

## 1. はじめに

国立環境研究所では、京都大学と共同でこれまでに地球温暖化の防止に向けた温室効果ガス排出量の削減と気候変動の影響を評価するための大規模なコンピュータシミュレーションモデル（AIM）の開発を行ってきた。AIMを構成する1つのモデルとして、国レベルを対象として、温室効果ガスの排出削減のみならず、廃棄物問題をはじめ、他の環境問題にも対応できるようなトップダウンモデル（AIM/Material）の開発に取り組んできている。日本を対象としたモデルは、データの更新や経済収支とともに物質収支の均衡、技術選択モデルとの統合に向けた改良を行い、現在に至っている。また、このモデルをインドに適用し、現在、そのプロトタイプ版が完成するとともに、中国版のモデルの開発に着手している。日本モデルについては、改良の余地はあるものの循環型社会白書等に取り上げられてきた。

ここでは、循環型社会白書においてモデルがどのように利用されたのか、数値目標の策定においてどのような貢献ができるのか、を中心に述べる。

## 2. モデルの概要

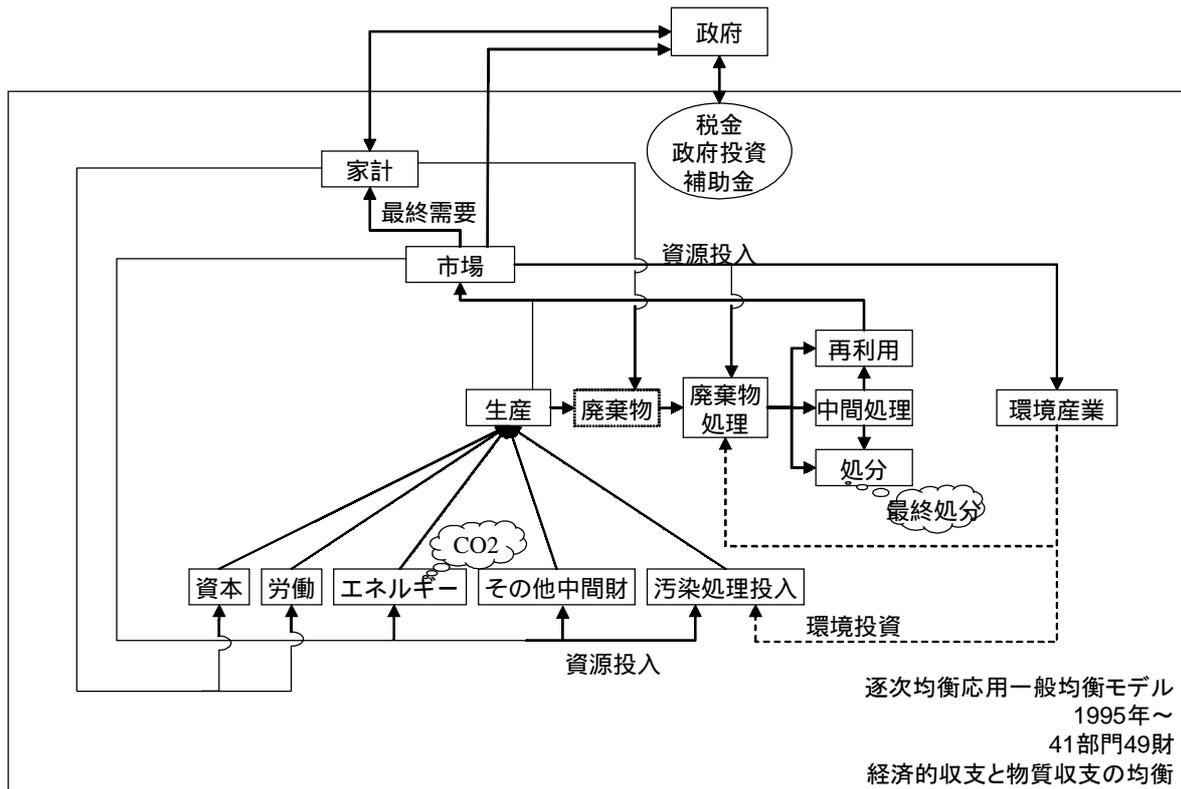
AIM/Materialモデルは、1995年を基準年とした応用一般均衡モデルであり、1年ごとに需要と供給が均衡するように価格調整を行いながら計算するトップダウンモデルである。このモデルで取り扱う部門及び財は表1の通り41部門49財であり、地球温暖化問題を意識して石油製品が細分化されている。なお、このモデルを開発するにあたって構築したデータベースはさらに詳細な部門・財となっているが、計算機の制約から表1の部門・財に統合している。

表1 モデルで取りあげる部門と財

部門		主として生み出す財		部門		主として生み出す財			
aor	農林水産業	aor	農林水産物	trs	運輸・通信業	trs	運輸・通信		
min	鉱業	min	鉱産品	pub	公共サービス	pub	公共サービス		
m_c	石炭	mcc	原料炭	rnt	物品賃貸サービス	rnt	物品賃貸サービス		
		msc	一般炭・亜炭・無煙炭	rep	自動車・機械修理	rep	自動車・機械修理		
m_o	原油	mco	原油	prs	その他サービス	prs	その他サービス		
m_g	天然ガス	mng	LNG・天然ガス	gov	政府サービス生産者	gov	政府サービス		
fod	食料品	fod	食料品	emc	環境装置製造業	emc	環境装置		
tex	繊維	tex	繊維	sew	下水処理業	sew	下水処理		
plp	パルプ・紙・木製品	plp	パルプ	mwm	一般廃棄物処理業	mwm	一般廃棄物処理		
chm	化学	chm	化学	iwm	産業廃棄物処理業	iwm	産業廃棄物処理		
pls	プラスチック	pls	プラスチック	col	石炭製品	cck	コークス		
nmm	窯業・土石	nmm	窯業・土石			ccg	その他石炭製品		
stl	鉄鋼	stl	鉄鋼			cbf	舗装材料		
nsm	非鉄金属	nsm	非鉄金属	oil	石油製品	ogl	揮発油		
fnt	金属製品	fnt	金属製品			ojf	ジェット燃料油		
mch	一般機械	mch	一般機械			okr	灯油		
elm	電気機械	elm	電気機械			olo	軽油		
tre	輸送機械	tre	輸送機械			oho	重油		
pri	精密機械	pri	精密機械			onp	ナフサ		
oth	その他製造業	oth	その他製造業			olp	液化石油ガス		
cns	建設業	cns	建設			oot	その他石油製品		
het	熱供給	het	熱供給			gas	ガス	gtg	都市ガス
wtr	水道業	wtr	水道			the	火力発電	ele	電力
sal	卸売・小売業	sal	卸売・小売	hyd	水力発電				
fin	金融・保険業	fin	金融・保険	nuc	原子力発電				
est	不動産業	est	不動産						

注：モデルではV表により、1つの部門が表に示した以外の財を複数産出することもできる。

図 1 にモデルの全体構成を示す。



注：図中の廃棄物は 1 種のみであるが、モデルには産業廃棄物、一般廃棄物それぞれ廃棄物種別に想定されている。

図 1 モデルの全体構造

各生産部門では、生産活動を行うために資本、労働、エネルギー、その他中間財、汚染を投入している。投入要素としての汚染とは、生産活動に伴って発生する汚染を適正に処理するために必要な投入要素（自家処理に必要な資本やエネルギー、あるいは処理を委託する際の費用等）を意味している。廃棄物については、産業廃棄物と一般廃棄物それぞれごとに排出され、各廃棄物ともに自家処理もしくは一般廃棄物処理部門および産業廃棄物処理部門での委託処理が行われる。一般及び産業廃棄物処理部門は、廃棄物種（表 2 に示す産業廃棄物：18 種類、一般廃棄物：8 種類）毎に、直接最終処分、直接再利用、中間処理の 3 つのいずれかの方法で処理される。直接最終処分及び中間処理後の残渣のうち再利用されないものについては最終処分され、直接再利用と中間処理後の残渣の一部は再利用される。再利用される廃棄物は生産部門の中間財として関連する部門に投入される。

生産部門のうち環境産業部門という部門を想定している。環境産業部門とは、発生した環境負荷を処理するための装置を生産する部門であり、環境投資（環境装置を汚染処理として投入する、環境産業への投資を行う）の効果を分析することができる。

家計部門は、資本及び労働を保有し、それらの生産要素を各生産部門に提供することで所得を獲得し、所得制約のもとで想定された需要関数に従って財の消費を行う。なお、需要関数には貯蓄も含まれており、貯蓄が投資財として蓄積される。

政府部門は、各部門から税を徴収するとともに、公共投資や公共サービスを行う。税は、資本税、労働税、生産物税、輸入税の 4 種に集約化している。なお、1997 年の消費税引き上げについてはモデル内で評価するように設定しているが、他の税制変更については考慮していない。

このモデルは日本を対象とした国内モデルであるが、貿易はわが国にとって重要である。このモデルでは、小国の仮定を置き、国際価格は固定している。化石燃料については、AIM/End-use で想定されている価格の変化を参考に想定し、その他の国際価格は 1995 年での価格が続くものとしている。



### 3. 循環型社会白書

循環型社会白書のシナリオでは、BaU（現状推移）として将来どのような方向性が考えられ、そうした社会がどのような影響をもたらすのかが示されている。つまり、ここで示されているシナリオ間の相違は、政策等の対策によるものではなく、自発的な行動の相違に基づいた社会の変化を提示している。これは、多様な将来の可能性を反映させたものであるといつてよい。

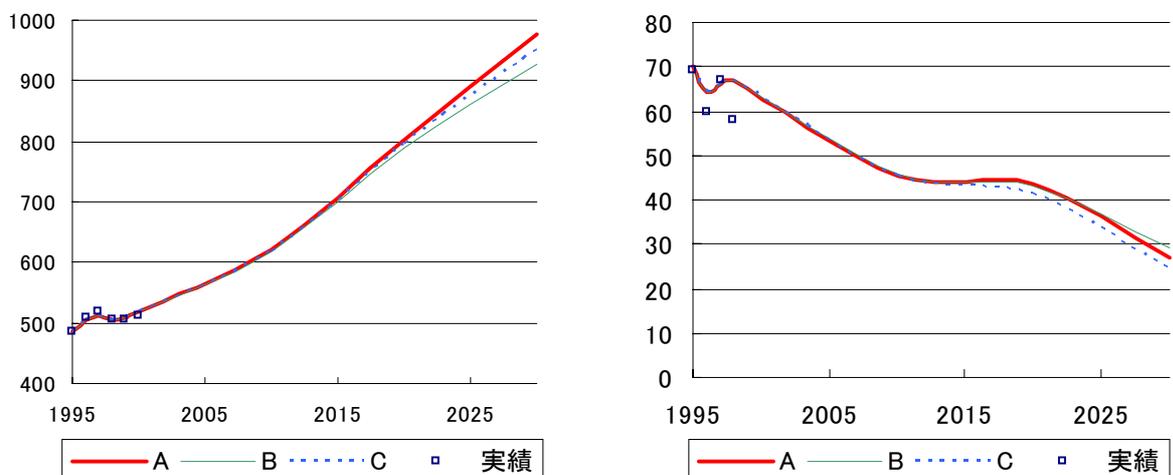
もともと基準シナリオとして開発してきたモデルでは、様々な長期予測に従って2000年から2010年までの経済成長率が1%/年程度となるように貯蓄性向を設定してきたが、循環型社会白書用に国の経済目標である2%/年を達成するように、貯蓄性向や技術進歩率を変化させている。また、もとのモデルでは2010年までを対象とするが、これを2030年まで拡張する作業を行っている。

循環型社会白書では、提示されている循環型社会に向けた3つのイメージにあうように、技術進歩率（廃棄物の発生効率等）や消費の選好、廃棄物処理効率の変化、各部門におけるリサイクル品の投入比率の各項目を変化させている。

表4 3つのシナリオのイメージ

	経済成長	エネルギー需要	技術変化	輸送コスト	廃棄物量	処理効率	
A	高	高～中	速い、ダイナミクス	大	中	中～高、サーマル中心	施設整備・技術開発への公共投資・関与を前提とした速やかな変革
B	低	低	遅い、地域的	小	低	低～中	需要（市民）サイドからの緩やかな変革
C	中	中	中、効率性・脱物質化	中	中	中～高、マテリアル中心	供給（事業者）サイドからのやや速やかな変革

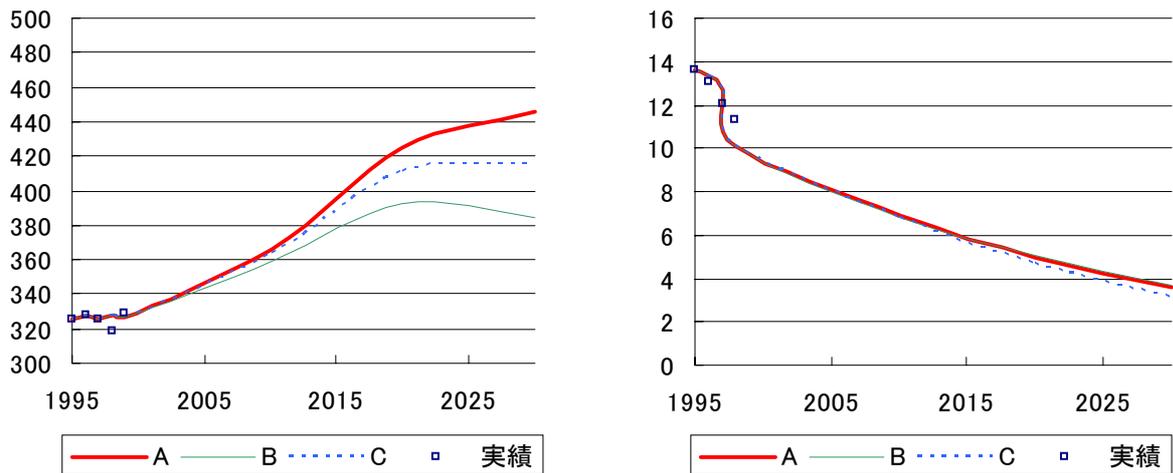
本来なら、こうした投入の変化によって結果が異なることを解釈・議論する必要があるが、循環型社会白書では結果のみを提示している。これは、本モデルがマクロな経済モデルであり、叙述的なストーリーに描かれた対策とモデルでのパラメータの変更が一意的に対応しないためでもある。また、ここで用いた応用一般均衡モデルの本来の目的は将来予測ではなく、様々な政策を導入した際に見られる影響や変化を評価することにある。そのため、循環型社会白書ではシナリオ間の相違がわかるように変化率で提示されている。特に、2010年以降については、ベースとなるものが提示されていなかったことから、後述するIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の長期シナリオのうちの高成長シナリオを参考に独自に想定を行った。図2にGDP、二酸化炭素排出量、一般廃棄物最終処分量、産業廃棄物最終処分量の推移を示す。



GDP（1995年価格兆円）

産業廃棄物最終処分量（100万トン）

図2 循環型社会白書用の計算結果



二酸化炭素排出量 (100 万 tC)

一般廃棄物最終処分量 (100 万トン)

図2 循環型社会白書用の計算結果 (続き)

#### 4. 循環型社会形成推進基本計画に向けた本モデルの貢献の可能性

循環型社会白書で示した一連の作業 (叙事的ストーリーとその定量化) は、地球温暖化問題を対象に IPCC が提示した 4 つのシナリオ (SRES) とその定量化と同じ手法であるといつてよい。ただし、異なる点は、SRES ではマルチモデルアプローチと呼ばれる複数のモデルがそれぞれのシナリオを定量化し、1 年以上の議論を重ねた上で各シナリオの定量化を決定したという点にある。これは、SRES ではモデルが持つ不確実性を考慮して、複数のモデルによるシナリオの評価を行ったためである。

SRES での作業体験を踏まえ、こうした将来のシナリオの定量化にモデルが貢献できるかについて考える。

##### (1) モデルとは、わかっていることを積み上げて社会を再現しているに過ぎない。

モデルとはあくまでも仮想的な社会であり、想定している主体は合理的な行動を行う。そのため、モデルで描く社会と現実の社会にはギャップが存在する。例えば、不法投棄といった非合法的な行動や予期せぬ突発的な行動を想定することはできない。また、生産部門を 41 部門に分解するなど、それなりの構造をもつが、現実の社会と比較するとそのギャップはかなり大きい。このため、各主体での様々な取り組みを統合してとらえることになる (個別品目を対象としたリサイクル率の設定や効果を表示することは不可能)。なお、対象として取り上げる項目については、可能なものと不可能なものがある。

##### (2) モデルはインプットされるデータに対して何らかのアウトプットを出す

モデルとは、様々な学問領域もしくは現実社会と政策の場をつなぐツールであり、前提条件が提示されてはじめて計算することができる試行錯誤の場である。例えば、社会を動かすドライビングフォース (駆動力) を想定し、その想定に対して結果を提示する。

特にこのモデルは、トップダウンモデルであり、様々な技術の想定に対して整合性のある解を求めるのに適したモデルである。こうしたモデルの特性を活かすためには、インプットデータの想定が重要になる。

また、これまでも述べたように、ここで用いるモデルは本来、予測そのものが目的ではなく、対策が講じられたときの様々な変数の変化を見るものである。特に、今回のように 1 つのモデルのみを取り上げる場合には、結果の妥当性という面で課題がある。このため、基準となる将来像が叙事的なストーリーと整合性が確保されているのかをあらかじめ見ておくとともに、叙事的なストーリーそのものの整合性をチェックする必要がある。

##### (3) 何をアウトプットとするのか?

計画で示す数値目標と称されるものは何かを明確にする必要がある。少なくとも、その目標を取り上げることができるのかの確認と、その実績値 (1995 年以降でフォローできる期間において) が再現できているのか確認する必要がある。

##### (4) 目標が示す意義

『目標』を行動を評価する尺度とみなすのか、あるいは最低限守るべきものとみなすのかによって、モデルの役割が大きく異なる。つまり、社会全体を評価する目標と、個々の行動の指針となる目標を切り分けて議論する必要があると思われる。

前者の場合、様々な対策の効果を評価する際の指標として取り扱われる。もし、この指標をある水準に改善することを試みる場合、取り上げる対策とその変化の程度により、その可能性は無限に存在する。このため、どういった変数を対象にどの範囲で変化させることが望ましいのかの指針が必要であり、これまでモデルで評価すると恣意的になる。

後者の場合、操作が不可能な目標（例えば、デポジット制度導入）を評価することは不可能であるが、モデル上操作可能な目標（例えば、各産業における原材料に占める再生品の割合の変更）であれば、評価することが可能であり、対策メニューの設定が必要となる。また、その場合でも、別の場において定められた各対策の目標を達成することをモデルに条件として組み入れることは可能であるが、達成する目標の水準を決定することまでモデルに求めるのは無理がある。

(5) 循環基本計画が描く社会は、BaU シナリオか、対策シナリオか。

モデルによる評価とは直接関係ないかもしれないが、3.でも述べたように、循環型社会白書の3つのシナリオは、BaU シナリオと呼ばれるものである。これに対して、循環基本計画が描く社会は、BaU の社会なのか、対策シナリオになるのか。対策シナリオであれば、ドライビングフォースは変わらないが、BaU であればドライビングフォースそのものも変わりうる。

以上に示したことをとりまとめると、目標設定において本モデルが貢献できるようにするために必要な項目は次のように表すことができる。

前提条件は何か（社会を変化させるドライビングフォースの想定とともに、対策シナリオにおける操作変数とその範囲も含む）。

評価する対象（目標）は何か。

目標の位置付けを明確化する（行動指針としての目標と、結果を評価する指標としての目標を分離する）。

その結果、異なるドライビングフォースによる社会や、同じドライビングフォースに対して対策を導入した社会を対象に、目標となる指標の変化や社会における構造の変化を評価することができる。ただし、ここで評価できる社会像は、マクロなトップダウンモデルで評価することから、個別の対策による効果といったことを個々に評価することは不可能である。より実態を反映させた目標設定に向けては、温暖化問題において AIM/End use モデルが取り扱ったような個々の技術モデルの構築が必要不可欠になる。

#### 参考資料

増井利彦・土田研一・松岡譲・森田恒幸（2001）応用一般均衡モデルと技術選択モデルの統合による下水汚泥処理技術の廃棄物最終処分削減への影響，土木学会環境システム研究論文集，Vol.29, pp.237-244.

増井利彦・松岡譲・森田恒幸（2001）応用一般均衡モデルを用いた地球温暖化・廃棄物対策の経済影響，環境経済・政策学会編，環境経済・政策学会年報第6号 経済発展と環境保全，東洋経済新報社，pp.69-82 .

増井利彦・松岡譲・森田恒幸（2000）環境と経済を統合した応用一般均衡モデルによる環境政策の効果分析，土木学会環境システム研究論文集，Vol.28, pp.467-475.

なお、上記の参考資料の結果と循環型社会白書の結果は、モデルの構造や前提条件が異なっているため、必ずしも同じ結果ではない。

以上