詳細さにも欠けるため、参考情報としてあげるにとどめたが、リスク評価を異なる視点から考える機会を与えるなど、有用なものも含んでいる。以下に、評価の難しさ、一般的なリスクの見方(リスク観)、エネルギー政策や戦略におけるリスク、などと題してまとめた。

付録3.1 評価の難しさ

付録1で得た情報からは、発電全般などエネルギー生産において多くのリスクが存在するが、手法や情報が少なく評価ができず、意志決定は経験に頼るといった現状を知った。評価の難しさのひとつと考える。拾い上げることができたその難しさの例を以下にあげた。

①リスクの平均、法・規制の制約

- ・評価は地域や技術など各々個別に行うことが基本。一つの国など多くのエネルギー生産技術をもつ場合を平均的に評価しようとすると、その国のリスクの特徴をうまく表現できない可能性がある。
- ・法や規制あるいはそれに基づく資源や環境の利用指針は不可避のリスクあるいは外部性を含む場合がある。

②社会(国民)の環境リスクの増・減と企業の財務(経営)リスクの減・増

両リスクの増減は短期的には相反する。ジレンマといえよう。短期的にも利益確保が至上命題の企業の場合環境リスク減への協調は容易でない。長期的に見れば社会(民衆)・企業共にリスク減・利益享受を共に得ることができるとする見方もあるが(環境経済学)、いずれにせよ短期的にはリスクヘッジの適用など困難が多い。

③心理的リスク(主観的リスク)

このリスクをどのように認知するか、受容するか(Perception)、さらには嫌悪するか(aversion)は、個々人やコミュニティの主観に依存するもので評価は基本的に難しい。社会の時流により変動する場合もある。

付録3.2 原子力発電のリスク

原子力発電は他電源に比べ事故に対する心理的恐れが大きいと考えられる。確率は小さいが放射能漏れがひとたび起これば物理的、経済的な損害にとどまらず、恐怖といった民衆心理へのダメージともなり、また次世代へ汚染環境を残すことになる、などの理由のためである。以下に、原子力発電のためにリスク評価が特に困難になる考えられるいくつかの事柄を示した。また産業連関法を用いた経済インパクトの見積もり例があるためそれについても取り上げた。

①評価が困難な事柄

- ・保険(保証)で補償が足りない部分 ・・・ 風評被害など
- ・心理・体調不良の継続 ・・・ 因果関係がないとされるもので
- ・他電源と異なる特異性 ・・・ 非都市近郊立地、放射能遮蔽、情報公開要求など
- ・エネルギーセキュリティ上の位置づけ、不安要因(供給側)：
 - 基底電力(ベースロード)供給 ・・・ 安定供給などへの貢献
 - 供給上のもろさ ・・・ 運転停止要因多(目立つ小異常発生、虚偽報告など)
 - 低成長経済社会での底堅さ ・・・ 低コスト安定を可能にする

②産業連関法を用いた経済インパクト評価 一概略、他の事故例から学ぶー

原子力発電における故障や事故による社会への経済インパクトを評価するのは容易ではない。評価に十分耐えうる確立された考え方や方法が整っていないためである。その経済インパクトをどう表現するか、またどの程度確かな値がえられるのかがカギとなる。ここではある事例で算出された経済損失を示す。

フランスおよびスペインにおける産業連関表を用いた評価例(付録1 文献2)-1)：

マクロ経済損失として以下を算出している(この評価の詳細は原文を参照されたい)。

フランス；

評価内容 1ヶ月、1年、10年間の避難(移住)、産業活動停止(?)

結果	避難による付加価値損失	2300('80年) [m France Francs],
	移住による付加価値損失 2年計で	12300('89年) ["]

スペイン；

評価内容 直接的な汚染がないにも関わらず拡大的対処措置が取られた地域での経済損失、利潤も生じるとして評価。

結果 移住を含む経済効果

シナリオにより差があり、

直接影響地域 10^1 から 10^5 [m Pesetas, '89年]

非影響地域・産出損失 10^1 から 10^4 ["]

非影響地域・産出増加 10^1 から 10^5 ["]

(この産出増加は産出損失の2から6倍にあたる)

この産業連関表を用いる方法にも確度等に問題ありとのこと。

(原子力発電のリスク評価への活かし方)

上記の事例のような評価は、JCO 臨界事故など原子力関連の事例だけでなく、炭鉱事故、地震・水害などの自然災害、化学工場事故などの事例も参考にし、各種の損失情報を組み合わせて行うことが必要と考えられる。これは、原子力事故に伴う損害の算定を産業連関表に載せ行う場合、すなわち人的・物理的被害を金額、生産・消費・投資・労働・その他資産に換算して見積もる場合、多くの事例による損失に関するデータが(影響経路、損失換算などのデータ)非常に有用な参考情報になると見えるためである。潜在的脅威であるリスクを、この産業連関に

による経済インパクト評価の中に取り込めば、リスクがわかりやすく数量として表現されることになる。上記のような事例は今後改良を重ね適用が試みられるべきものと考える。なお、留意事項としては以下が考えられる：

- ・原子力事故と他の事故・災害による産業損失の差異を明確にしておくこと；
近似として活用は？ なにが同一視できるのか、できないのか。本質的な違いは？
- ・原発嫌悪、放射能嫌悪の産業活動への影響は大きいと見るべきか？
点検、長期運転停止、反対民意などによる電力供給減が現実にあることを踏まえて。
- ・原子力における既往の成果(リスク評価、PA(Public Acceptance)など)の活用

原子力も含めて、日本の各種電源の外部コストの評価が電気事業者(電力共研)によりなされたとのことである。しかし公開はされていない。そこで、そのような情報、また欧米での評価例を参考に、留意事項のみであるが、日本の場合の原子力発電における外部性評価について付録4にまとめた。

付録3.3 リスクの見方について

発電などのエネルギー生産に関わるリスクに関してだが、エネルギー戦略やエネルギーセキュリティにおける潜在的脅威(ある意味でリスク？)は、健康や環境などのリスクとは異なるところがあると考える。政策や国際事情が絡むなど、従来のリスク評価の方法論の枠を超えていと考えられるためである。また、一つのリスクに対し、国民・行政(監督者)・産業界(事業者)の三者でとらえ方、見方は異なると考えられる(リスク観が異なる？)。エネルギー生産に関するリスクのとらえ方に差異が考えられる上記二つの例について、以下に記した。

(i) エネルギー戦略の中で

①ヨーロッパとアメリカにおける外部性評価のとらえ方、活かし方

ヨーロッパとアメリカでは外部性評価に対する見方、結果の活かし方に違いがあると考えられる。すなわち、およそその見方だが、

ヨーロッパ(EUの場合)：

「‘健康や環境影響の外部性の内部化による意思決定支援、環境保全支援’を目指した取り組み。利益追求など特別な思惑とは切り離され実施。」と考えられる。カナダも似ている。

アメリカ：

「‘電力産業の自由化、リストラ競争下での競争力確保’を強く意識した取り組み。それにつながる(のであれば)外部性の内部化を行うとの姿勢と考えられる。経済競争、価格競争上の大きなダメージに関わるのであれば、外部性を恐れ注視する(か？)。基本は経済性重視である。」損失発生の可能性に関わっているなら、それを回避する支援や情報提供を意志決定者は望む。アメリカの場合はそれが前面に出ており、健康や環境とは限定せず、価格などの経済競争力強化を支援するもの、そういう外部性評価を行うということ(例えば統合資源計画(Integrated Resource Planning)の枠内で)、ととらえることができる。

上記の話を、ある研究者たちはヨーロッパの外部性評価のとらえ方を環境を重視した“エネ

ルギー政策的”といい、アメリカのそれはコストや競争重視の“電源選択的”という。一般に、発電燃料サイクルの外部コストは立地の地点・地域、適用技術種に大きく依存した値になる。しかしそれだけではなく、上述のように評価の背景や目的の違いをも考慮する必要があると考える。背景やそれに応じた目的によって評価の対象やプロセスが違っておりそれに基づいて(異なる)評価値が得られる現実があるからである。

②エネルギーセキュリティとリスク

エネルギーの政策や戦略には供給不安定、価格変動、需給バランス崩れ(短期、長期)などの不安がある。これらは、一種の潜在的脅威としてリスクと考えることができる。それらに対し備蓄、輸入元分散・多極化、FT(Financial Technology；金融技術、デリバティブ取引等)の導入などの対処がとられてきた。リスク低減策といえよう。そのような対処により供給不安定が低減するなど相応の効果が認められる。しかし、根本的には、このような不安は別のより大きい枠組みの影響に支配され、各種の対処はそれにからうじて追従している、というのが実態であろうと考える。すなわち、その別の大規模な枠組みとは、中東紛争や中国の経済発展など世界の地域情勢、省エネ推進、水素社会化など国のエネルギー政策、さらにCO₂削減など地球環境問題への対応、等である。世界の地域情勢の変化は事実上予測し得ない、またCO₂削減策も今後の展開は読めない。現状では、それらにいかに迅速にかつ柔軟に追従できるかがカギといえよう。

以下に、エネルギーの政策や戦略における供給不安定などの不安に対してなされるべきことをいくつかあげた。世界の地域情勢変化、それが日本のエネルギー行政当局を介して検討されることを想定している；

①エネルギーの政策や戦略とその不安対処との関係の明確化

これまでその不安低減のために(リスク回避、低減)、種々の対処が実施してきた。対処策の決定はその決定過程に不明瞭な部分を残しつつなされることが多いのが実態である。それらをできる限り明らかにする努力が必要である。

②国の政治情勢との関係の透明化、国際情勢の影響の明確化

エネルギーの政策や戦略は国の政治情勢の影響を直接反映する。政治の影響の多くが公に透明になることが必要である。国際情勢の影響をできる限り明確にとらえることがその土台として不可欠なことは言うまでもない。

③今すべきこと

エネルギーの政策や戦略における供給などの不安(あるいはリスク)に対し、一歩ずつその低減に寄与していくために、情報の取得・公開・透明化、対策・対応の適切化、結果のフィードバック、先導(誘導)重視などが、今重要であると考える。

(参考) エネルギーセキュリティの向上、確保ためのポイント

ここでは、主に外部性の観点からだが、エネルギーセキュリティの向上あるいは確保のために何がポイントになるか、について整理してみた。エネルギーセキュリティの一部についてであるが、今回の報告に関して収集した外部性さらにリスクに関する多くの知見を参考にしてい

る。付録5にその内容を示した。まとめた内容は以下の3つの項目についてである：

(a) セキュリティ措置の効率化・合理化を探る観点からの外部性

(検討の視点)；

- ・エネルギーセキュリティ確保の措置に外部性は見られるか？

- ・その低減によりエネルギーセキュリティは向上するか？

低減可能か？

エネルギーセキュリティ向上に有効な策か、他の策に比してどうか？

コスト競争、供給・価格安定、量・質・ストックの確保で優位か？

(b) 原子力発電利用によるセキュリティ向上

(検討の視点)；

- ・原子力発電利用によるエネルギーセキュリティ向上への貢献は？

- ・外部性の低減からその向上に寄与可能か？

(c) セキュリティ確保に存在する本質的困難さ

(検討の視点)；

- ・セキュリティにおける多様性・多面性とその受け入れに関する限界・妥協

- ・非効率の意味、意義とエネルギーセキュリティの本質、あるべき姿

- ・外部性の低減からその困難の低減に迫れる可能性

- ・非定量表現による問題への取り組み

(ii) リスク観

現在、社会では様々な分野でリスクが表だって言われるようになった。それは“潜在的脅威、漠然とした恐れ、危うさ”などの意味で使われることが多い。ここでは、そのような一般社会におけるリスクの見方からエネルギー生産のリスクを見る場合を考えた。というのは、例えば、発電事業は住民の不安といった一般社会のリスクを考慮せずには実施できないからである。発電事業などのエネルギー生産活動にとって、広く一般社会のリスクを知ることは必要と考え、総論的に見た場合、さらに国民、行政、事業者(産業界)の立場からみた場合のリスクについて、抽象的ではあるが、以下に記した。またリスクの表現の仕方についても併せて記した。

① いくつかの総論的見方、および問い合わせ

(a) 社会ではより経済的に優位に立つための経営の合理性、スリム化が求められてきている。ニーズにはより出費減につながる情報(リスク回避、分散も含めて)、より不安減、低costで可能な安定化、保証につながる情報、などがある。リスクあるいはその回避に関する譲歩もその一つであろう。リスクあるいはその回避に関する情報である。

(b) 社会科学的にリスクの理解に取り組む

現存しているリスクといわれるものには、個々人や人間社会に内在する不確定性、不安、それを補おうとする憶測、推測に伴い生じているものが多くあると考える。自然科学的な対処は困難であろう。それらに対し今すべきことは「説明(情報公開；information disclosure、説明責任；accountability)」に限られるのか。また、このようなリスクに効力を及ぼせるのは「カ

リスマ的指導力」、「世の中の時流、社会の風潮」あるいはまた「時が解決する、風化」のようなものか。

(c)自然科学的リスク；

リスクの自然科学的な側面の更なる解明そして情報提供が社会科学的なリスクの誘導する、と考えるべきか。それともその逆で、社会科学的解明が誘導するのか。

②あるリスクの中身の見方、とらえ方

発電事業に関わるリスクを国民、行政、事業者(産業界)の三者の立場から見た場合、三者三様となる。大ざっぱであるが以下のようにある。

(a)国民、行政(監督者)、産業界(事業者)により異なるリスク観

‘自ら’および‘携わっている相手、対象’に対するリスクがある。三者には互いにリスクの被・与、およびそれに対する被監視・監視の関係がある。

国民 与；安定供給要求、クレーム(健康・環境損失など)、監視(行政、産業を)

被；供給・危機管理(完全他者任せ)

行政 与；先導、監督(監視)、調停

被；国民の監視・非難・苦情の矛先、事業失敗責任(被害・損失発生)

産業 与；供給把握(施設保有、大資本、量・価格誘導)、利潤あり・その増加可

被；被監視、利潤優先、損失計上のおそれ、欠陥事業の責任・補償、財務悪化可

リスク表現指標として、

国民・・・被害観；健康・環境損失、不安の強度・持続・代替、受け入れ補償

行政・・・行政責任；被影響住民数、計上損失、被責任者のランク・数下げ、辞任の可能性

産業・・・経営危機；計上損失額、補償額、悪評持続性、事業再開性

加えて、予想を大きく上回る反感、風評、うわさ、信頼失墜などもある。いずれも表現は困難。

またリスクをその特徴から分類し、以下のような見方も考えられる：

リスクの分類：数理(物理)リスク と 心理リスク

あるいは 自然科学的 // と 社会科学的 //

さらに、例えば各々の数理および心理リスクについて、

リスク = 基底・平均 + 変動・変化

と分け、表すことも考えられる。

このような見方から、上記の国民、行政、事業者(産業界)のリスク観を分離して考えてみた。その結果を別途付録6に示した。筆者の見方による偏りもあるが、三者でリスクは異なり、さらにその中味も種々のものからなっていると考えられた。このような三者のリスクさらにその中味をよく吟味の上、リスク評価に取り組んで行くことが重要ではないかと考えた。

(b) リスクの表現に関して

いくつかのリスク表現に関して考えられるポイントを以下に記した。実際、リスクの表現(表し方)は容易でないと考える。本報告の作成に当たり得た情報から有用と考えられたものを以下

にあげた。

(b-1) 経済損失による表現

付録3.2の②で原子力発電の場合の社会への経済インパクト評価の例をあげた。この表現法をさらに充実させる形があると考える。まず、国民、行政、事業者(産業界)などの側面から社会の経済活動に関わる、実際に過去に生じた経済損失を調べ整理しデータベースをつくるものである。どのようなリスクにはどの程度の経済損失が生じうるのか分析し、リスクの表現の一形態としてリスク評価に役立てようとするものである。生命、疾病、金銭、もの(フロー、ストック)、機会、情報・・・に関わる経済損失を拾い上げるものとなろうが、ここでは今は、産業連関表に基づく社会の経済損失の関係を見ることを想定してみた。

(b-2) 定性表現

リスクの表現には怖い、嫌悪、回避の程度など定性的な表現もある。主觀をも含む表現であるが重要なリスクの表現法であると考える。というのは、怖いや嫌悪という価値表現のために、例えばある発電に経済損失大となる事件が起こるからである。例えば、

- ・住民による発電所誘致反対(住民投票、自治体選挙への反映)
- ・電力、国、メーカーによる自粛(住民の意向尊重)? など

怖さや嫌悪という定性的価値が定量の経済的価値損失の引き金となり両者は密接につながっていることを意味する。現実はこのようになっているにもかかわらず、その両者を明確に結びついている関係(関係式)は明らかでない。リスク評価の進展には、この定性表現に出きる限り普遍性を持たせること、また定性的価値と定量の経済的価値を結びつける公然としたルールのようなものが必要になる(今後評価、整備していく必要がある)と考えられた。

(b-3) 効用関数による表現

コスト、ベネフィット、リスクからなる効用表現(効用関数, Utility Function)について記す。以下は具体的なものではないが、現在はこのような評価も進展しようとしている。

価値基準 : リスク低減度、嫌悪度、対策に要した価値の変化(経費、時間、マンパワー等)

効用 : 低コスト、高利潤、低環境影響、高効率、低リスク、高消費、浪費(負の効用)

関数の形、係数 → 何らかの効用関数、重み係数 (与え方困難)

例えば、

$$\text{Value A} = f(\text{Risk})$$

$$\text{Cost} = fc(\text{Value A})$$

$$\text{Benefit} = fb(\text{Value A})$$

fc, fb ; 例えば、貨幣など何らかの換算関数(見いだすのは困難)

$$U(\text{効用}) = F(\text{Cost}, \text{Benefit}, \text{Value A(risk)})$$

F ; 効用関数

例えば、

$$U = a1 * U1 + (a21 + a22) * U2$$

あるいは

$$\begin{aligned}
 Ur(\text{Risk}) &= a1r * U1r + (a21r + a22r) * U2r \dots \\
 Uc(\text{Cost}) &= \dots \\
 Ub(\text{Benefit}) &= \dots
 \end{aligned}$$

このような効用関数を用いたリスク評価の試みもあるとのことであるが、公表、公開はされていない。

付録 3.4 その他の参考情報

この付録の最後としてその他の参考情報を記した。この情報にも確たる土台はないが、本報告において収集した情報の中で意味深いと考えられたものである。

①各種外部性の相対的重要度、内部化の優先度

通常、一つの経済活動には各種の外部性が潜んでいると考える方がいい。発電でもしかりである。健康、大気汚染、地球温暖化などの環境外部性に加え、市場の不完全性、各種規制にともなう外部性もある。電力産業に代表されるエネルギー生産分野では、自由化や規制緩和が世界的に進もうとしている。経営の合理化、エネルギー生産のコストダウン、原料価格の安定化は必須に近い要求である。その分野の体力強化に寄与する視点が外部性の解析や内部化においても求められる。その発電事業の経済性向上に対して最も影響がある外部性項目について、先ず内部化するなり何らかの策を施す必要がある。よって各種外部性の相対的重要度、内部化の優先度をできる限り知ることが望まれる。

②その他の影響が大きいと考えられる事柄、要因

本報告では、エネルギー生産のリスク評価に関わるものとして、健康や環境影響の外部コスト、事故や災害の人的価値損失などをあげた。しかしながら、実社会ではもっと大きく影響を及ぼし、企業財務、地域経済、さらには民衆の恐れをも導く事柄がある。以下にあげるようなものである。

- i) 市場の不完全性・・・種々の規制・対策も含む
- ii) 優先されるエネルギーセキュリティ・安全保障策
- iii) 時空間不確定性・・・割引率、地域格差、世代間格差 など
- iv) 価格変動・・・例えば原油価格変動
- v) 金融技術によるリスクヘッジングに現れる外部性

これらに対し、確固たる対処が事実上困難であることを考慮すれば、以下にあげる考え方も意味をなしてくると考えた。

(基本として認識したい前提、考え方)

- ・ 確固として存在する実社会の現状や時流がある。リスクもその中で扱われる。
- ・ 外部性には功罪両面あり。政策優先のため社会的には害となる場合も社会は受け入れている。
- ・ 外部性としてわからない、扱わない今までいいこともあるのではないか。
- ・ 内部化できない外部性も多い・・・内部化の限界。

また、リスクの評価結果の適用は社会生活全体から見れば直接すぐには役立たない場合も多い

と考えられる。他の役立つとみられる施策が優先される中で、リスクの評価結果が活かされる道筋を具体的に公に示していく努力が必要であると考えられた。

③残留する外部性、リスク？

解決できない、未解決残留の外部性が常に存在し続けるようにも考えられた。というのは、現実社会では、政策、戦略等の意思決定が外部性低減とは離れた考え方の上で優先的になされる場合が少なくないからである。政策、戦略等の意思決定は、発電事業などの好不況だけでなく一国のエネルギー戦略、国際的なエネルギー情勢、さらには政治や軍事情勢など大きな情勢変化によっている。その上で外部性考慮の放棄は容易に起こると考えられる。放棄された外部性の考慮、すなわち残留の外部性、さらにいえば残留のリスクが常に存在し続けるようにも考えられた。エネルギー事情に関連した社会の流れは先が読めない。残存だけでなく、異なるあるいは同じ外部性あるいはリスクの再出現も否定できないように考えられた。

④民意との対峙

電力供給事業で恐れとなるものの一つに、発電中止到るような反対民意がある。技術データ改ざんなど社会的・道義的理由による反対民意の場合である。これはプラントの稼働率低下に伴う損失計上の問題にとどまらず、エネルギーセキュリティ不安、さらに世論に電気事業不信をもたらしかねない。このようなリスクの評価、低減の取り組みも望まれると考えられた。

付録4 原子力発電の外部生評価留意事項（日本の場合）・・・事故時、安全不全による運転停止時など

燃料サイクルの段階 (アクティビティ)	排出負荷 排出量、 移行経路別負荷	影響 ・受容体、拡散経路、暴露応答閾数、 受容側の対象・情況；人、もの、範囲、分布、自然条件、 社会構造、被曝強度(暴露・応答) ・受容体の構算拡張量の評価	コスト表現(経済的価値付) (埋合せや代替えで損失表現、弾力性、産業連鎖表の適用?) 損失コスト \propto 放射能強度、事故発生確率、被曝強度(暴露・応答)、自然条件(気象・地勢)、社会構成(人口分布、街の分布、産業分布)、価値算込の仕組み(係数、弾力性)
		健康影響(人間への影響) 生活環境影響(財貨・サービスへの影響) 財貨・サービスの分布、地方・都市、気象・地勢 産業影響(産業活動への影響) 産業分布、地方・都市、 気象・地勢	健康影響 損失額；治療點連費用、損失余命価値、損失支払意思額 等 生活環境影響 資産価値低下、利益減少、提供サービス減少、公的費用増加、減益補償 等 産業影響 生産・消費・資本・労働の減少、資産価値低下、利益減少、提供サービス減少、減益補償 等
採掘・精鍊 転換 濃縮 燃料成型 発電 通常運転時 通常事故 重大事故 再処理 廃棄処分 輸送 建設と解体 非放射性物質(全過程)	(採掘地による違い) (適用法による違い) (“) (“) (出力による違い) 六ヶ所村、東海村；人口少、風速・風向(拡散) 日本、地方なら； “ 日本、地方なら； “ 日本、地方なら； “ 地方 六ヶ所村、東海村；人口少、風速・風向(拡散) 日本、地方なら； “ 陸路、海路；都市部通過回避、海流方向・強さ(拡散) 地方	生産停止、ストック増 “ “ “ 地方 送電停止、 損失支払意思額、産業影響(種々の損失埋合わせ、代替) の発生 “ “ 、将来世代への負の遺産 の発生 処分量増 費用削減(安全強化のため) 建設延期、解体加速・延期 ? (風評による損失、価値低下・小さくはない?) (事例)； Chemday TMI、JCO 他事故 イギリス等	(風評による損失、価値低下・小さくはない?) 北欧、東欧、ウクライナ、ベラルーシなどの例・として活用可能か? アメリカ、日本での例・として活用可能か?

* 上表の空白部は改米及びICRPで採用された直(方法)などで与えることができる . . . 例えば、排出核種・負荷量、暴露・応答閾数(ICRPの係数)。

付録5 外部性の側面から見た日本のエネルギーセキュリティ概念

(a) セキュリティ措置の効率化・合理化を探る観点からの外部性

セキュリティ措置	外部性の内容、セキュリティに対する影響度	低減のやり方、できる可能性	他策との比較、違い
財貨の調達・循環確保； ①自由化、規制緩和 ②価格安定化 ③政策誘導	pay, cost-effectiveness, competitiveness の不明瞭部分； 資金、マンパワーの過大割り分。 影響度 大 資金、マンパワーの過大割り分。 影響度 大 資金、マンパワーの過大割り分。 影響度 大	pay, cost-effectiveness, competitiveness の明確化財貨、資本、労働等による表現？ 低減対象しぼり込み、pay, cost-competitiveness 強化。 可能性は小さくない？	一般的な効率化、合理化策 の中の一部と見るべき？
税、補助金、課徴金、価格誘導 ④金融技術(FT)措置	保険・保障資金、投機的資金の過大過少分。 影響度 大	リスクヘッジング、分散。	
量的質的確保； ⑤基本量、ストック確保 ⑥エネルギー資源の多様化、mix	実績と予想、予定値との差(量、調達先、種)。 影響度 大	備蓄、代替え、自主開発、再利用等での補償。 効率的実施がカギ： 財貨、資本、施設容量等による表現？ 各種リスクの分散の効率化？ 保険の導入？	他の主な量的質的確保策の中で、さらに効率性をあげるために実施
環境、循環、福祉の維持・確保； ⑦環境問題抑制 指揮、共同排出削減策 ⑧再利用 廃エネルギー再利用、 コジエネレーション ⑨福祉、安心確保	(市場経済システムからの逃脱分) 影響度 大	各種外部費用の内部化など。 費用の評価は困難。 種々取り組みがなされてきたところ。 貨幣換算(pricing)がどこまでできるかがカギ： 環境影響の貨幣換算？ ライフサイクル評価にもとづく貨幣換算？ 健康、生命の貨幣換算？ 人々の思い、安心等の評価・貨幣換算？	他の主な策との組み合わせ(他策の中での運用)など で、策全体の効果、効率性をあげることが求められる。
政治協調、紛争対応； ⑩国内政情安定化 ⑪国際政情安定化 (geo-political stabilization etc.)	社会基盤の損害、損失、貧困助長。 影響度 大	政治的対抗措置緩和、解決安定化、協調にほぼ依存。 経済、金融、財政、環境等の措置の効率的実施の中ではかられるか。	基本的に経済、金融、財政、環境等の大きな措置が主。 その中で外部性(あるいはリスク)低減の有効性を訴える策を出す？

(※ 特記(参考) セキュリティ関連外部性の分類 : 外部性低減を考える上で有用と考え以下をあげた)

外部性の分類	外部性の内容	その他、註
環境／非環境型	環境型：環境汚染や地熱温暖化などの環境影響に関する外部性 非環境型：直接環境影響に起因せず経済メカニズムに間に隔てられた外的性	評価進む。事例あり。貨幣換算等まだ壁多い。
変動型／固定型	変動型：直接環境影響に起因せず経済メカニズムに間に隔てられた外的性 (税金、補助金適用、市場の不完全性など) 影響度 大	まだ具体的に取り組める段階に到らず。前記の表はこれに対応するもの。
変動型／固定型	変動型：経済変動による価格、需給均衡指標等の標準的な値からの偏差 影響度 大	(変動型外部性低減には保険、FTなどの変動対応の利益追求型金融措置も有用か?)
公的／私的	固定型：自然環境指標、公的金利等の適正値からの偏差 影響度 大 公的：公的維持が望ましいとの考えに基づく適正値からの偏差(環境、健康、災害、公的金利等で) 影響度 大 私的：自由な経済、社会活動に基づく標準的な値からの偏差(価格・金利・為替・株価変動、負債等) 影響度 大	(私的外部性低減には保険、FTなどの利益追求型の金融措置も有用か?)

(b) 原子力発電利用によるエネルギーセキュリティ向上

セキュリティ向上に関する項目	向上ポтенシャル(ベース供給、価格安定、環境、輸送等としての)	外部性の内容、セキュリティに対する外部性の影響度	低減の可能性、やり方	セキュリティ向上への貢献
経営安定効果の有無	+ ベース供給電源化、価格安定化	ベース投資、投資リスク分散等の出費の過大過少分。 影響度 大?	経営安定化策として対処?	セキュリティ全体のベース支え、安定化
事故の有無、対策	- (小?、確率論的)ゆえ) 環境悪化、費用増大に可能性	事故補償・保険、安全余裕、心理的安全(安心)、PA 等の出費の過大過少分。 影響度 大	詳細評価(LCA的?)に基づく対処? 詳細評価(LCA的?)に対する備えの効率的・合理的運用	事故(のおそれ)に対する備え
放射性廃棄物対策	- 環境悪化、世代間公平崩し(大?)、費用増大に可能性	処理・処分費用、それらの将来費用の過大過少分。 影響度 大	詳細評価(LCA的?)に基づく対処? 放射性廃棄物対策の効率的・合理的運用	放射性廃棄物対策の効率的・合理的運用
環境影響	土 種々あり 放射能汚染 - 地球温暖化	影響による費用の過大過少分。 影響度・大 汚染防止費用の過大過少分。 影響度 大 CO ₂ 排出削減費用(他の評価される)の過大過小分 影響度 大?	詳細評価(影響路線)に基づく対処? CO ₂ 排出削減の一環として?	環境影響の低減

(c) エネルギーセキュリティ確保に存在する本質的困難さ

本質的困難さ	内容とセキュリティに対する影響度合い	外部性低減からの効率化的可能性	非効率の意義(度)	包括的セキュリティ貢献性；公平・保障(安定、安心・・・)	社会共生性
社会選択の問題	最終決定は世論、時流依存の社会選択が増。影響大	有効な効率化、合理化につながれば	あり、大、社会選択の重視	信頼・先導 不可避 必要(悪、善) 時流 变化・柔軟に対応	大、主、社会選択は社会構成、維持の基本
社会福祉の確保	社会福祉、公共の福祉の確保は譲れない目標。影響大	有効な効率化、合理化につながれば	あり、大、社会福祉の重視	公平、保障、信頼、不可避、必要(善)、時流	大、民主主義社会の基本
エネルギー種ミックスの必然	セキュリティ確保、リスク分散上常。影響大	外部性をかなり同定・特定できれば	あり、非効率もセキュリティの支柱	保障、信頼、先導、不可避、必要(悪、善)、時流、変化・柔軟に対応	大、エネルギー利用、戦略の基本
不確定性の残留	人、国、地域、時間の不確定性が常。影響？(大)	可能、可能でない事項諸々？	? (あり、必ず？、不可避？)	貢献せず(?)、しかし存在、やむなく	大、必要悪？(不可避)
不完全性の残留	諸事に不完全性、限界、妥協が常。影響？(大)	可能、可能でない事項諸々？	? (あり、必ず？、不可避？)	貢献せず、しかし存在、やむなく	大、必要悪(不可避)
不経済の残留	諸事に不経済が残るやむを得ない) 影響？(大)	可能、可能でない事項諸々？	? (あり、必ず？、不可避？)	貢献せず、しかし存在、やむなく	大、必要悪(不可避)
負遺産、支払いの押しつけ	知らずに、知っていても放任の負遺産。影響？(大)	可能、可能でない事項諸々？	認めづらい、現状ではやむを得ない	貢献なし、低減・解消が望まれる	大、低減、解消が望まれつつ共生するもの
基礎の絶え間ない変化	多くは暗事の基礎部も変化が常。影響？(大)	可能でないものが多く？	あり、必ず？、不可避？	? (貢献あり・なし？、不可避？、必要(善、悪)？)	大、必要悪、善？(不可避)

付録6 国民・行政(監督者)・産業界(事業者)により異なるリスク観

- * ‘自らに対して’、‘携わっている相手、対象に対しても’のリスクとなる
- * 国民、行政、産業界各々における背景(事情)や目指すところに差異あり：
- * 互いにリスクの被・与、すなわち監視される・するの関係(give/given)がある。

(国民のリスク観) . . . リスク認識持ち、リスク受け、クレーム・監視する

	基底・平均	変動・変化	備考
数理リスク；自然科学的	基本・平均損失	新たな発生損失(+心理リスク?)	変動は心理リスク?
①健康	疾病(呼吸器、皮膚、眼、がん)	新誘因物質・因果関係の出現	
②環境	空気・水・土、動植物(野菜、家畜)汚染、建物被害	新損失の発生；新環境汚染、被害の出現	
③立地の経済・生活影響	収入・雇用の増加・安定化、税軽減	収入増減変化；賃金、雇用、地域景気政策変化；住民投票、景気動向、国策見直し	
④土地	固有財喪失・価値低下	地域経済変化、事故、風評等による地価低下	
心理リスク；社会科学的 (‘変動・変化’が生む場合も含む?)	不安でない暮らし…安心、安全、リスク分散等への保障、保険；収入、権利、健康、環境、土地…の価値低下・損失	社会価値観の移り変わり・新潮流、うわさ、風評；事故例・判決例、報道、不安回避言動、雇用不安、将来不安	心理リスク…大きい場合に意味大？
①漠然とした不安、おそれ、嫌悪 ②数理リスクへの不安、 おそれ、嫌悪 ③漠然・意図的もうけ主義	不安、おそれ、嫌悪	上記に対し世間の見方等で不安、おそれ、嫌悪の増加、世間的価値低下 保障下でもうけ(フリーライダ)	金銭的・精神的支援・補償? 同上 更なるもうけ追求

(行政のリスク観) . . . 監督責任、行政責任を全うしているか、できるか。
 (リスク発生・抑制の監視、住民監査も。先導的役割も。)

	基底・平均	変動・変化	備考
数理リスク；自然科学的	基本・平均損失	新たな発生損失(+心理リスク?)	変動は心理リスク?
①監督責任	事故・損失発生の抑制、監視	住民の意向・監査	
②財務	補償発生 補助金減	不意の事故補償、政策変化、景気動向、風評、資産価値変動(債権・為替・証券市場)	
	(以下全て監督責任のリスクに換算されるべきもの)		
①-1 安定供給：供給量、価格、セキュリティ	供給・価格の安定化確保	エネルギー価格変動、国の補助、新資源、エネ・技術の動向	
①-2 立地の経済・生活影響	住民収入・雇用の増加・安定化、補助金・税収 増加	経済効果；賃金、雇用、新たな立地の有無、地域景気 政策変化；住民投票、景気動向、国策見直し	
①-3 土地	固有財喪失・価値低下(への補償の保証)	地域経済変化、事故、風評等による地価低下	
①-4 健康	疾病(呼吸器、皮膚、眼、がん)	新誘因物質・因果関係の出現、新たな法的規制・支援	
①-5 環境	空気・水・土、動植物(野菜、家畜)汚染、建物被害	新損失の発生；新環境汚染、被害の出現	
心理リスク；社会科学的 (‘変動・変化’が生む場合も含む?)	不安でない暮らし…安心、安全 が提供されていることを監督	社会価値観の移り変わり・新潮流、うわさ、心理リスク…大きい場合に意味 風評；事故例・判決例、報道、不安回避	大?
①民衆批判・反対運動 ②数理リスクへの不安、おそれ、嫌悪	監督責任評価の低下、支持率低下	言動、雇用不安、将来不安 事故発生、選挙等	上記に対し世間の見方等で不安、おそれ、嫌悪の増加、世間的価値低下 同上

(事業者(産業界)のリスク観)・・経営責任；財務状況、事故、健康・環境悪化責任、企業・社会倫理

	基底・平均	変動・変化	備考
数理リスク；自然科学的	基本・平均損失 収益減、赤字、(原材料費、売上げ、諸経費など)、補償発生、保険・ヘッジ (以下全て財務のリスクに換算されるべきもの)	新たな発生損失(+心理リスク?) 不意の事故補償、景気動向、風評、資産価値変動(債権・為替・証券市場)	変動は心理リスク? 前記‘国民、行政のリスク’から生じたものの
①財務	燃料安定確保・調達多角化、 stock-piles等	エネルギー価格変動、国の補助、新資源・エネ・技術の動向	
①-1 安定供給：供給量、 価格、セキュリティ	反対運動の有無、買収費用増加	世論、事故発生状況、風評、地域経済状況等	
①-2 立地、新設			
①-3 立地地域の経済、 生活影響	十分な経済効果(住民収入・雇用の増加・安定化、税収増)	個々の経済効果；賃金、雇用、新たな立地の有無、地域景気政策変化；住民投票、景気動向、国策見直し	
①-4 健康・環境補償	疾病・環境損害の補償	疾病・環境損害の出現程度など	
心理リスク；社会科学的 (‘変動・変化’が生む場合も含む?)	財務等上記リスクに対する不安一般	社会価値観の移り変わり・新潮流、うわさ、風評；事故例・判決例、報道、不安回避言動、将来不安	
①民衆(住民)批判・反対運動	立地・新增設の見直し	急激な支持率低下	保険、ヘッジを効かす?
②各々のリスクへの不安、おそれ、嫌悪		上記のリスクに対し、世間の見方等で不安、おそれ、嫌悪の増加、世間的価値低下	

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ′, ″
リットル	l, L
トントン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^9	ギガ	G
10^6	メガ	M
10^3	キロ	k
10^2	ヘクト	h
10^1	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここで省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
9.80665		1	2.20462
4.44822		0.453592	1

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10 \text{ P(ポアズ)} (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)} (\text{cm}^2/\text{s})$$

圧力	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.184 J(熱化学)
9.80665		1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	= 4.1855 J(15 °C)
3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵		1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	= 4.1868 J(国際蒸気表)
4.18605		0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仮馬力)
1055.06		107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
1.35582		0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W
1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1		

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

(86年12月26日現在)

エネルギー生産に関するリスク評価について

R100

古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています。