

# 持続可能社会シナリオの構造化・分析方法論

2010年8月

木下 裕介



## 概 要

地球の有限性に対する認識の高まりとともに、持続可能社会の実現が重要な課題となっている。持続可能社会のイメージは依然として不明瞭であるが、この課題に対して持続可能社会の将来像および、現在からそこに至るまでの道筋を明確化するために、「シナリオ」が盛んに利用されている。持続可能社会の将来像を描いたシナリオ（持続可能社会シナリオ）の例としては、IPCCの温室効果ガス排出シナリオ、2050 日本低炭素社会シナリオが挙げられる。一般に、持続可能社会シナリオは文章として記述され、その記述の根拠付けのためにしばしばシミュレーションが利用される。持続可能社会シナリオの作成は、起こりうる様々な将来を記述することにより将来の戦略を科学的かつ合理的に策定するための有効な手段である。

その一方で、シナリオを作成するための研究、特に計算機を用いてシナリオの作成を支援するための研究は必ずしも十分に行われているとはいえない。課題のひとつとして、シナリオの合理的な理解が困難である点が挙げられる。例えば、シナリオ文章中の論理的な部分と論理的でない部分、仮定と事実がそれぞれ区別されていない。もうひとつの課題は、世界中で作成されているシナリオと、そのシナリオの記述に利用されるシミュレータが再利用可能な形式で集積されていないことである。そのため、シナリオの前提条件を変化させたときの結果が容易に検討できない。この結果、現状ではシナリオを作成するサイクルを実行するために多くの人手と時間がかかる。これらの課題を解決するために、本論文では持続可能社会シナリオの理解、分析、および作成を計算機支援するための方法論を提案する。

第 2 章では、既存のシナリオ研究に関する文献調査に基づいて、持続可能社会シナリオの作成を支援するために必要な研究課題を整理する。

第 3 章では、それらの課題を解決するためのアプローチとして、持続可能社会シナリオシミュレータ (Sustainable Society Scenario Simulator; 3S Simulator) のコンセプトを提案する。特に本論文では、3S Simulator を実現するために、シナリオの構造化手法、動的シナリオの作成手法、論理構造分析手法、既存シナリオの what-if 分析手法という 4 つの手法を提案する。

第 4 章では、持続可能社会シナリオの構造化手法を提案する。この手法では、シナリオを計算機処理可能な形式で表現するために、シナリオの論理構造を有向グラフとして表現する。

第 5 章では、シナリオの構造化手法に基づいて動的シナリオの作成手法、すなわち、シナリオとシミュレータを動的に接続するための手法を提案する。このような動的シナリオの作成により、既存のシナリオ上で前提条件を部分的に修正したときの様々なシミュレーションを実行可能とする。

第 6 章では、シナリオの評価を支援するために、シナリオの構造化手法に基づく論理構造分析手法を提案する。この手法では、シナリオの結論がどのような前提条件のもとに導出されているかを明確化するために、シナリオの結論を導出する根拠を定式化する。さらに、シナリオの信ぴょう性に関する評価を支援するために、それらの根拠を論理性に基づいて区別する。すなわち、論理的に結論を支持する根拠と論理的に弱く結論を支持する根拠の 2 種類に分類する。

第 7 章では、既存のシナリオの前提条件を部分的に修正することによる派生シナリオの作成を支援するために、シナリオの根拠と動的シナリオを利用した **what-if** 分析支援手法を提案する。

第 8 章では、第 4～7 章で提案する手法を支援するために構築した支援システムを示すとともに、本論文で提案する方法の有効性と問題点を検証するために、既存のシナリオとシミュレータを適用した例を示す。この実行例では、既存シナリオを構造化し、シミュレータと接続することによって動的シナリオを作成した。次に、シナリオの論理構造を分析し、そこでの分析結果に基づき、**what-if** 分析を実行することによって派生シナリオを作成した。

第 9 章では、第 8 章の実行例の結果に基づいて本論文が提案する手法の有効性について考察する。実行例の結果より、シナリオを構造化することによって、シナリオの論理構造を明確化することができた。具体的には、シナリオ記述の論理的な部分と論理的に弱い部分を区別できた。このうち論理的に弱い記述は、シナリオとして現在とは異なる将来を描くために重要な役割を果たすものである。また、動的シナリオを利用した **what-if** 分析によって、既存シナリオから派生シナリオを容易に作成することができた。このように、既存シナリオおよびシミュレータの再利用に基づいて、元々既存シナリオ上で描かれていたものとは異なる将来像が検討可能となった。その一方で、シナリオ構造化手法、動的シナリオ作成手法、論理構造分析手法は一般性を持つものの、**what-if** 分析によって記述可能な将来の幅は既存のシナリオとシミュレータにより制約を受け、その範囲を超えることができない。それゆえ、より幅広い将来を記述するためには、本研究で提案した **what-if** 分析手法に加えて、新規のシナリオを作成するための手法を提案することが必要である。

第 10 章では、本研究の結論と今後の課題、展望を述べる。本研究では持続可能社会シナリオを対象としてシナリオの構造化手法、分析支援手法、および、派生シナリオ作成手法を提案し、これにより、持続可能社会シナリオの理解、分析、および作成を計算機支援するための方法論を提案することができた。今後の課題としては、持続可能社会像の描写に向けて、新規シナリオの作成支援手法を提案することと、その作成支援のために既存の様々なシナリオおよびシミュレータをアーカイブに集積し、再利用可能とすることが挙げられる。本研究の展望として、本論文で提案したシナリオの構造化手法に基づいて様々なシナリオおよびシミュレータを集積することにより、様々なステークホルダーがそれらを共有しながら 3S Simulator 上でシナリオを作成できるため、今後のシナリオ作成をより効率化できると考えられる。



## 目次

1. 序論	1
1.1 本研究の背景	3
1.2 本研究の目的	6
1.3 本論文の構成	7
2. 持続可能社会に向けたシナリオの研究	9
2.1 持続可能社会シナリオ	11
2.1.1 シナリオの定義と意義	11
2.1.2 持続可能社会シナリオの特徴	12
2.1.3 シナリオの分類	14
2.1.4 既存の持続可能社会シナリオの例	16
2.2 シナリオ作成の関連研究	24
2.2.1 シナリオ作成研究	24
2.2.2 フォアキャストシナリオ作成手順	25
2.2.3 バックキャストシナリオ作成手順	27
2.2.4 種々のシナリオ作成技法	28
2.2.5 既存の温室効果ガス排出シナリオの集積	31
2.3 持続可能社会シナリオの評価基準	33
2.4 第2章のまとめ	34
3. 持続可能社会シナリオシミュレータの構想	35
3.1 はじめに	37
3.2 シナリオ設計	38
3.2.1 設計学	38
3.2.2 シナリオ設計の定義	38
3.3 シナリオ設計のための課題	40
3.4 持続可能社会シナリオシミュレータ (3S Simulator) の構想	42
3.4.1 シナリオ設計支援のアプローチ	42
3.4.2 3S Simulator の目的	43
3.4.3 3S Simulator の仕様	44

3.4.4	3S Simulator の意義	45
3.5	本研究の位置づけ	48
3.6	第3章のまとめ	50
4.	持続可能社会シナリオの構造的記述法	51
4.1	シナリオ構造化のアプローチ	53
4.2	Scenario Level	55
4.2.1	Scenario Level ノードの定義	55
4.2.2	Scenario Level リンクの定義	57
4.3	Expression Level	59
4.3.1	Expression Level ノードの定義	59
4.3.2	Expression Level リンクの定義	62
4.4	Data Level	67
4.4.1	Data Level ノードの定義	68
4.4.2	Data Level リンクの定義	69
4.5	レベル間の関係	71
4.5.1	Expression Level と Data Level の関係	71
4.5.2	Scenario Level と Expression/Data Level の関係	75
4.6	シナリオ構造記述支援システム	80
4.6.1	システムの実現方法	80
4.6.2	システム構成	80
4.6.3	シナリオ構造化の手順	82
4.6.4	実行例	83
4.7	考察	91
4.8	第4章のまとめ	93
5.	動的シナリオの作成手法	95
5.1	動的シナリオの定義	97
5.2	アプローチ	99
5.3	シナリオとシミュレータ間のデータ交換	101
5.3.1	データ交換の実現方法	101
5.3.2	シミュレータの再利用可能化	102
5.4	シナリオとシミュレータの接続手順	103
5.5	インプリメンテーション	106

5.5.1	システム構成	106
5.5.2	実行例(I): シナリオとシミュレータの接続	106
5.5.3	実行例(II): シミュレーションの再実行	111
5.6	考察	114
5.7	第5章のまとめ	116
6.	シナリオの論理構造分析手法	117
6.1	論理構造分析の目的とアプローチ	119
6.1.1	論理構造分析の目的	119
6.1.2	アプローチ	119
6.2	シナリオ根拠の定式化	120
6.2.1	根拠集合	121
6.2.2	基底	122
6.3	論理性指標によるシナリオ評価	124
6.4	インプリメンテーション	124
6.4.1	システム構成	125
6.4.2	実行例	125
6.5	考察	130
6.6	第6章のまとめ	133
7.	既存シナリオの what-if 分析による派生シナリオの作成手法	135
7.1	what-if 分析の目的	137
7.2	アプローチ	138
7.3	シナリオの基本パターン	139
7.4	シナリオのアーカイブ化	141
7.5	システム構成	143
7.6	what-if 分析の手順化	142
7.7	第7章のまとめ	147
8.	実行例: HEV Diffusion Scenario	149
8.1	シナリオ記述支援システムの構成	151
8.2	システムの実行手順	154
8.3	実行例の概要	155
8.4	動的シナリオの作成	157
8.5	Base Case Scenario の論理構造グラフ	161

8.5.1	Base Case Scenario のブロック分け	161
8.5.2	Scenario Level	165
8.5.3	Expression Level と Data Level	165
8.6	Base Case Scenario の論理構造分析	166
8.6.1	シナリオ根拠の抽出	166
8.6.2	根拠の論理性とシナリオの信ぴょう性	168
8.6.3	論理性指標のスコア計算	170
8.7	what-if 分析に基づく派生シナリオの作成	173
9.	考察	183
9.1	シナリオ設計の課題と提案手法の関係	185
9.2	各提案手法の有効性の検証	186
9.2.1	シナリオ構造化手法の有効性	186
9.2.2	動的シナリオ作成手法の有効性	187
9.2.3	論理構造分析手法の有効性	187
9.2.4	what-if 分析支援手法の有効性	188
9.3	提案手法によるシナリオ設計支援の限界	190
9.4	シナリオ記述支援システムの有効性	191
10.	結論	193
10.1	本研究の結論	195
10.2	今後の課題	197
10.3	本研究の展望	198
	謝辞	199
	参考文献	201
	発表論文	209

# 第 1 章

## 序論

第 1 章では、本研究の背景として持続可能社会の実現に向けたシナリオの必要性と、本研究の目的および方法について述べる。また、本論文の構成を示す。

## 1.1 本研究の背景

18 世紀以降の社会の工業化に伴い、人類はものづくりを基盤として様々な物質的な豊かさを享受してきた。例えば、自動車、携帯電話、パソコン、インターネットの普及、24 時間営業のコンビニエンスストアの出現によって、21 世紀初めにおける消費者の利便性は人類の歴史上、これまでになく高まっていると言えるだろう。その一方で、すでに 1970 年代初頭の段階でローマクラブ[1]が指摘した地球上の成長の限界が、徐々に顕在化しつつある。すなわち、人間活動を経済的、生態学的な点で持続させるためには、世界人口の増加、食糧配分の不均衡、資源・エネルギー枯渇問題、地球温暖化といった種々の問題を解決する必要がある。一般に、これらの問題は「地球環境問題」と呼ばれ、その特徴のひとつは健全性を維持すべき対象物（地球そのもの、地球上の生態系全体、地域の生態系、生物の個体など）が個人の価値観によって異なるために内在する問題が多様なことである[2][3]。もうひとつの特徴は、これらの問題の間にはトレード・オフ関係が存在するためにその解決が容易ではない点である。例えば、資源枯渇問題とエネルギー枯渇問題間のトレード・オフ関係として、資源をリサイクルするためにはエネルギーを投入しなければならないことが挙げられる。

そもそも地球環境問題は人類が安全と豊かさを求めてきた結果として生じた問題であり、地球の有限性に起因したものであると吉川は指摘している[5]。さらに富山[6]は、地球環境問題の根本的な原因は、製造業の活動によって構築された大量生産・大量消費型の社会システムにあると指摘している。社会システムと地球環境問題に内在する多様な個々の問題の関係を位置づけ、それらの問題を解決するための糸口をつかむためには、少なくとも、将来起こりうる事象やその影響を列挙し、それらを多角的に検討する必要がある[4]。そうすることによって、優先的に解決すべき問題について議論することができる。

地球環境問題を包括的に解決するための指針として、Brundtland Commission は 1987 年に出版した報告書“*Our Common Future*”の中で、持続可能な開発 (sustainable development) の概念を提唱した[7]。その定義は以下のとおりである。

“Development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.”

(将来世代のニーズを満足するための能力を損なうことなく、現在のニーズを満足させる開発)

この概念には哲学的な解釈が含まれるが、H.E. Daly は経済性の観点から持続可能性に関する 3 つの条件を提案している[8]。

1. すべての資源利用率を、最終的に生態系が吸収しうる廃棄物水準まで制限する。
2. 再生可能資源を、資源を再生する生態系の能力を超えない水準で利用する。
3. 再生不可能な資源を、可能な限り、再生可能な代替資源の開発率を超えない水準で利用する。

しかしながら、持続可能性あるいは持続可能社会のイメージは、依然として不明瞭である。この課題に対して、持続可能社会の将来像および、現在からそこに至るまでの道筋を明確化するために、「シナリオ」が盛んに利用されている。持続可能社会の将来像を描いたシナリオ（持続可能社会シナリオ）の例としては、IPCC の温室効果ガス排出シナリオ[9]、IEA (International Energy Agency) の World Energy Outlook[10]、2050 日本低炭素社会シナリオ[11]などが挙げられる。2100 年までに温室効果ガスが地球温暖化に与える影響を分析した IPCC のシナリオ（図 1.1.1 参照）に代表されるように、持続可能社会シナリオは文章として記述され、その記述の根拠付けのためにしばしばシミュレーションが利用される[12]。持続可能社会シナリオの作成は、起こりうる様々な将来を記述することにより将来の戦略を科学的かつ合理的に策定するための有効な手段である。

富山[6]が指摘したように、地球環境問題には製造業が深く関わっていることを考慮すれば、持続可能な製造業、あるいはものづくりのあり方をシナリオとして記述することはとりわけ重要な課題である。この点で、経済産業省[13]は将来日本にとって必要と考えられる技術を技術戦略マップとして列挙している。Seliger, *et al.*[14]は、製品の使用段階における資源消費を抑える点に着目して、持続可能な製造 (sustainable manufacturing) を実現するための戦略を提案している。また、製品の生産者が製品ライフサイクル全体（製品の生産から使用、廃棄段階までを含む）の責任を持つべきであるという、いわゆる EPR (Extended Producer Responsibility) の観点から、使用済み製品の資源循環システムの持続可能性に関する研究も行われている[15][16]。しかし、これらは持続可能な製造業を構成するために不可欠な要素ではあるものの、その全体的な将来像は持続可能社会の将来像と同様に、いまだ十分に明確化されているとはいえない。



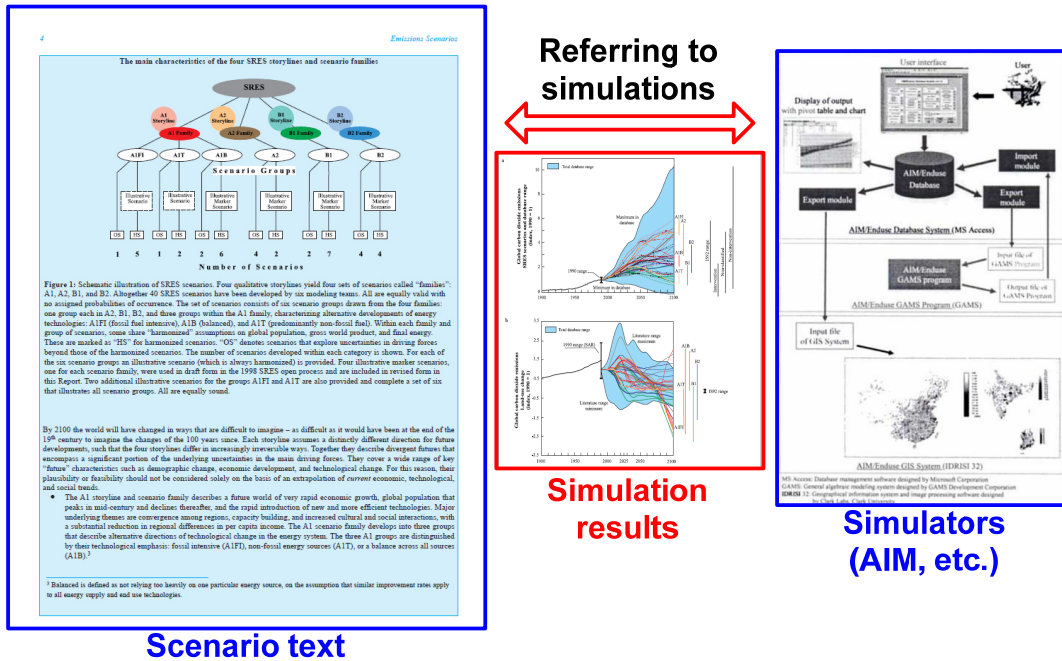


図 1.1.1: 持続可能社会シナリオの例 (IPCC の SRES)[9]

結局のところ、持続可能社会および持続可能な製造業の将来像を明確化するためには、既存のシナリオに加えて、様々なシナリオを描くべきであると考えられる。その一方で、シナリオを作成するための研究は必ずしも十分に行われているとはいえない。課題のひとつとして、シナリオの合理的な理解が困難である点が挙げられる。例えば、文章として記述されるシナリオの論理的な部分と論理的でない部分、仮定と事実がそれぞれ明示的に区別されていない。それに加えて、世界中で作成されているシナリオと、そのシナリオの記述に利用されるシミュレータが再利用可能な形式で集積されていないことも課題のひとつである。そのため、シナリオの前提条件を変化させたときの結果が容易に検討できない。以上の帰結として、現状ではシナリオを科学的または客観的に理解および分析することができず、さらに、シナリオを作成するためには多くの人手と時間がかかるという問題がある。

## 1.2 本研究の目的

本研究では、持続可能社会シナリオを作成するために必要な行為を「持続可能社会シナリオの設計」と名づける。本研究の目的は、持続可能な製造業の姿の明確化に向けて、持続可能社会シナリオを設計するために必要な課題を明らかにし、それらを計算機支援するための方法論を提案することである。

本研究では、上記のシナリオ設計を支援するためのコンセプトとして「持続可能社会シナリオシミュレータ (Sustainable Society Scenario Simulator; 3S Simulator)」を提案する。特に、本論文では 3S Simulator を実現するために、シナリオの表現手法、シナリオとシミュレータを再利用可能化するための手法、シナリオの論理性を評価するための手法、および、既存シナリオの展開を支援するための手法を提案する。すなわち、本論文では以下の 4 つの手法を提案する。

1. シナリオを計算機処理可能とするために、本研究では持続可能社会シナリオの表現手法を提案する。この手法ではシナリオの合理的な理解を支援するために、シナリオをノードとリンクからなる有向グラフとして表現し、シナリオ論理構造を明確化する。
2. 上記のシナリオ表現手法に基づいて、既存のシナリオおよびシミュレータの再利用可能にするための手法、すなわち「動的シナリオ」の作成手法を提案する。ここで、「動的シナリオ」はシナリオと付随するシミュレータが接続しており、シナリオ内でシミュレーション条件を変化させ、シミュレーションを実行すると、その結果が動的に反映されるシナリオを指す。
3. 上記のシナリオ表現手法に基づいて、シナリオの論理性の評価を支援するための論理構造分析手法を提案する。具体的には、シナリオの結論の導出に利用される前提条件を明確化するために、結論を導出する根拠をシナリオ内の概念間の論理関係に基づき定式化する。
4. 既存シナリオの展開を支援するための手法として、上記のシナリオ表現手法に基づいて既存のシナリオを what-if 分析するための手法を提案する。ここで、what-if 分析とは、ある前提条件を変化させたときの結果を検討する手法である。

さらに、提案した手法の有効性を検証するために 3S Simulator のプロトタイプを開発し、そのプロトタイプを用いてケーススタディを実行する。

### 1.3 本論文の構成

本論文は、全 10 章から構成される。第 2 章以降の内容および各章の関係を図 1.3.1 に示す。

第 2 章では、既存のシナリオ研究に関する文献調査に基づき、持続可能社会シナリオを作成する際の課題を整理する。

第 3 章では、持続可能社会シナリオを作成するための行為を「シナリオ設計」として定義し、シナリオ設計を支援するために解くべき研究課題を設定する。本研究では、シナリオ設計を支援するためのアプローチとして持続可能社会シナリオシミュレータ (3S Simulator) の構想を提案する。3S Simulator の構想に基づいて、本研究で解くべき課題を明確化する。

第 4 章では、3S Simulator の実現に向けてシナリオを計算機処理可能な表現とするための方法として、シナリオの構造的記述法を提案する。この手法の有効性を検証するために、「シナリオ構造記述支援システム」を開発し、ケーススタディを実行する。

第 5 章～第 7 章では、第 4 章で提案するシナリオ表現方法に基づき、「動的シナリオ」の作成手法、シナリオ論理構造の分析手法、およびシナリオの what-if 分析手法を提案する。各章において、提案する手法の有効性を検証するためのシステムを開発し、実行例を示す。

第 5 章では、既存のシナリオとシミュレータを用いて「動的シナリオ」を作成するための手法を提案する。

第 6 章では、シナリオの理解および評価を支援するために、シナリオの論理構造分析手法を提案する。

第 7 章では、既存のシナリオを what-if 分析することにより、そのシナリオ内に派生シナリオを作成するための手法を提案する。この手法のシナリオ作成における有効性および問題点を、実行例に基づき分析する。

第 8 章では、提案する方法論の有効性を検証するために、3S Simulator のプロトタイプとしてシナリオ記述支援システムを構築する。さらにこのシステムを利用して、ケーススタディを実行する。ケーススタディでは、提案する方法論を既存のシナリオである Hybrid Electric Vehicle (HEV) Diffusino Scenario に適用する。

第 9 章では、ケーススタディの結果に基づき、提案する方法論の有効性と課題をシナリオ設計支援の観点から考察する。

最後に、第 10 章では本研究の結論、今後の課題および展望を述べる。

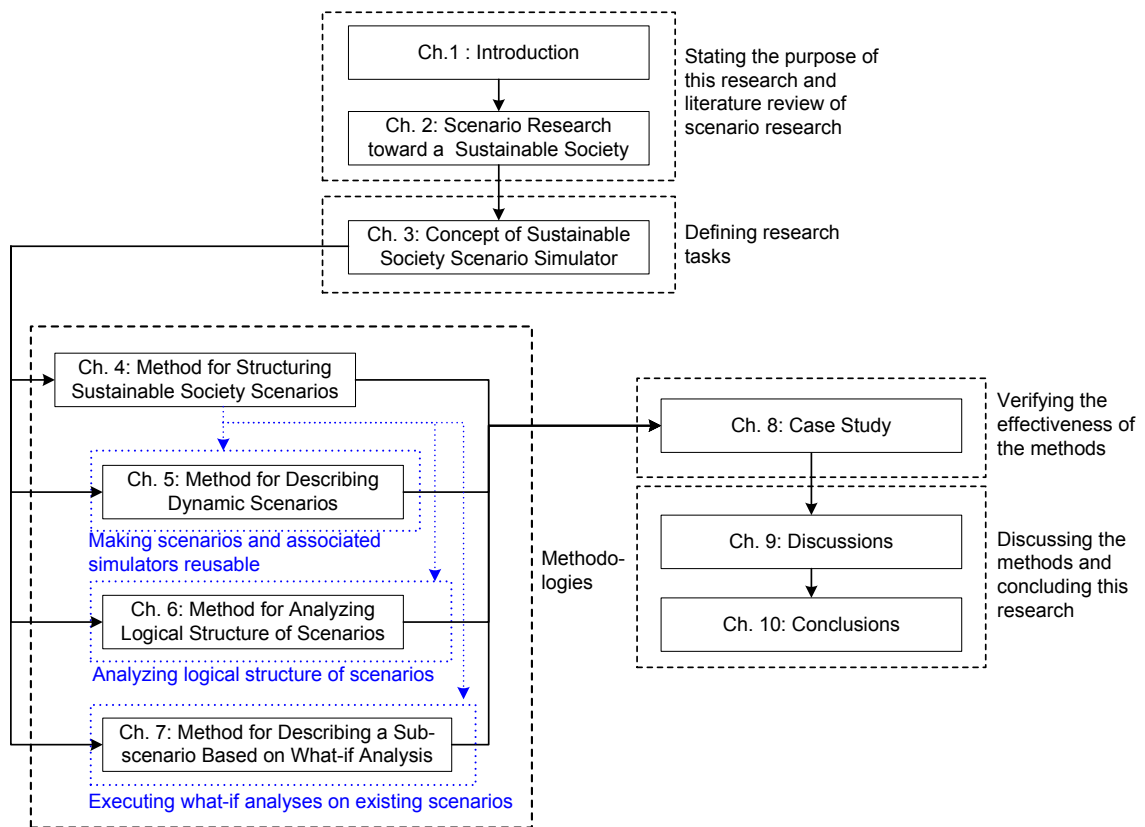


図 1.3.1: 本論文の構成

## 第2章

### 持続可能社会に向けたシナリオの研究

第2章では、既存の持続可能社会に向けたシナリオ、および既存のシナリオ研究に関する文献調査を行う。これらの結果から、持続可能社会シナリオを作成するために解決すべき課題を明らかにする。

## 2.1 持続可能社会シナリオ

### 2.1.1 シナリオの定義と意義

一般的に知られているシナリオは、映画や劇における一連の動作や場面の順序を表すものである。シナリオが将来の意思決定のために利用され始めたのは第二次世界大戦後であり、戦争の戦略立案を目的に利用されたことがその起源とされる[17][18]。後者の文脈では、シナリオは、「将来に関する叙述的な記述と現在を一連の因果関係によって関係づけたもの」と定義される[17][19]。

表 2.1.1: 将来推計を表す用語の比較[12][20]

<i>Term</i>	<i>Descriptions</i>
projection	A generic description regarding the future, which includes the concepts of forecast, prediction, and scenario.
forecast	The projection that is the most likely to occur.
prediction	A projection that is understood to be the best possible estimate on the basis of special knowledge.
scenario	A variety of projections describing possible futures.

将来の推計 (projection) は表 2.1.1 に示すように予測・予報 (forecast), 予言 (prediction), シナリオ (scenario) に分類することができるが (表 2.1.1 参照), その中でもシナリオの特徴は、決して将来を予言する (predict) ためではなく、何が起こりうるかを調べるのが目的である点にある [19][21]。すなわち、シナリオの本質は起こりうる様々な将来を描くことにある[22]。

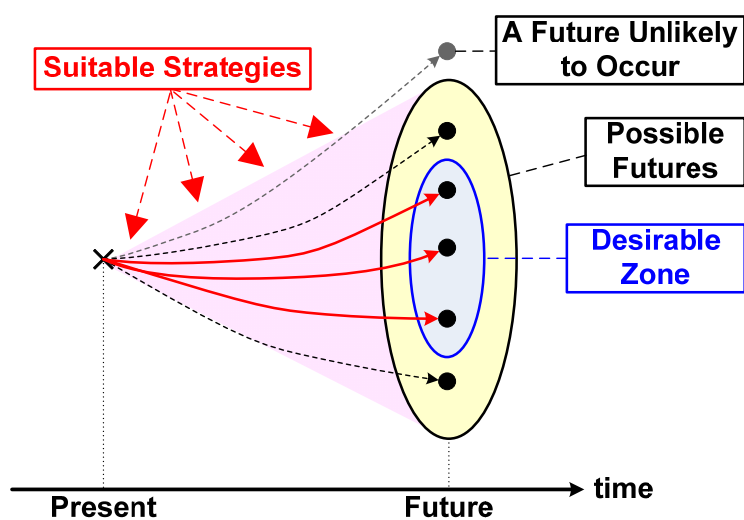


図 2.1.1: シナリオの意義

将来の計画を立てるためにシナリオが重宝される理由は、最も起こりうる単一の将来を想定するだけでは幅を持った起こりうる将来に対応することができないからである。逆に、シナリオを使わずに、過去の出来事の外挿などによってある特定の将来を描くような予測 (forecast) は将来の不確実性を扱うことはできない[23]。予測はむしろ、推計が一定程度以上の精度で的中することが見込める事象、例えば天気予報などに適している。シナリオの意図は、図 2.1.1 に示すように起こりうる様々な将来を想定し、それらに対して適切な戦略を決定することにある[22]。そのために、シナリオの記述には叙述的な文章とシミュレーションの両方が利用されることが多い。そこでは、戦略や行動といった意思決定とその結果に関する過程を文章により明示することができる。このような過程は、必ずしも数理モデルとして記述できるものではない。結果的に、シナリオの作成およびシナリオの定期的な修正によって、将来を望ましい状況に近づけるために適切な政策、戦略および計画を立てるための手助けができる。

### 2.1.2 持続可能社会シナリオの特徴

地球環境問題に関するシナリオが描かれるようになったのは、1972 年に出版された Meadows らによる“The Limits to Growth”[1]以降である。1970 年代に行われた将来シナリオ研究の着目点は、世界人口および経済と自然資源の制約の関係であった。1980 年代には、持続可能な発展 (sustainable development) の観点から地球システムに関するシナリオが描かれた (例えば、Gallopín, *et al.*による global scenarios[27])。1990 年代では、地球温暖化に着目した IPCC の温室効果ガス排出シナリオ[9]が有名である。

本研究では、上記のシナリオのように、地球環境問題を含んだ持続可能性の観点から社会の将来について議論するシナリオを「持続可能社会シナリオ」と呼ぶ。持続可能性の定義は必ずしも定まっていないが、図 2.1.2 に示すように少なくとも経済、環境、社会の 3 つの要素を含むとされることが多い。これまでに様々な持続可能社会シナリオが描かれているが、それらには以下の 5 つの特徴がある。

1. シナリオの表現形式: 一般に持続可能社会シナリオは、持続可能社会の将来の状況 (ビジョン) とそこに至るまでの道筋を文章として記述したものである[24][27]。そこでは、しばしば叙述的な記述と定量的な分析の両方が利用される。定量的な分析ではシミュレーションが多く用いられ、記述を科学的に根拠付けるために利用される[12][25]。例えば、IPCC の温室効果ガス排出シナリオ[9]がその典型例である (詳細は 2.1.4 節参照)。
2. 複数のサブシナリオ: 起こりうる複数の将来社会を記述するために、持続可能社会シナリオは個々の将来社会に対応する複数のサブシナリオから構成される[22][24]。この理由は、消費



者の行動や新たな技術開発の動向が不明瞭なため、将来を正確に予期することができないためである。

3. 参考文献の多用: IPCCの温室効果ガス排出シナリオ[9]に見られるように、持続可能社会シナリオの記述では科学的な検証可能性を担保するために既存の論文を含む多くの参考文献が引用される。IPCCのシナリオでは、数千から1万というオーダーの参考文献がシナリオの記述に利用されている。
4. 対象問題の多様性: 対象とする問題が広範囲である。例えば、地球環境の面では環境汚染、気候変動、資源問題、社会経済的な面では経済、人口、技術開発といった要因が含まれる(図 2.1.2 参照)[24]。
5. 対象地域の多様性: 対象とする社会のスケールが様々である[24]。すなわち、地球規模、地域、国家、地方自治体など、様々なレベルにおける持続可能性の見方が存在する。例えば、地球規模では地球温暖化の問題が頻繁に取り上げられる一方で、地方自治体レベルでは土地変化、生物多様性、土壌汚染が問題として挙げられる。

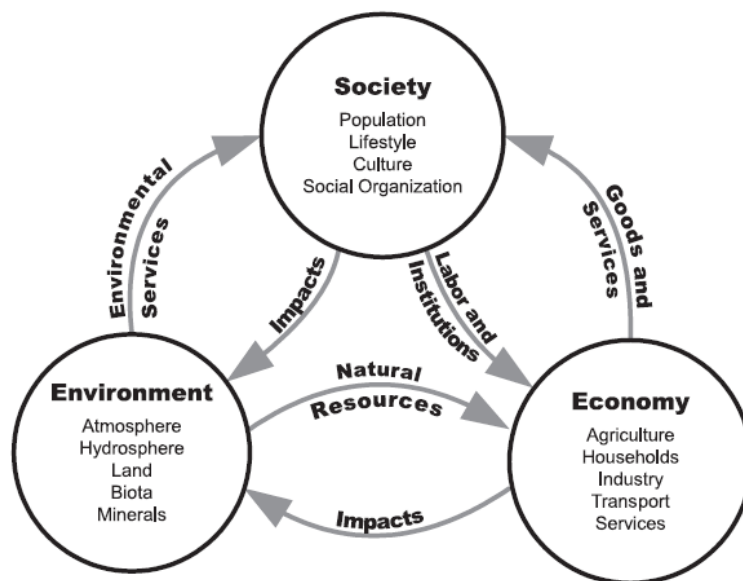


図 2.1.2: 持続可能性の構成要素[24]

上記の中で、第一の特徴は持続可能社会シナリオの意義にとって重要であり、単なるシミュレーションやゲームとシナリオの違いがここにある。ここで、シミュレーションは将来の異なる状況を推計する行為であり、そこではしばしば実世界を外挿して将来を求める[28]。シミュレーションはモデルとして表現されることが多い[28]。また、ゲームはシミュレーションと多くの点に関連しているが、ゲームは、競技者が他の競技者やある基準（例えば、タスクを10分以内に完了させるなど）を巡って

競争するという目的を持った行為である[28]. このような目的が設定されたときのシミュレーションは、ゲームと見なすことができる[28].

2.1.1 節で述べたように、シナリオは起こりうる複数の将来の状況を、叙述的な記述と定量的な分析の両方を利用することによって想定する。シナリオにおける叙述的な記述は、将来に対する定性的な要因を表現する。このような記述は数学的なモデルで表せない将来の状況（例えば、消費者の価値観、消費者のふるまいや法制度）、または将来選択しうる戦略や行動などを扱う。その一方で、シナリオにおける定量的な分析、主にシミュレーションは記述内容に科学的な厳密さを与える。この結果、シナリオは様々な条件のもとで将来を描くことができ、さらにシミュレーションに基づいて個々の将来を詳細に分析することが可能になる。その一方で、シミュレーションやゲームは、入力条件がどのような状況を想定して設定したかを明示的に表現できない点でシナリオとは異なる。むしろ、文章表現を伴わない単なるシミュレーションは、感度分析によって影響の大きな要因を特定するために有用である。さらにシミュレーションは、既によく理解されている単純な現象やシステムを短い期間内で予測するためにも適しているが、長期にわたる将来の社会システムを正確に予測することはほぼ不可能である。

### 2.1.3 シナリオの分類

シナリオに対しては様々な分類方法が提案されているが[25][26][29]、多くの文献に共通した分類基準は、(1) 定性的なシナリオと定量的なシナリオ、(2) フォアキャストシナリオ (forecasting scenario) とバックキャストシナリオ (backcasting scenario) の2点である。それぞれについて以下に示す。

- 定性的なシナリオと定量的なシナリオ

定性的なシナリオは、数値的な推計よりも語句や記号の形式で起こりうる将来を記述するのに対して、定量的なシナリオは数値的な情報を図表の形式で表現するものである[25]。定性的なシナリオと定量的なシナリオの長所と短所をそれぞれ表 2.1.2 にまとめる。2.1.2 節で述べたように、持続可能社会シナリオでは定性的な記述に定量的な情報が組み合わされることが多い。その理由は、表 2.1.2 に示した定性的・定量的なシナリオの短所を他方の長所によって補完するためである。すなわち、定性的・定量的な要素を組み合わせたシナリオは、叙述的な文章として記述することによって人間にとっての理解しやすさを担保するとともに、シミュレーション等による数値的な分析によって将来の状況を詳細に記述できる。

表 2.1.2: 定性的, 定量的なシナリオの比較[25]

<i>Type</i>	<i>Strength</i>	<i>Weakness</i>
qualitative scenario	Qualitative scenarios can easily incorporate opinions of various stakeholders and experts, as well as future conditions that are not represented in a numerical form. These scenarios are easy to understand since they are written in a narrative form, rather than solely numerical information and graphs.	Qualitative scenarios do not provide detailed or numerical information (e.g., air pollution level).
quantitative scenario	Quantitative scenarios are capable of in-depth analysis by means of mathematical models. While such models can deal with complex physical phenomena, they provide scientific rigor to scenarios.	In general, mathematical models used in quantitative scenarios encompass implicit hypotheses. This may narrow a range of futures that are described in scenarios.

- フォアキャストシナリオとバックキャストシナリオ

フォアキャストシナリオとバックキャストシナリオの違いは、描写する将来の始点の置き方である。フォアキャストシナリオは、現在を始点としてある将来までの道筋を描く。一方で、バックキャストシナリオはある定められた将来像（例えば、望ましい将来または望ましくない将来）から現在またはある将来までの道筋を、図 2.1.3 に示すように時間の流れとは逆方向に描く[30]。それぞれのシナリオの長所と短所を表 2.1.3 にまとめる。特にバックキャストは、対象とするシステムが複雑で、かつ現在の傾向や行動そのものが解くべき問題の発生要因となっている場合に有効な手法である[31][32]。例えば、2050年に持続可能社会を実現するために必要な社会変化あるいは政策を検討するといった、長期間で社会に大きな転換が必要な問題に適している。

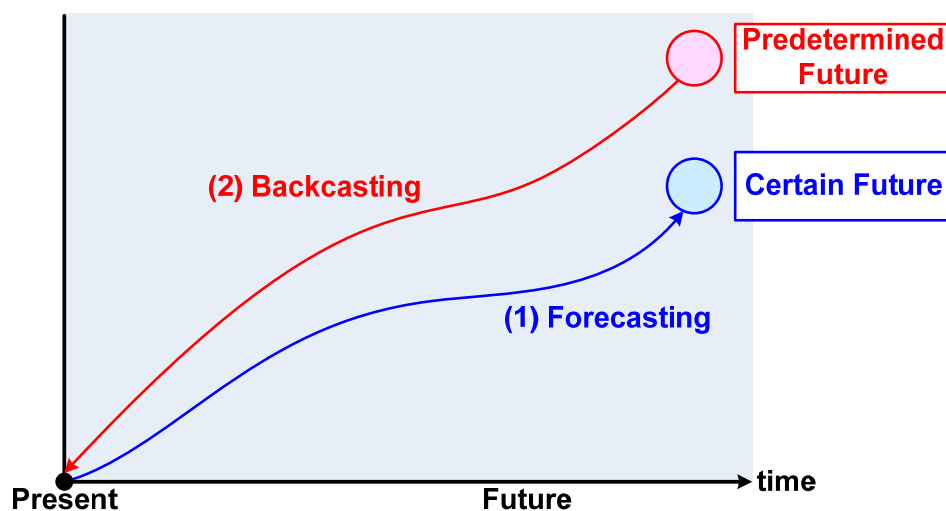


図 2.1.3: フォアキャストとバックキャスト

表 2.1.3: フォアキャスト、バックキャストシナリオの比較[32][33]

<i>Type</i>	<i>Strength</i>	<i>Weakness</i>
forecasting scenario	Futures can be described by extrapolating the present situation.	Described futures are influenced by the present situation, and it is not guaranteed whether those futures meet a particular goal, which is set up by stakeholders involved.
backcasting scenario	Futures and pathways from the present to them can be described free of any constraints including the present situation. Backcasting scenarios are thus capable of embedding quantum leaps from the present into described futures.	Backcasting scenarios are more difficult to compose than forecasting scenarios since backcasting is recognized as the form of inverse problem from a mathematical perspective.

#### 2.1.4 既存の持続可能社会シナリオの例

既存の持続可能社会シナリオシナリオの例を表 2.1.4 に示す。2.1.3 節に示した 2 種類の分類にしたがって整理すると、定性的・定量的な記述を組み合わせたシナリオが多く、フォアキャストに基づいて描かれたものが多い。表 2.1.4 に示したシナリオのうち、IPCC のシナリオ[9]、Millennium Assessment (MA) Report[39]、2050 日本低炭素社会シナリオ[11]の概要をそれぞれ以下に述べる。

表 2.1.4: 持続可能社会シナリオの例<sup>1</sup>

<i>Scenario name</i>	<i>Theme</i>	<i>Type of scenario (qualitative/quantitative)</i>	<i>Type of scenario (forecasting/backcasting)</i>	<i>Number of scenarios</i>	<i>References</i>
SRES	Climate change	combined	forecasting	4 scenario families	IPCC (2007)[9]
IMAGE scenarios	Global environmental change	quantitative	forecasting	14 scenarios	Alcamo, <i>et al.</i> (1996)[35]
IIASA scenarios	Future environments of Europe	combined	forecasting	Approx. 4 scenarios <sup>2</sup>	Stigliani, <i>et al.</i> (1989)[36]
Global Environment Outlook	Global environment	combined	forecasting	4 scenarios	UNEP (2002)[34]
Global scenarios	Sustainability of the global system	combined	forecasting	6 scenarios	Gallopín, <i>et al.</i> (1997)[27]
World Energy Outlook (WEO)	Future energy supply and demand	qualitative	forecasting	2 scenarios	IEA (2009)[10]
WBCSD Global Scenarios	Business and sustainability	combined	forecasting	3 scenarios	WBCSD (1997)[37]
World Water Vision	Freshwater crisis	combined	combined	2 scenarios	Cosgrove and Rijsberman (2000)[38]
Millennium Assessment (MA) Report	Ecosystem services and human well-being	combined	forecasting	4 scenarios	Findings of the Scenarios WG (2005)[39]
FutMan Scenario	Future of manufacturing in Europe	qualitative	forecasting	4 scenarios	Geyer, <i>et al.</i> (2003)[40]
Low Carbon Japanese Lifestyle in 2050	Lifestyle changes by introducing IT	qualitative	backcasting (future visions only)	4 scenarios	Fujimoto (ed) (2007)[41]
2050 Japan LowCarbon Society Scenario	Japan's greenhouse gas emissions	combined	backcasting	2 scenarios	Nishioka (ed) (2008)[11]
Resource/Waste Management System Scenario	Resource & waste management	qualitative	forecasting	4 scenarios	Hashimoto, <i>et al.</i> (2009)[42]

<sup>1</sup> Alcamo [25]によるシナリオの整理方法を参考に、筆者がシナリオを追加した。

<sup>2</sup> IIASA のシナリオ[33]にはいくつかの異なるトピックに関するシナリオが描かれており、トピックごとのシナリオの平均値が約 4 本である。

- Special Report on Emissions Scenarios (SRES)

IPCC による Special Report on Emissions Scenarios (SRES)[9]は、地球温暖化に対する温室効果ガスの影響を分析するために、幅広いシナリオを作成している。SRES は A1, A2, B1, B2 の 4 つのシナリオファミリーから構成されているが、それぞれのシナリオファミリーを特徴づける仮定を他のサブシナリオと対比的に記述した「ストーリーライン」は表 2.1.5 のとおりである。各シナリオファミリーに対して、表 2.1.6 に示すように合計 6 つのモデリンググループによって合計 40 本のシナリオが作成されており、各シナリオのシミュレーション結果を図 2.1.4 のように導出している。これらのシナリオでは政策の導入による効果を考慮せず、温室効果ガスの排出量とそれによる気温上昇を算出している。例えば、A1 シナリオファミリーでは、相対的に経済成長速度が速く、人口増加速度は低く、技術開発の開発速度は速いと仮定している。これらの仮定を定量化することによって、シミュレーション結果を導出している。シミュレーション結果の気温上昇はシナリオごとに異なるが、どのシナリオでも 2000 年以降の気温は 2000 年に比べて高くなる。

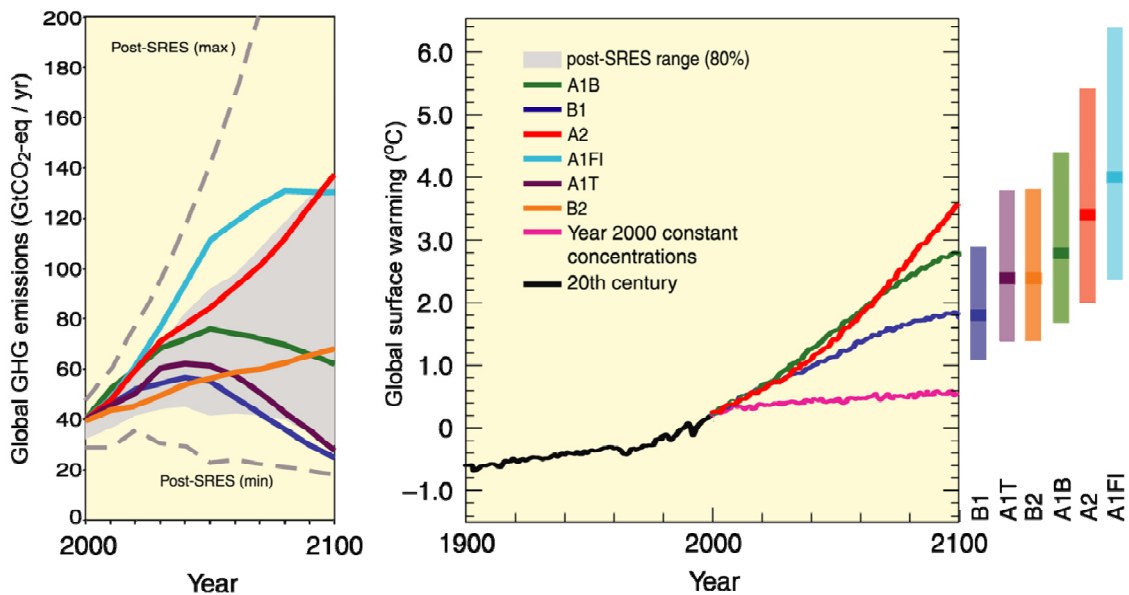


図 2.1.4: IPCC シナリオのシミュレーション結果[9]

表 2.1.5: SRES における各シナリオファミリーのストーリーライン[9]

<i>Scenario Family</i>	<i>Descriptions</i>
A1 Family	The A1 storyline and scenario family describes a future world of very rapid economic growth, global population that peaks in mid-century and declines thereafter, and the rapid introduction of new and more efficient technologies.
A2 Family	The A2 storyline and scenario family describes a very heterogeneous world. The underlying theme is self reliance and preservation of local identities. Fertility patterns across regions converge very slowly, which results in continuously increasing population. Economic development is primarily regionally oriented and per capita economic growth and technological change more fragmented and slower than other storylines.
B1 Family	The B1 storyline and scenario family describes a convergent world with the same global population, that peaks in mid-century and declines thereafter, as in the A1 storyline, but with rapid change in economic structures toward a service and information economy, with reductions in material intensity and the introduction of clean and resource efficient technologies. The emphasis is on global solutions to economic, social and environmental sustainability, including improved equity, but without additional climate initiatives.
B2 Family	The B2 storyline and scenario family describes a world in which the emphasis is on local solutions to economic, social and environmental sustainability. It is a world with continuously increasing global population, at a rate lower than A2, intermediate levels of economic development, and less rapid and more diverse technological change than in the B1 and A1 storylines. While the scenario is also oriented towards environmental protection and social equity, it focuses on local and regional levels.

表 2.1.6: SRES における各シナリオの設定[9]

Set	SRES							Total
	A1				A2	B1	B2	
Family	A1C	A1G	A1B	A1T	A2	B1	B2	
Scenario Group	A1C	A1G	A1B	A1T	A2	B1	B2	
Globally Harmonized Scenarios	2	3	6	2	2	7	4	26
Other Scenarios	1	0	2	1	4	5	4	14
Total Scenarios	3	3	8	3	6	9	8	40
(Different Models Used)	(3)	(3)	(6)	(3)	(5)	(6)	(6)	(6)
<i>Scenario characteristics</i>								
Population growth	low	low	low	low	high	low	medium	-
GDP growth	very high	very high	very high	very high	medium	high	medium	-
Energy use	very high	very high	very high	high	high	low	medium	-
Land-use changes	low-medium	low-medium	low	low	medium/high	high	medium	-
Resource availability	high	high	medium	medium	low	low	medium	-
Pace and direction of technological change favoring	rapid coal	rapid oil & gas	rapid balanced	rapid non-fossils	slow regional	medium efficiency & dematerialization	medium dynamics as usual	-

- 2050 日本低炭素社会シナリオ

2050 日本低炭素社会シナリオはバックキャストイングシナリオであり、最初に 2050 年の CO2 排出量を 1990 年比で 70%削減する社会を望ましい将来として設定している[11]. そのような社会の将来像およびそこに至る道筋として、2 つのシナリオを作成した(表 2.1.7 参照). それぞれのシナリオ



で約 400 の技術リストから、サービスに係るエネルギー需要と低炭素目標を満足する技術を選択した。それぞれのシナリオについて、技術導入による CO2 削減量を積み上げた結果、CO2 排出量を 70%削減した低炭素社会が技術の導入によって実現可能であることを示した。

表 2.1.7: 2050 年の日本を表す 2 つのシナリオ[11]

<i>Item</i>	<i>Scenario A: Active, quick-changing, and technology oriented society</i>	<i>Scenario B: Calmer, slower, and nature oriented society</i>
Feature	Technology-driven	Nature-oriented
Community	Urban/Personal	Decentralized/Community
Production system	Technology breakthrough, Centralized production/recycle	Self-sufficient, Produce locally, consume locally
Lifestyle	Comfortable and convenient	Social and cultural values
Economic growth rate	2%/year of GDP per capita growth	1%/year of GDP per capita growth

- Millennium Assessment (MA) Report

Millennium Assessment (MA) Report では、将来の生態系サービスと人間の幸福 (well-being) の関係がシナリオとして描かれている[39]。ここで対象とする生態系は、自然林や風景から農業用地や都市まで様々なものを含む。一方で、人間が享受する生態系サービスは、食料、水、気候等である (図 2.1.5 参照)。MA Report では、生態系サービスのための将来世界を探索するために、4 本のシナリオが描かれている。各シナリオの仮定の概要を表 2.1.8 に示す。これらのシナリオの比較から、国際協力を推進することが人類全体の幸福を向上させるために有効であるものの、コストが高くつく可能性があるという結論が導出されている。

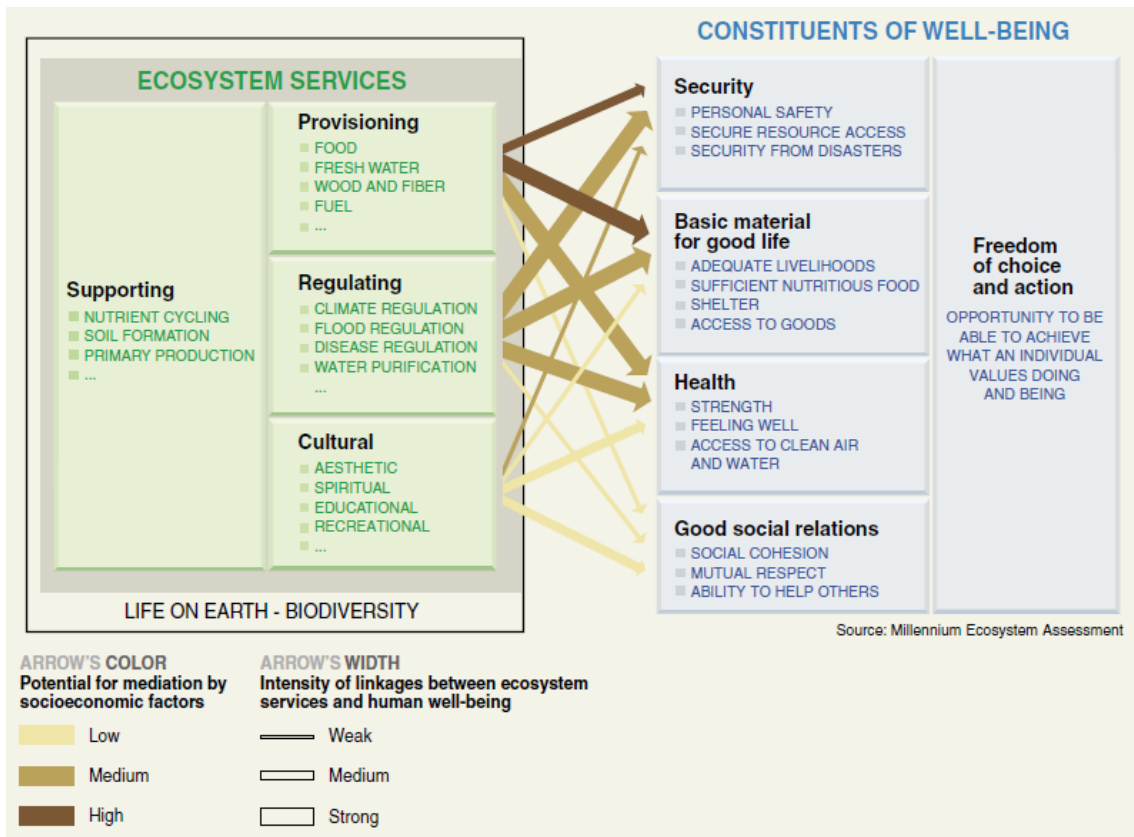


図 2.1.5: 生態系サービスと人間の幸福の関係[39]

表 2.1.8: MA Report における各シナリオの設定と評価[39]

<i>Factors</i>	<i>Scenarios</i>			
	<i>Global Orchestration</i>	<i>Order from Strength</i>	<i>Adapting Mosaic</i>	<i>Techno Garden</i>
Population growth	low	high	moderate	low
Nutrition	good	low in poorer countries	moderate	good
Sanitation	good	low in poorer countries	moderate	good
Exposure to non-developed ecosystems	low	high	moderate (but with strong learning)	low (but new ecosystems are created)
Management of known environmental risks	high	high in richer countries; low in poorer countries	high	high
Monitoring for unexpected environmental risks	low	low	high	high
Ability to detect and control outbreaks locally	high for expected outbreaks; low for unexpected	low	high	high
Global cooperation to control outbreaks	high	very low	low	high
Overall assessment	good outlook if optimistic assumptions are met - high risks if assumptions not met	poor outlook for poor countries; substantial risks to wealthy countries if inequalities are not kept within manageable bounds	good outlook for dealing with local problems; substantial risks from broad-scale outbreaks until cooperation among local entities is established	good outlook if technology is successful; low risks of manufactured diseases but the consequences could be devastating

## 2.2 シナリオ作成の関連研究

### 2.2.1 シナリオ作成研究

初期のシナリオは政治および軍事の目的のために作成されていた[43]. シナリオが企業を含む広い分野で利用されるきっかけとなったのは、1970年代に Royal Dutch Shell が作成した石油危機に関するシナリオである[44]. そこでは、中東の情勢不安による石油価格が高騰した場合をシナリオとして想定することによって、Royal Dutch Shell は石油危機の難局を切り抜けることができ、結果的に世界第二位のメジャーになることができたといわれている。

Royal Dutch Shell の例のように、将来の事業環境に関する複数のシナリオを想定し、その上で自社の戦略を策定する手法はシナリオプランニングと呼ばれる[45][46]. シナリオプランニングでは、図 2.2.1 に示すような Shell/Global Business Network (GBN) Matrix が頻繁に用いられ、不確実性と重要度がともに高い 2 本の軸 (キードライバー) の変化に沿って 4 つの将来が描かれる[22][47]. このマトリックスを用いたシナリオ作成アプローチは“gold standard of corporate scenario generation” と見なされるほど、現在最も利用されている手法のひとつである[48].

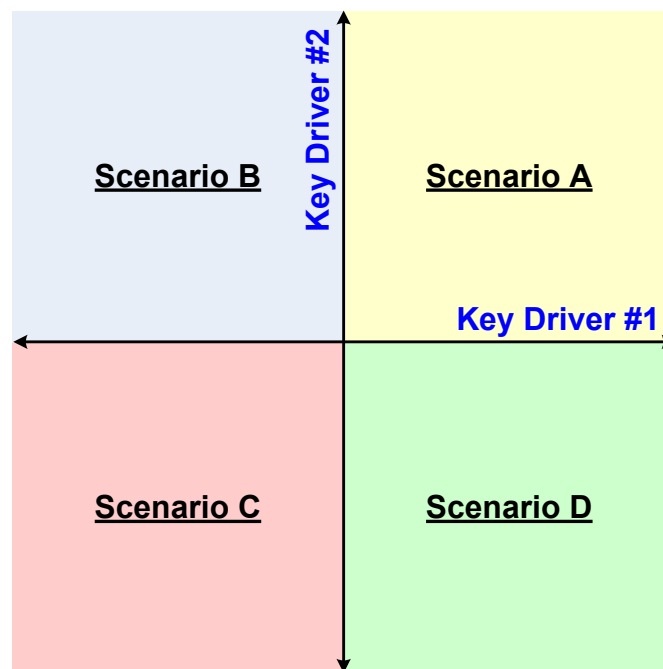


図 2.2.1: Shell/GBN Matrix

シナリオプランニングの手順は、以下の4段階からなる[49]。

#### 1. 情報収集とドライビングフォースの抽出

社会の変化動向をとらえるための情報を収集し、その中から経営戦略に影響を与える変化要因(ドライビングフォースまたはドライバー)を抽出する。

#### 2. シナリオ軸の決定

手順1でリストアップしたドライバーの中から、特に重要性が高く、不確実性が高いものを抽出する。このようなドライバーのことを、キードライビングフォースまたはキードライバーと呼ぶ。キードライバーの抽出では、必要に応じて感度分析を実施する。キードライバーは通常2個抽出し、それらをシナリオの骨格とする。

#### 3. シナリオ作成

キードライバーの組み合わせで複数のシナリオを作成する。キードライバーが2個の場合は、図2.2.1のように4本のシナリオを作成する。

#### 4. 先行指標の設定と監視

各シナリオの発生(unfold)を示す先行指標(early warning signs)を選ぶ。先行指標を監視することにより、現実の将来がどのシナリオに接近するかを把握し、そのシナリオに対応する戦略を迅速に実施する。

持続可能社会シナリオを作成する場合には、シナリオプランニングの手法にシミュレーションを組み合わせることが多い。Alcamo[25]は、定性的な記述と定量的な分析に基づいて将来のシナリオを描くための手法として、story-and-simulation approachを提案している。このアプローチに基づいて、Jäger, *et al.*[50]はフォアキャスト型持続可能社会シナリオ作成プロセスを提案した(2.2.2節参照)。一方で、2.2.3節で述べるようにバックキャスト型のアプローチも提案されているが[30][32]、その作成プロセスはフォアキャスト型に比べると十分に手順化されていない。また、シナリオ作成プロセスで利用できるシナリオ作成技法が、Shell/GBN Matrix以外にもいくつか提案されている(2.2.4節参照)。それに加えて、既存シナリオの集積によってシナリオ作成を支援するというアプローチも採られている(2.2.5節参照)。

### 2.2.2 フォアキャスト型シナリオ作成手順

Jäger, *et al.*[50]は、Shell/GBN Matrixとstory-and-simulation approachを組み合わせた持続可能社会シナリオ作成手法を提案している。この手法は、IPCCのSRES[9]を作成する際に用いられた手法と同様である。図2.2.2に示すように、シナリオ作成プロセスは以下の4段階で構成される。

1. シナリオの目的と構成の明確化: シナリオで記述すべきテーマ・対象や、シナリオに関わるステークホルダーを決定する。
2. シナリオの骨格の作成: シナリオで描かれる将来に影響を与える変化要因 (ドライバー) をリストアップし、その中から重要性和不確実性の点でクリティカルなものをキードライバーとして抽出する (キードライバーの個数は、作成者の理解の観点から 2 個が推奨される)。キードライバーを軸として、図 2.2.1 の要領でシナリオの骨格を作成する。
3. シナリオの記述と検討: 手順 2 で作成したシナリオの骨格を詳細化する。その段階では、シミュレーションを利用した定量的な分析を実施する。この分析により、シナリオ内部の矛盾を取り除く。記述したシナリオに基づいて、様々な政策の実行可能性や効果を検討する。
4. コミュニケーションとアウトリーチ: シナリオに関わるすべてのステークホルダーとシナリオの内容を共有し、さらに内容について議論する。

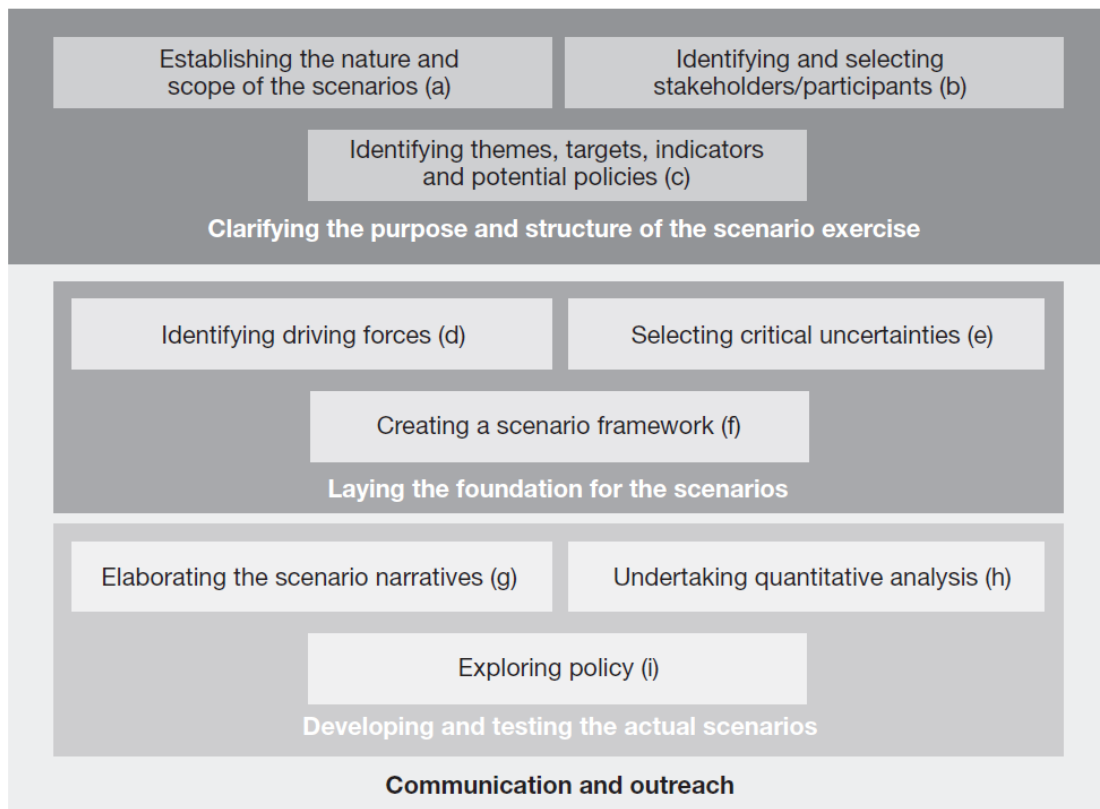


図 2.2.2: シナリオ作成プロセス[50]

上記の手順の中でも、将来における各ドライバーの傾向を判断しなければならない手順 2 が最も厄介である。そこでは、各ドライバーの過去の傾向、および各ドライバーに関連するデータを収集することによって、将来の挙動について何らかの仮説を立てる必要がある[51]。

### 2.2.3 バックキャストイングシナリオ作成手順

Robinson[30]は、ある定められた将来（例えば、望ましい将来または望ましくない将来）から現在までの道筋を描く手法として、バックキャストイングシナリオの作成手順を提案した。その手順は以下の1～6である。

1. シナリオの目的を決定する。
2. シナリオの目標と制約を設定する。
3. 現在のシステムを記述する。
4. 外部要因 (exogenous variables) を特定する。
5. シナリオで記述する将来における、最終時点と中間時点の将来を分析することにより、シナリオを記述する。
6. シナリオを社会、経済、環境面の影響について分析し、手順2で設定した目標を満足するまで分析を繰り返す。

しかしながら、Robinson[30]は手順に沿ったバックキャストイングシナリオ作成の例を示しておらず、そこで提案された手法の有効性は十分に検証されていない。

これに対して、手順の一般化は十分になされていないものの、バックキャストイングのアプローチを実例に適用した試みは他の研究者によっていくつか示されている[52][53][54]。例えば、Mander, *et al.*[53]は、2050年までにCO<sub>2</sub>を1990年比で60%削減させるという目標のもとに、UKにおける将来のエネルギーシナリオを描いた。そこでは、2050年の脱炭素化エネルギーシステムについて複数の将来像を描き、それらの個々の将来像に至る道筋を、2015年、2030年という2つの中間地点を描くことによって表現した。シナリオ作成はワークショップ形式で行われ、2015年と2030年を望ましい状態にするための政策が技術やインフラ等の観点から検討された。Mander, *et al.*[53]によるバックキャストイングシナリオの作成手順は以下のとおりである (図 2.2.3 参照)。

1. 将来の目標を設定する (例えば、2050年のCO<sub>2</sub>排出量を1990年比で60%削減する)。
2. 目標を実現するような望ましい将来を複数本想定する (例えば、2050年にCO<sub>2</sub>排出量を60%削減した社会として、エネルギー需要が社会経済の状況に応じて異なった4本の将来を描く。このうちエネルギー需要の最も多い将来では、原子力を大規模に展開することを想定する)。
3. 手順2で設定したそれぞれの将来について、その将来を実現するための中間の将来を現在との間にいくつか想定する。
4. 望ましい将来、現在、中間の将来の間を接続するための道筋を描く。

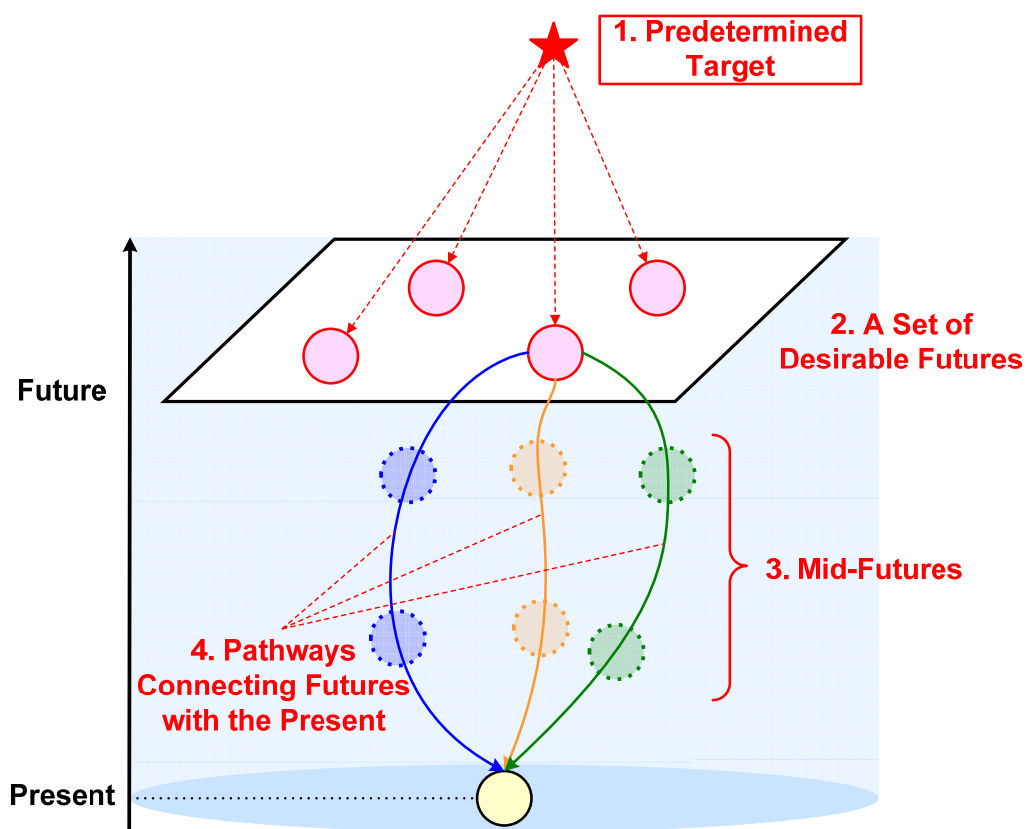


図 2.2.3: バックキャストシナリオの作成イメージ<sup>1</sup>

#### 2.2.4 種々のシナリオ作成技法

Bishop, *et al.*[55]は、シナリオ作成の際に利用できる様々な技法を文献調査に基づいて8種類に分類し、それぞれの長所と短所を整理した(表 2.2.1 参照)。このうち3つの技法について以下に述べる。

<sup>1</sup> Mander, *et al.*[53]の記述をもとに筆者が作成した。



表 2.2.1: シナリオ作成技法の長所と短所[55]

<i>Technique</i>	<i>Advantages</i>	<i>Disadvantages</i>
1. Judgment (Genius, visualization, sociodrama, Coates and Jarratt)	Easy to do Taps into intuitive understanding of the future Genius, Coates and Jarratt – requires no special training or preparation Visualization, sociodrama – can lead to novel insights and revelations	Difficult to do well Opaque, not transparent Genius, Coates and Jarratt – relies on the credibility of the individual Visualization, sociodrama – requires some training and experience to do well; clients may resist relaxation or dramatic techniques
2. Baseline (Trend extrapolation, Manoa, systems scenarios, trend impact analysis)	Easiest for client/audience to accept because generally expected already Manoa – highly elaborated, creative, lots of detail Systems scenarios – shows dynamic relationships among scenario elements Trend impact – links events with trends	No alternative scenarios proposed Manoa, systems scenarios – futures wheel, cross-impact, and causal models require some training and experience to do well Trend impact – requires judgment to estimate impacts, best done with group of experts, perhaps using Delphi
3. Elaboration of fixed scenarios (Incasting, SRI matrix)	Easiest for client/audience participation because scenario kernels/logics are done for them Provides in-depth elaboration of alternative scenarios	Generic scenario kernels/logics might not be relevant to client/audience; therefore less buy-in SRI Matrix – many have an intuitive sense of the best-case and worst-case scenarios already; filling in the cells of the matrix with many rows (domains) might become tedious
4. Event sequences (Probability trees, sociovision, divergence mapping, future mapping)	Tells the story in the usual way, as a series of events If probabilities at each branch point are known, can calculate the probability of end-states	Probability trees, sociovision – events/branch points usually do not follow each other in a fixed sequence Divergence mapping – events are not always easy to classify according to time horizon Future mapping – pre-defined end-states and events might not be relevant to the client/audience
5. Backcasting (Horizon mission methodology, impact of future technologies)	Creative because it decreases the tendency to extrapolate the future based on the past and the present; therefore can provide new insights Also results in a sequence of events or breakthroughs	Fantastical nature of the mission or end-state might reduce buy-in for client/audience Impact of Future Technologies – process for developing signposts and recommendations still opaque
6. Dimensions of uncertainty (Morphological analysis, field anomaly relaxation, GBN, option development and option evaluation, MORPHOL)	Best for considering alternative futures as a function of known uncertainties GBN – the right mix of technical sophistication and ease of use for a professional audience OD/OE – allows for the calculation of consistency among different combinations of alternatives (scenarios) MORPHOL – allows for the reduction of scenario combinations by the exclusion and likelihood of some pairs of alternatives; also allows for calculating the probabilities of different scenarios if the probabilities of the alternatives are known	Less creative because may not consider some novel developments that are not currently considered uncertain GBN – almost impossible to fully characterize the uncertainties of the future with just two dimensions OD/OE, MORPHOL – almost impossible to make valid estimates of the compatibility or influence of all alternatives against all other alternatives
7. Cross-impact analysis (IFS, MIC-PROB-EXPERT)	Calculates the final probabilities of alternatives or end-states based on rigorous mathematical procedure SMIC – adjusts the matrix of conditional probabilities for consistency with the laws of probability IFS – allows for quantitative analysis of alternative future values of important variables	Almost impossible to validly estimate the conditional probabilities or impacts of all alternatives against the others
8. Systems modeling (Sensitivity analysis, dynamic scenarios)	Creates the best quantitative representation of continuous variables that describe the future state	Difficult to validate the models without complete historical data

- 4. Event sequences: Probability trees

確率木 (probability tree) は決定木 (decision tree) と同じ表現形式であるが、確率木の枝は何が起こりうるのかを表すのに対して、決定木の枝はどのような決定 (decision) を下すのかを表す。確率木の末端は、決定の経路によって生じる将来の異なる状況を表す。個々の決定に対応するそれぞれの枝に確率を規定することによって、最終状態の生起確率をそのパス上のそれぞれの枝に付与された確率の積として計算する。確率木はリスクマネジメントにも用いられる。

- 6. Dimensions of uncertainty: Morphological analysis

Morphological analysis は、将来に影響を与える複数の変化要因をリストアップし、それらの組み合わせとして複数の将来を描く手法である。Shell/GBN Matrix[47]は Morphological analysis の一手法である。Shell/GBN Matrix ではキードライバーが 2 個に限定されるが、Morphological analysis では任意個のキードライバーが選択される[56]。

- 8. Systems modeling: Dynamic scenarios

Dynamic scenario は、シナリオ作成とシステム分析を組み合わせたものである[57]。システム分析では、シナリオのテーマに関連する要素をブレインストーミングによりリストアップし、それらを因果ネットワーク[58]にマッピングすることによって、シナリオで記述すべき対象システムを定義する。因果ネットワークは、図 2.2.4 に示すようにシステムを要素 (ノード) とリンクにより表現する。リンクは、要素間の正および負の因果関係をそれぞれ positive (+) と negative (-) として表現する。ループ構造は、要素間の作用が相互に強化されるポジティブフィードバックと、要素間が相互に反作用するネガティブフィードバックの 2 種類に分類される。図 2.2.4 では、出生率と人口間のポジティブフィードバックと、人口と死亡率の間のネガティブフィードバックが描かれている。Dynamic scenario の作成では、因果ネットワークの各要素に値を設定することによって、シナリオを詳細化し、さらに文章として記述する。しかし、Dynamic scenario では因果ネットワークとシナリオの記述の間の関係が必ずしも明確でないため、それらの間の妥当性の検証が容易でないという課題がある。

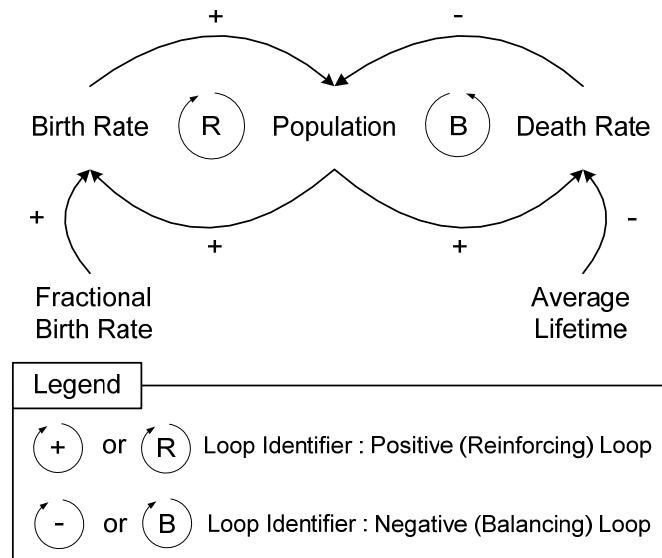


図 2.2.4: 因果ネットワークの例[58]

上記に挙げた技法のほかにも、事業戦略を立案するためのツールとして SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threat) analysis[59]や PEST (Political, Economic, Social, Technological) analysis[46]が知られており、企業が将来戦略を考えるためのシナリオを作成する際に用いられる。また、企業が持続可能なビジネス (sustainable business) を設計するためのシナリオ作成を支援するために、Kondoh[60]は因果ネットワーク上で持続可能なビジネスのパターンを抽出し、シナリオの骨格を因果ネットワークとして作成するというアプローチを提案している。

### 2.2.5 既存の温室効果ガス排出シナリオの集積

国立環境研究所は、IPCC による SRES[9]の作成のために、既存の 700 種類以上の温室効果ガス排出シナリオをデータベース化して一般に公開している (図 2.2.5 参照)[61]。ここで言うシナリオとは、ある指標 (例えば、CO<sub>2</sub> 排出量) に対する時系列のシミュレーション結果を指し、それらの結果がシミュレーションの対象地域と利用したモデルごとに整理されている。このデータベースにはシナリオの出典が収録されているため、結果の検証や新規シナリオ作成のための参考情報として有用である。

**All Data in Database**

SourceID	ScenarioID	RegionID	Variable	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
AIM/SRES	A1	OECD90	CO emissions		179		161		190	
AIM/SRES	A1	ROW	CO emissions		396		404		413	
AIM/SRES	A1	World	CO emissions		879		877		1002	
AIM/SRES	A1C	ASIAP	CO emissions		235		270		389	
AIM/SRES	A1C	EEFSU	CO emissions		69		41		40	
AIM/SRES	A1C	OECD90	CO emissions		179		161		186	
AIM/SRES	A1C	ROW	CO emissions							
AIM/SRES	A1C	World	CO emissions							
AIM/SRES	A1G	ASIAP	CO emissions							
AIM/SRES	A1G	EEFSU	CO emissions							
AIM/SRES	A1G	OECD90	CO emissions							
AIM/SRES	A1G	ROW	CO emissions							
AIM/SRES	A1G	World	CO emissions							
AIM/SRES	A1T	ASIAP	CO emissions							
AIM/SRES	A1T	EEFSU	CO emissions							
AIM/SRES	A1T	OECD90	CO emissions							
AIM/SRES	A1T	ROW	CO emissions							
AIM/SRES	A1T	World	CO emissions							
AIM/SRES	A2	ASIAP	CO emissions							
AIM/SRES	A2	EEFSU	CO emissions							
AIM/SRES	A2	OECD90	CO emissions							
AIM/SRES	A2	ROW	CO emissions							
AIM/SRES	A2	World	CO emissions							
AIM/SRES	B1	ASIAP	CO emissions							
AIM/SRES	B1	EEFSU	CO emissions							
AIM/SRES	B1	OECD90	CO emissions							
AIM/SRES	B1	ROW	CO emissions							
AIM/SRES	B1	World	CO emissions							

**Browse Source and Scenario Information**

SourceID: AIM/SRES  
 Authors: Matsuoka et al.  
 Reference: SRESdata, 2000  
 Model: Asian-Pacific Integrated Model ( AIM )  
 Category:   
 SourceDB: <http://sres.ciesin.org/>  
 Update: 2000 Series SRES  
 Notes:   
 Scenarios:

ScenarioID	Category	Description
A1	Nonintervention	SRES
A1C	Nonintervention	SRES

Regions: ASIAP, EEFSU, OECD90, ROW, World

図 2.2.5: IPCC Emission Scenario Database[61]

その一方で、シナリオの記述に利用されたシミュレータは公開されたアーカイブに収集されていないため、シミュレータの再利用によって、シナリオの前提条件を変化させたときの結果を検討することはできない。

## 2.3 持続可能社会シナリオの評価基準

持続可能社会シナリオの評価は、基本的には参加型のシナリオ作成プロセス[62][63]において、シナリオに関係するステークホルダー間の合意に基づいて決定される。その理由は、ライフスタイルに代表されるように、持続可能性の評価は個人の価値観によって異なるものであって、絶対的または科学的に決めることができないからである。このように、必ずしも客観的ではなく、様々なステークホルダー間の合意によってシナリオが評価されるという前提のもとで、「良いシナリオ」の評価基準がいくつか提案されている[19][62][64]。そのうち、主なものを以下に記す。

- 信ぴょう性 (credibility): 読み手にとってシナリオに説得力があるか。シナリオの利用者がシナリオの仮定やメッセージを理解するためには、十分な文書化とともにシナリオの透明性が必要である[35]。すなわち、シナリオ文章の論理の筋道が明瞭であることが重要である[19][62][64]。また、信ぴょう性はシナリオの内部整合性に依存する[35]。内部整合性を担保するにはモデルの利用が手段のひとつであり[35]、現在のところ、シミュレーションが信ぴょう性を高めるための代表的な手段である[12]。
- 包括性 (comprehensiveness): 将来の不確実性に対処するために、起こりうる様々な将来がシナリオで描き切れているか[22][62]。それと同時に、持続可能性に関連する様々な視点を描くために、多重の俯瞰性を持ったシナリオが作成されるべきである[65]。
- 創造性 (creativity): シナリオが読み手にとって興味深いものであり、将来をイメージするために役立つか。創造性を持った革新的なビジョンを描くことができれば、将来の可能性を広げることができる[62]。
- 正当性 (legitimacy): シナリオの利用者にとって、その内容およびシナリオの作成プロセスが公平であるか[64]。
- 関連性 (relevance): シナリオの利用者にとって十分に興味深く、意思決定に影響を与えることができるか[19]。

## 2.4 第2章のまとめ

本章では、持続可能社会シナリオの特徴と、既存の持続可能社会シナリオの例をいくつか示した。さらに、持続可能社会シナリオの作成に関連した既存研究について述べた。

シナリオ作成に関連した研究としては、これまでに提案されたフォアキャストシナリオおよびバックキャストシナリオを作成するための手順、および、それらのシナリオの作成を支援するための手法（例えば、*morphological analysis* や SWOT 分析）を示した。これらの手順および手法は、持続可能社会シナリオを作成するために有用である。

その一方で、*morphological analysis* などの既存の手法はシナリオ作成を部分的に支援するものの、体系的にシナリオの作成や分析を行うための研究は十分に行われていない。既存のシナリオ作成は基本的に人手に依存したものであり、そのための計算機支援に関する手法の研究は必ずしも十分に行われていない。

本研究では、シナリオの作成や分析をより合理的かつ効率的に実行可能とするための計算機支援方法論を提案する。そのために、第3章では持続可能社会シナリオの作成に必要な一連の行為を「シナリオ設計」として定義し、シナリオ設計のために必要な課題を明らかにし、「持続可能社会シナリオシミュレータ (Sustainable Society Scenario Simulator; 3S Simulator)」のコンセプトを提案する。

## 第3章

### 持続可能社会シナリオシミュレータの構想

第3章では、従来提案されてきた設計学の一分野として、シナリオ設計という学問分野を提起する。その意図は、シナリオ設計の定義に基づいて持続可能社会シナリオを作成するために必要な研究課題を設定することにある。本章では、シナリオ設計を支援するためのアプローチとして持続可能社会シナリオシミュレータ (Sustainable Society Scenario Simulator; 3S Simulator) の構想を提案する。最後に、この構想における本研究の位置づけを述べる。



### 3.1 はじめに

本章では、シナリオ作成にとって本質的に必要な操作を整理することを目的として、持続可能社会シナリオを作成するために必要な行為を「シナリオ設計」として定義する。ここで定義するシナリオ設計のプロセスには、既存の研究で提案されたシナリオ作成手順 (2.2 節参照) の概念も包含させる。本研究では、吉川ら[66]によって提案されてきた設計学の一分野として、シナリオ設計を位置づける (3.2 節参照)。

次に、シナリオ設計のために必要な課題を提示する。シナリオ設計を統合的に支援するためのアプローチとして、本研究では持続可能社会シナリオシミュレータ (Sustainable Society Scenario Simulator; 3S Simulator) を提案する (3.4 節参照)。3S Simulator の利用によって、計算機の利用によってシナリオ作成者の負荷を軽減し、シナリオ作成を支援する。

## 3.2 シナリオ設計

### 3.2.1 設計学

設計学は、設計に関する知識を、対象を離れて抽象化することにより理論として昇華させたものである[66]. ここでは、設計は「要求を実現する人工物に関する情報 (属性・状態・挙動・機能など) を段階的に詳細化しながら決定していく過程」と定義される[66]. 設計は、図 3.2.1 のように表現できるが[67], 具体的に設計を進めるためには次の 2 種類の知識が必要である[66].

1. 設計対象物に関する知識: 設計対象物そのものに関する知識, 設計対象物のモデルの表現, 生成, 変更, 利用に関する知識.
2. 設計過程に関する知識: どのように設計を進めるかについての知識.



図 3.2.1: 設計過程の表現[67]

### 3.2.2 シナリオ設計の定義

本研究では、設計対象をシナリオに絞り、吉川らの提案した設計学[66]の一分野としてシナリオ設計を位置づける。ここでは、シナリオ設計を「持続可能社会シナリオを作成するために必要な一連の行為」と定義する。2.3 節で述べたような「良いシナリオ」を設計するためには、シナリオ設計は以下の条件を満足すべきである。

- 持続可能社会シナリオは様々なステークホルダー (例えば, 研究者, 政策立案者, 市民など) 間の議論を通して合意を得ながら作成されるべきである。これは, ステークホルダーによって記述に対する解釈や評価が異なることによる。
- 持続可能社会シナリオの評価, 修正, 改訂を可能とするために, シナリオ記述の根拠として利用される情報を見える化し, それらを追跡可能とすべきである。
- 持続可能社会シナリオでは, 不確実性に対処するために起こりうる様々な将来が描かれるべきである。

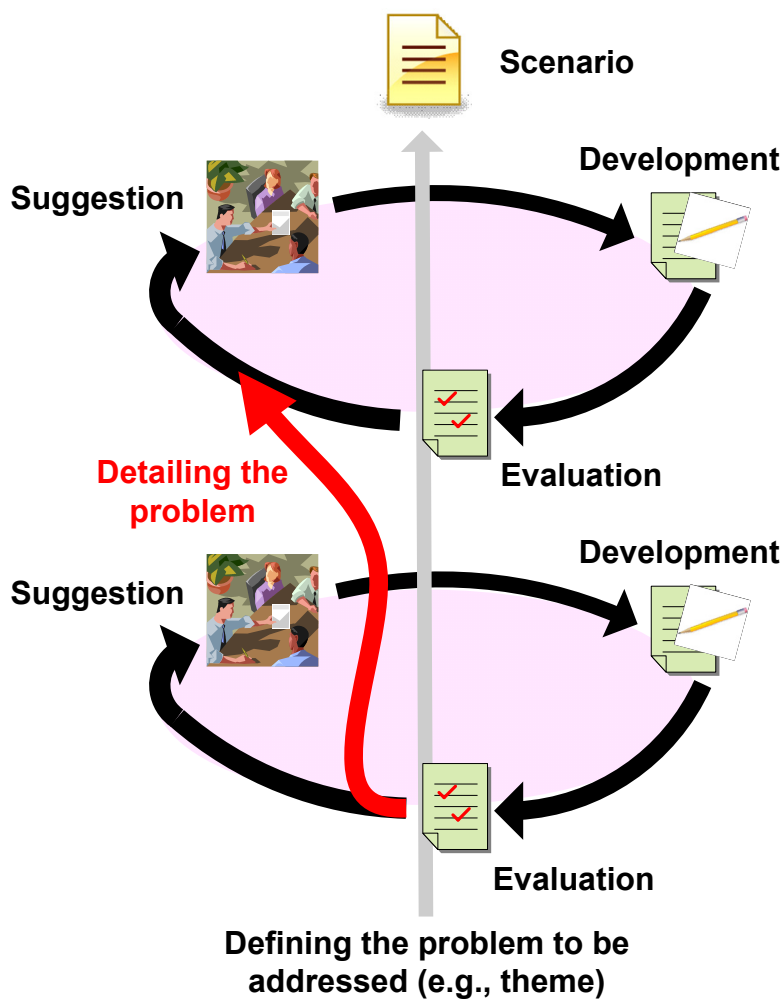


図 3.2.2: シナリオ設計のサイクル

シナリオ設計を実行するためには、(1) シナリオの表現方法、(2) シナリオの設計プロセスをそれぞれ規定する必要がある。このうち、シナリオ設計プロセスは上記 3 つの条件を満足するように、武田ら[68][69]の設計過程モデルなどに基づいて図 3.2.2 のように定義する。図 3.2.2 において、シナリオで取り組むべき課題（例えば、2050 年における日本の低炭素社会像を描くなど）の設定とシナリオ設計の最終アウトプットとしてのシナリオはそれぞれ、図 3.2.1 の設計仕様 (design specification) と設計解 (design solution) に対応する。図 3.2.2 に示した設計の各サイクルでは、設定したテーマに関するある小さなトピックについて記述または修正していき、それからシナリオに記述した内容に対する評価を行う。つまり、シナリオ設計は記述すべきテーマを設定した後、提案 (suggestion)、展開 (development)、評価 (evaluation) のサイクルを繰り返すことによって、シナリオを完成させるものであると考える。このサイクルでは、シナリオ作成者は必要に応じて、記述内容に関連した情報の収集、記述のためのシミュレータの構築およびシミュレーションの実行、記述内容およびシミュレーション結果の検証を行う。

### 3.3 シナリオ設計のための課題

2.2 節で述べたように、シナリオ作成に関連して様々な研究が行われている。しかしながら、3.2.2 節で定義したシナリオ設計を実行するためにはいくつかの課題がある。この課題は、以下の4つの部分課題から構成されると考える。

#### 1. 論理構造を明確化した形式でシナリオを表現すること

既存のシナリオの記述は論理構造が明示されておらず、シナリオに含まれる論理的な記述と論理的でない記述、あるいは、仮定と事実が明確に区別されていない。このため、持続可能社会シナリオを合理的に評価、修正、改訂することが困難である。一般に、持続可能社会シナリオには将来に関する状況を記述するという性質上、仮定や論理的な飛躍が不可避免的に含まれるものである。

#### 2. シナリオとシミュレータを再利用可能とすること

持続可能社会シナリオの記述にはしばしばシミュレータが利用されるが、シナリオはその記述に利用されたシミュレータと接続されていないため、一般に既存のシナリオにおけるシミュレーションの検証および再実行が可能でない。

#### 3. 新規にシナリオを作成すること

現在のシナリオ作成手法は十分に形式化されておらず、人手に大きく依存している。例えば Shell/GBN Matrix が2つのキードライバーに基づいて4本のシナリオの骨格を提示するように、シナリオ作成を部分的に支援する技法は多数存在するものの、シナリオ作成プロセス全体を支援するための手法が存在しない。

#### 4. シナリオを分析すること

持続可能社会シナリオを分析するための手法が十分に形式化されていない。シナリオ分析には、シナリオ論理構造の分析、感度分析や what-if 分析が考えられる。ここで what-if 分析とは、シナリオの前提条件が変化したときの結果を検討する手法である[70]。

もうひとつの重要な課題は、2.3 節に示した包括性と関連して、持続可能社会の将来像をシナリオとして表現する方法が明らかでないことである。この課題に対して、梅田[65]は持続可能性に対するメッセージを読み取るためには多面的な見方が必要であると指摘している。すなわち、2.1.4 節で示したような個々のシナリオは持続可能性のある一面（例えば、社会全体の産業部門における低炭素化など）のみを描くものであって、持続可能性を俯瞰的に理解するためには、様々な持続可能社会シナリオ間の関係を明らかにすべきである[65]。この立場を採ったとき、持続可能社会シナリオの設計における課題として以下の2つが現れる。

#### 5. シナリオ間の関係を明らかにすること

持続可能社会像を俯瞰的に表現するために、個々のシナリオ（例えば、地球温暖化シナリオ、エネルギー枯渇シナリオなど）を関係づけるための方法がない。

#### 6. コンテンツを集積すること

IPCC の SRES に関連したシナリオはデータベース化されて一般に公開されているものの (2.2.5 節参照), そこで利用されているシミュレータや, その他の様々なシナリオとシミュレータは再利用可能な形式で公開されていない。持続可能社会シナリオを作成するためには, 課題 2 で指摘したように既存のシナリオおよびシミュレータを再利用可能にする仕組みを構築するとともに, 世界中のシナリオ作成者がコンテンツとして様々なシナリオとシミュレータを利用可能にすべきである。

次節では以上で挙げた 6 つの課題を解決するためのアプローチとして, 持続可能社会シナリオシミュレータの構想を提案する。

### 3.4 持続可能社会シナリオシミュレータ (3S Simulator) の構想

#### 3.4.1 シナリオ設計支援のアプローチ

シナリオ設計においては、様々なステークホルダー間の議論に基づいて、シナリオの提案・展開・評価のプロセスを実行する。このようなシナリオ設計のサイクルを効率よく回すためのアプローチとして、本研究ではシナリオを計算機処理可能とし、かつシナリオにおける論理の筋道を明確化するために、シナリオを論理構造に基づいて構造化する。すなわち、本研究ではシナリオの構造化に基づいて、持続可能社会シナリオの理解、分析、および作成を計算機上で支援する。3.3 節の 6 つの課題を解決するために、シナリオ設計支援のアプローチとして以下の 5 つの研究課題を設定する[71]。

##### 1. シナリオの構造化

シナリオを計算機処理可能な形式で表現し、かつシナリオの合理的な理解に向けて論理構造を明確化するための方法として、シナリオを構造化する。

##### 2. シナリオとシミュレータの接続

既存のシナリオとシミュレータの再利用を可能とするために、シナリオとシミュレータを接続した「動的シナリオ」を作成する。ここで、「動的シナリオ」とは、シナリオと付随するシミュレータが接続しており、シナリオ内でシミュレーション条件を変化させるとシミュレーションが実行され、その結果が動的に反映されるシナリオを指す。

##### 3. シナリオの設計支援

シナリオの設計プロセスを形式化する。その設計プロセスに基づいて、アーカイブ化されたシナリオとシミュレータを用いながら、新たなシナリオ（フォアキャストシナリオ、バックキャストシナリオを含む）の設計支援を行う。

##### 4. シナリオの分析支援

既に作成されたシナリオの分析を支援する。具体的には、シナリオの論理構造に関する分析と、what-if 分析や感度分析といったシナリオの定量的な分析を支援する。論理構造分析はシナリオに対する評価を支援し、what-if 分析と感度分析は、既存のシナリオを利用した派生シナリオの作成を支援する。

##### 5. シナリオとシミュレータのアーカイブ化

世界各所で作成されているシナリオおよびシミュレータをアーカイブとして集積する。特に、シミュレータがシナリオの作成に利用されている場合には、上記 2 で述べたようにシナリオとシミュレータを接続した状態でアーカイブ化する。アーカイブの利用により、既存シナリオの理解および分析と、既存のシナリオを利用した新規シナリオ作成を支援する。

上記の研究課題は、2.4 節で示した 1~4 の課題を解決する。しかし、持続可能社会の俯瞰性を担保するために重要な 5, 6 番目の課題を解決するためには、図 3.4.1 に示すように様々なシナリオ間を関係づけるとともに、コンテンツとして様々なシナリオおよびシミュレータを用意する必要がある。これらの要求に対して本研究では、研究課題 1 で述べたシナリオの構造化手法と、研究課題 5 として挙げたシナリオとシミュレータのアーカイブ化の手法をそれぞれ適用する。しかし本研究では、実際に様々なシナリオおよびシミュレータを作成するというアプローチは採用しない。本研究ではむしろ、そのアプローチを支援するための手法、すなわち、シナリオとシミュレータの作成支援およびアーカイブ化のための手法を提案する。

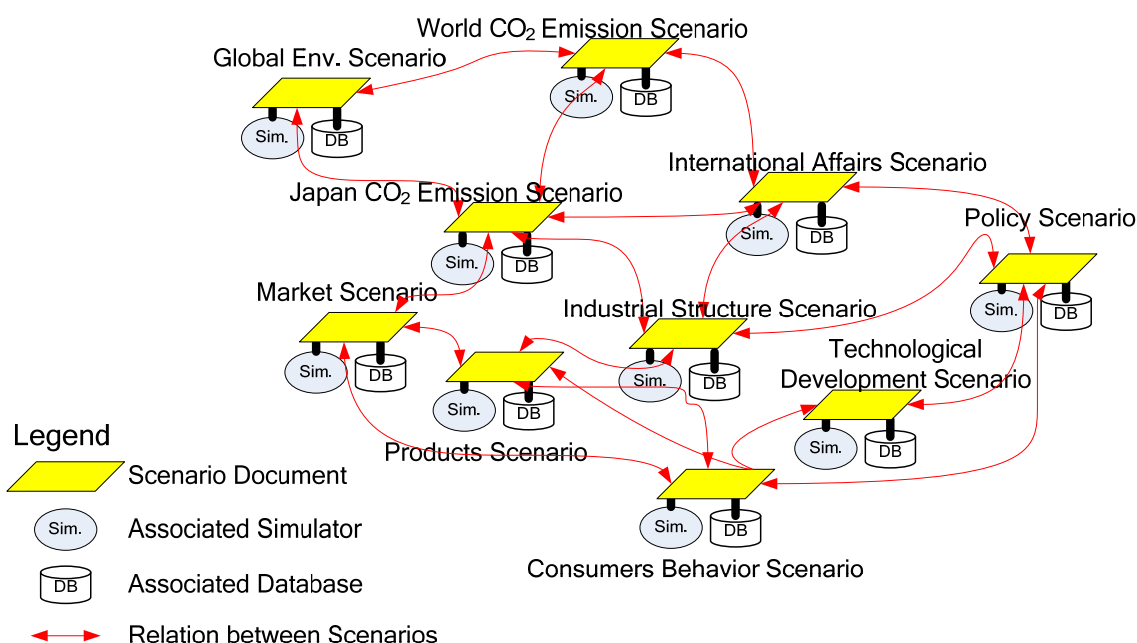


図 3.4.1: 持続可能社会シナリオの関連づけ[72]

本研究ではこれら 5 つの研究課題を解決するための方法論を提案し、それらを実装したシステムとして、持続可能社会シナリオシミュレータ (3S Simulator) を提案する。

### 3.4.2 3S Simulator の目的

持続可能社会シナリオシミュレータ (Sustainable Society Scenario Simulator; 3S Simulator) の目的は、持続可能社会シナリオの理解、作成、分析を統合的に計算機上で支援することである。つまり 3S Simulator の位置づけは、シナリオ設計を行うための「知的 CAD システム」である。このシステムでは 3.4.1 節で提示した研究課題に対応する方法論を実装することによって、持続可能社会シナリオの設計を効率化するとともに、シナリオの「質」の向上を支援する。

3S Simulator で設計対象とする持続可能社会シナリオは、文章形式のシナリオとする。その理由は、現在のところ文章が将来の状況を詳細に記述するための唯一の方法だからである。例えば、将来の描写として、経済状況や人々のライフスタイルは、数値情報だけでなく叙述的な記述を用いることによってのみ表現できる。3S Simulator では、文章形式のシナリオを作成するために、既存のシナリオおよびシミュレータの両方を再利用可能とする。2.1 節で述べたように、持続可能社会シナリオにとってシミュレータは、その信ぴょう性を担保するために重要な役割を担っている。

### 3.4.3 3S Simulator の仕様

3S Simulator の全体構成を図 3.4.2 に示す。3.4.1 節の研究課題に対応した方法論を実現するために、3S Simulator は以下の 5 つの要素から構成する。

- シナリオ構造記述支援システム: 既存シナリオや新規に作成したシナリオの構造的な記述を支援する。
- シナリオアーカイブ: 構造化されたシナリオおよびそれに付随するシミュレータを集積する。
- シナリオ設計支援システム: シナリオアーカイブを利用しながら、シナリオの新規作成を支援する。
- シナリオ分析ツール: シナリオの論理構造分析と、アーカイブ化されたシミュレータを利用した what-if 分析や感度分析を可能とする。
- メディエータ: シナリオと、そのシナリオの記述に利用されるシミュレータ間のデータ交換を実行することにより、そのシナリオのシミュレーションを実行可能とする。一般に、ひとつのシナリオには複数個のシミュレータが関係しうる。さらに、持続可能社会像を描くために複数のシナリオを関連づけるとき、メディエータは複数のシナリオにまたがったシミュレータ間の整合性も管理する。



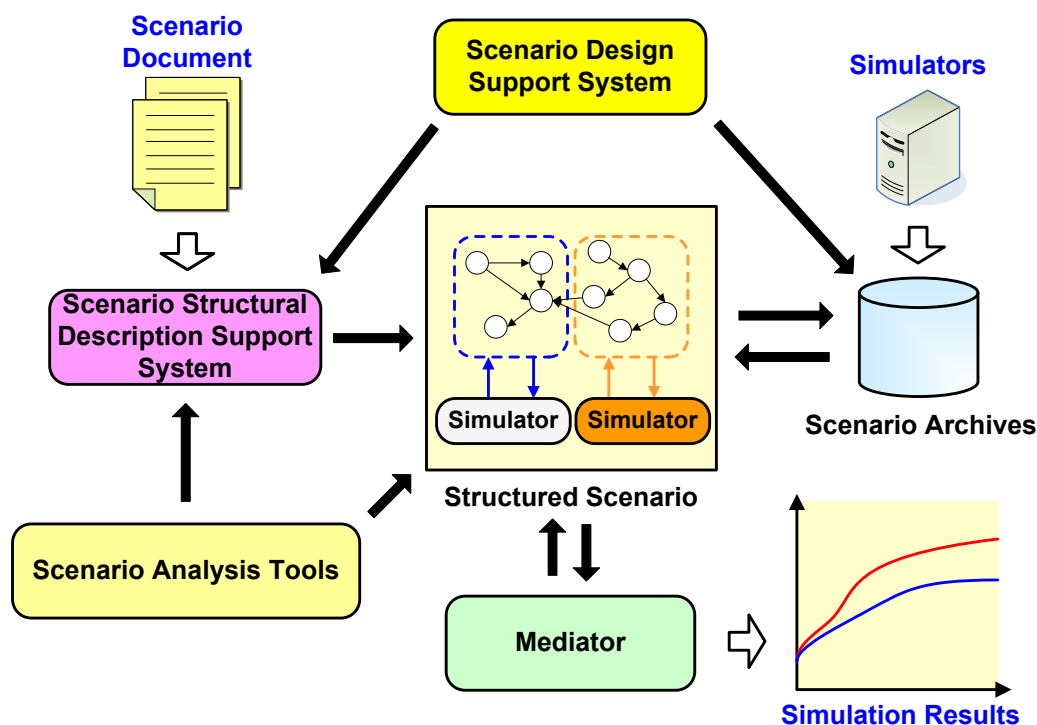


図 3.4.2: 3S Simulator の構成

3.4.1 節の各研究課題と 3S Simulator の構成要素の関係は以下のとおりである。シナリオ構造記述支援システムには、シナリオの構造化手法を実装する (研究課題 1)。また、シナリオとシミュレータを接続するために、それらの間の関係を構造化する手法もここで実装する (研究課題 2)。シナリオアーカイブには、既存のシナリオとシミュレータをアーカイブ化するための仕組みを実装する (研究課題 5)。シナリオ設計支援システムでは、形式化したシナリオ設計プロセスに基づいて新規シナリオの作成を支援する (研究課題 3)。シナリオ分析ツールでは、シナリオの論理構造分析, what-if 分析, 感度分析の実行を支援する手法を実装する (研究課題 4)。最後に、メディエータでは動的シナリオにおいて、シナリオに関するシミュレータを駆動する機能を実装する (研究課題 2)。

### 3.4.4 3S Simulator の意義

3S Simulator は様々なステークホルダーがシナリオに基づいて持続可能社会像について議論するための環境を提供する。システムの利用イメージを図 3.4.3 に示す。ここでは、シナリオを構造化することによってシナリオの合理的な理解および論理的な分析を支援する。それと同時に、シナリオ作成を支援するために既存の様々なシナリオとシミュレータを利用可能にする。これら2点は、主として紙と鉛筆に頼る従来のシナリオ方法では十分に支援できていなかった (図 3.4.4 参照)。

3S Simulator の想定ユーザは、シナリオ研究者、政府・地方自治体の政策立案者、企業の戦略立案者、シミュレータの開発者、さらには一般市民も含まれる。これらのユーザに対する 3S

Simulator の効用は以下のとおりである<sup>1</sup>。

- シナリオ研究者: 本研究で提案するシナリオ設計の支援手法に基づいて, 持続可能社会シナリオを効率的に作成することができる. このとき, アーカイブ化された様々なシナリオおよびシミュレータが利用可能である.
- 政策立案者: 適切な政策を選択するために, シナリオ上で様々な政策の効果を試行錯誤的に分析することができる.
- 企業の戦略立案者: アーカイブ化されたシナリオを調査, 分析, 評価することによって, 企業の戦略を立案することができる.
- シミュレータの開発者: 開発したシミュレータをアーカイブ化することによって, 持続可能社会シナリオを作成のためにそのシミュレータを一般に公開することができる.
- 市民: シナリオを媒体として, 将来の望ましい社会をイメージすることができ, 個々の意見について相互に議論することができる.

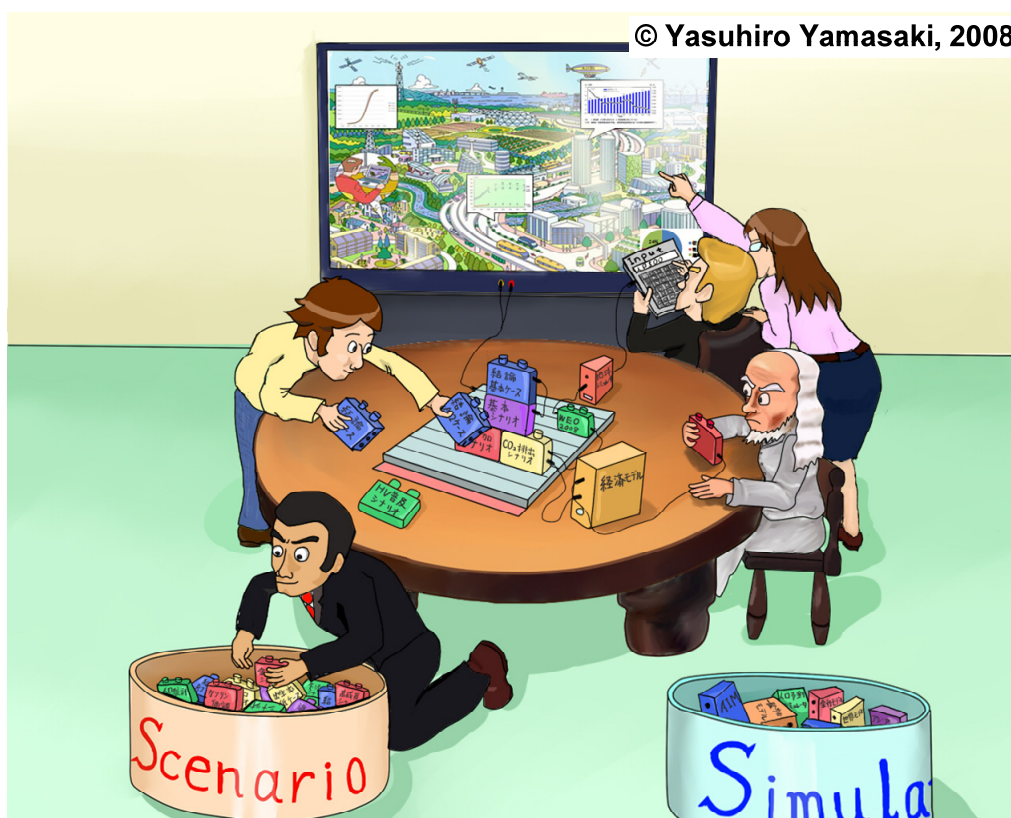


図 3.4.3: 3S Simulator の利用イメージ

<sup>1</sup> Umeda[72]を参考に再構成した.

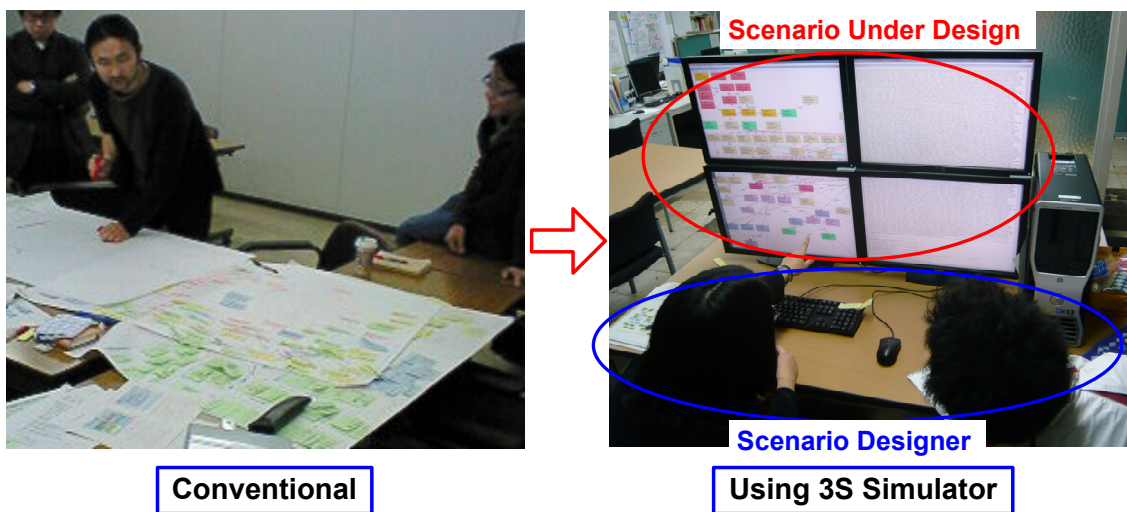


図 3.4.4: 既存のシナリオ作成と 3S Simulator を利用した作成の比較

### 3.5 本研究の位置づけ

本研究の最終的な目標は、持続可能社会シナリオを設計支援するための方法論を提案し、その方法論を実装したシステムとして 3S Simulator を提案することである。本研究では、シナリオ設計を設計学の一分野として位置づけた。3S Simulator を用いたシナリオ設計では、既存研究（第2章参照）では十分に体系立てられていなかったシナリオ作成・分析に対して、論理的な視点を加え、さらに計算機支援を導入することによって、それらをより合理的かつ効率的に実行することを目指す。本研究では、3S Simulator が実現すべき5つの研究課題（3.4.1節参照）のうち研究課題1, 2, 4 を実現するための手法として、持続可能社会シナリオの構造化手法および分析手法を提案する。すなわち、本研究で解決する課題とそのアプローチは以下のとおりである。

- 持続可能社会シナリオを計算機上で表現および操作するために、シナリオを構造化するための手法を提案する。この手法に基づきシナリオを合理的に理解するために、シナリオの論理構造を明確化することによって論理的な記述と論理的でない記述を明確に区別する。
- シナリオとその記述に利用されるシミュレータを再利用可能とするために、シナリオの構造化手法に基づいてシナリオとシミュレータを接続した「動的シナリオ」を作成するための手法を提案する。そのために、シミュレータをシミュレータ本体とその入力データおよび出力データから構成されるものと定義し、シナリオの記述とシミュレータの入出力データを関係づける。
- シナリオの構造化手法に基づいてシナリオの評価を支援するために、論理構造分析手法を提案する。そのために、シナリオの結論を導出するための根拠を定式化することによりそれらを抽出する。さらに、それらの根拠に対して結論を論理的に導出する根拠とそうでない根拠を区別する。
- 既存シナリオの前提条件を変更した場合の結果を検討可能とするために、シナリオの構造化手法に基づいて既存のシナリオを what-if 分析するための手法を提案する。この手法を支援するために、what-if分析の手順を定義する。この手順において、what-if分析で変更すべきシナリオの前提条件を抽出するために、論理構造分析手法で定式化したシナリオの根拠を利用する。

上記4つの手法は 3S Simulator において、シナリオ構造記述支援システム、シナリオアーカイブ、シナリオ分析ツールと、メタデータの一部に対応する（図 3.5.1 参照）。第4章以降で提案する各手法と図 3.5.1 に示すシステムの各要素の関係はそれぞれ以下のとおりである。

第4章では、シナリオの構造的記述法を提案し、この手法をシナリオ構造記述支援システムとして実装する。このシステムはシナリオを構造化する機能を持ち、シナリオを分析および作成するためのワークスペースを提供する。

第5章では、シナリオとシミュレータの再利用を可能とするために、動的シナリオの接続手法を提案する。ここでは、既存のシミュレータを利用可能とするために Simulator Databaseを開発するとともに、シナリオとシミュレータ間でデータ交換を実現するために Dataset Managerを提案する。ここで、Dataset Manager はメディエータの一部としての位置づけであり、メディエータはシナリオに関する複数のシミュレータの入出力関係を管理するのに対して (3.4.3 節参照)、本研究で提案する Dataset Manager は1つのシナリオに関するシミュレータが1個だけの場合に限定して、シナリオとシミュレータ間のデータ交換を可能にする。

第6章では、シナリオの論理構造分析を支援するために、論理構造分析ツールを開発する。

第7章では、what-if 分析に基づいて既存のシナリオから派生シナリオを作成支援するために、what-if 分析支援ツールを提案する。同時に、既存シナリオを効率的に再利用できるようにするため、Scenario Databaseも開発する。

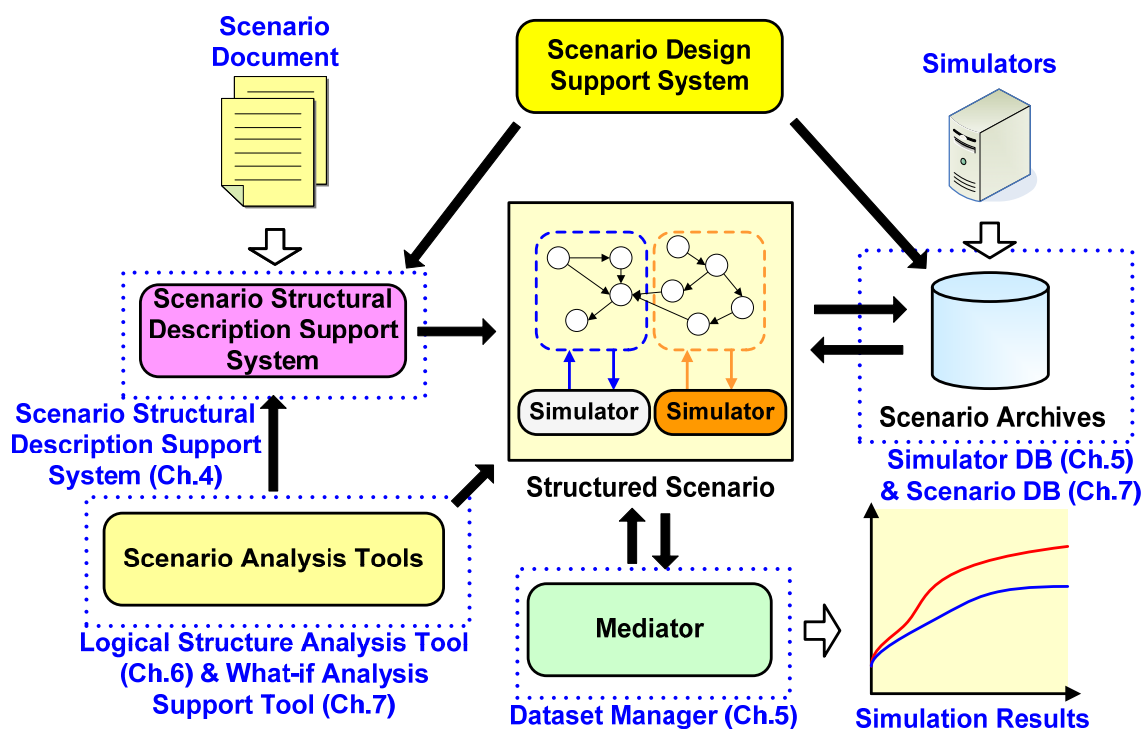


図 3.5.1: 本研究で提案するシステムの構成

### 3.6 第3章のまとめ

本章では、設計学の考え方に基づいてシナリオ設計を定義し、持続可能社会シナリオを作成するために必要な課題を整理した。具体的には、シナリオの表現方法における課題とシナリオの設計プロセスにおける課題を指摘した。これらの課題を解決し、シナリオ設計を統合的に支援するためのアプローチとして、3S Simulator のコンセプトを提案した。さらに、3S Simulator のコンセプトにおいて、本研究で取り組むべき課題を設定した。すなわち、本論文では持続可能社会シナリオの構造化手法、および、その手法に基づくシナリオの分析手法を提案する。

## 第4章

### 持続可能社会シナリオの構造的記述法

第4章では、シナリオ設計を計算機支援する基礎として、シナリオの計算機処理を可能にするための表現手法として、シナリオの構造的記述法を提案する。ここで提案した手法の有効性を検証するためにシナリオ構造記述支援システムを開発し、そのシステムを用いて既存のシナリオに対して本手法の有効性を検証する。



## 4.1 シナリオ構造化のアプローチ

シナリオ設計を計算機支援するためには、まず持続可能社会シナリオを計算機上で処理できるようにしなければならない。このために、本研究では計算機処理可能なシナリオの表現方法として、シナリオを論理構造に基づいて構造化する。シナリオの構造化に基づき、シナリオ文章に記述された論理の筋道を明確化することによって、シナリオの合理的な理解が期待できる。将来に関する記述を含むために必然的に仮定や論理的な飛躍を含む持続可能社会シナリオにおいて、少なくともシナリオの論理的な部分と論理的でない部分は明確に区別すべきである。

本手法では、シナリオの計算機処理可能な表現形式として、シナリオの論理構造をノードとリンクから構成されるグラフとして表現する。ノードはシナリオの構成要素、リンクは2個のノード間の関係を表す。ここで、シナリオの構成要素には、サブシナリオ、サブシナリオを構成する文章、シナリオの記述を根拠付けるシミュレーション、シナリオを構成する語句といった粒度の異なるものが存在する。これらの各視点からシナリオを記述するために、本研究ではシナリオを構造化するための4つのレベル (Scenario, Expression, Data, Word Level) を設定する。

- **Scenario Level:** シナリオに含まれる個々のサブシナリオを明確に区別し、それらサブシナリオ間の関係 (階層関係など) を表現する。
- **Expression Level:** サブシナリオにおける文章 (節: 主語と述語動詞からなる文の要素) の構造を表現する。ここでは、各サブシナリオの記述における論理関係 (論理的飛躍, 矛盾を含む) を表現する。
- **Data Level:** シナリオ記述に利用されるシミュレーション部分を表現する。
- **Word Level:** シナリオで記述する対象システムを表す語句と語句間の関係を、因果ネットワーク [58] (2.2.4 節参照) として表現する。

図 4.1.1 にシナリオ構造化のイメージを示す。Scenario Level では持続可能社会シナリオを構成する各サブシナリオを表現し、個々のサブシナリオは Expression Level が表現する「節」の集合 (叙述的な文章) と、Data Level が表現するシミュレーション部分の組み合わせにより構成する。この組み合わせは、持続可能社会シナリオがしばしば叙述的な文章とシミュレーションの組み合わせに基づき記述されることをモデル化するものである。図 4.1.1 の Expression Level と Data Level 間の関係は、記述される文章とシミュレーションの関係を表す。本論文ではシナリオの分析手法を提案するために、これら3つのレベル (Scenario, Expression, Data Level) を主な対象とする。

Word Level は、新たな持続可能社会シナリオを設計するとき、シナリオの基本構造を整理するために利用する。すなわち、本研究では、新規に持続可能社会シナリオを設計するときには、まずシ

ナリオの基本構造としてシナリオの記述テーマに関する対象システム（例えば、日本における電気自動車の市場、使用済み携帯電話の循環など）の因果ネットワークを作成し、次にその因果ネットワークに基づいて持続可能社会シナリオの叙事的な文章とシミュレーションをそれぞれ構成するというアプローチを想定する[75][76]. Word Level では、持続可能社会シナリオの叙事的な文章とシミュレーションのそれぞれの要素と、シナリオが記述対象とするシステムの対応関係を記述する。

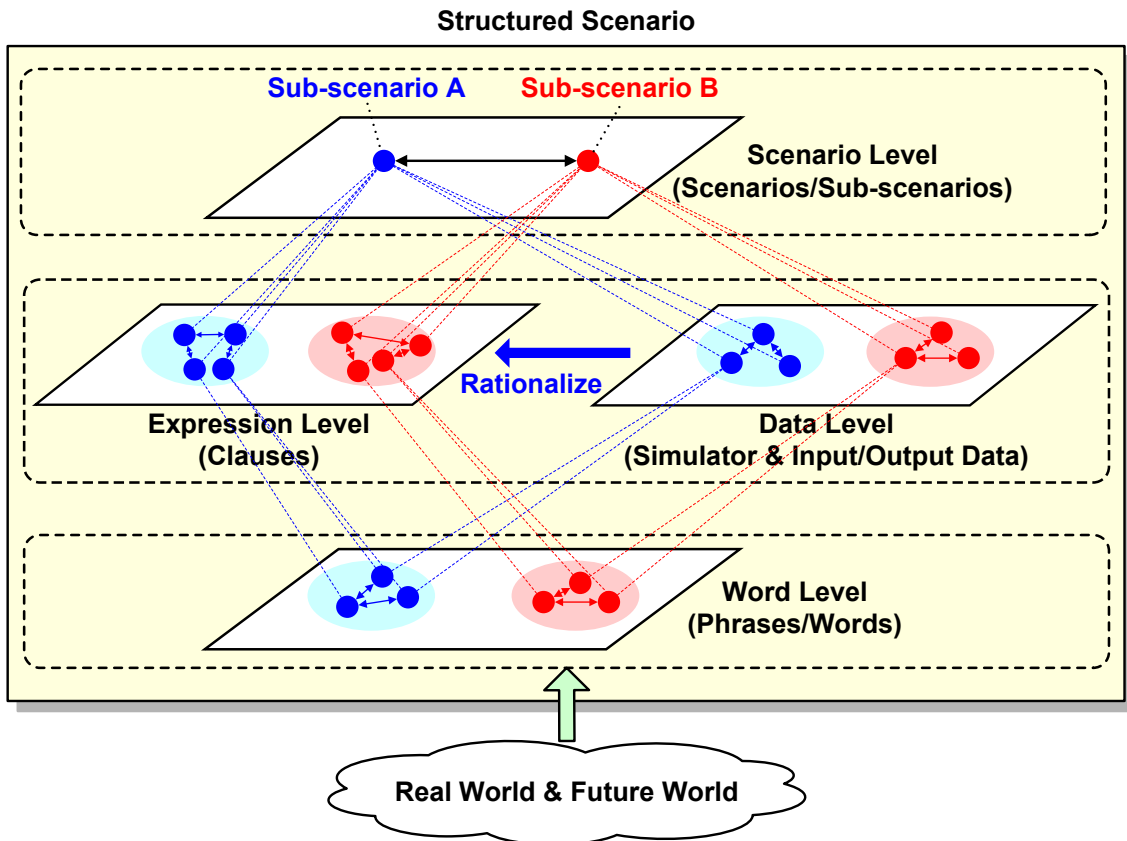


図 4.1.1: シナリオ構造化のアプローチ

本論文では、既存の持続可能社会シナリオを対象としたシナリオの表現手法と分析手法を提案するために、4.2 節以降では3つの各レベル (Scenario, Expression, Data) を定義し、さらにそれらのレベル間の関係を定義する。ただし、新たなシナリオの設計のために利用する Word Level は詳細に扱わない。図 4.1.1 に示したように、個々のサブシナリオとその構成要素を表現するために、Scenario Level と Expression Level, Scenario Level と Data Level の間の関係をそれぞれ定義する。また、シナリオの記述とシミュレーションの関係を明確化するために、Expression Level と Data Level 間の関係を定義する。

## 4.2 Scenario Level

持続可能社会シナリオには、複数の起こりうる将来を記述するために複数のサブシナリオが含まれることが多い (2.1.2 節参照). Scenario Level では、あるシナリオに含まれる個々のサブシナリオとサブシナリオ間の関係を表現し、さらにサブシナリオの基本構造を表現する. そのために、Scenario Level では 2 種類のノードと 4 種類のリンクを定義する (表 4.2.1 参照).

表 4.2.1: Scenario Level のノードとリンクの定義

<i>Type</i>		<i>Definition</i>
Node	scenario	A description regarding a certain topic. It represents a whole scenario or a sub-scenario in it.
	scenario_component	A constituent element of a “scenario” node. “Scenario_component” nodes are classified into 6 types: problem, hypothesis, simulation, result, discussion, and conclusion.
Link	consist_of( $A, B$ )	As a relation between scenario and sub-scenario, a “scenario” node $A$ includes a “scenario” node $B$ as its constituent element.
	part_of( $A, B$ )	As a relation between sub-scenario and its component, a “scenario” node $A$ includes a “scenario_component” node $B$ as its constituent element.
	compare( $A, B$ )	A node $A$ is compared with a node $B$ .
	refer( $A, B$ )	A node $A$ refers to a node $B$ .

### 4.2.1 Scenario Level ノードの定義

2 種類のノードのうち“scenario”ノードは、あるテーマについて記述されたストーリーを表し、そのテーマに関する結論を必ず含むものとする. 1 個の“scenario”ノードは、1 つのサブシナリオまたは複数のサブシナリオを束ねたシナリオを表す (図 4.2.1 参照). 3.5 節で述べたように、本研究では各サブシナリオを Scenario Database に格納することによって再利用可能とするため、“scenario”ノードに対して表 4.2.2 に示す 2 種類の属性を持たせる. これにより、Scenario Database 上でサブシナリオを検索可能とする. Scenario Database の詳細は第 7 章で述べる.

表 4.2.2: “scenario”ノードの属性

<i>Attribute</i>	<i>Definition</i>
ID	The ID number of a sub-scenario.
Scenario name	The name of a sub-scenario.

それに対して, “scenario\_component”ノードは“scenario”ノードの一部, つまりサブシナリオの構成要素であり, 文章のかたまり, またはシミュレーション部分のいずれかを表す. 本研究では, 既存の持続可能社会シナリオ (2.1.4 節参照) の調査結果に基づき, “scenario\_component”ノードを図 4.2.1 に示した以下の 6 種類に分類する.

- **problem**: サブシナリオの問題設定
- **hypothesis**: サブシナリオの前提または仮定
- **simulation**: サブシナリオの記述に利用されるシミュレーション
- **result**: シミュレーションの結果
- **discussion**: シミュレーション結果を含む, サブシナリオで導かれたある結果に関する考察
- **conclusion**: サブシナリオの結論

“scenario\_component”ノードは, 上記の分類に基づいて抽出する. これら 6 種類のうち, **simulation** はサブシナリオのシミュレーション部分であり, その他の 5 種類は文章部分に相当する. 既存の持続可能社会シナリオは, 一般に報告書やウェブページの形態で文章として配布され, シミュレーション部分 (シミュレータの入出力データ) の詳細は明示されないことが多い. これらの分類に基づく“scenario\_component”ノードの抽出方法は, 4.5.1 節で述べる.

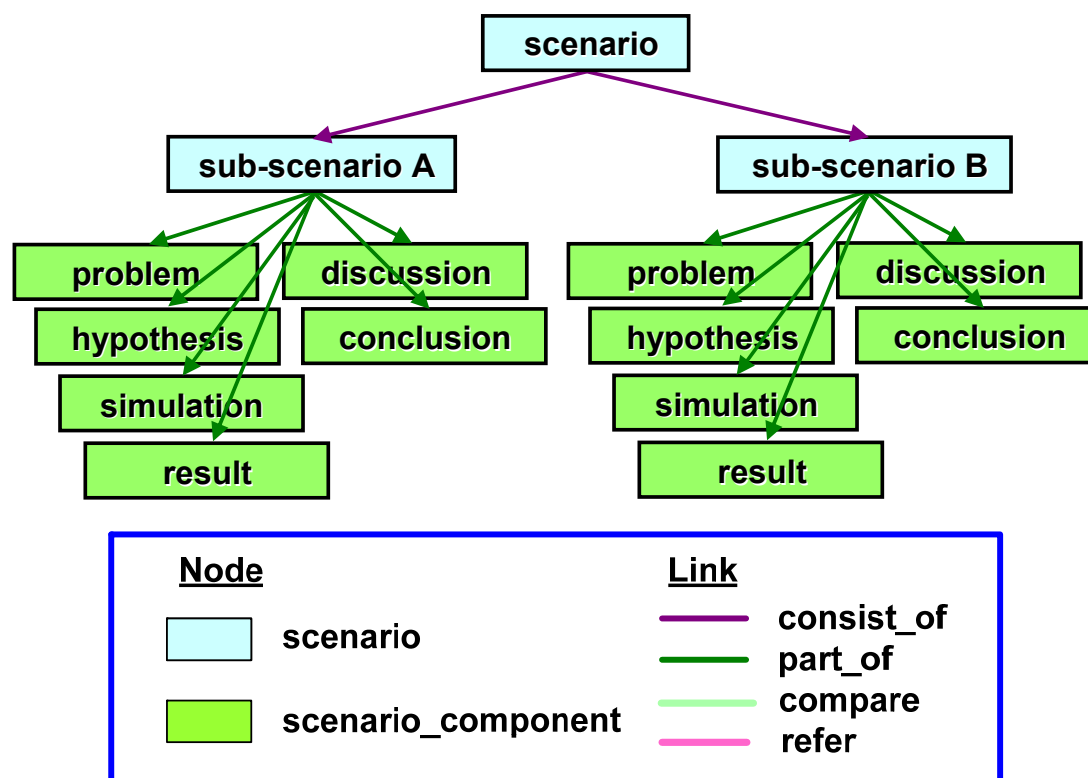


図 4.2.1: Scenario Level の表現

#### 4.2.2 Scenario Level リンクの定義

4 種類のリンクのうち，“consist\_of”，“part\_of”はシナリオの階層関係を表現する。シナリオ-サブシナリオ関係のような階層関係は，2 つの“scenario”ノードを接続する“consist\_of”リンクにより表現する。一方で，“part\_of”リンクは“scenario”ノードと“scenario\_component”間の包含関係を表す。シナリオ間の関係は“compare”，“refer”により表現し，それぞれシナリオ間の比較関係，参照関係を表すものと定義する。表 4.2.1 のリンク(A, B)は始点ノード A と終点ノード B を表し，リンクは A から B の方向に向きを持つ。ただし，2 つのノードの比較関係を表す“compare”のみ，接続される 2 個のノード間に方向性（始点と終点で意味づけが異なる関係）がないために双方向のリンクと定義する。

図 4.2.2 に，World Energy Outlook (WEO) 2004 の Reference Scenario[73]を Scenario Level で構造化した例の一部を示す。WEO は International Energy Agency (IEA) が毎年発行している報告書であり，そこでは過去の様々なデータに基づいて将来のエネルギー需給を予測している。図 4.2.2 では，Reference Scenario とサブシナリオ，およびサブシナリオとサブサブシナリオの関係が“consist\_of”リンクにより表現されている。また，2 本のサブサブシナリオ間には対比関係のあることが“compare”リンクによって明示されている。サブシナリオの記述と，その記述のために参照している外部の文献の関係は“refer”リンクにより明示される。

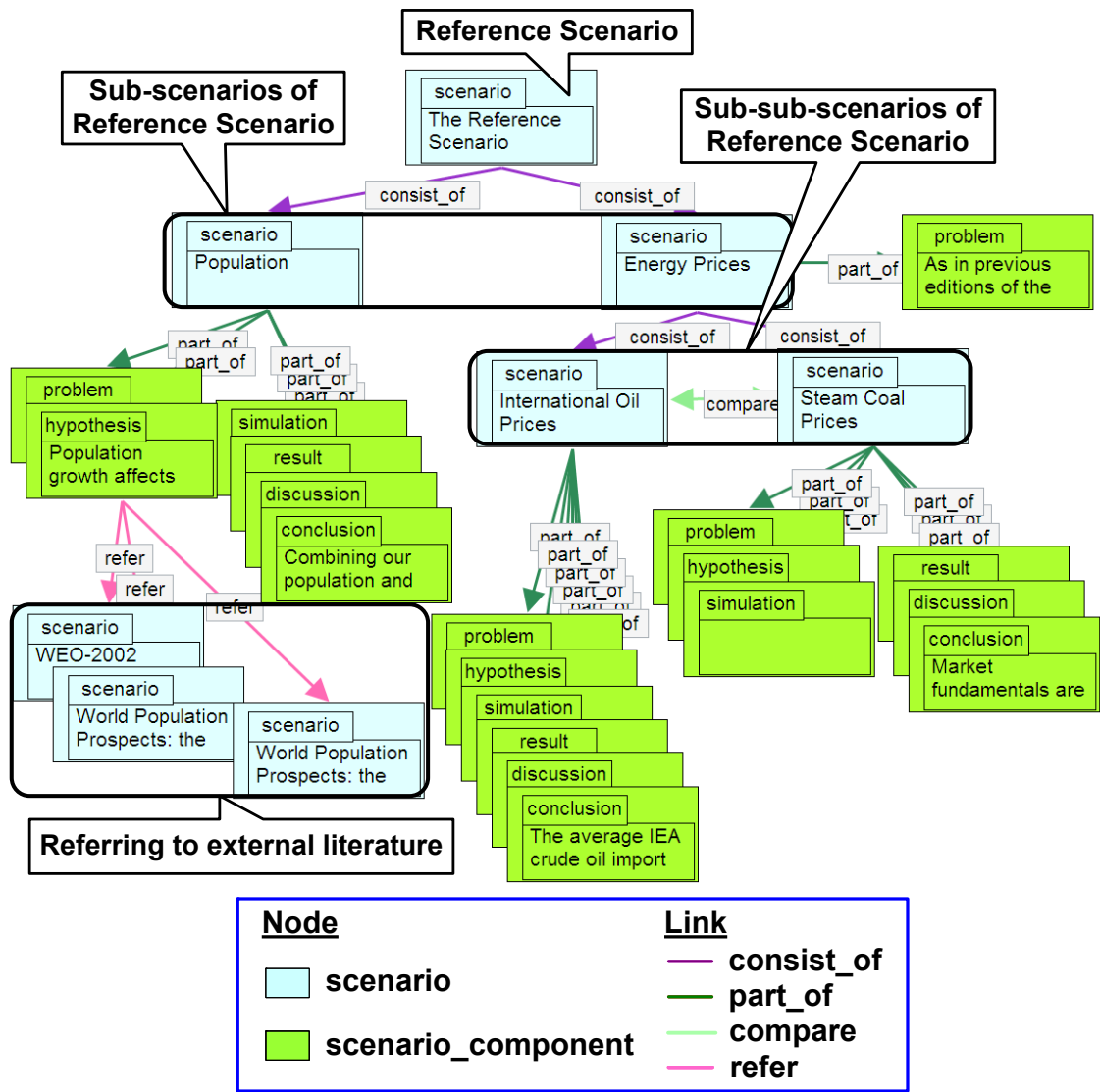


図 4.2.2: Reference Scenario に含まれるサブシナリオの一部

### 4.3 Expression Level

4.1 節で述べたように、Expression Level ではシナリオ文章の論理構造を理解するために、主語と動詞からなる節 (clause) の間の論理構造を表現する。Expression Level には、表 4.3.1 に示すように 7 種類のノードと 7 種類のリンクを定義する。

表 4.3.1: Expression Level のノードとリンクの定義

	Type	Definition
Node	problem	A motive for creating a scenario, or a problem to be addressed in a scenario.
	conclusion	A conclusion of a scenario.
	literature	A report, an article, a book, another scenario, and other literature referred in a scenario.
	fact	A historical or scientific fact.
	hypothesis	A premise or a hypothesis introduced to a scenario.
	derived_fact	A consequence deduced from other nodes in a scenario. A “derived_fact” node derives from other nodes with “causality” links.
	action	A strategy, policy, or action, which is taken by stakeholders involved, such as private sector, government, and other individuals.
Link	paradox( $A, B$ )	The content of a node $A$ is inconsistent with that of a node $B$ .
	causality( $A, B$ )	A node $B$ is causally deduced from a node $A$ .
	logical_jump( $A, B$ )	A node $B$ is derived from a node $A$ with a leap of logic.
	equal( $A, B$ )	The content of a node $A$ is equal to that of a node $B$ .
	compare( $A, B$ )	A node $A$ is compared with a node $B$ .
	detail( $A, B$ )	A node $B$ is a detailed description of a node $A$ .
	refer( $A, B$ )	A node $A$ refers to a node $B$ . The type of node $B$ is limited to “literature” or “fact.”

#### 4.3.1 Expression Level ノードの定義

本研究では、4.2 節で述べたように、シナリオ文章の論理展開は(1) シナリオの問題設定 (problem), (2) シナリオの前提または仮定 (hypothesis), (3) シミュレーション結果 (result), (4) シナリオの考察 (discussion), (5) シナリオの結論 (conclusion), の 5 種類に分類する。このうち、(1) と(5)は表 4.3.1 の“problem”, “conclusion”ノードの集合としてそれぞれ表現する。残りの(2)~(4)に対しては、問題設定と結論の間の論理展開を表現するために“literature”, “fact”, “hypothesis”,

“derived\_fact”, “action”の5種類のノードを定義する。これら5種類の Expression Level ノードは、シナリオの合理的な記述のために表 4.3.2 に示すように次の2つの基準に従って分類する。

- 仮定と事実の区別
- 外因性と内因性の区別

それぞれの区別の意義と、5種類の各ノードの定義は以下のとおりである。

表 4.3.2: Expression Level ノードの分類

	<i>Hypothesis</i>	<i>Fact</i>
<i>Exogenous</i>	literature	
	hypothesis	fact
	derived_fact	
<i>Endogenous</i>	action	

- 仮定と事実の区別

シナリオの論理展開を記述するために重要な軸のひとつが、仮定と事実の区別である。この区別は、2.3 節に示した評価基準のうち信ぴょう性 (credibility) の判断のために重要である。本研究では、表 4.3.2 に示すように事実を表現するノードとして“fact”，仮定を表現するノードとして“hypothesis”，“derived\_fact”，“action”の3種類を定義する。“literature”ノードが表す参考文献には、一般に事実と仮定の両方の記述が含まれるため、“literature”は事実と仮定の両方の要素を含むノードと考える。ノードの信ぴょう性を表現するために、これらのノードのに対して真理値を割り当てると、“fact”ノードの値は真（常に正しい）であるのに対して、それ以外の4種類のノード (“hypothesis”，“derived\_fact”，“action”，“literature”) の値は必ずしも真とは限らない。これら4種類のノードの真理値は、読み手がノードの意味に基づいてその真偽を判断する必要がある。

ここで、持続可能社会シナリオの特徴のひとつは参考文献を多用することであり (2.1.2 節参照)，“literature”ノードはシナリオ記述の根拠として何らかの外部文献を利用していることを明確化する。図 4.3.1 に、WEO2004 の Reference Scenario[73]を構造化したときに現れる“literature”ノードの例を示す。ここでは、国連の人口予測という外部文献を参照することによって、Reference Scenario では人口増加が鈍化していくという仮定を置いている。



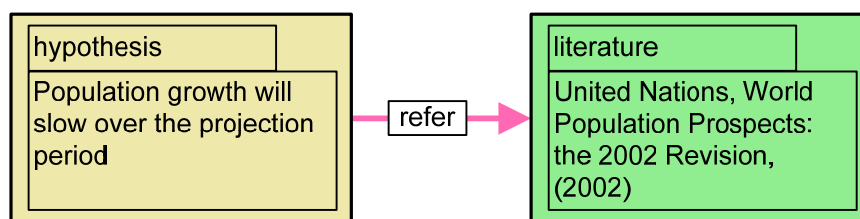


図 4.3.1: “literature”ノードの例

- 外因性と内因性の区別

シナリオの論理展開を理解するためのもうひとつの軸として外因的 (exogenous) と内因的 (endogenous) の区別を導入する. この軸によって, ある仮定がシナリオ内のステークホルダー (企業, 政府, 個人など) にとって選択可能な戦略, 政策, 行動か (内因的か), そうでないか (外因的か) を区別する. 表 4.3.2 に示す仮定のカテゴリの中で内因的な, すなわち主役となるステークホルダーが選択可能な戦略, 政策, 行動に対応する概念を“action”ノードとして表現する. 一般に, 持続可能社会シナリオは将来のために選択すべき戦略, 政策, 行動を決定するためのツールとして利用されるため, それらの戦略などを“action”ノードとして明確化することで, 意思決定を手助けすることができる. 例えば, 自動車会社が将来の戦略として 1 人乗りの電気自動車を開発する場合, その戦略と結果は図 4.3.2 のように表現する. この例では, 導出した結果が「最大 30%の自転車ユーザーが, 1 人乗りの電気自動車を購入する可能性がある」であり, 想定した戦略との間に論理的な飛躍があることから 2 個のノードは“logical\_jump”リンクにより接続している.

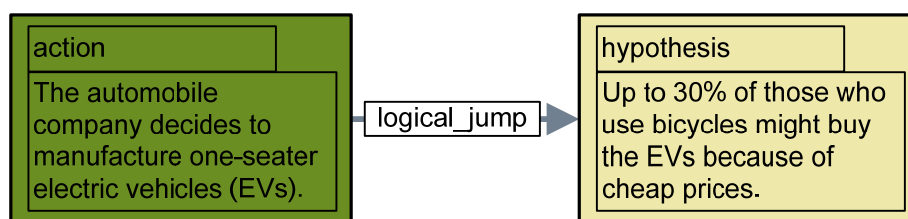


図 4.3.2: “action”ノードの例

その一方で, 表 4.3.2 の事実のカテゴリは将来の戦略策定と関係がないため, 特に外因的と内因的の区別はせずに, ともに“fact”ノードにより表現する. ここで, 内因的な事実は, シナリオ内のステークホルダーが過去に選択した戦略や政策を表す.

外因的な仮定には, “hypothesis”と“derived\_fact”という 2 種類のノードを定義する. 特に, “derived\_fact”ノードは他のノードから因果関係を表す“causality”リンクを用いて導出される記述であり, その真理値は導出元のノードの真理値に依存して決まるものとする. この意味で, “derived\_fact”はシナリオ内で前提や仮定として置かれる“hypothesis”や, 常に真理値を真として扱

う“fact”とは区別する。

図 4.3.3 に、WEO 2004 の Reference Scenario[73]の論理構造に現れる“derived\_fact”ノードの例を示す。ここでは、「現在利用されているエネルギー消費型の資本ストックは、徐々に置き換えられていく」という仮定から因果関係に基づいて、「技術開発の影響の大部分は、見通し期間の終盤になるまで顕在化しない」という結果を“derived\_fact”ノードとして導いている。この例では、資本ストックに関する置換速度が遅いことの本質が“derived\_fact”ノードの本質と一致する。

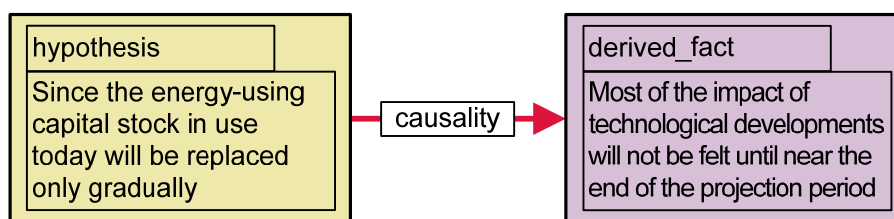


図 4.3.3: “derived\_fact”ノードの例

#### 4.3.2 Expression Level リンクの定義

Expression Level のリンクとしては、表 4.3.3 に示すように導出関係を持つ 4 種類のリンクと、導出関係を持たない 3 種類のリンクを定義する。ここで導出関係を持つリンクとは、接続される 2 個のノード A, B に対して、ノードが表す意味的な面でどちらかのノードからもう一方のノードを導出するものである。Scenario Level と同様に、リンク(A, B)は始点ノード A から終点ノード B の片方向リンクである。ただし、“compare”、“equal”と“paradox”では、リンク(A, B)において接続される 2 個のノード A, B の間に方向性がないため双方向リンクとする。これらのリンクはそれぞれ、2 個のノード間の比較、等価、矛盾の関係を表現する。

導出関係を持つ 4 種類のリンクは、さらに論理的な関係を表現する“causality”と、論理的に弱い関係を表現する“logical\_jump”、“detail”、“refer”に分類する<sup>1</sup>。4.1 節で述べたように、持続可能社会シナリオには論理的な部分とそうでない部分が混在しているため、それらを区別することはシナリオを理解するために不可欠である。本研究では、論理的な関係とは、リンクで接続される 2 個のノード間で真理値が保存される関係であると定義する。逆に、論理的に弱い関係を表す“logical\_jump”、“detail”、“refer”では、2 個のノード間の真理値は保存されないものと定義する。

<sup>1</sup> 論理的に弱い (logically weak) 導出関係には、非論理的な (illogical) 導出関係の概念も包含する。ただし、「非論理的」には不合理という意味合いがあり、表現として強すぎるために、ここでは“logical\_jump”、“detail”、“refer”を「論理的に弱い」導出関係と表現する。

表 4.3.3: Expression Level リンクの種類

<i>Links to semantically extend a node to another node</i>		<i>Links not to semantically extend a node to another node</i>
<i>Logical</i>	<i>Logically weak</i>	
causality	logical_jump detail refer	compare equal paradox

論理的な導出関係を表現する“causality”リンクの定義は以下のとおりである。

- “causality”リンク

causality(A, B)リンクは、図 4.3.3 で示したように 2 つの事象 A, B 間における因果的な関係を表す (図 4.3.4 参照)。この例では、“hypothesis”の記述が真であれば“derived\_fact”ノードの記述も真となる。逆に、“hypothesis”の記述が偽であれば、“derived\_fact”ノードの記述も偽である。

causality(A, B)

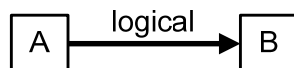


図 4.3.4: “causality”の定義

一方で、“logical\_jump”、“detail”と“refer”リンクは論理的に弱い導出関係を表現する。各リンクの定義は以下のとおりである。

- “logical\_jump”リンク

logical\_jump(A, B)リンクは、ノード A の記述から論理的飛躍によってノード B を導出する関係を表現する。WEO 2004 の Reference Scenario[73]から抽出した例を図 4.3.5 に示す。この例では、2 つの仮定から論理的な飛躍によって 1 つの結論を導いている。すなわち、「電力とガス市場の改革は前進するが、その改革速度は国によって異なる」、「エネルギー貿易の自由化と、エネルギーの補助金に関する改革も進展するだろう」という仮定から、「これらの政策は、OECD 諸国で最も着実に実行される」という結論を得ている。この結論を得るためには OECD 諸国と他の国々間の比較がされていると考えられるが、その記述が明示されていない。論理的飛躍は、このように暗黙的な前提を利用した導出関係を表す。

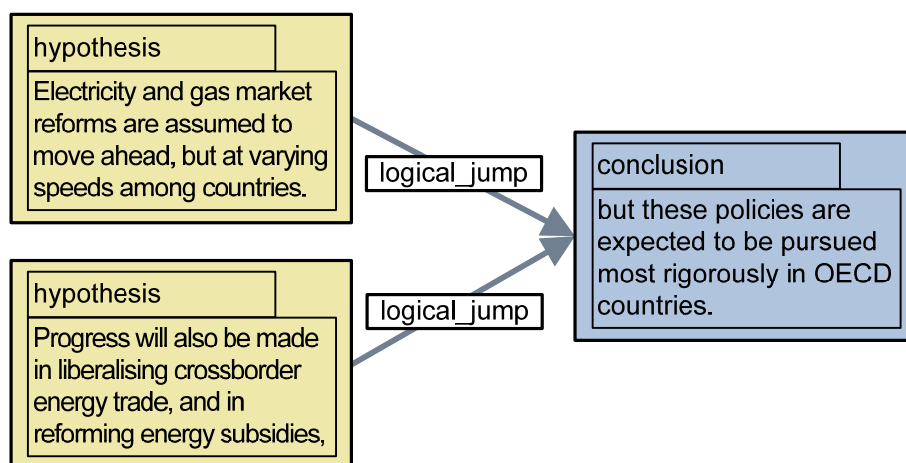


図 4.3.5: “logical\_jump”リンクの例

- “detail”リンク

detail(A, B)リンクは、ノード A がノード B に向かって詳細化または定量化される関係を表現する。WEO 2004 の Reference Scenario[73]から抽出した例を図 4.3.6 に示す。この例では、「今後 20 年間にわたり、GDP の成長率が全地域で次第に減速していく」という仮定を詳細化して、「成長率は 2002 年～2010 年の 3.7%から、2020 年代には 2.7%に落ち込む」という仮定を導出している。

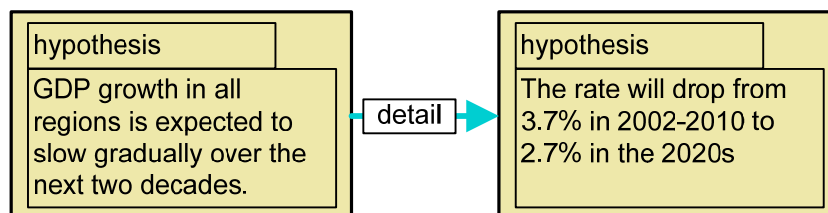


図 4.3.6: “detail”リンクの例

- “refer”リンク

refer(A, B)リンクは、ノード A がノード B を参照する関係を表現する。“refer”リンクは、シナリオ記述の根拠として、外部の文献や事実といったシナリオの外部で定められる情報を参照していることを明確化する。この明確化のために、本研究では refer(A, B)のノード B は“literature”または“fact”ノードに限定する (図 4.3.7 参照)。図 4.3.1 の例では、ノード A が“hypothesis”, ノード B が“literature”であり、参考文献の記述をもとに仮定が導出される関係を表している。ただし、“refer(A, B)”はノード B の記述からノード A の記述を導出するという関係を表すことから、ノード間の意味的な方向はノード B からノード A であり、元々の定義による表記上の矢印の向き (図 4.3.7 参照) とは逆になる点に注意が必要である。

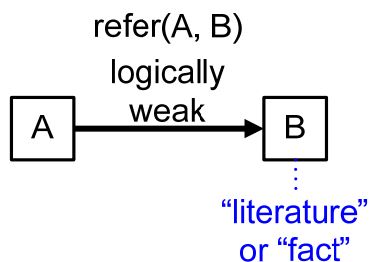


図 4.3.7: “refer”リンクの定義

以上で示した“logical\_jump”と“detail”リンクの違いは、図 4.3.8 に示すように2個のノードが持つ意味の相対的な関係である。“detail”リンクは導出元から導出先のノードに向かって記述を詳細化するのに対して、“logical\_jump”リンクは詳細化せずに新たな情報を導出する。この点で、“logical\_jump”リンクよりも“detail(A, B)”リンクの方が、接続されたノード A とノード B の間の意味の関連性が強いといえる。逆に、“logical\_jump(A, B)”リンクの場合、ノード A とノード B の間の意味の関連性は相対的に弱い。このように、意味の観点からノード間の関連性を区別することも、読み手がシナリオを合理的に理解するための手助けとなるだろう。“refer”リンクは、シナリオ外部の情報を参照することによって新たな情報を導出する点が“logical\_jump”および“detail”リンクと異なる（図 4.3.9 参照）。逆に、“logical\_jump”、“detail”リンクはシナリオの内部で設定された問題や仮定から、新たな仮定や結論を導出する場合に用いる。

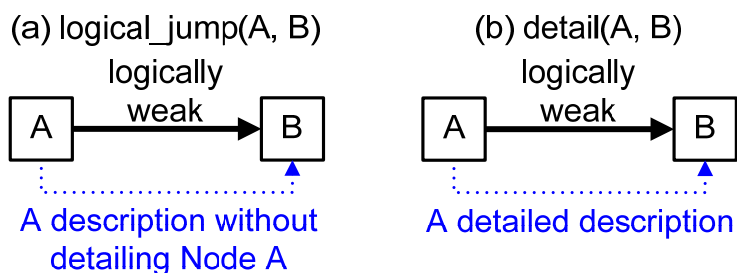


図 4.3.8: “logical\_jump”と“detail”リンクの違い

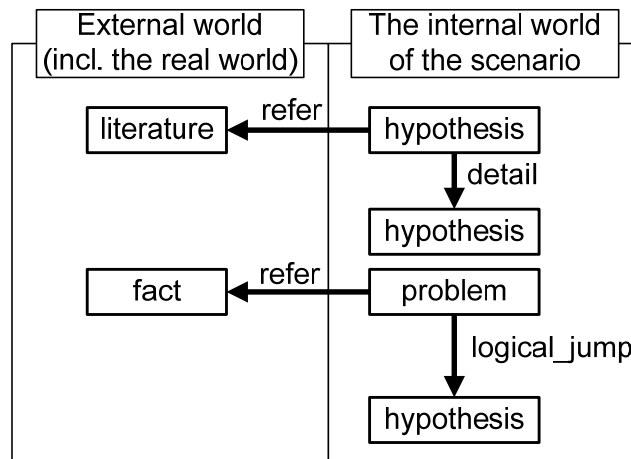


図 4.3.9: “refer”リンクと“logical\_jump”, “detail”リンクの違い

表 4.3.3 に示した 7 種類のリンク(A, B)を論理性的観点から区別すると, 接続された 2 つのノード A, B 間で論理的な真理値が保持されるものは“causality”と“equal”のみである. それ以外のリンクで接続されるノード間では真理値は保存されず, すなわち論理的な演算を行うことはできない. 本研究では, リンクと真理値の関係をシナリオの論理構造分析のために利用する. 論理構造分析手法の詳細は第 6 章で述べる.

### 4.4 Data Level

Data Level では、持続可能社会シナリオの記述の根拠として利用されるシミュレーション部分をモデル化する。一般にシナリオのシミュレーションに関しては、シミュレータの入力データがシナリオの記述によって決定され、結果として得られるシミュレータの出力結果がシナリオ上に記載される。このことから、Data Level ではシナリオのシミュレーション部分を、シナリオの記述に利用されるシミュレータとシミュレータの入出力データ間の関係として表現する。この関係は、図 4.4.1 に示すように、大きく分けてシミュレータ、入力データ、出力データという3つの要素を導入することによって表現する。そのために、Data Level では表 4.4.1 に示す4種類のノードと2種類のリンクを定義する。ノードとリンクの定義の詳細を、それぞれ以下に述べる。

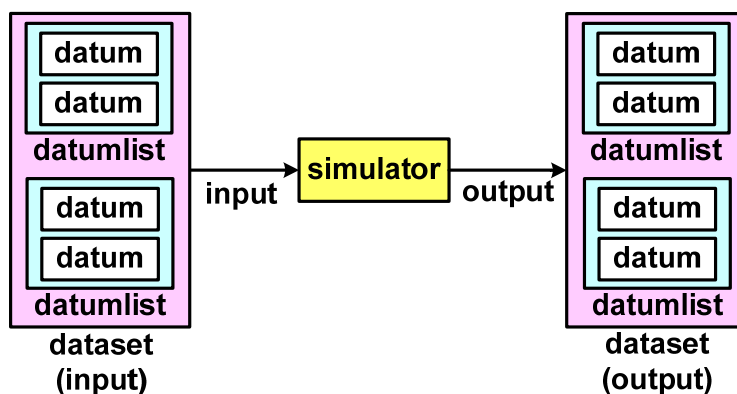


図 4.4.1: シミュレータの入出力データのモデル化

表 4.4.1: Data Level のノードとリンクの定義

Type		Definition
Node	simulator	A simulator used for describing a scenario.
	dataset	A set of input or output data of a simulator, represented as a sequence of “datulist” nodes.
	datulist	A set of “datum” nodes at a given time in a time series.
	datum	Each individual input or output data, consisting of three elements: “label,” “value,” and “unit.”
Link	input( <i>A</i> , <i>B</i> )	The data of a node <i>A</i> (“dataset”) is inputted into a node <i>B</i> (“simulator”).
	output( <i>A</i> , <i>B</i> )	The output data of a node <i>B</i> (“dataset”) is outputted from a node <i>A</i> (“simulator”).

#### 4.4.1 Data Level ノードの定義

シミュレータと入出力データの関係を表現するために、シミュレータを表す要素として“simulator”，入出力データを表す要素として“dataset”，“datumlist”，“datum”の 3 種類のノードを定義する (図 4.4.1 参照). 3.5 節で述べたように、本研究ではシミュレータを Simulator Database に格納して再利用可能とするために、“simulator”ノードに対して表 4.4.2 に示す 2 種類の属性を持たせる. これらの属性により、Simulator Database 上でシミュレータの検索を可能とする. Simulator Database の詳細は第 5 章で述べる.

表 4.4.2: “simulator”ノードの属性

<i>Attribute</i>	<i>Definition</i>
ID	The ID number of a simulator.
Simulator name	The name of a simulator.

表 4.4.3: 日本の二酸化炭素排出量の推移[74]

<i>Year</i>	<i>CO2 emissions (million tons-CO2eq)</i>	<i>CO2 per Capita (tons-CO2eq/person)</i>	<i>Year</i>	<i>CO2 emissions (million tons-CO2eq)</i>	<i>CO2 per Capita (tons-CO2eq/person)</i>
1990	1,143	9.25	2000	1,254	9.88
1991	1,153	9.29	2001	1,238	9.73
1992	1,161	9.33	2002	1,276	10.01
1993	1,154	9.25	2003	1,282	10.04
1994	1,213	9.70	2004	1,281	10.04
1995	1,226	9.77	2005	1,286	10.06
1996	1,239	9.84	2006	1,267	9.91
1997	1,235	9.79	2007	1,301	10.18
1998	1,199	9.48	2008	1,214	9.51
1999	1,234	9.74			

“dataset”，“datumlist”，“datum”ノードはそれぞれ、シミュレータに入力 (出力) されるデータの集合、時系列データのある時間におけるデータ一組、個々のデータを表す. 日本の二酸化炭素排出量データ (表 4.4.3 参照) を構造化したときの例を図 4.4.2 に示す. この例では、“dataset”は「1990～2008 年の CO2 排出量の総量と一人当たり CO2 排出量の時系列」，“datumlist”は「1990 年の CO2 排出量 11 億トン、一人当たり CO2 排出量 9.25 トン」，“datum”は「年: 1990 (-)」や「CO2



排出量: 11 (億トン)」を表す. 図 4.4.2 に示すように, “dataset”, “datumlist”, “datum”は階層関係を構成し, “datum”は, データ名, 値, 単位 (例えば, CO2 排出量, 11, 億トン) の3つの属性から構成する.

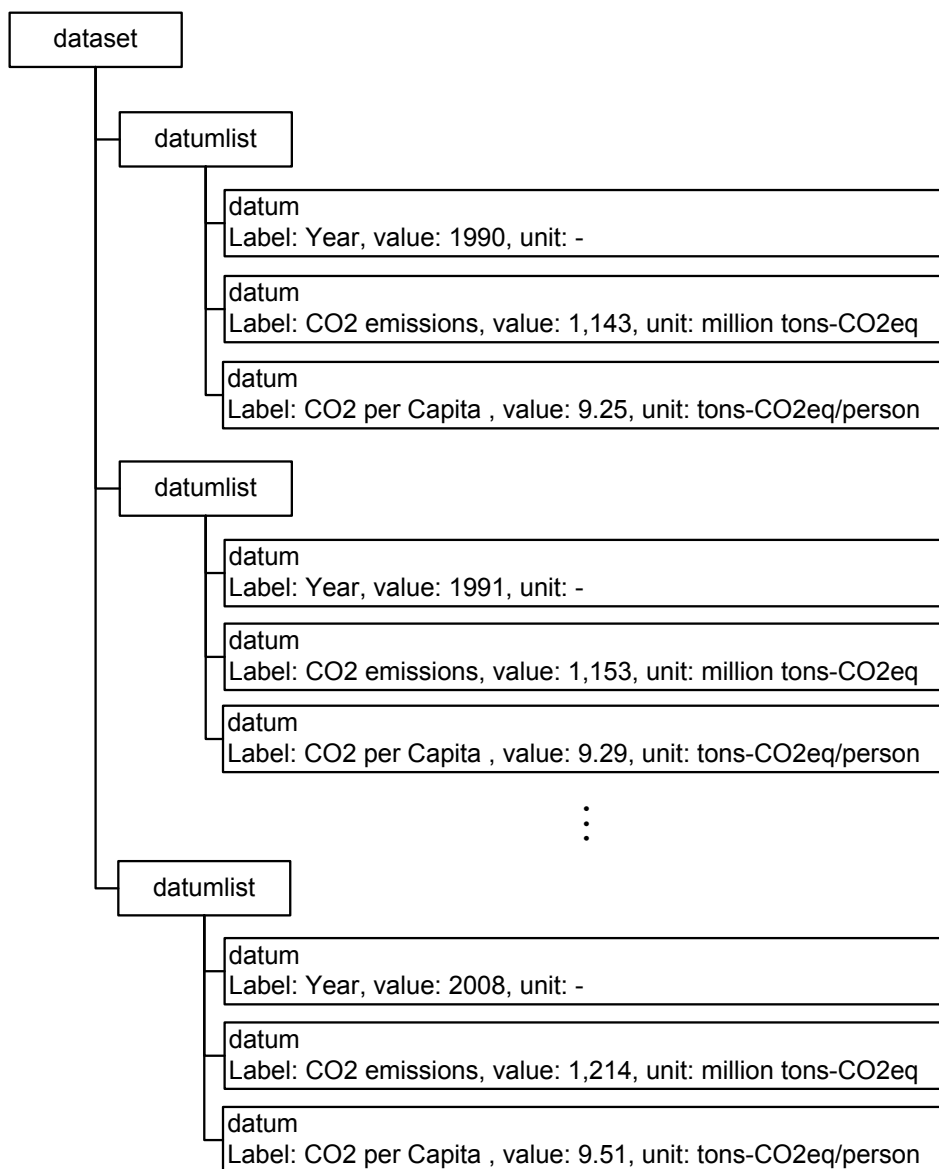


図 4.4.2: シミュレータの入出力データの構造化

#### 4.4.2 Data Level リンクの定義

リンク(A, B) は始点ノード A から終点ノード B への片方向リンクである. “input”, “output”リンクは, それぞれデータとシミュレータ間の入力または出力の関係を表現する (図 4.4.1 参照). 本研究では, “input”, “output”リンクで接続される関係は論理的な関係であると定義する. すなわち, Expressin Level リンク (4.3.2 節参照) で定義した“causality”, “equal”リンクと同様に, シミュレータ

の入力データと出力データの間では、真理値が保存されると考える。この理由は、シミュレータに埋め込まれている数理モデルによって、入力データと出力データが論理的に整合していると考えられるからである。

## 4.5 レベル間の関係

本節では、4.2～4.4 節で定義した 3 つの各レベル間の関係を定義する。以下では、(1) Expression Level と Data Level 間の関係、(2) Scenario Level と Expression Level および Scenario Level と Data Level の関係をそれぞれ定義する。

### 4.5.1 Expression Level と Data Level の関係

シナリオの文章とシミュレーション部分の関係を明示的に記述するために、Expression Level と Data Level の間を接続する 3 種類のリンクを図 4.5.1 のように定義する。それぞれのリンク(A, B) は、ノード A と B の意味づけが異なり両者は交換可能でないため、ノード A からノード B に向かう片方向リンクである。

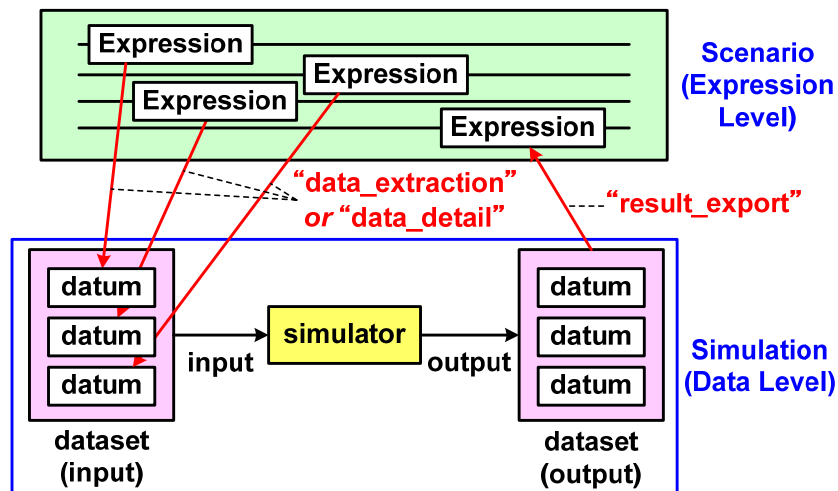


図 4.5.1: シナリオ文章とシミュレータの関係づけ

表 4.5.1: Expression Level と Data Level 間のリンク

Type	Definition
$data\_extraction(A, B)$	Input data described in a node $A$ (Expression Level) is extracted and transferred to a node $B$ (“datum”).
$data\_detail(A, B)$	A description of a node $A$ (Expression Level) is quantified as input data, which is represented as a node $B$ (“datum”).
$result\_export(A, B)$	Output data of a node $A$ (“dataset”) is exported to a node $B$ (Expression Level).

持続可能社会シナリオでは、経験的にすべての入力データがシナリオ上で明示的に記述されるわけではないため、その区別のためにシナリオ文章とシミュレータの個々の入力データの間を 2 種類のリンク (“data\_extraction”または“data\_detail”) により表す。つまり、“data\_extraction”はシナリオ文章上に入力データ明示される場合、“data\_detail”はシナリオの文章から入力データが非明示的に定量化される場合に用いる。これらのリンク(A, B) において、ノード A はシナリオの記述を表す Expression Level のノード、ノード B はシミュレータの個々の入力データを表す Data Level の “datum”ノードとする (表 4.5.1 参照)。

その一方で“result\_export”リンクは、出力データがシナリオ上でシミュレーション結果が引用されている関係を表す。経験的に、シナリオの文章上ではシミュレータの個々の出力データが言及されるよりもむしろ、一連の時系列データがグラフや表形式で記述されることが多い。そのため、“result\_export(A, B)”のノード B は Data Level の “dataset”ノードと定義する (表 4.5.1 参照)。これは、“data\_extraction”, “data\_detail”の接続先が“datum”ノードを対象としていた点と異なる。ただし、ノード A は同様に、シナリオの記述を表す Expression Level のノードである。

例として、図 4.5.2 に CO2 Emissions Scenarios in Japan のサブシナリオである A1-Reference Scenario[77]を構造化したときの、Expression Level と Data Level の関係を示す。A1-Reference Scenario[77]は IPCC の A1 シナリオ[9]と関連したシナリオであり、日本の経済が世界の市場原理システムにシフトすると想定した場合の日本における CO2 排出量を見積もっている。このサブシナリオでは、シナリオの記述を根拠付けるために、AIM/Enduse [Japan] Modelを用いたシミュレーションが行われている。

図 4.5.2 において、シミュレータの入力データの集合(I)にはガソリン価格や天然ガスの価格が含まれており、それらの値の設定に関連しているシナリオ文章のうち、仮定(II)は“data\_detail”で、仮定(III)は“data\_extraction”でそれぞれ接続されている。仮定(II)の記述は“In the energy industry, price competition will intensify in line with reductions in the cost of electricity following deregulation.”であり、この記述を定量化することによって、入力データ(I)のエネルギー価格が定められている。その一方で、仮定(III)は表 4.5.2 に示すひとつの表全体であり、ここに明示されている入力データの値が、入力データ(I)で使われている。このように、シナリオの文章にはすべての入力データの値が明示的に記述されているわけではなく、“data\_detail”と“data\_extraction”の 2 種類のリンクはどのような入力データの値が明示的に決定されているか、または暗黙的に決定されているかを区別する。シナリオとシミュレータの出力データ間の関係を表す“result\_export”リンクは、シミュレータの出力データ(IV)に基づいて、シナリオ文章中で図 4.5.3 の結果(V)が提示されている関係を表している。

表 4.5.1 の 3 種類のリンクを論理性的観点から区別すると、“data\_extraction”で接続されたシナリ

オの記述は入力データそのものを含むため、Expression LevelのノードとData Levelの“datum”ノードで表される入力データの間には論理的な関係、すなわち論理的な真理値が保存される関係があると解釈することができる。その一方で、“data\_detail”リンクで接続された Expression Level のノードには入力データの値が含まれず、その値は暗黙的に決定されるため、“data\_detail”リンクは論理的に弱い関係、すなわち論理的な真理値が保存されない関係と定義する。また、“result\_export”で接続されたシナリオの記述は出力データを含むため、“data\_extraction”と同様に、シナリオの記述を表す Expression Level のノード (例えば、図 4.5.2 のノード(V)) と出力データを表す Data Level の “dataset”ノード(IV) の間では真理値が保存されていると解釈できる。意味的には、出力データを表す“dataset”ノードがシミュレーション結果を表す Expression Level のノードを導出するため、その Expression Level のノードは必ず“derived\_fact”ノードに分類する。これらの論理性と表 4.5.1 で定義した3種類のリンクの関係は、シナリオの論理構造分析に利用する (第6章参照)。

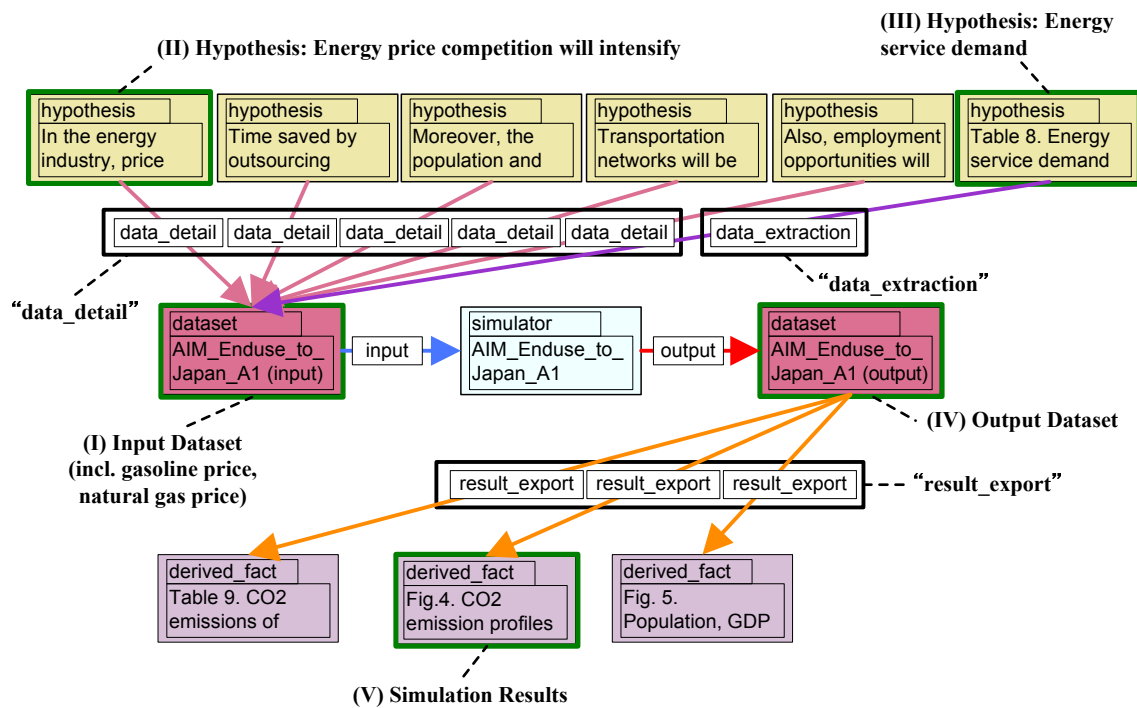


図 4.5.2: A1-Reference Scenario の Expression Level と Data Level の関係づけ

表 4.5.2: A1 シナリオに対するシミュレーション入力条件[77]

Category	Item	Unit	Value	
			2010	2020
General	Economic growth rate	%/year	2.1	1.9
	Population	million	127	123.6
Industrial	Crude steel	10,000t	8,887	7,886
	Cement	10,000t	8,398	8,667
	Ethylene	10,000t	668	616
	Paper and paperboards	10,000t	3,052	2,891
Residential	Share of tertiary industry	%	65.9	68.0
	Households	million	49.6	50.0
	Heating service per household	(2000=100)	100	101
	Cooling service per household	(2000=100)	145	145
	Information appliances per household	(2000=100)	128	154
Commercial	Fuel cell cogeneration	million kW	0	0.5
	Floor space	million m <sup>2</sup>	1,804	1,957
Transportation	Fuel cell cogeneration	million kW	0	0.5
	Passenger transportation	million pass.-km	1,387	1,402
	Fuel cell vehicles	%	0	0
	Freight transportation	million t-km	593	660
Power generation	Nuclear power plants	MW	53,248	53,819

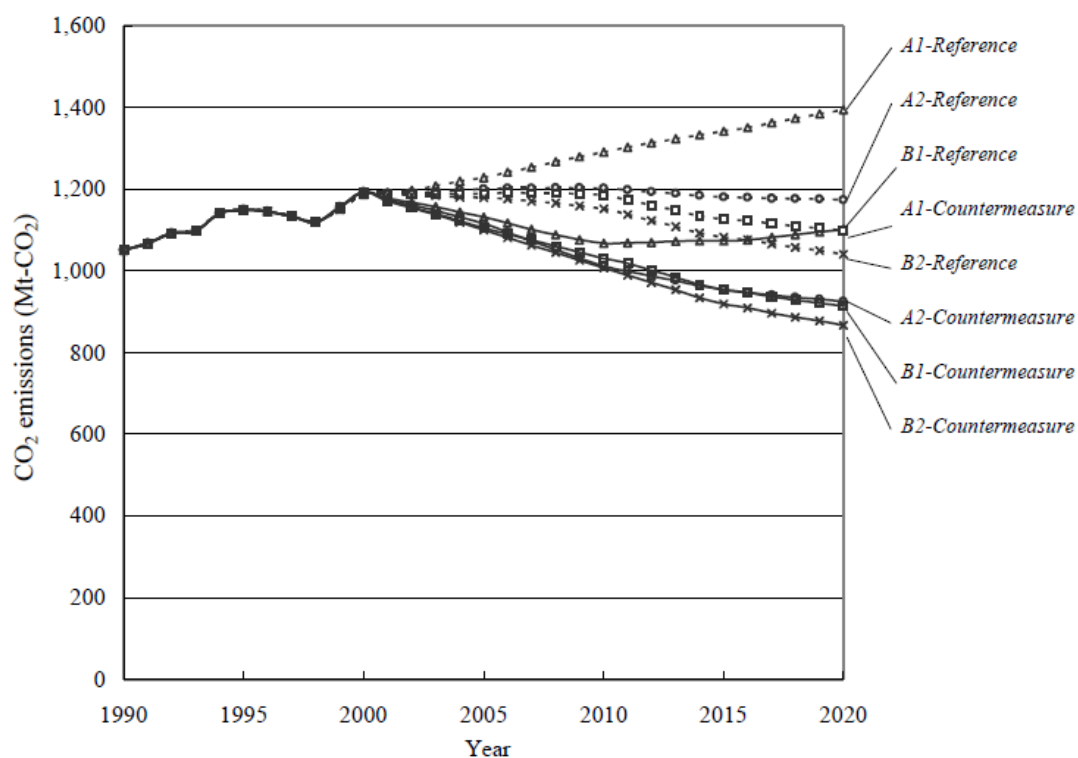


図 4.5.3: CO2 排出量に関するシミュレーション結果[77]

## 4.5.2 Scenario Level と Expression/Data Level の関係

Scenario Level と Expression/Data Level の間の関係づけの目的は、Expression Level と Data Level の論理構造に基づいて、持続可能社会シナリオを6種類 (problem, hypothesis, simulation, result, discussion, conclusion) の“scenario\_component”ノードに分類することである。ただし、分類する対象のシナリオの単位は1本のサブシナリオとする。これは1個の“scenario”ノードに相当し、p. 57の図 4.2.1の例でいえばサブシナリオ A またはサブシナリオ B に相当する。この分類によって、図 4.5.4 に示すようにシナリオを意味のかたまりで区切って理解することが可能となる。

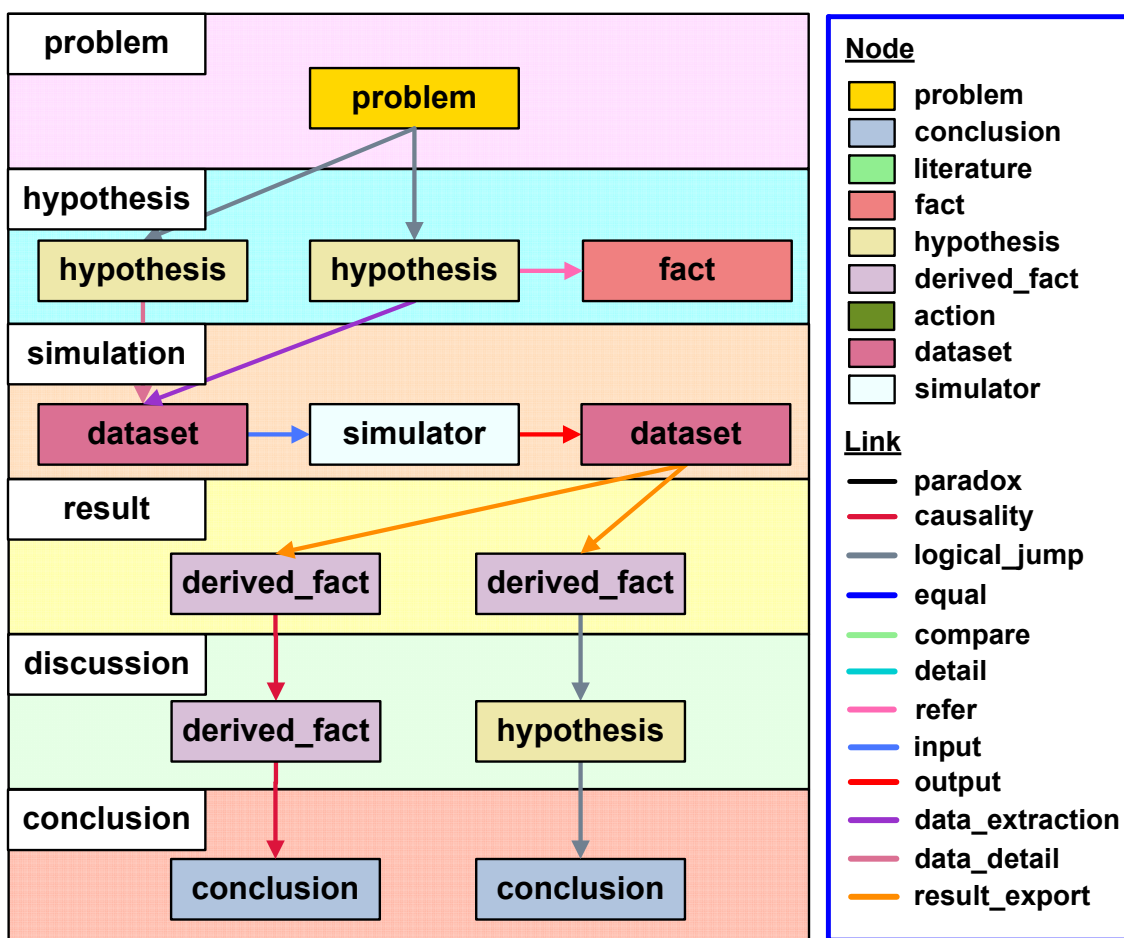


図 4.5.4: Scenario Level と Expression/Data Level の関係づけ

サブシナリオを6種類の“scenario\_component”ノードに分類するためのアルゴリズムを、既存の持続可能社会シナリオを Expression Level および Data Level で構造化した結果に基づいて抽出する。その結果として得られたアルゴリズムを図 4.5.5 に示す。このアルゴリズムに沿って“scenario\_component”ノードと、Expression Level または Data Level のノードを関係づける。これらのノード間の関係づけには、表 4.5.3 に定義する“include”リンクを用いる。

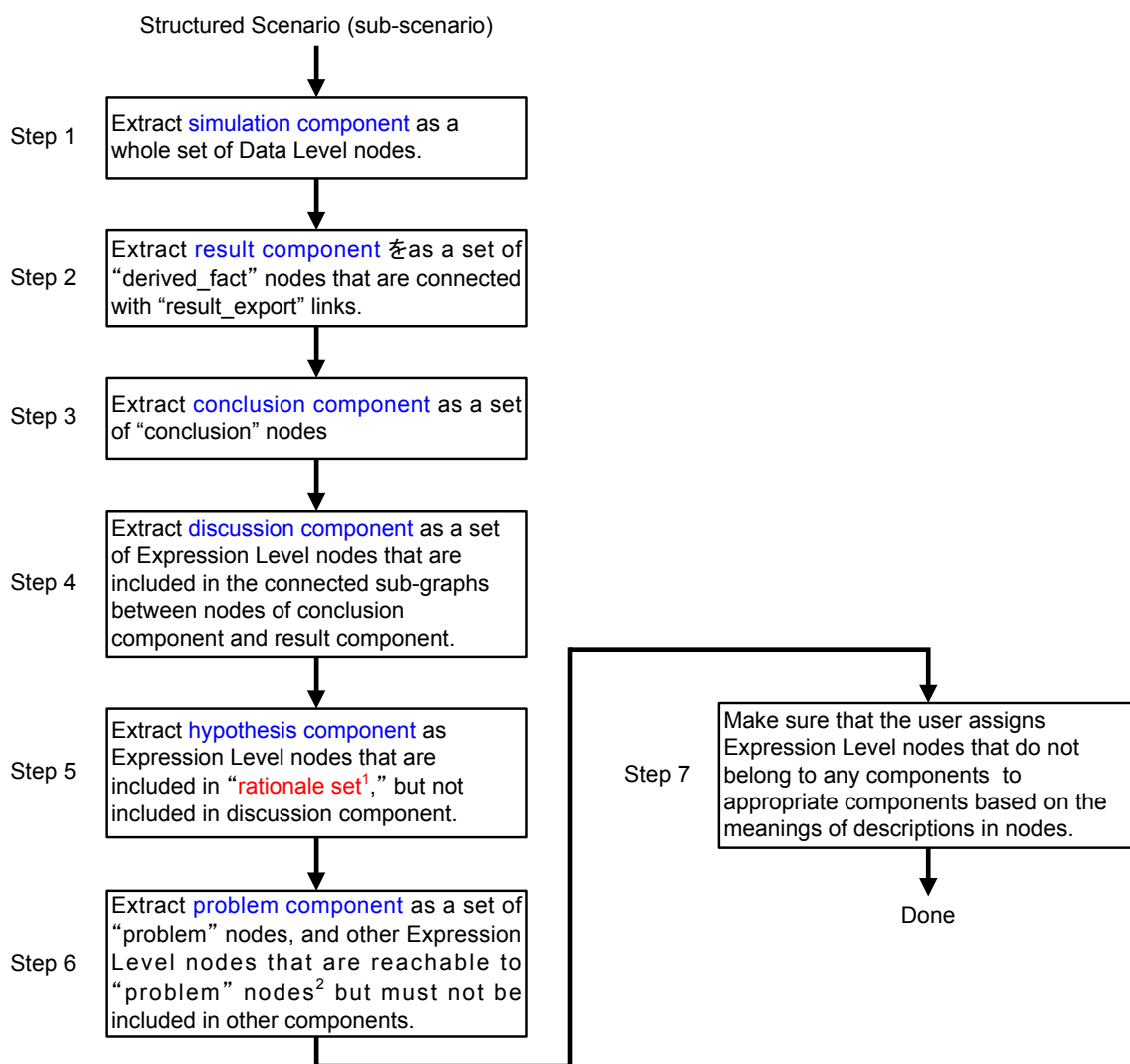


図 4.5.5: Expression/Data Level の分類アルゴリズム

表 4.5.3: Scenario Level と Expression/Data Level 間のリンク

<i>Type</i>	<i>Definition</i>
include( $A, B$ )	A "scenario_component" node $A$ includes a node $B$ in Expression or Data Level.

<sup>1</sup> 「根拠集合」は、サブシナリオに含まれる“conclusion”ノード (Expression Level) を導出する役割を持つ Expression Level のノード集合と定義する。根拠集合は、6.2 節で定式化する。

<sup>2</sup> “problem”ノードに到達可能な (reachable) Expression Level のノードとは、“problem”ノードを直接的または間接的に導出するノードである。さらに、それらのノードと意味的に等しいノード (“equal”リンクで接続されるノード) も含める。本研究では、導出関係は表 4.3.3 に示す 4 種類のリンク (“causality”, “refer”, “logical\_jump”, “detail”) のいずれかにより表現する。



図 4.5.5 の分類アルゴリズムを CO2 Emissions Scenarios in Japan の A1-Reference Scenario[77] に適用したときの結果を図 4.5.6, 図 4.5.7 に示す. ここで, 図 4.5.6 は分類アルゴリズム (図 4.5.5 参照) の 7 つのステップのうち 1~6 目のステップに基づいてコンポーネントを機械的に分類した結果であり, 図 4.5.7 はさらに 7 目のステップ (どのコンポーネントにも属していないノードを筆者が意味に基づいて分類する) を実行した結果である. (A)~(E) の各ブロックは, “scenario\_component” ノードの problem, hypothesis, simulation, result, conclusion にそれぞれ対応する. 図 4.5.6 と図 4.5.7 の比較からわかるように, この例ではブロック(A)において“hypothesis” ノード(a) のみ筆者が意味に基づいて problem コンポーネントに分類したが, それ以外の(B)~(E) のブロックは, Expression Level と Data Level の論理構造に基づいて機械的に分類した.

ここで, ノード(a)は“From these results, consideration was given to the causal relationship between Japan’s growth pattern and the significance of measures to control greenhouse gases.”であり, この記述が図 4.5.6 でシナリオの問題設定を表すノード(b)“The authors also estimated Japan’s future CO2 emissions for each narrative scenario using the AIM/Enduse [Japan] model.”から論理的飛躍により導出されている. この関係から, ノード(a)はシナリオ全体の見通しを語ったものであり, シナリオの問題設定に関わる problem コンポーネントに属すると判断した.

結果として, A1-Reference Scenario に含まれる Expression Level と Data Level の合計ノードに対して 97% (37 個のうち 36 個) のノードを機械的にいずれかのコンポーネントに分類することができた. なお, ここで例として取り上げた A1-Reference Scenario には, discussion を表す “scenario\_component” ノードと “include” リンクで関連づけられる Expression Level のノードは存在しない.

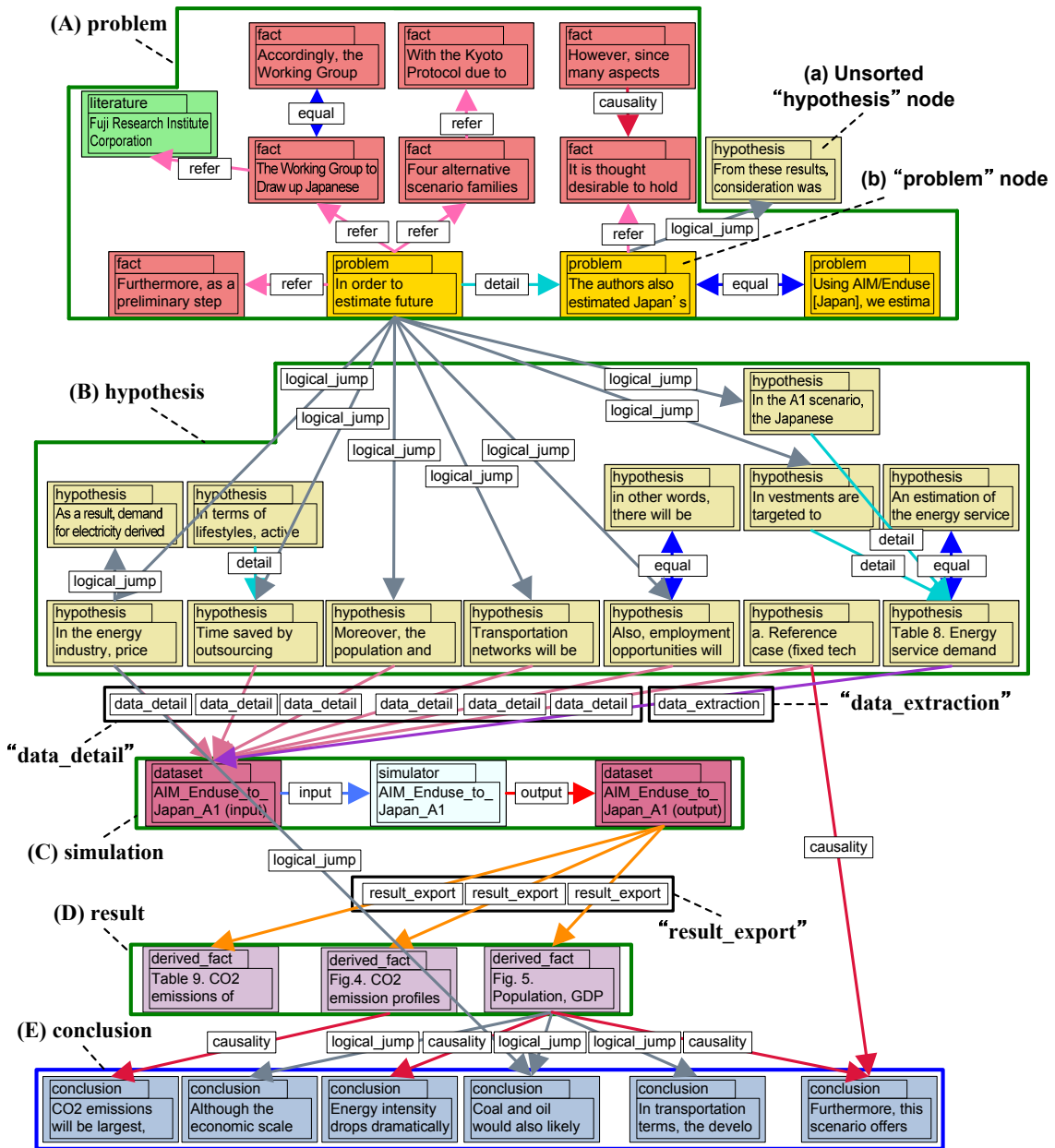


図 4.5.6: A1-Reference Scenario における Expression/Data Level の分類(1)

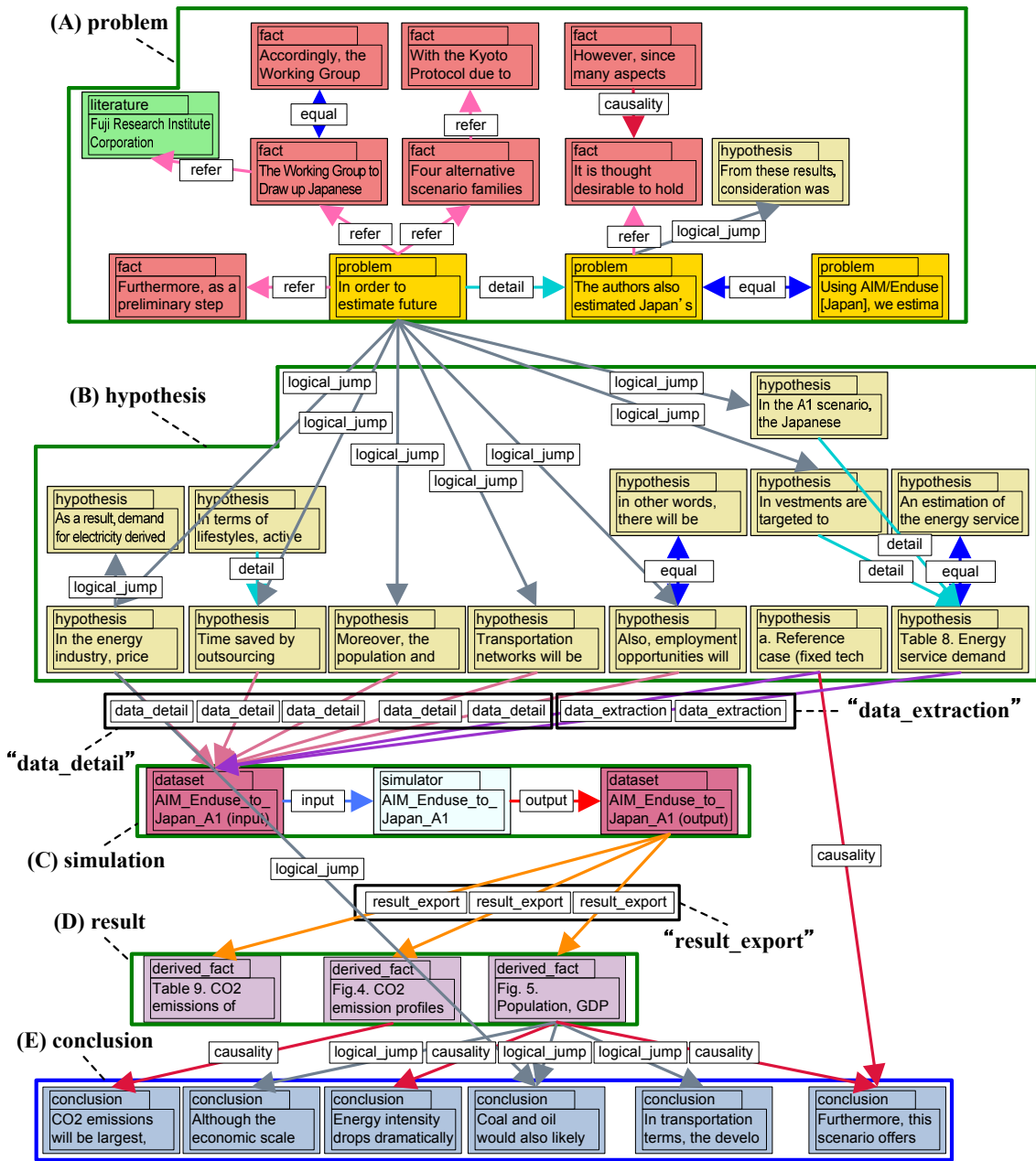


図 4.5.7: A1-Reference Scenario における Expression/Data Level の分類(2)

## 4.6 シナリオ構造記述支援システム

前節までで述べた持続可能社会シナリオの構造的記述法の有効性を検証するために、シナリオの構造化を支援するシステムとして「シナリオ構造記述支援システム」を構築する。このシステムは、シナリオを計算機上で表現するためのものであり、3S Simulator (図 3.4.2 参照) の基幹をなすものである。本節では、実行例を通してシナリオ構造化手法とシステムの両方について有効性を検証し、それと同時に問題点を抽出する。

### 4.6.1 システムの実現方法

シナリオ構造記述支援システムの要求機能は以下の 2 つである。

- ユーザによる持続可能社会シナリオの構造化を支援する。すなわち、ユーザがシナリオの Scenario, Expression, Data Level とそれらの間の関係をそれぞれ構造的に記述することを支援する。
- 構造化したシナリオをユーザが理解しやすい形式で表示する。

ひとつめの機能を実現するために、本研究ではシナリオの論理構造に関する情報を、文書に様々な情報を属性として持たせることができる XML (eXtensible Markup Language)[78] を用いて記述する。すなわち、4.2～4.5 節で定義したノードとリンクの種類を XML タグとして付与することによって、シナリオ文章、シミュレータの入出力データをそれぞれ構造化する。ふたつめの機能は、構造化したシナリオをグラフとして表示することによって実現する。なお、シナリオ構造記述支援システムを含めて 3S Simulator の開発言語には Visual C#を用いる。

### 4.6.2 システム構成

シナリオ構造記述支援システムは、図 4.6.1 に示すようにシナリオ構造化支援ツールとシナリオ視覚化ツールという 2 つのツールから構成する。各ツールの機能は以下のとおりである。

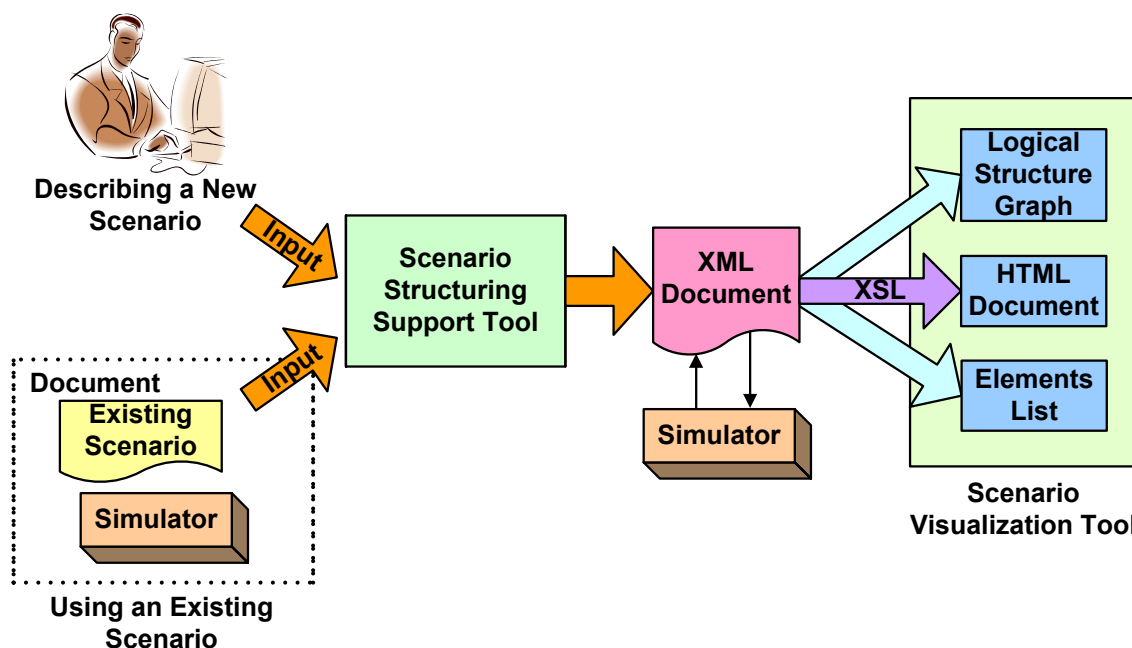


図 4.6.1: シナリオ構造記述支援システムの構成

- シナリオ構造化支援ツール

シナリオ構造化支援ツールには、以下の3つの機能を持たせる。

1. 元々のシナリオ文章に対して、シナリオの構造情報として Scenario Level および Expression Level のノードとリンクの種類を表す XML タグをユーザが付加することによって、シナリオ文章の構造化を支援する。
2. 4.4 節で定義した Data Level のノードとリンクに基づいて、ユーザがシミュレータの入出力データを図 4.4.2 に示すような形式で構造化することを支援する。ただし、入出力データを作成するためには、その前段階でシミュレータを再利用可能とする必要があり、この機能は図 3.5.1 に示した Dataset Manager と Simulator Database によって実現する[79]。Dataset Manager と Simulator Database についての詳細は第 5 章で述べる。
3. Scenario Level の“scenario\_component”ノードと、Expression Level のノードおよび Data Level のノードの関係づけをそれぞれ支援する。

シナリオを構造化するとき、Expression Level のノードの種類を決定する操作はユーザがシナリオ構造化支援ツール上で行い (例は図 4.6.3 参照)、Scenario Level のノードとリンクの作成、Expression Level のリンクの作成、レベル間リンクの作成はユーザがシナリオ視覚化ツールの論理構造グラフ上で行う。Data Level のノードとリンクは、ユーザが Dataset Manager と Simulator

Database を操作することによって、シナリオ構造化支援ツールが自動的に作成する。

- シナリオ視覚化ツール

シナリオ視覚化ツールは、シナリオ論理構造の表示および論理構造の構成要素を分析可能とするために、論理構造グラフ、HTML 文書、要素リストの生成という 3 つのサブツールから構成する。論理構造グラフは、ノードとリンクの関係に基づいて、シナリオをグラフとして表現する。HTML 文書は、シナリオ文章をノードの種類に応じて色分けされた状態で表示する。XML 形式で表される構造化シナリオから HTML 文書への変換には、XSL (eXtensible Stylesheet Language)[78] を用いる。この表示により、ユーザが元のシナリオ文章とタグ付け情報の対応関係を理解しやすくする。要素リストは、構造化されたシナリオからノードとリンクをそれぞれの種類ごとに抽出するツールであり、シナリオの論理構造の分析を支援する。

#### 4.6.3 シナリオ構造化の手順

既存のあるサブシナリオがシミュレータを利用して記述されているとき、サブシナリオを Scenario, Expression, Data Level で構造化する手順は以下のとおりである。

1. サブシナリオの基本構造を Scenario Level で記述する。ここでは、ユーザが論理構造グラフ上でサブシナリオ全体を表す“scenario”ノードを作成し、そのノードの属性としてシナリオ名を記入する (表 4.2.2 参照)。さらに、シナリオ構造化支援ツールが“scenario”ノードの構成要素として 6 種類の“scenario\_component”ノード (problem, hypothesis, simulation, result, discussion, conclusion) を作成する。
2. ユーザがサブシナリオの文章を Expression Level で構造化する。すなわち、シナリオ構造化支援ツール上でシナリオ文章の節ごとにユーザが Expression Level のノードを決定するとともに、論理構造グラフ上で Expression Level のリンクを決定する。
3. ユーザが Dataset Manager と Simulator Database を利用してシミュレータとその入出力データの間関係を定義することによって、シナリオ構造化支援ツールが Data Level におけるノードとリンクを作成する。ユーザがシミュレータの入出力データを設定する操作と並行して、シナリオの記述と入出力データの間関係を明確化するために、ユーザが論理構造グラフ上で Expression と Data Level 間のリンクを決定する (詳細は 5.4 節参照)。
4. 図 4.5.5 の分類アルゴリズムに基づいて、システムがサブシナリオを構成する Expression Level と Data Level のノードを“scenario\_component”ノードのいずれかに分類する。その後、ユーザがシステムによって分類されなかった Expression Level と Data Level のノードを、それらの

意味に基づいて“scenario\_component”ノードのいずれかに分類する。

なお、シミュレータを利用していないサブシナリオを構造化する場合は、上記手順のうち手順 2 の全部と、手順 3 の Expression と Data Level 間のリンク付けをスキップする。

#### 4.6.4 実行例

システムの有効性を検証するために、4.6.2 節で述べたシナリオ構造化支援ツール、因果ネットワーク構築ツールとシナリオ視覚化ツールを既存のシナリオに適用したときの実行例を示す。ここでは、既存のシナリオである CO2 Emissions Scenarios in Japan の A1-Reference Scenario[77]をシナリオ構造化支援ツールにより構造化する例を示す。A1-Reference Scenario では、記述を根拠付けるために AIM/Enduse [Japan] というシミュレーションモデルが利用されている。以下では、(1) 既存シナリオ (A1-Reference Scenario) の構造化、(2) シナリオ視覚化ツールの HTML 表示、(3) シナリオ視覚化ツールの要素リストの実行例をそれぞれ示す。

##### (1) 既存シナリオ (A1-Reference Scenario) の構造化

A1-Reference Scenario の構造化を 4.6.3 節の既存シナリオ構造化手順 1~4 に沿って実行する。

##### 1. Scenario Level のノードとリンクの作成

ユーザが、論理構造グラフ上でサブシナリオのタイトルとして“A1-Reference Scenario”と入力することにより、図 4.6.2 に示すようにシナリオ構造化支援ツールがそのタイトルを“scenario”ノードの属性として保持する。さらに、“scenario”ノードの下に、6 種類の“scenario\_component”ノードを作成する。図 4.6.2 において、水色の“scenario”ノードはサブシナリオ全体を表し、緑色の“scenario\_component”ノードはサブシナリオの構成要素を表す。

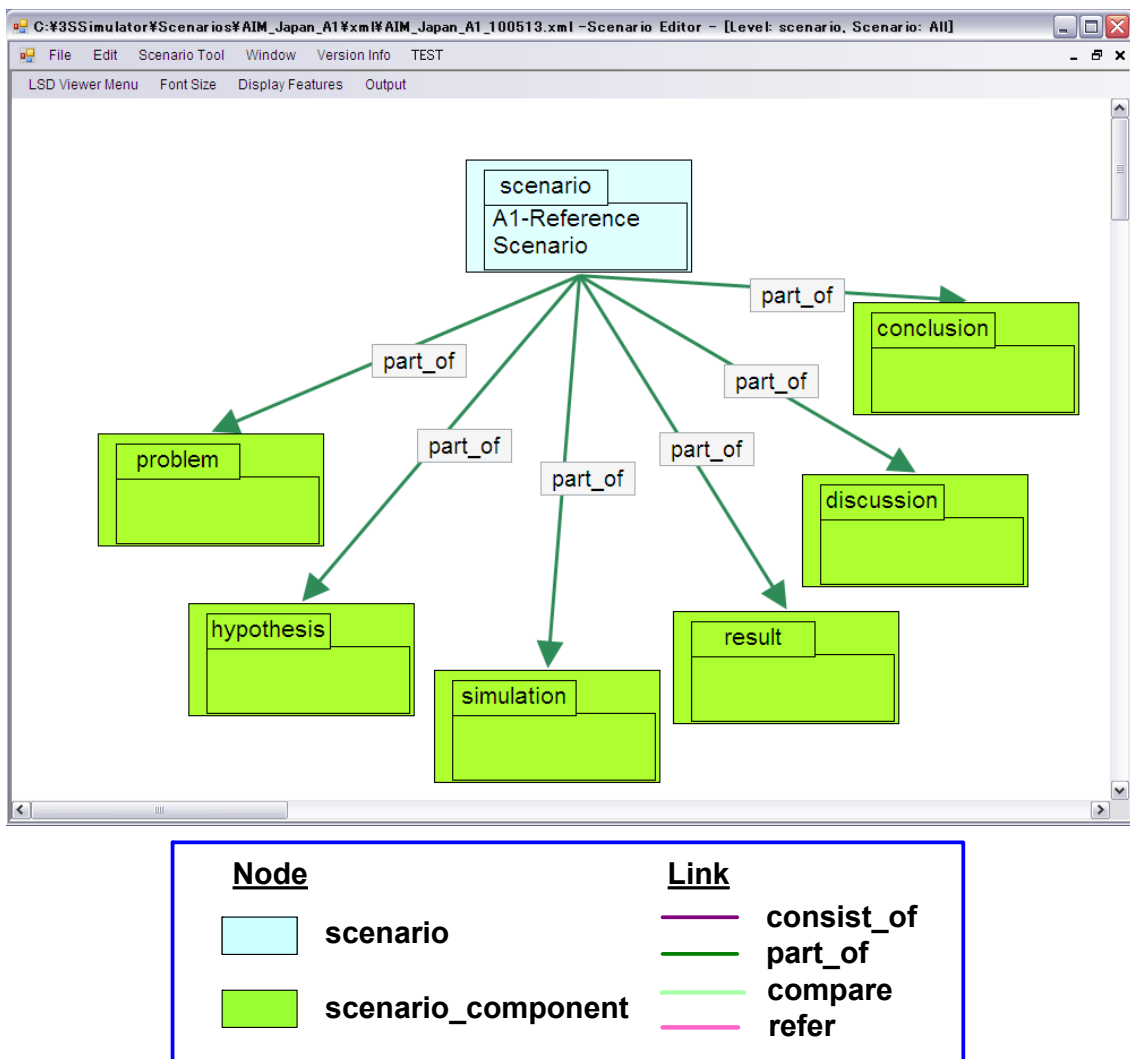


図 4.6.2: 論理構造グラフの実行例(1): Scenario Level

## 2. Expression Level のノードとリンクの作成

A1-Reference Scenario の Expression Level における構造化の結果として、シナリオ構造化支援ツールの実行画面を図 4.6.3 に示す。Expression Level では個々の節を XML のタグで囲むことによって、シナリオ文章を節単位で構造化する。シナリオを構造化する際には、ユーザが適切なノードの種類をツール上で選択する。構造化の結果、ノードの種類を XML タグの属性として保持させ、シナリオ構造化支援ツールがその種類に応じて色分けをする。例えば、図 4.6.3 の赤色の部分は、Expression Level で歴史的・科学的な事実を表す“fact”ノードを表している。その後、ユーザが Expression Level のノード間の関係を表すリンクを、論理構造グラフ上で作成する。



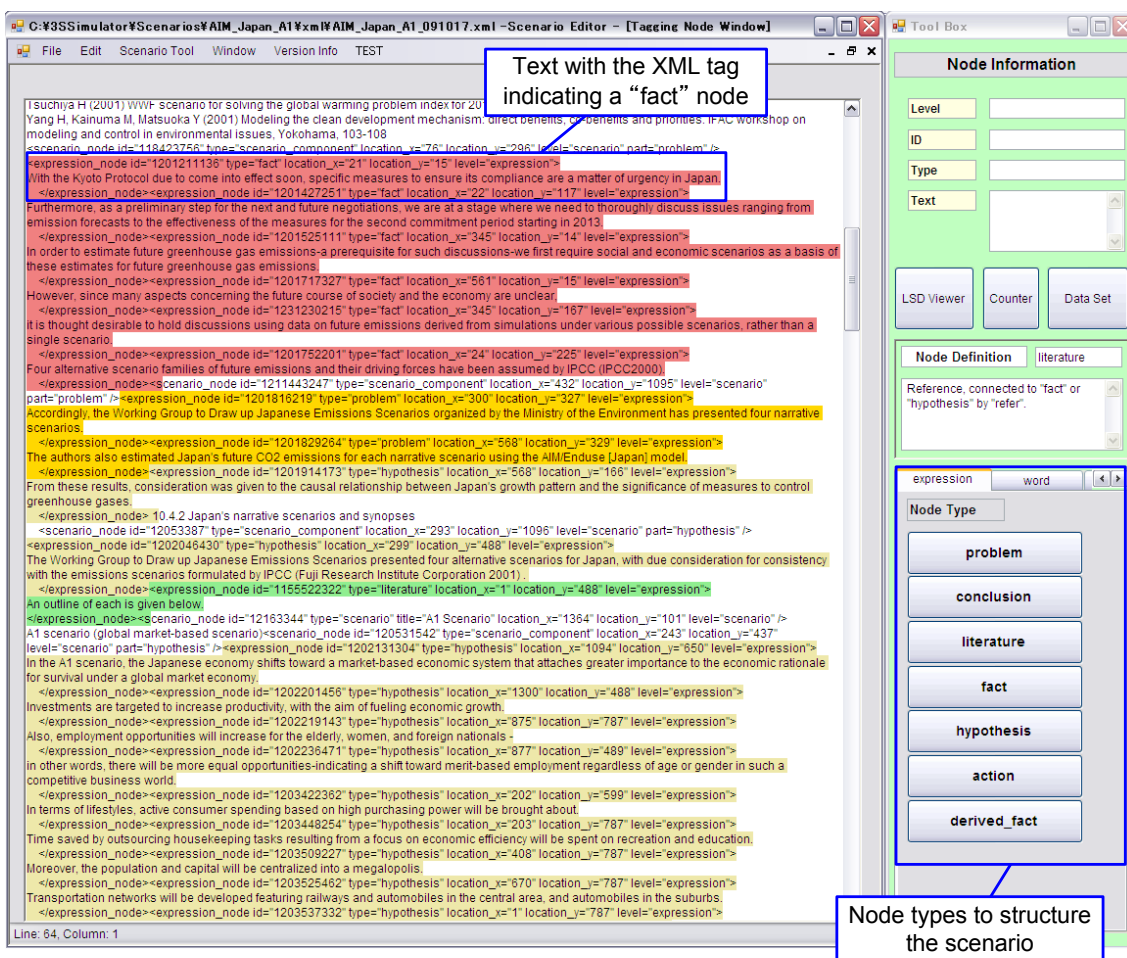


図 4.6.3: シナリオ構造化支援ツールの実行例(2): Expression Level

### 3. Data Level のノードとリンクの作成

Data Level において、シミュレータの入出力データを構造化するためには、ユーザが Dataset Manager と Simulator Database を用いて入出力データを設定し、Dataset Manager がそれらのデータを構造化してシナリオ構造化支援ツールに記述する (図 3.5.1 参照)。Dataset Manager と Simulator Database についての詳細は 5.3 節で述べる。入出力データの構造は、図 4.5.5 に示すような記述方法を実現するために、図 4.6.4 に示すように dataset, datumlist, datum を表す XML タグを入れ子構造とする。最終的に、論理構造グラフが“dataset”ノードと“simulator”ノードを図 4.6.5 のように作成する。ユーザが入出力データを設定するのと並行して、Expression Level と Data Level のノード間の関係を表すリンクを論理構造グラフ上で作成する。

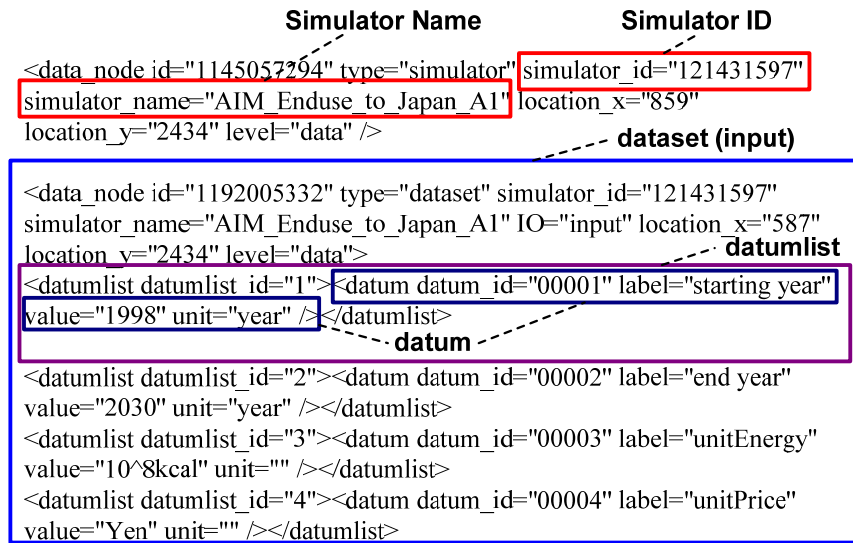


図 4.6.4: シナリオ構造化支援ツールの実行例(1): Data Level

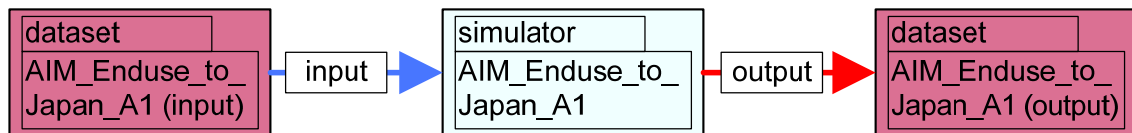


図 4.6.5: 論理構造グラフの実行例(2): Data Level

図 4.6.6 に、サブシナリオの Expression Level と Data Level の論理構造グラフを示す。ここで、Expression Level と Data Level の論理構造グラフを同じフィールド上で表現する理由は、本研究ではシナリオは叙述的な記述とシミュレーションの組み合わせによって表現されるという立場をとり、それらのシナリオの結論を導出するための役割を明確化することにある。図 4.6.6 のグラフからは、シナリオ文章として記述された複数の“hypothesis”ノードから、“data\_detail”または“data\_extraction”リンクを通してシミュレータの入力データ値が決定されていることがわかる。例えば、図 4.5.2 で述べたようにエネルギー価格が設定されている。シミュレーションの結果は、“result\_export”を通してシナリオ文章上でグラフ (図 4.5.3 で A1-Reference とラベル付けされた線) または表として表現され、その結果に基づいて複数の“conclusion”ノードが導出されている。このようにリンクで表されるノード間の関係をたどることによって、この実行例では、すべてのシナリオの結論はシミュレータの結果に基づいて導かれていることが明示される。

また、いくつかの結論は“logical\_jump”リンクで接続されていることからわかるように、論理的な飛躍とともに導出されている。さらに、シミュレータの入力データを設定するために用いられている前提条件 (例えば、エネルギー価格) を明示している。入力データがどのような前提に基づいて設定されているかを理解することは、シナリオの結論がもっともらしいかどうかを議論するために必要

不可欠である。

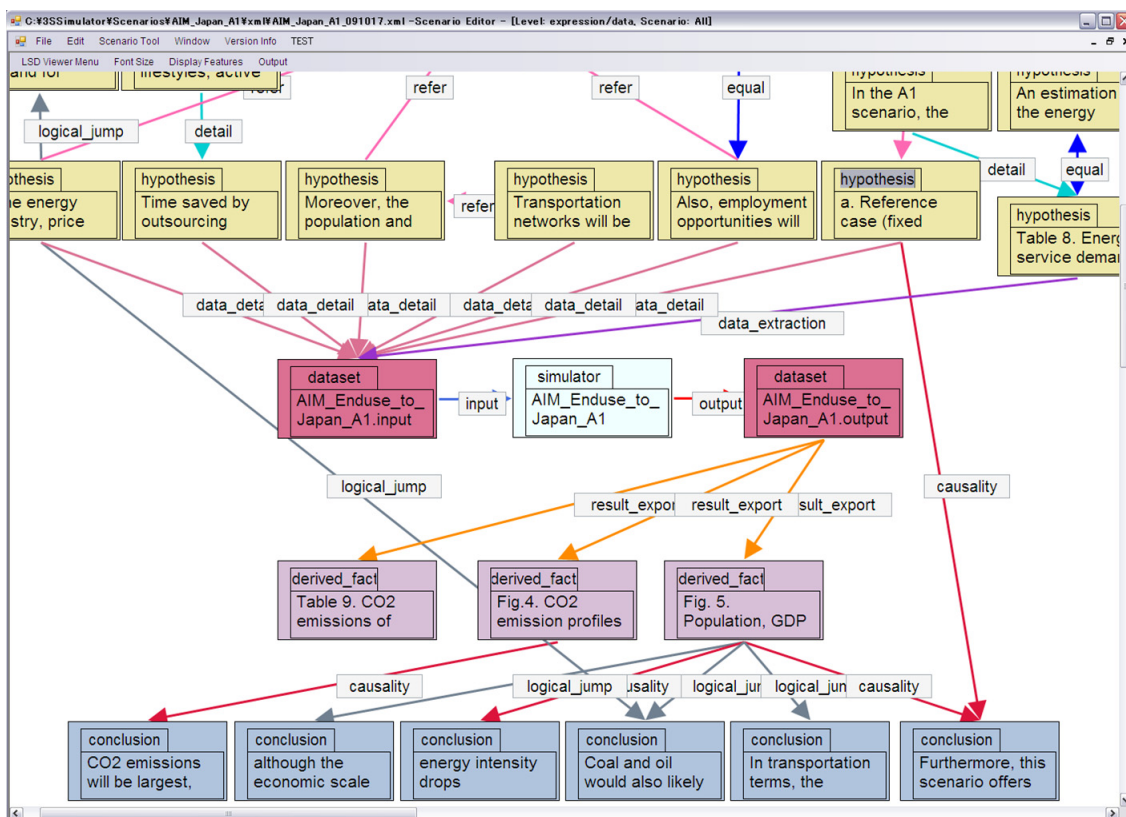


図 4.6.6: 論理構造グラフの実行例(3): Expression Level と Data Level

4. “scenario\_component”ノードへの分類

Scenario Level において、Expression Level ノードの“scenario\_component”ノードへの分類と“include”リンクによるそれらのノード間の関係づけは、シナリオ構造化支援ツールが図 4.5.5 のアルゴリズムに従って行う。A1-Reference Scenario[77]に分類アルゴリズムを適用した結果は 4.5.2 節で示したとおりであり、Scenario Level における論理構造グラフを図 4.6.7 に示す。ただし、A1-Reference Scenario の分類アルゴリズムを適用した結果によると、discussion の中身は空である。

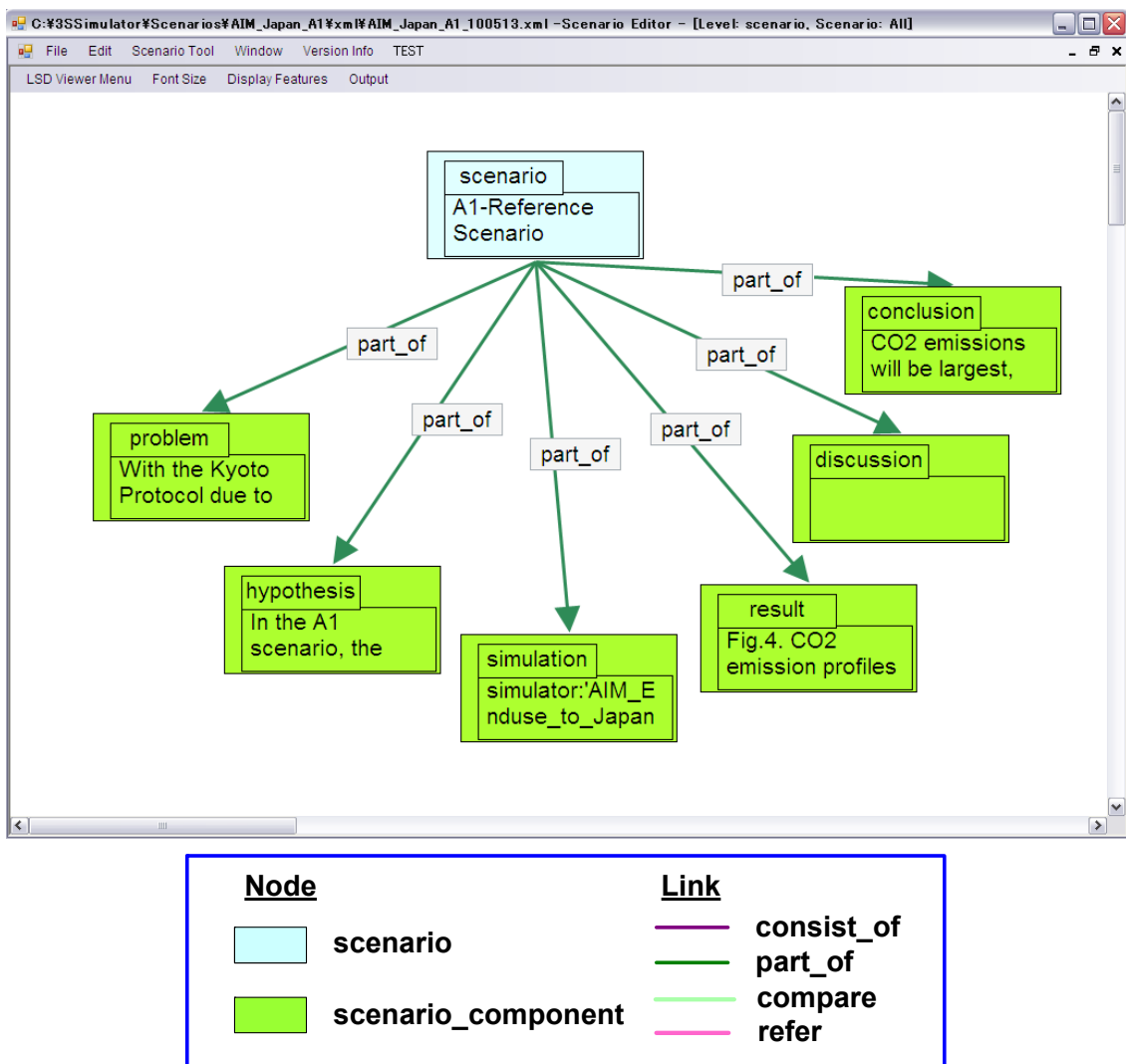


図 4.6.7: 論理構造グラフの実行例(4): “scenario\_component”ノードへの分類

## (2) シナリオ視覚化ツール: HTML 表示

A1-Reference Scenario[77]の Expression Level における構造化シナリオを HTML 表示したときの例を図 4.6.8 に示す. この表示では図 4.6.3 のように構造情報を表す XML タグがないために, ユーザーがより効果的にシナリオ文章とノードの種類 (“fact”, “hypothesis”など) の関係を理解することができる.

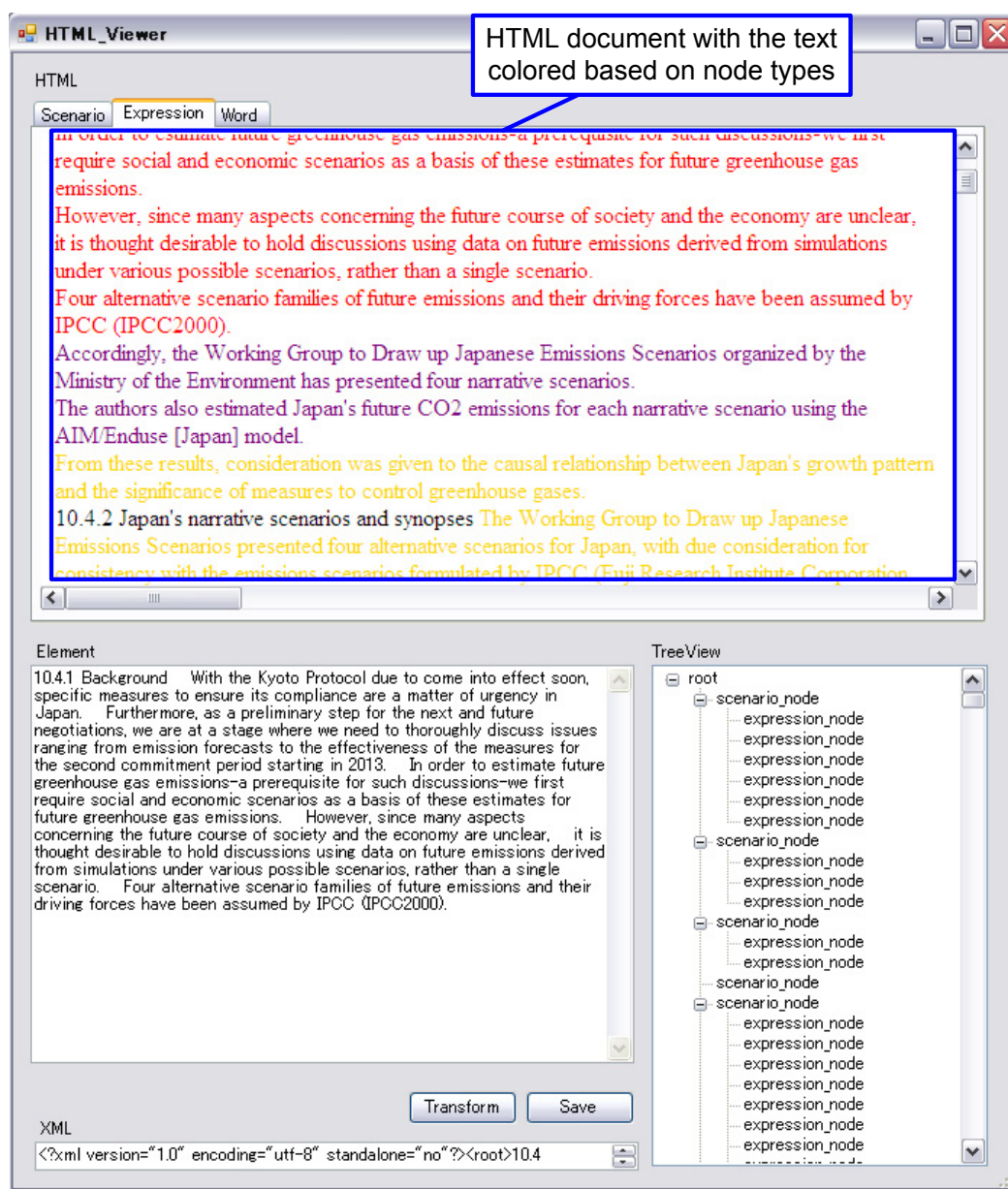


図 4.6.8: HTML 文書の表示例

### (3) シナリオ視覚化ツール: 要素リスト

要素リストの実行例として、A1-Reference Scenario[77]の構造化シナリオに対して、Scenario, Expression, Data Level のノードとリンクの種類をそれぞれカウントした結果を図 4.6.9 に示す。例えば、Expression Level のリンクでは、“causality”リンクが 32 本なのに対して“logical\_jump”, “detail”, “refer”リンクがそれぞれ 11, 25, 33 本含まれている。このシナリオにおける導出関係は、表 4.3.3 で定義した論理性の観点からいえば、論理的に弱い導出関係の割合が 68% (69/101) であり、論理的な導出関係の割合は相対的に少ないことがわかる。このように、要素リストはノードとリンクの種類

の個数に基づいてシナリオの論理構造における論理性を定量的に把握するのに役立つ。なお、シナリオ論理構造のより詳細な分析方法については第 6 章で提案する。

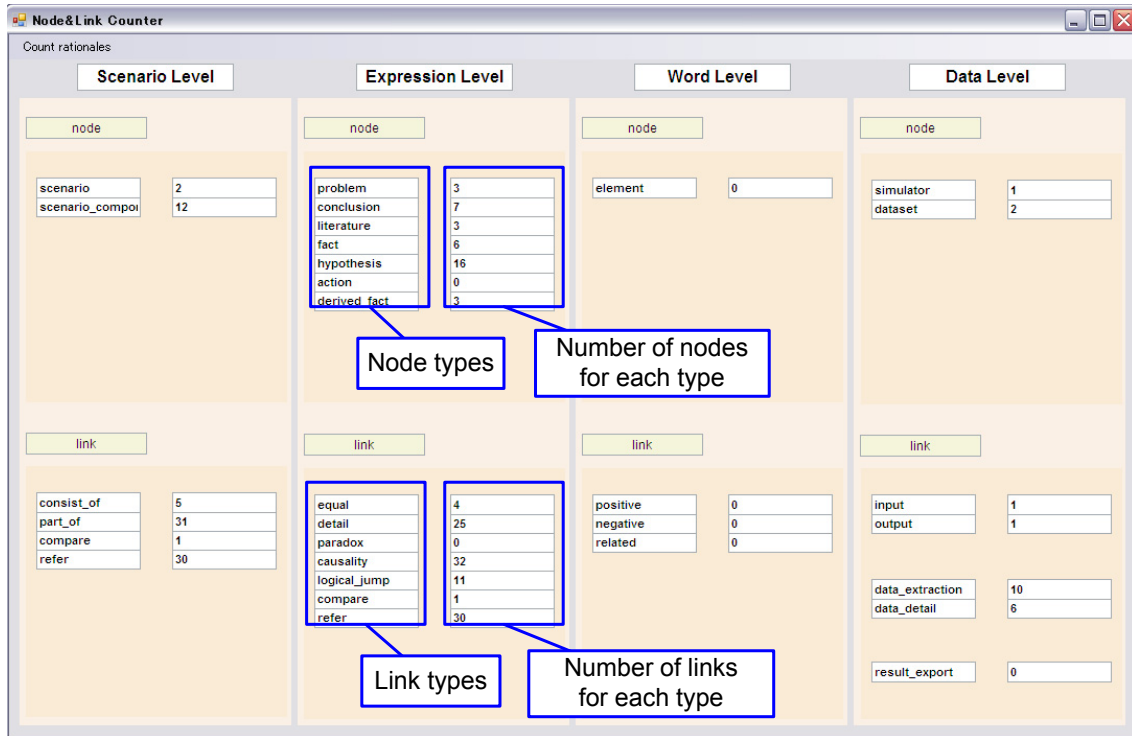


図 4.6.9: Elements List の実行例



## 4.7 考察

本章で提案したシナリオの構造的記述法を用いることによって、持続可能社会シナリオの論理構造を Scenario, Expression, Data Level の 3 つの視点で表現することが可能となった。

Scenario Level では図 4.2.2 に示したように、シナリオに含まれる個々のサブシナリオ、さらにシナリオ-サブシナリオ、サブシナリオ-サブサブシナリオといった階層関係を明確化できた。さらに、“scenario\_component”ノードという記述の単位を導入することによって、各サブシナリオを problem, hypothesis, simulation, result, discussion, conclusion という 6 種類の“scenario\_component”ノードに分類した。この分類のために提案したアルゴリズム (図 4.5.5 参照) を A1-Reference Scenario に適用した結果によると、図 4.5.6 に示したように 1 個の Expression Level ノードを除く 97% (37 個のうち 36 個) の Expression または Data Level ノードを機械的に“scenario\_component”ノードに分類することができた。その一方で、Expression Level ノード(a)は機械的に分類されず、読み手がその記述の意味を理解することによって手作業で problem の“scenario\_component”ノードに分類する必要があった。その理由は、本論文で提案した分類アルゴリズム (図 4.5.5 参照) では、シナリオの論理構造が図 4.5.4 に示すように「問題設定→仮定→シミュレーション→シミュレーション結果→考察→シナリオの結論」、という一連の流れになることを想定しているためである。この点で、ノード(a)はシナリオの結論と論理関係のない仮定であり、分類アルゴリズムでは分類できない。この仮定の当否については、次ページで議論する。

Expression Level では、各サブシナリオの文章における論理構造が記述できた。本研究では、導出関係を表す“causality”, “logical\_jump”, “detail”, “refer”の 4 つのリンクを定義したが、これらを論理性のある“causality”リンクとそうでない 3 種類のリンクに分類することによって、シナリオの結論を論理的に導出する記述とそうでない記述を区別できた。また、“fact”, “hypothesis”という 2 種類のノードは、シナリオ内における事実と仮定を明確に区別することができた。ただし、シナリオを Expression Level で構造化するときの課題として、ノードとリンクの種類を機械的に決定することは困難であることが挙げられる。その理由は、ノードとリンクの種類に対する意味的な判断が個人によって異なるためである。例えば、図 4.3.5 に示したように“logical\_jump”リンクで接続された 2 個のノード間の関係は、読み手によっては“causality”リンクと判断する可能性がある。また、因果関係と論理的飛躍の区別に加えて、仮定や事実の区別の判断についても読み手によって判断は異なる。この問題に対する対処方法のひとつは、できる限り様々な立場から多くの人を集め、それらの人々の合意をとりながらシナリオを構造化することである。また、Expression Level におけるシナリオ文章の構造化を支援するための方策としては、自然言語処理によるアプローチも考えられる。一例として、文章を節単位に分割するための節境界解析[81][82]が挙げられる。

Data Level では、シミュレータの入出力データを構造化することによって、シナリオの作成に利用

されているシミュレータの入出力データが管理可能となった。さらに、シナリオの文章とシミュレータの関係を Expression Level と Data Level 間のリンクとして表現した。これらは、本研究で提案する動的シナリオの作成において、シナリオとシミュレータを接続するための必要条件である。本手法に基づいて動的シナリオを作成するための手法については、第 5 章で議論する。

その一方で、提案したシナリオ構造化手法にはいくつかの課題がある。

ひとつは、本手法ではシナリオの記述に利用されるシミュレータに含まれる数理モデルの構造を明らかにすることはできない。実際のところ、数理モデルに含まれる暗黙的な前提はシナリオの結論を左右するものであるが、それらを理解するためにはユーザがシミュレータのコードを読み解く、またはシミュレータの仕様書を読む必要がある。例えば、AIM/Enduse [Japan]では一般均衡モデルが利用されており、そこにはある程度の価格弾力性が存在する。例えば、もしシミュレータの入力条件として高額の炭素税を想定したとしても、CO<sub>2</sub> 排出量の削減幅は急激には変化しない。このようなシミュレータの特徴は、A1-Reference Scenario には文章として記述されていなかった。本手法はむしろ、シナリオの文章に着目し、そこで文章として明示的に表現された情報を構造的に記述および分析可能とする一方で、文章として記述されていないシミュレータ関連の情報は対象としていない。この課題に対して、シミュレータに含まれるモデルを外部から検証するための方策としては、シミュレータの入力データをさまざまに変化させることによる感度分析を行うことが考えられる。

もうひとつの課題は、図 4.5.5 に示したアルゴリズムが適用可能なサブシナリオに対する制約である。上で述べたように、このアルゴリズムで適用可能なサブシナリオの構造は、図 4.5.4 に示すような“conclusion”ノードが論理構造の終点となる場合である。すなわち、本研究では図 4.5.4 に示すような構造を持つ 1 本のサブシナリオを図 4.5.5 のアルゴリズムに適用することを想定し、そのサブシナリオには少なくともある特定のテーマ（例えば、A1-Reference Scenario の場合は日本の CO<sub>2</sub> 排出量）とそのテーマに関する結論が含まれると定義している。この条件を満たさない場合、つまり、(1) 図 4.5.6 のノード(a)のように図 4.5.4 の論理構造と整合しないサブシナリオを適用した場合、あるいは、(2) 複数のサブシナリオをアルゴリズムに適用した場合には、適切に“scenario\_component”ノードに分類することはできない。(1)の場合には、機械的に分類されない Expression Level のノードは読み手がその記述の意味を理解することによって手作業で分類する必要がある。(2)の場合は、ユーザがサブシナリオのテーマとそれに対応する結論をシナリオの文脈から読み取ることによって、アルゴリズムに適用すべき個々のサブシナリオの境界を設定する必要がある。ただし、ユーザによるテーマ設定の仕方によっては、抽出されるサブシナリオの範囲は異なる可能性がある。



## 4.8 第4章のまとめ

本章では、3S Simulator に基づくシナリオ設計支援のための対象表現方法として、シナリオの構造的記述法を提案した。本研究では、持続可能社会シナリオがシナリオ文章とシミュレーションの組み合わせによって表現されるという前提のもとに、シナリオを Scenario, Expression, Data, Word Level の4つの視点から構造化するというアプローチをとった。このうち、本章では既存の持続可能社会シナリオを対象として、シナリオを Scenario, Expression, Data の3つのレベルで表現するための手法を提案した。さらに、シナリオの構造的記述法の実行を支援するために、シナリオ構造記述支援システムを開発した。この手法を持続可能社会シナリオに適用することにより、シナリオの論理構造が視覚的に表現できることが実行例から示された。

構造化手法によってシナリオの論理構造を明確化することは、シナリオの分析および作成を行うための基礎となる。本章で提案した手法に基づいて、第6章ではシナリオに対する議論と理解を促進させるために論理構造分析手法を提案し、第7章では既存のシナリオに対する what-if 分析（前提条件が変化したときの結果を分析する手法）手法を提案する。



## 第 5 章

### 動的シナリオの作成手法

第5章では、既存のシナリオとシミュレータを再利用可能にするための方法として、動的シナリオの作成手法を提案する。ここで、動的シナリオとは、シナリオとシミュレータが構造的に接続されたシナリオと定義する。動的シナリオの利用により、既存のシナリオで想定されている前提条件を変化させたときのシミュレーション結果を分析することが可能となる。動的シナリオの作成を支援するために、本章では Dataset Manager と Simulator Database の2つのツールを開発する。これらのツールを用いて、手法の有効性を検証するためのケーススタディを行う。

## 5.1 動的シナリオの定義

本章では、動的シナリオの作成手法を提案することによって、既存のシナリオとシミュレータを用いたシナリオ分析を可能とする。ここで動的シナリオとは、シナリオと付随するシミュレータが接続しており、シナリオ内でシミュレーションの入力条件を変化させるとシミュレーションが実行され、その結果が動的に反映されるシナリオを指す。一方で、2.1.4 節で例示したような既存のシナリオ（例えば、IPCC のシナリオ[9]）は文章として記述されていて、その記述のために利用されたシミュレータとシナリオは構造的に接続されておらず、シミュレーション条件の変更による結果の変更がシナリオに反映できない点で「静的」である。

既存の関連研究では、DOME (Distributed Object-based Modeling Environment)[83] と呼ばれるモデル統合基盤が提案されており、そこでは様々な汎用アプリケーション上に構築された複数のモデルを統合化することができる。石田ら[84][85]は、他の研究で構築された複数のモデル（電源計画モデル、住宅省エネルギー対策評価モデルなど）に対して DOME を適用し、それらのモデルを連動させることによって、日本国内での CO2 削減効果のシミュレーション結果を分析している。

しかしながら、シナリオとシミュレータの間で入出力データを交換する方法はこれまでに提案されていない。2.1.2 節で述べたように、持続可能社会シナリオではシミュレータだけでなく、叙述的な記述が将来の描写のために重要な役割を果たす。その理由は、シミュレーション条件の設定根拠は、シナリオの文章としてのみ記述されるからである。このとき、一般に将来に関する条件設定には不確実性が存在するため、シナリオ上では起こりうる様々な前提条件を与えたときの結果が検討されるべきである。図 3.4.2 に示した 3S Simulator の構想では、様々な既存のシナリオとシミュレータから動的シナリオを作成し、それらをシナリオアーカイブに格納する。動的シナリオの作成によって期待される利点には、以下の3点が含まれる。

- シナリオにおいて想定されているそれぞれの前提条件が結果に与える影響の程度を理解するために、感度分析として、各条件を変更したときのシミュレーション結果を得ることができる。
- 既存のシナリオにおいて、元々想定されている前提条件に同意できない場合に、シミュレーションの設定条件を変更したときのシミュレーション結果を得ることができる。この結果、既存シナリオを再利用することによって、そこで描かれていた将来とは異なる将来像を探索することができる。
- 新たなシナリオを作成する際に、シナリオアーカイブに格納されている動的シナリオを再利用できる。新たに作成するシナリオと既存のシナリオの間で整合性をとるためには、一般に既存のシナリオ内で想定されている前提条件を変更する必要がある。動的シナリオを利用すると、既存

シナリオにおいて前提条件を変更させた場合のシミュレーション結果を含んだ「派生シナリオ」が利用可能となる。

- 新たなシナリオを作成する際に、そのシナリオの記述を根拠付けるシミュレータが動的に利用可能となる。シミュレーション条件を試行錯誤的に与えたときのシミュレーション結果を容易に求めることができる点で、シナリオ作成を効率化させることができる。

## 5.2 アプローチ

シナリオ上で前提条件を変更したときのシミュレーションを実行可能とする「動的シナリオ」を作成するためには、次の2つの課題を解決する必要がある。

1. シナリオの文章とシミュレータの関係を記述すること。
2. シナリオとシミュレータ間で入出力データを交換すること。

課題1に対しては、第4章で提案したシナリオの構造的記述法に基づき、シナリオの文章とシミュレータを関係づける。このために、シナリオに用いられているシミュレータの入力データと出力データの関係を表現する Data Level (4.4 節参照) と、シナリオの文章とシミュレータの入出力データの関係を表現する Data Level と Expression Level の間のリンク (4.5.1 節参照) を利用する。具体的には、図 5.2.1 に示すように、Expression Level のノードとして表されるシナリオの記述と、Data Level の“datum”ノードとして表されるシミュレータの個々の入力データを“data\_extraction”または“data\_detail”リンクを用いて関係づける。同様に、Expression Level のノードと Data Level の“dataset”ノードとして表される個々の出力データを“result\_export”リンクにより関係づける。図 5.2.1 の Data Level ノードは 4.5.2 節で定義したように、Scenario Level では simulation を表す“scenario\_component”ノードに分類する。

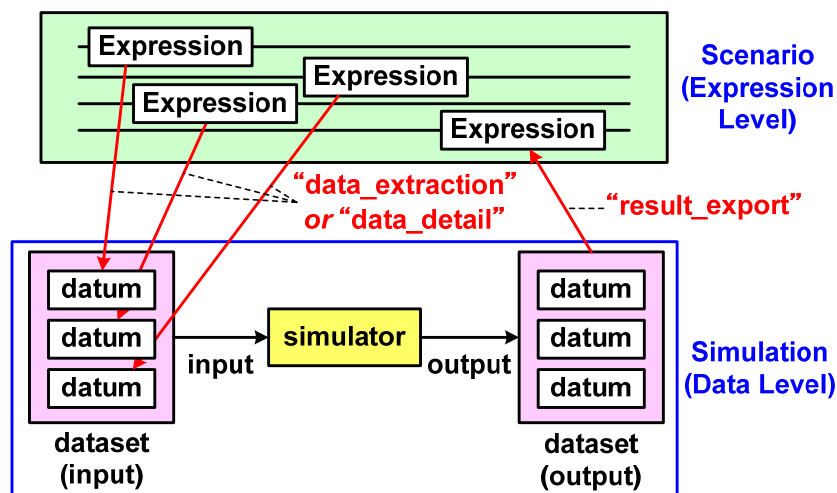


図 5.2.1: シナリオ文章とシミュレータの関係づけ (再掲)

課題2に対しては、シナリオとシミュレータの入出力データ間のデータ交換を実現するための方法を提案する。シナリオとシミュレータの入出力データ間のデータ交換は、Data Level で構造化されるシミュレータの入出力データ (図 5.2.1 参照) とシミュレータの間を Dataset Manager と名づけ

るツールを提案することによって実現する。図 3.5.1 に示したように、シナリオ構造記述支援システムが構造化シナリオを管理し、Dataset Manager は構造化シナリオと個々のシミュレータの入出力データ間のデータ交換を実行する。さらに、既存のシミュレータを再利用可能とするために、Simulator Database を構築する。



### 5.3 シナリオとシミュレータ間のデータ交換方法

#### 5.3.1 データ交換の実現方法

構造化シナリオとシミュレータの入出力データ間のデータ交換を実行する Dataset Manager は、図 3.5.1 で示したようにメディエータの一部として構築する。メディエータにおける Dataset Manager の位置づけを図 5.3.1 に示す。メディエータには、動的シナリオにおいて、複数のシナリオに関係する複数のシミュレータを駆動する機能を持たせる。メディエータが持つべき機能は以下の 3 つである。

1. 複数のシナリオ間のデータの整合性を管理する。
2. 1 つのシナリオにおいて、複数のシミュレータ間のデータの整合性を管理する。
3. 1 つのシナリオにおいて、そのシナリオと関係するシミュレータの入出力データとシナリオ間のデータ交換を実行する。

Dataset Manager はメディエータが持つべき 3 つ目の機能に相当し、ひとつのシナリオとそのシナリオに関係するシミュレータ間のデータ交換を担当する。本研究では、1 つのシナリオに対して 1 個だけのシミュレータが関係していると想定し、その場合に、シナリオとシミュレータ間のデータ交換を実現する機能 (図 5.3.1 の機能(3)に相当する) を Dataset Manager として実装する。

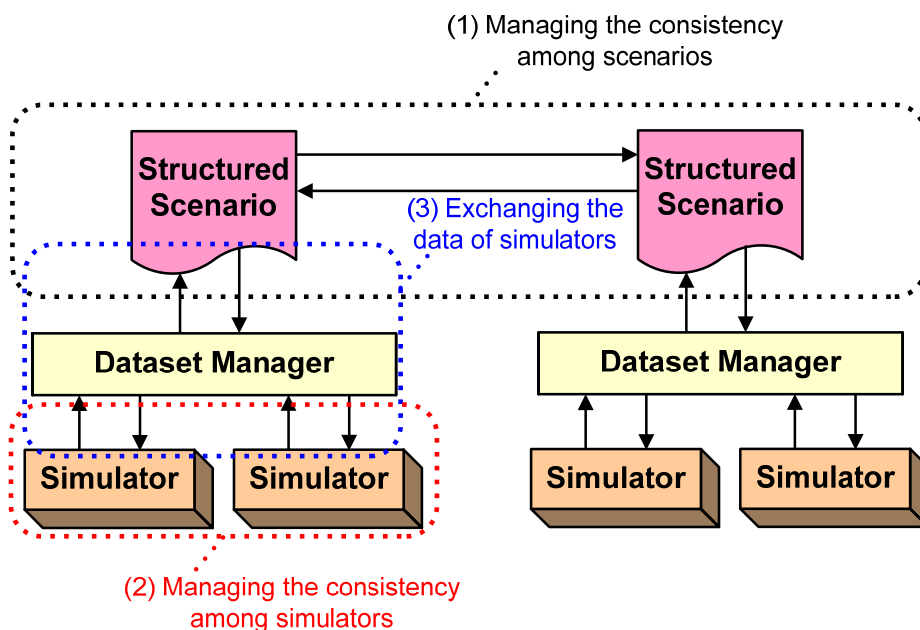


図 5.3.1: メディエータにおける Dataset Manager の位置づけ

シナリオとシミュレータ間のデータ交換を実現する上で、既存のシミュレータを再利用して駆動させるためには、シミュレータの入出力データのフォーマットが個々のシミュレータによって異なるという問題が生じる。この問題を解決するために、個々のシミュレータの入出力データの定義およびデータ形式 (CSV 形式など) を管理する機能を Simulator Database として実装する。

### 5.3.2 シミュレータの再利用可能化

Simulator Database には、既存のシミュレータの検索と再利用を可能とするために以下の情報を保持させる。

- ID: シミュレータの ID 番号. Data Level の“simulator”ノードが属性として保持する値と同一とする。
- シミュレータ名: シミュレータの名称。
- シミュレータ本体へのパス: シミュレータ本体を呼び出すためのパス (グローバルアドレスまたはローカルアドレス)。
- 入力/出力データ定義: シミュレータの入力/出力データの定義ファイルへのパス。
- 入力/出力データ: シミュレータの入力/出力データを記録したファイルへのパス。
- 入力/出力データ変換: シミュレータの入力/出力データの変換ファイルへのパス。

「ID」はシミュレータの ID 番号であり、シミュレータの検索を可能とするために構造化シナリオの Data Level の“simulator”ノードがこの ID 番号を属性として保持する。“simulator”ノードの ID という属性は表 4.4.2 で定義した。「入力/出力データ定義」は、入力/出力データの定義を記述したファイルへのパスを保持し、「入力/出力データ」はシミュレーションを実施する入力データ/実施した出力データを記述したファイルへのパスを保持する。ここで、入力/出力データ定義は、シミュレータの入力/出力データのパラメータ名 (ラベル) と単位のリストと定義する。入力/出力データは、シミュレータが処理可能な形式で記述した入力/出力データの情報 (例えば、CSV 形式により記述された入力/出力データの値のリスト) と定義する。入力/出力データ変換は、シミュレータの入力/出力データのパラメータ名 (ラベル)、値、単位と、個々のシミュレータが処理可能な形式を変換する。すなわち、入力データのパラメータ名 (ラベル)、値、単位をシミュレータが読み込み可能な形式に変換し、その一方で、シミュレータが生成する形式で記述した出力データからパラメータ名 (ラベル)、値、単位を抽出する。これらの変換規則を記述するための入力/出力データ変換を、本システムでは XSL Transformations (XSLT)[86]を用いて定義する。

## 5.4 シナリオとシミュレータの接続手順

Dataset Manager は、構造化シナリオと Simulator Database で管理されるシミュレータを、入出力データの交換によって接続する役割を担う (図 5.4.1 参照). また、このツールにはシミュレータを起動させる機能を持たせる。

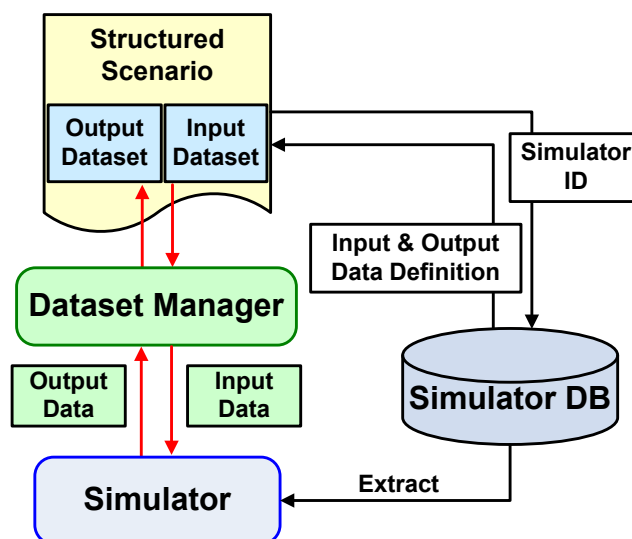


図 5.4.1: シナリオとシミュレータの接続

既存の構造化されていないサブシナリオと、そのサブシナリオに関するシミュレータを接続するための手順は以下のとおりである。

1. ユーザがシナリオ構造化支援ツールを用いて、サブシナリオ全体を表す“scenario”ノードを作成し、そのノードの属性としてシナリオ名を記入する (表 4.2.2 参照). このとき、4.6 節で述べたように、シナリオ構造化支援ツールが“scenario”ノードの直下に 6 種類の“scenario\_component”ノード (problem, hypothesis, simulation, result, discussion, conclusion) を作成する。
2. ユーザが、シナリオ構造化支援ツールを用いてシナリオを Expression Level で構造化する。
3. ユーザが、構造化シナリオに Data Level の“simulator”ノードを挿入する. “simulator”ノードの挿入時には、シナリオ構造化支援ツールが Simulator Database に問い合わせることによって利用可能なシミュレータのリストを表示する. ユーザが利用するシミュレータを選択すると、シナリオ構造化支援ツールがこの“simulator”ノードの属性としてシミュレータの ID を書き込む. もしシミュレータが登録されていないならば、ユーザが新規に登録する。
4. Dataset Manager が、ユーザにより選択されたシミュレータの ID をキーとして Simulator Database を検索し、使用するシミュレータを同定する (図 5.4.1 参照).

5. シミュレータの入力データ定義ファイルに基づいて、Dataset Manager がシミュレーションに必要な入力データのパラメータ名と単位をユーザに提示する。これに応じて、ユーザがシナリオ上から入力データ値を抽出して Dataset Manager に記入する。シナリオ上に記述がない入力データ値は、ユーザが補完する。この結果、ユーザが全ての入力データの値を決定する。入力データ値の入力と並行して、シナリオとシミュレータの入力データ間の関係を明示するために、ユーザがシナリオ構造化支援ツールを用いて Expression Level と Data Level 間のリンク (“data\_extraction”または“data\_detail”) を張る。4.5.1 節で述べたように、これら 2 種類のリンクは入力データの値が明示的に決定されているか、または暗黙的に決定されているかを区別する。
6. Dataset Manager が入力データのパラメータ名、値、単位を格納した“dataset”ノードを作成する。同時に、ここから Dataset Manager が入力データ変換を用いてシミュレータが可読な形式で入力データファイルを作成し、Simulator Database に登録されている「入力データ」のパスにファイルを出力する。
7. Dataset Manager の指示により、手順 6 で作成した入力データのファイルを使用して、シミュレーションが実行される。
8. Dataset Manager が、手順 7 の結果としてシミュレータから出力される出力データのファイルに対して出力データ変換と出力データ定義を適用することによって、その出力データのパラメータ名、値、単位を抽出し、出力の“dataset”ノードを作成する。シナリオとシミュレータの出力データ間の関係として、ユーザがシナリオ構造化支援ツールを用いて Expression Level と Data Level 間のリンク (“result\_export”) を張る。
9. Dataset Manager が手順 6 と手順 8 で作成した入出力の“dataset”ノードを手順 2 で作成した“simulator”ノードと“input”, “output”リンクで接続する。

以上により、ユーザがシナリオ上に記述されたシミュレーション条件を Dataset Manager 上で入力データとして変更すると、それを反映させたときの結果をシナリオ上で検討することができる。シナリオとシミュレータを再利用する手順を以下に示す。

1. シナリオの記述を参考にして、ユーザが Dataset Manager を用いてシミュレータの入力データ値を変更する。もし、その入力データがシナリオ文章と“data\_extraction”リンクにより接続されている場合には、ユーザがリンクにより接続された Data Level の入力データ値と Expression Level のノードに含まれるデータ値を認識し、それらの双方を整合させながら変更する。
2. Dataset Manager が、変更された入力データ値に基づいて、上記の手順 6 で作成した構造化シ

ナリオ上の入力データの“dataset”ノードを修正する。この入力データに基づいて、Dataset Manager が入力データのファイルを作成し、シミュレーションを実行する。

3. 得られたシミュレーション結果に基づいて、Dataset Manager が上記の手順8で作成した出力データのファイルを修正し、その出力データを反映させて構造化シナリオ上の出力データの“dataset”ノードを修正する。最後に、Dataset Manager のインタフェース上に新たな出力データ値をユーザに提示する。

## 5.5 インプリメンテーション

### 5.5.1 システム構成

既存のシナリオとその記述のために利用されているシミュレータから動的シナリオを作成するために、図 5.5.1 に示すようなシステムを開発した。このシステムは、4.6 節で提案したシナリオ構造化支援ツールとシナリオ視覚化ツールに対して、新たに Dataset Manager と Simulator Database を統合化することにより、シナリオとシミュレータの接続を支援する。

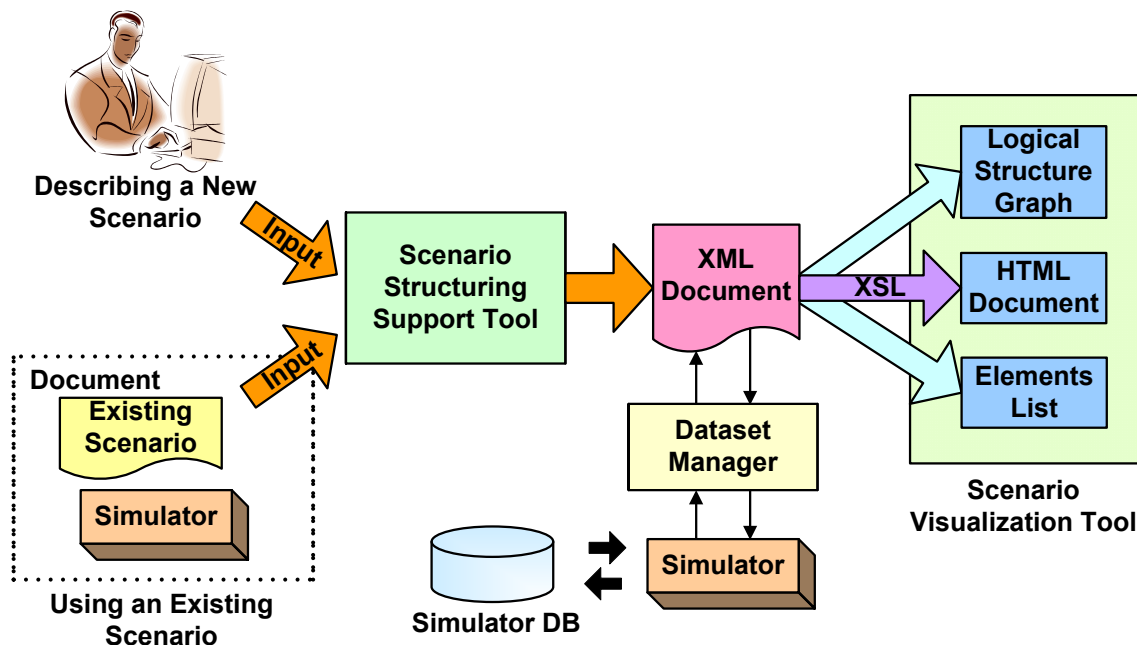


図 5.5.1: 動的シナリオ作成支援のためのシステム

### 5.5.2 実行例(I): シナリオとシミュレータの接続

5.4 節の手順に従って、CO2 Emissions Scenarios in Japan の A1-Reference Scenario[77]とその記述に利用されている AIM (Asia-Pacific Integrated Model)/Enduse [Japan] を接続することにより、動的シナリオを作成する。以下に、5.4 節に示した 9 つのステップを順に示す。

1. ユーザが、サブシナリオを Scenario Level で構造化する。すなわち、4.6.4 節と同様の操作を実行することにより、Scenario Level でサブシナリオの“scenario”ノードと 6 種類の“scenario\_component”ノードを作成する (図 4.6.7 参照)。
2. ユーザがシナリオを Expression Level で構造化する。
3. ユーザが図 5.5.2 に示す Simulator Database から AIM/Enduse [Japan]シミュレータを選択することにより、シナリオ構造化支援ツールが構造化シナリオの一部として、“simulator”ノードを表

す XML タグを生成する (図 4.6.4 参照). 図 4.6.4 で示したように, “simulator” ノードにはシミュレータを特定するための ID を属性として保持させる.

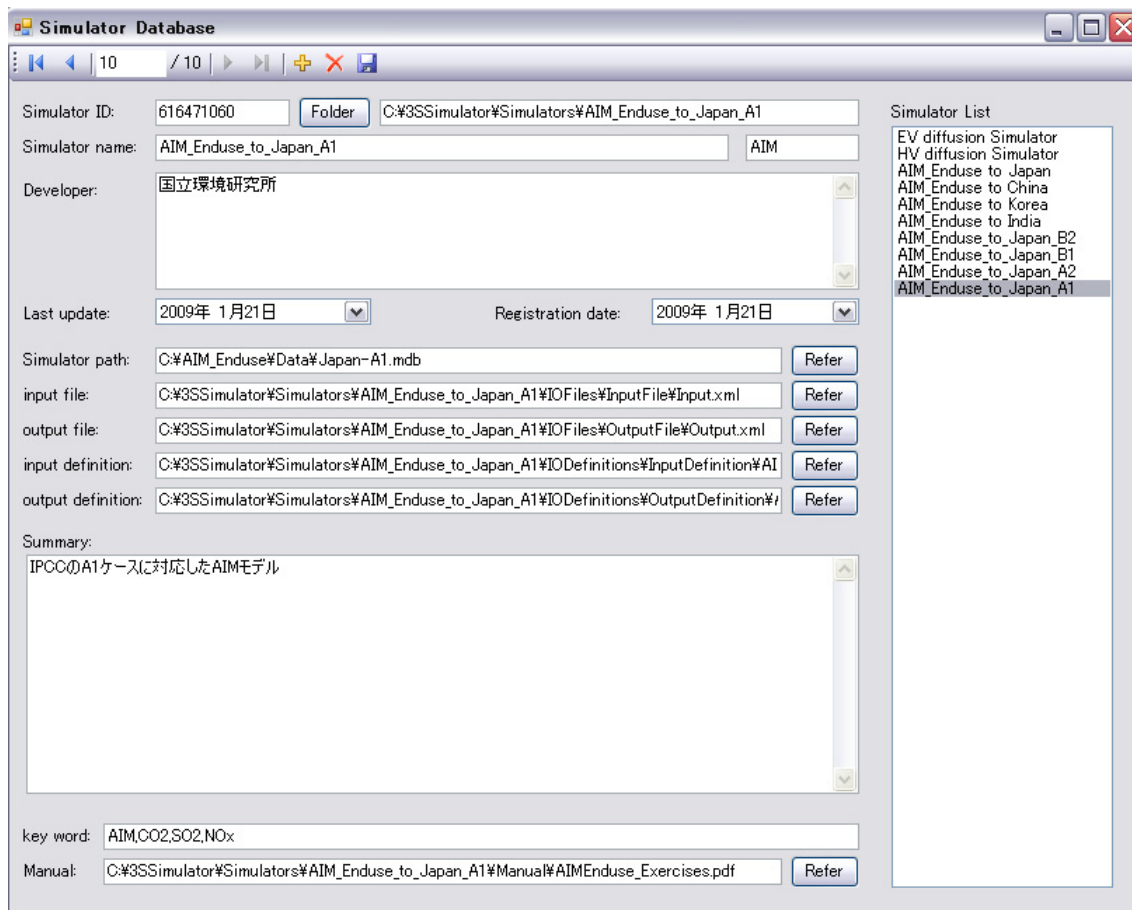


図 5.5.2: Simulator Database

4. Dataset Manager が, “simulator” ノードの属性である AIM/Enduse [Japan] の ID をキーとして (図 4.6.4 参照), シミュレータを同定する.
5. Dataset Manager が AIM/Enduse [Japan] の入力データに関するデータ名と単位を提示する (図 5.5.3 参照). ユーザは, サブシナリオで設定するシミュレーション条件に対応したデータの値を入力する. データの値は, ユーザがサブシナリオの記述から抽出し, その値と記述の関係を “data\_extraction” リンクにより表現する. シナリオに記述されていないデータの値については, ユーザが何らかの方法 (シナリオの作成者に問い合わせるなど) により入手する. シナリオに明示的な記述がないデータ値のうち, シナリオの記述と関連があるものについては, ユーザがデータの値と記述の関係を “data\_detail” リンクにより表現する.

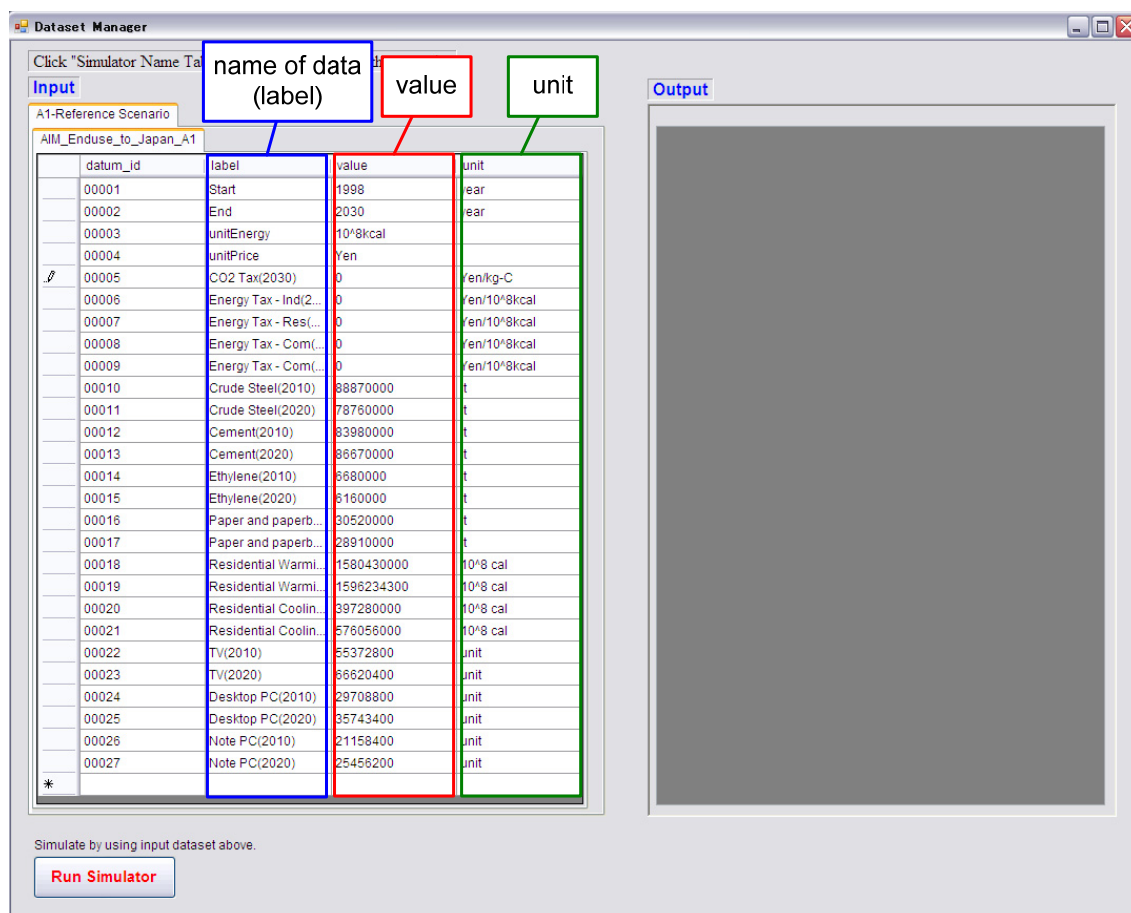


図 5.5.3: Dataset Manager の実行例: 入力データの表示

6. Dataset Manager が AIM/Enduse [Japan]の入力データに関する“dataset”ノードを作成する。次に、Dataset Manager が入力データ変換を用いて、“dataset”ノードからシミュレータが可読な形式 (XML 形式) で入力データファイルを作成し、Simulator Database に登録されている「入力データ」のパスにファイルを出力する。
7. Dataset Manager の指示により、手順 6 で作成した入力データのファイルを使用して図 5.5.4 に示すシミュレータを駆動する。



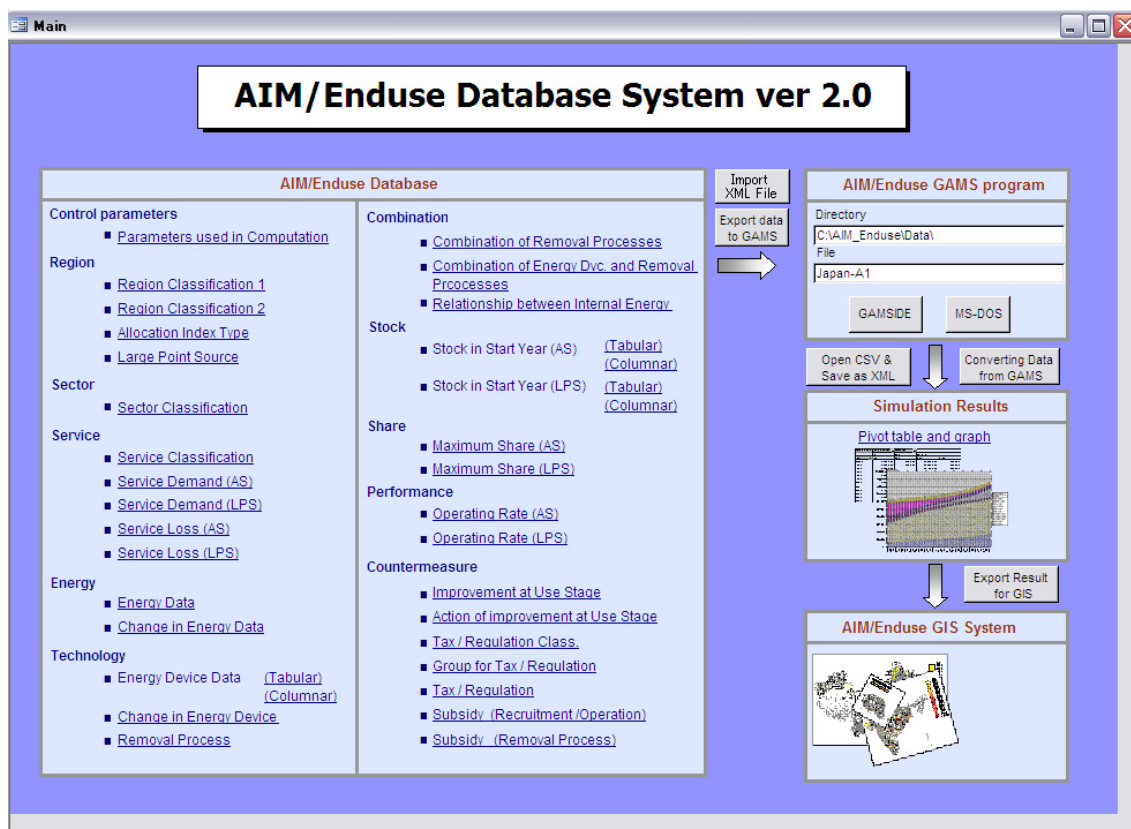


図 5.5.4: AIM/Enduse [Japan]の実行画面

8. Dataset Manager が手順 7 の結果としてシミュレータから出力される出力データのファイルをもとに出力の“dataset”ノードを作成するとともに、シミュレーション結果を Dataset Manager 上に表示する (図 5.5.5 参照)。その後、ユーザがシナリオ構造化支援ツールを用いて、シナリオとシミュレータの出力データ間の関係として Expression Level と Data Level 間のリンク (“result\_export”)を張る。

Click "Simulator Name Tab" for [Scenario Name] scenario.

**Input**

A1-Reference Scenario

AIM\_Enduse\_to\_Japan\_A1

datum_id	label	value	unit
00001	Start	1998	year
00002	End	2030	year
00003	unitEnergy	10 <sup>8</sup> kcal	
00004	unitPrice	Yen	
00005	CO2 Tax(2030)	0	Yen/kg-C
00006	Energy Tax - Ind(2...	0	Yen/10 <sup>8</sup> kcal
00007	Energy Tax - Res(...	0	Yen/10 <sup>8</sup> kcal
00008	Energy Tax - Com(...	0	Yen/10 <sup>8</sup> kcal
00009	Energy Tax - Com(...	0	Yen/10 <sup>8</sup> kcal
00010	Crude Steel(2010)	88870000	t
00011	Crude Steel(2020)	78760000	t
00012	Cement(2010)	83980000	t
00013	Cement(2020)	86670000	t
00014	Ethylene(2010)	6680000	t
00015	Ethylene(2020)	6160000	t
00016	Paper and paperb...	30520000	t
00017	Paper and paperb...	28910000	t
00018	Residential Warmi...	1580430000	10 <sup>8</sup> cal
00019	Residential Warmi...	1596234300	10 <sup>8</sup> cal
00020	Residential Coolin...	397280000	10 <sup>8</sup> cal
00021	Residential Coolin...	576056000	10 <sup>8</sup> cal
00022	TV(2010)	55372800	unit
00023	TV(2020)	66620400	unit
00024	Desktop PC(2010)	29708800	unit
00025	Desktop PC(2020)	35743400	unit
00026	Note PC(2010)	21158400	unit
00027	Note PC(2020)	25456200	unit

**Output**

Year	Energy	Cost	CO2
1998	1.658787E+11	1.733183E+14	3.075050E+11
1999	1.709383E+11	1.753336E+14	3.168562E+11
2000	1.761995E+11	1.774961E+14	3.266848E+11
2001	1.756924E+11	1.713720E+14	3.229949E+11
2002	1.752775E+11	1.723307E+14	3.202570E+11
2003	1.748684E+11	1.732825E+14	3.170912E+11
2004	1.745647E+11	1.742289E+14	3.145508E+11
2005	1.742641E+11	1.752934E+14	3.121916E+11
2006	1.740000E+11	1.763857E+14	3.097826E+11
2007	1.737921E+11	1.775292E+14	3.075180E+11
2008	1.736538E+11	1.787211E+14	3.054229E+11
2009	1.734865E+11	1.799620E+14	3.023748E+11
2010	1.733762E+11	1.812448E+14	2.995403E+11
2011	1.737743E+11	1.807939E+14	2.980757E+11
2012	1.742067E+11	1.813498E+14	2.967660E+11
2013	1.746797E+11	1.819212E+14	2.955957E+11
2014	1.751837E+11	1.825178E+14	2.944890E+11
2015	1.757264E+11	1.831408E+14	2.935101E+11
2016	1.763071E+11	1.837874E+14	2.926499E+11
2017	1.768249E+11	1.844575E+14	2.918998E+11
2018	1.776066E+11	1.851525E+14	2.915915E+11
2019	1.783206E+11	1.858708E+14	2.913411E+11
2020	1.790675E+11	1.866113E+14	2.911496E+11

Simulate by using input dataset above.

**Run Simulator**

図 5.5.5: Dataset Manager の実行例: 出力データの表示

9. Dataset Manager が手順 6 と手順 8 で作成した入出力の“dataset”ノードを手順 2 で作成した“simulator”ノードと“input”, “output”リンクで接続する。この結果, Data Level のノードとリンクが図 5.5.6 のように作成される。

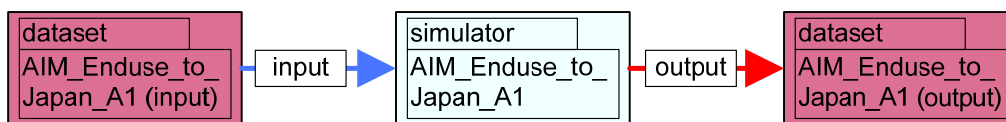


図 5.5.6: AIM/Enduse [Japan]の入出力データの構造化

最終的に, 図 4.5.7 に示すような論理構造グラフを得る。このグラフの一部は図 5.5.7 に示すとおりであり, ブロック(B)と(C), (C)と(D)の間で接続された“data\_extraction”, “data\_detail”, “result\_export”の各リンクによって, シナリオの文章とシミュレータの入出力データが構造的に接続できた。

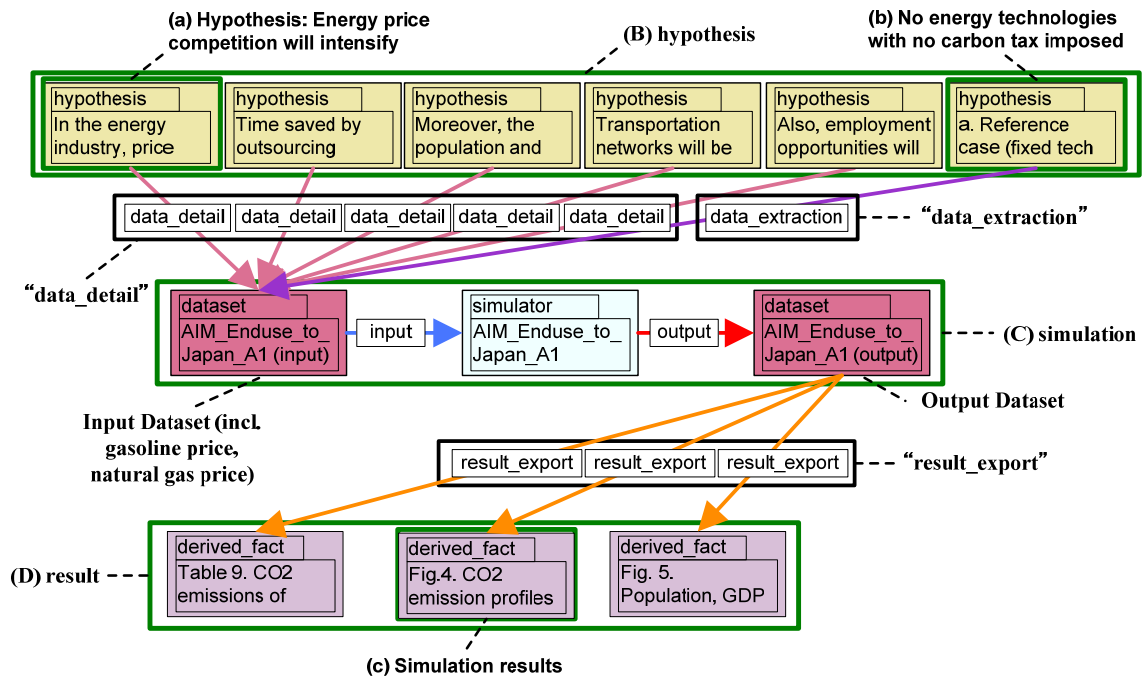


図 5.5.7: シナリオの記述とシミュレータの関係づけ

## 5.5.3 実行例(II): シミュレーションの再実行

次に、前節でシミュレータを接続した A1-Reference Scenario において、シナリオ上の前提条件を変更したときのシミュレーションの再実行を行う。

図 5.5.7 において、“data\_detail”リンクで接続された仮定(a)を例にとると、その記述は“In the energy industry, price competition will intensify in line with reductions in the cost of electricity following deregulation.”であり、この記述を定量化することによって、入力データのエネルギー価格（例えば、ガソリン価格、天然ガス価格など）が定められている。その一方で、“data\_extraction”リンクで接続された仮定(b)の記述内容は“The usage shares of energy technologies will not change, where no carbon tax is charged”であり、ここから入力データのうち carbon tax の値が¥0/t-C と設定されている。また、“result\_export”リンクで接続された“derived\_fact”ノードのうち、ノード(c)は図 5.5.8 に示したシミュレーション結果を表す。ここでは、シナリオ上の仮定(b)における carbon tax を ¥50/kg-C に変更し、それをエネルギー技術の開発投資に利用する場合を想定して CO2 排出量のシミュレーションを再実行する。

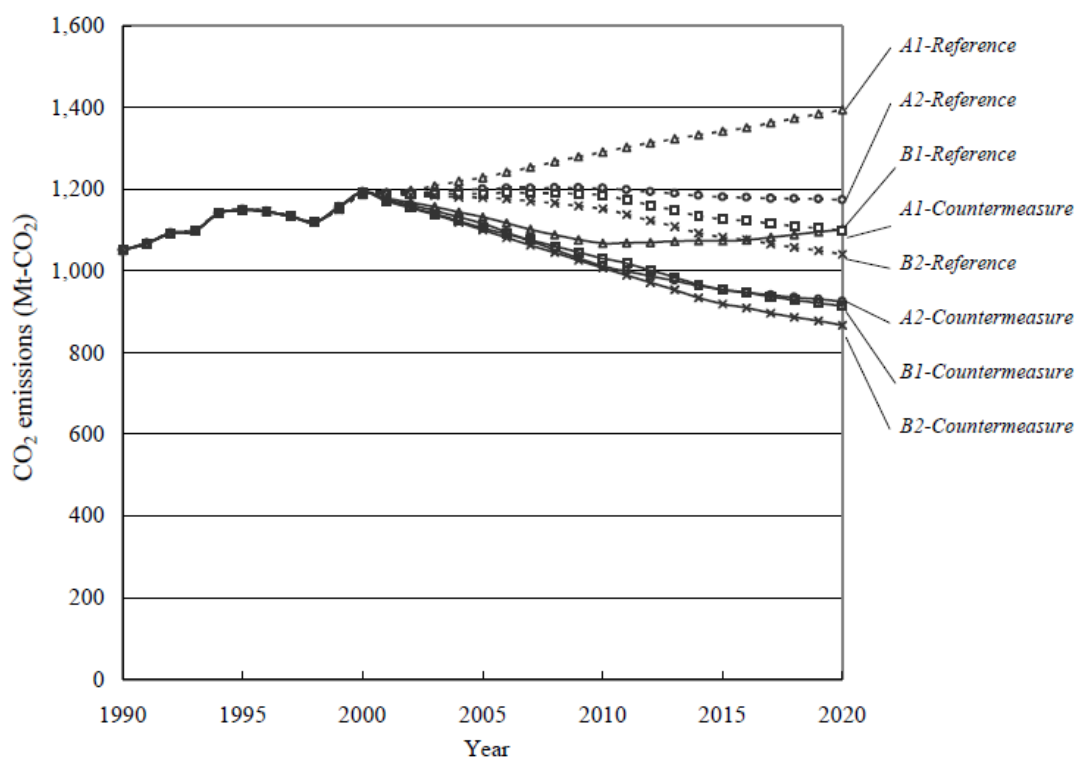


図 5.5.8: CO2 排出量に関するシミュレーション結果[77] (図 4.5.3 再掲)

まず、シミュレーションを再実行するために仮定(b)の記述を“The usage shares of energy technologies will change, where carbon tax is charged at ¥50/kg-C”に変更し、さらに Dataset Manager 上で carbon tax の入力データ値を¥0/kg-C から¥50/kg-C に変更した。すると、Dataset Manager がシミュレータを駆動することにより、図 5.5.9 に示すように新たなシミュレーション結果を得た。このように、変更した carbon tax 以外の入力データ値は元のサブシナリオで設定されたものを再利用することができ、シミュレーション条件を部分的に修正するだけで容易にシミュレーションが再実行できた。

Click "Simulator Name Tab" for extracting data from the scenario.

**Input**

A1-Reference Scenario

AIM\_Enduse\_to\_Japan\_A1

datum_id	label	value	unit
00001			year
00002			year
00003	unitEnergy	10 <sup>8</sup> kcal	
00004	unitPrice	Yen	
00005	CO2 Tax(2030)	50	Yen/kg-C
00006	Energy Tax - Ind(2...	0	Yen/10 <sup>8</sup> kcal
00007	Energy Tax - Res(...	0	Yen/10 <sup>8</sup> kcal
00008	Energy Tax - Com(...	0	Yen/10 <sup>8</sup> kcal
00009	Energy Tax - Com(...	0	Yen/10 <sup>8</sup> kcal
00010	Crude Steel(2010)	88870000	t
00011	Crude Steel(2020)	78760000	t
00012	Cement(2010)	83980000	t
00013	Cement(2020)	86670000	t
00014	Ethylene(2010)	6680000	t
00015	Ethylene(2020)	6180000	t
00016	Paper and paperb...	30520000	t
00017	Paper and paperb...	28910000	t
00018	Residential Warmi...	1580430000	10 <sup>8</sup> cal
00019	Residential Warmi...	1596234300	10 <sup>8</sup> cal
00020	Residential Coolin...	397280000	10 <sup>8</sup> cal
00021	Residential Coolin...	576056000	10 <sup>8</sup> cal
00022	TV(2010)	55372800	unit
00023	TV(2020)	66620400	unit
00024	Desktop PC(2010)	29708800	unit
00025	Desktop PC(2020)	35743400	unit
00026	Note PC(2010)	21158400	unit
00027	Note PC(2020)	25456200	unit

Carbon tax: ¥50/kg-C

**Output**

Year	Energy	Cost	CO2
1998	1.658787E+11	1.733183E+14	3.075055E+11
1998	1.658787E+11	1.733183E+14	3.075055E+11
1999	1.709383E+11	1.753338E+14	3.168562E+11
2000	1.761995E+11	1.774961E+14	3.266848E+11
2001	1.756924E+11	1.713720E+14	3.229949E+11
2002	1.752728E+11	1.728829E+14	3.202400E+11
2003	1.748503E+11	1.743744E+14	3.168483E+11
2004	1.744382E+11	1.758818E+14	3.135092E+11
2005	1.740915E+11	1.774244E+14	3.104077E+11
2006	1.737716E+11	1.790242E+14	3.072361E+11
2007	1.732263E+11	1.806602E+14	3.031145E+11
2008	1.729728E+11	1.822677E+14	3.000454E+11
2009	1.727774E+11	1.839723E+14	2.971323E+11
2010	1.725253E+11	1.857154E+14	2.938269E+11
2011	1.729215E+11	1.857156E+14	2.924865E+11
2012	1.731907E+11	1.867416E+14	2.906118E+11
2013	1.736705E+11	1.877649E+14	2.897613E+11
2014	1.742337E+11	1.888471E+14	2.889970E+11
2015	1.748243E+11	1.899646E+14	2.883075E+11
2016	1.754539E+11	1.911028E+14	2.877016E+11
2017	1.758142E+11	1.922671E+14	2.868563E+11
2018	1.763820E+11	1.933825E+14	2.858073E+11
2019	1.770277E+11	1.945692E+14	2.845138E+11
2020	1.776208E+11	1.957862E+14	2.836398E+11

New output data

Simulate by using input dataset above.

Run Simulator

図 5.5.9: 入力データの変更によるシミュレーションの再実行

その結果、構造化シナリオ上では図 5.5.7 の入力データおよび出力データの“dataset”ノード内に含まれる値が Dataset Manager によって更新された。ただし、“result\_export”リンクによって関係づけられた Expression Level ノード内の記述はシステムによって自動的に書き換えられないため、必要に応じてユーザが Expression Level ノードの記述を修正する必要がある。

## 5.6 考察

本章で提案した手法および支援システムを利用することにより、シナリオとシミュレータを動的に接続することができた。5.5.2 節で示したように一度シナリオとシミュレータを接続しておくと、5.5.3 節の実行例で示したように、既存のサブシナリオを記述するために利用されているシミュレータの入力および出力データを再利用することによってシミュレーションを容易に再実行することができた。このとき、単にシミュレーションを再実行するだけでなく、Expression Level のノードと Data Level のノード間のリンクによって、シミュレーション条件がどのような根拠のもとに設定されているのかをシナリオ文章上で明示することができた。特に、シミュレーションの入力データの値がシナリオ文章上でどのように決定されているかを明確化するために、シナリオの記述とシミュレータの入力データ間を関係づけるための“data\_extraction”，“data\_detail”という2種類のリンクを定義した。これら2種類のリンクは、入力データの値がシナリオ上で明示的に決定されているか、または暗黙的に決定されているかを区別することができた。

例えば、“data\_extraction”リンクで接続された図 5.5.7 の仮定(b)では「carbon tax を課さずに、エネルギー技術の利用割合は変化しないという前提で 2020 年までの CO2 排出量を推定する」と想定していた。実行例では、carbon tax の導入によってエネルギー技術の利用割合が変化することによる CO2 排出量への影響を分析するために、この条件を変更して carbon tax が 50,000¥/t-C になったときのシミュレーション結果を求めた。このように、シミュレーションの入力データの値を変更するだけでなく、シナリオ上に記述される入力データの設定根拠を理解および修正 (carbon tax をが 0¥/t-C から 50,000¥/t-C に変更) することによって、シミュレーションの再実行を可能とすることが動的シナリオの意義のひとつである。すなわち、シナリオ上でシミュレーション条件を変更することにより様々な結果の違いを検討することができる。その一方で、入力データと“data\_detail”で接続された図 5.5.7 の仮定(a)では、エネルギー価格の競争がしたいに激しくなるという想定に基づいて、シミュレーションの入力データの一部として 1999～2030 年のエネルギー価格 (ガソリン価格、天然ガス価格等) を非明示的に導いている。この結果、仮定(a)と、シミュレーション (ブロック C) およびそこから導出されるシミュレーション結果 (ブロック D) の間の関係が論理的に弱いことを明確化する。すなわち、“data\_detail”はシナリオの論理構造に存在する曖昧さを明らかにする。

入力データの中には“data\_extraction”，“data\_detail”のいずれのリンクとも接続されていないものも数多く存在する。例えば、図 5.5.3 のセメントやデスクトップ PC の価格については、シナリオ文章上で全く言及されていない。このような場合に動的シナリオを作成しようとするとき、(1) シミュレータの入出力データ定義が明らかでないため、それらを作成することが困難である、(2) シナリオの記述に利用された入出力データの値が明らかでない、といった課題が生じる。当然ながら、課題(2)は“data\_detail”で接続された入力データにも言えることである。実際のところ、AIM/Enduse [Japan]に

は数百個の入力データが存在すると考えられるが、5.5 節の実行例ではシナリオの記述とシミュレータ本体から理解できた27個の入力データのみを定義した (図 5.5.3 参照)。これらの課題を解決するためには、シミュレータの開発者およびシナリオの作成者に問い合わせる必要がある。しかし、一般的にシナリオの記述に利用された入出力データの値は、様々なシナリオを作成するために試行錯誤的に様々なシミュレーションを同一のシミュレータを使って行うことがあるため、正確に保存されていない可能性が高い。このことから、シナリオの検証可能性を担保するためには、新たなシナリオを記述するごとに動的シナリオを作成することは有用である。

本章で示した実行例では、A1-Reference Scenario 上でシミュレーションを再実行することはできたが、明示的に新たなサブシナリオを作成しているわけではない。言い換えれば、シミュレーションを再実行するとき、元の構造化シナリオにおける入出力データの“dataset”ノード内の値を上書きしている。しかし、シミュレーションの再実行時に元のサブシナリオから新たなサブシナリオを作成すれば、それら2つのサブシナリオ間の前提条件と結果の相互比較が可能となる。この課題は、第7章で what-if 分析支援手法を提案することによって解決する。

本研究で提案した動的シナリオの作成手法における課題としては、以下の2つが挙げられる。

1. 1つのシナリオに複数のシミュレータが利用されている場合のシミュレーションが実行できない

この課題は、複数のシミュレータが相互に干渉している場合、つまり、複数のシミュレータの入出力データが相互に関連している場合にそれらの間の整合性が確保できないことにより生じる。本手法で提案した Dataset Manager は、1つのシナリオに1つのシミュレータが利用されている場合を対象としており、シミュレータ間の整合性を管理することはできない。この課題の解決は、3S Simulator が実現すべき機能の一つであるメタデータ (図 5.3.1 参照) を構築することによって実現できると考えている。

2. Expression Level で記述されるシナリオ文章と Data Level で記述されるシミュレータの入出力データ間の同期がとれていない

これはシステムの実装上の課題であり、構造化シナリオの Expression Level ノードに含まれるシミュレータのデータ値を変更したとき、そのノードと“data\_extraction”リンクで接続された“datum”ノードの値が自動的に変更されない。この課題は、Expression Level ノード内に含まれる入出力データとそれに対応する“datum”ノードを関連づけ、なおかつ、それらのデータ値の同期をとるツールを開発することによって解決が可能である。

## 5.7 第5章のまとめ

本章では、既存のシナリオとシミュレータの再利用性を向上させることを目的として、動的シナリオの作成手法を提案した。この手法によって、既存のシナリオとそのシナリオの作成に利用されているシミュレータの再利用に基づいて、既存のシナリオ上で前提条件を部分的に修正したときの様々なシミュレーションを実行可能となった。この手法を既存のシナリオに適用した結果、シナリオとシミュレータの入力データ間の関係を構造的に表現することができ、入力データの値がシナリオ上でどのように設定されているかを明確化できた。また、Dataset Managerと Simulator Databaseの開発によってシミュレータを再利用可能化できたことにより、シナリオとシミュレータ間の入出力データ交換が実現できた。その結果、シミュレーション条件を変更したときの結果をシナリオ上で検討できた。



## 第 6 章

### シナリオの論理構造分析手法

第 6 章では、持続可能社会シナリオの評価を支援するために、第 4 章で提案したシナリオの構造化手法に基づいてシナリオの論理構造分析手法を提案する。この手法では、シナリオの信ぴょう性に関する評価を支援するために、シナリオの根拠を定式化するとともに、シナリオの論理性を評価するための指標を提案する。本章で提案する手法の有効性を検証するために論理構造分析ツールを構築し、そのツールを用いてケーススタディを行う。

## 6.1 論理構造分析の目的とアプローチ

### 6.1.1 論理構造分析の目的

シナリオの論理構造を明確化するために、第 4 章ではシナリオの構造的記述法を提案した。本章ではシナリオの評価を支援するために、この手法に基づいてシナリオの論理構造を分析するための手法を提案する。

### 6.1.2 アプローチ

一般に、設計の評価においては対象物がなぜ、またはどのように設計されたのかについての理由を表す「設計根拠 (design rationale)」が重要であり、それらを明確化することによって設計を検証および修正することが可能となる[87]。この考え方に基づいて、本章ではシナリオを評価するために、シナリオの結論がどのように導き出されているかを明確化するための根拠を定式化する。本手法では根拠を利用することにより、シナリオの信ぴょう性 (credibility) (2.3 節参照) に関する評価を支援する。2.3 節で述べたように、信ぴょう性を評価する基準のひとつはシナリオ文章の論理の筋道が明瞭であることであるため、本手法ではさらに、シナリオの根拠を論理性に基づいて分類する。

本章における論理構造分析の対象は持続可能社会シナリオであり、そこではしばしばシミュレーションが利用される。このようなシナリオの結論を導出するための根拠として、シナリオの文章として記述される部分と、その記述を根拠付けるシミュレーション部分の 2 つがある。これに対応させるため、根拠の定式化は構造化シナリオにおける Expression Level と Data Level の 2 つのレベルを対象とする。さらに、シナリオの信ぴょう性の評価を支援するために、シナリオの結論を論理的に支持する根拠と、結論を論理的に弱く支持する根拠を明確に区別する。

さらに、シナリオの信ぴょう性を評価するための指標として“logicality index”を提案する。この指標は、シナリオがどのくらい論理的に記述されているかを測るものであり、論理性に基づいて定式化した 2 種類のシナリオ根拠を用いて定義する。

## 6.2 シナリオ根拠の定式化

本節では、シナリオの結論を支持する根拠を定式化する。ここで、一般に人工物の設計について定義される設計根拠 (**design rationale**) とは、設計の背後にある理由および推論の過程を意味する[88]。この考え方に基づいて、本節ではあるサブシナリオ (Scenario Level の“scenario”ノードに対応する) の根拠を、そのサブシナリオで設定される問題から結論を導出するために記述されている理由または説明と定義する。6.1.2 節で述べたように、持続可能社会シナリオの結論の導出にはシナリオ文章上の記述とシミュレーションが利用されるため、これらの両方を根拠として抽出可能とするために、本節ではシナリオの根拠を構造化シナリオの Expression Level と Data Level で定式化する。このとき、サブシナリオの問題と結論は、それぞれ Expression Level の“problem”, “conclusion”ノードに対応する。

シナリオを評価するために、本節ではシナリオの根拠を論理性に基づいて区別する。本研究では、論理的な関係とは、リンクで接続される2個のノード間で真理値が保存される関係であると定義し、その一方で真理値が保存されない関係を論理的に弱い関係と定義した (第 4 章参照)。Expression Level と Data Level それぞれのノード間の関係、およびそれらのレベル間の関係を表現するリンクに関して、論理的な関係と論理的に弱い関係を表 6.2.1 にまとめる。

表 6.2.1: 論理性に基づくリンクの分類

<i>Level</i>	<i>Link type</i>	
	<i>Logical</i>	<i>Logically weak</i>
Expression Level	causality equal	logical_jump detail refer compare paradox
Data Level	input output	
Expression-Data Levels	data_extraction result export	data_detail

表 6.2.1 に示したリンクの論理性に基づき、本節ではシナリオの根拠として(1) 根拠集合 (rationale set), (2) 基底 (base) という2種類を定義する。根拠集合は、サブシナリオに含まれる各結論を導出するための根拠全体を表し、基底は各結論と論理的な関係を持った根拠の始点ノードを表す。明らかに、基底は根拠集合の部分集合である。根拠の中でも特に基底は結論を導出するために重要な役割を果たす。その理由は、基底を変更すると結論も論理的に変化するからである。以下では、(1) 根拠集合、(2) 基底をそれぞれ定式化する。

## 6.2.1 根拠集合

根拠集合 (rationale set) は, あるサブシナリオのある結論を支持するノードとリンクの集合である. Expression Level と Data Level において, これらのノードは結論 (Expression Level の“conclusion”ノード) と導出関係を持つリンクで接続されたノードとして抽出する. ここで, Expression Level と Data Level のリンク(A, B)に対して, ノード A とノード B の間に導出関係のあるもの (意味的な方向性のあるもの) と導出関係のないもの (意味的な方向性のないもの) の 2 種類に分類すると, 表 6.2.2 のようになる.

表 6.2.2: 導出関係に基づくリンクの分類

Level	Link type	
	Links to semantically extend a node to another node	Links not to semantically extend a node to another node
Expression Level	causality logical_jump detail refer	equal compare paradox
Data Level	input output	
Expression-Data Levels	data_detail data_extraction result_export	

いま, あるサブシナリオを表す“scenario”ノードに含まれる Expression Level と Data Level の全ノードとそれらのノードに関連する全リンク (Expression Level のリンク, Data Level のリンク, Expression と Data Level 間のリンク) を, それぞれ  $N$ ,  $L$  とおく. 図 6.2.1 に, サブシナリオ内の  $i$  番目の“conclusion”ノード  $n_c^i \in N$  とリンクで関連づけられたノードとリンクを示す. このとき,  $n_c^i \in N$  に対する根拠集合に含まれるノードとリンクの集合を, 表 6.2.2 に示した導出関係を表す 9 種類のリンクと, 接続する 2 個のノードが意味的に等価であることを表す“equal”リンクを用いて次式のように抽出する.

$$N_R^* = \{n \mid n \in N, \text{type}(n) \notin \text{problem}\} \quad (6.1)$$

$$L_R^* = \{l \mid l \in L, \text{type}(l) \in \{\text{causality}, \text{equal}, \text{logical\_jump}, \text{detail}, \text{refer}, \text{input}, \text{output}, \text{data\_extraction}, \text{data\_detail}, \text{result\_export}\}\} \quad (6.2)$$

ここで,  $\text{type}(n)$ ,  $\text{type}(l)$  はそれぞれノード  $n \in N$  とリンク  $l \in L$  の種類を表す. いま, グラフ  $G_R = (N_R^*, L_R^*)$  を定義すると,  $n_c^i \in N$  に対する根拠集合は  $G_R$  のサブグラフである.  $n_c^i$  に到達可能なサブグラフ (または,  $n_c^i$  を含む連結成分[89]) を  $G_R^S = (N_R^S, L_R^S)$  ( $N_R^S \in N_R^*$ ,  $L_R^S \in L_R^*$ ) と定義すると, 根拠集合

$rationale(n_c^i)$ を次式で得る<sup>1</sup>.

$$rationale(n_c^i) = \{G_R^S - n_c^i\} \quad (6.3)$$

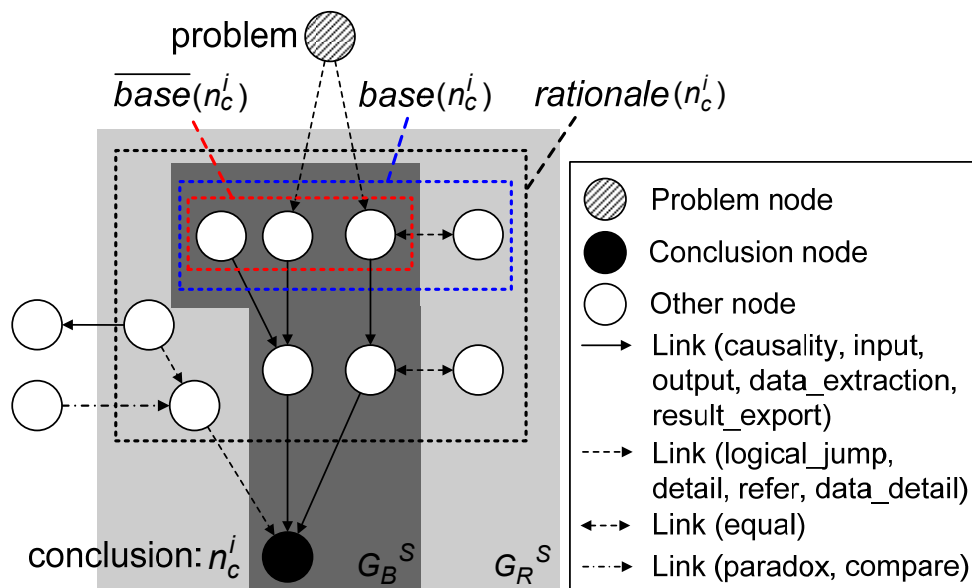


図 6.2.1: ある結論  $n_c^i$  を導出する根拠集合と基底

### 6.2.2 基底

基底 (base) は、あるサブシナリオのある結論と論理的な関係を保持する始点ノードの集合である。別の言い方をすれば、ある結論の「基底」が信じられればその結論も信じられると考え、“conclusion”ノードの真理値は基底に含まれるノードの真理値の論理積として計算できる。

図 6.2.1 に示すように、ある“scenario”ノードに含まれる  $i$  番目の“conclusion”ノード  $n_c^i \in N$  に対する基底を抽出する。まず、論理的な関係を表すリンクの集合を次式で定義する。

$$L_B^* = \{l \mid l \in L, type(l) \in \{causality, input, output, data\_extraction, result\_export\}\} \quad (6.4)$$

ここで、論理的な関係を表すリンクは表 6.2.1 に示したとおりであるが、このうち“equal”リンクは式 (6.4) には含めない。“equal”リンクを除く理由は、基底の定義である「始点ノード」以外のノードを含めてしまうことを避けるためである<sup>2</sup>。グラフ  $G_B = (N, L_B^*)$  において、 $n_c^i \in N$  に到達可能なサブグラフを  $G_B^S = (N_B^S, L_B^S)$  ( $N_B^S \in N, L_B^S \in L_B^*$ ) と定義すると、 $n_c^i \in N$  に論理的に到達可能な始点ノードの集合は次式で抽出できる。

<sup>1</sup>  $n_c^i$  に到達可能なサブグラフとして  $G_R^S = (N_R^S, L_R^S)$  を抽出する際、refer(A, B)リンクの導出方向のみノード B からノード A であり、4.3.2 節で述べたように元々の定義による表記上の矢印の向きとは逆である。

<sup>2</sup> “equal”リンクを式(4), (5)で扱わない理由は基底を定式化するための技術的な問題である。ここで示す定式化では、“equal”リンクで接続される基底を式(6)で含める。

$$\overline{base}(n_c^i) = \{n \mid n \in N^S, n \neq n_c^i, id(n) = 0\} \quad (6.5)$$

ここで、 $id(n)$ はサブグラフ  $G_B^S$  のノード  $n \in N_B^S$  に入力するリンク  $l \in L_B^S$  の数 (入次数) である[89]. すなわち、 $id(n)=0$  であるノード  $n$  は他のノードからそれ自身に入力されるリンク  $l \in L_B^S$  を持たない. 最後に、図 6.2.1 に示すように式(6.5)の  $\overline{base}(n_c^i)$  と“equal”リンクで接続されるノードを含めることにより、 $n_c^i$  に対する基底  $base(n_c^i)$  を次式で定式化する.

$$\begin{aligned} base(n_c^i) = \{n \mid n \in \overline{base}(n_c^i) \vee \exists l(l \in L, n \in N, \\ type(l) = equal, l(n, n'), n' \in \overline{base}(n_c^i))\} \end{aligned} \quad (6.6)$$

ここで、 $l(n, n')$  はノード  $n \in N$  と  $n' \in N$  を接続するリンクを表す.

### 6.3 論理性指標によるシナリオ評価

シナリオの信ぴょう性を評価するために、本節ではシナリオの論理構造がどの程度、論理的に展開されているかを評価する。完全に論理的なシナリオでは、シナリオ文章の論理が明瞭で、その筋道が追跡可能であるといえる。

本節では、シナリオの結論の信ぴょう性を評価することを目的として、あるサブシナリオの結論を導出するための根拠の論理性を評価するための論理性指標  $LI$  (logicality index) を定義する。あるサブシナリオ  $G^S=(N^S, L^S)$  の  $LI$  は、シナリオの根拠全体に対して論理的に結論を導出する根拠の割合と定義する。

いま、 $Num(N)$ をノード集合  $N$  の個数、 $N_E(G)$ をグラフ  $G$  に含まれる Expression Level のノード集合としたとき<sup>1</sup>、 $LI$ を次式で定義する。

$$LI = \frac{Num(N_E(G_C^U))}{Num(N_E(G_R^U))} \times 100 \quad (6.7)$$

ここで、 $G_R^U$  はサブシナリオ  $G^S$  に含まれる結論  $n_c^i$  に対する根拠集合の和集合、 $G_C^U$  はグラフ  $G^S=(N^S, L^S)$  において、サブシナリオ  $G^S$  に含まれる任意の結論  $n_c^i$  に対して論理的に到達可能なサブグラフとする。すなわち、 $G_R^U$  と  $G_C^U$  はそれぞれ以下のように表すことができる。

$$G_R^U = \bigcup_i \text{rationale}(n_c^i) \quad (6.8)$$

$$G_C^U = (N_C^S, L_C^S) \quad (G_C^U \subseteq G_R^U) \quad (6.9)$$

式(6.9)において、 $G_C^U$  は  $G^S$  に含まれる任意の結論  $n_c^i$  と「論理的な」関係を持った根拠であることから、その構成要素であるノードとリンクはそれぞれ式(6.10)、(6.11)の条件を満たす。

$$N_C^S = \{n \mid n \in N^S, \text{type}(n) \neq \text{conclusion}\} \quad (6.10)$$

$$L_C^S = \{l \mid l \in L^S, \text{type}(l) = \text{causality, equal, input, output, data\_extraction, result\_export}\} \quad (6.11)$$

式(6.7)で定義したように、 $LI$  はシナリオの文章として記述される根拠、すなわち Expression Level のノードの個数をもとに計算する。Data Level のノードとリンクとして表現するシミュレーション部分は、式(6.8)、(6.9)で表される Expression Level のノードの論理性を担保するものである。 $LI$  のスコアの満点は 100 であり、そのときサブシナリオに含まれるすべての結論とそれらを導出するためのすべての根拠の間が論理的な関係で記述されていることを意味する。

<sup>1</sup>  $LI$  の計算において、本研究ではシナリオ文章の論理性を評価するために、シナリオの記述を単位とする Expression Level のノードのみを扱う。



## 6.4 インプリメンテーション

本節では、論理構造分析を支援するためのシステムとして論理構造分析ツールを構築し、その有効性を検証するためにシステムを用いて簡単な例題を実行する。

### 6.4.1 システム構成

本章で提案する論理構造分析手法を支援するための論理構造分析ツールの要求仕様は以下の2点である。

- 定式化したシナリオの根拠 (根拠集合, 基底) をシナリオから抽出し、ユーザがそれらを理解可能な形式で表示すること。
- 論理性指標  $LI$  のスコアを計算し、それを表示すること。

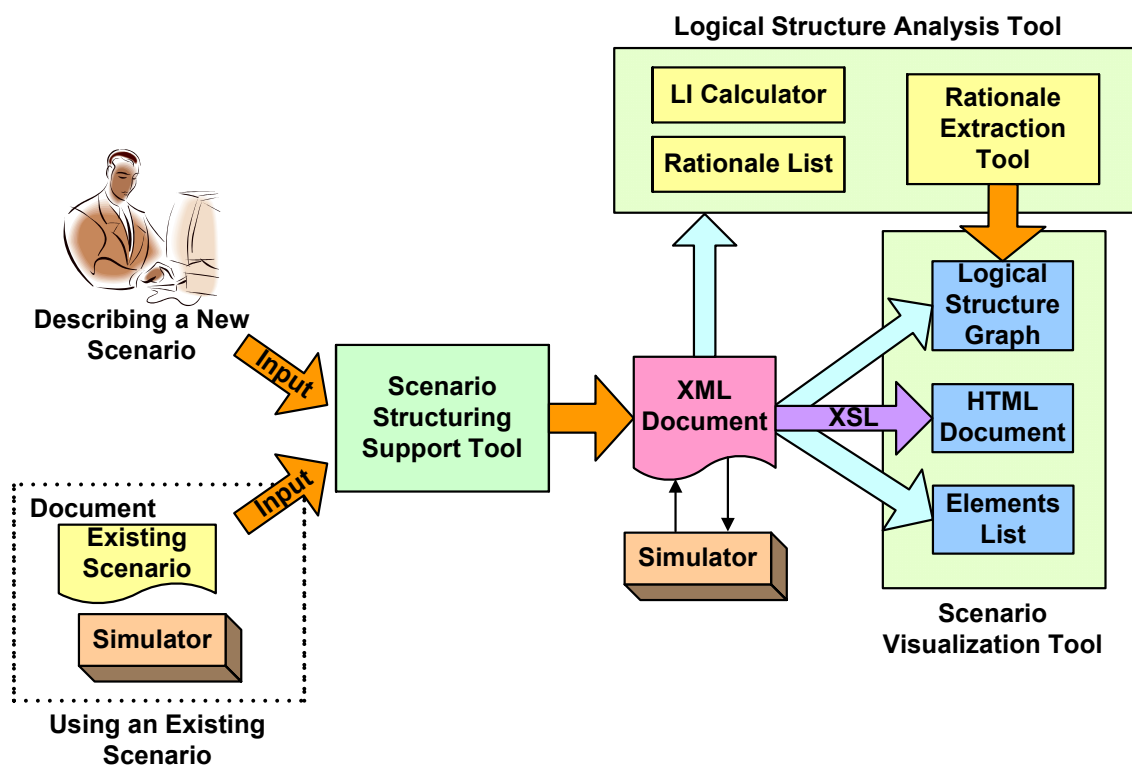


図 6.4.1: 論理構造分析ツールの構築

上記の機能を実装するために、論理構造分析ツールをシナリオ構造記述支援システム (図 4.6.1) に組み込む (図 6.4.1 参照). 論理構造分析の構成要素である根拠抽出ツール, 根拠リスト,  $LI$  計算ツールの各機能は以下のとおりである。

- 根拠抽出ツール: 論理構造グラフ上で、サブシナリオの根拠集合と基底をそれぞれ視覚化する。
- 根拠リスト: サブシナリオの根拠集合と基底を構成するノードとリンクの個数を、種類別に表示する。
- LI 計算ツール: サブシナリオの論理性指標 (LI) を計算して、そのスコアを表示する。

#### 6.4.2 実行例

CO2 Emissions Scenarios in Japan の A1-Reference Scenario[77]の Expression Level と Data Level における構造化シナリオに対して、論理構造分析を実行する。まず、A1-Reference Scenario の根拠を抽出したときのグラフを図 6.4.2 に示す。青字のノードは基底、赤字のノードと青字のノードおよび赤字のリンクは根拠集合を表す。また、ブロック(A)～(E)は、それぞれ problem, hypothesis, simulation, result, conclusion を表す“scenario\_component”ノードに対応する。根拠集合のノードはブロック B, C, D に含まれる。

根拠集合を構成するノードとリンクを根拠リストにより表示すると図 6.4.3 のようになり、それらをまとめたものが表 6.4.1 である。表 6.4.1 に示すように、根拠集合のノードは 17 個のノードと 32 個のリンクから構成される。根拠集合の中で、基底はブロック(B)内の青字で表示される 3 個の“hypothesis”ノードである。さらに、入力データを含む“dataset”ノードの中で、“data\_extraction”リンクと接続されていない“datum”ノード、すなわち、“data\_detail”リンクと接続されている“datum”ノードおよびどのリンクとも接続されていない“datum”ノードも、A1-Reference Scenario の結論に対する基底である。

表 6.4.1: 根拠集合に含まれるノードとリンクの個数

<i>Node</i>		<i>Link</i>	
<i>Type</i>	<i>Number (%)</i>	<i>Type</i>	<i>Number (%)</i>
hypothesis	12 (71%)	logical_jump	11 (35%)
derived_fact	2 (12%)	causality	4 (13%)
literature	0 (6%)	detail	3 (9%)
fact	0 (0%)	equal	2 (6%)
action	0 (0%)	refer	0 (0%)
dataset	2 (12%)	input	1 (3%)
simulator	1 (6%)	output	1 (3%)
		data_detail	6 (19%)
		data_extraction	2 (6%)
		result_export	2 (6%)
Total	17 (100%)	Total	32 (100%)

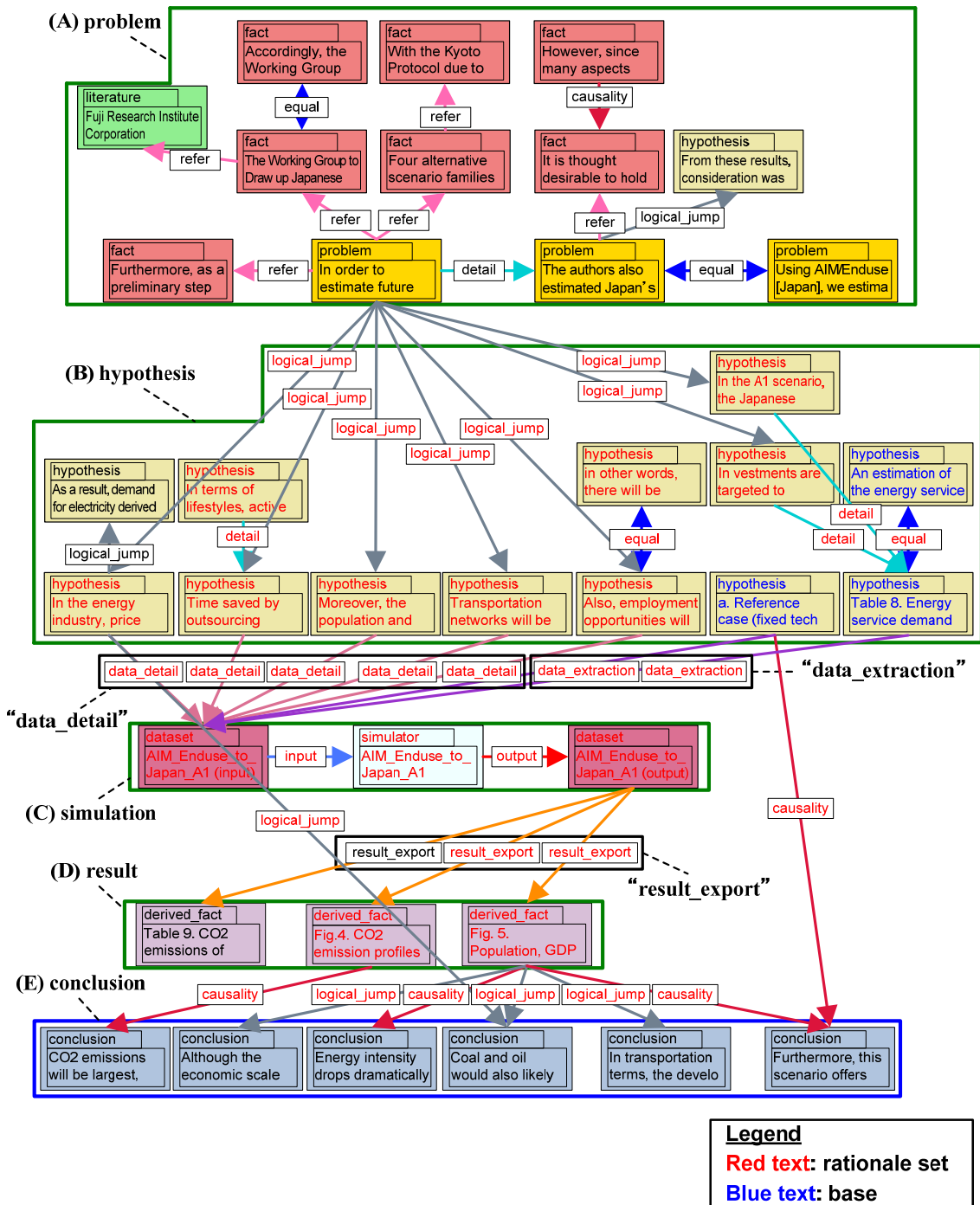


図 6.4.2: A1-Reference Scenario における根拠の抽出

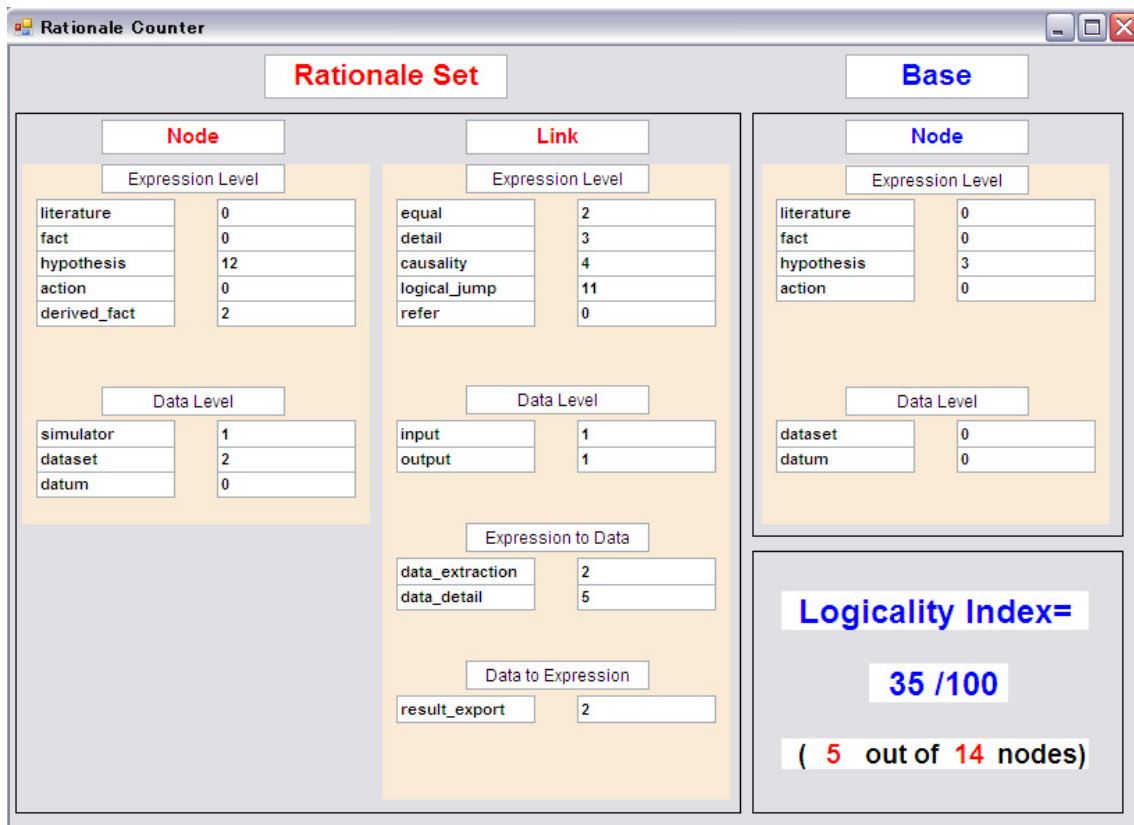


図 6.4.3: 根拠の構成要素と論理性指標の表示

表 6.4.1 によると、根拠集合を構成する“hypothesis”ノードは全体の 71%を占める一方で、“fact”ノードはひとつも存在しない。つまり、このサブシナリオにおける結論の信ぴょう性は“hypothesis”ノードで想定される仮定の信ぴょう性に依存する。リンクの個数では、論理的な関係を表す“causality”や“equal”リンク（合計 6 個）よりも、論理的に弱い関係を表す“logical\_jump”，“detail”リンク（合計 14 個）の方が多。このことから、サブシナリオの結論と根拠の関係は論理的に弱いといえる。実際のところ、図 6.4.3 に示すように A1-Reference Scenario の論理性指標  $LI$  は 35 であり（式(6.12)参照）、根拠集合に含まれる Expression Level のノード個数のうちの 65%は結論を論理的に弱く支持する根拠である。

$$LI = (5/14) \times 100 = 35\% \quad (6.12)$$

ここで、式(6.12)の  $LI$  を計算するために用いた  $G_R^U$  と  $G_C^U$  を抽出するとそれぞれ図 6.4.4 のようになる。 $G_R^U$  は表 6.4.1 に示した根拠集合と一致するので 14 個の Expression Level ノードと 3 個の Data Level ノード、 $G_C^U$  は 5 個の Expression Level ノードと 3 個の Data Level ノードから構成される。

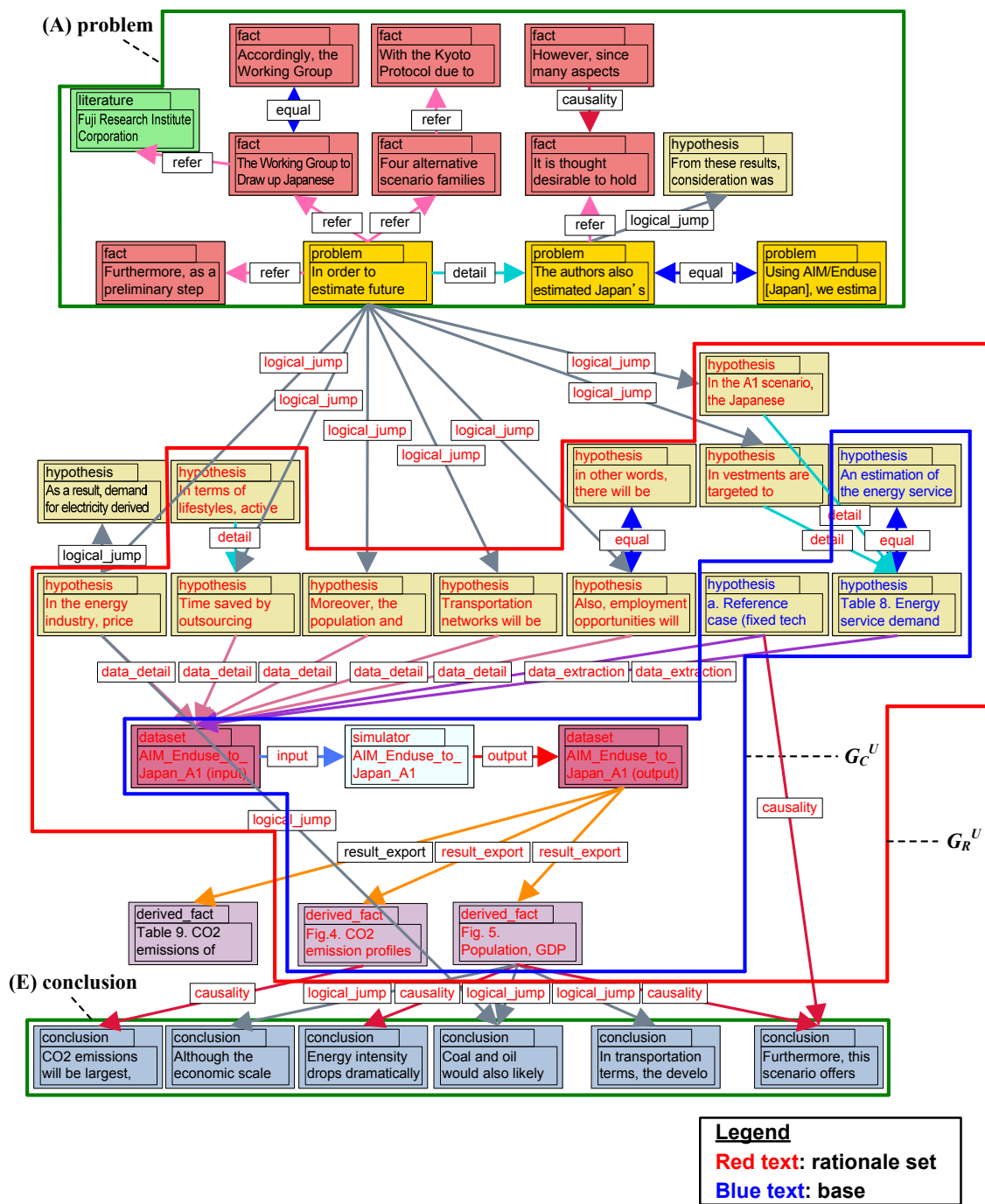


図 6.4.4: A1-Reference Scenario における  $G_R^U$  と  $G_C^U$  の抽出

特に基底は、結論を論理的に支持する根拠の始点となるノードであり、基底の信ぴょう性を議論することは結論の信ぴょう性を担保するために重要である。例えば、図 6.4.5 (図 6.4.2 の一部を抽出したグラフ) の仮定(a)では経済成長率などの入力データ値が設定されており、これは結論(b)で述べられている 2020 年の CO2 排出量にシミュレーションを介して直接的に影響する点でクリティカルな仮定である。仮定(a)で設定されている経済成長率の値は、“detail”リンクで接続された仮定(c)

の記述がもとになっており、そこでは日本経済が市場原理システムにシフトするという仮定が置かれている。仮定(a)と(c)の間には論理的な関係は存在しないものの、仮定(c)は明らかに経済成長率に影響を与える記述である点で、結論(b)の記述と関係がある。

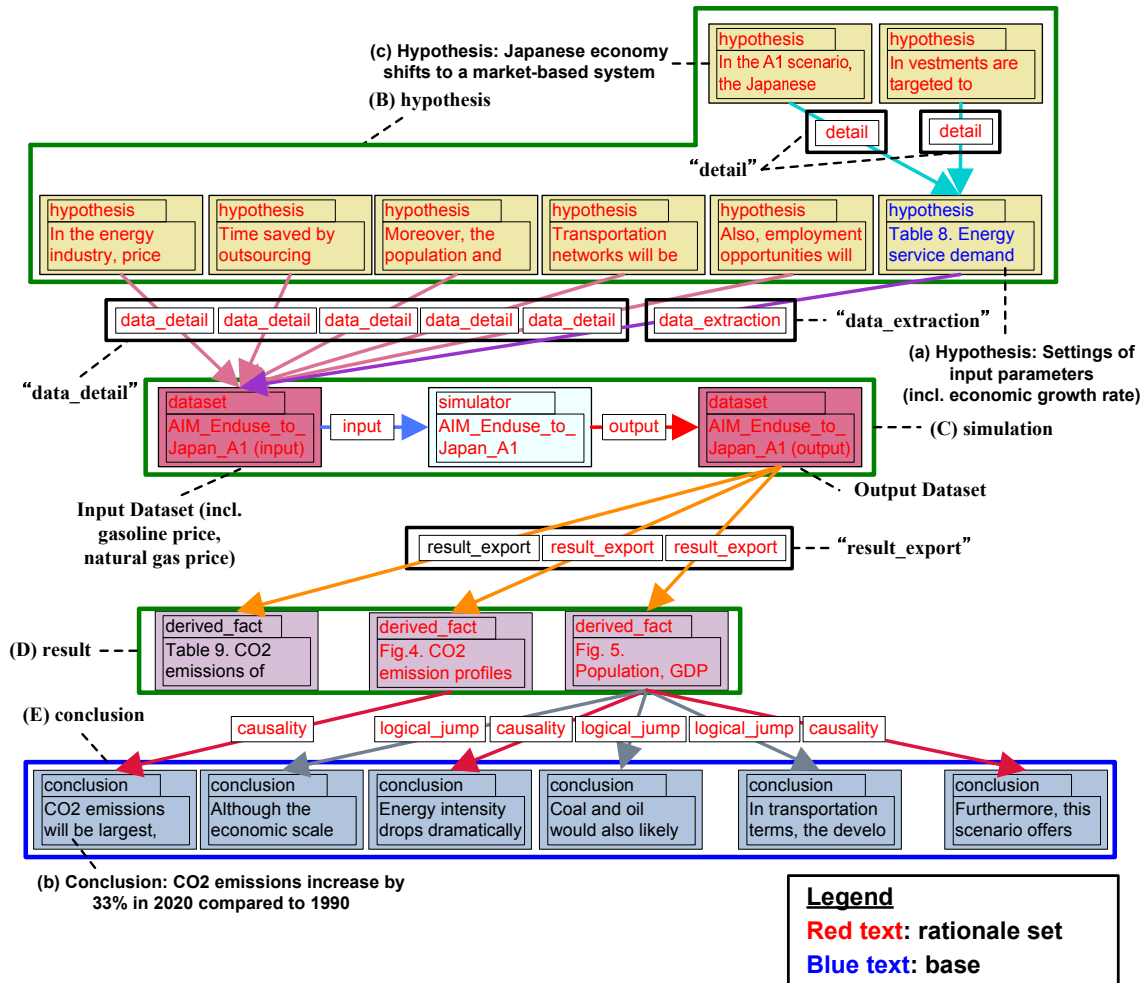


図 6.4.5: A1-Reference Scenario の根拠 (拡大のため図 6.4.2 からブロック(A)と(B)の一部を削除)

## 6.5 考察

本章で定式化したシナリオの根拠を用いることにより、シナリオの結論がどのような前提条件のもとに導出されているのかを明確化することができた。さらに、シナリオの根拠を、論理的に結論を導出する根拠と論理的に弱い関係で結論を導出する根拠の2種類に区別した。

実行例で示したように、図 6.4.5 の仮定(a)のような基底は特に、その真理値が導出される結論の真理値と一致する点で、結論に対して相対的に大きな影響を与える前提条件である。それゆえ基底は、シナリオの結論の信ぴょう性を評価するために重要な根拠を表す。ただし、基底内の各ノードの信ぴょう性は、その記述内容に基づいて読み手が判断する必要がある。さらに、基底を否定することによって、すなわち基底の条件を変更することによって、異なる結論が論理的に導出できる。このことは、基底を変更すると直ちに、元のシナリオと異なる結論を持った派生シナリオが作成できることを意味する。基底を利用した派生シナリオの作成については、第8章および第9章で議論する。

一方で、基底以外の根拠のうち、例えば図 6.4.5 の仮定(c)はシナリオの結論に影響を与えるものの、基底と比較すると論理的な関係は曖昧である。しかし、仮定(c)の記述は仮定(a)で経済成長率の値を設定した理由を理解するために必要である。この例のように、ある仮定を定量化するという操作は将来を記述するためには不可欠であり、このことは持続可能社会シナリオにおいて論理的に弱い関係が不可避免的に存在すべきものであることを意味する。

本手法ではシナリオの信ぴょう性を評価するために、*logicality index (LI)* を定義した。この指標は、結論とその根拠の間の筋道がどの程度論理的に追跡可能であるかを表す指標である。シナリオの信ぴょう性には、(1) 記述内容が意味的に確からしいかどうか、(2) 記述が論理的であるか、の2点が少なくとも含まれると考えられるが、*LI* は後者の(2)を定量的に評価可能とする。前節の実行例で示したように、*A1-Reference Scenario* では結論を導出するための根拠のうち、35%が結論を論理的に支持する根拠であることが明らかとなった。ただし、上述のように持続可能社会シナリオの記述に論理的に弱い関係は必須であるため、必ずしも*LI*の数値が100に近いほうが良いわけではなく、シナリオに対するユーザの信ぴょう性に関する要求次第である。*LI* の課題として、結論の根拠を表すノード数が増えるほど(根拠の記述を増やすほど)*LI*の値が低下する可能性がある。例えば、前提条件を記述するために参考文献を多く記載するほど、*LI*の値は相対的に下がる。これは、上記の信ぴょう性の評価項目(1)に反するとも言えるが、本研究では意味に関わる信ぴょう性の評価は*LI*で扱わず、読み手が評価するものとする。

本手法で提案した根拠集合と基底が持つ課題を挙げる。それは、4.7節で述べたシナリオ構造化手法の課題と同様に、シナリオ記述の根拠として利用されるシミュレーションモデルを扱うことができない点である。つまり、根拠集合と基底は、シナリオ上の記述とシミュレータの入出力データの

みを対象としている。図 6.4.2 に示した例では、シナリオ文章としてシミュレーションモデルに関する記述が存在しないため、本手法ではそのモデルで想定されている前提条件を明らかにすることができない。この課題を解決するためには、ユーザ自身がシミュレータに組み込まれているモデルを検証する必要がある。



## 6.6 第 6 章のまとめ

本章では、シナリオの評価を支援するために、シナリオの論理構造分析手法を提案した。この手法では、シナリオの結論を導出するために用いられている根拠を定式化し、その根拠を抽出可能とした。この結果、シナリオの結論がどのような前提条件のもとに導出されているのかを明確化することができた。さらに、シナリオの根拠を論理性に基づいて区別し、すなわち、論理的に結論を支持する根拠と論理的に弱く結論を支持する根拠の 2 種類に区別した。これらの根拠を利用することにより、シナリオの信ぴょう性を議論することが支援できる。また、シナリオの信ぴょう性を評価するための指標として論理性指標 (**logicality index**) を定義することによって、シナリオの結論を導出するための根拠がどの程度論理的に記述されているかを定量的に測定可能とした。



## 第 7 章

### 既存シナリオの what-if 分析による派生シナリオの 作成手法

第 7 章では, 既存のシナリオに対する what-if 分析に基づき, 派生シナリオを作成支援するための方法を提案する. 本章では手法の実行を支援するために what-if 分析支援ツールを構築し, 実行例の結果を通して手法の有効性を考察する.

## 7.1 what-if 分析の目的

シナリオの本質は、起こりうる様々な将来を想起することによって、将来への備えを可能とすることにある[22]。起こりうる様々な将来を描くという点においては、新たにシナリオを作成する場合と既存のシナリオを利用する場合の 2 通りのケースがある。新たにシナリオを作成する場合には、前提条件の大きく異なる複数のサブシナリオとして起こりうる複数の将来が描かれる（例えば、IPCC シナリオ[9]の A1, A2 シナリオなど）。一方で、既存のシナリオを対象とする場合には、既に描かれたあるサブシナリオの前提条件に不確実性があると考えられるとき、それらを変化させたときの結果を検討することが考えられる。この点で、必ずしも文章として記述されないシナリオを対象として、定量的な what-if 分析を実行するための支援ツールが提案されている（例えば[90]）。しかし、文章として記述される既存の持続可能社会シナリオを再利用して、前提条件を変えたときの状況を派生シナリオとして描くための方法は十分に手順化されておらず、その計算機支援は実現されていない。

本章では、上記の 2 つめのケースを支援するために、既存シナリオ上で what-if 分析（ある前提条件を変化させたとき、結果がどのように変化するか）を行うことによって派生シナリオを作成するための手法を提案する。この結果、シナリオ作成者以外の第三者が既存シナリオをもとにして、ここでは描かれていない、かつ起こりうる複数の将来を検討することができる。ここで述べた what-if 分析の効用のイメージを図 7.1.1 に示す。図 7.1.1 において、基準点 (reference point) は既存のサブシナリオで描かれている将来、グレーで表示される基準点の周辺領域はそのサブシナリオに対する what-if 分析によって描くことのできる複数の将来を表す。

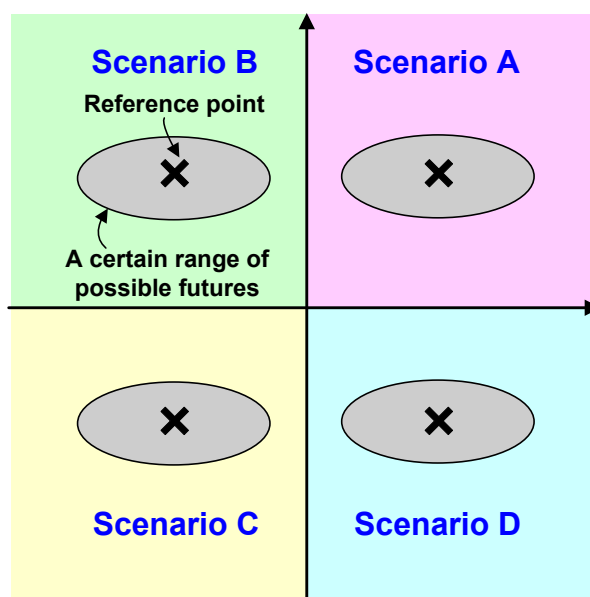


図 7.1.1: what-if 分析の効用

## 7.2 アプローチ

本研究では、既存シナリオの what-if 分析とは、既存シナリオ上で記述された前提条件を部分的に変更したときの結果を求め、その結果をもとに元のシナリオとは異なる結論を持った派生シナリオを作成することであると定義する。このような what-if 分析を実行するためのアプローチとして、本章で提案する手法では以下の 4 点を採用する。

- 既存シナリオにおいて変更すべき前提条件を抽出するために、6.2.2 節で定式化したシナリオの基底を利用する。シナリオ根拠の中でも基底のみを利用する理由は、基底を変更することにより元のシナリオとは異なる結論を持った派生シナリオが作成できるからである。
- 既存のシナリオ上で前提条件を変更したときの結果を求めるために、第 5 章で提案した動的シナリオを利用する。動的シナリオの利用により、条件を変更した場合についてのシミュレーションを実行可能とする。
- 既存のシナリオから派生シナリオの作成を支援するために、シナリオの基本パターンを定義する。
- what-if 分析を実行する対象とする既存のシナリオの再利用を容易にするため、シナリオをアーカイブ化するためのデータベースとして Scenario Database を構築する。

7.3, 7.4 節では、上記のアプローチの 3 つめと 4 つめに対応して、シナリオの基本パターンおよびシナリオのアーカイブ化手法を提案する。

### 7.3 シナリオの基本パターン

本研究では、持続可能社会シナリオに含まれるサブシナリオは、4.2 節で述べたように problem, hypothesis, simulation, result, discussion, conclusion の 6 種類のコンポーネントから構成されると定義した。この構成を用いて、既存のシナリオ A から what-if 分析によって派生シナリオ A' を作成するときのシナリオ全体の基本パターンを図 7.3.1 のように定義する。基本パターンは、シナリオの構造化手法における Scenario Level で定義する。

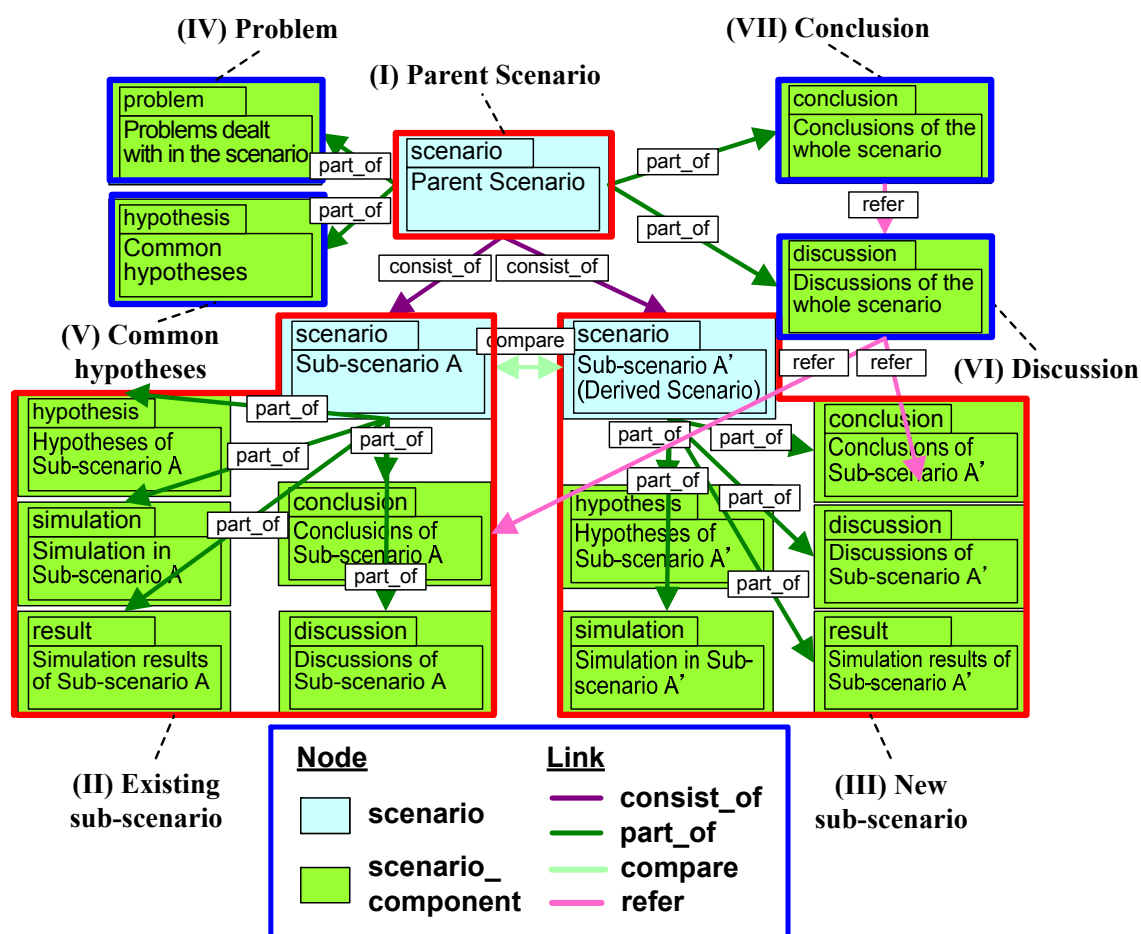


図 7.3.1: シナリオの基本パターン

図 7.3.1 の基本パターンは、以下の 3 つの前提に基づいている。

- 既存シナリオ A から派生シナリオ A' を作成する場合、それら 2 つのシナリオの問題設定は同一であり、なおかつ、2 つのシナリオには共通となる前提が存在する。
- 既存シナリオ A と派生シナリオ A' の比較に基づいて、シナリオ全体の考察と結論が記述される

ものと想定する。

- 既存シナリオ A と派生シナリオ A' はそれぞれ持続可能社会シナリオのサブシナリオであるため、6 種類のコンポーネント (problem, hypothesis, simulation, result, discussion, conclusion) から構成されるものと定義する。ただし、上記のとおり、problem のコンポーネントは2つのサブシナリオ間で共通であると想定する。

図 7.3.1 に示すように、親シナリオ(I)はサブシナリオとして既存シナリオ A(II)と派生シナリオ A'(III)を持ち、サブシナリオ A と A' が相互に比較対象であることを“compare”リンクにより明確化する。サブシナリオ A, A' に共通である問題設定(IV)と仮定(V)は、親シナリオ(I)と直接“part\_of”リンクにより接続する。さらに、シナリオ全体の考察(VI)、結論(VII)をサブシナリオ A, A' の結論を参照することによって導出すると想定する。



## 7.4 シナリオのアーカイブ化

本報では、既存シナリオを収集し、再利用可能とするために Scenario Database を構築する。このデータベースでは、7.3 節で示したシナリオの親子関係（親シナリオとサブシナリオの関係）および、シナリオの家族関係（既存シナリオと、what-if 分析後の派生シナリオを含むシナリオ全体の関係）を表現するために、1 つのサブシナリオに対して以下の情報を保持する。

- ID: サブシナリオの ID 番号
- name: サブシナリオの名前
- parent ID: サブシナリオの親シナリオを表す ID
- scenario path: 構造化されたサブシナリオへのパス
- family ID: サブシナリオが所属するシナリオファミリーの ID。既存シナリオと what-if 分析後のシナリオ全体（既存シナリオ、派生シナリオ、およびそれらの親シナリオを含む）には、同一のシナリオファミリーID を持たせる。
- family name: サブシナリオが所属するシナリオファミリー名

このうち、parent ID はサブシナリオと親シナリオの関係を表し、family ID はシナリオの家族関係、すなわち what-if 分析前のシナリオと what-if 分析後のシナリオの関係を表す。Scenario Database の実行画面を図 7.4.1 に示す。

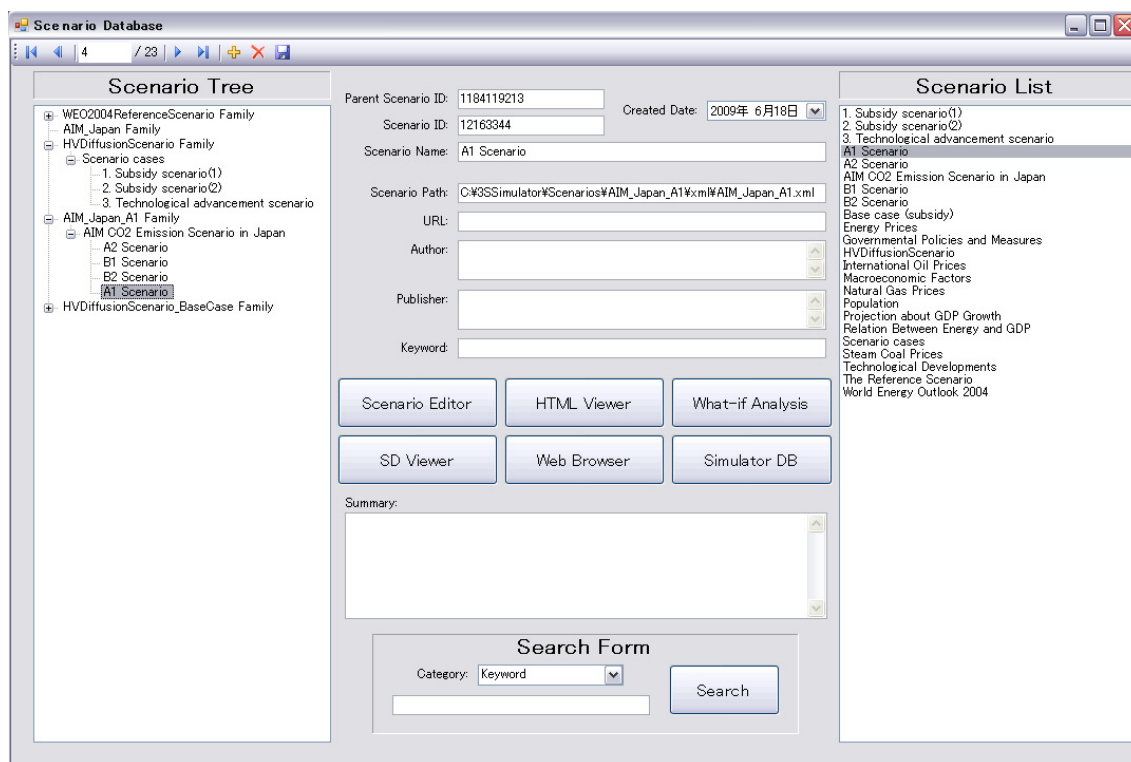


図 7.4.1: Scenario Database の実行画面

## 7.5 システム構成

本章で提案した手法を支援するためのシステムの全体構成を図 7.5.1 に示す。既存シナリオの what-if 分析に基づく派生シナリオを作成支援するために、what-if 分析支援ツールと Scenario Database を新たに構築し、これらを第 4 章～第 6 章で構築したシナリオ構造化支援ツール、シナリオ視覚化ツール、Dataset Manager, Simulator Database, 論理構造分析ツールと統合化した。

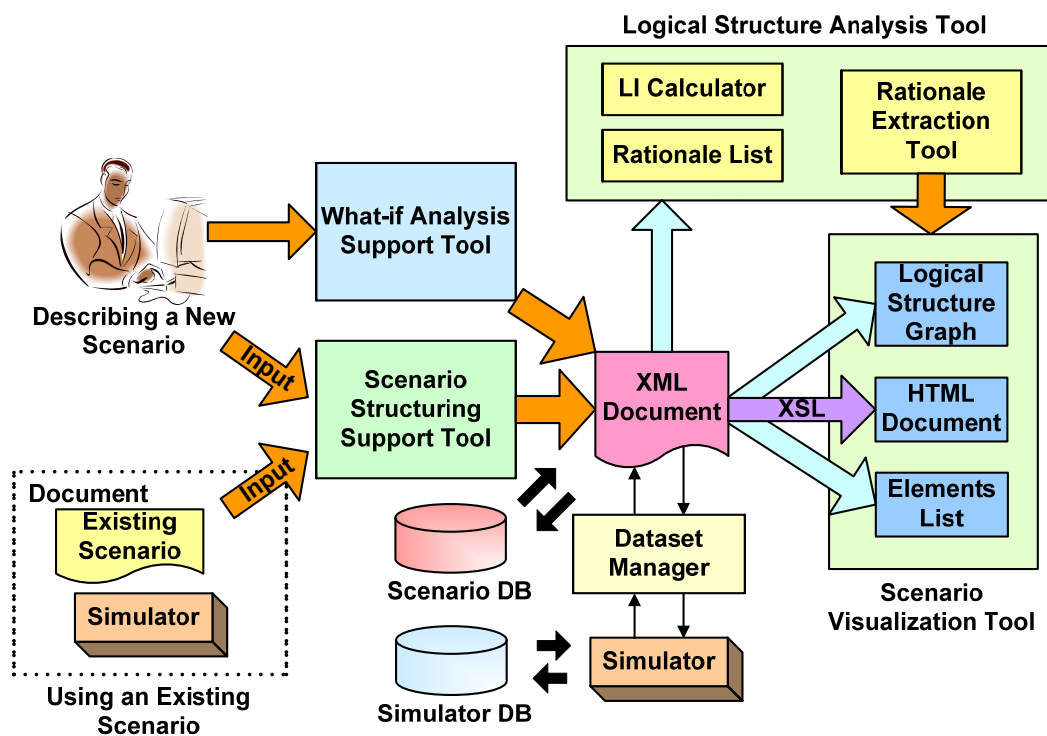


図 7.5.1: what-if 分析支援ツールの構築

各構成要素が what-if 分析において果たす機能はそれぞれ以下のとおりである。

- what-if 分析支援ツール: シナリオの基本パターンに基づいて、シナリオの基本構造を生成する。また、このツールには、シミュレーション結果の比較をグラフ表示するための「シナリオ比較モジュール」を実装する。
- Scenario Database: 既存シナリオを再利用可能にするとともに、what-if 分析により作成されたシナリオを管理する (7.4 節参照)。
- シナリオ構造化支援ツール・シナリオ視覚化ツール: 派生シナリオの内容、またはシナリオ全体の仮定や考察、結論などを記述するためのワークスペースを提供する。
- Dataset Manager・Simulator Database: 既存シナリオの前提条件を変更したときのシミュレーショ

ン結果の導出を支援する。

- 論理構造分析ツール: what-if 分析における前提条件の修正候補として, 既存シナリオの根拠を提示する。

次節では, 以上のシステムを利用した what-if 分析の実行手順を述べる。

## 7.6 what-if 分析の手順化

7.2 節で示したアプローチを詳細化することにより、what-if 分析を以下の手順で実行する。

1. what-if 分析を実行する既存シナリオをユーザが Scenario Database から選択する。もし what-if 分析を実行したいシナリオが登録されていなければ、前もってユーザがシナリオを Scenario Database に登録する。
2. 論理構造分析ツールが既存シナリオの基底を抽出することにより、変更すべき前提条件の候補を導出する。
3. ユーザが既存シナリオの基底を不確実性と影響度の観点から評価し、それらが大きな基底を変更箇所として1つまたは複数選択する。ここで、影響度はある評価指標（例えば、CO2 排出量や利益）に対する感度分析により導出する。感度分析は、ユーザが動的シナリオを利用して実行する。その一方で、不確実性はシナリオ設計に関わるステークホルダー間の議論によって評価する。
4. 次に、what-if 分析支援ツールが、既存シナリオから図 7.3.1 の基本パターンに基づいて Scenario Level におけるシナリオ構造を作成する。図 7.3.1 のシナリオ構造において、ブロック(II)には what-if 分析支援ツールが既存シナリオの simulation, result, discussion, conclusion コンポーネントの各記述をそのまま移動する。ただし、既存シナリオの hypothesis コンポーネントの内容は、共通の仮定を表すコンポーネント(V)に移動する。これは、what-if 分析では既存シナリオの仮定の大部分は再利用し、一部のみを変更するという想定に基づいている。ブロック(III)の simulation コンポーネントには、ユーザによる作業負荷を軽減するために既存シナリオの simulator コンポーネントを複製する。また、シナリオの問題設定(IV)には、既存シナリオの problem コンポーネントに含まれる記述を記入する。この時点で、ブロック(II)の hypothesis コンポーネント、ブロック(III)の hypothesis, result, discussion, conclusion コンポーネントとコンポーネント(VI), (VII)の内容は空である。
5. ユーザが手順 3 で選択した変更箇所に関連して、既存シナリオおよび派生シナリオの独自の仮定をそれぞれブロック(II)の hypothesis コンポーネントとブロック(III)の hypothesis コンポーネントに記述する。
6. ユーザが動的シナリオを利用して派生シナリオのシミュレーションを実行し、その結果と考察、結論をそれぞれ、ブロック(III)の result, discussion, conclusion コンポーネントに記述する。最後に、既存シナリオと派生シナリオの結論を参照しながら、ユーザがシナリオ全体の考察と結論をそれぞれコンポーネント(VI), (VII)に記述する。
7. what-if 分析支援ツールが、what-if 分析を経て新たに作成したシナリオを Scenario Database

に登録する。新たに作成したシナリオと手順 1 で選択したシナリオは, Scenario Database 上では同一の **famili name** が自動的に付与され, シナリオ間の家族関係が明確化される。

なお, 上に示した what-if 分析の実行例は第 8 章で示す。

## 7.7 第7章のまとめ

本章では、既存のシナリオに **what-if** 分析を適用することによって、派生シナリオを作成するための手法を提案した。本手法では、既存シナリオに対する **what-if** 分析とは、既存シナリオの前提条件を修正したときの結果を求め、その結果を含む派生シナリオを明示的に作成する操作であると定義した。本章では、**what-if** 分析を支援するために、第6章で定式化したシナリオの基底と、新たに定義したシナリオの基本パターンを利用することにより、既存シナリオから派生シナリオを系統立てて作成するための手順を示した。さらにこの手法を支援するためのシステムを構築した。





## 第 8 章

### 実行例: HEV Diffusion Scenario

第8章では、第4章～第7章に示した各システム要素を統合化することによって、3S Simulatorのプロトタイプシステムを構築する。このプロトタイプシステムを、シナリオ記述支援システムと名づける。本章では、このシステムの全体構成と各構成要素の機能、システムの実行手順について述べる。

次に、第4章～第7章で提案した手法のシナリオ設計に対する有効性を検証するために、これらの手法を既存のシナリオである Hybrid Electric Vehicle (HEV) Diffusion Scenario に適用したときの実行例を示す。まず、このシナリオを構造化し、シミュレータと接続することによって動的シナリオを作成する。次に、シナリオの論理構造を分析する。そこでの分析結果に基づき、さらに what-if 分析を実行することによって派生シナリオを作成する。

## 8.1 シナリオ記述支援システムの構成

本研究では、第4章～第7章に示した各システム要素を統合化することによって、3S Simulatorのプロトタイプシステムとして図8.1.1に示すようなシナリオ記述支援システムを構築する。本システムの主な目的は、持続可能社会シナリオの設計を支援するために、シナリオを計算機上で表現することによってシナリオの合理的な理解と議論を支援することと、既存のシナリオとシミュレータを再利用可能とすることによって、複数のステークホルダーが携わるシナリオ作成を支援することである(図8.1.2参照)。

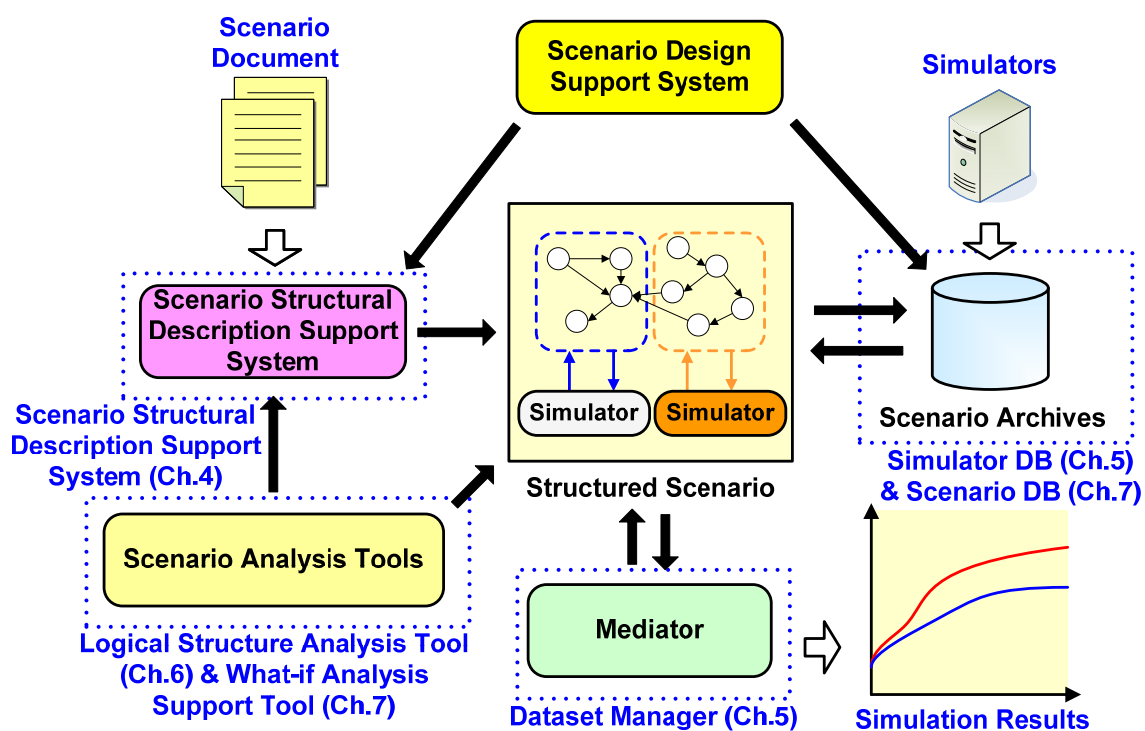


図 8.1.1: シナリオ記述支援システムの構成 (図 3.5.1 再掲)

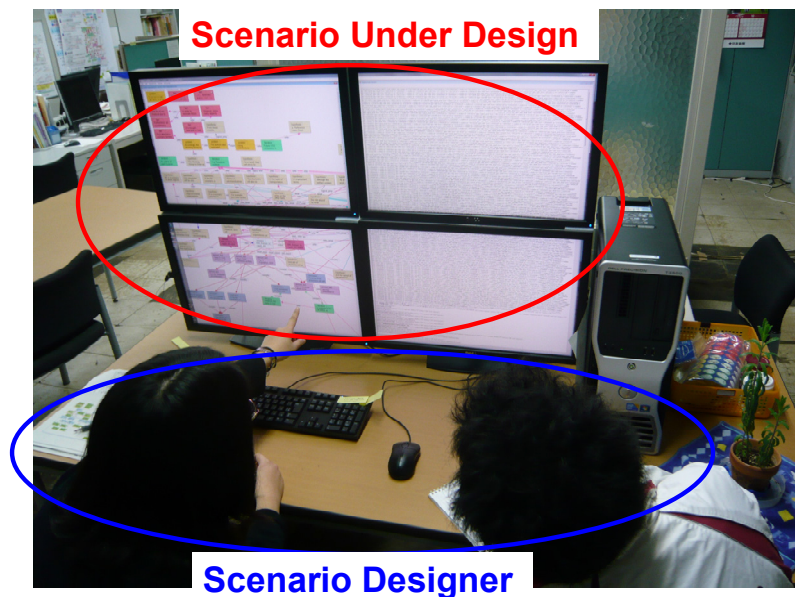


図 8.1.2: システムの利用風景

図 8.1.1 の各システム構成要素の機能は、次のとおりである。3.5 節で述べたとおり、シナリオ構造記述支援システムは、シナリオの構造化を行うためのワークスペースとしての役割を果たす。このシステムで管理される構造化シナリオをもとに、Dataset Manager はシミュレータの入力データを構造化シナリオから抽出するとともに、シミュレータの出力データを構造化シナリオに送る。このとき、Dataset Manager は Simulator Database から既存のシミュレータを呼び出すことによって、シミュレーションを実行する。Scenario Database は既存のシナリオを再利用可能とするものであり、必要に応じてシナリオ構造記述支援システム上にアーカイブ化されたシナリオを呼び出す。論理構造分析ツールと what-if 分析支援ツールは、それぞれ構造化シナリオの論理構造情報を視覚化、または構造化シナリオに操作を加える。論理構造分析ツールは構造化シナリオに基づいてユーザに論理構造に関する情報を提供する (6.4 節参照)。その一方で、what-if 分析支援ツールはユーザによる what-if 分析を支援するために、構造化シナリオを外部から部分的に操作する (7.5 節参照)。

本システムにおける、シナリオとシミュレータを管理するためのフォルダ構成を図 8.1.3, 図 8.1.4 にそれぞれ示す。シナリオは、図 8.1.3 のように構造化シナリオ (XML ファイル) を格納するための xml フォルダと、シナリオ内で利用される図表を格納するための image フォルダにより管理する。シミュレータは、図 8.1.4 に示したように、シミュレータ本体を格納するための simulator フォルダと、シミュレータの入出力定義, 入出力データ, 入出力変換をそれぞれ格納するための IODefinitions, IOFiles, IOTransforms フォルダにより管理する。これらのフォルダに格納する各ファイルは、Simulator Database 上で一元的に管理する (5.3.2 節参照)。

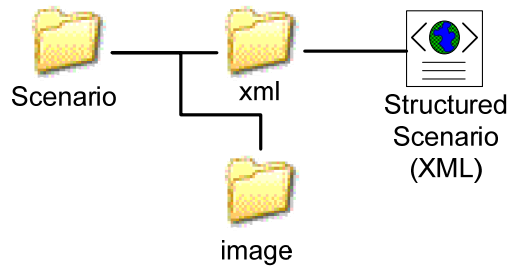


図 8.1.3: シナリオ管理のためのフォルダ構成

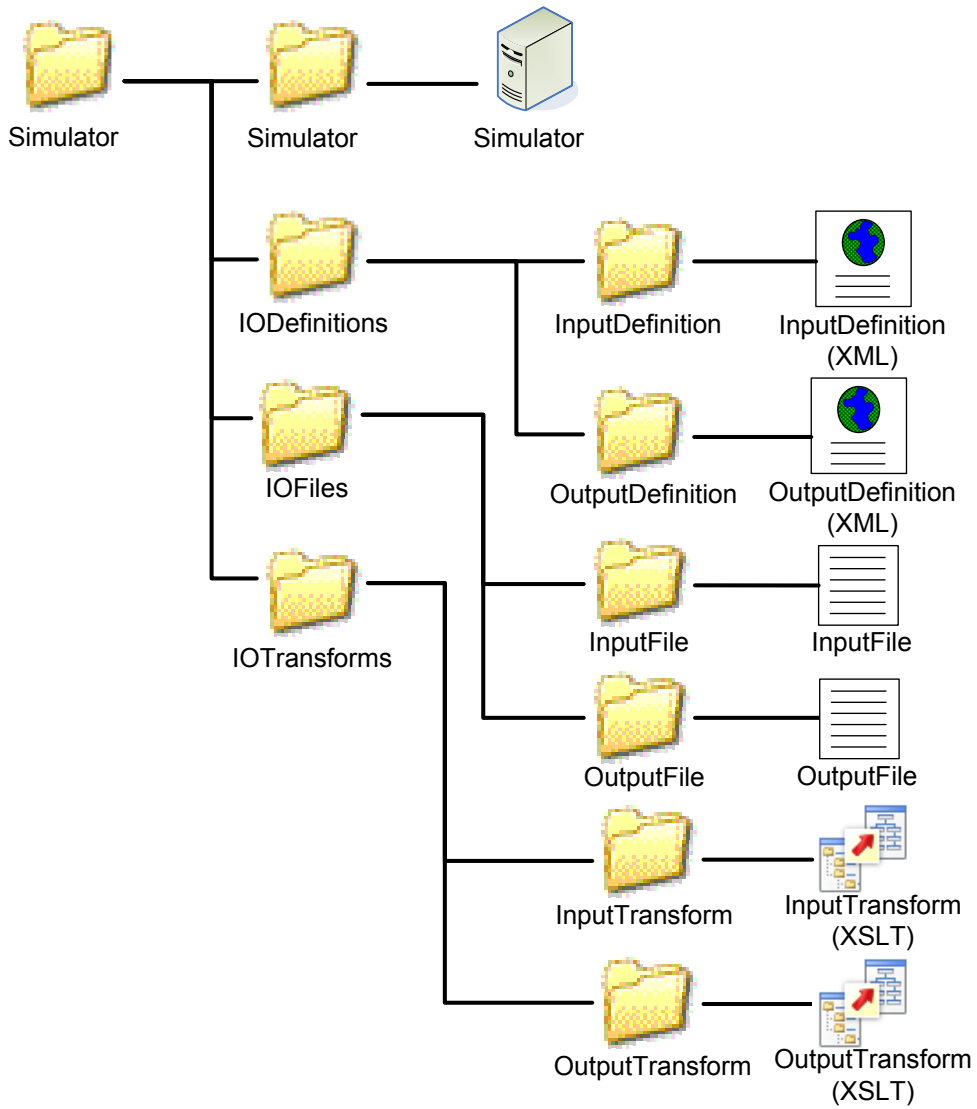


図 8.1.4: シミュレータ管理のためのフォルダ構成

## 8.2 システムの実行手順

シナリオ記述支援システムは, (1) 既存の持続可能社会シナリオを分析する場合, (2) 新規の持続可能社会シナリオを作成する場合, の両方に利用可能である. ただし, 本論文では上記(1)を対象とする. 既存の持続可能社会シナリオをシナリオ記述支援システム上で分析する手順は以下のとおりである.

1. シナリオ構造記述支援システムを用いて, 持続可能社会シナリオの Scenario Level における基本構造 (“scenario”ノードと 6 種類の“scenario\_component”から構成) を作成する (図 4.6.7 参照).
2. Dataset Manager と Simulator Database を用いて, シナリオとそのシナリオの記述に利用されているシミュレータを接続することによって動的シナリオを作成する.
3. シナリオ構造記述支援システムを用いて, 持続可能社会シナリオを Expression Level と Data Level で構造化する. さらに, Scenario, Expression, Data Level 間のリンクを張る.
4. シナリオを理解するために, 論理構造分析ツールを用いてシナリオの論理構造を分析する. この結果に基づいて, ユーザがシナリオを評価する.
5. 必要に応じて, ユーザが what-if 分析支援ツールとシナリオ構造記述支援システムを用いてシナリオの what-if 分析を実施し, その結果として派生シナリオを作成する.

### 8.3 実行例の概要

本実行例の目的は、第4章～第7章で提案した方法論の有効性を検証することにある。本節以降では、8.2節の手順に沿って、Hybrid Electric Vehicle (HEV) Diffusion Scenario のサブシナリオである Base Case Scenario[91]の構造化と分析を実行する。Base Case Scenario は、日本における2050年までのハイブリッド車 (HEV) の普及台数を分析したシナリオであり、ここでは普及台数の算出のために HV Diffusion Simulator (図 8.3.1 参照) が利用されている。

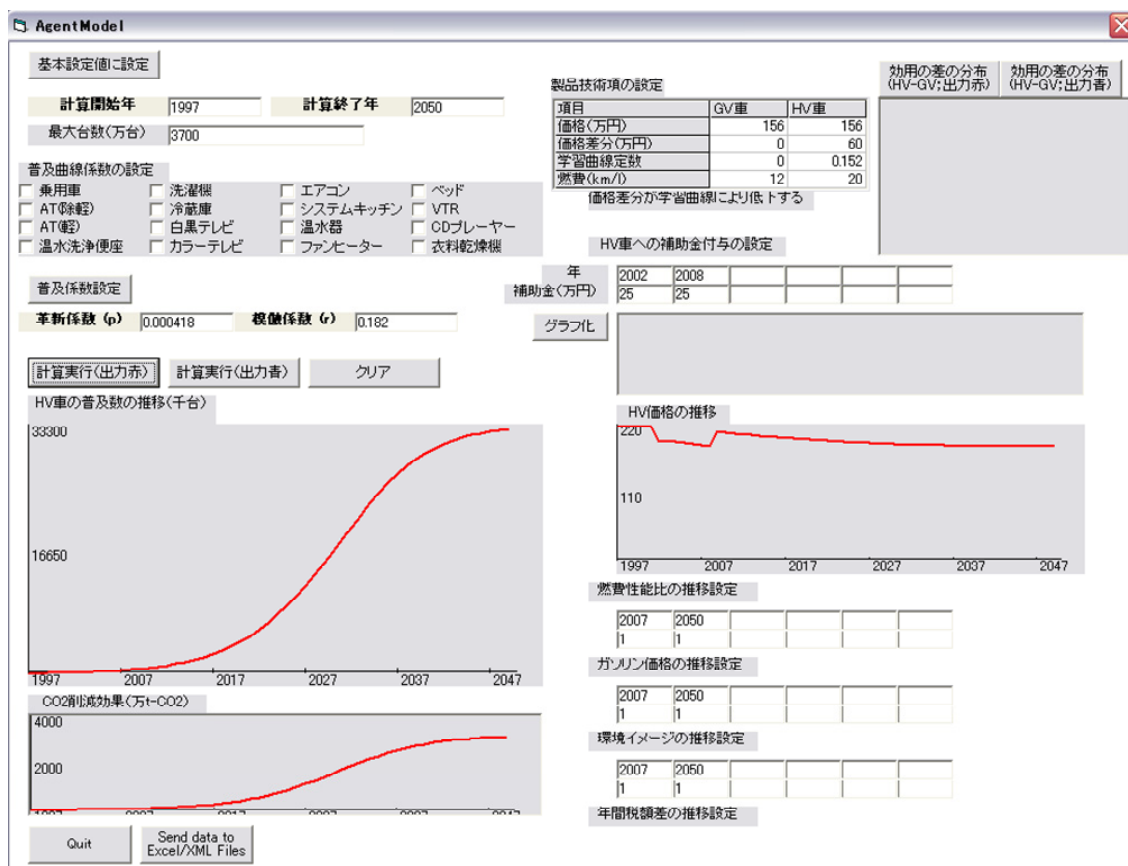


図 8.3.1: HV Diffusion Simulator の実行画面[91]

本実行例の手順は以下のとおりである。

1. シナリオ構造記述支援システムを用いて、Base Case Scenario の Scenario Level における基本構造 (“scenario”ノードと6種類の“scenario\_component”から構成) を作成する。
2. Base Case Scenario を HV Diffusion Simulator と接続することにより動的シナリオを作成する。ここでは、シナリオ構造記述支援システムを用いて、Base Case Scenario を Expression Level と Data Level で構造化する。

3. シナリオ構造化支援ツールを用いて, Base Case Scenario を Scenario Level の 6 種類のコンポーネント (problem, hypothesis, simulation, result, discussion, conclusion) にブロック分けする. さらに, Base Case Scenario を理解するために, その論理構造をグラフとして視覚化する.
4. Base Case Scenario の論理構造を詳細に分析し, 論理性の観点からこのサブシナリオの信ぴょう性を議論する.
5. 論理構造分析の結果を利用して, Base Case Scenario に対する what-if 分析を実行する. この分析により, Base Case Scenario で描かれる将来とは異なり, かつ起こりうる将来を派生シナリオとして描く.



## 8.4 動的シナリオの作成

Base Case Scenario に関する動的シナリオを 5.5.2 節に示した手順に沿って作成した。まず、Base Case Scenario の Scenario Level における基本構造を図 8.4.1 のように作成した。次に、Base Case Scenario を Expression Level で構造化した。図 8.4.1 の simulation を表すコンポーネント(D)では、シミュレータと入出力データの関係を構造的に表現するために Data Level のノードを作成した。残りのコンポーネント(B), (C), (E)~(G)に含まれる Expression Level のノードは、シナリオを Expression Level と Data Level で構造化した後に 8.5 節で決定する。

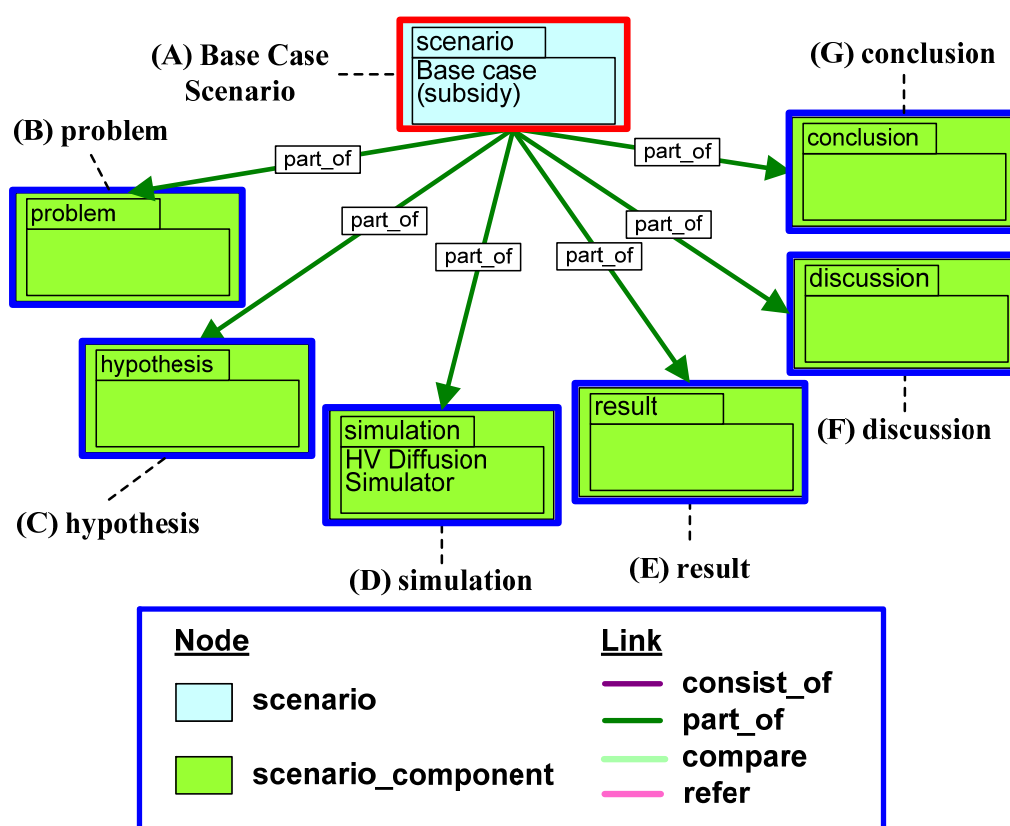


図 8.4.1: Base Case Scenario の基本構造

Data Level の“simulator”ノードでは、本章の実行例で利用するために Simulator Database に登録されているシミュレータの中から HV Diffusion Simulator を選択した。続いて、シミュレータの入出力データを作成するために、Base Case Scenario から抽出したシミュレータの入力データの値を Dataset Manager に入力した (図 8.4.2 参照)。ここで入力した、入力データの値のリストを表 8.4.1 に示す。入力データは HV Diffusion Simulator により決められており、ハイブリッド車の車両価格や燃費など 29 項目から構成される。実際のところ、Base Case Scenario の文章にはそれらの入力デー

タのうちの 27 項目に関する値が記述されていた。その一方で、残りの 2 項目 (表 8.4.1 の No.8, No.12) についてはシナリオ文章中に明記されていなかった。そのため、筆者が HEV Diffusion Scenario の著者に問い合わせることにより、Base Case Scenario の作成に利用された入力データの値をすべて取得した。上記の入力データ値の決定と並行して、シナリオ文章とシミュレータの入力データの間を記述するために、シナリオ構造化支援ツールを用いてシナリオの文章とシミュレータの入力データの間を 27 本の“data\_extraction”リンクと 2 本の“data\_detail”リンクを張った。これら 2 種類のリンクはそれぞれ、シナリオ上に入力データ値が記述されている入力データ (表 8.4.1 の No.8, No.12 以外) を表す“datum”ノード、記述されていない入力データ (表 8.4.1 の No.8, No.12) を表す“datum”ノードと関係づけた。

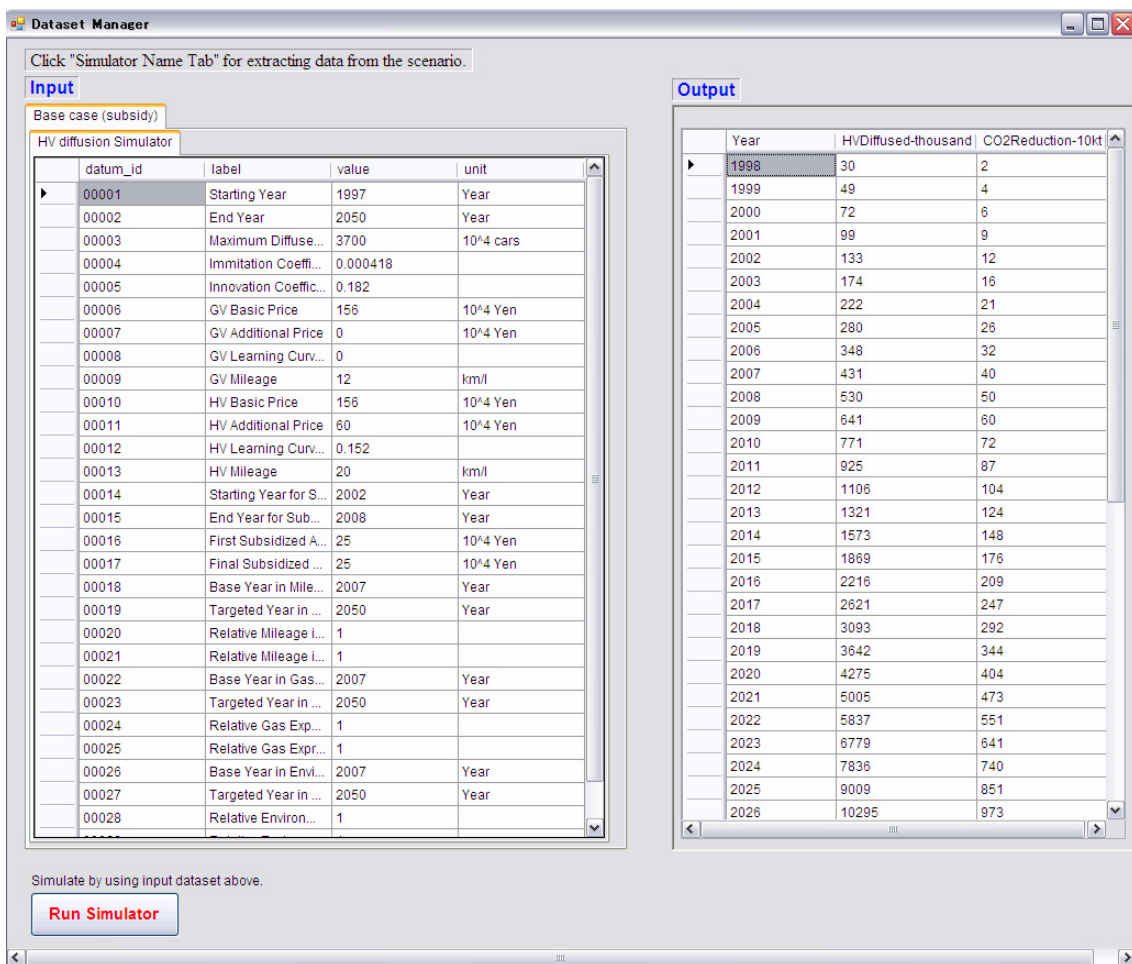


図 8.4.2: Base Case Scenario に対する Dataset Manager の実行画面

表 8.4.1: HV Diffusion Simulator の入力データのリスト

No.	Label	Value	Unit
1	Starting Year	1997	Year
2	End Year	2050	Year
3	Maximum Diffused HVs in the Market	3700	10 <sup>4</sup> cars
4	Immitation Coefficient	0.000418	-
5	Innovation Coefficient	0.182	-
6	GV Basic Price	156	10 <sup>4</sup> Yen
7	GV Additional Price	0	10 <sup>4</sup> Yen
8	GV Learning Curve Constant	0	-
9	GV Mileage	12	km/l
10	HV Basic Price	156	10 <sup>4</sup> Yen
11	HV Additional Price	60	10 <sup>4</sup> Yen
12	HV Learning Curve Constant	0.152	-
13	HV Mileage	20	km/l
14	Starting Year for Subsidizing	2002	Year
15	End Year for Subsidizing	2008	Year
16	First Subsidized Amount	25	10 <sup>4</sup> Yen
17	Final Subsidized Amount	25	10 <sup>4</sup> Yen
18	Base Year in Mileage	2007	Year
19	Targeted Year in Mileage	2050	Year
20	Relative Mileage in Base Year	1	-
21	Relative Mileage in Targeted Year	1	-
22	Base Year in Gas Expense	2007	Year
23	Targeted Year in Gas Expense	2050	Year
24	Relative Gas Expense in Base Year	1	-
25	Relative Gas Expense in Targeted Year	1	-
26	Base Year in Environmental Image	2007	Year
27	Targeted Year in Environmental Image	2050	Year
28	Relative Environmental Image in Base Year <sup>1</sup>	1	-
29	Relative Environmental Image in Targeted Year	1	-

<sup>1</sup> HV Diffusion Simulator の入力データとして利用される環境イメージ (environmental image) は、「エンジン種類がハイブリッド型であるなど環境問題に配慮した車である」ことの価値と定義されている[91]. 具体的には、ハイブリッド車に対して 1, ガソリン車に対して 0 という値をとるものと設定している[91].

表 8.4.1 で示した入力データ値をもとに Dataset Manager が Simulator Database から HV Diffusion Simulator を検索し、シミュレーションを実行することによってシミュレータの出力データを得た。この結果、図 8.4.3 に示すように Dataset Manager がシミュレータの入出力データを含む“dataset”ノードを作成した。最後に、シナリオ構造化支援ツールを用いて、シナリオ文章とシミュレータの出力データの間には“result\_export”リンクを張った。

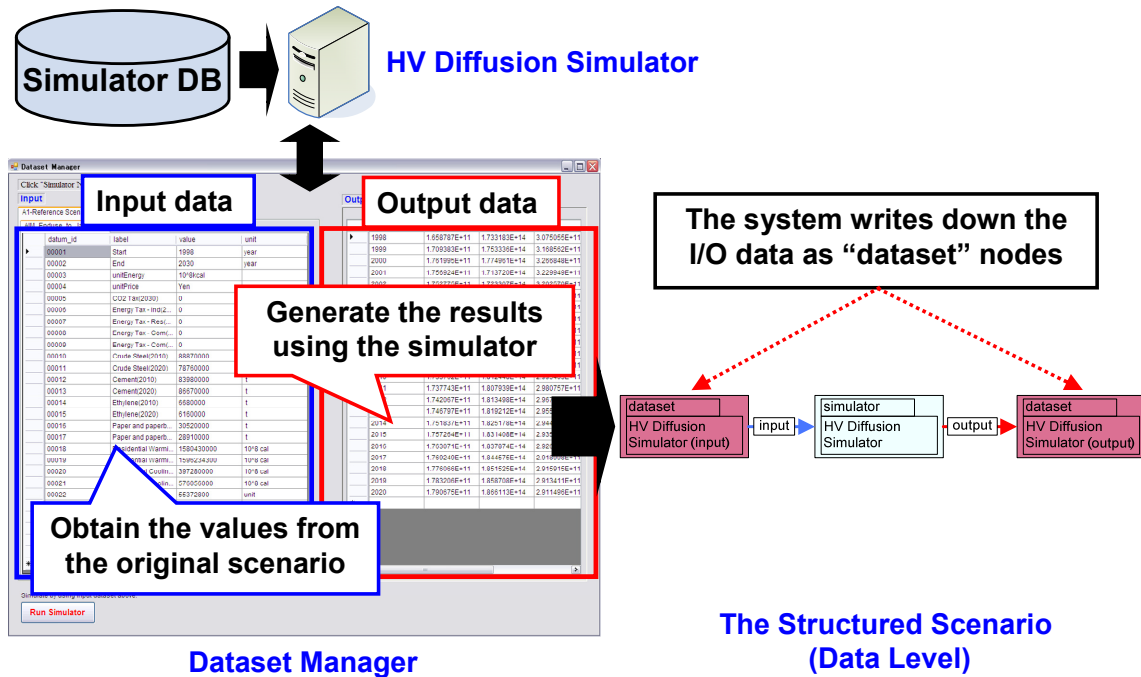


図 8.4.3: Dataset Manager を用いた Base Case Scenario の入出力データ作成

## 8.5 Base Case Scenario の論理構造グラフ

8.4 節で Base Case Scenario の動的シナリオを作成した結果、Base Case Scenario を Expression, Data Level で構造化した。本節では、サブシナリオ全体を図 8.4.1 に示した 6 種類のコンポーネント (problem, hypothesis, simulation, result, discussion, conclusion) のいずれかにブロック分けし、Scenario Level と Expression/Data Level の間の関係を示す。

### 8.5.1 Base Case Scenario のブロック分け

Base Case Scenario の Scenario Level 間における 6 種類のコンポーネント間の関係を明らかにするために、その Expression/Data Level における構造化シナリオに対して図 4.5.5 の分類アルゴリズムを適用する。分類アルゴリズムのうち、ユーザの手を加えずにサブシナリオを機械的に分類したとき (図 4.5.5 のステップ 1~6 に対応) の結果を図 8.5.1 に示す。ブロック(B), (C), (D), (E), (G) はそれぞれ同じ記号で表される図 8.4.1 のコンポーネントと対応する。しかし、図 8.5.1 にはどのコンポーネントにも分類されないノード(i)~(iii)が存在する。これらのノードは、それぞれ以下のとおりである。

- (i) 意味的にどのノードとも関係がなく、他のノードとリンクで接続されていないノード。
- (ii) シミュレータ内に埋め込まれている数理モデルについて説明しているノード集合。
- (iii) シミュレーション結果 (ブロック(E)) から導出されている結果を表すノードであるが、ブロック(G)に含まれる結論とは関連がない。つまり、ノード(iii)ではハイブリッド車の普及に伴う CO2 排出量の削減効果について述べられているが、本サブシナリオの結論はブロック(G)に示すように、ハイブリッド車の将来における普及台数である<sup>1</sup>。

---

<sup>1</sup> Base Case Scenario の結論はユーザが Expression Level で構造化する際に決めるものであり、本実行例では「ハイブリッド車の将来における普及台数」と定義した。一方で、結論を「ハイブリッド車の将来における普及台数とそれによる CO2 削減効果」と定義することも可能であり、その場合にはノード(iii)は“conclusion”ノードとなり、ブロック(G)に分類される。

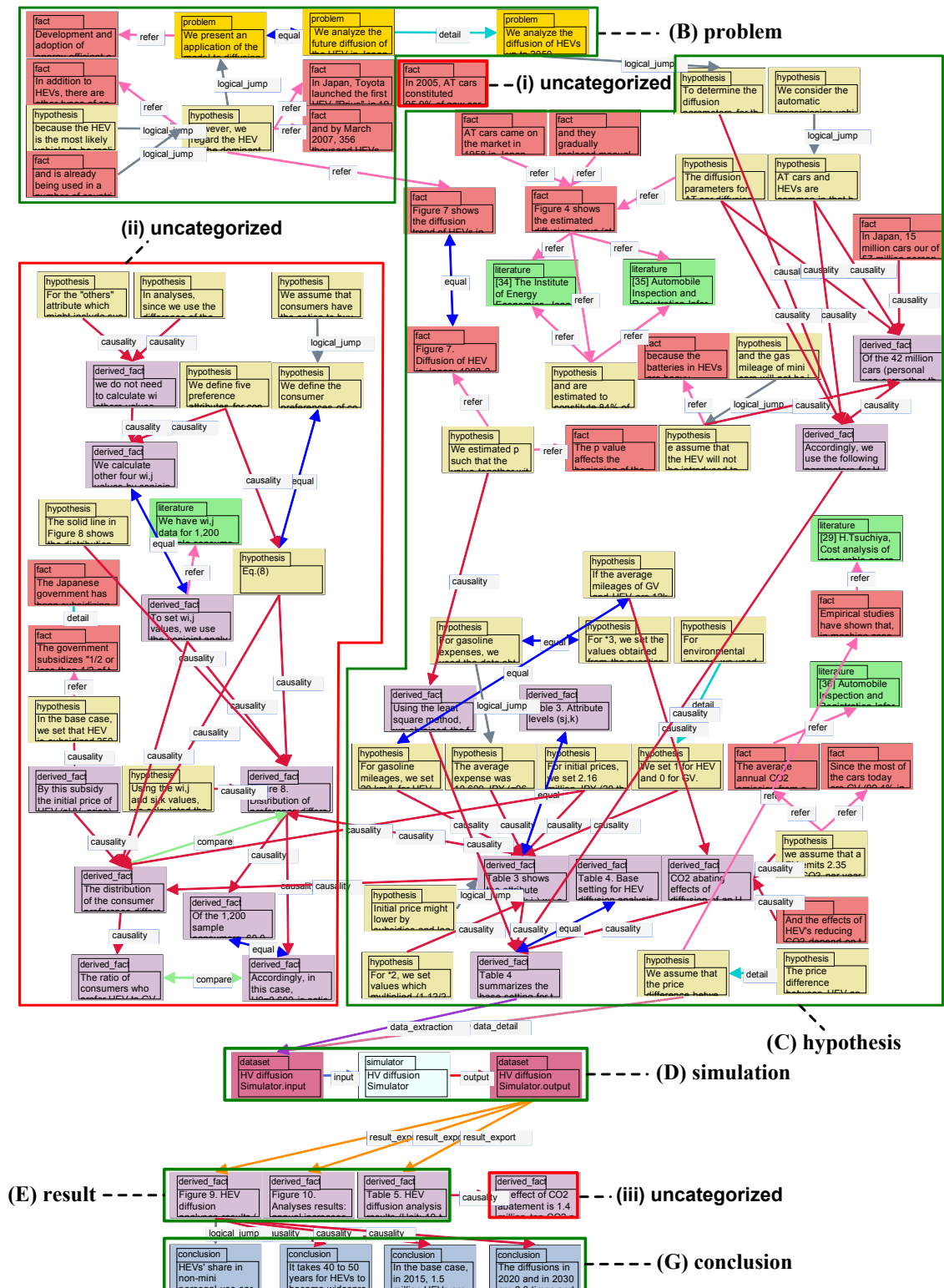


図 8.5.1: Base Case Scenario のブロック分け (1)

図 8.5.1 で未分類のノード(i)~(iii)に対して、それらの意味に基づいていずれかのブロックに所属させたとき (図 4.5.5 のステップ 7) の結果を図 8.5.2 に示す。つまり、未分類のノード(i)はブロック(B)、ノード集合(ii)はブロック(C)、ノード(iii)はブロック(E)の構成要素とする。そのように判断した理由はそれぞれ以下のとおりである。

- ノード(i): ノード(i)は、“In 2005, AT cars constituted 95.9% of new car sales (flow-base share) and are estimated to constitute 84% of personal-use cars (stock-base share)”という歴史的な事実を表しており、Base Case Scenario を記述するための背景情報として利用されている。その一方で、結論を導出するための前提条件としては利用されていないため、シナリオの問題設定を表すブロック(B)に分類した。
- ノード(ii): シミュレータ内に埋め込まれている数理モデルは、シナリオの結論を根拠付けているシミュレータに関連した仮定であり、結論を導出するためのいわば暗黙的な前提条件であるため、ブロック(C)に分類した。
- ノード(iii): ノード(iii)は、“Its effect of CO2 abatement is 1.4 million ton-CO2 per year (0.1% of total CO2 emission in Japan)”であり、ブロック(E)のシミュレーション結果の一部を説明した記述であるためにブロック(E)に分類した。

表 8.5.1 に、各ブロックにおける Expression および Data Level のノード個数を示す。この結果から、分類アルゴリズムの機械的な分類 (図 4.5.5 のステップ 1~6 に相当) によって Base Case Scenario 全体の 74% (88 個のノードのうち 65 個) が分類でき、残り 26% (23 個のノード) を人手で意味を理解することによって分類する必要がある。

表 8.5.1: 各ブロックにおける Expression/Data Level のノード個数

Type of component (Block)	Number of Expression/Data Level nodes	
	By automatic classification only (Steps 1-6 in Fig.4.5.5)	By automatic & manual classification (Steps 1-7 in Fig.4.5.5)
problem	10	11
hypothesis	45	66
simulation	3	3
result	3	4
discussion	0	0
conclusion	4	4
uncategorized	23	-
Total	88	88

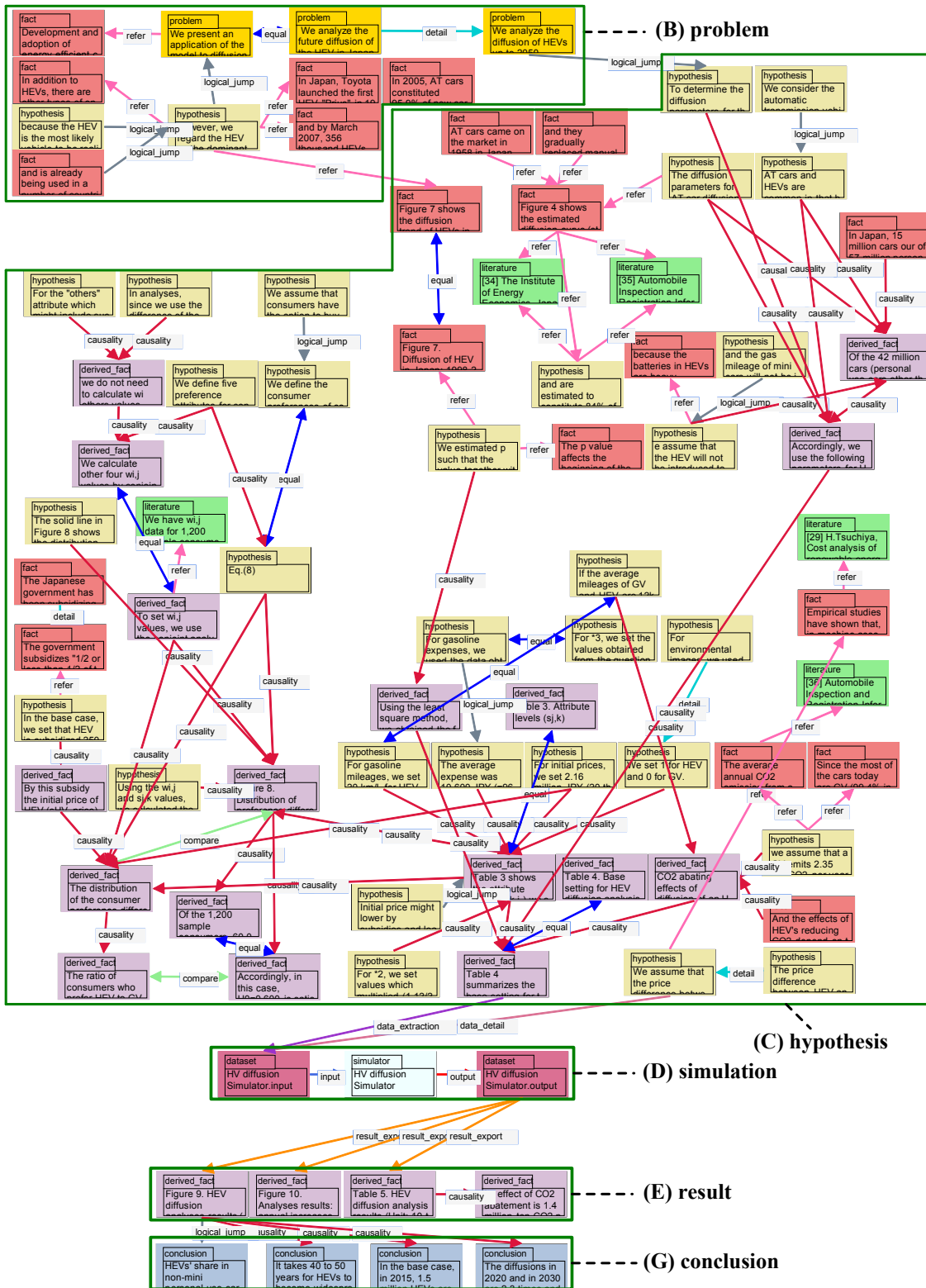


図 8.5.2: Base Case Scenario のブロック分け (2)



## 8.5.2 Scenario Level

Base Case Scenario の Scenario Level における論理構造グラフを図 8.5.3 に示す. 8.5.1 節の結果より, コンポーネント(B)~(G)のうち discussion を表すコンポーネント(F)にはシナリオ文章が存在しない.

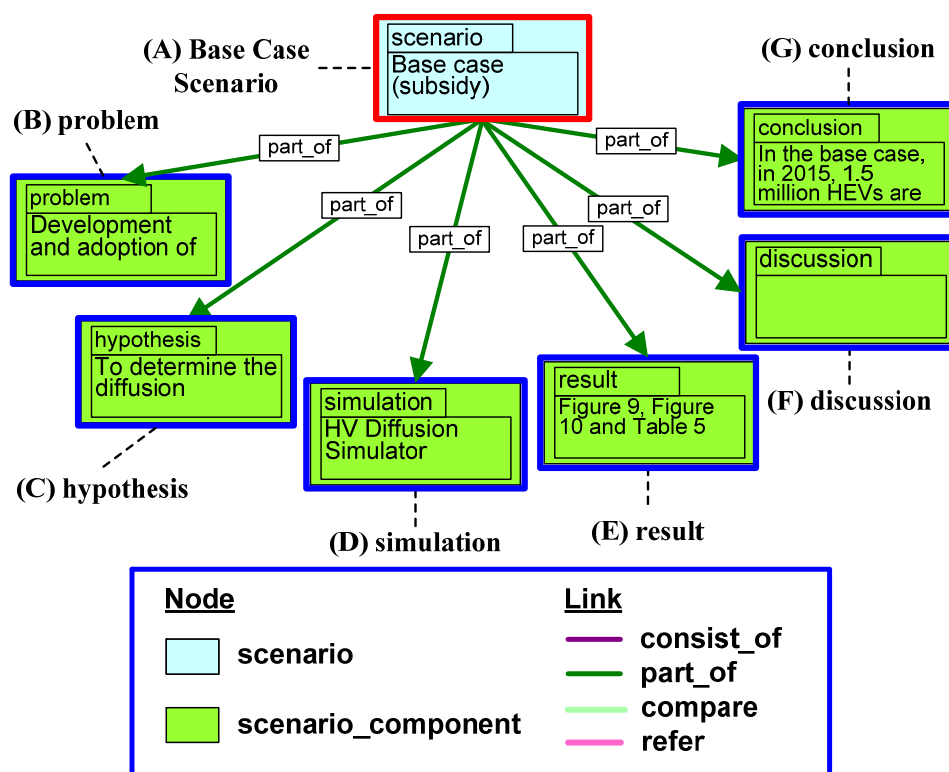


図 8.5.3: Base Case Scenario の Scenario Level における論理構造グラフ

## 8.5.3 Expression Level と Data Level

Base Case Scenario の Expression および Data Level における論理構造グラフを図 8.5.2 に示す. ブロック(B), (C), (D), (E), (G)のうち, ブロック(D)のシミュレーション部分は Data Level であり, その他の4ブロックは Expression Level に所属する.

図 8.5.2 に示すようにシナリオを Expression および Data Level で分類することによって, ブロック(B)~(G)の間の関係を表現することができる. すなわち, ブロック(C)で想定されるシミュレータの入力データをもとにブロック(D)でシミュレーションが実行され, そこから得られるシミュレーション結果(ブロック(E)), さらにブロック(G)の結論が導かれている. 以上のようなシナリオの形式的な分類に基づいて, シナリオにおいてどこが前提条件を表す部分か, どの部分がシナリオの結論を表しているか, などを明示的に区別することはシナリオを合理的に理解するための必要条件である.

## 8.6 Base Case Scenario の論理構造分析

本節では、Base Case Scenario について詳細に理解するために、Expression および Data Level の論理構造を分析する。この分析では、シナリオの信ぴょう性を議論するためにシナリオの結論を導出するための根拠を抽出する。さらに、論理性指標 (logicality index) の計算結果を示す。

### 8.6.1 シナリオ根拠の抽出

Base Case Scenario の Expression/Data Level における論理構造グラフ (図 8.5.2 参照) において、シナリオの根拠について議論するためにブロック(C)~(G)の一部を抽出したグラフを図 8.6.1 に示す。青字のノードは基底、赤字のノードと青字のノードおよび赤字のリンクは根拠集合を表す。ただし、これらはサブシナリオに含まれるすべての結論に対する根拠集合と基底をあわせて表示したものである。表 8.6.1 に示すように、根拠集合は 47 個のノードと 83 本のリンクから構成される。種類別のリンク数では、“data\_extraction” (33%) が最も多く、次に“causality”リンク (29%) が多い。“data\_extraction”リンクで接続されるノード(a)には、27 個の入力データ値 (表 8.4.1 の No.8, No.12 以外) がシナリオ文章上に明示的に記述されている。このことは逆に、残り 2 個の入力データ値 (表 8.4.1 の No.8, No.12) はシナリオ上で明記されておらず、暗黙的に決定されていることを意味する。

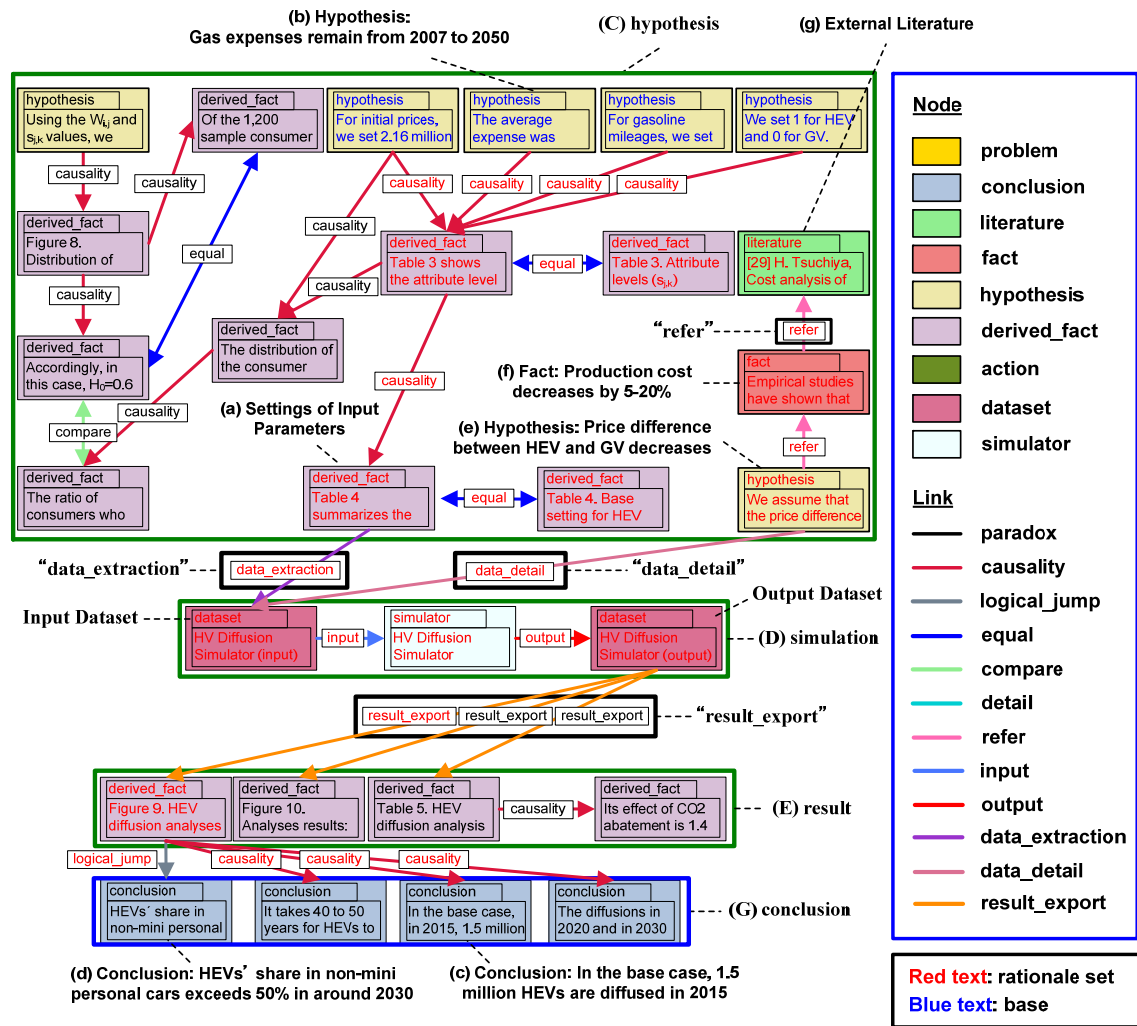


図 8.6.1: Base Case Scenario における根拠の抽出

表 8.6.1: Base Case Scenario における根拠集合の構成要素

Node		Link	
Type	Number (%)	Type	Number (%)
hypothesis	21 (45%)	causality	24 (29%)
fact	10 (21%)	refer	14 (17%)
derived_fact	9 (19%)	logical_jump	6 (7%)
literature	4 (9%)	equal	5 (6%)
action	0 (0%)	detail	2 (2%)
dataset	2 (4%)	input	1 (1%)
(datum	185 (-)	output	1 (1%)
(datumlist	81 (-)		
simulator	1 (2%)	data_extraction	27 (33%)
		data_detail	2 (2%)
		result_export	1 (1%)
<b>Total</b>	<b>47 (100%)</b>	<b>Total</b>	<b>83 (100%)</b>

根拠集合の中で、基底は青字で表された12個の“hypothesis”ノードと2個の“fact”ノードである。ただし、図 8.6.1 にはそれらの一部のみを示している。それに加えて、29 個のシミュレータの入力データのうち、シナリオ文章上で言及されていない2個の入力データ（表 8.4.1 の No.8, No.12 に対応するガソリン車とハイブリッド車の生産コストに関する学習曲線定数）も基底である。基底として仮定(b)を取り上げると、そこでは“Gas expenses remain from 2007 to 2050 as 10,600 JPY/month for a GV (gasoline vehicle) and 6,360 JPY/month for an HEV.”と想定している。この記述は、シミュレータの入力データの中で gas expenses の値を決定づける根拠である。“data\_extraction”リンクの定義から明らかなように、仮定(b)には gas expenses の値が明示的に記述されている。このサブシナリオでは、基底はすべてシミュレータの入力データの値と関連づいており、その値を用いてシミュレータを駆動することにより結論を導出している。例えば結論(c)では、“In the base case, in 2015, 1.5 million HEVs are diffused.”と述べられている。基底は結論と論理的な関係（真理値を保持する関係）を持つため、仮定(b)の記述を変更すると結論(c)も変わる。

### 8.6.2 根拠の論理性とシナリオの信ぴょう性

仮定(b)と結論(c)の関係に示したように、基底と結論は論理的な関係を持つことから、シナリオの結論の信ぴょう性を議論および評価する上では、基底が最も重要である。そこでは、例えば仮定(b)と関連して、「2050年における gas expenses の値を2007年と同一とするのは果たして妥当か？将来的な原油価格の高騰を想定すべきではないか？」といった議論が含まれる。

その一方で、根拠集合において基底以外の根拠は、その役割の違いから次の3種類に分類することができる。

1. 基底以外で、シナリオの結論と論理的な関係を保持する根拠、すなわち基底と結論を結ぶパスの間に含まれるノードの集合（根拠タイプ I）。
2. シナリオの結論を論理的な飛躍により導出する根拠。これらの根拠は、結論を表す“conclusion”ノードと“logical\_jump”リンクにより接続される（根拠タイプ II）。
3. 基底の記述内容を想定するために利用される根拠。これらの根拠は、基底と論理的に弱い関係（例えば、“refer”リンクで表現される参照関係）を保持する（根拠タイプ III）。

上記の3種類の根拠とシナリオの信ぴょう性の関係について以下に述べる。

#### 1. 根拠タイプ I

根拠タイプ I に分類される根拠については、シナリオに含まれる基底の信ぴょう性について議論

すれば、特に議論する必要はない。これは、根拠タイプ I の根拠の真理値は結論の真理値と同様に、基底の真理値が保存されるからである。すなわち、基底が正しい限り、結論および根拠タイプ I の根拠も正しい。

## 2. 根拠タイプ II

このタイプの根拠から導出される結論は、その信ぴょう性の点で疑問がある。例えば、図 8.6.1 の結論(d)は“HEV’s share in non-mini personal cars exceeds 50% in around 2030”であり、これはシミュレーション結果から論理的な飛躍によって導出されている。つまり、元のサブシナリオのシミュレーション結果 (図 8.6.2 参照) にはすべての車種に関するハイブリッド車の普及台数のみが表示されており、non-mini personal cars に関する言及はない。結論(d)の信ぴょう性を確かめるためには、Base Case Scenario の文章には記述されていない、non-mini personal cars の普及に関する暗黙的な根拠を明らかにする必要がある。

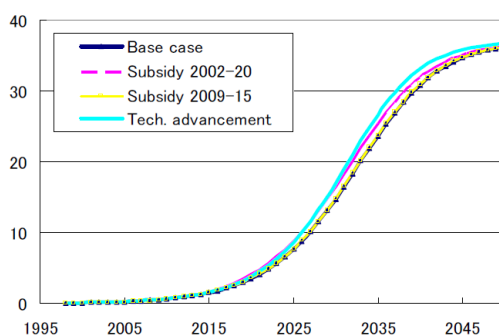


Figure 9. HEV diffusion analyses results  
(Vertical axis unit: million)

図 8.6.2: HV Diffusion Scenario に記載されているシミュレーション結果[91]

## 3. 根拠タイプ III

根拠タイプ III の根拠は、基底の信ぴょう性を議論する上で有用である。例えば、図 8.6.1 の仮定(e)は、将来のガソリン車とハイブリッド車の車両価格に関する入力データ値を設定するための根拠である。これらの入力データは Base Case Scenario の基底であり、表 8.4.1 の No.8, No.12 を含む 2 個の“datum”ノードである。No.8, 12 ではガソリン車とハイブリッド車の学習曲線定数をそれぞれ設定しており、この値は累積生産台数の増大にともなう生産コストの低下率を表す。一方で、仮定(e)では“the price difference between HEV and GV decreases by 10% as cumulative HEV’s production doubles”と想定しており、“data\_detail”リンクにより接続されていることからわかるように、No.8, 12 の入力データ値は明示的に含んでいない。つまり、仮定(e)が想定するハイブリッド車とガ

ソリン車に関する価格差の減少率 10%という値から No.8, 12 の学習曲線定数の値 (0, 0.152) を導出するためには飛躍が存在する. この場合, 基底の信ぴょう性を確保するためには, 入力データの値と仮定(e)の記述内容が整合しているかどうかを検証する必要がある. 本実行例では, 筆者が Base Case Scenario の著者に問い合わせることにより, その整合性を確認した.

さらに, 仮定(e)は外部の参考文献(g)を引用して得られた歴史的な事実(f)をもとに想定されている. ここで, 事実(f)の記述内容は“Empirical studies have shown that, in machine assembly industries (including automobile industry), the production cost decreases by 5 to 20% each time the cumulative production doubles.”である. 結局のところ, 基底の信ぴょう性を議論するためには, 過去の事実(g)が将来を想定している仮定(e)に外挿することが妥当かどうか議論する必要がある.

上に例示したように, 持続可能社会シナリオには一般に将来を想定するために過去の事実の外挿や外部の参考文献が頻繁に利用される. この意味で, シナリオは学術論文とは異なり, 決して論理的に記述されるものではなく, むしろ論理的に弱い関係が数多く現れることが普通である.

### 8.6.3 論理性指標のスコア計算

前節で例示したように, Base Case Scenario には論理的に弱い関係により結論を支持する根拠がいくつか存在する. 例えば, 仮定(e), 事実(f), 外部の参考文献(g)がそれに該当する. ここでは, このサブシナリオの信ぴょう性を論理性の観点から評価するために, LI 計算ツール (図 6.4.3 参照) を用いて論理性指標 (LI) を計算する. Base Case Scenario に含まれるその結果によると, LI のスコアは式(6.7)に基づいて次のように求められる.

$$LI = (23/44) \times 100 = 52\% \quad (9.1)$$

この式に示されるように, 論理的に結論を支持する根拠のうち, Expression Level のノードは 23 個である. これら 23 個のノードに Data Level のノード (ただし, “dataset”ノードと“simulator”ノードのみ) も加えると, 論理的に結論を支持する根拠は図 8.6.3 の青枠線で囲まれた領域に対応する.

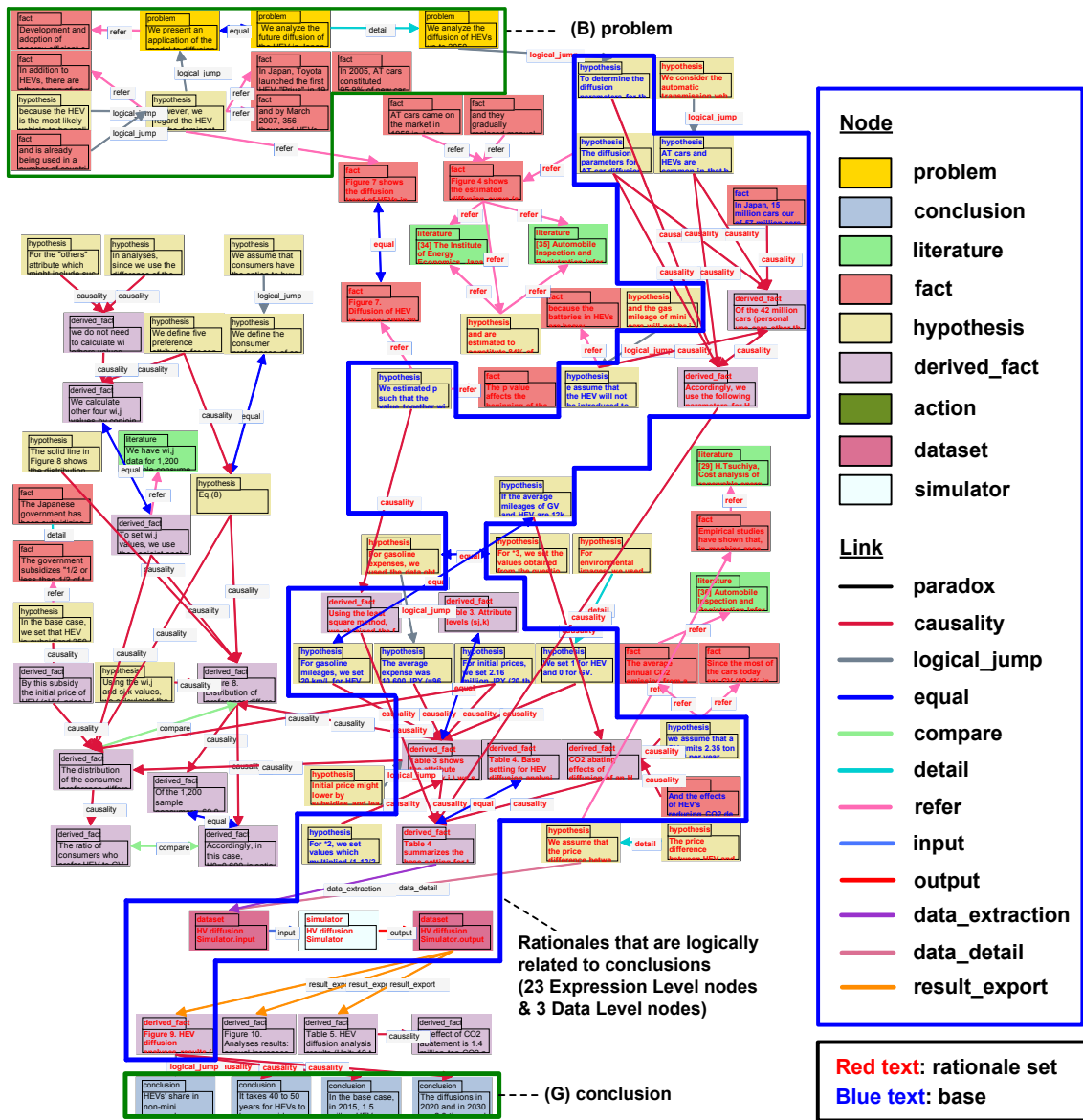


図 8.6.3: Base Case Scenario において論理的に結論を支持する根拠

LI の計算結果の解釈として、スコアが大きければ大きいほど「良いシナリオ」であるという意味ではない。それは、持続可能社会シナリオの評価では信ぴょう性だけでなく創造性も重要な基準であるが (2.3 節参照), 論理的な記述だけでは決して創造的と言われるような将来を描くことができないからである。式(9.1)の計算結果は単に、全体の根拠のうちで 52%が論理的に結論を支持し、残りの 48%は論理的に弱い関係によって結論を支持していることを意味する。このとき、後者の 48%の根拠に対しては前節の根拠タイプ II, III にいずれかに沿った方法でその信ぴょう性を評価すべきである。

LIを他の持続可能社会シナリオ, 例えば World Energy Outlook 2004 [73]や Japan's Emissions

Scenarios の A1-Reference Scenario[77]に対して計算すると、いずれもそのスコアは40未満である。このことから、Base Case Scenario の *LI* のスコアは上の2つのシナリオよりも高く、すなわち論理性の観点から見た信ぴょう性は相対的に高いといえる。ただし、この信ぴょう性には、当然ながら記述内容の信ぴょう性（例えば、仮定(e)の記述内容の信ぴょう性）は含まない。



## 8.7 what-if 分析に基づく派生シナリオの作成

将来の不確実性を考慮して、Base Case Scenario の前提条件を変化させたときの将来のハイブリッド車の普及台数に対する影響を分析するために、Base Case Scenario に対して what-if 分析を実行する。what-if 分析の手順は、7.6 節に示したステップ 1~7 に従う。以下、各ステップについて順に示す。

### 1. what-if 分析対象シナリオの選択

ユーザが Scenario Database から HV Diffusion Scenario の Base Case Scenario を選択する。

### 2. Base Case Scenario の基底抽出

Base Case Scenario の結論を支持する根拠のうち、基底を抽出した結果は図 8.6.1 に示したとおりである。例えば、燃料費に関する仮定(b)が基底のひとつである。論理構造分析ツールが抽出した既存シナリオの基底を、what-if 分析において変更すべき前提条件の候補とする。

### 3. 変更すべき前提条件の選択

将来のハイブリッド車普及において重要な要素を特定するために、基底の影響度と不確実性を評価する。不確実性は、ユーザが基底の記述をもとに判断する。その一方で基底の影響度は、シミュレータのすべての入力データを対象としたハイブリッド車普及台数に対する感度分析に基づき評価する。感度係数は次式で計算する。

$$Sensitivity^i(\%) = \frac{|HEV_{1.1}^i - HEV_{ref}|}{HEV_{ref}} \times 100 \quad (9.2)$$

ここで、 $HEV_{ref}$  と  $HEV_{1.1}^i$  はそれぞれ 2049 年時点で、Base Case Scenario におけるハイブリッド車の累積普及台数、入力データ  $i$  の値を Base Case Scenario と比べて 1.1 倍にしたときのハイブリッド車の累積普及台数を表す。感度係数の計算結果は表 8.7.1 に示すとおりであり、ここから「ハイブリッド車の市場での潜在的な最大普及台数」という入力データの影響が他の入力データと比較して一桁以上大きいことがわかる。

表 8.7.1: 感度係数の計算結果

No. <i>i</i>	Label	Value		HEV Diffusion	
		Original	1.1 Times	Cumulative HEV diffusion in 2049	Sensitivity <sup>i</sup> (%)
Base Case				32656	
1	Starting Year	1997	-	-	-
2	End Year	2050	-	-	-
3	Market Maximum Diffusion of HVs	3700	4070	35934	10.04
4	Immintation Coefficient	0.000418	0.0004598	32726	0.21
5	Innovation Coefficient	0.182	0.2002	33044	1.19
6	GV Basic Price	156	171.6	32799	0.44
7	GV Additional Price	0	0	32656	0.00
8	GV Learning Curve Constant	0	0	32656	0.00
9	GV Mileage	12	13.2	32763	0.33
10	HV Basic Price	156	171.6	32661	0.02
11	HV Additional Price	60	66	32729	0.22
12	HV Learning Curve Constant	0.152	0.1672	32684	0.09
13	HV Mileage	20	22	32680	0.07
16	First Subsidized Amount	25	27.5	32658	0.01
17	Final Subsidized Amount	25	27.5	32659	0.01
20	Relative Mileage in 2007	1	1.1	32757	0.31
21	Relative Mileage in 2050	1	1.1	32744	0.27
24	Relative Gas Expenses in 2007	1	1.1	32665	0.03
25	Relative Gas Expenses in 2050	1	1.1	32662	0.02
28	Relative Environmental Image in 2007	1	1.1	32644	0.04
29	Relative Environmental Image in 2050	1	1.1	32633	0.07

「ハイブリッド車の市場での潜在的な最大普及台数」という入力データの値が設定されているノードは図 8.7.1 の仮定(I)であり、その記述は次のとおりである。

- 仮定(I): Of the 4.2 million cars (personal use cars other than mini cars), we assume that the potential market for the HEV is 37 million vehicles (= 42 million × 87.8%).

上記のとおり、仮定(I)ではハイブリッド車の潜在的な市場普及台数を 3,700 万台と仮定している。さらにこの仮定を設定するための根拠として、図 8.7.1 から明らかなように仮定(II)と事実(III)が利用されている。仮定(II)と事実(III)はサブシナリオの基底であるので、結局のところ、これら 2 つのノードはサブシナリオにおいて相対的に影響度の大きな基底であると判断できる。仮定(II)と事実(III)の記述はそれぞれ以下のとおりである。

- 仮定(II): We assume that the HEV will not be introduced to mini cars (cars with engines smaller than 660cc)
- 事実(III): In Japan, 15 million cars out of 57 million personal use cars were mini cars.

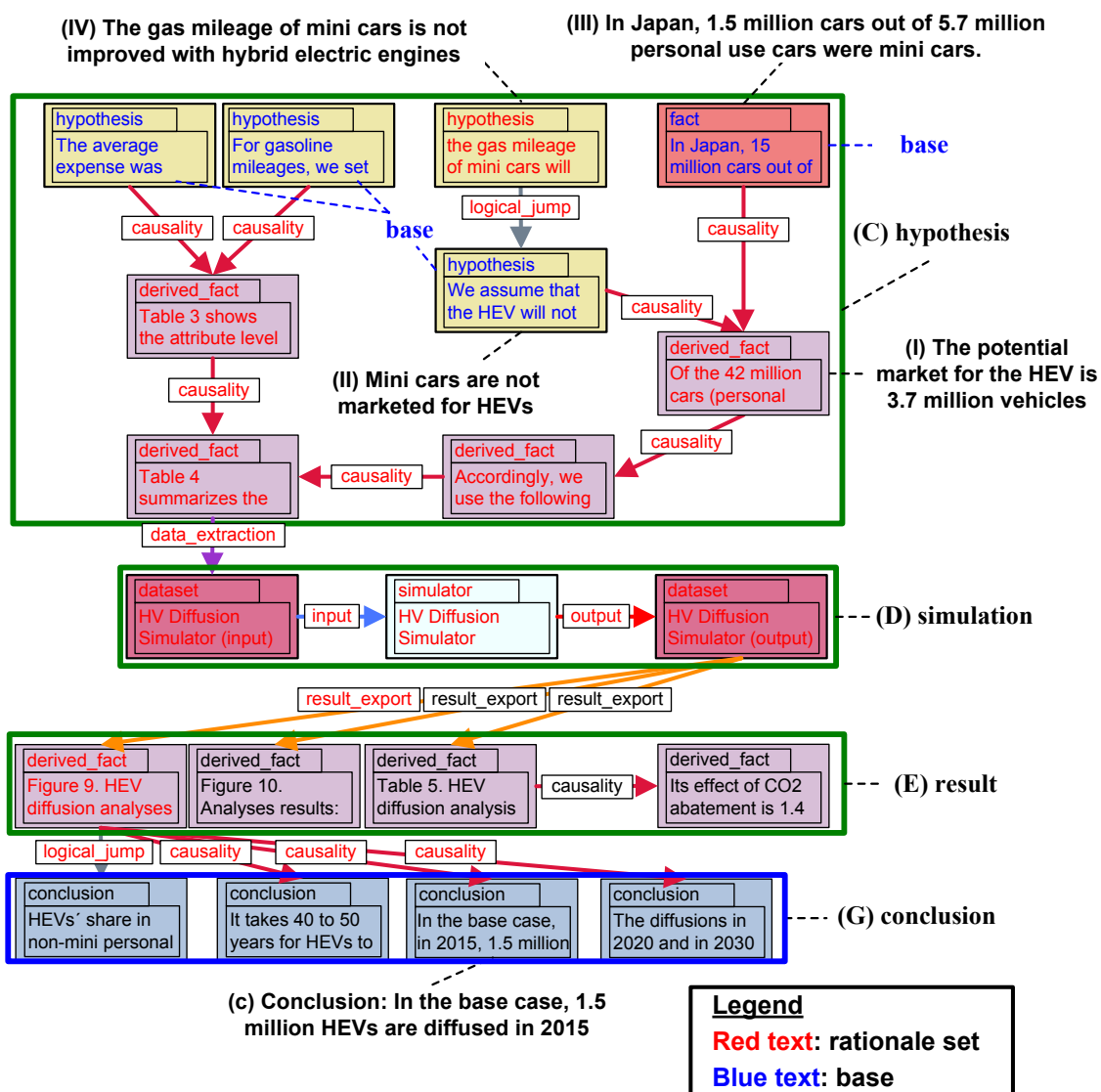


図 8.7.1: Base Case Scenario の基底の抽出 (図 8.6.1 の一部)

上記の 2 つの基底のうち、仮定(II)は仮定(IV)から論理的な飛躍を伴って導出されており (図 8.7.1 参照), 仮定(IV)では”the gas mileage of mini cars will not be improved by introducing hybrid electric engines”と記述されている. しかしながら, 軽量化等の技術的な展開によっては仮定(IV)の想定に反して軽自動車のハイブリッド化によって燃費が向上する可能性もあると考えられる. この意味で, 入力データを設定している仮定(II)には軽自動車を排除している点に不確実性がある.

以上の考察から, 本実行例では仮定(II)が影響度と不確実性の点から将来に大きな影響を与える要因であると判断し, この要因に対する what-if 分析を実行する. ここでは, 仮定(II)において最大普及台数が大きい場合を想定した Market Expansion Scenario を Base Case Scenario の派生シナリオとして作成する.

#### 4. 基本パターンに基づくシナリオ構造の作成

what-if 分析支援ツールが, Base Case Scenario から図 7.3.1 の基本パターンに基づいて図 8.7.2 に示すように Scenario Level におけるシナリオ構造を作成する. 図 7.3.1 のシナリオ構造において, ブロック(A)には what-if 分析支援ツールが Base Case Scenario の simulation, result, discussion, conclusion コンポーネントの記述をそのまま移動させ, ブロック(I)の simulation コンポーネントには, Base Case Scenario の simulation コンポーネントを複製する. さらに, コンポーネント(J), (K)には, Base Case Scenario の problem と hypothesis コンポーネント (図 8.5.3 のコンポーネント(B) と(C)) の記述をそれぞれ移動させる. なお, ブロック(I)の simulation 以外のコンポーネント (hypothesis, result, conclusion) とコンポーネント(L), (M)はこの時点では空であり, それらの内容はこの後の手順で記述する.

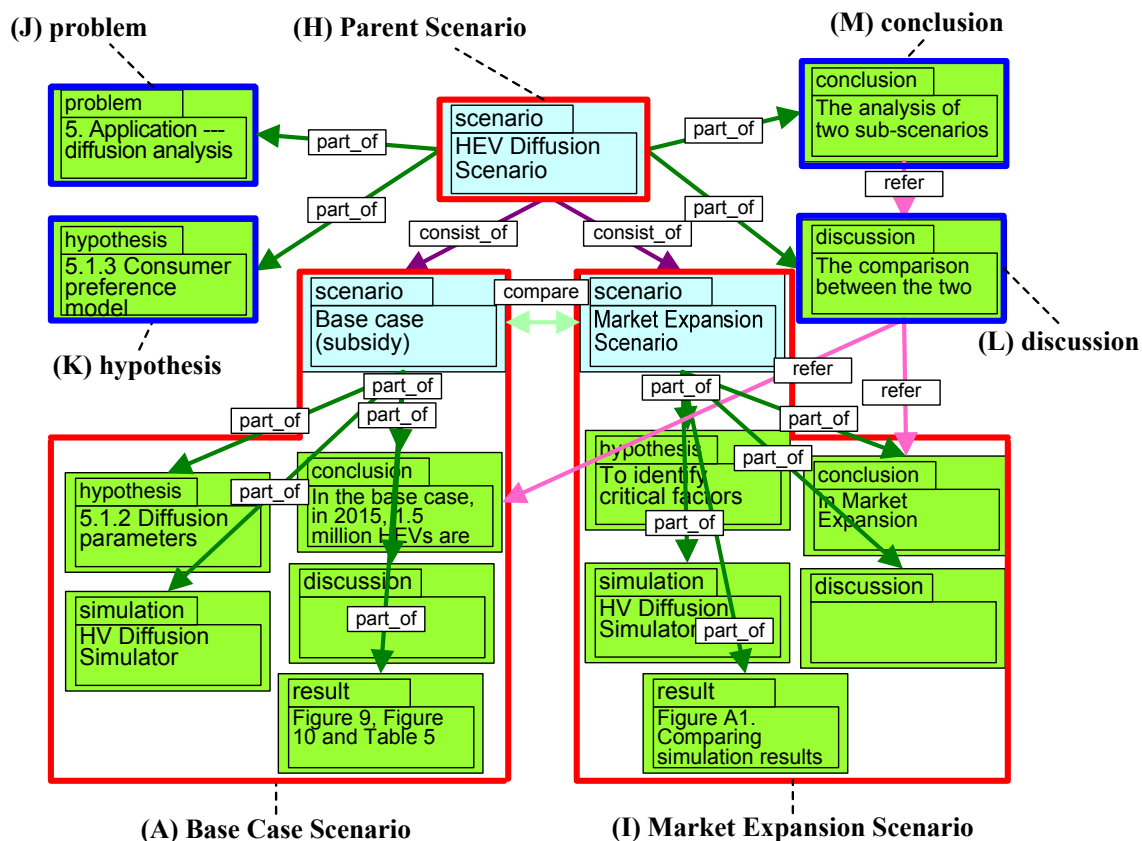


図 8.7.2: シナリオの基本パターンに基づくシナリオ構造

5. Market Expansion Scenario における hypothesis コンポーネントの記述

Market Expansion Scenario の hypothesis コンポーネントを作成する前に、Base Case Scenario と Market Expansion Scenario 間で相互に異なる仮定を明確化する。Base Case Scenario の hypothesis コンポーネント (図 8.7.3 のブロック(C)) において、what-if 分析で変更すべき基底 (図 8.7.1 の仮定(II)) に関連した記述は図 8.7.3 のブロック(1)である。このブロック(1)は、仮定(II)とリンクにより接続された Expression Level ノードの集合として抽出した。このことから、図 8.7.2 のコンポーネント(K) にあらかじめ移動させていた Base Case Scenario の仮定のうち、ブロック(1)に該当する部分のみをブロック(A)の hypothesis コンポーネントに移動させた。

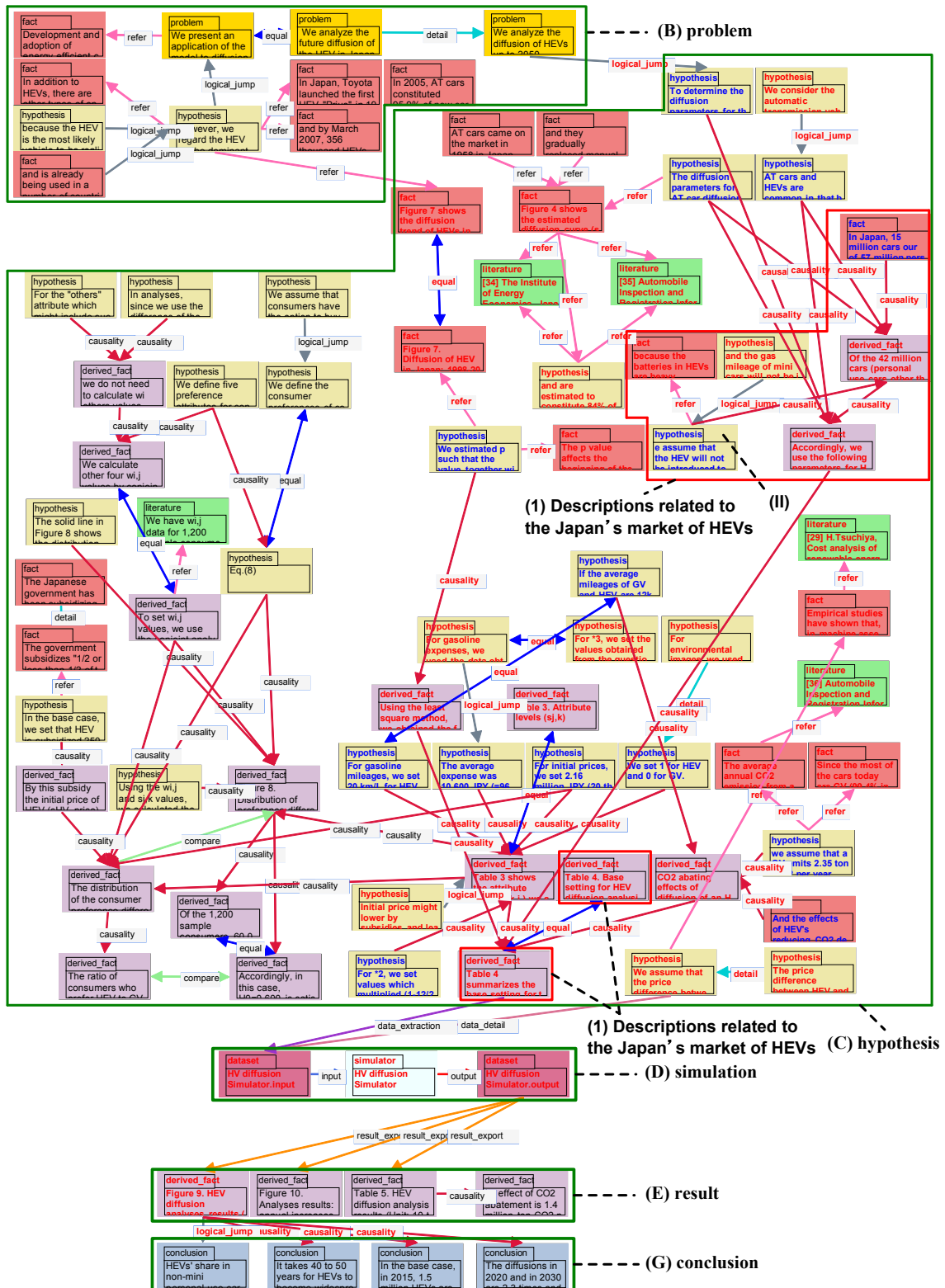


図 8.7.3: Base Case Scenario における図 8.7.1 の仮定(II)に関連した部分

次に、図 8.7.2 のブロック(I)には、ユーザが Market Expansion Scenario について記述する。ブロック(I)の hypothesis コンポーネントには、ハイブリッド車市場が拡大したときの状況を記述する。表 8.7.2 に示すように、hypothesis コンポーネントには、”In Market Expansion Scenario, the potential market of HEVs becomes 50 million (57million\*87.8%) assuming the market potential as N=87.8%, which is mentioned in Base Case Scenario, and the number of personal cars in Japan as 57 million.”と記述した。ここで、ハイブリッド車の市場における潜在的な最大普及台数を 5,000 万台とした根拠として、日本における自家用車の台数が 5,700 万台（うち、軽自動車 が 15 万台）であることと、Base Case Scenario で想定したハイブリッド車の最大普及率が 87.8%であることを利用した（詳細は表 8.7.2 参照）。

表 8.7.2: Market Expansion Scenario の記述

<i>Component</i>	<i>Descriptions</i>
hypothesis	<p>To identify critical factors in Base Case Scenario in terms of cumulative HEV diffusion up to 2050, we executed sensitivity analysis for all the input data, which is related to the base. The results showed that the potential market of HEVs is the far most critical and the prices of HEVs and GVs and the mileage of GVs follow. Although Base Case Scenario assumes that HEVs do not emerge in the market of mini-vehicles with displacement of less than 660cc, some models for HEV have been marketed (Suzuki 2003, Daihatsu Automobile Co., Ltd. 2010).</p> <p>In the future, mini-vehicles for HEVs, particularly single- or twin-seater vehicles, would become popular because of their economic rationality. Aiming to assess the influence of the mini-vehicles on HEV diffusion, this sub-scenario named Market Expansion Scenario assumes that the potential market of HEVs expands. In Market Expansion Scenario, the potential market of HEVs becomes 50 million (57million*87.8%) assuming the market potential as N=87.8%, which is mentioned in Base Case Scenario, and the number of personal cars in Japan as 57 million. The number of personal cars here is calculated by adding 15 million mini cars to 42 million non-mini cars using the data shown in Base Case Scenario.</p>
result	Figure A1. Comparing Simulation Results
discussion	N/A
conclusion	In Market Expansion Scenario, HEVs disseminate 12,245 in 2025 and 44,155 in 2049, respectively.

#### 6. Market Expansion Scenario のシミュレーションと全体の考察・結論の記述

ユーザが動的シナリオを利用して Market Expansion Scenario のシミュレーションを実行した。シミュレーションの実行は、Dataset Manager 上で Market Maximum Diffusion of HVs (表 8.4.1 の No.3) の値のみを 3,700 万台から 5,000 万台に変更した。このとき、図 8.7.4 のようなシミュレーション結果が得られるので、表 8.7.2 に示すようにこのグラフを“Figure A1. Comparing Simulation Results”と名づけて result コンポーネントに記述し、さらに Market Expansion Scenario の conclusion コンポーネントには“In Market Expansion Scenario, HEVs disseminate 12,245 in 2025 and 44,155 in 2049, respectively.”と記述した。

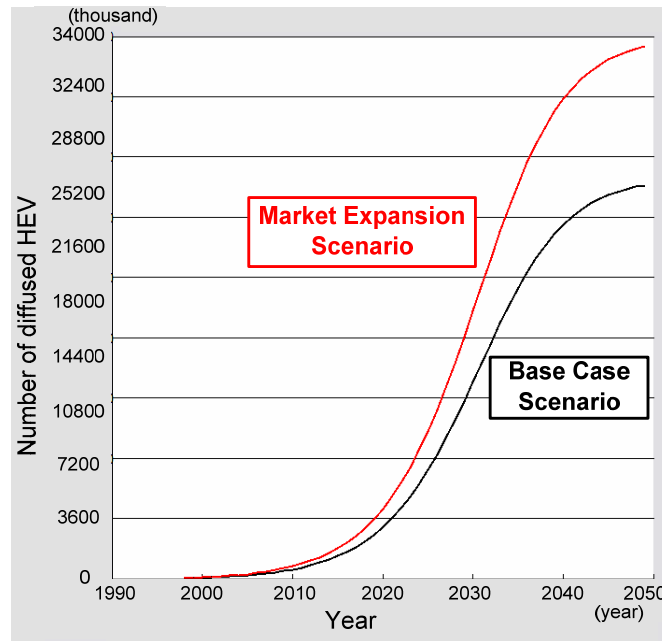


図 8.7.4: シミュレーション結果の比較

Base Case Scenario と Market Expansion Scenario の記述に基づいて、シナリオ全体の考察と結論をそれぞれ図 8.7.2 のコンポーネント(L)と(M)記述した。それらの記述内容を表 8.7.3 に示す。

なお、表 8.7.3 において、コンポーネント(L)、(M)の記述の一部である(\*1)と(\*2)は自然言語的には連続する一文であるが、それらの論理構造的には図 8.7.5 のように因果関係で接続されており、意味的に discussion と conclusion に分かれる。この点で、構造化シナリオは論理構造を理解するために役立つ一方で、人間がシナリオ全体の流れを理解するためには、論理構造から人間が読みやすい形式で文章化する必要がある。これは、本研究の今後の課題である。

表 8.7.3: シナリオ全体の考察と結論の記述

<i>Component</i>	<i>Descriptions</i>
(L) discussion	<p>The comparison between the two sub-scenarios shows that HEV diffuse faster in Market Expansion Scenario by 1.35-1.36 times compared to Base Case Scenario. Nevertheless, it is uncertain whether the consumers accept hybrid mini-vehicles.</p> <p>Prerequisites for satisfying Market Expansion Scenario should include: (1) the price of the hybrid mini-vehicles is much cheaper than that of the present model, (2) batteries become lighter and the mileage increases, and (3) the consumers prefer single- or twin- seater vehicles.</p> <p>(*1)Since the potential market has the far largest sensitivity to the HEV diffusion and Market Expansion Scenario assumes that the consumers prefer HEVs much,</p>
(M) conclusion	<p>The analysis of the two sub-scenarios revealed that the potential market of HEVs has large impact on the HEV diffusion.</p> <p>(*2) the HEV diffusion in Market Expansion Scenario is close to the upper limit.</p>





ここまでで、Base Case Scenario から図 8.7.5 に示すように Market Expansion Scenario を派生シナリオとして作成した。最終的に作成されるシナリオは図 8.7.2 であり、それぞれのコンポーネントに含まれる Expression Level のノード個数は表 8.7.4 のようにまとめられる。表 8.7.4 によれば、最終的なシナリオに含まれる全 Expression Level ノードの個数 107 に対し、既存のサブシナリオ (Base Case Scenario) の記述を再利用した個数は 88 である。一方で、新規にユーザが記述したノードの個数は 19 である。このことから、既存シナリオの記述のうち 82% (88/107) を再利用することができた。これは、動的シナリオによる既存のシナリオおよびシミュレータの再利用可能化の効用のひとつである。

表 8.7.4: シナリオ全体の Expression Level ノードの個数

<i>Component</i>		<i>Number of Expression Level nodes</i>	<i>Remarks</i>
(J) problem		11	Reused descriptions of Base Case Scenario (Number of nodes: 88)
(K) hypothesis		60	
(A) Base Case Scenario	hypothesis	8	
	result	3	
	discussion	0	
	conclusion	6	
(I) Market Expansion Scenario	hypothesis	11	Described new descriptions regarding Market Expansion Scenario and the discussion and conclusion of the whole scenario (Number of nodes: 19)
	result	1	
	discussion	0	
	conclusion	1	
(L) discussion		4	
(M) conclusion		2	
Total		107	

## 第 9 章

### 考察

第9章では、前章で示した実行例の結果に基づいて、本研究で提案した持続可能社会シナリオの表現方法論と分析方法論の有効性について考察を行い、それとともに課題を抽出する。

## 9.1 シナリオ設計の課題と提案手法の関係

3.2 節で定義したシナリオ設計において、本研究で提案したシナリオ構造化手法、動的シナリオ作成手法、論理構造分析手法、既存シナリオの what-if 分析手法の 4 つの手法によって支援可能な範囲を考察する。ここで、シナリオ設計のための課題は 3.3 節に示した以下の 6 つであった。

1. 論理構造を明確化した形式でシナリオを表現すること
2. シナリオとシミュレータを再利用可能とすること
3. 新規にシナリオを作成すること
4. シナリオを分析すること
5. シナリオ間の関係を明らかにすること
6. コンテンツを集積すること

本研究で提案した 4 つの手法と上記の課題の関係を表 9.1.1 にまとめる。本研究ではシナリオの表現 (課題 1) と分析 (課題 2, 4) に取り組んだ一方で、新規のシナリオ作成 (課題 3) および、持続可能社会像をシナリオとして描くために重要な課題 5, 6 は今後の課題として残されている。

表 9.1.1: 提案した各手法とシナリオ設計課題の関係

Method	Task required for scenario design					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
1. Structuring scenarios	+	+	.	+	.	
2. Describing dynamic scenarios		+		+		
3. Logical structure analysis				+		
4. What-if analysis				+		

(+): The method supports the task, (·): The method supports the task, but not yet being examined enough.

ただし、本論文で提案したシナリオ構造化は課題 3, 5 を解決するための基礎となる。課題 3 に対して、本論文ではシナリオの表現手法を提案したが、それに加えて新たなシナリオの作成プロセスを提案する必要がある。課題 5 を解決するためには、構造化した複数のシナリオの間を関連づける必要がある。この課題を解決するためには、シナリオ間の共通言語としてオントロジー[92]を定義するといったアプローチが考えられる。このアプローチに関連して、例えば Yoshikawa, *et al.*[93]によるメタモデルに関する研究が行われている。さらにシミュレータの側からは、関連づける複数のシナリオで利用されているシミュレータ間の整合性を管理する必要があるが、本研究ではそのためにメタデータ (5.3 節参照) を提案することを想定している。

## 9.2 各提案手法の有効性の検証

本節では、本論文で提案した4つの手法の有効性についてそれぞれ検証する。

### 9.2.1 シナリオ構造化手法の有効性

本手法では、4つのレベル (Scenario, Expression, Data, Word) でシナリオを構造化するというアプローチを採り、特に本論文では Scenario, Expression, Data の3つのレベルにおける構造化手法を提案した。Scenario Level ではサブシナリオ間の関係を表現し、Expression Level と Data Level ではシナリオの論理性に着目し、シナリオの記述間における論理的な関係と論理的に弱い関係に区別した。

例えば、図 8.6.1 の結論(c)と(d)はそれぞれシミュレーション結果から因果関係と論理的な飛躍でそれぞれ導出されていることが明確化できた。すなわち、結論(c)と(d)の導出には、論理性の点で違いがある。また、図 8.6.1 の仮定(a)と(e)から入力データの値を設定する際、両者の間には論理性の違いがあることが“data\_extraction”と“data\_detail”という2種類のリンクを定義することによって明らかにできた。さらに、仮定(e)は事実(f)と“refer”リンクによって接続されていることから、仮定(e)は過去の生産コストについて述べている事実(f)を参照することによって想定していることが明確化できた。これはすなわち、仮定(e)と事実(f)の間にも論理的な不確かさが存在することを示している。以上のようにシナリオに含まれる論理的な不確かさは、持続可能社会シナリオにはむしろ必要不可欠である。なぜならば、論理的でない記述によってのみ、現在から跳躍した将来を描くことが可能だからである。実際のところ将来の記述において、図 8.6.1 の事実(f)から仮定(e)の導出で見られるように、過去のデータを外挿して将来のある状況を想定することは代表的な手段である。

このような特徴をもった持続可能社会シナリオを合理的に理解するためには、論理的な記述と論理的ではない記述などを意識的にかつ適切に使い分けるべきである。この点で、本手法が提案するシナリオ構造化手法の有用性があると考えられる。

以上で示したように、本手法ではシナリオ文章を構造化することによって、その論理構造を明確化することができた。この利点は、ある2つの要素間の因果関係のみを表現する因果ネットワーク[57]や、事象(イベント)のシーケンスを表すイベントツリー[94]のような他のシナリオ表現手法にはないものである。その一方で、シナリオを構造化するためには文章の記述内容からノードの種類を手作業によって判別することが必要であり、そこに人間の主観性が入り込む可能性がある。この課題に対しては、4.7節で指摘したように複数のステークホルダー間で合意をとるべきである。また、IPCCのシナリオ[9]のような大規模なシナリオ文章を構造化するためには、多くの労力が必要であるという課題もある。しかし、実際に数多くの持続可能社会シナリオが文書として配布されている現状において、少なくともそれらのシナリオの理解および検証を可能とするためには、ある程度の労

力を投入することは不可避であると考え。この課題に対する方策としては、3S Simulator を用いて多人数でシナリオの構造化を分担しながら協調作業を行うことや、4.7 節で述べたような自然言語処理のアプローチを導入することが挙げられる。

実行例から明らかとなった本手法の課題として、図 8.5.1 で示したようにシナリオをブロック分けする際には機械的な分類ができるノードとできないノードが存在することが挙げられる。後者には、図 8.5.1 のノード(i)、ノード集合(ii)、ノード(iii)が存在する。このうち、ノード(i)は他のノードと全く関連していないため構造的にブロック分けすることは不可能であり、読み手が意味に応じて分類すべき適切な“scenario\_component”ノードを決定せざるを得ない。ノード集合(ii)は、シミュレーションモデルに関する説明を表し、シミュレーション結果の根拠となっている点で、機械的に hypothesis を表す“scenario\_component”ノードに分類されるべき対象である。これを実現するためには、シナリオ文章上におけるシミュレーションモデルに関する記述部分を明確化する必要がある。すなわち、Expression Level のノードと、“simulator”ノードを関係づけるための新たなリンクを定義する必要がある。ノード(iii)はハイブリッド車の普及による CO2 削減効果に関する記述であり、シナリオの主テーマに対応した結論ではないものの、シミュレーションから付随的に導出された結果である。このように、結論とは関連しないにも関わらず、シミュレーションによって導かれる結果が現れる構造は、図 4.5.5 (p. 76) のアルゴリズム作成時には想定していなかった。この課題に対しては、ノード(iii)が機械的に result を表す“scenario\_component”ノードに分類されるようにアルゴリズムを改定し、そのアルゴリズムを他のいくつかのサブシナリオに適用して検証する必要がある。

### 9.2.2 動的シナリオ作成手法の有効性

動的シナリオは、シナリオで想定されているシミュレーションの値を変更したとき、その結果を検討可能とした。さらに、実行例で示したように what-if 分析による派生シナリオの作成にも有用であった。一般には、シナリオ作成時に利用したシミュレータの入出力データは散逸する可能性があり、特に第三者がそれらのシナリオとシミュレータを再利用することは容易でない。動的シナリオを作成する場合、既存のシナリオについてシミュレータの収集およびシミュレータの入出力データを作成するのは骨の折れる仕事ではあるが、その後の再利用性を高めることができる。特に新規にシナリオを作成する場合には、動的シナリオを必ず作成することとすれば、シナリオとシミュレータの入出力データを一元的に管理することができ、結果として作成したシナリオとシミュレータを将来のシナリオ作成に活用することが容易となる。

### 9.2.3 論理構造分析手法の有効性

論理構造分析手法で提案したシナリオの根拠 (根拠集合, 基底) と logicity index によって、

シナリオを論理性の観点から評価することが可能となった。この手法で可能な評価は「良いシナリオ」の一側面にすぎないが、**logicality index** による定量的な評価はシナリオ間の比較に有用である。実際のところ、HV Diffusion Scenario では結論を支持する根拠のうち、52% (Expression Level ノードのみ、式(9.1)参照) が論理的な関係を保持し、残りの 48%の根拠と結論は論理的に弱い関係で接続されていた。この指標は、複数のシナリオを論理的な意味での信ぴょう性の観点から定量的に比較するために利用可能である。

しかし、論理性の観点からみた信ぴょう性以外の評価基準、例えば創造性 (**creativity**) は論理関係から客観的に評価することが困難であり、それらは読み手が判断しなければならない。むしろ、シナリオの **logicality index** の値ができる限り大きければ良いというわけではなく、論理的な部分と論理的でない部分を両方ともに利用することは、信ぴょう性 (説得力) と創造性を兼ね備えたシナリオを作成するために有効である。創造性を持ったシナリオ、言い換えれば飛躍した将来を描くためには、9.2.1 節で述べたようにシナリオにおいて論理的でない記述は必要不可欠である。

本研究では、8.6 節で述べたように、シナリオの根拠は基底と、基底以外の根拠として、(1) 結論と論理的な関係を保持する根拠、(2) 結論を論理的な飛躍により導出する根拠、(3) 基底を導出するために利用される根拠の合計 4 種類に分類した。これらの分類によって、シナリオにおける根拠の位置づけを明確化することができた。例えば、8.6 節で指摘したように、基底は結論の信ぴょう性を確保するために最重要な根拠である一方で、上記(1)の根拠は基底に付随するものであるため、信ぴょう性を議論する必要はない。このように、提案した根拠に対する 4 つの分類は議論のためのガイドラインとして利用可能であり、結論の信ぴょう性について議論すべき点を明確化することができる。

本手法における課題としては、6.5 節でも指摘したとおり、根拠の定式化においてシミュレータに含まれるモデルを扱っておらず、それらの検証・評価が可能でない点が挙げられる。この課題を解決するためには、本論文が提案したシナリオの構造化手法において、シミュレータに埋め込まれたモデルを表現するための手法を検討する必要がある。

#### 9.2.4 what-if 分析支援手法の有効性

実行例で示したように、Base Case Scenario を what-if 分析した結果、82% (88/107) の記述を再利用して効率的に派生シナリオ (Market Expansion Scenario) を作成することができた。それに加えて、what-if 分析を既存のシナリオに対して実行する際、変更すべき前提条件の候補として基底を抽出することも、効率的な派生シナリオの作成に寄与している。実行例で扱った基底 (図 8.7.1 の仮定(I)) の抽出では、ハイブリッド車の最大普及台数の想定値とその根拠を明確化することができた。この明確化によって前提条件の信ぴょう性を評価することが可能となり、この点は、シミュレ



ータだけを用いる単なる感度分析にはない利点である。

しかしながら、変更すべき前提条件を基底に限定することは、既存のシナリオで既にかかれている結論を変化させることに着目したためであるが、本来はより多様な派生シナリオを描くことができるはずである。例えば、既存シナリオ上で基底でない根拠を変更することによって、既存のシナリオでは想定されていない全く新しい結論を導くことも考えられる。また、本手法が対象とする what-if 分析は既存のシミュレータに依存しているために、既存のシナリオから大きく異なる将来を描くことができない。すなわち、シミュレータの入力値が異なる場合を想定するだけであり、そのシミュレータで用いられているモデルが変化したときの状況を派生シナリオとして検討することができない。

### 9.3 提案手法によるシナリオ設計支援の限界

本論文で提案した手法を利用することによって、既存のシナリオとシミュレータを利用して派生シナリオを作成することが可能となった。このとき、シナリオ構造化手法、動的シナリオ作成手法、論理構造分析手法の3つの手法は、シナリオとシミュレータのコンテンツに依存せず、汎用的に持続可能社会シナリオに対して適用可能である。しかし、9.2.4節で述べたように、what-if分析手法ではwhat-if分析の特性により、記述可能な派生シナリオは対象とするシナリオとシミュレータの制限を受ける。そもそも作成すべき持続可能社会シナリオの条件には、2.3節で述べたように様々な将来を記述すること（包括性）、状況が現在から大きく変化する将来を記述すること（創造性）が含まれるが、本論文で提案したwhat-if分析手法ではそのようなシナリオの記述は十分に支援できない。その理由は、提案したwhat-if分析手法には、(1) what-if分析の対象とするシナリオがただ1個のシミュレータしか利用していない、(2) シミュレータで用いられているモデルは、シミュレーション期間において変化しない、(3) 既存シナリオの基底のみを変更対象としている、といった課題があるためである。

シナリオ設計の最終的な目標は、2.3節で示した「良いシナリオ」を作成することである。それを支援するためには、少なくとも上記の課題(1)～(3)をそれぞれ解決する必要がある。課題(1)に対して、複数のシミュレータを利用しているシナリオのwhat-if分析を可能にするためには、5.6節で述べたように、メディエータ（図5.3.1参照）を提案することによって動的シナリオの作成手法を拡張する必要がある。課題(2)は、ダイナミックに変化するシナリオの記述に対応できないことを意味する。この課題を解決するためのひとつの方策としては、シナリオ内で利用するシミュレータを、シミュレーション期間の時間によって変更することが挙げられる。そのためには、構造化シナリオに時間軸の概念を導入し、シミュレーション期間のある時点と利用するシミュレータの関係を管理することが考えられる。例えば、1個のシミュレータを利用しているシナリオにおいて、2010～2020年にはシミュレータA、2020～2030年にはシミュレータB、2030～2040年にはシミュレータCを利用する、という情報を管理する。課題(3)に対しては、9.2.4節で述べたようにwhat-if分析で変更すべき対象を基底以外にも広げることに加えて、新規のシナリオ作成手法を提案することが望ましい。これは、より幅広いシナリオの記述を可能とする。

## 9.4 シナリオ記述支援システムの有効性

実行例で示したように、本研究で構築したシナリオ記述支援システムは、シナリオの論理構造を視覚的に表現することができ、かつ、シナリオの根拠として根拠集合、基底を表示することを通して論理構造の分析を支援することができた。特に、シナリオの論理構造における論理性をシステム上で演算できることにより、シナリオの結論にとって重要な前提条件である基底を表示することができ、基底を用いた what-if 分析を支援することができた。このように、本システムはシナリオの論理構造を扱う上で計算機との親和性は高い一方で、様々なステークホルダーが参加してシナリオを作成するための協調環境を整備するという点ではいくつかの課題が残されている。

ひとつは、シナリオの論理構造グラフを見てユーザがシナリオの記述内容を直感的に理解することが容易とは言えない点である。図 8.6.1 のようにシナリオの情報量が比較的多い場合には、各ノードの意味するところを一目で理解することが困難である。この課題に対しては、ユーザインタフェースを改良することによってノードが含む記述内容の視認性を改善する必要がある。もうひとつは、構造化シナリオは、論理構造の把握には適しているものの、一連の文章としてシナリオを読む場合には適していない点である。シナリオ文章の流れをユーザにとって理解しやすいようにするためには、構造化シナリオを文書化して出力するための機能をツールとして実装すべきであると考えている。

また、シナリオ記述支援システムには Scenario Database と Simulator Database の 2 つを構築したが、そこに様々なコンテンツを集積することもシステムの利用価値を高めるために重要である。このとき、シナリオ設計を支援するためには、アーカイブ化したシナリオまたはシミュレータを検索する機能を付加するなど、これら 2 つのデータベースの機能を向上させることも課題である。



## 第 10 章

### 結論

第 10 章では, 本研究の結論と今後の課題について述べる. 最後に, 今後の持続可能社会シナリオ設計について展望する.

## 10.1 本研究の結論

本研究では、持続可能社会に向けたシナリオの作成支援を目的としてシナリオ設計の概念を提案し、そのために必要な研究課題を既存研究の調査に基づいて整理した。さらに、そのシナリオ設計支援のための課題を解決するためのアプローチとして、持続可能社会シナリオシミュレータ (3S Simulator) の構想を提案した。既存の研究ではシナリオの理解、議論、作成、分析および評価のための計算機による支援はほとんど検討されておらず、この点で新たな研究分野を開拓したといえる。

シナリオの設計支援の点では、本研究では以下の手法を提案することを目的として掲げた。

1. シナリオ設計を計算機上で支援するために、本研究では持続可能社会シナリオの表現方法を提案する。この方法ではシナリオを計算機処理可能にするとともに、シナリオの合理的な理解に向けてシナリオ論理構造を明確化するために、シナリオを構造化する。
2. 上記のシナリオ表現方法に基づいてシナリオ作成を支援するために、既存のシナリオおよびシミュレータの再利用可能にするための方法、シナリオの論理構造分析手法、および既存シナリオの what-if 分析支援手法を提案する。

上記のひとつ目の目的に対して、本論文では 3S Simulator を実現するための基礎として、シナリオを計算機上で処理可能とするためにシナリオの構造的記述法を提案した。この手法に基づいてシナリオを構造化することによって、シナリオの論理構造が明確化できることを示した。例えば、シナリオの記述に含まれる論理的な部分と論理的でない部分の区別、仮定と事実の区別を可能とした。

ふたつ目の目的に対して、本論文では既存のシナリオとシミュレータを再利用可能とすることを目的として、シナリオの構造的記述法に基づいて動的シナリオの作成手法を提案した。この手法によって、既存のシナリオとそのシナリオの作成に利用されているシミュレータを利用して、既存のシナリオ上で前提条件を部分的に修正したときの様々なシミュレーションが実行可能となった。

シナリオの論理構造分析手法では、シナリオの結論を導出するために用いられている根拠を定式化し、その根拠を抽出可能とした。この結果、シナリオの結論がどのような前提条件のもとに導出されているのかを明確化することができた。さらに、シナリオの根拠を論理性に基づいて、論理的に結論を支持する根拠と論理的に弱く結論を支持する根拠の 2 種類に分類した。この結果、結論の導出に対してより大きな影響を与える根拠と、結論との関係に曖昧さを含む根拠を区別した。

最後に、動的シナリオを利用した what-if 分析支援手法を提案し、既存のシナリオの前提条件を部分的に修正することによって派生シナリオを作成するための手法を提案した。この what-if 分析

によって、既存のシナリオ上で、元々描かれていた将来とは異なる複数の起こりうる将来を描くことが可能となった。



## 10.2 今後の課題

3S Simulator を実現させることにより、持続可能社会の将来像を描写したシナリオを描くために解決すべき課題として、以下の4点が挙げられる。

- 新規のシナリオ作成手法の提案

持続可能社会像の全体的な描写に向けて、持続可能性および社会の様々な側面をシナリオとして記述するためには、既存のシナリオとシミュレータを利用しながら新たなシナリオを作成する必要がある。本研究で提案した持続可能社会シナリオの構造的記述法に基づいて効率的なシナリオの作成を支援するためには、少なくともシナリオの作成手順を形式化する必要がある。さらに、短期または中長期の両方の将来をシナリオとして記述可能とするためには、フォアキャストシナリオとバックキャストシナリオの両方についての作成支援方法を検討すべきである。

- 俯瞰的な持続可能社会像の記述方法

本研究では、3.4節で述べたように、シナリオ間の関係づけによって俯瞰的な持続可能社会像を明確化することを最終的な目的としている。この明確化のためには、少なくとも構造化手法に基づいてシナリオ間の比較と関係づけが必要である。さらに、複数のシナリオを関連づける場合には同時に複数のシミュレータも関係するため、それらを適切に管理するためには5.3節で述べたメタデータの開発も必要である。今後、例題を用いながら俯瞰的な持続可能社会像を記述するために必要な課題を整理する必要がある。

- 様々な持続可能社会シナリオおよびシミュレータのアーカイブ化

持続可能社会には多くのトピックが包含されるため、数多くのトピックに関するシナリオを作成支援できるようにするためには、できる限り多くの既存シナリオおよびシミュレータを収集して再利用可能とすべきである。

- シナリオ設計における協調環境の整備

持続可能社会シナリオの設計には様々なステークホルダーが関与し、シナリオの作成はそのステークホルダー間の議論によって進行することを考慮すれば、システムのユーザビリティ、特にシナリオのインタフェース上での表現は重要な課題である。また、ウェブ上で多人数によるシナリオを作成することも今後の支援対象として考えられる。

### 10.3 本研究の展望

本研究の展望として、3S Simulator を様々なシナリオおよびシミュレータを集積することにより、図 10.3.1 に示すように様々なステークホルダーがそれらを共有しながら 3S Simulator 上でシナリオを作成できるため、今後のシナリオ作成をより効率化できると考えられる。さらに、参加型のシナリオ作成においては、本論文で提案したシナリオの構造化手法に基づいてシナリオの論理構造を明確化することにより、ステークホルダー間の議論を合理的に進めることが期待できる。この結果、シナリオ作成の効率のみならず、より多くの合意を得たシナリオを作成する効果も期待できる。

3S Simulator は、様々なトピックを持ったシナリオの記述支援、およびそれらの分析支援が可能である点で、持続可能社会を実現するために必要な課題や解決すべきボトルネックを抽出するために役立つと考えている。



図 10.3.1: 3S Simulator の利用イメージ (図 3.4.3 再掲)

## 謝辞

本論文は、多くの方々の協力を得て書き上げられたものです。

指導教員である梅田靖教授には、学部以来 5 年半にわたってご指導を賜りました。梅田先生には研究面で時に厳しく時に優しく指導していただきました。アドバイスをいただくために居室に押しかけることも度々でしたが、嫌な顔一つせずに丁寧に議論に付き合ってくださいました。研究に対する考え方、論文の作成方法、日々の生活にわたるまで広くかつ深いアドバイスをいただきましたことに、深く感謝いたします。

福重真一助教には、研究や論文の作成方法などについて様々な助言をいただきました。福重先生の知識の豊富さには、いつも驚かされるばかりでした。また、研究室での生活面でも大変お世話になりました。深く感謝いたします。

本論文の査読を担当していただきました、赤松史光教授 (機械工学専攻)、下田吉之教授 (環境・エネルギー工学専攻)、藤田喜久雄教授 (機械工学専攻) に深く感謝申し上げます。

本研究に対して有益なコメントをいただきました、槌屋治紀氏 (㈱システム技術研究所)、木村文彦教授 (法政大学)、藤本淳教授 (東京大学)、増井慶次郎氏 (産総研)、近藤伸亮氏 (同)、松本光崇氏 (同) に深く感謝いたします。

梅田研究室において、本研究をともに進めてきた西山武志氏、山崎泰寛氏、水野有智氏、松安亮典氏、廣崎真希氏、和田春菜氏との議論は、とても楽しいものでした。

梅田研究室のメンバーには、研究室の環境づくりや研究に関するディスカッションの面でお世話になりました。ここに感謝いたします。

研究室での生活を支えていただきました、事務補佐員の山下佳子さん、元事務補佐員の津田奈津美さんに感謝いたします。

最後に、これまでの研究生活を支えてくれた家族に感謝の意を表したいと思います。

なお, 本研究の成果の一部は, 文部科学省科学研究費補助金, 基盤研究(A) (No. 20246130) ならびに特別研究員奨励費 (No. 21・316) の助成を受けたものです. 筆者は, 2007~2008 年度にかけて文部科学省「大学院教育改革支援プログラム」の「複合システムデザインのための X 型人材育成」プロジェクトにおいて RA (Research Assistant) として雇用されました. また, 2009~2010 年度にかけて, 日本学術振興会特別研究員 (DC2) として(独)日本学術振興会より助成を受けました.

## 参考文献

- [1] Meadows, D.H., Randers, J., and Meadows, D., *The Limits to Growth*, Universe Books, New York, N.Y., (1972).
- [2] 安井至, 市民のための環境学入門, 丸善, 東京, (1998).
- [3] 安井至編, 21世紀の環境予測と対策, 丸善, 東京, (2000).
- [4] Ichinose, T. and Yasui, I., “Future Scenarios: Predicting Our Environmental Future,” Himiyama, Y. (ed.), *Regional Sustainable Development Review: Japan*, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) Publishers, Paris, France, (2004).
- [5] 吉川弘之, テクノグローブ, 工業調査会, 東京, (1993).
- [6] Tomiyama, T., “The Post Mass Production Paradigm,” *Proceedings of EcoDesign '99: First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo, Japan, (1999), pp. 162-167.
- [7] World Commission on Environment and Development (WCED), *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, (1987).
- [8] Daly, H.E., *Economics in a Full World*, Scientific American, September 2005, (2005).
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Contribution of Working Groups I, II, III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, (2007).
- [10] International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2009*, IEA Publications, Paris, France, (2009).
- [11] 西岡秀三編, 日本低炭素社会のシナリオ—二酸化炭素 70%削減の道筋, 日刊工業新聞社, 東京, (2008).
- [12] 松岡譲, 原沢英生, 高橋潔, 「地球環境問題へのシナリオアプローチ」, 土木学会論文集, No.678 / VII-19, (2001), pp. 1-11.
- [13] 経済産業省, 技術戦略マップ 2009, 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), (2009), <http://www.nedo.go.jp/roadmap/index.html>.
- [14] Seliger, G., Kim, H.J., Kernbaum, S., and Zettl, M., “Approaches to Sustainable Manufacturing,” *International Journal of Sustainable Manufacturing*, Vol. 1, No. 1-2, (2008), pp. 58-77.
- [15] Kishita, Y., Kunii, E., Fukushige, S., Umeda, Y., and Fujimoto, J., “Scenario Analysis of Global Resource Circulation with Traceability Index Targeting Sustainable Manufacturing,” *International Journal of Automation Technology (IJAT)*, Vol. 3, No. 1, (2009), pp. 3-10.

- [16] Kishita, Y., Fukushige, S., Umeda, Y., and Fujimoto, J., "Modelling, Analysis and Risk Evaluation of Resource Circulation in Asia," *International Journal of Environmental Technology and Management (IJETM)*, Vol. 11, No. 4, (2009), pp. 290-318.
- [17] Kahn, H. and Weiner, A.J., *The Year 2000: A Framework for Speculation on the Next Thirty-Three Years*, The Macmillan Co., New York, NY, (1967).
- [18] DeWeerd, H., *Political Military Scenarios*, The Rand Paper Series P-3535, the RAND Corporation, Santa Monica, CA, (1967).
- [19] Glenn, J.C. and the Futures Group International, "Scenarios," Glenn, J.C. and Gordon, T.J. (eds.), *Futures Research Methodology-V2.0*, AC/UNU Millennium Project, Washington, D.C., (2003).
- [20] Peterson, G., Cumming, G., and Carpenter, S.R., "Scenario Planning: A Tool for Conservation in an Uncertain World," *Conservation Biology*, Vol. 17, No. 2, (2003), pp. 358-366.
- [21] RAND, *Scenarios for Examining Civil Aviation Infrastructure Options in the Netherlands*, European-American Centre for Policy Analysis, (1997).
- [22] Schwartz, P., *The Art of the Long View*, Doubleday, New York, (1991).
- [23] Bood, R.P. and Postma, T.J.B.M., *Scenario Analysis as a Strategic Management Tool*, University of Groningen, Research Institute SOM (Systems, Organisations and Management), (1998).
- [24] Raskin, P., Monks, F., Ribeiro, T., van Vuuren, D., and Zurek, M., "Global Scenarios in Historical Perspective," Findings of the Scenarios Working Group (ed.), *Ecosystems and Human Well-Being: Scenarios, Millennium Ecosystem Assessment Series Volume 2: Scenarios*, Island Press, Washington, D.C, (2005), pp. 35-44.
- [25] Alcamo, J., "Scenarios as Tools for International Environmental Assessments," Ribeiro, T. (ed.), *Environmental Issue Report*, No. 24, European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark, (2001).
- [26] van Notten, P., Rotmans, J., van Asselt, M.B.A., and Rothman, D.S., "An Updated Scenario Typology," *Futures*, Vol. 35, No. 5, (2003), pp. 423-443.
- [27] Gallopin, G., Hammond, A., Raskin, P., and Swart, R., *Branch Points: Global Scenarios and Human Choice*, Polestar Series Report no. 7, Stockholm Environment Institute (SEI), Boston, (1997).
- [28] Rausch, E. and Catanzaro, F., "Simulation and Games in Futuring and Other Usess," Glenn, J.C. and Gordon, T.J. (eds.), *Futures Research Methodology-V2.0*, AC/UNU Millennium Project, Washington, D.C., (2003).
- [29] Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K., Ekvall, T., and Finnveden, G., "Scenario Types and Techniques: Towards a User's Guide," *Futures*, Vol. 38, No. 7, (2006), pp. 723-739.
- [30] Robinson, J., "Futures under Glass: A Recipe for People Who Hate to Predict," *Futures*, Vol. 22,

- No. 8, (1990), pp. 820-842.
- [31] Robert, K.H., Schmidt-Bleek, B., Aloisi de Larderel, J., Basile, G., Jansen, J.L., Kuehr, R., Price Thomas, P., Suzuki, M., Hawken, P., and Wackernagel, M., “Strategic Sustainable Development—Selection, Design and Synergies of Applied Tools,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 10, No. 3, (2002), pp. 197-214.
- [32] Dreborg, K., “Essence of Backcasting,” *Futures*, Vol. 28, No. 9, (1996), pp. 813-828.
- [33] 増井利彦, 松岡譲, 日比野剛, 「バックキャストイングによる脱温暖化社会実現の対策経路」, 地球環境, Vol. 12, No. 2, (2007), pp. 161-169.
- [34] United Nations Environment Programme (UNEP), *Global Environment Outlook 3*, Earthscan, London, (2002).
- [35] Alcamo, J., Kreileman, G.J.J., Bollen, J.C., van den Born, G.J., Gerlagh, R., Krol, M.S., Toet, A.M.C., and de Vries, H.J.M., “Baseline Scenarios of Global Environmental Change,” *Global Environmental Change*, Vol. 6, No. 4, (1996), pp. 261-304.
- [36] Stigliani, W.M., Brouwer, F.M., Munn, R.E., Show, R.W., and Antonowsky, M., “Future Environments for Europe: Some Implications of Alternative Development Paths,” *The Science of the Total Environment*, Vol. 80, No. 1, (1989), pp. 1-102.
- [37] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), *Exploring Sustainable Development: WBCSD Global Scenarios 2000-2050 Summary Brochure*, WBCSD, London, (1997).
- [38] Cosgrove, W.J. and Rijsberman, F., *World Water Vision: Making Water Everybody's Business*, Earthscan/Thanet Press, London, (2000).
- [39] Carpenter, S., Pingali, P., Bennett, E., and Zurek, M., “Ecosystems and Human Well-Being: Scenarios - Findings of the Scenarios Working Group” *Millennium Ecosystem Assessment Series Vol. 2*, Island Press, Washington, D.C., (2005).
- [40] Geyer, A., Scapolo, F., Boden, M., Döry, T., and Ducatel, K., *The Future of Manufacturing in Europe 2015-2020: The Challenge for Sustainability*, European Commission, (2003).
- [41] 東京大学 RCAST 脱温暖化 IT 社会チーム・電通消費者研究センター, 2050 年脱温暖化社会のライフスタイル—IT 社会のエコデザイナー—, 藤本淳(編), 電通, 東京, (2007).
- [42] 橋本征二, 大迫政浩, 阿部直也, 稲葉陸太, 田崎智宏, 南斉規介, 藤井実, 松橋啓介, 森口祐一, 「近未来の資源・廃棄物フローおよび資源循環・廃棄物管理システムに関するシナリオ・プランニング」, 土木学会論文集, Vol. 65, No. 1, (2009), pp. 44-56.
- [43] DeLeon, P., *Scenario Designs: An Overview*, R-1218-ARPA, The RAND Corporation, Santa Monica, CA, (1973).
- [44] Shell International, *Scenarios: An Explorer's Guide*, (2003).
- [45] 池田和明, 今枝昌宏, 実践シナリオプランニング, 東洋経済新報社, 東京, (2002).

- [46] O'Brien, F.A., "Scenario Planning - Lessons for Practice from Teaching and Learning," *European Journal of Operational Research*, Vol. 152, No. 3, (2004), pp. 709-722.
- [47] Wack, P., "Scenarios: Uncharted Waters Ahead," *Harvard Business Review*, Vol. 63, (1985), pp. 73-89.
- [48] Millett, S., "The Future of Scenarios: Challenges and Opportunities," *Strategy & Leadership*, Vol. 31, No. 2, (2003), pp. 16-24.
- [49] Wilkinson, L., "How to Build Scenarios," *Scenarios: The Future of the Future*, Special Wired Edition, (1995), pp. 77-81.
- [50] Jäger, J., Rothman, D., Anastasi, C., Kartha, S., and van Notten, P., *Scenario Development and Analysis*, Pintér, L., Swanson, D., and Chenje, J. (eds.), GEO Resource Book: A Training Manual on Integrated Environmental Assessment and Reporting, UNEP and IISD, Winnipeg, Canada, (2007).
- [51] de Jouvenel, H., "A Brief Methodological Guide to Scenario Building," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 65, No. 1, (2000), pp. 37-48.
- [52] Quist, J. and Vergragt, P., "Past and Future of Backcasting: the Shift to Stakeholder Participation and a Proposal for a Methodological Framework," *Futures*, Vol. 38, No. 9, (2006), pp. 1027-1045.
- [53] Mander, S.L., Bows, A., Anderson, K.L., Shackley, S., Agnolucci, P., and Ekins, P., "The Tyndall Decarbonisation Scenarios-Part I: Development of a Backcasting Methodology with Stakeholder Participation," *Energy Policy*, Vol. 36, No. 10, (2008), pp. 3754-3763.
- [54] Carlsson-Kanyama, A., Dreborg, K.H., Moll, H.C., and Padovan, D., "Participative Backcasting: A Tool for Involving Stakeholders in Local Sustainability Planning," *Futures*, Vol. 40, No. 1, (2008), pp. 34-46.
- [55] Bishop, P., Hines, A., and Collins, T., "The Current State of Scenario Development: An Overview of Techniques," *Foresight*, Vol. 9, No. 1, (2007), pp. 5-25.
- [56] Coyle, R.G., "Morphological Forecasting - Field Anomaly Relaxation (FAR)," Glenn, J.C. and Gordon, T.J. (eds.), *Futures Research Methodology-V2.0*, AC/UNU Millennium Project, Washington, D.C., (2003).
- [57] Ward, E. and Schriefer, A.E., "Dynamic Scenarios: System Thinking Meets Scenario Planning," Fahey, L. and Randall, R.M. (eds.), *Learning from the Future*, John Wiley & Sons, New York, (2003), pp. 140-156.
- [58] Serman, J.D., *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw-Hill, Boston, (2000).
- [59] Weihrich, H., "Daimler-Benz's Move towards the Next Century with the TOWS Matrix," *European Business Review*, Vol. 93, (1993), pp. 4-11.
- [60] Kondoh, S., "Proposal of a Cause-effect Pattern Library for Realizing Sustainable



- Development,” *Proceedings of EcoDesign 2009*, OS-1M-6, Sapporo, (2009), CD-ROM.
- [61] Hanaoka, T., Kawase, R., Kainuma, M., Matsuoka, Y., Ishii, H., and Oka, K., *Greenhouse Gas Emissions Scenarios Database and Regional Mitigation Analysis*, CGER-D038-2006, National Institute for Environmental Studies, Japan, (2006).
- [62] Albert, C., “Participatory Scenario Development for Supporting Transitions towards Sustainability,” *Proceedings of 2008 Berlin Conf. on the Human Dimensions of Global Environmental Change “Long-Term Policies: Governing Social-Ecological Change”*, (2008).
- [63] Glenn, J.C., “Participatory Methods,” Glenn, J.C. and Gordon, T.J. (eds.), *Futures Research Methodology-V2.0*, AC/UNU Millennium Project, Washington, D.C., (2003).
- [64] Alcamo, J., Kok, K., Busch, G., Priess, J.A., Eickhout, B., Rounsevell, M., Rothman, D.S., and Heistermann, M., “Searching for the Future of Land: Scenarios from the Local to Global Scale,” Lanbin, E.F. and Gerist, H. (eds.), *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*, Springer-Verlag, Berlin, (2008), pp. 137-155.
- [65] 梅田靖, 「持続可能社会シナリオシミュレーションの必要性とアプローチ」, エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム講演論文集, A12-1, 東京, (2008), CD-ROM.
- [66] 吉川弘之, 富山哲男, 設計学—ものづくりの理論—, 放送大学教育振興会, 東京, (2000).
- [67] 吉川弘之, 「一般設計学序説」, 精密機械, Vol. 45, No. 8, (1979), pp. 20-26.
- [68] Takeda, H., Veerkamp, P., Tomiyama, T., and Yoshikawa, H., “Modeling Design Processes,” *AI Magazine*, Vol. 11, No. 4, (1990), pp. 37-48.
- [69] 武田英明, 設計過程表現論, 1990 年度東京大学大学院工学研究科精密機械工学専攻博士論文, (1991).
- [70] MindTools, “What If” Analysis: Making Decisions by Exploring Scenarios, [http://www.mindtools.com/pages/article/newTED\\_76.htm](http://www.mindtools.com/pages/article/newTED_76.htm).
- [71] Umeda, Y., Nishiyama, T., Yamasaki, Y., Kishita, Y., and Fukushige, S., “Proposal of Sustainable Society Scenario Simulator,” *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 1, No. 4, (2009), pp. 272-278.
- [72] Umeda, Y., “Sustainable Society Scenario Simulator Toward Sustainable Manufacturing (1st Report) – Needs and Approaches to Sustainable Society Scenario Simulation –,” *Proceedings of EcoDesign 2009: 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, OS-1M-3, Sapporo, Japan, Dec 7-9, (2009), CD-ROM.
- [73] International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2004*, IEA Publications, Paris, France, (2004).
- [74] 国立環境研究所, 日本の温室効果ガス排出量データ(1990~2008 年度)確定値, 温室効果ガスインベントリ, (2010), <http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>.
- [75] 水野有智, 持続可能社会シナリオの設計プロセスの提案, 2009 年度大阪大学大学院工学研

- 究科機械工学専攻修士論文, (2010).
- [76] 和田春菜, 因果ネットワークを用いた持続可能社会シナリオ設計支援手法の提案, 2009 年度大阪大学工学部応用理工学科卒業論文, (2010).
- [77] Kainuma, M., Matsuoka, Y., Hibino, G., Shimada, K., Ishii, H., Matsui, S., and Morita, T., “Application of AIM/Enduse Model to Japan,” *Climate Policy Assessment*, Springer-Verlag, Tokyo, Japan, (2003), pp. 155-176.
- [78] Eckstein, R., *XML Pocket Reference*, O’Reilly & Associates Inc., Sebastopol, CA, (1999).
- [79] 木下裕介, 山崎泰寛, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能な製造業の実現に向けた持続可能社会シナリオシミュレータの開発(第 2 報)—シナリオとシミュレータの接続による動的シナリオの作成—」, 精密工学会誌, Vol. 76, No. 6, (2010), pp. 694-699.
- [80] 和田春菜, 木下裕介, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第 9 報)—因果ネットワークを用いた新規シナリオの作成—」, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, C03, 埼玉, (2010), pp. 175-176.
- [81] Ram, R.V.S. and Devi, S.L., “Clause Boundary Identification Using Conditional Random Fields,” *Proceedings of the 9th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing*, Haifa, Israel, (2008), pp. 140-150.
- [82] 丸山岳彦, 柏岡秀紀, 熊野正, 田中英輝, 「日本語節境界検出プログラム CBAP の開発と評価」, 自然言語処理, Vol. 11, No. 3, (2004), pp. 39-68.
- [83] Senin, N., Wallace, D.R., and Borland, N., “Distributed Object-Based Modeling in Design Simulation Market Place,” *ASME Journal of Mechanical Design*, Vol. 125, No. 1, (2003), pp. 2-13.
- [84] 石田武志, Steven Kraines, 「モデル統合基盤により複数モデルを連動させた首都圏 CO2 削減シミュレーション」, エネルギー資源学会第 23 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, (2007), pp. 159-162.
- [85] 石田武志, Steven Kraines, 「モデル統合基盤により複数モデルを連動させた国内 CO2 削減シミュレーション」, エネルギー資源学会第 24 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, (2008), pp. 223-226.
- [86] W3C, *XSL Transformations (XSLT) Version 1.0*, Clark, J. (ed.), W3C Recommendation 16 November, 1999, (1999), <http://www.w3.org/TR/xslt>.
- [87] Haynes, S.R., Back, P.M., and Carroll, J.M., “Scientific Design Rationale,” *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 22, No. 4, (2008), pp. 359-373.
- [88] Moran, T.P. and Carroll, J.M., *Design Rationale: Concepts, Techniques, and Use*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, (1996).

- [89] Harary, F., *Graph Theory*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., Reading, (1969).
- [90] Analysis-one, <http://www.analysis-one.com/>.
- [91] Matsumoto, M., Kondoh, S., Fujimoto, J., and Masui, K., “A Modeling Framework for the Diffusion of Green Technologies,” In: Sherif, M.H. and Khalil, T.M. (eds.), *Management of Technology Innovation and Value Creation: Selected Papers from the 16th International Conference on Management of Technology*, World Scientific Publishing Company, Singapore, (2008), pp. 121-136.
- [92] 溝口理一郎, オントロジー工学, オーム社, 東京, (2005).
- [93] Yoshikawa, H., Tomiyama, T., Kiriya, T., and Umeda, Y., “An Integrated Modelling Environment Using the Metamodel,” *Annals of the CIRP*, Vol. 43, No. 1, (1994), pp. 121-124.
- [94] List, D., “Scenario Network Mapping,” *Journal of Futures Studies*, Vol. 11, No. 4, (2007), pp. 77-96.



## 発表論文

(注) 博士学位論文と関連のある発表論文に\*印を付した.

### 原著論文 (査読付)

1. Yusuke Kishita, Bi Hong Low, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda, Atsushi Suzuki and Takao Kawabe, "Checklist-Based Assessment Methodology for Sustainable Design," *ASME J. Mechanical Design*, Vol. 132, No. 8, (2010). (in press)
2. LOW BIHONG, 木下裕介, 福重真一, 梅田靖, 鈴木敦, 川邊隆男, 「重み付き環境配慮設計チェックリストの作成手法に関する研究」, 精密工学会誌. (in press)
- 3\*. 木下裕介, 山崎泰寛, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能な製造業の実現に向けた持続可能社会シナリオシミュレータの開発(第2報)—シナリオとシミュレータの接続による動的シナリオの作成—」, 精密工学会誌, Vol. 76, No. 6, (2010), pp. 694-699.
- 4\*. 木下裕介, 山崎泰寛, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能な製造業の実現に向けた持続可能社会シナリオシミュレータの開発(第1報)—構造的なシナリオ記述に基づく論理構造の分析—」, 精密工学会誌, Vol. 75, No. 8, (2009), pp. 1029-1035.
- 5\*. Yasushi Umeda, Takeshi Nishiyama, Yasuhiro Yamasaki, Yusuke Kishita and Shinichi Fukushige, "Proposal of Sustainable Society Scenario Simulator," *CIRP J. Manufacturing Science and Technology*, Vol. 1, No. 4, (2009), pp. 272-278, doi:10.1016/j.cirpj.2009.05.005.
6. Yusuke Kishita, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda and Jun Fujimoto, "Modelling, Analysis and Risk Evaluation of Resource Circulation in Asia," *Int. J. Environmental Technology and Management (IJETM)*, Vol. 11, No. 4, (2009), pp. 290-318.
7. Yusuke Kishita, Eisuke Kunii, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda and Jun Fujimoto, "Scenario Analysis of Global Resource Circulation with Traceability Index Targeting Sustainable Manufacturing," *Int. J. Automation Technology (IJAT)*, Vol. 3, No. 1, (2009), pp. 3-10.

### 解説論文・著書 (査読無)

- 1\*. 木下裕介, 梅田靖, 「持続可能社会シナリオの構造化と作成支援」, 計算工学, Vol. 15, No. 1, (2010), pp. 2238-2242.
2. Yasushi Umeda and Yusuke Kishita, "Toward the Sustainable Circulation of Products among Asian Countries," *Tohru Morioka, Kazuhito Haruki and Helmut Yabar (eds), Transition to a Resource-Circulating Society*, Osaka University Press, Osaka, Japan, (2007), pp. 65-76.

### 国際学会講演論文 (フルペーパー査読付)

- 1\*. Yusuke Kishita, Yuji Mizuno, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, “Development of Sustainable Society Scenario Simulator - Connecting Scenarios with Associated Simulators,” *Proc. of 17th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering 2010*, Hefei, China, May 19-21, (2010), pp. 402-407.
2. Yusuke Kishita, Bi Hong Low, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda, Atsushi Suzuki and Takao Kawabe, “Checklist-based Assessment Method for Environmentally Conscious Design,” *Proc. of the 5th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21)*, D26, Osaka, Japan, Dec 2-4, (2009), CD-ROM.
3. Yusuke Kishita, Bi Hong Low, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda, Atsushi Suzuki and Takao Kawabe, “Proposal of an Ecodesign Assessment Methodology by Using a Weighted Checklist,” *Proc. of ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2009): 14th Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference (DFMLC)*, DETC2009-86202, San Diego, California, Aug 30-Sep 2, (2009), CD-ROM.
- 4\*. Yuji Mizuno, Yusuke Kishita, Yasuhiro Yamasaki, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, “Structural Description Method of the Sustainable Society Scenarios for Scenario Design,” *Proc. of the 17th International Conference on Engineering Design (ICED)*, Stanford, California, Aug 24-27, (2009), pp. 2-475-2-486, CD-ROM.
- 5\*. Yusuke Kishita, Yasuhiro Yamasaki, Yuji Mizuno, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, “Development of Sustainable Society Scenario Simulator - Structural Scenario Description and Logical Structure Analysis,” *Proc. of 16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering 2009*, Cairo, Egypt, May 3-6, (2009), pp. 361-366.
6. Yusuke Kishita, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda and Jun Fujimoto, “Scenario Analysis of Sustainability in Global Resource Circulation,” *Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, Pohang, Korea, Nov 22-24, (2007), pp. 311-316, CD-ROM.

### 国際学会講演論文 (採択審査のみ)

1. Kazutoshi Tsuda, Bi Hong Low, Toyohiko Nakakubo, Yusuke Kishita, Keishiro Hara and Yasushi Umeda, “Scenario Analysis of Sustainable Society Based on Urban-Rural Partnerships in Japan,” *Proc. of EcoBalance 2010: Towards & Beyond 2020*, Tokyo, Japan, Nov 9-12, (2010). (accepted)
- 2\*. Yusuke Kishita, Yuji Mizuno, Maki Hirosaki, Haruna Wada, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, “Supporting Scenario Design for Creating Visions of Sustainable Manufacturing Industry,” *Proc. of CARE INNOVATION 2010*, Vienna, Austria, Nov 8-11, (2010). (accepted)

- 3\*. Yusuke Kishita, Yuji Mizuno, Maki Hirosaki, Haruna Wada, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, "A Holistic Approach to Computer-Aided Scenario Design Targeting Sustainable Manufacturing," *Proc. of APMS 2010 International Conference*, Como, Italy, Oct 11-13, (2010). (accepted)
4. Eisuke Kunii, Yusuke Kishita, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, "A Trial for Describing Long-term Scenarios Toward Sustainable Resource Circulation," *Proc. of EcoDesign 2009: 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, GT3-3E-8, Sapporo, Japan, Dec 7-9, (2009), CD-ROM.
5. Bi Hong Low, Yusuke Kishita, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda, Atsushi Suzuki and Takao Kawabe, "Proposal of an EcoDesign Assessment Methodology with a Weighted Checklist," *Proc. of EcoDesign 2009: 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, GT2-2D-3, Sapporo, Japan, Dec 7-9, (2009), CD-ROM.
- 6\*. Yuji Mizuno, Yusuke Kishita, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, "Sustainable Society Scenario Simulator toward Sustainable Manufacturing (3rd Report) - Dynamic Connection between Scenarios and Simulators -," *Proc. of EcoDesign 2009: 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, OS-1M-5, Sapporo, Japan, Dec 7-9, (2009), CD-ROM.
- 7\*. Yusuke Kishita, Yuji Mizuno, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, "Sustainable Society Scenario Simulator toward Sustainable Manufacturing (2nd Report) - Scenario Structuring for Logical Structure Analysis -," *Proc. of EcoDesign 2009: 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, OS-1M-4, Sapporo, Japan, Dec 7-9, (2009), CD-ROM.
8. Eisuke Kunii, Yusuke Kishita, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, "Approach for Describing Long-term Scenarios toward Sustainable Resource Circulation in Asia," *Proc. of the 10th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology (EARTH)*, T1-04, Jeju, Korea, Nov 3-4, (2009), pp. 38-41.
- 9\*. Yusuke Kishita, Yuji Mizuno, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, "Formalizing Sustainability Scenarios for Supporting Composition and Scientific Analysis," *Proc. of 2009 RISS International Conference: Sustainability Transition - International Research Initiatives towards Resource-Circulating Societies*, Osaka, Japan, July 22-23, (2009), pp. 109-112.
10. Yusuke Kishita, Eisuke Kunii, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda and Jun Fujimoto, "Scenario Analysis for Sustainable Global Resource Circulation with Traceability Index," *Proc. of Electronics Goes Green 2008+*, Berlin, Germany, Sep 8-10, (2008), pp. 805-811.
11. Yusuke Kishita, Tatsuro Shinohara, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda and Jun Fujimoto, "Scenario Analysis toward Sustainable Resource Circulation in Asian Countries," *Proc. of EcoDesign 2007: 5th International Symposium on Environmentally Conscious Design and*

*Inverse Manufacturing*, OS1-4, Tokyo, Japan, Dec 10-13, (2007), CD-ROM.

12. Yusuke Kishita, Tatsuro Shinohara, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda, Jun Fujimoto and ZhiDong Li, "Simulation of Resource Circulation among Asian Countries Considering Risks," *Proc. of the 9th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology (EARTH)*, Sendai, Japan, Oct 29-31, (2007), pp. 39-42.

### 国内学会講演論文 (査読無)

- 1\*. 和田春菜, 木下裕介, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第9報)—因果ネットワークを用いた新規シナリオの作成—」, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, C03, 埼玉, 3月16日-18日, (2010), pp. 175-176, CD-ROM.
- 2\*. 木下裕介, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第8報)—what-if分析に基づくサブシナリオの作成支援—」, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, C02, 埼玉, 3月16日-18日, (2010), pp. 173-174, CD-ROM.
- 3\*. 木下裕介, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能社会に向けたシナリオの構造的記述法の提案」, 第19回設計工学・システム部門講演会, 沖縄, 10月28日-30日, (2009), pp. 577-582, CD-ROM.
4. 井上洋一郎, 新貝雅紀, 藤田淳司, 宮武宏彰, 木下裕介, 「中国市場向け廃電線用リサイクル設備のプロダクトデザイン」, 第19回設計工学・システム部門講演会, 沖縄, 10月28日-30日, (2009), pp. 250-252, CD-ROM.
- 5\*. 水野有智, 木下裕介, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第7報)—シナリオの構造記述に基づいた新規シナリオの作成—」, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 神戸, 9月10日-12日, (2009), pp. 1021-1022.
- 6\*. 山崎泰寛, 木下裕介, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第6報)—シミュレータのアーカイブを用いた動的シナリオの作成—」, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, I74, 東京, 3月11日-13日, (2009), pp. 673-674.
- 7\*. 木下裕介, 山崎泰寛, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第5報)—シナリオの基底を用いた論理構造の分析—」, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, I73, 東京, 3月11日-13日, (2009), pp. 671-672.
8. LOW BI HONG, 木下裕介, 福重真一, 梅田靖, 鈴木敦, 川邊隆男, 「重み付き環境配慮設計チェックリストの導出手法に関する研究」, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集,



- 165, 東京, 3月11日-13日, (2009), pp. 663-664.
9. 國井英輔, 木下裕介, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能なグローバル循環構築のためのトレーサビリティ評価指標の開発」, エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム, B23-1, 東京, 12月11日-12日, (2008), CD-ROM.
  - 10\*. 山崎泰寛, 水野有智, 木下裕介, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能社会シナリオの構造的記述法の提案(第2報)～シナリオとシミュレータの接続～」, エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム, A12-4, 東京, 12月11日-12日, (2008), CD-ROM.
  - 11\*. 水野有智, 木下裕介, 山崎泰寛, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能社会シナリオの構造的記述法の提案(第1報)～シナリオ記述と論理構造の分析～」, エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム, A12-3, 東京, 12月11日-12日, (2008), CD-ROM.
  12. 國井英輔, 木下裕介, 福重真一, 梅田靖, 「持続可能なグローバル循環に向けたシナリオ分析とトレーサビリティ評価」, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, H63, 仙台, 9月17日-19日, (2008), pp. 621-622.
  - 13\*. 木下裕介, 山崎泰寛, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 松本光崇, 藤本淳, 「持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第4報)―シナリオとシミュレータの接続―」, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, H62, 仙台, 9月17日-19日, (2008), pp. 619-620.
  - 14\*. 山崎泰寛, 梅田靖, 福重真一, 木下裕介, 水野有智, 「持続可能社会シナリオシミュレータのためのシナリオ構造記述法の提案, 2008年度日本機械学会年次大会, 3314, 横浜, 8月3日-7日, (2008).
  - 15\*. 水野有智, 西山武志, 山崎泰寛, 木下裕介, 梅田靖, 福重真一, 「持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第3報)―語句レベルからの因果関係の抽出―」, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, J63, 川崎, 3月17日-19日, (2008), pp. 861-862.
  - 16\*. 西山武志, 山崎泰寛, 水野有智, 木下裕介, 梅田靖, 福重真一, 「持続可能社会シミュレーションのためのシナリオ構造記述法の提案(第2報)―シナリオレベルからみたシナリオ構造の分析―」, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, J62, 川崎, 3月17日-19日, (2008), pp. 859-860.
  17. 木下裕介, 篠原達郎, 梅田靖, 福重真一, 藤本淳, 「アジアにおける持続可能な資源循環の構築に向けたシナリオの作成と評価」, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, G47, 旭川, 9月12日-14日, (2007), pp. 511-512.
  18. 木下裕介, 梅田靖, 藤本淳, Li ZhiDong, 「リスクを用いたアジアにおける資源循環のモデル

化と評価」, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, B09, 宇都宮, 9月20日-22日, (2006), pp. 87-88.

### ポスター発表 (採択審査のみ)

- 1\*. Yusuke Kishita, Yasuhiro Yamasaki, Yuji Mizuno, Shinichi Fukushige and Yasushi Umeda, “Structural Scenario Description for Sustainable Society Scenario Simulation,” *International Conference on Sustainability Science 2009*, Tokyo, Japan, Feb 5-7, (2009).