

構造モデル化手法を用いた 原子力利用に関する議論の全体像把握方法の検討

Structurizing public understanding on nuclear energy

京都大学
京都大学

村吉 範彦
森下 和功

Norihiko Murayoshi
Kazunori Morishita

Student Member
Member

Abstract

Newspaper articles were analyzed to investigate the public understanding on nuclear energy utilization in Japan, which was structurized based on the graph theory and visualized with the *digraph*. The *digraph* is composed of 19 factors such as politics, economics, the environment, etc., and these are linked with each other by various causal relationships. The *digraph* may show what kind of issues such stakeholders face with each other as the people, the power company, and the government. Also, it may indicate that the most underlying factor in the causal relationships is the *trust*.

Keywords: Structural Modeling Analysis, ISM, Risk communication, Consensus formation

1. はじめに

原子力利用の是非には社会的な合意形成が求められる。合意形成を図る上で重要な事は、国民と原子力関係者の間にある認識のギャップを解消することである。例えば原子力利用の是非に関する議論であれば、原子力のリスクやベネフィットの観点から、双方の当事者が何をリスクと捉え、どのようなベネフィットを期待しているか等の認識を明らかにし、共有することが大切である。しかし、これまで原子力関係者らによる情報提供や意見交換会等が行われてきたが、「関係者が説明する原子力の必要性が伝わらない」や「エネルギー政策における原子力の位置づけをはっきり示してほしい」などといった意見が国民から挙げられており [1]、国民と原子力関係者の認識のギャップを解消することは容易ではないように思える。

一方で、原子力利用の是非は、政治、経済、社会、環境問題など、多様な論点に関係するテーマである。例えば、エネルギーミックスについての議論や電気料金値上げに伴う経済への影響、原子力の安全評価と司法判断の問題、放射性物質による環境汚染など多岐にわたる。また、各々の論点には国民や原子力関係者、国などのステークホル

ダーの観点が含まれるため、論点に対する価値観も様々である。原子力利用の是非を判断するためには、こうした多様な論点を総合的に加味した上で、合理的な判断のもとに行われることが望ましい。しかし、このように論点が幅広く存在し、複数の当事者の観点が複雑に絡み合っている場合は、何が国民にとって重要観点なのか、原子力利用の是非についてどのように議論を展開すべきかについて考えることは困難である。原子力利用の是非に関する複雑な議論を整理し、その全体像を把握することは、原子力関係者が的確な情報提供を考える上で、また国民が情報を把握し理解する上で重要であると考えられる。

そこで本研究では、原子力利用の是非に関して、どのような議論が行われているかを把握し、その全体像を理解するための手法について検討した。

2. 研究方法

原子力利用の是非に関する議論の全体像を把握するためには、まず原子力利用の是非がどのような要因によって構成され、また相互に影響しているかを明らかにすることが必要である。要因間の関係性を整理し、構造として体系的に表現することで、全体像を把握することができると考えた。そこで本研究では、全体像を把握するための手段として構造モデル化手法の適用可能性を検討した。

連絡先:村吉範彦, 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄,
京都大学 エネルギー理工学研究所
E-mail: n-murayoshi@iae.kyoto-u.ac.jp

2.1 構造モデル化手法の概要について

構造モデル化手法は、問題について考えられる要因を抽出し、それらの関係性を評価することで問題の全体像の理解や解決策の創出を行う分析方法である。大きな特徴は、分析の作業をグラフ理論に則して処理し、人間がわかりやすいよう図としてまとめられる点である。この図はいくつかの要因とそれらの関係性が線で結ばれることで表現される。定性的ではあるが、その問題の構成要因とそれらの関係性を俯瞰して把握することができ、さらに考察を重ねることで問題について理解を深めることや、解決のポイントを見出すことに活用することが可能である。

本研究ではその中でも代表的な ISM 法を採用した。ISM 法は、特別の知識や能力を有せずとも、誰もが容易に実施できる点で優れている [2]。また応用範囲も非常に広く、例えば、原子力に関する社会問題の分析 [3] や原子力発電所のトラブル分析 [4]、授業設計・学習プログラムの設計 [5]、看護師のスキル修得プロセスの調査 [6] など、その有効性は多方面で認識され、活用されている。

2.2 構造モデル化手法の方法について

ISM 法では①問題について考えられる要因を抽出する、②それらの関係性を評価し、因果マトリクスを作成する、③構造分析を行う、の3ステップで分析を行う。これらステップについて説明する。

① 要因を抽出する

題材とするテーマの文献内容から、問題について考えられる要因を抽出する。そして種類や意味合いに重複がある要因を分類し、統合するなどして適当な要因の数に絞る。最終的な要因の数は、多すぎても、少なすぎても構造モデルの解釈が難しくなるので、10~30 くらいが適当であるとされている [2]。この要因を決定していく過程は第三者を交えて行い、客観性を担保した。

② 要因の関係性を評価する

要因の関係性を定義し、その定義に沿って要因間の関係性の有無を評価する。関係性の尺度は分析の目的によって様々であるが、優先関係、包含関係、因果関係、影響度、貢献度、重要度などが用いられる [2]。今回の分析では、因果関係を中心に扱っている。

関係性の評価にあたっては、図1のようなマトリクス表を用いた。以後、これを因果マトリクス A と呼ぶ。マトリクス中の a~f は要因項目を示し、縦項目は影響項目、横項目は被影響項目を指している。任意の一对の項目に対して、上述した定義に則して直接的な関係があるか否かを判定する。例えば、a が原因となって f が生じたという因果関係が見られれば、マトリクス中の a 行 f 列の要素を 1 とする。関係が無い場合は 0、もしくは空欄とする。これを対角以外の全マトリクスの要素について行っていく。要因数が n 個あるならば、n(n-1)個の関係性を評価する必要がある。

	a	b	c	d	e	f	g	h
a					1	1		
b			1					1
c								1
d	1	1						
e								
f	1		1					
g				1				
h		1						

図1 因果マトリクスの例

③ 構造分析を行う

次に、関係性の評価によって作成した因果マトリクスをもとに、ISM 法による構造分析を行う。グラフ理論に基づく行列計算によって、要因間の関係性が階層構造として表される。

要因の階層は、原因となる要因の影響が結果の要因へ伝播するまでに最大いくつの要因を経由するかで分類される。ここで経由される要因とは、結果の要因への間接的な影響を伝える要因のことを示す。つまり、2次的、3次的...の間接的な影響の数に応じて順に階層が決定される。それら間接的な影響の有無も含めて表したマトリクスを可到達行列 B という。可到達行列 B は、因果マトリクス A のベキ計算を行うことで導かれる。

$$B = A + A^2 + A^3 + \dots = A(I - A)^{-1} \quad : [I \text{ は単位行列}]$$

図2に可到達行列の例を示す。可到達行列も因果マトリクスと同様、要因の関係性の有無を 1 または 0 (もしくは空欄) で表している。因果マトリクスと比較して、

可到達行列中に追加された1は経由した要因であり、つまり他の要因からの間接的な影響の連鎖を意味している。この意味に基づくと、図2の例では対角のセルのみが1のeは、e以外の要因への到達関係が無いことを示している。つまり連鎖の終点を意味しており、eは影響が連鎖する最も下流の階層に位置することが決まる。このeを除くと、次に終点となる要因が表れ、また階層が決まる。このような作業を繰り返すことで、階層的な構造が明らかになる。この例では、g→d→(a, f)→(b, c, h)→eの5階層に分類される。このように階層構造を明らかにすることで、問題の起点や最終的な帰着となる要因の判別、また問題の筋道の理解が容易となる。

	a	b	c	d	e	f	g	h
a	1	1	1		1	1		1
b		1	1					1
c		1	1					1
d	1	1	1	1	1	1		1
e					1			
f	1	1	1		1	1		1
g	1	1	1	1	1	1	1	1
h		1	1					1

図2 可到達行列の例

3. 結果

原子力利用の是非についてどのように議論されているのかを把握する資料として新聞記事を活用した。(財)日本原子力文化財団が行っている「原子力利用に関する世論調査 平成27年度版」によると、普段原子力やエネルギーに関する情報を何で得ているかという問いに対して、世論の約5割が新聞であると答えている[7]。新聞報道が全ての正しい情報を網羅的に伝えているとは限らないが、今なお影響力のある情報源として国民の認識の形成に関わっていると考えた。

3.1 新聞記事からの情報抽出と要因の選定

今回は原子力利用に関わる要因とそれらの関係性を一括して抽出する情報資料として、読売、朝日、毎日新聞の大手新聞会社の新聞記事を参考とした。記事は2012

年から2013年末にかけての原子力利用に関連するものを対象とし、400件ほど抜粋した。この期間には「エネルギー・環境会議によって2030年に向けてのエネルギーと環境に関する選択肢」に関する案が提示されたほか、将来のエネルギー利用に関する討論型世論調査が実施されるなど、原子力利用も含めた今後のエネルギー利用について活発な議論がなされており、新聞報道においても多様な論点が多く掲載されていた。参考記事は無作為に選定し、選定した記事は要因の抽出を円滑に行うために要約文としてまとめる。選定した記事の日付によっては各社類似する内容も存在するので、そのような内容は統合してカウントした。

記事の内容は、記事情報からの要因抽出を円滑に行うため、表1のように各記事を105の要約文としてまとめる。その要約文の内容を少人数の分析者により協議し、問題を構成する要因を抽出する。要因の数は多すぎても構造モデルが複雑になりモデルの解釈が難しくなるので、類似の要因は分類・統合して数を調整する。例えば、原子力発電所の「運営」や「管理技術」などは「原子力システム」にまとめるというように整理した(表2)。その結果、①国・自治体 ②電気事業者 ③電気事業者の収益 ④景気・雇用 ⑤電気料金 ⑥人材(原子力) ⑦エネルギー選択 ⑧電力供給 ⑨原子力システム ⑩エネルギー安全保障 ⑪核廃棄物 ⑫自然災害・テロ ⑬環境影響 ⑭健康影響 ⑮国民の信頼 ⑯防災・避難計画 ⑰危機管理 ⑱制度のあり方 ⑲情報提供、以上の19項目を選定した。

表1 記事の要約と要因抽出の例

	日付	要因の要約	キーワード
1	8.12	ゼロシナリオでは、火力依存度を65%に高めなければならず、新エネルギーや再生可能エネルギーの普及にかかる費用が膨れ上がる恐れがある。	エネルギー選択、電気事業者、電力供給、電気事業者の収益
2	8.12	現実的なエネルギー政策を講じなければ、産業の空洞化に拍車がかかる。	国・自治体、景気・雇用
3	8.12	原発ゼロで人材が流出する問題をどうするのか。廃炉にも原子力技術が必要。	エネルギー選択、電気事業者、人材、原子力システム
4	8.12	ゼロシナリオになった場合、大きく雇用が減る。	エネルギー選択、電気事業者、電力供給、電気事業者の収益、電気料金、景気・雇用
5	8.12	火力発電の依存度が高まり、電気料金の値上げから、日本企業の海外流出が加速しかねない。	エネルギー選択、電気事業者、電力供給、電気事業者の収益、電気料金、景気・雇用
6	8.12	再生可能エネルギーの全量買い取りによる値上げにより、経済への悪影響も懸念されている。	制度のあり方、電気事業者、電力供給、電気事業者の収益、電気料金、景気・雇用
7	8.24	原子炉等の直下に活断層が存在すると、活断層のずれで設備が傾き、破壊される危険性がある。耐震補強を重ねても対応は困難。	自然災害・テロ、原子力システム
8	8.25	100%の安全システムはないのだから、たゆまぬ安全性向上の努力を続けなければならない。	電気事業者、危機管理、原子力システム
9	8.25	事故の確率が低い、または算出できないとしても、防災上きちんと考慮すべき。	電気事業者、危機管理、原子力システム
10	8.29	電力会社は基幹事業の原資に多額の投資を行っており、原発ゼロだと投資が回収できなくなり、損失が生じる恐れ。	エネルギー選択、電気事業者、電力供給、電気事業者の収益
11	9.12	六ヶ所村が廃棄物受け入れを拒否すれば、再処理委託関係にある英仏からの反発は必至である。	国・自治体、核廃棄物

表2 類似要因の分類・統合

①国・自治体	国家機関、政治、地方自治体等
②電気事業者	電力会社
③電気事業者の収益	企業利益の増減等
④景気・雇用	経済影響、地域振興、産業成長等
⑤電気料金	国民が負担する電気料金の増減等
⑥人材(原子力)	原子力関連事業に従事する人材の確保等
⑦エネルギー選択	火力、水力、原子力、再生可能エネルギー等
⑧電力供給	出力安定、発電効率等
⑨原子力システム	原子力施設の運営・管理技術
⑩エネルギー安全保障	
⑪核廃棄物	放射性廃棄物の処理・処分
⑫自然災害・テロ	地震、津波、台風、竜巻、テロリズム等
⑬環境影響	放射性物質による環境汚染
⑭健康影響	放射性物質による人体への健康被害
⑮国民の信頼	国民が感じる信頼、不安、疑義等
⑯防災・避難計画	国や地方自治体による防災・避難計画等
⑰危機管理	行政や電気事業者の危機管理意識等
⑱制度のあり方	エネルギーに関する法律や制度の整備等
⑲情報提供	行政や電気事業者からの情報提供等

3.2 要因間の関係性の評価と構造モデル化

次に、要約文から要因間の関係性を導出する。導出の方法は、要約文の内容から要因間の関係性を示唆する根拠を導き出し、少人数の協議を通じて評価する。関係性の定義は因果関係とし、関係性の有無を判断した。例えば、表1の3で「原発ゼロで人材が流出する問題をどうするのか。廃炉にも原子力技術が必用。」という要約に対しては、「人材確保によって、原子力技術の維持が必用である」と解釈し、「⑥人材→⑨原子力システム」の因果関係を結ぶ。全ての関係性の有無を整理し、因果マトリクスにまとめたものを図3に示す。計37の有向関係が導出された。

このマトリクスの可到達行列を計算し、階層構造として整理することで問題の全体像を整理した。図4に因果マトリクスから導出した可到達行列を示す。

次に可到達行列を元に階層構造を導出する。まず、⑮は⑮以外の要因への到達関係が無いことから連鎖の終点を意味しており、最下流に位置する。続いて⑮を除いて同様に到達関係を見ると④の要因が連鎖の終点に該当し、最下流となる。さらに④を除いて...というように同様の操作を繰り返した結果、上から (①・⑫) → (⑦・⑩・⑫・⑰・⑱) → (⑥・⑪) → (⑧・⑨・⑯・⑲) → (③) → (⑤・⑬・⑭) → (④) → (⑮) の8つのレベルからなる階層構造が導出された。階層的に分類した階層化可到達行列を図5に、その結果から導出した階層化グラフを図6に示す。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
①				1			1			1	1						1	1
②						1		1									1	1
③					1													
④															1			
⑤				1														
⑥									1									
⑦	1									1								
⑧		1											1					
⑨		1											1	1				
⑩							1											
⑪													1	1	1			
⑫								1		1								
⑬				1											1			
⑭															1			
⑮																1		
⑯									1									1
⑰										1								
⑱	1						1									1		
⑲																1		

図3 原子力利用に関する因果マトリクス

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
①	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
②	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
③			1	1	1										1			
④				1											1			
⑤					1	1									1			
⑥						1	1	1	1						1	1	1	
⑦	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1
⑧		1	1	1			1						1	1	1			
⑨		1	1	1				1					1	1	1			
⑩	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1
⑪									1				1	1	1			
⑫		1	1	1				1		1	1	1	1	1	1			
⑬				1									1	1				
⑭														1	1			
⑮																1	1	
⑯	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1
⑰	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1
⑱																1		1

図4 可到達行列

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
①	1																	
②	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
③			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
④				1														
⑤					1													
⑥						1												
⑦							1											
⑧								1										
⑨									1									
⑩										1								
⑪											1							
⑫												1						
⑬													1					
⑭														1				
⑮															1			
⑯																1		
⑰																	1	
⑱																		1

図5 階層化可到達行列

4. 考察

図6に示すように、新聞記事から導き出した原子力利用に関する論理展開は8つのレベルからなる階層構造になっている。最上層の「①国・自治体」と「⑫自然災害・テロ」といったマクロな要因から始まり、いくつかの要因を経由した後、最終的には「⑮国民の信頼」の要因へと収束している。階層によって要因同士の明確な分類構成は見られないが、図6の点線枠で分けられているように、上層から下層へ向かうに従い、要因の配置が国・自治体要因→電気事業者要因→国民への影響要因といった影響レベルの変遷が見られる。

上層の様々な要因からの因果関係の帰結として、「⑮国民の信頼」が位置している。このことから、原子力利用の是非を判断するための根拠として「信頼」が重要であることが考えられる。また、「⑮国民の信頼」へ結ばれている有向線を逆にたどることで、「⑲情報提供」、「⑯防災・避難計画」、「⑬環境影響」、「⑭健康影響」、「④景気・雇用」の5つの要因が直接的な影響を与えていることがわかる。

これら5つの要因が、国民の信頼にどのような役割を持つのかを特定するため、木村ら[8,9,10]による原子力の社会的受容性に影響を与える要因の分析結果を参考に

した。木村らによると、原子力の社会的受容性にはベネフィット、リスク認知、信頼性の3因子が関係すると指摘している。原子力が社会的に受容可能か否かは、国民の信頼によって左右されると考え、5つの要因をその知見に基づいて整理を行った。その結果、「④景気・雇用」はベネフィット要因として、「⑬環境影響」・「⑭健康影響」はリスク認知要因として、そして「⑲情報提供」・「⑯防災・避難計画」は信頼要因として分類されたと考えた。そして、これらの要因へ直接的に結ばれている有向線をたどることで、その結合が示す因果関係が、国民の信頼にどのような影響を与えているかについて解釈を行った。

まず、「④景気・雇用」には、事業者による「⑤電気料金」要因や、「①国・自治体」要因が直結している。このことは、原子力の稼働によって安価に電気を利用できること、また国や自治体から原発立地地域に対して経済的支援策が行われることが、国民にとってベネフィットとして認識され、結果的に国民の信頼へ影響を与えると解釈できる。

次に、「⑬環境影響」・「⑭健康影響」には、「⑨原子力システム」・「⑧電力供給」といった原子力の稼働に関わる要因や、「⑪核廃棄物」要因が直結している。このことは、

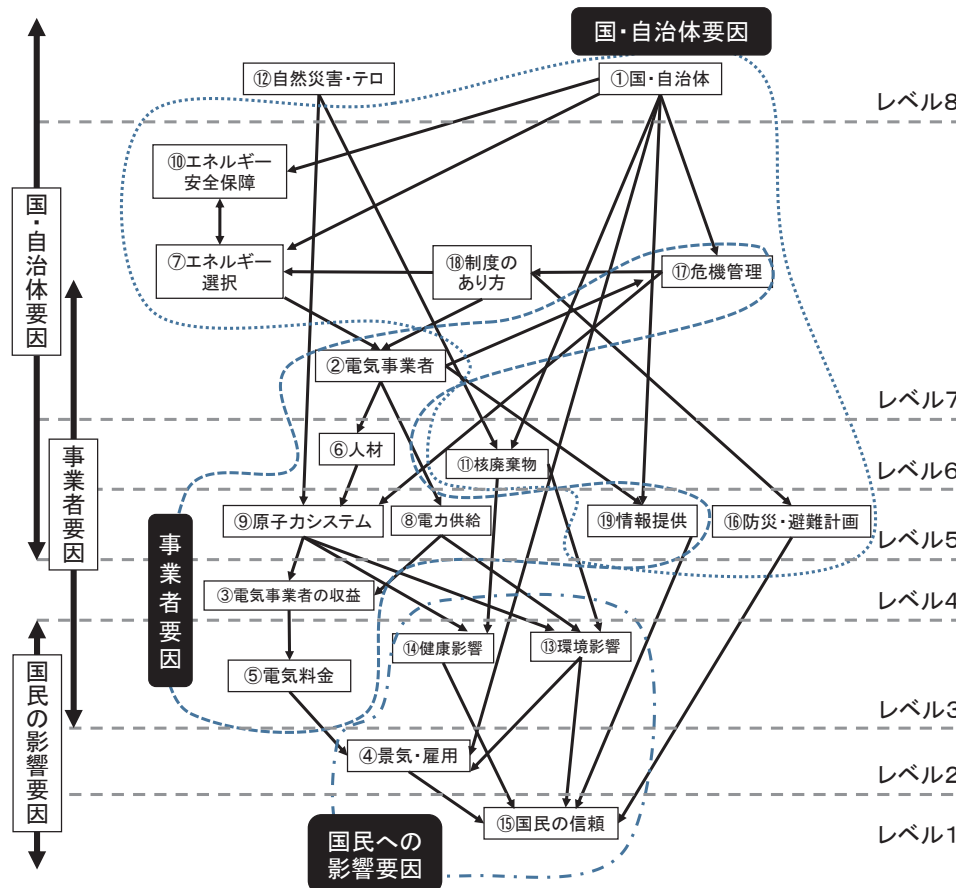


図6 原子力利用に関する論理展開の階層構造化

