

東京都市圏における環境対策のモデル分析  
最終とりまとめ報告書

平成28年3月

東京都市圏における環境対策のモデル分析検討会  
(環境省委託先検討会)



## 目 次

1. 検討の背景と趣旨	1
2. 東京都市圏における環境対策の総合的な効果分析	4
2.1 分析の方法	4
(1)分析の対象	4
(2)分析に用いるモデル	4
(3)分析の前提	7
(4)東京都市圏における環境対策に関わるケース設定	7
2.2 個別分野・対策の効果分析	12
(1)環境技術の普及による低炭素効果(環境技術評価モデル)	12
(2)土地利用対策・交通対策のパッケージ効果がもたらす低炭素効果(土地利用・交通モデル)	14
(3)エネルギー対策の面的導入による低炭素効果(地域エネルギー・低炭素街区モデル)	16
(4)資源の高度利用化による環境効果(地域資源循環モデル)	18
(5)適正なストックマネジメントによる環境効果(建設ストックマネジメントモデル)	20
(6)ヒートアイランド対策・温暖化対策によるヒートアイランド緩和効果(ヒートアイランドモデル)	22
(7)温暖化対策の実施に伴う経済影響(応用一般均衡モデル)	24
2.3 環境対策の総合的な効果分析	26
(1)環境対策全体での総合的な低炭素効果	26
(2)都市構造のコンパクト化がもたらす低炭素効果	28
(3)対策ケースにおける総合的な環境効果	29
3. 東京湾臨海部における緑地対策に資する熱環境解析	32
4. 考察	40
5. 今後の課題	42
参考資料:モデル分析検討会の運営方法	45



## 1. 検討の背景と趣旨

### (持続可能な社会の構築に向けて)

現代社会は、自然環境の復元能力を超えた社会経済活動により、公害、気候変動、自然破壊等、様々な問題を引き起こしてきた。この解決のためには、個別の技術の導入やインフラを更新して改善を促すといったアプローチに加えて、社会の仕組みや新たな価値観・ライフスタイルを生み出すことによって、持続可能な社会を構築していくことが必要である。

その中で、例えば我が国では、気候変動問題に対して、地球温暖化の影響を許容できる範囲内に留めるため、日本の温室効果ガス排出量を 2020 年には 2005 年度比で 3.8%まで削減させるとともに、2050 年の温室効果ガス排出量を 80%削減することを目標としている。世界全体でも、2015 年の G 7 サミットでは新たな 2050 年目標（世界全体で 2010 年比 40～70%削減の幅の上方）が合意された。また、2030 年の温室効果ガス排出量についても、日本の削減ポテンシャルを踏まえた国際的にも遜色のない野心的な目標（2030 年度に 2013 年度比 26.0%減（2005 年度比 25.4%減））を盛り込んだ約束草案が取りまとめられ、2015 年 7 月に国連気候変動枠組条約事務局に提出された。さらに 2015 年の COP21 において、2020 年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな法的国際枠組みである「パリ協定」が採択され、世界共通の長期目標として 2℃目標が設定されるとともに、気温上昇を 1.5℃以下に抑える努力をすることが規定された。

こうした目標を着実に達成していくためには、個別対策に加えて、思い切った取組や、都市の土地利用、空間構造の長期的な転換を含む社会システムの変革が不可欠である。特に、東京都市圏（東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県）における温室効果ガス排出量は、日本全体の 2 割を占めており、この地域における取組が日本全体の低炭素社会づくりに先導的な方向性を与えることの意義は大きい。

### (2020 年に向けた東京都市圏における取組)

東京都市圏においては、東京都を中心に 2020 年にオリンピック・パラリンピック競技大会（以下「2020 年東京大会」という。）が開催されるとともに、それにあわせて老朽化した施設の改修等も含む多数の再開発が計画されており、一定規模のインフラの更新・改変等が生じることが見込まれる。このように、2020 年東京大会を一つの契機として東京都市圏が更なる転換の機会を迎えている中で、持続可能な社会の実現に向けて、既に各界各層において様々な議論・取組が進んでいるものの、その早期実現のためには、こうした取組をさらに加速させる必要がある。環境省では昨年 8 月に、東京都市圏における持続可能な社会の構築に向けた取組を促すため、「2020 年オリンピック・パラリンピック東京大会を契機とした環境配慮の推進について」を定性的に取りまとめた。その中で提示した様々な課題について、環境面からの評価・検討を行い、更なる対応策の検討を今後行っていくとこととしている。

### (持続可能な社会の実現に向けた調査・研究)

持続可能な社会の実現に向けた調査・研究では、地域エネルギー、資源循環、建設ストック、土地利用・交通、ヒートアイランド等の個別分野において、様々な取組が進展している。しかし、個別分野での対策の検討に加えて、分野をまたぐ対策の相互効果にも着目し、時間スケールとして短期から中長期まで、空間スケールとして街区から都市圏までの幅広いスケールを対象とした定量的なデータに基づく客観的な議論は端緒についたばかりであり、こうした議論を先導する意義は大きい。

例えば、分野をまたぐ対策の相互効果の例として長期的な都市のコンパクト化による環境効果が挙げられる。都市のコンパクト化による住居や施設の計画的な立地誘導は、中短期的には実現を想定できない対策だが、長期的な未来を見据えた計画的な誘導によって交通の低炭素化とともに分散型エネルギーシステムの導入や未利用エネルギーの利用等を促進できる可能性がある。また、都市圏におけるヒートアイランド現象に対しては緑化などの対策が実施されているが、省エネに資する温暖化対策も大気への熱排出の削減を通じてヒートアイランド現象を緩和するため、特に夏季を対象に温暖化対策とヒートアイランド問題を同時に分析する意義は大きい。このような分野をまたぐ対策の相互効果を扱うには、複数の分野を共通の土台（データや解析基盤の共通化）で分析する必要があり、それによって将来の環境負荷削減を総合的に検討することが可能になる。

### (本検討における取組—複数のモデル間連携等を通じた分析の実施—)

このような背景の下、「東京都市圏における環境対策のモデル分析検討会」においては、複数のモデル間の連携等を通じて、東京都市圏において存在する対策のポテンシャルや対策が講じられた場合の効果について一定の前提条件の下で定量的、かつ、わかりやすい形で行政機関や関係事業者、国民に提示することによって、取組を更に加速化させることを目指す。

具体的には、本検討では、環境省が官民の研究機関等とともに、本検討会のオブザーバーである埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県の関係部局や気象庁の協力を得て、東京都市圏を対象として既存の複数モデルを連携させ、2050年以降も視野に入れながら、温暖化対策の節目の年である2020年、2030年、2050年における環境対策の効果について経済への影響も含めて分析することにより、分野間の相互効果も含めた総合的な環境効果等を明らかにする。

なお、ポテンシャルや効果の提示に当たっては、短期的（2020年）、中期的（2030年）、長期的（2050年）な姿、及び分析に当たっての考え方や手法についても併せて提示することで、環境分野における政策立案者や研究者等による今後の政策の立案や研究の推進等や各界各層による更なる取組の加速に資するようにした。

なお、本検討と連携した取組として、文部科学省及び国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）の協力により、2020年東京大会において真夏の暑い時期に複数競技の開催が予定されている東京湾臨海部のうち「東京ベイゾーン」周辺を対象として、2020年時点の住民・観

客等の体感温度やこれまでの緑地対策の効果を明らかにすることを通じて同東京大会を契機とした効果的な環境対策の在り方の検討の参考とさせるため、樹木等の物理的作用を考慮した大気海洋結合モデルを用いて熱環境解析を実施した。この大気海洋結合モデルへの樹木モデルの実装は、文部科学省の委託事業「気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)」により行われたものである。



図 1. 本検討における検討の全体像

## 2. 東京都市圏における環境対策の総合的な効果分析

### 2.1 分析の方法

#### (1) 分析の対象

「1. 検討の背景と趣旨」を踏まえ、本検討では、2020年、2030年、2050年の東京都市圏における環境対策のポテンシャルや一定の前提条件の下に対策が講じられた場合の効果を、経済への影響も含めつつ、既存の複数のモデル間の連携を通じて、定量的に分析する。

分析の対象とする環境分野については、第4次環境基本計画（2012年閣議決定）では、持続可能な社会の構築に向けて当面優先的に取り組むべき緊急性及び重要性の高い重点分野（事象横断的な重点分野を除く。）として、「地球温暖化」、「物質循環」、「大気環境」、「水環境」、「生物多様性」、「化学物質」を設定しているが、本検討では、図2のとおり、このうちの地球温暖化を中心に据え、地球温暖化との関連性が強い物質循環、大気環境（ヒートアイランドに係るものに限る。）を加えた3つの分野を対象とした。

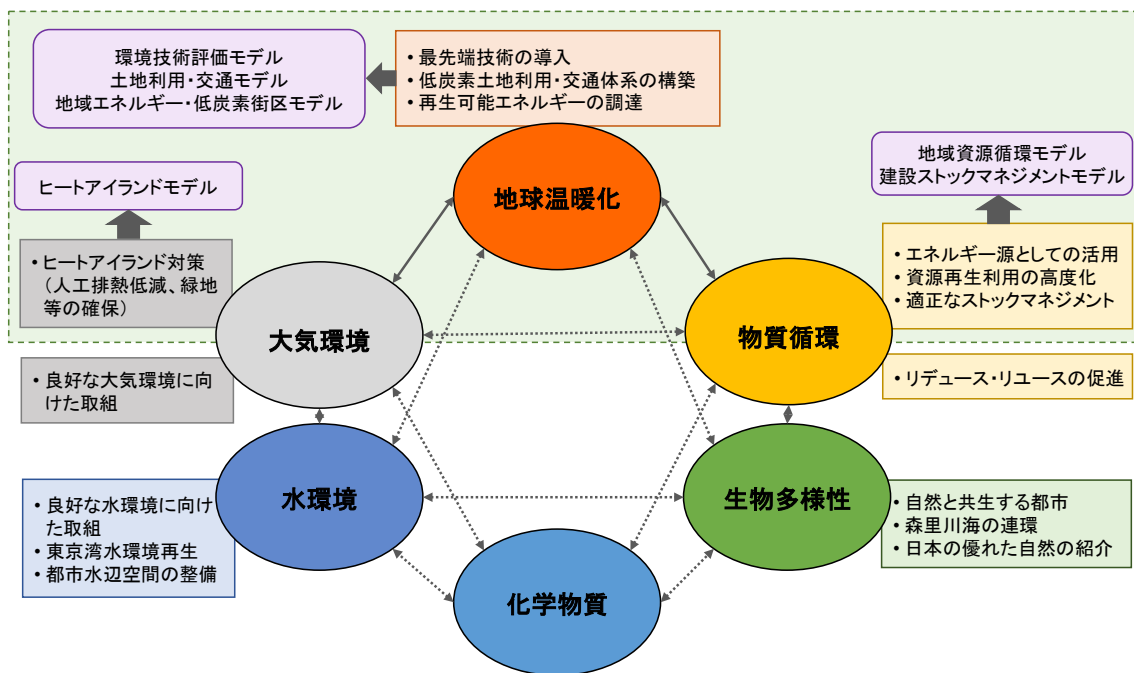


図2. 「東京都市圏における環境対策のモデル分析検討会」で対象とする範囲

(注) 分野ごとの対策例は、主に「2020年オリンピック・パラリンピック東京大会を契機とした環境配慮の推進について」環境省（2014）の中の対策を参考にして上記分類ごとに整理したもの。

#### (2) 分析に用いるモデル

本検討では、表1に記す以下の7つのモデルを用いる。このうち、「環境技術評価モデル」「応用一般均衡モデル」以外の5つのモデルは、分析可能な分野・対策メニューが限定されるものの、対象地域を市区町村単位や街区単位などに細分化して扱うことが可能なモデルである。他方、「環境技術評価モデル」「応用一般均衡モデル」は都県単位のモデルであり、空間的な分解能は粗いが、複数の温暖化対策を包括的に取り扱うことが可能なモデルである。



これらのモデル群を含む本分析の全体像を図3に示す。将来の活動量<sup>1</sup>及び空間分布<sup>2</sup>についてはすべてのモデルが共有する。また、環境対策を織り込むことによって、活動量及び空間分布に変化が生じる場合、モデルの出力を他モデルと共有することで、全体として整合性のとれた分析を実施する。

将来にわたっての空間分布の変化については、分析の前提となるものをモデル間で共有するとともに、「地域エネルギー・低炭素街区モデル」、「土地利用・交通モデル」、「建設ストックマネジメントモデル」などが提示する環境対策を織り込んだ人や施設の空間分布についてもモデル間で共有し、分析結果の整合性を確保する。また、「地域資源循環モデル」の出力が「地域エネルギー・低炭素街区モデル」に、「土地利用・交通モデル」の出力が「ヒートアイランドモデル」に提供されるように、あるモデルの出力を他のモデルで利用することで対策間の相互効果の分析を可能にする。その上で、モデルの分析結果は「環境技術評価モデル」に集約され、総合的な効果分析も可能にする。これに加え、「応用一般均衡モデル」は想定された環境対策の実施による経済への影響を評価する。

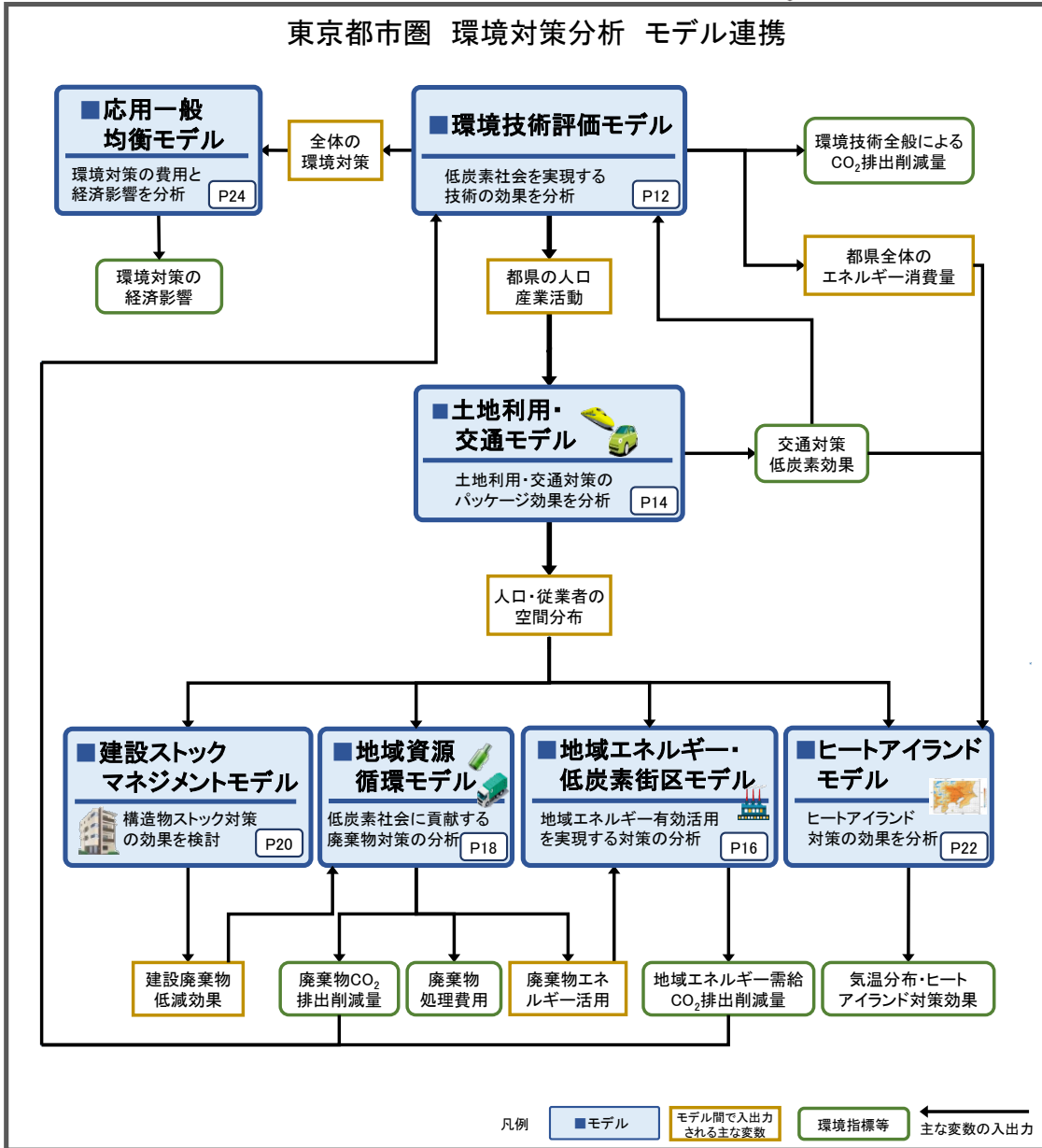
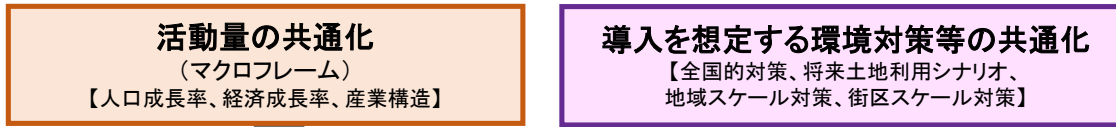
これにより、従来であれば分析対象以外の領域を所与として設定・分析されていたものが、モデル間で互いに共有されることで、より実態に即した分析が可能となる。

表1. 本検討に関わるモデル

分析の最小単位	モデル名	モデルの概要	主たる対象分野
市区町村・街区スケール	地域エネルギー・低炭素街区モデル	エネルギー融通も含めた地域におけるエネルギー対策の面的導入による効果を分析	地球温暖化
	地域資源循環モデル	低炭素社会の実現に貢献する廃棄物対策の分析	物質循環
	建設ストックマネジメントモデル	構造物ストック対策による低炭素効果の検討	物質循環
	土地利用・交通モデル	土地利用対策・交通対策のパッケージ効果を分析	地球温暖化
	ヒートアイランドモデル	ヒートアイランド対策の効果を分析	大気環境
都県スケール	環境技術評価モデル	低炭素社会を実現する技術の効果を分析	地球温暖化
	応用一般均衡モデル	環境対策の費用と経済影響を分析	経済影響

<sup>1</sup> 本検討における活動量とは人口、世帯数、産業別の生産額、従業者数等の社会・経済の活動水準を示す指標。環境対策検討の前提となる。

<sup>2</sup> 本検討における空間分布とは活動量が東京都市圏内の各市区町村やより詳細な地域にどのように分布しているかを示す。



- ＜本分析により分かること＞
- 2020年・2030年・2050年における東京都市圏の環境対策の総合的な効果
  - 複数の環境問題の分野をまたぐ対策の相互効果
  - 環境面から見た都市圏整備の望ましい在り方

図3. 本分析で用いるモデル及びモデル連携と分析の全体像

### (3) 分析の前提

分析を進めるにあたっては、分析の前提（活動量や空間分布）を各モデル間で共有するとともに、モデルの出力を互いに活用することで、分野間の相互効果を考慮した分析を行う。また、各モデルの出力を「環境技術評価モデル」に集約し、総合的な効果分析を実施する。東京都市圏全体の将来の活動量の設定については、2030年は、「日本の約束草案」等を参考として設定し、2020年は、実績値と2030年想定値からの補間により設定し、2050年は、中央環境審議会地球環境部会2013年以降の対策・施策に関する検討小委員会技術WG、及び同小委員会マクロフレームWGの議論を踏まえ設定した。東京都市圏における空間分布については、一定の前提の下、地域エネルギー・低炭素街区モデル、土地利用・交通モデル、建設ストックマネジメントモデルによる推計値を用いて、環境対策のケースについての将来空間分布を設定した。

表2. 東京都市圏の主な活動量（1都3県全体）

活動量項目	単位	2012年 (実績値)	2020年	2030年	2050年
人口	万人	3,491	3,569	3,439	2,983
世帯数	万世帯	1,581	1,646	1,627	1,435
粗鋼生産量	万トン	1,987	2,142	2,253	横這～減少を 想定
セメント生産量	万トン	484	487	458	
エチレン生産量	万トン	287	290	260	
紙・板紙生産量	万トン	163	169	169	
機械製造業生産指数	2012年=100	100	134	166	増加を想定
業務床面積	2012年=100	100	103	107	104
旅客輸送量	2012年=100	100	土地利用・交通モデル算定値		
貨物輸送量	2012年=100	100	土地利用・交通モデル算定値		

### (4) 東京都市圏における環境対策に関わるケース設定

本検討において分析する東京都市圏における環境対策については「2020年オリンピック・パラリンピック東京大会を契機とした環境配慮の推進について」（環境省, 2014）や、既に国や関係行政機関等により策定された様々な計画等から選定した。対策の導入水準については、以下の3つのケースを設定し、それぞれについて、将来の環境負荷並びに対策の効果及び経済への影響を推計する。

固定ケースは、対策ケースの効果量を把握するために設定するケースで、対策の導入状況やエネルギー効率が現状に固定されたまま将来にわたり推移すると想定したケースである。固定ケースにおける空間分布は、現在の状況や既に関係行政機関等により策定されている道路・鉄道・港湾等の建設計画を踏まえて設定・推計する。

対策ケースは、対策や施策の導入水準の強度に応じて、 $\alpha$ と $\beta$ の2つのケースを設定する。対策ケース $\alpha$ は、既に国全体や関係行政機関等により策定されている様々な計画を踏まえて一

定の強度の対策を織り込んだケースである。すでに検討されている東京都市圏内の都市計画等により空間分布が現状よりも集約的に変化してコンパクトな都市が実現する効果を算定する。

対策ケースβは、持続可能な社会の実現に向け、関係行政機関等により想定されているものに限定せず、様々なアイデアを取り込み、より踏み込んだ対策や施策を想定したケースである。空間分布に関しては対策ケースαに比較して更にコンパクトな施設立地を想定する。

対策ケースにおいてコンパクト化の拠点となる地区は、国土交通省「首都圏整備計画(平成18年)」「平成21年版首都圏白書」、東京都「東京の都市づくりビジョン(平成21年)」「都市計画区域の整備、開発及び保全の方針(平成26年)」、神奈川県「かながわ都市マスタープラン(平成19年)」「都市計画区域の整備、開発及び保全の方針(平成23年)」、埼玉県「都市計画区域の整備、開発及び保全の方針(平成26年)」、千葉県「都市計画区域の整備、開発及び保全の方針(平成28年)」及び千葉県内市町村のマスタープランなど、拠点整備や拠点開発に関する情報を参考に設定した(図5)。また、これらのゾーンの面積は合計で約14万ha(東京都市圏の総面積の10%程度)となった。

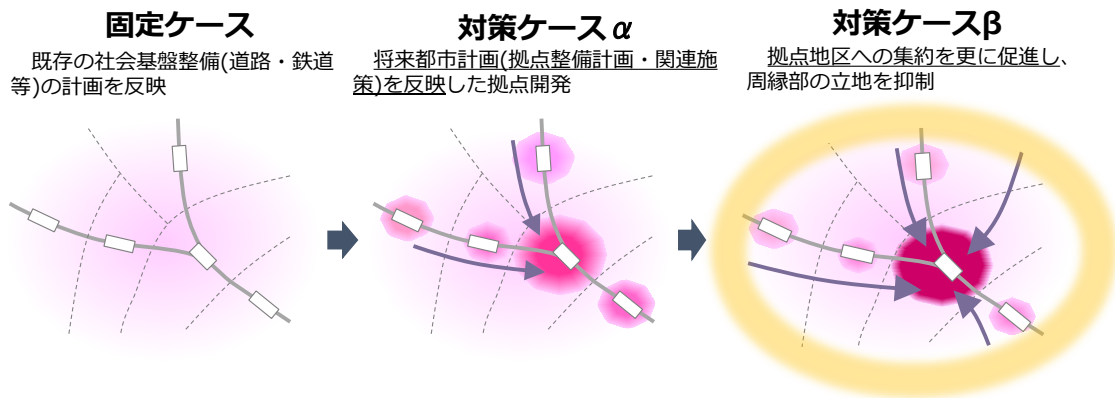


図4. ケース毎の土地利用の集約化のイメージ

コンパクト化拠点での人口増加	
対策ケースα	約4万人
対策ケースβ	約26万人

※増加人口は、2030年における立地ゾーン全体で、対策ケースから固定ケースの人口を差し引いた値。  
※コンパクト化拠点は、「首都圏整備計画」、「業務核都市基本構想」、「都県都市開発マスタープラン」等において示されているものに基づき設定している。

**コンパクト化拠点の人口割合の推移(例)**

※対策ケースβにおける、東京都市圏の総人口に占めるコンパクト化拠点の人口割合

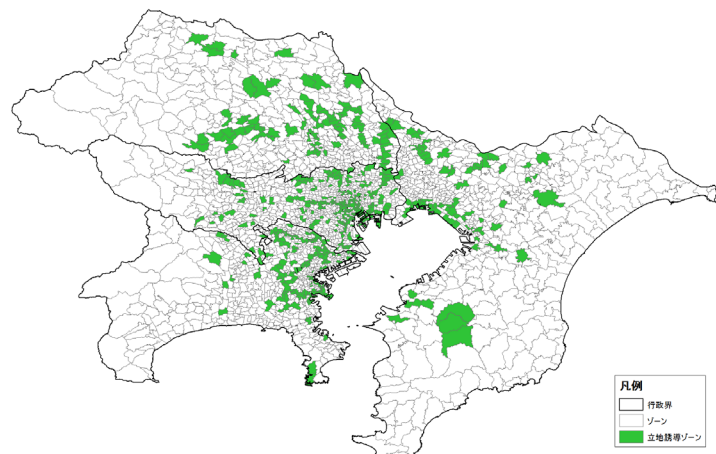
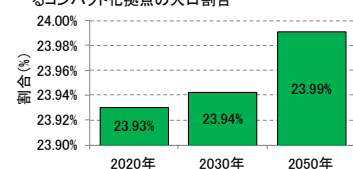


図5. 集約を誘導するコンパクト化拠点の設定

表3. 東京都市圏における環境対策に関わるケースとその概要

ケース	考え方	主な関連目標・計画等
固定ケース	東京都市圏において、対策技術・施策の導入状況やエネルギー効率が現状に固定され、そのまま将来にわたり推移するとともに、既存の整備計画に基づき交通インフラ整備が行われることを想定する	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 既存の道路・鉄道等の整備計画</li> </ul>
対策ケース $\alpha$	東京都市圏に関わる様々な既存計画を基本とし、それらに盛り込まれた環境対策技術・施策の実施を想定する	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 日本の約束草案、地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ、都県温暖化対策計画等</li> <li>• 廃棄物処理施設整備計画</li> <li>• 首都圏整備計画、業務核都市基本構想、都県都市開発マスタープラン、民間開発計画等</li> </ul>
対策ケース $\beta$	東京都市圏に関わる様々な既存計画に加えて、幅広い分野での対策技術や施策も取り込み、より踏み込んだ対策や施策の実施を想定する	<p>例えば土地利用においては首都圏整備計画、都県都市開発マスタープラン及び民間開発計画を基本に、一定の拠点地区への集約を想定する</p>

具体的な対策の導入を検討するにあたり、エネルギー効率の高い機器（高効率家電、次世代自動車、高性能ボイラなど）の導入のような空間分布の状況にはあまり依存しない対策（以下「単体対策」）に加え、空間分布を変化させることで環境負荷を低減させる対策（以下「空間分布変化を介する対策」）にも注目した。

具体的には、地区街区まで分割した空間スケールにおいて、環境負荷の低減に配慮した活動量の集積を設定して、コンパクト化した都市の姿を空間分布として表すことによって、空間分布の変化による対策効果を分析する（図4、図5）。対策ケース $\alpha$ においては既存の目標・計画等で導入を目指している対策と関連する技術情報より、各分野における環境対策の導入とその強度の設定を行った。対策ケース $\beta$ においては空間分布の変化等により可能となる一層踏み込んだ対策の導入について、技術的条件を勘案して設定した（表4）。

表4. 東京都市圏において導入を想定する環境対策の一覧

注: 太字は対策ケースβにおけるより一層踏み込んだ対策導入の想定

分野	対策技術・施策	対策実施強度 (現状→2020年→2030年→2050年)		参考
		α	β	
家庭・業務	高断熱建築物 (住宅)	普及率 6%→17%→30%→70%	普及率 6%→17%→30%→70%	※1 ※2
	高断熱建築物 (業務)	普及率 22%→30%→39%→70%	普及率 22%→30%→39%→70%	
	家庭用高効率機器の普及	普及率 機器により、 ~13%→45~49%→85~100%→100%	普及率 機器により、 ~13%→45~49%→85~100%→100%	
	業務用高効率機器の普及	普及率 機器により ~9%→23~49%→44~100%→100%	普及率 機器により ~9%→23~49%→44~100%→100%	
	HEMS	普及率 0.2%→45%→100%→100%	普及率 0.2%→45%→100%→100%	
	BEMS	普及率 6%→24%→47%→100%	普及率 6%→24%→47%→100%	
	CEMS	-	<b>対象地区の更新に伴い導入</b>	
	照明の効率的な利用	実施率 15%→53%→100%→100%	実施率 15%→53%→100%→100%	
	国民運動の推進	クールビズ・ウォームビズ実施率 約 80%→89%→100%→100%	クールビズ・ウォームビズ実施率 約 80%→89%→100%→100%	
	製造業等	素材製造業における革新的技術	普及率 0%→0~数基→数基→100%	
業種横断省エネ技術		普及率 24%→34%→46%→100% (高性能工業炉の場合)	普及率 24%→34%→46%→100% (高性能工業炉の場合)	
農業部門の省エネ		現状からのエネルギー消費削減率 (現状)→5%→11%→25%	現状からのエネルギー消費削減率 (現状)→5%→11%→25%	
地球温暖化	自動車単体対策	次世代自動車 普及率 3%→24%→50%→100%	次世代自動車 普及率 3%→24%→50%→100%	※3 ※4
	交通流対策の推進	自転車道 200km 整備	<b>都市圏全体での 自転車利用環境整備</b>	
エネ転換	再生可能エネルギー発電 (太陽光発電、風力発電)	発電に占めるシェア 約 10%→15~16%→22~24%→70%	発電に占めるシェア 約 10%→15~16%→22~24%→70%	※1 ※2 ※5 ※6 ※7 ※1 ※2
	再生可能エネルギー発電 (一般廃棄物からの廃棄物発電)	現状からの設備容量増加 (現状)→1.7万kW→ 7.1万kW→7.1万kW	現状からの設備容量増加 (現状)→1.7万kW→ 7.1万kW→7.1万kW	
	再生可能エネルギー発電 (食品廃棄物からのメタン発酵)	設備容量 0.2万kW→0.3万kW →0.5万kW→0.5万kW	<b>設備容量 0.2万kW→0.3万kW →24.1万kW→30.5万kW</b>	
	再生可能エネルギー発電 (建設廃棄物からのバイオマス発酵)	設備容量 9.1万kW→10.6万kW →10.6万kW→10.7万kW	設備容量 9.1万kW→10.6万kW →10.6万kW→10.7万kW	
	ごみ焼却拠点の集約・高効率化	-	<b>施設数 161→161→86→77</b>	
	系統電力の低炭素化	低炭素電源の発電に占めるシェア 10%→16%→44%→100%	低炭素電源の発電に占めるシェア 10%→16%→44%→100%	
都市・土地利用	都市コンパクト化に伴う地域分散型エネルギーの有効活用と交通需要削減	拠点において40%程度の立地のしやすさの上昇に相当する整備事業を想定。民間開発計画は住宅系(613ha)業務系(1,950ha)が100%完成すると想定。	<b>拠点において80%程度の立地のしやすさの上昇に相当する整備事業を想定。民間開発計画はαと同じ。</b>	※8 ※9 ※10 ※11 ※12

分野	対策技術・施策	対策実施強度（現状→2020年→2030年→2050年）		考 参
物質循環	地域再生資源利用（廃棄物発電、廃プラスチック等の焼却量減少等）	第七期市町村分別収集計画の増加率等に基づき設定		
大気環境	緑化（樹木緑化、芝生化）	---	都県の緑化基準等に基づき設定	※13
	舗装等（透水性・保水性舗装、遮熱性舗装、打ち水）		東京都長期ビジョンに基づき設定	※14
	建物（屋上高反射性塗料、屋上緑化、壁面緑化）		全国屋上・壁面緑化施工実績調査等に基づき設定	※15
	都市排熱削減（建物・自動車）		家庭・業務・交通の環境対策による省エネルギー効果を反映	

- ※1 総合資源エネルギー調査会基本政策分科会長期エネルギー需給見通し小委員会（平成27年7月）長期エネルギー需給見通し
- ※2 中央環境審議会地球環境部会 2013年以降の対策・施策に関する検討小委員会「2013年以降の対策・施策に関する報告書 別冊3 技術WG」
- ※3 総合資源エネルギー調査会長期エネルギー需給見通し小委員会（第11回会合）資料3
- ※4 東京都自転車走行空間整備計画
- ※5 都県の再生可能エネルギー関連計画
- ※6 総合資源エネルギー調査会基本政策分科会長期エネルギー需給見通し小委員回（第4回 平成27年3月10日）資料2「再生可能エネルギー各電源の導入の動向について」
- ※7 各都県のごみ処理広域化計画を基に検討し設定
- ※8 国土交通省「首都圏整備計画（平成18年）」「平成21年版首都圏白書」
- ※9 東京都「東京の都市づくりビジョン（平成21年）」「都市計画区域の整備、開発及び保全の方針（平成26年）」
- ※10 神奈川県「かながわ都市マスタープラン（平成19年）」「都市計画区域の整備、開発及び保全の方針（平成23年）」
- ※11 埼玉県「都市計画区域の整備、開発及び保全の方針（平成26年）」
- ※12 千葉県「都市計画区域の整備、開発及び保全の方針（平成28年）」及び千葉県内市町村のマスタープラン
- ※13 都県の緑化基準等を参考に設定
- ※14 東京都長期ビジョン等を参考に設定
- ※15 全国屋上・壁面緑化施工実績調査等を参考に設定

## 2.2 個別分野・対策の効果分析

### (1) 環境技術の普及による低炭素効果（環境技術評価モデル）

#### (分析の背景)

日本の温室効果ガス排出量の9割はエネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出量であり、それらはエネルギーを消費する技術の稼働によって排出されている。したがって、2030年26%削減（日本の約束草案）や2050年80%削減（第4次環境基本計画）といった大幅削減を実現するためには、技術のエネルギー効率を大幅に改善させ、それらを社会に普及させていくとともに、エネルギーを可能な限り非化石燃料に置きかえなければならない。

日本の排出量の2割を占める東京都市圏において、こうした大幅削減に向けた取組が行われることは、先進的な取組の全国への波及という観点でも重要であるほか、世界に先駆けて最先端の低炭素都市を構築することによって新たなビジネスチャンスを創出させることにつながる。

そこで、本分析では、将来のエネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量及びそれらの削減量の推計を可能にする「環境技術評価モデル」を用いて、環境技術の普及による低炭素効果を推計する。

#### (分析手法)

「環境技術評価モデル」では、エネルギー消費量を、①サービス需要、②サービスの機器別分担率、③機器別のエネルギー効率の3つの要素に分解した上で、省エネルギー技術や再生可能エネルギー利用技術など個別対策による削減効果や、普及率の見込みを各要素の変化量として設定し、各要素の変化後のエネルギー消費量を対策導入後のエネルギー消費量として推計する。対策ケースでは、表4に示した対策を講じた場合の効果を算出し、東京都市圏全体での2050年までのエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量を推計する。

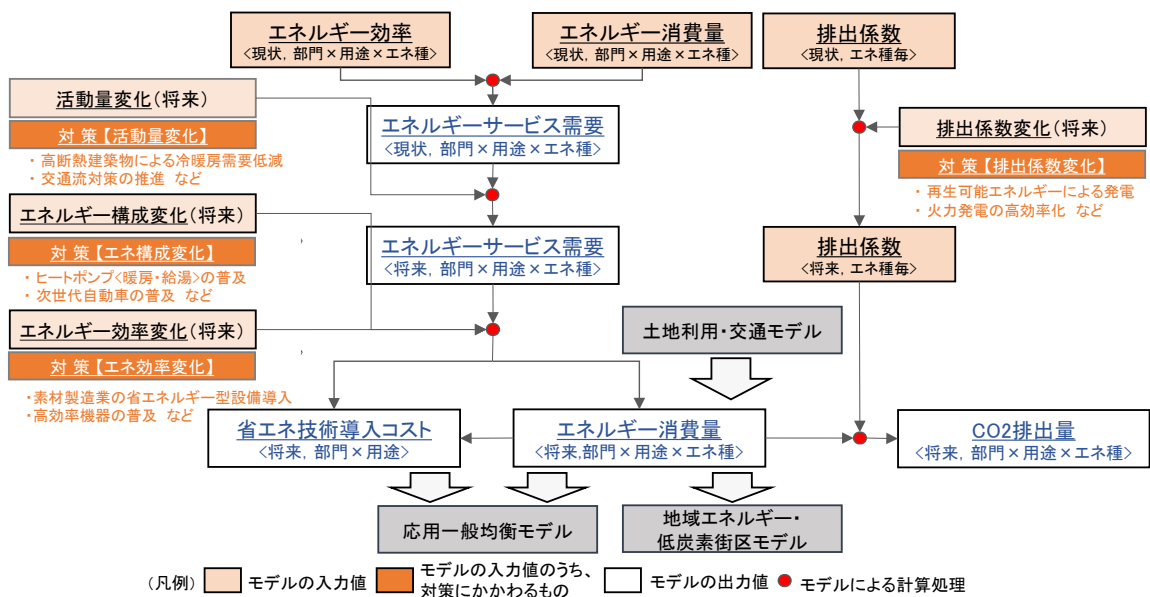
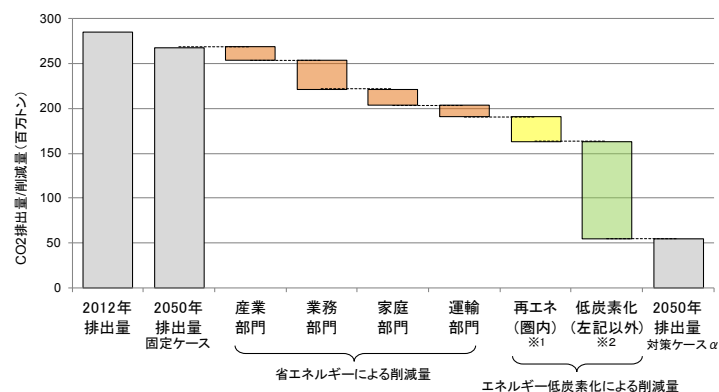


図6. 「環境技術評価モデル」の算定フロー

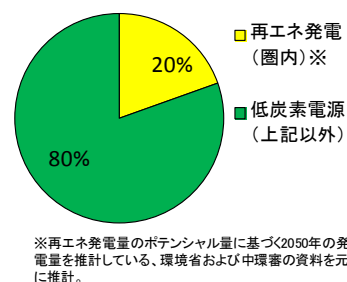


## (分析結果)

推計にあたり想定した 2050 年の省エネルギーの推進とエネルギーの低炭素化に資する技術普及（表 4）によって、CO<sub>2</sub> 排出量は現状比約 8 割の削減が可能であることが明らかとなった（図 7）。省エネルギーの推進については、家庭・業務部門における高効率機器及び高断熱建築物や HEMS・BEMS などエネルギー消費の無駄を削減する技術、産業部門における革新的技術及び業種横断的な高効率技術、さらに運輸部門における次世代自動車など、様々な技術の大幅な普及拡大とエネルギー効率の改善により、全体の削減の約 4 割に貢献している。エネルギーの低炭素化については、低炭素電源の増加に伴う電力排出係数の低減の寄与が大きい。電力の排出係数は 2050 年に限りなくゼロ（ゼロエミッション電源）に近づく必要があるが、東京都市圏には人口・資本が集積し、単位面積当たりのエネルギー消費量は極めて大きく、圏内の再生可能エネルギー発電で電力需要を満たすことはできない。そのため、低炭素電源の 8 割を圏内の再エネ発電以外から融通することで、ゼロエミッション電源を達成することになる（図 8）。



※1: 再エネ発電のほか、家庭・業務部門の本暖熱温水器普及による削減寄与も併せて計上。  
 ※2: 低炭素電源のほか、産業CCSIによる削減寄与も併せて計上。



※再エネ発電量のポテンシャル量に基づく2050年の発電量を推計している、環境省および中環審の資料を元に推計。

図 7. 環境技術評価モデルによる対策ケース α の分析結果

図 8. 2050 年の電力供給内訳

## (得られた知見)

省エネルギー技術の普及は温室効果ガスの排出削減に対して大きな役割を占めており、将来において電力の低炭素化が進んだとしても、低炭素電源は無尽蔵に供給できるものではないことから、特に都市圏では需要に見合う量を圏内で供給できないことを勘案すると、限りある低炭素電源を有効に活用するためにも省エネルギー技術は重要である。上記推計の前提では、省エネルギー技術の現状からの大幅な普及拡大とエネルギー効率の改善を想定しているが、この実現には、①技術選択を行う主体が省エネルギー技術の存在を知ること、また、②当該主体に省エネルギー技術を選択するためのインセンティブが存在すること、さらには、③市場により一層省エネルギー技術が投入され続けることが必要である。具体的には、トップランナー制度などの規制的措置の強化、効率的な機器選択の経済的インセンティブが増すような税制や助成・融資制度の導入、機器選択時の情報入手を容易にするような機器情報を開示・提供する仕組みの構築、弛まぬ技術開発を促進するための経済的支援策などが必要とされる。

(2) 土地利用・交通対策のパッケージ効果をもたらす低炭素効果（土地利用・交通モデル）  
 (分析の背景)

運輸部門からのCO<sub>2</sub>排出量を削減するためには、自動車の利用を減らすことや、自動車での移動距離を短くすることなどが必要となる。このためには、自動車に過度に依存せずに日常生活を行える土地利用・交通体系に転換していく必要がある。このような都市構造が公共交通を骨格としたコンパクトな都市構造であり、この実現のためには、公共交通の整備と公共交通沿線での集約的な地区再開発を進めるなど、土地利用対策と交通対策のパッケージ対策を講じる必要がある。

東京都市圏については、郊外地域で自動車依存のライフスタイルが形成されるなど、自動車からCO<sub>2</sub>が大量に排出されているが、一方で、東京都市圏では2020年東京大会にあわせて地域再開発が数多く計画され、また、公共交通等の整備も見込まれておりコンパクトな都市構造の実現のための機会を迎えている。

そこで、本分析では、「土地利用・交通モデル」を用いて、土地利用対策と交通対策のパッケージ効果による低炭素効果を推計する。

(分析手法)

「土地利用・交通モデル」では、東京都市圏を約2800の地域に分割した上で、道路や鉄道などの交通インフラの整備や表3に示した拠点開発などの対策によって、東京都市圏全体での2050年までの各地域に居住する人口、各地域から発生する交通量、各地域から他地域へ移動する人数（目的別・手段別）、自動車の台数、自動車からのCO<sub>2</sub>排出量を推計する。

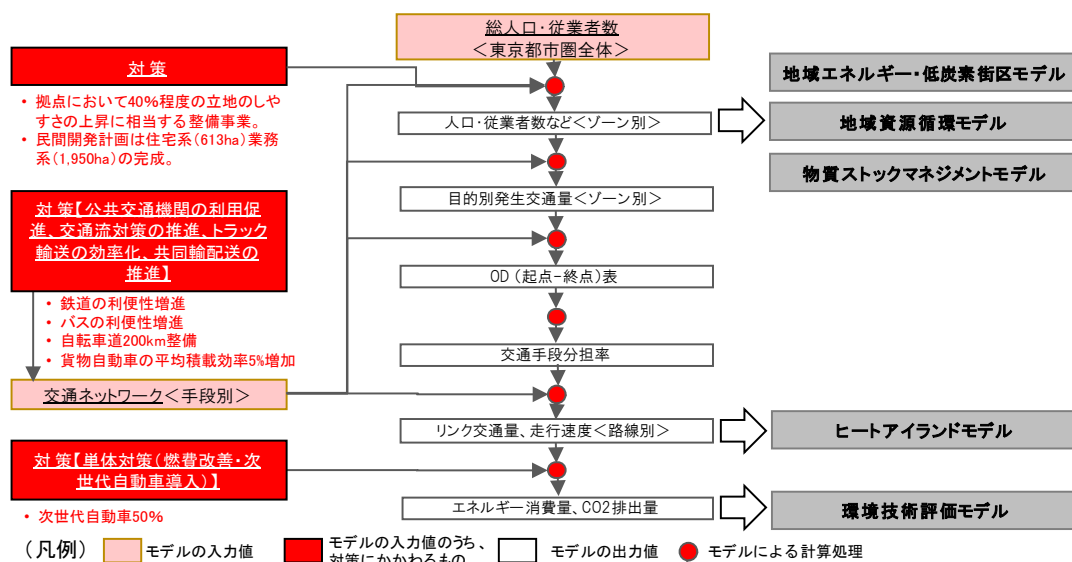


図9. 「土地利用・交通モデル」の算定フロー

### (分析結果)

固定ケースでは、東京都市圏の郊外部の道路整備が行われることによって、利便性が高まる郊外へと住宅や企業の立地が進むとともに、郊外地域での交通手段の主役である自動車の利用が高まり、自動車での移動回数や移動距離が大幅に増加する。このため、自動車からのCO<sub>2</sub>排出量の増加が大きく、2050年の自動車CO<sub>2</sub>排出量は2010年比5%増となることが明らかとなった(図10、図11)。

対策ケースαでは、土地利用対策と交通対策(単体対策と交通流対策)のパッケージ対策が講じられることによって、拠点地域への人口流入が進む。拠点地域は、現状でも周辺地域に比べ交通利便性が高く、公共交通分担率が高い地域のため、拠点地域への人口流入により公共交通分担率が増加する。また、交通流対策として公共交通利用環境や自転車利用環境の整備を講じることによって公共交通分担率が更に増加するとともに、自動車単体のエネルギー消費効率が向上することで、2050年の自動車CO<sub>2</sub>排出量は2010年比48%減(2050年固定ケースの自動車CO<sub>2</sub>排出量から約1580万tCO<sub>2</sub>減となり、このうち9割程度が単体対策による削減)となった(図11)。

対策ケースβでは、道路沿線地域への立地規制を設けることにより戦略的に立地を誘導することによって都市の集約度が向上するとともに、交通流対策の更なる推進によって、2050年の自動車CO<sub>2</sub>排出量は2010年比57%減(2050年固定ケースの自動車CO<sub>2</sub>排出量から約1860万tCO<sub>2</sub>減となり、このうち8割程度が単体対策による削減)となった(図11)。

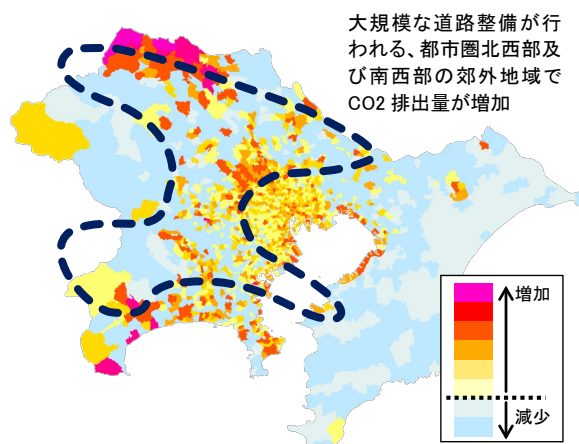


図10. 固定ケースにおける2010年から2050年への自動車(旅客)からのCO<sub>2</sub>排出量の分布の変化

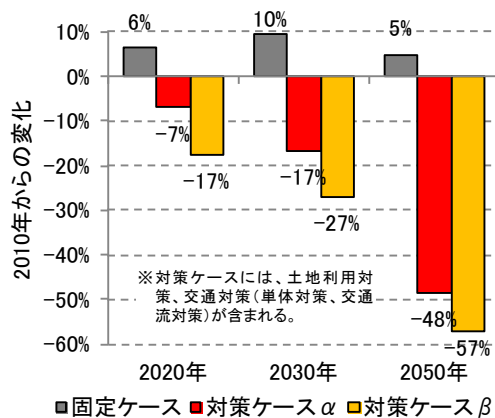


図11. 自動車からのCO<sub>2</sub>排出量の変化

### (得られた知見)

郊外部を中心とした道路整備によって自動車からのCO<sub>2</sub>排出量の増加を招くことが固定ケースで明らかになったように、我が国における運輸部門のCO<sub>2</sub>排出削減のためには、コンパクトな都市構造を目指す土地利用対策や交通対策への取組が必要不可欠である。

具体的には、道路沿線地域への立地規制施策、公共交通沿線への立地促進施策、公共交通や自転車等の利便性向上施策を行い、公共交通を骨格としたコンパクトな都市構造を目指すことが必要とされる。

### (3) エネルギー対策の面的導入による低炭素効果 (地域エネルギー・低炭素街区モデル)

#### (分析の背景)

温室効果ガス排出量を大幅に削減するとともに、持続可能で安全、快適、かつ魅力的な地域を実現するためには、再生可能エネルギーの更なる導入や省エネルギー性能の高い機器の使用等の単体対策に加えて、都市・地域単位でのエネルギーの効率的な利用や再生可能エネルギーの地域内活用等の面的な対策が必要である。

社会活動の基盤であるエネルギーの確保については、東日本大震災を経て自立・分散型のエネルギーシステムの構築への期待が高まっていることや、東京都市圏では2020年東京大会にあわせて地域再開発が計画されていることも踏まえると、面的な対策の導入を検討する好機であると考えられる。

そこで、本分析では、「地域エネルギー・低炭素街区モデル」を用いて、エネルギー対策の面的導入による低炭素効果を推計する。

#### (分析手法)

「地域エネルギー・低炭素街区モデル」では、民生部門(家庭・業務)のエネルギー需要を対象とした、エネルギー対策を面的に導入することによるCO<sub>2</sub>削減効果を、地域単位で推計する。具体的には、エネルギーの消費量やエネルギー用途の構成比から、各地域の電力・熱需要量や図9に示した対策を講じた場合のエネルギー受給の変化等から、2050年までのCO<sub>2</sub>排出削減量を、地域を単位として推計する。

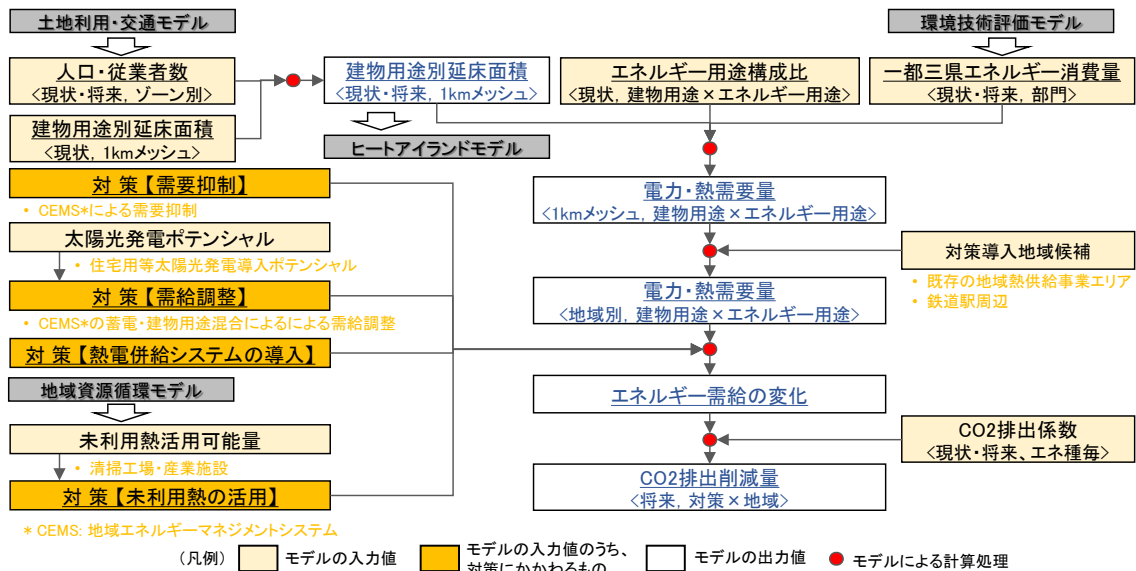


図 12. 「地域エネルギー・低炭素街区モデル」の算定フロー

(分析結果)

対策ケースαの推計では、既存の地域熱供給事業において熱源機器が高効率なコージェネレーションシステムに更新され、また、高温未利用熱の活用が進むことにより、2050年時点で15万t程度のCO<sub>2</sub>排出削減効果が見込まれることが明らかになった。対策ケースβでは、エネルギー需要密度(図13)の高い鉄道駅周辺の地域を対象を拡大し、対象地域において高度なエネルギーマネジメントシステムやコージェネレーションによる熱電併給が導入され、清掃工場等で発生する高温未利用熱が活用されることによる低炭素効果を推計した。地域ごとに実施した分析では、未利用熱源との近接関係や建物用途の比率といった各地域の特性に対応した、効果的な対策の組み合わせが示された(図14)。2050年時点では、対象地域の家庭・業務部門のCO<sub>2</sub>排出量に対する削減率は4割程度となった(図15)。

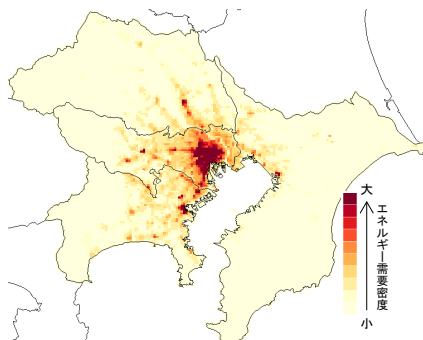


図13. エネルギー需要密度の推計結果(1kmメッシュ、固定ケース、2050年)

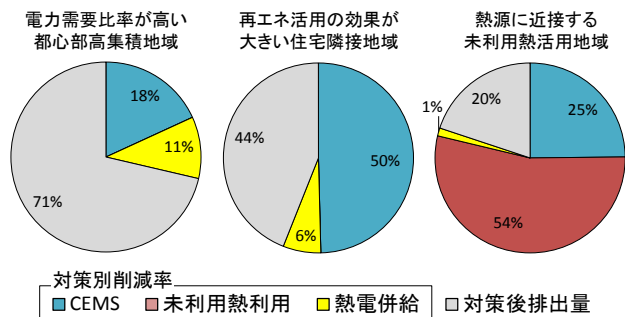


図14. 地域特性に応じた対策の組合せとCO<sub>2</sub>排出量削減率(対策ケースβ、2050年)

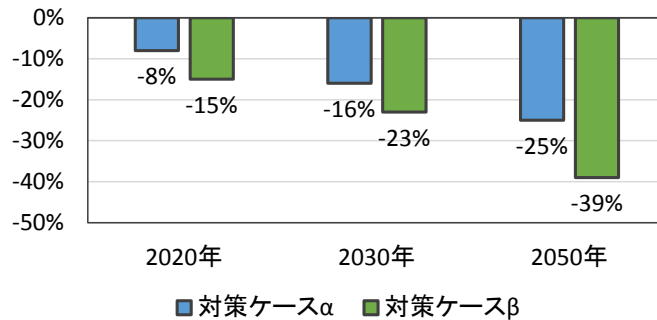


図15. 対象地域の家庭・業務部門のCO<sub>2</sub>排出量に対する削減率

(得られた知見)

未利用熱や太陽光等のエネルギー資源を、高効率なコージェネレーション等の機器と組み合わせ、需要特性に応じたエネルギーマネジメントのもとで活用することの効果、地域を単位とした分析により示すことができた。こうした対策の面的導入を促進するためには、主体間の連携が不可欠であり、都市計画的手法との連携が必要となる。また、例えば、清掃工場からの排熱の活用が効果的な地域においては、自治体が地域のエネルギーインフラを他の公共インフラとともに一体的に整備するなど先進事例を参考にした取組を促進することが考えられる。さらには、事業者における自発的な取組の促進には、活用すべき地域のエネルギー源に関する情報を積極的に発信していくことが必要である。

#### (4) 資源の高度利用化による環境効果 (地域資源循環モデル)

##### (分析の背景)

持続可能な社会の構築に向けては、従来の大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会から転換し、廃棄物の発生抑制や循環資源の利用などの取組を進めることが必要である。特に、廃棄物の資源やエネルギーとしての有効利用は、温室効果ガス排出削減とともに、天然資源消費量や最終処分量の削減等の効果が期待できる。

東京都市圏は、人口の集中や活発な社会経済活動等により廃棄物発生量も多いため、2020年東京大会を契機として、将来の人口挙動を見据えた資源循環分野における技術・システムの一層の高度化・効率化を図ることが重要である。そこで、本分析では、「地域資源循環モデル」を用いて、資源の高度利用化がもたらす環境効果を推計する。

##### (分析手法)

「地域資源循環モデル」では、1 km メッシュごとに算出した廃棄物の発生量や利用可能量と、廃棄物受入施設 (廃棄物処理施設、産業施設) をプロットした空間分布データベースを構築した上で、表4に示した物質循環分野における対策等を講じた場合の効果<sup>3</sup>を算出し、東京都市圏全体での2050年までのエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量を推計する。また、温室効果ガス排出量削減以外の各種対策・施策の導入効果として、地域再生資源の回収量増加効果及び自治体のごみ処理コスト削減効果等についての評価も行う。

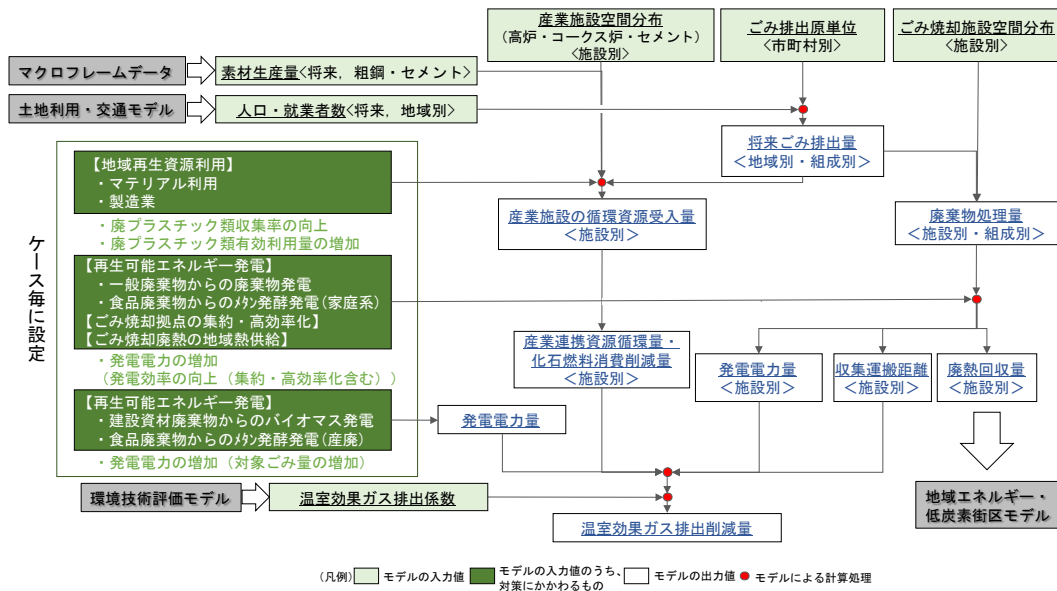


図 16. 「地域資源循環モデル」の算定フロー

3 循環型社会形成推進基本法においては、基本原則で[1]発生抑制、[2]再使用、[3]再生利用、[4]熱回収、[5]適正処分との廃棄物処理の優先順位を定めている。しかしながら、リサイクルされた場合の温室効果ガス (CO<sub>2</sub>換算) の削減効果は、ライフサイクルを通じた評価が必要であり、本シミュレーションではライフサイクル全体をカバーできないため、見積もっていない。

(分析結果)

対策ケースαでは、固定ケースと比較して2030年に約107万t、2050年に約127万tの温室効果ガス(CO<sub>2</sub>換算)の削減が可能であった(図17)。その中でも、廃棄物発電に着目すると、一般廃棄物の廃棄物発電における発電効率の向上に伴う効果が大きいことが明らかとなった。

対策ケースβでは、固定ケースと比較して2030年に約164万t、2050年に約193万tの温室効果ガス(CO<sub>2</sub>換算)の削減が可能であった(図17)。ごみ焼却拠点を集約化する(図18)とともに、廃棄物発電の発電効率を向上させ、有機性成分からメタン発酵発電を行うことで、ごみ熱量の回収率が増加し(図19)、対策ケースαよりも温室効果ガス排出削減量が大きくなることが明らかとなった。また、各種対策・施策の導入により、ごみ焼却拠点の集約化に伴う建設費及びランニングコストの削減やエネルギーの販売収入の増加等により、現状から2050年までの自治体のごみ処理コストの総計が最大35%減少する結果となった。

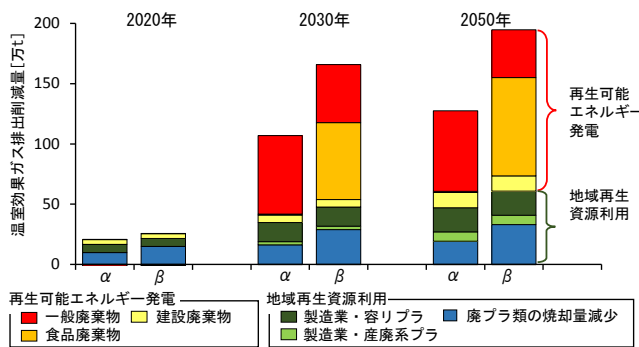


図17. 温室効果ガス排出削減量推計結果 (固定ケース比)

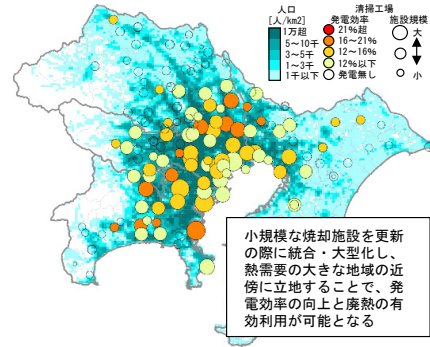


図18. 現状のごみ焼却拠点の分布と発電効率

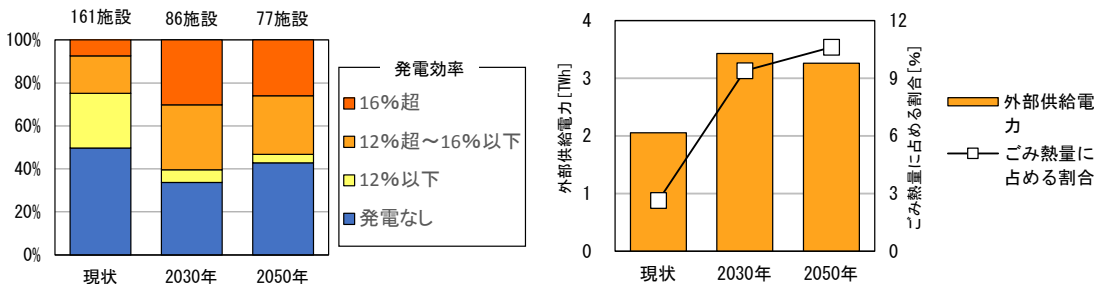


図19. ごみ焼却拠点集約・高効率化の効果 (対策ケースβにおける発電効率別施設数の変遷)

(得られた知見)

LCAの観点で、廃プラスチックのリサイクル(材料リサイクル、ケミカルリサイクル)によるCO<sub>2</sub>削減効果の廃棄物発電に対する優位性は既に確認されている<sup>4</sup>ところであるが、リサイクルには劣るものの、本分析により、一般廃棄物からの再生可能エネルギー発電の導入促進も単純焼却と比べ温室効果ガス排出量の削減に大きな効果を示した。

加えてごみ焼却拠点の集約・高効率化により、更なる温室効果ガス排出量の削減及び自治体ごみ処理コストの大幅な削減を見込めることが明らかになった。

<sup>4</sup> 「プラスチック製容器包装の再商品化手法及び入札制度の在り方に係る取りまとめ」(平成22年10月) 24頁参照。 [http://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y030-48/mat07\\_2.pdf](http://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y030-48/mat07_2.pdf)

## (5) 適正なストックマネジメントによる環境効果 (建設ストックマネジメントモデル)

### (分析の背景)

低炭素社会の実現に向けて資源投入及び廃棄量を適切に管理するためには、都市構造物の現状と維持管理を定量的に把握する必要がある。都市構造物は建設ストックとして都市に蓄積されており、解体や建て替えに応じて多量のエネルギー消費が発生するため、適正なストックマネジメントが求められる。

東京都市圏では、2020年東京大会に向けて重点的に再開発事業が進んでいる一方、高度経済成長期に建設された構造物の多くが耐用年数を迎えて解体される可能性がある。また、都心部では人口集中と建物の高層化が進んでおり、空間的な情報により構造物一つ一つを把握する重要性が高くなっている。そこで、本分析では、詳細な地理空間情報を用いた街区ごとの構造物の変遷を基盤データとする「建設ストックマネジメントモデル」を用いて、地域ごとの建設資材ストック量を推計し、人口分布の動態と地域ごとの構造物の更新スピードに応じた、素材ごとの資材投入量及び廃棄量を推計する。

### (分析手法)

「建設ストックマネジメントモデル」では、構造物の時系列データを基に構築した、四次元型地理情報データベース(4d-GIS DB)を基盤として、500m及び1kmメッシュごとに素材ストック量を集計し、人口や従業者数に応じた需要量と各構造物の廃棄量より、構造物着工量及び着工に伴う素材ごとの建設資材需要量を推計する。また、4d-GIS DBより、建設ストックの分布を示し、構造物更新の傾向を地域ごとに集計して地域の特徴に応じた物質代謝をモデル化し、対策ケースにより設定・推計された人口・従業者数分布の増減により、メッシュごとのストック需要量の変化から、将来の建設資材投入に伴う環境負荷量を推計する。さらに、建物密度の変化から建築物の高層化など街区内の構造物の変遷を可視化する。

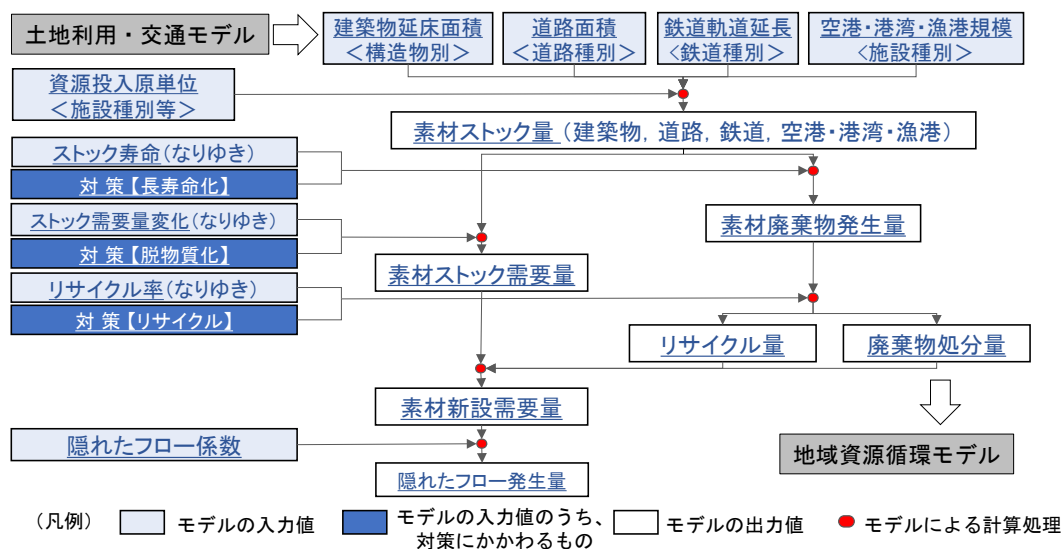


図 20. 「建設ストックマネジメントモデル」の分析フロー



(分析結果)

固定ケースにおける建設資材のうち木材投入量の推計結果を図 21 に示す。対策ケース  $\alpha$  及び対策ケース  $\beta$  においては固定ケースに比べるとより都心部に集約した資材投入構造になる事が示された。集約の効果として、2030 年での固定ケースに比較して、対策ケース  $\alpha$  では投入量が 9.2%、排出量が 10.9%削減され、対策ケース  $\beta$  では投入量が 12.4%、排出量が 14.2%削減される。2050 年には同じく、対策ケース  $\alpha$  では投入量が 9.4%、排出量が 15.4%、対策ケース  $\beta$  では投入量が 12.6%、排出量が 19.2%の削減となった (図 22、図 23)。

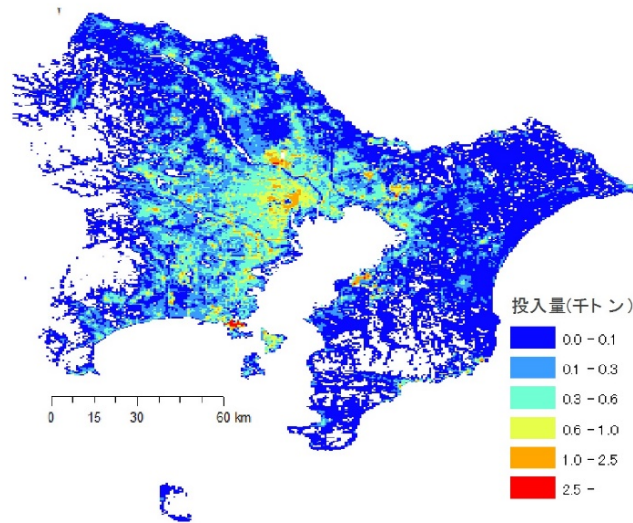


図 21. 2026-2030 年における木材投入量(固定ケース)

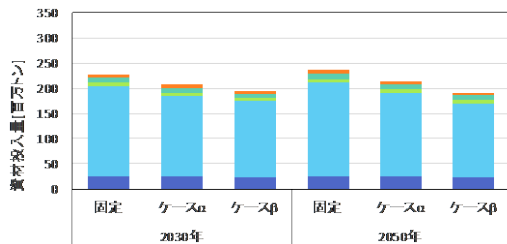


図 22. ケース別の資材投入量

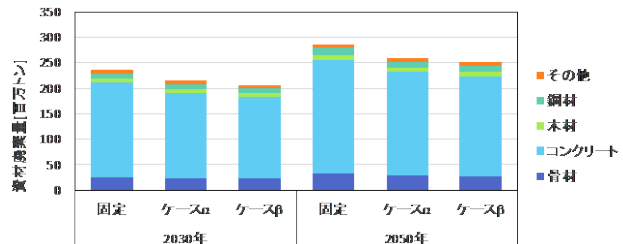


図 23. ケース別の資材廃棄量

(得られた知見)

現状の建築物や土木構造物を個々にデータベース化し、対策シナリオごとに維持管理や更新方法を選択することで、投入される資材が変化し、高密度化することによるストック効果を明らかにしている。建設ストックマネジメントの観点から、セメントや鉄といった CO<sub>2</sub> 排出強度の高い建設資材と木材のような炭素ストック効果の高い資材について、長期ストック化による製造時 CO<sub>2</sub> 排出回避量と、都市の高密度化による大量投入のバランスを考慮することが効果的かつ包括的な対策・施策につながると言える。

(6) ヒートアイランド対策・温暖化対策によるヒートアイランド緩和効果(ヒートアイランドモデル)

(分析の背景)

近年、大都市においては、平均気温の上昇が顕著となることに伴い、大気の大気熱ストレスが増加し、熱中症の被害も拡大しているところである。東京都市圏では、過去100年で平均気温が約3℃上昇する等、ヒートアイランド現象による都市の高温化に伴う暑熱環境の悪化や熱中症等の健康影響などが懸念されている。省エネルギー対策の推進による大気への排熱削減を伴う温暖化対策には、気温を低下させる効果もあり、また、緑化等のヒートアイランド対策には、気温や体感温度を低下させる効果がある。

そこで、本分析では、「ヒートアイランドモデル」を用いて、東京都市圏において温暖化対策やヒートアイランド対策を実施した場合の将来の気温や体感温度の低下効果を推計する。

(分析手法)

「ヒートアイランドモデル」では、評価目的に応じて3つのスケール(①街区スケール、②地区スケール、③都市スケール)の解析を実施した。まず、「街区スケール(500m 四方)」の解析においては、将来の気象変化を考慮するとともに、東京都市圏で類型化した街区における対策導入量あたりの対策効果の定量化を行い、他のモデルによる将来の活動量変化の空間分布(1km メッシュ)を反映して表4に示した大気環境分野における対策等を講じた場合<sup>5</sup>の東京都市圏における気温や体感温度の低下効果を推計する(図21)。次に、「街区スケール」の解析では把握が難しい「風の道」や周囲への波及効果等も含めたヒートアイランド対策の導入効果の空間分布特性を、「地区スケール(1km 四方)」の解析により把握するとともに、「都市スケール(10km 四方)」の解析では、体感温度分布の可視化により、暑熱環境リスクと対策の必要性を分析する。

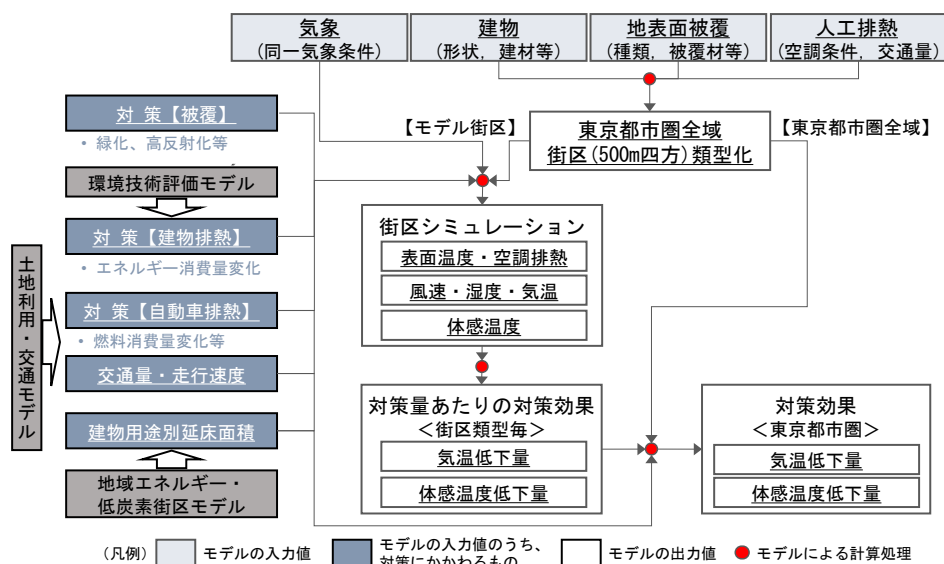


図24. 「ヒートアイランドモデル」による東京都市圏の対策効果の分析フロー

<sup>5</sup> ヒートアイランド対策が適する街区類型を対象とした。樹木緑化は街区における対策導入量あたりの定量化に基づき気温・体感温度の低下に効果的な街区を対象に導入した。

(分析結果)

気象庁の地球温暖化予測情報第8巻に基づく東京の8月の平均気温は、地球温暖化により 2050 年には約 1.7℃上昇すると推定されている。「街区スケール」の分析においては、街区における緑化等の対策により、気温や体感温度の低下が見られ、局所的な暑熱ストレスの軽減が期待されるが、各街区の対策導入量の違いに応じて街区全体における将来の昼間の気温や体感温度の上昇も抑制され、固定ケースと比較して各街区の夏季の昼間の気温は、2050 年に対策ケース α では平均 0.01~0.17℃低下、対策ケース β では平均 0.06~0.77℃低下すると推定された(図 25)。この際、建物規模が大きい場合の建物排熱対策や人工的被覆面の大きい場合の被覆対策の効果が特に大きいことが確認された。

次に、「地区スケール」の分析においては、「風の道」となるオープンスペースに関し、周囲の市街地と比較して約 1.5℃程度気温の低い状況が確認できた(図 26)。また、「都市スケール」の分析により可視化した東京都心・臨海部における体感温度分布によって、幹線道路の交差点など相対的に暑熱環境が厳しい場所や対策の必要性が確認できた(図 27)。

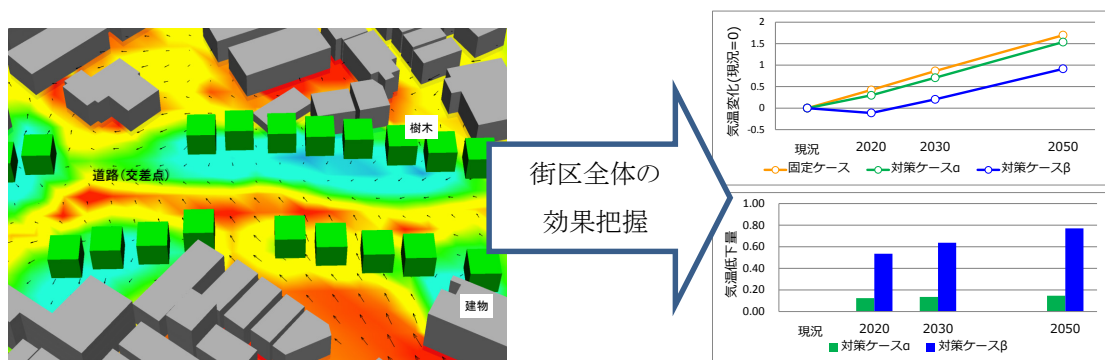


図 25. 街区における対策効果の把握

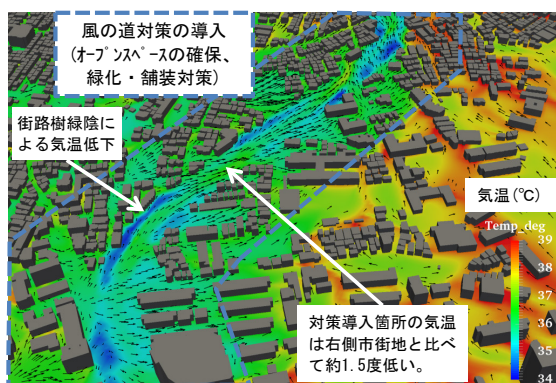


図 26. 対策効果分布の把握 (地区スケール)

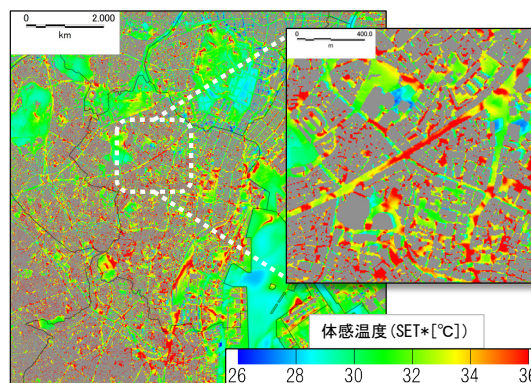


図 27. 体感温度分布の把握 (都市スケール)

(得られた知見)

温暖化対策に資する省エネルギー対策の推進には、ヒートアイランド現象の緩和効果もあることが示され、事業者等における対策推進の動機づけの一つとなることが期待される。また、緑化等のヒートアイランド対策によりさらに気温や体感温度の低下が見込めるため、ハード面の整備を伴う緩和策の中長期的な取組が重要である一方で、対策による気温低減効果と地球温暖化による平均気温上昇の関係を踏まえると、局所的に人の熱ストレスを軽減する適応策も併せて進める必要がある。

(7) 温暖化対策の実施に伴う経済影響（応用一般均衡モデル）

(分析の背景)

温暖化対策の実施には、省エネルギー対策の推進や再生可能エネルギーの導入などによって、追加的な費用が必要となる。一方で、省エネには、エネルギー費用の低下が見込まれ、省エネ機器のライフタイムで評価すると、省エネによる便益が費用を上回ることが指摘されてきた。また、こうした温暖化対策の実施は、省エネ機器等の需要だけでなく、そうした製品を構成する部品等の需要も誘発し、経済活動を活性化させる可能性がある。そこで、本分析では、環境省の中長期ロードマップ分析にも用いられてきた「応用一般均衡モデル」を用いて、東京都市圏において温暖化対策を実施した場合のマクロ経済影響について、分析を行う。なお、本分析においては、モデルの構造により、対策ケースαにおける温暖化対策技術の導入に係る分析に限られており、都市構造の変化に係るものは含まれていない。

(分析手法)

「応用一般均衡モデル」とは生産者、家計等の主体が各々の行動規範に基づいて行動し（生産者であれば利潤最大化、家計であれば効用最大化）、すべての財や生産要素の市場において価格メカニズムを通じて需給が均衡するように計算されるモデルである。本分析では東京都市圏を対象に年ごとに2050年まで均衡計算を行う。エネルギー消費については温暖化対策技術と従来技術を区別し、「環境技術評価モデル」の対策ケースαの結果に対応した温暖化対策技術の導入が可能となるように設定した。こうした技術は新規投資時に選択され、経年的に蓄積される過程が表現されている。技術の導入によるマクロ経済への影響として様々な指標が考えられるが、ここでは代表的な指標である域内総生産及び雇用者数を対象とする。なお、通常の経済影響分析では技術を固定したケースではなく、経済合理的な温暖化対策技術の導入を織り込んだ現状推移(BaU)ケースを基準に分析が行われる。しかしながら、今回の分析では複数のモデルを連携させることにより東京都市圏における総合的な環境効果を分析するため、「環境技術評価モデル」においては固定ケースを基準とした分析を行うことから、その結果をもとに分析する「応用一般均衡モデル」においても固定ケースを基準に域内総生産、雇用者数の評価を行うこととする。

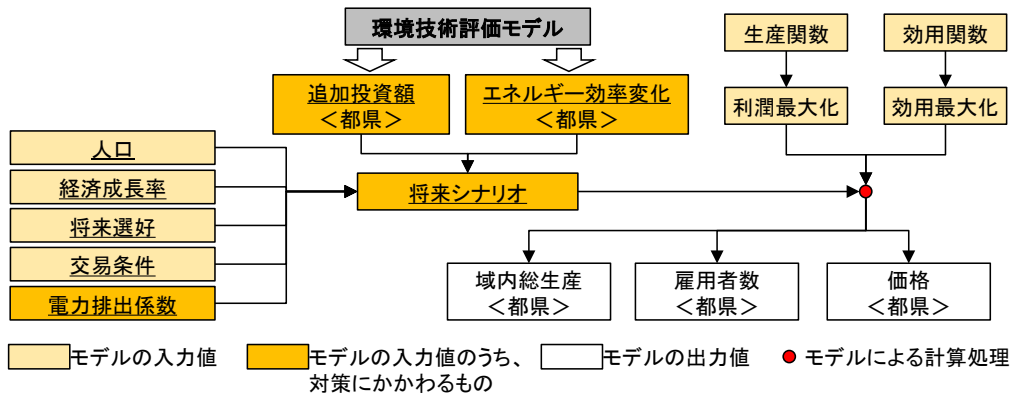


図 28. 応用一般均衡モデルを用いた分析の概要

### (分析結果)

技術固定ケース及び対策ケース $\alpha$ の域内総生産と雇用者数の計算結果から、2050年には、技術固定ケースと比較すると、対策ケース $\alpha$ であっても東京都市圏全体の域内総生産で14.2兆円(2005年価格)、雇用者数で9.5万人それぞれ増加する結果となった(図29)。これは、省エネによるエネルギー費用の低減と、温暖化対策投資による需要とその波及効果によるものである。なお、一般的には、最適な経済成長の経路をとるBaUケースと比較した場合、対策ケースでは最適な経路から外れることからマクロ経済にはマイナスの影響が生じる。しかし今回の比較対象は技術固定ケースであり、こちらも最適経路からは外れている(将来の経済合理的なエネルギー効率改善技術が導入可能にもかかわらず導入しない)ため、対策ケース $\alpha$ で示した省エネ等の効果がマクロ経済にプラスの影響をもたらしたと考えられる。

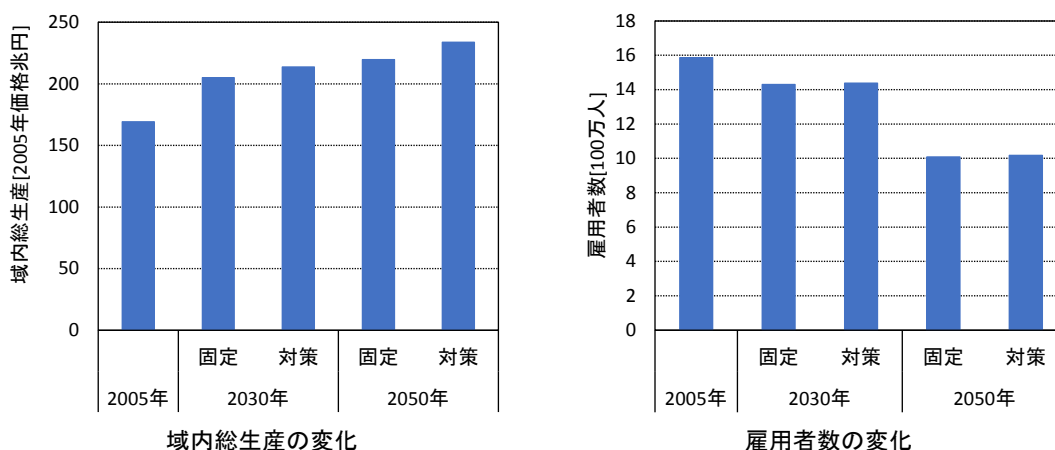


図29. 温暖化対策によるマクロ経済影響

### (得られた知見)

「応用一般均衡モデル」による分析結果から、今回の「環境技術評価モデル」で示された対策技術の導入は、技術固定ケースと比較すると、温室効果ガス排出削減だけでなく、マクロ経済にもプラスの効果をもたらすことが示された。また、追加投資に関する費用負担を軽減することで、マクロ経済へのプラスの影響は更に大きくなる結果も得られている(技術固定ケースと比較した域内総生産は14.4兆円増(2005年価格))。こうした結果から、温暖化対策の導入に要する費用負担を政策的に軽減することが、温暖化対策とマクロ経済成長の両立の効果を更に高めるといえる。また、個々の部門の活動水準を見ると、温暖化対策によってプラスの影響を受ける部門とマイナスの影響を受ける部門が混在する。このため、プラスの部門による波及効果が大きくなるとともに、マイナスの部門からプラスの部門へと構造転換を図ることが、政策的に問われているといえる。なお、今回の分析では、温暖化対策技術として導入される機器は、既存の部門で生産されるとして、域内からの供給も可能となるように設定して計算を行った。これに対して、温暖化対策技術によっては、域内からの供給は不可能で、域外からのみ供給される場合もある。このような場合には、温暖化対策の追加投資による域内総生産や雇用者数の増加は見込めないという点に注意が必要である。

## 2.3 環境対策の総合的な効果分析

### (1) 環境対策全体での総合的な低炭素効果

「環境技術評価モデル」を始めとする複数のモデルの組み合わせによって、東京都市圏における2050年までのCO<sub>2</sub>排出量を推計した。固定ケースの算出結果が示すように、東京都市圏のCO<sub>2</sub>排出量は、CO<sub>2</sub>削減につながる環境対策を実施しない場合には、2050年にわたり現状程度の排出量のまま推移する。一方、対策ケースの算出結果が示すように、国や関係行政機関などにより策定されている計画などを踏まえ、一定の強度での対策技術や施策を実施した場合には、対策ケース $\alpha$ では2050年のCO<sub>2</sub>排出量は2012年比で約8割の削減となり、対策ケース $\beta$ ではそれ以上の削減が可能であることが示された。(図30) なお、対策ケース $\beta$ においては本検討による分析には含まれていない効果が残されており、これらを検討に入れることで同ケースのCO<sub>2</sub>排出量はさらに減少するものと考えられる(「5. 今後の課題」にて後述)。

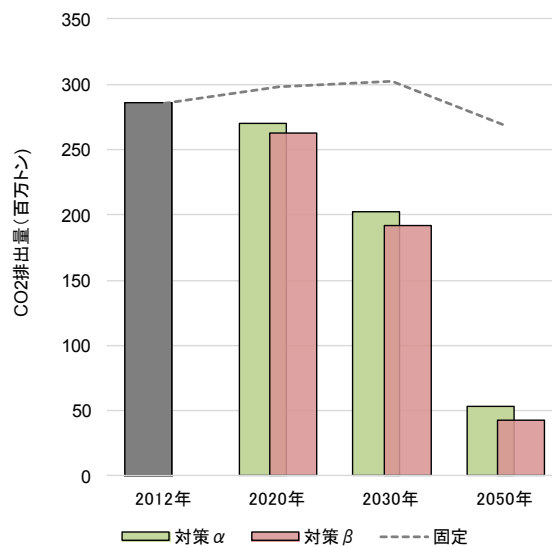


図30. 東京都市圏のCO<sub>2</sub>排出量の推移

このようなCO<sub>2</sub>排出量の大幅削減には、「都市構造の変化に伴うエネルギー需要の削減」、「省エネルギー技術によるエネルギー消費量に資する対策」、「エネルギーの低炭素化に資する対策」の3つの要素が大きく寄与している。(図31)

「都市構造の変化に伴うエネルギー需要の削減」(図31の①)は、都市構造のコンパクト化への誘導に起因する、交通システムやその需要の変化、家庭・業務部門における自立・分散型エネルギーシステムの導入と需要制御の効果に基づくものである。詳細は(2)において示す。

「省エネルギー技術によるエネルギー消費量に資する対策」(図31の②)は、具体的には家庭部門・業務部門における断熱性の向上やHEMS・BEMSの普及を通じたエネルギー需要の削減と高効率エネルギー機器の普及、産業部門における革新的技術の開発・普及とボイラ・工業炉など業種横断的な省エネルギー技術の普及、運輸部における次世代自動車の普及などである。

「エネルギーの低炭素化に資する対策」(図31の③及び④)は、具体的には低炭素電源の増加

に伴う電力排出係数の低減、太陽熱・バイオマスなどによる再生可能エネルギー熱利用の拡大、大規模プラントにおける CCS などである。ただし、この「エネルギーの低炭素化に資する対策」は、東京都市圏外からの電力調達があり、電力の低炭素化は必ずしも東京都市圏内における低炭素電源設置の効果に限定されるものではないことから、東京都市圏内のみで実施する対策ではなく、我が国全体で取り組む対策となる（「エネルギーの低炭素化に資する対策」のうち、東京都市圏内での再生可能エネルギー発電の設置に伴う寄与（図 31 の③）は 2 割程度と推計される）。東京都市圏内における対策に限定して考察すると、「都市構造の変化に伴うエネルギー需要の削減」、「省エネルギー技術によるエネルギー消費量に資する対策」、「エネルギーの低炭素化に資する施策」のいずれもが、低炭素社会の実現に向けて重要な貢献を果たすことになる（図 31）。

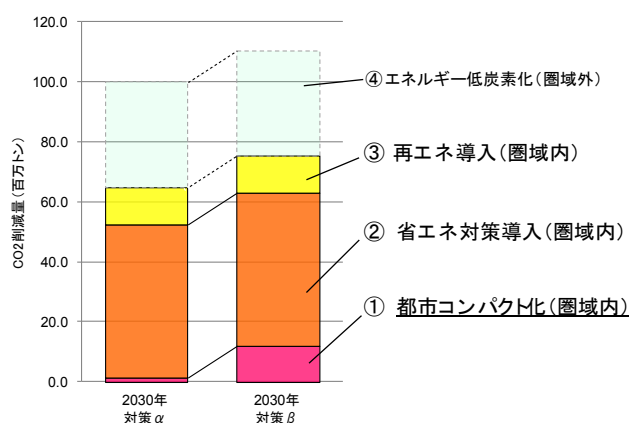


図 31. 2030 年 東京都市圏の CO<sub>2</sub> 削減寄与

※CO<sub>2</sub>削減量と推計モデルとの対応

- ① 「土地利用・交通モデル」「地域エネルギー・低炭素街区モデル」「地域資源循環モデル」による推計
- ② 「環境技術評価モデル」による推計
- ③ 「環境技術評価モデル」「地域資源循環モデル」による推計
- ④ 「環境技術評価モデル」による推計

低炭素技術の普及のためには、自動車、家電製品、照明器具、OA 機器などのエネルギー消費機器の効率に対して規制的手法を最大限活用することが必要であるが、より効率的な機器の選択を後押しする情報的手法や経済的手法を活用することも必要である。具体的には、財・サービスの環境情報の表示や企業活動における気候変動リスクに関する情報開示等、企業や消費者が環境の視点を含めて行動することを促す仕組みを構築する。さらに、効率的な機器選択が進むよう、経済的インセンティブが増すような税制（カーボンプライシング）や助成・融資制度の導入、長期的な企業価値や経済性を適切に評価した投資活動（ESG）の推進、及び弛まぬ技術開発を促すための経済的支援策を通じて、企業の取組を後押しすることが必要である。

2030 年や 2050 年など目標年までの限られた時間の中で、低炭素技術の大量普及を実現するためにはあらゆる施策を総動員する必要がある、さらに施策の効率性を高めるためには施策間での有機的な連携を図っていくことも必要となる。温暖化対策の実施に当たっては、その実施に係る当面のコスト増が対策実施の判断基準となりやすい側面があるが、今回の「応用一般均衡モデル」でのマクロ経済影響の分析により、エネルギー効率の改善がマクロ経済にもプラスの効果をもたらす可能性も示唆されている。

## (2) 都市構造のコンパクト化がもたらす低炭素効果

低炭素社会の実現に向けては、(1) でみたように、「省エネルギー技術によるエネルギー消費量の低減に資する対策」や「エネルギーの低炭素化に資する対策」の推進も重要であるが、図 11 及び図 15 で示されているとおり、運輸部門、家庭部門、業務部門における削減寄与の大きい「都市構造の変化に伴うエネルギー需要の削減」に向けた取組を推進していくことが必要不可欠である。特に、2. 2 (2) でみたように、現状趨勢による将来の東京都市圏（固定ケース）では、主に郊外地域における圏央道などの道路整備に加え人口減少が起こることにより、自動車からの CO<sub>2</sub> 排出量の増加につながることから、土地利用対策と交通対策をパッケージで進めることが重要である。

この際、2. 2 (3) や 2. 2 (4) でみたような、エネルギー対策の面的な導入やごみ焼却拠点の集約化等による資源の高度利用化については、それぞれ大規模なインフラ整備に関するものであることから、都市計画等に係る土地利用対策や交通対策と一体的に講ずることによって、都市の再開発に併せた最先端の環境技術やシステムの組み込みが期待されるものである。

本分析では、「土地利用・交通モデル」を用いてコンパクト拠点への人口及び従業者数の集約を推計したが、固定ケースと比較して拠点地域全体での人口増加は、対策ケース  $\alpha$  では約 4 万人、対策ケース  $\beta$  では約 27 万人となった（図 5）。このような集約に伴う運輸部門の効率化や地域での自立・分散型エネルギーシステムの導入による効果等を対策ケース  $\alpha$  及び  $\beta$  で定量的に算出しているが、「土地利用・交通モデル」と、「地域エネルギー・低炭素街区モデル」や「地域資源循環モデル」、「環境技術評価モデル」等と連携させることによって、これまで必ずしも明らかではなかった、各分野における相互効果を、定量的なデータに基づき客観的に明らかにした（図 32）。

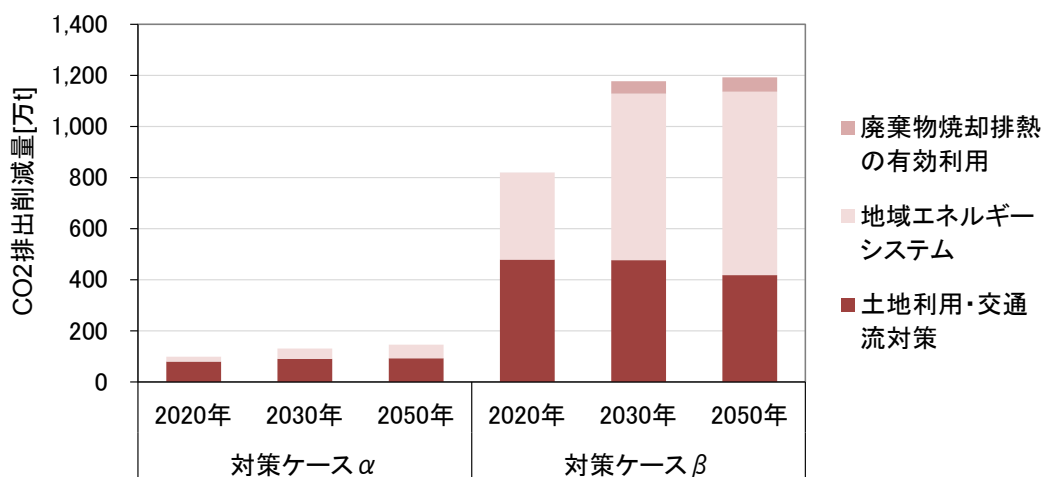


図 32. 都市コンパクト化による CO<sub>2</sub> 排出削減



対策ケース $\alpha$ においては、都市のコンパクト化による公共交通機関の分担率向上や自動車旅行速度の改善等の交通流対策により 2050 年に 93 万 t、地域エネルギーシステムの導入により同じく 53 万 t、合計で 146 万 t の CO<sub>2</sub> 排出削減効果があることが示された。対策ケース $\beta$ においては、より踏み込んだ都市のコンパクト化とそれにより可能となる対策によって、2050 年に交通流対策による排出削減効果は 418 万 t、地域エネルギーシステムの排出削減効果は 718 万 t、さらにごみ焼却等のエネルギー有効活用が拡大することにより 57 万 t となり、都市のコンパクト化には合計で 1193 万 t の削減効果があることが推計され、集約強度を強めたことで対策ケース $\alpha$ よりも大幅に削減効果を増大させられることが明らかとなった。

以上のことから、東京都市圏における CO<sub>2</sub> の大幅削減に向け、都市のコンパクト化等の土地利用対策の実施に併せて、エネルギー対策の面的導入や資源の高度利用化を一体的に取り組むことが効果的であることが明らかとなった。特に、都市のコンパクト化によって面的な地域エネルギーの需要制御と供給システムを実現することが可能になることを勘案すれば、地域熱供給、未利用エネルギーの活用、熱電併給システム、地域エネルギーマネジメントシステム (CEMS) の導入、廃棄物焼却排熱の有効利用のための施設配置が効果的であり、都市計画的な手法との連携が有効である。

### (3) 対策ケースにおける総合的な環境効果

今回の分析においては、2. 1 (1) のとおり、「地球温暖化」分野を中心にして、「地球温暖化」との関連性が強い「物質循環」、「大気環境(ヒートアイランドに係るものに限る。以下同じ。)」を加えた 3 つの分野を分析の対象としたところであり、「地球温暖化」に係る効果の分析は前述のとおりであるが、これ以外の「物質循環」、「大気環境」に係る効果はそれぞれ次のとおりである。

#### (物質循環分野)

物質循環分野では、「地域資源循環モデル」や「建設ストックマネジメントモデル」を用いて、廃棄物対策や構造物ストック対策による効果を分析した。

まず、「地域資源循環モデル」においては、温室効果ガス排出量削減効果に加えて、各種対策・施策の導入に伴うエネルギー回収量の増減、地域再生資源の収集量の増減及び自治体のごみ処理コストの増減についても検討した。ごみ熱量に対する清掃工場からの外部供給エネルギーの割合は、固定ケースと比較して、廃棄物発電の発電効率向上により対策ケース $\alpha$ では 5% (2050 年)、施設の集約・高効率化(施設集約、廃棄物発電の発電効率向上、メタン発酵発電の導入、ごみ焼却廃熱の地域熱供給)により対策ケース $\beta$ では 11% (2050 年) 向上することが明らかとなった。また、容器包装プラスチックの収集量は、固定ケースと比較して、対策ケース $\alpha$ で 8.1 万 t (2050 年)、対策ケース $\beta$ で 9.4 万 t (2050 年) 増加するとともに、ごみ焼却拠点の集約化に伴う建設費及びランニングコストの削減やエネルギーの販売収入の増加等により、東京都市圏全体でのごみ処理コストも最大で 35%削減することが見込まれる (図 33)。

ごみ焼却拠点の集約・高効率化のためには、自治体をまたいだ廃棄物処理システムの構築が必要であり、各都県が策定するごみ処理広域化計画に基づいた広域化の進展が求められる。また、地域再生資源の有効利用促進のためには、2020年東京大会を契機として導入が検討されている統一分別ラベル等による分別回収の徹底、受入先となる産業界との連携等が重要となる。

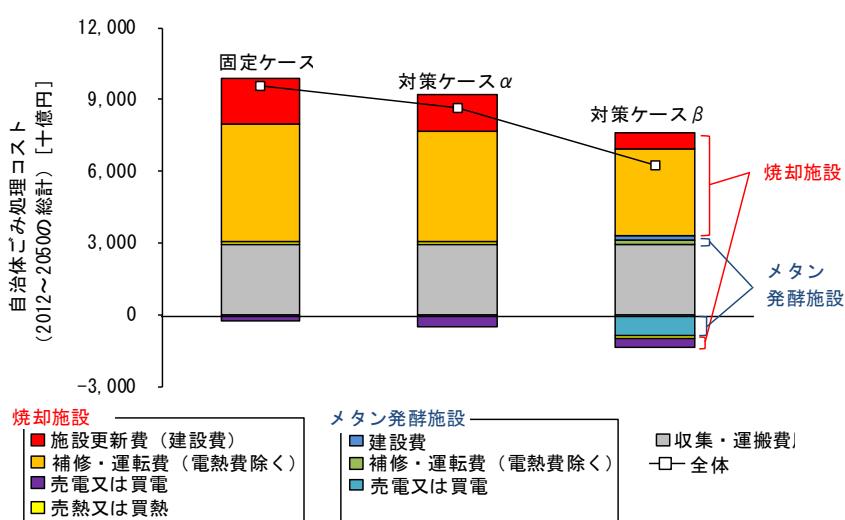


図 33. 各種対策・施策の導入に伴う自治体ごみ処理コスト削減効果

さらに、「建設ストックマネジメントモデル」を用いた分析により、対策ケースβでは集約化によって資源投入及び廃棄量が減少することが示され、建設資材に伴うエネルギー消費量及CO<sub>2</sub>排出量が回避されることが示唆された。また、詳細GISデータにより建物一棟ごとの建て替えを集計することで、地域ごとの建設ストックにおける更新のスピードを比較し、物質代謝の地域差を評価した。なお、減少したのちの建設廃棄物についてはリサイクルや木質バイオマスのエネルギー利用等を「地域資源循環モデル」により評価している。

#### (大気環境 (ヒートアイランド) 分野)

2.2(6)に示すように、「ヒートアイランドモデル」を用いて、他のモデルによって推計された将来の活動量の空間分布や低炭素対策によるエネルギー消費量等の変化を考慮して東京都市圏内の将来の気温や体感温度を推計し、省エネに資する温暖化対策やヒートアイランド対策の効果を検討した。各街区の解析結果に基づく対策導入量当たりの対策効果を東京都市圏における各街区の活動量によって拡張し、2020年、2030年、2050年における東京都市圏全体の気温低下量や体感温度低下量を推定した結果を表5に示す。2050年においては、対策ケースαでは固定ケースより気温が平均0.015℃、最大0.299℃低下し、体感温度は最大0.739℃低下するのにに対し、対策ケースβでは固定ケースより気温が平均0.052℃、最大1.000℃低下し、体感温度は最大0.744℃低下することが明らかとなった。

表5. 東京都市圏における夏季対策効果（気温、体感温度）

対策効果		2020年		2030年		2050年	
		対策α	対策β	対策α	対策β	対策α	対策β
気温低下量 (°C)	平均	0.012	0.024	0.013	0.033	0.015	0.052
	最大	0.232	0.715	0.262	0.843	0.299	1.000
体感温度低下量 (°C)	平均	0.012	0.015	0.015	0.027	0.022	0.052
	最大	0.381	0.320	0.451	0.633	0.739	0.744

（総合的な環境効果）

表6に3つの分野での環境効果を整理した。まず、低炭素分野においては、2030年には対策ケースαにおいてCO<sub>2</sub>排出量を現状から29%削減（2050年には81%削減）、対策ケースβにおいて33%削減（2050年には85%削減）された。次に、物質循環分野においては、ストックの長寿命化により2030年には対策ケースαにおいて建設廃棄物の発生を現状から11%削減（2050年には15%削減）、対策ケースβにおいて14%削減（2050年には19%削減）された。大気環境（ヒートアイランド）分野においては、気温の低下は街区によって異なるものの、対策ケースαでは最大で0.3°C、さらに総合的なヒートアイランド対策を実施する対策ケースβでは最大1.0°Cの昼間気温の低下となった。

表6. 東京都市圏における環境対策による各分野の総合的な効果

		地球温暖化 (現状比)	物資循環 (固定ケース比)	大気環境 (ヒートアイランド) (固定ケース比)
対策ケース α	2020年	二酸化炭素排出量 5%削減	廃棄物処理費用1%削減	昼間気温 最大0.23°C低下
	2030年	29%削減	建設廃棄物11%減 廃棄物処理費用16%削減	最大0.26°C低下
	2050年	81%削減	建設廃棄物15%削減 廃棄物処理費用19%削減	最大0.30°C低下
対策ケース β	2020年	8%削減	廃棄物処理費用1%削減	最大0.71°C低下
	2030年	33%削減	建設廃棄物14%削減 廃棄物処理費用55%削減	最大0.84°C低下
	2050年	85%削減	建設廃棄物19%削減 廃棄物処理費用69%削減	最大1.00°C低下

### 3. 東京湾臨海部における緑地対策に資する熱環境解析

#### (1) 概要

東京都市圏における環境対策の総合的な効果分析と連携した取組として、2020年東京大会を契機とした効果的な環境対策の在り方の検討の参考とさせるため、文部科学省及び国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）の協力により、JAMSTECが所有する「地球シミュレータ」を活用し、2020年東京大会において複数の競技が開催される予定の東京湾臨海部のうち「東京ベイゾーン」周辺を対象に、熱環境解析を用いて緑地の有無による気温や風の流れ方等を定量的に分析し、住民や観客等の体感温度の違いや、これまでの緑地対策にどの程度の効果があったのかを評価・検証を行った。

#### (2) シミュレーション内容

##### ①使用するモデル

JAMSTECが所有するスーパーコンピュータである「地球シミュレータ」を活用し、JAMSTECにて開発を進めてきた樹木の物理的作用を考慮可能な大気海洋結合モデル（全球～都市スケール）により解析を行う。この大気海洋結合モデルへの樹木モデルの実装は、文部科学省の委託事業「気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)」により行われたものである。

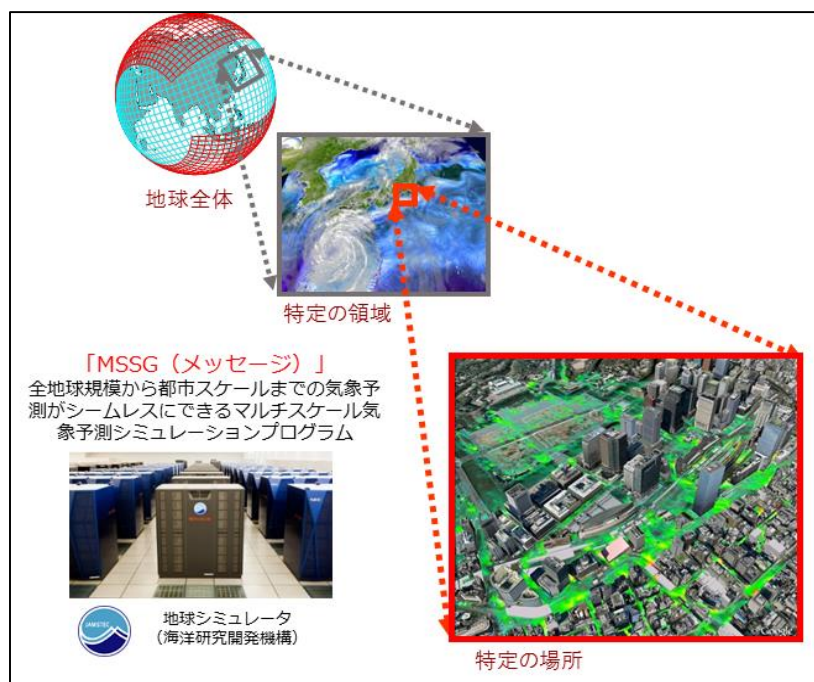


図 34. JAMSTEC の大気海洋結合モデル及び地球シミュレータ

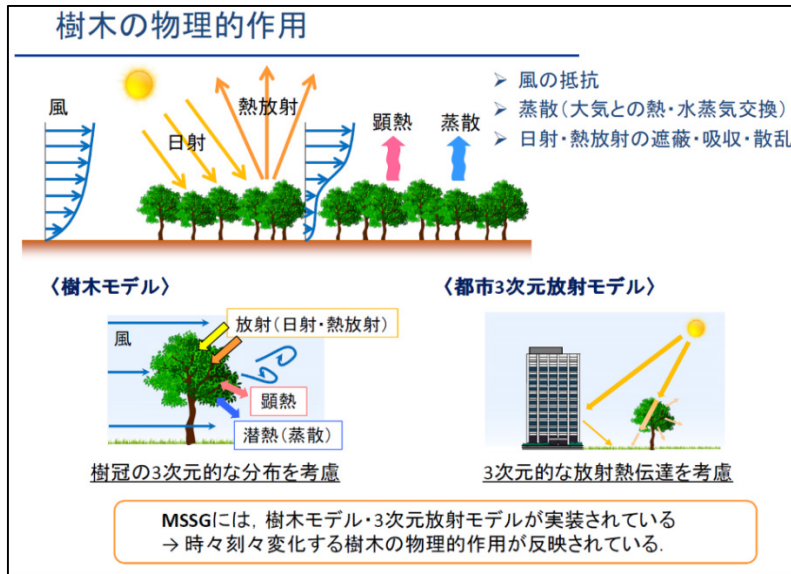


図 35. JAMSTEC の大気海洋結合モデルにおける樹木の物理的作用の計算概要

②計算領域及び気象条件

(計算領域)

東京ベイゾーンを含む、12.5km×14.0km の領域において、樹木による熱環境緩和効果の評価や歩行者空間における体感指標評価が可能なメッシュ解像度により計算を実施する。具体的には、広域の暑熱環境の解析では、計算領域を 12.5km×14.0km に設定した。水平解像度は 5m とした。(2) ③節に記載の 3 ケースを対象とした詳細な比較解析では、計算領域を 8km×8km に設定した。



図 36. 東京ベイゾーンと大会会場

東京都・特定非営利活動法人東京 2020 オリンピック・パラリンピック招致委員会：2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会初期段階環境影響評価書、平成 25 年 2 月、に基づいて作成

### (気象条件)

関東地方におけるヒートアイランド現象の特徴的な分布（気象庁「ヒートアイランド監視報告（平成19年冬・夏－関東・近畿地方）」（2008））が見られた、2007年8月11日（東京において最高気温 36.4℃を観測）の 12:00～13:10 における気象条件をもとにして、以下に示す3ケースの計算を実施した。なお、計算の初期・境界値は、気象庁メソ数値予報モデル（MSM）のデータを使用した。

③解析を行うケース 以下の3ケースを対象とする。

- 【Case1】 現況
- 【Case2】 2020年までに計画されている緑地等を整備した場合
- 【Case3】 臨海部の既存緑地がない場合

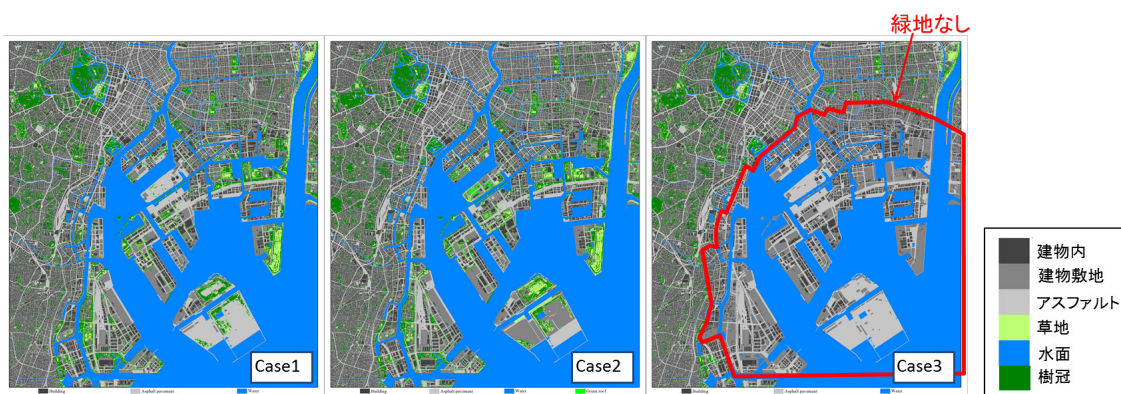


図 37. 各ケースの土地利用及び樹冠の分布の概念図

各ケースの土地・建物条件については、Case1 及び Case3 は現況（2011年の東京都都市計画GISデータおよび緑被分布図（国土交通省都市・地域整備局，2008）より作成）とし、Case2 は2020年東京大会開催中（平成27年11月時点の会場計画に基づく）とする。なお、Case2の土地・建物条件については、2020年東京大会の施設に関する資料（「東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会 初期段階環境影響評価書」等）や民間における再開発計画等に基づいて、2020年東京大会の新設又は仮設により整備される大会関連施設や2020年までに竣工予定の建物等、2020年時点に想定される建物の状態を反映する。また、Case2において、「東京ベイゾーン」内の領域2020年までに導入される緑地対策としては、2020年東京大会の施設に関する資料や緑化計画書の基準等、2020年までに整備が想定される公園・緑地や道路の整備計画等に基づいて以下に示す内容を対象とする。

- ・ 2020年東京大会の施設や2020年までに竣工予定の建物等における敷地内の緑化や建築物上の緑化
- ・ 2020年までに整備予定の公園・緑地等
- ・ 2020年までに整備予定の幹線道路等の街路樹整備

Case3 においては、「東京ベイゾーン」内の樹木を除去し、草地をアスファルトに変更し、土地・建物条件および「東京ベイゾーン」外の緑地条件についてはCase1 と同一とする。

### (3) 分析結果

上記の条件を設定し、「地球シミュレータ」の全計算ノードの約 27%に相当する 1400 ノード (最大) を使用して超高解像度熱環境シミュレーションを実行した。図 34 は、Case 1 の土地・建物条件で計算された地表付近の高さ 50m までの気温分布であるが、南東から吹く海風が地表面からの熱や人工排熱によって臨海部で徐々に暖められながら都心に流入している様子が確認できた。

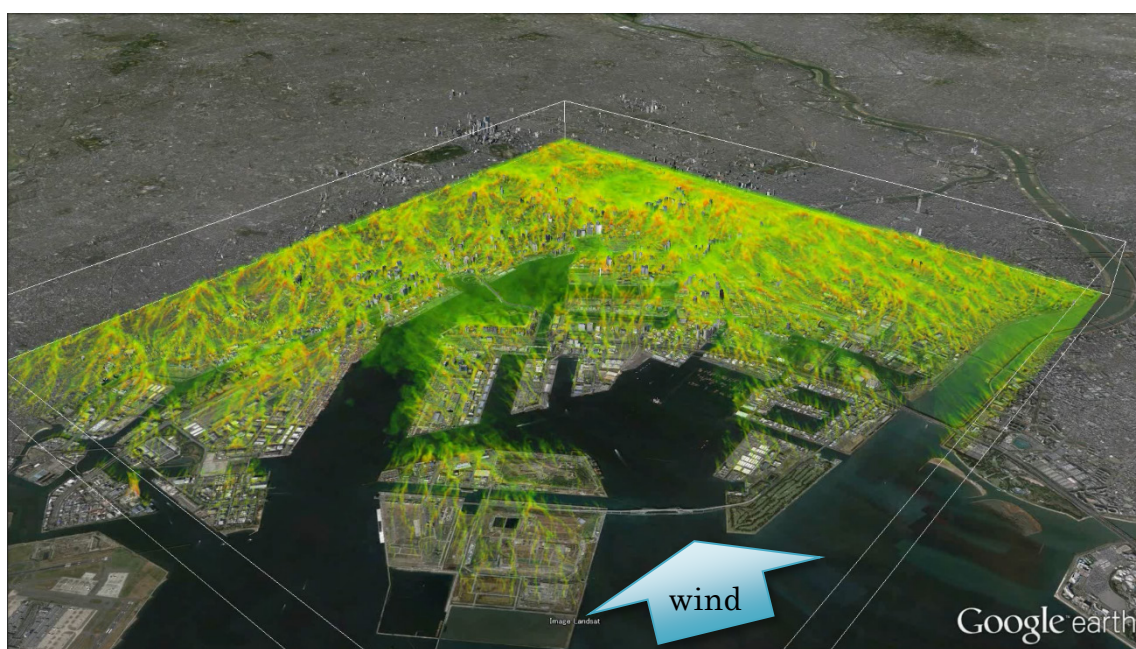


図 38. Case1 の結果の一部 (地表付近高さ 50m までの気温、瞬間値。カラーは透明から緑、黄緑、オレンジ色になるにつれて気温が高いことを示す。)

また、Case1～Case3 の地上気温や暑さ指数について、競技会場へのアクセスルート (図 35 ; 東京都オリンピック・パラリンピック準備局, 「初期段階環境影響評価書」 (平成 25 年 2 月), 5-31 公共交通へのアクセシビリティ; 平成 27 年 11 月時点の会場計画に沿って取捨選択) 上における比較を行った。

暑さ指数 (WBGT (湿球黒球温度) : Wet Bulb Globe Temperature) は、人体と外気との熱のやりとり (熱収支) に着目した指標で、人体の熱収支に与える影響の大きい ①湿度、②日射・輻射 (ふくしゃ) など周辺の熱環境、

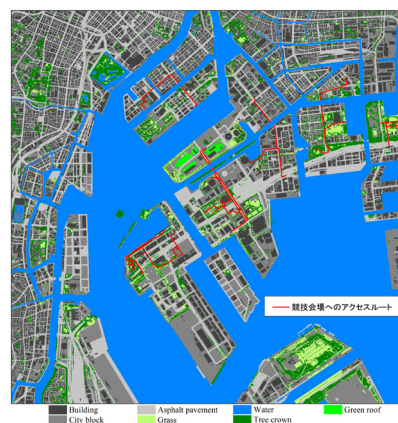
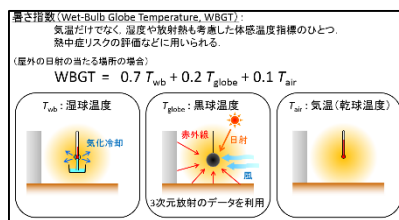


図 39. 競技会場へのアクセスルート

③気温の3つを取り入れた指標であり、暑さ指数が28℃以上の場合には日常生活におけるすべての生活活動において熱中症の危険性が高まる。（日本生気象学会、「日常生活における熱中症予防指針」Ver.3 確定版、2013）



以下に比較の結果を示す。地上気温については、緑地整備によって、周辺の気温が顕著に低下していることが分かった。既存緑地の効果 (Case3 と Case1 との比較) として、アクセスルート上の平均で0.54℃の低下がみられた。また、2020年までの整備効果 (Case2 と Case1 との比較) として、アクセスルート上の平均でさらに0.05℃低下していた (図40)。緑地及びその周辺の気温 (図41) を見てみると、緑地と周辺の間温度差がある様子が確認できる。

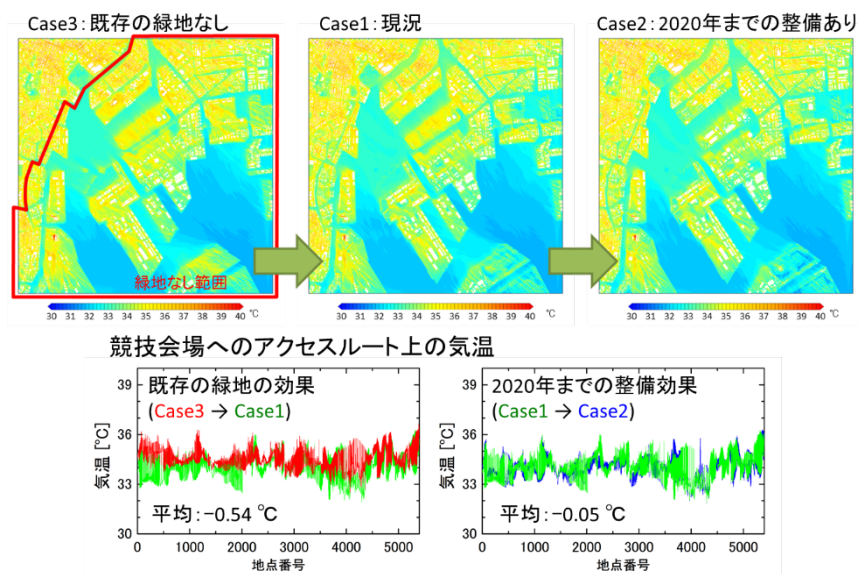


図40. 地上気温の比較結果

(地形に沿って地上2.5mの気温を算出。12:50~13:00の10分平均値)

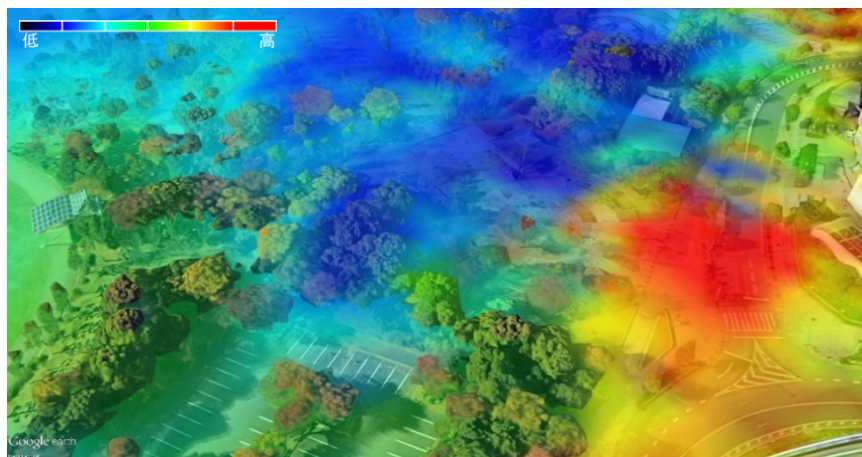


図41. 緑地及びその周辺の気温分布 (例)



一方、暑さ指数に関しては、緑地等の整備による暑さ指数の変化は平均的には顕著な差が見られないものの、局所性が強く、場所によって上昇するところと低下するところが存在していた。熱中症リスク低減の観点から 28℃未満となる領域は Case3 に対して Case1 では 3.4 倍、Case1 に対して Case2 では 1.1 倍に増加することが明らかになった（図 42）。

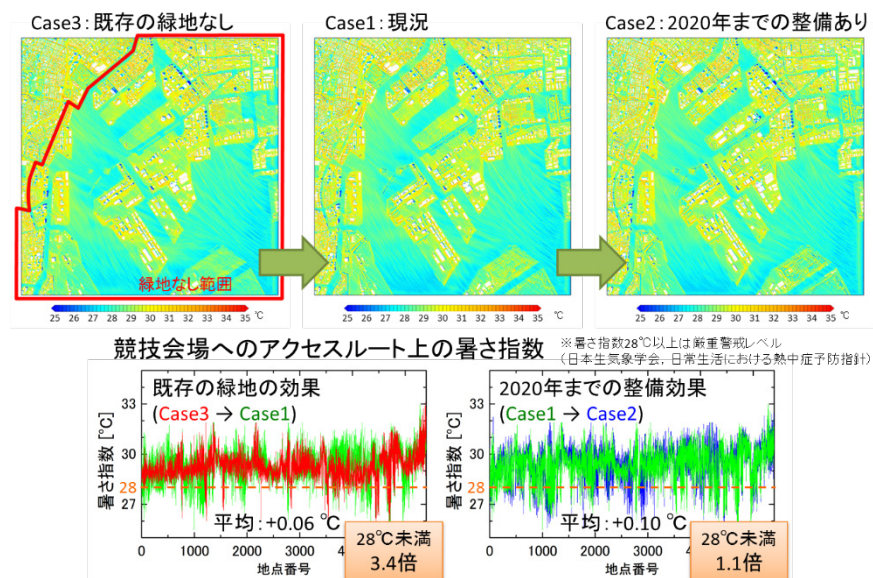


図 42. 暑さ指数 (WGBT) の比較結果

(地形に沿って地上 1.1m の暑さ指数を算出。12:50~13:00 の 10 分平均値)

この暑さ指数の局所的な変化の要因について明らかにするために、海風に沿った鉛直断面上で詳しい解析を実施した結果（図 43 及び図 44）、樹冠下の日陰では顕著な低下が見られるものの、緑地付近の日向（アスファルト上等）では、樹木の防風効果と天空率の減少によって暑さ指数が上昇する場合があることが分かった。一方、緑地付近の日向であっても芝生が整備されている場所では暑さ指数の上昇が抑えられており、樹木と芝生の相乗効果により熱環境の改善が期待されることが確認された。

以上の解析の結果、緑地等の整備によって気温低下効果及び暑さ指数の低い地点の創出効果が得られることが定量的に明らかになった。また、樹木等による日陰の創出に加えて、防風効果と天空率を考慮した効果的な間隔での樹木の整備と合わせて樹木周辺に芝生・保水性舗装等の地表面の整備を行うことによって、さらなる暑熱環境改善の効果が期待される。

なお、計算結果の動画を含む詳細な解析結果については、海洋研究開発機構の web ページ ([http://www.jamstec.go.jp/ceist/esrg/research\\_results/tokyo\\_bayarea\\_2020.html](http://www.jamstec.go.jp/ceist/esrg/research_results/tokyo_bayarea_2020.html)) より公開する予定である。

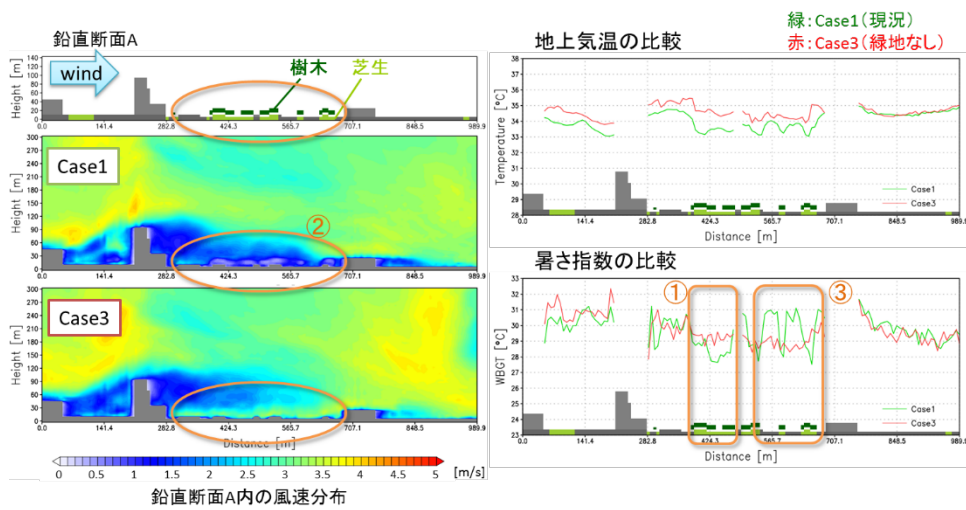


図 43. 鉛直断面 A (例として臨海部の海風に沿った方向の鉛直断面) における風速分布 (左図: 風速が弱い領域が青色)、及び地上付近の気温 (右上図) と暑さ指数 (右下図) の分布の比較。Case1 の樹冠下の日陰では地上気温の顕著な低下が見られるものの (①)、緑地付近の日向 (アスファルト上等) では、樹木の防風効果と天空率の減少 (②) によって暑さ指数が上昇する場合があることが分かった (③)。(気温は地上 2.5m、暑さ指数は地上 1.1m において算出。風速、気温および暑さ指数は 12:50~13:00 の 10 分平均値)

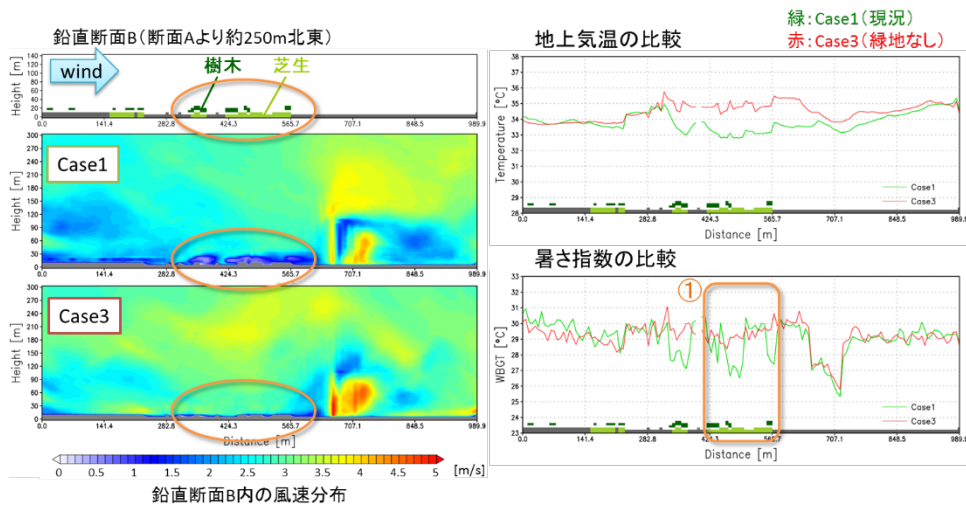


図 44. 図 8. 鉛直断面 B (断面 A より約 250m 北東にあり、断面 A と並行な鉛直断面) における風速分布 (左図)、及び地上付近の気温 (右上図) と暑さ指数 (右下図) の分布の比較。緑地付近の日向であっても芝生が整備されている場所では暑さ指数の上昇が抑えられており (①)、樹木と芝生の相乗効果により熱環境の改善が期待される。(気温は地上 2.5m、暑さ指数は地上 1.1m において算出。風速、気温および暑さ指数は 12:50~13:00 の 10 分平均値)

注1) 本解析に使用した建物データ (Case1, Case2, Case3) とその可視化図は、東京都都市整備局の東京都都市計画地理情報システムデータを使用して作成された。

注2) 本解析に使用した緑地データ (Case1, Case2, Case3) とその可視化図は、緑被分布図, 国土交通省都市・地域整備局, 2007 より作成した。

緑被分布図, 国土交通省都市・地域整備局, 2007

緑被分布図は、国土地理院長の承認を得て、同院の技術資料 D・1-No. 393「細密数値情報(10m メッシュ土地利用)首都圏」及び同院発行の数値地図 2500(空間データ基盤)を使用し作成したものである。(承認番号 国地企調第 376 号平成 20 年 1 月 4 日及び平 19 総使、第 450 号)

衛星画像で解析できない範囲※: 元データ (株) デジタル・アース・テクノロジー 所有

衛星画像で解析できない範囲以外: 元データ ©CNES2005/Tokyo Spot Image Distribution

※衛星画像で解析できない範囲は凡例色を赤系統で表示

#### 4. 考察

本検討においては、以下の点において大きな意義があった。

##### (1) 分野の異なる分析モデルを連結させることにより対策の相互効果が明らかとなったこと

今回の分析においては、東京都市圏における人口等の活動量や導入を想定する環境対策の共通化等により、対象分野（地球温暖化、物質循環、大気環境等）やスケール（都県スケール、市区町村・街区スケール）の異なる様々なモデルを連携させることにより、これまで十分に評価されてこなかった対策間の相互関係を考慮した分析を都市圏スケールで行うことが可能となった。

具体的には、温暖化対策とヒートアイランド現象の緩和に資する省エネ対策が同時に分析できたことや、都市のコンパクト化に伴う分散型地域エネルギーの導入とごみ焼却施設の集約化によるエネルギーの有効活用等、分野をまたぐ対策の相互効果を明らかにすることが可能となった。

このような、対象とする分野やスケール等の異なる7つのモデルを連結した例は少なく、今回のように低炭素、物質循環、ヒートアイランド対策それぞれの効果を、空間分布を共通の基盤にして統合的に評価する道筋を構築したことは、環境政策への貢献のみならず、学術的にも意義の高い成果と考えられる。

##### (2) 都市のコンパクト化に伴う低炭素効果が明らかとなったこと

分野の異なる分析モデルを相互に連結させたことによる大きな成果の一つとして挙げられるのが都市のコンパクト化に伴う低炭素効果を明らかにしたことである。

都市のコンパクト化は、交通便利性や緑地の保全、行政サービスの効率化等とともに、交通エネルギー需要の削減や、家庭・業務での効率的なエネルギー利用等を通じて低炭素化に繋がるものと考えられてきたが、低炭素社会の実現に資する技術の効果分析としてこれまで活用されていた「環境技術評価モデル」においても、社会全体の大幅な低炭素化に対してどの程度の効果があるかは必ずしも定量的には明らかではなかった。

一方で、今回の分析においては、「建設ストックマネジメントモデル」、「地域資源循環モデル」、「地域エネルギー・低炭素街区モデル」、「ヒートアイランドモデル」の各モデルが、土地利用・交通対策の効果を分析する「土地利用・交通モデル」において算出した人口や従業者数等の空間分布を用いて分析することにより、これまで困難であった都市のコンパクト化に伴うCO<sub>2</sub>削減効果を明らかにすることが可能となった。このことは、人口減少の進む我が国において、各地方公共団体が検討・議論を進めている都市のコンパクト化政策に有用な情報を示唆するものであるといえる。

### (3) ヒートアイランド分野において将来の暑熱環境を具体的に明らかにしたこと

ヒートアイランド対策分野での研究に関しては、これまでは、実際の観測結果を基にして過去の現象をモデルで再現させることが主眼であった。一方で、今回の分析においては、将来における空間構造の変化や、IPCC の温暖化シナリオ等を基にした将来における気象の変化を踏まえ、都市の暑熱環境の未来像を示した点で価値が高いものであった。

また、単に都市全体の気温を下げるだけではなく、放射熱の照り返しや風通し等の要素を考慮した体感温度を、都市空間の中でどのように制御すればよいかを検討できる基盤を作った点でも先進性が高いものであることに加え、低炭素対策との相互効果分析を更に深めることによって、今後の応用が期待される。

さらに、JAMSTEC による大気海洋結合モデルを用いた熱環境解析によって、東京湾臨海部におけるこれまでの緑地対策の効果や、具体的にいかなる緑地整備手法が有効であるかが明らかになったとともに、海風が地表面の人工排熱等によって暖められる様子が可視的に明らかになるなど一般にもわかりやすい形で示すことができたことによって、今後様々な主体が環境対策を検討するにあたり有益な成果を導き出すことができた。

### (4) 物質循環分野において将来の空間分布を考慮した施策効果を明らかにしたこと

物質循環分野においては、東京都市圏のように広範な地域を対象として、人口、就業者数及び廃棄物受入施設等の将来的な空間分布を考慮した上で、ごみ処理の広域化を含めた物質循環分野における低炭素効果を明らかにしたことや、ごみ焼却拠点の集約・高効率化により低炭素効果と同時に都市圏全体での自治体ごみ処理費用の削減効果を推計したこと、さらには、都市の集約拠点の計画的な更新を踏まえた建設ストック及びフローを推計し、計画的な更新と建築物の長寿命化による建設廃棄物の削減を示したことは、今後の物質循環対策に対して重要な示唆を与えるものである。

今回の東京都市圏における環境対策の総合的な効果分析においては、限られた期間の中で条件の設定、将来ケースの検討、評価対象の間接的な効果の範囲などについて一定の論拠をもって客観性、再現性を持つ分析を行う、モデル間連携のフレームワーク等を構築することができた。

併せて、今回の分析により、運輸部門、家庭・業務部門、産業部門等の各部門での対策効果が、短期、中期、長期のそれぞれにおいて、全体の中での貢献度を定量的に示すことが可能となったことは、今後各主体がバックキャストで施策を検討するにあたり有用なものであると考えられる。

今後、今回構築されたフレームワークを応用することにより、様々な環境の課題に対して有用な知見を提供出来るものと考えられる。本検討においては東京都市圏を対象とし、低炭素効果を中心とした分析を行っているが、他の地域や環境課題に対する応用の可能性は広く、更に具体的な政策の検討に繋がる分析を含め、今後の展開が期待できる。

## 5. 今後の課題

本検討から明らかになった課題として、以下のとおり、分析の高度化や多種多様な将来像を踏まえた分析、外生条件の変化への対応、モデルを用いた「社会対話」機会の促進、今後のモデルの発展等が挙げられる。

### (分析の高度化)

本検討により、都市のコンパクト化などをはじめとする分野をまたぐ対策の相互効果を明らかにしたことは意義の大きいものであったが、ヒートアイランド対策の実施による空調需要の削減を、低炭素対策に対しフィードバックさせることができなかつたことなどその連結が必ずしも十分ではなかつた。また、都市のコンパクト化により集合住宅が増加した際のエネルギー需要の低減効果や計画的な都市の更新により省エネルギー技術の導入が加速するといった効果も想定され、これらを考慮すると対策ケースβにおけるCO<sub>2</sub>排出量はさらに削減されるものと考えられる。加えて都市のコンパクト化に伴う経済影響の算出などを含め、今後、更に分析を進める余地がある。

また、今般の検討においては、短期的（2020年）、中期的（2030年）、長期的（2050年）な視点に立った東京都市圏全体の分析を「東京都市圏における環境対策の総合的な効果分析」において行い、2020年時点に着目した視点に立った東京ベイゾーンでの分析を「東京湾臨海部における緑地対策に資する熱環境解析」において行ったが、両者の分析における連携は必ずしも十分ではなく、いかなる形によりその連携を深めることができるかについては、議論の余地を残すこととなった。

### (多種多様な都市の将来像を踏まえた分析)

本検討においては、コンパクト化による都市構造の在り方に関し一定の仮定を設定し分析を行ったが、都市の将来像は多種多様であり、その条件の設定方法により、得られる効果も大きく変わるところである。このため、今後、様々な主体の意見を取り入れつつ、あるべき東京都市圏の将来像を見据えながら分析を進めることが必要である。

また、今回の分析により明らかとなった都市のコンパクト化がもたらす効果の大きさを踏まえれば、環境と経済・社会の統合的な発展に向け、都市構造の変化にあわせた地域熱供給や未利用エネルギーの活用等のエネルギー対策の面的導入や資源の高度利用化を、都市計画と連携しながら進めていくことが必要である。

そのために、都市圏で目指すべ構造転換の像から2050年、2030年に目指すべき技術導入特性、空間特性を明らかにするアプローチなどの理論と手法の開発も必要となる。

### (外生条件の変化への対応)

本検討において外生的に設定した活動量については、今後の国の施策や社会経済情勢により、

例えば人口や従業者数も変動するものと考えられるところ、そのような外生条件の変動にも、多様性をもって柔軟に対応をしていくことが求められる。

また、金利の動向は都市構造の変化やの建築物の建て変わりにも深く関わるため、将来の金利変動にも注視する必要があることに加え、電力自由化等のエネルギー政策の動向は地域におけるエネルギー対策の実施にも大きく影響することを踏まえれば、このような社会経済情勢の動きを見据えながら分析を進めていくことが必要である。

#### **(モデルを用いた「社会対話」機会の促進)**

本検討により、様々な取組を実行することにより大きな環境効果を得られるとともに、各部門での対策が全体の中で占める割合を明らかにしたところであるが、ここに示した結果を将来得るには、国や地方公共団体、民間事業者等による適時適切な対策の実行が必要不可欠である。そのためにも、今回の分析により明らかになったことを各主体に分かりやすい形で広く周知を行い、その実効性が確保されるよう最大限努めることが求められる。

#### **(今後のモデルの発展)**

本検討においては、地球温暖化を中心に、これに関連性が強い物質循環、ヒートアイランドを連結させたところであるが、ここに含めることのできなかつた水環境や生物多様性に係る取組やヒートアイランドを除く大気環境との連結等には課題が残っている。また、環境と経済・社会の統合的な発展に資する評価・検証としても未だ十分なものとなっていない。

一方で、より統合的で相互関係の深いモデルは、かえってその不安定さを大きくさせる危険性も抱えるものであることに留意をするとともに、個々のデータの諸元を的確に整理・更新していくことが欠かせないものである。

このため、このモデルの安定性や信頼性に係る点を十分踏まえながら、今後の本モデルの更なる発展や、東京都市圏以外の地域への活用も見据える必要がある。

## 東京都市圏における環境対策のモデル分析検討会

### 委員

足永 靖信	国土技術政策総合研究所 住宅研究部 建築環境研究室 室長
佐土原 聡	横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 教授
谷川 寛樹	名古屋大学大学院 環境学研究科 教授
谷口 守	筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授
◎ 藤田 壮	国立環境研究所 社会環境システム研究センター センター長
増井 利彦	国立環境研究所 社会環境システム研究センター 統合評価モデリング研究室 室長

(◎座長、五十音順)

### オブザーバー

文部科学省  
国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)  
気象庁  
埼玉県  
千葉県  
東京都  
神奈川県

### モデル分析チーム

国立研究開発法人国立環境研究所  
国立大学法人名古屋大学  
株式会社エックス都市研究所  
株式会社価値総合研究所  
株式会社ハオ技術コンサルタント事務所  
株式会社三菱総合研究所  
みずほ情報総研株式会社



## 参考資料：東京都市圏におけるモデル分析検討会の運営方法

「東京都市圏における環境対策のモデル分析検討会」においては、環境省が官民の研究機関等やオブザーバーである各都県等の協力を得てモデル間の分析を行うが、併せて「持続可能な東京都市圏づくりに関する懇談会」を設置することで、学識経験者や民間事業者等から様々な取組の紹介をいただく等ご意見をいただき、モデル分析が更に実態に即した結果となるよう運営を行った。

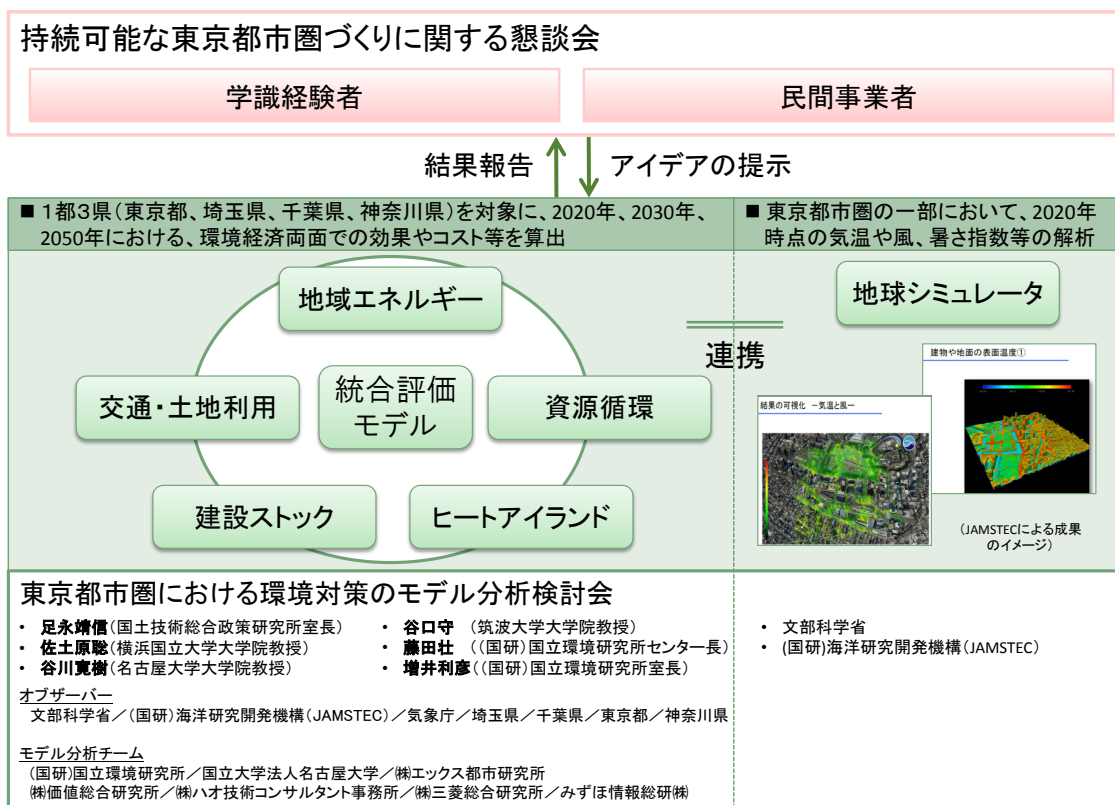


図1：モデル分析検討会と懇談会の関係

表1：モデル分析検討会からの分析結果の公表と懇談会の開催時期

平成27年9月17日	モデル分析検討会より東京都市圏における環境対策のモデル分析の方針と期待される成果の公表
平成27年10月29日	第1回懇談会
平成28年3月10日	第2回懇談会
平成28年3月31日	最終取りまとめの公表

## 「持続可能な東京都市圏づくりに関する懇談会」

### 委員

#### 学識経験者

石川 幹子	中央大学理工学部人間総合理工学科 教授
◎ 大西 隆	豊橋技術科学大学 学長・日本学術会議 会長
住 明正	国立環境研究所 理事長
竹本 和彦	国連大学サステイナビリティ高等研究所 所長
古米 弘明	東京大学大学院工学系研究科 教授
細田 衛士	慶應義塾大学経済学部 教授

(◎座長、五十音順)

#### 民間事業者

鹿島建設株式会社	新川 隆夫	執行役員 環境本部長
大成建設株式会社	今酒 誠	執行役員 環境本部長
東京急行電鉄株式会社	東浦 亮典	都市創造本部開発事業部 事業計画部 統括部長
株式会社東芝	実平 喜好	環境推進室長
日産自動車株式会社	圓山 博嗣	R&D エンジニアリング・マネジメント本部 グローバル技術渉外部 担当部長
株式会社日立製作所	荒木 由季子	CSR・環境戦略本部 本部長

(企業五十音順)

## 第1回懇談会でいただいた主なご意見

### (分析における2020年の位置づけ等について)

- 2020年の五輪大会を対象にした話と、2050年の一都三県という広域の話とは分けた方がよい。五輪大会の2020年については、一都三県というより、湾岸地域における日本のポテンシャルを提示するなど、位置付けをしっかりとした方がよい。
- 2020年、2050年は極めて重要な年と考える。2050年があったとしても、そこに至る道筋は2020年を通らなければならない。東京五輪の議論を未来の見えるような形で環境省から発信していただければと思う。

### (シナリオについて)

- モデル連携の図において、将来土地利用シナリオが、スケールの異なるモデルから出てくるように書いてあるのかが分からない。また、シナリオが先かモデルが先かの順序も分からないので教えていただきたい。

### (その他)

- 一都三県の広域モデル分析は、最後の結果の姿として見せることは良いが、現実的にはどのように実現していくかという政策が非常に大事。公的資金を投入して成り立つものなのか、政策補助がなくとも民間で成り立つものなのかの見極めが重要。
- 対策ケース $\alpha$ 、 $\beta$ について、どのような対策を織り込むと将来どのような効果があるかを分析・評価し、行政や企業による対策の導入につなげていくことがポイント。
- 制御できない環境に対し、気候的にどのような影響が出るかを分析する必要がある。緑地や河川が復活した際の効果を、人工的にコントロールできない部分(東京五輪におけるマラソン等)の分析に生かせると良い。
- 地産地消などでエネルギーを使うのであれば、エネルギー連携が非常に進む。電気自動車そのものは少し高いかもしれないが、使える部分はたくさんあり、社会全体のコストは減ると考えている。次世代自動車について、様々な意味で、良い点も検討していただけるとありがたい。

## 第2回懇談会でいただいた主なご意見

### (シナリオについて)

- コンパクト化に成果があることはデータによって裏付けられたが、どのようなコンパクト化の施策が土地利用の前提となっているのかを教えていただきたい。
- 導入を想定する環境対策について、家庭部門におけるHEMSや高断熱建築物の普及率は、現場の感覚からすると数値の設定が楽観的すぎると感じる。
- 長期的な予測では、人口が大きな影響を与える。特に東京圏に関しては、将来的に三千万人以上のインバウンド(流入)があり、かなり頻繁な移動を繰り返すと考えられるが、そのような想定は含まれているのか。

(分析結果について)

- 対策ケース $\alpha$ と対策ケース $\beta$ ではあまり数量的に差が無いと理解した。しかし、対策ケース $\beta$ を導入することで、例えばヒートアイランド対策の効果が空調等にフィードバックされ、様々な対策に効果をもたらし得ると考えられる。対策ケース $\beta$ にこうした点が含まれることを、何らかの形で表現すると良い。
- 対策ケース $\beta$ の効果が顕著に表れていないことをネガティブに捉えるべきではない。対策ケース $\alpha$ で導入する対策は、コンパクト化した方が導入しやすい可能性がある。現状では、単純に導入するとしているが、対策導入のしやすさについて追加で整理すると本シナリオ解析が活用できる。

(分析結果を踏まえた政府への要望・モデル分析の活用について)

- コンパクト化と併せて、地域エネルギーシステムを実施することが効果的であるとの分析と認識している。現場レベルでは、都市再開発や集約化を行う際に地域エネルギーシステムを導入したいが、コストを踏まえると効果に見合わず導入が進まない現状がある。この点にインセンティブが働くような施策を国全体で検討していただきたい。
- 今回の結果はいくつかのケースを当てはめているが、簡単にツールを使い感度分析ができれば事業者や行政にとって有効である。
- 環境対策は事業者や行政ができることに加え、住民がどれだけ貢献できるかも重要である。住民の行動を変えるために、この成果をいかに分かりやすく示し、インセンティブを与えることができるかは、本来のツール開発の目的につながる。ヒートアイランド対策も、このように家庭で行えばこのようなメリットがあるなどと整理することで、行動変化につながるモデル成果の活用を検討していただきたい。

(東京湾臨海部における緑地対策に資する熱環境解析について)

- 2020年までの緑地の整備(ケース2)の効果が、暑さ指数では28℃未満が1.1倍とある。これは効果があると評価するか、効果が足りないので施策を実施しなければならないという提言につながるのか、伺いたい。