

巨大化するアジアの都市におけるヒートアイランド形成に関する CFD 予測

—上海の都市化が及ぼす影響に関する検討—

CFD Prediction of Heat Island Formation on Growing Asian Cities

—Effect of Urbanization in Shanghai—

尾 島 俊 雄*・村 上 周 三**・光 本 和 宏***

Toshio OJIMA, Shuzo MURAKAMI and Kazuhiro MITSUMOTO

1. はじめに

今日大都市として成長した東京首都圏は数々の環境問題に直面している¹⁾。アジアにおいてもジャカルタ、バンコク、上海などが近年、急速な成長を遂げ、大都市へと変貌しつつある²⁾。特に上海は中国で最も急速に成長した工業・商業中心の都市³⁾であり、急速な発展に伴う人口増加、市街地の拡大により、ヒートアイランド、大気汚染などの環境問題を^{4) 5) 6)}引き起こしている。

そこで、本研究では東京と比較することにより、上海の市街地の拡大を予測する。それに基づき、市街地の拡大に伴う土地利用の変化と人工排熱の増加がヒートアイランドの形成に及ぼす影響を CFD に基づく数値解析手法を用いて予測し、巨大化するアジアの都市に対する警鐘を鳴らすものである。

2. 東京、上海の都市化の変遷による比較

図 1, 2 に東京、上海の都市化の変遷を示す。各々 1 km メッシュ毎の土地利用において他の土地利用分類に比べて建物用地の占める割合が最も大きいメッシュを示

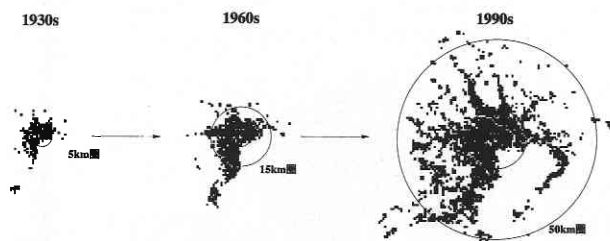


図 1 東京の都市化の変遷

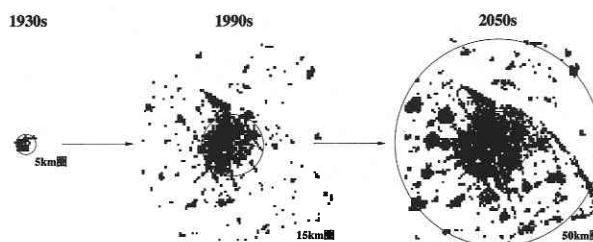


図 2 上海の都市化の変遷

している。

東京の 1930 年代、1960 年代は、地形図⁷⁾からのポイントサンプリング調査データを用い、1990 年代は国土数値情報⁸⁾を用いた。

上海については、1930 年代は地形図⁹⁾からのポイントサンプリング調査データを用い、1990 年代は 1995 年 8 月 12 日の LANDSAT-TM データ¹⁰⁾を土地被覆分類したデータを用い、2050 年代は、1960 年から 1990 年までの東京の人口増加率と 2020 年の上海人口予測データ¹¹⁾を参考に、上海人口が 1990 年代と比較して 2.3 倍に増加すると仮定した。この仮定に基づき郊外の衛星都市周辺、市区周辺のメッシュデータに人口増加分の建物面積を追加することで将来成長分を反映させた。

3. 上海の年代別土地利用分布の比較

1930 年代 (図 3) については、上海市中心約 20 km 四方の地形図⁹⁾よりポイントサンプリング調査を行い、その他の領域は緑地、水域は 1990 年代と同値、残りは水田と仮定したデータを用い、建物、水田、裸地、森林、水域の 5 つに分類した。

1990 年代 (図 4) については、先の衛星データを用い、市街地 1 (高密度市街地)、市街地 2 (低密度市街地)、水田、裸地、森林、水域、芝地の 7 つに分類した。

*東京大学生産技術研究所 第 5 部

**東京大学生産技術研究所 計測技術開発センター

***早稲田大学理工学部

研 究 速 報

2050 年代 (図 5) については、先に仮定したデータを用い、1990 年代同様 7 つの分類に仮定した。

そして、各分類のメッシュ内構成比を土地被覆面積率とし、上海の 4 km メッシュ土地利用分布を設定した。

4. 上海の年代別人工排熱分布の比較

1930 年代 (図 6) については、排熱を考慮しない。

1990 年代 (図 7) については、上海市区における年間電力消費と区総延床³⁾よりエネルギー消費原単位を作成し、市区内については、各延床に原単位を乗じ、各メッシュの建物面積率に応じて分配することにより推定し、最大値は市区中心付近で約 18 W/m²に達した。

2050 年代 (図 8) については、増加した建物面積に同様の原単位を乗じることにより仮定し、最大値は市区中心付近で約 19.3 W/m²に達すると仮定した。図 6, 7, 8 に上海の各年代の人工排熱分布を示す。

図 1, 2 に見られるように東京は 1930 年代から 1990 年代までに 5 km 圏から 50 km 圏まで拡大している。一方、

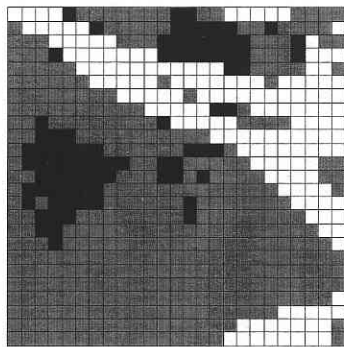
上海は 1990 年代で 15 km 圏強程度であるが、中国全体の経済状況やその中の上海の位置づけを考慮し、これからも都市化の進展が衰えず、人口増加に伴う市街地の拡大が起こると仮定すると、2050 年代には東京と同規模の 50 km 圏まで拡大すると予測される。

5. CFD によるシミュレーションの概要

解析に用いたモデルは、複雑地形にも適用可能な形に拡張した Mellow-Yamada モデル^{2,5), 12), 13)}である。計算には Yamada 等が開発した原 HOTMAC4.5 に筆者らが改良を施したもの¹³⁾を用いた。

水平方向の解析領域は、上海市を中心とした 100 km 四方を設定した。水平方向の格子数は 4 km 間隔の 25 × 25 である。鉛直方向の解析領域は大気 16 層 (上空 5000 m まで) から土壌 5 層 (地中 50 cm まで) までである。標高による影響は無視した。

計算は上海の夏季を対象として行い、初期風速は南から 0.5 m/s¹⁴⁾を与えた。水面の温度は 26.0°C¹⁵⁾に設定した。



Urban1 Urban2 Rice Field Field Forest Water Area Grass

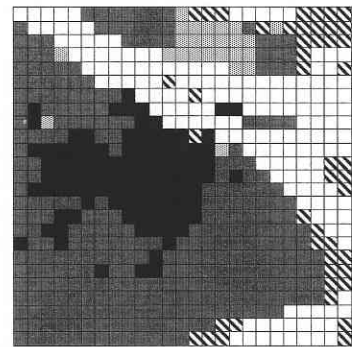
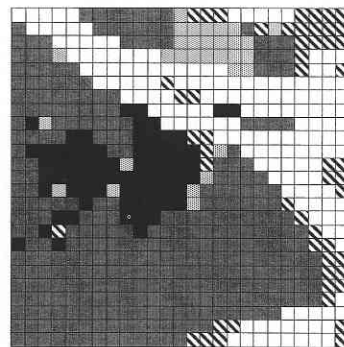


図 3 土地利用分布 (上海 1930 s)

図 4 土地利用分布 (上海 1990 s)

図 5 土地利用分布 (上海 2050 s)

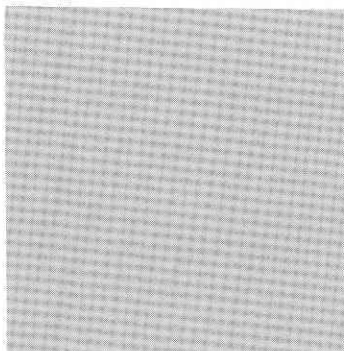


図 6 人工排熱分布 (上海 1930 s)

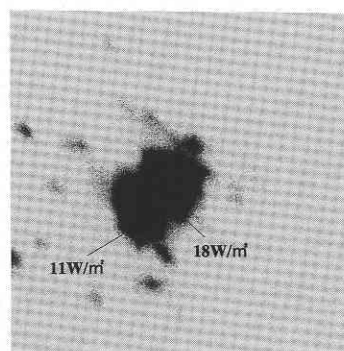


図 7 人工排熱分布 (上海 1990 s)

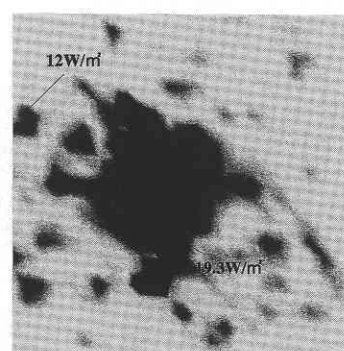


図 8 人工排熱分布 (上海 2050 s)



表 1 土地利用区分と各種パラメーター

土地利用区分	アルベド	土壌湿潤度	粗度
市街地 1	0.1	0	1
市街地 2	0.12	0.1	0.9
水田	0.2	1	0.05
裸地	0.2	0.35	0.01
森林	0.15	0.5	2
水域	0.1	1	0.001
芝地	0.2	0.5	0.02

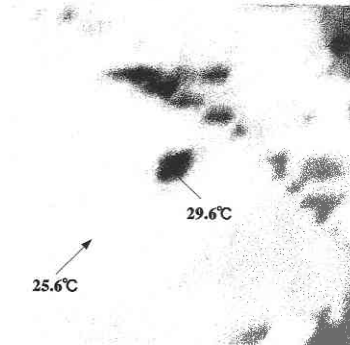


図 9 12:00 高さ 10 m 気温の水平分布 (上海 1930 s)

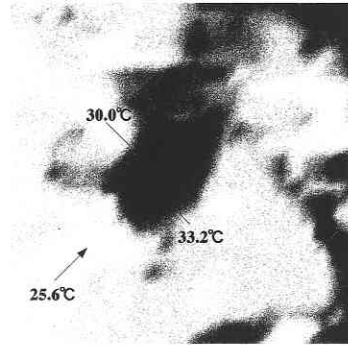


図 10 12:00 高さ 10 m 気温の水平分布 (上海 1990 s)

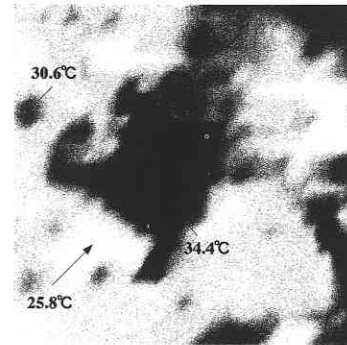
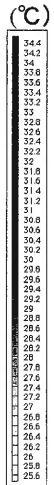


図 11 12:00 高さ 10 m 気温の水平分布 (上海 2050 s)



更に、各々の土地利用区分に従い、アルベド、土壌湿潤度、粗度¹⁶⁾を表 1 のように設定した。

6. 上海におけるヒートアイランド形成の予測

図 9, 10, 11 に 12 時における地表 10 m の気温の水平分布を示す。1930 年代 (図 9) では、最高気温は 29.6°C で郊外部との気温差も 4 °C であったが、1990 年代 (図 10) になると、最高気温も 3.6°C 上昇し、郊外部との気温差も 7.6°C に達している。また都市化の更なる進展を仮定した 2050 年代 (図 11) になると、最高気温は更に 1.2°C 上昇し、郊外部との気温差は 8.6°C にまで達すると予測された。図に見られるように都市域の拡大に伴い、形成される高温域も拡大する傾向にあることが分かった。

7. 結 論

1930 年代から 1990 年代までの土地利用分布と人工排熱に基づき夏季における数値解析を行った結果、上海の都市化に伴い、ヒートアイランドの形成が顕著に確認されるようになり、都心部の最高気温も上昇する傾向にあることが分かった。また都市化が進展すると仮定した 2050 年代にはさらなるヒートアイランドの拡大が予測された。

今回の上海の予測に見られるように、都市が巨大化するにつれアジアの他の都市にも同様の問題が発生することが予測される。東京が経験してきた 20 世紀の教訓からみても、環境悪化が深刻になる前に未然に対策を講じることが求められている。なお、都市気候予測モデルにおける地表面境界や初期条件等の取り扱いに関して、未だ不十分な点があるので、今後更に改善を続ける予定である。

謝 辞

本研究を行うに当たって、山田哲司博士 (Yamada Science & Art Corporation, HOTMAC 開発者)、持田灯助教授 (新潟工科大学)、金相璣氏、吉田伸治氏 (東京大学生産技術研究所大学院生)、杉山寛克氏 (東京電力) に多大なる御助言、御指導を頂いた。リモートセンシングデータ解析に際し、鍵屋浩司氏 (早稲田大学理工学総合研究センター助手) の御協力を得た。記して深く感謝の意を表します。

(1997 年 7 月 15 日受理)

研 究 速 報

参 考 文 献

- 1) 杉山寛克, 持田灯, 村上周三, 尾島俊雄, 沿岸部における都市圏の拡大がヒートアイランドの形成に及ぼす影響に関する解析, 日本建築学会計画系論文報告集, 1997 年第 492 号.
- 2) 尾島俊雄, 1996 年, 巨大化するアジアの都市そのモニタリングとモデリング, 生産研究, 48 卷 10 号, pp24-28.
- 3) 上海統計年間, 1995 年.
- 4) Zhang Chao: Urban Climate and Air Pollution in Shanghai, Energy and Buildings, 15-16, 647-656, 1990/91.
- 5) Zhou Shuzhen and Zheng Jing Chun: The Turbidity Island Effect in Shanghai Urban Climate, Energy and Buildings, 15-16, 657-662, 1990/91.
- 6) Chow Shu Djen, Jing Chun and Wu Lin: Solar Radiation and Surface Temperature in Shanghai City and Their Relation to Urban Heat Island Intensity, Atmospheric Environment, Vol. 28, No.12, pp 2117-2119, 1994.
- 7) 地図に見る東京の変遷, 1992 年, (財) 日本地図センタ
- 8) 建設省国土地理院, 1992 年, 数値地図ユーザーズガイド.
- 9) 上海空中写真側図, 1932 年, 上海派遣軍司令部陸地測量部.
- 10) 衛星データ所有: 米国政府, 衛星データ提供: EOSAT/宇宙開発事業団.
- 11) World Urbanization Prospects The 1994 Revision.
- 12) Mellor, G. L., and Yamada. T., 1982. Rev. Geophys. Space Phys., Vol20, No. 4, 851-875.
- 13) 村上周三, 持田灯, 金相躰, 大岡龍三, 関東地方における土地利用状況の変化と流れ場・温度場の関係 MellorYamada 型の都市気候モデルによる局地気象解析, 日本建築学会論文報告集, 1997 年 2 月, p31-39.
- 14) Jaliu Xu and Yixiu Zhu: Some Characteristics of Ozone Concentrations and Their Relations with Metelological Factors in Shanghai, Atmospheric Environment, Vol. 28, No. 20, pp. 3387-3392, 1994.
- 15) 理科年表, 1995 年.
- 16) 近藤純正: 1994 年, 水環境の気象学, 朝倉書店.