

屋上緑化の室内熱環境改善効果に関する基礎的検討

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 井上雄一郎
 京都大学大学院工学研究科 正会員 市川 温
 京都大学大学院工学研究科 正会員 椎葉充晴

1 はじめに 都市の熱環境悪化を抑制するために、都市緑化や緑地保全がすすめられている。こうした緑化の熱環境改善効果に関しては、緑化の都市熱環境に与える影響を気温・室温の変化といった物理的観点から解析した研究は多く存在する^[1]。しかし、緑化導入に伴うコストと便益の関係を金銭的に明示した研究事例は見当たらない。緑化はその導入主体に対し大きな経済的負担を強いることから、気温・室温の変化といった物理的指標を提示するだけでなく、緑化に伴うコストと便益を併せて示すことが重要である。

そこで本研究では、室温算出を目的とした建築物熱環境モデルを構築し、建築物に屋上緑化を導入することでどの程度室温が変化するのか、またそれによってどの程度空調コストを軽減できてそれが緑化コストと比較してどの程度なのか、ということを定量的に明らかにする。

2 建築物熱環境モデルの構成

2.1 熱環境モデルの概要 建築物の室温は、建築物外表面の熱収支・壁体内の熱伝導・室内空間の熱収支の3過程を連立解析することで求められる。この考え方を屋上面に適用する。ただし、モデルの簡単のため側壁では日射の受熱は一切ないものとし、側壁を通した室内空間の熱収支は建築工学分野で一般的な熱貫流の考え方^[2]を用いる(図1参照)。

また室内条件は一切考慮せず、気候要素(全天日射量・大気放射量・気温・相対湿度・気圧・風速)によってのみ決まる自然室温の算出モデルを構築する。

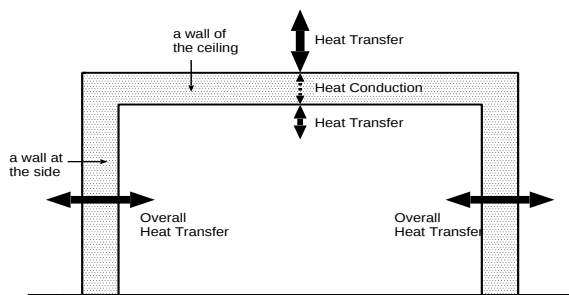


図1：建築物熱環境モデル

2.2 外表面の熱収支モデル 建築物の外表面では、全天日射(S_d)と大気放射(L_d)からの受熱があり、同時にその表面温度に応じた物体放射(L_u)を行なっている。全天日射の一部は反射される(反射率 ref)が、これらの差し引きを純放射と呼ぶ。この純放射を式(1)のように、顕熱(H)・潜熱(lE)・蓄熱(G)に配分することで建築物の外表面温度(T_w)が決まる。

$$(1 - ref)S_d + L_d - L_u = H + lE + G \quad (1)$$

2.3 壁体内の熱伝導過程モデル 壁体の熱伝導は、壁面法線方向の一次元熱伝導方程式(式(2))を、外表面および内表面における境界条件(式(3),(4))のもとで解くことで、壁体内の温度プロファイルが決定され、壁体を通し室内に流入する熱量が決まる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) \quad (2)$$

$$T_0(t) = T_w(t) \quad (3)$$

$$c\gamma \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

ただし、 T :壁体内温度[K], a :温度伝導率[m²/s], T_0 :壁体外表面温度[K], γ :壁体密度[kg/m³], q :壁体内の熱流量[W/m²]である。

2.4 室内空間の熱収支モデル 屋上面および側壁面から室内に流入する熱量から自然室温(T_r)は次のように決まる(床面は完全断熱)。

$$c_{air}\rho V \frac{\partial T_r}{\partial t} = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (5)$$

ただし、 c_{air} :空気比熱[J/kg·K], ρ :空気密度[kg/m³], V :室内容積[m³], Q_i :壁体 $i(=1 \sim n)$ からの室内流入熱量[W]である。

3 屋上緑化の室内熱環境改善効果の評価

3.1 モデルの適用 建築物熱環境モデルを夏季の典型日と考えられる1999年7月31日～8月7日の京都に適用し、屋上緑化のある場合とない場合での室

キーワード：屋上緑化, 建築物熱環境モデル, 経済的評価

住所：〒606-8501 京都市左京区吉田本町, TEL：075-753-5096, FAX：075-753-4907

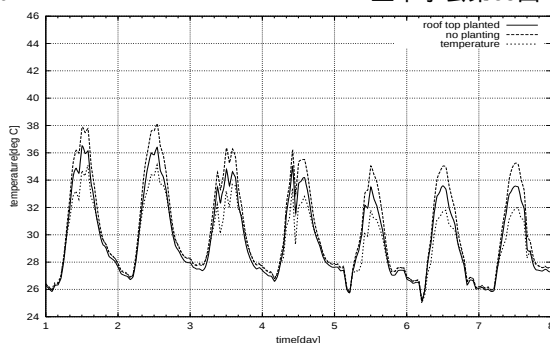


図2：建築物モデルA(5×5×3[m³])の熱環境計算結果

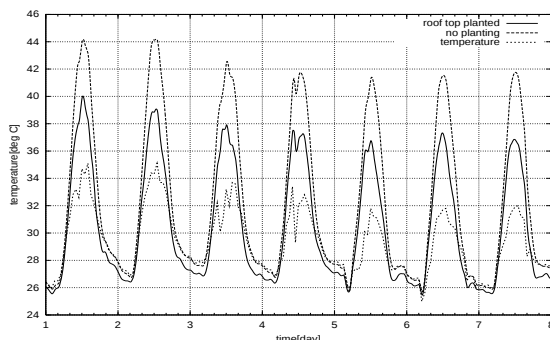


図3：建築物モデルB(20×20×3[m³])の熱環境計算結果

温を算出した。実際には、7月31日分は助走計算として8月1日からを解析対象とし、このときの入力データとしては、気温・相対湿度・気圧・風速には地上気象観測時別(SDP)資料の値を用い、全天日射量・大気放射量には推定値を用いた。

3.2 物理的評価 屋上面積の異なる建築物モデルAおよびBについてそれぞれシミュレーションを行ない、室温を算出した(図2,3)。屋上緑化を行っていないケースでは、屋上面におけるの蒸発効率を0としてモデルを適用した。

この結果屋上緑化による室温の低下が確認され、日中にモデルAでは最大約1.5℃、モデルBでは最大約5.0℃の室温が低下することが判る。また、室温の低下は主に日中に生じているが、これは植生の蒸発散作用による潜熱輸送量が増え、屋上面の表面温度が低下しているためである。

3.3 経済的評価

(1) 屋上緑化コスト

屋上緑化植物として、多肉植物で乾燥に非常に強く最もコストの低いセダムを用いた場合に、維持費用を考慮しないとしてそのコストは約2万円/m²となり、モデルBでは800万円のコストを要する。

(2) 屋上緑化の便益

屋上緑化による室温変化から削減される空調コストをその便益と考える。3.2の計算結果を用いて、

評価方法1－屋上緑化を行っていない場合の室温を屋上緑化を行なった場合の室温に空調する場合
評価方法2－屋上緑化を行なった場合と行っていない場合の両方の室温を20℃に空調する場合
についてそれぞれ評価した。

空調コストは、熱環境モデルに対して室温を入力することで空調負荷熱量を算出し、空調のCOP(エネルギー消費効率)で除し、電気料金を乗じて求める。ただし、COPは5.0とし、電気料金には東京電力の値(7:00～23:00-26.45円/kWh, 23:00～翌7:00-5.95円/kWh)を用いた。

その結果、単位屋上面積あたりから夏季(約90日間)に得る屋上緑化の便益は約60～65円となる。モデルBでは夏季には約27,000円の空調コスト削減となる。屋上緑化の熱環境改善効果を夏季だけと考えた場合、導入コスト分を削減空調コストをもって取り返すには約300年かかることが判った。

4 まとめ 本研究では、室温を算出する建築物熱環境モデルを構築し、これを用いて夏季における屋上緑化の室内熱環境改善効果について物理的・経済的に評価した。この結果、屋上面積と側壁面積の大きさの割合により多少異なるものの、夏季に室温低下効果が生じることが明らかになった。しかし、屋上緑化による室温低下効果を金銭的に評価すると、仮に年間を通して夏季同様の熱環境改善効果が生じたとしても、導入コストを削減空調コストによって取り返すには約75～80年がかかるということが明らかになった。

本研究により屋上緑化は室内暑熱環境の緩和に大きく貢献していることが検証された。しかし、屋上緑化の経済的評価から、屋上緑化を都市緑化や緑地保全の一環として普及させるにはなかなか難しいことも確認された。今後は屋上緑化を含めた都市緑化や緑地保全が都市全体という大きな枠においてもたらず熱環境改善効果について、物理的にまた経済的に評価していく予定である。

参考文献

- [1] 吉田 伸治・村上 周三・持田 灯・大岡 龍三・富永 禎秀・KIM Sangjin: 対流・放射・湿気輸送を連成した屋外環境解析に基づく緑化の効果の分析, 日本建築学会計画系論文集, 第529号, pp. 77-84, 2000.
- [2] 鉾井 修一・池田 哲朗・新田 勝通: エース 建築環境工学2-熱・湿気・換気-, 朝倉書店, pp. 30-41, 2002.