

自然教育園報告(Miscellaneous Reports of the Institute for Nature Study)
第42号：39-47, 2011.

自然教育園における冷気のにじみ出し現象

清水昭吾・菅原広史・成田健一・三上岳彦・萩原信介

Cold air-seeping phenomena in the Institute for Nature Study

Shogo Shimizu, Hirofumi Sugawara, Ken-ichi Narita,
Takehiko Mikami and Shinsuke Hagiwara

2011・3

国立科学博物館附属自然教育園

The Institute for Nature Study, National Museum of Nature and Science
Minato-ku, Tokyo

自然教育園における冷気のにじみ出し現象

清水昭吾¹・菅原広史²・成田健一³・三上岳彦⁴・萩原信介⁵

Cold air-seeping phenomena in the Institute for Nature Study

Shogo Shimizu¹, Hirofumi Sugawara², Ken-ichi Narita³,
Takehiko Mikami⁴ and Shinsuke Hagiwara⁵

はじめに

近年、都市の気温がその周辺と比べて高くなるヒートアイランド現象が顕著となっている。ヒートアイランド現象の成因としては大きく分けると、土地利用状態の変化、建物の効果、人工排熱であるとされる(気象庁, 2008)。元来高温多湿である日本においては、特に夏季の高温化により様々な影響が顕在化しており、ヒートアイランド対策は重要な課題である(三上, 2005)。一方、都市内に存在する緑地は、その周辺市街地と比較して低温であり、緑地内の涼しい空気は緑地の外へと流出して周囲の気温を下げる(丸田, 1972)。すなわち、クールアイランドとなる都市内緑地には都市のヒートアイランドを緩和する効果が期待できるといえる。

都市のヒートアイランド対策という視点からは、緑地内の冷気が市街地へと流出する冷気のにじみ出し現象が注目される。緑地からの冷気のにじみ出し現象に関して詳細な測定を行った例として、成田ほか(2004)による新宿御苑での研究があるが、異なる規模や特徴を持つ都市内緑地でのさらなる測定事例の蓄積が必要である。

自然教育園内においては、都市内緑地によるクールアイランドの測定を目的に2007年より気温観測を実施してきた。2009年からはより詳細な観測を行っており、2009年夏季の結果は前号(三上ほか, 2010)で報告した。本報告では2010年夏季に行った集中観測によって明らかとなった、自然教育園からの冷気のにじみ出し現象についての観測結果を報告する。

観測概要

自然教育園内および周辺市街地において気温の測定を実施した。自然通風型放射シェルターをつけた温度ロガー(T&D, RTR-52)を用いて1分ごとの気温を測定した(図1)。放射シェルターを用

¹ 首都大学東京, Tokyo Metropolitan University

² 防衛大学校, National Defense Academy

³ 日本工業大学, Nippon Institute of Technology

⁴ 帝京大学, Teikyo University

⁵ 国立科学博物館附属自然教育園, Institute for Nature Study, National Museum of Nature and Science

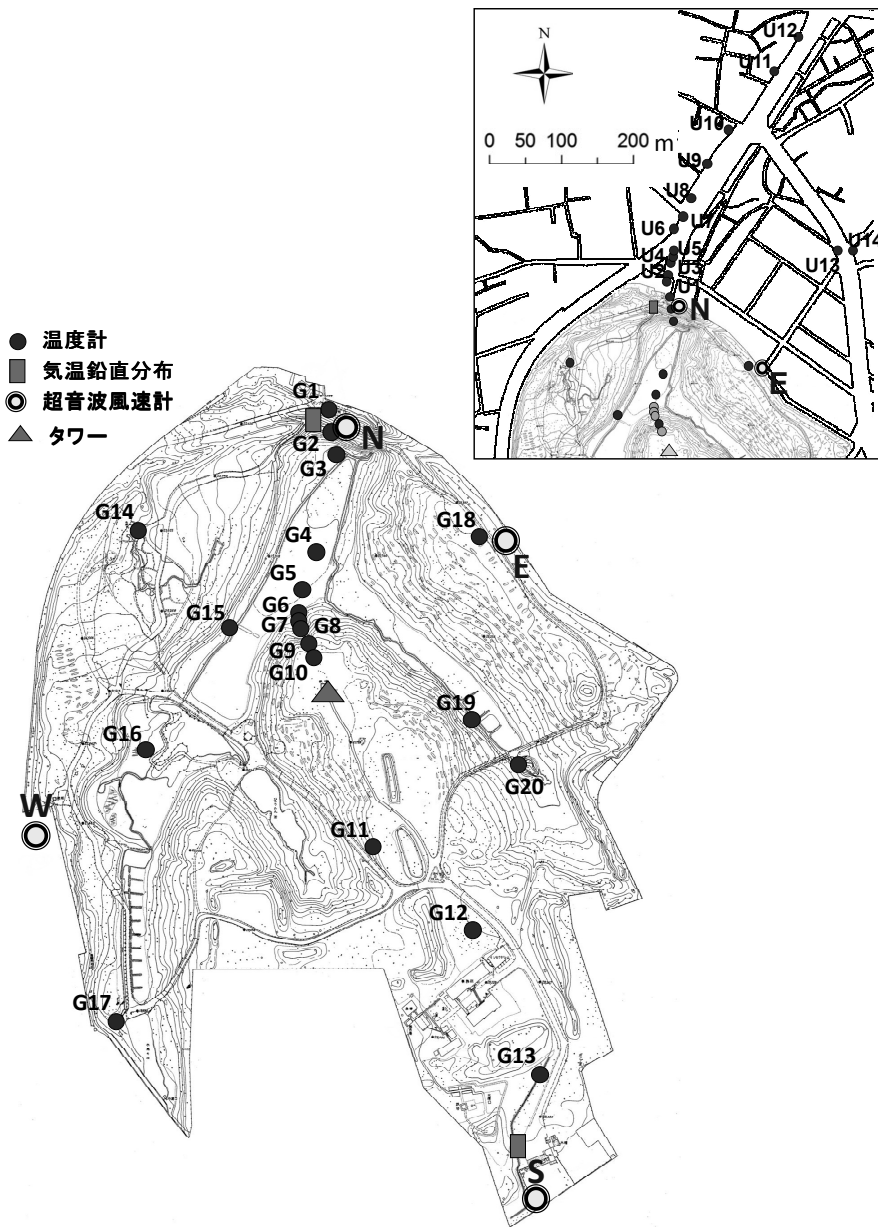


図1 観測地点の配置. 園内と周辺市街地(右上図)に分けて示した. 周辺市街地の図は園内よりも縮小してある.

いることで日射によるセンサー加熱の誤差を最小限に抑えている。温度計は、園内では樹木に、周辺市街地では街路灯に取り付けて測定を行った。測定高度は地上2.5mを基準としたが、樹木の繁茂などの周辺環境により地点ごとに多少のばらつきがある。温度計は2009年の測定点に加えて、園中央部の観測タワーの北側斜面に高密度に配置するとともに、市街地の測定点を園からより遠い地点まで

設置した。市街地の測定点は、園内からの冷気の影響の到達範囲を明らかにするため、園の北側境界から直線上に配置した。

水平分布に加えて、園の南端および北端付近（図1 ■印）と観測タワー（図1 ▲印）において気温鉛直分布の測定も行った。測定高度は、園南端で地上 1.5・3.6・5.7・7.7・9.8・11.9・14.0・16.1m、園北端で地上 4.7・7.2・9.7・12.2・14.7m、観測タワーで地上 0.5・1.5・2.5・4.0・6.0・8.0・10.0・11.4・13.4・15.4・17.6m（観測タワーのみ 10 分ごとの測定）である。さらに観測タワー上部の樹冠部付近では、強制通風管を取り付けた熱電対を用いた気温の測定を行った。測定間隔は 1 秒で、地上 9・11・13・15・17・19m の高度で測定した。

また、自然教育園から周辺市街地へにじみ出す冷気の流れをとらえるため、園の東西南北の境界付近 4 箇所（図1 の○印）で風向・風速の測定を行った。測定高度は、N および E 地点では地上 1.5m、W 地点では地上 8m、S 地点では地上 10m とし、超音波風速計（N・E 地点では Gill windsonic、W・S 地点では総合気象観測装置 vaisala wxst520）により 1 秒ごとの測定値の 1 分平均値を記録した。また、観測タワー上端部（樹冠上）にも超音波風速計（Kaijo SAT-540）を設置している。

観測期間は 2010 年 7 月～9 月であるが、本報告では全地点でのデータが揃った 2010 年 7 月 31 日～9 月 29 日までのおよそ 2 か月間のデータを使用する。

晴天日のクールアイランド強度

2010 年は強い太平洋高気圧に覆われ、高温で晴天日の多い夏であった。

まず、自然教育園が市街地と比べてどの程度低温があったのかを検討する。園内外に多数の観測点を設けたため、それぞれの平均気温を求め、その差を緑地内外気温差（クールアイランド強度）とした。園内外とも境界に近い部分では互いの影響を受けていると考えられるため、園内平均気温は園中央部の 9 地点（G6～G12、G19～G20）、市街地平均気温は園から離れた 9 地点（U6～U14）の平均値とした。

先行研究によって晴天日にクールアイランド強度が大きくなることがわかっており（菅原ほか、2006）、対象期間の晴天日を抽出し、晴天日のクールアイランド強度の平均値を算出した。晴天日は、気象庁大手町における 1 日の日照時間が 7 時間以上で無降水の日と定義し、合計 29 日が抽出された（8 月 5 日・7 日・15 日～17 日・21 日～9 月 4 日・6 日～7 日・10 日～12 日・17 日～19 日・21 日）。

図 2 は、晴天日を平均した緑地内平均気温と市街地平均気温、およびクールアイランド強度の日変化を 10 分値で示したものである。市街地では最高気温が 33℃以上に達しているが、園内では 31℃程度に抑えられている。最低気温も市街地が 27℃くらいまでしか下がらないのに対し、園内は 25℃近くまで低下していた。緑地内外の気温差であるクールアイランド強度は、夜間には約 2℃、日中は 2.5℃程度であり、日中の方が大きくなった。日中にクールアイランド強度が大きくなる傾向は、2007 年から 2008 年に実施した観測でも同様であった（清水ほか、2009）。また、クールアイランド強度の大きさは、日中は同程度であったが、夜間は今回の観測の方が 0.5℃程度大きくなった。これは、測定点の違いが要因となっている可能性がある。

さらに新宿御苑での観測結果（成田ほか、2004）と比較すると、日中、夜間とも今回の結果の方がクールアイランド強度は大きい。夏季晴天日には、1 日を通して園内は市街地よりも 2℃以上低温であるということからも、自然教育園のクールアイランド効果は大きいといえる。

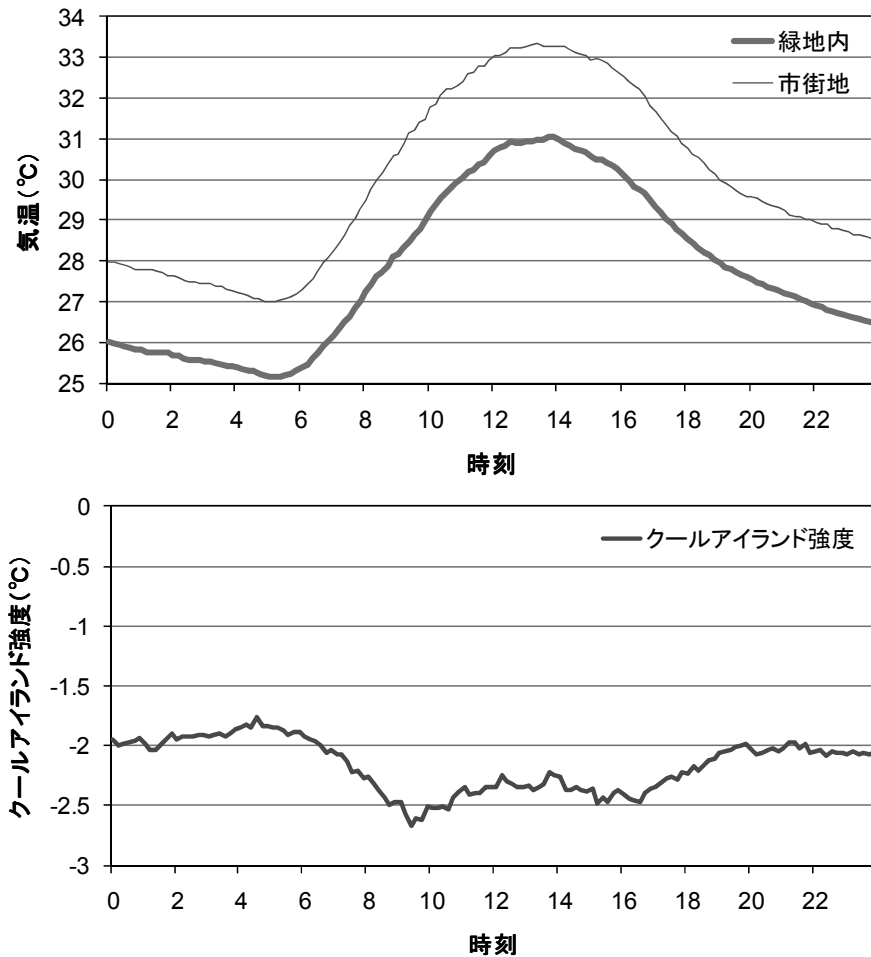


図2 晴天日における緑地内平均気温と市街地平均気温, およびクールアイランド強度の日変化。

冷気のにじみ出し現象発生日の風の変化

図3は、冷気のにじみ出し現象が測定された2010年8月29日18時から30日6時にかけての緑地境界および観測タワー上における気温・風向・風速の変化である。N地点では18:30頃、S地点では19:30頃に急激な気温低下がみられる。また、その頃を境に境界部の各地点で風向が園内から市街地へと向かう方向へと変化している。この気温低下と風向の変化は成田ほか(2004)の新宿御苑での観測においても測定されており、緑地内の冷気のにじみ出し現象が起こったと判断できる。この時の風速は、各地点とも0.5m/s以下という弱い風であった。また、特に0時から2時頃にかけて境界部各点の風向が安定しており、この時間には安定した冷気の流出があったと考えられる。

一方、園中央部の観測タワー上では0時以降に風向が定まらなくなり、境界部でにじみ出しが安定して起こっていたと思われる0時から2時頃にかけては風速が弱まり、気温が若干上昇している。境

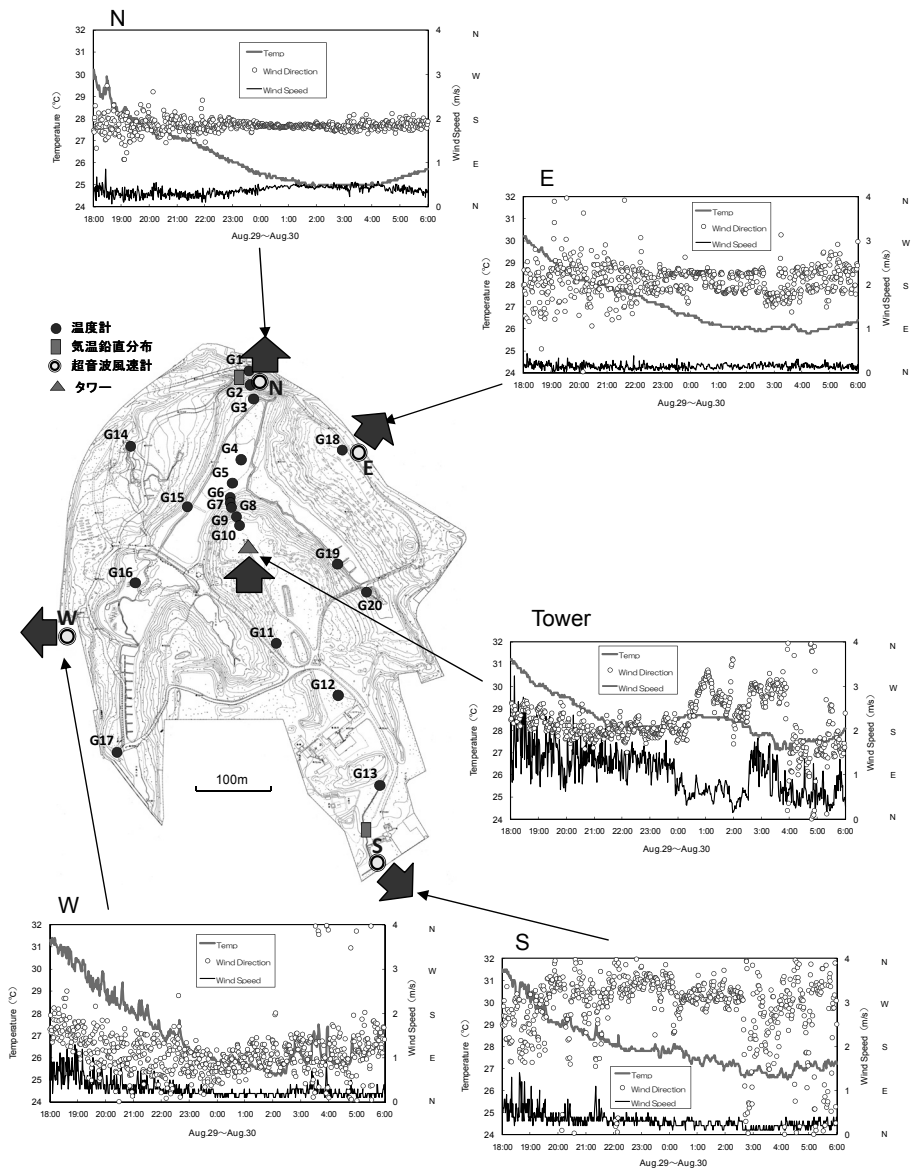


図3 2010年8月29日～30日にかけての緑地境界および観測タワー上における気温・風向・風速の変化。

界部から出て行った緑地内の冷気を補うために、上空から空気を取り込んでいたことが示唆されるが、この点については観測タワーで測定したデータも用いたさらなる検討が必要である。

にじみ出し現象発生日の測線上の気温変化

次に、園内から市街地へと流出した冷気はどのくらいの距離まで気温を下げる効果があるのかにつ

いて検討する。まず、にじみ出しの起こった8月29日夜間から30日早朝にかけての南北方向にとった測線(G10～U12)に沿った気温断面分布をみる(図4)。にじみ出しが始まってそれほど時間がたっていない時(21:50～22:00の10分平均)と、にじみ出しが安定して発生した後(2:30～2:40の10分平均)の2事例の気温断面分布を示した。

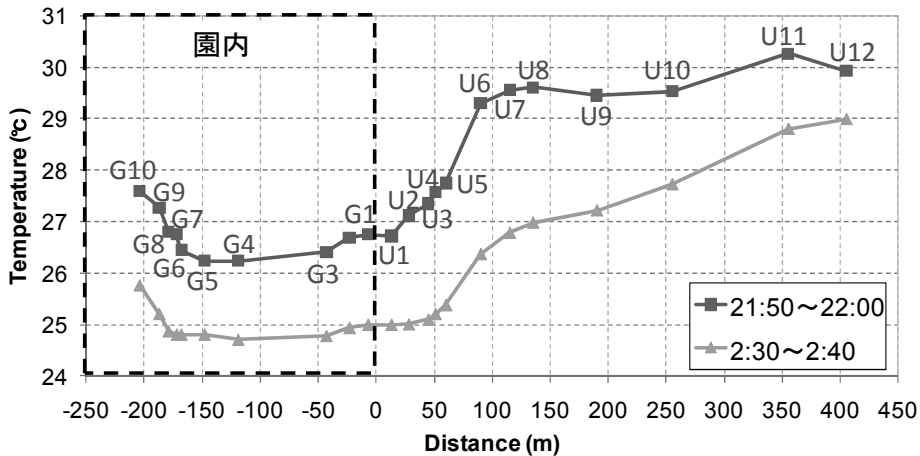


図4 園中央部から北側市街地にかけての測線に沿った気温断面分布。にじみ出しが現れた2010年8月29日～30日。

22時頃の気温断面をみると、最も低温なのは湿地帯であるG5である。G3からG5にかけては園内で地形的に低い場所であるため、冷気がたまり低温域を形成していると思われる。このことは2009年の観測でも確認されている。G5からG10の斜面では標高が低いほど気温も低くなっている。G2は比高約6mの土手となっているが、G3との気温差はあまりみられない。市街地側に出ると、最も園に近いU1は園内とほとんど同じ気温であり、離れるにつれて徐々に気温が上昇してU5とU6の間で約1.5℃の気温差が生じている。この間には、上空に首都高速の通った4車線の道路が存在しており、これが冷気の移動を妨げているものと思われる。なお、2009年にはU5までの冷気の到達をとらえていた。

続いて2時30分頃の気温断面分布をみると、G8からU4付近まで気温差はほとんどなく、自然教育園から50mまでの市街地では緑地内と同様の涼しい環境となっている。U5とU6の気温差は1℃程度に縮まっており、さらに遠い地点では自然教育園に近づくほど気温が低くなるという分布である。この結果から判断すると、自然教育園からかなり離れたところまで冷気の影響が及んでいることが考えられる。

測線上の各点の時間変化を示したのが図5である。夕方以降G3からG6の低地が最も気温が低く、冷気の蓄積がみられる。冷気層は徐々に高くなり、土手上のG2や標高の高いG7・G8との気温差が小さくなっている。市街地では、U2からU5の地点で22時頃まで変動が大きいものの、それ以降は変動が小さくなり自然教育園からの冷気に覆われたことがわかる。また、22時頃からはU6からU9でも気温が低下し始め、U10でも0時頃から低下がみられる。一方、U11・U12は22時以降の気温低下はみられない。今回の結果から断定はできないが、自然教育園から離れるにつれて気温が高くな

っていることから、自然教育園からにじみ出した冷気は4車線の道路を越えて緑地の境界から250m (U10) 付近まで達していることが推測される。成田(2004)では、にじみ出しの範囲を80~90mとしており、今回の結果はその値よりも大きいものである。これは、この場所が地形的に北側に向かって下っていることで、冷気がより遠くまで運ばれやすいことも関わっているものと思われる。

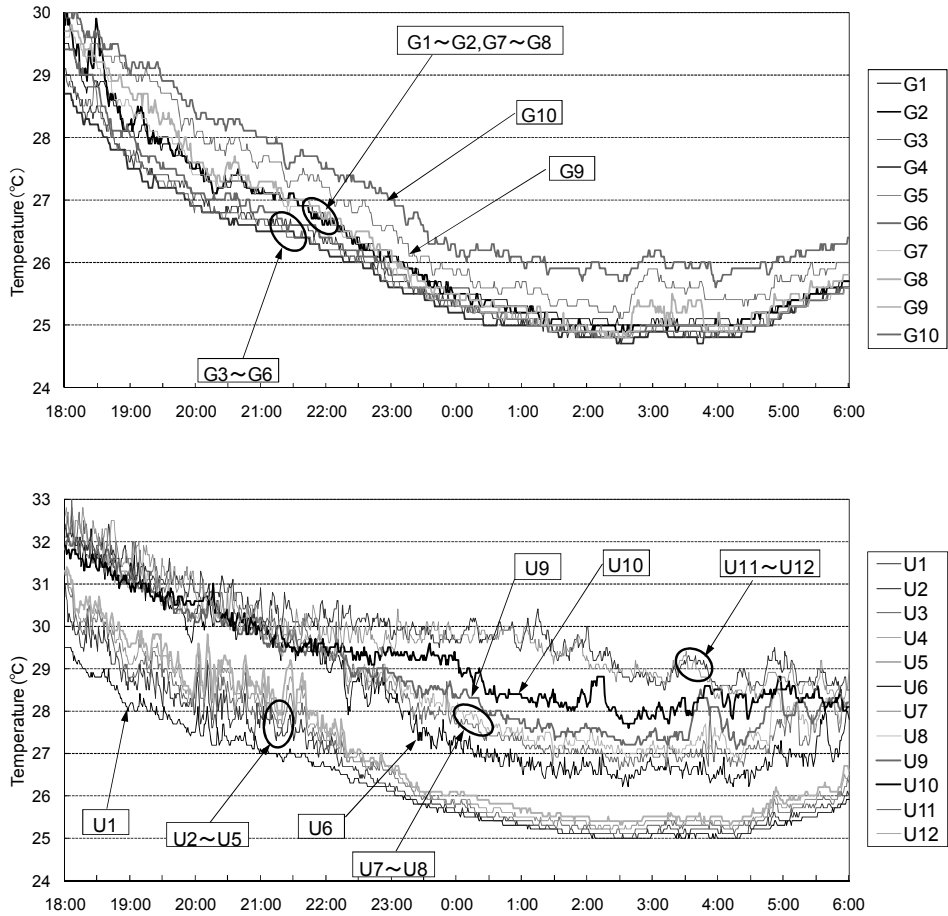


図5 2010年8月29日18時~30日6時における測線上の各点の気温時間変化。上：自然教育園内，下：市街地。

にじみ出し現象発生日の観測タワーにおける気温変化

図6は、8月29日夜間から30日早朝にかけて観測タワーで測定された鉛直気温分布の時間変化である。温度ロガーのデータは10分間隔、9mから上で測定した熱電対のデータは1分間隔である。鉛直方向にみた気温は、地表付近と樹冠付近(高さ10~12m程度)で低くなっている。先行研究でも樹冠面が冷却面とされており、樹冠付近の低温はそのことを裏付けていると考えられる。ただし、樹冠付近の気温は低地のG5付近と比べると高くなっている。4で述べた0時から2時頃にかけてのタワー上での気温の上昇は、樹冠上の13mまでみられる。

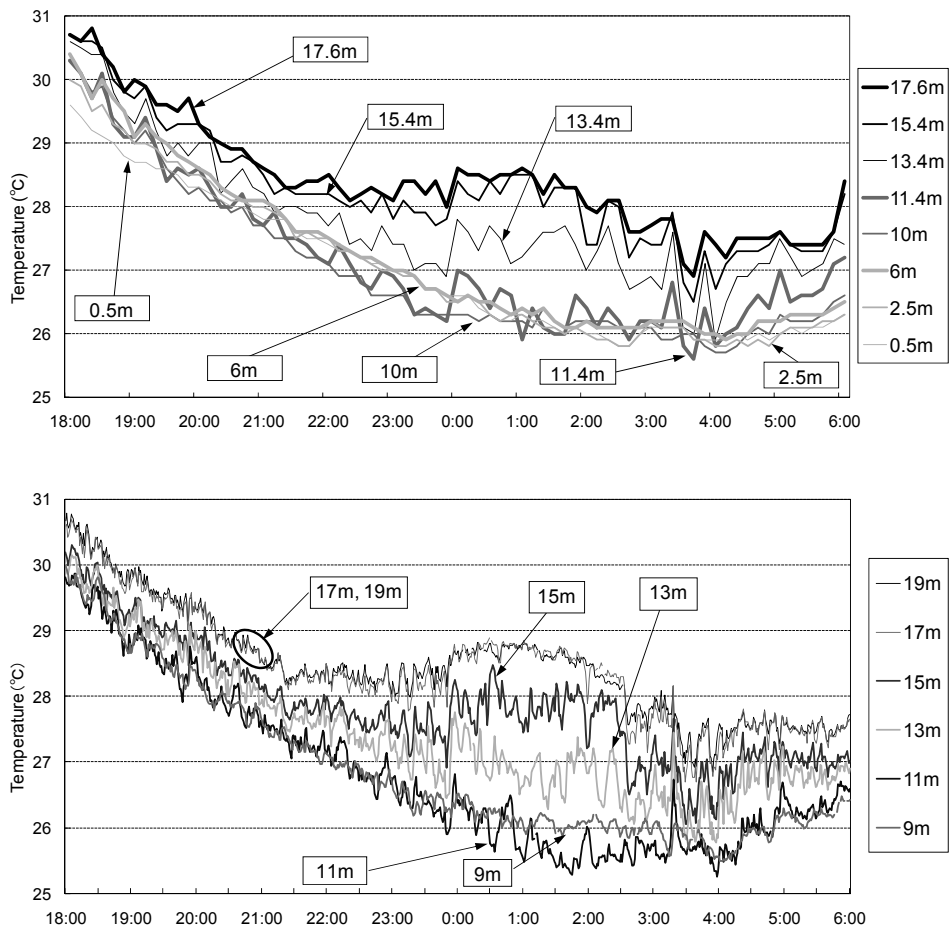


図6 2010年8月29日18時～30日6時の観測タワー各点の気温時間変化。上：温度ロガーの時間変化（10分値），下：熱電対の時間変化（1分値）。

まとめ

都市のヒートアイランドの緩和策としての自然教育園のクールアイランド効果を検討した。晴天日のクールアイランド強度は、夜間には2℃、日中は2.5℃程度であった。夜間の冷気のにじみ出し発生日には、境界部のすべての観測点で風向が園内から市街地へと向かう方向となっていた。自然教育園で発生した冷気は、夜間のにじみ出し現象によって北側市街地へと流出していることが確認され、4車線の道路を越えて最大で250 m程度にまで及んでいることが示唆された。

引用文献

気象庁. 2008. ヒートアイランド監視報告（平成19年冬・春-関東・近畿地方）.
清水昭吾・高橋日出男・三上岳彦・泉岳樹. 2009. 都市内緑地におけるクールアイランド強度とその

- 季節変化, 日本地理学会 2009 年度春季学術大会発表要旨集 75 : 171.
- 丸田頼一. 1972. 公園緑地の都市自然環境におよぼす影響, 都市計画, 69・70 : 49-77.
- 三上岳彦. 2005. 都市のヒートアイランド現象とその形成要因－東京首都圏の事例研究－, 地学雑誌 114 : 496-506.
- 三上岳彦・菅原広史・成田健一・清水昭吾・萩原信介. 2010. 自然教育園におけるクールアイランド, 自然教育園報告, 41 : 85-94.
- 成田健一・三上岳彦・菅原広史・本條毅・木村圭司・桑田直也. 2004. 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 : 403-420.
- 菅原広史・成田健一・三上岳彦・本條毅・石井康一郎. 2006. 都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件への依存性, 天気, 53 : 393-404.