生活空間における温度変化に対する植物生体電位応答特性

学生員 新保 達也* 正 員 大薮 多可志*
 正 員 長谷川 有貴** 正 員 広林 茂樹***
 非会員 竹中 幸三郎****

Bioelectric Potential Characteristic of Potted Plant for Temperature Change in a Residential Space

Tatsuya Shimbo*, Student Member, Takashi Oyabu*, Member, Yuki Hasegawa**, Member
 Shigeki Hirobayashi***, Member, Kozaburo Takenaka****, Non-member

It becomes obvious that plants are influenced by various kinds of environmental factors, namely temperature, humidity and light intensity. In this study, the influences are examined using the bioelectric potential of the plants. The experiments were carried out in a residential space. One person was living in the residence and a subjective plant was installed in the space. The potential, temperature, humidity, light intensity, atmospheric pressure, sound level and moisture grade in the pot-soil were measured respectively. Some integrated values of the potential characteristics were adopted to derive the influences of the environmental factors. The values were introduced by integrating the characteristic for one hour (v_{hl}), one minute (v_{ml}) or ten minutes (v_{m10}). As for the results, the v_{hl} became smaller as the atmospheric temperature (t_r) became larger, namely negative correlation was recognized among those characteristics. It was also understood that the v_{hl} characteristic was delayed about one hour than the t_r characteristic. The FFT(Fast Fourier Transform) analysis was done to t_r and v_{hl} characteristics and the results for the characteristics were same, namely both characteristics had almost same frequency components. It also became obvious that the v_{hl} increased as the moisture grade decreased in the pot soil. This result can be applied to the care of plants.

キーワード：植物生体電位，環境要因応答，標準化，周波数解析，植物センシング

Keywords : Plant bioelectric potential, Response of environmental factor, Standardize, Frequency analysis, Plant sensing

1. はじめに

近年，植物が持つ空気浄化や癒しの効果が注目を集めている。また，2003 年 7 月に改正された建築基準法により建材等から放散されるホルムアルデヒド等を最小限に減少させる規制が浸透しつつある。ホルムアルデヒドを軽減する一手法として，観葉植物を室内空間に配置し，汚染された室内空気を浄化する試みが行われている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。また，植物を

オフィス環境に配置することにより，労働効率が向上するとの報告もある⁽⁴⁾。このように，植物は人間にとって身近な存在であり，様々な恩恵を人間にもたらすことが明らかとなっている。さらに，植物は周囲の環境要因に応答する可能性がある⁽⁶⁾⁽⁷⁾。これまで我々は植物生体電位(以下，単に生体電位と呼ぶ)を測定し，温度や湿度などの環境要因により影響を受けるのか，さらに，人が植物に対して行う基本的なふるまいである灌水や触れることなどにより変化するのかを測定し統計解析を行った結果を報告してきた⁽⁵⁾。本報告では，人が実際に生活している空間で生体電位を測定し，植物が環境に対する応答を調べた。結果として，生体電位は温度や土壌中水分により影響を受けていることが認められた。これらの知見を応用することにより，植物の効率的な育成管理が可能になる。さらに，観葉植物が持つ様々な効果を引き出すことが可能になる。

2. 実験方法

〈2・1〉 実験装置 実験システムとして生体電位の他に温度，湿度，照度，音，土壌中水分，大気圧を同時に測

* 金沢星稜大学 地域経済システム研究科
〒920-8620 石川県金沢市御所町丑10番地
Kanazawa Seiryō University
10-1 Ushi, Goshō-machi, Kanazawa City, Ishikawa, 920-8620

** 埼玉大学 工学部 情報システム工学科
〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255
Saitama University

*** 255 Shimo-Ohkubo, Sakura-ku, Saitama City, Saitama, 338-8570

**** 富山大学 工学部 知能情報工学科
〒930-8555 富山県富山市五福 3190
Toyama University

3190, Gofuku, Toyama City, Toyama, 930-8555

**** (株) 竹中庭園緑化
〒134-0091 東京都江戸川区船堀 7-11-17
Takenaka Garden Afforestation, Inc
7-11-17 Funabori, Edogawa-ku, Tokyo, 134-0091

定した。各測定のスAMPLING間隔は生体電位が 0.1 秒、音が 1 分、温度、湿度、照度、土壌水分、大気圧は 10 分である。実験で用いたセンサシステムの概要を図 1 に示す。(a) 図は実験で用いたセンサシステム全体の概要であり、各種センサからの応答を A-D 変換器、データロガーを介してコンピュータに取り込む。(b)図は生体電位の測定方法であり、被験植物の隣り合う 2 枚の葉面を導電性電極で挟み、そこから得られた微弱な電位を OP アンプを用いて増幅し、A-D 変換器、データロガーを介しコンピュータに取り込む。なお、本システムにおいては被験植物鉢の土壌をアースとした。図 1 で用いた実験装置の写真を図 2 に示す。これらの装置を用いて人が生活している空間での測定実験を行った。

図 1 実験装置 (a)全センサシステム、
(b)生体電位測定システム

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental device.
(a) is whole sensor system and (b) is the measuring system for the bioelectric potential.

図 2 実験装置の写真

Fig. 2. Photograph of the experimental device.

〈2・2〉 積分処理 一般に、生体電位は零レベルを中心に上下に変動する。この特性から種々の解析を行うことは難しい。このため、生データの絶対値の 1 分間、10 分間、1 時間の積分値を求めそれらを代表値として採用した。積分値を求める式を以下に示す。

$$v_n = \sum_{n=0}^n |Ss| \dots\dots\dots (1)$$

v_n は各積分値、 Ss はセンサ信号、 n は各時間に対するデータ数である。例えば、1 分間の積分値はセンサ信号の 600 個の総和である。積分値を求める処理の流れを図 3 に示す。センサ信号を入力し、(1)式を用いて積分処理を行い結果を出力する。本研究では図 3 の処理を C 言語を用いて構築した。この植物の生体電位の積分値を利用することにより、環境を把握できる。

〈2・3〉 実験環境 実験で使用した空間の見取図を図 4 に示す。実験を行った空間は幅 3.6m×長さ 3.6m×高さ 2.4m(一般的な 8 畳の日本間)である。実験装置は窓からの自然光が直接当たらない位置に配置した。そのため、人が活動している時間帯は主に蛍光灯が光源である。また、人が生活している空間での測定のため、テレビやステレオなどの家庭用電化製品が実験空間に置かれており、実験中も各

図 3 積分処理のフローチャート

Fig. 3. General flowchart for integrated processing.

図 4 実験空間の見取り図

Fig. 4. Layout of the experimental room.

家電製品が使用された。また、測定植物の付近には襖があり人の往来もある。また、本実験の計測では被験植物としてシェフレラ(*Schefflera arboricola*)を採用した。シェフレラは生育温度範囲が3℃～30℃(最適温度範囲は20℃～25℃)と幅広く、維持管理が容易である。また、ポトス(*Pothos*)とともに比較的入手しやすい。以上の実験環境において、人が生活している空間での生体電位の測定を行った。

3. 実験結果

〈3・1〉 生体電位と各センサの応答 本研究では実際に人が生活している空間である居間での実験を行った。このとき、環境要因として温度、湿度、照度、気圧、音、土壤中の水分データを計測した。これらの環境要因が生体電位に及ぼす影響を調べた。その結果を図5に示す。これは、3週間の実験空間における生体電位、温度、湿度、照度、気圧、音、土壤中水分データの出力特性を示したものである。ただし、生体電位は絶対値の1時間の積分値(v_{hl})を用いた。温度、湿度、照度、気圧、土壤中水分は1時間の平均値で示した。音については絶対値の1時間の積分値をプロットした。図中の特徴として、生体電位と温度間には負の相関があることが伺える((a)図参照)。また、湿度と温度の間には

正の相関が認められた。照度に関しては、直接光が当たらない場所にシステムを設置したため、最大でも150ルクス前後となり、夜間においては蛍光灯を消すと光量がゼロとなる。また、土壤中水分の値としては3週間の実験のうち、1回目の灌水は実験を始めた翌日に行い、2回目の灌水は1回目の灌水のおよそ1週間後に灌水を行っている。その結果、1回目の灌水時から2回目の灌水時までには土壤中水分値が下がりきらないうち2回目の灌水を行う結果となった。また、生体電位と気圧に関しては生体電位の1時間の積分値からは高い相関関係は認められないが、生体電位に何らかの影響を与えていると考えられる。

〈3・2〉 温度と積分生体電位の関係 図5において生体電位と各センサの応答を示した。温度と積分生体電位は負の相関関係にあることが判明した。この関係について解析することを試みた。まず、図5で用いた温度の1時間の平均値(t_{hl})と生体電位の1時間の積分値(v_{hl})のデータを標準化し2つのデータの変化率を揃えた。標準化の式を以下に示す。

$$X = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \dots\dots\dots (2)$$

各データ値 x_i とその平均値 μ の差を標準偏差 σ で割ること

図5 実空間における v_{hl} と、温度、湿度、照度、音、土壤中水分、気圧の3週間の出力特性
Fig. 5. The characteristics of v_{hl} , temperature, humidity, light intensity, sound level, moisture grade in the pot and atmospheric pressure for three weeks in a residential space.

図6 標準化した t_{hl} と v_{hl} の特性

Fig. 6. The relationship between standardized t_{hl} and v_{hl} .

図7 t_{hl} と v_{hl} の散布図

Fig. 7. The scattered diagram for t_{hl} and v_{hl} .

図8 t_{hl} と v_{hl} の周波数解析結果

Fig. 8. The result of FFT analysis for t_{hl} and v_{hl} characteristics.

図9 t_{hl} とシフトした v_{hl} の相関係数

Fig. 9. The correlation coefficient characteristic for t_{hl} and shifted v_{hl} characteris.

により、単位のない無次元化したデータ X を基準として比較できる。(2)式を用いて各データの標準化を行った特性を図6に示す。その結果、これら2つのデータの相関係数は-0.718と高い値が得られた。また、生体電位と温度の関係を散布図として表したものを図7に示す。このグラフからわかるように負の相関関係が認められた。次にFFT解析により、 v_{hl} と t_{hl} 特性の周波数成分を調べた。その結果を図8に示す。これは図6で示した温度と生体電位の3週間のデータを標準化しFFT解析を行ったものである。標準化したデータをFFT解析した結果、 t_{hl} の周波数成分と v_{hl} の周波数成分が似ていることが明らかとなった。特に、 0.1×10^{-4} から 0.3×10^{-4} の周波数成分がほぼ同じ応答を示した。これらのことから、温度と生体電位の特性の変動成分が同じであり、生体電位は温度の影響を受けていると考えられる。次に、 t_{hl} 特性に対して v_{hl} 特性を1時間単位でシフトさせて相関を調べた。解析には相互相関関数を用いた。その式を以下に示す。

$$R(k) = \frac{1}{N-k} \sum_{n=0}^{N-1-k} x(n+k) \cdot y(n) \dots\dots\dots (3)$$

$x(n)$, $y(n)$ は各センサ信号、 N はデータ数であり、 k は遅延させた時間である。一般的に相互相関関数は2つの信号のうち一方の波形を k だけ遅延させたときの相関性を求める。その結果を図9に示す。 v_{hl} の特性を1時間早めることにより相関係数 r の値が最大値になることが認められた。このことから、 v_{hl} はおよそ1時間程度の遅れで温度に追随していることが明らかとなった。

〈3・3〉 季節による生体電位の変動 実際に人が生活している空間において生体電位を測定するとき、温度や湿度などの気候の変動を受ける。本実験では10月中旬から1月中旬までの3ヶ月間、合計3回の実験を人の生活空間で測定した。このときの v_{hl} と t_{hl} の散布図を図10に示す。結果として、負の相関が認められた。このことは、冬から春にかけても認められる⁽⁵⁾。また、およそ1ヶ月単位で各データの傾きが変化していることが判った。特に11月から12月の秋から冬に変化する時期では t_{hl} の変化に対して v_{hl} の

図 10 生活空間における t_{hl} と v_{hl} の 3 ヶ月間のデータの散布図

Fig. 10. The scattering diagram for t_{hl} and v_{hl} for three months in a residential space.

図 11 有人時と無人時における v_{m10} 応答特性

Fig. 11. The scattering diagram for temperature and v_{m10} when there was a person and no person.

変化が大きい傾向が認められた。このことは、植物が季節の変わり目に敏感に応答するためと考えられる。

〈3・4〉 生体電位の 10 分積分値と温度の関係 次に、人が在室し何らかの行動が行われたとき(有人時)と人がいないとき(無人時)のデータを散布図にしたものを図 11 に示す。この図において、生体電位は 10 分間の積分値(v_{m10})を、温度は 10 分間の出力値(t_{m10})を用いてプロットを行った。その結果、有人時においては、プロットの重心は温度が高く v_{m10} が低くなる傾向にある。また、無人時においては、重心として温度が低く v_{m10} が高くなる傾向が認められた。以上のことから、人がいて、そこで何らかの行動を行うと v_{m10} は全体的に低くなる傾向にある。これは、在室者による室内温度の上昇によるものと考えられる。

〈3・5〉 土壌中の水分変化に伴う生体電位の応答特性

生体電位と土壌中水分との関係について調べた。その結果を図 12 に示す。この図において、生体電位は 1 時間の積

図 12 m_{hl} と v_{hl} の特性

Fig. 12. The characteristics of m_{hl} and v_{hl} .

図 13 m_{hl} と v_{hl} の散布図

Fig. 13. The scattering diagram for m_{hl} and v_{hl} .

分値(v_{hl})を、土壌中水分は 1 時間の平均値(m_{hl})で示している。また、測定開始後 72 時間経過したのちに被験植物に灌水(300ml)を行った。その時刻に、土壌中水分 m_{hl} が急激に上昇している。灌水後に v_{hl} は徐々に減少し灌水後 48 時間経過すると安定した特性が得られた。また、図 12 に示したプロットを散布図で表わしたものを図 13 に示す。なお、図 12 の特性の範囲を示す記号は、図 13 のクラスターの記号と一致している。この図より、灌水後 48 時間経過したときのデータクラスター(c2)が、生体電位として安定している状態といえる。(a)の状態は、土壌中水分がかなり減少し灌水が必要となる時期であると言える。本研究においては、 $v_{hl} \geq 2.25 \times 10^3$ が一定期間続く場合、灌水の一つの目安としている。以上の事柄より、 v_{hl} を用いることにより人が植物の土壌中水分の状態を知ることができ、この特性を利用することにより植物の生育管理を行う指標に活用できる。

4. まとめ

本研究では、人が実際に生活している空間において観葉植物の生体電位と温度、湿度、照度、気圧、音、土壌中水

分を測定した。このとき、生体電位の絶対値の積分値を一つの代表値として採用することでその特徴を抽出することを試みた。その結果、生活空間において温度、湿度、照度などの複数の要因が影響していると考えられるが、とりわけ温度の影響が強いことが明らかとなった。また、温度と生体電位はほぼ同じ周期性を有しており、かつ、生体電位は約1時間遅れで温度の変化に追従していることが判った。また、土壌中水分量が少なくなると、積分生体電位は高くなる傾向にある。灌水後に生体電位は低下し、灌水後2日ほど経過すると安定する傾向が認められた。今後は、植物の生体電位の各種の積分値についてさらなる検討を行い、環境要因が各種の積分生体電位にどの程度影響を与えるのかについて調べる。また、植物の生育管理に生体電位を利用する方法についても検討を行っていく予定である。

(平成16年7月22日受付, 平成16年11月17日再受付)

文 献

- (1) C. B. Dorgan, C. E. Dorgan, M. S. Kanarek, and A. J. Willman : "Health and Productivity Benefits of Improved Indoor Air Quality", ASHRAE Transaction: Research, No.4161, pp.658-666 (1998)
- (2) T. Oyabu, A. Sawada, T. Onodera, K. Takenaka, and B. Wolvertson: "Characteristics of potted plants for removing offensive odors", Sensors & Actuators B89, pp.131-136 (2003-3)
- (3) T. Oyabu, T. Onodera, A. Sawada, and K. Takenaka : "Purification Capability of Potted Plants for Removing Atmospheric Formaldehyde", *Electrochemistry in Japan*, Vol.71, No.6, pp.463-467(2003-6)
- (4) V. I. Lohr, C. H. Pearson-Mims, and G. K. Goodwin : "Interior Plants May Improve Worker Productivity and Reduce Stress in a Windowless Environment", *J. Environ. Hort.*, Vol.14, No.2, pp.97-100 (1996)
- (5) T. Shimbo, T. Oyabu, Z. Jin, S. Hirobayashi, and K. Takenaka : "Statistical Analysis of Plant Bioelectric Potential Aiming at Communication", The 33rd International Conference on Computers & Industrial Engineering, F3.5P-CIE597 (2004-3)
- (6) H. Ishino, J. Tanimoto, and M. Yanagi : "Study on the evaporation from foliage plant in indoor environment", *Journal of Archit. Plann. Environ. Engng, AIJ*, No.457, pp.9-17 (1994-3) (in Japanese)
石野久彌・谷本 潤・柳 正秀:「室内環境における観葉植物の蒸散作用に関する研究」, 日本建築学会計画系論文第 457 号, pp.9-17 (1994-3)
- (7) H. Yanagibashi, M. Matsuda, K. Harada, J. Hiram, T. Miyamoto, K. Nishibori, and Y. Ohdaira : "Bio-Electric Potential under Light Stimuli of *Grifola frondosa*. (Part 3)", *SHITA Japan*, Vol.15, No.2, pp.94-97 (2003-6) (in Japanese)
柳橋秀幸・松田真人・原田健一・平間淳司・宮本紀男・西堀耕三・大平安夫:「光刺激による茸(舞茸)の生体電位反応(第3報)一周囲温度と生体電位との関係」, 日本植物工場学会誌 **15**, 2, pp.94-97 (2003-6)

新 保 達 也

(学生員) 1980年8月26日生。2004年3月金沢星稜大学経済学部卒業。同年、金沢星稜大学大学院地域経済システム研究科入学。現在、植物生体電位の計測とその統計解析に関する研究に携わる。また、その応用製品の商品化に興味を抱き、科学技術が経済に与える影響について興味を持つ。電気学会会員。

大 薮 多可志

(正員) 1973年工学院大学工学研究科修士課程修了。75年早稲田大学第二文学部英文科卒業。80年金沢女子短期大学講師、助教授、教授を経て、94年富山国際大学人文学部教授。98年金沢星稜大学地域経済システム研究科教授。現在、植物の環境浄化能力の評価に関する研究に従事(工学博士)。電子情報通信学会、計測自動制御学会、電気化学会各会員。

長谷川 有 貴

(正員) 1999年埼玉大学教育学部小学校教員養成課程卒業。2001年埼玉大学教育学研究科修士課程修了。2002年4月より埼玉大学工学部情報システム工学科助手。専門分野は、情報計測工学。現在、植物の空気汚染浄化能力のメカニズム解明について研究。

広 林 茂 樹

(正員) 1994年3月工学院大学工学研究科修士課程修了。1995年3月同大学院博士課程中退。同年4月金沢大学工学部助手。平成1999年富山大学工学部講師、2000年同大学助教授、現在に至る。主として音響波動・振動論、音響信号処理、音場制御、流体伝達系のモデル化に関する研究に従事。博士(工学)。計測自動制御学会、米音響学会、日本音響学会各会員。

竹 中 幸三郎

(非会員) 1940年12月6日生。1986年(株)竹中庭園緑化設立。植物を用いた環境修復や植物配置デザインによる癒し効果など人と植物の共生に興味を持ち企業活動を行っている。特に、植物が人間に与える恩恵に関する研究も行っている。2003年ISO9001取得。