

2020 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：屋外環境

研究期間：2020 年度

課題番号：20203007

研究課題名（和文）：

集約型都市構造モデルの温熱環境予測と費用対効果の検討

研究課題名（英文）：

Prediction of thermal environments in compact city models and investigation of cost effectiveness

研究代表者：飯塚 悟

交付決定額（当該年度）：200,000 円

1. 研究背景と目的

(1) 研究背景

研究代表者の飯塚らはこれまで、愛知県を対象として、自然災害危険度、公共交通充実度、公共施設充実度、生活利便施設充実度などのレベル評価に基づき、県内都市域を人口誘導地域、人口維持地域、人口撤退地域の3つに分類し（レベル評価の組み合わせにより分類の仕方は複数検討）、人口撤退地域から人口誘導地域への人口移動を想定した複数の集約型都市構造（いわゆるコンパクトシティ）モデルを提案してきた（図1参照）。さらに、それぞれの集約型都市構造モデルの導入が将来 2050 年代夏季の都市温熱環境に及ぼす影響について、領域気象モデル Weather Research and Forecasting (WRF) を用いた予測・評価を行ってきた（例えば、Iizuka et al. (2020) Sustainable Cities and Society, 63, 102424）。

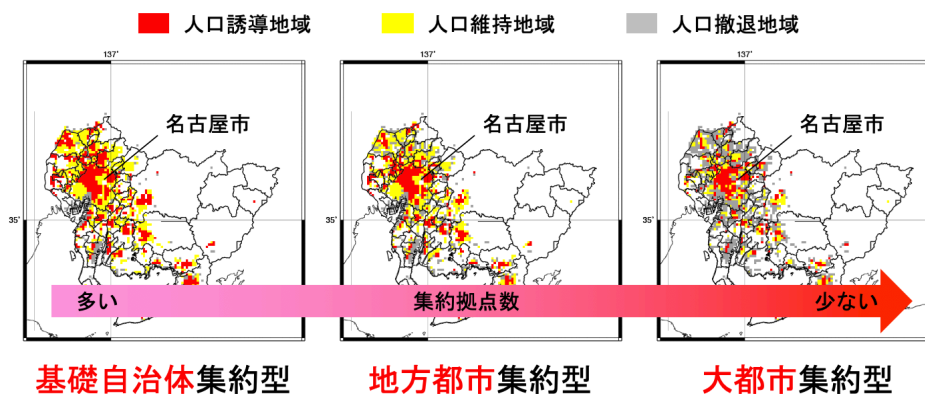


図1 研究代表者ら提案の集約型都市構造モデル (Iizuka et al. (2020))

都市が集約化され、人口や排熱が集中すれば、その都市域の気温は上昇することになり、集約度が高いほど気温上昇幅も大きくなる。この問題に対し、Iizuka et al. (2020) では、提案する集約型都市構造モデルにおいて、人口撤退地域を草地として更地化することにより、集約する都市域（人口誘導地域と人口維持地域）の気温上昇をほぼ相殺できることを示した。しかし、人口撤退地域を完全に更地化することは、費用面からも現実的ではなく、実際には、様々な建物が残存することが想定される。

(2) 研究目的

本研究ではまず、Iizuka et al. (2020) で提案している集約型都市構造モデル（図1）の人口撤退地域に存在する建物を全て解体し、完全に更地化する場合の費用を試算する。しかし、上述したように、人口撤退領域を完全に更地化することは、費用面からも現実的ではない。実際には、どのような場所のどのような建物を優先的に解体するかを考え、それにより、集約する都市域の温熱環境がどのように変化するかを検討する必要がある。

一方、本研究で用いる領域気象モデル WRF のデフォルトでは、都市域は3種類までしか設定できない。都市域を完全に更地化してその土地利用を変えない限り、人口撤退地域も都市域として取り扱われる。つまり、WRF のデフォルトのままでは、人口撤退地域における建物解体の優先順位の十分かつ詳細な検討を行うことはできない。そこで本研究では、10種類の都市域

の状況を模擬できるように WRF を改良する。また、その改良 WRF を用いて、愛知県を対象とした都市温熱環境解析を実施する。

2. 研究方法

集約型都市構造モデル（図 1）における人口誘導地域、人口維持地域、人口撤退地域の建物状況は現状土地利用に基づいている。人口維持地域と人口撤退地域の建物状況は現状と同じであり、人口誘導地域では、人口撤退地域から移動させる人口を収容するため、現状の建物の高層化（+人工排熱量の増加）を想定している。現状の建物は、名古屋市の建物用途別現況調査とゼンリン・住宅地図データベースを参照して、木造建物と非木造建物に分類した。人口撤退地域の更地化の費用は、木造建物および非木造建物の解体費用を想定し、それぞれの建物面積を乗じることで試算した。

3 種類 → 10 種類の都市域の状況が想定可能となる改良 WRF は、研究分担者の玄が作成した。領域気象モデルの場合、都市域の状況は都市キャノピーモデル内の各種パラメータ（以下、都市パラメータ）に適切な値を用いることで表現される。

3. 研究成果

人口撤退地域の更地化の費用試算の一例として、大都市集約型モデル（図 1 参照）の場合の結果を表 1 に示す。この場合、建物解体の総額は 2 兆 5 千億円強と試算され、新型コロナウイルス感染症対策で増額した 2020 年度より前の愛知県の歳出とほぼ同じ額となっている。大都市集約型モデルの場合、都市域が集約化されることにより、集約化前の都市域に比べて最大 0.57°C（8 月 1 ヶ月時刻別平均+都市域平均値）の気温上昇が生じるが、人口撤退地域を草地として更地化すると、最大 0.50°C の気温緩和が図られる結果となっている（Iizuka et al. (2020)）。しかし、そのための費用はあまりにも多額である。

表 1 人口撤退地域の更地化の費用試算（大都市集約型モデルの場合）

| | 建物面積 | 解体費用（1m ² あたり） | 総費用 |
|-------|-----------------------|---------------------------|------------|
| 木造建物 | 46.86 km ² | 12,000 円 | 約 5,623 億円 |
| 非木造建物 | 95.14 km ² | 21,000 円 | 約 2 兆円 |

集約型都市構造を目指し、人口撤退地域の改変を進めるのであれば、どのような場所のどのような建物を優先的に解体するかを考え、それにより、集約する都市域の温熱環境がどのように変化するかを検討することが現実的である。その具体的な検討は次の段階となるが、本研究ではまず、研究分担者の玄が領域気象モデル WRF の改良（3 種類（デフォルト）→ 10 種類の都市域の状況を想定できるモデルへの改良）を行った。

改良 WRF に関しては、愛知県を対象として、過去の猛暑、平年夏、冷夏の温熱環境解析（過去再現解析）を実施し、その有用性の検証を行っているが、ここでは、猛暑時（2010 年 8 月）の観測結果との比較を示す。なお、改良 WRF における 10 種類の都市域は、愛知県内都市域で人口規模に応じた 9 種類（図 2/表 2 参照）、愛知県外都市域で 1 種類とした。表 3 は、愛知県内都市域 9 種類（都市番号 1~9）それぞれで用いた都市パラメータ値である。同表中で、都市番号 0 の都市パラメータ値は都市番号 1~9 の平均値であり、比較のために導入した都市域を多分類化しない場合の解析で使用したものである。

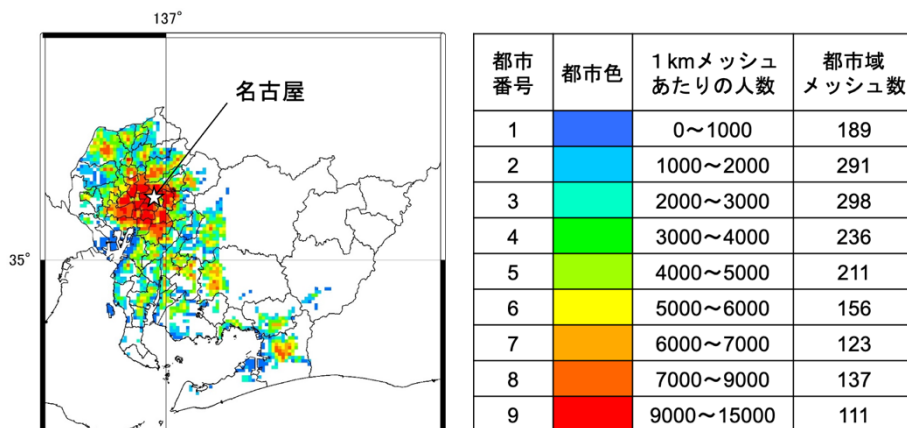


図 2/表 2 改良 WRF における都市域分類

表 3 各都市域（各都市番号）で使用した都市パラメータ

| 都市番号 | 都市色 | 1 kmメッシュ (1km ²) あたりの人数 | メッシュ数 | 都市率 [-] | 平均建物高さ [m] | 日最大人工排熱量 [W/m ²] |
|------|-----------|-------------------------------------|-------|---------|------------|------------------------------|
| 1 | | 0~1000 | 189 | 0.40 | 6.3 | 13.1 |
| 2 | | 1000~2000 | 291 | 0.44 | 6.5 | 13.1 |
| 3 | | 2000~3000 | 298 | 0.51 | 6.7 | 11.1 |
| 4 | | 3000~4000 | 236 | 0.62 | 6.9 | 11.9 |
| 5 | | 4000~5000 | 211 | 0.69 | 7.4 | 14.4 |
| 6 | | 5000~6000 | 156 | 0.77 | 7.3 | 14.2 |
| 7 | | 6000~7000 | 123 | 0.82 | 7.8 | 16.6 |
| 8 | | 7000~9000 | 137 | 0.86 | 8.2 | 18.6 |
| 9 | | 9000~15000 | 111 | 0.90 | 10.2 | 25.8 |
| 0 | 愛知県内都市域平均 | | | 0.62 | 7.5 | 15.0 |

| 都市番号 | 都市色 | 1 kmメッシュ (1km ²) あたりの人数 | メッシュ数 | 平均建物幅 [m] | 平均道路幅 [m] | 平均建物熱伝導率 [W/(m ² ·K)] | 平均建物容積比熱 [J/(m ³ ·K)] |
|------|-----------|-------------------------------------|-------|-----------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | | 0~1000 | 189 | 5.83 | 12.17 | 0.35 | 1.2 × 10 ⁶ |
| 2 | | 1000~2000 | 291 | 5.27 | 12.73 | 0.39 | 1.3 × 10 ⁶ |
| 3 | | 2000~3000 | 298 | 5.14 | 12.86 | 0.43 | 1.3 × 10 ⁶ |
| 4 | | 3000~4000 | 236 | 5.25 | 12.75 | 0.51 | 1.3 × 10 ⁶ |
| 5 | | 4000~5000 | 211 | 5.39 | 12.61 | 0.63 | 1.4 × 10 ⁶ |
| 6 | | 5000~6000 | 156 | 5.36 | 12.64 | 0.61 | 1.4 × 10 ⁶ |
| 7 | | 6000~7000 | 123 | 5.44 | 12.56 | 0.79 | 1.5 × 10 ⁶ |
| 8 | | 7000~9000 | 137 | 5.86 | 12.14 | 1.02 | 1.7 × 10 ⁶ |
| 9 | | 9000~15000 | 111 | 6.44 | 11.56 | 1.28 | 1.8 × 10 ⁶ |
| 0 | 愛知県内都市域平均 | | | 5.50 | 12.50 | 0.70 | 1.5 × 10 ⁶ |

観測結果との比較の一例として、図 3 に名古屋（図 2 の☆印位置：名古屋地方気象台地点）における 2010 年 8 月 1 ヶ月時刻別平均気温の日変化の比較を示す。都市域を 10 種類（愛知県内 9 種類）とした場合の方が都市域を 1 種類とした場合に比べて観測結果との対応が良い。また、日較差（2010 年 8 月 1 ヶ月時刻別平均気温の最大値と最小値の差）に関して、名古屋地方気象台、岡崎観測所、豊橋観測所、伊良湖観測所の観測結果と比較すると、観測、都市域 10 種類（愛知県内 9 種類）、都市域 1 種類の順で、名古屋では 6.42°C、6.32°C、6.99°C、岡崎では 7.16°C、6.63°C、6.55°C、豊橋では 5.30°C、5.43°C、5.27°C、伊良湖では 5.35°C、4.55°C、4.16°C、となっている。豊橋を除き、都市域 10 種類（愛知県内 9 種類）の場合の方が都市域 1 種類の場合よりも観測結果との対応が良い。

図 4 は、各観測地点における都市域 10 種類（愛知県内 9 種類）－都市域 1 種類の 2010 年 8 月 1 ヶ月時刻別平均気温差の日変化を示したものである。名古屋では、夕方から早朝（17 時から 6 時）にかけて同気温差が正、日中（7 時から 16 時）は同気温差が負となっている。一方、岡崎、豊橋、伊良湖では、概して、夕方から早朝にかけて同気温差が負、日中は同気温差が正となっている。都市域 1 種類の場合、都市パラメータ値を愛知県内都市域 9 種類の平均値として与えているため、大都市地点（名古屋）では都市規模を実際よりも過小評価し、中小都市地点では都市規模を実際よりも過大評価することになる。都市規模を過小（過大）評価する場合、建物数・規模や容積比熱が減少（増加）することに伴って当該地域の熱容量も減少（増加）するため、実際よりも冷めやすく温まりやすく（冷めにくく温まりにくく）なる。そのような状

況が反映され、上述した気温差の正負が生じることになる。

以上を踏まえると、観測結果との対応を含め、都市域を多分類化して取り扱う方が都市規模に応じた気温変化をより精度良く再現可能と判断される。現段階で、都市域を多分類化した集約型都市構造モデルも作成済みであり、今後、別の機会において、その集約型都市構造モデルの導入が将来夏季の都市温熱環境に及ぼす影響についての報告を行う予定である。

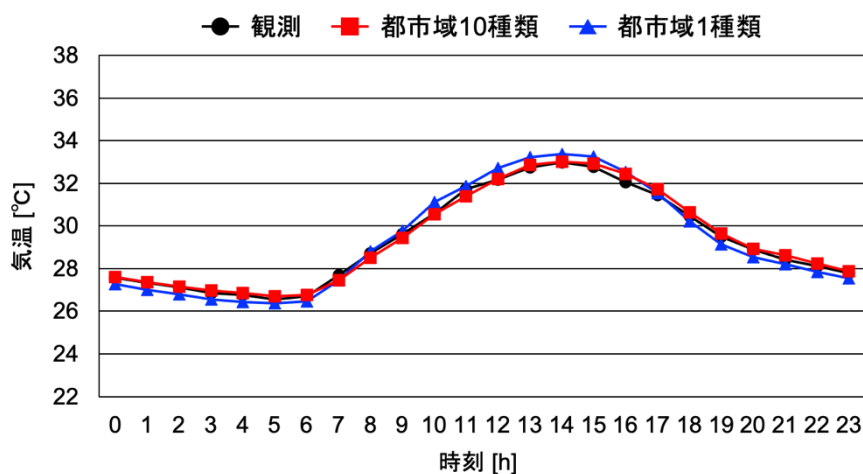


図3 2010年8月（猛暑時）1ヶ月時刻別平均気温の日変化（名古屋）

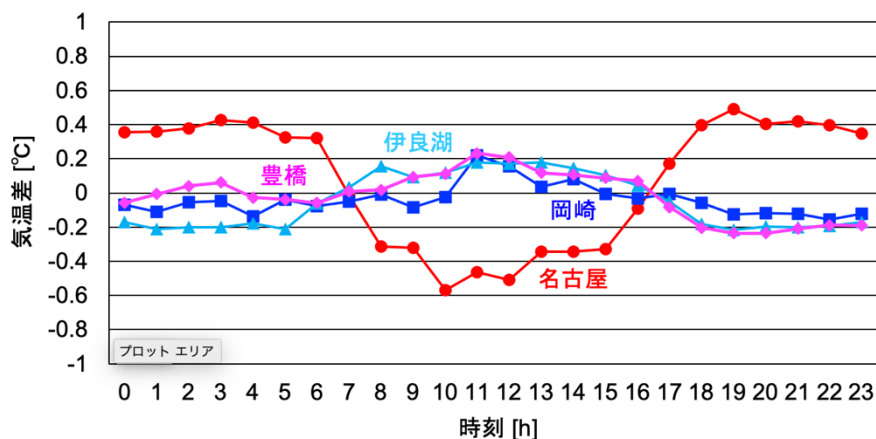


図4 2010年8月（猛暑時）1ヶ月時刻別平均気温差の日変化

4. 主な発表論文等

なし

5. 研究組織

(1) 研究代表者

飯塚 悟（名古屋大学・大学院環境学研究科・教授）

(2) 研究分担者

玄 英麗（東京工芸大学・工学部建築学科・助教）

橋爪 あかり（名古屋大学・大学院環境学研究科・修士2年（研究当時））

6. 要約 (Abstract, 英文)

Research Theme:

Prediction of thermal environments in compact city models and investigation of cost effectiveness

Representative Researcher (Affiliation):

Satoru Iizuka (Nagoya University)

The representative researcher and the colleagues have proposed several compact city models for Aichi prefecture based on the urban classifications "population-induced area," "population-unchanged area," and "withdrawal area." The urban classifications were carried out by the level assessments of natural disaster risks, substantiality of public transportation, substantiality of public service facilities, substantiality of living service facilities, etc. Moreover, the impacts of introducing the proposed compact city models on future summer thermal environment have been projected and assessed by the Weather Research and Forecasting (WRF) model (e.g., Iizuka et al. (2020) *Sustainable Cities and Society*, 63, 102424).

If a city is centralized and the population and anthropogenic heat are concentrated, the air temperature in the urban area will rise. In response to this problem, Iizuka et al. (2020) revealed the temperature increase caused by introducing each compact city model and the temperature decrease caused by replacing the withdrawal area in the corresponding compact city model with grassland approximately offset each other. However, from the viewpoint of cost, it is not realistic to completely replace the withdrawal area with grassland, and, actually, it is expected that various buildings will remain in the area.

In this study, first, the cost of dismantling all the buildings existing in the withdrawal area of compact city models proposed by Iizuka et al. (2020) is estimated. As mentioned above, however, such a treatment is not realistic. Actually, it is necessary to consider what kind of and which building should be dismantled preferentially and how its dismantling changes the urban thermal environment of the compact city models.

On the other hand, in case of the default of the WRF model, only three types of urban areas can be considered. Therefore, the WRF default does not allow a sufficient and detailed investigation of the dismantling priorities in the withdrawal area. In view of this problem, we modify the WRF model so that it can simulate under the situation of ten kinds of urban areas. And also, by using the modified WRF model, the analyses of urban thermal environment for Aichi prefecture are performed.