

氏名	新保 達也
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	博甲第 1081 号
学位授与の日付	平成 21 年 3 月 23 日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第 4 条第 1 項)
学位授与の題目	植物生体電位を用いた環境計測に関する研究
論文審査委員(主査)	木村 春彦(理工研究域・教授)
論文審査委員(副査)	村本 健一郎(理工研究域・教授), 佐藤 賢二(理工研究域・准教授), 滑川 徹(理工研究域・准教授), 南保 英孝(理工研究域・講師)

## ABSTRACT

Measurement method for some kinds of environmental factors using a plant bioelectric potential is proposed in this study.

The potential is changed by the environmental factors, namely temperature, humidity and atmospheric pressure. The integrated value of the potential is newly proposed to evaluate the plant capability. The plant sensor can be fabricated using the capability. The function was verified in this study. As a result, it became obvious the relationship between the potential characteristic and environmental factor. The prediction function of the potential was also derived using a multiple linear regression analysis. The adopted data in the prediction were measured in a living space. The plant bioelectric potential can be predicted in an accuracy using the function.

Consequently, it became obvious that the plant could work as an environmental sensor. In this investigation, the recognition capability of the plant for the environmental factors was introduced. This study will mark the beginning of the plant sensor.

近年、地球温暖化や砂漠化などといった世界規模での深刻な環境問題が発生し、自然環境モニタリングの重要性が増して来ている。これらの環境問題の解決の糸口として植物の存在は重要と考えられる。植物には破壊された環境を再生する能力が秘められており、空気浄化特性やいやし効果などの人間にとって有益な機能を有している。また、温度などの周囲の環境要因を認識する機能も学会で報告されており、これらの様々な機能を持つ植物を環境センサとして用いる研究が進められている。

本論文では、植物が周囲の環境要因(温度や湿度など)の影響を受けることで、時々刻々と変化する植物生体電位(以後、生体電位とする)に着目し、その植物が発する生体電位を利用した環境評価法の提案とその検証を目的とした。

本論文は 5 つの章から構成されている。第 1 章では、環境問題とモニタリングの必要性、環境と植物の関係、並びに、生体電位の先行研究事例を整理し、本研究の目的について述べた。

第 2 章では、生体電位の測定方法、生体電位による環境評価法の提案、並びに、提案手法の検証を行うための実験システムについて述べた。生体電位の測定方法は、被験植物の

隣り合う 2 枚の葉面を導電性電極(アルミニウム)で挟むことで取得する。電極から得られた微弱な電位は OP アンプにより約 100 倍に増幅し、高域のノイズを除去するために 10Hz のローパスフィルタをかけた。また、植物鉢の土壌をアースとしている。環境評価法の提案としては、植物を環境センサとして用いるために積分生体電位による環境評価法を提案した。これは、種々の環境要因の影響を受けた植物が発する生体電位を、ある一定時間の総和、すなわち積分化することで、その時間内でどの程度生体電位が変動したかを面積として表すものである。これを代表値として採用することで、植物が置かれている環境状態を評価できると考えた。また、評価実験を行うために構築した実験システムでは、生体電位(V)の他に、温度(℃)、湿度(%), 照度(lx), 土壌中水分(mV), 大気圧(hPa), 音(dB)を同時に測定した。

第 3 章では、構築した実験システムと環境評価法を用いて植物の環境応答特性を調べた。環境要因として、温度、湿度、気圧、土壌中水分、風量、照度、人の行動による影響(灌水、接触、植物が置かれている部屋への入室)による影響について考察した。なお、被験植物はシェフレラを採用した。シェフレラは生育温度範囲が 3~30℃(最適温度範囲は 20~25℃)である。電極は植物の高さ 50cm 程度の隣り合う 2 枚の葉面に取り付けて実験を行った。

各環境要因についての実験結果を下記に示す。

#### 温度と生体電位

温度と生体電位の散布図を図 1 に示す。温度と生体電位の間には負の相関関係が認められた。このとき、相関係数は-0.710 と高い値であり、簡便法による検定の結果、十分な相関が得られた。また、温度と生体電位の周波数成分を調べたところ、 $0.1 \times 10^{-4}$  から  $0.3 \times 10^{-4}$  の周波数成分がほぼ同じ応答を示し、温度と生体電位の特性の変動成分が同じであった。温度に対して、生体電位を 1 時間単位でシフトさせて相関を調べた結果、生体電位を 1 時間早めることにより相関係数  $r$  の値が最大値( $r = -0.761$ )になることが認められ、生体電位はおよそ 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。

#### 湿度と生体電位

湿度と生体電位の間では負の相関関係にあることが認められ、相関係数は-0.486 を示した。また、湿度に対して、生体電位を 1 時間単位でシフトさせて相関を調べたところ、生体電位を 4 時間早めることにより相関係数  $r$  の値が最大値( $r = -0.588$ )になることが認められた。このことより、生体電位はおよそ 4 時間ほどの遅れで湿度変化に追随しているといえる。

#### 大気圧と生体電位

大気圧と生体電位の関係は正相関にあり、 $r = 0.204$  であった。また、大気圧に対して、生体電位を 1 時間単位でシフトさせて相関を調べたところ、生体電位を 5 時間早めることにより相関係数が最大値( $r = 0.246$ )となった。このことより、データ上は生体電位はおよそ 5 時間の遅れで大気圧に追随しているといえる。実際には、大気圧の変動を季節などの長期スパンで認識しているのではないと思われる。

#### 土壌中水分と生体電位

灌水と同時に土壌中水分  $mh1$  が急激に上昇し、その後  $vh1$  は徐々に減少し 5 日間経過すると減少度が安定する傾向が見られた。灌水直前は生体電位の値が高く、灌水後は徐々に

生体電位の値が低くなる傾向が見られた。灌水後 48 時間経過したときが、生体電位として安定している状態といえる。また、土壌中水分が 460mV 以上か否かにより生体電位を分けたところ、460mV 以下の時、生体電位は平均 = 2205.89, 標準偏差 = 32.089 であり、460mV 以上では、生体電位は平均 = 2101.91, 標準偏差 = 43.116 であった。この結果から、460mV 以上と以下では、差があることが認められた。

### 風量と生体電位

送風機による弱風及び中風時は風の影響により葉面がわずかに揺れる傾向が見られたが、 $v_{m1}$  特性に変動は見られなかった。また、強風時は中風と比べ葉面が大きく揺れ、生体電位が大きく変動し被験植物にダメージを与えた。無風、弱風、中風、強風時の生体電位の周波数成分を調べたところ、無風時と弱風時の生体電位の周波数成分はほぼ同じ特性が得られ、中風時は 0.05Hz 前後の周波数成分が高くなる傾向が見られた。また、強風時では 0.07Hz 前後の周波数成分と 0.13 前後の周波数成分が顕著な値を示した。風量と生体電位の散布図を図 2 に示す。風量が高くなるほど生体電位が指数関数的に増加する傾向が得られ、その時の近似式は  $y = 0.0019e^{(x/0.133)} + 0.556$  であり、 $R^2$  値は 0.938 と高い値が得られた。

### 照度と生体電位

室内において、照度に対する生体電位応答特性を調べたところ、暗黒下、蛍光灯、電気スタンド 3,4 個照射時の生体電位は、ほぼ同じような値を示した。窓からの太陽光照射時は、生体電位が高くなり、照度は他の実験と比べて約 3 倍であった。そのため、植物は太陽光により生体電位が高くなるものと考えられる。また、屋外での暗黒下実験では、室内暗黒下での実験結果とほぼ同じであるが、屋外暗黒下の生体電位が幾分高い。屋外での太陽光照射時は、室内実験結果と比べて、生体電位に大きな影響を与えていた。このとき、室内と比べて、植物に照射される照度はおよそ 4 倍であり、室内実験と同様に、植物の生体電位は照度に強く影響することが伺えた。太陽光は、室内及び屋外においても生体電位の標準偏差に影響を及ぼすことが明らかとなった。照度と生体電位の散布図を図 3 に示す。生体電位と照度の近似関数をシグモイド関数により求めた。測定データと近似式間の  $R^2$  値は 0.94 であった。

### 人のふるまいと生体電位

実験室内に人が入室した際に、生体電位に変動が見受けられた。しかし、本特性は常に得られるとは限らない。生じないときもある。灌水時には通常時の応答より 2~3 倍の変化が認められた。また、灌水間隔により応答特性は幾分異なる結果が得られた。また、灌水時の応答は入室や接触に比べて若干遅れる傾向が見られた。また、人が植物に接触した際は、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た。また、2 人の被験者が 2 分間隔で断続的に植物に接触したところ、接触試行による差異はほぼ認められず、 $\pm 1V$  の範囲で変動していた。入室時、灌水時、接触時の生体電位に対して周波数成分を調べた結果、接触時においては 0.5(Hz)~1.5(Hz)帯域の周波数成分が多く、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(Hz)~2(Hz)帯域の周波数成分が多い傾向を示した。

これらの結果として、各環境要因の変動に伴い、生体電位が変動することを確認することができた。また、積分生体電位を用いることで、これまで解明されていない生体電位と種々の環境要因の関係を明らかにすることができた。

第 4 章では、第 3 章の結果を踏まえ、人が生活している空間において生体電位と環境要

因（温度，湿度，気圧，照度，土壤中水分，音）を計測した。その結果を基にして生体電位に影響を与える居住環境要因と電位変化の関係を明らかにし，生体電位による環境情報認識の可能性を見出すことを目的として，生体電位の予測関数を導出した。関数導出においては，1時間の積分生体電位を代表値として採用した。実空間での計測データを基にして，生体電位を予測する関数を重回帰分析により導出した。結果として， $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$ の多項式の各係数として次の値が得られた。 $a_0 = 2427.279$ ， $a_1 = -12.4612$ (温度)， $a_2 = -1.22065$ (湿度)， $a_3 = -0.00173$ (照度)， $a_4 = 0.057389$ (土壤中水分)， $a_5 = 0.083479$ (気圧)， $a_6 = -0.04353$ (音)。また，標準化データを採用し生体電位への影響を調べた。その結果，生体電位に主な影響を与えているのは，温度であり，続いて気圧，湿度，土壤中水分であった。 $v_{bi}$ 予測関数を用いてテストデータの予測値を求め，予測関数の評価を行った。予測値と実測値の出力特性を図4に示す。 $v_{bi}$ 予測値は実測値の細かな変化に整合していないが，大雑把には対応していることが確認でき，人が生活している空間において，ある程度の精度で生体電位を予測することができた。

第5章では，結論として本研究の成果及び検討事項と今後の課題について検討した。

以上の事柄から結論として，生体電位による環境評価法を用いることにより，植物を環境センサとして応用することが可能と考えられ，植物が持つ環境認知能力を導出でき，植物を利用した環境計測の可能性の端緒を得ることができたと考えられる。

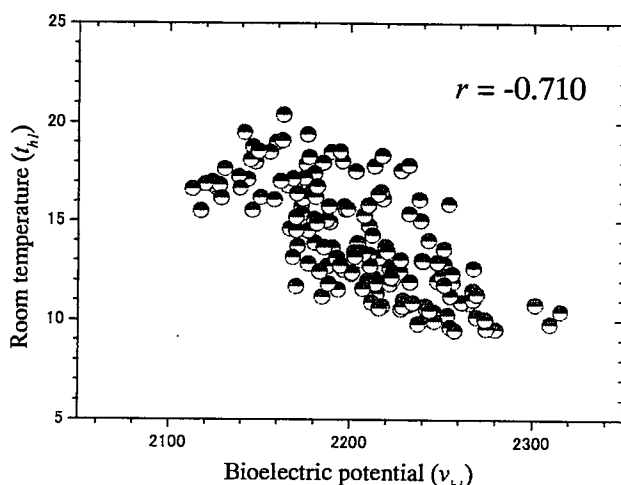


図1 温度と生体電位の関係

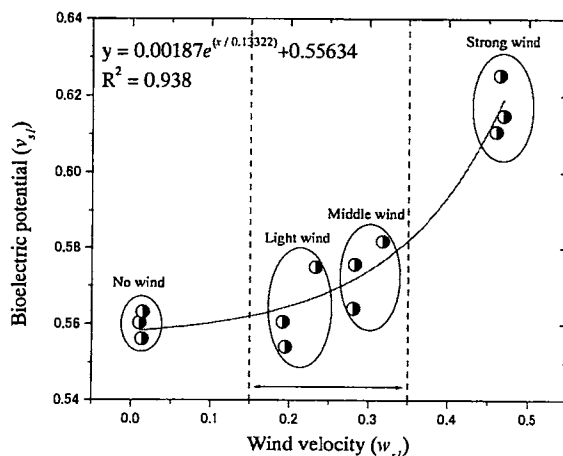


図2 風量と生体電位の関係

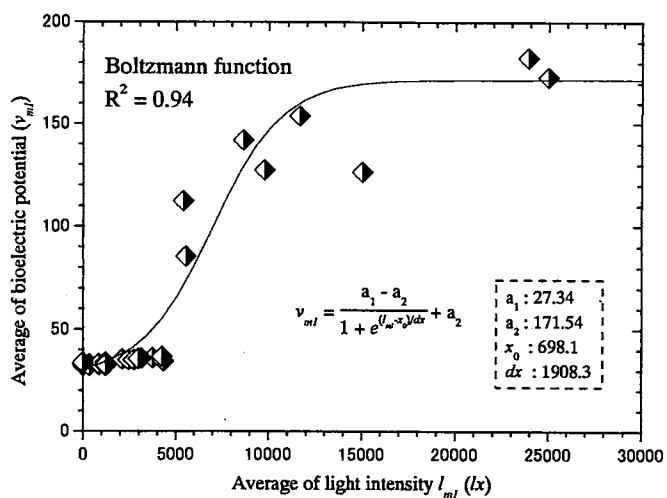


図3 照度と生体電位の関係

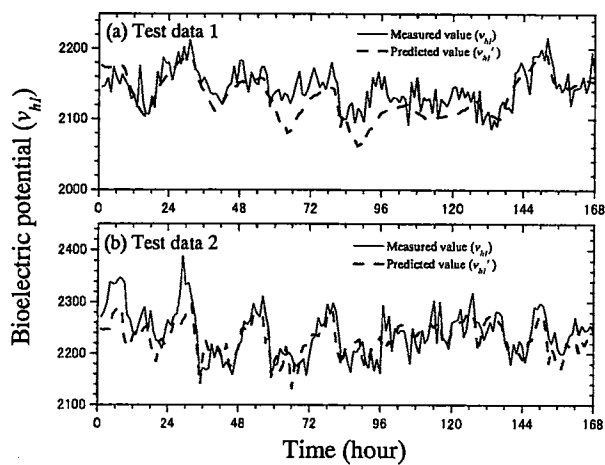


図4 予測値と実測値の出力特性

## 学位論文審査結果の要旨

平成21年1月27日に第1回学位論文審査委員会を開催、1月29日に口頭発表、その後第2回審査委員会を開催し、慎重審議の結果、以下の通り判定した。なお、口頭発表における質疑を最終試験に代えるものとした。

植物は人間が生活を営む上で必要不可欠なものであり、昨今、植物の生体応答を利用したバイオセンサの研究が活発に行われるようになった。本論文は、植物が周囲の環境要因の影響を受けて生体電位を変化させている点に着目し、植物が発する生体電位を利用して環境計測を行う方法を検討した。研究成果は次の3つに分類できる。(1) 植物を環境センサとして用いるために、生体電位の積分化による環境評価法を提案した。(2) 提案した環境評価法を用いて、環境要因を変化させたときの植物の環境応答特性を明らかにした。扱った環境要因は、温度、湿度、気圧、土壌中の水分、風量、照度、人の行動による影響(灌水、接触、植物の置かれている部屋への入室)である。(3) 人が生活している空間において生体電位と環境要因(温度、湿度、気圧、照度、土壌中の水分、音)を計測し、その結果を基に生体電位の予測関数を導出した。

以上の研究成果は、植物を用いた環境計測に大きく貢献するものであり、本論文は博士(学術)に値するものと判定した。