

循環型社会に適したエネルギー技術とその普及政策の
最適化モデルシミュレーションによる評価

筑波大学大学院
生命環境科学研究科
生命産業科学専攻
博士（学術）学位論文

内 田 晋

目次

第1章 序論	1
1.1 環境問題におけるエネルギーの重要性	1
1.2 将来の温室効果ガス排出量の目標	2
1.3 持続型エネルギーの導入目標と実績	3
1.4 環境政策	9
1.5 各国のケーススタディ	11
1.6 研究の目的	13
第2章 廃棄物のエネルギーリカバリー技術とその普及促進政策の評価	16
2.1 はじめに	16
2.1.1 本章の背景と目的	16
2.1.2 廃棄物のエネルギーリカバリー	16
2.1.2.1 廃棄物の再利用方法の比較	16
2.1.2.2 廃棄物のエネルギーポテンシャル	17
2.1.2.3 バイオマスのエネルギー技術	17
2.2 シミュレーションモデル	19
2.2.1 モデルの概要	19
2.2.2 モデルの詳細	28
2.2.3 その他のシミュレーションの前提	38
2.2.4 産業連関表の分類の分割	39
2.2.5 新エネルギー産業の各種係数の推定	40
2.3 シミュレーション結果	42
2.3.1 新エネルギー産業 排出税 補助金のないBAUケース	42
2.3.2 新エネルギー産業の導入	43
2.3.3 排出税と補助金の導入の影響	43
2.4 本章のまとめ	50
第3章 習熟効果と環境価値を考慮した持続型エネルギー産業の成長モデルと普及促進政策	54
3.1 はじめに	54
3.1.1 本章の背景と目的	54
3.1.2 習熟に関する考察	54
3.1.2.1 習熟の定義	54
3.1.2.2 習熟曲線と経験曲線	56
3.1.2.3 習熟と従来理論との関係	57
3.1.2.4 習熟と技術進歩論との関係	58

3.1.3	太陽光発電技術.....	58
3.1.3.1	太陽光発電技術の原理と分類.....	59
3.1.3.2	太陽光発電の環境負荷.....	61
3.1.3.3	太陽光発電の普及状況.....	61
3.1.3.4	太陽光発電の導入に対する補助金.....	63
3.2	持続型エネルギーの成長理論.....	72
3.2.1	理論の基本形.....	72
3.2.2	補助金枠が存在する場合.....	73
3.2.3	需要関数と習熟関数の関数形.....	76
3.2.3.1	一般均衡理論.....	76
3.2.3.2	ランダム効用理論.....	77
3.2.3.3	生存分析.....	79
3.2.3.4	情報伝達効果.....	80
3.2.3.5	パラメータのシェア依存性.....	81
3.2.3.6	習熟関数.....	82
3.3	シミュレーションモデル.....	83
3.3.1	持続型エネルギーの成長モデル.....	83
3.3.2	総合評価モデル.....	87
3.3.2.1	モデルの概要.....	88
3.3.2.2	モデルの詳細.....	88
3.4	シミュレーション結果.....	97
3.4.1	習熟関数のパラメータ推定.....	97
3.4.2	需要関数の関数形の決定とパラメータ推定.....	97
3.4.2.1	価格のみを考慮したケース.....	98
3.4.2.2	情報伝達効果を考慮したケース.....	98
3.4.2.3	パラメータ変化を考慮したケース.....	99
3.4.3	成長モデル単独での将来予測.....	99
3.4.4	補助金の支給パターンの検討.....	99
3.4.5	総合評価モデルとの統合.....	100
3.4.5.1	BAU ケース.....	101
3.4.5.2	全体に課税するケース.....	101
3.4.5.3	産業のみに課税するケース.....	101
3.4.5.4	温室効果ガス排出量に制約をかけたケース.....	102
3.5	本章のまとめ.....	103
第4章	考察および結論.....	150
4.1	政策提言.....	150

4.1.1 廃棄物のエネルギーリカバリー技術の普及促進政策.....	150
4.1.2 住宅用太陽光発電技術の普及促進政策.....	152
4.1.3 持続型エネルギー全体の普及促進政策.....	153
4.2 モデルの改良とその政策への応用の可能性.....	154
4.3 結論.....	155
謝辞.....	158
参考文献.....	159

Appendix

表目次

表 1-1	温室効果ガス濃度安定のシナリオ結果のまとめ.....	5
表 2-1	バイオマス系廃棄物のエネルギー賦存量.....	18
表 2-2	通常財産業の分類.....	23
表 2-3	従来エネルギー産業の分類.....	24
表 2-4	新エネルギー産業の分類.....	25
表 2-5	エネルギーの代替関係.....	26
表 2-6	廃棄物処理産業の分類.....	27
表 3-1	日本における主な太陽光発電関連政策.....	68
表 3-2	通常財産業の分類.....	89
表 3-3	各モデルでのパラメータ推定結果.....	109
表 3-4	情報伝達効果を考慮した各モデルでのパラメータ推定結果.....	114
表 3-5	パラメータ変化を考慮した各モデルでのパラメータ推定結果.....	120
表 A-2-1	民間消費部門のエネルギー種類ごとの消費量に対する温室効果ガス排出量(A_{cc})...A-1	
表 A-2-2	従来エネルギー産業の生産あたりの温室効果ガス排出量(A_{ce}).....	A-1
表 A-2-3	通常財産業の生産あたりの温室効果ガス排出量(A_{cn}).....	A-2
表 A-2-4	新エネルギー産業の生産あたりの温室効果ガス排出量(A_{cs}).....	A-2
表 A-2-5	廃棄物処理産業の処理あたりの温室効果ガス排出量(A_{cw}).....	A-3
表 A-2-6	通常財の従来エネルギー産業への投入係数(A_{nc}).....	A-3
表 A-2-7	通常財の通常財産業への投入係数(A_{nn}).....	A-4
表 A-2-8	通常財の新エネルギー産業への投入係数(A_{ns}).....	A-6
表 A-2-9	通常財の廃棄物処理産業への投入係数(A_{nw}).....	A-7
表 A-2-10	民間消費部門の廃棄物排出係数(A_{wc}).....	A-8
表 A-2-11	従来エネルギー産業の廃棄物排出係数(A_{we}).....	A-9
表 A-2-12	公的部門の廃棄物排出係数(A_{wg}).....	A-10
表 A-2-13	通常財産業の廃棄物排出係数(A_{wn}).....	A-11
表 A-2-14	新エネルギー産業の廃棄物排出係数(A_{ws}).....	A-12
表 A-2-15	新エネルギーにより温室効果ガスがカーボンニュートラルなものに置換される量 (B_{cs}).....	A-13
表 A-2-16	従来エネルギー産業へのエネルギー財の投入係数(B_e).....	A-14
表 A-2-17	通常財産業へのエネルギー財の投入係数(B_n).....	A-15
表 A-2-18	新エネルギー産業へのエネルギー財の投入係数(B_s).....	A-17
表 A-2-19	廃棄物処理産業へのエネルギー財の投入係数(B_w).....	A-18

表 A-2-20	種類ごとのエネルギー財の輸出(\bar{E}_e).....	A-19
表 A-2-21	通常財の輸出(\bar{E}_n).....	A-20
表 A-2-22	通常財の公的消費(\bar{G}_n).....	A-20
表 A-2-23	基準年の従来エネルギー産業の資本ストック量(\bar{K}_e).....	A-21
表 A-2-24	基準年の公的資本ストック量(\bar{K}_g).....	A-21
表 A-2-25	基準年の通常財産業の資本ストック量(\bar{K}_n).....	A-21
表 A-2-26	基準年の廃棄物処理産業の資本ストック量(\bar{K}_w).....	A-22
表 A-2-27	基準年の種類ごとのエネルギー財の輸入(\bar{M}_e).....	A-22
表 A-2-28	基準年の通常財の輸入(\bar{M}_n).....	A-23
表 A-2-29	従来エネルギー産業の資本形成係数(Q_e).....	A-23
表 A-2-30	公的部門の資本形成係数(Q_g).....	A-24
表 A-2-31	通常財産業の資本形成係数(Q_n).....	A-25
表 A-2-32	新エネルギー産業の資本形成係数(Q_s).....	A-26
表 A-2-33	廃棄物処理産業の資本形成係数(Q_w).....	A-27
表 A-2-34	従来エネルギー産業の所得率(V_e).....	A-29
表 A-2-35	通常財産業の所得率(V_n).....	A-29
表 A-2-36	新エネルギー産業の所得率(V_s).....	A-30
表 A-2-37	廃棄物処理産業の所得率(V_w).....	A-30
表 A-2-38	基準年の従来エネルギー産業の生産アクティビティ(\bar{X}_e).....	A-31
表 A-2-39	基準年の通常財産業の生産アクティビティ(\bar{X}_n).....	A-31
表 A-2-40	民間消費部門のエネルギー財に対する費用シェア(α_e).....	A-32
表 A-2-41	民間消費部門の通常財に対する費用シェア(α_n).....	A-32
表 A-2-42	所得に対する貯蓄率(β).....	A-32
表 A-2-43	新エネルギー産業の資本生産係数(γ).....	A-33
表 A-2-44	従来エネルギー産業の減価償却率(δ_e).....	A-33
表 A-2-45	公的資本の減価償却率(δ_g).....	A-33
表 A-2-46	通常財産業の減価償却率(δ_n).....	A-34
表 A-2-47	新エネルギー産業の減価償却率(δ_s).....	A-34
表 A-2-48	廃棄物処理産業の減価償却率(δ_w).....	A-35
表 A-2-49	直接税率(τ^d).....	A-35
表 A-2-50	従来エネルギー産業の間接税率(τ_e).....	A-35
表 A-2-51	通常財産業の間接税率(τ_n).....	A-36
表 A-2-52	新エネルギー産業の間接税率(τ_s).....	A-36
表 A-2-53	廃棄物処理産業の間接税率(τ_w).....	A-37
表 A-3-1	民間消費部門の通常財消費に対する温室効果ガス排出係数(A_{cc}).....	A-38

表 A-3-2	電力産業の温室効果ガス排出係数(A_{ce}).....	A-38
表 A-3-3	通常財産業の温室効果ガス排出係数(A_{cn}).....	A-38
表 A-3-4	PV 産業の温室効果ガス排出係数(A_{cs}).....	A-38
表 A-3-5	電力産業の電力投入係数(A_{ce}).....	A-39
表 A-3-6	通常財産業の電力投入係数(A_{cn}).....	A-39
表 A-3-7	PV 産業の電力投入係数(A_{cs}).....	A-39
表 A-3-8	通常財の電力産業への投入係数(A_{ne}).....	A-39
表 A-3-9	通常財の通常財産業への投入係数(A_{nn}).....	A-40
表 A-3-10	通常財の PV 産業への投入係数(A_{ns}).....	A-41
表 A-3-11	家庭用電力の総需要(D).....	A-41
表 A-3-12	電力輸出(\bar{E}_e).....	A-41
表 A-3-13	通常財の輸出(\bar{E}_n).....	A-42
表 A-3-14	通常財の公的消費(\bar{G}_n).....	A-42
表 A-3-15	住宅用太陽光発電産業の減価償却率(k).....	A-42
表 A-3-16	基準年の電力産業の資本ストック (\bar{K}_e).....	A-42
表 A-3-17	公的部門の資本ストック (K_g).....	A-43
表 A-3-18	公的部門の粗投資(ΔK_g).....	A-43
表 A-3-19	基準年の通常財産業の資本ストック(\bar{K}_n).....	A-43
表 A-3-20	装置容量あたりの年間発電量(m).....	A-43
表 A-3-21	基準年の電力輸入(\bar{M}_e).....	A-43
表 A-3-22	基準年の通常財の輸入(\bar{M}_n).....	A-44
表 A-3-23	電力に換算した太陽光発電の価格(p, P'_s).....	A-44
表 A-3-24	電力に換算した補助金による価格差(Δp).....	A-45
表 A-3-25	消費者物価指数(\bar{p}_2).....	A-45
表 A-3-26	基準年の電力価格(P'_e).....	A-45
表 A-3-27	電力価格(p_t^0).....	A-46
表 A-3-28	電力産業の資本形成係数(Q_e).....	A-46
表 A-3-29	公的部門の資本形成係数(Q_g).....	A-47
表 A-3-30	通常財産業の資本形成係数(Q_n).....	A-47
表 A-3-31	住宅用太陽光発電への補助金総額(S^U).....	A-48
表 A-3-32	電力産業の所得率(V_e).....	A-48
表 A-3-33	通常財産業の所得率(V_n).....	A-49
表 A-3-34	PV 産業の所得率(V_s).....	A-49
表 A-3-35	住宅用太陽光発電の生産量(x).....	A-49
表 A-3-36	基準年の電力産業の生産量(\bar{X}_e).....	A-49
表 A-3-37	基準年の通常財産業の生産量(\bar{X}_n).....	A-50

表 A-3-38	民間最終消費支出(Y_t^0).....	A-50
表 A-3-39	民間消費部門の電力に対する費用シェア(α_e).....	A-50
表 A-3-40	民間消費部門の通常財に対する費用シェア(α_n).....	A-51
表 A-3-41	所得に対する貯蓄率(β).....	A-51
表 A-3-42	電力産業の減価償却率(δ_e).....	A-51
表 A-3-43	公的部門の減価償却率(δ_g).....	A-51
表 A-3-44	通常財産業の減価償却率(δ_n).....	A-51
表 A-3-45	直接税率(τ^d).....	A-52
表 A-3-46	電力産業の間接税率(τ_e).....	A-52
表 A-3-47	通常財産業の間接税率(τ_n).....	A-52
表 A-3-48	新エネルギー産業の間接税率(τ_s).....	A-52

目次

図 1-1	気候変化に対して予測される世界的な影響.....	4
図 1-2	2010 年における主要国の新エネルギー導入目標量.....	6
図 1-3	2004 年における主要国の持続型エネルギー導入実績.....	7
図 1-4	日本の新エネルギー導入実績と目標.....	8
図 1-5	本研究の構成.....	15
図 2-1	シミュレーションモデルにおける各経済主体間の物質フロー.....	21
図 2-2	シミュレーションモデルにおける各経済主体間の価値フローおよびエネルギーフロー.....	22
図 2-3	2000 年を基準としたいいくつかの温室効果ガス排出量制約のもとでの GDP 変化.....	44
図 2-4	異なる温室効果ガス排出量制約のもとでの 新エネルギー産業の有無による総 GDP の比較.....	45
図 2-5	3 つの温室効果ガスの排出量制約のもとでの天然ガスからのメタン発酵の代替.....	46
図 2-6	3 つの温室効果ガスの排出量制約のもとでの灯油からの木質ペレットの代替.....	47
図 2-7	3 つの温室効果ガスの排出量制約のもとでの電力からのスーパーごみ発電の代替.....	48
図 2-8	新エネルギーの導入による最終廃棄量の変化.....	49
図 2-9	排出税と補助金を導入した時の温室効果ガス排出量.....	51
図 2-10	排出税と補助金を導入した時の GDP 総額.....	52
図 2-11	新エネルギーへの依存度.....	53
図 3-1	個人住宅への太陽光発電システムの設置例.....	60
図 3-2	発電方式の違いによるライフサイクルでの発電量当たり CO ₂ 排出量の比較.....	62
図 3-3	2005 年の国別太陽電池生産量.....	64
図 3-4	2005 年までの国別累積太陽光発電導入量.....	65
図 3-5	主な国の累積太陽光発電導入量の推移.....	66
図 3-6	国内の太陽光発電の累計導入量と発電コスト、システム価格の推移.....	67
図 3-7	住宅用太陽光発電導入促進事業の補助金総額と設備容量当たりの支給額.....	69
図 3-8	住宅用太陽光発電のうち導入促進事業の補助金を受けた設置量.....	70
図 3-9	補助金による見かけの電力価格の変化.....	71
図 3-10	補助金と需要.....	74
図 3-11	習熟関数による価格の推定結果.....	104
図 3-12	一般均衡モデルによる生産量の推定結果.....	105
図 3-13	プロビットモデルによる生産量の推定結果.....	106
図 3-14	ロジットモデルによる生産量の推定結果.....	107
図 3-15	ワイブルモデルによる生産量の推定結果.....	108
図 3-16	情報伝達効果を考慮した一般均衡モデルによる生産量の推定結果.....	110

図 3-17	情報伝達効果を考慮したプロビットモデルによる生産量の推定結果.....	111
図 3-18	情報伝達効果を考慮したロジットモデルによる生産量の推定結果.....	112
図 3-19	情報伝達効果を考慮したワイブルモデルによる生産量の推定結果.....	113
図 3-20	情報伝達の要因を除いた価格応答部分のシェアの変化.....	115
図 3-21	パラメータ変化を考慮した一般均衡モデルによる生産量の推定結果.....	116
図 3-22	パラメータ変化を考慮したプロビットモデルによる生産量の推定結果.....	117
図 3-23	パラメータ変化を考慮したロジットモデルによる生産量の推定結果.....	118
図 3-24	パラメータ変化を考慮したワイブルモデルによる生産量の推定結果.....	119
図 3-25	パラメータ変化を考慮したワイブルモデルでのパラメータ変化.....	121
図 3-26	成長モデル単独での太陽光発電の生産量の将来予測(従来電力価格一定).....	122
図 3-27	成長モデル単独での太陽光発電の価格の将来予測(従来電力価格一定).....	123
図 3-28	成長モデル単独での太陽光発電の生産量の将来予測(従来電力価格低下).....	124
図 3-29	成長モデル単独での太陽光発電の価格の将来予測(従来電力価格低下).....	125
図 3-30	2007 年以降に補助金を支給した時の年額と生産量の関係(価格差:1 円).....	126
図 3-31	2007 年以降に補助金を支給した時の価格差と生産量の関係(年支給額:300 億円).....	127
図 3-32	2007 年のみ補助金を支給した時の年額と生産量の関係(価格差:1 円).....	128
図 3-33	1 年間補助金を支給した時の支給年と生産量の関係 (年支給額:300 億円, 価格差:1 円).....	129
図 3-34	総額 300 億円の補助金を支給した時の支給期間と生産量の関係(価格差:1 円).....	130
図 3-35	促進政策を導入しない場合の住宅用太陽光発電の生産額のシミュレーション結果.....	131
図 3-36	促進政策を導入しない場合の生産量の結果の成長モデルとの比較.....	132
図 3-37	促進政策を導入しない場合の GDP のシミュレーション結果.....	133
図 3-38	全体に課税した場合の太陽光発電の生産額.....	134
図 3-39	全体に課税した場合の GDP.....	135
図 3-40	全体に課税した場合の温室効果ガス総排出量.....	136
図 3-41	課税方法による太陽光発電の生産額の違い(税率 2,000 円/tC).....	137
図 3-42	課税方法による GDP の違い(税率 2,000 円/tC).....	138
図 3-43	課税方法による温室効果ガス総排出量の違い(税率 2,000 円/tC).....	139
図 3-44	排出税と補助金がない場合の排出量制約による太陽光発電産業の生産額の違い.....	140
図 3-45	排出税と補助金がない場合の排出量制約による GDP の違い.....	141
図 3-46	基準年制約のもとでの排出税と補助金による太陽光発電の生産額の変化 (税率 2,000 円/tC).....	142
図 3-47	基準年制約のもとでの排出税と補助金による GDP の変化(税率 2,000 円/tC).....	143
図 3-48	京都制約のもとでの排出税と補助金による太陽光発電の生産額の変化 (税率 2,000 円/tC).....	144
図 3-49	京都制約のもとでの排出税と補助金による GDP の変化(税率 2,000 円/tC).....	145
図 3-50	それぞれの排出量制約のもとでの排出税と補助金の	

	太陽光発電の総生産額に及ぼす効果.....	146
図 3-51	それぞれの排出量制約のもとで排出税と補助金が GDP に及ぼす効果.....	147
図 3-52	それぞれの排出量制約のもとで排出税と補助金が GDP あたりの排出量に及ぼす効果..	148
図 3-53	排出税 + 補助金と排出量制約が通常財産業と電力産業の生産額に与える影響.....	149

変数一覧

第2章

- A_{cc} : 民間消費部門のエネルギー種類ごとの消費量に対する温室効果ガス排出量, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-1)
- A_{ce} : 従来エネルギー産業の生産あたりの温室効果ガス排出量, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-2)
- A_{cn} : 通常財産の生産あたりの温室効果ガス排出量, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-3)
- A_{cs} : 新エネルギー産業の生産あたりの温室効果ガス排出量, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-4)
- A_{cw} : 廃棄物処理産業の処理あたりの温室効果ガス排出量, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-5)
- A_{ne} : 通常財の従来エネルギー産業への投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-6)
- A_{nn} : 通常財の通常財産への投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-7)
- A_{ns} : 通常財の新エネルギー産業への投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-8)
- A_{nw} : 通常財の廃棄物処理産業への投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-9)
- A_{wc} : 民間消費部門の廃棄物排出係数, 列ベクトル, 外生 (表 A-2-10)
- A_{we} : 従来エネルギー産業の廃棄物排出係数, 行列, 外生 (表 A-2-11)
- A_{wg} : 公的部門の廃棄物排出係数, 列ベクトル, 外生 (表 A-2-12)
- A_{wn} : 通常財産の廃棄物排出係数, 行列, 外生 (表 A-2-13)
- A_{ws} : 新エネルギー産業の廃棄物排出係数, 行列, 外生 (表 A-2-14)
- B_{cs} : 新エネルギーの生産により, 温室効果ガスがカーボンニュートラルなものに置換される量, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-15)
- B_e : 従来エネルギー産業へのエネルギー財の投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-16)
- B'_e : 従来エネルギー産業の生産あたりの種類ごとの消費エネルギー, 行列, 外生
- B_n : 通常財産へのエネルギー財の投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-17)
- B'_n : 通常財産の生産あたりの種類ごとの消費エネルギー, 行列, 外生
- B_s : 新エネルギー産業へのエネルギー財の投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-18)
- B'_s : 新エネルギー産業の生産あたりの種類ごとの消費エネルギー, 行列, 外生
- B_w : 廃棄物処理産業へのエネルギー財の投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-19)
- B'_w : 廃棄物処理産業の生産あたりの種類ごとの消費エネルギー, 行列, 外生
- b : エネルギーの種類ごとの生産量あたりエネルギー, 列ベクトル, 外生
- C_e : 民間消費部門の種類ごとのエネルギー財の消費 (額), 列ベクトル, 内生
- C'_e : 民間消費部門の種類ごとの消費エネルギー, 列ベクトル, 内生
- C_n : 通常財の民間消費, 列ベクトル, 内生
- \bar{E}_e : 種類ごとのエネルギー財の輸出 (額), 列ベクトル, 外生 (表 A-2-20)
- \bar{E}'_e : 輸出エネルギー, 列ベクトル, 外生
- \bar{E}_n : 通常財の輸出, 行列, 外生 (表 A-2-21)
- \bar{G}_n : 通常財の公的消費, 列ベクトル, 外生 (表 A-2-22)
- I : 全ての要素が 1 である行ベクトル

- K_e : 従来エネルギー産業の資本ストック量, 行ベクトル, 内生 (基準年の値は表 A-2-23)
 ΔK_e : 従来エネルギー産業の粗投資, 列ベクトル, 内生
 K_g : 公的資本ストック量, スカラー, 内生 (基準年の値は表 A-2-24)
 ΔK_g : 公的部門の粗投資, スカラー, 内生
 K_n : 通常財産業の資本ストック量, 行ベクトル, 内生 (基準年の値は表 A-2-25)
 ΔK_n : 通常財産業の粗投資, 列ベクトル, 内生
 K_s : 新エネルギー産業の資本ストック量, 行ベクトル, 内生
 ΔK_s : 新エネルギー産業の粗投資, 列ベクトル, 内生
 K_w : 廃棄物処理産業の資本ストック量, 行ベクトル, 内生 (基準年の値は表 A-2-26)
 ΔK_w : 廃棄物処理産業の粗投資, 列ベクトル, 内生
 M_e : 種類ごとのエネルギー財の輸入 (額), 列ベクトル, 内生 (基準年の値は表 A-2-27)
 M'_e : 輸入エネルギー, 列ベクトル, 内生
 M_n : 通常財の輸入, 行列, 内生 (基準年の値は表 A-2-28)
 P_e : 従来エネルギーの価格率, 行ベクトル, 内生
 P_f : エネルギーの種類ごとの価格率, 行ベクトル, 内生
 P_{Ke} : 従来エネルギー産業の資本ストックの評価価格, 行ベクトル, 内生
 P_{Kg} : 公的資本ストックの評価価格, スカラー, 内生
 P_{Kn} : 通常財産業の資本ストックの評価価格, 行ベクトル, 内生
 P_{Ks} : 新エネルギー産業の資本ストックの評価価格, 行ベクトル, 内生
 P_{Kw} : 廃棄物処理産業の資本ストックの評価価格, 行ベクトル, 内生
 P_n : 通常財の価格率, 行ベクトル, 内生
 P_s : 新エネルギーの価格率, 行ベクトル, 内生
 P_w : 廃棄物ごとの処理サービスの価格率, 行ベクトル, 内生
 Q_e : 従来エネルギー産業の資本形成係数, 行列, 外生 (表 A-2-29)
 Q_g : 公的部門の資本形成係数, 列ベクトル, 外生 (表 A-2-30)
 Q_n : 通常財産業の資本形成係数, 行列, 外生 (表 A-2-31)
 Q_s : 新エネルギー産業の資本形成係数, 行列, 外生 (表 A-2-32)
 Q_w : 廃棄物処理産業の資本形成係数, 行列, 外生 (表 A-2-33)
 S^g : 公的部門貯蓄, スカラー, 内生
 S^p : 民間貯蓄, スカラー, 内生
 V_e : 従来エネルギー産業の所得率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-34)
 V_n : 通常財産業の所得率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-35)
 V_s : 新エネルギー産業の所得率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-36)
 V_w : 廃棄物処理産業の所得率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-37)
 W_c : 温室効果ガス総排出量, スカラー, 内生

- W'_c : 温室効果ガス排出制約, スカラー, 外生 (操作変数)
 X_e : 従来エネルギー産業の生産アクティビティ, 列ベクトル, 内生 (基準年の値は表 A-2-38)
 X_{eng} : エネルギーの種類ごとの, 従来エネルギーと新エネルギーの生産の総和, 列ベクトル, 内生
 X_n : 通常財産業の生産アクティビティ, 列ベクトル, 内生 (基準年の値は表 A-2-39)
 X_s : 新エネルギー産業の生産アクティビティ, 列ベクトル, 内生
 X_w : 廃棄物処理産業の生産アクティビティ, 列ベクトル, 内生
 Y_d : 可処分所得, スカラー, 内生
 Y_{he} : 従来エネルギー産業の所得, 行ベクトル, 内生
 Y_{hn} : 通常財産業の所得, 行ベクトル, 内生
 Y_{hs} : 新エネルギー産業の所得, 行ベクトル, 内生
 Y_{hw} : 廃棄物処理産業の所得, 行ベクトル, 内生
 α_e : 民間消費部門のエネルギー財に対する費用シェア, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-40)
 α_n : 民間消費部門の通常財に対する費用シェア, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-41)
 β : 所得に対する貯蓄率, スカラー, 外生 (表 A-2-42)
 γ : 新エネルギー産業の資本生産係数, 列ベクトル, 外生 (表 A-2-43)
 δ_e : 従来エネルギー産業の減価償却率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-44)
 δ_g : 公的資本の減価償却率, スカラー, 外生 (表 A-2-45)
 δ_n : 通常財産業の減価償却率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-46)
 δ_s : 新エネルギー産業の減価償却率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-47)
 δ_w : 廃棄物処理産業の減価償却率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-48)
 τ^d : 直接税率, スカラー, 外生 (表 A-2-49)
 τ_s^s : 新エネルギー産業への補助金, 行ベクトル, 内生
 τ_w^s : 廃棄物処理産業への補助金, 行ベクトル, 内生
 τ_c : 温室効果ガス排出税率, スカラー, 外生 (操作変数)
 τ_e : 従来エネルギー産業の間接税率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-50)
 τ_n : 通常財産業の間接税率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-51)
 τ_s : 新エネルギー産業の間接税率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-52)
 τ_w : 廃棄物処理産業の間接税率, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-53)
 l : 集計ベクトル, 行ベクトル, 外生
 t (左上添字): ベクトル, 行列の転置

第3章

- A_{cc} : 民間消費部門の通常財消費に対する温室効果ガス排出係数, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-1)
 A_{ce} : 電力産業の温室効果ガス排出係数, スカラー, 外生 (表 A-3-2)
 A_{cn} : 通常財産業の温室効果ガス排出係数, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-3)
 A_{cs} : PV 産業の温室効果ガス排出係数, スカラー, 外生 (表 A-3-4)

- A_{ee} : 電力産業の電力投入係数, スカラー, 外生 (表 A-3-5)
 A_{en} : 通常財産業の電力投入係数, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-6)
 A_{es} : PV 産業の電力投入係数, スカラー, 外生 (表 A-3-7)
 A_{ne} : 通常財の電力産業への投入係数, 列ベクトル, 外生 (表 A-3-8)
 A_{nn} : 通常財の通常財産業への投入係数, 行列, 外生 (表 A-3-9)
 A_{ns} : 通常財の PV 産業への投入係数, 列ベクトル, 外生 (表 A-3-10)
 a_1 : 第一製品に投入した労働時間, 定数
 a_2 : 習熟の速さを表わす指数, 定数
 a_3, \dots, a_6 : パラメータ
 a_7 : 持続型エネルギーへの切り替えに伴う心理的コスト, パラメータ
 a_8, \dots, a_{14} : パラメータ
 a_{15} : 持続型エネルギーへの切り替えに伴う心理的コスト, パラメータ
 a_{16} : パラメータ
 a_{23}, \dots, a_{30} : パラメータ
 c : 所得
 C_e : 民間消費部門の電力消費, スカラー, 内生
 C_n : 通常財の民間消費, 列ベクトル, 内生
 C_s : PV の消費, スカラー, 内生
 D : 家庭用電力の総需要, 外生 (表 A-3-11)
 e : 環境およびその他の社会経済的特性
 \bar{E}_e : 電力輸出, スカラー, 外生 (表 A-3-12)
 \bar{E}_n : 通常財の輸出, 列ベクトル, 外生 (表 A-3-13)
 $f[\cdot]$: $\Delta\varepsilon$ の累積分布関数
 $f_1(\cdot)$: 価格の関数で表された持続型エネルギーの需要シェア
 $f_2(\cdot)$: 関数形で表された持続型エネルギーの価格
 \bar{G}_n : 通常財の公的消費, 列ベクトル, 外生 (表 A-3-14)
 I : 全要素が 1 である行ベクトル
 k : 住宅用太陽光発電産業の減価償却率, 外生 (表 A-3-15)
 K_e : 電力産業の資本ストック, スカラー, 内生 (基準年の値は表 A-3-16)
 ΔK_e : 電力産業の粗投資, スカラー, 内生
 K_g : 公的部門の資本ストック, スカラー, 外生 (表 A-3-17)
 ΔK_g : 公的部門の粗投資, スカラー, 外生 (表 A-3-18)
 K_n : 通常財産業の資本ストック, 行ベクトル, 内生 (基準年の値は表 A-3-19)
 ΔK_n : 通常財産業の粗投資, 列ベクトル, 内生
 K_{pe} : 電力産業の生産量あたり資本ストック評価額, スカラー, 内生
 K_{pg} : 公的部門の資本ストック評価額, スカラー, 内生

- K_{pn} : 通常財産業の生産量あたり資本ストック評価額，行ベクトル，内生
 m : 単位ストックあたり発生するエネルギー，外生（表 A-3-20）
 M_e : 電力輸入，スカラー，内生（基準年の値は表 A-3-21）
 M_n : 通常財の輸入，列ベクトル，内生（基準年の値は表 A-3-22）
 N : 購入した消費者の割合（または情報の浸透度）
 p : 持続型エネルギーの価格，外生（表 A-3-23）
 Δp : 電力に換算した補助金による価格差，外生（表 A-3-24）
 p_1 : 持続型エネルギーの環境価値分の価格，内生
 p_2 : 合成財の価格，内生
 \bar{p}_2 : 消費者物価指数，外生（表 A-3-25）
 P_e : 電力の価格率，スカラー，内生
 P'_e : 基準年の電力価格（表 A-3-26）
 P_{Ke} : 電力産業の資本の評価価格，スカラー，内生
 P_{Kg} : 公的部門の資本の評価価格，スカラー，内生
 P_{Kn} : 通常財産業の資本の評価価格，行ベクトル，内生
 P_n : 通常財の価格率，行ベクトル，内生
 P_s : PV 産業の価格率，スカラー，外生（成長モデルで決定する）
 P'_s : 基準年の PV による電力の価格（表 A-3-23）
 p^0 : 電力価格，外生（表 A-3-27）
 Q_e : 電力産業の資本形成係数，列ベクトル，外生（表 A-3-28）
 Q_g : 公的部門の資本形成係数，列ベクトル，外生（表 A-3-29）
 Q_n : 通常財産業の資本形成係数，行列，外生（表 A-3-30）
 r : 情報伝達のスピードを表わすパラメータ
 S : 持続型エネルギー需要の総エネルギー需要に対するシェア
 S' : 補助枠を考慮した時の需要シェア
 S'' : 補助枠および補助金が余るケースを考慮した時の需要シェア
 S^P : 民間貯蓄，スカラー，内生
 S^U : 住宅用太陽光発電への補助金総額，外生，（表 A-3-31）
 t_0 : t の初期値
 $u(\cdot)$: 効用関数
 u' : 効用
 V_e : 電力産業の所得率，スカラー，外生（表 A-3-32）
 V_n : 通常財産業の所得率，行ベクトル，外生（表 A-3-33）
 V_s : PV 産業の所得率，スカラー，外生（表 A-3-34）
 $v(\cdot)$: 効用のうち観察可能な部分を表す関数
 $v'(\cdot)$: $v(\cdot)$ のうち所得に影響を受けない部分

- W_c : 温室効果ガス総排出量, スカラー, 内生
 W'_c : 温室効果ガス排出制約, スカラー, 外生 (操作変数)
 X : 装置の累積生産量
 x : 住宅用太陽光発電の生産量, 外生 (表 A-3-35)
 X' : 市場にある持続型エネルギーの装置ストック量
 X_e : 電力産業の生産量, スカラー, 内生 (基準年の値は表 A-3-36)
 X_n : 通常財産業の生産量, 列ベクトル, 内生 (基準年の値は表 A-3-37)
 X_s : 太陽光発電装置 (以下, PV) 産業の生産量, スカラー, 外生 (成長モデルで決定する)
 x_1 : 持続型エネルギーの消費量
 x_2 : 合成財の消費量
 Y : 製品当たり労働投入時間
 Y^0 : 民間最終消費支出, 外生 (表 A-3-38)
 Y_d : 可処分所得, スカラー, 内生
 Y'_d : 環境価値に対する支払いを除いた可処分所得, スカラー, 内生
 Y_{he} : 電力産業の生産量あたり所得, スカラー, 内生
 Y_{hn} : 通常財産業の生産量あたり所得, 行ベクトル, 内生
 Y_{hs} : PV 産業の所得, 行ベクトル, 内生
 α_e : 民間消費部門の電力に対する費用シェア, スカラー, 外生 (表 A-3-39)
 α_n : 民間消費部門の通常財に対する費用シェア, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-40)
 β : 所得に対する貯蓄率, スカラー, 外生 (表 A-3-41)
 δ_e : 電力産業の減価償却率, スカラー, 外生 (表 A-3-42)
 δ_g : 公的部門の減価償却率, スカラー, 外生 (表 A-3-43)
 δ_n : 通常財産業の減価償却率, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-44)
 ε : 効用のうち観察不可能な部分
 η : 定数
 τ^d : 直接税率, スカラー, 外生 (表 A-3-45)
 τ_c : 温室効果ガス排出税率, スカラー, 外生 (操作変数)
 τ_e : 電力産業の間接税率, スカラー, 外生 (表 A-3-46)
 τ_n : 通常財産業の間接税率, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-47)
 τ_s : 新エネルギー産業の間接税率, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-48)
 $\Phi(\cdot)$: 標準正規分布の累積分布関数
^t (左上添字): ベクトル, 行列の転置

第1章 序論

1.1 環境問題におけるエネルギーの重要性

2007年6月に行われたG8サミットでは気候変動問題への対策が主要な議題となり、またそれに先立ち日本政府は「21世紀環境立国戦略」を閣議決定した。これらの動きは少なくとも先進国にとって環境問題が国際的な最重要課題になったことや、日本でもようやく本格的な環境戦略の必要性が認識された事の証左と言える。

環境問題は気候変動問題のみならず様々な問題を含んでいるが、人間が自然界に与える負荷のスピードの飛躍的な上昇により自然システムがその負荷を処理して元通りにするスピードとの平衡が崩れたことに起因する地球環境の変化という点で、それらの問題は共通している。従来の環境問題は自分達が自然界に放出した物質（環境負荷物質）のために人類の社会経済システムに費用が発生する、いわゆる環境破壊が中心であったが、将来的には逆のパターン、つまり金属などの有用な物質が利用しにくい形で自然界に放出されるために、利用可能な資源が減っていく、いわゆる資源問題が環境破壊と同様に重要になっていくと思われる。これらの問題は表裏一体であり、共通の解決手段は、自然システムの処理能力との平衡を取り戻すまで放出量を低減させることである。環境負荷物質では排出抑制であり、有用物質では3Rに当たるが、これが達成された状態が循環型社会と呼ばれ、環境問題に関する全世界的な目標である「持続可能な発展」の一つの概念を表わすものである。

現在の最大の環境問題である気候変動問題は、エネルギー利用に伴う温室効果ガスという環境負荷物質の排出によるものである。この面だけを取り上げれば、炭素固定技術といった対策でも解決は可能だが、エネルギー資源に関しては前述の有用物質の側面もあり、その枯渇も将来的には問題になる。そもそも循環型社会を目指す上で、エネルギーは極めて重要かつ特殊な役割を担っている。まず、環境負荷物質の排出抑制にしても3Rにしても、そのプロセスにおいてエネルギーが不可欠である。これらのプロセスは部分的なエントロピーの減少を必要とするため、外部からのエネルギー投入によってエントロピーを系外に放出しなくてはならないからである。そして、エネルギーは他の物質と違いリサイクルすることができない。エネルギー物質をリサイクルするためには少なくとも初めにそれが持っていたのと同量のエネルギーを投入する必要があり、リサイクルの意味がないからである。つまり、循環型社会においてもエネルギーだけは一方向的な利用を行い、それを通じて物質を循環利用しなければならない。このようにエネルギーは環境問題の行方を握る鍵とも言える存在であるが、気候変動問題および資源枯渇問題の両面から、その供給システムを再構築し、持続型エネルギーをその源とする必要に迫られている。

本論文では持続型エネルギーという用語を、太陽光発電、風力発電、バイオマス、地熱といったいわゆる再生可能エネルギーと同義のものとして用いる。再生可能という用語は資源経済学において水産資源や林産資源のような繁殖する生物資源に対して用いられているものであり、それが便宜上太陽エネルギーのような永続的なエネルギーに応用されたものと考えられるが、これらのエネルギーは連続的に供給されてはいるが生物のように自己増殖しているわけではなく、もともとの再生という意味が実態と乖離しており、持続のような用語の方がより適していると考えられる。これらのエネルギー

の多くは太陽エネルギーを直接利用するか、または短い時間の間に他のエネルギー形態に変換されたものであり、化石燃料のように生成に時間を要しないため、フローとして連続的に利用が可能であり、太陽エネルギーが供給される限り枯渇することがない。また、多くの持続型エネルギーは化学エネルギーを介しないため、原則的にはエネルギー利用の際に物質の放出がない。つまり、環境に変化を与えない。例外の一つはバイオマスで、植物の固定した炭素の化学エネルギーを利用するために二酸化炭素などの物質が排出される。二酸化炭素は温室効果ガスであり気候変動の原因になるが、バイオマス生成の際の植物による炭素固定速度は化石燃料の生成速度と比較すればはるかに大きく、エネルギー利用の速度をその炭素固定速度と平衡させるのはそれほど困難ではない。その平衡が成立している状態はカーボンニュートラルと呼ばれ、バイオマスエネルギーはその範囲でのみ利用可能なエネルギーである。逆に、ポテンシャルエネルギーである化学エネルギーの形態を取ることが、バイオマスエネルギーに貯蔵可能な持続型エネルギーという特質を与えており、フローであるが故に制御の困難な他の持続型エネルギーとは異なる利用価値が期待される。

ただし厳密にはこれらのエネルギーも持続するわけではない。太陽エネルギーの源泉は水素からヘリウムへの核融合反応であり、水素がなくなるとヘリウムから炭素や酸素への核融合反応が起こるが、太陽程度の質量ではそれ以上の核融合は起こらず、恒星としての寿命を迎える。その時期は数十億年後であり、その前に膨張を始めるため地球上では人類が生存できなくなる。また地熱は地下の核分裂反応によるものであるが、これはある半減期をもって徐々に出力が低下していく。このように持続的なエネルギー源が存在しない以上、持続可能性を考えるタイムスケールをあらかじめ規定しておく必要がある。地球には氷河期や氷期・間氷期といった気候変動が存在するが、それらの変動の予測は現在の科学では不可能である。またその変動は短くとも千年単位のタイムスケールで起きており、今後100年や200年で急激に気候が変わることは考えられないが、数千年先のことは予測が困難である。これらのことから、我々人類が人為的な要因による気候変動を含めた環境問題を考え、持続可能な開発を検討するのは、長くとも今後数千年程度の範囲で行うべきということが言える。この範囲で考えれば、持続型エネルギーのうち太陽エネルギーを利用するものはもちろん、地熱発電も持続可能と定義できる。また、原料となる水素の地球存在量を考えれば、核融合も持続型エネルギーに含めることは可能である。ここで核融合の際の放射性廃棄物は100年程度で問題にならないレベルまで減衰させることが可能と言われているが、持続型エネルギーとして扱うためにはそうした技術の確立が前提となる。原子力発電についても、核燃料サイクルが成立すれば、原料であるウランの可採年数は数千年となり、我々の考えるべきタイムスケールを越えるが、放射性廃棄物の管理がそれ以上の長期にわたることと、核燃料サイクル自体の見通しが立っていない点から、持続型エネルギーには含めない。これらの分類は現在の社会通念上も妥当なものであろう。

1.2 将来の温室効果ガス排出量の目標

持続可能な社会を実現し循環型社会を構築するために、エネルギーシステムとその再構築が重要な役割を担っていることを前節で述べた。以下、現在のところ最大の環境問題と言える気候変動問題の現状と、その対策として必要な持続型エネルギーの導入量、そしてそれに対する現状と将来の見通し

について述べる。

気候変動問題に関する将来の見通しは、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）により継続的にまとめられており、2007年8月の時点では第4次評価報告書のうち第1～第3作業部会報告書が発表されている。ここで21世紀における地球の気温上昇と、それにより予想される気候変動や災害の程度を図1-1に示す。言うまでもなく、気温の変動幅が大きくなるに従って人類に与える影響は増大する。それ以下に抑えるべき変動幅の明確な目標を設定するのは困難であるが、図より判断する限り、大規模な被害を避けるためには変動幅を2以内、多くても3程度までには抑える必要があると考えられる。

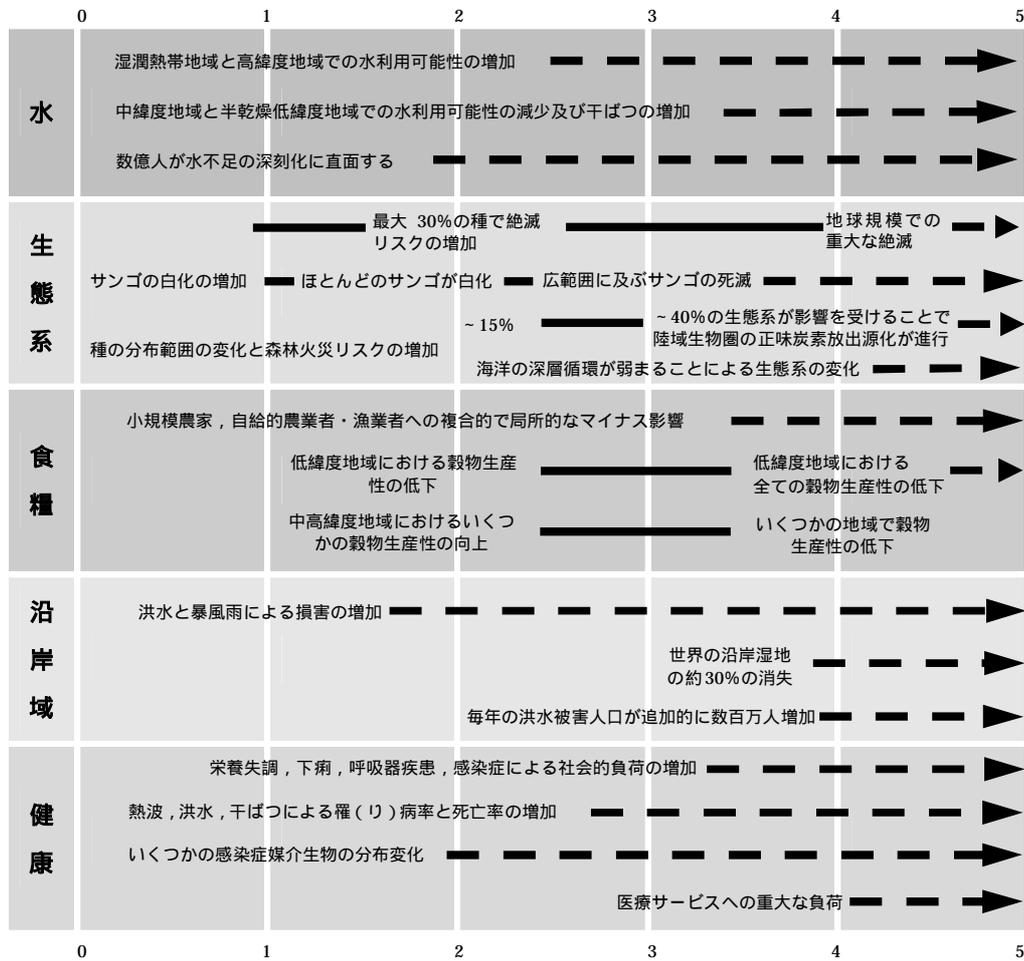
次に考えるべきことは、地球の平均気温の上昇幅を2～3に抑えるために必要な大気中の温室効果ガスの濃度である。その予測結果を表1-1に示す。ここでの平均気温上昇は産業革命時を基準としているが、2001～2005年の期間における1850～1899年の期間からの合計の昇温量は0.76である（IPCC第一作業部会[33]、p.6）。このことを考慮すると産業革命以降の気温上昇量の許容範囲は4弱となり、温室効果ガス濃度では700ppm程度となる。また、表にはターゲットとなる温室効果ガス濃度に対応する2050年の二酸化炭素排出量の目安が示されており、対2000年比で+10～+60%となっている。1970～2004年の34年間の排出量の増加は地球温暖化係数換算で70%であり（地球産業文化研究所[6]、p.3）、今後発展途上国で予想される排出量の増加を考慮すると、範囲の中央を採ったとして50年間に全体で35%の増加に抑えるためには抜本的な対策が必要であると考えられる。

1.3 持続型エネルギーの導入目標と実績

こうした現状に対し、先進各国は持続型エネルギーの導入をエネルギー政策の重要な柱として掲げ、具体的な導入目標量を設定している。主要国の新エネルギー導入目標量を図1-2に示す。図中の新エネルギーとは日本独自の概念で、1997年に施行された「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」において「新エネルギー利用等」として、「経済性の面における制約から普及が十分でないものであって、その促進を図ることが石油代替エネルギーの導入を図るため特に必要なものとして政令で定めるもの」と定義されたものである。現在これに含まれるものは、太陽光発電、風力発電、太陽熱利用、温度差エネルギー、廃棄物発電、廃棄物熱利用、廃棄物燃料製造、バイオマス発電、バイオマス熱利用、バイオマス燃料製造、雪氷熱利用、クリーンエネルギー自動車、天然ガスコージェネレーション、燃料電池で、必ずしも持続型エネルギーと一致した概念ではない。

一方、現状での持続型エネルギーの各国の導入実績を図1-3に示す。本図における総エネルギーに対する割合が前図の目標値より大きいのは、新エネルギーに含まれない水力発電や地熱発電が含まれているためである。水力発電の利用が進んでいるカナダとノルウェーを除けば各国の一次エネルギー総供給に対する割合は5%前後であり、気候変動問題の緩和に貢献できるだけのエネルギーシステムの変革は進んでいない。

日本における新エネルギーの導入実績と目標をエネルギーの種類別にみると、図1-4のとおり、水力と地熱を除いた新エネルギーの2002年の実績は2010年の目標に対して半分以下である。1990年



1980-1999 年に対する世界年平均気温の変化 ()

(出所：環境省[24] , p.19)

図 1-1 気候変化に対して予測される世界的な影響

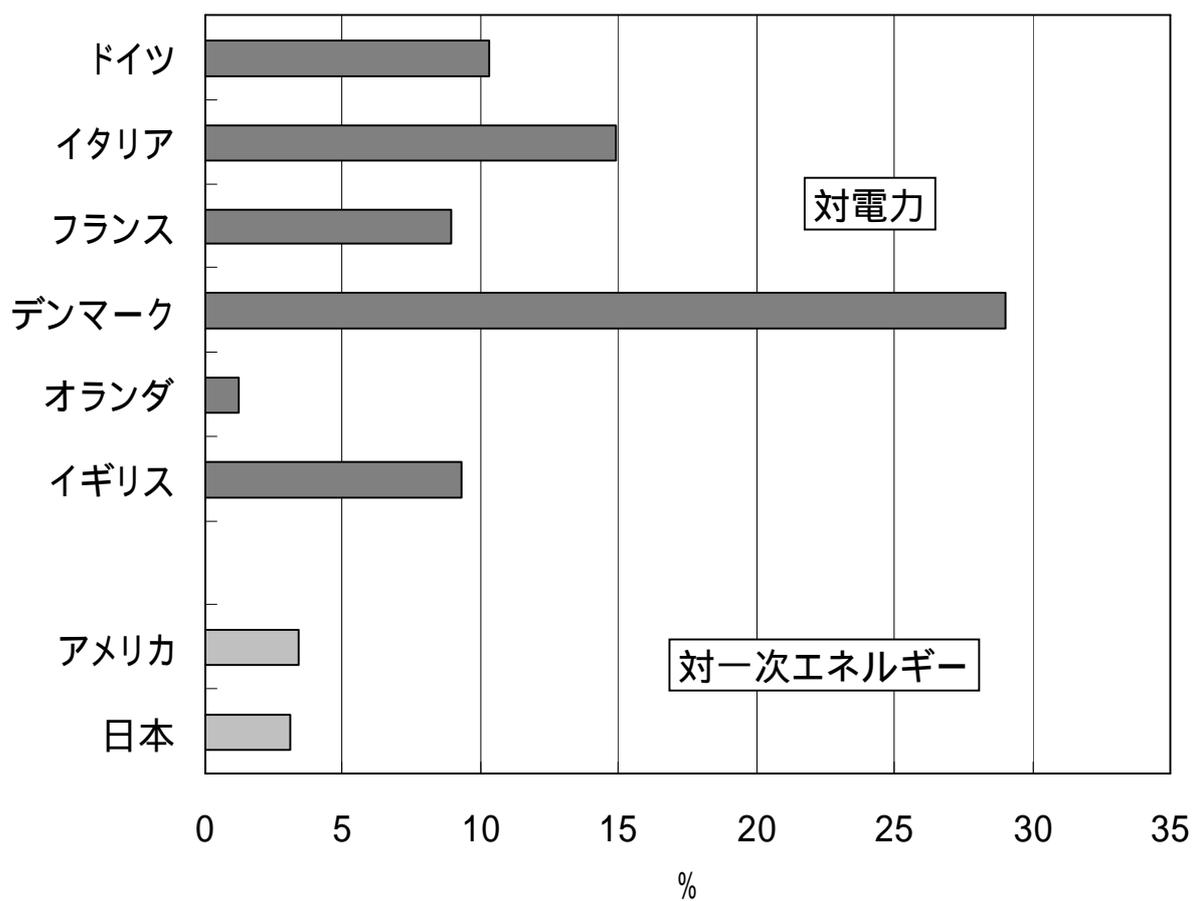
注 気候変動により深刻な被害が顕在化するの、20 世紀末に対して平均気温の上昇量が 2 ~ 3 のあたりに集中している。

表 1-1 温室効果ガス濃度安定のシナリオ結果のまとめ

カテゴリー	放射強制力	二酸化炭素濃度	温室効果ガス濃度(二酸化炭素換算)	気候感度の“最良の推定値”を用いた産業革命からの全球平均気温上昇	二酸化炭素排出がピークを迎える年	2050年における二酸化炭素排出量(2000年比)	研究されたシナリオの数
	W/m ²	ppm	ppm		西暦	%	
	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000-2015	-85 ~ -50	6
	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000-2020	-60 ~ -30	18
	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010-2030	-30 ~ +5	21
	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020-2060	+10 ~ +60	118
	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050-2080	+25 ~ +85	9
	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90 ~ +140	5
総計							177

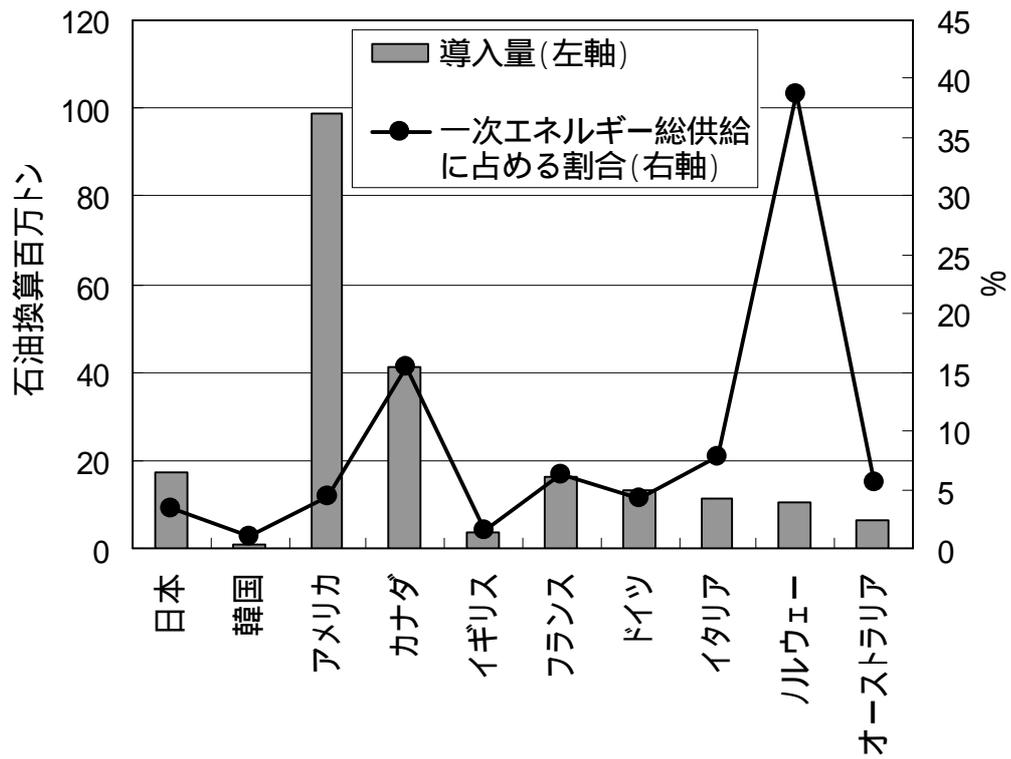
(出所：地球産業文化研究所[6]，p.23)

注) 産業革命の時点を基準にすると，カテゴリー が図 1-1 の 2~3 の上昇量に対応する。従って，二酸化炭素の排出量では 2000 年からの 50 年間で+10~+60%程度がターゲットとなる。



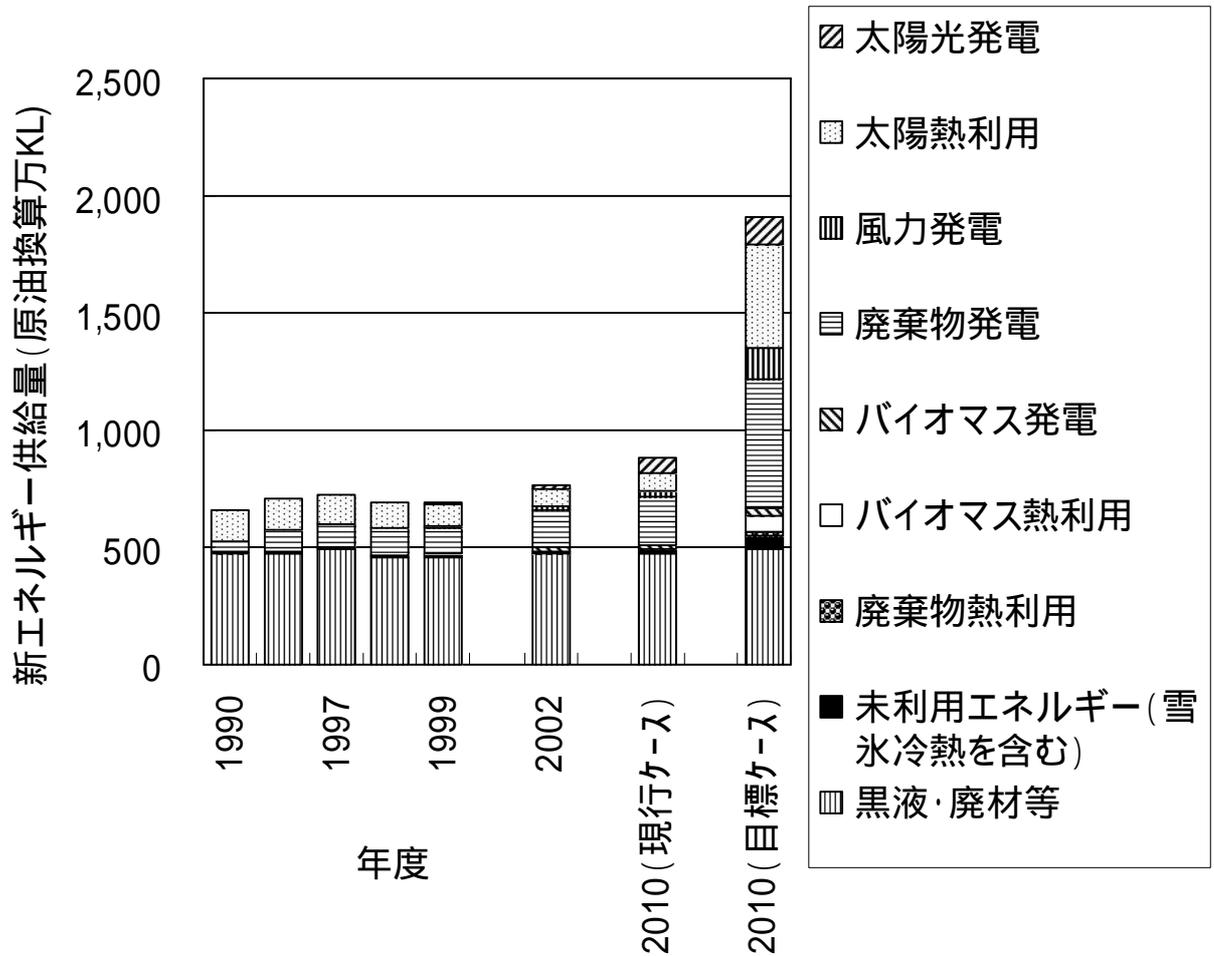
(新エネルギー・産業技術総合開発機構[60]をもとに作成)

図 1-2 2010 年における主要国の新エネルギー導入目標量



(出所：外務省[9])

図 1-3 2004 年における主要国の持続型エネルギー導入実績



(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[67])

図 1-4 日本の新エネルギー導入実績と目標

以降の増加もほとんど見られず、推定される 2010 年の現行ケースでの導入量も 2002 年から大きな変化はない。さらに、現在導入されている量の半分以上を占める黒液・廃材等のうち黒液は以前からリサイクルが進んでおり、今後の伸びはほとんど期待できないことから、2010 年の目標達成のためにはそれ以外の新エネルギーを 2002 年と比較して 5 倍近くに伸ばさなければならない状況である。

ここまで、21 世紀の気候変動問題に関する現時点での知見とその対策としての持続型エネルギーの導入状況について述べたが、各国が掲げている持続型エネルギーの導入目標は、それによって達成される温室効果ガスの排出量や最終的な濃度のレベル、その結果としての気候変動や人類への影響を考慮して求められたものではない。地球全体で必要とされる排出削減量に対して各国がどれだけ削減するかについての国際的なコンセンサスはなく、一部の国は京都議定書による削減義務を負ってはいるものの、その他の国の排出量の見通しが全く見られない現状ではそれが全体の削減にどの程度寄与するのかが不透明なためである。さらには気温の上昇と人類への影響、温室効果ガス濃度と気温の上昇、温室効果ガス排出量と濃度上昇など、それぞれの因果関係において不確定要素が存在するため、持続型エネルギーの導入量と今後の気候変動の関係については現状ほとんど明らかになっていない。ただ、かなりの確率で言えることは、現在の緩やかな持続型エネルギーの導入スピードでは、今世紀中の気候変動によって人類にかなり深刻な影響がもたらされるであろうということであり、それを防ぐために、エネルギーシステムの再構築のための積極的な政策手段が必要であるということである。

1.4 環境政策

自然環境システムの変化による外部不経済に対し、社会経済システムに働きかけて是正する手段として用いられるのが環境政策である。その大まかな分類としては規制的手段と経済政策の 2 つが挙げられる。

(1) 規制的手段

規制的手段は企業や家庭などの経済主体に対し、環境負荷の量の上限を設定し、その総量を直接コントロールするもので、自動車の排ガス規制や工場の排水基準といった環境規制が代表的である。この方法は実行する際の枠組み作りや実行に伴う管理に必要なコストが小さく、効果が直接的かつ迅速に表れるといったメリットがあり、計画も立てやすい反面、個別の状況を無視して一律に制約が課せられるため、経済的効率性の面で問題がある。

(2) ピグー税

規制的手段に対し、外部不経済による環境問題を是正するようなインセンティブを与えて外部不経済を内部化するのが経済政策である。経済政策の中にも経済的効率性や政策の実行可能性の異なる様々なものがあるが、外部性の内部化という意味で旧来の新古典派経済理論と最も整合的と考えられるのがピグー税 (Pigou[52]) である。これは汚染排出に対する限界外部費用に等しい額を税金とする方法で、汚染削減の純便益が最大になるような汚染水準が達成され、しかもその汚染水準まで排出を削減する時の社会的費用は最小となる。このようにピグー税は経済的効率性に優れているが、実施

するためには汚染による外部費用を把握する必要があり、現実には非常に困難である。さらに、限界外部費用が一定ではなく変化（通常は汚染量と共に増加）する場合、限界外部費用曲線の形状だけでなく限界排出削減費用曲線の形状も全て把握しない限り、税率の設定に必要な最適な汚染水準の情報を得ることができない。最適な汚染水準は両者の交点で定まるからである。限界排出削減費用がわからない場合に試行錯誤的に税率を変えていくやり方があるものの、多大な時間とコストを浪費すると思われ、現実的とは言えない。

(3) ボーモル＝オーツ税

ピグー税は汚染削減の純便益が最大化され、社会的に最適な汚染水準を目指すものであるが、これに対しボーモル＝オーツ税（Baumol and Oates[4], Baumol[3]）は、純便益の最大化には目をつぶり、目標とする水準を何らかの社会的根拠により為政者が決定し、その水準を達成する税率を試行錯誤的に決めていくという方法である。この方法でも各汚染排出源の限界排出削減費用は税率に等しくなり均等化されることから、汚染削減の全体での費用は最小化され、また純粋に税率のインプットと汚染水準のアウトプットだけを見ていればよいので事前の情報不要である。ピグー税と同様、試行錯誤の時間とコストの問題は依然として残るので、ボーモル＝オーツ税が現実性を持つのはそれらが問題にならない場合に限られる。気候変動問題は大規模かつ長期的な問題であるためその条件に当てはまると考えられ、実際ヨーロッパなどで一部導入されている化石系エネルギーに対する炭素税などの環境税がボーモル＝オーツ税の実例と解釈されることもある。

(4) 排出権取引制度

一方、試行錯誤の過程を経ずに目標水準を達成する方法として、キャップ・アンド・トレードによる排出権取引制度が注目されている。この方法は、環境負荷物質の総排出量の目標値が決まっている時に汚染を排出する経済主体のそれぞれに排出枠を設定し、その枠を取引できるようにするもので、総量を定める規制的手法と市場メカニズムを利用する経済的手法を組み合わせたものである。取引価格は市場の需給関係で決まり、排出量を削減する代わりに排出枠を購入する、削減コストをかけて規定の排出枠まで排出を削減する、またはそれ以上に削減を進めて排出枠を売る、といった選択の幅があるため、個々の削減費用が最小化され、また社会全体の総費用も最小化される。この方法は京都議定書のように目標値が明確に定められた場合の手段として有効であり、EUでは既に制度がスタートし、アメリカでは民間レベルでの導入が進み、日本でも導入に向けて準備が進められている。欠点としては最初に割り当てる排出枠の設定についての根拠を求めることが困難であることが挙げられる。

(5) 補助金

新エネルギーなど特定の技術の普及促進を図る手段としては、導入の際に補助金を支給する政策が用いられることが多い。補助金も広い意味では汚染削減費用を低減させ、結果として削減量を低減させる効果があるが、それには税金などで汚染の排出に対する費用負担が課せられていることが前提となる。費用負担がない場合、一般的には従来技術より安くなる（つまり汚染削減費用が負になる）まで補助金をかける必要があり、多額の予算を必要とする。実際には後述するようにそこまで補助金を

かけなくとも、新技術の環境価値に金銭的な評価を与える一部の消費者により、部分的・漸進的なシフトが起きると考えられるが、いずれにしても補助金は社会的費用の低減や経済的効率性を目的としたものではなく、価格低減による需要拡大とそれによる習熟効果を通じたさらなるコスト低減を目指した産業育成の側面が大きい制度である。

気候変動問題に対してもこれらの環境政策は適用可能である。規制的手段としては温室効果ガスの排出量の規制が考えられるが、これに排出権取引制度を組み合わせたキャップアンドトレード制度がEUなどで導入されている。また気候変動対策としての環境税としては温室効果ガスの排出に対する課税が考えられるが、温室効果ガスの排出源のほとんどは使用に伴って二酸化炭素を排出する化石燃料であることから、炭素税としてそれらに課税がなされるケースが多い。ただし化石燃料には従来からエネルギー税といった形で課税されている例が多く、環境税としての意味が必ずしも明確でないケースも多く見られる。

1.5 各国のケーススタディ

気候変動対策として実際に用いられている環境政策について、日本を始めとするいくつかの国とEUの事例をここで紹介する。これらの先進国ではさまざまな経済政策が導入されているが、エネルギー資源の多くを輸入に頼っている先進諸国では、気候変動問題対策としての政策は、単独ではなく将来の供給安定性を始めとするエネルギー戦略の一部として策定されているものが多い。経済政策の多くは特定の産業やそのR&Dに対する補助金（優遇税制を含む）であり、その他にも環境税や排出権取引の導入事例がある。ここで用いられる環境税は形式上はポーモル＝オーツ税に近いものであるが、それを含めこれらの経済政策はターゲットとなる環境負荷水準が明確でないものが多い。

(1) 日本のエネルギー政策（参考：新エネルギー・産業技術総合開発機構[69][70]）

日本のエネルギー政策はオイルショックに伴う脱石油の取り組みに端を発しており、上述の通り普及促進の必要な技術の新エネルギーとし、これらを石油代替エネルギーと位置づけている。法律としては「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」(1997年)により新エネルギーに関する方針や指針の策定について定められた。また、省エネルギーに関しては「エネルギー使用の合理化に関する法律」(1979年)により、事業所に対してエネルギー合理化の努力を求めるとともに、自動車の燃費や電気製品の消費効率の基準を最も優れた機器に基づいて設定するトップランナー方式と呼ばれる制度を採用し、日本製品のエネルギー効率の向上に貢献したと言われている。個々の技術に対する補助は、新エネルギー・産業技術総合開発機構や新エネルギー財団を中心に導入促進や補助など各種のプログラムを実施している。

(2) アメリカのエネルギー政策（参考：新エネルギー・産業技術総合開発機構[71][72][73]）

アメリカのエネルギー政策は、省エネルギー、インフラ、持続型エネルギー、環境、エネルギーセキュリティを統括的に含んだ「国家エネルギー政策」(2001年)が基本政策となっているが、これと

は別に持続型エネルギーに関して「分散型エネルギー源に関する戦略計画」(2000年)が定められている。個別技術の促進事業としては、気候変動問題への対応として既存技術の効率向上を目的とした「Vision21プログラム」の他、風力発電、太陽光発電、地熱発電、コジェネレーションに対してそれぞれプログラムが実施されている。また、持続型エネルギーに対する補助金や税制優遇措置、そしてグリーン電力制度が導入されている。

(3) EUのエネルギー政策 (参考:新エネルギー・産業技術総合開発機構[77][78])

エネルギー自給率と気候変動対策を軸とした「エネルギーの供給安全に関する欧州戦略に関するグリーン・ペーパー」(2000年)が発表され、電力に関しては持続型エネルギーの割合を2010年までに約2割にすることを目標とする指令が公示された。具体的なプログラムとしては持続型エネルギーや省エネルギーの促進の他、エネルギー貯蔵技術やCO₂固定技術などを含めたエネルギーシステムの再構築に向けて、欧州全体でのR&D態勢の統合と強化を図る「第6次枠組みプログラム」が2002~2006年に実施された。

(4) イギリスのエネルギー政策 (参考:新エネルギー・産業技術総合開発機構[74][75])

イギリスでは気候変動問題への対策にターゲットを絞った政策を導入しており、「国家気候変動計画」(2000年)において、排出量を2010年に20%削減するという目標を設定した。また、化石燃料に対する環境税である「気候変動税」や排出権取引制度など、気候変動問題に関して積極的に対策を進めている。また、持続型エネルギー関連の製造業者の育成などにも取り組み、環境対策を雇用創出や輸出拡大にまでつなげようという戦略を持っている。

(5) ドイツのエネルギー政策 (参考:新エネルギー・産業技術総合開発機構[76]、飯田[20])

環境政策を掲げる緑の党が1998~2005年まで連立政権に加わったため、ドイツの環境政策は世界的に見ても積極的であり、2030年の温室効果ガスの排出量を1990年から40%削減する目標を掲げている。政策の内容は主に環境税で、産業界の抵抗を押し切って導入、さらには強化を進めてきた。また気候変動対策だけでなく、原子力発電所についても段階的廃止を決定した。持続型エネルギー電力については、1990年代の「電力買取法」とそれに続く「再生可能エネルギー促進法」に基づき高価格の買取を実施し、特に太陽光発電については市場価格を大きく超える価格で買い取っているため、消費者(持続型エネルギーに関しては生産者)のインセンティブが強く、普及が急速に進んだ。ただし、緑の党が2005年に政権を離れた影響が今後どのように環境政策に表れるかが注目されている。

(6) フランスのエネルギー政策 (参考:福井[8])

フランスはエネルギー供給に対する原子力発電の依存度が高く、温室効果ガスの排出量が他国と比較して低かったこともあり、持続型エネルギーの普及促進に関しては、電力の固定価格買取制度や財政補償メカニズムなどがあったものの、それほど関心は持たれていなかった。しかし、2003年の猛暑により気候変動への関心が高まったこととEUの指令を受けたことから、持続型エネルギー促進を含むエネルギー基本法案が審議された。促進方法は税制の優遇処置が中心になるものと思われる。

1.6 研究の目的

これまで見てきたように、先進諸国は気候変動問題を今世紀における重要な問題と認識し、程度の差はあるものの、持続型エネルギーの普及促進や省エネルギーを目的とした政策を導入してきた。しかしそれらの内容は、特定の温室効果ガスの排出量や濃度をターゲットとした戦略的なものというよりは、各産業（特にエネルギー産業）および消費者（有権者）に配慮した政治的な決められ方をしたものが多く、これは政治的要因そのものの他に、施策と効果を結びつける知見が不足していることが大きな原因の一つと考えられる。必要とされる持続型エネルギー導入量や省エネルギー量を求めることはできても、それを実現するための施策である補助金あるいは環境税がどの程度の導入量、省エネルギー量につながるのかという部分に未知の要因が多く残されている。

政策の費用対効果やさまざまな社会経済的側面への影響などを事前または事後的に評価する政策評価の手法に関する研究は近年進んでおり、また実際の行政の場にも導入されてきている。このような総合評価の有力なツールの一つがモデルシミュレーションである。一般的なモデルは経済モデルを中心としたもので、環境政策や環境技術の要素をパラメータ化してモデルに組み込むことにより、経済と環境の両面が考慮された実効性の高い評価が可能になる。気候変動問題の緩和に関して経済政策の貢献する度合いを評価するためのモデルとして AIM(AIM プロジェクトチーム[1])や MARIA(森 [38]) などいくつか開発されており、マクロな長期経済予測に一定の成果を挙げている。

政策評価の意義にはその効果を高めるための管理と、国民や地域住民に対する説明責任との 2 つの側面があるが、そのためにはさまざまな価値観を包括的に考慮しなくてはならない。環境政策に関しても、気候変動だけではなく資源枯渇、生物多様性から景観までさまざまな環境問題に対するさまざまな価値観が交錯しているため、それらを単一の尺度にまとめた上で政策の評価を行うのは困難な作業になる。さらに、数値による指標の存在しない要因（例えば景観）を評価するためには、それを数値化する作業が追加的に必要となるため、政策評価はさらに煩雑となる。汚染物質の量や濃度といった数値評価の可能な要素に限定しても、従来の環境政策やそれに寄与する環境技術の評価はその目的とする要素のみの評価にとどまり、副次的な影響を無視した一面的なものが主であった。従って、例えば水質浄化のための政策が温室効果ガスの排出量の増加を引き起こすといった問題が発生する可能性を払拭できなかった。政策の実行に際しては国民や地域住民とのコミュニケーションやコンセンサス、そしてそのための説明責任が今後ますます重視されるようになって考えられるが、それと共に、環境政策の評価を総合的に行うことの重要性、そして政策と同様に環境技術の総合的な評価を行うことの重要性も増しているのである。

ここで総合評価を行う際の重要な概念が物質収支である。環境問題はそのほとんどが物質によって引き起こされるが、元素は核反応を例外として生成も消滅もしない。従って、製造にしても廃棄物処理にしても、あるプロセスを取れば元素ベースで見た投入量と排出量は等しい。窒素を例にとると、排出される窒素が分子として空気中に排出されれば無害であるが、酸化物になれば大気圏における環境負荷になり、硝酸態になれば水圏、地圏における環境負荷になり、亜酸化窒素になれば強力な温室効果を持つ。こういった物質収支の均衡の概念は従来の投入産出モデルにも見られるものであるが、

環境負荷物質について同様の投入産出関係をモデル中で表現することにより、排出される物質の形態による挙動、そしてそれに及ぼす政策や技術の効果や影響の総合評価が可能になる。氷鮑はこうした物質収支の概念を中心に据え、価値循環を考慮したモデルによる環境付加価値税を導出した(氷鮑[12])。その後環境経済政策の評価を行った同様の例として、投入産出モデルをベースとして温室効果ガス排出量の制約下で GDP を最大化するための最適環境税率を求めた研究(櫻井ら[54])や、持続型エネルギーの導入促進政策として環境税の最適税率のシミュレーションを行った例(李ら[37])などが挙げられる。

しかし、持続型エネルギーの場合には普及によるコスト低下や廃棄物リサイクル、またそれらの持つ環境価値に対する需要といった特殊要因が多く、これまでに挙げた研究例はそれらを十分に考慮しているとは言えない。持続型エネルギーの普及やそれが気候変動問題の緩和に及ぼす効果を求めるためには、そういった特殊要因を考慮したモデルによる評価が必要であると考えられる。

本研究は以上のような背景を鑑み、循環型社会に適し気候変動問題の緩和に貢献する持続型エネルギー技術の特殊性を考慮した総合評価モデルを構築し、それをを用いたシミュレーションにより、経済政策が持続型エネルギー技術の普及の促進に与える効果や、その普及を通じて日本全体の経済規模や産業構造、そして温室効果ガス排出量に与える効果を評価するとともに、適切な政策のあり方についての提言を行うことを目的とする。経済政策としては温室効果ガス排出税と特定の産業に対する補助金、または温室効果ガスの総排出量に対する制約を考える。本研究の構成を図 1-5 に示す。第 2 章ではエネルギー技術としてバイオマス系廃棄物のエネルギーリカバリーを取り上げ、廃棄物のフローや廃棄物処理産業を導入したモデルによる普及促進策の評価を行う。また第 3 章では住宅用太陽光発電技術を取り上げ、習熟効果と環境価値を考慮した持続型エネルギーの成長モデルを開発し、それと総合評価モデルを組み合わせることにより住宅用太陽光発電の普及促進策の評価を行う。第 4 章では第 2 章および第 3 章の結果を踏まえ、取り上げた持続型エネルギーの最適な普及促進政策についての考察および提言や、さらに持続型エネルギー全体の普及促進や気候変動対策についての政策提言を行い、さらにシミュレーションモデルを含めた本研究の今後の可能性について言及する。

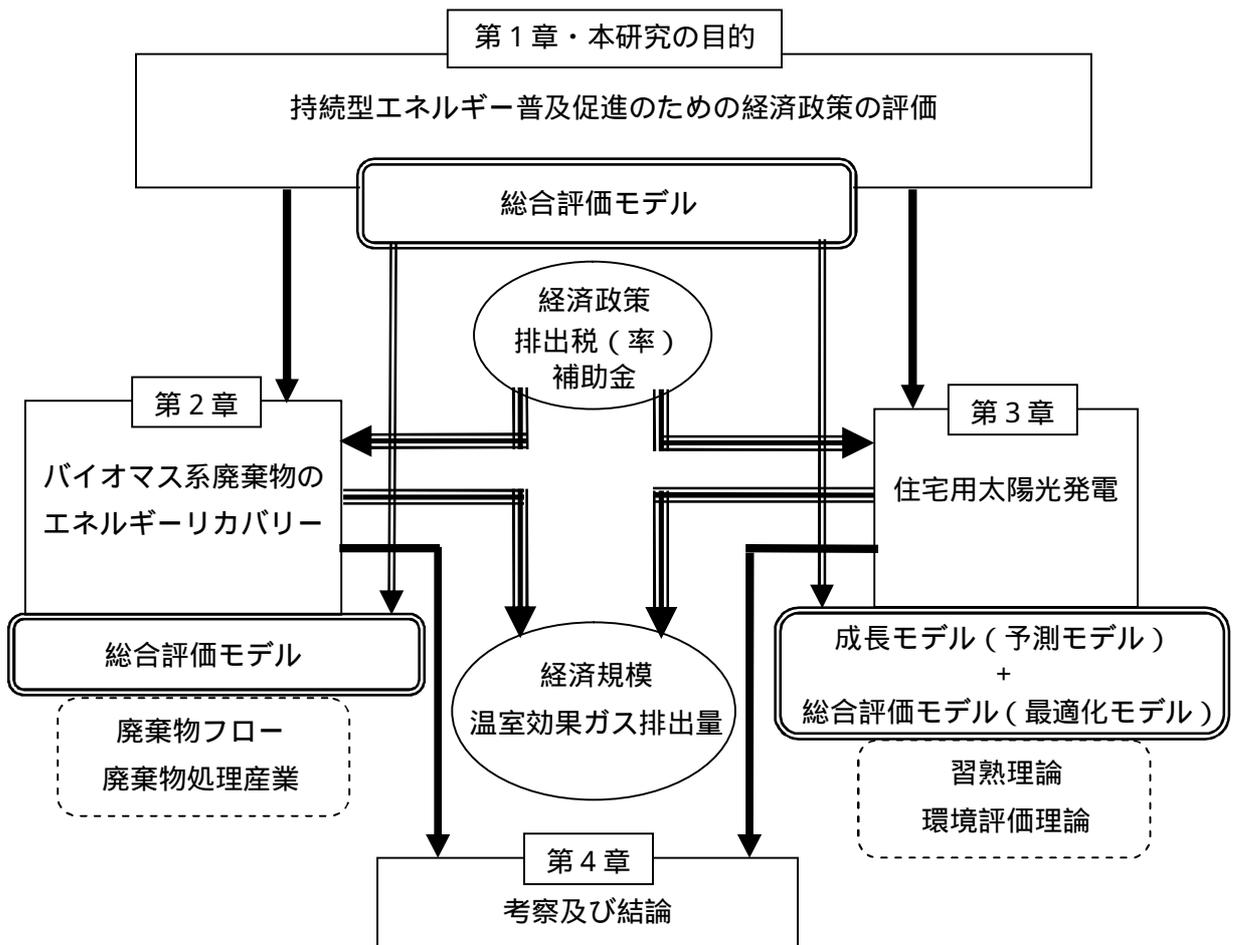


図 1-5 本研究の構成

第2章 廃棄物のエネルギーリカバリー技術とその普及促進政策の評価

2.1 はじめに

2.1.1 本章の背景と目的

持続可能な社会の中心的な概念は、人類の経済活動に伴う環境負荷と、それを自然界が処理するスピードが釣り合った循環型社会であるが、その構築のためには現状の環境負荷をかなりの割合で低減させる必要がある。環境負荷は経済活動の出発点である資源採取と到達点である最終廃棄の双方で発生し、また現在の経済活動はそれらを結ぶ一方向の流れが主である。循環型社会の循環とは社会経済システムと自然システムの双方にまたがる全地球的なものであるが、一方では経済活動の出発点と到達点をつなぐことでも部分的な循環が達成される。このことを考えると、循環型社会への第一歩として廃棄物の活用を考えるのは最も単純かつ自然な発想と言える。それは環境負荷の低減と資源枯渇問題への貢献という両面でのメリットを持つが、その他にも最終処分場の立地や容量の問題の緩和など多面的な効果をもたらす。

廃棄物とその処理アクティビティの投入産出関係を明らかにした代表的な研究として、中村によるもの(Nakamura[45])や、それをもとに産業連関表形式にまとめた「廃棄物産業連関表」(中村[46])などが挙げられる。内田らはこれを政策評価に応用し、9つの廃棄物エネルギーリカバリー産業とそれをサポートする廃棄物処理産業を設定し、従来の財や価値のフローに加えてエネルギーや廃棄物のフローも考慮した静学シミュレーションモデルを開発した上で、エネルギーリカバリー技術やその導入促進政策の評価を行った(内田ら[94])。本章ではそれを動学モデルに発展させた上で、環境政策を導入した場合のエネルギーリカバリー産業や廃棄物処理産業に及ぼす促進効果や、経済規模、産業構造、温室効果ガス排出量そして廃棄物量の削減に与える影響の評価を行うことを目的とする。

以下 2.1.2 項では廃棄物のエネルギーリカバリーについて述べ、2.2 節ではシミュレーションモデルの説明、2.3 節ではシミュレーション結果、そして 2.4 節でまとめを行う。

2.1.2 廃棄物のエネルギーリカバリー

2.1.2.1 廃棄物の再利用方法の比較

廃棄物の再利用の方法としてはリユース、マテリアルリサイクル、エネルギーリカバリー(サーマルリカバリー)がある。このうちリユースは物理的、化学的プロセスがほとんどないため環境負荷が小さく、3つの中では最も優先されるべき方法であるが、リユース可能な廃棄物は限定されており、量的な割合は小さい。マテリアルリサイクルとエネルギーリカバリーを比較すると、材料としての価値を活用することができ、最終廃棄の不要なマテリアルリサイクルが一般的には好ましいとされているが、複雑なプロセスや大量のエネルギーを必要とする場合、必ずしも環境負荷が低いとは限らず、エネルギーリカバリーによって化石燃料の消費量を削減した方がよいケースもある。従って、どちらが適切かについては LCA の観点からケースバイケースでの評価が必要である。また、マテリアルリサイクルを行う場合、材料としての品位がリサイクルプロセスにおいて追加的に投入されるコストや

エネルギーを左右するため、それが適切といえるのはある程度の品位が確保されたものに限定される。これに対してエネルギーリカバリーは、プロセスが原料となる廃棄物の品位にあまり左右されない利点があり、より幅広い対象を活用することができる。こうした利点は評価や分析の際にも煩雑さを避けることができる点で有利である。

2.1.2.2 廃棄物のエネルギーポテンシャル

廃棄物のうち、エネルギーリカバリーの可能なものは生物由来であるバイオマス系の廃棄物と石油由来のプラスチックである。バイオマス系廃棄物のポテンシャルエネルギーを表 2-1 に示す。また、平成 16 年度の産業廃棄物中の廃プラスチックの排出量は 593.9 万 t (環境省[26]) で、廃プラスチックの発熱量を 37.7MJ/kg とする (日本エネルギー学会[48]) とそのポテンシャルは 224PJ となり、バイオマス系と合わせた廃棄物のエネルギーポテンシャルは 1,771PJ ということになる。2005 年度の最終エネルギー消費量が 16,015PJ である (経済産業省[32]) から、理論上はその 1 割強を廃棄物から得ることができる。

2.1.2.3 バイオマスのエネルギー技術

エネルギー利用という観点から見た場合のバイオマス廃棄物の利用形態を左右する重要な特性は含水量である。生ごみ、畜産廃棄物、下水汚泥といった湿潤バイオマスと、それ以外の乾燥バイオマスでは適した処理方法が異なる。

(1) 直接燃焼

最も原始的な処理方法としては廃棄物を焼却し、熱利用または発電する燃焼発電が挙げられる。我が国で従来一般的に行われてきた廃棄物処理方法である焼却に熱回収・発電システムを付ければ可能であるから技術的・経済的には有利な方法である。こうした直接的な燃焼による利用はバイオマスの持つ化学ポテンシャルエネルギーを燃焼によって熱エネルギーに変換し、それを回収する方法であるが、熱エネルギーは他のエネルギーへの変換効率が低く、輸送や保存が困難であるため、プラントの段階で発生させてしまうと後の利用が難しい。得られた熱エネルギーを電気エネルギーに変換する燃焼発電はエネルギー効率が 10～15%程度と低く、熱利用は近隣での利用に限定される。そこで発電効率の欠点を改善するため、ガスタービンと組み合わせて効率を上げた技術が開発され、スーパーごみ発電と呼ばれている。これは廃棄物の焼却によってボイラから発生する蒸気をガスタービンの余熱で加熱することで蒸気タービンの出力を向上させるもので、エネルギー効率は 20～25%になるが、ガスを使用するため今のところ純粋な持続型エネルギーではない。これらの方法は湿潤・乾燥どちらのバイオマスも処理が可能であるが、湿潤バイオマスの場合は水分を気化させるためにエネルギーを浪費し効率が悪化するため、後述の生物学的処理の方が適しているとされる。

(2) 熱化学的処理

廃棄物の化学ポテンシャルエネルギーをプラントの段階で熱エネルギーに変換してしまう直接燃焼に対し、バイオマスを高温で分解させガスや油といった燃料に変換する方法が熱化学的処理である。

表 2-1 バイオマス系廃棄物のエネルギー賦存量

	エネルギー量 (PJ)	
	予測賦存量	エネルギー利用可能量
林地残材	93.3	66.6
製材廃材	120.4	50.1
建築廃材	111.2	106.7
未利用樹, ささ, 竹	214	214
古紙	312.6	44
稲わら	116	77.4
もみ殻	25	7
家畜糞尿	182.7	182.7
食品販売廃棄物	32	32
食品加工廃棄物	218	218
廃食用油	16	12
厨芥ごみ (家庭)	25	25
下水汚泥	77.6	77.6
し尿	3.4	3.4
合計	1,547	1,117
原油換算 (万 kl)	4,022	2,903

(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[79])

燃料への変換では化学エネルギーが保持され、末端のエネルギー需要者が燃料を使用する段階で熱エネルギーをはじめそれぞれのエネルギーに変換されるため、トータルなエネルギー効率は直接燃焼よりも優れており、理論的には30～40%になると言われている。現在は一部で導入されているが、技術的には進歩の途上であり、研究開発が進められている段階である。この方法も直接燃焼と同様、湿潤バイオマスの場合はエネルギー効率が低下する。

(3) 生物学的処理

嫌気性細菌による発酵を利用した処理方法で、メタンガスを回収して燃料とするのが最も広く行われている方法である。発酵自体は廃棄物処理や肥料製造の目的で伝統的に行われてきた方法だが、これまで空气中に放出されていたメタンガスに着目することによりエネルギープロセスとして見直されたものである。処理は水中で行われるため、湿潤バイオマスを乾燥させる必要がなく、これらの処理に適した方法であるがシステム自体のエネルギー効率は直接燃焼や熱化学的処理に劣るため、乾燥バイオマスには適さない。またメタンガスは二酸化炭素の20～30倍の温室効果を持つため、これまで空中に放出されてきたメタンガスをエネルギー利用することは、気候変動対策として二重の効果がある。メタンガス以外に水素やエタノールを得る目的で発酵技術が用いられることがあるが、原料である廃棄物の組成に制約があり、その処理方法としては適していない。

(4) その他の物理的・化学的処理

以上の方法は廃棄物の組成が比較的問われない、幅広い対象を扱うことのできる技術であるが、その他に特定の廃棄物を対象とした技術も利用されている。

木質系の廃棄物は、破碎の後ペレット状に成型され、木質ペレットとしてペレットストーブの燃料になり家庭用の暖房に用いられる。また木質系廃棄物を発酵させてエタノール（バイオエタノール）を得る技術もある。エタノールはガソリンに混合することで乗用車の燃料として利用できる。

廃食用油については、メタノールと混合してメチルエステル化することによりディーゼルエンジンの代替燃料が得られる。これはバイオディーゼルと呼ばれる。ディーゼル燃料の代替燃料としてはジメチルエーテルも有力視されている。これは一般的にはメタノールから化学的プロセスにより製造されるが、熱化学的処理で得られたガス（水素、一酸化炭素など）から生成することもできる。

2.2 シミュレーションモデル

2.2.1 モデルの概要

本章で作成したシミュレーションモデルは、物質収支と価値循環を考慮した投入産出双対モデルをベースに、各部門が排出する廃棄物のフロー、それを原料として投入する新しいエネルギー産業（以下、本章ではこれを新エネルギー産業と呼ぶ）、各部門からの温室効果ガス排出、そして税金と補助金または排出量制約からなる経済政策を新たに考慮した社会経済環境モデルである。生産関数としてはレオンチェフ型のものを用い、本源的生産要素（土地、労働、資本）と中間投入はともに生産量と一次同次の関係にある。同様に、廃棄物や温室効果ガスの排出量も固定的排出係数により生産量に比

例するとした。このような線形関係を仮定するのは 1.6 項で述べたとおり、環境問題に関しては物質収支を重視する必要があるためであり、生産量や環境負荷などの物質面について収支のバランスを忠実に表現しているのがこのような線形関係であるからである。

本モデルで経済活動を行う経済主体として設定したのは産業、民間消費部門、公的部門の 3 つで、産業は大きく分類すると通常財・サービス（以下、財とサービスを総称して財として扱う）、従来エネルギー、新エネルギー、廃棄物処理の 4 つである。各主体の間の物質フローを図 2-1 に示す。物質フローは財の他、廃棄物と温室効果ガスから構成される。資源を利用して製造された通常財は各部門で消費され、廃棄物となる。それらがそのまま自然システムに放出されると大きな環境負荷となるが、本モデルでは新エネルギー産業が廃棄物を利用してエネルギーを製造するため環境負荷が小さくなることが期待される。また、同様に化石燃料の使用に伴って排出される温室効果ガスの量も、新エネルギーの導入により削減されると考えられる。新エネルギー産業に利用されなかった廃棄物は廃棄物処理産業によって処理され、最終廃棄される。

図 2-2 には価値フローおよびエネルギーフローを示す。価値フローは財やエネルギーの消費の対価としての支払いと税金・補助金から成る。単独では価値バランスが釣り合わず事業として成立しにくい新エネルギー産業と廃棄物処理産業には補助金が支給され、その財源として化石燃料の使用に伴う温室効果ガスの排出に対する税金が充てられる。エネルギー資源の消費を伴う従来エネルギーが新エネルギーに代替されることにより資源の消費量が減少する。

それぞれの産業の売り上げの一部は所得として民間消費部門に分配され、さらにその一部が貯蓄され、投資（粗投資）が行われる。減価償却を控除した純投資の正負により各産業の資本ストックは各期にわたって増減し、その量に応じた生産が行われる。このようにして産業構造が変化することにより、制約のもとでの動学的な経済活動の最大化が行われる。

4 つの産業はさらに個別の産業に分けられる。通常財は表 2-2 に示す 18 の産業に分類した。また従来エネルギーは表 2-3 に示す 14 の産業、新エネルギーは表 2-4 に示す 9 つの産業に分類した。新エネルギー産業はすでに導入されている技術および実証プラントの段階にある技術のうち、有望と思われるものを選んだ。2.1.2.3 項との関連でこれらについての捕足を行うと、メタン発酵は生物学的処理で湿潤バイオマスからメタンガスを回収する方法、合成ガスは熱化学的処理で一酸化炭素や水素を主成分とするガスを得る方法、エチルアルコールは木質系廃棄物から発酵によってバイオエタノールを得る方法である。燃料電池は通常バイオマス利用技術としては扱われないが、本章では合成ガスの利用方法として選択肢に含めた。合成ガスはジメチルエーテルと燃料電池に利用される中間的な燃料である。また、従来エネルギーと新エネルギーとの競合関係を表 2-5 に示す。同じ種類にあるエネルギー同士のみが競合関係にあり、代替が起きるとした。廃棄物処理産業については「廃棄物産業連関表」（中村[46]）の分類を参考に、表 2-6 に示すように分類した。

以上のように分類された各経済主体のフロー条件と温室効果ガスの全排出量を制約とし、GDP を目的関数として最大化することにより、気候変動問題への対策と経済活動の両立が最大限に考慮された、税率や補助金の配分といった政策やその時の各アクティビティの値を求めることができる。環境問題を取り扱った最適化シミュレーションを行う場合、温室効果ガスなどの環境指標を目的関数とするか、GDP にしても環境要因を取り入れたグリーン GDP のような指標を最大化するといった研究

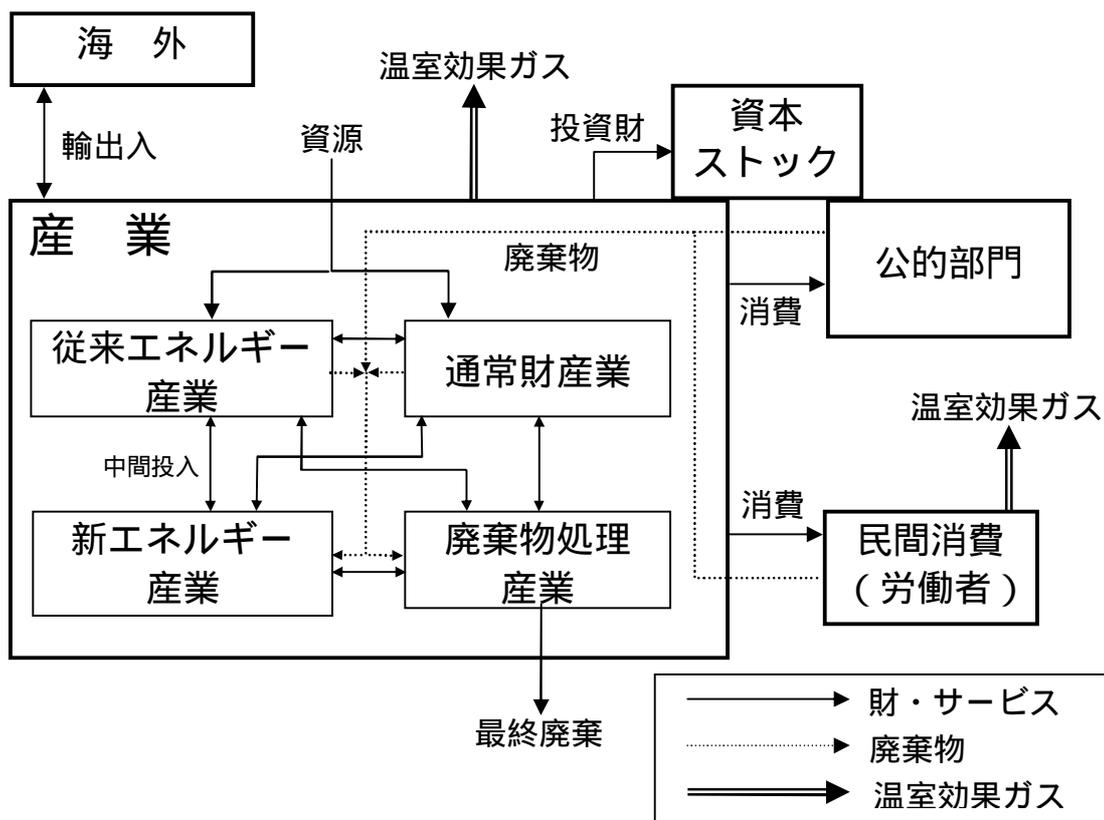


図 2-1 シミュレーションモデルにおける各経済主体間の物質フロー

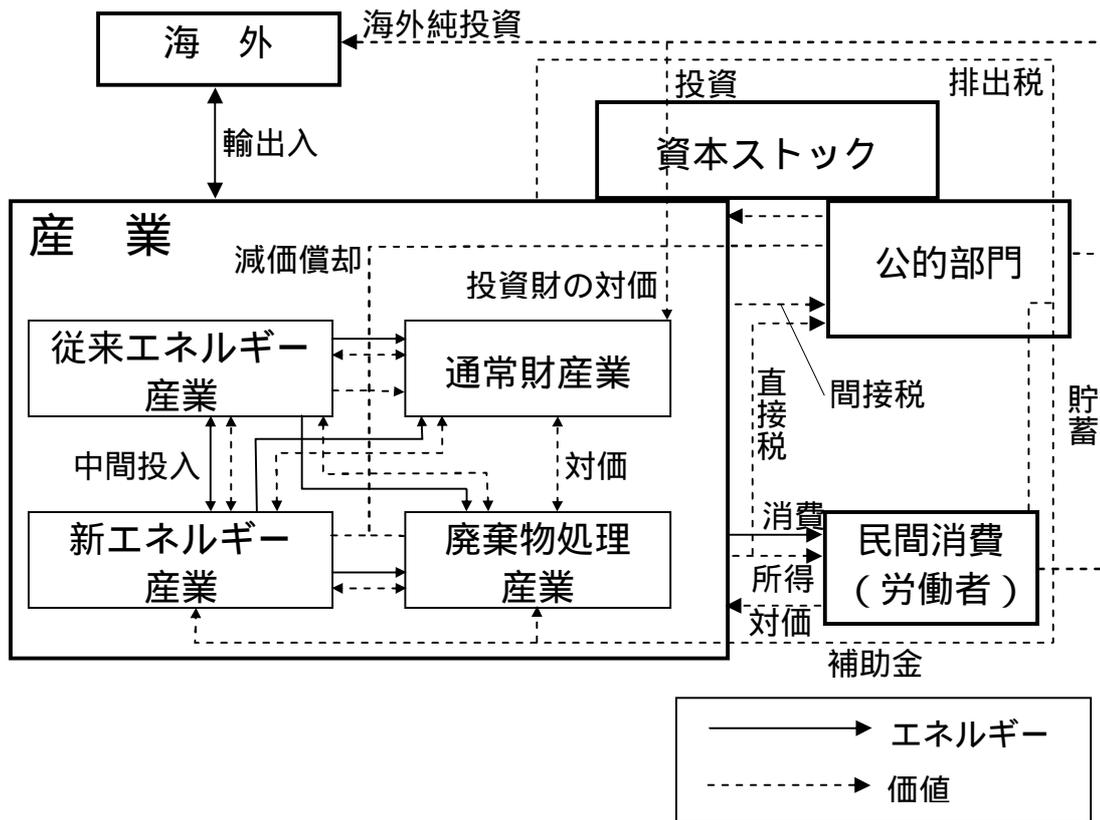


図 2-2 シミュレーションモデルにおける各経済主体間の価値フローおよびエネルギーフロー

表 2-2 通常財産業の分類

番号	産業名	産業連関表上の分類（数字はコード）
1	耕種農業	中分類 001「耕種農業」
2	畜産+農業サービス	中分類 002「畜産」003「農業サービス」
3	林業	中分類 004「林業」
4	漁業	中分類 005「漁業」
5	金属鉱物+非金属鉱物	中分類 006「金属鉱物」007「非金属鉱物」
6	食料品	大分類 03「食料品」
7	繊維・パルプ・紙・木製品	大分類 04「繊維製品」05「パルプ・紙・木製品」
8	素材	大分類 06「化学製品」08「窯業・土石製品」
9	金属・機械	大分類 09「鉄鋼」10「非鉄金属」11「金属製品」12「一般機械」13「電気機械」14「輸送機械」15「精密機械」
10	その他の製造工業製品	大分類 16「その他の製造工業製品」
11	建設	大分類 17「建設」
12	水道業	基本分類列コード 5211-01「上水道・簡易水道」 基本分類列コード 5211-02「工業用水」
13	下水道	基本分類列コード 5211-03「下水道」
14	商業	大分類 20「商業」
15	鉄道輸送	中分類 078「鉄道輸送」
16	道路+自家輸送	中分類 079「道路輸送」080「自家輸送」
17	上記以外の運輸・通信業	中分類 081「水運」082「航空輸送」083「貨物運送取扱」084「倉庫」085「運輸付帯サービス」大分類 24「通信・放送」
18	公務・サービス他	大分類 21「金融・保険」22「不動産」25「公務」 26「教育・研究」27「医療・保健・社会保障・介護」 28「その他の公共サービス」29「対事業所サービス」 30「対個人サービス」31「事務用品」32「分類不明」

表 2-3 従来エネルギー産業の分類

番号	産業名	産業連関表上の分類
1	石炭	中分類 008「石炭」
2	原油	基本分類行コード 0721-011「原油」
3	天然ガス	基本分類行コード 0721-012「天然ガス」
4	ガソリン	基本分類行コード 2111-011「ガソリン」
5	灯油	基本分類行コード 2111-013「灯油」
6	軽油	基本分類行コード 2111-014「軽油」
7	その他の石油製品	基本分類行コード 2111-012「ジェット燃料油」 2111-015「A 重油」2111-016「B 重油・C 重油」 2111-017「ナフサ」2111-018「液化石油ガス」 2111-019「その他の石油製品」
8	石炭製品	中分類 030「石炭製品」
9	事業用原子力発電	基本分類列コード 5111-01「事業用原子力発電」
10	事業用火力発電	基本分類列コード 5111-02「事業用火力発電」
11	水力・その他の事業用発電	基本分類列コード 5111-03「水力・その他の事業用発電」
12	自家発電	基本分類列コード 5111-04「自家発電」
13	都市ガス	小分類 5121「都市ガス」
14	熱供給業	小分類 5122「熱供給業」

表 2-4 新エネルギー産業の分類

番号	産業名	競合する財	利用する廃棄物
1	メタン発酵	天然ガス	動物の糞尿，有機汚泥，厨芥
2	合成ガス		木くず，都市ごみ
3	木質ペレット	灯油	木くず
4	ジメチルエーテル	軽油	合成ガス
5	エチルアルコール	ガソリン	木くず
6	バイオディーゼル	軽油	廃油
7	燃焼発電	各種事業用電力	木くず，都市ごみ
8	スーパーごみ発電	各種事業用電力	木くず，都市ごみ
9	燃料電池	各種事業用電力	合成ガス

表 2-5 エネルギーの代替関係

No.	エネルギーの種類	従来エネルギー	新エネルギー
1	原料（固体燃料）	石炭	
2	原料（液体燃料）	原油	
3	原料（気体燃料）	天然ガス	メタン発酵
4	ジメチルエーテル，燃料電池の原料		合成ガス
5	家庭用暖房用の燃料	灯油	木質ペレット
6	乗用車用の燃料	ガソリン	エチルアルコール
7	ディーゼル車の燃料	軽油	ジメチルエーテル バイオディーゼル
8	その他の液体燃料	その他の石油製品	
9	固体燃料	石炭製品	
10	業務用電力	事業用原子力発電 事業用火力発電 水力・その他の事業用発電	燃焼発電 スーパーごみ発電 燃料電池
11	自家発電	自家発電	
12	気体燃料	都市ガス	
13	熱	熱供給業	

表 2-6 廃棄物処理産業の分類

番号	廃棄物	「廃棄物産業連関表」(中村[46])の分類
1	厨芥	厨芥
2	紙・繊維	紙類, 繊維類
3	廃プラスチック類	廃プラスチック類
4	金属・ガラス類	鉄屑, 非鉄金属屑, 生き瓶, ガラス屑, 陶磁器類
5	ゴム類	ゴム類
6	動植物性残渣(含草木)	動植物性残渣(含草木)
7	煤塵・焼却灰・鉍滓	煤塵, 焼却灰, 鉍滓
8	木くず	木くず
9	有機汚泥: 中間処理後	有機汚泥: 中間処理後
10	無機汚泥: 中間処理後	無機汚泥: 中間処理後
11	廃油	廃油
12	動物の糞尿	動物の糞尿
13	動物の死体	動物の死体
14	その他	廃酸, 廃アルカリ, 建設廃材, 粗大ごみ, 溶融スラグ

例が多いが、例えば環境指標を最小化するような場合、最低限の経済活動を何らかの形で保証しないと全ての活動が停止された状態が最適解となってしまう。最低限の経済活動を保証する、つまり経済を制約として環境を最適化する問題は、本研究で行う環境を制約とした経済の最適化とは形は異なるが経済と環境とのトレードオフ関係という同一のものを求めていることになる。また、現実には各主体が行う経済活動を規定しているのは企業の利潤や個人の効用の最大化といった原則であり、付加価値を意味する GDP の最大化はそうした行動原理とも整合的である。さらに、現実の環境問題で制約となりうるのは GDP ではなく環境指標である。ある国の政府が GDP に上限を設けて環境問題を解決しようとした例は恐らく存在しない。このことから考えても、環境を制約とした GDP の最大化問題という本研究のシミュレーションモデルの方が現実と整合的であると言える。一方、目的関数に経済と環境の双方の要因を考慮した指標を置くことは、政策の意思決定における両者のウェイトを決定してから最適解を求めることになるが、その場合は特定の価値判断に基づく結論しか得られない。本研究ではシミュレーション結果に基づく政策提言を行っているが、異なる価値判断基準のもとではその結論は変わってしかるべきである。こうした政策研究にはそのような柔軟性や汎用性が確保されているべきであり、従ってモデルシミュレーションに重要な価値判断を導入することは避け、環境と経済のトレードオフ関係を描くことに重点を置いた。

シミュレーションの実行には、米 Lindo Systems 社の線形計画用ソフト LINGO を使用した。

2.2.2 モデルの詳細

本モデルは基準年を 2000 年とした 11 期の動学モデルである。特に断りが無い限り、制約式は各期のそれぞれにおいて成立している。なお、本論文ではベクトルと行列をボールド体で表記する。

(1) 通常財のフロー条件

$$\begin{aligned} X_n = & A_{nn} X_n + A_{ne} X_e + A_{ns} X_s + A_{nw} X_w + C_n + \bar{G}_n \\ & + Q_n \Delta K_n + Q_e \Delta K_e + Q_s \Delta K_s + Q_w \Delta K_w + \Delta K_g Q_g + \bar{E}_n - M_n \end{aligned} \quad (2-1)$$

ここで

- X_n : 通常財産業の生産アクティビティ, 列ベクトル, 内生
- X_e : 従来エネルギー産業の生産アクティビティ, 列ベクトル, 内生
- X_s : 新エネルギー産業の生産アクティビティ, 列ベクトル, 内生
- X_w : 廃棄物処理産業の生産アクティビティ, 列ベクトル, 内生
- A_{nn} : 通常財の通常財産業への投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-7)
- A_{ne} : 通常財の従来エネルギー産業への投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-6)
- A_{ns} : 通常財の新エネルギー産業への投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-8)
- A_{nw} : 通常財の廃棄物処理産業への投入係数, 行列, 外生 (表 A-2-9)
- C_n : 通常財の民間消費, 列ベクトル, 内生
- \bar{G}_n : 通常財の公的消費, 列ベクトル, 外生 (表 A-2-22)
- Q_n : 通常財産業の資本形成係数, 行列, 外生 (表 A-2-31)

- Q_e : 従来エネルギー産業の資本形成係数, 行列, 外生 (表 A-2-29)
 Q_s : 新エネルギー産業の資本形成係数, 行列, 外生 (表 A-2-32)
 Q_w : 廃棄物処理産業の資本形成係数, 行列, 外生 (表 A-2-33)
 Q_g : 公的部門の資本形成係数, 列ベクトル, 外生 (表 A-2-30)
 ΔK_n : 通常財産業の粗投資, 列ベクトル, 内生
 ΔK_e : 従来エネルギー産業の粗投資, 列ベクトル, 内生
 ΔK_s : 新エネルギー産業の粗投資, 列ベクトル, 内生
 ΔK_w : 廃棄物処理産業の粗投資, 列ベクトル, 内生
 ΔK_g : 公的部門の粗投資, スカラー, 内生
 \bar{E}_n : 通常財の輸出, 行列, 外生 (表 A-2-21)
 M_n : 通常財の輸入, 行列, 内生

この式は左辺の供給と右辺の需要との財ごとのバランスを表している。右辺第 1 から第 4 項は他の産業の中間投入需要, 第 5, 第 6 項は最終消費需要, 第 7 から第 11 項は各産業の粗投資に伴う投資財需要, 第 12 項は輸出需要, 第 13 項は輸入 (控除) である。変数にバーがついているものは, 通常は内生変数だが本モデルでは外生値として与えていることを強調したものである。

外生変数の多くは 2000 年の産業連関表 (総務省[92]) の数値を本章で用いた分類に再集計して求めた。ただし新エネルギー産業の各種外生変数はデータのソースが異なるため, 求め方を一括して後述する。従って本項での各産業に関する説明は新エネルギー産業を除く。

投入係数は産業連関表 (総務省[92]) の産出表の投入額を国内総生産で割ることにより求め, 資本形成係数は産業連関表 (総務省[92]) の固定資本マトリックスの要素である各財の投入額を部門ごとの合計で割ることにより求めた。ただし廃棄物処理産業の値としては下水道業の値を用いた。公的消費と輸出額は各期を通じて一定とし, その値はそれぞれ統合大分類コード 37 「一般政府消費支出」列とコード 45 「輸出計」のものを用いた。なお, 産業連関表の統合大分類のコード 40 「在庫純増」は本モデルでは考慮せず, 国内総生産と輸入からそれぞれの比率で差し引いた。

輸入は内生変数だが, 国内需要との比率が一定かつ基準年のデータに一致するようにした。つまり次式が成立する。

$$\tilde{M}_n (\bar{X}_n - \bar{E}_n + \bar{M}_n) = \tilde{M}_n (X_n - \bar{E}_n + M_n) \quad (2-2)$$

カッコ内が国内需要を表している。ここで, \tilde{M}_n のようにチルダのついたものはもとのベクトルを対角行列化したもの, \bar{M}_n のように内生変数にバーのついたものは産業連関表における基準年のデータを表す。 \bar{X}_n の値を表 A-2-39 に, \bar{M}_n の値を表 A-2-28 に示す。

(2) エネルギーのフロー条件

$$\tilde{b} X_{eng} = B'_n X_n + B'_e X_e + B'_s X_s + B'_w X_w + C'_e + \bar{E}'_e - M'_e \quad (2-3)$$

ここで

b : エネルギーの種類ごとの生産量あたりエネルギー, 列ベクトル, 外生

- X_{eng} : エネルギーの種類ごとの、従来エネルギーと新エネルギーの生産の総和、列ベクトル、内生
- B'_n : 通常財産業の生産あたりの種類ごとの消費エネルギー、行列、外生
- B'_e : 従来エネルギー産業の生産あたりの種類ごとの消費エネルギー、行列、外生
- B'_s : 新エネルギー産業の生産あたりの種類ごとの消費エネルギー、行列、外生
- B'_w : 廃棄物処理産業の生産あたりの種類ごとの消費エネルギー、行列、外生
- C'_e : 民間消費部門の種類ごとの消費エネルギー、列ベクトル、内生
- \bar{E}'_e : 輸出エネルギー、列ベクトル、外生
- M'_e : 輸入エネルギー、列ベクトル、内生

ここでは、エネルギーを表 2-5 に示したように分類し、同じ種類のエネルギー同士でのみ代替が起きると仮定して、種類ごとの関係が成立するとしている。従ってエネルギーの種類が列を形成しており、左辺における、それぞれの種類に含まれる従来エネルギーと新エネルギーの総和が右辺のエネルギー需要を満たす。左辺は本来、エネルギー生産量に対してそれぞれの生産量あたりエネルギーを乗じるべきであるが、本章では代替関係にあるエネルギー価格は一致する（エネルギー価格が一致した時に代替が起きる）と仮定し、また円価値単位で生産量を表記しているため、そのことは生産量当たりのエネルギーが一致していることと同値である。従って同じ種類の異なるエネルギーを一括して合計量で扱い、共通の係数 b をその合計に乗じることが可能となる。

さらに、基準年の円価値単位で表記されていることから b は種類ごとのエネルギー価格の逆数を要素とするベクトルであり、エネルギー価格を成分とする対角行列を両辺の左からかけることにより以下の式が得られる。

$$X_{eng} = B_n X_n + B_e X_e + B_s X_s + B_w X_w + C_e + \bar{E}_e - M_e \quad (2-3)'$$

ここで

- B_n : 通常財産業へのエネルギー財の投入係数、行列、外生（表 A-2-17）
- B_e : 従来エネルギー産業へのエネルギー財の投入係数、行列、外生（表 A-2-16）
- B_s : 新エネルギー産業へのエネルギー財の投入係数、行列、外生（表 A-2-18）
- B_w : 廃棄物処理産業へのエネルギー財の投入係数、行列、外生（表 A-2-19）
- C_e : 民間消費部門の種類ごとのエネルギー財の消費（額）、列ベクトル、内生
- \bar{E}_e : 種類ごとのエネルギー財の輸出（額）、列ベクトル、外生（表 A-2-20）
- M_e : 種類ごとのエネルギー財の輸入（額）、列ベクトル、内生

右辺の投入係数には産業連関表のエネルギー財の投入係数を用いることができ、それぞれのエネルギー価格を考慮することなくモデルシミュレーションが可能である。

なお、産業連関表では公的部門のエネルギー財の消費がないため、本モデルでも考慮していない。また、輸入に関しては(2-2)式と同様の関係が成立するとした。 \bar{X}_e の値を表 A-2-38 に、 \bar{M}_e の値を表 A-2-27 に示す。

(3) 廃棄物のフロー条件

$$X_w = A_{wn} X_n + A_{we} X_e + A_{ws} X_s + (\ell C_n + \ell C_e) A_{wc} + \ell \bar{G}_n A_{wg} \quad (2-4)$$

ここで

- A_{wn} : 通常財産業の廃棄物排出係数，行列，外生（表 A-2-13）
- A_{we} : 従来エネルギー産業の廃棄物排出係数，行列，外生（表 A-2-11）
- A_{ws} : 新エネルギー産業の廃棄物排出係数，行列，外生（表 A-2-14）
- ℓ : 集計ベクトル，行ベクトル，外生
- A_{wc} : 民間消費部門の廃棄物排出係数，列ベクトル，外生（表 A-2-10）
- A_{wg} : 公的部門の廃棄物排出係数，列ベクトル，外生（表 A-2-12）

集計ベクトルは全ての要素が 1 のベクトルである。各経済活動により排出された廃棄物の一部は新エネルギー産業で投入されるが，これは新エネルギー産業の負の排出係数として扱われている。そして，その残りの廃棄物が廃棄物処理産業で処理される。それぞれの廃棄物に対する処理アクティビティに非負制約がかけられているため，新エネルギー産業への投入量と廃棄物処理産業による処理量の和が発生する廃棄物量を上回ることはない。民間消費部門と公的部門については消費する財ごとの廃棄物排出量のデータがないため，全体の消費量に対する排出係数という形で排出量を求めた。廃棄物排出係数は「廃棄物産業連関表」（中村[46]）のデータを用いた。

(4) 温室効果ガスの総排出量

$$W_c = A_{cn} X_n + A_{ce} X_e + (A_{cs} - B_{cs}) X_s + A_{cw} X_w + A_{cc} C_e \quad (2-5)$$

ここで

- W_c : 温室効果ガス総排出量，スカラー，内生
- A_{cn} : 通常財産業の生産あたりの温室効果ガス排出量，行ベクトル，外生（表 A-2-3）
- A_{ce} : 従来エネルギー産業の生産あたりの温室効果ガス排出量，行ベクトル，外生（表 A-2-2）
- A_{cs} : 新エネルギー産業の生産あたりの温室効果ガス排出量，行ベクトル，外生（表 A-2-4）
- A_{cw} : 廃棄物処理産業の処理あたりの温室効果ガス排出量，行ベクトル，外生（表 A-2-5）
- A_{cc} : 民間消費部門のエネルギー種類ごとの消費量に対する温室効果ガス排出量，行ベクトル，外生（表 A-2-1）
- B_{cs} : 新エネルギーの生産により，温室効果ガスがカーボンニュートラルなものに置換される量，行ベクトル，外生（表 A-2-15）

温室効果ガスの総排出量は，部門ごとの生産量または消費量にそれぞれの温室効果ガス排出係数を乗じて集計した。ここで考慮した温室効果ガスは二酸化炭素，メタン，亜酸化窒素の 3 種類である。京都議定書で削減の対象となっている温室効果ガスにはこの他 3 種類の代替フロンがあるが，これらは温室効果ガス全体に対してその高い温室効果係数を考慮しても少量であり，産業からの排出係数の計測例が少なく，また排出動向が特定の産業に大きく依存すると考えられることから，代替フロンについては対象としなかった。

排出係数の集計は，二酸化炭素についての推計値（南齋ら[47]）とメタンと亜酸化窒素についての

推計値（藤澤ら[7]）を用い、メタンと亜酸化窒素はそれぞれの温室効果係数を乗じて二酸化炭素等量に換算し、さらに炭素量に換算して求めた。温室効果係数は期間 20 年の値（Intergovernmental Panel on Climate Change [21], p.47）を用い、二酸化炭素を 1 としてメタンが 62，亜酸化窒素が 275 とした。炭素量への換算は炭素の分子量を 12，酸素の分子量を 16 として 12/44 を乗じた。部門の再集計の際には、産業連関表（総務省[92]）の生産額を用いて配分を行った。

新エネルギーの消費に伴い排出される二酸化炭素はバイオマス起源であるからカーボンニュートラルと見なされ、温室効果ガスの排出量にはカウントされるべきではないが、各産業の排出係数は現状に基づいているためほとんど従来エネルギーのみを消費した場合の値であり、また新エネルギーへの代替が起きた場合でも、各産業が消費するエネルギーのうちどれだけが新エネルギーであるかを本モデルでは特定することができない。そこで、各産業は全て従来エネルギーを消費したとみなし、エネルギー代替による排出量の減少は、新エネルギーの総生産量に係数 B_{cs} を乗じて求め、それを全体の排出量から引くことで総排出量を求めた。

廃棄物の処理に伴って排出される二酸化炭素もカーボンニュートラルであるが、メタンと亜酸化窒素については二酸化炭素との温室効果係数との差を考えるとカーボンニュートラルとは言えないため、廃棄物についてはメタンと亜酸化窒素の排出のみを評価し、 A_{cw} に加えた。

(5) 通常財産業の価値バランス

$$P_n \tilde{X}_n = P_n A_{nn} \tilde{X}_n + P_f B_n \tilde{X}_n + P_w A_{wn} \tilde{X}_n + Y_{nn} + \delta_n \tilde{P}_{kn} \tilde{K}_n + \tau_n \tilde{P}_n \tilde{X}_n + \tau_c \tilde{A}_{cn} \tilde{X}_n \quad (2-6)$$

ここで

- P_n : 通常財の価格率，行ベクトル，内生
- P_f : エネルギーの種類ごとの価格率，行ベクトル，内生
- P_w : 廃棄物ごとの処理サービスの価格率，行ベクトル，内生
- Y_{nn} : 通常財産業の所得，行ベクトル，内生
- δ_n : 通常財産業の減価償却率，行ベクトル，外生（表 A-2-46）
- P_{kn} : 通常財産業の資本ストックの評価価格，行ベクトル，内生
- K_n : 通常財産業の資本ストック量，行ベクトル，内生
- τ_n : 通常財産業の間接税率，行ベクトル，外生（表 A-2-51）
- τ_c : 温室効果ガス排出税率，スカラー，外生（操作変数）

左辺は生産物の販売による収入，右辺は費用を表している。生産量がもともと円価値単位により金額表示で表されているため、価格率は基準年を 1 とした相対価格となる。費用は中間投入に対する支出，所得，減価償却，間接税，排出税で構成されている。減価償却率は産業連関表（総務省[92]）の産出表の各産業の固定資本減耗の値を，民間企業資本ストック（内閣府[39]）の進捗ベースの値で割ることにより求め，間接税率は同じく産業連関表の産出表の間接税の値を国内生産額で割ることにより求めた。また第 1 期の資本ストック量の値 \tilde{K}_n には，基準年における民間企業資本ストック（内閣府[39]）の値を初期値として与えた（表 A-2-25）。

(6) 従来エネルギー産業の価値バランス

$$P_e \tilde{X}_e = P_n A_{ne} \tilde{X}_e + P_f B_e \tilde{X}_e + P_w A_{we} \tilde{X}_e + Y_{he} + \delta_e \tilde{P}_{Ke} \tilde{K}_e + \tau_e \tilde{P}_e \tilde{X}_e + \tau_c \tilde{A}_{ce} \tilde{X}_e \quad (2-7)$$

ここで

- P_e : 従来エネルギーの価格率，行ベクトル，内生
- Y_{he} : 従来エネルギー産業の所得，行ベクトル，内生
- δ_e : 従来エネルギー産業の減価償却率，行ベクトル，外生（表 A-2-44）
- P_{Ke} : 従来エネルギー産業の資本ストックの評価価格，行ベクトル，内生
- K_e : 従来エネルギー産業の資本ストック量，行ベクトル，内生
- τ_e : 従来エネルギー産業の間接税率，行ベクトル，外生（表 A-2-50）

従来エネルギー産業の減価償却率，間接税率および第 1 期の資本ストック量 \bar{K}_e の値（表 A-2-23）は通常財と同様にして求めた。

(7) 新エネルギー産業の価値バランス

$$P_s \tilde{X}_s + \tau_c B_{cs} X_s + \tau_s^s = P_n A_{ns} \tilde{X}_s + P_f B_s \tilde{X}_s + P_w A_{ws} \tilde{X}_s + Y_{hs} + \delta_s \tilde{P}_{Ks} \tilde{K}_s + \tau_s \tilde{P}_s \tilde{X}_s + \tau_c \tilde{A}_{cs} \tilde{X}_s \quad (2-8)$$

ここで

- P_s : 新エネルギーの価格率，行ベクトル，内生
- τ_s^s : 新エネルギー産業への補助金，行ベクトル，内生
- Y_{hs} : 新エネルギー産業の所得，行ベクトル，内生
- δ_s : 新エネルギー産業の減価償却率，行ベクトル，外生（表 A-2-47）
- P_{Ks} : 新エネルギー産業の資本ストックの評価価格，行ベクトル，内生
- K_s : 新エネルギー産業の資本ストック量，行ベクトル，内生
- τ_s : 新エネルギー産業の間接税率，行ベクトル，外生（表 A-2-52）

新エネルギー産業には補助金が支給される（左辺第三項）。また左辺第二項は，従来エネルギーと新エネルギーの価格が等しいと仮定したため，従来エネルギーに課せられる排出税の分が新エネルギー産業では収入になったものである。一方，右辺では新エネルギー産業にも排出税が課せられているが，これは新エネルギー産業が消費した従来エネルギーの分である。

新エネルギー産業の減価償却率の値は，3 つの電力部門については従来の電力産業の値，その他については製造業と電気・ガス・水道業を合わせて算出した値を用いた。間接税率については全産業について合わせて算出した値を用いた。また，第 1 期の資本ストック量は 0 とした。

従来エネルギーと新エネルギーの価格率は，同じ種類のエネルギーについて同一とした。これらをエネルギーの種類ごとに表したのが P_f である。

(8) 廃棄物処理産業の価値バランス

$$\begin{aligned}
P_w \tilde{X}_w + \tau_w^s &= P_n A_{nw} \tilde{X}_w + P_f B_w \tilde{X}_w \\
&+ Y_{hw} + \delta_w \tilde{P}_{Kw} \tilde{K}_w + \tau_w \tilde{P}_w \tilde{X}_w + \tau_c \tilde{A}_{cw} \tilde{X}_w
\end{aligned}
\tag{2-9}$$

ここで

- τ_w^s : 廃棄物処理産業への補助金，行ベクトル，内生
- Y_{hw} : 廃棄物処理産業の所得，行ベクトル，内生
- δ_w : 廃棄物処理産業の減価償却率，行ベクトル，外生（表 A-2-48）
- P_{Kw} : 廃棄物処理産業の資本ストックの評価価格，行ベクトル，内生
- K_w : 廃棄物処理産業の資本ストック量，行ベクトル，内生
- τ_w : 廃棄物処理産業の間接税率，行ベクトル，外生（表 A-2-53）

廃棄物処理産業にも補助金が支給される。減価償却率については，従来の廃棄物処理産業の資本ストックが統計（内閣府[39]）では「その他のサービス」に含まれることから，「金融・保険業」「不動産業」「サービス業」の資本ストック量の合計を，産業連関表（総務省[92]）中で本研究の「公務・サービス他」に対応する部門と「廃棄物処理」との生産額で配分することにより廃棄物処理業の資本ストック量とし，産業連関表（総務省[92]）における廃棄物処理産業の固定資本減耗の値をそのストック量で割ることにより求めた。間接税率は，産業連関表（総務省[92]）の廃棄物処理産業の間接税を国内生産額で割った値を全ての廃棄物に適用した。第1期の資本ストック量 \bar{K}_w の値（表 A-2-26）は，上で求めた廃棄物処理業の資本ストック量を，1995年の処理実績（中村[46]）から「破碎後粗大ごみ」と「破碎ダスト：自動車」を除いた分で配分して求めた。

(9) 所得制約

$$Y_{nn} \geq V_n \tilde{P}_n \tilde{X}_n \tag{2-10}$$

$$Y_{ne} \geq V_e \tilde{P}_e \tilde{X}_e \tag{2-11}$$

$$Y_{ns} \geq V_s \tilde{P}_s \tilde{X}_s \tag{2-12}$$

$$Y_{nw} \geq V_w \tilde{P}_w \tilde{X}_w \tag{2-13}$$

ここで

- V_n : 通常財産業の所得率，行ベクトル，外生（表 A-2-35）
- V_e : 従来エネルギー産業の所得率，行ベクトル，外生（表 A-2-34）
- V_s : 新エネルギー産業の所得率，行ベクトル，外生（表 A-2-36）
- V_w : 廃棄物処理産業の所得率，行ベクトル，外生（表 A-2-37）

各産業の所得は，基準年のデータにより求められた所得率に売上高を乗じた値を下回らないという制約を与えた。これは最適化シミュレーションにおいて，特定の産業の所得が非現実的に低くなるような解を排除するためである。所得率は産業連関表（総務省[92]）の統合大分類のコード 35「家計外消費支出（行）」行，コード 36「雇用者所得」行およびコード 37「営業余剰」行の合計を国内総

生産で割ることにより求めたが、新エネルギー産業については全産業について求めた値を、また廃棄物処理産業については産業連関表の廃棄物処理産業について求めた値を、それぞれ全要素に適用した。

(10) 可処分所得

$$Y_d = (1 - \tau^d) \{ \ell^t Y_{hn} + \ell^t Y_{he} + \ell^t Y_{hs} + \ell^t Y_{hw} - (\ell C_n + \ell C_e) P_w A_{wc} \} \quad (2-14)$$

ここで

Y_d : 可処分所得, スカラー, 内生

τ^d : 直接税率, スカラー, 外生 (表 A-2-49)

ℓ^t (左上添字): 行列の転置

民間消費部門の可処分所得は、一般的には国民所得の合計から直接税を控除したものになるが、ここでは廃棄物処理費用が半強制的に課せられるため、税金と同じ扱いとし、所得から控除することとした。直接税率の値は、国民経済計算年報（内閣府経済社会総合研究所[43], p.97）の平成 12 暦年の一般政府の「所得・富等に課される経常税（受取）」を、産業連関表（総務省[92]）の国民所得（家計外消費支出、雇用者所得および営業余剰）の総合計で割ることにより求めた。

(11) 民間消費部門の消費

$$P_n \tilde{C}_n = (1 - \beta) Y_d \alpha_n \quad (2-15)$$

$$P_e \tilde{C}_e + \tau_c A_{cc} \tilde{C}_e = (1 - \beta) Y_d \alpha_e \quad (2-16)$$

$$\ell^t \alpha_n + \ell^t \alpha_e = 1 \quad (2-17)$$

ここで

α_n : 民間消費部門の通常財に対する費用シェア, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-41)

α_e : 民間消費部門のエネルギー財に対する費用シェア, 行ベクトル, 外生 (表 A-2-40)

β : 所得に対する貯蓄率, スカラー, 外生 (表 A-2-42)

コブ・ダグラス型の消費関数を仮定することにより、可処分所得のうちそれぞれの財に対する費用のシェアは一定となる。エネルギー財の場合は、その消費に対する排出税の分が支出に上乗せされる（(2-16)式左辺）。可処分所得から貯蓄を除いたものは全て消費に充てられる（(2-17)式）。消費に関する費用シェアの値は、産業連関表（総務省[92]）の民間消費部門（統合大分類コード 35・36 列）の通常財とエネルギーの消費額をそれぞれ全体の消費額で割ることにより求めた。また貯蓄率は国民経済計算年報（内閣府経済社会総合研究所[43], p.103）の平成 12 暦年の家計の純貯蓄を純可処分所得と年金基金年金準備金の変動の和で割ることにより求めた。

(12) 民間消費部門の貯蓄

$$S^p = \beta Y_d \quad (2-18)$$

ここで

S^p : 民間貯蓄, スカラー, 内生
可処分所得に貯蓄率を乗じたものが民間貯蓄になる。

(13) 公的部門の一般会計

$$\begin{aligned} & \tau^d \{ \ell^t Y_{hn} + \ell^t Y_{he} + \ell^t Y_{hs} + \ell^t Y_{hw} - (\ell C_n + \ell C_e) P_w A_{wc} \} \\ & + \tau_n \tilde{P}_n X_n + \tau_e \tilde{P}_e X_e + \tau_s \tilde{P}_s X_s + \tau_w \tilde{P}_w X_w \\ & = P_n \bar{G}_n + P_w \tilde{A}_{wg} \bar{G}_n + S^g + \delta_g P_{Kg} K_g \end{aligned} \quad (2-19)$$

ここで

S^g : 公的部門貯蓄, スカラー, 内生
 δ_g : 公的資本の減価償却率, スカラー, 外生 (表 A-2-45)
 P_{Kg} : 公的資本ストックの評価価格, スカラー, 内生
 K_g : 公的資本ストック量, スカラー, 内生

公的部門の一般会計収入は所得に対する直接税と産業に対する間接税からなる。直接税は所得に直接税率を乗じたものだが, 所得からは民間消費部門の廃棄物処理費用が差し引かれている。支出は公的消費, 廃棄物処理, 貯蓄, 減価償却からなる。公的資本ストック量は第1期 (\bar{K}_g) のみ外生的に与えたが, その値は国民経済計算年報 (内閣府経済社会総合研究所[43]) の平成12暦年の一般政府, 公的非金融法人企業, 公的金融機関の資本ストックの和により求めた (表 A-2-24)。またその減価償却率は同じく平成12暦年の一般政府の固定資本減耗を一般政府の資本ストックで割ることにより求めた。

(14) 温室効果ガス排出税と補助金のバランス

$$\tau_c W_c = \ell^t \tau_s^g + \ell^t \tau_w^g \quad (2-20)$$

温室効果ガス排出税の総額は排出総量に税率を乗じたものに等しい。本モデルでは排出税の効果を明確にするため, これを目的税として扱い, 新エネルギー産業と廃棄物処理産業への補助金のみに充てられるとした。

(15) 貯蓄投資バランス

$$\begin{aligned} & P_{Kn} (\Delta K_n - \tilde{K}_n^t \delta_n) + P_{Ke} (\Delta K_e - \tilde{K}_e^t \delta_e) + P_{Ks} (\Delta K_s - \tilde{K}_s^t \delta_s) \\ & + P_{Kw} (\Delta K_w - \tilde{K}_w^t \delta_w) + P_n (\bar{E}_n - M_n) + P_f (\bar{E}_e - M_e) = S^p + S^g \end{aligned} \quad (2-21)$$

右辺の貯蓄が左辺の投資と純輸出 (= 対外純投資) の和に等しくなる。投資額は各産業の純投資にその時点での評価価格を乗じて求めた。

(16) 資本と生産

$$\tilde{\mathbf{K}}_n \mathbf{X}_n \leq \tilde{\mathbf{K}}_n \bar{\mathbf{X}}_n \quad (2-22)$$

$$\tilde{\mathbf{K}}_e \mathbf{X}_e \leq \tilde{\mathbf{K}}_e \bar{\mathbf{X}}_e \quad (2-23)$$

$$\mathbf{X}_s \leq \tilde{\mathbf{K}}_s \gamma \quad (2-24)$$

$$\tilde{\mathbf{K}}_w \mathbf{X}_w \leq \tilde{\mathbf{K}}_w \bar{\mathbf{X}}_w \quad (2-25)$$

ここで

γ : 新エネルギー産業の資本生産係数, 列ベクトル, 外生 (表 A-2-43)

ベクトル間の不等号は, 対応する要素の全てについて成立するものと定義する。各産業において, 資本ストックあたりの生産は基準年の値を超えないと仮定した。

(17) 資本ストックの評価価格

$$\mathbf{P}_{Kn} = \mathbf{P}_n \mathbf{Q}_n \quad (2-26)$$

$$\mathbf{P}_{Ke} = \mathbf{P}_n \mathbf{Q}_e \quad (2-27)$$

$$\mathbf{P}_{Ks} = \mathbf{P}_n \mathbf{Q}_s \quad (2-28)$$

$$\mathbf{P}_{Kw} = \mathbf{P}_n \mathbf{Q}_w \quad (2-29)$$

$$\mathbf{P}_{Kg} = \mathbf{P}_n \mathbf{Q}_g \quad (2-30)$$

減価償却や投資の際の資本の評価価格は, 財別の構成比率を表す資本形成係数にその期の財価格を乗じた総和とした。

(18) 動学方程式

$$\mathbf{K}_n(t+1) = (\ell - \delta_n) \tilde{\mathbf{K}}_n(t) + {}^t \Delta \mathbf{K}_n(t) \quad (t \leq 10) \quad (2-31)$$

$$\mathbf{K}_e(t+1) = (\ell - \delta_e) \tilde{\mathbf{K}}_e(t) + {}^t \Delta \mathbf{K}_e(t) \quad (t \leq 10) \quad (2-32)$$

$$\mathbf{K}_s(t+1) = (\ell - \delta_s) \tilde{\mathbf{K}}_s(t) + {}^t \Delta \mathbf{K}_s(t) \quad (t \leq 10) \quad (2-33)$$

$$\mathbf{K}_w(t+1) = (\ell - \delta_w) \tilde{\mathbf{K}}_w(t) + {}^t \Delta \mathbf{K}_w(t) \quad (t \leq 10) \quad (2-34)$$

これらの4つの式が, 動学モデルにおいて複数の期を連結している。従ってこれら4式のみ, 期数 $t, t+1$ を表記した。なお, 最終期の粗投資 $\Delta \mathbf{K}_n, \Delta \mathbf{K}_e, \Delta \mathbf{K}_s, \Delta \mathbf{K}_w$ には, 少なくともそれ以前の値のうち最小のものより大きいという制約を与えた。これは, モデル上では最終期の投資は効果をもたらさないため, 投資がゼロになり最終期のみ生産が不自然に大きくなるのを防ぐためである。

なお，ここでは集計ベクトルを集計ではなく計算に用いている。

(19) 温室効果ガス排出制約

$$W_c \leq W'_c \quad (2-35)$$

ここで

W'_c : 温室効果ガス排出制約，スカラー，外生（操作変数）

目的関数である GDP の値や新エネルギーの生産額，あるいは産業構造の変化を調べるため，温室効果ガス総排出量に対する制約は操作変数として変化させた。ちなみに基準となる 2000 年の総排出量として，各産業の生産量と消費量（総務省[92]）および廃棄物量（中村[46]）のデータに排出係数を乗じて 5 億 4007 万トンという値を得，それを制約の値に用いた。また，京都議定書の目標に相当する排出量は，排出量実績のデータ（環境省[27]）より 1990 年の値の 94% が 2000 年の値の 87% に相当することから，2000 年基準の制約の 87% を京都議定書目標制約とした。

(20) 目的関数 (GDP)

$$\begin{aligned} \max \text{ GDP} = & \ell\{X_n - {}^t(\ell A_{nn} \tilde{X}_n) - {}^t(\ell B_n \tilde{X}_n) - {}^t(\ell A_{wn} \tilde{X}_n)\} \\ & + \ell\{X_e - {}^t(\ell A_{ne} \tilde{X}_e) - {}^t(\ell B_e \tilde{X}_e) - {}^t(\ell A_{we} \tilde{X}_e)\} \\ & + \ell\{X_s - {}^t(\ell A_{ns} \tilde{X}_s) - {}^t(\ell B_s \tilde{X}_s) - {}^t(\ell A_{ws} \tilde{X}_s)\} \\ & + \ell\{X_w - {}^t(\ell A_{nw} \tilde{X}_w) - {}^t(\ell B_w \tilde{X}_w)\} + \tau_c B_{cs} X_s \end{aligned} \quad (2-36)$$

目的関数は各産業の生産額の合計から中間投入分を差し引いたもので，価格率を 1 にすることにより実質 GDP に相当する値が得られる。また，(2-8)式で従来エネルギーに対する排出税に相当する額が新エネルギーの収入になっている分が考慮されている。

2.2.3 その他のシミュレーションの前提

社会経済活動に影響を及ぼす全ての要因を織り込んだものが理想的なモデルではあるが，それらの要因の相関関係は定式化するにはあまりに複雑である。しかし，それらの関係の結果として表れている生産額や価格などのデータのうち重要と思われるものを外生的に与えることにより，モデルはより現実に近い姿を表現することができる。以上の目的により，以下に述べるいくつかの前提条件を制約としてモデルに組み込んだ。

まず，本モデルには割引率が考慮されていない。割引率による現在価値という概念を用いると，考慮の対象が比較的短期のものに限定されることが不可避である。本モデルの 11 期というシミュレーション期間であればそれで問題はないとも言えるが，そもそも 21 世紀全体にわたると言われる気候変動問題や数百年規模の資源問題を含む環境問題と割引率の概念とは相容れない。従って環境問題を取り扱う本研究では割引率を考慮しないこととした。

原子力発電は操業時の温室効果ガス排出がないため，気候変動対策の観点からは有望な技術である。

しかし、事故による放射能漏洩と放射性廃棄物の処理という2つのリスクが社会不安を引き起こし、新規の原子力発電所や再処理設備の建設が計画通り進められない状況にある。事故の問題はリスクそのものよりもリスクコミュニケーションが不十分であることに起因すると考えられるが、その背景としては、情報開示の不足やデータ改ざんといった不祥事や、チェルノブイリとスリーマイルの2つの大事故で示されたハザードの大きさが市民の心理に大きく影響し、正当なリスク評価を阻んでいることが考えられる。一方、後者の放射性廃棄物のリスクは、高レベル廃棄物を数万年もの長期間保管することに関するものであり、保管期間内には地殻変動など現状では想定不可能な様々なリスクが存在する可能性が高い。これらのリスクの定量評価は現状ではきわめて困難であり大きな不確実性を伴うため、本モデルでは評価を避け、各期における原子力発電のアクティビティは基準年の値を上限とした。

また水力発電も原子力と同様温室効果ガスを発生しないが、立地という経済以外の要因に大きく左右される技術である。そのような要因をモデルに組み入れるのは可能だが、廃棄物の活用という本章の主眼からは外れるため、水力その他の事業用発電部門についても基準年のアクティビティを上限とした。

廃棄物の利用だけでなく、エネルギーを目的とした植物の栽培を行い、さらに大量のエネルギーを取り出すというエネルギープランテーションという考え方もある。確かに太陽光発電や風力発電とは異なり、再生可能エネルギーの中でバイオマスエネルギーは気候の影響による変動が小さく、ストックの形態を取りうるため計画的なエネルギー生産が可能である。しかし今後の人口増加に伴い食糧資源の慢性的な不足が予想され、食糧生産がエネルギープランテーションに及ぼす影響は現時点で評価が困難である。従って本モデルではエネルギープランテーションは考慮していない。

従来エネルギーから新エネルギーへの代替が起きる条件としては、競合する両者の価格が同じになることとした。ここで従来エネルギーに対して温室効果ガス排出税が課せられるが、新エネルギーの排出する温室効果ガスはカーボンニュートラルとみなされるため課税の対象外となる。排出税は従来エネルギーの販売者、消費者いずれに課せられても最終的に販売価格に上乗せされると仮定するが、そうすると新エネルギー産業も同じだけ販売価格を上げることができ、その分は全て収入に上乗せされる。さらに補助金も支給されるため、コスト面で不利と言われている新エネルギーであってもこれらの優位性によりシミュレーション上で生産が行われることが期待される。

最終消費部門のエネルギー消費については、エネルギーの種類ごとの消費量が基準年を下回らないとした。また価格率は、非現実的な生産挙動を防ぐため、取りうる値を0.1～10の範囲とした。

また、本章のようなシミュレーションモデルではパラメータの感度分析などモデルの精度の検証を行うのが通例であるが、本モデルはパラメータ数が多く、十分なレベルの検証を行うために膨大な量の分析を必要とする。本研究は変数の数値を求めることよりも技術と政策の比較による評価に主眼を置いているため、精度検証を省略することとした。

2.2.4 産業連関表の分類の分割

本章ではエネルギー産業の動向を詳細に分析する目的から、以下の産業について産業連関表よりも細かく分類した。

「原油」と「天然ガス」...産業連関表では、行では分類されているが列では分類されておらず「原油・天然ガス」という分類になっている。本章では列方向にも2つに分類したが、各種係数はすべて生産額当たりの係数であるため、「原油・天然ガス」の分類を用いて算出した係数を「原油」「天然ガス」両者の値として用いた。

「ガソリン」「灯油」「軽油」「その他の石油製品」...行ではこれらを含む9つの分類がされているが、列では「石油製品」という一つの分類になっている。本章での「その他の石油製品」は「石油製品」のうちガソリン、灯油、軽油を除いた残りの6分類を指し、産業連関表の「その他の石油製品」より広い範囲をカバーしている。これらについても、「石油製品」を用いて算出された係数がそれぞれの分類の値として用いられている。

「事業用石油火力発電」「事業用石炭火力発電」「事業用ガス火力発電」...列ではこれら3つが「事業用火力発電」となっており、行ではさらに原子力、水力その他を加えた「事業用電力」という分類になっている。これらについてはそれぞれの生産額が産業連関表に記載されていないため、1999年の原料別の発電量のデータ（資源エネルギー年鑑編集委員会[56]，p.513）で「事業用火力発電」の生産額を振り分けた。また、投入係数の算出の際には、3種類の発電で原料が明らかに異なることから、原油、石炭、天然ガスはそれぞれ石油火力、石炭火力、ガス火力の発電のみに投入されるとし、その他の投入量は生産額に比例して振り分けられ、その後生産額で割るという方法を用いた。その他の係数については他の分類と同じ方法で求めた。

その他、固定資本マトリックスも粗い分類であるため、各産業の固定資本形成に関する係数も、もとの粗い分類で求めたものを各産業のものとして使用した。

2.2.5 新エネルギー産業の各種係数の推定

新エネルギー産業に関しては産業としての統計データが存在しないため、主に実証プラントのデータから各種の係数を推定した。用いたデータは運転費用、設備費用、使用する廃棄物系の原料の量、製造されるエネルギー物質の量および排出される廃棄物の量で、これらより一般財・サービスとエネルギーの投入係数、固定資本形成における一般財・サービスの投入係数および廃棄物の排出係数を算出し、さらにエネルギー財の投入係数と排出原単位（南斎ら[47]）のデータを用いて温室効果ガスの排出係数が求められた。エネルギー単価については、競合する従来エネルギーの値を産業連関表（総務省[92]）の物量表から求め、それと同じとした。また、基準年の生産額その他の変数は全てゼロとした。

(1) メタン発酵

設備費用および生産規模については北海道黒松内町の事例（ユニレックス[96]，pp.17-21）を参考にし、発電部分を除いた発酵部分だけを取り出して集計した。また運転費用については同事例による総額を、京都府八木町の事例（新エネルギー・産業技術総合開発機構[59]，p.133）による内訳を用いて配分した。廃棄物排出係数については、汚泥についていくつかの事例（新エネルギー・産業技術総合開発機構[59]，p.191；神戸製鋼所他[35]，p.20；農林水産省[50]，p.53）のデータを平均し、その他については「廃棄物産業連関表」（中村[46]）の下水道業の数値を用いた。

(2) 合成ガス

アメリカでの経済性試算データ（新エネルギー・産業技術総合開発機構[58], pp.107-116）を用いた。ただし生産規模が原料投入ベースで年間 67 万 t とかなり大きいため，国内の事例に合わせて規模を 1/10 とした。その際の設備額は 0.6 乗則で修正した。ただしこのケースでは木材のみを原料としており，都市ごみを投入する場合はコストが変わる。同データによると建設費は 2 倍程度であり，また同量の製造をするのに木材よりも多量の都市ごみを必要とする。投入する木材と都市ごみの比率として，「廃棄物産業連関表」（中村[46]）の各産業からの廃棄物の純排出量から，それぞれに対応する部分を集計し，その比を用いて建設費と廃棄物の投入係数を再計算した。また廃棄物の排出係数は，同じく焼却部門(2)および(3)を統合した値から求めた。

(3) 木質ペレット

非営利団体ペレットクラブの第 3 回ワークショップ資料（石城護[23]）およびペレットの重量当たりの発熱量（北海道 [18]，p.38）から求めた。廃棄物は木屑のみが排出されるとし，その排出係数は，木材の投入量とペレットの生産量の差により求めた。

(4) ジメチルエーテル（DME）

新エネルギー・産業技術総合開発機構による調査報告書（新エネルギー・産業技術総合開発機構 [58]，pp.133-136）のデータのうち，合成ガスから DME を製造する部分を使用した。設備投資の内訳が不明なため，産業連関表（総務省[92]）の固定資本マトリックスの化学製品部門の値を用いた。

(5) エチルアルコール

設備費用および運転費用の総額，原料の投入量，生産エネルギー量は三菱総合研究所の調査データ（経済産業省[28]）より，またその内訳はメタン発酵と同じとした。廃棄物の発生量も，メタン発酵のものを生産エネルギー量当たりの原料投入量で補正して求めた。

(6) バイオディーゼル

国内に費用詳細の記載された資料が見当たらなかったため，設備費用についてはバイオマスエネルギー導入ガイドブックの事例分析（新エネルギー・産業技術総合開発機構[59]，p.250）より小規模工場での費用総額を生産規模 1 日 1 リットル当たり 14 万円と推定し，同資料のモデルケース（新エネルギー・産業技術総合開発機構[59]，pp.269-272）から生産規模を 1 日 200 リットルとした上でマレーシアの事例（新エネルギー・産業技術総合開発機構[63]，pp.94-97）の年間 15,000t のケースの内訳を用いて費用を展開した。また，運転費用については同様にモデルケースの費用総額とマレーシアの事例の内訳から求め，原油と製品の比もモデルケースから求めた。また，副産物として生成するグリセリンの量はシダックスフードサービス社およびアイセ・サプリメント社の調査報告書の事例（シダックスフードサービス他[55]，p.35）から求め，その比重を 1.24 とし，無機汚泥として扱った。

(7) 燃焼発電

設備費用，人件費を除く運転費用総額，原料量，発電規模についてはバイオマスエネルギー導入ガイドブックのモデルケース（新エネルギー・産業技術総合開発機構[59]，p.76）のものを使用した。ただしこのモデルケースは木材のみを原料とした場合であり，都市ごみを投入した場合は発電効率が変わる。その比率として，熱分解でジメチルエーテルを製造する際の木材と都市ごみの比率（新エネルギー・産業技術総合開発機構[58]，p.116）を用いた。また投入する木材と都市ごみの量の比率は，「廃棄物産業連関表」（中村[46]）の廃棄物の純排出量から，それぞれに対応する部分を集計し，その比を用いた。運転費用の内訳と廃棄物の排出係数は「廃棄物産業連関表」（中村[46]）の焼却(1)部門の数値を用いたが，廃棄物の排出係数は，燃料として投入する廃棄物の処理量に対する最終廃棄物の廃棄量を生産額当たりに換算して求めた。

(8) スーパーごみ発電

ジャカルタでの共同実施のデータ（新エネルギー・産業技術総合開発機構[61]，pp.6-2 - 10-2）を使用した。設備費用の内訳に関しては，用地購入費は計上せず，建物及び付帯設備は建設部門に計上した上で，残りの金額を，産業連関表の固定資本マトリックスの電力部門の値（建設を除く）で配分した。廃棄物の排出係数は燃焼発電と同様の方法で算出した。

(9) 燃料電池

燃料電池部門は，装置を製造し発電を行うところまでを対象とした。生産設備の総額は，本体については燃料電池導入ガイドブック（新エネルギー・産業技術総合開発機構他[85]，p.53）の kW 当たり 40～70 万円という数字から 50 万円/kW とし，規模を 200kW，設備総額 1 億円と想定した。さらに付帯設備 2～4 千万円，工事費 1～数千万円というデータより，一般機械部門に 2,000 万円，建設部門に 4,000 万円かかると仮定した。本体 1 億円の内訳は，WE-NET の報告書（新エネルギー・産業技術総合開発機構[60]，p.13）の家庭用燃料電池のコスト構造から給湯タンク，追い炊き機，組立て費，設置工事費を除いた部分の割合を用いて算出した。また運転費用は燃料電池ガイドブック（新エネルギー・産業技術総合開発機構他[85]，p.54）を参考に，1kWh 当たり 3 円とし，全て公務・サービス部門への支出とした。発電効率は燃料電池のタイプによっても差があるが，例えば小型向けとして期待されている固体高分子型で 35%～45%（新エネルギー・産業技術総合開発機構[62]，p.146）であることから，40%という数値を選んだ。

2.3 シミュレーション結果

2.3.1 新エネルギー産業，排出税，補助金のない BAU ケース

はじめに，新エネルギー産業や排出税，補助金を導入せず，温室効果ガスの総排出量に対する制約だけをかけたケースを検討した。温室効果ガスのいくつかの総排出量制約に対する，GDP の 11 期にわたる変化を図 2-3 に示す。図を見ると GDP の成長は制約が厳しくなるにつれて鈍くなり，73%ま

で厳しくすると成長が起きなくなった。この成長が最適解におけるものであることを考慮すると、温室効果ガスの排出量に何らかの制約が実際に課せられた場合には、経済成長が受ける影響はさらに深刻なものになると考えられる。

2.3.2 新エネルギー産業の導入

図 2-4 には 3 ケースの温室効果ガス排出量制約における、新エネルギー産業をモデル中に導入した場合と導入しない場合の GDP の 11 期の合計を比較した結果を示す。ここでは新エネルギー産業の導入はあくまでモデル中への変数の導入であり、新エネルギー産業の正の生産を制約とするものではない。最適解において新エネルギー産業の生産が選択され、生産量を表す変数が内生的にある正の値をとった時のみ、シミュレーション上で新エネルギー産業の生産が起きたことになる。ここでは新エネルギー産業の存在により、排出量制約が厳しくなった時の GDP 成長の鈍化は大きく緩和され、制約が 2000 年の排出量であるときとその 80% であるときとで GDP 総額にほとんど違いは見られなかった。これは温室効果ガスを排出しない新エネルギーの従来エネルギーに対する代替が進むことにより全体の（GDP あたりの）排出量が低下し、制約の影響を受けずに GDP を確保できたためと考えられる。

9 つの新エネルギー産業の中で生産が起きたのはメタン発酵、木質ペレット、スーパーごみ発電のみであった。これらの産業には他の産業に対する経済的あるいは環境面での優位性があったためと考えられる。図 2-5 から 2-7 は生産の起きた 3 つの新エネルギー産業の、従来エネルギーからの代替の状況を示す。メタン発酵とスーパーごみ発電については明確な代替が見られた。木質ペレットの生産量は灯油と比較して小さく（13~60PJ）代替が起きたとは言えないが、灯油の生産量が低減していることから、排出量制約により温室効果ガスの排出原単位の小さな産業が有利になるような産業構造の変化が起きたものと考えられる。

温室効果ガス排出量の制約を 87% とした時に最終的に廃棄される廃棄物の量の変化を図 2-8 に示す。新エネルギー産業の導入により廃棄物は 13% 減少した。廃棄物の種類別に見ると、動物の糞尿、木くず、動植物性残渣、そして厨芥、紙・繊維、廃プラスチック類、ゴム類といった家庭ごみの構成成分が減少した。これらは全て有機物を含み、そのポテンシャルエネルギーがメタン発酵、木質ペレット、スーパーごみ発電に利用されたものと考えられる。一方、無機汚泥は新エネルギーの導入により増加したが、これはエネルギー利用された有機物系の廃棄物に変換したものと考えられる。

2.3.3 排出税と補助金の導入の影響

これまでのシミュレーションは温室効果ガス総排出量の制約のもとで行われてきた。しかし、国内の全アクティビティに対してこのような制約を現実にかけることは困難である。例えばキャップアンドトレードのような制度を導入するにしても、キャップの初期割り当てやモニタリングなど実施面でクリアしなければならない問題は多い。

そこで次に、排出税と補助金を導入した場合の影響についてのシミュレーションによる検討を行った。新エネルギー産業のないケースでは公的部門の税収は一般財源に組み入れられ、新エネルギー産業を導入したケースでは目的税として新エネルギー産業と廃棄物処理産業への補助金のみに支出さ

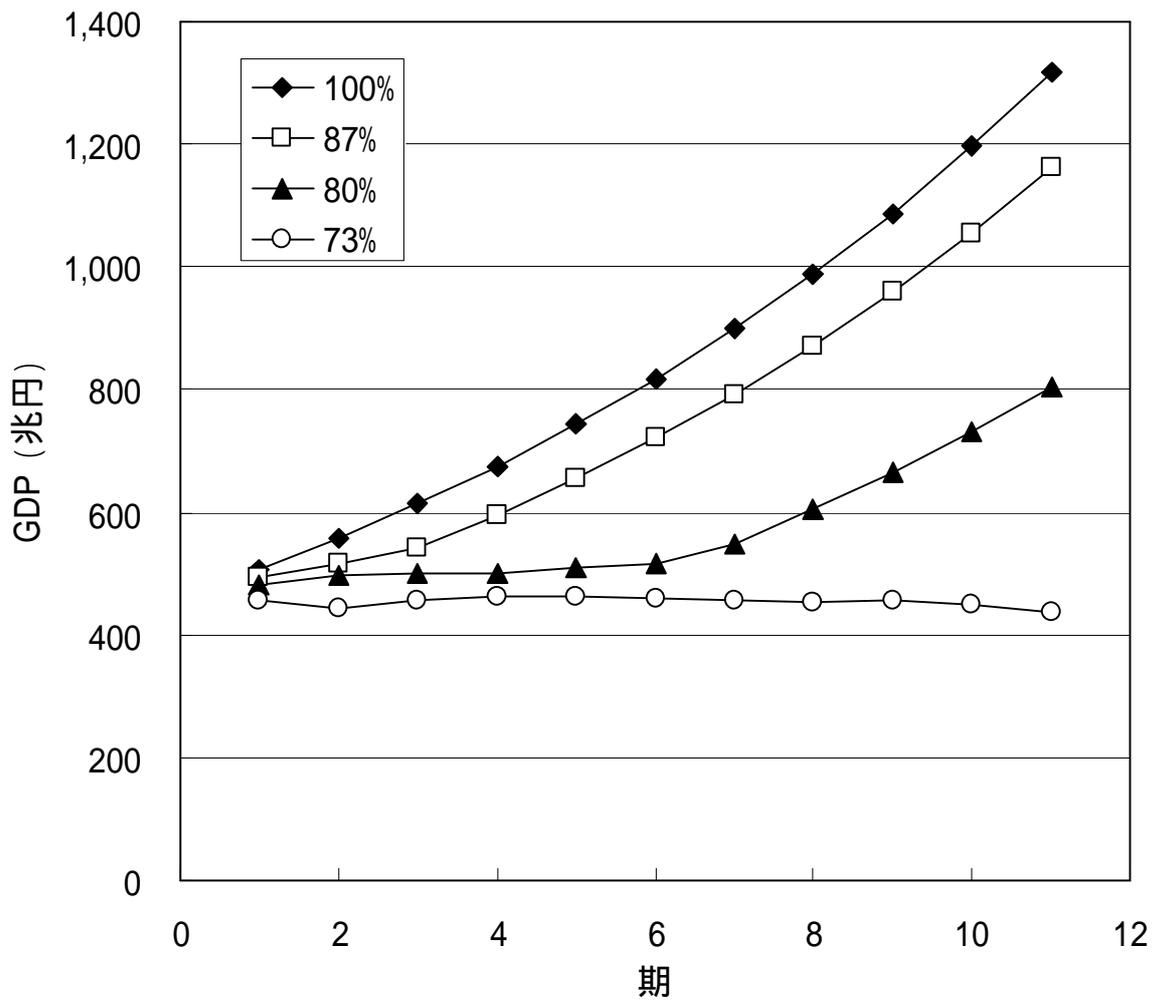


図 2-3 2000 年を基準としたいくつかの温室効果ガス排出量制約のもとでの GDP 変化

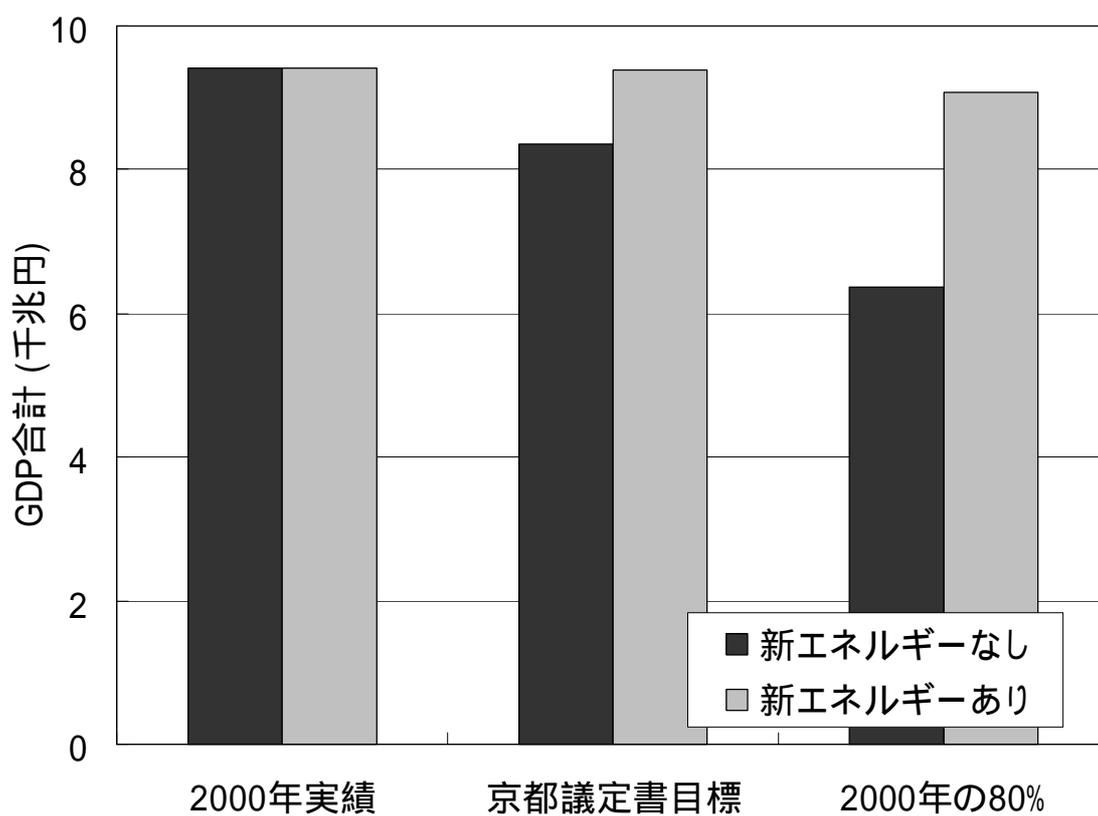


図 2-4 異なる温室効果ガス排出量制約のもとでの新エネルギー産業の有無による総 GDP の比較

注)モデル中に新エネルギーを導入することにより 温室効果ガス排出量の制約が厳しくなった時の GDP の低下が抑えられる。言い換えれば厳しい排出量制約のもとでは新エネルギーの導入により GDP が上昇する。

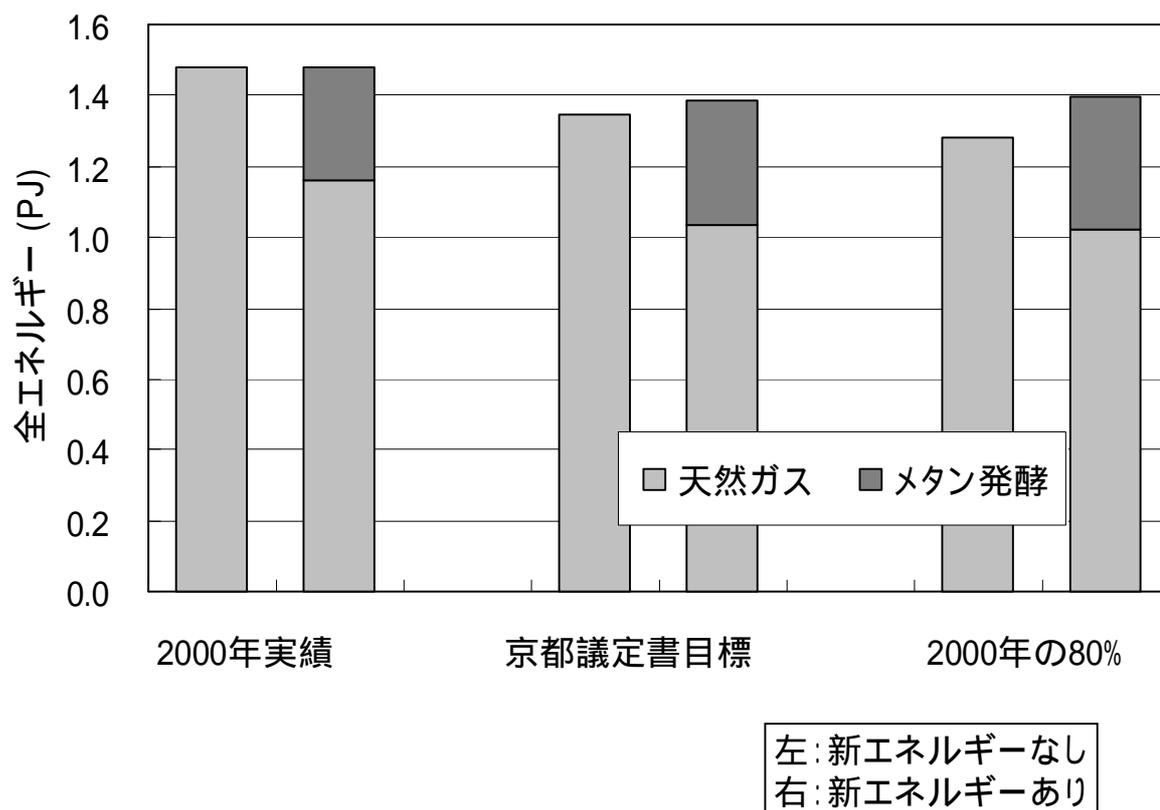


図 2-5 3つの温室効果ガスの排出量制約のもとでの天然ガスからのメタン発酵の代替

注) エネルギー需要の総量はあまり変わらないが, 新エネルギーへの代替が進んだ。

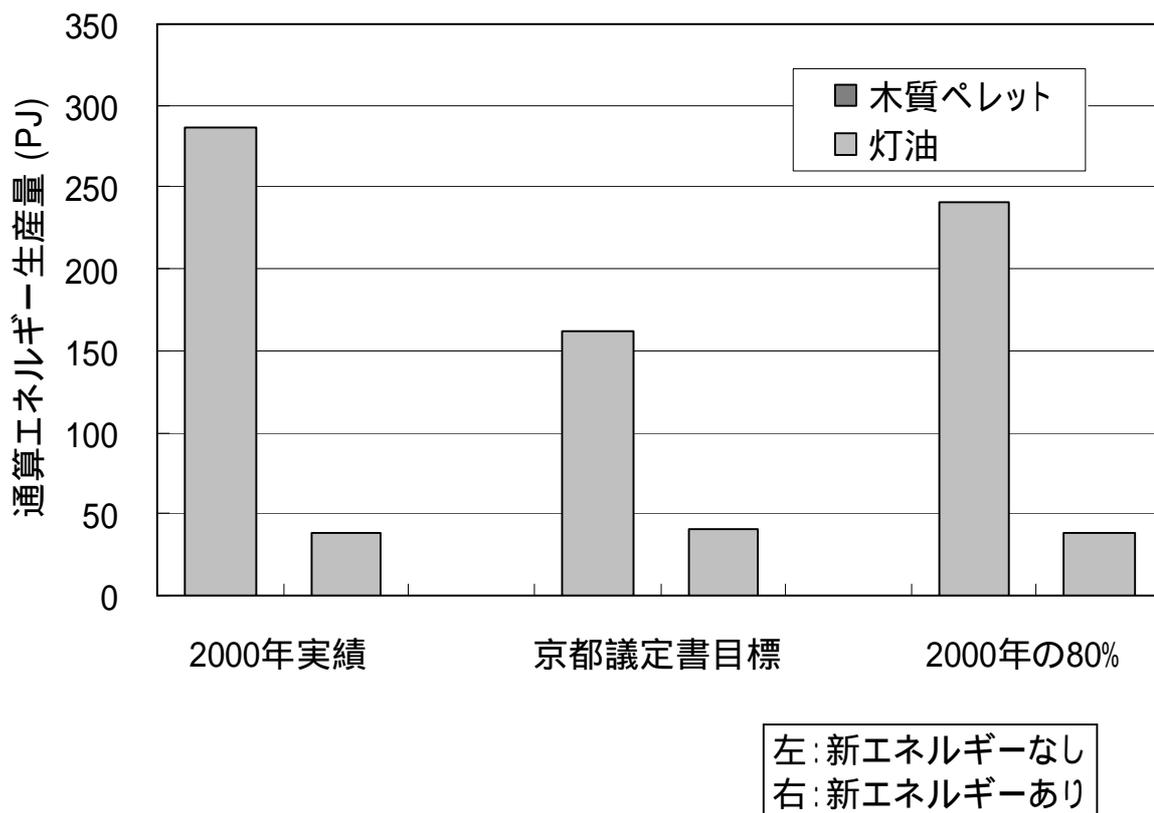


図 2-6 3つの温室効果ガスの排出量制約のもとでの灯油からの木質ペレットの代替

注) 木質ペレットの導入量は少ないものの灯油の消費量が激減した。これは恐らく灯油の環境負荷が高いため、灯油の消費量の少ない産業構造へ全体がシフトしたことによると考えられる。

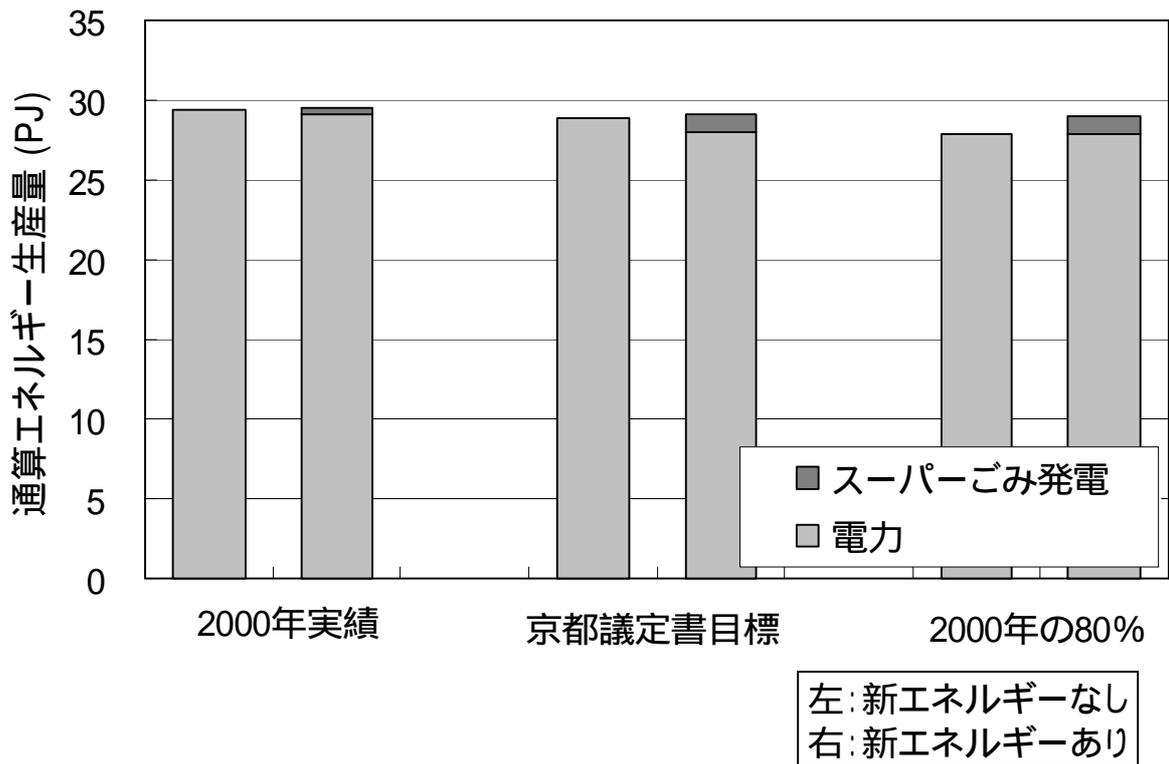


図 2-7 3つの温室効果ガスの排出量制約のもとでの電力からのスーパーごみ発電の代替

注) 少量ではあるがスーパーごみ発電への代替が起きている。制約が厳しくなると共に代替量が増加していることが明らかにわかる。

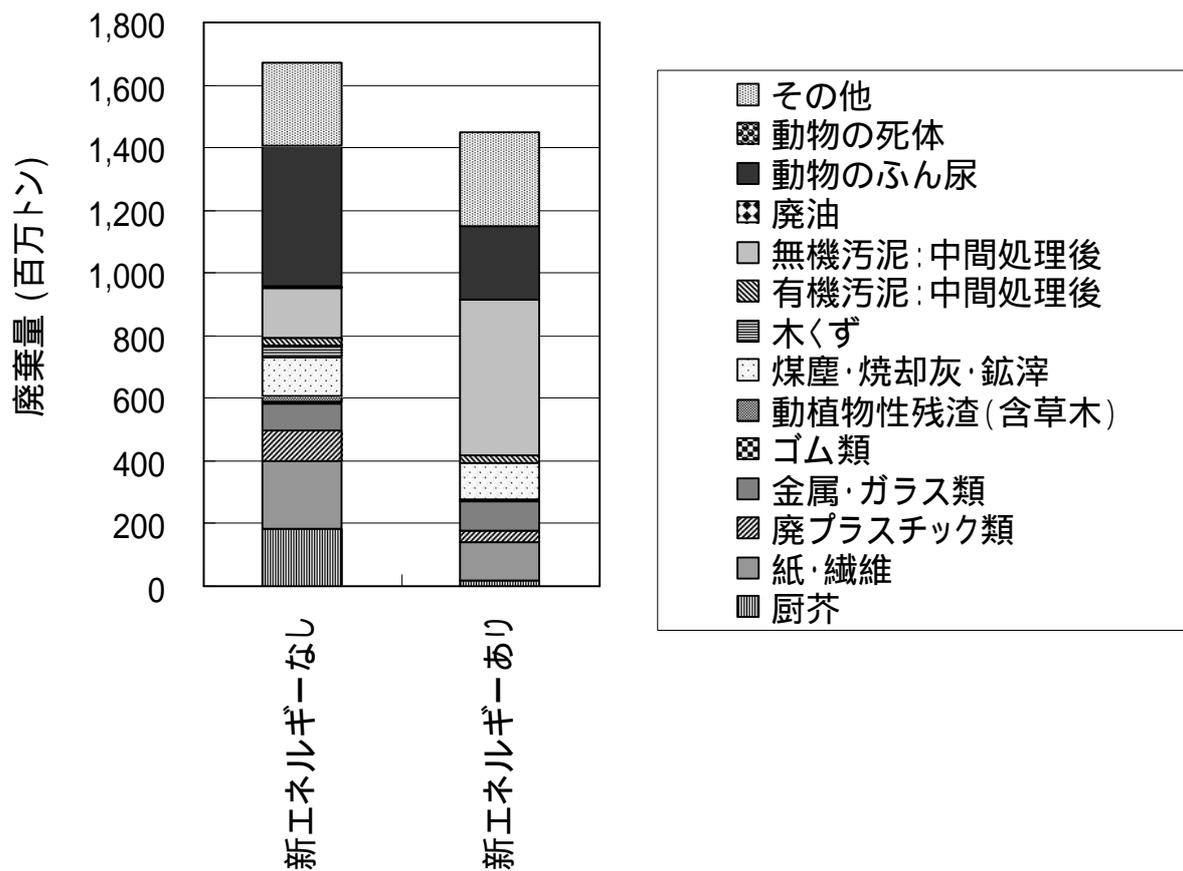


図 2-8 新エネルギーの導入による最終廃棄量の変化

れるとした。こうした経済的な手段により、強制的な制約をかけることなく温室効果ガスの総排出量が内生的に制御されることが期待できる。

シミュレーション結果を図 2-9 に示す。温室効果ガスの総排出量は税率が上がるに従って減少し、また新エネルギー産業の効果が明らかに見られた。税率がトン炭素当たり 20,000 円以上では新エネルギー産業の普及により総排出量で京都プロトコルの目標をクリアするという結果が得られた。

図 2-10 は同じケースにおける GDP の総額を示す。GDP は最大化される目的関数であるため実際よりもかなり高い値を示している。排出税のない時の GDP の平均成長率は約 18% である。新エネルギー産業導入時の、税率がトン炭素当たり 20,000 円および 30,000 円の時の平均成長率はそれぞれ 8.5% と 4.7% であった。このことは、十分な経済成長を伴った内生的な温室効果ガス削減が経済政策によって可能であることを示している。

それぞれのケースにおける GDP 当たりの新エネルギーの消費量を経済全体の新エネルギー産業への依存度と定義し、グラフに表したものを図 2-11 に示す。税率とともに増大し、排出税と補助金の組み合わせが新エネルギー産業を促進することを示している。

2.4 本章のまとめ

本章では、廃棄物を利用したエネルギーリカバリー産業の導入とそれを促進する排出税と補助金の効果について検討し、以下の結果を得た。

- (1) 温室効果ガスの排出量制約が厳しくなるに従い GDP の成長は鈍化しその総額は低下したが、新エネルギー産業を導入した場合はその低下の度合いが小さかった。厳しい排出量制約のもとでは新エネルギー産業の導入により GDP が上昇した。
- (2) 新エネルギー産業のうちシミュレーションにおいて生産が選択されたのはメタン発酵、木質ペレット、スーパーごみ発電であった。これらの産業は排出量制約の導入により促進され、化石燃料を直接的に代替するか、または化石燃料の消費量を低下させるような産業構造の変化を引き起こした。
- (3) 新エネルギー産業の導入により、最終処分される廃棄物の量は 13% 減少した。
- (4) 排出量制約の代わりに排出税と補助金をシミュレーションに導入すると、税率と共に GDP あたりの上記 3 つの新エネルギーの生産量は上昇し、排出税 + 補助金の新エネルギー産業に対する導入促進効果が確認された。
- (5) 排出税率がトン炭素あたり 20,000 円以上で温室効果ガスの総排出量が我が国の京都議定書の目標をクリアした。その場合、GDP の合計は BAU ケースに及ばなかったが、シミュレーション期間中を通して毎年成長を続け、縮小は見られなかった。このことから排出税と補助金は社会経済システム全体の変化を通して経済にダメージを与えることなく温室効果ガス排出量を削減する可能性があることがわかった。

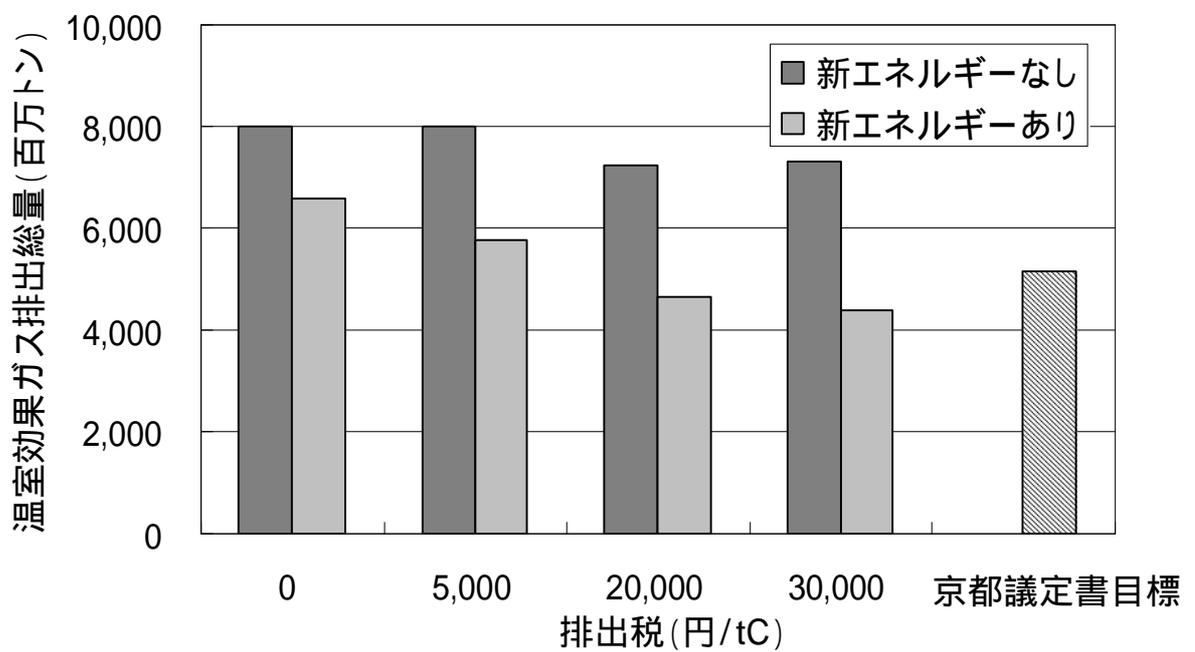


図 2-9 排出税と補助金を導入した時の温室効果ガス排出量

注) 排出税を課すだけでは温室効果ガスの削減効果はなく、これを目的税として補助金に充てることで効果を発揮する。20,000 円/tC 以上の税率で排出量が京都議定書の目標をクリアする。

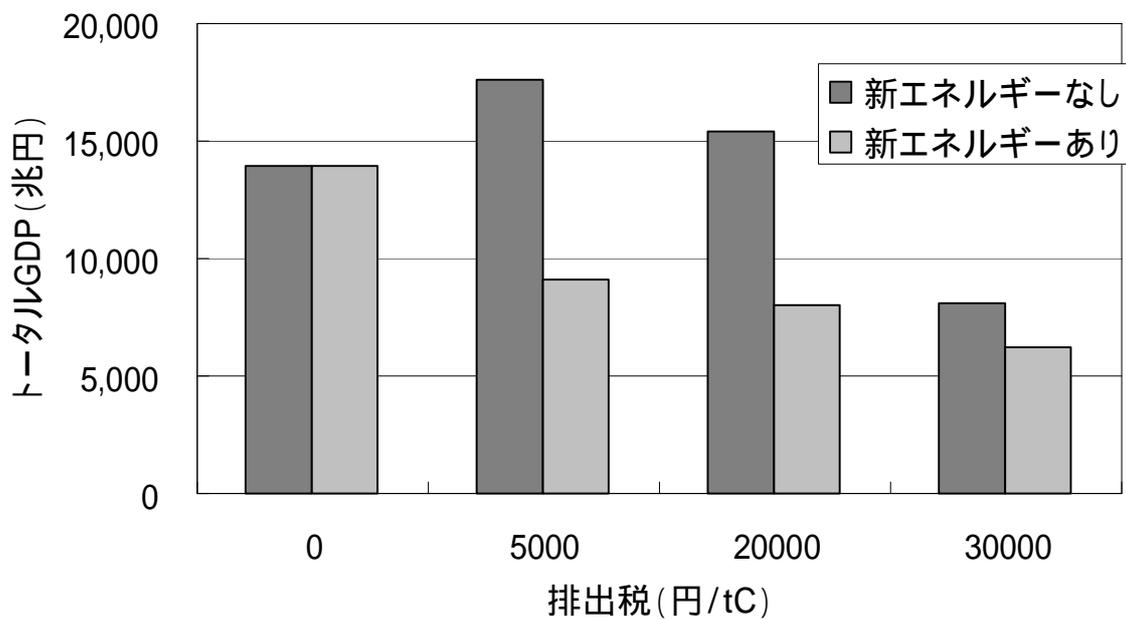


図 2-10 排出税と補助金を導入した時の GDP 総額

注) 20,000 円/tC の税率でかなり GDP が低下したが、基準年と比較すればまだ増加している。

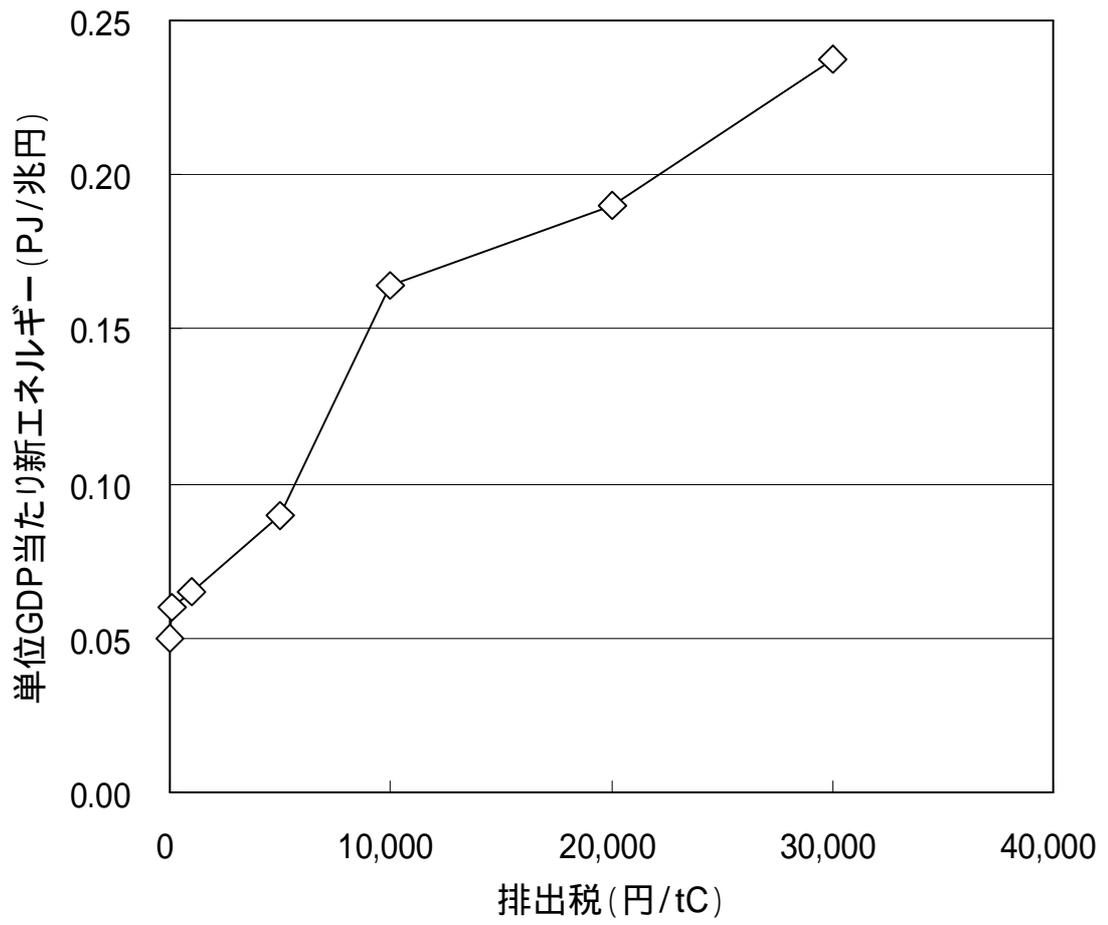


図 2-11 新エネルギーへの依存度

第3章 習熟効果と環境価値を考慮した持続型エネルギー産業の成長モデルと普及促進政策

3.1 はじめに

3.1.1 本章の背景と目的

持続型エネルギーの普及促進を考えると、産業として初期段階にあること、および環境価値を有すること、この2つの大きな特徴が本質的に関わってくる。特に後者は民間消費部門への普及を考えた時に重要な意味を持つが、持続型エネルギーの多くは民間に適した分散型のエネルギーである。従って促進のための政策を経済モデルを用いて考える上では、こうした特徴を十分考慮したモデルを構築する必要がある。

初期段階にある新しい産業の特殊性のうち最も重要なのは習熟効果によるコストの低減である。この現象は従来経済学では寡占理論における参入障壁の問題を中心に扱われてきた。習熟理論による持続型エネルギーの成長理論としては、需要の拡大速度を外生的に与え将来予測を行った研究(早野ら[11])や、習熟効果(学習効果)を考慮して新エネルギーに対する補助金の効果を検討した研究例(島崎ら[57])などがある。

一方、既存の財に含まれる環境価値はこれまで明示的に扱われることはほとんどなかった。それは、環境価値が外観や性能などと同じ財の特性の一つとして扱われることで問題が生じなかったためである。しかし、エネルギー代替においては、財として本来同一であるはずのエネルギー(この場合、“電気”や“自家用車の燃料”など、狭い意味において同一とみなされる、使用の目的や形態でカテゴライズされたそれぞれのエネルギーを指す)に価格差があり、一部の消費者は価格の高い持続型エネルギーを選好していることから、その背後にある環境価値を取り扱うことは避けて通れないと考えられる。

本章では、習熟効果と環境価値を考慮した持続型エネルギー産業の成長に関する新しいモデルを構築し、ケーススタディとして住宅用太陽光発電を選び、モデルにおける需要の関数形とパラメータを推定する。またそれを用いて、温室効果ガス排出税、補助金、そして温室効果ガスの総排出量制約による普及促進政策の効果と、その経済規模や温室効果ガス排出量への影響とを明らかにすることを目的とする。住宅用太陽光発電を選んだのは、持続型エネルギーの中では普及が進んでおり、販売量、価格、補助金などの市場データが揃っているためである。以下の本節では習熟効果に関する考察と太陽光発電技術の現状に関して述べ、3.2節では成長理論、3.3節ではシミュレーションモデルの説明、そして3.4節でシミュレーション結果およびその考察を行い、3.5節でまとめを行う。

3.1.2 習熟に関する考察

3.1.2.1 習熟の定義

習熟は Learning の訳語であるが、Learning に対しては学習という訳語もあり、かつこちらが一般的である。日本語の学習という語は一般的には知識や技術の獲得を指すが、習熟の場合、特定の行

動を対象にした、知識や技術の蓄積による効率の向上といった概念となる。

一方、経済活動において習熟とは何かということを考えると、最も原義に近いのが製造業における技能の向上であろう。建築におけるカンナがけや壁塗りのような作業がイメージしやすいが、作業者の技能が向上するにつれて、作業時間が短縮されるとともに寸法のバラツキや仕上げ面の平坦度が増し、製品の品質が向上する。しかし経済学で主に対象とするのは、製品の品質ではなくコストである。通常、品質には一定の基準があるため、市場に出た製品は、企業によるバラツキはあるかも知れないが、少なくとも作業員個人の技能のバラツキは全て吸収されているとみなされるためである。コストの面から見れば、ある一定の基準の品質に仕上げるまでの時間が、習熟度の高い作業員ほど短くなる、つまり労働資本の投入量が少なくなる。

しかし、習熟のカバーする範囲は一般的にはもう少し広い。作業員は、作業の段取りや手順、専用工具（治具と呼ばれる）などを工夫することによって作業効率を向上させる。装置が加工を行っている時間を利用して複数の作業を同時に行うこともあれば、不良品の発生しやすい工程にあえて時間のかかる作業方法を採用することにより不良率を低下させ、作り直しによる時間のロスを防ぐことでトータルな効率を上げることもある。このような効率向上の過程も労働投入量の低減を伴い、習熟とみなされる。

工程全体においても、設備や人員の空間的・時間的配置を変えたりすることで効率が向上する。一般には組織単位の効率向上は習熟とは呼ばれないが、産業組織論などにおいてはこうした過程は産業の習熟と解釈されている。製造プロセスの根本的な変更や、さらには製品そのものの変更まで習熟と呼ぶかどうかについては議論の余地が大いにあるが、例えば機関車と電車のように消費者にとっての利用価値が同一であれば、一つの習熟プロセスの大きな流れの一部に製品の改新を内包させる解釈も可能であると考えられる。

このように、経済学における習熟にはいくつかのステージがあり、その意味するところは広範囲に渡る。これらのエッセンスを拾い、最も本質的な定義を与えるとすると、習熟とは「外部情報の統計的処理を通じた知識ストックの蓄積による出力の最適化」と言えるのではないだろうか。

単純作業における技能の向上を考えると、習熟は脳レベルで行われる。筋肉を動かす力や方向やタイミングを決定したり、目や耳から入ってくるあらゆる情報の中から必要なものを選び出したりする動作を、脳は論理的ではなく経験的に、繰り返しの作業を通じて改善していく。この過程において、作業員は動作を正確に行うようになるだけでなく、多くの不要な情報を切り捨てるプロセスを経験する。習熟度の低い作業員が時間を要する原因の一つとして、異常に直結する情報とそうでない情報の区別がつかないために情報を捨てることができないことが挙げられる。例えば、機械の運転中にちょっとした異音聞こえた時、それが全く支障のないものであるにも拘らず機械を止めて点検したりするようなことである。こうした経験が「この音は支障のないものである」という知識として蓄積されるまでには、多数の同様な経験を通じて「この音の発生と異常の発生との間に有意レベルで相関がない」という統計的処理が介在するのである。上述の定義はその点を強調したものである。そういった知識を他人（先輩作業員など）からの情報伝達により蓄積する場合もあるが、情報伝達の際にも何らかの（アドバイスを絶対のものとするか、参考程度にとどめておくのか、また自分が聞いた音が先輩に教えてもらったケースにあてはまるのかどうか、といった）統計的処理がなされていると考えれば

上述の定義を外れることはない。

より高次の、作業の改善や工程の効率向上といったレベルでは、統計的処理よりも知識ストック量が重要な意味を持つようになる。改善のアイデアはストックの中の知識を組み合わせることで生じるためである。しかし、その知識の蓄積の過程ではやはり数多くの外部情報の統計的処理と出力の繰り返しがあったのである。ここでは出力とは主に判断を指し、外部情報は経験とほぼ同義であり、出力のフィードバックによるものを含む。

ここでの定義における最適化の基準については、個人の効用または組織の利潤と考えるのが妥当であり経済理論との整合性もよいと思われる。一般的には個々の作業者は作業効率を向上させて単位時間当たりの成果を増やすことにより賃金を増やすことができるというインセンティブに従っているが、それだけではなく、技能が向上すること、あるいはより多くのことを知ることそのものの快感も部分的にはインセンティブになっており、しかもその強さが個人の能力と密接に関連していると考えられるのである。組織において利潤最大化が習熟の動機と考えた場合に、利潤を目的としない組織では習熟が起きないのではないかという指摘も考えられるが、構成員に対する報酬などのインセンティブがあるなら個人レベル(それが組織のトップであれば組織全体の習熟もありうる)での習熟は起き、ボランティア団体のようなケースでも知識と技能の向上や達成感に対するインセンティブはあるはずであるから、そうした個々の習熟の集合としての組織の習熟は起きると考えられる。ただし、それは利潤を目的とした組織に比べれば弱いであろうことも確かである。

企業のマネジメント手法として広く用いられているPDCAサイクルとの比較で考えると、P(Plan)は出力の行動への具体化、D(Do)は最適化に向けての行動と外部情報の入手、C(Check)は入手した外部情報の統計処理と知識ストックへの固定化、そしてA(Action)は新たな知識ストックに基づく出力(判断)の再実行、ということになる。

3.1.2.2 習熟曲線と経験曲線

習熟現象は製造現場において古くから観察され、作業員や監督者の間でもその存在は知られていたはずであるが、これを初めて体系的に研究したのはアメリカのスタンフォード研究所であり、その結果は次のように定式化されている(Andress[2], pp.88-89)。

$$Y = a_1 X^{a_2} \quad (a_2 < 0) \quad (3-1)$$

ここで

Y : 製品当たり労働投入時間

X : 累積生産量

a_1 : 第一製品に投入した労働時間

a_2 : 習熟の速さを表わす指数

習熟の速さの指標としては、累積生産量が2倍になった時の労働投入時間の比である習熟率が一般的に用いられる。習熟率が80%であるとすれば、10番目の製品に費やす時間が5番目の製品の0.8倍ということである。習熟率を*i*とすると、(1)式の指数*n*との関係は次のようになる。

$$n = \frac{\log i}{\log 2} \quad (3-2)$$

習熟曲線と類似したものに経験曲線がある。経験曲線も単位当たりのコストが累積生産量とともに低減する現象を表わすものであり、その関数形も共通している。習熟曲線が直接労働投入すなわち時間に焦点を当てているのに対し、経験曲線は労働コストだけでなく研究開発費、販売経費、間接費、広告費など付加価値要素のほとんどを含む総コストの低下を指す。さらに、累積生産量が2倍になったときのコストの低下率は産業を問わず、また個々の生産者が産業全体かを問わずほぼ共通で、20~30%であるという研究結果もある（ボストンコンサルティンググループ[5]、pp.5-12）。習熟曲線と経験曲線はもともと別の概念であったが、習熟曲線の内容が広がるにつれてこのように経験曲線と同義で論じられるようになったため、両者の区別は不要であると考えられる。狭義の習熟曲線は生産技術や製品のデザインの変更の際に更新され、新たな曲線としてスタートするが、西田は「...こうした波状の習熟曲線群を貫いて1本の長期的習熟曲線を考えることができるであろう。また生産方法の変化についても、これを単純に外生的な攪乱とみるのではなく長期的な視点において習熟を通じた生産方法の内生的変化という概念を導入する必要があると思われる。」（西田[49]、p.103）と述べており、習熟曲線においても設備、製品の仕様、プロセスの変化を包含した広い概念を支持している。ただし習熟の度合いはボストン・コンサルティング・グループのように共通と見るのではなく、個々の経済主体、またその集積としての産業に固有のものであり、またそれらは教育や景気変動などの外的要因によって可変的と考えるのが自然であろう。以上のことから、本章では産業における習熟の概念を「経済主体や産業に固有であり可変的な、ある製品における累積生産量の増加に伴う総コストの低下」として扱うこととする。また、どこまでが同一の製品かという点について曖昧さを排除することは困難であるが、消費者にとっての利用価値の大幅な変革がない限り、基本原理や製造方法が変化しても同一の製品とみなす。

3.1.2.3 習熟と従来理論との関係

習熟曲線・経験曲線の理論（以下、習熟理論）にはさまざまな批判も存在するが、それらは習熟現象自体を否定するものではなく、その理論的な扱いに対する批判である。例えば、経験曲線が技術進歩や規模の経済性など様々な要因を雑然と取り込んだものとし、そうした個々の要因を無視した経験曲線の分析や企業戦略への応用は危険を伴うという指摘である（Hart[10]）。特に経験曲線を規模の経済性的一种と見る立場からは、あえて経験曲線だけを独立に扱う必要はない、という批判が見られる。

しかし、累積生産量の拡大における費用逓減を表わす習熟理論には時間の概念が含まれており、それが明示されていない規模の経済性とは類似しているものの、どちらか一方のみが成立するケースを想定することが可能であることから言えるように、厳密には別々の概念である。特に習熟効果に対する「規模の動的経済性」という解釈が、技術与件の外生的変化によってもたらされるものであるという認識を含むのに対して、「...企業内部で生み出される技術的および組織的効率の増大によって生じると考えると本質的な特徴があるというべきである。」という内生的技術進歩としての側面を強調する主張もなされている（西田[49]、pp.121-122）。しかし実際には両者はクロスオーバーして

おり、密接に関連している。規模の経済性について言えば、その限界費用の逓減のうちに生産量が増えることに伴う習熟効果が含まれるであろうし、前項で定義した習熟の中には規模の経済性もまた含まれる。さらに、経済性を発揮できるだけの規模の拡大が可能であること自体が習熟の結果であるという解釈（西田[49], p.107）や、規模の概念を拡大することにより習熟を規模の経済性の一要素とする解釈（プラッテン[53] , pp.8-10）も存在する。

そもそも動学的な概念である習熟を従来の静学的な経済理論の中に位置づける際には混乱を起こしやすい。生産量とともにコストが低減する習熟曲線は一般的な右上がりの供給曲線と逆の形状であり、一見相容れないもののように思われる。しかし、供給曲線はある時点のものであり、長期か短期かというタイムスパンもある一つのものに限定して描かれている。実際にはタイムスパンによって連続的な無数の曲線群で表されるべきものであり、また時間（累積生産量）とともに移動するべきものである。概念的には習熟は累積生産量の増大に伴う供給曲線の下方向へのシフトと考えるべきであり、それぞれの時点で成立する取引価格（コスト）を累積生産量に従ってプロットした結果が右下がりになっても、それはもともとの供給曲線の性質と矛盾するものではない。

3.1.2.4 習熟と技術進歩論との関係

習熟はまた技術進歩論におけるさまざまな革新・発展の形態の一つとして論じられてきたが、新古典派と呼ばれる経済学派では科学的知見に基づく製品や製法の革新的な変化が重視され、習熟のようなある意味地味な変化は無視される傾向にあった。特にシュムペーターの「創造的破壊」を代表とする非連続的な革新による発展という概念は連続的な日常の習熟とは一線を画されるべきものであると考えられてきた。しかしそうした革新を可能にしたのは連続的な技術の進歩であり、それに伴う知識ストックの増大である。利潤という目的関数を最大化する企業の活動において、そのあらゆる要素を構成する変数の定義域が拡大していくことによって、最適解がある局所解から別の局所解に移動すること、これが革新の非連続性であり、その前段階である連続的な最適解の移動とそれに伴う定義域の拡大が習熟に他ならない。星野[19]は技術の発展において部分的改良と原理的発展という2つの対立概念を提示し、より小さな改良と比較すれば原理的な発展であってもさらに大きな発展と比較すれば部分的改良に過ぎないというように、あらゆるスケールにおいて2つの対立が相対的に存在するとした。この考え方は先ほどの最大化問題の例でいえば全体的に不連続な離散系の関数のようなものをイメージしていると思われる、連続系における最適解の不連続な移動というここでのイメージとは異なるが、小さな改良から大きな発展までを含む全体の動きの中で、本質的に両者を区別するものは存在しないか、あってもそれほど重要な意味を持つものではない、という点で星野と本項の考え方は一致している。以上のように、習熟効果は全ての技術的な進歩や革新の基礎にあるものと考えべきであり、より大きな非連続的な変化を含んだ経験曲線が様々な要因を含んでいる（そして、個別の要因を検討しなくてはならないケースも勿論存在する）とはいっても、習熟効果に基づいている点ではマクロな議論において一括して扱う十分な根拠は存在すると考えられる。

3.1.3 太陽光発電技術

3.1.3.1 太陽光発電技術の原理と分類

太陽光発電は太陽の光エネルギーを電気に変換する技術であり、太陽放射そのものを利用するという点で最も直接的な太陽エネルギーの利用方法であるとともに、エネルギーの中でも応用範囲の広く利用価値の高い電気という形態が得られる点で優れている。新エネルギー・産業技術総合開発機構の資料による、個人住宅に設置する時のシステムの一般的な構成を図 3-1 に示す。このように既存の送電ネットワークと接続する(系統連系)ことも、蓄電池と組み合わせて独立したシステム(単独系統)とすることも可能である。

現在市販されている太陽光発電システムの核となっている太陽電池は p 型と n 型を接合した半導体で形成されている(pn 接合型)。太陽光のエネルギーにより接合部の電子が励起されて伝導電子となり、その電子のあった場所に正孔が生成する。両者はそこに存在している電場によってそれぞれ n 型、p 型領域に移動し、電極を通じて取り出され電流として利用される。

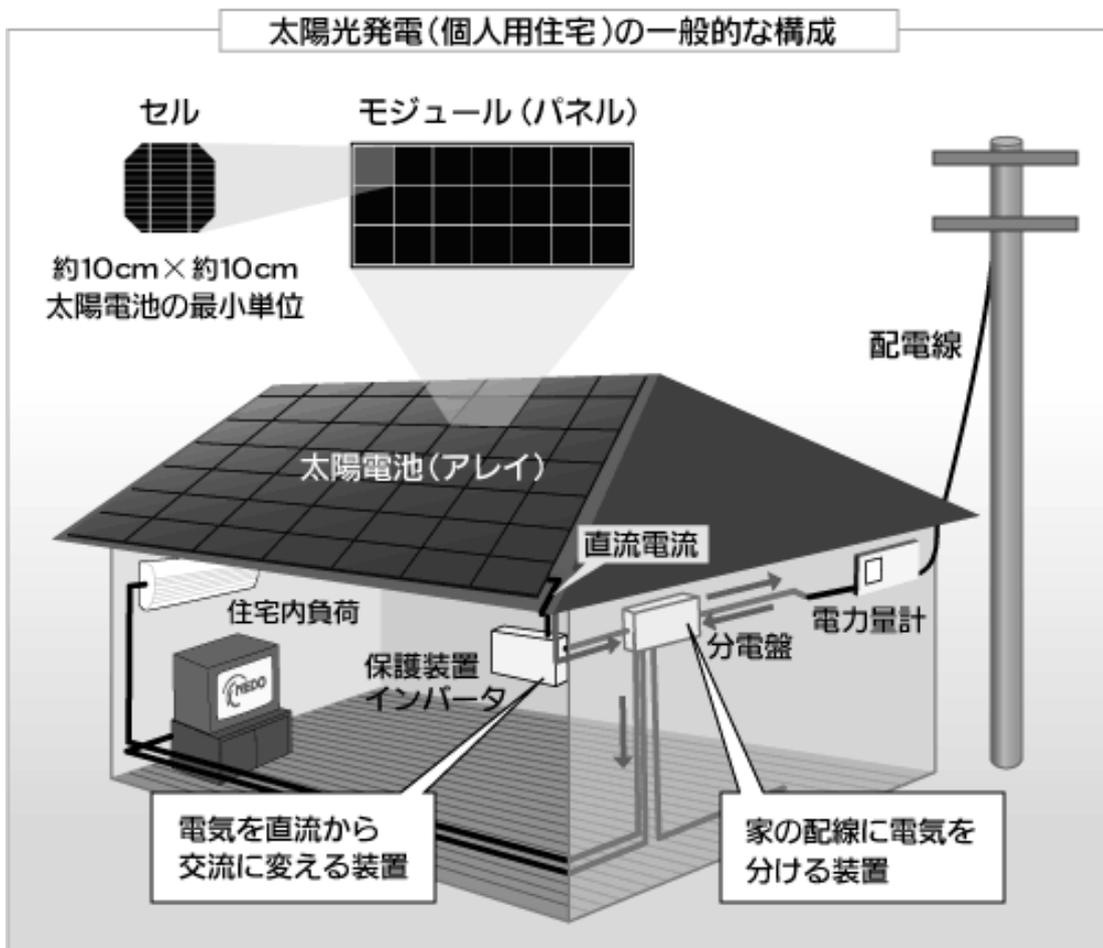
半導体は一般用にはシリコンが用いられ、その材料からは単結晶、多結晶、微結晶、アモルファス、形態からはバルク型、薄膜型、ハイブリッド型、多接合型、球状シリコン型といった分類が可能である。現在は単結晶や多結晶のバルクが主流であるが、発電効率の向上を目的として材料的にも構造的にもそれ以外の技術の導入が進み、また複数の技術を組み合わせた複合化も進んでいる。太陽光は様々な波長の光から成るが、材料の違いによって電気に変換できる波長が異なる。従って材料の複合化によりカバーできる波長域が広がり、変換効率が向上する。シリコンは地球上に豊富に存在し(地殻中の重量割合は酸素の次に多い)、その他の部分にも希少な元素を必要としないため、白金を使用する燃料電池のような資源上の制約はほとんどないことも利点である。太陽光発電の技術的課題は発電量あたりのコストに尽きるが、モジュール単位で考えた場合、発電効率の向上と製造コストの削減という 2 つのフェーズで開発が進められている。特に前者は太陽光のスペクトルのうちいかに広い範囲の波長を吸収し発電に利用できるかにかかっている。また、近年の世界的な生産量の拡大に太陽電池用シリコンの生産が追いつかないという状況も種類によっては発生しており、コスト削減の一種として省資源型技術の開発も進められている。以下、将来の主力となりうる技術について、普及または開発の進んでいるものから順に解説する。

(1)化合物半導体太陽電池

シリコンよりも変換効率の高い化合物半導体を利用したもので、コストより変換効率の重視される宇宙用の太陽電池に利用されている。原理はシリコン半導体と同じであり、用いられる化合物はガリウムヒ素、カルコパイライト系化合物、カドミウムテルル、硫化カドミウムなどである。

(2)色素増感型太陽電池

有機色素を二酸化チタンに吸着させ、電解液中に分散させて透明電極ではさんだもので、色素が太陽光を受けて電子を放出し、半導体である二酸化チタンと電解液がそれを運ぶ役目をする。低コスト、軽量、デザイン性(色や形状の自由度が高い)に利点がある。液体を用いるため製品寿命がネックとなっている他、変換効率にも課題が残されているが、現在試作やフィールドテストが各国で行われており、実用化の近い技術として期待されている。



(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[82])

図 3-1 個人住宅への太陽光発電システムの設置例

(3)有機薄膜型太陽電池

半導体として有機半導体を用いるもので、原理は半導体と同じだが、無機系半導体での伝導電子の生成がpn接合面付近の幅の狭い領域に限られるのに対し、有機半導体では分子レベルでの構造制御によりその領域を広げられたり、透明な薄膜を積み重ねるなど、さまざまな変換効率の向上技術の可能性がある。また、基板を選ぶことで柔軟性を持たせられるなど幅広い応用が期待できる点は色素増感型と同様であるばかりか、色素増感型よりもさらに軽量・低コストという大きな利点を持つ。変換効率と寿命の点で実用化までの課題は多いが、有機半導体には数多くの種類があり、21世紀になってから活発に開発が進められている。

(4)量子ドット型太陽電池

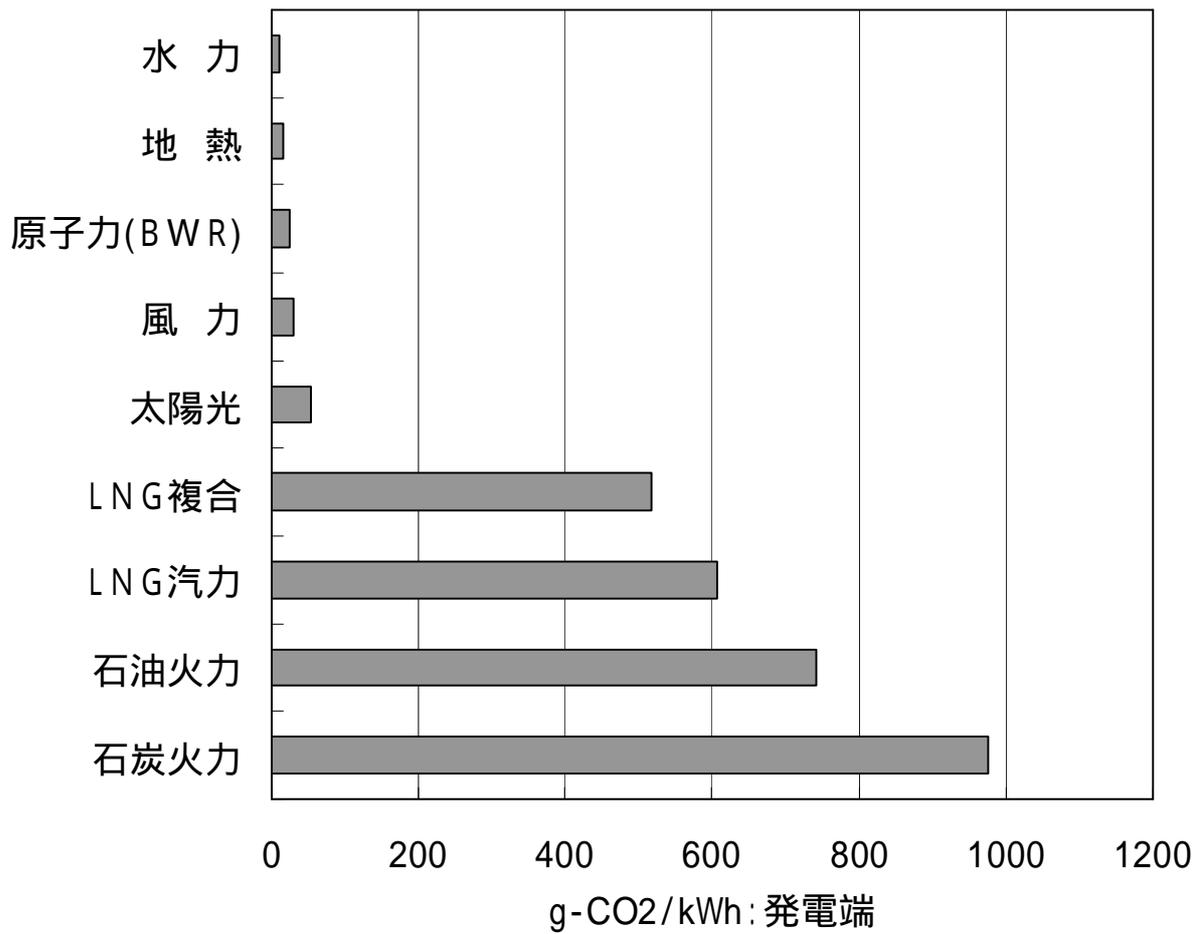
p型とn型の間際に伝導電子も正孔もない真性半導体の層(i型)を設けたもので、i層の中に量子ドットを配置する。量子ドットとは微小な結晶に電子を閉じ込めたもので、取りうるエネルギー準位が離散的になるという点で原子に似た特性となる。この量子ドットを格子状に配置することで結晶に似た構造(超格子)となるが、それが光を受けて励起されることにより伝導電子を生成するため太陽電池として利用できる。しかも結晶格子の間隔は理論上自由に設計できるため、電気に変換できる光の波長が異なるようなさまざまな構造の格子を重ね合わせることにより、現在のシリコン系で30%程度である変換効率の理論値が60%程度にまで高められる。しかし、現状ではまだ有力な材料も特定されておらず、超格子の製造プロセスについても模索が続けられている段階である。

3.1.3.2 太陽光発電の環境負荷

太陽光発電に関してはしばしば製造時の環境負荷が問題視される。こうした論調は電子デバイス用半導体製造時の環境負荷が大きいと言われることからの類推と思われるが、図3-2に示すようにCO₂排出量は持続型エネルギーの中では大きいものの化石燃料による火力発電と比較すれば問題のないレベルであり、エネルギーの製造部品である太陽電池と一般の電子デバイス部品を同一の視点で考えるべきではないと言える。またエネルギーペイバックタイムについても、年産規模10MWの製造過程によるシリコン太陽電池で1.8から2.4年であり(新エネルギー・産業技術総合開発機構[84])、20年といわれている太陽電池の寿命から考えればエネルギー回収は十分に行われる。

3.1.3.3 太陽光発電の普及状況

国別の太陽電池の生産量を図3-3に示す。日本は比較的日照に恵まれていることと、オイルショック以来のサンシャイン計画やニューサンシャイン計画といった石油代替の促進政策などにより太陽電池の生産技術が進み、世界の太陽電池の生産量の半分強を占めている。また残りのうちの半分をドイツが、さらにその残りの半分をアメリカが占める状況となっている。一方普及量の方は、図3-4に示すようにドイツに次いで第二位であるがほぼ同量であり、二国で世界の大半を占めている。累積普及量の推移を図3-5に示すが、日本はこれまで世界第一位であったものの、近年急速に伸びてきたドイツに追いつかれたところであることがわかる。ドイツの急伸の背景には、電力会社に対して太陽光発電を高額で買取るよう義務づけたFeed-in Tariff制度があり、企業にとっても市民にとっても太



(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[81])

図 3-2 発電方式の違いによるライフサイクルでの発電量当たり CO₂ 排出量の比較

陽電池の導入が魅力的な投資になっていることが挙げられる。

図 3-6 には日本における太陽電池の導入量、発電コストおよびシステム価格の推移を示す。導入量の伸びと共にコストや価格も順調に低下してきているが、近年は価格低下のスピードが鈍っており、発電コストは依然として通常の電力価格の 2 倍程度となっている。また、導入量の約 8 割を住宅用システムが占めていることもわかる。

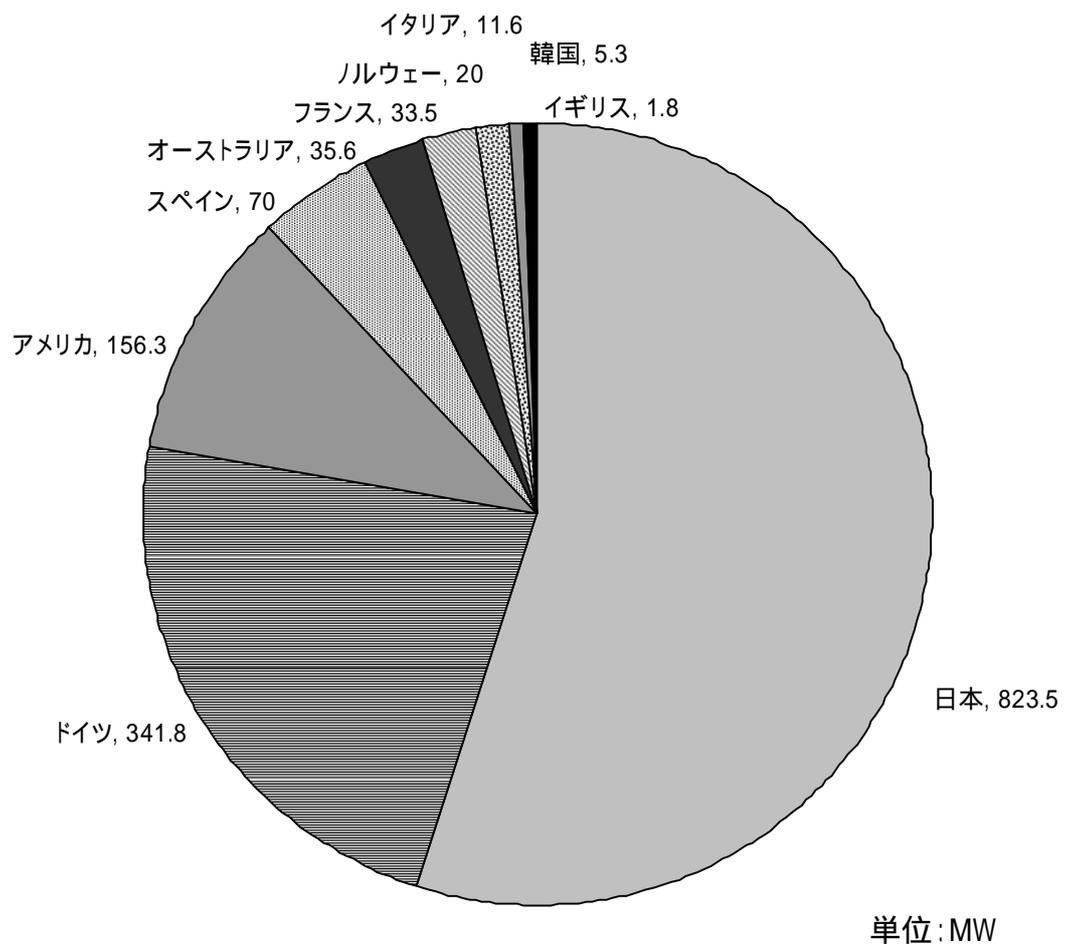
3.1.3.4 太陽光発電の導入に対する補助金

先進各国も日本と同様、太陽光発電の研究開発、フィールドテスト、そして普及促進に支出を行っている。ドイツとは制度の違いのため単純な比較はできないが、日本のこれらの支出の総額は 2005 年で 1 億 5,704 万 US ドルで、アメリカの 2 億 5,680 US ドルに次ぐ額である (International Energy Agency [22], p.13)。日本の主な政策を表 3-1 に示す。この中で個人が住宅にシステムを設置しようとする際の最も直接的かつ大規模な補助金は新エネルギー財団による住宅用太陽光発電導入促進事業であった。この事業は平成 6～8 年度の住宅用太陽光発電システムモニター事業、平成 9～13 年度の住宅用太陽光発電導入基盤整備事業、そして平成 14～17 年度の住宅用太陽光発電導入促進事業と合計 12 年間にわたって行われ、住宅用太陽光発電システムを導入しようとする際にその設備容量 (単位: kW) に応じて補助金が支払われた。なお、平成 17 年度でこの事業は終了している。

この事業における設備容量あたりの補助金支給額と補助金総額を図 3-7 に示す。補助金総額は前半は増加し、2001～2002 年をピークに減少に転じている。また、設備容量あたりの支給額は初めが大きく、次第に小さくなっている。これは、初期の段階では価格が高く導入量が少ないため設備あたりの支給額を大きくし、普及が進み価格が下がるにつれて浅く広い支給方式にしたためと考えられる。次に、補助金の支給を受けて導入した設備の量を図 3-8 に示す。支給を受けることのできる設備量 (支給枠) は総額と容量あたりの支給額から自動的に決まるが、図より導入された設備のほとんどが補助金制度を利用したものであることがわかる。彼らが、制度がなかった場合に導入する意思があったのかどうかは不明なため、補助金がなかった場合との比較はできないが、その場合の需要がほとんど見込めなかったとすれば、この制度は太陽光発電の普及に大きく貢献したと言える。

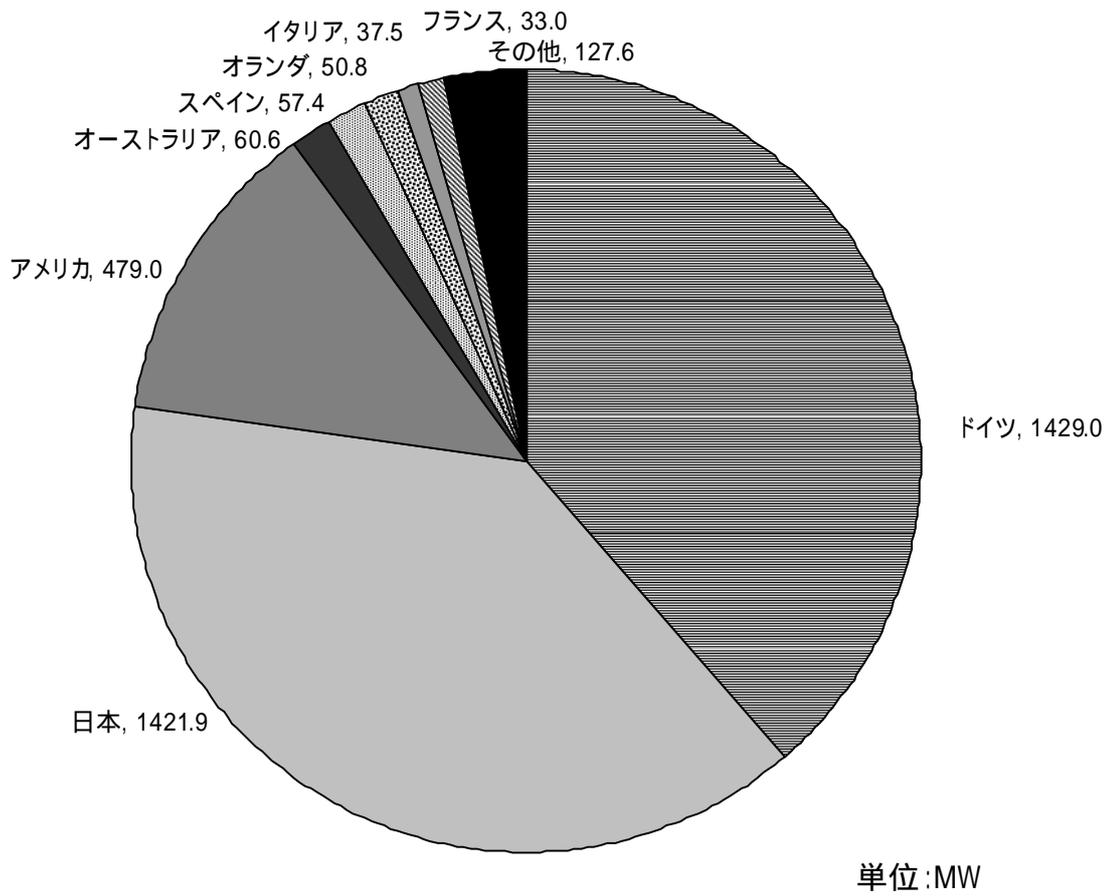
制度を利用した場合とそうでない場合の電力に換算した価格の比較を図 3-9 に示す。換算価格は装置にかかる全費用をライフタイムの間に発電する電力総量で割ったものである。補助金を受けた場合の価格は初期のモニター事業を除き、既存の電力価格のだいたい 2 倍になっていることが図から読み取れる。従って支給サイドでは翌年のシステム価格を予測し、補助金支給後の価格が既存電力の 2 倍になるように支給幅 (設備容量あたりの支給額) を決定していたことが推測される。太陽光による電力価格が補助金なしでも既存電力のほぼ 2 倍にまで下がった 2005 年で事業が終了したこともその推測を裏付けている。

住宅用太陽光発電導入促進事業が終了した 2006 年には需要が低下する可能性がある。最終的なデータは揃っていないが、2005 年と 2006 年の主要メーカーの国内販売実績 (新エネルギー財団 [88][90]) を見ると、2005 年の 7 社に対して 2006 年は 11 社と販売メーカー数は増えているにもかかわらず、販売量は 258kW から 224kW へ減少した。地方自治体では住宅用太陽光発電の導入に補助金を支給しているところが多いが、その規模も設備容量あたりの補助金額も新エネルギー財団によ



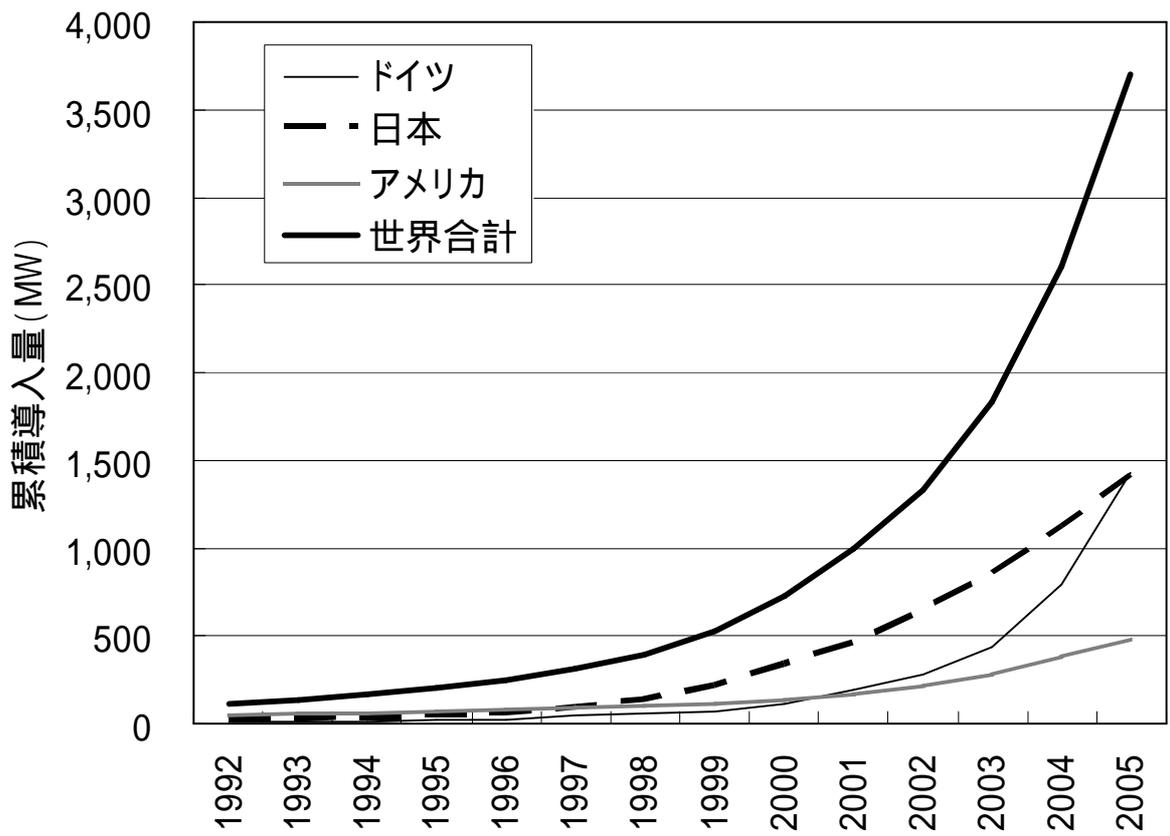
(出所 : International Energy Agency [22], p.16)

図 3-3 2005 年の国別太陽電池生産量



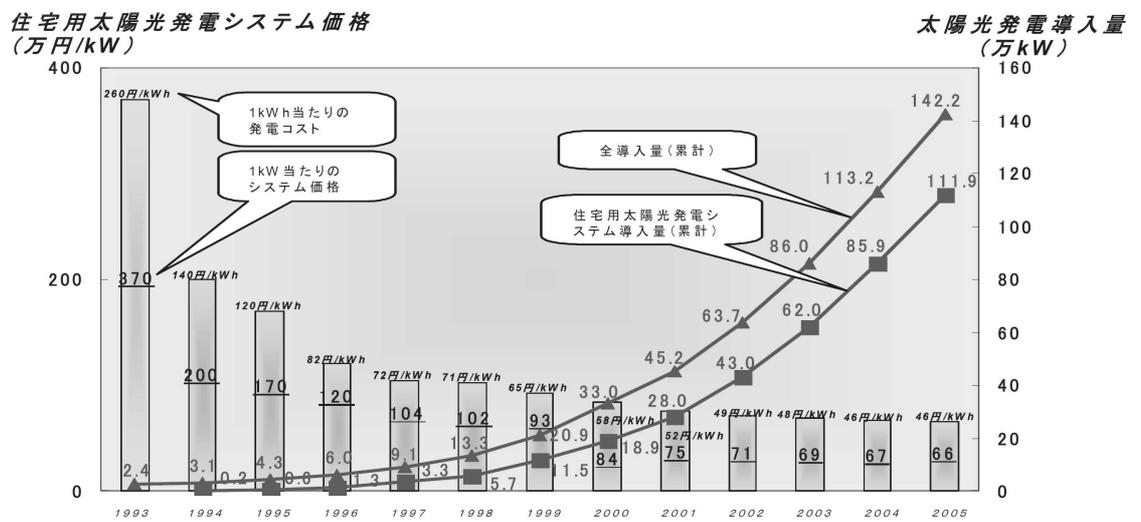
(出所 : International Energy Agency [22], p.5)

図 3-4 2005 年までの国別累積太陽光発電導入量



(出所 : International Energy Agency [22], p.5)

図 3-5 主な国の累積太陽光発電導入量の推移



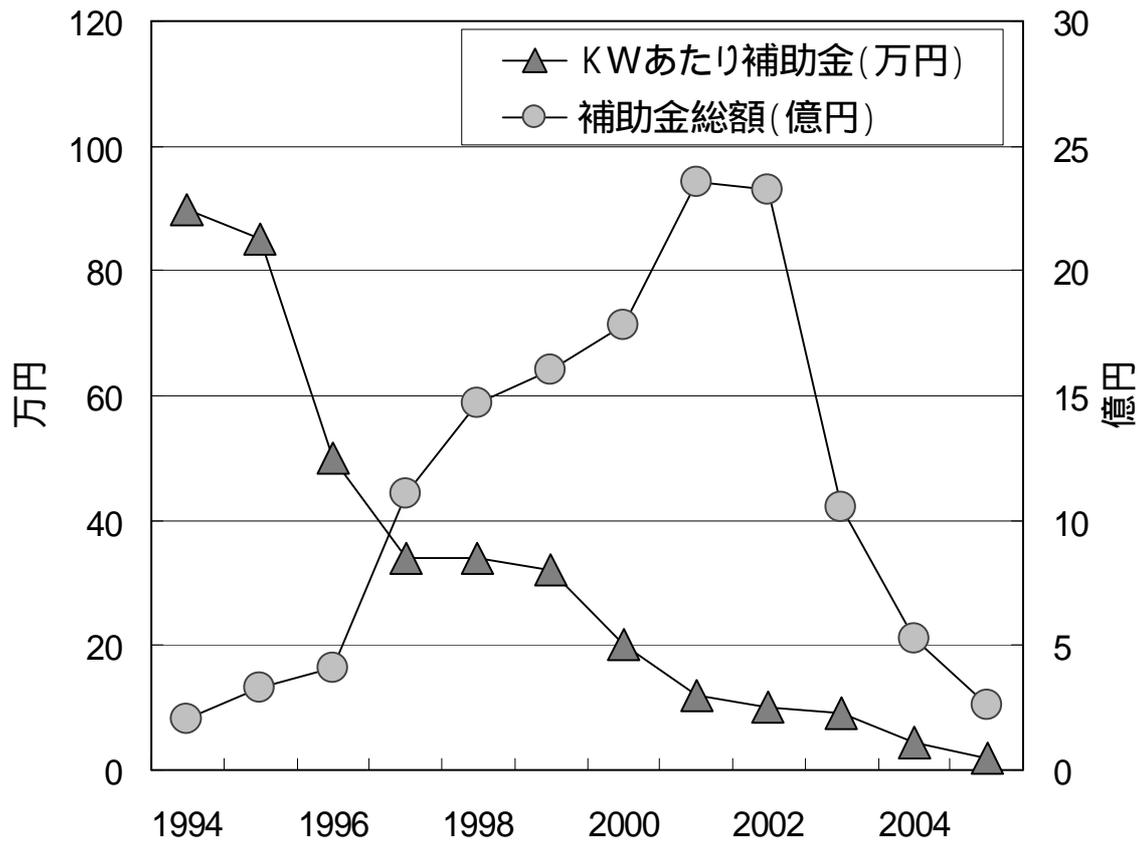
(出所：経済産業省[30]，p.203)

図 3-6 国内の太陽光発電の累計導入量と発電コスト，システム価格の推移

表 3-1 日本における主な太陽光発電関連政策

区分	内容	
政策等 (政府, 各省庁)	石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律(代エネ法, 1980年)	
	新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(新エネ法, 1997年)	
	経済構造の変革と創造のための行動計画(閣議決定, 1997年)	
	地球温暖化対策推進法(1998年)	
	環境配慮型官庁施設計画指針(グリーン庁舎指針, 1998年)	
	国等による環境物品の調達推進法(グリーン購入法, 2001年)	
	電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法(RPS法, 2003年)	
	エネルギー基本計画(2003年)	
	2030年のエネルギー需給展望(総合資源エネルギー調査会需給部会, 2005年)	
	地球温暖化対策推進大綱(地球温暖化対策推進本部決定, 2002年)	
技術開発	京都議定書目標達成計画(閣議決定, 2005年)	
	石油代替エネルギーの供給目標(改定を閣議決定, 2005年)	
	新エネルギー利用技術の研究開発(経済産業省)	
	地球温暖化対策技術開発事業(競争的資金, 公募型による競争的な地球温暖化対策市場化直結技術開発補助事業))(環境省)	
	太陽光発電技術研究開発(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
	太陽光発電システム共通基盤技術研究開発(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
	太陽光発電システム普及加速型技術開発(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
	太陽光発電システム実用化加速型技術開発(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
	革新次世代太陽光発電システム技術開発(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
	先進太陽電池技術開発(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
フィールドテスト	太陽光発電システム共通基盤技術研究開発(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
	新エネルギー等地域集中実証研究(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
	集中連系型太陽光発電システム実証研究(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
	産業等用太陽光発電フィールドテスト事業(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
	太陽光発電新技術等フィールドテスト事業(新エネルギー・産業技術総合開発機構)	
	普及啓発	省エネルギー・新エネルギー対策導入促進事業(新エネルギー・産業技術総合開発機構)
		新エネルギー設備・機器の導入支援(経済産業省)
		再生可能エネルギー高度導入地域整備事業(経済産業省)
		地域新エネルギービジョン策定等事業(新エネルギー・産業技術総合開発機構)
		地域新エネルギー導入促進事業(新エネルギー・産業技術総合開発機構)
地域地球温暖化防止支援事業(新エネルギー・産業技術総合開発機構)		
導入助成 (補助)		新エネルギー・省エネルギー非営利活動促進事業(新エネルギー・産業技術総合開発機構)
		住宅用太陽光発電導入促進事業(新エネルギー財団)
		グリーン電力基金(電力会社)
		余剰電力購入メニュー(電力会社)
	(債務保証)	新エネルギー事業者支援対策事業(新エネルギー・産業技術総合開発機構)
		国際協力
	国際協力	太陽光発電システム等国际共同実証開発(新エネルギー・産業技術総合開発機構)

(出所: 新エネルギー・産業技術総合開発機構[83])



(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[64]，新エネルギー財団[86][87])

図 3-7 住宅用太陽光発電導入促進事業の補助金総額と設備容量当たりの支給額

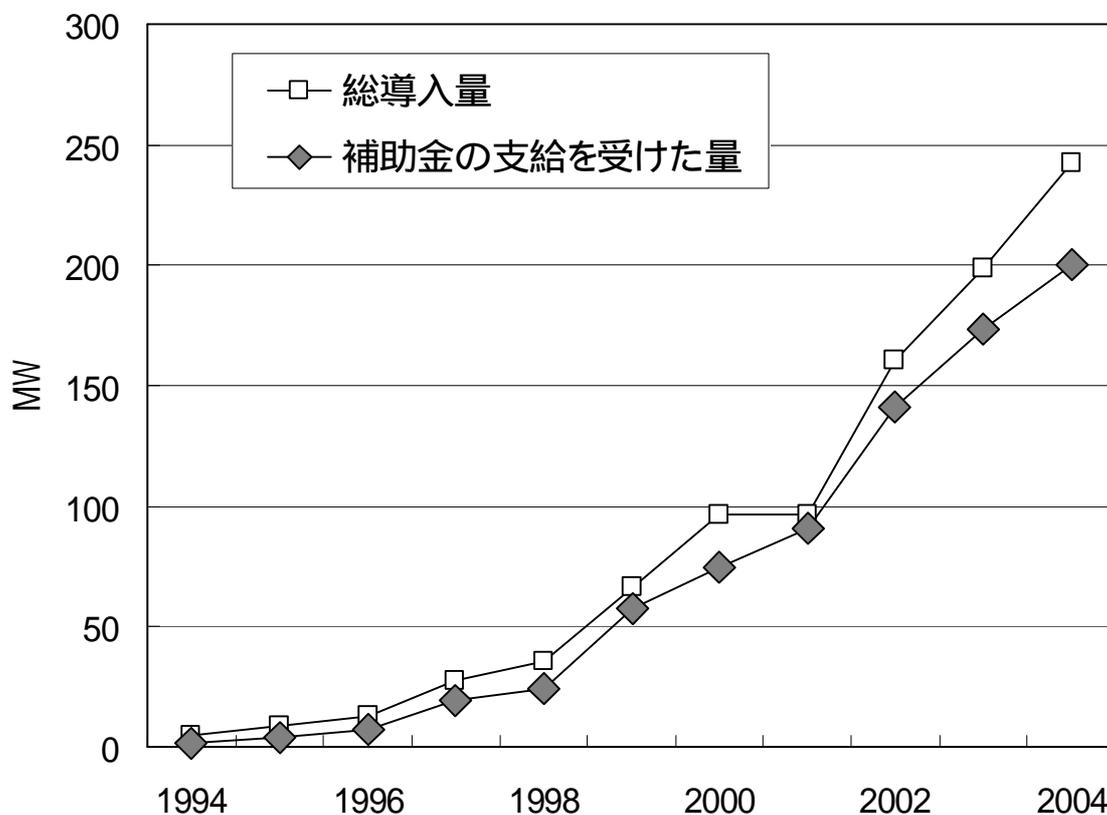


図 3-8 住宅用太陽光発電のうち導入促進事業の補助金を受けた設置量

注) 総導入量は、1999 から 2003 年については住宅用出荷量の値（新エネルギー・産業技術総合開発機構[65]）を用い、1994 年から 1998 年については一般電力用の生産量（光産業技術振興協会[13][14]）の値を補正して用いた。補正には 1999 年と 2000 年の住宅用出荷量（新エネルギー・産業技術総合開発機構[65]）と一般電力用の生産量（光産業技術振興協会[15][16]）の比を平均して用いた。2004 年については、1999 年から 2003 年の総出荷量に占める住宅用出荷量（新エネルギー・産業技術総合開発機構[65]）の比率の平均値を、2004 年の総生産量（光産業技術振興協会[17]、p.15）に乗じることにより推定した。

補助金の支給を受けた量は、都道府県別のデータの合計値（新エネルギー財団[91]）を用いた。

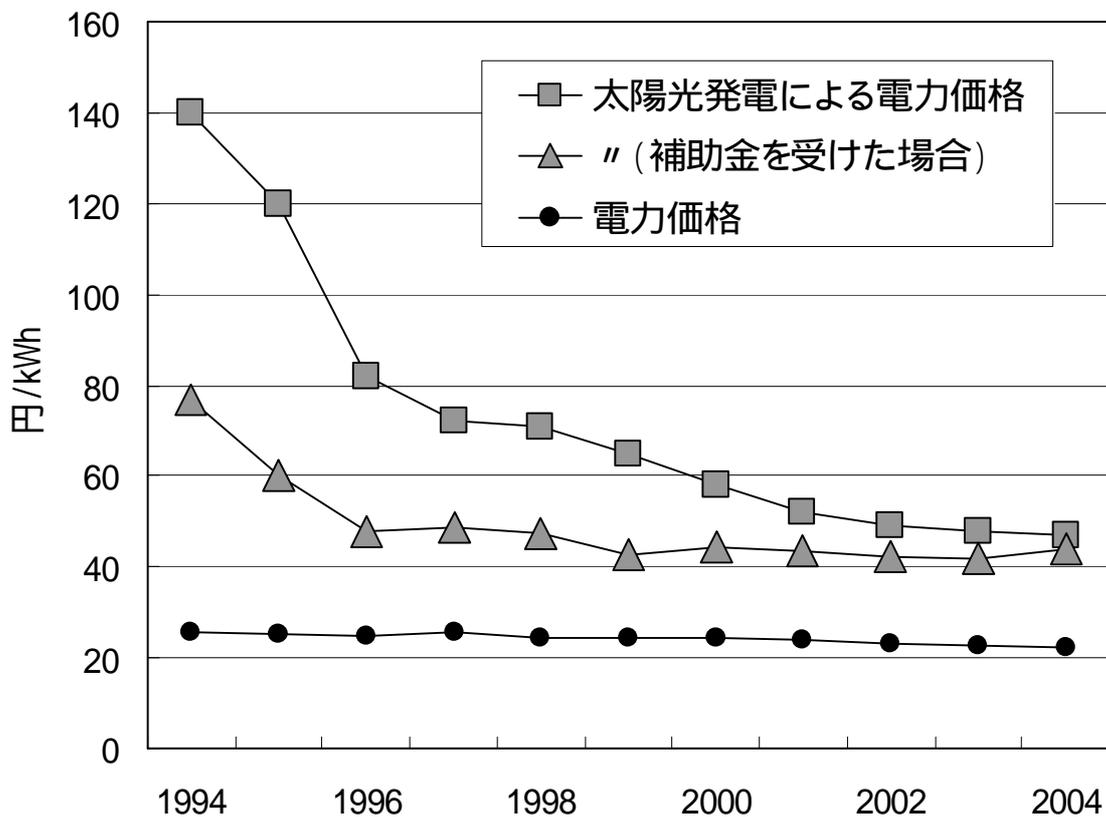


図 3-9 補助金による見かけの電力価格の変化

注) 太陽光発電による電力価格は図 3-6 の発電コストの値を転載した。補助金を受けた場合の価格は、設備容量当たりの補助金額(新エネルギー・産業技術総合開発機構[64]，新エネルギー財団[86][87])を図 3-6 のシステム価格で割って補助率を求め、1 から補助率を引いたものを太陽光発電による電力価格に乗じて求めた。また、電力価格はエネルギー白書 2006(経済産業省[29])のデータを用いた。

るものと比較すると小さく、需要の促進に対する大きな貢献は期待できない。ここ2~3年の需要動向が大いに注目される。

3.2 持続型エネルギーの成長理論

3.2.1 理論の基本形

持続型エネルギーに対する需要は、通常太陽光発電システムや風力発電機といった装置の購入という形で満たされる。従って、需要されるエネルギーフローは次式の関係により、市場に存在するべき装置ストックの量で表される。

$$mX' = DS \quad (3-3)$$

ここで

- X' : 市場にある持続型エネルギーの装置ストック量
- m : 単位ストックあたり発生するエネルギー
- D : 対象エネルギーに関する総エネルギー需要
- S : 持続型エネルギー需要の総エネルギー需要に対するシェア

エネルギー（以下、特に断りがない限りエネルギーはフローとして扱う）への需要が増加し、必要な装置ストック量が増加した時に装置への需要が発生するが、その他に劣化による減価償却を考慮すると、現存する装置の減価償却分が新たな装置への需要となる。財の連続性を仮定し、装置の生産量を累積生産量の増分として表すと、生産量は次式で表される。

$$\frac{dX}{dt} = \frac{dX'}{dt} + kX' \quad (3-4)$$

ここで

- X : 装置の累積生産量
- k : 減価償却率

(3-4)の両辺をある期間について時間で積分すると、その期間における生産量 x は以下のように表される。

$$x = \Delta X = \Delta X' + k \int X' dt \quad (3-5)$$

m を定数とし、(3-3)を(3-5)に代入すると、

$$x = \frac{1}{m} \{ \Delta(DS) + k \int DS dt \} \quad (3-6)$$

ここで需要シェア S は従来エネルギーおよび持続型エネルギーの価格によって決まり、さらに持続型エネルギーの価格は習熟理論により X の関数として表される。

$$S \equiv f_1(p^0, p) \quad (3-7)$$

$$p \equiv f_2(X) \quad (3-8)$$

ここで

$f_1(\cdot)$: 価格の関数で表された持続型エネルギーの需要シェア

p^0 : 従来エネルギーの価格

p : 持続型エネルギーの価格

$f_2(\cdot)$: 関数形で表された持続型エネルギーの価格

(3-7)および(3-8)を(3-6)に代入すると,

$$x = \Delta X = \frac{1}{m} (\Delta [Df_1\{p^0, f_2(X)\}] + k \int Df_1\{p^0, f_2(X)\} dt) \quad (3-9)$$

ここで m, D, p^0 および k が与えられれば, 生産量は時間のみの関数となる。この微分方程式を解くことにより, 生産量の内生的な成長が時間の関数として表される。仮に方程式を解くのが不可能であっても, 近似的なシミュレーションにより数値を求めることは可能である。また生産量や価格に関する市場データを用いて関数型やパラメータを推定することも可能であり, 将来に関する予測や普及政策を検討することができる。

3.2.2 補助金枠が存在する場合

持続型エネルギーの産業や消費者に対してはしばしば公的機関による補助金が支給されるが, さまざまな補助金制度やその補助枠の存在により, 消費者にとってさまざまな見かけの価格が共存することになり, 分析を複雑にしている。本章では消費者に対する単一の補助金制度について検討を行う。

価格に対する持続型エネルギーの需要シェアを図 3-10 に示す。ここで消費者にとって価格は所与であり, 持続型エネルギーの需給の変動は従来エネルギーを始めとする他の財やサービスには影響を及ぼさないものと仮定する。

図 3-10 ではエネルギーの価格差に反映された補助金が Δp で表されている。ある消費者に対して補助金が支払われるかどうか事前にわかっている場合, 需要曲線が実線で表されるとすれば補助金を受ける消費者の需要曲線は Δp だけ上方にシフトした点線で表され, その時の需要量はそれぞれ S^1 および S^2

$$S^1 = f_1\{p^0, p\} \quad (3-10)$$

$$S^2 = f_1\{p^0, p - \Delta p\} \quad (3-11)$$

で表される。ここで補助金の希望者 S^2 に対して支給枠が S^S だとすれば, S^1 および $S^2 - S^1$ に対応する消費者のうち, それぞれ S^S / S^2 だけが補助金を受け取ることができる。 S^1 の消費者は補助金を受け取ることができなくても購入を行うが, $S^2 - S^1$ の消費者は補助金を受け取ることができなければ実際に購入を行わないので, 最終的な需要量 S' は以下の式で表される。

$$S' = S^1 + (S^2 - S^1) \frac{S^S}{S^2} = \frac{S^1 S^2 + S^2 S^S - S^1 S^S}{S^2} \quad (3-12)$$

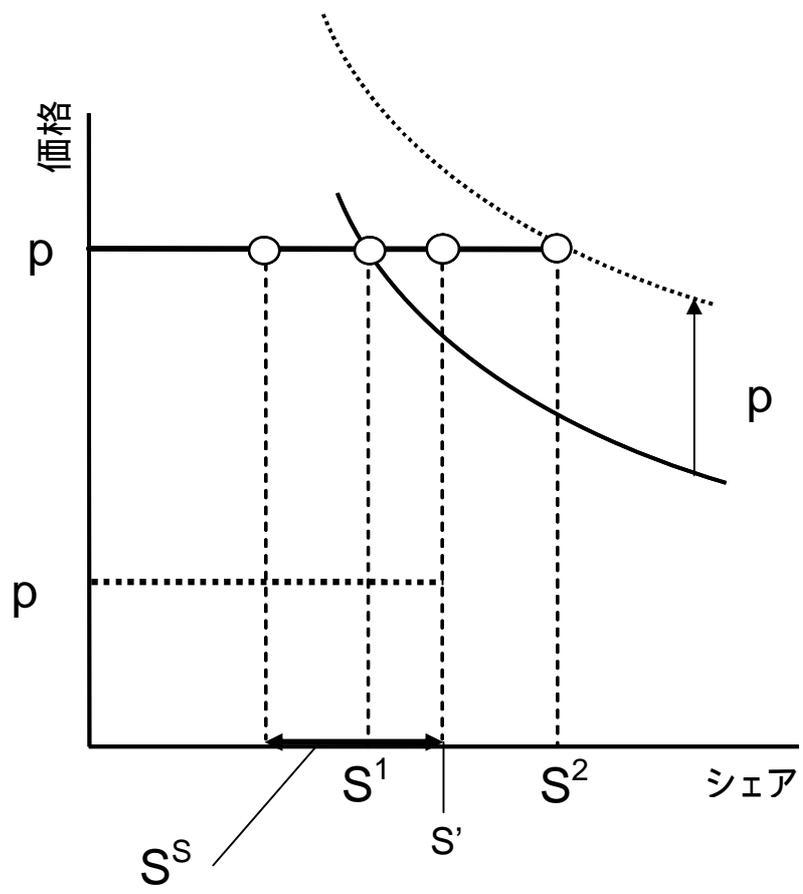


図 3-10 補助金と需要

補助率 S^S については、補助金総額をエネルギー価格差で割ることにより補助を受けることのできるエネルギー量が求められ、さらにそれをエネルギー総需要量で割ればシェアとしての補助率となるが、エネルギー総需要量がある期間での値であることに注意が必要である。通常それは年単位の値が用いられるが、装置購入に対する補助金の効力はその装置の寿命期間にわたることから、期間を揃えるためには年ごとの減価償却率をかければよい。従って補助率 S^S は以下のように表される。

$$S^S = \frac{kS^U}{D\Delta p} \quad (3-13)$$

ここで

S^U : 補助金総額

同じ補助金総額に対しても、装置容量当たりどれだけ補助を行うか (Δp) によって補助率は変わってくる。(3-10)(3-11)(3-13)式を(3-12)式に代入することにより、補助率のもとでの需要シェアは以下のような変数の関数で表される。

$$S' = f_3\{p^0, f_2(X), \Delta p, k, S^U, D\} \quad (3-14)$$

ただし、 Δp が小さく、 $S^S > S^2$ になる場合は、補助率が需要を上回るため補助金が余ってしまう。この場合の需要シェアは S' でなく S^2 となり、それを考慮すると以下ようになる。

$$\begin{aligned} S'' &= S' & \text{s.t.} & \quad S^S \leq S^2 \\ &= S^2 & \text{s.t.} & \quad S^S > S^2 \end{aligned} \quad (3-15)$$

ここで

S'' : 補助率および補助金が余るケースを考慮した時の需要シェア

S^S と S^2 の大小関係は S' と S^2 の関係に一致するので、(3-15)は次式と同値である。

$$S'' = \min(S', S^2) \quad (3-15)'$$

そして、補助金のもとで需要される装置ストック量は、(3-3)式に代わって以下ようになる。

$$X' = \frac{DS''}{m} \quad (3-16)$$

(3-16)を(3-5)に代入したものが、(3-6)に代わって補助金制度のもとでの生産量を表わす。

$$x = \frac{1}{m} \{ \Delta(DS'') + k \int DS'' dt \} \quad (3-17)$$

S' および S^2 は $p^0, \Delta p, k, S^U, D$ そして X (つまり x 自身) の関数であるから、 $p^0, \Delta p, k, S^U, D$ の市場データが得られれば、生産量は時間のみ関数となり、補助金がない場合と同様、時間に伴う成長過程を表すことができる。

本章では消費者が購入を決定する時点で補助金の受給可否が既知であるケースを想定している。そ

れらが未知の場合でも，期待効用を考慮すると需要は S^1 と S^2 の間になる。購入を選択して補助金を受け取れない一部の消費者が損失を被る点が既知のケースとの大きな違いであるが，期待効用による需要が S' に等しいという仮定を置くことにより，本モデルを未知のケースに拡張することが可能である。

3.2.3 需要関数と習熟関数の関数形

本モデルを用いてシミュレーションを行うためには，需要シェアを表す関数 $S = f_1(p^0, p)$ と習熟効果によって決まる価格 $p = f_2(X)$ の関数形を特定する必要がある。以下，本項でその関数形についての検討を行う。

3.2.3.1 一般均衡理論

従来エネルギーと持続型エネルギーの代替を考える際の理論としては両者の需給均衡を求める一般均衡理論が多く用いられている。ここでは両者は別の財として扱われ，それぞれの価格に応じて両者の需要量が定まる。しかしこの方法では，本来生産活動にも消費活動にも重要な意味合いを持つべきエネルギー総需要が2つの財の需要の単なる和でしかなく，その理論的な意味づけが希薄であるという問題がある。本来同一である2つのエネルギーが別々の財として扱われることも，経済理論から言えば不自然である。

持続型エネルギーにはエネルギーそのものの価値の他に環境価値が含まれる。従ってこれらを分け，持続型エネルギー中のエネルギー価値の部分と従来エネルギーとを合わせた総エネルギーと，持続型エネルギーに含まれる環境価値という2つの財として扱うことも可能である。この場合，エネルギーの価格は従来エネルギーの価格，環境価値の価格は従来エネルギーと持続型エネルギーの差額として表される。この解釈によれば消費者は両者の価格（と差額）から総エネルギー需要量と環境価値の需要量を決定し，次に後者に見合うだけの持続型エネルギーの需要量を決定し，最後に総エネルギー需要と持続型エネルギー需要の差を従来エネルギーで埋め合わせるべくその需要量を決定する。消費者行動としてはこの方が実態をよく表現していると考えられる。

以上のように考えた場合の持続型エネルギー需要の定式化を試みる。ここでは持続型エネルギー中の環境価値とその他の財の合成財の2財の均衡を考え，効用関数としてCES型を仮定する。単位のとりは任意であるから，環境価値の消費量は持続型エネルギーの消費量で表すことが可能であり，効用は以下のように表される。

$$u(x_1, x_2) = (a_3 x_1^{a_5} + a_4 x_2^{a_5})^{\frac{1}{a_5}} \quad (a_3, a_4 > 0, a_5 < 1, a_5 \neq 0) \quad (3-18)$$

ここで

$u(\cdot)$: 効用関数

x_1 : 持続型エネルギーの消費量

x_2 : 合成財の消費量

a_3, a_4, a_5 : 定数

均衡点では，各財の価格で重み付けされた限界効用は等しいので，

$$\frac{\partial u / \partial x_1}{p_1} = \frac{\partial u / \partial x_2}{p_2} \quad (3-19)$$

ここで

p_1 : 持続型エネルギーの環境価値分の価格

p_2 : 合成財の価格

ここから、以下の関係が導かれる。

$$x_1 = x_2 \left(\frac{a_4 p_1}{a_3 p_2} \right)^{\frac{1}{a_5 - 1}} \quad (3-20)$$

環境価値分の価格は従来エネルギーと持続型エネルギーとの価格差であると考えられるが、ここでエネルギーの切り替えの際の心理的なコストを考慮する。また定数を整理すると、(3-20)式は以下のようになる。

$$x_1 = a_6 x_2 \left(\frac{p - p^0 + a_7}{p_2} \right)^{a_8} \quad (a_6 > 0, a_8 < 0) \quad (3-21)$$

$$\text{ただし, } a_6 \equiv \left(\frac{a_4}{a_3} \right)^{\frac{1}{a_5 - 1}}, a_8 \equiv \frac{1}{a_5 - 1}$$

ここで

a_7 : 持続型エネルギーへの切り替えに伴う心理的コスト

消費量は需要量と言い換えることが可能なので、この一般均衡モデルにおける持続型エネルギーの需要シェアを表わす関数を $f_{0(GE)}$ とすると、以下のようになる。

$$f_{0(GE)} = \frac{m x_1}{D} = \frac{a_6 m x_2}{D} \left(\frac{p - p^0 + a_7}{p_2} \right)^{a_8} \quad (a_6 > 0, a_8 < 0) \quad (3-22)$$

3.2.3.2 ランダム効用理論

次に、環境価値の金銭的評価という観点から、環境評価で用いられている理論の適用を試みる。森林や景観といった市場財でないものの環境価値の評価に関しては、仮想評価法がしばしば用いられる。これらの手法は通常アンケートを通じて行われ、ある環境財を保護するために提示された支払額に対して、支払いを行って環境財を保護することを受容する意思を示した者の割合から環境財の経済評価を行うものである。ここで、持続型エネルギーの購入を、「従来エネルギーとの価格差として提示された支払額に対する、購入を通じて環境を改善することの受容」と見なすことにより、仮想評価法の理論を持続型エネルギーの購入行動に応用することが可能であると考えられる。評価のモデルとしてはいくつか提示されているが、ここではまずランダム効用モデル(栗山[36], pp.71-79)について検

討する。

まず，個人の効用が以下の形で表され，各個人は効用を最大化する選択を行うとする。

$$u' = v(c, e) + \varepsilon \quad (3-23)$$

ここで

- u' : 効用
- $v(\cdot)$: 効用のうち観察可能な部分を表す関数
- c : 所得
- e : 環境およびその他の社会経済的特性
- ε : 効用のうち観察不可能な部分

このうち ε は他の特性で表わすことはできず，確率的な誤差項と考えることもできる。いま，状態 0 から状態 1 への変化が提示されたとする。状態を添字で表すと，変化を受け入れ提示に賛成する条件は $u'_1 \geq u'_0$ であるから，

$$\begin{aligned} P[\text{yes}] &= P[u'_1 \geq u'_0] \\ &= P[v(c_1, e_1) + \varepsilon_1 \geq v(c_0, e_0) + \varepsilon_0] \\ &= P[\varepsilon_1 - \varepsilon_0 \geq v(c_0, e_0) - v(c_1, e_1)] \\ &\equiv P[\Delta\varepsilon \geq -\Delta v] \end{aligned} \quad (3-24)$$

ただし， $\Delta\varepsilon$ および Δv はそれぞれ状態変化に伴う ε および v の変化量である。 $\Delta\varepsilon$ を確率変数とすれば，

$$P[\text{yes}] = 1 - f[-\Delta v] \quad (3-25)$$

ここで

$f[\cdot]$: $\Delta\varepsilon$ の累積分布関数

となる。従って $f[\cdot]$ と $v(\cdot)$ の関数形が決まれば，データを用いてパラメータ推定による関数の特定が可能である。

$v(\cdot)$ が所得に対して線形であると仮定すると，それは c に比例する部分とそれ以外の e で決まる部分に分けられる。

$$v(e, c) \equiv v'(e) + \eta c \quad (\eta > 0) \quad (3-26)$$

ここで

- $v'(\cdot)$: $v(\cdot)$ のうち所得に影響を受けない部分
- η : 定数

従って，

$$\Delta v = v'(e_1) - v'(e_0) + \eta \Delta c \quad (3-27)$$

ただし $\Delta c \equiv c_1 - c_0$ であり，提示された支払い金額 $v'(\cdot)$ の符号を変えたものに相当する。金額に影響

響されない部分をまとめることにより，(3-25)式は以下のように書き換えられる。

$$P[\text{yes}] = 1 - f[-\alpha - \eta\Delta c] \quad (3-28)$$

ここで

$\alpha \equiv v'(e_1) - v'(e_0)$: 定数

この関係を用い，ある特定の累積分布関数を f に当てはめ，提示金額と賛成者（受容者）の割合からそのパラメータを推定するのがランダム効用理論による評価方法である。この累積分布関数は $\Delta\varepsilon$ （状態変化による，観察可能な要因からは独立な効用変化の個人的なばらつき）の分布によって表されるが，正規分布またはロジスティック分布を用いるのが一般的である。従って本研究でもこの2つの分布の適用を試みた。

正規分布を用いたモデルはプロビットモデルと呼ばれる。本研究では賛成者の割合は持続型エネルギーの需要シェア，提示金額は従来エネルギーとの価格差であるから，

$$\begin{aligned} f_{0(\text{probit})} &= 1 - \Phi\{-a_9 - a_{10}(p^0 - p)\} \\ &= \Phi\{a_9 - a_{10}(p - p^0)\} \quad (a_{10} > 0) \end{aligned} \quad (3-29)$$

ここで

$\Phi(\cdot)$: 標準正規分布の累積分布関数

a_9, a_{10} : パラメータ（定数）

一方，ロジスティック関数を用いたモデルはロジットモデルと呼ばれる。ロジスティック関数の一般形は

$$f_{\text{logistic}}(x) = 1 / \{1 + \exp(-x)\} \quad (3-30)$$

であるから，ロジットモデルにおける需要シェアは以下ようになる。

$$\begin{aligned} f_{0(\text{logit})} &= 1 / [1 + \exp\{-a_{11} - a_{12}(p^0 - p)\}] \\ &= 1 / [1 + \exp\{-a_{11} + a_{12}(p - p^0)\}] \quad (a_{12} > 0) \end{aligned} \quad (3-31)$$

ここで

a_{11}, a_{12} : パラメータ（定数）

3.2.3.3 生存分析

ランダム効用理論と並んで，仮想評価法での分析に用いられるのが生存分析である。これはその名の通りもともとは医学において疾病や投薬など何らかの条件のもとでの人間の生存率の時間経過を分析するのに用いられてきたもので，生物を用いた実験や機械の寿命予測による製造管理などに応用範囲を広げてきた。仮想評価法ではある提示金額に対して賛成の側にとどまっている状況を生存と解釈し，金額が上昇するにつれて賛成者が減少する状況を生存者の減少に相当すると考える。関数形は一般的に次式で表されるワイブル分布関数を用いられる。

$$f_{\text{weibull}}(x) = 1 - \exp\{-(x/a_{13})^{a_{14}}\} \quad (3-32)$$

ここで

a_{13}, a_{14} : パラメータ (定数)

この関数は $x = \infty$ で $f_{\text{weibull}} = 1$ となる増加関数なので、死亡率を表している。生存率は $1 - f_{\text{weibull}}$ で表される。仮想評価法では生存率を賛成率 (提示の受容率)、 X を提示金額として調査を行うが、本研究ではランダム効用理論の時と同様、生存率を持続型エネルギーの需要シェア、 X を従来エネルギーとの価格差として扱う。ただしここでは従来エネルギーから持続型エネルギーに切り替える際の心理的コストを考慮する。ランダム効用モデルではこうしたコストも ε に含まれると考えられるが、生存分析モデルでは考慮されていないため、パラメータを以下のように追加した。

$$f_{0(\text{weibull})} = \exp\{-(p - p^0 + a_{15})^{a_{14}} / a_{16}\} \quad (a_{14}, a_{16} > 0) \quad (3-33)$$

ここで

a_{15} : 心理的コストを表すパラメータ

$a_{16} \equiv a_{13}^{a_{14}}$: パラメータ

4つの式(3-22),(3-29),(3-31),(3-33)をまとめて f_0 とすると、後述する情報伝達効果やパラメータのシェア依存性といった要因を考慮しない場合の f_1 としては f_0 をそのまま用いる。

$$f_1 = f_0 \quad (3-34)$$

これを(3-9)式に代入することにより生産量が求められる。また、(3-9)式の代わりに(3-10)-(3-13),(3-15),(3-17)の各式を用いることにより、補助金が支給された時の生産量が求められる。

3.2.3.4 情報伝達効果

新しい製品や技術の普及過程を説明するもう一つの理論は情報伝達モデルである。これはシェアの拡大が、購入した消費者から購入していない消費者への情報の伝達に律速されるモデルであり、その拡大速度は以下のように表される。

$$\frac{dN}{dt} = rN(1 - N) \quad (3-35)$$

ここで

r : 情報伝達のスピードを表わすパラメータ

N : 購入した消費者の割合 (または情報の浸透度) を表すパラメータ

情報伝達は購入した消費者と購入していない消費者の接触によって行われ、その頻度は両者の積に比例する。接触は必ずしも購入手動には直接的に結びつかないが、ここでは情報伝達を受けたうちの一定割合の消費者が購入手動を起こすと仮定されている。これを解いたシェア拡大の時間変化は(3-28)式を一般化した以下のロジスティック関数となる。

$$N = \frac{1}{1 + \exp\{r(t_0 - t)\}} \quad (3-36)$$

ここで

t_0 : t の初期値

これまでは持続型エネルギーに関する消費者行動を決定する要因として価格と環境価値のみを考えてきたが、ここで新たに情報伝達効果について検討する。本モデルでは N を情報を持った消費者の割合（情報シェア）として扱い、持続型エネルギーを購入した消費者と未購入の消費者、持続型エネルギーに関する情報を持っている消費者と持っていない消費者という 2 通りの分類を行う。当然のことながら情報を持っている消費者は購入した消費者よりも多い。情報伝達は持続型エネルギーを購入した消費者から情報を持っていない消費者に対して行われ、情報シェアのうち価格に対応した需要シェアの分の消費者が購入を行うものとする。従ってここでの最終的な需要シェアは、情報シェアと価格に应答した需要シェアの積となる。これを表わす式は以下の通りである。

$$S = f_1 = Nf_0 \quad (3-37)$$

$$\frac{dN}{dt} = rS(1 - N) \quad (3-38)$$

f_0 に(3-22),(3-29),(3-31),(3-33)のいずれかを代入することにより f_1 が求められる。さらに、(3-10)-(3-13)と(3-15)'を用いて補助金のあるケース S'' を求めることができる。ただし、(3-38)式の代わりに以下の式が適用される。

$$\frac{dN}{dt} = rS''(1 - N) \quad (3-39)$$

本研究ではシミュレーションの際にこれらを解くことはせず、時間に関する差分を用いて近似的に値を求めた。

3.2.3.5 パラメータのシェア依存性

需要シェアを表わす 4 つのモデル（一般均衡、プロビット、ロジット、ワイブル）におけるパラメータは、消費者の特性や社会経済的要因によって決定されるが、それらの本質的な部分に関わるものであり、その値は短期的には変化しないと考えるのが一般的である。しかし、持続型エネルギーの普及そのものがパラメータに影響を及ぼし、それらを変化させていくという、よりラディカルな関数を考えることもできる。前項において個人的な情報伝達効果を考慮したことは、口コミや「近所の家が導入した」といったことが実際の主要な購入動機になっていることを想定したものであるが、一方ではマスメディアなどによる太陽光発電の社会的認知度の高まりや、消費者の環境問題に対する問題意識の高まりによって購買が促進されるという要素も需要の拡大に大きな影響を与えていると考えられる。こうした要素のうち何割かは前項の情報の浸透度で表すことができるが、残りの何割かは消費者の効用関数に直接的な影響を及ぼし、需要関数（のパラメータ）を変化させる働きを持っていると考えられる。

需要がパラメータ変化に及ぼすこうした影響について研究を行った例は見当たらず、実際にどのような影響を及ぼしているのかは全くの未知数であるが、仮に各パラメータが需要(または需要シェア)に対して線形関係にあるとすると、4つのモデルでの需要シェア(3-22)(3-29)(3-31)(3-33)はそれぞれ以下ようになる。

$$S = f_1 = \frac{mx_2}{(a_{17}S + a_{18})D} \left(\frac{p - p^0 + (a_{19}S + a_{20})}{p_2} \right)^{\frac{1}{a_{21}S + a_{22} - 1}} \quad (3-40)$$

ここで

$a_{17}, a_{18}, a_{19}, a_{20}, a_{21}, a_{22}$: パラメータ

$$S = f_1 = \Phi\{(a_{23}S + a_{24}) - (a_{25}S + a_{26})(p - p^0)\} \quad (3-41)$$

ここで

$a_{23}, a_{24}, a_{25}, a_{26}$: パラメータ

$$S = f_1 = 1/[1 + \exp\{-(a_{27}S + a_{28}) + (a_{29}S + a_{30})(p - p^0)\}] \quad (3-42)$$

ここで

$a_{27}, a_{28}, a_{29}, a_{30}$: パラメータ

$$S = f_1 = \frac{\exp\{-(p - p^0 + a_{31}S + a_{32})^{a_{33}S + a_{34}}\}}{a_{35}S + a_{36}} \quad (3-43)$$

ここで

$a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}, a_{35}, a_{36}$: パラメータ

情報伝達効果のケースと同様、これらの式と(3-10)-(3-13)と(3-15)'を用いて補助金のあるケース S'' を求めることができる。

3.2.3.6 習熟関数

習熟効果を表す関数 $f_2(X)$ には、(3-1)式の労働投入時間を価格に置き換えた次式が適用できる。

$$p = a_1 X^{a_2} \quad (a_2 < 0) \quad (3-44)$$

持続型エネルギーの成長理論をまとめると、まず f_0 として、一般均衡理論の場合は(3-22)、プロビットモデルの場合は(3-29)、ロジットモデルの場合は(3-31)、そしてワイブルモデルの場合は(3-33)の各式が用いられる。それぞれの場合についての f_1 として、情報伝達効果やパラメータのシェア依存性を考慮しない場合は(3-34)式、情報伝達効果を考慮する場合は(3-37)および(3-38)式、そしてパラメータのシェア依存性を考慮する場合はそれぞれ(3-40),(3-41),(3-42),(3-43)の各式が用いられ、 f_2 を表す(3-35)式と共に(3-9)式に代入することにより、補助金のないケースの生産量が表される。さらに補助金の支給されるケースでは、 f_1 および(3-7),(3-10)-(3-13),(3-15)',(3-35)の各式を用い、最終的

に(3-17)式により生産量が求められる。ただし情報伝達効果を考慮する場合，(3-38)の代わりに(3-39)式を用いる。

この成長理論は市場全体や代替の対象となる従来エネルギーに関するデータは外生的に与える必要があるが，対象となる持続型エネルギーの生産量や価格などの変数そのものに仮定を必要としないという意味で内生的成長理論として扱う。

3.3 シミュレーションモデル

持続型エネルギーの成長モデルを，社会経済システムと自然環境システムを包括したモデルに組み込むことにより，経済と環境が総合的に考慮された持続型エネルギーの最適な成長の予測や，それを促進する政策の効果の総合的な評価が可能になる。しかし，非線形であるモデルが大型化することはシミュレーション時間の長期化や解の精度の低下をもたらす危険性があるため，本研究では持続型エネルギー成長モデルと総合評価モデルのそれぞれについてシミュレーションを行い，一方の解の一部を他方に代入して繰り返し計算し，解が安定した時点でそれを最終解とした。以下にシミュレーションモデルの詳細について述べる。

3.3.1 持続型エネルギーの成長モデル

持続型エネルギーとして住宅用太陽光発電のデータを用い，パラメータ推定およびシミュレーションを行った。まず 1993 年～2006 年のデータを用いてパラメータの推定を行うとともに，実際の太陽光発電の生産量との比較により，需要を表す 4 つの関数形の評価を行った。シミュレーション期間は 2005～2015 年の 11 年間で，積分を逐次計算で近似する際の誤差を小さくするため 1 年を 12 期に分割して 1 期 1 ヶ月の 132 期としているが，季節変動などは考慮していない。分割の際には年の変わり目でのデータの不連続性を避けるため，当月の値を前月の値で割って月ごとの変化率を求め，それらの対数の二乗の合計を求め，それぞれの年の年間の合計の制約のもとでそれを最小化する最適化シミュレーションにより，スムージングされたデータを求めた。そして，それを用いて得られたシミュレーション結果を年単位に再集計した。

(1) 需要シェアに基づくストックに対する需要

t 期における装置ストックへの需要は以下のように表される。以下，右下添字の t, t+1, t-1 は期数を表す。

(a-i) 補助金，情報伝達効果，パラメータのシェア依存性のいずれも考慮しない場合

想定する関数のタイプにより f_0 が定まる。一般均衡モデルの場合は(3-22)より以下のように表される。

$$f_0 = \frac{a_6 m Y_t^0}{D_t} \left(\frac{p_t - p_t^0 + a_7}{\bar{p}_{2,t}} \right)^{a_8} \quad (a_6 > 0, a_8 < 0) \quad (3-22)'$$

ここで

Y_t^0 : 民間最終消費支出, 外生 (表 A-3-38)

\bar{p}_2 : 消費者物価指数, 外生 (表 A-3-25)

(3-22)式の p_2 の値として消費者物価指数 $\bar{p}_{2,t}$, x_2 の値として民間最終消費支出 Y_t^0 を用いた。 $\bar{p}_{2,t}$ のデータはパラメータ推定の際は政府のデータ (総務省統計局[93]) を用い, シミュレーションの際は 2006 年の値に固定した。 Y_t^0 のデータは, 1996 年から 2005 年については平成 18 年度国民経済計算 (内閣府[42]) の 1.7 項「民間最終消費支出」の年度集計の値を用いたが, それ以前の値は算出基準が異なるため, 平成 15 年度国民経済計算 (内閣府[44]) の同じ値をもとに, 平成 18 年度国民経済計算における 1996~1998 年度の数値の平均の平成 15 年度国民経済計算における同じ数値の平均に対する比を求め, それを乗じて推定値を求めた。2006 年については, 2003~2005 年の年平均増加率を 2005 年の数値に乗じて推定した。また, シミュレーションの際は推定した 1993 年から 2006 年の値の月当たりの平均増加率を用いて各月の値を外挿により推定した。電力価格 p_t^0 (表 A-3-27) は, パラメータ推定の際は 2004 年以前のデータ (経済産業省[29], p.202) を用い, 2005 年以降については 1993~2004 年の値の月当たりの平均増加率を用いて各月の値を外挿により推定した。シミュレーションでは内生変数である。家庭用電力の総需要 D_t (表 A-3-11) の値は, パラメータ推定の際は家庭部門電力消費量のデータ (経済産業省[32]) を用い, データのない 2006 年については 1993~2005 年の値の月当たりの平均増加率を用いて各月の値を外挿により推定した。シミュレーションでは内生変数である。また装置容量あたりの年間発電量 m を表 A-3-20 に示す。

同様に, プロビットモデルでは(3-29)より

$$f_0 = \Phi\{a_9 - a_{10}(p_t - p_t^0)\} \quad (a_{10} > 0) \quad (3-29)'$$

ロジットモデルでは(3-31)より

$$f_0 = 1/[1 + \exp\{-a_{11} + a_{12}(p_t - p_t^0)\}] \quad (a_{12} > 0) \quad (3-31)'$$

そして, ワイブルモデルでは(3-33)より

$$f_0 = \exp\{-(p_t - p_t^0 + a_{15})^{a_{14}} / a_{16}\} \quad (a_{14}, a_{16} > 0) \quad (3-33)'$$

となる。これらの式と(3-34)式より f_1 が求められ, (3-7)式を変形した以下の式により需要シェア S_t が求められる。

$$S_t \equiv f_1(p_t^0, p_t) \quad (3-7)'$$

以上の結果より, t 期のストック需要 X_t' は(3-3)式を変形した以下の式で表される。

$$X_t' = \frac{D_t S_t}{m} \quad (3-3)'$$

(a-ii) 情報伝達効果を考慮したストック需要

(3-37)式より次式を得る。

$$S_t = f_t = N_t f_0 \quad (3-37)'$$

また、微分形の(3-38)式を逐次計算形に変形し、次式を得る。

$$N_t = N_{t-1} + rX'_{t-1}(1 - N_{t-1}) \quad (t \geq 2, r > 0) \quad (3-38)'$$

f_0 に(3-22)',(3-29)',(3-31)',(3-33)'のいずれかを代入し、 N_t に(3-38)'を代入して S_t が求められ、(3-7)',(3-3)'より X'_t を求めることができる。ここで r および N_1 はパラメータである。

(a-iii) パラメータのシェア依存性を考慮したストック需要

パラメータのシェア依存性を考慮した場合、(3-40)-(3-43)式を t 期モデルに適用して以下のようになる。

$$S_t = f_t = \frac{mY_t^0}{(a_{17}X''_{t-1} + a_{18})D_t} \left(\frac{p_t - p_t^0 + (a_{19}X''_{t-1} + a_{20})}{\bar{p}_{2t}} \right)^{\frac{1}{a_{21}X''_{t-1} + a_{22} - 1}} \quad (3-40)'$$

$$S_t = f_t = \Phi\{(a_{23}X''_{t-1} + a_{24}) - (a_{25}X''_{t-1} + a_{26})(p_t - p_t^0)\} \quad (3-41)'$$

$$S_t = f_t = 1/[1 + \exp\{-(a_{27}X''_{t-1} + a_{28}) + (a_{29}X''_{t-1} + a_{30})(p_t - p_t^0)\}] \quad (3-42)'$$

$$S_t = f_t = \frac{\exp\{-(p_t - p_t^0 + a_{31}X''_{t-1} + a_{32})^{a_{33}X''_{t-1} + a_{34}}\}}{a_{35}X''_{t-1} + a_{36}} \quad (3-43)'$$

ここで

X''_t : 補正されたストック量

これらのいずれかを(3-3)'に代入して X'_t を求めることができる。

(a-iv) 補助金がある場合のストック需要

(3-10)-(3-13)および(3-15)',(3-16)'を t 期モデルに適用すると以下の形式となる。

$$S_t^1 = f_t^1\{p_t^0, p_t\} \quad (3-10)'$$

$$S_t^2 = f_t^2\{p_t^0, p_t - \Delta p_t\} \quad (3-11)'$$

$$S_t^S = \frac{S_t^1 S_t^2 + S_t^2 S_t^S - S_t^1 S_t^S}{S_t^2} \quad (3-12)'$$

$$S_t^S = \frac{kS_t^U}{D_t \Delta p_t} \quad (3-13)'$$

$$S_t'' = \min(S_t', S_t^2) \quad (3-15)''$$

$$X_t' = \frac{D_t S_t''}{m} \quad (3-16)'$$

補助金がある場合はこれらの式を用い、 f_1 に (3-34), (3-37)'および(3-40)'-(3-43)'のいずれかを適用して以上の式に代入することによりストック需要 X_t' が求められる。ただし、(3-37)'の N_t には(3-38)'の代わりに(3-39)から得られる以下の式を用いる。

$$N_t = N_{t-1} + rS_{t-1}''(1 - N_{t-1}) \quad (t \geq 2, r > 0) \quad (3-39)'$$

減価償却率 k の値を表 A-3-15 に示す。これは政府のコスト計算の前提（新エネルギー・産業技術総合開発機構[80]）における 20 年という装置寿命の数値に基づく。

補助金総額 S_t^U （表 A-3-31）を求める際は、まず補助金予算のデータ（新エネルギー・産業技術総合開発機構[64]，新エネルギー財団[86][87]）から装置容量あたりの補助金額を推定した。推定方法は原則として容量 1kW 当たりの上限の金額を採用し、複数のケースがある場合はそれらの平均を取った。そしてそれを装置容量ベースの補助金の支給実績（新エネルギー財団[91]）に乗じたものを補助金総額とした。ただし 2005 年の支給実績についてはデータ（新エネルギー財団[88]）のうち注 1 の「2005 年度補助金交付実績」の数値を用いた。シミュレーションにおいては総合評価モデルで内生的に導出され、成長モデルでは外生変数となる。

電力に換算した補助金による価格差 Δp_t （表 A-3-24）は上で求めた装置容量あたりの補助金額に、電力に換算した太陽光発電の価格（ p_t ，表 A-3-23）と装置容量あたり価格の比を乗じることにより求めたが、 p_t は、1994～2002 年については図 3-6 より求め、2003 年と 2004 年については、1993～2002 年の値と装置容量あたり価格の比の平均を 2003 年と 2004 年の装置容量あたり価格に乗じて推計し、2005 年と 2006 年については 2004 年までのデータに基づいてパラメータ推定された習熟関数と生産量のデータから推計した。また、装置容量あたり価格は設置価格推移のデータ（新エネルギー財団[89]）を用い、シミュレーションの際には操作変数として外生的に与えた。

(2) ストック需要量の補正

ストックという形で需要を考える場合、それが減少した時に問題が起こる。装置ストックに対する需要が一時的に減少しても、装置を廃棄したり転売したりといった行為は一般的には行われず、ユーザーは装置の稼働率を下げることで対処する。このためモデルでも次式のような補正を行った。

$$X_t'' = \max(X_t', X_{t-1}'') \quad (3-45)$$

この補正により、ストック量はそれまでのシミュレーション期間中の最大の需要量に対応する。需要が減少する場合には実際のストック量との間に乖離が生じるが、持続型エネルギーのように初期段階にあって需要が単調増加することが期待されるような産業では、こうした乖離がシミュレーション上で大きな問題にはならないと考えられる。

(3) 装置の生産量

装置の生産量は、(3-5)式の積分形を逐次計算形に変形して次式で表される。

$$x_t = X_t'' - X_{t-1}'' + \frac{k(X_t'' + X_{t-1}'')}{2} \quad (3-46)$$

右辺第三項は t-1 期から t 期まで積分すべきところを直線近似により平均を取ったものである。

(4) 累積生産量

$$X_{t+1} = X_t + x_t \quad (t \geq 1) \quad (3-47)$$

t 期までの生産量の合計が t+1 期の累積生産量として t+1 期の価格決定に用いられる。初期値 X_1 はパラメータとして推定した。

(5) 価格決定

(3-44)式の a と X を時間の関数と考え、時間で微分すると次式が得られる。

$$\frac{dp}{dt} = a_1 a_2 X^{a_2-1} \frac{dX}{dt} \quad (3-48)$$

$\frac{dX}{dt} = x$ であるから、シミュレーションでは(3-44)式を p の差分と近似して以下の式を用いた。

$$p_{t+1} = p_t + a_1 a_2 X_{t+1}^{a_2-1} x_t \quad (3-49)$$

ただし、パラメータ推定においては生産量 x の値は市場データからの推計値(表 A-3-35)を用いた。推計方法は、まず 1999~2003 年度は用途別のデータ(新エネルギー・産業技術総合開発機構[65])の住宅用の値を用い、2004 年度については同じく 1999~2003 年度の用途別のデータのそれぞれの年の住宅用の値を合計で割った率を平均し、2004 年度の太陽電池の総生産量(光産業技術振興協会[17], p.15)に乗じて求めた。1993~1998 年度については、まず 1999 年度と 2000 年度の値が同じ年度の一般電力用生産量(光産業技術振興協会[15][16])の値に対する比率をそれぞれ求め、その平均値を 1993~1998 年度の一般電力用生産量(光産業技術振興協会[13][14])の値に乗じて推定した。また、2005 年度についてはメーカーの販売実績(新エネルギー財団[88])のうちメーカー 7 社の 2005 年度販売実績の全国合計値、2006 年度についてはメーカーの販売実績(新エネルギー財団[90])の設備容量の全国合計値を用いた。ここで得られた p_{t+1} から、(1)の各式を用いて t+1 期のストック需要が求められる。以上のようにして生産量と価格を逐次求めることにより予測を行った。

3.3.2 総合評価モデル

住宅用太陽光発電産業の成長が社会経済システムおよび温室効果ガス排出量にどのような影響を

与えるか、また普及促進のための経済政策が産業の成長にどのような効果をもたらすかを総合的に評価するシミュレーションモデルの内容は以下の通りである。

3.3.2.1 モデルの概要

本章の総合評価モデルのベースは第2章の研究で用いた投入産出双対モデルと共通である。本章では廃棄物のフローや廃棄物をエネルギー利用する産業、廃棄物処理産業は考慮されていないが、住宅用太陽光発電装置産業を独立した部門として扱い、温室効果ガス排出や税金と補助金、排出量制約からなる経済政策を考慮している。

経済主体は第2章と同様に産業、民間消費部門、公的部門の3つを設定した。産業は住宅用太陽光発電装置と、それと競合する電力産業を独立で扱い、その他の通常財産業は12に分類した。つまりここでいう電力は住宅用太陽光を除く既存の電力を意味する。分類内容を表3-2に示す。温室効果ガスとしては第2章と同様に二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素の3種類を考慮した。

3.3.2.2 モデルの詳細

本モデルは11期の動学モデルであり、シミュレーション期間は2005～2015年としている。特に断りがない限り、制約式は各期のそれぞれにおいて成立している。ここでは通常財はサービスを含むものとする。割引率と精度検証については第2章と同様の理由により考慮されていない。また、ある年の価格率に対し翌年の価格率は11/10～10/11倍の範囲とした。

(1) 通常財のフロー条件

$$\begin{aligned} X_n = & A_{nn} X_n + A_{ne} X_e + P_s A_{ns} X_s + C_n + \bar{G}_n \\ & + Q_n \Delta K_n + Q_e \Delta K_e + Q_g \Delta K_g + \bar{E}_n - M_n \end{aligned} \quad (3-50)$$

ここで

X_n : 通常財産業の生産量, 列ベクトル, 内生

X_e : 電力産業の生産量, スカラー, 内生

X_s : 太陽光発電装置(以下, PV)産業の生産量, スカラー, 外生(成長モデルで決定する)

P_s : PV産業の価格率, スカラー, 外生(成長モデルで決定する)

A_{nn} : 通常財の通常財産業への投入係数, 行列, 外生(表A-3-9)

A_{ne} : 通常財の電力産業への投入係数, 列ベクトル, 外生(表A-3-8)

A_{ns} : 通常財のPV産業への投入係数, 列ベクトル, 外生(表A-3-10)

C_n : 通常財の民間消費, 列ベクトル, 内生

\bar{G}_n : 通常財の公的消費, 列ベクトル, 外生(表A-3-14)

Q_n : 通常財産業の資本形成係数, 行列, 外生(表A-3-30)

Q_e : 電力産業の資本形成係数, 列ベクトル, 外生(表A-3-28)

Q_g : 公的部門の資本形成係数, 列ベクトル, 外生(表A-3-29)

ΔK_n : 通常財産業の粗投資, 列ベクトル, 内生

表 3-2 通常財産業の分類

番号	産業名	産業連関表上の分類（数字はコード）
1	農林水産業	大分類 01「農林水産業」
2	鉱業	大分類 02「鉱業」
3	動植物系製品	大分類 03「食料品」04「繊維製品」05「パルプ・紙・木製品」16「その他の製造工業製品（1/3）」
4	化学製品	大分類 06「化学製品」16「その他の製造工業製品（2/3）」
5	石油・石炭製品	大分類 07「石油・石炭製品」
6	窯業・土石製品	大分類 08「窯業・土石製品」
7	金属	大分類 09「鉄鋼」10「非鉄金属」11「金属製品」
8	機械	大分類 12「一般機械」13「電気機械」14「輸送機械」15「精密機械」16「その他の製造工業製品（3/3）」
9	建築	大分類 17「建設」
10	ガス・熱供給	中分類 070「ガス・熱供給」
11	運輸	大分類 23「運輸」
12	その他	大分類 19「水道・廃棄物処理」20「商業」21「金融・保険」22「不動産」24「通信・放送」25「公務」26「教育・研究」27「医療・保健・社会保障・介護」28「その他の公共サービス」29「対事業所サービス」30「対個人サービス」31「事務用品」32「分類不明」

- ΔK_e : 電力産業の粗投資, スカラー, 内生
- ΔK_g : 公的部門の粗投資, スカラー, 外生 (表 A-3-18)
- \bar{E}_n : 通常財の輸出, 列ベクトル, 外生 (表 A-3-13)
- M_n : 通常財の輸入, 列ベクトル, 内生

左辺の供給と右辺の需要との財ごとのバランスを表している。需要は中間投入, 最終消費, 投資財需要, 輸出需要, 輸入 (控除) である。

ここで, PV 産業への中間投入需要に価格率が入っている。これは, PV 産業が成長して価格が低下するに従い, それに比例して生産要素の投入が低減すると仮定したことによる。PV 産業の生産額と価格率は外生となっているが, 成長モデルによって得られた値を用いる。

外生値の多くは 2005 年の産業連関表 (経済産業省[31]) の数値を本章で用いた分類に集計して求めた。投入係数は産出表の投入額を国内総生産で割ることにより求めたが, PV 産業に関する投入係数や以下の間接税, 所得率などの産業データは分類 3421 「その他の電気機器」のものを用いた。また, 資本形成係数は固定資本マトリックスの要素である各財の投入額を部門ごとの合計で割ることにより求めた。公的消費と輸出額は各期を通じて一定とし, その値はそれぞれ統合大分類コード 37 「一般政府消費支出」列とコード 45 「輸出計」のものを用いた。ここでは外生変数であることを示すため変数記号にバーがつけられている。 ΔK_g は平成 17 年度国民経済計算 (内閣府[40]) の「4. 主要系列表(1)国内総生産 (支出側) 名目 3. 総資本形成(1)総固定資本形成 b. 公的」の 2005 年度の値を用いた。なお, 産業連関表の統合大分類のコード 40 「在庫純増」は民間消費に加えた。

輸入は内生変数だが, 国内需要との比率が一定かつ基準年のデータに一致するようにした。つまり次式が成立する。

$$\tilde{M}_n (\bar{X}_n - \bar{E}_n + \bar{M}_n) = \tilde{M}_n (X_n - \bar{E}_n + M_n) \quad (3-51)$$

ここで, \tilde{M}_n のようにチルダのついたものはもとのベクトルを対角行列化したもの, \bar{M}_n のようにバーのついたものは内生変数であるもとのベクトルや行列に対応する, 産業連関表 (経済産業省[31]) における基準年のデータである。 \bar{X}_n の値を表 A-3-37 に, \bar{M}_n の値を表 A-3-22 に示す。カッコ内が国内需要を表すが, \bar{E}_n はもともとモデル中で外生値を用いているので両辺とも外生値である。

(2) エネルギーのフロー条件

$$X_e = A_{en} X_n + A_{ec} X_e + A_{es} X_s + C_e + \bar{E}_e - M_e \quad (3-52)$$

ここで

- A_{en} : 通常財産業の電力投入係数, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-6)
- A_{ec} : 電力産業の電力投入係数, スカラー, 外生 (表 A-3-5)
- A_{es} : PV 産業の電力投入係数, スカラー, 外生 (表 A-3-7)
- C_e : 民間消費部門の電力消費, スカラー, 内生
- \bar{E}_e : 電力輸出, スカラー, 外生 (表 A-3-12)
- M_e : 電力輸入, スカラー, 内生

右辺の投入係数は産業連関表(経済産業省[31])のエネルギー財の投入係数を用いることができ、それぞれのエネルギー価格を考慮することなくモデルシミュレーションが可能である。

なお、産業連関表では公的部門のエネルギー財の消費はなかったため、本モデルでも考慮しなかった。また、輸入に関しては(3-51)式と同様、以下の関係が成立するとした。 \bar{X}_e の値を表 A-3-36 に、 \bar{M}_e の値を表 A-3-21 に示す。

$$\tilde{M}_e(\bar{X}_e - \bar{E}_e + \bar{M}_e) = \tilde{M}_e(X_e - \bar{E}_e + M_e) \quad (3-53)$$

(3) PVのフロー条件

$$X_s = C_s \quad (3-54)$$

ここで

C_s : PVの消費, スカラー, 内生

PVについては生産量は全て民間消費部門で消費されると仮定した。

(4) 温室効果ガスの総排出量

$$W_c = A_{cn} X_n + A_{ce} X_e + P_s A_{cs} X_s + A_{cc} C_n \quad (3-55)$$

ここで

W_c : 温室効果ガス総排出量, スカラー, 内生

A_{cn} : 通常財産業の温室効果ガス排出係数, 行ベクトル, 外生(表 A-3-3)

A_{ce} : 電力産業の温室効果ガス排出係数, スカラー, 外生(表 A-3-2)

A_{cs} : PV産業の温室効果ガス排出係数, スカラー, 外生(表 A-3-4)

A_{cc} : 民間消費部門の通常財消費に対する温室効果ガス排出係数, 行ベクトル, 外生(表 A-3-1)

温室効果ガスの総排出量は、生産量または消費量に温室効果ガス排出係数を乗じて求められる。

排出係数の算出には産業連関表(経済産業省[31])の他、排出原単位(国立環境研究所[34])の2000年生産者価格のデータを用いた。 A_{cc} については、産業連関表(経済産業省[31])の物量表と排出量の算定方法ガイドライン(環境省[25])から灯油やガソリンといったそれぞれのエネルギー財について生産額あたりの排出係数を求め、通常財の分類に再計算してそれらの消費あたりの排出係数を求めた。ガイドラインでは排出係数を燃料の使用状況により分類しているが、メタンガスの排出量の計算の前提として、石炭は木炭の値を使用し、ガソリンおよび軽油は乗用車で燃費10kmを想定し、また灯油、LPG、都市ガスは家庭用機器での使用を想定した。亜酸化窒素の排出量の計算の際には、石炭はボイラでの使用を前提とした。また、物量表にデータの掲載されていない「その他の石油製品」「その他の石炭製品」については、それぞれ灯油と石炭の排出係数を用いた。

(5) 通常財産業の価値バランス

$$P_n = P_n A_{nn} + P_e A_{en} + Y_{nn} + \delta_n \tilde{K}_{pn} + \tau_n \tilde{P}_n + \tau_c \tilde{A}_{cn} \quad (3-56)$$

ここで

- P_n : 通常財の価格率, 行ベクトル, 内生
- P_e : 電力の価格率, スカラー, 内生
- Y_{nn} : 通常財産業の生産量あたり所得, 行ベクトル, 内生
- δ_n : 通常財産業の減価償却率, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-44)
- K_{pn} : 通常財産業の生産量あたり資本ストック評価額, 列ベクトル, 内生
- τ_n : 通常財産業の間接税率, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-47)
- τ_c : 温室効果ガス排出税率, スカラー, 外生 (操作変数)

減価償却率は産業連関表 (経済産業省 [31]) の固定資本減耗の値を民間企業資本ストック年報 (内閣府 [41]) の 2004 年 10-12 月期 (期末) の進捗ベースの資本ストックの値で割ることにより求めた。また, 間接税率は産業連関表 (経済産業省 [31]) の間接税と生産額の値から求めた。

価値バランス式においては資本ストックも価格で評価される必要がある。そこで毎年の投資財価格の変化を考慮した評価額を表す変数を資本ストック量とは別に設定した。また第 2 章のモデルでは各項に生産量の入った式を用いたが, 今回は価格のみの表記とした。どちらの表記も式としては同値だが, 所得と資本ストック評価額はこのモデルでは生産量あたりのものになっている。通常財と電力の価格率については第 1 期の値を 1 とした。

(6) 電力産業の価値バランス

$$P_e = P_n A_{ne} + P_e A_{ee} + Y_{he} + \delta_e K_{pe} + \tau_e P_e + \tau_c A_{ce} \quad (3-57)$$

ここで

- Y_{he} : 電力産業の生産量あたり所得, スカラー, 内生
- δ_e : 電力産業の減価償却率, スカラー, 外生 (表 A-3-42)
- K_{pe} : 電力産業の生産量あたり資本ストック評価額, スカラー, 内生
- τ_e : 電力産業の間接税率, スカラー, 外生 (表 A-3-46)

減価償却率と間接税率は通常財と同様に求めた。

(7) PV 産業の価値バランス

$$1 = P_n A_{ns} + P_e A_{es} + Y_{hs} + \tau_s + \tau_c A_{cs} \quad (3-58)$$

ここで

- Y_{hs} : PV 産業の所得, スカラー, 内生
- τ_s : PV 産業の間接税率, スカラー, 外生 (表 A-3-48)

PV 産業の間接税率も通常財と同様に求めた。

(8) 所得制約

$$Y_{hn} \geq V_n \tilde{P}_n \quad (3-59)$$

$$Y_{he} \geq V_e \tilde{P}_e \quad (3-60)$$

$$Y_{hs} \geq V_s \quad (3-61)$$

ここで

V_n : 通常財産業の所得率, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-33)

V_e : 電力産業の所得率, スカラー, 外生 (表 A-3-32)

V_s : PV 産業の所得率, スカラー, 外生 (表 A-3-34)

ここでは基準年の所得率を用いて所得の下限を設定した。所得率は産業連関表 (経済産業省[31]) の「家計外消費支出」「雇用者所得」「営業余剰」各行の合計を国内総生産で割ることにより求めた。

(9) 可処分所得

$$Y_d = (1 - \tau^d)(Y_{hn} X_n + Y_{he} X_e + P_s Y_{hs} X_s) - \tau_c A_{cc} C_n \quad (3-62)$$

$$Y_d = (1 - \tau^d)(Y_{hn} X_n + Y_{he} X_e + P_s Y_{hs} X_s) \quad (3-62)'$$

$$Y'_d = Y_d - C_s P_s (1 - P_e P'_e / P_s P'_s) \quad (3-63)$$

ここで

Y_d : 可処分所得, スカラー, 内生

Y'_d : 環境価値に対する支払いを除いた可処分所得, スカラー, 内生

τ^d : 直接税率, スカラー, 外生 (表 A-3-45)

P'_e : 基準年の電力価格 (表 A-3-26)

P'_s : 基準年の PV による電力の価格 (表 A-3-23)

全体に排出税をかけるケースでは(3-62)式, 産業のみに温室効果ガス排出税をかけるケースでは(3-62)'式を用いる。民間消費部門の可処分所得は, 一般的には国民所得の合計から税金を控除したものであるが, 環境価値に対する支払いも所得とは独立に差し引かれることとし, 最終的な可処分所得を Y'_d で表した。環境価値に対する支払いは他の財と同様消費者の効用最大化から導かれるが, ここで他の財と異なる扱いをしたのは, その効用関数が外的要因により容易に変動し, 不変のコブ・ダグラス型効用関数という本研究での仮定とは整合しないと考えられるためである。(3-63)式右辺第二項が PV の環境価値に対する支払額を表すが, 基準年の価格 P'_s と価格率 P_s の積はその時点での PV の実価格を表し, 同様に求めた(既存)電力の実価格との差の割合を PV の価格率に乘じることにより, PV への支出のうちその環境価値に対して支払った分を求めた。

直接税率の値は, 国民経済計算年報 (内閣府[40]) の家計の「所得・富等に課される経常税」を「所得・富等に課される経常税」「最終消費支出 (個別消費支出)」「貯蓄 (純)」の和で割ることにより求めた。基準年の電力価格はエネルギー白書 (経済産業省[29]) から求めた。また, 基準年の PV によ

る電力の価格は p_t (表 A-3-23) の 2005 年の値である。

(10) 民間消費部門の消費

$$P_n \tilde{C}_n = Y'_d \alpha_n \quad (3-64)$$

$$P_e (C_e + C_s P'_e / P'_s) = Y'_d \alpha_e \quad (3-65)$$

ここで

α_n : 民間消費部門の通常財に対する費用シェア, 行ベクトル, 外生 (表 A-3-40)

α_e : 民間消費部門の電力に対する費用シェア, スカラー, 外生 (表 A-3-39)

(既存) 電力に対する消費額に, PV の消費額のうち (既存) 電力の価格で評価した分を加算したトータルの電力消費額の費用シェアが一定となる。シェアの値は産業連関表 (経済産業省[31]) の各財に対する民間消費支出の値を, その合計と貯蓄 (内閣府[40]) の和で割ったものである。

(11) 民間消費部門の貯蓄

$$S^p = \beta Y'_d \quad (3-66)$$

$$\alpha_n \ell + \alpha_e + \beta = 1 \quad (3-67)$$

ここで

S^p : 民間貯蓄, スカラー, 内生

β : 所得に対する貯蓄率, スカラー, 外生 (表 A-3-41)

ℓ : 集計ベクトル (全要素が 1 のベクトル), 列ベクトル

可処分所得に貯蓄率を乗じたものが民間貯蓄になる。貯蓄率は国民経済計算年報 (内閣府[40]) の「貯蓄 (純)」を「最終消費支出 (個別消費支出)」と「貯蓄 (純)」の和で割ることにより求めた。本モデルでは(3-67)式の左辺各項が外生値であるため恒等的に成立する。

(12) 補助金

$$\tau_c W_c = S_u \quad (3-68)$$

$$\tau_c (W_c - A_{cc} C_n) = S_u \quad (3-68)'$$

ここで

S_u : 補助金総額, スカラー, 内生

全体に温室効果ガス排出税をかけるケースでは(3-68)式, 産業のみに排出税をかけるケースでは(3-68)'式を用いる。本モデルでは排出税の効果を明確にするため, これを目的税として扱い, PV 購入の際の補助金のみに充てられるとした。

(13) 貯蓄投資バランス

$$\begin{aligned}
 & P_{Kn} (\Delta K_n - \tilde{\delta}_n K_n) + P_{Ke} (\Delta K_e - K_e \delta_e) + P_{Kg} (\Delta K_g - K_g \delta_g) \\
 & + P_n (\bar{E}_n - M_n) + P_e (\bar{E}_e - M_e) = S^p
 \end{aligned}
 \tag{3-69}$$

ここで

- P_{Kn} : 通常財産業の資本の評価価格, 行ベクトル, 内生
- P_{Ke} : 電力産業の資本の評価価格, スカラー, 内生
- P_{Kg} : 公的部門の資本の評価価格, スカラー, 内生
- K_n : 通常財産業の資本ストック, 列ベクトル, 内生
- K_e : 電力産業の資本ストック, スカラー, 内生
- K_g : 公的部門の資本ストック, スカラー, 外生 (表 A-3-17)
- δ_g : 公的部門の減価償却率, スカラー, 外生 (表 A-3-43)

^t (左上添字): ベクトル, 行列の転置

右辺の貯蓄が左辺の投資と純輸出 (= 対外純投資) の和に等しくなる。投資額は各産業の純投資にその時点での評価価格を乗じて求めた。 δ_g および基準年の K_g は国民経済計算年報 (内閣府[40]) の公的部門の固定資産および固定資本減耗の値から求めたが, 公的部門の粗投資と減価償却率をシミュレーション期間にわたって一定であると仮定して, 第 2 期以降の K_g についてもこれらの値から積算して外生値とした。また第 1 期の通常財の資本ストック \bar{K}_n (表 A-3-19) および電力産業の資本ストック \bar{K}_e (表 A-3-16) の値には基準年における民間企業資本ストック (内閣府[41]) の値を初期値として与えた。

(14) 資本と生産

$$\tilde{K}_n X_n \leq \tilde{K}_n \bar{X}_n
 \tag{3-70}$$

$$\frac{X_e}{K_e} \leq \frac{\bar{X}_e}{\bar{K}_e}
 \tag{3-71}$$

各産業において, 資本ストックあたりの生産は基準年の値を超えないと仮定した。

(15) 資本ストックの評価価格

$$P_{Kn} = P_n Q_n
 \tag{3-72}$$

$$P_{Ke} = P_n Q_e
 \tag{3-73}$$

$$P_{Kg} = P_n Q_g
 \tag{3-74}$$

減価償却や投資の際の資本の評価価格は、財別の構成比率を表す資本形成係数にその期の財価格を乗じたものである。

(16) 運動方程式

$$K_n(t+1) = (I - \tilde{\delta}_n)K_n(t) + \Delta K_n(t) \quad (t \leq 10) \quad (3-75)$$

$$K_e(t+1) = (1 - \delta_e)K_e(t) + \Delta K_e(t) \quad (t \leq 10) \quad (3-76)$$

ここで

I : 全要素が 1 である行ベクトル

(17) 資本ストックの評価額

$$\tilde{K}_{pn}(t+1)X_n(t+1) = (I - \tilde{\delta}_n)\tilde{K}_{pn}(t)X_n(t) + \tilde{P}_{Kn}(t)\Delta K_s(t) \quad (t \leq 10) \quad (3-77)$$

$$K_{pe}(t+1)X_e(t+1) = (1 - \delta_e)K_{pe}(t)X_e(t) + P_{Ke}(t)\Delta K_e(t) \quad (t \leq 10) \quad (3-78)$$

$$K_{pg}(t+1) = (1 - \delta_g)K_{pg}(t) + P_{Kg}(t)\Delta K_g(t) \quad (t \leq 10) \quad (3-79)$$

ここで

K_{pg} : 公的部門の資本ストック評価額，スカラー，内生

(3-75)-(3-79)式は異なる期にまたがるため，期数 $t, t+1$ を表記した。なお，最終期の投資をゼロにしてその年の生産に集中する不自然な行動を防ぐため，最終期の粗投資 $\Delta K_n, \Delta K_e$ には，通期にわたる値のうち最小にはならないという制約を与えた。

(18) 温室効果ガス排出制約

$$W_c \leq W'_c \quad (3-80)$$

ここで

W'_c : 温室効果ガス排出制約，スカラー，外生（操作変数）

目的関数である GDP の値や PV の生産額，あるいは産業構造の変化を調べるため温室効果ガス総排出量に制約を与える場合のみこの式を用いた。制約の値は操作変数としてケースごとに変えたが，基準年である 2005 年の実績を制約とする場合は，排出係数に 2005 年の実際の生産額および消費額（経済産業省[31]）を乗じて合計した 419,152,636 トンという値を，また京都議定書の目標を制約とする場合は，温室効果ガスインベントリ（温室効果ガスインベントリオフィス[51]）の 1990 年に対する 2005 年の排出量の増加分である 7.8%に 6%を加えた 13.8%の分を，上で求めた 2005 年の値から引くことにより 361,309,572 トンとし，これを 2008～2012 年の平均および 2013～2015 年の各年についての制約とした。

(19) 目的関数 (GDP)

$$\begin{aligned} \text{GDP}(t) = & (\mathbf{I} - \mathbf{IA}_{nn} - \mathbf{A}_{en})\mathbf{X}_n(t) \\ & + X_e(t)(1 - \mathbf{IA}_{ne} - A_{ec}) + X_s(t)\{1 - P_s(t)\mathbf{IA}_{ns} - P_s(t)A_{es}\} \end{aligned} \quad (3-81)$$

$$\max \sum_t \text{GDP}(t) \quad (3-82)$$

ここでは期数 t を表記した。目的関数は GDP のシミュレーション期間にわたる合計で、ここでは GDP は各産業の生産額の合計から中間投入分を差し引いたもので定義される。価格率の項が入っていないため実質 GDP に相当する値が得られる。PV 産業の価格率が入っているのは価格率に比例した中間投入量の変化を表すため、価値評価を表すものではない。

3.4 シミュレーション結果

3.4.1 習熟関数のパラメータ推定

シミュレーションに先立ち、成長モデル中の関数形の特定とそれに伴うパラメータの推定を行った。ここでは(3-44)式のみを用い、2つの定数と累積生産量の初期値 X_0 をパラメータとし、住宅用太陽光発電の生産量 x のデータ(表 A-3-35)のうち1993~2004年の値を用いて得られた価格と実際の価格 p (表 A-3-23)のデータとを比較した。

モデル中のパラメータの最適化によるデータの近似推定は、シミュレーションソフトではなく表計算ソフトを用いて行った。価格は時間とともに減少するため、通常の最小二乗法では価格の高い初期の誤差の重みが高くなる。将来予測を行う本研究では、計算期間の後半を重視し初期の誤差に左右される度合いの少ない方法を選ぶ目的で、対数最小二乗法を用いた。近似方法の詳細については Appendix (p.A-53) に記した。

価格の推定結果を図 3-11 に示す。カーブフィッティングは概ね良好で、特に計算期間の後半により一致が見られた。得られたパラメータの数値は $a_1=909$ 、 $a_2 = -0.224$ 、 $X_0=0.251$ 、対数の偏差の二乗和は 0.0784 であった。また、(3-2)式の i で表される進歩率は 2^{a_2} により求められるが、この結果によると 0.86 となった。太陽光発電の習熟における進歩率として 0.88 という研究例がある(山口ら[95])が、今回の値はそれに近いものとなった。

3.4.2 需要関数の関数形の決定とパラメータ推定

次に、価格にตอบสนองして需要を決定する4つのモデルを比較し、その関数形を特定するとともにパラメータの近似による推定を行った。推定は、1993~2006年の価格やその他のデータを基に生産量を計算し、それを実際の生産量(表 A-3-35)と比較することにより行った。生産量は増加するため、対数最小二乗法よりも通常の最小二乗法の方が期間後期の誤差に重みを置いた評価となる。従って今回の推定は通常の最小二乗法により行った。その他の推定方法の詳細は習熟関数と同様に Appendix (p.A-53) に記した。2006年の外生値には推定値が多く含まれており、それを元にさらなるパラメータ推定を行うのは誤差の大きくなる危険を伴うが、3.1節の最後に述べたように2006年の生産額

の速報値は前年よりも減少しており、今後の動向を検討する上で 2006 年のデータは重要な意味を持つと判断して推定に取り入れた。また補助金は 1994 年～2005 年に支給されているため、その期間については補助金を考慮したモデルを用い、1993 年と 2006 年については補助金のないモデルを用いた。

3.4.2.1 価格のみを考慮したケース

一般均衡モデルに基づくパラメータ推定結果を図 3-12 に示す。同様に、プロビットモデルによる結果を図 3-13、ロジットモデルによる結果を図 3-14、ワイブルモデルによる結果を図 3-15 に示す。いずれのモデルでも推定値と実際の生産量との間には大きな差が見られた。特に、ロジットモデルでは生産量が拡大していくようなパラメータを見出すことができなかった。これらのグラフから言える事は、価格のみを要因として生産量（あるいは需要量）を推定すると年によってかなり上下動があるということである。つまり、仮に消費者が価格のみを判断基準としているとするなら需要はこのように年によってばらつきが出るのが妥当であるにもかかわらず、実際の需要はなだらかに、2005 年まではほぼ一様に上昇している。特に図 3-7 に示されるように、2002 年以降は補助金の支給総額が急激に低下しているにもかかわらず需要はそれまでと同様に順調に増加している。これらのことから、住宅用太陽光発電に対する需要には価格以外の要因が大きく影響していることが予想される。なお、それぞれのモデルでの生産量の推定の際に最適化されたパラメータの値および最小化された偏差の二乗和を表 3-3 に示す。

3.4.2.2 情報伝達効果を考慮したケース

価格のみでは需要の増加を説明できないことがわかったため、その他の要因として、まず情報伝達効果を考慮したモデルについて同様の検討を行った。一般均衡モデルに基づくパラメータ推定結果 3-16 に示す。同様に、プロビットモデルによる結果を図 3-17、ロジットモデルによる結果を図 3-18、ワイブルモデルによる結果を図 3-19 に示す。情報伝達効果を考慮することにより、曲線の一致性は明らかに向上した。表 3-4 にパラメータと偏差の二乗和の値を示すが、いずれのモデルでも偏差の二乗和の値は(1)のケースと比較して 1～2 桁小さくなっている。このモデルでは需要のシェアを、情報伝達効果によって増加する情報のシェア（普及度）と、情報を持っている人のうち価格に応答して導入する人の割合との積で表している。今回の結果を両者の要因に分けるため、情報のシェアを分母として価格応答部分のシェアだけを取り出した結果を図 3-20 に示す。これによると価格応答部分のシェアはいずれのモデルでもあまり変化しておらず、一般均衡モデルでは逆にシェアが低下している。このことから、情報伝達効果を考慮したこれらのモデルでは生産量の増加は価格の変化に対応しておらず、情報シェアの拡大だけで説明されていることが分かった。ここでは生産量の大小は情報シェアの拡大スピードの大小に対応するが、情報シェアを表すロジスティック曲線の一階微分は途中でピークを持ち、それを過ぎると普及が飽和に近づくにつれてその速度は低下していく。2005 年にピークを迎えた後、生産量の推定値が実態に合わせて低下しているのはそうした状況を表しており、計算の終了する 2006 年の情報シェアの値を見ても、いずれのモデルでも 0.7～0.8 の間をとっている。つまり、この時点で情報が飽和に近づいており情報シェアの拡大による需要増は見込めない。また、価格

にも反応しないので、価格低下による需要増も期待できない。従ってこれらのモデルからは、太陽光発電の情報は普及し価格が低下しても実際に導入する人の割合は依然低く、生産量はピークを過ぎて大きく低下し、買い替え需要に頼って低迷を続けるという悲観的な予測結果が得られる。

3.4.2.3 パラメータ変化を考慮したケース

情報伝達効果を考慮することにより一致性のよい曲線が得られたが、今度は消費者の価格への反応がほとんど見られないというあまり現実的ではない結果になった。次に、パラメータ変化を考慮したモデルについて同様の検討を行った。一般均衡モデルに基づくパラメータ推定結果を図 3-21 に示す。同様に、プロビットモデルによる結果を図 3-22、ロジットモデルによる結果を図 3-23、ワイブルモデルによる結果を図 3-24 に示す。また、パラメータの推定値と偏差の二乗和の値を表 3-5 に示す。4 つのモデルの中ではワイブルモデルだけがよい一致性を示し、しかも偏差の二乗和はこれまでの中で最小の値を示した。パラメータ変化を考慮したワイブルモデルは(3-43)'で表されるが、これは(3-33)'式の $a_{14,t}$ 、 $a_{15,t}$ 、 $a_{16,t}$ の 3 つのパラメータが変化すると見なすこともできる。そこでこれらの変化を図 3-25 に示す。3 つのパラメータの中で $a_{15,t}$ は変化しなかったが、 $a_{14,t}$ と $a_{16,t}$ は初めわずかに減少した後、後半は増加した。これはシェアの拡大にともない、シェアと線形に連動する $a_{14,t}$ と $a_{16,t}$ が正の応答をして増加したものと考えられる。

以上の結果から、将来予測シミュレーションに用いるモデルとして、パラメータ変化を考慮したワイブルモデルを使用することとする。

3.4.3 成長モデル単独での将来予測

モデルの関数形とパラメータが定まると、電力の総需要や従来電力の価格などを外生的に与えることによって太陽光発電の生産量と価格の将来予測が可能になる。家庭用電力の総需要が 1993～2006 年の平均増加率に従って毎年増加し、従来電力の価格が 2006 年以降一定の値になると仮定した場合の生産量の将来予測を図 3-26 に、価格の将来予測を図 3-27 に示す。予測によると生産量は 2008 年まで減少し、その後再び増加に転じて 2030 年には 300MW を超えることになる。一方価格は徐々に低下するものの 2030 年でも kWh 当たり 31 円台であり 22 円台の従来電力とはまだ隔たりがある。

次に、従来電力の価格が 1993 年～2006 年の平均低下率に従って低下していくと仮定した場合の生産量の将来予測を図 3-28 に、価格の将来予測を図 3-29 に示す。従来電力価格が低下する場合は太陽光発電の生産量の増加はさらにゆるやかになり、2030 年でもピークの 2005 年の値に届かない。価格を見ると従来電力は 2030 年には約 16 円まで下がり、太陽光発電が 32 円台であるから依然として倍の違いがあることになる。以上はあくまで全く恣意的な仮定に基づく予測ではあるが、この成長モデルの予測ツールとしての一つの可能性を示すものと言える。

3.4.4 補助金の支給パターンの検討

次に、住宅用太陽光発電装置の購入時に補助金が支給された場合に、前項で求めた予測結果がどのように変化するか、またその支給パターンによる違いを、予測モデル単独で検討した。

まず、2007 年から 2015 年（最終期）まで支給した時の補助金の年額と生産量の関係を図 3-30 に

示す。補助金による、電力価格に換算された低下分（以下、価格差として示す）は 1 円とした。図より、補助金額の差による生産額の違いは支給の初年度である 2007 年に大きく表れ、それ以降はほとんど違いが見られないことが分かった。また、図 3-31 には総額を一定にした時の価格差と生産額の関係を示す。価格差の違いは生産額にほとんど影響を及ぼさなかった。つまり、補助金の効果はその総額で決まり、多数の消費者を少しずつ補助するか少数の消費者を集中的に補助するかという方針の違いはほとんど効果に関係ないということが分かった。

次に、1 年だけ補助金を支給した時の効果について調べた。図 3-32 は 2007 年のみに補助金を支給した結果であるが、翌年の 2008 年に反動として補助金を支給しない時よりもさらに生産額が落ち、補助金が多いほどその幅も大きくなった。総生産量もほとんど変わらないという結果になり、単年の補助金は効果が少ないことが分かった。継続して補助金を支給した図 3-30 の結果では 2008 年以降の生産額に大きな違いが見られなかったが、2008 年以降の補助金に効果がなかったのではなく、反動を防ぎ補助金の効果を得るためには継続的に補助金を支給することに意味があると言える。また、単年の支給についてそのタイミングによる比較を行った結果を図 3-33 に示す。2007 年と 2011 年の比較では、支給した年における効果や反動で生産額が落ち込む期間の長さとその大きさなどに若干の違いが見られたものの、両者に本質的な違いは見られず、総生産量もほぼ同じであった。2014 年の支給では総生産量が他のケースよりも多かったが、これは反動の起きる期間がシミュレーション期間を外れていたためと考えられる。

1 年間だけ 300 億円の補助金を支給することによる総生産の増加量は図 3-32 より約 6MW である。装置容量 1KW 当たりの価格を図 3-6 より 66 万円としても 6MW では約 40 億円となり、住宅用太陽光発電産業単独で考えた場合には補助金に見合う効果が得られないことが分かった。ただし実際には経済システム全体への波及効果も期待されるので、総合評価モデルにより正確な評価がなされるべきである。

最後に、通期にわたる総支給額を一定として、支給する期間を変化させた時の比較を行った結果を図 3-34 に示す。期間が長くなるほど効果、反動ともに小さくなるが、総生産量に大きな違いは見られなかった。その中では最も長い 9 年間にわたって支給したケースの総生産量が最大になったが、これもシミュレーション期間外の反動の存在を考慮すると、長期的に見た他のケースとの優劣は明確ではない。

3.4.5 総合評価モデルとの統合

太陽光発電の成長モデルは、従来電力を含む他の産業のアクティビティが内生的に導出される総合評価モデルに組み込まれることで真の意味での内生的成長モデルとしての性格を持つ。本章ではモデルが大型化し解が出にくくなるのを防ぐため、成長モデルと総合評価モデルで別々にシミュレーションを行い、一方のモデルについて得られた解の一部をもう一方のモデルの外生変数としてシミュレーションする操作を繰り返し、解が安定した時点でそれを最適解とした。具体的には、成長モデルで得られた太陽光発電の生産量 X_s と価格 P_s の値を用いて総合評価モデルのシミュレーションを行い、そこで得られた従来電力の消費量 C_e と価格率 P_e 、そして補助金 S^U の値を成長モデルに代入して再計算するという手順の繰り返しである。この方法により、2005 年を基準とし 2015 年までの 11 期につい

て GDP の最大化による最適解の導出を行った。

3.4.5.1 BAU ケース

まず、税金と補助金による普及促進政策を導入しない場合の BAU ケースについてシミュレーションを行った。図 3-35 に太陽光発電装置の生産額を示すが、2005 年には約 1,600 億円であったのがその後低下し 2008 年以降は 800 億円から 1,000 億円程度でほぼ横ばいとなった。また、これを装置生産量で示し、成長モデルだけで検討したとき（従来電力価格低下ケース、図 3-28）と比較した結果を図 3-36 に示す。成長モデル単独での結果と同様の傾向を示したものの、後半でやや低い値を示している。

図 3-37 には GDP の変化を示す。1 期目から 2 期目にかけてやや急激に上昇したが、その後は年率 0.8~2.2%の割合で緩やかに上昇している。実際の GDP の値（内閣府[42]）は 2005 年で 504 兆円、2006 年で 512 兆円であり、それと比較すると今回の結果はやや低い値が出ているが、最初の急激な上昇を除けばシミュレーション結果としては妥当なものと言える。

3.4.5.2 全体に課税するケース

次に、住宅用太陽光発電産業の普及を促進するため、第 3 期（2007 年）以降に経済全体に温室効果ガス排出税をかけ、その税収を太陽光発電産業への補助金とするケースを検討した。税率は炭素トン当たり 500 円、1,000 円、2,000 円の 3 パターンに設定し、補助金は太陽光発電装置の購入時に、電力に換算した価格が従来電力と同等になるように支給されると仮定した。産業規模から考えると、トン 2,000 円程度の課税でも十分な補助が可能と考えられる。それぞれの税率における太陽光発電の生産額を図 3-38 に示す。税率が上がり補助金の額が増えるにつれて生産額は増加するが、増加分のほとんどは補助金の支給が開始される第 3 期に集中した。次に GDP の変化を図 3-39 に示す。税金の導入により GDP は若干低下したが、その全体に対する割合は税率 2,000 円でも 0.3%程度であった。また、図 3-40 に温室効果ガスの総排出量を示す。GDP と同様に税率とともに排出量が削減されていることがわかる。ここでシミュレーション全期間にわたる温室効果ガスの総排出量を GDP の総合計で割った単位 GDP あたり排出量を計算すると、課税なしの場合が 0.840 トン/百万円であるのに対して税率 2,000 円で 0.837 トン/百万円となり、改善が見られた。

3.4.5.3 産業のみに課税するケース

経済全体に排出税を課した場合、消費活動が抑制されることにより全体の経済活動が縮小する可能性が考えられる。そこで産業だけに課税を行うケースについても検討を行った。住宅用太陽光発電の生産額を図 3-41 に示す。生産額は全体に課税した場合と比較して明確な違いは見られなかったが、総生産額で 100 億円程度上回る結果となった。次に GDP を図 3-42 に示す。GDP は全体に課税したケースよりも低下する結果となった。また、温室効果ガス排出量を図 3-43 に示す。GDP と同様に、産業のみに課税したケースの方が排出量が削減される結果となったが、単位 GDP あたり排出量は 0.841 トン/百万円であり、全体に課税したケースより劣る結果となった。

3.4.5.4 温室効果ガス排出量に制約をかけたケース

太陽光発電の普及促進政策が環境と経済のトレードオフ関係に及ぼす影響をより詳しく調べるため、温室効果ガス排出量に制約をかけた場合について検討を行った。制約は、基準年における実際の生産額と排出係数から計算した排出量を各期の排出制約とした基準年制約と、2008～2012年の平均とそれ以降の各年について京都議定書目標を制約とした京都制約の2通りとした。まず、税金と補助金を導入しない場合について、太陽光発電産業の生産額の比較を図3-44に示す。制約が厳しくなるにつれて生産額は明らかに低下し、制約のない場合と比較して、基準年制約では総生産額で18%、京都制約では34%低下した。温室効果ガス排出量の少ない太陽光発電にとってその全体の制約は有利に作用することが予想されたが、実際には予想と逆の結果になった。GDPの比較結果を図3-45に示すが、太陽光発電と同様、制約によってGDPも低下していることから、全体の経済活動の縮小やそれに伴う消費活動の低下が太陽光発電にも悪影響を及ぼした可能性が考えられる。

次に、排出量制約のもとでの排出税、補助金の効果について調べた。ここでは全て税率を2,000円/tCに統一した。まず基準年の排出量を制約とした結果を太陽光発電の生産額について図3-46に示す。排出量制約がない場合と同様、排出税と補助金により生産額は増加したが、その効果は支給の初年度に集中する結果となった。また、課税方法の比較では全体に課税した方がやや総生産額で上回った。図3-47にはGDPの変化を示すが、全体に課税したケースでGDPが増加した。排出量制約のない場合は2種類の課税方法とともにGDPが低下したが、制約の存在により、排出量の少ない住宅用太陽光発電の促進政策が全体のGDPも改善しうることがこの結果から示唆される。一方、産業のみに課税したケースではGDPが低下したが、GDPあたりの排出量は全体に課税したケースの0.833トン/百万円に対して0.832トン/百万円と少ない値を示した。これは、産業のみに課税したケースで排出量が制約を下回る年があったためである。ちなみに課税のないケースでは0.836トン/百万円であり、どちらの課税方法でも改善が見られた。

次に、京都議定書目標を排出量制約とした場合の太陽光発電の生産額を図3-48に示す。結果の傾向はこれまでと同様だが、生産額は産業のみに課税した方がやや多くなった。また、同じケースにおけるGDPの結果を図3-49に示す。2008年以降の排出量制約に対応してGDPはいずれも年とともに低下しているが、2つの課税方法ではともにGDPの合計が増加する結果となった。しかしGDPあたりの排出量は課税のないケースで0.828トン/百万円であったのに対し産業のみに課税したケースで0.830トン/百万円と悪化し、全体に課税したケースでは0.821トン/百万円と改善し、異なる結果となった。

以上の結果より、それぞれの排出量制約において排出税と補助金が及ぼす効果についてまとめる。図3-50には住宅用太陽光発電の総生産額を示すが、その促進政策である排出税と補助金はどちらの課税方法も総生産額を大きく上昇させる結果となった。図3-51にはGDPを示すが、排出量制約がない場合は促進政策によりGDPが減少したが、排出量制約が厳しくなるに従ってGDPを押し上げる効果が顕著に現れるようになった。また図3-52にはGDPあたりの温室効果ガス排出量を示すが、促進政策により値は減少し、改善が見られた。2つの課税方法の比較では全体に課税する方が全体的によりよい値を示した。

最後に、排出税や補助金といった太陽光発電の促進政策や温室効果ガスの排出量制約が通常財産業

や電力産業の生産額に与える影響を調べ、全体の産業構造がどう変化したかを調べた。BAU ケースを 1 とした各産業の生産額を、排出量制約がなく全体への排出税と太陽光発電への補助金を導入したケースと、京都議定書の排出量制約のもとで排出税と補助金のないケースの 2 つについて求めた結果を図 3-53 に示す。極端に値の変化した産業は見られなかったが、排出税と補助金により鉱業、窯業・土石、建築および電力の各産業が、また排出量制約により農林水産業、動植物系製品、建築、ガス・熱供給、電力の各産業が他に比べて生産額の減少幅が大きかった。

3.5 本章のまとめ

本章では習熟効果と環境価値を考慮した持続型エネルギーの成長モデルを構築し、住宅用太陽光発電をケーススタディとして環境価値に対する需要を表す関数の関数形およびパラメータ推定を行った。そして総合的な観点による内生的最適化モデルである総合評価モデルと組み合わせてシミュレーションを行うことにより、住宅用太陽光発電の普及に関する将来予測を行い、さらに温室効果ガス排出税および補助金、そして総排出量制約の効果についての検討を行った。その結果として以下の知見を得た。

- (1) 住宅用太陽光発電のデータを用いて、その環境価値に対する需要を表す関数を検討した結果、パラメータがシェアに依存して変化する効果を考慮したワイブルモデルが、実際の市場データとの一致性に最も優れていた。
- (2) 上記のモデルを用いて成長モデルだけで将来予測を行った結果、住宅用太陽光発電装置の生産量は 2010 年ごろまで低下し、その後徐々に増加するという結果が得られた。
- (3) 成長モデルで補助金単独の効果を調べた結果、生産量への効果は、初年度に集中すること、支給を止めた後に生産額の低下が起きること、支給の時間的な集中度や対象への集中度には関わらず総額に左右されることが明らかになった。
- (4) 総合評価モデルと統合したシミュレーションでは、排出税と補助金の導入により太陽光発電の生産額が増加したが、その効果は成長モデル単独での結果と同様、支給の最初の期に集中して表れることがわかった。
- (5) 排出量に制約が課せられると、GDP とともに太陽光発電の生産額も低下した。
- (6) GDP については、排出量制約がない場合は排出税や補助金により減少したが、京都議定書目標を排出制約とした結果、排出税や補助金の導入により逆に増加した。
- (7) GDP あたりの温室効果ガス排出量は排出税や補助金により削減され、特に経済全体に課税するケースでその度合いが大きかった。課税方法の違いは他の結果には大きな差は見られなかったが、この結果より全体に課税するのが有利であると考えられる。

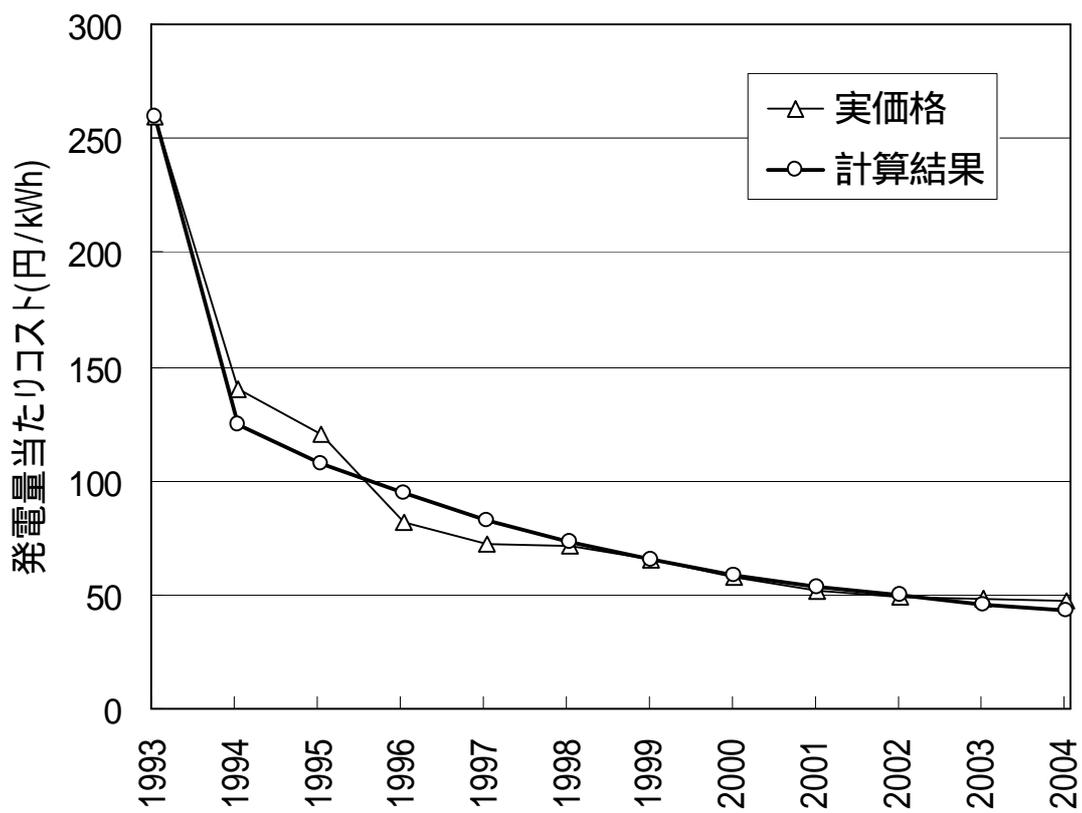


図 3-11 習熟関数による価格の推定結果

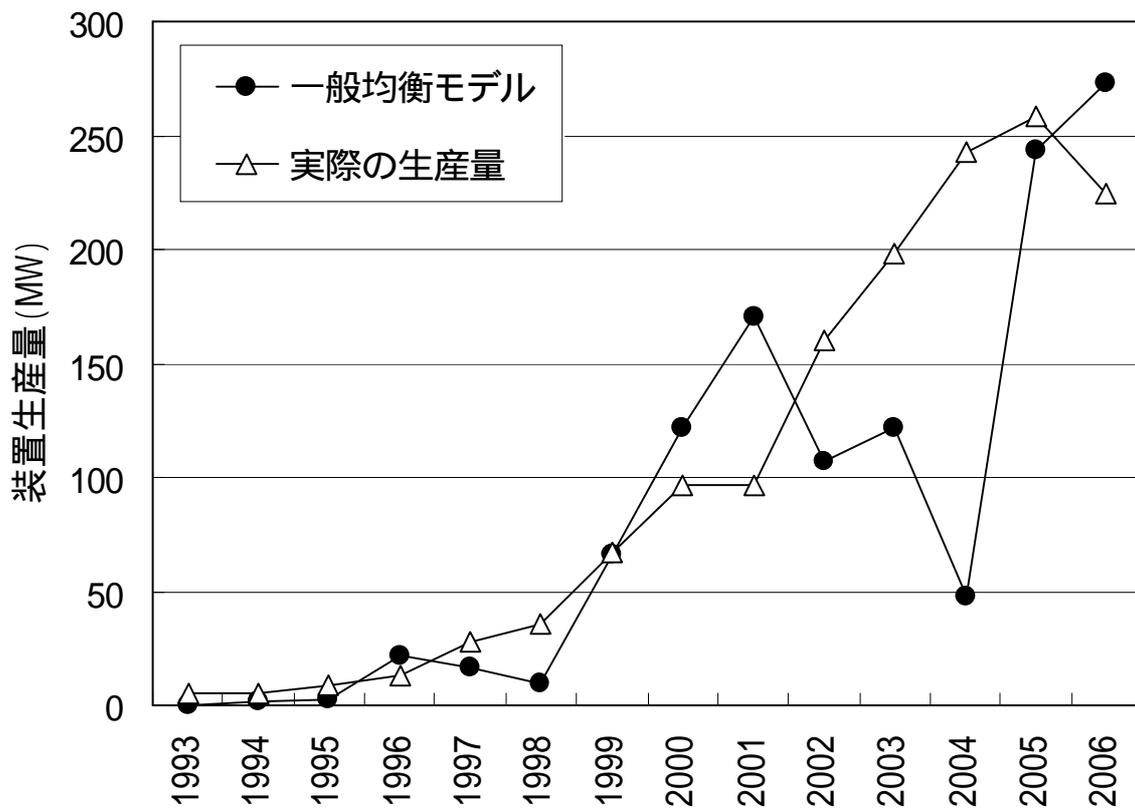


図 3-12 一般均衡モデルによる生産量の推定結果

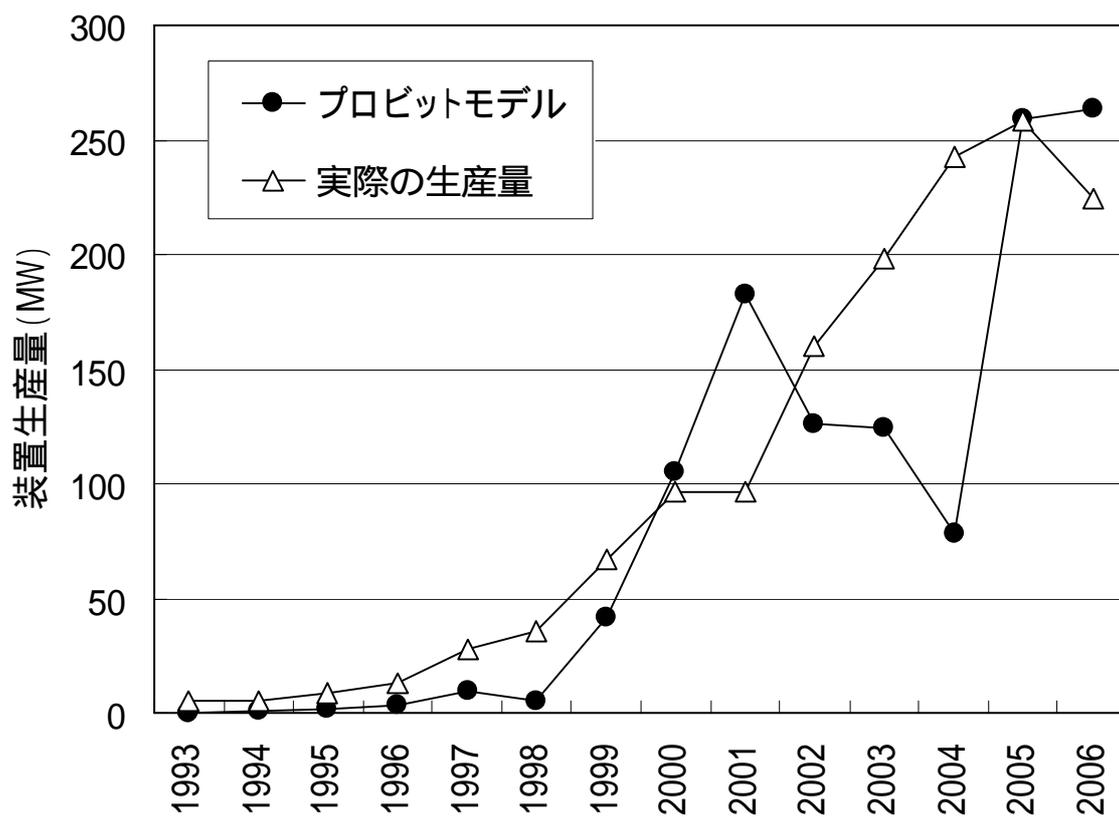


図 3-13 プロビットモデルによる生産量の推定結果

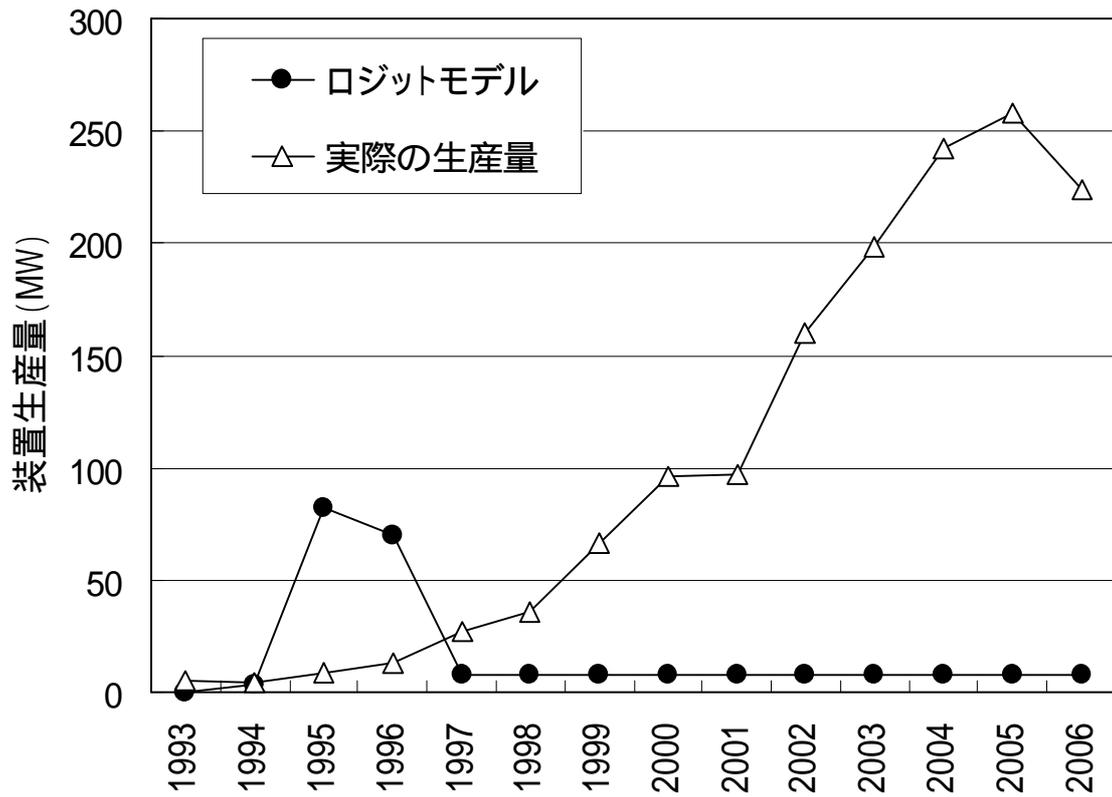


図 3-14 ロジットモデルによる生産量の推定結果

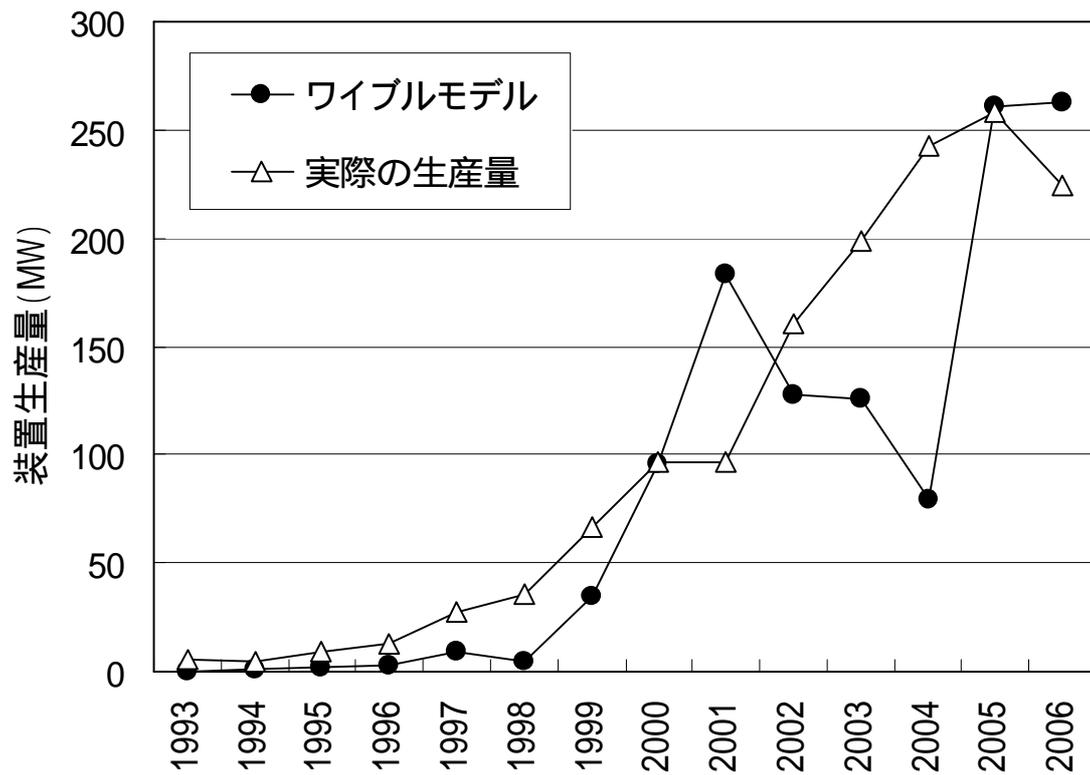


図 3-15 ワイブルモデルによる生産量の推定結果

表 3-3 各モデルでのパラメータ推定結果

モデル	パラメータ	数値	偏差の二乗和 (MW ²)
一般均衡	a ₆	0.0244	56,134
	a ₇	0	
	a ₈	- 4.76	
	X ₀	0	
プロビット	a ₉	- 1.29	44,613
	a ₁₀	0.0660	
	X ₀	0	
ロジット	a ₁₁	- 5.04	253,985
	a ₁₂	0.163	
	X ₀	0	
ワイブル	a ₁₄	89.0	44,564
	a ₁₅	2,510	
	a ₁₆	10 ³⁰²	
	X ₀	0	

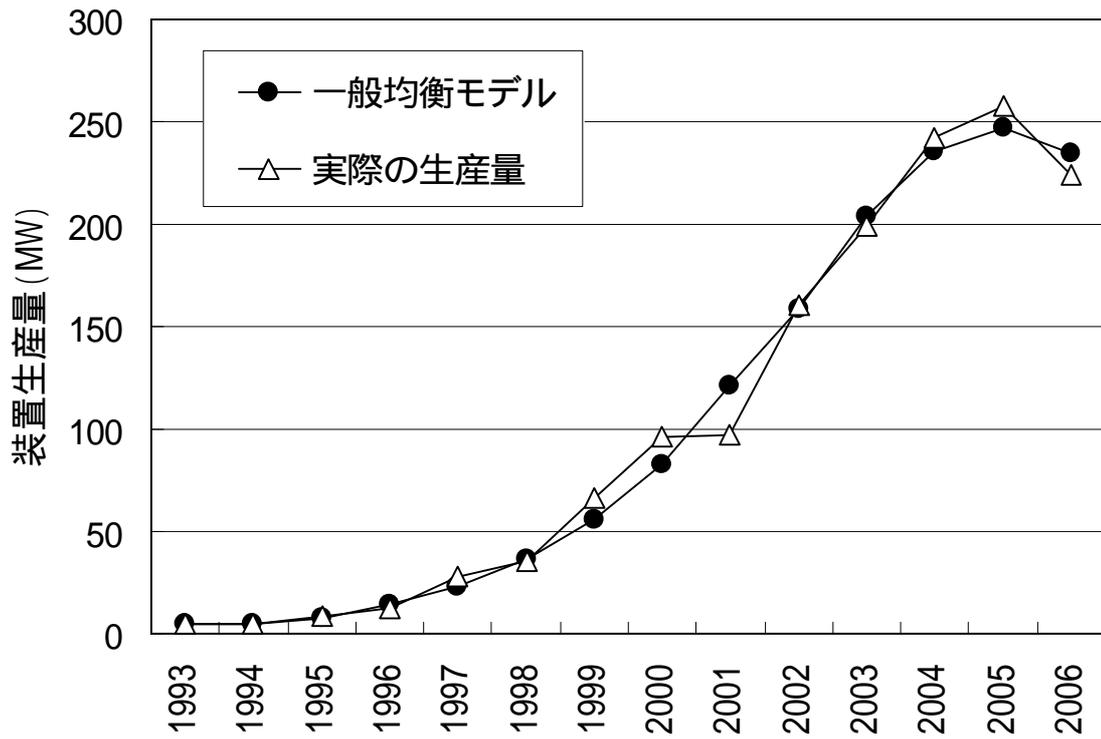


図 3-16 情報伝達効果を考慮した一般均衡モデルによる生産量の推定結果

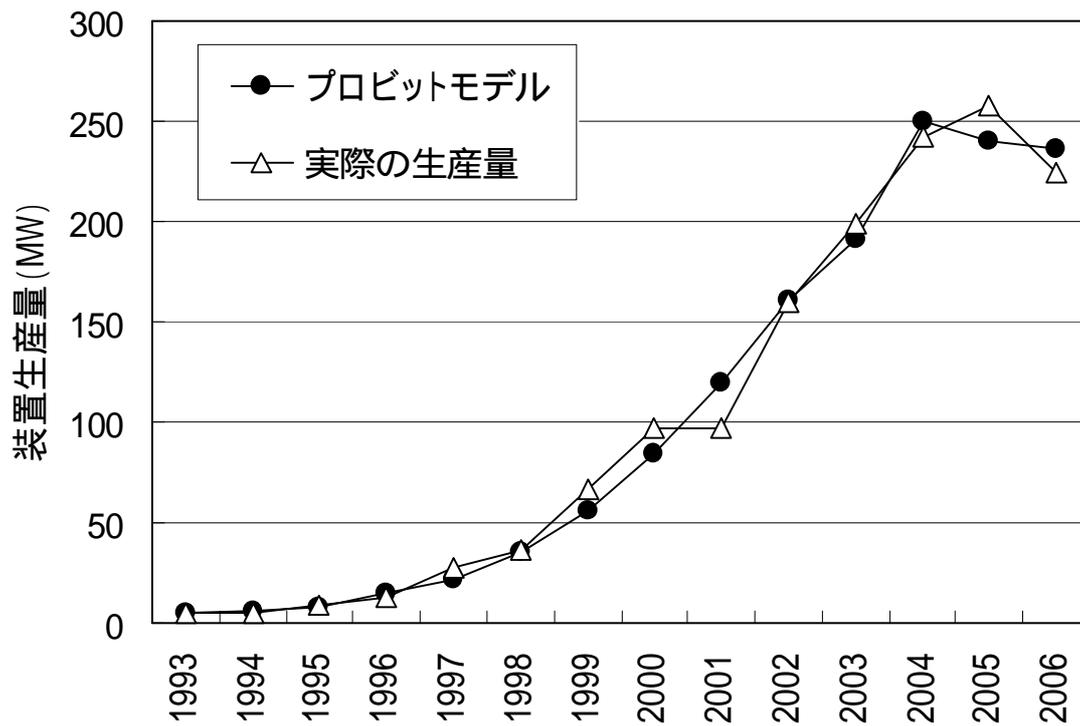


図 3-17 情報伝達効果を考慮したプロビットモデルによる生産量の推定結果

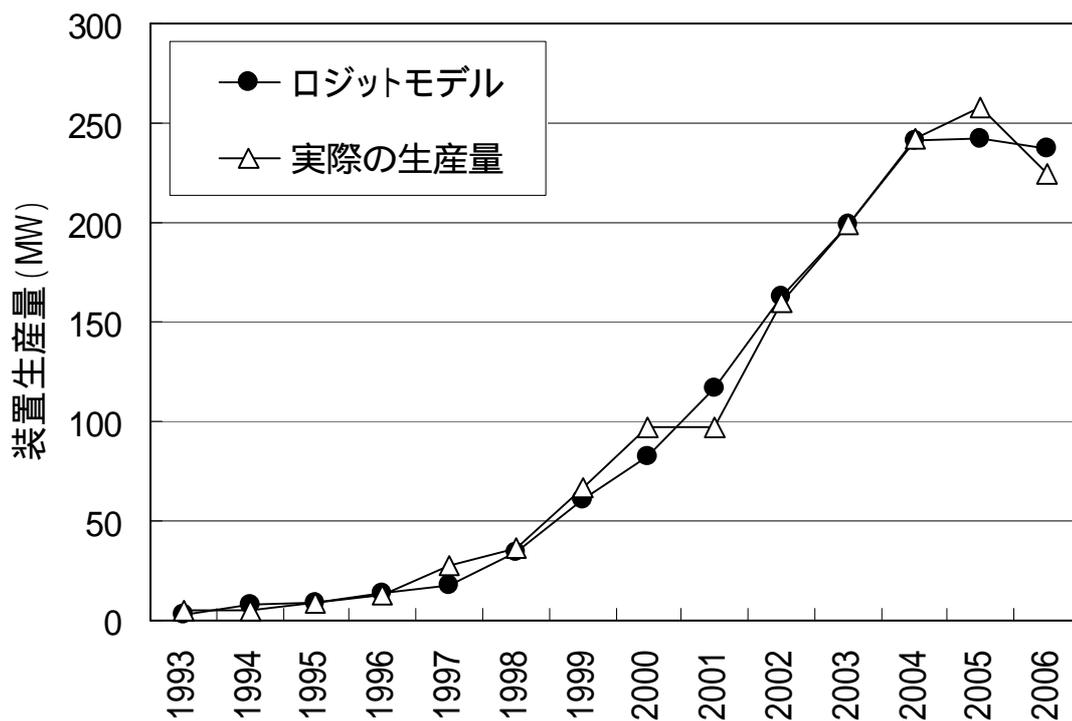


図 3-18 情報伝達効果を考慮したロジットモデルによる生産量の推定結果

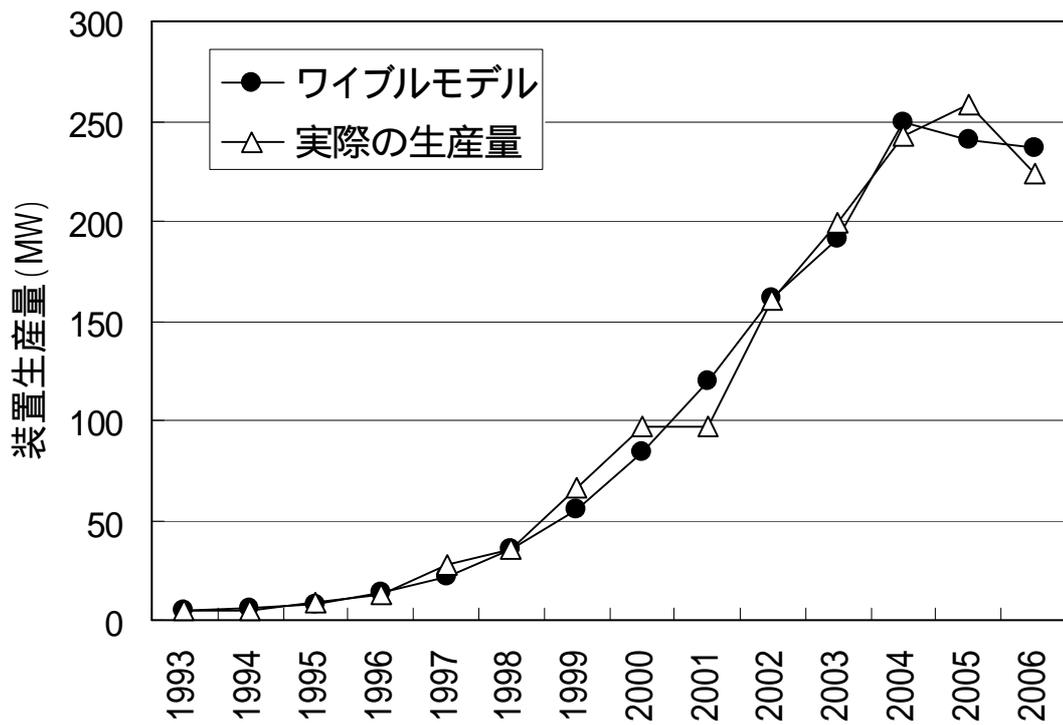


図 3-19 情報伝達効果を考慮したワイブルモデルによる生産量の推定結果

表 3-4 情報伝達効果を考慮した各モデルでのパラメータ推定結果

モデル	パラメータ	数値	パラメータ	数値	偏差の二乗和 (MW ²)
一般均衡	a ₆	70.1	X ₀	944	1,227
	a ₇	241	N ₀	0.00222	
	a ₈	0	r	6.15	
プロビット	a ₉	- 2.52	N ₀	0.00637	1,440
	a ₁₀	0.000840	r	7.55	
	X ₀	1,600			
ロジット	a ₁₁	- 5.01	N ₀	0.00619	1,184
	a ₁₂	0.00786	r	7.41	
	X ₀	0			
ワイブル	a ₁₄	0.0170	X ₀	2,420	1,433
	a ₁₅	0	N ₀	0.00549	
	a ₁₆	0.202	r	7.68	

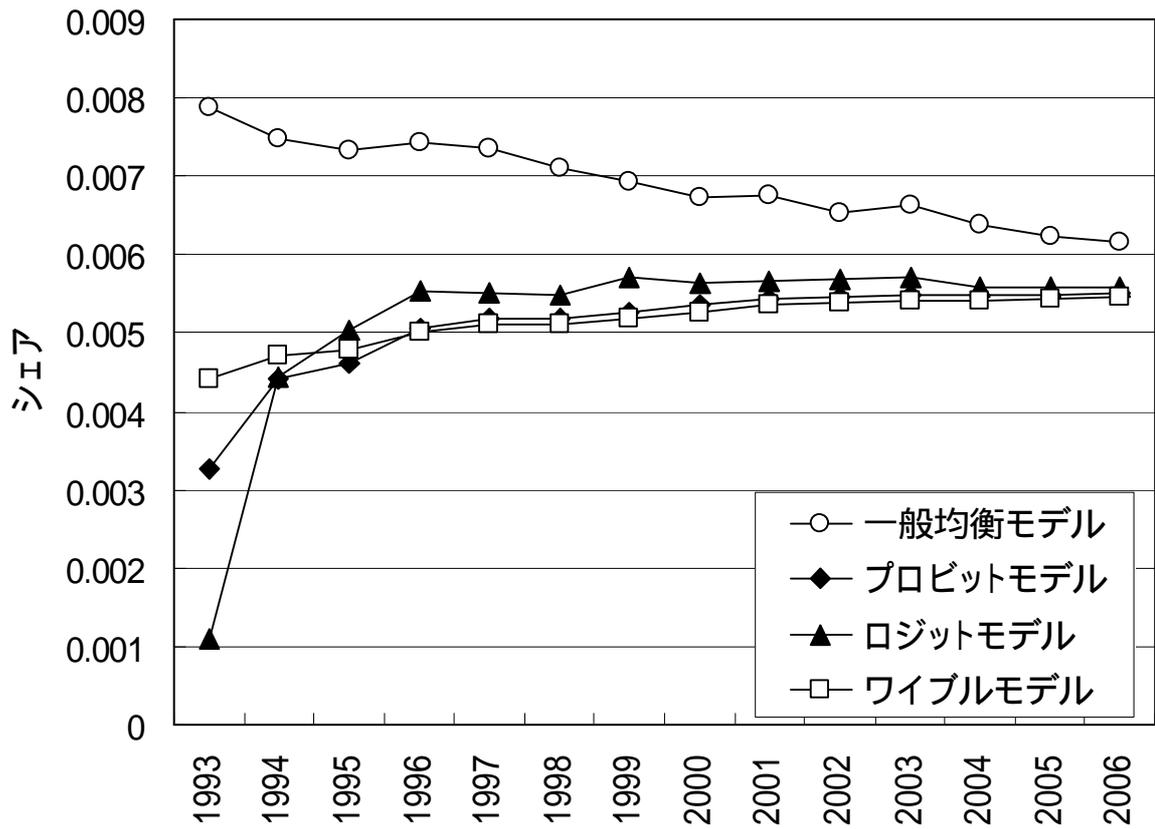


図 3-20 情報伝達の要因を除いた価格応答部分のシェアの変化

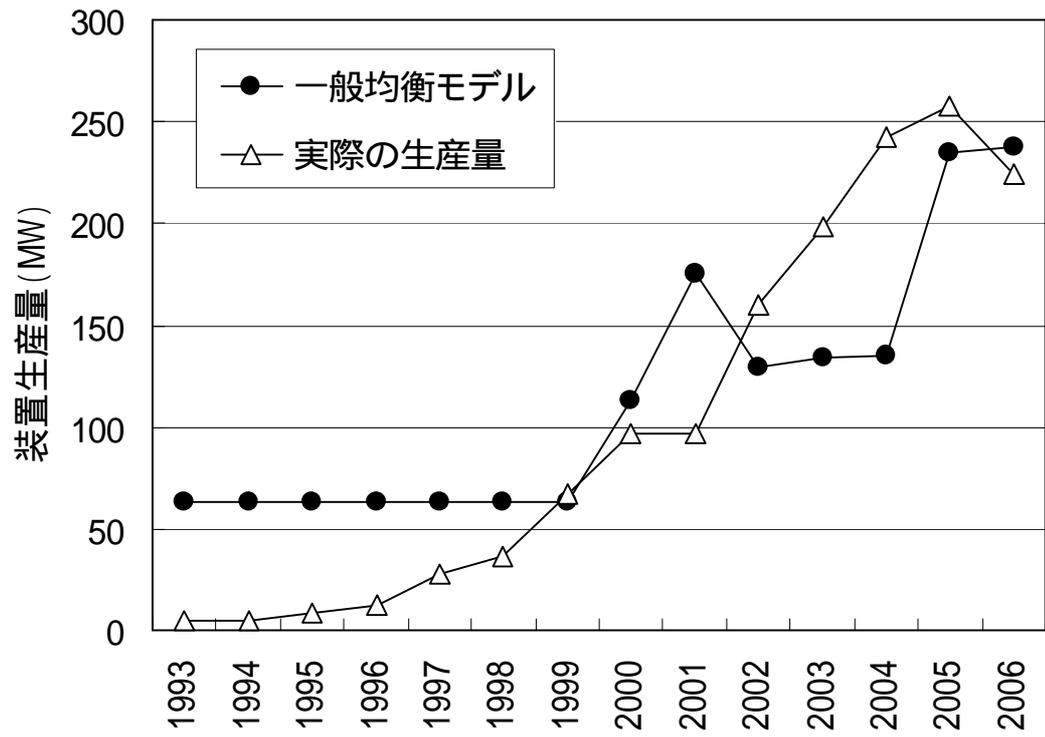


図 3-21 パラメータ変化を考慮した一般均衡モデルによる生産量の推定結果

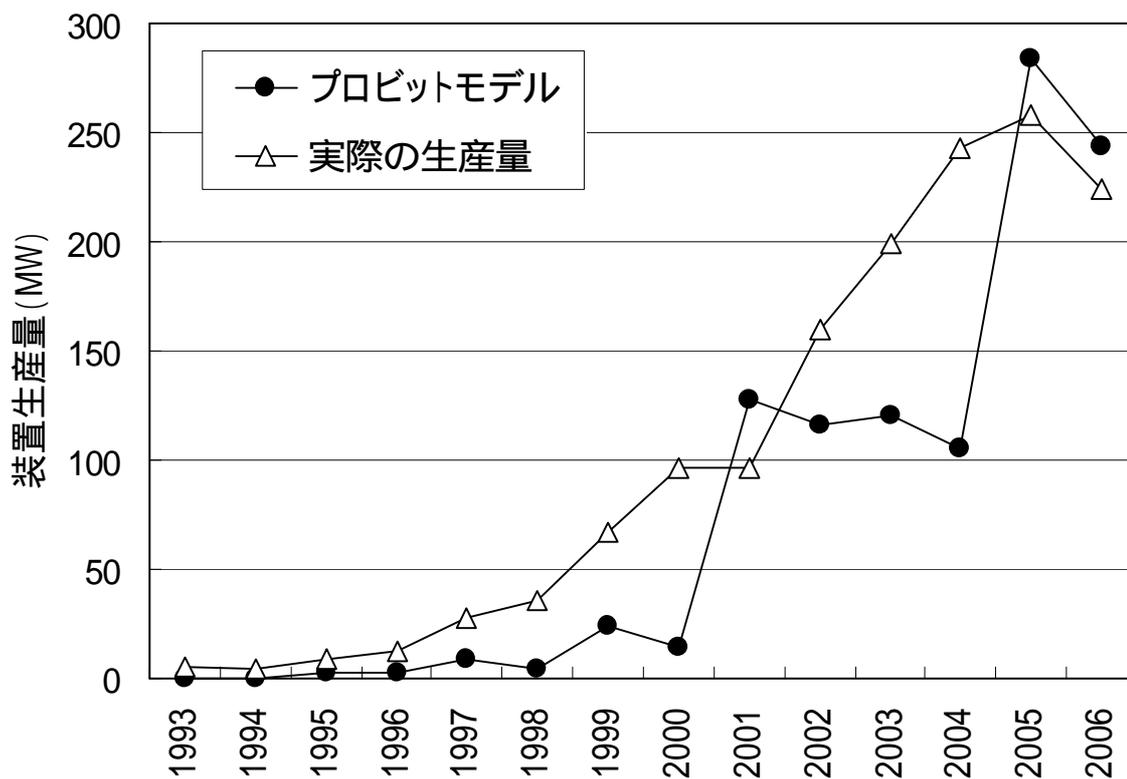


図 3-22 パラメータ変化を考慮したプロビットモデルによる生産量の推定結果

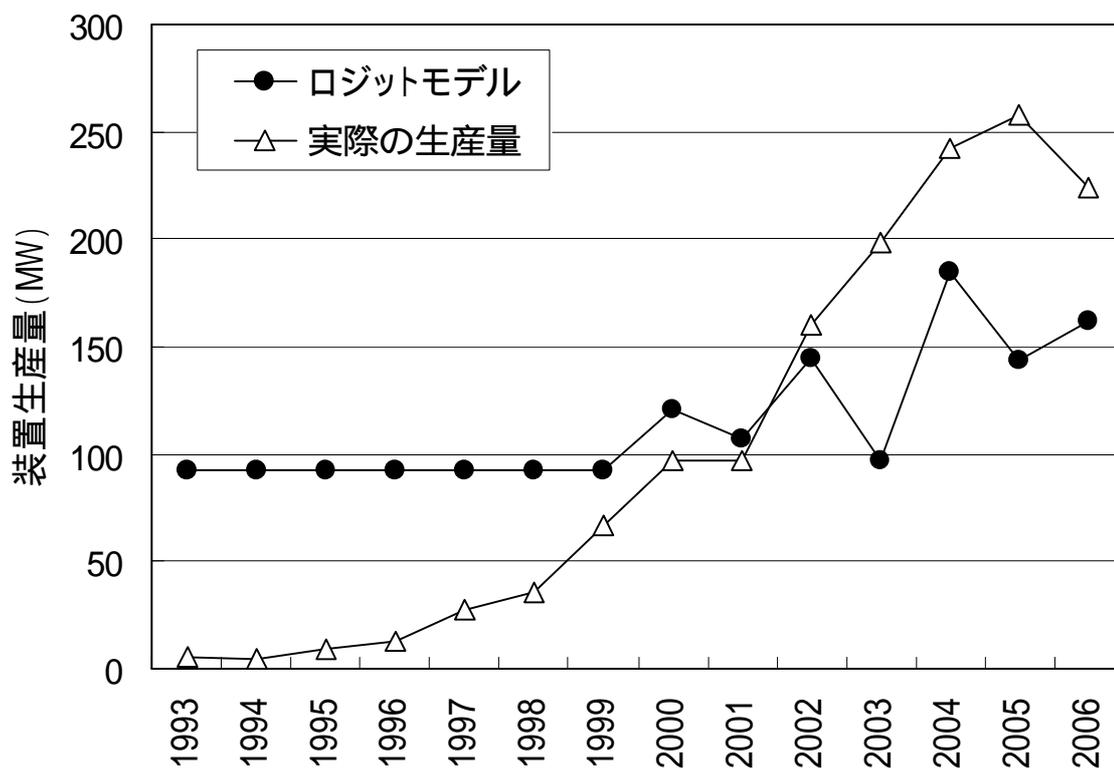


図 3-23 パラメータ変化を考慮したロジットモデルによる生産量の推定結果

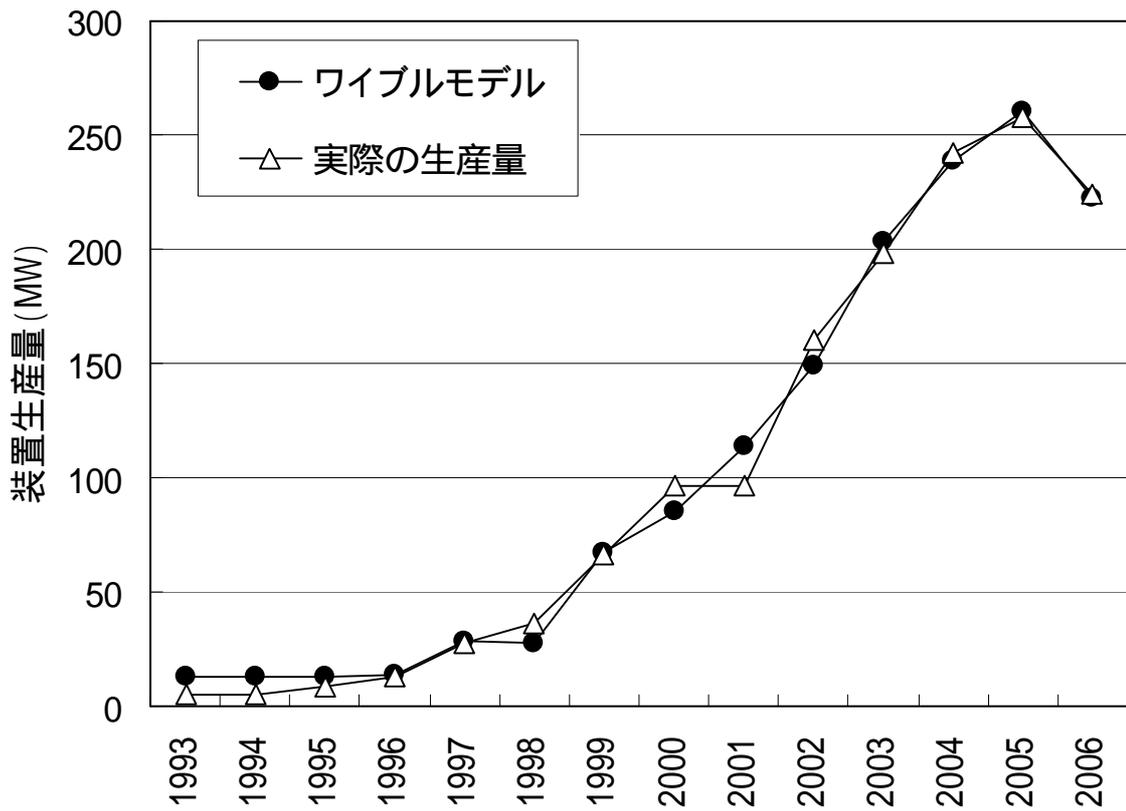


図 3-24 パラメータ変化を考慮したワイブルモデルによる生産量の推定結果

注) 本研究で検討したモデルのうち、このモデルが最も市場データとの整合性に優れていた。

表 3-5 パラメータ変化を考慮した各モデルでのパラメータ推定結果

モデル	パラメータ	数値	パラメータ	数値	偏差の二乗和 (MW ²)
一般均衡	a ₁₇	59.0	a ₂₁	- 102	38,107
	a ₁₈	16.4	a ₂₂	0.411	
	a ₁₉	- 2,140	X ₀	1,260,000	
	a ₂₀	0			
プロビット	a ₂₃	2.60	a ₂₆	0.504	38,933
	a ₂₄	10.9	X ₀	0	
	a ₂₅	44.5			
ロジット	a ₂₇	0	a ₃₀	0.00358	68.409
	a ₂₈	- 4.87	X ₀	1,850,000	
	a ₂₉	- 0.457			
ワイブル	a ₃₁	0	a ₃₅	33.7	793
	a ₃₂	59.1	a ₃₆	0.154	
	a ₃₃	17.0	X ₀	256,806	
	a ₃₄	0.0374			

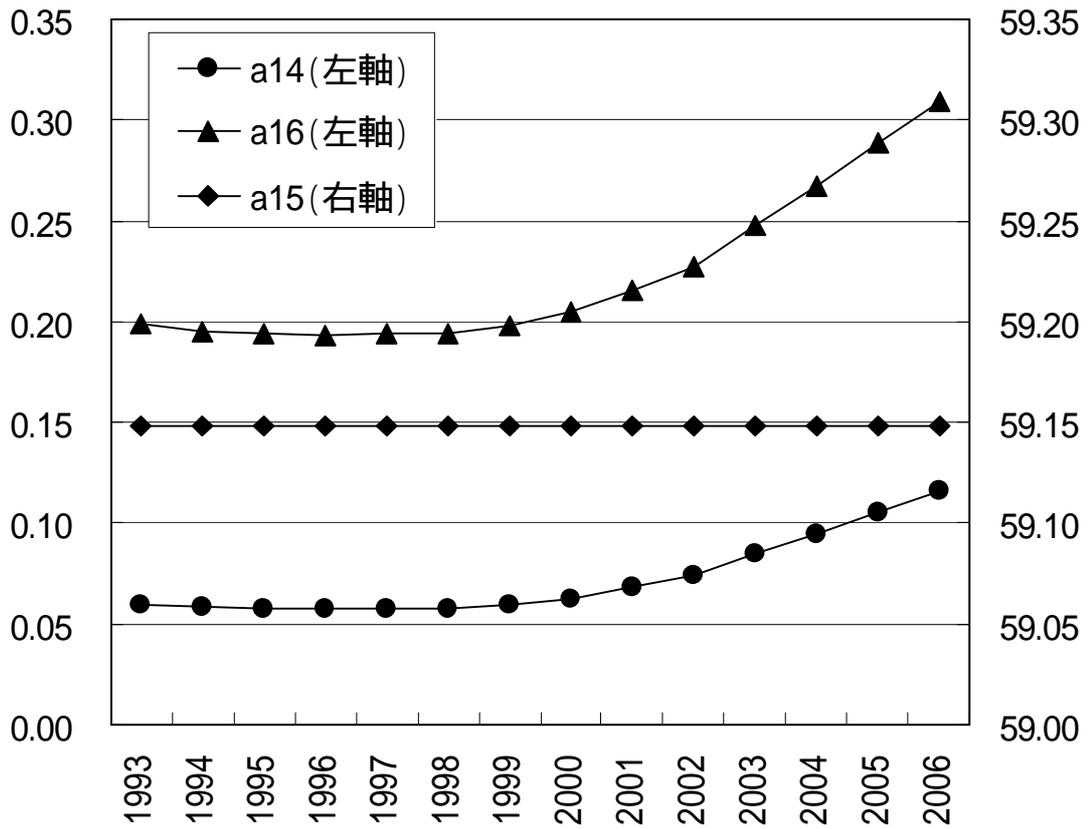


図 3-25 パラメータ変化を考慮したワイブルモデルでのパラメータ変化

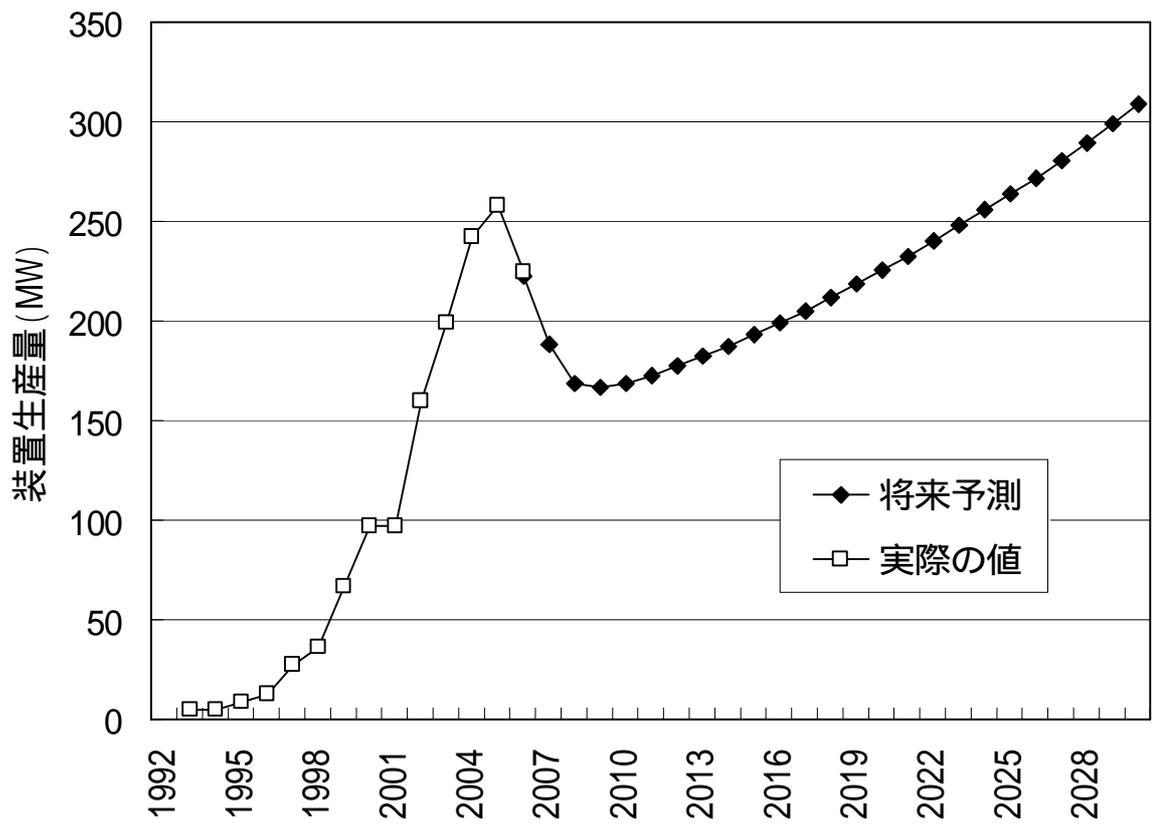


図 3-26 成長モデル単独での太陽光発電の生産量の将来予測（従来電力価格一定）

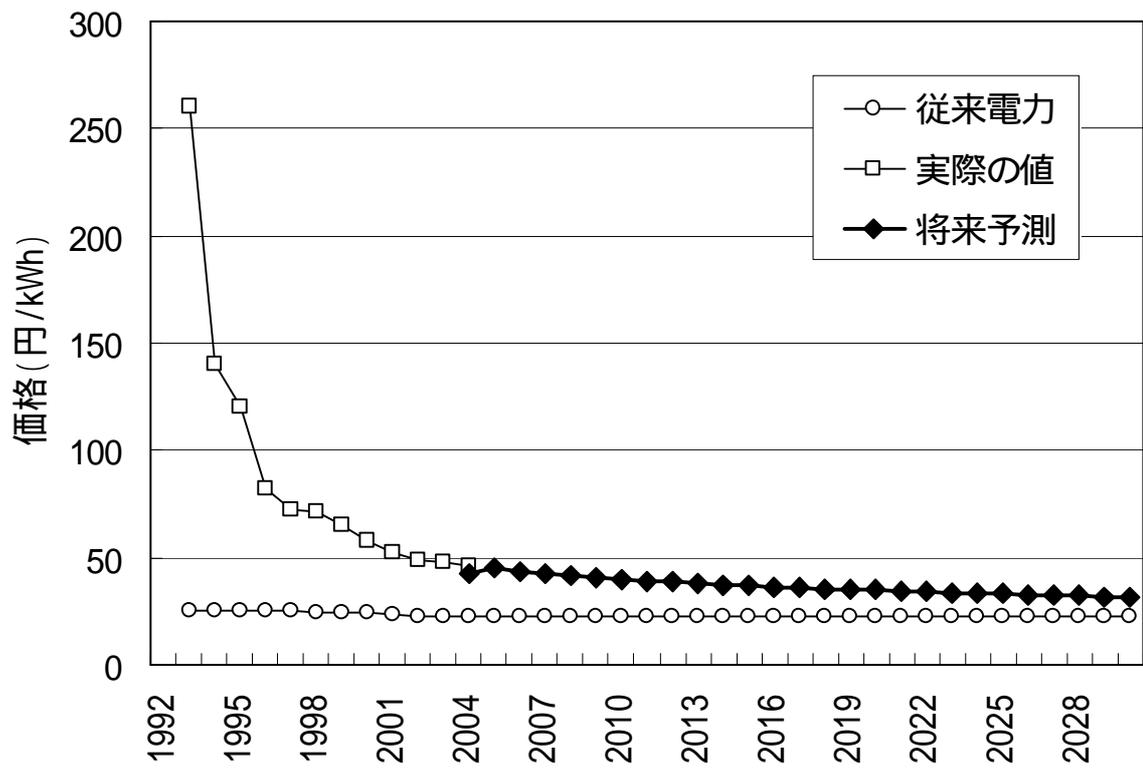


図 3-27 成長モデル単独での太陽光発電の価格の将来予測（従来電力価格一定）

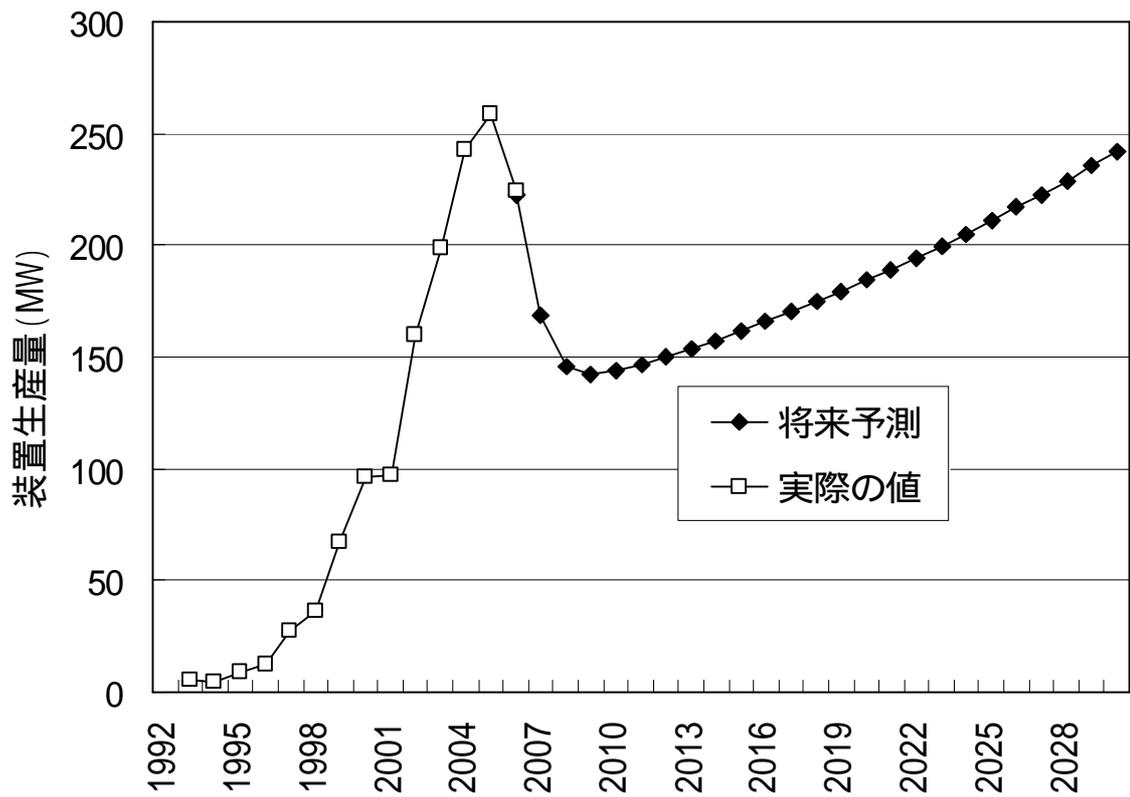


図 3-28 成長モデル単独での太陽光発電の生産量の将来予測（従来電力価格低下）

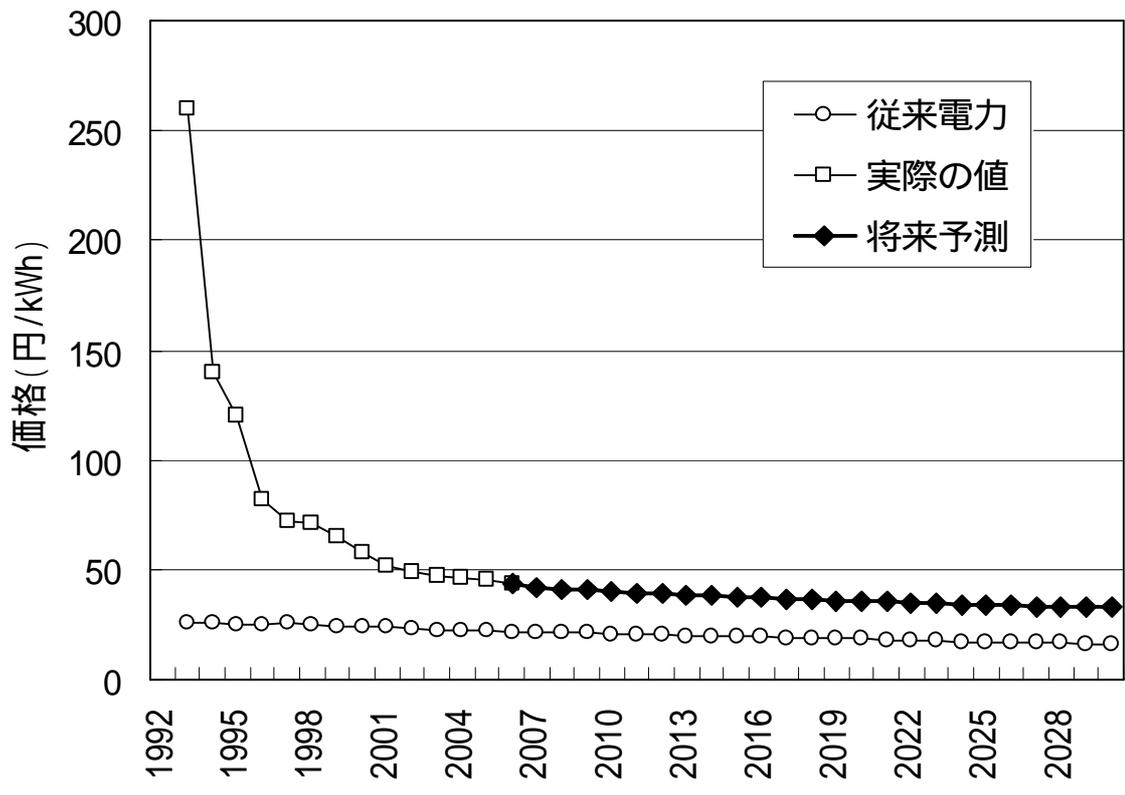


図 3-29 成長モデル単独での太陽光発電の価格の将来予測（従来電力価格低下）

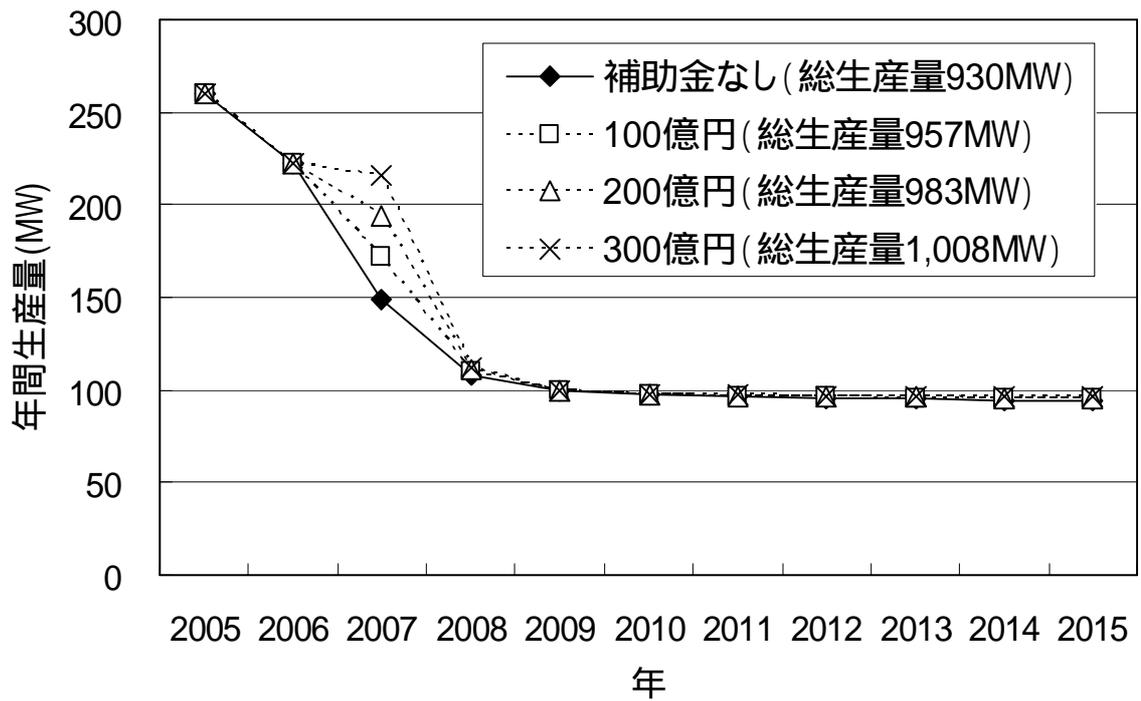


図 3-30 2007 年以降に補助金を支給した時の年額と生産量の関係 (価格差: 1 円)

注) 補助金の効果は, 支給した最初の年に集中的に表れた。

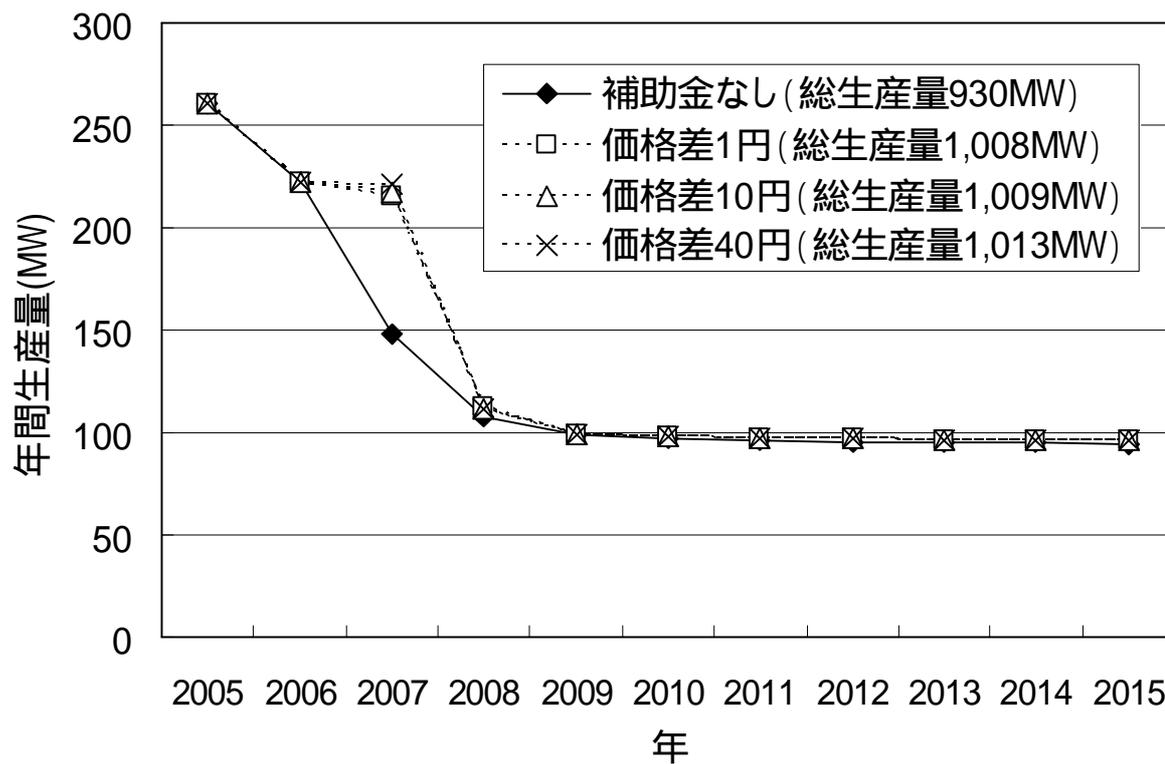


図 3-31 2007 年以降に補助金を支給した時の価格差と生産量の関係（年支給額：300 億円）

注）価格差の違いは生産額にほとんど影響を及ぼさず，その総額で効果が決まっている。

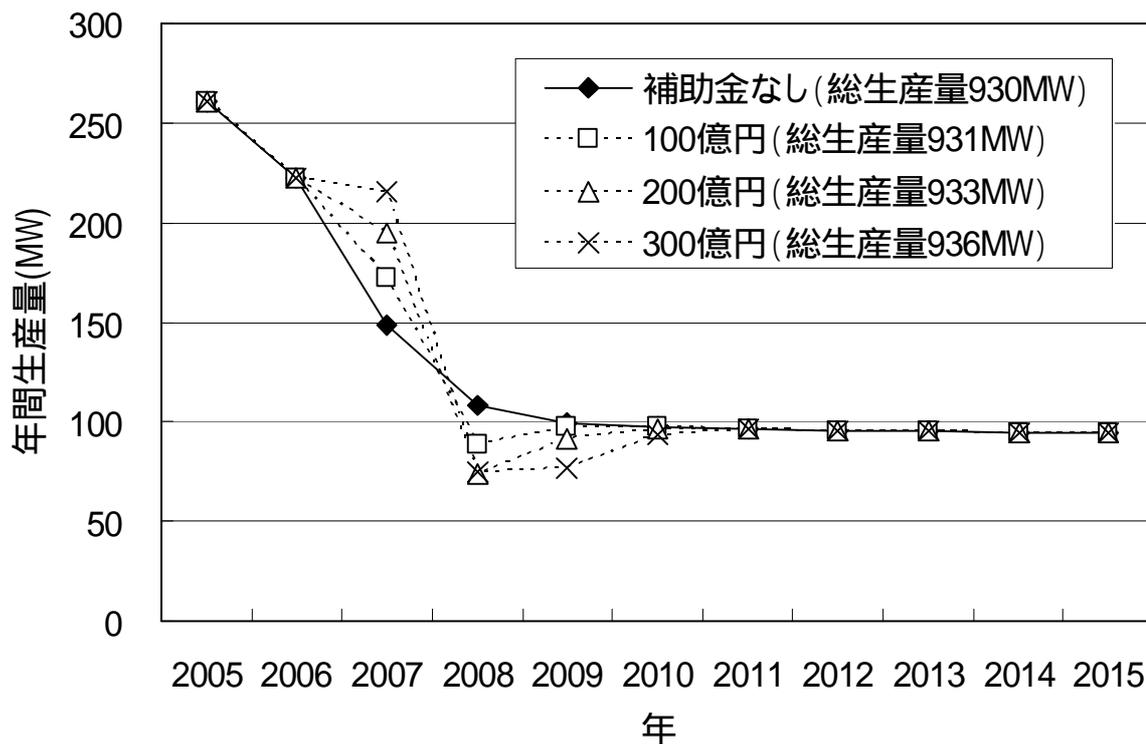


図 3-32 2007 年のみ補助金を支給した時の年額と生産量の関係 (価格差 : 1 円)

注) 補助金の支給を中止すると反動としての生産量の低下が起きる。

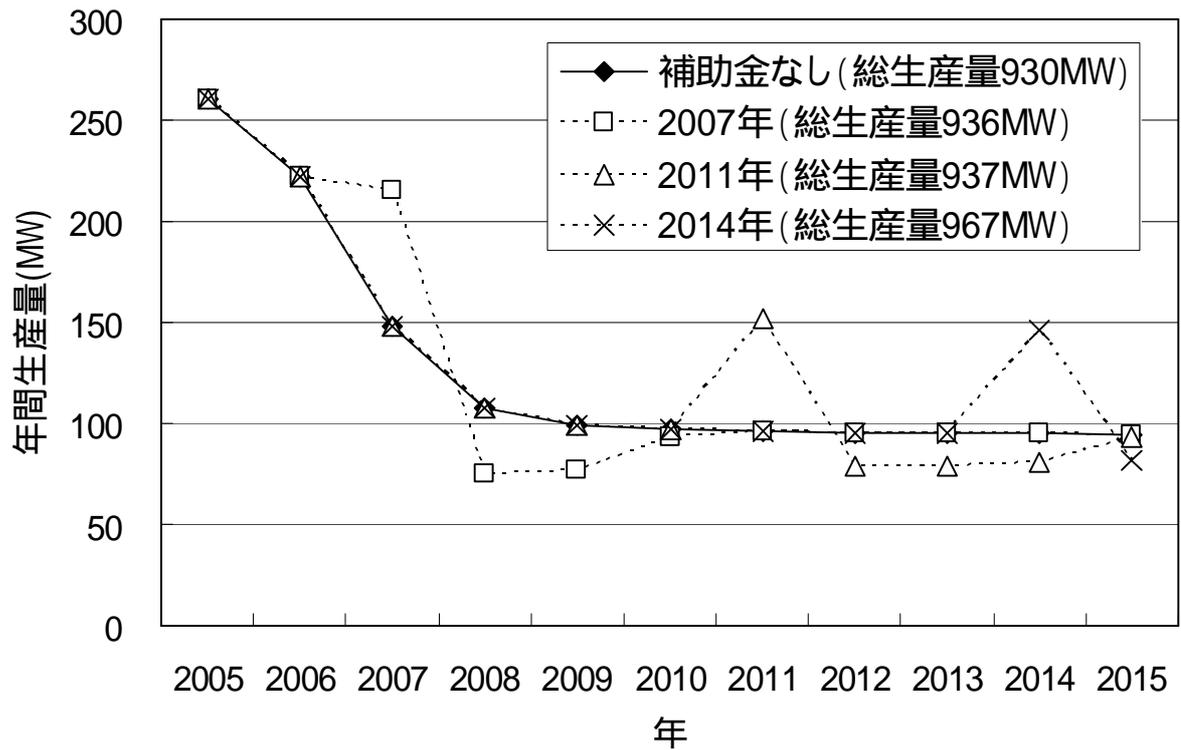


図 3-33 1年間補助金を支給した時の支給年と生産量の関係（年支給額：300億円，価格差：1円）

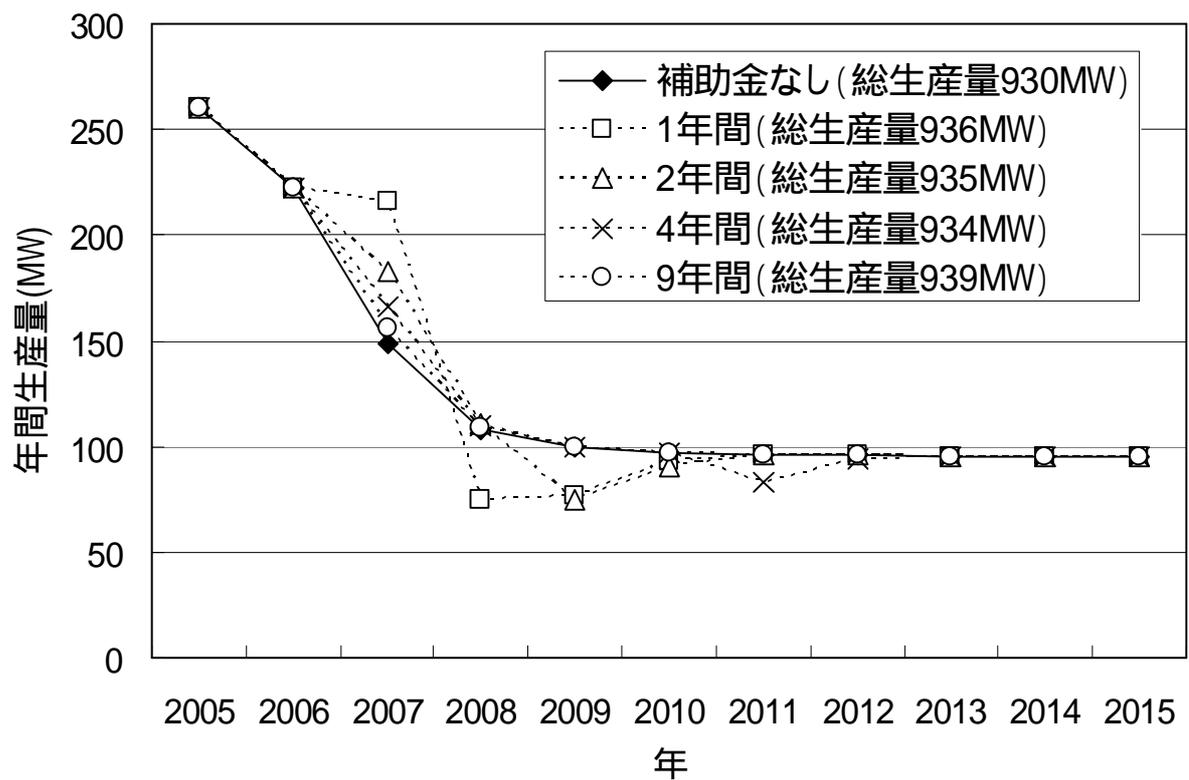


図 3-34 総額 300 億円の補助金を支給した時の支給期間と生産量の関係（価格差：1 円）

注）総額が一定であれば，支給する期間の長さは総生産額に大きな影響を及ぼさない。

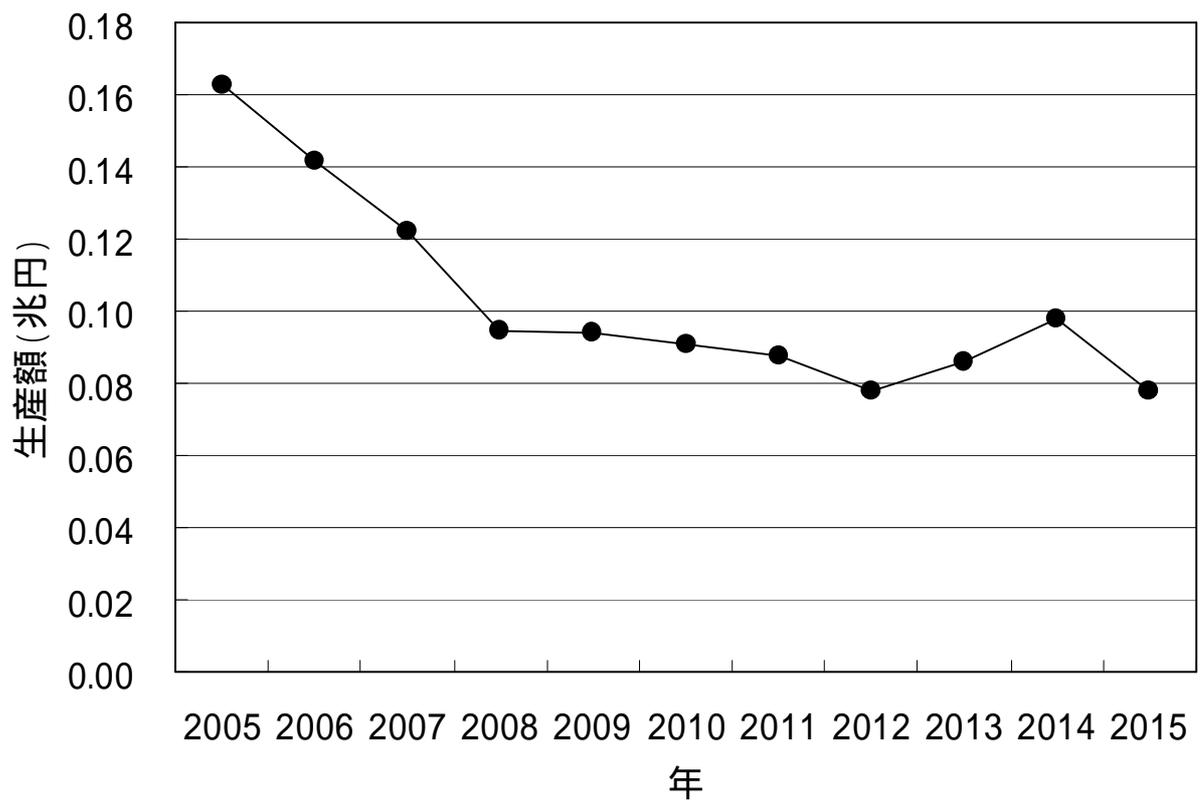


図 3-35 促進政策を導入しない場合の住宅用太陽光発電の生産額のシミュレーション結果

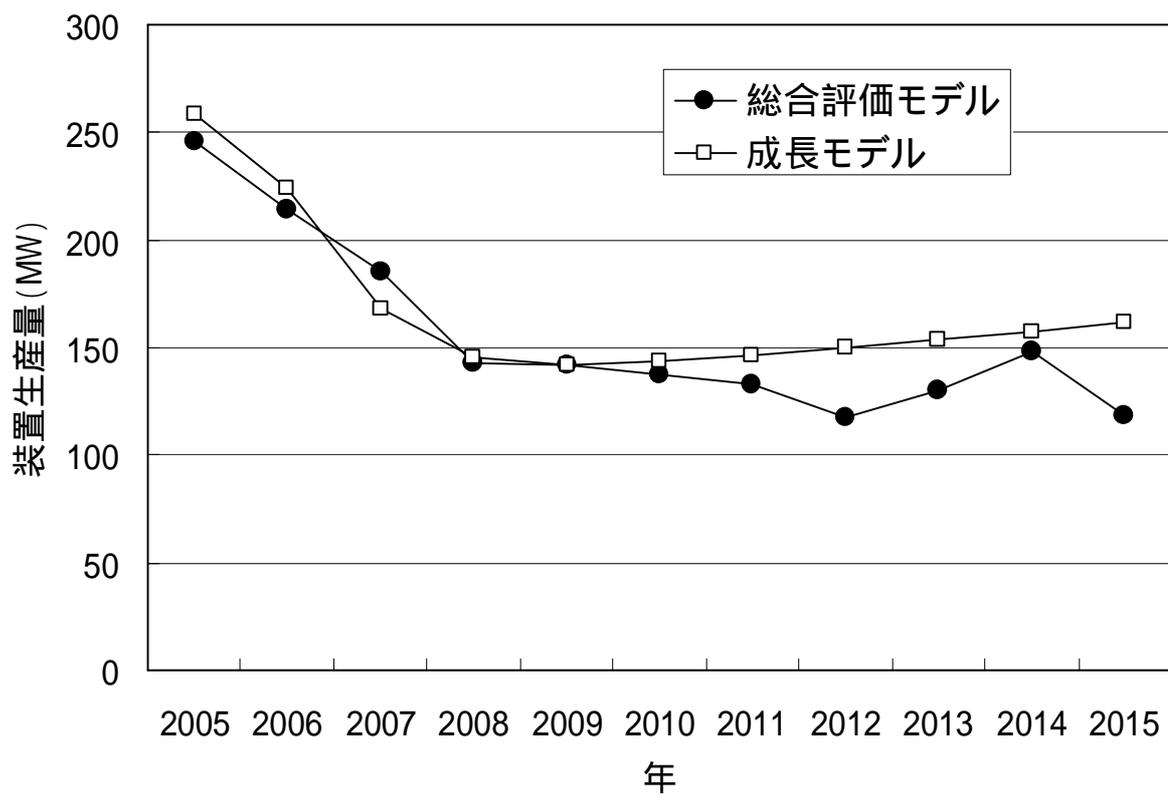


図 3-36 促進政策を導入しない場合の生産量の結果の成長モデルとの比較

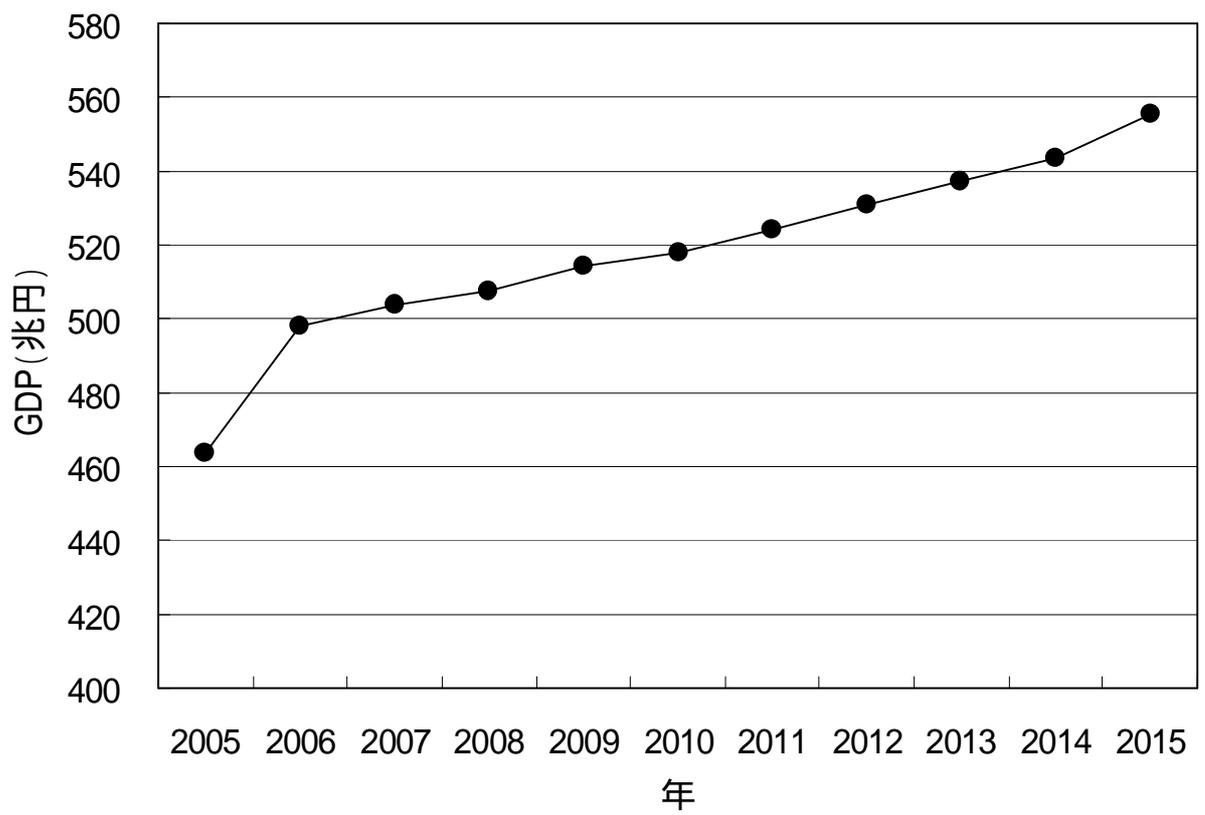


図 3-37 促進政策を導入しない場合の GDP のシミュレーション結果

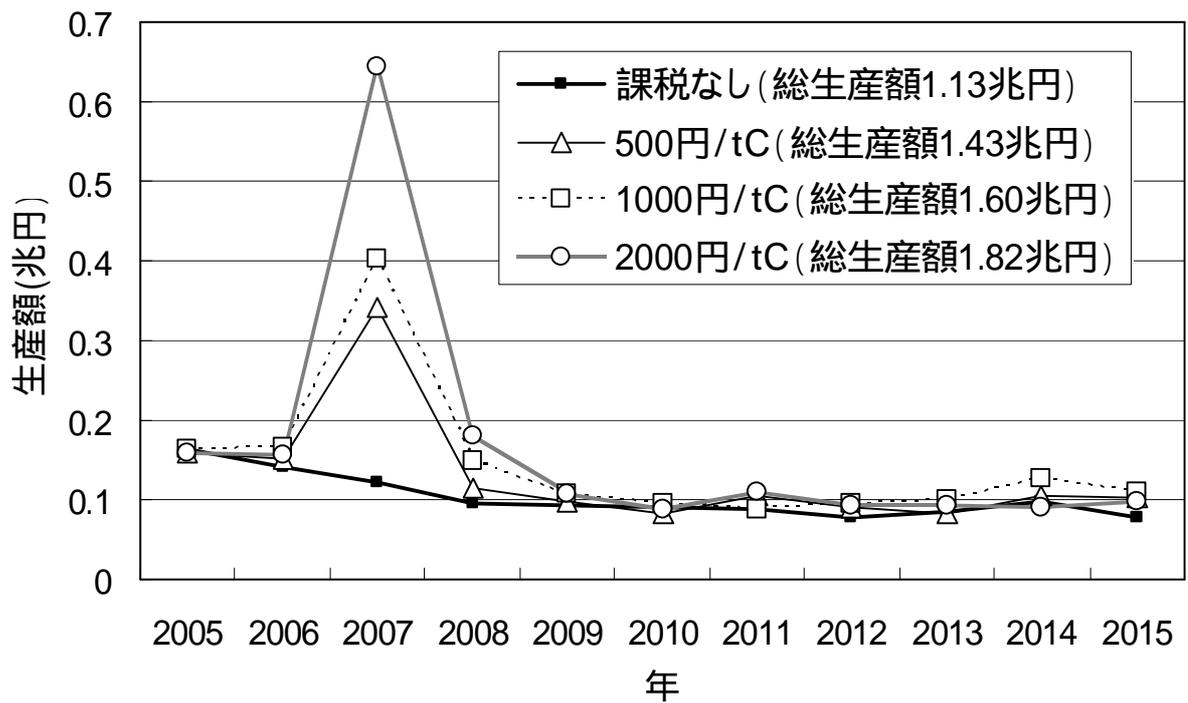


図 3-38 全体に課税した場合の太陽光発電の生産額

注) 排出税と補助金を開始した 2007 年に急激に生産額が増加した。

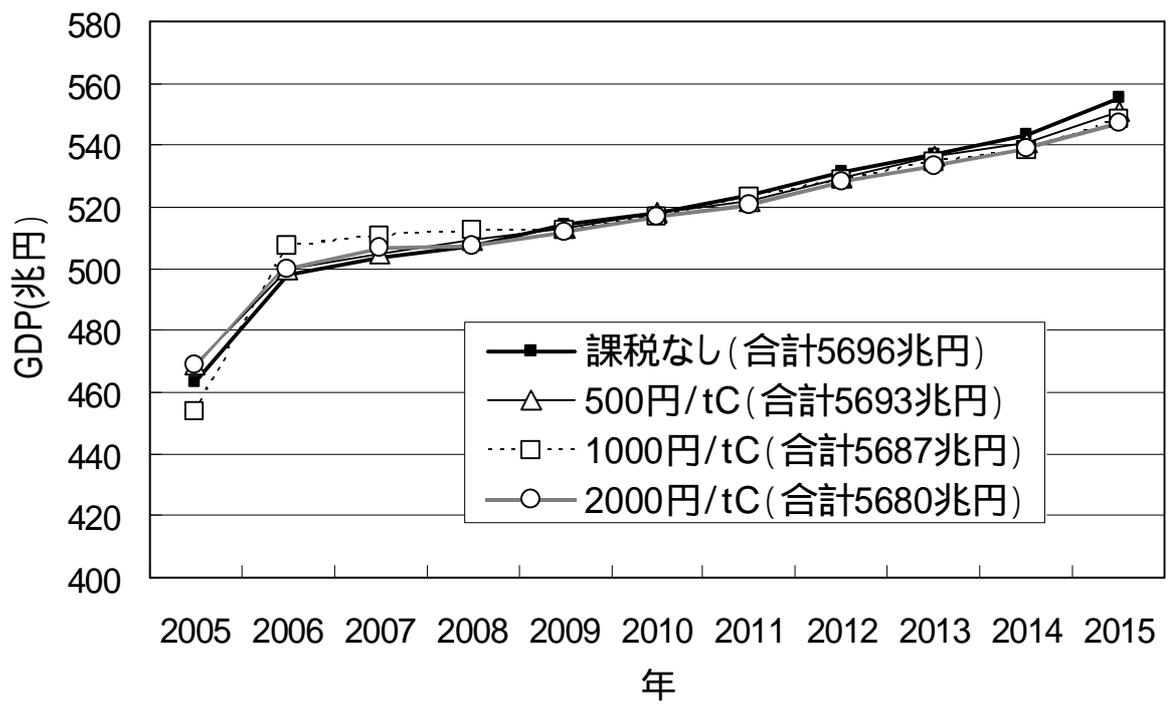


図 3-39 全体に課税した場合の GDP

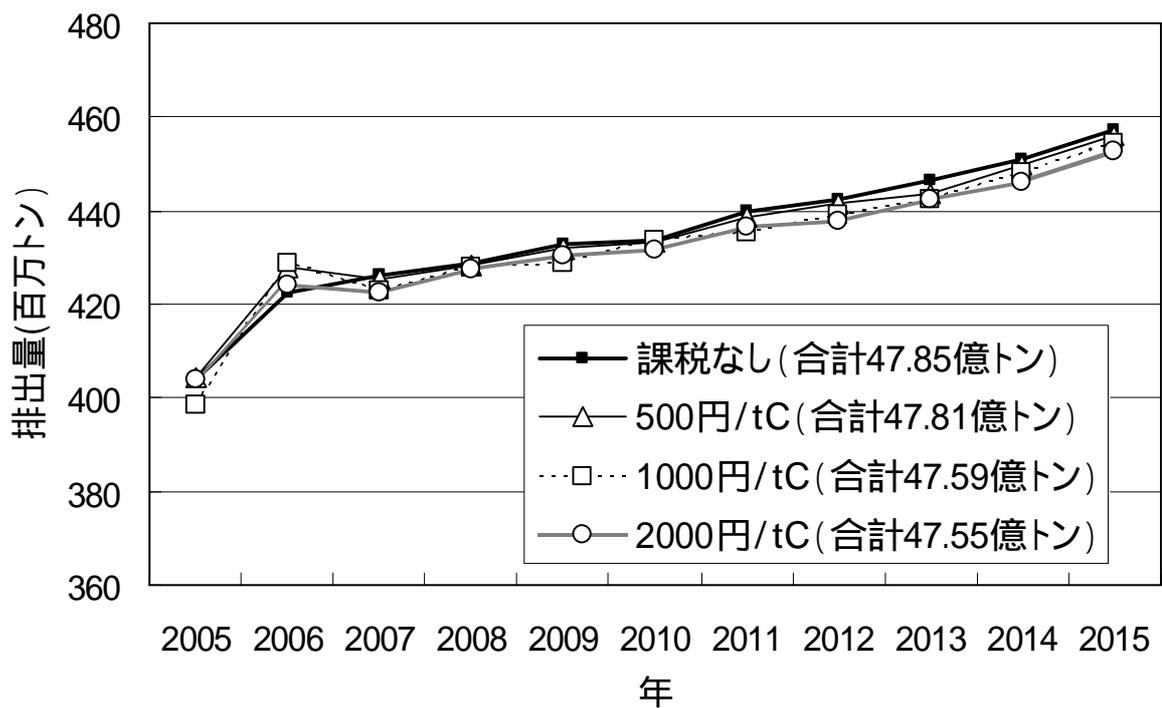


図 3-40 全体に課税した場合の温室効果ガス総排出量

注) GDP, 総排出量ともに税金と補助金の導入により低下したが, GDP あたりの排出量は課税により改善された。

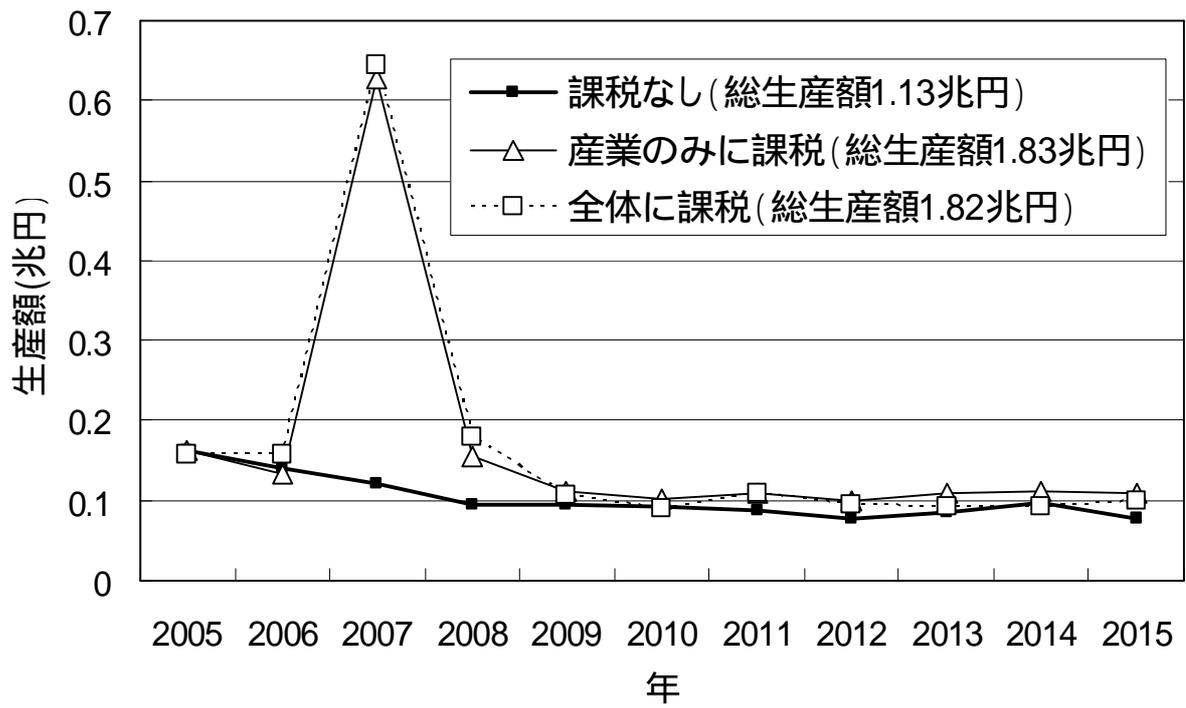


図 3-41 課税方法による太陽光発電の生産額の違い (税率 2,000 円/tC)

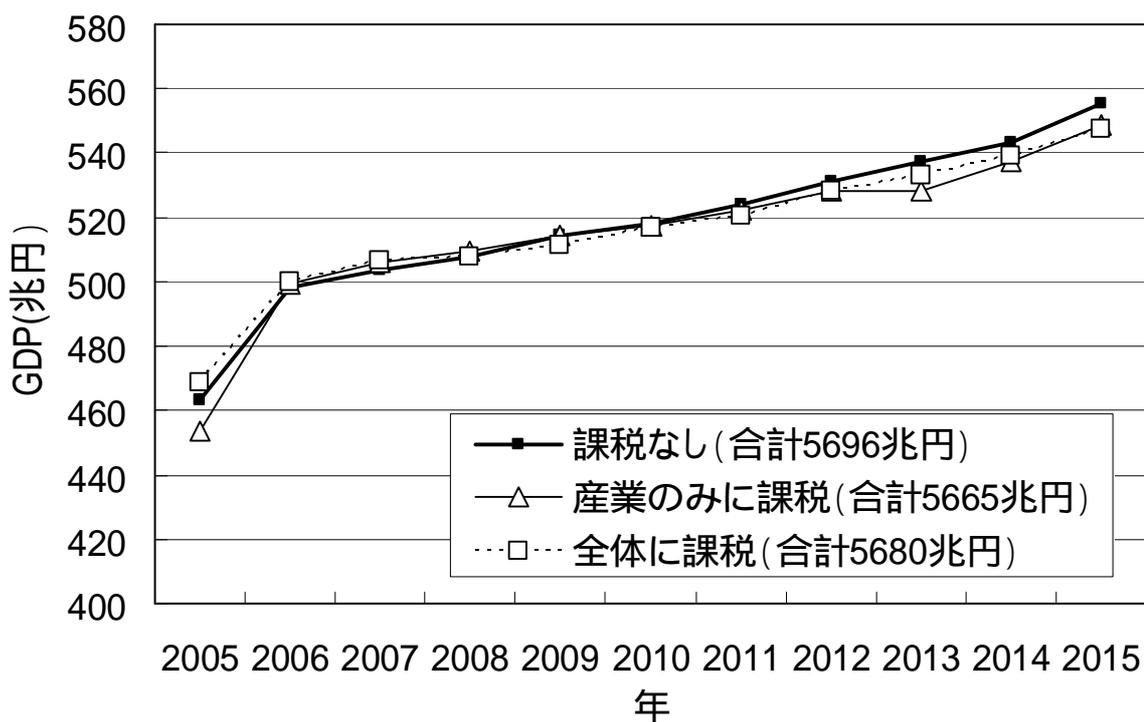


図 3-42 課税方法による GDP の違い (税率 2,000 円/tC)

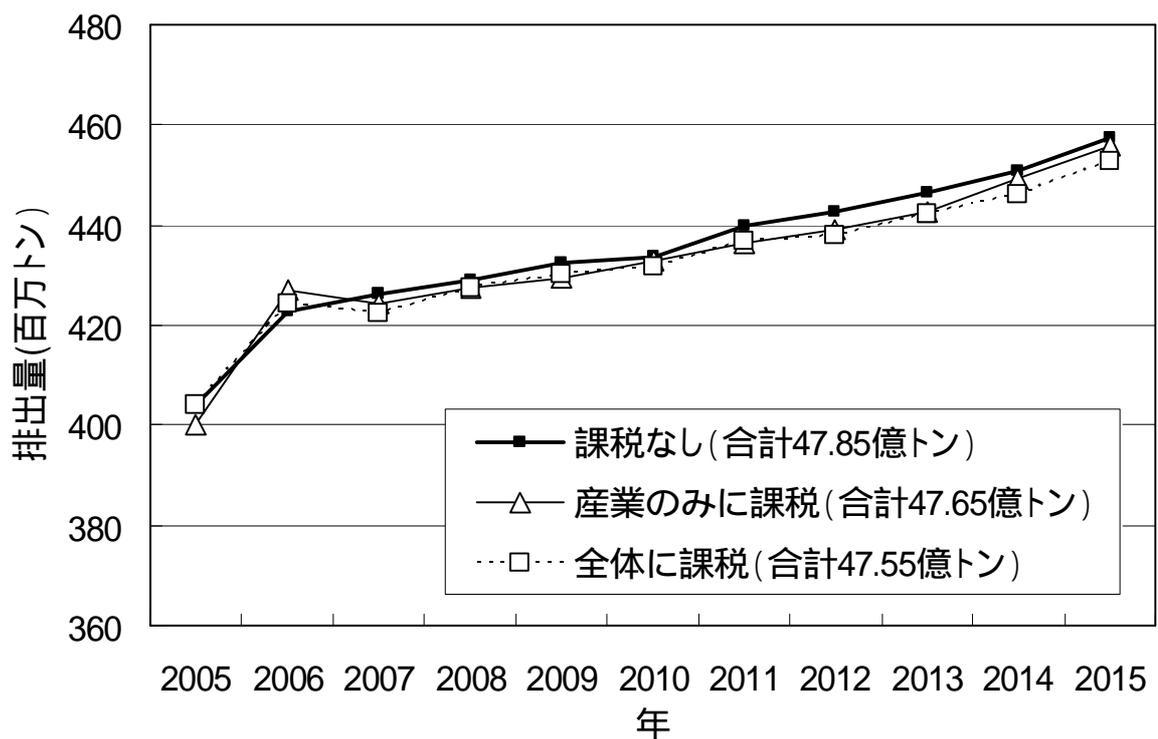


図 3-43 課税方法による温室効果ガス総排出量の違い (税率 2,000 円/tC)

注) どちらの課税方法でも明らかな違いは見られなかったが、全体に課税したケースの方が GDP あたりの排出量はよい値となった。

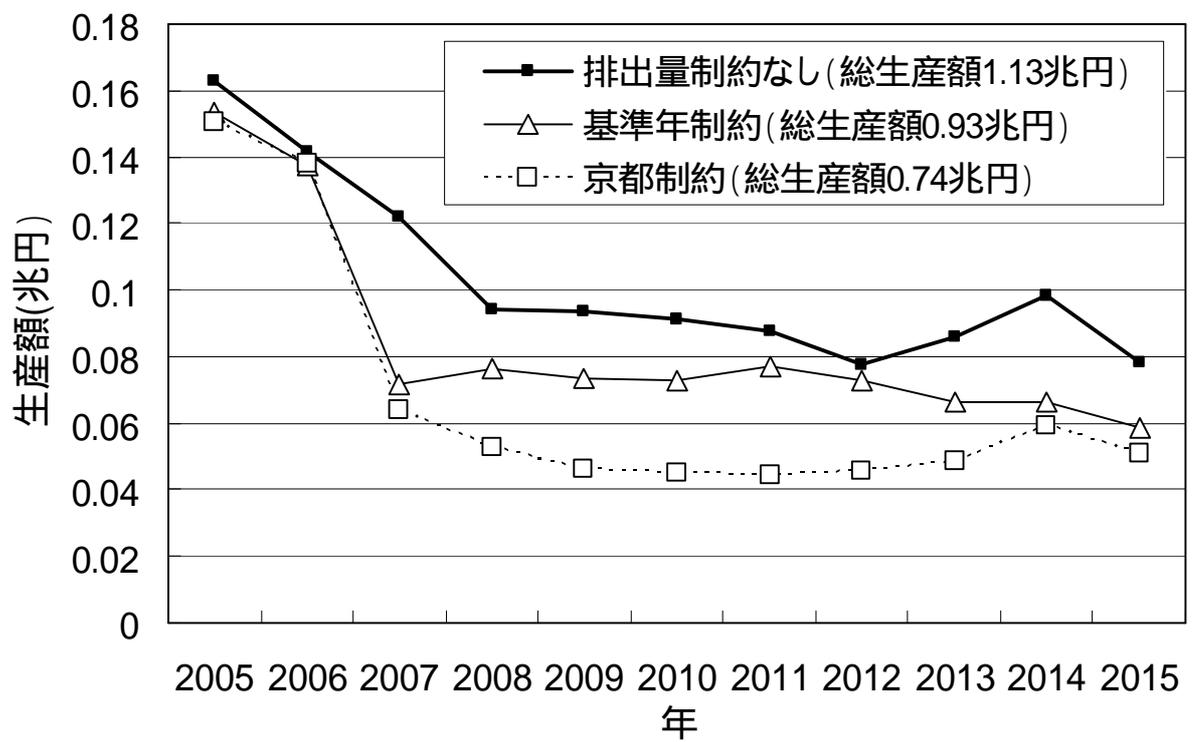


図 3-44 排出税と補助金がない場合の排出量制約による太陽光発電産業の生産額の違い

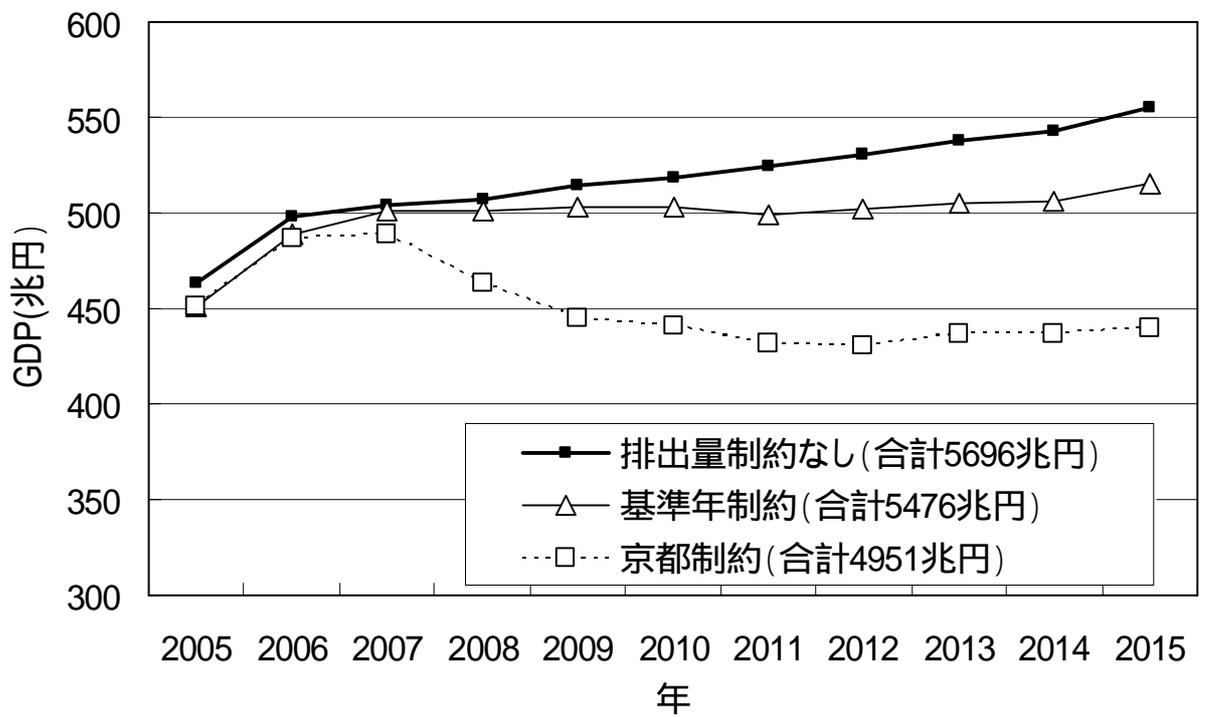


図 3-45 排出税と補助金がない場合の排出量制約による GDP の違い

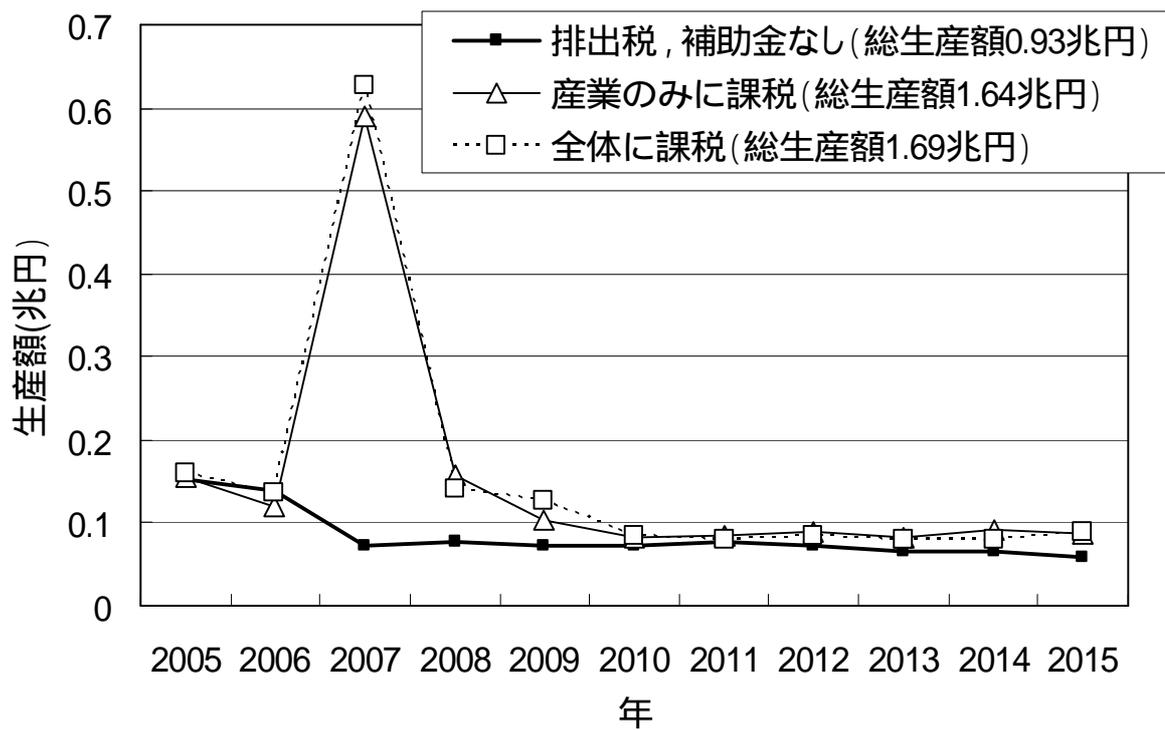


図 3-46 基準年制約のもとでの排出税と補助金による太陽光発電の生産額の変化(税率 2,000 円/tC)

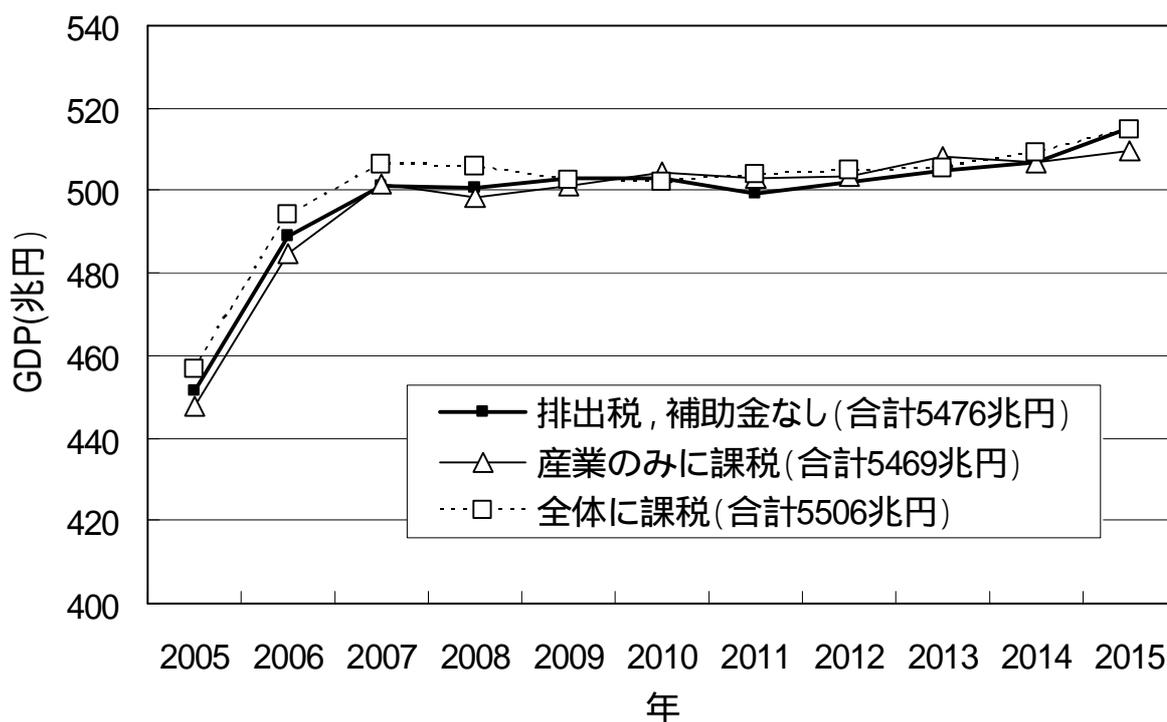


図 3-47 基準年制約のもとでの排出税と補助金による GDP の変化 (税率 2,000 円/tC)

注) 全体に課税したケースで GDP の値が大きくなった。

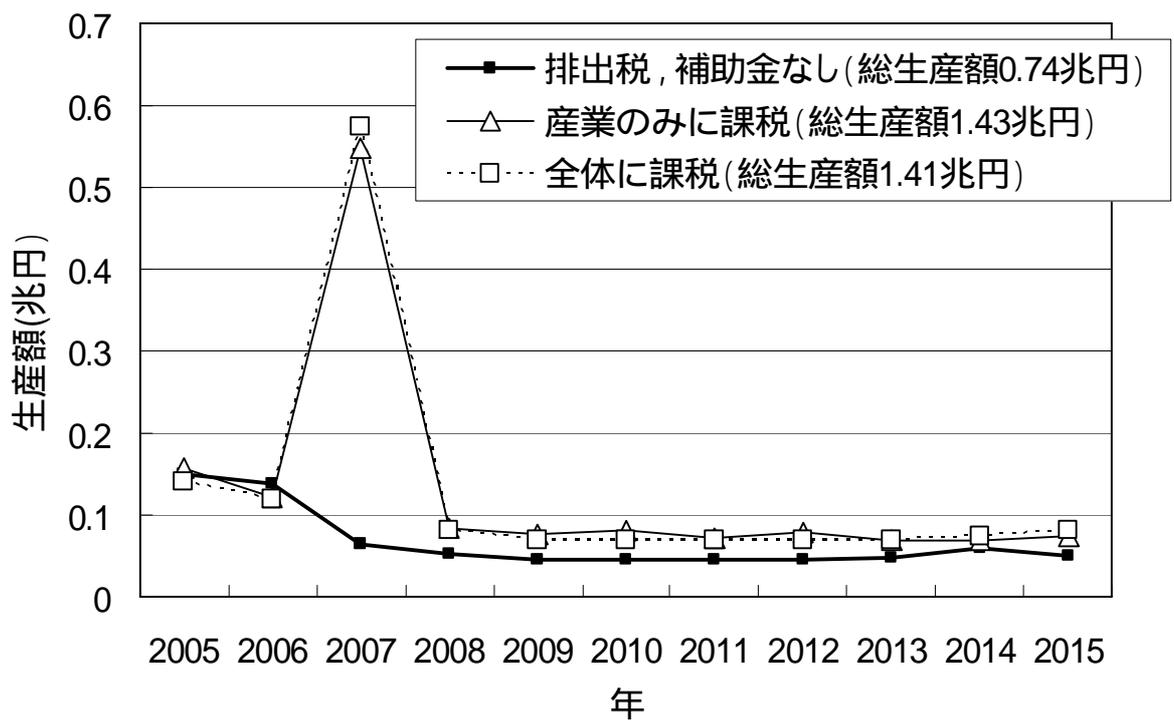


図 3-48 京都制約のもとでの排出税と補助金による太陽光発電の生産額の変化(税率 2,000 円/tC)

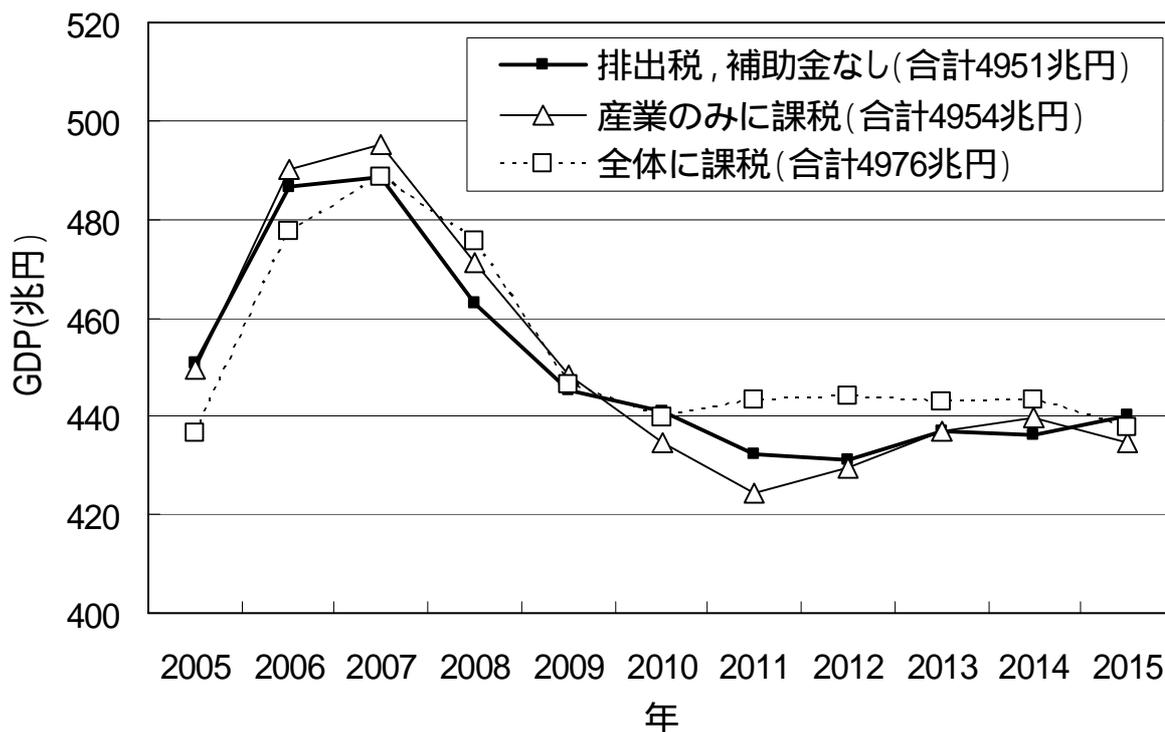


図 3-49 京都制約のもとでの排出税と補助金による GDP の変化 (税率 2,000 円/tC)

注) 全体に課税したケースで GDP の値が大きくなり, GDP 当たりの排出量もよい値を示した。

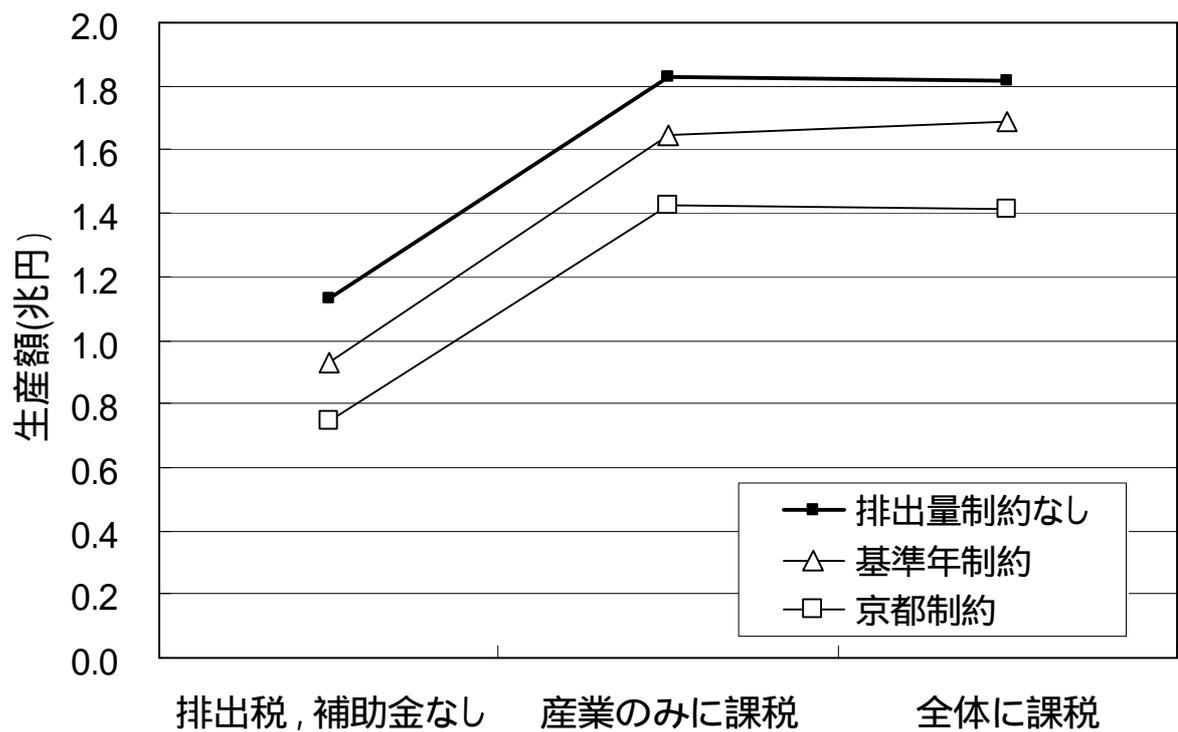


図 3-50 それぞれの排出量制約のもとでの排出税と補助金の太陽光発電の総生産額に及ぼす効果

注) 排出税と補助金は太陽光発電の生産の促進には明らかな効果を発揮した。

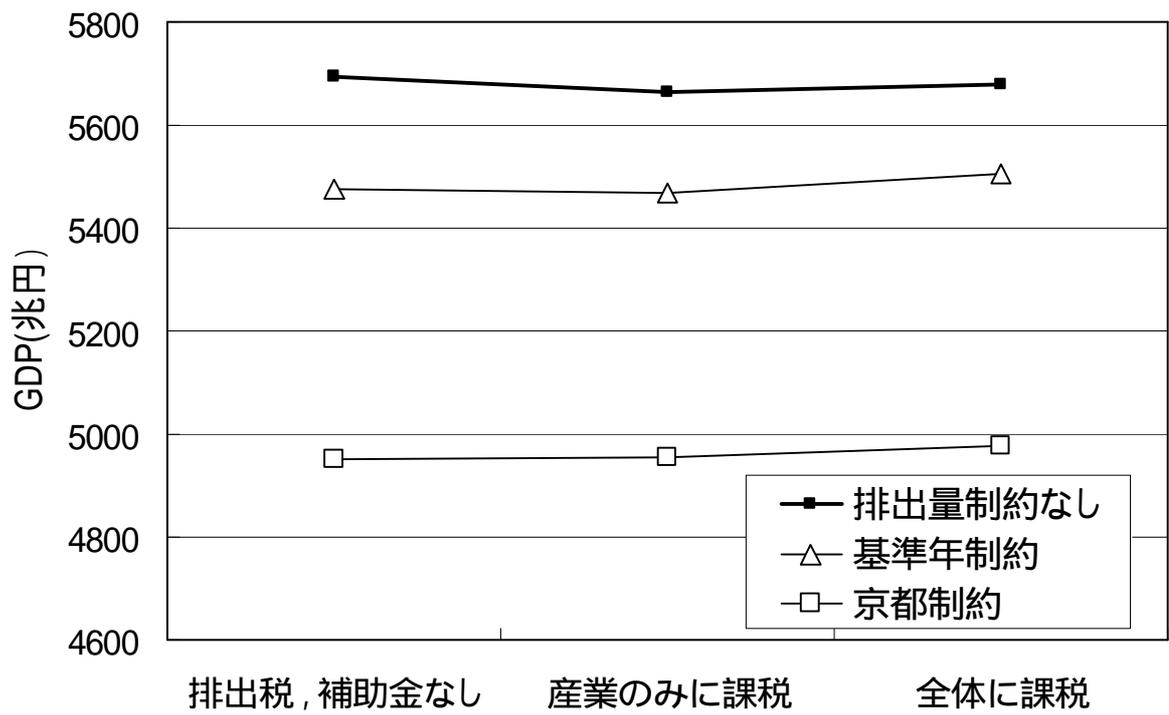


図 3-51 それぞれの排出量制約のもとで排出税と補助金が GDP に及ぼす効果

注 制約がない場合は排出税 + 補助金により GDP が低下したが、厳しい排出量制約のもとでは逆に GDP が大きくなった。

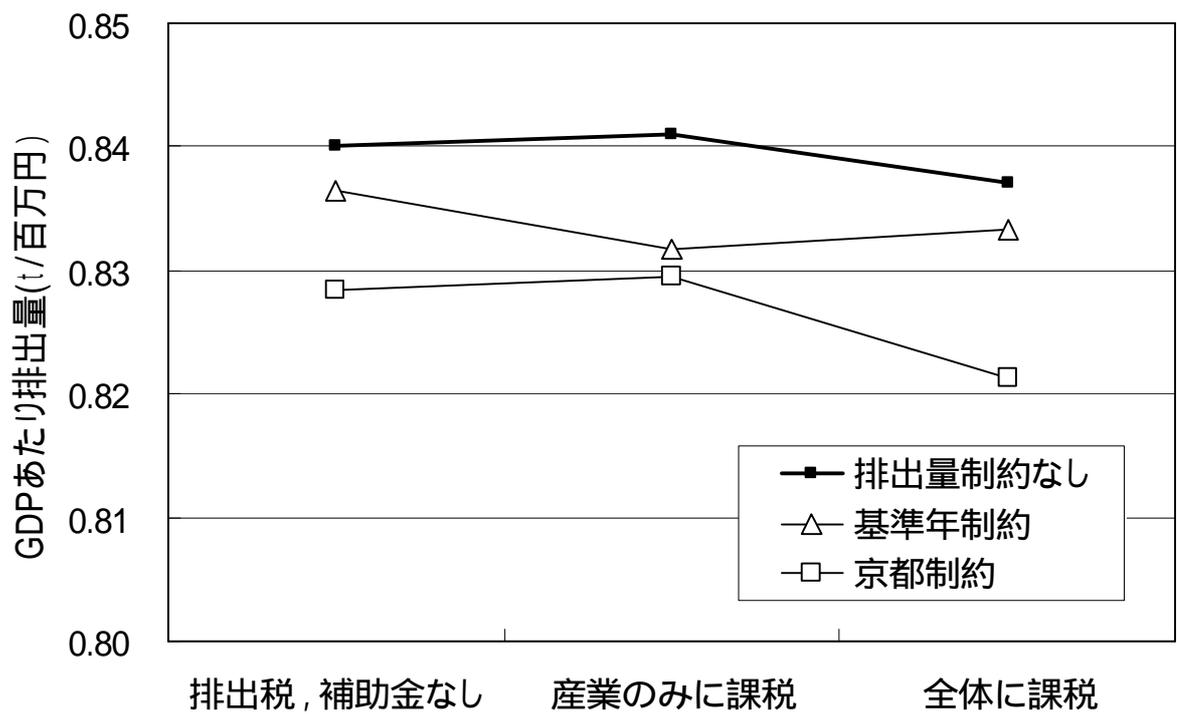


図 3-52 それぞれの排出量制約のもとで排出税と補助金が GDP あたりの排出量に及ぼす効果

注) 総合的に見ると全体に課税した方が GDP あたりの排出量は削減される傾向にある。

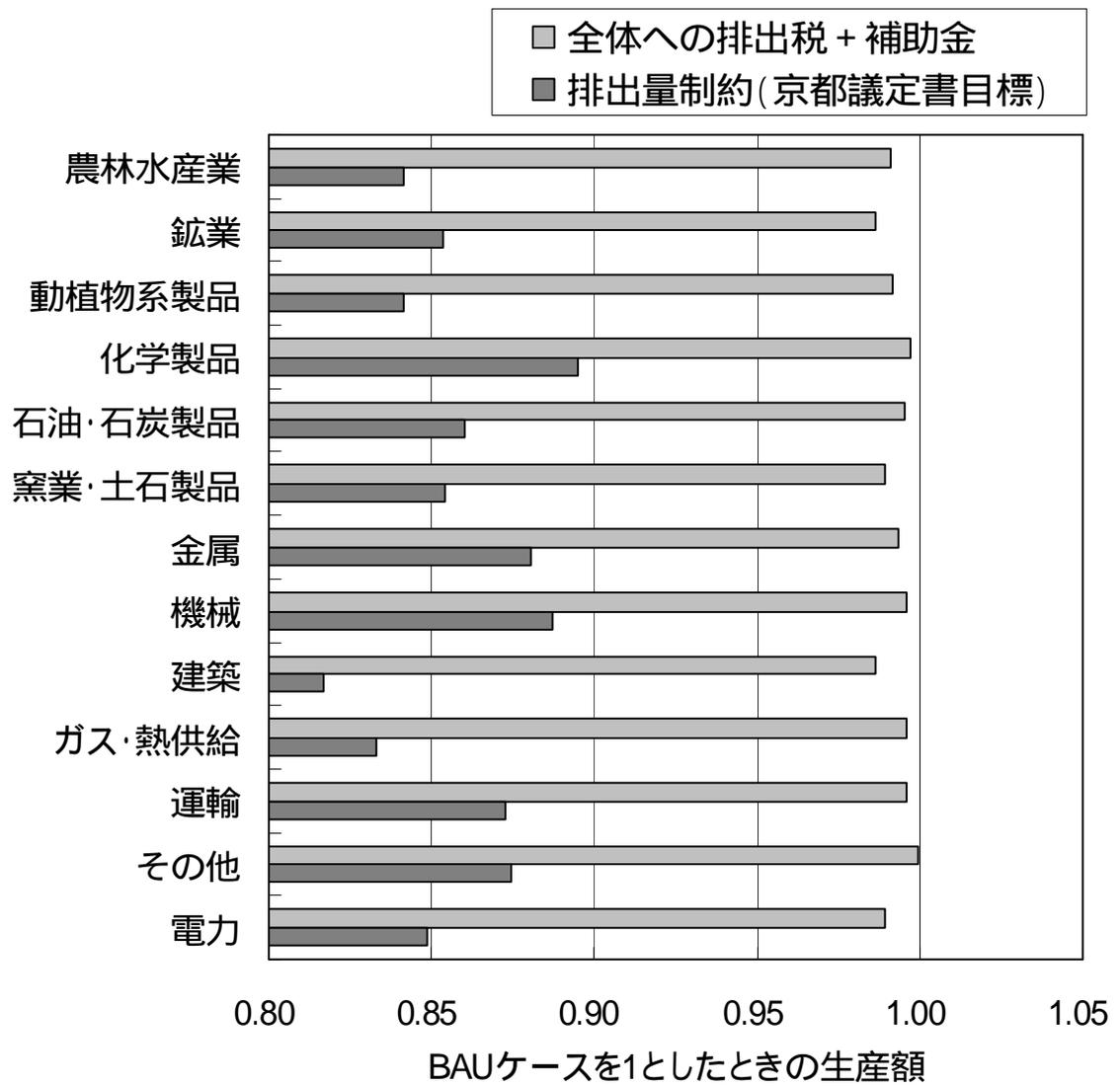


図 3-53 排出税 + 補助金と排出量制約が通常財産業と電力産業の生産額に与える影響

第4章 考察および結論

4.1 政策提言

4.1.1 廃棄物のエネルギーリカバリー技術の普及促進政策

本来、最適化モデルでは目的関数が定まっていれば変数を操作して複数のシミュレーションを行う必要がなく、例えば第2章のモデルで言えば温室効果ガス排出量の上限を京都議定書の目標に固定し、税率を内生変数としてGDPを最大化する一度のシミュレーションを行うことにより、最適な排出税の値が一意に定まる。しかしいくつかの変数を操作変数とすることにより、最適解におけるそれらと目的関数とのトレードオフ関係を調べることが可能になり、それは研究上重要な知見となる。第2章のバイオマス系廃棄物のエネルギーリカバリー技術に関するモデルシミュレーションでは、操作変数として温室効果ガスの総排出量と温室効果ガス排出税の税率の2つを変化させて検討を行ったが、そのことにより廃棄物エネルギー技術の普及量を介した総排出量、GDPおよび税率のトレードオフ関係、すなわち環境、経済およびそれらを左右する政策の3者のトレードオフ関係を調べを試みた。

操作変数の設定は一般的に政策に対応させることが多い。第2章での排出税率の設定は言うまでもなく政府によって決定される政策である。また温室効果ガス総排出量の制約については、京都議定書で定められた目標値が存在する。京都議定書では法的拘束力はないものの目標の不遵守に対する罰則の規定があり、国際的な信用といった点からも目標の未達成には多くのデメリットが存在する。第2章ではまず排出税や補助金を導入せず排出量制約のみを与えたケースについて検討したが、制約を2000年の実績から京都議定書の目標に対応した87%制約にすることにより、廃棄物エネルギー産業を考えない場合のGDPの値が期平均で94.6兆円減少した。年間の排出量制約は2000年基準の炭素換算（二酸化炭素換算をさらに炭素換算したもの）で5億4,000万tで、その削減量である13%は7,020万tに相当する。GDPの減少額を炭素削減量で割る単純な方法で削減費用を求めると、炭素トン当たり135万円という金額になる。つまり実際にキャップアンドトレードが実施された場合、排出権価格がそのような高額になることは考えにくいので、日本は削減努力をせず排出権を購入することになる。その額は未知であるが、日本の財政を圧迫することは確実である。これに対し廃棄物エネルギー産業が存在する場合、GDPの減少額（2000年の制約で新産業が存在しないケースと比較して）は2.32兆円、同様にして求めた削減費用は炭素トン当たり3.3万円である。これでも現在の取引価格（CO₂トン当たり数～10ユーロ程度）から見ればかなり高額であるが、将来の高騰によりこの価格を超えた場合、自助努力で削減を図る選択肢も出てくる。また排出権購入という行動が京都会議の議長国として対外的に不利があると判断された場合、自助努力で目標を達成した時のコストは廃棄物エネルギーの導入により約1/40に削減することができる。重要なのは廃棄物エネルギーの導入そのものは政策ではなく、内生的に生産が拡大していく点である。つまり、シミュレーション結果は日本経済に排出量のキャップをかけるだけでこのような成果が得られることを示している。

本研究で用いる経済政策は、経済理論で扱うことのできる、いわば経済理論の中の政策である。これに対して、経済理論の外の政策、つまり起業や新規投資、購入製品の変更などに伴う、経済学では

通常扱われないコストを補償する政策も存在する。これは現状よりも望ましい状態があるにもかかわらずそのようなコストのために変化が起きないような時にそれを促進するための政策である。実際の経済政策には両者が混在し、経済学の中の政策か外の政策かを区別することが困難なものも多い。排出量のキャップにより廃棄物エネルギーの市場導入が進むという上記の結果を実際のものとするために、このような経済学の外政策が必要になる可能性もあるが、その真偽や、必要とすればどの程度かといった点は本研究の範囲を超える部分である。

第2章では制約をかけずに温室効果ガス排出税だけで排出量のコントロールを行うことも試みた。廃棄物エネルギーを考慮しない場合、補助金は支給せず税収を一般財源に組み入れたが、その場合は5,000円/tCと20,000円/tCのケースでGDPは上昇したものの排出量は削減できなかった。これに対し廃棄物エネルギーに補助金を支給したケースではGDP、排出量ともに減少した。このことから、単独の排出税が経済の拡大効果はあるものの温室効果ガス排出量の削減にはそれほど効果がないこと、排出税と補助金を組み合わせることにより排出量の削減が達成されることがわかった。この効果を排出量制約のケースと比較するため、単位排出量当たりのGDPを計算すると、京都議定書の目標値に排出量を制限した場合の値が1.81(百万円/tC)、20,000円/tCの排出税+補助金のケースが1.73で、環境と経済のトレードオフ関係の改善という観点からは排出量制約の方がやや有利という結果を示した。一方、両者の廃棄物エネルギー依存度を比較した結果はそれぞれ0.161(PJ/兆円)と0.190で、排出税+補助金の方が持続型エネルギー技術の普及促進という点ではやや有利という結果になった。次に、政策の実行可能性を比較すると、排出量制約の場合、制約の達成を担保するためには各経済主体、それが困難でも最低限産業単位の排出量制約を割り当て、さらに排出量のモニタリングを行う必要がある。これに対し排出税は化石燃料に課税する形で実施することが可能であり、管理コストが少なく済む。ただし、廃棄物エネルギーに支給される補助金の方は、モデルでは従来エネルギーとのコスト差を補償する形で支給されるが、支給する行政サイドが全てのコストを把握し、費用対効果を最大にするように補助金の配分を決定するものと想定している。従ってこれも実行面では配分の決定という困難な問題を抱えている。これらの点を総合して政策実行時の管理コストを比較すると、排出税+補助金の方が実行可能性が高いということが言えそうである。

モデル中で設定した9つの廃棄物エネルギー産業のうち、実際に生産が行われたのはメタン発酵、木質ペレット、そしてスーパーごみ発電の3つであった。廃棄物の種類で見ると、木くずが木質ペレットとスーパーごみ発電の2つに使われている他は、動物の糞尿、有機汚泥、厨芥がメタン発酵、都市ごみがスーパーごみ発電と、各廃棄物がそれぞれ1つの技術に対応している。このことから、ある廃棄物に対してそれを処理する最適な技術が一つだけ選ばれていることがわかる。木くずが2つの技術で使われたのは、都市ごみに対する最適な技術としてスーパーごみ発電が選択され、木くずと都市ごみの投入比率が固定されていることからスーパーごみ発電だけでは木くずの供給が過剰になり、その分を処理するために木質ペレット産業が起こったためであると考えられる。ここでは補助金は従来エネルギーとのコスト差を補償する形で支給されるが、実際にはこれらの廃棄物エネルギー産業の中から有望なものを選んで補助金を支給する際、廃棄物との対応を考えて技術を選ぶべきであり、さらに処理技術を考慮した廃棄物の収集方法も考える必要があるということが今回の結果から分かる。特に、発酵技術が適している水分の多い廃棄物と、加熱型の処理(直接燃焼+熱化学的処理)

が適している水分の少ない廃棄物は分けて処理するべきであり、一般廃棄物の収集でも生ごみは燃えるごみとは分別して回収するべきである。また、木くずのような組成の安定した（エントロピーの少ない）廃棄物は利用価値が高く、ガラス、金属缶、PET などと同様に極力分別して回収することが望ましい。

4.1.2 住宅用太陽光発電技術の普及促進政策

第3章では、予測モデルのみによる住宅用太陽光発電産業の生産に関する将来予測を行った後、予測モデルと総合評価モデルを組み合わせ、経済全体に関する最適化シミュレーションを行った。最適化シミュレーションでは第3期（2007年）以降に温室効果ガス排出税とその税収を用いた住宅用太陽光発電産業に対する補助金を導入することを前提に、温室効果ガスの総排出量の制約を課さない場合と2種類の制約を課した場合の合計3ケースについて、それぞれ排出税+補助金を導入しないケース、排出税を経済全体にかけ補助金を支給した場合、産業のみに排出税をかけ補助金を支給した場合の3ケースについて検討を行った。

予測モデルのみのシミュレーションからは、住宅用太陽光発電の生産額が今後減少したのち漸増するという結果が得られた。ここで排出税を導入し補助金を支給することにより生産額は上昇するが、その効果のほとんどは政策導入の開始年である2007年に集中し、それ以降の年にはそれほど大きな効果が見られなかった。補助金は太陽光発電の需要のレベルを押し上げる効果があるが、その装置の生産量は主に需要の変化に対応しているため、一定の補助金を支給している間は（発電装置のストックが増加することによる減価償却の増加による需要増はあるが）生産量自体の押し上げは期待できない。このことが今回の結果を説明すると思われるが、予測モデルにおいてある期間だけ補助金を支給したケースで、支給が終了した後に生産額が低下する反動が生じたことから、支給の2年目以降の生産量が大きく増加しないことは2008年以降の補助金に効果がないことを意味するのではなく、高い需要レベルを維持するために補助金の支給を続けなくてはならないことを示している。また、今回の結果で見られたような急激な生産量の拡大と縮小が現実には起きれば大きなコストと非効率性が市場に発生すると考えられ、実際の変化がもっと緩やかに起きるとしても、最適化モデルの結果との乖離はまた別の面での非効率性をもたらす。この点を解決するためには、補助金の支給を段階的に行うことが必要と考えられるが、こういった補助金の支給方法の難しさはストック型の持続型エネルギーに共通のものと言える。

排出税や補助金といった持続型エネルギーの普及促進政策が経済全体に与える効果は、GDPあたりの温室効果ガス排出量で確認された。また、排出量制約がある場合とない場合で、政策がGDPに与える影響が異なっていた。これは、こうした政策が経済と環境のトレードオフ関係の改善に効果があることを示している。しかし、これらの効果は総じて顕著なものではなく、通常財や電力産業の生産額にも大きな変化がなかったことから産業構造も大きな変化は起こしていないと言える。これは全体の経済に占める太陽光発電産業の規模が小さくないため、必要な補助金をまかなう排出税率が2,000円/tC程度で済み、排出税による産業構造の変革があまり進まなかったことが原因と考えられる。このことから、経済政策が温室効果ガス総排出量に与える影響は、持続型エネルギーの普及を通じた影響よりも、通常財や従来エネルギー産業の変化による全体的な産業構造の変化によって達成さ

れるものと推測される。第2章で温室効果ガス総排出量が京都議定書目標を達成する税率が第3章で想定したものの10倍である20,000円/tCであったことから考えて、産業構造の変革を進め経済全体への効果をより明確に発揮させるためには、今回のような目的税の他に一般税としての排出税の導入が必要であると考えられる。

本研究の結果から2010年の時点の住宅用太陽光発電の市場導入量は240万kW、それから推定した太陽光発電全体の導入量は271kWである。これはNEDOによる導入目標482万kWの約56%であり、目標達成のためにはさらなる普及の促進が必要な状況である。しかし、本シミュレーションでは従来の電力と同価格になるまで補助金を支給していることから、消費者の価格に対する反応による需要拡大のこれ以上の効果は期待しにくい。これは予測モデルにおいて価格応答の占める割合が少ないことによると考えられるが、今後の普及政策を考える上では、このモデルが実態を正確に再現しているかどうか、また再現しているとしたらどのような方策が有効か、という2つの観点からの検討が必要である。前者の観点からは価格応答の要素をより強く表現できるモデルの可能性の追求、そして後者の観点からは政策によって需要関数のパラメータを変化させる検討が必要と考えられる。

4.1.3 持続型エネルギー全体の普及促進政策

本研究の意図するところは気候変動問題や資源枯渇問題に対処し循環型社会を実現するための道筋を探ることであり、そのためには本論文で検討した技術だけでなく持続型エネルギー全体の普及促進政策を考えなくてはならない。

第2章および第3章の結果より、温室効果ガス排出税と補助金の組み合わせによる普及促進政策は、他の持続型エネルギー産業に適用した場合にも効果をもたらすと考えられる。補助金の適正な規模はそれぞれの技術特性と産業規模によって決まるが、その財源を排出税に求めると仮定すると、経済規模(GDP)と温室効果ガスの総排出量の適正なバランスを達成できる税率はある範囲に限定されると考えられる。そうした税率によって得られる税収総額は有限であり、それを補助金としてどの産業にどれだけ配分するかという問題には、持続型エネルギー全体を対象としたモデルを用いたシミュレーションが必要となる。モデルについての今後の課題と発展可能性については後述する。また、補助金を一般財源から充当すれば排出税収とのバランスを考慮する必要はなくなり、両者それぞれについて適正規模を考えるだけでよいが、一般財源を取り扱う場合は環境以外の政策とのバランスを考える必要があり、その点については本研究の将来構想の枠を超えるものとなる。

第2章では廃棄物のエネルギーリカバリー技術として9つの産業を設定したが、実際に生産することが選択され産業として成立したのは3つだけであった。このシミュレーションでは各産業の生産に必要なだけ補助金が支払われるという方式を取っており、各産業から適正な申告がなされると同時に、補助金を支給する政府が最も効果の高い支給先とその配分を決定し、さらに政府が産業の申告が適正かどうかを監視するというシステムが暗黙の前提となっている。このような理想的なシステムかどうかはともかく、実際に政府が補助金政策を用いる際には事前の技術評価による支給先と配分の決定が重要になる。また第3章で検討した、家庭に装置を導入するようなエネルギー利用形態の場合、補助金を支給して対象とするエネルギー需要が拡大した時だけその装置の需要が増加し、その後は支給を続けても装置への需要は元に戻ってしまう可能性が明らかになった。シミュレーションでは産業

構造の変化に伴うコストを無視しているが、このような急激な需要の増減に伴うであろう実コストを考慮すればそうした変動は避けるべきであり、補助金の時間的な支給パターンについても、段階的に増加させるなど工夫の余地があることがこの結果から示唆される。

排出税や補助金ではなく、排出量に制約をかけた場合でも排出量とGDPの比は改善され、経済と環境のトレードオフ関係の改善に効果をもたらすことが確認された。排出量制約は京都議定書のような取り決めが強制力を持った場合を想定しており、キャップアンドトレードのような制度は実現可能性も高いが、その効果は排出税+補助金による政策に対して明確な優位性を示すものではなかった。政策導入コストで言えば排出権の初期割り当てやモニタリングの必要なキャップアンドトレードよりも排出権+補助金の方に優位性があると考えられるが、対象を全持続型エネルギーに拡大した場合の比較はまた異なる結果となる可能性もある。

まとめとして、持続型エネルギー全体の普及促進政策として排出税と補助金の組み合わせが有効であることやその適正な税率、補助金の支給方法などに関するいくつかの示唆が得られた。より定量的な解析はモデルの改良に伴う今後の研究課題であるが、エネルギーシステムの本質的な転換を図るためには経済政策だけでは不十分である可能性も本研究の結果からは示唆されており、その場合にはより総合的な政策体系が求められる。

4.2 モデルの改良とその政策への応用の可能性

パラメータ推定の結果、第3章ではパラメータがシェアに連動して変化するモデルがこれまでの住宅用太陽光発電装置の生産量の変化を一番よく説明していた。ここではパラメータを変化させる社会的な要因がシェアと相関が高いと考えられることからシェアに連動したパラメータを想定したが、外的な働きかけによってもパラメータが変化することは十分に考えられる。そうした政策を導入することにより住宅用太陽光発電の普及がさらに促進される、または消費者の価格への反応がより強くなり、補助金の効果が大きくなる、といった成果が期待される。今後、パラメータを左右する要因について詳細な検討がなされ知見が得られるならば、それによる成長モデルの改良とさらに実効性の高い政策検討が可能になるであろう。

第3章で求めた需要関数の関数形とパラメータは住宅用太陽光発電だけに適用可能な数値であるが、風力発電や燃料電池など市場への普及が始まっているその他の新しいエネルギー産業についても、需要関数の関数形とパラメータ、そして習熟関数のパラメータを推定することにより産業ごとのそれぞれについて成長モデルを構築し、将来予測を行うことが可能である。それらの結果から成長メカニズムを産業ごとに比較分析することで、成長に及ぼす要因に関する新たな知見が得られる可能性もあり、それをフィードバックすることでモデルの精緻化や、さらには市場化されていない将来技術についての成長予測への可能性が期待される。

成長モデルと組み合わせられる総合評価モデルについても、第2章で検討したような廃棄物フローや廃棄物処理産業を導入することにより、最終廃棄量などの環境負荷を新たに考慮することができる。また、地域モデルへの応用を考える場合には、水質汚濁物質のフローを導入することにより水系の環境を考慮した政策評価も可能になる。このように環境負荷要因を加えていくことにより、本来の意味

での総合評価モデルに近づくことが期待される。本研究のように環境負荷として温室効果ガスだけを考える場合には経済と環境のトレードオフ関係が単一であったのに対し、廃棄物や水質汚濁物質などを考慮する場合にはそれらの組み合わせにより多数のトレードオフ関係が発生する。しかしそれらを判断するための根拠のある基準は存在しない。5 単位の温室効果ガスと 5 単位の水質汚濁物質を排出する技術と、それが 7 単位と 3 単位である技術のどちらが望ましいかは学術的には決定できないということである。学術的研究がなし得るのは、ある温室効果ガス排出総量とある GDP 水準が与えられた時に得られる最小の水質汚濁物質排出量とその時に導入すべき技術といった、複数の要因の関係を明らかにすることまでであり、異なる要因の価値判断は政策決定者によってなされるべきである。もちろん、シミュレーションに特定の価値判断を導入することも可能である。例えば、大気中への温室効果ガス排出量を排水への全窒素排出量の 10 倍以内に抑える、環境負荷に全て基準を設けた上で最大の GDP を求める、ある温室効果ガス排出権価格の下でシミュレーションを行う、といったケースである。このように視点を広げた総合評価モデルと成長モデルとを組み合わせることにより、異なるエネルギー技術への補助金の、さまざまな要因を考慮した最適な配分が導出される。このように、本研究の成長モデルと総合評価モデルは政策評価への幅広い応用が期待されると共に、マクロ経済モデルの可能性をも広げうるものであり、それはまた今後の課題でもある。

4.3 結論

本研究は、循環型社会に適したエネルギー技術である持続型エネルギー技術およびそれらの普及を促進する経済政策の効果に関する研究を行った。代表的な持続型エネルギーとして廃棄物のエネルギーリカバリー技術と住宅用太陽光発電技術を取り上げ、経済政策としては温室効果ガス排出税と特定の産業に対する補助金、または温室効果ガスの総排出量に対する制約を考え、持続型エネルギー技術の特殊性を考慮した総合評価モデルを構築し、そのシミュレーションにより経済政策の導入の有無や排出税率、持続型エネルギー産業の普及度、そして経済規模や温室効果ガス排出量といったマクロ要因の相互関係を明らかにした上で、持続型エネルギーの最適な普及促進策について提言を行った。

廃棄物のエネルギーリカバリー技術を取り上げた第 2 章では、9 つの個別技術に対応した産業とそれをサポートする廃棄物処理産業をシミュレーションモデル中に設定し、従来の財や価値のフローに加えてエネルギーや廃棄物のフローも考慮したモデルによる評価を行った。排出量制約と排出税+補助金の 2 つの経済政策はともに経済への影響を抑えた温室効果ガス排出量削減や持続型エネルギーの普及促進に対する効果が見られたが、環境と経済のトレードオフ関係については排出量制約が、また持続型エネルギーの普及促進という観点からは排出税+補助金がそれぞれやや有利という結果になった。また温室効果ガス排出量削減効果は排出税だけでは得られず、排出量削減技術への補助金と組み合わせることが必要であった。政策の実行可能性という点で判断すると排出税+補助金を用いるのが管理コストの面では有利と考えられる。実際に有利と思われる技術はメタン発酵、木質ペレット、そしてスーパーごみ発電の 3 つであった。また、補助金で促進する技術を選択する際には、廃棄物と処理技術との対応や、それに見合った収集システムなどを十分に考慮する必要があることが確認された。

住宅用太陽光発電産業を取り上げた第3章では、習熟効果と環境価値を考慮した持続型エネルギー産業の成長に関する新しいモデルを構築し、成長モデル単独での将来予測と、総合評価モデルとの結合による普及促進策の評価を行った。住宅用太陽光発電産業に対する補助金とそれを賄うだけの排出税率をかけた結果、太陽光発電の普及促進には効果が見られたものの、経済全体や温室効果ガス排出量に対する効果は明らかでなかった。このことから産業構造に影響を与えるためには、2,000円/tC程度の税率では不足であり第2章で与えた20,000円/tC程度の税率が必要であると言える。ただし本研究の範囲では補助金を支給しても2010年の太陽光発電の導入量の目標には未達であり、さらなる普及促進のためには成長モデルの改良によるより積極的な普及促進策の検討や、経済政策以外の社会的な政策、またはそういった社会的な要因を織り込んだ経済政策が必要であることが示唆された。

持続型エネルギー全体の普及促進を考えた場合にも、温室効果ガス排出税と補助金の組み合わせは有効と考えられる。また、補助金の支給については事前の技術評価の重要性や時間的な配分のパターンが重要であるといった知見が得られたが、それらの定量的な部分についてはモデルの改良による今後の研究結果を待つ必要がある。その結果は恐らく経済政策の効果を少なくとも部分的には支持すると思われる。目先の地球温暖化対策だけを考えれば、経済政策により排出量の目標は十分達成可能である。しかし将来のエネルギーシステムのあるべき姿から考えた場合には、経済政策を導入したとしてもその道のりは非常に遠く、政治、産業、市民などあらゆるセクションに渡る価値観の転換が必要である。そのための啓蒙や教育といった社会政策と組み合わせた総合的な対策が求められるであろう。しかし、そのことは経済政策の価値を低めるものでは決してなく、人間のインセンティブに直接的に働きかける経済政策がさまざまな手段の中でも依然として重要な位置を占めるであろうことに間違いはない。

最後に、将来のエネルギーシステム像についての簡単な考察を試みる。技術というものは非常に予測が付きにくく、そのため将来像についての具体的なイメージを描くのは非常に困難である。持続型エネルギー中心の社会においては、まずエネルギーの貯蔵方法が大きな鍵となる。その一つはバイオマスで、食料との競合が問題とならない範囲でのエネルギープランテーションは将来のエネルギーシステムにおける中心技術の有力な候補である(ただし現状では食料との競合の懸念があるため、本研究では考慮しなかった)。それと並ぶ有力候補は水素であり、その貯蔵方法が確立すれば、持続型エネルギーを利用した水の電気分解により現在の炭素を媒体とするエネルギーシステムを水素媒体のシステムに移行させることができる。

仮に持続型エネルギーによる二酸化炭素の還元が可能になれば、現在の炭素を媒体としたエネルギーシステムがそのまま利用可能になる。こうした技術は核融合などと共に、実現されればエネルギーシステムを一気に変革させ、持続型社会の実現に一気に近づくことを可能とするものである。しかし現在ではその実現可能性すら評価不可能な状態であり、当面は現存する技術の効率(コスト当たりエネルギー)の向上と、温度差、波力、潮汐力といった密度の小さいエネルギーの活用に関する技術開発を続けながら上述のドラスティックな変革を待つという状況である。

こうした技術の様々な可能性を考えると、画期的な技術や当面の技術の研究開発をサポートする科学技術政策も、経済政策や社会政策と同様、重要性の高いものであるということが言える。結局のところこれらの政策をバランスよく、まんべんなく実施することが持続型社会への最短距離であると考え

えられる。そして、秒進分歩と言われる技術進歩に対する汎用性のある総合評価システムを構築することが、その最短距離を無駄なく進むための羅針盤と言えるであろう。

謝 辞

まず、このような研究の機会を与えて下さった筑波大学生命環境科学研究科氷鮑揚四郎教授には心より感謝の意を表します。氷鮑教授には研究を進めるにあたって公私にわたり様々な面での御指導と暖かい励ましをいただき、また海外を含む数多くの学会発表の機会を与えて下さいました。その経験は研究に関する視野を広げ、また知見を深めるのに役立ちました。

この研究論文をまとめる上で様々な視点から御助言をいただき、審査の労をお取りいただいた筑波大学生命環境科学研究科佐竹隆顕教授、杉浦則夫教授、徳永澄憲教授、張振亜准教授には深く感謝申し上げます。

また、本研究を進める上で、豊橋技術科学大学の渋澤博幸准教授には学術的な観点から、シップ・アンド・オーシャン財団の櫻井一宏研究員には研究の進め方に関して、群馬県産業支援機構の水野谷剛研究員にはモデルシミュレーションのノウハウに関して、そして国際農林水産業研究センターの小林慎太郎研究員にはモデルの構築に当たって、数多くの御指導や御助言をいただきました。さらにはデータの収集やその処理に協力して下さいました三橋幹太君、金子拓郎君、根本和宣君、森下隆太君、大谷衣梨香さん、小林誠君をはじめ、厳しい状況の時に励ましの言葉をかけて下さった同期の皆さん、研究に集中できる環境を維持して下さいました秘書の皆さん他、氷鮑研究室の皆様には研究だけでなく日頃の研究生生活においても大変お世話になりました。皆様のお力添えによりこのような形で研究論文を完成させることができましたことを大いに感謝致します。

最後に、研究生生活を支えてくれた家族に御礼申し上げ、謝辞とさせていただきます。

参考文献

- [1] AIM プロジェクトチーム, 中央環境審議会総合政策・地球環境合同部会 地球温暖化対策税制専門委員会(第12回)資料 地球温暖化対策税の税率とその経済影響の試算, インターネット: <http://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y161-12/mat02.pdf> (アクセス日 2005年1月11日), 2003
- [2] F.J.Andress, *The Learning Curve as a Production Tool*, Harvard Business Review, 1954.
- [3] Baumol, W. J., On Taxation and the Control of Externalities, *American Economic Review*, 62(3), pp.307-22, 1972.
- [4] Baumol, W. J. and W. E. Oates, The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment, *Swedish Journal of Economics*, 73, pp.42-54, 1971.
- [5] ボストンコンサルティンググループ, *企業成長の論理: エクスペリエンスカーブへの理解*, 東洋経済新報社, 1970.
- [6] 地球産業文化研究所, 気候変動に関する政府間パネル 第四次評価報告書 第三作業部会報告書 気候変動 2007: 気候変動の緩和 政策決定者向け要約(暫定版 仮訳), [http://www.gispri.or.jp/kankyo/ipcc/pdf/070515IPCCWG3-SPM\(GISPRI\).pdf](http://www.gispri.or.jp/kankyo/ipcc/pdf/070515IPCCWG3-SPM(GISPRI).pdf) (アクセス日 2007年7月28日), 2007.
- [7] 藤澤航祥, 氷鮑揚四郎, 人為起源大気汚染物質排出制御のための経済政策, *地域学研究*, Vol.30(1), pp.231-250, 2000.
- [8] 福井千衣, フランスの再生可能エネルギー振興策, *外国の立法*, no.225(2005), pp.52-60.
- [9] 外務省, 主要各国の再生可能エネルギーの導入状況(2004年), <http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/energy/pdfs/e-1.pdf>, 2007(アクセス日 2007年8月2日)
- [10] P.E.Hart, Experience Curves and Industrial Policy, *International Journal of Industrial Organization*, 1(1), pp.95-106, 1983.
- [11] 早野拓朗, 槌屋治紀, 新エネルギーコストのモデル化とシミュレーション, *エネルギー・資源*, 11-2, pp.46-53, 1993.
- [12] 氷鮑揚四郎, 環境質プログラミングモデルによる環境付加価値税の導出, *地域学研究*, 26(1), pp.181-187, 1996.
- [13] 光産業技術振興協会, 1997年度太陽電池国内生産量調査まとまる, *オプトニュース*, 108, 1998.
- [14] 光産業技術振興協会, 1998年度太陽電池国内生産量調査まとまる, *オプトニュース*, 113, 1999.
- [15] 光産業技術振興協会, 1999年度国内太陽電池生産量 88.8MWp と大幅続伸, *オプトニュース*, 119, 2000.
- [16] 光産業技術振興協会, 2000年度国内太陽電池生産量 141.5MWp と続伸, *オプトニュース*, 125, 2001.
- [17] 光産業技術振興協会, *光産業の動向*, 光産業技術振興協会, 2006.
- [18] 北海道, 木質バイオマス資源利用モデル調査報告書, http://www.pref.hokkaido.jp/srinmu/sr-rrnsn/torikumi/biomass_energy/model-s.pdf (アクセス日 2004年7月9日), 2002.

- [19] 星野芳郎, *日本の技術革新*, 勁草書房, 1966.
- [20] 飯田哲也, ドイツの新しい「自然エネルギー促進法」(REL)について,
<http://www.jca.apc.org/~gen/haifu02-9.pdf> (アクセス日 2007年8月8日)
- [21] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2001 Synthesis Report Technical Summary of the Working Group I Report*,
<http://www.ipcc.ch/pub/un/syrenng/wg1ts.pdf> (アクセス日 2007年9月5日), 2001.
- [22] International Energy Agency, *Trends in Photovoltaic Applications ---Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2005---*, http://www.iea-pvps.org/products/download/rep1_15.pdf (アクセス日 2007年10月17日), 2006.
- [23] 石城護, ペレットクラブ第3回ワークショップ資料木質バイオマスエネルギー事業化調査(木質ペレット燃料製造), http://www.pelletclub.jp/jp/data_pre/workshop/3rd/p10-13.pdf (アクセス日 2004年7月28日), 2002.
- [24] 環境省, “気候変動2007, 影響, 適応, 及び脆弱性” IPCC第4次評価報告書に対する第2作業部会からの提案 承諾された政策決定者への要約(仮訳), http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/spm_interim-j.pdf (アクセス日 2007年7月27日), 2007.
- [25] 環境省, 温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン参考資料, http://www.env.go.jp/earth/ondanka/sakutei_manual/021guideline_ref.pdf (アクセス日 2007年8月2日)
- [26] 環境省, 産業廃棄物の排出および処理状況等について,
<http://www.env.go.jp/recycle/waste/sangyo.html> (アクセス日 2007年8月20日)
- [27] 環境省, 温室効果ガスインベントリ, http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/data/2007/n001_6gas_2007-gioweb_J1.412.xls (アクセス日 2007年11月13日), 2007.
- [28] 経済産業省, 総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会第11回燃料政策小委員会配布資料 国産バイオマス燃料の供給安定性及び経済性・国産資源の活用によるバイオ燃料供給の可能性,
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g30922b42j.pdf> (アクセス日 2004年7月22日), 2003.
- [29] 経済産業省, *エネルギー白書 2006年版~エネルギー安全保障を軸とした国家戦略の再構築に向けて~*, ぎょうせい, 2006.
- [30] 経済産業省, *エネルギー白書 2007年版~原油価格高騰を乗り越えて~*, 山浦印刷, 2007.
- [31] 経済産業省, 平成17年簡易延長産業連関表 http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kanieio/result/result_6.html (アクセス日 2007年5月14日)
- [32] 経済産業省, 平成17年度(2005年度)におけるエネルギー需給実績, <http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/energy/070525honbun.pdf> (アクセス日 2007年8月20日)
- [33] 気象庁, IPCC第4次評価報告書第1作業部会報告書政策決定者向け要約,
http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc_ar4_wg1_spm_Jpn_rev2.pdf (アクセス日 2007年11月22日), 2007.
- [34] 国立環境研究所, 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID), <http://www-cger.nies.go.jp/publication/D031/jpn/table/embodied/list.htm> (アクセス日 2007年8月2日)

- [35] 株式会社神戸製鋼所・シビルコンサルタンツ有限公司, 平成 14 年度バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業・同事業調査・木質系バイオマスを利用した食物残渣からのメタン回収・発電熱供給実証試験プラント設置調査事業調査報告書, http://www.tech.nedo.go.jp/new_list20030911.html (アクセス日 2004 年 7 月 21 日), 2003.
- [36] 栗山浩一, *環境の価値と評価手法 CVM による経済評価*, 北海道大学図書刊行会, 1998.
- [37] 李斌, 氷鮑揚四郎, 発展途上国である中国における地球温暖化対応策, *地域学研究*, 34(1), pp.117-138, 2004.
- [38] 森俊介, 地球環境統合モデル MARIA-7 による持続可能性の超長期評価, *三田学会雑誌*, 92(2), pp.265-280, 1999.
- [39] 内閣府, *民間企業資本ストック年報*, 2006.
- [40] 内閣府, 平成 17 年度国民経済計算確報, <http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/h17-kaku/19annual-report-j.html> (アクセス日 2007 年 8 月 2 日)
- [41] 内閣府, 民間企業資本ストック年報, http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/stock/h17stock_all.xls (アクセス日 2007 年 8 月 2 日)
- [42] 内閣府, 平成 18 年度国民経済計算確報, http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/h18-kaku/18a1_jp.xls (アクセス日 2007 年 10 月 15 日)
- [43] 内閣府経済社会総合研究所編, *国民経済計算年報 (平成 16 年版)*, 財務省印刷局, 東京, 2004.
- [44] 内閣府経済社会総合研究所編, *国民経済計算年報 (平成 17 年版)*, 財務省印刷局, 東京, 2005.
- [45] Shinichiro Nakamura, An Interindustry Approach to Analyzing Economic and Environmental Effects of the Recycling of Waste, *Ecological Economics*, 28 (1), pp. 133-145, 1999.
- [46] 中村慎一郎 (早稲田大学), *廃棄物産業連関表 1995 年版*, http://www.f.waseda.jp/nakashin/wio_j.htm (アクセス日 2004 年 4 月 13 日), 2003.
- [47] 南齋規介, 森口祐一, 東野達, *産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) LCA のインベントリデータとして*, 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター, 2002.
- [48] 社団法人日本エネルギー学会, *バイオマスハンドブック*, オーム社, 2002.
- [49] 西田稔, *日本の技術進歩と産業組織 習熟効果による寡占市場の分析*, 名古屋大学出版会, 1987.
- [50] 農林水産省, 第一回バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議配布資料・バイオマス利活用事業事例, <http://www.maff.go.jp/biomass/dai1/5.pdf> (アクセス日 2004 年 7 月 22 日), 2003.
- [51] 温室効果ガスインベントリオフィス, 日本の温室効果ガス排出量データ (1990~2005 年度), http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/data/2007/n001_6gas_2007-gioweb_J1.412.xls (アクセス日 2007 年 8 月 2 日)
- [52] A.C.Pigou, *The Economics of Welfare*, Macmillan, London, 1932.
- [53] C.F.Pratten, *Economics of Scale in Manufacturing Industry*, Cambridge University Press, Cambridge, 1971.
- [54] 櫻井一宏, 小林慎太郎, 水野谷剛, 氷鮑揚四郎, 温暖化対策としての環境税導入による日本経済

- への影響 環境・経済システムシミュレーションによる分析 , *地域学研究*, 33(3), pp.49-66, 2003.
- [55] シダックスフードサービス株式会社・アイセ・サプリメント株式会社, 環境調和型エネルギーコミュニティフィールドテスト事業調査・廃食料油のリサイクル技術開発と実用化のための調査事業 調査報告書 <http://www.tech.nedo.go.jp/index.htm>(アクセス日 2004年8月21日), 2002.
- [56] 資源エネルギー年鑑編集委員会編, *2003/2004 資源エネルギー年鑑*, 通産資料出版会, 東京, 2003.
- [57] 島崎洋一, 北嶋敏憲, 補助金効果と学習効果を考慮した新エネルギー技術の導入分析, *エネルギー・資源*, 28-4, pp.263-269, 2007.
- [58] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, バイオマスからのジメチルエーテル (DME) の生産に関する実用化可能性調査, <http://www.tech.nedo.go.jp/index.htm>(アクセス日 2004年7月15日), 1998.
- [59] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, *バイオマスエネルギー導入ガイドブック*, 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2002.
- [60] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) 第II期研究開発タスク1・システム評価に関する調査・研究, <http://www.tech.nedo.go.jp/index.htm> (アクセス日 2004年7月15日), 2003.
- [61] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 共同実施等推進基礎調査・ジャカルタにおけるごみ焼却廃熱利用事業に係わる調査, <http://www.tech.nedo.go.jp/index.htm> (アクセス日 2004年7月21日), 2003.
- [62] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 新エネルギーデータ集 平成11年度版, <http://www.tech.nedo.go.jp/index.htm> (アクセス日 2004年7月15日).
- [63] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 国際エネルギー使用合理化等対策事業国際エネルギー消費効率化等モデル事業パーム油利用バイオディーゼル燃料製造モデル事業実施可能性調査, <http://www.tech.nedo.go.jp/index.htm> (アクセス日 2004年7月21日).
- [64] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 住宅用太陽光発電導入促進事業, <http://www.nedo.go.jp/nedata/16fy/01/e/0001e004-03.html>(アクセス日 2007年5月14日).
- [65] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 日本における用途別太陽電池出荷量の推移, <http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/01/f/0001f003.html> (アクセス日 2007年5月14日).
- [66] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 太陽光発電システムの発電コスト算出法, <http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/01/g/0001g003.html> (アクセス日 2007年5月14日)
- [67] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 新エネルギーの長期見通し, <http://www.nedo.go.jp/nedata/16fy/14/c/0014c003.html> (アクセス日 2007年8月2日)
- [68] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 諸外国の新エネルギー導入量と導入目標量, <http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/f/0014f001.html> (アクセス日 2007年8月2日)
- [69] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 新エネルギー等に関する主な施策・法律の流れ, <http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/g/0014g001.html> (アクセス日 2007年8月6日)

- [70] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，新エネルギー・省エネルギーに対する支援制度，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/g/0014g002.html>（アクセス日 2007年8月6日）
- [71] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，アメリカの法律，政策，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/g/0014g003.html>（アクセス日 2007年8月7日）
- [72] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，アメリカの普及促進に関するプログラム，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/g/0014g004.html>（アクセス日 2007年8月8日）
- [73] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，アメリカの支援制度，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/g/0014g005.html>（アクセス日 2007年8月8日）
- [74] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，イギリスの法律，政策，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/g/0014g008.html>（アクセス日 2007年8月8日）
- [75] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，イギリスの支援制度，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/g/0014g009.html>（アクセス日 2007年8月8日）
- [76] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，ドイツの法律，政策，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/g/0014g011.html>（アクセス日 2007年8月8日）
- [77] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，EUの法律，政策，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/g/0014g014.html>（アクセス日 2007年8月8日）
- [78] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，EUの普及促進に関するプログラム及び支援制度，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/g/0014g015.html>（アクセス日 2007年8月8日）
- [79] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，バイオマス資源の賦存量，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/06/b/0006b006.html>（アクセス日 2007年8月17日）
- [80] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，太陽光発電システムの発電コスト算出法，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/01/g/0001g003.html>（アクセス日 2007年10月15日）
- [81] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，太陽光発電のライフサイクルCO₂排出量，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/01/h/0001h005.html>（アクセス日 2007年10月15日）
- [82] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，住宅用太陽光発電システムイメージ図，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/01/k/0001k002.html>（アクセス日 2007年10月15日）
- [83] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，日本における主な太陽光発電関連政策，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/01/e/0001e001.html>（アクセス日 2007年10月17日）
- [84] 新エネルギー・産業技術総合開発機構，太陽光発電システムのエネルギー・ペイバック・タイムの試算例，
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/01/h/0001h006.html>（アクセス日 2007年10月17日）
- [85] 新エネルギー・産業技術総合開発機構・燃料電池開発情報センター，*燃料電池導入ガイドブック*，2000.
- [86] 新エネルギー財団，平成16年度「住宅用太陽光発電導入促進事業」の概要，
http://www.solar.nef.or.jp/josei/H16_kami/gaiyo.pdf（アクセス日 2007年5月14日）.
- [87] 新エネルギー財団，平成17年度「住宅用太陽光発電導入促進事業」の概要，
http://www.solar.nef.or.jp/josei/H17_kami/gaiyo.pdf（アクセス日 2007年5月14日）.

- [88] 新エネルギー財団，2005年度住宅用太陽光発電導入促進事業に係る都道府県別太陽光発電システム導入実績とメーカー販売実績の対比（設備容量），
<http://www.solar.nef.or.jp/josei/h18-04.pdf>（アクセス日 2007年10月17日）
- [89] 新エネルギー財団，太陽光発電システム設置価格の推移，<http://www.solar.nef.or.jp/josei/kakakusuii.htm>（アクセス日 2007年10月17日）
- [90] 新エネルギー財団，メーカー11社の2006年度住宅用太陽光発電システム販売実績，
http://www.solar.nef.or.jp/system/html/h18_4_hanbai.pdf（アクセス日 2007年10月17日）
- [91] 新エネルギー財団，住宅用太陽光発電システム普及事業状況，
http://www.solar.nef.or.jp/josei/kw_bunpu.xls（アクセス日 2007年10月27日）
- [92] 総務省，2000年（平成12年）産業連関表計数編，（財）全国統計協会連合会，東京，2004.
- [93] 総務省統計局，平成18年消費者物価指数年報，
<http://www.stat.go.jp/data/cpi/2006np/zuhyou/a000.xls>（アクセス日 2007年8月23日）
- [94] 内田晋，氷鮑揚四郎，廃棄物のエネルギー利用促進政策の評価，*地域学研究*，36(1)，pp.21-35，2006.
- [95] 山口雅教，佐藤治，太陽光発電の習熟特性に関する調査，*JAERI-Review*，2002-013，2002.
- [96] ユニレックス株式会社，新エネルギー・産業技術総合開発機構バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業調査・共同研究の成果報告書・地域的農水産系バイオマス資源対応高品質バイオガス生産システムの実証試験事業調査，http://www.nedo.go.jp/database/newlist/new_list20031105.html（アクセス日 2004年7月21日），2003.

Appendix

第2章のモデルシミュレーションで用いた外生変数

表 A-2-1 民間消費部門のエネルギー種類ごとの消費量に対する温室効果ガス排出量 (A_{cc})

産業	排出量 (tC/百万円)
石炭	48.111121
原油	0.000000
天然ガス	0.000000
合成ガス	0.000000
ガソリン	8.033438
灯油	33.507500
軽油	11.311071
その他の石油製品	32.971357
石炭製品	48.111121
事業用電力	0.000000
自家発電	0.000000
都市ガス	5.264516
熱供給業	0.000000

(出所：南齋ら[47]，藤澤ら[7]，総務省[92])

表 A-2-2 従来エネルギー産業の生産あたりの温室効果ガス排出量 (A_{ce})

産業	排出量 (tC/百万円)
石炭	1.085914
原油	0.231721
天然ガス	0.231721
ガソリン	0.838392
灯油	0.838392
軽油	0.838392
その他の石油製品	0.838392
石炭製品	3.503645
事業用原子力発電	0.000000
事業用火力発電	9.318609
水力・その他の事業用発電	0.000000
自家発電	16.679696
都市ガス	0.119463
熱供給業	2.042311

(出所：南齋ら[47]，藤澤ら[7]，総務省[92])

表 A-2-3 通常財産業の生産あたりの温室効果ガス排出量 (A_{cn})

産業	排出量 (tC/百万円)
耕種農業	1.048983
畜産+農業サービス	1.858426
林業	0.248703
漁業	1.634637
鉱業	1.380748
食料品	0.106397
紙・木・繊維製品	0.243997
素材系製品	1.298072
金属・機械製品	0.032056
その他の製造工業製品	0.053545
建設	0.051932
水道業	0.074153
下水道	1.022935
商業	0.038453
鉄道輸送	0.049559
道路+自家輸送	1.341203
上記以外の運輸・通信業	0.712692
公務・サービス他	0.057620

(出所：南齋ら[47]，藤澤ら[7]，総務省[92])

表 A-2-4 新エネルギー産業の生産あたりの温室効果ガス排出量 (A_{cs})

産業	排出量 (tC/百万円)
発酵メタン	0.749157
合成ガス	0.082073
木質ペレット	0.001735
ジメチルエーテル	0.052767
エチルアルコール	0.236011
バイオディーゼル	0.047914
燃焼発電	1.129907
スーパーごみ発電	2.103618
燃料電池	0.000000

(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[58]，pp.107-116，pp.133-136，石城護[23]，北海道 [18]，p.38，新エネルギー・産業技術総合開発機構[28]，新エネルギー・産業技術総合開発機構[59]，p.76，p.250，pp.269-272，新エネルギー・産業技術総合開発機構[63]，pp.94-97，中村[46])

表 A-2-5 廃棄物処理産業の処理あたりの温室効果ガス排出量 (A_{cw})

産業	排出量 (tC/百万円)
厨芥	0.110196
紙・繊維	0.112261
廃プラスチック類	0.089580
金属・ガラス類	0.052057
ゴム類	0.087155
動植物性残渣 (含草木)	0.115367
煤塵・焼却灰・鉍滓	0.050273
木くず	0.116855
有機汚泥：中間処理後	7.676667
無機汚泥：中間処理後	0.050273
廃油	0.116855
動物のふん尿	1.194394
動物の死体	0.116855
その他	0.053392

(出所:南齋ら[47] 藤澤ら[7] 総務省[92])

表 A-2-6 通常財の従来エネルギー産業への投入係数 (A_{ne})

投入財 \ 産業	石炭	原油	天然ガス	ガソリン	灯油	軽油	その他の石油製品
耕種農業	0	0	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0	0	0
林業	0.008469	0.000190	0.000220	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	-0.001439	-0.001466	-0.001441	-0.001447
食料品	0	0	0	0.000005	0.000006	0.000005	0.000005
紙・木・繊維製品	0.013402	0.003983	0.003905	0.000046	0.000047	0.000046	0.000045
素材系製品	0.022557	0.003035	0.002948	0.002137	0.002179	0.002141	0.002149
金属・機械製品	0.039988	0.022191	0.022279	0.000807	0.000824	0.000808	0.000812
その他の製造工業製品	0.023297	0.005311	0.005340	0.000837	0.000853	0.000838	0.000842
建設	0.007345	0.004267	0.004319	0.000981	0.000999	0.000982	0.000986
水道業	0.001261	0.003414	0.003388	0.000704	0.000717	0.000705	0.000707
下水道	0.000356	0.000190	0.000168	0.000089	0.000091	0.000089	0.000090
商業	0.025051	0.007018	0.006983	0.007843	0.007998	0.007855	0.007886
鉄道輸送	0.012580	0.003793	0.003763	0.000604	0.000616	0.000605	0.000607
道路+自家輸送	0.049635	0.022285	0.022344	0.003104	0.003166	0.003109	0.003121
上記以外の運輸・通信業	0.035137	0.021053	0.021129	0.021874	0.022306	0.021909	0.021994
公務・サービス他	0.163597	0.210431	0.210963	0.025142	0.025638	0.025182	0.025280

投入財 \ 産業	石炭製品	事業用原子力発電	事業用火 力発電	水力・その他の 事業用発電	自家発電	都市ガス	熱供給業
耕種農業	0.000323	0	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0	0	0
林業	0	0	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0	0	0
鉱業	0.022850	0	-0.000010	0	-0.000010	0	0
食料品	0	0	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0.004464	0.000930	0.001494	0.001421	0.001952	0.001216	0.002609
素材系製品	0.018947	0.001389	0.001260	0.000318	0.001982	0.003974	0
金属・機械製品	0.007907	0.000688	0.000708	0.000532	0.000809	0.001809	0.000007
その他の製造工業製品	0.039480	0.003489	0.017938	0.002885	0.150682	0.023540	0.005996
建設	0.012482	0.050359	0.043175	0.086050	0.052243	0.083624	0.001416
水道業	0.001123	0.000552	0.000633	0.001078	0.000685	0.001293	0.023172
下水道	0.000435	0.000034	0.000059	0	0.000070	0.000961	0.004336
商業	0.053023	0.001581	0.016718	0.001159	0.049234	0.020741	0.013666
鉄道輸送	0.003143	0.000411	0.000921	0.000323	0.001256	0.000862	0.000915
道路+自家輸送	0.029108	0.005788	0.015730	0.005704	0.015826	0.020044	0.006261
上記以外の運輸・通信業	0.054978	0.003564	0.019362	0.002187	0.017916	0.021531	0.004804
公務・サービス他	0.061959	0.161317	0.185975	0.145469	0.126461	0.107792	0.112590

(出所：総務省[92])

表 A-2-7 通常財の通常財産業への投入係数 (A_{nn})

投入財 \ 産業	耕種農業	畜産+農業 サービス	林業	漁業	鉱業	食料品
耕種農業	0.021836	0.082602	0.001562	0	0	0.110737
畜産+農業サービス	0.051384	0.127173	0.002909	0	0	0.051283
林業	0.000307	0	0.218234	0.000618	0.000156	0.000480
漁業	0	0	0	0.049356	0	0.032765
鉱業	0	0	0.000240	0	0.002758	0
食料品	0.014486	0.239012	0.025517	0.066267	0	0.139096
紙・木・繊維製品	0.022401	0.015403	0.023266	0.019753	0.008606	0.018561
素材系製品	0.076321	0.019834	0.011215	0.009199	0.010712	0.014576
金属・機械製品	0.001094	0.001607	0.002692	0.042039	0.024344	0.019195
その他の製造工業製品	0.010954	0.005158	0.017881	0.018444	0.013056	0.027621
建設	0.006643	0.007469	0.003506	0.001159	0.006764	0.001930
水道業	0.000164	0.002092	0.000447	0.000366	0.002269	0.002268
下水道	0	0	0	0	0.000429	0.000713
商業	0.043300	0.060939	0.034119	0.053462	0.017436	0.077984
鉄道輸送	0.000119	0.000208	0.001685	0.001459	0.002650	0.001375
道路+自家輸送	0.031858	0.049397	0.079741	0.026405	0.295335	0.023865
上記以外の運輸・通信業	0.004191	0.011912	0.005270	0.010623	0.007370	0.008776
公務・サービス他	0.059907	0.068070	0.045087	0.045075	0.111067	0.058800

投入財 \ 産業	紙・木・ 繊維製品	素材系製品	金属・ 機械製品	その他の 製造工業製品	建設	水道業
耕種農業	0.002075	0.000388	0	0.003354	0.001807	0
畜産+農業サービス	0.000561	0.000006	0	0.000145	0	0
林業	0.026109	0.000562	0.000001	0.000192	0.000157	0
漁業	0	0.000013	0	0.001683	0	0
鉱業	0.000615	0.023213	0.000015	0.003881	0.008702	0
食料品	0.001832	0.001930	0	0.001466	0	0
紙・木・繊維製品	0.264900	0.012209	0.005859	0.060482	0.050744	0.001256
素材系製品	0.059957	0.330302	0.090556	0.120450	0.090319	0.008227
金属・機械製品	0.010880	0.007043	0.341013	0.016397	0.107230	0.001988
その他の製造工業製品	0.033423	0.030709	0.034764	0.165152	0.020452	0.032594
建設	0.005524	0.008450	0.003343	0.003016	0.002570	0.042691
水道業	0.001783	0.002530	0.000718	0.000627	0.000621	0.123410
下水道	0.000435	0.000886	0.000267	0.000416	0.000352	0.000193
商業	0.067381	0.038994	0.049845	0.053737	0.063824	0.009932
鉄道輸送	0.001584	0.002044	0.001784	0.002447	0.001406	0.000317
道路+自家輸送	0.025285	0.020049	0.011213	0.024368	0.046621	0.005798
上記以外の運輸・通信業	0.010728	0.015842	0.008484	0.017712	0.015592	0.007964
公務・サービス他	0.076005	0.120268	0.110624	0.089287	0.101639	0.073566

投入財 \ 産業	下水道業	商業	鉄道輸送	道路+ 自家輸送	上記以外の 運輸・通信業	公務・ サービス他
耕種農業	0	0.000093	0	0	0.000045	0.002078
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0.000006	0.000491
林業	0	0	0	0	0	0.000108
漁業	0	0	0	0	0.000005	0.000974
鉱業	0	0	0	0	0	0.000002
食料品	0	0.000158	0	0	0.000238	0.018055
紙・木・繊維製品	0.007274	0.010511	0.002713	0.001563	0.010877	0.008178
素材系製品	0.040915	0.000365	0.000080	0.000334	0.001214	0.020298
金属・機械製品	0.023956	0.004673	0.066143	0.001045	0.005459	0.018197
その他の製造工業製品	0.073848	0.012254	0.002944	0.004612	0.011130	0.023984
建設	0.056334	0.005664	0.032961	0.001717	0.010625	0.013531
水道業	0.013572	0.000520	0.003762	0.001089	0.001862	0.002843
下水道	0.000117	0.001301	0.001368	0.000229	0.000840	0.001094
商業	0.043565	0.014600	0.002797	0.055932	0.007259	0.026294
鉄道輸送	0.001814	0.006695	0.000518	0.001075	0.001737	0.002609
道路+自家輸送	0.025201	0.032020	0.003344	0.004778	0.012575	0.011949
上記以外の運輸・通信業	0.011793	0.035268	0.026185	0.088712	0.144008	0.020818
公務・サービス他	0.250884	0.156286	0.246689	0.244460	0.196316	0.133634

(出所：総務省[92])

表 A-2-8 通常財の新エネルギー産業への投入係数 (A_{ns})

投入財 \ 産業	メタン発酵	合成ガス	木質ペレット	ジメチルエーテル	エチルアルコール
耕種農業	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0
林業	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0	0	0	0	0
素材系製品	1.117029	0.023809	0	0.004645	0.280463
金属・機械製品	0	0	0	0	0
その他の製造工業製品	0	0	0	0	0
建設	0	0	0	0	0
水道業	0	0	0	0.000991	0
下水道	0	0	0	0	0
商業	0	0	0	0	0
鉄道輸送	0	0	0.111867	0	0
道路+自家輸送	0	0	0.111867	0	0
上記以外の運輸・通信業	0	0	0	0	0
公務・サービス他	0.701269	0.149253	0.298374	0.018753	0.176074

投入財 \ 産業	バイオディーゼル	燃焼発電	スーパーごみ発電	燃料電池
耕種農業	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0
林業	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0	0.027307	0	0
素材系製品	0.107662	0.109240	0.031482	0
金属・機械製品	0	0.230449	0	0
その他の製造工業製品	0	0.025139	0	0
建設	0	0	0	0
水道業	0.000023	0.009147	0.000566	0
下水道	0	0	0	0
商業	0	0	0	0
鉄道輸送	0	0	0	0
道路+自家輸送	0	0	0	0
上記以外の運輸・通信業	0	0	0	0
公務・サービス他	0.047269	0.070691	0.086595	0.142857

(出所：ユニレックス[96]，pp.17-21，新エネルギー・産業技術総合開発機構[58]，pp.107-116，pp.133-136，石城護[23] 北海道 [18]，p.38，新エネルギー・産業技術総合開発機構[28]，新エネルギー・産業技術総合開発機構[59]，p.76，p.133，p.250，pp.269-272，新エネルギー・産業技術総合開発機構[63]，pp.94-97，中村[46])

表 A-2-9 通常財の廃棄物処理産業への投入係数 (A_{nw})

投入財 \ 産業	厨芥	紙・繊維	廃プラスチック類	金属・ガラス類	ゴム類
耕種農業	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0
林業	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0.000656	0.000674	0.000474	0.000142	0.000452
素材系製品	0.000905	0.000930	0.000654	0.000188	0.000621
金属・機械製品	0.001308	0.001347	0.000922	0.000218	0.000876
その他の製造工業製品	0.000604	0.000621	0.000436	0.000131	0.000416
建設	0.000201	0.000138	0.000822	0.001953	0.000895
水道業	0.000155	0.000160	0.000101	4.603×10^{-6}	0.000095
下水道	0	0	0	0	0
商業	0	0	0	0	0
鉄道輸送	0	0	0	0	0
道路+自家輸送	0	0	0	0	0
上記以外の運輸・通信業	0	0	0	0	0
公務・サービス他	0.001737	0.001790	0.001213	0.000259	0.001152

投入財 \ 産業	動植物性残渣 (含草木)	煤塵・焼却灰・鉱滓	木くず	有機汚泥：中間処理後	無機汚泥：中間処理後
耕種農業	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0
林業	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0.000702	0.000126	0.000715	0.000126	0.000126
素材系製品	0.000969	0.000166	0.000987	0.000166	0.000166
金属・機械製品	0.001405	0.000185	0.001433	0.000185	0.000185
その他の製造工業製品	0.000646	0.000116	0.000658	0.000116	0.000116
建設	0.000045	0.002007	0	0.002007	0.002007
水道業	0.000168	0	0.000172	0	0
下水道	0	0	0	0	0
商業	0	0	0	0	0
鉄道輸送	0	0	0	0	0
道路+自家輸送	0	0	0	0	0
上記以外の運輸・通信業	0	0	0	0	0
公務・サービス他	0.001869	0.000214	0.001906	0.000214	0.000214

投入財	産業	廃油	動物のふん尿	動物の死体	粗大ごみ
耕種農業		0	0	0	0
畜産+農業サービス		0	0	0	0
林業		0	0	0	0
漁業		0	0	0	0
鉱業		0	0	0	0
食料品		0	0	0	0
紙・木・繊維製品		0.000715	0.000020	0.000715	0.000246
素材系製品		0.000987	0.000137	0.000987	0.000280
金属・機械製品		0.001433	0.003027	0.001433	0.001004
その他の製造工業製品		0.000658	0.000019	0.000658	0.000227
建設		0	0	0	0.001306
水道業		0.000172	0.000103	0.000172	0.000030
下水道		0	0	0	0
商業		0	0	0	0
鉄道輸送		0	0	0	0
道路+自家輸送		0	0	0	0
上記以外の運輸・通信業		0	0	0	0
公務・サービス他		0.001906	0.000094	0.001906	0.000548

(出所：中村[46])

表 A-2-10 民間消費部門の廃棄物排出係数 (A_{wc})

廃棄物	排出係数 (tC/百万円)
厨芥	0.026011
紙・繊維	0.045868
廃プラスチック類	0.010801
金属・ガラス類	0.068239
ゴム類	0.000460
動植物性残渣 (含草木)	0.002230
煤塵・焼却灰・鉱滓	0
木くず	0
有機汚泥：中間処理後	0
無機汚泥：中間処理後	0
廃油	0
動物のふん尿	0
動物の死体	0
その他	0.018642

(出所：中村[46])

表 A-2-11 従来エネルギー産業の廃棄物排出係数 (A_{we})

産業 廃棄物	石炭	原油	天然ガス	ガソリン	灯油
厨芥	0	0	0	0	0
紙・繊維	0.002835	0.002813	0.002834	0.006683	0.006683
廃プラスチック類	0.003060	0.003104	0.003062	0.000694	0.000694
金属・ガラス類	0.000973	0.000970	0.000967	0.003157	0.003157
ゴム類	0.000047	0	0.000040	0	0
動植物性残渣(含草木)	0	0	0	0	0
煤塵・焼却灰・鉍滓	2.836954	2.836982	2.836953	0.011731	0.011731
木くず	0	0	0	0	0
有機汚泥：中間処理後	0	0	0	0	0
無機汚泥：中間処理後	2.580996	2.580988	2.580986	0.004837	0.004837
廃油	0.001566	0.001552	0.001571	-0.094764	-0.094764
動物のふん尿	0	0	0	0	0
動物の死体	0	0	0	0	0
その他	0.083888	0.083909	0.083890	0.014540	0.014540

産業 廃棄物	軽油	その他の石油製品	石炭製品	原子力	火力
厨芥	0	0	0	0	0
紙・繊維	0.006683	0.006683	0.022519	0.005684	0.005684
廃プラスチック類	0.000694	0.000694	0.000490	0.001187	0.001187
金属・ガラス類	0.003157	0.003157	0.003386	0.003937	0.003937
ゴム類	0	0	0.000047	0.000008	0.000008
動植物性残渣(含草木)	0	0	0	0	0
煤塵・焼却灰・鉍滓	0.011731	0.011731	0.011739	0.284924	0.284924
木くず	0	0	0	0	0
有機汚泥：中間処理後	0	0	0	0	0
無機汚泥：中間処理後	0.004837	0.004837	0.004841	0.015838	0.015838
廃油	-0.094764	-0.094764	0.011946	0.000576	0.000576
動物のふん尿	0	0	0	0	0
動物の死体	0	0	0	0	0
その他	0.014540	0.014540	0.014548	0.003438	0.003438

産業 廃棄物	水力その他の事業用発電	自家発電	都市ガス	熱供給業
厨芥	0	0	0	0
紙・繊維	0.005684	0.005684	0.014029	0.002932
廃プラスチック類	0.001187	0.001187	0.005067	0.001169
金属・ガラス類	0.003937	0.003937	0.005054	0.000623
ゴム類	0.000008	0.000008	0	0
動植物性残渣(含草木)	0	0	0	0
煤塵・焼却灰・鉍滓	0.284924	0.284924	0.000002	0.319160
木くず	0	0	0	0
有機汚泥：中間処理後	0	0	0	0
無機汚泥：中間処理後	0.015838	0.015838	0.001246	3.060842
廃油	0.000576	0.000576	0.002526	0
動物のふん尿	0	0	0	0
動物の死体	0	0	0	0
その他	0.003438	0.003438	0.003410	0

(出所：中村[46])

表 A-2-12 公的部門の廃棄物排出係数 (A_{wg})

廃棄物	排出量 (tC/百万円)
厨芥	0.026011
紙・繊維	0.045868
廃プラスチック類	0.010801
金属・ガラス類	0.068239
ゴム類	0.000460
動植物性残渣(含草木)	0.002230
煤塵・焼却灰・鉍滓	0
木くず	0
有機汚泥：中間処理後	0
無機汚泥：中間処理後	0
廃油	0
動物のふん尿	0
動物の死体	0
その他	0.018642

(出所：中村[46])

表 A-2-13 通常財産業の廃棄物排出係数 (A_{wn})

産業 廃棄物	耕種農業	畜産+農業サービス	林業	漁業	その他鉱業	食料品
厨芥	0	0	0	0	0	0
紙・繊維	0.004937	0.025878	0.014473	0.007813	0.003396	0.012583
廃プラスチック類	0.023233	0.000811	0.000554	0.025400	0.002000	0.005171
金属・ガラス類	0.000009	0.000428	0.000293	0.001723	0.001156	-0.112846
ゴム類	0	0	0	0	0.000049	0.000027
動植物性残渣(含草木)	0	0	0	0	0	0.038461
煤塵・焼却灰・鉍滓	0	0	0	0	2.825203	0.003126
木くず	0	0	0	0	0	0
有機汚泥：中間処理後	-0.670089	0	0	0	0	0.052539
無機汚泥：中間処理後	0	0	0	0	2.570307	0.000718
廃油	0	0	0	0.002624	0.001558	0.003510
動物のふん尿	0	19.982138	0	0	0	0
動物の死体	0	0.039688	0	0	0	-0.001045
その他	0	0	0	0	0.083533	0.032099

産業 廃棄物	紙・木・織 維製品	素材系製品	金属・機械 製品	その他の製 造工業製品	建設	水道業
厨芥	0	0	0	0	0	0
紙・繊維	-0.437013	0.012608	0.006185	0.024849	0.013991	0.001622
廃プラスチック類	0.021511	0.015266	0.006680	-0.033981	0.011416	0.002348
金属・ガラス類	0.002058	-0.674264	0.056953	0.009890	0.106027	0.000286
ゴム類	0.000046	0.000273	0.000058	0.001030	0.000123	0
動植物性残渣(含草木)	0	0.001452	0	0.000001	0.004709	0
煤塵・焼却灰・鉍滓	0.037524	0.108374	0.015364	0.002411	-0.103646	0
木くず	0.090758	0	0	0	0.031873	0
有機汚泥：中間処理後	0.247508	0.055246	0.000446	0.002773	0	0
無機汚泥：中間処理後	0.002778	0.019539	0.006291	0.001269	0.132917	0.339091
廃油	0.001738	0.015061	0.005017	0.003425	0.000978	0
動物のふん尿	0	0	0	0	0	0
動物の死体	0	0	0	0	0	0
その他	0.001760	0.057382	0.011324	0.017792	0.161403	0.033422

産業 廃棄物	産業					
	下水道業	商業	鉄道輸送	道路輸送	上記以外の 運輸・通信業	公務・サー ビス他
厨芥	0	0	0	0	0	0.018454
紙・繊維	0.004542	0.018200	0.005592	0.008069	0.010845	0.010267
廃プラスチック類	0.001629	0.014969	0.003888	0.005982	0.002963	0.003200
金属・ガラス類	0.000876	0.018890	0.001943	0.001449	0.001565	0.012125
ゴム類	0	0	0	0.000033	0	0.000005
動植物性残渣(含草木)	0	0.000306	0	0	0	0.000441
煤塵・焼却灰・鉍滓	0	0.000028	0.000025	0.000184	0	0.000113
木くず	0	0	0	0	0	0
有機汚泥：中間処理後	1.375604	0.001529	0.000793	0.000860	0	0.000376
無機汚泥：中間処理後	0	0.000610	0	0.000125	0	0.000067
廃油	0.000023	0.006361	0.000709	0.005621	0	0.000602
動物のふん尿	0	0	0	0	0	0
動物の死体	0	0	0	0	0	0
その他	0	0.000199	0.009700	0.011796	0	0.002467

(出所：中村[46])

表 A-2-14 新エネルギー産業の廃棄物排出係数 (A_{ws})

産業 廃棄物	産業				
	発酵メタン	合成ガ ス	木質ペ レット	ジメチルエ ーテル	エチルア ルコール
厨芥	-281.898	-53.888	0	0	0
紙・繊維	0.005	-51.966	0	0	0
廃プラスチック類	0.002	-33.757	0	0	0
金属・ガラス類	0.001	0	0	0	0
ゴム類	0	-1.252	0	0	0
動植物性残渣(含草木)	0	-13.112	0	0	0
煤塵・焼却灰・鉍滓	0	0	0	0	0
木くず	0	-18.330	-80.552	0	-32.925
有機汚泥：中間処理後	-171.172	0	0	0	0
無機汚泥：中間処理後	1257.260	0	0	0	23.802
廃油	0	-7.375	0	0	0
動物のふん尿	-1286.080	0	0	0	0
動物の死体	0	-0.352	0	0	0
その他	0	12.244	0	0	0

産業 廃棄物	バイオ ディー ゼル	燃焼発電	スーパ ーご み発電	燃料電池
厨芥	0	-61.639	-16.112	0
紙・繊維	0	-59.440	-15.538	0
廃プラスチック類	0	-38.612	-10.093	0
金属・ガラス類	0	0	0	0
ゴム類	0	-1.432	-0.374	0
動植物性残渣（含草木）	0	-14.998	-3.920	0
煤塵・焼却灰・鉱滓	0	0	0	0
木くず	0	-20.967	-5.481	0
有機汚泥：中間処理後	4.081	0	0	0
無機汚泥：中間処理後	0	0	0	0
廃油	-17.210	-8.435	-2.205	0
動物のふん尿	0	0	0	0
動物の死体	0	-0.402	-0.105	0
その他	0	11.277	2.948	0

（出所：総務省[92]，ユニレックス[96]，pp.17-21，新エネルギー・産業技術総合開発機構[59]，p.76，p.133，p.191，pp.269-272，神戸製鋼所他[35]，p.20，農林水産省[50]，p.53，中村[46]，新エネルギー・産業技術総合開発機構[58]，pp.107-116，pp.133-136，石城護[23]，北海道 [18]，p.38，新エネルギー・産業技術総合開発機構[28]，新エネルギー・産業技術総合開発機構[63]，pp.94-97，シダックスフードサービス他[55]，p.35，新エネルギー・産業技術総合開発機構[61]，pp.6-2 - 10-2）

表 A-2-15 新エネルギーにより温室効果ガスがカーボンニュートラルなものに置換される量（ B_{cs} ）

産業	置換量（tC/百万円）
発酵メタン	6.289986
合成ガス	0
木質ペレット	9.483781
ジメチルエーテル	3.884242
エチルアルコール	2.306252
バイオディーゼル	3.884242
燃焼発電	0
スーパ-ごみ発電	0
燃料電池	0

（出所：南齋ら[47]，藤澤ら[7]）

表 A-2-16 従来エネルギー産業へのエネルギー財の投入係数 (B_e)

投入財 \ 産業	石炭	原油	天然ガス	ガソリン	灯油
石炭	0.000439	0	0	0.000082	0.000083
原油	0	0	0	0.462077	0.471188
天然ガス	0	0.000379	0.000414	0.000017	0.000017
合成ガス	0	0	0	0	0
ガソリン	0.000082	0.000190	0.000233	0.000053	0.000054
灯油	0.000027	0	0.000026	0.000208	0.000213
軽油	0.000630	0.000190	0.000233	0.000016	0.000017
その他の石油製品	0.001973	0.001422	0.001461	0.042122	0.042953
石炭製品	0	0	0	0	0
事業用電力	0.052458	0.042769	0.042878	0.003606	0.003678
自家発電	0.051691	0.014130	0.014211	0.004782	0.004877
都市ガス	0.000027	0.000095	0.000078	0.000002	0.000003
熱供給業	0	0.000190	0.000233	0.000005	0.000006

投入財 \ 産業	軽油	その他の石油製品	石炭製品	事業用原子力発電	事業用火力発電
石炭	0.000082	0.000082	0.259355	0	0.029121
原油	0.462804	0.464612	0	0	0.020307
天然ガス	0.000017	0.000017	0	0	0.114964
合成ガス	0	0	0	0	0
ガソリン	0.000053	0.000053	0.000004	0	0
灯油	0.000209	0.000210	0.000251	0	0.000023
軽油	0.000016	0.000016	0.000020	0	0.000991
その他の石油製品	0.042188	0.042353	0.093950	0.000193	0.038263
石炭製品	0	0	0.041281	0	0.005956
事業用電力	0.003612	0.003626	0.019472	0.041914	0.036798
自家発電	0.004790	0.004809	0.000284	0	0
都市ガス	0.000002	0.000002	0.000026	0.000037	0.000043
熱供給業	0.000005	0.000005	0.000030	0.000029	0.000050

投入財 \ 産業	水力・その他の 事業用発電	自家発電	都市ガス	熱供給業
石炭	0	0.018956	0.000073	0.003882
原油	0	0	0	0
天然ガス	0	0.088446	0.190962	0
合成ガス	0	0	0	0
ガソリン	0	0	0	0
灯油	0	0.000024	0.000005	0.002134
軽油	0	0.001031	0	0
その他の石油製品	0.000006	0.117483	0.035712	0.039976
石炭製品	0	0.011906	0	0
事業用電力	0.030898	0	0.010934	0.125795
自家発電	0	0	0.000096	0
都市ガス	0.000029	0.000052	0.005088	0.093713
熱供給業	0.000023	0.000061	0.000002	0.034650

(出所：総務省[92])

表 A-2-17 通常財産業へのエネルギー財の投入係数 (B_n)

投入財 \ 産業	耕種農業	畜産+農業 サービス	林業	漁業	鉱業	食料品	紙・木・ 繊維製品
石炭	0	0	0	0	0	0.000001	0.000282
原油	0	0	0	0	0	0	0
天然ガス	0	0	0	0	0	0	0
合成ガス	0	0	0	0	0	0	0
ガソリン	0.000495	0.000159	0.001985	0.014227	0.000539	0.000002	0.000036
灯油	0.000979	0.001456	0.004695	0.000266	0.000343	0.000133	0.000360
軽油	0.001178	0.000248	0.004695	0.001076	0.006315	0.000113	0.000168
その他の石油製品	0.006528	0.000151	0.003227	0.036656	0.003596	0.002625	0.005951
石炭製品	0	0	0	0.000002	0.000164	0	0.000012
事業用電力	0.003412	0.011548	0.009109	0.004490	0.021959	0.008555	0.013827
自家発電	0	0	0	0	0.001096	0.000608	0.011760
都市ガス	0	0	0.000001	0.000007	0.000023	0.001355	0.001190
熱供給業	0	0	0	0	0	0.000211	0.000110

投入財 \ 産業	素材系製品	金属・機械製品	その他の製造工業製品	建設	水道業	下水道業
石炭	0.001138	0	0.000004	0	0.000001	0
原油	0	0	0	0	0	0
天然ガス	0.000447	0.000008	0	0	0	0
合成ガス	0	0	0	0	0	0
ガソリン	0.000020	0.000116	0.000018	0.000356	0	0.001097
灯油	0.000495	0.000173	0.000186	0.000277	0.000216	0.001032
軽油	0.000320	0.000080	0.000094	0.002569	0.000044	0.001742
その他の石油製品	0.019246	0.000819	0.006913	0.000718	0.000069	0.032504
石炭製品	0.004502	0.000030	0.010164	0.005550	0.000002	0
事業用電力	0.023919	0.010459	0.014874	0.004029	0.050448	0.139577
自家発電	0.012814	0.000244	0.000623	0	0	0
都市ガス	0.002167	0.000709	0.001298	0.000623	0.001304	0.000193
熱供給業	0.000116	0.000095	0.000081	0.000055	0	0

投入財 \ 産業	商業	鉄道輸送	道路+自家輸送	上記以外の運輸・通信業	公務・サービス他
石炭	0	0.000001	0.000001	0	0.000013
原油	0	0	0	0	0
天然ガス	0	0	0	0	0
合成ガス	0	0	0	0	0
ガソリン	0.000003	0	0.065850	0.000410	0.000151
灯油	0.000377	0.000142	0.000067	0.000074	0.000545
軽油	0.000068	0.001851	0.082984	0.001032	0.000747
その他の石油製品	0.000808	0.000812	0.011331	0.012052	0.000957
石炭製品	-0.000002	0.000057	0	0	0.000033
事業用電力	0.008749	0.048170	0.003786	0.010450	0.009789
自家発電	0.000274	0.004239	0	0.000100	0.000009
都市ガス	0.000650	0.000249	0.000337	0.000580	0.001829
熱供給業	0.000263	0.000280	0.000033	0.000083	0.000140

(出所：総務省[92])

表 A-2-18 新エネルギー産業へのエネルギー財の投入係数 (B_s)

投入財 \ 産業	メタン発酵	合成ガス	木質ペレット	ジメチルエーテル	エチルアルコール
石炭	0	0	0	0	0
原油	0.013214	0	0	0	0.003318
天然ガス	0.013214	0	0	0.000215	0.003318
合成ガス	0	0	0	0.654735	0
ガソリン	0	0	0	0	0
灯油	0	0	0	0	0
軽油	0	0	0	0	0
その他の石油製品	0	0	0	0	0
石炭製品	0	0	0	0	0
事業用電力	0.257195	0.037929	0.360794	0	0.064576
自家発電	0	0	0	0	0
都市ガス	0	0.005446	0	0	0
熱供給業	0	0.000335	0	0	0

投入財 \ 産業	バイオディーゼル	燃焼発電	スーパーごみ発電	燃料電池
石炭	0	0	0	0
原油	0	0	0	0
天然ガス	0	0	0.067540	0
合成ガス	0	0	0	0.295581
ガソリン	0	0	0	0
灯油	0	0	0	0
軽油	0	0	0	0
その他の石油製品	0	0.024061	0	0
石炭製品	0	0	0	0
事業用電力	0.023635	0.213266	0	0
自家発電	0	0	0	0
都市ガス	0	0	0	0
熱供給業	0	0	0	0

(出所：ユニレックス[96] , pp.17-21 , 新エネルギー・産業技術総合開発機構[58] , pp.107-116 , pp.133-136 , 石城護[23] 北海道 [18] , p.38 新エネルギー・産業技術総合開発機構[28] 新エネルギー・産業技術総合開発機構[59] , p.76 , p.133 , p.250 , pp.269-272 , 新エネルギー・産業技術総合開発機構[63] , pp.94-97 , 中村[46])

表 A-2-19 廃棄物処理産業へのエネルギー財の投入係数 (B_w)

投入財 \ 産業	厨芥	紙・繊維	廃プラスチック類	金属・ガラス類	ゴム類
石炭	0	0	0	0	0
原油	0	0	0	0	0
天然ガス	0	0	0	0	0
合成ガス	0	0	0	0	0
ガソリン	9.13×10^{-5}	9.4181×10^{-5}	6.3197×10^{-5}	1.1936×10^{-5}	5.9884×10^{-5}
灯油	9.136×10^{-5}	9.4181×10^{-5}	6.3197×10^{-5}	1.1936×10^{-5}	5.9884×10^{-5}
軽油	9.136×10^{-5}	9.4181×10^{-5}	6.3197×10^{-5}	1.1936×10^{-5}	5.9884×10^{-5}
その他の石油製品	9.136×10^{-5}	9.4181×10^{-5}	6.3197×10^{-5}	1.1936×10^{-5}	5.9884×10^{-5}
石炭製品	0	0	0	0	0
事業用電力	0.002440	0.002520	0.001647	0.000204	0.001554
自家発電	0	0	0	0	0
都市ガス	0	0	0	0	0
熱供給業	0	0	0	0	0

投入財 \ 産業	動植物性残渣 (含草木)	煤塵・焼却 灰・鉍滓	木くず	有機汚泥:中間 処理後	無機汚泥:中間 処理後
石炭	0	0	0	0	0
原油	0	0	0	0	0
天然ガス	0	0	0	0	0
合成ガス	0	0	0	0	0
ガソリン	9.8424×10^{-5}	0.000010	0.000100	0.000010	0.000010
灯油	9.8424×10^{-5}	0.000010	0.000100	0.000010	0.000010
軽油	9.8424×10^{-5}	0.000010	0.000100	0.000010	0.000010
その他の石油製品	9.8424×10^{-5}	0.000010	0.000100	0.000010	0.000010
石炭製品	0	0	0	0	0
事業用電力	0.002639	0.000135	0.002697	0.000135	0.000135
自家発電	0	0	0	0	0
都市ガス	0	0	0	0	0
熱供給業	0	0	0	0	0

投入財	産業	廃油	動物のふん尿	動物の死体	その他
石炭		0	0	0	0
原油		0	0	0	0
天然ガス		0	0	0	0
合成ガス		0	0	0	0
ガソリン		0.000100	0.000023	0.000100	2.887×10^{-5}
灯油		0.000100	0.000023	0.000100	2.887×10^{-5}
軽油		0.000100	0.000023	0.000100	2.887×10^{-5}
その他の石油製品		0.000100	0.000023	0.000100	2.887×10^{-5}
石炭製品		0	0	0	0
事業用電力		0.002697	0.001525	0.002697	0.001037
自家発電		0	0	0	0
都市ガス		0	0	0	0
熱供給業		0	0	0	0

(出所：中村[46])

表 A-2-20 種類ごとのエネルギー財の輸出 (\bar{E}_e)

エネルギー	輸出 (兆円)
石炭	0.000039
原油	0.000001
天然ガス	0.000001
合成ガス	0
ガソリン	0.015851
灯油	0.019208
軽油	0.043605
その他の石油製品	0.187124
石炭製品	0.023637
事業用電力	0.026103
自家発電	0
都市ガス	0.000269
熱供給業	0

(出所：総務省[92])

表 A-2-21 通常財の輸出 (\bar{E}_n)

通常財	輸出 (兆円)
耕種農業	0.012454
畜産+農業サービス	0.000875
林業	0.001609
漁業	0.057080
鉱業	0.010893
食料品	0.189892
紙・木・繊維製品	0.889924
素材系製品	6.518298
金属・機械製品	37.008698
その他の製造工業製品	1.690144
建設	0
水道業	0.003628
下水道	0.000723
商業	4.491710
鉄道輸送	0.030805
道路+自家輸送	0.637436
上記以外の運輸・通信業	3.644753
公務・サービス他	1.981694

(出所：総務省[92])

表 A-2-22 通常財の公的消費 (\bar{G}_n)

通常財	消費量 (兆円)
耕種農業	0
畜産+農業サービス	0
林業	0
漁業	0
鉱業	0
食料品	0.417649
紙・木・繊維製品	0.001532
素材系製品	0
金属・機械製品	0.000625
その他の製造工業製品	0.039373
建設	0
水道業	0
下水道	-0.351207
商業	0.004485
鉄道輸送	0.000048
道路+自家輸送	0.002725
上記以外の運輸・通信業	-0.044633
公務・サービス他	84.499251

(出所：総務省[92])

表 A-2-23 基準年の従来エネルギー産業の資本ストック量 (\bar{K}_e)

産業	資本ストック (兆円)
石炭	0.076579
原油	0.022132
天然ガス	0.162317
ガソリン	5.8879
灯油	0.850504
軽油	3.3946
その他の石油製品	3.723813
石炭製品	1.354608
事業用原子力発電	23.29091
事業用火力発電	38.119628
水力・その他の事業用発電	6.713011
自家発電	5.278788
都市ガス	10.479393
熱供給業	0.645978

(出所：内閣府[39])

表 A-2-24 基準年の公的資本ストック量 (\bar{K}_g)

公的資本ストック (兆円)	427.879
---------------	---------

(出所：内閣府経済社会総合研究所[43])

表 A-2-25 基準年の通常財産業の資本ストック量 (\bar{K}_n)

産業	資本ストック (兆円)
耕種農業	60.117847
畜産+農業サービス	27.020097
林業	6.92658
漁業	15.063986
鉱業	2.616416
食料品	31.894303
紙・木・繊維製品	27.079432
素材系製品	110.089381
金属・機械製品	140.259549
その他の製造工業製品	46.618366
建設	43.443317
水道業	13.922162
下水道	4.909665
商業	117.518549
鉄道輸送	11.772517
道路+自家輸送	47.752686
上記以外の運輸・通信業	68.894741
公務・サービス他	238.844306

(出所：内閣府[39])

表 A-2-26 基準年の廃棄物処理産業の資本ストック量 (\bar{K}_w)

産業	排出量 (tC/百万円)
厨芥	0.175126
紙・繊維	0.168879
廃プラスチック類	0.109702
金属・ガラス類	0.078996
ゴム類	0.004068
動植物性残渣 (含草木)	0.042611
煤塵・焼却灰・鉱滓	0.133547
木くず	0.059569
有機汚泥：中間処理後	0.106339
無機汚泥：中間処理後	0.218535
廃油	0.023966
動物のふん尿	0.798965
動物の死体	0.001143
その他	0.348883

(出所：内閣府[39]，中村[46]，総務省[92])

表 A-2-27 基準年の種類ごとのエネルギー財の輸入 (\bar{M}_e)

エネルギー財	輸入 (兆円)
石炭	0.617732
原油	5.630412
天然ガス	1.515063
合成ガス	0
ガソリン	0.046565
灯油	0.085621
軽油	0.102912
その他の石油製品	1.587042
石炭製品	0.025573
事業用電力	0.000325
自家発電	0
都市ガス	0.001186
熱供給業	0

(出所：総務省[92])

表 A-2-28 基準年の通常財の輸入 (\bar{M}_n)

通常財	輸入 (兆円)
耕種農業	1.379769
畜産+農業サービス	0.050223
林業	0.202968
漁業	0.348112
鉱業	0.924537
食料品	4.920839
紙・木・繊維製品	5.031765
素材系製品	5.410063
金属・機械製品	14.058685
その他の製造工業製品	3.043873
建設	0
水道業	0.000431
下水道	0.000084
商業	0.676586
鉄道輸送	0.129271
道路+自家輸送	0.083416
上記以外の運輸・通信業	2.797732
公務・サービス他	5.407210

(出所：総務省[92])

表 A-2-29 従来エネルギー産業の資本形成係数 (Q_e)

資本財 \ 産業	石炭	原油	天然ガス	ガソリン	灯油	軽油	その他の石油製品
耕種農業	0	0	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0	0	0
林業	0	0	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0.001470	0.000965	0.000806	0.000340	0.000340	0.000340	0.000407
素材系製品	0	0	0	0	0	0	0
金属・機械製品	0.490848	0.506081	0.422766	0.349587	0.349587	0.349587	0.418488
その他の製造工業製品	0.001603	0.001158	0.000968	0.000113	0.000113	0.000113	0.000135
建設	0.244088	0.191359	0.324485	0.350490	0.350490	0.350490	0.222477
水道業	0	0	0	0	0	0	0
下水道業	0	0	0	0	0	0	0
商業	0.237542	0.247461	0.206722	0.071041	0.071041	0.071041	0.085042
鉄道輸送	0	0	0	0.000026	0.000026	0.000026	0.000031
道路+自家輸送	0.006947	0.007761	0.006483	0.004419	0.004419	0.004419	0.005290
上記以外の運輸・通信業	0.000802	0.000927	0.000774	0.000699	0.000699	0.000699	0.000837
公務・サービス他	0.016700	0.044287	0.036996	0.223285	0.223285	0.223285	0.267292

資本財	産業						
	石炭製品	事業用原子力発電	事業用火 力発電	水力・そ の他の事 業用発電	自家発電	都市ガス	熱供給業
耕種農業	0	0	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0	0	0
林業	0	0	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0.005068	0.000211	0.000177	0.000177	0.000177	0.000521	0.000435
素材系製品	0	0.036821	0.030758	0.030758	0.030758	0	0
金属・機械製品	0.159090	0.433391	0.362037	0.362037	0.362037	0.380768	0.318078
その他の製造工業製品	0.005990	0.000127	0.000106	0.000106	0.000106	0.000387	0.000323
建設	0.558932	0.232250	0.358654	0.358654	0.358654	0.267103	0.387768
水道業	0	0	0	0	0	0	0
下水道業	0	0	0	0	0	0	0
商業	0.045351	0.071092	0.059387	0.059387	0.059387	0.123716	0.103347
鉄道輸送	0	0.000007	0.000006	0.000006	0.000006	0.000015	0.000012
道路+自家輸送	0.003050	0.011543	0.009643	0.009643	0.009643	0.005523	0.004613
上記以外の運輸・通信業	0.000417	0.001227	0.001025	0.001025	0.001025	0.000882	0.000737
公務・サービス他	0.222103	0.213330	0.178207	0.178207	0.178207	0.221086	0.184686

(出所：総務省[92])

表 A-2-30 公的部門の資本形成係数 (Q_g)

資本財	資本形成係数
耕種農業	0
畜産+農業サービス	0
林業	0
漁業	0
鉱業	0
食料品	0
紙・木・繊維製品	0.001940
素材系製品	0
金属・機械製品	0.099157
その他の製造工業製品	0.004877
建設	0.827124
水道業	0
下水道業	0
商業	0.023804
鉄道輸送	0.000003
道路+自家輸送	0.001498
上記以外の運輸・通信業	0.000235
公務・サービス他	0.041363

(出所：総務省[92])

表 A-2-31 通常財産業の資本形成係数 (Q_n)

資本財 \ 産業	耕種農業	畜産+農業サービス	林業	漁業	鉱業	食料品
耕種農業	0.032327	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0.187872	0	0	0	0
林業	0	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0.000194	0.005801	0.018785	0.201239	0.011630	0.009843
素材系製品	0	0	0	0	0	0
金属・機械製品	0.377802	0.407379	0.438574	0.427415	0.475257	0.492265
その他の製造工業製品	0.000229	0.006863	0.019459	0.003732	0.013627	0.009850
建設	0.366653	0.164767	0.313101	0.154030	0.248762	0.177397
水道業	0	0	0	0	0	0
下水道業	0	0	0	0	0	0
商業	0.209735	0.206504	0.185795	0.180625	0.215694	0.120731
鉄道輸送	0.000010	0.000009	0	0.000031	0.000012	0.000026
道路+自家輸送	0.005473	0.006405	0.009430	0.008650	0.008851	0.008853
上記以外の運輸・通信業	0.000851	0.000939	0.001572	0.002057	0.001261	0.001361
公務・サービス他	0.006727	0.013462	0.013284	0.022221	0.024907	0.179674

資本財 \ 産業	紙・木・繊維製品	素材系製品	金属・機械製品	その他の製造工業製品	建設	水道業
耕種農業	0	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0	0
林業	0	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0.037433	0.006681	0.006246	0.015610	0.018204	0.018420
素材系製品	0	0	0	0	0	0
金属・機械製品	0.457890	0.457621	0.606651	0.531739	0.581466	0.456899
その他の製造工業製品	0.043045	0.003975	0.007194	0.017926	0.017616	0.020717
建設	0.143912	0.136480	0.085273	0.126180	0.128904	0.316650
水道業	0	0	0	0	0	0
下水道業	0	0	0	0	0	0
商業	0.163468	0.115326	0.148595	0.138573	0.192329	0.148361
鉄道輸送	0.000038	0.000009	0.000023	0.000021	0.000111	0.000017
道路+自家輸送	0.012987	0.007047	0.008842	0.009527	0.010677	0.009043
上記以外の運輸・通信業	0.001614	0.001108	0.001474	0.001503	0.002218	0.001400
公務・サービス他	0.139613	0.271753	0.135703	0.158921	0.048476	0.028494

資本財	産業					
	下水道業	商業	鉄道輸送	道路+自家輸送	上記以外の運輸・通信業	公務・サービス他
耕種農業	0	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0	0.000910
林業	0	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0.015388	0.023315	0.002614	0.020108	0.001919	0.009778
素材系製品	0	0	0	0	0	0.003809
金属・機械製品	0.381673	0.343833	0.353297	0.521869	0.360517	0.280353
その他の製造工業製品	0.017306	0.008769	0.001191	0.022907	0.001912	0.010550
建設	0.429159	0.353178	0.486414	0.099427	0.500679	0.537257
水道業	0	0	0	0	0	0
下水道業	0	0	0	0	0	0
商業	0.123934	0.105932	0.040380	0.196444	0.059357	0.084818
鉄道輸送	0.000014	0.000022	0.000023	0.000049	0.000005	0.000015
道路+自家輸送	0.007554	0.006076	0.004749	0.010650	0.003892	0.005184
上記以外の運輸・通信業	0.001169	0.001195	0.000726	0.002505	0.000751	0.000914
公務・サービス他	0.023803	0.157680	0.110606	0.126040	0.070967	0.066410

(出所：総務省[92])

表 A-2-32 新エネルギー産業の資本形成係数 (Q_s)

資本財	産業				
	発酵メタン	合成ガス	木質ペレット	ジメチルエーテル	エチルアルコール
耕種農業	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0
林業	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0.036687	0	0	0.001780	0.036687
素材系製品	0.035276	0	0	0	0.035276
金属・機械製品	0.666714	0.641234	0.510879	0.424389	0.666714
その他の製造工業製品	0	0	0	0.000676	0
建設	0.261324	0.086039	0.489121	0.154738	0.261324
水道業	0	0	0	0	0
下水道業	0	0	0	0	0
商業	0	0	0	0.098999	0
鉄道輸送	0	0	0	0.000011	0
道路+自家輸送	0	0	0	0.006715	0
上記以外の運輸・通信業	0	0	0	0.001205	0
公務・サービス他	0	0.272727	0	0.311487	0

資本財 \ 産業	バイオディーゼル	燃焼発電	スーパーごみ発電	燃料電池
耕種農業	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0
林業	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0	0	0	0
素材系製品	0	0	0	0.213281
金属・機械製品	0.720552	0.819933	0.881718	0.536719
その他の製造工業製品	0	0	0.000171	0
建設	0.203616	0.180067	0.118110	0.250000
水道業	0	0	0	0
下水道業	0	0	0	0
商業	0	0	0	0
鉄道輸送	0	0	0	0
道路+自家輸送	0	0	0	0
上記以外の運輸・通信業	0	0	0	0
公務・サービス他	0.075833	0	0	0

(出所：ユニレックス[96]，pp.17-21，新エネルギー・産業技術総合開発機構[58]，pp.107-116，pp.133-136，石城護[23]，北海道 [18]，p.38，総務省[92]，新エネルギー・産業技術総合開発機構[28]，新エネルギー・産業技術総合開発機構[59]，p.76，p.250，pp.269-272，新エネルギー・産業技術総合開発機構[63]，pp.94-97，中村[46]，新エネルギー・産業技術総合開発機構[61]，pp.6-2 - 10-2，新エネルギー・産業技術総合開発機構他[85]，p.53，新エネルギー・産業技術総合開発機構[60]，p.13)

表 A-2-33 廃棄物処理産業の資本形成係数 (Q_w)

資本財 \ 産業	厨芥	紙・繊維	廃プラスチック類	金属・ガラス類	ゴム類
耕種農業	0	0	0	0	0
畜産+農業サービス	0	0	0	0	0
林業	0	0	0	0	0
漁業	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0
食料品	0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品	0.015388	0.015388	0.015388	0.015388	0.015388
素材系製品	0	0	0	0	0
金属・機械製品	0.381673	0.381673	0.381673	0.381673	0.381673
その他の製造工業製品	0.017306	0.017306	0.017306	0.017306	0.017306
建設	0.429159	0.429159	0.429159	0.429159	0.429159
水道業	0	0	0	0	0
下水道業	0	0	0	0	0
商業	0.123934	0.123934	0.123934	0.123934	0.123934
鉄道輸送	0.000014	0.000014	0.000014	0.000014	0.000014
道路+自家輸送	0.007554	0.007554	0.007554	0.007554	0.007554
上記以外の運輸・通信業	0.001169	0.001169	0.001169	0.001169	0.001169
公務・サービス他	0.023803	0.023803	0.023803	0.023803	0.023803

資本財	産業	動植物性残渣(含草木)	煤塵・焼却灰・鉍滓	木くず	有機汚泥：中間処理後	無機汚泥：中間処理後
耕種農業		0	0	0	0	0
畜産+農業サービス		0	0	0	0	0
林業		0	0	0	0	0
漁業		0	0	0	0	0
鉱業		0	0	0	0	0
食料品		0	0	0	0	0
紙・木・繊維製品		0.015388	0.015388	0.015388	0.015388	0.015388
素材系製品		0	0	0	0	0
金属・機械製品		0.381673	0.381673	0.381673	0.381673	0.381673
その他の製造工業製品		0.017306	0.017306	0.017306	0.017306	0.017306
建設		0.429159	0.429159	0.429159	0.429159	0.429159
水道業		0	0	0	0	0
下水道業		0	0	0	0	0
商業		0.123934	0.123934	0.123934	0.123934	0.123934
鉄道輸送		0.000014	0.000014	0.000014	0.000014	0.000014
道路+自家輸送		0.007554	0.007554	0.007554	0.007554	0.007554
上記以外の運輸・通信業		0.001169	0.001169	0.001169	0.001169	0.001169
公務・サービス他		0.023803	0.023803	0.023803	0.023803	0.023803

資本財	産業	廃油	動物のふん尿	動物の死体	その他
耕種農業		0	0	0	0
畜産+農業サービス		0	0	0	0
林業		0	0	0	0
漁業		0	0	0	0
鉱業		0	0	0	0
食料品		0	0	0	0
紙・木・繊維製品		0.015388	0.015388	0.015388	0.015388
素材系製品		0	0	0	0
金属・機械製品		0.381673	0.381673	0.381673	0.381673
その他の製造工業製品		0.017306	0.017306	0.017306	0.017306
建設		0.429159	0.429159	0.429159	0.429159
水道業		0	0	0	0
下水道業		0	0	0	0
商業		0.123934	0.123934	0.123934	0.123934
鉄道輸送		0.000014	0.000014	0.000014	0.000014
道路+自家輸送		0.007554	0.007554	0.007554	0.007554
上記以外の運輸・通信業		0.001169	0.001169	0.001169	0.001169
公務・サービス他		0.023803	0.023803	0.023803	0.023803

(出所：総務省[92])

表 A-2-34 従来エネルギー産業の所得率 (V_e)

従来エネルギー産業	所得率 (所得 / 生産)
石炭	0.452201
原油	0.324324
天然ガス	0.322476
ガソリン	0.027890
灯油	0.008721
軽油	0.026367
その他の石油製品	0.022564
石炭製品	0.181119
事業用原子力発電	0.349230
事業用火力発電	0.228615
水力・その他の事業用発電	0.413184
自家発電	0.118794
都市ガス	0.265570
熱供給業	0.207827

(出所：総務省[92])

表 A-2-35 通常財産業の所得率 (V_n)

通常財産業	所得率 (所得 / 生産)
耕種農業	0.46283
畜産+農業サービス	0.1874997
林業	0.4708004
漁業	0.4528804
鉱業	0.339488
食料品	0.2553023
紙・木・繊維製品	0.297745
素材系製品	0.2225314
金属・機械製品	0.2529258
その他の製造工業製品	0.3208191
建設	0.3837386
水道業	0.4161203
下水道業	0.2291249
商業	0.6148145
鉄道輸送	0.3035625
道路+自家輸送	0.3855464
上記以外の運輸・通信業	0.4041123
公務・サービス他	0.5071877

(出所：総務省[92])

表 A-2-36 新エネルギー産業の所得率 (V_s)

新エネルギー産業	所得率 (所得 / 生産)
発酵メタン	0.409155
合成ガス	0.409155
木質ペレット	0.409155
ジメチルエーテル	0.409155
エチルアルコール	0.409155
バイオディーゼル	0.409155
燃焼発電	0.409155
スーパーごみ発電	0.409155
燃料電池	0.409155

(出所：総務省[92])

表 A-2-37 廃棄物処理産業の所得率 (V_w)

廃棄物処理産業	所得率 (所得 / 生産)
厨芥	0.585882
紙・繊維	0.585882
廃プラスチック類	0.585882
金属・ガラス類	0.585882
ゴム類	0.585882
動植物性残渣 (含草木)	0.585882
煤塵・焼却灰・鉍滓	0.585882
木くず	0.585882
有機汚泥：中間処理後	0.585882
無機汚泥：中間処理後	0.585882
廃油	0.585882
動物のふん尿	0.585882
動物の死体	0.585882
その他	0.585882

(出所：総務省[92])

表 A-2-38 基準年の従来エネルギー産業の生産アクティビティ (\bar{X}_e)

従来エネルギー産業	生産 (兆円)
石炭	0.036486
原油	0.010545
天然ガス	0.077336
ガソリン	5.009218
灯油	0.723579
軽油	2.888006
その他の石油製品	3.168089
石炭製品	1.152453
事業用原子力発電	5.321359
事業用火力発電	8.709330
水力・その他の事業用発電	1.533746
自家発電	1.206064
都市ガス	2.394265
熱供給業	0.147589

(出所：総務省[92])

表 A-2-39 基準年の通常財産業の生産アクティビティ (\bar{X}_n)

通常財産業	生産 (兆円)
耕種農業	7.565657
畜産+農業サービス	3.400401
林業	0.871690
漁業	1.895759
鉱業	1.246592
食料品	38.707254
紙・木・繊維製品	22.165943
素材系製品	57.815517
金属・機械製品	142.675845
その他の製造工業製品	32.633378
建設	77.445884
水道業	3.180847
下水道	1.121729
商業	96.786451
鉄道輸送	6.395826
道路+自家輸送	25.943295
上記以外の運輸・通信業	37.429446
公務・サービス他	365.306244

(出所：総務省[92])

表 A-2-40 民間消費部門のエネルギー財に対する費用シェア (α_e)

エネルギー財	シェア
石炭	0.000000
原油	0.000000
天然ガス	0.000000
合成ガス	0.000000
ガソリン	0.010578
灯油	0.001439
軽油	0.000616
その他の石油製品	0.001015
石炭製品	0.000005
事業用電力	0.015946
自家発電	0.000000
都市ガス	0.004018
熱供給業	0.000072

(出所：総務省[92])

表 A-2-41 民間消費部門の通常財に対する費用シェア (α_n)

通常財産業	生産 (兆円)
耕種農業	0.010228
畜産+農業サービス	0.000982
林業	0.000638
漁業	0.001378
鉱業	-0.000024
食料品	0.099195
紙・木・繊維製品	0.021348
素材系製品	0.011488
金属・機械製品	0.050867
その他の製造工業製品	0.019983
建設	0.000000
水道業	0.003568
下水道	0.002424
商業	0.159339
鉄道輸送	0.013697
道路+自家輸送	0.022565
上記以外の運輸・通信業	0.041407
公務・サービス他	0.507228

(出所：総務省[92])

表 A-2-42 所得に対する貯蓄率 (β)

貯蓄率	0.098466
-----	----------

(出所：内閣府経済社会総合研究所[43])

表 A-2-43 新エネルギー産業の資本生産係数 (γ)

新エネルギー産業	資本生産係数 (生産/資本)
発酵メタン	0.010858
合成ガス	0.030455
木質ペレット	0.055584
ジメチルエーテル	2.209660
エチルアルコール	0.091116
バイオディーゼル	0.110679
燃焼発電	0.105212
スーパーごみ発電	0.482721
燃料電池	0.352800

(出所：ユニレックス[96]，pp.17-21，新エネルギー・産業技術総合開発機構[58]，pp.107-116，pp.133-136，石城護[23]，北海道 [18]，p.38，総務省[92]，新エネルギー・産業技術総合開発機構[28]，新エネルギー・産業技術総合開発機構[59]，p.76，p.133，p.250，pp.269-272，新エネルギー・産業技術総合開発機構[63]，pp.94-97，中村[46]，新エネルギー・産業技術総合開発機構[61]，pp.6-2 - 10-2，新エネルギー・産業技術総合開発機構他[85]，p.53，p.54，新エネルギー・産業技術総合開発機構[62]，p.146)

表 A-2-44 従来エネルギー産業の減価償却率 (δ_e)

従来エネルギー産業	減価償却率
石炭	0.043040
原油	0.043040
天然ガス	0.043040
ガソリン	0.020545
灯油	0.020545
軽油	0.020545
その他の石油製品	0.020545
石炭製品	0.020545
事業用原子力発電	0.045543
事業用火力発電	0.045543
水力・その他の事業用発電	0.045543
自家発電	0.045543
都市ガス	0.045543
熱供給業	0.045543

(出所：内閣府[39]，総務省[92])

表 A-2-45 公的資本の減価償却率 (δ_g)

減価償却率	0.036908
-------	----------

(出所：内閣府経済社会総合研究所[43])

表 A-2-46 通常財産業の減価償却率 (δ_n)

通常財産業	減価償却率
耕種農業	0.013720
畜産+農業サービス	0.013720
林業	0.013720
漁業	0.013720
鉱業	0.043040
食料品	0.041729
紙・木・繊維製品	0.040660
素材系製品	0.035545
金属・機械製品	0.059015
その他の製造工業製品	0.037364
建設	0.093433
水道業	0.045543
下水道業	0.045543
商業	0.040860
鉄道輸送	0.053386
道路+自家輸送	0.053386
上記以外の運輸・通信業	0.053386
公務・サービス他	0.227365

(出所：内閣府[39]，総務省[92])

表 A-2-47 新エネルギー産業の減価償却率 (δ_s)

新エネルギー産業	減価償却率
発酵メタン	0.045066
合成ガス	0.045066
木質ペレット	0.045066
ジメチルエーテル	0.045066
エチルアルコール	0.045066
バイオディーゼル	0.045066
燃焼発電	0.045543
スーパーごみ発電	0.045543
燃料電池	0.045543

(出所：内閣府[39]，総務省[92])

表 A-2-48 廃棄物処理産業の減価償却率 (δ_w)

廃棄物処理産業	減価償却率
厨芥	0.142383
紙・繊維	0.142383
廃プラスチック類	0.142383
金属・ガラス類	0.142383
ゴム類	0.142383
動植物性残渣(含草木)	0.142383
煤塵・焼却灰・鉱滓	0.142383
木くず	0.142383
有機汚泥：中間処理後	0.142383
無機汚泥：中間処理後	0.142383
廃油	0.142383
動物のふん尿	0.142383
動物の死体	0.142383
その他	0.142383

(出所：内閣府[39]，総務省[92])

表 A-2-49 直接税率 (τ^d)

直接税率	0.113140
------	----------

(出所：内閣府経済社会総合研究所[43])

表 A-2-50 従来エネルギー産業の間接税率 (τ_e)

従来エネルギー産業	間接税率
石炭	-0.119087
原油	0.056140
天然ガス	0.056287
ガソリン	0.376953
灯油	0.384387
軽油	0.377546
その他の石油製品	0.379020
石炭製品	0.022372
事業用原子力発電	0.081825
事業用火力発電	0.060566
水力・その他の事業用発電	0.110243
自家発電	0.063259
都市ガス	0.040125
熱供給業	0.050573

(出所：総務省[92])

表 A-2-51 通常財産業の間接税率 (τ_n)

通常財産業	間接税率
耕種農業	0.049486
畜産+農業サービス	0.024242
林業	-0.024013
漁業	0.051872
鉱業	0.046650
食料品	0.106684
紙・木・繊維製品	0.029807
素材系製品	0.029162
金属・機械製品	0.017840
その他の製造工業製品	0.026738
建設	0.037639
水道業	-0.021556
下水道業	0.026666
商業	0.043976
鉄道輸送	0.041287
道路+自家輸送	0.015676
上記以外の運輸・通信業	0.039594
公務・サービス他	0.024807

(出所：総務省[92])

表 A-2-52 新エネルギー産業の間接税率 (τ_s)

新エネルギー産業	間接税率
発酵メタン	0.036263
合成ガス	0.036263
木質ペレット	0.036263
ジメチルエーテル	0.036263
エチルアルコール	0.036263
バイオディーゼル	0.036263
燃烧発電	0.036263
スーパーごみ発電	0.036263
燃料電池	0.036263

(出所：総務省[92])

表 A-2-53 廃棄物処理産業の間接税率 (τ_w)

廃棄物処理産業	間接税率
厨芥	0.064511
紙・繊維	0.064511
廃プラスチック類	0.064511
金属・ガラス類	0.064511
ゴム類	0.064511
動植物性残渣(含草木)	0.064511
煤塵・焼却灰・鉍滓	0.064511
木くず	0.064511
有機汚泥：中間処理後	0.064511
無機汚泥：中間処理後	0.064511
廃油	0.064511
動物のふん尿	0.064511
動物の死体	0.064511
その他	0.064511

(出所：総務省[92])

第3章のモデルシミュレーションで用いた外生変数

表 A-3-1 民間消費部門の通常財消費に対する温室効果ガス排出係数 (A_{cc})

通常財	排出係数 (tC/百万円)
農林水産業	0
鉱業	0
動植物系製品	0
化学製品	0
石油・石炭製品	10.87847
窯業・土石製品	0
金属	0
機械	0
建築	0
ガス・熱供給	4.736419
運輸	0
その他	0

(出所：藤澤ら[7]，経済産業省[31]，環境省[25])

表 A-3-2 電力産業の温室効果ガス排出係数 (A_{cc})

排出係数 (tC/百万円)	6.063532
---------------	----------

(出所：藤澤ら[7]，経済産業省[31]，国立環境研究所[34])

表 A-3-3 通常財産業の温室効果ガス排出係数 (A_{cn})

通常財	排出係数 (tC/百万円)
農林水産業	1.317357
鉱業	1.307045
動植物系製品	0.14977
化学製品	0.605148
石油・石炭製品	1.075669
窯業・土石製品	2.104563
金属	1.568935
機械	0.029805
建築	0.049144
ガス・熱供給	0.234514
運輸	1.227212
その他	0.084586

(出所：藤澤ら[7]，経済産業省[31]，国立環境研究所[34])

表 A-3-4 PV 産業の温室効果ガス排出係数 (A_{cs})

排出係数 (tC/百万円)	0.049839
---------------	----------

(出所：藤澤ら[7]，経済産業省[31]，国立環境研究所[34])

表 A-3-5 電力産業の電力投入係数 (A_{ce})

投入係数	0.030349
------	----------

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-6 通常財産業の電力投入係数 (A_{en})

通常財産業	投入係数
農林水産業	0.005245
鉱業	0.026637
動植物系製品	0.013003
化学製品	0.029377
石油・石炭製品	0.005511
窯業・土石製品	0.032341
金属	0.009200
機械	0.023152
建築	0.009435
ガス・熱供給	0.003567
運輸	0.014459
その他	0.014428

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-7 PV 産業の電力投入係数 (A_{es})

投入係数	0.015891
------	----------

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-8 通常財の電力産業への投入係数 (A_{ne})

通常財	投入係数
農林水産業	0
鉱業	0.167357
動植物系製品	0.006043
化学製品	0.000703
石油・石炭製品	0.047532
窯業・土石製品	0.000067
金属	0.001501
機械	0.026094
建築	0.046745
ガス・熱供給	0.000089
運輸	0.017031
その他	0.199956

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-9 通常財の通常財産業への投入係数 (A_{nn})

投入財 \ 産業	農林水産業	鉱業	動植物系製品	化学製品	石油・石炭製品	窯業・土石製品
農林水産業	0.113826	0.000196	0.114881	0.001566	3.77×10^{-5}	0.000120
鉱業	$1.1E \times 10^{-5}$	0.003214	0.000285	0.001677	0.520185	0.066915
動植物系製品	0.113567	0.009399	0.212331	0.021566	0.000341	0.028269
化学製品	0.049366	0.010617	0.040509	0.352319	0.002208	0.030955
石油・石炭製品	0.032508	0.144476	0.009368	0.055144	0.027738	0.031780
窯業・土石製品	0.001261	0.000166	0.002688	0.005836	0.000441	0.083698
金属	0.001411	0.022252	0.014341	0.011913	0.000926	0.023125
機械	0.008093	0.017820	0.004357	0.006942	0.003184	0.022311
建築	0.005883	0.006891	0.002926	0.006380	0.001269	0.014801
ガス・熱供給	3.89×10^{-6}	8.83×10^{-5}	0.001525	0.002034	7.08×10^{-6}	0.003185
運輸	0.023323	0.033311	0.027363	0.020144	0.015109	0.052817
その他	0.117626	0.291879	0.143385	0.192056	0.026102	0.183838

投入財 \ 産業	金属	機械	建築	ガス・熱供給	運輸	その他
農林水産業	6.27×10^{-6}	0.001706	0.001818	0	5.58×10^{-5}	0.002875
鉱業	0.038311	0.000880	0.007286	0.223583	8.81×10^{-7}	9.68×10^{-5}
動植物系製品	0.005121	0.012083	0.054442	0.009772	0.012975	0.036261
化学製品	0.009087	0.039113	0.015953	0.003960	0.002192	0.015865
石油・石炭製品	0.018225	0.008565	0.026623	0.056079	0.074291	0.009304
窯業・土石製品	0.005733	0.007003	0.058175	8.49×10^{-5}	8.28×10^{-5}	0.000853
金属	0.438623	0.094385	0.120827	0.001686	0.002402	0.001613
機械	0.027754	0.333896	0.022877	0.015973	0.008750	0.018376
建築	0.006746	0.002536	0.002453	0.068514	0.012134	0.009714
ガス・熱供給	0.001618	0.000764	0.000707	0.010970	0.000595	0.001818
運輸	0.019095	0.017056	0.027606	0.028234	0.106299	0.014106
その他	0.093660	0.164756	0.173338	0.132576	0.185637	0.206337

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-10 通常財の PV 産業への投入係数 (A_{ns})

通常財	投入係数
農林水産業	0
鉱業	2.75×10^{-6}
動植物系製品	0.014941
化学製品	0.071412
石油・石炭製品	0.003887
窯業・土石製品	0.010196
金属	0.180635
機械	0.184487
建築	0.005056
ガス・熱供給	0.002120
運輸	0.024919
その他	0.196609

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-11 家庭用電力の総需要 (D)

年	需要 (GWh/年)
1993	204167
1994	220556
1995	229722
1996	232778
1997	236389
1998	244444
1999	251667
2000	257778
2001	257222
2002	265833
2003	261667
2004	273889
2005	283056
2006	289317

(出所：経済産業省[32])

表 A-3-12 電力輸出 (\bar{E}_e)

輸出 (兆円)	0.072101
-----------	----------

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-13 通常財の輸出 (\bar{E}_n)

通常財	投入係数
農林水産業	0.069954
鉱業	0.016855
動植物系製品	1.279873
化学製品	6.124395
石油・石炭製品	0.712999
窯業・土石製品	0.720688
金属	4.715574
機械	44.76381
建築	0
ガス・熱供給	0.000612
運輸	5.794674
その他	8.983912

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-14 通常財の公的消費 (\bar{G}_n)

通常財	消費 (兆円)
農林水産業	0
鉱業	0
動植物系製品	0.482596
化学製品	0.001838
石油・石炭製品	0
窯業・土石製品	0
金属	0.000233
機械	0.000364
建築	0
ガス・熱供給	0
運輸	-0.1183
その他	77.78799

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-15 住宅用太陽光発電産業の減価償却率 (k)

減価償却率 (1/月)	0.00417
-------------	---------

(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[80])

表 A-3-16 基準年の電力産業の資本ストック (\bar{K}_e)

資本ストック (兆円)	100.0457
-------------	----------

(出所：内閣府[41])

表 A-3-17 公的部門の資本ストック (K_g)

年	資本ストック (兆円)
2005	422.8147
2006	427.0967
2007	431.179
2008	435.0709
2009	438.7812
2010	442.3186
2011	445.6909
2012	448.9059
2013	451.971
2014	454.8932
2015	457.679

(出所：内閣府[40])

表 A-3-18 公的部門の粗投資 (ΔK_g)

投資 (兆円)	24.0022
---------	---------

(出所：内閣府[40])

表 A-3-19 基準年の通常財産業の資本ストック (\bar{K}_n)

通常財産業	資本ストック (兆円)
農林水産業	101.798
鉱業	2.941849
動植物系製品	91.00042
化学製品	38.23938
石油・石炭製品	14.92968
窯業・土石製品	21.72657
金属	60.311
機械	117.7005
建築	38.60286
ガス・熱供給	3.163492
運輸	82.96056
その他	438.1312

(出所：内閣府[41])

表 A-3-20 装置容量あたりの年間発電量 (m)

発電量 (kWh/kW年)	1051.2
---------------	--------

(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[66])

表 A-3-21 基準年の電力輸入 (\bar{M}_e)

投資 (兆円)	0.000422
---------	----------

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-22 基準年の通常財の輸入 (\bar{M}_n)

通常財	輸入 (兆円)
農林水産業	2.260946
鉱業	15.39886
動植物系製品	11.35836
化学製品	4.646698
石油・石炭製品	2.838329
窯業・土石製品	0.536263
金属	4.076781
機械	20.94278
建築	0
ガス・熱供給	0.001541
運輸	3.460672
その他	6.354164

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-23 電力に換算した太陽光発電の価格 (p , P'_s)

年	価格 (円/kWh)
1993	260
1994	140
1995	120
1996	82
1997	72
1998	71
1999	65
2000	58
2001	52
2002	49
2003	47.54
2004	46.51
2005	45.06
2006	43.28

(出所：新エネルギー財団[89]，経済産業省[30])

表 A-3-24 電力に換算した補助金による価格差 (Δp)

年	価格差 (円/kWh)
1993	0.0
1994	63.0
1995	60.0
1996	34.2
1997	23.1
1998	22.6
1999	22.2
2000	13.7
2001	8.2
2002	6.9
2003	6.2
2004	3.1
2005	1.4
2006	0.0

(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[64]，新エネルギー財団[86][87][89]，経済産業省[30])

表 A-3-25 消費者物価指数 (\bar{p}_2)

年	指数 (2005年 = 100)
1993	100.2
1994	100.8
1995	100.7
1996	100.8
1997	102.7
1998	103.3
1999	103.0
2000	102.2
2001	101.5
2002	100.6
2003	100.3
2004	100.3
2005	100.0
2006	100.3

(出所：総務省統計局[93])

表 A-3-26 基準年の電力価格 (P'_c)

価格 (円/kWh)	22.06261
------------	----------

(出所：経済産業省[29])

表 A-3-27 電力価格 (p^0)

年	価格 (円/kWh)
1993	25.61
1994	25.50
1995	25.29
1996	24.88
1997	25.66
1998	24.50
1999	24.21
2000	24.23
2001	23.93
2002	22.93
2003	22.57
2004	22.28
2005	22.06
2006	21.79

(出所：経済産業省[29] , p.202)

表 A-3-28 電力産業の資本形成係数 (Q_e)

資本財	投入 / 総資本形成
農林水産業	0
鉱業	0
動植物系製品	0.000211
化学製品	0
石油・石炭製品	0
窯業・土石製品	0
金属	0.036879
機械	0.43346
建築	0.23225
ガス・熱供給	0
運輸	0.012778
その他	0.284423

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-29 公的部門の資本形成係数 (Q_g)

資本財	投入 / 総資本形成
農林水産業	0
鉱業	0
動植物系製品	0.00252
化学製品	0
石油・石炭製品	0
窯業・土石製品	0
金属	-7.9E-05
機械	0.101127
建築	0.856907
ガス・熱供給	0
運輸	0.002231
その他	0.037294

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-30 通常財産業の資本形成係数 (Q_n)

産業 資本財	農林水産業	鉱業	動植物系 製品	化学製品	石油・石炭製 品	窯業・土石 製品
農林水産業	0.06713	0	0	0	0	0
鉱業	0	0	0	0	0	0
動植物系製品	0.022645	0.008671	0.019013	0.004013	0.00099	0.01732
化学製品	0	0	0	0	0	0
石油・石炭製品	0	0	0	0	0	0
窯業・土石製品	0	0	0	0	0	0
金属	0.003947	0.004697	0.013519	0.001985	0.000398	0.009307
機械	0.389558	0.488406	0.493134	0.463222	0.386536	0.523795
建築	0.293916	0.235978	0.150947	0.131567	0.264529	0.14488
ガス・熱供給	0	0	0	0	0	0
運輸	0.007101	0.009662	0.011701	0.007751	0.005822	0.011594
その他	0.215704	0.252588	0.311685	0.391463	0.341725	0.293104

資本財 \ 産業	金属	機械	建築	ガス・熱供給	運輸	その他
農林水産業	0	0	0	0	0	0.000844
鉱業	0	0	0	0	0	0
動植物系製品	0.018561	0.005466	0.018204	0.000521	0.008181	0.011148
化学製品	0	0	0	0	0	0
石油・石炭製品	0	0	0	0	0	0
窯業・土石製品	0	0	0	0	0	0
金属	0.014309	0.002724	0.008104	0.00018	0.004035	0.004187
機械	0.490124	0.616262	0.590977	0.380975	0.44619	0.280562
建築	0.16985	0.080619	0.128904	0.267103	0.318839	0.557516
ガス・熱供給	0	0	0	0	0	0
運輸	0.010777	0.010239	0.013006	0.00642	0.008771	0.005309
その他	0.296379	0.284689	0.240805	0.344802	0.213984	0.140433

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-31 住宅用太陽光発電への補助金総額 (S^U)

年	補助金 (円)
1993	0
1994	1,674,000,000
1995	3,328,600,000
1996	3,768,000,000
1997	6,625,240,000
1998	8,201,820,000
1999	18,516,568,350
2000	14,876,200,000
2001	10,919,640,000
2002	14,143,800,000
2003	15,631,959,600
2004	9,006,975,000
2005	2,726,080,000
2006	0

(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[64]，新エネルギー財団[86][87][88][91])

表 A-3-32 電力産業の所得率 (V_e)

所得率 (所得 / 生産)	0.232954
---------------	----------

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-33 通常財産業の所得率 (V_n)

通常財産業	所得率 (所得 / 生産)
農林水産業	0.385651
鉱業	0.302195
動植物系製品	0.299152
化学製品	0.204687
石油・石炭製品	0.038254
窯業・土石製品	0.310413
金属	0.211834
機械	0.226793
建築	0.392250
ガス・熱供給	0.245975
運輸	0.456965
その他	0.529829

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-34 PV 産業の所得率 (V_s)

所得率 (所得 / 生産)	0.219065
---------------	----------

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-35 住宅用太陽光発電の生産量 (x)

年	装置容量 (kW)
1993	5,057
1994	4,791
1995	9,045
1996	12,706
1997	27,503
1998	35,954
1999	66,639
2000	96,595
2001	96,759
2002	160,142
2003	198,667
2004	242,416
2005	258,142
2006	224,058

(出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構[65]，新エネルギー財団[88][90]，
光産業技術振興協会[13][14][15][16][17])

表 A-3-36 基準年の電力産業の生産量 (\bar{X}_e)

生産 (兆円)	15.33278
---------	----------

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-37 基準年の通常財産業の生産量 (\bar{X}_n)

通常財産業	生産 (兆円)
農林水産業	13.1222
鉱業	1.042174
動植物系製品	66.48623
化学製品	35.99841
石油・石炭製品	19.90477
窯業・土石製品	6.883483
金属	43.66656
機械	137.5297
建築	63.64386
ガス・熱供給	3.307984
運輸	37.45311
その他	495.3565

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-38 民間最終消費支出 (Y_t^0)

年	生産 (兆円)
1993	262.0067
1994	269.1061
1995	274.0905
1996	281.5804
1997	282.8468
1998	282.9795
1999	284.3407
2000	283.1253
2001	283.3489
2002	283.2005
2003	282.5632
2004	284.3724
2005	287.5287
2006	290.0441

(出所：内閣府[42][44])

表 A-3-39 民間消費部門の電力に対する費用シェア (α_c)

シェア	0.015058
-----	----------

(出所：経済産業省[31], 内閣府 [40])

表 A-3-40 民間消費部門の通常財に対する費用シェア (α_n)

通常財	シェア
農林水産業	0.012873
鉱業	-0.00011
動植物系製品	0.110217
化学製品	0.010971
石油・石炭製品	0.019283
窯業・土石製品	0.000946
金属	0.001403
機械	0.056428
建築	0
ガス・熱供給	0.006103
運輸	0.046373
その他	0.690002

(出所：経済産業省[31]，内閣府 [40])

表 A-3-41 所得に対する貯蓄率 (β)

貯蓄率(貯蓄 / 可処分所得)	0.030456
-----------------	----------

(出所：内閣府 [40])

表 A-3-42 電力産業の減価償却率 (δ_e)

減価償却率	0.024349
-------	----------

(出所：経済産業省[31]，内閣府[41])

表 A-3-43 公的部門の減価償却率 (δ_g)

減価償却率	0.04664
-------	---------

(出所：内閣府 [40])

表 A-3-44 通常財産業の減価償却率 (δ_n)

通常財産業	減価償却率
農林水産業	0.013474
鉱業	0.031632
動植物系製品	0.030904
化学製品	0.05866
石油・石炭製品	0.029442
窯業・土石製品	0.024434
金属	0.049713
機械	0.072391
建築	0.087627
ガス・熱供給	0.1568
運輸	0.038203
その他	0.129644

(出所：経済産業省[31]，内閣府[41])

表 A-3-45 直接税率 (τ^d)

直接税率	0.080183
------	----------

(出所：内閣府 [40])

表 A-3-46 電力産業の間接税率 (τ_e)

間接税率	0.064701
------	----------

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-47 通常財産業の間接税率 (τ_n)

通常財産業	減価償却率
農林水産業	0.0377
鉱業	0.041568
動植物系製品	0.069608
化学製品	0.02605
石油・石炭製品	0.336603
窯業・土石製品	0.038309
金属	0.032372
機械	0.019075
建築	0.03893
ガス・熱供給	0.038181
運輸	0.038573
その他	0.029171

(出所：経済産業省[31])

表 A-3-48 新エネルギー産業の間接税率 (τ_s)

間接税率	0.013922
------	----------

(出所：経済産業省[31])

第3章の近似におけるパラメータの最適化による推定方法

(1)習熟関数の推定

パラメータ Z_1, Z_2, \dots, Z_n を用いた関数による値と実際のデータとの偏差の対数の二乗の和を $R(Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ とする。各パラメータおよびその変化幅 $\Delta Z_1, \Delta Z_2, \dots, \Delta Z_n$ について、変化幅だけ両側に動かした場合および動かさない場合の3通りを組み合わせた 3^n 通りの R ($R(Z_1 + \Delta Z_1, Z_2 + \Delta Z_2, \dots, Z_n + \Delta Z_n)$, $R(Z_1 + \Delta Z_1, Z_2 + \Delta Z_2, \dots, Z_n)$, $R(Z_1 + \Delta Z_1, Z_2 + \Delta Z_2, \dots, Z_n - \Delta Z_n)$, ... $R(Z_1 - \Delta Z_1, Z_2 - \Delta Z_2, \dots, Z_n - \Delta Z_n)$) を比較し、最も値の改善されたもの(値が最小のもの)のパラメータを次の Z_1, Z_2, \dots, Z_n として計算を繰り返す。その際、前回の値から変化しなかったパラメータについては変化幅を0.9倍にし、前回の値から変化しかつその方向が前々回から前回への変化と同じであった場合は変化幅を1.1倍にした。このことにより、あるパラメータに関する値の極小の近くではパラメータの変動をゆっくりにし、値の変化が一様なところではスピードを上げて最適パラメータの探索を行うことができる。最終的な最小解の判断は全てのパラメータの変化幅が十分に小さくなった (10^{-20} を基準とした) ことを以って行った。これはパラメータ空間におけるある点について、距離を十分に小さく取ってもその近傍に値の小さくなる点が存在しない、つまりその点が極小であることを示している。パラメータと変化幅の初期値は任意に行ったが、局所解の問題を避けるため、パラメータの初期値は何通りか変えて計算した。関数の形状から局所解が多数存在することは考えにくく、このような恣意的な初期値設定に問題はないと判断した。

(2)需要関数の推定

習熟関数とほぼ同様であるが、 $R(Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ は対数でなくそれぞれの偏差の二乗の和である。いくつかの関数について計算することを考慮し、変化幅を小さくするケースを元の点が最小になった場合に限定した。変化幅を変える程度については d 倍と $1/d$ 倍とし、 d の値は1.1、状況に応じて1.2や1.3を用いた。