

課題名	H-071 水・物質・エネルギーの「環境フラックス」評価による持続可能な都市・産業システムの設計		
課題代表者名	藤田壮（独立行政法人 国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ 環境技術評価システム研究室）		
研究期間	平成19－21年度	合計予算額	143,434千円（うち21年度 45,251千円） ※予算額は、間接経費を含む。
研究体制	<p>研究体制</p> <p>(1) 圏域の地球環境影響を統合的に評価する環境フラックス評価モデルの構築に関する研究（独立行政法人 国立環境研究所）</p> <p>(2) 都市活動に伴う有機物質・エネルギーの地域の分布型フラックス解析システムの構築に関する研究（独立行政法人 産業技術総合研究所）</p> <p>(3) 都市活動に伴う水・エネルギーの地域のフラックス解析システムの構築に関する研究（慶應義塾大学）</p>		
研究概要	<p>研究概要</p> <p>1. 序</p> <p>都市は経済や生活、資源循環等の社会・経済活動の場であるとともに、水・大気・熱の代謝の空間として人間を含む生物の生命を支える機能を提供する場でもある。喫緊の政策課題である、低炭素・循環型社会の形成を実現する上で、経済や生活の場である都市のあり方を、より合理的に誘導・制御する環境技術を含む政策の導入が求められている。一方で、都市における様々な主体の活動やそれらが果たす機能の多様性、さらにはこれら活動や機能を規制・誘導する政策・制度の複雑さなどから、低炭素・循環型社会の形成に向けた、分野横断的かつ統合的な都市環境政策の体系的な立案が容易ではないことも事実である。</p> <p>このような問題に取り組むには、個別の政策についての計画と評価だけではなく、都市の環境資源を効率的に活用し、都市環境の制御に掛かる幅広い技術・政策オプションの導入を視野に入れた代替的な将来シナリオを設定し、各シナリオの状況下で地球環境への影響を含む広域的な影響と地域環境への影響を定量的に算定することで、行政担当者と企業、市民間で合理的な技術・政策に向けての合意形成を可能にする「シナリオ誘導型」のアプローチが有効となる。</p> <p>個別施策に関する学術的な検討は従前より行われてきたが、自治体が持つ地域的な特徴を反映して、複数の異なる施策の効果を評価することは難しかった。本サブテーマは大気・陸面・地下水・建物の過程を統合した都市・地域スケールの水・熱・資源の環境フラックス解析モデルを開発することにより、自治体における複数の低炭素施策を同時に評価するための枠組みを作成する。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本研究課題は、国内の拠点都市における低炭素・循環型社会の形成に資するべく、持続可能な都市・産業システムの設計を支援する都市環境の技術・政策の計画・評価システムを構築することで、環境改善効果を最大化する技術・政策シナリオとそれに基づく行動計画の提示プロセスの構築を目的とする。</p> <p>具体的には、都市・産業活動に由来する水、物質、エネルギーに関する空間分布と時間変化を定量的に算定するための、「汎用的なGIS書式での都市環境地理情報データベース」（都市環境地理情報データベースと称する）を構築するとともに、都市及び圏域の環境資源のフローとストックの空間分布とその移動特性を定量的に解析する統合的都市水・熱フラックス解析モデルおよび都市廃棄物輸送モデルを開発する。これにより環境負荷の発生の帰属を、地域・活動主体について明らかにする「環境フラックス評価システム」の構築が可能となり、現状における水、物質、エネルギーの把握とそれを踏まえた問題点の抽出が可能となる。</p> <p>拠点都市における低炭素・循環型社会の形成に向けた最適な都市・産業システム設計を行うため、都市熱環境緩和や資源循環の技術・政策インベントリを構築し、環境フラックス評価システムを用いて、都市の将来シナリオの設計・評価システムの構築を進める。本システムにより、地域の都市・産業システムにおけるステイクホルダごとの環境容量の評価と、その環境容量下における技術・政策オプションの同定が可能となる。</p> <p>さらに、対象拠点都市において有意な環境改善効果をもたらす技術・政策に係る科学的根拠を示</p>		

し、ステイクホルダ間でのシナリオに係る都市環境の知識と意識の共有支援と合意形成を促進するプロセスの設計を視野に入れ、都市の低炭素化社会実現の短期・長期の政策立案での情報提供の方法論を構築する。

本研究で構築する都市環境の技術・政策計画・評価システムの基本フレームを図1に示す。

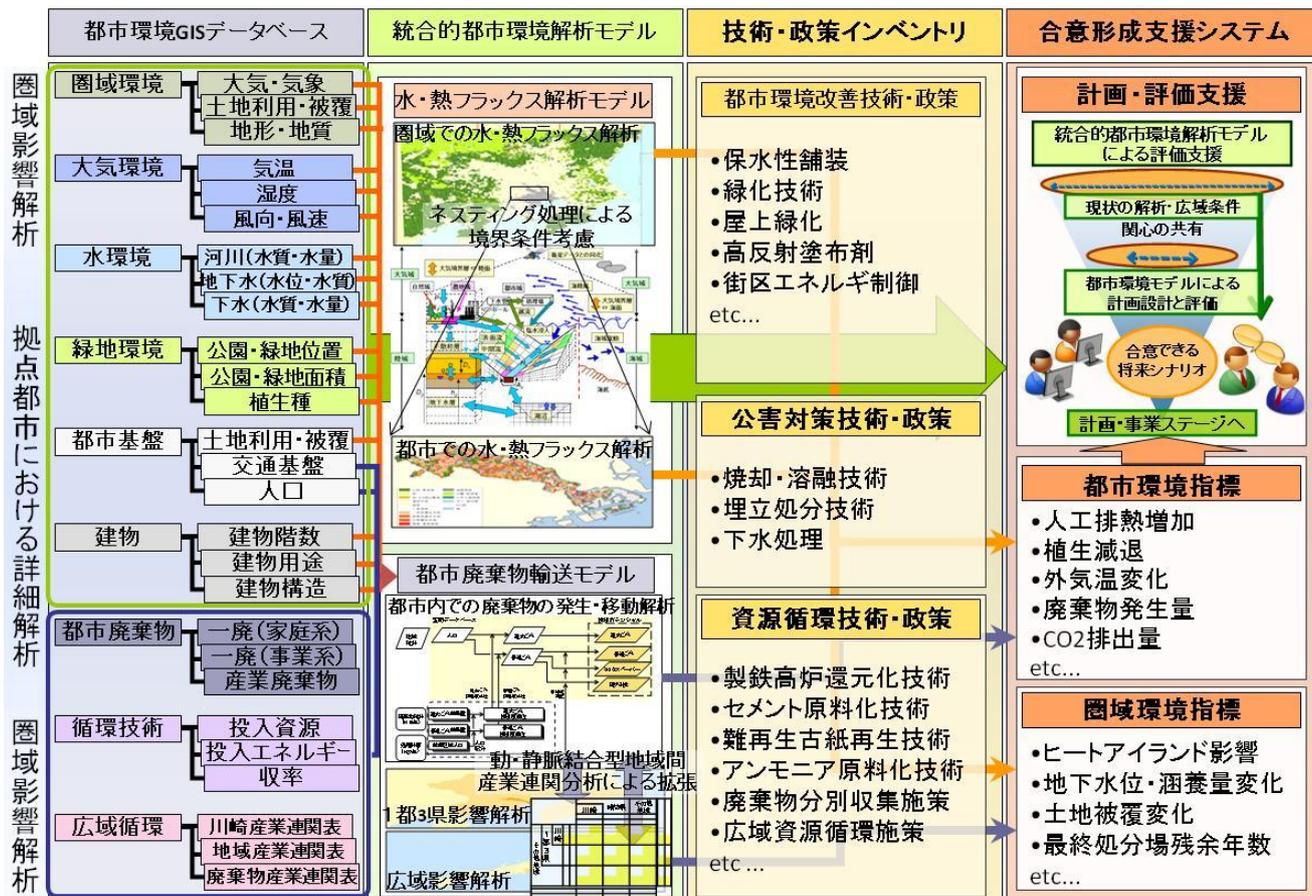


図1 都市環境の技術・政策計画・評価システムの基本フレーム

3. 研究の方法

(1) 圏域の地球環境影響を統合的に評価する環境フラックス・環境基盤力の評価モデルの構築に関する研究

1) 都市環境地理情報データベースシステム構築

研究対象とする川崎市と周辺圏域を対象に、分布型の環境負荷発生、環境資源分布、環境基盤施設の都市環境情報の地理情報システム(GIS)データベースを構築するなど都市・産業インベントリを含む地域GISデータベースシステムを構築して、そのプロセスを定式化する。

水環境および熱環境については川崎市を対象に基礎情報の収集・整備にもとづき、水循環フローや建物排熱などの一次加工情報の作成・整備を行い、都市環境GISデータベースの枠組みを構築した。また、この都市環境GISデータベースを活用するための都市水・熱フラックス解析モデルおよび行政支援システムへのインターフェイスの検討を行った。総合的な都市環境GISデータベースの枠組み(基礎情報、一次加工情報、二次加工情報)に基づき、川崎市において実際に都市水・熱フラックス解析モデルによる試行的な技術・シナリオ分析を行うプロトタイプデータベースとして構築し、試行的算定に供した。また、熱環境データ解析として、東京都、神奈川県を対象に人工排熱量を算出するモデルを開発した。熱源となる空調設備、厨房機器、給湯機器を対象とし、業務オフィス、建築物からの排熱量を対象としている。都心部については50mグリッドで、周辺地域については500mグリッドの空間スケールで、建築用途分類別床面積と季節別の排熱原単位を特定し、工学的積算手法を用いて開発した。汎用的なGISフォーマットでの都市環境地理情報データベースを構築するプロセスに基づき、川崎市を対象として、人工排熱算定、気象データの入手(地上気象、高層気象、アメダス、海面温度データ)等によりデータベースの拡充を図った。また、既存のデータだけではモデル検証や現状把握が不十分な点を補足するために、とくに川崎市臨海部で多地点同時観測を実施した。

資源循環データについては、川崎市とその周辺地域を対象に設定し、主体間・地域間の相互依存

関係を反映したマテリアルフロー・環境影響解析モデルを構築し、拠点都市の産業共生型資源循環システムのポテンシャルや環境影響を定量的に示す方法論の構築に着手した。そのためにマテリアルフロー・環境影響解析モデルの考慮範囲と基本構造(評価サブモデル設計)を検討した。

2) 統合的な都市水・熱フラックス解析モデルの開発

都市および圏域の水・大気・熱・エネルギー、資源循環について、環境資源のフローとストックの空間分布と移動特性を定量的に解析できる、統合的な解析モデルを開発する。

政策設計支援ツールとして有効なモデルとするため、大気・陸面・地下水・建物の過程を統合したモデルを開発する。これにより土地利用の変更や地下水の空調利用など複数の領域をまたぐ施策に関する評価が可能となる。モデル開発においては、気象および地下水の観測データを用いて精度本サブテーマで開発した都市熱・フラックス解析モデル(NICE-Urbanモデル)の構造を図2に示す。空間的には地域スケール(大気モデル-陸面モデル)と都市スケール(大気モデル-キャノピー内モデル-陸面モデル-地下水モデル-建物モデル)の2つのモデルから構成される。両者は大気モデルにおいてワンウェイネスティング(one-way nesting)により接続される。地域スケールモデルは関東全域を2kmメッシュで分割し、260km×260kmの領域をカバーする。都市スケールモデルは川崎市周辺を200mメッシュで分割した。

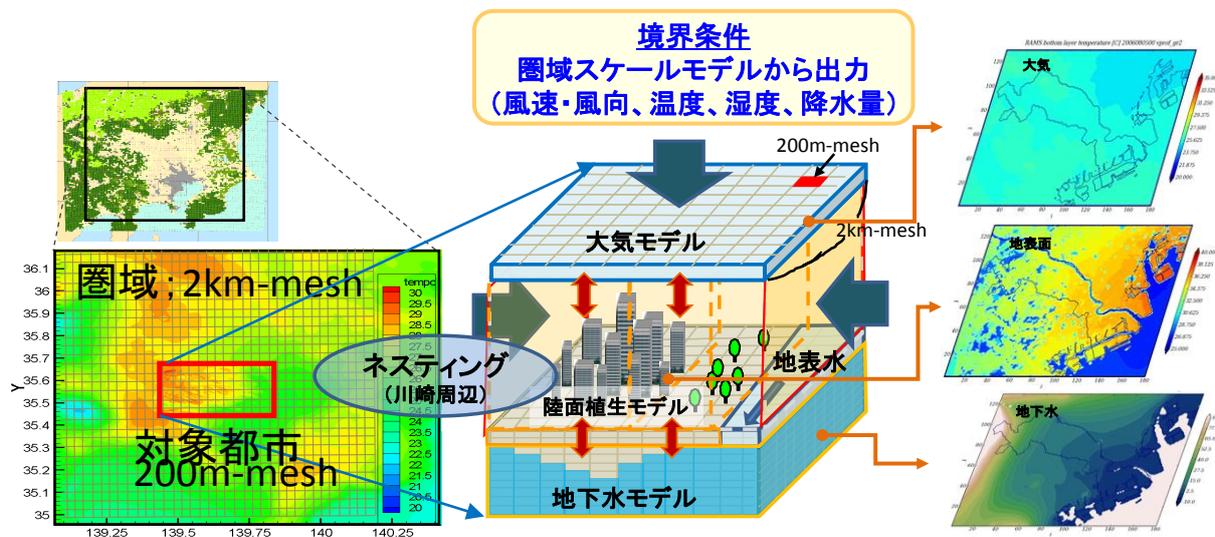
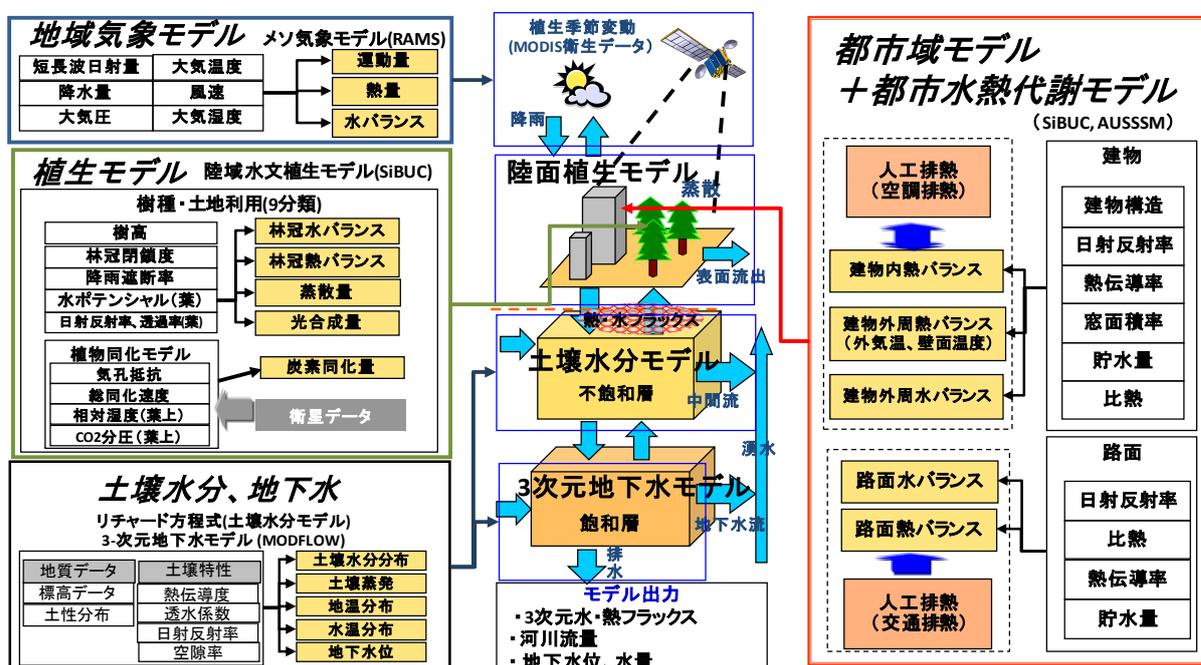


図2 : NICE-Urbanモデルの構成

3) 環境改善技術・政策インベントリ構築と将来シナリオの構築

低炭素社会と持続可能な都市を実現するための都市熱環境緩和技術や、資源循環技術の技術・施

策インベントリを構築するとともに、都市環境解析モデルを用いた将来シナリオの設計・評価システムを構築する。緑化や保水性舗装、未利用エネルギーの利用など街区レベルでの施策の評価を目的とする。このような施策による効果は、高断熱化等の個別建物への施策と比較して定量化することが難しく、地域的な条件に左右されるためである。また、本サブテーマでは川崎市との連携のもとに川崎市内の個別建物情報および土地利用に関するGISデータを用い、詳細な情報をモデルに反映して施策の評価を行う。

4) 都市環境政策における合意形成支援システム

低炭素・循環型社会を実現する上で、都市が合理的な都市環境活動にむけて誘導・制御する施策を設計・実現において担うべき役割は極めて大きい。21年度は、都市・産業システムの代替的な技術・政策シナリオを定量的なインベントリとして用意することにより、環境フラックス評価システムを用いた、地域環境保全ポテンシャルを高めるための都市・産業システムをシナリオとして設計する方法論について検討した。低炭素・循環型社会を実現する上で、都市環境活動を誘導・制御する具体的な低炭素都市整備計画及び都市産業システムの検討に重点を置いて、都市の緑化技術及び政策システムと都市・産業共生の技術および政策システムについて、定量的なインベントリとして用意することを行政の政策担当者との連携で進めた。

都市低炭素政策にかかわる都市・産業システムの代替的な技術・政策シナリオを定量的なインベントリと環境フラックス評価システムを用いた、地域環境保全ポテンシャルを高めるための都市・産業システムをシナリオとして設計する方法論について検討した。具体的には、先ず国内・外におけるシナリオ策定と研究のレビューを行い、近年のシナリオ策定の動向や課題について整理した。次いで、そこで得られた知見をもとに、都市スケールでの環境政策の立案に向けた、各種ステイクホルダの参加を前提とする都市環境シナリオ構築のフレームワークについて検討を行なった。本フレームワークは、行政機関や企業等のステイクホルダらによるシナリオ策定に向けた意思決定や合意形成を、研究者や専門家等が科学モデルや都市環境データベースを用いて、合理的かつ科学的な枠組により支援することを企図している。平成19年度は、シナリオ策定の試行的な取り組みとして、川崎市の環境局や経済局等の行政職員、NPO法人産業・環境創造リエゾンセンターで活動する川崎市臨海部立地企業の職員、さらには国立環境研究所や産業技術総合研究所等の研究者・専門家等を中心とし、都市-産業共生による循環型社会構築の可能性を評価・検討する「産業共生型資源循環システム研究会」（合計4回）、既存都市への各種環境技術・政策の導入による低炭素社会構築の可能性を評価・検討する「都市環境改善技術・政策シナリオ研究検討会」（合計4回）を企画・運営した。

その結果、本フレームワークの実践には、第一に、シナリオ策定のインフラとして自治体の政策課題に応じた、都市の基本的な環境情報のプラットフォームの構築が必要であること、第二に、地域活動のキャパシティを科学的に同定する利用性の高い統合的なモデルの開発が必要であること、第三に、個別環境課題への対応を事後的に検討することでなく、将来シナリオを横断的に協議するための組織と権限を形成するためのアプローチが重要となることの議論を行った。

(2) 都市活動に伴う有機物質・エネルギーの地域の分布型フラックス解析システム構築研究

持続可能な社会の構築に向けて、地球温暖化防止に対応した「京都議定書目標達成計画」、エネルギー・資源の有効利用を促す「循環型社会形成推進基本計画」などの様々な取り組みが行われている。このような取り組みに対応した持続可能な都市・地域システムを設計するため、より実効的な評価モデルの構築が求められている。本研究では、川崎市とその周辺地域（1都3県）を対象地域に設定し、活動主体間・地域間の相互依存関係を反映したマテリアルフロー・環境影響解析モデルを構築した。拠点都市の産業共生型資源循環システムの直接および間接的な環境影響ポテンシャルを評価した。マテリアルフロー・環境影響解析モデルの構築では、都道府県を対象に廃棄物処理プロセスの詳細を評価できる物質フローデータベースを整備した。同データベースを活用して、静脈産業および地域間影響を評価できるように産業連関モデルの部門および空間拡張を行った。構築したモデルの特長は、既存の廃棄物を対象とした産業連関モデルでは評価が困難であった、1) 廃棄物の発生から処理・再資源化までの一連のマテリアルフロー、2) 多種・多様な廃棄物処理・再資源化、3) 再資源化と減量化における環境・経済波及効果を定量的に分析可能にした点である。産業共生型資源循環システムの環境影響ポテンシャル評価では、川崎市および1都3県を対象に、現行シナリオ、積極的に地域内循環を推進するシナリオ、広域循環を推進するシナリオの比較を実施した。結果として、広域循環システム導入が対象地域全体の資源循環利用量を増加させ、同時にCO₂排出量を減少させることを明らかにした。本研究で構築したマテリアルフロー・環境影響解析モデルは、

広域における政策連携や役割分担の科学的な根拠を提供するなど、低炭素・循環型社会に向けた地域政策の検討範囲をより一層広げることが期待できる。

都市の具体的な循環政策の影響を評価できる分析モデルのフレームを構築した。具体的には、地域別モデル（川崎市、周辺地域、その他地域）を作成し、川崎市とその周辺地域、および全国における産業廃棄物の詳細な中間処理量、処理方法別の再資源化量を明らかにするとともに、単位最終需要あたりの発生、処理・資源化の誘発量を比較した。平成21年度の分析の結果、中間処理量と処理方法別の再資源化量において地域別の差異が生じたが、これは、主に有機物の処理に起因することが確認された。これは、有機物の処理方式の差異ではなく、地域の産業構造と排出される廃棄物の種類が異なることが起因することが明らかになった。最終需要からみた地域内の廃棄物排出誘発量の検討においても、地域別の廃棄物発生量とその種類の違いは、各地域の産業構造によるところが大きいことが確認された。さらに、有機系廃棄物と無機系廃棄物の比率が、地域内の中間処理量と再資源化量の誘発に影響を与えていることが示された。以上の結果より、処理技術の開発や多様化、広域循環利用などを検討する際に、地域別の産業構造や施設の処理能力などを考慮しつつ、有機系廃棄物に対する対策を最優先に設ける必要性が示唆された。

（3）都市活動に伴う水・エネルギーの地域のフラックス解析システムの構築に関する研究

民生業務部門の人工排熱量の大きい東京都心部を対象として、都市キャノピー、地表面、土壌面の水・熱の移動が連続的に表現できるようにSiB(Simple Biosphere model)モデルで地中鉛直6層での土壌温度の算出を行うこと、および河川、運河等の水面水域温度入力を行い、キャノピー気温緩和へ水域の影響を評価できる様に改良を加えたモデルの開発を行った。人工排熱量については、熱源となる空調設備、厨房機器、給湯機器に関して業務オフィス、建築物からの人工排熱量を反映させたモデルの開発を行った。これらは、都心部については50m、周辺地域については500mのグリッドで、建築用途分類別（業務施設、商業施設、娯楽施設、医療施設等）床面積と季節別の排熱原単位を特定し算出される。モデルによる計算結果の検証については、まず2003年8月を対象として東京都の現地観測データ（METROS：Metropolitan Environmental Temperature and Rainfall Observation System）を用いて検証を行った。しかしながら、これらの検証では、観測地点の多くが小学校のグラウンド等であり検証点も12点と少ないため、様々な土地被覆面毎の検証を行ったとは言えない。このため、2002年に観測された衛星データ（ASTER/TIR）を用いて面的な検証を行うと共に、ヒートアイランド現象が顕著な都市部においては2009年8月に丸の内計測された現地データを用いて検証を行った。

4. 結果及び考察

（1）圏域の地球環境影響を統合的に評価する環境フラックス評価モデルの構築に関する研究

低炭素化社会と持続可能な都市を実現するために、都市熱環境緩和技術として緑化、保水性舗装、建物高反射塗装などの建物・土地被覆改善に関する環境技術要素とそれを促進する政策要素を操作的に取り扱うことのできるモデルへのインターフェイスを構築した。くわえて、技術・政策インベントリから構成される代替的な将来シナリオについて、エネルギー削減およびCO₂排出量低減効果を評価する枠組みを構築した。NICE-Urbanモデルを用いた緑化導入による都市気象および空調エネルギーに与える影響を評価した。緑化施策および保水性舗装施策について、2006年8月を対象に外気温低減効果の評価を行った。緑化施策においては、空地を全て緑化した場合（ポテンシャルケース）と、川崎市で現在計画されている緑化目標が達成されたと仮定した場合の2条件について計算を行った。地上1.6m(百葉箱が設置されている高さと同程度)で評価すると、夏期の昼間において空き地を全て緑化した場合では最大約2.0℃、緑化目標に沿って緑化を行った場合には最大0.5℃の気温低下が発生することが分かった。NICE-Urbanモデルを用いた評価では、排熱量や空調エネルギー消費量、気温等の空間分布を街区や地域単位で算出することができる。川崎市の場合は建物が密集している市の中心部における削減ポテンシャルが大きいことが示唆される。

（2）都市活動に伴う有機物質・エネルギーの地域の分布型フラックス解析システムの構築に関する研究

産業廃棄物データベースにおける中間処理の精緻化によって、既存統計では分析困難であった地域別の廃棄物処理・再資源化プロセスの詳細な分析が可能になり、また、地域間比較によって、廃棄物の処理・再資源化における地域差の原因と地域別の課題について明らかにすることができた。さらに、地域モデルの構築によって、既存の廃棄物処理を考慮した産業連関モデルでは評価困難であった、1)廃棄物の発生から処理・再資源化までの一連のマテリアルフロー分析、2)多種・多様な廃棄物処理・再資源化の評価、3)再資源化と減量化などにおける環境・経済波及効果の定量的な分

析が可能になった。

マテリアルフロー・環境影響解析モデルを用いて、川崎市とその周辺地域を対象とした産業共生型資源循環システムに関わるシナリオの環境影響ポテンシャルを評価した。シナリオとして、川崎市で閉じた循環利用〔シナリオ1〕、川崎市での周辺地域の廃棄物受入〔シナリオ2〕、周辺地域の川崎市の廃棄物受入〔シナリオ3〕を想定した。地域内循環を前提とするシナリオ1より広域循環を前提するシナリオ2、3の方が、大幅に循環利用量を拡大させ、同時にCO₂排出量を削減させる環境影響削減ポテンシャルが高い結果が得られた。

（3）都市活動に伴う水・エネルギーの地域のフラックス解析システムの構築に関する研究

2003年8月の東京都の現地観測データを用いた検証では、本モデルでの計算結果と東京都の現地観測データとの比較において検証地点の12箇所全点で計算結果が現地気温を良好に再現する事が確かめられた。しかしながら、東京都の観測点の多くは小学校であり、またグラウンドの多くは舗装されており裸地ではない。このためこの検証結果だけでは、同一の土地被覆についてのみ検証した事にしかならないためモデルの計算結果と土地被覆の関連を示すには十分とは言えない。このため、計算領域全体について検証するため2002年8月10日観測の衛星画像と2009年8月に丸の内周辺で現地観測を行った結果を用いてモデル計算結果の評価を行った。まず丸の内周辺のオフィス街における検証では、計算値と観測値がよく一致していることが示された。しかしながら衛星データとの比較では、郊外の住宅地では計算値と観測値が良く一致するのに対して、都市部では場所により温度差が大きな場所が存在していることが分かった。これらは、都庁、東京ビッグサイト、国立劇場等の大型施設であった。これらの温度の違いについては、ビル等から大気中に排出される人工排熱であると考えられる。これら大気中への人工排熱はモデルの計算結果には反映されるものの人工衛星の観測画像には反映されていない。このためモデル計算と衛星観測画像との比較画像中に現れる誤差は主に人工排熱に由来しており、モデルの計算については特に大きな問題はないものと考えられる。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

都市環境フラックス把握のための統合的な情報集積とマルチスケールに対応したデータの提供が可能でGISデータベースの構築を進め、分野横断的な基礎情報の収集と加工、整備体系を検討し、環境情報の統合的有効活用のための基本的整備・構築をプロセス設計した点に意義を有している。

- ・都市環境における物質循環では、川崎市と周辺地域だけではなく47都道府県を考慮に入れ、発生から再資源化までの静脈産業部分のデータベースを構築し、各地域の産業構造、環境負荷への産業別影響度、廃棄物組成別の資源化率などにおける地域特性を明らかにした点に意義がある。

- ・熱環境改善技術や低炭素都市の設計に向けた既往研究の多くは、個別の技術開発や技術や政策の導入効果の算定にとどまっており、技術・政策オプション選定や削減効果の算定等に係るプロセスの設計にまでは至っていない。本研究は、保水性・透水性舗装技術の実証試験に基づく技術評価を行い、対象地における導入効果を評価するために都市構造を考慮した統合的都市水・熱フラックス解析モデルを開発することで、技術・政策オプションに基づき定量的な技術導入・政策評価を行う基本的フレームを設計し、試行したという点に科学的意義がある。

- ・技術・政策シナリオを、都市スケールでの具体的な政策や計画に結び付けるには、対象地域の即地的条件を踏まえつつ、都市スケールのシナリオの策定が必要となる。しかしながら、これまでその方法は十分に議論・体系化されてこなかった。21年度に設計・試行したシナリオ策定プロセスは、都市スケールのシナリオを策定するためのプロトタイプであり、科学的にも新規性が高い。

本研究課題で開発した「環境フラックス評価システム」は、水、物質、エネルギーの賦存と移動の評価、環境負荷発生の地域・活動主体別の帰属、および地域の資源特性、環境特性に応じた資源の賦存特性とその変化の時系列評価を可能にするものであり、今後の都市スケールでの環境政策形成への貢献余地が大きい。

本研究を通じて得られた成果によって、ヒートアイランド現象のメカニズムである「人工排熱量の増加」、「外気温の上昇」、「追加的冷房需要の発生」、「CO₂排出量の増加」の一連の機構解明が進みつつある。NICE-Urbanモデルを用いて、ヒートアイランド現象を緩和し夏季の電力消費量の上昇を抑制するために、雨水・河川水・海水等を都市に賦在する冷熱源として再検討することが可能となる。具体的には、河川水や海水の冷熱利用（主にヒートポンプの熱源として）の地域熱環境への影響とともに、地域の水熱環境特性を考慮した保水性を持つ土地被覆の都市環境改善とCO₂排出抑制の効果を検討することができる。本研究では、各被覆の透水性、空隙率、貯留水量を考慮して

いるため、土地被覆の転換による都市キャノピー気温の冷却効果を評価するだけではなく、土壤水分が都市キャノピー気温に与える影響を見積ることができる。また、モデルによる計算結果をそれぞれ異なる土地被覆面において実測値を用いて検証することにより、モデルの再現性に関する精度評価を行っている。このため、異なる土地被覆や土壤水分状態や気象条件を変更したシミュレーション実験を容易に実施でき、土地被覆や土壤水分の違いがキャノピー気温へ与える影響の評価が可能である。特に、雨水等の冷熱源としての利用するための適切な施策を実施することにより、今後の政策決定に資する情報とすることができる。

さらに、持続可能な都市・地域システムの設計を可能にするマテリアルフロー・環境影響解析モデルの構築を目指して、作成したデータベースの細分化、地域別モデルのフレームの具体化およびその構築を行った。データベースの細分化により既存統計で把握困難であった産業廃棄物の中間処理における地域別の詳細フローを推計した。これによって、既存の統計では分析困難であった地域別の廃棄物処理・再資源化プロセスの詳細分析が可能になり、地域間比較によって廃棄物の発生から処理・再資源化における地域差の原因と課題について明らかにすることができた。

また、構築したマテリアルフロー・環境影響解析モデルは、既存の廃棄物処理を考慮した産業関連モデルで評価困難であった、1) 廃棄物の発生から処理・再資源化までの一連のマテリアルフロー分析、2) 多種・多様な廃棄物処理・再資源化の評価、3) 再資源化と減量化における環境・経済波及効果の定量的な分析を可能にした点で科学的意義がある成果と言える。さらに、土壤からの蒸発散効果による都市の冷却メカニズムについても考慮し、空隙率を含む土地被覆、6層の階層別土壤水分を考慮したモデルを構築することにより、雨水等の水循環機能を都市に腑在する冷熱源として評価する事を可能としている。モデルは、現地観測データを用いて精度評価を行う事で計算結果の信頼性を高め、新しく条件を設定したシミュレーション実験を行う事が可能となる。シミュレーション実験では、土地被覆の変更による気温抑制効果を評価する（例：アスファルト→草地）ことや降雨後の土壤水分の蒸発散による冷却効果（降雨後の浸透～蒸発散過程）が気温などに与える影響（強度や持続時間）を定量的に評価することができる。土壤水分の蒸発散過程での冷却効果に関する評価は、将来、雨水等を用いて都市を冷却する場合の効果を見積る上で重要である。

（２）環境政策への貢献

都市スケールで低炭素・循環型社会を形成するには、当該都市に腑存する環境資源の有効利用を前提としつつ、地域環境への影響を最小化することが可能な環境技術や政策の同定が必要である。今年度、環境フラックス評価システムの一環として開発を進めた、都市およびそれを囲む圏域についての定量的な時空間のデータベースに基づき水循環利用、熱・エネルギー循環利用および物質循環利用の、地域環境および地球環境への影響を定量的に評価する都市水・熱フラックス解析モデルおよび都市廃棄物輸送モデルは、都市・産業活動に由来する環境影響の、水資源腑存、エネルギー消費、資源循環の観点からの定量的評価を可能にする。これらモデルは、対象都市における環境影響だけでなく、周辺都市・地域への、あるいはそれら地域からの影響も評価可能なマルチスケールの構造を有しており、これにより、当該環境課題に関わる対策技術や政策の評価や、有意な対策の選定根拠を科学的に提供することが可能になる。例えば、低炭素型社会の形成では、都市熱環境改善技術の保水性舗装・透水性舗装の導入による消費エネルギーやこれに伴うCO₂排出量の削減効果の評価が可能になる。また、循環型社会の形成においては、都市の動脈産業及び静脈産業構造を考慮した産業共生型資源循環システムの設計とその導入における環境改善ポテンシャルの算定ができ、本システムの導入における動脈産業の選定、再資源化率からの廃棄物の考慮、他地域との連携など地域政策の方向性を検討することも可能である。このように、本研究課題で開発を進める「環境フラックス評価システム」は、水、物質、エネルギーの腑存と移動の評価と、環境負荷発生の地域・活動主体別の帰属と、地域の資源特性、環境特性に応じた資源の賦存特性とその変化の時系列評価を可能にするものであり、今後の都市スケールでの環境政策形成への貢献が大きい。

社会と地域、および環境資源の空間特性をもとに、低炭素化の限界効果の大きな技術・政策を選定する方法論、技術政策間での相互の補完・相乗効果の高い空間政策として設計するための方法論、さらに、低炭素の直接間接の効果をほかの効果と定量的に算定する方法論の基本フレームの開発ができた。その上で、これらの方法論に基づく実用性のある計画支援ツールの要素を提供できた。

本研究で開発するシステムは低炭素化まちづくりで次の貢献が期待される。①産業、交通、民生業務、家計、公共部門などにわたる、温室効果ガスの排出主体を個別の機能最適化ではなく、政策を統合的に取り扱う。②経済性や快適性に加えて、温室効果ガスの排出量削減を都市づくりの目的に加える。③都市水・熱フラックス解析モデルの開発により、物理的過程に基づく様々なシナリオの多面的評価が可能となり、それらの結果を踏まえた行政担当者とのシナリオ合意形成に寄与でき

る。さらに、④主体間の相互依存関係に伴う環境負荷(廃棄物、温暖化ガスなど)の誘発における波及プロセスを明らかにすることを可能にして、拡張した多地域間モデルを利用することで地域間依存関係を考慮した産業共生型資源循環システムの導入による地域内外での誘発の算定が可能になる。広域圏での政策連携や役割分担の在り方に関する科学的な根拠を提供することにより、低炭素・循環型社会へ向けた地域政策の方向提示への貢献が期待できる。

また、本プロセスは、実際の行政計画の策定スキームを考慮して、都市レベルでの低炭素社会の形成に資することを想定している。その一環として、川崎市と国立環境研究所との間で2009年1月23日に「街区エネルギー環境制御システム」等の包括的な連携・協力に関する基本協定に調印し、具体的な政策設計支援の研究展開についての協議を進めている。さらに、本研究の成果は、環境省の地球温暖化対策地方公共団体実行計画(区域施策編)策定研修会で用いられ、低炭素施策に関する自治体担当者への情報提供の役割を果たした。

6. 研究者略歴

課題代表者：藤田 壮

1961年生まれ、東京大学卒業、博士(工学)取得(東京大学)、現在、独立行政法人 国立環境研究所、アジア自然共生研究グループ、環境技術評価システム研究室長

参画研究者

(1) 1) : 藤田 壮 (同上)

2) : 徐 開欽

1962年生まれ、東北大学大学院卒業、博士(工学)、現在、独立行政法人 国立環境研究所、アジア自然共生研究グループ、主任研究員

3) : 中山忠暢

1971年生まれ、京都大学大学院卒業、博士(工学)、現在、独立行政法人 国立環境研究所、アジア自然共生研究グループ、主任研究員

4) : 藤井 実

1972年生まれ、東京大学大学院、博士(工学)現在、国立環境研究所、アジア自然共生研究グループ、研究員

5) : 濱野裕之

1973年生まれ、成蹊大学大学院卒業、博士(工学)、現在、科学技術振興機構、低炭素社会戦略センター 研究員

(2) 1) : 玄地 裕

1965年生まれ、東京大学工学部卒業、博士(工学)、東京大学大学院工学系研究科助手、現在、産業技術総合研究所安全科学研究部門 社会とLCA研究グループ長

2) : 布施正暁

1977年生まれ、中央大学大学院理工学研究科修了、博士(工学)、現在、産業技術総合研究所安全科学研究部門 素材エネルギー研究グループ、研究員

(3) 1) : 渡邊正孝

1945年生まれ、マサチューセッツ工科大学卒業、工学博士、現在、慶應義塾大学 環境情報学部教授

2) : 丹治三則

1979年生まれ、大阪大学大学院工学研究科卒業、工学博士、現在 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 助教

研究協力者

1) : 橋本 禅

1975年生まれ、東京大学大学院卒業、博士(工学)、現在、京都大学大学院 農学研究科 講師

7. 成果発表状況(本研究課題に係る論文発表状況。)

(1) 査読付き論文

- 1) Yong Geng, Raymond Cote, Tsuyoshi Fujita; A Quantitative Water Resource Planning and Management Model for an Industrial Park Level, Journal of Regional Environmental Change, Vol. 7, No. 3, pp. 123-135, 2007
- 2) 長澤恵美理, 藤田壮, 大西悟; 川崎エコタウンにおける循環型生産施設における技術特性の評価、環境情報科学論文集, No. 21, pp. 237-242, 2007
- 3) 柳奈保子, 土田えりか, Looi-Fang Wong, 藤田壮, 山口直久; 地域GISデータベースを用いた資源循環政策の効果算定システムの構築と試行的運用、環境情報科学論文集, No. 21, pp. 451-456, 2007
- 4) 土田えりか, 角田智彦, 堀紘子, 藤田壮, 中山忠暢, 高橋克則, 坂本義仁; 都市舗装改善技術による

- 熱環境変化を評価する都市熱代謝評価モデルの構築と実証検証, 環境情報科学論文集, No. 21, pp. 381-386, 2007
- 5) 土田えりか, 藤田壮, 中山忠暢, 角田智彦, 高橋克則; 川崎市におけるクールシティ施策の温暖化対策効果の算定システムの基本設計, 環境システム研究論文集, Vol. 35, pp. 139-146, 2007
 - 6) 村野昭人, 藤田壮, 長澤恵美里; WebGISデータベースを用いた循環施設を中核とする地域循環支援システムの提案, 環境システム研究論文集, Vol. 35, pp. 101-108, 2007
 - 7) Looi-Fang Wong, Tsuyoshi Fujita, Naoko Yanagi, Erika Tsuchida; Evaluation System of Environmental Impacts for Policy Scenarios of Municipal Solid Waste Recycling in Kawasaki City, Environmental Systems Research, Vol. 35 pp. 431-440, 2007
 - 8) 藤田壮, 長澤恵美里, 大西悟, 杉野章太; 川崎エコタウンでの都市・産業共生の展開に向けての技術・政策評価システム, 環境システム研究論文集, Vol. 35 pp. 89-100, 2007
 - 9) Takashi Kuwabara, Masatoshi Matsumura, Norio Hayashi, Kaiqin Xu, Yuhei Inamori; Evaluation of the Role of the Aquatic Plants in the Floating Type Edible Aquatic Plant Purification System, Japanese Journal of Water Treatment Biology, 43(2), pp. 91-97, 2007
 - 10) 村野昭人, 藤田壮, 小瀬博之; 木造住宅を対象とした環境負荷削減施策の評価システムの構築, 環境システム研究論文集, Vol. 36, pp. 117-124, 2008
 - 11) 橋本禪, 杉野章太, 藤田壮, Quighua Zhu, 長澤恵美里; 環境配慮型企業の生産システムにおける資源循環行動の要因分析, 環境システム研究論文集, Vol. 36, pp. 173-180, 2008
 - 12) 藤井実, 長澤恵美里, 橋本禪, 藤田壮; 代替的なりサイクル技術の資源循環効果の評価—木材資源の水平循環とカスケード循環の比較—, 環境システム研究論文集, Vol. 36, pp. 275-280, 2008
 - 13) Yong Geng, Pang Zhang, Raymond Cote, Tsuyoshi Fujita; Assessment of the National Eco-industrial Park Standards for Promoting Industrial Symbiosis in China, Journal of Industrial Ecology, Vol. 13, No. 1, pp. 15-26, 2008
 - 14) Yong Geng, Tsuyoshi Fujita; the Application of Biomimicry, Journal of Philippine Industrial Engineering, Vol. 5, No. 1, pp. 1-8, 2008
 - 15) Looi-Fang Wong, Tsuyoshi Fujita, Kaiqin Xu; Evaluation of Regional Bio-Energy Recovery by Local Methane Fermentation Thermal Recycling Systems, Journal of Waste Management, vol. 28, pp. 2259-2270, 2008
 - 16) Tadanobu Nakayama; Shrinkage of Shrub Forest and Recovery of Mire Ecosystem by River Restoration in Northern Japan, Forest Ecology Management, 256, pp. 1927-1938, 2008
 - 17) Tadanobu Nakayama, Masataka Watanabe; Role of Flood Storage Ability of Lakes in the Changjiang River Catchment, Global Planet. Change, 63, 9-22, doi: 10.1016/j.gloplacha.2008.04.002, 2008
 - 18) Tadanobu Nakayama, Masataka Watanabe; Missing Role of Groundwater in Water and Nutrient Cycle in the Shallow Eutrophic Lake Kasumigaura, Japan, Hydrological Processes, 22, 1150-1172, doi: 10.1002/hyp.6684, 2008
 - 19) 李一石, 布施正暁, 玄地裕; 地域LCAにおける地域特性を考慮したデータベースの検討, 環境情報科学論文集, Vol. 22, pp. 291-296, 2008
 - 20) 村野昭人, 藤田壮, 星野陽介; 建設廃木材を対象とした統合的再資源化シナリオの評価システムの構築と評価, 土木学会論文集G, Vol. 65, pp. 69-76, 2009
 - 21) Rene Van Berkel, Tsuyoshi Fujita, Shizuka Hashimoto, Yong Geng; Industrial and Urban Symbiosis in Japan: Analysis of the Eco-Town Program 1997-2006; Journal of Environmental Management, vol. 90, pp. 1544-1556, 2009
 - 22) Yong Geng, Qinghua Zhu, Brent Doberstein, Tsuyoshi Fujita; Implementing China's Circular Economy Concept at the Regional Level: a review of progress in Dalian, China, Journal of Waste Management, vol. 29, pp. 996-1002, 2009
 - 23) 堀紘子, 橋本禪, 藤田壮, 土田えりか, 濱野裕之; 都市熱環境シミュレーションモデルを用いた技術・施策の評価, 土木学会論文集G, 2009 (投稿中)
 - 24) Rene Van Berkel, Tsuyoshi Fujita, Shizuka Hashimoto, Minoru Fujii; Quantitative Assessment of Urban and Industrial Symbiosis in Kawasaki, Japan, Environmental Science & Technology, Vol. 43, No. 5, pp. 1271-1281, 2009
 - 25) 橋本禪, 若林諒, 孫穎, 陳旭東, 藤田壮, 耿涌; 中国大連市の一般廃棄物管理施策を対象とした循環経済社会シナリオの設計と評価, 環境システム研究論文集, Vol. 37, pp. 301-310, 2009
 - 26) 濱野裕之, 中山忠暢, 堀紘子, 藤田壮, 田上浩孝; 都市スケールの三次元水熱フラックス解析モデルによる都市の緑化施策の評価, 環境システム研究論文集, Vol. 37, pp. 93-104, 2009
 - 27) Yong Geng, Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen; Evaluation of Innovative Municipal Solid Waste Management through Urban Symbiosis: A Case Study of Kawasaki, Journal of Cleaner Production, Vol. 18, pp. 993-1000, 2010
 - 28) Tadanobu Nakayama, Ying Sun, Yong Geng; Simulation of Water Resource and Its Relation to Urban Activity in Dalian City, Northern China, Global and Planetary Change, Available online 8 June, 2010
 - 29) Tadanobu Nakayama, Tsuyoshi Fujita; Cooling Effect of Water-Holding Pavements Made of

New Materials on Water and Heat Budgets in Urban Areas, Landscape Urban Planning, Vol.96(2), pp. 57-67, 2010

- 30) Xudong Chen, Yong Geng, Tsuyoshi Fujita ;An Overview of Municipal Solid Waste Management in China, Journal of Waste Management, Vol.30, pp.716-724, 2010
- 31) Shizuka Hashimoto, Tsuyoshi Fujita, Yong Geng, Emiri Nagasawa ; Realizing CO₂ Emission Reduction Through Industrial Symbiosis: A Cement Production Case Study for Kawasaki, Journal of Conservation and Recycling, Available online 6 January 2010
- 32) Zhu Qinghua, Yong Geng, Tsuyoshi Fujita, Shizuka Hashimoto ; Green Supply Chain Management in Leading Manufacturers: Case studies in Japanese Large Companies, Management Research Review, 33(4), pp. 380-392, 2010

(2) 査読付論文に準ずる成果発表

- 1) 藤田壮 ; 産業共生の都市環境形成に向けての情報基盤としてのGISの活用, 人と国土21((財)国土計画協会), pp. 29-32, 2007年9月号(第33巻3号)
- 2) 中島古史郎, 村野昭人, 藤田壮 ; 木質建材の低環境負荷化に向けた環境システム的思考の適用, 第35回環境システム研究論文発表会講演集, Vol.35 pp.183-186, 2007
- 3) 橋本禅, 藤田壮, 徐開欽, 中山忠暢 ; 統合的な都市環境の技術・施策シナリオの設計と評価プロセス, 第35回環境システム研究論文発表会講演集, Vol.35 pp.299-306, 2007
- 4) 村野昭人, 鎌田みゆき, 藤田壮 ; 木質系バイオマスを対象とした循環利用技術インベントリの評価, 第15回地球環境シンポジウム講演論文集, pp.225-230, 2007
- 5) 松野浩一, 小島容子, 村野昭人, 藤田壮, 南いづみ, 須田麻起子 ; 関東一都六県における戸建て木質住宅の着工推移と解体廃木材発生量, 木材需要量の将来予測, 第23回建築生産シンポジウム論文集, pp.147-152, 2007
- 6) 村野昭人, 松野浩一, 藤田壮, 星野陽介 ; 木材循環を志向した木質住宅システムの環境負荷削減効果の評価方法の提案, 第23回建築生産シンポジウム論文集, pp153-158, 2007
- 7) Tadanobu Nakayama, Tsuyoshi Fujita, Shizuka Hashimoto, Hiroyuki Hamano ; Simulation of Hydrothermal Recoveries by Adopting Symbiotic Urban Scenario in the Japanese Megalopolis, paper number GC43A-11, AGU Joint Assembly 2008, Florida, USA, 27th -30th May, 2008
- 8) Tadanobu Nakayama, Tsuyoshi Fujita, Yong Geng, Shizuka Hashimoto ; Simulation of Water Resource and Its Relation to Urban Activity in Dalian City, Northern China, session number Y2, HydroPredict2008, Prague, Czech Rep., Proceedings, pp.295-298, 15th -18th September, 2008
- 9) Rene Van Berkel, Tsuyoshi Fujita ; Comparative Analysis of Eco town Programs in Japan, 8th International Conference on EcoBalance , Proceedings, 19-04, 10th December, 2008
- 10) Shizuka Hashimoto, Yong. Geng, Tsuyoshi Fujita , Ryo Wakabayashi ; Innovation of Circular Cities in Chinese and Japanese Eco-towns: Circular Economy Scenarios for MSW management in Dalian, China, EcoBalance, Proceedings, 19-03, 10th December, 2008
- 11) Tadanobu Nakayama, Tsuyoshi Fujita, Shizuka Hashimoto, Hiyoyuki Hamano ; Multi-scale Analysis of Hydrologic Change in the Japanese Megalopolis by Using Integrated Approach, paper number GC34A-08, AGU Fall Meeting 2008, San Francisco, USA, 15th -19th December, 2008
- 12) Shizuka Hashimoto, Hiroyuki Hamano, Tsuyoshi Fujita, Hiroko Hori ; Building Low Carbon Cities : Framework to Design and Evaluate Alternative Technologies and Policies for Land Use Planning, Eos Trans. AGU, 89(52), Fall Meet. Suppl., Abstract U41D-0029, 15th -19th December, 2008
- 13) Shizuka Hashimoto, Tsuyoshi Fujita, Kaiqin Xu, Tadanobu Nakayama ; Bridging Scales: Developing a Framework to Build a City-Scale Environmental Scenario for Japanese Municipalities, Eos Trans. AGU, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract GC33A-0943, 15th -19th December, 2008
- 14) Shizuka Hashimoto, Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen, Yong Geng ; Achieving Circular Economy through Urban Symbiosis in Dalian (China), 5th International Conference of the International Society for Industrial Ecology, 21st -24th June, 2009 (Lisbon, Portugal)
- 15) Shizuka Hashimoto, Tsuyoshi Fujita ; First ISIE Regional Meeting: Asia-Pacific International Workshop on Industrial Ecology, pp.4, ISIE News, Vol.9, March, 2009

H-071 水・物質・エネルギーの「環境フラックス」評価による持続可能な都市・産業システムの設計

(1) 圏域の地球環境影響を統合的に評価する環境フラックス評価モデルの構築に関する研究

独立行政法人 国立環境研究所

アジア自然共生研究グループ環境技術評価システム研究室

藤田壮・中山忠暢

循環型社会研究センター

徐開欽

名古屋大学

エコトピア科学研究所

藤井実

科学技術振興機構

低炭素社会戦略センター

濱野裕之

<研究協力者>

京都大学大学院 農学研究科

橋本禪

独立行政法人 国立環境研究所

アジア自然共生研究グループ環境技術評価システム研究室

平野勇二郎・田上浩孝

平成19～21年度 合計予算額 76,381千円

(うち、平成21年度予算額 24,290千円)

※予算額には、間接経費を含む。

[要旨] 本研究課題は、都市・産業活動に由来する水利用や廃棄物、温室効果ガスや排熱などについて、その空間分布の時系列での変動を把握するとともに、都市・産業活動に起因する資源・サービスの利用量やおよび環境への影響と環境資源の潜在的利用可能量を解析する「都市の環境フラックス評価システム」を構築する。「環境フラックス」の空間分布と時間変化を定量的に算定するシステムを構築することで、地域の都市・産業システムにおける環境容量を評価し、その制約条件下における技術・施策オプションを同定したうえで、地球環境保全への貢献を最大化する技術・施策シナリオの最終目標と行動計画を提示するために以下の研究を行った。

(1) 地球環境地理情報システム(GIS)データベースの構築および要素技術評価について、拠点都市およびその周辺都市圏域における水・物質・エネルギー資源の貯存量、産業拠点における循環型産業の地域マテリアルフロー、都市活動による環境資源の消費・利用、廃棄物・廃熱等の環境負荷発生分布、その移動・変動について分布型の地域データベースの構築を行い、データベースの行政、市民利用を想定したインターフェイスの枠組みの設計も行った。

(2) 科学的な根拠による政策立案と評価を支援するためのシミュレーションモデルとして、構築および環境技術、政策シナリオを設計して評価するフレームを構築した。都市水・熱フラックス解析モデルの構築と検証を進め、特に都市構造と自然が混在する地域での再現性の向上を実現した。また緑化施策の導入効果について川崎市緑化指針等をもとに導入率を考慮し、エネルギー消費削減量を指標とした算定を行った。

(3) 都市環境政策における合意形成支援システムでは、低炭素都市に向けた具体的な政策形成や計画立案に繋がるシナリオ策定プロセスの設計を進めた。この取り組みの成果として川崎市と国立環境研究所との間で2009年1月23日に「街区エネルギー環境制御システム」等の連携・協力に関する協定を締結した。

[キーワード] 低炭素社会、熱環境改善技術、GISデータベース、都市環境空間解析モデル、合意形成支援システム

1. はじめに

都市は経済や生活、資源循環等の社会・経済活動の場であるとともに、水・大気・熱の代謝の空間として人間を含む生物の生命を支える機能を提供する場でもある。喫緊の政策課題である、低炭素・循環型社会の形成を実現する上で、経済や生活の場である都市のあり方を、より合理的に誘導・制御する環境技術を含む政策の導入が求められている。しかしながら一方で、都市における様々な主体の活動やそれらが果たす機能の多様性、さらにはこれら活動や機能を規制・誘導する政策・制度の複雑さなどから、低炭素・循環型社会の形成に向けた、分野横断的かつ統合的な都市環境政策の体系的な立案が容易ではないのが現状である。

一方で都市・地域での低炭素化に対しての要請はこの研究機関に拓的に拡大した。2020年までに20%－30%削減、2050年までに50%－80%という削減目標の策定と実行が国際社会からの日本に対する要請になることが確実になりつつあり、この水準の目標を達成するには低炭素化に向けて構造的な改革が必要になることが明らかになっている。

われわれの社会が達成してきた都市と地域の効率や利便性を、できるだけ損なうことなく温暖化問題へ対応する、「確かな」ロードマップと実行プログラムを描くことが重要となる。さらに、このロードマップとプログラムを、21世紀の社会的な都市づくりのビジョンの根幹として位置づけるプロセスも重要となる。とくに、経済・社会活動と低炭素化を両立する道筋を具体的に描いていくことが、都市開発と環境エネルギー計画の専門家に対する社会からの緊急の要請であるともいえる。

20世紀の日本をふり返ると、化石燃料の大量消費を前提にした都市基盤とエネルギー基盤の整備により、重工業化から高付加価値型の産業構造への移行を達成してきた。低炭素化社会では、20世紀に達成してきたこの豊かさと価値創造力を保ちつつ、炭素排出を半減する社会を実現することが求められる。そのためには、個々の事業を積み上げて対応するアプローチに頼って将来像を描くと、社会活動の規模を縮小することに低炭素化の実現を求める方向に向かう恐れもある。

都市と社会の活力を損なうことなく、低炭素化を実現するには、さまざまな技術や仕組みを、計画的に都市やエネルギーの基盤として空間に織り込むアプローチが重要となる。その具体的な議論はまだ端緒に就いたばかりでもあり、個別の技術開発や国家スケールでの社会制度の導入と合わせて、都市、空間で可能になる統合的なアプローチを実現することが、高効率の低炭素化社会形成の鍵となる。日本の高度成長期には、産業とエネルギーなどのインフラが建設され、その後、下水処理施設や廃棄物処理などの環境基盤施設の都市空間での集積が進んだことで、高度経済成長から安定成長への持続的な移行が可能になった。化石燃料に支えられた工業化社会を低炭素化社会に変える大きな転換期には、低炭素化の施設や行動を公共財として、官民が連携して整備を実現する低炭素の都市づくりのフレームも必要となる。すでにヨーロッパの各都市では低炭素の都市の取り組みが先行している。アメリカの諸都市でも都市や都市圏での低炭素化への検討が先行して始まっている。これらの低炭素に向けた都市と地域の動きは、今後一層加速する潮流にある。わが国でも個別の技術への対応から一歩踏み込んだ統合的なアプローチとして環境モデル都市の取り組みが具体的な形となりつつある。

これまでも脱温暖化のシナリオ研究を通じて、将来的な目標設定から今行うべき政策の方向性を定めて政策のシナリオを描く「バックキャスティング・アプローチ」の検討が進んできた。バックキャスティングによって、都市・地域にとっての低炭素政策の中長期的な目標が与えられる。一方で、その目標を達成するためにたどるべき中期的、短期的な道筋を具体的に設計する方法論の確立も重要となる。このための都市のグラウンドアップ・プログラムは、自治体の経済、社会特性および環境特性を反映して設計することが必要となる。一律的な対策では地域によってはその効果と費用にばらつきがあり、地域

間の目標達成の格差が生じるとともに、その実現に要するトータルの社会費用が著しく大きくなることも懸念される。

低炭素社会づくりに向けての地域の試みは、自治体の規模や地域を問わず、急速な勢いで広がりつつある。地方の動きは構想や計画の段階から、すでに実施、実行の段階に移っている。多くの市町村では、ポスト京都での低炭素の目標が義務付けられることに対応しなくてはいけないという、受け身の姿勢の印象はむしろ希薄である。多くの自治体では、低炭素化の社会変化の中で新たな地域の活性化のきっかけを得ること、あるいは都市としての魅力として結実させるという能動的な姿勢が共通している。まさにグラウンドアップの形で、各省庁でも低炭素都市や中心街区の形成を支援する事業や制度の検討が本格化しつつあり、低炭素化に向けてのさまざまなフロントランナー都市が実現する期待がある。

一方で、この期待を具体化するには、低炭素化都市の計画理論と計画支援の方法論の開発が急務となる。これまでの都市計画が、認知しやすい目的志向型のプロセスデザインにその主眼が置かれたことに対して、低炭素化都市ではめざすべきターゲットのデザインに主眼を置く計画論の提供が重要となる。そのうえで、その理論に基づく計画支援手法、ツールの開発も必要となる。

低炭素化まちづくりはこれまでのまちづくりと比べると、次の特徴を持つ。

①都市に立地する温室効果ガスの排出主体は、主要なものでも産業、交通、民生業務、家計、公共部門などにわたり、これまで個別の機能最適化で設計されてきた政策を統合的に取り扱う必要がある。

②経済性や快適性にくわえて、温室効果ガスの排出量削減を都市づくりの目的に加える必要がある。とくに、炭酸ガスの排出削減効果は都市外へも及ぶため、波及的な効果の空間移動を考慮し、都市の活動に帰属させる論理が必要になる。都市間の排出効果の分担を適正に評価しなければ、「低炭素フリーライダー」が生まれて、広域的に効果のある低炭素技術の推進を妨げる懸念がある。

脱温暖化シナリオ2050は国土のターゲットを設定し、それにより低炭素化社会について都市、地域にとっても政策の方向性を提示することに大きな役割を果たしてきた。そのうえで、都市や地域で、短期、中期、長期での時系列でのグラウンドアップ・プログラムを設計するには、社会と地域、および環境資源の特性を考慮することが必要になる。空間特性をもとに、低炭素化の限界効果の大きな技術・政策を選定する方法論、技術政策間での相互の補完・相乗効果の高い空間政策として設計するための方法論、さらに、低炭素の直接間接の効果をほかの効果と定量的に算定する方法論の開発が求められる。その上で、これらの方法論に基づく実用性のある計画支援ツールが必要となる。

図1は、以上をふまえての低炭素都市技術・政策の評価システムの基本フレームを示す。具体的な都市を対象にして、都市環境GISデータベースと環境解析モデルに基づいて、環境負荷の発生から環境フラックスの算定、および低炭素都市の技術評価システムのプロセスを構築している。水・熱エネルギー・廃棄物の環境負荷発生・移動の空間特解析システム、技術政策の導入効果を定量的に算定するシステムの構成を目指している。

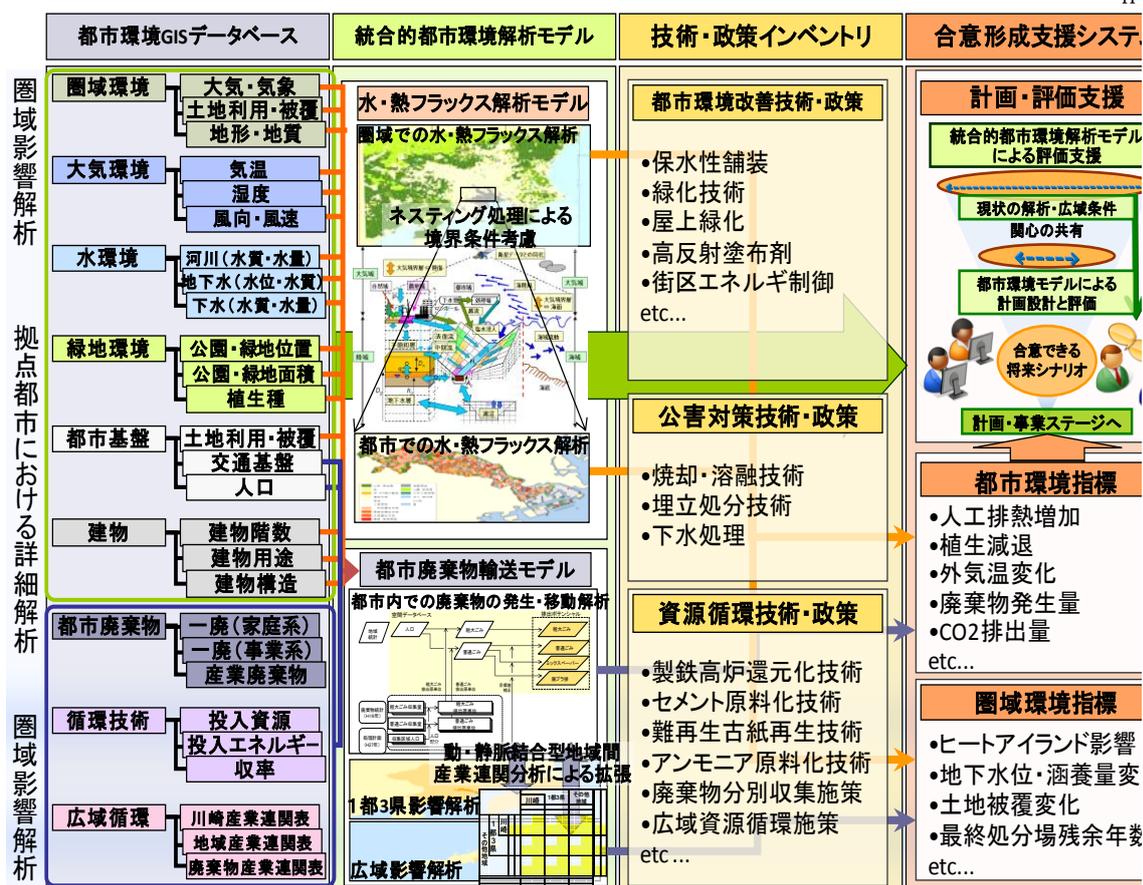


図1 都市環境の技術・政策計画・評価システムの基本フレーム

本研究課題は、国内の拠点都市における低炭素・循環型社会の形成に資するべく、持続可能な都市・産業システムの設計を支援する都市環境の技術・政策の計画・評価システムを構築することで、環境改善効果を最大化する技術・政策シナリオとそれに基づく行動計画の提示プロセスの構築を目的とする。

2. 研究目的

本研究は、都市スケールにおいて、都市産業構造の循環型への転換、産業活動を都市代謝の基盤として活用することによる低炭素社会へ向けた産業システムの構築を目指し、水・物質・エネルギーに関する環境フラックスの現状把握と解析モデル構築と、環境改善技術・施策インベントリ構築により、これらのオプションがもたらす拠点都市とその周辺圏域への影響を地域地区ごとに定量的に算定することで、最適な将来シナリオの設計・評価システムを構築していく。本研究で構築する市環境の技術・政策計画・評価システムの基本フレームを図1に示す。対象とする都市について、都市環境GISデータベース、統合的都市環境解析モデル、技術・政策インベントリ、合意形成支援システムを構成する。

(1) 都市環境地理情報データベースシステム構築

研究対象とする川崎市と周辺圏域を対象に、分布型の環境負荷発生、環境資源分布、環境基盤施設の都市環境情報のGISデータベースを構築するなど都市・産業インベントリを含む地域GISデータベースシステムを構築して、そのプロセスを定式化する。

(2) 統合的な都市水・熱フラックス解析モデルの開発

都市および圏域の水・大気・熱・エネルギー、資源循環について、環境資源のフローとストックの空

間分布と移動特性を定量的に解析できる、統合的な解析モデルを開発する。

政策設計支援ツールとして有効なモデルとするため、大気・陸面・地下水・建物の過程を統合したモデルを開発する。これにより土地利用の変更や地下水の空調利用など複数の領域をまたぐ施策に関する評価が可能となる。モデル開発においては、気象および地下水の観測データを用いて精度の検証を行う。

(3) 環境改善技術・政策インベントリ構築と将来シナリオの構築

低炭素社会と持続可能な都市を実現するための都市熱環境緩和技術や、資源循環技術の技術・施策インベントリを構築するとともに、都市環境解析モデルを用いた将来シナリオの設計・評価システムを構築する。緑化や保水性舗装、未利用エネルギーの利用など街区レベルでの施策の評価を目的とする。このような施策による効果は、高断熱化等の個別建物への施策と比較して定量化することが難しく、地域的な条件に左右されるためである。また、本サブテーマでは川崎市との連携のもとに川崎市内の個別建物情報および土地利用に関するGISデータを用い、詳細な情報をモデルに反映して施策の評価を行う。

(4) 都市環境政策における合意形成支援システム

低炭素・循環型社会を実現する上で、都市が合理的な都市環境活動にむけて誘導・制御する施策を設計・実現において担うべき役割は極めて大きい。平成21年度は、都市・産業システムの代替的な技術・政策シナリオを定量的なインベントリとして用意することにより、環境フラックス評価システムを用いた、地域環境保全ポテンシャルを高めるための都市・産業システムをシナリオとして設計する方法論について検討した。

低炭素・循環型社会を実現する上で、都市環境活動を誘導・制御する具体的な低炭素都市整備計画及び都市産業システムの検討に重点を置いて、都市の緑化技術及び政策システムと、都市・産業共生の技術および政策システムについて、定量的なインベントリとして用意することを行政の政策担当者との連携で進めた。

3. 研究方法

(1) 都市環境地理情報データベースシステム構築

まず、水環境および熱環境に関する基礎情報の収集・整備と水循環フローや建物排熱などの一次加工情報の作成・整備を行い、都市環境GISデータベースの枠組みを構築した。その上で、汎用的なGISフォーマットでの都市環境地理情報データベース（以下 GISフォーマットでの都市環境の地理情報のデータベースとして都市環境GISデータベースと称する）の枠組みを構築して、都市環境GISデータベースを活用するための都市環境空間解析モデルおよび行政支援システムへのインターフェイスを検討した。

1) 都市環境GISデータベースの構築

対象地域における都市基盤情報や建物情報などの基盤情報は川崎市から情報提供を受けることとし、その他、解析に必要な各種測定情報や統計情報などの情報は位置情報を新たに付加することにより、都市環境GISデータベースを構築した。収集整備した都市環境GISデータベースの基礎情報を用いて、水環境に関する情報を空間的かつ定量的に結合し、水循環フロー情報を一次加工情報として作成する。同様に、熱環境に関して、建物情報を用いて、建物用途分類や床面積の統合を行い、原単位法により排熱量の推計を行い、一次加工情報として作成する。都市環境空間解析モデルによる解析結果は二次加工情報として整備した。都市環境GISデータベースの構築において、環境情報を基礎情報、一次加工情報、二次加工情報のカテゴリーで整備し、情報公開に際して公開レベルを個別に管理するデータベース構築の基本プロセスをまとめた。

対象地域における基礎情報は川崎市からの提供を受け、各種水・熱環境データの算定・GIS化する一次情報加工と、都市環境解析モデルによる解析結果の二次情報加工で都市環境GISデータベースは構成される。平成21年度は、これらのデータベースに、更に人工排熱算定、気象データの入手（地上気象、高層気象、アメダス、海水面温度データ等）によりデータベースを拡充した。また、既存のデータだけではモデル検証や現状把握に不十分な点を補足するために、対象地である川崎市臨海部での多地点同時観測を実施した。

2) 行政支援システム等への活用検討

都市環境GISデータベースの活用としては、マルチスケールモデルである都市環境空間解析モデルへのデータ提供と行政支援システムのデータ基盤が考えられる。前者に対しては、GISデータとしてのメリットを生かしマルチスケールのデータ要求に効率的にデータ提供を行う。後者に対しては、データ管理を活用したユーザに応じた公開レベルの提供を効果的に行うことを可能とする。これらを活用プロセスとして整理する。

都市環境GISデータベースの活用としては、マルチスケールモデルである都市環境空間解析モデルへのデータ提供と行政支援システムのデータ基盤とすることが考えられる。平成21年度は、都市環境GISデータベースの行政支援システムへの活用を鑑みたインターフェイスの設計に着手した。

(2) 統合的な都市水・熱フラックス解析モデルの開発

1) 都市水・熱フラックス解析モデルの開発

これまでに開発を進めてきたNICEモデルをベースにして、大気境界条件を与えるMSM (Mesoscale Spectral Model) との連結、都市キャノピー内の運動、熱、水移動さらには都市排熱の一部を簡易型AUSSSMモデル (Architecture-Urban-Soil Simultaneous Simulation Model) の一部に組み込み、大気、土壌、地下水を連結させたモデル開発を行った。このモデルを用いた技術評価としては、川崎市緑化指針等を考慮した緑化導入及び保水性舗装導入の効果について、より現実に即した技術導入効果の評価を行った。

これまでに開発してきた陸域統合型NICE (NIES Integrated Catchment-based Eco-hydrology) モデル (Nakayama (2008)、Nakayama and Watanabe (2004、2006、2008)、Nakayama et al. (2006、2008)) に新たな改良を行った。NICEモデルは、MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer) 衛星データから得られるLAI (Leaf Area Index) やFPAR (Fraction of Photo-synthetically Active Radiation) 等の高次プロダクトと同化することによって植生の季節変化・増殖を考慮し、かつ、河川水・土壌水分・地下水及び植生間での相互作用を考慮した3次元グリッド型の水・熱・物質収支モデルである。

都市形状、放射過程、及び水・熱収支のモデル化を含む都市キャノピーモデルの構築を行った。また陸域一大気域間での水・熱フラックスを考慮して陸域NICEモデルと大気モデル (RAMS) の結合を行った。更に、都市内部の挙動については、簡易型のAUSSSMをベースにして鉛直平均値 (温度・湿度・風速) の水平方向への移流拡散プロセスを新たにモデル化して追加した。

モデル境界条件として、土地利用・植生・土壌・地質等のGISデータを各3次元グリッドに与えるとともに、広域境界条件として気象庁MSM及びECMWF (European Center for Medium range Weather Forecasting) 再解析データを用いた。都市域については、国土数値情報及び川崎市・横浜市・東京都提供の建物データを用いて作成した建物メッシュデータを境界条件とした。計算の際には、広域の関東メッシュ (計算領域: 260km×260km、格子サイズ: 2km×2km) での計算結果を詳細な川崎メッシュ (計算領域: 36km×36km、格子サイズ: 0.2km×0.2km) の初期条件及び境界条件として入力するワンウェイネスティン (one-way nesting) を行った。

川崎市提供の川崎市全域の気象観測データ及び水収支観測データを用いて、2005-2006年の2年間の検

証を行った。併せて、気象庁MSMの再解析データも参考値としてモデル検証に用いた。

従来のライフサイクルインベントリ分析のシステム境界を拡張し、循環利用によって節約された資源の標準的な利用過程も境界内に含めた評価を行う。評価対象として、プラスチック製容器包装のリサイクル及び、木材を原料とする紙のリサイクルの事例を取り扱った。インベントリデータは、既存の報告書や独自にヒアリング調査を行ったものを評価に使用した。

本研究で開発した都市熱・フラックス解析モデル(NICE-Urbanモデル)の構造を図2に示す。空間的には地域スケール(数百km四方)と都市スケール(数十km四方)の2つのモデルから構成され、それぞれ以下の要素を含む。

- 地域スケールモデル：大気モデル—陸面モデル
- 都市スケールモデル：大気モデル—キャノピー内モデル—陸面モデル—地下水モデル—建物モデル

両者は大気モデルにおいてワンウェイネスティングにより接続される。地域スケールモデルは関東全域を2kmメッシュで分割し、260km×260kmの領域をカバーする。都市スケールモデルは川崎市周辺を200mメッシュで分割し、東西36km×南北26kmの領域をカバーする。

各物理過程に対応するサブモデルの構造は以下の通りである。

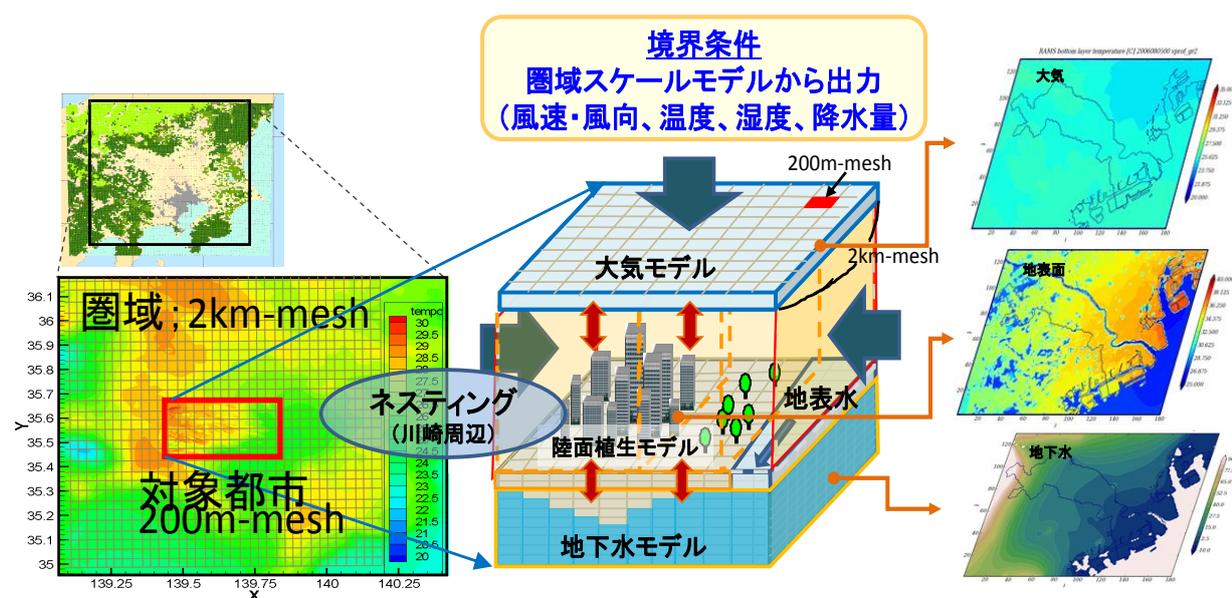


図 2 NICE-Urbanモデルの構造

a. 大気モデル

大気モデルはコロラド州立大学を中心に開発されたメソ気象モデルのRAMS (Walko et al. (2003)) を元とし、オリジナルの陸面過程を取り除き、新たにSiB2ベースの陸面モデルを結合している。鉛直格子間隔は地域モデルについては100m~1200m、都市モデルについては100m~1000mとした。地域モデルの境界条件は、気象庁によるMSMモデル再解析データ(水平格子間隔10km)を用いた。都市モデルの境界条件は地域モデルによる計算結果(気温、風速、相対湿度)をワンウェイネスティングにより入力した。

b. 陸面モデル

陸面過程は、植生モデルSiB2 (Sellers et al.、1996) に田中の都市キャノピーモデル(Tanaka (2004)) を組み合わせており、都市の陸面過程を計算することが可能である。陸面モデルと大気モデルとの間で相互にフラックスの交換を行いながら計算を行う。地面の状態は、地域モデルにおいてはRAMS標準の米

国地質調査所（USGS）による土地利用データを用い、都市モデルにおいては川崎市による土地利用の調査結果を用いた。建物に関しては、川崎市の個別建物データを200mメッシュ毎に集計し、建物面積割合と平均建物高さをモデルに入力した。川崎市に隣接する自治体については、統計情報をもとにメッシュ毎のパラメータを推定した。

c. キャノピー内モデル

キャノピー内の各物理量の鉛直分布を求めるためにAUSSSM(萩島、2003)をベースとし、水平方向の移流拡散スキームを組み合わせたモデルを開発した。地表面とメソ気象モデルの最下層の間の詳細な温度分布を求めることができる。鉛直1.6m格子で地上0mから40mを解くことができる。

キャノピー内モデルには個別建物データから算出した時刻別の人工排熱データを入力した。人工排熱は3次元的に入力され、工場の煙突からの排熱は煙突口のある高さから排出される。

d. 建物モデル

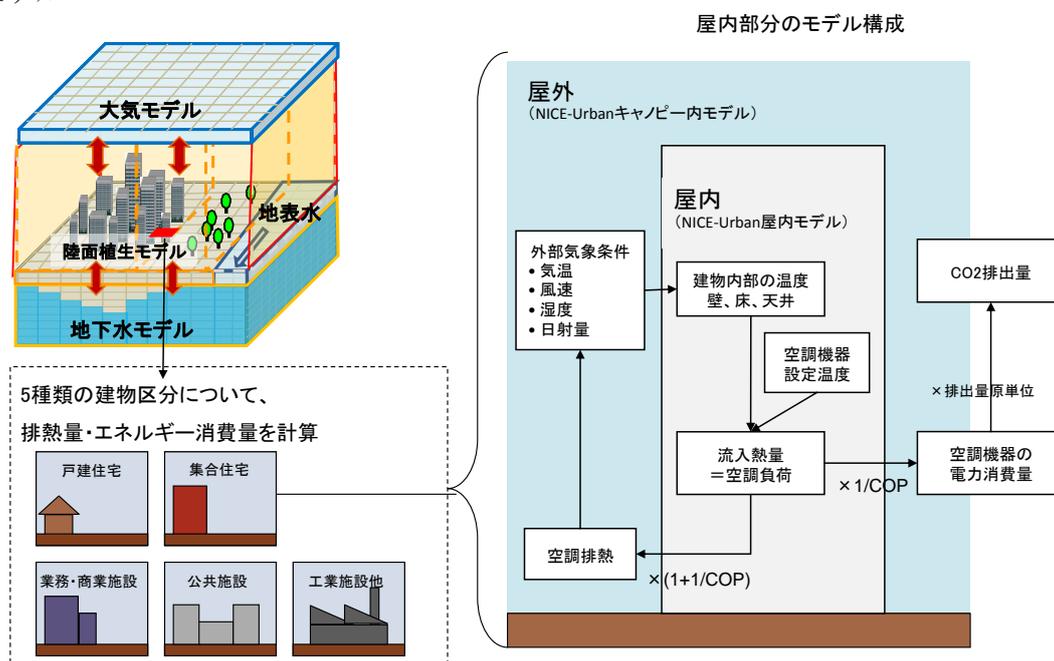


図3 建物モデルの構成

AUSSSM(萩島(2003))をベースに建物内部の過程を計算する。キャノピー内モデルで計算された気象条件を用いて、空調負荷および空調エネルギー消費量を計算する。建物条件に関しては、川崎市の個別建物データをもとに200m四方の街区について統計を求める。5つの建物区分（戸建住宅・集合住宅・公共施設・工業施設ほか）に分割している(図3)。建物モデルで計算された空調排熱はキャノピー内モデルにフィードバックされる。

e. 地下水モデル

地下水過程はUSGSにより開発されたMODFLOW(Harbaugh et al. (2000))を用いている。川崎市周辺の地下構造データは、国土地盤情報 (<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/>) およびかながわ地質情報 (<http://www.toshiseibi-boring.jp/>) より多数のボーリング柱状図をデジタルデータとして取得し、それらのデータから詳細な土質情報を抽出して用いた。また、空間補間には、地形情報の補間に一般的に用いられているクリギング法を用いることとした。その結果、緑化はある程度の規模が無いと街区レベルでの温度低減効果が見られない傾向が見られた^{1)、2)、3)}。

2) 統合型の都市水熱環境解析 (NICE-Urban) モデルの開発

これまでに開発してきた陸域統合型NICE (NIES Integrated Catchment-based Eco-hydrology)モデル (Nakayama (2008)、 Nakayama and Watanabe (2004、2006、2008)、Nakayama et al. (2006、2008))¹⁾、²⁾、³⁾、⁴⁾に、主に建物構造、アスファルト等の都市構造を組み込んだモデルを平成19年度までに開発を行ってきた。平成21年度は、個別に扱われていた気象モデル、都市キャノピーモデル、地下モデルを結合した統合的モデル構築を進めるとともに、モデル精度の向上を目的とした都市キャノピーモデルにおけるパッチ化を実施した。図は、パッチ化導入前後における土地利用の再現性の違いを示すものである。パッチ化導入前 (Aggregation) のメッシュ設定では土地利用区分から面積比率の一番大きな区分でメッシュを代表させて計算を行っていた。今回のパッチ (Patch) 化導入により、メッシュ内を構成している各土地利用用途を占有割合で再現し、各土地利用区分からのフラックス (S_i) を個別に計算することが可能となる。各メッシュにおけるフラックス (S) は、短波放射、長波放射、顕熱、潜熱、運動量を対象とし、以下の (1) 式で表わされる。

$$S = \sum_{i=1}^n r_i S_i \quad (1)$$

ここで、 i は土地利用区分を示すパッチ番号 ($i=1\sim 5$ 、1: 水域、2: 森林、3: 耕作地、4: 公園/草地、5: 都市域) を、 r_i は各パッチの面積比率を示す。

3) モデルの境界条件及び計算領域

本研究では、気象庁メソ客観解析データを広域スケールの関東メッシュ (計算領域: 260km×260km、格子サイズ: 2km×2km) にネスティングした計算を行った後、その計算結果を都市スケールの川崎メッシュ (計算領域: 36km×36km、格子サイズ: 0.2km×0.2km) にワンウェイネスティング (one-way nesting) することにより計算を行った。シミュレーション期間は、2006年8月1日～2006年8月31日の31日間とし、時間ステップは関東メッシュにおけるRAMSでは5秒、川崎メッシュにおけるRAMSで1.5秒、都市キャノピーモデル内で2～30秒までスケール及びサブモデル間で可変とした。モデル検証には、川崎市提供の川崎市全域 (全29地点) の気象観測データを用いた。

(3) 環境改善技術・政策インベントリ構築と将来シナリオの構築

地球温暖化への取り組みが国際社会でもわが国においても緊急の課題となる中で、経済成長や快適性、活動の効率を維持しつつ、エネルギー消費、およびCO₂排出量を低減する低炭素都市の設計と実現が急務となりつつある。特に、民生部門におけるエネルギー消費量は、1990年度比37.6%と大幅な増加傾向にあり、夏季の都市高温化による外気温の上昇が、エネルギー消費の増大等を引き起こすと指摘されている¹⁾。1990年代より都市熱環境緩和のための対策技術について、議論が繰り返されており、近年では、多様な対策技術が検討されており、数値シミュレーションや実測研究もすすめられている。

例えば、亀卦川 (2007) は、気象条件と建築エネルギー消費の空調排熱を介した相互作用過程を都市スケールにて考慮可能なMM-CM-BEMを用いて、空調排熱削減や屋上緑化・壁面緑化・日射反射率向上等を住宅へ導入した場合のシミュレーションを行っている。また、田村ら (2005) は、東京23区を対象とした、都市単位での緑化推進、保水性舗装・高反射率塗装の導入、道路交通排熱・建物排熱の削減について気温低減効果の予測を行い、その対策の有効性を示した。

また、都市熱環境の緩和とエネルギー消費の影響については、鳴海ら (2006)¹⁾により明らかにされており、都市熱環境緩和と技術導入による効果についても、様々な研究が行われている¹⁾ (表1)。

これらに対し、温暖化対策としての都市熱環境改善技術を対象に、地域特性を考慮した技術導入効果の算定を行うため、外気温算定モデルの改良、地域特性を内包したデータベースの構築を行った。具体的

には、萩島ら(2001)が構築した、外気温変化の定量的な把握と幅広い技術を評価可能とする鉛直次元モデル(以下AUSSSMと略記)を改変し⁷⁾、川崎市を対象として、気温・湿度・風速・雨量・日射量の気象条件を考慮可能なプロセスモデルを構築した。さらに、保水性舗装のパラメータを追加し、都市被覆改善技術の導入効果を算定している。本研究は実際の都市環境政策への情報出力を視野に入れ、これらの研究に加えて、建物の高効率化などの技術インベントリを増やすとともに、都市スケールの建物・土地利用制御の環境技術について、現状に即した導入政策の効果を算定するシステムの開発を目指す。具体的には、これまでに開発した外気温算定モデル及びGISデータベースの改善と、技術・施策オプションの整理により、都市・街区スケールでの都市熱環境改善技術・技術導入施策のCO₂削減効果を算定する「都市熱環境技術施策シミュレーションシステム」を構築する。

表-1 日本における都市熱環境改善技術研究事例

対象	著者(年度)	技術	手法	概要
都市被覆改善技術	澤田ら(2002) ¹⁰⁾	都市緑地	TM データ解析	東京都区部を中心とした範囲を解析し、水面、緑被地の量、および樹林地と草地の比率が、都市内の緑被地の表面温度の高低に影響を及ぼすことを明らかにした。
	鍋島ら(2002) ¹¹⁻¹²⁾	歩道用舗装材	実測実験	大阪市にて9月の1週間を対象に行った屋外実験をもとに、歩道用の舗装平板の熱的性能に関する報告した。
建物改善技術	福田ら(2001) ¹³⁾	屋上緑化	実測シミュレーション(SMASH)	温度実測を元にしたシミュレーションを行い、集合住宅の屋上にビオトープ緑化した場合、最上階の年間熱負荷が約10%削減できると報告した。
	鈴木ら(2007) ¹⁴⁾	壁面緑化	観測	パネル型壁面緑化材を試験体とした観測をもとに、顕熱・潜熱フラックスの特性について検討し、壁面緑化の顕熱フラックス抑制効果による温熱環境改善効果を把握した。
	岩前ら(2006) ¹⁵⁾	断熱材	定常伝熱モデルによる数値計算	戸建て住宅を対象とし、部分断熱改修の空調への影響について、20件の住宅実例プランをもとに検証を行った。
	酒井ら(2005) ¹⁶⁾	高反射率塗装	実測実験	高反射率塗装の室内温度上昇抑制について、同色の従来の塗装を用いた場合と比較し、室内温度が0.3-3℃程度低下することを確認した。
	柳内ら(1996) ¹⁷⁾	日射遮蔽ペアガラス	シミュレーション(SMASH)	シングルガラスからペアガラスにした際の窓の断熱・日射遮蔽性能が、暖冷房負荷及び住環境に及ぼす影響について定量的な把握を行った。
	吉田ら(2008) ¹⁸⁾	BEMS	実測実験	季節に応じた空調機内設定の最適化について検討し、既存建物の運用改善による主な効果を示した。

本システムは、土地利用・建物用途情報等を含む地域環境GISデータベースを構築し、都市被覆改善技術および建物改善技術を対象とした技術インベントリ・施策オプションを整理することで、より現実的な算定ケース設定を可能としている。これまでの既往研究のように、技術単体の外気温低減やCO₂排出削減効果については、これまでに報告されている。都市被覆改善技術については実測データに基づいた研究により、緑地や舗装材の選択が外気温に与える影響を認めている¹⁰⁻¹²⁾。建物が受ける日射・熱負荷の低減技術については屋上緑化や高反射率塗装等それぞれの技術について実測やシミュレーションにより定量的な効果を認めている¹³⁻¹⁷⁾。また空調設備の最適運転については実測実験によりビル管理システムBEMSの効果が報告されている¹⁸⁾。これらの研究をふまえて、本研究では都市の施設立地と土地利用状況に応じて適当な技術を組み合わせ、対象地域の空間特性をふまえた、算定条件の設定とケース設定を行い、より現実的な技術・施策導入効果の算定を可能とする。

計算結果を街区整備の方針に反映するために、対象地域を1kmメッシュで分割したメッシュごとの建物・土地利用特性をもとに、都市熱環境改善技術の導入水準を設定してその効果算定を行なう。評価指標は、夏季の高温化による電力需要の拡大に着目し、空調エネルギー消費削減量、CO₂削減量を用いる。

技術導入施策によるCO₂削減効果を算定するシミュレーションモデルとして、土地・建物情報、気象条件を入力して外気温の鉛直分布を算定し、ついで、建物フロアごとに吸気口周辺の外気温算定結果を用いて、空調エネルギー消費量を算定するモデルを構築した。これを算定対象期間繰り返し、外気温鉛直分布および各建物フロアのエネルギー消費量の時系列変化を得る。

図4(1)に、任意の建物1階フロアを対象に、高度1.6mにおける外気温およびそれをういて求められる空調エネルギー消費量の時系列変化の算定例を示す。本モデル構築においては、これまでの報告⁷⁻⁸⁾ に対し、

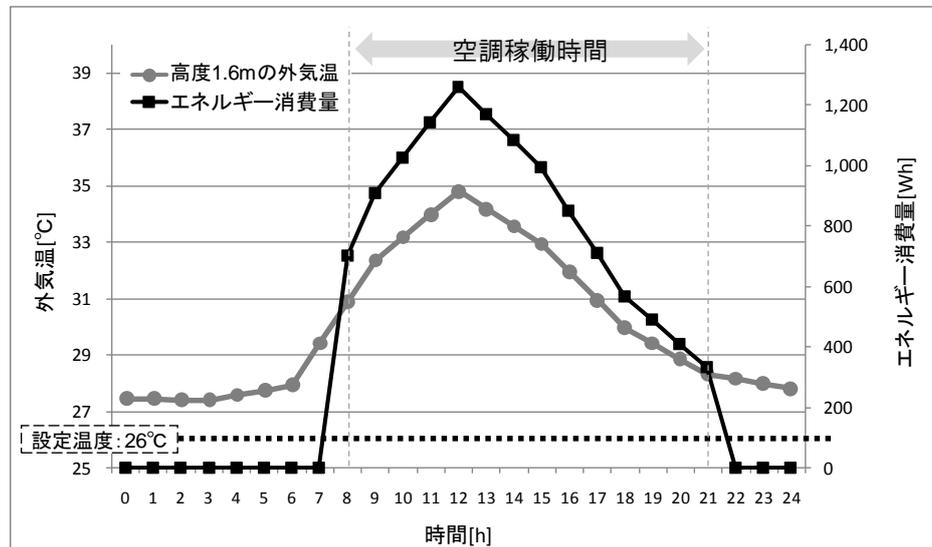


図4(1) 1フロアの外気温・エネルギー消費量時系列変化

評価対象技術を拡大し、住宅のみでなく大中規模ビルを対象建物としている。

1) 外気温鉛直分布の算定プロセスの構築

土田・藤田ら(2007)が改変した⁷⁾、AUSSSM⁹⁾を用いて外気温鉛直分布を算定するプロセスを構築する。AUSSSMは、街路形状、地表面・屋上緑化、空調システムの性能等についてデフォルトのパラメータが提供されており、都市熱環境改善技術についての評価に用いられてきた。モデル全体は都市大気・土壌・建物の3つのサブモデルから成り、それらを完全連成系として取り扱っている。各サブモデルは基本的に1次元モデルにより構成され、建物サブモデルでは夜間の放射や建物排熱を考慮している。以下では外気温分布算定の中核となる大気および土壌の各サブモデルについて概要を示す。

なお、本研究では気象条件のパラメータは1時間ごとに与えて、外気温、比湿、日射量、風速は、ケーススタディ対象である川崎市の気象観測値、降水量は横浜のアメダスデータを用いた。建物パラメータである建物高さ等は対象メッシュごとに設定し、その他アルベド等の物性値は、AUSSSMのデファクトの設定値を準用した。

a. 都市大気サブモデル⁹⁾

都市大気サブモデルは地表100mまでの接地境界層を対象とし、鉛直1次元の熱・運動量及び水蒸気の輸送方程式で表現される。基礎方程式は以下の通りである。

$$m \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_m \cdot m \frac{\partial u}{\partial z} \right)}{\partial z} - \frac{1}{2} ca |u|^2 \quad (1a)$$

$$m \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_h \cdot m \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)}{\partial z} + H \quad (1b)$$

$$m \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial \left(K_v \cdot m \frac{\partial q}{\partial z} \right)}{\partial z} + W \quad (1c)$$

u : 風速 [m/s]、 θ : 気温 [K]、

q : 比湿 [kg/kg]、

H 、 W (生成項) : 人工排熱(空調排熱・交通排熱等により排出される)顕熱、潜熱

c : 抵抗係数、

a : 単位流体体積あたりの建物立体積 [m³]、

K_m 、 K_h 、 K_v : 乱流拡散係数 [m²/s]、

m : 流体体積密度 [-]

建物の抗力の影響は流体体積の密度と抗力項により(1a)式第2項のように表現される。また、乱流拡散係数は、**Gambo**²²⁻²³⁾によるゼロ方程式で表現され、乱れの長さスケールは、キャノピーの影響を考慮した近藤モデル²⁴⁾に基づき算出する。なお、高度100mにおける境界条件として、観測データを平均的大気の温度低減率に従い、高度100mに補正した値を用いる。

b. 土壌サブモデル

AUSSSMのキャノピー底部の土壌サブモデルは、アスファルト・土壌・芝生の3種類の土地被覆を想定し、地中0.5mを温度指定境界とする1次元の熱伝導方程式により表現されている。大気への顕熱量はそれぞれの面積割合を考慮して各表面温度と大気側地表第1層空気温度との差がポテンシャルとして算出される。各被覆条件において、蒸発や地中等への流出過程を含む方程式により水分量の時間変化が計算される。さらに直達日射の反射等も考慮される。土壌サブモデルの方程式は以下のとおりである。

$$\gamma_s \cdot \Delta x \frac{d\phi}{dt} = P - EVS - GD(\phi) + C \quad (1d)$$

$$\phi \leq \phi_{sa} \quad (1e)$$

$$\gamma_s = (1 - \phi)^{-1} \cdot \gamma_{dry} \quad (1f)$$

$$EVS = re(\phi/\phi_{sat}) \frac{\alpha}{C_p} (X_{sat} - X_{air}) \quad (1g)$$

ϕ : 重量含水率 [kg/kg]、

ϕ_{SAT} : 飽和含水率 [kg/kg]、

$\Delta x = 0.1m$ 、 γ_s : 密度 [kg/m³]、

γ_{dry} : 絶乾密度 [kg/m³]、 P : 降水量 [kg/m²s]、

X_{air} : 地上湿度 [kg/kg]、

X_{sat} : 飽和湿度 [kg/kg]、

C : 拡散による水分供給 [kg/m²s]、

EVS : 蒸発量 [kg/m²s]、 GD : 重力透水 [kg/m²s]、

re : 蒸発比 [-]、 α : 対流熱伝達率 [W/m²K]、

C_p : 湿り比熱 [Ws/kgK]

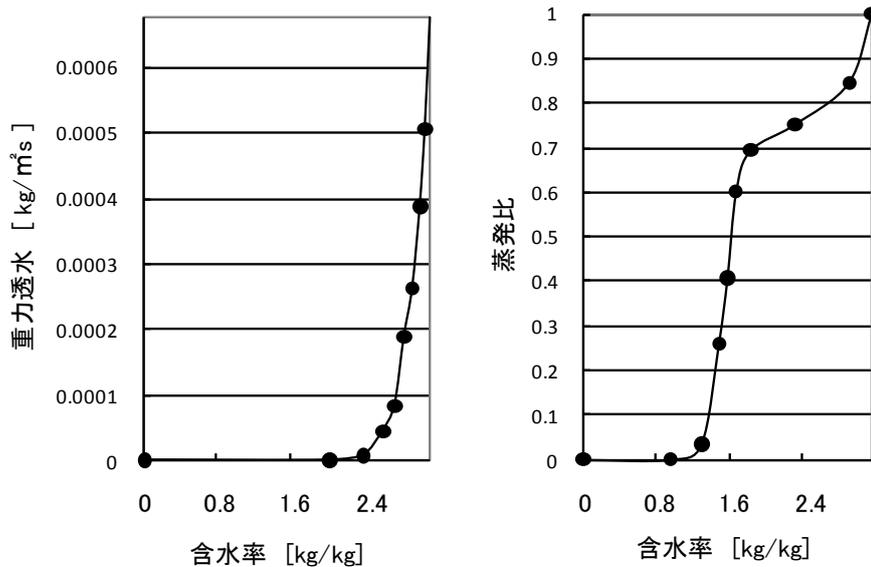


図4(2)保水性ブロックの含水量と重力透水・蒸発比の関係

AUSSSUMの改変にあたっては、上記のサブモデルに保水性舗装のパラメータを追加した⁷⁾。川崎市で行った保水・透水性・芝生の各ブロックの性能比較実測実験²⁵⁾により得られたデータを用い、(1d)～(1f)式の重力透水、蒸発量のパラメータを作成した。

重力透水・蒸発量は、各タイムステップでの含水量により決定する値である。式(1d)における $GD(\phi)$ は各ブロックの重力透水と含水率の実測値から得られた関数(図4(2)左)を使用し、式(1f)における $re(\phi/\phi_{sat})$ は蒸発量と含水量の関数(図4(2)右)を使用する。

既存研究での貫流熱負荷の算定プロセスに加えて、日射負荷の算定プロセスを追加した。

貫流熱負荷の算定式を式(2a)、(2b)、日射負荷の算定式を式(2c)、(2d)に示す。(2a)、(2b)式は、壁面、屋根等の各部位を通じて室内に流入する熱フラックスの総量に室内外の気温差を乗じることで貫流熱による負荷を算定する。

$$Q = \frac{\left\{ \sum (A_i K_i H_i) + \sum_i (L_{Fi} K_{Li} H_i + A_{Fi} K_{Fi}) + 0.3nB \right\}}{S} \quad (2a)$$

Q : 熱損失係数 $[W/m^2 \cdot K]$ 、 A_i : 部位の面積 $[m^2]$

K_i : 部位の熱貫流率 $[W/m^2 \cdot K]$

L_{Fi} : 土間床等の外周長さ $[m]$ K_{Li} : 土間床等の外周に対する熱貫流率 $[W/m^2 \cdot K]$

H_i : 外気等の区分に応じて定まる温度差係数

A_{Fi} : 土間床等の中央部の面積 $[m^2]$ K_{Fi} : 土間床等の中央部に対する熱貫流率 $[W/m^2 \cdot K]$

n : 自然換気回数 [回/h] B : 気積 $[m^3]$ 、 S : 床面積 $[m^2]$ (i : 部位の種類)

$$q_o = Q \times S \times \Delta t \quad (2b)$$

q_o : 貫流熱による負荷 $[W]$ 、 Δt : 室内外温度差 $[K]$

$$\mu = \frac{\{ \sum (\sum A_{ij} \eta_{ij}) u_j + \sum A_{ri} \eta_{ri} \}}{S} \quad (2c)$$

μ : 日射取得係数 [-]、 η_i : 部位の日射侵入率[-]
 v_j : 方位係数[-]、(j は方位を表す)

$$q_s = \mu \times S \times J \quad (2d)$$

q_s : 日射による負荷 [W]、 J : 日射量[W/m²]

貫流熱負荷、日射負荷からなる、外気負荷による空調エネルギー消費量の算定については式(2e)を用いる。

$$q = (q_o + q_s) / \varepsilon \quad (2e)$$

q : 空調エネルギー消費量[W] ε : 空調機の成績係数

本研究では、中規模ビル、大規模ビル、木造・非木造住宅を対象として算定した。

なお、空調稼働時間中は、室温は常に設定温度に維持されると仮定し、外気温が設定温度を超える時のみ空調を使用することとする。部材の性能等を建物の用途・構造別に設定したそれぞれの物性値を整理する

表2 部材の性能等を建物の用途・構造別に設定した物性値

記号	項目	用途分類	構造	値	単位	出典		
Ki	i=w	壁面の熱貫流率	戸建	木造	1.2	W/m ² ·K	戸建・集合住宅： 省エネルギー対策等級 3級	
			集合住宅	鉄筋	1.11	W/m ² ·K		
		中規模ビル	鉄筋	0.92	W/m ² ·K			
	i=r	屋根・天井の熱貫流率	戸建	木造	0.59	W/m ² ·K		中規模ビル： 設計用最大熱負荷計算法 ²⁶⁾
			集合住宅	鉄筋	0.67	W/m ² ·K		
		中規模ビル	鉄筋	0.59	W/m ² ·K			
	i=f	床の熱貫流率	戸建	木造	0.67	W/m ² ·K	中規模ビル： 設計用最大熱負荷計算法 ²⁶⁾	
			集合住宅	鉄筋	0.83	W/m ² ·K		
			中規模ビル	鉄筋	0.92	W/m ² ·K		
i=g	ガラス窓の熱貫流率	-	-	5.75	W/m ² ·K	省エネルギーハンドブック ²⁷⁾		
Hi	i=o	居室と外気の温度差係数	-	-	1	-	省エネルギーハンドブック ²⁷⁾	
	i=u	居室と床裏の温度差係数	-	-	0.6	-		
ηi	i=w	壁面の日射侵入率	-	-	0.04	-	省エネルギーハンドブック ²⁷⁾	
	i=r	屋根・天井の日射侵入率	-	-	0.04	-		
	i=g	ガラス窓の日射侵入率	-	-	0.88	-		
vj	j=東・西	東・西方位係数	-	-	0.45	-	省エネルギーハンドブック ²⁷⁾	
	j=南	南方位係数	-	-	0.39	-		
	j=北	北方位係数	-	-	0.24	-		
ε	空調機成績係数	-	-	4.9	-	フローベースの冷房COP推移04年値 ²⁸⁾		

さらに、本サブテーマで対象としたクールシティ施策及び低炭素施策と、モデルへの反映方法のリストを示す。施策は以下の3種類に区分される。

- ・建物環境の改善：建物の物理特性を変化させることにより、空調負荷を低減する。外気には殆ど影響を与えない。
- ・エネルギーの効果的利用：エネルギーの面的利用や自然エネルギーの利用により、エネルギー消費量を削減する。
- ・大気環境の改善：地面の状態を変化させ、気温を低下させることにより空調負荷を低減する。

表3は、低炭素施策を念頭に作成しているが、「大気環境の改善」に分類されるものは大気の温度を低下されるため、夏期のヒートアイランド現象の緩和にも効果がある。

施策の導入規模は、基本的には物理的な設置限界（ポテンシャルケース）を選択した。モデル上は、特定地点への集中導入などより現実的な施策設定を行うことも可能である。建物の物性や土地利用などを変更することにより、施策を表現する。

表3 モデルへの施策の反映方法

施策区分	施策名(評価する 施策効果)	シミュレーションへの反映方法			導入規模	
		変更するパラメータ	基準ケース	導入時	基準ケース	施策導入ケース
						技術ポテンシャルケース
建物環境 の改善	高断熱素材 (熱貫流量の低減)	内壁の厚さ	2cm	7cm	0%	100% (全ての建物)
	窓日射遮蔽 フィルム(熱貫流量の低減)	窓日射吸収率	0.0	0.54	0%	100% (全ての建物)
	高反射塗布剤 (熱貫流量の低減)	屋上日射吸収率・壁日射吸収率	0.75 0.60	0.191 0.191	0%	100% (全ての建物)
	屋上緑化 (熱貫流量の低減、蒸発散による放熱)	屋根の芝生面積割合	0.0	0.25	0%	100% (全ての建物)
エネルギーの 効果的利用	地中熱ヒートポンプ (外気温低減による間接環境効果)	空調排熱の外気への放出割合	1.0	戸建住宅： 0.0 その他建物：0.7	0%	100% (全ての建物)
	エネルギーの面的利用／河川水への排熱(外気温低減による間接環境効果)	空調排熱の外気への放出割合	1.0	0.0	0%	多摩川沿いの建物で河川水を用いた水熱源ヒートポンプを利用
大気熱環境の改善 (土地利用の変更)	緑化 (気温低減による間接環境効果)	土地被覆の種別を変更する	アスファルト 人工地	芝生 緑地	0%	建物、道路を除く全ての地表面を緑化
	保水性舗装 (気温低減による間接環境効果)	土地被覆の種別を変更する	アスファルト 裸地	保水性舗装	全て非保水性のアスファルト	全て保水性舗装
	地下水の汲み上げと散布 (気温低減による間接環境効果)	アスファルト面の含水量	降雨による水分供給	降雨に加えて12時から13時の1時間散布を行う	散布無し	全道路面に散布

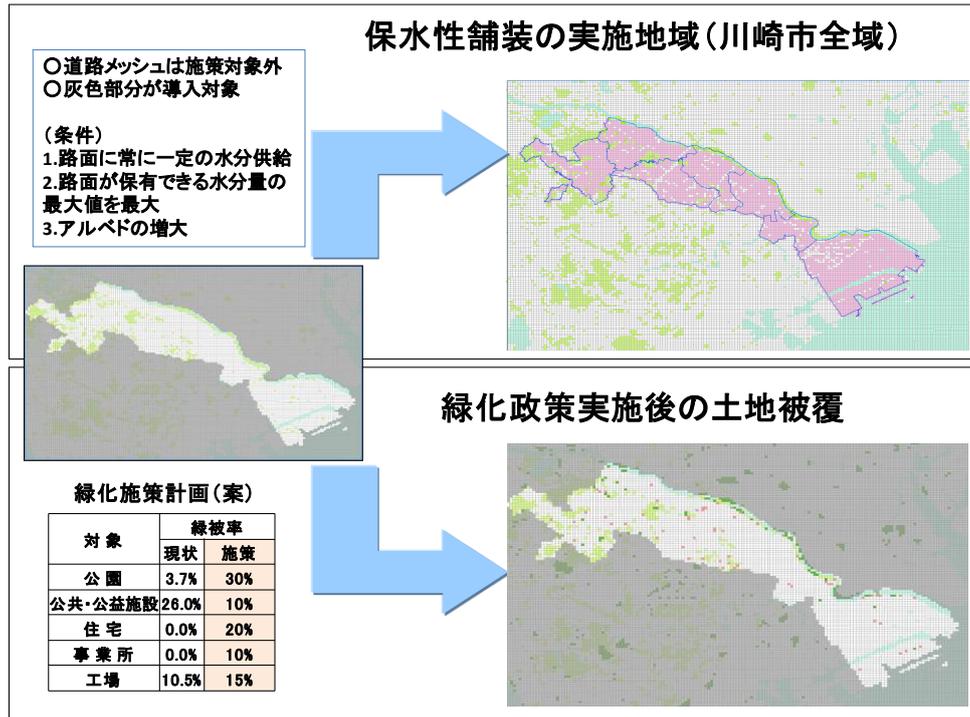


図 5 川崎市の土地被覆状況および緑化施策実施による被覆改善の条件設定

低炭素社会と持続可能な都市を実現するための都市熱環境緩和技術として、保水性舗装、透水性舗装に着目し、その実証試験を川崎市、等々力競技場中央駐車場にて行った。観測では、大気観測(日射量、風速・風向、気温、湿度)、舗装面温度、土壌温度、土壌水分による計測、および蒸発実験を実施した。評価対象は、100%、60%保水性舗装、透水性の3種類とし、バルク法による熱収支解析を行い、各舗装の水・熱特性および温度低減効果を明らかにする。

技術の面的導入に際し、等々力観測のような性能評価およびモデルへの組込を想定したパラメータ化、モデル化が行われる。本年度は、技術・施策導入効果の評価対象として緑化及び保水性舗装導入による都市熱環境改善の効果の検証を目的とした。川崎市指針等をもとにして、緑化及び保水性舗装の2種類の政策オプションに対するシミュレーションを行った。緑化政策の計画として挙げられている5区分のうち、工業用地、中高層住宅地、商業・業務用地のみを対象とし、公共公益施設については現状で施策目標を上回っているため対象外とした。既存の公園についてはメッシュ自体の植生区分を変更するのではなくメッシュの植生カバー率を変更した。また、保水性舗装について道路メッシュは施策対象外にするとともに、路面に常に一定量の水分を供給という条件を用いた。図5に川崎市の現状の被覆と緑化施策の条件設定を示す。

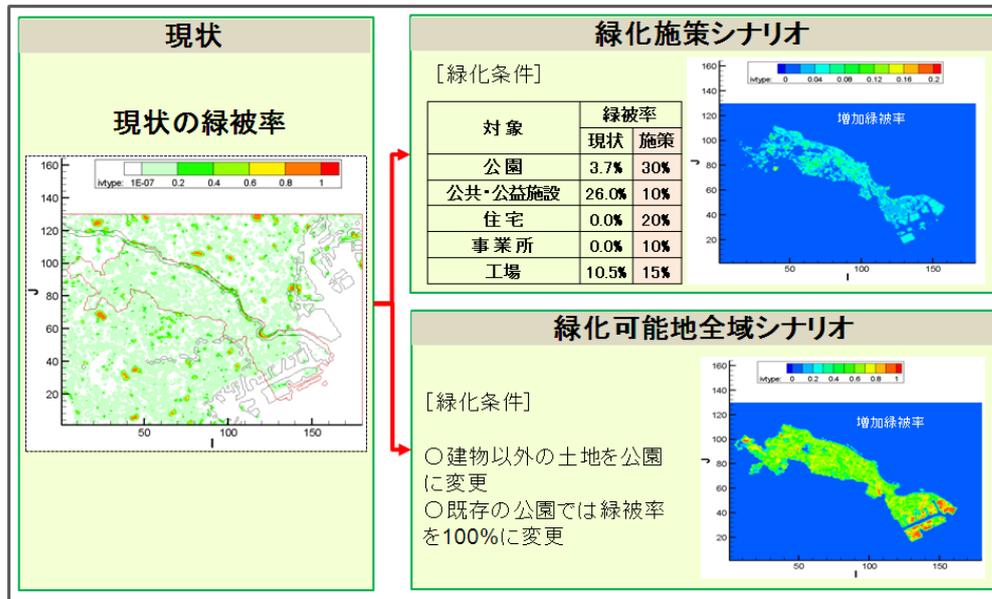


図6 緑化シナリオ条件

図6に都市熱環境改善としての緑化シナリオ条件を示す。「緑化施策シナリオ」は、川崎市における住宅、及び事業系建物を主用途とした敷地については、川崎市緑の保全及び緑化の施策に関する条例に規定される緑化指針を参照している。本指針では、公園における緑化面積率を30%に、公共公益施設においては建築敷地面積1,000㎡以上を対象に、その10%以上の緑地化を奨励している。その他、住宅地および事業所では建築敷地面積の20%と10%以上の緑化面積率の導入を考えている。更に、工場立地法の改正により条例による緑地面積率の緩和が可能となり、川崎市では都市計画法の工業専用地域の区域について緑地面積の敷地面積に対する割合を15%と定めている。本計算では、これらの川崎市条例において奨励される緑化面積率を参考にし、緑化施策導入効果の算定を行った。更に、積極的な緑化強化策として敷地内で建物が建っていない部分を緑化し、公園の緑被率を100%にする、緑化導入可能な全地域での実施を想定した条件設定「緑化可能地全域シナリオ」を行った。本解析では、以上の2つの緑化導入条件における外気温算定結果と、現状計算の算定結果を比較し、緑化導入による外気温の冷却効果などの評価を行った。

(4) 都市環境政策における合意形成支援システム

国内・外におけるシナリオ策定と研究のレビューを行い、近年のシナリオ策定の動向や課題について整理する。次いで、そこで得られた知見を基に、都市スケールでの環境政策立案に向けたシナリオ構築の枠組について検討を行なう。最後に、その枠組を基に都市における低炭素・循環型社会の形成に向けた、ステイクホルダの参加に基づく都市スケールのシナリオ策定プロセスを設計する。

さらに、都市スケールでの環境政策立案に向けたシナリオ構築の枠組を基に、都市における低炭素・循環型社会の形成に向けたステイクホルダの参加に基づく、都市スケールのシナリオ策定のプロセス設計を、対象地である川崎市行政担当者の協力のもとに推進した。

4. 結果・考察

(1) 都市環境GISデータベースシステム構築

まず、地域統計情報、環境観測情報、環境施設情報をもとに、都市環境および圏域環境のマルチスケールの総合的な都市環境GISデータベースの枠組みを構築し、川崎市を対象として、都市の水環境、大気・熱・エネルギー環境、資源立地に関するGISデータベース構築の基本プロセスを構築した。さらに、川崎市において実際に都市環境解析モデルによる試行的な技術・シナリオ分析を行うプロトタイプデータベースを構築して、試行的算定に供した。図7(1)～(4)に都市環境GISデータベースの基本フレームとその活用の合意形成支援システムを示す。

これにより、分野横断的かつマルチスケールのGISデータベース構築の基本的なフレームを共通に利用することが可能となり、GISデータベース構築の効率化を図るとともに、他地域への展開の際にも共通フレームとして活用することが考えられる。

人工排熱データベースの拡充を図り、都市水熱フラックス解析モデルでの入力データとして活用した。人工排熱データでは、住宅建物は低層では1階から、集合住宅は各階から、業務建物は屋上からと排熱位置を考慮したデータベースとしている。工場からの排熱も、空調排熱は屋上から、燃焼施設からの排熱は各工場の煙突高さおよび地上排熱の2パターンに分けて情報整備した。川崎市と東京都、横浜の周辺地域における人工排熱分布図を図8に示す。臨海部では重工業等の工場からの排熱量分布が多い傾向が確認できている。これらのデータベースの出力例を図8(1)～(3)に示している。

○行政支援システムは、施策に関する情報の効果的な公表、施策の効果予測、施策の比較およびこれらの長期的な管理を支援するシステムである。
 ○都市環境GISデータベースは、行政支援システムで取り扱うGISデータの管理システムである。

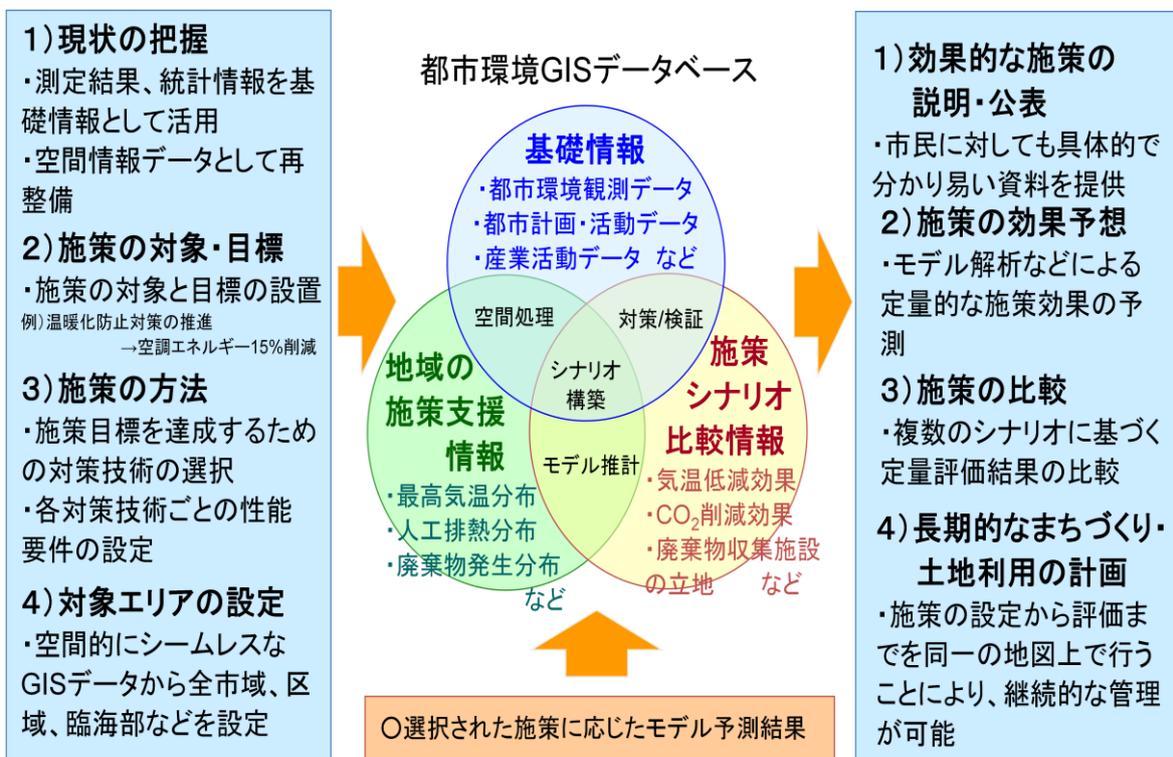


図7(1) 都市環境GISデータベースのフレーム



図7(2) 都市環境GISデータベースのフレーム

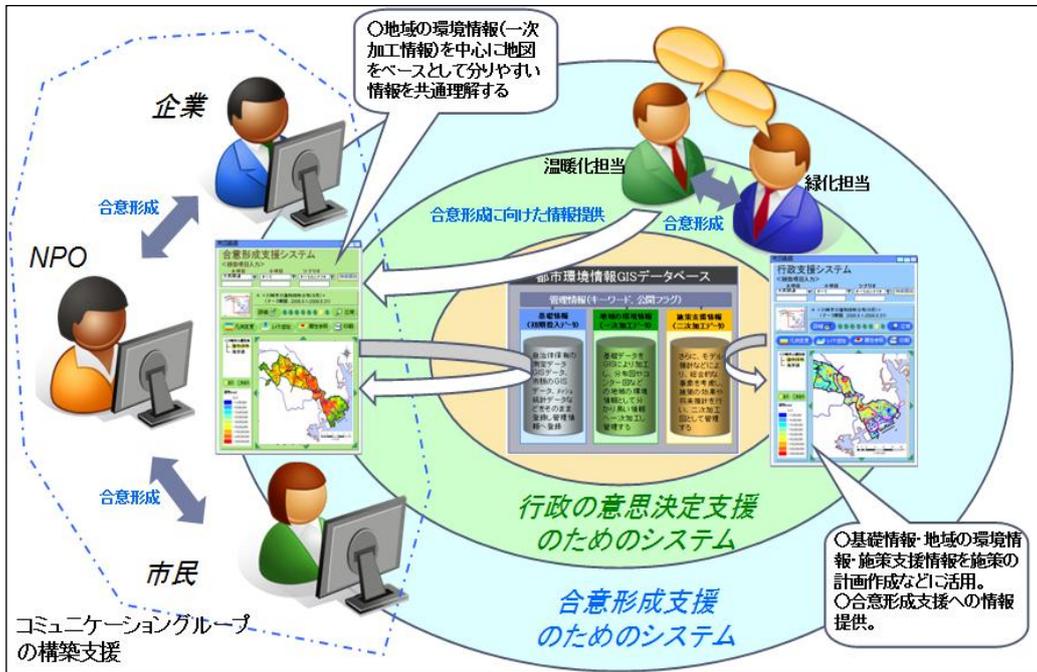


図7(3) 都市環境GISデータベースのフレーム

都市環境GISデータベースの行政支援における活用イメージ

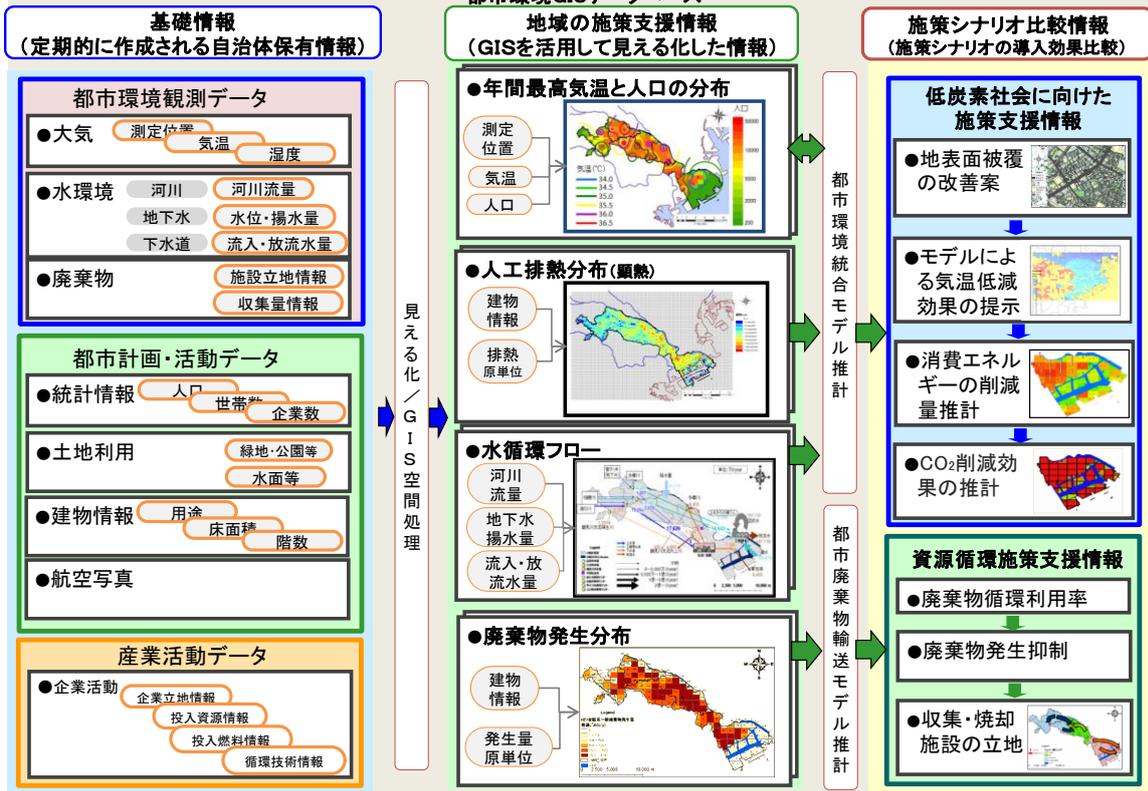


図7(4) 都市環境GISデータベースのフレーム

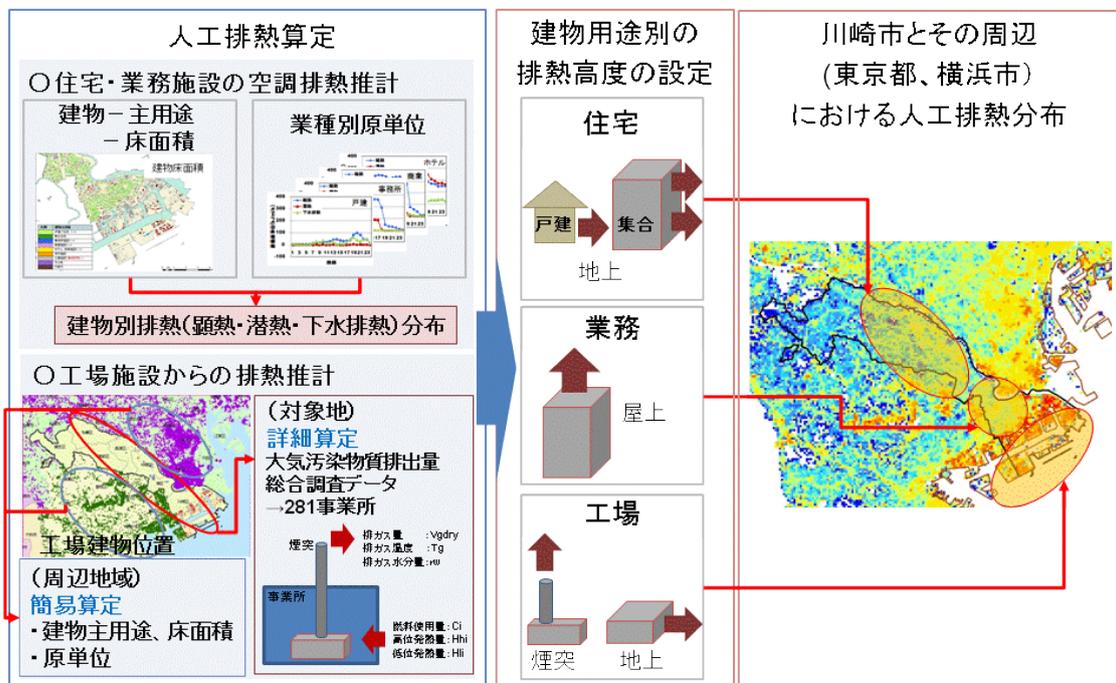


図8(1) 都市環境GIS データベースの出力例

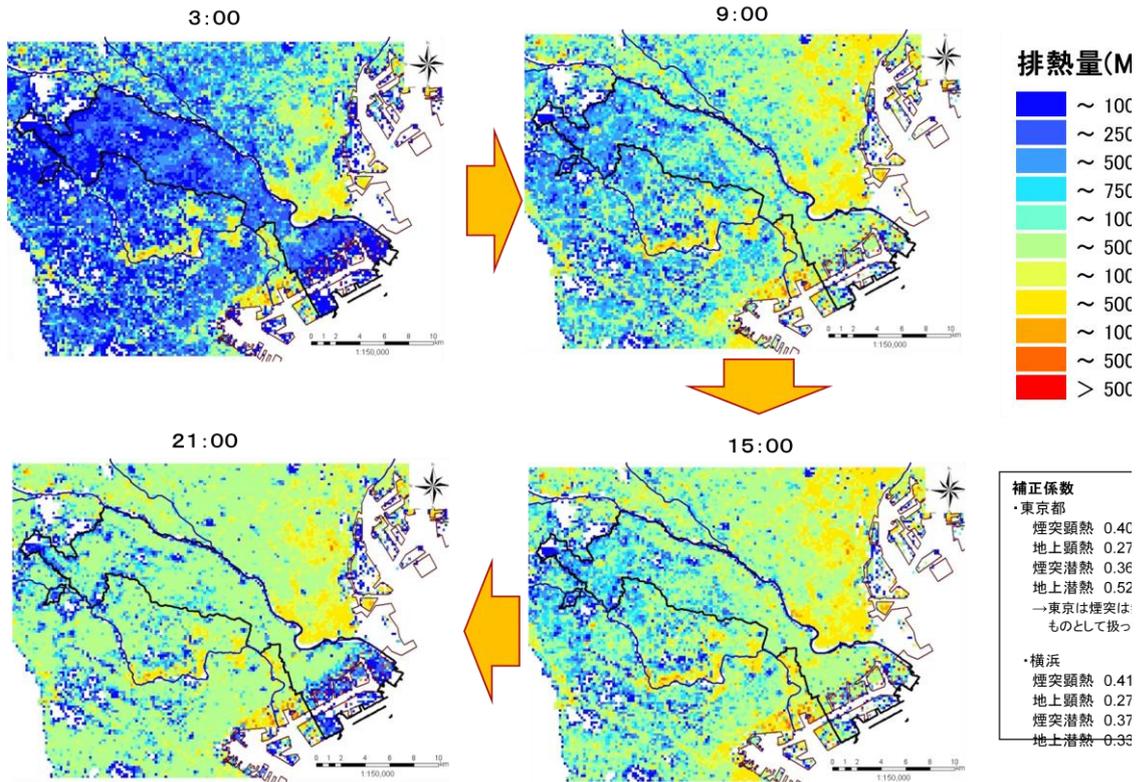


図8(2) 都市環境GISデータベースの出力例

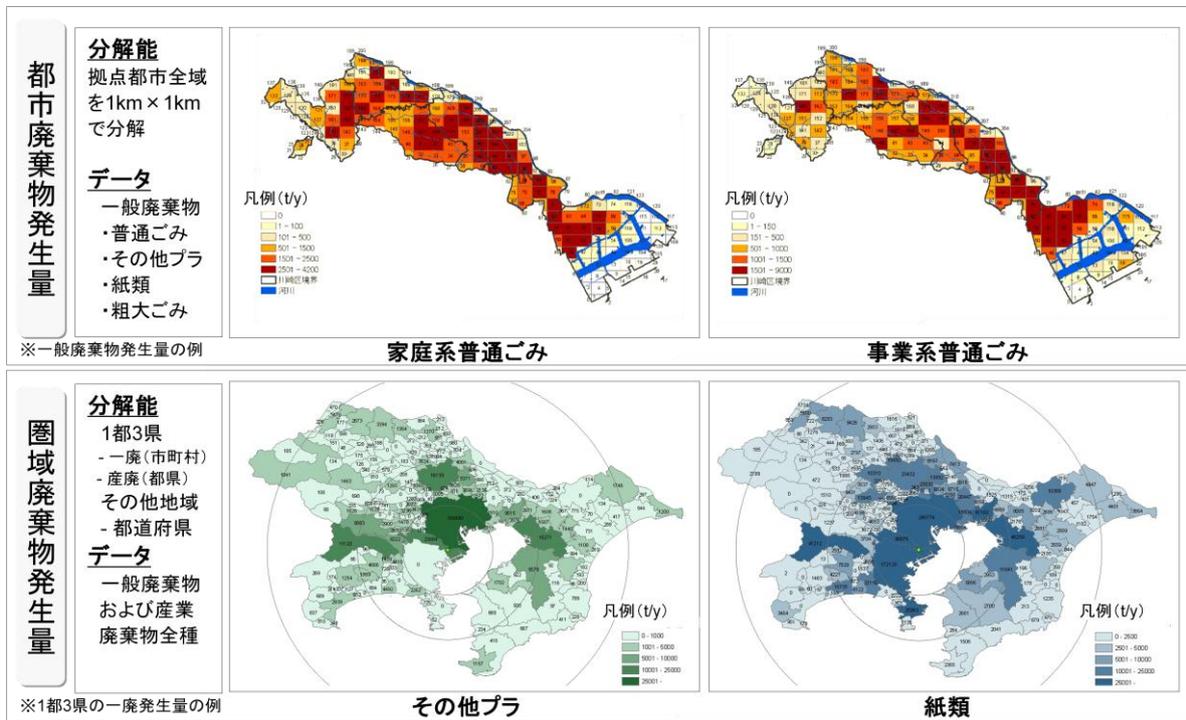


図8(3) 都市環境GISデータベースの出力例

(2) 水・熱・資源の統合的な都市水・熱フラックス解析モデルの開発

1) 都市水・熱フラックス解析モデルの開発

都市水・熱フラックス解析モデル(NICE-Urbanモデル)の川崎市全域への適用にあたって、簡易型AUSSSMモデルとの比較を通して、(株)JFE提供の京浜ビル屋上でのブロック実験データ(2006年8月)を用いて様々な舗装面でのモデル検証を行った。オリジナルAUSSSMについては比較的簡単に計算が出来るという長所がある一方で、芝生上での表面上に溢れた水については取り扱えない、アスファルト舗装内部へ水は浸透しない、等の欠点があったためそれらの欠点の改良を行ったが、特に保水性舗装についての水分量及び表面温度の再現性は非常に悪かった(Nakayama&Fujita (2007))³⁾。一方で、図9に示すように、都市水・熱フラックス解析モデルでは舗装面内に含まれる水分量による熱容量・熱伝導率の変化を考慮

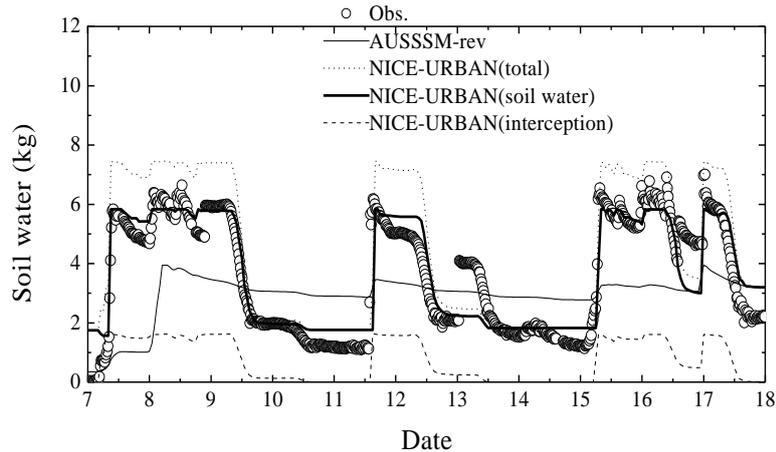


図9 保水性舗装の含水率と数値計算による比較とモデル検証

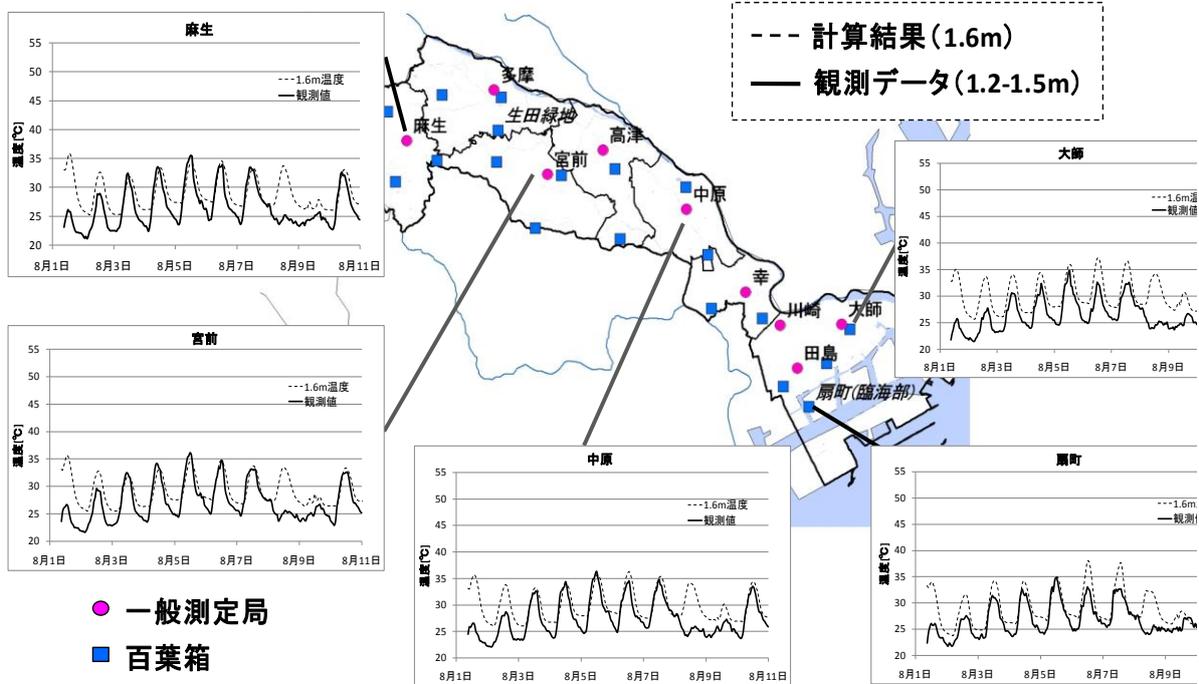


図10 都市水・熱フラックス解析モデルによる計算結果と気象観測値の比較

するように改良を行い、様々な路面タイプについて水・熱収支の実験値を良好に再現することが確認された (Nakayama&Fujita (2007))³⁾。

都市水・熱フラックス解析モデルの検証として、川崎市内に設置されている気象観測データと比較を行うことでモデルの検証を行った。図10は地上1.2-1.5mに設置されている百葉箱の気温と、モデル内では近似する地上1.6mにおける温度との比較を、代表的地点を選び比較を行った。その結果、ほとんどの

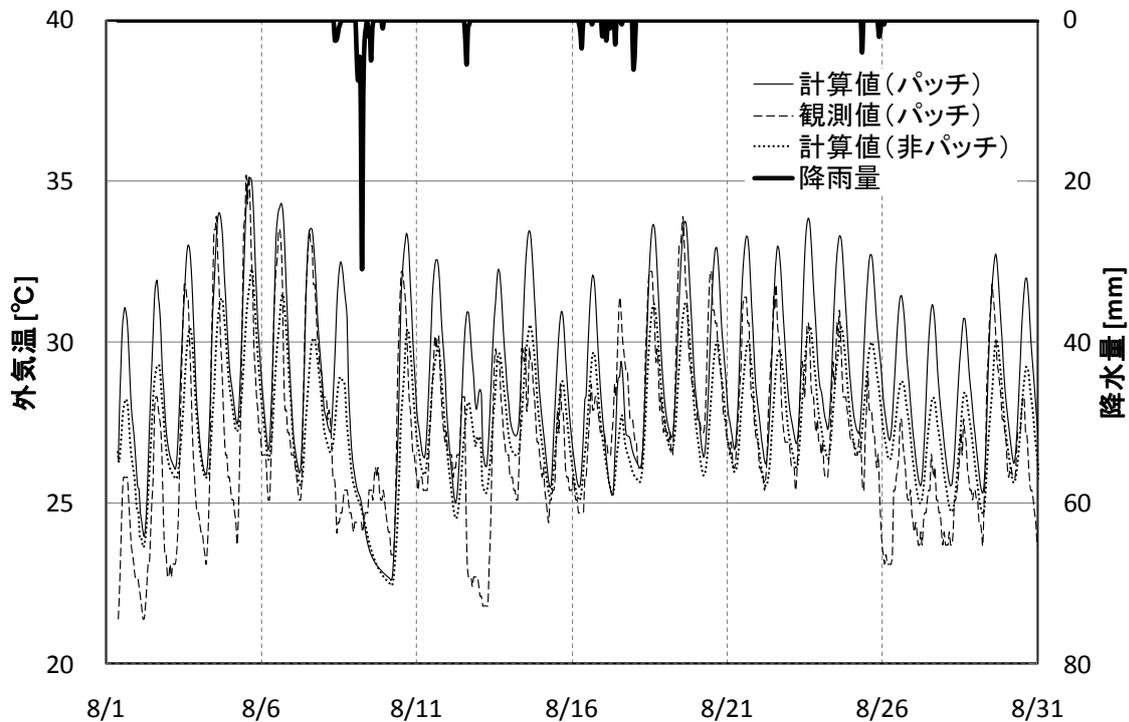


図11 都市水熱フラックス解析モデルの再現性
(観測地点：久末)

場所では実測結果に近い値を示した。計算初期のずれに関しては計算の安定化までに時間を要しているため誤差が生じ、また8月9日以降の計算では大きなずれが見られているが、これは大気モデルにおける降雨が模擬できていないため、気温が異なる結果となっている。この他にも、大気湿度、地下水位について、観測結果との比較検証を行った。

図11に、代表的観測地点として久末における百葉箱のデータとの比較図を示す。その結果、計算開始1-2日は助走期間となるため計算結果が大きく観測値と異なる値を示すが、それ以降は観測値に近づいていく。今回の広域スケールモデルでの計算では、降雨の再現性が十分に得られていない。久末を含め、田島観測所における降水データで広域スケールモデルの降雨再現性を確認したところ、8月8、9日で89mm、8月12日の9.5mm、8月16～18日27.5mm、8月25、26日で8mmと8月の1ヶ月間の総雨量が134mmとなっているが、モデル計算では79mmとなっており、都市スケールモデルの計算結果の再現性が悪くなる原因となっている。29地点の観測所における再現性の検証を表1に示す。ここでは、二乗平均平方根誤差(RMSE)および相関係数を議論する。全観測地点平均でみると、都市キャノピーモデルにおける相関係数では0.72、RMSEは2.99°Cとなっている。相関係数では、小学校に設置されている百葉箱より、一般局の観測地点での再現性が低い。

パッチ化導入の前後での算定結果の違いは、パッチ化導入により温度の日変動が大きくなることにあり、特に最高気温の再現性について向上が見られる。これは、パッチ化導入前では観測地点を含むメッシュの土地利用面積比率が自然地は0.53、都市域が0.47であるため、このメッシュでは自然地として計

計算結果を図14、図15に示す。キャノピー内モデルの気温分布より、地上1.6m(百葉箱が設置されている高さと同程度)で評価すると、夏期の昼間において空き地を全て緑化した場合では最大約2.0℃、緑化目標に沿って緑化を行った場合には最大0.5℃の気温低下が発生することが分かった。

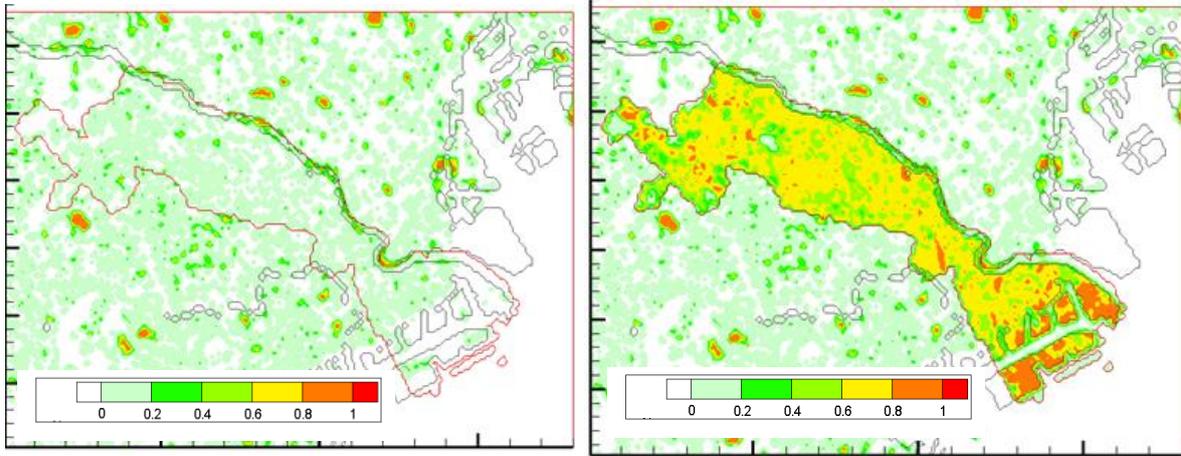


図 13 緑化施策の設定 (ポテンシャルケース、左：緑化前、右：緑化後)

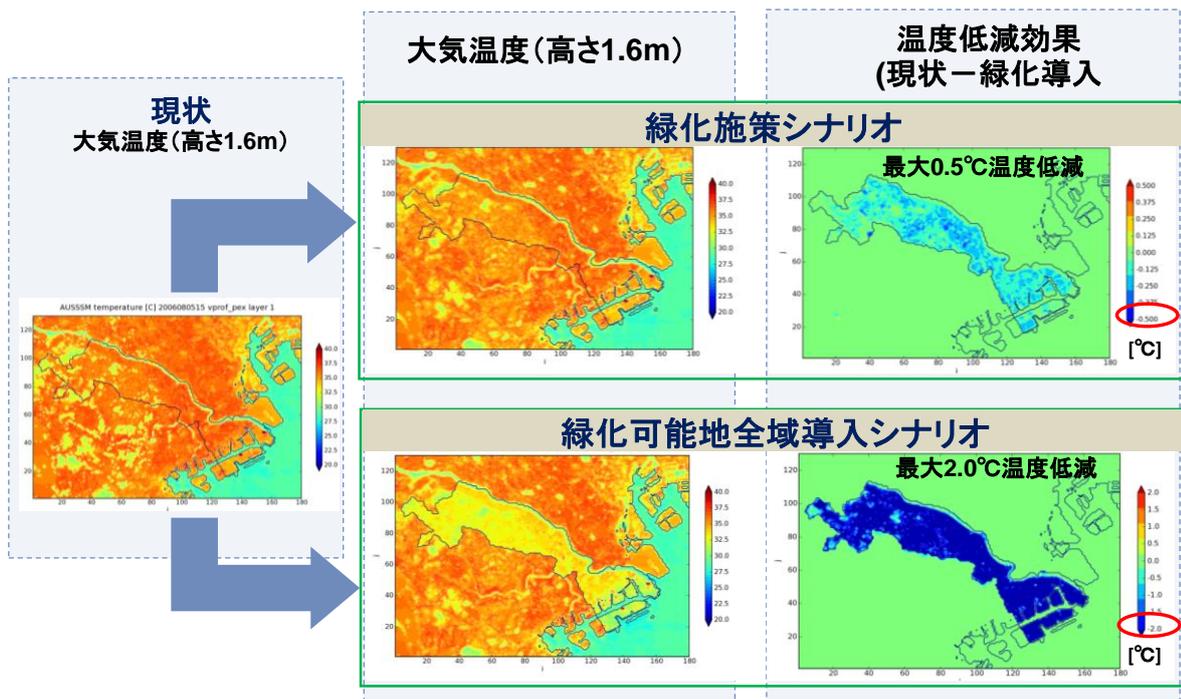


図 14 緑化施策による気温の低減効果 (2006年8月5日15時の時点)

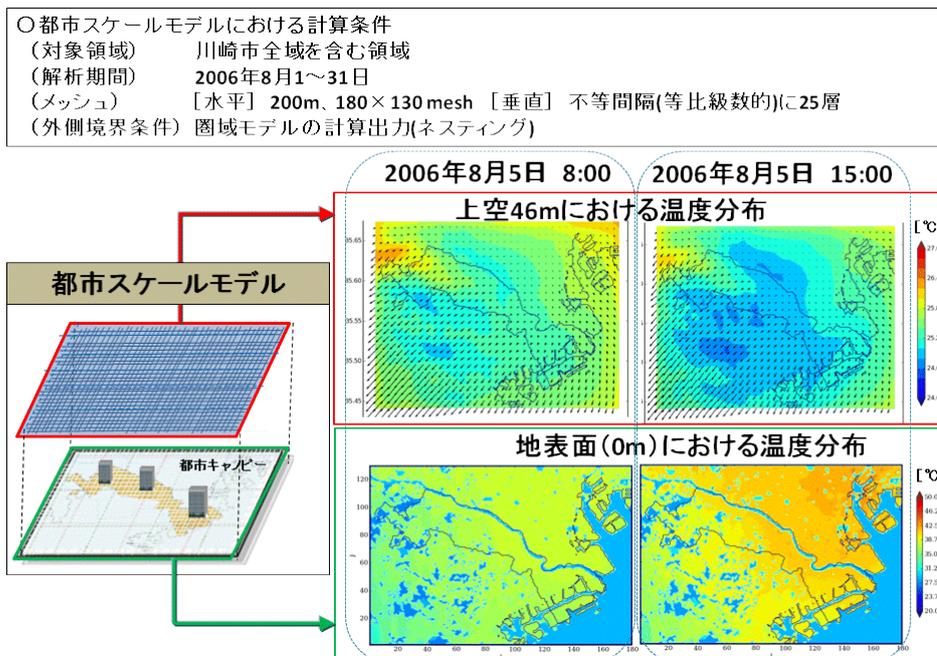


図 15 都市スケールモデルによる出力結果例

4) 施策による空調消費エネルギーの削減効果

NICE-Urbanモデルを用いて、2006年の8月1日～8月10日までの期間を対象とし、エネルギー消費量の計算を行った。単一施策の導入、および複数施策の導入によるエネルギー消費量の変化を計算した。その結果、に示す試算値を得た。

単一施策の導入では、建物環境の改善が最も大きな改善割合を示し、次に効果が地中熱ヒートポンプとなった。河川水利用の条件では、川崎市と東京都の境界を流れる多摩川の河川水を利用して水熱源ヒートポンプを利用すると想定した。図16に河川水利用の導入範囲を示す。エネルギー消費量削減率の計算を行い、空調エネルギーの2.5%が削減されるとの試算を得た。

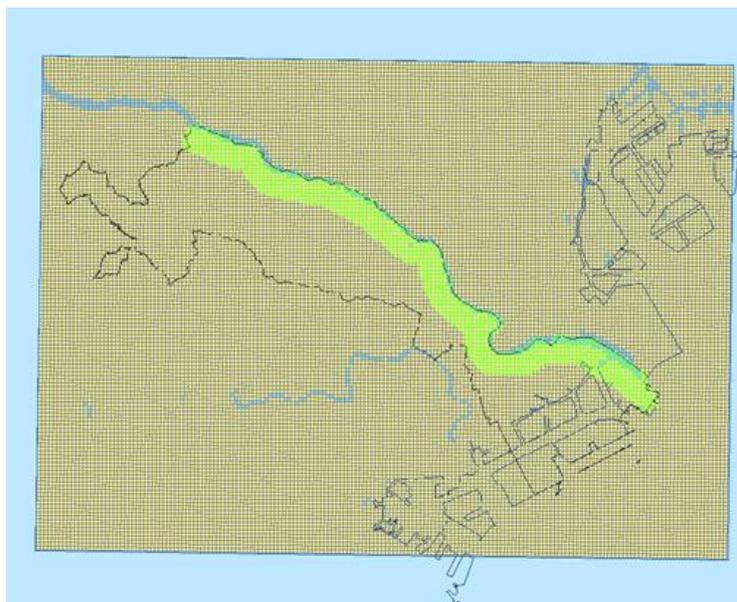


図 16 河川水利用条件の適用範囲

複数施策の同時導入では、全施策の組合せのほかに、自然エネルギーを利用した施策を重点場合の効

果を算定した。全施策の導入による省エネ効果は61%、自然エネルギー利用施策の組み合わせ導入による省エネ効果は16%という結果を得た。

NICE-Urbanモデルを用いた評価では、図17に示すように、排熱量や空調エネルギー消費量、気温等の空間分布を街区や地域単位で算出することができる。川崎市の場合は建物が密集している市の中心部における削減ポテンシャルが大きいことが示唆される。このような空間分布は、優先的に施策を導入すべき街区や地域の選定に有効であると考えられる。

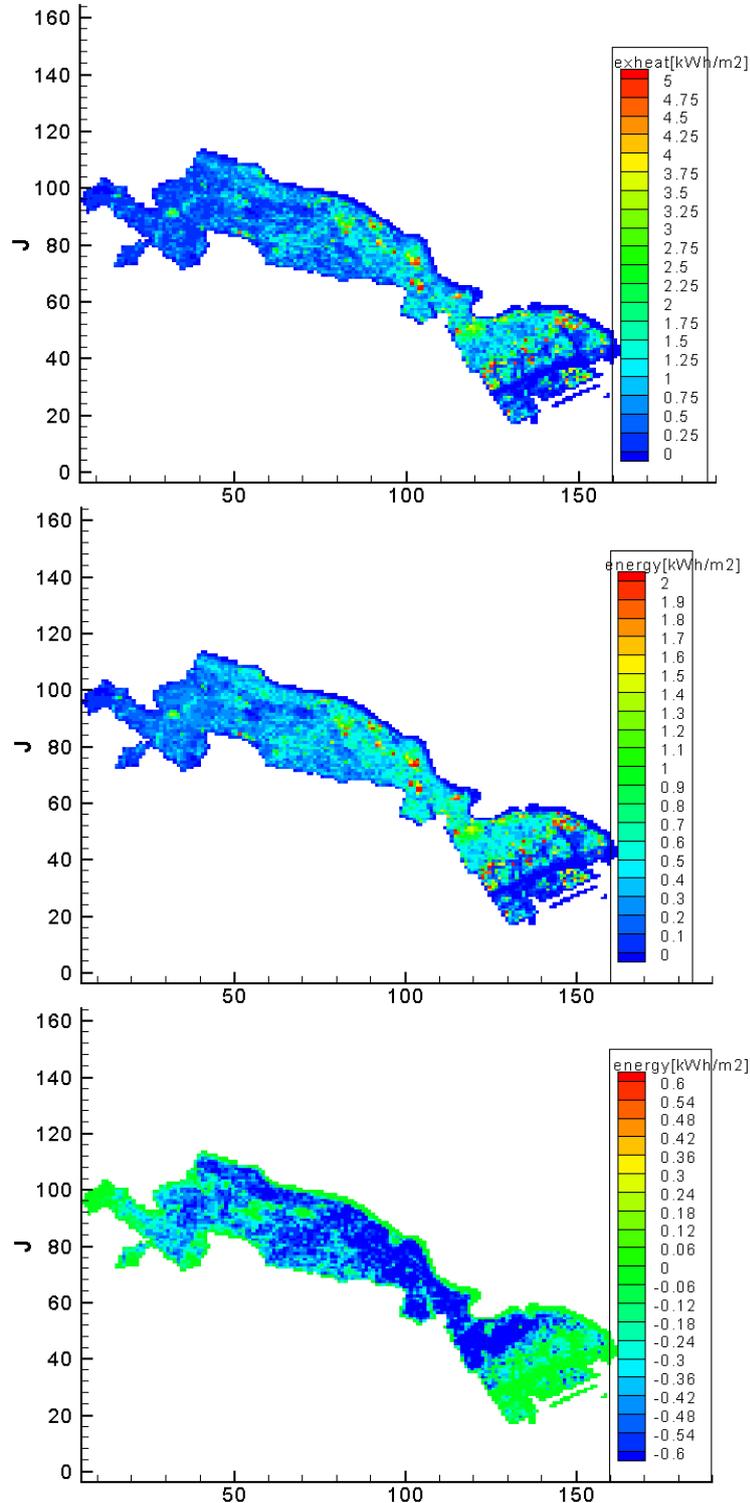


図 17 全施策を同時導入した場合の施策導入効果の分布図
(詳細モデルによる試算、上：排熱量、中：空調エネルギー消費量、
下：空調エネルギー消費量の削減量)

(3) 環境改善技術・政策インベントリ構築と将来シナリオの構築

低炭素社会と持続可能な都市を実現するために、都市熱環境緩和技術や資源循環技術の要素技術・施策とステイクホルダとの対応関係を明らかにし、技術・施策インベントリの構築を行った。地域の環境資源を活用する低炭素都市形成の技術評価システムとして、都市・街区スケールでの技術の効果を算定可能な都市水・熱フラックス解析モデルによる環境技術適合性評価を行うために、各要素技術の導入効果の算定を行う必要がある。

都市熱環境改善効果が期待できる保水性・透水性舗装性能評価の実証試験を行った。その結果、約1週間の観測では、100%保水性舗装は透水性舗装と比べ9.8℃の地表面温度低減効果があることが確認された(図18(1))。その効果は、散水直後よりも、舗装材が乾燥してからの期間で効果が見られた。この理由として、100%保水性舗装の日射反射率は乾燥状態で高い上に、蒸発による冷却効果が得られたためと考えられる。熱収支解析の結果からは、2つの保水性舗装は全観測期間を通して蒸発潜熱量が顕熱量を上回っており、更に観測5日目以降では土壌水分の舗装面からの蒸発が確認された。保水性・透水性舗装自身に含まれる水分だけではなく、土壌水を蒸発させることができることにより、より継続的な温度低減効果が期待された。この温度低減効果の持続性については今後の検証課題となる。

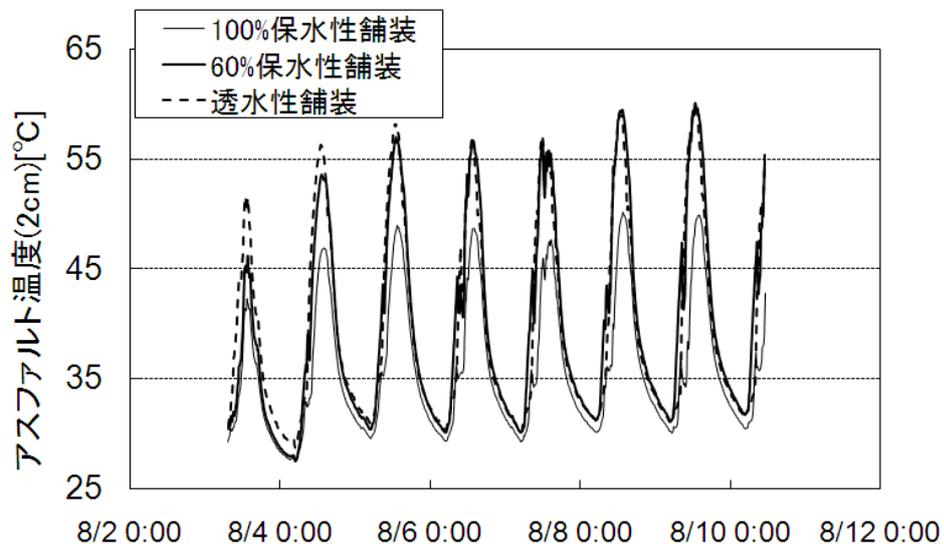


図18(1) 保水性・透水性舗装導入による外気温低減効果

選定したケースについて、川崎市川崎区を対象とした評価結果を示す。川崎区は市の東側に位置し、川崎駅を中心とした商業地を含む、面積約40km²、人口約21万人の区である。対象期間は2006年8月の1ヵ月間、空調稼働時間を8～21時と仮定し、空調設定温度を26℃とした。空調設定温度は、省エネルギーセンターの調査結果²⁹⁾、および環境省のチーム・マイナス6%の取り組みで冷房設定温度の基準として26.2℃が取り上げられていることから決定した。

a. 外気温変化

都市熱環境ケースシミュレーションを実施するに当たり、解析対象地内に設置されている気象観測データとの比較によるモデルの検証を行った。気象観測データとしては、川崎市公害監視センターが所有する3地点の一般環境大気測定局データと、川崎市公害研究所が所有する5地点の川崎市内小学校百葉箱データを用いた。これにより、解析対象内の気温分布の検証が0.5～2km間隔で可能となる。モデルの検証は、2006年8月1日～31日における毎時データをもとに、二乗平均平方根誤差(RMSE)および相関係数に

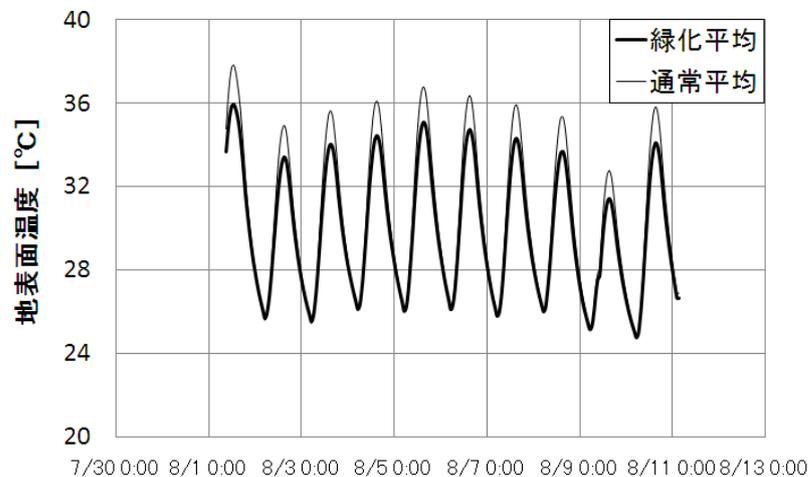


図18 (2) 都市水・熱フラックス解析モデルによる計算結果（緑化施策導入）

よる評価を行った。その結果、解析期間における8地点の観測平均温度は28.1℃だったのに対し、計算平均温度は28.76℃であった。また、同様に全解析期間を通した算定精度としては、RMSEが0.73℃、相関係数は0.93での再現性が得られている。

図19(2)に、晴天・弱風日であった2006年8月10日13時の、高度1.2mの各ケースにおける本モデルから算定された外気温分布を示す。

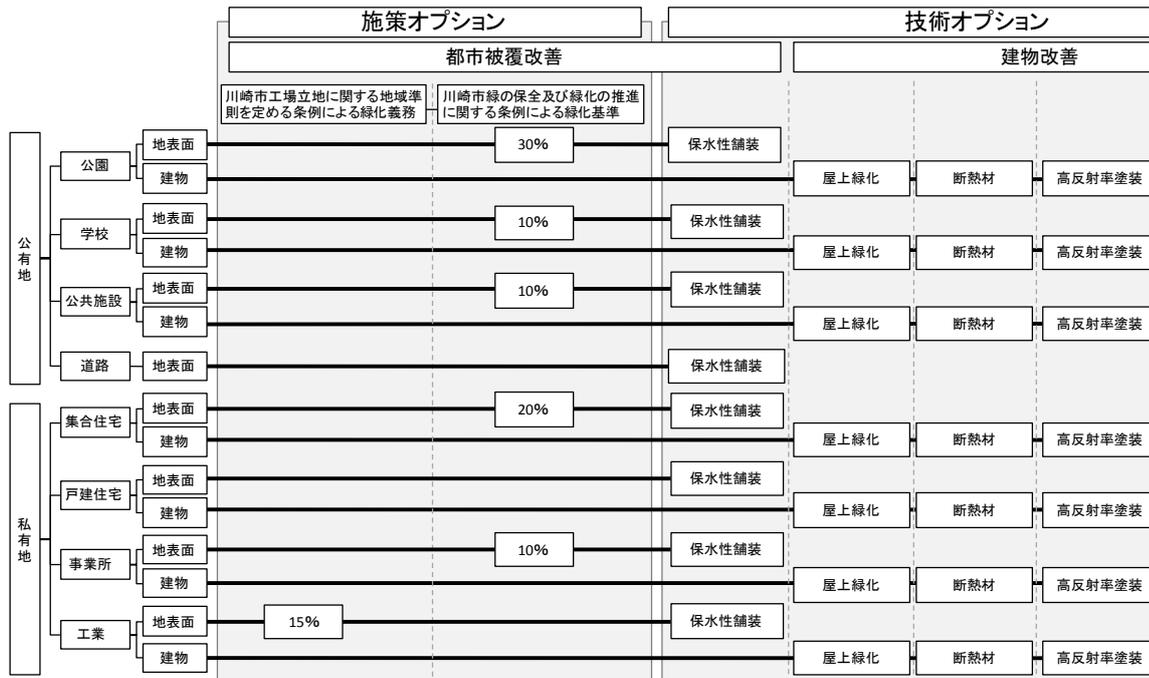


図19(1) 建物・土地利用状況を考慮した建物及びその敷地への技術・施策オプションの構造

表 4 技術および技術導入施策算定ケース

技術分類	施策		技術		設定の目的
	法律	条例	建物改善		
	都市被覆改善		保水性舗装	屋上緑化 日射遮蔽フィルム 高反射率塗装	
技術 施策	緑化 (工場立地法)	緑化 (川崎市緑の保全及び 緑化の推進に関する条 例)			
case0					現状
case1	○	○			施策遵守 現状の工場立地法による緑化規定・緑化条例が守られた 場合を想定
case2			○		技術導入(都市被覆改善) 現状の建物敷地内アスファルト舗装を全て保水性舗装とし た場合を想定
case3				○	技術導入(建物改善) 全ての建物に技術導入した場合を想定
case4			○	○	技術導入(都市被覆改善・建物改善) 現状の建物敷地内アスファルト舗装を全て保水性舗装とし、 かつ建物に技術導入した場合を想定
case5	○	○	○	○	施策遵守・技術導入 現状の工場立地法・緑化条例が守られ、残りの建物敷地を 全て保水性舗装とし、かつ建物技術を導入した場合を想定

都市被覆改善技術では、表4に区分けして示したcase2の保水性舗装導入が比較的大きな外気温低減効果が見られ、case3の建物改善技術は、いくつかのメッシュで建物排熱削減による外気温低減効果が見られる。case5の全ての技術および施策の導入ケースで最大の効果が見られた。

case1の緑化は先に述べた技術単体での効果算定では、高い外気温低減効果を示したが、図より、ケースシミュレーションにおける外気温低減効果は小さい結果となった。一方、保水性舗装は技術単体の効果算定では、緑化に劣るものの、図19(2)より、ケースシミュレーションでは大きな外気温低減をもたらした。各ケースにおける技術導入量を比較すると、case1では、全メッシュにおける緑地の割合は約9%、case2における全メッシュに対する保水性舗装の割合は約70%である。ここから、外気温変化の分布図は、各要素技術の温度低減効果と導入可能面積の両方を反映した結果といえる。

川崎区の土地利用状況を反映した技術導入による気温低減効果としては、保水性舗装が期待できるとの結果になった。

b. エネルギー消費およびCO₂排出削減効果

各メッシュにおける外気温算定結果をもとに、建物ごとに各階、各時間の空調エネルギー消費量を算定した。8月1ヶ月間のエネルギー消費量をメッシュごとに積算し、ケース0(現状ケース)からの各ケースの差分を空調エネルギー消費削減量として図19(3)に示す。case1(緑化)は外気温低減と同様に、あまり大きな効果は現れていない。case2(保水性舗装)は市街地を中心に外気温低減による、エネルギー消費削減効果が見られる。case3(建物改善技術)は緑化と同程度の削減量となった。case4では、川崎区の北西部でエネルギー削減量の大きな地域が見られる。これは川崎駅周辺にアスファルト舗装面積や中規模ビルが多く、case4における技術導入量が多い事と、外気温低下の影響を受ける建物が比較的多く存在する事から、エネルギー消費量の削減効果が強く表れたと考えられる。

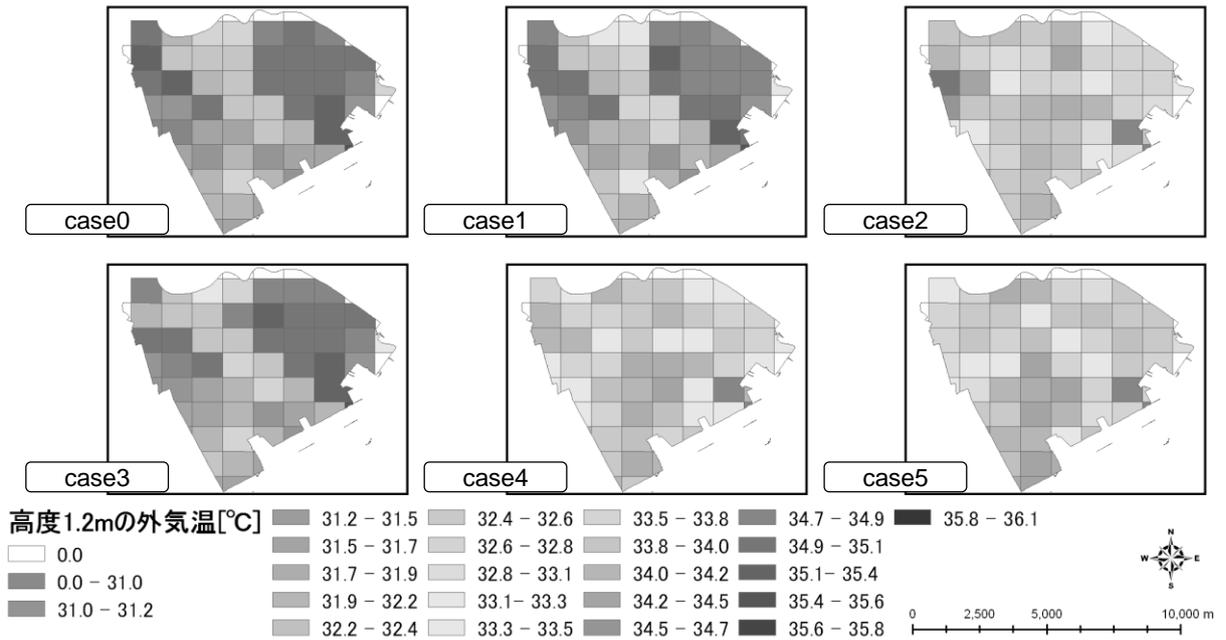


図19(2) 各ケースにおける外気温分布 (2006年8月10日高度1.2m)

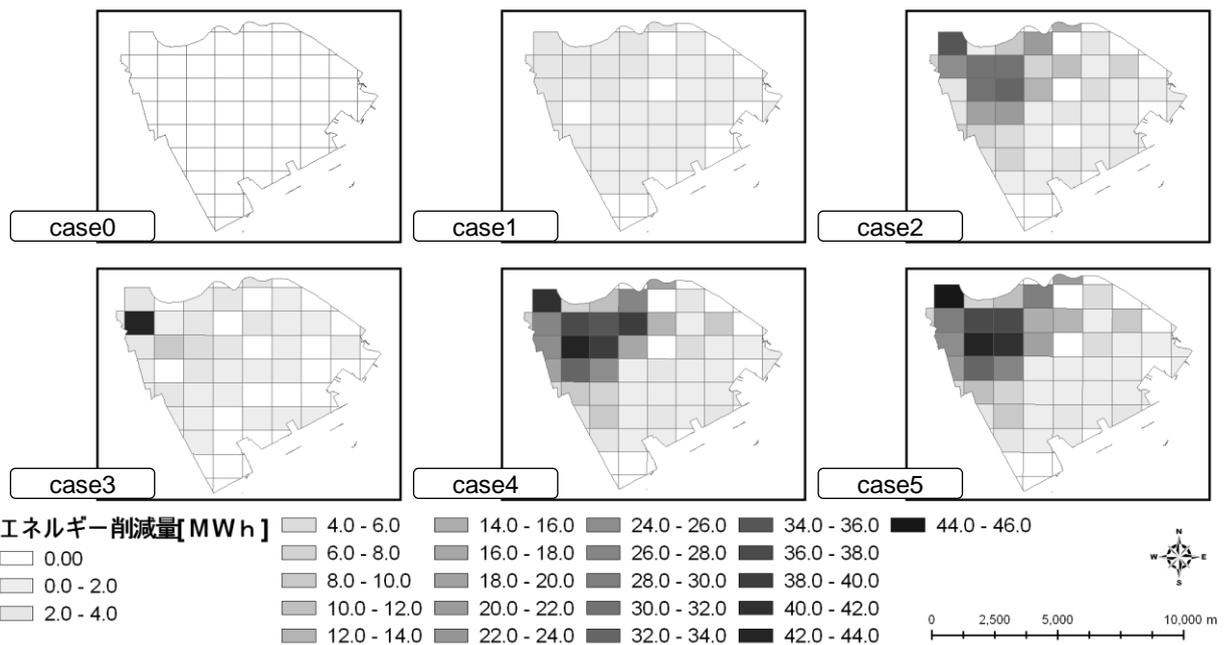


図19(3) 各ケースにおけるエネルギー消費削減量 (2006年8月積算)

算定結果をもとに、CO₂原単位0.377kg-CO₂/kWh³⁰⁾を用いて、ケースごとの川崎市全体でのCO₂排出量を算定した結果を図19(4)に示す。

これより、case 4、5が高い環境改善効果が得られ、空調エネルギー消費削減効果としては、約541MWh、CO₂に換算すると約204[t-CO₂/month]の削減に相当する事が明らかとなった。

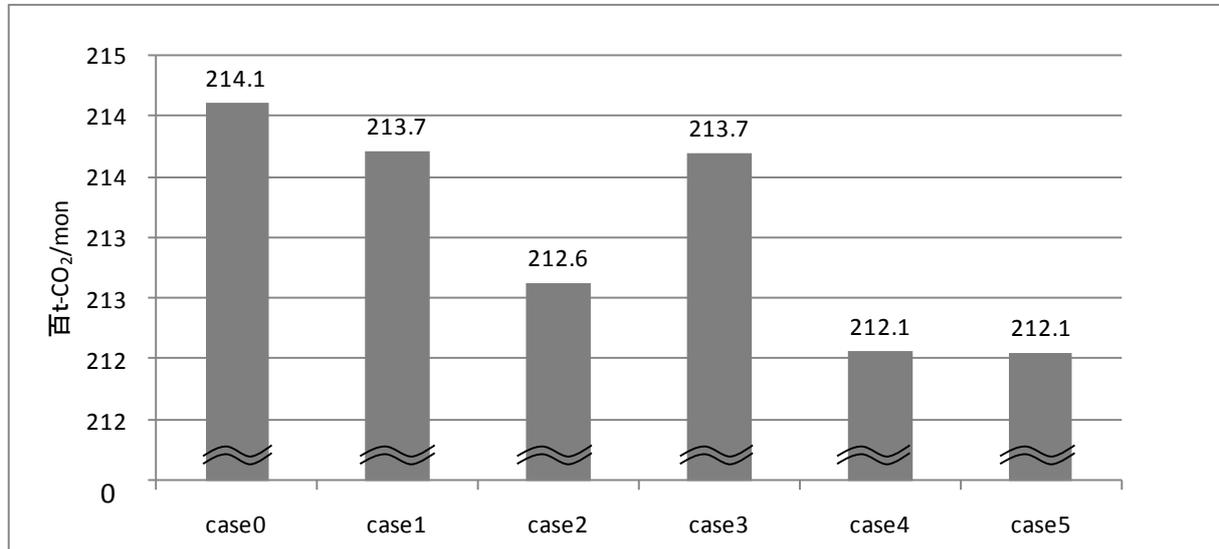


図19(4) 各ケースにおけるCO₂排出量比較

緑化政策オプションにより一部の都市メッシュが自然地に変更されるため、該当メッシュ（臨海部の埋め立て地など）では涵養量の増加が観察された。キャノピー内温度については、緑化を行ったメッシュの上空では温度の低下が見られた。また、緑化を行ったメッシュだけでなくその周囲のメッシュにも0.1℃程度と僅かではあるが気温低減効果が表れていた。保水条件については気温の低下が顕著であるとともに、川崎市だけでなくその北側の東京付近においても温度の低い領域が見られた。地表面温度については、保水時の温度低下が顕著であった。緑化時においても、特に気温の最も高い時刻で0.5℃程度の気温低減効果が見られた。これらの効果は高度が上昇するにつれて弱まり、3つの条件での計算結果が類似してくる傾向が見られた。

都市スケールモデルにおいて、降雨が見られず、気象観測値と高い相関性が得られた2006年8月19日～25日の期間のデータを用いて、緑化導入効果について検証を行った。図20は、解析対象期間の川崎市内における地上1.6mの平均気温の、現状計算と2つの緑化導入条件での時系列変化を示す。この結果、緑化施策実施では、地上1.6mの高さでは日最高気温で0.1℃の温度低減効果が見られるが、最低気温については現状と変わらない傾向を示す。一方、緑化可能地全面導入シナリオは、日最高気温では約3℃、最低気温でも0.6℃程の温度低減効果が見られた。

モデル計算では各シナリオ計算における各メッシュ外気温鉛直分布が算定される。この結果を用いて、各建物についてフロアごとに吸気口周辺の外気温度を用い、空調エネルギー消費量を算定した。現状計算条件と緑化施策導入条件の算定結果の差を、空調エネルギー消費およびCO₂削減量として評価した。緑化導入による外気温低減効果が空調エネルギー負荷に与える影響を評価した結果を図22に示す。まず、川崎市におけるエネルギー消費は業務より住宅における排出が多くなっている。これまで建物用途別の空調負荷に関する報告では、事務所および商業系ビルのような業務系では貫流熱負荷を上回る建物内部負荷が発生するといわれている。そのため本解析では、業務部門からのエネルギー消費量を少なく見積る結果になったと考えられる。また、緑化によるエネルギー消費削減効果としては、緑化施策導入時でエネルギー削減量が現状の約0.3%、緑化可能地全面の場合は約4%の外気温負荷による空調エネルギー消費削減であることが明らかになった。

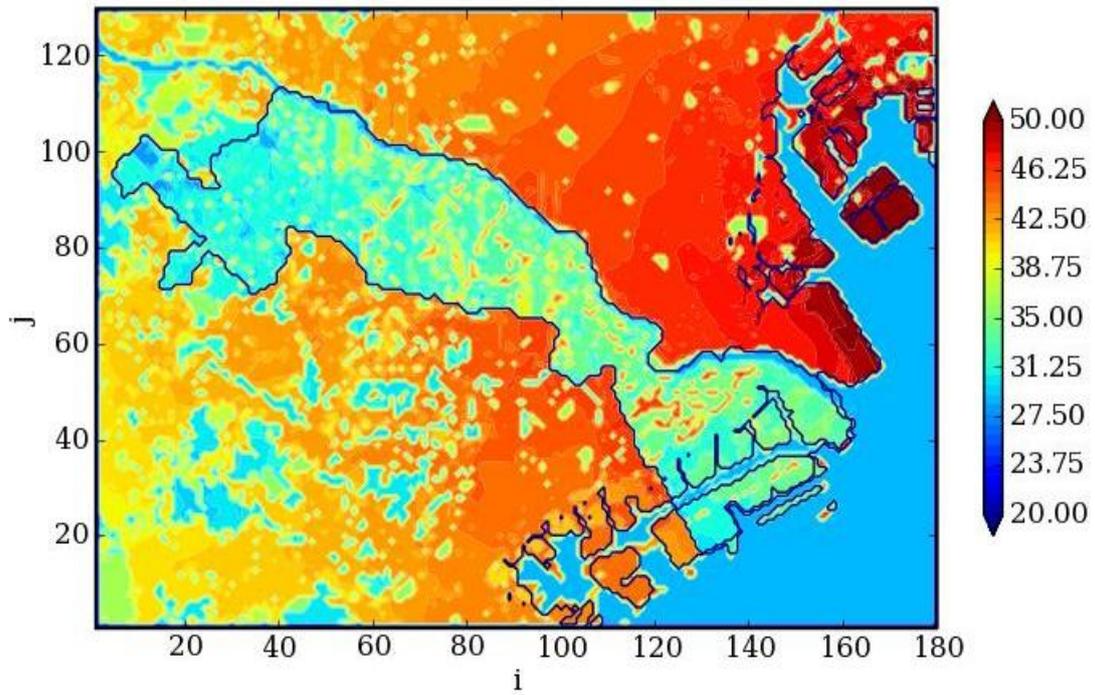


図20 都市水・熱フラックス解析モデルによる計算結果 (保水性舗装導入)

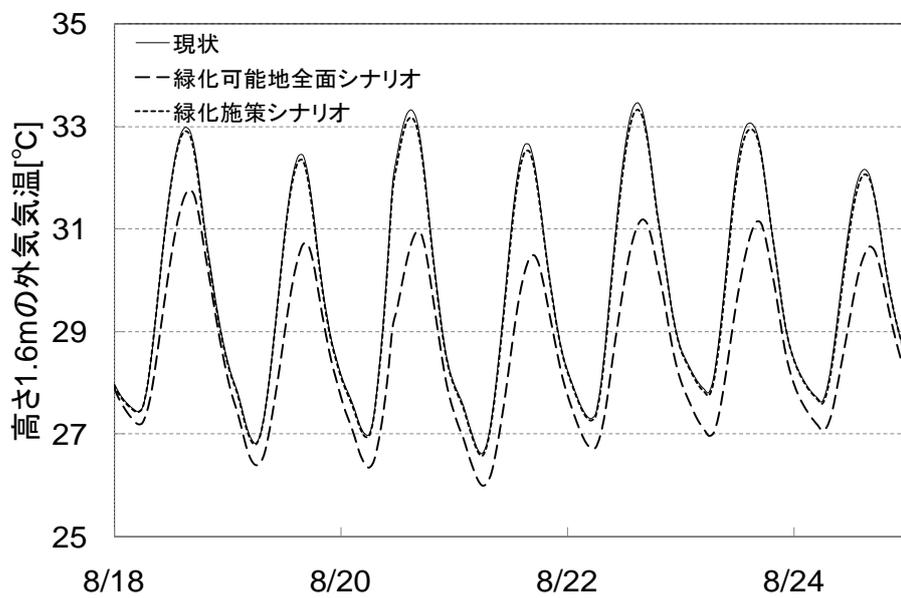


図21 緑化導入による温度低減効果

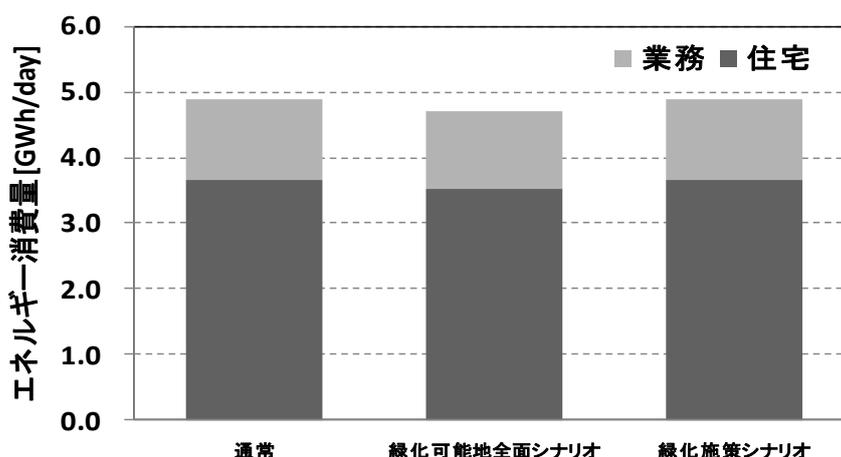


図22 緑化導入による空調負荷削減効果算定

(4) 都市環境政策における合意形成支援システム

シナリオ策定プロセスは、行政機関や企業等のステイクホルダらによるシナリオ策定に向けた意思決定や合意形成を、研究者や専門家等が科学モデルや都市環境データベースを用いて、合理的かつ科学的な枠組により支援することを企図している。平成21年度は、シナリオ策定の試行的な取り組みとして、川崎市の行政職員、市臨海部立地企業の職員、さらには本研究課題に関係する研究者や専門家等を中心とし、都市-産業共生による循環型社会構築の可能性を評価・検討する「産業共生型資源循環システム研究会」（合計4回）、既存都市への各種環境技術・政策の導入による低炭素社会構築の可能性を評価・検討する「都市環境改善技術・政策シナリオ研究検討会」（合計4回）を企画・運営した。

都市に存在する活動・機能の多様性と、現実での適用施策の複雑さから持続可能な都市を目指す、分野横断の統合的な都市環境施策を体系的に立案することが容易ではないことも事実である。個別の施策についての計画と評価だけでなく都市環境の制御にかかわる幅広い技術・施策オプションを視野に入れつつ、代替的な将来シナリオを設定し各シナリオの状況下で有意となる施策を科学的に明らかにする「シナリオ誘導型」のアプローチが有効となる。

将来シナリオは、地球温暖化・気候変動のみならず、水環境や大気環境、エコシステムを含むあまねく環境課題について作成されており(表5)、いまや科学者や政策立案者、経営者等が、不確実な要素の多い将来にむけた構想や計画を練るための基本ツールとしての地位を確立しつつある。例えば、IPCCのEmission Scenario Databaseに収録されている温室効果ガスの排出・緩和シナリオだけをとりても285種類に上る([:/www-cger.nies.go.jp/scenario/index-j.html](http://www-cger.nies.go.jp/scenario/index-j.html))。

排出・緩和シナリオの策定は、現在もなお多くの研究機関・組織で進められており、今後もその数は増加する見込みである。シナリオがこのような広範な普及を見せる一方で、その科学的妥当性や政策立案への有用性等に関する体系的な研究はまだ初期の段階にある(ソースGlobal Environmental Futures、Simone)。近年の研究では、スケールの異なるシナリオ同士-全球スケールのシナリオと国家を超える地域や、国家、都市スケールのシナリオ-の整合をとり、また関係づけることで、シナリオのマルチスケール化を図り、より多様なステイクホルダの注意や行動の喚起が可能になることが示唆されている(ソースScale issues in scenario development)。

国連の呼びかけで2001年に発足した世界的プロジェクトであるMA(Millennium Ecosystem Assessment)では、地球規模での生態系サービスの評価に加え、「Sub-Global Assessment(SGA)」として合計18の地域(や国家、流域、あるいはそれ以下の区域)での評価を実施しているが、その理由の一つは、生態系の適正な管理には即地的な計画やそれに基づく行動が必要なためである(ソースBridging Scales and Knowledge Systems)。気候変動研究においては、気候モデルは予

測の前提条件として社会・経済シナリオを用いているが、現在は両者の連携が十分に行われていない。この解決方法の一つとして、空間解像度の粗い全球あるいは地域・国レベルでの社会・経済シナリオを基に、化学物質等の排出や土地利用の変化に掛かる詳細なシナリオを構築する手法の確立が求められている。

近年わが国においても、シナリオの策定が様々な領域において進められつつある。内閣府総合科学技術会議は、2001年9月の本会議決定を受け、政府全体として共通の政策目標とその解決に至る道筋を設定したシナリオ主導型の研究開発を推進する仕組みとして、「環境分野」で5つの研究「イニシャティブ」を設定している(総合科学技術会議 自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシャティブ、自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシャティブ報告書)。以降、様々なシナリオの策定が、研究開発のみならず具体的な政策・施策の形成に向けて実施されている(表5)。

わが国における政策・施策の形成に向けたシナリオの策定では、おもにバックキャスティング (Backcasting) と呼ばれる手法が使われている点である。BackcastingはRobinson(Robinson (1990)、Futures Under Glass)により人間活動に関わるシナリオ分析の方法として提唱され、1994年にはOECDの環境政策委員会が着手したEST(Environmentally Sustainable Transportation)プロジェクトで、環境面で持続可能な交通を達成できるような手段や戦略を同定するための中核的な手段として採用されている(OECD Guidelines towards Environmentally Sustainable Transport)。

国土形成計画の策定プロセスで、国土交通省が「目指すべき2030年の日本社会像について、全国民的レベルでより具体的な議論が行われることを期待」して作成・公表した「2030年の日本のあり方を検討するシナリオ」は定性シナリオの適例である。他方、表やグラフとして情報を提供する定量シナリオは、通常、科学的な検証を経たモデルやパラメータ、変数が明示されるため、シナリオの策定プロセスの透明性が高い。しかしながら、そのモデルのメカニズムを理解するには高度な知識を要することが多く、ステイクホルダの理解を妨げる可能性をはらんでいる。

表5 2000年以降の主要な地球・地域スケールでの環境シナリオ

シナリオ	作成主体	発行年度	目標年次	対象	
				課題	エリア
The Road to 2050: Sustainable Development in the 21st Century	WB	2006	2050	環境	全球
Air Quality and Ancillary Benefits of Climate Change Policies	EEA	2006	2030	大気環境	ヨーロッパ
Millennium Ecosystem Assessment	UN	2005	2050 & 2100	エコシステム	全球および18の地域や国家、流域、あるいはそれ以下の区域
UNEP's 3rd Global Environmental Outlook	UNEP	2002	2032	環境	世界を6地域区分
African Environment Outlook	UNEP	2002	2032	環境	アフリカを6地域区分
Global Water Outlook to 2025	IFPRI	2002	2025	水環境・利用	36地域国
OECD's Environmental Outlook	OECD	2001	2020	環境	10カ国(OECD加盟国)
Asian Environment Outlook	ADB	2001		環境	アジア
IPCC's Special Report on Emissions Scenarios	IPCC	2000	2100	気候変動	世界を4地域区分
World Water Vision	WWC	2000	2025	水環境	世界を18地域区分
UNEP's 2nd Global Environmental Outlook	UNEP	2000	2030	環境	世界を6地域区分
Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100	GCTE	2000	2100	生物多様性	バイオームで10区分

表6 わが国における政策・施策の形成に向けたシナリオ策定の取り組み

シナリオ	作成主体	発行年度	目標年次	対象		策定プロセス
				課題	エリア	
脱温暖化2050プロジェクト	「2050日本低炭素社会」プロジェクトチーム	2007	2050	気候変動(CO2排出量)	日本	2050年の社会像(シナリオ)に基づき、エネルギーサービス受容と需要・供給エネルギー量と技術を同定し、これに基づきCO2排出量を推計
持続可能社会の実現に向けた滋賀県シナリオ	滋賀県	2007	2030	持続可能社会(温暖化、資源循環、琵琶湖環境)	滋賀県	2030年の持続可能性を示す環境目標を温室効果ガス排出量、琵琶湖水質、ヨシ群落面積、美しい湖辺域面積、廃棄物最終処分量について設定し、それに至る手段や方策に掛かる実現シナリオを構築
技術戦略マップー超長期エネルギー技術ビジョン	経済産業省	2005	2100	エネルギー分野の技術戦略	日本	経済発展を前提に、2100年における資源・環境の制約条件をシナリオとして仮定し、技術が満たすべき要件の調査および技術確立の時期等を特定
2030年の日本のあり方を検討するシナリオ	国土交通省	2004	2030	国土形成	日本	2030年の日本社会が持続可能であることを大前提に、さまざまな外部要因によって変化し得る日本社会の未来像(シナリオ)を策定

○経産省(2005.10)、技術戦略マップー超長期エネルギー技術ビジョン、経産省

○「2050日本低炭素社会」プロジェクトチーム(2007.2)、2050日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス70%削減可能性検討

○滋賀県琵琶湖環境科学センター(2007)、持続可能社会の実現に向けた滋賀シナリオ

○国土交通省、2030年の日本のあり方を検討するシナリオ作成に関する調査概要、<http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/futurevision/>

Alcamoが提唱するSASアプローチ(Alcamo(2001))は、シナリオの対象事象が将来どのような形で展開するかをストーリーライン(「叙述シナリオ」とも呼ばれる(脱温暖化2050プロジェクト))として叙述的に記述する傍らで、モデルにもとづき叙述されたストーリーラインを補完する定量的な情報を供給するというプロセスを採用しており、定性アプローチと定量アプローチの両方の長所を兼ね備えている。SASアプローチは、UNによるMAやわが国における脱温暖化2050プロジェクトにおいてもシナリオ策定においても採用されており、シナリオ策定のスタンダードになりつつある。

SASアプローチのもう一つの特徴は、参加型の策定プロセスを採用している点にある。SASアプローチでは、シナリオ策定に責任を持つ機関の代表者や機関外の専門家らにより構成される「シナリオ・チーム」、シナリオのステイクホルダである組織や個人の代表者らにより構成される「シナリオ・パネル」、モデルによるストーリーラインの定量化を担う専門家らにより構成される「モデリング・チーム」の3者の連携により、表5のプロセスを経てシナリオが策定される。

都市スケールでの環境政策立案に向けたシナリオ構築を含む本研究課題のシステム活用に向けて以下の方向性を提示した。

① マルチスケール化による都市スケールのシナリオ策定

集計的な評価のアプローチではなく、「環境フラックス」を空間分布と時間変化を定量的に算定することを可能にするシステムを構築することによって、都市・産業の各ステイクホルダーごとの環境容量(Carrying Capacity)の制約条件下での、合理的な技術政策選択オプションを同定するとともに、低炭素化社会実現への貢献を最大化する技術・政策シナリオのゴールとそこへの道筋(Action Program)を提示することができる。

都市・産業システムの代替的な技術・政策シナリオを定量的なインベントリとして用意することにより、環境フラックス評価システムを用いて、地域環境保全ポテンシャルを高めるための都市・産業システムの設計を可能にする。具体的には産業拠点を軸として都市活動との水・物質・エネルギーの共生的利用システムの再構築と、水系循環と熱需給の都市環境インフラの形成を中核的な技術・政策シナリオにすえる。地域の環境資源量を効率的に活用することで、広域環境と地域環境への影響を最小化する持続可能な都市・産業システムの設計を可能にする評価体系によって、地球環境保全の都市スケールでの技術・政策シナリオを明らかにするシステム構築が可能となる。

全球あるいは地域・国レベルで策定されるシナリオを、環境改善に向けた都市スケールでの具体的な政策や計画に結び付けるには、MAのSGAと同様に、上位のシナリオを前提としつつも、対象地域の即地的条件を踏まえて、空間・時間的な解像度の高い都市スケールのシナリオへとローカライズする必要がある。

空間的なローカライズのプロセスはちょうど、わが国の国土計画において、全国レベルでの土地利用基本計画により国土利用の方向性が定められ、これを基に都市計画法や農業振興地域の整備に関する法律等にもとづいて都道府県や市町村の個別地域の土地利用のあり方が詳細に規定されるという計画プロセスに似ている。

時間的には、より具体的な政策や計画の形成、立案を視野に入れた場合、シナリオのタイムホライズンを、自治体における行政計画を前提として設定する必要がある。市町村の具体的施策を方向付ける総合計画(地方自治法第2条の4)や都市計画マスタープラン(都市計画法第18条の2)の年限が10年程度であることを考慮すると、都市スケールでのシナリオのタイムホライズンも概ね10年(長くととも15~20年)とすることで、各種行政計画との連携が可能になると考えられる。このように時・空間のマルチスケール化による都市スケールのシナリオ策定を進めることにより、シナリオを自治体レベルの政策形成や計画立案に反映する素地ができあがる。

② 参加型のシナリオ策定プロセスの必要性

わが国の都市においてシナリオに基づく環境政策の立案を考える場合、域内の住民や企業、事業所等の様々なステイクホルダの存在を無視することはできない。これは第1に、都市のシナリオが、それをもとに形成・立案が進めら

れる政策や計画を通じてこれらステイクホルダに直接ないしは間接に影響を与えるためであり、また第2に、これらステイクホルダの活動が、将来の都市のあり方に大きく影響を与えるためである。シナリオ策定プロセスにおいて、ステイクホルダに将来の社会・経済・環境の変化に関わる展望や関心、利害を述べる機会を与える機会を設けることで、より現実的な将来シナリオの策定が可能になる。都市計画法に基づき市町村の都市計画に関する基本的な方針を定める際に、住民等の参加手続きが必要とされるように、都市スケールでのシナリオ策定プロセスにおいては、県や国を対象としたシナリオ策定プロセス以上に、ステイクホルダの参加手続きが必要になると考えられる。

③ SASアプローチにもとづく都市スケールでのシナリオ策定の体制

SASアプローチに組み込まれた様々な主体の参加と連携の枠組は、都市スケールでのシナリオ策定においても有効に機能することが期待できる。ただし、SASアプローチはもともと国家を超える空間スケールでのシナリオの策定を想定した一般的な枠組である。

わが国の都市における政策形成あるいは計画立案に繋がるシナリオの策定を構想した場合、自治体の行政機構や対象とする環境課題に関わるステイクホルダの広がりを踏まえ、「シナリオ・チーム」と「シナリオ・パネル」の具体的な内容を構成する必要がある。

具体的には、対象とする環境課題やタイムホライズン等のシナリオのアウトラインを設定し、シナリオ策定の全体をコーディネートするシナリオ・チームは、シナリオを受けて政策形成や計画の立案を進める自治体行政の関係部局の職員を中心に構成することが適当である。また、シナリオ・チームは、策定プロセスにおいてシナリオ・パネルやモデリング・チームとの連携が必要なため、シナリオ・パネルやモデリング・チームのメンバーを内包することが望ましい。(図23)

シナリオ・パネルのメンバーは、概略的には当該自治体の住民や域内で営業・操業する企業等の代表者が該当する。シナリオやその後の政策や計画の導入に関わる利害の先鋭化が想定される場合は、その後の摩擦を回避するために、ステイクホルダ分析(e.g. Consensus Building Handbook)等に基づいてメンバー選定を進める方法も考えられる。

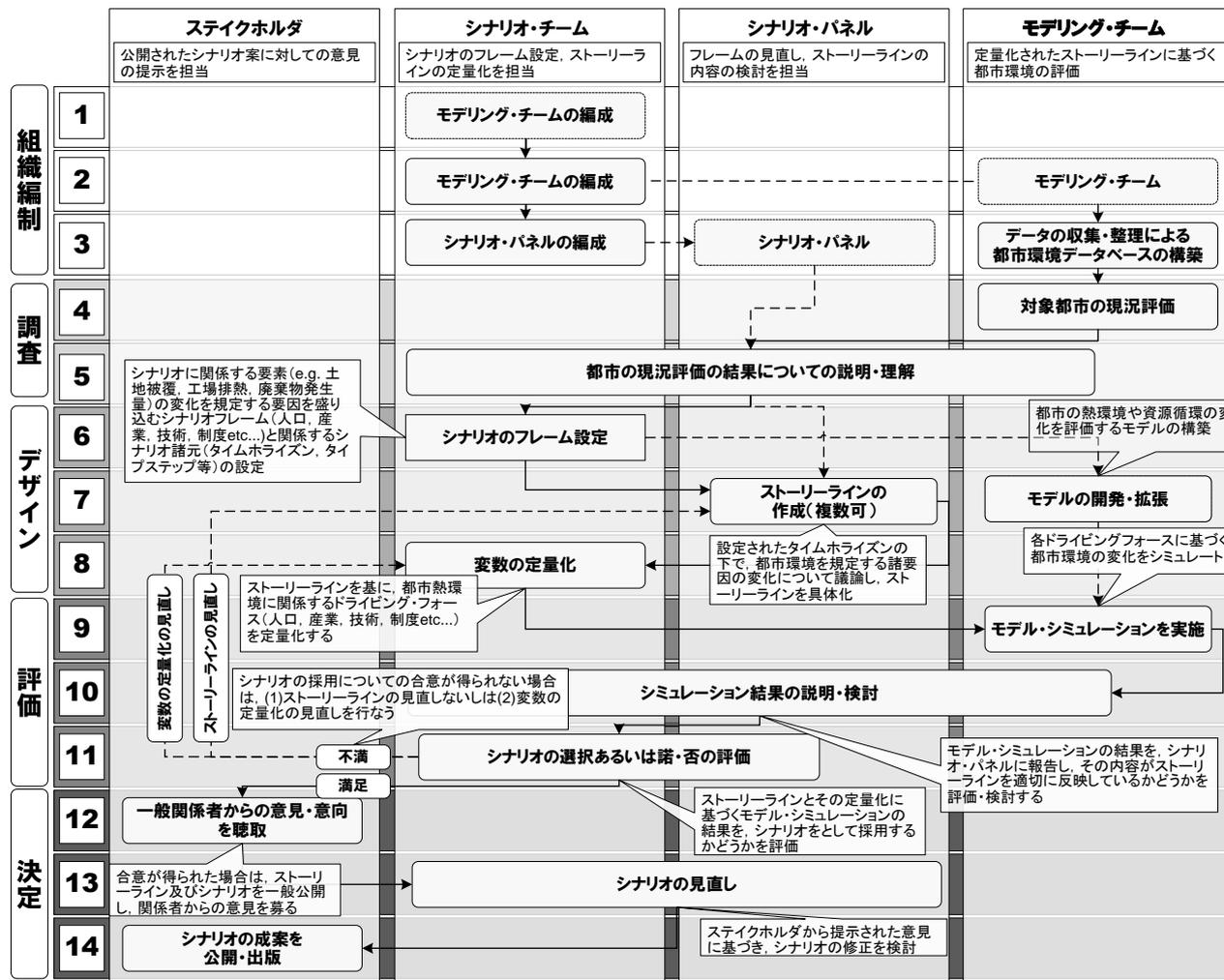


図23 シナリオ策定プロセスにおける各主体の役割分担と作業内容

本課題の研究成果の都市環境政策への展開に向けて、独立行政法人国立環境研究所と川崎市は、環境技術による国際貢献を進める連携・協力に関する基本協定を平成20年1月に締結した。このなかでは低炭素都市づくり研究におけるこれまでの連携をより一層進めて、環境技術による国際連携を推進することを目指している。

川崎市が進める環境と経済の調和と好循環を推進し、持続可能な社会を地球規模で実現するための施策である「カーボン・チャレンジ川崎エコ戦略（CCかわさき）」についての研究連携を進めて、協定の下で、研究成果の情報発信の体制構築につなげた。(図24)

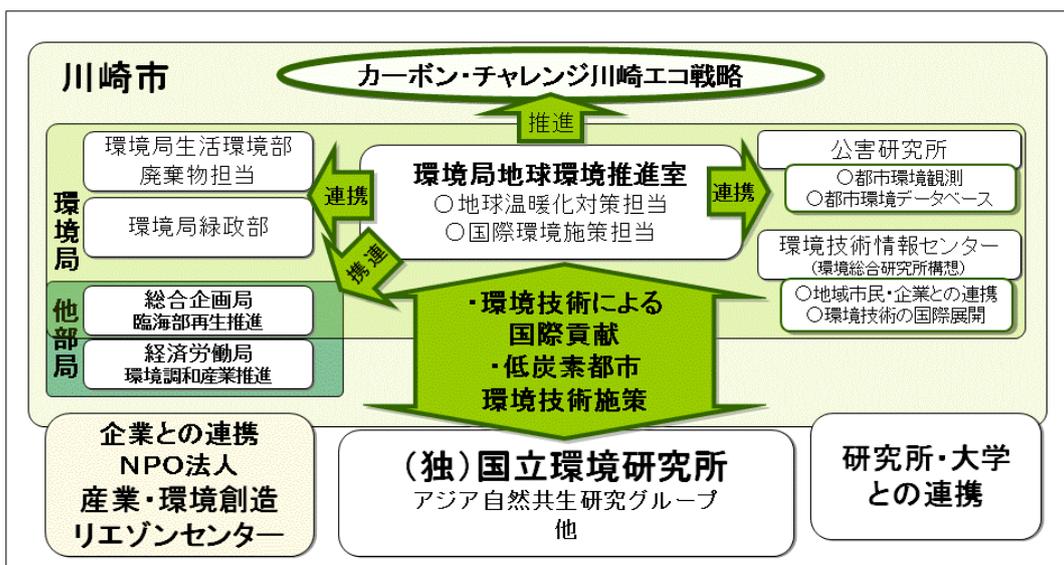


図24 自治体における研究開発の活用体制

さらに、環境フラックスの解析モデルにより対象拠点都市における有意な施策・技術を同定したうえで、将来の環境技術を核とする代替的な都市環境施策シナリオの効果についての科学的根拠を示すプロセスを設計している。本プロセスを用いて、ステイクホルダ間の都市環境の知識と意識の共有を支援し、合意形成を促進するツールを提供できる。このフレームワークに基づく行政支援を想定した川崎市－国立環境研究所における協定を締結し、より緊密な情報交換や共同研究を進める基礎を固めることができた。さらに、都市環境GISデータベースの情報提供ツールとして、キーワード検索、地図表示、施策シナリオのカテゴリ検索機能を想定したインターフェイスの設計を行った例を図25～図27に示す。

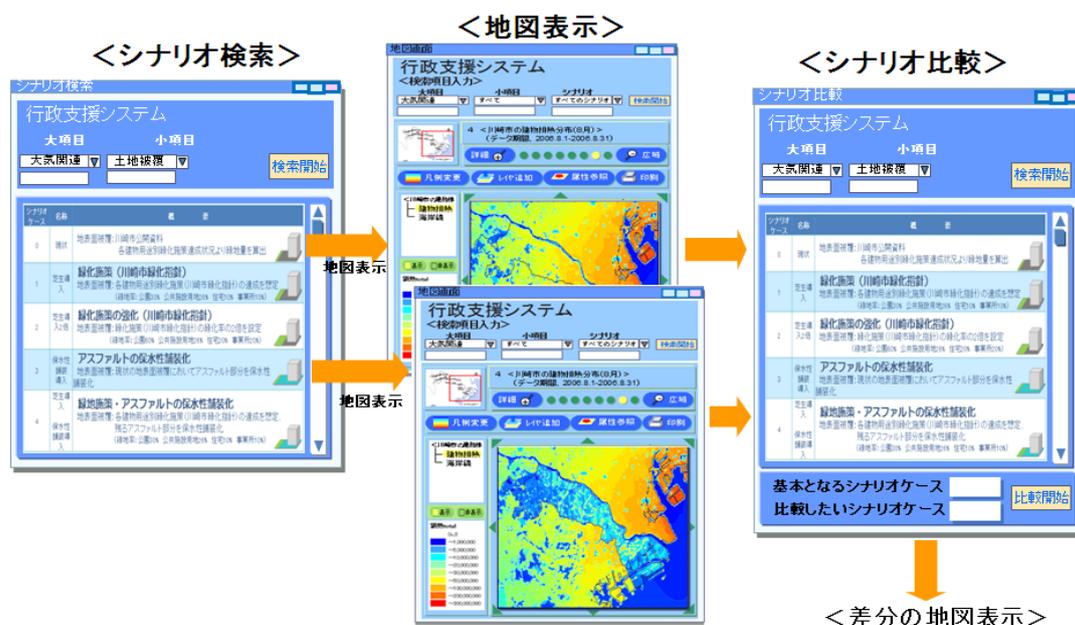
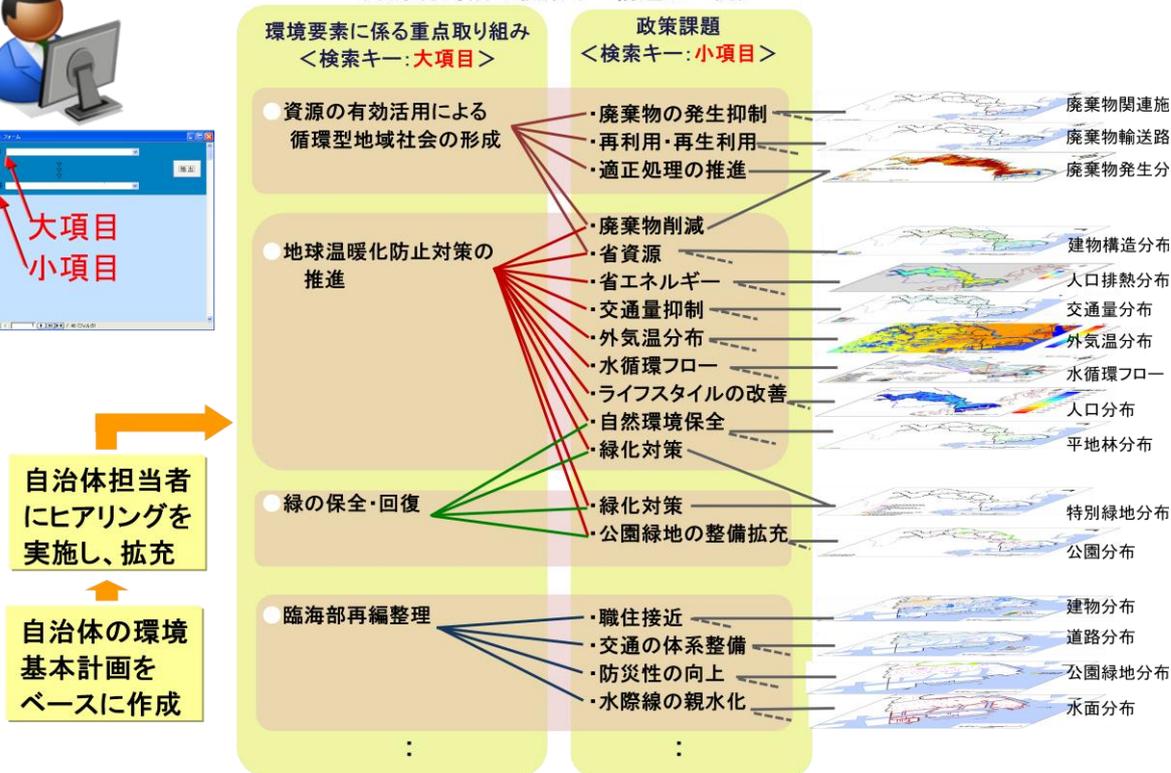


図25 政策立案（基礎情報と地域の環境情報を対象とした事例）

ユーザによる検索



都市環境GISデータベースの検索
(政策分野別の検索キー構造の一例)



自治体担当者にヒアリングを実施し、拡充
自治体の環境基本計画をベースに作成

図26 行政の低炭素計画支援システムのデータベースインベントリ構造例

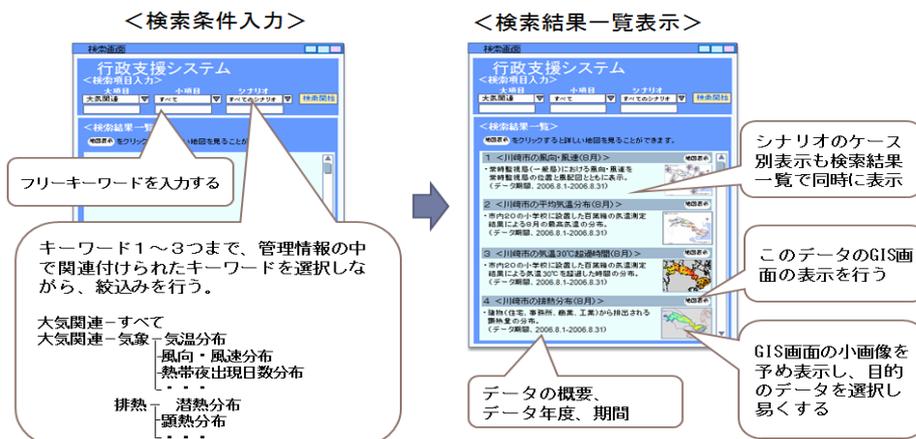


図27 行政の低炭素計画支援システムのインターフェイスの構築例

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究は、都市産業構造の循環型への転換、産業活動を都市の代謝基盤として活用する産業共生の社会システムの構築、さらに水系・物質・エネルギー系の広義の都市環境基盤としての都市インフラの再構築を維持・再生する広範な施策オプションがもたらす、拠点都市とその周辺圏域への影響を地域地区ごとに定量的に算定できる統合型のシナリオ構築と評価アセスメントシステムを開発・運用することを目的としている。

都市における統合的な情報の集積とマルチスケールに対応したデータの提供が可能なGISデータベースの構築を目指して、分野横断的な基礎情報の収集と加工および整備体系化を推進してきた。これらのデータの中でも工場を含めた人工排熱分布を詳細に算定した結果は貴重であり、都市域における人工排熱の影響評価のためにも重要なデータと位置づけられる。

熱環境改善技術や低炭素都市設計に向けた取り組みが行われているが、これらの施策オプションがもたらす影響や削減効果等は定量的に提示されてきていない。本研究における保水性・透水性技術評価から統合的都市環境空間解析モデルへの適用まで含む技術評価シナリオの提示により施策オプションによる定量的な施策評価が可能となったことは科学的にも重要であると考えられる。平成21年度は、導入効果が算定可能となる都市水熱フラックス解析モデルの精度向上を図り、施策オプションによるより定量的な施策評価が可能となったことは科学的にも重要であると考えられる。

本研究により、緑化や保水性舗装等これまで明確に低炭素効果が評価されていなかった施策について試算結果を示すことができた。また、性質の違う複数の施策を複合的に導入した場合の複合効果を評価することが出来た。

(2) 地球環境政策への貢献

都市スケールでの低炭素・循環型社会形成には、当該都市に腑存する環境資源の有効利用を前提としつつ、地域環境への影響を最小化することが可能な環境技術や政策の同定が必要である。今年度、環境フラックス評価システムの一環として開発を進めた、都市およびそれを囲む圏域についての定量的な時空間のデータベースに基づき水循環利用、熱・エネルギー循環利用の地域環境および地球環境への影響を定量的に評価する都市水・熱フラックス解析モデルは、都市・産業活動に由来する環境影響の、水資源腑存、エネルギー消費の観点からの定量的評価を可能にする。これらモデルは、対象都市における環境影響だけでなく、周辺都市・地域への、あるいはそれら地域からの影響も評価可能なマルチスケールの構造を有しており、これにより、当該環境課題に関わる対策技術や政策の評価や、有意な対策の選定根拠を科学的に提供することが可能になる。例えば、低炭素型社会の形成では、都市熱環境改善策としての緑化導入による消費エネルギーやこれに伴うCO₂排出量の削減効果の評価が可能になる。また、循環型社会の形成においては、都市の動脈産業及び静脈産業構造を考慮した産業共生型資源循環システムの設計とその導入における環境改善ポテンシャルの算定ができ、本システムの導入における動脈産業の選定、再資源化率からの廃棄物の考慮、他地域との連携など地域政策の方向性を検討することも可能である。

本研究課題で開発を進める「環境フラックス評価システム」は、水、物質、エネルギーの腑存と移動の評価と、環境負荷発生の地域・活動主体別の帰属と、地域の資源特性、環境特性に応じ

た資源の賦存特性とその変化の時系列評価を可能にするものであり、今後の都市スケールでの環境政策形成への貢献余地が大きい。また、本研究で設計されたシナリオ策定プロセスは、策定プロセスにおける行政担当者や市民、企業関係者、研究者等の様々なステイクホルダの参加を想定している。本プロセスは、既存の行政計画の策定スキームへの親和性が強く、都市レベルでの低炭素社会の形成に資することが期待できる。これらの成果として、川崎市と国立環境研究所との間で2009年1月23日に「街区エネルギー環境制御システム」等の包括的な連携・協力に関する基本協定に調印し、具体的な政策設計支援の研究展開についての協議を進めている。

本研究の成果は、環境省の地球温暖化対策地方公共団体実行計画（区域施策編）策定研修会で用いられ、低炭素施策に関する自治体担当者への情報提供の役割を果たした。今後は自治体の低炭素施策策定のプロセスにおいて定量的な指標として用いることができるデータを作成するため、検討を進める。

6. 主要な引用文献

- 1) 土田えりか、角田智彦、堀紘子、藤田壮、中山忠暢、高橋克則、坂本義仁；都市舗装改善技術による熱環境変化を評価する都市熱代謝評価モデルの構築と実証検証、環境情報科学論文集、No21、pp. 381-386、2007
- 2) 土田えりか、藤田壮、中山忠暢、角田智彦、高橋克則；川崎市におけるクールシティ施策の温暖化対策効果の算定システムの基本設計、環境システム研究論文集、Vol. 35、pp. 139-146、2007
- 3) Tadanobu Nakayama, Tsuyoshi Fujita ; Cooling effect of water-holding pavements made of new materials on water and heat budgets in urban areas、Landscape and Urban Planning、Vol. 96(2)、pp. 57-67、2010
- 4) Tadanobu Nakayama, Masataka Watanabe ; Simulation of drying phenomena associated with vegetation change caused by invasion of alder (*Alnus japonica*) in Kushiro Mire、Water Resour. Res.、40(8)、W08402、doi: 10.1029/2004WR003174、2004
- 5) Tadanobu Nakayama、Masataka Watanabe ; Simulation of spring snowmelt runoff by considering micro-topography and phase changes in soil layer、Hydrol. Earth Syst. Sc. Discuss.、3、pp. 2101-2144、2006
- 6) Tadanobu Nakayama、Masataka Watanabe ; Missing role of groundwater in water and nutrient cycles in the shallow eutrophic Lake Kasumigaura、Japan、Hydrol. Process.、22、pp. 1150-1172、doi: 10.1002/hyp.6684、2008
- 7) Tadanobu Nakayama ; Factors controlling vegetation succession in Kushiro Mire、Ecol. Model.、215、pp. 225-236、doi: 10.1016/j.ecolmodel.2008.02.017、2008
- 8) Tadanobu Nakayama、Masataka Watanabe ; Simulation of drying phenomena associated with vegetation change caused by invasion of alder (*Alnus japonica*) in Kushiro Mire、Water Resour. Res.、40(8)、W08402、doi: 10.1029/2004WR003174、2004
- 9) Tadanobu Nakayama、Masataka Watanabe ; Simulation of spring snowmelt runoff by considering micro-topography and phase changes in soil layer、Hydrol. Earth Syst. Sc. Discuss.、3、pp. 2101-2144、2006

- 10) Tadanobu Nakayama, Masataka Watanabe ; Missing role of groundwater in water and nutrient cycles in the shallow eutrophic Lake Kasumigaura, Japan, *Hydrol. Process.*, 22, 1150-1172, doi: 10.1002/hyp.6684, 2008
- 11) Robert L. Walko, Craig J. Treback ; Introduction to RAMS 4.3/4.4, ASTER Division, Mission Research, Inc., <http://www.atmet.com/html/docs/documentation.shtml>
- 12) Sellers, J. P., D.A. Randell, G.J. Collatz, J.A. Berry, C.B. Field, D.A. Dazlich, C. Zhang, G.D. Collelo, L. Bounua ; 1996. A revised land surface parametrization (SiB 2) for atmospheric GCMs. Part I: Model formulation, *J. Climate*, 9, pp.676-705
- 13) Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., McDonald, M.G. ; 2000, MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92, pp.121
- 14) 萩島理、谷本潤、片山忠久、大原健志 ; 改良・建築—都市—土壌連成系モデル(AUSSSM)による都市高温化の構造解析 第1報 モデルの理論構成及び標準解、日本建築学会計画系論文集、No.550、pp.79-86、2001.12.
- 15) ヒートアイランド実態解析調査検討委員会 ; 平成12年度ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方について 報告書、社団法人 環境情報科学センター、2001.3
- 16) 亀卦川幸浩 ; 都市温暖化対策の総合的評価システムの開発、明星大学研究成果報告会、2007
- 17) 田村英寿、石井康一郎、横山 仁、岩坪哲四朗、平口博丸、安藤晴夫、山口隆子、市野美夏、秋山祐佳里、三上岳彦 ; 東京23区におけるヒートアイランド対策導入効果の数値予測、東京都環境科学研究所年報、2005
- 18) 二浦尾友佳子、橋本早紀、鳴海大典、下田吉之、水野 稔 ; ヒートアイランド緩和対策による気温変化がエネルギー消費に及ぼす影響、日本建築学会Vol.2006、pp.581-582、2006
- 19) 井原智彦、相田洋志、吉田好邦、半田隆志、松橋隆治、石谷 久 ; 都市熱環境を考慮した高反射高放射塗料導入による建築物のCO₂排出削減効果の評価、第19回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、pp.655-660、2003
- 20) 平野勇二郎 ; ヒートアイランド緩和策の気温低下効果とそのエネルギー消費量への影響 東京都心部の地上緑化を対象とした夏季・冬季のケーススタディー、日本建築学会環境系論文集 No.591、pp.75-82、2005
- 21) 土田えりか、角田 智彦、堀 紘子、藤田 壮、中山忠暢、高橋克則、坂本義仁 ; 都市舗装改善技術による熱環境変化を評価する都市熱代謝評価モデルの構築と実証検証、環境情報科学論文集、Vol.21、pp.381-386、2007
- 22) 土田えりか、藤田 壮、中山忠暢、角田智彦、高橋克則 ; 川崎市におけるクールシティ政策の温暖化対策効果の算定システムの基本設計、環境システム論文集、Vol.35、pp139-146、2007
- 23) 萩島理、谷本潤、片山忠久、大原健志 ; 改良・建築—都市—土壌連成系モデル(AUSSSM)による都市高温化の構造解析 第1報 モデルの理論構成及び標準解、日本建築学会計画系論文集、No.550、pp.79-86、2001
- 24) 澤田大介、本條 毅、丸田頼一、木村圭司 ; ランドサットTMデータによる都市の緑被地と表

- 面温度分布との関係の解析、環境情報科学論文集、vol16、pp.393-398、2002
- 25) 鍋島 美奈子、西岡真稔、三木信博、津郷俊二；保水性舗装材料の熱的性能に関する実験その1 日本建築学会学術講演梗概集計画系、Vol.2002、 No.D-2、 pp.563-564、2002
 - 26) 西岡信稔、鍋島美奈子、三木信博、津郷俊二；保水性舗装材料の熱的性能に関する実験その2、日本建築学会学術講演梗概集計画系、Vol.2002、 No.D-2、 pp.565-566、2002
 - 27) 福田 淳、小楠 良雄、中村 聡、加藤信男；屋上緑化が集合住宅最上階に与える熱的影響、日本緑化工学会誌、Vol.27、 No.1、 pp.209-210、2001
 - 28) 鈴木弘孝、三坂育正、田代順孝；パネル型壁面緑化における熱収支特性と蒸発散量の推定、日本緑化工学会誌Vol.33、 pp.303-306、2007
 - 29) 岩前 篤、加藤信介、鈴木大隆；戸建住宅の部分断熱による効果に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、 pp.89-90、2006
 - 30) 酒井英樹、永村一雄、土井 正；都市環境に配慮した高反射率塗料による熱負荷軽減技術の開発・評価 - 温度測定による塗面の絶対反射率の推定 -、生活科学研究誌、Vol.4、2005
 - 31) 柳内伸介、井上隆、藤田卓史；住宅の窓における断熱・日射遮蔽の効果に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、 pp.61-62、1996
 - 32) 吉田友紀子、井上 隆、神村一幸、内海康雄、外岡 豊、藤沼康実；BEMSを用いた業務対策の実態と総合評価手法について、CGER-Report CGER-I079-2008、 pp.153-174、2008
 - 33) ヒートアイランド対策関係府省連絡会議、ヒートアイランド対策大綱、2004
 - 34) 環境省、ヒートアイランドに係る環境影響評価技術手法検討調査報告書、平成17年度環境影響評価技術手法要素別課題検討調査報告書、2006
 - 35) 環境省 環境技術実証事業検討会 ヒートアイランド対策技術ワーキンググループ、議事次第・資料、2003~
 - 36) 近藤裕昭、劉発華；1次元都市キャノピーモデルによる都市の熱環境に関する研究、大気環境学会誌 第33 巻第3号、 pp.179-192、1998
 - 37) Kanzaburo Gambo；Notes on the Turbulence Closure Model for Atmospheric Boundary Layers、Journal of Meteorological Society of Japan Vol.56、 No.5、 pp.466-480、 1978
 - 38) Tsutomu Watanabe、Junsei Kondo；The Influence of Canopy Structure and Density upon the Mixing Length within and above Vegetation、Journal of Meteorological Society of Japan Vol.68、 No.2、 pp.227-235、 1990
 - 39) 坂本義仁(2007)シリカ系鉄鋼副産物を使用した保水ブロックの性能評価、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、579-580.
 - 40) 社団法人・空気調和・衛生工学会：設計用最大熱負荷計算法、1994
 - 41) 財団法人・住宅・建築 省エネルギー機構：省エネルギーハンドブック'93、1993
 - 42) 全国地球温暖化防止活動推進センター：フローベースの冷暖房COP推移
 - 43) 省エネルギーセンター：平成13年度省エネルギー対策実態調査
 - 44) 平成19年度川崎市温室効果ガス排出量算定業務報告書

7. 国際共同研究等の状況

内閣府地域活性化統合本部と環境モデル都市分科会が開催する国際シンポジウムに情報発信を

した。また、中国科学院応用生態研究所、中国自治体環境保護部と連携する低炭素都市のガイドラインへの情報発信を行った。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Yong Geng、Raymond Cote、Fujita Tsuyoshi；A quantitative water resource planning and management model for an industrial park level、Journal of Regional Environmental Change、Springer、Volume 7、Number 3、pp.123-135、2007
- 2) Tadanobu Nakayama、Masataka Watanabe；Missing role of groundwater in water and nutrient cycle in the shallow eutrophic Lake Kasumigaura、Japan、Hydrol. Process.、21、doi:10.1002/hyp.6684、2007
- 3) 長澤恵美理、藤田壮、大西悟；川崎エコタウンにおける循環型生産施設における技術特性の評価、環境情報科学論文集、No21、pp.237-242、2007
- 4) 柳奈保子、土田えりか、Looi-Fang Wong、藤田壮、山口直久；地域GISデータベースを用いた資源循環政策の効果算定システムの構築と試行的運用、環境情報科学論文集、No21、pp.451-456、2007
- 5) 土田えりか、角田智彦、堀紘子、藤田壮、中山忠暢、高橋克則、坂本義仁；都市舗装改善技術による熱環境変化を評価する都市熱代謝評価モデルの構築と実証検証、環境情報科学論文集、No21、pp.381-386、2007
- 6) 土田えりか、藤田壮、中山忠暢、角田智彦、高橋克則；川崎市におけるクールシティ施策の温暖化対策効果の算定システムの基本設計、環境システム研究論文集、Vol. 35、pp139-146、2007
- 7) 村野昭人、藤田壮、長澤恵美里；WebGISデータベースを用いた循環施設を中核とする地域循環支援システムの提案、環境システム研究論文集、Vol.35、pp.101-108、2007
- 8) Looi-Fang Wong、Tsuyoshi FUJITA、Naoko YANAGI、Erika TSUCHIDA.；Evaluation system of environmental impacts for policy scenarios of municipal solid waste recycling in Kawasaki city、Environmental Systems Research、Vol. 35 pp.431-440、2007
- 9) 藤田壮、長澤恵美里、大西悟、杉野章太；川崎エコタウンでの都市・産業共生の展開に向けての技術・政策評価システム、環境システム研究論文集、Vol. 35 pp89-100、2007
- 10) Looi-Fang Wong、Tsuyoshi Fujita、Kaiquin Xu；Evaluation of regional bio-energy recovery by local methane fermentation thermal recycling systems、Journal of Waste Management、vol.28、pp.2259-2270、11、2008
- 11) 村野昭人、藤田壮、小瀬博之；木造住宅を対象とした環境負荷削減施策の評価システムの構築、環境システム研究論文集、Vol. 36、pp.117-124、2008
- 12) 橋本禅、杉野章太、藤田壮、Q. Zhu、長澤恵美里；環境配慮型企業の生産システムにおける資源循環行動の要因分析、環境システム研究論文集、Vol. 36、pp.173-180、2008
- 13) 藤井実、長澤恵美里、橋本禅、藤田壮；代替的ナリサイクル技術の資源循環効果の評価ー木材資源の水平循環とカスケード循環の比較ー、環境システム研究論文集、Vol.36、pp.275-280、2008

- 14) Yong Geng、 Pang Zhang、 Raymond P. Cote、 Tsuyoshi Fujita ; Assessment of the National Eco-industrial Park Standards for Promoting Industrial Symbiosis in China、 Journal of Industrial Ecology、 Vol.13、 No.1、 pp.15-26、 2008
- 15) Yong Geng、 Tsuyoshi Fujita ; the Application of Biomimicry、 J. of Philippine Industrial Engineering、 Vol.5、 No.1、 pp.1-8、 2008
- 16) 村野昭人、藤田壮、星野陽介 ; 建設廃木材を対象とした統合的再資源化シナリオの評価システムの構築と評価、土木学会論文集G、Vol.65、 pp.69-76、 2009
- 17) Rene Van Berkel、 Tsuyoshi Fujita、 Shizuka Hashimoto、 Yong Geng ; Industrial and Urban Symbiosis in Japan : Analysis of the Eco-Town Program 1997-2006 ; Journal of Environmental Management、 vol.90、 pp.1544-1556、 2009
- 18) Yong Geng、 Qinghua Zhu、 Brent Doberstein、 Tsuyoshi Fujita ; Implementing China' s Circular Economy Concept at the Regional Level: a review of progress in Dalian、 China、 Journal of Waste Management、 vol.29、 pp.996-1002、 2009
- 19) 村野昭人、藤田壮、星野陽介 ; 建設廃木材を対象とした統合的再資源化シナリオの評価システムの構築と評価、土木学会論文集G、vol.65 No.1、 pp.69-76、2009
- 20) 堀紘子、橋本禅、藤田壮、土田えりか、濱野裕之 ; 都市熱環境シミュレーションモデルを用いた技術・施策の評価、土木学会論文集G、2009 (投稿中)
- 21) Rene Van Berkel、 Tsuyoshi Fujita、 Shizuka Hashimoto、 Minoru Fujii ; Quantitative Assessment of Urban and Industrial Symbiosis in Kawasaki、 Japan、 Environmental Science & Technology 、 Vol.43、 No.5、 2009 、 pp.1271-1281、 0129、2009
- 22) 濱野裕之、中山忠暢、堀紘子、藤田壮、田上浩孝 ; 都市スケールの三次元水熱フラックス解析モデルによる都市の緑化施策の評価、環境システム研究論文集、Vol.37、 pp.93-104、10、2009
- 23) Yong Geng、 Tsuyoshi Fujita、 Xudong Chen ; Evaluation of Innovative Municipal Solid Waste Management through Urban Symbiosis: A Case Study of Kawasaki、 Journal of Cleaner Production、 Vol.18、 pp.993-1000、2010
- 24) Tadanobu Nakayama、 Tsuyoshi Fujita ; Cooling effect of water-holding pavements made of new materials on water and heat budgets in urban areas、 Landscape Urban Planning、 Vol.96(2)、 pp.57-67、2010
- 25) Shizuka Hashimoto、 Tsuyoshi Fujita、 Yong Geng、 Emiri Nagasawa ; Realizing CO2 emission reduction through industrial symbiosis: A cement production case study for Kawasaki、 Journal of Conservation and Recycling、 Vol.54、 pp.704-710、2010
- 26) Zhu Qinghua、 Yong Geng、 Tsuyoshi Fujita 、 Shizuka Hashimoto ; Green supply chain management in leading manufacturers: Case studies in Japanese large companies 、 Management Research Review、 Vol.33(4)、 pp.380-392、 2010

<その他誌上発表 (査読なし) >

- 1) Looi-Fang Wong、 Tsuyoshi Fujita ; Planning and evaluation of environmental improvement effects for municipal solid waste matter recycling scheme、 The 4th International Conference of the International Society for Industrial Ecology、 ABSTRACT BOOK

- ORALSESSIONS、 pp.205、 2007
- 2) Tsuyoshi Fujita、 Emiri Nagasawa、 Satoshi Ohnishi ; Evaluation System Eco-Industrial Parks as Driving Infrastructures for Sustainable Urban Environmental Management、 The 4th International Conference of the International Society for Industrial Ecology、 ABSTRACT BOOK ORALSESSIONS、 pp.67、 2007
 - 3) Akito Murano、 Tsuyoshi Fujita ; Evaluation of integrated policy scenarios for building material circulation systems、 The 4th International Conference of the International Society for Industrial Ecology、 ABSTRACT BOOK POSTER SESSIONS、 pp.304、 2007
 - 4) 堀紘子、土田えりか、内藤和歌子、藤田壮 ; GIS-DBを用いた熱環境改善技術導入による効果の算定システムの検討、環境情報科学vol. 36-4、第4回ポスターセッション要旨集、pp. 134-135、2007
 - 5) 杉野章太、橋本禅、藤田壮、長澤恵美里、村野昭人 ; 川崎エコタウンにおける産官学連携の循環型イノベーション・データベースの構築、環境情報科学vol. 36-4、第4回ポスターセッション要旨集、pp. 130-131、2007
 - 6) 若林諒、長澤恵美里、藤田壮、杉野章太 ; 都市における有機廃棄物を対象とした再資源化技術の評価システムの検討、環境情報科学vol. 36-4、第4回ポスターセッション要旨集、pp. 136-137、2007
 - 7) 村野昭人、藤田壮 ; 建設廃木材を対象とした統合的循環システムの評価、第2回日本LCA学会研究発表会、pp. 154-155、2007
 - 8) 石渡和夫、山本隆之、Looi-Fang Wong、山口直久、土田えりか、柳奈保子、藤田壮 ; 川崎市をモデルとした産業連携による一般廃棄物循環システム研究、第18回廃棄物学会研究発表会ポスターセッション、pp. 189-191、2007
 - 9) 村野昭人、藤田壮 ; 木質構造物のライフサイクル評価方法の検討、第35回土木計画学研究発表会講演論文集 vol.35、pp. 258、2007
 - 10) 櫻井智也、村野昭人、杉野章太、柳奈保子、長澤恵美里、田宮啓太、藤田壮 ; 地域環境GISデータベースを利用した循環型産業共生システムの評価、環境情報科学vol. 36-4、第4回ポスターセッション要旨集、pp. 132-133、2007
 - 11) 村野昭人、小瀬博之、工藤大輔、堀紘子、藤田壮 ; 循環共生技術の適用による木造実験住宅の環境改善効果の評価、環境情報科学センター第21回環境研究発表会ポスターセッション要旨集、pp. 94-95、2007
 - 12) 中島古史郎、村野昭人、藤田壮 ; 木質建材の低環境負荷化に向けた環境システムの思考の適用、第35回環境システム研究論文発表会講演集、 Vol. 35 pp. 183-186、2007
 - 13) 橋本禅、藤田壮、徐開欽、中山忠暢 ; 統合的な都市環境の技術・施策シナリオの設計と評価プロセス、第35回環境システム研究論文発表会講演集、 Vol. 35 pp. 299-306、2007
 - 14) 村野昭人、鎌田みゆき、藤田壮 ; 木質系バイオマスを対象とした循環利用技術インベントリの評価、第15回地球環境シンポジウム講演論文集、pp. 225-230、2007
 - 15) 松野浩一、小島容子、村野昭人、藤田壮、南いづみ、須田麻起子 ; 関東一都六県における戸建て木質住宅の着工推移と解体廃木材発生量、木材需要量の将来予測、第23回建築生産シンポジウム論文集、pp. 147-152、2007

- 16) 村野昭人、松野浩一、藤田壮、星野陽介；木材循環を志向した木質住宅システムの環境負荷削減効果の評価方法の提案、第23回建築生産シンポジウム論文集、pp.153-158、2007
- 17) Tadanobu Nakayama ; Development of NICE-URBAN model applicable to urban district、 Int. Workshop on Sustainable Regional Development through Circular Economy (Internal Workshop)、 Shenyang、 China、 19th May、 2008
- 18) Tadanobu Nakayama、 Tsuyoshi Fujita、 Shizuka Hashimoto、 Hiroyuki Hamano ; Simulation of hydrothermal recoveries by adopting symbiotic urban scenario in the Japanese megalopolis、 paper number GC43A-11、 AGU Joint Assembly 2008、 Florida、 USA、 27th - 30th May、 2008
- 19) Tadanobu Nakayama ; Effect of freshwater over-exploitation on seawater intrusion in grain-cropping plain area、 session number GS21、 ASLO 2008 Summer Meeting、 Newfoundland、 Canada、 8th - 13rd June、 2008
- 20) Tadanobu Nakayama ; Simulation of hydrologic change related to ecological condition in the Japanese mire、 session number 15、 2008 AWRA Summer Specialty Conference、 Virginia、 USA、 30th June - 2nd July、 2008
- 21) 藤田壮；日本と中国を結ぶ「循環経済都市シミュレータ」研究、科学、岩波書店、765-767、Vol. 78、 No. 7、 2008年7月号
- 22) 村野昭人、松野浩一、藤田壮、桜井俊介；木材循環を志向した木質住宅システムの環境負荷削減効果の評価－埼玉県を対象としたケーススタディー、第24回建築生産シンポジウム論文集、311-316、2008.7
- 23) Tadanobu Nakayama ; Estimation of relationship between hydrologic change、 seawater intrusion、 and crop production by using integrated approach、 93rd ESA Annual Meeting、 Milwaukee、 USA、 3rd - 8th August、 2008
- 24) Tadanobu Nakayama、 Tsuyoshi Fujita、 Yong Geng、 Shizuka Hashimoto ; Simulation of water resource and its relation to urban activity in Dalian City、 Northern China、 session number Y2、 HydroPredict2008、 Prague、 Czech Rep.、 15th - 18th September、 2008
- 25) Tadanobu Nakayama ; Integrative model approach for sustainable watershed management in Liaohe River Basin、 Expert Workshop on Sustainable Watershed Management (Internal Workshop)、 NIES、 Japan、 26th September、 2008
- 26) 藤田壮、村野昭人、徐開欽、橋本禪；循環型水処理技術・政策の計画・評価システム、第11回日本水環境学会シンポジウム「環境再生のための分散型処理システムの意義とこれからの展望」、2008. 9
- 27) Shizuka Hashimoto、 Yong Geng、 Tsuyoshi Fujita、 Ryo Wakabayashi ; Innovation of Circular Cities in Chinese and Japanese Eco-towns: Circular Economy Scenarios for MSW management in Dalian、 China、 EcoBalance、 12-13、 2008
- 28) 松本朋弥、藤田壮、耿子威；地域環境改善手法を用いた外気温低下によるコージェネレーション用熱機関の効率算定、第36回環境システム研究論文発表会講演集、237-242、2008.10
- 29) Shizuka Hashimoto ; Bridging science and policy to help policy makers build low carbon society、 delivered for “International Climate Change Seminar”、 organized by ICLEI and Ulsan Regional Innovation Agency、 21st November、 2008 (Ulsan、 Korea)

- 30) Tadanobu Nakayama ; Simulation of anthropogenic effects on hydrologic cycle in Changjiang and Yellow River Catchments, China, session number 54, AWRA 2008 Annual Water Resources Conference, New Orleans, USA, 17th - 20th November, 2008
- 31) Tadanobu Nakayama ; Impact of anthropogenic activities on floods and droughts in Changjiang and Yellow River Catchments, WATCH Project Workshop (Internal Workshop), Beijing, China, 24th - 26th November, 2008
- 32) Tadanobu Nakayama, Tsuyoshi Fujita, Shizuka Hashimoto, Hiroyuki Hamano ; Multi-scale analysis of hydrologic change in the Japanese megalopolis by using integrated approach, paper number GC34A-08, AGU Fall Meeting 2008, San Francisco, USA, 15th - 19th December, 2008
- 33) Shizuka Hashimoto, Hiroyuki Hamano, Tsuyoshi Fujita, Hiroko Hori ; Building Low Carbon Cities: Framework to Design and Evaluate Alternative Technologies and Policies for Land Use Planning, Eos Trans. AGU, 89(52), Fall Meet. Suppl., Abstract U41D-0029
- 34) Shizuka Hashimoto, Tsuyoshi Fujita, Kaiqin Xu, Tadanobu Nakayama ; Bridging Scales: Developing a Framework to Build a City-Scale Environmental Scenario for Japanese Municipalities, Eos Trans. AGU, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract GC33A-0943
- 35) Tadanobu Nakayama ; River Pollution Research, Nova Science Publishers, Inc., 2008 (in press)
- 36) Rene Van Berkel, Tsuyoshi Fujita ; Comparative Analysis of Eco town Programs in Japan, 7th International Eco-Balance Conference, 2008
- 37) Tsuyoshi Fujita ; Urban simulation system to integrate circular economy and low-carbon city, International Society for Industrial Ecology Asia-Pacific Workshop, 2008 (to be published)
- 38) 高橋秀行、藤田壮、孫穎 ; 産業構造の転換と環境負荷の関係—川崎市での影響分析、環境情報 vol. 37-4、第 5 回ポスターセッション要旨集、pp. 94-95、2008
- 39) 孫穎、藤田壮 ; 川崎市の産業レベルにおける環境効率指標の算出—エコタウンの評価に関する基礎研究—、第 4 回日本 L C A 学会研究発表会要旨集、pp. 190-191、2009. 3
- 40) Xudong Chen, Tsuyoshi Fujita, Yong Geng ; Integrating MSW Management with Manufacturing: A System Supporting Industrial Symbiosis of the Kawasaki Eco-Town、第 4 回日本 L C A 学会研究発表会要旨集、pp. 174-175、2009. 3
- 41) 藤井 実、藤田 壮、橋本 禅 ; 資源循環圏の規模と技術の選択に関する研究、第 4 回日本 L C A 学会研究発表会要旨集、pp. 182-183、2009. 3
- 42) 橋本 禅、藤田 壮、孫 穎、若林 諒 ; エコタウン技術の展開による中国産業拠点都市における循環経済の促進—大連市の一般廃棄物管理施策を事例として—、第 4 回日本 L C A 学会研究発表会要旨集、pp. 186-187、2009
- 43) 藤田壮、陳旭東、孫叡 ; エコタウンを中核とする資源循環の社会効果の評価システムの設計、第 4 回日本 L C A 学会研究発表会要旨集、pp. 176-177、2009. 3
- 44) 藤田壮 ; 低炭素化社会形成に向けての展開に向けての「トップランナー」都市・地域への期待、都市と環境エネルギー、4 月号、2009

- 45) Xian-Jia, Huang Bin-Bin, Tsuyoshi Fujita, Kaiqin Xu ; The Optimal Control Model of Regional Pollution Reduction and Solution Method、 2009 International Conference on Energy and Environment Technology、 Guilin China、 Oct. 16-18、 2009
- 46) Shizuka Hashimoto, Tsuyoshi Fujita, Xudong Chen, Yong Geng ; Achieving Circular Economy through Urban Symbiosis in Dalian (China)、 5th International Conference of the International Society for Industrial Ecology、 Poster Session、 June 21st、 2009、 Lisbon、 Portugal
- 47) Sun Ying、 Tsuyoshi Fujita、 Shizuka Hashimoto ; Analysis of the relationship of industrial structure change and environmental impact in Kawasaki city Japan、 5th International Conference of the International Society for Industrial Ecology、 Oral Session、 June 21st、 2009、 Lisbon、 Portugal
- 48) Xudong Chen、 Tsuyoshi Fujita、 Yong Geng、 Shizuka Hashimoto ; Transferring Japanese Urban Symbiosis Model to China 5th International Conference of the International Society for Industrial Ecology、 Oral Session、 June 21st、 2009、 Lisbon、 Portugal
- 49) Tsuyoshi Fujita、 Evaluation of symbiosis effects in eco-industrial parks in Japan、 5th International Conference of the International Society for Industrial Ecology、 Oral Session、 June 22nd、 2009、 Lisbon、 Portugal
- 50) Yong Geng、 Tsuyoshi Fujita、 Xudong Chen ; Evaluation of Innovative municipal Solid Waste Management through Urban Symbiosis: A Case of Kawasaki、 5th International Conference of the International Society for Industrial Ecology、 Poster Session、 June 22nd、 2009、 Lisbon、 Portugal
- 51) Minoru Fujii、 Tsuyoshi Fujita、 Shizuka Hashimoto ; A study on the spatial scale of recyclable organic resource circulation、 5th International Conference of the International Society for Industrial Ecology、 Poster Session、 June 22nd、 2009、 Lisbon、 Portugal
- 52) Shizuka Hashimoto、 Tsuyoshi Fujita ; First ISIE Regional Meeting: Asia-Pacific International Workshop on Industrial Ecology、 pp.4、 ISIE News、 vol.9、 March、 2009

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) Shizuka Hashimoto ; Industrial Symbiosis Effect Assessment System: International Workshop on Innovative Theories、 Technologies and Practices for the Industrial Symbiosis in Dalian、 May 31st、 2007
- 2) Tsuyoshi Fujita ; Policy and technology scenario for sustainable urban-industrial management based on integrative environmental flux analysis model、 International Workshop of Innovative Theory、 Technologies and Practice for Industrial Symbiosis in Dalian、 May. 31st、 2007
- 3) Tsuyoshi Fujita ; Integrative evaluation system of environmental technologies for sustainable basin regional management、 the 4th Civil Engineering Conference in the

Asian Region (4th CECAR) in Taipei, 27th, June 2007

- 4) Tsuyoshi Fujita ; Japanese Eco-town, theory and practice Lecture on Planning system and methodologies Environmental and Economic impact of Eco-towns, Workshop on Eco-towns, Asian Productivity Organization, 25-27 October, 2007, Bandung, Indonesia
- 5) Tsuyoshi Fujita ; Eco Town Program(top runner program, eco town program, green procurement, material flow indicators), Resource Efficiency: Japan and Germany at the Forefront , November 6, Berlin, Germany, 2007
- 6) Shizuka Hashimoto , Fujita Tsuyoshi; Development of Integrated Environmental Assessment Model for Municipal Environmental Policy Making, Asia-Europe Environment Forum 5th Roundtable, ASEF, Nov. 2007 (Shenzhen).
- 7) Kaiqin Xu, Chao-Xiang Liu, Ping Gui, Yoshitaka Ebie, Yuhei Inamori ; A pilot-scale study of domestic wastewater treatment by different type constructed wetland systems and its potential greenhouse gases emissions, the 2007 AGU Fall Meeting, 10-14 December, San Francisco USA, 2007
- 8) Tadanobu Nakayama, Tsuyoshi Fujita ; Simulation of cooling effect of newly-innovated urban pavements on water and heat budgets, paper number H43D-1608, AGU Fall Meeting 2007, San Francisco, AGU, 2007 (CD-ROM).
- 9) Shizuka Hashimoto, Tsuyoshi Fujita, Kaiqin Xu and Tadanobu Nakayama; Bridging Scales: Developing a Framework to Build a City-Scale Environmental Scenario for Japanese Municipalities, 2007 AGU Fall Meeting.
- 10) Tadanobu Nakayama ; Relationship between hydrogeological process and vegetation change in Kushiro Mire, session number #COS43-5, ESA-SER Joint Meeting, San Jose, 2007 (CD-ROM).
- 11) 藤田壮 ; 川崎市臨海部における都市産業共生拠点への展開、(財)港湾空間高度化環境研究センター (WAVE) 平成19年度第1回環境フォーラム、2007.7.27
- 12) 藤田壮 ; 産業と都市が連携する低炭素社会形成の技術・政策シナリオ研究の事例紹介、都市エリア産学官連携促進事業(関東平野さいたまエリア)埼玉県産学連携支援ネットワーク事業、県内大学研究交流フォーラム～環境・資源・リサイクル分野～、2007.10.10
- 13) 藤田壮 ; 環境共生型産業による都市の再生に向けて、(社)関西経済同友会 環境委員会、講演会、2007.10.15
- 14) 藤田壮 ; これからのエコタウン地域・施設間連携のあり方、第4回全国エコタウン in 北九州、2007.10.17
- 15) 藤田壮 ; 資源・水・エネルギーの都市・地域循環、環境省中央環境審議会第39回循環型社会計画部会、2007.11.20
- 16) 楮春鳳、徐開欽、稲森悠平、李玉友 : Wet系バイオマスからの水素・メタン発酵クリーンエネルギー回収システムの技術開発、第41回日本水環境学会年会講演要旨集、大阪、2007
- 17) Tadanobu Nakayama ; Simulation of intertwined relations between water stress, crop productivity, and ecosystem degradation in Northern China, ENVR1760R, Food Security and Environmental Change, Univ. of Oxford, UK, 2008.

- 18) Tsuyoshi Fujita ; Innovative Technology Inventory for Circular Economy and Regional Technology Assessment Research for Sustainable Regional Management、4th Asia-Pacific Eco-Business Forum in Kawasaki-Urban and Industrial Symbiosis- 、0121、2008
- 19) Tsuyoshi Fujita ; Innovative technology inventory for circular economy and regional technology assessment research for sustainable regional management、循環経済のための革新的技術インベントリと持続可能な地域管理のための技術評価、4th International Expert Workshop for Urban and Industrial Symbiosis -Symbiosis of Theory and Practices、0124、2008
- 20) Rene Van Berkel、Tsuyoshi Fujita ; Comparative Analysis of Eco town Programs in Japan、7th International Eco-Balance Conference、2008
- 21) Shizuka Hashimoto、Yong Geng、Tsuyoshi Fujita、Ryo Wakabayashi ; Circular Economy Scenarios for MSW management in Dalian、China、7th International Eco-Balance Conference、2008
- 22) Tadanobu Nakayama ; Development of NICE-URBAN model applicable to urban district、Int. Workshop on Sustainable Regional Development through Circular Economy (Internal Workshop)、Shenyang、China、19th May、2008
- 23) Tadanobu Nakayama、Tsuyoshi Fujita、Shizuka Hashimoto、Hiroyuki Hamano ; Simulation of hydrothermal recoveries by adopting symbiotic urban scenario in the Japanese megalopolis、paper number GC43A-11、AGU Joint Assembly 2008、Florida、USA、27th - 30th May、2008
- 24) Tadanobu Nakayama ; Simulation of hydrologic change related to ecological condition in the Japanese mire、session number 15、2008 AWRA Summer Specialty Conference、Virginia、USA、30th June - 2nd July 2008
- 25) 村野昭人、松野浩一、藤田壮、桜井俊介 ; 木材循環を志向した木質住宅システムの環境負荷削減効果の評価ー埼玉県を対象としたケーススタディー、第24回建築生産シンポジウム論文集、311-316、2008.7
- 26) Tadanobu Nakayama ; Effect of freshwater over-exploitation on seawater intrusion in grain-cropping plain area、session number GS21、ASLO 2008 Summer Meeting、Newfoundland、Canada、8th - 13th June、2008
- 27) Tadanobu Nakayama ; Estimation of relationship between hydrologic change、seawater intrusion、and crop production by using integrated approach、93rd ESA Annual Meeting、Milwaukee、USA、3rd - 8th August、2008
- 28) Tadanobu Nakayama、Tsuyoshi Fujita、Yong Geng、Shizuka Hashimoto ; Simulation of water resource and its relation to urban activity in Dalian City、Northern China、session number Y2、HydroPredict2008、Prague、Czech Rep.、15th - 18th September、2008
- 29) Tadanobu Nakayama ; Impact of anthropogenic activities on floods and droughts in Changjiang and Yellow River Catchments、WATCH Project Workshop (Internal Workshop)、Beijing、China、24th - 26th November、2008
- 30) 藤田壮、村野昭人、徐開欽、橋本禅 ; 循環型水処理技術・政策の計画・評価システム、第11

回日本水環境学会シンポジウム「環境再生のための分散型処理システムの意義とこれからの展望」、2008. 9

- 31) 松本朋弥、藤田壮、耿子威；地域環境改善手法を用いた外気温低下によるコージェネレーション用熱機関の効率算定、第36回環境システム研究論文発表会講演集、237-242、2008.10
- 32) Tadanobu Nakayama；Simulation of anthropogenic effects on hydrologic cycle in Changjiang and Yellow River Catchments, China, session number 54, AWRA 2008 Annual Water Resources Conference, New Orleans, USA, 17th - 20th November, 2008
- 33) Shizuka Hashimoto；Bridging science and policy to help policy makers build low carbon society, delivered for “International Climate Change Seminar”, organized by ICLEI and Ulsan Regional Innovation Agency, 21st November, 2008 (Ulsan, Korea)
- 34) Tadanobu Nakayama, Tsuyoshi Fujita, Shizuka Hashimoto, Hiroyuki Hamano；Multi-scale analysis of hydrologic change in the Japanese megalopolis by using integrated approach, paper number GC34A-08, AGU Fall Meeting 2008, San Francisco, USA, 15th - 19th December, 2008
- 35) Shizuka Hashimoto, Hiroyuki Hamano, Tsuyoshi Fujita, Hiroko Hori；Building Low Carbon Cities: Framework to Design and Evaluate Alternative Technologies and Policies for Land Use Planning, Eos Trans. AGU, 89(52), Fall Meet. Suppl., Abstract U41D-0029
- 36) Shizuka Hashimoto, Tsuyoshi Fujita, Kaiqin Xu, Tadanobu Nakayama；Bridging Scales: Developing a Framework to Build a City-Scale Environmental Scenario for Japanese Municipalities, Eos Trans. AGU, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract GC33A-0943
- 37) Tadanobu Nakayama；River Pollution Research, Nova Science Publishers, Inc., 2008
- 38) 高橋秀行、藤田壮、孫穎；産業構造の転換と環境負荷の関係—川崎市での影響分析、環境情報科学vol. 37-4、第5回ポスターセッション要旨集、94-95、2008
- 39) 藤田壮；都市づくりにおける低炭素社会からの視軸—URへの期待—、都市環境セミナー、UR都市機構、0109、2009
- 40) 藤田壮；地球温暖化問題に対する取組と課題、埼玉県「彩の国いきがいの大学」、0113、2009
- 41) 藤田壮；進行する地球温暖化と低炭素社会への転換シナリオ、第14回地下空間シンポジウム「低炭素社会と地下空間利用」、土木学会、0123、2009
- 42) 藤田壮；低炭素街区的実現に向けての技術研究の提案、内閣府霞が関低炭素社会WG、0227、2009
- 43) 藤井実、藤田壮、橋本禪；資源循環圏の規模と技術の選択に関する研究、第4回日本LCA学会研究発表会、182-183、2009.3
- 44) 橋本禪、藤田壮、孫穎、若林諒；エコタウン技術の展開による中国産業拠点都市における循環経済の促進—大連市の一般廃棄物管理施策を事例として—、第4回日本LCA学会研究発表会、186-187、2009.3
- 45) 孫穎、藤田壮、高橋秀行；川崎市の産業レベルにおける環境効率指標の算出—エコタウンの評価に関する基礎研究—、第4回日本LCA学会研究発表会要旨集、190-191、2009.3
- 46) 藤田壮；低炭素社会での資源循環、平成20年度地域からの循環型社会づくりに関するシンポジウム-埼玉からの発信！できることからはじめよう-環境省関東地方環境事務所、0317、2009

- 47) 藤田壮；低炭素都市の実現に向けた産官学連携、東洋大学・川崎市連携シンポジウム、低炭素都市・地域づくりシンポジウム-低炭素社会に向けての川越からの発信-、東洋大学現代GP、東洋大学地域産業共生研究センター、0320、2009
- 48) 藤田壮；環境モデル都市と今後の展開への期待、第2回北九州市環境モデル都市地域推進会議・総会講演、北九州市、0601、2009
- 49) 藤田壮；温暖化に向けた地域環境力への強化に向けて、全国市長会、環境フォーラム、パネルディスカッション(パネリスト)、0602、2009
- 50) 藤田壮；低炭素社会での基盤整備の展開、日本土木工業協会講演会、1215、2009
- 51) 藤田壮；エコタウンの達成と低炭素社会の地域循環拠点としての期待、全国エコタウン大会in川崎、0203、2010

(3) 出願特許

該当なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) International Workshop of Innovative Theory、 Technologies and Practice for Industrial Symbiosis in Dalian -Discussion among Experts in Industrial Symbiosis and Related Fields-、主催、中国大連理工大学、専門家会合、50名、2007年5月10日
- 2) Tsuyoshi FUJITA ; Japanese Eco-town、 theory and practice Lecture on Planning system and methodologies Environmental and Economic impact of Eco-towns、 Workshop on Eco-towns、 Asian Productivity Organization、 25-27 October、 2007、 Bandung、 Indonesia
- 3) 川崎都市産業共生国際ワークショップ、川崎市 産業振興会館、主催、2007年9月10日
- 4) 第1回都市環境改善技術・施策シナリオ研究検討会、川崎、2007年11月26日
- 5) International Workshop of Innovative Theory、 Technologies and Practice for Industrial Symbiosis in Wuhan -Discussion among Experts in Industrial Symbiosis and Related Fields-、専門家会合、2007年12月3～7日
- 6) 持続可能な都市開発と産業管理の専門家国際セミナー流域評価と統合管理産業共生シンポジウム、 三峡大学、中国、December4、 2007
- 7) 第1回産業共生型資源循環システム研究会、2007年12月19日
- 8) 第2回都市環境改善技術・施策シナリオ研究検討会、航空会館、2007年1月9日
- 9) 第4回アジア太平洋エコビジネスフォーラム、川崎市 産業振興会館、協力(川崎市、UNEP/IETC)、シンポジウム・専門家会合、400名、2008年1月23～25日
- 10) 第2回産業共生型資源循環システム研究会、2008年2月6日
- 11) 第3回都市環境改善技術・施策シナリオ研究検討会、いさご会館(川崎)、2008年3月11日
- 12) 第3回産業共生型資源循環システム研究会、2008年3月19日
- 13) 循環経済による持続可能な地域開発・発展に関する国際ワークショップ 産業共生および関連分野専門家会合、遼寧省瀋陽市、中国、2008年5月19日
- 14) 川崎市・国立環境研究所の都市環境技術検討会、川崎市、2008年5月26日
- 15) 川崎市都市環境改善技術施策シナリオ研究検討会、2008年7月24日

- 16) 川崎市・瀋陽市国際エコタウン連携ワークショップ、川崎市、2008年9月25日
- 17) 産業エコロジー学会アジア会議、川崎市産業振興会館、2008年12月8日-9日
- 18) 川崎市国立環境研究所環境研究連携会議、川崎市、2009年1月23日
- 19) 第5回アジア太平洋エコビジネスフォーラム、川崎市 産業振興会館、共催（川崎市、UNEP/IETC）、シンポジウム・専門家会合、2009年2月16～18日
- 20) 川崎市瀋陽市環境モデル都市研究会議、川崎市、2009年5月18日～22日
- 21) 川崎市瀋陽市環境都市研究会議、川崎市、2009年8月6日
- 22) 第6回アジア太平洋エコビジネスフォーラム、川崎市 産業振興会館、共催（川崎市、UNEP/IETC）、シンポジウム・専門家会合、2010年2月2～4日
- 23) 日中環境省による環境にやさしい都市専門家会合、北京・瀋陽、2010年3月25日、26日

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 藤田壮；産業共生の都市環境形成に向けての情報基盤のとしての GIS の活用、人と国土 21、(財)国土計画協会、P29-32、2007年9月号(第33巻3号)
- 2) 藤田壮、橋本禅；水・物質・エネルギー統合解析によるアジア拠点都市の自然共生型技術・政策シナリオの設計・評価システム、平成19年度環境技術開発等推進費に係る実施課題(その2)、生活と環境、pp.79-83、(財)日本環境衛生センター、2008年5月号
- 3) 藤田壮；日本と中国を結ぶ「循環経済都市シミュレータ」研究、科学、岩波書店、P765-767、2008年7月号(Vol.78 No.7)、
- 4) 藤田壮；低炭素化社会形成に向けての展開に向けての「トップランナー」都市・地域への期待、都市と環境エネルギー、4月号、2009

(6) その他

該当なし

H-071 水・物質・エネルギーの「環境フラックス」評価による持続可能な都市・産業システムの設計

(2) 都市活動に伴う有機物質・エネルギーの地域の分布型フラックス解析システムの構築に関する研究

独立行政法人 産業技術総合研究所

安全科学研究部門	社会とLCA研究グループ	玄地 裕
安全科学研究部門	素材エネルギー研究グループ	布施 正暁

<研究協力者>

安全科学研究部門	社会とLCA研究グループ	李 一石
----------	--------------	------

平成19～21年度 合計予算額	34,182千円
(うち、平成21年度予算額)	10,870千円)

※予算額には、間接経費を含む。

[要旨] 持続可能な社会の構築に向けて、地球温暖化防止に対応した「京都議定書目標達成計画」、エネルギー・資源の有効利用を促す「循環型社会形成推進基本計画」などの様々な取り組みが行われている。このような取り組みに対応した持続可能な都市・地域システムを設計するため、より実効的な評価モデルの構築が求められている。本研究では、川崎市とその周辺地域（1都3県）を対象地域に設定し、活動主体間・地域間の相互依存関係を反映したマテリアルフロー・環境影響解析モデルを構築した。拠点都市の産業共生型資源循環システムの直接および間接的な環境影響ポテンシャルを評価した。マテリアルフロー・環境影響解析モデルの構築では、都道府県を対象に廃棄物処理プロセスの詳細を評価できる物質フローデータベースを整備した。同データベースを活用して、静脈産業および地域間影響を評価できるように産業関連モデルの部門および空間拡張を行った。構築したモデルの特長は、既存の廃棄物を対象とした産業関連モデルでは評価が困難であった、1) 廃棄物の発生から処理・再資源化までの一連のマテリアルフロー、2) 多種・多様な廃棄物処理・再資源化、3) 再資源化と減量化における環境・経済波及効果を定量的に分析可能にした点である。産業共生型資源循環システムの環境影響ポテンシャル評価では、川崎市および1都3県を対象に、現行シナリオ、積極的に地域内循環を推進するシナリオ、広域循環を推進するシナリオの比較を実施した。結果として、広域循環システム導入が対象地域全体の資源循環利用量を増加させ、同時にCO₂排出量を減少させることを明らかにした。本研究で構築したマテリアルフロー・環境影響解析モデルは、広域における政策連携や役割分担の科学的な根拠を提供するなど、低炭素・循環型社会に向けた地域政策の検討範囲をより一層広げることが期待できる。

[キーワード] マテリアルフロー、産業関連モデル、資源循環、地域間相互依存

1. はじめに

持続可能な社会の構築に向けて、地球温暖化防止対策としての「京都議定書目標達成計画」、エネルギー・資源の有効利用を促す「循環型社会形成推進基本計画」などの様々な取り組みが行われている。地方自治体においてもそれらの取り組みに対応した地域レベルでの計画と具体的な実施案が求められ、その立案において国あるいは地球全体での環境問題解決を目指して政策目標を設定することが必要となる。一方、地方自治体の政策目標は自地域内で発生する環境問題の解決が第一義に設定されるのが現状である。そのため、地域政策の策定において、自地域と他地域の間には生じるモノやサービスの取引に伴う他地域への波及的な環境影響が十分に議論されていない。また、地域政策の当該地域外への環境影響を評価するためのデータおよびモデルも十分に整備されていない。したがって、活動主体間・地域間の連鎖・波及関係を前提にした、国あるいは地球全体の環境影響を削減する地域政策を導き出す環境影響評価モデルの構築が不可欠である。

2. 研究目的

本研究では、川崎市とその周辺地域（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県の1都3県）を対象に、産業共生型資源循環システムに着目した統合アセスメントシステムの評価サブモデルの検討を行う。そこで、ライフサイクル思考に基づき、主体間・地域間の環境面、経済面などの相互依存関係を反映したマテリアルフロー・環境影響解析モデルを構築し、対象地域の産業共生型資源循環システムに起因する直接および間接（波及）的な環境影響ポテンシャルを評価する。

3. 研究方法

（1）マテリアルフロー・環境影響解析モデル構築の概要

産業共生型資源循環システムは、地域内の財・サービスの生産、消費から廃棄物の発生、処理、再資源化、また、財・サービス・廃棄物の地域間移動など、産業活動全体に影響を及ぼすものである。同システムを評価するマテリアルフロー・環境影響解析モデルの要件として、次の3点が挙げられる。1点目は、産業、家計などの活動主体および地域間の相互依存関係の考慮である。2点目として、従来の特定地域の廃棄物処理を対象とした評価で主である関連プロセスからの直接的な環境影響だけでなく、ライフサイクル全体を通じた他プロセスや他地域で発生する間接的な環境影響の評価が挙げられる。3点目は、川崎市、周辺の1都3県、日本全国といった異なる空間スケールでの政策評価が可能であることが求められる。

以上の要件を満たすため、マテリアルフロー・環境影響解析モデルの基本構造として産業連関モデルを採用した。産業連関モデルは、主体間の相互依存関係を考慮した経済活動の波及影響の分析に優れている。また、地域間移動（地域間交易）データを用いて空間拡張した地域間産業連関モデルを構築することで、主体間のみならず地域間の相互依存関係によって生じる波及効果を評価できる。しかし、産業連関モデルは本来経済分析を目的とするため、貨幣単位での把握が困難である廃棄物処理・再資源化活動の評価に限界を有する。そこで、地域別の廃棄物に関する物量単位でのフローデータベース（物質フローデータベース）を作成し、産業連関モデルの基礎データである産業連関表の静脈産業部分を拡張する（静脈産業部分の拡張）。さらに、空間拡張を実施することによってマテリアルフロー・環境影響解析モデルが構築される（空間の拡張）。図1に、マテリアルフロー・環境影響解析モデルの構築手順（①～⑤）を示す。

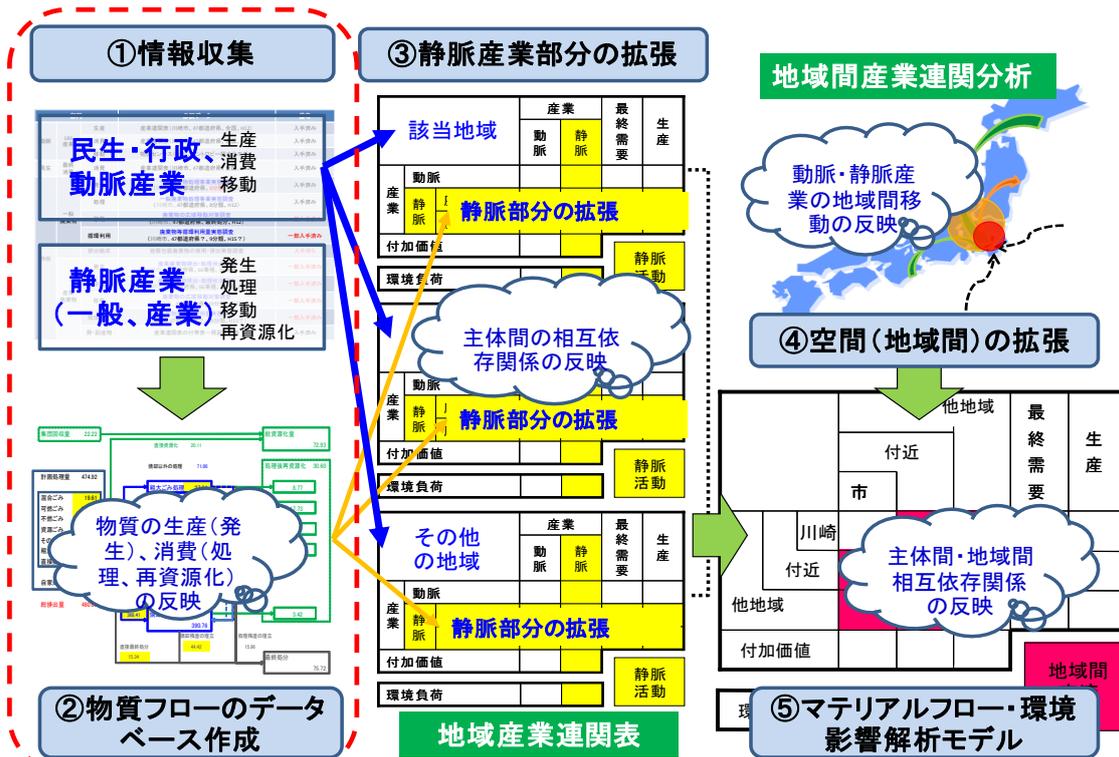


図1 マテリアルフロー・環境影響解析モデルの構築手順

(2) 物質フローデータベースの作成

物質フローデータベースに関しては、一般廃棄物および産業廃棄物の発生、収集、処理、資源化、地域間移動の各プロセスにおける入出力量を推計し、データベース化した。同データベースは47都道府県を対象とするが、一般廃棄物のように市町村レベルでの情報入手が可能なものは、より詳細な地域区分を採用した。マテリアルフロー・環境影響解析モデルは産業連関モデルを基本とするため、データベースの作成年(2000年、2005年)および作成基準を既存の産業連関表と整合するように対応した。

図2に物質フローデータベースの作成概要を示す。一般廃棄物の区分として21分類、産業廃棄物の区分として、法的分類18分類を細分化した44分類を基本とした。一般廃棄物および産業廃棄物の発生、収集、処理、資源化の各段階において、環境省の「一般廃棄物処理事業実態調査」と「産廃排出・処理状況調査」から得られる地域別データをコントロールトータルとして与え、各段階の物質収支の整合性を取りながら詳細なプロセス入出力量を調整した。ただし、産業廃棄物の基本データである「産廃排出・処理状況調査」では、現実には複数存在する中間処理が一つのプロセスに集約されているため、詳細な中間処理プロセスの関連フローについて、関連業界統計を収集して推計した。ここでは、中間処理プロセスとして、脱水・乾燥、油水分離・中和、破碎、堆肥化、メタン化、飼料化、固形燃料化、バイオ燃料化、油脂抽出、コンクリート固形化、焼却、熔融、直接資源化、減量化の全14分類を取り上げた。推計方法として、まず、地域別の実績値が存在する「下水統計」¹⁾の下水道汚泥処理や「産廃処理施設状況調査」²⁾の有機物焼却などは、統計値をそのまま用いた。実績値が存在しないが既存研究・調査が存在する場合は(メタン発酵、飼料化など)、対応する中間処理量を既存研究・調査の報告値を用いて配分した。実績値およ

び既存研究・調査が存在しない場合は（脱水・乾燥、油水分離、破碎など）、中間処理合計量から上記の二つの推計結果の差分を算定し、「産廃行政組織等調査」³⁾における地域別の廃棄物種類・処理方法別の処理能力比率を用いて配分した。処理後の残さ発生量は、処理方式での地域差はないと仮定し、関連文献とヒアリングから得た平均残さ率（残さ発生量/中間処理量）を用いて推計した。

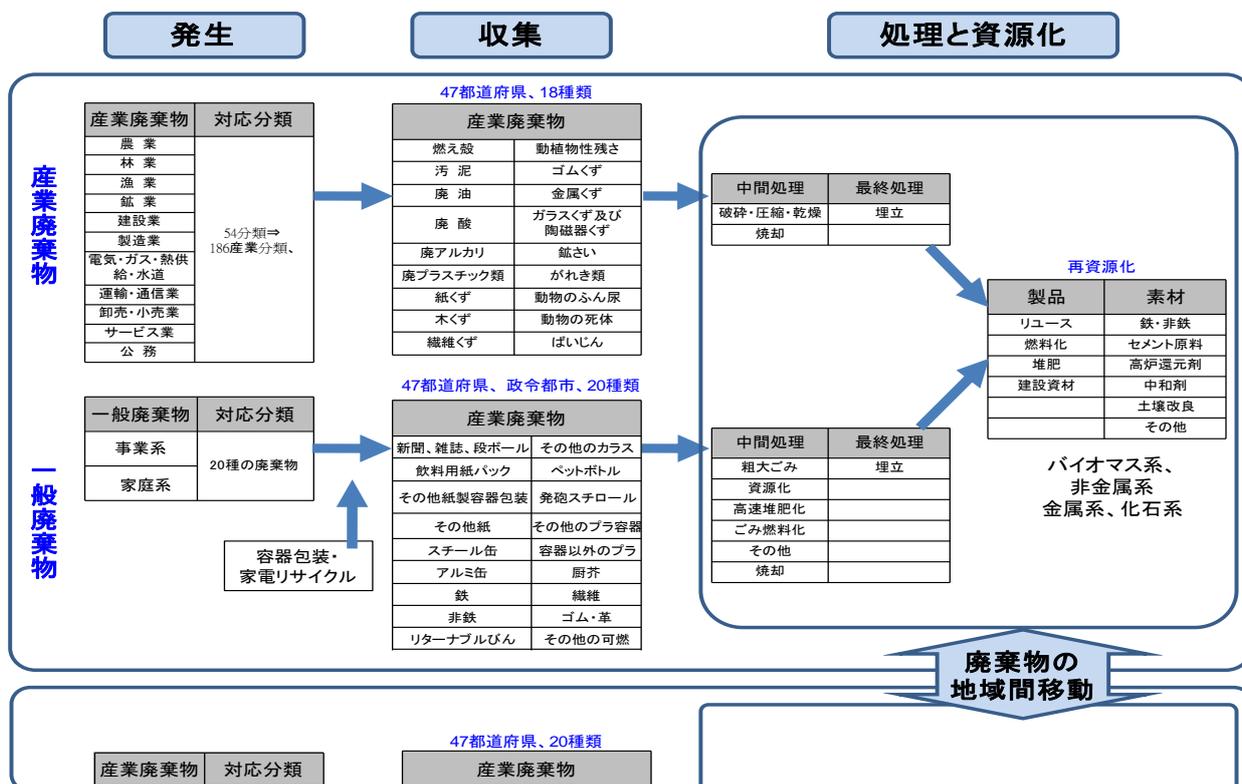


図2 物質フローデータベースの作成概要

(3) 産業関連モデルにおける静脈産業部分および空間の拡張

マテリアルフロー・環境影響解析モデルの構築では、物質フローデータベースを用いて産業関連モデルの静脈部門の拡張が行われ、続いて、空間の拡張が行われる（図1）。以下、それぞれの拡張法について示す。

1) 静脈産業部分の拡張

産業関連モデルの静脈産業部分を拡張するため、地域産業関連表のフレームを考案した（図3）。図3に考案した地域産業関連表のフレームは、金額部分と物量部分に大別される。金額部分は既存の産業関連表の廃棄物処理2部門と再資源化1部門を詳細な中間処理分類（一般廃棄物14分類、産業廃棄物16分類）に拡張し（図3の①、②）、付加価値と生産額も地域産業関連表との整合性を取った（①、②、⑤）。物量部門は今回新たに追加した部門であり、廃棄物の処理フローを反映した部分である。一般廃棄物（処理前21分類、処理後13分類）、産業廃棄物（処理前44分類、処理後42分類）における資源化量（有価物質量、直接資源化量）を含めた総排出量が図3の③-1、2、

金額部分		非正方表		動脈産業		廃棄物処理		再資源化		最終需要	国内生産 (発生)
						一廃	産廃	一廃	産廃		
		動脈産業		x_{ij}		$x_{ik}, ①$		$x_{im}, ②$		f_{xi}	X_i
物量部分		不要物・ 処理残さ 排出	一廃	処理前	排出 $w_{nj}, ③-1$	処理 $w_{nk}, ③-3$	再資源化	f_{wn} ③-2	W_n		
			産廃	処理前							
		再資源物 投入	一廃	処理前	資源化投入 $r_{pj}, ④-1$	$r_{pk}, ④-3$	$r_{pm}, ④-4$	f_{rp} ④-2	R_p		
				処理後							
			産廃	処理前							
				処理後							
金額部分		付加価値		V_j		$V_k, ⑤$					

図3 静脈産業を考慮した地域産業連関表のフレーム

処理後資源化量③-3に位置する。さらに、直接資源化および各処理からの再資源化量（④-3、4）、再生資源化物の動脈産業への投入利用量が把握できるように④-1を設けた。

図3のフレームに合わせて対象地域の地域産業連関表を作成することによって、活動主体間（家計、動脈および静脈産業）の相互依存関係を金額だけでなく物量単位で評価できる産業連関モデル（地域別モデルと呼ぶ）が導出できる。地域別モデルは、廃棄物・再資源化物を廃棄処理・再資源化部門に変換させる配分係数（SW、SR）を用いて、地域産業連関表を正方形化することで得られる。正方形化表の需給均衡式とそれから導出される産業連関モデル式を式(1)、(2)に示す。

$$\begin{pmatrix} A_{ij} & A_{ik} & A_{im} \\ SWGw_{nj} & SWGw_{nk} & 0 \\ SWGr_{pj} & -SR1Gr_{pk} & SR1Gr_{pm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{ji} \\ ZW_n \\ ZR_p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} fx_i \\ SWfw_n \\ SRfr_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_i \\ ZW_n \\ ZR_p \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} I - A_{ij} & -A_{ik} & -A_{im} \\ -SWGw_{nj} & I - SWGw_{nk} & 0 \\ -SRGr_{pj} & -SR1Gr_{pk} & SR1Gr_{pm} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} fx_i \\ SWfw_n \\ SRfr_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_i \\ ZW_n \\ ZR_p \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで、 $y = i, k, m, XX = X_i, ZW_n, ZR_p, a_{iy}$: 金額部門の投入係数 ($= x_{iy}/XX$)、 gw_{ny} : 廃棄物排出部門の投入係数 ($= w_{ny}/XX$)、 gr_{py} : 金額部門投入係数 ($= r_{py}/XX$)、 $A_{iy} = [a_{iy}]$ 、 $Gw_{ny} = [gw_{ny}]$ 、

$Gr_{py}[gr_{py}]$ 、 SW : 廃棄物排出の配分係数、 SR : 再資源化の配分係、である。

地域別モデルは、図3のフレームの行和に位置づけられる各産業の地域内生産額、地域内廃棄物排出量、処理方法別処理量および再資源化量を出力とする。各種政策における最終需要、投入係数、配分係数を外生的に設定することで、経済・環境波及効果を評価することができる。また、最終的な廃棄物排出量、処理量だけではなく、それに至る廃棄物の減量、再資源化量を加えた一連の詳細なフローの分析も可能である。特に、本モデルの多種・多様な廃棄物処理に対応した評価が可能であることが、既存の廃棄物を対象とした産業連関モデル^{4,5)}と異なる点である。

2) 空間の拡張 (川崎-1都3県-その他地域)

1) で構築した川崎市、1都3県、その他地域における地域別モデルを、地域間移動データを用いて統合し空間 (地域間) 拡張することで、地域間産業連関モデルを構築した (地域間モデルと呼ぶ)。地域間モデルの基礎データとなる地域間産業連関表のフレームを図4に示す。

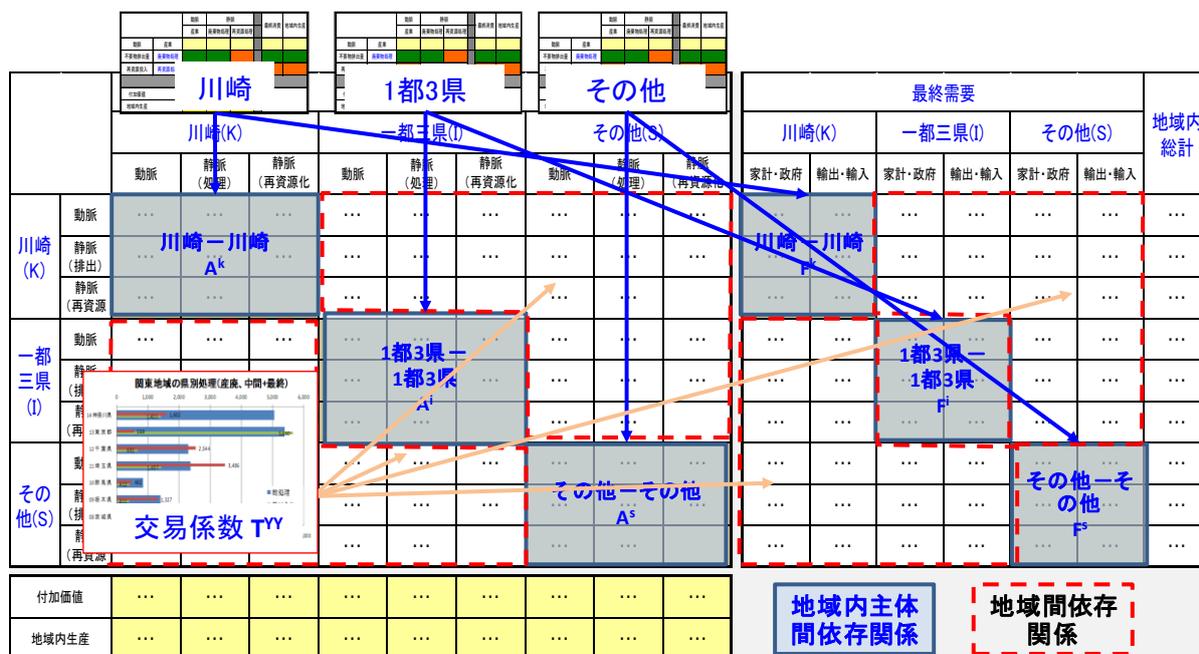


図4 地域間産業連関表のフレーム (川崎市-1都3県-その他地域)

図4の地域間産業連関表のフレームは、チェネリー・モーゼス型モデル方式を採用した。地域間産業連関表から導出される多地域間モデルは、地域間相互依存関係を考慮した地域の政策変化による地域別の生産誘発額、廃棄物発生量、処理量、再資源化量の影響評価を可能にする。地域間モデルに使われた交易係数は、動脈産業に関わる金額部分は物流センサスから得られる地域間移動データとエントロピー極大化モデルによって産業連関表の移入出額を47都道府県間移動額に拡張した推計値を用いた。また、静脈産業に関わる物量部分においては、廃棄物の地域間移動は環境省の報告書「廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告」のデータを、有価および資源化物は紙、金属、廃プラなどの関連統計より県レベルの地域間移動量の推計

数を用いた。

$$\begin{pmatrix} X^k \\ X^i \\ X^s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I - \widehat{T}^{kk} A^k & -\widehat{T}^{ki} A^i & -\widehat{T}^{ks} A^s \\ -\widehat{T}^{ik} A^k & I - \widehat{T}^{ii} A^i & -\widehat{T}^{is} A^s \\ -\widehat{T}^{sk} A^k & -\widehat{T}^{si} A^i & I - \widehat{T}^{ss} A^s \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \widehat{T}^{kk} F^k + \widehat{T}^{kh} F^i + \widehat{T}^{ks} F^s \\ \widehat{T}^{hk} F^k + \widehat{T}^{ii} F^i + \widehat{T}^{is} F^s \\ \widehat{T}^{sk} F^k + \widehat{T}^{si} F^i + \widehat{T}^{ss} F^s \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここで

$$X^Y = \begin{pmatrix} X_{i_i}^Y \\ ZW_k^Y \\ ZR_n^Y \end{pmatrix}, F^Y = \begin{pmatrix} fx_i^Y \\ SWfw_n^Y \\ SR2fr_p^Y \end{pmatrix}, \widehat{T}^{YY} = \begin{pmatrix} T1_i^{YY} & 0 & 0 \\ 0 & T2_p^{YY} & 0 \\ 0 & 0 & T1_p^{YY} \end{pmatrix}, A^Y = \begin{pmatrix} A_{ij}^Y & A_{ik}^Y & A_{im}^Y \\ SWGw_{nj}^Y & SWGw_{nk}^Y & 0 \\ SR2Gr_{pj}^Y & -SR1Gr_{pk}^Y & SR1Gr_{pm}^Y \end{pmatrix}$$

ただし、 $Y=k$ (川崎)、 i (1都3県)、 s (その他地域)、 A^Y : 地域 Y の投入係数、 X^Y : 地域 Y の生産額、廃棄物排出量、資源化量、 F^Y : 地域 Y の最終需要、 $T1$: 動脈と再資源利用の地域間交易係数、 $T2$: 廃棄物処理の地域間交易係数、 SW : 廃棄物排出の配分係数、 $SR1$: 処理による再資源化の排出係数、 $SR2$: 再資源化の利用配分係数、である。

4. 結果・考察

(1) 資源循環ポテンシャルの評価

産業共生型資源循環システムを検討するにあたって、川崎市、1都3県の対象地域が有する資源循環ポテンシャルを評価した。ここでは、資源循環ポテンシャルとして、バージン財を代替として利用可能な廃棄物量（純循環ポテンシャル）、実際の廃棄物の発生量と現在の利用量（現在循環利用量）、さらに純循環ポテンシャルと現在循環利用量の合計で示される廃棄物全体の需要量（需要ポテンシャル）を評価した。

純循環ポテンシャルは、地域の産業構造によって利用可能な廃棄物が異なるため、まず現在有機系廃棄物の中でバージン財の代替物として利用されている直接および処理後資源化物（代替物）のケースを抽出した。それらが代替する財を各産業の用途別（188産業、20用途）に整理した。地域別産業連関表を用いて、各産業の生産額あたりのバージン財利用額を求め、それぞれの単価を乗ずることで代替可能なバージン財量を算出した。また、技術的な限界を考慮するために、各種文献や専門家の意見に基づいて設定した代替限界率を乗じて、代替限界量を産業ごとに算出した。代替限界量を廃棄物で補うために必要な量、すなわち純循環ポテンシャルを地域別に推計した。現在循環利用量は、物質フローデータベースの値を用いた。

表1に、川崎市の18種類の廃棄物を8項目にまとめた資源循環ポテンシャルの評価結果を示す。ただし、廃棄物を基準とした比較を行うため、表3の再資源化に関する量は、再資源化のため各処理に必要な廃棄物排出量に換算した数値である。川崎市では、鉄鋼業やプラスチック業で燃料や原料としての廃プラの需要ポテンシャルが約92万tで最も多いが、現在は移入分を入れて15%が循環利用されており、85%は純循環ポテンシャルとなる。また、地域で処理可能な量（自地域内処理量+移輸入量）を考慮すると廃プラは6%、廃油は16%、廃酸21%に留まり、需要ポテンシャルより過少であった。一方、紙類や動植物性残さ、汚泥類は需要ポテンシャルより廃棄物排出量が過大で

あった。このように、川崎市だけ見た場合では、廃棄物の排出と循環資源としての需要ポテンシャルの需給バランスが合わず、廃棄物が効率的に循環していない傾向が得られた。このことは、単一地域内での資源循環を前提とする現行システムの限界を示すものである。そこで、川崎市に1都3県を加えた広域循環を前提としたシステムを想定することで、川崎市の廃棄物需給のアンバランスを緩和する方策を検討した。結果として、廃プラ処理で課題を抱える東京都から7.7万tの廃プラを受け入れ、紙類また動植物性残さの需要ポテンシャルが高い埼玉県と千葉県にそれぞれ0.9万t、0.3万tを送ることで、広域全体の資源循環率の向上が可能であることが明らかになった。また、このような広域循環を成立させる需給バランスの条件を設定したところ（廃棄物排出量/需要ポテンシャル：0.7-1.3）、繊維くず（1.3）、ゴムくず（1.2）については条件を満たし、両廃棄物に関しては川崎市を含めた1都3県を循環圏として考えられる結果が得られた。

表1 有機系産業廃棄物における循環ポテンシャル

川崎市		汚泥類	廃油	廃酸	プラ類	紙類	動植物性 残渣	動物の ふん尿	その他
不要物	自地域内処理	1,162,917	3,331	5,385	31,213	80,109	6,434	0	53,824
	移輸入	120,323	331	4,385	26,675	8,379	1,272	0	42,858
再資源化	自地域内利用	1,567	3,116	4,805	135,975	65,576	1,014	0	45,577
	移輸入	0	722	0	125,992	96	19	0	0
不要物	移輸出	-4,406	0	0	-25,462	-1,750	-5,838	0	-28,033
再資源化	移輸出	0	-968	0	0	0	-5	0	0
需要ポテンシャル		5,381	22,428	46,849	919,950	76,210	3,328	0	156,965
地域内資源化可能率(%)		100%	16%	21%	6%	100%	100%	0%	62%
現在循環利用率(%)		29%	14%	10%	15%	86%	30%	0%	29%

（２）産業共生型資源循環システムの環境影響ポテンシャルの評価

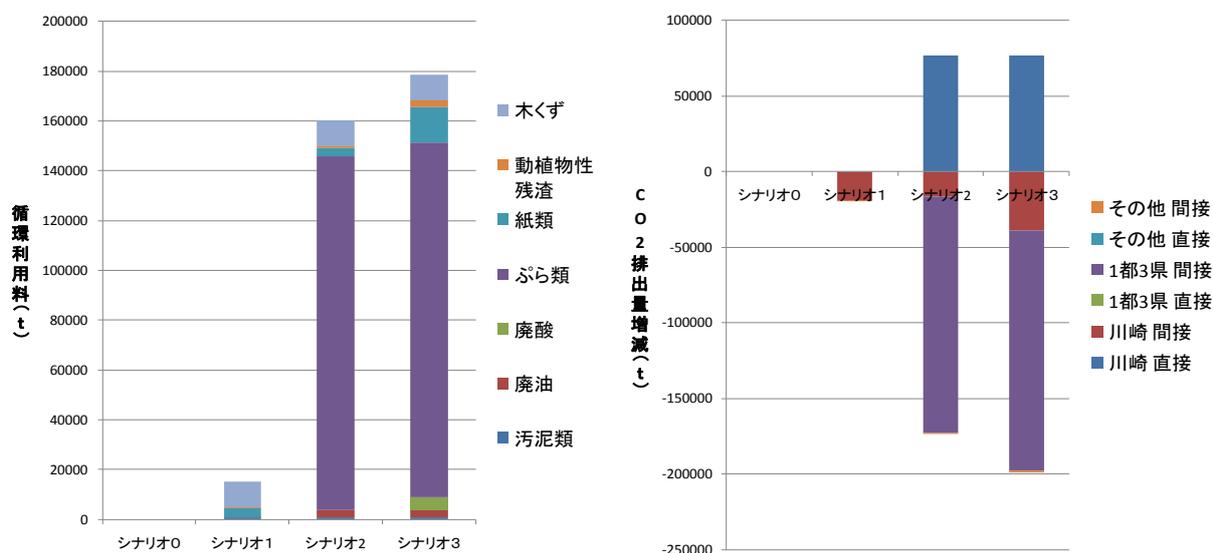
4.（１）で検討した各地域の循環ポテンシャルの評価結果より、産業共生型資源循環システムの方向性の一つとして、広域循環を前提するシステムの可能性が指摘された。ここでは、マテリアルフロー・環境影響解析モデルを用いて、産業共生型資源循環システムに関わるシナリオについて、その環境影響ポテンシャルを評価した。シナリオとして、現在の廃棄物処理・再資源化システム [シナリオ0]、4.（１）で評価した需要ポテンシャルに応じて川崎市内だけで可能なかぎり循環利用する場合 [シナリオ1]、シナリオ1に加えて川崎市の廃棄物の需要過剰分を1都3県の廃棄物と同地域に移輸出される廃棄物で補う場合 [シナリオ2]、さらに、川崎市の廃棄物供給過剰分を1都3県に移輸出させて同地域内で循環利用させる場合 [シナリオ3]、を想定した。環境影響ポテンシャルとして、処理方式別の処理量、循環利用量、CO₂排出量を取り上げた。表2に、各シナリオにおける循環利用に用いられる廃棄物量、循環利用を通じて代替されるバーゲン財量を示した。

表2 シナリオ別の廃棄物利用量およびバージン財代替量 (t)

再生利用 廃棄物量(t)	汚泥類	廃油	廃酸	プラ類	紙類	動植物性 残渣	木くず	その他
シナリオ1	731	215	0	0	3,428	416	10,310	0
シナリオ2	0	2,742	0	142,168	0	0	0	0
シナリオ3	0	0	5,385	0	11,105	2,149	0	0
バージン財代替量 (t)	砂糖・油脂 ・調味料類	非食用作物	製材・合板 ・チップ	パルプ	化学肥料	脂肪族中間 物・環式中 間物	石炭・原油 ・天然ガス	
シナリオ1	7.47	2.51	0.19	80.76	45.70	0	0	
シナリオ2	95.14	0	0	0	0	0	1655.83	
シナリオ3	0	13	0	65	0	253	0	

表2のシナリオ1では、木くずと紙くずの1.4万tが川崎市内で循環利用（燃料またはパルプに代替）されることを示す。シナリオ2では、1都3県の需要ポテンシャルを超える廃プラ14.2万tが川崎市内の鉄鋼業で循環利用されることを示す。また、シナリオ3では、川崎市内の需要ポテンシャルを超えて排出した廃酸、紙くず、動植物性残渣の1.9万tを1都3県のパルプまたは化学製品の原料として循環利用されることを示す。

表2のシナリオ別に伴う廃棄物処理方式別の処理量増減量とバージン財代替量を金額に換算した分をバージン財生産の減少分をマテリアルフロー・環境影響解析モデルに入力して、シナリオ0を基準にした各シナリオによる環境影響ポテンシャルの変化を図5に示した。

図5 現状に対するシナリオにおける影響変化量（循環利用量、CO₂排出量）

地域内循環を前提とするシナリオ1より広域循環を前提するシナリオ2、3の方が、大幅に循環利用量を拡大させ、同時にCO₂排出量を削減させる環境影響削減ポテンシャルが高い結果が得られた。

詳細を見ると、循環利用量の場合、シナリオを重ねることにつれて廃棄物の循環利用量が増加し、特にシナリオ2の1都3県からの廃プラの石炭代替量の効果が大きく現れた。CO₂排出量の変化においてもシナリオ2の廃油や廃プラの焼却回避による削減効果が大きく現れた。さらに、シナリオ3には紙くずのパルプ代替によって、パルプ生産に必要とする石灰石の利用を回避した影響がCO₂削減に反映される結果となった。また、シナリオ1からシナリオ2において循環利用量が急激に増加したことから、需要ポテンシャルの高い川崎市が他地域から廃棄物を受け入れる影響が大きいことが分かる。一方で、廃棄物の受け入れ先の川崎市から直接排出するCO₂は増加し、廃棄物の提供先である1都3県からのCO₂排出量は間接的に減少する結果が得られた。以上より、広域循環を前提とする産業共生型資源循環システムの環境影響削減ポテンシャルが高いことを明らかにした。広域循環は、廃棄物の供給先と需要先の間でCO₂排出責任の不平等を発生させる可能性がある。したがって、広域循環システムの設計においては、地域CO₂排出責任における地域間不平等を是正する地域間連携ルールを検討する必要がある。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、産業共生型資源循環システムの設計を支援するマテリアルフロー・環境影響解析モデルの構築をした。モデル構築のために作成した物質フローデータベースは廃棄物処理に関わる都道府県別の詳細フローの情報を提供するものであり、特に統計的制約より困難であった精緻でかつ現実に対応した産業廃棄物の問題発見および対策評価に大きく貢献することが期待できる。また、マテリアルフロー・環境影響解析モデルは、既存の廃棄物処理を考慮した産業関連モデルで評価困難であった、1) 廃棄物の発生から処理・再資源化までの一連のマテリアルフロー分析、2) 多種・多様な廃棄物処理・再資源化の評価、3) 再資源化と減量化の誘発などにおける環境・経済波及効果の定量的な分析を可能にした点で科学的意義がある成果と言える。

(2) 地球環境政策への貢献

低炭素・循環型社会の形成において、循環資源の有効利用率の向上とともに、地域および地球環境への影響を最小化する地域政策が求められている。物質フローデータベースの作成を通じて明らかになった産業廃棄物の中間処理、資源化に関するデータでは、既存統計ではカバーしきれない地域別（バイオマス系、化石系）の詳細な中間処理・資源化状況を知ることができ、将来の低炭素・循環型社会の形成を支援する貴重な基礎数値資料となりうる。また、構築したマテリアルフロー・環境影響解析モデルは、主体間および地域間の相互依存関係に伴う環境負荷（廃棄物、温暖化ガスなど）の誘発における波及プロセスを明らかにすることが可能である。そのため、本モデルを用いて、広域圏での政策連携や役割分担の在り方に関する科学的な根拠を提供することで、低炭素・循環型社会に向けた地域政策の方向性提示に貢献できる。

6. 引用文献

- 1) 国土交通省・環境省：廃棄物の広域移動対策調査、平成12年度
- 2) 下水統計下水道協会：平成12年度
- 3) 国土交通省・環境省：産業廃棄物処理施設状況調査、平成12年度

- 4) 国土交通省・環境省：産業廃棄物行政組織等調査、平成12、17年度
- 5) 中村慎一郎：「廃棄物産業連関の理論と応用」、三田学会雑誌、94、 1、 5-21、 2001

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

〈論文（査読あり）〉

- 1) 李 一石、布施 正暁、玄地 裕：環境情報学会、22、291-296(2008)
「地域LCAにおける地域特性を考慮したデータベースの検討」

〈査読付論文に準ずる成果発表〉

該当なし

〈その他誌上発表（査読なし）〉

該当なし

(2) 口頭発表（学会）

- 1) Ilseuk YI、 Masaaki Fuse、 Yutaka Gench、 SETAC Europe 14th LCA Case Studies Symposium (2007)
“Consideration of inter-regional dependency for indirect effects in a policy decision of region”
- 2) 李 一石、 布施 正暁、 玄地 裕：第35回土木計画学研究発表会(2007)
「地域間相互依存を考慮した地域LCAに関する研究」
- 3) 李一石、布施正暁、玄地裕：第36回環境システム研究(2008)
「地域間相互依存関係を考慮した環境影響の地域責任に関する検討」
- 4) 李一石、布施正暁、玄地裕：環太平洋産業連関分析学会(2008)
「地域環境政策における地域産業連関表の適用」
- 5) 李一石、布施正暁、玄地裕：環境情報学会(2008)
「地域LCAにおける地域特性を考慮したデータベースの検討」
- 6) 李一石、布施正暁、玄地裕：日本LCA学会(2009)
「産業廃棄物を対象とした47都道府県別の物質フローデータベース」
- 7) 李一石、浅岡健、布施正暁、玄地 裕：第20回廃棄物資源循環学会大会研究発表会(2009)
「産業廃棄物の中間処理システムにおける推計と地域特性分析」
- 8) 李一石、布施 正暁、藤原博良、玄地 裕：第20回環太平洋産業連関分析学会(2009)
「廃棄物の物質フローを考慮した産業連関モデルの検討」、
- 9) 李一石、布施正暁、玄地裕：日本LCA学会(2010)
「産業連関分析に基づいたライフサイクルウェイトモデルの検討」、

(3) 出願特許

該当なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

該当なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

該当なし

(6) その他

該当なし

H-071 水・物質・エネルギーの「環境フラックス」評価による持続可能な都市・産業システムの設計

(3) 研究市活動に伴う水・エネルギーの地域フラックス解析システムの構築に関する研究

慶應義塾大学 環境情報学部 渡邊正孝
政策・メディア研究科 講師 丹治三則

<研究協力者>

慶應義塾大学 環境情報学部 高崎健二
政策・メディア研究科 助教

平成19～21年度 合計予算額 32,287千円
(うち、平成21年度予算額 10,091千円)

※予算額には、間接経費を含む。

[要旨] 夏季の外気温の上昇は空調システムのエネルギー消費量を増加させ、夏季のCO2排出量を増加させる一因となっている。これまで各種のヒートアイランド対策が進められているが、民生業務部門の床面積が集中しヒートソースとなる都心部では、冷熱源が不足しており、雨水や地下水等の都市に均等に腑在する冷熱源を利用することが、問題解決の手段として有効と考えられる。

そこで、本研究では冷熱源として雨水及び地下水に注目し、土壌水分量の変化をより精緻に表現することで、土壌の保水及び蒸散によって都市キャノピー気温を低下させる機構を評価可能な都市キャノピーモデルを開発した。これにより都市のキャノピー温度、地表面、土壌面の水・熱の移動が連続的に解析できるモデルとした。また、これに建築物からの人工排熱量を定量化して、都市の水・熱フラックスを解析するモデルを開発した。

民生業務部門からの人工排熱量が大きい東京都心部を対象として、現況の地表面温度及びキャノピー気温の再現計算を行った。モデルによる計算結果は、2003年8月および2009年8月の現地観測データを用いて計算値の評価を行った。また、2002年8月に取得された衛星観測データを用いてテストエリア全域における面的な評価を行った。検証の結果からは、現況再現可能なモデルであることが確認された。

[キーワード] ヒートアイランド、都市キャノピーモデル、SiB2、人工排熱量、土壌水分

1. はじめに

関東圏では都心部への財・サービスの集中により、エネルギー消費量および人工排熱量が増加してきた。同時に、土地利用改変に伴う自然地の減少により、ヒートアイランド現象が顕在化してきている。これらの問題に対して、環境省、国交省、東京都では各種の「ヒートアイランド対策事業」を実施し、問題解決のための技術開発と普及を目的とした政策を推進している。

これまでのヒートアイランド対策には、対流顕熱を対流潜熱化する対策として各種の緑化、対流顕熱の緩和として風の道形成、人工排熱を潜熱化としてエアコンの室外機の更新等がなされている。しかし、冷却のための冷熱源が十分に供給されていないため、外気温上昇にともない建築物内でのエネルギー消費量が増加し、また降雨が不足するとアスファルト等の路面、壁面の温度上昇を避けられないという問題を抱えている。これに対して湧水・地下水に雨水を加えた多様な水循環を活用することにより、これまでのヒートアイランド対策がより進行すると考えられる。

2. 研究目的

本業務では圏域・都市スケールでの技術・政策シナリオについて、水・熱・大気環境フラックスの観点からアセスメントを行う分布型モデル（圏域スケールの水・熱・大気環境フラックスの統合アセスメントモデル）の開発を行う。

都心部の熱環境の解析と施策の評価を目的として、都市に腑在する環境資源である水循環の機

能（浸透・蒸発散機能）の影響を考慮した都市キャノピーモデルを構築する。モデルには街区ベースの建築物地理情報を基盤とした人工排熱量を算出する分布型モデルを開発し、水・熱・エネルギーフラックス解析システムの構築を行う。モデルは2002～2004年までの首都圏における気温、湿度等の観測結果を用いて検証する。

なお、本研究で開発する都市キャノピーモデル及び人工排熱量は統合され、民生業務部門の多い都市部の熱環境を解析し、同地域における政策評価をすることを目的としている。加えて、各サブモデルは国立環境研究所で開発を進めているNICE-Urbanモデルの検証と入力条件として構成される。

3. 研究方法

(1) 都市キャノピーモデルの開発

1) モデル構造

本研究で用いる都市キャノピーモデルは、Sellersらによって開発されたSiB(Simple Biosphere model)を植生地（生物圏）モデルとし、都市モデルと水体モデルを加えて開発した陸面過程モデルである。

このモデルは1つの陸面グリッドの中を都市、水体、植生地に分類しそれぞれの領域でフラックス計算をし、その合計（面積割合で加重平均）を大気側に渡すモザイクモデルである。都市キャノピーモデルの概念図を図1に示す。本モデルに人工排熱量、地下水量の推定モデルの結果を組み込み、陸面および土壌における空隙率、長波放射、短波放射等の物性値を舗装材毎に変更し計算を行う。

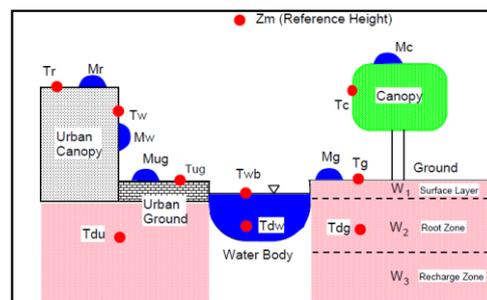


図1 都市キャノピーモデルの概念図

a 都市形状及び放射過程のモデル

建物群のモデル化は、建物が放射場に及ぼす影響を考慮するために、①有効体積率、②形態係数・天空率、③地表面からみた形態係数、④建築物からみた形態係数、⑤日影率をパラメータとして計算を行った。なお、方法論の詳細は足永らの文献⁽⁷⁾に譲る。ここでは、都市キャノピー内の詳細な放射分布は取り扱わず、建物壁面、地表面及び天空の間で交換されるトータルの放射熱量を以下の要領で取り扱う。足永らによれば、多重反射を考慮した各面の短波入射熱量は式(1)で表される。

$$SR_i|_{i=N,S,E,W,G,R} = (1-\eta_i)S_{d,i} + \Omega_{i \rightarrow sky} S_S + \sum_{j=N,S,E,W,G,R} SR_j \Omega_{i \rightarrow j} \left[\sum_{k=1,n} \rho_k F_{k,j} \right] \dots (1)$$

ただし、

SR	: 短波入射熱量 [W/m ²]
N、S、E、W	: それぞれ北、南、東、西の壁面
G	: 地表面
R	: 屋上面
η_i	: 対象とする面の平均的な日影率[-]
$\Omega_{A \rightarrow B}$: AからBを見た形態係数[-]; 後述
S_d	: 直達日射量 [W/m ²]
S_s	: 拡散日射量 [W/m ²]
ρ_k	: 素材kの日射反射率[-]
F_k	: 素材kの面積割合[-]

b 熱・水収支のモデル

i 熱収支式・水収支式

熱収支式については、屋根の温度の保存式、壁面の温度の保存式、地表面温度の保存式、地中温度の保存式、放射、顕熱輸送、潜熱輸送の式から表現される。また水収支の支配方程式は屋根、壁面、地表面の貯留水量、土壌水分量から表現される。なお、詳細は田中らの文献⁽¹⁰⁾に詳しい。

ii 6層での土壌温度の解析

従来のSiB2では、地表面・地中の2種類の温度がアウトプットとして得られる。これを鉛直6層で温度を算定できるよう改修を行った。ただし、現状の変数を解いた後、地表面温度から地中6層の温度を算定するようにした。6層のモデルは、SiB2の改良版であるSiBD(コロラド大)に収録されており、これを本モデルに合うよう改変した。具体的にはサブルーチン soiltherm及びsoilpropである。組み込まれているのはBonanのsoil thermodynamic modelとされており、NCARのLSMに実装されているBonanの式⁽³⁾と同様とみられる。表層側では地表面温度を境界条件とし、深層側ではゼロフラックスの境界条件を設定している。6層は、従来の3層に対し、表層に1つ、第2層に3つ、第3層に2つの層を振り分けることを想定してプログラミングされており、本検討でも図2に示すように各層を等分割した中心に温度計算点を配置した。

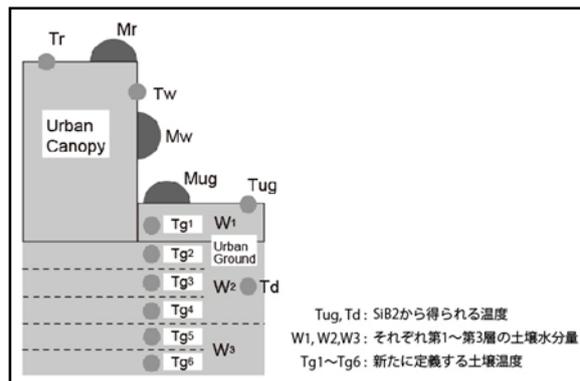


図3.2 土壌温度(6層)の定義位置

図2 土壌温度(6層)の定義位置

c 水面からの蒸発のモデル

水面での純熱フラックスは式(2)で表される。

$$\dot{H} = (\phi_s - \phi_{Sr}) + (\phi_a - \phi_{ar}) - \phi_{br} - \phi_e - \phi_c \quad \dots (2)$$

ここで、

$$\phi_{Sr} = 0.94\phi_{sc} (1 - 0.65C^2) = \text{net solar radiation,}$$

$$\phi_{ar} = 5.9 \times 10^{-3} \left(\frac{e}{T_a} \right)^{\frac{1}{7}} T_a^4 (1 + 0.17C^2) = \text{atmospheric radiation,}$$

$$\phi_e = (0.000308 + 0.000185W_z) \rho (e_s - e_z) \times (2493 - 2.26T_s) \times 10^3 = \text{evaporative heat flux,}$$

$$\phi_c = 269.1(0.000308 + 0.000185W_z) \rho (T_s - T_z) = \text{conductive heat flux}$$

ここで、 ϕ_{sc} は晴天時の日射量、Cは雲量、eは水蒸気圧、 T_a は気温、 W_z は水面上高さzでの風速、 ρ は水の密度、 e_s は水面上の気温に対する飽和水蒸気圧、 e_z は海面上高さzにおける水蒸気圧である。

d 自然地のモデル

自然地の陸面モデルは、SiB2⁽²⁾に準拠している。なお、図3は土壌を3層とするSiB2の構造図であるが、本研究では自然地においても、6層の土壌温度算定式を併用している。

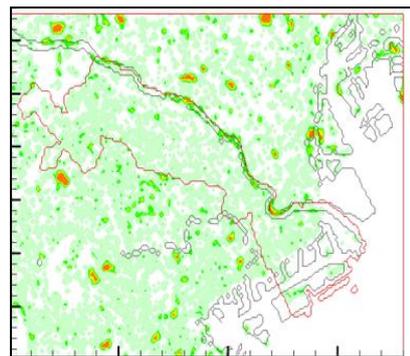


図3 SiB2のモデル構造

2) 計算期間

モデルの計算期間は2002年7月20日～2004年3月31日および2009年8月とした。

3) データセット

気象データについては、図4に示すアメダス観測地点から東京地点の観測データをもとに、ドライバデータを作成し、GISにより現実的な建物寸法を再現し、東京周辺を対象とした2次元的な（各格子では1次元計算である）計算を実施した。

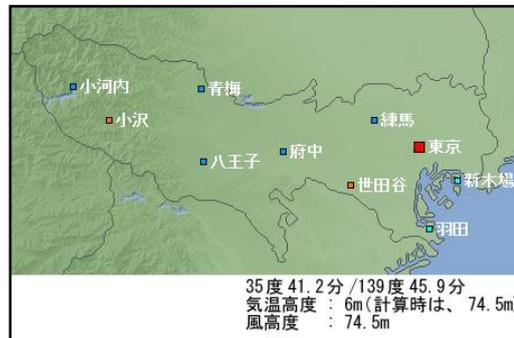


図4 アメダス観測地点

4) 地表面の設定

ここでは、構築した都市キャノピーモデルの都市域に対する振る舞いをみるため、SiB2で解く自然地との比較を行った。なお、SiB2で設定されている植生タイプ(stype)及び土壌タイプ(vtype)を表1に示す。

表1 植生タイプと土壌タイプの設定

	J=1	J=2	J=3
	樹木	草地	裸地
I=1	styp e = 4 vtyp e = 3	styp e = 4 vtyp e = 9	styp e = 4 vtyp e = 10
I=2	アスファルト	透水性アスファルト①	透水性アスファルト②
	styp e = 8 vtyp e = 10	styp e = 9 vtyp e = 10	styp e = 10 vtyp e = 10

新たに設けたタイプの意味は以下のとおりである。

- vtype 10 : vtype = 9と同じ。但し、fpar、lai、vcover をいずれも1. e-5とした
- stype 8 : stype = 4と同じ。但し、porosityを0.01、satC0=1. e-10
- stype 9 : stype = 4と同じ。但し、porosityを0.8、satC0=1. e-6
- stype 10 : stype = 4と同じ。但し、porosityを0.8、satC0=1. e-6、rootd=4.5m、sodep=5m

都市域では、アスファルトに共通の設定を表2の通りとした。

表2 アスファルトの設定

Porosity	水理伝導度	水分張力	地表水の貯留量(mm)	地形勾配	B値
0.9	1e-6	-0.12	0.2(アスファルト)1.0(透水性)	0.08	7.12

土地被覆データは500mメッシュ、50mメッシュデータとも共通で、表3の通りである。

表3 土地被覆データの区分

No.	土地利用分類		
	大分類	中分類	小分類
01	山林・農地等	山林・荒地等	
02		農地	田
03			畑・その他の農地
04	造成地	造成中地	
05		空地	
06	宅地	工業用地	
07		住宅地	一般低層住宅地
08			密集低層住宅地
09			中高層住宅地
10		商業・業務用地	
11		公共公益 施設用地	道路用地
12	公園・緑地等		
13	その他の公共公益施設用地		
14	河川・湖沼等		
15	その他		
16	海		
17	対象地域外		

(2) 人工排熱量算出モデルの開発

1) モデル構造

人工排熱とは「大気、水、土壌などの環境媒体が受ける熱量」とであると定義する。熱源となる照明器具、空調設備、厨房機器、給湯機器、内燃機関、ボイラー、焼却炉を対象とし、業務オフィス、建築物、交通、事業所及び住宅からの排熱量を算出する。

建築物からの人工排熱モデルは、2つのサブモデルから構成される。第1に「エネルギー消費量算定モデル」で、床面積あたりのエネルギー消費原単位から建築物における全体のエネルギー（電力、ガス）消費量を推定する。第2に「建築用途別排熱推計モデル」で、建築設備データベースから建物の形状別の空調設備を特定し、大気への排熱（顕熱、潜熱）を算出する。エネルギー消費量及び人工排熱量の算出式は式（3）の通りである。

$$E_i = F_i \times (\alpha c_i + \beta c_i + \gamma c_i + \delta c_i) \quad \dots (3)$$

E_i : 建築用途別のエネルギー消費量

F_i : 建築用途別の床面積 (㎡)

i : 建築用途

αc_i : エネルギー消費量原単位(冷房用) (Mcal/㎡・月)

βc_i : エネルギー消費量原単位(暖房用) (Mcal/㎡・月)

γc_i : エネルギー消費量原単位(給湯用) (Mcal/㎡・月)

δc_i : エネルギー消費量原単位(一般電力) (Mcal/㎡・月)

Seh_i : 顕熱排出量原単位 (KJ/㎡/h)

leh_i : 潜熱排出量原単位 (KJ/㎡/h)

2) 空間スケール

キャノピーモデルと統合することを念頭に、東京区部では50mメッシュ、それ以外の地域では500mメッシュのグリッドデータとして人工排熱量の整備を行った。特に人工排熱量が大きく、ヒートアイランド現象の最も大きな都心部においては50mメッシュでデータを整備している。

3) 原単位

a 時間スケール

月別にエネルギー消費量、人工排熱量を計算しているが、排熱量が大きいと想定される8月については1時間ごとの人工排熱量を計算できるように設計した。

b 建築用途別床面積

東京都都市計画地理情報システム（平成13年、平成14年データ）、神奈川県都市情報システムに収録されている、建物用途別の延べ床面積データ（「H12年基礎調査建物現況HOUSE2000データ」神奈川県都市情報システム・データベース、2000年）をもとに、用途別床面積データを建築用途別床面積及び建物棟数データを整備した。表4に建築用途別分類を示す。

表4 建築用途別分類

官公庁施設	スポーツ・興行施設
教育文化施設	独立住宅
厚生医療施設	集合住宅
供給処理施設	専用工場
事務所建築物	住居併用工場
専用商業施設	倉庫運輸関係施設
住商併用建物	農林漁業施設
宿泊・遊興施設	

c エネルギー消費量原単位

尾島ら手法⁽¹⁾に基づき冷房、暖房、給湯、一般電力消費の4項目のエネルギー消費量原単位を決定した。

d 人工排熱量原単位

人工排熱量（顕熱・潜熱）の算出では、建築用途及び床面積規模による空調設備の違いを考慮する必要がある。「都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書」⁽⁹⁾では、事務所、商業施設、ホテル、学校及びその他の用途、集合住宅、戸建住宅について、建築物床面積規模別に建物を類型化し、8月の時間別の人工排熱量の原単位を顕熱・潜熱別に推計している。本研究ではこの原単位を用いて人工排熱量の算出を行った。

(3) 地下水を用いた冷却効果に関する検討

都市におけるヒートアイランド対策としては雨水や地下水を冷熱源として利用することが、問題解決の手段として有効と考えられている。しかしながら、ヒートアイランド問題が顕著な東京においては戦中、戦後を通じて地下水の利用が進み低地部で地盤沈下が発生したため、工業用水法（1956年）、ビル用水法（1962年）、東京都公害防止条例（1969年）などの揚水規制が行われた。1970年代からは地盤沈下が沈静化の傾向を示し始め、1995年以降は年間2cm以上の沈下は発生していない。このような地盤沈下を抑制する施策により地下水位は回復してきた⁽¹³⁾が、現在では反対に地下水位の回復に伴う地下構造物の浮き上がりが問題となると共に様々な場所で漏洩地下水が発生している。これらの漏洩地下水は、河川または下水道に放流されているが、地下水は年間を通じて水温が15℃前後であることから、外気温との温度差を利用して、夏季には冷熱源、冬季には温熱源として活用できる未利用エネルギーとなる⁽¹⁵⁾。

a 外気を漏洩地下水により予冷した場合

（外気を冷凍機で作られた冷水で冷やす前に、漏洩地下水で冷やす方法）

漏洩地下水の冷却熱量は式（4）で求められる。

$$Q_w = 60G(t_{w_f} - t_{w_i}) \times 4.187/3.6 [W] \quad \dots (4)$$

Q_w : 冷水側の熱量[W]

G : 冷水の流量[l/min]

t_w : 冷水の温度[℃]

（添字iは入口、fは出口を示す）

流量Gは4500tの漏洩地下水を冷房稼働時間15時間（8時～23時）で利用するとした場合、予冷前地下水温度(t_{w_i})を15℃、予冷後地下水温度を20℃とすると以下の削減が可能となる。

$$G = 4500/15 = 300 [k\ell/h] = 5000 [\ell/min]$$

$$Q_w = 60 \times 5000 \times (20 - 15) \times 4.187/3.6 \approx 1744583 [W] \approx 1504 [Mcal/h]$$

これが漏洩地下水で冷やすことの出来る熱量となる。上記の削減量を1500Mcal/h、仮にビルの熱源で作る熱量が計5000Mcal/hであれば、約30%（1500/5000=0.3）の削減が可能となる。

b 冷却水に漏洩地下水を活用した場合

(冷却水の温度を下げて冷媒の圧縮に必要な電力を削減する方法)

冷媒温度と圧力の関係が図5の様であった時、冷媒温度44℃時の圧力は10.0kg/c m² (0.98068MPa)となり、冷媒温度30℃時の圧力は、7.5kg/c m² (0.73551Mpa)となる。

圧縮機の送り出す圧力を0.1MPa下げた時に消費電力を約10%削減できる⁽¹⁶⁾とすれば、 $24.5\% = \{(0.98068 - 0.73551) \times 10 / 0.1\}$ の削減となる。

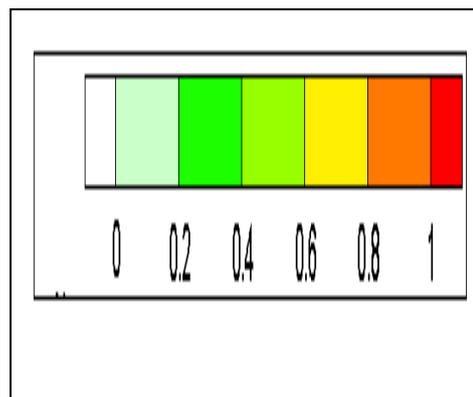


図5 冷媒温度と圧力の関係

4. 結果・考察

(1) 都市キャノピーモデルによる結果

開発したモデルを用いて年間の日別都市キャノピー気温の計算を行った。図6にモデルによる都市キャノピー温度と地表面温度の計算結果から作成した2003年の8月20日正午の温度分布画像を示す。本画像からは、表面温度とキャノピー温度がともに都市域では高温域を構成する中、皇居や新宿御苑などの緑地を多く含む場所では周辺部と比較して明らかに温度が低いことが分かる。

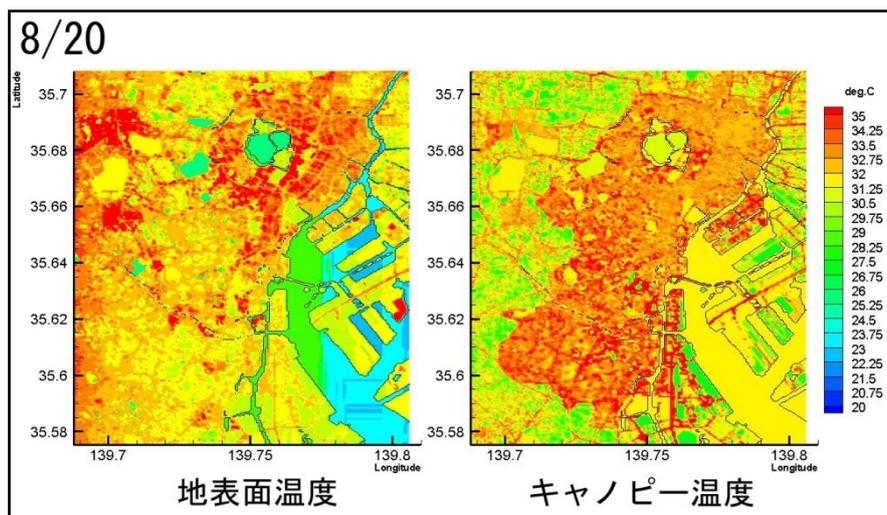


図6 2003年8月20日正午の地表面とキャノピーの計算温度

(2) 人口排熱量の空間分布結果

東京都、神奈川県全域の人工排熱量のうち、東京都心部における時刻別建築用途別人工排熱量と時刻別建築用途別人工排熱量の中で、最も排熱量の多い事務所系の東京都心部における人工排熱量分布を図7に示す。当該地区はオフィス・事務所系の高層建築物が多数集中している地域である。東京都心部における時刻別建築用途別人工排熱量によるとオフィスビル（事務所、官公庁）の業務時間内（9時～19時）は事務所からの人工排熱量（空調設備）が著しく高い。商業施設についても同時間帯（9時～19時）における人工排熱量が高く、夜間になると低くなる傾向がある。事務所及び商業施設については他の建築用途に比べて全排熱量に占める潜熱排熱量の割合が比較的高い。逆に、集合住宅、独立住宅については19時以降に高い人工排熱量を示すようになり、20時か

ら21時の時間帯に人工排熱量がピークとなる。住宅では、事務所、商業施設と比較して全排熱量に占める顕熱排出量の割合が高い。

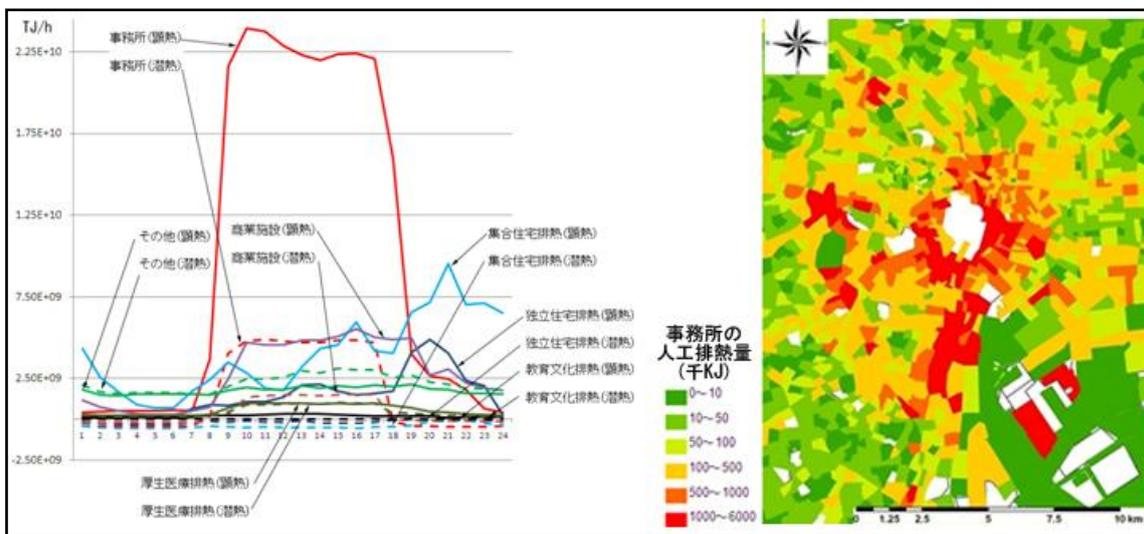


図7 東京都心部における時刻別建築用途別人工排熱量及び事務所系の人工排熱量(12時)

(3) モデルによる計算結果の検証

1) 東京都環境科学研究所の現地観測データを用いた検証

モデルによる計算結果について東京都環境科学研究所の現地観測データ (METROS : Metropolitan Environmental Temperature and Rainfall Observation System/首都圏環境温度・降雨観測システム) を用いて検証を行った。この現地観測データは23区内の約100か所の主に小学校で観測されているもので、今回はこの観測地点の内の12か所における観測値を用いてモデルによる計算値の検証を行った。図8にMETROSの観測地点および12か所の検証地点を示す。2003年7月1日～8月31日の12点における観測データとモデル計算結果を図9に示す。今回、検証地点として選点された12箇所は、解析対象エリアに含まれる東京都による実測地点の全てであるが、モデルでの計算結果と現地での観測値を比較した結果 (図9) からは、検証地点の12箇所全点で計算結果が現地気温を良好に再現することが確かめられた。

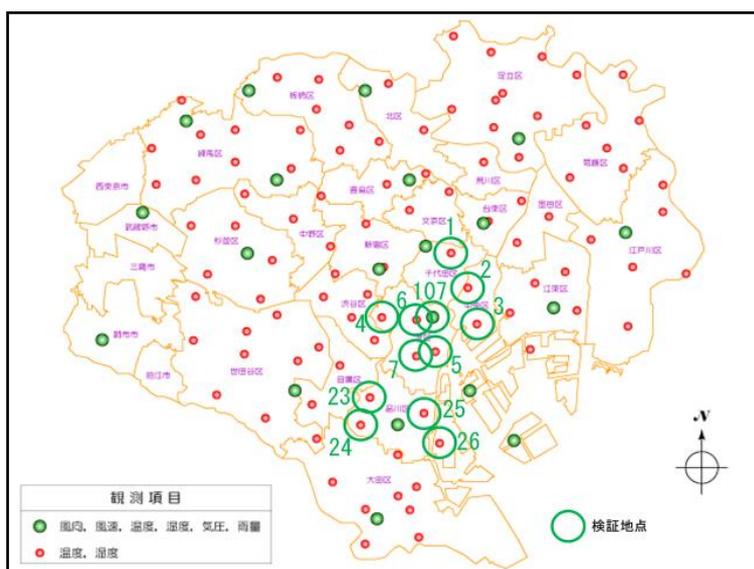


図8 METROSの観測地点および検証地点 (緑色の円が検証地点)

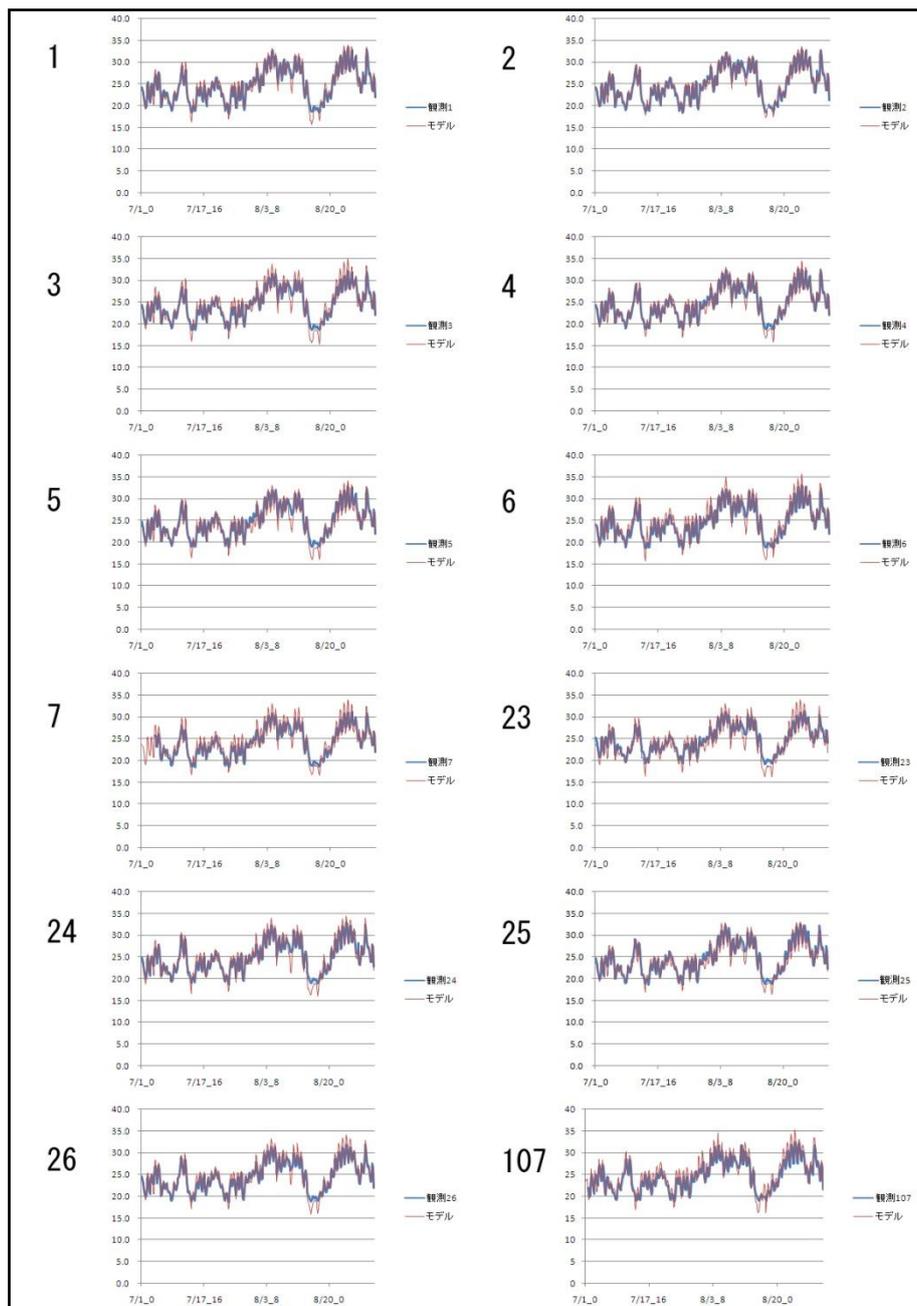


図9 METROS観測値とモデルによる計算結果

2) 都心部における現地観測データを用いた検証

東京都の現地観測結果を用いた検証では、観測地点の多くが小学校等のグラウンドに設置された測定装置を用いたものであるため都心のオフィス街などは検証地点に含まれていない。また、これらのグラウンドの多くは舗装されており異なる土地被覆面を検証したことにはならない。このため、都心部における現地観測結果⁽¹¹⁾を用いてモデルによる計算結果の検証を行うこととした。図10に観測地点を示し、図11に観測値と計算値をプロットしたグラフを示す。検証期間は2009年8月16日0時から8月28日18時である。計算値と観測値の比較を行ったグラフからはモデルによる計算が現地気温を良好に再現していることが分かった。



図10 2009年8月の現地観測点

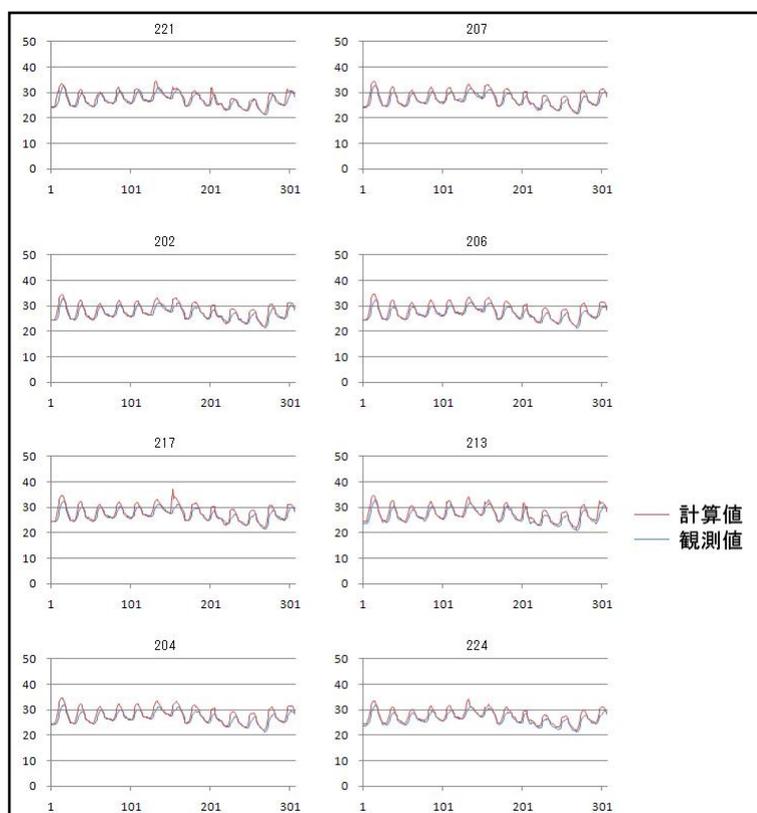


図11 計算値と観測値の比較

3) 人工衛星観測画像を用いた検証

モデルによる計算結果を検証する際に最も確実な方法は現地観測データを用いて比較を行う方法である。しかしながらこの方法では広範囲な及ぶテストエリア全域を検証することが困難である。このため、本研究では、広域を観測可能な衛星観測データを使用してモデルによる計算結果の評価を行った。ここで人工衛星による観測は、地表面温度を計測するものであり、モデルでの計算とは本来得られる値の定義が異なる。このため、計算値と観測値が必ずしも一致する訳ではないが、面的な比較を通じて全体の傾向について判読することによりその原因を明らかにした上で本モデルの有用性を示すことが可能となると考える。

検証で使用した衛星データは、熱赤外域の観測が可能な衛星からTERRA衛星搭載のASTER/TIR

センサ画像データを用いた。ASTER/TIRデータは、観測幅60km、地上分解能90mで観測を行っており、観測時刻は10時30分である。このため、モデル計算時刻とは30分のずれがある。モデルでの計算結果の検証に使用するための処理としては、まず、テストエリアを含む衛星データが、東京と神奈川を含む上下2シーンで構成されるため、其々に地図投影を行った後、モザイク処理を行った。次にデジタル値から分光放射輝度への変換および輝度温度への変換を行った。変換後の衛星データについては、大気の影響やセンサ自体に由来した誤差が含まれるため東京都が実施した現地観測データ⁽¹²⁾から図12に示す9点の現地観測データを用いて簡易校正を行った。図13に衛星画像とモデルによる計算結果のシュードカラー画像を示し、図14に衛星観測値とモデルでの計算値の差分を画像化したものを示す。差分画像について判読を行った結果からは、都庁周辺や東京ビッグサイト等の場所で温度差が大きくなっている事が分かった。

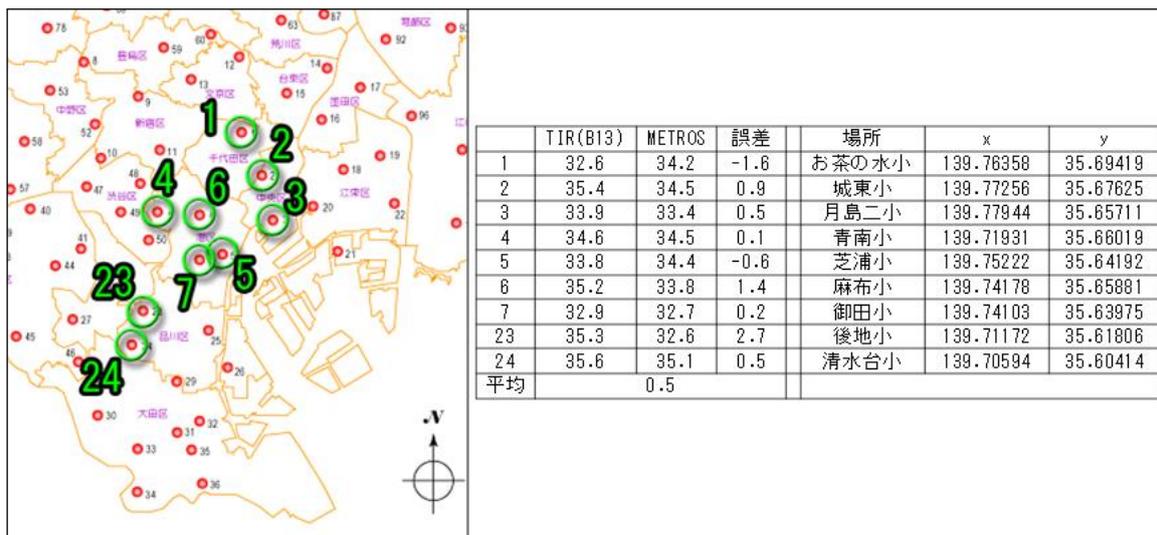


図12 衛星の簡易校正に使用した現地観測点および観測データ

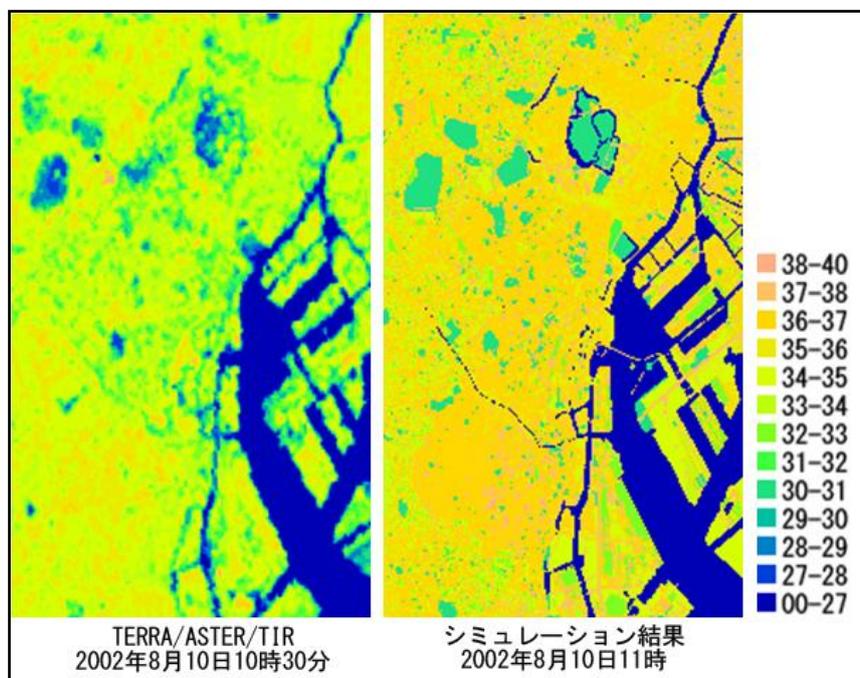


図13 簡易校正後の衛星画像およびシミュレーション結果

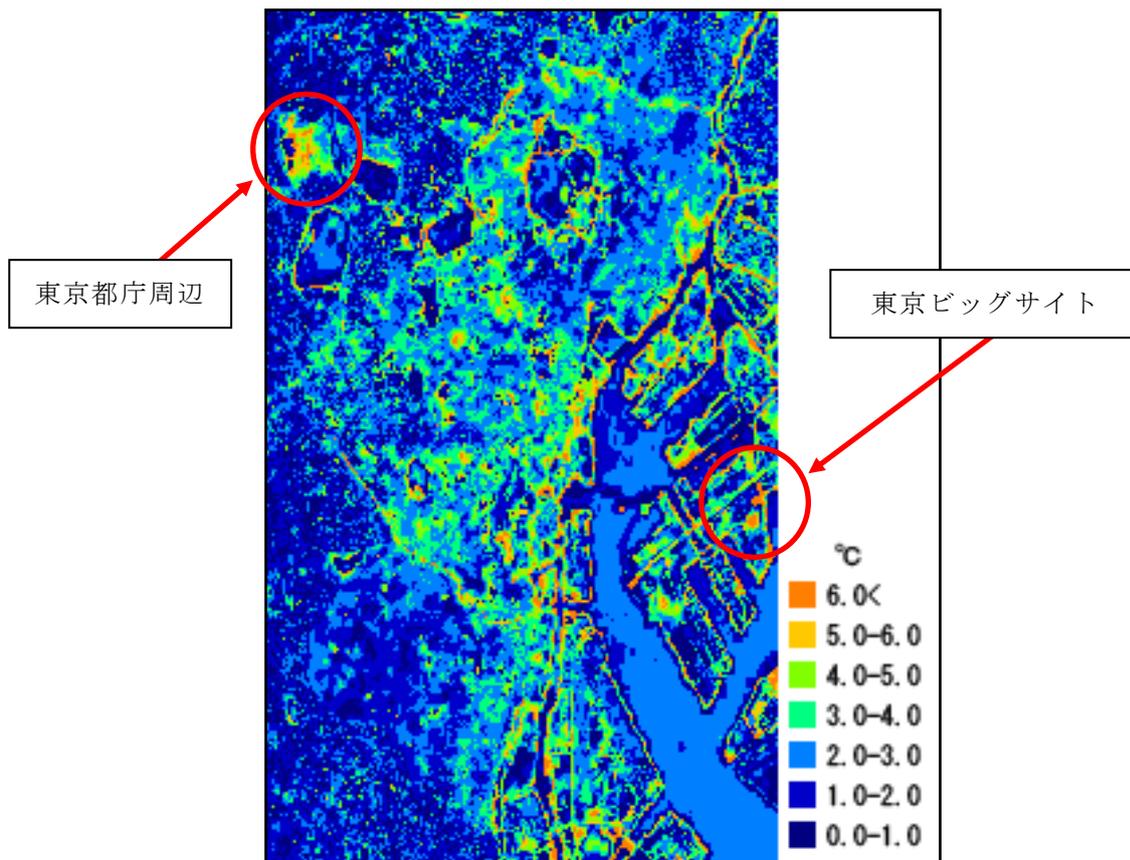


図14 衛星画像とシミュレーション結果の比較（差分画像）

（4）考察

都市スケールでの水・熱・大気環境フラックスの観点からアセスメントを行うモデルの開発を行った。構築されたモデルを用いることにより過去から将来に亘る都市の気温を再現、または推定することが可能となる。実際には都市の熱環境をモデルにより完全に再現することは困難であるが、その計算値の精度と誤差の傾向等については、事前に把握されモデルの有効性について十分な検討されなければならない。このため、本研究では、現地観測データを用いて2003年8月の計算結果の検証を行い、次に最もヒートアイランド現象の顕著な都心部における検証として2009年8月の現地観測データを用いた検証を行った。また、面的な評価を行うため2002年8月に取得された衛星データ（ASTER/TIR）を用いた検証を行った。

まず、現地観測データ（METROS）を用いた2003年8月の検証では、検証地点の12箇所全点で計算結果が現地気温を良好に再現することが確かめられた反面、観測点の12箇所の多くが小学校のグラウンドであるため、異なる土地被覆の全てを検証したことにはなっていない。また、ヒートアイランド現象が顕著な都心部の検証にも十分であるとは言えない。このため都心部における検証として、対象地域を主に丸の内周辺とし、2009年8月の約2週間に亘り観測された現地観測データとモデル計算値の比較（図11）および広範囲の地表面温度を観測する衛星画像を用いた検証（図13）を行った。このらの結果について、まず2009年の都心部の比較では、計算値が現地観測温度を良好に再現している事が分かった。次に2002年8月10日の衛星観測画像との比較では、全体としては似たような温度パターンを示すものの、図14の差分画像に見られるように場所により温度差の傾向が異なっていることが分かる。ここでの相違点については大きく以下の3点となる。

- ① 郊外の住宅地を中心としたエリアでは比較的差が小さく、且つ均一であるが都市部では温度差が大きく、且つ温度差にばらつきがあり場所も一様に分布していない。
- ② 丸の内周辺については①の様に温度差にばらつきがなく比較的良好に計算値と衛星観測値が一致している。
- ③ 都庁や東京ビッグサイト周辺では特に温度差が大きい。

ここでモデル計算に使用した土地利用のオリジナルのメッシュサイズについて考えると、東

京区部では50m、それ以外の部分では500mであるため郊外の部分ではメッシュサイズが粗く、それに応じてモデルでの算出温度も平均化され、同様に粗い解像度である衛星データと良好に一致したのではないかと考えられる。これに対して、50mメッシュで構成される部分に関しては、衛星が約2倍程度粗い観測を行っているのに対して、シミュレーションでは詳細な土地利用を基にした詳細な計算が行われた結果、衛星観測値と一致しないメッシュが多く発生していると考えられる。②の丸の内に関しては、①の50mのメッシュと同様でありながら、衛星観測値と非常に一致している。これについては本エリアが密であり、街区内が均一な土地利用（オフィスビル）であるため異なる解像度間の比較においても良好に一致したのではないかと考えられる。③ここでの人工排熱は主にエアコンなどから大気中に排出されるものであるため、衛星の観測データには反映されない。このため特に大規模な施設周辺では、衛星の観測値とは異なる結果を示しているものと考えられる。

現地観測データや衛星画像を用いたモデルによる計算結果の検証では、特に人工排熱量の大きな場所では観測結果と異なる気温を示す場所も存在したが、テストエリア全体としてはモデルによる計算結果が現況を良好に再現しており、将来の都市の熱環境シミュレーションに十分に使用可能であると考えられる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

構築されたモデルによる計算結果は、過去と現在の都市のキャノピー気温を良好に再現している。このため土地被覆などの入力パラメータを変更することで将来の都市の熱環境の変化についても様々な状況を想定したシミュレーション実験を行うことが可能となった。特にこの計算モデルでは、土地被覆、土壌タイプ、土壌水分を考慮したモデルの構築が行われているため、土壌からの蒸発散による冷却効果が気温などに与える影響を定量的に評価することができる。これは将来、雨水や地下水等を用いて都市を冷却する場合の効果を見積もる上で重要である。

(2) 地球環境政策への貢献

本研究で開発されたモデルを用いることでヒートアイランド現象のメカニズムである「人工排熱量の増加」、「外気温の上昇」、「追加的冷房需要の発生」、「CO₂排出量の増加」と言った一連の機構を解明する事が可能になると共に土地被覆や土壌水分、または気象条件を変更したシミュレーション実験を行うことで将来に亘るキャノピー気温の推定が可能となった。これらの検討結果については、土地被覆の転換や地下水の利用による人工排熱の抑制等、将来の都市熱環境の改善につながる適切な施策を実施する際の有用な基礎資料とする事が可能と考えられる。

本研究で得られた成果については、今後学会を通じて広報・普及に努める。

6. 引用文献

- 1) 尾島俊雄研究室：「建築の光熱水原単位〔東京版〕」、早稲田大学理工総研シリーズ3、1995
- 2) P. J. Sellers、D. A. Randall、G. J. Collatz、J. A. Berry、C. B. Field、D. A. Dazlich、C. Zhang、G. D. Collelo and L. Bounoua：“A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part I Model formulation”、J. Climate、9、676-705、1996
- 3) G. B. Bonan：“A Land Surface Model (LSM Ver. 1.0) for Ecological、Hydrological and Atmospheric Studies”、Technical Description and User's Guide、NCAR TN-417+STR、NCAR TECHNICAL NOTE、1996
- 4) 浅枝隆・藤野毅・ヴタンカ・足永靖信：都市キャノピーモデルの街区スケールへの適用、水文・水資源学会誌、Vol.10、No.4、308-318、1997
- 5) ヴタンカ・足永靖信・浅枝隆：都市大気境界層の乱流モデリング、都市建築計画における都市気候予測システムの開発その1、日本建築学会環境系論文集、第536号、95-99、2000
- 6) H. Kusaka、H. Kondo、Y. Kikegawa、and F. Kimura：Comparison with Multi-Layer and Slab Models、Boundary-Layer Meteorology、101、329-358、2001
“A Simple Single-Layer Urban Canopy Model for Atmospheric Models”
- 7) 足永靖信・ヴタンカ：空間平均処理を施した3次元都市キャノピーモデルの開発 都市建築計画における都市気候予測システムの開発 その2、日本建築学会環境系論文集、第586号、

- 45-51、2004
- 8) 足永靖信・李海峰・尹聖皖：顕熱潜熱の違いを考慮した東京23区における人工排熱の排出特性に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.92、121-130、2004
 - 9) 国土交通省・環境省：「平成15年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書(2004)」
 - 10) K. Tanaka：「SiBUCの解説書」、
<http://www.wrrc.dpri.kyoto-u.ac.jp/~tanaka/sibuc/sibuc-web.pdf>
 - 11) 環境省：「平成21年度モデル地域における未利用水有効活用検証」、2010
 - 12) 東京都環境科学研究所：<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/heat2/index.htm>
 - 13) 東京都：「東京都の地盤沈下と地下水の現況検証」について、
<http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2006/05/60g5o400.htm>
 - 14) 空気調和衛生工学会：空気調和・衛生工学会空気調和設備計画設計の実務の知識改訂2版
 - 15) 須田佑介：「未利用エネルギー（漏洩地下水）を活用した民生業務部門における二酸化炭素排出削減に関する研究」、慶應義塾大学環境学部環境情報学科卒業論文、2006
 - 16) 東京都環境局：<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/sgw/tyuusyou/seimen%20syouene.pdf>

7. 国際共同研究等の状況

国連大学高等研究所がUNEPと共同して推進している「Sub-Global Assessment (SGA) of SATOYAMA and SATOUMI in Japan」と共同している。課題代表者がこのSGAの共同議長に就任し共同推進している。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

〈論文（査読あり）〉

該当なし

〈査読付論文に準ずる成果発表〉

該当なし

〈その他誌上発表（査読なし）〉

- 1) 渡辺正孝他：流域から都市・地域環境の再生を考える、(財)リバーフロント整備センター

(2) 口頭発表（学会）

- 1) T. Okadera、K. Tanji and M. Watanabe :Multi-Scale Inventory of Water Demand and Water Pollutant Discharge Conducted by Integrating an Inter-regional Input-Output Analysis Model with GIS for Management of the Tokyo Bay Basin Area、12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management、Khon Kaen Univ.、Thailand、25-29 August 2008

- 2) M. Watanabe :Ecosystem Services Management on Satoyama for Sustainable Society、ICRAF world Agroforestry Congress、Symposium organized by UNEP and the Ministry of Environment、Japan、UNU-IAS、26 Aug. 2008

(3) 出願特許

該当なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

該当なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

「渡辺正孝：放送大学、環境工学（流域の水管理）」

(6) その他

該当なし