

<フクシマ後のエネルギー政策を考えるために>

中国・山東省の電力計画に関する MIT の研究報告を読む（上）

エイジウム研究所 上席研究員 木村 徹

すでによく知られている通り、ドイツのメルケル首相は「東日本大震災」後、まず、原子力発電所の運転年数を延長するという、以前の政府決定について 3 ヶ月の「モラトリアム」措置を打ち出し、次いで、電力会社に対して、1980 年以前に建設された 7 つの原子力発電所の運転停止を求めた¹。

しかし、そのような決定の背後に、原子力発電の「残余のリスク」に関する彼女の新しい認識があったことは、まだ余り知られていないようである。

2011 年 4 月 4 日、メルケルは世界最大の工業展覧会と言われる Hannover Messe の開会演説の中で、「フクシマは『残余のリスク』という用語に全く新しい意味をもたらした。」と述べた。さらに、「日本は高度に発展した工業国であるにも拘らず、天災の波を被った原子力の脅威を阻止することには無力であった。それが現実である。」とも述べている²。

「残余のリスク」とは？

ところで、日本では、「残余のリスク」という言葉は、通常の新聞、ラジオ、さらにテレビでは、殆ど全くと言って良いほど見かけない³。

「残余のリスク」は、原子力安全委員会の文書⁴では、次のように定義されている——すなわち、「策定された地震動を上回る地震動の影響が施設に及ぶことにより、①施設に重

¹ 例えば、“German energy policy: Nuclear power? No thanks (again),” *The Economist*, March 15, 2011. なお、メルケルが原子力問題検討のために設置した委員会による報告書の草案の内容が、最近、外部に漏れ、そこでは、2021 年までに原子力発電を全て取り止めることが提案されている、と伝えられている (“Ethics Commission recommends swift German nuclear phase out,” *ScienceInsider*, May 11, 2011 <<http://news.sciencemag.org/scienceinsider/2011/05/ethics-commission-recommends-swi.html>>, “Panel urges Germany to close nuclear plants by 2021,” *International Herald Tribune*, May 11, 2011, その他による)。一方、同国の Roettgen 環境相は 5 月 17 日、自ら設置した安全問題に関する委員会の報告書に基づき、原子力から即時に撤退するのは責任ある行動ではない、と述べている (“Germany says safety report rules out immediate nuclear exit,” *Bloomberg*, May 11, 2011, その他による)。

² “New technologies to boost energy efficiency” (http://www.bundestkanzlerin.de/Content/EN/Artikel/_2011/04/2011-04-04-hannovermesse-eroeffnung_en.layout_Variant=Druckansicht.html)、 “Japan nuke disaster to change EU energy mix,” *neurope*, April 10, 2011 (<http://www.neurope.eu/articles/Japan-quake-disaster-to-change-EU-energy-mix-/105764.php>) などによる。

³ 筆者の見限り、朝日新聞（5 月 13 日）の「声」欄にあったのが唯一の例である。ただし、インターネット上では、事情は異なっている。

⁴ 原子力安全委員会、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」、2006 年 9 月 19 日

大な損傷事象が発生すること、②施設から大量の放射性物質が放散される事象が発生すること、あるいは③それらの結果として周辺公衆に対して放射線被ばくによる災害を及ぼすことのリスク」（①、②、③は筆者が補ったもの）である。

ここで、「策定された地震動」とは、「施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があり、施設に大きな影響を与えるおそれがあると想定することが適切な地震動」を指している。

この定義を分かり易く要約するとすれば、発電用の施設に大きな影響を与えるような地震動が、極めて稀に発生して、上の①および②のような事象を発生させ、その結果、③のような災害を惹き起こすリスクのことを「残余のリスク」と呼ぶ、ということになるであろう。

もともと、メルケルが「----用語に全く新しい意味----」と言ったのは——「残余のリスク」に関する彼女の定義が日本の原子力安全委員会のそれとほぼ同じであると仮定して——、定義の中の“極めてまれに発生して”の個所に関してであるのか、あるいは、①、②および③のいずれか、または、それらのうち 2 つ乃至 3 つに関してであるのか、については、これまでのところ推察のための材料はない。

原子力と石炭の比較

いずれにせよ、原子力発電のリスクは従来の予想を大きく超えたと認識し、その結果、原子力発電に対して大きく否定的に傾く、というメルケルのような姿勢は、現在でも必ずしも一般的になっている、とは言えない。

例えば、弊社ホームページの“VIPs の情報”（2011 年 5 月 2 日）で紹介した通り、The Economist は、東日本大震災後の最初の号で、原子力と石炭を比較し、「民主主義諸国が原子力に背を向けるのは間違いであろう。」という主張を掲げ、安全性に関して、「原子力は今日まで非常に良好な成績を残している。チェルノブイリ事故による死者の数は確かにかなりの大きさであるとは言え、それは数千に上るかもしれない、という程度である。一方、中国の炭鉱では毎年、2,000～3,000 人の労働者が死んでおり、しかも、石炭によるスモッグでは、他の諸国を含め、多くの人が死んでいる。」と書いている。

確かに、中国の炭鉱事故による死者は近年における頂点、2002 年の 6,995 からかなり急速に減ってきているとは言え、2010 年にも 2,433 をかぞえている（表 1）。

表 1. 中国の炭鉱事故における死者数および死者率の推移

	死者数(人)	生産量(100万トン)	死者率(人/100万トン)
1993	5,283	1,077	4.905
1994	7,016	1,255	5.590
1995	6,387	1,233	5.180
1996	6,404	1,397	4.584
1997	6,753	1,373	4.918
1998	6,134	1,250	4.907
1999	6,478	1,280	5.061
2000	5,798	1,299	4.463
2001	5,670	1,382	4.103
2002	6,995	1,455	4.808
2003	6,434	1,722	3.736
2004	6,027	1,992	3.026
2005	5,938	2,205	2.693
2006	4,746	2,373	2.000
2007	3,786	2,526	1.499
2008	3,215	2,716	1.184
2009	2,631	3,045	0.892
2010	2,433	3,200	0.760

(出所) 2008 年までは『中国能源発展報告』(2010 年版)、2009、10 年は新聞報道による。

さらに、各エネルギーの開発から生産、輸送、貯蔵、加工、利用などに至る全過程(=チェーン)について見ても、石炭における死者の数は、原子力のそれに比べて、非常に大きいように見える。

例えば Paul Scherrer Institute (PSI) の推定(表 2)によると、1970~2005 年の原子力チェーンにおける死者は、OECD 諸国ではゼロ、その他の諸国では 31 であり⁵、同じく石炭チェーンのそれは、前者では 2,123、後者では 29,818 (うち、中国のみで 24,456) である。

PSI はスイスに本拠を置き、各エネルギーのチェーンについて、事故、それに伴う負傷者および死者、経済的な損失などに関する情報とデータを収集し、それらに基づく比較分析を行なっている、世界で殆ど唯一と言える研究機関である。OECD の Nuclear Energy Agency (NEA)、World Nuclear Association (WNA) なども PSI の情報・データを活用している。

参考までに、表 2 によって他のチェーンにおける死者の数をみると、OECD では、石油チェーンが石炭を上回り、LPG および天然ガスもかなり大きい。一方、非 OECD では、水力における 3 万以上が上述の石炭をも上回っており、特に目に付くが、石油も 1 万 8,000 近く

⁵ 日本の首相官邸のホームページは 2011 年 4 月 15 日、「チェルノブイリでは、---3 週間以内に 28 名が亡くなっている。」と述べている。

をかぞえている。

表 2. 各エネルギー・チェーンの重大事故における死者数（1970～2005 年）

チェーン	OECD諸国		非OECD諸国	
	事故数	死者数	事故数	死者数
石炭	81	2,123	1,507	29,816
中国			1,363	24,456
中国を除く			144	5,360
石油	174	3,388	308	17,990
天然ガス	103	1,204	61	1,366
LPG	59	1,875	61	2,636
水力	1	14	12	30,007
原子力	0	0	1	31

（注 1）重大事故（“severe accident”）とは、死者が 5 人以上である事故をいう。

（注 2）非 OECD 諸国における原子力の死者数（31）は直接的な死者のみ。

（出所）P. Burgherr and S. Hirschberg（PSI）, “Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector,” presented for International Disaster and Risk Conference, August 25–29, 2008, Davos, Switzerland

表 3. 各エネルギー・チェーンの重大事故における死者率（1969～2000 年）

チェーン	OECD諸国			非OECD諸国		
	事故数	死者数	死者数/GWey	事故数	死者数	死者数/GWey
石炭	75	2,259	0.157	1,044	18,017	0.597
中国(1994-99)				819	11,334	6.169
中国を除く				102	4,831	0.597
石油	165	3,713	0.132	232	16,505	0.897
天然ガス	90	1,043	0.085	45	1,000	0.111
LPG	59	1,905	1.957	46	2,016	14.896
水力	1	14	0.003	10	29,924	10.285
原子力	0	0	—	1	31	0.048

（注 1）非 OECD 諸国における原子力の死者数（31）は直接的な死者のみである。

（注 2）GWey----1GW の電力を 1 年間生産（あるいは消費）する場合の量を表わす。

（出所）PSI（OECD NEA, “Comparing nuclear accident risks with those from other energy sources,” 2010 による。）

さらに、重大事故における死者数をより厳密に比較した結果を示したのが表 3 である。「より厳密に」というのは、死者数を GWy（年間ギガワット）当たりで示しているからであり、そのようにすることによって、各エネルギー源の一定の仕事量に対してどれだけの命が失われるか（言わば死者率）が推定されている。これによっても、原子力チェーンの安全性は石炭、その他を上回っていると言える。

<「間接的な死者」をどのように見るか>

以上のような比較の結果にも拘らず、フクシマ以前の事故の記録からだけでも、上述の *The Economist* とは異なる認識がありえたことに注意する必要がある。それは、特に原子力における「間接的な死者」をどのように見るかによる。

表 2 に示した原子力における死者数の 31 は、チェルノブイリ事故による直接的な死者の数であるが、この事故については、*The Economist* も示唆している通り、放射性物質の飛散、漏出などの結果として、癌、白血病、その他を発症して死に至った、いわば間接的な死者の数も考慮に入れなければならない。

ただし、それについては、多くの推定がなされているものの、定説はない。例えば国際原子力機関(IAEA)はその数を 4,000 と推定しているのに対して、上記 PSI は 9,000~33,000、また、*Greenpeace* は 93,000 と推定している他、それが数十万に上るという推定もある。PSI の推定について少し詳しく見ると、1998 年 11 月に発表された報告書は、チェルノブイリ原子力発電所の事故による *Estimated latent (潜在的) fatalities* は、労働者では 2,200~2,700、また、その他では 7,000~30,000、合計で 9,200~32,700 である、推定している。

エネルギー政策策定のための体系的・総合的な方法

The Economist は上と同じ記事で、原子力は「信頼しうる電力供給、一定のエネルギー安全保障、二酸化炭素を排出しないこと、などの利点を有している。」とも述べている。言うまでもなく、エネルギー政策における各エネルギー源の優劣は、安全性という 1 つの基準で評価することはできない。しかも、いくつかの評価基準にそって基準毎に各エネルギー源の優劣が定められたとしても、それらをどのようにして総括し、総合的に 1 つの答えを引き出すか、という問題もある。

その他にも、(i) 定量的な評価と定性的な評価とを総括する方法を含む、全体的な方法論の開発、さらに翻って、(ii) 上述の間接的な(潜在的な)死者の推定方法や「残余のリスク」の考え方を含む、個別的問題の解決、などなど、フクシマ後に日本のみならず世界的に始められるべき、エネルギー源の選択に関する本格的な再検討においては、かぞえ切れないほどの課題がある。

日本政府は 5 月 17 日、経済政策に関する「政策推進指針」を発表し、その中でエネルギー政策を見直す方針を改めて明らかにしたが、さらに 19 日には新成長戦略実現会議で、エネルギー戦略を成長戦略の重要な柱として考えていく意向を表明した。同会議にもエネルギー政策の検討部会が設置される、と伝えられており、先に政府が任命した「今後のエネルギー政策に関する有識者会議」(エネルギー政策賢人会議)を含め、いくつかの関係「会

議」、さらに、それらの関係者および関係機関は、上に述べたような多くの問題について体系的かつ総合的な精査と討議を行なうことを求められている。

因みに、日本には、1999 年に発足した「政策分析ネットワーク」という“研究交流の場”があって、多くの研究者、行政関係者などが参加しており、また、全国の「政策系」大学院・学部学科は 60 以上をかぞえている（2008 年 8 月現在、同ネットワークによる）。従って、上記の検討については、これら多くの専門家の直接的・間接的な参加を期待することができるであろう。

ところで、上述のような体系的かつ総合的な検討を行なうための方法を提示することは、筆者の能力を超えている。しかし、弊社が行なっている東アジア諸国におけるエネルギー、環境、経済などの問題に関する調査・研究の Derivatives（派生物）として、中国・山東省における電力計画に関するある研究報告の内容を読者に紹介し、上述の方法を検討するための参考に供することは許されるであろう。

そこで、以下では、まず、前段として、上記の研究が基本的に寄って立っているシステム分析（systems analysis）あるいは政策分析（policy analysis）について、一般的な解説を行なった上で、次回に予定される後段では、システム分析あるいは政策分析に属する 1 つの方法によって立案が試みられた山東省における電力計画について、少し詳しく紹介を行なう。

<システム分析>

システム分析については、多くの論者による定義があるが、例えば、(社)日本オペレーションズ・リサーチ学会が平易な定義として引用しているのは、G. H. フィッシャーの次のものである⁶。

システム分析は、次のやり方で、将来の望ましい行動方針（course of action）を選択する上で意思決定者（decision maker）を助けようとする調査行為である。

- 関連した諸目標と、それらを達成するためのいろいろな政策や戦略とを組織的に検討し、さらに再検討する。
- 各種代替案（alternatives）の費用（cost）、効果（effectiveness）/便益リスク（risk）、さらに、できる場合はいつでも、これらを数量で比較する。

⁶ G. H. Fisher, *Cost Considerations in Systems Analysis*, American Elsevier, 1971. 日本 OR 学会 PPBS 部会誌、『システム分析における費用の扱い』、東洋経済新報社、1974、p.7（同学会 OR 事典編集委員会作成の OR 事典 Wiki=ORWiki による。）

また、J. E. Gibson、他は、システム分析には次の 6 つの作業段階がある、と述べている⁷。

1. 開発すべきシステムの目標を決める。
2. いくつかの代替的なシステムに順位を付けるための基準を設定する。
3. いくつかの代替的なシステムを開発する。
4. いくつかの代替的なシステムに優先順位を付ける。
5. 以上の作業を繰り返す。
6. 行動（システムの作成、実施など）に入る。

システム分析は、第 2 次世界戦争中にイギリスおよびアメリカで試みられた、軍事作戦への数学的技術の適用に端を発している。直接的には、この戦争の末期にアメリカ空軍から新兵器システムの調査や防衛政策問題の検討について委託を受けていた諸企業の 1 つであるロッキード社から、RAND Corporation が非営利のコンサルティング企業として生まれ、公共政策に取り組むことになり、同社は自らの分析をシステム分析と名付けて発展させていった。こうして、システム分析は水資源開発プロジェクト、地域消防システム、さらに、工業開発を主軸とする地域開発計画などにも適用されることになった⁸。なお、よく知られているように、RAND という名称は **Research and Development** から来ている。

<政策分析>

システム分析をこのように理解すると、政策分析はシステム分析の流れの中にある、あるいは、その 1 つの発展形態である、ということが出来る。上記の ORWiki は、H. J. Miser および E. S. Quade の著書⁹を引用して、「経済合理性と政治的合理性の相対立する論理を調和させようとして、1960 年代の後期から政策分析」が登場した、と述べている。因みに、RAND は、システム分析はオペレーションズ・リサーチと政策分析とを合わせたものである、と定義している¹⁰。

政策分析における分析の手順は、ある教科書が次のように述べている¹¹ように、基本的には上述のシステム分析のそれと同じである。

1. 問題を明らかにし、定義し、それらの詳細をつめる。

⁷ J. E. Gibson, W. T. Scherer, and W. F. Gibson, *How to Do Systems Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., 2007 の p.29 による。以下では、J. E. Gibson・他 (2007) と略す。

⁸ The Open University, “Systems engineering: challenging complexity” (openlearn.open.ac.uk/mod/oucontent/view.php?id=397849)、ならびに ORWiki による。

⁹ H. J. Miser and E. S. Quade (ed.), *Handbook of Systems Analysis Overview of Uses, Procedures, Applications, and Practice*, John Wiley & Sons, 1985 の p.44 による。

¹⁰ J. E. Gibson・他 (2007)

¹¹ C. V. Patton and D. S. Sawicki, *Basic Methods of policy analysis and planning*, Prentice Hall, 1993 の p.53 による。

2. 問題解決のために策定される政策を評価するための基準を設定する。
3. いくつかの代替的な政策を取りまとめる。
4. それらの政策を評価する。
5. 代替的な政策の評価結果を提示し、それぞれの特徴を明らかにする。
6. 実施された政策を監視する。

なお、政策分析についても、システム分析と同様、多くの論者による定義があるので、参考までに、日本人研究者による説明を次に掲げておく¹²。

それによると、政策分析の流れは、

- (1) 問題とそれをもたらす因果関係を明らかにする、
- (2) 政策代替案を設計し、各政策代替案の効果と影響（インパクト）を予測して、その評価を行なう、
- (3) 政策提言をまとめ、それを意思決定者、利害関係者、一般国民等にコミュニケーションする、

というものであり、図 1 のように整理することができるという。

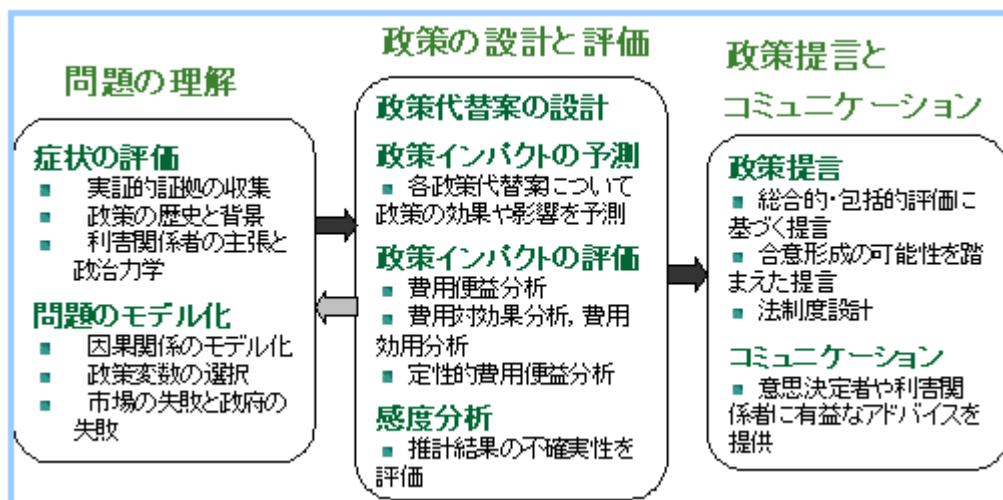


図 1. 政策分析の流れ

上図に見られる通り、この説明は特に「政策代替案の設計」や、「政策インパクトの評価」における「費用便益分析」、その他いくつかの「分析」における定量的な分析を含んでいるという点で、上述のフィッシャーによるシステム分析の定義と軌を一にしている。

¹² 金本良嗣（東京大学公共政策大学院院長）、「公共政策大学院における政策分析」、2009年4月（<http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/dean/dm200904.htm>）

このように見てくると、少なくとも本稿において用いる用語（あるいは概念）としては、システム分析と政策分析とを区別することは殆ど全く必要ないであろう、と考えられる。そこで、以下では、主に政策分析という用語を用いる。

<多属性トレードオフ分析 (MATA) >

エネルギー・電力に関する政策・計画のために開発された政策分析の方法（および手段 = tool）は数多くある¹³が、本稿では、それらの中から「多属性トレードオフ分析」(Multi-attribute trade-off analysis: MATA) を選び、この欄の次の回において、その実際の適用例を紹介することにしよう。

MATA を取り上げる理由は、(i) 分析方法の適応例について詳細を知ることができ、しかも、それらが特に電力に関するものであること、(ii) 政策・計画に係わる多くの機関・人が分析に参加していること、さらに、(iii) 日本では MATA について紹介されることが稀であること、などにある。

適用例として採り上げるのは、2003 年に Massachusetts Institute of Technology (MIT) の Laboratory for Energy and the Environment の研究者が中心になって取りまとめた、中国の山東省における電力計画である¹⁴。

また、この研究の内容を分かり易く説明するために、Tennessee Valley Authority (TVA) が 1995 年 12 月に発表した“Energy Vision 2020” を適宜、参照することを予めお断りしておく¹⁵。

(続く)

Asiam Research Institute <http://www.asiam.co.jp/>

13 例えば、V. Bhatt, 他 (Brookhaven National Laboratory) によるもの (Top-down models, Bottom-up models, Accounting frameworks, Simulation models, Optimization models) や、Elizabeth M. Drake (MIT) によるもの (Scoping analysis, Simulation models, Economic models <micro-and macro>, Life-Cycle Analysis, Risk Assessment Techniques, Systems Dynamics Models, Decision Models< Optimization with respect to parameter or function, Multi-attribute trade-off analysis, Delphi or other group consensus techniques >) がある。出所はそれぞれ、V. Bhatt, P. Friley, and J. Lee, “Integrated energy and environmental systems analysis methodology for achieving low carbon cities,” JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY, June 30, 2010, および E. M. Drake, “Systems Analysis Methodologies,” February 24, 2005 である。

¹⁴ B. Eliasson and Y. Lee (ed.), *Integrated Assessment of Sustainable Energy Systems in China, the China Technology Program: A Framework for Decision Support in the Electric Sector of Shandong Province*, 2003 の中の第 6 章がそれに当る。

¹⁵ “Energy Vision 2020” は MATA に則って取りまとめられた。しかも、山東省電力調査の中心を担った MIT の研究者や、MATA の開発に加わった研究者が、その検討にコンサルタントとして参加している。