

---

論 文

---

## 岡山大学資源生物科学研究所における屋上緑化による建物冷却効果

且原真木\*・田中丸重美・森泉・谷明生・宇都木繁子・榎本敬・米谷俊彦

岡山大学資源生物科学研究所, 〒710-0046 倉敷市中央 2-20-1

(平成 21 年 12 月 8 日受理)

### Cooling effect on buildings by the roof greening at Research Institute for Bioresources, Okayama University

Maki Katsuhara\*, Shigemi Tanakamaru, Izumi C. Mori, Akio Tani, Shigeko Utsugi, Takashi Enomoto  
and Toshihiko Maitani

Research Institute for Bioresources, Okayama University, 20-1, Chuo-2-chome, Kurashiki-shi 710-0046, Japan

**Abstract:** Roof greening is known to be environmentally friendly technology. Recently developed new roof greening systems, such as the thin-layer/Excel soil© system and the wetland type greening system, were tested at the roof top of buildings of Research Institute for Bioresources, Okayama University. After a multi-year test, these new systems have been established during high-temperature and less-rainfall summer seasons in the south Okayama region. Data indicated that roof greening effectively reduced the temperature of the concrete surface (more than 10 °C). The room temperature under the green roof was also reduced both in a stock room (up to 6 °C) and in an office room (about 2 °C). We also provided the estimation indicating that this roof greening is useful for the decrease in CO<sub>2</sub> emission through the reduction of the electric power for air-conditioning in the summer.

**Key words:** Roof greening, wetland type greening, thin-layer/ Excel soil© system, cooling effect.

### 1. 緒 言

近年屋上緑化などの建築物緑化が注目されている[1]。建築物緑化とは敷地内あるいは建築物上に草花や樹木、芝などの植物を明確な意図をもって人為的に植栽することである。建築物緑化の代表的な形態には、屋上緑化、壁面緑化、踏圧地(人や車両の踏圧が繰り返しかかる面)緑化、敷地内緑化などがある。建築物緑化の目的は、持続的な緑の空間の確保、ヒートアイランド現象緩和への支援、水循環支援のための雨水調整、生物多様性への支援、CO<sub>2</sub> 固定によ

る地球温暖化防止などの極めて公共的な便益の達成から、気温・湿度調整による大気・室内環境の改善、省エネルギー、騒音低減、防風、防火・防災、環境教育、景観向上など公共的な便益と建築物所有者や利用者の便益の複合的な達成、さらにプライバシー確保、建物劣化防止、レクリエーション、野菜・果樹・花などの農作物の生産など建物の利用者の便益の達成に重点をおいたものまで多岐にわたっている。このように建築物緑化の形態とその効果も複合的で多面的であるので、それぞれの目的や環境に応じた、多様な植物を利用した適切な緑化形態と栽培技術を含めた施工技術の開発が強く望まれている。さらに地域によって異なる降水量や気温に対応した植栽を

---

\*連絡先, Corresponding author

設置する必要がある。

東京(2000年から)や大阪(2006年から)など大都市圏では大型の新築建築物に対して一定面積の緑化が義務付けられたり、一般家屋向けの補助金制度が設けられたり、さまざまな建物緑化推進策が実施され、建物緑化への関心が先行していた。岡山県においては数年前まで建物緑化に対する関心は高いとは言えず、独自の振興もほとんどなかったが、岡山県でも建物緑化の関心と需要が高まることを予想して、資源生物科学研究所では2005年から屋上緑化プロジェクトをスタートさせた。

本プロジェクトでは岡山県南部の少雨夏期高温という気候条件でも適用可能で建物冷却に有効な薄層・省管理型の緑化システムを確立することを目標とした。このシステムが適切に稼働すれば、土壌や植物からの蒸散等による気化熱、また土壌による断熱効果や植物がつくる影による日射遮蔽効果などにより夏期の建物の温度上昇を抑制することが期待される。緑化による建物冷却効果は冷房用電力の削減や都市のヒートアイランド現象の抑制へつながり、最終的には地球温暖化防止対策の一部となりうる。

屋上緑化の熱的効果については、芝生植栽の熱的特性についての研究[2, 3]や薄層緑化の熱特性の解析[4]などがあり、緑化により建物への熱負荷が軽減されることが明らかにされている。ただ、これら一連の研究は実験的に設置した小面積の区画における解析にとどまっており、広範囲に緑化された屋上を使用したものではない。

本研究では、実際に屋上緑化された建物を対象にその効果について検証した。また本稿では新規の緑化資材・緑化方法(固化培土、絶滅危惧植物を含む植栽用植物、湿地型緑化)や、緑化による電力削減と地球温暖化防止策への寄与についても報告、議論する。

## 2. 実験

### 2.1. 固化培土による薄層緑化

資源生物科学研究所管理棟屋上(空調室外機やダクトなど既設設備部分を除いたオープンスペースは約290 m<sup>2</sup>)に2007年3月に固化培土(商品名:エクセルソイル©, 3 cm厚でスチロールベース付き, みのる産業(株), 赤磐市) [5]をあわせて約110 m<sup>2</sup>分を設置した。植栽はセトウチマンネングサ(*Sedum polytrichoides* Hemsl. subsp. *yabeanum* (Makino) var. *setouchiense* (Murata et Yuasa) H. Oba.)他の各種マンネングサ属植物を中心とした。自動灌水装置によって毎日明け方に固化培土の100%保水量まで灌水し、3週間に一度化学肥料を与えた(長岡有機No.4 20 g/m<sup>2</sup>, 長岡化成, 尼崎市)。

### 2.2. 湿地型緑化

底面積約0.5 m<sup>2</sup>のトレーに厚さ3 cmで水田土壌(資源生物科学研究所実験圃場より採取)を入れ、水生植物アサザ(*Nymphoides peltata*), ミズアオイ(*Monochoria korsakowii*)などを植栽した。施肥は行わず、生育に必要な植物栄養分は水田土壌に含まれているものでまかなった。水道水により水深は約10 cmとした。研究所1号館屋上に2カ所ある収納室(3階相当, 各屋上面積30 m<sup>2</sup>)のうちの1カ所の屋上にトレーを設置した。まず13個(設置面積合計6.5 m<sup>2</sup>)を設置し、次いで12個追加した。計25個の総設置面積合計は12.5 m<sup>2</sup>である。

### 2.3. 温度と気温の測定

屋上のコンクリート上面(固化培土設置の場合は、スチロールベースの底面とコンクリート面の間、湿地型の場合はトレーとコンクリート面の間)の温度は計測プローブ(サーモクロン温度ロガー, KN ラボラトリーズ製)によって6分ごとに2日以上連続して測定した。研究所1号館屋上2カ所の収納室, および管理棟2階所長室(通常は無人で冷暖房運転なし)の室温は天井下15 cmに設置した自動記録計(サーモレコーダーミニ, エスペックミック(株)製)で記録した。外気温は資源生物科学研究所圃場に設置されているアメダスデータを用いた。

## 3. 結果と考察

2007年から3シーズンにわたる試験の結果、固化培土による薄層緑化システムに自動灌水装置を組み合わせることで、最小限の屋上への荷重負荷と管理で、岡山県南部の夏期少雨高温の条件において屋上緑化を安定して維持できることが示された。階下の室温を測定している部分の屋上(資源生物科学研究所管理棟屋上)での固化培土による薄層緑化の様子をFig. 1で示した。ここにはマンネングサ属の植物



Fig. 1 Roof-top view of Kanrito-building (Research Institute for Bioresources) in June, 2008. Sedum species were planted over the thin-layer/Excel soil© system.

を植栽した。従来から緑化資材として用いられているツルマンネングサ(アジアに広く自生)および外来種のメキシコマンネングサやオウシュウマンネングサだけでなく、在来種のオノマンネングサ、メノマンネングサ、また岡山県と小豆島だけに自生する絶滅危惧Ⅱ類(環境省レッドリストによる)であるセトウチマンネングサも本システムで緑化に用いることが可能であった[6-8]。すなわち絶滅危惧植物の中にも屋上で保護・増殖させながら緑化資材として活用できるものがあることが明らかになった。これは生物多様性保護の観点からも有益である。

固化培土による薄層緑化システムでは、マンネングサ類以外にも、シソやペパーミント、バジルなど、いくつかのハーブ植物もよく生育することが明らかになっている(データ省略)。

7月下旬2日間にわたるコンクリート面の表面温度変化を Fig. 2 に示す。晴天が続いた測定期間中、緑化されていない裸面ではコンクリートの表面温度は日中 45°C 以上になり、最高で 47°C に達した。しかし固化培土薄層緑化システム(固化培土 3 cm 厚 + スチロールベース 5 cm 厚)で覆った場合、コンクリート面の温度は最高でも 35°C 程度で、緑化の有無で最高温度に 10 度以上の差が認められた。湿地型緑化の場合ではコンクリート面の温度上昇はさらに抑制された。緑化した箇所では緑化用資材で覆われてコンクリート面が日光の直射を受けないほか、植物からの蒸散と培土(湿地型の場合は水面)からの水の気化によって冷却されるためにコンクリート面の温度上昇が抑えられていると考えられる。湿地型緑化システムにおいて固化培土薄層緑化システムより温度抑制効果が大きいのは、水面からの水による蒸発が多いためと推察される。

本格的な湿地型緑化は島根大学によって開発研究されている[9]。資源生物科学研究所緑化プロジェクトではトレーを用いた簡易型の湿地型緑化でスター

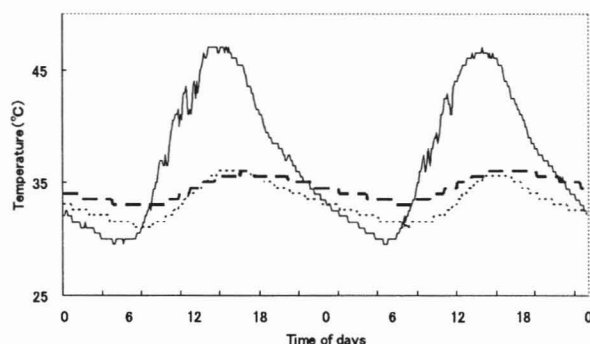


Fig. 2 Temperature of concrete surfaces on July 23 and July 24, 2008. Solid line, bare concrete surface: broken line, surface covered with the thin-layer/Excel soil© system: and dotted line, surface covered with the wetland (pond) type greening system.

トし、今回解析した温度データも簡易型の湿地型緑化によるものである。2008 年度以降は屋上池(4 m × 5 m)を設置してミズアオイ(絶滅危惧Ⅱ類、環境省)等を植栽した本格的湿地型緑化に取り組んでいる[8]。

屋上緑化による室温低下効果を測定するために無人で冷房がなく、構造が同じ 2 つの収納室(研究棟 1 号館屋上, Fig. 3 上の A と B)を使って実験した。収納室 B を非緑化の対照とした。収納室 A の屋上(3 階屋上に相当)に、まず湿地型緑化のトレー 13 個、次いで 12 個追加(計 25 個設置, 総面積 12.5 m<sup>2</sup>)して屋上緑化を行った。最終的には屋上に寒冷紗(日射透過率約 50%)による被覆も設置した。収納室 A と B の室温は緑化前には差は認められなかった。夜間および降雨のあった時(Fig. 3 下図中の横棒で示した期間)にも室温の差はほとんどなかった。しかし緑化と被覆に応じて収納室 A での晴天時の日中には室温の低下が観測され、最大で 6°C 程度室温に差がつくことが認められた。

収納室は居住性について考慮されておらず天井部の断熱がされていない。人間が滞在することを前提としている部屋の場合でも緑化によって室温が低下するかどうかを実証するため、緑化前(2007 年)と緑

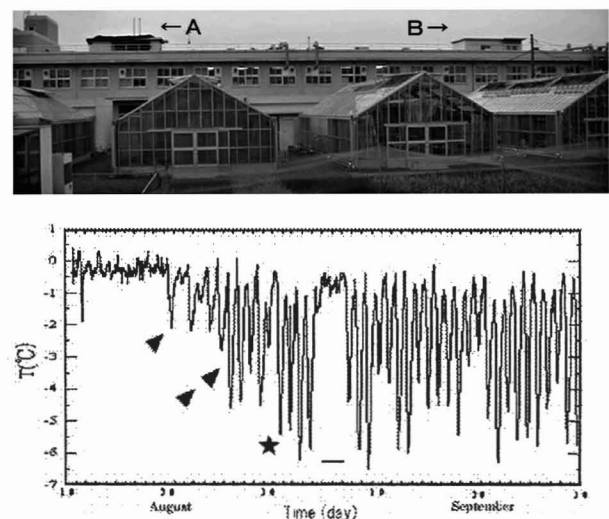


Fig. 3 Two tent houses (A and B, top figure) on the Laboratory-building 1 (Research Institute for Bioresources), and temperatures difference between two rooms from August 10 to September 30, 2006 (bottom figure). Subtraction of the temperature in room B (no roof greening) from the temperature in room A was displayed. Roof-top of room A was covered with 13 containers of the wetland (pond) type greening system at date indicated with single arrow head. Then other 12 containers were added (total 25 containers) at date indicated with double arrow heads. Containers were then covered with lawn cloth at date indicated with an asterisk. A horizontal bar indicates rainy days during the experimental period.

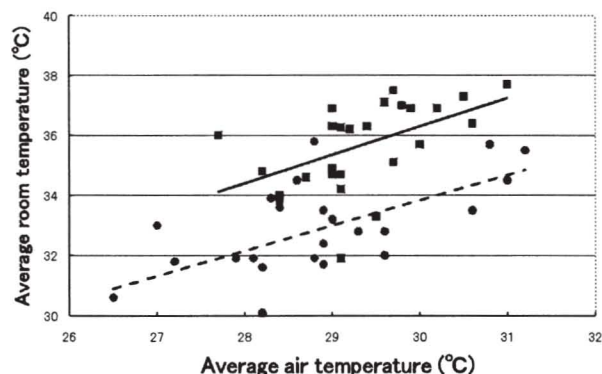


Fig. 4 Daily relations of room temperature (daily average) to air temperature (daily average) over 30 days of August before (2007, square) and after (2008, circle) the roof greening. Room temperature was measured in a reception room on the second floor of Kanrito-building (Research Institute for Bioresources). Solid and broken lines represent regression lines of data in 2007 and 2008, respectively.

化後(2008年)に資源生物科学研究所管理棟2階の一室で室温を測定した(Fig. 4)。測定をおこなったのは応接室として使われる所長室で、多くの日は無人で空調装置は作動していない。異なる年における室温の測定値は直接比較ができないため、Fig. 4ではそれぞれの年の8月の各日における平均気温をx軸に、その日の平均室温をy軸にプロットした。各年のデータから得られた2つの回帰直線はほぼ平行していた。回帰式から外気温30.0°Cの時に緑化前では室温が36.3°Cになると計算された。これが緑化後の回帰式からは室温が33.8°Cとなり、今回実施した緑化によって室温が2.5°C低下することが示された。

2°C相当の熱エネルギー遮断効果Aを0.56 kWh/m<sup>2</sup>日[10, 11]とした場合、この数値と冷房電力効率B、冷房期間C、緑化面積Dから緑化による年間での冷房電力削減量Xは

$$X = (A / B) \times C \times D$$

と見積もることができる。B=3(旧型(1990年代後半)冷房機器のおよその値[12])、C=80日、2009年現在の資源生物科学研究所屋上緑化の面積D(薄層緑化、湿地型緑化、その他を含む総面積)=200 m<sup>2</sup>とすると

$$X = 2,987 \text{ kWh}$$

と算出される。

地球温暖化対策において問題となるCO<sub>2</sub>排出量(削減量)は排出係数を用いて電力量から換算できる。環境省による値(0.555 kg-CO<sub>2</sub>/kWh) [13]を採用すると、研究所において現在実施している屋上緑化は

$$2,987 \text{ kWh} \times 0.555 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 1,657 \text{ kg-CO}_2$$

すなわち年間約1.7tのCO<sub>2</sub>削減に貢献していると試算できる。研究所の電力換算CO<sub>2</sub>排出量(2003年から

2007年までの年平均値)は1060 tであるので屋上緑化はその0.2%弱の削減に寄与していることになる。緑化面積を現在の5倍まで拡大できれば、研究所のCO<sub>2</sub>排出値(電力換算)の1%程度を削減できる可能性があると言える。

#### 4. 結論

資源生物科学研究所屋上緑化プロジェクトは岡山大学内で初めての本格的な屋上緑化への取り組みであった。この屋上緑化では、岡山県南部の少雨夏期高温という気候条件でも運用できる、絶滅危惧種を含めた植栽による薄層・省管理型の緑化システムおよび湿地型緑化システムを確立した。屋上のコンクリート面の温度および階下の室温を測定した結果は、いずれも緑化によって建物が冷却されていることを示した。人間の滞在を前提とした部屋の場合、緑化によって夏期に平均2°Cの室温の低下を実現することができた。この室温低下効果を冷房用電力量におきかえ電力換算CO<sub>2</sub>削減量として計算すると、2009年現在で屋上緑化は約1.7t/年のCO<sub>2</sub>削減量に寄与していることがわかった。

まとめると、本研究によって、

- 1) 固化培土等による新しい緑化システムによる建物冷却効果が、実際の建物で初めて実証された。
- 2) 絶滅危惧種を薄層緑化システムや湿地型緑化に適用できること、すなわち地球温暖化対策と生物多様性保護を同時に実施できることが初めて示された。

#### 参考文献

1. 船瀬俊介 「屋上緑化」完全ガイド 築地書店 p.266 (2003).
2. 石原修, 張晴原, 下山和美 屋上芝生植栽の熱特性と水分収支に関する実験的研究 日本建築学会計画系論文集 484, 17-24 (1996).
3. 梅干野見, 何江, 堀口剛, 王革 芝生葉群層の熱収支特性に関する実験的研究 屋上芝生植栽の熱環境調節効果 第1報 日本建築学会計画系論文集 462, 31-39 (1994).
4. 垣鏑直, 溝口忠, 雨海清一郎, 石橋龍吉 薄層屋上緑化ユニットの熱的性能に関する実験的研究 日本建築学会計画系論文集 578, 79-84 (2004).
5. <http://www.green-project.com/excelsoil.html>
6. Mori, I.C., Enomoto, T., Katsuhara, M., Comparison of transpiration rate of naturalized and domestic Sedum species. ITE Letters on batteries, New Technologies and Medicine 8, 434-438 (2007).
7. Mori, I.C., Utsugi, S., Tanakamaru, S., Tani, A., Enomoto, T., Katsuhara, M., Biomarkers of Green Roof Vegetation: Anthocyanin and Chlorophyll as Stress Marker Pigments for Plant Stresses of Rooftop Environments. Journal of Environmental Engineering and Management 19, 21-27 (2009).

8. 資源生物科学研究所・屋上緑化プロジェクトチーム  
希少植物を屋上緑化で保護して活用する 岡山大学  
環境報告書 2009 15-16 (2009).
9. 相崎守弘, 隅田茜 湿地型屋上緑化に関する研究  
日本水環境学会年会講演集 39, 60 (2005).
10. 原園芳信, 池田英男 屋上での簡易養液栽培による  
室内熱環境への影響 農業気象 46, 9-17 (1990).
11. (財) 都市緑化技術開発機構(編) 省エネルギー効果  
新・緑地空間デザイン技術マニュアル 42 (1996).
12. 経済産業省 民生部門のエネルギー消費動向につい  
て  
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g01011gj.pdf>
13. 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条  
(平成 18 年 3 月 24 日一部改正) 排出係数一覧表

## 謝 辞

本屋上緑化プロジェクトは、研究所創立 90 周年記念協賛金(くらしき会)、大原奨農会、中国銀行株式会社、住宅生産団体連合会、国際花と緑の博覧会記念協会による寄付および資金援助により実施された。これらの支援に心より謝意を表します。また固化培土システムの設置その他の緑化作業に研究所在籍の職員、学生の多くの方がボランティアとして参加してくださいましたことに感謝します。