

〔報告〕

コケを用いた軽量薄層型屋上緑化の温熱特性

横山 仁 上野 卓哉* 吉岡 恒太* 門屋 真希子 成田 健一*

(*日本工業大学)

1 はじめに

ヒートアイランド緩和対策の一つに都市緑化があるが、緑化スペースの確保が困難な都市部においては、校庭芝生化とともに屋上緑化に期待がかけられている。しかし、建築基準法により厳しい荷重制限が定められているだけでなく、維持管理や費用負担にも課題がある。こうしたなか、軽量で管理負担の少ないコケを使用した屋上緑化が近年注目されている。コケを用いた屋上緑化は、一般に植栽基盤を選ばず、灌水や施肥等の栽培管理もほとんど不要であるなどのメリットがある。しかし、実際にどの程度の気候緩和効果を持つかは明確でなく、その効果を明らかにする必要がある。

そこで、本実験では、コケを用いた屋上緑化の気候緩和効果を明らかにするために、他の屋上緑化と温熱特性を比較した。

2 実験内容

2011年6月23日に、東京都環境科学研究所自動車排出ガス実験棟屋上に、コケを含めた軽量薄層型屋上緑化施設を施工し、灌水等の養生を行ったのち7月24日より実験を開始した。実験区として、コケ区のほかに、シバ区、セダム区、土壌区、無処理区(コンクリートスラブ面)を設けるとともに、実際に市販されているコケ緑化製品を施工し(コケ緑化製品区)、測定を行った(表1、写真1)。1区あたりの面積は、2m×2mである。本実験はコケによる屋上緑化の温熱特性を明らかにすることを主目的としていることから、コケ緑化製品区を除き、土壌厚は50mmに統一した。土壌は、市販の屋上緑化用人工軽量土壌(湿潤比重0.8)を用いた。また、コケの一般的な管理法に合わせ、実験開始後は灌水等の管理は一切行わなかった。ただし、良好な状態における温熱環境についても明らかにするために、灌水を行う実験区(灌水実験区)も設けた。灌水実験区では、雨天時を除き、月、水、金曜日の17時に5mmの灌水を行った。温熱環境評価のため、各実験区の表面温度、深さ1cmの温度(以下、内部温度)、屋上緑化施設の底面が屋上コンクリートスラブと接する面の温度(以下、底面温度)を測定し

た(図1)。また、正味放射、伝導熱、蒸発散量を測定し熱収支を算出したほか、建物へ伝わる建物伝導熱についても測定した。温度の測定には赤外線熱電対、T型熱電対を、また、正味放射と実験区内部ならびに建物への伝導熱の測定には、放射収支計ならびに熱流板をそれぞれ用いた。さらに、各実験区の一部を仕切った小実験体(500×500mm)を設け、その重量を電子秤により9~17時にかけて1時間ごとに測定し、1時間あたりの蒸発散量を求めた。実験中における気温、湿度、日射、風向・風速等の一般気象条件は、気象観測塔に設置した各種気象観測機器により測定した。以上のデータは、蒸発散量の測定を除き1分毎に測定した。なお、単一植栽条件での比較に統一するために、混植したセダム区は、今回、解析から除外した。

表 1. 実験区の概要

実験区名	植被	土壌	土壌厚 (mm)
シバ区	コウライシバ	人工軽量土壌	50
セダム区	キリンソウ、コーラルカーベット、サカサマンネングサ、ツルマンネングサ、メキシコマンネングサ	人工軽量土壌	50
コケ区	スナゴケ	人工軽量土壌	50
土壌区	-	人工軽量土壌	50
コケ緑化製品区	スナゴケ+人工芝	発泡スチロール	20
無処理区 (コンクリートスラブ面)	-	-	-

(無処理区以外を屋上緑化実験区と総称する)

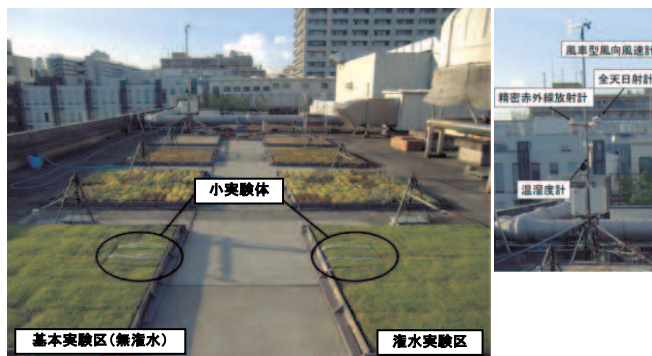


写真 1. 実験の状況 (右上図は気象観測塔)

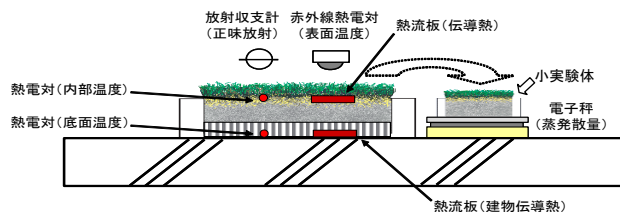


図 1. 測定の状況(断面図)

3 結果と考察

(1) 実験期間中の気象条件

図 2 に、実験期間中における日射量、気温、降水量の日変化を示す。7 月中は、低気圧や前線の接近等により曇雨天となる日がみられたが、8 月上旬の後半から夏型の気圧配置となり猛暑となる日が続いた。8 月 7 日に 1mm の降雨があった以降は、約 10 日間にわたり晴天、無降雨の気象条件が続いたことから、8 月 8 日以降の測定データを解析に用いた。

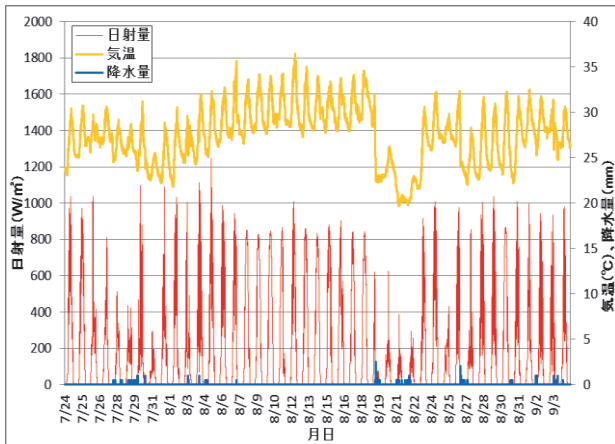


図 2. 実験期間中の気象状況

(2) 表面温度、内部温度、底面温度

図 3 は、8 月 8～12 日における各実験区の表面温度の日変化である。日中、表面温度が最も高いのはコケ緑化製品区で、最高温度は無処理区よりも 15～20℃高かった。当初、無処理区を下回っていたコケ区も徐々に表面温度が上昇し、12 日には土壤区とともに最高温度が無処理区を大きく上回った。一方、シバ区も徐々に表面温度が上昇したが、無処理区を上回ることとはなく、全実験区の中で表面温度は常に低く推移した。無処理区を除き、最高温度は正午前に入る傾向があり、午後に入ると全ての屋上緑化実験区で無処理区を下回った。

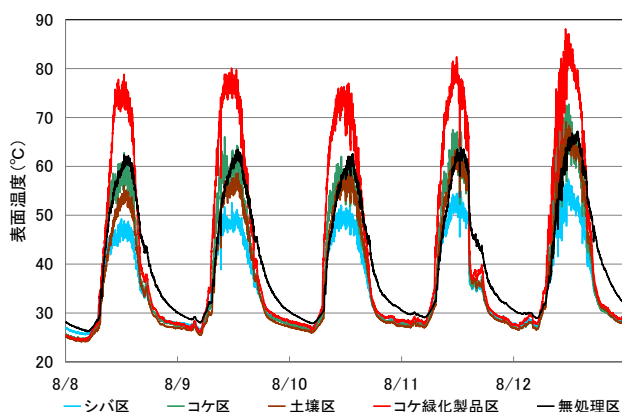


図 3. 各実験区の表面温度の日変化
(2011 年 8 月 8～12 日)

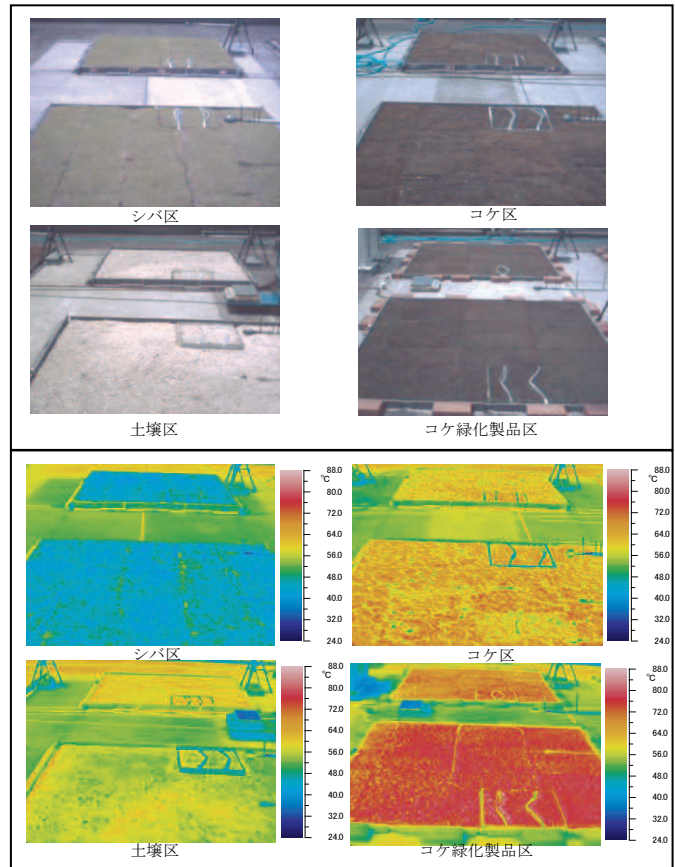


図 4. 8 月 12 日 11 時における各実験区の熱画像
(上枠：実画像、下枠：熱画像、放射率 1.00、灌水実験区側から撮影)

図 4 は、8 月 12 日 11 時における各実験区の熱画像である。熱画像からも明らかなように、コケ緑化製品区の表面温度は高く、コケ区も、土壤区や周辺のコンクリート面よりも高温となっていることがわかる。

図 5 は、8 月 8～12 日における各実験区の内部温度の日変化である。表面温度の場合と同様に、最も高いのはコケ緑化製品区で、他の実験区を大きく上回った。一方、表面温度が比較的高かったコケ区(図 3)の内部温度は非常に低く、シバ区とほぼ同温度で推移した。このことから、スナゴケは断熱性が高いものと推察された。

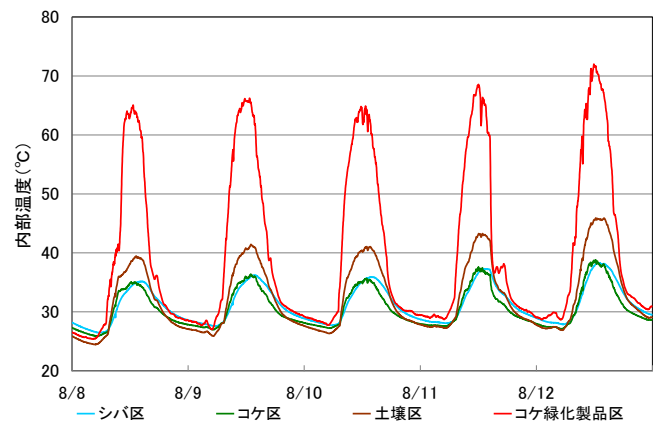


図 5. 各実験区の内部温度の日変化
(2011 年 8 月 8～12 日)

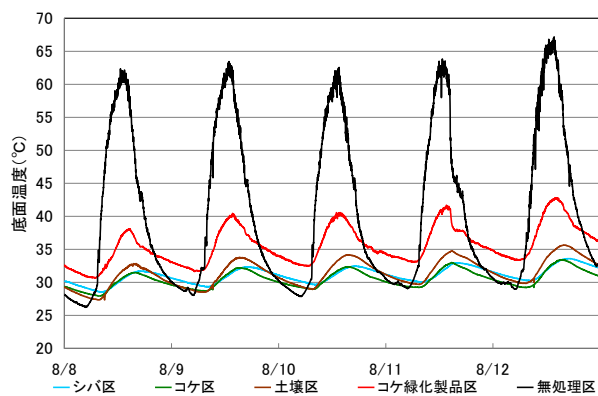


図 6. 各実験区の底面温度の日変化
(無処理区は表面温度、2011 年 8 月 8～12 日)

図 6 に、8 月 8～12 日における各実験区の底面温度の日変化を示す。日中の底面温度は、他と同様に屋上緑化実験区の中ではコケ緑化製品区が最も高かったが、無処理区の表面温度よりは低かった。コケ区は、内部温度の場合と同様に底面温度も低く、午後はシバ区よりも低温となる傾向が認められた。

図 7 に、8 月 8～12 日における表面温度、内部温度、底面温度の日中 (6～18 時) 平均値を示す。コケ緑化製品区の表面温度の日中平均値は約 57℃で、無処理区 (約 55℃) よりも高かった。コケ区は無処理区よりは低かったものの、何も植栽されていない土壌区よりも高かった。コケ区は表面温度が午前中を中心に無処理区を上回る傾向がみられたが、午後は低下し、無処理区を下回っていたことから (図 3)、平均値は無処理区よりも小さくなったものと考えられる。スナゴケと人工芝が一体化しているコケ緑化製品区の表面温度は、人工芝の影響も加わり、無処理区を上回るほどの高温となったものと考えられる。日中の表面温度が最も低かったシバ区は、無処理区に対し約 12℃、コケ緑化製品区に対しては約 15℃低かった。

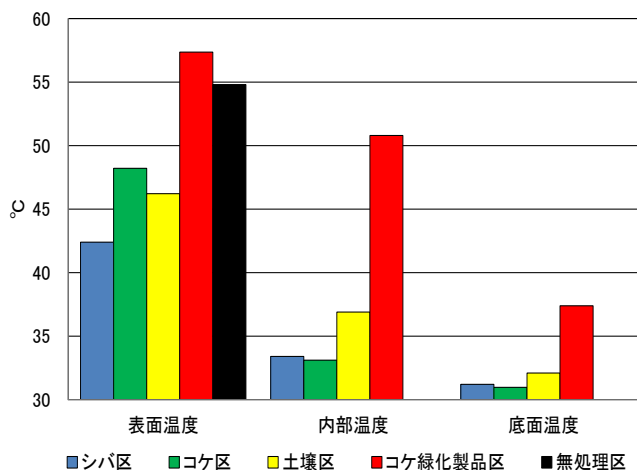


図 7. 各実験区の表面温度、内部温度、底面温度の日中平均値 (2011 年 8 月 8～12 日、6～18 時)

底面温度は、最も高いコケ緑化製品区でも、無処理区 (表面温度) よりも約 17℃低かった。同様に、土壌区は無処理区よりも約 23℃、コケ区とシバ区は約 24℃それぞれ低かった。コケ区は、表面温度が土壌区よりも高かったが、内部温度、底面温度ともに最も低く、シバ区とほぼ同温度であった。このことから、コケ区は断熱性が高いものと思われるが、表面温度に比べ内部温度が大きく低下していることから、断熱は主にスナゴケ自体によるものと考えられた。

(4) 熱収支

一般に地表面における熱収支は次式で表される。

$$R_n = H + \theta E + G$$

ここで、 R_n : 正味放射 (W/m^2)、 H : 顕熱 (W/m^2)、 θE : 潜熱 (W/m^2)、 G : 伝導熱 (W/m^2) である。ただし、 θ は蒸発潜熱 ($2.50 \times 10^6 J/kg$)、 E は蒸発散量 ($g/h \cdot m^2$)を示す。本実験では、正味放射、潜熱、伝導熱の測定値から、その残差として顕熱を求めた。顕熱は、大気的气温上昇に直接結びつく熱であることから、その低減がヒートアイランド対策効果を評価する上で重要な指標となっている。

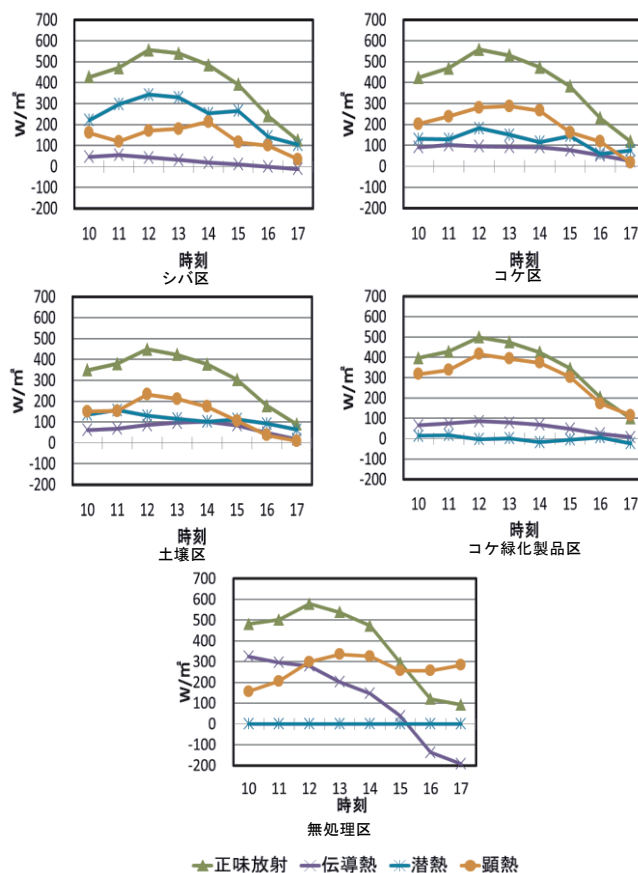


図 8. 各実験区の熱収支の時間変化 (8 月 12 日)

図8は、各実験区の1日の熱収支の時間変化である(8月12日における灌水実験区データ、10日17時に灌水)。まず、コケ区の熱収支をみると、日中最も大きかったのは顕熱で、正午付近で約280W/m²となっており、正味放射量(約560W/m²)の約半分を占めた。また、コケ緑化製品区でも、コケ区同様に最も大きかったのは顕熱で、最大約400W/m²で、正味放射量の約8割を占めた。コケ緑化製品区は表面温度が高く、水分を保持しにくい構造となっていることから、正味放射の多くが顕熱に変換されたものとみられる。全実験区の中で、シバ区のみが日中常に潜熱が優勢し、最大値は約340W/m²であった。顕熱は最大でも200W/m²程度で、伝導熱は日中を通して小さかった。無処理区は、午前中、伝導熱が大きく、午後になると顕熱が優勢する、いわゆるコンクリート面において通常計測される熱収支の時間変化を示した。

図9は、8月8~12日に測定した潜熱、顕熱、建物伝導熱の積算値を平均したものである。潜熱が最も大きかったのは、シバ区で5.8MJ/m²で、次いで、コケ区が2.5MJ/m²で、シバ区の約43%であった。コケ緑化製品区からの潜熱は非常に小さく、0.3MJ/m²でシバ区の約5%であった。一方、顕熱が最も大きかったのは、コケ緑化製品区で8.4MJ/m²で、無処理区(8.1MJ/m²)を上回った。以下、コケ区(7.4MJ/m²)、土壌区(6.1MJ/m²)、シバ区(4.5MJ/m²)の順で、コケ区の顕熱は無処理区よりは小さかったものの、何も植栽されていない土壌区よりは大きかった。全体としては、表面温度が高い実験区(図7)ほど顕熱が大きい傾向が認められた。コンクリートスラブ面から建物に伝わる建物伝導熱については、全ての屋上緑化実験区で無処理区(2.5MJ/m²)を下回ったが、顕熱同様、最も小さかったのはシバ区(0.3MJ/m²)であった。また、

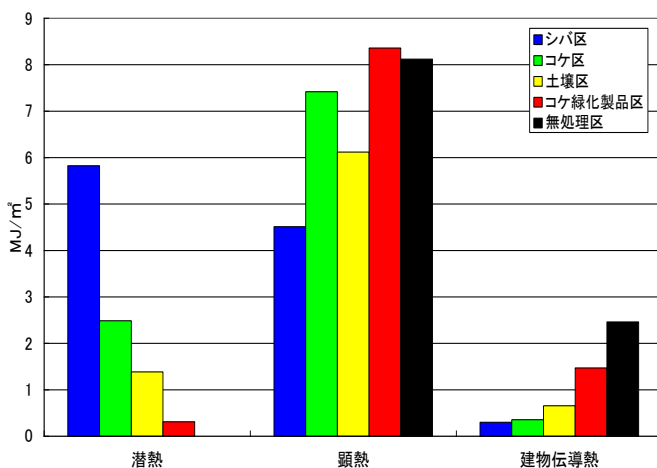


図9. 顕熱、潜熱、建物伝導熱の積算値
(2011年8月8~12日、9~17時)

コケ区もシバ区とほぼ同程度に小さく(0.4MJ/m²)、無処理区の約14%であった。コケ緑化製品区の建物伝導熱(1.5MJ/m²)は、無処理区の約60%であったが、シバ区やコケ区に比べると約5倍の大きさがあつた。

4 まとめ

コケを用いた屋上緑化の気候緩和効果に関する実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 日中の表面温度は、コケ緑化製品区が最も高く無処理区を上回った。コケ区は、午前中、無処理区を上回る傾向が認められたが、日中の平均値は無処理区よりは低かった。ただし、何も植栽されていない土壌区よりも高かった。最も低かったシバ区と比較すると、コケ緑化製品区は約28℃、コケ区は約23℃高かった。

(2) 日中の底面温度は、表面温度と同様に、コケ緑化製品区が最も高かったが、無処理区の表面温度よりは低かった。一方、コケ区の底面温度はシバ区とほぼ同温度で全体で最も低かった。コケ区は内部温度が低かったことから、スナゴケ自体の断熱性が高いものと考えられた。

(3) 日中の顕熱は、コケ緑化製品区が最も大きく、無処理区を上回った。コケ区も、無処理区よりは小さかったものの、土壌区よりは大きかった。顕熱が最も小さかったシバ区と比べると、コケ緑化製品区で1.9倍、コケ区で1.6倍の顕熱が発生していた。

(4) 日中の建物内に伝わる伝導熱は、全ての屋上緑化実験区で無処理区を下回った。最も大きかったコケ緑化製品区でも無処理区の約60%で、最も小さかったシバ区では無処理区の約14%となり、コケ区もほぼ同様であった。

以上のように、コケ区は、無処理区よりは表面温度が低く、顕熱も小さいものの、シバ区や何も植栽されていない土壌区よりは高かった(大きかった)。一方、底面温度や建物伝導熱は低く、断熱性が高いものと考えられた。市販のコケ緑化製品は、底面温度や建物伝導熱は無処理区を下回っていたものの、表面温度と顕熱については無処理区を上回っていた。