

大規模な階段状緑化屋根を有する建築物周辺の 微気象に関する実測調査

Field Measurement on the Micro Climate around the Building with the large stepped roof garden

萩島 理*, 成田 健一**, 谷本 潤***, 三坂 育正****, 松嶋 篤****, 尾之上真弓*****

Aya Hagishima, Ken-ichi Narita, Jun Tanimoto, Ikusei Misaka, Atsushi Matsushima, Mayumi Onoue

The authors performed the field measurements in the microclimate around the building that has the large stepped roof garden for three times. In this paper, the results of the last long time measurements are mainly presented, the aim of which is to grasp the occurrences of down stream along by the green slope due to the gravity flow at nighttime. From these measurements, following results are obtained.

1. In the calm night, the intermittent down stream with small turbulence was observed at the bottom of green slope. The duration of the down stream is about twenty to eighty minutes.
2. The maximum wind speed of down stream at the bottom of green slope is about 0.5 meter per second and the maximum difference of air temperature between the top and bottom of green slope is about 1 degree.
3. The frequency of the occurrences of down stream was clarified under the twenty conditions, which are classified by the wind direction, wind velocity and net radiation at the rooftop.

Keywords : Roof Garden, Cold air drainage, Radiative cooling, field measurement

屋上緑化、冷気流、放射冷却、屋外実測

1. 緒言

近年、ヒートアイランド現象などに代表される都市熱環境の悪化が注目を集めるに伴い、都市内緑地はアメニティ提供などの心理的効用のみならず屋外熱環境調整機能を有する貴重な存在として再認識されている。しかし、建て詰まった都市に新規にまとまった緑地を設ける事には不自由と限界がある。このような背景と相まって、東京都の自然保護条例¹⁾の改正を契機として、建物緑化は急速に普及し、様々な工法が開発されている。

建物緑化の熱的影響は、土壌と植生の断熱効果による建物空調負荷の低減、植生の蒸発散による日中の建物外表面から大気への顕熱輸送量低減等の屋外熱環境への影響の2つに大別出来る。前者については、芝生植栽等の試験体を対象とした熱収支測定²⁾が多数報告されており、実験データに基づく簡易伝熱モデルを用いた空調負荷低減効果の定量化も可能となってきている。

後者については、都市キャノピーモデルに建物緑化の伝熱モデルを組み込み屋上緑化が都市気温へ及ぼす影響を定量化した例³⁾が挙げられる。ここでは、都市の空間平均気温に対する屋上緑化の感度は一般に考えられているほど顕著ではない事が報告されている。こ

の結果から、屋上緑化の環境調整機能は、緑のごく周囲に生じる局所的なクールスポット効果が支配的であり、その効果を巧みに生活空間に取り入れた設計が望まれると言えよう。

屋外環境下の緑のクールスポット効果に関しては、これまで様々な微気象観測が行われている。例えば、石田ら⁴⁾は、建物に囲まれた隣棟空間の気温分布を詳細に測定している。浅輪ら⁵⁾は、多数の樹木を有する住宅街での微気象実測を行っている。さらに大規模な都市内緑地として、成田ら⁶⁾は、新宿御苑での冷気のにじみ出し現象についての実測結果を報告している。

しかし、単独建物の屋上緑化や壁面緑化が周辺微気象及ぼす影響を明らかにした観測例は極めて少ない。吉田ら⁷⁾は、k-εモデルを用いて地上緑化、屋上緑化の場合の気温及び気流分布の予測を行い、緑化による気温低減効果に関する検討を行っている。数値計算では計算負荷の制約から建物形状などの条件をある程度単純化せざるを得ない事を考えると、時々刻々変化する自然風、建物形状の不均一性、空調室外機や自動車など人工発熱ソースの偏在、等の非常に複雑な条件である実在都市における観測データの集積が必要であろう。

以上の問題意識から、本稿では、大規模な13層の階段状屋上庭園

* :九州大学大学院総合理工学研究院 助手・博士(工学)
** :日本工業大学工学部建築学科 教授・工博
*** :九州大学大学院総合理工学研究院 助教授・工博
**** :㈱竹中工務店・博士(工学)
***** :西松建設㈱ 工修
***** :徳島県立貞光工業高校・工修

Research Assoc., Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu Univ., Dr. Eng.
Professor, Department of Engineering, Nippon Institute of Technology, Dr. Eng.
Associate Prof., Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu Univ., Dr. Eng.
Takenaka Corporation, Dr. Eng.
Nishimatsu Corporation, M. Eng.
Sadamitsu Technical High School, M. Eng.

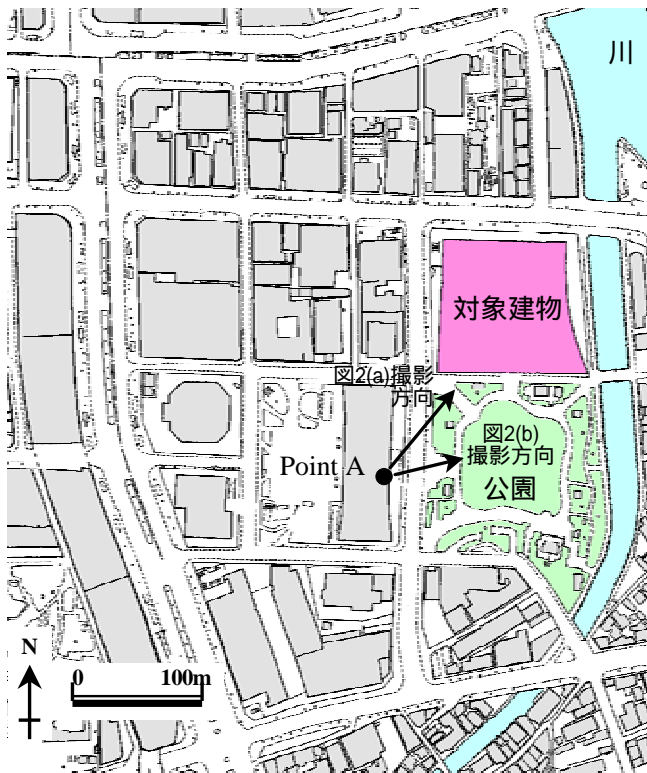


図1 対象建物周辺の配置図



(a) 対象建物南側緑化斜面を見る



(b) 建物南側公園を見る

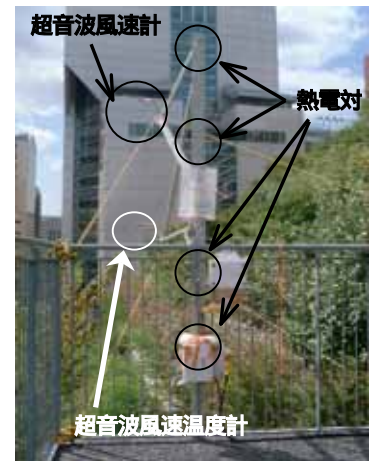
図2 測定場所の外観(撮影場所: Point A / 隣接建物 13 階B' II工-)



(a) 11階緑化斜面から西を見る



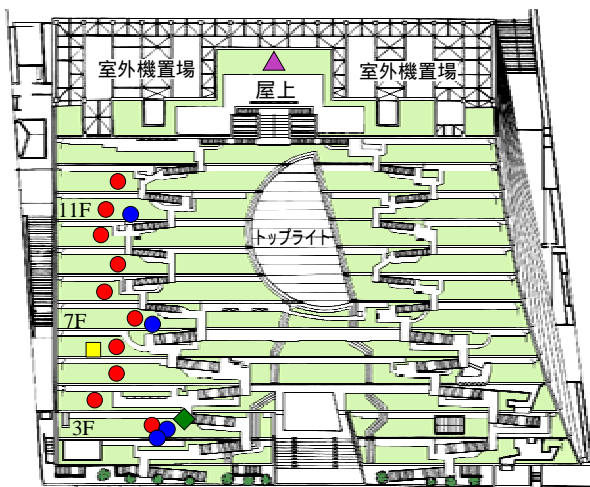
(b) 3階下緑化斜面から斜め上方を見る



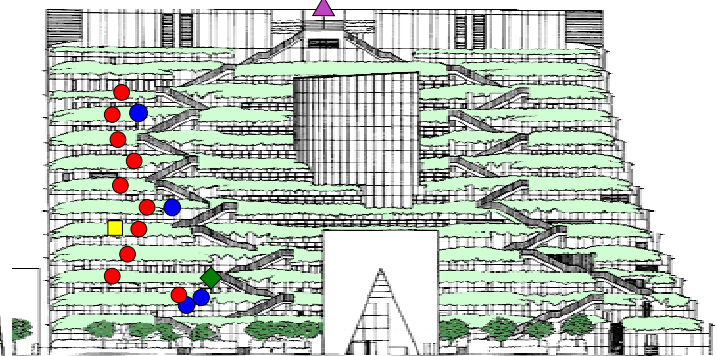
(c) 4階上下階段部から西を見る

図3 測定機器の設置状況

- : 超音波風速温度計, △ : 精密長短波放射量, □ : 群落内外鉛直気温分布
- : 階段部鉛直気温分布+超音波風速計+超音波風速温度計
- ◇ : 気象条件(温湿度, 風向風速)



(a) 屋根伏図



(b) 南立面図

図4 各測定項目の測定位置

(以下、緑化斜面とする)を有する建物⁹⁾を対象として周辺微気象観測の結果を報告するものである。当該建物は、設計当初から環境共生建築としての明快且つ斬新なデザイン、他に類を見ない大規模な屋上緑化などの点から広く注目を集めた。また、竣工した後、緑化植物の成長経過を追った記事が建築の専門誌に記載⁹⁾されるなど相変わらず高い関心を集めており、屋上緑化が普及しつつある現在においても記念碑的な存在である。本研究に先立ち筆者らは当該建物を対象とした短期の微気象観測を行い¹⁰⁾、緑化斜面周囲で夜間冷気流の発生を示唆するデータを得ている。冷気流とは静穏な晴れた夜間に谷間や盆地で観測される間欠的な下降気流で、放射冷却によって斜面沿いの空気塊が周囲より低温となる事で発生する密度流である。気象学分野においては実測¹¹⁾やモデリング¹²⁾に関する研究が多数行われている。また、建築環境工学分野でも、冷気流を住宅地の夜間の暑熱緩和に活用する事を目的とした研究^{13) 14)}が行われている。通常数キ口から数十キ口のオーダーの広がりを持つ斜面地で生じる冷気流と同じ現象が、市街地に位置する1棟の建物の緑化斜面上で発生しているとすれば、建築環境工学上極めて興味深い事例と言える。以上の背景から、本研究では対象建物緑化斜面近傍の気流特性、特に夜間における下降気流発生の実態把握をメインターゲットとした。

尚、現下建築分野で広く行われている k-εモデルや LES などによる定常計算では複雑形状市街地に位置する建物周辺の冷気流の間欠性を予測する事は極めて困難である事、建物キャノピー層内外の流れの intermittency が現在の都市境界層研究における Hot issue の1つである事に鑑みると、本稿の実測結果は、特殊な形態を有する建物を対象としたケーススタディとしてのみならず、都市境界層内の安定条件下の乱流拡散現象に関して都市気候学上意義深いデータと位置づけられる。

2. 実測概要

2.1 実測対象場所

測定対象とした建物は1995年に竣工した商業・業務の複合施設で、福岡市の中心市街地にある。敷地は博多湾の海岸線から約1km南に位置し、海陸風の影響を受け日中は北寄り、夜間は南寄りの主風向

となる。建物周辺地図を図1に、建物写真を図2にそれぞれ示す。

建物は地下4階、地上14階、地上部最高高さ約60mで、建物南側には全13層から成る階段状の屋上庭園(以下、「緑化斜面」とする)を有する。屋上庭園の一層の大きさは東西方向幅120m(1階)~98m(最上階)、奥行き6mで、約110種類4万本以上の樹木が混栽され、庭園全体を回遊できるよう通路と階段が設置されている。樹木の多くは高さ1.7~1.9mの低木である。建物の南側には約140m四方の芝生の公園が広がっており、緑化斜面と一体と成った緑地帯を形成している。また、建物東側は幅約20mの河川に隣接している。

2.2 測定期間及び測定項目

当該緑化建物を対象として2回の夏期短期集中観測(2000年9月1日~9月5日¹⁵⁾及び2001年8月20~25日¹⁰⁾)と約4ヶ月半(2002年7月中旬~同年11月末)の長期観測を行っている。本稿では、2002年度の長期観測の結果について述べる。

測定機器の設置状況写真を図3に、測定機器の設置場所を記載した屋根伏図及び立面図を図4に、測定項目及び測定機器の一覧を表1に、それぞれ示す。様々な気象条件下における緑化斜面上の気流性状を把握する事を主な目的として、緑化斜面上部(11階)、中部(7階)、下部(3,4階)にそれぞれ超音波風速温度計を設置し、空気温度と風速の3次元各成分について10Hzでの乱流計測を行っている。階段状の屋上庭園群から成る緑化斜面は建物本体や植物群落による大小様々な凹凸があるため、3階及び4階については高さの異なるそれぞれ2箇所に測器を設置している(以下、それぞれ「3階上」「3階下」「4階上」「4階下」とする)。先に行った2回の夏期短期集中観測の結果から、緑化斜面西側は東側に比べ建物東側を流れる河川の影響が少なく夜間に安定的な気流性状となる事が確認されたため、測定機器はいずれも斜面西側に設置している。また、期間中9月9日~11日の夜間には、スモークによる緑化斜面周辺気流の可視化を行っている。

尚、2002年10月中旬に、緑化斜面西側3階~12階において3つの手法で植物群落の葉面積測定を行っている。第一は、魚眼レンズ使用のデジタルカメラによる群落下の高さ1.0mにおける天空写真に拠る方法¹⁵⁾、第二は、樹木群落内の透過日射量から得られる日射

表1 測定項目及び測定機器

期間	項目	測定機器		測定場所
-A	上向き・下向き長短波放射量	精密長波長放射計(英弘精機 MR-40)		6F
-A	緑化斜面上の 風速3成分及び空気温度 (乱流計測、測定間隔10Hz)	3次元超音波 風速温度計	英弘精機 USA-1	西側3F群落上に2高度
-A			KAIJO DA600TV	西側7F,11F群落上に1点づつ
-B		3次元超音波風速計	KAIJO DA600	西側4F階下(H=1.2m)
-B			KAIJO WA-390	西側4F上(H=2.4m)
-A	気温・相対湿	通風式温湿度計(英弘精機 MH011PS)		屋上 H=1.5m
-A	風速・風向	IRDUM 風向風速計(英弘精機 MI-290S)		屋上 H=2m
-A	夜間の樹間内鉛直気温分布	T _{cc} 熱電対 0.23		5高度×10地点(西側3~12F 緑化斜面群落内外)
-B	夜間の階段階降鉛直気温分布	T _{cc} 熱電対 0.23 (0.6, 1.2, 1.8, 2.4mの4高度)		西側4F, 踊り場の手摺に固定されたアングリに設置
-C	緑化斜面周辺気流の可視化	スモークジェネレーター2台 ビデオカメラ3台		1時間毎に15分間連続で西側4.8階から煙を発生させ、4.8階、建物南側公園の3箇所よりビデオカメラで撮影
-C	緑化斜面放射温度分布	赤外線放射カメラ(NEC 三栄 TH3100)		西側2Fに放射カメラを設置し、緑化斜面上部を撮影
-D	群落中の天空写真	魚眼レンズ付きデジタルカメラ		3~12F(H=1m)約3.0m間隔で2~9箇所ずつ
-E	群落透過日射量	簡易日射計(英弘精機 MS601)		3~12F(H=0m)
-E	葉面積指数・平均群葉傾斜角	プラントリル-アライフ(LI-COR, LAI 2000)		3~12F

-A: 2002/07/20~2002/11/30 -B: 2002/09/01~2002/11/30 -C: 2002/09/09~09/11の21時から翌4時 -D: 2002/09/18 -E: 2002/10/23, 25

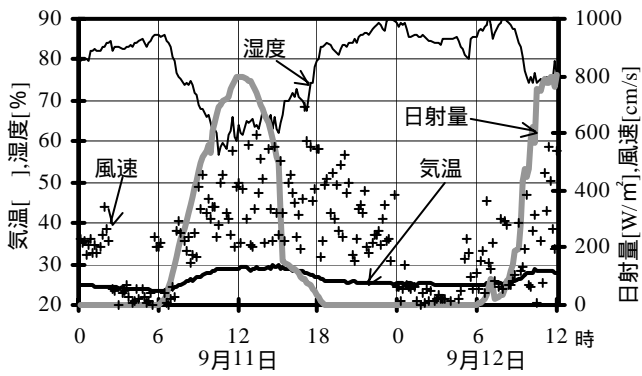


図5 屋上における気象要素の経時変化 (2002/9/11-9/12)

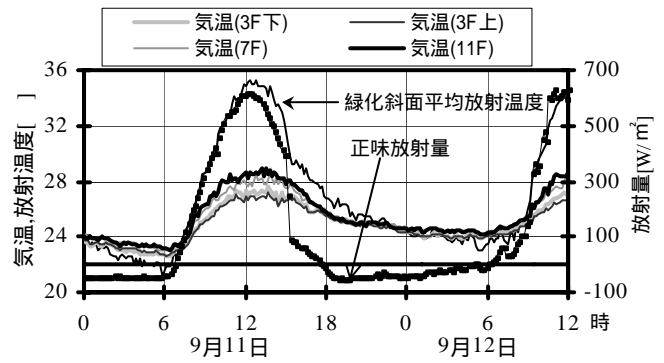


図6 緑化斜面平均放射温度,気温,正味放射量の経時変化(2002/9/11-9/12)

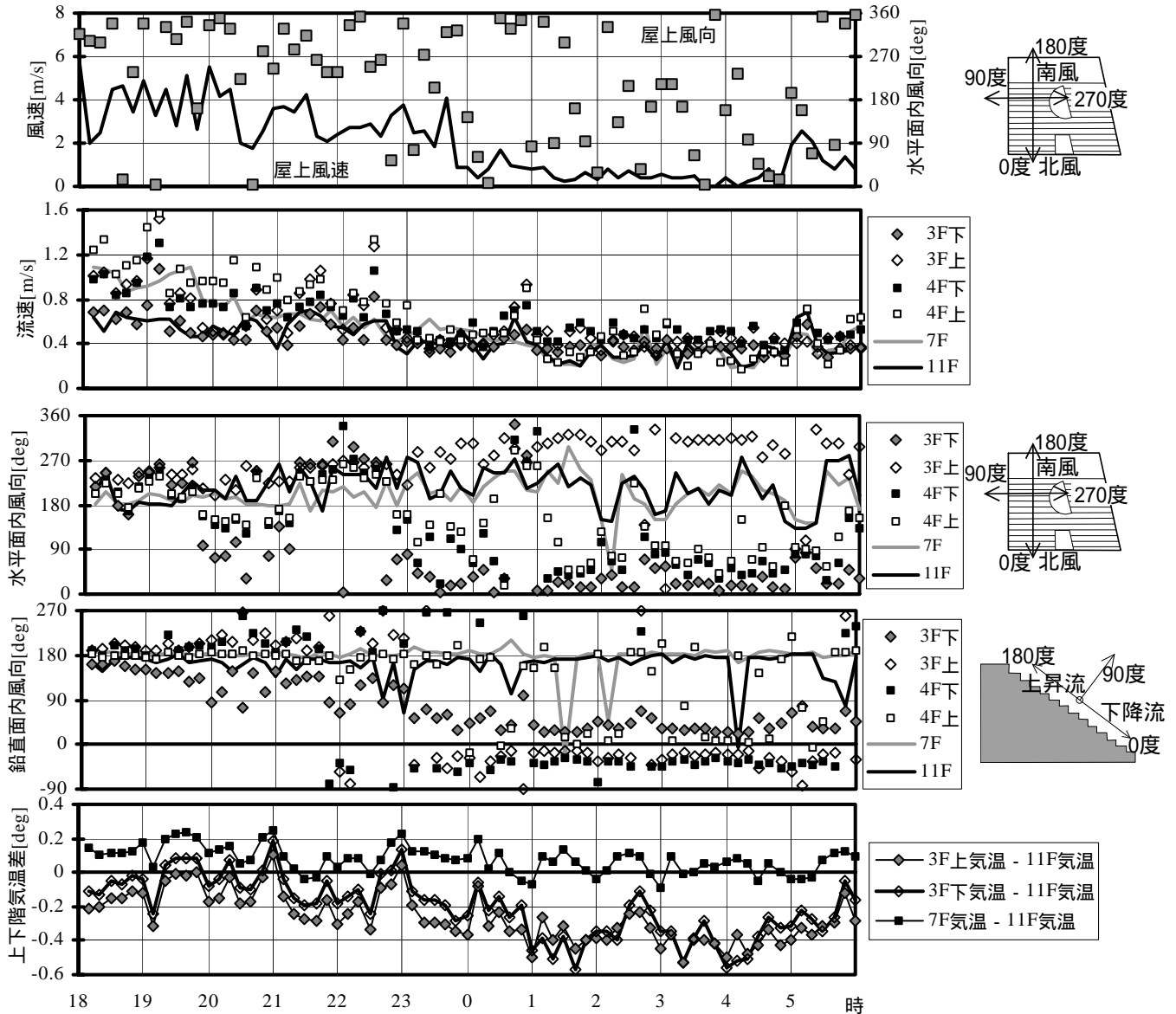


図7 各測定点における流速、風向、上下階気温差の経時変化 (2002/9/11 18時~9/12 6時, 平均化時間10分)

透過率に拠る方法¹⁶⁾、第三は、プラントキャノピーアナライザー LAI2000 による葉面積指数と平均葉群傾斜角に拠る方法である。その結果、測定方法や場所によりばらつきはあるが、概ね葉面積指数は $2.0 \sim 3.0 \text{ m}^2/\text{m}^3$ の範囲となった。

3. 夜間の緑化斜面周辺気流特性

3.1 気象条件及び緑化斜面の平均放射温度

緑化斜面周辺気流の可視化を行った3日間の中でも、特に上空風が弱かった9月11日夜から翌12日早朝のデータについて詳細な検

討を行う。まず、当該期間中の気象状況を図5に示す。日射量の経時変化から11日から12日にかけてほぼ快晴であった事が分かる。

次に、緑化斜面6階西側に設置した精密長波短波放射計の上向き長波放射量の実測値より算出した緑化斜面平均放射温度^{注1)}と、3, 7, 11階の空気温度の経時変化を図6に示す。尚、緑化斜面の放射率は0.97を仮定している。緑化斜面の放射温度は日中のピークで空気温度に比べ約7%高い値を示す。一方、夜間22時以降には、緑化斜面放射温度は空気温度より低くなり、日の出前には最大で約1.5%低い値を示している。また、正味放射量は、日没の18時頃から負の値に転じ、夜間最大で-45W/m²程度まで低下している。

3.2 緑化斜面各階の風速及び風向の経時変化

屋上及び緑化斜面西側3, 4, 7, 11階の各測定点における夜間の瞬時風速スカラ値の時間平均 $\sqrt{u^2+v^2+w^2}$ （以下、流速とする）風向、上下階気温差の経時変化を図7に示す。尚、平均化時間は10分としている。

屋上では18時から23時頃までは2~4m/s前後の値を示し、風向はほぼ北寄りで安定している。その後0時頃から6時までは約0.5m/s以下の小さな値となっており、北寄りの風が卓越しているが風向の変動は大きくなっている。緑化斜面上の流速は、18~21時の間はやや場所による違いが見られるが、その後は各測定点ともにほぼ同じ値を示している。

緑化斜面上の風向は、屋上風速が変化した0時頃を境として、その前後の時間帯で異なる傾向を示している。屋上風速が比較的強かった0時以前については、変動はあるがいずれの測定点も南寄りの斜面に沿った吹き上げ気流となっている。屋上風が弱まった0時から6時の間については、3階上下及び4階上下では北寄りの斜面に沿った下降気流が生じている。尚、3階下及び4階上は鉛直面内風向0~45度の範囲内で斜面平行下向きに比べ天空寄り、3階上及び4階下は鉛直面内風向-45~0度で斜面平行下向きに比べ斜面寄りとなっているが、これは測定点周辺の局所的な凹凸の影響を受けたためと考えられる。これに対し、比較的緑化斜面の上に位置する7階

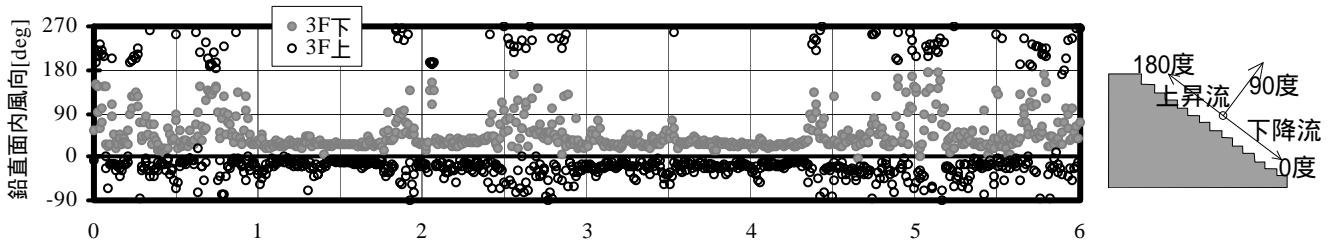


図8 各測定点における鉛直面内風向の経時変化 (2002/9/12 0時~6時, 平均化時間30秒)

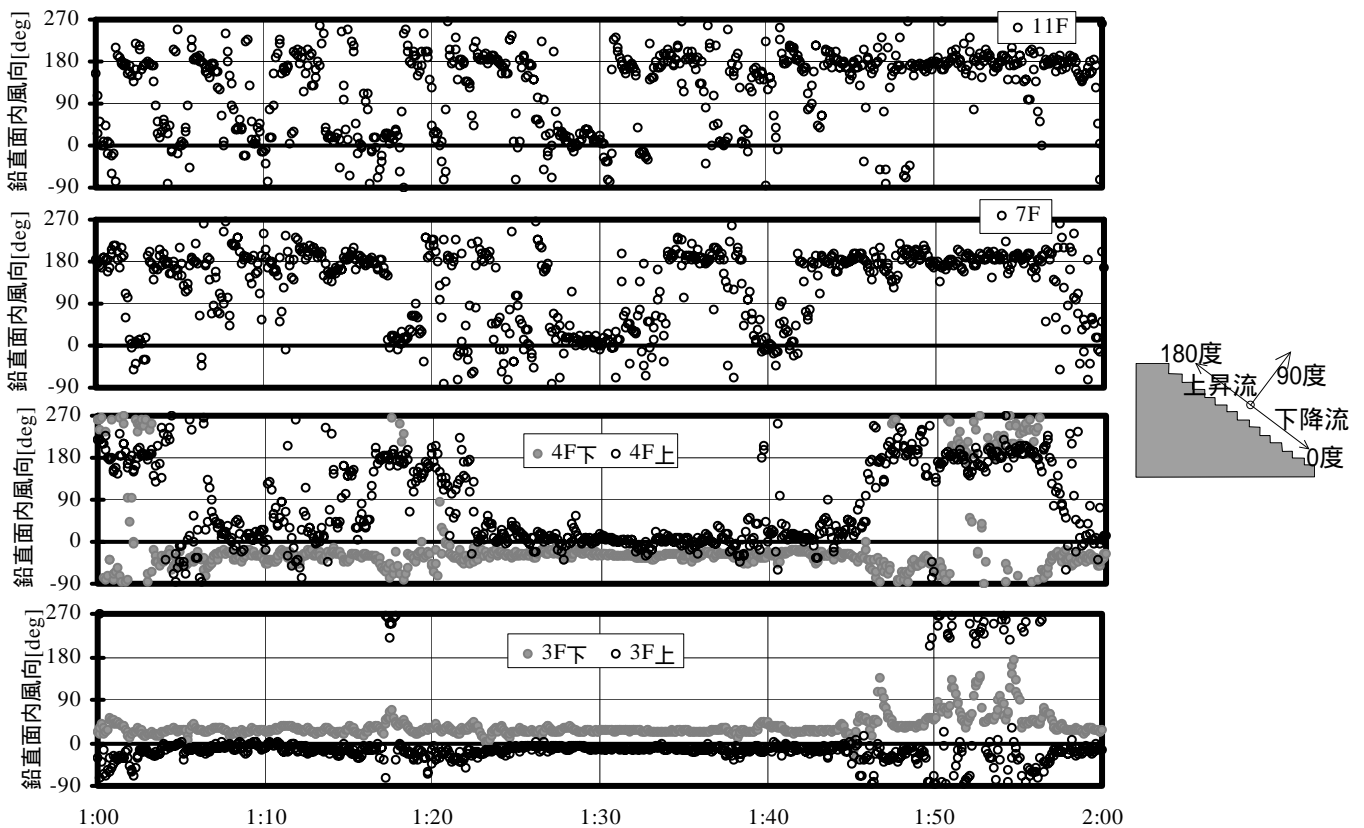


図9 各測定点における鉛直面内風向の経時変化 (2002/9/12 1時~2時, 平均化時間5秒)

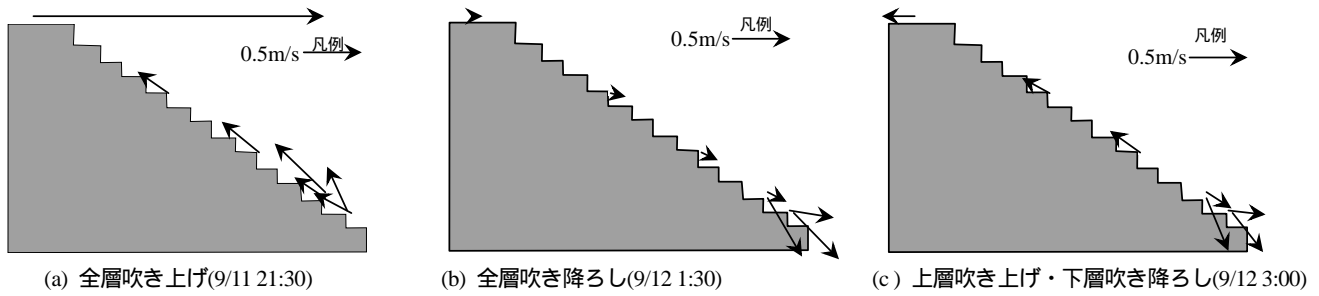


図 10 緑化斜面上における平均流の鉛直面内風ベクトルの例（平均化時間 1 分、対象建物を西側から見る）

と 11 階は 0 時以前と同じく南寄りの上昇気流となっている。

3 階と 11 階との気温差については、23 時以前は ± 0.2 の範囲内を変動しているのに対し、3 階・4 階で下降気流が発生していた 0 時頃以降の気温差は負に転じ、1 時から 5 時の間は約 -0.4 前後の値となっている。7 階と 11 階の気温差は、常に $-0.1 \sim +0.2$ の範囲内を変動しており、時間帯による特性の違いは見られない。

3.3 下降気流発生時における風向の時変動特性

本節では下降気流の特性を更に詳細に検討する。まず、図 7 に示した平均化時間 10 分の風向において最も安定した下降気流が確認された 3 階上及び 3 階下の測定点について、平均化時間を 30 秒とした場合の鉛直面内風向の経時変化を図 8 に示す。継続時間 20～80 分程度の下降気流（1 時 4 分～45 分、2 時～2 時 23 分、2 時 57 分～4 時 20 分、5 時 11 分～41 分）が間欠的に発生しており、下降気流発生時の風向変化は非常に小さい事が分かる。一方、連続的な下降流が崩れた時間帯の風向は、斜面法線方向上向きや斜面平行方向上向きなど時々刻々変化しており、その変動は激しい。また、図 7 のグラフと比較する事により、下降気流が崩れた時間帯の上下階気温差が小さくなっている事が確認できる。下降気流の発生時間帯と屋上で風向や風速との間には明確な相関は見られない。

次に、連続的な下降気流の発生時間帯を含む 1 時から 2 時までの区間について、平均化時間 5 秒とした場合の各測定点における鉛直面内風向の経時変化を図 9 に示す。30 秒平均データの図 8 と同じく、1 時 4 分から 1 時 45 分までの間は、3 階上下は風向の変化が非常に小さく、下降流の乱れが小さい事がうかがえる。4 階上下は 3 階上下に比べ、風向の変動が大きくなっており、下降流の発生時間帯が短くなっている。また、4 階上では、1 時 20 分頃と 1 時 50 分頃にプロットが上に凸の緩やかなピークを示し、下降気流が卓越する中で間欠的に 5～10 分の上昇気流が生じている。スモークによる目視では、4 階付近において乱れの小さい下降流が緩やかに上昇気流に転じた後に再び下降流に戻る様子が確認されたが、図 9 のプロットはこの観察結果に符号するものと言える。7 階、11 階では風向が -90 度から 90 度の範囲（下降気流）でプロットのばらつきが大きく、下降気流の持続時間は非常に短い事が分かる。その中でも、7 階と 11 階の両方でまとまった下降気流が観察されるのは、1 時 28 分から 1 時 31 分までの 3 分間のみである。

以上の風向及び風速のデータとスモークによる可視化実験において観察された典型的な緑化斜面周囲の気流パターンを図 10 に示す。図 10(a)は緑化斜面上の全ての測定点で上昇気流となっており、屋上風速が比較的強い条件下で発生している。図 10(b)は、緑化斜面の上

層、下層のいずれも下降気流が生じている状態で、屋上風速が極めて弱い条件下で、ごく稀に観察された。図 10(c)は、7 階、11 階は上昇気流、3,4 階は乱れの小さい安定した下降気流が生じている状態で、屋上風速が弱い条件下では比較的長時間観測された気流パターンである。

4. 長期観測データに基づく統計解析

4.1 下降気流発生時の乱流エネルギー及び緑化斜面上下気温差

9 月^{注2)}の観測結果から屋上風速 3.0m/s 以下、正味放射量 0W/m^2 以下の全データについて、流速と乱流エネルギーの関係を図 11 に、流速と緑化斜面上下気温差の関係を図 12 に、下降気流発生の有無で場合分けして示す。尚、解析に用いたデータは平均化時間 10 分である。

3 階下及び 3 階上については、下降気流発生時の条件では流速と乱流エネルギーの間には明確な負の相関があり、冷気流としての特性が見られる。逆に、下降気流が発生していない条件では、プロットのばらつきはあるが流速が増加するほど乱流エネルギーも増加している。また、3 階下では、下降流の流速と 11 階との気温差は線形に近い負の相関を示し、下降流が発生していない場合は明らかに異なる傾向となっている。3 階下のグラフから、本実測対象建物の緑化斜面上の冷気流は、斜面下端付近の最大流速は約 0.5m/s で、斜面上下の最大温度差は約 1 となっている。7 階及び 11 階では、下降気流の発生頻度そのものが極めて低いため、流速と乱流エネルギーの間に明確な負の相関は見られない。また、7 階は下降気流発生の有無に関わらず、11 階との温度差は ± 0.3 程度の範囲内となっている。

4.2 冷気流の発生頻度

緑化斜面上の気流性状を、『全層吹き降ろし』・『全層吹き上げ』・『下層（3 階上下）吹き降ろし且つ上層（7, 11 階）吹き上げ』・『下層（3 階上下）吹き降ろし』の 4 パターンに類型化した場合の各気流パターンの発生頻度を表 2 に示す。発生頻度は、建物屋上で風速風向と正味放射量によって 20 条件に分類している。尚、データの平均化時間は 30 秒で、全測定期間中で比較的天候の良い日のデータのみを解析対象としている。正味放射量が正の条件では全層吹き上げの頻度が最も多い。一方、正味放射量が負の条件では、屋上風向が南風の時は下層吹き降ろしの頻度が最も多く、北風の時は屋上風速が 3m/s 以上では全層吹き上げ、 3m/s 以下では下層吹き降ろしの頻度が最も多い。この事から、緑化斜面の全層で吹き降ろし気流となる事は殆ど無いが、夜間で上空風が弱い時に下層階に下降流が頻繁に発生すると言える。

尚、緑化斜面の植物群落の葉面積が季節により変化する事を考慮

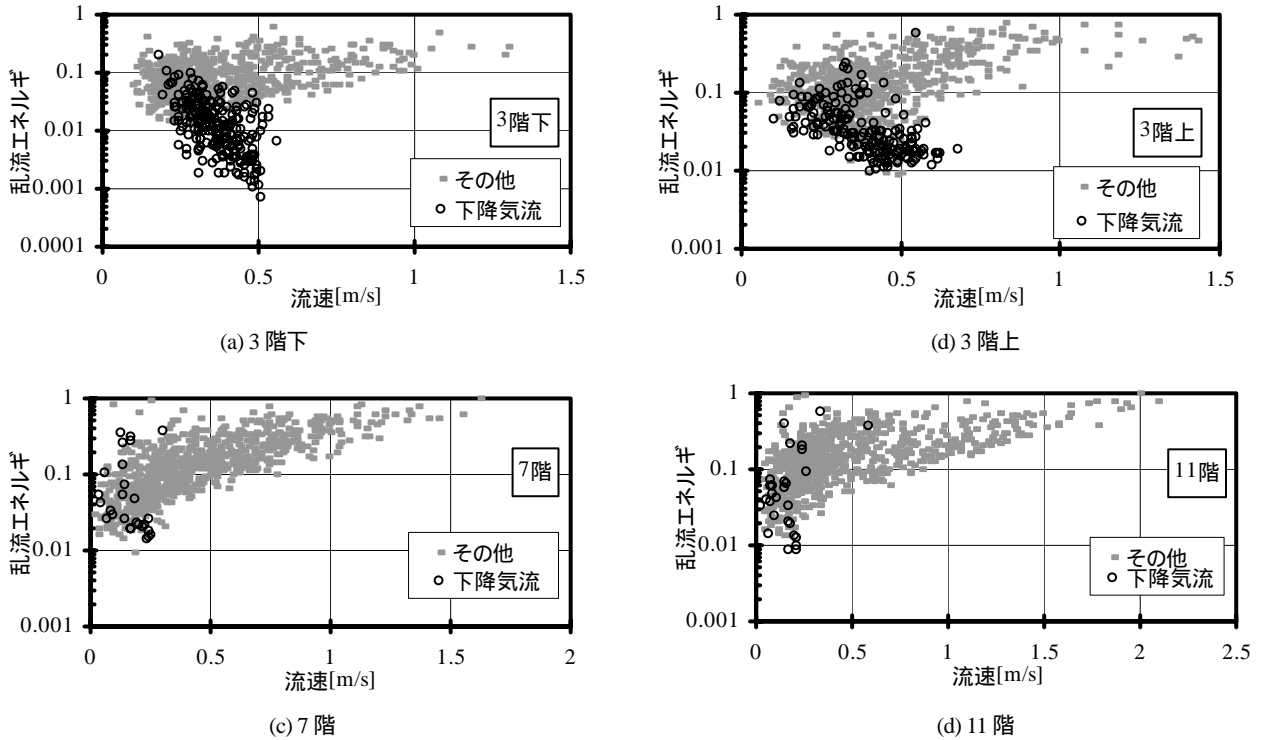
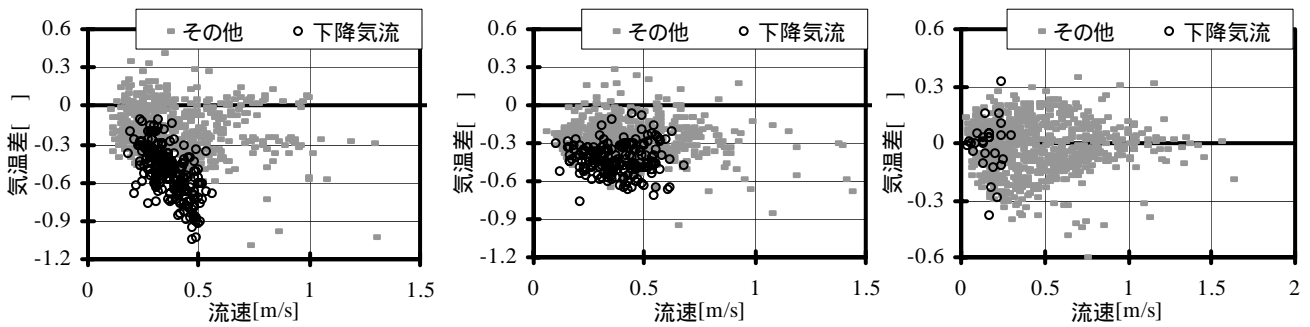


図11 流速と乱流エネルギーの関係（9月，平均化時間10分，正味放射量 $0\text{W}/\text{m}^2$ 以下，屋上風速 $3\text{m}/\text{s}$ 以下）



(a) 気温差（3階下 - 11階） (b) 気温差（3階上 - 11階） (c) 気温差（7階 - 11階）

図12 流速と緑化斜面上下気温差の関係（9月，平均化時間10分，正味放射量 $0\text{W}/\text{m}^2$ 以下，屋上風速 $3\text{m}/\text{s}$ 以下）

表2 緑化斜面上の吹き上げ気流、吹き下ろし気流の発生頻度（単位：％）

正味放射[W/m^2]	Rnet > 0										Rnet = 0										
	北					南					北					南					
屋上風向																					
屋上風速[m/s]	0~1	1~2	2~3	3~4	4~	0~1	1~2	2~3	3~4	4~	0~1	1~2	2~3	3~4	4~	0~1	1~2	2~3	3~4	4~	
サンプル数	1479	1693	2934	2210	5919	1547	1598	2374	1295	2315	1783	1808	3538	1889	3666	3758	3818	4879	1642	1701	
吹降	11F	14.5	17.1	15.4	16.2	15.4	8.7	8.6	10.5	13.5	13.8	30.3	29.4	27.9	24.0	21.5	10.4	9.4	10.0	7.4	13.0
	7F	8.6	12.4	11.0	11.0	11.9	6.3	7.7	8.2	10.7	14.1	24.3	21.3	20.1	17.3	16.9	14.5	11.8	13.0	10.2	16.3
	3F上	22.6	22.2	17.7	15.4	13.9	34.6	35.7	32.1	30.0	37.7	67.0	58.4	50.0	41.7	32.8	69.0	61.4	60.0	56.4	57.1
	3F下	20.4	19.5	16.0	12.4	11.3	33.8	33.7	29.0	29.0	37.4	68.0	58.3	51.2	42.6	34.1	75.7	67.8	64.7	59.1	58.1
全層吹降	1.8	1.4	1.2	0.9	1.2	0.7	0.9	1.1	1.8	3.6	10.8	8.5	7.1	4.3	4.2	4.7	4.5	3.7	1.8	3.8	
全層吹上	62.5	58.7	63.8	64.6	66.5	51.6	51.6	53.2	52.8	45.4	19.0	24.7	31.4	37.5	46.8	18.2	24.8	26.2	30.5	29.1	
下層吹降上層吹上	11.0	9.8	8.4	5.9	5.0	23.2	22.0	18.4	17.0	19.6	30.2	26.1	21.4	18.9	14.4	48.0	42.9	40.4	39.3	34.7	
下層吹降	16.9	15.7	12.5	9.3	8.5	27.1	27.4	23.1	22.8	29.1	61.7	51.8	44.3	35.0	27.4	64.8	56.1	54.3	49.1	49.3	

全層：3階上下・7階・11階の全測定点，下層：3階上下，上層：7階・11階

『全層吹降』『全層吹上』『下層吹降・上層吹上』『下層吹降』の4つの中の最頻パターンを示す。

して1ヶ月毎のデータで同様の解析を行ったが、下降流の発生頻度には季節の違いによる有意差はみられなかった。

5. 結語

大規模な13層の階段状屋上庭園(緑化斜面)を有する建物の周辺微気象を対象として、2回の夏期短期集中観測と約4ヶ月半の長期観測を行った。本稿では、緑化斜面内6ヶ所に設置した超音波風速温度計の乱流計測データおよびスモークによる可視化実験から、緑化斜面周囲に夜間発生する冷気流の特性について詳細な検討を行い、以下の知見を得た。

1. 静穏な夜間には当該緑化斜面下部では、継続時間20~80分程度の下降気流が間欠的に発生しており、下降気流発生時の乱れは極めて小さく、緑化斜面上部に比べ気温は低くなる傾向が見られた。また、連続的な下降流が崩れた時間帯には、風向の変動は激しく上下階気温差が小さくなる。
2. 4ヶ月間の観測データにより緑化斜面で発生する冷気流の斜面下端付近での最大流速は約0.5m/s、斜面上下の最大温度差は約1℃となった。
3. 全測定期間中のデータから、正味放射量及び上空風速・風向により20条件に場合わけして、緑化斜面周辺の気流パターンの整理を行った結果、正味放射量が負の条件では、屋上風向が南風または、北風で風速3m/s以下の場合に約45~65%の割合で下層部において冷気流が発生する確認された。

謝辞

対象建物であるアクロス福岡のエイエビル管理棟の皆様には実測に際して多大なるご配慮を頂いた。また、九州産業大学北山広樹助教授から測定機器をお借りした。実測には竹中工務店技術研究所黒木友裕氏、九州大学、九州産業大学、近畿大学、日本工業大学の学生諸氏のご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

本研究の一部は文部省科学研究費・若手研究(A)「都市設計総合支援フレームの開発 - 都市熱環境総合評価と多用途意志決定支援ツールの有機的結合」(代表 谷本潤, 課題番号 14702047)、科学技術振興事業団・戦略的創造研究推進事業の「都市生態圏-大気圏-水圏における水・エネルギー交換過程の解明」(代表 神田 学)に拠る。

注記

- 1) 精密長短波放射計による上向き長波放射量の実測値は、現場の状況からわずかに植物群落以外の表面(緑化斜面中の階段、コンクリート躯体、地面など)が含まれる可能性が考えられるが、センサー周辺の緑化斜面の状況は代表的な緑化斜面の被覆状況と見なせると判断し、この実測値から得られる放射温度を「緑化斜面平均放射温度」としている。
- 2) 各月別に同様の解析を行ったところ、11月のみ異なる傾向を示した。これは超音波温度風速計の温度計測値に感度シフトが生じていた事が原因と考えられる。そこで、本稿では9月のデータを掲載している。

参考文献

- 1) 東京における自然の保護と回復に関する条例, 東京都環境局ホームページ, <http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/size/jorei/joubun/>, 2001.3
- 2) 例えば、香川治美, 林徹夫, 谷本潤, 片山忠久, 芝生植栽が都市熱環境に及ぼす影響に関する研究 第1報 土壌の含水状態を考慮した芝生植栽の蒸発散特性の定量的特定, 日本建築学会計画系論文集 No.507, pp.7-12, 1998.5
- 3) 例えば、萩島理, 谷本潤, 片山忠久, 大原健志, 改良・建築 - 都市 - 土壌連成系モデル(AUSSSM)による都市高温化の構造解析第2報 数値実験に

- よる都市高温化要因の定量化, 日本建築学会計画系論文集, No.553, pp.91-98, 2002.3
- 4) 石田秀樹, 浜岡正行, 荒谷登, 鈴木真人他1名, 樹木の有無による夏の隣棟間気候の相違 - 憩える屋外の熱環境計画に向けて -, 日本建築学会北海道支部研究報告集 No.67, 1994.3
 - 5) 浅輪貴史, 梅干野晃, 武澤秀幸, 清水敬示, 緑の茂った戸建住宅地の屋外空間に形成される夏季の微気候に関する実測調査 屋外空間の微気候と居住者の開放的な住まい方との関わりに関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集 No.563, pp.77-84, 2003.1
 - 6) 成田健一, 三上岳彦, 本條毅, 菅原広史, 木村圭司, 高野武将, 新宿御苑成田新宿御苑におけるクールアイランド現象の実測(その2)(その3), 日本建築学会学術講演梗概集 D-1, p.679-682, 2002.9
 - 7) 吉田伸治, 原山和也, 大岡龍三, 村上周三, 屋外温熱環境形成寄与率CROに関する研究(その4) NCROIを利用した屋上緑化・地上緑化の効果の検討, 日本建築学会学術講演梗概集 D-1, pp.927-928, 2002.8
 - 8) 例えば、アクロス福岡, 新建築 1995年7月号, pp.242-250, 1995.7
 - 9) 例えば、日経アーキテクチャ, 2001年7月9日号 No.696, pp.55
 - 10) 三坂育正, 尾之上真弓, 成田健一他2名, ステップガーデンを有する建物周辺の温熱環境実測評価 その1 その2, 日本建築学会学術講演梗概集環境 D-1, p.725-728, 2001
 - 11) 例えば、工藤泰子, 田中博, 鳥谷均, 黄水鎮, 菅平における冷気湖の形成過程, 地理学評論 55-12, pp.849-856, 1982
 - 12) 例えば、Junsei Kondo and Takeshi Sato, A Simple Model of Drainage Flow on a Slope, Boundary Layer Meteorology, Vol.43, 103-123, 1988
 - 13) 竹林英樹, 森山正和, 夏季夜間における山麓冷気流の集積・流出過程に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 No.558 pp.57-62, 2002.8
 - 14) 鳴海大典, 水野稔, 下田吉之, 地域計画への適用を目的とした冷気流のモデル化に関する検討 丘陵地周辺の住宅地域に及ぼす冷気流の影響 その2, 日本建築学会計画系論文集 No.557 pp.111-118, 2002.7
 - 15) 塩澤偉, 寿浦光晴, 坂本雄三, 都市気候解析における単体樹木の葉面積の推定法, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2, pp.281-282, 2001.9
 - 16) 河田祐二, 吉田伸治, 大岡龍三, 街路樹による暑熱緩和効果に関する研究 その2 樹冠の光学的深さ、葉面積密度の簡易推定方法の提案, 日本建築学会学術講演梗概集 D-1 2002年, pp.961-962, 2002.8