



Title	中国における革新的技術の導入と既存ストックの利活用に基づく資源・エネルギー管理戦略に関する考察
Author(s)	和田, 直樹
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/24556
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

工字 15797

博士論文

中国における革新的技術の導入と既存ストックの利活用
に基づく資源・エネルギー管理戦略に関する考察

和田 直 樹

2012 年 3 月

大阪大学大学院 工学研究科
環境・エネルギー工学専攻

博士論文

中国における革新的技術の導入と既存ストックの利活用
に基づく資源・エネルギー管理戦略に関する考察

和田 直 樹

2012 年 3 月

大阪大学大学院 工学研究科
環境・エネルギー工学専攻

中国における革新的技術の導入と既存ストックの 利活用に基づく資源・エネルギー管理戦略に関する考察

論文目次

論文目次	I
図表一覧.....	IV
略記一覧.....	VII
第1章 序論	1
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 論文の構成	2
参考文献.....	4
第2章 革新的技術の普及と既存ストックの利活用	5
2.1 緒言	5
2.2 BRICsの台頭と成長のひずみ.....	5
2.2.1 BRICsの台頭と一足飛びの発展.....	5
2.2.2 革新的技術の導入を巡る議論: Environmental Modernization と Technology Transition	7
2.2.3 効果的なストックの利用をめぐる議論	9
2.2.4 本研究の対象とする技術システムと研究目的の提示	11
2.3 石炭火力発電インフラを取り巻く課題の概説	12
2.3.1 中国のエネルギー消費構造	12
2.3.2 既存研究のレビューと本研究でのアプローチ	13
2.4 持続可能な消費を取り巻く課題の概説	15
2.4.1 中国家庭部門におけるエネルギー消費機器の消費を巡る状況.....	15
2.4.2 中国における家庭用エネルギー消費機器の使用実態と既往研究.....	16
2.4.3 中国における廃棄処理問題の現状と既往研究の調査	18
2.4.4 エネルギー消費機器のカスケード利用	20
2.4.5 持続可能なライフスタイル	21
2.4.6 本研究のアプローチ	22
2.5 要約	23
参考文献.....	24
第3章 技術更新における意思決定支援モデル：石炭火力発電インフラの事例.....	29
3.1 緒言	29
3.2 代替案シナリオの提示	29
3.2.1 置き換えの選択モデル.....	29

3.2.2	新設発電設備の技術選択	29
3.2.3	既存発電設備の更新時における補修・改修の選択	33
3.3	評価モデルの構築	35
3.3.1	モデルの概要	35
3.3.2	電力需要の推計	36
3.3.3	発電設備更新のモデル化	43
3.3.4	環境負荷排出量およびコストの算定手順	45
3.3.5	感度解析	47
3.4	結果と考察	47
3.4.1	電力需要推計	47
3.4.2	石炭火力発電設備容量の内訳の推移	48
3.4.3	CO ₂ 排出量の推計結果	49
3.4.4	シナリオ別 SO ₂ , NO _x 排出量	53
3.4.5	ケース別コスト比較	54
3.4.6	CO ₂ 削減費用のケース間比較	56
3.4.7	感度解析	58
3.5	要約	63
	参考文献	64
第4章	異なる消費形態による既存ストック利活用の違いが及ぼす影響の分析：民生用消費機器を対象として	67
4.1	緒言	67
4.2	中国における将来の持続可能な消費形態の抽出	68
4.2.1	消費形態構築の概要	68
4.2.2	既往研究における持続可能なライフスタイルの描写	69
4.2.3	中国における消費形態構築のためのアンケート調査	73
4.2.4	消費形態の定義	76
4.3	製品フローおよび環境負荷排出評価モデルの構築	78
4.3.1	モデルの全体像と評価の枠組み	78
4.3.2	製品ストック推計サブモデル	79
4.3.3	製品フロー推計サブモデル	82
4.3.4	環境負荷算出サブモデル	84
4.3.5	消費形態のパラメータ化	85
4.3.6	感度解析の手順	88
4.4	結果と考察	88
4.4.1	モデルの感度解析	88
4.4.2	製品ストック量の変化	91

4.4.3	シナリオ別製品購入量の変化.....	92
4.4.4	シナリオ別環境負荷発生量の推計結果.....	94
4.5	要約.....	97
	参考文献.....	98
第5章	異なる消費形態による既存ストック利活用の違いが及ぼす影響の分析：自動車産業を対象として.....	99
5.1	緒言.....	99
5.2	将来の消費形態シナリオの提示.....	99
5.2.1	消費形態シナリオの概要.....	99
5.2.2	消費形態シナリオの定量化.....	102
5.3	自動車フロー推計モデルの構築.....	106
5.3.1	分析の枠組み.....	106
5.3.2	自動車ストック推計サブモデル.....	107
5.3.3	自動車フロー推計サブモデル.....	110
5.3.4	環境負荷原単位.....	112
5.4	結果と考察.....	115
5.4.1	車両のフロー・ストック量の検討.....	115
5.4.2	車種構成と中古品ストックの比較.....	118
5.4.3	環境負荷指標の消費形態別比較.....	119
5.5	要約.....	122
	参考文献.....	124
第6章	技術更新と既存ストックの利活用に関する考察.....	127
6.1	緒言.....	127
6.2	ここまでの分析結果と成果の概要.....	127
6.2.1	石炭火力発電設備の技術更新における意思決定支援モデルの構築.....	127
6.2.2	異なる消費形態による既存ストック利活用の違いが及ぼす影響の分析（民生用消費機器）.....	128
6.2.3	異なる消費形態による既存ストック利活用の違いが及ぼす影響の分析（自動車部門）.....	129
6.3	総括と今後への提言.....	130
	謝辞.....	133
Appendix I	中国の将来シナリオのレビュー.....	i
Appendix II	家電製品の消費実態調査.....	xi

図表一覧

図 1-1 本論文の構成.....	3
図 2-1 環境クズネツ曲線の概念図	6
図 2-2 都市ストックの階層構造.....	10
図 2-3 2008 年の主要国のエネルギー消費構造	12
図 2-4 年代別石炭・石油火力発電設備建設.....	14
図 2-5 2000 年における省別発電効率分布（2000 年時点）	14
図 2-6 地域別主要耐久品の保有台数	17
図 2-7 自家用車保有台数の推移.....	18
図 3-1 主要技術の発電効率と実用化時期	31
図 3-2 PFBC のプロセスフロー.....	32
図 3-3 IGCC のプロセスフロー	32
図 3-4 モデルの概要	36
図 3-5 一人当たり GDP と産業の電力消費の関係.....	38
図 3-6 一人当たり GDP（購買力平価）と民生部門の電力消費の関係	39
図 3-7 中国 2009 年の電源構成.....	41
図 3-8 石炭火力発電が総発電量に占める比率の推移	42
図 3-9 建設年代別・施設規模別の石炭火力発電設備容量.....	43
図 3-10 発電設備容量算定の手順.....	45
図 3-11 部門別電力需要の将来推計結果	48
図 3-12 発電設備の更新容量の推計結果.....	49
図 3-13 シナリオ別 CO ₂ 排出量の推移.....	50
図 3-14 2005~2050 年の累積 CO ₂ 排出量の比較.....	51
図 3-15 各技術導入シナリオ下での設備更新シナリオによる累積 CO ₂ 排出削減量.....	52
図 3-16 シナリオ別の電力 CO ₂ 排出係数の推移	52
図 3-17 SO ₂ , NO _x のケース別排出量の推移	53
図 3-18 シナリオ別年間費用の推移	54
図 3-19 2006~2050 年の総費用のケース別比較（2005 年時点の現在価値換算）	56
図 3-20 各技術導入ケースにおける削減効果および削減費用の比較	58
図 3-21 電力需要の変化（80~120%）による累積 CO ₂ 排出量 および単位削減費用の変化....	59
図 3-22 石炭価格の変化（80~120%）による累積 CO ₂ 排出量	60
図 3-23 IGCC 実用化時期の違いによる影響解析.....	61
図 3-24 IGCC の発電効率および実用化時期による影響の感度解析.....	62
図 4-1 消費形態の抽出	68
図 4-2 アンケート実施場所と分析対象地域.....	74

図 4-3 クラスタ分析結果	75
図 4-4 製品循環モデルの構造	79
図 4-5 評価のバウンダリ	84
図 4-6 家電製品循環モデルにおける推計フローの全体像	86
図 4-7 CO ₂ 排出量推計値の分布	90
図 4-8 E-WASTE 排出量の分布	90
図 4-9 製品ストック量の推移	91
図 4-10 製品別・消費形態別ストックの構成	92
図 4-11 消費形態別・年代別の製品購入台数	93
図 4-12 消費形態別機器廃棄物発生量の推移	95
図 4-13 消費形態別 CO ₂ 排出量の推移	95
図 4-14 各消費形態における廃棄物発生量と CO ₂ 排出量の比較	96
図 5-1 消費形態別の新車購入時の技術選択確率	104
図 5-2 消費形態別中古車選択確率の推移	105
図 5-3 世帯所得と自動車保有台数の関係	109
図 5-4 世帯人数と所得の関係	109
図 5-5 自動車循環モデルにおける推計フローの全体像	113
図 5-6 車両ストック数の推計結果	116
図 5-7 新車販売・廃棄台数の推移	116
図 5-8 消費形態別・年代別の自動車販売台数	117
図 5-9 消費形態別の自動車ストックの車種構成と中古車比率	118
図 5-10 消費形態別 CO ₂ 排出量の推移	119
図 5-11 消費形態別 TMR 推計結果	121
図 5-12 各消費形態における CO ₂ 排出量と TMR の比較	122
図 6-1 都市ストックの階層構造（再掲）	130
表 3-1 技術ロードマップでの各技術の記載状況	30
表 3-2 設備建設時の導入技術の代替案	33
表 3-3 目的別改修技術の例	34
表 3-4 改修による費用と効率改善	34
表 3-5 既存発電設備更新時の補修・改修に関する代替案シナリオ	35
表 3-6 中国の再生可能エネルギー中長期発展計画に示された数値目標	41
表 3-7 中国の発電電源増強の見通し	42
表 3-8 各技術の設定値	46
表 3-9 その他の定数値	46
表 4-1 SUSTAINABLE HOUSEHOLD PROJECT で描かれたシナリオ	70

表 4-2 アンケート調査の概要	73
表 4-3 主成分分析結果	75
表 4-4 消費形態の定義とパラメータの設定値	78
表 4-5 人口, GDP, ジニ係数の設定値	81
表 4-6 機器普及曲線の定数と決定係数	82
表 4-7 製品ストック推計サブモデルで用いられる変数の定義	82
表 4-8 製品循環推計モジュールで用いられる変数の定義	84
表 4-9 環境負荷排出モジュールで用いたデータ	87
表 5-1 6つの消費形態シナリオ	102
表 5-2 カーシェアリングの効果	106
表 5-3 定数一覧	109
表 5-4 製品ストック推計サブモデルで用いられる変数の定義	110
表 5-5 車種別の資源構成	114

略記一覽

ASR	: Automobile Shredder Residue
CCS	: Carbon Capture and Storage
CCT	: Clean Coal Technology
CIAB	: Coal Industry Advisory Board
DF	: Driving Force
DOS	: Design Oriented Scenario
ELV	: End-of-Life Vehicle
EU	: European Union
EuP	: Energy using Products
EV	: Electric Vehicle
E-waste	: Electronic waste
GHGs	: Greenhouse Gases
GWEC	: Global Wind Energy Council
HEV	: Hybrid Electric Vehicle
ICV	: Internal Combustion Engine Vehicle
IEA	: International Energy Agency
IGCC	: Integrated Gasification Combined Cycle
JAMA	: Japan Automobile Manufacturers Association
JEMA	: The Japan Electrical Manufacturers' Association
LCA	: Life Cycle Assessment
LCD	: Liquid Crystal Display
METI	: Ministry of Economy, Trade and Industry
NAMAs	: Nationally Appropriate Mitigation Actions
NBSC	: National Bureau of Statistics of China
NCCP	: China's National Climate Change Programme
NDRC	: National Development and Reform Commission
PDP	: Plasma Display Panel
PFBC	: Pressurized Fluidized Bed Combined Cycle
PHEV	: Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PM	: Particulate Matter
PSS	: Product Service System
QOL	: Quality of Life
REACH	: Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals
RoHS	: Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and

	electronic equipment
SD	: Sustainable Development
TMR	: Total Material Requirement
TPES	: Total Primary Energy Supply
UN	: United Nations
UNPD	: United Nations Population Division
UNSD	: United Nations Statistics Division
VOC	: Volatile Organic Compounds
WEEE	: Waste Electrical and Electronic Equipment
WNA	: World Nuclear Association

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

人間活動と環境の関係を考える上で、物質の消費を切り離すことは出来ない。現代の社会経済システムは何らかの形でエネルギーやマテリアルを消費することで成り立っており、そうしたシステムの下で社会に蓄積された都市構造物や耐久消費財のストックは、否応なく人々の生活を規定し、人と自然の関係性の中に常に介在する。

膨張を続ける市場経済の中であって、BRICs はここ 10 数年間急激にその市場における重要性を増してきた。ブラジル、ロシア、インド、中国からなるこのグループは、その大きな人口から購買力の旺盛な巨大な中間所得層を生み出しつつあり、資源・エネルギーの両面で既に世界の資源・エネルギー需給に大きな影響を与えつつある (Wilson et al., 2010)。一方で、急激な経済の成長は様々な社会的・経済的な歪みも生み出している。急激に増大する電気・電子機器への需要に対し、未整備なままの廃電気・電子機器 (E-waste) の処理システムは、e-waste のリサイクル集積地において深刻な環境汚染を引き起こしている (Huo et al., 2007; Chen, 2005)。都市部における自動車普及の進展は、交通渋滞の頻発と排出される SO₂, NO_x, VOC (Volatile Organic Compounds) などによる大気汚染により都市の環境を悪化させている (Liu et al., 2011; Che et al., 2011)。また、鄧小平の先富論により生み出された成長による利益配分の不公平性も重大な社会的課題であり、今後の社会格差の是正が期待されている。先進国社会は産業化以降、気候変動や資源枯渇等、様々なグローバルあるいはローカルな環境問題に直面してきており、今後経済が成長する国々においてはこうした先進国で適用されてきた対応策を予め社会に構築していく必要があるといえる。

現在の BRICs、特に中国の直面する課題の多くは技術的な対応により一定の改善が可能である。例えば、e-waste の処理に伴う環境汚染であれば、既に欧米や我が国において機器の処理のための技術及び法制度は確立されており、これらを適切に導入することにより、改善が期待できる。また、自動車による大気汚染の問題も高効率な排ガス処理装置の付与や、高効率な燃焼技術、ハイブリッド自動車の導入等により、問題が完全に解決されるとまではいかなくとも、汚染の状況はかなり改善されると思われる。しかし、一方でこうした技術の導入に対して、現実的には様々な障壁が存在する。経済的な問題は言うまでもなく、法制度の整備に対する現場での法執行能力の低さや、先進国で開発されたシステムゆえの高コスト構造などが、こうした技術的な方策による解決を妨げている (He et al., 2006)。また、技術を更新する場合、既存の機器・設備は廃棄されなければならないが、この際に大量の廃棄物の発生と資源の投入が必要となると共に、現実には低効率な機器が中古品として出回り機器の総量が増加するにすぎない可能性もある。このように技術の更新に当たって

は、単に機器を置き換えその効率が向上するだけでなく、現実的には様々な問題が絡みあっているといえる。そこで本研究では、このような技術の更新と既存ストックの適切な利活用の方策について分析し、環境計画の視点から見た提言を行う。

効果的なストックの利活用のために考慮すべき点として本研究では、都市ストックの階層性、効率の向上が見込まれる革新的技術の適切な導入、リユースとリサイクルを含む廃棄物処理による資源管理、機器更新施策の経済的な実現性の4点に着目した。既存のストックを適切に利用し更新することでより効率的な技術を効果的に取り入れていく必要がある。一方で、経済格差の深刻なこうした新興国では設備・機器は中古品としての価値を持ち、リユースも含む適切な製品循環のマネジメントが不可欠といえる。本研究では、都市ストックの階層性を考慮し、大きく異なる複数の設備・機器の更新を事例として分析した。一つは中国における石炭火力発電設備であり、もう一つは家庭で利用されるエネルギー消費機器（EuP: Energy using Product）を取り上げ、その中から特に家電製品と自動車を選択し、革新的技術の導入と既存ストックの利活用、という観点から設備・機器の更新による環境負荷低減効果とその経済性に関する分析を行った。

1.2 論文の構成

本論文の構成を図 1-1 に示す。本論文は6章で構成されている。序章では、BRICsの一国である中国において、適切な技術の導入とストックのマネジメントの必要性を述べ、その上で筆者の着眼点と本研究の目的を提示した。第2章では、こうした技術の更新と既存ストックの利活用について既存の研究成果に基づき、本研究のアプローチを示す。すでに示した筆者の着眼点について詳述し、本研究の分析対象となる設備・機器に関する現状と既往研究について整理する。

第3章から第5章ではこれらの背景に基づき、3つの設備・機器についての分析を行う。第3章では、石炭火力発電設備の更新に関する分析の手法と結果を示す。石炭火力発電技術は現在世界的にもその技術革新が注目されており、今後のエネルギー効率の向上が期待できる。本研究では、今後中国に導入されうる技術として、中国の国内技術（現在と将来利用可能になるもの）と先進国からの技術移転により利用可能になる技術（同様に現在と将来利用可能になるもの）を考慮し、どの技術をいつの時点で導入するかに関する代替案を構築した。さらに既存の発電設備に対しても補修による延命利用、改修による高効率化の上での延命利用と、随時更新の各代替案を設定し、これらの違いによるCO₂排出削減量とその削減費用を評価した。

第4章と第5章では、家庭用のエネルギー消費機器を事例として取り上げた。家庭用エネルギー消費機器は、発電設備のような大規模で比較的少数な設備と異なり、技術導入にあたっての意思決定主体が多様な価値観を持つ消費者であり、また政府の規制も必ずしも

効果的に消費者の行動を規定する法執行力を持たない。そのため、技術選択とストック利活用に関する意思決定プロセスはより複雑化すると考えられる。そこで、本研究では消費者の行動傾向を類型化することで、こうした選択における代替案を設定することにした。消費形態を、既存の文献と現地でのアンケート調査により分類し、将来の消費形態を設定し、製品の循環をモデル化した。第4章で消費形態を構築し、家電製品を対象とするモデル分析を行った。得られた知見を元に、第5章においてその消費形態をさらに拡張し自動車の利用に適用した。一方、消費形態を評価するモデルは、第4章において家電製品を対象に製品循環モデルを構築し、製品の保有台数の推計と購入・廃棄行動の分析を行い、CO₂排出量と廃棄物発生量について評価した。第5章においても同様のモデル構築を行い、自動車を対象にCO₂排出量と資源消費構造の変化を評価した。以上の結果を受けて第6章において、全体の統括と第2章で述べた筆者の着眼点から、革新的技術の導入と既存ストックの導入に関し考察と提言を行い、今後の課題を述べた。

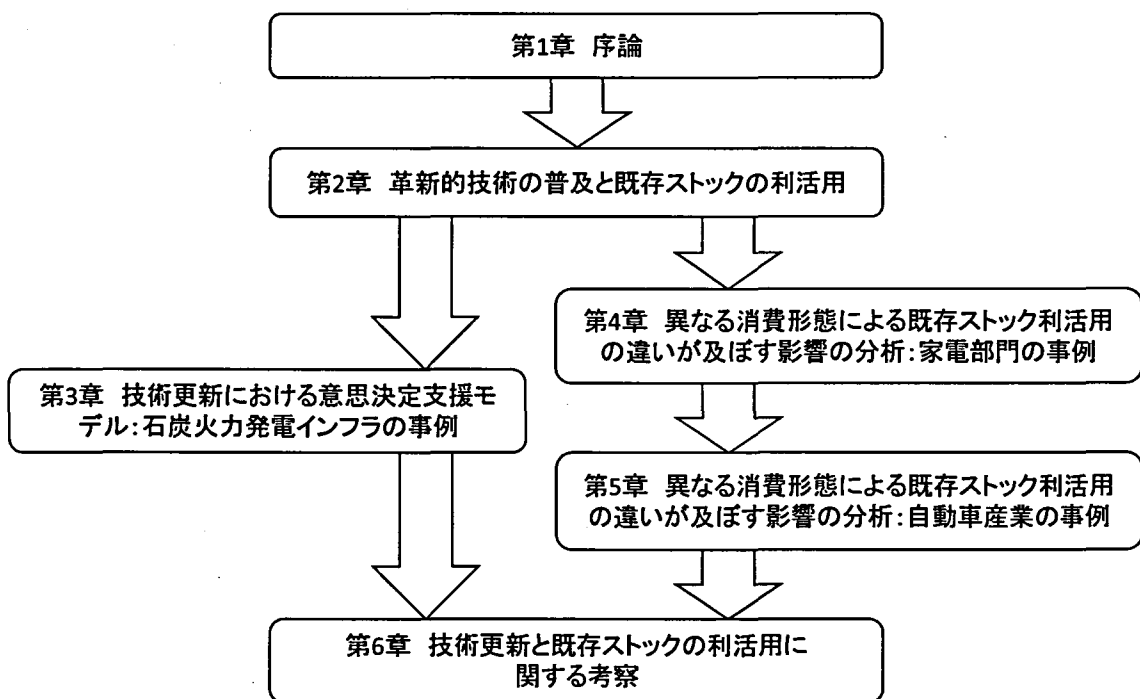


図 1-1 本論文の構成

参考文献

- Che, WW., Zheng, JY., Wang, SS., Zhong, LJ. & Lau, AI. (2011) Assessment of motor vehicle emission control policies using Model-3/CMAQ model for the Pearl River Delta region, China. *Atmospheric Environment*, Vol.45, pp.1740-1751.
- Chen, M. (2005) End-of-life vehicle recycling in China: Now and the future. *Jom*, Vol.57, pp.20-26.
- He, WZ., Li, GM., Ma, XF., Wang, H., Huang, JW., Xu, M. & Huang, CJ. (2006) WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China. *Journal of Hazardous Materials*, Vol.136, pp.502-512.
- Huo, X., Peng, L., Xu, X., Zheng, L., Qiu, B., Qi, Z., Zhang, B., Han, D. & Piao, Z. (2007) Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. *Environmental Health Perspectives*, Vol.115, pp.1113-1117.
- Liu, H., He, K., & Barth, M. (2011) Traffic and emission simulation in China based on statistical methodology. *Atmospheric Environment*, Vol.45, pp.1154-1161.
- Wilson, D., Kelston, AL. & Ahmed, S. (2010) Is this the 'BRICs Decade'? *BRICs Monthly*. [Online]. Available:
<http://www2.goldmansachs.com/our-thinking/brics/brics-reports-pdfs/brics-decade-pdf.pdf>. [Accessed Dec. 6 2011].

第2章 革新的技術の普及と既存ストックの利活用

2.1 緒言

急速な成長を遂げる中国において、環境負荷低減のための技術導入は不可欠である。一方で、国内の技術力は必ずしも十分とは言えず、先進国からの技術の移転が必要だが、いつ、どの技術を、どの程度のコストをかけて、という点に関しては、多くの不確実性下での意思決定が求められ、単純には決められない課題である。一方で、技術の導入は既存のストックの廃棄を伴い、静脈系システムの未成熟な中国では深刻な環境汚染を伴う可能性が高い。対象となる機器によっては中古品の利用へのニーズも高く、技術の導入とセットで使用済みとなる製品の扱いを議論する必要がある。既存の研究では、導入される新技術の導入可能性の検討や技術システムの移行に関する研究は豊富に行われているが、すでに膨大な量となりつつある既存のストックの利活用に触れた事例は少なく、技術の導入と既存ストックの利活用を併せて議論する必要がある。

本章ではこうした中国を取り巻く状況を概説するとともに、技術導入・既存ストックの利活用における本研究での着眼点を示す（2.2 節）。ついで、とくに分析の対象となる石炭火力発電設備、及び家庭用エネルギー消費機器である家電製品と自動車を選定し、各設備・機器を取り巻く既存研究の整理を行う（2.3 節、2.4 節）。

2.2 BRICs の台頭と成長のひずみ

2.2.1 BRICs の台頭と一足飛びの発展

1992 年の世界サミットにおいて、持続可能な開発（SD: Sustainable Development）の概念が国際社会に提唱されてから 20 年が経とうとしている。しかし、世界の温室効果ガス（GHGs: Greenhouse Gases）排出量は 2008 年において 29.6 Gt-CO₂eq であり、また 2010 年 1,240 Mt の粗鋼、3,300 Mt のセメントが消費され、気候の安定化・大量消費社会からの脱却という観点で、持続可能な社会への到達はまだ先のことといえる（UNSD, 2011; USGS, 2011）。気候変動や資源枯渇などの地球規模の課題において、先進国の歴史的な責任は重く、“共通だが差異ある責任”（Common but differentiated responsibility）（UN, 1992）の原則に基づき各国が共同で対処していく必要があることは言うまでもない。一方で、中国は 2007 年に米国を抜き世界最大の GHGs 排出国となり、さらに世界の鉄生産の 45%、セメント生産の 55%を占める。今後世界の経済成長の中心は、中国をはじめとする BRICs にあるといわれており、これらの国々をいかに環境低負荷型の経済に軟着陸させるかは、少なくとも今後半世紀の重要な課題といえる。

新興国の一つの特徴は、急速に増えつつある中間所得層の存在と、一方で依然として横たわる大きな国内経済格差にある。2000 年以降の 10 年間で、世界経済に占めるシェアは 1/6 から 1/4 に増加し、所得が 6,000 US\$ / 年以上の人口も今後 10 年でほぼ倍増することが予想されている (Wilson et al., 2010)。しかし、ジニ係数で見るとブラジル 0.57, ロシア 0.40, インド 0.37, 中国 0.47 と高い水準となっている (Rapid Intelligence, 2011)。経済格差を内包しつつ経済が拡大する状況下では、低所得層を中心に低価格だが手の届く機器への需要が爆発的に増加する一方で、経済規模の拡大とともにこれまでそうした製品を利用していた比較的高所得な消費者からは高付加価値な機器への更新需要が増大し先進的な技術が流入する (Wilson et al., 2010)。こうした機器更新は大量の廃棄物を発生させる。静脈系システムの整備が不十分な新興国市場では、発生した廃棄物は多くの場合非合法なリサイクルルートに乗り、エネルギー効率の極端に劣る中古品利用、適正なリスク管理のなされない状況下でのリサイクルなどを通じて、人々の健康や自然環境に深刻な影響を与えると共に、有用貴金属の喪失など、資源性の面でもリスクも高いといえる (例えば Li, 2011 など)。

顕在化した環境問題の一部は経済の発展と共に終息することも明らかになっている。この考え方は世界銀行のレポート (IBRD, 1992) により一般的に知られるようになり、経済成長と所得配分の不平等に関して逆 U 字曲線が成立するとしたクズネッツにちなみ、環境クズネッツ曲線と呼ばれる (図 2-1)。この考えの基礎にあるのは、経済の発展が進むとその発展による成果を環境問題への対策に振り向けることにより環境問題の改善が促されるというものである。

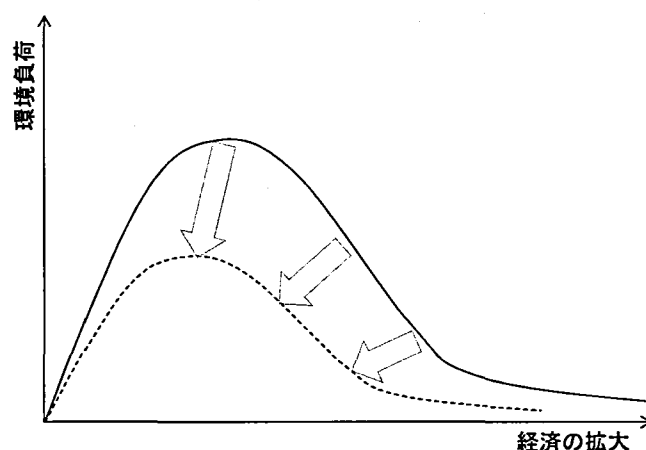


図 2-1 環境クズネッツ曲線の概念図

松岡ら (1998) によると、この仮説の意味するところは次の 4 点に表される。第 1 に、転換点を迎えるまでは、経済成長と環境質とはトレードオフの関係にあり、経済の成長は不可避免的に環境汚染の増大に帰結する。第 2 に、転換点の後には汚染の増大により環境は

稀少な財となり、環境の価値付けが高まることで今までのような汚染は続けられなくなる。また、経済成長による資本蓄積により汚染防止投資も進み、経済成長と公害防止・環境保全が両立する。第 3 に、途上国は、技術革新による安価で効率的な公害防止機器の開発と利用、相対的に低汚染型の産業立地による経済成長といった後発の利益を享受することにより環境クズネッツ曲線を原点方向へシフトさせることができる。第 4 に、途上国の環境政策は独自で強力なものは必要なく、経済成長と適合的な政策がよく、むしろ先進国からの開発援助や直接投資による技術移転が有効である。こうした既往研究事例には、松岡以外にも Shafik (1994) などがあるが、クズネッツ曲線の適用が可能とされる環境指標（例えば SO_2 には適用されるが、 CO_2 には適用されないなど）は、研究者間での一致をみてはいない。

本研究で重要なことはこうした環境クズネッツ曲線が成立するかどうかではない。開発途上国の環境負荷の増大を抑制・低減するために必要なことは、環境クズネッツ曲線の存在を信じ経済が発展することを待つことではなく、その成立如何に関わらず経済指標の変化に伴い環境指標の変化で表されるこの曲線を、より原点方向に移動させることである。特に CO_2 のように大気中に蓄積され、フロー量ではなくその累積量が問題となる環境負荷では、短期での環境条件の不可逆性が問題であり、早期対応による累積排出量の低減が望まれる。仮説の第 3 及び第 4 にあるように、後発の利益や先進国からの開発援助や技術移転は、こうした問題に対しクズネッツ曲線の成立の関わらず間違いなく正の影響を与えるものと考えられる。

2.2.2 革新的技術の導入を巡る議論: Environmental Modernization と Technology Transition

多くの研究において革新的技術の導入が環境問題の解決に対して大きく寄与するといわれてきた。Socolow et al. (2004) によって提唱された "wedge approach" では、既存の技術や想定される将来の革新的技術の普及やその利用、また森林資源の保全等の個々の施策を一つの "wedge" と定義し、想定された 14 の "wedge" のうち 7 施策が実行されることにより大気中 CO_2 濃度を 500 ± 50 ppm 以下で安定化させることが可能であるとした。"Wedge" には、自動車の高効率化や、再生可能エネルギー源の利用、CCS (Carbon Capture and Storage) や原子力発電等の技術が含まれた。技術以外では自動車利用の減少、森林と農村地域の保全が挙げられたが、これらはあくまで少数であった。一方で、技術の導入が気候変動や資源枯渇等の地球規模の問題解決に大きな影響力を持っていることは確かであるが、こうした技術のみによる環境問題の解決には技術至上主義 (Technocentrism) との批判もある (Bailey & Wilson, 2009)。特に環境的側面に着目した技術の導入とそれに合わせた社会情勢の変化は、Environmental Modernization (Mol, 2001) と呼ばれ、技術革新や産業構造のうち環境的合理性に基づく領域の成長が促され、政策的・経済的システムが構造変化を起こすことで適応すると考えられた。当初、Mol (2001) はこうした考え方は社会経済が成熟した先進国でのみ適用可能であると考えられたが、Vogel (2003) は、グ

ローバリゼーションの中で資本市場や国際的合意を通じて、途上国においても同様のメカニズムが働きうることを示した。中国をはじめとする新興国ではこうした動きは既に顕在化しており、例えば中国やインドにおける風力発電技術の導入が顕著な例といえる。1990年代前半にはほぼ0であった中国の風力発電設備容量は、1996年のRide the Wind Programの実施とともに伸び始め2003年のWind Concession Projectの実施後急速に導入量が拡大した(Ockwell, 2010)。2010年の世界全体の風力発電設備導入量3.8 GWのうち、1.9 GWが中国国内での導入であり、かつこの巨大な市場と産業の両方を国内に創出した(GWEC, 2010)。中国では、これにより2009年22,200人の雇用を創出し、また同様のプロジェクトにより再生可能エネルギー全体で1,500万人の雇用を生み出したという。すなわち、先進的技術の導入とそれに合わせた社会経済の変化は、新興国である中国において確実に起こりつつあることを示している。

しかし、先進国において適用されたEnvironmental Modernismは必ずしも同じように中国においても適用されているとは言えない。中国において現在導入されている風力発電技術は世界最先端の技術ではない(Ockwell, 2010)。これは、Environmental Modernismによって生み出されるGreen Industryのもつ位置づけが、先進国と中国では異なることによると考えられる。先進国においては、Green IndustryやGreen Innovationは将来的な市場や社会的ニーズによって生み出されると考えられる。一方で、中国の場合はややこれとは異なる。まず、Fay (2005)によると、経済開放以降都市部での失業は深刻となりつつあり、雇用の確保は社会的に大きなニーズとなっている。こうした雇用の不安定化の要因は、貨幣化された経済(Karn et al. 2003; Fay, 2005; Baker & Schuler, 2004)、社会的つながりの断絶(Baker & Schuler, 2004)、市場競争(Kironde, 2007)などが言われている。いずれにせよ、都市部に深刻な雇用不安が広がっており、こうしたGreen Industryの創出は、先進国と比較して依然低い賃金水準を考えれば、雇用の面で社会的ニーズと合致しているといえる。一方で、Ockwell (2010)は革新的技術の国産化による市場での競争力強化という観点から、この状況の説明を試みた。すなわち、世界最先端の技術の導入を促進する際には、生産の移転による国内の雇用を生み出すことは可能かもしれないが、技術自体は国内企業のものとならない。一方で、やや遅れた技術であっても現時点の国内技術よりも優れた技術を国産化(Domestication)し巨大な国内市場で保護することにより、将来的にその分野で世界における技術革新を牽引し競争力のある製品を開発する能力(innovative capacity)を、国内に育成することが可能である。風力発電技術は世界的に過当競争となっており、最先端よりも一段遅れた技術を持つ先進国企業の企業価値が、本来の技術力よりも過小評価されており、買収が容易であったという事情が、中国やインドがこうした戦略をとることを可能にしたといえる(Ockwell, 2010)。

このように、環境的合理性からみた技術の位置づけは、技術の国産化や、国内雇用の創出といった中国国内での優先順位とは必ずしも一致しなかった結果といえる。しかし、こうした中国における合理性が生み出す結果については、まだ検討が不十分といえる。山口

ら（2007）は全世界の電力・鉄鋼・セメント産業、および家庭部門のエネルギー消費機器（EuP）に対して行った分析で、世界的な最先端技術、現地の最高水準の技術の普及を想定した場合、現地最高水準の技術の普及でも相当量の CO₂ 排出削減が可能であることを示しており、必ずしも最先端の技術でなくともその環境的效果は無視できないものといえる。しかし、こうした観点の研究蓄積は少なく、山口ら（2007）の研究もマクロな視点からの分析であり、個別の機器・製品に即した分析の詳細化が必要といえた。したがって技術導入の重要性は変わらずとも、どの技術をいつ導入していくかという点において、中国をはじめとする BRICs において国益との兼ね合いの中での定量的な議論が必要であるといえる。

2.2.3 効果的なストックの利用をめぐる議論

前節では技術の導入に関する概念を述べた。本節では、技術導入に伴って起こるストックの更新に関して筆者の着眼点を整理する。技術は導入することにより、エネルギーや資源の消費の削減、有害物質の環境中への排出抑制などの効果を及ぼす。しかし、一方で一旦導入された技術はストックとして社会に蓄積され、製品の寿命が尽きるまでその影響を及ぼす。こうした影響はストック効果と呼ばれ、社会資本整備において重要な概念として用いられてきた。一方で、こうした社会に蓄積されたストックが新たな技術の導入を阻むことは Technological Lock-in とよばれる（Cowan, 1996）。2008 年に施行された EU の EuP 指令（The eco-design of Energy using Products）（2005/32/EC）は、エネルギー消費機器のこうした特性を考慮し、原則としてすべてのエネルギー消費機器にライフサイクルでの評価（LCA: Life Cycle Assessment）を義務付けている。しかし、LCA はあくまで製品単体の評価にすぎず、社会全体としてどのようなストックを構築し、構築されたストックをどのように利活用していくか、という観点から技術の選択を行うのはこうした評価では難しいといえる。本研究では、この社会全体としてのストックマネジメントという点に関し、以下の 4 つの視点を用いて考察を深めた。

1 点目は、都市活動を支えるストックの階層性である。本研究では都市活動のストックを図 2-2 のように想定した。下層のストック程規模が大きい傾向があり、ストック更新のスパンが長くなる。そのため、導入される技術の影響はより長期間にわたって発揮され続けることとなる。一方で、上層のストックは比較的短期的に更新され、技術革新に対して柔軟な対応が可能である。一方で、上層は下層のストックの整備状況により制約を受け、技術革新の効果をうまく発揮できない可能性や、あるいは思わぬ波及効果を及ぼす可能性もあるといえる。

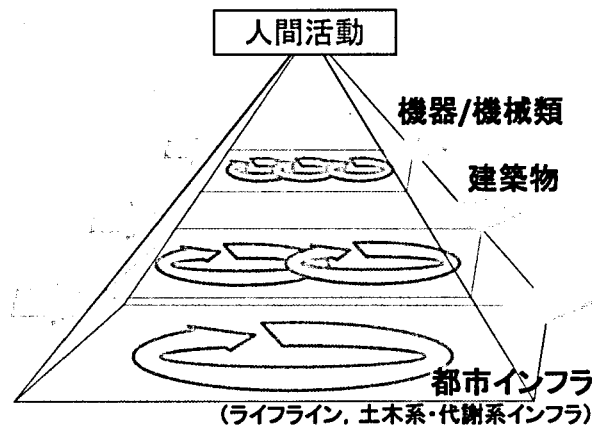


図 2-2 都市ストックの階層構造

2 点目は、将来的に利用可能となる技術も含む高効率技術の導入によるエネルギー利用効率の向上の観点である。LCA はあくまで現時点での製品間を製品の寿命まで使用することを想定した上での分析である。一方、時間の概念を単なる製品寿命から現実の時間軸へと拡張し、製品寿命も操作可能な変数と考える場合、単純に製品単体を対象として比較する LCA では分析が難しい。木村ら（2004）はこうした技術の向上に伴うストックの更新を考慮し、迅速循環という概念を提唱した。迅速循環とは“CO₂ 排出面も考慮して、適切に（必ずしも短期ではない）製品を循環させることを目指す手法”と定義され、エネルギー消費の効率向上に伴う既存ストックのマネジメントの概念が取り込まれている。しかし木村らの分析は、あくまで製品単体に対して、技術向上速度との関連性を論じたもので、社会的な累積効果にまでは言及していない。そのため現実の技術の事例に落とし込み、効率の向上との関連の中でどのように技術を導入するか、に関してのさらなる分析が必要といえる。

3 点目は、製品の廃棄段階を含むマテリアルフローの観点である。廃棄物処理に伴う問題は個別には 2.4.3 項で詳述するが、適切な資源循環のマネジメントの観点からも、中国をはじめとした新興国・途上国において十分な静脈インフラ設備が整っているとは言い難く、適正処理の存在を前提とした先進国と同等の議論を行うことはできない。また、革新的技術の登場は時に使用する資源の構成を変化させる。既存の研究ではこうした側面も含めたものは少なく、資源とエネルギーを総合的に評価する枠組みが必要といえる。

最後に 4 点目として、経済的な課題を考慮した。ここまで述べた製品循環に関する概念は多くの場合先進国では適用可能であっても、物質的な豊かさが不十分な環境にある途上国では、その実現は現実的には容易ではないことも留意する必要がある。経済成長に伴い電力・水消費は急増しており、ライフラインの維持は政府の喫緊の課題である。また、民生機器においても、製品への需要は大きく使用済みの製品は正規の回収ルートを経ずに中古品としてリユースされるのが一般的である。途上国におけるストックマネジメントを考慮し、製品サイクルのマネジメント施策を再検討する必要があると考えられる。

2.2.4 本研究の対象とする技術システムと研究目的の提示

ここまで述べてきたように、中国をはじめとする BRICs は今後の環境問題を考える上で非常に重要な役割を担っており、“共通だが差異ある責任”のもと、先進国はこうした国々の持続可能な発展のためにこれまで培った知見を提供し、一足飛びの成長にむけて協働した問題解決を志向する必要がある。本研究では、BRICs のうち特に中国に着目して分析を行う。これは、中国が世界最大の人口を持ち近年急速な経済成長とともに成長に伴うひずみが顕在化しつつある状況であり、本研究を通じてこれらの改善に寄与するためである。

対象とする技術システムには、図 2-2 において最下層に含まれる設備として中国石炭火力発電設備と、最上層における機器類の例として家電製品と自動車を選択した。各設備・機器を取り巻く詳細な状況分析は次節以降に譲るが、石炭は現在中国のエネルギー源のおよそ 70% (NBSC, 2010) を占め、今後も中国経済は石炭に大きく依存し続けると考えられる。一方で近年 CCT (Clean Coal Technology) と呼ばれる石炭の高度利用技術の進展は目覚ましく、こうした技術をいかに取り入れていくかは今後の中国の大きな課題といえる。巨大な技術システムは、その数の少なさゆえに、意思決定のプロセスは比較的明快といえ、LCA を用いた技術評価研究は有効である。しかしこうした既存研究においても、将来技術も含めた技術選択の中で、いつ技術の導入を行い、それに合わせて既存のストックをどのように利活用するか、という観点で分析したものはない。一方で、家電製品・自動車の場合にはより技術システムの選択のプロセスは複雑である。巨大なインフラである石炭火力発電設備においては、ステークホルダーは政府、電力会社等の少数の主体に限られ、長期にわたる予測に基づく合理的な判断が下されやすい。しかし、家電製品・自動車といった家庭用のエネルギー消費機器においては、意思決定者は各世帯であり、その判断基準は個々の世帯によって非常に多様といえる。また、製品ストックの利用も単に一度の購入選択のみでなく、そのライフサイクルでは廃棄、中古品利用等の異なる利用側面があり、技術が社会に浸透し活用され続けるための選択プロセスはより複雑といえる。そこで本研究では、家電製品・自動車に関しては特に消費者の行動形態に着目した。消費者のライフスタイルに着目した既往研究にはいくつかあるが、特に本研究では既往研究に加え現地でのアンケート調査を用いて消費形態を類型化し、モデルを用いて分析することとした。

以上のように、本研究では 3 つのエネルギー消費設備・機器の技術システムを対象に設備・機器更新のシミュレーション分析を行い、エネルギー消費効率のよいストックをいかに構築し、またそれらを技術が発展していく状況下でどのようにマネジメントしていくか、という点について、新たな知見を提供することを目的とする。

2.3 石炭火力発電インフラを取り巻く課題の概説

2.3.1 中国のエネルギー消費構造

中国の温室効果ガス（GHGs）排出量は、2008 年現在 7.03 Gt-CO₂eq であり世界最大である（UNSD, 2011）。中国の GDP あたりの排出量は年々減少を続けているが、2008 年現在で約 1,560 t/Million US\$と、依然 OECD 平均の 292 t/Million US\$と比較してかなり高い水準となっている¹。こうした背景には、中国のエネルギー源の高い石炭依存があると考えられる（Chen & Xu, 2010）。

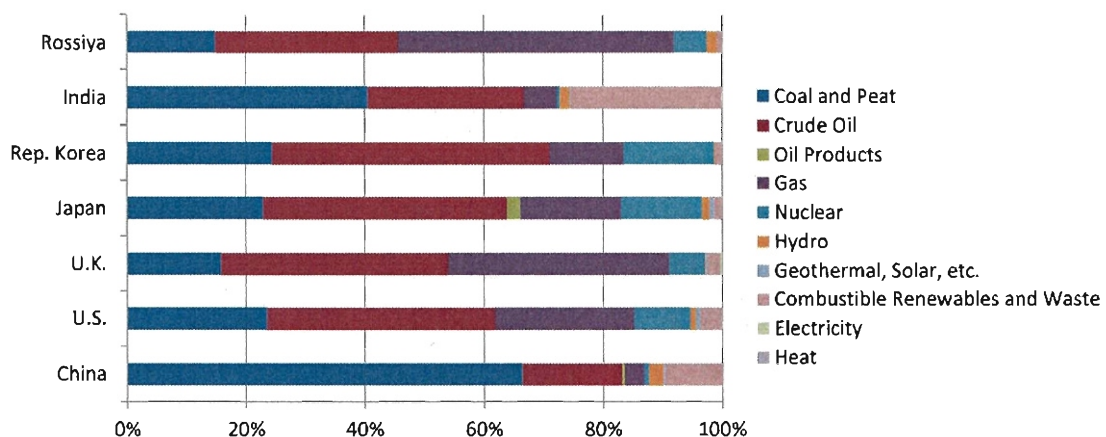


図 2-3 2008 年の主要国のエネルギー消費構造²
（出典：IEA, 2011）

図 2-3 に、2008 年の主要国のエネルギー消費構造を示す。中国の石炭依存率は 66% であり、インドの 42%、その他 5 か国の 17~28% と比較して高いことがわかる。また石炭の用途を見ると、生産された瀝青炭のうち 69%（2008 年）が発電用途で使用されている。発電電力のエネルギー源別では、石炭は 79%（2008 年）を占め、一方で原子力 2%、非化石燃料では水力が 17% を占める以外には、バイオマス・廃棄物・地熱・太陽光・太陽熱・風力・波力等を合わせても 0.45% であり、再生可能エネルギーの導入はまだまだ開発途上にある。

一方で、GDP あたりの GHGs 排出量では中国は年々減少を続けている。中国政府は、コペンハーゲン合意に基づき 2020 年までに GDP 当たりの GHGs 排出量を 2005 年比 40~45% 低減、また一次エネルギーに占める非化石エネルギーの比率を 15% に上昇させる

¹ World Bank (n.d.) および UNSD (2011) より。

² IEA (2011) より各国の TPES のうち、純供給資源のみを表示。燃料燃焼の後売電している分も含む。

ことを約束している(Wei, 2010)。こうした国際公約に基づき、国内法(NAMAs: Nationally Appropriate Mitigation Actions)の整備を進め、2007年に途上国として初めて策定された中国の国家気候変動対策プログラム(NCCP: China's National Climate Change Programme)(NDRC, 2007)では、再生可能エネルギー・原子力エネルギー等の開発に加え、火力発電の高効率化が求められている。

石炭利用の高度化技術は、世界的にもその埋蔵量の豊富さから注目を集めている(CIAB, 2008)。IEAにおいても、CIAB(Coal Industry Advisory Board)により技術開発・普及施策が検討・提言されている。この中身は大別して、石炭燃料の品質改良、既存発電設備の高効率化、高温燃焼によるさらなる高効率発電技術の開発、CCS(Carbon Capture and Storage)の技術開発にまとめられる(CIAB, 2008)。またNCCP(NDRC, 2007)でも、石炭の品質改良・火力発電設備の高効率化の重要性が示されており、これらの方針が中国の政策にも反映されている。特に中国においては、効率が上がりにくい中小規模の発電設備の比率の高さが指摘されており、CCTの導入により石炭の高効率利用が特に求められている。

しかし、こうした指摘にも関わらず低効率とはいえ既存の発電設備の有効活用は中国政府にとっては直近の重要な課題解決の手段の一つではある。低効率な発電設備の利用の停止は、第11次五ヵ年計画で掲げられ、5,000万kWの小規模火力発電設備の閉鎖が目標とされた(the Central People's Government of the People's Republic of China, 2006)。しかし、この計画は一方で急速に拡大する電力需要に対し新規発電設備の建設が追いつかず、大規模停電を誘発した(曲, 2004)。また、既存設備の大幅な破棄による大規模施設の新規増設は建設資源の面でも多大な環境負荷を及ぼすことが懸念され、適切なマネジメントが必要な課題となっている。

2.3.2 既存研究のレビューと本研究でのアプローチ

中国では中小規模の火力発電設備が多く、それゆえエネルギーの利用効率が低いことは既に述べた。図2-4に2004年以前の火力発電設備の建設状況を示す。中国では100MWを越す大型の発電所の建設は1950年代にはじまり、年を経るごとに徐々に大規模化が進んできた。

図2-5に地域別の発電効率を示す。火力発電の送電端熱効率は地域により27~37%と若干の開きがあるが、概ね30%代前半であり、中国全体としては33.8%となっている(黒田, 2003)。

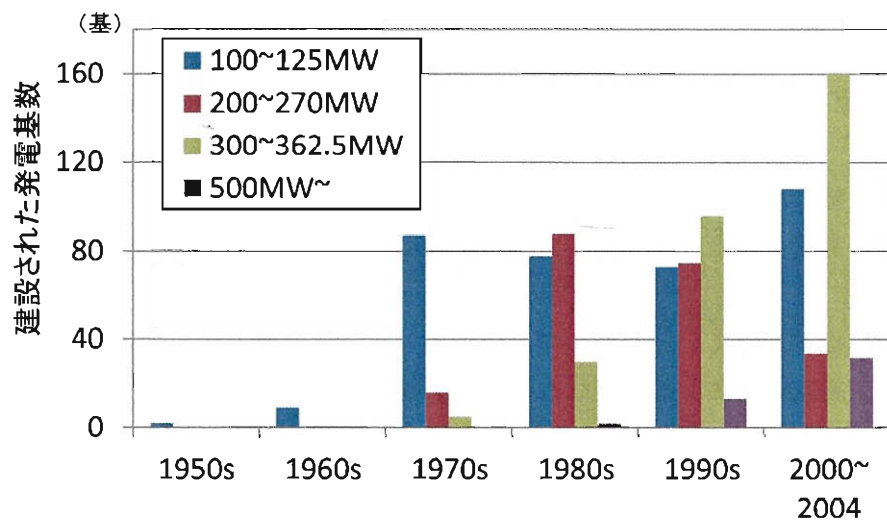


図 2-4 年代別石炭・石油火力発電設備建設³

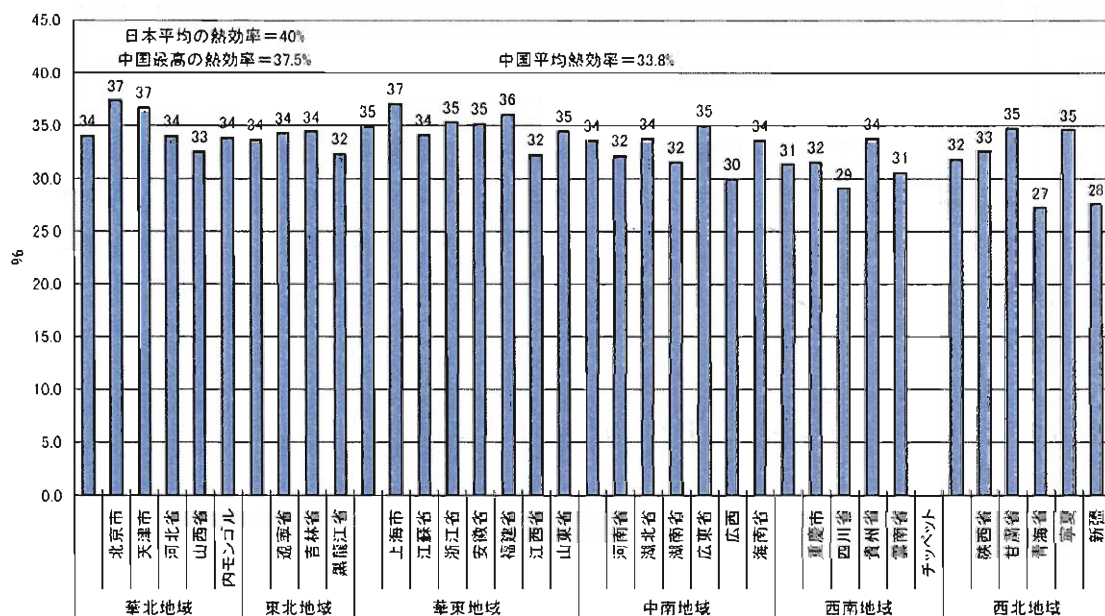


図 2-5 2000 年における省別発電効率分布 (2000 年時点)

(黒田, 2003 より引用)

CCT 導入による一足飛びの技術移転の必要性は Clark (2010) などにより強く主張されている。黒田 (2003) では、図 2-5 に示したデータを用い我が国からの技術移転によるエネルギー消費削減ポテンシャルが推計された。2000 年時点の我が国の平均的な石炭火力発

³ 黒田 (2003), 中国電力年鑑編輯委員会 (2006)より筆者作成。

電設備（熱効率 40%）で置き換えた場合、省エネ可能量は 43.3 Mtoe（石油換算 t）（省エネ率約 18.2%）と推計されており、削減ポテンシャルとして大きいといえる。一方で、同様に技術の移転による効果の研究を行った Attwook et al.(2003) は、石炭ガス化技術（IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle）の導入可能性をコスト面から検証したが、技術導入を考えた場合コスト的に見合わず、今後のコスト低減が期待される結果となった。Wang & Nakata (2009)も技術の移行による効果を経済面・環境面から評価し、補助金の有効性等が議論した。また、石炭の技術移転に加え、他の燃料も検討した研究として、Li (2003) は経済モデルを用いて 2030 年までの中国の電力源の天然ガス、再生可能エネルギーへの移行と、炭素税、大気環境規制の強化、CCT の導入や適切な石油備蓄の増進等による効果を検証した。

技術移転による石炭火力発電由来の大気汚染の改善に着目した研究もある。Aunan et al. (2004) や、Li et al. (2004) は、大気汚染による健康被害を汚染レベルから金銭価値に勘定し費用対効果分析を行い、技術移転による高い効果を示した。近年の中国における CCT の進展は Chen & Xu (2010) に詳しいが、今後のより一層の技術普及に向けて国際的な協力の必要性が述べられている。中国における CCT の導入の実証研究も複数試みられており、Martinot (2001) は世界銀行による事例を整理した。また、Shi (2011), Zhang et al. (2011) なども実証試験の様子を報告しており、こうした研究において CCT 技術の導入の効果と必要性は一定程度明らかにされたといえる。しかし、先進的技術に対する分析が積極的に行われる一方で、更新される設備側のマネジメントや既存の技術の利用に言及したものは少なく、いつ新技術を導入するか、それまでの間既存の発電設備をどのように扱うか、といった視点からの分析が必要といえる。電源開発（1999）において既存発電設備への改修による効果の検証がなされており貴重なデータが提供されているが、よりマクロなスケールで政策的に既存ストックの利活用を論じるには不十分といえる。

そこで本研究では、第 3 章において革新的技術の導入時期の検討とそれに合わせた既存ストックの利活用施策の検討を行うため、設備更新の代替案設計を行い、モデル分析による環境面（CO₂, SO₂, NO_x 排出量）の影響評価、及びそれに伴う費用を推計し、特に CO₂ に関して削減費用の考察を行う。

2.4 持続可能な消費を取り巻く課題の概説

2.4.1 中国家庭部門におけるエネルギー消費機器の消費を巡る状況

CO₂ 排出削減施策の実行において、家庭部門からの排出抑制は非常に困難な部門の一つといえる。民生・運輸部門からの CO₂ 排出量は、我が国でも 1990 年比でそれぞれ 26.9%, 5.8%増加（2009 年）しており（JCCCA, 2011）、中国においてもその抑制は今後の重要な課題であるといえる。持続可能な消費（Sustainable Consumption）を実現するためには、

エネルギー効率の高い技術の導入により CO₂ 排出量を削減すると同時に、製品・資源の循環を促進し、新たな資源採掘を抑制していく必要がある。また、特に途上国では低いエネルギー効率基準値や資源循環のためのリサイクル制度の未整備、あるいは制度が存在したとしてもリスク認知の低さや行政能力の不足により違法な e-waste 処理が横行し、結果として重金属や VOC の多くが環境中への放出されてしまうなど、多様な問題を併せて議論する必要がある (Nnorom & Osibanjo, 2008; Liu et al., 2006; He et al., 2006)。こうした途上国における電気・電子機器をめぐる論点を、2.2.3 項で示したトリレンマの構造に基づきエネルギー消費、e-waste 処理による健康・環境影響、リユース製品の貧困層による利用、の 3 つの観点から整理した。本節では、まず次項において中国における民生部門のエネルギー消費機器利用の実態を明らかにし、併せて機器に対する中国政府の取り組みを紹介する。2.4.3 項では廃棄物処理の観点から既存文献の整理を行い、2.4.4 項においてサービス利用の観点を取り込み製品のカスケード利用の実態について論じる。その上で、持続可能な消費を巡る先進国における研究事例として、持続可能なライフスタイルを巡る議論を 2.4.5 項に示し、以上を踏まえ 2.4.6 項に本研究のアプローチを示す。

2.4.2 中国における家庭用エネルギー消費機器の使用実態と既往研究

(1) 家電製品

中国の平均的な一人当たり GDP は 2009 年に約 4,000 US\$ (1 CHY = 0.157686 USD) であり、先進国と比較する低いといえる。しかし、都市部の家電製品の保有量を地域別に見ると、東部ではエアコンやテレビが既に 1.5 台/世帯、中西部でもテレビは 1.2 台/世帯、西部におけるエアコンがca. 0.7 台/世帯であり、家庭内のエネルギー消費機器は急速に増えつつある (図 2-6)。

一方で、こうした機器のエネルギー消費効率の低さも指摘されている。山口ら (2007) や寧 (2006) は、機器の効率の観点から高効率技術の普及施策による効果を検証した。特に山口らの研究では、現在現地で普及している技術に対し、現地で利用可能な最高水準の技術と、世界的に見て最高水準の技術の普及を想定し、経済成長に伴う機器普及の拡大を見込み、2030 年にそれぞれの場合において世界全体で 137 Mt-CO₂, 297Mt-CO₂ の排出削減が民生部門から可能であることを示した。現実的な技術普及を考える場合、先進国で普及している最高水準の技術の途上国経済への普及は経済的に難しく、途上国で利用可能な技術による排出削減効果を算出した点に特徴があるといえる。一方、寧 (2006) は都市・農村それぞれの世帯のエネルギー消費用途・源別の詳細な傾向の調査に基づき、対策の効果を分析した。対策も都市・農村で異なっており詳細なモデル構築が行われており、また個別対策だけでなく社会全体の傾向として高エネルギー社会・低エネルギー社会というコンセプトを取り上げ分析している点が非常に興味深い。これらの研究においてはエネルギーの消費は詳細に分析がなされているが、それを取りまく人々のライフスタイルまでは言

及されていない。また機器の更新による技術普及という観点は含まれておらず、既存ストックをいかに利活用し人々のニーズを満たしていくか、という点についての検討が必要といえる。

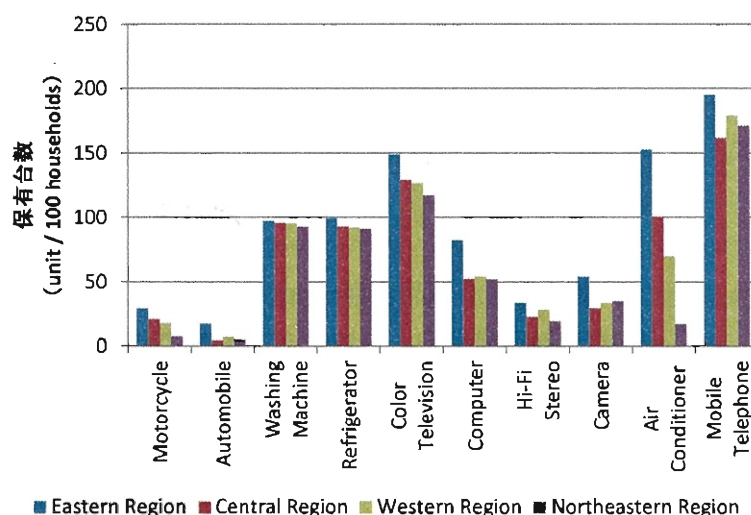


図 2-6 地域別主要耐久品の保有台数
(NBSC (2010) より筆者作成)

(2) 自動車

図 2-7 に 1978-2009 年の自家用車台数の推移を示す。1990 年代の後半よりモータリゼーションが始まり、2000 年以降急速に普及が進んでいる様子がわかる。モータリゼーションは都市部・農村部の双方で広がっており自動車由来の環境負荷の増大が懸念されている。自動車販売台数は 2009 年には年間 1,400 万台にまで上昇し、2000 年以降の販売台数の年平均増加率は 36%に達した (NBSC, 2010)。一方保有台数では、地域により差があるものの 2009 年東部の都市部では 100 世帯当たりの自家用車台数が 17 台、中部・北部地域では 100 世帯あたり 5~6 台と、先進国と比較し低い水準にとどまっている。しかし、所有率の水準は低いが中国全体の市場は非常に大きく、今後エネルギー需給・大気汚染による健康被害・気候変動対策等の観点から迅速な対応が求められている (Du et al., 2010; Yan & Crookes, 2010; Hao et al., 2011)。

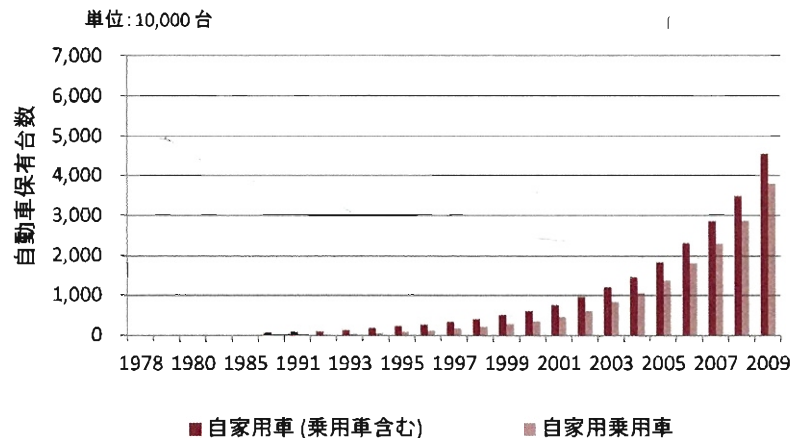


図 2-7 自家用車保有台数の推移
(中国汽车技術研究中心 (1992-2010) より作成)

中国の都市部におけるモータリゼーションの進展は、既に深刻な問題を引き起こしつつある。北京・上海といった大都市圏においては、急速な交通量の増大に対し都市の過密が要因となり、深刻な渋滞の発生や、大気汚染の深刻化が指摘されている (Liu et al., 2011; Che et al., 2011 など)。都市密集地域においては、大気中の SO_2 、 NO_x や、VOC、PM (Particulate Matter) などの濃度が上昇しやすく、健康影響が懸念される事態となっている。一方で、こうした局地的な大気汚染の分析に加え、燃焼効率の悪いエンジン技術の普及による CO_2 排出量の増加を懸念する指摘もなされている (Hu et al., 2010; He et al., 2011; Hao et al., 2011 など)。これらの研究では、エンジンの高効率燃焼技術の導入や車両の軽量化、またモーダルシフト等の施策による CO_2 排出量の削減効果がそれぞれ推計された。

自動車由来の環境負荷の低減にむけて、中国では燃費の規制、及び排ガスの規制が徐々に強化されてきた。燃費に関しては、2004 年に「乗用車燃料消耗量限值」と呼ばれる強制執行型の燃費基準が施行され、2008 年には第二段階として基準値が引き上げられた。燃費基準は既に 2015 年の 7 L/100km を目標に第三段階に入っており、2020 年にはさらに基準の強化を行うとしている (Oliver et al., 2009)。また、その他の排ガス規制については、EU からの制度の移転をはかり、2003 年に EURO2、2006 年に EURO3 の規制の適用を決めてきたが、EU は既に EURO5 まで進んでおり、6~7 年ほどの遅れをとっているのが現状である。

2.4.3 中国における廃棄処理問題の現状と既往研究の調査

(1) 家電製品

E-waste の処理に伴う汚染の問題は、EU で 2003 年 WEEE 指令・RoHS 指令が発効し、また我が国においても循環型社会形成推進基本法の下で家電リサイクル法 (特定家庭用機

器再商品化法)が施行されるなど、先進諸国において重要な政策課題として取り上げられた。これらの法制度により、使用済み製品の適正処理により廃棄物の削減と資源の有効利用が製造者に義務付けられることとなった。一方、中国においては、事態はより深刻である。E-waste の処理による環境汚染は、貴州 (Guiyu) の事例 (Huo et al. 2007; Guo et al., 2010) を筆頭に、国内の静脈系システムの未熟さに加え、海外からの大量の e-waste の流入により、国内由来の e-waste が問題となる以前から深刻な環境汚染が発生してきた (Widmer et al., 2005)。しかし、近年は国内経済の成長により国内由来の e-waste の問題も深刻化しつつあり (神鋼リサーチ, 2003)、バーゼル条約に基づく輸出入の管理だけでなく、国内の家電回収システムの確立が喫緊の課題である。

こうした状況下で、既往研究においても中国における e-waste 処理システムの課題についての多くの研究がなされてきた。例えば、Liu et al. (2006) は家電製品の普及予測に基づく GHGs 排出と e-waste の発生量予測を行った。また、発生する e-waste による健康影響・環境汚染の実態調査研究としては Wong et al. (2007) や Deng et al. (2006) 等が、リサイクル拠点周辺の土壌・河川・大気中の汚染濃度の測定などを行っている。また、Liu et al. (2006) やその他の文献 (Leung et al., 2006; He et al. 2006; 近藤 & 梅田, 2006; Porte et al., 2005) において汚染が発生するプロセスに関する詳細な調査が行われてきた。これらによると、主な汚染源は主には①銅を取り出すための銅線の野焼き、②石炭燃焼による基盤の直接加熱、③貴金属を取り出すための酸性剥離剤の使用、④不要部品の焼却と埋め立て、の各プロセスであることが分かった。一方で、各国の e-waste に対する法制度の比較を行った研究には、Widmer et al. (2006) や He et al. (2006) 等がある。Widmer et al. (2006) は特に各国の制度の違いを定量的に示し、その上で費用負担の仕組みや、対象製品の範囲などについて国別の事情を勘案し、状況に適したシステムを構築することが重要であると述べている。

中国の法制度の整備状況は、こうした状況に対して徐々にではあるが整いつつある。2008 年には中国循環型経済促進法を整備し、それまで中国環境保護法の下で行ってきた各種個別法を経済政策との整合性を高めた上で新たな管理体制の下に統合化した。個別法としても EU からの制度の移転を図り中国版 WEEE 指令、中国版 RoHS 指令を施行し、2010 年からは中国版 REACH も施行された。E-waste の処理を進めるためのより具体的なインフラ建設としては、廃旧家電製品リサイクル工業団地の建設が行われている (神鋼リサーチ, 2003)。リサイクル工業団地は、中国政府の認可の下、ハイテク技術により国家の環境基準を遵守した廃旧家電処理拠点を形成することを目的とし天津市、江蘇省太倉市、浙江省寧波市、福建省漳州市に最初のモデルプラントの建設を進めてきた。しかし、法制度・インフラ整備事業にも関わらず、e-waste の処理は必ずしもうまくいっていない実態が指摘されている。He et al. (2006) によると、モデルプラントは高い設備費用 (リサイクル設備、環境保全のための設備、健康・安全のための設備/備品)、高い給与水準により高コスト構造となっており、その結果として使用済み家電の回収の段階で民間の回収業者とコスト競争に

勝てず、処理する製品が集まらない事態が起きているという。民間のリサイクルショップでは、不適切な処理、不十分な修理での中古品販売、改装を施してから再販売等により高い付加価値でのリユース・リサイクルを行っており、これらのコスト構造の違いが e-waste の買い取り競争においてフォーマルセクターの大きな重荷となっている。こうした現状に対し He et al. (2006) は、中国版 WEEE では国によるファンドの立ち上げが謳われているが、誰が支払うのか (who)、どの程度払うのか (how much)、どうやって集め、使うのか (how)、といった疑問は明らかになっておらず、不明瞭な財政システムがボトルネックであると指摘している。

(2) 自動車

自動車においても法制度の整備はほぼ同様の状況といえる。廃自動車 (ELV: End-of-Life Vehicle) の中国における処理は、Chen (2005) は 2005 年の段階でまだ圧縮空気や電気工具等を使用した手作業による解体が主流であり、低い環境意識や環境保護への投資、科学的な知識の不足などから、環境汚染を引き起こしていると指摘している。一方、廃自動車の処理に対する規制は 2001 年に廃自動車回収管理弁法が施行され、廃自動車の処理業者の満たすべき要件を提示している。また、上海に廃自動車処理のためのモデルプラント建設し、デモンストレーションを行っている。しかし、現在統計上管理されている廃自動車の処理台数は、Chen (2005) によると、推計される台数の約 10% でしかなく、試みが成功しているとは現時点では言えない。こうした問題解決のために、処理設備の技術的な改善のほか、廃自動車の発生移動に関する情報交換のプラットフォームの確立などが求められている (Chen, 2005)。

2.4.4 エネルギー消費機器のカスケード利用

ここまでは、中国における家庭用エネルギー消費機器によるエネルギー消費の増大と廃棄物の適正処理の課題について述べた。これらに加え本研究では、人々の生活水準の観点から機器の中古品利用に着目した。中古機器のリユースは、先進国では市場全体に占める比率は低い、途上国では多くの機器が使用後に簡易な修繕を施され、農村部あるいは都市貧困層により再利用される。こうした機器のカスケード利用は、資源消費の側面からは正の効果があるが、古く低効率な機器の長期使用はエネルギー消費の増大を引き起こし、温暖化への影響、都市の停電の増加やそれに伴う過剰な電力インフラ投資の誘発等が懸念される。すなわち適切な中古品の利用は、エネルギー・廃棄物両面へ影響を与える可能性があるといえる。

家電製品の中古品利用に関する統計データはないが、JAMA (2004) では、購入時の製品価格の調査を行っており、筆者が行った上海での調査では中古品価格帯と一致する製品の購入が確認されている。一方で、必ずしも中古品マーケットを通じてではない中古品利用

も多くあると考えられ、例えば親戚を通じた中古品の受け渡し等は頻繁に行われているものと考えられる。

一方、自動車の中古品取引は近年そのマーケット整備が急速に進んでおり、2005年の中古車流通管理法の施行により中古車の取引台数は急激に増加しつつある。しかし、2007年の自動車総取引量に中古車が占める比率は18%と、2~3台に1台が中古車となっている日本や欧米と比べて低い利用率となっている（矢野経済研究所，2008）。また、推定される廃棄台数と統計データには乖離があり、その理由として法の外でのリユースや廃棄処理の存在も指摘されている（阿部ら，2008; Chen, 2005）。製品リユースやリサイクルは、資源消費抑制・低価格でのサービス供給のためには重要な手段であるが、ハイブリッド自動車・電気自動車等の高効率化技術の導入が推し進められている中でのエネルギーの効率的利用（Chen, 2009）や、未熟な製品循環システムによる有害物質への暴露の懸念といった観点から、必ずしも正の効果を持つとは限らない。中古品利用により得られる社会的便益を確保しつつ、一方で極端に劣化した製品は市場から排除され適正処理により部品リユースや資源リサイクルへと回されることが望ましいといえる。

2.4.5 持続可能なライフスタイル

ここまで家庭用エネルギー消費機器である、家電製品と自動車について、中国における現状と既往文献のレビューを行ってきた。経済の成長とともに人々の生活のエネルギー消費機器への依存はますます大きくなりつつある。エネルギー消費量の増大、廃棄物処理や政府の規制能力といった問題群に加え、今後多様な技術やサービスの流入が予想され、エネルギー消費機器を取り巻く人々の消費行動はますます多様化していくと考えられ、こうした状況下で最適な製品循環を議論するにふさわしい枠組みの構築が必要となる。そこで、上述の状況をより一体的に分析するため、本研究では消費者の行動に焦点をあてた。消費行動には多様な局面があるが、それらの行動は人々の価値観により一定の一貫性をもって行われると考えられる。そこで、筆者は人々の行動傾向をシナリオとしてパッケージ化された消費形態として描くことにより、個々の局面における改善からは明らかとならない環境負荷発生メカニズムの構造の解析を試みる。そこで、以下に消費者のライフスタイルの分析を通じて消費行動について議論した既存文献のレビューを行う。既に述べたが、石炭火力発電設備のような大規模施設と異なり、家庭で用いられるエネルギー消費機器は個々の機器のサイズが小さく、技術の選択や廃棄行動に関わる行動主体が多様な価値観を持つ各世帯によって構成される。したがって、こうした複雑な価値観を類型化し、分析可能な形で表現することが不可欠である。

ライフスタイルに着目した既往研究には、デルフト工科大学により行われた Sustainable Household Project や米国土科学技術協会（2007）、木村ら（2008）などがある。木村（2006）によると、Sustainable Household Project は家庭生活の3つの機能である食・住・衣に関

して、そのシーン毎に人々のニーズを満たすサービスの在り方の代替案 (DOS: Design Oriented Scenario) を提示したものである。Enabling-Relieving, Individual-Collective の 2 軸によりライフスタイルの統合ビジョンを分類し、そのそれぞれにおいて想定される衣食住のシーンを満たす、製品サービスシステム (PSS: Product Service System) を DOS として提示した。例えば食の DOS には、① 知能の高いハイテク調理 (acceleration & intelligent high cooking), ② 近隣の食料センター (Neighborhood food center), ③ グリーンコンシューマ需要を通じた地域のグリーン・メニュー (Local green menu through green consumer demand), の 3 つの DOS が提案されている。この研究では、各シーン別に代替案が提示されており、消費者は自分の好みの生活を統合的に組み上げることができる点が特徴といえる。一方で、これらの DOS 間の関係性については明確な記述がなく、またあくまで定性的な記述にとどまり環境影響・経済面での定量化は行われていない。

未踏科学技術協会 (2007) と木村ら (2008) では、ライフスタイルは生活の異なる場面における選択に通じる共通の方向性として示されている。前者では、アンケートによるライフスタイルイメージを構築する 5 つの因子 (省エネ・リサイクル因子, 手間・ナチュラル因子, 不便我慢因子, 手作り因子, 都会集中因子) を抽出し、ネガティブなイメージを持つ不便我慢因子を除く 4 つの因子から 5 つのシナリオを構築した。シナリオは、エコプロダクト型, ネットワーク型, 倏約型, 伝統回帰型, サービス型とそれぞれ名づけられた。同様に木村ら (2008) でも、総合的なライフスタイルシナリオの提案が行われた。同研究では市販される雑誌や既往研究に描かれた将来像を、有識者のワークショップに基づき得られた 5 つのドライビングフォース (DF: Driving Force) (高齢化, 所得の二極化, 「個」の進展, 時間の利用, 情報化) により点数化し、その上で主成分分析およびクラスター分析により 4 つのクラスターに分類した。その結果として、ロハス型, 地域共同型, 個人自由型, 現状維持型の 4 つのライフスタイルが抽出された。さらに、未踏科学技術協会 (2007) および木村ら (2008) では、抽出されたライフスタイルシナリオのコンセプトに基づき消費行動や暮らし方の特性が付与され、経済活動・社会活動による影響がモデルにより定量的に評価された点も重要な特徴といえる。しかし、いずれの研究においても評価は、世帯、あるいは個人単位で行われており、社会全体の方向性として選択がなされた場合については、考慮されていなかった。また製品サービスシステムの在り様は分析の対象であったが、既存ストックの有効活用やどのようなストックを構築していくか、という観点から製品循環まで考慮して分析していない。

2.4.6 本研究のアプローチ

既に述べたように、機器の消費形態を中心としたライフスタイルに関わる既存研究はあるが、それらを途上国に適用したものはなく、また多くの研究が世帯単位・個人単位での定量分析を行っており、製品選択を通じた高効率なストック形成や既存ストックの利活用

といった観点から社会全体に及ぼす効果を定量化した研究は不十分といえる。そこで本研究では、中国における家電製品・自動車に対する消費者の行動形態の違いによる影響を分析する。

本研究では消費形態を「製品購入時の中古品の選択確率および新品を購入した場合の技術選択の嗜好性と、使用済み製品の廃棄時期の選択」と定義し、中国の将来の消費形態の違いが廃棄物発生量と GHGs 排出量に及ぼす影響を評価する。途上国に対してこうした将来のライフスタイルを想定した研究事例はないことから、本研究では先進国において実施された既往の文献調査に加え、中国でのアンケート調査による知見を合わせることで、中国における消費形態の同定を行う。その上で、シミュレーションモデルを構築し、各消費形態による環境影響を評価する。

2.5 要約

本章では、中国の急速な経済成長の下での環境制約の顕在化と、技術的解決策の有効性と限界について述べ、成長途上にある中国に実現可能な解決策を、既存の都市ストックを有効活用しながら問題解決を図る必要があることを示した。都市ストックへの視点として、本研究では4点を指摘した。1点目は都市ストックの階層性であり、複層からなる都市ストックの階層間の相互依存関係と、異なるマネジメント施策の必要性について述べた。2点目は、高効率技術の導入によるエネルギー利用効率の向上の観点である。特に下層のストックは寿命が長く、ストック効果をおよぼすことから計画的なマネジメントが必要といえた。3点目は、製品の廃棄段階を含むマテリアルフローの観点である。中国をはじめとした新興国・途上国における静脈インフラの整備状況を考慮した上で資源・エネルギー技術の普及を評価する枠組みが必要といえた。最後に4点目として、経済的な課題を考慮した。エネルギー・資源問題では多くの解決策が提示されているが、その多くは先進国からの技術移転を伴い、多くのリソースを必要とするものである。一方で、途上国では既存の設備の延命利用や、機器のリユースが積極的に行われており、そうしたソフト施策をいかに効果的に施策に組み込んでいくかが、今後の継続的な環境負荷軽減に重要といえた。

以上の4点を踏まえた上で、分析対象に石炭火力発電設備と家電製品・自動車を選択し、各設備・機器を取り巻く現状と課題を述べた。これに基づき本研究でとるべきアプローチを示し、評価の枠組みを構築した。

参考文献

- Attwood, T., Fung, V. & Clark, W. (2003) Market opportunities for coal gasification in China. *Journal of Cleaner Production*, Vol.11, pp.473-479.
- Aunan, K., Fang, J., Vennemo, H., Oye, K. & Seip, H. (2004) Co-benefits of climate policy - lessons learned from a study in Shanxi, China. *Energy Policy*, Vol.32, pp.567-581.
- Bailey, I. & Wilson, GA. (2009) Theorising transitional pathways in response to climate change: technocentrism, ecocentrism and the caron economy. *Environment & Planning A*, Vol.41, pp.2324-2341.
- Baker, J. & Schuler, N. (2004) Analyzing Urban Poverty: A summary of Methods and Approaches. World Bank Policy Research Working Paper 3399. The World Bank.
- Che, WW., Zheng, JY., Wang, SS., Zhong, LJ. & Lau, AI. (2011) Assessment of motor vehicle emission control policies using Model-3/CMAQ model for the Pearl River Delta region, China. *Atmospheric Environment*, Vol.45, pp.1740-1751.
- Chen, M. (2005) End-of-life vehicle recycling in China: Now and the future. *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, Vol.57, pp.20-26.
- Chen, W. & Xu, R. (2010) Clean coal technology development in China. *Energy Policy*, Vol.38, pp.2123-2130.
- CIAB (2008) Clean Coal Technology: Accelerating Commercial and Policy Drivers for Deployment. [Online]. Available: http://www.iea.org/Papers/2008/clean_coal_ciab_2008.pdf [Accessed Dec.3 2011].
- Cowan, R. & Hulten, S. (1996) Escaping lock-in: The case of the electric vehicle. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.53, pp.61-79.
- Deng, WJ., Louie, PKK., Liu, WK., Bi, XH., Fu, JM. & Wong, MH. (2006) Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in TSP and PM_{2.5} at an electronic waste recycling site in southeast China. *Atmospheric Environment*, Vol.40, pp.6945-6955.
- Du, JD., Han, WJ., Peng, YH., & Gu, CC. (2010) Potential for reducing GHG emissions and energy consumption from implementing the aluminum intensive vehicles fleet in China. *Energy*, Vol.35, pp.4671-4678.
- Fay, M. edt. (2005) DIRECTIONS IN DEVELOPMENT: The Urban Poor in Latin America. IBRD/the World Bank, Washington DC, US.
- Guo, Y., Huo, X., Li, Y., Wu, K., Liu, J., Huang, J., Zheng, G., Xiao, Q., Yang, H., Wang, Y., Chen, A. & Xu, X. (2010) Monitoring of lead, cadmium, chromium and nickel in placenta from an e-waste recycling town in China. *Science of the Total Environment*, Vol.408, pp.3113-3117.
- GWEC (2011) Global Wind Report: Annual market update 2010. Brussels.
- Hao, H., Wang, HW. & Ouyang, MG. (2011) Comparison of policies on vehicle ownership and use between Beijing and Shanghai and their impacts on fuel consumption by passenger vehicles. *Energy Policy*, Vol.39, pp.1016-1021.

- He, DQ., Meng, F., Wang, MQ. & He, KB. (2011) Impacts of Urban Transportation Mode Split on CO₂ Emissions in Jinan, China. *Energies*, Vol.4, pp.685-699.
- He, WZ., Li, GM., Ma, XF., Wang, H., Huang, JW., Xu, M. & Huang, CJ. (2006) WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China. *Journal of Hazardous Materials*, Vol.136, pp.502-512.
- Hu, XJ., Chang, SY., Li, JJ. & Qin, YN. (2010) Energy for sustainable road transportation in China: Challenges, initiatives and policy implications. *Energy*, Vol.35, pp.4289-4301.
- Huo, X., Peng, L., Xu, X., Zheng, L., Qiu, B., Qi, Z., Zhang, B., Han, D. & Piao, Z. (2007) Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. *Environmental Health Perspectives*, Vol.115, pp.1113-1117.
- IBRD (1992) *World Development Report 1992: Development and the Environment*. New York.
- IEA (2011) 2008 Energy Balance for China [Online]. Available: <http://www.iea.org/index.asp>. [Accessed Dec. 6 2011].
- JCCCA (2011). 日本の現状 [Online]. Available: http://www.jccca.org/trend_japan/state/ [Accessed Dec.3 2011].
- Karn, SK., Shikura, S & Harada, H. (2003) Living Environment and Health of Urban Poor, *Economic and Political Weekly*, Vol.38, No.34, pp.3575-3586.
- Kironde, JML. (2006) The Regulatory framework, unplanned development and urban poverty: Findings from Dar es Salaam, Tanzania. *Land Use Policy*, Vol.23, pp.460-472.
- Leung, A., Wei, Z., Ming, C. & Wong, H. (2006) Environmental contamination from electronic waste recycling at Guiyu, Southeast China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Vol.8, pp.21-33.
- Li, J., Guttikunda, S., Carmichael, G., Streets, D., Chang, Y. & Fung, V. (2004) Quantifying the human health benefits of curbing air pollution in Shanghai. *Journal of Environmental Management*, Vol.70, pp.49-62.
- Li, JH. & Yu, KL. (2011) A study on legislative and policy tools for promoting the circular economic model for waste management in China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Vol.13, pp.103-112.
- Li, Z. (2003) An econometric study on China's economy, energy and environment to the year 2030. *Energy Policy*, Vol.31, pp.1137-1150.
- Liu, H., He, K., & Barth, M. (2011) Traffic and emission simulation in China based on statistical methodology. *Atmospheric Environment*, Vol.45, pp.1154-1161.
- Liu, XB., Tanaka, M. & Matui, Y. (2006) Electrical and electronic waste management in China: progress and the barriers to overcome. *Waste Management & Research*, Vol.24, pp.92-101.
- Martinot, E. (2001) World bank energy projects in China: influences on environmental protection. *Energy Policy*, Vol.29, pp.581-594.

- Mol, P.J. (2001) Globalization and Environmental Reform: The Ecological Modernization of the Global Economy. *Ecological Economics*, Vol.67, No.1 pp.140-152.
- NBSC (2010) China Statistical Yearbook 2009. Beijing, China Statistics Press.
- NDRC (2007) China's National Climate Change Programme. [Online] available from: <http://www.ccchina.gov.cn/WebSite/CCChina/UpFile/File188.pdf>. [Accessed Dec. 6 2011].
- Nnorom, IC. & Osibanjo, O. (2008) Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor applications in the developing countries. *Resources Conservation and Recycling*, Vol.52, pp.843-858.
- Ockwell, DG., Haum, R., Mallett, A. & Watson, J. (2010) Intellectual property rights and low carbon technology transfer: Conflicting discourses of diffusion and development. *Global Environmental Change*, Vol.20, No.4, pp.729-738.
- Porte, MS., Widmer, R., Jain, A., Bader, HP., Scheidegger, R. & Kytzia, S. (2005) Key drivers of the e-waste recycling system: Assessing and modelling e-waste processing in the informal sector in Delhi. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol.25, pp.472-491.
- Rapid Intelligence (2011) Gini Index Statistics. NationMaster.com. [Online]. Available: http://www.nationmaster.com/graph/eco_gin_ind-economy-gini-index [Accessed Dec. 11 2011].
- Shafik, N. (1994) Economic development and environmental quality: an econometric analysis. *Oxford Economic Papers*, Vol.46, pp.1-28.
- Shi, X. (2011) China's attempts to minimize non-CO₂ emissions from coal: evidence of declining emission intensity. *Environment and Development Economics*, Vol.16, pp.573-590.
- Socolow, R., Hotinski, R., Greenblatt, J. & Pacala, S. (2004) Solving the Climate Problem: Technologies Available to Curb CO₂ emissions. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, Vol.46, No.10, pp.8-10.
- The Central People's Government of the People's Republic of China (2006) The 11th Five-Year Plan [Online]. Available: http://www.gov.cn/english/special/115y_index.htm [Accessed Dec. 2 2011].
- UN (1992) Rio Declaration on Environment and Development. The United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro.
- UNSD (2011) UNSD Statistical Databases : Bringing information to the World [Online]. Available: <http://unstats.un.org/unsd/databases.htm> [Accessed Dec. 6 2011].
- USGS (2011) Mineral Information [Online]. Available: <http://minerals.usgs.gov/minerals/> [Accessed Dec. 11 2011].
- Vogel, D. (2003) Review: Globalization and Environmental Reform: The Ecological Modernization of The global Eonocmy. *Political Science Quarterly*, Vol.117, No.4, pp.691-693.
- Wang, H. & Nakata, T. (2009) Analysis of the market penetration of clean coal technologies and its impacts in China's electricity sector. *Energy Policy*, Vol.37,

pp.338-351.

Wei, SU. (2010) Document on AWG-LCA14. Beijing. NDRC.

Widmer, R., Krapf, HO., Khatriwal, DS., Schnellmann, M. & Boni, H. (2005) Global perspectives on e-waste. Environmental Impact Assessment Review, Vol.25, pp.436-458.

Wilson, D., Kelston, AL. & Ahmed, S. (2010) Is this the 'BRICs Decade'? BRICs Monthly.

Wong, MH., Wu, SC., Deng, WJ., Yu, XZ., Luo, Q., Leung, AOW., Wong, CSC., Luksemburg, WJ. & Wong, AS. (2007) Export of toxic chemicals – A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling. Environmental Pollution, Vol.149, pp.131-140.

World Bank (n.d.) Data: GDP (current US\$) [Online]. Available: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD/countries?display=default> [Accessed Dec. 2 2011].

Yan, X. & R.J. Crookes (2010) Energy demand and emissions from road transportation vehicles in China. Progress in Energy and Combustion Science, Vol.36, pp.651-676.

Zhang, J., Fu, M., Geng, Y. & Tao, J. (2011) Energy saving and emission reduction: A project of coal-resource integration in Shanxi Province, China. Energy Policy, Vol.39, pp.3029-3032.

阿部新, 平岩幸弘, 張晶 & 朝妻裕 (2009) 中国黒竜江省の中古車流通と廃車処理に関する調査. 北海学園大学経済論集, Vol.57, No.1, pp.169-198.

木村文彦, 梅田靖, 高橋慎治, 田中信尋, 永田勝也, 藤本淳, 松橋隆二 & 三橋規弘 (2004) インバースマニユファクチャリングハンドブック. 東京, 丸善.

木村雄二 (2006) シナリオアプローチを用いた持続可能なライフスタイルのデザインと製品環境政策の評価. 修士論文, 大阪大学大学院.

木村雄二, 山本裕吾, 吉田登, 齊藤修 & 盛岡通 (2008) シナリオライティング手法を用いた持続可能なライフスタイルの作成と環境負荷の評価. 環境情報科学論文集, Vol.21, pp.261-266.

曲曉 (2004) 中国の電力需給はさらに逼迫—大停電再来の可能性も. NEDO 海外レポート. NEDO.

黒田昌裕 (2003) 国際エネルギー使用合理化基盤整備事業 (省エネルギー技術の普及のための調査・研究等) 平成14年度調査報告書. 東京.

近藤伸亮 & 梅田靖 (2006) 中国におけるリサイクルプロセスの現状と課題について. 日本機械学会生産システム部門講演会講演論文集, Vol.2006, pp.65-66.

神鋼リサーチ (2003) 中国のリサイクル関連の法制度及び産業の実態調査. 東京: METI.

中国汽车技術研究中心 (1992-2010) 中国汽车工业年鉴 1992-2010 各年版. 北京, 中国汽车工业年鉴編委会.

中国電力年鑑編輯委員会 (2006) 中国電力年鑑, 北京, 中国電力出版社.

電源開発 (1999) 中国既設石炭火力発電所効率向上調査. NEDO.

寧亜東 (2006) 中国の家庭部門エネルギー・環境問題に関する元凶分析と対策効果の予測—環境・エネルギー制約下での発展の選択—. 博士学位論文, 埼玉大学大学院経済科学研究科.

松岡俊二, 松本礼史 & 河内幾帆 (1998) 途上国の経済成長と環境問題: 環境クズネツ曲線は成立するか. 環境科学会誌, Vol.11, pp.349-362.

(社)未踏科学技術協会 (2004) 平成 15 年度版持続可能な消費に向けた指標開発とその活用に関する研究報告書.

矢野経済研究所 (2008) 中国版自動車アフターマーケット総覧 2008 年版 (第 3 版) .

山口容平, 齊藤修, 盛岡通 & 和田直樹 (2007) トップランナー方式に基づく技術移転による CO₂削減ポテンシャルの推計 (2) —民生部門—. エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, Vol.23, pp.271-276.

第3章 技術更新における意思決定支援モデル：石炭火力発電インフラの事例

3.1 緒言

第2章では、中国の温室効果ガス（GHGs）排出の世界に占める位置づけ、およびその中でも特に石炭エネルギーの重要性について述べた。石炭火力発電は、近年の石炭の高度利用技術（CCT）の発展により高効率な利用が可能となりつつあるが、一方で急速に増大する国内の電力需要に応えるためには効率の面で劣る既存発電設備の適切なマネジメントも重要な課題である。そこで本章では、革新的技術の普及と既存ストックの有効活用という視点から、既存の低効率な設備ストックの改修による高効率化や、新規発電設備建設時のCCT導入等の施策効果の検証を行う。

まず、3.2節において技術導入と既存設備ストックの利活用に関する代替案設計を行う。次に、3.3節で設備更新・技術導入や電力供給による環境負荷物質（CO₂, SO₂, NO_x）排出量及びコストの算定モデルを構築し、3.4節で代替案に基づく推計結果および考察を示す。最後に3.5節でこれらの要約を行う。

3.2 代替案シナリオの提示

3.2.1 置き換えの選択モデル

本項では比較の対象となる発電設備更新の代替案を提示する。本研究では、革新的技術の導入と既存ストックの利活用の視点から、設備更新時の2つの選択に着目した。一つは導入する技術の選択であり、もう一つは寿命に達した設備のマネジメントである。前者は今後新設される設備について考慮した選択肢であり、後者は各時点で存在するストックに関する選択肢である。ただし、既存の発電設備更新にあたってはこの2種の選択は、完全に独立なものではなく、相互に関連して選択される可能性がある点に留意する必要がある。なお、本研究では原則として技術選択は設備が寿命を迎え更新される際に検討されるものとし、既存設備の前倒しでの更新等は考えない。

3.2.2 新設発電設備の技術選択

中国の火力発電分野における技術力は、少なくとも現時点において先進国の企業と比較して高いとは言えない。黒田（2003）によると2000年時点の石炭火力発電の熱効率は33%であり、当時の日本の平均熱効率が40%であったことを考えると、先進諸国からの技術移

転による CO₂ 排出削減ポテンシャル、大気汚染の低減効果、さらにはエネルギー需給の逼迫の緩和への貢献は少なくないと考えられる。一方で、技術移転による外資の導入は、特許技術の利用による財政負担の増大や、国内産業や国内の技術開発力が十分に育成されない可能性、あるいは導入されても国内の実情やニーズに適合せずに効果的に利用がなされない可能性等が懸念される (Ockwell, 2010)。そのため、先進国からの技術導入には多面的な評価が必要であり、そのためには複数の代替案を環境面・経済面から定量的に評価することが必要といえる。

以上を踏まえ、まず現在先進国において利用可能な技術および将来的に実用化される可能性が高く技術移転の候補となる技術を、既存の文献・技術ロードマップ等に基づきレビューした。JCOAL (2005) より主要な石炭燃焼技術を抽出し、各種の技術ロードマップ等を中心とした文献を調査し、各文献中の技術の記載状況を表 3-1 にまとめた。また、これらの技術の予測される登場時期と想定される発電効率を図 3-1 に整理した。

表 3-1 技術ロードマップでの各技術の記載状況

文献	現在利用可能な技術						将来利用可能となる技術				
	USC	CFBC	ICFBC	PICFBC	CPC	PFBC	A-PFBC	HYCOL	IGCC	IGFC	化学再生 IGFC
NEDO (2005)	✓								✓	✓	✓
Yamaji (2003)									✓		
EPRI (2003)						✓			✓		
Takahashi (2003)	✓	✓				✓			✓		
Chen (2005)	✓	✓			✓	✓			✓		
Ma et al. (2002)	✓					✓			✓		
Dones et al. (2004)	✓				✓				✓		
原田 (2003)	✓	✓	✓	✓		✓					
黒田 (2003)	✓	✓				✓			✓		

USC: 超臨界微粉炭燃焼発電, CFBC: 循環型常圧流動床燃焼複合発電, ICFBC: 常圧内部循環型流動床燃焼複合発電, PICFBC: 加圧内部循環流動床燃焼複合発電, CPC: 石炭部分燃焼発電, PFBC: 加圧流動床燃焼複合発電, A-PFBC: 高度加圧流動床燃焼複合発電, HYCOL: 噴流層石炭ガス化技術, IGCC: 石炭ガス化複合発電, IGFC: 石炭ガス化燃料電池複合技術

候補とされた技術の記載数は技術の実現性・実用性の高さを示すと考えられる。現在利用可能な技術のうち掲載数の高いものは超臨界圧微粉炭燃焼技術 (USC: Ultra Super Critical) と加圧流動床燃焼技術 (PFBC: Pressurized Fluidized Bed Combined Cycle) であったが、効率の面で PFBC が上回り、PFBC 技術には超臨界圧による微粉炭燃焼技術がシステムとして含まれることから、現時点での技術移転候補としては PFBC が適切と考えられる。将来技術としては、記載数が最も多いのは石炭ガス化複合発電 (IGCC) であった。

IGCC の商用化の時期は技術ロードマップにより幅があるが、いずれの文献でもおよそ 2020~2030 年の間と予測されていた。発電の熱効率の観点からも、それまでの技術と比較して 10%以上の向上が見込まれ、将来技術として技術移転を検討するに値する技術といえる。以上より、本研究では先進国で利用可能な技術のうち、技術移転の対象として PFBC と IGCC の 2 種類の技術を設定した。

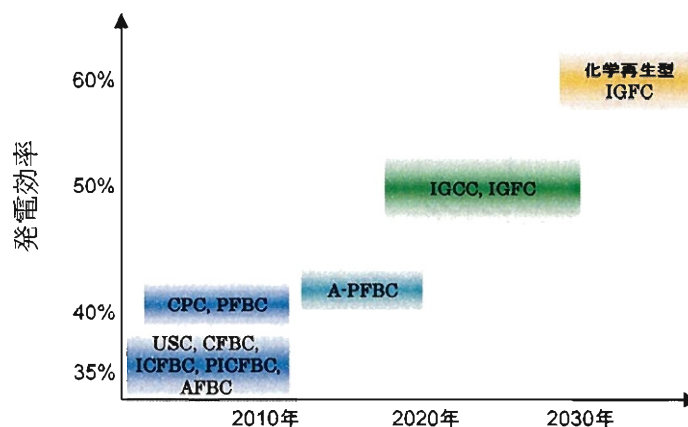


図 3-1 主要技術の発電効率と実用化時期

以下に文献（火力原子力発電技術協会関西支部, 2003; JCOAL, n.d.）を参考に PFBC および IGCC の概略を示す。詳細については JCOAL (n.d.)を参照されたい。

■ 加圧流動床燃焼複合発電 (PFBC)

石炭を加圧流動床ボイラで燃焼させ、排ガスにてガスタービン発電機で発電、またこのボイラで発生した蒸気にて蒸気タービン発電機で発電する方式。複合発電により高効率な発電（発電端効率43%）が可能であり、また加圧によるボイラのコンパクト化や脱硫設備が不要なことによるプラント設置スペースの低減等により都市型立地に適した発電技術である。図 3-2にPFBCのプロセスフローの例を示す。

■ 石炭ガス化複合発電 (IGCC)

石炭をガス化炉でガス化させガスタービンで発電、またガス化炉で発生した蒸気にて蒸気タービン発電機で発電する方式。ガスタービン燃焼温度が高いため加圧流動床複合発電よりも熱効率が高い。発電効率の向上に加え、利用可能な炭種の拡大や石炭灰の有効活用が可能な点等からも有用な技術として期待されている。図 3-3 に IGCC のプロセスフローの例を示す。

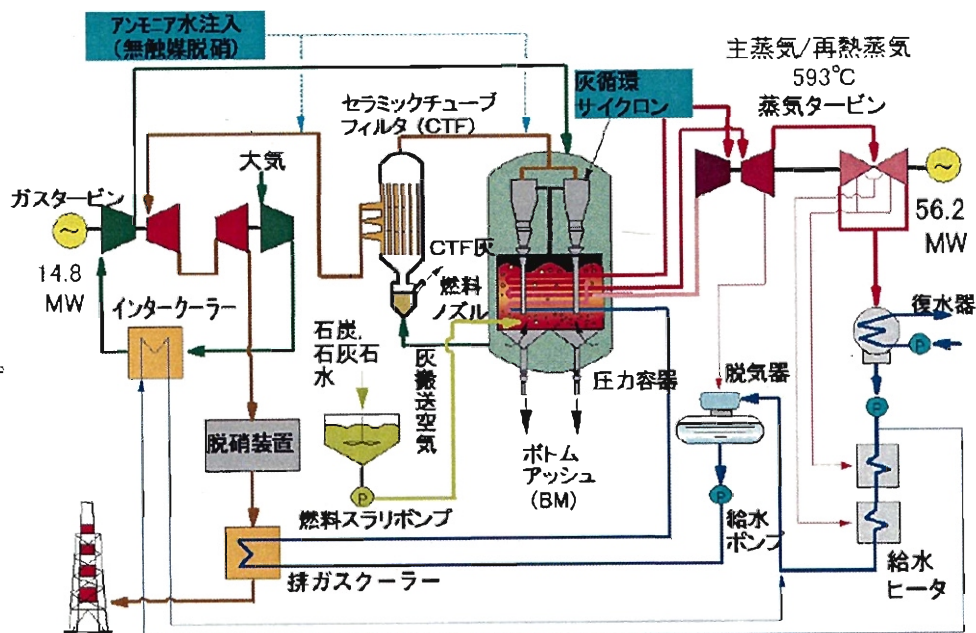


図 3-2 PFBC のプロセスフロー⁴

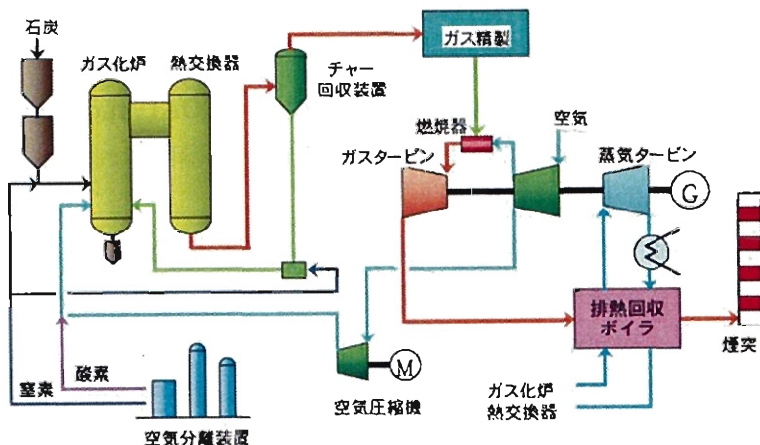


図 3-3 IGCC のプロセスフロー⁵

次に、技術移転を行わなかった際に中国で利用可能な現地技術について検討した。黒田（2003）によると 2000 年時点で中国で運転されている発電設備の最高熱効率は 37.5% である。また Ma et al. (2002) においても、中国において利用可能な現在技術には亜臨界圧ボイラでの微粉炭燃焼発電技術（熱効率 37%）を想定されており、亜臨界圧発電技術が現在利用可能な現地技術であると考えられる（以下この技術を China とする）。一方で、同

⁴ JCOAL (n.d.)より引用。

⁵ 同上。

様に Ma et al., (2002) は将来技術としては超臨界圧ボイラでの微粉炭燃焼発電技術を想定し、熱効率は 40%程度と考えた（以下この技術を Ad-China とする）。

以上の技術調査を踏まえ、本研究では以下のように建設される発電設備への代替案シナリオ（以下技術移転シナリオとする）を構築した。

表 3-2 設備建設時の導入技術の代替案

導入技術のケース設定	導入技術（発電の熱効率）	
	2005～	2020～
■ 技術移転を行わないケース (Base-A)	China (37%)	Ad-China (40%)
■ 設備建設に合わせて随時先進国からの技術導入を行うケース (TT-ASAP: Transferring Technology As Soon As Possible)	PFBC (42%)	IGCC (50%)
■ 将来技術の実用化に合わせて技術導入を行うケース (TT-Timely: Transferring Technology Timely)	China (37%)	IGCC (50%)

なお、図 2-4 に示したように中国では現在も小規模な発電設備の建設が続いており、今後建設される発電設備に対して常に移転された技術や国内最高効率の設備が適用されるとは考えにくい、本研究では単純化のために 同時期に建設される設備については一律に技術の選択がなされるものと仮定した。

3.2.3 既存発電設備の更新時における補修・改修の選択

設備が更新時期を迎えた際、設備管理者には複数の選択肢があるが、それらは概ね補修による延命化、改修・高効率化した上での延命化、一旦廃炉にした後新規設備を建設、の 3 種に分けられると考えられる。筆者は、延命化によるメリットとして、主にコスト面での優位性（財政負担の平準化も含む）、将来技術の適用可能性の 2 点を考慮した。

まず、新規建設には初期投資として多大な費用がかかり、急増する需要に対し新設設備投資が多く必要とされている現状では改修による延命化は現実的な案といえる。この際改修・高効率化を行うかどうかはコストとの比較となり、検討の余地がある。実際に既存の設備への改修による高効率化の事例はそれほど多くないが、電源開発（1999）は改修による高効率化施策を、その目的や改善の種類により 3 つに分類している。すなわち、劣化機器の性能回復による熱効率改善、運用変更による熱効率改善、および設備対策による熱効率の改善である。各分類において提案された具体的対策を表 3-3 に示す。

また、表 3-4 にこれらの技術を用いて電源開発（1999）で行われた既存発電設備への改修による費用と熱効率向上の結果を示す。同事例は 270～300MW の既存発電設備を対象に行われたもので、本研究で改修の対象となる発電設備では比較的規模の大きい施設といえる。

表 3-3 目的別改修技術の例

改修目的	具体的手段
劣化機器の性能回復による熱効率改善	空気予熱器漏洩空気量の低減, 空気予熱器差圧の低減, タービンラビリンスシールの間隔調整及び取り替え, タービンノズルの復旧, ボイラ化学洗浄, 復水器細管取り替え
運用変更による熱効率改善	スートブロワの適正運転, ボイラ排ガスの O ₂ 低減, 煙突排ガス温度の低減, 未燃分の低減, 缶水ブロー量の低減, 再燃スプレー量の低減, 復水器真空度の適正管理, 補機動力の削減, 蒸気温度特性改善, ボイラ燃焼空気比の適正化, SH スプレー低減, 復水器細管洗浄, ドレンの熱回収, SAH の適正運用, ボイラ設計適正炭使用
設備対策による熱効率改善	空気予熱器漏洩空気量低減対策, 空気予熱器への高効率及び耐食性エレメントの採用, 高効率タービン翼の採用, タービン長寿命ノズルの採用, 補機動力低減

電源開発 (1999) に基づき筆者作成

表 3-4 改修による費用と効率改善

発電所	ユニット		ボイラ効率 (%)	タービン効率 (%)	発電熱効率 (%)	送電端熱効率 (%)	効率向上 (%)	費用 (Million US\$)
山東省 鄒県発電所	1号 300MW	改修前	89.27	40.95	36.34	33.68		
		改修後	93.52	43.32	40.27	37.33	3.64	
	2号 300MW	改修前	89.27	40.64	36.06	33.42		
		改修後	92.52	43.02	39.99	37.07	3.64	
	3号 300MW	改修前	90.01	41.01	36.69	34.01		
		改修後	93.52	43.39	40.34	37.39	3.38	
	4号 300MW	改修前	90.56	41.03	36.93	34.23		
		改修後	93.52	43.41	40.36	37.41	3.18	
	平均	改修前	89.78	40.91	36.51	33.84		
		改修後	93.52	43.29	40.24	37.30	3.46	47.43
安徽省 洛河発電所	1号 300MW	改修前	88.61	41.39	36.45	33.79		
		改修後	92.91	43.70	40.36	37.41	3.62	
	2号 300MW	改修前	88.14	41.53	36.38	33.72		
		改修後	93.33	43.86	40.68	37.71	3.99	
	平均	改修前	88.38	41.46	36.42	33.76		
		改修後	93.12	43.78	40.52	37.56	3.80	55.46
河南省 姚孟発電所	1号 270MW	改修前	90.02	39.69	35.51	32.91		
		改修後	93.27	41.85	38.80	35.96	3.05	
	2号 300MW	改修前	89.47	36.00	35.00	33.37		
		改修後	92.97	40.36	40.36	37.41	4.04	
	平均	改修前	88.75	35.75	35.75	33.14		
		改修後	93.12	39.56	39.56	36.67	3.52	56.84
平均							3.57	51.73

電源開発 (1999) より引用

これらの事例では, 改修による発電効率の向上は送電端効率で 3.05~4.04% (平均 3.57%) となり, また改修費用は 47.4~56.9 million US\$ / (300 MW) (平均値 51.7 million US\$ / (300 MW)⁶) であった。

次に, 将来技術の適用可能性は, 石炭火力発電の技術開発はまだ途上であり, NCCP (NDRC, 2007) においても今後高効率化技術が登場することが既に予測されている状況下で, 新技術の登場まで延命化を図りその後高効率な新技術を導入することはライフサイクル

⁶ 河南省 1 号機のみ 270 MW であったため, 費用を 300 MW に換算した上で平均を求めた。

ルでの便益をもたらす可能性がある。しかし、こうした議論は定性的には可能であるが、既存研究において定量的に計画的設備更新による効果を議論したものはなく、データに基づく評価を行った上で意思決定を下す必要があるといえる。

以上に基づき、本研究で定めた既存発電設備更新時の補修・改修に関する代替案シナリオ（以下設備更新シナリオとする）を表 3-5 に示す。

表 3-5 既存発電設備更新時の補修・改修に関する代替案シナリオ

導入技術のケース設定
■ 設備の補修を行い現状維持で延命化するケース (Base-B) ■ 寿命とともに順次更新していくケース (RPL: Replace) ■ 改修・高効率化を行い延命化するケース (RNV: Renovate scenario)

なお、Base-B、RNV のいずれのケースにおいても将来技術（すなわち IGCC もしくは Ad-China）が登場するまでの延命化を基本とし、それ以降は延命を行わない、と仮定した。

以上が本研究で設定した代替案シナリオである。なお、技術移転シナリオと設備更新シナリオは必ずしも独立的に選択されるものではないが、本研究ではそれぞれ独立した選択肢として評価し、3×3 の計 9 通りのシナリオ解析を行う。

3.3 評価モデルの構築

3.3.1 モデルの概要

本研究では、発電所の建設・改修に関わる技術選択において、複数の代替案の環境・経済的側面の影響を評価するために、モデルシミュレーションを行った。モデルの全体構成としては、人口・経済成長に基づき電力需要を推計し、それをもとに発電設備容量を改修・補修および更新・新設し、その過程で排出される環境負荷物質（CO₂, SO₂, NO_x）排出量および費用を推計する。電力需要は設備容量の増強によりすべて供給されると仮定し、設備更新と維持管理、および電力供給による燃料消費を推計の対象とした。図 3-4 にモデルの概要を示す。

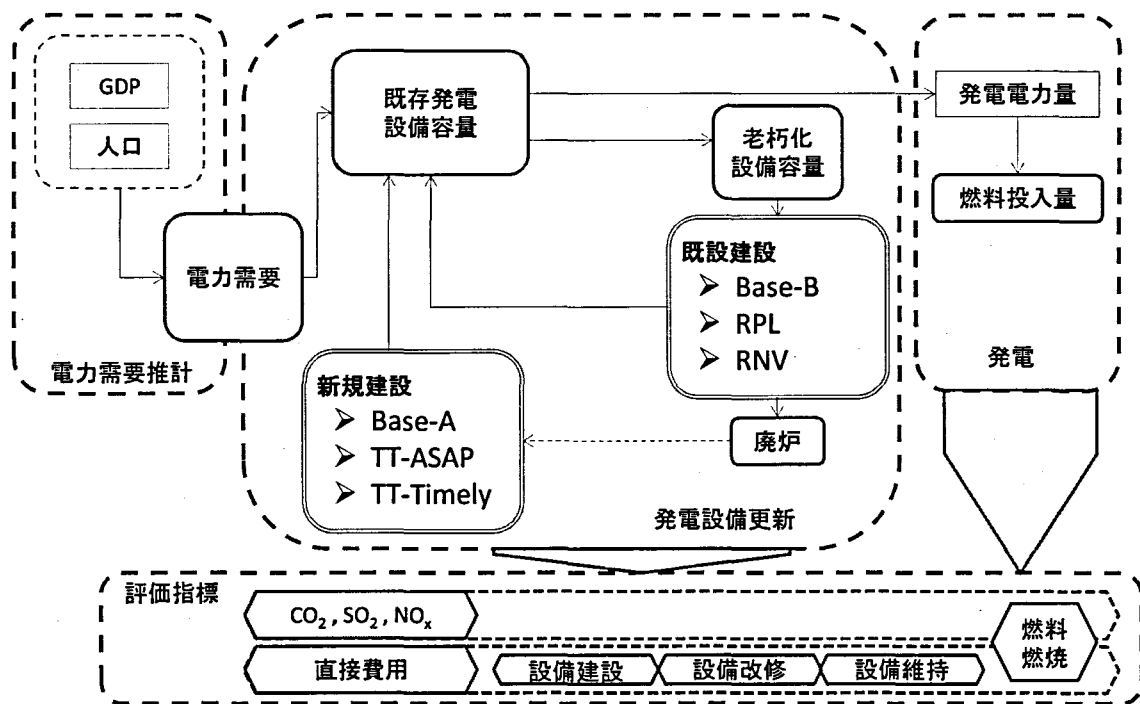


図 3-4 モデルの概要

評価の地域バウンダリを中国全土，時間バウンダリは施設の置き換えによる影響が十分に現れる程度の期間を考慮し 2005~2050 年とし，2005~2010 年のみ 6 年間を 1 単位，その後は 10 年を 1 単位としてシミュレーションを行った。評価指標は，費用と環境負荷排出量として CO₂, SO₂, NO_x の各物質排出量を用いた。ここで CO₂ のみでなく SO₂, NO_x も対象物質として取り上げたのは、中国における石炭燃焼による大気汚染が深刻である点，また中国国内での排出が越境汚染としてわが国の大気汚染にも大きく寄与しているとされている点による。

なお，評価対象に含まれない項目として設備建設時の環境負荷排出が挙げられる。本研究では，発電設備における環境負荷の排出は運転時の燃料燃焼が最も大きなものであり設備建設時の排出は相対的に小さく無視できると考えたため分析の対象外とした。また，大気汚染に伴う外部費用も費用項には含まなかった。設備建設時の排出とは異なり間接的に発生する費用であるため，その推計に当たっての不確実性も大きく，研究の領域が広範囲に及ぶと考えたため除外した。

3.3.2 電力需要の推計

(1) 総電力需要の推計

本節では，図 3-4 における電力需要の将来推計の手法を述べる。電力需要の推計はこれまで様々な試みがなされてきた（例えば，Hirschhausen & Andres, 2000 ; Baudri et al.,

2002 等)。電力需要の推計モデルのうち広く利用されているものに、トップダウン型計量経済モデリングとボトムアップ型コスト最適化モデル、さらに両者を組み合わせた統合型モデルがある。トップダウン型のモデルとは、GDP や人口等のマクロ指標に基づき需要推計を行う手法を指す。中国においてトップダウン型での電力需要推計を行った事例には、Hirschhausen & Andres (2000) があり、経済成長と資源価格、技術の向上を見込んだ将来予測を行っている。マクロなデータから電力需要を推計するため、詳細な社会の変化や技術革新などの反映は難しいが、少数の変数に基づき判断するため詳細な事前予測が困難な場合や定性的な予測のみ利用可能な場合においても適用できる点が利点といえる。一方で、ボトムアップ型のモデルとは、産業セクターや地域等の区分別に詳細な予測を行い、各区分の予測値を積み上げることで全体の電力需要を推計する手法である。ボトムアップ型の事例としては Yang & Yu (2004) や EPRI (2003) 等があり、産業セクター別の需要推計を積み上げて予測している。セクター毎に予測することで、技術の革新や産業構造の変化等を正確に反映することができる一方で、こうした予測を正確に行うためには十分なデータを収集する必要がある。また、長期にわたる予測においては特に不確実性の幅が大きく予測の精度が著しく落ちる可能性があるといえ、Yang & Yu (2004) では現状に基づくモデル構築に留まり将来予測までは行われていない。統合型はこの両者を組み合わせたモデルであり、黒田 (2003) がその例として挙げられる。ボトムアップ型同様に詳細なデータが必要となるが、マクロな傾向を反映させつつ電力需要セクター別に最適化が行われより現実に即した分析が可能となるといえる。

本研究の推計期間は 2005～2050 年であり、長期予測である点からはトップダウン型のモデルが適しているといえる。一方で、第 4・5 章では需要側に関する議論をしており、ボトムアップのモデルを用いることで、需要側と供給側の連動した議論が可能となる。しかし、第 4・5 章で取り上げる需要セクターは民生と運輸部門の一部のみであり、産業部門におけるセクター別の詳細な将来予測を行うことは難しいことから、ここでは比較的簡易に利用できるよう電力需要を産業部門と民生部門に分けた上で、それぞれに長期予測に適したマクロ指標に基づく推計モデルを適用する。その上でモデルの妥当性を検証するため既存文献と比較し、また電力需要の変動に対して感度解析を行うことで設備更新側のモデルについても定性的に考察を行うこととした。

Yang & Yu (2004) で用いられた推計式を式 3-1 に示す。

$$\begin{aligned}
 ED_t &= \sum_{i=1}^n ED_{it} + ED_{Ht} \\
 &= \sum_{i=1}^n \frac{ED_{it}}{VA_{it}} \cdot \frac{VA_{it}}{GDP_t} \cdot GDP_t + \frac{ED_{Ht}}{NH_t} \cdot \frac{NH_t}{POP_t} \cdot POP_t \\
 &= \sum_{i=1}^n EI_{it} \cdot S_{it} \cdot GDP_t + EI_{Ht} \cdot INH_t \cdot POP_t
 \end{aligned}$$

式 3-1

ここで、 ED_t は期間 t における電力需要、 ED_{it} 、 ED_{Ht} はそれぞれ期間 t における家庭部門以外の産業部門 i と、家庭部門の電力需要を示す。 VA_{it} 、 GDP_t はそれぞれ産業部門 i の期間 t における付加価値と、期間 t における中国の総生産額を示し、 EL_{it} 、 S_{it} はそれぞれの期間 t における産業部門 i の電力強度(単位生産あたりの電力消費量)と GDP に占める比率を表す。 NH_t 、 POP_t はそれぞれ期間 t における世帯数と人口を示し、 EIH_t 、 INH_t はそれぞれ期間 t における世帯当たりの民生部門電力消費、世帯人数の逆数を表す。本研究では産業部門の分類は考えなことから、 $n = 1$ ($\therefore S_{it} = 1$) とする。また、電力消費についてはより幅広くデータが利用可能な一人当たりの電力消費を元に推計を行うこととし、 EIH_t と INH_t の積を一人当たり民生部門電力消費(INP_t)として定義した。

産業部門の電力強度 EL_{it} が変化する要因としては、個々の産業部門における技術革新によるエネルギー生産性の向上や、産業構造の高度化による第三次産業の比率の増大等があり、これらは一般に経済の成長とともに進展するとされている (Chen et al., 2011)。そこで本研究では、産業部門の電力強度は一人当たり GDP と相関があると仮定した。図 3-5 に 1996~2009 年の中国および 2009 年の IEA 構成国における一人当たり GDP と GDP 100 US\$ あたりの民生部門を除く電力消費量の関係を示した。

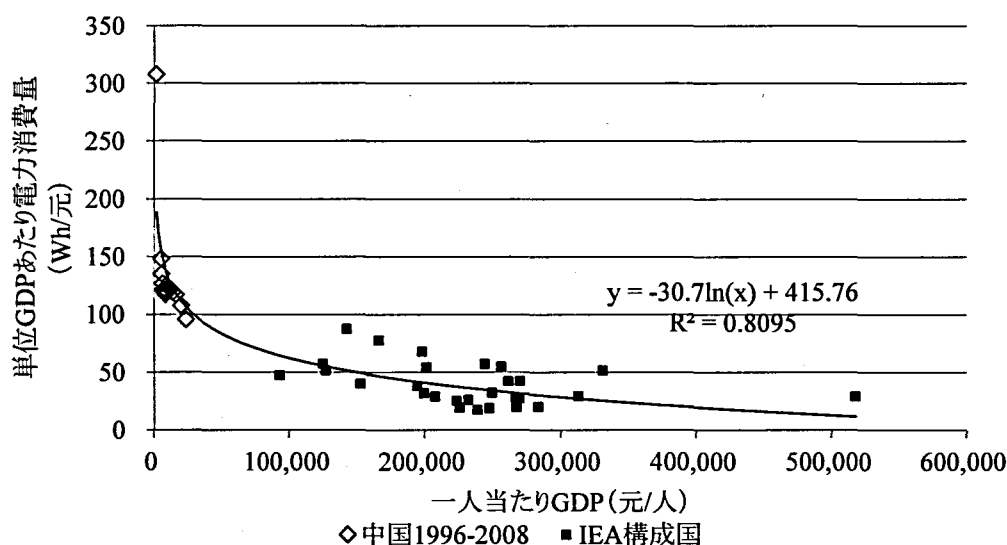


図 3-5 一人当たり GDP と産業の電力消費の関係⁷

この結果、 EL_{it} は対数曲線により近似できると考えられ、回帰分析により式 3-2 を得た ($R^2 = 0.81$)。

⁷中国のデータは NBSC (1996~2009), IEA 構成国は IEA Statistics & Balances (2012) を元に筆者作成。2009 年の平均為替レートである 1 USD=6.8247 CHY を使用。

$$El_{it} = -30.7 \ln \left(\frac{GDP_t}{POP_t} \right) + 415.76$$

式 3-2

次に、民生部門の一人当たりの電力消費 EIP_t は購買力からの影響を強く受けると考えられる。可処分所得は一人当たり GDP と強い相関があるが、一方で異なる地域・国を比較する場合為替レートでの通貨価値に加え物価による影響を考慮する必要がある。そこで、図 3-6 に 1996~2008 年の中国と 2009 年の IEA 構成国の一人当たり GDP を購買力平価 (PPP: Purchasing Power Parity) ベースに換算した値と、一人当たりの民生部門年間電力消費の関係を示す。

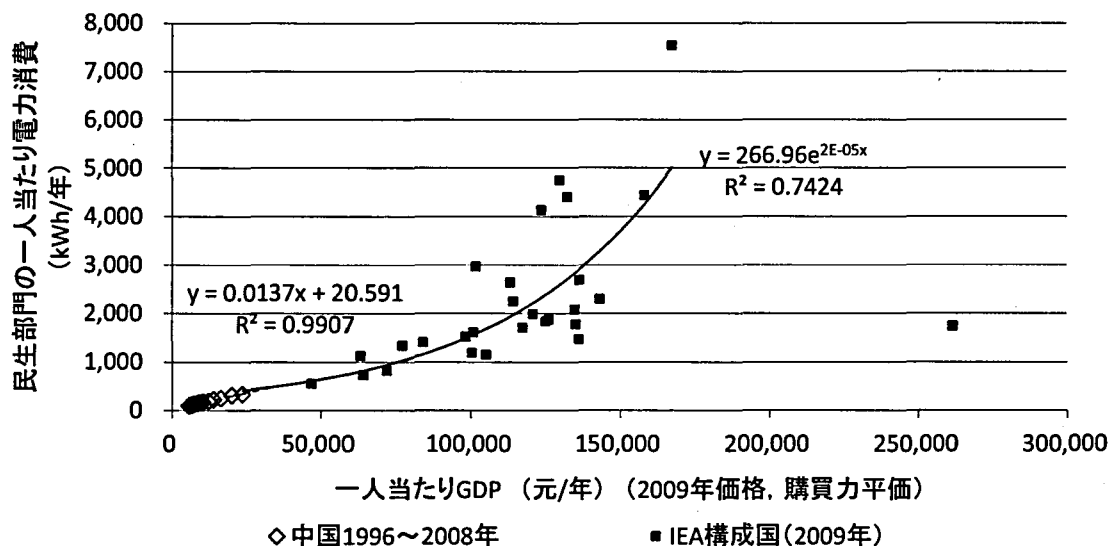


図 3-6 一人当たり GDP (購買力平価) と民生部門の電力消費の関係⁸

電力消費は、34,000 元/年よりも一人当たり GDP が低い領域では近年の中国の伸びを反映しほぼ直線で近似できた (図中左側の式, $R^2=0.99$)。一方で、IEA 構成国の購買力と電力消費の関係をみるとルクセンブルグ (図中右下に外れたプロット) を除き概ね指数的に電力消費が増加していることがわかる (図中右上の式, $R^2=0.74$)。こうした異なる曲線が共存する関係性は、次のように説明できると考えられる。所得の低い段階でやや傾きの大きい曲線が得られるのは所得の低い段階では所得の向上に伴い生活のベースとなる冷蔵庫や洗濯機、エアコン等の機器の新規購入が増加し電力消費が増加するが、所得が一定水準

⁸ 中国のデータは NBSC (1996~2009), IEA 構成国は IEA Statistics & Balances (2012) を元に筆者作成。購買力平価 (ppp) ベースでの一人あたり GDP を 2000~2009 年のアメリカドル (USD) のインフレ率に基づき 2009 年価値に換算, さらに ICP (2005) に基づき ppp ベースでの人民元 (CHY) と USD の変換レートを 1 USD=3.45 CHY として算出。

に達すると人々の消費先が生活のベースに関わる電気・電子機器の購入から個人の趣味や嗜好に関わる製品、あるいはこれまで使っていた機器の高効率化等へと振り向けられることになる。そのため、初期の急激な電力増加と比較し、一旦は電力増加が緩和されるが、その後さらに所得が向上すると大都市型のライフスタイルや贅沢品の購入等により電力依存が加速度的に上昇することとなる。以上より本研究では、一人あたりの電力消費量 EIH_t には式 3-3 を適用する。

$$\begin{aligned}
 EIH_t &= 0.0137 \left(\frac{GDP_t}{POP_t} \right) + 20.519 & \dots \left(\frac{GDP_t}{POP_t} \right) \leq 34000 \left[\frac{\text{CHY}}{\text{year}} \right] \\
 &= 267 \exp \left(1.75 \times 10^{-5} \times \left(\frac{GDP_t}{POP_t} \right) \right) & \dots \left(\frac{GDP_t}{POP_t} \right) > 34000 \left[\frac{\text{CHY}}{\text{year}} \right]
 \end{aligned}$$

式 3-3

式 3-3 の 1 段目は 1996~2008 年の中国の実績値、また 2 段目は 2008 年の中国の実績値及び IEA 構成国（ルクセンブルグを除く）の値を元に、それぞれ回帰分析から得られた式である。

以上の式を用い、中国の将来の人口・GDP をそれぞれ UNPD (2010), Goldman Sachs (2003) の将来推計に基づき中国の将来の発電電力量を推計した。

(2) 石炭分担率の推計

次に、発電電力量のうち石炭により賄われる電力需要の比率を考える。図 3-7 に 2009 年の中国の発電電源構成を示す。石炭火力発電は全体の約 79%を占め、次いで水力 17%、原子力 2%と続く。風力や太陽光等の再生可能エネルギーは近年中国で急速に普及が進んでいるが、全発電電力量に占める割合は 1%未満にとどまる。石炭は今後も安価で安定的なエネルギー源として中国において重要な役割を果たすと考えられるが、この比率が今後も維持されるかどうかについては定かではない。

第 12 次 5 ヶ年計画において、中国の今後の電源構成に関する具体的な数値目標としては、非化石燃料由来のエネルギーの増加（2009 年 8.3%から 2015 年 11%、2020 年 15%）、原子力発電所数の増強（現状 11 基から 2015 年 25 基）、水力発電容量を増強（2015 年までに 50%）、国内の天然ガスの消費を増加（2015 年までに現状の倍）等が示されている。

さらに個別の政策等を参照すると、中国の再生可能エネルギー中長期発展計画（NDRC, 2007）では表 3-6 に示すような数値目標が掲げられ、2010~2020 年の期間に再生可能エネルギー全体で 160 GW 程度の発電容量の増強が目指された。

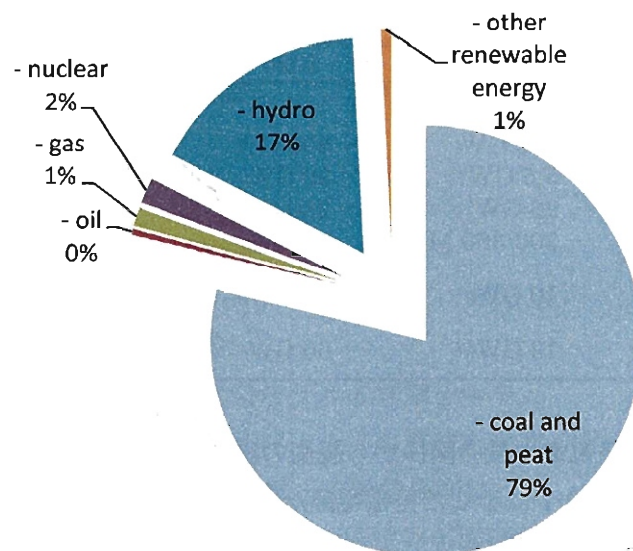


図 3-7 中国 2009 年の電源構成

	2010 年目標	2020 年目標
水力発電	190 GW	300 GW
バイオマス発電	5.5 GW	30 GW
風力発電	5 GW	30 GW
太陽光発電	300 MW	1.8 GW

表 3-6 中国の再生可能エネルギー中長期発展計画に示された数値目標

ただし、NDRC の目標値はその後の想定以上の再生可能エネルギーが急速に導入されたことをうけて見直された。太陽光発電では 2015 年までに 5 GW、2020 年までに 20 GW の導入が目標とされ (IEA, 2010)、また風力発電では 2009 年の段階で国内の設備容量が既に約 26 GW と 2020 年目標値に近い値まで増加したため、2020 年に 230 GW まで増強が可能であるといわれている (GWEC, 2010)。

また、中国における今後の重要な発電電源である原子力に関し、世界原子力協会 (WNA: World Nuclear Association) によると、現在 14 基の原子力発電設備が稼働しているのに対し、27 基が現在建設中であり 27 基が計画段階にあるという (WNA, n.d.)。中国における原子力発電の設備容量は 2020 年 60 GWe、2030 年 200 GWe、2050 年 400 GWe に増加すると予測されている (WNA, 2012)。

最後に、天然ガス発電設備の今後の成長を考える。天然ガス発電は大気汚染物質の環境中への排出の少なさから中国にとっても有力な発電電源と考えられているが、一方で供給量の少なさがネックとなり発電量が増加しない状況が指摘されている (倪, 2007)。倪 (2007) の推計によると、2020 年の中国の天然ガス発電設備容量は 60 GW であり、総発電量に占める割合は 5%に増加する。

以上を示した複数の見通しをまとめると、表 3-7 のようになる。

表 3-7 中国の発電電源増強の見通し

	現状 (2009 年)	2020 年	2030 年	2050 年
再生可能エネルギー				
- 水力発電	- 190 GW	- 300 GW		
- バイオマス発電	- 5.5 GW	- 30 GW	—	—
- 風力発電	- 26 GW	- 230 GW		
- 太陽光発電	- 300-360 MW ⁹	- 20 GW		
原子力発電	- 10 GWe	- 60 GWe	- 200 GWe	- 400 GWe
天然ガス発電	- 13 GW ¹⁰	- 60 GW	—	—

2009 年の設備容量と発電電力量の関係から設備の稼働率を求め、2020 年の設備容量下での発電を想定した場合、表 3-7 に示した発電電源からの 2020 年における発電電力量はおよそ 1,900 TWh であった。これは図 3-11 に示した 2020 年の電力需要の凡そ 30% に相当し、11 年間で総発電量に占める石炭の比率が少なくとも 70% 以下に低下することを示している。

2030 年以降の長期予測については中国政府からの普及の目標値等は発表されていない。したがって、本研究では以上の 2020 年までの予測値に基づき 2050 年までの総発電量に占める石炭火力発電の比率を外挿する。すなわち 2009~2020 年における石炭火力発電の比率の減少幅から期間中の年間減少率 δ を算出し、その後も年間減少率 δ を維持し続けると仮定した。これは t 年における石炭火力発電の比率を $r_{\text{coal},t}$ とすると式 3-4 のように表され、 $t = 2020$ のとき $\delta = 1.1 \times 10^{-2}$ であった。2009~2050 年の石炭火力発電の総発電電力量に占める比率を図 3-8 に示す。

$$r_{\text{coal},t} = r_{\text{coal},2009} \times (1 - \delta)^{t-2009}$$

式 3-4

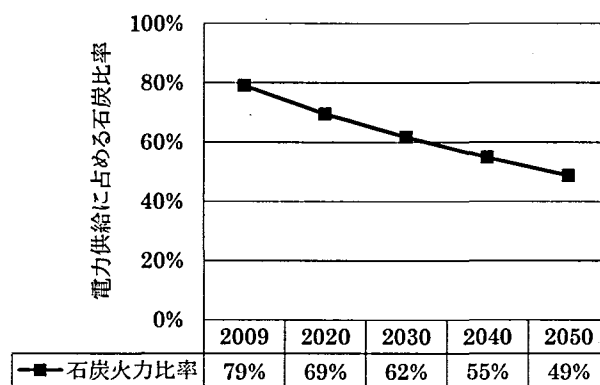


図 3-8 石炭火力発電が総発電量に占める比率の推移

⁹ IEA (2010) より引用。

¹⁰ 倪 (2007) による推計値。

以上より，式 3-5 を用いて t 年における石炭火力発電への電力需要 $ED_{Coal,t}$ を推計した。

$$ED_{Coal,t} = ED_t \cdot r_{coal,t}$$

式 3-5

3.3.3 発電設備更新のモデル化

(1) 既存の発電設備ストックの整理

本項では，発電設備の更新に関わるモデルの詳細を示す。

まず，将来の設備更新の前に既存のストックの整理を行う。図 3-9 に既存の石炭火力発電設備の建設容量を，建設された年代別・施設規模別に示す。ユニット当たりの発電容量が 100 MW 以上の発電設備に関しては，中国電力年鑑編輯委員会（2006）および電源開発（1999）のデータを参考にした。特に 1998 年以前に建設された石炭火力発電設備に関しては電源開発（1999）から 1998 年までの設備容量を参照し，中国電力年鑑編輯委員会（2006）から得られた 2004 年末時点での設備容量に基づき 1998～2004 年までの間に建設された設備容量を推計した。さらに同期間中平均的に建設が進んだと仮定し，この設備容量を 2000 年以降とそれより前の区間に配分した。

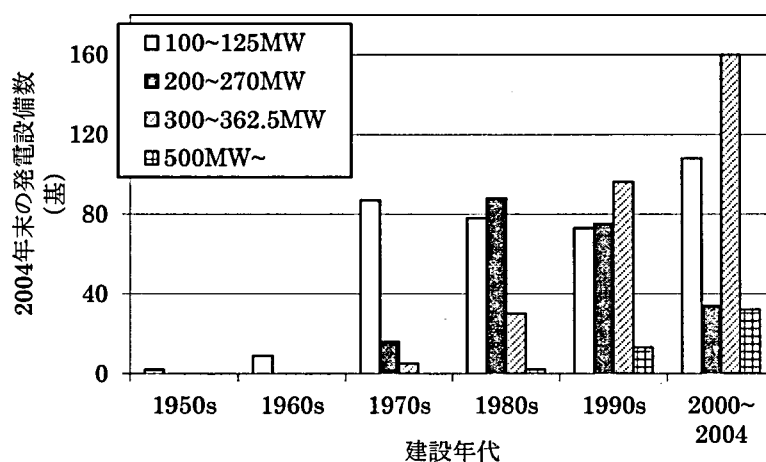


図 3-9 建設年代別・施設規模別の石炭火力発電設備容量

石炭火力発電設備の建設は 1970 年代以降に活発に行われるようになり，その後経年的に大型の設備建設が進められるようになってきたことがわかる。しかし，近年でも 100 MW 程度の小型の発電設備の建設も続いており，依然低い熱効率での発電を続けている可能性が高いといえる。また，現在先進国では 600 MW 程度の設備建設が主流であり，また今後は 1000 MW 級の大型設備の建設が期待されており，国際的な流れと比較すると技術面での成長が必要といえる。

一方で中国には1台当たりの発電容量が100 MWに達しない小規模な発電設備が多数ありとされている。本研究では、倪（2007）に基づきユニット当たり100 MW以下の発電容量の小規模発電設備の比率が、石炭火力発電設備全体に対して22.9%であると考え、総発電容量を推計した。その結果、ユニット当たり100 MW以下の発電設備の発電容量の合計は約59 GWであり、2004年の時点での総発電設備容量は約260 GWと推計された。これらの小規模発電設備の建設年代に関するデータは得られなかったが、2007年にNDRCにより示された「小規模火力発電の閉鎖を促進することに関する通知」では2010年までにこうした小規模発電設備容量を50 GW閉鎖する方針が示されており、90%近い設備が老朽化し更新時期を迎えていると考えられる。したがって、これらの設備はいずれのシナリオにおいても2010年までに50 GWが更新、残りの設備も2020年までに更新されるものと考えた。

(2) 設備更新のモデル化

既存の発電設備容量に対し今後の発電需要に対応するための発電設備の更新は、既存の発電設備が耐用年数を迎えるのに合わせて行われる。 t 年に必要な設備容量 RC_t は、予測される電力需要 $ED_{Coal,t}$ を年間の設備稼働時間 ε で除して求められる（式3-6）。既存設備の廃棄と需要増加に伴う設備容量の不足分は、まず更新時期をむかえた設備の改修・補修が行われ、次いでさらに不足する分を賄える量が新規建設される（式3-7）。

$$RC_t = \frac{ED_{Coal,t}}{\varepsilon}$$

式 3-6

$$RC_t = IC_{ex_t} + IC_{re_t} + IC_{nw_t}$$

式 3-7

ここで、 IC_{ex_t} 、 IC_{re_t} 、 IC_{nw_t} はそれぞれ t 年に利用可能な既存発電設備容量、補修・改修により延命された発電設備容量、新規に建設された設備容量を示す。補修・改修による延命を選択しないシナリオ下では $IC_{re_t} = 0$ である。以上の設備容量算定の手順を図3-10にプロセスフローとして示す。

設備の耐用年数は一律30年とし、補修・改修により一度だけ10年間の延命が可能であるとした。設備の稼働時間には、中国電力年鑑編輯委員会編（2005）より、平均値6,083 h/yrを用いた。以上により、新規建設設備容量（ IC_{nw_t} ）、既存発電設備の改修容量（ IC_{re_t} ）が得られる。

既存の発電設備は設備規模別および改修の有無、今後建設される設備は建設される年代と技術導入シナリオにより設備の発電効率が異なる。設備に用いられる技術を表す添字を s とすると以上の条件から技術別設備容量 $RC_{t,s}$ が得られる。発電量の技術別比率が設備容量の比率と等しいと仮定することで、技術別の発電量（ $ED_{Coal,t,s}$ ）が得られる。

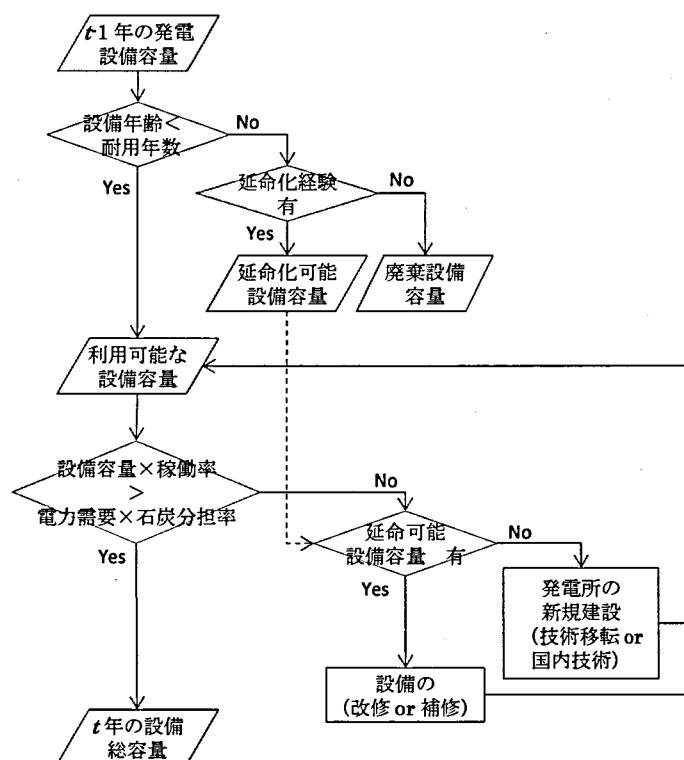


図 3-10 発電設備容量算定の手順

3.3.4 環境負荷排出量およびコストの算定手順

次に、前項で得られた変数を用いてコストおよび環境負荷量の算定までの手順を示す。環境負荷には CO_2 , SO_2 , NO_x の各排出量 (Emi_{CO_2} , Emi_{SO_2} , Emi_{NO_x}) を、コスト ($Cost$) には設備建設、維持管理、および燃料費 (それぞれ $Cost_{\text{const}}$, $Cost_{\text{OM}}$, $Cost_{\text{fuel}}$) をそれぞれ考慮した。算出には式 3-8・式 3-9 を用いた。

$$fc_t = \sum_s \frac{ED_{\text{Coal},t,s}}{eff_s \times cv}$$

式 3-8

$$Cost_t = \sum_s (IC_{nw,t,s} \cdot uc_{\text{const}_s} + RC_{t,s} \cdot uc_{\text{om}_s} + fc_t \cdot up)$$

式 3-9

ここで、 fc は燃料である石炭の消費量、 eff は受電端発電効率、 cv は石炭の単位発熱量を示す。さらに uc_{const} は単位容量の設備建設にかかる費用、 uc_{om} は単位容量の設備にかかる維持管理費用、 up は石炭の価格を示す。受電端発電効率には、技術別の発電端発電効率に加え、発電電力の所内利用率である 7.31% (NBSC, 2007) を考慮した。

次に環境負荷排出量の算出には、式 3-10 を用いた。

$$Emi_{k,t} = f_{c_t} \times e_k$$

式 3-10

ここで、 k は環境負荷物質の種類を示す添字であり、 e は各物質の排出係数を示す。用いた設定値および定数を表 3-8、表 3-9 に示す。維持管理費は、Ma et al. (2001)より引用し、さらに中国現地技術については脱硫設備の導入を考慮し、5 US\$/kW/yr を加算した。

なお、費用の算出に当たり割引率を適用するが、本研究では Liang et al. (2009) に基づき 8%を用いた。一方で、中国が今後も現在のような急成長を続けるとは必ずしも言えず、そうした不確実性を考慮し 6%、10%の場合の結果も合わせて提示することで割引率の設定による影響も考慮した。

表 3-8 各技術の設定値

	発電効率 $eff[\%]$	維持管理費用 $uc_{om}[1000 \text{ US\$}/\text{MW}/\text{yr}]$	建設費用 $uc_{const}[\text{Million US\$}/\text{MW}]$
PFBC	42	29	1.2
IGCC	50	23	1.0
China	37	25	0.75
Ad-China	40	23	0.69

表 3-9 その他の定数値

定数	値
up	21 US\$/t
cv	20.93 GJ/t
e_{CO_2}	2.26 t-CO ₂ /t
e_{SO_2}	1.13 kg/t
e_{NOx}	1.83 kg/t

また、改修による延命化を選択した場合の発電効率の変化の事例は、表 3-4 に既に示した。これらの改修策のどれが適用されるかは、個々の発電設備の状態やどの程度の効率改善を実施するか依存するが、既存設備の詳細な状態に関するデータは入手できなかったため、本研究ではこれらの技術を用いて行った改修の事例から技術パッケージとして改修の効果を抽出する。すなわち、改修により発電の熱効率は 3.6%改善されとし、また改修費用は 52 million US\$ / (300 MW) とした。一方で、補修による設備の延命利用に関しては設備維持管理費の増大等に関するデータは得られなかった。通常維持管理のみで可能とし、追加的な費用やエネルギー・資源等の消費は発生しないものとする。

上記のデータは文献より引用した値であるが、一方でこれらのデータのうちいくつかは過去のデータから将来推計として適用する際多くの不確実性を含むことや、少数の事例から引用したデータであり必ずしも他の事例に適用できるとは限らない値であることに留意する必要がある。特に石炭価格や、未開発の技術である IGCC の発電効率・建設費用等の

現時点での推計は、将来において大きな変動幅が想定され、その変動が評価結果に与える影響を考察する必要があるといえる。そこで本研究ではパラメータの変動に関する感度解析を行うことで不確実性による影響を考慮する。

3.3.5 感度解析

本研究では、45年間という長期にわたる分析を行っており、モデル中に用いられた変数の将来値には予測値からの一定程度的変動が生じると考えられる。そこで本研究では予測からのずれによる影響を考慮するため、モデルの感度解析を行う。感度解析の対象となる変数は、電力需要量・石炭価格・将来技術である IGCC の建設費用・想定される発電の熱効率と技術の利用可能となる時期である。電力需要は設備の建設容量を決めるため、設備ストック中に用いられる技術の構成を変化させる可能性がある。石炭価格は、設備の運転費用に関わる変数であり、比較的安定な資源ではあるが需給の状況や国際社会の情勢、採掘技術の発達等により変動しやすいと考えられる。技術に関わる変数のうち、現時点で実用化がすすんでいる亜臨界圧微粉炭燃焼技術（China・Ad-China）と PFBC については不確実性が大きくないと考えた。一方で、今後実用化に向けた技術開発が必要な IGCC は、比較的大きな不確実性を持っている。そこで IGCC 技術の想定される発電効率・技術の登場時期の 2 点を不確実性要因として評価した。

各変数の変動による影響を見るため、電力需要量・石炭価格に関し、既に定めた値を上下に 20%ずつ変化させた場合の変動を、2005~2050 年までの累積 CO₂ 排出量および CO₂ の単位削減費用の 2 指標から評価する。IGCC 技術の想定される発電効率は 50%であり、20%の変動は現実的ではないと考え、上下 10%の変動を考慮し 45~55%の幅で変動させた。IGCC 技術の登場時期に関しては、3.2.2 で行った文献調査の結果概ね 2020~2030 年に技術の登場が予測されていることから、2030 年に技術が利用可能になるとの仮定で行う分析に加え、2020 年に IGCC の実用化が可能となった場合について分析し、同様に 2 指標を用いて評価する。

3.4 結果と考察

3.4.1 電力需要推計

2050 年までの電力の部門別需要量と、そのうち火力発電により賄われる電力量の推計結果を、2008 年までの実績値と併せて図 3-11 に示す。

総電力需要は 2008 年、2020 年、2030 年、2040 年、2050 年の各年に、それぞれ 3,500 TWh, 6,200 TWh, 8,300 TWh, 10,800 TWh, 14,200 TWh と増加した。推計期間中 2030 年までは産業側からの需要増加が総電力需要の増加量の約 80%以上を占めているが、民生部門

由来の需要増加は 2031~2040 年には約 38%, 2041~2050 年には約 70%を占めた。産業部門のエネルギー効率の向上が進む一方で、次第に民生側の電力需要の増加が電力需要増加を牽引するようになることが示唆された。なお、IEA (2008) による将来予測では、2030 年における中国の総電力消費量は 6,958 TWh とされており、本研究の推計結果よりも約 16%低い値となっている。用いたモデル・変数が異なっており単純に比較することは困難であるが、本研究で行われた電力需要推計はやや過剰な推計となっている可能性が示唆されている。

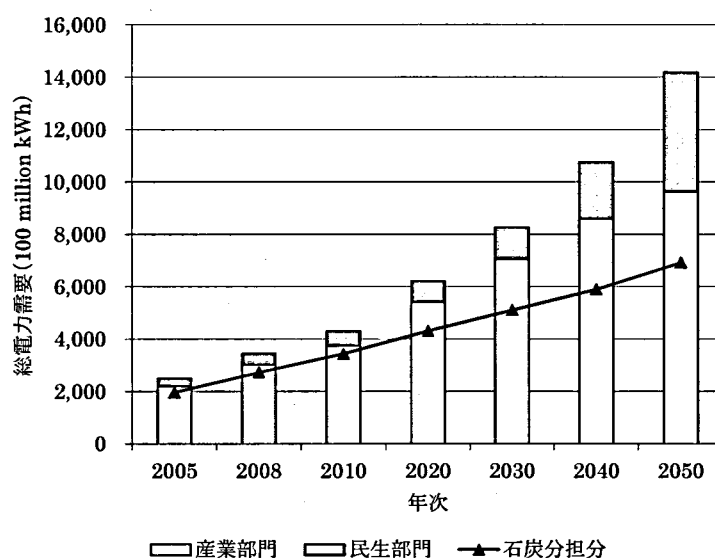


図 3-11 部門別電力需要の将来推計結果

総発電電力量に占める石炭の比率は 2010 年の 80%から徐々に低下し、2020 年、2030 年、2040 年、2050 年の各年に、それぞれ 69%, 62%, 55%, 49%となると推計された。この結果、石炭由来の発電電力量は同様に各年で、4,300 TWh, 5,100 TWh, 5,900 TWh, 6,900 TWh であった。これ以降の分析結果は、この値を用いて算出した。

3.4.2 石炭火力発電設備容量の内訳の推移

既に求めた電力需要を満たすように発電設備の補修・改修および新規建設を進めていった場合における、設備容量の内訳の推移を図 3-12 に示す。左図 (a) は補修 (Base-B) あるいは改修 (RNV) により設備の延命利用を行った場合の設備容量の内訳、右図 (b) は更新時期を迎えた設備は延命を行わず随時新たな設備へと建て替えた場合 (RPL) の設備容量の内訳を示している。

老朽化設備の延命化の対象となる設備容量は、最も多かった 2021~2030 年の期間でも約

85 GW（総容量の約 12%）と石炭火力発電設備容量全体に占める比率はそれほど大きくなかった。これは 2030 年以前に延命の対象となる設備は 2000 年以前に建設された設備であり、当時の電力需要が現在と比較し小さかったため老朽化する発電設備容量自体が小さいことが主な要因といえる。

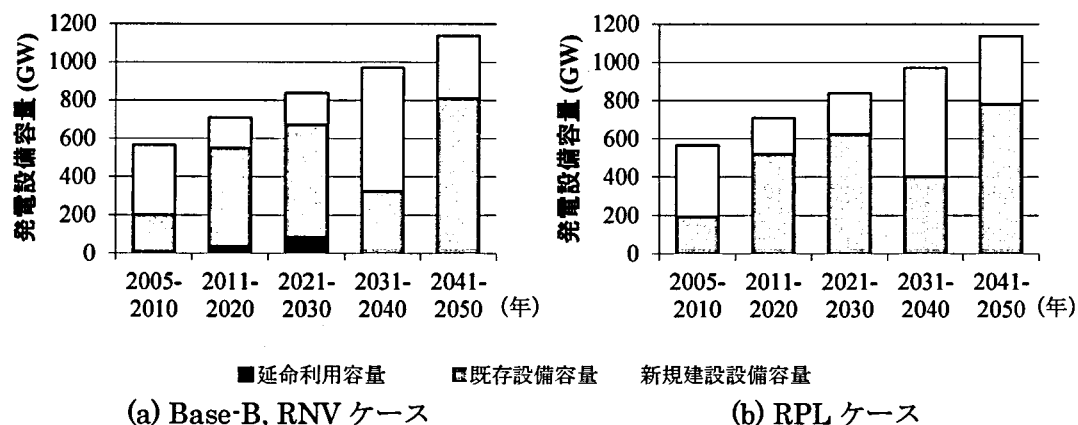


図 3-12 発電設備の更新容量の推計結果

新規に建設される設備容量の推移をみると、2005~2010 年および 2031~2040 年の期間に多くの設備建設が発生していることがわかる。2005~2010 年の期間においては電力需要の急増（2011 年以降の年間設備需要の増加量が 13~17 GW/年なのに対し、2005~2010 年の期間は約 40 GW/年）と既存の小規模発電設備の閉鎖により大きな建設需要が生じた。一方で 2031~2040 年の期間では、電力需要の伸びは 2030 年までと大きくは変化していないが、2005~2010 年に建てられた多くの発電設備が寿命を迎えるため、需要増加による新規建設に加え老朽設備の更新需要が大きくなることが新規建設設備容量の増大につながった。2031~2040 年の期間では、本研究で想定した IGCC のような大きな技術的な革新が予測されていないため、この時期に改修や補修による延命化施策は考慮されていない。しかし、このように大きな設備更新が予測されたことにより、今後の技術の進展により新たな技術の登場が見込まれた場合等においては、既存の設備更新の延命化や前倒しでの設備更新等の施策により環境的・経済的に大きな影響を及ぼす可能性があるといえる。

3.4.3 CO₂ 排出量の推計結果

年間CO₂排出量の推計結果を図 3-13に示す。凡例にそれぞれ技術導入シナリオと設備更新シナリオの組み合わせを示した。まず、Base-A – Base-B（以後Base-AB）のシナリオでは、2010年、2020年、2030年、2040年、2050年の各年のCO₂排出量は、それぞれ2,700 Mt-CO₂、3,330 Mt-CO₂、3,900 Mt-CO₂、4,210 Mt-CO₂、4,860 Mt-CO₂であった。国内の技術開発により対策を行った場合、排出量は2010年の約1.8倍に増加することが示された。

シナリオ間の比較を行うと、2010～2030年の間は大きく技術移転を行うケースと（TT-ASAP）と、行わないケース（Base-A, TT-Timely）に分けられる。後者のシナリオ群では、2010～2030年までは技術の導入状況が同じであるため、結果は設備更新シナリオによる差異のみが生じた。一方で、2030年以降は、Base-AとTT-Timelyの間に乖離が見られた。TT-Timelyシナリオ下では、いずれの設備更新シナリオにおいても年間CO₂排出量が低下しTT-ASAPに近づいた。これらの結果をCO₂排出量の面からみると、技術移転が既存設備への改修と比較し大きな効果を持っていることを示している。したがって、技術の移転は原則として行う方が望ましいといえるが、コスト面からの困難さを考慮した場合に既存設備の補修・改修を補完的な位置づけで検討する必要があることが示唆された。

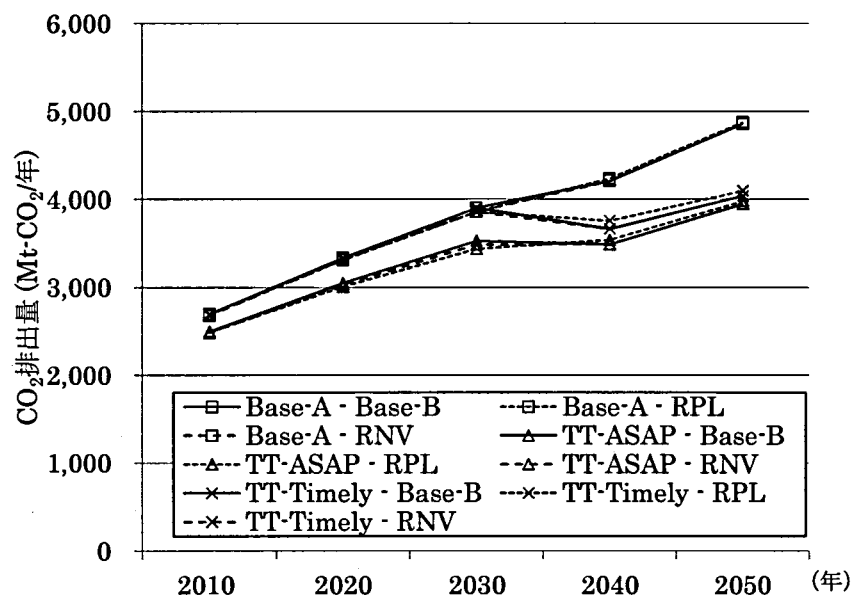


図 3-13 シナリオ別 CO₂ 排出量の推移

Base-AB を基準とした場合の各シナリオでの年間 CO₂ 排出量の削減効果は、TT-ASAP – Base-B のシナリオで 2030 年, 2050 年にそれぞれ 375 Mt-CO₂ (9.6 %), 911 Mt-CO₂ (18 %) であった。同様に TT-Timely – Base-B シナリオでは、Base-AB を基準として、2030 年には削減が見られなかったが、2050 年には 821 Mt-CO₂ (17 %) の CO₂ 排出削減が見込まれた。2050 年における TT-ASAP – Base-B シナリオと TT-Timely – Base-B シナリオの年間 CO₂ 排出量の差は約 90 Mt-CO₂ であり、先に述べたように両者の差は縮まった。しかし、CO₂ 排出においては年間 CO₂ 排出量よりも累積での排出抑制が重要である。図 3-14 に各シナリオにおける 2005～2050 年の累積 CO₂ 排出量を示す。Base-AB を基準シナリオとした場合、TT-ASAP – Base-B の CO₂ 排出削減量は約 24,100 Mt-CO₂ (13 %) であり、TT-Timely – Base-B では 13,700 Mt-CO₂ (7.6 %) であった。したがって、年間 CO₂ 排出量

では 2050 年に TT-Timely – Base-B は TT-ASAP – Base-B と同水準となったが、技術移転の遅れによる累積での CO₂ 排出削減効果は 43 % 程度縮小されることが示された。

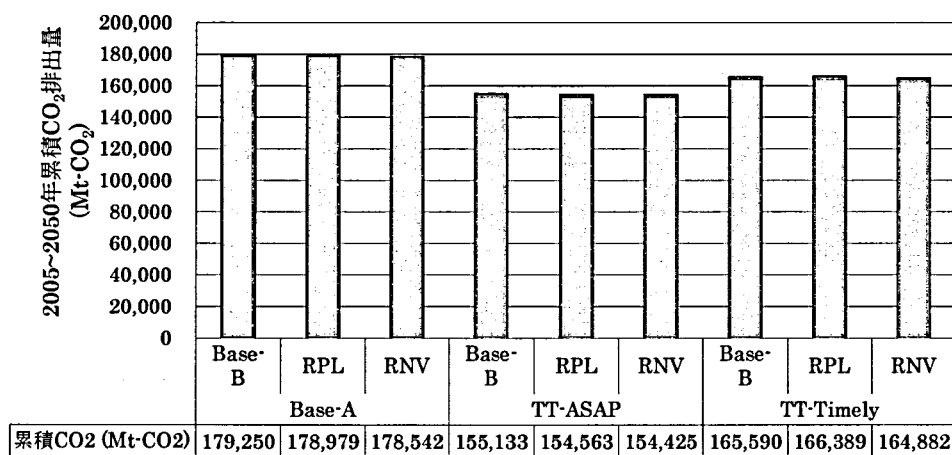


図 3-14 2005~2050 年の累積 CO₂ 排出量の比較

次に、各技術導入シナリオ下での設備更新シナリオによる 2005~2050 年の累積 CO₂ 排出量の差異を図 3-15 に示す。上述の比較と異なり、各技術導入シナリオ下で設備更新シナリオが Base-B の場合を基準として、RPL シナリオ、RNV シナリオによる削減効果を示していることに注意が必要である。こうした比較を行ったのは、技術導入に関する意思決定と設備更新に関する意思決定の順序に階層性があると考えたからである。すなわち、技術導入に関する意思決定の方がより費用面でも効率面で影響が大きいいため、まず技術導入シナリオを決定した後、各技術導入シナリオ下で設備更新シナリオを検討する考えられる。Base-A シナリオ下では、RPL シナリオで 271 Mt-CO₂、RNV シナリオで 708 Mt-CO₂ がそれぞれ削減され、TT-ASAP シナリオ下では、RPL シナリオで 570 Mt-CO₂、RNV シナリオで 708 Mt-CO₂ がそれぞれ削減された。TT-Timely シナリオ下では、RPL シナリオで 798 Mt-CO₂ の排出量の増加がみられ、RNV シナリオでは 708 Mt-CO₂ の排出削減がみられた。いずれの技術導入シナリオにおいても RNV シナリオが最も排出削減に寄与するという点では一致していたが、TT-Timely シナリオのみ他の技術導入シナリオと異なり、Base-B シナリオで RPL シナリオよりも累積 CO₂ 排出量が小さくなった。したがって、先進国からの技術移転を行う場合、既存発電設備への改修・延命化により CO₂ 排出量の削減が可能であること、および一方で既存設備の延命利用を行う場合には、2030 年まで技術移転を行わず IGCC 技術の実用化に合わせた技術移転を考慮する場合以外は単純延命ではなく改修による高効率化を併せて行うことが CO₂ 排出量削減の観点からは重要であることが示唆された。

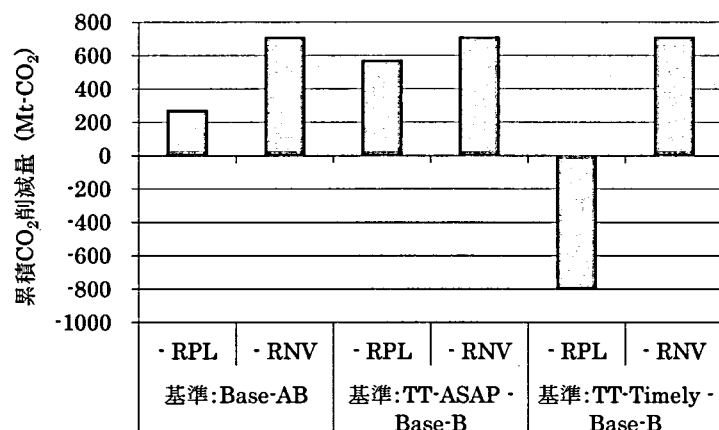


図 3-15 各技術導入シナリオ下での設備更新シナリオによる累積 CO₂ 排出削減量

図 3-16 に消費形態別の石炭火力由来の電力の CO₂ 排出係数を示す。電力需要は各シナリオで同様であり CO₂ 排出量の変化がこの結果に影響を与えているため、ここでは結果の値のみを示す。2010 年の推計値は TT-ASAP で 1021~1029 g-CO₂/kWh であり、Base-A・TT-Timely では 1089~1098 g-CO₂/kWh であった。技術の向上と共に徐々にこの値は低下し、2030 年には同様にそれぞれ 848~874 g-CO₂/kWh, 950~962 g-CO₂/kWh, 2050 年には TT-ASAP で 665~672 g-CO₂/kWh, TT-Timely で 684~696 g-CO₂/kWh, Base-A で 815~919 g-CO₂/kWh であった。

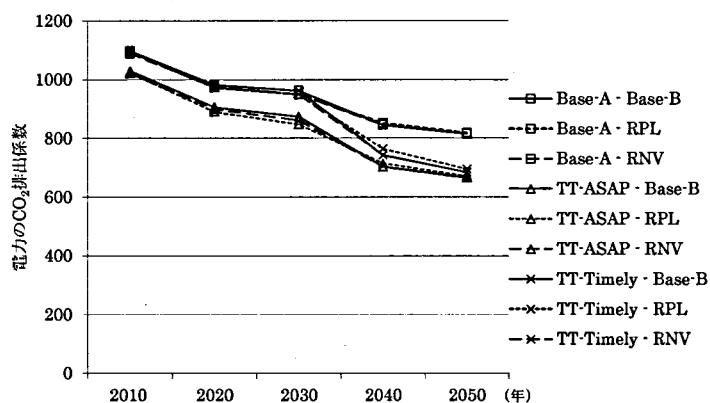


図 3-16 シナリオ別の電力 CO₂ 排出係数の推移

ここまでシナリオ別の CO₂ 排出を比較・検討してきたが、本分析における留意点としては発電設備建設時の CO₂ 排出に関しては考慮されていないこと、また IGCC 技術の登場時期や予想される発電効率に不確実性が存在することが挙げられる。設備の新設や改修により発生する CO₂ 排出は、本研究で対象とした全体の排出量と比較してそれほど大きくない

と考えられるが、設備更新シナリオ間の排出量の差異も総排出量と比較して小さく、無視できる量であるかは定量的な検討を行うことが望ましい。新規建設由来の CO₂ 排出は RPL シナリオでの排出量を特に増加させる可能性があり、Base-A・TT-ASAP シナリオ下での Base-B・RPL シナリオの関係を変化させる可能性があるといえる。また、将来技術の登場時期・技術向上の程度のもつ不確実性がシナリオ間の関係与える影響に関する知見は不足しており、感度解析が必要といえる。

3.4.4 シナリオ別 SO₂ , NO_x 排出量

図 3-17にSO₂, NO_x 排出量の推移を示す。両物質とも、CO₂同様石炭消費量に比例しているため、全体として同様の傾向を示した。そのため、Base-ABケースの排出量のみを示す。SO₂のBase-ABでの排出量は、2010年、2030年、2050年にそれぞれ1.35 Mt, 1.95 Mt, 2.43 Mtであり、同様にNO_xの排出量は、2.18 Mt, 3.16 Mt, 3.94 Mtであった。

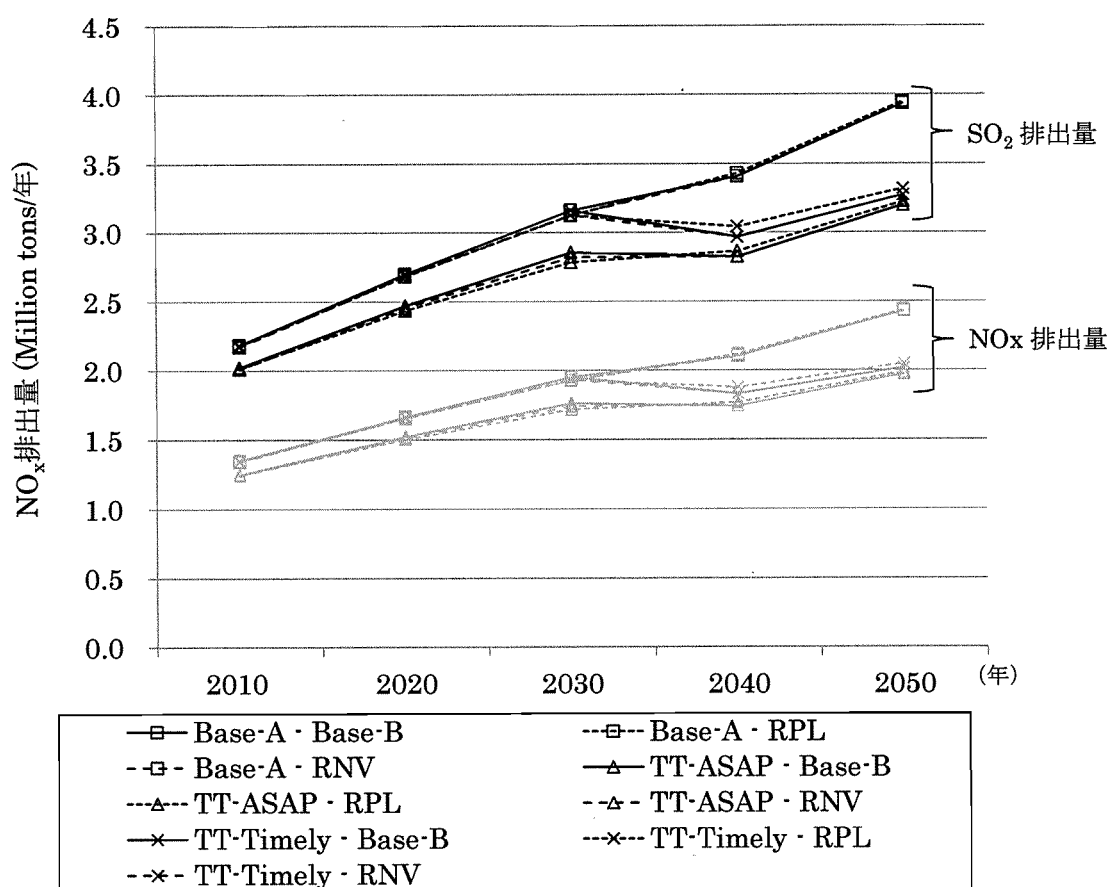


図 3-17 SO₂, NO_x のケース別排出量の推移

3.4.5 ケース別コスト比較

図 3-18にシナリオ別年間費用の推移を示す（同図では割引率は考慮されていない）。施設建設の集中した2005~2010年と2031~2040年の期間で費用が大きくなることがわかる。2005~2010年の期間では、建設される設備の建設費用の差が年間の費用の差に大きく影響を与え、PFBCを採用したTT-ASAP – Base-Bでは、China技術を利用しているBase-ABと比較し約20,000 US\$/年（Base-AB比約32%）費用が高かった。2031~2040年の期間でも、Ad-ChinaとIGCC技術の価格差による違いが表れたが、2005~2010年と比べ差が広がらず、Base-ABとTT-ASAP – Base-Bを比較すると13,300 US\$/年（Base-AB比約15%）の増加にとどまった。これはChinaとPFBCの価格差が0.495 US\$/MW なのに対し、Ad-ChinaとIGCCの価格差が0.338 US\$/MW と比較的小さかったことによると考えられる。また、TT-Timelyシナリオでは改修により延命化されていた分、TT-ASAPよりも2031~2040年の建設量がやや大きいですが、その影響はTT-Timely – Base-BでTT-ASAP – Base-B比330 US\$/年（0.32%）の増加とごくわずかであった。

以上より、技術移転を行う際の財政的負担が定量的に示され、特に設備建設の集中する時期に負荷が集中し、2031~2040年は技術更新の時期と負荷の集中が重複する可能性があることが示された。PFBCの技術導入による負担は非常に大きいですが、将来技術のIGCCの導入時には現地技術と移転技術の価格差が縮まり、この負担は一定程度軽減されることが示され、割引率を考慮すると2031~2040年における負担は大きくはならないものといえた。

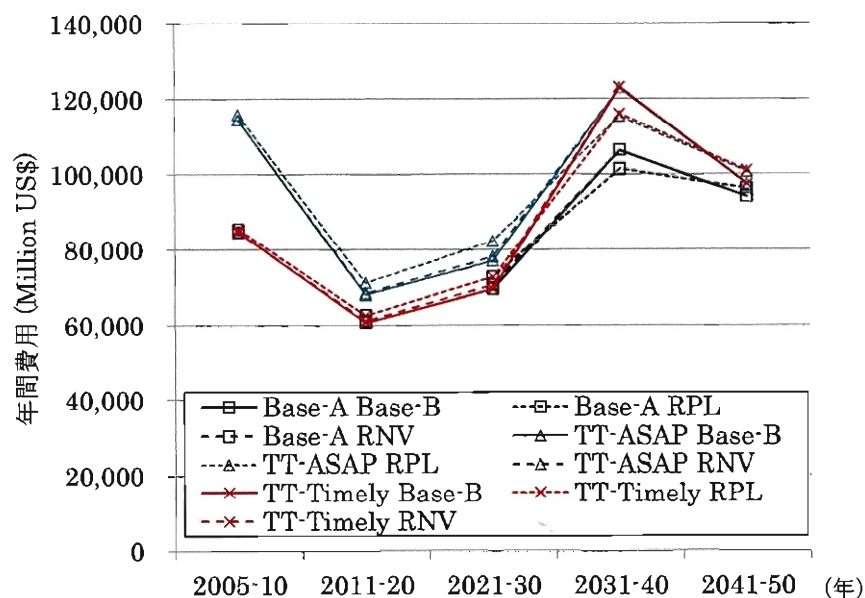
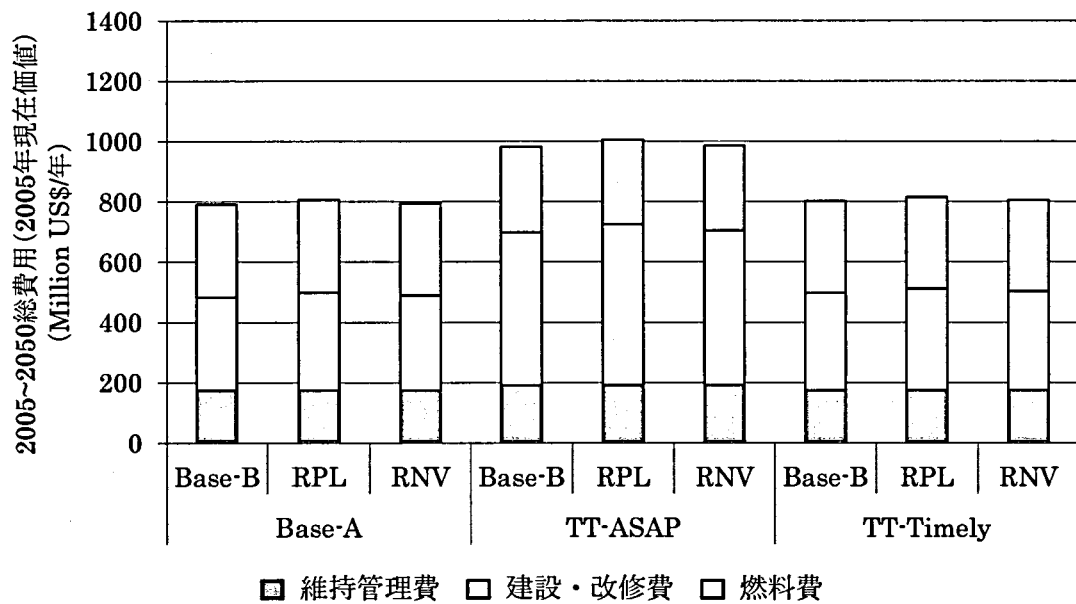


図 3-18 シナリオ別年間費用の推移

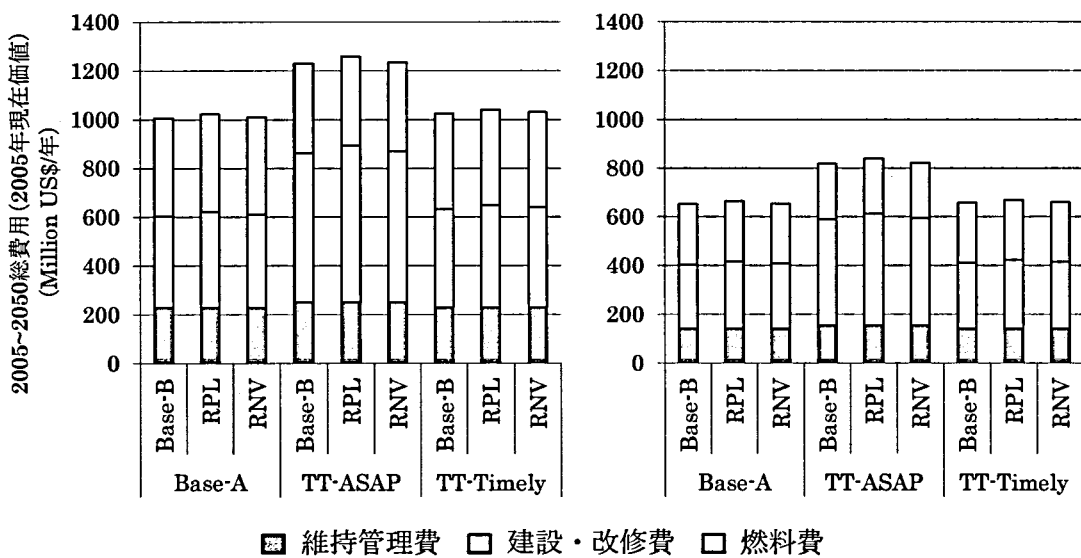
次に、図 3-19 に推計期間中の用途別の費用を、割引率を用いて現在価値換算した結果を示す。(a) ~ (c) にそれぞれ割引率を 8%、6%、10%とした場合の総費用を示した。期間中の総費用は技術導入シナリオが Base-A の場合 Base-B, RPL, RNV の順にそれぞれ 775, 790, 779 Billion US\$, 同様に技術導入シナリオが TT-ASAP の場合、順に 935, 961, 940 Billion US\$, 技術導入シナリオが TT-Timely の場合、順に 789, 803, 794 Billion US\$ であった。図 3-18 において 2005~2010 年に高い費用を示した TT-ASAP シナリオ下の 3 つのシナリオで費用が高くなる傾向 (Base-AB 比 21~25%増) があり、建設費用の違いが大きく影響していることがわかる。費用項目別の増加要因に着目すると、技術移転による高効率化により燃料費は Base-AB と比較し減少しているが、建設・改修費の増加幅が大きく、全体としては増加する結果となったことがわかる。TT-Timely シナリオ下でも 2031 年以降技術移転により必要な費用が上がっているが、割引率により現在価値としてはそれほど大きな影響はなく、Base-AB シナリオと比較し 1.7~3.2%程度の上昇であった。次に、補修・改修ケース別では、RPL, RNV ケースはいずれの技術導入シナリオ下においても Base-B と比較し 0.4~3.1%程度の変化であり、技術移転と比較し、財政的負担は小さかった。

また、割引率 8%の場合の総費用と比較し、割引率が 6%の場合総費用は 25~28%増加し、割引率が 10%の場合には 17~18%減少した。特に推計期間中 2031 年以降に大きな費用負担が想定される TT-Timely シナリオでは割引率により比較的大きな影響を受けた。Base-AB を基準とした TT-Timely シナリオ下の Base-B, RPL, RNV の各シナリオの総費用増加率は、割引率が 8%の場合順に 1.8%, 3.6%, 2.4%であったが、割引率 6%で 3.2%, 5.1%, 4.0%, 割引率 10%で 1.1%, 2.7%, 1.5%であり、割引率 2%の違いにより 0.7~1.6%程費用増加率が変化することが示された。ただし、割引率による変化はシナリオ間の相対的な優位性を変化させるに至らなかった。

以上のように技術導入シナリオ間では CO₂ 排出量と総費用の間には、一見して技術移転を進めると費用が増大する一方で CO₂ 排出削減はより促進することが可能となるというトレードオフ構造が示されているように見える。しかし、CO₂ 排出削減行動を火力発電部門に制限せずに考えることによりさらに発展的に考察することができる。すなわち、現時点での投資をやや控えめにし、将来に大規模に投資を行うことを考える際、現時点での余剰の資金は異なる施策領域へ投資することができる。これらの資金を省エネ機器や技術への投資、重厚長大型の第 2 次産業からサービス産業主体の産業構造への構造転換に振り向けるなどの施策により、エネルギー需要全体を抑制することの方が結果としてより大きな効果をもつ可能性もある。しかし、こうした他の領域の施策と並べて議論する際には、費用と削減効果だけではなく費用対効果による比較が不可欠である。そこで、次項以降で費用対効果の比較を行う。



(a) 割引率8%ケース



(b) 割引率6%ケース (c) 割引率10%ケース

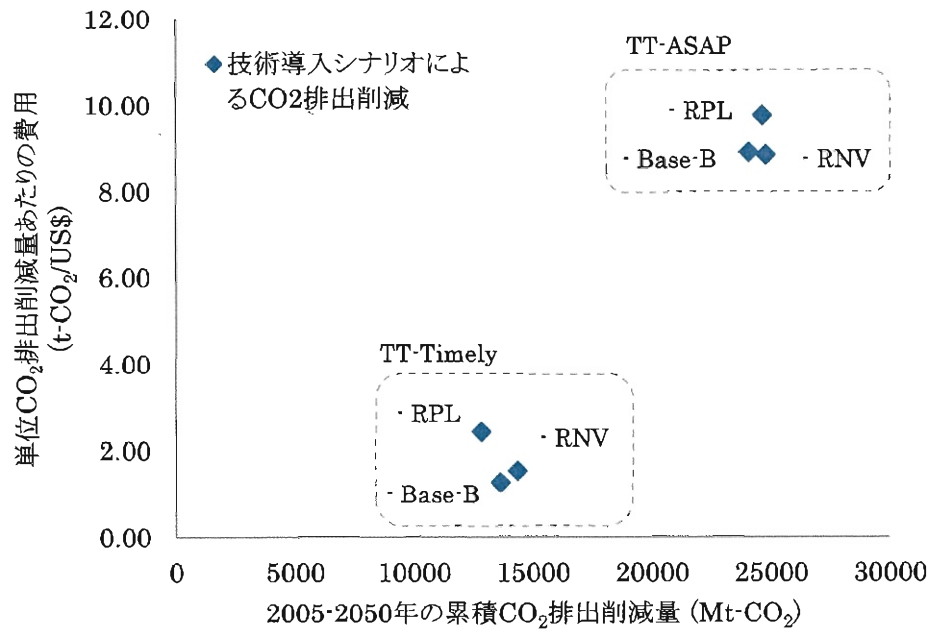
図 3-19 2006~2050 年の総費用のケース別比較
(2005 年時点の現在価値換算)

3.4.6 CO₂削減費用のケース間比較

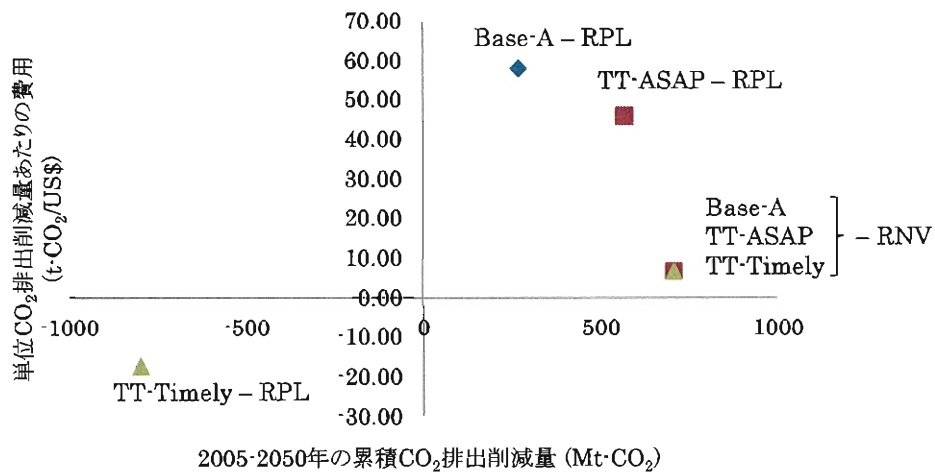
図 3-20に、各シナリオにおけるCO₂排出削減効果と、2050年までの累積CO₂排出削減量を累積費用の現在価値で除して得た単位CO₂排出削減量当たりの費用（以下単に単位削減費用とする）を示す。図 3-20 (a) にBase-ABシナリオを基準とした場合のTT-ASAP・TT-Timelyシナリオ下の6シナリオの累積CO₂排出削減量と単位CO₂排出削減量当たりの費用を示した。

排出削減量はTT-ASAPで約24.1～24.8 Gt-CO₂, TT-Timelyでは12.8～14.4 Gt-CO₂であり、既に示したようにTT-ASAPの方が約2倍大きな削減効果が期待された。一方単位削減費用では、TT-Timelyでは1.2～2.4 US\$であったのに対し、TT-ASAPでは8.8～9.8 US\$と4～5倍となった。一般的なCO₂排出削減の費用は1tあたり1～2万円程度とされることから、この価格は安価なものといえる。ただし、本分析は費用が長期間にわたって支払われるため割引率によって将来の費用を大きく割り引かれていることに注意が必要である。より短期的な価格としては、例えば本分析中2005～2010年までの累積CO₂排出量と総費用に基づく単位削減費用は、Base-ABを基準としTT-ASAP-RPLの場合約125 US\$/t-CO₂となり、それほど安いとは言えない価格となる。したがって、全期間を含めた総費用による施策間の比較と、時間軸上でいつ削減が行われ、またいつ費用が発生するのか、を考慮した上での他領域での施策との比較が必要といえる。

図 3-20 (b) に、各技術導入シナリオにおける Base-B シナリオを基準として、RPL・RNV シナリオによる影響を、先ほどと同様に CO₂ 排出削減量と単位削減費用をプロットした。TT-Timely-RPL シナリオのみ、削減量が負（すなわち CO₂ 排出が増加）となったため、この場合の単位削減費用の絶対値は RPL から Base-B へと施策を転換した場合の単位削減費用と考えることができる。Base-A-RPL において 59 US\$/t-CO₂ と最も高い単位削減費用をしめし、次いで TT-ASAP-RPL において 45 US\$/t-CO₂, TT-Timely-RPL で(-)17.4 US\$/t-CO₂ となった。各技術導入シナリオ下での RNV シナリオによる追加的な CO₂ 排出削減効果の単位削減費用、いずれも 6.6 US\$/t-CO₂ であった。いずれの技術導入シナリオ下でも RNV シナリオが最も CO₂ 排出削減量が大きく、単位削減費用では TT-Timely では上昇したが、TT-ASAP では減少させる効果があつた。



(a) 基準シナリオ：Base-AB



- ◆ Base-A下での追加的CO₂排出削減
- TT-ASAP下での追加的CO₂排出削減
- ▲ TT-Timely下での追加的CO₂排出削減

(b) 基準シナリオ：各技術導入シナリオ下での Base-B

図 3-20 各技術導入ケースにおける削減効果および削減費用の比較

3.4.7 感度解析

まず、電力需要を変化させた場合の 2005~2050 年の累積 CO₂ 排出量と単位削減費用の変化を図 3-21 に示す。電力需要は、3.4.1 で示した石炭火力発電への電力需要量を 100%

とし、場合に上下 20%ずつ変化させることでその影響を観察した。図 3-21 (a) は Base-AB シナリオを基準ケースとした場合、図 3-21 (b) は各技術導入シナリオ下で Base-B シナリオを基準ケースとした場合の変化をそれぞれ示す。

電力需要の増加に対する変化は、Base-AB シナリオを基準とした場合で大きく、一方各技術導入シナリオ下での Base-B を基準とした場合にはほとんど見られなかった（図 3-21 (b) 中、電力需要の変化を示す 3 点はそれぞれほぼ同一の場所にプロットされている）。したがって、電力需要による影響は技術導入シナリオには影響を与えるが、設備更新シナリオには影響を与えないことが示された。また、技術導入シナリオ間でも TT-ASAP と TT-Timely では異なる変化の傾向を示した。TT-ASAP では電力需要の増加に伴い右上方向（CO₂ 排出削減量増加、単位削減費用増加）に変化するのに対して、TT-Timely では右下方向（CO₂ 排出削減量増加、単位削減費用減少）に変化した。これは TT-Timely シナリオでは電力需要が増加するにつれて増加する費用の多くが 2030 年以降に発生するため、現在価値換算では安価な削減が増加するのに対し、TT-Timely シナリオでは 2030 年以前の PFBC 導入による費用増加が大きく、単位削減費用の増加につながったと考えられる。しかし、いずれの電力需要のケースにおいても累積 CO₂ 排出量・単位削減費用のシナリオ間の順位に変動はなく、電力需要の持つ不確実性が本研究の主眼である技術導入と設備更新に関する意思決定に対して大きな影響を与える可能性は小さいといえた。

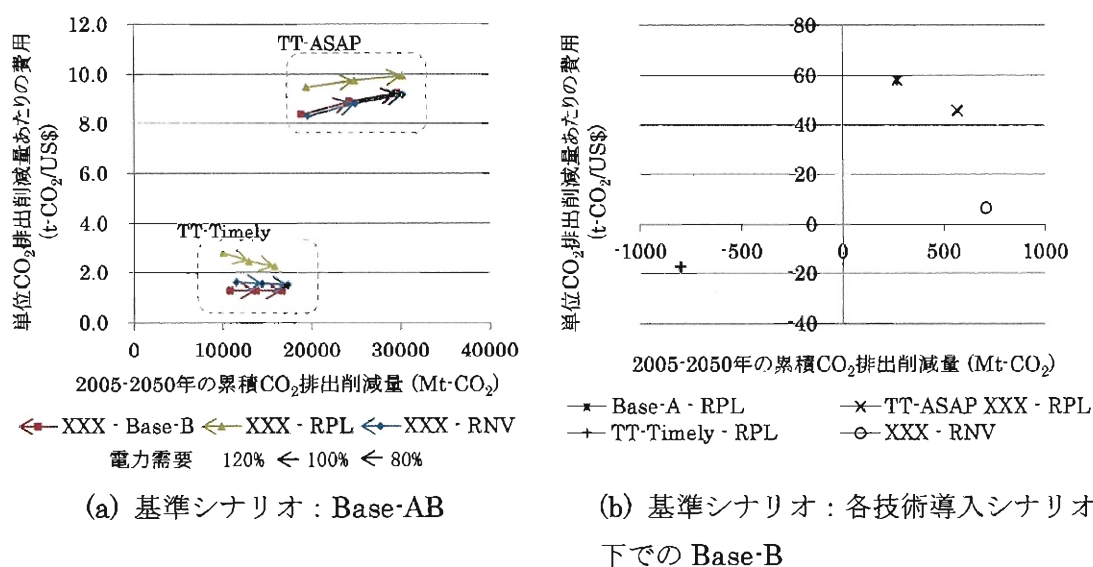


図 3-21 電力需要の変化（80~120%）による累積 CO₂ 排出量および単位削減費用の変化

次に、石炭価格の変化による影響を、電力需要と同様に上下 20%ずつ変化させた場合の推計結果の変動から評価した。ここでは、Base-AB を基準シナリオとして TT-ASAP および TT-Timely シナリオにおける変化を図 3-22 に示す。いずれのシナリオにおいても石炭

価格の上昇に伴い単位削減費用が減少した。一方で、シナリオにより変化の幅が異なることも示された。単位削減費用を石炭価格の変化率で除した削減費用の弾性値を算出すると（単位削減費用変化量/石炭価格変化率）、TT-ASAP シナリオ下の Base-B, RPL, RNV の3シナリオで、それぞれ $1.56 \text{ t-CO}_2/(\text{US}\$/\text{t})$, $1.66 \text{ t-CO}_2/(\text{US}\$/\text{t})$, $1.61 \text{ t-CO}_2/(\text{US}\$/\text{t})$ であった一方、TT-Timely シナリオ下の同様の3シナリオでは、それぞれ $0.514 \text{ t-CO}_2/(\text{US}\$/\text{t})$, $0.635 \text{ t-CO}_2/(\text{US}\$/\text{t})$, $0.655 \text{ t-CO}_2/(\text{US}\$/\text{t})$ であった。TT-ASAP では石炭価格に対して TT-Timely の約 2.5~3.0 倍変化が大きかった。石炭価格の上下 20% の変化では、シナリオ間の順位に変動は見られなかった。また価格の変動を 100%（すなわち石炭価格が倍）とした場合においても、順位の変動は見られず、世界的に賦存量が豊富でかつ遍在性の高い石炭資源の価格変動による影響は比較的小さいと考えられた。

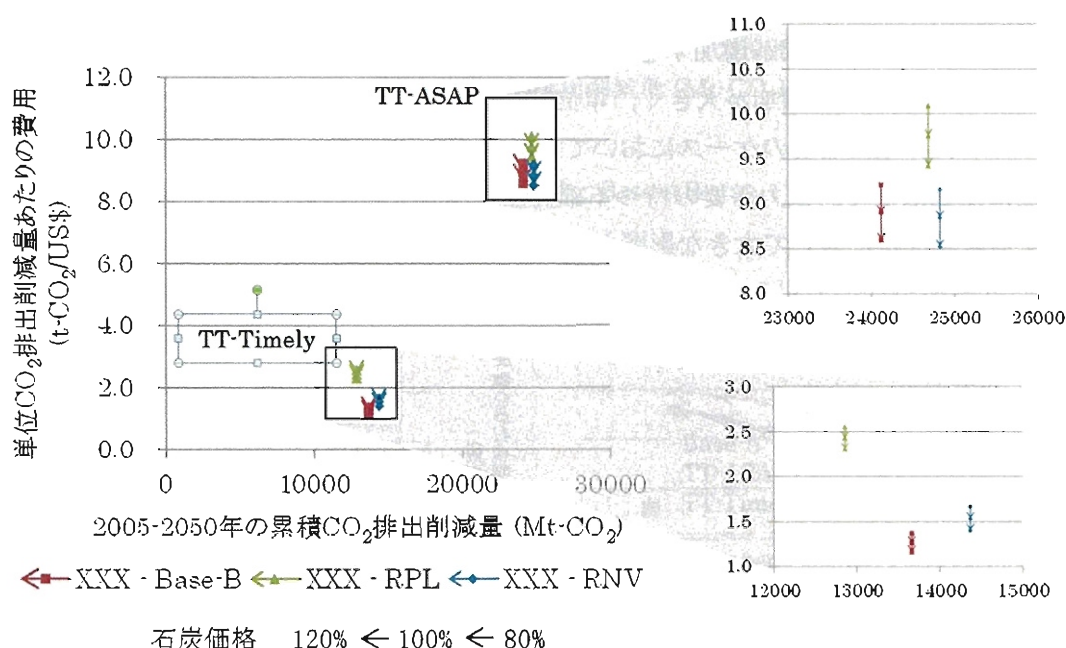


図 3-22 石炭価格の変化（80~120%）による累積 CO₂ 排出量
および単位削減費用の変化

最後に、IGCC 技術の予測される実用化時期、および発電効率による影響を評価した。図 3-23 に、IGCC の実用化時期が 2020 年と 2030 年であった場合の TT-ASAP, TT-Timely シナリオにおける累積 CO₂ 排出量および単位削減費用の変化を示す。TT-ASAP・TT-Timely の両シナリオにおいて累積削減量の増加、単位削減費用の減少がみられた。技術導入シナリオ間での順位の変動はなかったが、設備更新シナリオ間での関係性には変化がみられた。TT-ASAP・TT-Timely の両技術導入シナリオ下での Base-B・RPL・RNV の各設備更新シナリオの関係の変化は、2 点に集約される。1 点目は、RPL シナリオの単位削減費用が他の

が 2030 年であった場合、RPL の単位削減費用は TT-ASAP・TT-Timely とともに Base-B・RPL シナリオよりも 0.8~0.9 US\$/t-CO₂ 程度高かったが、IGCC 実用化時期を 2020 年とすることで 3 つの設備更新シナリオはほぼ同等にまで下がった (TT-ASAP シナリオで各設備更新シナリオが 8.0~8.1 US\$/t-CO₂ 内に、TT-Timely シナリオで 0.69~0.84 US\$/t-CO₂ 内にそれぞれ収まった)。累積 CO₂ 排出削減量では、IGCC 実用化時期が 2030 年の場合は TT-ASAP シナリオ下で RPL シナリオが RNV に次いで 2 番目に大きく、TT-Timely シナリオ下では RPL シナリオは最小であった。しかし、IGCC 実用化時期が 2020 年の場合はいずれの設備更新シナリオでも累積 CO₂ 排出削減量は増加したが、特に RPL シナリオでの伸びが大きく TT-ASAP・TT-Timely いずれのシナリオでも Base-B・RNV よりも大きな削減が可能であることが示唆された。

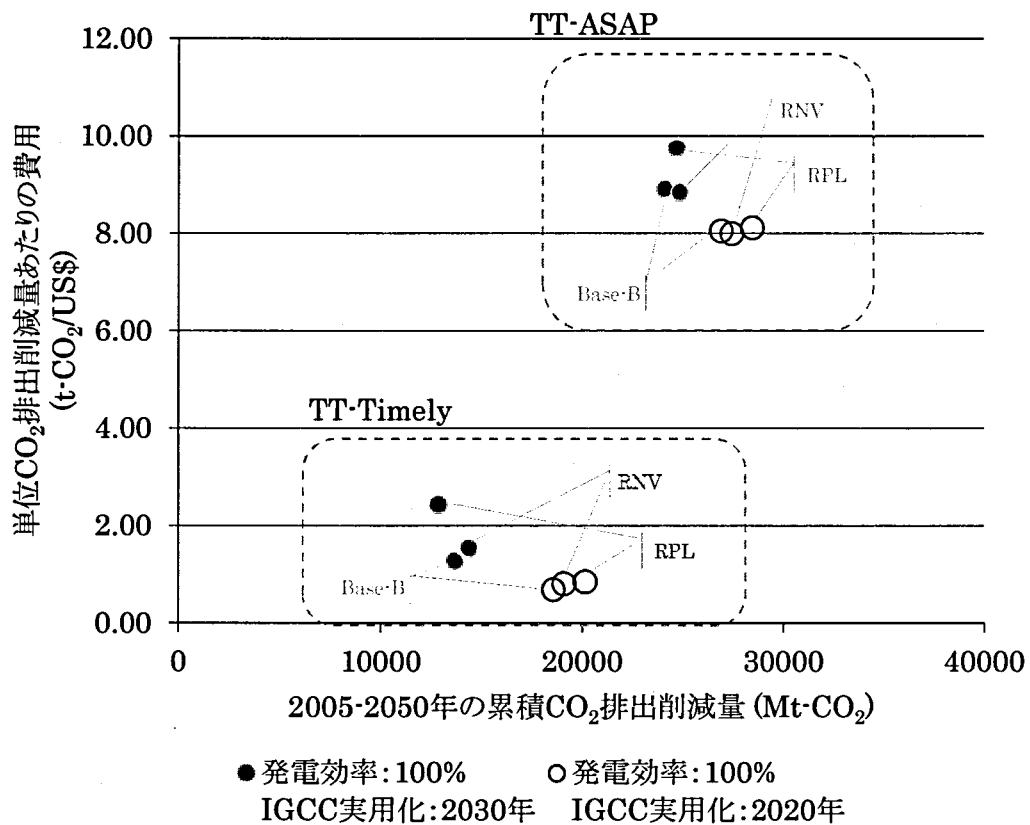


図 3-23 IGCC 実用化時期の違いによる影響解析

また、IGCC が実用化された場合に実現される発電効率の変化による影響を、実用化時期による影響と併せて図 3-24 に示す。発電効率の向上に伴い累積 CO₂ 排出削減量の増加と単位削減費用の減少の両方が、全てのシナリオにおいて見られた。特に単位削減費用の減少は TT-ASAP シナリオで大きく、IGCC の実用化時期が 2030 年の場合、発電効率が 50%

から 45%に減少するとき 3.01~3.17 US\$/t-CO₂ 増加し, 50%から 55%に増加するとき 1.56~1.61 US\$/t-CO₂ の低下がみられた。一方で TT-Timely シナリオでも, 単位削減費用の減少がみられ, 同様にそれぞれ 1.43~2.26 US\$/t-CO₂ の増加, 0.48~0.77 US\$/t-CO₂ の減少であった。累積 CO₂ 排出削減量の増加は, TT-ASAP と TT-Timely シナリオの間に違いはなく, IGCC の実用化が 2030 年の場合, Base-B で 6,070 Mt-CO₂, RPL で 5,611 Mt-CO₂, RNV で 6,070 Mt-CO₂ の削減量増加がみられた。IGCC 実用化時期が 2020 年の場合は, 技術導入が早い分削減量も多くなり, それぞれ 7,660 Mt-CO₂, 8,010 Mt-CO₂, 7660 Mt-CO₂ の削減が可能となることが示唆された。

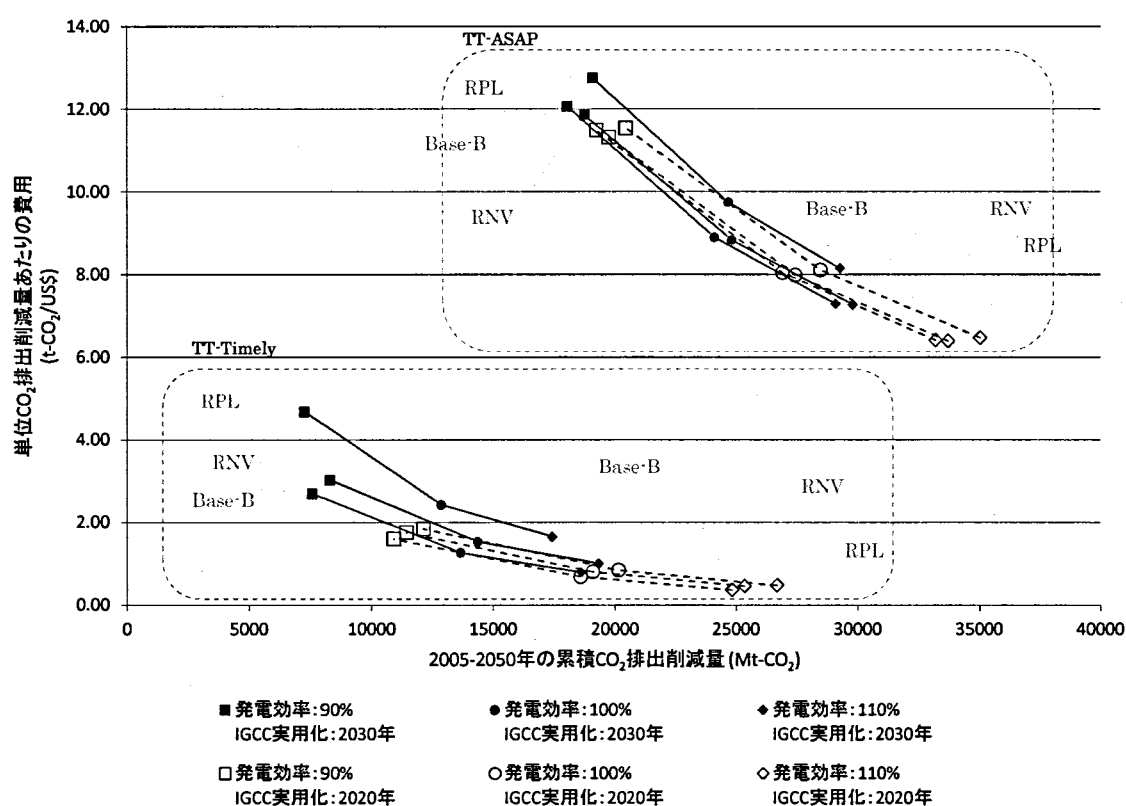


図 3-24 IGCC の発電効率および実用化時期による影響の感度解析

ここまで電力需要・石炭価格・IGCC 技術の実用化の時期および実用化時の発電効率について, 不確実性を考慮し各変数を変動させた場合の累積 CO₂ 排出削減量および単位削減費用に及ぼす影響を評価した。変化の幅が最も多かったのは IGCC の発電効率の変化であり, 技術移転を行う際, 移転技術の発電効率は最も重要な要素の一つであることが示唆された。一方で, 技術がいつ実用化されるかによっては設備更新シナリオの優先順位が異なってくる可能性が示唆された。本研究では 3 段階に変数を変化させることで, 出力の変動を観察したが, 今後技術の実用化時期によりどの程度の影響を受けるのか, また予測される時期

と実際に実用化される時期の差が及ぼす影響等についてのさらなる解析が求められる。

3.5 要約

本章では、中国における石炭火力発電設備を対象として、革新的技術の導入と既存ストックの有効活用という観点から、発電設備の更新モデルを構築し、設備更新の違いを反映するケースとして、導入技術には先進国からの技術移転をいつ行うかに関する違いによる Base-A, TT-ASAP, TT-Timely の 3 シナリオ、既存設備の補修・改修を行うかどうかの違いによる Base-B, RPL, RNV の 3 シナリオを設定した。その上で、CO₂, SO₂, NO_x の 3 種の環境負荷物質の排出量と、設備の維持・更新と運用時の資源消費に関わるコストを推計した。

結果として、排出削減効果としては導入技術の違いによる影響が大きく、特に早急に先進国からの技術移転を行うことで、環境負荷物質の大きな削減ポテンシャルがあることが示された。一方で、費用負担の観点からは特に 2005 年~2010 年と 2031~2040 年に大きな費用負担が生じる可能性があることが示唆され、国際的な費用負担の枠組みによる円滑な技術導入の必要性が示唆された。既存設備の運用に関しては、技術導入施策に関わりなく 2030 年までは改修により高効率化を図り設備を延命利用していくことが望ましいことが示唆された。また、TT-Timely シナリオに示されたような、今後技術の革新が予測されている場合においては、急速な更新はむしろ高効率を伴わない単純延命であっても、累積効果で環境負荷物質の排出量を削減することができる可能性が示唆された。

また、モデル中に用いられた変数の不確実性を考慮するため、電力需要・石炭価格・IGCC 技術の実用化の時期および実用化時の発電効率について、変数を変化させた場合の感度解析を行った。電力需要・石炭価格の変化では CO₂ 排出量や費用の値は変化したが、シナリオ間の順位を変化させるには至らなかった。IGCC 技術の発電効率の変化も順位を変化させるには至らなかったが、CO₂ 排出削減量に対しては非常に大きな影響を与えることが示され、今後の技術開発の動向を見ながら削減費用とのバランスに基づく意思決定が必要であることが示唆された。一方、IGCC 技術の登場時期は唯一設備更新シナリオ間の順位を変動させた。すなわち 2020 年までに技術が実用化に至った場合、既存設備の補修・改修施策よりも寿命に達した設備は積極的に更新していくことが CO₂ 排出削減量の面で最も有意となり、削減費用の面でも他のシナリオとほぼ同等といえる程度になることが示された。

参考文献

- Boudri, J.C., Hordijk, L., Kroeze, C., Amann, M., Cofala, J., Bertok, I., Li, J., Dai, L., Zhen, S., Hu, R., Panwar, T.S., Gupta, S., Singh, D., Kumar, A., Vipradas, M.C., Dadhich, P., Prasad, N.S. and Srivastava, L. (2002) The potential contribution of renewable energy in air pollution abatement in China and India. *Energy Policy*, Vol.30, pp.409-424.
- Chen, WY. (2005) The costs of mitigating carbon emissions in China: findings from China MARKAL-MACRO modeling. *Energy Policy*, Vol.33, pp.885-896.
- Chen, S., Jefferson, G.H. & Zhang, J. (2011) Structural change, productivity growth and industrial transformation in China. *China Economic Review*, Vol.22, pp.133-150.
- CIBD (1999) Coal in the energy supply of china : report of the CIAB Asia Committee. Paris, OECD/IEA.
- Dones, R., Zhou, X. & Tian, C. (2004) Life Cycle Assessment (LCA) of Chinese energy chains for Shandong electricity scenarios. *International Journal of Global Energy Issues*, Vol.22, pp.199-224.
- EPRI (2003) Electricity Technology Roadmap: Meeting the Critical Challenges of the 21st Century. California.
- Goldman Sachs (2003) Dreaming With BRICs: The Path to 2050. Global Economics Paper, NO.99. <http://www2.goldmansachs.com/ideas/brics/book/99-dreaming.pdf> (参照 2011 年 11 月 21 日)
- The World Bank (2005) ICP 2005 Report. [Online]. Available: <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/DATASTATISTICS/ICPEXT/0,,contentMDK:22438220~pagePK:60002244~piPK:62002388~theSitePK:270065,00.html> [Accessed Jan. 15 2011].
- IEA (2010) TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2009. [Online]. Available: http://www.google.co.jp/url?sa=t&rct=j&q=trends%20in%20photovoltaic%20applications%20survey%20report%20of%20selected%20iea%20countries%20between1992%20and%202010&source=web&cd=1&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.iea-pvps.org%2Findex.php%3Fid%3D92%26eID%3Ddam_frontend_push%26docID%3D432&ei=10cqT83FCOqOmQWpmwE&usq=AFQjCNHBEQJ1YkqIQZ-e8LZvqfS1iIZidg&sig2=6QoZTt6Z2OyNCn2SgoxHKQ. [Accessed Dec. 6 2011].
- IEA (2012) IEA Statistics & Balances. [Online]. Available: <http://www.iea.org/stats/index.asp> [Accessed Jan. 15 2011].
- JCAOL (n.d.) 日本のクリーンコールテクノロジー. [Online]. Available: <http://www.jcoal.or.jp/cctinjapan/cctinjapan.html> [Accessed Dec. 2 2011].
- JCAOL (2005) Coal Science Handbook. [Online]. Available: <http://www.jcoal.or.jp/cshandbook/cshandbook.html> [Accessed Dec. 2 2011].
- Li, J., Shi, P., Gao H. (2010) China Wind Power Outlook. GWEC, Brussel.
- Liang, X., Reiner, D., Gibbins, J. & I, LJ (2009) Assessing the value of CO₂ capture ready in new-build pulverised coal-fired power plants in China. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Vol.3, pp.787-792.

- Ma, C., Fujii, Y. & Yamaji, K. (2001) China's Electric Power Sector's Options Considering Environmental Impact: Analyzed by an optimistic energy model. Japan Society of Energy and Resources, Vol.20, pp.479-484.
- NBSC (2006) China Statistical Yearbook 2005. Beijing, China Statistics Press.
- NBSC (1996-2010) China Statistical Yearbook 1996-2010. Beijing, China Statistics Press.
- NDRC (2007) China's National Climate Change Programme. Beijing.
- NDRC (2007) Medium and Long-Term Development Plan for Renewable Energy in China. [Online]. Available: http://www.martinot.info/China_RE_Plan_to_2020_Sep-2007.pdf [Accessed Dec. 2 2011].
- NEDO (2005) 技術戦略マップ 2005. 東京, METI.
- Takahashi, M. (2003) The World Bank Group's Perspectives and Cases of Cleaner Coal Technology Projects. Energy & Environment, Vol.14, pp.51-57.
- UNPD (2010) World Population Prospects. <http://www.un.org/esa/population/unpop.htm> (参照 2011 年 11 月 21 日)
- Whying, C. (2005) The cost of mitigating carbon emissions in China. Energy Policy, Vol.33, pp.885-896.
- WNA (n.d.) WNA reactor database. [Online]. Available: <http://world-nuclear.org/NuclearDatabase/Default.aspx?id=27232> [Accessed Feb. 1 2012].
- WNA (2012) Nuclear Power in China. [Online]. Available: <http://www.world-nuclear.org/info/inf63.html> [Accessed Feb. 1 2012].
- WRI (n.d.) Population growth: Stabilization. [Online]. Available: <http://www.wri.org/publication/content/8599> [Accessed Dec. 2 2011].
- Yamaji, K. (2003) Global Energy Scenarios. 22nd World Gas Conference. Tokyo.
- 電源開発 (1999) 中国既設石炭火力発電所効率向上調査. NEDO.
- 黒田昌裕 (2003) 国際エネルギー使用合理化基盤整備事業 (省エネルギー技術の普及のための調査・研究等) 平成 14 年度調査報告書. 東京.
- 倪春春 (2007) 中国の天然ガス産業とガス火力発電の現状と課題. エネルギー経済, Vol.33, No.5, pp.57-72.
- 原田道昭 (2003) 石炭利用技術開発の課題と今後の戦略. Journal of the Japan Institute of Energy, Vol.82, pp.812-821.
- 中国電力年鑑編輯委員会 (2006) 中国電力年鑑, 北京, 中国電力出版社.

第4章 異なる消費形態による既存ストック利活用の違いが及ぼす影響の分析：民生用消費機器を対象として

4.1 緒言

前章では、革新的技術の導入と既存ストックの利活用という視点から、大規模インフラの事例として石炭火力発電設備を対象として分析を行った。大規模インフラはその更新に伴う影響力が非常に大きい、一方で比較的少ない数の設備が長期間にわたり使用される。また技術導入にあたっての意思決定に関わる主体も比較的明確であり、技術選択の際にはコストや環境負荷物質の排出等のデータに基づき合理的な選択がとられやすい対象といえる。一方で、エアコンや自動車などの比較的小型なエネルギー需要家側のエネルギー消費機器（EuP）は、より短いサイクルで機器更新が起こる。技術の選択主体は、多様な意思決定のための価値を持った消費者であり、その決定プロセスはより複雑といえる。本章ではこうしたエネルギー需要家側の選択に焦点を当てて、本章で家電、次章で自動車を対象に機器更新と既存ストックの利活用について論じる。

新興国におけるエネルギー消費機器のストック利用の特徴の一つは、製品寿命が長く、最終処分されるまでの間に一旦使用済みとなった製品も中古品市場もしくはそれ以外の手段で中古品として積極的に取引される点にある。新興国の所得格差は一般に先進国よりも高く、先進的な技術を利用可能な層と低廉な機器により低質なサービスを受容せざるを得ない層が混在しているためこうした事態が生じる。

新興国の社会に特徴的なもう一つの点は、製品廃棄・リサイクルに関わるリスク管理のシステムが未成熟なことが挙げられる。廃電気・電子機器（e-waste）や廃自動車（ELV）の不適切な扱いによる重金属汚染、廃プラスチックやASR（Automobile Shredder Residue）等の不法投棄が問題となっており、健康・環境影響及び有用資源の損失の観点からも議論をする必要があるといえる。

本研究では、こうした多様な問題要素に対し包括的にアプローチするため消費者の行動形態に着目した。消費形態の将来的な変化を想定することで新技術の普及とストックの有効活用施策、および製品リサイクルについて議論する。4.2節では、消費者の製品購入・廃棄時の行動選択に着目し、既存文献の調査および現地でのアンケート調査に基づき、考える将来の中国における消費形態の代替案を提示する。4.3節では、消費形態を定量的に評価するため製品循環モデルを構築し、資源消費・温室効果ガス（GHGs）排出量の観点から評価し、4.4節に分析結果および考察を示す。以上の評価に基づき、中国における望ましい製品循環の在り方と、それを支える消費者の行動形態についての提言を行う。

4.2 中国における将来の持続可能な消費形態の抽出

4.2.1 消費形態構築の概要

資源・エネルギー効率の高い製品の提供や利用，使用済み製品の再資源化と適正処理等の製品循環システムを適切に運用していくためには，法制度やインフラの整備に加え，考える持続可能な消費形態の代替案を提示・評価し，消費者がその消費形態を実現しうるような製品循環システムを構築する必要がある。そこで，本研究では中国でのアンケート調査に基づき，製品選択における消費者の行動傾向を分類した。一方，廃棄の断面での消費者行動も，製品循環システムを構築する際に想定すべきであり，また現在観察される消費者の選択や消費の傾向が，今後も継続するとは言えない。そこで既存文献を調査し，先進国で描かれている将来のライフスタイル等を参考とした。文献に描かれた将来のライフスタイルや製品循環の形態を抽出し，そのうちアンケートで得られた現在の消費者と同様の特徴を有し，今後の主流な消費形態になると考えられるものを選択し，これらに基づき消費形態を定義した。図 4-1 に以上のプロセスを図式化した。

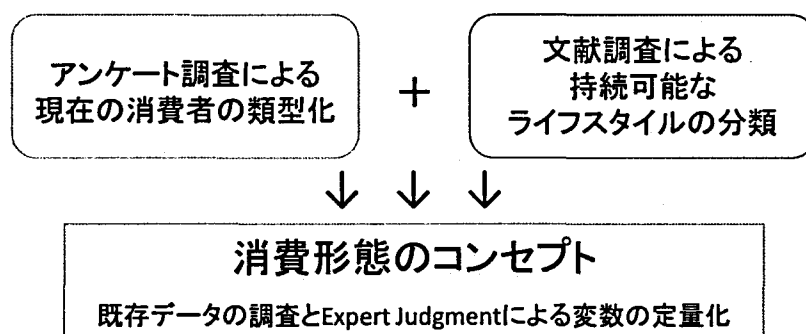


図 4-1 消費形態の抽出

本節の構成は，まず 4.2.3 項において既存のライフスタイル研究のレビューを行い，次いで 4.2.2 項に本研究で行ったアンケート調査の結果を示した。4.2.4 項において両者の親和性について論じ，本研究で用いる消費形態を定義した。消費形態の構築に当たっては加藤ら（2004）に提示されたシナリオアプローチの手法を適用した。抽出されたシナリオのコンセプトに基づきステートメントを定義する。本研究の着眼点である革新的技術の導入と既存ストックの利活用という視点からシナリオの差別化を図る軸をディメンジョンとして定め，ステートメントに基づき各ディメンジョンにおけるシナリオの方向性を定義し，最後にディメンジョンを表現する操作変数の変化可能な領域を推定することで，シナリオがモデル上で定量化される。定性的な情報が多く不確実性の存在は不可避であるが，一方でこうした手法によりドラスティックな将来変化を予想できることが利点といえる。

4.2.2 既往研究における持続可能なライフスタイルの描写

第2章において、将来の持続可能な生産と消費を描いた先行事例を紹介した。本項では、その研究で描かれたライフスタイルシナリオをレビューした。シナリオの構築手法や詳細なシナリオ設定については各文献（木村，2006；未踏科学技術協会，2003；木村ら，2008；木村ら，2004）を参照されたい。

(1) Sustainable Household Project

まず，Sustainable Household Project では、日常生活の各断面を「衣」・「食」・「住」の3つのシーンに分解し、各シーンに沿った複数のシナリオを提示している。各シーンで描かれたDOS (Design Oriented Scenario) を表 4-1 に示す。

Sustainable Household Project ではこれらのシナリオを2つの軸（ディメンジョン）を用いて分類している。1つ目の軸は、利用者の社会的態度 (User Social Behavior) であり，Collective – Individual のどちらを志向するかにより DOS を特徴づける。衣・食・住の各シーンでのサービス利用者が、個々人へのサービスを志向するか、コミュニティや集団としての特徴を生かしたサービスを志向するかにより分類される。2つ目の軸は、技術システムの役割 (Technical System Role) であり，Enabling – Relieving の対比により DOS を特徴づける。個人やコミュニティ自信の環境を整えサービスを自ら生み出す能力を向上させるためのインフラ・機器システムの整備と、サービスを各主体の能力から切り離し利用者の意識の外側でサービス提供を行うための技術開発との異なる方向性が示された。

表 4-1 Sustainable Household Project で描かれたシナリオ

DOS の分類	具体的シナリオ
衣に関わる DOS :	・ <u>永久的な所有 (Eternally yours)</u> ・ 衣類は個人所有され、徹底かつ長期的にわたって利用される。 ・ クリーニングや定期的な維持、廃棄物処理はサービス制が敷かれ、購入時にサービス契約料を支払う。再スタイリングとアップグレードもサービスされる。 ・ 衣類の製造やケアサービス、廃棄物管理は大規模な総合衣類センターが統合的に担う。 ・ <u>衣類及び洗濯のアウトソーシング (Clothing and Clothing care outsourcing)</u> ・ 上着類は個人所有だけでなく、専門組織によって所有、維持、場合によっては他の家庭と共有される。 ・ 種々のサービスや共有システムを通じて、クリーンな衣類が家庭に共有される。 ・ 下着類や特定行事用の衣類は個人所有されるが、使い捨ての消耗材で作られる。 ・ <u>利用者チェーン (Chain of users)</u> ・ 高級な上着類は個人所有だが、所有権の以降が早い。衣類の小売セクターが統合され、デポジットシステムや情報技術 (データベース) によって活発化される交換システムや中古市場を通じて所有権の移行が進められる。 ・ 衣類は修繕、再スタイリング、アップグレードされる。新しい部位に分解・再組み立て可能であり、技術的寿命の終わりには再繊維化、再加工されて新しい衣類や繊維原料となる。
食に関わる DOS :	・ <u>知能の高いハイテク調理 (acceleration & intelligent high cooking)</u> ・ キーワードは高度技術、便利、自分で行う「do it yourself」。適度なサービス利用、労働生活の加速などによって特徴付けられる。 ・ 食事時間は定まっていないが、食事に費やせる時間は労働や余暇活動による。 ・ 台所と食料の管理は知能機器の補助を得て最適化され、水やエネルギーは可能な範囲で再利用される。 ・ 持続的に調理あるいは前準備された食事、あるいはどう適切に調理するかを電子レンジと通信するチップをもった調理済みの食事。 ・ 包装材は生分解性で、かつ関連する消費者情報を記録したチップが入っている。 ・ <u>近隣の食料センター (Neighborhood food center)</u> ・ 食事、食料購入、持ち帰り用の食事購入などができるコンパクトシティにおいて、近隣のスーパーマーケットとレストランが一体化するシナリオ。共同調理や特殊なキッチン機器のリースも可能。 ・ 家庭には電子レンジ、給湯機器、小型冷蔵庫のみが設置。 ・ 近隣の食料・食事センターには、単身者や家族など多様な形態の“家庭”が訪れる。 ・ 食料センターでの調理は、新鮮さを保ちうる場所で準備されるが、大抵は分離される。 ・ 廃棄物は収集されて、地域のエネルギー生産に利用される。 ・ <u>グリーンコンシューマー需要を通じた地域のグリーン・メニュー (Local green menu through green consumer demand)</u> ・ 季節ものの有機食材を購入し、自分で調理を行う。そのため食材をより新鮮に長期保存させる機器が重要となる。 ・ 近隣の食品コーナーで買い物し、そこが近隣の人々とふれあう場となる。
住に関わる DOS :	・ <u>快適マネジメントサービス (Comfort Management Service)</u> ・ 全居室でマネジメントサービスを提供。知能技術 (Intelligent technology) によって快適な環境とエネルギーの効率的な利用が可能。 ・ <u>Edumation (Education と Information を併せた造語と思われる)</u> ・ 個人に対して住居に関する情報を提供する。消費エネルギーの可視化、コンサルティングを行う。 ・ 情報提供やコンサルティングによって、ユーザーの教育を行い、環境意識を高める。 ・ <u>自然居住 (Natural living)</u> ・ 季節や日々の天候や気温に応じてライフスタイルだけでなく、住居の構造もフレキシブルに変化させる。 ・ <u>シェアリング (Come Together)</u> ・ 分散型のエネルギー供給システムに伴って、ファシリティを共有して利用する。

木村 (2006) より引用

(2) 持続可能な消費プロジェクト

「持続可能な消費プロジェクト」は末踏科学技術協会により 2002~2003 年に行われたプロジェクトである。消費者アンケートに基づきエコ・ライフスタイルイメージを構成する 5 つの要因を抽出し、そのうち 4 つから計 5 つのライフスタイルを描いた。5 つの要因はそれぞれ「省エネ・リサイクル因子」、「ナチュラル因子」、「不便・我慢因子」、「手作り因子」、「都会集中因子」である。このうち省エネ・リサイクル因子から 2 つ、ネガティブなイメージをもつ不便・我慢因子を除いた残り 4 つの因子から 1 つずつの計 5 つのライフスタイルを構築した。描かれたライフスタイルの概要を以下に示す(末踏科学協会(2003)より抜粋)。

- ・ エコプロダクト型: 先進的な技術により環境配慮型の商品開発が進む。インターネット、デジタル放送、ソーラーシステムや省エネ型住宅、ホームオートメーションやホームロボット、ハイブリッドカーや燃料電池など、ハイテク製品により生活を豊かでスマートなものへとしていく。
- ・ ネットワーク型: インターネットによる仮想空間を利用し、でかけずに仕事や買い物などを行う。雑然とした都会で暮らす必要がなくなり、都市から離れて自然環境のよいところでくらすことが可能になる。
- ・ 儉約型: それほど収入は増えないが、「人並みに贅沢をしたい」と思うのではなく、工夫によって支出の節約をしつつ、趣味やゆとりなどかけるべきところには出費を惜しまず、自分なりの豊かさを発見していく。
- ・ 伝統回帰型: 技術が進む一方で、便利だから幸せになれるわけではないという考えが浸透する。楽をするために車に乗ったり使い捨て商品を買ったりせず、歩けるところは歩いて修理できるものは修理するなど、あえて不便も含めて楽しむ暮らし方。手間はかかるが手作りのプロセスを大切にするような、ゆとりのある生き方に学ぶ温故知新の生活。
- ・ サービス型: 家も車もすべて保有するのではなく、レンタルやシェアリングによりいいものを必要な時だけ使うスタイルが広まる。レンタカーにも外車等の車種が充実、マンションも賃貸とはいえ高級家具・家電つきや、インテリアにこだわったりペットと一緒に暮らせたりと、個性あるものが登場してくる。

この事例では、「ナチュラル因子」・「手作り因子」が Sustainable Household Project の Enabling の方向性と一致し、「省エネ・リサイクル因子」のうちネットワーク型に見られる方向性や「都市集中因子」は Relieving に対応していると考えられる。技術開発の方向性に言及しているライフスタイルは、エコプロダクト型とネットワーク型、サービス型が挙げられるが、エコプロダクトは Individual, サービス型は Collective, ネットワーク型は双方の技術が共に必要になると考えられる。

(3) 持続可能なライフスタイル研究

木村ら(2008)の提示したライフスタイルを以下に示す。

木村ら(2008)では、上記の文献同様にシナリオを規定するドライビングフォース(DF)の抽出を行った後、その結果に基づき雑誌や文献等に提案されている複数のライフスタイルを点数化し類型化することで将来の方向性の代替案を提示した。専門家を招いたワークショップを通して抽出されたDFは、「高齢化」、「所得の二極化」、「個の進展」、「時間の利用」、「情報化」の5つであった。ここでは、「個の進展」に Sustainable Household Project の Collective・Individual 軸と同様の着眼点を見ることができる。また、「時間の利用」は余暇の重要度に関する意識に着目したDFであり、技術開発の方向性における Relieving と同様に、日常に占めるサービス利用に必要な手間暇からの解放を志向している。

木村ら(2008)では、これらのDFに基づき既存のライフスタイルを分類することで4つの将来のライフスタイル類型を提示している。各類型の消費の志向性に関する記述を以下に抜粋した。

- ・ ロハス型：環境に配慮した品質の高い製品を購入する。企業理念やCSRなども考慮して製品を選択する。無駄なものは所有しない。また、廃棄する場合は、エネルギーと資源消費のバランスを考えながら適切な機器更新を行ない、資源の循環にも責任をもって次のセクターに対して受け渡す。
- ・ 地域協同型：贅沢はせず、平均的な機能の機器を利用する。しかし、地域コミュニティの利点を活かしたシェアリングが行われている。また、「もったいない」など昔からの価値観もあるため、機器が故障しても修理しながら長く利用する。
- ・ 現状維持型：巨大なアパート住まいのため、居住スペースがそれほど大きくない。また、労働環境も流動性が高い。忙しく、また現状の価値観のままで、物的な豊かさを求め、省力性や利便性に重きを置く。したがって、モノを所有しない生活へと移行。アパートに備え付けの機器やリース・レンタルが主流になる。
- ・ 個人自由型：所得が低いため、社会サービス化している部分が多い。機器を所有する場合は、安価な機器を志向する。一方で、経済的余裕は低いものの娯楽性の高い生活領域・機器には支払い意欲が高い。そのため、ほとんどの製品は中古品を志向する。機能本位であり、新品かどうかは気にしない。特にネットオークションなどを利用して製品を購入する。そして、自分の趣味や興味のあることに関して、資金を集中的に使う。

(4) 迅速循環

最後に、木村ら(2003)の示した迅速循環のコンセプトを再掲する。迅速循環とは、“CO₂排出面も考慮して、適切に(必ずしも短期ではない)製品を循環させることを目指す手法”を示す。本研究では、迅速循環シナリオは必ずしもライフスタイルを示すものではないが、製品の技術選択、使用、廃棄に至るまでの製品のライフサイクルにおける消費者の取るべき選択を示しているものとして、消費形態の参考とした。

以上のシナリオレビューの結果、人々の消費行動からの環境負荷の低減の方法は、いず

れのライフスタイルにおいても概ね以下の4種に該当すると考えた。

- (a) 省エネ・リサイクルの技術を高度化し、積極的に高効率な技術を利用することでサービスあたりの環境負荷を低減していく。革新的技術の導入には積極的であり、ライフサイクルでみたエネルギー消費量を最小にするよう考慮しつつ新技術への置き換えを図っていく。
- (b) 省エネ・リサイクル技術の高度化は従来通り高い高度技術の利用を進めていくが、同時に生活習慣の見直しや必要のないモノの所有・過度なサービスの供給を減らす等の取り組みを併せて行い、無理のない範囲でサービス需要の低減とサービスあたりの環境負荷の低減を両立させる。
- (c) 生活の中で自分が必要と思うサービスを選択し、必要でない、あるいはそれほど重要でないと感じる部分を積極的に縮小する。必要と感じる部分には積極的に投資するが、そうでない部分では中古品利用や製品のメンテナンス等により古くなった製品も長寿命化を図っていくことで環境負荷を低減する。
- (d) リース・レンタル等の社会的システムによりサービスのみを受け取り、それに必要な製品の保有や資源の消費の改善はアウトソーシングする。サービス供給側が消費者の需要をくみ取りつつ規模の経済やきめ細かい最適化を行うことで、資源・エネルギー消費等の環境負荷が効率的に削減される。

以上で得られた分類を次項で示す消費者アンケートの結果と照らし合わせ、中国における将来の消費者の行動形態を定義する。

4.2.3 中国における消費形態構築のためのアンケート調査

現在の中国の消費者の類型化のため、上海周辺の都市で実施したアンケート調査の概要を表4-2に示す。また、調査対象地である上海市・昆山市・湖州市の位置をそれぞれ図4-2に示す。

表 4-2 アンケート調査の概要

対象地		上海市	昆山市	湖州市
サンプル数	Urban	50件	50件	50件
	Suburb	50件	50件	50件
調査期間		2007年1月～2月		2007年10～12月
調査方式		対面聞き取り		
対象地属性				
面積 (km ²)		6,341	5,818	865
人口 (千人)		17,780	2,572	637
人口密度 (人/km ²)		2,804	442	736
標本平均所得 (元/年・世帯)		24,600	18,400	



図 4-2 アンケート実施場所と分析対象地域

調査項目は、個人属性情報、住居に関する情報、家電機器の保有実態、家電の購入・廃棄に関する行動選択の志向性に大別され、主要家電であるエアコン、カラーテレビ、冷蔵庫、洗濯機、パソコン（上海市でのみパソコンを除く）の購入を想定して行った。本項では、このうち「購入時の行動選択の志向性」に関する調査結果を用いて消費者を類型化した。調査に用いた調査票（日本語版）を Appendix II に示す。

「購入時の行動選択の志向性」として、消費者が対象 4 品目の製品選択の際に何を重視するかを尋ねた。選択肢は、「価格」、「消費電力（効率）」、「多機能性」、「デザイン」、「新品かどうか」（以下、「新品」）、「動作音の静かさ」（以下、「静音性」）、「馬力¹¹」（エアコン・冷蔵庫）、「画質」（テレビ）、「音響性能」（テレビ）の 9 項目であった（複数回答可）。重視する場合を 1、しない場合を 0 とし、各項目のパソコンを除く 4 機器の値の加算値を各項目の得点とした。また、製品の性能の項目を統一するため「出力・性能」の項目を新たに設定し、テレビでは「画質」・「音響性能」の平均値を、他の 3 品目については「馬力」の得点を「出力・性能」項目の得点とした。以上の 7 項目の得点を標準化した上で主成分分析を行い、抽出された主成分に基づきクラスター分析を行うことで、消費者を類型化した。主成分分析・クラスター分析には IBM SPSS Statistics を用いた。

主成分分析の結果から、第 4 主成分までを抽出した。結果を表 4-3 に示す。累積寄与率は 70% であった。

¹¹ 機器の能力の大きさを表す。表 4-3 では出力と表記した。

表 4-3 主成分分析結果

	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分
寄与率	23%	18%	16%	13%
価格	0.656	-0.532	0.107	-0.118
消費電力	0.623	-0.516	-0.130	0.340
多機能性	0.229	0.515	0.475	-0.165
デザイン	0.406	0.548	-0.517	-0.275
新品	0.762	0.362	-0.144	-0.033
静音性	0.088	0.422	0.095	0.870
出力・性能	0.288	0.055	0.743	-0.126

第一主成分は、「消費電力」・「デザイン」・「新品」成分に加えて「価格」成分も大きく、安価で新しく良質な製品を求める経済合理的な欲求と考えられた。第二主成分は、「価格」・「消費電力」が負の値を示し、「出力・性能」以外の成分が正に大きな値を示し、トレードオフが見られた。「機能・性能の高いものに対して、より多くを支払ってもよい」と考える傾向を示すといえる。第三主成分は「デザイン」成分が負であるのに対し、「多機能性」・「出力・性能」が大きな正の値を示した。デザイン性を犠牲にしても実用的・利便性の高い製品を選好する傾向を表す主成分と考えた。第四主成分は、「静音性」成分が突出して大きく、「消費電力」以外の他の全成分は負の値を示した。そこで第四主成分は、使用時の室内環境の快適性を重視する傾向を示す成分と考えた。

次に、得られた主成分の得点に基づきクラスター分析を行い、サンプルを類型化した。結果を図 4-3 に示す。図の縦軸は、全サンプルの属性値を標準化した場合の各クラスターに含まれるサンプルの得点の平均値を表している。

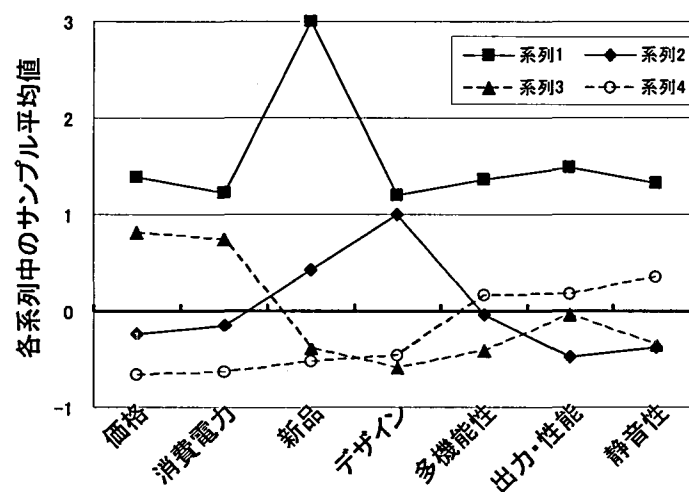


図 4-3 クラスター分析結果

系列 1 (サンプル全体に占める比率は約 38%) では、全ての項目の得点が全系列中で最も高く、製品選択に非常に強いこだわりを打ち出している集団といえた。「新品」に対する選好が特に高く、中古品を極力避けた上で価格と品質・デザイン等のバランスを考慮し、製品選択を行うと考えられる。系列 2 (同 29%) は、「デザイン」、「新品」に対して強い嗜好性を持つ一方、「価格」や「静音性」、「出力・性能」への嗜好性は低い。新しく洗練されたデザインのものを価格にこだわらずに求める傾向があり、製品のモデルチェンジ等に合わせてより新しいものへと積極的に買い替えを行う可能性が高いと考えた。系列 3 (同 28%) は、「価格」、「消費電力」に対する嗜好性が高いが、「デザイン」、「新品」への嗜好性は低かった。製品に対する要求が低く、「使えれば良い」という嗜好性が読み取れた。系列 4 (同 5%) では、「多機能性」、「出力・性能」、「静音性」への嗜好性が高いが、「価格」への嗜好性は全系列中最低であった。価格にこだわらず、高品質で快適性の高い製品を好む傾向があると考えられる。

以上、上海市・昆山市・湖州市にて行われたアンケート調査の結果から、消費者を 4 つに類型化した。次項以降で、これを既存文献に描かれたライフスタイルと比較しその親和性を評価する。

4.2.4 消費形態の定義

クラスター分析の結果および既往文献から得られた将来の消費の志向性の分類を比較し、中国の将来の消費者の類型として定義する。また、得られる消費者類型の特徴に基づき、本研究で適用する家電消費における消費の傾向を示す。

(1) 消費形態 1: 積極買替型 (RC: Rapid Cycling)

クラスター分析で得られた系列 1 は、積極的に新しく品質の高い製品を求める点で、機器更新により全体のエネルギー効率を高めていく(a)の志向性に近いといえる。積極的に新技術を取り入れ、技術革新を素早く普及させる消費スタイルは迅速循環ライフサイクルに近く、「積極買替型」と名付けた。製品の買い替え需要が大きく、製品の寿命は比較的短い。現在行われている所得格差を利用した中古品の利用は、経済状況の向上とともに減少していく。迅速循環ライフスタイルは、その定義にもあるように必ずしも製品の買い替えサイクルを短くしていくことを志向するものではないが、ここでは技術向上との関係の中で最適な更新速度を定量化することは困難なためやや早めのサイクルでの買い替えを想定する。

(2) 消費形態 2: 傾向延長型 (BAU: Business As Usual)

系列 2 は、積極的に新しく洗練されたデザインの製品を選択する一方で、製品品質に対する要求は低く、既往文献から得られたライフスタイルに類似するものがない。こうした選好は現在の中国では、新品ではあるが、現地技術を用いたエネルギー効率が低く安価な

製品が多く普及している傾向と一致し、現在の中国特有の消費形態と言える。こうした消費の形態が必ずしも今後も継続するとは言えないが、ここでは「傾向延長型」として定義した。この消費者はアンケートから得られた特徴に基づき、新品を好み、中古品利用は経済的にやむをえない理由以外に行われないものとした。また、価格と品質のバランスを優先することから、低く抑えられた電力価格等、高効率な製品の選択へのインセンティブが少なく、高効率な製品への選好は現状よりわずかに上がるのみと設定した。

(3) 消費形態 3 : 使い回し型 (CU: Chain of Users)

系列 3 は、中古品を積極的に利用し、機能面での要求が少ない点で、(c) と近い選好を持っていると考えられる。このことから、中古品志向は全消費形態中最も高いと考えられ、本研究では「使い回し型」と定義した。また、価格に対する選好の高さに着目し、過度にエネルギー効率の落ちた製品の利用は避けるが積極的な製品の更新は行わず、メンテナンスにより長期間にわたって製品利用を継続すると考えた。(c) に描かれた消費傾向には、購入時により安い製品への選好を持つもの（倹約型・個人自由型等）と購入時には平均的な製品を選好するもの（地域共同型等）が提案されているが、系列 3 では、消費電力に対する選好は全系列中 2 番目と比較的高く、また中古品の選好と製品廃棄時期の選択において特徴的な傾向を有していることから、本研究では高効率製品への選好は中程度であると考えた。

(4) 消費形態 4 : 高品質堅実型 (QW: Quality and Wisdome)

系列 4 は、価格に関わらず先進的な技術を嗜好する点で、高度技術を利用しエコ・ロハス等を志向する(a) への発展の可能性が最も高いと考えられる。(a) では、高度な技術への選好と、適切なメンテナンスの併用による長寿命化に特徴があり、必ずしも革新的技術が登場したとしてもそれほど積極的な更新は起こらず、それよりも長く使える製品を好む傾向があると考えられる。こうした特徴を反映し本研究では「高品質堅実型」と定義した。

(d) は、今回のアンケート調査で家電消費のサービス化に関する質問項目を設けなかったことから、これに類似する消費者のグループを特定することができなかった。また、家電製品の利用において、サービサイジングに類するサービスの実用化は先進国においてもそれほど進んでおらず、本章では考慮しないものとした。

以上の結果から、本研究では各系列を順にそれぞれ「積極買替型 (RC: Rapid Cycling)」、 「傾向延長型 (BAU: Business as Usual)」、 「使い回し型 (CU: Chain of Users)」、 「高品質堅実型 (Quality and Wisdom)」とし、各消費形態について表 4-4 に示すように定義した。なお、これらの消費形態のステートメントの列に示された変数については、次節に詳細を述べる。

表 4-4 消費形態の定義とパラメータの設定値

コンセプト	ステートメント		
	高効率製品 選択確率	中古品 選択確率	新品廃棄時の 製品寿命
現状	■エアコン：15% (低効率品のインバート導入率：0%) ■テレビ：15% (ブラウン管：液晶：プラズマ=10：0：0) ■冷蔵庫：10% ■洗濯機：2% (ドラム式比率：0%)	■エアコン：20% ■テレビ：20% ■冷蔵庫：5% ■洗濯機：15%	■エアコン：10.3年 ■テレビ：11.46年 ■冷蔵庫：11.57年 ■洗濯機：9.88年
傾向延長型 (BAU：Business As Usual) 現状の傾向を代表し、それを維持する。新品を好み価格と品質のバランスを重視する。先進的技術の導入は所得の増加に伴い徐々に行われる。	20% (40%) 20% 10% (8:1.6:0.4) 3% (10%)	一律5%	10.3年 11.46年 11.57年 9.88年
積極買替型 (RC：Rapid Cycling) 高効率な技術の導入と製品の迅速な更新によりエネルギー消費の抑制を図る。買い替え需要が大きく、古品の利用率は低く、また製品寿命も全体的に短くなる。資源消費の抑止はリサイクル技術の向上により抑制されることを期待する。	40% (70%) 40% 34% (5:4:1) 10% (10%)	一律10%	8.24年 9.17年 9.25年 7.91年
使い回し型 (CU：Chain of Users) 個人的なメンテナンスや中古品利用を通じて製品の超寿命化と資源消費の抑制を図る。中古品志向は全消費形態中最も高く、製品品質に対するこだわりが低い。そのため先進的技術の選択確率は低い。	40% (70%) 40% 35% (5:4:1) 10% (10%)	一律30%	10.3年 11.46年 11.57年 9.88年
高品質堅実型 (QW：Quality & Wisdom) 先進的な技術への志向性が高く、環境に優しい生活を志向する。高効率な製品を大切に長持ちさせることで、エネルギー消費の抑制と、資源消費・廃棄物発生料の抑制を図る。一方で、中古品の利用は少なく、高品質な新品を選択する。	60% (100%) 60% 60% (2:6.4:1.6) 30% (10%)	一律0%	12.37年 13.75年 13.88年 11.86年

4.3 製品フローおよび環境負荷排出評価モデルの構築

4.3.1 モデルの全体像と評価の枠組み

対象地における将来の e-waste 発生量と家電製品由来のエネルギー消費量を評価するモデルを構築した。本モデルは 3 つのサブモデル、すなわち製品ストック推計サブモデル、製品フロー推計サブモデル、および環境負荷算出サブモデルからなる (図 4-4)。製品ストック推計サブモデルでは、中国の社会経済の将来予測から対象地における製品の総ストックを推計する。製品フロー推計サブモデルでは、将来の消費形態の違いを考慮した上で、総ストックを満たすように製品フロー量を推計する。最後に、環境負荷算出サブモデルでは、製品ストックのエネルギー効率と製品フロー量からエネルギー消費量および廃棄物発生量を推計する。推計期間は 2006 年～2030 年である。

なお、本研究で用いたモデルは Analytica 上に構築した。Analytica は、Lumina® 社の開発したモデル作成用ソフトウェアで、確率変数を内蔵しモンテカルロシミュレーションを容易に行うことができる点で不確実性解析に優れたソフトウェアである。また、変数間の構造を視覚的に表示することで、モデル構造の理解を容易にし、意思決定におけるステークホルダー間でのコミュニケーションを円滑に進める上でも優れた機能を有している。

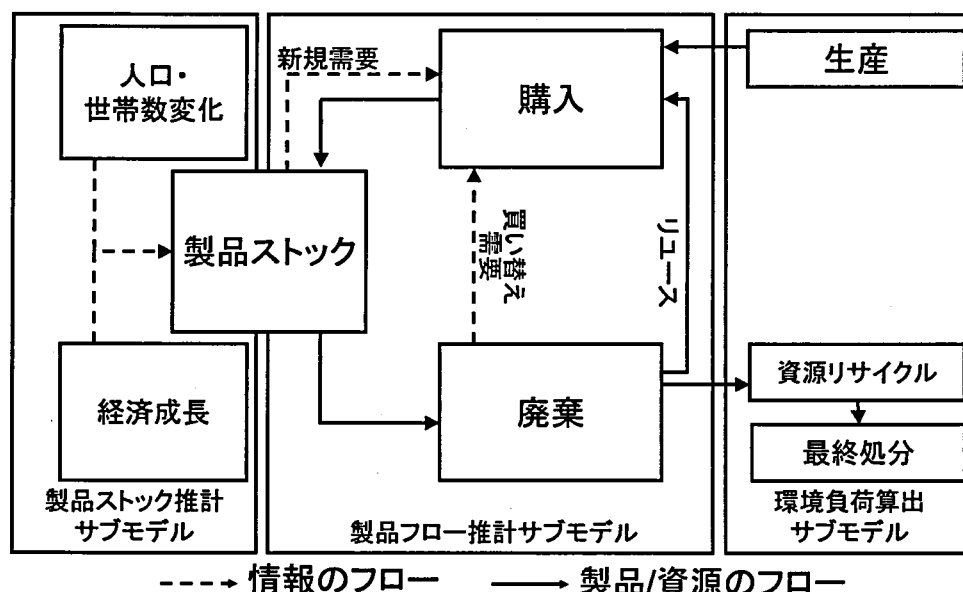


図 4-4 製品循環モデルの構造

対象地はエアコンの利用を考慮して気候環境が共通している地域として上海市・江蘇省・浙江省・安徽省・江西省・湖北省の都市部とし、4.3.6 項に示す感度解析においてのみ農村部も含め解析対象とした。対象機器はエアコン・カラーテレビ（以下、テレビ）・冷蔵庫・洗濯機とした。また、各機器における技術の普及速度を比較するため、製品の効率を高効率・低効率の2種類の技術に単純化して表現する。

社会経済状態の変化による製品ストックの増加と、買い替え・再利用による製品循環に着目し、廃棄物発生量および CO₂ 排出量を推計するモデルを構築した。評価のバウンダリは製品の製造から使用、廃製品の破碎分別までのライフサイクルを含むが、再生資源の再商品化された物質のバージン材との代替による負荷削減効果と最終処分時の負荷は考慮していない。推計手順としては、まず 2006～2030 年までの人口・所得の変化を予測し、そこから製品ストック量を推計した。次に、製品寿命・中古品の再利用率・高効率製品への志向性を考慮することで、推計された製品ストックに対応するフロー量を算出し、最後に廃棄物発生量と CO₂ 排出量を評価した。またモデルと将来の不確実性を考慮するため、モデルの感度解析を行った。

4.3.2 製品ストック推計サブモデル

製品ストックの推計にはさまざまな手法が提案されているが (Jong, 2004), 本研究では Shen (2007) を参考に、所得による世帯保有台数の違いを考慮した製品ストックの推計モ

デルを構築した。表 4-7 に製品ストック推計モジュールで用いた変数の定義を示す。まず、 t 年における製品ストック Q_t は、式 4-1 で求められる。

$$\begin{aligned} Q_t &= \sum_t Pop_{t,i} \int_0^\infty \frac{ID_{t,i}(x) \cdot Own(X)}{HS(x)} dx \\ &= \sum_t Pop_{t,i} \int_0^\infty \frac{ID_{t,i}(x) \cdot Own(x \cdot HS(x))}{HS(x)} dx \\ &\because X = x \cdot HS(x) \end{aligned}$$

式 4-1

ここで $ID_{t,i}$ は t 年の地域 i における世帯所得の分布曲線（確率密度関数）、 Own は世帯あたり機器保有台数、 HS は世帯人数を示す。 $ID_{t,i}$ 、 HS は一人あたり所得、 Own は世帯当たりの所得の関数としてそれぞれ与えられる。一人当たり所得分布 $ID_{t,i}$ は一人当たり GDP と平均一人当たり所得 $\bar{x}$ とジニ係数 G を所与とし式 4-2~式 4-5 により求まる。

$$ID_{t,i}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta_t x \bar{x}} \exp \left\{ -\frac{(\log(x) - \log u_{t,i})^2}{2\delta^2} \right\}$$

式 4-2

$$\bar{x} = \exp \left(\log u + \frac{1}{2} \delta^2 \right)$$

式 4-3

$$G = 2F \left(\frac{\delta}{\sqrt{2}} \middle| 0,1 \right) - 1$$

式 4-4

$$\bar{x}_i = c_i \cdot \frac{GDP}{Pop}$$

式 4-5

ここで、 $\bar{x}$ は一人あたり所得の平均値、 u は中位所得、 δ は分散、 G はジニ係数、 $F(t|0,1)$ は標準正規分布関数で X が $-\infty \sim t$ までの累積値をそれぞれ示す。 c の値には過去のデータ (NBSC, 1996-2011) より回帰分析を行い、都市部で 0.7933、農村部で 0.3215 を利用した。人口、GDP、ジニ係数に関する設定を、引用文献とともに表 4-5 に示す。

世帯人数曲線 HS は、過去のデータ (NBSC, 1996-2011) より回帰分析を行い式 4-6 のように設定した。決定係数は 0.89 であった。

$$HS(x) = 11.436x^{-0.1343}$$

式 4-6

表 4-5 人口, GDP, ジニ係数の設定値

<i>Pop</i>	中国の国内人口の将来予測 (UNSD, 2010) に, 2005 年時点での対象エリアの人口比率 r を乗じた。 r は過去のデータ (National Bureau of Statistics of China, 1995-2010) より回帰し, 以下のように設定した。 $r = -0.0004(t - 2006) + 0.2373 \quad (R^2=0.48)$
<i>GDP</i>	Goldman Sachs (2003) より引用した。
<i>G</i>	Shen (2007) によると近年の中国ではジニ係数が 0.40~0.46 の間で変化し, 徐々に増加傾向にある。対象地域のジニ係数は, 2002~2005 年で 0.35~0.38 へと増加しており, 中国全体と比較し 10~20%程度低かった。第 11 次 5 ヶ年計画では, 経済格差の是正を打ち出しており, そこで本研究では 2010 年をピークにジニ係数は低下するものと考え, 以下のように設定した。 2010 年 : 0.40, 2020 年 : 0.38, 2030 年 : 0.36

所得と機器普及台数の相関曲線は一般的に S 字カーブを描くとされ, 関数形も複数提案されている。本研究では, 村田ら (2005) を参考に, 式 4-7 のように定義した。

$$\frac{\Delta Own / Own}{\Delta X / X} \propto X^{-m}$$

$$\therefore Own(X) = A \exp(-\beta X^{-m})$$

式 4-7

世帯の所得に対する保有台数の弾性値が所得の負のべき乗に比例することから, 式 4-7 を得る。なお, Own は所得が増大するにつれ A に漸近する。世帯で 2 台以上保有することの少ない冷蔵庫・洗濯機では, すでに平均保有台数は 1 を越え上限に達しつつある。一方, エアコン・テレビでは現在も保有台数は増加傾向にあり, 適当な定数 A を推計するための十分なデータが揃っているとはいいいがたい。世帯あたりの保有台数の上限値は, 住宅事情・気候条件や世帯構成による影響を受ける。対象地の年平均気温は 16~17℃で, 西日本とほぼ同じ程度である。同地域の平均エアコン保有台数は 2.3~2.8 台/世帯であるが, これは様々な所得層を含む値であることから, 上限値としてはこれよりやや大きい値が想定される。一方で, 中国の住居面積は約 30 m²/人と, 日本の約 37m²/人よりも狭く, やや低い水準で安定化する可能性がある。そこで本研究では, エアコン・テレビは, A 値を 3.00 と設定した。この結果, Own の式を対象各省の統計年鑑の所得と機器保有台数データの相関に近似することにより, エアコンでは β , m を, 冷蔵庫・洗濯機では A , β , m を推計した。

表 4-6 に各定数の設定値および近似曲線の決定係数を示す。洗濯機において決定係数が低い, これは中国では洗濯は手洗いする慣習が強く, 経済的には十分裕福であっても洗濯機の購入の優先順位が低い地域があるためと考えられる。

表 4-6 機器普及曲線の定数と決定係数

対象機器	A	β	m	R^2
エアコン	3.00	-1.57	-0.701	0.89
テレビ	3.00	-1.99	-0.321	0.94
冷蔵庫	1.09	-5.54	-1.05	0.84
洗濯機	1.10	-3.17	-0.772	0.58

表 4-7 製品ストック推計サブモデルで用いられる変数の定義

変数名	定義
t	時間
i	地域（感度解析でのみ適用）
X	世帯の可処分所得
x	一人当たり可処分所得（ $\bar{x}$ は平均値）
Pop	対象地域の人口
$ID(x)$	世帯所得に対する世帯数の密度分布
$Own(x)$	世帯あたり機器所有台数
$HS(x)$	世帯人数
δ	所得分布関数の分散
u	中位所得
GDP	対象地域の総生産額
G	対象地域のジニ係数
F	正規累積分布関数
c, A, β, m	定数

4.3.3 製品フロー推計サブモデル

次に、製品フロー推計サブモデルについて述べる。消費者の消費形態を反映した変数の多くはこのサブモデル内で作用する。製品フロー推計サブモデルは、さらにストック・廃棄・需要の3つのモジュールに分けられる。製品ストック推計サブモデルで得られた市場の製品ストック Q_t は、まずストックモジュールに入力され、現状のストックに反映される。製品循環推計サブモデルで用いた変数の定義を表4-8に示す。製品の残存率関数 $Survive$ を用いて3つのモジュール間の関係は、式4-8・式4-9のように表される。

$$Scrap_t = Stock_t \cdot (1 - Survive_t)$$

式 4-8

$$Demand_t = Stock_t - Stock_{t-1} \times Survive_{t-1}$$

式 4-9

ここで、 $Scrap_t$ 、 $Stock_t$ 、 $Demand_t$ は t 年における廃棄物発生量、ストック台数、需要台数をそれぞれ示す。 Q_t と $Stock_t$ は同じ値を示すものであるが、製品フロー推計サブモデルでは、製品台数データはすべて購入されてからの年数（式中添字 l ）・製品に用いられる

技術の種類（同 m ）・中古品か新品か（同 n ）別に管理されるため、式 4-10 の関係が成り立つ。

$$Q_t = \sum_l \sum_m \sum_n Stock_{t,l,m,n}$$

式 4-10

廃製品の発生量の推計手法は複数提案されているが（Lohse et al., 1998），本研究の対象地は未飽和な市場であり今後も製品ストックが増加し続けることが予想されることから，Market Supply Method を用いることとした。Market Supply Method とは，過去の販売量に基づき製品廃棄量を推計する手法であり，市場が飽和しておらず製品の販売量と廃棄量のバランスが取れていない場合に適した手法であるが，製品の寿命関数に関して正確なデータが必要とされる。この手法により，製品ストックは各コホート（使用年数の等しい製品群）別に*Survive*との積により翌年も継続して使用される量と廃棄される量*Scrap* が決定され，廃棄物発生量に翌年のストック純増分を加えることで翌年の製品需要*Demand* が算出される。残存率関数はワイブル分布に従うものとする（式 4-11・式 4-12）。

$$Survive = 1 - \lambda(t)$$

式 4-11

$$\lambda(t) = 1 - \frac{k}{\eta^k} t^{k-1}$$

式 4-12

木村ら（2004）によると，製品寿命には価値寿命と物理寿命の 2 種類があるとされ，さらに本研究では中古品を扱うことから，中古品寿命も加え，新品寿命・中古品寿命（以上は価値寿命）・物理寿命の 3 種類のワイブル関数を考慮した。なお，新品寿命・物理寿命は新品として購入されてからの年数，中古品寿命は中古品として購入されて以降の年数の関数とする。新品寿命のワイブル関数の各パラメータ推定は Liu et al. (2006) を参考とし，平均寿命がエアコン 10.3 年，テレビ 11.46 年，冷蔵庫 11.57 年，洗濯機 9.88 年とした。中古品寿命の平均値は新品寿命の 1/3 倍，物理寿命は新品寿命の 2 倍と設定した。分散は，各寿命の 70%経過時点で累積廃棄確率が 5%，平均寿命経過時の累積廃棄確率が 50%となるとして設定した。

製品需要は，新品・中古品需要，さらに新品需要は高効率・低効率製品需要に分類される。中古品需要は，廃棄された新品製品のうち物理寿命に達しない製品が翌年の中古品市場にまわされると考え，この利用可能な中古品により賄われるとした。なお，中古品は高効率製品から優先的に利用されると仮定した。一方，新品需要は消費者の選好により高効率製品需要と低効率製品需要に分けられ，それぞれを満たすように製品が製造される。最終処分量は，物理寿命及び中古品寿命により廃棄された量に加え，中古品市場に回された製品のうち購入されなかった製品の量の和で表される。

表 4-8 製品循環推計モジュールで用いられる変数の定義

変数名	定義
<i>Stock</i>	製品ストック量
<i>Scrap</i>	製品廃棄量
<i>Demand</i>	製品需要
<i>Survive</i>	製品残存率
<i>l</i>	新品として購入されてからの年数
<i>m</i>	製品に用いられる技術の種類
<i>n</i>	新品か中古品かを示すダミー変数
<i>λ</i>	製品廃棄確率
<i>η, k</i>	定数

4.3.4 環境負荷算出サブモデル

図 4-5 に本分析の評価のバウンダリを示す。製品の製造から使用、廃製品の破碎分別までのライフサイクルを含むが、再生資源のバージン材との代替による負荷削減効果と最終処分による負荷は考慮していない。また、製品使用時のエネルギー消費は、全体のエネルギー消費に占める比率が大きいが、この部分に関して詳細なデータが得られなかったため我が国で得られたデータを適用した。評価指標は廃棄物発生量および温室効果ガス排出量（CO₂排出量）を用いた。

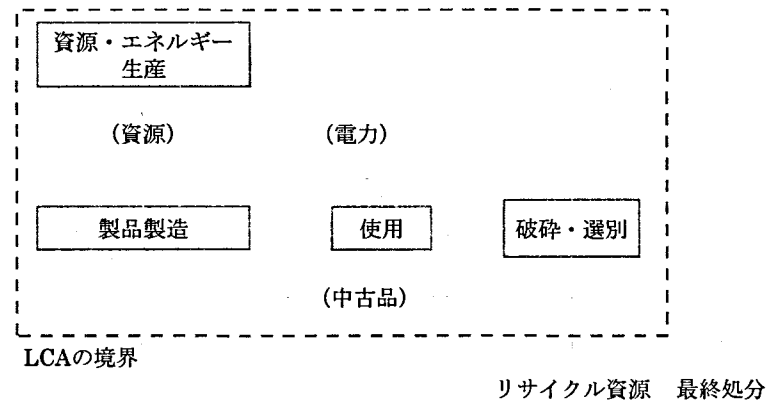


図 4-5 評価のバウンダリ

製造段階での資源消費及び環境負荷排出は、我が国と同等の技術が用いられていると想定し、JLCA-LCA データベース（産業環境管理協会，2008）からデータを得た。不足データに関してウェブ検索を通じて収集した。廃棄製品は、現実には民間の様々なルートを通じて資源回収・リサイクルが行われているが、こうしたインフォーマル・セクターに関する環境負荷の定量化は難しい。中国政府は、大規模なリサイクル施設の建設を急ピッチで

進めている（神鋼リサーチ，2003）。そこで製品廃棄過程の CO₂ 排出係数には，使用済み家電製品の混合処理技術によるリサイクル処理を想定し，JLCA・LCA データベース（産業環境管理協会，2008）を参考とした。

製品使用時に発生する環境負荷は，電力消費による CO₂ 排出のみを考える。電力の CO₂ 排出原単位には JEMA (2006) より中国の火力発電の排出原単位の値を参考とした。製品使用時の電力消費は，機器のエネルギー消費効率に依存する。どのような効率の製品がどの程度普及し使用されるかは，消費者選択の結果として決まる。本研究では，単純化のため高効率・低効率製品の 2 種類から選択がなされると仮定した。エアコン・テレビの機器別のエネルギー効率は，高効率製品には日本のエネルギー効率基準値を，低効率製品には中国のエネルギー効率基準値を適用した（省エネルギーセンター，2008；資源エネルギー庁，2010）。エアコンでのインバータによる効率改善は 30%とした。テレビでは，ブラウン管の効率基準値を用いたが，液晶テレビは 135 kWh / 年，プラズマテレビは 220 kWh / 年で一定とした。冷蔵庫・洗濯機は，中国のエネルギー効率ラベリング制度（省エネルギーセンター，2008）の等級 1 および 5 をそれぞれ高効率・低効率とした。各排出量に関するデータを表 4-9 に示す。

4.3.5 消費形態のパラメータ化

本項では，前節で定義した消費形態に対して，モデル中での操作変数の設定を行う。製品の購入時・廃棄時の選択に着目し，操作変数は製品購入時の技術選択，中古品選択，および廃棄時の選択として製品寿命の 3 変数とした。

まず，本研究では製品に用いられる技術を，エネルギー高効率化技術の程度により高効率製品と低効率製品に分類した。さらに，エアコンにはインバータ技術を，テレビには液晶テレビ(LCD: Liquid Crystal Display)とプラズマテレビ(PDP: Plasma Display Panel)を，洗濯機にはドラム式の洗濯機技術の導入を考慮した。製品購入時の高効率製品と低効率製品の選択比率を正確に把握することは困難であるが，JEMA (2004) を参考に，購入された各製品の価格帯に関する調査から，最高価格帯に属するものを高効率品，最低価格帯を中古品であると仮定して，現状の技術選択・中古品選択確率を設定した。最低価格帯に属する製品の価格が必ずしも中古品であるとは限らないが，著者の現地での中古品取引業者等への聞き取り調査の結果と最低価格帯の価格がほぼ一致していたため，このような設定を行った。その上で，今後の変化としては現状値からの変化として妥当と考えられる値を各消費形態に割り当てた。また，製品寿命はベースケースにおける値は 4.3.3 で示したエアコン 10.3 年，テレビ 11.46 年，冷蔵庫 11.57 年，洗濯機 9.88 年を用いる。その上で，消費形態の違いによる変化量としては，各製品別の寿命に対し±20%変化しうると仮定した。以上の結果，各消費形態別のフレーム値が設定された。設定値は表 4-3 に示す。モデル中では，2010~2020 年にかけて現状値から線形に各シナリオで設定された値に変化するもの

とした。消費形態により定義される変数も含め、本章で構築されたモデルにおける推計フローの全体を模式的に表したものを図 4-6 に示す。

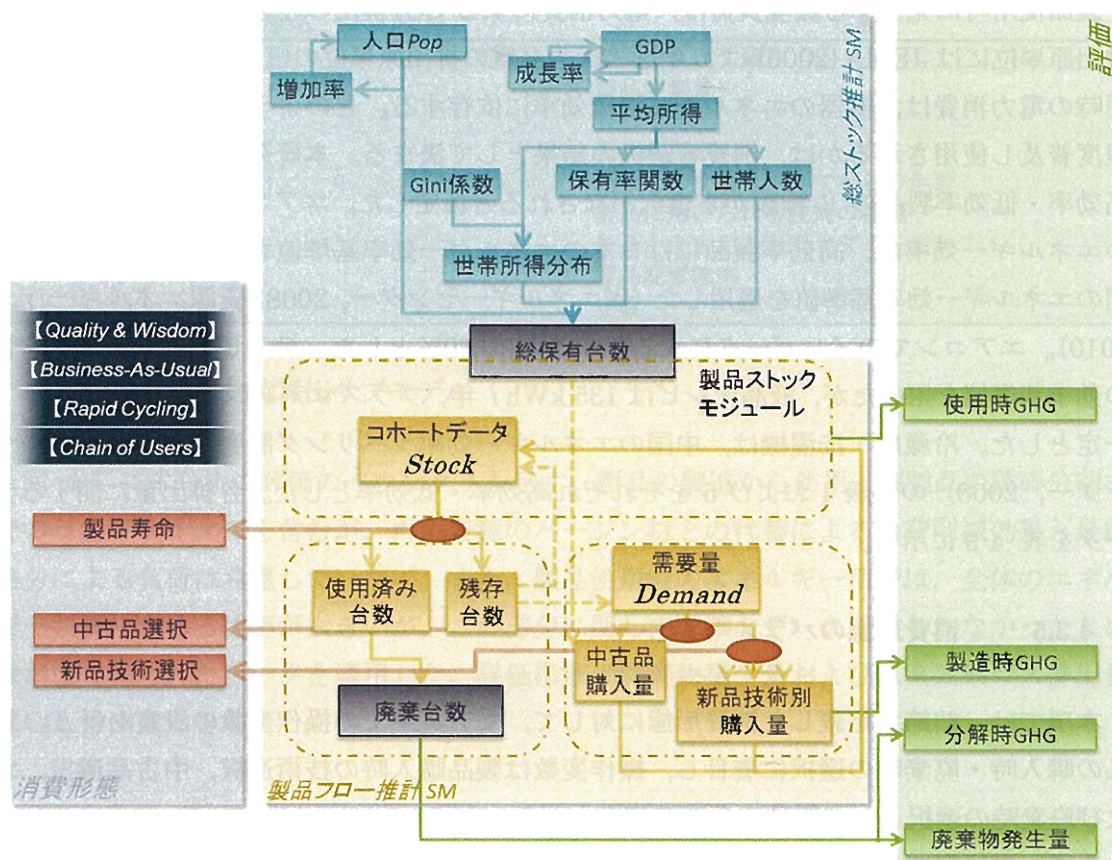


図 4-6 家電製品循環モデルにおける推計フローの全体像

表 4-9 環境負荷排出モジュールで用いたデータ¹²

発電の CO ₂ 排出原単位 (0 内は 2030 年の値)	1.02 kg-CO ₂ /kWh (0.68 kg-CO ₂ /kWh)
清浄水の CO ₂ 排出原単位	1.15 kg-CO ₂ /Nm ³
エアコン	
(製造段階)	
温室効果ガス排出量 (電力含む)	186 kg-CO ₂ eq
鉄鋼消費量	22.4 kg
銅消費量	8.08 kg
アルミ消費量	5.32 kg
(使用段階)	
電力消費量	1030 kWh/yr
(廃棄段階)	
電力消費量	3.34 kWh
カラーテレビ	
(製造段階)	
温室効果ガス排出量 (電力含む)	200 kg-CO ₂ eq
鉄鋼消費量	2.72 kg
銅消費量	0.260 kg
アルミ消費量	0.180 kg
(使用段階)	
電力消費量 (0 内に LCD および PDP の値を示す)	225 kWh/yr (135 and 220)
(廃棄段階)	
電力消費量	0.998 kWh
冷蔵庫	
(製造段階)	
温室効果ガス排出量 (電力含む)	111 kg-CO ₂ eq
鉄鋼消費量	38.9 kg
銅消費量	2.42 kg
アルミ消費量	1.32 kg
(使用段階)	
電力消費量	534 kWh/yr
(廃棄段階)	
電力消費量	5.82 kWh
洗濯機	
(製造段階)	
温室効果ガス排出量 (電力含む)	194 kg-CO ₂ eq
鉄鋼消費量	22.7 kg
銅消費量	0.02 kg
アルミ消費量	0.539 kg
(使用段階)	
電力消費量	95.9 kWh/yr
(廃棄段階)	
電力消費量	0.906 kWh

¹²産業環境管理協会 (2008) に基づき著者作成。

4.3.6 感度解析の手順

本分析では、モデル中のパラメータの変化に応じて出力がどのように影響を受けるかを解析するため、感度解析を行った。Morgan & Henrion (1990) によると、感度解析の目的は、モデルの作成者が想定した仮定と変数の持つ不確実性のうち、どれが結果に対して顕著に影響を与えているか、を発見することにある。本節で述べたモデル構造から、6つの社会経済的な変数（2つの経済に関する変数：平均所得とジニ係数、3つの人口に関する変数：総人口、都市化率および世帯人数、1つの製品保有に関する変数：製品保有の所得弾力性）と、3つの消費者選択に関する変数（中古品選択確率、高効率製品選択確率、製品寿命）が、解析の対象として考えられる。本分析では、主要な不確実性は消費形態に関わる部分とそれに付随する社会経済要素にあると考え、これらのうち特に3つの社会経済変数（ジニ係数、都市化率、世帯人数）と3つ全ての消費者選択変数を、解析の対象とすることにした。また、本章で構築したモデルは第3章とは異なり Analytica 上に構築された。Analytica は、確率密度関数を内蔵しており、変数の分布形を定義することで容易にモンテカルロシミュレーションを行うことが可能である。そこで、不確実性を持つ上記6つの変数を確率分布として与えモンテカルロシミュレーションを行うことで、変数の不確実性が結果に与える影響を評価した。

不確実性に基づくこれら6変数の分布形を推測することは現実には難しい課題である。そこで、本分析ではこれらの変数に対し、本章で設定したBAUシナリオの値を平均値とする正規分布状に変数が分布すると仮定した。社会経済変数は各値の5%、消費者選択変数は10%の標準偏差を持つとした。この上で、GHGs 排出量と e-waste 発生量の分布をモンテカルロシミュレーションにより求めた。得られた結果はあくまで相対的な比較に留まるものであるが、変数の持つ意味を考える上で、今後の分析に一定の示唆を得られると考えた。なお、感度解析に当たっては対象地域を中国全土としたが、相対的な比較を行う上では特に問題ないものと考えた。

4.4 結果と考察

4.4.1 モデルの感度解析

本研究で構築したモデルを用いて変数の感度解析を行った。

図4-7にCO₂排出量の解析結果を示す。各変数によって与えられた標準偏差の持つ意味が異なるため、変化の幅を単純に比較することはできないが、これらの結果によると3つの社会経済変数のうちでは都市化率による影響が最も大きく、世帯人数の変化はあまり影響を与えない可能性が示唆された。都市化率の変化は、主に都市部と農村部におけるGDP成長に対する所得増加の弾性値の違いにより生じていると考えられる（式4-5）。式4-5は

過去の都市・農村所得と GDP 成長の相関関係から得られた式だが、都市化の進展は都市部における経済活動の活性化、産業構造の変化、都市的生活への移行による消費の増大等を通じて GDP 成長を押し上げる効果があると考えられ、また経済成長はさらなる都市化率の上昇を促す可能性がある。したがって、GDP 成長率は相互依存の関係にあるといえるが、本研究においてはこうした関係性は考慮されていない。都市化率の変化による影響が大きいと考えられることから、今後はこの部分におけるモデルの詳細化の優先度が高いといえる。一方で、世帯人数の変化による CO₂ 排出量への影響が小さかった理由の一つは、世帯人数が増加（減少）することにより世帯の収入が増加（減少）することと世帯数そのものが減少（増加）することが相殺し合っていることが考えられる。この場合、今後所得が増加し世帯当たりの製品保有数が飽和に近づくにつれて、世帯人数の減少による影響を世帯数の増加による影響が上回ることが予測され、所得と世帯人数の相関による影響が大きくなることが予測される。

消費者選択変数のうちでは、製品寿命が最も大きな影響をあたえ、中古品選択が最も CO₂ 排出に与える影響が小さかった。しかし、高効率製品の選択率も新品市場の 10~30%であり、その 10%の変動はおそらく製品平均寿命の 10%の変化と比較し、実現性は高いといえる。製品寿命と高効率製品選択確率の変動による CO₂ 排出量の変化幅はそれほど違わないため、高効率製品の選択確率の変化が大きな影響力を持つ可能性が示唆されたといえる。一方で、各消費形態シナリオ下での中古品利用率は、家電製品市場全体の 5~20% に過ぎず、こちらも 10%の変動の実現性は高いと考えられる。しかし、他の 2 指標の CO₂ 排出量の変動幅と比較してかなり小さい変動しか生じていないことから、中古品選択確率のかなり大きい変化がなければ中古品利用による環境負荷の実現は難しいといえる。

図 4-8 に廃棄物発生量の感度解析の結果を示す。ここでは高効率製品選択確率は廃棄物発生量に影響を与えないことから解析の対象外とした。CO₂ 排出量の場合と異なり、社会経済変数の設定値の変化による廃棄物発生量の変域はそれほど大きくならなかった。このことは社会経済的な要素が、廃棄物発生量よりもエネルギー消費量に対してより大きな影響力を持つことを示している。図 4-8 に示されたように、廃棄物発生量に対しては製品寿命による影響が最も大きく、製品寿命を延長させる政策により他の要素による負の影響をすべて補完できる可能性があることがわかる。一方で、中古品利用率の 10%の変化による影響は非常に小さなものであったが、CO₂ 排出量の場合と同様に現実的にはより大きな変化を期待できるという点に留意が必要である。

ジニ係数、世帯人員、製品寿命に関して、CO₂ 排出量、廃棄物発生量の双方において中央値が平均値のやや上方へ偏っていた。すなわち、各変数の増加方向への変化に対する弾性値は、減少方向への変化の場合と比較してやや大きく、本分析は変数の不確実性を考慮した場合の結果の分布の最頻値よりも低い推計結果が示されている可能性があるといえる。

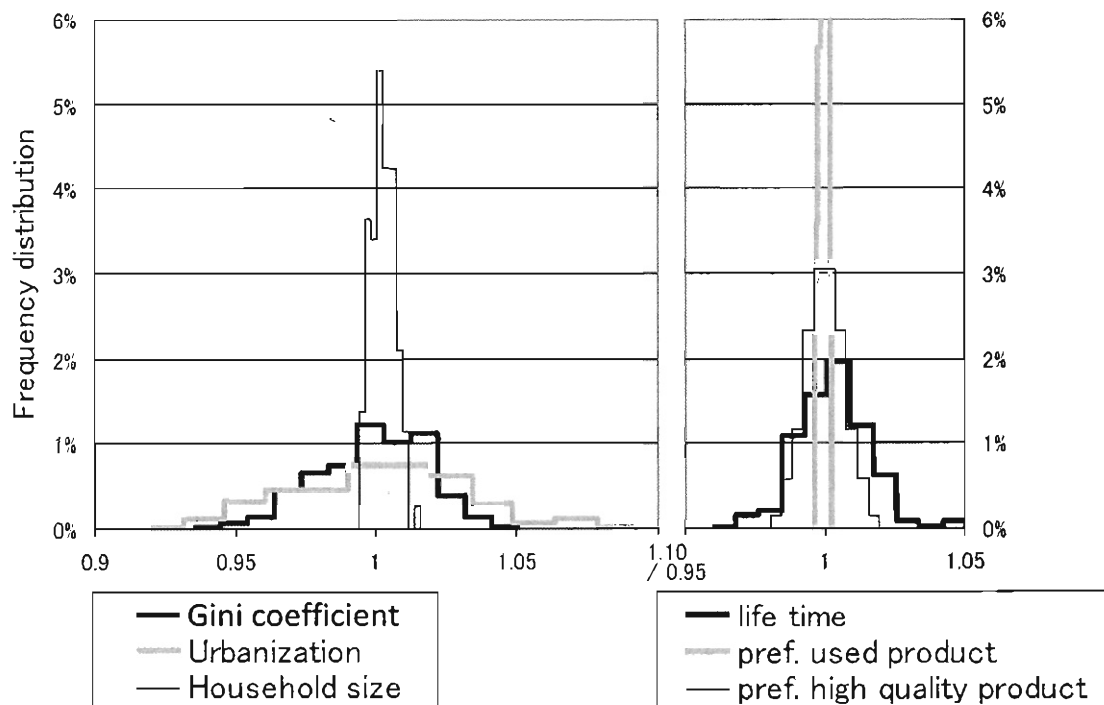


図 4-7 CO₂ 排出量推計値の分布

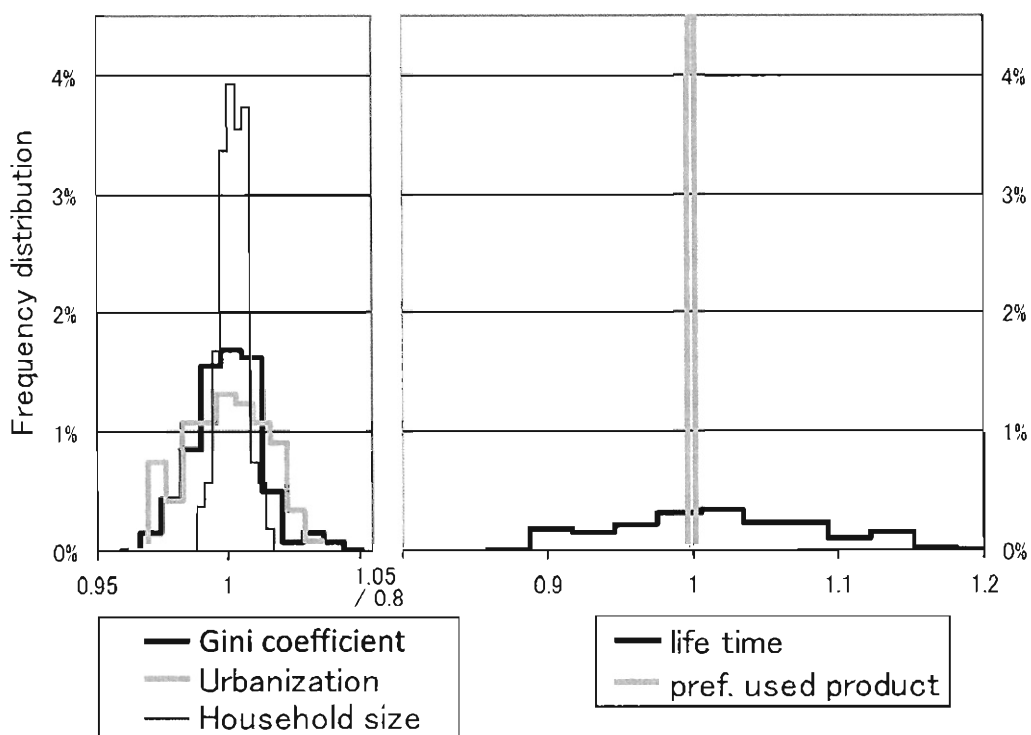


図 4-8 e-waste 排出量の分布

4.4.2 製品ストック量の変化

図 4-9 に、製品ストック量の変化を示す。すでに多くの世帯で 1 台/世帯に近い普及が進んでいる冷蔵庫・洗濯機では、2030 年の製品ストックは 2005 年比 1.3～1.4 倍と増加幅が小さかった。一方、テレビでは世帯あたりの保有台数の増加が、エアコンでは世帯あたりの保有台数と保有世帯数の増加が主要因となり、それぞれの製品ストックが同 1.4～1.7 倍、2.0～2.5 倍と大きく増加した。

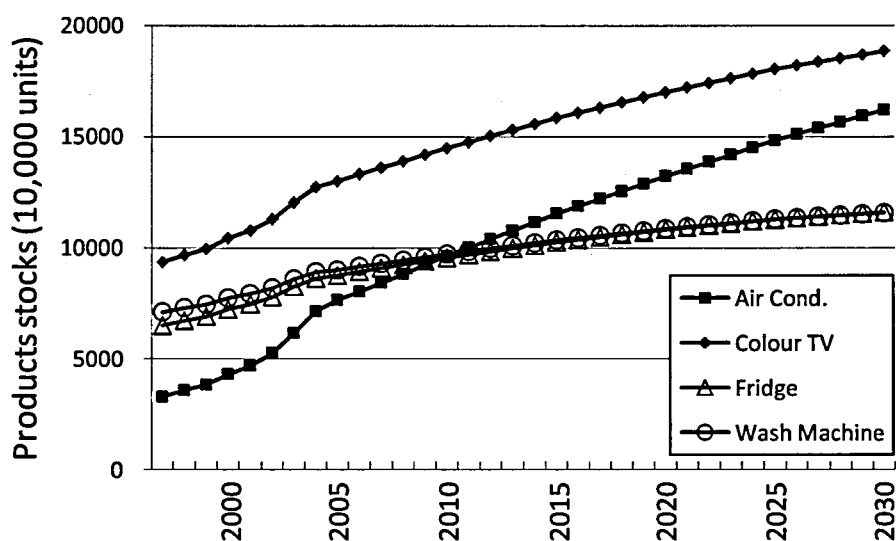


図 4-9 製品ストック量の推移

図 4-10 に、製品ストック中に含まれる各製品種占める割合の 2030 年における割合を示す。全ての消費形態で、概ね購入時の消費者の選択の比率がそのまま製品ストックの違いとなって現れた。「積極買換型」では「傾向延長型」・「使い回し型」と比較して多くの高効率中古品が利用されているが、これは高効率な新品の選択率が高いことにより、中古品市場に高効率な機器が多く供給されることによるものと考えられる。特に洗濯機では、高効率な新品自体が普及しないことが原因となり、中古品の高効率化が進まなかった。

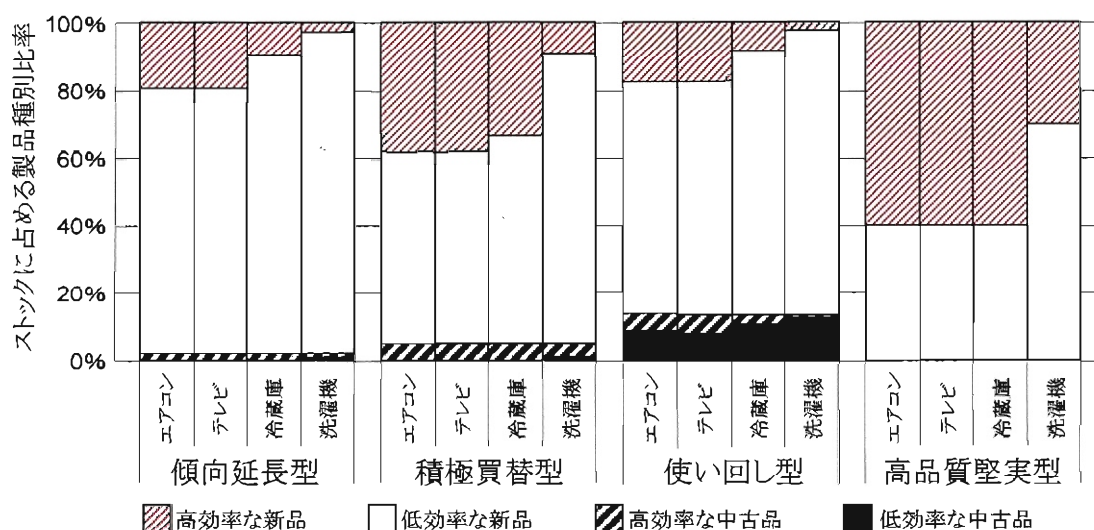


図 4-10 製品別・消費形態別ストックの構成

4.4.3 シナリオ別製品購入量の変化

各製品の消費形態別・年代別の購入台数を図 4-11 に示す。図中横軸の 2010～2030 は製品が販売された年代を示し、各年の前後 5 年ずつの計 10 年間の平均年間購入台数を示す。

エアコンについてみると、「傾向延長型」で購入台数は 2010 年高性能な新品が 211 万台、低性能な新品が 958 万台、高性能な中古品が 71 万台、低性能な中古品が 17 万台であった。2020 年には同じ順にそれぞれ 314 万台、1255 万台、82 万台、0 台、2030 年には 378 万台、1,511 万台、99 万台、0 台となった。廃棄され中古品市場に供給される製品には高効率製品と低効率製品がともに含まれるが、中古品の選択率が低いため実際に購入される中古品はすべて高効率な製品であった。中古品を除く新品の市場規模は 2030 年に 1,890 万台で、2010～2030 年の 20 年間で約 62% 増加し、そのうち高効率な製品の市場規模は 2010 年に約 82% だったが 2020 年以降は約 80% で推移した。「積極買替型」では、短期的な製品の更新により購入台数は大きく増加している。2030 年における新品の購入台数は「傾向延長型」の同時期よりも約 18% 大きく、中古品の市場も約 150% 大きかった。また、積極的に高効率製品を取り入れることで、高効率な新品の全新品購入台数に占める比率は 2010 年 30%、2020 年以降は 40% であった。「使い回し型」では積極的な中古品利用により、新品・中古品を含む購入台数全体では、2030 年において「傾向延長型」と比較して約 19% 大きかったが、新品の購入台数は逆に約 12% 少なかった。また、購入される中古品の量は多いが供給される高効率な中古品の量が少ないため、購入される中古品に占める低効率な中古品の比率も高くなり、2030 年には購入される中古品のうち約 63% が低効率な中古品であった。「高品質堅実型」では、購入される台数そのものが大きく減少した。2030 年の購入台数の合計は約

1,640 万台と「傾向延長型」の約 82%にとどまった。一方で、購入される製品はほぼすべてが新品であり、特に高効率な新品の比率は 2020 年以降 60%であり、積極買替型よりも多くの高効率な新品の購入が見られた。

テレビ・冷蔵庫・洗濯機についても、消費形態間での比較は同様の傾向が見られた。ただし、テレビにおいては普及台数の拡大により年間購入台数が「傾向延長型」で 2010 年 1,770 万台、2020 年 1,940 万台、2030 年 2,130 万台とエアコンよりも大きかった。逆に、冷蔵庫と洗濯機では世帯当たりの普及台数が低いため、冷蔵庫の購入台数は 2010 年 1,140 万台、2020 年 1,190 万台、2030 年 1,260 万台、同様に洗濯機では 2010 年 1,150 万台、2020 年 1,190 万台、2030 年 1,250 万台と、エアコンと比較して 2030 年約 63%程度に留まった。

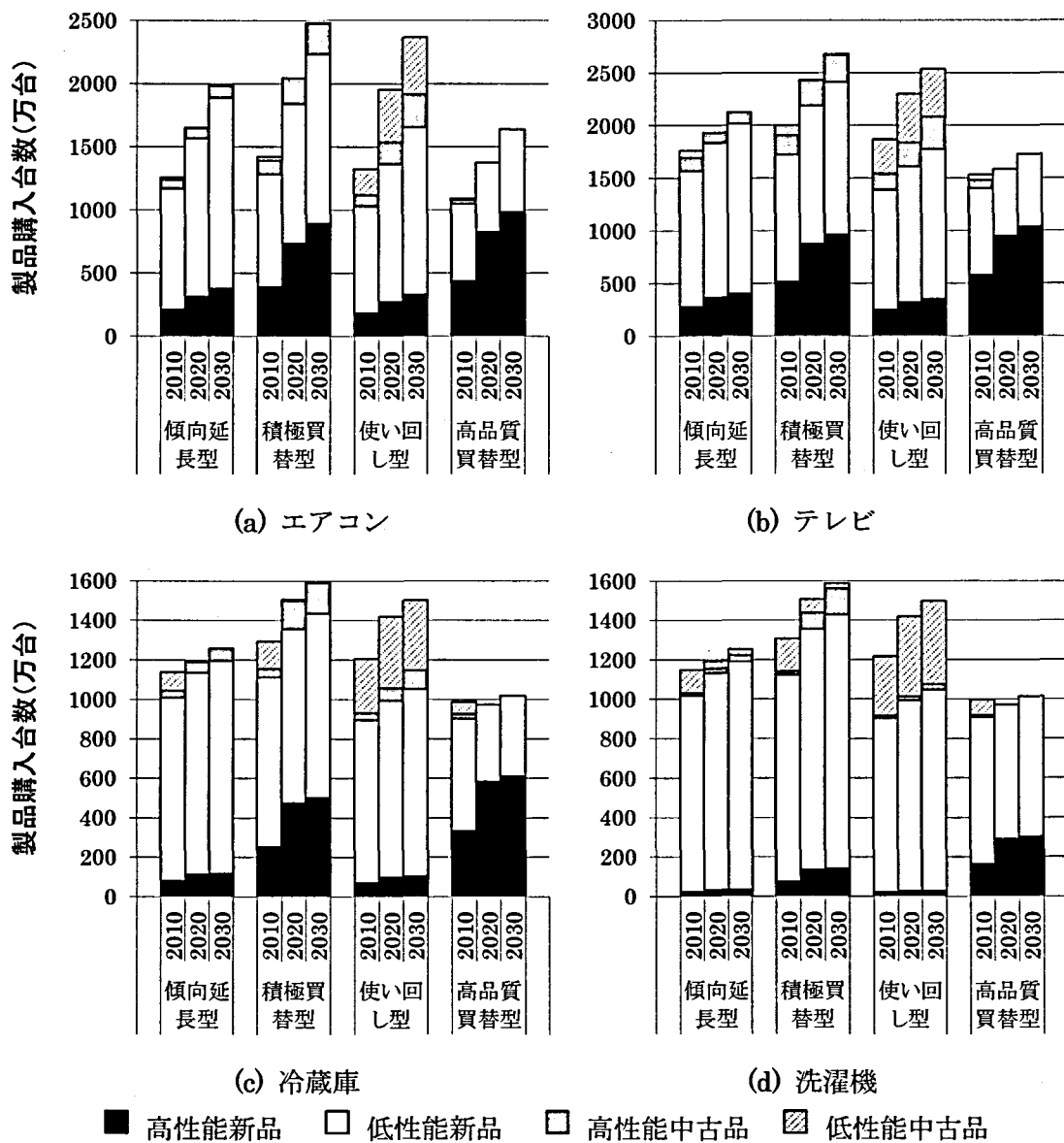


図 4-11 消費形態別・年代別の製品購入台数

4.4.4 シナリオ別環境負荷発生量の推計結果

図 4-12 に廃棄物発生量の推移を示す。2010 年における消費形態別の廃棄物発生量は、「傾向延長型」、「積極買替型」、「使い回し型」、「高品質堅実型」の順にそれぞれ 4,770 万台、5,240 万台、4,220 万台、4,260 万台であり、2030 年には同順 6,300 万台、7,510 万台、5,530 万台、5,410 万台と、27~43%増加することが示された。増加率が最も大きかったのは「積極買替型」(増加率 43%) で、中古品選択確率は比較的高かったが、新品寿命が短期化することによる影響が大きかった。「使い回し型」(同 31%) と「高品質堅実型」(同 27%) では、それぞれ中古品の選択確率が大幅に上昇したこと、新品寿命が延びたことにより、廃棄物発生量が大きく減少し、最終的にほぼ同等の結果となった。2030 年に廃棄物発生量が最も小さかった「高品質堅実型」と、最も大きかった「積極買換型」との廃棄物発生量の差は約 2,000 万台であった。これは、日本における平成 20 年度の使用済み家電 4 品目の引き取り実績 (12,899 千台) のおよそ 1.5 倍に相当する。さらに、対象地の人口から、この 4 品目の中国全体の廃棄物発生量削減量を推計すると 2 億台程度と予想され、他の機器も加えると削減の効果は非常に大きくなる。製品リユースの促進と製品寿命の長期化により廃棄物発生量を抑制することは、廃棄物処理システムが完成するまでの移行過程の措置、あるいは恒久的な施策として非常に有効といえる。

各消費形態のライフサイクルでの CO₂ 排出量の推移を図 4-13 に示す。2010 年の消費形態別の CO₂ 排出量は「傾向延長型」、「積極買替型」、「使い回し型」、「高品質堅実型」の順に 126 Mt・CO₂、124 Mt・CO₂、130Mt・CO₂、118Mt・CO₂ であり、さらに 2030 年にそれぞれ 161 Mt・CO₂、147 Mt・CO₂、161 Mt・CO₂、126 Mt・CO₂ となった。「高品質堅実型」では、高効率製品の積極的な購入によりエネルギー効率が向上し、CO₂ 排出量が「傾向延長型」と比較し 35 Mt・CO₂ 程度削減されることが示された。「積極買替型」では、新製品への置き換えが積極的に行われたことで早い時期から削減が進んだ。「使い回し型」では、2030 年には「傾向延長型」と同等のエネルギー消費となったが、2010 年から 2020 年には「傾向延長型」を上回った。これは、低効率の新品の高効率化が進む中で、中古品利用によって効率の向上があまり行われなかったことによると考えられる。一方で、図 4-10 からわかるように、「使い回し型」の消費形態では低性能な中古品が多く利用されており、高効率な中古品の供給が増えることで CO₂ 排出量の削減が見込まれることも考慮する必要がある。

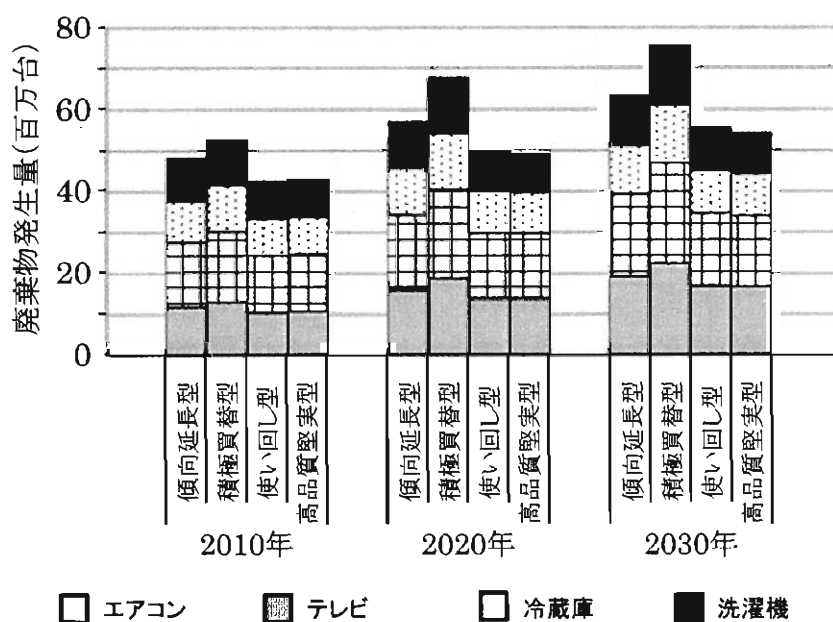


図 4-12 消費形態別機器廃棄物発生量の推移

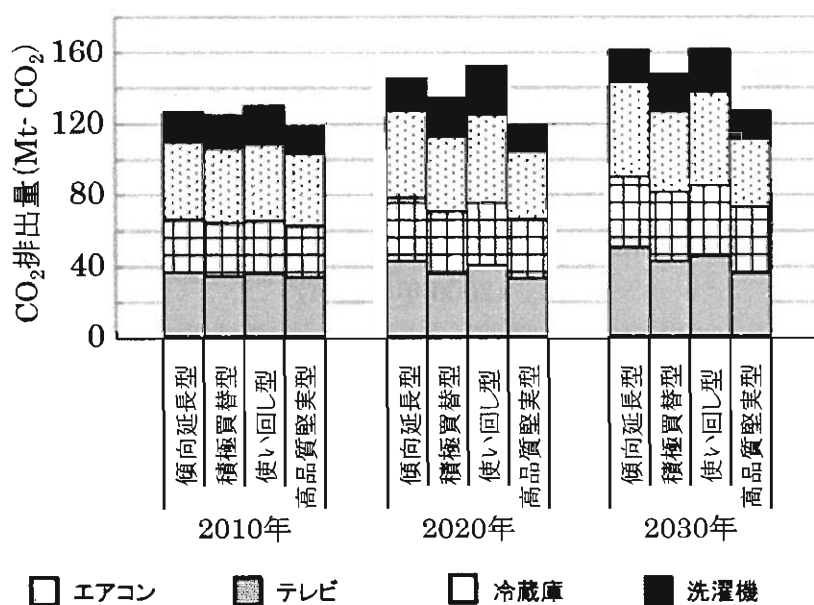


図 4-13 消費形態別 CO₂ 排出量の推移

2030 年に予測される中国の CO₂ 排出量は、10.4Gt・CO₂ に上るといわれている (IEA, 2007)。廃棄物発生量と同様に、2030 年の「高品質実装型」と「傾向延長型」の CO₂ 排出量の差を中国全体に拡大推計すると 140 Mt・CO₂ となり、総排出量の 1.3% に相当した。他製品への消費形態の波及効果や、消費形態に影響を及ぼしているライフスタイルの住居や交通における選択といった生活全般への影響を考慮すると、その効果は非常に大きい。

図 4-14 に、各消費形態を廃棄物発生量と CO₂ 排出量の二軸で整理した。矢印が進むにつれて 2010 年、2020 年、2030 年をそれぞれ表している。高効率の製品を選択し、長期間

大切に使う「高品質堅実型」が最善の策であることは当然の結果といえる。他の消費形態では、「傾向延長型」と「使い回し型」の比較では、CO₂ 排出量はほぼ同等だが廃棄物発生量で「使い回し型」の方が優れている。一方「積極買換型」と「使い回し型」では、CO₂ 排出量と廃棄物発生量でトレードオフが生じていることが示された。

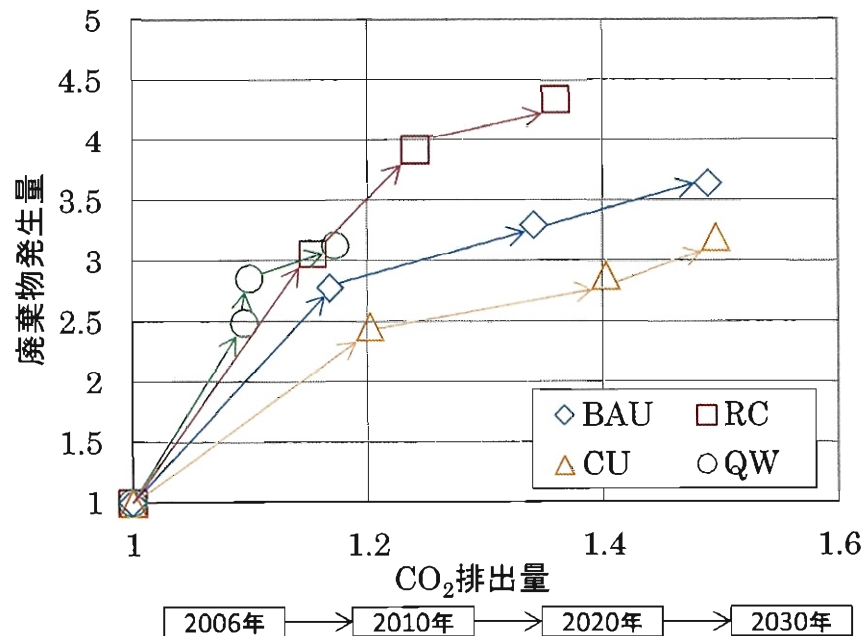


図 4-14 各消費形態における廃棄物発生量と CO₂ 排出量の比較
(2006 年の値=1)

このトレードオフの最適化には、廃棄物・エネルギーに加えて、本研究でひとつの論点として取り上げた生活水準への影響を考慮した消費形態の消費者への適用と、消費形態間の相互作用を考慮する必要がある。「高品質堅実型」の消費形態は、エネルギー・資源両面で優れているが、こうしたライフスタイルを実現するためには相応の所得が必要とされる。一方、「使い回し型」の消費形態における中古品の利用は、実際には低所得者がその中心となる。低所得者に対して、著しく効率の劣化した中古品ではなく、むしろ現有品よりも効率に優れた中古品への置き換えを可能とする適切な中古品管理システムを整備することで、低効率の機器の利用によるエネルギー消費増大の抑制と、中古品による事故等の削減による安全性の向上、新品と中古品の価格差からくる消費者余剰による生活水準の向上を同時に図ることができるといえる。しかし、良質の中古品の供給量を拡大するためには、図 4-10 において明らかになったように、高効率製品が十分に市場に普及することも必要である。これは一方で、高所得者層による「高品質堅実型」あるいは「積極買換型」の消費行動により、高効率製品の購入・廃棄を進め、利用可能な高効率な中古品のストックを増大させていくことが重要であることを示唆している。

4.5 要約

本研究では、製品ライフサイクルの中で、消費者が製品と直接関わりを持つ選択、使用、廃棄・リサイクルの段階に着目し、中国の消費者の将来の消費傾向を消費形態と定義した。その上で、製品循環モデルを用いて消費形態の違いが廃棄物発生量及び CO₂ 排出量に及ぼす影響を定量的に評価した。持続可能なライフスタイルを描いた既存の文献、および現地でのアンケート調査により、「傾向延長型」、「積極買替型」、「使い回し型」、「高品質堅実型」の4種の消費形態が抽出された。モデル分析の結果、「高品質堅実型」の消費形態がエネルギー・廃棄物の両面で優れており、「使い回し型」と「積極買替型」では CO₂ 排出・廃棄物発生量の2軸にトレードオフが生じることが明らかになった。また、「使い回し型」では高効率な中古品の供給量の拡大による CO₂ 排出量の削減ポテンシャルがあり、消費者の所得を考慮した「高品質堅実型」あるいは「積極買替型」との組み合わせにより、エネルギー・廃棄物の両面で優れた製品循環を形成できる可能性があることが示唆された。そのためには、低効率な中古品の過度な流通を抑制するとともに、高効率な製品を中古品として利用可能な形で適切に回収・管理し、それを積極的に賢く利用していく製品循環システムの構築が必要となる。

なお、低所得者層に中古品を再流通させるリユース・システムは、経済格差が前提となって成立するという性格を持つが、現在の劣悪な中古品が多く流通する状況を改善し、なおかつそれが低所得者の生活の質 (QOL) や社会福祉の向上につながるということが重要となる。今後の課題として、今回得られた低所得者への格差是正の効果に関して、経済効果や QOL などを多面的・定量的に評価する必要がある。

参考文献

- JEMA (2004) 中国白物家電ユーザー調査報告書.
- JEMA (2006) 各国における発電部門 CO₂ 排出原単位の推計調査報告書 Ver.3 (2006.6 Revised).
- Jong, GD., Fox, J., Pieters, M., Daly, A.J. & Smith, R. (2004) A comparison of car ownership models. *Transport review*, Vol.24, pp.379-408.
- Liu, X., Tanaka, M. & Matsui, Y. (2006) Electrical and electronic waste management in China: progress and the barriers to overcome. *Waste Management and Research*, Vol.24, pp.92-101.
- Morgan, MG. & Henrion, M. (1990) *Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*. New York, Cambridge University Press.
- NBSC (1996-2011) *China Statistical Yearbook 1995-2010*. Beijing, China Statistics Press.
- Shen, Z. (2007) Forecasting the motorization in China using the income distribution curve. *Energy Economics*, Vol.32, pp.20-30.
- 加藤文昭, 丹治三則 & 盛岡通 (2004) 流域圏におけるシナリオ設計システムの構築に関する研究. *環境システム研究論文集*, Vol.32, pp.391-402.
- 産業環境管理協会 (2008) JLCA-LCA データベース [Online]. Available: <http://www.jemai.or.jp/lcaforum/> [Accessed Feb.16 2008].
- 資源エネルギー庁 (2010) トップランナー基準早わかりパンフレット. 東京: METI.
- 省エネルギーセンター (2005) 海外における機器のエネルギー効率の法的基準に関する調査報告書. 東京.
- 神鋼リサーチ (2003) 中国のリサイクル関連の法制度及び産業の実態調査. 東京: METI.
- 村田晃伸 & 近藤康彦 (2005) 中国都市家庭における家電製品の保有と更新の状況に関する考察. *エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス*, Vol.21, pp.399-402.
- 未踏科学技術協会 (2004) 持続可能な消費に向けた指標開発とその活用に関する研究 報告書. 東京.
- 木村文彦, 梅田靖, 高橋楨治, 田中信壽, 永田勝也, 藤本淳, 松橋隆治 & 三橋規宏 (2004) *インバース・マニファクチャリングハンドブック: ポストリサイクルの循環型ものづくり*. 東京, 丸善株式会社.
- 木村雄二 (2006) シナリオアプローチを用いた持続可能なライフスタイルのデザインと製品環境政策の評価. 修士論文, 大阪大学大学院.
- 木村雄二, 山本裕吾, 吉田登, 齊藤修 & 盛岡通 (2008) シナリオ・ライティング手法を用いた持続可能なライフスタイルの作成と環境負荷の評価. *環境情報科学論文集*, Vol.21, pp.261-266.

第5章 異なる消費形態による既存ストック利活用の違いが及ぼす影響の分析：自動車産業を対象として

5.1 緒言

本章では、前章において廃電気・電子機器（e-waste）について開発された製品・廃棄物のフロー分析の枠組みを拡張し、中国の自動車利用に適用した。近年、中国ではモータリゼーションが都市部・農村部含め急速に広がり、自動車由来の環境負荷の増大が懸念されている。自動車販売台数は2000年には209万台であったが2009年には1,400万台にまで上昇し、エネルギー需給・大気汚染による健康被害・気候変動対策等の観点から迅速な対応が求められている（Du et al., 2010; Yan & Crooky, 2010; Hao et al., 2011a）。一方で、自動車を取りまく技術革新は急速に進んでいる。国内での低効率な内燃エンジン自動車（ICV: Internal Combustion Engine Vehicle）の販売が行われるのと同時に、ハイブリッド自動車（HEV: Hybrid Electric Vehicles）、プラグインハイブリッド自動車（PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicles）や電気自動車（EV: Electric Vehicles）など、最先端の技術が中国国内に流入しつつあり、多様な技術が混在する状況ができています。このように多様な技術やサービスの流入により、自動車を取り巻く人々の消費行動は多様化しており、エネルギー・資源消費・健康リスクといった問題は複雑に絡み合っているといえる。そこで本章では、特に人々のエネルギー消費機器の消費形態の違いに着目して、自動車の製品循環の資源面・エネルギー面での影響に焦点をあてた。経済成長の著しくかつ格差も顕著な現在の中国における価値観は、先進国におけるものとは違うものが想定される。しかし、今後の一足飛びの成長を考える際、先進国において描かれる将来の消費形態に近いものを中国の将来シナリオとして投影し、その実現による影響を示すことは中国の大量消費社会への突入に対し計画的対応策を準備し、より早く持続可能な社会へ到達するために必要な示唆的情報を提供しうるといえる。

本章では、まず5.2節において消費形態シナリオの設計を行う。5.3節において将来の消費形態の違いによる影響を定量的に評価するため、自動車循環モデルを構築する。人々の将来の消費形態は、前章で描いた消費形態シナリオの分析を元に、さらに考察を加え援用した。最後に5.4節において分析結果を示し考察を行う。

5.2 将来の消費形態シナリオの提示

5.2.1 消費形態シナリオの概要

筆者は前章において4つの消費形態シナリオを提示した。既往のライフスタイルシナリ

本研究のレビューおよび上海市・昆山市・湖州市でのアンケート調査を行い、現地の消費傾向と持続可能なライフスタイルシナリオとの整合性を確認することで構築された。本章ではこれに加え、前章から得られた考察と自動車の特性に基づき 2 種類の消費形態を新たに分析対象とした。追加された消費形態は、「社会循環型」と「地域共同型」である。

まず、前章で提示した 4 つの消費形態を自動車利用に適合するよう調整した。

- ・【傾向延長型】(BAU : Business As Usual) : 現状の傾向を代表し、それを維持する。新車を好み価格と品質のバランスを重視する。環境配慮型自動車へのインセンティブは高くなく、先進技術への移行は所得の増加に伴い徐々に行われる。
- ・【積極買替型】(RC : Rapid Cycling) : 迅速循環ライフサイクルを志向し、買い替え需要が大きい。中古車の市場シェアは中古車流通制度の整備とともに増加するが、全体としては新品志向が高く、また製品寿命も全体的に短くなる。
- ・【使い回し型】(CU : Chain of Users) : 中古車志向は全消費形態中最も高い。製品品質に対するこだわりが低く、環境低負荷型の車両への選好は低い。
- ・【高品質堅実型】(QW : Quality & Wisdom) : 先進的な技術への選好が高く、環境に優しい生活を志向する。環境配慮型自動車を積極的に導入し、なるべく大切に使うと努力する。一方で、中古品への選好は低い。

次に、本研究で追加した 2 種類の消費形態について述べる。前章では、四つの消費形態の比較の結果として、「使い回し型」では高効率な中古品の供給量の拡大による CO₂ 排出量の削減ポテンシャルがあるため、消費者の所得を考慮した「高品質堅実型」あるいは「積極買替型」との組み合わせにより、さらにエネルギー・廃棄物の両面ですぐれた製品循環を形成できる可能性があることが示唆された。そこで本章では、「使い回し型」と「高品質堅実型」を組み合わせた「社会循環型」(QC: Quality Chain) の消費形態を新たに分析の対象とし、以下のように定義した。

- ・【社会循環型】(QC : Quality Chain) : 先進的環境配慮技術への選好の高い消費者と、製品品質にこだわりが少ない消費者に社会が二極化する。したがって、使い回し型と高品質堅実型の消費形態の特徴を併せ持つ。

また、前章では家電製品という性質上、除外した地域共同型の消費形態を分析対象とした。家電製品では世帯別での利用が基本であったが、自動車では EU を中心にカーシェアリングの取り組み事例が多くみられ、また成長途上の経済状況下でも乗り合いでの自動車利用が行われるなど、製品サービスシステム (PSS: Product Service System) と地域コミュニティの両面から、地域共同型シナリオは自動車利用において実現性が高いシナリオであると考えられる。ただし、現時点では中国国内のシステムはカーシェアリングが必ずしも推進される方向にはない。例えば、自動車の乗り合い利用に対し中国政府は制限を始めており、こうした動きはカーシェアリングとはむしろ逆行するといえる。しかし、カーシ

エアリングの効果は多くの研究で実証されつつあり（例えば Mont, 2004; Firnkorn & Muller, 2011），今後の中国の自動車利用を考える際に検討の必要があると考えたため分析対象とし，以下のように定義した。

- ・【地域共同型】（LC : Local Community）：都市化が進展しつつも従前の地域コミュニティの継続や，都市域での新たなコミュニティの形成に価値がおかれる。都市中心部では PSS によるカーシェア，郊外からは乗り合いによる都市中心部への自動車の乗り入れが行われるなど，自動車の共同利用が進む。

以上に示された 6 つの消費形態のコンセプトと概要を表 5-1 に示す。

本研究では消費形態の変更や技術の導入によるリバウンド効果については原則として考慮していない。リバウンド効果とは，ある効果を及ぼしたとき負のフィードバックにより効果が相殺され想定よりも低い効果しか及ぼさなくなることをいう。例えばエネルギー消費機器の高効率な技術等を導入した際に，効率向上により機器のランニングコストが低下し，そのため逆に消費者が機器の使用量を増やすことで高効率化によるエネルギー消費の削減が一定程度相殺される等のケースが挙げられる。本研究においても，環境低負荷型自動車の利用によりかえって消費者の自動車利用が増加する可能性があるが，ここでは考慮していない。これは，こうした効果を定量的に把握することが困難であること，また考慮することによりモデルが過度に複雑化することを防ぐためであるが，こうしたフィードバックにより高効率化の効果はある程度縮小される可能性がある点には留意する必要がある。唯一本研究においてリバウンド効果に類似する効果が発生しているのが，地域共同型の消費形態である。地域共同型では，カーシェアリングのシステムにより自動車利用に関してその都度使用料金が科せられるようになる。このことから，消費者がコスト意識を高め自動車の利用を抑える効果が発生するため，年間走行距離の減少が発生する。この場合は負のフィードバックではないが，消費者心理の働きにより自動車の利用に対して影響を与えており，既往研究により効果が明らかにされている点，また効果の大きさも無視できないものである点から分析の対象として考慮することとした。

ここまで挙げてきた消費形態シナリオのコンセプトは，現実には本研究で取り上げる変数のみならず非常に広範に影響を与える可能性がある。また，同時に消費形態も様々な環境的要素に影響を受ける。例えば集約型の都市構造や所得格差の拡大は，自動車利用に一定の制約を加える可能性がある。しかし，それらすべてを操作変数とすることは事実上不可能であり，また不確実性が大きくなりすぎる。本研究では自動車の置き換えによる技術の普及と既存ストックの利活用に着目していることから，消費形態を製品の購入時・廃棄時の選択に限定しシナリオ設定を行った。ただし「地域共同型」においてのみ，カーシェアリングの効果をより適正に反映するため，製品使用時に表れる効果も反映した。

表 5-1 6つの消費形態シナリオ

コンセプト	ステートメント			
	環境配慮型自動車 への志向性	中古車 選択確率	新車の短期更新型 消費者比率	中古車廃棄時 の平均車齢
現状	- ICV中Low-ICV: 35% - HEV: 0% - PHEV: 0%	2007年 18%	全消費者中 約30%	最終処分時の 車両平均寿命: 14.46年
傾向延長型 (BAU: Business As Usual) 現状の傾向を代表し、それを維持する。新車を好み価格と品質のバランスを重視する。環境配慮型自動車へのインセンティブは高くなく、先進技術の移行は所得の増加に伴い徐々に進む。	- Low-ICV: 2040年約20%が選択 - HEV: 2030年過ぎに30% - PHEV: 2050年に50%となるよう上昇	・55%で漸近	・35%に上昇	・14.46年
積極買替型 (RC: Rapid Cycling) 迅速循環ライフサイクルを志向し、買い替え需要が大きい。中古車の市場シェアは中古車流通制度の整備とともに増加するが、全体としては新品志向が高く、また製品寿命も全体的に短くなる。	- Low-ICV: 約20% - HEV: 30% - PHEV: 50%	・40%で漸近	・45%に上昇	・11.46年
使い回し型 (CU: Chain of Users) 中古車志向は全消費形態中最も高い。製品品質に対するこだわりが低く、環境低負荷型の車両への志向性は低い。	- High-ICV: 約25% - HEV: 25% - PHEV: 40%	・70%で漸近	・25%に上昇	・17.46年
高品質堅実型 (QW: Quality & Wisdom) 先進的な技術への志向性が高く、環境に優しい生活を志向する。環境配慮型自動車を積極的に導入し、なるべく大切に使用しようと努力する。一方で、中古品への志向性は低い。	- Low-ICV: 約10% - HEV: 35% - PHEV: 60%	・40%で漸近	・25%に上昇	・14.46年
社会循環型 (QC: Quality Chain) 先進的な環境配慮技術への志向性の高い消費者と、製品品質にこだわりが少なく消費者に二極化する。したがって、使い回し型と高品質堅実型の消費形態の特徴を併せ持つ。	- Low-ICV: 約10% - HEV: 35% - PHEV: 60%	・70%で漸近	・25%に上昇	・17.46年
地域共同型 (LC: Local Community) 都市化が進むにつれ従前の地域コミュニティの維持や、都市域での新たなコミュニティの形成に価値がおかれる。都市中心部ではPSSによるカーシェア、郊外からは乗り合いによる都市中心部への自動車の乗り入れが行われるなど、自動車の共同利用が進む。	- Low-ICV: 約20% - HEV: 30% - PHEV: 50%	・55%で漸近	・35%に上昇	・14.46年

5.2.2 消費形態シナリオの定量化

本研究では、消費形態によって変化する自動車利用の局面を、原則として家電の場合同様、自動車の購入と廃棄の断面に絞る。購入時には、新車を選択するか中古車を選択するか（中古車選択確率）、新車を選択する場合環境配慮型の車種や燃費のよい技術を選択するかどうか（環境配慮型自動車への志向性）、また廃棄時には、新車選択者の場合は短期的に新しいモデルへと買い替えるかもしくは長く使い続けるか（前者の比率を新車の短期更新型消費者比率とする）、中古車選択者においてはいつまで自動車を使い続けるか（中古車廃棄時の平均車齢）が、それぞれ変数となる。一方で、本章では消費形態シナリオに地域循環型を取り入れたことから、その特徴を考慮し所得層別自動車保有率と1台当たりの年間走行距離が変化するものとした。本項では表 5-1 に示された各ディメンジョンにおける消費形態の方向性に基づき、各変数の変域を定義することで、各消費形態で用いられる変数の値を設定する。

(1) 環境配慮型自動車への志向性

本研究では、High/Low-ICV, HEV, PHEV の4車種を対象とする。技術普及には、技術の成熟度、規制や補助金といった施策誘導、そして消費者の選好などの複数の側面があ

ると考えられるが、本研究では前者 2 つは所与とし消費者の選好による変化を主な評価の対象としている。

BAU シナリオにおける HEV・PHEV の選択確率には、Liu et al. (2011) による将来予測に基づき、HEV が 2035 年頃に新車販売台数の 30%、PHEV が 2050 年頃に新車販売台数の 50% となるようロジスティック曲線を用いて各普及率を設定した。残る需要は ICV によって満たされる。まず、現在普及している ICV を High/Low-ICV に分類するため、過去の企業別自動車販売データ（中国汽车技術研究中心、1992-2010）に基づき、製造企業が外資からの技術供与を受けている場合に High-LCV、そうでない場合は Low-LCV であると仮定した。2006~2009 年の外資技術提供を受けた企業の市場シェアは平均約 61%であった。そこで本分析で構築したモデルを用い、2009 年の時点で保有されている自動車を所有世帯の所得の大きい方から順に並べ上位 61% の下限となる世帯を調べたところ、年間所得が約 61,000 元の世帯に相当した。そこで、High-ICV を購入している世帯は年間所得が約 61,000 元以上の世帯であると仮定した。なお、2010 年時点でこれは全世帯のうち所得上位 20% 弱に相当した。将来推計では、境界となる所得水準が今後も継続するケースを BAU と考えた。すなわち、境界所得水準はおよそ 61,000 元/（世帯・年）とされたことから、これ以下の所得の世帯の購入する車両数が Low-ICV と仮定し、残りを High-ICV と考えた。この結果、2030 年には保有自動車のうち約 66%、2040 年には約 87% が High-ICV を購入可能な世帯による保有となった。

消費形態別には、技術選択確率の変域として、PHEV では当初の選択確率の $\pm 10\%$ 、HEV では $\pm 5\%$ を想定し、High/Low-ICV では、両者の境界となる平均年世帯所得が年率 $\pm 2\%$ で変動すると想定した。以上の結果得られた各消費形態における技術の新車市場でのシェアの推移を図 5-1 に示す。(a) が「傾向延長型」、「積極買替型」、「地域共同型」シナリオ、(b) が「使い回し型」シナリオ、(c) が「高品質堅実型」、「社会循環型」シナリオにおけるそれぞれの技術選択確率を示す。

(2) 中古品選択確率

既往データの新車販売数と中古車取引台数の比から、中古車選択確率の現状値を算出した（中国汽车技術研究中心、1992-2010）。中国では 2005 年に中古車流通管理弁法が施行され、中古車の利用の促進が図られて以来中古車の取引台数は急激に増加しており、2007 年時点で 24% 程度である（矢野経済研究所、2008）。しかし、この値は先進諸国と比較し低く、飽和に達するまでの先行きは不透明といえる。日本の 2002 年以降の中古普通・小型乗用車の年間登録台数は、同型の乗用車の新車を含む総登録台数の約 55~60% で推移している。そこで、中国の近年の中古車取引台数の上昇速度（2005~2008 年平均前年比 57% 増加）も考慮し、BAU シナリオとして 2015 年に 45%、2020 年に 50% 程度、さらに 2030 年頃までには 55% で安定化するとし、ロジスティック曲線で近似した。

中古品選択確率の変域は欧州での中古車比率がおよそ 70% であることから、+15% を上限

とし、同様に下側 15%を下限とした。以上の結果、得られた各消費形態における中古車選択確率の推移を図 5-2 に示す。

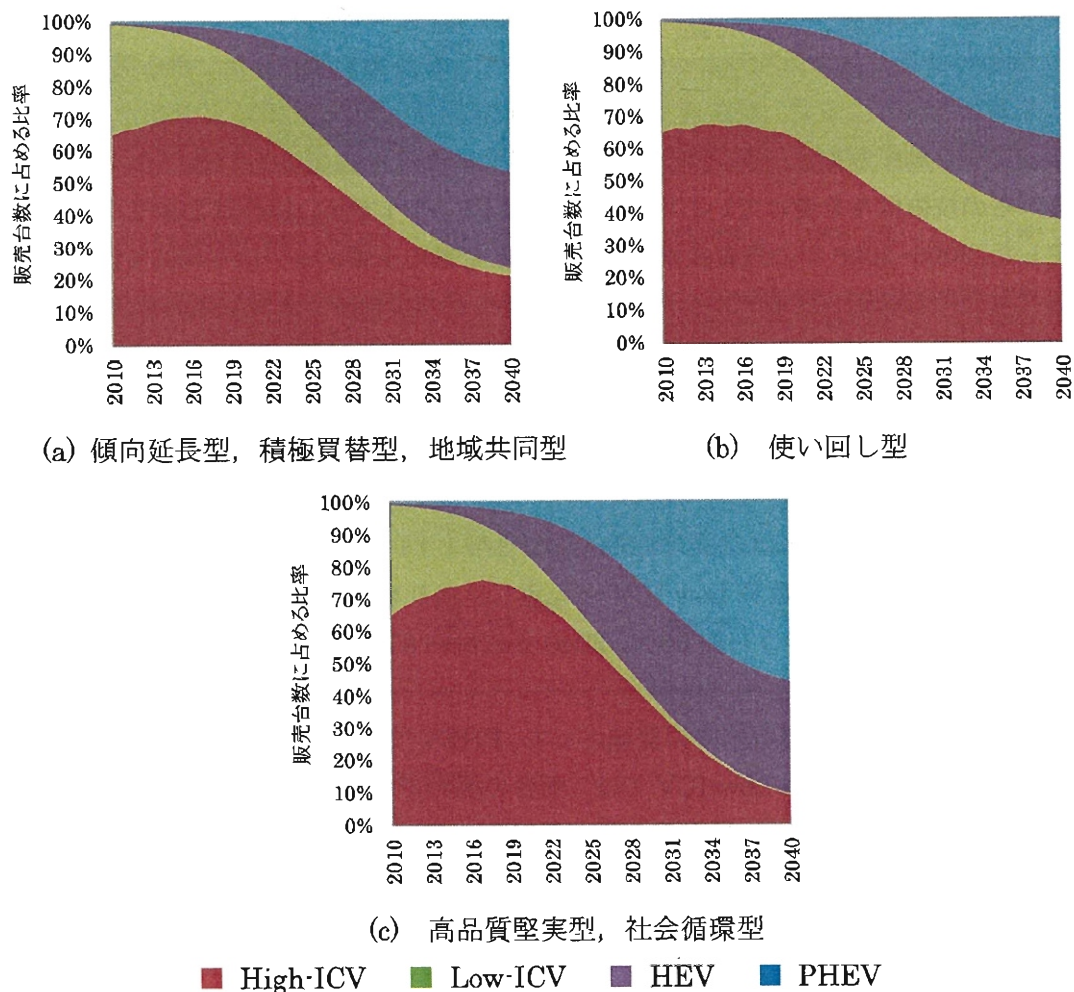


図 5-1 消費形態別の新車購入時の技術選択確率

(3) 新車の短期更新型消費者比率と中古車廃棄時の平均車齢

本研究では、2 種類の新車の価値寿命（短期更新型と長期利用型）、中古車の価値寿命、および物理寿命の計 4 種の寿命関数を扱う。短期更新型の消費者の新車寿命は統計がないため正確な把握は難しいが、一般に新車の更新サイクルは 5~6 年といわれている（矢野経済研究所, 2008）ことから、廃棄時の平均車齢を 5.5 年と仮定した。中古車の廃棄時の平均車齢は、2009 年時点で 14.46 年（Hao et al., 2011）とした。長期利用型の消費者の新車寿命は、日本における車両寿命が平均 11~12 年程度であり、中国においても現在新車への志向性が高いことも考慮し、中古車寿命より 3 年短い 11.46 年と想定した。ワイブル分布関数の分散の値は 4.79 とした（Hao et al., 2011）。

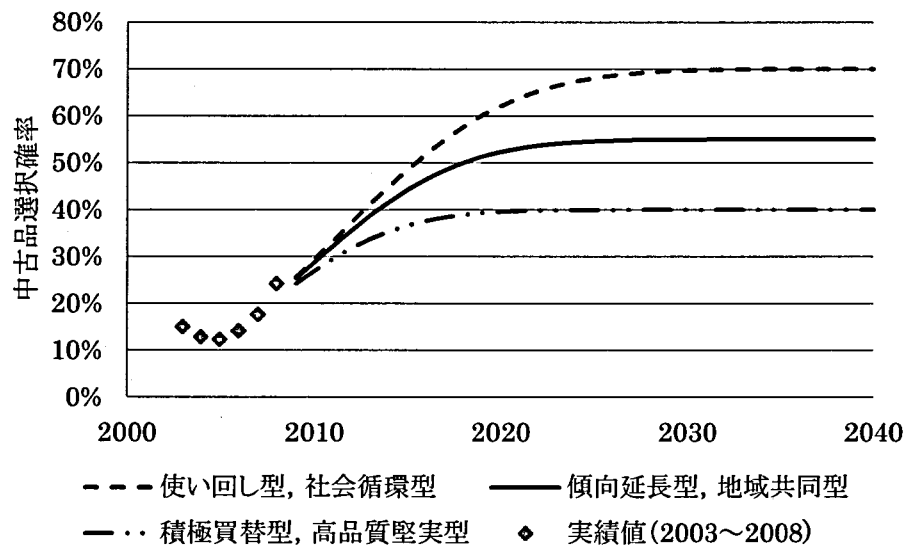


図 5-2 消費形態別中古車選択確率の推移

以上を踏まえて、まず短期更新型と長期利用型の新車購入者の比率を推計した。本研究では、中古車市場に出回る中古車両数からこの比率を推計した。その結果、消費者全体に占める短期更新型の新車購入者層の比率は、2006 年で 26%、2007 年で 29%程度るとき、推計される中古車発生台数と実績値が最も近くなった。ただし、今後こうした短期更新型の消費者層は所得の増加とともに増えることが予想されることから、この後上昇を続け 2020 年 35%程度となるものを BAU とし、 $\pm 10\%$ （すなわち 25~45%）を変域とした。また、中古品の廃棄時の車齢の変域は長期利用型消費者の新車寿命 11.46 年を下限、物理寿命 17.46 年を上限とした。

(4) 地域共同型シナリオ

地域共同型ライフスタイルでは、カーシェアリングの導入を想定した消費形態である。カーシェアリングによる効果は、EU を中心に 1980 年代頃から議論され、ドイツやスイスを中心として既にビジネスモデルとして広がりつつある。しかし中国においては、現時点ではビジネスとして確立されておらず、その効果の定量的な把握のためのデータは不十分である。そこで本研究では、カーシェアリングが中国で広まった場合の効果を、EU での事例を元に推計する。文献調査 (Firnkorn & Muller, 2011; Prettenthaler & Steininger, 1999; Meijkamp, 2000; Martin et al., 2010; Sperling et al., 2000; Bonsall, 1982) を通じてカーシェアリングによる効果に関するデータを収集し、そのうち最も効果の控えめなものを用い最低限期待できる効果として評価の対象とした。

文献調査の結果、カーシェアリングの効果はカーシェアリングを利用する世帯数、アリ

であることがわかった。表 5-2 に、既存研究に示されたカーシェアリングによる影響の幅を示した。これより、本研究では表 5-2 中下線の値を用い、地域共同型では全自動車保有者の 22%が利用し、利用者は保有台数を 44%、年間走行距離を 30%減少させるものと想定した。ここで、カーシェアリングの効果として、既存文献に示された値のうち最小値を選択した理由は、中国においてカーシェアリングへの選好は未知数であるため、まずは最も控え目な場合を想定することで、最低限期待される効果を示すことにある。

表 5-2 カーシェアリングの効果¹³

項目	説明
Car Sharing に加入する比率	<u>22</u> ~ 69%
加入者の自動車保有台数の変化	<u>44%</u> ~ 49%
加入者の年間走行距離の変化	13.5% (CAR2GO の取り組み)
	<u>30</u> ~ 60%

5.3 自動車フロー推計モデルの構築

5.3.1 分析の枠組み

次に、前章で定義した消費形態を定量評価するためのモデル構築を行う。評価の対象地は中国全土とし、さらに都市・農村に分類し、それぞれの特性を反映した解析を行う。なお、都市部においては大都市と地方の都市域では都市環境が異なることが考えられる。例えば北京や上海などの人口の集中する地域では、公共交通インフラが発達し自動車利用が抑制されると一方で、過密状態により交通渋滞や大気汚染などの問題が顕在化する。こうした状況を踏まえ、上海では 1994 年以降、The private car license plate bidding policy が施行され、自動車の個人所有制限がかけられている（大和総合研究所，n.d.）。その結果、上海は省市別の一人当たり所得が中国で最も高いにもかかわらず、自動車保有台数は 100 世帯当たりで上海 11 台、北京 34 台、成都 29 台（2006 年時点）と、他の大都市と比較して低い水準となっている（NBSC, 2008）。同様の取り組みは北京でも始まりつつあり、こうした大都市特有の政策が自動車保有の状況に影響を与える可能性がある。しかし、本研究ではデータ制約からこのような施策が導入されていない「都市」と「農村」を想定した。現時点ではこうした施策を行っているのはごく一部の大都市に留まっているため本分析への影響はそれほど大きくないと考えられるが、今後この施策が全国的に広まる場合や、こうしたごく一部の都市部への人口の集中が進む場合には考慮する必要性が生じる可能性が

¹³値は Firnkorn & Muller (2011), Prettenthaler & Steininger (1999), Meijkamp (2000), Martin et al. (2010), Sperling et al. (2000), Bonsall (1982) より引用

あり、今後の展開を慎重に見守る必要がある。

モデルの全体構造は家電製品で用いたモデルと同様に、自動車ストック推計サブモデルと自動車フロー推計サブモデル、環境負荷算出サブモデルの3サブモデルからなる。自動車ストック推計サブモデルでは非集計型の推計モデルを構築し、都市・農村における将来の車両保有台数を推計した。自動車フロー推計サブモデルでは、保有台数に基づき将来の製品のフロー量を推計し、環境負荷算出サブモデルでCO₂排出量・資源消費による環境負荷量を評価した。ただし、本研究で用いた消費形態は自動車の購入と廃棄断面における消費者の行動の傾向に着目したものであり、それを取りまく都市形態や公共交通の整備といった側面にまでは踏み込んでいない。そのためモデルも都市形態やモーダルシフト等を念頭に置いてはいない。消費形態シナリオによる違いは主に製品循環サブモデルに反映され、技術の普及速度や製造・廃棄台数の違いが定量的に示されることにより、シナリオ間の比較が可能となる。

5.3.2 自動車ストック推計サブモデル

自動車の保有モデルは過去さまざまなものが提案されてきたが、近年、中国ではデータの充実により徐々に複雑なモデルが適用されるようになってきた。途上国で一般的に適用される集計型のモデルに対し、Liu et al. (2011) や、Hao et al. (2011b), Shen (2007) は非集計型のモデルの適用を試みている。特に Hao et al. (2011b) や Shen (2007) のモデルは、所得の分布に基づき自動車保有台数を推計しており、本研究の狙いである都市－農村間の中古車リユースなどの現象を表現する上で適用しやすいものといえる。筆者は、前章において、Shen (2007) のモデルを取り入れ家電製品のストック推計を行ったが、ここでも同様の枠組みを用いて自動車ストックの推計を行った。なお、本章で用いたモデルは、前章同様 Analytica 上で構築した。

本研究で用いた自動車ストック推計の基本式は式 5-1 で表される。前章の推計式と異なる点は、所得分布関数を一人当たり所得ではなく、世帯所得においた点にある。

$$Q_{i,t} = \frac{Pop_t \int Own(X) \cdot ID_{i,t}(X) dX}{\int HS_i(X) \cdot ID_{i,t}(X) dX}$$

式 5-1

ここで、 i は地域、 t は年次を表す添字であり、また X は世帯所得を示す。 $Q_{i,t}$, $ID_{i,t}$ はそれぞれ地域 i , t 年における車両ストック数、世帯所得に対する世帯数の密度分布を、 HS_i , Own はそれぞれ地域 i における世帯人数と世帯あたりの自動車保有台数の、世帯所得 X との相関を示す。また、 Pop_t は t 年の中国の人口を示す。車両 $ID_{i,t}$, Own , HS_i は、それぞれ式 5-2～式 5-5, 式 5-6, 式 5-7 により得られる。

$$ID_{i,t}(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta X \bar{X}} \exp\left\{-\frac{\log \bar{X} - \log u}{2\delta^2}\right\}$$

式 5-2

$$\bar{X} = \exp\left(\log u + \frac{\delta^2}{2}\right)$$

式 5-3

$$\bar{X}_t = (a \ln t + b) \times (GDP/capita)$$

式 5-4

$$G_{i,t} = 2F\left(\frac{\delta}{\sqrt{2}}|0,1\right) - 1$$

式 5-5

$$Own(X) = \frac{K}{1 + \exp(rK(s - \ln X))}$$

式 5-6

$$HS_i(X_t) = cX_t^d$$

式 5-7

ここで、 $\bar{X}$ は世帯あたり所得の平均値、 u は中位所得、 δ は分散、 G はジニ係数、 $F(t|0,1)$ は標準正規分布関数で X が $-\infty \sim t$ までの累積値をそれぞれ示す。世帯当たり自動車保有台数は、より一般的に用いられると考えたロジスティック曲線を適用した（図 5-3）。世帯当たり保有台数が世帯所得の対数値と相関があると仮定し、NBSC (1996-2011) および所得が高い領域については現在の日本のデータ（統計センター，n.d.）を利用して近似した（ $R^2=0.71$ ）。また世帯人数は、世帯所得により変化すると考え式 5-7 を用いて回帰分析を行った（図 5-4）。用いたデータは 2009 年の中国の都市部・農村部の世帯の可処分所得と世帯人数（NBSC, 2010），および OECD 各国の平均世帯人数と購買力平価に基づき換算した世帯当たり平均可処分所得（OECD, n.d.）であった。平均世帯所得 $\bar{X}$ は式 5-4 に示すように一人当たり GDP の成長（ $GDP/capita$ ）に相関するが、一人当たり GDP の増加に対する弾性値が逡減していくと仮定し 1995～2010 年のデータ（NBSC, 1996-2011）より回帰式を求めた（同様に $R^2=0.74, 0.84$ ）。ここで、 K, r, s, a, b, c, d はそれぞれ定数を示し、本研究で用いた値を表 5-3 に示す。また、中国の人口・GDP の将来予測は Goldman Sachs (2003), UNPD (2010) にしたがった。

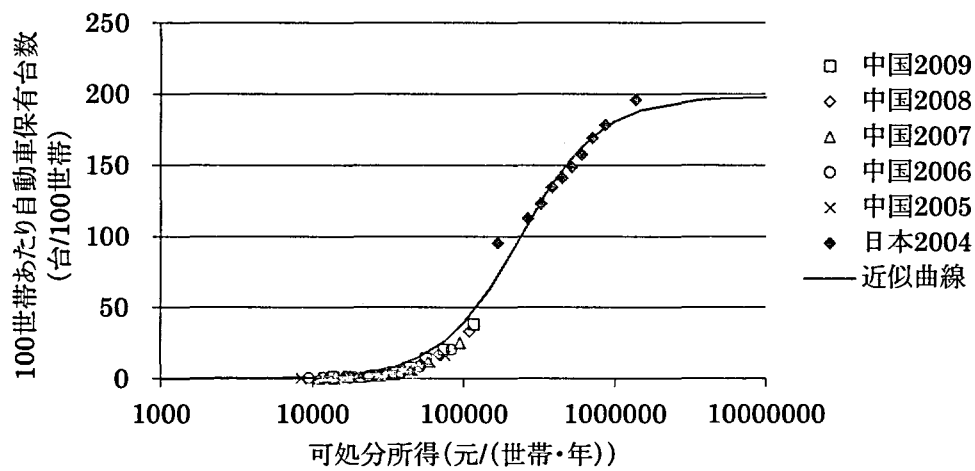


図 5-3 世帯所得と自動車保有台数の関係

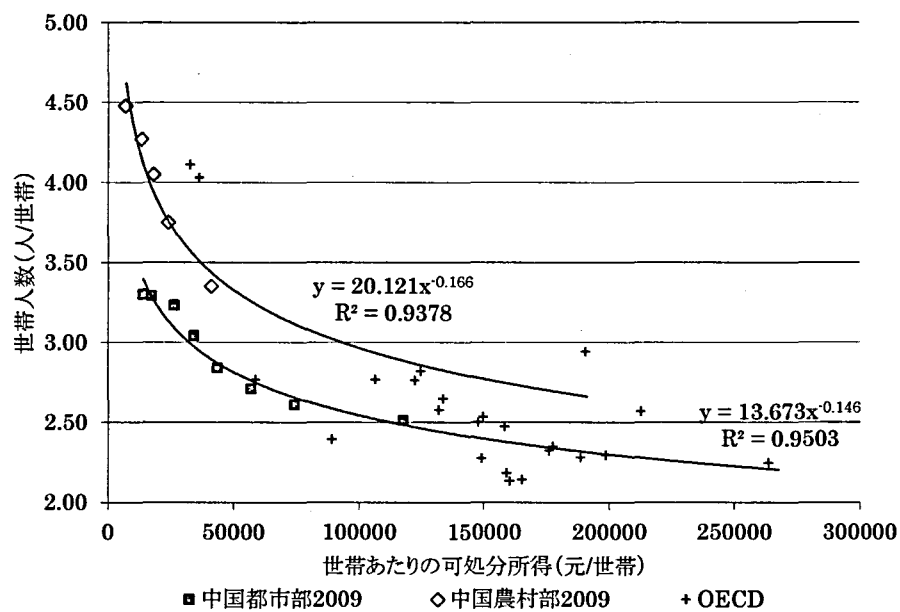


図 5-4 世帯人数と所得の関係

表 5-3 定数一覧

定数		値
	K	198.4
	r	8.183×10^{-3}
	s	12.38
都市	a	-0.299
	b	2.927
	c	13.67
	d	-0.146
農村	a	-0.282
	b	1.639
	c	20.12
	d	-0.166

表 5-4 製品ストック推計サブモデルで用いられる変数の定義

変数名	定義
t	時間
i	地域
X	世帯の可処分所得
Pop	中国の人口
$ID(X)$	世帯所得に対する世帯数の密度分布
$Own(X)$	世帯あたり機器所有台数
$HS(X)$	世帯人数
δ	所得分布関数の分散
u	中位所得
GDP	対象地域の総生産額
G	対象地域のジニ係数
F	正規累積分布関数
K, r, s, a, b, c, d	定数

5.3.3 自動車フロー推計サブモデル

製品フローの推計に用いた製品フロー推計サブモデルは、家電で用いたものと同様の構造であるため、4.3.3 項を参照されたい。本節では、対象となる自動車技術および用いたデータについて述べる。

(1) 対象技術

本研究では、対象とする技術は中国汽车技術研究中心（1992-2010）を参考に、従来型の内燃ガソリン自動車（ICV）、ハイブリッド自動車（HEV）、プラグインハイブリッド電気自動車（PHEV）の3技術とし、これを用いた3つの車種を分析対象とした。また、中国ではICVは先進国同様の高効率な車両から、現地開発の低効率な車両まで多様な製品が存在するが、単純化のため技術普及の状況を高効率ICV（High-ICV）と低効率ICV（Low-ICV）

の 2 種にわけて表現した。ディーゼル車はトラックでは比較的普及が進んでいるが、乗用車における普及率が低いことから対象外とし、またバイオ燃料の導入は考慮しなかった。

(2) 残存率関数

自動車ストックの残存率関数はワイブル分布に従う。自動車についても家電同様新品、中古品、物理寿命の 3 種類の寿命を考慮した。各寿命は、新品購入者が廃棄する時期を新品寿命、中古車購入者が廃棄する際の車齢を中古車寿命、さらに物理的に故障や不具合により廃棄される際の車齢を物理寿命と定義した。なお、家電製品の事例では、中古品購入からの年数により寿命を設定したが、自動車では車齢は売買に関わる重要な情報として適切に管理が行われていることから、車齢により寿命を定めるのが適切と考えた。現時点では、自動車は中古品としての価値が高く、低所得層の需要は大きいと考えられるため、中古車寿命と物理寿命は一致していると仮定した。また、新車の購入者はさらに二種類に分けられるとした。一つは比較的短期間で次の新車に買い替える消費者、もう一つは新車を購入し製品の価値が十分低下するまで利用する消費者である。前者は、中古車の供給主体であり、市中の中古車に用いられる技術に大きな影響を与える。新車の価値寿命は、この両者にそれぞれワイブル分布を与え人口の比率で重みづけした廃棄関数の和で表現される。

中国における車両の物理寿命は、Hao et al. (2011c) や Huo et al. (2007) により調査されている。本章では、Hao et al. (2011c) で示された寿命（平均寿命 14.46 年、分散 4.79）を用いた。Huo et al. (2007) によると中国の車両の平均寿命は今後増加しアメリカ並みになると予測されている。そこで Huo et al. (2007) に従い、技術的な物理寿命は 2020 年にむけて線形に 3 年増加すると想定した。価値寿命の設定は消費形態により影響を受けるため、5.2 節で詳述する。

(3) 購入時の車種選択と中古品市場

車両購入時、自動車需要 *Demand* は新車・中古車への選好により分類され、さらに新車需要は各車種への選好によりさらに分類される。中古車需要は中古車市場で取得可能な車両のうち新しいもの、高効率な製品から優先的に利用されるものとした。中古品市場に流通する製品には、個人や法人からの廃棄製品、ブローカーや販売店の営業担当からの流通品、また新車販売店からの売れ残り車両や販売委託品などがある（矢野経済研究所, 2008）。法人からの車両は自家用車と比較し総数も小さく、また走行距離も自家用車と比較し非常に大きいことから本研究では対象外とした。一方、販売店からの流入は、中古車市場の製品の約 2 割を占めるといわれ（矢野経済研究所, 2008）、特に車齢 3 年未満の中古品はこうした経路で出品されるものが多いと考えられる。そこで本研究では、この新車販売店からの中古車市場への投入台数が新車販売台数に比例すると考え、文献（矢野経済研究所, 2008）を参考に投入台数を推計した。また、中古車市場での中古車供給量が中古車需要量を下回るとき、余剰需要は新車購入者と同じ比率で各車種の購入に回るものとした。

5.3.4 環境負荷原単位

(1) CO₂排出量

本研究では、評価対象として CO₂排出量と資源消費量を評価した。CO₂排出量は、自動車の製造段階と使用段階、廃棄段階の 3 段階から発生する。しかし、中国においては、廃棄段階のプロセスは違法処理が多く含まれ代表的なプロセスを想定するうえで知見は不十分といえる（王 & 小幡，2009）。また、仮に先進国で行われている処理を行った場合、製造・使用段階と比較し廃棄時の CO₂排出量は十分小さいため（Leduc et al. 2010），本分析では、製造・使用段階のみを対象として推計を行った。

製造段階には、車両の製造と PHEV 用バッテリーの製造を考慮した。HEV にもバッテリーは使用されているが、重量としては大きくなく無視できるものとした。車両の製造に関わる CO₂排出量は、山田ら（2005）より、3,170 kg-CO₂eq/台、またバッテリーはリン酸鉄リチウムイオン電池を想定し、Samaras & Meisterling (2008), Bettez et al. (2011) に基づき、6,520 kg-CO₂eq/台とした。走行時の排出量は、High-ICV では日本の乗用車効率を参考とし、JAMA (2010) に基づき 2010 年の効率を 13.8 km/L (JC08 モード、10-15 モードでは 16.0 km/L) とし、METI (2010) に沿って効率が向上するものと仮定し、推計した。HEV は、Bettez et al. (2011) より High-ICV と比較して効率が 37.5%向上するものとした。Low-ICV の効率は、中国の燃費基準値を用いた。Leduc et al. (2010) に基づき、効率基準が 2009 年以前は 9.5 L/100km, 2010 年以降 8.6 L/100km, さらに 2015 年以降 7.0 L/100km とした。PHEV の燃費はガソリン走行時と電気走行時が各 50%であるとし、ガソリン走行時は HEV の燃費を、電気走行時には日産リーフの燃費である 125 Wh/km (Nissan, n.d.) を適用した。電力の排出原単位は Cai et al. (2007) に基づき、2009 年 0.81 g-CO₂/Wh から徐々に低下し、2040 年 0.67 g-CO₂/Wh となるとし、ガソリン燃焼の CO₂排出原単位は 2,320 g-CO₂/L（資源エネルギー庁，n.d.）とした。

(2) 資源消費量

自動車の一台当たりの資源消費量は、車両に含まれるレアメタル、PHEV のバッテリー、およびそれ以外のベースメタル等をそれぞれ別々に求めた。車体のベースメタル等（鉄、アルミ、銅、鉛、亜鉛、ガラス、プラスチック、燃料、水を含む）は、Leduc et al. (2010) に用いられている値を引用した。これらの値は全車種共通とした。レアメタル消費量は馬場（2010）より ICV, HEV/PHEV について一台当たりの資源消費量をそれぞれ算出した（High/Low-ICV は等しいと仮定した）。なお、このデータ中、次世代自動車の資源消費量は、HEV, PHEV, EV をすべて含むものであるが、2009 年の PHEV・EV 生産台数は HEV と比較し十分に少ないため（次世代自動車研究センター，2011），EV 用バッテリーの材料とされるリチウムの消費量を除きすべて HEV 向けの資源消費量であると仮定した。その上で、PHEV の資源消費量は、HEV の資源消費量に加え、バッテリーによる資源消費量として

表 5-5 車種別の資源構成¹⁴

資源		High-ICV	Low-ICV	HEV	PHEV
Fe (新地金)	kg	504	504	504	504
Fe (再生地金)	kg	242	242	242	242
Al (新地金)	kg	42	42	42	42
Al (再生地金)	kg	26	26	26	26
Al (アルミ箔)	g	0	0	0	26
Cu	kg	9	9	9	9
Glass	kg	40	40	40	40
Polyethylene	kg	37	37	37	37
PET	kg	4	4	4	4
Other Plastic	kg	186	186	186	186
Zn	kg	0.321	0.321	0.321	0.367
Pb	kg	9	9	9	9
Oil	kg	25	25	25	25
Water	kg	2	2	2	2
Ni	kg	2.914	2.914	9.873	9.873
Cr	kg	7.552	7.552	0	0
W	g	105.1	105.1	0	0
Co	g	1.339	1.339	834.1	834.1
Mo	g	600.9	600.9	83.04	83.04
Mn	kg	6.194	6.194	2.066	2.066
V	g	158.2	158.2	0	0
Mg	kg	2.643	2.643	0	0
Nb	kg	135.7	135.7	0	0
Sr	g	12.07	12.07	0	0
Ti	kg	542.0	542.0	0	0
Ta	Kg	0	0	0	0
Zr	G	30.18	30.18	0	0
B	G	8.948	8.948	14.30	14.30
Pt	G	2.334	2.334	0	0
Rh	mg	690.4	690.4	0	0
Pd	g	2.955	2.955	0	0
Ir	mg	13.81	13.81	0	0
La	g	2.651	2.651	0	0
Y	g	1.091	1.091	0	0
Nd	g	0	0	333.6	333.6
Dy	g	0	0	7.27	78.27
Ga	g	0	0	1.733	1.733
Li	g	0	0	0	23.15

¹⁴ Leduc et al. (2010), 馬場 (2010), Zackrisson et al. (2010) より筆者作成

5.4 結果と考察

5.4.1 車両のフロー・ストック量の検討

図 5-6 に車両ストック数の推計結果を示す。推計は 1995~2040 年を対象期間とし、1995~2009 年は人口・所得などに統計データを用いた。自動車ストックを示すデータは NBSC (2008) や中国自動車技術研究中 (1992-2010) 等に複数存在するが、NBSC (2008) に用いられた Private Vehicle の保有実績値を用いた。1995~2009 年の統計値と比較すると、過去の傾向をほぼ正確に反映していることがわかる。自動車ストック数は、「地域共同型」以外の消費形態下では、2010 年 5,440 万台、2020 年 11,500 万台 (年平均増加率 (7.8%)、2030 年 20,100 万台 (同 6.2%)、2040 年 34,100 万台 (同 5.0%) と増加していくことが示された。一方、シェアリングにより自動車ストックが減少する地域共同型では、2010 年 5,390 万台、2020 年 10,400 万台 (傾向延長型比 9%減)、2030 年 18,900 万台 (同 10%減)、2040 年 30,800 万台 (同 10%減) であった。

次に、図 5-7 に傾向延長型における新車販売台数と廃棄台数の推移と過去の実績値 (中国自動車技術研究中、1992-2010) を、図 5-8 に消費形態別の新車・中古車の販売台数を示す。なお、販売・廃棄台数の推計には、過去の販売実績が影響を与えるため、1995~2009 年の推計には 1994 年以前の販売実績を、2010 年以降は 2009 年以前の販売実績 (中国自動車技術研究中、1992-2010) を用いた。また、2020 年、2030 年、2040 年はマクロな傾向を見るため、前後 10 年間の移動平均を示した (以下図 5-8~図 5-11 においても同様とする)。

図 5-7 において、2010 年以降「傾向延長型」での新車の販売台数は、2020 年、2030 年、2040 年にそれぞれ 1,190 万台、1,950 万台、2,940 万台と増加を続けた。2010 年に推計された販売台数は、2007~2009 年の実績値をやや下回っており、推計結果は過小推計となっている可能性がある。2009 年に関しては、経済成長が鈍化する中で自動車販売数が急激に伸びており、経済成長と連動する本モデルでの再現は難しい。一方で、経済成長の予測自体がやや低めに推定されている可能性も否定できない。本研究で用いた GDP の成長予測 (Goldman Sacks, 2003) では 2011~2020 年の平均成長率は 7.9%とされているが、リーマンショックの 2009 年でも中国は 8.4%の成長を実現しており、こうした面から過小推計の可能性があると見える。一方、自動車の廃棄台数は一貫して増加を続け、2040 年には 1,600 万台を超えると推計された。廃棄台数の推移は、2020 年 520 万台、2030 年 860 万台、2040 年 1,640 万台であった。2025 年頃に一旦増加速度が鈍化するのとは、2010 年推計開始当初の販売台数が実績値を下回ったことに影響を受けていると考えられる。現状の中国の自動車リサイクルは、専門処理設備 (解体設備・破碎設備) の導入が遅れており、手作業の人海戦術での処理が主流となっている。そうした中で、ASR 等の直接埋め立てや有害金属による環境汚染・作業者の健康被害などが指摘されており、法制度の実施に関わる行政のエンパワーメントと、大幅な設備投資が必要といえる (王ら、2007)。

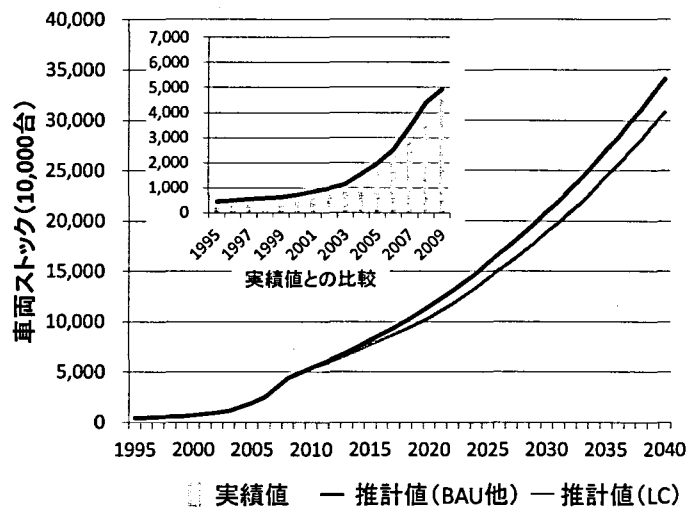


図 5-6 車両ストック数の推計結果

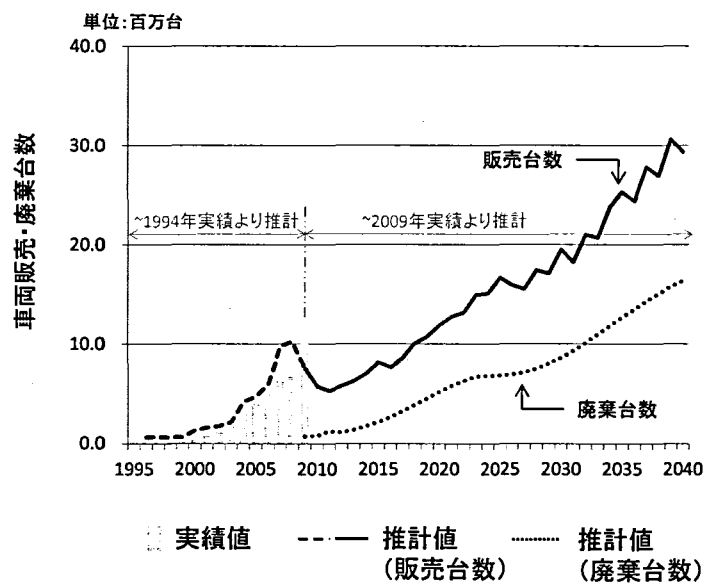


図 5-7 新車販売・廃棄台数の推移

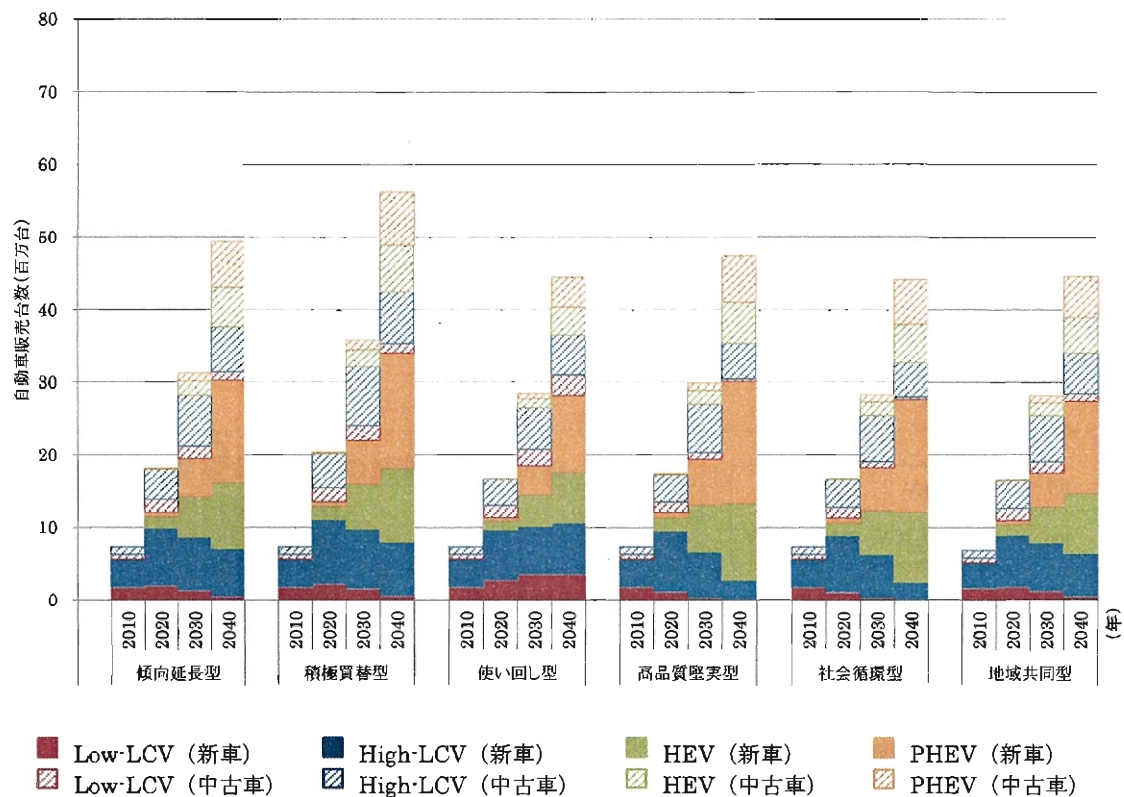


図 5-8 消費形態別・年代別の自動車販売台数

図 5-8 に示した新車・中古車の販売台数の推移をみると、「積極買替型」が最も大きく、「使い回し型」、「地域共同型」が低い結果となった。「積極買替型」では、中古車寿命が短く市場から廃棄される車両数が多いため、販売台数が増加した。逆に「使い回し型」では、中古車寿命が長く市場のストックの更新が進まなかったことが販売台数の低下の要因であった。地域共同型では、車両ストック総数が少ないため更新される量が少ないことが、販売台数を低く抑えた要因であった。2040 年における中古車の販売台数は、「傾向延長型」、「積極買替型」、「使い回し型」、「高品質堅実型」、「社会循環型」、「地域共同型」の順に、2,830 万台、3,100 万台、2,400 万台、2,560 万台、2,410 万台、2,560 万台であり、販売量に占める比率はいずれのシナリオも 39~41%と大きな差はなかった。「高品質堅実型」を除く消費形態では、自動車需要に占める中古車比率が消費形態に設定された値に達せず、中古車の需要量に対して廃棄関数から得られた利用可能な中古車台数が十分でなかったことがわかる。中古車需要が超過しているため、供給された中古車はすべて再度購入され、その結果製品の更新が早く中古車の供給量が多かった「積極買替型」で多くの中古車が購入された。超過した中古車需要は、消費形態別に定めた新車購入時の技術選択比率に従い新車が購入された。現実には需要超過の状況が続くと中古車価格の上昇により中古車の供給量が増加し、本推計よりも多い取引量で均衡する。しかし、需要が急増する経済成長下での中古車市場では、市場ストックの不足から中古車の供給量が不十分となる状況が明らか

になったともいえる。本研究では中古車の輸入は想定していないが、中古車需要の超過は日本やロシア等の近隣国からの中古車輸出を促進する可能性がある。

5.4.2 車種構成と中古品ストックの比較

図 5-9 に、各消費形態における自動車ストックの車種構成と中古品比率を示した。なお、自動車ストック推計モデルでは「地域共同型」以外はパラメータの変化がないため、総ストック数は等しい。

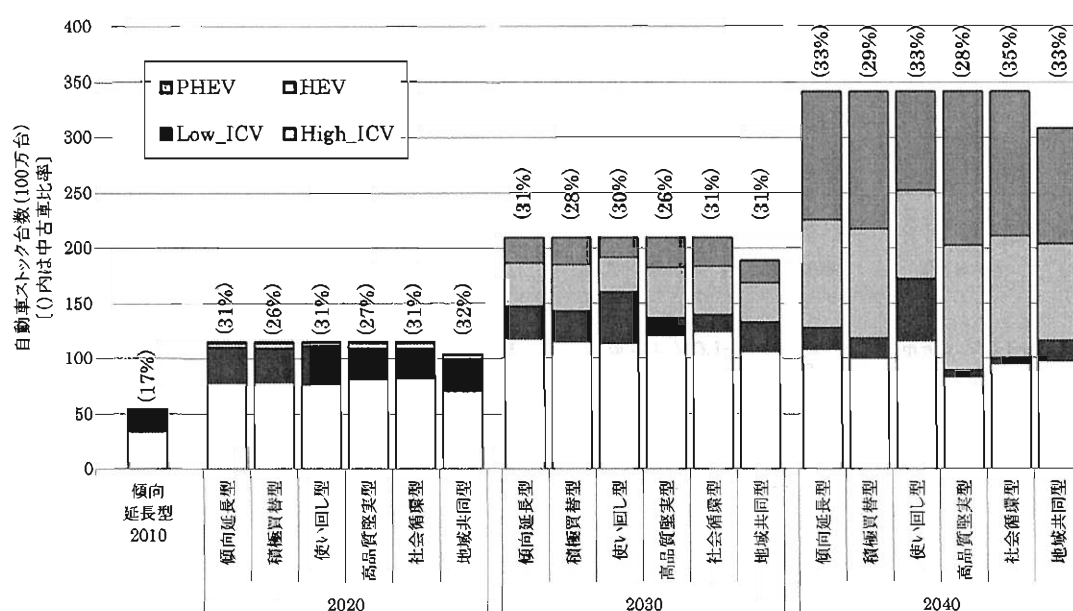


図 5-9 消費形態別の自動車ストックの車種構成と中古車比率

環境配慮型自動車（HEV と PHEV）の普及が最も大きかったのは「高品質堅実型」であり（2040 年 74%）、逆に最も普及が進まなかったのは「使い回し型」であった（同 50%）。「使い回し型」では、Low-ICV の残存率が最も高く（2040 年 15%）、二番目に高い「傾向延長型」、「地域共同型」（共に 6%）と比較し 2.5 倍高い結果となった。「傾向延長型」と「積極買替型」を比較すると、技術の導入比率は同等だが短期での製品の更新を行った「積極買替型」の方が HEV/PHEV の比率が 3%程度高い結果となった。また、「高品質堅実型」と「社会循環型」の比較でも、より長期間の中古品利用を想定した「高品質堅実型」の方が HEV/PHEV の比率は 3%上回った。

2040 年の自動車ストックに占める中古車の比率は 28~35%と、消費形態間で購入時の比率よりは大きな差異がみられた。購入台数では「積極買替型」が最も多かったが、中古車寿命の短いため市場からの廃棄量が多く結果としてストック中の中古車比率では低い比率

となった。「社会循環型」では中古車寿命が長いことためストック中の中古車比率が高く、供給される中古自動車も HEV や PHEV の比率が高いことから（図 5-8 参照）高品質な自動車の中古車として多く利用されることが示唆された。「使い回し型」においても、同様に高い中古車比率が想定されるが、新車利用者に短期更新型の消費者が少なく中古品供給量が不十分であったため、ストック中の中古品比率も 30% とそれほど高くなかった。これは Low-ICV の比率が大きいことから中古車の廃棄時の車齢が「社会循環型」ほどに伸びなかったためと考えられる。「高品質堅実型」では、短期更新型の消費者が少なく、また中古品寿命の長期化も想定されなかったことから、ストック中の中古品比率は全消費形態で最低となった。

5.4.3 環境負荷指標の消費形態別比較

(1) CO₂ 排出量

図 5-10 に、消費形態別の CO₂ 排出量を示す。

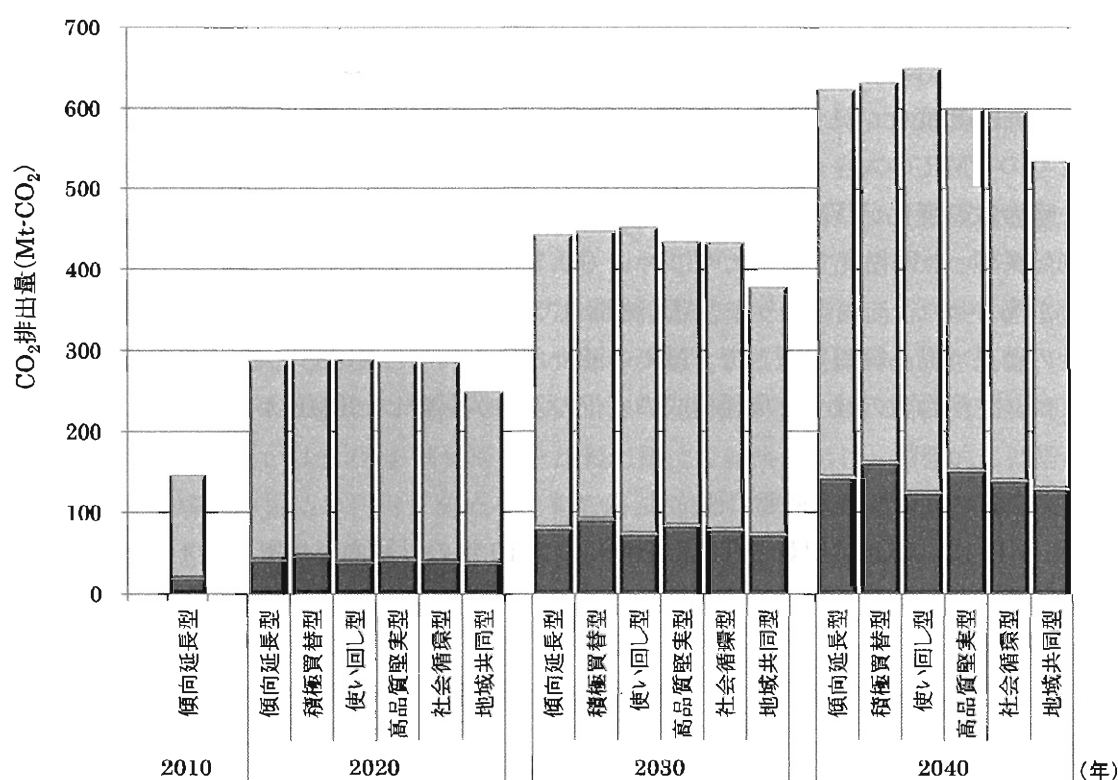


図 5-10 消費形態別 CO₂ 排出量の推移

各消費形態下での CO₂ 排出量を「傾向延長型」と比較すると、2040 年において「積極買替型」、「使い回し型」、「高品質堅実型」、「社会循環型」、「地域共同型」で、それぞれ

+1.41%, +4.18%, -3.84%, -4.35%, -14.3%の変化が見られた。「地域共同型」のシナリオでは年間走行距離の低下が大きな要因となり、排出量が低下した。一般にカーシェアリングによる年間走行距離の低減は、自動車利用時に毎回料金を支払うことで車両の購入維持費も含む自動車利用のコストを、消費者がより正確に認識できることにより起こるとされる⁴⁸⁾。したがって、この結果は自動車利用時の消費者行動の変化が、技術的な改善策と比較しても十分大きな影響をもつことを示したといえる。「積極買替型」では、車両販売台数の増加による製造時排出量の増加と、高効率技術の普及による走行時排出量の抑制が共に働いたが、総排出量は増加した。「高品質堅実型」では製造時排出量が増加（2040年「傾向延長型」比+6.0%）したのに対し、走行時排出量が減少し（同6.8%）、総排出量としては削減された。「社会循環型」では、製造時・走行時共に排出量が減少した（各4.6%、4.9%）。その結果、走行時の排出量は「高品質堅実型」の方が少ないが全体としては「社会循環型」の方がわずかに排出量削減で上回った。

(2) TMR 指標

図 5-11 に TMR 係数で統合化した資源消費による環境負荷の推計結果を示す。各消費形態下での CO₂ 排出量を「傾向延長型」と比較すると、2040 年において「積極買替型」、「使い回し型」、「高品質堅実型」、「社会循環型」、「地域共同型」で、それぞれ+13%、-6.1%、-1.4%、-9.1%、-9.1%の変化が見られた。TMR の総重量は、自動車の生産台数（＝販売台数）と一台当たりの TMR の大きさにより決まる。「積極買替型」・「使い回し型」・「地域循環型」では、生産台数の変化が TMR の変動の主要因であった。「高品質堅実型」では、生産台数は「傾向延長型」と同程度であったのに対し（図 5-8 参照）、生産台数に占める HEV・PHEV の比率が高かった。一台当たりの TMR 総重量では ICV と比較し HEV・PHEV の方が小さく、その結果「高品質堅実型」で TMR の減少が見られたと考えられる。「社会循環型」においては、生産台数の減少と車種構成の変化の双方が影響し、TMR が減少した。

(3) 環境負荷から見た消費形態の優位性

図 5-12 に、CO₂ 排出量と TMR を軸に、2010 年の「傾向延長型」を 1 とした場合の各消費形態の推計結果をプロットした。既に述べたように、CO₂ 排出量の面では「地域共同型」が最も優位であり、次いで「社会循環型」と「高品質堅実型」が同程度であった。TMR の面では、「地域共同型」と「社会循環型」が最も優位であり、次いで使い回し型で低い値を示した。

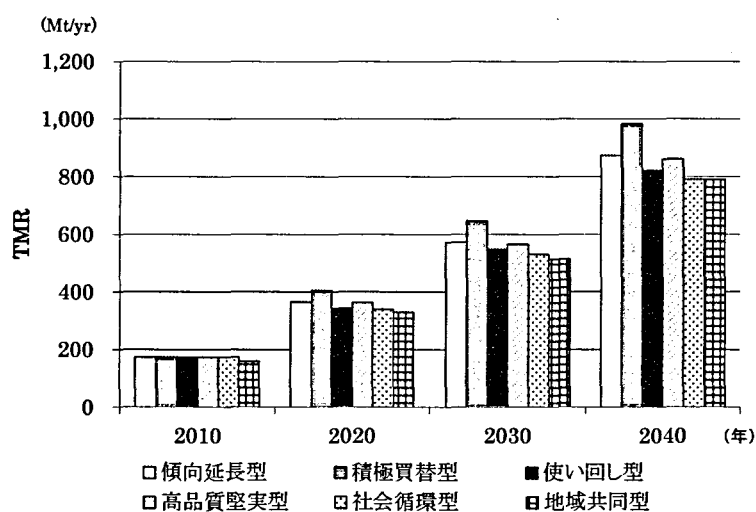


図 5-11 消費形態別 TMR 推計結果

「地域共同型」による環境負荷削減効果の大きさが示され、今後中国においても積極的なカーシェアリングの取り組みが求められることが示唆された。一方で、5.2 節で述べたように「地域共同型」に見られるカーシェアリングの取り組みは、サービスの利用に適した消費者とそうでない消費者が存在し、後者に含まれる消費者に対しては別の対策が必要となる。したがって、「社会循環型」や「高品質堅実型」・「使い回し型」の消費形態の普及も合わせて行っていく必要があるといえる。

家電製品の事例において見られた「使い回し型」と「傾向延長型」・「積極買替型」の間の、CO₂ 排出量と資源消費による環境負荷のトレードオフ構造は、自動車の事例においても見られた。さらに、「高品質堅実型」も、本章の推計結果では資源面で「使い回し型」の方が優れた結果を示し、同様にトレードオフ構造が発生する可能性が示唆された。このトレードオフ回避のために前章の考察から得られた「社会循環型」では CO₂・TMR 両指標において「地域共同型」以外の 4 消費形態と比較し優位な結果を示し、積極的に技術導入を進める消費者層と中古品の利用を進める消費者層が混在することによる環境負荷削減効果が定量的に示されたといえる。

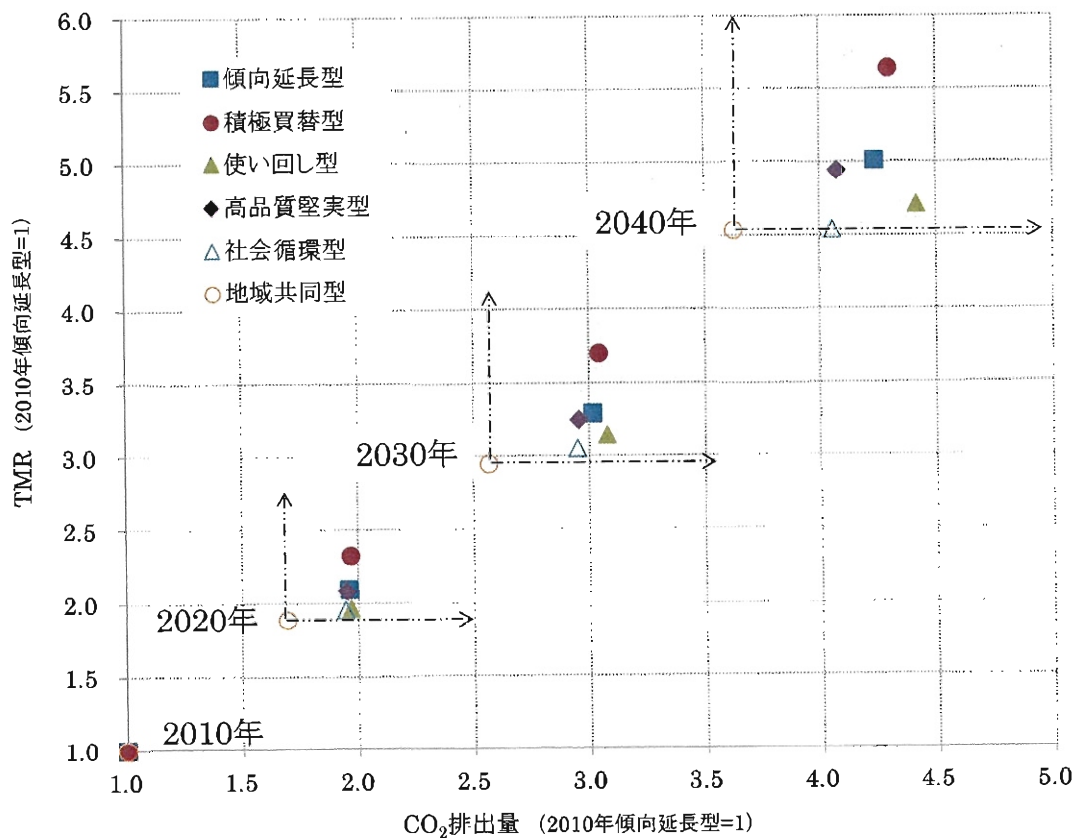


図 5-12 各消費形態における CO₂ 排出量と TMR の比較

5.5 要約

本研究では、自動車の購入・廃棄時の消費者の行動形態に着目し、その変化による環境負荷への影響を CO₂ 排出量・TMR の 2 指標を用いて評価した。前章の結果を踏まえ、「傾向延長型」、「積極買替型」、「使い回し型」、「高品質堅実型」の 4 消費形態に加え、家電製品の事例からの考察に基づく複合的な消費形態である「社会循環型」と、サービサイジングの方向性を示す消費形態としてカーシェアリングを想定した「地域共同型」の各消費形態を構築した。また、消費形態による環境負荷の違いを定量化するため、自動車を対象とした製品循環モデルを構築し、技術普及・高効率ストック形成・既存ストックの利活用等を考慮しつつ CO₂ 排出量・TMR の各指標に基づき評価した。その結果、製品フローの面では、2040 年「傾向延長型」において 1,600 万台を超える自動車が廃棄され自動車リサイクル設備の整備が求められること、また中古車の流通制度の整備により需要が増大すると考えられるが、需要が急増している状況下では十分な中古車の供給は国内ストックのみからは難しい可能性があることが示唆された。消費形態別の比較では、CO₂ 排出の側面からは「地域共同型」もっとも優位であり、次いで「高品質堅実型」・「社会循環型」がより大

きな排出量削減が可能であった。TMR の側面からは「地域共同型」・「社会循環型」が同程度に削減が可能であり、次いで「使い回し型」も優れた結果を示した。ただし、「地域共同型」では、サービスを利用できる消費者は限られており、カーシェアリングの積極的な導入と併せて他の優れた消費形態の普及も進めていく必要があることが示唆された。

今後の課題としては、自動車利用を取り巻く都市構造の変化や、走行時の負荷変動等、自動車利用の異なる側面を考慮したモデルへの展開が考えられる。

参考文献

- Bettez, GM., Hawkins, TR. & Stromman, AH. (2011) Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicle. *Environmental Science and Technology*, Vol.45, No.10, pp.4548-4554.
- Bonsall, P. (1982) Microsimulation: its application to car sharing. *Transportation Research A*, Vol.16A, No.5-6, pp.421-429.
- Cai, W., Wang, C., Wang, K., Zhang, Y. & Chen, J. (2007) Scenario analysis on CO₂ emissions reduction potential in China's electricity sector. *Energy Policy*, Vol.35, pp.6445-6456.
- Du, JD., Han, WJ., Peng, YH., & Gu, CC. (2010) Potential for reducing GHG emissions and energy consumption from implementing the aluminum intensive vehicles fleet in China. *Energy*, Vol.35, pp.4671-4678.
- Firnkor, J. & Muller, M. (2011) What will be the environmental effects of new fee-floating car-sharing systems? The case of car2go Ulm. *Ecological Economics*, Vol.70, pp.1519-1528.
- Goldman Sachs (2003) Dreaming With BRICs: The Path to 2050. Global Economics Paper, NO.99. <http://www2.goldmansachs.com/ideas/brics/book/99-dreaming.pdf> (参照 2011 年 11 月 21 日)
- Hao, H., Wang, H. & Ouyang, M. (2011a) Comparison of policies on vehicle owner ship and use between Beijing and Shanghai and their impacts on fuel consumption by passenger vehicles. *Energy Policy*, Vol.39, pp.1016-1021.
- Hao, H., Wang H., & Yi, R. (2011b) Hybrid modeling of China's vehicle ownership and projection through 2050. *Energy*, Vol.36, pp.1351-1361.
- Hao, H., Wang, HW., Ouyang, MG. & Cheng, F. (2011c) Vehicle survival patterns in China. *Science China Technological Sciences*, Vol.54, No.3, pp.625-629.
- Huo, H., Wang, M., Johnson, L. & He, DQ. (2007) Projection of Chinese motor vehicle growth, oil demand, and CO₂ emissions through 2050. *Transportation Research Record*, Vol.2038, pp.69-77.
- JAMA (2010) JAMA レポート, No.105. <http://www.jama.or.jp/lib/jamareport/105/03.html> (参照 2011 年 11 月 21 日)
- Leduc, G., Mongelli, I., Uihlein, A. & Nemry, F. (2010) How can our cars become less polluting? An assessment of the Environmental improvement potential of cars. *Transportation Policy*, Vol.17, pp.409-419.
- Liu, H., He, K., & Barth, M. (2011) Traffic and emission simulation in China based on statistical methodology. *Atmospheric Environment*, Vol.45, pp.1154-1161.
- Martin, E., Shaheen, SA. & Lidicker, J. (2010) Carsharing's impact on household vehicle holdings: Results from a North American shared-use vehicle survey. Institute of Transportation Studies, UC Davis.
- Meijkamp, R. (2000) Sharing Consumer Behaviour Through Eco-Efficient Services: An Empirical Study of Car Sharing in the Netherlands. Delft, Delft University of Technology, PhD thesis.
- METI (2010) 次世代自動車戦略. [Online]. Available: <http://www.meti.go.jp/press/20100412002/20100412002-3.pdf> [Accessed Nov.11 2011].
- Mont, O (2004) Institutionalisation of sustainable consumption patterns based on shared use. *Ecological Economics*, Vol.50, pp.135-153.

- NBSC (1996-2011) China Statistical Yearbook 1995-2010. Beijing, China Statistics Press.
- NBSC (2008) China Statistical Yearbook 2007. Beijing, China Statistics Press.
- Nissan (n.d.) 日産リーフ Web カタログ. [Online]. Available: <http://ev.nissan.co.jp/LEAF/> [Accessed Nov.11 2011].
- OECD (n.d.) OECD StatExtracts.
- Prettenthaler, FE. & Steininger, KW. (1999) From ownership to service use lifestyle: the potential of car sharing. *Ecological Economics*, Vol.28, pp.443-453.
- Samaras, C. & Meisterling, K. (2008) Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles: Implications for Policy. *Environmental Science and Technology*, Vol.42, pp.3170-3176.
- Shen, Z (2007) Forecasting the motorization in China using the income distribution curve. *Energy Economics*, Vol.32, No.3, pp.20-30.
- Sperling, D., Shaheen, S. & Wagner, C. (2000) Carsharing—Niche Market or New Pathway?. University of California, Berkeley, pp.27.
- UNPD (2010) World Population Prospects. [Online]. Available: <http://www.un.org/esa/population/unpop.htm> [Accessed Nov.11 2011].
- Yan, X. & R.J. Crookes (2010) Energy demand and emissions from road transportation vehicles in China. *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol.36, pp.651-676.
- Zackrisson, M., Avellan, L. & Orlenius, J. (2010) Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles – Critical issues. *Journal of Cleaner Production*, Vol.18, pp.1519-1529.
- 王船 & 小幡範雄 (2009) 中国の廃車解体システムに関する研究—認証解体企業と非認証解体企業に対するヒアリング結果を中心として—. *政策科学*, Vol.16, No.2, pp.41-49.
- 原田幸明 (2009) レアメタル類の使用状況と需給見通し. *廃棄物資源循環学会誌*, Vol.20, No.2, pp.49-58.
- 山田裕也, 有山裕介, 井野博満 & 原田幸明 (2005) 燃料電池車における LCA (エネルギー消費量と CO₂ 排出量) —ガソリン車と天然ガス車との比較—. *日本金属学会誌*, Vol.69, No.2, pp.237-240.
- 資源エネルギー庁 (n.d.) 物流分野の CO₂ 排出量に関する算定方法ガイドライン. 東京, 経済産業省・国土交通省. [Online]. Available: <http://www.enecho.meti.go.jp/policy/images/060518pamph.pdf> [Accessed Nov.11 2011].
- 次世代自動車研究センター (2011) 電気自動車等保有・生産・販売台数統計. <http://www.cev-pc.or.jp/NGVPC/data/index.html> [Accessed Nov.11 2011].
- 大和総合研究所 (n.d.) Consulting Insight. [Online]. Available: <http://www.dir.co.jp/souken/consulting/researcher/insite/100906.html> (参照 2011 年 11 月 21 日)
- 中国汽车技術研究中心 (1992-2010) 中国汽车工业年鉴 1992-2010 各年版. 北京, 中国汽车工业年鉴编委会.
- 中島謙一, 原田幸明, 井島清 & 長坂徹也 (2006) 関与物質総量 (TMR) の算定—エネルギー

一資源および工業材料の TMR－. 日本 LCA 学会誌, Vol.2, No.2, pp.152-158.

統計センター (n.d.) e-Stat statistics. [Online]. Available:

<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do> [Accessed Nov.11 2011].

馬場洋三 (2010) 金属資源レポート 次世代自動車普及に伴う自動車産業におけるレアメタル需要動向. 東京, JOGMEC.

矢野経済研究所 (2008) 中国版自動車アフターマーケット総覧 2008 年版 (第 3 版) .

第6章 技術更新と既存ストックの利活用に関する考察

6.1 緒言

第2章から第5章まで、技術の更新と既存ストックの利活用という主題に基づき、石炭火力発電設備、家電製品および自動車の3つの異なる製品を対象にケーススタディを行った。本章では、これらの分析の結果得られた成果を再度整理、総括することで技術の更新と既存ストックの利活用のための総合的考察を得る。まず6.2で、ここまで各章で行った分析と得られた成果の概要を示し、これを踏まえ6.3でそれらの関連を定性的に考察する。その結果に基づき技術の更新と既存ストックの利活用の主題の下、今後への提言を行う。

6.2 ここまでの分析結果と成果の概要

6.2.1 石炭火力発電設備の技術更新における意思決定支援モデルの構築

第3章において、石炭火力発電設備を対象として、今後電力需要が急増することを見据え、先進国からの技術移転と国内技術の選択、および既存設備への補修・改修高効率化による延命化施策の選択を想定し、シナリオ解析を行った。

技術導入の選択では文献調査に基づき、現在と将来の二時点において中国国内で利用可能な技術（ともに亜臨界圧発電技術）および先進国からの移転技術（現在技術 PFBC と将来技術 IGCC）の4技術を選定した。既存設備への対応として、補修あるいは改修による高効率化を行い延命化するケースと寿命に合わせ随時設備更新するケースを想定した。以上に基づき設備更新モデルを構築し、石炭火力発電設備の建設・運用によるCO₂排出量とそれに伴うコストの推計を行った。

推計の結果、新設設備への技術導入シナリオ間での差異が大きく、既存発電設備の補修・改修施策による影響は相対的に小さいことが示唆された。先進国からの技術移転を即時進めた場合（TT-ASAP ケース）で、石炭による電力供給の年間CO₂排出量がそれぞれ2030年9.76%、2050年18.0%減少した（Base-AB 比）。一方、技術の移転時期をずらし2030年以降にIGCCの技術導入を行う場合（TT-Timely ケース）、2030年まではBase-ABと同じ排出量であったが、2050年には15.0%（Base-AB 比）の年間CO₂排出量の削減が可能であった。ただし、2006~2050年の累積CO₂排出量の差はBase-AB ケースを基準として、TT-ASAP ケースで12.7%、TT-Timely ケースで6.2%と2倍程度の削減量の差が生じた。

技術導入ケース別の補修・改修による効果は、いずれの技術導入ケースにおいても改修による既存施設の高効率化・延命利用によりCO₂排出量の削減が可能であり、技術移転施策に関わらず、既存設備の高効率化を図っていくことの必要性が示された。また、技術移

転を 2030 年以降に行う場合 (TT-Timely ケース) においてのみ、2030 年まで既存の設備を補修による高効率化を伴わない延命を行った場合 (Base-B ケース) でも、寿命とともに設備更新を進める場合 (RPL ケース) と比較し累積 CO₂ 排出量が少なくなり、技術移転時期に合わせた既存施設の計画的な運用が必要なことも示唆された。

コストの推計結果は CO₂ 排出量の傾向とは逆に、技術移転を積極的に進めるに伴い増加する傾向が示された。CO₂ の単位排出削減量当たりの費用では、2030 年から技術移転を進める場合 (TT-Timely ケース) 削減費用は 9~12 US\$/t-CO₂ であり、導入可能な技術を随時移転していく場合 (TT-ASAP ケース) は 54~58 US\$ (割引率 8% で 2005 年価値換算) となり、5 倍近い差が生じた。各技術導入シナリオ下での RNV シナリオによる追加的な CO₂ 排出削減効果の単位削減費用、いずれも 6.6 US\$/t-CO₂ であった。いずれの技術導入シナリオ下でも RNV シナリオが最も CO₂ 排出削減量が大きく、単位削減費用では TT-Timely では上昇したが、TT-ASAP では減少させる効果があつた。

6.2.2 異なる消費形態による既存ストック利活用の違いが及ぼす影響の分析 (民生用消費機器)

第 4 章では、家電製品の利用に着目した。家電製品は発電設備のような巨大インフラとは異なり、より短いサイクルで製品が更新される。また、技術選択の主体が消費者であり、個々の主体毎に異なる選好をもち製品の購入・廃棄等の選択を行う。さらに、中国においては政府の規制が必ずしも消費者の行動に対して効果的にはたらず、統計上に表れない多様なルートで中古品の流通や使用済み製品のリユース・リサイクルなどが行われている。そこで、本研究では消費者の行動に焦点をあて、製品フローの変化を分析した。

消費者の消費形態の類型化は、既存文献の調査と現地でのアンケート調査の両面から行った。その結果、家電製品の使用を対象として 4 つの消費形態: 「傾向延長型」、「積極買替型」、「使い回し型」、「高品質堅実型」、が抽出された。各消費形態における製品フローを定量化するための製品循環モデルを構築し、CO₂ 排出量および廃棄物発生量を評価した。

2030 年時点での普及技術は、「高品質堅実型」では高効率な製品がエアコン・テレビ・冷蔵庫で約 60%、洗濯機でも約 30% 普及したのに対し、「積極買替型」では、同様にそれぞれ 40% 弱、30%、8%、「傾向延長型」と「使い回し型」ではエアコン・テレビで 20%、冷蔵庫で 10%、洗濯機で 5% と、新技術の普及状況に差が生じた。CO₂ 排出量では、「高品質堅実型」では「傾向延長型」と比較し約 20% の減少、「積極買替型」でも 8% 程度の減少が見られた。「積極買替型」では CO₂ 排出量は「傾向延長型」と同程度であったが、積極的な製品更新により廃棄物発生量は約 20% 増加した。「高品質堅実型」では、製品寿命の長期化から廃棄物発生量は約 15% 減少し、「使い回し型」でも中古品の積極的な利用により同程度の削減効果がみられた。

「高品質堅実型」はいずれの指標においても優れた結果を示したが、「積極買替型」と「使い回し型」では CO₂ 排出量と廃棄物発生量の間でトレードオフが生じた。「使い回し型」で

は良質の中古品が供給されないことがエネルギー効率の向上を妨げた要因と考えられ、高効率の製品を利用し中古品として市場に流す層と、新品・中古品にこだわらずに利用する消費者層とが混在することにより、より効率的な製品利用が可能となることが示唆された。

6.2.3 異なる消費形態による既存ストック利活用の違いが及ぼす影響の分析（自動車部門）

第5章では、第4章の分析の枠組みを自動車に適用した。消費形態には、高効率製品と中古品を利用する異なる消費者層が混在することを想定した「社会循環型」、カーシェアリングの普及を想定した「地域共同型」をそれぞれ加え、6種類を評価対象とした。評価モデルは家電製品循環モデルを改良して適用した。

「傾向延長型」において今後急激な廃自動車台数の増加が予測され、リサイクルシステムの整備が急務であることが示された。シナリオ別の技術普及では、2020~2030年まではHEVの普及率にやや差が出るが、「使い回し型」以外の消費形態では環境配慮型車両（HEVとPHEV）で約30%のストックを占めており、「使い回し型」でも約20%と全体としてそれほど大きな差は出なかった。しかし、2030年以降のHEV/PHEVの普及により2040年「高品質堅実型」では74%のストックが環境配慮型車両となるが、「使い回し型」では50%であった。「傾向延長型」と「積極買替型」で技術の普及速度の違いはわずかであり（3%程度）、更新速度を短期化することの影響は自動車においては比較的小さかった。「社会循環型」では、高品質堅実型と同程度に高効率技術の普及が進んだ。インフラ設備と異なり更新サイクルの短い製品の技術の普及を進める上では、製品更新のマネジメントよりも、製品購入時の技術選択がより直接的に効果を及ぼしていることが示唆された。ただし、経済的に課題はここでは考慮されておらず現実を加味した考察が必要となる。本分析で「社会循環型」では中古品利用を通じた技術の浸透を図った。しかし、製品需要が急拡大しているため、中古品の需要量に対し既存ストックが少なく、中古品の需要が超過する可能性が示唆された。自動車産業における資源消費の側面を評価するため本分析ではTMR指標を用いて評価した。「社会循環型」・「使い回し型」でTMRの値が低い傾向が示され、中古品利用による資源消費・廃棄物削減に対する影響の大きさが示唆された。

結果として、カーシェアリングを想定した「地域循環型」がいずれの指標においても最も低い環境負荷量となり、カーシェアリングによる車両保有台数の削減と年間走行距離の減少による影響が大きなものであることを示唆した。本研究におけるカーシェアリングは欧米における実証実験による効果のうち最も控えめな数値を抽出して適用しており、実際にはより大きなポテンシャルを持ちうると考えられ、今後の進展が大きく期待される。

6.3 総括と今後への提言

2.2.3 において、筆者は効果的なストックの利用を巡る議論の切り口として4つの側面を示した。最初の切り口は都市ストックの階層性である。筆者は都市ストックを図6-1に示すように階層化し、この階層別の特徴と階層間の関連の中で、ストックの利用を議論する必要があると述べた。

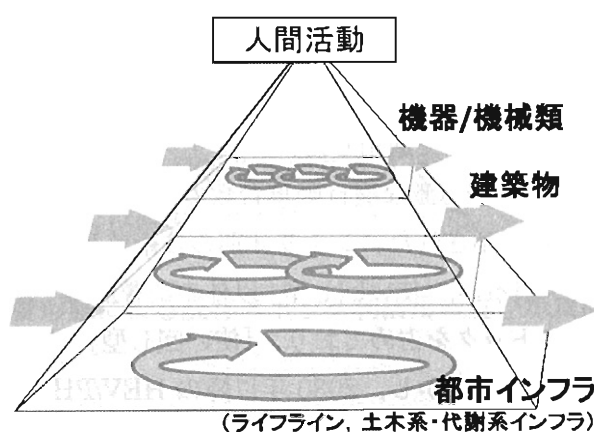


図 6-1 都市ストックの階層構造（再掲）

特に下層にある発電設備の影響は、上層にある家庭用エネルギー消費機器の排出するCO₂や、PHEVの消費する電力からのCO₂排出量に影響を与える。技術間の相互依存関係は定量的に議論される必要があるが、本研究では分析モデルが複雑になるためそこまでは至らなかった。しかし、定性的に本研究での結果を解釈すると、自動車においてエネルギー源がガソリンから電気への移行がおおよそ2030~2040年の間に大きく進展する結果が得られた。そのことから、発電のCO₂原単位は2040年頃までには大きく改善されていることが望ましいといえる。本研究では自動車のCO₂排出量算定に当たって電力のCO₂排出係数は逡減していくと仮定したが、Cai et al. (2007)の用いた2009年810 g-CO₂/kWh, 2040年670 g-CO₂/kWhは、3.3.4で得られた2010年1,021~1,098 g-CO₂/kWh, 2040年703~852 g-CO₂/kWhと比較し小さい。PHEVとHEVの燃料効率を比較するとCai et al. (2007)の値でもPHEVの優位性はそれほど大きくなく、本研究で得た石炭火力発電のみの排出係数ではPHEVの優位性は非常に小さい、もしくはHEVの方がCO₂排出削減の面で優位となる可能性も示唆される。充電用電力は必ずしも火力のみの排出係数で判断すべきではないが、マージナル電源としての重要性を考慮すると、火力の排出係数は電気自動車の導入に大きな影響を与える可能性があり、電力側の技術更新速度を考慮しつつ、排出係数が十分下がらない場合にはPHEVではなくHEVの普及にとどめておくことでより大きなCO₂の削減効果が見込まれる可能性が示唆された。

2 点目は、将来的に利用可能となる革新的技術の観点であった。石炭火力発電設備においては、IGCC 技術がこれに相当し、自動車では PHEV 技術がこれに相当する。特に石炭火力発電において技術の登場に合わせて既存ストックの利活用を議論した。一方、家電では LCD や PDP、またはインバータ技術等が、こうした革新的技術システムに相当すると思われるが、既に実現している技術であり、今後登場する革新的技術というものは想定されなかった。設備寿命が長くストック効果の大きい発電設備においては、革新的技術の導入が将来において期待される場合、設備の更新を一部差し控えて新技術の登場に合わせた技術導入を行うことでより効果的な CO₂ 削減が可能であることを示した。

3 点目は、廃棄段階を含む資源消費と適正処理の側面であった。静脈系システムの整わない中国において家電や自動車の廃棄は深刻な環境汚染を引き起こしており、本研究では管理方策の一つとして、人々の消費形態の変化による中古品の適正管理による環境負荷低減の可能性を提案した。民生用エネルギー消費機器を対象とした第 4 章・第 5 章における分析で、中古品の利用は確かにエネルギー消費の側面からはやや効率の悪い製品を使用し消費を増大させる傾向があるが、廃棄物発生量は資源消費量の抑制に効果があることが定量的に示された。また、積極的に技術導入を行う消費者層とリユース品を選好する消費者層が混在することで、CO₂ 排出・資源消費の両面で win-win となることが定量的に示された。

最後に 4 点目として経済的な課題を考慮した。石炭火力発電システムの代替案として提示した TTASAP シナリオや、家電・自動車の消費形態で示した「高品質堅実型」のようなシナリオは、環境負荷の低減に大きな効果があることは当然の帰結といえるが、現実には先進的な技術の導入には大きな費用負担が必要とされる。発電システムのような巨大インフラに対しては、国際協力等を通じて資本を投入することが可能であるが、特に民生消費機器等についてはこうした措置は難しい。その中で次善の策として中古品流通を通じた高効率製品の普及と廃棄物発生量・資源投入量の削減を実現することが可能となる枠組みを本研究で提示しえたことは、本分析の成果といえる。

以上、第 2 章において示した 4 つの視点を用いて、本研究で行った分析から得た成果を考察した。一方で本分析には課題もある。まず、本節で既に述べたが都市ストックの階層性を議論したが、異なるストック間の関連性については間接的に言及するにとどまった。電力の需給が上下の階層をつなぐ変数となっているが、発電設備側において石炭火力発電設備のみを論じており、必ずしも中国全体の電力の CO₂ 排出係数を示すものではない点が、家電製品の利用や特に PHEV の利用において考慮すべき変数として改善の余地がある。第 4 章・第 5 章で行った消費形態の分析では、消費形態が人々の消費を扱っているのに対し、経済モデルが導入されていない点も課題といえる。消費者の所得を考慮しており、製品選択を変化させることにより消費が変化し、所得へのフィードバック効果や製品使用時のリバウンド効果が生じることが予測されるが、これらの効果は考慮されていない。また、本研究で扱った消費形態は本来排他的ではなく、混在した状態で存在するため、消費形態混在下での分析が可能となるようモデルを改良する必要がある。

中国経済は 2009 年のリーマンショック後も堅実に成長を続け、むしろ停滞する世界経済を牽引する勢いを見せている。しかし、一方で中国の経済格差は是正の気配を見せず物価の高騰により一部を除く消費者の生活は苦しくなってさえいる。技術的な側面では高効率な技術を導入し、経済・社会活動量当たりの環境負荷を減らしつつ、一方で大量消費社会ではなく節度ある物質消費とサービスの需要に基づく消費のスタイルを確立することが、人と自然が調和した持続可能な社会へとつながっていくと期待する。

謝辞

本論文は大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻、博士後期課程における研究成果を学位請求論文として取りまとめたものであります。

本論文を作成・編集するにあたり、指導教官である大阪大学大学院工学研究科、環境・エネルギー工学専攻の東海明宏教授に甚大なる謝意を表します。東海教授には、博士課程進学後における4年間の研究生の中で、研究ゼミ、投稿論文および博士論文の執筆における研究指導を通じて、常に暖かく、時には勇ましい激励を交えつつご指導いただき、枝葉に惑わされがちであった私の研究を適切な方向への導いていただきました。また、4年間常に落ち着きのなかった筆者に対して、留学や進路指導においても筆者の活動を力強く後押ししていただきました。

本論文を作成するにあたり、関西大学環境都市工学部都市システム工学科の盛岡通教授には、筆者の学部、修士課程における3年間の研究指導を通じて多大なご支援をいただいた。若輩者の筆者が本研究に取り組み、試行錯誤しつつも完成に至ることができたのは、研究室ゼミでの熱心な議論と先見的なご指導によるところが大きい。ここに謝意を表します。

本論文を査読いただきました、大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻の近藤明教授に謝意を表します。近藤教授には、将来シナリオのもつ不確実性や先進的技術と途上国の実態との乖離といった本研究の課題点、またモデル作成上の課題等について、筆者に重要な論点をご提示いただきまして、今後の研究活動に多大なる示唆をいただきました。

同じく、本論文を査読いただきました大阪大学大学院工学研究科、環境・エネルギー工学専攻の澤木昌典教授に謝意を表します。澤木教授には、研究上の課題に加えいかに私の研究を世に生かしていくか、という観点から今後の活動の指針となる重要な示唆をいただいた。

同じく、本論文を査読いただきました大阪大学大学院工学研究科、環境・エネルギー工学専攻の下田吉之教授に謝意を表します。下田教授には、本論文で行った都市の階層的インフラシステムという観点から、今後の発展につながる重要な示唆を数多くいただいた。筆者の力量不足によりすべてを反映するにはいたりませんでした。今後とも精進してまいりたいと考えております。

大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻の大野浩一准教授には、博士課程の途中からではありましたが、公私にわたり多様なアドバイスを頂きました。やや異なる専門分野ではありましたが、それ故に分野横断的な密度の濃い議論をいただいたと考えております。ここに謝意を表します。

和歌山大学システム工学部環境システム学科の山本祐吾講師には、大阪大学在任中および和歌山大学へ栄転された後も、公私にわたる交流をいただき研究あるいは研究者のありようについて深い議論と示唆をいただきました。

また、国連大学サステナビリティと平和研究所の齊藤修准教授には、筆者の学部、修士課程での研究において大変熱心なご議論をいただいた。国連大学へ栄転された後も、公私にわたる交流を通じて筆者の今後の進路・方向性に関する多くの示唆をいただきました。ここに謝意を表します。

同研究室の中久保氏は、研究室での日々の議論を通じて大変多くの示唆をいただき、研究の完成にご尽力いただきました。忍耐強い研究姿勢と幅広い知識からは多くを学ばせて頂きました。

同研究室の博士前期課程の学生をはじめとする仲間の尽力に多大なる感謝をいたします。ゼミをはじめとする活発な議論を通じて多くの刺激をいただくと共に、最後まで筆者を激励していただいたことにより、本研究は完成をみるにいたったと認識しております。

最後に、博士後期課程進学ならびに期間中の留学という筆者の挑戦を快く同意いただき、また後押ししていただいた両親、家族に感謝いたします。環境分野を志したきっかけは、これからはこうした人材が必要になる、という何気ない父からの勧めにあったかと思います。環境から始まった筆者の関心は、本論文の執筆を通じて開発や貧困、また人がより良く生きるとはどういうことか、という方向へと深く広がりを見せはじめました。人が生きやすい社会を後世に引き継ぐ、住む場所や職業が変化しようとも今後ともこうした問題意識を継続・深化させていければ、と考えております。

2012 年 3 月

和田 直樹

Appendix I 中国の将来シナリオのレビュー

ここでは、過去に著されているシナリオ研究に関して、主にそのプロセスに着目してレビューを行った結果をしめす。

a) EPRI (2003) Electricity Technology Roadmap: Meeting the Critical Challenges of the 21st Century. California.

このシナリオで描かれるタイムスケールは 1998 年から 2020 年であり、各シナリオで異なる政策によって、産業・運輸・建設といった部門におけるエネルギー消費量の変化を算出し、また、それに見合うエネルギー供給の動向を石油・天然ガス・電力（水力、石炭火力、天然ガス火力、再生可能エネルギー、原子力）にわけて考察を加え、さらにそれによる炭素排出量への影響から今後の政策提言へと結んでいる。

シナリオの位置付けについて、以下のように述べている。

While scenarios are not forecasts, they offer a valuable method for thinking systematically about processes of change. The process of creating energy scenarios leads to a more robust understanding of energy dynamics and opportunities for change, and can greatly assist in the decision making of governments, businesses, and other organizations.

また、その上で今回のシナリオ構築に関して以下のようにのべている。

While many studies have been conducted on future energy use and pollutant emissions in China, this effort was undertaken for several reasons, including new developments in technology, markets, and economic structure necessitate periodic updating of analysis.

Many previous studies have had an academic focus, while this effort provided direct support for national energy efficiency planning.

Understanding of barriers to deployment of new technologies has advanced and needs to be incorporated into forecasting analysis.

Past studies have considered end-use sectors in insufficient detail to capture important dynamics unique to particular activities and technologies.

同研究で考慮されたシナリオは 3 つあり、その概要を以下に引用した。

Scenario 1: Ordinary Effort

This scenario depicts a situation in which sustainable development and environmental policies receive much less emphasis than economic policies. Ordinary Effort represents a trajectory for China that could result if the Government fails to assign a high priority to reducing growth in energy use. It assumes that China's current high economic growth trajectory will continue at the rates projected in government plans, and that no significant new environmental or energy efficiency policies will be adopted.

Scenario 2: Promoting Sustainability

Promoting Sustainability illustrates the implementation of government targets as promulgated in the 10th Five-Year Plan and related policy documents. It represents China's energy growth trajectory through 2020 if current government targets are met. Compared to Ordinary Effort, policies to promote sustainable development are implemented earlier and more vigorously.

Scenario 3: Green Growth

Green Growth assumes that sustainable development will be a policy priority for the Government and that extensive environmental and energy policies still be implemented to achieve this goal. This scenario illustrates the energy consumption trajectory that would result from aggressive policies to promote energy efficiency, development of renewable energy, and other policies to promote sustainable development across all sectors.

次に、同研究では以上のシナリオのコンセプトに基づき、表 I-1 のように定量化を行った。更に同研究ではこれらのシナリオを、ボトムアップ型のコンピュータモデルで定量化を量っている。モデルに構造を図 I-1 に示す。

表 I-1 シナリオの記述

Assumptions in the three scenarios establish different paths by which China might meet the same economic development goals by 2020			
	Scenario 1: Ordinary Effort	Scenario 2: Promoting Sustainability	Scenario 3: Green Growth
Population in 2020	1.485 billion	1.485 billion	1.47 billion
Urbanization Rate in 2020	52.86%	55.78%	58.23%
Gross Domestic Product	Before 2010, GDP grows at 7.3% per year, and after 2010 at 6.7% per	Same as <i>Ordinary Effort</i>	Same as <i>Ordinary Effort</i>
Integration into Global Economy	Difficult	Low impact on China's economy	Positive impact on China's economy
Industrial Sectors	Low economic efficiency and international competitiveness	Somewhat improved economic efficiency and international	High economic efficiency and international competitiveness
Transportation	Public transportation development is poor. Use of private vehicles grows quickly. Fuel efficiency of vehicles rises slowly.	Public transportation development is strong. Motorcycle use rises. International vehicle emissions standards are adopted.	Public transport is developed extensively; private vehicle use grows more slowly than in other scenarios. International vehicle emissions standards are adopted, as in <i>Promoting Sustainability</i> . Advanced clean fuel technologies are used for public transport and automobiles
Power Generation	Increased use of sulfur control technology on power plants. Coal-fired plants generate most electricity. Gradual development of hydropower, nuclear power, IGCC and wind	Very high growth rate in sulfur control technology on coal-fired power plants, reaching all plants by 2020. Clean coal power generation technologies are introduced beginning in 2010.	Introduction of sulfur control technology is same as in <i>Promoting Sustainability</i> . Clean technologies introduced sooner than in other scenarios, including supercritical generation and IGCC.
Energy Sector Reform	Reform progress lags behind other sectors and monopoly continues to	Energy enterprises will be restructured and monopoly is	Reform proceeds rapidly and international competitiveness of
Energy Conservation Policies	Implementing measures to the Energy Conservation Law are adopted but many measures are not successfully achieved.	Implementing measures to the Energy Conservation Law are successfully adopted and improved upon.	Complete implementation of financial incentives and an energy pricing system to promote energy conservation.
Energy Efficiency Level	Technological development is hindered and the operating efficiency of equipment does not reach	Energy efficiency of technology in all sectors and industries on track to reach current advanced international	Same as <i>Promoting Sustainability</i> .
Energy Resources	Access to international oil resources over next 20 to 30 years is unrestricted. Difference between domestic oil supply and demand is met through oil imports. Consumers find natural gas prices too high, limiting exploration, development and network	As in other scenarios, access to international oil resources over next 20 to 30 years is unrestricted. As in other scenarios, difference between domestic oil supply and demand is met through oil imports. Domestic development and infrastructure construction of natural gas is successful and creates	As in other scenarios, access to international oil resources over next 20 to 30 years is unrestricted. As in other scenarios, difference between domestic oil supply and demand is met through oil imports. Natural gas pricing system is improved and demand for gas grows quickly. Gas imports rise. Domestic
Energy Security	China primarily relies on domestic energy resources.	China establishes a diversified energy import system to utilize high	China establishes a diversified energy import system to utilize high
Environmental Protection Policies	Existing environmental standards persist. Air pollution controls in Acid Rain Control Regions and key cities are implemented by 2005, with SO ₂ emission standards achieved by 2010.	Existing environmental standards persist. Air pollution controls in Acid Rain Control Regions and key cities are implemented by 2005; SO ₂ emission standards are met by 2010; all standards are met by 2020.	Emissions standards in large cities are tightened. Stricter NO _x emission standards are enforced. Coal substitution proceeds in large and some medium cities. More stringent legal system is put in
Public Awareness of Energy and	Moderate	Moderate	good

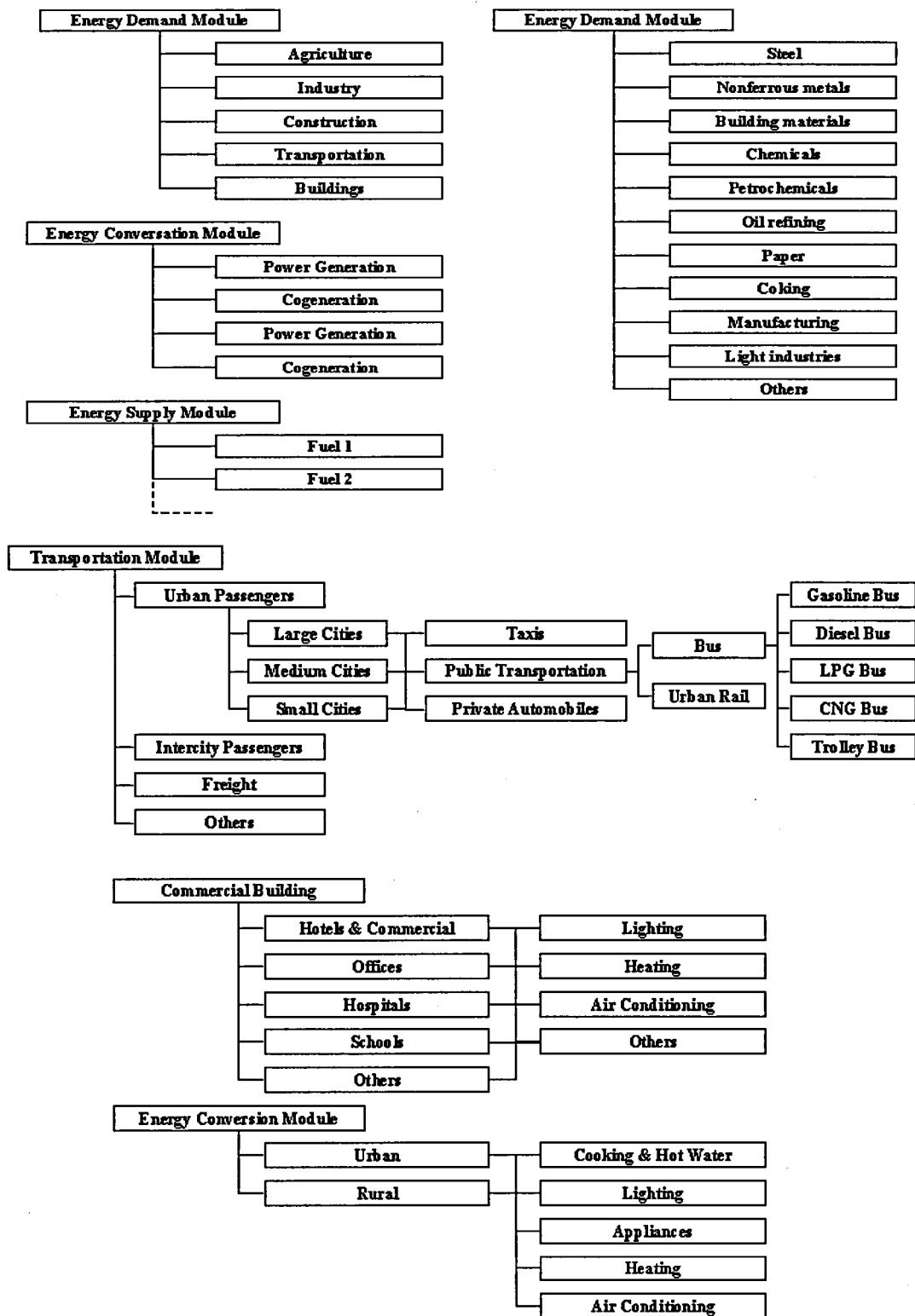


図 I-1 評価モデルの構造

b) Boudri et al. (2002) The potential contribution of renewable energy in air pollution abatement in China and India. Energy Policy, Vol.30, pp.409-424.

タイムスケールは 1990 年から 2020 年であり、描かれているシナリオは Business as Usual (BAU) シナリオと、Policy (POL) シナリオである。この 2 つのシナリオに沿って、RAINS - ASIA と呼ばれるモデルを用い再生可能エネルギーへの政策転換による将来のエネルギーシステムへの影響を分析している。

2 つのシナリオは、以下のように説明される。

The Business As Usual scenario is based on the extension of short term policies and trends to 2020 including considerations on sustainability, existing institutional barriers, and economic constraints. The policy scenario reflects the potential use of renewable energy sources as constrained by technical limits, supply limits and sustainability. The policy scenario does not take into account institutional barriers, existing (short-term) policies and cost constraints. It reflects the amount to which renewables could replace fossil fuels (coal, coal-based electricity or liquid fuels) in China and India in the power plant and district heating sector, the industrial sector, and the residential sector.

以上のシナリオから同研究ではモデル分析の結果として、1990 年中国の再生可能エネルギーの総量 9.5 EJp が、2020 年には BAU シナリオでは 13.8 EJp、POL シナリオで 17.5 EJp となるとした。

c) 黒田 (2003) 国際エネルギー使用合理化基盤整備事業 (省エネルギー技術の普及のための調査・研究等) 平成 14 年度調査報告書。東京。

同研究において、シナリオ研究はその一部として行われ、シミュレーションモデルの構築からシナリオの分析に至るまでの一連の作業が行われている。シミュレーションモデルは 3E-Model と呼ばれる統合型計量分析モデルであり、マクロ経済モデルとエネルギー・環境モデルからなり、シナリオのタイムスケールは 2000~2030 年である。描かれた政策代替案は 5 本で、それぞれ①基準ケース、②省エネケース、③非化石促進ケース、④ガス火力促進ケース、⑤輸送構造調整ケース、となっている。

まず、モデルの全体構造とマクロ経済・エネルギー・環境モデルの構造をそれぞれ図 I-2、図 I-3、図 I-4 に示す。

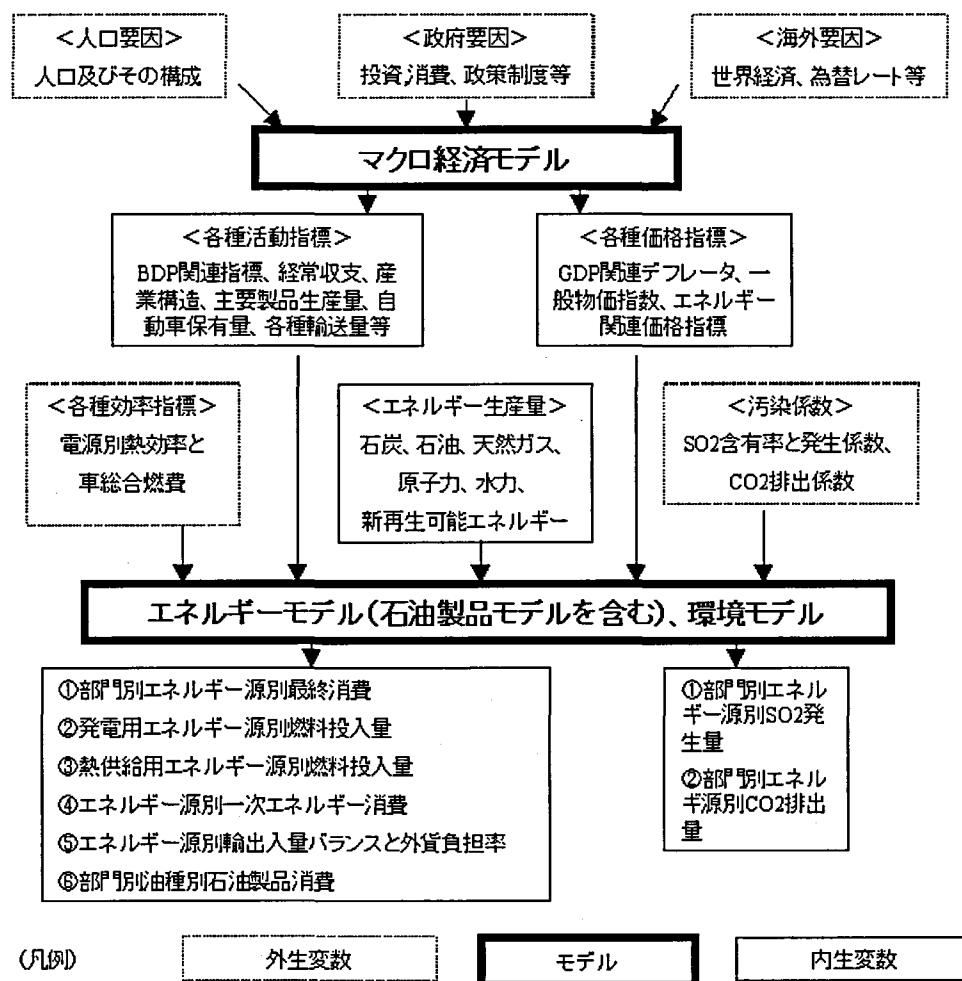


図 I-2 3E-Model のマクロ経済モデルの概要

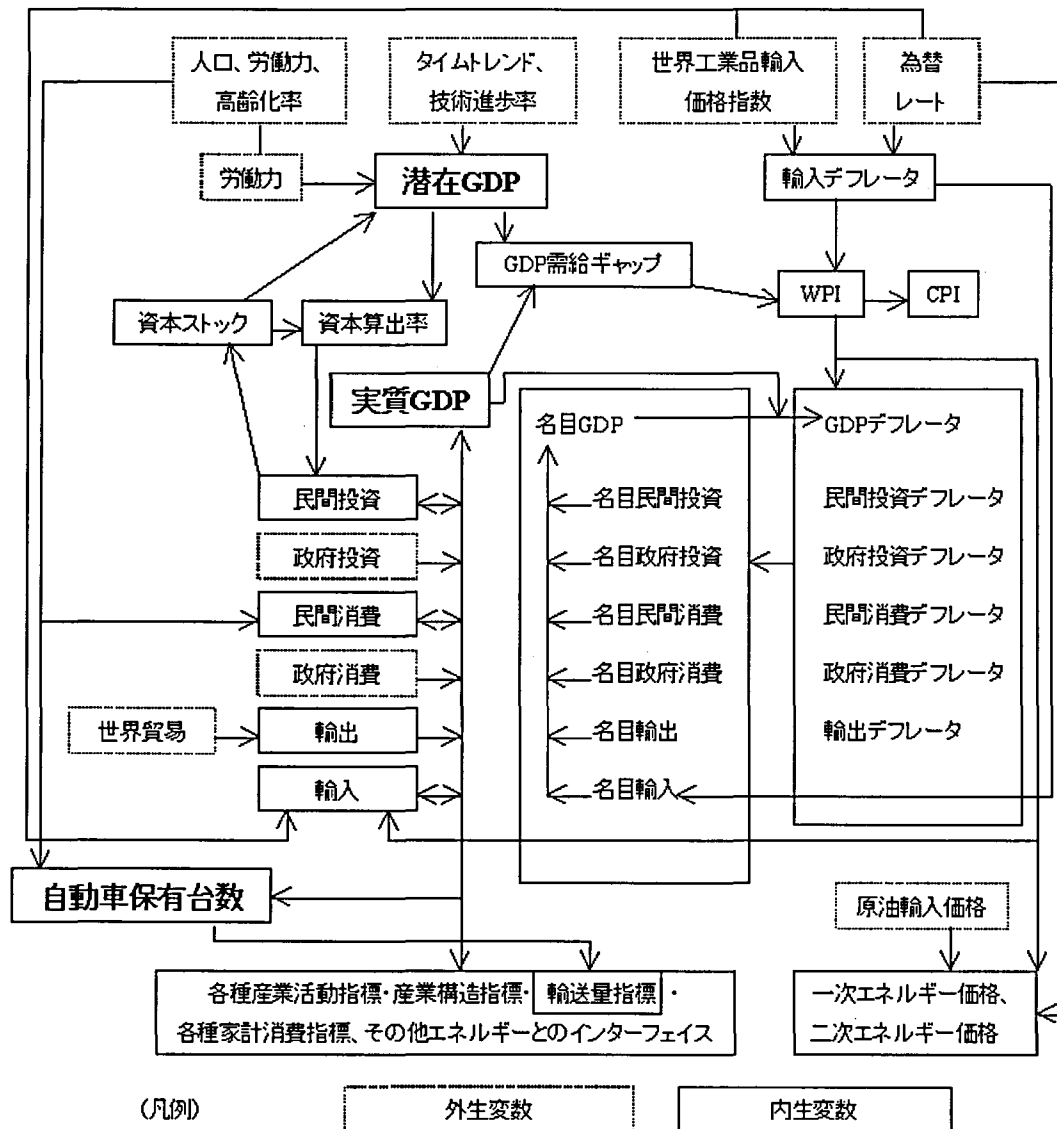


図 I-3 3E-Model のエネルギーモデルの概要

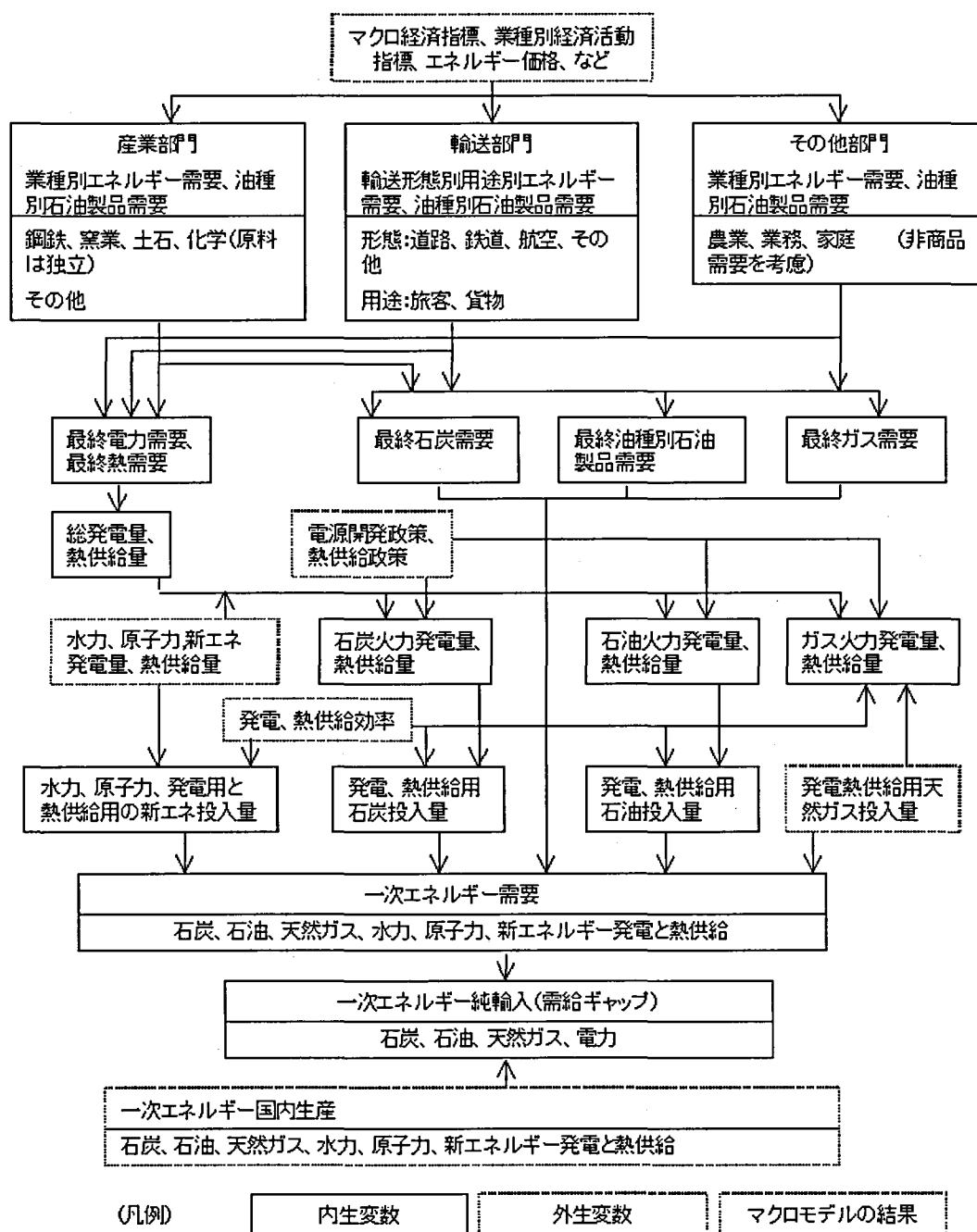


図 I-4 3E-Model の環境モデルの概要

次に、各代替案における設定を表 I-2 に示す。

表 I-2 代替案の設定

代替案名	ケース設定
①基準ケース	第 10 次五カ年計画及び 2050 年戦略をベースに 2000～2030 年の間に以下の変化を想定。 ・ 火力発電効率向上：石炭 33%→43%，石油 34%→47%，ガス 35%→49% ・ 車燃費向上：8.2→4.0 L/(100ton・km) ・ 原子力発電設備容量：210 万→5,000 万 kW ・ 水力発電設備容量：7835 万→25444 万 kW (開発可能量 3.8 億 kW の 66 % に相当) ・ 水力発電設備稼動時間：2803h/年→3000h/年 (最大可能時間数は約 5000h/年) ・ 新エネルギー発電設備容量：2030 年に 11765 万 kW (うち風力 8120 万 kW，太陽光 2500 万 kW，バイオマス 900 万 kW)。 ガス火力：137 万 kW→9700 万 kW。 新エネ熱供給量：2900 万 toe。
②省エネケース	基準ケースと比較し 2030 年において、 ・ 火力発電効率向上：石炭 43%→47%，石油 47%→49%，ガス 49%→55% ・ 車燃費向上：4.0→3.0 L/(100ton・km) ・ 産業部門，道路以外の輸送部門及び民生その他部門は 2030 年に基準ケースより 2 %の省エネ
③非化石エネルギー促進ケース	基準ケースと比較し 2030 年において、 ・ 原子力発電設備容量：5000 万→9000 万 kW ・ 水力発電設備容量：25444 万→30000 万 kW ・ 水力発電設備稼動時間：3000h/年→4500h/年 ・ 新エネ発電：11765 万 kW→23100 万 kW (風力，太陽，バイオマスなどそれぞれ倍増) ・ 新エネ熱供給量：2900→3300 万 toe
④ガス火力促進ケース	基準ケースと比較し 2030 年において、 ・ 設備容量は 0.97 億→1.97 億 kW ・ ガス火力発電の熱効率 49→55%
⑤輸送構造調整ケース	2010 年以降，輸送量分担率は道路が一定，鉄道が上昇

これらの政策代替案に加え，複合ケースとして以下のシナリオが検討された。

- ⑥ 省エネ+非化石促進 (②+③)
- ⑦ 省エネ+非化石促進+ガス火力促進 (②+③+④)
- ⑧ 省エネ+非化石促進+ガス火力+輸送構造調整 (②+③+④+⑤)
- ⑨ 環境税ケース (2011 年以降，原炭 5 US\$/t，石油 8 US\$/t，天然ガス 6 US\$/km³)
- ⑩ 省エネ+非化石促進+ガス火力+輸送構造調整+税 (②+③+④+⑤+⑨)

以上が過去のシナリオ研究の概要である。

Appendix II 家電製品の消費実態調査

ここでは、第4章で用いた家電製品の消費実態のアンケート調査の調査票を提示する。本アンケート調査は2007年1～2月と10～12月の二回に分けて行われ、第一回は上海市およびホーチミン市にて各100サンプルを対象に行った。第一回のアンケート調査の結果については齊藤ら(2007)および齊藤ら(2008)にまとめているので参照されたい。また、第一回・第二回を踏まえた調査結果の概略を下記に示す。

a) 基本属性

平均世帯人員は上海2.76人、昆山3.00人、湖州2.98人であった。上海、昆山、湖州では、3人までの世帯比率が90%、80%、88%であった。上海では、本人夫婦とその子供からなるいわゆる核家族が70%、単身者が16%を占めるが、昆山と湖州での単身者の比率はそれぞれ5%、7%であった。調査サンプルの所得構成は、上海の所得が周辺の昆山や湖州よりも1,000～2,000元程度多く、富裕層が含まれる比率が高かった(図II-1)。居住環境は、上海、昆山、湖州ともにマンション形式の中高層の集合住宅が主流となっているが、湖州では5%が戸建て住宅であった。世帯あたりのベッドルーム数は、昆山と湖州では3部屋以上がそれぞれ28%、31%に対し、上海では3部屋以上がわずか1% (99%が2部屋以下)と世帯あたり部屋数が少ないことがわかった。

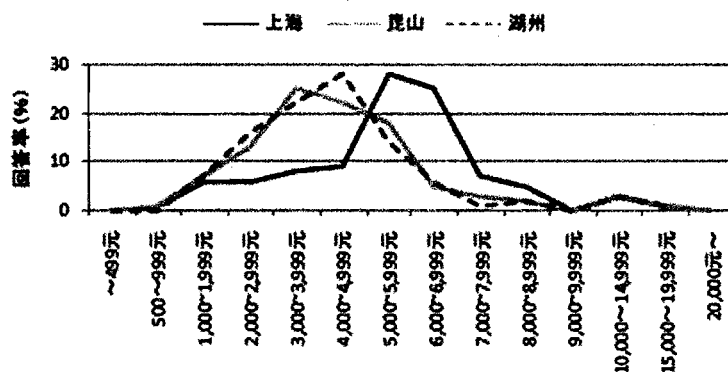


図 II-1 上海市・昆山市・湖州市の所得分布

b) 家電の保有状況と導入時期

上海では、エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機の4品目の普及率はほぼ100%であった。上海ではすでにこれらの家電品の普及が一巡し、エアコンは33%以上の世帯が2台以上、テレビは半数以上の世帯が2台以上を保有している。昆山と湖州では、エアコンとテレビの保有台数が上海よりも多い(表II-1)。これは前述のとおり、ベッドルーム数が3部屋以上の住

宅が昆山と湖州に多いことが関係していると考えられる。上海、昆山、湖州では中古品の利用はほとんどなかった。現在の日本の保有台数と比較すると、上海、昆山、湖州のエアコンとテレビでは世帯あたり1台分（100世帯あたり100台）程度の差（伸びしろ）がある。冷蔵庫と洗濯機はもともと世帯あたり1台を大きく超えることはないで、日本との差は小さい。また、昆山と湖州での調査では、パソコンの保有状況も調査したが、その結果、昆山では76台/100世帯、湖州で64台/100世帯と日本の水準に迫る勢いで普及が進んでいることがわかった。

各家電品の導入時期の推移を比較すると、上海ではエアコンの初設置年のピークが1990年代後半、他の3家電品は1980年代後半であった。エアコンについては、昆山、湖州では2000年以降の設置が多い。昆山と湖州での導入時期の変遷はエアコンではかなり似通っているが、テレビ、冷蔵庫、洗濯機については上海により近い昆山での導入時期が湖州よりも若干早いことがわかった。昆山と湖州でのパソコンの導入時期は、2000年以降に集中している。

表II-1 家電の保有台数（台/100世帯）

	エアコン	テレビ	冷蔵庫	洗濯機	パソコン
上海市	136	155	100	100 (1)	—
昆山市	160 (1)	191	99	95	76
湖州市	175	196 (2)	95	99	64 (1)
(参考) 日本	255	250	126	109	104

括弧内の数値は中古品の台数（内数）

*エアコン、テレビ、パソコンは2006年3月、冷蔵庫と洗濯機は2004年3月の値(出典：家電製品協会：家電産業ハンドブック2006（平成18年）、2006)

c) 家電の使用実態

【エアコン】

エアコンの設置場所は、上海、昆山、湖州では居間と寝室の比率が約1:2であった。エアコンの使用日数は、各市で異なるが、全般的には南に位置する市ほど長くなる傾向がある（表II-2）。

表II-2 エアコンの使用日数

	30日以下	31-60日	61-90日	91日以上
上海市	3	17	62	17
昆山市	1	59	33	6
湖州市	1	42	28	28

世帯あたりの日平均稼働時間は、上海11.8時間、昆山10.8時間、湖州9.3時間であった。中国の3市では日中から夜（朝6時から夜10時）に2～5時間、夜間（夜10時から朝6時）3～8

時間というパターンが多かった。上海と湖州では、所得水準の上昇に伴い日平均使用時間が増加する傾向が見られたが、昆山では所得は使用時間にあまり関係なかった（図II-2）。また、同じ上海市内であっても、都市域と近郊域で日平均使用時間に差があり、都市域では一日10時間以上が38%（近郊域12%）と長時間使用の比率が高いことがわかった。

【テレビ】

上海、昆山、湖州のテレビの平均使用時間は、それぞれ5.5時間、3.2時間、3.2時間であった。3市とも使用時間と所得の間に明確な相関関係を見いだすことはできなかった。

【冷蔵庫】

上海では80%程度は中型、10%弱が大型の冷蔵庫が使用されている。昆山と湖州では中型がそれぞれ61%、73%、小型が32%、18%であり、大型はあまり普及していない。

【洗濯機】

上海、昆山、湖州では全自動式の洗濯機の比率がそれぞれ73%、76%、74%を占め、二層式が2割強の比率で使用されていた。使用頻度は、上海、昆山、湖州ともに週2～3回が最も多く、次いで上海では毎日（一日一回）が多く、昆山と湖州では週1回以下がそれに続いた。

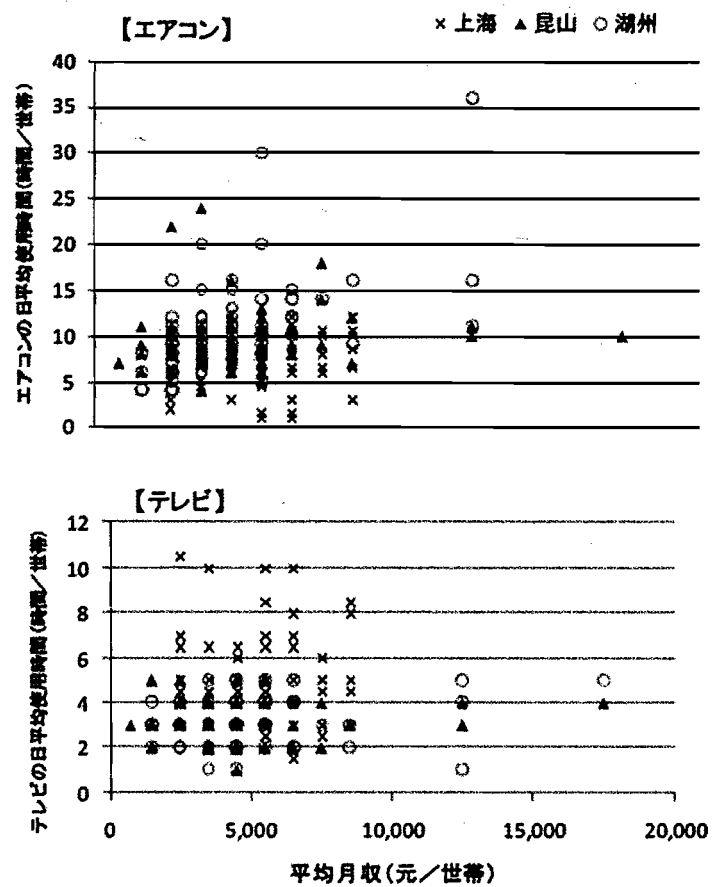


図 II-2 中国 3 市における所得と家電使用時間の関係

d) 家庭での資源・エネルギーの消費行動に関するアンケート調査票(改訂版)¹⁵

G. 個人属性情報

		Code
G1. 年齢 (○は一つだけ)	1. 20 歳未満	1
	2. 21～30 歳	2
	3. 31～40 歳	3
	4. 41～50 歳	4
	5. 51～60 歳	5
	6. 61 歳以上	6
G2. 性別 (○は一つだけ)	1. 男性	1
	2. 女性	2
G3. 職業 (○は一つだけ)	1. 会社員 (国営企業)	1
	2. 会社員 (国内民間企業)	2
	3. 会社員 (外資系企業)	3
	4. 教育関係	4
	5. 公務員 (教育機関を除く)	5
	6. 自営業・自由業	6
	7. パート・アルバイト	7
	8. 学生	8
	9. 無職	9
	10. その他 ()	10
G4. 出身地 (○は一つだけ)	1. 上海市 (or 昆山市 or 湖州市) 内	1
	2. 北京・天津・上海 (上海では除外)・香港・台湾	2
	3. 1.2.以外の華東地域	3
	4. 1.2.以外の華北地域	4
	5. 東北地域	5
	6. 華南地域	6
	7. 華中地域	
	8. 西北地域	7
	9. 西南地域	8
	10. その他 ()	9
G5. 市 (区) 内 在住年数 (○は一つだけ)	1. 1 年未満	1
	2. 1 年以上 5 年未満	2
	3. 5 年以上 10 年未満	3
	4. 10 年以上	4
G6. 同居人数	() 人 (本人含む)	
G7. 同居人の構成 (○は一つだけ)	1. (未婚) 本人のみ (同居人はいない)	1
	2. (未婚) 本人と親	2
	3. (未婚) その他	3
	4. (既婚) 本人のみ (同居人はいない)	4

¹⁵ 2007 年 3 月に上海市で行った後, 2007 年 10 月に昆山市・湖州市で追加調査を行った際に若干の修正を加えた。加筆項目は調査票末尾を参照されたい。

	5. (既婚) 本人夫婦のみ	5
	6. (既婚) 本人夫婦と親	6
	7. (既婚) 本人夫婦と子	7
	8. (既婚) 本人夫婦と親と子	8
	9. (既婚) その他	9
【既婚で子供同居 の場合】 G8. 子供の年齢 (○ はいくつでも)	1. 子供はいない	1
	2. 小学生未満	2
	3. 小学生	3
	4. 中学生	4
	5. 高校生	5
	6. 大学生	6
	7. 社会人以上	7
	8. その他	8
G9. 同居人全体の 月収【上海】 (○は一つだけ)	1. ~499 元	1
	2. 500~999 元	2
	3. 1,000~1,999 元	3
	4. 2,000~2,999 元	4
	5. 3,000~3,999 元	5
	6. 4,000~4,999 元	6
	7. 5,000~5,999 元	7
	8. 6,000~6,999 元	8
	9. 7,000~7,999 元	9
	10. 8,000~8,999 元	10
	11. 9,000~9,999 元	11
	12. 10,000~14,999 元	12
	13. 15,000~19,999 元	13
	14. 20,000 元~	14
	15. 答えられない	15

A. 居住環境

		Code
A1. 現在の居住形 式 (○は一つだけ)	1. 持ち家	1
	2. 賃貸住宅	2
	3. (読み上げない) わからない	3
A2. 住宅様式 (○は一つだけ)	1. 戸建て住宅	1
	2. 集合住宅	2
	3. 長屋	3
	4. その他	4
	5. わからない	5
A3. 住宅の構造様 式 (○は一つだけ)	1. 木造	1
	2. コンクリート造	2
	3. その他	3
	4. わからない	4
A4. 住まいの築年	1. 10 年未満	12

数 (○は一つだけ)	2. 10 年以上 30 年未満	2	
	3. 30 年以上	3	
	4. わからない	4	
A5. 住宅のベッド ルーム数	() 部屋		
A6. 平均的な起 床・出勤・帰宅・ 就寝時刻		A. 平日	B. 休日
	1. 起床	:	:
	2. 出勤	:	:
	3. 帰宅	:	:
	4. 就寝	:	:

B. エアコンの使用状況

B1. 冷房用機器の 台数	種類 (○はいくつでも)		台数		
	1. エアコン		() 台		
	2. 扇風機 (天井備え付け, 壁付け, 床置きを含む)		() 台		
	3. その他 ()		() 台		
B2. 初設置年		() 年			
B3. エアコンの使用状況					
①年間使用日数	1. 30 日以下		1		
	2. 31~60 日		2		
	3. 61~90 日		3		
	4. 90 日以上		4		
②日平均使用時間	朝~夜 (6:00am~10:00pm) () 時間程度				
	深夜 (10:00pm~6:00am) () 時間程度				
B4. 保有するエアコンの状況について (使用頻度の高い順に 1 台目, 2 台目, 3 台目)					
			Code		
			1 台目	2 台目	3 台目
①購入時の状態	1. 新品		1	1	1
	2. 中古		2	2	2
	3. わからない		3	3	3
②使用年数	1. 1 年未満		1	1	1
	2. 1 年以上 3 年未満		2	2	2
	3. 3 年以上 5 年未満		3	3	3
	4. 5 年以上 10 年未満		4	4	4
	5. 10 年以上		5	5	5
	6. わからない		6	6	6
③設置部屋	1. 居間		1	1	1
	2. 寝室		2	2	2
	3. その他		3	3	3
	4. わからない		4	4	4
中古の 場合の み	④中古 品購入 時価格	1. 新品の 75%超の価格	1	1	1
		2. 新品の 50~75%以下の価格	2	2	2
		3. 新品の 25~50%以下の価格	3	3	3
		4. 新品の 25%以下の価格	4	4	4
		5. 譲り受けた・無料	5	5	5

	⑤購入 ルート	1. 中古品専門店	1	1	1
		2. インターネットオークション	2	2	2
		3. 親類や知人から	3	3	3
		4. その他（具体的に書いてもらう）	4	4	4

C. テレビの使用状況

C1. テレビの台数		() 台			
C2. 初設置年		() 年			
C3. 日平均使用時間		1. 1 時間未満			
		2. 1～3 時間			
		3. 3～5 時間			
		4. 5～7 時間			
		5. 7 時間以上			
C4. 保有するテレビの状況について（使用頻度の高い順に 1 台目, 2 台目）					
			Code		
			1 台目	2 台目	
①種類	1.	ブラウン管（大型 50in 以上）	1	1	
	2.	ブラウン管（中型 20～50in）	2	2	
	3.	ブラウン管（小型 20in 未満）	3	3	
	4.	プロジェクター	4	4	
	5.	液晶（大型 50v 以上）	5	5	
	6.	液晶（中型 20～50v）	6	6	
	7.	液晶（小型 20v 未満）	7	7	
	8.	プラズマ（大型 50v 以上）	8	8	
	9.	プラズマ（中型 50v 以下）	9	9	
	10.	その他	10	10	
	11.	わからない	11	11	
②設置部屋	1.	居間	1	1	
	2.	寝室	2	2	
	3.	その他	3	3	
	4.	わからない	4	4	
③購入状態	1.	新品	1	1	
	2.	中古	2	2	
	3.	わからない	3	3	
④使用年数	1.	1 年未満	1	1	
	2.	1 年以上 3 年未満	2	2	
	3.	3 年以上 5 年未満	3	3	
	4.	5 年以上 10 年未満	4	4	
	5.	10 年以上	5	5	
	6.	わからない	6	6	
中古の場合のみ	⑥中古品購入時価格	1. 新品の 75%超の価格	1	1	
		2. 新品の 50～75%以下の価格	2	2	
		3. 新品の 25～50%以下の価格	3	3	
		4. 新品の 25%以下の価格	4	4	
		5. 譲り受けた・無料	5	5	

	⑤購入ルート	1. 中古品専門店	1	1
		2. インターネットオークション	2	2
		3. 親類や知人から	3	3
		4. その他（具体的に書いてもらう）	4	4

D. 冷蔵庫の使用状況

D1. 冷蔵庫の台数		() 台	
D2. 初設置年		() 年	
D3. 保有する冷蔵庫の状況について（使用頻度の高い順に 1 台目, 2 台目）			
		Code	
		1 台目	2 台目
①種類	1. 小型 (200L 未満)	1	1
	2. 中型 (200-399L)	2	2
	3. 大型 (400L 以上)	3	3
	4. わからない	4	4
②購入状態	1. 新品	1	1
	2. 中古	2	2
	3. わからない	3	3
③使用年数	1. 1 年未満	1	1
	2. 1 年以上 3 年未満	2	2
	3. 3 年以上 5 年未満	3	3
	4. 5 年以上 10 年未満	4	4
	5. 10 年以上	5	5
	6. わからない	6	6
中古の場合のみ	⑥中古品購入時価格	1. 新品の 75%超の価格	1
		2. 新品の 50～75%以下の価格	2
		3. 新品の 25～50%以下の価格	3
		4. 新品の 25%以下の価格	4
		5. 譲り受けた・無料	5
	⑤購入ルート	2. 中古品専門店	1
		2. インターネットオークション	2
		3. 親類や知人から	3
		4. その他（具体的に書いてもらう）	4

E. 洗濯機の使用状況

E1. 洗濯機の台数		() 台
E2. 初設置年		() 年
E3. 保有する冷蔵庫の状況について		
①種類	1. 二槽式	1
	2. 全自動式	2
	3. 洗濯乾燥機	3
	4. その他	4
②購入状態	1. 新品	1

		2. 中古	2
		3. わからない	3
③使用年数		1. 1年未満	1
		2. 1年以上3年未満	2
		3. 3年以上5年未満	3
		4. 5年以上10年未満	4
		5. 10年以上	5
		6. わからない	6
中古の場合のみ	⑥中古品購入時価格	1. 新品の75%超の価格	1
		2. 新品の50～75%以下の価格	2
		3. 新品の25～50%以下の価格	3
		4. 新品の25%以下の価格	4
		5. 譲り受けた・無料	5
	⑤購入ルート	3. 中古品専門店	1
		2. インターネットオークション	2
		3. 親類や知人から	3
		4. その他（具体的に書いてもらう）	4
⑥利用頻度		1. 2回以上/日	1
		2. 1回/日	2
		3. 2～3回/週	3
		4. 1回以下/週	4
		5. わからない	5
⑦乾燥機利用		1. 通年使用	1
		2. 雨季（梅雨）のみ使用	2
		3. 利用なし	3
		4. わからない	4

F. パソコンの使用状況

F1. パソコンの台数					
①デスクトップパソコン		() 台			
②ノートパソコン		() 台			
F2. 初設置年		() 年			
F3. 一日平均使用時間	1.	1時間未満	1		
	2.	1～3時間	2		
	3.	3～5時間	3		
	4.	5～7時間	4		
	5.	7～10時間	5		
	6.	10時間以上	6		
F3. 保有する冷蔵庫の状況について					
		Code			
		1台目	1台目	1台目	
①種類	1.	デスクトップパソコン	1	1	1
	2.	ノートパソコン	2	2	2

②購入状態		1. 新品	1	1	1
		2. 中古	2	2	2
		3. わからない	3	3	3
③使用年数		1. 1年未満	1	1	1
		2. 1年以上3年未満	2	2	2
		3. 3年以上5年未満	3	3	3
		4. 5年以上10年未満	4	4	4
		5. 10年以上	5	5	5
		6. わからない	6	6	6
中古の場合のみ	⑥中古品購入時価格	1. 新品の75%超の価格	1	1	1
		2. 新品の50～75%以下の価格	2	2	2
		3. 新品の25～50%以下の価格	3	3	3
		4. 新品の25%以下の価格	4	4	4
		5. 譲り受けた・無料	5	5	5
	⑤購入ルート	4. 中古品専門店	1	1	1
		2. インターネットオークション	2	2	2
		3. 親類や知人から	3	3	3
		4. その他（具体的に書いてもらう）	4	4	4

G. 製品買替・廃棄時の選択及び今後の購入予定

G1. 以下の家電製品を次回買い替える際、そのきっかけとして考えられる項目を回答例を参考にお答えください。※当該製品を保有していない場合は回答せず、G2にお進みください。（回答例、使っている製品が壊れた、古くなった、上位機種への買い替え、魅力的な新製品が発売されたなど）

エアコン	
TV	
冷蔵庫	
洗濯機	
パソコン	

G2. 新たに購入する際に最も重要視する事柄を下の選択肢の中からお選びください。（○はいくつでも）

G3. 家電品目ごとの買い替え経験の有無をお答え下さい。

G4. 買い替え時点での買い替え前製品の使用年数を選択肢の中からお選び下さい。

G5. エアコン、冷蔵庫、テレビ、洗濯機を新製品に買い替えた場合、それまで使用していた製品の取り扱いに最も近いものをお答えください。（○は一つだけ）

G6. G5に関連して、そのような選択をした理由はなぜですか

		エアコン	冷蔵庫	テレビ	洗濯機	パソコン
G2. 最重要視項目	1. 価格	1	1	1	1	1
	2. 消費電力（燃費）	2	2	2	2	2
	3. 多機能性	3	3	3	3	3

	4.	デザイン	4	4	4	4	4
	5.	新品かどうか	5	5	5	5	5
	6.	サイズ（画面サイズ、容量の大きさ）	6	6	6	6	6
	7.	省スペース性	7	7	7	7	7
	8.	動作音の静かさ	8	8	8	8	8
	9.	馬力（排気量）	9	9	—	9	9
	10.	画質	—	—	9	—	10
	11.	音響性能	—	—	10	—	11
	12.	その他	10	10	11	10	12
	13.	わからない	11	11	12	11	13.
G3. 買い換えの経験	1.	あり	1	1	1	1	1
	2.	なし	2	2	2	2	2
	3.	わからない	3	3	3	3	3
G4. 買い替え前製品の買い替え時使用年数	1.	3年未満	1	1	1	1	1
	2.	3年以上5年未満	2	2	2	2	2
	3.	5年以上7年未満	3	3	3	3	3
	4.	7年以上10年未満	4	4	4	4	4
	5.	10年以上13年未満	5	5	5	5	5
	6.	13年以上15年未満	6	6	6	6	6
	7.	15年以上20年未満	7	7	7	7	7
	8.	20年以上	8	8	8	8	8
G5. 買い換えた場合の使用済み製品の扱い	1.	新製品を購入した店で引き取ってもらう	1	1	1	1	1
	2.	ごみとして廃棄	2	2	2	2	2
	3.	中古品として売却（回収・引き取り業者への売却）	3	3	3	3	3
	4.	2台目として継続使用	4	4	4	4	4
	5.	親類や知人に譲る	5	5	5	5	5
	6.	わからない	6	6	6	6	6
G6. G5 の理由	1.	安価だから	1	1	1	1	1
	2.	簡易だから	2	2	2	2	2
	3.	政策ルールに則るため	3	3	3	3	3
	4.	特に理由なし	4	4	4	4	4
	5.	その他（ ）	5	5	5	5	5
	6.	わからない	6	6	6	6	6
G7. 政策	1.	政策に従って処理	1	1	1	1	1

により使用 済み製品の 扱いが定め られた場合 の対応	する					
	2. 政策の指定買取価格の方が回収業者より高い場合は従う	2	2	2	2	2
	3. わからない	3	3	3	3	3

G8. 現在持っている家電製品・自動車・バイク等の中で、現在新しいものに買い換えたいと考えているものを、回答例を参考に、優先順位の高い順に最大3つまでお答えください。

(回答例. パソコン, 自動食器洗い機, 床暖房, オートバイなど)

買い替えを希望しているもの	
No.1:	
No.2:	
No.3:	

G9. また逆に現在持っていない家電製品・自動車・バイク等の中で、今後購入したいと考えているものを、優先順位の高い順に最大3つまでお答えください。

新規購入希望しているもの	
No.1:	
No.2:	
No.3:	

■ 改訂箇所一覧

- ・ 【G9】 選択肢の最小所得が 1000 元以下だったものを細分化。
- ・ 【B3】 ②時間帯区分を簡略化。
- ・ 【B4】 ④⑤追加（以下, 【C4】 ⑤⑥, 【D3】 ④⑤, 【E3】 ④⑤も同様）
- ・ 【E1】 有無を尋ねていたものを台数に変更。
- ・ 【E3】 コインランドリーの使用頻度を尋ねる項目を削除。
- ・ 【F】 追加。
- ・ 【G4】 追加。
- ・ 【G7】 追加。

以上。

