

## 研究論文

# クロスインパクト分析による 地球温暖化対策評価のための叙事的シナリオの構築

Narrative Scenario Development by the Cross-Impact Analysis for  
the Evaluation of Global Warming Mitigation Options

林 礼美\* · 時松 宏治\*\* · 山本 博巳\*\*\* · 森 俊介\*\*\*\*  
Ayami Hayashi                      Koji Tokimatsu                      Hiromi Yamamoto                      Shunsuke Mori

(原稿受付日2004年8月3日, 受理日2004年12月10日)

## Abstract

Social, technological, economic and environmental issues should be considered in integrated assessments for the global warming mitigation options. Existing integrated assessment models have included the quantitative factors, however, have not explicitly contained the interactions among the qualitative social contexts in the background, e.g., the social acceptance for developments of nuclear power stations. In this paper, we apply a technological forecasting method, Cross-Impact method, to take the relationships among the qualitative factors into account explicitly, and develop narrative scenarios regarding the social contexts. An example of developed scenarios in 2050 assuming the global population and the gross domestic product similar to the A1 scenario of IPCC Special Report on Emissions Scenarios tells us that 1) the internet diffuses in all regions; 2) the global unified market appears; 3) the regional culture tends to converge; 4) the long-term investments for more than thirty-years become difficult and thus nuclear power stations do not increase so much; 5) the self-sufficient supply and the diversification of primary energy resources do not progress so rapid; and 6) thanks to the diffusion of the internet, the environmental education becomes familiar and environmental costs are socially accepted well.

## 1. はじめに

地球温暖化対策の評価に重要な将来の人口, 経済発展, 技術開発, エネルギー・資源, 環境影響等は互いに依存して変化することより, 従来の研究では評価を統合的なものとするためそれらの相互関係を定量的に扱う統合評価モデル<sup>1), 2)</sup>が主として用いられてきた。しかし, 上記事象は, その背景にある技術の受容性や文化, 価値観など社会的文脈に関する定性的事象とも複雑に絡み合っている。例えば, 将来の経済発展は, IT化の進展や市場のグローバル化, 地域的 문화や慣習の変化, さらに, リサイクルや再生可能エネルギーに対するコスト受容度, エネルギー技術の社会的選択等とも影響を及ぼし合うと予想される。従って, 温暖化対策を総合的に評価するには, 従来のような定量的モデル分析と定性的事象群のシナリオを総合化した評価が必要であると考えられる。

このような観点からIPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) でもシナリオ構築に力が注がれ, 例えば, Special Report on Emission Scenarios (SRES)<sup>3)</sup>では,

経済発展重視とグローバル化を軸として多様な社会に関する叙事的シナリオ (ストーリー・ライン) が構築され, それに対応する定量的な温室効果ガス排出シナリオが示された。但し, SRESでは叙事的シナリオのベースとなった定性的事象の相互の促進や競合に関するインパクト構造までは明示されていない。

しかし, 温暖化対策評価に重要な事象のうち, 社会の文化・価値観の影響を受けやすい原子力発電や再生可能エネルギーの導入等については, 背景にある定性的事象の相互関係が明確にされている必要があると考えられる。そこで, 本研究では温暖化対策評価に関連すると思われる定性的な社会・経済事象を対象に, 技術予測法の一つであるクロスインパクト (X-I) 法を適用し, 事象間のインパクト構造を論理的に反映した, 整合性の高い叙事的シナリオを策定することを目的とした。

## 2. 技術予測法とX-I法によるシナリオ構築

温暖化対策評価は, 技術, 経済, 環境など比較的定量性の高い事象と, 社会的文脈のような定量性の低い事象群の絡み合う中から, できる限り統合的な情報を抽出したうえで行わねばならない。これと同様の性格を持つ問題に対するアプローチとして, 技術予測手法がある。20世紀後半, エネルギー, 輸送, 情報通信など様々な分野に新技術が次々と開発されたが, これらは過去の統計の延長では扱えず,

\* (財)地球環境産業技術研究機構 (RITE) システム研究グループ研究員  
E-mail: ayami@rite.or.jp

\*\* RITE システム研究グループ研究員  
(現在 (独)産業技術総合研究所研究員)

\*\*\* (財)電力中央研究所 社会経済研究所主任研究員

\*\*\*\* 東京理科大学理工学部経営工学科教授,

RITE システム研究グループ主席研究員

〒619-0292 京都府相楽郡木津町木津川台9-2

第23回エネルギー・資源学会研究発表会にて発表

経営者は定量性の低い情報をもとに意思決定を下さねばならなかった。そこで、専門家の主観的判断からできる限り論理的かつ信頼度の高い情報を抽出しようとする技術予測手法が、1960年代から1970年代にかけて盛んに開発された。

本研究で用いるX-I法もその一つである。X-I法では、定量性の低い事象の将来の可能性を「生起」と「非生起」の二値で表し、生起の不確実性を専門家の判断による確率（主観確率）で表現する。さらに、同じく専門家の判断によってこれら事象間相互のインパクト関係を条件付確率などの二次元確率で与えておく。ここに確率論モデルを適用し数学的な整合性を与えつつ、最も可能性の高い、「生起」と「非生起」の組み合わせから成る高次元の状態を決定する。これを最尤シナリオと呼ぶ。これをもとに叙述的シナリオを策定する。X-I法の数学的な概略は付録に示すが、詳細は文献<sup>4, 5)</sup>に譲る。X-I法では、専門家が推定した確率数値は、確率論の数学的条件を満たすとは限らないため、合理的な体系に修正するプロセスを含む点に特長がある。X-I法のエネルギー分野への適用例として、将来の原子力発電開発のシナリオ構築<sup>5)</sup>や中東を中心とする政治的事象のシナリオ抽出と計量経済モデルを結合した石油価格シミュレーション分析がある<sup>6)</sup>。

本研究では、温暖化対策評価に関連する定性的な社会・経済事象を対象に、このX-I法を適用し、2050年の世界の叙述的シナリオを構築する。

### 3. シナリオ構築に関する事象と地域の設定

SRESでは長期社会・経済シナリオを経済-環境志向と地球-地域主義の二つの軸で、A1, A2, B1, B2の4つのケースに大分し、それぞれに人口、経済成長等の基本的な変数のトレンドと技術やエネルギーシステム等、主要な社会・経済事象の特徴を設定している。各ケースは以下のような社会的文脈を表す。

(A1：低人口成長・高経済成長志向ケース) 経済効率の追求によりグローバル化が進み、所得格差は縮小に向かう。

(A2：高人口・地域重視主義ケース) 各地域は独自文化の枠組みをあまり崩さず、グローバル化・経済的効率性に高い価値を置かない。人口は最も増大する。

(B1：低人口成長・環境志向ケース) A1と同様の低人口成長・グローバル化と同時に、社会は持続可能性を志向する。

(B2：中人口・中経済成長ケース) 地域主義の範囲で経済・社会・環境の持続可能性が追求される。人口は国連の中位推計に従う。

本研究ではこのSRESの人口と一人当たり所得を前提条件として表1に示す4つのケースを設定した。回答者は、SRESの4ケースをシナリオ構築の基礎として念頭に置くものの、必ずしも細部にわたる厳密な再現までは要求され

表1 4つのケースの人口と経済成長に関する前提条件

ケース	2100年の世界人口	2100年の世界平均の一人当たりGDP
A1	71億人	75,000 US\$
A2	151億人	16,000 US\$
B1	71億人	47,000 US\$
B2	104億人	23,000 US\$

表2 クロスインパクト分析の対象とした社会・経済事象

事象番号	事象内容	キーワード
1	世界全体が一つの大規模経済圏のような状態になる	一大経済圏化
2	一次エネルギー供給に対するリスクヘッジが重視される結果、一次エネルギーの自給化と供給源多様化（輸入先多様化の他、供給源多様化）が格段に進行する	一次エネルギーの自給化と供給源多様化
3	原子力発電の新規建設が活発になる	原子力発電所の新規建設
4	再生可能エネルギー利用や資源リサイクルに対するコスト負担が人々の常識になる	環境コストの負担意識の常識化
5	政策や企業戦略で30年以上先を見越したような長期的な投資が困難になる	長期的投資の困難化
6	インターネットがほとんど全ての人々に普及する	インターネット普及
7	地球環境に関する教育が人々の一般教養として普及する	地球環境教育普及
8	他地域の文化や習慣を受け入れるより自地域の文化や習慣を保守しようという考え方が主流になる	地域的文化的慣習の保守

ない。また、各ケースのシナリオ構築に関する事象としてSRESの重要な社会・経済事象を参考に表2に示す8つの事象を設定した。このうち事象1はWORLD（世界）に共通する事象、事象2～8はOECD（OECD加盟国）、REF（東欧、中東、旧ソ連諸国）、ASIA（アジアの発展途上国）、ALM（アフリカ、ラテンアメリカ）の4つの地域別の事象とした。すなわち、1ケース当たり1事象×1地域+7事象×4地域=29事象をX-I分析の対象とした。以下、簡単のためWORLD, OECD, REF, ASIA, ALMをW, O, R, A, Lで示し、例えばA3はASIA地域における事象3を意味するものとする。

### 4. 事象生起とインパクトに関するアンケート調査

X-I分析に必要なデータを地球温暖化関連分野の専門家（所属は大学又は研究所）を対象に平成16年2～3月にアンケート調査により収集した。調査の内容は、各ケース29事象について、A.事象iが2050年までに生起する確率（一次元確率）<sup>注1)</sup>とB.事象jが2010年頃に生じるとした場合に事象iの2050年までの生起に与えるインパクトの評価（Aの

注1) 確率数値に対し、0 = 「生じない」、0.5 = 「どちらになるかわからない」、1.0 = 「生じる」等、不確実性表現の目安をあらかじめ提示した<sup>7)</sup>。

値に対して-0.4~+0.4まで0.1間隔の9段階から選択)である。回答者の負担を軽減するため、一回答者につき1ケースのみとし、さらにBについては重要なインパクトがあると考えられる事象のみ回答を求めた。その結果、部分回答も含めるとA1, A2, B1, B2の各ケースについて3名, 5名, 3名, 5名から回答を収集した。ここで、同じ評価者が全ケース一貫して回答するのが望ましいとは言うまでもないが、今回の調査対象者は、事前に地球温暖化の問題点と本研究の趣旨について議論を重ねることによって、背景情報や事象の関係構造を共有できており、評価の一貫性は保てるものと判断した。

調査AとBについて回答者間の平均値(以下、それぞれ平均予測生起確率(P<sub>i</sub>), 平均予測インパクト(α<sub>i-j</sub>)と記す)を表3に示す。但し、紙面の都合上B2ケースの値のみ示す。その他のケースの値は文献<sup>7)</sup>を参照されたい。4つのケースを通じ平均予測生起確率について以下のような傾向が見られた。事象1の一大経済圏化の平均予測生起確率は一人当たりのGDPの高いA1ケースやB1ケースで高い。事象3の原子力発電の新規建設は全てのケースにおいてASIAで平均予測生起確率が高い。事象4の環境コスト負担意識の常識化と事象6のインターネット普及、事象7の地球環境教育普及は全てのケースにおいてOECDで生じる可能性が最も高い。事象8の地域的文化的慣習の保守の平均予測生起確率はほとんど全ての地域でA2ケースで高く、A1ケースで低い。平均予測インパクトについては次章で述べる。

### 5. インパクト構造の整理

X-I分析に先立ち、アンケート調査で収集した平均予測インパクトの値に基づいて事象間のインパクト構造を整理した。最初に、分析対象事象が1ケース当たり29個と多いことより、文献<sup>8)</sup>のクラスタリング手法を参考に相互インパクトが強い事象群を一つのグループにまとめた<sup>注2)</sup>。次に、他のグループから受けるインパクトが小さくかつ他のグループに与えるインパクトが大きいグループ(下位グループと呼ぶ)から順に平均予測インパクトの行列を並べ替えた<sup>注3)</sup>。表3は、上記の操作により並べ替えた後のB2ケースの行列である。表中、G1~G5は下位グループから順にグループの番号を示している。

これより、B2ケースについて以下のようなインパクト構造が読みとれる。G1の地域的文化的慣習の保守(O8, R8, A8, L8)はG2の一大経済圏化(W1)を抑制する(負のインパクト)。G2のインターネット普及(O6, R6, A6, L6)はG3の地球環境教育普及(A7, L7, O7, R7)を促進し(正のインパクト)、さらに、(A7, L7, O7, R7)

注2) 文献<sup>8)</sup>ではコンピュータ計算によって複数事象群の事象間インパクトの絶対値の総和が一定値以上になる事象群を1つのグループとしている。本研究ではこれを簡略化し、平均予測インパクトの行列を並べ替えた際に、絶対値がある程度以上(ここでは0.1以上とした)のセルが行列の対角線を挟んで視覚的に集まる事象群を1つのグループとした。なお、事象内容を考慮した上で、1つの事象が2つのグループにまたがることもあり得るとした。

注3) 平均予測インパクトの行列をグループ単位で並べ替えた際に、インパクトの絶対値がある程度以上(ここでは0.1以上とした)のセルが、行列のおおむね上三角に位置するようにした。

表3 アンケート調査によるB2ケースの事象iの2050年までの平均予測生起確率(対角セル)と事象jから事象iへの平均予測インパクト(非対角セル)

B2	事象(i)																														
	O8	R8	A8	L8	O6	R6	A6	L6	W1	A7	L7	O7	R7	O4	R4	A4	L4	O5	R5	A5	L5	O2	R2	A2	L2	O3	R3	A3	L3		
2010年頃に生じると仮定した事象(j)	O8	<b>0.28</b>	0.07	0.07	0.07					-0.17	0.00	0.00	-0.07	0.00																	
	R8	0.03	<b>0.40</b>	0.03	0.03					-0.20	0.00	0.00	0.00	-0.07																	
	A8	0.03	0.03	<b>0.35</b>	0.03					-0.23	-0.07	0.00	0.00	0.00																	
	L8	0.03	0.03	0.03	<b>0.40</b>					-0.20	0.00	-0.07	0.00	0.00																	
	O6	<b>G1(O8,R8,A8,L8)</b>				<b>0.95</b>	0.03	0.03	0.03	0.07				<b>0.10</b>																	
	R6					0.03	<b>0.75</b>	0.10	0.07	0.17					<b>0.20</b>																
	A6					0.03	0.07	<b>0.85</b>	0.07	0.13	<b>0.20</b>				0.00	0.00	0.07	0.00													
	L6					0.03	0.07	0.03	<b>0.62</b>	0.20					0.00	0.00	0.00	0.10													
	W1	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	0.10	0.10	0.10	<b>0.43</b>									0.00	0.07	0.03	0.03	0.00	0.07	0.10	0.03					
	A7	0.00	0.00	0.07	0.00	<b>G2(O6,R6,A6,L6,W1)</b>						<b>0.70</b>	0.03	0.03	0.03	0.07	0.07	0.23	0.07												
	L7	0.00	0.00	0.00	0.07						0.03	<b>0.80</b>	0.03	0.03	0.07	0.07	0.07	0.20													
	O7	0.00	0.00	0.00	0.00						0.07	0.03	<b>0.87</b>	0.07	0.17	0.10	0.10	0.07													
	R7	0.00	0.03	0.00	0.00						0.07	0.10	0.07	<b>0.75</b>	0.10	0.27	0.13	0.13													
	O4																														
	R4																														
	A4										0.03																				
	L4											0.03																			
	O5					-0.07					<b>G3(A7,L7,O7,R7,O4,R4,A4,L4)</b>																				
	R5						-0.03																								
	A5							-0.03																							
	L5								-0.03																						
	O2																														
	R2																														
	A2																														
	L2																														
	O3																														
	R3																														
	A3																														
	L3																														

・対角セルの斜体文字の値: 事象iの2050年までの平均予測生起確率(P<sub>i</sub>)、非対角セルの値: 事象jが2010年頃に生じるとした場合に事象iの2050年までの生起に与える平均予測インパクト(α<sub>i-j</sub>)。  
 ・平均予測インパクトの空白セルは回答者の過半数から数値を得られなかったことを意味しており、X-I分析には0の値を適用した。  
 ・平均予測インパクトの網掛けセルは絶対値が0.1以上であることを示す。  
 ・太線の四角は1つのグループとした事象群を、G1~G5は各グループの番号を示す(本文第5章参照)。

は同グループの環境コストの負担意識の常識化 (O4, R4, A4, L4) を促進する。また, G4の長期的投資の困難化 (O5, R5, A5, L5) は, G5の一次エネルギーの自給化と供給源の多様化 (O2, R2, A2, L2) や原子力発電所の新規建設 (O3, R3, A3, L3) を抑制する。G5の (O3, R3, A3, L3) は, G3の (O4, R4, A4, L4) から抑制影響を受ける。

なお紙面に表示していないが, A1, B1ケースでは (O6, R6, A6, L6) と (O8, R8, A8, L8) はW1を共通事象とし, W1を介して互いに影響を及ぼし合うような構造が見られた<sup>7)</sup>。

## 6. クロスインパクト分析による最尤シナリオの導出

### 6.1 データと分析方法

ケース毎に, 下位グループから順に文献<sup>4, 5)</sup>のX-I法を適用し, シナリオが生起する確率 (シナリオ確率) を算出した。

分析に必要なデータは, 事象*i*が将来予測時点Tまでに生起する確率*P*(*i*)と予測期間当初に事象*j*が生起したとするとTまでに*i*が生起する確率*P*(*j*→*i*)<sup>注4)</sup>である。それぞれ, アンケート調査の平均予測生起確率 (*P*<sub>*i*</sub>)と平均予測インパクト ( $\alpha_{j \rightarrow i}$ )より(1), (2)式のように設定した。

$$P(i) = P_i \times \prod_m (1 + \alpha_{m \rightarrow i}) \quad (0.1 \leq |\alpha_{m \rightarrow i}|) \dots\dots\dots (1)$$

$$P(j \rightarrow i) = P(i) + \alpha_{j \rightarrow i} \quad (0 \leq P(j \rightarrow i) \leq 1) \dots\dots (2)$$

ここで, *m*は着目しているグループより下位グループのX-I分析の結果生起するとなった事象 (但し, 当該グループにも共通する事象は除く), もしくは同一グループで生起を前提とした事象<sup>注5)</sup>である。(1)式の $\prod_m (1 + \alpha_{m \rightarrow i})$ は「事象*m*が生起する」を前提とした場合, 専門家が予測する事象*i*の生起確率は, それを前提としなかった今回の調査結果とは異なるであろう事を考慮するための修正係数であり, 前提条件に応じてその都度アンケート調査するのであれば必要のない項である。すなわち, (1)式による生起確率の設定は, データ収集の負荷を軽減するための便法の一つに過ぎず, 別法の開発と比較は今後の課題である。但し, X-I法では*P*(*i*)と*P*(*j*→*i*)が高次結合確率と数学的に整合性を保つような合理化修正プロセスを備えていることより, (1)式による設定でも特別大きな問題は生じないと判断した。

注4) 文献<sup>4, 5)</sup>のX-I法では, 事象間の競合・促進の相互作用を表すのに条件付確率*P*(*i*|*j*)ではなく*P*(*j*→*i*)を用いる。これは, 条件付確率では*P*(*i*|*j*)*P*(*j*)=*P*(*j*→*i*)*P*(*i*)が成立し常に*P*(*i*|*j*)>*P*(*i*)⇔*P*(*j*|*i*)>*P*(*j*)となるため, 「事象*i*から事象*j*へのみ一方方向のインパクトがある」という状況を表せないことによる。なお, *P*(*j*→*i*)はマルコフ遷移確率モデルにより二次結合確率*P*(*i*, *j*)に変換される<sup>9)</sup>。

注5) 平均予測生起確率が0.9以上の事象は, インパクト構造を考慮した上で生起すると見なし, X-I分析の対象外とした。

2つのグループに共通する事象がある場合は, 下位グループと上位グループのX-I分析の結果を比較し, 共通する事象の生起又は非生起が下位グループの結果と同じになるシナリオを上位グループのシナリオとした。

### 6.2 分析結果

表4にA1, A2, B1, B2の各ケースについてG1~G5のグループ毎にX-I分析を行って抽出した最尤もしくは第二位, 第三位のシナリオとシナリオ確率を示す。例えば, A1ケースではG1 (O6, A6, R6, L6, W1)の全ての事象についてアンケート調査の平均予測生起確率が0.9以上であったことより生起するものと想定しX-I分析の対象外とした。G2 (W1, O8, A8, R8, L8)はX-I分析の結果, W1のみ生じるが最尤シナリオとして得られた。ここで, W1はG1とG2に共通する事象であるが, 両グループのシナリオともW1は生起するという結果で一致している。G3 (O5, R5, A5, L5, O3, R3, A3, L3)はX-I分析の結果, O5が生じないシナリオとR5が生じないシナリオの確率がそれぞれ0.16, 0.14と大差がなかった。そこで, それぞれの場合についてG4とG5のシナリオをX-I分析したが, G4とG5のシナリオはO5とR5の生起・非生起に依らず同じであった。

## 7. 叙述的シナリオの構築

### 7.1 クロスインパクト分析結果に基づく

#### 叙述的シナリオの構築

X-I分析の結果と事象間インパクト構造に基づき, 各ケースの2050年の叙述的シナリオを構築した。その主な内容を図1に示す。ただし, 紙面の都合により, 図はA1ケースとB2ケースのみ示した。

#### (1) A1ケース

低人口成長・高経済成長のA1ケースでは, 全ての地域でインターネットが普及し, 経済圏が一大化する。しかし, 長期的な投資が困難になる可能性が高く, このため長期的投資を要する原子力発電の新規建設は活発化しない。同時に経済圏の一大化は一次エネルギーの自給化や供給源の多様化の進行を抑制する。インターネット普及により地球環境教育が普及し, 再生可能エネルギー利用や資源リサイクルに対するコスト負担の常識化は進行する。

#### (2) A2ケース

一人当たり所得の伸びが相対的に低く, 経済圏の一大化があまり進行しない高人口・地域重視主義のA2ケースにおいて, 伝統的文化を志向する帰郷主義が主流になる可能性と, 主流にならない可能性が同じ位高い。前者においては, 経済圏もブロック化に向かい, 長期的投資は困難化しない可能性と, 困難化する可能性の両方が生じる。後者では, 経済圏はむしろ一大化に向かい, 長期的投資は困難化しない。いずれも, 長期的投資が困難化しない場合に原子

表4 クロスインパクト分析によるA1, A2, B1, B2各ケースの2050年のシナリオ

ケース	シナリオ	グループと事象																																	
		G1					G2					G3					G4					G5													
		O6	A6	R6	L6	W1	O8	R8	A8	L8	W1	O5	R5	A5	L5	O3	R3	A3	L3	O3	R3	A3	L3	O2	R2	A2	L2	O4	O7	R4	R7	A4	A7	L4	L7
A1	A1-1	1 <sub>p</sub>						0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1				
	A1-2						1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
A2	A2-1																			0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0				
	A2-2	1	1	1	1	1	1 <sub>p</sub>	1 <sub>p</sub>	1 <sub>p</sub>	1	0	1 <sub>p</sub>	1 <sub>p</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0				
	A2-3																			0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0				
	A2-4																			0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0				
	A2-5	0	0	0	0	0	1 <sub>p</sub>	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0										
	A2-6																			0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0				
B1	B1-1	1	1	1	1	1						1 <sub>p</sub>	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0									
	B1-2						1	1	1	1	1									0	0	1	1	1	1	1	0	0							
B2	B2-1						1 <sub>p</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	B2-2	0	0	0	0	0														1	0	0	0	0	0	0	0	0							
	B2-3																			0	0	0	0	0	0	0	0	0							
	B2-4						1 <sub>p</sub>	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0				

・1：生起する，0：生起しない，1<sub>p</sub>は当該事象は生起するものと想定しX-I分析の対象外としたことを意味する。  
 ・( )内の数値はX-I分析対象とした事象群のシナリオ確率。

力発電の新規建設がASIAと場合によって全ての地域で活発化する。

一次エネルギーの自給化や供給源多様化はREFを除き、格段に進展する可能性は極めて低い。インターネットは進行し、環境保全に対するコスト負担の常識化は進む。

(3) B1ケース

低人口成長・環境志向のB1ケースでは、インターネットの普及と経済圏の一大化はA1ケースと同様である。A1ケースと異なる点として、B1ケースでは経済のグローバル化と地球環境教育の普及が文化や慣習の地域主義を促進する。その結果、B1ケースでは一次エネルギーの自給化と供給源多様化が促され、ASIAとREFでは原子力発電所の新規建設が活発になる可能性がある。

(4) B2ケース

中人口・中経済成長のB2ケースでは、A1ケースと同様に文化は世界共通化に向かう。経済圏はA1ケースと同様に一大化する可能性が高いが、A2ケースのようにブロック化を志向する可能性も低くない。インターネットの普及は地球環境教育の普及を促進する。一次エネルギーの自給化と供給源多様化は、OECDを除き、格段には進展しない。

このように、全ケース・全地域においてインターネットの普及に伴い、地球環境教育が普及し、再生可能エネルギー利用や資源リサイクルに対するコスト負担が常識化する。経済圏はA1とB1ケースで一大化するが、A2とB2ケースでは一大化とブロック化の両方の可能性がある。原子力発電の新規建設は、A2の長期的投資が困難化しないケースとB1ケースに主としてASIAで活発化する可能性がある。

7.2 構築した叙事的シナリオの考察

前節のように構築されたシナリオについて、その導出の背景となった論理を以下に考察する。

- (1) 経済圏はA1, B1ケースで一大化するが、A2, B2ケースでは一大化とブロック化の両方の可能性がみられた。これは、高所得は経済活動の一大圏化によって達成されるという共通認識が全ての回答者にあったためと考えられる。
- (2) 経済圏が一大化するA1, B1ケースについて、A1ケースでは文化・慣習も世界共通化に向かうが、B1ケースではこれは地域ブロック化する。環境志向と地域文化保全の関連が認識されたためであると考えられる。
- (3) 長期的投資は、A2, B1, B2ケースで困難化する可能

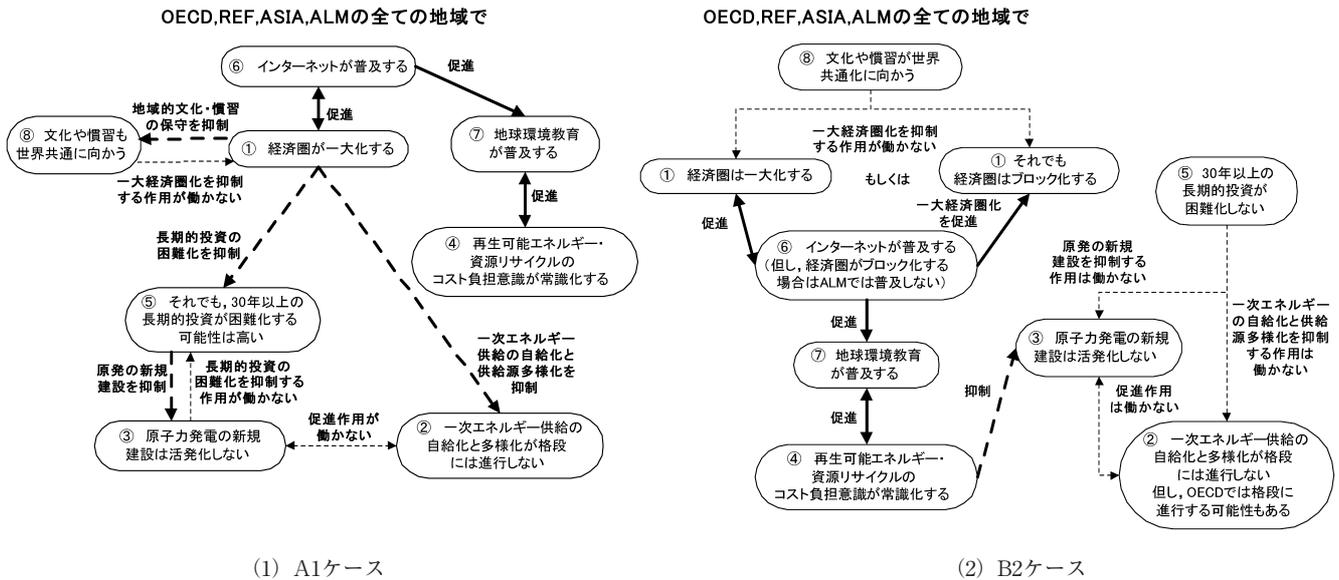


図1 クロスインパクト分析と事象間インパクト構造に基づいて作成した2050年の叙事的シナリオの主な内容

(1) A1ケース (2) B2ケース  
 (太実線は促進作用, 太破線は抑制作用を示す。また細破線はインパクト元の事象が生起しないため促進もしくは抑制作用が働かないことを示す。数字①～⑧は事象番号を意味する。)

性が低く、むしろ高成長のA1ケースで困難化する可能性が高い。これは、経済活動が活発なA1ケースでは短期的に回収可能な投資が好まれる状況を示唆する。経済的効率性に高い価値を置かないA2ケースはこの逆の状況である。B1, B2ケースでは、社会の環境志向によって長期的な投資の受容度が高まったと推察される。

(4) 原子力発電は、A2, B1ケースで長期的投資が困難化しない場合に現れている。両者は長期的投資とREFにおける一次エネルギーの自給化・供給源多様化の進展が共通点である。回答者は、これらを原子力発電新規導入の条件と考えていたと推察される。

(5) インターネットは現在の趨勢を踏まえた結果、ケース、地域によらず普及することとなった。同時に、これは間接的に環境コストの負担意識の常識化をもたらす。

このように、本研究で構築した叙事的シナリオは、必ずしもSRESの4ストーリーラインと厳密に対応しているわけではない。例えば、A2ケースでは、文化と経済に保守性の強い地域回帰主義と、むしろグローバル化志向に反転する可能性の二通りが抽出されている。これは、回答者がSRESの人口と一人当たり所得の状況を見て、A2ケースの将来に、保守化のさらなる進行と、経済面の効率化への揺り戻しという二通りの推移可能性を認めたものと解釈できる。

8. まとめ

温暖化対策評価に関連すると考えられる定性的な社会・経済事象について、2050年までの各事象の生起確率と事象間のインパクトに関するデータを専門家よりアンケート調査によって収集した。そのデータに基づいて、事象間のイ

ンパクト構造を整理し、X-I法により生起確率の高いシナリオを抽出した。さらに、その結果より、事象間インパクト構造を論理的に反映した2050年の世界の叙事的シナリオを構築した。

ここで、温暖化対策評価のように世界の地域性を有する課題は考慮すべき事象が必然的に多くなることより、グループ化した事象群毎に逐次的にX-I法を適用した。グループ化した事象群の生起確率の設定方法は検討の余地があり、今後の課題である。また、シナリオの構築にあたっては、今回の構造整理と分析の結果を専門家にフィードバックして、結果の解釈に関する議論と、必要なら付与した数値の再検討のプロセスが望ましいことは言うまでもない。しかしながら、方法論としては、本研究によって、地球温暖化のような世界規模の社会・経済事象について事象間のインパクト関係と整合性の高いシナリオを論理的に構築できる手順が示された。また、同時にシナリオ構築の背後にある論理の明示化も併せて可能となった。

このような叙事的シナリオは地球温暖化対策の総合的な評価において、定量的モデルの原子力発電や再生可能エネルギーの導入量等、社会的文脈の影響を受けやすい変数の設定、及び、モデルシミュレーション結果の説明に有意義であると考えられる。

謝辞 本研究は経済産業省の地球環境国際研究推進事業「国際産業経済の方向を含めた地球温暖化影響・対策技術の総合評価」の一環として実施しました。本研究を進めるにあたり、同事業の委員会とワーキンググループの先生方、(財)地球環境産業技術研究機構の茅陽一副理事長・研究所長のご指導を賜りました。ここに謝意を表します。またアン

ケート調査にご協力頂いた専門家の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Y. Matsuoka, M. Kainuma and T. Morita ; Scenario analysis of global warming using the Asian Pacific Integrated Model (AIM), Energy Policy, 23 (1995), 357-371.
- 2) J. Alcamo, et al. ; Global modelling of environmental change : an overview of IMAGE 2.1, In : Global Change Scenarios of the 21st Century. Results from the IMAGE 2.1 Model (Alcamo, J., R. Leemans, and E. Kreileman (eds.)), (1998), 3-94, Pergamon, London, United Kingdom.
- 3) Nebojsa Nakicenovic, et al. ; Special Report on Emissions Scenarios, (2000), Cambridge university press.
- 4) Y. Kaya, M. Ishikawa and S. Mori ; A Revised Cross-Impact Method and Its Applications to the Forecast of Urban Transportation Technology, Technological Forecasting and Social Change, 14 (1979), 243-257.
- 5) 森俊介, 茅陽一 ; 動学的予測のためのクロスインパクト法の拡張, 計測自動制御学会論文集, 20-9 (1984), 807-813.
- 6) 森俊介, 佐和隆光, 茅陽一 ; クロスインパクト法と計量経済モデルの結合型石油価格モデル, エネルギー・資源, 5-5 (1984), 470-476.
- 7) 財団法人地球環境産業技術研究機構 ; 国際産業経済の方向を含めた地球温暖化影響・対策技術の総合評価, 平成15年度成果報告書, (2004), 381-400.
- 8) M. Ishikawa, M. Toda, S. Mori and Y. Kaya ; An Application of the Extended Cross Impact Method to Generating Scenarios of Social Change in Japan, Technological Forecasting and Social Change, 18 (1980), 217-233.

付録 クロスインパクト法の数学的手順の概要

n 個の事象の将来予測時点での生起もしくは非生起を, 専門家の判断に基づいて評価する. 将来時点の事象 i の一次元生起確率 P(i) 及び事象 i と j の二次結合確率 P(i, j) の予測値が条件付確率 P(i|j) あるいはインパクト確率 P(j→i) を用いて与えられたとする. この場合, n 個の事象の生起・非生起の組み合わせ状態は次のように定義される.

$$S_k = (\theta_k^1, \theta_k^2, \dots, \theta_k^i, \dots, \theta_k^n) \dots\dots\dots (A.1)$$

但し,

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$k = 1, 2, \dots, N (= 2^n)$$

$$\theta_k^i = \begin{cases} 1 : \text{事象 } i \text{ が状態 } S_k \text{ で生起の場合} \\ 0 : \text{事象 } i \text{ が状態 } S_k \text{ で非生起の場合} \end{cases}$$

確率論的に整合的な体系であれば, 1次元確率 P\*(i) と二次結合確率 P\*(i, j) は, (A.2) ~ (A.5) を満たさなければならない. 以下, \* は確率論的に整合的な数値を意味するものとする.

$$\sum_{k=1}^N \theta_k^i \pi_k = P^*(i) \dots\dots\dots (A.2)$$

$$\sum_{k=1}^N \theta_k^i \theta_k^j \pi_k = P^*(i, j) \dots\dots\dots (A.3)$$

但し,

$$\sum_{k=1}^N \pi_k = 1 \dots\dots\dots (A.4)$$

$$\pi_k \geq 0 \dots\dots\dots (A.5)$$

ここで π<sub>k</sub> は (A.1) 式の状態 S<sub>k</sub> に対する n 次結合確率を表す.

しかし, 専門家が与えた P(i), P(i, j) はこの条件を満たすとは限らない. そこで, 下記のように最小自乗法を用い推定データに合理化修正を行う. 最小化は, π<sub>k</sub> を変数として次の非線形最適化法により行う.

$$\min. \sum_i \{P^*(i) - P(i)\}^2 + \sum_{i < j} \{P^*(i, j) - P(i, j)\}^2 \dots\dots\dots (A.6)$$

subject to (A.2), (A.3), (A.4), (A.5)

これによって最適な P\*(i), P\*(i, j) は確定しても, これを与える π<sub>k</sub> は一般に一意に確定しない. そこで次に (A.2), (A.3), (A.4), (A.5) を制約式として線形計画法により π<sub>k</sub> の値域を計算する. この値域から, 最も可能性の高い状態 S<sub>k</sub> を最尤シナリオとして決定する<sup>4, 5)</sup>.