植物が室内環境に及ぼすグリーンアメニティー効果の シミュレーションによる検討

浅海英記・仁科弘重・福山寿雄・橋本 康

愛媛大学農学部 790 愛媛県松山市樽味

Simulative estimation for the environment inside room
from the green amenity aspect.

Hideki ASAUMI, Hiroshige NISHINA, Toshio FUKUYAMA and Yasushi HASHIMOTO

Department of Biomechanical Systems, Ehime University, Matsuyama 790, Japan

Summary

Recently, we often hear the word "amenity". The amenity effects of plants on human being is called "green amenity". The authors recognize the importance of "green amenity" and are making a series of studies on "green amenity".

The green amenity effects can be divided into perceptible effect, environmental control effect and image effect (Fig. 1).

In this paper, the authors focused on the environmental control effect by plants, and made simulation of inside environment of two types of office rooms; the one has plants in it and the other has no plants.

The authors assumed simulation model shown in Fig. 2 and Table 1, and made simulation according to the flow chart shown in Fig. 3. The plant in the room was tomato plant, and its relationship between light intensity and stomatal resistance is shown in Fig. 4.

The result of simulation on the standard sunny day in December is shown in Fig. 5, indicating that the inside air temperature with plants is lower than that without plants in the daytime and that the maximum temperature difference is 2.6°C. Figure 6 shows that the maximum temperature difference on the standard sunny day in July is 2.7°C.

序 論

最近、「アメニティー」という言葉がよく使われるようになってきた。アメニティーは、ラテン語の「*Amoenitas* (アモエニタス); 快適な、喜ばしい」に由来しており¹⁾、一般には「快適性」とか「快適性の追求」という意味で用いられている。本論文では、「グリーンアメニティー」を、「室内外を問わず、緑を用いて、人間にとっての快適性の追求を計ること」と定義し、また、緑とは植物全般を指すものとする。

緑を用いたアメニティーの効果は、Fig. 1 に示したように、物理的效果とイメージ効果の2つに分けて考えられる。さらに、物理的效果は、知覚効果と環境調節効果に分けられる。知覚効果とは、人間が直接的に受ける効果で、人間の五感（視覚、聴覚、味覚、嗅覚、触覚）から得られ

図1. 緑のアメニティー効果

Fig. 1. Amenity effects of plants on a person.

る情報による効果とする。環境調節効果とは、間接的に受ける効果で、気温、湿度、光、空気流動などをコントロールし、快適環境を作り出す効果とする。例えば、夏期の気温低下、冬期の乾燥防止などがある。これらの要素を統合的にコントロールすることで、より大きな効果が期待できることは知られている。イメージ効果とは、ある事柄に対してその人の持っている知識や知恵からの連想や、植え付けられた先入観念などから生じる効果とする。これは、物理的效果とは異なり、単に数値では判断しにくいものである。

本論文では、これらの効果の中で、環境調節効果に注目し、植物を配置した時および配置していない時の室内環境のシミュレーションを行うことによって、オフィスにおける緑のアメニティ

図2. シミュレーションのモデルオフィス

①：熱線吸収ガラス ②：プラスターボード ③：カーペット ④：コンクリート
⑤：空気層 ⑥：プラスターボード ⑦：吸音板

Fig. 2. Model office for the simulation.

①：Heat absorbing glass ②：Plaster board ③：Carpet ④：Concrete
⑤：Air ⑥：Plaster board ⑦：Sound absorbing board

一効果を検討した。

室内環境のシミュレーション

1. シミュレーションモデルの概要

モデルオフィスは、最近のオフィスビルを参考にして、Fig. 2 のように想定した。大きさは $14.4 \times 7.2 \times 2.8$ m, 南側全面を熱線吸収ガラスとしている。Table 1 には、Fig. 2 で示したモデルオフィスを構成する各建築材の厚さ、容積比熱、熱伝導率、日射吸収率を示してある。床、コンクリート層に関しては各 23, 東壁、西壁に関しては各 10 のメッシュに分け、それぞれの中心に温度点を設定した。このメッシュは、南面のガラスに近いほど小さくなっている。そして、その他の温度点も含め 120 の温度点に対して、日射吸収量、総合熱伝達量、潜熱伝達量、熱伝導量を計算した。このモデルオフィスは、建物の中心に位置すると考えた。そのため、東壁、西壁を通しての隣室との熱移動は、考えなくてよいことになる。また、床、東壁、西壁の各層の中の横方向の熱移動は、各層の厚さが薄いため、小さいものとして無視した。

植物はトマトとした。この理由として、蒸散量、遮光率などのデータの入手が容易であったことがある。このようなシミュレーションでは、植物の蒸散量や遮光率が重要である。ここで、遮光率とは、光源からの光を植物が遮る割合とする。今回は植物の配置上、光源は太陽となるので、日射遮光率と呼ぶ。日射遮光率は、本来は時刻、すなわち太陽位置によって変化する変数とするべきであるが、既存の研究²⁾のデータを参考にして、0.9 で一定とした。トマトの配置場所は南面のガラスの内側で、植物の高さは 1.8 m とした。LAI (葉面積指数) は $3 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, トマトの日射吸収率は 0.7 とし、トマトはほとんどが水でできていると考え、容積比熱は $1000 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ とした。

2. シミュレーションのフロー

シミュレーションのフローチャートを、Fig. 3 に示す。まず、シミュレーションに関するパラメータ、初期値を入力し、その後、シミュレーションの開始時刻から微小時間間隔で繰り返し計算が行われる。

繰り返し計算では、その時刻における太陽位置を計算し、直達日射量をブーグ (Bouguer) の

表 1. モデルオフィスの各建築材とそれらの厚さ・熱的特性

Table 1. Materials of the model office, and their thickness and thermal characteristics.

No.	Thickness (mm)	Volumetric specific heat ($\text{kcal} \cdot \text{m}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	Heat conductivity ($\text{kcal} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	Solar absorptivity
①	10	483	—	0.18
②	20	245	—	0.4
③	7	80	0.063	0.4
④	140	456	1.3	—
⑤	1029	0.31	—	—
⑥	9	245	0.15	—
⑦	15	60	0.055	0.4

図3. シミュレーションのフローチャート
Fig. 3. Flow chart of the simulation.

式³⁾により、散乱日射量をベルラーゲ (Berlage) の式³⁾により計算する。ある点に入射する日射量については、直達日射、散乱日射の他に、モデルオフィス内の他の面に入射し吸収されないで反射した日射も考慮した。直達日射の計算では、その点から太陽がどのように見えるかによって

次の P の値を求め、以下の式で計算した。

$$P = \begin{cases} 0 & \text{その点と太陽を結ぶ線が南面のガラスを通らない時} \\ 1 & \text{その点と太陽を結ぶ線が南面のガラスを通り、} \\ & \text{トマト（の群落）を通らない時} \\ 0.1 & \text{その点と太陽を結ぶ線が南面のガラスを通り、} \\ & \text{トマト（の群落）を通る時} \end{cases}$$

$$Q_d = I_d T_g P B_f A_f$$

Q_d : 直達日射の吸収量 ($\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$), I_d : 屋外の水平面直達日射量 ($\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$),

T_g : ガラスの日射透過率, B_f : その点の日射吸収率, A_f : その点が代表する面積 (m^2)

次に、総合熱伝達量の計算であるが、これは、対流熱伝達と放射熱伝達とを一緒にした考え方であり、建築環境工学の分野でよく用いられている。対流熱伝達率は、面の位置、面の向き、熱流の方向によって値を変化させた。室外は $16 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 、室内の垂直面は $4.0 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ とした。室内の水平面は、熱流が上向きの時に大きく下向きの時に小さくし、面と空気との温度差に応じて、 $1.3 \sim 4.0 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ の値を取るようにした。放射熱伝達率は、室内、室外とも同じ値で一定とした ($4.0 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)。総合熱伝達量は、以下の式で計算した。

$$Q_t = H_t (T_i - T_f) A_f$$

Q_t : 総合熱伝達量 ($\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$), H_t : 総合熱伝達率 ($\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), T_i : 室内空気温度 ($^\circ\text{C}$), T_f : その点の温度 ($^\circ\text{C}$)

熱伝導量は、2点間の距離、熱伝導率から熱コンダクタンスを求めて、以下の式で計算した。

$$Q_c = H_c (T_i - T_f) A_f$$

Q_c : 熱伝導量 ($\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$), H_c : その点と下層の点の間の熱コンダクタンス ($\text{kcal} \cdot$

図4. シミュレーションで用いた植物（トマト）の光強度と気孔抵抗の関係

Fig. 4. Relationship between light intensity and stomatal resistance of tomato plant used in this simulation.

$m^{-2} \cdot h^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$), T_i : その点の下層の点の温度 ($^\circ C$)

植物 (トマト) については, 蒸散に伴う潜熱伝達量も考慮しなければならない. 蒸散量および潜熱伝達量は, トマトの気孔抵抗を Fig. 4 のように日射量の関数として表し, それとトマトの葉における水蒸気伝達率を用いて, 次のように計算した.

$$W_p = \frac{1}{\frac{1}{K_p} + K_s} (V_p - V_i) A_p$$

$$Q_p = W_p L$$

W_p : 蒸散量 ($kg \cdot h^{-1}$), K_p : 水蒸気伝達率 ($m \cdot h^{-1}$), K_s : 気孔抵抗 ($h \cdot m^{-1}$), V_p : 葉温における飽和水蒸気濃度 ($kg \cdot m^{-3}$), V_i : 室内空気の水蒸気濃度 ($kg \cdot m^{-3}$), A_p : 葉面積 (m^2), Q_p : 潜熱伝達量 ($kcal \cdot h^{-1}$), L : 水の蒸発潜熱 ($kcal \cdot kg^{-1}$),

以上から, その点の流入熱量を求め, それを, その点が代表する熱容量で割って, 温度上昇速度を計算した.

植物 (トマト) 以外について:

$$Q = Q_s + Q_t + Q_c$$

植物 (トマト) について:

$$Q = Q_s + Q_t + Q_c - Q_p$$

$$Dt = \frac{Q}{C}$$

Q : その点への流入熱量 ($kcal \cdot h^{-1}$), Q_s : その点の日射吸収量 ($kcal \cdot h^{-1}$), Dt : その点の温度上昇速度 ($^\circ C \cdot h^{-1}$), C : その点が代表する熱容量 ($kcal \cdot ^\circ C^{-1}$)

ここで, Q_s は, その点が吸収する日射量で, 前述の直達日射の吸収量 (Q_d) に, 散乱日射およびオフィス内の他の面で反射された日射の吸収量を加えたものである.

最後に, 上記で求めた温度上昇速度を積分して, 時刻 t におけるその点の温度を計算する.

$$T_f = \int_0^t Dtdt + T_0$$

T_0 : 初期温度 ($^\circ C$)

室内空気温度, 植物の温度なども, その点に流入・流出する熱量を考え, 上記と同様な計算で求めた. なお, 積分方法として 4 次の可変間隔ルンゲクッタ法を用いた.

3. 結果および考察

モデルオフィスの場所を東京とし, 12 月および 7 月の標準晴天日⁴⁾を想定して, シミュレーションを行った. シミュレーションは, 愛媛大学情報処理センターにおいて, 連続型シミュレーション言語 FACOM SLCS IV を用いて行った. シミュレーションは, 同じ天候 (標準晴天日) が連続したとし, 今回のシミュレーションモデルの中で最大の熱容量をもつコンクリート層の午前 0 時の温度が, 前日の午前 0 時の温度と $0.01^\circ C$ 以下の差になった日を収束したとみなし, 結果とした.

Fig. 5 に, 12 月の標準晴天日について, 緑を配置した時と配置していない時の, 室内空気温度, 各建築材温度, 外気温の日変化を示す. 床, 壁の温度に関しては, Fig. 2 の斜線を引いた部分の温度である.

床温度についてみると, 8 時~15 時の間で植物を配置している方が温度がかなり低く, 12 時

図5. シミュレーションの結果：各温度の日変化（12月）

○：室内空気 ■：東壁 □：西壁 ●：ガラス ▲：床 △：コンクリート
★：外気

Fig. 5. Results of the simulation; diurnal changes of temperature of points in the model office on the standard sunny day in December.

○：Inside air ■：East wall □：West wall ●：Glass ▲：Floor
△：Concrete ★：Outside air

には約 12°C も低い。東壁温度と西壁温度は、床温度ほどではないが、同時刻帯で低くなっている。室内空気温度も、植物を配置している方が低く、10時頃から次第にその差が大きくなり、13時には 2.6°C の差になっている。夜間は、 $1.2\sim 1.3^{\circ}\text{C}$ の差であった。これらは、植物を南側に配置したことにより、床および壁面に到達する日射量が減少し、配置していない時と比べ、各面に流入する熱量が大きく減少したためであると考えられる。植物を配置した時と配置していない時とで、午前10時に直達日射量が各面に流入する量を比べると、床面で $1/10$ に、壁面で $1/2$ になっている。なお、西壁温度の10時頃のピークは直達日射が当たるためであり、14時頃のピークは室内空気温度が最も高くなるためである。東壁温度は、直達日射が当たる時間帯と室内空気温度が最も高くなる時間帯が一致するため、ピークの温度もかなり高くなっている。

Fig. 6 に、7月の標準晴天日の結果を示す。床、東壁、西壁の温度は、植物を配置した時の方が低い、その差は12月ほど大きくない。これは、7月には太陽高度が高いために、直達日射があまり室内に入射しないためである。室内空気温度も植物を配置した時の方が低く、13時には温度差が 2.7°C になっている。

今後の課題

今回のシミュレーションは、その目的を、植物による室内空気温度を中心とした各温度への影響の検討としたので、相対湿度を一定として行った。今後は、湿度および空調方法にも注目して、より詳しく検討する予定である。また、実験を行い、実測値と比較することも必要である。

今回のシミュレーションのように南面のガラスの内側に植物を設置する場合、室内空気温度は、

図6. シミュレーションの結果：各温度の日変化（7月）

○：室内空気 ■：東壁・西壁 ●：ガラス ▲：床 △：コンクリート
★：外気

Fig. 6. Result of the simulation; diurnal changes of temperature of points in the model office on the standard sunny day in July.

○：Inside air ■：East wall and West wall ●：Glass ▲：Floor
△：Concrete ★：Outside air

植物の日射遮蔽作用と蒸散による冷却作用とによって、低下させられていると考えられる。そのため、Fig. 4のような、光強度と気孔抵抗との関係、遮光率（光源の入射角度で変化する）などの環境調節的データも、今後、様々な植物について測定する必要がある。

さらに、グリーンアメニティーには序論で触れたような様々な効果があり、これらの効果も考慮し、アメニティー効果を最大にする緑のシステム化を検討する必要がある。

謝 辞

今回のシミュレーションで用いたトマトの光強度と気孔抵抗の関係のデータは、愛媛大学農学部森本哲夫氏からいただいた。貴重なデータを提供下さった同氏に、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 安部大就：アメニティと景観研究，造園雑誌，50(2)：123～127(1986)
- 2) 蔵田憲次・岡田益己・佐瀬勘紀：トマト群落の畝方位と直達光受光率—魚眼レンズ撮影による解析—，農業気象，44(1)：15～22(1988)
- 3) 吉田作松：日射，太陽エネルギー利用ハンドブック，日本太陽エネルギー学会，10～45(1985)
- 4) ソーラーシステム振興協会：ソーラーシステムの設計基準に関する調査研究—気象データの標準化及び集熱量の標準算定法—，ソーラーシステム振興協会，pp. 59(1982)