

# 放射連成非定常 CFD モデルによる東京都市圏の体感温度シミュレーション

課題責任者

足永 靖信 国土交通省国土技術政策総合研究所

著者

足永 靖信 国土交通省国土技術政策総合研究所

ヒートアイランドの数値モデルの高度化と都市情報の進展に伴い、スーパーコンピュータによる高解像度の気温、風の数値シミュレーションが実施されるようになった。最近では、都市の気温上昇に加えて、異常気象への人間の適応性に関する計画策定が求められている。また、2020年の東京五輪を迎えるに当たり、夏の暑さ対策に関心が寄せられている。人体周辺の温熱環境の定量的な予測を行うには、多様な要因から構成される複雑な物理モデルを構築しなくてはならない。都市空間における暑さ対策の検討を行う上では、数値流体力学と放射モデルの連成、温熱環境の時刻変化と各種対策効果の関係などが研究上の課題としてあげられる。国総研では、気流モデル、3次元表面温度モデル及び室内気候モデルを連成した非定常解析システムの開発に取り組んでいる。本報告では、地球シミュレータを用いて、東京都市圏における5mメッシュ解像度の体感温度を算出したので、その概要を述べる。

キーワード：体感温度, 非定常CFD, 放射連成, 都市圏, 東京

## 1. はじめに

IPCC 第5次評価報告書では「今後の気温上昇は避けられない。」と明記されており、気候変動の影響への適応計画の立案が国際的に求められている。都市域の熱環境問題に関しては、これまで国・自治体及び都市事業者等により、ヒートアイランド対策（都市の気温を低減する対策）が講じられてきたが、今後は温暖化に伴う異常気象への対応も図る必要がある。

筆者らは、都市の気温に関して広域 CFD 解析により水平5m解像度でペリオンクラスの数値解析を実施してきた（Ashie et al., 2004-2012）[1]。本報告では、夏の暑さ対策に対応できるように広域 CFD 解析の数値モデルを高度化し、東京都市圏の体感温度シミュレーションを実施した結果を述べる。

## 2. 解析システムの概要

体感温度の解析の流れを図1に示す。解析システムは、入力部分、モデル部分、境界条件部分及び出力部分より構成される。モデルは、気流モデル、3次元表面温度モデル及び室内気候モデルから構成され、これらを統合し、かつ時系列の境界条件を付与することで、温熱4要素（気温、湿度、放射、気流）を非定常で算出する仕組みとなっている。

街区の伝熱モデルについて図2に示す。図2(a)は地表面の熱収支であり、短波、長波の相互放射、対流、蒸発、熱伝導を考慮する。図2(b)は空調負荷を示しており、窓を通した日射取得、壁の貫流熱、室内発生熱、換気による熱交換を考慮する。流体モデルについては既報[2]の通りである。

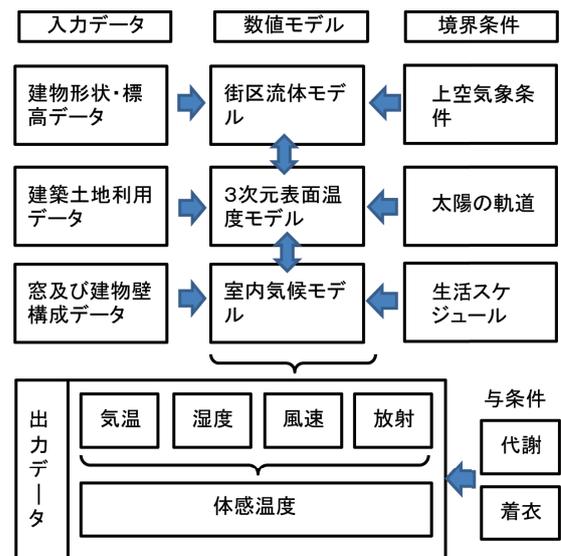


図1 体感温度の解析の流れ。

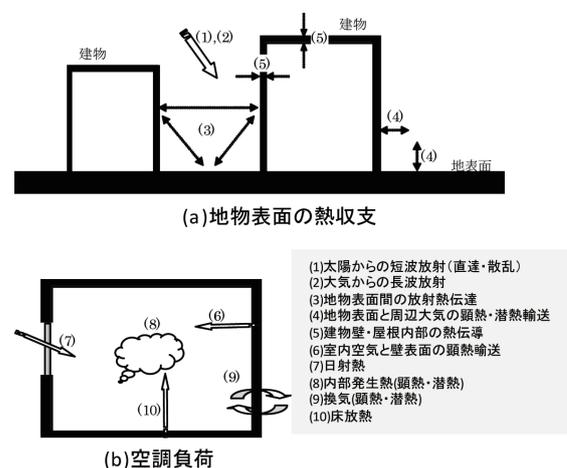


図2 街区の伝熱モデル。

### 3. 東京都市圏の体感温度シミュレーション

解析領域を図3に示す。都市キャノピーモデルを組み込んだメソスケールモデルによる2階層ネスティング解析を図3(a)、図3(b)について実施した。次に、東京10km四方の境界条件をメソスケールモデルの出力で与え、図3(c)の解析領域について、水平5m解像度のCFD解析を実施した。解析日は2007年8月10日である。

14時における地表面近傍の気温、風速、放射、気流より、標準新有効温度 SET \* を算出した。算出に当たっては、人体を地上1.5mに位置する微小球に模擬し、着衣量:0.6(clo)、代謝量:2.0(met)、短波吸収率:0.50、放射率:0.98とした。図4(a)に示す気温分布では、海上及び緑地において気温が低く、街区が高温となっている様子が分かる。図4(b)は体感温度(SET\*)である。概ね気温と同様の分布傾向であることを確認できる。ただし、詳細に見ると、図中(A)では体感温度は気温より低めの値であるのに対し、図中(B)ではその逆の関係が現れている。これは、風速による影響を含むものであり、当該時刻において南東風が卓越しているために、風通しの善し悪しが体感温度を左右している。このように、気温だけで暑さを推し量ることは難しく、厳密には体感評価まで行う必要がある。

### 4. おわりに

放射連成非定常CFDモデルによる東京都市圏の体感温度シミュレーションを行い、体感温度と気温の分布傾向は概ね一致するものの、他の温熱因子により評価値が影響されることが示された。

### 文献

- [1] Ashie et al, Annual Report of the Earth Simulator Center, 2004-2012.
- [2] 都市の気象と気候 (編集: 神田学)、気象研究ノート、第224号。

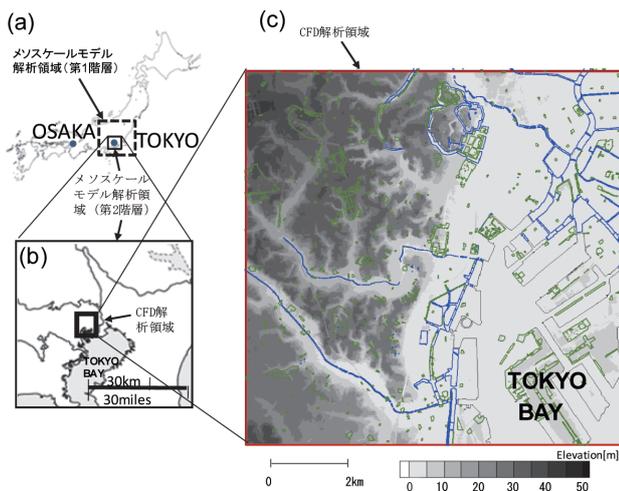


図3 解析領域。

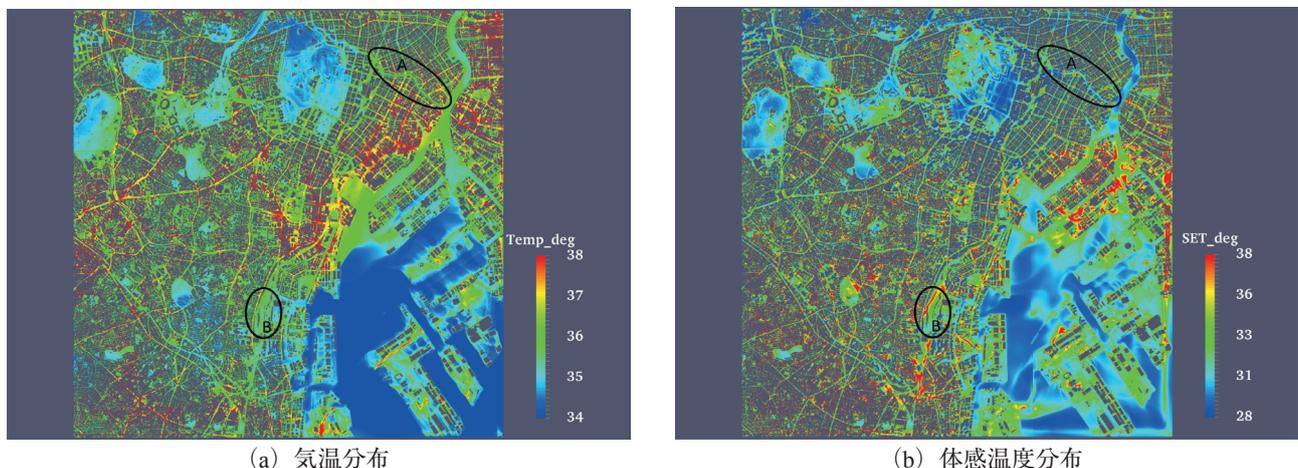


図4 解析結果 (2007年8月10日14時)。

# Urban Scale Simulation for SET\* Distribution with 5 m Grid by Unsteady-state CFD Simulation Coupling with Radiate Heat Transfer Model

Project Representative

Yasunobu Ashie National Institute for Land and Infrastructure Management

Author

Yasunobu Ashie National Institute for Land and Infrastructure Management

Numerical simulation study of urban air temperatures with high-resolution has progressed with the advance of digital information and supercomputer. The applicability of human being against the abnormal weather is getting important as well as a temperature rise in the urban areas. Complicated physical models of air flow and radiate heat transfer were coupled so as to predict the thermal sensation of human being in outdoor spaces. The thermal sensation was simulated by 5 m mesh resolution in the Tokyo metropolitan area using the earth simulator.

**Keywords:** Thermal sensation, unsteady CFD, coupling model with radiation, urban area, Tokyo

## 1. Introduction

High-temperature urban areas, known as urban heat islands (UHI) have been observed in many cities, and the elucidation of the nature of UHI has been recognized as an important problem in urban climate research (Oke 1978). From the human perspective, UHI can produce unexpected effects, such as a sensation of extreme heat when pedestrian spaces are irradiated by the sun. The thermal sensation of humans can be modeled using four thermal factors: air temperature, humidity, wind velocity, and radiation. The level of activity and amount of clothing worn are additional factors (VDI 1998, Fanger 1970). Numerical tools can be applied to predict the effect of the abovementioned four thermal factors and to design appropriate measures for the thermal control of human environments.

We have performed a numerical analysis with billion CFD grids to simulate air temperatures in urban areas (Ashie et al., 2004-2012)[1], (Ashie, 2012)[2]. In this study, CFD analyzed system was highly developed by coupling radiate heat transfer model to evaluate mean radiant temperatures and thermal sensations of human body located in the Tokyo metropolitan area.

## 2. Analyzed system

The system of urban heat island countermeasures is shown in Fig. 1. It comprised an input part, a model part, a boundary part, and an output part. An airflow model, a three-dimensional surface temperature model, and an indoor climate model were integrated to simultaneously solve the four-thermal factors using hourly boundary data.

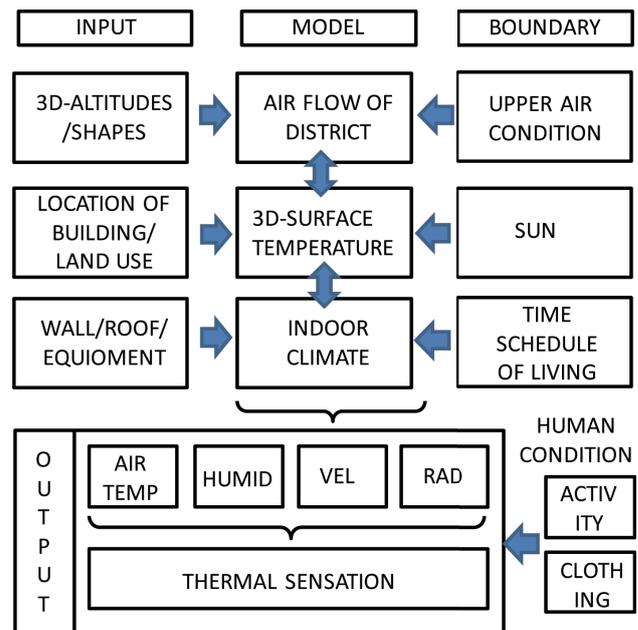
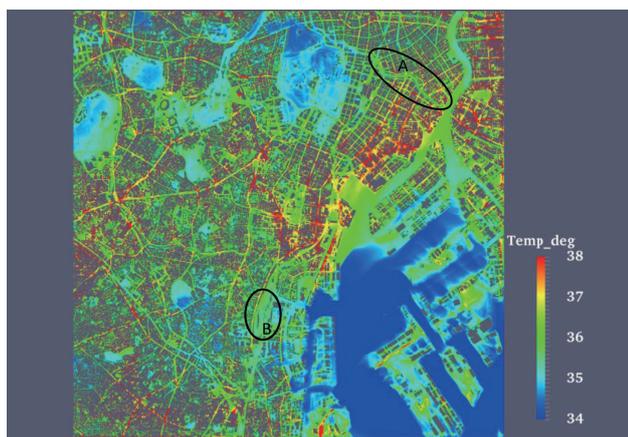


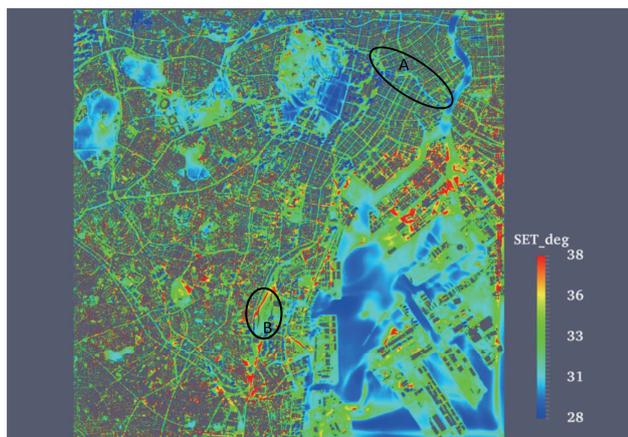
Fig. 1 Overview of the system of urban heat island countermeasures.

## 3. Simulation results

Standard new effective temperature, SET\* was calculated near the ground level using the 24 hours-simulation output of air velocity, radiation and air temperature and humidity. Figure 2 showed the results of air temperature and SET\* at 14:00. It can be confirmed that the distribution of SET\* is similar to that of air temperatures; however, they differ partially, for example (A), (B) in the figures. This implies the thermal sensation is influenced by another factor such as the wind velocity.



(a) Air temperature



(b) SET\*

Fig. 2 Simulated results at 14:00 on 10 Aug. 2007.

#### 4. Conclusion

The distribution of the thermal sensations and the air temperatures of Tokyo metropolitan area by unsteady-state CFD model coupling with radiate transfer model, were identical for the most part, but it was indicated that the evaluation values in SET\* were locally influenced by velocities.

#### References

- [1] Ashie et al, Annual Report of the Earth Simulator Center, 2004-2012.
- [2] The Meteorological Society of Japan, Meteorological Research Note, No. 224, 2012.