

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成14年度採択研究代表者

神田 学

(東京工業大学大学院理工学研究科 助教授)

「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」

1. 研究実施の概要

アジアには多くのメガシティが存在し、さらなる人口爆発が懸念されています。過密な都市生態圏が大気圏・水域圏に及ぼす影響は、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、新たな環境問題に顕在化しています。しかしながら、これらの現象が、いつ・どこで・何故発生するかという定量的予測には至っていません。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あります。このブレークスルーには、大気・海洋・水文の各要素技術の単なる異種モデルの統合ではなく、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し、都市生態圏から大気圏・水圏へ輸送される水・エネルギーを定量的に解明することが不可欠です。本年度は、(1) タワー・クレーン車・船舶を用いた水・エネルギーフラックスの実態把握、(2) 屋外準実スケール都市モデル実験、(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、を3つの柱として、この問題に取り組みました。

2. 研究実施内容

都市生態圏—大気圏—水圏における水・エネルギー輸送には、様々な物理現象が関与しています。このような「複合性」は環境問題の大きな特徴であり、そのシステムの解明は、一つの手法でなし得るものではありません。本プロジェクトでは、(1) 現地観測、(2) スケールモデル実験、(3) コンピューターシミュレーション、という3つの方法論の特徴を活かしてこの難問の解決を目指しており、本年度はそれぞれ大きな成果が得られました。

(1) タワーを用いた水・エネルギーフラックスの実態把握

実際の大都市圏においては様々な制約から環境物理データの取得が困難です。AMEDASなど地上に近いルーチン観測網は充実していますが、とりわけ現象の解明の鍵を握る上空大気の大気フラックスデータが不足しています。そこで、土木・建築・気象・水文などの専門家集団からなる本グループは、実際の都市域において蓄積してきた観測実績を応用・発展し、久が原住宅街・中層団地・東京湾の3カ所においてタワー・クレーン車・船舶などを駆使

した大規模な水・エネルギーフラックス計測を時空間的に展開しました。世田谷住宅において実施したタワー観測では、世界に先駆けて、水・熱・CO₂の長期フラックスの実態を明らかにし、例えば気象モデルで使用されている境界層理論の一部が成立しないなどの従来の知見を覆す発見がありました。桜堤団地における実測では、ストリートキャニオン内における詳細な流れ・気温の生成過程が明らかにされました。

(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ム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す。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しています。都市模型では、ヒートアイランド・エネルギーインバランス・点在植生のオアシス効果など、実際の都市で観測されている重要な環境現象が再現されると同時に、現地では取得不可能な詳細な水・エネルギー収支データ、乱流データ、スケール相似則データ、などが蓄積されました。

(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しています。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ています。モデルは、計算負荷に応じて、簡易型(SUMM)・標準型(AUSSSM)・高精度型(LES-CITY)お3モデルからなり、それぞれ現地観測・スケール実験と比較し改善を行いました。

3. 研究実施体制

大気グループ

- ① 研究分担グループ長：神田 学（東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻、助教授）
- ② 研究項目：
 - ・ スケール実験による大気圏への水・エネルギーフォーシングの解明
 - ・ 都市生態圏から大気圏へのフォーシングモデルの構築
 - ・ 都市生態圏強制力モデルと気象モデルをリンクしたシミュレーション研究

沿岸海洋グループ

- ① 研究分担グループ長：八木 宏（東京工業大学大学院情報理工学研究科情報環境学専攻、助教授）

② 研究項目：

- ・ 観測による都市が沿岸域に与えるフォーシングの実態解明
- ・ 都市生態圏強制力モデルと海洋モデルをリンクしたシミュレーション研究

水文グループ

① 研究分担グループ長：木内 豪（土木研究所、主任研究員）

② 研究項目：

- ・ 資料解析による都市の成長が沿岸海域の生態系環境に及ぼす影響評価
- ・ 観測・スケール実験における水文量計測とその解析
- ・ 都市生態圏から水圏へのフォーシングモデルの構築

建築微気象グループ

① 研究分担グループ長：成田 健一（日本工業大学建築学科、教授）

② 研究項目：

- ・ 観測による建物スケールの微気候が都市スケールに付与する熱的フォーシング効果の実態解明
- ・ スケール実験による都市キャノピー伝熱、流力機構モデル化及び検証
- ・ メソスケールモデルへのリンクを前提とした都市キャノピーモデルの開発とそれに基づくシミュレーション研究

4. 主な研究成果の発表

(1) 論文発表

- M. Kanda, T. Kawai, and K. Nakagawa : A simple theoretical radiation scheme for regular building arrays, *Boundary-Layer Meteorology*, **114**, 71-90, 2005.
- 森脇 亮, 神田 学, 木本由花 : 住宅街における熱収支とCO₂フラックスの年間積算値, 土木学会水工学論文集, **49**, 361-366, 2005.
- 稲垣 厚至, 神田 学, マルコス・オリバー・レッツェル, ジークフリード・ラッシュュ : 非一様地表面加熱場での点計測乱流量に基づく領域熱収支, 土木学会水工学論文集, **49**, 343-348, 2005.
- 河合 徹, 金賀将彦, 神田 学 : 3次元簡易都市キャノピーモデルの構築と屋外縮小模型都市を用いた実験, 土木学会水工学論文集, **49**, 349-354, 2005.
- 菅原広史, 池東旭, 遠峰菊郎 : ヒートアイランド強度算定のための都市気温分布の検討—ソウル（韓国）の例—, *天気*, **52**, 129-137, 2005.
- M. Kanda, A. Inagaki, M. O. Letzel, S. Raacsh and T. Watanabe: LES study of the energy imbalance problem with eddy covariance fluxes, *Boundary-Layer Meteorology*, **110**, 381-404, 2004.
- M. Kanda, R. Moriwaki and F. Kasamatsu : Large eddy simulation of turbulent

organized structure within and above explicitly resolved cubic arrays, *Boundary-Layer Meteorology*, **112**, 343-368., 2004.

- Moriwaki, R. and Kanda, M. : Seasonal and diurnal fluxes of radiation, heat, water vapor and CO₂ over a suburban area. *Journal of Applied Meteorology*, **43**, 1700-1710, 2004.
- Tsuyoshi.K : 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.
- P. Chimklai, A. Hagishima and J. Tanimoto : A computer system to support Albedo Calculation in urban areas, *Building and Environment*, **39**, 1213-1221, 2004.
- J. Tanimoto, 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, T. Mikami : Representative Air Temperature of Thermally Heterogeneous Urban Areas Using the Measured Pressure Gradient, *Journal of Applied Meteorology*, **43**, 1168-1179, 2004.