

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560700

研究課題名（和文）都市内の斜面緑地における冷気のにじみ出し現象の把握と温暖化対策としての利用可能性

研究課題名（英文）Cold air drainage from slope-forests in a city and its availability as a countermeasure against the warming

研究代表者

成田 健一（NARITA, Ken-ichi）

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：20189210

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,300,000 円、（間接経費） 1,290,000 円

研究成果の概要（和文）：都市内に残存する「斜面緑地」に着目し、緑地の規模・傾斜・植生および流出する市街地形態に注目しながら、その冷気供給能を実測により系統的に把握した。斜面緑地では、平坦な緑地に比べ、早い時間帯に冷気流出が始まる。明確な冷気流出が起こるには緑地幅は最低でも100mは必要で、200m以上の緑地幅があればほぼ確実に冷気流出が起こる。以上は緑地外への冷気流出の条件であり、より小規模な緑地でも冷気生成は認められる。数十m規模で残存する斜面部分の小緑地の冷気流出効果は限定的なものである。

研究成果の概要（英文）：Observations about the cold-air supply from patchy slope forests in Tokyo were investigated from the viewpoints of a scale, a inclination, the vegetation type and a city area configuration. In the slope forest, nighttime cold air drainage begins earlier than in the flat green space. The width of green space is necessary at least 100m for cold air drainage into city area. If the width of slope forest is more than 200m, cold air surely flows out into surrounding built-up area. This is a necessary and sufficient condition for the cold air drainage across the boundary. Even smaller green space, cold air production was found within it. The cooling effects of small forest which remained patchy in only steep slope were restrictive.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：ヒートアイランド 緑地 冷気流 放射冷却 クールアイランド 微気候

1. 研究開始当初の背景

10年ほど前、申請者らのグループは東京の新宿御苑において、夜間に発生する冷気の「にじみ出し現象」を世界で初めて明確にとらえることに成功した（成田健一・菅原広史ほか、地理学評論 2004）。晴れた夜、緑地内では放射冷却現象により地表面近くに冷気層が形成される。特に静穏な条件下では、冷気の拡散が抑えられるため、緑地内に冷気が効率よく蓄積され、これが一定以上の厚さに達すると、緑地境界を越えて周囲の市街地に流出する。これが冷気の「にじみ出し現象」とわれわれが呼ぶもので、新宿御苑の例では境界から 80~90m まで冷気が達していた。

これまで、緑地の風下側の市街地は、緑地から流出する冷気の影響を受けて涼しくなっている、という報告が数多くなされてきた。しかしながら、この場合は風に伴う冷気流出（移流現象と呼ぶ）によるものなので、涼しくなるのは風下側に限られる。一方、「にじみ出し」の場合は、無風の条件で冷気が重力流的に全方位に流出する現象で、流出の速度は 0.1~0.3m/s と非常にゆっくりとしている。移流現象のような乱流ではなく、ほとんど乱れない状態で緑地から冷気が押し出されてくる。そのため、冷気は市街地に流出した後も暖気と混合せず、到達限界まで緑地内の冷たさを保ったまま拡がっていく。それゆえ、流出限界では 2℃以上の急激な気温差が形成され、流出範囲に含まれる住宅地では、緑地内と同様の涼しさを得ることができる。温暖化対策として、われわれが夜間の現象に注目する理由は、この「冷却ポテンシャルの大きさ」にある。

その後、冷気の「にじみ出し現象」が、どのような規模の緑地で起こるのか？また、どのような構造の緑地が冷気の生成に有利なのか？などを探るため、様々な緑地を対象に検討を続けてきた。都内最大の緑地である「皇居」についても、宮内庁と環境省の協力を得て系統的な実測を行ってきた。皇居東側の外苑では、二重橋付近から流出した冷気のフロントは日比谷濠・馬場先濠を越え、丸の内街区に流出。丸の内街区に入った冷気は、徐々に冷たさを失っていくものの、さらに 300m 先の東京駅付近まで達していた。そのほか、日比谷公園、芝公園、白金の自然教育園でも冷気流出が起こっており、さらに 1960 年代に造られ現在は豊かな緑が育っている UR の荻窪団地でも冷気の「にじみ出し」が確認された。一方、都心に位置する 0.3ha 程度の小公園や芝生化された校庭では、冷気層の形成が認められなかった。ただし、崖線に沿った「斜面緑地」では、緑地の規模が小さくても、地形効果で効率的に冷気の供給がなされていることなどが明らかとなってきた。

一例として、都内・早稲田の北東、神田川に沿った斜面緑地（椿山荘西側）胸突坂での実測では、周囲よりも 2℃以上低温の冷気が斜面を下降していることが確認された。斜面

緑地の規模は、新宿御苑等に比べ遥かに小さいにもかかわらず、冷却のポテンシャルはほぼ同じくらい大きいことが注目された。

2. 研究の目的

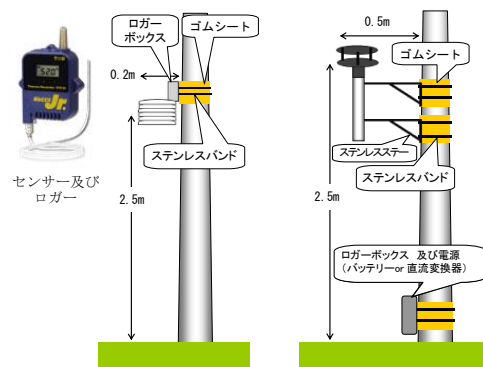
本研究では、上記の経緯を踏まえ、異なるいくつかの斜面緑地における冷気形成とその流出状況を同時に実測することにより、斜面緑地の規模・傾斜・植生の種類、そして冷気が流出する市街地の形態の差異によって、冷気の「にじみ出し現象」がどのように変化するかを系統的に明らかにする。具体的には、上記の実測例と同様に、超音波風速計により斜面から流出する冷気の方角を確認すると同時に、市街地内に多点配置した温度ロガーの気温変化から、冷気の流出限界を把握する。

これらの実測と平行して、東京首都圏を例に、リモートセンシングデータと GIS データを用いて残存する「斜面緑地」の分布をマッピングする。この結果は、観測地点の選定にも利用する。

実測結果の解析・整理より、どの程度の規模の斜面緑地ならば冷気流出が期待できるか、また流出する冷気は斜面下の市街地のどのくらいの範囲に拡がるかなど、斜面緑地のポテンシャルを把握する。

3. 研究の方法

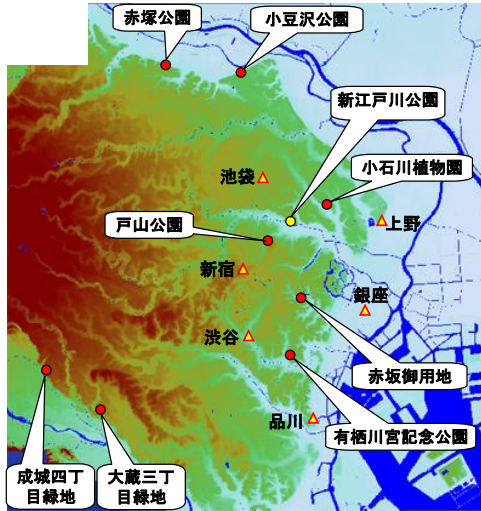
初年度、計画通りに超音波風向風速計 8 台を購入し、気温測定用の自然通風日射遮蔽シェルターは、材料を購入し 140 台自作した。観点を変えながら、夏季約 2 か月間の実測を 3 年間にわたり行った。サンプリング間隔は、風向風速は 1 秒、気温は 1 分とした。設置状況を下図に示す。



測定機器の設置状況(左:温度計、右:風速計)

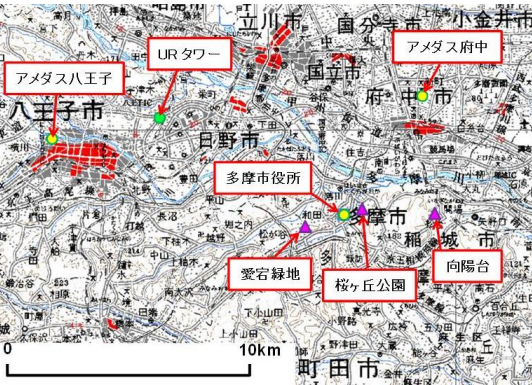
(1) 1 年目は、緑地の規模や周辺状況に差異がある緑地をできる限り多数選定し、比較検討を試みた。最終的に、気温は当初計画の 50~90 地点を大幅に上回る計 132 地点で実測した。赤塚公園、小豆沢公園（共に板橋区）は北落ちの連続した斜面緑地、成城と大蔵（共に世田谷区）は国分寺崖線沿いの南西落ちの斜面緑地で、何れも比高は約 20m である。戸山公園（新宿区）、有栖川宮記念公園（港区）、小石川植物園（文京区）は市街地に囲まれた

公園で、園内に傾斜地を有している。赤坂御用地（港区）は都心の大規模緑地で東落ちの傾斜地に立地している。パークコート神宮前緑地（渋谷区）は非常に小規模な細長い緑地で緩く傾斜しており、愛宕神社（港区）と同様、どの程度小さな緑地で「冷気のにじみ出し」が発生するかを検討する目的で選定した。



初年度に測定対象とした斜面緑地の位置図

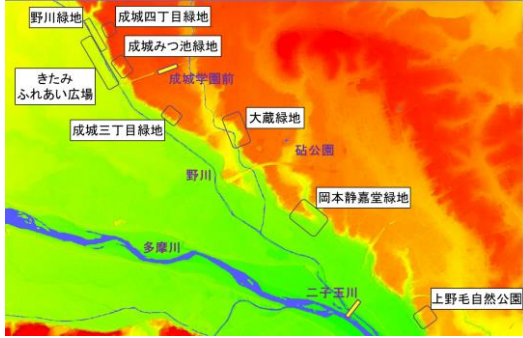
(2) 2年目は、背後に斜面緑地を有する団地が多数存在する多摩ニュータウンを対象に実測を行った。夏季、約2か月間(8/8~9/29)の集中観測を実施したのは多摩市の都立桜ヶ丘公園の周辺、稲城市の向陽台団地、多摩市の愛宕緑地の3か所である。設置した測器は、桜ヶ丘公園では温度計58か所と風向風速計5か所、向陽台団地では温度計10か所と風向風速計1か所、愛宕緑地では温度計9か所と風向風速計1か所である。基本的には街路灯を利用し、測定高さは約2.5mとした。エリアの気温鉛直分布はUR研究所の約100m高さのタワーに同様の温度ロガーを設置して測定し、下向き長波放射量は多摩市役所屋上にて実測した。



多摩丘陵における測定エリアと観測地点の位置図

(3) 最終年度は、当初から盛り込まれていた「国分寺崖線」沿いの緑地を対象に実測を継続した。測定期間は8月2日~9月30日、測定場所は東京都世田谷区内に位置する斜面緑地、成城四丁目緑地・成城みつ池緑地・成城三丁目緑地・大蔵緑地・岡本静嘉堂緑地・

上野毛自然公園の6箇所である。緑地の規模は様々であるが、比高はいずれも約20mである。なお初年度に予備的な実測を行った成城四丁目と野川緑地の結果を踏まえ、国分寺崖線下を流れる野川沿いの冷気と隣接する斜面緑地からの冷気との関連性を明確にするため、川沿いの野川緑地・きたみふれあい広場の2箇所についても実測を行った。



最終年度に測定対象とした国分寺崖線沿の斜面緑地の位置図

4. 研究成果

(1) 初年度に行った、都内多地点の同時実測から、以下の成果が得られた。斜面緑地では平地の緑地に比べ早い時間帯から冷気流出が始まるが、持続時間は逆に短くなる傾向があった。生活への影響を考慮すると、就寝時間帯に冷気流出が起こる斜面緑地の有用性は高いといえる。都心の斜面緑地は、これまでの大規模緑地に比べると冷気の供給能はやや弱く、幹線道路を挟んだ市街地には冷気が到達し難いことが明らかとなった。なお、斜面緑地の冷気供給能には、斜面緑地の幅や、上端面の背後の緑地の有無が影響していることが推察された。

以上の結果に、これまで研究メンバーで行ってきた既往研究の成果を加えて、周辺市街地への冷気流出の有無と緑地のスケールの関係をまとめたのが下表である。

斜面緑地における冷気流出の出現頻度と緑地のスケール

	長軸最大(m)	短軸最大(m)	面積(ha)	出現度
皇居(濠の内側)	2000	1500	193.0	◎
赤坂御用地	1000	650	62.5	◎
新宿御苑	1050	700	58.3	◎
白金自然教育園	650	500	20.0	◎
戸山公園	500	400	18.7	◎
日比谷公園	550	300	16.2	◎
小石川植物園	750	250	16.1	◎
赤塚公園	330	220	9.2	○
新江戸川公園+α	390	250	8.0	◎
有栖川宮記念公園	300	250	4.4	○
小豆沢公園	300	230	4.2	○
パークコート神宮前	140	50	0.5	△
大蔵三丁目	250	60	0.4	△
成城四丁目	70	70	0.3	△

この表から、概略的な目安として、20haを超える大規模公園では2度以上の温度差の明確な冷気のにじみ出しが確実に出現する。また、斜面緑地等では、幅が200m程度あれば十分冷気流出が期待できる、と結論できた。

(2) 2年目の多摩丘陵では、住宅地の背後の丘陵斜面での冷気の発生特性を細かく解析した。桜ヶ丘公園では、北向き斜面の中腹から冷気形成が始まり、その冷気が谷筋に集積したのち、谷筋を流下する冷気流が発生していた。この冷気流が到達した地点では風向変化とともに急激な気温低下が起こる。この間、尾根部は高温域として残される。また地形の効果が大きいため、谷の出口から外れたエリアでは冷気の恩恵をほとんど受けられない。

一方、このような緑地におけるローカルな冷気形成とは別に、多摩丘陵では山風である西風の侵入に伴い、広域的な接地逆転層の形成による急激な気温低下が起こる。この場合には、谷筋のみではなく、比高 100m 程度の尾根部まで冷却が起こり、緑地の冷気が達しない市街地でも、ほぼ同様の冷却が見られる。このように、郊外部の斜面緑地では、都心部の緑地とは異なり、広域現象も伴う複雑なふるまいをすることが明らかとなった。

(3) 最終年度の国分寺崖線沿いでは、崖線下の野川の河川沿いに流下する冷気と、近接する斜面緑地における冷気生成の關係に注目した。晴天・静穏日には、斜面緑地の下端部では日没後すぐに斜面を下る気流と気温の低下が観測され、斜面緑地での冷気の生成が認められる。一方、川沿いの緑地では、それから数時間遅れて、より明確な気温低下が起こり、斜面の下端よりも低温となる。このとき、川沿いの風向は、下流に向かう方向に急変していることから、河川に沿って上流から冷気が流下してきたことによる変化と判断される。すなわち、川沿いの冷気は、上流からの移流によるもので、隣接する斜面緑地で生成された冷気が到達しているわけではない。

今回対象とした 6 箇所の斜面緑地のすべてで冷気流出は認められたが、出現の頻度・継続時間・気温低下量には緑地によって差異があった。基本的には緑地の規模に依存する傾向があり、特に斜面の上端部に斜面緑地と連続する平坦な緑地をどれだけ有しているかが、冷気生成量に大きく影響していることがわかった。

最後に、研究期間全体の成果をまとめると、小規模の緑地でも冷気生成は認められるが、明確な冷気流出が起こるには緑地幅は最低でも 100m は必要で、200m 以上の緑地幅があればほぼ確実に冷気流出が起こるといえる。数十 m 規模で残存する斜面部分の小緑地の冷気流出効果は限定的なものである。以上は緑地境界から周辺市街地への冷気流出の条件をまとめたもので、これ以下のスケールの緑地でも、緑地内には冷気形成がなされており、緑地としての存在意義を否定するものではない。

都市内緑地の意義は、生物多様性など様々な観点から評価されるべきであるが、温熱環境の観点からも、一定規模の面積の確保が重

要であることが本研究から明らかとなった。

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)

[学会発表] (計 7 件)

- ① 小島 倫直・成田 健一・三坂 育正・菅原 広史・土屋 直也、都市内の斜面緑地における夜間冷気のにじみ出し現象 その 5 理想モデルと GIS を用いた冷気流パラメータの地図化、日本建築学会、2014 年 09 月 12 日、神戸大学
- ② 成田 健一・三坂 育正・菅原 広史・横山 仁、斜面緑地における夜間冷気の生成・流出に関する実測～国分寺崖線沿いの緑地を対象として、日本ヒートアイランド学会、2014 年 07 月 26 日、佐賀大学
- ③ 成田 健一・三坂 育正・菅原 広史・横山 仁、多摩丘陵における斜面緑地からの夜間冷気流出に関する実測、日本建築学会、2013 年 09 月 01 日、北海道大学
- ④ 蛭名 聖二・成田 健一・三坂 育正、小石川植物園における夜間冷気流の発生に関する実測研究、日本ヒートアイランド学会、2013 年 07 月 20 日、信州大学長野キャンパス
- ⑤ 本間 慶・成田 健一・三坂 育正・菅原 広史・横山 仁・小島 倫直、都市内の斜面緑地における夜間冷気のにじみ出し現象 その 1 赤塚公園での実測結果、日本建築学会、2012 年 09 月 14 日、名古屋大学
- ⑥ 成田 健一・三坂 育正・菅原 広史・横山 仁・小島 倫直・本間 慶、都市内の斜面緑地における夜間冷気のにじみ出し現象 その 2 規模が異なる緑地での実測結果の比較、日本建築学会、2012 年 09 月 14 日、名古屋大学
- ⑦ 小島 倫直・成田 健一・三坂 育正・菅原 広史・横山 仁、都市内の斜面緑地における夜間冷気のにじみ出し現象 その 3 GIS を用いた都市域冷気生成ポテンシャルの地図化、日本建築学会、2012 年 09 月 14 日、名古屋大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

成田 健一 (NARITA, Ken-ichi)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号：20189210

(2) 研究分担者

菅原 広史 (SUGAWARA, Hirofumi)
防衛大学校・地球海洋学科・准教授
研究者番号：60531788

三坂 育正 (MISAKA, Ikusei)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号：30416622