

49. アジア巨大都市の民生部門二酸化炭素排出量予測と対策評価に関する研究

Forecast of CO₂ Emission and Evaluation of CO₂ Reduction Measures
in Residential and Commercial Sectors of Asian Mega-cities

松本 亨* ・ 韋 新東** ・ 左 健*
Toru MATSUMOTO*, Xindong WEI**, Jian ZUO*

ABSTRACT; Heretofore, models of residential energy consumption and commercial sectors were developed, and development trends of energy demand and CO₂ emissions in residential and commercial sectors were examined for the four Asian mega-cities of Tokyo, Seoul, Beijing and Shanghai. In this paper, effects and sensitivity of strategies in consideration of fuel type factor, energy related appliance, housing and lifestyle factors was carried out by scenario approach for reduction of CO₂ emission from energy consumption. Assessment results show that through improvement of factor synthesis, the CO₂ emission in the residential sector in 2020 could be reduced by 37.0% in Beijing, 38.3% in Shanghai, 36.3% in Tokyo and 27.0% in Seoul, and the CO₂ emission in the commercial sector could be reduced by 29.2% in Beijing, 34.4% in Shanghai, 29.4% in Tokyo and 29.2% in Seoul compared with the tendency case. Sensitivity analysis results show that there exist uncertainties in parameters and model building. For the former case, introduction rates of strategies were selected for main parameters, and effect on the final results was found as dissemination rate was lowered by 10%. For the later, effect on the final results was found as change was adjusted between the upper and lower limit of 95% confidence interval.

KEYWORDS; energy demand model, residential and commercial sector, CO₂ emission, Asian mega-cities

1. はじめに

アジアの都市では、経済水準の増加、所得の向上というトレンドから民生部門のエネルギー消費量が増大することが予想される。また人口1,000万人を超える巨大都市を始めとして、比較的大きな都市が多くあることもアジア諸国は特徴的である。そのため、地球温暖化対策においてアジア巨大都市の持つ意味は大きいとの認識から、著者らはこれまで、アジア巨大都市の民生部門エネルギー需要予測モデルを構築してきた¹⁾・²⁾。既報では、東京、ソウル、北京、上海の4都市を分析対象とし、「趨勢(BaU)シナリオ」を設定した上で2020年までのエネルギー需要予測を示した。

本研究では、今後の省エネルギー技術開発動向とその導入率、意識変革によるライフスタイル変化要因を考慮した対策シナリオを設定し、4都市における民生部門エネルギー消費量及びCO₂排出量について、2020年までの将来予測と対策による効果推計を行う。さらに、対策の導入率に関して、パラメータとモデル構造の不確実性に関する感度分析を行うことで効果推計への影響を見る。

2. 温暖化対策の効果推計フロー

図1に、本研究における推計フローを示す。まず、対策シナリオを設定し、対策シナリオの導入率と対策シナリオの用途別省エネ

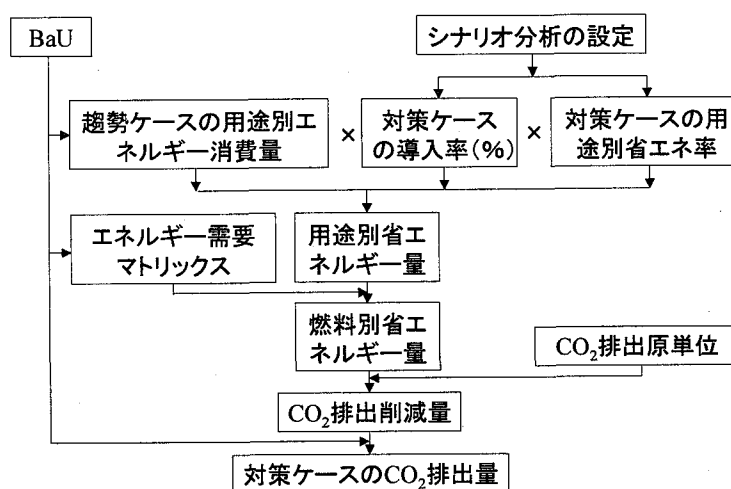


図1 推計フロー

* 北九州市立大学国際環境工学部環境空間デザイン学科

Department of Environment Space Design, Faculty of Environmental Engineering, The University of Kitakyushu

** 吉林建築工程学院教授・ハルビン工業大学ポスドク研究員

Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, Harbin Institute of Technology

表1 家庭部門の対策シナリオの概要

シナリオ	種類	内容	省エネ率 ^{注1} (%)
燃料要因	燃料	ガスの優先的に利用	20 ^{注2}
機器要因	エアコン	コンプレッサの性能向上、熱交換器の改善、インテリジェント制御	44 ^{注3}
	冷蔵庫	インバータ技術、モーターのDC化、真空断熱材の採用、扉パッキンの改良	47 ^{注3}
	テレビ	電源回路の改善、光量制御、信号非検出時の切断、液晶テレビ（ブラウン管テレビからの置換）	45 ^{注2}
	照明	蛍光灯（電球からの置換）、インバータ式蛍光灯（従来型からの置換）、センサー式照明（従来型からの置換）	58 ^{注2}
	待機電力など	コンデンサ起動制御、回路ごとの電力制御、間欠動作	10 ^{注3}
住宅要因	住宅の断熱化	屋根・天井・壁・床の断熱工事、ペアガラス（二重サッシ）化	20 ^{注3}
ライフスタイル要因	省エネ意識	省エネルギー行動の推進	16 ^{注4}

表2 事業部門の対策シナリオの概要

シナリオ	種類	内容	用途別	省エネ率 (%)
機器要因	ビル管理情報システム	空調用における外気冷房、排気熱回収、VAV方式の導入など、動力等におけるセンサ切替方式、自動調光システムの採用など	空調用	35 ^{注5}
			動力等	20 ^{注5}
			その他	5 ^{注5}
構造物要因	構造物の断熱化	屋根・天井・壁・床の断熱工事、ペアガラス（二重サッシ）化	空調用	20 ^{注3}
ライフスタイル要因	省エネ意識	省エネルギー行動の推進	全体用	16 ^{注4}

注1：1997年時点での標準的な機器・冷暖房需要・給湯需要と比べた場合のエネルギー消費量の削減率

注2：本研究における推計値

注3：平成13年度「住宅内のエネルギー消費に関する全国的調査研究」報告書、平成14年3月、社団法人日本建築学会³⁾

注4：温暖化防止アクションプラン(素案)、<http://www.city.yokohama.jp/me/cplan/epb/machi/kyogikai/jigyo/3jidata/suan1.html>

注5：情報通信による地球環境保全のための政策提言（答申）、

http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/pressrelease/japanese/tsusin/980601j502_s12.html

ルギー率を設定する。それらに趨勢シナリオの用途別エネルギー消費量に乗じて、用途別エネルギー消費削減量を計算する。次に、エネルギー需要マトリックスに基づき、用途別エネルギー消費削減量を燃料別に分解する。さらに、用途別燃料別エネルギー消費削減量にCO₂排出量の原単位を乗じて、2020年までの各対策によるCO₂排出削減量を予測すると同時に、BaUで推計したから差し引くことでCO₂排出量を推計する。

3. 対策シナリオの設定

表1に家庭部門、表2に事業部門の対策シナリオの概要を示す。対策シナリオは燃料要因改善シナリオ、機器要因改善シナリオ、住宅要因改善シナリオ、ライフスタイル要因改善シナリオ及び総合要因改善シナリオの、大きく5つのシナリオに分けることとする。ここで、総合要因とは、燃料要因、機器要因、住宅要因とライフスタイル要因を含む。各対策の具体的な内容と、それによる省エネルギー率については、表中に示すような値を設定した。

4. 対策シナリオの導入率の推計

4. 1 家庭部門

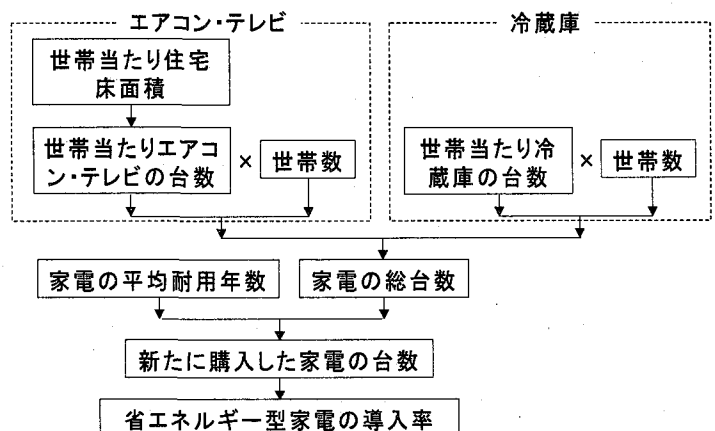


図2 省エネルギー型家電の導入率推計フロー

表3 省エネルギー型家電の導入率(%)

年	東京・ソウル			北京					上海		
	全体			都市			農村		全体		
	エアコン	冷蔵庫	テレビ	エアコン	冷蔵庫	テレビ	冷蔵庫	テレビ	エアコン	冷蔵庫	テレビ
2005	9.5	9.2	11.1	14.1	8.6	8.6	13.3	6.8	18.1	13.7	16.8
2006	19.0	16.2	19.3	22.1	18.2	18.1	18.6	15.8	34.8	24.8	27.0
2007	35.1	30.3	31.0	33.2	26.6	26.6	25.2	28.1	46.8	38.9	36.6
2008	45.2	35.3	44.5	39.4	34.9	37.9	29.5	36.5	53.8	56.0	46.9
2009	51.1	45.4	50.0	51.2	47.4	53.6	43.8	53.2	65.8	65.2	61.2
2010	57.9	58.7	63.8	61.3	61.1	65.7	55.9	60.1	73.8	71.8	68.6
2011	68.4	67.0	72.5	66.3	71.2	73.3	73.8	69.6	77.7	84.9	75.8
2012	77.2	79.7	81.9	78.7	82.4	82.5	80.1	78.2	84.0	88.9	82.8
2013	90.8	88.6	89.2	89.1	90.3	92.1	89.4	85.6	90.1	96.7	91.7
2014	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2015	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2016	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2017	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2018	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2019	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2020	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

注：ソウルは家電保有台数のデータがないので、東京と同じであると仮定した。

2005年から2020年までに新たに購入された家電（エアコン、冷蔵庫、テレビ）すべてについて省エネルギー型の家電が導入され、また新規着工分の住宅すべてについて省エネルギー型の照明システムや待機電力や住宅の断熱化などが導入されると想定した。また、2005年から全家庭が省エネルギー意識を向上させライフスタイル要因による省エネルギーを実現すると想定した。さらに、北京、上海では2005年より、石炭からガスへ燃料転換する割合を50%とした。

図2に省エネルギー型家電の導入率の推計フローを示す。世帯当たりエアコンの台数、世帯当たりテレビの台数の推計のために重回帰分析を行い、変動要因を分析した。その結果、世帯あたり住宅床面積が採用された。世帯当たり冷蔵庫の台数は1996年～2000年の平均値のまま一定とした。なお、家電の平均耐用年数を10年とする。家電の総台数の増加分と10年前に購入された家電の和により、ある年に新たに購入される家電の台数を求め、2005年以後の家電の購入台数累積値を推計した。これを家電の総台数で割ることで、省エネルギー型家電の導入率が推計できる。推計結果を表3に示す。

省エネルギー型のエアコン、冷蔵庫、テレビの購入によるエネルギー消費削減量及びCO₂排出削減量を議論するためには、住宅内の電力消費内訳の把握が必要である。1997年の東京都の住宅における電力消費内訳によると、住宅内の電力消費の22%が空調機器、18%が冷蔵庫、16%が照明、9%がテレビ等という構成になっている。実際には都市や家族構成等によって住宅内の用途別電力消費に違いがあるが、住宅における電力消費量を機器別に詳細に把握することが困難であるので、ここでは、1997年の東京都における調査結果³⁾を適用した。

住宅の断熱化、省エネルギー型の照明システムや待機電力などの導入率を住宅床面積に対する2005年以後の新規着工面積累積値の割合で推計するため、まず住宅床面積と新規着工面積を予測することが必要である。図3に示すように、住宅床面積の推計のために重回帰分析を行うことで変動要因を分析し、その結果GRPを採用した。新規着工面積については、東京はここ4年間（1998年～2001年）の床面積に対する新規着工面積割合の平均値を求め、それに住宅床面積を乗じて求めた。北京、上海については、解体面積は最近10年間（1989年～1998年）の平均値で一定とし、それに住宅床面積の増加値を加えることで新規着工床面積を求めた。表4に、床面積と関連する対策シナリオの導入率の推計結果を示す。

表4 床面積と関連する対策ケース導入率(%) (家庭部門)

年	東京	北京	上海	ソウル
2005	3.4	4.5	6.4	3.4
2006	6.7	8.9	12.3	6.8
2007	10.1	13.3	17.8	10.1
2008	13.4	17.7	22.0	13.5
2009	16.8	22.1	26.6	16.9
2010	20.1	26.3	30.2	20.3
2011	23.5	30.7	33.5	23.7
2012	26.9	34.9	37.1	27.1
2013	30.3	39.3	39.8	30.5
2014	33.7	43.7	42.9	33.8
2015	37.2	48.0	45.2	37.1
2016	40.7	52.5	47.3	40.5
2017	44.3	56.8	49.2	43.7
2018	47.9	61.3	51.0	47.0
2019	51.6	65.8	52.6	50.3
2020	55.4	70.3	54.0	53.6

4. 2 事業部門

2005年度から2020年度までの新規着工分の事業用ビルすべてについてビル管理情報システムと構造物の断熱化が導入されると想定した。また、2005年度から全事業用ビルが省エネルギー意識を向上させライフスタイル要因による省エネルギーを実現すると想定した。導入率の予測手法は住宅と同じである。推計結果を表5に示す。

事業部門も家庭部門同様に、各対策によるエネルギー消費削減量及びCO₂排出削減量を議論するためには、建物の用途別エネルギー消費の把握が必要である。ビルのエネルギー使用の状況は、ビルの用途、規模、構造、地域等により異なるが、一般的な事務所ビルの用途別比率は空調用50%、照明・コンセント用30%で、残りが昇降機・衛生・その他の動力であり、これを用いた⁴⁾。

5. シナリオによる予測結果

5. 1 家庭部門

2020年までのシナリオ別のCO₂排出量削減率予測を図4～図7に示す。2020年における総合要因改善シナリオのCO₂排出量削減率は、東京36.3%、北京37.0%、上海38.3%、ソウル27.0%となった。

総合要因改善シナリオ以外の各改善シナリオのCO₂排

表5 事業部門の対策ケース導入率(%)

年	東京	北京	上海	ソウル
2005	3.4	5.7	9.5	3.4
2006	6.7	11.0	18.0	6.7
2007	10.0	16.0	25.5	10.0
2008	13.4	20.6	32.2	13.4
2009	16.7	24.9	38.1	16.7
2010	20.0	28.9	43.4	20.0
2011	23.4	32.6	48.2	23.4
2012	26.7	36.1	52.5	26.7
2013	30.0	39.3	56.4	30.0
2014	33.4	42.3	59.9	33.4
2015	36.7	45.1	63.1	36.7
2016	40.2	47.7	65.9	40.2
2017	43.6	50.2	68.6	43.6
2018	47.1	52.4	71.0	47.1
2019	50.5	54.5	73.2	50.5
2020	54.0	56.5	75.2	54.0

注：ソウルは新規着工面積のデータがないので、東京と同じであると仮定した。

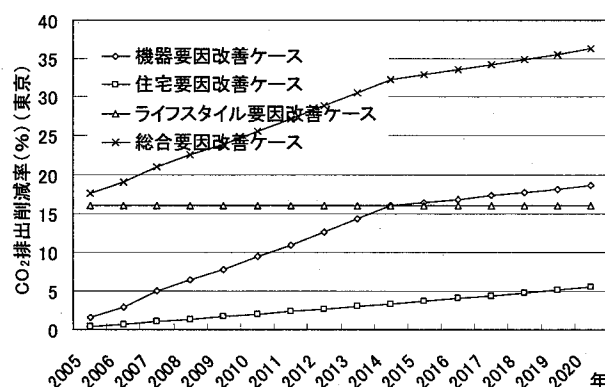


図4 CO₂排出量削減率(東京)(家庭部門)

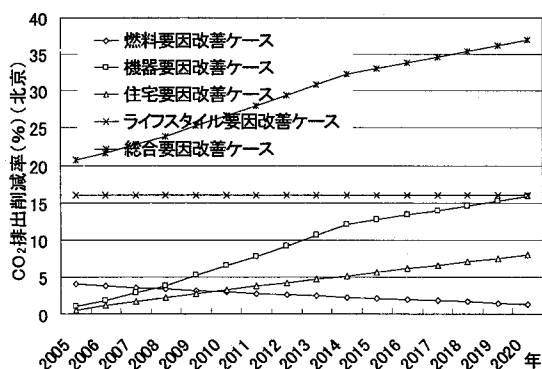


図5 CO₂排出量削減率(北京)(家庭部門)

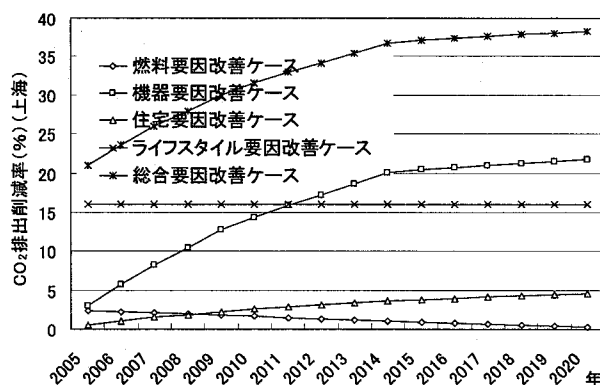


図6 CO₂排出量削減率(上海)(家庭部門)

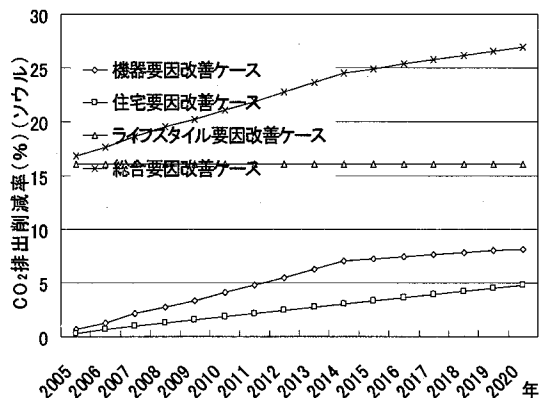


図7 CO₂排出量削減率(ソウル)(家庭部門)

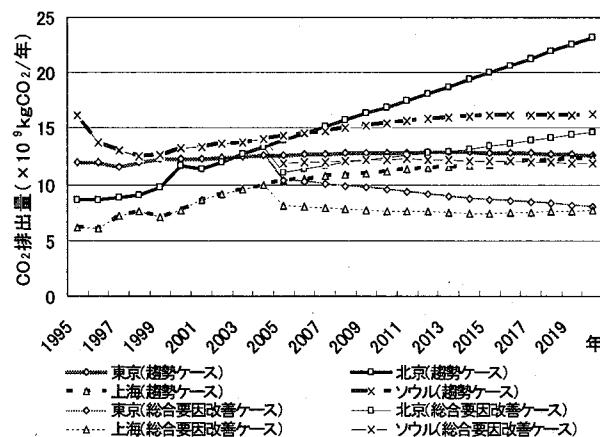


図8 CO₂排出量(家庭部門)

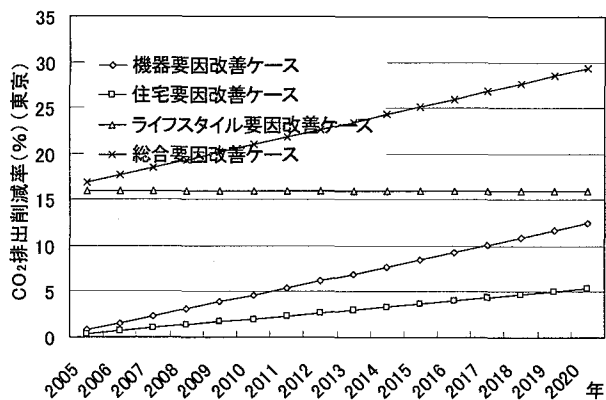


図9 CO₂排出量削減率(東京)(事業部門)

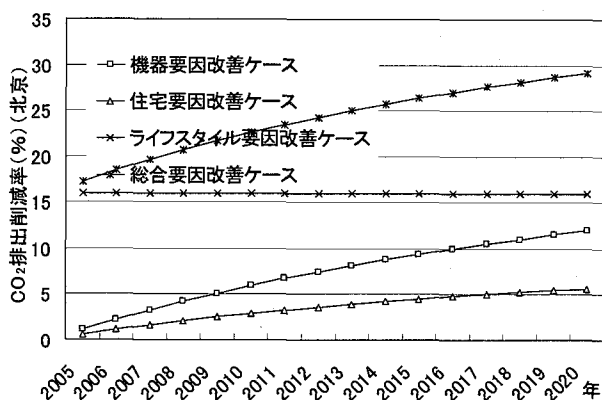


図10 CO₂排出量削減率(北京)(事業部門)

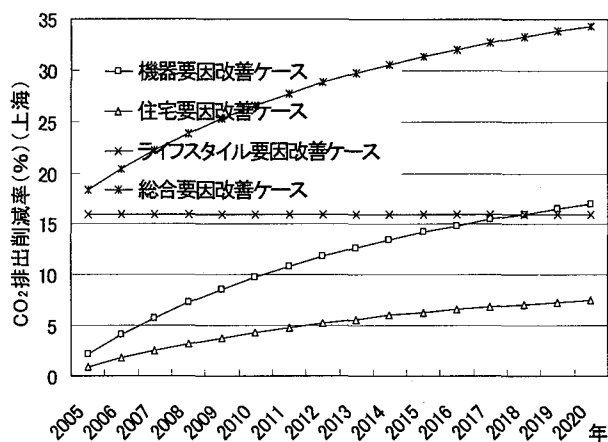


図11 CO₂排出量削減率(上海)(事業部門)

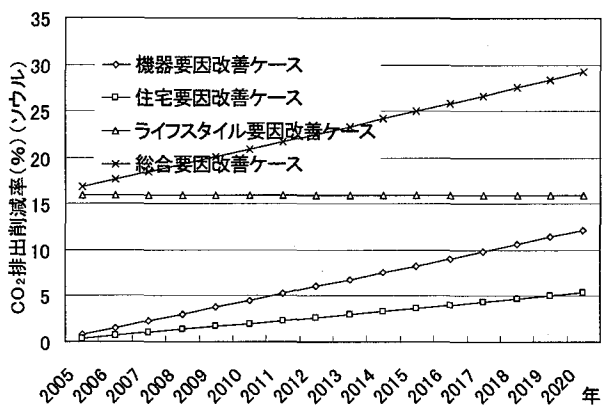


図12 CO₂排出量削減率(ソウル)(事業部門)

出量削減への寄与率を見ると、北京、ソウル、東京(2014年以前)、上海(2012年以前)ではライフスタイル要因改善シナリオ、機器要因改善シナリオ、住宅要因改善シナリオの順に大きい。一方、東京(2014年以後)、上海(2012年以後)では、機器要因改善シナリオ、ライフスタイル要因改善シナリオ、住宅要因改善シナリオの順に大きい結果となった。これは家庭用エネルギー消費量に対する電力消費量が多い都市で、機器要因改善シナリオの寄与率が高い結果となっていると考えられる。中国の都市の燃料要因改善シナリオの寄与率は、2010年以降最小である。

趨勢シナリオと総合要因改善シナリオのCO₂排出量を図8に示す。2020年の趨勢シナリオに対する総合要因改善シナリオのCO₂排出削減量は、北京858.6万t-CO₂、上海475.9万t-CO₂、東京457.0万t-CO₂、ソウル433.4万t-CO₂となった。

5. 2 事業部門

2020年までのシナリオ別のCO₂排出量削減率予測を図9～図12に示す。2020年における総合要因改善シナリオのCO₂排出量削減率は、東京29.4%、北京29.2%、上海34.4%、ソウル29.2%となった。

総合要因改善シナリオ以外の各改善シナリオのCO₂排出量削減への寄与率を見ると、ライフスタイル要因改善シナリオ、機器要因改善シナリオ、住宅要因改善シナリオの順に大きい。機器要因改善シナリオについては、省エネルギー型機器の普及にともないその累積台数が増加するため、時期経過とともに効果が高くなる傾向が表れている。4都市のCO₂排出削減率をみると、上海が最も高く、他の3都市はほぼ同レベルとなっ

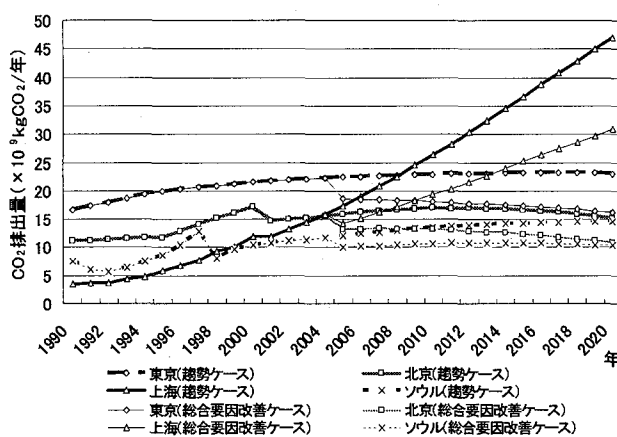


図13 CO₂排出量(事業部門)

た。

趨勢シナリオと総合要因改善シナリオのCO₂排出量を図13に示す。2020年の趨勢シナリオに対する総合要因改善シナリオのCO₂排出削減量は、上海1616.0万t-CO₂、東京681.1万t-CO₂、北京442.9万t-CO₂、ソウル428.8万t-CO₂となった。

6. 感度分析

感度分析については、パラメータの不確実性とモデル構造上の不確実性が存在する。前者については各シナリオの対策導入率を基準ケースと比較して10%低下させることで最終結果への影響を見た。後者については、回帰分析によって将来値を設定しているいくつかの指標について、95%信頼区間の上限値・下限値の間で変化させることで、やはり最終結果への影響を見た。具体的には、各シナリオの予測に際して用いた床面積、着工床面積、家電台数の将来値である。

表6に、感度分析の結果を示す。95%の変動ではあまり変化がない。10%の導入率の低下では、中国都市の燃料要因改善シナリオの場合の影響が大きいことがわかる。

7. おわりに

本論文では、アジア巨大都市の民生部門二酸化炭素排出量予測とシナリオアプローチによる対策評価を行った。さらに対策評価については、パラメータとモデル構造に関して感度分析を行った。

途上国のデータ不足を補うためには、アンケート等によってデータを補充する必要があると認識している。それによってモデル構造の細分化、パラメータの精緻化と、対策評価の対象となるシナリオの多様化が可能となる。

謝 辞

本研究は、財団法人地球環境戦略研究機関 (IGES) 及びAsia-Pacific Network for Global Change Research (APN) のプロジェクト, "Policy Integration for Energy Related Issues in Asian Mega-Cities"(平成13-15年度、代表: 井村秀文 名古屋大学大学院教授) の補助を受けて行った成果の一部である。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 松本 亨・石崎美代子・左 健・中山裕文: アジア都市への適用を想定した民生部門エネルギー需要予測モデルの開発, 第30回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 25-33, 2002
- 2) 松本 亨・左 健・韋 新東・石崎美代子: アジア巨大都市における民生部門エネルギー需要の将来予測, 第11回地球環境シンポジウム講演論文集, pp. 47-53, 2003
- 3) 平成13年度[住宅内のエネルギー消費に関する全国的調査研究]報告書, 社団法人日本建築学会, 平成14年3月
- 4) オフィスビルの省エネは空調と照明がポイントです! <http://www.tepco.co.jp/tokyo/1f/k3-j.html>

表6 感度分析の結果 (2020年の基準ケースに対する比率)

	東京	北京	上海	ソウル
家庭部門(導入率10%削減)				
総合要因改善シナリオ	0.94	0.92	0.94	0.92
ライフスタイル要因改善シナリオ	0.90	0.90	0.90	0.90
住宅要因改善シナリオ	0.90	0.90	0.90	0.90
機器要因改善シナリオ	0.97	0.96	0.97	0.97
燃料要因改善シナリオ		0.53	0.53	
家庭部門(95%信頼区間)				
総合要因改善シナリオ(下限)	0.998	0.99	0.999	0.99
(上限)	1.004	1.01	1.001	1.00
住宅要因改善シナリオ(下限)	0.99	0.97	0.995	0.97
(上限)	1.01	1.04	1.004	1.04
機器要因改善シナリオ(下限)	0.99	0.99	0.999	0.95
(上限)	1.01	1.02	1.001	1.03
事業部門(導入率10%削減)				
総合要因改善シナリオ	0.91	0.91	0.91	0.91
ライフスタイル要因改善シナリオ	0.90	0.90	0.90	0.90
構造物要因改善シナリオ	0.90	0.90	0.90	0.90
機器要因改善シナリオ	0.90	0.90	0.90	0.90
事業部門(95%信頼区間)				
総合要因改善シナリオ(下限)	0.99	0.93	0.95	0.99
(上限)	1.01	1.05	1.02	1.01
構造物要因改善シナリオ(下限)	0.98	0.85	0.91	0.98
(上限)	1.03	1.10	1.05	1.03
機器要因改善シナリオ(下限)	0.98	0.85	0.91	0.98
(上限)	1.03	1.10	1.05	1.03