

コミュニケーションを目的とした植物生体電位の環境認知

学生員 新保 達也* 正員 大藪 多可志*
 正員 広林 茂樹** 非会員 竹中 幸三郎***

Statistical Analysis of Plant Bioelectric Potential for Communication with Humans

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

The bioelectric potential of a foliage plant changes according to an occupant's behavior, for example entering the room in which the plant is installed, as well as watering and touching the plant. The potential shows the impulse responses due to the behaviors. In this study, the integrated values of the bioelectric potential were adopted to identify those behaviors. There are two types of values. Those were derived by integrating the bioelectric potential characteristics for a minute (v_{mI}) and for an hour (v_{hI}) respectively. The histogram of the values v_{mI} for the steady state perfectly took a normal distribution. The frequencies of v_{mI} for the behaviors were different compared with the steady state distribution. The system can identify the behaviors by examining the frequency table of v_{mI} . Conversely, it is thought the plant gives us some suggestions using bioelectric potential characteristics. A clue for communication between humans and plants was also obtained. The v_{hI} becomes higher as the average room temperature (t_r) becomes lower. There was a negative correlation between v_{mI} and t_r . There were two groups in the scatter diagram of the variables v_{mI} and t_r .

キーワード：植物コミュニケーション，ふるまい認知，周波数解析，センサシステム

Keywords : Communication with plant, Recognition of basic human behaviors, Frequency analysis, Sensory system

1. はじめに

近年、観葉植物が持つ空気浄化能力や癒し効果などが注目されてきている。平成15年7月に、改正建築基準法などの施行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も行われてきている。観葉植物を室内空間に配し、植物の力を利用し室内空気を浄化する方法についての報告もされてきている⁽¹⁾。また、植物の設置により、オフィスにおける労働効率が向上すること等も報告され、植物は人間にとって非常に身近なものであり、多大な恩恵を人間にもたらしていることが明らかとなってきている^{(2)~(4)}。さらに、植物は雰囲気中の環境要因を認識している可能性があり、さらなる植物の能力を利用することに

より、新たな応用が期待される⁽⁵⁾。本研究においては、植物が雰囲気中の温度や湿度などによりどの程度影響を受けるか調べた。さらに、ヒトによる灌水や接触などの基本的なふるまいにより生体電位が如何に変化するかを統計的に解析した。すなわち、各要因に対する生体電位変化を統計的に処理し、また、ヒトのふるまい等に対して植物は環境変化を認知する能力を有しているかを調べた。結果として、灌水時、接触時、測定している部屋への入室時などのふるまいに対する生体電位の変化が認められ、植物がそれらを認知可能であ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、ヒトに対する癒し効果を得ることが期待できる。これにより、観葉植物のヒトに対する新たな恩恵を導く端緒を得ることができるものと考えられる。

2. 実験システム

被験植物として観葉植物であるシェフレラ (*Schefflera arboricola*) を用いた。シェフレラは観葉植物の中でも比較的入手しやすく、生育温度範囲は3℃~30℃(最適温度は20℃~25℃前後)と幅があり、維持管理が容易な種類に属する。実験を行っている空間は幅3.6m×長さ5.2m×高さ2.9mで、実験中はガラス窓を介して自然光のみが差し込み、晴れた

* 金沢星稜大学

〒920-8620 石川県金沢市御所町丑10-1

Kanazawa Seiryō University

10-1, Ushi, Goshō-machi, Kanazawa City, Ishikawa 920-8620

** 富山大学

〒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

日中では約 2000~2500 ルックス前後、夜間はほぼ 0 ルックスとなる。実験装置は植物生体電位の他に温度、湿度、照度、音、土壤中水分を同時に測定している。測定間隔は植物生体電位が 0.1sec 毎、音が 1 分毎、温度、湿度、照度、土壤中水分は 10 分毎に測定している。測定概要を図 1 に示す。(a)図は実験で用いている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 変換などの制御回路を介しコンピュータに取り込む。(b)図は植物生体電位の実験装置概要であり、測定植物の隣り合う 2 枚の葉面に導電性電極で挟み、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 変換などの各種制御回路を介しコンピュータに取り込む。被験植物鉢の土壌をアースとしている。また、図 1 のシステムを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コントロールとして無人時、ヒトのふるまいとして入室時、灌水時、接触時における生体電位を測定した。

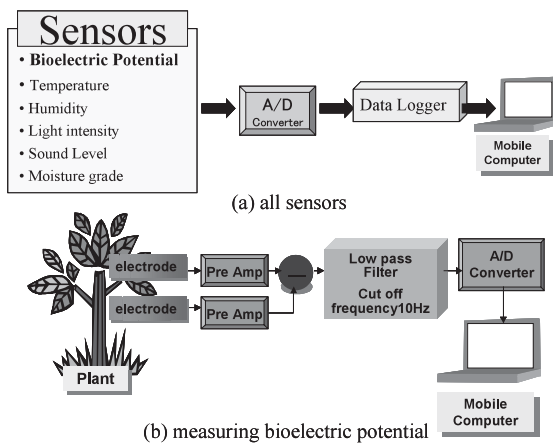


図 1 測定システム (a) センサ全体図、
(b) 生体電位測定装置

Fig. 1. Schematic diagram for the measurement system. (a) for all sensors and (b) for measuring bioelectric potential.



図 2 実験装置の写真

Fig. 2. Photograph of the experimental system.

3. 実験結果

〈3・1〉 無人室内における植物生体電位 環境要因に対する植物の生体電位変動を調べた。このとき、環境要因として温度、湿度、照度、音、鉢土壌中の水分データを計測した。これらの環境要因の植物生体電位に及ぼす影響を調べるとき、無人でヒトのふるまいが無い状態(コントロール:比較対象実験)での測定が必要である。その結果を図 3 に示す。これは、7 日間の無人室内における生体電位、温度、湿度、照度、音、土壤中水分の 7 日間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_{hi})を、温度、湿度、照度、土壤中水分は 1 時間の平均値、音は 1 分間隔の値をそのままプロットしたものである。通常、生体電位はそのままの出力では上下に激しく変動し、それから特徴を抽出するのは極めて困難である。そこで、1 時間ないし 1 分間の積分値をその出力の代表値とすることにより大まかな変化を把握することとした。図中の特徴として、温度、照度は 24 時間周期の変動を伴っており、日中はその出力が高く、夜間はその出力が減少する。また、温度に関しては照度の影響で室内の温度が上がるため、照度と室温特性の間には約 1~2 時間の時間差が認められた。湿度に関しては温度と逆の関係にあった。他の要因として、音については日中は建物の外でのヒトの往来などの影響で 60~70 デシベルと高い応答を示している。夜間になるとその影響をほとんど受けず、40 デシベル前後の応答を示した。また、実験前に灌水をし、実験を行ったので土壤中水分は緩やかにその特性は減少している。しかしながら、植物生体電位の 1 時間積分値はこれらの各要素の動きとは余り関連しておらず常に一定であった。そのため、今回の 1

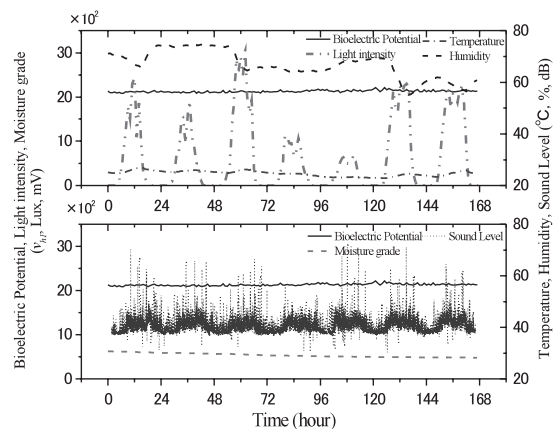


図 3 無人室内における生体電位の 1 時間積分値と、温度、湿度、照度、音、土壤中水分の 1 週間の出力特性
Fig. 3. Integrated values of bioelectric potential for an hour, temperature and humidity, sound level and moisture grade as a function of time. The outputs were measured for a week without anyone during the experiment.

週間の実験からは植物の生体電位特性と各要素との強い相関は認められず、(3・2)で述べるふるまいの影響を調べるとき、余り考慮しなくてもよいことが明らかとなった。また、気流による植物生体電位への影響についても調べた。一般的に観葉植物は 0.1~10Hz 程度の機械的な共振周波数を持っており、気流の変化により生体電位が変化する可能性がある。本研究においても、エアコンや扇風機などによる微風に対する電位変化はわずかに認められた。しかしながら、灌水や入室、接触において認められたインパルスの応答は観測されなかった。

次に、7日間のある1日に関して生体電位の出力特性をヒストグラム化することによりその特徴を調べてみた。その結果を図4に示す。24時間における生体電位の変動を1分間隔で積分化することにより得られた値(v_{m1})を(a)図はヒストグラム化したものである。ヒストグラムは正規分布を呈していた。その正規分布に対する累積分布度数を(b)図に示してある。この結果、生体電位の24時間の特性からは v_{m1} の平均35.9を中心とする分布が認められた。また、累積分布関数から中心で変化のピークが存在することから v_{m1} のヒストグラムは正規分布となる。結果として、無人室内における植物の v_{m1} のヒストグラムは平均が35.9、標準偏差 $\sigma = 1.97$ の正規分布となることが明らかとなった。また、 v_{m1} の累積分布関数は下記の関数により正確に表すことができる。

$$y = 1 / (1 + \exp(-a(x - b))) \dots\dots\dots (1)$$

上式において a は傾きを示し、b は変曲点を示している。a が最大となると、ステップ関数に近づきデータのばらつき(σ)が小さくなる。この(1)式を用いた値と実験により得られた値を比較した。ここで、(1)式に $a=0.89$ 、 $b=35$ を代入し実験結果との相関係数を求めた。その結果、図4における

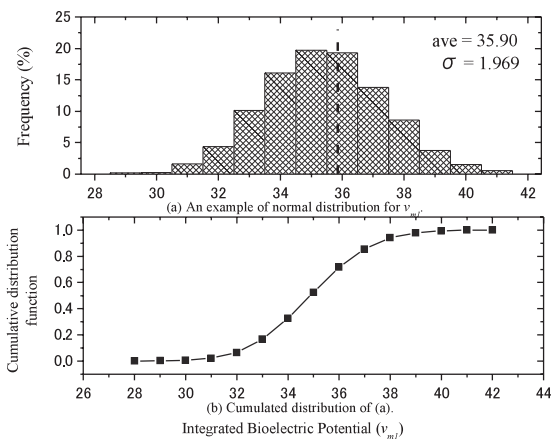


図4 生体電位の1分間積分値を用いたヒストグラム(a)とその累積分布関数(b)

Fig. 4. An example of the normal distribution for the integrated values during a minute (a) and its cumulated distribution (b).

結果から相関係数 ≈ 0.9996 という非常に高い相関係数を有していることがわかった。また、その他に行った無人実験の結果を無作為に2つ選び(1)式を用いて近似したところ、いずれも 0.99 以上の相関関係にあることがわかった。このことから、無人時における植物生体電位の1分間の積分値(v_{m1})は(1)式を用いて非常によく近似できることが明らかとなった。この特性を基準とすることで様々な要因を判断できる可能性がある。

〈3・2〉 入室時、灌水時、接触時の特性と判別 観葉植物は、室内において維持管理が行われる。すなわち、ヒトと身近に生活することにより、ヒトのふるまいにより影響を受けることが推測される。このため、入室時、被験植物の灌水時、植物との接触時における生体電位を測定した。入室時の実験結果を図5に示す。これは実験室内にヒトが入室したときに得られた生の応答(v_{bio})である。生体電位は微小時間で急激に変化し、その変化としては $\pm 0.9V$ の範囲で変動した。しかし、本特性は常に得られるとは限らず、ある程度の室温環境(例えば $20^{\circ}C$ 以上)が必要である。

灌水時の応答も調べた。その結果を図6に示す。灌水後すぐに通常時の応答より2~3倍の変化量が見られた。灌水間隔により応答特性は幾分異なる。図6は灌水期間が10日間のものである。また、灌水時の応答が入室や接触に比べて若干遅れている。これは、灌水後土壌に水分が浸透するまでに数秒程度の時間を要するためと考えられる。

植物にヒトが接触した時の生体電位特性(v_{bio})を図7に示す。これは4人の被験者がそれぞれ実験植物に接触したときに得られた応答である。実験は10分間測定し、測定開始5分後に約0.5秒接触し得られたものである。このグラフは、その実験の応答前後1分間を抽出したものである。各被験者とも植物に接触することにより、パルス的な応答が得られ、その応答は各被験者とも非常に類似した応答を示して

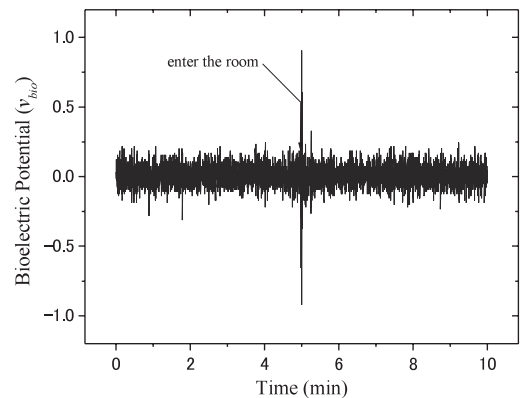


図5 ヒトの実験室内への入室時における生体電位応答特性

Fig. 5. The response characteristic of bioelectric potential v_{bio} when a person entered the experimental room.

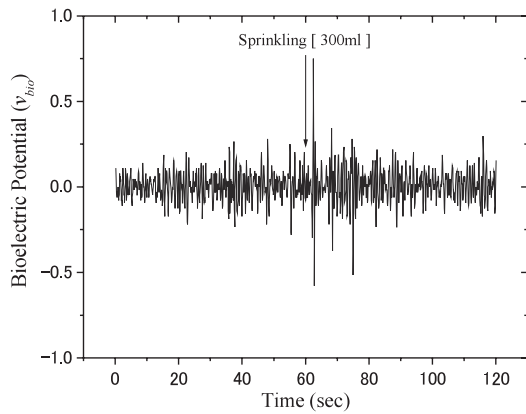


図 6 灌水時における生体電位応答特性

Fig. 6. The response characteristic of v_{bio} when the subjective plant was sprinkled.

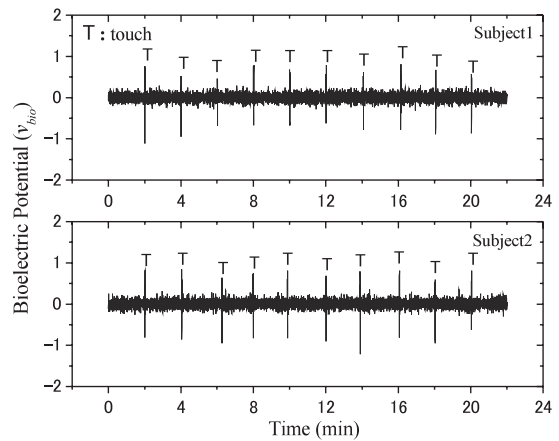


図 8 2人の被験者が断続的に植物の葉面に10回接触した時の生体電位応答特性

Fig. 8. The response characteristics of v_{bio} when the two persons touched the plant intermittently ten times.

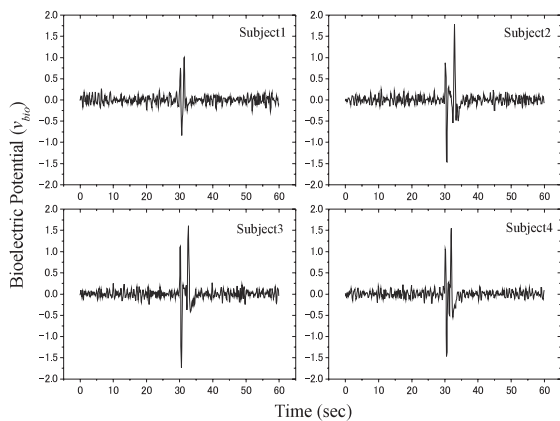


図 7 4人の被験者が植物の葉面に接触した時の生体電位応答特性

Fig. 7. The response characteristics of v_{bio} when four persons touched the subjective plant.

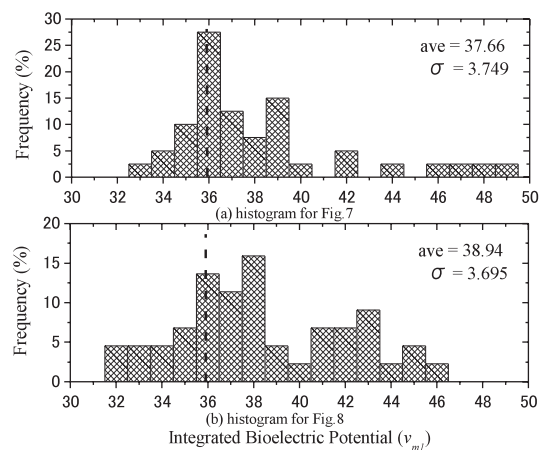


図 9 図 7 と図 8 の 1 分間積分におけるヒストグラム (a)は図 7 のヒストグラム, (b)は図 8 のヒストグラム

Fig. 9. The histograms of v_{mI} for the response characteristics of Fig.7 and Fig.8. (a) means for Fig.7 and (b) is for Fig.8.

おり、植物と接触することにより 1 V を越える電圧が認められ、大きく上下に 1 回振れて最後に大きくプラス側の変動が認められた。次に 2 人の被験者が 2 分間隔で断続的に植物に接触したときの応答を図 8 に示す。この実験を行うに当たり、植物との接触時間はおよそ 0.5 秒とした。この実験からも植物と接触後すぐに応答が認められ、2 分間隔の実験でも図 7 における実験と同様の結果が得られた。また、被験者の接触試行による差異は認められず、 $\pm 1V$ の範囲で変動していた。これらの実験結果の絶対値を求め、 v_{mI} のヒストグラムを求めた。その結果を図 9 に示す。(a)図は図 7 における実験結果をヒストグラム化したものであり、(b)図は図 8 における実験結果をヒストグラム化したものである。先の無人室内実験の結果から、通常時は 35.8 前後が平均であり正規分布を示していた。ヒトが植物と接触した場合、通常時よりも v_{mI} の値が高くなり、42 前後の値が出力される

傾向が認められた。このことから、植物に対してヒトが何らかのふるまいを行うことで v_{mI} のヒストグラムに変化が認められる。この変化からヒトのふるまいを同定することも可能と考えられる。

〈3・3〉 生体電位と温度の相互関係 無人実験より得られた特性からは、各環境要因と生体電位との相関関係は認められなかった。 v_{hl} と温度の 1 時間の平均値(t_{hl})との相互の関係の散布図を求めた。その結果を図 10 に示す。図 10 において図中 A 部の特性を拡大したものを C 部に示す。図 10 から t_{hl} が 20°C を超える範囲では v_{hl} は 2100(v_{hl})前後であ

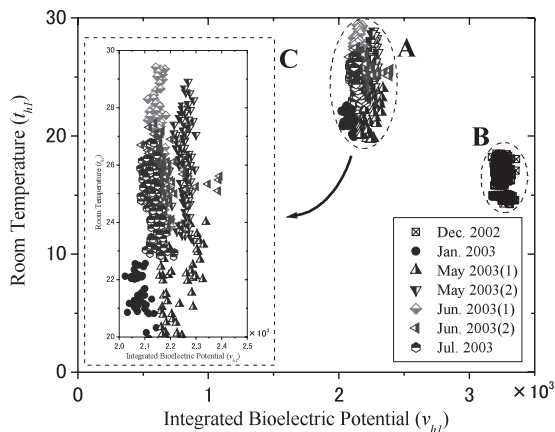


図 10 v_{hl} と t_{hl} の関係

Fig. 10. Relationship between v_{hl} and t_{hl} for the measured bioelectric potential.

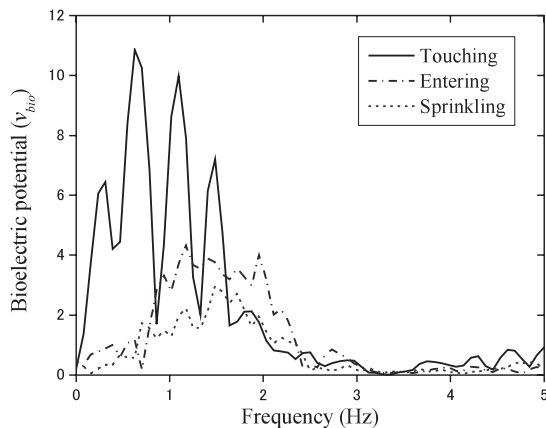


図 11 ヒトのふるまいに対する生体電位応答特性の周波数解析結果

Fig. 11. The results of frequency analysis applied to v_{bio} characteristics for three human behaviors.

るが、 20°C 以下になると $3300(v_{hl})$ 前後となる。すなわち 20°C がある意味でしきい値と考えられる。ただし、今後 $17^{\circ}\text{C}\sim 19^{\circ}\text{C}$ の範囲でのデータを詳細に収集しその信頼性を確認する必要がある。

以上の事柄より、シェフレラの v_{hl} は 20°C がしきい値となり、 t_{hl} が高いときは $2200(v_{hl})$ であり、 t_{hl} が低いときは $3300(v_{hl})$ となる。これにより、室内温度がしきい値を超えたか否かの判断等に応用が可能になるものと思われる。

〈3・4〉 周波数解析による判別 〈3・2〉で入室時、灌水時、接触時には特有の応答が認められたが、ヒトのふるまいにより変動する植物生体電位を周波数解析により同定することが可能と考えられる。そのため、周波数成分を調べた結果を図 11 に示す。これは入室時、灌水時、接触時において急激に変動したポイントの前後 5 秒間のデータに

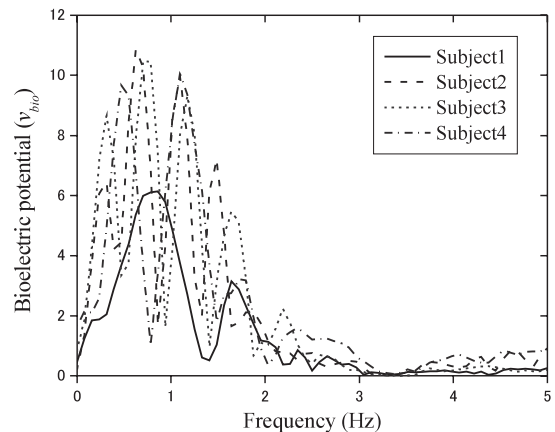


図 12 植物への接触時に対する生体電位応答特性の周波数解析結果

Fig. 12. The results of frequency analysis applied to v_{bio} characteristics at touching to the plant as a behavior.

FFT 解析を適用したものである。接触時においては $0.5(\text{Hz})\sim 1.5(\text{Hz})$ 帯域の周波数成分が多く、また、3 つの大きい周波数成分が認められた。入室時及び灌水時においては、 $1(\text{Hz})\sim 2(\text{Hz})$ 帯域の周波数成分が多く、接触時の電圧が高い傾向があった。以上のことから、接触時と入室時、灌水時の応答は FFT 解析により高い確率で判別可能であることが認められた。

また、〈3・2〉において 4 人の被験者が植物との接触を行い、それぞれパルスの応答が得られたが、各個人の結果についても FFT 解析を行った。その結果を図 12 に示す。その結果、Subject2, Subject3, Subject4 においては $0.5(\text{Hz})\sim 1.5(\text{Hz})$ 前後の周波数成分が多く、非常に似た値が見受けられるが、Subject1 においては $1(\text{Hz})$ 前後の周波数成分のみ多くなるという他の結果とは大きく異なっていた。この実験では、Subject1 のみが女性であり、他が全てが男性であった。このことから、被験者の性別や体格などの個体差が生体電位に現れるものと思われる。

4. コミュニケーション判別モデルの構築

これまでの実験結果でヒトのふるまいにより生体電位が変化することが明らかとなった。具体的には植物の葉面への接触や植物への灌水、室内への入室などにより、 v_{ml} の値が平常時より高くなる傾向が見られ、周波数解析を行うことによりその変化をある程度特定できることがわかった。このことから、植物の生体電位変化を測定し、ヒトのふるまいをある程度同定できるシステムを構築することができる。

具体的には、 v_{ml} の変化を監視し、 v_{ml} に変化が見られたとき、その v_{ml} の範囲にある生の生体電位を周波数解析することにより、先に記述した変化をある程度の確率で同定できるものと考えられる。これを判別するフローチャートを図

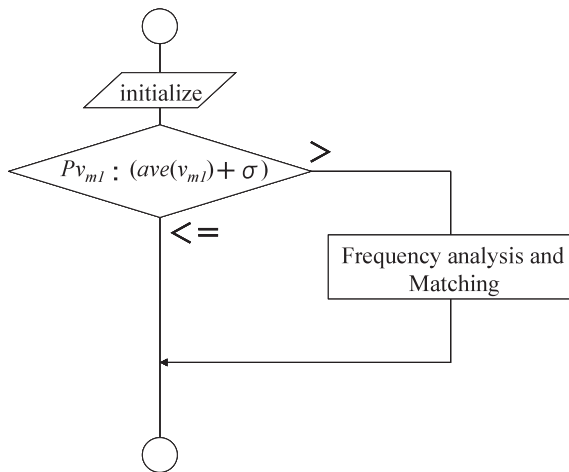


図 13 入室時、灌水時、接触時のヒトのふるまいを識別するフローチャート

Fig. 13. Flow chart for identifying the human behaviors, namely entering, sprinkling and touching.

13 に示す。 Pv_{ml} は現在の v_{ml} である。その値が平常時の v_{ml} の平均と標準偏差の和 $(ave(v_{ml}) + \sigma)$ の範囲を越えると周波数解析を行う。周波数解析の結果によりマッチング処理を行い、ヒトのふるまいを同定する。このフローチャートにより、先の 3 つのふるまいに対して高い確率で認知することが可能と思われる。ただし、今後の研究でより精確なものへと移行する必要がある。また、 v_{ml} のデータを利用することにより、長時間の変化に対する様々な環境要因が認知できるものと考えられる。これらの結果にもとづきヒトとのコミュニケーションが可能になる。

5. まとめ

本研究においては、観葉植物の葉面の生体電位を温度、湿度、照度、音、土壤中水分、とともに測定した。また、ヒトのふるまいとして灌水、入室、接触などの各影響を調べた。このとき、植物の生体電位の絶対値の積分値を一つの代表値として取り扱うことでその特性を調べた。無人時における 24 時間の生体電位の 1 分当たりの積分値のヒストグラムは正規分布に従い、平均は約 35.8、標準偏差は約 1.97 であり、その累積分布関数は $y = 1 / (1 + \exp(-a(x-b)))$ 、 $a=0.89$ 、 $b=35$ で非常によく近似できることが明らかとなった。また、入室時、灌水時にはインパルス的な特徴ある生体電位が観測された。さらに、植物に接触時は必ずインパルス的な生体電位変動が認められ、その 1 分あたりの積分値のヒストグラムには特徴が認められた。また、生体電位の 1 時間あたりの積分値は 20°C 以上と 20°C 以下において大きな差異があった。今後は灌水時、入室時、接触時などの各種ふるまいを判別する方法をさらに検討し、植物の生体電位と室温の関係についても引き続き研究を行っていく予定である。

(平成 16 年 2 月 25 日受付, 平成 16 年 5 月 14 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 Trans.:Research, No.4161, pp.658-666 (1998)
- (2) 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)
- (3) T. Oyabu, A. Sawada, T. Onodera, K. Takenaka, and B. Wolverton : "Characteristics of potted plants for removing offensive odors", *Sensors & Actuators B89*, pp.131-136 (2003)
- (4) 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)
- (5) Y. Hasegawa, H. Uchida, S. Asada, T. Katsube, and T. Oyabu : "Investigation of Air Pollution Purification Ability of Plants by a Bioelectrical Potential Analysis", *The Society of Plant Engineers Japan*, Vol.14, No.2, pp.96-100 (2002-2) (in Japanese)
長谷川有貴, 内田秀和, 浅田茂裕, 勝部昭明, 大藪多可志 : 「生体電位測定による植物の空気汚染浄化能力の研究」, *日本設備管理学誌*, 14, 2, pp.96-100 (2002-2)

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、植物生体電位の統計解析に関する研究に携わる。科学技術が経済に与える影響について興味を持つ。



大 藪 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 年金沢星稜大学経済学部教授。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、日本設備管理学会各会員。



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。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、米国音響学会、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の効果など人と植物の関係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諸利益についての研究も行っている。

