

# 名古屋都市圏におけるドライアイランド現象の 将来予測と温熱快適性への影響評価

## Future projections of dry island phenomenon in the Nagoya metropolitan area and its impact assessment on thermal comfort

- 松原 加奈, 名古屋大学, 名古屋市千種区不老町, E-mail: kaanaa.mtbr@gmail.com
- 飯塚 悟, 名古屋大学, 名古屋市千種区不老町, E-mail: s.iizuka@nagoya-u.jp
- 玄 英麗, 名古屋大学, 名古屋市千種区不老町, E-mail: xuan@nagoya-u.jp
- Kana Matsubara, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, Japan
- Satoru Iizuka, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, Japan
- Yingli Xuan, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, Japan

In this study, future projections of dry island phenomenon in the Nagoya metropolitan area and its effects on the outdoor thermal comfort were conducted by a regional atmospheric model, WRF (Weather Research and Forecasting). The simulations were performed for three periods (2013, the 2030s, and the 2050s), and the projected dry island phenomena for the target periods were compared. For the future projection of the 2050s, particularly, three urban heat island countermeasures, i.e., (1) a reduction of anthropogenic heat release, (2) an increase in albedo, and (3) an increase in evaporation efficiency, were introduced. The effects of those countermeasures on the dry island phenomenon and outdoor thermal comfort were quantitatively investigated.

### 1. はじめに

都市化の進行は、ヒートアイランド現象の進行と同時に乾燥化をもたらすことが指摘されている<sup>(1),(2)</sup>。このような都市の乾燥化を渡部ら<sup>(3)</sup>に倣い、「ドライアイランド現象」と呼ぶこととする。これまで、都市のヒートアイランド現象に関しては、その対策を含めて様々な検討が行われてきているが、ドライアイランド現象に関する研究事例は少ない。しかし、ドライアイランド現象も気候・気象変化をもたらす大きな要因の1つであり、人体の温熱快適性にも大きく影響すると考えられる。

本研究では、名古屋都市圏におけるドライアイランド現象に着目し、2030年代と2050年代それぞれの夏季を対象とした将来予測シミュレーションを行う(比較のため、現状(2013年)の夏季の解析も併せて実施)。2050年代の将来予測においては特に、幾つかのヒートアイランド緩和策を導入し、それらの導入がドライアイランド現象に及ぼす影響を検討する。また、ヒートアイランド緩和に伴うドライアイランド現象の変化が人体の温熱快適性に及ぼす影響についても評価する。

### 2. シミュレーションの概要

#### 2.1 シミュレーションモデル

完全圧縮・非静力学の領域気象モデル WRF<sup>(3),(5)</sup> (Weather Research and Forecasting) の version 3.0.1.1 を使用した。

#### 2.2 解析領域

Fig. 1 と Table 1 に示す3段階のネスティングを施した領域を解析した。名古屋を中心とする Domain 3 (水平領域 120 km × 120 km、水平格子解像度 1 km) が主となる解析領域である。

#### 2.3 解析ケースと解析期間

解析ケースは Table 2 に示す計 6 ケースである。本研究では、現状 (2013 年: Case 0) と将来 (2030 年代: Case 1、2050 年代: Case 2) それぞれの夏季 (8 月 1 ヶ月) を対象とした解析を行った。2050 年代の将来予測においては、3 種類のヒートアイランド緩和策 (①人工排熱削減、②アルベド (日射反射率) 増加、③蒸発効率増加) を導入したケースの解析も実施した。①~③のヒートアイランド緩和策は全て、Fig. 1 の Domain 3 の「都市」区分域 (灰色部分)

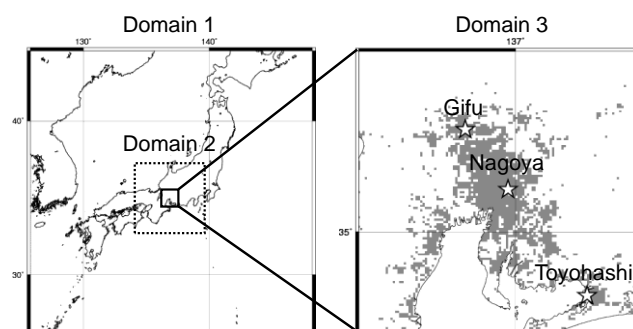


Fig. 1 Computational domains (Gray: Urban area)

Table 1 Computational domains and grid layout

	Domain size	Grid points (Horizontal grid size)
Domain 1	1975 km × 1975 km × 21 km	79 × 79 × 34 (25 km)
Domain 2	500 km × 500 km × 21 km	100 × 100 × 34 (5 km)
Domain 3	120 km × 120 km × 21 km	120 × 120 × 34 (1 km)

Table 2 Computed cases

		Maximum anthropogenic heat release [W/m <sup>2</sup> ]	Albedo [-]	Evaporation efficiency [-]
Case 0	Aug., 2013	50	0.1	0.0
Case 1	Aug., 2030s	50	0.1	0.0
Case 2	Aug., 2050s	50	0.1	0.0
Case 2-1		0	0.1	0.0
Case 2-2		50	0.5	0.0
Case 2-3		50	0.1	0.3

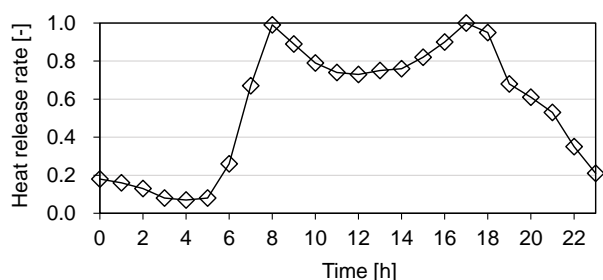


Fig. 2 Diurnal variation of the anthropogenic heat release rate

全体に導入し、Case 2-1 が①の人工排熱削減、Case 2-2 が②のアルベド増加、Case 2-3 が③の蒸発効率増加の条件を用いている。なお、人工排熱量に関しては、Fig. 2 に示す時間変化を考慮した。同図の最大値 1 が Table 2 に示す最大人工排熱量 (Case 2-1 を除き、 $50 \text{ W/m}^2$ ) となるように与えている。

以上の解析ケースにより、名古屋都市圏におけるドライアイランド現象の将来推移とヒートアイランド緩和策がドライアイランド現象に及ぼす影響を検討した。さらに、そのシミュレーション結果を用いて WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) を算出し、人体の温熱快適性に及ぼす影響についても評価した。

#### 2.4 将来予測手法

2030 年代 (Case 1) と 2050 年代 (Case 2 群) の将来予測を行うために、Kimura らの擬似温暖化手法<sup>6)</sup>を導入した。同手法を用いることにより、将来の地球温暖化の影響をバックグラウンドとして考慮することが可能となる。本研究では、IPCC の第 5 次評価報告書<sup>7)</sup>から新しく採用された RCP (代表的濃度経路) シナリオの 1 つである RCP8.5 シナリオ (放射強制力が産業化以前と比べて 21 世紀末に  $8.5 \text{ W/m}^2$  上昇するシナリオ) に基づいて将来の地球温暖化の影響を考慮した。

### 3. シミュレーションの結果

#### 3.1 ドライアイランド現象の将来推移

Fig. 3 は、Case 0 (2013 年)、Case 1 (2030 年代)、Case 2 (2050 年代) それぞれの 8 月 1 ヶ月平均した 14 時における絶対湿度の水平分布 (地上 2 m) を示したものである。どの年代においても、名古屋を中心としたドライアイランド現象の形成が明確に見てとれる。ただし、絶対湿度の値は Case 0、Case 1、Case 2 の順で、す

なわち年代が経過するにつれて、全体的に増加している。これは、年代が経過するにつれて地球温暖化に伴う気温上昇により蒸発散が促進されることや、日中においてより湿った海風が陸地へ吹き込んでくることに起因している。

Fig. 4 は、名古屋における絶対湿度と相対湿度の日変化 (8 月 1 ヶ月時刻別平均値・地上 2 m) に関して、Case 1~Case 3 の結果を比較したものである。絶対湿度 (Fig. 4 (1)) は Case 0、Case 1、Case 2 の順で増加しているのに対し、相対湿度 (Fig. 4 (2)) はケース間で違いがほとんど見られない。相対湿度がほとんど変化しないのは、年代が経過するにつれて地球温暖化による気温上昇が生じているため (気温上昇に伴い飽和水蒸気量が増加するため) である。

#### 3.2 ヒートアイランド緩和策導入に伴うドライアイランド現象の変化

Fig. 5 は、Domain 3 内の 3 地点 (名古屋・岐阜・豊橋 : Fig. 1 参照) において、各種ヒートアイランド緩和策を導入した場合 (Case 2-1~Case 2-3) と導入しない場合 (Case 2) の気温 (Fig. 5 (1)) と絶対湿度 (Fig. 5 (2)) を比較したものである。比較した結果は全て、2050 年代の 8 月 1 ヶ月平均した 14 時の値である。なお、3 地点ともに土地利用は「都市」区分域であるが、岐阜は名古屋に対してより内陸側、豊橋は沿岸部に位置している。

Fig. 5 (1) に示すように、3 地点ともにヒートアイランド緩和策を導入した Case 2-1~Case 2-3 は、緩和策を導入しない Case 2 よりも気温が低下している。一方、Fig. 5 (2) に示す絶対湿度は、蒸発効率を増加させた Case 2-3 においてその値が大きく増加している。また、Case 2-3 では沿岸部 (豊橋) と内陸部 (名古屋・岐阜) の差が小さい。Fig. 6 に Case 2-3 の 14 時における絶対湿度の水平分布 (8 月 1 ヶ月平均値・地上 2 m) を示すが、ヒートアイランド緩和策を導入しない場合 (Case 2 : Fig. 3 (3) 参照) に見られた、名古屋を中心としたドライアイランド現象が解消されている。

#### 3.3 ヒートアイランド緩和策導入に伴う人体温熱快適性の変化

Fig. 7 は、WBGT に関して Fig. 5 と同様の比較 (名古屋・岐阜・豊橋の 3 地点における Case 2 群の WBGT の比較) を行ったものである。Fig. 5 と同様、比較した結果は 2050 年代の 8 月 1 ヶ月平均した 14 時の値である。ヒートアイランド緩和策を導入しない Case 2 の WBGT 値に比べて、人工排熱を削減した Case 2-1 の WBGT 値はほぼ同様、アルベドを増加させた Case 2-2 の WBGT 値は若干の低下、蒸発効率を増加させた Case 2-3 の WBGT 値は上昇、となっている。Case 2-2 の WBGT 値の低下は、Fig. 5 (1) に

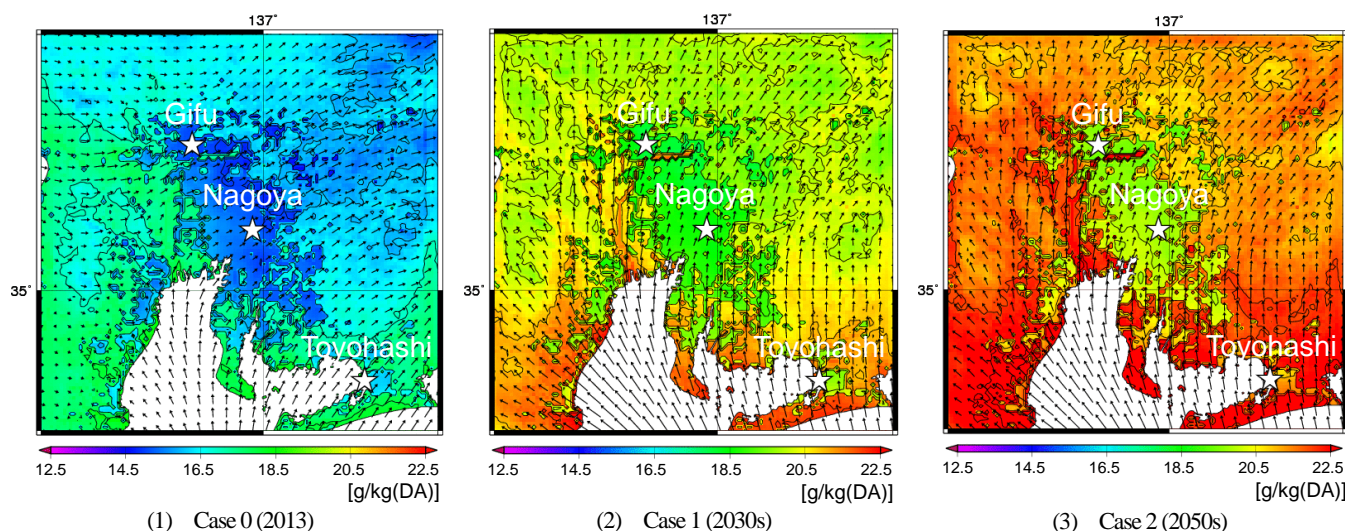


Fig. 3 Horizontal distributions of the monthly-averaged absolute humidity at 14:00 at a height of 2 m

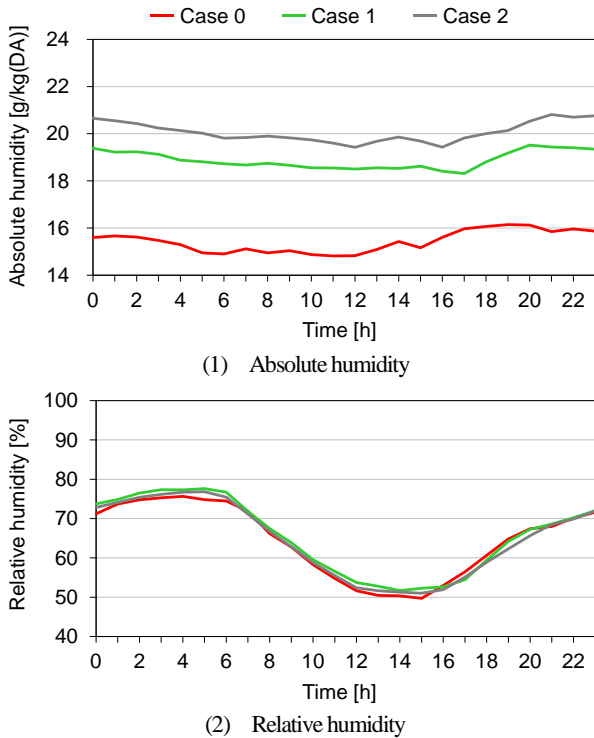


Fig. 4 Diurnal variations of the monthly-averaged absolute humidity and relative humidity at a height of 2 m at Nagoya

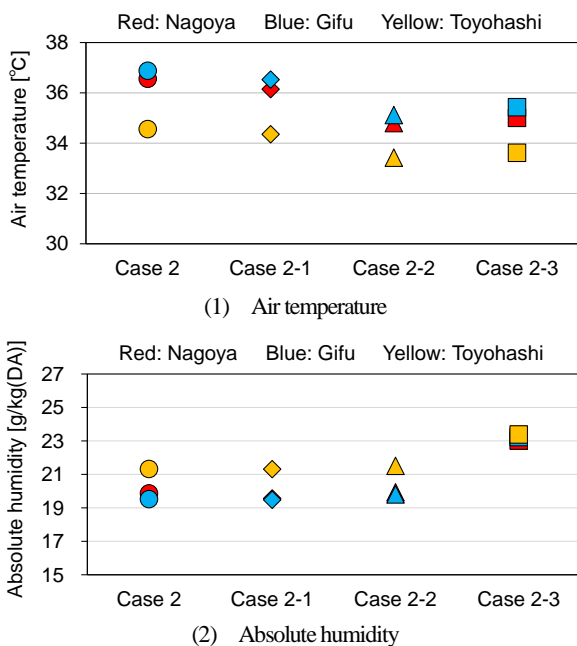


Fig. 5 Comparisons of the monthly-averaged air temperature and absolute humidity at 14:00 at a height of 2 m among the cases in the 2050s

示す気温低下に依るところが大きい。一方、Case 2-3 の WBGT 値が上昇したのは、絶対湿度が上昇し (Fig. 5 (2))、さらに気温が低下しているため (Fig. 5 (1))、相対湿度が上昇し (図省略)、湿球温度が上昇したためである。また、Case 2-3 では他のケースに比べて 3 地点間の WBGT 差がやや大きくなっている (例えば、豊橋と岐阜の間では  $0.8^{\circ}\text{C}$  の WBGT 差)。Case 2-3 の場合、Fig. 5 (2) や Fig. 6 に示すように、3 地点間で絶対湿度の差が小さくなって

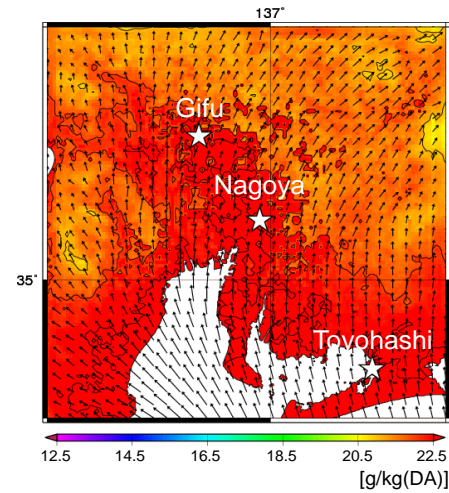


Fig. 6 Horizontal distribution of the monthly-averaged absolute humidity at 14:00 at a height of 2m (Case 2-3)

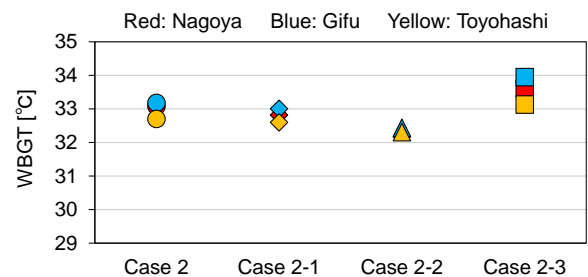


Fig. 7 Comparisons the monthly-averaged WBGT at 14:00 at a height of 2m among the cases in the 2050s

いるため、上記の WBGT 差は気温差 (Fig. 5 (1)参照) が直接影響していることになる。

以上は一例であるが、導入したヒートアイランド緩和策が気温低下には効果的であっても、温熱快適性に対しては有利に働かないこともある。したがって、ヒートアイランド緩和策を検討する際には、気温だけでなく、その他の物理要素の変化やそれに伴う人体の温熱快適性など、多面的な検討が必要であると考えられる。特にこれからの将来、都市の絶対湿度はますます上昇していくことが考えられるため、潜熱処理によるヒートアイランド緩和策を導入する際には十分な検討が必要である。

#### 4. まとめ

本研究では、領域気象モデル WRF により、名古屋都市圏におけるドライアイランド現象の現状解析と将来予測 (2013 年、2030 年代および 2050 年代それぞれの夏季を対象) を行った。2050 年代の将来予測では特に、3 種類のヒートアイランド緩和策を導入し、それらの導入がドライアイランド現象に及ぼす影響や人体の温熱快適性 (WBGT) に及ぼす影響を検討した。本研究の事例を通じて、蒸発効率を増加させるヒートアイランド緩和策は気温低下には効果的であっても、温熱快適性に対しては有利に働かないこともあることを確認した。

#### 参考文献

- (1) 渡部, 藤井, 森脇, "松山平野におけるドライアイランド現象に関する研究," 土木学会論文集 B1(水工学), 68(4), (2012), I\_1765-I\_1770.
- (2) 榎原, "長野県小布施町における市街地と郊外の水蒸気圧差

- の特徴," 天気, 48(3), (2001), pp.151-158.
- (3) Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X. Y., Wang, W., Powers, J. G., "A description of the Advanced Research WRF version 3," NCAR/TN-475+STR, NCAR Technical Note, (2008).
- (4) WRF USERS PAGE, <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>
- (5) 日下, "領域気象モデルWRF について," ながれ, 28(1), (2009), pp.3-12.
- (6) Kimura, F., Kitoh, A., "Downscaling by pseudo global warming method," The Final Report of the ICCAP, Research Institute for Human and Nature (RIHN), Kyoto, Japan, (2007).
- (7) IPCC, "Climate Change 2014: Synthesis Report", IPCC Fifth Assessment Report, (2014).