

アジアのメガシティにおける 都市の発達が郊外との温度差に与える影響

白木洋平* 山下亜紀郎** 谷口智雅*
香川雄一*** 一ノ瀬俊明**** 豊田知世*****
吉越昭久***** 谷口真人*****

キーワード：土地利用図、リモートセンシング、地理情報システム

1. はじめに

都市周辺で顕著に発生するヒートアイランドは熱中症、睡眠障害など人間の健康に影響を及ぼすことが知られている（たとえば、岡野ほか，2008；気象庁，2010）。ここでヒートアイランドとは都市の気温が郊外に比べて高くなる現象であり、その温度差、いわゆるヒートアイランド強度と都市の規模（人口）は、たとえば、福岡（1983）は日本の諸都市では人口30万人付近で回帰線が変化すると示しており、朴（1987）も同様の傾向が韓国の諸都市でも見られるとしているものの、Oke（1973）や榊原・北原（2003）などによると対数比例の関係にあると報告されている。

一般的に、都市の規模が小さい場合は都市と郊外の気温差が小さくなるため、ヒートアイランドが社会保健的な側面で問題になることは少ない。しかしながら、将来的に人間活動が活発化し都市の規模が拡大した場合、都市と郊外の気温差が大きくなり、それまで社会保健的な側面で問題視されなかったヒートアイランドが深刻な社会保健的な問題として発生する可能性がある。この都市の規模の拡大は、言い換えると「人間活動の活発化による、初期から中期（或いは中期から後期）への都市の発達段階の移行」と捉えることも出来る。

本研究では、発達段階が異なる複数のメガシティを選定し、対象地域ごとに市域と郊外の日中の温度ヒストグラムを調べることにより、発達段階が都市と郊外の温度差にどのような影響を与えているか考察する。なお、研

究対象地域はアジアのメガシティ7都市（東京・大阪・ソウル・台北・ジャカルタ・マニラ・バンコク）とした。これら7都市は、都市の成長に伴って周辺にある農地や隣地を潰廃しながら都市域を拡大させた歴史を持っており、早くから発達した都市群からみると、東京・大阪、ソウル・台北、バンコク、ジャカルタ・マニラとなる（Yoshikoshi, 2011）。また、温度差を見積もる方法として自動車などに温度ロガーを設置し対象地域を周回することで気温データを取得する移動観測（たとえば、高橋ほか，1981；武市，2002）や、複数の温度ロガーを対象地域に設置し気温データを取得する定点観測（たとえば、三上ほか，2004；重田・大橋，2009）などが挙げられる。しかしながら、本研究の対象地域は複数あり、かつ広域であるため詳細な気温データを取得することは極めて困難である。そこで、日中は複雑な3次元形状である市街地において誤差が生じることが知られているものの（たとえば、Carnahan and Larson, 1990；近藤ほか，1997；巖・三上，2002）、広域性、同時性といった他の観測方法にはない特徴を持つリモートセンシングより得られた放射輝度から推定された地表面温度を気温の代わりとして用いることとした。

2. 研究方法

まず Landsat-7/ETM+のピクセルごとに地表面温度の算出を行うとともに、当該ピクセルの土地利用を宅地、森林、草地・荒地、田、その他に区別し、宅地を都市域、

* 立正大学地球環境科学部
** 筑波大学大学院生命環境科学研究科
*** 滋賀県立大学環境科学部
**** 国立環境研究所社会環境システム研究領域
***** 国際協力機構研究所
***** 立命館大学文学部
***** 総合地球環境学研究所

それ以外を郊外とする識別を行った。次に、土地利用別に地表面温度のヒストグラムを作成し、それらを比較することで都市と郊外の地表面温度差を推定した。以下に、地表面温度の算出方法および土地利用の識別方法の詳細を述べる。

2. 1 地表面温度の算出方法

本研究で用いた Landsat-7は1999年4月15日にアメリカ航空宇宙局により打ち上げられた地球観測衛星であり、ETM+ (Enhanced Thematic Mapper, Plus) と呼ばれる光学センサが搭載されている。空間分解能は、熱赤外バンド (band6, 波長域10.4~12.5 μm) が60mで、その他の可視近赤外 (band1~5および7, 波長域0.45~2.35 μm) が30m、パンクロマチックバンド (band8, 波長域0.50~0.90 μm) が15mであり、観測幅は185kmである。熱赤外バンドのデジタル値 DN から地表面温度 T を推定する方法として、まず(1)式にて放射輝度への変換を行い、次に(2)式にて放射輝度から地表面温度への変換を行った。なお、放射輝度や地表面温度の変換に必要な計算式および係数はアメリカ地質調査所 (USGS: United States of America Geological Survey) により公開されている手順に従い、まず式(1)

$$R = ((L_{max} - L_{min}) / (QCAL_{max} - QCAL_{min})) \times (DN - QCAL_{min}) + L_{min} \quad (1)$$

によりデジタル値 DN を放射輝度 band6 に変換し、次に式(2)

$$T = 1282.71 / \ln(666.09 / band6 + 1) \quad (2)$$

を用いて、放射輝度 band6 から地表面温度 T を推定する手順をとった。ここで、Lmax: 最大放射輝度、Lmin: 最小放射輝度、QCALmax: 最大諧調値、QCALmin: 最小諧調値である。雲頂高度に比べて地表面温度が極めて高温であることを利用して、放射輝度による閾値を定めて雲ピクセルを解析対象外とした。また、本研究にて使用した衛星画像の撮影日は各都市の平均気温が高い時期から雲量の少ない日を選定しており、東京は2002年8月10日、大阪は2000年8月25日、ソウルは2000年9月4日、台北は2002年8月16日、ジャカルタは2000年9月14日、マニラは2002年4月3日、バンコクは2002年4月14日であり、いずれの場合も衛星は午前10時から11時頃に通過している。図1に7都市の地表面温度を示す。

2. 2 都市・郊外の定義

本研究が参照した7都市の土地利用図を図2に示す。これらの土地利用図は、総合地球環境学研究所の研究プロジェクト「都市の地下環境に残る人間活動の影響」によって作成されたアジアのメガシティ3時期(1920~30年頃, 1960~1970年頃, 2000年頃)の土地利用メッシュマップ (Yamashita, 2011) のうち、2000年頃のデータである。図2の土地利用メッシュマップは、5万分の1地形図幅を2分の1地域メッシュ(500mメッシュ)に分割し、各メッシュ内で最も多い土地利用を目視により判別して作成したものである。土地利用メッシュマップ作成の詳細は山下ほか(2008, 2009)および山下・阿部(2010)を参照されたい。図2では土地利用区分は「森林(針葉樹, 広葉樹, 竹林など)」、「草原・荒地(公園, 人工緑地, ゴルフ場も含む)」、「田」、「その他農地(畑, 果樹園, 牧草地など)」、「工業用地」、「宅地(工業用地以外の都市的土地利用)」、「水域・湿地(人工池, 養殖池も含む)」、「その他(造成地, 未利用地など)」、「海」の9区分となっているが、本研究では、メッシュ数の少ない「工業用地」および「その他」、さらに対象外としている水域に相当する「海」および「水域・湿地」を除外した残りの5区分に該当するピクセルのみを解析の対象とした。なお、本研究では上述の5土地利用区分のうち、「宅地」に対応するピクセルを都市域ピクセル、「森林」、「草原・荒地」、「田」および「その他農地」に対応するピクセルを郊外ピクセルと同定した。

3. 結果

図3に都市別、土地利用別の地表面温度ヒストグラムの比較を示す。これによると、たとえば東京では都市と郊外の地表面温度ヒストグラムに差が生じている様子が見て取れる。特に宅地と森林の差は大きく、宅地は30-32に地表面温度ヒストグラムのピークが現れるのに対して森林は24-26に地表面温度ヒストグラムのピークが現れ、その差は6-8となっている。また、大阪やソウル、台北、マニラでも同様に宅地と森林の地表面温度ヒストグラムのピークの差は6-8となっている。

一方ジャカルタやバンコクを見てみると、上述した都市(東京, 大阪, ソウル, 台北, マニラ)と同様に都市と郊外の地表面温度ヒストグラムに差が生じているものの、宅地と森林の地表面温度ヒストグラムのピークはジャカルタが26-28および24-26、マニラが28-30および24-26となっており、その差はそれぞれ2-4、

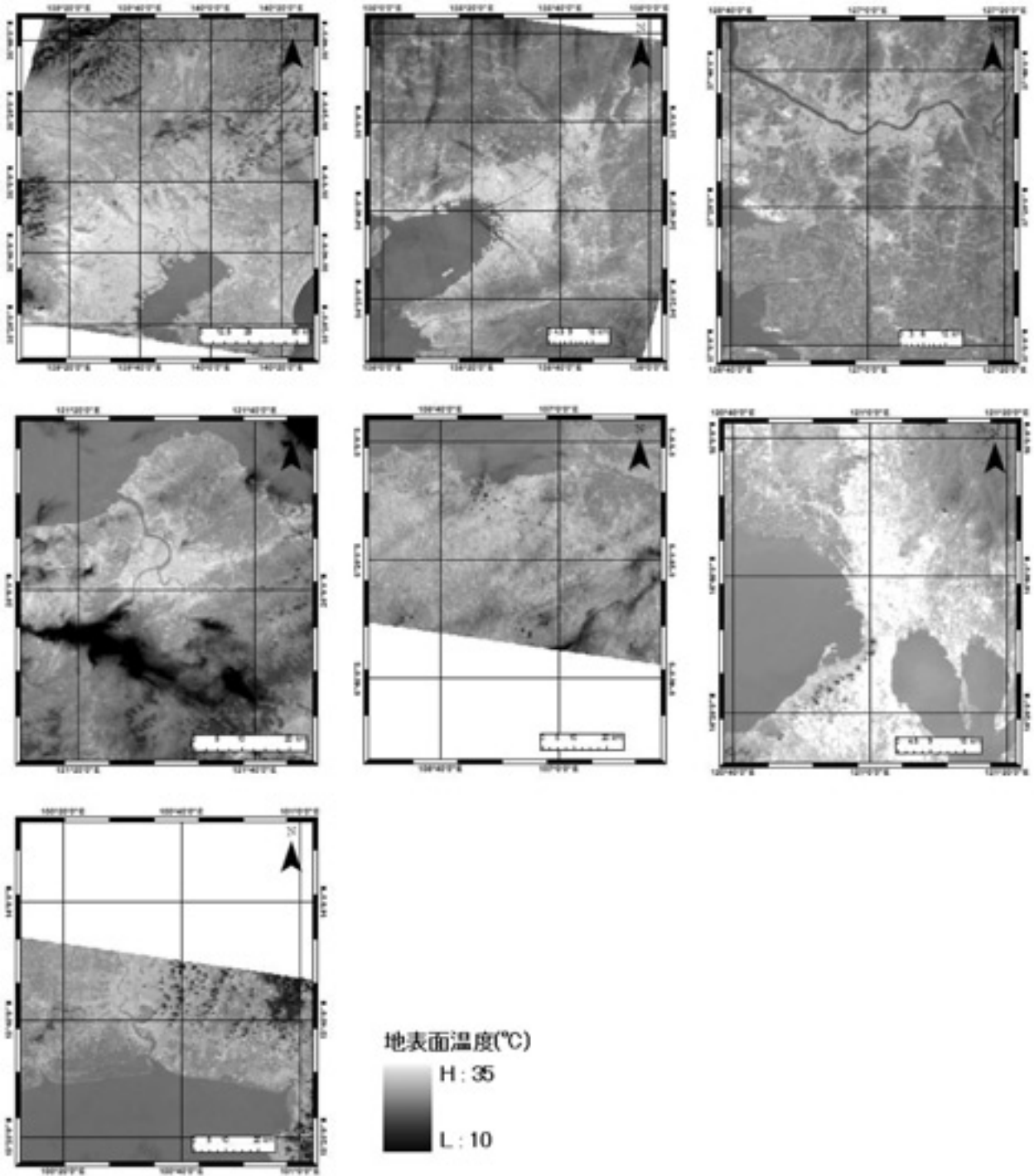


図1. Landsat-7/ETM+ band6より推定された対象地域の地表面温度
(左上から, 東京・大阪・ソウル・台北・ジャカルタ・マニラ・バンコク)

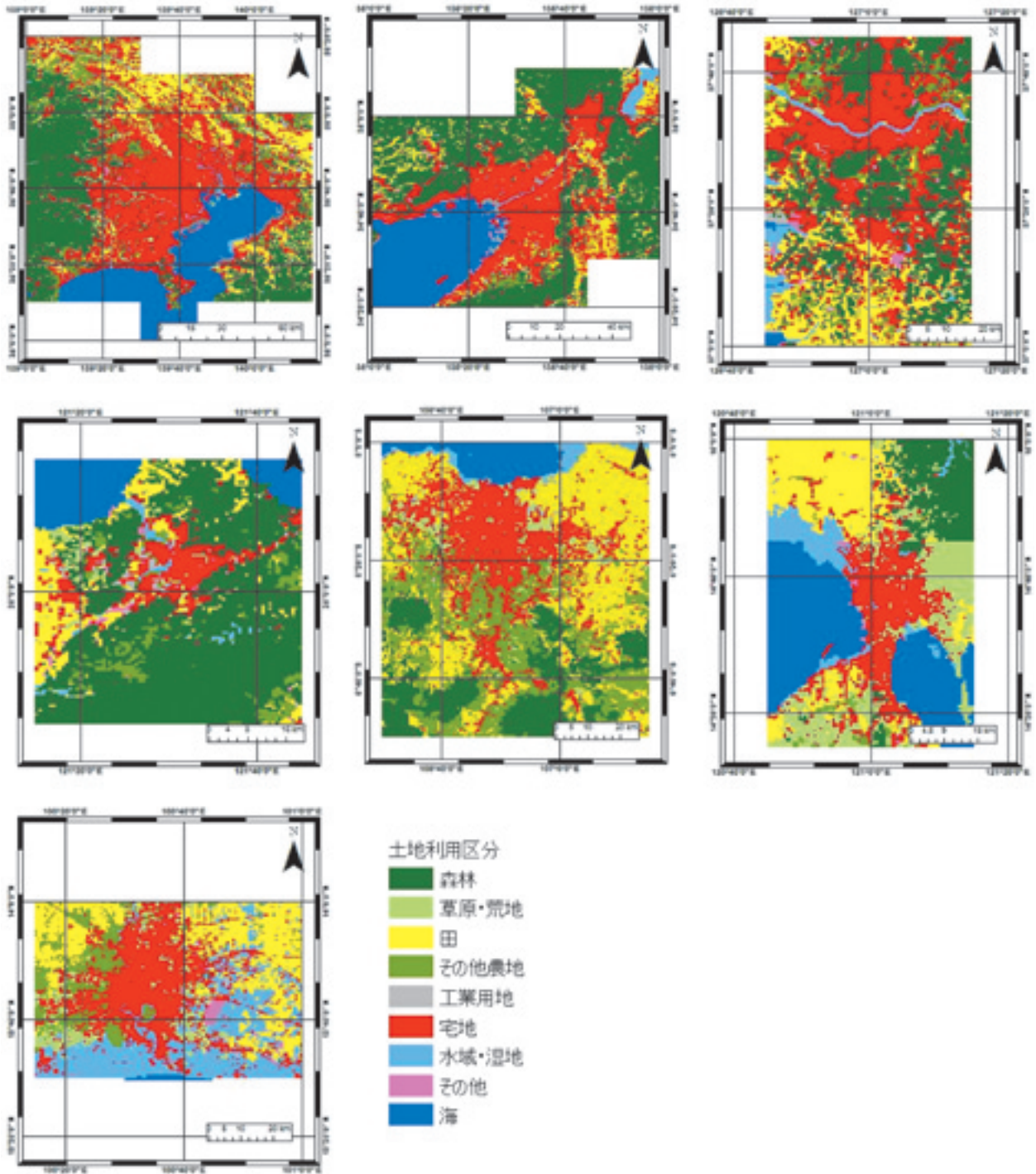


図2. 対象地域の土地利用図 (Yamashita, 2011)
 (左上から、東京・大阪・ソウル・台北・ジャカルタ・マニラ・バンコク)

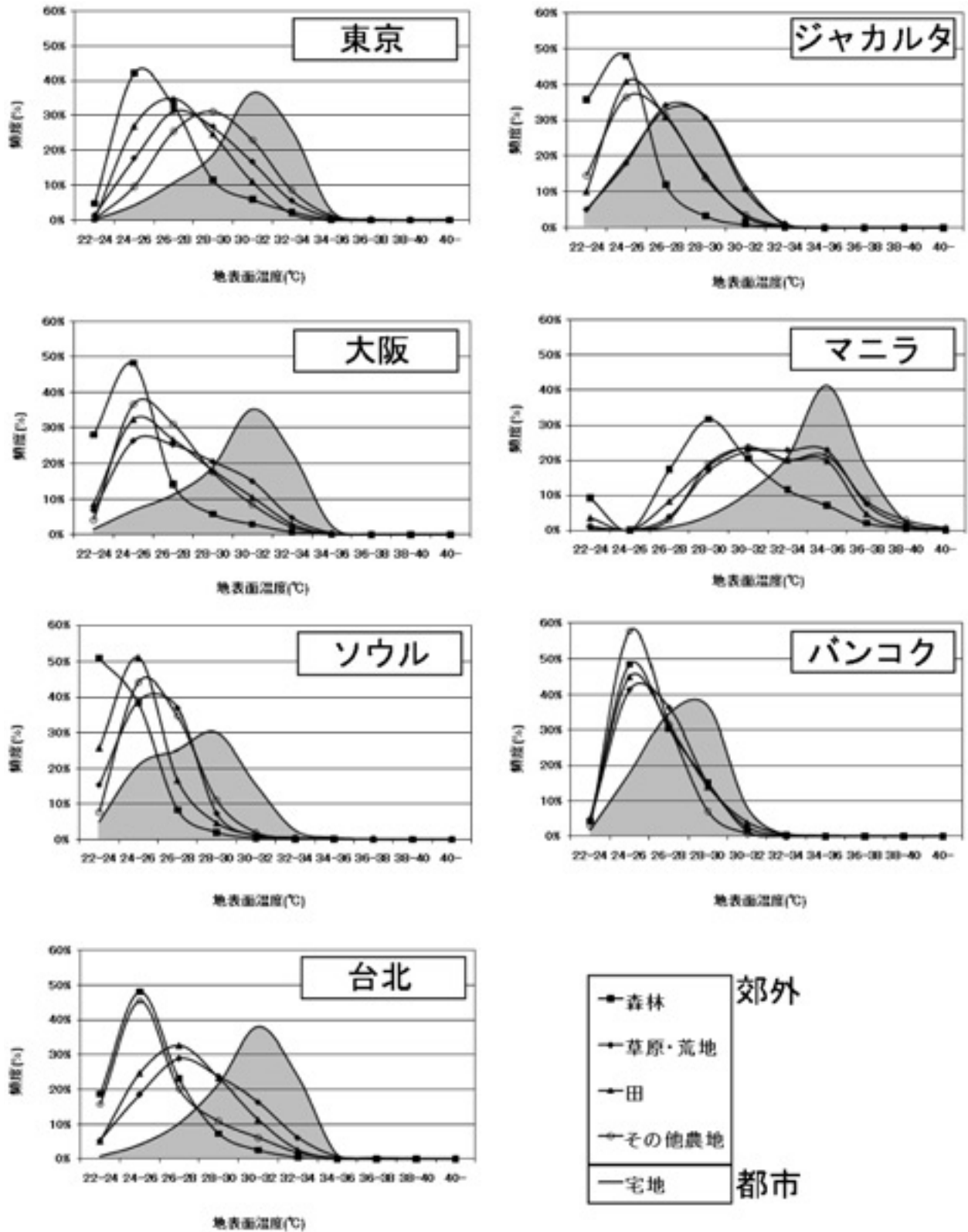


図3. 都市別、土地利用別地表面温度ヒストグラム

4 - 6 となっている。これは、東京、大阪、ソウル、台北、マニラと比べて小さい値である。これは前述したように、東京、大阪、ソウル、台北が、ジャカルタやバンコクと比べて都市の発達段階の移行が早かったことが要因の一つとして考えられる (ジャカルタと同程度の発達段階であるマニラを除く)。

しかしながら、Yoshikoshi (2011) がこれら 7 都市ではすでに地下水位の低下や地盤沈下といった他の都市環境問題が発達段階に応じて次々と発生していると論じているように、ジャカルタやバンコクにおいても今後発達段階が移行するに従って、地表面温度ヒストグラムのピークの差が東京、大阪、ソウル、台北、マニラと同様に大きくなる、すなわち、都市の熱環境が悪化する可能性も懸念される。

4. まとめと今後の課題

本研究では、総合地球環境学研究所の研究プロジェクト「都市の地下環境に残る人間活動の影響」によって作成された土地利用メッシュマップと Landsat-7/ETM+ の放射輝度から推定された地表面温度を用いて、土地利用別に地表面温度ヒストグラムを作成し、それらの比較・考察をアジアのメガシティ 7 都市 (東京・大阪・ソウル・台北・ジャカルタ・マニラ・バンコク) で行った。

その結果、7 都市全てにおいて都市と郊外の地表面温度ヒストグラムには差が生じており、特に宅地と森林の差が大きいことがわかった。さらに、宅地と森林の地表面温度ヒストグラムのピークの差は、東京、大阪、ソウル、台北と比べて発達段階の移行が遅いジャカルタ、バンコクで小さくなる傾向が見られた。

今後の課題として、夜間の地表面温度が気温との間に関係があることが報告されていることから (蔵・三上, 2002)、日中の地表面温度のみならず夜間の地表面温度を用いて同様の評価を行うこと、複数の衛星画像を用いたのコンポジット画像の作成を行うことで信頼性を向上させることなどが挙げられる。また、マニラがバンコクやジャカルタと同様に発達段階が東京、大阪、ソウル、台北と比べて遅いにも関わらず宅地と森林の地表面温度ヒストグラムのピークの差が大きくなっている要因や、マニラの「草原・荒地」、「田」、「その他農地」の地表面温度ヒストグラムの傾向が他の都市と大きく異なっている要因についても本研究では触れていない。そのため、今後これらについても追加解析を行うことが必要である。

謝 辞

本研究は、総合地球環境学研究所の研究プロジェクト「都市の地下環境に残る人間活動の影響」(代表: 谷口真人) により実施された成果である。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- Carnahan, W. H. And Larson, R. C., 1990: An analysis of an urban heat sink. *Remote Sens. Environ.*, 33, 65-71.
- 福岡義隆, 1983: 都市の規模とヒートアイランド. *地理*, 28, 34 - 42.
- 気象庁, 2010: ヒートアイランド監視報告.
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2010/himr2010.pdf>
(参照 2011 - 3 - 10)
- 近藤昭彦・宝馨・立川康人, 1997: 航空機 MSS リモートセンシングによるヒートアイランド現象の解析 - 気温と地表面温度の同時観測による検討 -. *地学雑誌*, 106, 377 - 385.
- 三上岳彦・安藤晴夫・横山仁・山口隆子・石井康一郎・塩田勉・森島済・小島茂喜・泉岳彦, 2004: 東京都区内における夏期ヒートアイランドの時空間変動. *東京都環境科学研究所年報* 2004, 11 - 17.
- 岡野泰久・井原智彦・玄地裕, 2008: インターネット調査を用いた夜間のヒートアイランド現象による睡眠障害の影響評価. *日本ヒートアイランド学会論文集*, 3, 22 - 33.
- Oke, T. R., 1973: City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.*, 7, 769-779.
- 朴恵淑, 1987: 日本と韓国の諸都市における都市規模とヒートアイランド強度. *地理学評論*, 60, 238 - 250.
- 榊原保志・北原祐一, 2003: 日本の諸都市における人口とヒートアイランド強度の関係. *天気*, 50, 625 - 633.
- 重田祥範・大橋唯太, 2009: 岡山市を対象とした細密な気象観測によるヒートアイランド強度の解析. *天気*, 56, 443 - 454.
- 高橋百之・関根清・岩田知子・小坂祐子・福脇左千江, 1981: 大垣市のラフネスパラメーターについて. *地理学評論*, 54, 579 - 594.
- 武市伸幸, 2002: 高知県南国市のヒートアイランドと形成要因. *天気*, 49, 47 - 56.
- Yamashita, A., 2011: Comparative analysis on land use distributions and their changes in Asian mega cities. *Groundwater and Subsurface Environments: Human Impacts in Asian Coastal Cities*, Springer, 61-81
- 山下亜紀郎・阿部やゆみ, 2010: アジアのメガシティにおける官製地図からの土地利用判読の問題点とその対応. *酪農学園大学紀要*, 35, 15 - 27.
- 山下亜紀郎・阿部やゆみ・高奥淳, 2008: アジアのメガシティにおける 5 万分の 1 地形図からの土地利用メッシュマップの作成. *地理情報システム学会講演論文集*, 17, 205 - 208.
- 山下亜紀郎・阿部やゆみ・高奥淳, 2009: 東京・大阪都市圏に

おける旧版地形図からの土地利用メッシュマップの作成と土地利用変化の分析. 地理情報システム学会講演論文集, 18, 529 - 534.

蔵網林・三上岳彦, 2002: ランドサット TM 熱画像による輝度温度と地上気温との関係の分析. 地学雑誌, 111, 695 -

710.

Yoshikoshi, A., 2011: Urban development and water environment changes in Asian megacities. *Groundwater and Sub-surface Environments: Human Impacts in Asian Coastal Cities*, Springer, 35-59.

The Influence of Urban Development on Urban-rural Temperature Difference in Asian Megacities

SHIRAKI Yohei*, YAMASHITA Akio**, TANIGUCHI Tomomasa*, KAGAWA Yuichi***, ICHINOSE Toshiaki****, TOYOTA Tomoyo*****, YOSHIKOSHI Akihisa*****, TANIGUCHI Makoto*****

*Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University **Univ.of Tsukuba, ***Univ.of Shiga Pref
****NIES, *****JICA, *****Ritsumeikan Univ., *****RIHN

Keywords: Landuse Map, Remote Sensing, GIS