

研究展望

地球環境問題へのシナリオアプローチ

SCENARIO APPROACH ON GLOBAL ENVIRONMENTAL PROBLEMS

松岡 譲¹・原沢英夫²・高橋 潔³

Yuzuru MATSUOKA, Hideo HARASAWA and Kiyoshi TAKAHASHI

¹正会員 京都大学大学院教授 工学研究科環境工学専攻
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)²正会員 国立環境研究所 社会環境システム研究領域
(〒305-0053 つくば市小野川16-2)³正会員 国立環境研究所 社会環境システム研究領域
(〒305-0053 つくば市小野川16-2)**Key Words** : *scenario approach, climate change, global water problem*

1. シナリオアプローチとは

「近々に何をすべきかを、その行動の結果起こることを推定し、それらを考量しながら決定する。」のは、われわれが通常行っている行動様式である。地球環境問題に関わる種々の事柄は、人々がこれまでに行ってきた各種の判断、行動や、今後行っていく判断によって様々な展開があり得る。そうした判断を行うにあたっては、関連する自然科学的知見、社会・人文科学的知見や、現状に対する定性的・定量的把握が必要になる。さらに、それらを論理整合性をもって組み立て、将来に延長したり、場合によっては目標とすべき将来世界像あるいは望ましくない将来世界像から現状へ至る道筋を逆算し、その途中での各種判断の将来的含意を検討したらどうであろうか。

本論文が主題とするシナリオアプローチとはこのような手法であり、地球環境問題の顕在化とともに、関連する種々の政策判断や合意形成を行う際の支援材料を提供する有力な方法と考えられるようになってきた。例えば、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)による温暖化評価作業、世界水フォーラムによる世界水ビジョン、UNEPによる地球環境展望(GEO)作業などは、このシナリオアプローチを駆使したものであり、今後25年～100年程度の時間スパンにわたる地球温暖化問題、水資源問題、および自然・社会システムに加わる種々の環境ストレスとその低減努力の効果を人々に提示し、判断および行動にあたっての参照材料を与えようと試みたものであった。

本論文では、このシナリオアプローチによる地球環境問題の評価や対応策の検討について近年の動向を紹介し、その要点と可能性を論ずることとする。

2. シナリオアプローチの手法

将来を見通すやり方としては、従来から何通りかの方法が使用されてきた。時系列的あるいは統計的方法をベースとする手法、現象メカニズムの数理的モデルを使用する方法などがそれである。これらの手法は問題とするシステムに対する理解度が十分であり、構造が変わらずそのシステムを駆動する外力が既知であることを原則とする。したがって、それらの実際使用にあたっては、設定条件や環境に対するいくつかの仮定や工夫を別途行わなければならない。こうした補完的方法を取らざるを得ないのは、基本的には、現時点での科学的知見、データの認識が不十分であり、これらの知見だけでは将来の不確定性を除去し得ないことに起因するが、それでは、今後、認識・把握が進み、将来をモデルあるいは何らかの数理的方法のみで内生的に推計できる推論システムを構築可能であるかと言えば、本論文が対象としている地球環境問題などのように、人々が行う各種判断に依存し恣意性が高いシステムの場合、ほとんど絶望的である。それでは、地球環境問題に関し将来状況を推測することは、無意味かと言えなければそうではない。本論文頭書にも述べたように、現時点の行動・判断を将来に投影し問題解決の材料とすることは、地球環境問題において特に必要であり、またシナリオアプローチの本質的意義でもある。表-1には「将来状況を知る」ことを表わすいくつかの用語を記しているが、シナリオアプローチが論ずる将来状況とは、予言や予測とは異なり選択性と恣意性が内包されている。言い換えるならば、人々の行動が本質的に有している「予言破りの自由」は、地球環境問題の将来を論ずる際の基本的性質であり、それを積極的に取り込むシナリオアプローチは、回避・対

表-1 将来推計を表す用語

用語	説明
推計(Projection)	将来についての記述全般, 予測, 予報, 予言, シナリオを含む一般的な用語
予測, 予報(Forecast)	「最も起こりそう」な推計
予言(Prediction)	将来の状態についての単一的な決め付け
シナリオ(Scenario)	将来起こりうる複数の状態についての推計

表-2 シナリオの種類

種類	説明
探索的シナリオ	推進力のふれ幅と分岐路を可能な限り幅広く取り, 多様な将来像を網羅的に探る
規範的シナリオ	望ましい将来像から現在状況に遡る道筋を演繹的に探る
参照・自然体・ビジネス アズユー・ジャーナル シナリオ	各種パラダイム, 社会構造, 技術水準あるいは対応策を現状のまま凍結しその投影としての将来像を描く
介入, 対策シナリオ	参照シナリオの将来像を望ましい方向に変更するために必要な行動, 選択を探索するシナリオ

策法を講ずる際のほぼ唯一の接近法であり, その意味において社会的意義を有するのである。

シナリオアプローチでは, まず, 将来状況に関する多様なイメージと現在からその将来像に至る道筋を, 定性的あるいは定量的に記述する。現状をその将来に向けて駆動するいくつかの推進力, その途中において出くわすいくつかの分岐路は, シナリオを構成する重要な要素である。シナリオアプローチには, これらの推進力のふれ幅と分岐路を可能な限り幅広く取り, 多様な将来像を網羅的に探る探索的シナリオアプローチ, あるいは, 望ましい将来像から現在状況に遡る道筋を演繹的に探る規範的なシナリオアプローチの別がある。後に触れる SRES は前者の例であり, 大気安定化を最初に想定しその状態を導く社会, エネルギー構造を逆算したポスト SRES シナリオは後者の例となる。

さらに, 社会構造, 技術水準あるいは対応策を現状のまま凍結しその投影としての将来像を描くシナリオと, それを望ましい方向に変更するために必要な行動, 選択を探索するシナリオの別もある。前者は, 参照シナリオ, 自然体シナリオ, ビジネスアズユー・ジャーナルシナリオあるいは政策非介入シナリオなどと称される(表-2)。凍結する要素は, 社会経済パラダイム, 技術水準, あるいは各要素の変化速度の場合など様々である。こうした凍結要素の差異は将来像を大きく変化させるから, 参照シナリオと言えども, 現状のどの要素を将来に投影しているのか十分注意する必要がある。

3. シナリオアプローチによる地球的問題群への接近

(1) 地球的問題群への適用の歴史

人口問題, 経済発展, 飢餓問題あるいは地球環境問

題など, 人類が抱える問題群が将来どのように展開していくか, またそれらを切り抜けるためにどのような方策を取らなければならないか, と言った一連の地球的問題の検討は, シナリオアプローチの格好の題材であり, また独壇場でもある。ローマクラブを背景に 1970 年代初期, Meadows ら¹⁾ や Mesarovic ら²⁾ によって行われた一連の地球的問題研究では, 経済発展, 資源・環境問題および人口問題をシステムダイナミックス手法によってグローバルモデルとして同定し, 今後 100 年程度の期間に外挿している。これらのモデルでは多くの地球的問題群は鮮明化かつ深刻化し地球制約の強さを示したが, それらを回避する一連の政策, 技術シナリオを示せ得なかったわけではなく, シナリオ如何によっては多様な将来像があることを提示した研究であり, シナリオアプローチにより地球的問題に接近した第一世代の研究と言える。また, ラテンアメリカモデル(Herrera ら³⁾) はこれらの研究に対抗し開発されたモデルであるが, 価値判断や制度の改変を将来シナリオの中心に据えることによって, 地球の物理的制約を克服しうることも示し, 将来像の多様な幅を顯示している。

シナリオアプローチの第二世代的地位を占める研究の典型としては, ストックホルム環境研究所(SEI)の地球シナリオグループ(GSG)による研究⁴⁾を挙げることができる。1980 年代後半に始まった地球環境問題の高まりとともに持続的発展(SD)が大きい関心事となり, 同時に将来シナリオの重要な着目点となった。SD をめぐり Svedin ら⁵⁾, Milbrath⁶⁾, Burrows ら⁷⁾, 持続的発展に関する世界ビジネス協議会(WBCSD)⁸⁾, Bossel⁹⁾ など数多くの研究グループが競合して, なりゆきあるいは規範的な世界像およびそれらに至る将来シナリオを記述した。GSG の研究は, それらのまとめた役割を果たすものである。ただ, これらは叙述形式で定性的なものが多く, 数量的同定があったとしてもシナリオ記者の判断的外挿のレベルに留まっていた。

一方, 1990 年代は, オゾン層破壊, 地球温暖化あるいは酸性雨問題といった具体性が高い地球環境問題が顕在化した時代でもあった。これらの問題に対応するには, 上に挙げた社会全般に関わるシナリオに加え, それぞれの問題に固有の事項の特定化が必要となる。フロン生産・消費の見通しとそれに基づく成層圏

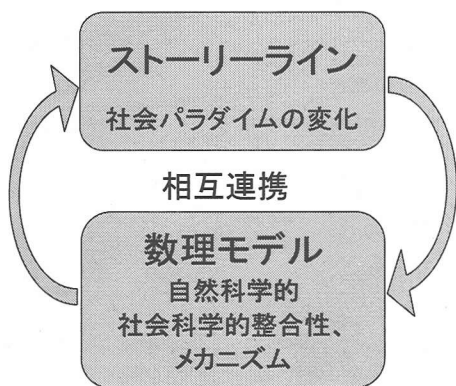


図-1 シナリオアプローチにおけるストーリーラインとモデルの連携

オゾン濃度の減少、化石燃料消費の見通しとそれに基づく気候変化の程度など、従来のグローバルシナリオがカバーし得なかった詳細性と具体性が問題となった。社会構造、経済発展などの社会マクロフレームと個別課題の技術的、政策的対応をカップリングさせたシナリオアプローチが必要になったのである。この種のシナリオとしては、例えば米国環境保護庁の大気安定化フレームワーク (ASF)¹⁰⁾ 内で展開されたいくつかの将来シナリオ群や、IPCC が数回にわたり策定した温室効果ガス排出シナリオ群があり、第三世代のシナリオと考えることができる。特定化された課題を対象としているため、シナリオリアリティーにある程度以上の詳細性が要求され、また因果・相互関係が複雑に存在するなど、記述的取り扱いのみでは対応不可能となる。すなわち、記述的なマクロトレンドを示すストーリーラインと、物理的・社会科学的制約条件を定量的に取り込んだ数理モデルとの結合が、シナリオ策定に不可欠となる。言い換えるならば、第三世代のシナリオアプローチの大きな特徴は、将来に対する記述的概観と、自然科学的、社会科学的法則および制約条件を明示的に表現した数理モデルのカップリングを行うことであり、両者のインターラクティブなやり取りによってのみ、科学のおよび要素間の整合性を持ったシナリオ策定が可能となる (図-1)。第三世代のシナリオは、多かれ少なかれそうしたインターアクションを行いつつ策定されたが、特にそのプロセスを明示的に強調したのが IPCC による SRES プロジェクト¹¹⁾ であった。既往の関連研究の徹底したレビューとそのデータベース作成、ストーリーラインとモデルによる定量的解析の分離、複数のモデリングチームの同時並行的定量化作業、ホームページや専門家・政府レビューを活用したオープンプロセスなど、SRES プロジェクトでは、シナリオアプローチの説得性を高めるいく

つかの工夫を強力に取り込み、地球的問題のシナリオアプローチを革新的に進歩させたと言ってよい。

(2) 地球的問題と地球環境問題の将来シナリオ

現在の状況は、人口変化、政治体制、経済成長、技術進歩、資源枯渇、社会公平度などの変化に伴って、徐々にあるいは急激に変革していく。これらの要素は、地球的問題進展の駆動力である。これらの要素は互いに独立あるいは従属して変化し、その将来変化は、シナリオ策定者が与件的に規定したり、グローバルモデルによって内生的に算出する必要がある。地球自然システムや人類社会システムは、自然科学的、社会科学的諸法則の支配下であるから、その変化シナリオはその範囲内で整合的でなければならない。しかし、われわれが知っている限りの諸法則は、地球の問題を一意的に展開する程度には束縛的ではない。歴史的に見れば、人口増加と経済成長は従属性をもって変化してきたが、その事実は将来の範囲を限定するほど確実性が高いものであろうか。経済成長とともに社会の公平性、環境に対する選好性あるいは枯渇資源の消費強度は、ある程度、統一的な傾向をもって変化したが、それと相反する挙動を示した場合もあった。どのような状況下にてクズネツツ仮説は破綻し、どのような状況下でポーター仮説が成立するであろうか。こうした不明性あるいは不確実性に対処するため、シナリオアプローチでは地球システムを構成する諸法則を、確実度あるいは不確実度に応じ数理モデルとして表現したり、選択自由度をもった複数のストーリーラインとして記述する。ほとんどの地球的問題の場合、数理モデリングおよびストーリーライン両者とそれらの補完的協力関係は、シナリオアプローチの実質的内容となる。これをモデリングの立場から言うならば、ストーリーラインとはなんらかの理由によりモデル中に取り込め得なかった外生要因の一連であり、シナリオアプローチの立場から言えば、モデルとはシナリオの内部整合性と合理性を保持する仕組みとみなすことができる。地球的問題のシナリオでは、人類の将来を巡る様々な重要問題群を構成要素として、相互の因果関係、規範的期待などの時間的進展を定性的および定量的に展開する。表-3 は地球的問題に関する既往のシナリオ研究で取り上げられた問題群であり、取り上げられた頻度およびそれらのシナリオが記述した変化傾向を併記したものである。そして、上述した自由度と必然性の範囲内で、総体としての地球の将来イメージを、暗く破綻的で閉塞的なもの、また場合によっては安定しかつ期待感に満ちたものとして描く。表-4 は、3.(1) で概観した地球的問題に関する既往のシナリオ群が描いた将来像を、グループ分けしたものであ

表-3 地球的問題のシナリオが取り上げている問題群¹⁾

	記述しているシナリオの割合(%)	範囲	一般的な傾向	変化を示すシナリオの割合(%)		
				減少	変化なし	増大
経済規模	82	崩壊～高成長	増大	24	13	64
人口規模	68	壊滅～高成長	増大	12	6	82
科学技術レベル	79	停滞、低下～非常に高進展	増大	4	9	87
グローバル化の程度	68	孤立コミュニティー～地球規模の文明化	より地球規模	26	1	73
政府の経済介入	61	無干渉主義～強い規制	減少	47	12	41
汚染	69	非常に低～非常に高	増大	40	4	56
国際的な所得公平性	80	非常に低～非常に高	増大	32	16	51
国内での所得公平性	43	非常に低～非常に高	増大	45	0	55
紛争の程度	61	平和～多数の戦争/世界戦争	増大	34	18	47
化石燃料の利用	40	事実上ゼロ～高利用		49	2	49
エネルギー消費	41	低～高	増大	27	0	73
温室効果ガス排出	36	低～高	増大	24	2	73
気候変動	0	気候変動なし～深刻な変化				
経済構造	40	農業中心(自給自足)～余暇時代	ポスト工業化経済の増加	8	12	80
高齢者の人口比率	9	低年齢層中心～高齢	増大	18	0	82
移住	24	小～大	増大	33	0	67
人々の健康	31	悪化～向上	向上	34	8	58
競争の程度	33	低～高	増大	34	0	66
市民の政治参加	45	独裁～有意義な参加	増大	25	25	50
コミュニティーの活力	34	衰退～非常に高い	増大	29	0	71
制度の応答性	60	不適切～非常に早い/市民主導	向上	28	21	51
社会的公平性	31	低～高		50	3	47
安全保障	24	低～高	増大	43	0	57
紛争の解決	24	不十分～効果的	向上	33	3	63
科学技術の普及	47	低～高	向上	16	22	62
技術革新の程度	36	低～高	増大	7	31	62
再生可能な資源の利用可能性	23	低～高	減少	68	4	29
再生不可能な資源の利用可能性	28	低～高	増大	43	11	46
利用可能な食料	36	低～高	増大	36	9	56
利用可能な水資源	15	低～高	減少	67	0	33
生物多様性	27	低～高	減少	64	6	30
社会崩壊の恐れ	21	起こりそうにない～起こりそう	増大	35	4	62

表-4 地球の問題に関するシナリオが描く将来像¹⁾

	シナリオグループ	頻度(%)
悲観的シナリオ (14%)	崩壊型: 人間社会の破綻	4
	分断型: 地域間格差の高まりとブロック化	8
	カオス型: 不安定性と無秩序	3
現状延長型シナリオ (29%)	反動型: 経済破綻の後に反動的保守化社会の到来	2
	従来型: 現状傾向の延長	10
	高成長型: 高い経済成長の継続	12
	アジアシフト型: 経済中心が西欧からアジアへ	4
技術楽観的シナリオ (15%)	経済至上型: 経済中心の価値基準とその副作用としての社会、環境状態の劣化	8
	サイバートピア: 情報技術の発達が多様かつ革新的社会を導出	14
	テクトピア: 技術進歩は地球規模問題を克服	4
持続的発展シナリオ (27%)	Our Common Future型: 経済発展、公平社会、環境改善の同時進行	18
	高環境効率型: 消費主義からの脱却	14

り、多種多様な世界像が描かれていることがわかる。このような多様性を反映し、最近の地球の問題研究では表-4に示した各グループに属するシナリオを組み合わせとして提示し、それらを対比することによって、将来状況の幅と対応・対策のロバスト性を高める

工夫を行うようになってきた。特に、地球環境問題に関するシナリオアプローチでは、対象が地球・人類システム全体ではなく、そのサブシステムであるから、将来世界像の多様性はストーリーラインによって与件として予めあたえ、その範囲幅での環境変化あるいは

対応手順を考慮する方が都合よい。IPCCが第三次評価報告書作成のために準備したSRESシナリオでは、今後100年の世界像を、価値観と世界協調の二つの観点に基づいて四つのストーリーラインを描き、それに基づいたエネルギー・環境モデルを使用した温室効果ガス排出量推計を行っている。表-5は、この四つのストーリーラインとそれに基づき想定された主要な推進力のトレンドを一覧したものである。

SRESの四つのストーリーラインは、もっぱら社会、経済的なマクロフレームに関する展開を述べたものであり、このシナリオ策定作業の本来の目的である気候変動の発生とその影響については考慮していない。さらに温暖化抑制行動についても触れず、むしろ、それについては意図的に排除している。すなわち、これらの四つのシナリオ群は政策非介入シナリオであるが、表-5のB1シナリオに見られるようなクリーンな省資源技術の導入が、省エネルギー技術などの温暖化対策に直接的に役立つ行動と独立して進行するとは考えられず、実際には温暖化対策効果も期待して導入されるであろう。後述する世界水ビジョン¹²⁾では、検討対象としている世界水危機およびそれからの回避をマクロフレームのストーリーラインと直接的に連携したものとして取り扱っておりSRESとは対照的なシナリオ策定方法を採用している。この世界水ビジョンの方法では、回避の技術的方策が、社会経済的マクロフレームが変遷する結果として必然的に導入されるものか、あるいはマクロフレームの改変なくしては水危機を回避することは不可能なのかなどの検討はできない。

SRESでは、気候変動政策の介入・非介入を峻別し、ストーリーラインとしての社会経済展開を、温暖化対策発動と強制的に分離した。一方、世界水ビジョンでは社会のパラダイムシフトが自発的に取り込むであろう各種の省水トレンドを、マクロ的ストーリーラインにしおび込ませることによって、対策シナリオ自体をマクロトレンドの推計幅に取り込んだ。地球・人類システムを全体としてとらえ、地球の問題群の解決法を包括的に模索する立場に立てば、地球政策の全てが何らかの介入を意味し、介入、非介入の別を云々することはあまり意味をもたない。しかし、地球環境問題と言った重要ではあるが人類活動全体に直結しているわけではない問題に関しては、個々の政策効果を分離しうるシナリオ策定に努めた方が、社会的合意形成を進める上で効率的であることも多い。両方のシナリオアプローチを使い分けていく必要がある。

4. 温暖化問題におけるシナリオアプローチ

(1) 排出量シナリオ-気候シナリオ-影響・適応評価

IPCCによる温暖化評価作業は、超長期の対象期間、現時点または将来における人類の選択肢の多様さ、関連する事象の複雑な因果関係といった問題本来の性質を反映し、当初よりシナリオアプローチを駆使した統合的な評価手法を多用してきた。図-2は、シナリオアプローチの側面から見た温暖化評価作業の概念図である。まず、経済政策、社会システム、価値観等について人類が将来に取りうる選択肢を、社会経済シナリオとして探索・提示する。その際、各因子間の整合性や選択肢の実現可能性について数理モデルなどを用いて確認される。また、その社会経済的な選択肢が、土地利用や土壌といった他の自然環境や資源とも整合性をもったものであることも同時に調べる必要がある。IPCCでは1992年に、気候モデル実験や影響評価研究の前提条件となる将来の選択肢として、人口、経済規模、技術進歩等の違いによりIS92a~fと呼ぶ六つの社会経済シナリオ(IS92)を提示した¹³⁾。六つのシナリオはすべて同様の重要度をもった選択肢として提案され、その各々のシナリオに基づいた気候シミュレーションや影響評価を行い、その結果得られる六つの将来を比較評価することが想定されていた。しかし、研究者・計算機等の資源の不足に加えて、気候モデルや影響モデル等の数理的評価手法自体の不確かさに研究者の関心が集中し、実際には六つのシナリオ全てについて評価が行われることは稀であり、六つのシナリオ中、中位に位置したIS92aシナリオのみが多用された。その結果、同様の重要度をもったその他の社会経済の発展シナリオは考慮されず、IS92aに基づく評価が絶対であるかのように取り扱われることが多く、特にマスコミはそのような傾向が強い評価結果の紹介を行った。つまり、評価作業当初には十分認識されていたシナリオアプローチの多元性は、作業が進むとともに忘れ去られ、特に影響・適応評価段階ではほとんど顧みられなかったことは、この評価作業に大きな悔いを残した。

1990年代後半にアジア諸国を襲った経済危機は、IS92が想定していた高経済成長に対する現実感に大きな疑問を投げかけた。また、これらのシナリオが仮定した因子間の整合性についても不十分性が指摘され、新たなシナリオの開発が要請された。その結果、策定し直されたのが前述したSRES(表-5)であり、A1, A2, B1, B2の四つのストーリーラインといくつかの温室効果ガス排出推計モデルを組み合わせ、

表-5 SRESが描いた4つのストーリーライン

シナリオ ファミリー	基調をなすテーマ	人口	経済成長	技術	エネルギーシステム
A1 シナリオ (高成長社会)	<ul style="list-style-type: none"> 地域間の収斂、能力の強化、文化および社会の相互作用の拡大、地域間格差の減少によるひとり当たり国民所得の増大。 	<ul style="list-style-type: none"> 21世紀半ばでピークに達した後減少（人口の増加は抑制される）。 2050年に87億人に達した後減少し、2100年の時点で71億人（IIASAの人口予測低位推計に基づく）。 	<ul style="list-style-type: none"> 高度経済成長が続き、2100年までの年平均経済成長率は2.9%。 GDPの総計が2100年の時点で550兆 US ドル。 	<ul style="list-style-type: none"> 新たな技術や高効率技術が早期に導入される。 	<ul style="list-style-type: none"> 急速な技術革新に伴い、エネルギー資源は豊富である。 最終エネルギー需要のGDP弾性値は年平均1.3%の割合で減少する。
A2 シナリオ (多元化社会)	<ul style="list-style-type: none"> 地域主義および地域の独自性の保持（地域経済圏の強化：資源の域内依存、国際的相互依存が進展せず）。 	<ul style="list-style-type: none"> 出生パターンや地域間収斂は非常に緩やかであるため、世界人口は増加を続ける。 2100年の時点で150億人（IIASA人口予測高位推計に基づく）。 	<ul style="list-style-type: none"> 経済発展は地域指向であり、ひとりと当たり国民所得の増加は他のシナリオに比較して緩慢である。 GDPの総計が2100年の時点で250兆 US ドル。 	<ul style="list-style-type: none"> 技術変化は他のシナリオに比較して散発的かつ緩慢である。 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーミックスはその地域によって異なる。
B1 シナリオ (持続発展型)	<ul style="list-style-type: none"> 経済、社会、環境持続性に対しては地球的解決に重点がおかれる、これは公平性の改善は含まれるが、追加的な温暖化対策は含まれない。 	<ul style="list-style-type: none"> 21世紀半ばでピークに達した後減少（A1シナリオと同様、人口の増加は抑制される）。 2050年に87億人に達した後減少し、2100年の時点で71億人（IIASAの人口予測低位推計に基づく）。 	<ul style="list-style-type: none"> 経済構造はサービス・情報経済へと急速に変化（假物質経済）。 GDPの総計が2100年の時点で350兆 US ドル。 	<ul style="list-style-type: none"> クリーンかつ省資源技術が導入される。 	
B2 シナリオ (地域共存型)	<ul style="list-style-type: none"> 経済、社会、環境持続性に対しては地域的解決に重点がおかれる。本シナリオも環境保全や社会的公平性の表現を指向するものであるが、地域レベルでの解決に重点がおかれる。 	<ul style="list-style-type: none"> A2シナリオよりは緩やかに増加を続ける。 2100年の時点で104億人（1998年国連長期人口予測中位推計）。 	<ul style="list-style-type: none"> 経済発展は中間的なレベルにとどまる。 GDPの総計が2100年の時点で250兆 US ドル。 	<ul style="list-style-type: none"> 技術変化はA1およびB1シナリオより緩慢であるが、より広範囲で発生する。 	

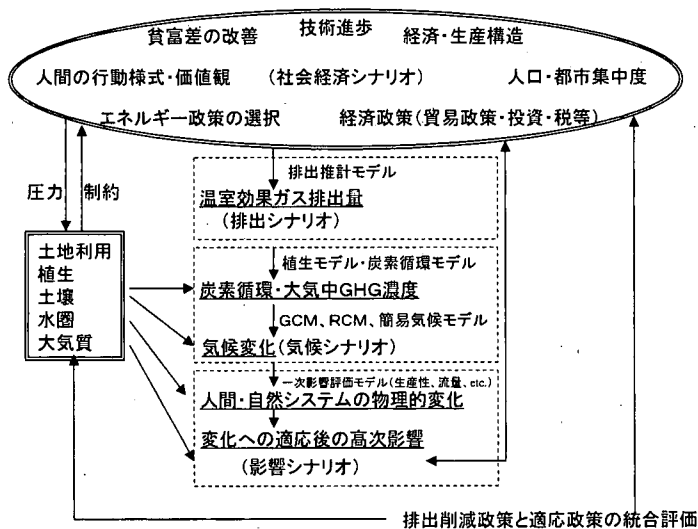


図-2 地球温暖化問題のシナリオアプローチ

全 40 の排出シナリオが提示された。これらの排出シナリオに基づいて大気中濃度や気候変化のシナリオが作成される。気候変化シナリオは、大循環モデル (GCM) 等の気候モデルを用い推計されるが、計算機資源の不足のため、SRES シナリオ全てをカバーするシミュレーションは行われず、A2 および B2 に属するシナリオ群 (ファミリー) のうち典型的なもの (マーカーシナリオ) についてのみ、複数の GCM を用いた比較・検討が行われた。しかし、これでは気候メカニズムおよびその理解の不確定に基づく温暖化程度の幅についてはある程度把握できるが、将来社会の多様性に原因する温室効果ガス排出量の多少がもたらす温暖化影響の幅を把握することができない。そこで、GCM のような空間的詳細性には欠けるがはるかに少ない計算負担で地球平均気温の推計を行う簡易気候モデルを利用し、SRES シナリオの幅を反映した将来気候の推計を行った。すなわち、SRES の 40 シナリオのうち主要な 35 のシナリオと、いくつかの GCM の応答特性に調整した簡易気候モデルを組み合わせ、1990 年から 2100 年の間の世界平均気温の軌跡を算出し、その上昇幅を 1.4~5.8°C と報告した¹⁴⁾。

影響評価ならびに適応評価は、気候シナリオを入力として行う。さらに、気候変動による影響に対する適応能力は、社会経済シナリオで設定される将来の経済状態や価値観などに大きく依存し、気候シナリオの設定に際し前提とした社会経済シナリオと一貫性をもつ必要があるが、現在までそうした配慮をした研究はほとんどわずかである。図-2 に示した温暖化評価作業手順によれば、それらのシナリオおよび評価作業は一貫性と整合性をもって行わなければならないが、現状

としてはこの一連のシナリオ策定・評価作業の部分、部分をスポット的に取り上げ、その範囲での検討を行う研究がほとんどである。一方、図-2 に示した作業が一貫して行われているならば、提示されるいくつかの選択肢のうち、どの選択肢だと持続可能な発展が阻害されるか、どの選択肢が最も効率的に温暖化の悪影響を回避できるシナリオなのか、あるいは将来どのような選択を行ったとしても有効性が高い政策としてはどのようなものがあるか、などを検討することが可能である。そうした意味から現在の温暖化影響・適応研究は、まだまだ多くの課題を残している。

(2) シナリオアプローチによる温暖化評価の具体的問題点とその対応

IPCC では、第二次評価報告書を 1995 年に作成し、気候変化に関連した知見についてのレビューを包括的に行った¹⁵⁾が、その作成過程で以下のような問題点が指摘された。

① IPCC を構成する三つの作業部会が並行してレビュー作業を行うために、作業部会間で情報や仮定に一貫性が保たれない場合がある。例えば、気候の科学的側面を取り扱う第一作業部会では、最新の大気海洋結合モデル (AOGCM) を用いたシミュレーションを取り扱っているにもかかわらず、影響を取り扱う第二作業部会ではそれを利用できず、5~10 年前に開発された気候モデルのシミュレーション結果に基づいた影響評価を行っている。

② 温暖化の社会的側面を取り扱う第三作業部会では、将来の社会経済ならびに温室効果ガス排出のシナリオについて、かなり広い不確実性の幅をもたせ

た推計を行っているが、これに対応する気候シナリオとしては計算機資源の制約が原因となり、限られたものだけについての気候モデル計算を行っている。

③ 各影響評価研究が、異なった気候モデルのシミュレーション結果を使用しているために、その推計結果を相互比較することができない。また、同じ気候シミュレーション結果を用いたとしても、その計算結果の加工方法に統一性がないために、影響評価結果を比較することが困難である。

これらの問題点に対応するため、IPCCでは「影響評価のための気候シナリオに関するタスクグループ(TGCI: IPCC Task Group on Climate Scenarios for Impact Assessment)」を組織し、排出シナリオに連結した気候変化の地域的な情報の提供と影響評価手法の標準化と言った活動を行っている。すなわち、影響評価研究が用いるシナリオの一貫性とか、影響・適応評価作業におけるシナリオの解釈と適用に関する指針(ガイダンスペーパー)作りなどを通じて、温暖化評価研究の共通土台の確立に努めており、シナリオアプローチの定着を図る努力として参考すべき点を含んでいる。

IPCC データ配信センター(IPCC-DDC)の設立およびガイダンスペーパー作成は、TGCIの主要な活動成果である。IPCC-DDCとは、気候モデルシミュレーション結果や、現状気候の観測データ、その他の環境因子や社会経済因子などに関するシナリオの一元的提供を行っている機関であり、East Anglia 大学気候研究ユニット(CRU: Climate Research Unit)とドイツ気候計算センター(DKRZ: Deutsche Klima-rechenzentrum)によって運営されている組織である。また、ガイダンスペーパー¹⁶⁾とは、① DDCが提供する情報の紹介、② DDCやその他の機関によって提供されるベースラインデータとシナリオデータについてのガイダンス、③ ベースラインとシナリオを影響・適応評価研究に適用するための手法の紹介、④ 影響・適応評価研究の結果を報告する仕様の提案、を記したものであり、DDCから配布されている。ここにベースラインと言うのは、気候変動が起こらないとした時の現状を示す代表値や傾向であり、気候変動影響を測る基準として使うシナリオである。

シナリオ策定やその解釈を一研究グループ内で完結できる場合には、このような仕組みを構築する必要はないが、地球温暖化のように多領域を横断する問題の場合には、こうした大がかりな道具立てを行って初めて図-2に示すシナリオアプローチの遂行が可能となる。各ステップ、各ステップで行っている作業は、それのみでは、将来起り得るかもしれない事象とその結果起り得る事象の因果的関係を考察しているだけ

で社会的意義に乏しいが、図-2に示す全容のピースミールであると理解することによって一挙に重要性を増す。

こうしたシナリオ策定の標準化と規定化が人類にとってより良い判断を与えるかどうかは疑問な点がないわけではないが、シナリオアプローチによる地球環境問題への接近法として、一つの方向を示している。

5. 地球水問題のシナリオ分析

(1) 水資源の重要性

淡水は重要な自然資源の一つであり、自然環境保全や持続可能な経済発展は、淡水資源と切り離して考えることはできない。自然環境保全の観点からいえば、淡水資源は生態系サイクルの重要な構成要素であり、生態系が多様な種を養い、多くのサービスを提供するために不可欠である。人間活動の側面からいえば、飲料を含む生活用水、灌漑による農作物生産のための農業用水、工業用水、エネルギー供給と、水資源はあらゆる活動に関わりをもっている。そのため、人類は古くから必要に応じて水資源の開発・利用を行ってきた。水資源量の季節的な偏りを少なくするために巨大な貯水池を建設し、水資源量の空間的な偏りを少なくするために水の豊富な地域から不足している地域に長距離にわたって水を輸送するための水路を建設してきた。乾燥地域においては多大なコストにもかかわらず塩水を蒸留して淡水を作り出す技術も用いられてきた。しかしながら近年、21世紀に予測される急激な人口増加と経済発展の下では、人類がこれまでにやってきた水資源の開発・管理のやり方では、安定した持続可能な水資源利用が困難になることが懸念され、地球規模の環境問題となっている。本節では、地球規模の水資源問題の評価におけるシナリオアプローチの適用例を示す。

(2) 世界水問題におけるシナリオアプローチの意義

地球規模の水問題を検討するには、降雨・蒸発散・地下浸透・流出といった水文プロセスによって定まる水資源量の地理的・季節的な供給と、農業・都市・工業といった人間活動のために利用される水需要の間の需給バランスについて評価を行い、深刻な水問題をかかえそうな地域の同定とか、大局的な対策・方針とは何かとかを論ずる必要がある。シナリオアプローチは、その手法として多用されている。

世界全域にわたる持続可能な水需給政策を確立するためには、長期的な将来を展望しつつ、望ましい水需給の実現に向けた道筋を見出し、その目標達成に向け

た地球規模の長期計画の策定や政策的な取り組み方針を策定することが重要である。トレンド分析は、このような問題にしばしば用いられてきたが、社会構造変化など21世紀に予想される種々の変化を反映することはできない。

すなわち、世界水問題に対処するためには、水文事象の把握以外に関連する社会システムの変革を考慮する必要がある、その上に立った適切な世界水ビジョンを見出さなければならない。そのためには、広い視野に立った複数の政策展開を念頭におきつつ、未来の可能性を漏れがなく総合的かつ弾力的に記述したいいくつかの将来シナリオを比較考量し、かつそのプロセスを関連する世界の人々に公示しながら行うことによって水問題に関する合意形成を図ることが不可欠となる。

(3) シナリオアプローチを用いた水資源評価研究

地球全域を対象とした水資源賦存量の把握と水利用量の現状把握・将来推計は、1970年代よりさまざまな研究グループによって行われてきた。また最近では、石油が経済発展を支えた20世紀と対比し、気候変動や人間活動による水資源への圧迫の本格化が懸念される今世紀を「水の世紀」としてとらえ、しかもシナリオアプローチによってその対応策の検討を行う国際的なプロジェクトも行われている。

世界水ビジョン¹²⁾は、その代表的なものであり、世界の水問題についての将来シナリオを、次の六要素を勘案し策定した。すなわち、六要素とは経済（生産性変化、貿易の自由化、途上国の発展速度、水道事業への投資）、人口（途上国の人口変化速度、先進国への国際人口移動、途上国の都市化）、技術（革新的な技術開発の可能性、水利用率の改善速度、汚濁負荷原単位の変化、農作物の品種改良）、社会（生活様式、貧困・飢餓人口の減少、貧富差の是正）、環境（水系感染症、土壌劣化の度合い、地下水水位、健全な生態系の維持）、統治（国際勢力の図式変化、地域的な紛争、グローバル化の進展速度）であり、それらの進展状況の組み合わせとして、現状継続型（BAU）、市場原理導入型（TEC）、人間価値復興型（VAL）の三つのストーリーラインを設定し、いくつかの研究グループにより提供されたモデルを用いてそれぞれのストーリーラインの帰結としての世界水問題の将来シナリオを描いた（表-6）¹²⁾。

各シナリオを概観すると、BAUでは水需給逼迫に対して楽観的な政策をとりつつ、将来的に水危機に陥る将来像を描く。世界全体的な強い経済発展基調のもと、水需要は生活レベルの向上と食物生産の増加によって総使用量、原単位とも伸びる。当初は技術改善により現状のペースで水利用率が進むが、水資源

管理と開発に関する現状政策が本質的に変わることなく継続され、次第に大幅な人口増と汚濁負荷の拡大、広域的な水資源枯渇等により、2025年には世界的な水危機に陥る。対して、TECでは水の価格に市場原理が導入され、価格増加が節水技術等を進展させるなど、結果として世界の水需給問題が緩和されることが期待されている。しかし、市場・民間主導型であるため、世界的な政府・行政レベルの強力な指導・統制がなく、資本投資の有無に伴って地域間格差が助長され、2025年に至っても地球レベルの問題解決は得られない。一方、VALでは、21世紀の初頭から、すべての人が世界の水需給問題に強い警戒意識をもち、この問題に関する国際協力、教育などを通じて、人間本来の価値の復興と人間として望ましい生活様式や行動の変革が得られ、2025年には地域的にも世界全体でも持続可能な水需給システムが確立される。同様のアプローチを行う国際的な水の将来シナリオ策定作業としては、国連環境計画による「第三回地球環境の展望（Global Environmental Outlook 2002）」があり、現在、「現状傾向型発展型」、「政策改革型」、「地域孤立型」、「大変革型」、の四つの対照的なストーリーラインに基づき、世界水ビジョンと同様の作業を行っている最中である。

6. おわりに

シナリオアプローチは、人間の恣意性を含む社会の将来推計法としてほぼ唯一の方法である。特に地球環境問題のように、現在の判断・行動が将来を大きく変化させるシステムにおいてその傾向は強い。人々は、「将来推計」に対し水晶球を用いた予言のような託宣を要求するが多くの場合不可能な期待であり、それでは実際の、社会的意味を有しない。

地球環境問題の多くは将来選択の自由度をもち、その選択判断は自然科学的法則あるいは社会科学的法則に基づく因果性をもって将来を左右する。シナリオアプローチでは、将来選択の自由度と、その判断によって引き起こされる因果を明瞭に分離する。場合により因果に含まれる不確定性は複数の将来像をもたらす、自由選択を行うことに起因する複数像と区別することに意味をもたないかもしれない。こうした不明さを若干残すにしろ、シナリオアプローチでは不確定性および選択性それぞれをストーリーラインおよび数値モデルに役割分担させ、将来のもつ多様性について制御可能な部分と制御不可能な部分に明瞭に区分けし、その上に立った将来選択を合理的かつ透明性をもって行うことを可能とする。地球的問題群の対応策策定におい

表-6 世界水ビジョンで取り扱われた三つの将来シナリオ¹²⁾

	BAU	TEC	VAL
人口	78億 (うち途上国は66億)	BAUにほぼ同じ	73億 (うち途上国は62億)
人口増加率	1.2% (途上国は1.4%)	同じまたは若干小	1.05% (途上国は1.1%)
都市化率	61% (途上国は56%)	BAUにほぼ同じ	BAUにほぼ同じ
途上国から先進国への人口流出の傾向	高い	BAUよりさらに高い	低い
技術			
情報技術	広く普及して水管理の効率性を増加	BAUに同じ	広く普及して水管理の効率性と有効性を増加
バイオテクノロジー	広く普及して作物の新品種に適用	広く普及して水利用効率の高い作物の新品種に適用	広く普及して新しい持続可能な作付けシステムと水の純化に用いられる
水利用効率	高くなる。乾燥地域において顕著	劇的に高くなる	BAUより高くTECより低い
水質劣化	汚染負荷原単位の減少	先進国において減少	低い
衛生	途上国において投資が人口に追いつかない	BAUに同じ	途上国において経済発展よりも急速に投資が増加
	広く普及	費用が安くなる。	BAUに同じ
経済			
生産規模	80兆ドル (うち40兆ドルが途上国)	BAU比+30%、ただし多くは先進国	90兆ドル (うち60兆ドルが途上国)
生産構造	次第に製造業シェアの減少、農業生産の絶対量が増加	途上国では製造業シェアの減少がほとんど起きない。農業生産は絶対量で見ても比率で見ても途上国で増加	非物質的な経済が急速に増加
水インフラ	経済と同じペースで増加	民営化され、経済よりも速いペースで増加	経済より速いペースで増加
貿易	国際的	国際マーケットから除外される国や地域が存在	国際的で、戦略的に規制が行われる
社会			
ライフスタイルと文化的嗜好	先進国の現状に収束	嗜好はBAUと同じ。ただし、ライフスタイルは途上国と先進国で異なったものになる	先進国の現状に比べて、先進国途上国共により物質に依存しないライフスタイルに収束
貧困	貧困の絶対値は変化しないが、相対的な割合は減少	貧困の絶対数は減るが、不平等さは増す	貧困が根絶する
経済的不平等	高く、増加傾向	非常に高く、増加傾向	次第に減少する
環境			
気候変化	変動性の増加、農業生態学的なシフト	やや低い	強い排出規制のため低く抑えられる
水系伝染病	次第に増加	次第に減少	ごく限られた地域
塩害	次第に増加	劇的に減少	なくなる
表層水・地下水の枯渇と劣化	次第に増加	取水を持続可能なレベル以下とする。	取水を持続可能なレベル以下とする。
水系生態系状態	次第に減少	なんらかの修復	急速な修復
統治			
制度	紛争を解決するには不十分	国際的なリーダーシップの不足	強く十分な制度が作られる
市場支配	国際的	国際的	国際的、ただし制限あり
紛争	頻発し増加	BAUに同じ	基本的に起きない
国際化	加速	均一ではないが加速	加速

ては、幅広い文化的小および経済的背景をもった世界の人々を対象とし広範囲にわたる学問的領域が関連する故に、将来像がもつ必然性と自由度は峻別されなければならない。さらにまた、地球温暖化問題、地球水問題といった重要であるが技術的対応が大きな鍵を握る問題では、科学技術が本質的に有している価値独立性ゆえに、文明および価値史観としての将来ストーリーラインと技術進歩としての将来ストーリーラインを並行して描く必要がある。従来からの地球問題群や地球環境問題をめぐる論争では、それらの事情を意図的

るいは非意図的に混用させたものも多く、将来像の信頼性を損ねる結果となっていた。

本論文ではこうした不信頼性を取り除き納得性をもたせる努力として、最近、IPCCや世界水フォーラムなどで行われたいくつかの作業を紹介し、シナリオアプローチの特徴を論じた。現在のところ、そうした努力は必ずしも成功しているとは言えず、工夫すべき点も多々見られる。しかし、これらの作業例からもわかるように、単一の研究領域あるいは単一の研究グループに留まらない幅広い領域と諸国の多数の研究グルー

ブを巻き込んだシナリオアプローチが遂行されつつあることは、地球環境の研究進展に大きなインパクトを与えている。こうした動きが地球環境問題の解決法探索の強力な道具に成長することを期待している。

参考文献

- 1) Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens, W. W. III: *The Limits to Growth*. Earth Island Press, London, 1972.
- 2) Mesarovic, M. and Pestel, E.: *Mankind at a Turning Point*. Dutton, New York, 1974.
- 3) Herrera, A., Scolnik, H., Chichilnisky, G., Gallopin, G., Hardoy, J., Mosovich, D., Oteiza, E., de Romero Brest, G., Suarez, C. and Talavera, L.: *Catastrophe or New Society? A Latin American World Model*. International Development Research Centre, Ottawa, Canada, 1976.
- 4) Gallopin, G., Hammond, A., Raskin, P. and Swart, R.: *Branch Points: Global Scenarios and Human Choice*. Polestar Series Report no. 7, Stockholm Environment Institute, Boston, MA., 1997.
- 5) Svedin, U. and Aniansson, B.: *Surprising Futures: Notes from an International Workshop on Long-Term World Development*, Friibergh Manor, Sweden, Swedish Council for Planning and Coordination of Research, 1987.
- 6) Milbrath, L. W.: *Envisioning a Sustainable Society: Learning Our Way Out*. SUNY Press, Albany, N. Y., 1989.
- 7) Burrows, B., Mayne, A. and Newbury, P.: *Into the 21st Century: A Handbook for a Sustainable Future*. Adamantine, Twickenham, England, 1991.
- 8) World Business Council for Sustainable Development (WBCSD): *Exploring Sustainable Development: WBCSD Global Scenarios 2000-2050 Summary Brochure*. World Business Council for Sustainable Development, London, 1997.
- 9) Bossel, H.: *Earth at a Crossroads: Paths to a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- 10) United States Environmental Protection Agency: *Policy Options for stabilizing global climate*, Report to Congress, Washington, DC., 1990.
- 11) Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grubler, A., Jung, T. Y., Kram, T., La Rovere, E. L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Papper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N. and Dadi, Z.: *Special Report on Emission Scenarios*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK., 2000.
- 12) Cosgrove, W. J. and Rijsberman, F. R.: *World water vision*, Earthscan, London, 2000.
- 13) Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- 14) Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2001: Basic Science Summary for Policy Makers*, IPCC Working Group I Third Assessment Report, 2001.
- 15) Intergovernmental Panel on Climate Change 1995: *Impacts, Adaptation and Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- 16) Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment: *Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 1*. Prepared by Carter, T. R., M. Hulme, and M. Lal, 1999.

(2001.4.3 受付)