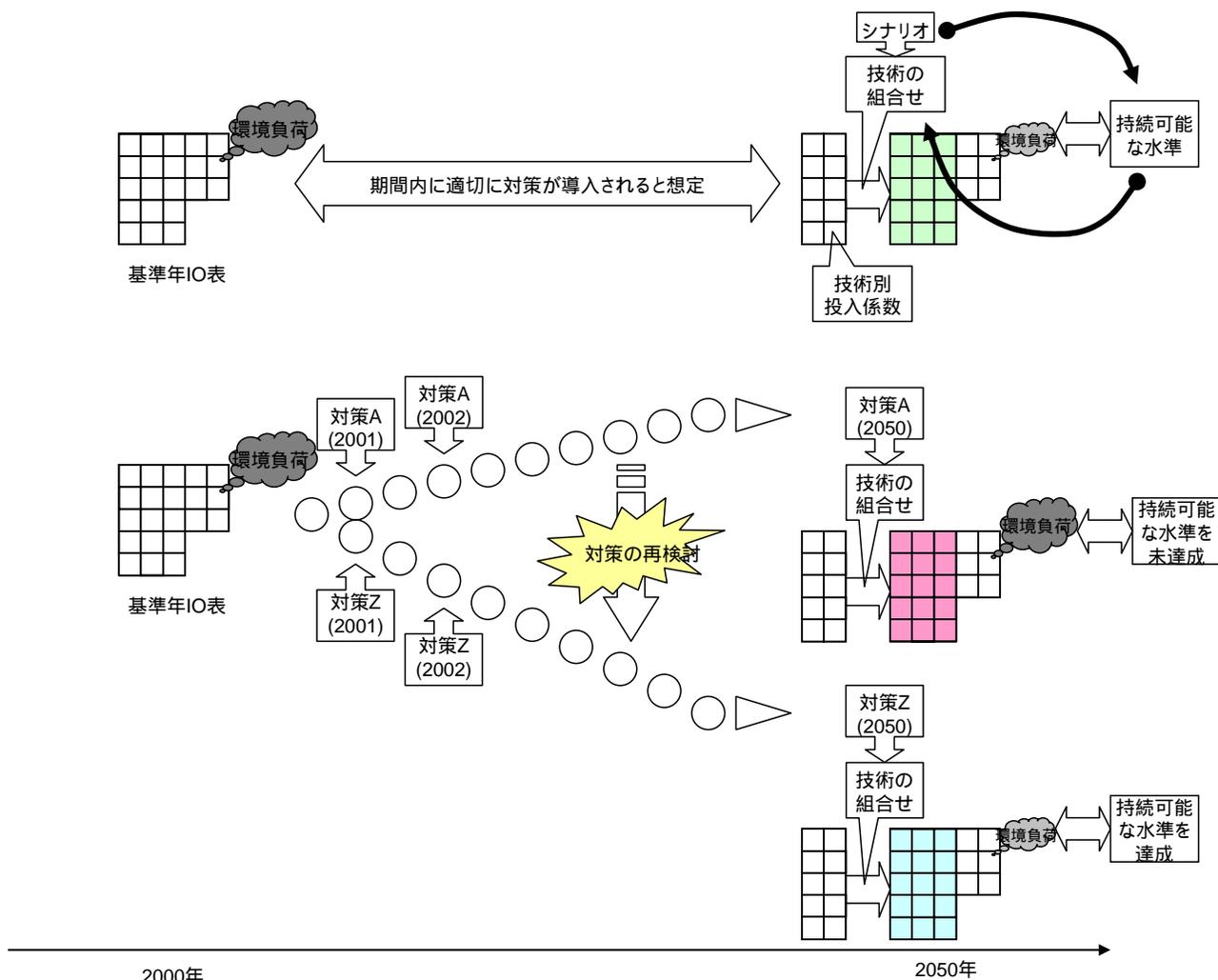


定量化のためのモデルについて
2007年3月6日(火曜日)
国立環境研究所

1. モデルのコンセプト

今回の超長期ビジョンでは、様々な環境問題の持続可能性を議論するとともに、社会・経済との関係についての記述が重視される。そこで、超長期ビジョン研究の定量化において使用するモデルは、個々の活動に配慮しつつも、マクロ的に整合性のある環境・社会像を描くことに焦点を当てることとする。

モデル化においては、脱温暖化 2050 研究(地球環境研究総合推進費において西岡検討員のリーダーシップのもとで実施)での定量化作業を踏まえて、脱温暖化 2050 研究では取り扱われていない要素(例えば、廃棄物、生態系等)を加えることとする。また、本検討では、目標を達成するための「バックキャスト」という概念が重視されてきた。今回の定量化では、バックキャストの意味として、目標を達成するような対策の経路を提示することとし、その導出にあたっては一意的に経路を計算するのではなく、試行錯誤的に目標を達成する経路を探索することとする。



2. モデルの概要

(1) 対象地域

分析に使用するモデルは、環境と経済を幅広く扱うモデルであり、1国（超長期ビジョン研究では日本）を対象としたモデルである。将来的には、国をいくつかの地域に分割することも検討しているが、現時点では1国モデルとしている。

(2) 対象期間

モデル内の時間は1年を単位としており、2000年を基準年に、毎年もしくは数年おきに2050年まで順次計算する。2050年次点のビジョンのみを試算する場合には、途中を飛ばして2050年だけ試算することも可能。

(3) 対象とする環境問題

基本的には、検討会で取り上げられる環境問題を何らかの形でとりあげ、これを経済活動と関連づけるように定量化する。試算において取り上げる課題は、二酸化炭素排出量、廃棄物最終処分量、循環的資源の比率、土地利用とする。次回以降、検討会で取り上げられた課題に対応出来るように拡張する。

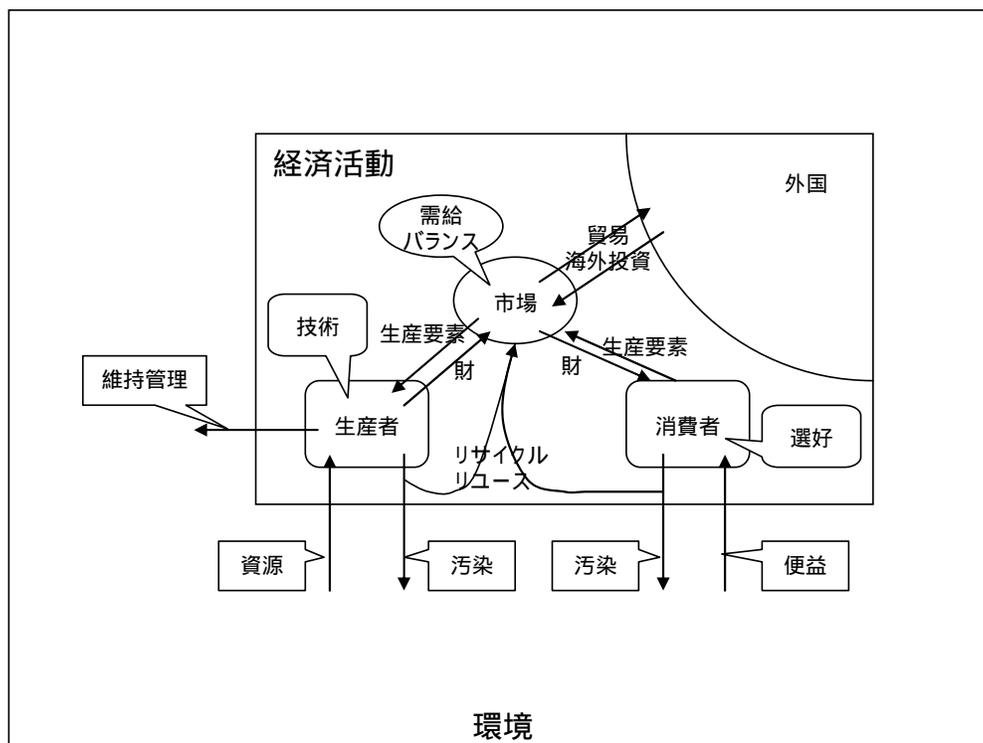
3. 中心となる経済モデル

今回の試算で使用するモデルが満たすべき要件は、以下の通りである。

- ・ 様々な経済活動がある程度分離して表現できる（詳細に分離する必要はないが、環境と経済の統合関係を明示できる程度に分離された活動を明示する必要がある）。
- ・ 前提条件が透明であり、操作性が高い。
- ・ 物量を明示できる。
- ・ 経済活動の様々な整合性（経済収支や財・生産要素の需給バランスなど）を満たす。

以上のような要件を満たすモデルとして、応用一般均衡モデルを採用する。

応用一般均衡モデルとは、世の中のすべての財、生産要素を取り扱い（「一般」）、それらの需要と供給が一致するように（「均衡」）、価格メカニズムを通じて各部門の活動が定量的に計算される（「応用」）モデルである。今回の定量化では、このモデルに、環境負荷の発生や対策を明示的に組み込み、経済活動と環境負荷の関係、目標とする環境の水準を達成するためにはどのような対策が必要になるかを明示することを最終目的とする。経済モデルの定式化は、付録に示す。



(1) モデルの前提

部門

産業連関表を下表に示すような部門に統合し、データを整備する。

A01	農業	A12	木製品	A23	卸売・小売業
A02	畜産	A13	パルプ・紙・出版・印刷	A24	金融・保険・不動産
A03	林業	A14	化学・プラスチック	A25	運輸
A04	水産業	A15	窯業・土石製品	A26	通信
A05	金属鉱物	A16	金属	A27	公務
A06	非金属鉱物	A17	金属製品・機械	A28	教育・研究
A07	石炭	A18	その他製造業	A29	医療・保健・社会保障・介護
A08	石油	A19	建設業	A30	対事業所サービス
A09	ガス	A20	電力	A31	対個人サービス
A10	食料品	A21	水道業	A32	事務用品・分類不明
A11	繊維	A22	廃棄物処理業		

入力条件

本モデルでは、技術係数（生産を行うために原材料や生産要素をどれだけ使用するかといった投入・産出関係や、家計がどういった財をどれだけ消費するかという需要関係、活動一単位あたりの環境負荷量など）をあらかじめ準備しておく。技術係数の想定方法については、後述する。

また、各年に使用することができる労働力や設備の容量についてもあらかじめ設定する。労働力は、人口と労働時間から設定を行う。設備容量については、過去における設備投資により定められる。

本モデルは1国モデルであり、輸出、輸入は重要な境界条件である。国際価格はあらかじめ前提として定めておき、国内生産に対する輸出品の比率、国内需要に占める輸入品の比率も財毎に設定する。

			#####				#####					輸出	輸入	総供給		
			中間需要				最終消費	固定資本形成				公共				
			財1	財2	...	財j		財1	財2	...	財j					
投入	財	財1														
		財2														
		:														
		財i														
	生産要素	資本														
		労働														
		土地														
	環境負荷	CO2	石油起源													
			石炭起源													
			ガス起源													
			活動起源													
		大気	SOx													
			NOx													
			PM													
		廃棄物	一般廃棄物													
		産業廃棄物														
	水	水需要														
		BOD														
		COD														
		P														
		N														
出権	財	財1														
		財2														
		:														
		財i														

なお、今回の試算では、特にどういった対策をとることで持続可能な社会が実現できるかを明らかにすることが求められている。このため、技術係数等の想定を試行錯誤的に動かし、持続可能な社会の基準を満たした2050年に至る道筋を描くことを目的とする。

一方で、いくつかの環境負荷に対して制約を与え、その制約条件下で解を求める方法もあるが、この場合には、想定された技術係数の組合せがどのようなものであったとしても、制約条件を達成するように活動が調整される。

技術係数の想定

a. 生産部門

既存の技術も含め、将来利用可能な技術について投入産出係数を準備しておき、各年においてどのような技術のシェアで生産を行うかを設定する。例えば、鉄鋼で高炉と電気炉の比率を 1:3 にする、自動車輸送で普通自動車と電気自動車の比率を 1:5 にするなど。

新技術の導入には追加費用が発生するが、これは固定資本の変化で表現する。また、技術のシェアは、過去からのストックによる制約を受ける。

			財1				2000年	2005年					
			既存	新規1	...	新規j	財1 既存	財1 年平均	既存	新規1	...	新規j	
投入	財	財1											
		財2											
		:											
		財i											
	生産要素	資本											
		労働											
		土地											
	環境負荷	CO2	石油起源										
			石炭起源										
			ガス起源										
			活動起源										
		大気	SOx										
		NOx											
		PM											
	廃棄物	一般廃棄物											
産業廃棄物													
水	水需要												
	BOD												
	COD												
	P												
	N												
			将来技術としてデータを準備										
出産	財	財1											
		財2											
		:											
		財i											
技術シェア							1		合計1となるように技術シェアを入				
次期におけるシェア							1		合計1となるように技術シェアを入				
固定資本形	財	財1											
		財2											
		:											
		財i											

b. 家計部門

家計における活動を下表のように定義し、それぞれの活動を行うために必要な耐久財、非耐久財、エネルギーサービスの各需要を、様々な種類の家計を対象に想定する。将来の家計における財の選好は、家計の種類シェアに応じて決定される。

居住	移動(通勤・通学を除く)
身の回りの用事	テレビ・ラジオ・新聞・雑誌
食事	休養・くつろぎ
通勤・通学	学習・研究(学業以外)
仕事	趣味・娯楽
学業	スポーツ
家事	ボランティア活動・社会参加活動
介護・看護	交際・付き合い
育児	受診・療養
買い物	その他

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1										2000年		2005年				
2						最終消費				最終消費		最終消費				
3					既存	選好1	...	選好h		既存		年平均	既存	選好1	...	選好h
4	投入	財	財1													
5			財2													
6			:													
7			財i													
8		生産要素	資本													
9			労働													
10			土地													
11		環境負荷	CO2	石油起源												
12				石炭起源												
13				ガス起源												
14				活動起源												
15			大気	SOx												
16				NOx												
17				PM												
18		廃棄物	一般廃棄物													
19			産業廃棄物													
20		水	水需要													
21			BOD													
22			COD													
23			P													
24			N													
25																
26		主体のシェア												合計1となるようにシェアを入		
27																
28	把握	財	財1													
29			財2													
30			:													
31			財i													
32																

c. その他

生産部門や家計部門における技術係数は、あくまで個別の主体で取り組まれるものが中心である。都市構造の変化などによる輸送サービス（移動量）の変化は、前述の生産部門や家計部門における技術係数の想定には含まれない。こうした大規模なインフラ整備による構造変化は、別途想定し、すべての部門の活動に一律に影響するとみなす。

上記であらかじめ設定された係数をもとに、生産、消費活動を行う。当然、技術係数には環境負荷に関するものも含まれ、廃棄物をより多く再生する技術、汚染物質の発生を抑える技術なども想定している。

環境と経済の関係

前項の技術係数の設定でも触れているとおり、各部門から発生する環境負荷は、各部門の活動水準に比例して増大すると仮定している。環境負荷の発生と経済活動の間の因果関係が明確なもの（例えば、二酸化炭素排出量と化石燃料燃焼量）については、その関係を組み入れる。一方、因果関係が明確でないものについては、各部門における活動水準に比例して環境負荷が大きくなると仮定している。

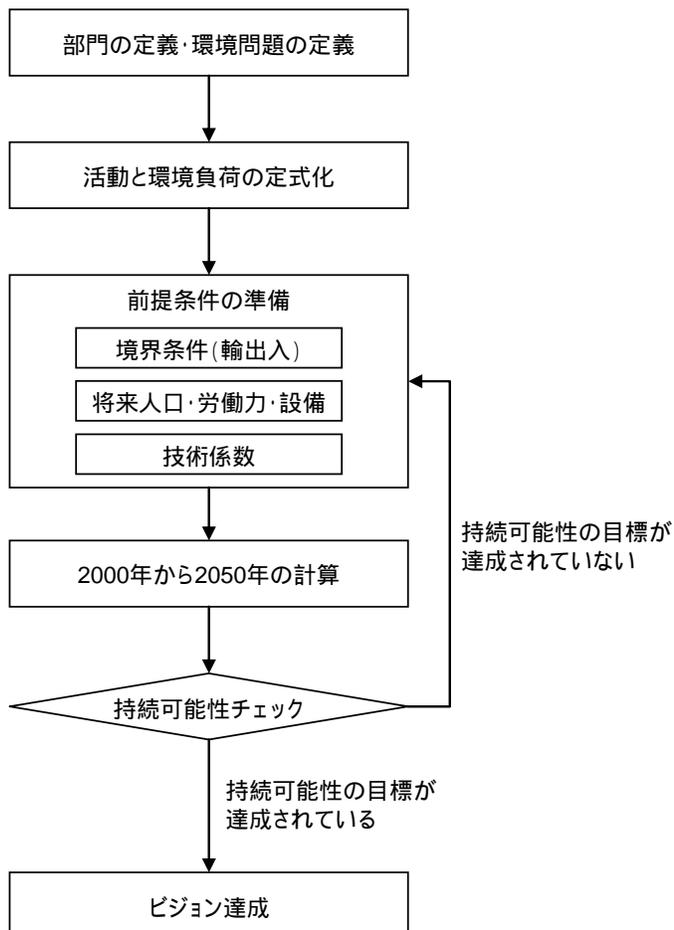
なお、経済活動と環境負荷をつなぐ係数は、導入される技術が変化すると、それに応じて変化する。これは、前述の投入係数の変化と同様である。

各年における計算のメカニズム

生産者は、各部門において想定された技術と、財や生産要素の価格をもとに、各部門の利潤が最大となるように生産活動を行う。一方、家計は所得制約の下、あらかじめ設定された選好や財の価格をもとに効用が最大となるように財を消費する。財や生産要素の需要と供給が均衡しない場合には、価格を改定して、再度、上述の計算が行われる。すべての財、生産要素を同時に均衡させるような価格、活動が得られるまで繰り返し計算が行われる。

計算のフロー

本モデルは、基本的には各年を対象とした静的な計算の繰り返しである。ただし、技術係数は、各年の想定により変化する。基準年である2000年からスタートし、2001年、2002年、...と2050年まで計算を行う。2000年から2050年までの間については、1年おきを最小の区分とし、適宜、間隔をあけて計算することも可能である。計算期間を2年以上空ける場合には、投資と設備ストックの関係を想定する必要がある。

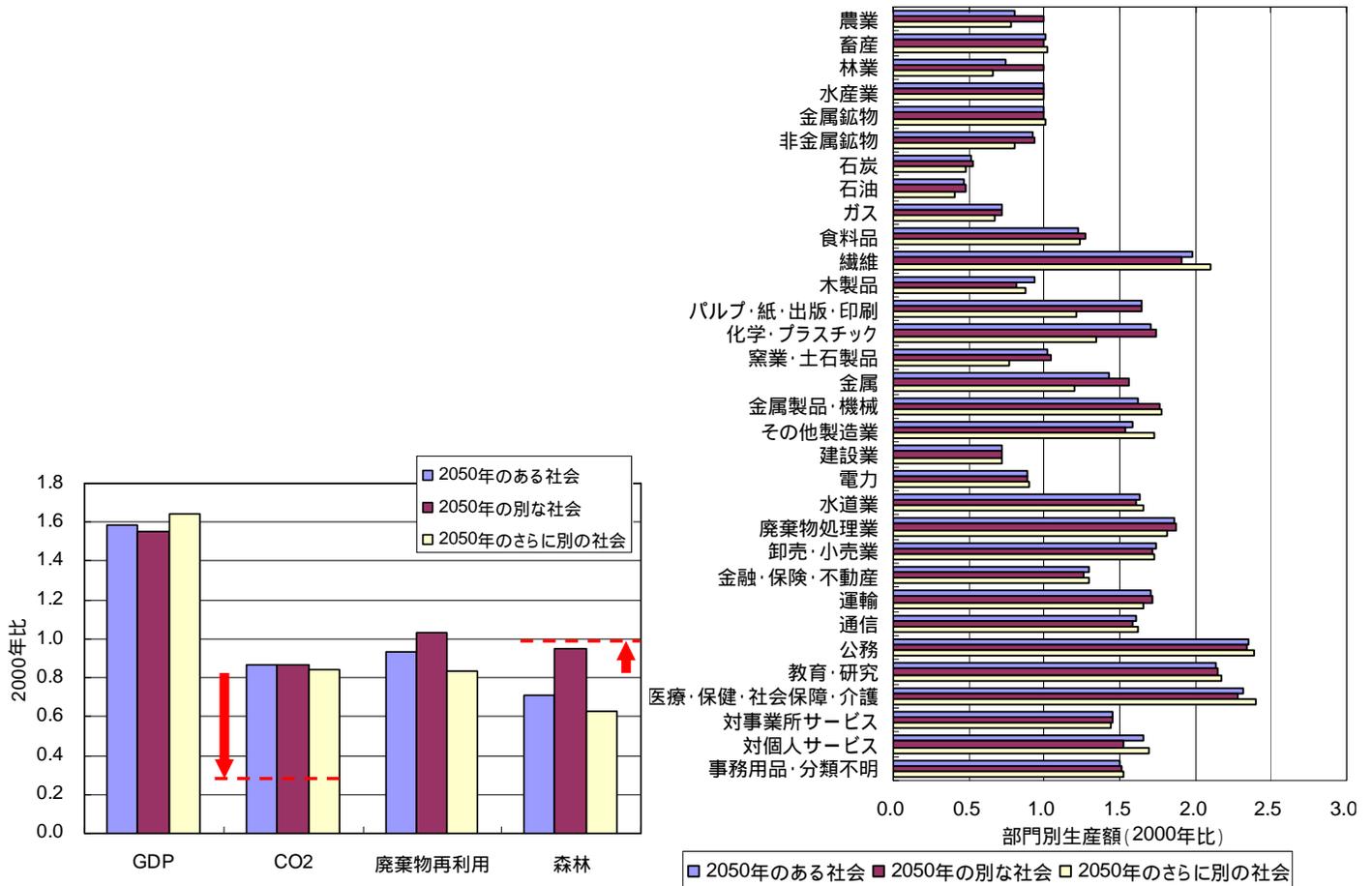


4. 結果のイメージ

以下に結果のイメージを示す。ここでは、2050年だけの結果（1ページ目の図の上側に相当）を示す。

前提となる様々な条件を変更し（例えば、輸入比率、エネルギー効率、投入係数、消費選好等）それが、環境目標を達成しているか否かについて検討する。また、そうした前提で示された社会像がどのようなものであるか検討する。

下図の「2050年のある社会」とは、2000年と比較してエネルギー効率が毎年1%ずつ改善するとした社会である。これに対して、「2050年の別な社会」とは、エネルギー効率の改善に加えて食料や木材の輸入比率を現状の1/10とした社会を、「2050年のさらに別な社会」では、エネルギー効率の改善に加えて素材投入が毎年0.5%ずつ減少する社会を、それぞれ想定している。現時点では、想定値に根拠はなく、また、どの想定も目標を達成している訳ではない。今後、これまでの検討会での報告内容や、文献調査を踏まえて想定値を設定し、持続可能な社会を実現する対策の組合せについて分析を行う。



付録 モデルの定式化

簡略化のため、以下のような勘定表を考える。

		産業部門		最終消費	産出	賦存量	価格
		a	b				
中間投入	a	X _{aa}	X _{ab}	F _a	Y _a		P _a
	b	X _{ba}	X _{bb}	F _b	Y _b		P _b
資本		K _a	K _b			K*	P _K
労働		L _a	L _b			L*	P _L
環境負荷		E _a	E _b	E _h		E*	P _E
生産		Y _a	Y _b				
効用				U			

効用関数

$$U = u(F_a, F_b, E_h) \rightarrow \text{Max}$$

生産活動（生産関数）

$$Y_a = f_a(X_{aa}, X_{ba}, K_a, L_a, E_a)$$

$$Y_b = f_b(X_{ab}, X_{bb}, K_b, L_b, E_b)$$

財の需給均衡

$$X_{aa} + X_{ab} + F_a = Y_a$$

$$X_{ba} + X_{bb} + F_b = Y_b$$

生産要素の均衡

$$K_a + K_b \leq K^*$$

$$L_a + L_b \leq L^*$$

家計の所得制約

$$F_a \cdot P_a + F_b \cdot P_b + E_h \cdot P_E = K^* \cdot P_K + L^* \cdot P_L + E^* \cdot P_E$$

ゼロ利潤条件

$$Y_a \cdot P_a = X_{aa} \cdot P_a + X_{ba} \cdot P_b + K_a \cdot P_k + L_a \cdot P_L + E_a \cdot P_E$$

$$Y_b \cdot P_b = X_{ab} \cdot P_a + X_{bb} \cdot P_b + K_b \cdot P_k + L_b \cdot P_L + E_b \cdot P_E$$

環境負荷

$$E_a + E_b + E_h \leq E^*$$

環境負荷の受容量 E^* が環境負荷量の合計より十分に大きい場合には、環境の価格 P_E は 0 となる。

環境負荷 $E_a + E_b + E_h$ が持続可能な水準以下となるように、 f_a, f_b, u を変更する。ただし、 f_a, f_b, u を変更するためには、個別技術や社会構造の変化など、様々なコストが必要となる（より高額な設備投資が必要など）。