

# 屋上緑化における植栽形態別の気温緩和効果と 断熱効果について

Title On the insulating effect and air temperature moderation  
by planting form in rooftop gardening

飯島健太郎・涌井史郎・油井正昭

桐蔭横浜大学医用工学部 Facul. of Biomed. Toin Univ. of Yokohama

(2006 年 2 月 28 日 受理)

## 1. はじめに

都市部においては、人工構造物が高層高密度化することによる蓄熱体の増大と輻射による熱環境の悪化が年々深刻化している。こうした状況を軽減する為の効果的な手法としては、屋上・壁面の緑化を推進することであり、近年各自治体において屋上緑化を制度化する動きも活発化している。そうした期待を具現化すべく、各種の効果検証が行われている。

特に屋上緑化による建築物に対する熱負荷の軽減効果を、断熱性能から屋内熱環境の緩和の実態<sup>1,3,4,5,7,9)</sup>について明らかにしたり、一方、屋上緑化材料、すなわち植物や土壌条件の違いによる効果<sup>2,6,8)</sup>の差異を検証したものがあ。なおこれまでの研究の多くは夏季日中高温時の特化した気象条件下での効用検証が中心となっており、一定の成果をあげているが、24 時間 1 ヶ月単位の長期的な計測事例は少ない。さらに、建築物緑化による熱環境緩和は今後より積極的に効果をもたらす手法が求められる。

そこで本研究では、建築構造物とその周辺における熱の挙動を探り、併せて緑化形態の異なる条件による熱環境改善効果のメカニズムを明らかにし、効果的な緑化手法についての検証を目的とした。具体的に緑化によるスラブ面の蓄熱や熱伝導の緩和効果、さらには

屋上スラブ面の鉛直上の気温緩和効果について灌水量と植栽形態の違いから計測を行い、①屋上緑化による夏期日中高温時の断熱ならびに気温緩和効果について、②昼夜 24 時間の熱の挙動を探った温度鉛直プロフィールでの熱環境緩和効果について、③緑化による建築構造素材面にかかる熱負荷の軽減効果を調べるためのスラブ接触面温度の日較差についてという 3 つの視点から考察を行った。

## 2. 実験内容与方法

計測は、横浜市青葉区大学研究施設棟屋上面を対象に、植栽の有無による構造物面の温度ならびに鉛直上と鉛直下の温度を計測した。センサーは構造物躯体内部、構造物面鉛直上に、スラブ面と緑化を対象に設置した(図-1)。なお、対象建築物の構造は表層より、保護コンクリート(80mm)、断熱材(25mm)、防水シート(10mm)、スラブコンクリート(125~175mm)、コンクリート受鋼製デッキ(0.6mm)、天井材(25mm)となっている。計測は非緑被区で、地表、コンクリートスラブ接触面(0cm)を基準として、以下、断熱材上部(-10cm)、コンクリートスラブ内(-20cm)、天井裏(-50cm)、天井材上端(-80cm)、室内(-90cm)に、緑被区については、土層上部(0cm)を基準として、以下、地表面土中(-10cm)、保護コンクリート天端(-

20cm)、断熱材上部(-30cm)、コンクリートスラブ内(-40cm)、天井裏(-70cm)、天井材上端(-100cm)、室内(-110cm)に、また各実験区共に、鉛直上に0cm、10cm、30cm、120cmの鉛直上の高さに温度センサーを設置し、計測期間は2004年8月16日~同年9月15日の31日間毎時24時間1時間毎(計745時間)の計測を行った。

計測機器はエスベック社製サーモレコーダーワイヤレス(RTW-10)を用いた。実験区は比較対象としての①非緑化区、灌水量の違いにおける熱環境の緩和効果の差異を検証するために設けた②常時灌水の西洋芝(トルフェスク・ケンタッキーブルーグラス・クリーピングレッドフェスクの3種混合、以下芝A区、4×10m)と③定時灌水の洋芝(以下芝B区、4×10m)、樹高の違いにおける熱環境の緩和効果の差異を検証するために設けた④刈り高20cmのホンツゲ(*Buxus microphylla* var.: 以下ツゲ20区、2×10m)、⑤刈り高90cmのホンツゲ(以下ツゲ90区、2×10m)を設定した。なお③~⑤では、毎日午前5時から午後5時から2時間、灌水量毎時6.7l/m<sup>2</sup>の点滴灌水を行った。

また、計測時の気象条件を計るためネオ日射計MS-402(短波放射計/測定波長範囲:0.35μ~1.5μ、英弘精機製)によって、下向きと上向きの放射量からアルベドを算出、風速計ウィンドボーイISA68型(柴田化学株式会社製)によって風速を計測し、温湿度計サーモレコーダーRS-11型(温湿度センサ、エスベック社製)によって湿度の計測を行った。なお、計測当日の気象条件(アルベド、風速、湿度)については図-2と表-1に示した。

### 3. 実験結果ならびに考察

①夏期日中高温時の断熱ならびに気温緩和について

今夏日中最高気温を記録した8/20の12時の表面温度での各実験区毎の室内から上空120cmまでの鉛直プロフィール図を表した

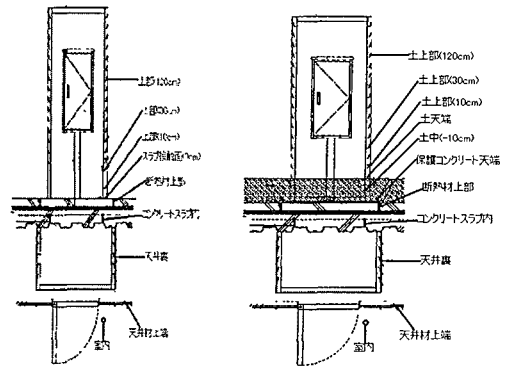


図-1 断面図(左:非緑化区、右:緑化区)

ものは図-3である。

非緑化区のスラブ0cm43℃に対し、各緑化区の表面温度において、「表面温度/非緑化区からの温度差」においては、芝A区では34.1℃/-8.9℃、芝B区では41.8℃/-1.2℃、ツゲ20区では29.5℃/-13.5℃、ツゲ90区では30.2℃/-12.8℃と各々顕著に温度低下効果がみられた。

同様に鉛直上の気温について見ると、高度10cmでは、非緑化区の38.4℃に対し、芝A区では37.3℃/-1.1℃、芝B区では38.9℃/+0.5℃、ツゲ20区では37.9℃/-0.5℃、ツゲ90区では34.1℃/-4.3℃と、一部の例外を除き若干の気温低下効果が認められるが、高度30cm以上の区では非緑化区に対して各緑化区における緑化による効果とみられる気温の差異は認められなかった。

以上のことから、いずれの緑化区においても、非緑化区よりも表面温度、鉛直上気温共に熱環境緩和効果が認められたが、山本らによれば灌水の有無による熱環境効果について無降水日が続くことにより、灌水が有効であることを説明しているが<sup>11)</sup>、植栽形態別の熱環境緩和効果の差異について考察すると、灌水量の違いを的とした芝A区と芝B区について、芝A区の方が高い熱環境緩和効果が認められた。これは、芝A区では芝Bに比べて、常時灌水により蒸散作用及び土壤水分の蒸発など潜熱への活発な熱移動や、排水による排熱などによるためと思われる。

次に樹高の違いによる植栽形態での熱環境緩和効果の差異の検証では、ツゲ20区に対し、ツゲ90区では表面温度、鉛直上30cm以降ではほとんど効果が見られなかったが、10cmで効果が認められた。これは、ツゲ90区では計測地点が緑陰内となるためと思わ

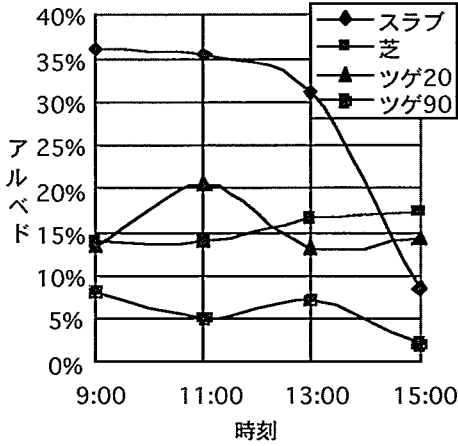


図-2 8月20日アルベドグラフ

表-1 8月20日風速、湿度

	風速 (m/s)	湿度 (%)
9:00	1.13	50.3
11:00	1.82	21.0
13:00	0.80	20.0
15:00	2.99	33.0

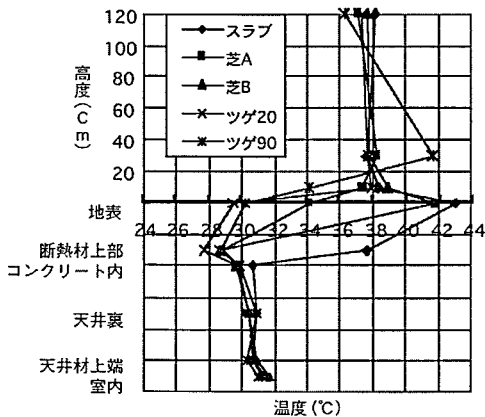


図-3 8月20日12時鉛直温度プロフィール図

れ放射吸収量の軽減がもたらされたことによる。なお、ツゲ90区の30cmにおいては他実験区よりも顕著な温度の上昇が認められたが、これはツゲ90区の複雑な構造のためと思われる。

次に躯体内部については、断熱材上部まではいずれの緑化区共に非緑化区よりも10℃前後温度が低下しており、断熱効果が認められた。しかし、断熱材より下部については建築物躯体内に施工された断熱材の性能が優れているため、植栽の効果を特定するには到らなかった。

②昼夜の温度鉛直プロフィール計測での熱環境緩和効果について

昼夜にわたって各素材面は外気に対して冷却面または加熱面として存在していたか否かが極めて重要である。なおここでは冷却面とは直上10cmの大気よりも表面温度が低く、気温を下げる面として存在していることを示し、加熱面とは直上10cmの大気よりも表面温度が高く、気温を上昇させる面として存在することと定義する。そこで前項と同日に、非緑化区と各緑被区について室内から上空120cmの24時間の変化として温度鉛直プロフィールを示したものが図-4である。その結果、非緑化区では昼夜を通じてスラブ面が上空10cm以降に対して加熱面として作用しているのに対し、芝A区では約10時間、芝B区でも10時間、ツゲ20区では14時間、ツゲ90区では24時間、その緑化面が上空10cm以降に対して冷却面として作用しており、非緑化区に対して、緑被での冷却面としての時間が長くなる可能性が示唆された。

そこで、以上の結果を受けて実験期間中2004年8月16日～9月15日の計31日間745時間すべての実験区について、その面が冷却面として作用した総存在時間数ならびに総存在日数を算出したものが図-5である。ここで冷却時間とは大気に対して表面温度が低い時間を記録した総時間数を示し、冷却日数とは測定日において一時間でも冷却時間が存在した日の総日数を示す。冷却面として

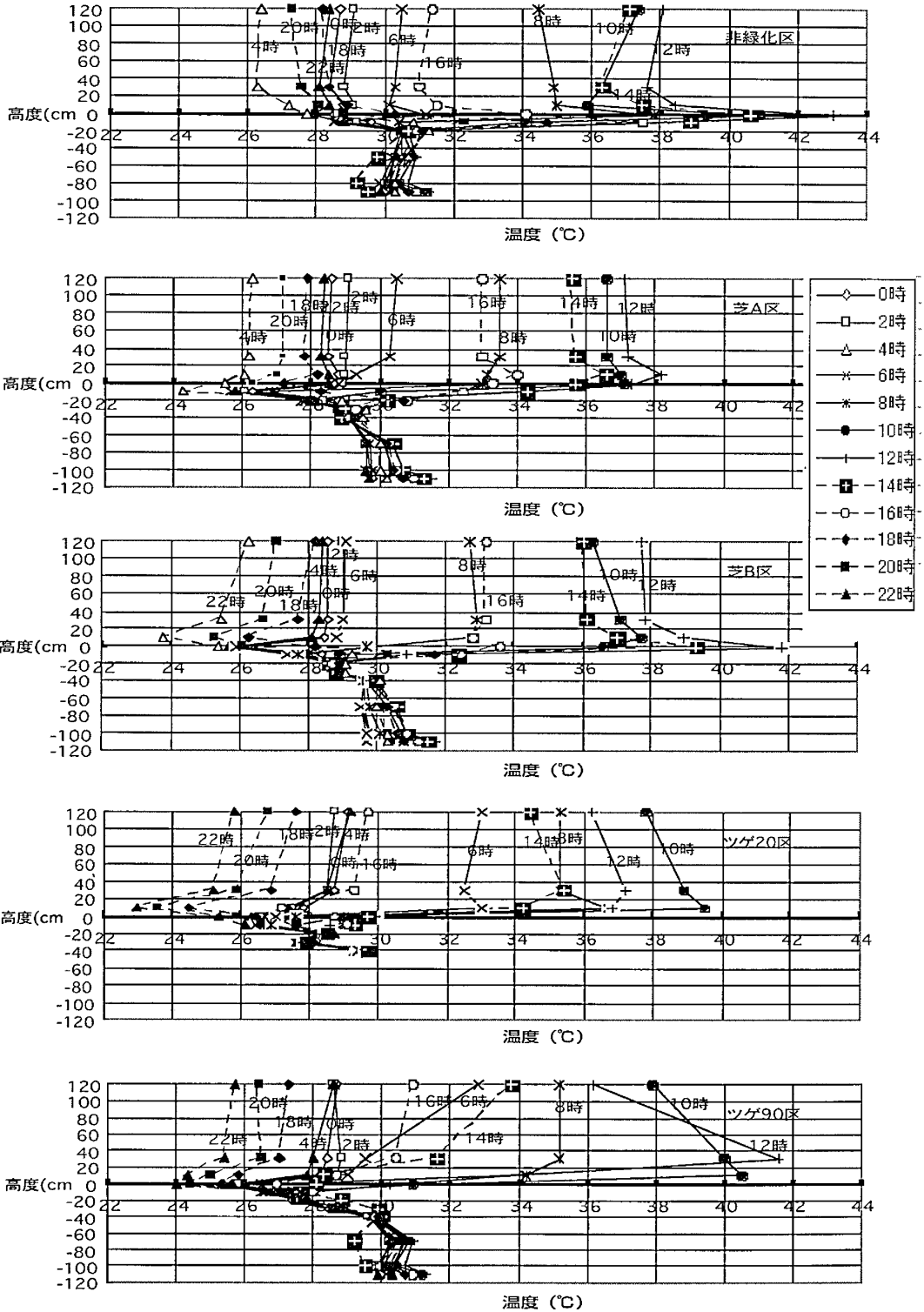


図4 8月20日各区鉛直温度プロフィール図

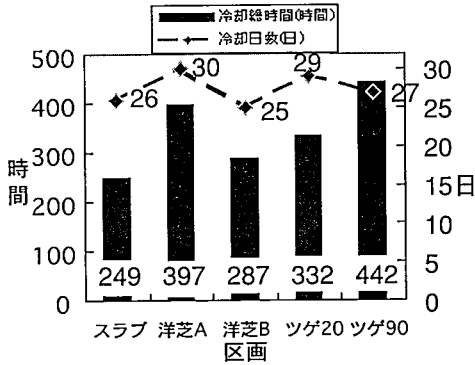


図-5 実験期間中の冷却面存在時間・日数

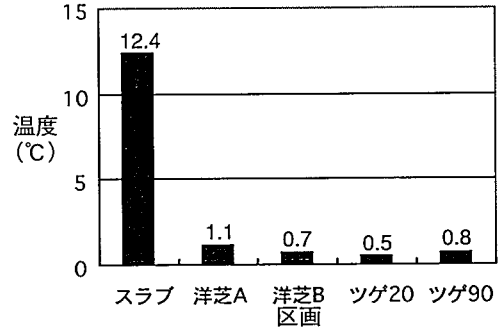


図-6 各植栽スラブ接触面の日較差

作用した時間は非緑化区で249時間26日間、芝A区では397時間30日間、芝B区では287時間25日、ツゲ20区では332時間29日間、ツゲ90区では442時間27日間と、いずれも非緑化区よりも冷却面として存在する時間が長くなることが認められた。

また、植栽形態別の差異について検証すると、灌水量の違いを目的とした芝A区と芝B区については、芝A区で110時間もの冷却時間延長効果が認められた。これは、前述の熱環境の緩和効果同様に、蒸散や、土壌水分の蒸発による気化熱による潜熱の移動などによって地表面より熱が奪われ、上空の気温よりも地表温度が低くなっている時間が延長されるためと思われる。

③スラブ接触面温度の日較差について  
緑被の有無による屋上スラブ接触面での熱負荷の軽減効果を検証するために、最大温度と最低温度の差を日較差とし、全計測期間中の1日毎に各実験区のスラブ面ならびに植栽下のスラブ面日較差をもとめ、全31日中の平均日較差ならびに最大日較差を示したものが図-6である。

その結果、平均日較差/最大日較差において、非緑化区で12.4℃/19.3℃、芝A区では1.1℃/2.5℃、芝B区では0.7℃/2.2℃、ツゲ20区では0.5℃/1.5℃、ツゲ90区では0.8℃/2.1℃と、非緑化区に対して、平均日較差ならびに最大日較差は植栽区でいずれも約10℃以上もの軽減効果が認められた。

また、各植栽形態別の緑化区の日較差については、芝B区、ツゲ20区、ツゲ90区ではほとんど差異が見られなかったが芝A区でのみ日較差が他緑化区よりも大きくなる現象が認められた。これは、芝A区では常時灌水を行っているため、昼は地表面で熱を蓄えた水が、夜には熱を奪われた水が排水される際にスラブ接触面に伝わることによって結果的に日較差が大きくなったためと思われる。

以上より、非緑化区に対していずれの緑化区も熱環境緩和効果が認められ、灌水量の異なる芝A区と芝B区の比較では、灌水量の多い芝A区において蒸発散作用による潜熱移動の増大が、冷却面としての存在時間の延長に貢献したと考えられる。一方、樹高の違いではツゲ20区に対してツゲ90区において冷却面としての時間延長効果が認められたが、緑陰による蓄熱の低減によるものと考えられる。ただし、多層構造となる場合の熱の挙動については、より詳細な温度分布とその変動の検討が必要になるとと思われる。

謝辞：本研究の実施にあたり、有間智氏、須崎裕一氏にご協力頂きました。記して深謝致します。

補注及び引用文献

- 1) 原岡芳信・池田英男・中瀬勲 (1989)：軽量

- な人工培地を用いた建物屋上緑化：造園雑誌 52 (5), 85-90
- 2) 梅干野晃・何江・堀口剛・王革 (1994)：芝生葉群層の熱収支特性に関する実験的研究：日本建築学会計画系論文集 462, 31-39
  - 3) 堀口剛・梅干野晃・王革 (1993)：屋上緑化システムの提案とその熱的性能の検討：日本建築学会大会学術講演梗概集, 1523-1524
  - 4) 唐沢明彦・土田保 (2001)：建築物の熱環境に及ぼす軽量ポーラスコンクリート屋上緑化システムの効果：日本緑化工学会誌 27 (1), 205-208
  - 5) 峰村太輔他 (2002)：屋上緑化による建築物に対する熱負荷の軽減効果についての実証的研究：第30回環境システム研究論文発表会講演集, 225-231
  - 6) 三坂育成・成田健一 (2002)：緑化による屋外熱環境の緩和に関する研究：日本建築学会大会学術講演梗概集, 667-678
  - 7) 野島義照 (1995)：屋上緑化による夏期の建築物および都市の熱負荷の軽減効果の実証的研究：日本緑化工学会誌 20, 168-176
  - 8) 野田坂伸也 (1974)：屋上庭園の土壌の厚さの基準に関する基礎的実験：造園雑誌 38 (3), 32-34
  - 9) 山田宏之 (2001)：薄層基盤屋上緑化がプレハブ建物の屋内熱環境に与える影響について：平成13年度日本造園学会関西支部大会研究発表要旨, 51-52
  - 10) 山田宏之・峰村太輔・養父志乃夫・中村啓二・中尾史朗 (2002) 屋上のセダム緑化上の気温・湿度鉛直プロフィールの解析：日本造園学会関西支部大会・事例報告集, 21-22
  - 11) 山本奈美・川島茂人・村上暁信・渡辺達三 (2003)：メキシコマンネングサを用いた屋上緑化において植栽密度及び灌水の有無が屋上の熱環境に与える影響：ランドスケープ研究 67 (5), 443-446