

# 練馬区光が丘における植生の暑熱環境緩和効果の 観測的研究

An observational study on the mitigating effect of thermal environment by vegetation in the  
Hikarigaoka Nerima, Tokyo

橋泰大\*<sup>1</sup>                      高橋洋\*<sup>1,2,3</sup>                      清水昭吾\*<sup>3</sup>  
Yasuhiro Tachibana      Hiroshi G. Takahashi      Shogo Shimizu

\*<sup>1</sup> 首都大学東京 都市環境学部 Faculty of Urban and Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University

\*<sup>2</sup> 海洋研究開発機構, 地球環境変動領域 Research Institute for Global Changes,  
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

\*<sup>3</sup> 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 Graduate School of Urban and Environmental Sciences,  
Tokyo Metropolitan University

Corresponding author: Hiroshi G. Takahashi, hiroshi3@tmu.ac.jp

## ABSTRACT

This study demonstrated a mitigation effect of thermal environment by vegetation in the Hikarigaoka housing complex, Nerima, Tokyo, in summer, using our observed surface air temperature, humidity and Wet Bulb Globe Temperature (WBGT). It was found that surface air temperature of the inside of the housing complex was lower than that of the outside both in daytime and nighttime, which suggested temperature was reduced by evapotranspiration of the vegetation in daytime. On the other hand, higher relative humidity in the inside of the housing complex was observed, compared with that in the outside. Particularly, relative humidity in the inside of the housing complex reached nearly saturated condition in nighttime. This result may suggest tree-planting leads to not only reduction of high temperature but also high relative humidity as an adverse effect in nighttime.

キーワード: ヒートアイランド, 植生, WBGT

**Key Words** : Urban heat island, Vegetation, WBGT

## 1. はじめに

近年, 夏季の都市部においてヒートアイランド現象による健康被害が生じていることから, 数多くの自治体が対策を求められている。その対策の1つとして緑化がある。気温の観点から, ヒートアイランドの緩和には緑化が効果的であることは数多くの研究<sup>(1)(2)</sup> から明らかにされている。これらの研究は主に気温に着目したものが多く, 熱中症などの健康被害に対しての施策のためには, 気温だけでなく放射や湿度を考慮した体感温度に着目した対策が必要となる。また, 従来の研究は緑地と市街地とをそれぞれ独立した空間として捉えていることが多いが, 今後都市空間に大規模な緑地を整備していくことは土地の制約や, 財政上の問題からも現実的でない。そこで, 建築物と緑地が共存した空間が重要になるものと考えられる。中でも人々の生活の基盤である住居と緑地が共存した空間において, 緑地が体感温度を含めた暑熱環境にどのように機能しているの

かについて, 実態を把握することが必要である。

住居と緑地が共存した緑地形態の1つに, 集合住宅団地と緑地が共存した環境共生住宅団地がある。環境共生住宅団地の微気象に関する研究<sup>(3)(4)</sup>も既に多くなされているが, これらは主に気温や風に着目し, 団地内部のみに目が向けられている。微気象はそれよりも空間スケールの大きな気象にも影響を受けるため, 周囲との熱環境の比較を同時に行う必要がある。また, 夏季において団地内外で気温を比較し, 団地内は日中周辺地域よりも気温が低いことを示し, さらに体感温度を調査した研究<sup>(5)</sup>もあるが, この調査は日中に限られ, 夜間において団地内の緑が熱環境にどう影響するかは明らかにされていない。

そこで本研究では特にヒートアイランド現象が顕在化している東京都区部の環境共生住宅団地において, 団地内外の熱環境の比較を1日を通して行い, 団地内の緑が団地内の暑熱環境にどのように関わっているのかを明らかにすることを目的とする。特に夜間の湿度に着目する。

## 2. 観測

### 2.1 調査対象地

本研究では、調査対象地を東京都練馬区光が丘(3丁目、7丁目)とその周辺地域(団地の西側に位置する谷原地区、南側の高松地区、東側の田柄地区)とした。練馬区は東京都23区の北西部の内陸に位置する区であり、光が丘はその練馬区の中央から北部に位置している地区である。気象庁のAMeDAS(練馬)が今回の調査対象地域から南東方向約3kmの位置にある。夏季における練馬・東京・江戸川のAMeDASの気温を比較すると、日中は練馬で最も高温となる傾向がある。つまり今回の調査対象地は、夏季において日中は都心部や沿岸部よりも気温が高くなる。これは、この地域が沿岸部とは異なり、東京湾からの海風の侵入による気温低下なども期待できないとの報告<sup>6)</sup>と対応していると考えられる。また、夜間については都心部ほどではないが、沿岸部に比べて気温が下がらずに高温状態にある。

光が丘団地は東京都区内では最大級の団地である。団地敷地内は主に住宅団地、駐車場、緑地、学校で構成されている。この団地敷地は東西にやや長く、敷地周囲は5~10m程度のアスファルト舗装の道路で囲まれており、団地のほぼ中央を同様の道路が南北方向に伸びている。敷地内北部には20階以上の超高層住宅が立ち並び、それ以外の住宅も10階以上の高層住宅である。敷地内には街路樹をはじめ、緑道や芝生広場といった区立公園など、緑が多く存在している。団地内の地形はほぼ平坦である。団地の周辺地域は住宅が立ち並ぶ住宅街であるが、団地内とは異なり戸建て住宅や5階以下のマンションなど、低層住宅が広がっており、畑も点在している。

### 2.2 観測内容

(1) 定点観測 団地内外の長期的な気温分布を把握するため、2011年7月27日から8月29日の約1ヶ月の期間で気温の定点観測を行った。気温の測定は温度ロガー(日置電機株式会社:HIOKI3632)を自作の自然通風シェルターに格納し、街路灯、または樹木にセンサーの高さが地上から2.5mになるように設置した。測定間隔は10分である。定点観測点を図1に示す。観測点の空間代表性を考慮し、団地内では同様の土地利用の箇所でも数地点観測点を設け、周辺地域においてもできるかぎり空間的に偏りが生じないように測器を設置した。得られたデータは1つの地点の影響が大きく出ないように数地点を平均して使用した。定点観測点は周辺地域12地点、団地内24地点の計36地点である。団地内の観測点は、緑被された土地利用と人工的な土地利用の2つに分類した。具体的には観測点の周囲5m程度において、日射を遮る樹木が存在するもしくは地表面が芝生である場合を緑被された土地利用に、日射を遮る樹木が存在せず、地表面状態がアスファルトやコンクリート、砂地である地点は人工的な土地利用に分類した。

定点観測のデータは、練馬のAMeDASのデータから日照時間が6時間以上、かつ降水がなかった日を晴天日と定義し、晴天日のデータのみを使用した。観測期間中、晴天日は14日間抽出された。データの利用に当たっては、晴天日における各観測点の値を時間ごとに平均している。周辺地域のデータは12地点を平均し、団地内のデータは前述の土地利用の分類を基に、緑被された土地利用と人工的な土地利用の地点でそれぞれまとめて平均している。

また、周辺地域12地点を平均したデータと気象庁の練馬のAMeDASの気温データと比較すると、夜間はほとんど違いはないが、日中は最大で2℃程度高くなる傾向がある。

(2) 移動観測 気温以外の気象要素の空間的な分布を把握するため、2011年8月15日~16日にかけて移動観測を実施した。この日は夏の典型的な晴れの日であった。観測は15日10時、14時、18時、22時、16日2時、5時の概ね4時間ごとに計6回行った。最後の観測は日の出前に行うために6時ではなく5時に行った。移動観測のデータは、AMeDASの気温データを基準に時刻補正を行った。また、観測高度は、約1.5mに統一した。

観測項目は乾球温度・湿球温度・黒球温度の3つであり、これらの観測値を基に、相対湿度、水蒸気圧、WBGTの算出を行った。本研究では体感温度に大きな影響をあたえる風の測定を十分に行うことができなかったため、風の影響を考慮せずに算出できるWBGTを体感温度の指標として採用した。乾球温度・湿球温度・相対湿度はアスマン通風乾湿計(株式会社吉野計測:SY-S3)、黒球温度は、団地内は熱中症指数モニター(株式会社エー・アンド・デイ:AD-5695)、周辺地域は黒球温度計(株式会社安藤計器製作所:CK-CET)を用いて測定した。水蒸気圧は水面の場合のTetensの近似式

$$E=6.11 \times 10^7 (7.5t / (t+237.3)) \quad (1)$$

を用いて飽和水蒸気圧Eを求めてから、相対湿度を掛け合わせることで水蒸気圧を求めた。ただしtは乾球温度を表す。また、WBGTは

$$WBGT=0.7 \times Tw + 0.3 \times Tb \quad (\text{日射なし}) \quad (2-1)$$

$$WBGT=0.7 \times Tw + 0.2 \times Tb + 0.1 \times Td \quad (\text{日射あり}) \quad (2-2)$$

という計算式を用いて算出した。ただし、Twは湿球温度、Tbは黒球温度、Tdは乾球温度を表す。日射なしの場合は、式(2-1)を、日射がある場合は、式(2-2)を用いた。

移動観測の観測点を図1にあわせて示す。周辺地域は定点観測の観測点にもなっている6地点、団地内は10地点で行った(図1)。さらに、周辺地域の気温の空間代表性を高めるため、気温のみの観測を7地点で行った(図1a)。

団地内の移動観測点は定点観測と同様に、緑被された土

地利用と人工的な土地利用の2つに分類した。

以下では定点観測地点の観測データと比較検討しやすいように、団地内においては気温と WBGT の算出にはすべての地点のデータを使用するのではなく、定点観測を行っている地点のデータのみを使用している。ただし、相対湿度や水蒸気圧など団地内全体としての特徴を記述する際には、団地内の移動観測点 10 地点すべてのデータを用いて平均化した。

また、周辺地域の移動観測点に関して、団地の西側の谷原地区の移動観測点 2 点で、湿球温度の測定ミスが生じていたため、相対湿度・水蒸気圧・WBGT の算出において、今回この 2 点の移動観測データは用いないこととする。

### 3. 結果

#### 3.1 気温

図 2(a)に定点観測で得られた晴天日 14 日分を平均した気温の時系列図を示す。練馬の AMeDAS の同 14 日分の気温を平均した時系列図も合わせて示す。これによると日中は団地内で周辺地域と比較して気温が 1~2℃程度低い傾向が見られる。夜間になると気温差は小さくなり、緑被された土地利用の地点では若干低い、もしくは概ね同程度であった。団地内においては、人工的な土地利用の地点よりも、緑被された土地利用の地点で気温が低い傾向があった。AMeDAS と比較すると、日中は緑被された土地利用以外 1~2℃程度高い値を示し、夜間はすべての土地利用で高くなっている。

また、移動観測で得られた気温の時系列図を図 2(b)に示す。同日の練馬の AMeDAS の気温のデータとの比較も同時に行っている。移動観測結果からも団地内は 1 日を通して周辺地域より気温が低い傾向にあり、団地内においては緑被された土地利用の地点で気温が最も低くなっている。定点観測・AMeDAS データと比較すると団地内の気温は低めに出ているが、団地内は周辺地域と比較すると時間帯による違いはあるが、1℃程度気温が低い。特に団地内の緑被された土地利用の地点で最も気温が低いことがわかった。定点観測と移動観測の結果から、絶対値は異なるものの、人工的な土地利用の地点と緑被された土地利用の地点との差が同様に導かれた。これらより、移動観測の結果は、2011 年の夏季の平均的な晴天日の結果と解釈できる可能性が高い。

#### 3.2 水蒸気圧・相対湿度

団地内外の水蒸気圧と相対湿度の時系列図をそれぞれ図 3(a), (b)に示す。これによると団地内の水蒸気圧は 1 日を通して周辺地域より高い。団地内と周辺地域との差は日中に大きく夜間に小さくなる傾向がみられる。団地内においては 1 日を通して土地利用の違いによる水蒸気圧の差はほとんどなかった。一方周辺地域では夕方から夜のはじめごろにかけて団地内外の差よりは小さいものの、地点により

ばらつきがあり、22 時に周辺地域で水蒸気圧が大きく低下しているが、この原因については特定できなかった。

相対湿度も団地内で 1 日を通して高い傾向が見られた。団地内外ともに相対湿度の時間による変化のパターンは類似しており、日中は大きな変化はなく、日没後急激に高くなり、夜中は湿潤な状態となるというパターンであった。相対湿度上昇の時間が団地内外で異なるのは、水蒸気圧と同様周辺地域の地点によるばらつきによるものと考えられる。また、団地内は相対湿度においても土地利用の違いによる差はほとんどなかった。特に夜間においては団地内の相対湿度は 95%に達し、団地内全体で高湿潤状態にあることがわかる。

#### 3.3 WBGT

WBGT の時系列図を図 4 に示す。これによると、人工的な土地利用の地点においては 1 日を通して周辺地域より高い状態にある。緑被された土地利用の地点においては日中については他の地点よりも WBGT が 2~3℃程度低い。一方で夕方以降の緑被された土地利用の地点での WBGT の減少量は周辺地域や団地内の人工的な土地利用の地点よりも小さく、夜間は周辺地域と同程度、または時間によっては周辺地域よりも高くなる時間帯もある。団地内は気温の面では周辺地域より低い傾向にあるが、WBGT は周辺地域よりも高め、もしくは同程度の傾向にあることがわかった。さらに全体的な傾向としては、日中は土地利用の違いによる差が大きくなるが、夜間では差が小さくなっていった。

### 4. 考察

#### 4.1 団地内の気温形成

日中の団地の気温形成には植生が大きく関わっているものと考えられる。日中の気温は概ね、団地内の緑被された土地利用、団地内の人工的な土地利用、周辺地域、の順で高くなっている。過去の多くの研究で指摘されている通り、緑被された土地利用においては、植生の蒸発散効果が機能し、日中の高温を緩和したものと考えられる。団地内の人工的な土地利用においては、蒸発散効果は期待できないが、団地内は周辺と比較して水蒸気圧が高いことから、団地内の植生による蒸発散が盛んに行われ、人工的な土地利用の地域にも低温高湿の空気が移流拡散しているものと考えられる。周辺地域と団地内の単位面積あたりの植生の被覆率は、団地内の方が高くなるため全体の蒸発散量が多くなり、それが団地内の低温に寄与したものと考えられる。

また、夜間においては団地内外で気温差が小さくなっているが、これは夜間に植生の蒸発散がほとんど期待できないことによるものと考えられる。気温場の形成の他の主要な要因として、日中は建築物や地表面のアルベドの違い、夜間は建築物や地表面の蓄熱量などの違いによる放射環境の違いが重要であるが、今回の観測では定性的にも数値モデルによる放射収支についての評価をするには到らなかった。

た。そのため今後は放射要素の観測を行うことと、団地内外の比較を行っていくことが望ましい。

#### 4.2 団地内の蒸し暑さ

団地内は相対湿度・WBGTともに周辺地域より高い傾向にある。特に夜間は相対湿度がほぼ飽和に近い高湿潤状態であり、夜間の団地内は蒸し暑い状態にあると考えられる。そしてこれは、植生による低温と蒸発散によって引き起こされている可能性が高い。

緑地空間が緑地外と比べて低温多湿になることは過去の研究<sup>(7)(8)</sup>によって報告されており、これらの先行研究ではその要因は緑による蒸発散効果であると考えられることに言及している。一方、異なる団地における調査では、団地内に高温で乾燥したヒートドライアイランドが形成されていたことを報告した研究<sup>(9)</sup>もあり、また、人間活動の違いにより廃熱や水蒸気の排出が異なる可能性もあるため、本研究と同様な調査をさらに複数の団地で行う必要がある。これらの先行研究や今回の観測結果を考慮すると、団地空間に植生を取り入れることで、気温を低減する効果は認められるものの、植生による蒸発散により団地内は高湿潤状態になる可能性が高い。さらに、団地の建物の貯熱効果により、夜間まで高い長波放射が持続されていたと推測される。よってこれらの高湿潤状態と建物からの放射により高WBGT値が観測されたと考えられる。また、気温の低減効果はあるものの、団地内の夜間の気温は最も低くても25℃以上であり、気象庁が定める熱帯夜の条件を満たしていた。

#### 5. 結論

本研究では練馬区光が丘団地において緑が体感温度を含む暑熱環境にどのように作用しているかについて調査するために、日中及び夜間の気象観測を行った。その結果、団地内は植生の蒸発散効果などにより周辺地域より気温が低く、団地の緑は日中のヒートアイランドの緩和に一定の役割を果たしていると考えられる。しかしながら、夜間は、団地内の相対湿度が特に高い値を示し、ほぼ飽和状態に達していた。つまり、植生による気温の低減効果はあるものの、一方でその効果は高湿潤状態を引き起こしており、夜間は蒸し暑くなる可能性が高い。本研究では、湿度に関しては、事例解析による結果のみであり、定常的な湿度や放射のモニタリングを行うことが望ましい。

#### 謝辞

本研究では、気象測器の設置にあたり練馬区役所の方々にご理解、ご協力をいただいた。また、観測は首都大学東京の学生によって行った。2名の査読者には有用なコメントをいただいた。さらに、首都大学東京の松本淳博士には、投稿前の原稿についてコメントをいただいた。また、本研究を実施するにあたり第2著者は、文部科学省の大学発グリー

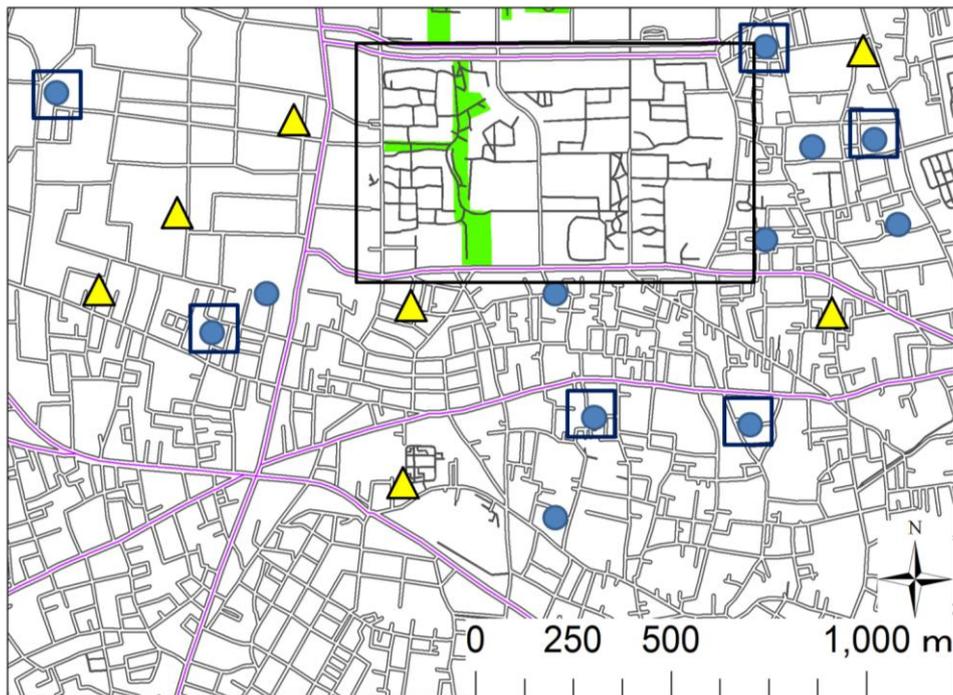
ンイノベーション創出事業「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス (GRENE)」事業(環境情報分野)及び、文部科学省の気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)、首都大学東京によるリーディングサイエンティスト経費(2011年度)、スタートアップ調査経費(2012年度)による助成を受けた。記して深甚の謝意を表したい。

#### 参考文献

- (1) 成田健一・三上岳彦・菅原広史・本篠毅・木村圭司・桑田直也, 新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象, 地理学評論, 77(2004), pp.403-420.
- (2) 三上岳彦, 都市のヒートアイランド現象とその形成要因, 地学雑誌, 114(2005), pp.496-506.
- (3) 垣鏑直・石橋龍吉・石橋外史, 団地の微気象形成に及ぼす要因分析に関する研究, 日本生気象学会雑誌, 42(2005), pp.77-83.
- (4) 越春美・田中貴宏・吉田聡・佐土原聡, 住宅団地における自然資源を利用した夏季の熱環境緩和に関する研究 - 横浜市若葉台団地での実測調査に基づく解析と対策の提案 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集(2009), pp.941-942.
- (5) 山田宏之・佐藤忠継・澤田正樹・岩崎哲也・角田里美・養父志乃夫, 環境共生住宅団地の緑化による微気象緩和効果について, 日本造園学会誌, 62(1999), pp.635-638.
- (6) R. Oda and M. Kanda, Observed sea surface temperature of Tokyo bay and its impact on urban air temperature, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48(2009), pp.2054-2068.
- (7) 足立国俊・津村真理・伊澤康一・宿谷昌則, 緑地空間が作り出す「冷たさ」に関する研究(その1. 実測概要と温湿度の測定結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集(2005), pp.627-628.
- (8) 山田宏之・丸田頼一・中村雅展, 長野市における気温・湿度分布と緑地の気象緩和作用について, 日本造園学会誌, 55(1992), pp.291-308.
- (9) 榊原保志, 草加松原団地における小気候学的調査, 天気, 29(1982), pp.141-150.

(Received Jun 5, 2012, Accepted Oct 30, 2012)

(a)



(b)



図1 (a) 周辺地域の観測点。図中央の黒枠内は光が丘団地。丸は定点観測点、四角は移動観測点、三角は気温のみを測定した移動観測点を示す。  
(b) 団地内の観測点。(a)の黒枠内を拡大したもの。丸は定点観測点、四角は移動観測点を示す。赤い丸と四角は人工的な土地利用の地点を示し、緑の丸とオレンジの四角は緑被された土地利用の地点を示す。

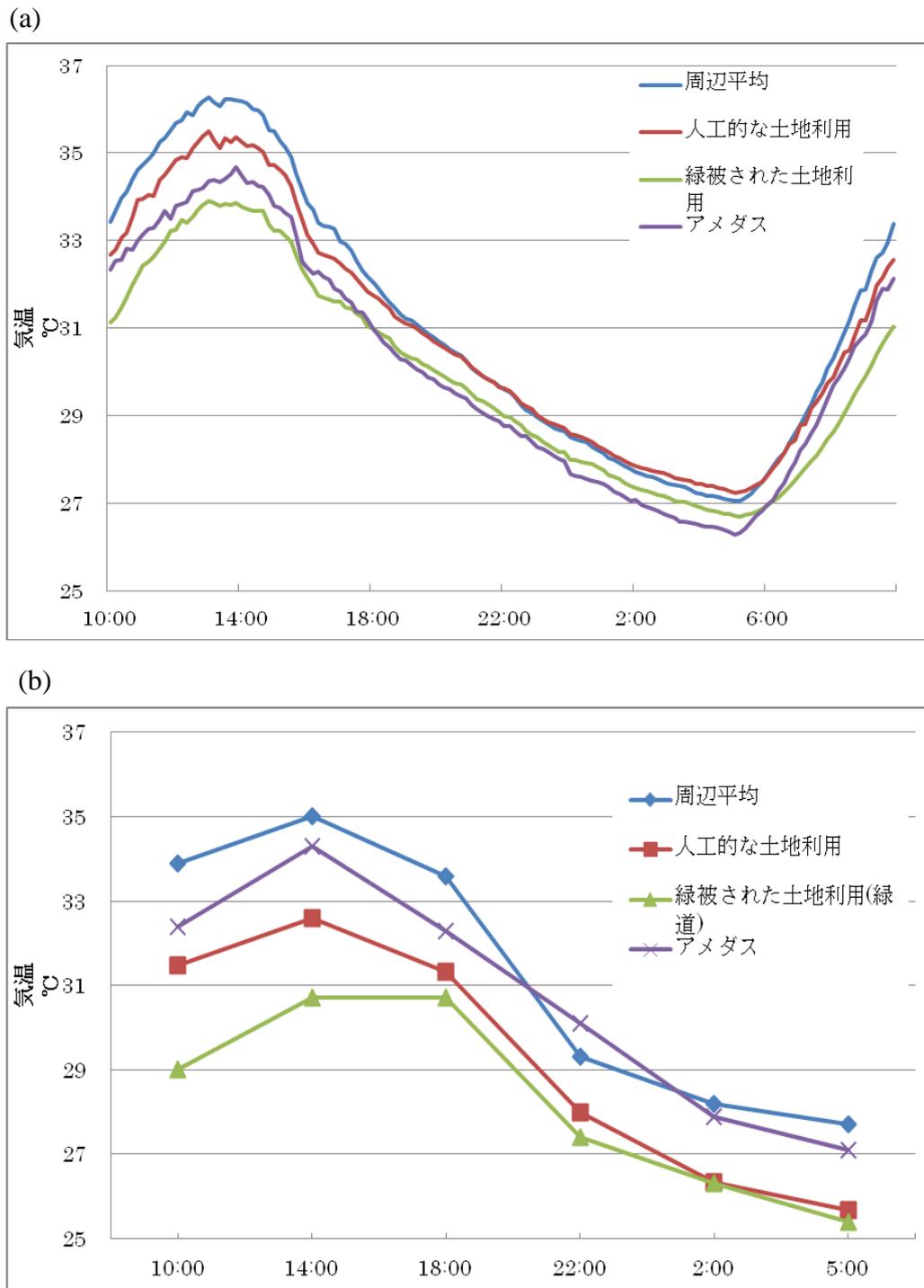
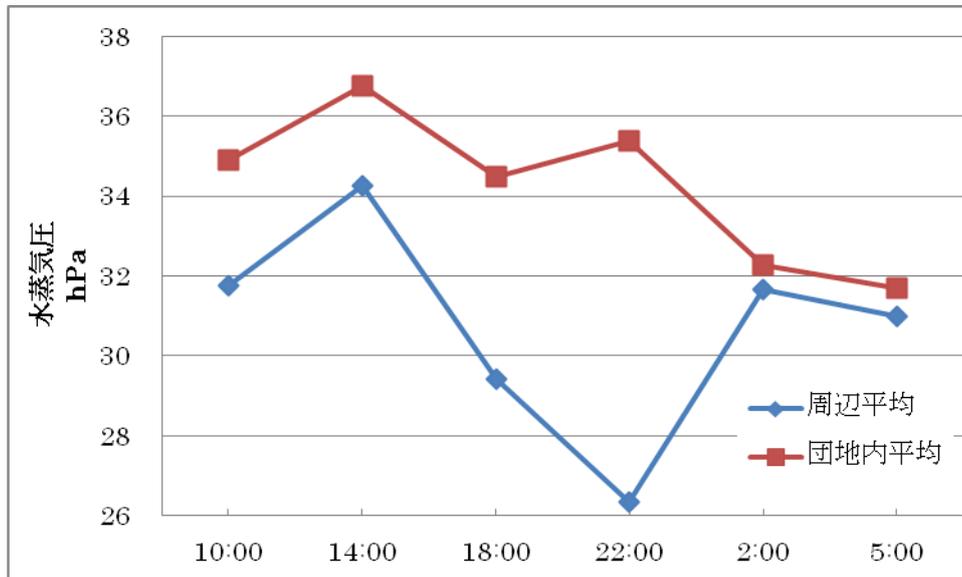


図 2 (a) 定点観測で得られた気温の時系列図. 晴天日として抽出された 14 日分のデータを平均した. 周辺地域は全 12 地点の気温を平均し, 団地内は人工的な土地利用の地点と緑被された土地利用の地点を分けてそれぞれの気温を平均した. 同 14 日分を平均した練馬の AMeDAS の気温も合わせて示す.

(b) 移動観測で得られた気温の時系列図. 周辺地域は気温を測定した全観測点(図 1a の四角と三角)の気温を平均した. 団地内は定点観測点と一致している 4 地点のデータを用いて, 人工的な土地利用は 3 地点の気温を平均し, 緑被された土地利用は 1 地点の気温を示した. また移動観測を行った日時における練馬の AMeDAS の気温も合わせて示す.

(a)



(b)

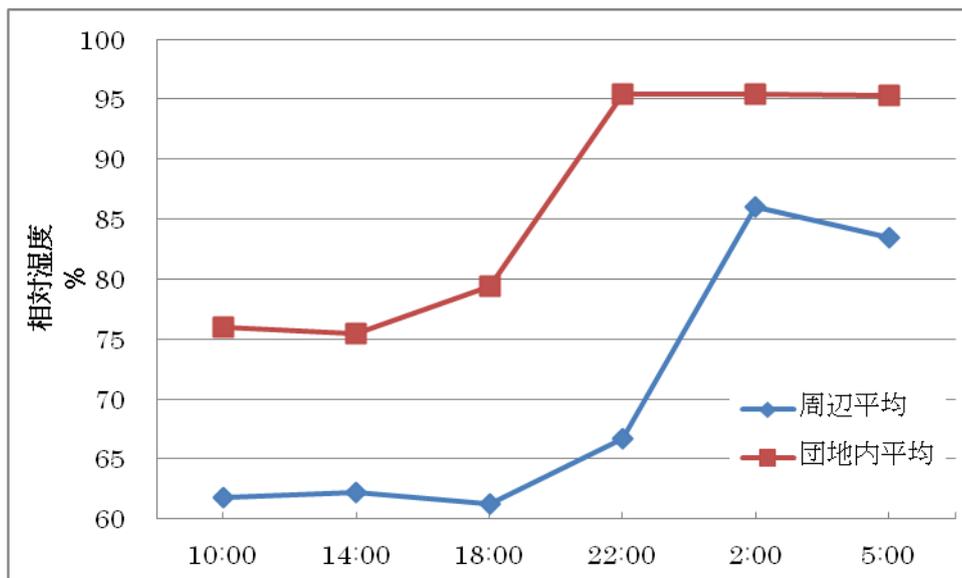


図3 (a) 水蒸気圧の時系列図. 周辺地域は団地西側の2地点を除いた計4地点の水蒸気圧を平均し, 団地内は移動観測点10地点の水蒸気圧をすべて平均した.  
(b) 相対湿度の時系列図. 周辺地域は団地西側の2地点を除いた計4地点の相対湿度を平均し, 団地内は移動観測点10地点の相対湿度をすべて平均した.

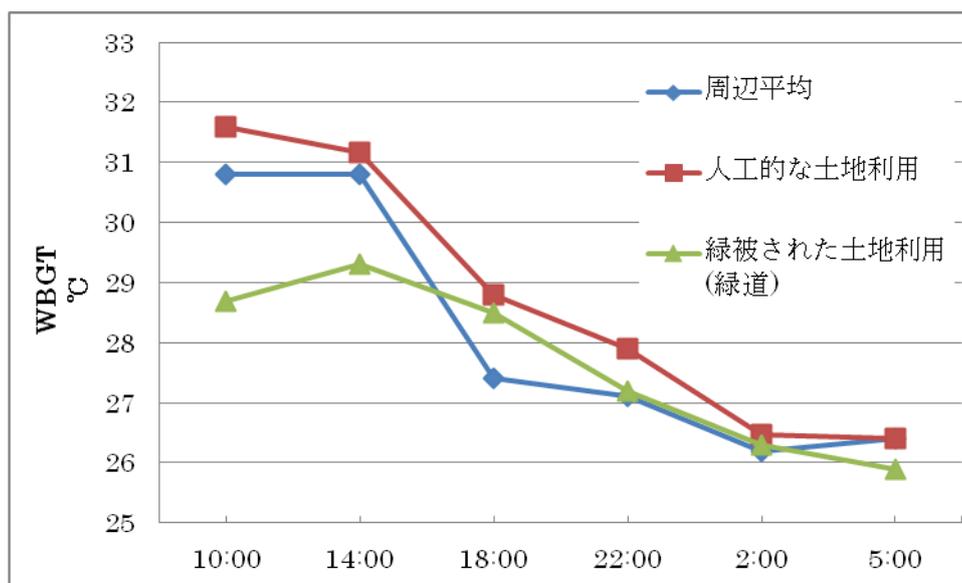


図4 WBGTの時系列図. 周辺地域は団地西側の2地点を除く計4地点のWBGTを平均した. 団地内は定点観測点と一致している4地点のデータを用いて, 人工的な土地利用は3地点のWBGTを平均し, 緑被された土地利用は1地点のWBGTを示した.