

原著論文

オノマトペとリサーチ図形を活用した歩行動作評価法

吉田 宏昭*, 上條 正義**

* 信州大学, ** 信州大学大学院

Gait Analysis Method with Onomatopoeias and Lissajous Figures

Hiroaki YOSHIDA* and Masayoshi KAMIJO**

* Kansei Engineering Course, Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, 3-15-1 Tokida, Ueda, Nagano 386-8567, Japan

** Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, 3-15-1 Tokida, Ueda, Nagano 386-8567, Japan

Abstract : It has often been pointed out that it is difficult for those without any scientific background to understand the experimental data on gait analysis. Thus, we introduced a linguistic approach of “onomatopoeias” in order to explain gait analysis in plain words while taking advantage of Lissajous figures as a scientific and quantitative way. In this research we used three onomatopoeias; “DosunDosun (clomp)”, “SutaSuta (walk briskly)”, “YochiYochi (toddle)”, whose sounds turned out to be useful for all kinds of people to have common understandings of their gait motions. And Lissajous figures enabled us to visualize gait acceleration data and to evaluate them in a more quantitative way. The linguistic approach of “onomatopoeias” and the graphic approach of “Lissajous figures” supplement each other and it is considered that the combination of the two approaches is a useful gait analysis method.

Keywords : Gait analysis, Onomatopoeia, Lissajous figure

1. は じ め に

歩行は人間の足を使った移動手段の一つであり、歩行時には足底と地面との摩擦を支えとして身体を前進させ、身体重心が左右上下にも移動する複雑な運動である [1]。この歩行に関する研究は臨床などの多岐にわたる分野で行われており、歩行解析に関する手法は数多く存在する [2-9]。これまでの歩行解析は、3次元動作解析システムや床反力計などの大規模システムを用いて行われることが多かったが [5-8]、これらは測定環境の制約を受け、被験者の運動を制限してしまうという課題があった。そこで近年、拘束性の低い加速度センサを用いた歩行解析が注目されており [2-4]、本研究では、無拘束性で測定環境の影響を受けない加速度センサを用いて歩行を解析する。

加速度センサを用いて歩行解析を行うためには歩行評価指標が必要であり、これまで級内相関係数 [4]、Jerk-Cost [8] など様々な評価指標が提案されてきた。しかし、このような学術的な評価指標を用いて歩行解析データを説明しても、患者へ説明することが困難なことがあると述べられているように [2]、学術的なバックグラウンドのない人は理解しにくいという課題があった。よって、分かりやすい表現方法を用いて歩行動作自体を伝達し、歩行解析データを提示することが必要である。

そこでまず、歩行動作を分かりやすく表現し、伝達できる方法として言語的表現に着目し、本研究ではオノマトペを採用した。オノマトペとは、擬音語・擬態語と呼ばれている言葉の総称であり [10]、単純な構成でありながら、単語の音の響き自体が対象の性質を表しており、その音を聞いただけで、

ある共通のイメージを呼び起こすといわれている [11, 12]。そのため、オノマトペは、万人に共通して理解されやすく、感覚的に理解しやすいといえ、歩行動作を理解しやすく伝達できると考えられる。しかし、オノマトペは歩行動作のイメージを容易に伝達しやすいといえるが、言語的な表現である故に定量的に評価しにくい面もある。そこで次に、歩行解析データの分かりやすい評価指標として、本研究では視覚的表現、特に、図形的手法に着目した [2, 8]。図形として歩行データが視覚的に提示されるなら、面積という観点から数量的に歩行動作を評価できると考えられる。香川らは、臨床現場において患者が自分自身の歩行状態を理解するためにリサーチ図形が有用であったと述べている [2]。リサーチ図形とは、互いに直交する軸方向の計測データを順序対として得られる点の軌跡が描く平面図形のことであり、本研究では、歩行動作の評価手法として歩行時の加速度データをリサーチ図形によって可視化する。

ところで、リサーチ図形を用いた図形的表現はオノマトペを用いた言語的表現と比較すると、歩行動作をイメージしにくいことが予想される。そこで、言語的表現と図形的表現の双方のデメリットを相互補完し、さらに、歩行動作をリサーチ図形によって可視化し、その図形の意味をオノマトペによってイメージさせることができれば、双方のメリットを活用でき、歩行評価の分かりやすい表現法となると考えられる。また、上述したようにリサーチ図形を用いた歩行評価に関する研究はいくつかあるが [2, 8]、オノマトペとリサーチ図形の両方を用いて歩行評価している研究はまだない。以上より本研究では、加速度計測によって歩行解析を行い、オノマトペとリサーチ図形を用いて、歩行動作や歩行解析データを分かりやすく表現する可能性について検討したので報告する。

2. 歩行動作を分かりやすく表現できるオノマトペの調査

2.1 方法

まず、6名（信州大学の大学生20～22歳：男性3名、女性3名）によるブレインストーミングを行い、オノマトペ辞典を参照して[10]、歩行動作に関するオノマトペとして「ドスンドスン」、「ペタペタ」、「スタスタ」、「カツカツ」、「グワングワン」、「ヨチヨチ」の6語を選定した。

次に、選定した6語のオノマトペからイメージされる歩行動作を被験者に行ってもらい、その際の加速度データを利用してリサージュ図形を作成し、オノマトペごとに歩行解析した。被験者はブレインストーミングに参加した6名から4名（男性3名、女性1名、20歳～21歳）を選び、残りの2名は実験者とした。実験者のうち、1名（女性、22歳）が被験者に指示を与える役割を担い、残りの1名はデータ記録者とした。被験者はほぼ平均体型であった[13]。

使用した加速度センサは8ch小型無線モーションレコーダ MVP-RF8-AC（マイクロストーン株式会社）であった。加速度センサの重量は約60グラムと小型軽量であり、無拘束で測定環境の制約を受けないのが特徴である。加速度センサは第3腰椎と右膝下部側部にゴムバンドによりそれぞれ装着し、歩行時の腰部と膝部の加速度を計測した。腰部のセンサは重心付近の加速度の取得、膝のセンサは左右足の判別のために用いた。歩行時の加速度データは、Bluetoothを介してノート型パソコン（Panasonic Let's note W8）に取り込み、専用ソフトウェア（MVP-RF8-S Ver.1.3.4.0）を用いて加速度データを表示させた。加速度データは、前後、上下、左右の3軸方向で採取し、腰部の加速度センサの軸方向は、X軸を左右（右方向をプラス、左方向をマイナス）、Y軸を上下（上方向をプラス、下方向をマイナス）、Z軸を前後（前方向をプラス、後方向をマイナス）とし、右膝下部の加速度センサの軸方向は、X軸を前後（前方向をプラス、後方向をマイナス）、Y軸を上下（上方向をプラス、下方向をマイナス）、Z軸を左右（右方向をプラス、左方向をマイナス）と定義した。

実験の手順であるが、まず、被験者にオノマトペを口頭で1語提示し、そのオノマトペをイメージした歩行を20メートル往復分の40メートルほど行ってもらい、その際の腰部と膝部の加速度データを計測した。提示したオノマトペの順番は被験者ごとにランダムとし、各被験者で計6パターン計測した。速度は自由速度とし、素足で歩行してもらった。

歩行データ解析は、次の2点について考察した。

まず1点目は、腰部の加速度波形から、右踵接地から再び右踵接地するまでの1歩行周期（%歩行周期）を切り出し、それぞれのオノマトペにおける歩行動作の特徴を調査した（図1）。その際、左右足の違いは、膝部の加速度波形から判別した。加速度データは、歩行開始直後と歩行終了前の1歩行周期を除き、歩行が定常状態である中からランダムに選出した。

2点目は、腰部の加速度波形からリサージュ図形を作成し、それぞれのオノマトペにおける歩行動作を調査した。

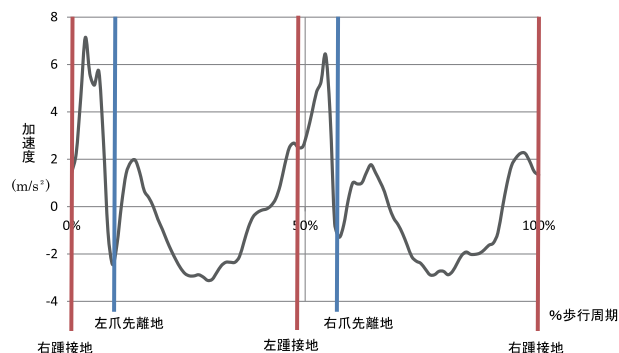


図1 1歩行周期における上下方向の加速度データ（腰部）

加速度データは、歩行開始直後と歩行終了前の1歩行周期を除いて歩行が定常状態である中から、右踵接地から再び右踵接地するまでの連続する10歩行周期を抽出し、(a) 左右-上下、(b) 左右-前後方向の加速度として、それぞれ横軸と縦軸にプロットした（図2）。さらに、リサージュ図形の図形的特徴を定量的に評価するために、画像処理ソフト UTHSCSA Image Tool Ver.3を用いてリサージュ図形の面積を算出した。その際、リサージュ図形の1番外縁にあたる曲線が囲む部分をリサージュ図形の面積とし、リサージュ図形の面積をオノマトペごとに被験者間、被験者内で比較した。

2.2 結果と考察

2.2.1 オノマトペごとの歩行動作の特徴分析

図3.1から図3.6に、被験者4名におけるオノマトペごとの1歩行周期分の上下方向の加速度波形（腰部）を示す。概して、上下方向の加速度波形には、踵接地直後と爪先離地直後に、それぞれ上方向へのピークが見られ、踵接地直後のピークは着地時の衝撃を、爪先離地直後のピークは蹴り出し時の衝撃を示している。

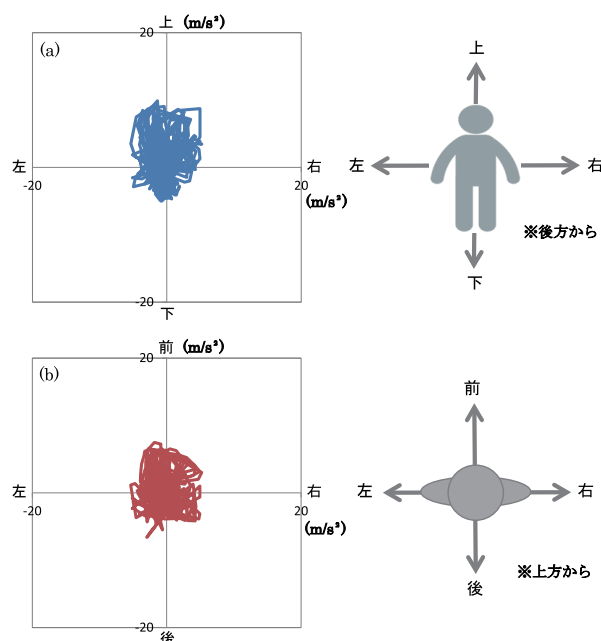


図2 加速度波形から取得されたリサージュ図形の軸の定義

オノマトペとリサージュ図形を活用した歩行動作評価法

「ドスンドスン」は、踵接地直後のピークが他のオノマトペと比較して非常に大きく、着地時の衝撃が強い(図3.1)。同様に、「ペタペタ」も踵接地直後のピークが比較的大きく、着地時の衝撃が比較的大きな歩行動作である(図3.2)。また、着地時の衝撃が大きいことから、「ドスンドスン」と「ペタペタ」はスタンプ歩行といわれる、いわば地面を踏みならすような歩行動作といえる。

反対に、「ヨチヨチ」は踵接地直後と爪先離地直後のピークが小さく、着地時と蹴り出し時の衝撃が小さい(図3.6)。よって、足が地面からあまり離れておらず、蹴り出しも弱い、いわば摺り足歩行になっているといえる。

「スタスタ」は、爪先離地直後の正のピーク値が踵接地時のピーク値とほぼ同程度で、他のオノマトペよりも比較的大

きい(図3.3)。よって、蹴り出し時の衝撃が強く、しっかりと蹴り出していることが分かる。

「カツカツ」は、ピークの大きさやピークの出現タイミングに個人差があり、4名の加速度波形が重なっていない(図3.4)。よって、被験者ごとに「カツカツ」からイメージされる歩行動作は異なったといえる。また、踵接地直後と爪先離地直後のピーク値も左右足で異なり、歩行自体が安定していないと考えられる。従って、「カツカツ」というオノマトペからは共通のイメージを持ちにくいことが示唆された。

「グワングワン」は、被験者3の踵接地直後のピークが大きく、他の3名については比較的小さかった(図3.5)。よって、3名は比較的同じイメージを持ったが、1名は着地時の衝撃が強く、異なるイメージを持っていたと考えられる。

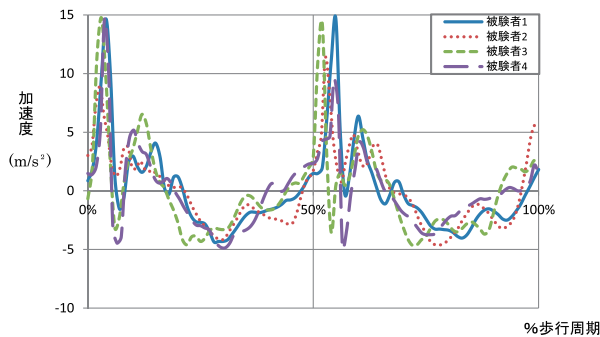


図3.1 ドスンドスンをイメージした歩行時の上下方向の加速度波形

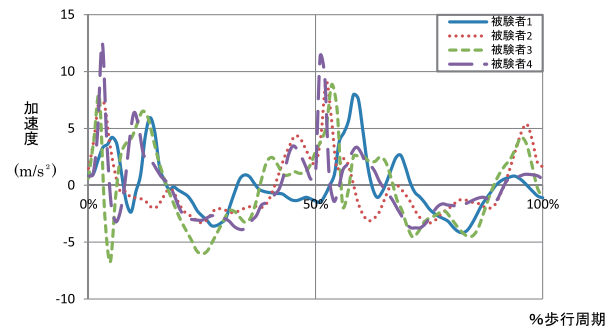


図3.4 カツカツをイメージした歩行時の上下方向の加速度波形

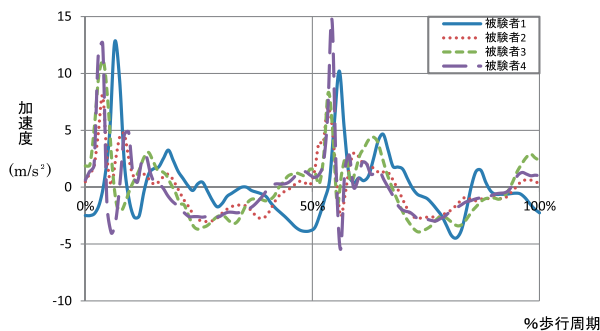


図3.2 ペタペタをイメージした歩行時の上下方向の加速度波形

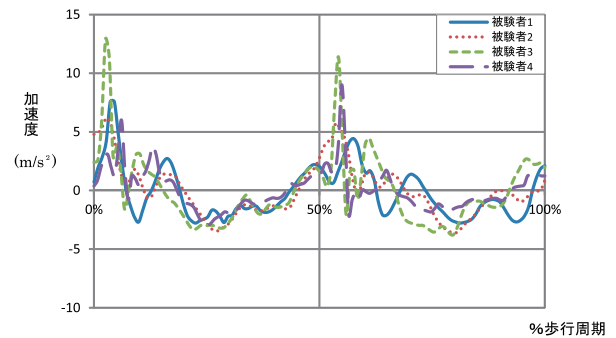


図3.5 グワングワンをイメージした歩行時の上下方向の加速度波形

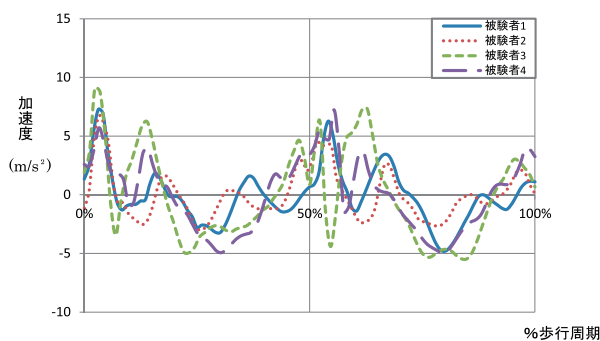


図3.3 スタスタをイメージした歩行時の上下方向の加速度波形

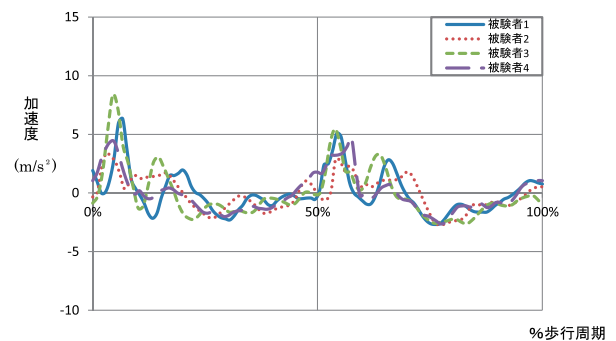


図3.6 ヨチヨチをイメージした歩行時の上下方向の加速度波形

2.2.2 リサーチ図形を用いたオノマトペごとの歩行動作の特徴調査

図4.1から図4.6に、被験者1(男性)のオノマトペごとの歩行動作のリサーチ図形を示す。各図において、(a)には左右-上下、(b)には左右-前後方向の加速度をそれぞれ横軸と縦軸にプロットした。

「ドスンドスン」は、図4.1(a)、図4.1(b)とも図形の振れ幅が大きく、全方向において重心の移動幅が大きいといえる。図4.1(a)では上方向、図4.1(b)では後方向の左右へ向かって図形が広がっており、図形がV字なのが特徴である。この左右に広がったV字の先端部分は、着地時の衝撃を現しており、右の先端部分は左足着地時の衝撃を、左の先端部分は右足着地時の衝撃を示している。よって、「ドスンドスン」という歩き方は、視覚的にも着地時の衝撃が非常に大きいことが確認できる。また、全方向において重心の移動幅が大きいことから歩行中に身体重心が大きくぶれており、歩行エネルギーを要する歩行動作だと考えられる。「ペタペタ」(図4.2)と「カツカツ」(図4.4)は、「ドスンドスン」とリサーチ図形が似ているため、「ドスンドスン」と同じ特徴を持つ歩

行動作だといえる。ただし、「ペタペタ」に関しては、前後方向の移動幅はそれほど大きくないので、「ドスンドスン」と「カツカツ」よりも着地時の衝撃は小さいと推察される。

「スタスタ」は、左右方向の移動幅が小さく、着地時の衝撃も比較的小さいことが視覚的にも分かる(図4.3)。図4.3(b)では若干V字になっているが、図4.3(a)や他の3名の被験者のリサーチ図形はV字ではなかったため、これは「スタスタ」の特徴ではないと考察される。また、右足よりも左足の方が着地時の衝撃が大きい、これも被験者固有の特徴だと考えられる。「スタスタ」は、重心移動の観点から考えると、着地や蹴り出し時に必要最低限な重心移動を行っているため、歩行に要するエネルギーも少なく、比較的効率の良い歩行動作だと推測される。「グワングワン」(図4.5)も「スタスタ」と同様に重心の移動幅が比較的小さい。着地時の衝撃もあまり大きくないが、リサーチ図形はV字になっており、歩行中に身体重心が左右に揺れていると考えられる。

「ヨチヨチ」は、図4.6(a)、図4.6(b)ともにリサーチ図形が小さく、身体重心の移動幅も非常に小さい。着地時の衝撃が非常に小さいことから、足への負荷は小さいと考えら

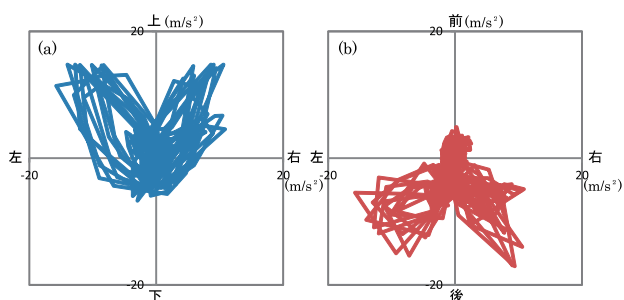


図4.1 ドスンドスン歩行時のリサーチ図形

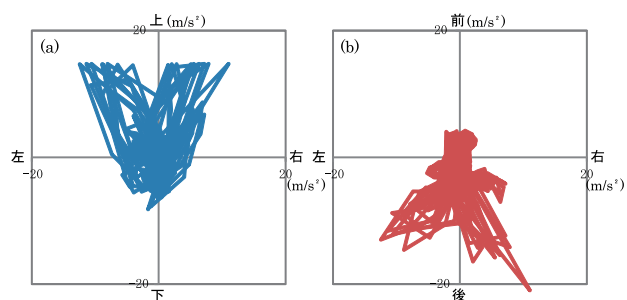


図4.4 カツカツ歩行時のリサーチ図形

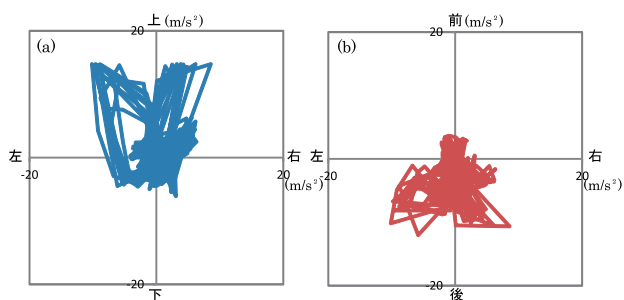


図4.2 ペタペタ歩行時のリサーチ図形

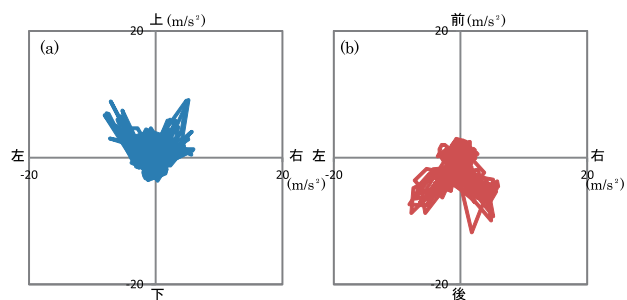


図4.5 グワングワン歩行時のリサーチ図形

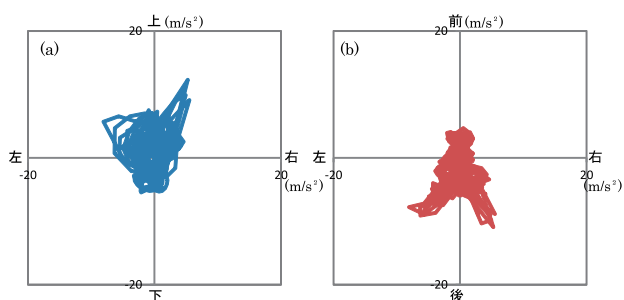


図4.3 スタスタ歩行時のリサーチ図形

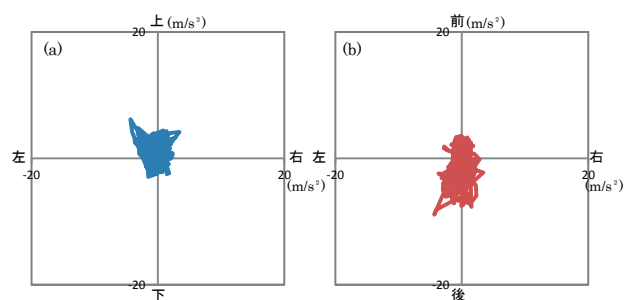


図4.6 ヨチヨチ歩行時のリサーチ図形

オノマトペとリサーチ図形を活用した歩行動作評価法

れるが、足の筋肉があまり使用されておらず、膝が上がらないような歩き方だといえる。

2.2.3 歩行動作を分かりやすく表現可能なオノマトペの抽出

歩行動作を分かりやすく表現可能なオノマトペを抽出するために、次の2点に着目した。まず、特徴的な歩行動作をイメージさせるオノマトペであることが重要である。もしオノマトペから連想される歩行動作にほとんど違いがなければ、歩行動作の特徴を適切に伝達できないので、オノマトペから連想される歩行動作にある程度の特徴が必要である。次に、歩行動作が被験者間で再現性がなければならない。被験者間で歩行動作の再現性が高ければ、被験者が異なっても共通認識できていることを意味しており、歩行動作の再現性の高いオノマトペは分かりやすい表現だといえる。そこで、オノマトペ間での歩行動作の特徴と被験者間での歩行動作の再現性を評価するために、被験者4名のリサーチ図形の面積の平均値と標準偏差(図5.1, 図5.2)を、面積の変動係数(標準偏差/平均値)(図6)をオノマトペごとに算出した。図5の縦軸は面積(画素・ピクセル)を示す。変動係数はデータの相対的なばらつきを表す指標であり、値が小さいものほどばらつきが少ないことを示す。

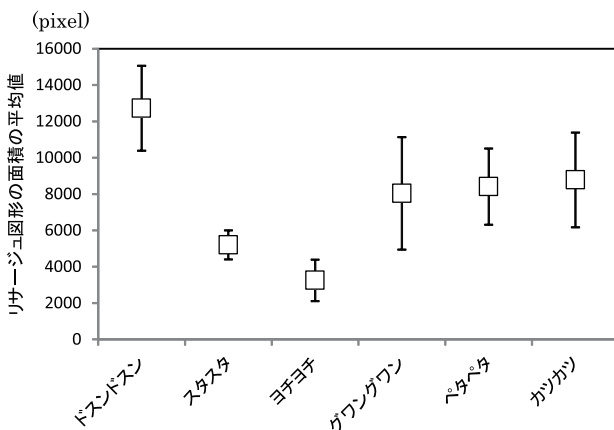


図5.1 オノマトペごとの左右-上下方向におけるリサーチ図形の面積の平均値と標準偏差

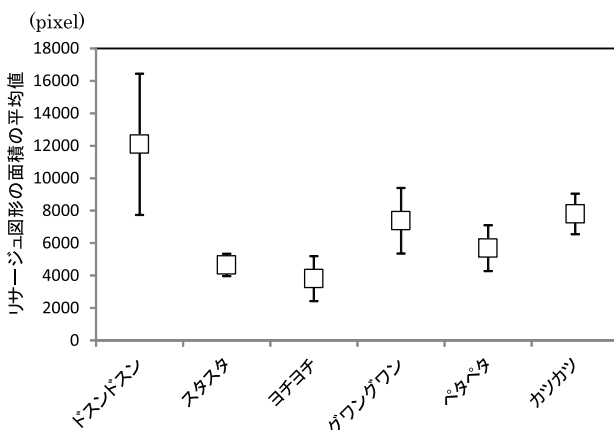


図5.2 オノマトペごとの左右-前後方向におけるリサーチ図形の面積の平均値と標準偏差

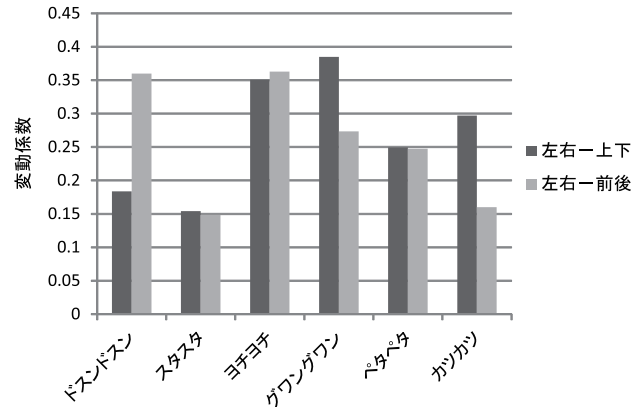


図6 オノマトペごとのリサーチ図形の面積の変動係数

左右-上下方向における面積の平均値は、「ドスンドスン」、「カツカツ」、「ペタペタ」、「グワングワ」、「スタスタ」、「ヨチヨチ」の順で大きい値を示した(図5.1)。左右-前後方向と前後-上下方向では、「ドスンドスン」、「カツカツ」、「グワングワ」、「ペタペタ」、「スタスタ」、「ヨチヨチ」の順で面積の平均値が大きかった(図5.2)。よって、リサーチ図形の面積は、全方向において「ドスンドスン」が最も大きく、「ヨチヨチ」が最も小さいという結果になった。特に、この2つのオノマトペは、他と比較してそれぞれ極端に大きな値、小さな値を示しており、特徴的な歩き方をイメージさせる用語であると考えられる。他の4語に関しては、「ドスンドスン」と「ヨチヨチ」との中間の数値をとっており、特に「グワングワ」、「ペタペタ」、「カツカツ」の3語については大きな違いはみられなかった。

標準偏差であるが、全方向において「スタスタ」と「ヨチヨチ」の値が小さかった(図5.1, 図5.2)。よって、この2語は被験者間での再現性が高いといえる。つまり、「スタスタ」と「ヨチヨチ」はオノマトペからイメージされる歩き方が共通していると考えられる。

変動係数では、左右-上下では「ドスンドスン」と「スタスタ」、左右-前後では「スタスタ」と「カツカツ」が比較的小さい値を示した(図6)。よって、各方向で変動係数にばらつきはあるものの、2方向で小さな値を示した「ドスンドスン」、「スタスタ」、「カツカツ」の3語が被験者間でのばらつきが少なく、再現性が高いと考えられる。

以上のリサーチ図形の面積の平均値・標準偏差・変動係数の全ての結果を踏まえて、被験者内・被験者間でそれぞれのオノマトペを総合的に比較した結果、「ドスンドスン」、「スタスタ」、「ヨチヨチ」の3語が歩行動作の特徴パターンを適切に表現できるオノマトペとして選定した。「ドスンドスン」は面積の平均値が最も高く、特徴的な歩き方をイメージさせるオノマトペであると考えられる。また、「ドスンドスン」は変動係数が比較的小さいため、被験者間で再現性が高く、共通認識しやすいともいえる。同様に、「ヨチヨチ」も平均値が最も小さく、標準偏差も小さいため、被験者間でばらつきが小さく、特徴的であり共通認識しやすいオノマ

トベだといえる。「スタスタ」については、標準偏差と変動係数において小さな値を示しており、被験者間での再現性が高く、リサージュ図形の面積の平均値が「ドスンドスン」と「ヨチヨチ」の中間に位置するのも一つの特徴である。よって、他のオノマトベよりもこの3語が共通イメージを持ちやすいと考えられる。

次に、「ドスンドスン」、「スタスタ」、「ヨチヨチ」の歩行動作とオノマトベの意味とを比較した。オノマトベ辞典[10]によると、「ドスンドスン」は“間をおいて何度もおこる低くひびく音。また、そのさま。”、「スタスタ」は“足どりも軽く、後ろも見ずに、歩いてゆくさま。”、「ヨチヨチ」は“幼児、老人、重いものを背負った人などが、小さな歩幅でたどたどしく歩くさま。”とある。参考に、表1にオノマトベごとの歩行率（歩/秒）、表2にオノマトベごとの歩幅を示す。

「ドスンドスン」という歩き方は、着地時の衝撃が大きいのが特徴であった。言葉の意味にある“低くひびく音”から、この着地時の衝撃音をイメージさせているのではないかと考えられる。また、歩行率が低く、歩幅が比較的大きいという点が“間をおいた音”とも共通しており、言葉の意味が歩き方に現れているといえる。

「スタスタ」は、着地時の衝撃が比較的小さく、蹴り出しが強い歩行動作であり、歩行率も高い。よって、「スタスタ」は足どりが軽快であり、歩行速度が速い歩き方と解釈できる。従って、「スタスタ」も言葉の意味が歩行動作に反映されていると考えられる。

「ヨチヨチ」は、重心移動が少なく、着地時の衝撃も小さく、摺り足歩行に近いのが特徴であった。このような特徴が“たどたどしく歩く”という部分と共通しており、また、歩幅も小さく、言葉の意味が歩行動作に現れている。

したがって、3語とも言葉の意味と実際の歩行の様子がほぼ共通していた。よって、被験者4名ともオノマトベの意味を共通認識し、言葉のもつ意味やイメージを的確に捉えることができていたと考えられる。よって、これらの3語が歩き方を分かりやすく表現可能なオノマトベであるとした。

表1 オノマトベごとの歩行率（単位：歩/秒）

歩行率	ドスンドスン	スタスタ	ヨチヨチ
被験者1	1.88	2.10	2.01
被験者2	1.76	2.11	1.99
被験者3	2.05	2.33	2.23
被験者4	1.85	2.13	1.77
平均	1.88	2.17	2.00

表2 オノマトベごとの歩幅（単位：メートル）

歩幅	ドスンドスン	スタスタ	ヨチヨチ
被験者1	0.66	0.63	0.53
被験者2	0.74	0.63	0.56
被験者3	0.69	0.66	0.58
被験者4	0.68	0.70	0.58
平均	0.69	0.66	0.56

3. オノマトベとリサージュ図形を用いた歩行評価手法の有効性検討（日常生活における歩行動作の分類）

前節において、歩行動作を分かりやすく表現でき、共通イメージをもちやすいオノマトベとして、「ドスンドスン」、「スタスタ」、「ヨチヨチ」の3語を選出した。ところが、前節の結果はオノマトベをイメージした際の歩行データから得られたものであるため、実際の日常生活における歩行動作から得られる歩行データに適用できない可能性がある。しかし、もし前節で抽出した3語を用いて、日常生活における普段の歩行動作を適切に記述でき、個人個人の歩き方を的確に分類できるならば、本研究の結果は非常に有益であり、臨床のリハビリテーションなどへの活用が期待できる。そこで本節では、オノマトベとリサージュ図形を用いた手法が日常生活における歩行動作にも適応できるのかについてその有効性を検討し、さらに、3語のオノマトベを用いて通常の歩行動作が分類できるかどうか調査した。

3.1 方法

被験者には自由歩行により20メートル往復分の計40メートルを1回普段通りに歩行してもらい、歩行時の加速度を計測した。計測装置は前節と同様の加速度センサを用い、センサの装着位置も第3腰椎と右膝下部側部であった。全ての歩行は素足で行ってもらい、被験者は大学生14名（男性10名、女性4名、20歳～22歳）で、全員ほぼ平均体型であった[13]。

歩行データの解析も前節と同様に、腰部の加速度波形からリサージュ図形を作成し、各被験者の歩行動作を調査した。加速度データは、全ての被験者に対して右踵接地から次の右踵接地までの10歩行周期を抽出し、左右-上下と左右-前後の加速度をそれぞれ調査した。その際、歩行開始直後と歩行終了前の1歩行周期を除き、歩行が定常状態にある連続した10歩行周期を選んだ。左右の足については、膝部の加速度波形から判別した。

普段通りの歩行計測後に、第2節で選出した3語のオノマトベに対して、より多くの被験者が共通認識を持ち、オノマトベの持つイメージを的確に捉えることができるか検証するために、同じ被験者14名を用いて歩行実験を行った。この追加実験は、第2節では被験者4名のみの結果を基にオノマトベを抽出したために、被験者数を増やして本研究結果の信頼性を確認することを目的としている。第2節の方法と同様の実験手順と実験条件で、「ドスンドスン」「スタスタ」「ヨチヨチ」の3語のオノマトベをイメージした歩行を大学生14名にってもらい、加速度センサを用いて歩行実験を行った。データ解析手法も第2節と同様とした。

3.2 結果と考察

まず、大学生14名に対して行った検証実験の結果から述べる。リサージュ図形の面積の平均値と標準偏差を図7に、面積の変動係数（標準偏差/平均値）を図8に示す。

オノマトペとリサージュ図形を活用した歩行動作評価法

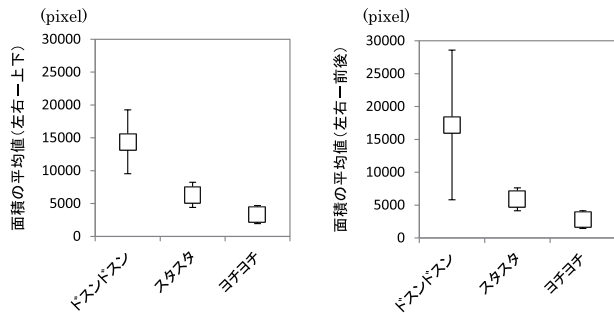


図7 検証実験を行った際の、左右-上下方向(左図)と左右-前後方向(右図)におけるリサージュ図形の面積の平均値と標準偏差

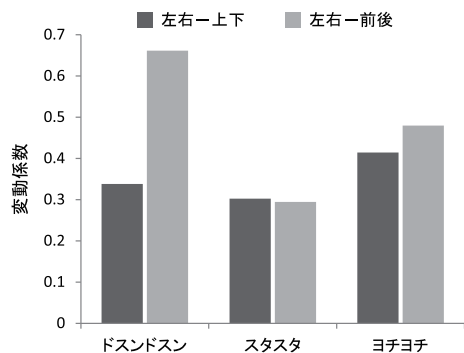


図8 検証実験を行った際の、リサージュ図形の面積の変動係数

面積の平均値は、大きい順に「ドスンドスン」、「スタスタ」、「ヨチヨチ」となり、被験者を増やしても第2節(図5.1, 図5.2)と同様の結果となった(図7)。「ドスンドスン」は他の2語と比較して、極端に大きな値であるため、第2節で既述したように「ドスンドスン」は特徴的な歩行動作であるといえる。「スタスタ」と「ヨチヨチ」は、全方向において標準偏差が小さく、ばらつきが少ないため、被験者間での再現性が高いといえる(図7)。次に、図8の変動係数であるが、「ドスンドスン」の結果は第2節の結果(図6)と同様で、特に左右-上下方向は他の2語と大差がなく、「ドスンドスン」も比較的再現性があると判断できる。また、第2節でブレインストーミングに参加した大学生6名から被験者4名を選出して歩行実験を行ったため、ブレインストーミングに参加したことが実験結果に影響を与える可能性があった。しかし、ブレインストーミングに参加していない被験者14名を用いた追加実験においても第2節と同様の傾向がみられたので、ブレインストーミングに参加したことが実験に与えた影響は少ないと考えられる。よって、多くの人が第2節で選出した「ドスンドスン」「スタスタ」「ヨチヨチ」といった3語のオノマトペに対して共通認識を持っているといえ、第2節の結果に対する信頼性を確認することができた。

「ドスンドスン」、「スタスタ」、「ヨチヨチ」の3語を用いて、リサージュ図形の図形的特徴から歩行動作を視覚的に分類した。図9に被験者ごとの歩行動作の左右-上下方向加速度的リサージュ図形を示す。各リサージュ図形の左上の数字は被験者番号である。

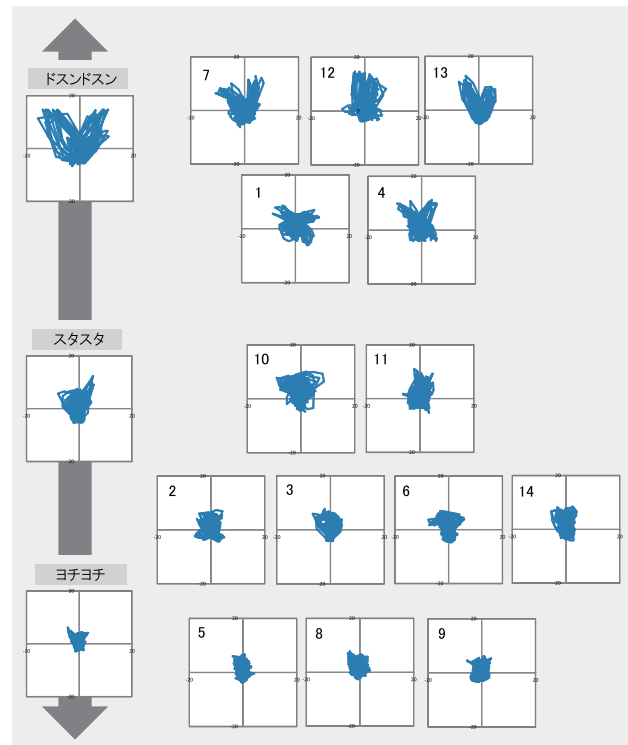


図9 オノマトペとリサージュ図形(左右-上下方向)を用いた通常歩行時における歩行動作分類

被験者7、被験者12、被験者13のリサージュ図形は、V字型に近いのが特徴的である。上方向の左右に広がったV字の先端部分は、着地時の衝撃を示していることから、着地時の衝撃が比較強い歩行動作をしているといえる。左右方向の重心の移動幅も大きいことから、歩行中に身体重心が左右に揺れやすい歩行動作をしていると考えられる。また、被験者1、被験者4のリサージュ図形も、上方向の左右に向かって図形が広がっている。しかし、この2者の場合、下方向の左右にも若干図形が広がっており、V字というよりもX字になっているのが特徴的である。これは、踵接地だけでなく、遊脚期にも重心が左右へ揺れていると考えられる。よって、歩行中の身体重心が安定していないと推察される。よってまず、「ドスンドスン」に分類できるのが、被験者1、被験者4、被験者7、被験者12、被験者13の5名である。「ドスンドスン」は、着地時の衝撃が強く、重心の移動幅も大きいのが特徴である。これらの被験者はV字型とX字型のリサージュ図形となっており、着地時の衝撃が強く、「ドスンドスン」に近い歩行動作をしていると考えられる。

被験者5、被験者8、被験者9は、リサージュ図形の面積が小さいため、着地時の衝撃が弱く、重心の移動幅が少ない歩行動作である。特に、図形の左右方向の揺れ幅が小さく、身体重心を左右へほとんど揺らさずに歩いていると考えられる。よって次に、「ヨチヨチ」に分類されるのが、被験者5、被験者8、被験者9の3名である。3名とも重心の移動幅が非常に少なく、着地時の衝撃も小さい。よって、「ヨチヨチ」歩きに近いといえる。

残りの被験者のリサージュ図形は、接地による衝撃も程度であり、大きな特徴はみられなかった。よって最後に、「スタスタ」に分類できるのが、被験者2、被験者3、被験者6、被験者10、被験者11、被験者14の6名である。着地時の衝撃と重心の移動幅が「ドスンドスン」と「ヨチヨチ」の中間程度で、前節の「スタスタ」のリサージュ図形と類似していることから、「スタスタ」歩きに近いと考えられる。しかし、そのうち被験者2、被験者3、被験者6、被験者14の4名は、「スタスタ」よりも、若干重心の移動幅が少ないため、「ヨチヨチ」歩きに近い「スタスタ」歩きともいえる。

本研究にはいくつかの課題がある。本研究では歩行動作を分かりやすく表現可能なオノマトベとして3語を抽出し、歩行動作の特徴をリサージュ図形の面積という一つのパラメータで記述した。3語で歩行動作を分類した場合、歩行の特徴を一軸のみで考察せざるをえなかった。しかし、リサージュ図形にX字型が存在するなど歩行動作はもっと複雑であると予想されるため、膝部の加速度データを利用したり、オノマトベを増やしたりしながら、歩行動作を複数のパラメータを用いて記述する必要があると考えられる。特に、膝部の加速度データであるが、踵接地に伴う衝撃によって加速度データのばらつきが大きく、本研究では個人内での再現性を確認することが困難だったため、本研究では膝部の加速度データを左右の判定のみに利用した。しかし、膝部は腰部よりも足部に近いので、歩行動作の特徴が出やすいと予想されるので、歩行分類には膝部の加速度データが活用できると推測される。次に、リサージュ図形の面積の算出する際に、リサージュ図形の1番外縁の曲線が囲む部分をリサージュ図形の面積とした。しかし、リサージュ図形は10歩行周期分の曲線が重なり合っており、一番外縁の曲線から面積を抽出したのでは適切に面積を算出できていない可能性もある。今後、一つ一つの曲線から面積を算出して、その平均値を用いるなどの方法を検討する必要がある。さらに、歩行動作を分類した際、リサージュ図形の形状を基準として判定したため、「スタスタ」と「ヨチヨチ」の境界が曖昧であった。今後、リサージュ図形を用いた歩行解析データの図形的特徴をより明確にするために、より多くの被験者を募り、大規模データを用いて詳細に検討していきたい。

しかし、以上の結果と考察から、本研究にて選出した「ドスンドスン」、「スタスタ」、「ヨチヨチ」の3つのオノマトベとリサージュ図形の図形的特徴によって、個人差のある日常生活における普段の歩行動作を分類できた。

4. ま と め

これまで歩行に関する様々な研究がなされてきたが、従来用いられてきた評価指標を用いて歩行データを説明されても学術的なバックグラウンドのない患者などには理解されにくいという課題があった。そこで本研究では、無拘束で測定環境の影響を受けない加速度センサを用いて歩行解析を行い、オノマトベとリサージュ図形を用いて歩行動作や歩行解析

データを分かりやすく表現方法について検討した。

歩行動作を分かりやすく表現できるオノマトベをリサージュ図形の図形的特徴によって調査したところ、「ドスンドスン」、「スタスタ」、「ヨチヨチ」をイメージした歩行動作は特徴的であり、かつ被験者間での再現性が高かった。これらの3語について、被験者は歩行時に共通認識を持つことができ、オノマトベのもつイメージを的確に捉えることができたと考えられる。

次に、「ドスンドスン」、「スタスタ」、「ヨチヨチ」の3語のオノマトベを用いて、個人差のある通常の歩行動作を分類できるか検討した。被験者14名に対して、5名は「ドスンドスン」歩き、6名は「スタスタ」歩き、3名は「ヨチヨチ」歩きのように、リサージュ図形の図形的特徴から歩行動作を分類できた。

歩行動作をリサージュ図形によって可視化して、その図形の意味をオノマトベによってイメージさせることにより、歩行動作を分かりやすく提示することが可能となった。よって、歩行評価の分かりやすいデータの表現法として、オノマトベ（言語的表現）とリサージュ図形（図形的表現）を組み合わせた方法の有用性が示唆された。

参 考 文 献

- [1] 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩: 基礎運動学 第6版, 医歯薬出版, pp.361-396, 2003.
- [2] 香川真二, 千田廉, 木村愛子, 前田真依子, 眞淵敏, 道免和久: リサージュ図形を用いた歩行加速度データの可視化評価の開発と臨床的有用性, 理学療法学, 36(1), pp.18-23, 2009.
- [3] 牧浦大祐, 土井剛彦, 浅井剛, 山口良太, 小松稔, 小嶋麻悠子, 小野くみ子, 小野玲, 平田総一郎: 歩行の安定性に性差は存在するのか? -加速度計を用いた歩行解析による検討, 理学療法学, 25(6), pp.923-928, 2010.
- [4] 桜井進一, 坂本雅昭, 中澤理恵, 川越誠, 加藤和夫: 小型3軸加速度計を用いた歩行時下肢運動分析の再現性の検討, 理学療法学, 25(1), pp.7-12, 2010.
- [5] 青木修, 香川真二, 河村庄造, 平田総一郎: カオス解析による変形性膝関節症患者の歩行分析, 理学療法学, 22(1), pp.109-113, 2007.
- [6] 万波秀年, 横原靖, 八木康史: 歩容における性別・年齢の分類と特徴解析, 電子情報通信学会論文誌D, J92-D(8), pp.1373-1382, 2009.
- [7] 高橋隆宜, 山田富美雄, 宮野道雄: 高齢者と若年者の歩行動作時の左右動揺-歩行の動作解析を用いた検討, 日本生理人類学会誌, 15(1), pp.9-16, 2010.
- [8] Itoh, N., Kagaya, H., Saitoh, E., Ohtsuka, K., Yamada, J., Tanikawa, H., Tanabe, S., Itoh, N., Aoki, T., Kanada, Y.: Quantitative assessment of circumduction, hip hiking, and forefoot contact gait using Lissajous figures, Jpn J Compr Rehabil Sci, 3, pp.78-84, 2012.

オノマトペとリサーチ図形を活用した歩行動作評価法

- [9] 小島基永：加速度計を用いた高齢者歩行の安定性評価（動作の円滑さという視点から），バイオメカニズム学会誌，30(3)，pp.138-142，2006.
- [10] 小野正弘：擬音語・擬態語4500 日本語オノマトペ辞典，小学館，2007.
- [11] 早川智彦，松井茂，渡邊淳司：オノマトペを利用した触り心地の分類手法，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，15(3)，pp.487-490，2010.
- [12] 戸本裕太郎，中村剛士，加納政芳，小松孝徳：音素特徴に基づくオノマトペの可視化，日本感性工学会論文誌，11(4)，pp.545-552，2012.
- [13] AIST 人体寸法・形状データベース 1991-92
(<http://riodb.ibase.aist.go.jp/dhbodydb/91-92/>)

**吉田 宏昭**（正会員）

信州大学繊維学部感性工学課程准教授，博士（工学），京都大学再生医科学研究所研究機関研究員（講師），Johns Hopkins University ポスドク，産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター研究員，信州大学繊維学部感性工学科助教などを経て，2010 年から現職。「歩く」，「座る」，「寝る」といった人間の日常的な基本動作の感性計測や心地評価に関する研究に従事している。

**上條 正義**（正会員）

1987 年 信州大学繊維学部繊維工学科卒業，1989 年 信州大学大学院繊維学研究科修士課程修了，1990 年東京理科大学諏訪短期大学生産管理工学科助手，1996 年 信州大学繊維学部感性工学科助手，2001 年 同大，助教授，2005 年 信州大学大学院総合工学系研究科助教授，2009 年 同大，教授，現在に至る。博士（工学），感性工学における計測評価の研究に従事。IEEE，繊維学会，自動車技術会，照明学会，電子情報通信学会，計測自動制御学会，人間工学会 各会会員。