

程度副詞指示のロボットへの応用に関する基礎的研究

勘久保 広一*・小林 聖**

Basic Research on Application of Adverb Instruction to Robot

Kouichi Kankubo* and Sei Kobayashi**

Abstract

We research human's image and movement when human adjusted the speed by a vague instruction. First of all, the image to human's adverb was investigated by the questionnaire. Next, the speed of the arm when the adverb was used and directed was examined, and compared it with the questionnaire. As a result, it has been found that there are clear differences in the image and the movement, and human cannot move his arm at the speed the same of the image. Moreover, it has been found that human's image and movement are shown by exponential.

1. 緒言

近年、高齢化、少子化社会を迎えた我々にとって、介護者の不足は避けて通れない社会問題の一つである。この問題の対策として、要介護者に対する支援を目的とするロボットの福祉への導入が試みられている。また、SONYのエンターテインメントロボット「アイボ」、HONDAの2速歩行ロボット「ASIMO」など、近年の日本におけるロボット技術の発展はめざましい。しかし、これらのロボットの多くは、主にエンターテインメントとして用いられ、観覧者の関心を引く、ロボット技術の高さを誇示するといった活用のされかたをしている。これらの原因として、人間社会へのロボットの適応が難しいことが考えられる。

その一例として、人間の曖昧な言語指示などに対し、ロボットの対話システムが十分に対応できないことが考えられる。例えば、人間は日常において自らの運動特性（例えば、手先の運動速度）を修正しようとするとき、修正前の運動に比べて「50mm/sec加速しよう」や「100mm/sec減速しよう」などと具体的な物理量をもとにして運動を加減することはまれであり、「もっと速くしよう」や「少し遅くしよう」などと考え、それを運動に反映させる場合が多いと考えられる。また、他者に運動速度の加減速を要求する場合も、「少し速く動かしてください」や「もっとゆっくり動かしてください」などという程度副詞に基づく表現を用いる場合が通常である。

これらの程度副詞と自らの速度変化量の関係、および他者に期待する速度の変化量の関係を把握することは興味深い。これら等に関する研究は、ほとんど報告されていない。特に後者については、人間と共存するロボットとのインタフェースにおいて、エンドエフェクタの運動速度を、程度副詞を用いた音声指示より調整したい場合、これらの関係を把握していれば、人間が期待する望ましい調整量により、ロボットが即座に加減速することが可能となり、スムーズなインタフェースが実現される。従って、このような指示にロボットを対応させるためには、「すこし」や「だいぶ」といった程度副詞指示を、どのようにロボットの運動特性に反映させるかが重要な課題となる^{[1][2]}。さらに、このシステムの利用者の心理を考えれば、これらの制御則は、出来るだけ人間の感性に合致している方が望ましい^[7]。そこで本論文では、このような指示に対する2通りの速度制御則を提案した。

まず、人間が頭の中でイメージとして持っている程度副詞の量（以下、イメージ値と称す）をロボットに再現させる方法である。次の方法は、人間が実際に自らの上肢を動かして程度副詞を表現する場合の量（以下、実演値と称す）をロボットに再現させる方法である。

この速度制御を実現するためには、まず人間のイメージ値と実演値の違いを検討する必要がある。そのため本論文では、まず程度副詞に対する認識を評価する目的で、聞き取り方式によるアンケート調査を行う。次に、程度副詞を用いて指示を行った場合に対して、被験者が実演する上肢の速度特性を調べ、アンケート結果と速度特性

* 電子機械工学科

** 専攻科生産システム工学専攻

との比較を行った。さらに、人間の程度副詞指示に対するイメージ値と実演値の関係式についても検討した。

2. アンケート調査による程度副詞の認識

まず、人間の程度副詞に対する認識を調べる目的で、聞き取り調査によるアンケートを実施した。以下に示すように、広辞苑より抜き出した速さに関する程度副詞、19種類を調査の対象とした。

「少し」, 「すごく」, 「やや」, 「わりと」, 「なかなか」, 「すこぶる」, 「だいぶ」, 「とっても」, 「ちょっと」, 「比較的」, 「けっこう」, 「かなり」, 「少々」, 「多少」, 「ずいぶん」, 「大変」, 「非常に」, 「速く」(程度副詞なし), 「極めて」, 「相当」

具体的には、「普通の速さ」と「最高の速さ」を両極に配置し、その間隔を20等分したとき、各程度副詞がどこに位置付けられるかを、各程度副詞に対し被験者が主観に基づいてチェックする。図1にアンケート用紙の一例を示す。また、アンケートの対象者は18歳から20歳の男女160名である。

・アンケート結果

図2に結果を示す。この結果から「ちょっと」から「とっても」までの程度副詞に対しては、隣り合う程度副詞間の差が大きく、「とっても」から「非常に」までの程度副詞に対しては、隣り合う程度副詞間の差が小さいことが分かる。これらの差が有意なものであるかどうかを調べるために、隣り合う各程度副詞間に、平均の差の検定であるt検定(片側検定:有意水準5%)を用いて有意差の有無を検討した。

その結果、「ちょっと」から「とっても」までの各程度副詞間には、有意差が認められた。しかし、「とっても」から「非常に」までの各程度副詞間には、ほとんど有意差が認められなかった。このことから、「ちょっと」から「とっても」までの程度副詞に対しては、十分に程度副詞間での違いを認識することが出来るが、「とっても」から「非常に」までの程度副詞に対しては、互いの差異を認識することが困難であると考えられる。

「とっても」から「非常に」までの副詞に対して、それぞれ十分な認識がされていないことは、18歳から20歳までが調査の対象となっているので、彼らの生活経験の少なさが一因で、これらの言葉に対する認識が不十分ではないかと考えられる。しかし、年齢だけに起因するのではなく、これらの言葉そのものに違いの認識が少ないことが原因なのか、この調査では分からない。従って、生活経験の違いによって、程度副詞に対する言葉の認識に差異が生ずるのか否か、あるいは、他の要素が原因なのかを明らかにするためには、より幅の広い年代層に対するアンケート調査を実施することが必要であり、今後の課題とする。

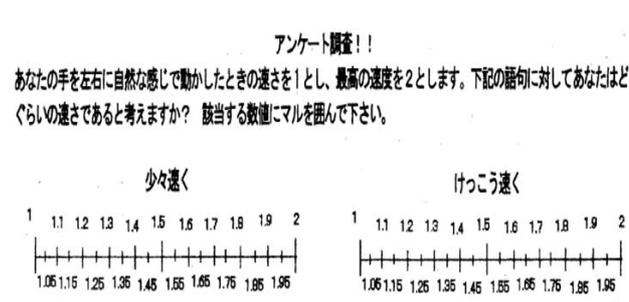


図1 アンケート用紙

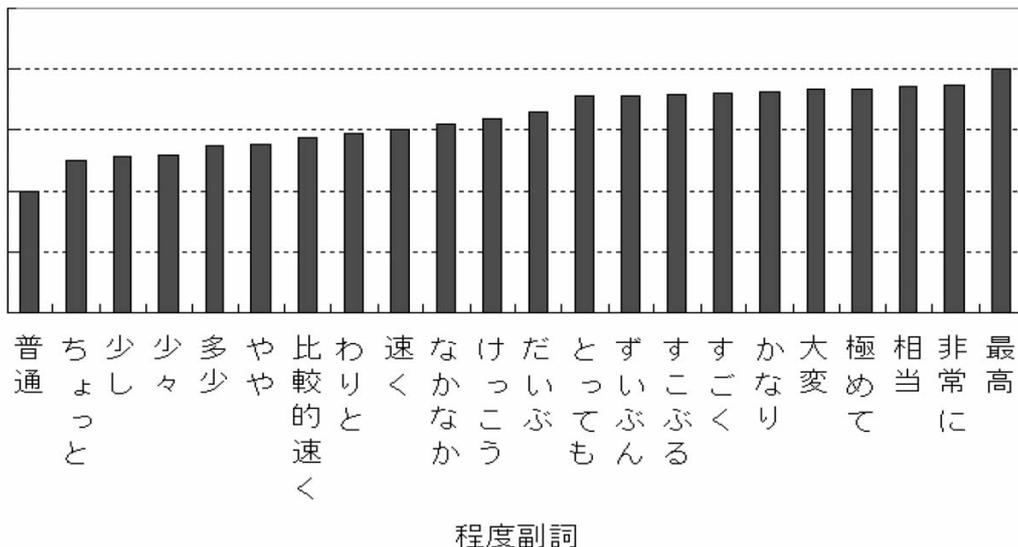


図2 アンケート結果

3. 実験方法

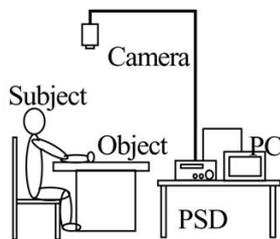
3. 1. 実験方法

指示者からの程度副詞指示に対して、指示を受ける人間（以下、被験者と称す）の上肢の運動特性を求める目的で、図2に示しているアンケート結果を基に被験者が比較しやすく、表現しやすい程度副詞4種類を用いてそれぞれの指示を行った。具体的な指示内容は、「普通の速さで動かして下さい」、「ちょっと速く動かして下さい」、「速く動かして下さい」、「非常に速く動かして下さい」の4つであり、あらかじめ被験者には指示を受けたときには、上肢を左右に移動させるように指示している。対象とした被験者は、右手を利き腕とする19歳から20歳の男47名であり、2回同じ実験を行った。

3. 2 実験装置

図3に実験の概要図を示す。上肢位置の測定には、浜松ホトニクス製ポジションセンサシステムC5949を用いた。図3に示すように、被験者は違和感のない高さに調節された椅子に座り、被験者の正面にある机に正対する。直径40mm、高さ100mmの木製の円柱棒の上部に発光ダイオードを取り付け、被験者はその円柱棒を右手で握る。発光ダイオードからの信号を机上から2300mmの高さに設置された光半導体位置検出器（以下、検出器と称す）で計測する（サンプリングタイムは8msである）。円柱棒の初期位置は検出器の真下である。被験者は、握った円柱棒をその初期位置に上肢を移動して、その状態で違和感のないように、椅子を前後左右に動かす。被験者はそれぞれの程度副詞を用いた指示があったとき、その指示に対応した速度で上肢の左右の往復運動を行う。なお、計測時間は8秒間である。

Side chart



Upper chart

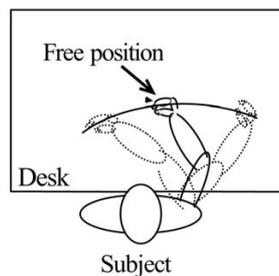


図3 概要図

4. 最大速度 V_p

被験者に対し程度副詞を用いた指示を行い、得られた各程度副詞に対する時間と手の速度の関係を図4.1～図

4.4に示す。求めた各程度副詞の速度から、手を右から左に移動しているときの速度の最大値の平均値を求め、それを最大速度 V_p と定義した。

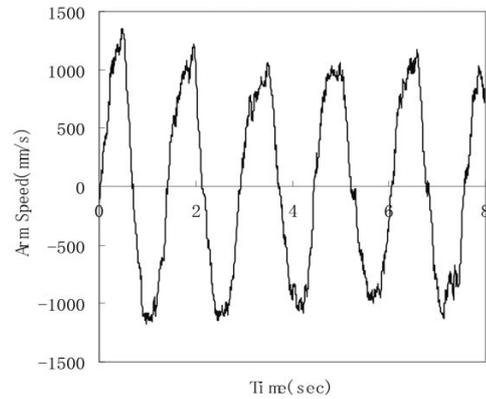


図4.1 上肢の速度（普通の速さ）

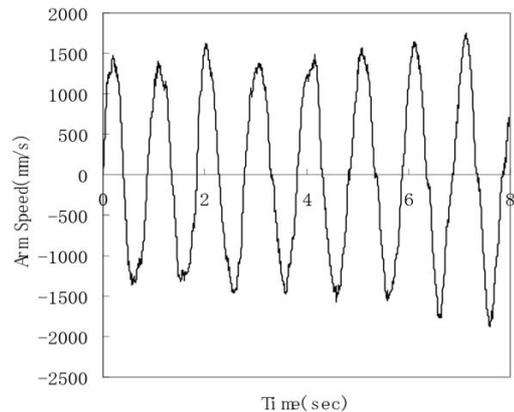


図4.2 上肢の速度（ちょっと速く）

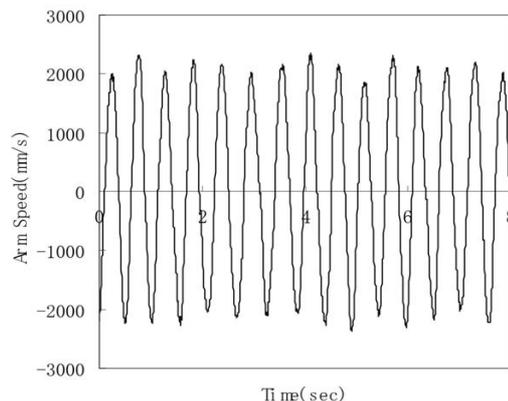


図4.3 上肢の速度（速く）

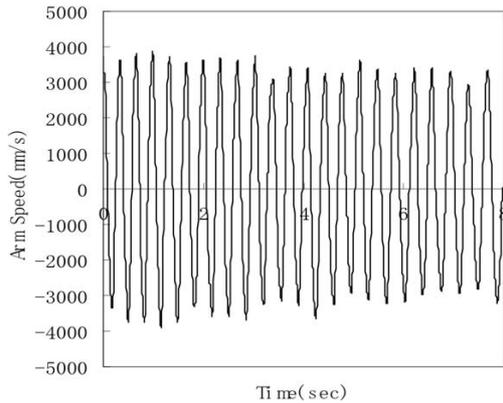


図 4.4 上肢の速度 (非常に速く)

5. 程度副詞に対するVpの変化

各被験者の上肢の速度特性から得られた、各程度副詞に対する被験者全員のVpの平均値とその標準偏差を図5, 表1に示す。

図5から、程度副詞指示「普通の速さ」、「ちょっと速く」、「速く」、「非常に速く」の順に、Vpが上昇していることがわかる。しかし、標準偏差が大きく、どの指示に対しても個人差が強く影響していると考えられる。

次に、各程度副詞に対するVpの平均値に差異の有無を検討する目的で、各程度副詞のVpに対してt検定を行った。「普通の速さ」と「ちょっと速く」のt値を t_{ft} 、「ちょっと速く」と「速く」のt値を t_{th} 、「速く」と「非常に速く」のt値を t_{hh} としたときの各t値及び帰無仮説の放棄域 ($\alpha = 0.05$) の $t_{\phi, a}$ を表2に示す。その結果、どの程度副詞間においても有意差があることが認められた。このことから、被験者は、各程度副詞を識別して、しかもその差異を上肢の運動として反映することが可能であることが分かった。

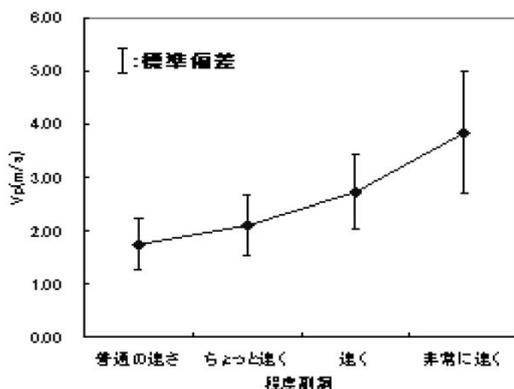


図5 各程度副詞に対するVpの平均値と標準偏差

表 1 各程度副詞に対するVpと標準偏差

| 程度副詞 | Vpの平均 (m/s) | 標準偏差 |
|--------|-------------|-------|
| 普通の速さ | 1.736 | 0.471 |
| ちょっと速く | 2.095 | 0.550 |
| 速く | 2.717 | 0.699 |
| 非常に速く | 3.832 | 1.135 |

表 2 t 値及び $t_{\phi, a}$

| | t 値 | $t_{\phi, a}$ |
|----------|----------|--------------------------|
| t_{ft} | 10.83271 | $> t_{93, 0.05} = 1.662$ |
| t_{th} | 14.76731 | $> t_{93, 0.05} = 1.662$ |
| t_{hh} | 13.4516 | $> t_{93, 0.05} = 1.662$ |

6. アンケート結果とVpの比較

6. 1 人間のイメージと実演

アンケート結果と、上肢の運動特性から得られたVpを比較するために、アンケート結果とVpを以下のように定義する。まず、アンケート結果は人間の程度副詞に対するイメージであると考え。次に「ちょっと速く動かして下さい」等の程度副詞を用いて指示をし、その指示に対する被験者の上肢運動のVpを、人間の程度副詞に対する実演と考える。そこで、アンケート結果とVpを比較することによって、人間がイメージ通りに上肢が実演できるか否かの表現の可能性を検証することが出来る。

6. 2 比較方法

まず、アンケート結果とVpをどのように比較するかを検討した。まず、アンケート結果を定量的な倍数で表すため、「普通の速さ」を1、「最高速さ」を2とする。数値評価した各程度副詞に対するアンケート結果の速度倍率と、「普通に動かしてください」と指示した場合におけるVpに対する他の程度副詞のVpの倍率を表3に示す。しかし、上肢速度の場合「最高の速さで動かして下さい」と指示を行ったときのVpの倍率が、「普通の速さで動かして下さい」と指示を行ったときの2倍であるとは限らない。さらに、「非常に速く動かして下さい」と指示した場合ですでに 倍以上となっていることが分かる。このためアンケート結果とVpの倍率の比較を行うには、アンケート結果、またはVpの倍率を変換する必要がある。

表3 アンケート結果とVpの速度倍率

| | アンケート結果 | Vpの倍率 |
|--------|---------|-------|
| 普通の速さ | 1.000 | 1.000 |
| ちょっと速く | 1.231 | 1.331 |
| 速く | 1.494 | 1.706 |
| 非常に速く | 1.857 | 2.226 |

変換方法としては、アンケート結果の最高の速さを、「最高の速さで動かして下さい」という指示に対するVpの倍率と等しくなるように、一様に引き伸ばすことを考える。このとき、同じように引き伸ばしたアンケート結果の「ちょっと」、「速く」、「非常に速く」が、それぞれの程度副詞を用いた指示に対するVpの倍率と等しくなれば、イメージと実演には差がないことが確認できる。つまりVpの倍率をy, アンケート結果をxとしたとき式(1)を満たすパラメータa,bが存在するかどうかで、人間がイメージ通り上肢の運動特性として表現の可能性を検証することが出来る。

$$y = ax + b \tag{1}$$

もし式(1)を満たすa,bが存在すれば、人間はイメージ通りに上肢の速度特性を制御することが可能であると考えられる。そこでイメージ通り上肢を動かしているかどうかの判断は、最小自乗法で得られたa,bによってアンケート結果を式(1)に当てはめ、得られた値とVpの倍率との間に、集合間の平均の差の有無を調べるt検定をおこなうことによって検証する。

6.3 実験結果

まず、アンケート結果と上肢のVpの倍率との尺度を合わせる必要があるので最小自乗法により、a,bを求める。得られたa,bを用いて、アンケート結果(x)と、Vpの倍率(y)を図6に示す。

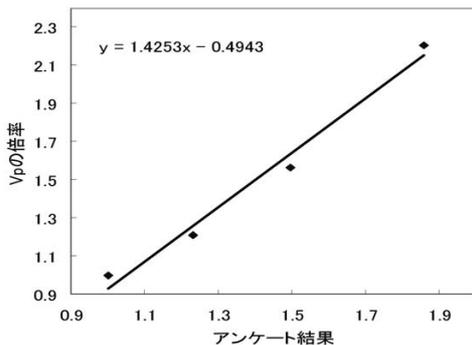


図6 最小自乗法による近似

得られたa,bによって各被験者のアンケート結果を変換し、平均値の差の検定を行った。この場合、アンケート結果とVpの倍率に対応がないと考えられるため、対応のないt検定を行う必要がある。また、変換後のアンケート結果とVpの倍率の分散が等分散、異分散であるかを事前に調べる必要があるため、等分散検定であるF検定を行う必要がある。そのためF検定、t検定の順に仮説検定を行った。「ちょっと速く」についての分散比を F_t 、「速く」についての分散比を F_{ha} 「非常に速く」についての分散比を F_{hi} とし、各分散比Fとその時の帰無仮説の放棄域($\alpha=0.05$)の時の $F_{m,n,\alpha}$ を表4に示す。

表4 F検定 F値及びP(F)a

| | F 値 | | $F_{m,n,\alpha}$ | 結果 |
|----------|-------|---|------------------|-----|
| F_t | 1.360 | > | 1.447 | 等分散 |
| F_{ha} | 1.889 | < | 1.447 | 異分散 |
| T_{hi} | 9.706 | < | 1.447 | 異分散 |

F検定の結果、「ちょっと速く」については等分散を仮定できる場合のt検定を行えることが分かった。しかし、「速く」、「非常に速く」については、等分散を仮定できない場合のt検定(ウェルチのt検定)を行わなければならない事が分かった。「ちょっと速く」のt値を t_t 、「速く」のt値を t_{ha} 、「非常に速く」のt値を t_{hi} とし、各t検定を行った。各t値及び帰無仮説の放棄域($\alpha=0.05$)の $t_{\phi,\alpha}$ を表5に示す。

この結果から、「ちょっと速く」、「速く」に関してはアンケート結果とVpとの間に有意差が生じていないことがわかるが、「非常に速く」に関しては、有意差が生じていることが分かる。このため、式(1)を満たすa,bが存在しないことがわかった。このことより、程度副詞に対する人間のイメージと、そのイメージによる上肢運動での実演には差異があることが確認できた。

表5 t 値及び $t_{\phi,\alpha}$

| | t 値 | | $t_{\phi,\alpha}$ |
|----------|----------|---|------------------------|
| t_{ft} | 0.989864 | > | $t_{253,0.05} = 1.653$ |
| t_{th} | 0.262088 | > | $t_{253,0.05} = 1.653$ |
| t_{hi} | -1.74071 | < | $t_{147,0.05} = 1.662$ |

7. イメージと実演の関係

7.1 解析方法

前章にて、イメージと実演には差異があり、その関係を一次関数で表すのは十分でないことが分かった。そこで、ここではイメージと実演の関係には、どのような関係が存在するのかを検討する。方法としては、まず、 V_p の倍率（以下、実演値と称す）を y 、アンケート結果（以下、イメージ値と称す）を x としたときの近似曲線を最小自乗法により求める。次に、近似曲線の決定係数である R^2 値を比較対象とし、一次関数の近似式よりも、より1に近い決定係数の近似曲線を探し出す。さらに、探し出した式によって変形した各被験者の実演値と、イメージ値に t 検定を行い、両者間に有意差が存在しないのであれば、十分にイメージと実演の関係を表していると考ええる。

7.2 解析結果

イメージ値 y_i 、実演値 x_i で近似曲線を調べるが、 i が4であることから、一次関数以上の多項式による近似は不適切であると判断し、指数関数、対数関数による近似式を最小自乗法により検討し、その決定係数を求めた。一次関数、対数関数、指数関数を式(1)～(3)に示す。また、式(1)～(3)の各関数で近似した曲線を図7.1～図7.3に示す。さらに最小自乗法により求めた各式の a, b 及び、その近似曲線の決定係数である R^2 値を表6に示す。

$$y = ax + b \tag{1}$$

$$y = a \log x + b \tag{2}$$

$$y = a e^{bx} \tag{3}$$

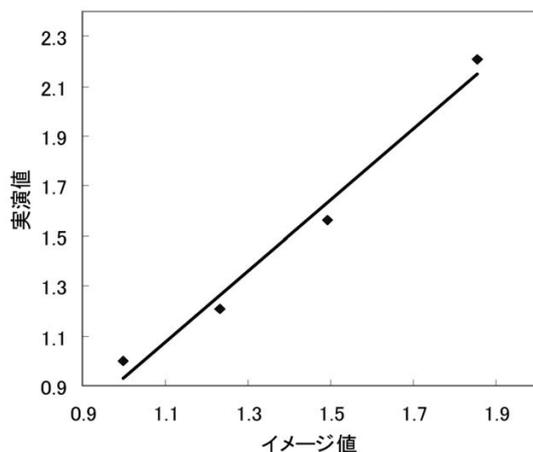


図 7.1 式 (1) による近似曲線

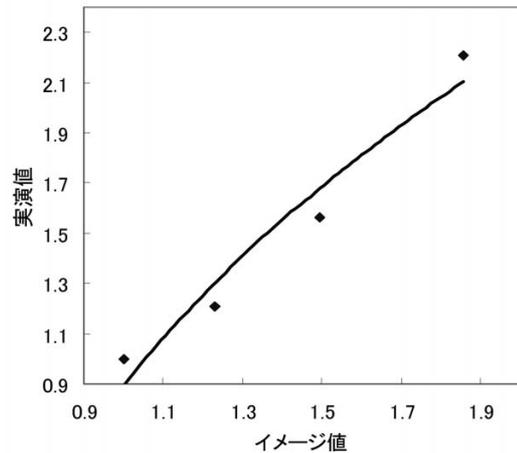


図 7.2 式 (2) による近似曲線

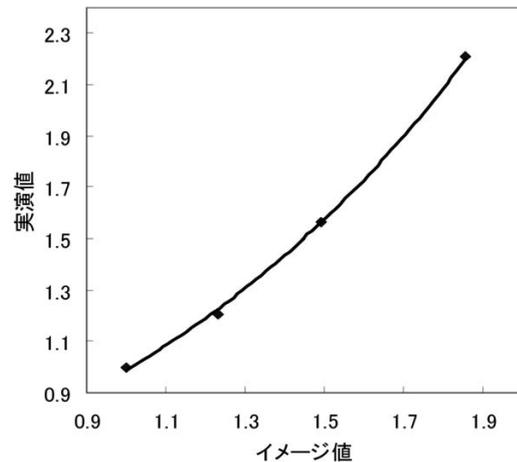


図 7.3 式 (3) による近似曲線

表 6 近似曲線の係数と R^2 値

| | a | b | R^2 値 |
|------|-------|--------|---------|
| 一次関数 | 1.425 | -0.494 | 0.9816 |
| 対数関数 | 1.946 | 0.897 | 0.9482 |
| 指数関数 | 0.389 | 0.932 | 0.9988 |

表6より、一次関数より指数関数による近似式の決定係数 R^2 値がより1に近づいていることが確認できる。このことより、人間のイメージ値と実演値の関係は、一次関数で表すよりも指数関数で表した方がより良いことがわかった。次に、イメージ値と実演値の関係が指数関数であると言えるかどうかを確認するために、最小自乗法により得られた指数関数を用いて、イメージ値を変換し、そのデータと実演値との間に有意差が生じるか確認する。まず、2つのデータが等分散であるかどうかを確

認するためF検定を行った。「ちょっと速く」についての分散比を F_t 、「速く」についての分散比を F_{ha} 、「非常に速く」についての分散比を F_{hi} とし、各分散比とその時の帰無仮説の放棄域 ($\alpha=0.05$) の時の $F_{m,n,\alpha}$ を表7に示す。

表7 F検定 F値及びP(F)

| | F 値 | | $F_{m,n,\alpha}$ | 結果 |
|----------|----------|---|------------------|-----|
| F_t | 1.12011 | > | 1.447 | 等分散 |
| F_{ha} | 1.609912 | < | 1.447 | 異分散 |
| T_{hi} | 6.214814 | < | 1.447 | 異分散 |

F検定により、「ちょっと速く」については等分散を仮定できる場合のt検定を行えることが分かった。しかし、「速く」、「非常に速く」については、等分散を仮定できない場合のt検定 (ウェルチの t 検定) を行わなければならない事が分かった。「ちょっと速く」のt値を t_t 、「速く」のt値を t_{ha} 、「非常に速く」のt値を t_{hi} とし、そのときの各t値及び帰無仮説の放棄域 ($\alpha=0.05$) の $t_{\phi,\alpha}$ を表8に示す。

表8 t 値及び $t_{\phi,\alpha}$

| | t 値 | | $t_{\phi,\alpha}$ |
|----------|----------|---|------------------------|
| t_{ft} | -0.50161 | < | $t_{253,0.05} = 1.653$ |
| t_{th} | 0.439259 | < | $t_{155,0.05} = 1.653$ |
| t_{hh} | 0.887232 | < | $t_{108,0.05} = 1.662$ |

表8より、各程度副詞間において有意差が生じていない事が確認できる。このことより、人間のイメージと実演の関係には指数関数的な関係があること明らかになった。

8. 結言

近未来的な人間協調共存型ロボットを想像するとき、そのロボットは人間の曖昧な指示に対しても、的確に指示を理解し、人間の感性に見合った速度を実現する必要がある。その為には、曖昧な指示に対する人間の速度制御則を調査し、曖昧な指示を定量的な数値として取り扱う必要がある。本論文では、人間の曖昧な指示に対して行う実演と、その指示に対して持つイメージを比較し、その違いと関係を調べた結果、次のようなことが明らかとなった。

- ・人間は程度副詞による曖昧な指示で速度制御を要求しても、その指示を明確に理解し、その程度副詞に見合った速度での上肢の速度制御が可能である。
- ・人間は上肢を左右運動させるとき、程度副詞に対するイメージ通りに上肢を動かしているとは言い切れない。
- ・人間の程度副詞に対するイメージと実演の関係には指数関数的な関係が存在する。

この結果から明らかなように、人間はイメージ通りに上肢の速度制御が行われていないことが分かる。今後の研究では、機械が人間の指示に基づいて速度制御を行う場合、人間のイメージ通りの速度を反映させればよいのか、人間の動作に基づく実演の速度をすればよいのかを明確にする。

参考文献

- [1] 梶川伸哉他：程度副詞を用いた物体の移動位置決め制御, 日本機械学会論文集, C, 69 (686), 211-216, 2003
- [2] 梶川伸哉他：程度指示に対する指先力の相対的变化特性, 人間工学, Vol.40, No1, 56-59, 2004
- [3] 神田一伸他：心理評価に用いる程度副詞の感性工学的検討, 感性工学研究論文集, Vol.2, No.2, 49-56, 2002
- [4] 柴田諭他：評定尺度法によるロボット運動の心理的評価, 人間工学, Vol.31, No2, 151-159, 1995
- [5] 勘久保広一他：手先の指示に協調するパーソナルロボットの心理的評価, 日本機械学会論文集, C, 68 (676), 239-246, 2002
- [6] 辻三郎：感性の科学 (感性情報処理へのアプローチ), サイエンス社, 1997, 217
- [7] 長町三生：感性工学 (感性をデザインに活かすテクノロジー), 海文堂出版株式会社, 1989, 138P
- [8] 白旗慎吾：統計解析入門, 共立出版株式会社, 1992, 178P
- [9] 篠原昭他：感性工学への招待 (感性から暮らしを考える), 森北出版株式会社, 1996, 199P