

E-0806 低炭素型都市づくり施策の効果とその評価に関する研究

(3) 都市類型による施策の評価

(独) 国立環境研究所

社会環境システム研究領域 (地球環境研究センター兼任)

一ノ瀬俊明

社会環境システム研究領域

松本太 (平成20年度)

Victoria Likhvar (平成21年度～)

吉田友紀子 (平成20年度)

地球環境研究センター

Shobhakar Dhakal

名古屋大学大学院環境学研究科

吉田友紀子 (平成21年度)

<研究協力者> (独) 国立環境研究所社会環境システム研究領域

雷蕾 (平成21年度～)

平成20～22年度累計予算額：45,229千円 (うち、平成22年度予算額：14,565千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 自然条件、社会経済条件、都市規模などにより、世界各都市の類型化をはかり、各類型に応じた低炭素型都市施策の一般解、あるいは特殊解を提示するべく、以下の研究を行った。1) 国外における低炭素型都市政策の事例を収集してデータベースを作成し、以下の普遍的知見を抽出した。中国に多い事例は、「生態城」をゼロから設計し導入可能な技術を一括で導入するものである。一方ヨーロッパに多い事例は、再生エネルギー導入、高効率機器導入、土地利用、建築、交通など、一通りの知見を既存の市街地へ導入するものである。また自然条件を活用した事例として、風力(カルガリー)、地熱(唐山)、水上交通(バンコク)などが特筆されるものの、交通関連をのぞき、土地利用や街区構造といった都市的な施策は(再生エネルギー・高効率機器導入にくらべて)十分に普及してはいない。2) 都市の低炭素型化に寄与するため、街区レベルのエネルギー消費・GHG排出量の推計手法を開発するとともに、建物形状を考慮した建物用途別エネルギー消費量推定手法にもとづく都市環境評価手法を開発した。その結果、名古屋都心部における商業建築エネルギー消費量について、GIS等での計算結果と実測データとの高い整合性を確認した。3) 中国の中緯度地域におけるメガシティを対象に、街区形態など都市の類型別に空調エネルギー消費量の数値計算および現地観測を行い、空調エネルギー消費量を最適化する街区形態の提示をおこなった。内陸地域では夏期対策(日射遮蔽)の重視、沿海地域では落葉樹の導入による夏期の日射遮蔽と冬期の太陽熱利用の両立を提案した。4) アジアにおける低炭素都市イニシアチブの経験と教訓の分析をおこなった結果、日本と韓国以外では、都市行政当局が現実的な対気候変動政策を実施するかわりに、大気汚染、輸送、エネルギー効率などの気候変動に関連する共通利益を利用して、その気候変動対策を合理化しているが、これは中国を含む多くの東アジア諸国の都市に当てはまることが明らかとなった。

〔キーワード〕 都市類型、アジア、街区、エネルギー消費、低炭素型都市

1. はじめに

人口およびさまざまな産業が集積する都市の低炭素型化の推進は、地球温暖化対策の重要な柱の一つであり、喫緊の課題である。この課題を克服するためには、低炭素型都市づくりに資する都市マスタープランの作成およびその実践等、自治体レベルの取組が不可欠である。我が国を例とした場合、地球温暖化防止行動計画、環境モデル都市などに代表されるように、現状において多くの自治体、都市が対策に取り組んでいる。しかし、自治体レベルでとりまとめられたこうした対策は、一般的に高いCO₂排出量削減目標値を示しているものの、その削減ロードマップを示す数値等に明確な根拠がなく、実現可能性にかかる検討も不十分なままである。また、現在多くの研究機関が、先進国を中心に、低炭素型都市づくりを実現するため、さまざまな都市毎にケーススタディを実施しているが、個々の都市の状況に応じた対策が提示されているだけで、他の都市への適用可能性等についてはあまり言及されていない。今後地球温暖化対策は、先進国だけではなく、急速な経済発展を続ける途上国（特にアジア）においてもますます重要となる。しかし途上国の各都市では、地球温暖化対策にかかる取組を実施したいが、何をやればよいかわからない、というのが実情である。このため地球温暖化対策について、世界の諸都市において汎用的適用性のある知識体系を構築し、地域の実情に応じた対策手法を円滑に提示できる理論構築が必要である。

2. 研究目的

中心的な議論が行われているアジア地域における都市化が急速に進行する状況を踏まえ、都市化現象が社会へ与える影響を評価する。また、地域特性を考慮した都市部における低炭素社会構築による削減方策の有効性について検討を行う。個々の都市は異なる地形、気象・気候条件下にあり、ある都市で有効な対策が他都市にそのまま有効かどうかは自明ではない。このため、個別のケーススタディがどれだけの一般性、普遍性を持つか、他都市にどこまで適用可能かが問われる。そこで本研究では、1)都市を規模（人口、面積等）、自然条件、経済社会条件等で類型化し、さまざまなケーススタディの結果の一般性、適用可能性を明らかにする。これは、途上国の都市に対策を実行してもらう上で重要である。一方、都市の低炭素型化を実現するにあたり、上記のようなマクロな視点から、各都市に対して効果的な施策を提示する手法に加え、都市の気象条件、社会条件等を踏まえ、街区レベルでさまざまな効果を定量的に評価し、これによってより効果的な対策を提示する、といったミクロな視点からの取組も重要となる。よって本研究では、2)街区レベルのエネルギー消費・温暖化ガス(GHG)排出量の推計手法を開発するとともに、都市全体の温暖化対策への適用可能性についても検討する。

3. 研究方法

（1）国外における低炭素型都市政策の事例

効率的な都市の低炭素型化対策実施のため、主に屋内外の気温低減を通じた空調負荷削減に焦点を絞り、規模（人口、面積等）、自然条件、経済社会条件等で異なる国内外のさまざまな都市・

地域を対象に実施された研究をレビューした。具体的には、国内外の都市開発プロジェクトにかかる資料を収集し、気候別、都市計画手法別、熱供給手法別、政策別に分類する手法を検討した。

（２）街区レベルにおけるエネルギー消費・GHG 排出量推計手法の開発と温暖化対策への適用

名古屋市中心部を事例として、空調負荷削減に有効な街区形成方法の観点から、1)街区形状抽出、2)街区モデルにおける土地利用算出、3)気象データによる建物外皮熱流入量算出、4)室内環境設定（人口密度、照明、コンセント）、5)標準気象データ・都市気象モデルによる都市気候予測、6)気温補正後の熱負荷計算・自然通風利用判定による業務建物冷房負荷削減可能性試算、7)人口密度等要因分析、8)ヒートアイランド現象の定量的評価、の順に街区計画を評価した（図3-1）。

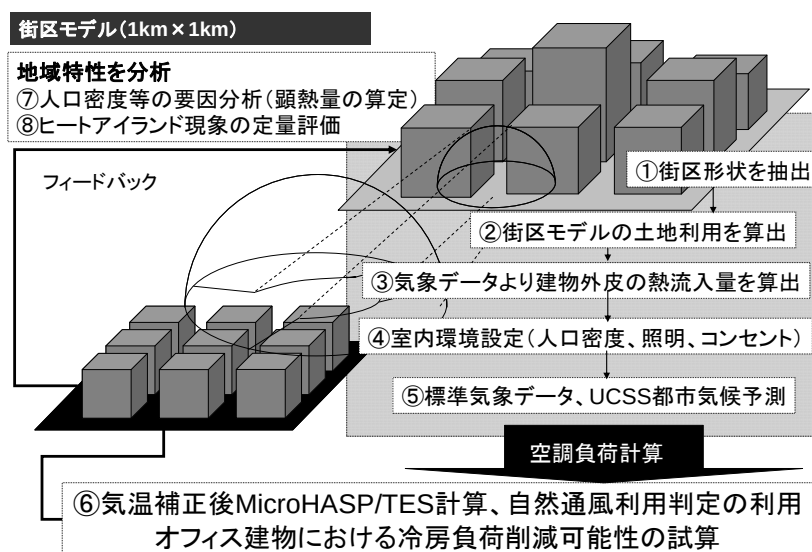


図3-1 建物街区モデルの研究フロー

（３）近接住棟による日影が住宅の空調需要に与える影響の地域間比較

1) 中国の住宅街区における日射制御の重要性

近接する住棟による日影は、日射の室内進入を制限することから、住宅の冷房、暖房、照明に大きく影響する。建物の空調需要を減らす代表的な手段として、都市計画的な手法により、壁面における日射の屋内進入を制御することがある。夏期に日射を屋内に多く取り入れることは望ましくないことであるが、冬期には望ましいことである。太陽高度は季節によって変化する。夏期には近接住棟による日影効果で日射をさえぎり、冬期には建物外壁に日射を到達させることが望ましいと思われる¹⁾。最も効果的な日射制御手法は、建物外壁に日射が到達する以前の段階で不要分をさえぎり、必要分を透過させることである²⁾。Lam³⁾は香港において、近接建築物の日影効果により、オフィスの冷房需要が2%程度過大に見積もられていることを示した。Danny *et al.*⁴⁾は、昼光を人工的な屋内照明の代替として有効に利用する際の、近接建築物の日影効果の影響について論じている。Simpson⁵⁾やRaeissi and Taheri⁶⁾は、樹木による日射遮蔽効果について論じている。長期的にみれば適切な日射遮蔽は、エネルギー消費の視点から効率的な建築デザイン手法であると考えられている。

従前、典型的な低層住宅や高層商業ビルを対象としたこの効果の数値シミュレーションが行われている³⁾⁴⁾⁵⁾。しかし、近年中国で急激に増えている中層住宅街区へのこのような影響評価はいま

だ行われていなかった。中国の気候帯は多様であり（図3-2）、住宅におけるエネルギー消費は各地の気候特性を反映して多様なものであると考えられる⁷⁾。そのうち、夏暑冬寒気候帯においては30～55%が空調のために使われている。ここでは、夏期に80 GWの住宅冷房需要、冬期に200 GWの住宅暖房需要が存在する³⁾。また、人口の増加と生活水準の向上により、この気候帯における100都市世帯あたりの空調機器保有台数は急激に増加しており、2008年末現在、上海：Shanghai⁸⁾で191.0、武漢：Wuhan⁹⁾で140.6、長沙：Changsha¹⁰⁾で133.0、成都：Chengdu⁸⁾で111.9、重慶：Chongqing¹¹⁾で155.1に達している。また、住宅におけるエネルギー消費の50～60%が空調システムの運転に費やされており、将来これが急激に増えるものと予想されている¹²⁾。中国の気候帯のうち、夏暑冬寒気候帯には16の省級行政単位が所属する。この気候帯において、最暖月である7月の平均気温は25℃から30℃であり、全球の同緯度地域にくらべ2℃程度高い¹³⁾。一方、最寒月である1月の平均気温は2℃から7℃であり、全球の同緯度地域にくらべ9℃程度低い。また、相対湿度は75%から80%の範囲にあり、95%を超えるようなケースもある。この気候帯の東側はアジアモンスーンの影響を強く受け、このような年較差の大きな気候が出現しており、夏期の冷房と冬期の暖房がともに必要な地域となっている。このため、エネルギー消費の視点から住宅計画を立てる際、夏期の対策（冷房需要削減）と冬期の対策（暖房需要削減）が矛盾してしまう困難なケースも想定される。

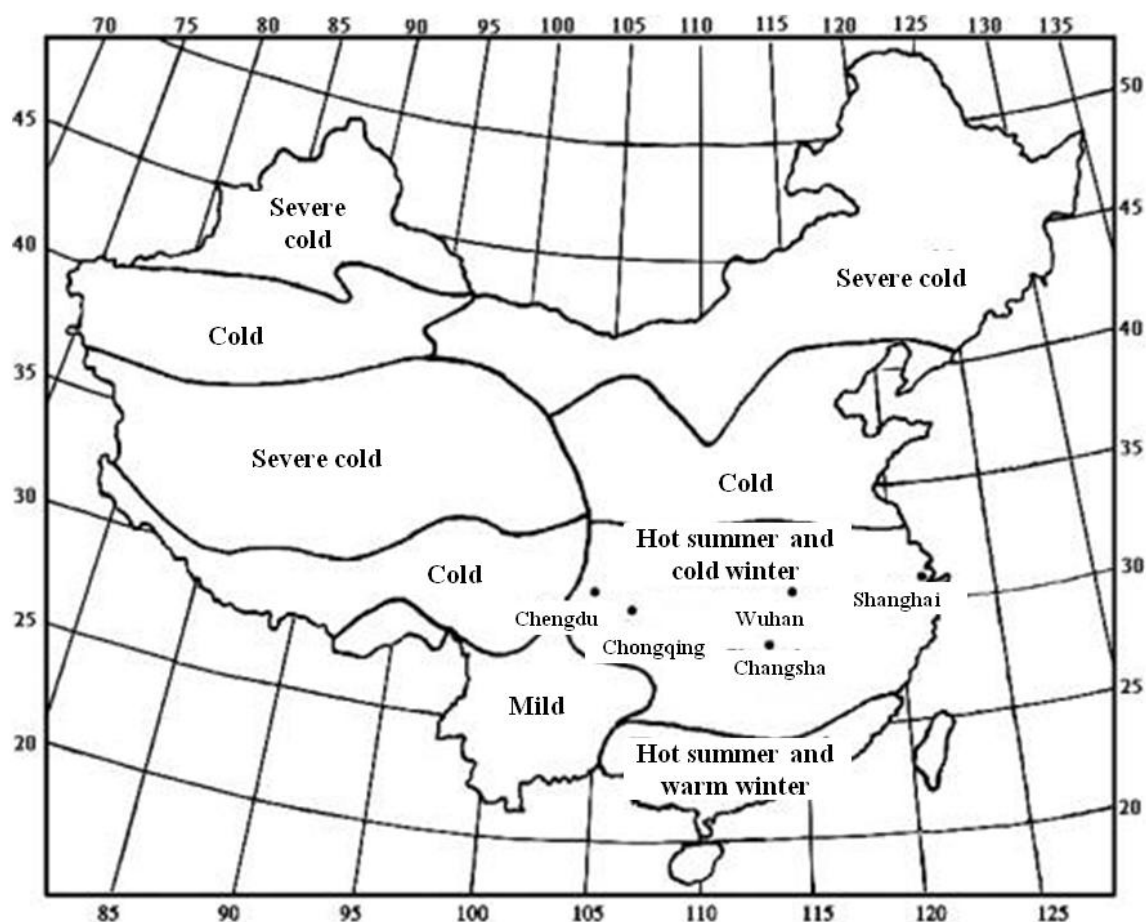


図3-2 中国における5つの気候ゾーン

eQUEST¹⁴⁾は米国エネルギー省（US DOE）により開発されたユーザーフレンドリーな住宅電力消費量計算ツールである。これは、与条件および通年の気象時間値（8760時間）をもとに、屋内

の電力消費量（冷房、暖房など）の時間値を計算するものであり、近接住棟による日影効果を高精度に計算できる。以上より本研究では、中国の夏暑冬寒気候帯における5大都市（上海、武漢、長沙、成都、重慶）を対象（非単身世帯：全電化を仮定）として、eQUESTを用い、近接住棟による空調用電力消費量への日影効果について数値シミュレーションを行う。ここでは住宅街区の形態パラメータとして、W/H（建物高さに対する棟間距離の比：つまりアスペクト比の逆数）を用い、エネルギー消費の視点からみた住宅街区形態の最適解提示を試みる。これらの結果はいわば、都市の気象条件、社会条件等を踏まえたユニバーサルな一般解というべきものであると考えられる。

2）対象都市における住宅街区のモデリング

中国の夏暑冬寒気候帯に属する都市では、住宅建築は主として集合住棟群の形状をなしている。この種の住棟群はいずれの都市にもみられ、6階建て、かつ並列の平面形をとっている（図3-3）。これらの住棟はほぼ南向きに建てられている。南北の棟間距離は住棟群の中ではほぼ均一であり、住棟の高さをHとすると、0.7H～1.5Hの値を示す。6階建ての場合、Hは約18 mとなる。東西棟間距離は最低6 mとなっている。

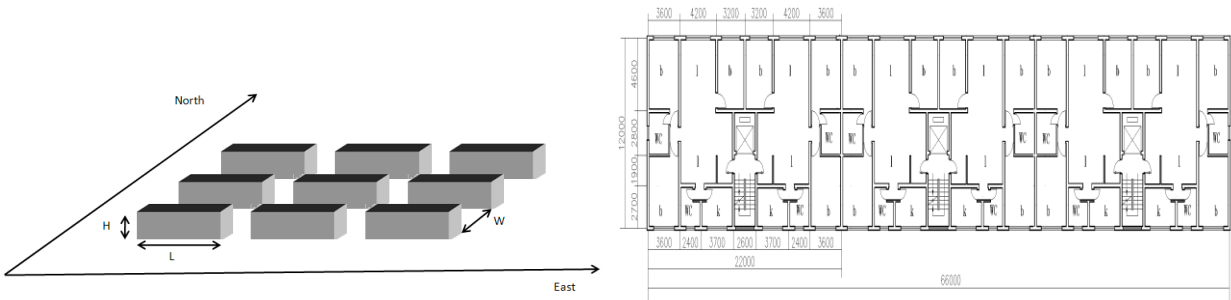


図3-3 対象住宅団地のレイアウト（数値はmm）

l：居間，b：寝室，k：厨房，WC：浴室

表3-1 対象住宅の諸元

住棟タイプ	非単身世帯，中層，6階建て
形状	長さ66 m，奥行き12 m，高さ18 m
外皮構造	国家標準 JGJ 134-2001 ¹⁵⁾
設定温度 ¹⁵⁾ ，照度	暖房 18℃，冷房 26℃，照明 500 lux
気象条件	TMY（対象都市の標準気象値）
解析期間	通年

	面積比率	1人あたり面積 (ft ² /人)	空調
居間	37.9%	90	○
廊下	7.2%	10	×
寝室	37.6%	100	○
厨房	12.5%	60	×
浴室	5.8%	60	×

以上を参考に、計算対象住宅団地の諸元を表3-1のように設定した。1棟あたりの床面積は4752 m²である（図3-3）。また、対象住宅の断熱構造を表3-2のように設定した。窓面は3 mmの通常ガラスとアルミフレームの組み合わせ、グレイジングによる遮蔽係数は0.86、窓面積は壁面の3割と

した。さらに、空調システムは標準的な空気熱源ヒートポンプの戸別空調（在室時のみ運転）とした。居住者の在室スケジュールは、平日17時～翌7時、周末15時～翌9時と設定した。また、空調機器の成績係数(COP)を冷房時2.3、暖房時1.9と設定した¹⁵⁾。さらに、換気スケジュールを毎時1回、屋内照明による熱負荷を0.014 kWh/m²/day、屋内機器による発熱負荷を4.3 W/m²と設定した¹⁵⁾。この数値シミュレーションに用いられるのは、対象都市における標準気象値である。具体的には気温、湿度、風速、風向、日射である。ここに用いられた標準気象値¹⁶⁾¹⁷⁾は米国Sandia National Laboratoriesにおいて、1971年～2003年に観測された中国全土270地点の気象データをもとに作成されている。それぞれの対象都市における南向きに建てられた住宅街区においては、推奨最小棟間距離が定められている。それらは日照権や防火を考慮して定められている¹⁸⁾。表3-3はそれぞれの都市における推奨最小棟間距離（南北および東西）を示している。東向きおよび西向きの住宅街区は、南向きおよび北向きの住宅街区にくらべ少数であるため、南北棟間距離のみが空調需要に影響するものと思われる。よって本研究では東西棟間距離を固定し、南北棟間距離を0.7Hから1.9Hまで0.2H間隔で変化させ、近接住棟による日影効果を評価した。

表3-2 対象住宅の断熱構造

部位	層厚と材料（内側から外側へ）	熱伝導率 W/m ² /K
外壁面	20 mmセメントモルタル + 200 mmコンクリート + 50 mmサーマルモルタル + 8 mm防水モルタル	1.48
屋根面	20 mmセメントモルタル + 50 mmフォームガラス + 防水層 + 20 mmセメントモルタル + 80 mm LWコンクリート + 120 mmコンクリート	0.96
床面	120 mmコンクリート + 10 mmポリスチレン	2.00
内壁面	プラスター + 190 mm多孔質ブリック + プラスター	2.00

表3-3 新開発地域における住宅街区の推奨最小棟間距離

	南北棟間距離	東西棟間距離
上海 ¹⁹⁾	1.2H	6 m
武漢 ²⁰⁾	1.2H	6 m
長沙 ²¹⁾	1.1H	6 m
成都 ²²⁾	1.2H	6 m
重慶 ²³⁾	1.0H	6 m

（４）アジア地域における都市化が低炭素社会に与える影響

2030年には世界人口の約6割が都市に暮らし、エネルギー消費における都市の割合も、2006年の67%から2030年には73%に増加するものと予測されている。しかし、国によって福祉、ガバナンス・システム、炭素排出推定量などが著しく異なるため、カーボンガバナンスについての課題が多いのが現状である。アジアをはじめとして、都市から地域までの様々なスケールにわたるカーボンガバナンスの課題について理解を深めることが不可欠であり、そうした理解が進むことによって、最適なカーボンガバナンスの仕組みを作るための有効な知恵が生まれてくるものと考えられる。

タイは、アジア太平洋地域において都市化が進む発展途上国の1つである。バンコクのDurakaji Pundit大学と共同で行われたこの研究では、7つの都市（アユタヤ、バンコク、チェンマイ、チョンブリ、ナコンラチャシマ、ソンクラ、ラチャブリ）におけるエネルギー消費量とCO₂排出量について、簡易手法と関連データを使用した解析を行った。また、主要なタイの都市におけるエネルギー消費量とCO₂排出量との関係性について、そのメカニズムの理解を試みた。これらの都市（中心部、北部、東部、北東部、南部、西部）は、最もGRP（地域総生産）のシェアが大きいものに

加え、人口規模により選択している。バンコク以外の都市においては、都市ごとのエネルギーデータが入手困難であるため、バンコクとは異なった方法を用いた。バンコクにおいては、ストックホルム環境研究所で開発されたLEAP Frameworkを使用し、境界範囲が異なるBangkok CityとBangkok Metropolitan Regionの2つのケースにおいてボトムアップ方式モデルを開発した。このモデルでは輸送、産業、商業および住宅部門の活動データを用いるのみならず、それに伴う様々な技術のエネルギー性能、エネルギー選択および排出係数などの技術情報を使用した。このモデルはまた、政策介入による影響を制御変数により調節し、2050年までの代替シナリオを分析することができる。その他6つの都市においては、過去と現在のエネルギー消費量とCO₂排出量について、都市の経済活動におけるエネルギー集約度、炭素集約度および域内総生産により、これらを算出する簡易手法を用いた。このようなエネルギー集約度および炭素集約度は、エネルギー混合構造が大幅に変わらない限り、比較的地域による変動が少ないため、当該都市を包括する県と同一であると仮定した。

都市化は世界中で急速に進んでおり、グローバルな気候変動問題に取り組む上では、都市が重要な役割を果たすことが明らかとなってきた。アジア太平洋地域の大都市の低炭素状態での発展に向け、主にアジアにおける低炭素都市イニシアチブの経験と教訓の分析を推進した。分析対象として、東京、横浜、京都、北九州、バンコク、ジャカルタ、ソウル、中国各都市およびリーの都市気候変動行動計画を用い、報告書にみられる行動の主要な動機付け要因、行動の種類、利点と欠点、およびアジアにおける低炭素都市開発の方針と枠組みの効果についての視点から、その共通点および相違点を浮き彫りにした。

4. 結果・考察

(1) 国外における低炭素型都市政策の事例

本研究遂行期間中に面識を得た世界各国の専門家からの情報をもとに、国外における低炭素型都市政策事例のデータベースを作成し、次の普遍的知見を抽出した。主な情報源は対象各都市の都市気候変動行動計画（Action Plan）などである。中国に多い事例は、「生態城」（エコシティ）をゼロから設計し導入可能な技術を一括で導入するものである。一方ヨーロッパに多い事例は、再生エネルギー導入、高効率機器導入、土地利用、建築、交通など、一通りの知見を既存の市街地へ導入するものである。また自然条件を活用した事例として、風力（カルガリー）、地熱（唐山）、水上交通（バンコク）などが特筆されるものの、交通関連をのぞき、土地利用や街区構造といった都市的な施策は（再生エネルギー・高効率機器導入にくらべて）十分に普及してはいない。以下にデータベースの一部を示す。

<中国>

遼寧省営口：地熱

河北省保定：学校教材、機関向け「緑色」認証、太陽光、太陽熱

天津（生態城）：太陽光、風力、バイオマス発電、歩行者・自転車優先

河北省唐山（生態城）：水上交通、微気候制御設計、消費量可視化、地熱、太陽熱、軽量軌道交通（LRT）、自転車推進、海水熱、街路灯（太陽光・風力）、工業排熱

深セン：消費量可視化

香港：天然ガス発電、風力、高効率機器（自動車・家電）、25.5℃宣伝、ビル空調水冷化、省エネ

ビル（強制執行あり）、公共交通促進、低公害バス、バイオディーゼル、廃棄物メタン利用、（屋上など）緑化、民間緑化奨励、公共施設率先導入（各種施策：緑の絨毯）

上海：省エネビル、風力、太陽光、公共交通促進

北京：公共交通促進、照明・暖房効率改善

<台湾>

新北：公共交通促進、低公害車、乗合制度、リサイクル、再生エネルギー、低炭素型生活教育

<韓国>

ソウル：（交通・建築物における）エネルギー効率改善、再生エネルギー、グリーン雇用創成、水素燃料電池、太陽光、LED 照明、低公害車、生態環境修復、リサイクル、自転車道整備

<タイ>

バンコク：都市鉄道網、高架鉄道バス乗継インフラ、バスレーン確保、バス車両改善、立体交差、水上交通網、バイオフューエル、調理油回収（バイオディーゼル）、省エネビル、高効率機器（扇風機・電球）、廃棄物・水処理効率改善、リサイクル、緑地公園、私有地緑化、近隣自治体緑化
チェンマイ：環境税（酒・タバコ）、週末自動車禁止区間

<インド>

デリー：太陽光、太陽熱、エネルギー効率改善、公共交通促進、電球型蛍光灯（CFL電球）、地下鉄整備、天然ガス自動車（CNG自動車）（公共交通）、自動車通行・高公害車への課税、バイオフューエル、公共建築率先導入（省エネビル）

ラジャスタン：沿道緑化

<ベトナム>

ホーチミン・ダナン：風力、太陽光（冷房用）

<ネパール>

カトマンズ：廃棄物ガス、太陽熱、ストーブ調理、建物断熱化

<フィリピン>

ダバオ：沿道緑化（クレジット）

<インドネシア>

ジャカルタ：緑化、スラムクリアランス（スラム化した不良住宅の密集した地域を好環境な住宅地域に改善すること）

<オーストラリア>

シドニー：再生エネルギー、高効率機器、街路 LED 照明、公共施設率先導入、ハイブリッド車、自転車推進、カーシェアリング、深夜公共交通、LRT、郊外間連絡無料バス

キャンベラ：P&R（パークアンドライド）、公共施設率先導入、太陽熱、建物断熱化、CNG バス、街路高効率照明、自転車持ち込みバス、再生エネルギー、太陽光、省エネビル、土地利用、緑化

<アルゼンチン>

ブエノスアイレス：自転車道整備

<ブラジル>

サンパウロ：廃棄物メタン発電

<米国>

ニューヨーク：土地利用、交通、太陽光、省エネビル、緑地

シカゴ：省エネビル、交通、啓蒙、廃棄物管理、緑地

サンフランシスコ：交通、廃棄物管理、省エネビル、太陽光

シアトル：交通、緑地

ロサンゼルス：緑化

パサデナ：太陽光、太陽熱、風力、地熱、小型水力、バイオマス発電、CFL 電球（電球型蛍光灯）、リサイクル、緑化、自転車道マップ、公共交通促進、デマンドバス、歩行者配慮

<カナダ>

サーニッチ：バス乗継インフラ整備、自転車道・歩道整備、電気自動車、省エネビル、緑化、節水、廃棄物管理、リサイクル、太陽光、太陽熱、熱交換機、地域熱供給

カルガリー：風力由来電力 LRT 運用

トロント：電気自動車、高効率照明、太陽熱、再生エネルギー

<スペイン>

バルセロナ：太陽熱、地域熱供給

<ベルギー>

リエージュ：太陽光、太陽熱、二重窓、建築断熱、下水熱、雨水利用、屋上緑化

<ドイツ>

フランクフルト：省エネ建築

ミュンヘン：省エネ建築（改修を含む）、高効率機器、地域熱供給、地熱、バイオマス燃料（コージェネ）、太陽熱、水力、太陽光、風力、歩行者・自転車配慮、土地利用、電気自動車、バイオフェューエル、再生エネルギー

<オランダ>

ロッテルダム：省エネ建築、工業排熱、地域熱供給、地下蓄熱、地熱、スマートグリッド、太陽光、風力、街路 LED 照明、電気自動車、給電所設置、電動バス、バイオディーゼル、バイオマス発電

<フランス>

パリ：省エネビル、公共交通促進

関連して、アジア地域における建築物・街区構造を中心とした都市の低炭素化手法類型化のプロトタイプとして5つの類型（非蒸暑気候帯、蒸暑気候帯、乾燥地域、沿岸メガシティ、内陸盆地都市）を提示した（表3-4）。

表3-4 アジア地域における都市の低炭素化手法（Best Practice）の類型化事例

都市の類型	該当する都市	空調負荷削減手法
非蒸暑気候帯	東北日本、中国東北部	屋上緑化
蒸暑気候帯	バンコク	大気中の湿度を吸収する建材
乾燥地域	西安、蘭州、ウルムチ、フフホトなど	クールルーフ（高反射性塗料）
沿岸のメガシティ	東京、上海、プサン、香港（ソウル、バンコク）など	海風の進入を妨げない街区設計
内陸盆地都市	重慶、テグー、長野など	山風の導入を促進する街区設計

（2）街区レベルにおけるエネルギー消費・GHG排出量推計手法の開発と温暖化対策への適用

1）空調負荷削減に有効な街区の形成手法

低炭素型都市の実現に向けて、空調負荷削減に有効な街区の形成手法について、天空率を指標

として現状の国内外の都市を定量的に評価する。街区の環境設計においては、建築基準法上の斜線規制に天空率が用いられ、光環境の評価基準が設けられてきた経緯がある。

a. 研究対象街区モデルの構築

まず、図3-4に示すような名古屋市の街区を抽出し、建物平均高さ、平均階数、平均階高をそれぞれ算出した。次に、図3-5に示す全天画像撮影地における天空率（約20%）と建物平均高さ（約20 m）から、平均道路幅を約8 mと評価した（図3-5）。ここで街区形状を平均化する理由は、図3-1に示したとおり、ヒートアイランド現象の評価を容易にするためである。UCSS簡易モデル²⁴⁾の活用により、研究対象街区における建物高さ（階）が増加するほど熱負荷量の総量が増加しており、内訳のうち人工顕熱の増加が著しいことがわかる（図3-6）。UCSS簡易モデルが表示する熱負荷量は、天空からの日射、赤外放射、反射、地表からの赤外放射、対流顕熱、蒸発潜熱、人工顕熱、人工潜熱である。空調負荷としては一般的な熱源システム（ビルマルチ用電動ヒートポンプ）における運用が仮定された結果である。



図3-4 Google Earth上の3D-CADモデル（名古屋）

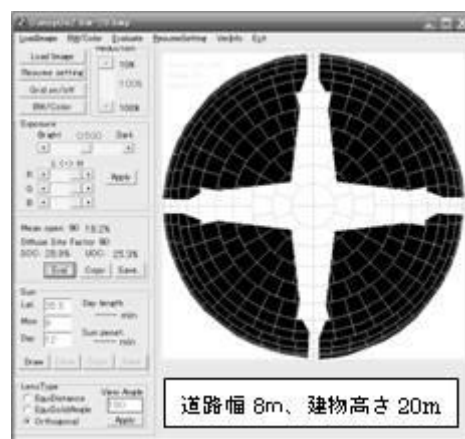


図3-5 平均的な街区での天空率

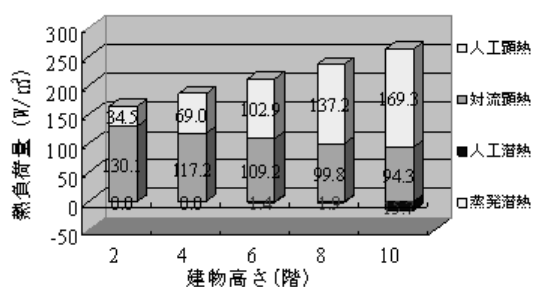


図3-6 建物高さと熱負荷量の関係（名古屋）

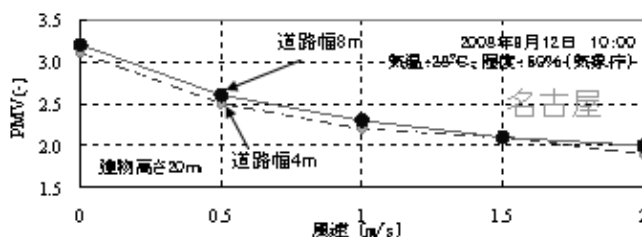


図3-7 RayManモデルによる風速とPMVの変化

b. 屋外快適性評価の実施

道路幅と建物高さ（建物密度）から、屋外熱環境を快適性指標である温熱環境評価指数(PMV)を用いて評価した。これはアジアの都市に特有な高密度建物配置を背景として、屋外快適性の改善手法と空調負荷削減手法とがトレードオフの関係にならないことを確認するためである。屋外街区空間における日影の確保（夏期における放射環境の改善）は照明負荷、暖房負荷の削減と、また、風通しの改善（夏期における屋外快適性の改善）は暖房負荷の削減とトレードオフの関係

になる可能性があると考えられる。

i) 風速と屋外快適性

研究対象街区の建物高さ平均値における道路幅4 m・8 mのケースについて、RayManモデル²⁵⁾ (男性：身長175 cm、体重75 kg、35歳、着衣量0.9 clo、代謝量80 Wを仮定)を用い、夏期屋外快適性評価の結果を示す。図3-7より、対象街区では風速0 m/sの時にPMVが3.0を超え、風速0.5 m/s以上ではPMVが2.5以下を示している。これは熱中症対策として通風が有効であることを意味する。

ii. 建物配置と冷房運用時間の関係

建物配置と冷房運用時間の関係を推定するため、省エネ法第三等級レベルの窓ガラスを使用した場合におけるファンコイルユニット(FCU)冷房運用時間を、2000年標準気象データ(名古屋)をもとに、外気温24℃以上、室内設定温度24℃、かつ窓面負荷 $Q_s(I_w \times \eta + K(to - tp))$ 、 I_w ：各方位別窓面日射量、 η ：ガラスの日射熱取得率(0.42)、 K ：ガラスの熱貫流率(2.55 W/m²/K)、 to ：外気温、 tp ：室内温度(26℃))が25 W/m²以上となる時間数をカウントし、東西南北の前面道路の幅ごとに日射や影の影響を考慮して推定した。この結果、南面道路が幅8 mの場合、FCU冷房時間が300時間未満となり、道路幅が広いほど冷房負荷が多くなることがわかった。一方、道路幅が狭い街区ほど風速は減速する。このため、通風可能範囲において空調利用を削減することが街区計画での省エネルギーに結びつく。

iii. 時刻別空調負荷の推定

地理情報システム(GIS)等による地域別エネルギー消費量推定値のデータ解析を行った。ここでは、建物形状と外皮性能をもとに、建物用途別(事務所)のエネルギー消費量推定手法を用いた。建物設計時に用いられる省エネルギー法設計指針であるPAL/CEC計算を拡張することにより、冷房・暖房デグリーアワーをベースに南面における時刻別空調負荷を推定した(図3-8)。設計・運用の評価指標を統一し、気象条件や地域特性を考慮した省エネルギー目標となる空調負荷を示すことができる。

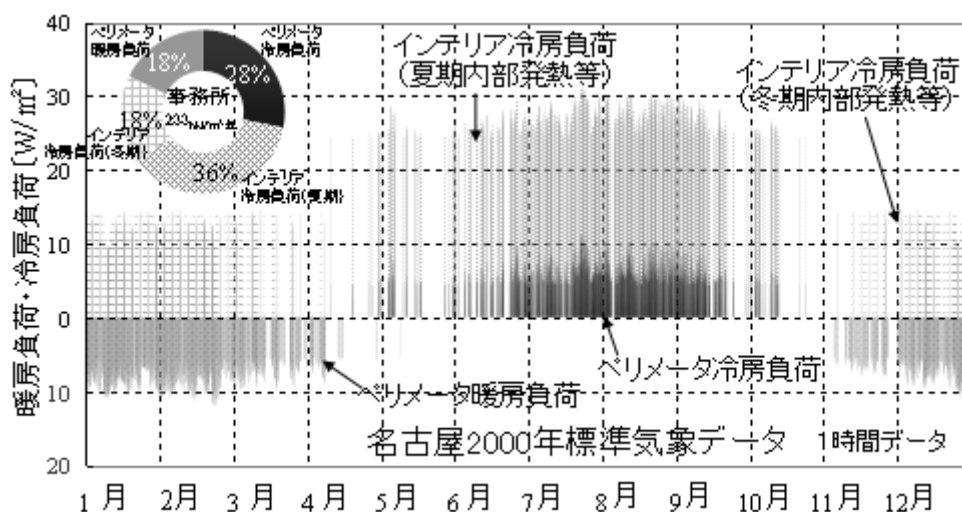


図3-8 街区モデルの省エネルギー目標となる空調負荷（事務所）

iv. 道路幅、天空率およびPMV

一般に道路幅が大きい街区ほど天空率は大きくなる傾向があり、街区の屋外熱放射環境におけるPMVが3.0を超えると熱中症対策が必要になる。今回は、道路幅や建物高さの変更、街路樹の配

置などにより、天空率50%以下の街区を形成することで、風速が見込めない街区においてもPMVは3.0程度に抑えられることがわかった（図3-9）。

c. 建物配置と空調負荷削減手法の方向性にかかる検討(モデルによるケーススタディ)

建物高さ20 mの場合において、道路幅を変化させた場合の街区気温分布についてCFD（流体解析）による検討を行った。CFD計算上の主な仮定は、外気温27℃、風速2 m/s、建物壁面温度35℃、屋上面温度45℃、道路面温度45℃である。以下に結果を示す。

i. 道路幅4 m-建物高さ20 m

道路幅4 mの狭い街区における屋外熱環境をCFD解析により把握した。地盤面上1.2 mから地盤面上20 mへと、高さ方向に解析位置を変化させた結果、地盤面付近では風上から風下にかけて気温に大きな差がみられないことがわかった。また、地盤面からの位置が高いほど、50℃以上の高温となる範囲が広くなり、風の影響により風上と風下との気温差が10℃程度になる。よって建物配置や気象条件の影響により、建物ごとに自然通風を利用できる条件が異なるといえる。

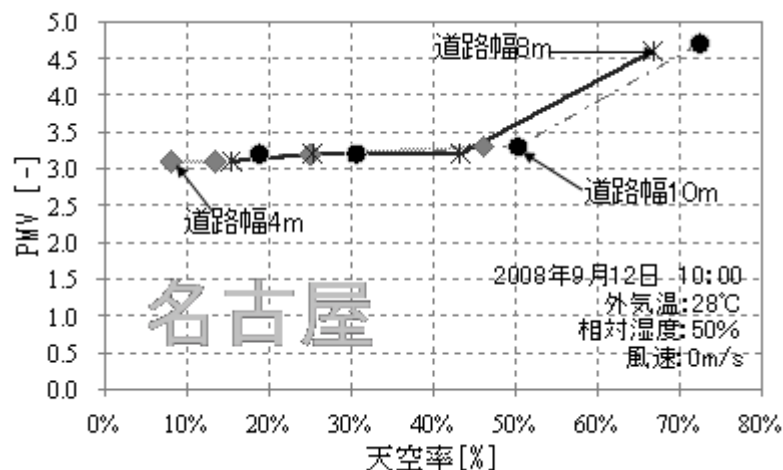


図3-9 名古屋における道路幅別の天空率（建物高さ）の変化とPMV（RayManモデル）

ii. 道路幅8 m-建物高さ20 m

名古屋市中心部の街区モデルに相当する道路幅の場合においても、道路幅4 mの場合と同様の傾向がみられた。建物配置や気象条件の影響により風上の建物では、建物の影の影響も含めて積極的に自然通風を利用できる。高温となる風下側でも、建物高さ5 mまでの外気であれば利用できる。

iii. 道路幅10 m-建物高さ20 m

名古屋市中心部の平均的な街区である道路幅8 mの場合より道路幅を広くすると、地盤面に最も近い場合にも相対的に高温となる気温分布が確認された。地盤面上5 m～10 mの場合において相対的に低温の範囲が広がるため、気温上昇が見られない街区では自然通風を効果的に利用できる。建物高さと同じ地盤面上20 mでは相対的に高温となる気温分布がみられ、屋上面における蓄熱や道路からの対流熱が影響することが考えられる。そのため屋上付近の外気は、自然通風で室内に取り入れる外気としては有効ではないと考えられる。

以上の結果から各種条件をもとに、夏期において自然通風による外気の取り込みが有効な街区を形成できれば、さらなる空調負荷削減に結びつくといえる。

2) 自然通風利用による業務建物空調負荷削減の検討

業務建物の空調負荷削減には、自然通風利用が最も有効である。しかし都市部が高温化するに

つれ、そのような空調負荷削減は難しくなるものと思われる。業務地区が自然通風利用可能な街区であることが前提条件として必要であり、そこに目指すべき都市の理想像がある。都市の気象条件や、街区形状変更における自然通風利用が可能な条件を検討し、空調負荷削減のための評価方法を確立した。しかし、空調システムの運用改善手法の確立に向け、本研究成果を建物運用時の評価体系へ適用することが課題となった。本研究ではさらに、建物街区モデル（図3-4）から近隣住区論を応用した都市機能モデル（経済モデル）への適用も試みた。日本建築学会等において専門家との議論を行った結果、今回開発した近隣住区論を応用した「都市機能モデル」の有効性を確認できた。また低炭素型都市の実現に向け、空調負荷削減に有効な街区形成方法の観点から街区計画を評価した。

a. 業務建物における用途別時刻別空調負荷の推定

建物形状と外皮性能をもとに、ファサード全面ガラス張りを想定する室内モデル（短辺6 m×長辺8 m×高さ2.7 m、表3-5）における建物用途別（事務所等、物販店舗等、ホテル等、病院等、学校等、飲食店等、集会所等）の空調負荷について、窓性能別（表3-5）の年間熱負荷係数（PAL）計算により、冷房・暖房デGREEアワーをベースとした時間ペリメータ・インテリア暖冷房負荷 Q_{HH} ・ Q_{CH} （南面）を推定した。以下に、事務所等（図3-10）および物販店舗等（図3-11）の結果を例示する。図中の窓ガラス①～窓ガラス③は、表3-5における窓ガラスの等級を示す。

表3-5 各種窓ガラスの物質特性

品種	光学特性(可視光)			熱貫流率 (W/m ² K)	日射熱取得率(η)
	透過率(%)	反射率(%)	吸収率(%)		
①普通ガラス6mm	90.4	8.2	1.4	6.2	0.88
②普通ガラス6mm+中空層6mm+普通ガラス6mm	78.9	15.2	5.9	2.83	0.70
③Low-Eガラス6mm+中空層6mm+普通ガラス6mm	69.8	12.1	18.1	2.55	0.42

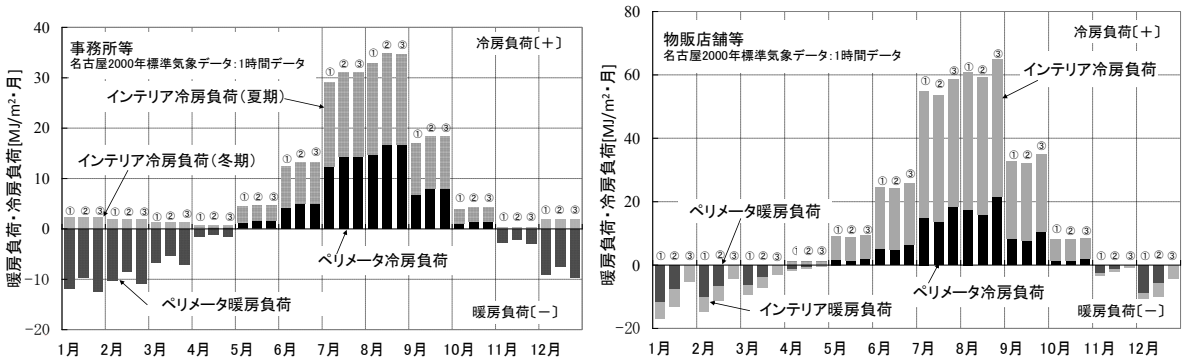


図3-10 月別暖冷房負荷 Q_{HH} ・ Q_{CH} (事務所等) 図3-11 月別暖冷房負荷 Q_{HH} ・ Q_{CH} (物販店舗等)

i. 事務所等の時間ペリメータ・インテリア暖冷房負荷 Q_{HH} ・ Q_{CH}

窓ガラス①より高性能な窓ガラス③において、冷房負荷の値が大きくなる場合もある（図3-10）。対策導入には慎重な検討が必要である。

ii. 物販店舗等の時間ペリメータ・インテリア暖冷房負荷 Q_{HH} ・ Q_{CH}

インテリア冷房負荷が最も大きく、空調負荷全体の6割（図3-11）を示す。ペリメータ暖房負荷は28%と少なく、冷房負荷に対する省エネ対策が有効である。窓ガラス①を用いた場合より、窓ガラス③を導入した場合のペリメータ冷房負荷が増加するものの、ペリメータ暖房負荷が削減さ

れており、設備計画時の空調機器選定にあたり、冷房中心の機器導入が可能なため、運用管理上の費用対効果が得られやすい空調運用計画が立てられる。よって窓ガラス③を導入した場合の方が、より大きな空調負荷削減を見込める。

b. 研究対象建物街区モデルにおける空調負荷計算

研究対象建物街区モデル（図3-4）において、建物用途毎に延床面積を積算し、1 km²あたりのペリメータ・インテリア空調負荷を算出した（図3-12）。事務所等が全体の約9割を占める建物街区モデルとなっている。冷房負荷削減を中心に温暖化対策を行う必要があり、理想的には自然通風利用が望ましい。建物街区モデル（名古屋中心部）においては、全業務用建物に対し、窓ガラス省エネ区分第一等級から第三等級へ窓性能を向上させると仮定した場合、約15%の空調負荷削減が見込まれた。地域エネルギー管理の観点からは負荷平準化が有効であるが、冷房需要そのものを減らすためには窓性能の向上、建物用途の構成および自然通風利用可能な街区形状であることが重要である。

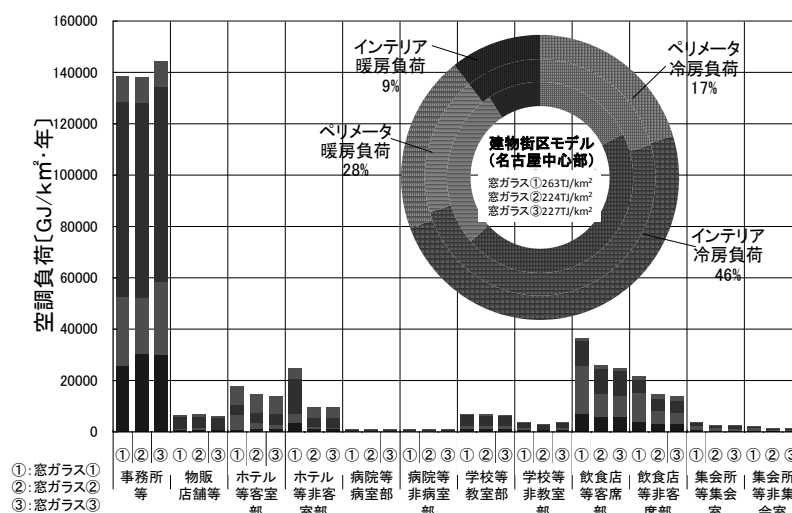
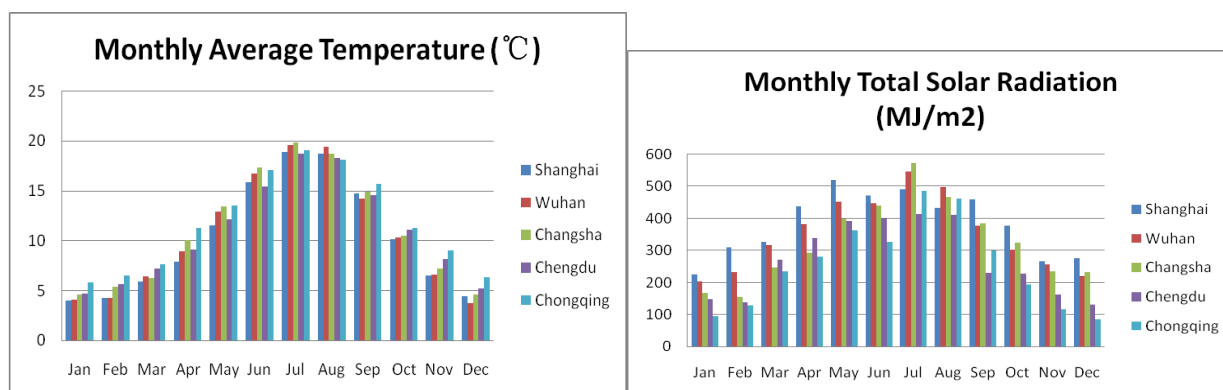


図3-12 年間暖冷房負荷(建物街区モデル・名古屋)

(3) 近接住棟による日影が住宅の空調需要に与える影響の地域間比較

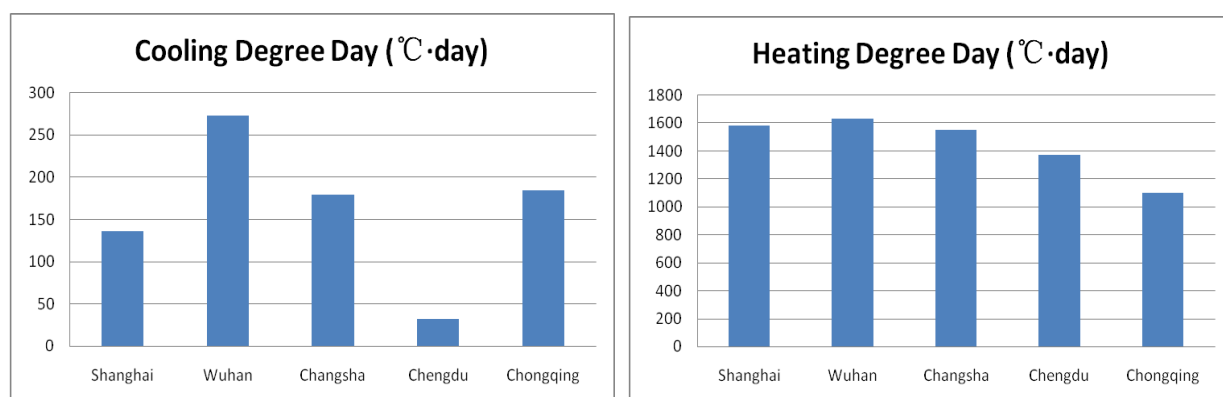
1) 対象地域5大都市の典型住宅街区における空調用電力消費量の数値シミュレーション

以下に、eQUESTによる数値シミュレーションの結果を示す。入力された標準気象値の概要を図3-13～図3-14に示す。武漢では、夏期に暑く冬期に寒い気候が出現している（図3-13）。海洋に近い上海では、熱慣性のためか武漢よりも気温の年変化が遅れる特徴があり、夏期の気温も低い。長沙は夏期の暑さが特徴的であり、冬期はあまり寒くない。標高の高い成都是、夏期の気温が相対的に低い。重慶は、冬期の暖かさが特徴的である。内陸側の3都市（長沙、成都、重慶）は、冬期にシベリア高気圧からの寒気の吹き出しの影響を受けにくい位置に存在するものと思われる。冷房・暖房デGREEデイの大小関係は、このような気温の差異を反映したものとなっている（図3-15；図3-16）。



左：図3-13 中国夏暑冬寒気候帯の5大都市における月別平均気温（°C）

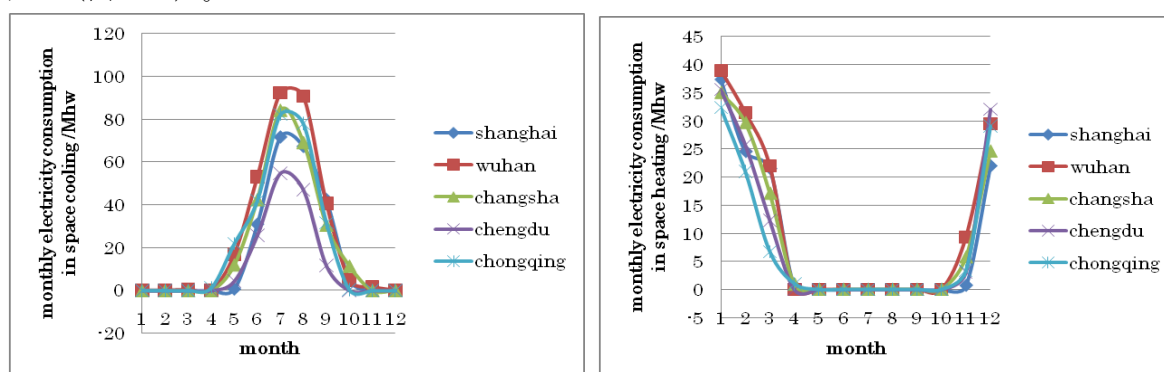
右：図3-14 中国夏暑冬寒気候帯の5大都市における月別日射量（MJ/m²）



左：図3-15 中国夏暑冬寒気候帯の5大都市における冷房デグリーデイ（基準温度26°C）

右：図 3-16 中国夏暑冬寒気候帯の 5 大都市における暖房デグリーデイ（基準温度 18°C）

対象都市における冷房期間は5月末から10月初めまでであり、通年の冷房用電力消費量は、武漢で300.98 MWh、成都で143.75 MWhと計算された（図3-17）。一方、暖房期間は主に10月末から4月初めまでであり、通年の暖房用電力消費量は、武漢で131.27 MWh、重慶で93.69 MWhと計算された（図3-18）。



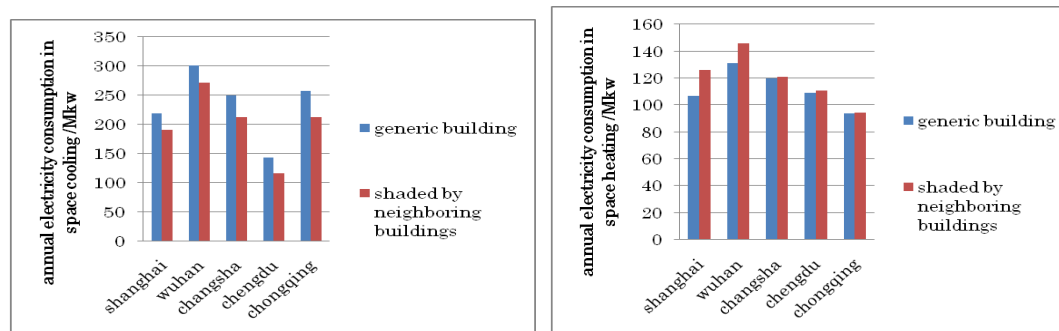
左：図3-17 中国夏暑冬寒気候帯の 5 大都市における月別冷房用電力消費量（計算値）

右：図3-18 中国夏暑冬寒気候帯の 5 大都市における月別暖房用電力消費量（計算値）

次に、近接住棟（推奨最小南北棟間距離の事例）による日影効果の有無が、冷房用および暖房用電力消費量に与える影響を評価した。この効果を見無視した場合、上海で29.63 MWh、武漢で28.06 MWh、長沙で36.92 MWh、成都で28.17 MWh、重慶で45.16 MWhの冷房需要過大評価となり、日影

効果による電力消費量削減率は10～20%程度に達する（図3-19）。また、上海で19.3 MWh、武漢で14.5 MWh、長沙で1.22 MWh、成都で1.78 MWh、重慶で0.86 MWhの暖房需要過小評価となり、日影効果による電力消費量増加率は0～20%程度に達する（図3-20）。その結果電力消費量削減効果は、上海で8.76 MWh、重慶で44.30 MWhとなっている（図3-21）。このように、対象地域における近接住棟による日影効果としては、冬期の暖房需要に対する増加効果よりも夏期の冷房需要に対する削減効果が優っている。また、上海、武漢ではこれら2つの効果が相殺しているが、長沙、成都、重慶では冬期の暖房需要に対する増加効果はほぼみられない。

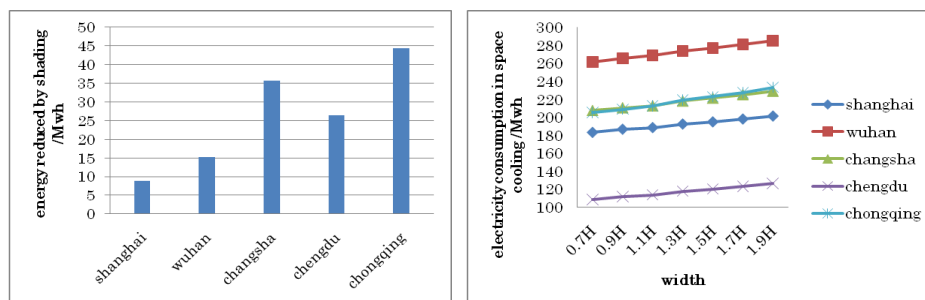
これら空調用電力消費量の差異は、気温（図3-13）やデグリーデー（図3-15；図3-16）の大小関係でおおむね説明できるものと思われる。また日影効果の差異は、基本的には太陽高度と日射量で決まるものと考えられる。対象の5大都市は緯度に大きな差異がないため、太陽高度にも大きな差異はないものと考えられる。上海では夏期以外の日射量が相対的に多く、武漢ではこれが通年で相対的に多い（図3-14）。内陸側の3都市では冬期の日射量が少なく、その結果が冬期の暖房需要に対する増加効果の少なさとして現れたものと思われる。一方、夏期における長沙と重慶の日射量は大きく異なっているものの、夏期の冷房需要に対する削減効果には大きな差異が見られないため、日射量だけですべてを説明できるというものではないことが明らかとなった。



左：図3-19 推奨最小南北棟間距離において近接住棟の日影が冷房用電力消費量に与える影響

右：図3-20 推奨最小南北棟間距離において近接住棟の日影が暖房用電力消費量に与える影響

以上の結果より、内陸側の3都市では、冬期における負の日影効果を考慮しなくてもよいので、夏期の対策として近接住棟による日影効果を最大限生かすようなデザイン（推奨最小棟間距離による住宅街区設計）を推進すればよい。一方、上海、武漢では、棟間距離を広めにデザインすると同時に、住棟に隣接して落葉樹の高木を植栽し、緑陰による日影効果に引き出すなどの考え方が有効であると思われる。この場合冬期には落葉するので、負の日影効果を懸念しなくてもよい。こうした地域間の差異は、入力された標準気象値の差異のみによってもたらされるので、当該地域の気候特性を考慮した住宅街区のデザインは重要である。



左：図 3-21 近接住棟の日影による通年空調用電力消費削減量

右：図 3-22 南北棟間距離の増加に伴う冷房用電力需要の変化

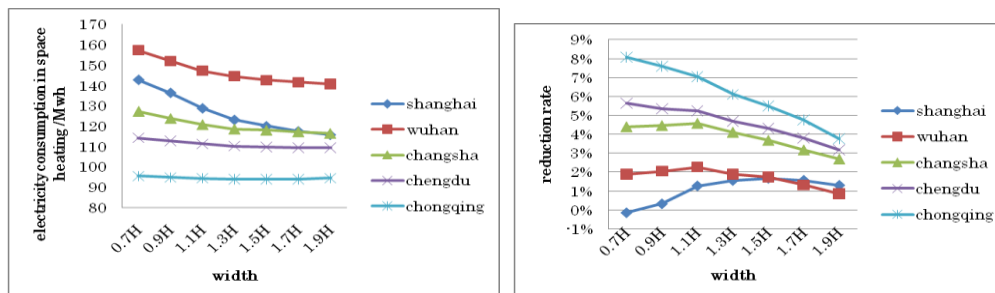
2) 南北棟間距離と電力消費量の関係

南北棟間距離が0.7Hから1.9Hへ増えていくにつれ、5大都市における冷房用電力消費量はいずれも増加し、上海で1.51 MWh/0.1H、武漢で1.99 MWh/0.1H、長沙で1.80 MWh/0.1H、成都で1.49 MWh/0.1H、重慶で2.33 MWh/0.1Hの増加率を示した（図3-22）。また、暖房用電力消費量は上海で2.25 MWh/0.1H、武漢で1.38 MWh/0.1H、長沙で0.89 MWh/0.1H、成都で0.40 MWh/0.1H、重慶で0.08 MWh/0.1Hの減少率を示した（図3-23）。ここで南北棟間距離による日影効果の通年影響を評価するため、電力消費量の削減率を以下のように定義する。

$$\text{電力消費量削減率} = (E_g - E_s) / E_g$$

E_g ：日影効果がない場合の通年電力消費量

E_s ：日影効果がある場合の通年電力消費量



左：図3-23 南北棟間距離の増加に伴う暖房用電力需要の変化

右：図3-24 南北棟間距離の増加に伴う近接住棟の日影による電力消費量通年削減率の変化

南北棟間距離の増加に伴う近接住棟の日影による電力消費量通年削減率の変化を図3-24に示す。結果は図3-21と整合的であり、南北棟間距離が上海で1.5H、武漢で1.1H、長沙で1.1Hのときに削減率のピークを示す。また表3-3より上海（南北棟間距離を1.5Hに広げるべき）以外では、推奨最小棟間距離でデザインされた住宅街区において、最も高い削減率が期待できることが裏づけられた。さらに武漢と長沙では、現状の推奨最小棟間距離が電力消費量削減の視点からも好ましい数値であることが明らかになった。

3) まとめ

中国の夏暑冬寒気候帯における5大都市（上海、武漢、長沙、成都、重慶）を対象（非単身世帯：全電化を仮定）として、近接住棟による空調用電力消費量への日影効果について数値シミュレーションを行った結果、以下の知見が導き出された。対象地域においては、日影効果による冷房用電力消費量削減率は10～20%程度、暖房用電力消費量増加率は0～20%程度に達し、対象地域にお

ける近接住棟による日影効果としては、冬期の暖房需要に対する増加効果よりも夏期の冷房需要に対する削減効果が優っている。上海、武漢ではこれら2つの効果が相殺しているが、長沙、成都、重慶では冬期の暖房需要に対する増加効果はほぼみられない。空調用電力消費量の差異は、気温やデグリーデイの大小関係でおおむね説明できるものと思われ、日影効果の差異は、基本的には太陽高度（対象の5大都市間で大きな差異はない）と日射量で決まるものと考えられる。内陸側の3都市（長沙、成都、重慶）では冬期の日射量が少なく、その結果が冬期の暖房需要に対する増加効果の少なさとして現れたものと思われる。一方、夏期における長沙と重慶の日射量は大きく異なっているものの、夏期の冷房需要に対する削減効果には大きな差異が見られなかった。内陸側の3都市では、近接住棟による日影効果を最大限生かすようなデザイン（推奨最小棟間距離による住宅街区設計）を推進すればよい。上海、武漢では、棟間距離を広めにデザインすると同時に、住棟に隣接して落葉樹の高木を植栽し、緑陰による日影効果に引き出すなどの考え方が有効である。上海以外では、推奨最小棟間距離でデザインされた住宅街区において、最も高い削減率が期待できる。武漢と長沙では、現状の推奨最小棟間距離が電力消費量削減の視点からも好ましい数値である。

（４）アジア地域における都市化が低炭素社会に与える影響

１）タイにおける都市のCO₂排出量

図3-25に示すとおり、バンコクにおけるエネルギー消費量とCO₂排出量は他の都市にくらべてはるかに大きく、バンコクのCO₂排出量は2番目に大きな都市であるチョンブリにくらべ約6倍となっている。このことは、バンコクがタイにおける排出量削減の鍵をにぎることを示唆している。また、過去数年間におけるタイの主要7都市の排出量の増加速度は比較的緩やかであることがわかった。

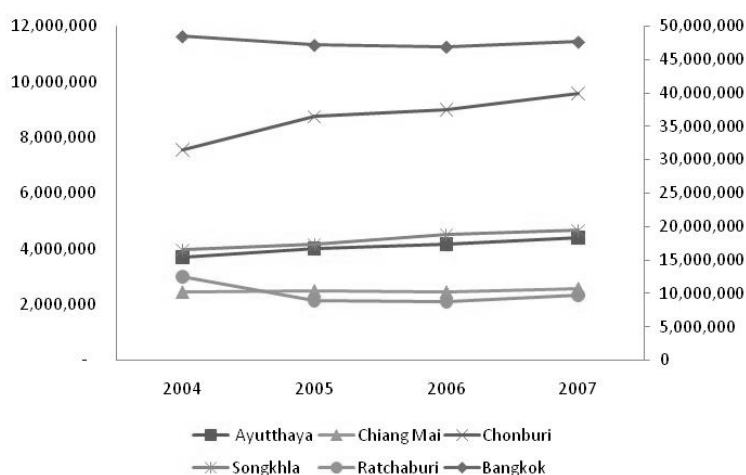


図 3-25 タイにおける主要 7 都市の CO₂ 排出量（トン）（副軸上はバンコク）

図3-25と図3-26に、2005年を基準とした2050年までのシナリオ研究の結果を示す。図3-25には Bangkok City（BKK）および Bangkok Metropolitan Region（BMR）における Business as Usual（BaU）シナリオ時の結果を示した。2050年の排出量は2005年にくらべ3倍以上増加し、バンコク周辺の開発が進むことによりBKKとBMRの差がより開くことを示唆している。図3-27には、エネルギー消費量およびCO₂排出量を削減するための住宅、商業輸送と産業部門における24の革新的オプションを用いた代替シナリオの結果を示した。バンコク市内におけるBaUシナリオとくらべた時の代替シ

ナリオのエネルギー節約量および排出削減量は、それぞれ8千万トン（石油換算）および3千万トンとなっている。

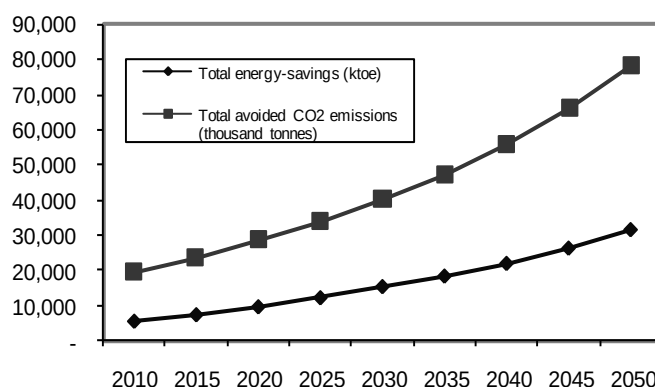
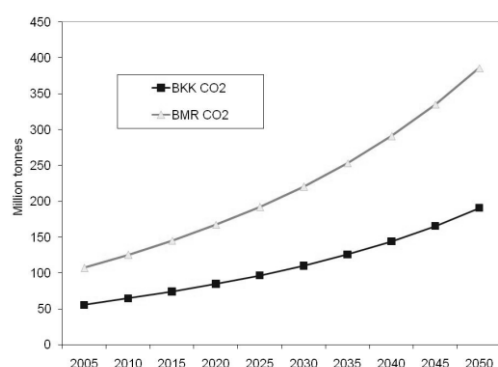


図3-26 バンコクのCO₂排出量（トン）
（Bangkok CityおよびBangkok Metropolitan Region）

図3-27 バンコクの代替シナリオにおける24のオプションを使ったエネルギー消費量とCO₂排出量算出結果

2) アジアの都市における気候変動緩和行動計画の分析

都市行政当局の気候変動緩和活動への関与の程度は、アジア全域で大きく異なっている。東京その他の日本の市町村においては、日本の法律によって地域に気候変動緩和の行動計画立案が義務付けられているが、日本の都市においてもやはり行動計画の実施度には差異が見られる。エネルギー分野における任意の処置あるいは既存の処置の強化への依存性が高い地域がある一方、確実に効果を上げるための対策実施を義務付けていないところもある。これはソウルにおいて計画されている対策案についても言えることである（表3-6）。

日本と韓国以外では、都市行政当局が現実的な対気候変動政策を実施するかわりに、大気汚染、輸送、エネルギー効率などの気候変動に関連する共通利益を（さしたる努力をするわけでもなく）利用し、その気候変動対策を合理化しているが、これは中国を含む多くの東アジア諸国の都市に当てはまる。さらに、支配的な対気候変動政策もなく、また多階層に受け入れられる政策で、希薄な活動によってGHG排出量の増加に歯止めをかけているか、歯止めがかかっているという印象を与えていると考えられるが、その炭素排出削減に対する意味合いあるいは影響については、各種活動の相互関連と排出源の移動の可能性があるため、ほとんど知られていない。

またアジアには、認識および知識の欠如によるか、ほかの喫緊の優先課題への集中のため、気候変動問題に無関心な都市が多数存在する。国の発展段階、所得水準および世界的な気候変動緩和と対策へのコミットメントがアジア各地で大きく異なるため、活動が都市間できわめて多様であっても不思議はない。気候変動緩和行動計画が必要とする基礎知識のひとつに、妥当な頑健性を持つ都市のGHG勘定がある。本研究により、都市において（デリー、バンコクおよびジャカルタのような気候変動問題に積極的な大都市でさえも）、信頼できる単一年度のGHGインベントリさえ存在しないことが判明した。

表 3-6 アジア太平洋地域の主要都市における温室効果ガス排出目標

都市	短・中期削減目標	長期目標	基準年度	総GHG排出量（年）
オーストラリア 首都特別地域 (ACT)	2025年度までに2000年度 水準（4.059 mnトンCO ² e） (0%)	60%（2050年）	2000年	4.45 mnトン CO ² e（2005 年）
シドニー	1.6 mnトンCO ² 2030年度までに1990年度 水準より50%削減 2030年度までに2006年度 水準より70%削減		1990年ま たは2006 年	5.4 mnトン CO ² （2006 年）
ソウル	40%（2030年）		1990年	
バンコク	15%（BAU水準予測）		2012年	42.75トン
東京	25%（2020年）		2000年	59.6 mnトン CO ² e（2006 年）
北九州	30%（2030年）	50%－60%（2050 年）	2005年	
京都	40%（2030年）	60%（2050年）	1990年	
横浜	>30%（2025年）一人当 り（4.02トンCO ² /人）	>60%（2050年）一 人当たり（2.3トン CO ² /人）	2004年	5.74トン CO ² e/人 （2004年）

このようにGHGインベントリがない状況では、現実的な計画が現実からさらにかけ離れたものとなる可能性もある。多くの都市にとって、気候変動問題の対策日程は真剣な気候変動行動計画というよりも、主に気候変動緩和活動を合理化してアイデアの発想を促し、政府と各利害関係者の間に前向きの議論を作り出すための予備調査的な性格がある。たとえばデリー、ジャカルタおよびバンコクの計画と方針は、関心を惹起する力は大きいものの、気候変動対策を進めるためには、発展途上国の都市におけるそうした計画自体と計画の策定過程が不可欠であり、多くの場合気候変動行動は外部要因によって駆動または動機づけられている。

さらに、多くの都市では気候変動行動を内部化する方法を真剣に模索しているが、建築物のエネルギー効率の問題、建築基準および認定システム、市町村のサービス、交通管理および廃棄物の取扱いなど、市町村にとって取り組みやすい分野がほとんどないように思われる。アジアの都市の大多数は、ほかに緊急を要する課題を抱えていたり、認識や知識の欠如から、気候変動問題を優先順位の最下位に位置づけている。持続可能性をめざす自治体協議会(ICLEI)などの国際ネットワークが行動を呼びかけ、しばしばポジティブな応答を得て、認識向上のためのキャンペーンが展開されるものの、外部供与者の支援によるその場限りのものであることが多い。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

・低炭素型都市の実現に向けて、エネルギー削減を見込むための空調負荷削減に有効な街区形成方法について、現状の国内外の都市を定量的に評価することが可能になった。これまで概念的であった低炭素型都市の実現に向けて、定量評価を行うことにより、対策実施のための効率的な対

策指針を提示することができた。

- ・都市から排出される総炭素量に、分野別に、あるいは都市の行政境界の勘案の有無によって、大きな差異が存在することを浮き彫りにした。これは政策立案者に正しい制度的メカニズムおよび都市での気候変動緩和の多階層的ガバナンスにおける疑問と挑戦を突きつけるものである。たとえば、主要産業の立地が都市の行政域の外ではあるが拡大都市圏の中である場合、都市の中核と都市圏の間における移動と交差は膨大なものになり、妥当な頑健性を持つ都市GHG勘定が必要であることが明らかになった。また、デリー、バンコク、ジャカルタなどの気候変動の対策課題に積極的に取り組んでいる大都市の中にも、単年度の信頼できるGHGインベントリが存在しない場合が多い。都市にはその全域の炭素排出量を制限するための総合的な計画と排出源の移動を阻止する手段が必要である。都市の気候変動緩和行動を動機づけるものはいくつもあるが、炭素排出緩和を最大限に実施できる国際機構をどのように変えてゆくかが主要な政策課題であることも明らかとなった。

（２）環境政策への貢献

- ・コンパクトシティに関する研究など、既存スタディの共通項を整理し、都市類型別にさまざまな施策の有効性、他の都市への適用可能性を明らかにした。国内外における調査をもとに、対策オプション導入可能性という観点からの都市類型化手法の適用により、IPCCにおける適応戦略の検討にとって重要なインプットを行うことができる。

- ・建物形状および外皮性能を考慮した建物用途別のエネルギー消費量推定結果、GIS等における地域別のエネルギー消費量・GHG排出量推定結果および都市環境モニタリングによる精度検証をへて、知識基盤の公開などを通じ、研究成果の社会への還元を行うことができる。

- ・タイ中心部において、住宅、商業輸送と産業部門での24の革新的なオプションを用いた代替シナリオにより、2005年を基準とした2050年までの大幅な削減が見込まれることがわかった。

- ・2009年7月横浜開催の第7回国際都市気候会議（ICUC-7）に対し、Low carbon citiesのセッションを提案し採択され、都市気候学（主に都市の温暖化）の分野における低炭素型都市の議論を国際的に喚起することができた。十数件の講演のうち2件が当該プロジェクトからの貢献であった。

- ・2010年2月に南アフリカ科学アカデミーが主催した低炭素型都市に関するパネルがプレトリアで開催された。当該プロジェクトは委員会の一員として寄与し、国内外主要都市における炭素削減案の見直しを通じた直面する問題の検証、エネルギー消費量削減と省エネ対策実施に関して介入できる重要分野の識別支援、再生可能エネルギーの利用あるいは化石燃料の精製技術獲得、削減困難な炭素排出量のカーボン・オフセットによる相殺、炭素貯蔵のオプション、低炭素型都市移行への奨励普及手法、に関して助言を行った。

- ・人間居住、インフラ整備と空間計画のIPCC第2作業部会（WG2）と第3作業部会（WG3）共同会議（4月20日～22日）に招かれ、第4次評価報告書（AR4）に存在するギャップ、WG3の第12章等を検討するにあたり第5次評価報告書（AR5）が必要とする重点課題について見解を発表するよう要請を受けた。

- ・グローバルカーボンプロジェクト（GCP）との連携のもと、当該プロジェクトの国際的連携強化、プロジェクトを介した国内外活動への貢献をめざし、1)本分野における今後の研究に必要とされる重点をまとめた統合評価報告書の作成と新しい研究動向に関する討議の開催、2)研究・政

策対話を他機関と共同で実施、3) IPCCをはじめとする重要な国際的評価活動への貢献、に取り組んだ。

・一ノ瀬とDhakarは、グローバル・エネルギー・アセスメント（GEA）の都市化知識モジュールに対し、執筆責任者として参画・寄与した。GEAは国際応用システム分析研究所（IIASA）の主導で企画されたもので、数ヶ国の政府および団体の支援を得ており、アセスメントの結果は2011年に発表される。またDhakarは、国際エネルギー機関「世界エネルギー展望2008年版（World Energy Outlook 2008）」の「都市におけるエネルギー利用」の章において執筆責任者として関与し、全球収支における都市のエネルギーおよび炭素の影響を初めて推定した。さらに、IPCC第5次評価報告書において、統括執筆責任者として第3作業部会の「人間の居住空間、インフラおよび空間計画（Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning）」の章を担当した。加えて、中国国際環境開発協力委員会（CCICED）の「都市開発・エネルギー効率化タスクフォース」に海外専門家として参加した。

6. 引用文献

- 1) D. Watson, A. Plattus and R. Shibley, *Time-saver standards for urban design*, McGraw-Hill Professional, 2003.
- 2) Fundamentals American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer, *ASHRAE Handbook*, 1981.
- 3) J.C. Lam, Shading effects due to nearby buildings and energy implications, *Energy Conversion and Management* 2000, 41: 647-659.
- 4) H. Danny, W. Li and S.L. Wong, Daylighting and energy implications due to shading effects from nearby buildings, *Applied Energy* 2007, 84: 1199-1209
- 5) J.R. Simpson, Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use, *Energy and Buildings* 2002, 34: 1067-1076
- 6) S. Raeissi and M. Taheri, Energy saving by proper tree plantation, *Building and Environment* 1999, 34: 565-570
- 7) 一ノ瀬俊明・花木啓祐・松尾友矩, 都市におけるエネルギー消費構造の国際比較, 環境工学研究論文集 1993, 30: 371-381.
- 8) 中国国家统计局, 「中国統計年鑑」, 2009.
- 9) 武漢市統計局, 「武漢統計年鑑」, 2009.
- 10) 長沙市統計局, 「長沙統計年鑑」, 2009.
- 11) 重慶市統計局, 「重慶統計年鑑」, 2009.
- 12) J. Yu, C. Yang, J. Hu and L. Tian, Effects of envelope energy saving strategies on energy consumption in residential building, *Proceedings of the fifth international symposium on heating ventilating and air conditioning* 2007, 849-857.
- 13) 中国国家统计局, 「中国統計年鑑」, 2008.
- 14) <http://doe2.com/equest/index.html>.
- 15) Ministry of Construction of PRC, *Design Standard for Energy Efficiency of Residential Buildings in Hot Summer and Cold Winter Zone* JGJ 134-2001. Beijing: China Architecture and Building Press, 2001

[in Chinese] .

- 16) Y. Liu, J.C. Lam, J. Liu and C.L. Tsang, Building energy simulation using multi-years and typical meteorological years in different climates, *Energy Convers. Manage* 2008, 49: 113-124.
- 17) China Meteorological Bureau - Climate Information Center - Climate Data Office and Tsinghua University - Department of Building Science and Technology, *China standard weather data for analyzing building thermal conditions*. Beijing: China Architecture and Building Press, 2005 [in Chinese] .
- 18) Ministry of Construction of PRC, *Code for Urban residential district planning and design* GB 50180-1993, China Architecture and Building Press, 2002.
- 19) Shanghai Urban Planning Administration Bureau, *Technical rule for urban planning management of Shanghai*, 2003 [in Chinese].
- 20) Wuhan Urban Planning Administration Bureau, *Technical rule for urban planning management of Wuhan*, 2008 [in Chinese].
- 21) Changsha Urban Planning Administration Bureau, *Technical rule for urban planning management of Changsha*, 2009 [in Chinese].
- 22) Chengdu Urban Planning Administration Bureau, *Technical rule for urban planning management of Chengdu*, 2008 [in Chinese].
- 23) Chongqing Urban Planning Administration Bureau, *Technical rule for urban planning management of Chongqing*, 2006 [in Chinese].
- 24) 環境省,「ヒートアイランド対策手法調査検討業務報告書」平成13年度環境省請負業務報告書, 社団法人環境情報科学センター, 2002.
- 25) A. Matzarakis, F. Rutz and H. Mayer, Modeling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan model, *Proc. of PLEA* 2006, II-449-II-453.

7. 国際共同研究等の状況

一ノ瀬とDhakarは、気候変動の緩和と適応および、都市のエネルギー問題を分析することを目的とした研究者、研究機関のコンソーシアムUCCRN（都市の気候変動研究ネットワーク）のプロジェクトに参画している。同プロジェクトではARC3（気候変動と都市の国際パネル）報告書を作成した。これは、世界銀行、コロンビア大学、ニューヨーク市立大学、米国航空宇宙局（NASA）ゴダード宇宙科学研究所（GISS）の支援を受け、世界各国50名以上の著名な専門家が作成に携わるものであり、COP15にて一部が公表された。

一ノ瀬とDhakarはGCPとともに、国際応用システム分析研究所（IIASA）を中心としたグローバル・エネルギー・アセスメント（GEA）の活動（IPCC型のアクション）に貢献している。彼らはGEAの「都市」の章へ寄与しており、今後この問題における科学的知見を統合していく。

華東師範大学（上海）および华中科技大学（武漢）との共同で、両都市の典型的中層・高層住宅団地における冬期の空調使用実態調査を2010年2月末から3月初頭にかけて実施した。夏期については2010年7月下旬に実施した。また武漢（2009年2月）、台北（2009年11月）、北京（2010年4月）で、一ノ瀬が「低炭素型都市」について60分程度の中国語講演を行っている。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

〈論文（査読あり）〉

1) 一ノ瀬俊明：ヒートアイランド軽減の都市低炭素化へのフィードバック，環境科学会誌 22, pp. 301-308, 2009.

〈査読付論文に準ずる成果発表〉

特に記載すべき事項はない

〈その他誌上発表（査読なし）〉

1) T. Ichinose, O. Matuschek and Y. Minegaki: Anthropogenic Heat and Urban Heat Islands: A Feedback System, *Newsletter on urban heat island countermeasures*, Subcommittee on heat island, AIJ: 5, 2008.

2) 吉田友紀子：2008年の建築界の動向と展望 低炭素型都市実現にあたって鍵となる要素～建築エネルギーシステムの可能性～，日本建築学会年報 124/1594: pp.24-25, 2009.

3) Y. Yoshida and T. Ichinose: Research and development of the information system for building-regional environmental evaluation, *Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universitaet Freiburg* 18: 253-257, 2009.

4) Y. Yoshida : Development of Air Conditioning Technologies, *Cooling India*, Chary Publications Pvt. Ltd., Mar-Apr'09: 58-62, 2009.

5) Y. Yoshida: Development of the strategy for low-carbon cities in building-blocks, *Cooling India*, Chary Publications Pvt. Ltd., Jul-Aug'09: 70-78, 2009.

6) 一ノ瀬俊明：緑化による熱環境改善を通じた都市の低炭素化，公園緑地 70-5: 18-20, 2010

7) 神田学・一ノ瀬俊明・平野勇二郎・日下博幸・近藤裕昭・菅原広史・藤部文昭・森脇亮・稲垣厚至：第7回国際都市気候会議（ICUC7）の報告，天気: 57, 19-26, 2010.

8) Y. Yoshida, M. Okumiya, A. Onishi, O. Higashi, T. Ichinose, H. Tanikawa and H. Imura: Study of effective energy improvement for area management to build low-carbon cities in Asia, *REHVA world congress Clima 2010 Sustainable Energy Use in Buildings*, ISBN978-975-6907-14-6, 2010.

9) 吉田友紀子：自然通風を考慮した建物街区における空調負荷削減方策に関する研究，IBPSA-Japan講演論文集，2010.

10) 吉田友紀子・奥宮正哉：低炭素型都市づくり施策の効果とその評価に関する研究～エネルギー需要評価を目的としたSETを用いた街区計画と自然通風利用の効果～，空気調和・衛生工学会大会学術講演会講演論文集 C-39: 1071-1074, 2010.

11) 吉田友紀子・奥宮正哉・大西暁生・一ノ瀬俊明・東修・谷川寛樹・井村秀文：事務所系・住宅系の建物用途別床面積推定手法～「都市機能モデル」による地域エネルギー需要の予測～，エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集 29: 135-138, 2010.

(2) 口頭発表（学会等）

1) 吉田友紀子・一ノ瀬俊明：建物・地域環境情報システム技術に関する開発・研究，その1 開発システムの概要，日本建築学会学術講演梗概集，40517，2008年9月。

2) Y. Yoshida and T. Ichinose: Research and development of the information system for building-regional environmental evaluation, *5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology*, Freiburg, Germany, October, 2008.

3) T. Ichinose: Urban Typology and Key Factors of Determining Low-Carbon Cities: Specificities and

Universalities, *International Workshop: Towards Low Carbon Cities - Understanding and Analyzing Urban Energy and Carbon*, Nagoya, Japan, February, 2009.

4) Y. Yoshida and T. Ichinose: Towards Low Carbon Cities in Rapidly Urbanizing Asia - Climatic Change Mitigation Strategy in Building Sector, *International Workshop: Towards Low Carbon Cities - Understanding and Analyzing Urban Energy and Carbon*, Nagoya, Japan, February, 2009.

5) S. Dhakal and A. Phdungsilp: Modeling 2050 Energy and CO₂ Scenario for Bangkok, *International Workshop: Towards Low Carbon Cities - Understanding and Analyzing Urban Energy and Carbon*, Nagoya, Japan, February, 2009.

6) Y. Yoshida and T. Ichinose: Planning low-carbon society based on building-urban environmental evaluation in Asia, *IHDP Open Meeting 2009*, Bonn, Germany, 2009.

7) Y. Yoshida and T. Ichinose: Research and development of the information system for building-blocks environmental evaluation, *ICUC-7*, Yokohama, Japan, July, 2009.

8) Y. Hirano, H. Imura and T. Ichinose: Effects of the heat island phenomenon on energy consumption in commercial and residential sectors of metropolitan Tokyo, *ICUC-7*, Yokohama, Japan, July, 2009.

9) 吉田友紀子・一ノ瀬俊明・井村秀文：建物・地域環境情報システム技術に関する開発・研究 その2 名古屋中心部街区モデルの検討，日本建築学会大会，仙台，2009年8月。

10) 一ノ瀬俊明：ロー・カーボンシティ，日本建築学会大会「低炭素社会とヒートアイランド」PD 招待講演，仙台，2009年8月。

11) Y. Yoshida and T. Ichinose: Effect of policies for building low-carbon cities and evaluating them in Asia: From mitigation around buildings, *Second International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (SICCUHI)*, Berkeley, USA, September, 2009.

12) 吉田友紀子・奥宮正哉・大西暁生・一ノ瀬俊明・東修・井村秀文：低炭素型都市づくり施策の効果に関する研究 その2 都市機能モデルによる地域エネルギー推計，日本建築学会大会，富山，2010年9月。

13) L. Lei, T. Ichinose and H. Imura: Study on the Strategic Urban Planning and Assessment of Low-Carbon Cities; Part 4 Energy implications due to shading effect from nearby buildings and trees，日本建築学会大会，富山，2010年9月。

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

1) International Symposium: Realizing Low Carbon Cities: Bridging Science and Policy（2009年2月16日，メルパルク名古屋，参加者200名）

2) International Workshop: Towards Low Carbon Cities - Understanding and Analyzing Urban Energy and Carbon（2009年2月17日-18日，名古屋大学，参加者80名）

3) 都市とカーボンマネージメント：科学と政策の連携強化に向けて（2009年11月16日，東京国際フォーラム，参加者180名）

4) 都市とカーボンマネージメントに関する専門家会合（2009年11月17日，帝国ホテル，参加者20名）

5) アジアにおけるカーボンガバナンス：異なるスケールと学問分野の橋渡し（2010年11月1日-3

日，国連大学高等研究所，参加者40名）

（5）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

（6）その他

特に記載すべき事項はない