

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2012

課題番号：22246074

研究課題名（和文） 気候変動下の大規模ヒートアイランドの総合的環境影響評価と適応対策の研究

研究課題名（英文） Study on comprehensive impact assessment and countermeasures for a large-scale urban heat island in the climate changing ages

研究代表者

吉門 洋 (YOSHIKADO HIROSHI)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80358324

研究成果の概要（和文）：東京と近郊首都圏をモデル地域とする大都市圏の都市高温現象（ヒートアイランド、UHI）は、その大規模構造の形成メカニズムと実態の解明が特に必要とされている。気候温暖化の時代にあつて、居住環境やエネルギーの合理的利用の面から今後の推移予測と対策の評価を推進するため、①過去約20年間の夏季気象データの統計解析、②都市内および都市圏外の熱的条件に関わる夏季集中観測、③大規模都市熱環境の数値モデル構築と実測データに照らした最適化試験を行った。

研究成果の概要（英文）：Large-scale urban heat islands, typically observed in the Tokyo metropolitan area, require to investigate their specially large structure and formation mechanisms. Three phases of research have been evolved to develop a prediction technology for future trend and environmental impact assessment of countermeasures to be proposed: 1) statistical analyses of meteorological data from the Tokyo metropolitan area in summers during last 20 years, 2) intensive summertime observations of thermal conditions within the city and over the urban-suburban areas, and 3) development of a numerical model for regional thermal environment.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	17,100,000	5,130,000	22,230,000
2011年度	10,400,000	3,120,000	13,520,000
2012年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
総計	35,400,000	10,620,000	46,020,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築環境・設備

キーワード：ヒートアイランド、地域環境システム、都市大気環境、気候変動、都市熱環境モデル

1. 研究開始当初の背景

都市内が郊外に比べて高温化する都市ヒートアイランド現象 (Urban Heat Island、以下ではUHIと略す) は、元来は冬季夜間に顕著であるが、1990年頃より夏季日中の最高気温の上昇や熱帯夜の増加として強く認識されるようになった。それはエネルギー需要の増大との悪循環を招くため、温暖化対策としてのエネルギー消費低減の観点からも重

要な社会的課題となった。2004年3月には政府が「ヒートアイランド対策大綱」を発表した。そして、建築・建設関係の学界を主な中心としてUHIの緩和についての集中的な研究が行われた。

2. 研究の目的

「大綱」に沿った対策事業の具体化も図られたとはいえ、その手法も適用範囲も局所的

な域を出ず、そこに次のような諸課題が存在した。①東京と近郊を含む首都圏で見られるような大規模UHIについては、単なるUHIにとどまらない形成メカニズムと実態の解明が必要と考えられた。②大規模UHIはもともとその地方に存在する特有の気候条件との相互影響が重要であり、またそこに地域の大気汚染構造も関連することを踏まえた研究が必要であった。③グローバルな温暖化に伴う猛暑日や熱帯夜の増加は確実に予測されており、今後の大規模UHIの挙動の分析と適応策の検討が必要であった。

本研究はこれらの課題への取り組みを目的とした。

3. 研究の方法

気候温暖化の時代にあつて、居住環境やエネルギーの合理的利用の面から今後の推移予測と対策の評価を推進するため、首都圏をモデル地域として、①過去約20年間の気象データの統計解析による都市高温と地域気候・地域汚染の推移状況の解明、②都市内および都市圏外の熱的条件に関わる夏季集中観測、③大規模都市熱環境および地域大気汚染の数値モデル構築、を分担して実施した。

統計解析と集中観測から得られるデータに照らして数値モデルの最適化試験を行い、今後のUHIの予測やUHI低減対策の評価に向けたツールとして提供することを目標とした。

4. 研究成果

(1) 既存データの収集・解析

①広域視点から見た都市高温の要因

関東では昔から熊谷などの内陸域の夏季の暑さが知られていたが、近年になって東京のヒートアイランドに伴う猛暑が注目を集めることとなった。夏季日中の気温は、東京都区内では東京湾岸よりも内陸郊外に接した区域において高くなる傾向があり、練馬のアメダス測定局のデータがそれを代表してきた。東京都区内と北西郊外、内陸域にわたる夏季の猛暑の状況を図1に示す。

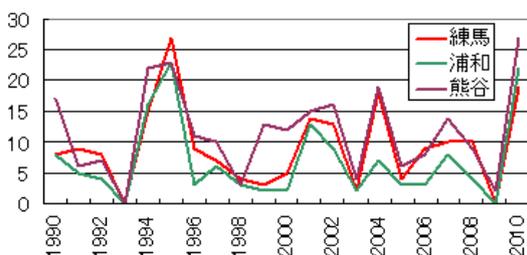


図1 近年の7・8月中の各地の猛暑日数(アメダスデータ)。

猛暑は、気象庁の定義に従って35℃以上の気温を意味し、猛暑日は日最高気温が35℃

以上になった日である。ただし、使用したアメダスデータは毎時値であるため、1時間継続しない猛暑はカウントされない場合が多い。図1から、数年ごとに猛暑日の多い年があり、全般に熊谷で最も多いが、練馬もほぼ匹敵することがわかる。

練馬の猛暑は一概にUHIとは言えず、もっと広域的な高温の場合も含まれ得る。関東の夏季日中の典型気候は海風で、猛暑も海風の中で起きることが多いので、その状況に限定して解析した。対象期間は図1と同じ1990～2010年の7・8月である。

海風の気温は、主に陸上に進入して上昇すると考えられ、進入する前の海上では昼間の昇温はそれほど大きくはないと見なせるが、海上の気温も日ごとに異なるであろうし、気候温暖化の状況下では年ごとの海上気温の傾向もかなり大きく変化する可能性がある。海上の気温の高低の指標として、房総半島先端に近い館山を選び、典型的な海風日における館山と練馬の日最高気温 T_{max} の相関図を作った。海風日とはいえ09～15時の平均日照SSは必ずしも大きくない日も含まれ、その場合は練馬も低温傾向となる結果、全体の分散が大きくなる。そこでSSが0.85以上の好天日に限ったが(図2)、それでも同等の T_{max} (館山) に対して T_{max} (練馬) には8℃ほどの幅がある。

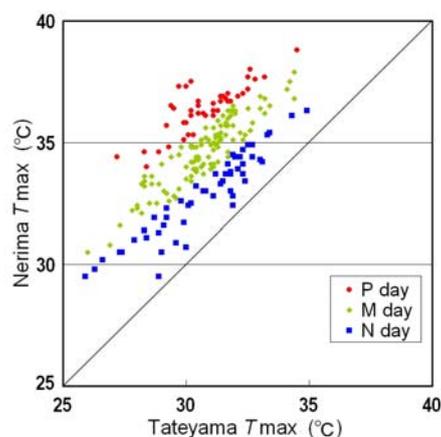


図2 館山-練馬の日最高気温 T_{max} の相関。凡例の区分については本文参照。

図2の全データの回帰直線(図中非表示)：

$$T_{max}(\text{練馬}) = 0.8 T_{max}(\text{館山}) + 10$$

からの偏差が1℃以上の日をPositive bias (P-day)、Negative bias (N-day)に分け、中間の偏差が小さい日をM-dayとして、集団間で関東南部の局地気象にどのような差異があるかを調べた。その結果、P-dayには東京湾外や房総側で昼夜を問わず南西風が顕著であるが、東京湾より西の内陸ではN-dayとの差異は顕著でなかった。P-dayの練馬の高温は、海風が東京湾からではなく、相模湾

から陸上を長距離にわたって経由する結果であると言える。P-day と N-day の差異は気圧配置の変動によって起き、また 2000 年以降は N-day の出現頻度が低下していることがわかった。このようにして都市の熱環境が気候変動の影響を受けるので、今後の推移に注目する必要があるし、将来予測にも考慮が必要である。

②近年の光化学大気汚染に関わる気候変化

上記の都市高温に関わる気候変化が関東における近年の光化学大気汚染状況にも影響を与えていることを、東京都と埼玉県の常時監視局データの解析により明らかにした。詳細は今後発表する予定であり、ここでは誌面の制約からも省略する。

(2) 現況の詳細観測

①広域熱環境の継続観測

埼玉県の気温上昇率は極めて高く、熊谷気象台の気温上昇率は関東地方では東京に次いで高い。このような急激な気温上昇には地球規模の温暖化による影響だけではなく、首都圏の UHI の影響も大きいと考えられる。気候温暖化や UHI の実態を詳細に把握するためには、空間密度の高い気温観測が必要である。そこで、現在の埼玉県内の気温状況を広域かつ詳細に把握し、今後の気温緩和対策等を検討するための基礎的データを得るために、県内の小学校約 50 校の百葉箱を利用し、気温の連続測定を実施した。

夏季に激しい猛暑となった 2010 年度における気温計測結果を示す。年度を通しての全観測地点の日平均気温、日最高気温、日最低気温の平均値の推移を図 3 に、月平均気温が最も高かった 8 月の各調査地点別日平均気温の月平均値（クリギング法で補間）分布図を図 4 に示した。県東部平野部の気温が高く、特に東南部に高温域が形成されていた。また、北部中央の熊谷市周辺にも比較的気温の高い地域が認められた。さらに、県東南部の高温域と、県西部秩父地域の低温域では、夏季・冬季の時期に係わらず、月平均気温で 3.5℃～4℃程度の差が認められた。



図 3 2010 年度における埼玉県内の全観測地点の日平均気温、日最高気温、日最低気温の平均値の推移（5 日移動平均）。

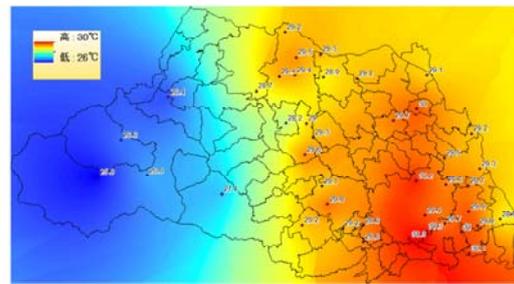


図 4 埼玉県における 2010 年 8 月の平均気温分布。

この事より、埼玉県内においては地域による気温差は季節によってほとんど変わらないことが明らかとなった。

埼玉県では 2006 年度から県ヒートアイランド現象対策事業の一環で気温調査を実施していた。それらを合わせた約 5 年間（2006 年 5 月～2011 年 3 月）の気温データを集約して、県内の気温特性を検討した。図 5 に、調査地点別日較差の平均値を基に、クリギング法により作成した気温の日較差の分布図を示す。県西部秩父地域では日較差は大きく、県東南部地域では小さい傾向が認められた。日較差は内陸、そして盆地で大きくなることが知られており、県西部秩父地域は内陸であるとともに盆地地形も多いことから、日較差が大きいのではないかと考えられる。一方、埼玉県東南部地域は、海風の流入や都市化の進行による夜温の上昇により日較差が減少しているのではないかと考えられた。気温の日較差は一般に UHI の進行により減少するとされており、今後の変化を注視しなければならない。

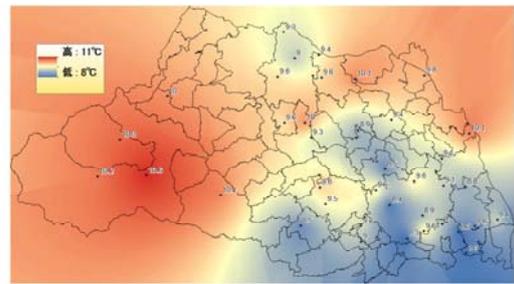


図 5 埼玉県における 2006 年 5 月～2011 年 3 月の気温日較差の平均値の分布。

②広域熱環境の集中観測（上層気象）

地上観測では局所的な土地利用・地表面条件や地上構造物の影響を受けた諸気象要素や層内の大気と地上の熱収支量が得られる一方、広域的な水平方向の熱輸送では厚さ 1 km にも及ぶ局地風が大きな役割を果たす。その現況を詳細に把握するために、地上から高さ 1 km を超える上層までの大気構造の観測が必要になる。しかし、上層気象観測を定期的実施することは経費の面で困難であり、本研究では 2011 年と 2012 年の夏季にそれぞれ

れ4日間の集中観測を行った。

2011年8月9～12日の第1回観測では、毎日概ね09時から17時まで、東京都区部の北北西方、約15 kmに位置する埼玉大学の構内からゾンデを放流し、地上2 kmまでの気温、湿度、風速等の鉛直分布を測定した。また、同構内で測風気球による上層風観測も行った。最寄のアメダス(さいたま)によると連日、最高気温35℃以上の猛暑日となった。風は全般に強く吹くことはなかった。なお、9日と10日は埼玉南部で光化学スモッグ注意報レベルとなった。首都圏のUHIを取り巻く気流、熱輸送と併せ、大気汚染構造の解析に有用なデータが得られたと言える。解析は、次に述べる第2回観測の結果とともに引き続き進行している。

2012年7月24日～27日の第2回観測は、海風の進行方向の二次元的な構造をより詳細に把握するため、図6に示す4地点で行った。東京大学と戸田公園でゾンデ観測を、北区役所と埼玉大学で測風気球による上層風観測を、前年と同様の昼間の時間帯に実施した。期間中は連日、最高気温30℃以上の真夏日となり、特に26日～27日は35度以上の猛暑日となった。25日の夜から27日にかけては熱帯夜となった。また、25日12～16時ころ埼玉県南東部を中心に光化学オキシダントが注意報発令レベルとなったのをはじめ、26日には12時ころ千葉県から東京都の湾岸一帯を中心に発生して17時には埼玉南部に移動し、27日には12時以降に千葉・東京・埼玉の広い範囲で発生して16時には埼玉県中部・東部から茨城県西部を広くおおうなど、この夏には注意報が多くはなかった中で、3日続きの高濃度汚染となった。

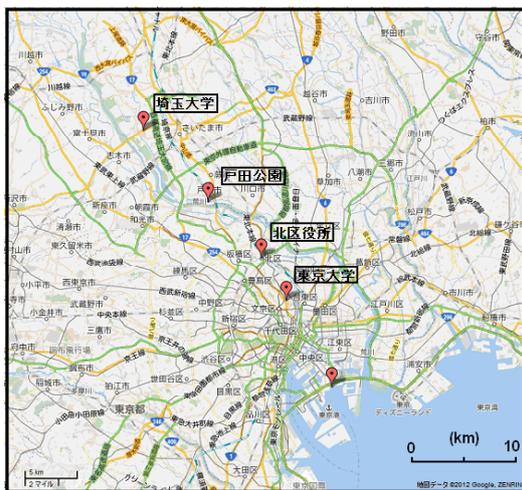


図6 2012年夏季観測の実施地点

③ミクロ気象要素の観測

上記の第2回集中観測の期間を含む2012年7月23日から同月27日までの5日間、東京大学本郷キャンパスの学舎屋上において

超音波風速計・温湿度計・長短波放射収支計を用いたミクロ気象要素の継続観測を行った。本郷は東京湾岸から約10kmの地点にある台地地形の土地であり、公園や教育機関、医療機関の多い地区である。また閑静な住宅街が数多く残されている。

同種の観測は埼玉大学の学舎屋上においても継続的に行っていた。上層気象観測の結果と併せ引き続き解析を進める。

(3) 大規模都市熱環境および大気質の数値モデル構築

①気象モデル

1970年代から1990年代の都市化の進展がUHIの気象影響にどのように反映するかを検討すべく、メソスケール気象モデルを用いた数値解析を行った。観測値の統計データを用いた比較では全球規模の温暖化の影響とUHIの影響を分離して検討する事が困難であるが、一方シミュレーションにより解析を行うことは、解析の条件を同一とする事により温暖化の影響を排し、UHIの原因とされる都市化の影響のみを切り出して検討可能である。

本研究においては米国のペンシルベニア州立大学とNCARにより開発されたメソスケールモデルMM5を用いた。土地利用データは、MM5の標準データに代えて、国土数値情報の土地利用データを取り込み、そして各解析メッシュ内の各土地利用分類の割合に応じて地表面のパラメータを設定する様にプログラムに改良を施した。本研究では昭和51(1976)年、昭和62(1987)年、平成9(1997)年のデータセットを用いて地表面パラメータを作成した。それぞれによる数値解析をCase 76、Case 87、Case 97とする。

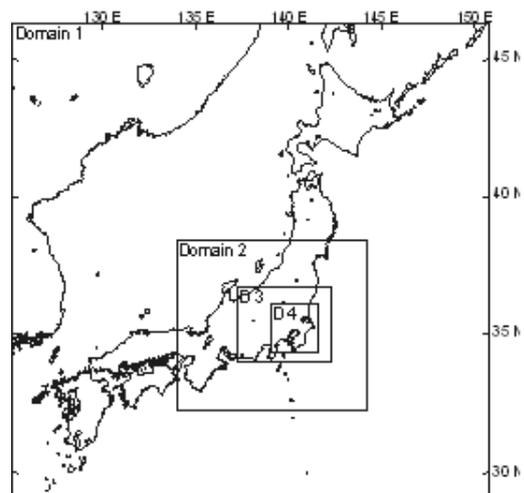


図7 解析領域 Domain 1～4。

領域は図7に示すように設定し、Domain 1・2・3を2-way ネスティングで解析し、その結果を境界条件として評価領域であるDomain 4を1-way ネスティングで解析した。

解析は、詳細実測データの存在した期間に合わせ、1986年7月30日より解析を始め、Domain 4は粗領域の結果を境界条件として7月31日の24時間の解析を行い、評価した。

Case 87の結果を1986年の実測結果と比較すると、さいたま（浦和）観測点で海風の到達と判断できる風速の急激な増加が共に14時に認められ、海風系の内陸進入過程は良好に再現できたと判断された。再現された1986年7月31日14時の気温・風速ベクトルの水平分布を図8に示す。

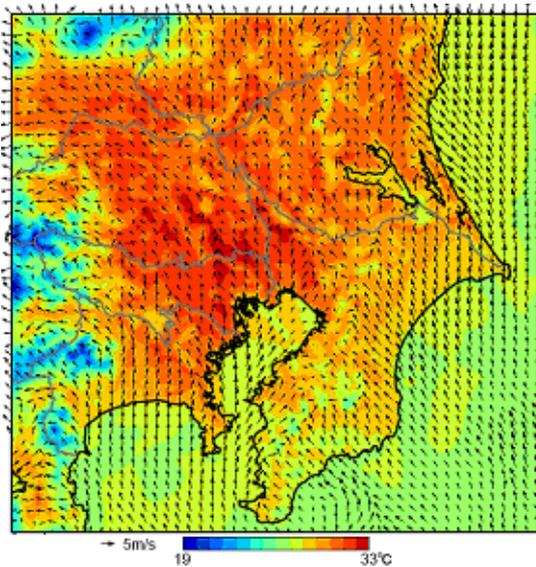


図8 地上気温・風速ベクトル水平分布の数値解析結果。1986年7月31日14:00 (JST)。

次に、都市化の進展を反映したUHIの影響シミュレーションの結果について述べる。まず図9にさいたま観測点を含むメッシュでの気温（地上2m）の日変化を示す。各値は毎正時前10分の平均値である。Case 76に対してCase 97は日最高気温で約0.3°Cの上昇となった。都心部ではこの間の都市化の程度は既に飽和状態に近かったとはいえ、僅かながらそれが進行した風上側からの影響と、郊外で都市化が顕著に進んだことによる直接的な影響、の双方に起因する昇温と考えられる。

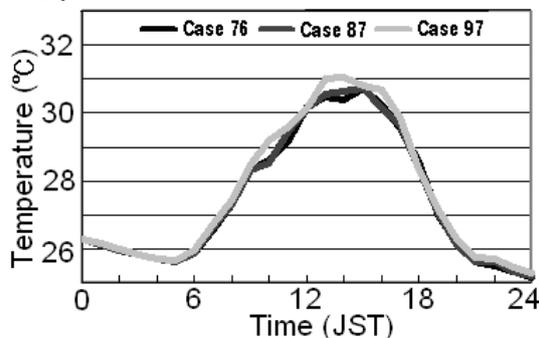


図9 地上気温日変化の比較（さいたま）。

このような変化を反映する海風強度の変

化が図10である。Case 76とCase 87では14時（図中の縦の点線）に風速がピークを示し海風の進入を示すが、Case 97になると14時20分頃（図中の一点鎖線）に遅れ、首都圏の都市化の進行が海風の到達時間に及ぼす影響の程度が示された。

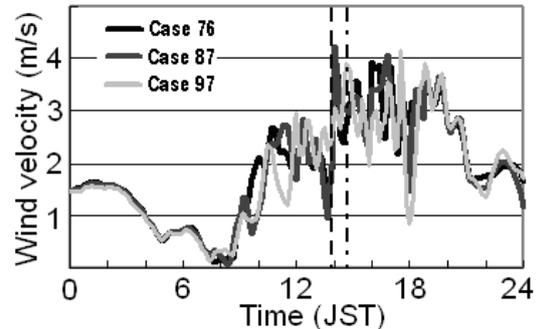


図10 地上風速日変化の比較（さいたま）。

②大気質モデル

UHIとその進展がメソスケールの気象に影響を及ぼすことにより、特に夏季の日中に発生しやすい光化学大気汚染を中心に、大気質の濃度変動や輸送形態も無視できない影響を受ける可能性がある。本研究でもそれを念頭に、大気質モデルの試験的運用を進めた。ここに示すのは、解析モデルとして気象部分に前述のMM5、大気質にCommunity Multi-scale Air Quality (CMAQ) モデルを用いた結果である。

ここでは同じ気象条件に対して土地利用データのCase 87とCase 97についての比較を行った。対象期間として、オゾン高濃度が出現した2005年8月4日を選んだ。ただし気象シミュレーションは8月1日から行い、CMAQの運用は4日のみについて行った。CMAQへの初期条件・境界条件はJapan Clean Air Program (JCAP) 報告書に基づき、NOxや炭化水素(NMHC)排出量データは速水らに従った。

図11は生成した高濃度オゾンの状況を示す。この時間帯の海風前線帯からその内陸側に相当する東京都中央部を中心に高濃度域が分布している。濃度に関するCase 87とCase 97の結果の差は、昼間平均で図12に示した。主として都心域外縁部における10年間の土地利用変化による夏の午後の気温増加は全般に0.1~0.2°C程度ではあるが（図省略）、それに伴う風速等の変化がオゾン濃度の上昇に結びつくことを示している。

(4) 成果のまとめ

以上に示したように、①既存データの収集・解析、②観測、③モデリング、のいずれも当初目標としたレベルの成果の一端に到達できたと考えているが、①や②で得られた知見を活用し、③を実用的ツールとして大規

模 UHI の将来予測や対策評価に活用することが今後の課題であり、引き続き研究を展開していきたい。

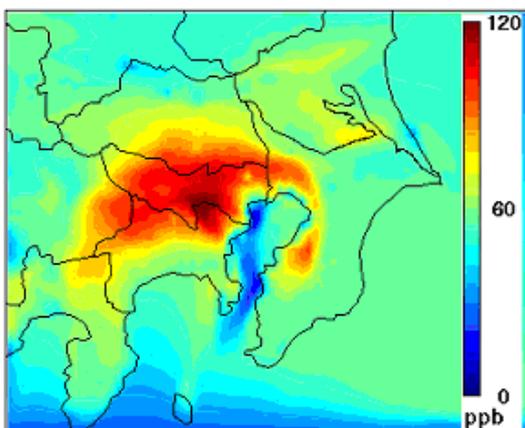


図 11 8月4日14時の地上オゾン濃度分布 (Case 97)。

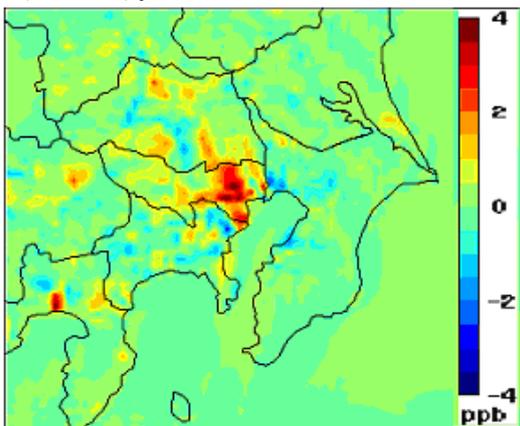


図 12 昼間平均 (7時~18時) 地上オゾン濃度の増加幅 (Case 97 - Case 87)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① Yoshikado, H.: Intense summer heat in Tokyo and its suburban areas related with variation in the synoptic-scale pressure field: A statistical analysis, (査読有) *J. Applied Meteorology and Climatology* (in print), (2013)
- ② Khiem, M., R. Ooka, H. Huang, H. Hayami: A numerical study of summer ozone concentration over the Kanto area of Japan using the MM5/CMAQ model, (査読有) *J. Environmental Sciences*, 23, 236-246 (2011)
- ③ 米倉哲志: 埼玉県の温暖化の現状, *さいたまの教育と文化*, (査読有) 58, 28-33 (2011)

[学会発表] (計 34 件)

- ① 吉門洋: 東京と近郊における夏季海風系発達日の高温の状況, 日本気象学会秋季大会 (北海道大学, 2012/10/5)
- ② Kawamoto, Y.: Doppler lidar observations of wind fields over the Tokyo metropolitan area, 8th International Conference on Urban Climates (University College Dublin, Dublin, Ireland, 2012/8/7)
- ③ Khiem, M. V., R. Ooka, H. Yoshikado, Y. Kawamoto, H. Hayami, H. Huang: Study on progress of large scale heat island phenomenon (Part 3) Influence of urbanization to urban air pollution, 日本建築学会 2010 年度大会 (富山大学, 2010/9/9)

[図書] (計 1 件)

- ① Kawamoto, Y., H. Yoshikado, R. Ooka, H. Hayami, H. Huang and M. V. Khiem: Ventilating Cities: Air-flow Criteria for Healthy and Comfortable Urban Living, 1-2 Sea breeze blowing into urban areas: Mitigation of the urban heat island phenomenon, *Springer*, pp.197 (11-32) (2012).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉門 洋 (YOSHIKADO HIROSHI)
埼玉大学・理工学研究科・教授
研究者番号: 80358324

(2) 研究分担者

大岡 龍三 (OOKA RYOZO)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号: 90251470
川本 陽一 (KAWAMOTO YOICHI)
九州大学・芸術工学研究科(研究院)・助教
研究者番号: 70569730
米倉 哲志 (YONEKURA TETSUSHI)
埼玉県環境科学国際センター・自然環境担当・専門研究員
研究者番号: 40425658
住 明正 (SUMI AKIMASA)
国立環境研究所・役員・理事
研究者番号: 10179294
嶋田 知英 (SHIMADA TOMOHIDE)
埼玉県環境科学国際センター・温暖化対策担当・主任研究員
研究者番号: 40415401
(H24: 連携研究者)

(3) 連携研究者

速水 洋 (HAYAMI HIROSHI)
(財) 電力中央研究所・環境科学研究所・
上席研究員
研究者番号: 70371359