都市生態圏―大気圏―水圏における水・エネルギー交換過程の解明

研究代表者
神田　　学

都市生態圏―大気圏―水圏における水・エネルギー交換過程の解明

東京工業大学　神田　学

１．全体構想

アジア（特に沿岸地域）には多くのメガシティーが存在し、さらなる人口爆発が懸念されている。過密な都市生態圏が大気圏・水域圏に及ぼす影響は、水・エネルギーに絡む各種環境問題ですでに顕在化している。高度成長期の深刻な公害問題を克服してきた首都圏ですら今なお、ヒートアイランドや集中豪雨、人工水循環系（水不足・都市型水害）、内湾域の淡水化・高温化など、新たな環境問題に直面している。首都圏、近畿圏、中部圏といった都市圏において、現実に我々が経験してきた変化が、今後、数十年スケールの間で、人口爆発が予想されるアジアの諸都市においても起きようとしている。

大気圏・水域圏における個々の現象そのものについては気象・水文・海洋の各分野で研究が進んでいる。例えば、積雲対流の内部構造や組織化、東京湾の赤潮・青潮現象などは、リモートセンシングや高分解能数値解析により、その基本的構造が解明されつつある。しかしながら、いつ・どこで・何故発生し、どう変化するかという定量的予測には至っていない。その最大のネックは、各現象の引き金となる都市生態圏からの水・エネルギー負荷（フラックス）の時空間変動のメカニズムがよく解明されていないことによる。このブレークスルーには、大気・海洋・水文の各要素技術の高精度化や単なる異種モデルの統合ではなく、都市生態圏から大気圏・水圏へ、いつ、どのようにして、どれだけの水・エネルギーが輸送されているのかをきちんと解明し、都市域の水・エネルギー循環系を１つのフローとして捉え直すことが重要である。都市生態圏が大気圏・水圏へ及ぼす強制力（フォーシング）すなわち水・エネルギーフラックスの時空間変動を物理的に把握し、都市構造・環境変数の関数としてモデル化することが本研究の基本的構想である（図１）。

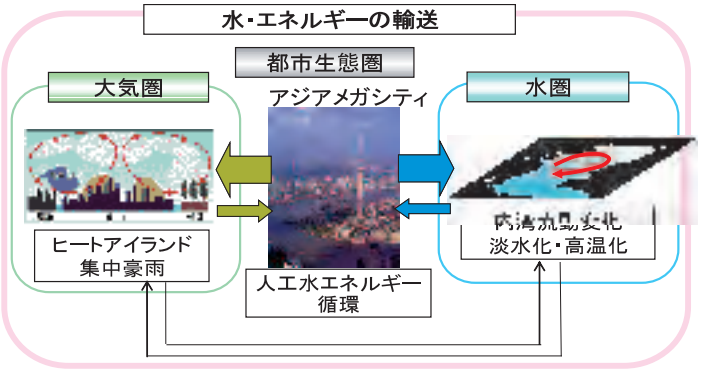

図１　都市生態圏・大気圏・水圏における水・エネルギー循環の概念

２．研究手法・体制

大気圏および水圏（主に内湾）の流動解析において都市生態圏は単なる１つの境界条件として簡略的に取り扱われてきた。しかしながら、都市生態圏―大気圏―水圏における水・エネルギー循環系のフローの中で、都市生態圏が及ぼす水・エネルギー強制力（フォーシング）は、各種都市環境問題の定量的予測の鍵を握っている。単なる要素モデルの高精度化や異種モデルの統合化ではなく、境界学問領域である都市生態圏によるフォーシングのメカニズム解明とモデル化をめざす。具体的手法として、以

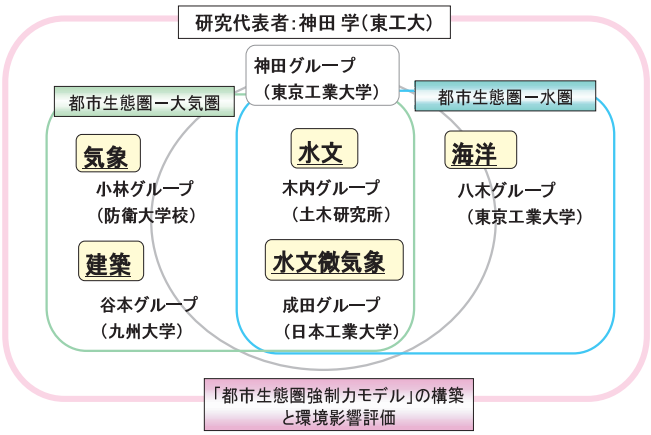

図２　研究実施体制

下の３つを大きな柱として掲げている。
１、タワー・リモセン・航空機など用いた水・エネルギーフッラクスの実態把握：申請者らが蓄積してきた観測実績を応用・発展し、首都圏において航空機・リモートセンサー・タワー・クレーン車を駆使した水・エネルギーフッラクス計測を時空間的に展開する。
２、屋外準実スケール都市モデル実験：都市構造と水・エネルギー強制力の因果関係をシステマティックに把握するには、非一様性・不確定性の強い現地での観測に加え、よく制御されたモデル実験が必要不可欠である。そこで、屋外空間に準実スケールのモデル都市を作成し、自然気象条件下で都市幾何構造や植生配置を変化させ、これらが水・エネルギー強制力に及ぼす影響を明らかにする。
３、水・エネルギー循環素過程を考慮した「都市生態圏強制力モデル」の構築：現地観測・準実スケールモデル実験で得られた知見を基に、都市幾何構造（建坪率・容積率・緑被率・材料物性値)、都市活動パラメータ（人口分布・経済活動・土地利用)、環境変数（太陽軌道や基準点気象・水文要素)、都市植生の蒸散生理（気孔パラメータ・LAI)、などを入力変数として大気圏・水圏への熱・水フォーシングを出力する「都市生態圏強制力モデル」を構築する。「都市生態圏強制力モデル」は一つの物理モジュールとして、既存の気象モデル・海洋モデル・水文モデルを統合することを可能とし、ひいては、ヒートアイランド、内湾汚染などの環境現象の予測精度を向上することが期待される。
　これらの３手法を有機的に機能させて行くには、複数の学問分野にまたがる研究体制が必要不可欠である。そこで、気象・海洋・水文・建築・建築微気象といった横断的研究体制を構築した（図２)。

３．研究成果

３．１タワー・リモセン・航空機など用いた水・エネルギーフッラクスの実態把握

（１）東京フラックスネット（久が原タワー・東京湾タワー）の構築とフッラクスの実態把握
　東京の典型的低層住宅街に 30m タワーによるフッラクス・ステーション（通称：久が原タワー）を構築し、観測スタート時点から継続して熱・水・CO_2 フラックスおよび関連水文気象量・乱流統計量の自動計測を行っている。サイトは広大で平均高度 7.5m の一様な住宅層が広がり、都市接地境界層内におけるモーニン・オブコフ相似則や熱・水収支に関する貴重な知見が得られた。平成 16 年には周囲４地点での簡易型フラックスタワー観測を追加し、久が原地区でのフラックスの空間分散についても検討を行った。以下が主要な成果である。(a) 年・月・日単位での熱・水・CO_2 のフラックス挙動、特に、都市植生の顕著なオアシス効果の存在を指摘。(b) 夜間安定時における都市キャノピー内での高濃度 CO_2 現象、最高気温出現高度の季節性（冬は屋根面・夏は道路面）の発見（図３)。(c) モーニン・オブコフ相似則の一部不適合性、スカラー輸送の非相似性などの指摘と、それらの物理要因（ソースの非均一性・スカラー依存性）の特定。(d) 都市の熱フラックスの空間分散の特徴の把握（森林域の値に比べて空間分散が大きく、しかも摩擦速度よりも１日の時間帯に依存し、朝・晩の加熱・冷却過程において空間分差が顕著)。
　また、東京湾上における既設の海上タワーを利用してフッラクス・ステーション（通称：東京湾タワー）を構築し、熱・水・CO_2 フラックスおよび関連水文気象量・乱流統計量の自動計測を開始した。サイトは千葉遠岸３km に位置し、大都市に隣接する水圏の機能を定量的に把握している。以下が現段階での主要な成果である。(a) 冬季の熱・水・CO_2 のフラックス挙動、特に、強風時には陸域の発生量に匹敵する CO_2 が東京湾で吸収（図４)、150-250Wm^2 の膨大な潜熱が発生。(2) 東京湾のシンク・ソース量は陸上からの移流の影響を強く受ける。

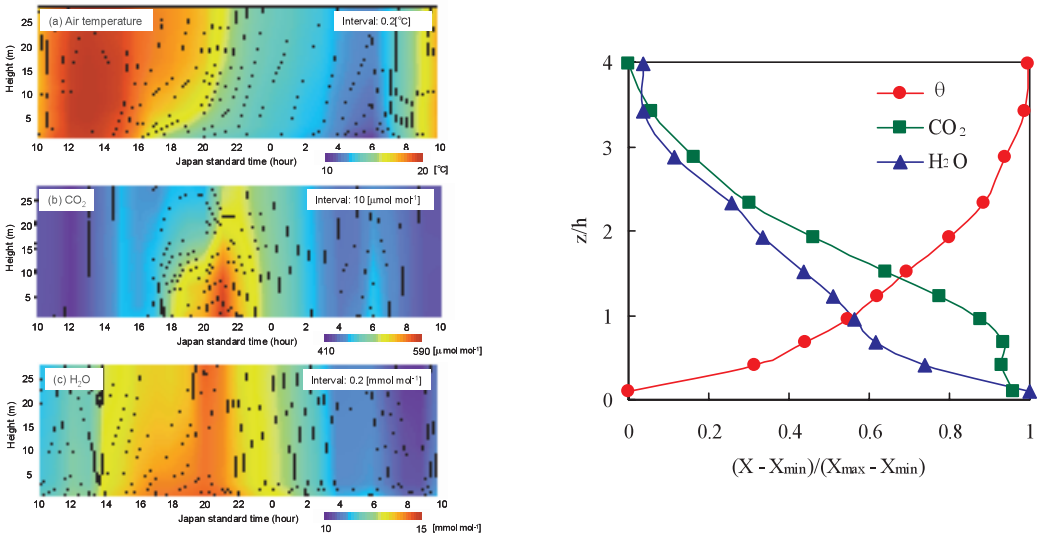

図３　左：久が原タワーから得られた温位・水蒸気・CO_2 の鉛直分布の経時変化
右：夜間の大気安定時における、温位・水蒸気・CO_2 のアンサンブル平均プロファイル

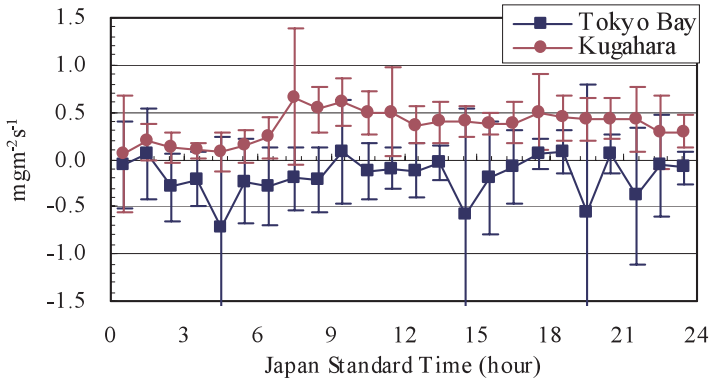

図４　12 月晴天時の久が原と東京湾の CO_2 フラックス。東京湾は CO_2 のシンクおよび水蒸気のソース（概ね潜熱ベースで 150w/m^2 以上）として機能している

（２）集合住宅隣棟空間（実大２次元キャノピー）における水・熱・運動量フラックスの実態把握

実大の２次元ストリートキャニオンの象徴として、建替予定の集合住宅団地において、３ヶ月の間にキャノピー層および大気境界層観測を行った。キャノピー内外風速、上空気温プロファイル，建物間での気温２次元分布、建物表面伝達率分布、キャノピー表面温度及び熱流など、包括的なデータセットが得られた。得られた結論は以下の通りである。(a) 建物間での気流分布はいわゆる skimming flow となっており，上空での主風向に対応した循環流がみられた。循環の強さは上空風速と大気安定度に依存し，特に夜間など大気が安定な場合は循環が弱く抑えられた．風速プロファイルなども大気安定度に依存していたが，この場合の安定度はキャノピー内でのものよりも，上空を含んだ層の安定度を用いた方が気流特性との対応がよいことが明らかとなった。(b) この観測から得られたキャノピー各表面の対流熱伝達率分布は、windward 壁面については高さとともに伝達率は増加するのに対し、leeward 壁面では伝達率の高さによる変化は小さく、風洞装置内における既往の実験データと概ね類似の傾向を示した。

（３）各種レーダ観測による都市下層大気と対流活動との関係把握

夏季晴天日に東京都心周辺で発生する積乱雲の形成発達過程を各種レーダーを用いて観測し、都市の下層大気と対流活動との関係を明らかにするため、都内複数点において、ドップラーレーダー、ドップラーソーダ、ビデオカメラ、地上気象観測装置を用いた連続観測を暖候期に実施した。その結果、以下の成果が得られた。(a) 夏季晴天日における都心周辺の積乱雲（ファーストエコー）は相対的に発生頻度が少な

いものの午後早い時間に発生する。また一度発生すると発達しやすい。(b) 都心における積乱雲発生時の下層大気構造として、１m/s を超える強い上昇流が形成され混合層内の活発な対流活動が存在する。

（４）下水および都市河川における流量・水温観測とそれらの人工水系を通じたフラックスの実態把握

大田区久が原に設けられているタワー連続観測と同調して、陸面側における流出、浸透、貯留過程を各種機器により計測した。また、流域スケールにおいては、神田川流域を対象として、下水処理場における流入水、処理放流水の温度を測定するとともに、河川水温の連続測定を実施し、雨天時の熱流出や平常時処理水といった人工水循環系の影響を把握した。得られた成果は以下の通りである。(a) 久が原集水域スケールでの水・エネルギー輸送の収支を算定。上水道―家庭―下水の人工水循環系に加えて、土壌水や地下水由来と考えられる自然系の不明水が流入し､熱的影響を緩和する効果を持っている。(b) 神田流域の水･熱収支から、上記の結果はかなりの地域差をもっている。

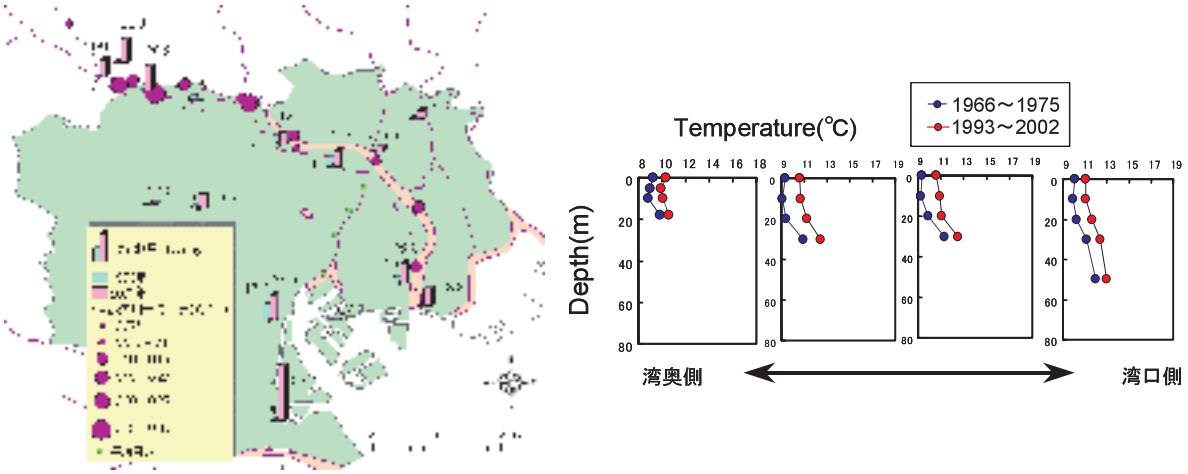

図５　左：東京都区部と埼玉県南部における１月の下水放流熱量の変化と河川水温の上昇率の関係、右：３月の東京湾における水温鉛直分布の長期的な変化。都市の成長に伴う水・エネルギー消費量の増大は、下水道システムを通じた水域への放流熱量の増大をもたらし、長期的な河川水温の上昇の主因となっていることがわかった。また、東京湾においても、湾奥部から湾口部にかけて長期的な水温上昇が確認され、外海の影響と都市の影響が複合された結果であると推定された。

（５）都市圏から水圏（河川・東京湾）への熱的インパクトの実態把握

東京湾を中心とした，首都圏水域の長期的な熱環境構造，特に熱フォーシングの変化を明らかにするために，多様な長期観測データ（公共用水域データ，地方自治体環境データなど）に基づく水温変化の傾向分析，東京湾の熱海面フォーシングと沿岸水応答の現地計測，熱収支モデルに基づく東京湾の熱構造解析を行っている。得られた成果は以下の通りである。(a) 首都圏水域の長期水温変化傾向については，東京湾では冬季を中心として水温上昇傾向にあり，東京湾に流入する河川にも冬季に水温上昇の傾向が見られる（図５）。(b) 同じ閉鎖性水域でも伊勢湾，大阪湾では水温変化の傾向が東京湾ほど顕著でない。(c)1966 ～ 1975 年及び 1993 ～ 2003 年のそれぞれ 10 年間の東京湾全体の貯熱量年間変動パターンから，貯熱量は 10 ～３月の期間において近年大きくなっており８× 104TJ 程度増加（湾全体平均で１℃程度上昇）しており、貯熱量の増加とともに高塩分化の傾向があり，東京湾の水温上昇は都市圏からの影響に加え、外海域からの熱供給の増加も主要な原因の一つである。

３．２屋外準実スケール都市モデル実験

旧来の現地観測と室内実験の制約を克服すべく、世界初の試みとして、屋外に大規模なスケールモデル実験施設を構築した。モデルは一辺 1.5m のコンクリート製キューブ（20cm 厚で中は空洞）であり、初期設定として、50m×100m のサイトに 25％の建坪率で規則正しく配置した。キューブの数は約 800 個である。これにより、現実的な放射・大気安定度条件の基で、都市幾何構造と水・熱・運動量フラックスの因果関係をシステマティックに解析し、モデル構築・検証に必要な貴重なデータセットを取得することが可能となる。物理相似則をチェックするために同じ材料と配置で 1/10 のスケールモデルも作成し、同じサイトに併設した。平成 16 年９月に大スケールモデルが､同 12 月に小スケールモデルが完成した（図６）。また、キューブの導入に先立って、ポット植生を用いたオアシス効果の実験を行った。現在までに得られた主要な結果は以下の通りである。（１）２つのスケールモデルのアルベド・抵抗係数の比較から、放射・乱流（中立時）の物理相似則を確認（図７）。（２）２つのスケールモデルの熱収支および表面温度の比較から、熱慣性相似が満足されていないことを確認。これは、想定通りであり、体積熱容量のスケールアップによりモデルで対応可能。（３）ストリートと主風向の交差角度が大きくなるほど抵抗係数が増大する。一方、熱・スカラーの交換係数には風向依存性がほとんど認められない。小スケールモデルの屋上面の実験データから、熱輸送とスカラー輸送のアナロジーがほぼ成立していることを確認。（４）熱収支インバランスと呼ばれる渦相関法によるフッラクスの過小評価を確認。インバランス量は風速の増大に比して減少する。（５）都市模型の純放射に対する熱貯留量は､風速の増大＝乱流輸送の促進と共に減少する。（６）都市模型キャノピー内では周辺より高温だが、境界層上部（建物高さの４倍程度）では逆に周辺より低温となるクロスオーバー現象を再現。（７）超小型高サンプリング超音波風速計の多点同時計測結果から、フッラクス輸送に支配的に関与する大規模な乱流組織構造（ストリーク）の時空間構造を抽出。（８）植栽ポットを用いた実験から、単独樹木の１本当たり蒸散量が、高密度群落中央部の樹木に比べ約 1.6 倍大きくなる事を指摘。

図６　スケールモデルサイト

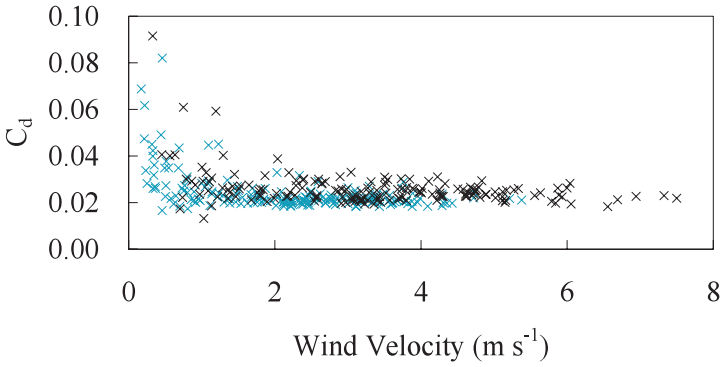

図７　大小２つのスケールモデルのバルク抵抗係数

３．３水・エネルギー循環素過程を考慮した「都市生態圏強制力モデル」の構築

（１）気象モデル導入のための簡易な都市キャノピーモデル（SUMM）の構築と検証

都市圏―大気圏の強制力モデルとして表記の簡易な都市キャノピーモデルの開発を行った。この簡易モデル開発の目的は、現在、GCM はもちろんメソスケールモデルにも陽的には組みこまれていない都市インフラの影響を考慮した低計算負荷の物理モデルを提案することである。現況では、３次元の規則的な建物配列を前提として、多重反射ルーチン、各壁面のバルク係数、室内気温予測モデルとの結合など、従来モデルには実現されなかった困難なソルバーの開発を終えた。現在までに得られた結果は以下の通りである。（１）キャノピー内の多重短波反射を理論的解くアルゴリズムを見いだし、ほとんど計算負荷を掛け

ずに放射分配を計算するソルバーを開発した。その結果はスケールモデルのアルベドと極めて良く一致した。（２）各構成面の乱流輸送係数を与える半経験的手法を、スケールモデルの実験結果と高精度 LES-CITY モデルの計算結果を併用して構築した。その結果を用いて小スケールモデルの各面熱収支・表面温度の結果と比較したところ、極めて良く実験結果を再現した（図８）。

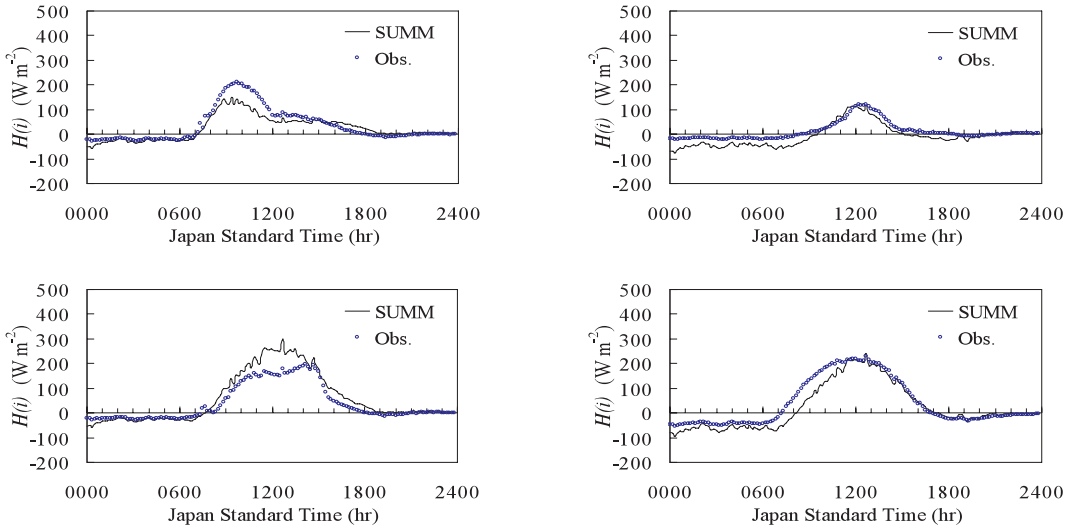

図８　構成面別顕熱輸送量のシミュレーション結果：小スケールモデルと SUMM は良く一致している
左上図__東面、右上図__床面、左下図__南面、右下図__屋根面。

（２）高精度 LES モデル（LES-CITY）の構築と検証（図９）

上述のスケールモデル実験および簡易スケールモデルの補間研究ツールとして複雑な都市幾何形状に容易に適用可能な Large Eddy Simulation（LES-CITY）を開発した。このモデルの目的は、スケールモデルだけでは対応しきれない数多くのパラメータセットを高精度数値計算という安価な代替手段で実現することと、都市域では現状で観測が極めて困難な乱流構造の解析を実際の都市幾何形状のもとで行うことである。LES-CITY は、都市インフラの個体部と大気部を区別せずに同時に解くマスキング手法と、圧力場のスペクトル解法、を併用しており、それにより計算効率を格段に向上させている。現状では、コード開発を終え、既に以下の結果が得られている。（１）スケールモデルだけ結果ではカバーしきれない様々な都市幾何構造のパラメータセットに対して、中立を想定した完全発達乱流の計算を行い、運動量フラックスに支配的な影響を持つ乱流組織構造の時空間構造を明らかにした。（２）パッシブスカラー輸送のオプションを使用し、上記と同様のパラメトリックスタディーを行い、それらの結果を基に簡易キャノピーモデル（SUMM）に必要な構成面バルク輸送係数のデータセットを構築した。（３）一定の熱フラックスを構成壁面別に与えたところ、大気境界層における乱流フラックスに大きな差異が生じ、今後の簡易モデルの改良に示唆を与えた。

（３）多層都市キャノピーモデルの検証とリバイズ

上記２つのモデルの中間型の建築微気象モデルとして開発されたモデルの汎用化を行った。福岡及び東京における調査により、都市構成表面の日射反射率別構成比率を明らかにした。また、都市の粗度体積密度と表面積密度をワイブル分布に当て嵌め最適パラメータを求めた。これにより、街区の平均建蔽率が明らかな場合の建物形状の分布特性をモデル化する事が可能となった。

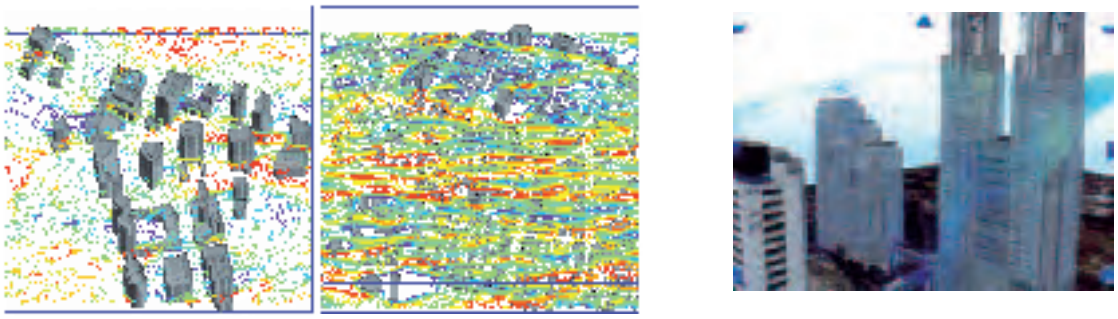

図９　詳細な数値計算手法（LES-CITY）を開発し、都市境界層における乱流構造の解明を行った。カラーコンターは水平風速強度を表す。副都心に間欠的な風道が形成されている様子（左図）。低層住宅上空の境界層中に低速ストリークと呼ばれる筋上の乱流構造が発生している様子（中図）。キャド情報をマッピングした可視化サンプル（右図）。

（４）都市の人工排熱発生量・水使用量の時変動のモデル化

2004 年度までに都市における生活活動の生スケジュールを統計処理されたデータ（NHK 国民生活調査）の構築を行った。まず、はじめに生成データの統計量を取って、これと元データとして与えられている統計データとを比較して、その統計的歪みが実用上は十分許容出来る範囲内であることを確認する。

次に本邦における原単位データとしてその robustness の観点から実績のある所謂「尾島研原単位データ」を取り上げ、提示されている一般機器電力量負荷、給湯負荷の時系列と，当該データ（集合住宅）の基本諸元（実測対象住戸の調査個数や延べ床面積、家族構成、保有機器の統計量）を遡及して特定した使用電力機器および給湯イベントの原単位を、上記の生成データに貼り付けて求まる予測時系列とを比較する。本手法により予測された時系列データは、「尾島研原単位データ」と良好な一致をみた。

これより、本手法は十分な精度を有するものと考えられ、時間分解能の高い都市気候モデルの境界条件として付与する人工排熱及び水使用量の予測モデル構築の足掛かりを得た。

４．全体的考察

都市域におけるフラックスの連続長期観測および屋外スケールモデル実験については、本プロジェクトの成果が世界をリードしていると自負しているが、これと同様のコンセプトをもつ観測プログラムが世界的に動きつつある。例えば、都市域のフラックス観測については「アーバンフラックスネット」と呼ばれるコミュニティーが立ち上がり、現在、世界 13 カ所で CO_2 フラックスなどの観測が開始された。それらの結果によれば、フラックスの時間挙動は多くのサイトで久が原サイトと類似しているが、物理量の分布や物理的解釈を巡ってはいくつかの学説が提案され、今後、議論になっていくものと思われる。屋外スケールモデルについてはイスラエルのグループが乾燥域で同様のプロジェクトを立ち上げているが、技術的レベルは低く競合的にはならないと考える。スケールモデル実験の結果は、我々のプロジェクトで開発している数値モデルだけでなく、広く都市気象モデルに従事している人々に利用可能な唯一のデータベースとなることが期待され、精度管理・継続的なデータ取得と出来るだけ早いデータ公開が今後の課題である。都市圏における水温の長期上昇傾向も本プロジェクトでの指摘した先験的な現象の一つであるが、どうやら、都市からの熱的フォーシングだけでなく、外洋影響が支配的な要因の一つになっていることがわかってきた。水圏の詳細な熱収支解析は後半の課題である。

５．今後の展開

観測・実験・数値モデルという３本柱の推進により、言い意味での積分効果・補完効果が現れ、今後の見通しが広がった。例えば、簡易数値モデル（SUMM）はまずスケールモデルで検証し、その後、体積熱容量をスケールアップして、現実的な久が原のシミュレーションに応用される。すなわち、２重の検証

に曝される。スケールモデルだけで不十分なパラメータセットは高精度 LES-CITY で算定・補完可能であり、SUMM の重要なパラメータであるバルク係数のデータベースの拡充を図れる。今後は、個々の研究項目の推進と同時に、このような研究成果の統合化と相互比較に力を入れたい。

６．主要な成果報告等

（１）査読付き論文発表　（国内 33 件、海外 30 件）

国際誌のみ以下に示す

Hagishima, A. and J. Tanimoto：Field measurements for estimating the convective heat transfer coefficient at building surfaces, Building and Environment, 38, 873–881, 2003.

Kobayashi, A. and N. Inatomi：First radar echo formation of summer thunderclouds in southern Kanto, Japan, J. Atmos. Electricity, 23, 9–19, 2003.

Kanda, M., A. Inagaki, M.O. Letzel, S. Raasch, and T. Watanabe：LES study of the energy imbalance problem with eddy covariance fluxes, Boundary-Layer Meteorology, 110, 381–404, 2004.

Kanda, M., R. Moriwaki, and F. Kasamatsu：Large-eddy simulation of turbulent organized structures within and above explicitly resolved cube arrays, Boundary-Layer Meteorology, 112, 343–368, 2004.

Kinouchi, T.：Analysis of long-term change in thermal forcing to receiving water due to urban water and energy consumption, Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, 22, 71–80, 2004.

Chimklai, P., A. Hagishima, and J. Tanimoto：A computer system to support Albedo Calculation in urban areas, Building and Environment, 39, 1213–1221, 2004.

Tanimoto, J., A. Hagishima, and P. Chimklai：An approach for coupled simulation of building thermal effects and urban climatology, Energy and Buildings, 36, 781–793, 2004.

H. Sugawara, K. Narita and T. Mikami：Representative air temperature of thermally heterogeneous urban areas using the measured pressure gradient, Journal of Applied Meteorology, 43, 1168–1179, 2004.

Moriwaki, R. and M. Kanda：Seasonal and diurnal fluxes of radiation, heat, water vapor and CO_2 over a suburban area. Journal of Applied Meteorology, 43, 1700–1710, 2004.

Kanda, M., T. Kawai, and K. Nakagawa：A simple theoretical radiation scheme for regular building arrays, Boundary-Layer Meteorology, 114, 71–90, 2005.

Kanda, M., R. Moriwaki and Y. Kimoto：Temperature profiles within and above an urban canopy, Boundary-Layer Meteorology, 115, 499–506, 2005.

Kanda, M.：Progress in the scale modeling of urban climate, Theoretical and Applied Climatology (in press)

Moriwaki, R. and M. Kanda：Flux-gradient profiles for momentum and heat over an urban surface, Theoretical and Applied Climatology (in press)

Kanda, M., T. Kawai, M. Kanega, R. Moriwaki, K. Narita and A. Hagishima：Simple energy balance model for regular building arrays, Boundary-Layer Meteorology (in press).

Kanda, M.：Large eddy simulations on the effects of surface geometry of building arrays on turbulent organized structures, Boundary-Layer Meteorology (in press)

Tanimoto, J. and A. Hagishima：State transition probability for the Markov Model dealing with on/off cooling schedule in dwellings, Energy and Buildings, 37, 181–187, 2005.

Hagishima, A. and J. Tanimoto, Investigations of Urban Surface Conditions for Urban Canopy Model, Building and Environment, 40, 1638–1650, 2005.

Hagishima, A., J. Tanimoto, and K. Narita：Intercomparisons of experimental research on convective heat transfer coefficient of urban surfaces, Boundary-Layer Meteorology (in press).

Tanimoto, J., A. Hagishima, and P. Chimklai：An approach for coupled simulation of building thermal effects and urban climatology, Energy and Buildings, 36, 781–793, 2005.

Moriwaki, R., M. Kanda, H. Nitta：Carbon dioxide build-up within a suburban canopy layer in winter night, Atmospheric Environment (Submitted).

Moriwaki, R. and M. Kanda：Local and global similarity in turbulent transfer of heat, water vapor, and CO_2 in the dynamic convective sublayers over a suburban area, Boundary-Layer Meteorology (Submitted).

Inagaki, A., M. O. Letzel, S. Raasch, and M. Kanda：The impact of the surface heterogeneity on the energy imbalance problem using LES, Journal of the Meteorological Society of Japan (Submitted).

Kanda, M., F. Kasamatsu, and R. Moriwaki：Spatial variability of turbulent fluxes and temperature profile in an urban roughness layer, Boundary-Layer Meteorology (Submitted).

Kinouchi, T.：Modeling impact of long-term water and energy consumption trend in Tokyo on wastewater effluent temperature：implication for thermal degradation of urban streams, Hydrological Processes (Submitted).

Kinouchi, T., H. Yagi, and M. Miyamoto：Stream temperature increase due to anthropogenic heat input from urban wastewater, Journal of Hydrology (Submitted).

Hagishima, A., K. Narita, and J. Tanimoto：Field experiment on oasis effect of urban areas using potted plants, Hydrological Processes (Submitted).

Narita, K.：Experimental study of the transfer velocity for urban surfaces with water evaporation method, Boundary-Layer Meteorology (Submitted).

Tanimoto, J., A. Hagishima, and H. Sagara：A methodology for maximum energy requirement considering actual variation of inhabitants' behavior schedule, Building and Environment (Submitted).

Tanimoto, J., A. Hagishima, and H. Sagara：A comparison between estimated and measured time series of energy demand in residential buildings in Japan based on inhabitants' behavior schedule data, Building and Environment (Submitted).

Sugawara, H. and T. Takamura：Longwave flux evaluation from directional radiometric temperature measurement over an urban canopy, Remote Sensing of Environment (submitted).

（2）口頭（含むポスター）発表　国内 46 編、海外 34 編

国際学会招待講演のみ以下に示す

Kanda, M.：Progress in the scale modeling of urban climate, Fifth International Conference on Urban Climate, International Association of Urban Climate, Lodz, Porland, 1–5 September 2003. (Invited Lecture)

Kanda, M.：Outdoor scale models for urban climate, The 16th Regional Conference of Clean Air and Environment in Asian Pacific Area, Tokyo, Japan, 2005.8.2–3. (Invited lecture)

Kinouchi, T.：Current topics on urban hydrological cycle studies in Japan, International Symposium on the Urban Water Cycle in the Cheonggyecheon Watershed, Seoul, Korea, 2004. 3. (Invited presentation)

（3）受賞など

水文・水資源学会　学術賞　2003 年（神田）
水文・水資源学会　論文奨励賞 2004 年（森脇）
AMS 5th Urban Symposium Student Paper Competition（稲垣）
土木学会　水工学論文奨励賞 2004 年（妹尾）