

# 暑熱環境改善と自立分散電源確保を両立させる持続可能な都市インフラ整備のシナリオづくり

課題責任者

杉山 徹 海洋研究開発機構地球情報基盤センター

著者

杉山 徹\*1, 全 瀟然\*2, 吉田 聡\*2, 佐土原 聡\*2

\*1 海洋研究開発機構地球情報基盤センター, \*2 横浜国立大学都市イノベーション学府

昨今の夏季の都市街区の暑熱環境は快適とは言い難く、夏季のヒートアイランドによる街区内の高温化や地球温暖化による気候変化により、今後はさらに厳しい環境となることから、環境改善に向けた施策の提案が求められている。そのような中、提案する施策に科学的な定量評価を加え、EBPM (Evidence Based Policy Making, 根拠に基づく政策立案) を実行することが求められている。そこで、本報告では、EBPMに資する情報創生に向け実施した結果を報告する。

キーワード: EBPM, 高解像度 LES, 熱需要, みなとみらい21, 微気象

## 1. はじめに

夏季の都市部における暑熱環境は、現在気候下においても劣悪であるが、温暖化が予測されている将来気候下では、更なる悪化が想定される。そのため、さまざまな緩和・適応策が提案されている。その中で、本研究では人間活動による人工排熱が及ぼす暑熱環境への影響に関して、4つの熱源システム（地域冷暖房方式 (DHC)、個別熱源方式、地域冷暖房とコジェネレーション (CGS) 併用方式 (DHC+CGS)、地域冷暖房海洋排熱方式) を導入した場合の街区における熱環境への影響を、数値シミュレーションから定量的に評価することを目的とした。地区内への発電所 (CGS) の設置は、大規模災害時に地区外部からの系統電源供給が絶たれても経済活動が持続できるメリットがあるため、その導入が検討されているが、排熱が多く暑熱環境を悪化させることが考えられることから、ステークホルダーの理解が必要である。EBPMに資する情報創生の例として、本課題は適切と考え選定した。

また、環境負荷低減のため地域熱供給システムを導入する事例が多くなっている背景として、このようなシステムは高い効率にて熱を生産・供給しヒートアイランド現象緩和効果があるとされている理由がある。ただし、これまでの研究では効率面での考察が多く、屋外熱環境面での影響研究が少ない。よって、実際の街区の気象条件をもとに熱源システムからの排熱量を求め、その人工排熱のもとでの街区暑熱環境シミュレーションを実行し、熱環境への影響を考察する必要がある。

これらの理由から、本課題を行った。

使用した数値シミュレーションモデルは、LES (Large Eddy Simulation) であり、空気塊の圧力・密度変化による鉛直方向の運動も考察されているため、高温化した低密度排熱気体の議論が出来る特徴を有する。対象地域として、横浜市みなとみらい21地区 (MM21) とした。

## 2. 排熱量推定とLES計算の概要

地域冷暖房方式の排熱量の推定には、乾球温度、相対湿度、湿球温度の環境データと、冷熱と温熱需要を熱負荷データとして入力し ENEPRO 21 を用いた。

個別熱源方式は用途別エネルギー消費原単位を用いて以下の条件で熱を製造していると仮定した。

- ・冷水系：ターボ冷凍機が COP 6.0 にて定格運転
- ・温熱系：ボイラーが 88%の効率で定格運転

併用方式では、MM21 の DHC の既存機器をベースに CGS を追加した場合を想定し MM21 にてピーク時の電力需要のおよそ 6 割程度を賄う 23,400kW の発電能力を有する CGS を導入したものとした。CGS の排熱はジェネリンクを通じて冷水に変換され、冷熱需要を賄うものとした。CGS の導入により総合的な環境負荷の低減及び地区内防災性の向上が期待される。

海洋排熱方式では冷却塔から排出される排熱を 100% 海水と交換した場合を想定した。したがって地区内部からの排熱はボイラー系統の排熱のみである。

暑熱環境シミュレーションを行うにあたって、これまで推定した排熱量から以下の手順で顕熱量と潜熱量を推定した。

- ・冷水系排熱
  - 顕熱 = 冷却塔排熱 × 0.2
  - 潜熱 = 冷却塔排熱 × 0.8

- ・ボイラー排熱
  - 顕熱 =  $\sum$  ガス低位発熱量 - 蒸気需要
  - 潜熱 =  $\sum$  ガス高位発熱量 - ガス低位発熱量

使用したLESモデルは、海洋研究開発機構が開発を続けている大気海洋結合 M S S G (Multi-Scale Simulator for the Geo-environment) モデルである。今回は、その大気モデルを用いた。ダウンスケールした最内側計算実行領域は、MM21地区を中心とした約5km四方の領域であり、同地区の主要道路に沿う向きに計算直交格子を緯度経度方向から回転させている。



図1：MM21におけるDHC供給建物（ピンク）と各プラントの位置を示す。①、②が既存DHCプラント位置である。仮想街区におけるCGSプラントを高島中央公園の西側ブロックに配置した（③）。水色建物は、横浜駅前DHC供給建物であり、そのほぼ中央から排熱される。

表1：人工排熱源とケース名の対応

Case DHC	現況の排熱方法 (コントロールケース)
Case IND	個別排熱方法 (総排熱量はCase DHCと同じ。各建物の屋上から排熱する)
Case CGS	現況DHC+コジェネレーション発電方法 (ピーク電力の6割を賄う発電)
Case SEA	海洋排熱方法 (DHC冷却塔排熱量を海洋投棄)

外部境界条件は気象庁MSMデータを使用し、その境界条件の下で、2km、500m、100mの高解像度気象計算と、5m解像度での建物解像微気象計算の4段階のネスト計算を行った。建物解像微気象計算時に用いた土地利用には平成20年度横浜市都市計画GISデータを使用した。また、計算モデルには、3次元放射モデル・樹木モデルを使用し、日陰のみならず、緑陰、樹間を抜ける風を考慮している。図1に計算対象街区の概要図を表示する。

表1に排熱方法と計算ケース名の対応を示す。Case DHCにおいて、DHCプラント位置と供給建物は、図1の①、②の位置である。Case INDにおいては、DHCシステムの稼働を止め、供給建物(図1のピンク色建物)から個別に人工排熱が排熱される状況を想定した。排熱場所は各建物の屋上とした。Case CGSでは、Case DHCの運用に加え、コジェネレーション発電施設を設置した場合を扱う。発電施設の設置場所は現在の高島中央公園西側のブロックとし(図1の③の位置)、既存DHC第2プラントと同じ高さからの排熱とした。Case SEAでは、DHC冷却塔排熱量を海洋投棄した場合を扱い、ボイラー系統の

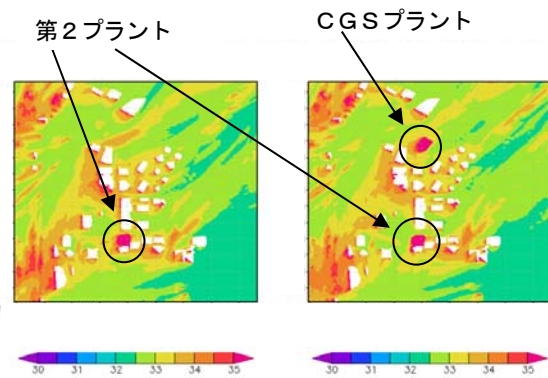


図2：高さ50mにおける12:35~12:45の10分平均気温分布(°C)。Case DHC(左)とCase CGS(右)を示す。この高さは、プラントの排熱塔高さの直上であるため、プラント設置位置では、高温となっている(○で囲った部分)。図1から約33度回転した座標である。

排熱のみが、現DHCプラント位置から放出されるとする。海洋投棄による海水温上昇は、横浜港内のみにも一様に拡散するとしても0.02度程度であるため、海水表面温度への影響は無視した。計算対象日時は、気象計算を2015年8月5日9:00~7日18:00とし、計算負荷の高い建物解像計算は、その気象計算結果を初期・境界条件とし、2015年8月7日12:00~14:00とした。

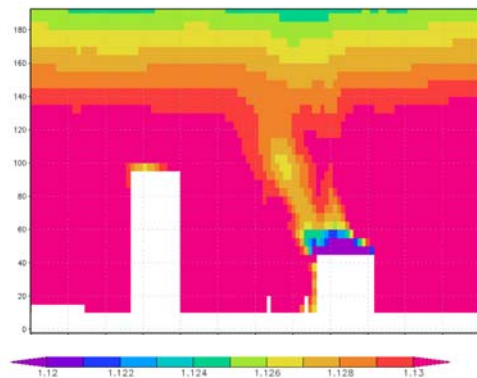


図3：大気密度の鉛直断面分布(CGSプラント中央位置を通る鉛直面)。排出塔屋上で生成された高温低密度の空気塊が上空に移動する様子が確認できる。

### 3. 解析結果

図2に、高さ50mの水平気温分布(Case DHC(左)とCase CGS(右))を示す。排熱塔高さの直上高さのため、各CGSプラント設置位置付近に高温部分が確認できる。図の右下は、海上であるため、気温は低い。気温の等高線縞模様が表示するように、平均風向は北北東(図の右上から左下)である。両Caseを比較して、差はCGSプラント付近のみであり、CGSプラントの風下側であっても、プラントの高温大気が確認されない。その高温化された

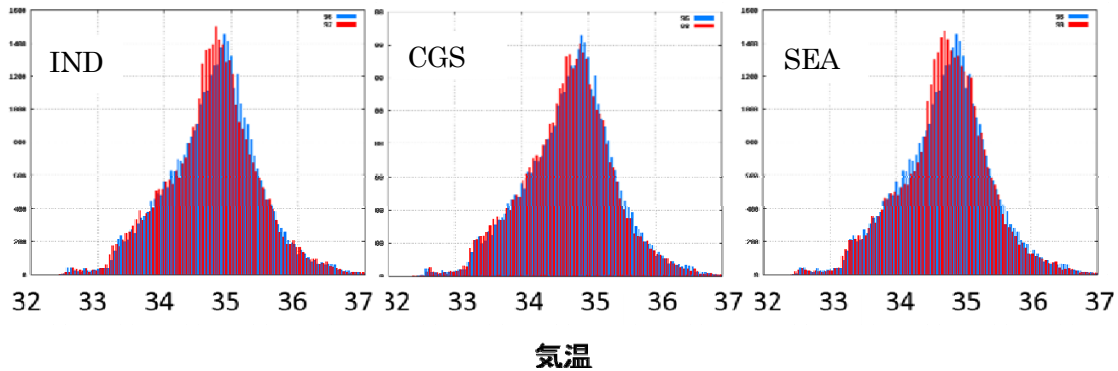


図4：MM21 地区内の地上高さにおける気温出現頻度（12:30～13:00）。コントロールケース（青線）に対し、左から Case IND, CGS, SEA を赤線で示す。特に、Case CGS において赤と青線の分布にほとんど差がない。

空気塊の移動を確認するために、図3にCGSプラントを含む鉛直断面における大気密度を表示する。排出された高温大気は、上空に移動することが確認できる。また、隣のブロックに建つ建物への影響も見られない。

これらの結果から、高温化した大気が地上付近へ流れ込まないことが分かり、地上付近におけるCGSプラントからの影響は小さいと予測できる。これを、地上高さにおける気温の出現頻度分布から確認する。図4に、3つの熱源システムからの排熱量を考慮した暑熱環境シミュレーション実行時の気温の出現頻度を、コントロールケース (Case DHC) の青線ヒストグラムと重ねて表示する。左から Case IND, Case CGS, Case SEA である。真ん中パネルの Case CGS では、コントロールケースとほぼ同じ分布を示しており、地区内に発電所を設置しても地上高さの歩行空間への影響はほぼ無い。一方、残りの2ケースでは、出現頻度のピーク気温が0.2～0.3度、わずかであるが低下していることが確認できる。

#### 4. まとめ

LES計算において、排熱方式の違いによる歩行空間における暑熱環境の変化を求めた。今回は、特定の1日に対しての解析結果であるが、同地区に出現する気象条件下での解析を進め統計的にまとめることにより、EBPMIに資する情報創生が可能となると考える。同時に、なぜ、そのような結果になるか（今回の場合は、発電所を設置しても、高温化した大気が上空に拡散することにより地上への影響は小さい）という情報を加えてステークホルダーに伝えることにより、よりEBPMIに資する情報となると考える。

#### 謝辞

計算を行う際の土地利用データに関しては、横浜市から提供された都市計画基礎調査データを利用しました。本研究は、SI-CAT（気候変動適応技術社会実装プログラム）の技術開発において開発されたツールを使用し、検討された結果を含みます。

## Making of Scenarios for Sustainable City

### Project Representative

Toru Sugiyama Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

### Authors

Toru Sugiyama\*<sup>1</sup>, Xiaoran Tong\*<sup>2</sup>, Satoshi Yoshida\*<sup>2</sup>, Satoru Sadohara\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup>Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, \*<sup>2</sup>Graduate School of Urban Innovation, Yokohama National University

It is hard to say that the heat environment in urban districts in summer is comfortable in recent years, and the heat islands in the summertime will cause a higher temperature in the district and climate change due to global warming. Proposals are required. Under such circumstances, it is required that scientific quantitative evaluation is added to the proposed measures, and that EBPM (Evidence Based Policy Making) is carried out. Therefore, in this report, we report the results of implementing information creation that contributes to EBPM.

Keywords : EBPM, LES, Minato-Mirai 21, Local Climate

### 1. Introduction

The heat environment in urban areas in summer is hard even under the current climate but is expected to worsen in the future climate where warming is predicted. Therefore, various mitigation and adaptation measures have been proposed. In this study, we have investigated the effects of artificial exhausted heat from human activities in district. The cases are DHC (District Heat and Cooling system), exhausted heat from each building, combination of DHC and CGS (Combined Heat & Power), and ocean heat disposal. We have evaluated the thermal environment in the district by numerical simulation. The installation of a power plant (CGS) in the district has the merit of maintaining economic activity even if the power supply from the outside of the district is cut off during a large-scale disaster. On the other hand, the stakeholders are required to understand that the heat environment is likely to deteriorate. As an example of information creation that contributes to EBPM, this issue was considered appropriate and selected.

In this report, the weather condition is the day of from 9:00 on August 5, 2015 to 18:00 on July 7, 2015, and from 12:00 to 14:00 on July 7, 2015 for building resolved simulation.

### 2. Results

Figure 1 shows the horizontal temperature distribution at 50m height (Case DHC (left) and Case CGS (right)). Because of the height just above the exhaust heat tower, high-temperature parts can be observed near the installed locations of each DHC and CGS plants. The lower right of the figure is on the sea area, so the temperature is low. As shown by the temperature contours, the mean wind direction is north-northeast (from upper right to lower left in the figure).

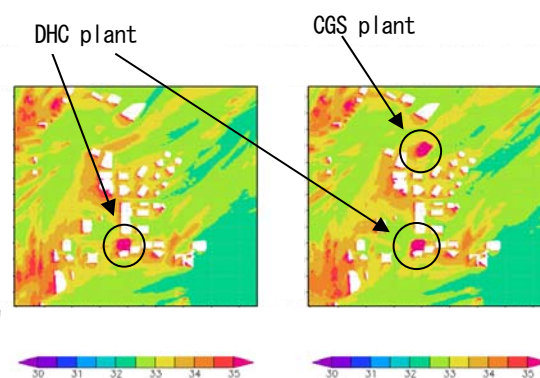


Fig. 1: 10-minute average temperature distribution (degree of Celsius) at a height of 50m from 12:35 to 12:45. Case DHC (left) and Case CGS (right) are shown. Since this height is just above the height of the heat tower of the plants, the temperature is high at the installation positions of the plant (the portion enclosed by circles).

Table 1 : Case definitions

Case DHC	Current DHC system (Control Run)
Case IND	exhausted heat from each building top
Case CGS	DHC plus CGS 60% of Peak Power
Case SEA	ocean exhaust but constant SST

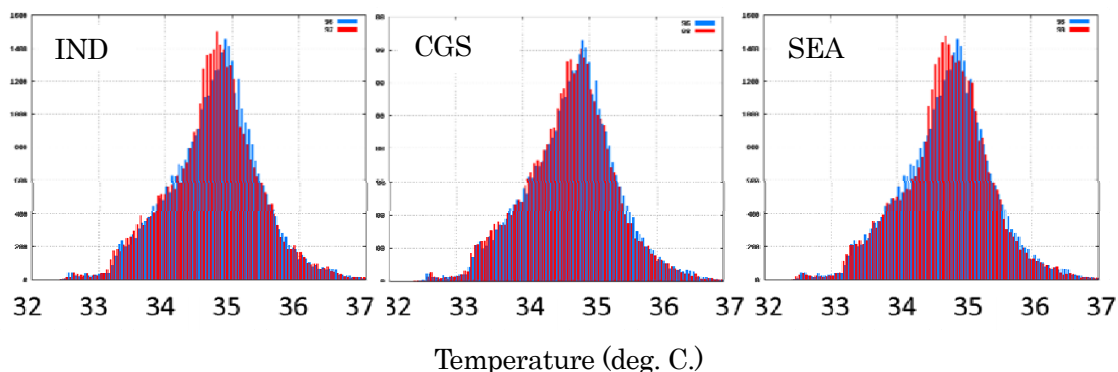


Fig. 2: Histogram for occurrence frequency. From left to right, the Case IND, CGS, and SEA are shown with control run of Case DHC (blue). The data are counted for 30-minutes (12:30-13:00) in MM21 district on the ground height.

Comparing the two cases, the difference is only in the vicinity of the CGS plant, and no hot air is observed even on the downstream side of the CGS plant. Since the heated air runs into the upper area of the towers because of the lower density than that of the outdoors. Therefore, the heated air does not flow down to the ground, and it can be predicted that the effect from the CGS plant near the ground is small. This is confirmed from the occurrence frequency distribution of temperature at ground level. Figure 2 shows the occurrence frequency of air temperature from the three heat source systems, superimposed on the blue histogram of the control case (Case DHC). From the left, plotted are Case IND, Case CGS, and Case SEA. In the middle panel of Case CGS the red histogram shows almost the same distribution as the control case (blue), that is, even if a power plant is installed in the area, there is almost no effect of the ground level on the walking space. On the other hand, in the other two cases, it can be observed that the peak temperature of the frequency is slightly lower with 0.2-0.3 degrees.

### 3. Summary

In the LES calculation, a weak change in the hot environment in the walking space due to the difference in the exhaust heat method has been obtained. In this report, the analysis results are for a specific day. By continuous calculations, we could contribute to EBPM by using the conducting statistical analysis under the meteorological conditions that appear in the same area. At the same time, we can introduce to the stakeholders the reasons why the results are obtained (in this case, even if a power plant is installed, the effect of the heated air spreading over the sky will have little effect on the ground). We think this kind of additional information is also useful for EBPM.

### Acknowledgement

For the land use data for the simulations, we used the basic city planning survey data provided by Yokohama City. This research includes the results of using the tools developed in the technology development of SI-CAT (Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology).