

175
1222
1240
HG

[博士論文]
曖昧性を考慮した
運動パフォーマンスの評価法

筑波大学
杉本光公

指導教官
浅見高明教授

98000154

| 寄 | 贈 |
|-------|-------------------|
| 杉本光公氏 | 平成 年 月 日 |

目次

| | |
|--------------------------------------|----|
| 第1章 緒言 | 10 |
| 第2章 研究小史 | 13 |
| 第1節 運動パフォーマンスの評価の現状 | 13 |
| 1. バッテリーテスト(組テスト)-総合体力指標 | 13 |
| 2. スキルテスト | 13 |
| 第2節 運動パフォーマンスの評価に関する研究 | 15 |
| 第3節 運動パフォーマンスの改善に関する研究 | 16 |
| 第3章 検討すべき問題および用語の定義 | 18 |
| 第1節 検討すべき問題 | 18 |
| 1. ファジィ理論を用いた主観的な運動評価の定量化 | 18 |
| 2. 曖昧性を考慮した総合評価システム | 18 |
| 3. 曖昧性を考慮した運動パフォーマンス改善システム | 18 |
| 4. 曖昧性を考慮した運動評価の社会的側面 | 19 |
| i) 知的障害者の体力特性 | 19 |
| ii) 知的障害者の運動パフォーマンスの向上の可能性 | 19 |
| 第2節 用語の説明および定義 | 19 |
| 1. ファジィ理論 | 19 |
| 2. ファジィ集合論 | 20 |
| i) クリस्प集合と定義関数 | 20 |
| ii) ファジィ集合とメンバーシップ関数 | 22 |
| 3. ファジィ集合の基本演算 | 23 |
| 4. 拡張原理 | 24 |
| 5. ファジィ推論と簡略化ファジィ推論 | 25 |
| i) ファジィ推論 | 25 |
| ii) 簡略化推論法 | 27 |
| 6. 可能性線形システム | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 7. ファジィ主成分分析 | 29 |
| 8. エキスパートシステム | 30 |
| 9. デルファイ法 | 30 |
| i) 一般的なデルファイ法 | 30 |
| ii) データの表現方法 | 31 |
| | |
| 第4章 研究の目的と手順 | 32 |
| 第1節 研究の目的 | 32 |
| 第2節 研究の手順 | 32 |
| | |
| 第5章 ファジィ理論をもちいた主観的な運動評価の定 量化 (研究課題 1-1) | 35 |
| 第1節 はじめに | 35 |
| 第2節 方法 | 35 |
| 1. 被験者および対象動作 | 35 |
| 2. π 型メンバーシップ関数 | 35 |
| 3. 主観的評価の定量化の方法 | 36 |
| 第3節 結果 | 36 |
| 1. 主観的評価 | 36 |
| 2. 主観的評価と動作の対応 | 37 |
| 第4節 小括 | 41 |
| | |
| 第6章 曖昧性を考慮した評価システム (研究課題 1-2) | 43 |
| 第1節 はじめに | 43 |
| 第2節 運動パフォーマンスの改善 | 44 |
| 1. 熟練パフォーマンスの特徴 | 44 |
| 2. 運動パフォーマンスの改善モデル | 44 |

| | |
|--------------------------------|----|
| 第3節 ファジィ推論を用いた運動パフォーマンスの評価方法 | 45 |
| 1. ファジィルールデータベースの構築 | 45 |
| 2. システム構成 | 46 |
| 第4節 結果 | 52 |
| 1. キックパフォーマンスの評価 | 52 |
| 2. 言語的指導 | 52 |
| 第5節 小括 | 55 |
| 第7章 運動パフォーマンスの向上の可能性 (研究課題2-1) | 56 |
| 第1節 目的 | 56 |
| 第2節 方法 | 56 |
| 1. 測定項目 | 56 |
| 2. 可能性線形システムの適用 | 56 |
| 3. 被験者 | 58 |
| 4. 推定モデル | 58 |
| 第3節 結果 | 58 |
| 1. 推定式 | 58 |
| 第4節 考察 | 59 |
| 1. 可能性の推定とその妥当性 | 59 |
| 第5節 小括 | 66 |
| 第8章 曖昧性を考慮した体力の総合評価 (研究課題2-2) | 67 |
| 第1節 目的 | 67 |
| 第2節 方法 | 67 |
| 1. 測定項目 | 67 |
| 2. 被験者 | 67 |

| | |
|--|----|
| 3. 分析方法 | 67 |
| 第 3 節 ファジィ主成分分析による解法 | 68 |
| 第 4 節 結果 | 70 |
| 第 5 節 考察 | 73 |
| 第 6 節 小括 | 73 |
| | |
| 第 9 章 3次元解析によるファジィ推論を用いた運動パフォーマンス改善システム (研究課題 3-1) | 75 |
| 第 1 節 はじめに | 75 |
| 1. 運動パフォーマンスの改善モデル | 75 |
| 2. 運動パフォーマンスの評価モデル | 76 |
| 3. 運動パフォーマンスの改善支援システムの概要 | 76 |
| 第 2 節 目的 | 77 |
| 第 3 節 方法 | 77 |
| 1. システム構成 | 77 |
| 2. 被験者 | 79 |
| 3. 可能性指標 | 79 |
| 第 4 節 結果 | 81 |
| 1. 経験則の抽出 | 81 |
| 2. ファジィルールデータベースの構築 | 81 |
| 第 5 節 考察 | 83 |
| 1. 向上の可能性の推定 | 83 |
| 2. 評価例 | 83 |
| 第 6 節 小括 | 89 |
| | |
| 第 10 章 評価知識のネットワークによる共有と分散管理 (研究課題 3-2) | 92 |

| | |
|---|-----|
| 第1節 目的 | 92 |
| 第2節 方法 | 93 |
| システムの構造 | 93 |
| 第3節 小括 | 94 |
| | |
| 第11章 ファジィ理論を用いた知的障害者の体力分析 の試み (研究課題 4-1) | 95 |
| 第1節 はじめに | 95 |
| 第2節 方法 | 96 |
| 1. 対象 | 96 |
| 第3節 測定結果 | 97 |
| 1. MR 者の体力特性 | 97 |
| i) 健常者との平均値の比較 | 97 |
| ii) 健常者との分散の比較 | 97 |
| 2. 正規性の検定 | 97 |
| i) 歪度の検定 | 99 |
| ii) 尖度の検定 | 99 |
| 第4節 ファジィ理論による運動の分析と評価 | 101 |
| 1. ファジィ理論を用いた運動の分析 | 101 |
| 2. メンバーシップ関数の定義 | 102 |
| 3. ファジィ評価 | 106 |
| 4. ファジィ理論を用いた評価と従来の評価の比較 | 107 |
| 第5節 小括 | 108 |
| | |
| 第12章 可能性線形回帰分析を用いた知的障害者の1500m 走の記録向上の可能性の推定 (研究課題 4-2) | 111 |
| 第1節 はじめに | 111 |

| | |
|-------------------|-----|
| 第2節 方法 | 112 |
| 1. 被験者 | 112 |
| 2. 測定項目 | 112 |
| 3. 可能性線形回帰分析の説明 | 112 |
| 第3節 結果 | 113 |
| 1. 測定結果 | 113 |
| 2. 推定モデル | 115 |
| 3. 推定式 | 115 |
| 第4節 向上の可能性としての推定値 | 119 |
| 1. 可能性の推定とその妥当性 | 119 |
| 第5節 小括 | 119 |
| 第13章 総括 | 122 |
| 第1節 総括的考察 | 122 |
| 第2節 要約と結論 | 124 |
| 第3節 今後の研究課題と研究の限界 | 126 |
| 研究の限界 | 126 |
| 今後の課題 | 127 |
| 謝辞 | 128 |
| 参考文献 | 129 |

表 目 次

| | | |
|----|-----------------------------|-----|
| 1 | 実測値と操作指示量 | 53 |
| 2 | 被験者の基礎データ | 58 |
| 3 | 平均値と標準偏差 | 59 |
| 4 | 被験者の基礎データ | 68 |
| 5 | 各測定項目の平均値と標準偏差 | 70 |
| 6 | ファジィデータの中心値の固有値と固有ベクトル (男性) | 70 |
| 7 | ファジィデータの中心値の固有値と固有ベクトル (女性) | 71 |
| 8 | 中心値の構造係数 | 71 |
| 9 | ファジィ合成得点 | 72 |
| 10 | ファジィ合成得点の中と IQ の相関係数 | 73 |
| 11 | 被験者の特性 | 79 |
| 12 | 熟練指導者の基礎データ | 80 |
| 13 | 各被験者の可能性指標 | 89 |
| 14 | 被験者の基礎データの平均値と標準偏差 | 96 |
| 15 | MR 者と健常者の体力測定 of 平均値と標準偏差 | 98 |
| 16 | 健常者と障害者の間の分散の有意差 (5%水準) | 99 |
| 17 | 各測定項目の歪度 | 100 |
| 18 | 各測定項目の尖度 | 101 |
| 19 | 被験者の基礎データ | 112 |
| 20 | 各測定項目の平均値と標準偏差 | 114 |
| 21 | 1500m 走の記録と他の項目の相関係数 | 114 |
| 22 | 可能性の推定の妥当性の検討 | 121 |

図 目 次

| | | |
|---|------------------|----|
| 1 | 体力の構成要素 | 14 |
| 2 | クリスプ集合の定義関数 | 21 |
| 3 | ファジィ集合とメンバーシップ関数 | 22 |
| 4 | 三角型メンバーシップ関数 | 23 |
| 5 | π 型メンバーシップ関数 | 24 |
| 6 | 拡張原理の考え方 | 25 |
| 7 | 拡張原理 | 26 |
| 8 | ファジィ推論の実行例 | 27 |

| | | |
|----|---------------------------------------|----|
| 9 | デルファイ法による専門家の知識の表現 | 31 |
| 10 | 研究手順 | 33 |
| 11 | π 型メンバーシップ関数の例 | 36 |
| 12 | 定量化のパラメータ 1 | 38 |
| 13 | 定量化のパラメータ 2 | 39 |
| 14 | メンバーシップ関数 | 40 |
| 15 | 運動パフォーマンスの改善モデル | 45 |
| 16 | システム構成 | 47 |
| 17 | フォームの入力変数 | 48 |
| 18 | 入力変数のメンバーシップ関数 | 49 |
| 19 | 操作量 U | 51 |
| 20 | システムの出力 | 53 |
| 21 | 熟練指導者の指示 | 54 |
| 22 | 対称なファジィ数 | 57 |
| 23 | 打突速度の推定区間 (被験者 1) | 60 |
| 24 | 打突速度の推定区間 (被験者 2) | 61 |
| 25 | 打突速度の推定区間 (被験者 3) | 62 |
| 26 | 打突速度の推定区間 (被験者 4) | 63 |
| 27 | 打突速度の推定区間 (被験者 5) | 64 |
| 28 | 打突速度の推定区間 (被験者 6) | 65 |
| 29 | ファジィデータ | 68 |
| 30 | 運動パフォーマンスの改善 | 76 |
| 31 | 運動パフォーマンスの評価モデル | 77 |
| 32 | システムの概要 | 78 |
| 33 | 運動評価支援システムの構成 | 79 |
| 34 | 可能性指標 | 80 |
| 35 | 素振りフォームの入力変数 | 82 |
| 36 | 素振りフォームの前件部のメンバーシップ関数 1 | 84 |
| 37 | 素振りフォームの後件部のメンバーシップ関数 2 | 85 |
| 38 | 各被験者の入力変数のメンバーシップ関数 (素振り速度) | 86 |
| 39 | 各被験者の入力変数のメンバーシップ関数 (腰の上下動) | 87 |
| 40 | 各被験者の入力変数のメンバーシップ関数 (上体角) | 88 |
| 41 | 出力ダイアグラム | 90 |
| 42 | システムの出力と熟練指導者の判断の比較 | 91 |
| 43 | 知識データベースの分散管理の概念 | 93 |

| | | |
|----|--|-----|
| 44 | 各プログラムの役割 | 94 |
| 45 | メンバーシップ関数のパラメータ | 103 |
| 46 | 基準メンバーシップ関数 | 103 |
| 47 | 立位体前屈 (a) と伏臥上体そらし (b) のメンバーシップ関数 | 104 |
| 48 | 閉眼片足立ち (a) と握力 (右)(b) のメンバーシップ関数 . . | 104 |
| 49 | 握力 (左)(a) と背筋 (b) のメンバーシップ関数 | 104 |
| 50 | 立ち幅跳び (a) とソフトボール投げ (b) のメンバーシップ 関数 | 105 |
| 51 | シャトルラン (a) と 50m 走 (b) のメンバーシップ関数 . . . | 105 |
| 52 | 腹筋 (a) と 1000m, 1500m 走 (b) のメンバーシップ関数 . . | 105 |
| 53 | 評価の一例 (立位体前屈) | 106 |
| 54 | 三段階評価の度数分布 1 | 108 |
| 55 | 三段階評価の度数分布 2 | 109 |
| 56 | 三段階評価の度数分布 3 | 109 |
| 57 | 三段階評価の度数分布 4 | 110 |
| 58 | 対称なファジィ数 | 113 |
| 59 | 1500m 走の記録の推定区間 (1 set) | 117 |
| 60 | 1500m 走の記録の推定区間 (2 set) | 118 |
| 61 | 1500m 走の記録の推定区間 (3 set) | 120 |

第1章 緒言

人間の運動は機械の運動などと違い、動作に巾がある。全く同じ動きを完全に正確に再現することは難しい。人間の運動が本質的に曖昧さを含んでいるためであり、この曖昧さは人間のような複雑なシステムを解析する上で避けられない問題である。複雑なシステムを扱う場合、そのシステムがある一定レベルの複雑さを越えるともはや厳密で意義のある解析が不可能になってしまうといわれている。その論拠は有名な L. A. Zadeh の不適合性の原理⁵³⁾である。人間ほど複雑なシステムはないといえる。

運動パフォーマンスは非常に複雑なので、運動パフォーマンスを向上させるために必要な要因には、体力的な要素、精神的な要素、技術的な要素など様々な要因が関係している。これらの要因は複雑に絡み合い、また人間が本来的に有する運動の曖昧性とも重なって、問題をより複雑なものとしている。従来このような複雑な問題を取り扱う方法としては、統計的手法が多く用いられて来た。とくに、推測統計学が体育科学の中で重要視されている。これは、体育科学における測定が、基本的に人間の能力やある集団の何らかの特性を推定するために用いられているからである。ここに非常に重要な仮定が一つ存在する。それは“母数(母平均、母分散、母標準偏差など)が必ず真の値として一つ存在する”というものである。これは例えば“日本人20歳の男性の平均身長”や、“持久的なトレーニングを10年続けた人の全身持久性”などのことである。従来は、これらの値は必ず一つ存在し、それは不動のものであるという暗黙の仮定があった。そしてそれらの標本はおおよそ正規分布し、標本から推定することが可能であるということがひろく認められ、実際に推定されている。しかし、現実には運動パフォーマンスを評価する問題においては母数が必ず一つ、不動で存在するということが仮定できない場合が多く見られる。人間に内在する曖昧性のために、正規性が崩れている場合や標本の分散があまりに大きい場合などである。そのような場合何らかの変換を行って従来通りの処理をするか、ノンパラメトリックな手法が用いられてきている。しかし、どちらの場合も母数の真の値の存在の仮定は依然とされており、その点に関しては、従来法となんら変わらない。

これに対して、人間の運動パフォーマンスを評価する場合、監督やコーチなどは非常に的確にパフォーマンスを評価することが可能である。これは、人間の経験則に基づいた主観的判断が、非常に巧みに人間の運動を評価できることを示している。しかし人間の経験則や主観は非常に曖昧

味であり、従来の方法では定量化することは難しい。しかしファジィ理論はそれらを定量的に扱う方法を提供している。ファジィ理論の具体的な内容は用語の定義に詳述するが、ファジィ理論は人間の主観や経験則、可能性や言語の曖昧さを数学的に記述することができるので、本研究における曖昧さの取り扱いには主にファジィ理論を適用し、曖昧な情報の定量化を試みる。

パフォーマンスを改善するためには、現状を評価し、改善点を指摘し、指摘された改善点について改良し、また評価を行うというサイクルを繰り返すことによって改善が行われる。このようなパフォーマンスを改善する問題では、人間の主観的判断が最も優れていると言え、監督・コーチなどの経験則が重要であることを意味している。しかし経験則は、個人個人で固有のものであり、またその運動のエキスパートになればなるほど、改善点の指摘は非線形であり、全く関係のないとみられる点を指摘することによって目的のパフォーマンスの改善を導くことが可能である。例えば、サッカーのキックにおいて足首が伸びていなければ、足指の拇指に力を入れるように指示をするなどである。これらの経験によって蓄積された知識は膨大で、非常に有用であるが、ほとんど再利用されているとは言えない。これは経験則を表現する方法が確立されていないためであり、また、従来の方法では表現することは不可能だからである。本研究では、このような監督・コーチなどの経験則をファジィ理論をもちいてコンピュータ上に再現し、再利用可能な形で蓄積する。これらの蓄積された情報はパフォーマンスを改善するために必要であるばかりでなく、指導者の支援を行うという意味でも非常に有用なものである。さらに本研究では、この蓄積された監督・コーチなどの経験則を広くコンピュータネットワーク上に公開する方法も検討する。これまで個人個人で閉塞していた、有効な情報を共有し、パフォーマンス改善のための知識データベースとしての利用も検討する。

この論文は、下記の原著論文に未発表の実験結果を加えてまとめられている。

- 杉本光公, 安信誠二: ファジィ理論を用いた運動評価支援システム, 日本ファジィ学会誌, 8(1), pp.89-94, 1996.
- 杉本光公, 浅見高明: 可能性線形回帰を用いた知的障害者の1500m走の記録向上の可能性, バイオメカニズム学会誌, 20(4), pp.191-197, 1996.
- 杉本光公, 後藤邦夫: ファジィ理論を用いた知的障害者の体力分析の試み, スポーツ教育学研究, 16(2), 1996.
- Mitsukimi Sugimoto, Takaaki Asami: The Utility of Total Evaluation of Physical Fitness based on Fuzzy Principal Component Analysis for Individuals with Mental Retardation, *CIRCULAR*, 57, 1996.

第2章 研究小史

第1節 運動パフォーマンスの評価の現状

1. バッテリーテスト (組テスト)–総合体力指標

体力を構成する要素は非常に多く、猪飼¹¹⁾によると、図1の様に分類される。しかし体力そのものは全構成要素が総合されて身体に備わり、新たに獲得されるものである。これらを測定するために、筋力や持久力さらには神経系の能力指標となるような体力の構成要素の測定値を組み合わせて体力を総合的に評価する試みは多く行われている。しかしそれらの組み合わせに関して議論が多く、特にどの方法が標準的であるとか多用されているとかという状況には至っていない。

2. スキルテスト

スキルの定義として代表的なものは、Knapp¹⁴⁾のものである。“スキルは最高の正確さで、またしばしば、最小の時間とエネルギーあるいはこれら両者で、あらかじめ決められた結果が生じるような学習された能力である”。この定義の強調点は、スキルの成果は学習によって生じ、新しい運動パターンの組織化は学習の結果であるということと、スキルは目的をもった行為の遂行において筋肉の協応を含む随意的な運動であるということである。このようなスキルを評価するために様々なスキルテストが考案されている¹⁶⁾。スキルテストは主に以下の3種類の目的でもちいられてきている。

- (1) 各種目にわたる運動技能を組み合わせて、一般的な運動技能の現状を調べる
- (2) 特定のスポーツの適性を調べる
- (3) 特定のスポーツの技能の現状を調べる

本研究で取りあげるものは、(3)に属するテストである。特定のスポーツ技能の現状を調べる場合、それぞれの運動種目の全体の技能を構成している単純な下位技能を、いくつか選択する。そしてその下位技能を時間、距離、回数等によって測定しようとするスキルテストが多い。しかし実

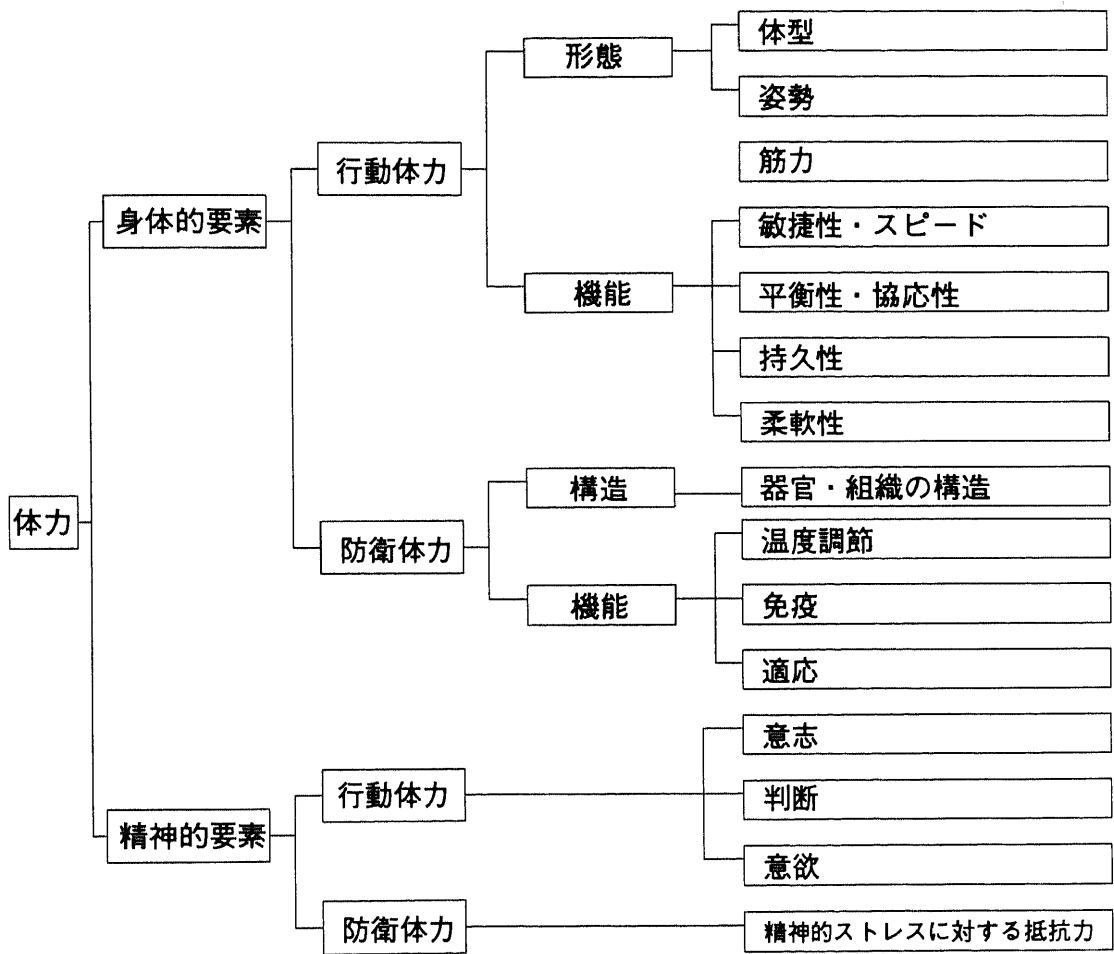


図 1 体力の構成要素

際には、個人技能を測定するテストを組み合わせただけで各種の要因が総合されている全体の技能の程度を示すことは少ない。

第2節 運動パフォーマンスの評価に関する研究

運動パフォーマンスは、“運動の動作や成果、成就”と定義されている¹¹⁾。このような運動パフォーマンスを測定するために、運動パフォーマンステストが広く行われている。これは一定の運動を行いその結果を計測し、その背景的能力を推測しようとするものである¹⁷⁾。ここで測定されるものは上述の定義のうち“成果”と定義されているものである。また動作に関しては、一般的にスキルテストを用いて評価されている¹⁾。スキルテストは、それぞれのスポーツの基本的、要素的スキルを主として、経験者の判断によって選び出し、それをテストの形に直して組み合わせ、数種類のサブテストの総合得点によってその人の技能を総合評価するというものである²²⁾。松浦¹⁷⁾は、測定目的として、以下のようなものを上げている。

- (1) 個々人の体力発達の適切なプログラムを立てるための基礎資料として個々人の体力の現状を知る
- (2) 体育学習の範囲や内容を決定するための基礎資料として個々人の運動能力、技能を知る。
- (3) 体育学習指導の有効な展開の一方法としてグルーピングの資料として個々人の運動能力、技能を知る。
- (4) 体育活動における個々人の長所、短所、限界を知る。
- (5) 体育学習における成就の程度を評価するための資料として運動能力、技術能力、及び各種スポーツ技能の程度を知る。
- (6) 有効な運動学習の動機づけとして、個々人の体力、運動能力、技能を知らせる。
- (7) 学習指導法の有効性の評価のための資料として、個々人における学習効果を知る。
- (8) 新しい測定法(テスト)の工夫のための基礎資料を得るために、テストを評価する。

このように、測定によって得られた結果は常に何らかの価値基準に照らして評価が行われなければならないものである。このような評価は、評価者の主観が入ることを避けるように多くの工夫がなされてきている。

第3節 運動パフォーマンスの改善に関する研究

運動パフォーマンスの改善は、“良いパフォーマンス”を学習することにほかならない。学習 (learning) とは、個体が経験を通じて習得的行動を身につけること、生後そのおかれた環境に応じて個体の行動が変容すること²⁴⁾である。この学習に最も重要な概念は、フィードバックである。フィードバックとは“与えられたパターンに動きを合わせようとする時、このパターンと実際の動きとの差は、その差自身を小さくさせるために新しい入力として用いられる”というもので、1948年にWiener⁴²⁾によって定義された。人間は運動を改善する場合、目標とする運動からの偏差を最も少なくするように自分の運動を変化させる。

Robb²³⁾は、フィードバックを情報の時間関係に基づいて、同時的フィードバック (concurrent feedback) と最終的フィードバック (terminal feedback) に分け、さらに、内的フィードバック (internal feedback) と外的フィードバック (external feedback) とに分類している。同時的フィードバックというのは、パフォーマンスと同時に与えられる情報に基づいたフィードバックであり、最終的フィードバックとは完了した反応の結果として生じる情報によるフィードバックである。また内的フィードバックとは、自己受容器からの様々な情報 (筋感覚、圧感覚等) を受け取るフィードバックである。外的フィードバックとは、外部刺激 (光・音・圧等) によって刺激されたそれぞれの感覚器から受け取るフィードバックである。

フィードバックという用語は、結果についての知識 (knowledge of results :KR)、強化 (reinforcement)、報酬 (reward)、動機づけ (motivation)、などと同義として扱われている。古典的な見地において、全ての形のKRが賞あるいは罰と見なされ得るし、報酬をもたらす結果がそれに先立つ行動を保持する機能がある。これはKRの動機的側面を強調する強化理論であり、動物実験にしっかりと基礎をおいている。一般に、内在的 (intrinsic) KRは普通に存在している。例えば、骨格筋組織の運動は常に2群の筋運動、即ち、屈曲と伸展からなる。このような運動が滑らかで効率的に遂行されるためには相反神経支配 (reciprocal innervation)

の系が必要であり、これが筋間のフィードバック・ループを含んでいる。このフィードバックは、反射弓を含んだ基本的なレベルにおいて機能しており、運動の自動制御には不可欠な機能である。これに対して、人工的 (artificial) KR によるより高いレベルでのフィードバックでは、中枢神経系が関与し、外受容器からのフィードバック情報により、課題との差を少なくするように作用する。このような付加的フィードバック・ループは付加的 KR または付加的フィードバック (augmented feedback) と呼ばれる。

Singer²⁷⁾は付加的フィードバックを有効に利用するには、次の点に関して考慮されなければならないとしている

- (1) 課題に本来的に備わっているフィードバックの価値
- (2) 学習者の技能レベル (フィードバックを使うための必要性と能力)
- (3) 情報の冗長性と個人の情報処理能力

基本的な知覚-運動技能におけるフィードバックの重要性は、正常な外受容器のフィードバックがゆがめられたり、あるいは遅らされたりすることにより知ることができる。Stratton^{29, 30)}は網膜像を逆転させるレンズ付きの眼鏡を使用し、フィードバック変換規則のこの簡単な変化が、動きまわるといふ日常的な動作を著しく妨げることがを報告した。このことは身体に備わっている本来的なサーボ機構が、フィードバックに依存していて、我々が自分の行った結果とは無関係に運動出力を生じているのではないことを示している。

第3章 検討すべき問題および用語の定義

第1節 検討すべき問題

1. ファジィ理論を用いた主観的な運動評価の定量化

人間の運動を評価する場合、熟練指導者は蓄積された知識に基づいて、容易に評価することが可能である。しかし、その経験は評価する熟練指導者固有のものであり、蓄積された知識は非常に主観的で、定量化することは困難である。しかし、このような主観的な評価基準が定量化されるならば、個々人に固有な主観的な評価基準を蓄積することが可能となる。この蓄積された知識は、運動パフォーマンスを改善する場合の改善点として非常に重要である。(研究課題 1-1, 研究課題 1-2)

2. 曖昧性を考慮した総合評価システム

人間の運動は非常に多くのパラメータからなっている。そのような運動を改善する場合、全ての点について細かい指摘を行うことは、運動を遂行する人間に混乱を招くことが考えられる。このような状況を避けるために、多変量の合成ということが考えられる。しかし、現在行われているものは、人間の運動の曖昧性を考慮せず、全て確率モデルで行われている。そこで、曖昧な情報の多変量の合成方法が検討されるべきである。(研究課題 2-1, 研究課題 2-2)

3. 曖昧性を考慮した運動パフォーマンス改善システム

総合的な運動パフォーマンスを改善するためのシステムを提案する。これは人間の曖昧性に着目し、運動の評価、言語的指導、改善点の言語的表現、総合評価からなる。研究課題 3-1 において最も重要なことは、どのような点をどれくらい改善すべきであるかを明確にすることである。本研究課題で用いる手法は、熟練指導者の知識の記述にはファジィ推論を、可能性の同定には可能性線形回帰を、総合評価にはファジィ主成分分析をそれぞれもちい、人間の曖昧さを包含した運動パフォーマンス改善シ

システムを構築する。そして非線形でより現実に即したシステムの構築を目指す。(研究課題 3-1)

さらに、この蓄積された監督・コーチなどの経験則を広くコンピュータネットワーク上に公開する方法も検討する。これまで個人個人で閉塞していた、有効な情報を共有し、パフォーマンス改善のための知識データベースとしての利用を図る。(研究課題 3-2)

4. 曖昧性を考慮した運動評価の社会的側面

i) 知的障害者の体力特性

曖昧な評価の社会的有用性を示すために、知的障害者の運動の曖昧性を定量化することを試みた。知的障害者特性を考慮した場合、曖昧さを含んだ体力の分析・評価は、より彼らの実態を示しうるものと考えられる。しかし、曖昧さを含んだ体力の分析・評価は試みられていない。そこで知的障害者の特性と人間に内在する曖昧さを考慮し、ファジィ理論を用いた体力分析・評価の方法を提案し、その有用性を検討した。(研究課題 4-1)

ii) 知的障害者の運動パフォーマンスの向上の可能性

知的障害者の運動パフォーマンスを改善する上で、その向上の可能性を示すことは到達可能な目標を設定するという意味でも意義のあることである。しかし現在まで、運動の曖昧性を用いて向上の可能性に関して検討した研究は見られない。そこで知的障害者の運動パフォーマンスの向上の可能性を定量化することが必要である。(研究課題 4-2)

第 2 節 用語の説明および定義

1. ファジィ理論

ファジィ理論とは、ファジィ集合論、ファジィ論理、ファジィ測度論などの総称である。ファジィ集合論は従来の集合論の拡張、ファジィ論理は従来の論理(2値論理)の拡張、ファジィ測度は従来の確率測度の拡張となっている。ファジィ理論で扱う曖昧さ(fuzziness)とは、いろいろな曖昧さ(不確かさ)の様相の中で、特に人間の言葉や思考に関連する曖昧さであり、確率論で扱う曖昧さとはその様相が異なる。サイコロをふった

時に3に目が出るかどうかという曖昧さは、確率的な意味での曖昧さである。確率的な意味での曖昧さは、試行を何回も重ねることによって厳密な判断基準を下すことができる。例えばサイコロを無限回近く振れば、3の出る目の確率は6分の1であることがわかる。これに対して、「キックがうまい」、や「若い」などの言葉の判断基準は十人十色であり、どんなに実験や試行を繰り返しても厳密な基準を打ち出すことは不可能である。「キックがうまい」や「若い」という言葉は極めて主観的であり流動的である。このような曖昧さを数理的に扱うことができる理論がファジイ理論である。

2. ファジイ集合論

ファジイ集合 (fuzzy set) は、「背の高い人の集まり」や「中年の男性の集まり」などのような従来の集合論では表現できないような曖昧な概念を扱うことができる。これらの表現では「高い」や「中年」が曖昧な表現に当たる。これに対して、「身長175cm以上の人の集まり」や「35才以上45才未満の男性の集まり」などは厳密に定義できる。このような厳密に表現できる集合をファジイ理論では“クリस्प集合 (crisp set)”と呼んで前述のファジイ集合と区別している。

i) クリस्प集合と定義関数

このようなクリस्प集合は図2のような定義関数(特性関数)(characteristic function)で特性づけられている。定義関数の値は、全体集合 X の中の部分集合 A にある要素 x が属していれば1, そうでなければ0を示す。図2に示すように、クリस्प集合では、身長163cmの人と、身長166cm人は、たった3cmしか変わらないのに異なった集合にそれぞれ含まれることになる。

定義関数

全体集合 X 上のクリस्प集合を A とすると、その定義関数 χ_A は、

$$\chi_A: X \rightarrow \{0, 1\}$$

なる写像を使うことによって、次のように定義されている

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases}$$

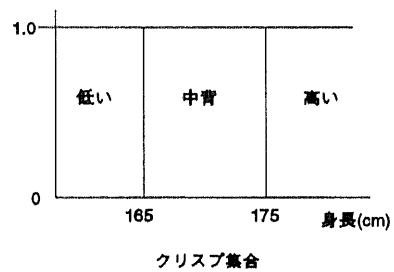


図 2 クリस्प集合の定義関数

ファジィ集合とメンバーシップ関数

全体集合 X 上のファジィ集合(Fuzzy Sets) A とは、

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$$

なるメンバーシップ関数(membership function)

μ_A によって特性づけられた集合である。

ここで、ファジィ集合 A の $\mu_A(x)$ の値を $x \in X$ におけるメンバーシップ値(membership value), またはグレード(grade)とよぶ。メンバーシップ値は要素 x がファジィ集合 A に属する度合いを表している

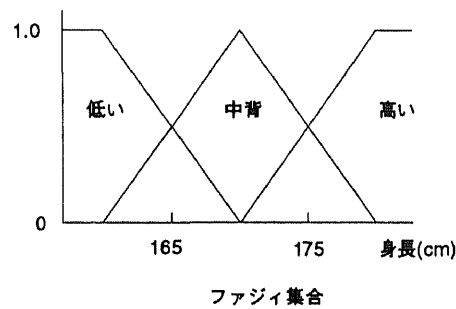


図 3 ファジィ集合とメンバーシップ関数

ii) ファジィ集合とメンバーシップ関数

クリスプ集合が定義関数で特性づけられているのに対して、ファジィ集合はメンバーシップ関数で特性づけられている(図3)。

ファジィ集合はクリスプ集合の拡張と考えることができる。クリスプ集合での定義関数では集合に属していれば1を、属していなければ0を取るというように、2つの値しか取れなかったが、メンバーシップ関数では0から1.0の任意の実数値を取ることができる。 $\mu(x)$ が1に近付けば近づくほど、要素 x はファジィ集合 A に属する度合いが高くなる。図3に示す様に、ファジィ集合では身長163cmの人は、0.3で“中背”に、0.7で“低い”に属し、また身長166cmの人は、“高い”に0.5で、“中背”に0.5でそれぞれ属していることになる。また、ファジィ理論で用いられて

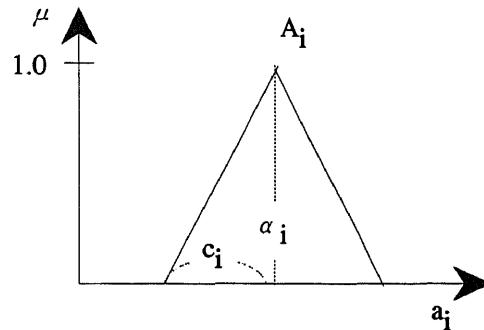


図 4 三角型メンバーシップ関数

いるメンバーシップ関数は多くのものが考案されている³⁴⁾。それらの中で本研究では文献⁴⁸⁾の三角型(図 4) およびπ型(図 5)のメンバーシップ関数を用いる。このメンバーシップ関数は図 5 の 4 つのパラメータによって特徴づけられている。これらのパラメータのうち、 a_s 、 a_z は最大満足(適合度=1.0) 区間を表し、 b_s と b_z はメンバーシップのグレードが 1.0 から 0.5 に低下する区間の長さを表す。また三角型は、π型の a_s と a_z が等しい場合のものでさらに左右が対称なメンバーシップ関数であり中心と幅の 2 つのパラメータで記述できる³³⁾。

3. ファジィ集合の基本演算

- ファジィ集合の和は

$$\mu_{A \cup B} = \mu_A(X) \vee \mu_B(X)$$

であり、max 演算と呼ばれている。

- ファジィ集合の積は

$$\mu_{A \cap B} = \mu_A(X) \wedge \mu_B(X)$$

であり、min 演算と呼ばれている。

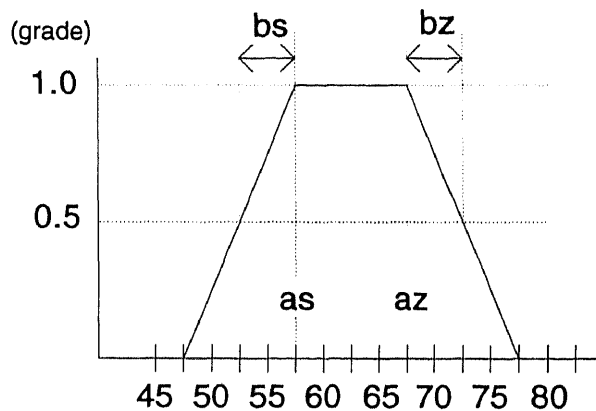


図5 π 型メンバーシップ関数

- ファジィ集合の補は

$$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(X)$$

これらの演算は、ファジィ数の計算やファジィ推論に用いられる。

4. 拡張原理

拡張原理の考え方を図6に示した。 x と y との間に

$$y = 3x + 2$$

という関係があるとき、 $x = 4$ に対する y の値は、

$$y = 3 \times 4 + 2 = 14$$

で計算できる。

ここで、 $x = \text{約}4$ というファジィ集合に対する y の値は、図6に示されるように、計算される。

$$y = 3 \times \text{約}4 + 2 = \text{約}12 + 2 = \text{約}14$$

いま、集合 X から集合 Y への次のような写像を考える。

$$f : X \rightarrow Y$$

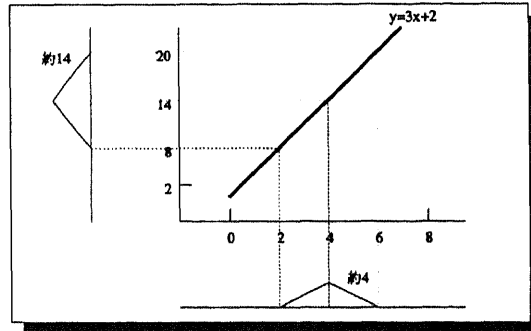


図 6 拡張原理の考え方

このとき, X の部分集合 A に対して

$$f(A) = \{y | y = f(x), x \in A\}$$

を A の f による像 (image) という. $f(A)$ は Y の部分集合になっている. また Y の部分集合に対して.

$$f^{-1}(B) = \{x | f(x) = y, y \in B\}$$

を B の f による逆像 (inverse image) という. このとき, 図 7 に示す方法で, $\mu(y)$ のメンバーシップ値が与えられる.

5. ファジィ推論と簡略化ファジィ推論

i) ファジィ推論

ファジィ推論では, 「気温が高い」といった命題知識の意味がファジィ集合で定義されている. そのため 0.0 から 1.0 の間の値を取るメンバーシップ値に基づき, 各ルールの適合度を求めることができ, この各ルールの適合度を総合し, 妥当な推論結果を得ることができる. すなわち, ファジィ推論では入力があるルールの前件部の命題に完全に一致しなくても, その一致度に依存して後件部の命題がファジィ集合として得られる⁴⁸⁾.

ルール 1: *if x_1 is A_{11} and x_2 is A_{21} then y is B_1*

ルール 2: *if x_1 is A_{12} and x_2 is A_{22} then y is B_2*

拡張原理(extension principle)

写像 $f: X \rightarrow Y$ を拡張して, X におけるファジィ集合 A を Y におけるファジィ集合 B に, 次のように対応づける.

$$\mu_{f(A)}(y) = \begin{cases} \sup_{y=f(x)} \mu_A(x) & f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0 & f^{-1}(y) = \emptyset \end{cases}$$

特に, f が 1対1 の場合には, 次のように簡単に記述できる.

$$\mu_{f(A)}(y) = \mu_A(x)$$

図 7 拡張原理

などのルールに対して, 推論入力,

$$x_1 \text{ is } A'_1 \text{ and } x_2 \text{ is } A'_2$$

を与えることにより, 推論結果,

$$y \text{ is } B'$$

を得ることができる. この推論では

前提 1 「もし, トマトが赤ければ, トマトは熟している。」

前提 2 「このトマトは少し赤い。」

から,

結論 「このトマトはちょっと熟している。」

を得ることができる. これらの推論の実行例を図 8 に示す. ここでは, 推論入力として $x_1 \text{ is } A'_1$ が入力された場合を示している. 前件部の条件としては $x_1 \text{ is } A$ がもともとあり, 少し異なった A' が入力された場合, 通常 max 演算で前件部と入力の一貫度が計算される. その一貫度に従って後件部 (結論) $y \text{ is } A$ の修飾が行われ, B' として出力される.

このような推論の実行にあたっては,

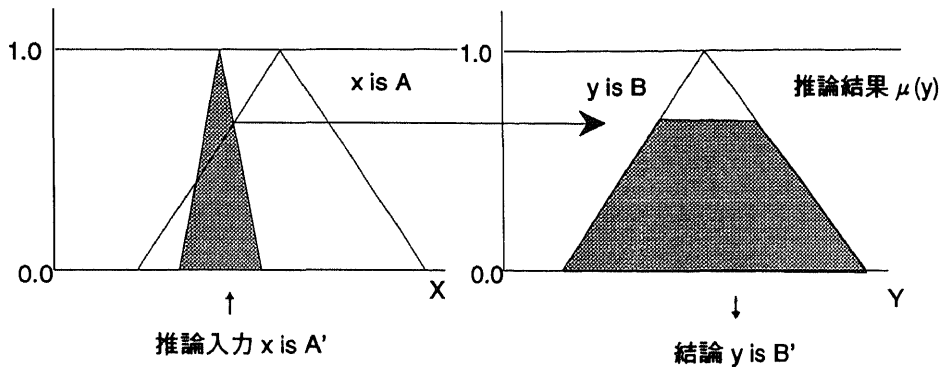


図 8 ファジィ推論の実行例

- (1) If 部の各命題の統合演算方法
- (2) If 部の評価値と then 部の命題との演算方法
- (3) 各ルール結論の統合演算方法

などで、演算方法の選択が可能である。

ii) 簡略化推論法

ファジィ推論の高速化と簡略化を主眼とした推論法である。比較的計算が簡単なこの簡略化推論法を用いる。制御規則の後件部がファジィ集合ではなく、定数で与えられるものである。すなわち、

規則 1 *if* x_1 *is* A_{11} *and* x_2 *is* A_{21} *then* y *is* B_1

規則 2 *if* x_1 *is* A_{12} *and* x_2 *is* A_{22} *then* y *is* B_2

規則 n *if* x_1 *is* A_{1n} *and* x_2 *is* A_{2n} *then* y *is* B_n

という規則があった場合、この $B_i (i = 1 \sim n)$ が実数値であるものである。この時の推論結果は、

$$W_i = \mu_{A_{i1}}(x_1) \times \mu_{A_{i2}}(x_2)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot b_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

として，得られる．簡略化推論法は重心計算をする必要がないので，演算速度が格段に早くなるという利点がある．また，ファジィ推論を制御に適應する場合，最終的にはファジィ集合ではなく単一の値（シングルトンという）が必要となる．このような場合は min-max 合成法⁴⁸⁾などの方法を用いてファジィ集合をシングルトンに変換する．このような過程を“デファジファイ³⁷⁾”と呼ぶ．

6. 可能性線形システム

可能性線形システムとは，係数がメンバーシップ関数である線形システムをいい，次のように表される³³⁾．

$$Y = A_1x_1 + \cdots + A_nx_n$$

ここで， x は通常の数値であり， A_i は三角型メンバーシップ関数である．この三角型メンバーシップ関数 A_i は左右対称なものとし，図 4 のようであり， $A_i(\alpha_i, c_i)$ で表す．このとき， α_i は中心を， c_i は中心からの幅を表す³³⁾．この可能性線形システムで出力 Y を計算する．係数の可能性分布が A_i で与えられたので， Y の可能性分布 $\mu_Y(y)$ は拡張原理⁴⁹⁾ から，

$$\mu_Y(y) = \sup_{\mathbf{a} | y = \mathbf{a}\mathbf{x}} \mu_{A_1}(a_1) \wedge \cdots \wedge \mu_{A_n}(a_n)$$

で表される．ただし， $\mathbf{a} = (a_1, \cdots, a_n)$ であり， $\mathbf{x} = (x_1, \cdots, x_n)^t$ である．三角型メンバーシップ関数 $A_i = (\alpha_i, c_i)$ を求める問題は，以下の線形計画問題に帰着できる．

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{a}, \mathbf{c}} \sum_{j=1}^m c |x_j| &= J(\mathbf{c}) \\ \text{subject to } y_j &\leq \mathbf{a}\mathbf{x}_j + c|x_j| \quad (j = 1, \cdots, m) \\ y_j &\geq \mathbf{a}\mathbf{x}_j - c|x_j| \quad c \geq 0 \end{aligned}$$

7. ファジィ主成分分析

データが曖昧な場合の主成分分析である。ここで用いられるデータは、通常のデータと曖昧なデータの混在が可能であり、結果として得られる総合評価は、データのもっている曖昧性を考慮した、幅をもったものとして表される。いま、上限 (x_r), 中心値 (x_c), 下限 (x_l) の3つのパラメータで表現出来るファジィデータ, \tilde{X} が n 個のデータをもっている p 変数を表している。この時このようなサンプルを以下のように表す。

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{12} & \cdots & \tilde{X}_{1p} \\ \tilde{X}_{21} & \tilde{X}_{22} & \cdots & \tilde{X}_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{X}_{n1} & \tilde{X}_{n2} & \cdots & \tilde{X}_{np} \end{bmatrix}$$

また、データの平均 $\bar{\tilde{X}}$ は、

$$\bar{\tilde{X}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \tilde{X}_{ij}$$

そして、ファジィ分散共分散行列は、

$$V_{ij} = \frac{1}{n} \sum_k \sum_l (\tilde{X}_{ki} - \bar{\tilde{X}}_i)(\tilde{X}_{lj} - \bar{\tilde{X}}_j) \\ (i, j = 1, 2, \dots, p)$$

であらわす。ここで、このような固有値問題は以下のような線形計画問題として解くことができる⁴⁴⁾。

$$\max f_1 = \lambda$$

$$\min f_2 = \bar{\lambda} - \lambda$$

subject to

$$\forall \mathbf{l}_i \subseteq \bar{\lambda} \mathbf{l}_i$$

$$\forall \mathbf{l}_i \supseteq \lambda \mathbf{l}_i$$

$$\lambda \leq \lambda \leq \bar{\lambda}$$

$$(l_i, l_j) = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (i, j = 1, \dots, p)$$

ここで、 λ は固有値の中心値であり、 $\bar{\lambda}$, $\underline{\lambda}$ はそれぞれ固有値の上限と下限を表す、また l は λ の固有ベクトルであり、 f は目的関数である。ファジィ主成分分析では f は、

$$\begin{aligned} \max f_1 &= \lambda \\ \min f_2 &= \bar{\lambda} - \underline{\lambda} \end{aligned}$$

などが採用され解を求めている。

8. エキスパートシステム

エキスパートシステムとは人工知能研究の具体化の一つの方法であり、解析、診断、監視、管理、予測、指示、教育などに適用されている³⁷⁾。エキスパートシステムでは、次の項目が大きな課題として認識されている。

知識の表現方法

知識をいかに記述するか。

知識の利用方法 (推論機構)

知識をいかに組み合わせて利用し、目的を達成する様にするか。

知識の獲得・管理方法

システムを成長させる時に、知識の自動的、あるいは半自動的な取り込みをいかに可能にするか。また知識ベースにおいて、矛盾などを排除して、いかに一貫性を保って管理するか。

ユーザインタフェース

利用、あるいは獲得・管理の局面で、効率的かつ人間的な親しみやすいユーザインタフェースをどう実現するか。

9. デルファイ法

デルファイ法は軍事関係の調査・研究で有名なアメリカのランド研究所で開発された技法である。専門家の頭に蓄えられた過去のデータを上手に引き出し、それらをうまく統合するための方法¹⁵⁾である。

i) 一般的なデルファイ法

- (1) まず専門家を何人か集める (10 人から 20 人ぐらいが適当とされる)。
- (2) ある事象について各人の意見をアンケートなどで集計する (1 回目の集計)。

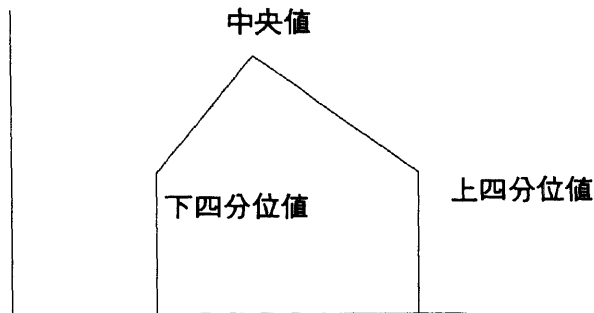


図 9 デルファイ法による専門家の知識の表現

- (3) 集められたデータの中央値，上四分位値，下四分位値を求める。
- (4) 求められた中央値，上四分位値，下四分位値を質問に付加し，再びアンケートを行う (2 回目の集計)。
- (5) 集められたデータの中央値，上四分位値，下四分位値を再び求める。
- (6) 求められた中央値，上四分位値，下四分位値を質問に付加し，再びアンケートを行う (3 回目の集計)。
- (7) 集められたデータの中央値，上四分位値，下四分位値を再び求め，集計を終了する。

ii) データの表現方法

中央値を中心に上四分位値，下四分位値を将棋の駒の様に表現する。高さに意味をもたせる場合もあるが，普通は幅だけが意味をもっている。

第4章 研究の目的と手順

第1節 研究の目的

本研究は、曖昧性を考慮した運動パフォーマンスの評価法を検討し、曖昧性を積極的に利用することの有効性を検証することを目的としている。そしてその具体的方法の一つとして、人間の運動パフォーマンスを改善するための改善支援・総合評価システムを構築する。この目的を達成するために、人間の曖昧性に着目し、4つの研究課題を設定した(第3章第1節)。研究課題1は、人間の運動評価の曖昧さを定量化し、その特性を明らかにする目的をもっている。研究課題2は、運動の曖昧性を考慮した、パフォーマンス改善システムを構築する目的をもっている。そして研究課題3は研究課題1、研究課題2から得られた結果を用いて、実際の改善支援・総合評価システムを構築し、その有効性を検討する目的をもっている。研究課題4は、本研究の社会的な有効性を示す目的をもっている。本研究の曖昧性を積極的に利用することの有効性を検証する目的を検討するのは、研究課題3である。

第2節 研究の手順

本研究の研究手順を、フローチャートとして図10に示した。図10に示すとおり、曖昧性を考慮した運動パフォーマンスの評価法を検討するために、運動パフォーマンスの改善という問題と、体力の評価の問題に分けて検討した。

研究課題1では、専門家の主観的判断を定量化する方法として、ファジィ理論を用いた方法の有効性を示すことを検討した(研究課題1-1)。そして、定量化した主観的な情報を用いて実際に運動を評価し、本手法の有効性を検討した(研究課題1-2)。

研究課題2では、可能性線形回帰分析をもちいて目標パフォーマンスの向上可能性を定量化することを目的とした(研究課題2-1)。また全体評価の指標としてファジィ主成分分析を定式化し、曖昧な情報を含む場合の総合評価の方法を検討した(研究課題2-2)。

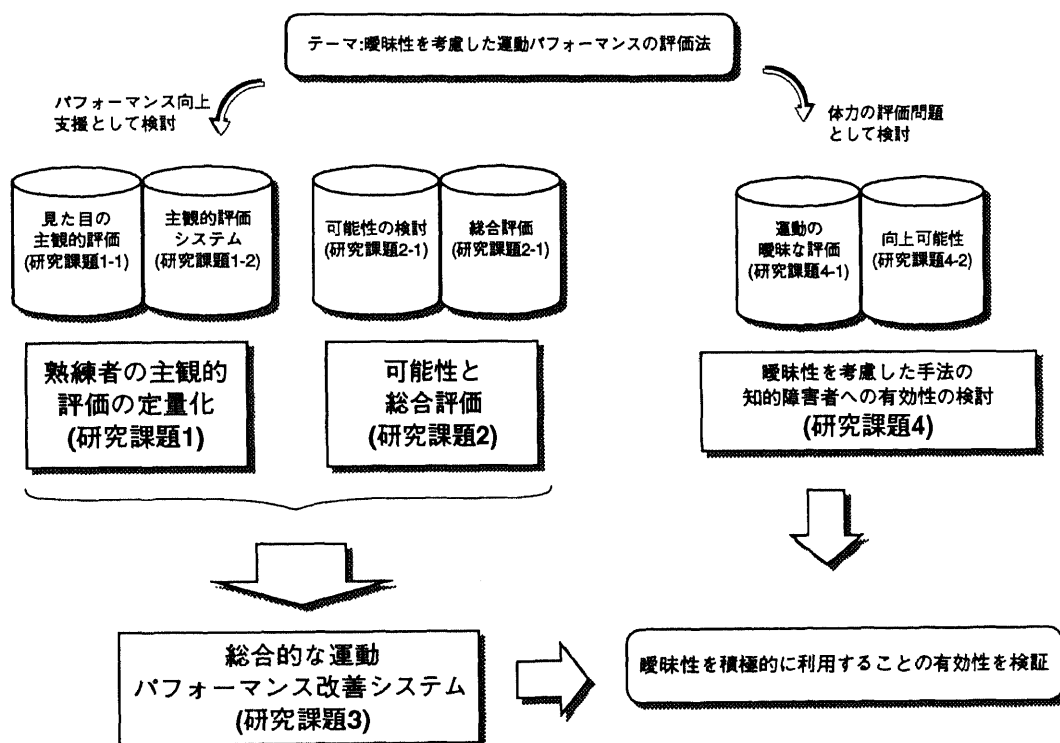


図 10 研究手順

研究課題 3では、総合的な運動パフォーマンスを改善するための、改善支援・総合評価システムを提案する。これは人間の曖昧性に着目し、運動の評価、言語的指導、改善点の言語的表現、総合評価からなる(研究課題 3-1)。さらに改善支援・総合評価のための高度な知識をコンピュータネットワーク上に公開する方法を考案する。これによって、熟練指導者の高度な評価知識や経験則の共有を図る方法を検討する(研究課題 3-2)。

研究課題 4では、曖昧性を考慮した評価法を体力の評価問題として検討した。このために、知的障害者の体力を分析し、分布によらない評価が可能であることを示した(研究課題 4-1)。そして可能性線形回帰分析という手法を用いて、知的障害者に具体的な到達目標を設定する方法を検討した(研究課題 4-2)。

以上 4 つの研究課題から、人間の曖昧性を積極的に利用した評価・改善モデルを検討し、確率モデルでは達成できない、現実性をもった総合評価・改善システムの構築を目指す。

第5章 ファジィ理論をもちいた主観的な運動評価の定量化 (研究課題 1-1)

第1節 はじめに

人間の運動パフォーマンスを評価する場合、熟練指導者は蓄積された知識に基づいて、容易に評価することが可能である。しかし、その経験は評価する熟練指導者固有のものであり、蓄積された知識は非常に主観的で、定量化することは困難である。しかし、このような主観的な評価基準が定量化されるならば、個々人に固有な主観的評価基準を蓄積することが可能となる。この蓄積された知識は、運動パフォーマンスを改善する場合のポイントとして非常に重要である。そこで、本研究課題では、専門家の知識をファジィ理論のメンバーシップ関数をもちいて定量的に表現する方法を示すことを目的とする。

第2節 方法

1. 被験者および対象動作

3人のサッカーコーチ(サッカー経験年数14年以上)。対象動作はサッカーのインステップキックとした。主観的評価基準を定量化するために、実際にキックしているビデオ画像をもちいた。このビデオ画像は上級者から初心者までの30本分のキックのビデオである。

2. π 型メンバーシップ関数

本研究課題では、 π 型のメンバーシップ関数⁴⁸⁾をもちいる。これは人間の評価が厳密に“何度だから足首が伸びていない”などと厳密に定義できないからである。この π 型のメンバーシップ関数は図11のようにas(台形の上底の左端の点)、az(台形の上底の右端の点)、bs(左側でメンバーシップ関数のグレードが0.5まで下がる区間)、bz(右側でメンバーシップ関数のグレードが0.5まで下がる区間)の4つのパラメータで記述できる。as、

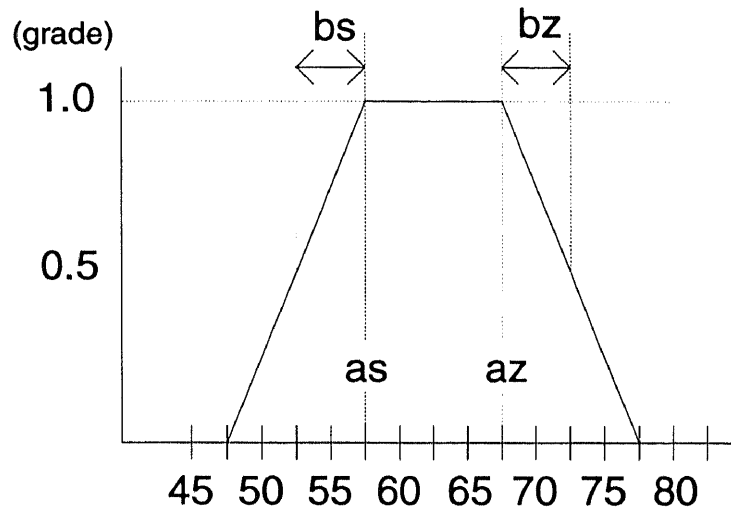


図 11 π 型メンバーシップ関数の例

az 間はメンバーシップ関数のグレードが 1.0 であり、最も適合していることを表す。また bs, bz はメンバーシップ関数のグレードが 0.5 までの区間であり、この部分が人間の評価の曖昧さを表現しているといえる。

3. 主観的評価の定量化の方法

試技者が実際にキックしているビデオ画像をもちいて、左右つま先点、左右足首点、左右大転子点、左右肩峰点、左右肘点、左右手首点、頭頂点の 13 点と、ボールの中心、ボールの前後 50cm の地面に置いたマーク 2 点を計測点として合計 15 点をもちいてデジタル化を行った。この分析結果と前節のアンケート調査から主観的評価と実際の動作とをファジ理論のメンバーシップ関数をもちいて対応づけ、主観的評価の定量化を行う。

第 3 節 結果

1. 主観的評価

アンケート調査からの主観的評価を整理すると

- (1) 踏み込みが浅い
- (2) バックスイングが足りない
- (3) からだが前傾していない
- (4) 蹴り足の足首が伸びていない

という主観的評価が抽出できた。これらはアンケートの中で2人のコーチに指摘されているものを採用した。

2. 主観的評価と動作の対応

曖昧な主観的データを定量化するにはファジィ理論のメンバーシップ関数をもちいた。主観的評価を実際の動作と対応させるとそれぞれ、

- (1) 踏み込みが浅い⇒ 踏み込み位置 (cm)
- (2) バックスイングが足りない⇒ 振り角 (度)
- (3) からだが前傾していない⇒ 上体角 (度)
- (4) 蹴り足の足首が伸びていない⇒ 足首角 (度)

で代表できるとし、主観的データの定量化のパラメータとした。これらのパラメータを図12および図13に示した。しかしこれらの位置や角度は曖昧で、“何cm”や“何度”と確定できるものではない。そこで、コーチ3人に指摘されたビデオ画像から各パラメータ(踏み込み位置、振り角、足首角)の最大値と最小値を求め、 π 型のメンバーシップ関数の上底とした。そしてメンバーシップ関数の下底は上底を左右に1.5倍ずつ広げ、全体として4倍となるようにした。これらのメンバーシップ関数を図14に示した。

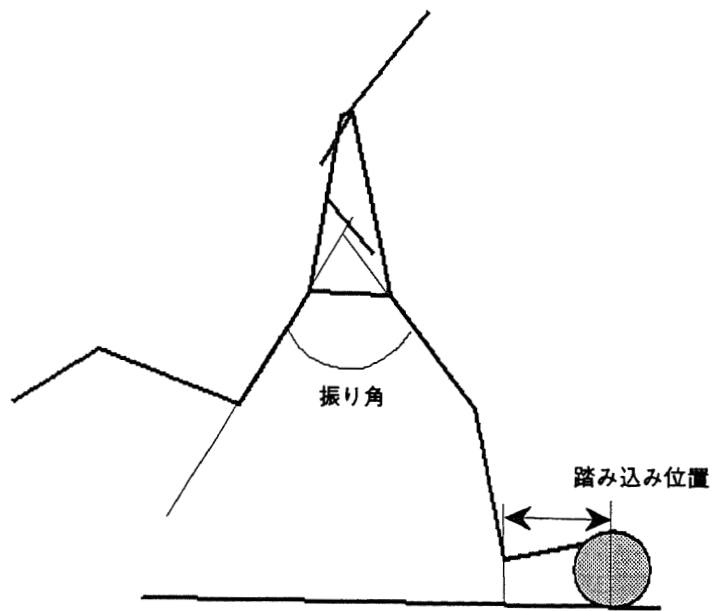


図 12 定量化のパラメータ 1

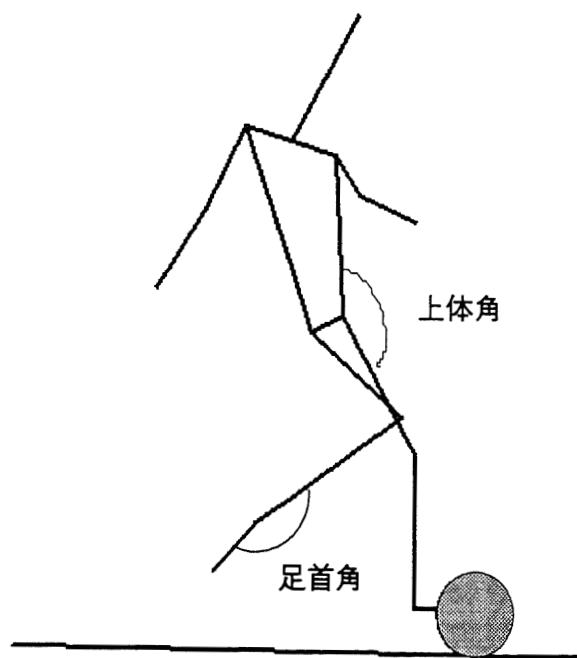


図 13 定量化のパラメータ 2

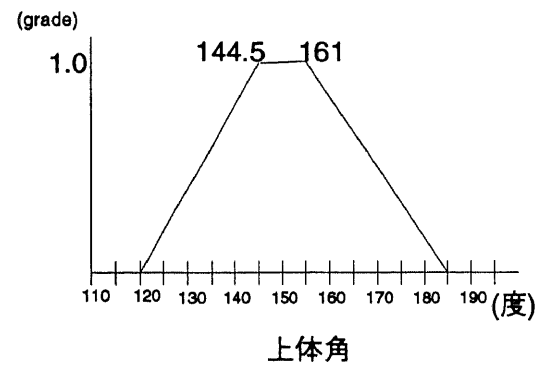
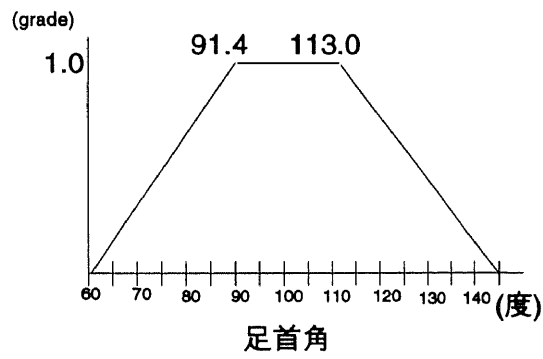
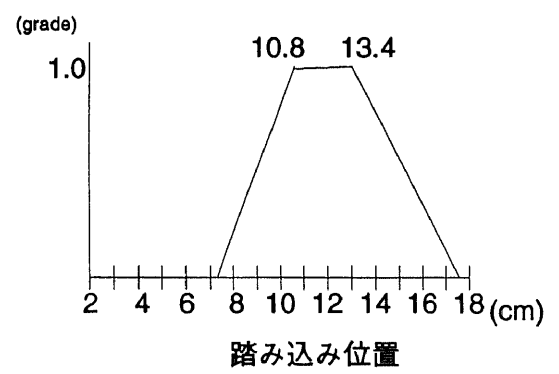
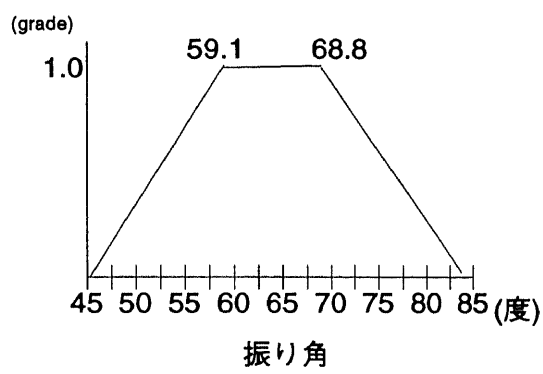


図 14 メンバーシップ関数

各メンバーシップ関数では、台形の形の斜めの部分が最も重要であると考えられている⁴⁸⁾。それはこの部分が人間の“曖昧さ”を表現しているからである。さらにこの部分のメンバーシップのグレードが0.5になる部分が重要であるとされる。このグレードが1.0から0.5までの区間がデファジファイを行った時に、影響を残す部分であり、最終的に評価として最も重要な部分を表している。

それぞれ具体的に示すと、足の振り上げ角度で59.1度から68.8度の間が“バックスイングが足りない”という主観的評価と対応していることが示された。また、踏み込み位置にして10.8cmから13.4cmまでの間でボールから離れていれば“踏み込みが浅い”と評価されることが示された。またキックにおいて重要視されている足首の角度においても、91.4度から113.0度までで“伸びていない”という評価に当てはまり、上体の前傾は114.5度から161.0度までで前傾していないと評価されることが示された。本研究課題では初めて、サッカーにおけるキック動作の評価の曖昧さを定量化し、主観的評価の蓄積と利用のための準備を整えるという意味で意義があると考えられる。

第4節 小括

本研究課題では、専門家の主観的評価をファジィ理論をもちいて表現することを目的とした。特にメンバーシップ関数を実際の動作と対応させ設定した。このメンバーシップ関数はグレードが0.5までの区間で人間の主観を表しているといえ、今後の研究課題での曖昧性の取り扱いの基礎とすることができる。そしてメンバーシップ関数をもちいると、人間の知識を“曖昧性”を含んだまま数値的に表現することが可能となる。また人間の知識は曖昧な場合が多く、メンバーシップ関数がこのような知識の表現に適していることが示された。本研究課題は次の研究課題1-2のために必要な研究課題であり、本研究課題によって示されたメンバーシップ関数の設定方法は本研究の基礎的部分をなしているといえる。まとめると、

- (1) 専門家がもっている知識をメンバーシップ関数をもちいて表現することができた。
- (2) 曖昧な情報の取り扱いが可能であった。

(3) 人間の知識を“曖昧性”を含んだまま数值的に表現することが可能
となった。

となる。

第6章 曖昧性を考慮した評価システム (研究課題 1-2)

第1節 はじめに

運動パフォーマンスは“その運動にかかわる動作を含む成果”であると定義されており¹¹⁾、この運動パフォーマンスを総合的に評価することは現状を改善するためにも重要なことである。現在、運動パフォーマンスは二つの面から評価されている。一つは体力面からの評価で、各体力要素(筋力、筋持久力、敏捷性、平衡性、瞬発力、全身持久性等)を個々に測定し、その合計得点や標準化した合成変量をもって評価されている²⁶⁾。もう一つは、技術面からの評価で、スキルテストによって評価されている¹⁾。しかし、総合的な運動パフォーマンスは、体力要素の測定値やスキルテストの得点などの物理的指標を基に監督やコーチの経験則に従って評価されており、人間の主観的判断が重要である。これは、運動パフォーマンスを評価するということが厳密な数値を用いた指標よりも監督やコーチの主観的な判断に頼っているからである。この原因として(1)人間の機能や行動は非常に複雑であるので、厳密に記述しようとすればするほど現実性を失ってしまう。(2)人間の機能や行動には本来的に曖昧さが存在するという点が考えられる。

そこで本研究課題では、人間の運動パフォーマンスを多面的にとらえ、人間の経験則に従った運動パフォーマンスの外見上の良否の評価を行うシステムを構築することを目的とする。その実現方法としては、人間の曖昧さを処理するために、ファジィ推論を用いる。対象とする運動はペナルティ・スポット(ペナルティエリア内のペナルティキックをけるポイント)からの正確なシュートでキック動作としてはインステップキックに分類されるものである。このキックの特徴としては正確で、最も力強いシュートが打てるということである。このインステップキックはキックの基本であり、またサッカーの研究の中で最も多く取り上げられており、その重要性が指摘されているからである¹⁾。本研究課題では、人間の主観的判断に基づいた評価を行うシステムを構築する。

第2節 運動パフォーマンスの改善

1. 熟練パフォーマンスの特徴

運動パフォーマンスが改善される場合、以下の点について、熟練者のパフォーマンスに近付いて行くことが示されている⁴⁾。熟練者のパフォーマンスの特徴は、

- i) 動作の柔軟性あるいは適応力がある
- ii) 動作の協応能力がある
- iii) タイミングが良い
- iv) 動作の系列的知識がある
- v) 近い将来のできごとが見越せる
- vi) 動作のスムーズさが見られる
- vii) 単なる部分動作の熟練だけでなく連続し、並行する操作を一つのまとまりで把握できる
- viii) 動作の冗長性が高い
- ix) 動作の自動化が生じている (注意と緊張の減少)

とされている。これらの点のうち、本研究課題では、i), ii), iii), vi), viii), ix) の点に着目し、運動パフォーマンスの熟練度を評価する。これは、iv) は外見上判断が困難であるために、また v) は更に高度なチームプレーなどで重要な特徴であるので、キック動作においては必要がなく、また vii) は連続し並行する操作を一つのまとまりで把握という点が、どのような構成要素をもっているか定義困難であったため用いなかった。

2. 運動パフォーマンスの改善モデル

運動パフォーマンスの改善が、上述の熟練者のパフォーマンスとの偏差を少なくするように行われるとするならば、運動パフォーマンスの改善モデルは図 15 の様に表すことが可能である。このシステムにおいて、熟練指導者は運動の試技者の動作に対して、上述の各点について主観的に評価し、どの点が改善すべき点であるかを判断する。

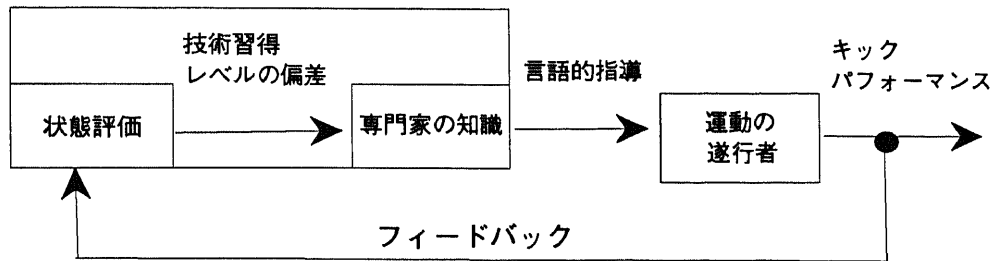


図 15 運動パフォーマンスの改善モデル

この判断は熟練指導者の脳内に記憶されている感覚量の基準となる尺度を表していると考えられる。本研究課題では、このような熟練指導者が確立している判断基準をコンピュータ上にファジィ理論を用いて表現し、運動パフォーマンスを評価する。これによって、熟練指導者の評価を表現することを目指す。また人間の本来の曖昧さをファジィ理論によって処理し、より現実に即した評価システムを目指す。

第3節 ファジィ推論を用いた運動パフォーマンスの評価方法

1. ファジィルールデータベースの構築

研究課題 1-1 の方法を用いて、主観的評価を定量化しファジィルールデータベースを構築した。この主観的評価を経験則として整理すると、

- (1) もし踏み込みが浅ければ、もう少し踏み込ませる
- (2) もしバックスイングが足りなければ、バックスイングを大きく取らせる
- (3) もし蹴り足の足首が伸びていなければ、伸ばさせる

また体力要素のパラメータとしては、

- (4) もし力強くなければ、筋力を増加させる

(5) もしバランスが悪ければ、立ち足を安定させる

というルールが抽出できた。このルールはまだ抽象的なものである。研究課題 1-1 で示されたメンバーシップ関数の設定方法を用いて、“踏み込みが浅い”や“バックスイングが足りない”などの曖昧な表現をメンバーシップ関数として定義する。これは事前にエキスパートにサッカーのキックのビデオを評価してもらいファジイルールデータベースとして蓄積したものをもちいる。

2. システム構成

本研究課題におけるファジィ評価システムの構成を図 16 に示した。ファジィ評価システムは、運動の遂行者が実際にキックしているビデオ画像を入力とする。デジタイジングポイントは左右つま先点、左右足首点、左右大転子点、左右肩峰点、左右肘点、左右手首点、頭頂点の 13 点と、ボールの中心、ボールの前後 50cm の地面に置いたマーク 2 点の合計 15 点であった。

ファジイルールデータベースは、前述の経験則を IF-THEN ルールに変換しデータベース化した。このときにフォームのパラメータを更に下位の入力変数 ($X1 \sim X5$) に分けて記述した。これらを図 17 に示した。入力変数はそれぞれ、 $X1$ (振り角)、 $X2$ (踏み込み位置)、 $X3$ (足首角)、 $X4$ (上体角)、 $X5$ (踏み込み幅)とした。これらの入力変数のメンバーシップ関数は図 18 に示した。それぞれのメンバーシップ関数は、コーチ 3 人にインステップキックのビデオ 30 本分(初級者から上級者まで)を見てもらい、指摘された点(例えば、「踏み込みが浅い」と判断されたビデオ画像)から各変数の最大値と最小値を求め、 π 型のメンバーシップ関数の上底とした。そしてメンバーシップ関数の下底は上底を左右に 1.5 倍ずつ広げ、全体として 4 倍となるようにした。

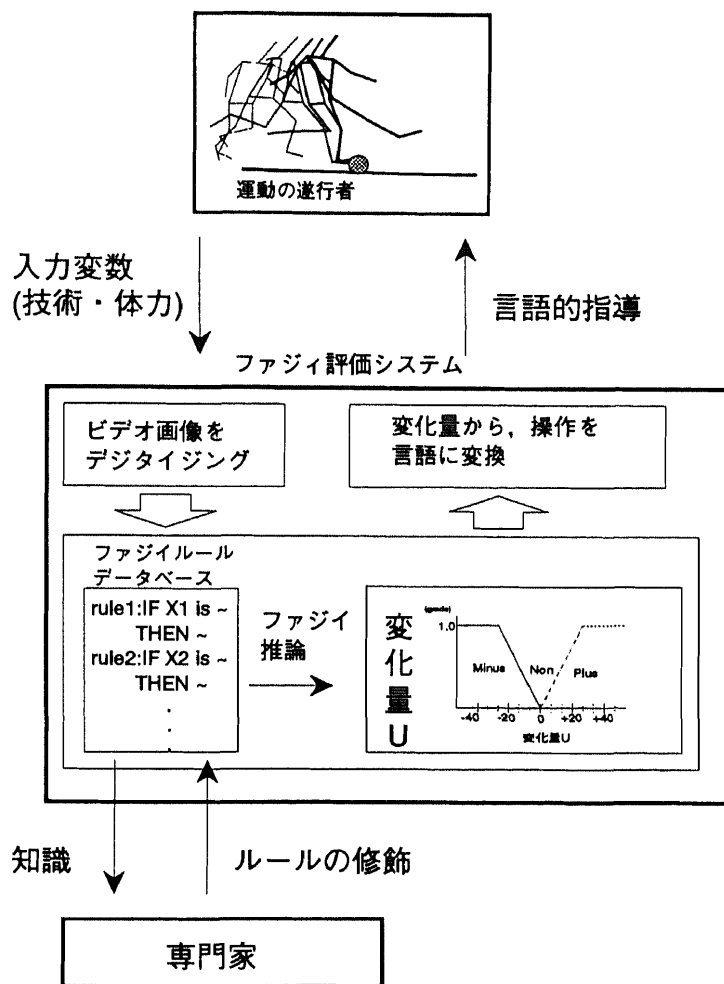


図 16 システム構成

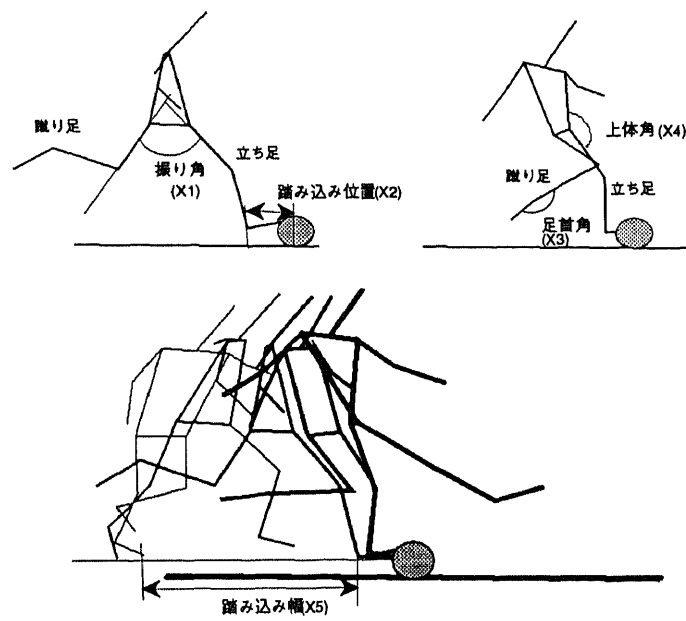


図 17 フォームの入力変数

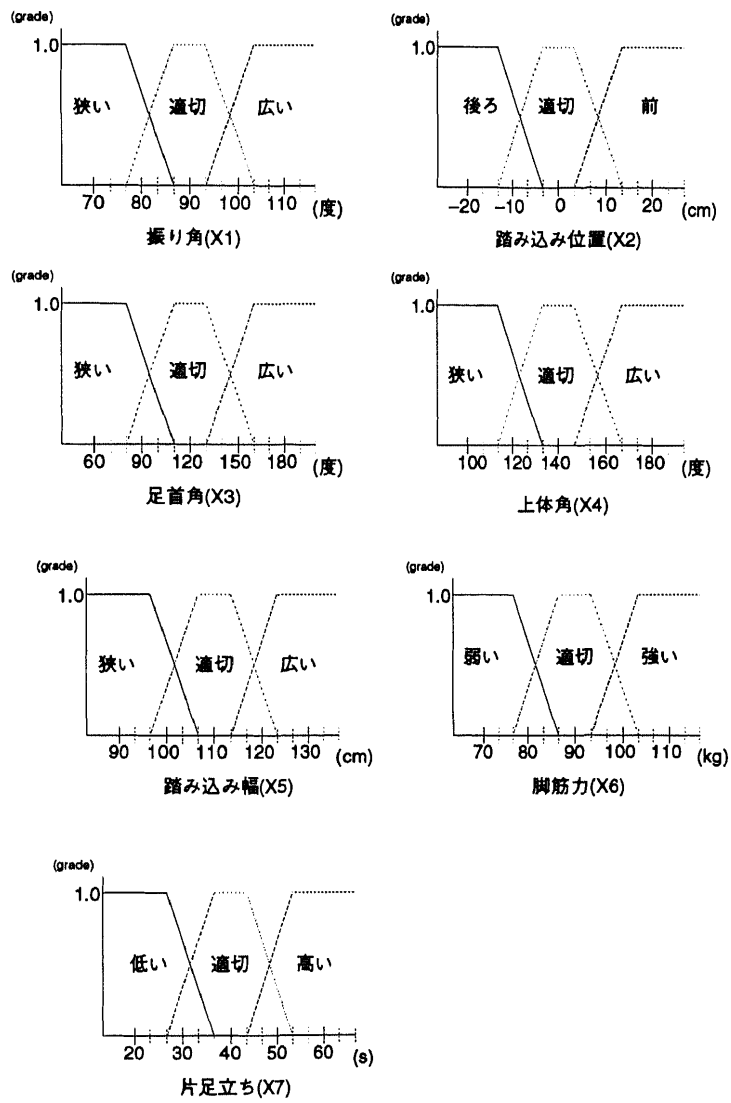


図 18 入力変数のメンバーシップ関数

また、体力要素のパラメータは、脚筋力、バランス能力で代表されるとし、体力要素の入力変数を、 X_6 (蹴り足の脚伸展筋力)と X_7 (立ち足の閉眼片足立ち能力)とした。

$X_1 \sim X_7$ の変数を用いて、経験則のファジィルール化を行うと以下のようなになる。これらのルールには全て、初期設定として

ルール IF 変数 is 適切
THEN 指示しない

のルールをもっているものである。これは入力値が適切であった場合、操作が何も必要でないことを示している。

ルール 1: IF X_5 is 狭い and X_2 is 後ろ
THEN X_5 is 増やす and X_2 is 増やす

ルール 2: IF X_1 is 狭い and X_4 is 広い
THEN X_1 is 増やす and X_4 is 減らす

ルール 3: IF X_3 is 狭い
THEN X_3 is 増やす

ルール 4: IF X_6 is 弱い
THEN X_6 is 増やす

ルール 5: IF X_7 is 低い
THEN X_7 is 増やす

後件部の“増やす”および“減らす”は“その変数の値を増やす”または“その変数の値を減らす”に対応するメンバーシップ関数である。これを操作量 U と定義し図 19 に示した。これは最大で $\pm 30\%$ の変化を変数に与えるものである。また、 $\mu(\text{指示しない}) = 1.0$ である時の操作量は $\pm 0.0\%$ である。ここでもちいるファジィ推論は第 3 章第 2 節の 5. の ii) で説明した、簡略化推論法をもちいる。そのため操作量 U はシングルトン (通常の数値) となっている。

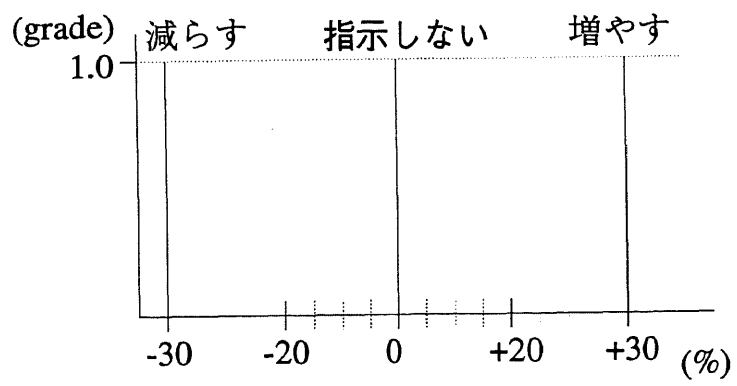


図 19 操作量 U

第4節 結果

1. キックパフォーマンスの評価

評価例として、A(サッカー歴なし)、B(サッカー歴13年)を被験者とし、本システムを用いてキックパフォーマンスを評価した。ファジィ推論は簡略化推論法を用いた。A、BのX1~X7までの測定値と簡略化推論法による改善指示は表1に示した。

ここでの操作量Uのファジィ集合“増やす”またはファジィ集合“減らす”への適合度は“良いパフォーマンス”からの偏差を表していると考えられる。そこでこのUの操作量の絶対値の総和が全体評価の指標となると考えられる。これを変数の個数と、Uの取り得る最大の絶対値で標準化したものをパフォーマンス指標Dとして以下の式で定義する。

$$D = \frac{1}{\max(|U|)} \sum_{i=1}^n \frac{|U_i|}{n}$$

このパフォーマンス指標Dは、パフォーマンスの評価の指標として用いることが可能である。この指標Dは1.0に近ければ近いほどパフォーマンスが悪く、改善点が多いことを示している。上述の被験者2名のパフォーマンス指標Dの値を比較すると、Aは0.71、Bは0.39であった。また各被験者の操作量Uの値から、Aはすべての項目について改善が必要であるが、脚筋力やバランス能力は十分であるということが分析できる。それに対して、Bは脚筋力とバランス能力が欠けてはいるが、全体としてのパフォーマンスはかなり良いという結果を導くことができる。

2. 言語的指導

人間の主観的評価は、最大平均主観エントロピー⁹⁾の計算により、3~5のカテゴリーに分けるのが良いとされている。本研究課題では正の方向と負の方向に3つずつのカテゴリーを設定した。すなわち正の方向には“非常に大きく”、“大きく”、“少し大きく”、また負の方向には“非常に小さく”、“小さく”、“少し小さく”の6つを選んだ。そしてメンバーシップ関数が“増やす”の場合、0.0~0.3は“少し大きく”、0.3~0.7は“大きく”、0.7~1.0は“非常に大きく”に、またメンバーシップ関数が“減らす”の場合は、0.0~0.3は“少し小さく”、0.3~0.7は“小さく”、0.7~1.0は“非常に小さく”に対応させ、言語的指導に変換し出力した

表 1 実測値と操作指示量

| 入力変数 | A | | B | |
|---------|-------|--------|-------|--------|
| | 実測値 | 操作指示量 | 実測値 | 操作指示量 |
| X1(deg) | 59.2 | +30.0% | 83.2 | +15.0% |
| X2(cm) | -13.0 | +30.0% | 1.0 | +0.0% |
| X3(deg) | 91.4 | +21.0% | 177.3 | +0.0% |
| X4(deg) | 161.8 | -21.0% | 155.1 | -0.6% |
| X5(cm) | 103.0 | +18.0% | 113.0 | +0.0% |
| X6(kg) | 81.0 | +15.0% | 75.0 | +30.0% |
| X7(s) | 31.5 | +15.0% | 10.0 | +30.0% |

| 被験者A | 被験者B |
|---|---|
| 振り角を非常に大きくし、 踏み込み位置を非常に近くし 足首角を大きくし 上体角を小さくし 踏み込み幅を大きくし、 筋力を少し大きくし、 バランス能力を少し高くしない。 | 振り角を大きくし、 上体角をすこし小さくし、 筋力を非常に大きくし、 バランス能力を非常に高く しなさい。 |

図 20 システムの出力

| 被験者A | 被験者B |
|---|---|
| <p>振り幅が少ない 足首を伸ばして固定 蹴る足をもう少しバック スイングした方が良い 体の前傾を深く</p> | <p>もう少し前傾を深く 踏み込みが浅い バランス悪い</p> |

図 21 熟練指導者の指示

第5節 小括

本研究課題では、運動パフォーマンスの評価方法として、熟練者の評価方法を考慮に入れて、ファジィ推論を用いた方法を提案した。運動パフォーマンスの評価パラメータとしては、フォームに対して振り角、踏み込み位置、足首角、上体角、踏み込み幅を選択し、運動能力に対するパラメータとしては脚伸展筋力及び閉眼片足立ちの時間を用いた。定量的に測定したこれらの値を用いて運動パフォーマンスを評価した結果、熟練者が行っているのと同様な評価が可能であった。更にファジィ推論を用いて評価を行っているので、フォームが多少変動してもその変動を吸収し、再現性の高い評価を行うことが可能であった。また、本研究課題で用いられた手法で運動パフォーマンスを評価するための熟練者の知識の蓄積が可能であることが示された。更に実用化を測るために、今後の課題としては

- (1) 実際にこのシステムを用いて、運動パフォーマンスを改善する。
- (2) 3次元の運動を評価できるように拡張する。
- (3) 更に高度なチームプレーの評価に適用する。
- (4) 他の多様な競技や未熟な選手にも応用できるか検討する。

などが考えられる。

第7章 運動パフォーマンスの向上の可能性 (研究課題 2-1)

第1節 目的

問題解決の重要な特徴には、目標が必要であるという点が示されている¹³⁾。この点からパフォーマンスを改善する上で、到達可能な具体的な目標を設定することは、非常に重要であるといえる。これは、様々な運動パフォーマンスの向上にも当てはまるといえる。本研究課題では運動パフォーマンスを剣道の素振り動作(面打ち)の剣先の打突速度とする。これは剣先のスピードが剣道のパフォーマンスに大きなウエイトを占めるからである。本研究課題では剣道の打突速度の向上の可能性を、上体の上下動、移動距離から推定する方法を可能性線形回帰分析を用いて定式化することを目的とする。

第2節 方法

1. 測定項目

打突速度を推定するために、以下の測定項目を採用した。

- (1) 大転子の平均高(左右大転子位置の平均値)
- (2) 右足の移動距離
- (3) 上体角の最大値
- (4) 上体角の最小値
- (5) 剣先の打突速度

これらの測定項目は3次元動作解析装置をもちいて測定した。

2. 可能性線形システムの適用

可能性線形システムとは、係数がファジィ数である線形システムをいい、次のように表される。

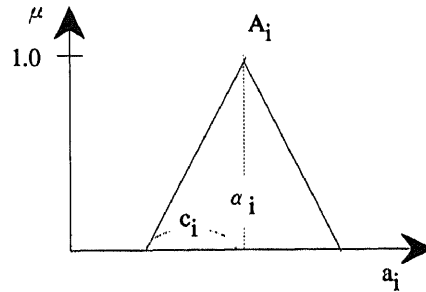


図 22 対称なファジィ数

$$Y_j = A_1 x_{j1} + \cdots + A_n x_{jn}$$

ここで、 x_j は通常の数値であり、 A_i はファジィ数である。このファジィ数 A_i は左右対称なものとし、図 22 のようであり、 $A_i(\alpha_i, c_i)$ で表す。 α_i は中心を、 c_i は中心からの幅を表す³³⁾。このとき、 Y_j は、

$$Y_j = (\alpha X_j, C|X_j|)$$

で求めることができる。ただし、 $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ であり、 $X = (x_1, \dots, x_n)^t$ である。また、 $C = (c_1, \dots, c_n)$ であり、 $|X| = (|x_1|, \dots, |x_n|)^t$ である。この様な可能性線形回帰分析の問題は次のように定式化される。

- (1) 可能性線形モデルによる推定区間 Y_j の中に、与えられた出力 y_j が存在する。

$$\begin{cases} y_j \in Y_j \\ (j = 1, \dots, m) \end{cases} \iff \begin{cases} y_j \leq \alpha x_j + c|x_j| \\ y_j \geq \alpha x_j - c|x_j| \end{cases}$$

- (2) 推定区間 Y の幅の合計を最小にする。すなわち

$$\min_{\alpha, c} \sum_{j=1}^m c|x_j|$$

この可能性線形システムで区間係数 $A_i(\alpha_i, c_i)$ を求める問題は (1) の拘束条件の元に (2) の目的関数を最小にする、すなわち線形計画問題に帰着して解くことができる。

表 2 被験者の基礎データ

| | 平均±SD |
|----------|--------------|
| 年齢 | 25.0 ± 2.83 |
| 身長 (cm) | 167.0 ± 4.32 |
| 体重 (kg) | 72.2 ± 10.18 |
| 上肢長 (cm) | 70.2 ± 2.66 |
| 経験年数 (年) | 7.7 ± 7.63 |
| 段位 (段) | 2.2 ± 1.95 |

3. 被験者

被験者は、筑波大学の大学院生、および学生 6 名である。被験者の基礎データを表 2 に示した。

4. 推定モデル

本研究課題で用いる推定モデルは、以下のモデルとした。

$$Y = A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 + A_4x_4$$

ここで、 x_1 は上下動、 x_2 は移動距離、 x_3 は最大上体角、 x_4 は最小上体角である。

第 3 節 結果

各測定値の平均値と標準偏差を表 3 に示した。

1. 推定式

前述の線形計画問題を解いて、被験者一人一人についてファジィ係数を求めた。これらのファジィ数は図 22 に示されるとおり、 α_i (中心) と c_i (中心からの幅) の二つのパラメータで表現できる³³⁾。推定式を以下に示す。

$$Y_1 = (14.144, 2.247)x_2 + (46.506, 0)x_3$$

$$Y_2 = (4.42, 1.73)x_2 + (60.97, 0)x_4$$

表 3 平均値と標準偏差

| 測定項目 | 平均値±標準偏差 |
|----------------|------------------|
| 上下動 (mm) | 171.9 ± 70.9 |
| 移動距離 (mm) | 526.9 ± 123.6 |
| 最大上体角 (degree) | 170.3 ± 5.3 |
| 最小上体角 (degree) | 153.8 ± 8.0 |
| 打突速度 (mm/s) | 12893.6 ± 2326.6 |

$$Y_3 = (101.49, 0)x_3 + (0, 6.86)x_2$$

$$Y_4 = (5.541, 0)x_1 + (66.97, 17.64)x_3$$

$$Y_5 = (71.54, 0)x_3 + (0, 18.74)x_4$$

$$Y_6 = (69.83, 15.82)x_3$$

これらの推定式は、 $\alpha_i > 0$ という拘束条件を用いているので、0である係数が見られる。求められた推定式から得られた推定区間を図 23, 図 24, 図 25, 図 26, 図 27および図 28に示す。

これらの図は測定セット毎にまとめてある。そのため各人毎5本ずつの推定区間が求められている。

第 4 節 考察

1. 可能性の推定とその妥当性

前章で求められた推定区間のうち、最も大きい値をパフォーマンスの”向上の可能性”と定義する。可能性線形回帰分析では求められた推定区間全てが、実現値としての可能性を有する³³⁾ので、推定区間の最小値を実現可能な目標値として設定することは具体的な目標の設定という意味で意義があると考えられる。そして個人個人について、打突速度の向上の可能性を検討する。可能性線形回帰を用いることによって、個々人のデータのばらつきを考慮して向上の可能性を推定することができる。この向上の可能性は研究課題 4-1 によって、重回帰分析より良好な推定が行われることが示されており、具体的な目標として十分利用可能であると考えられる。

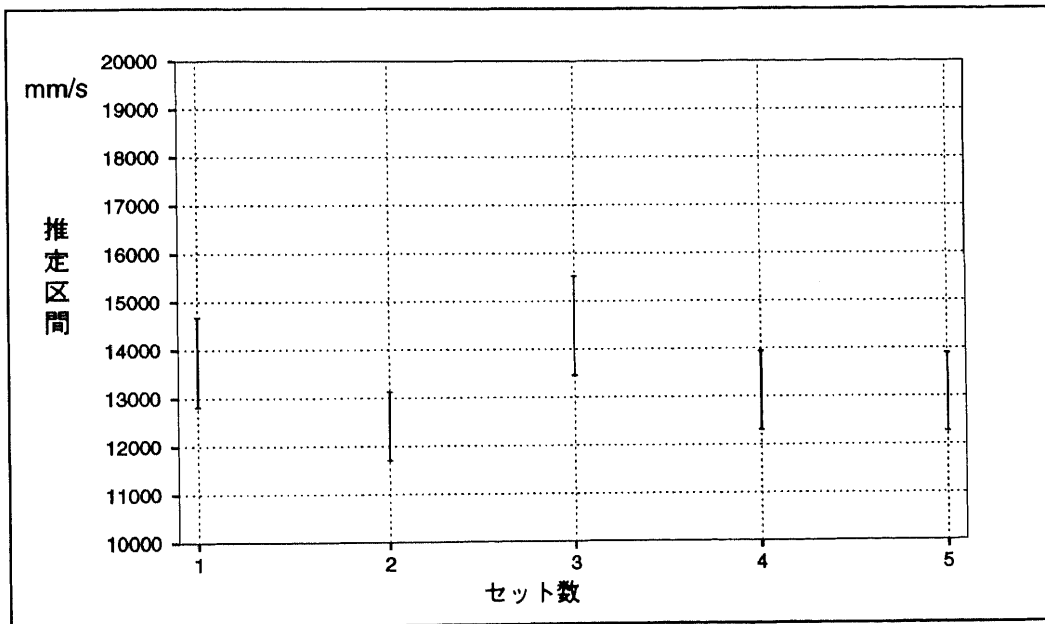


図 23 打突速度の推定区間 (被験者 1)

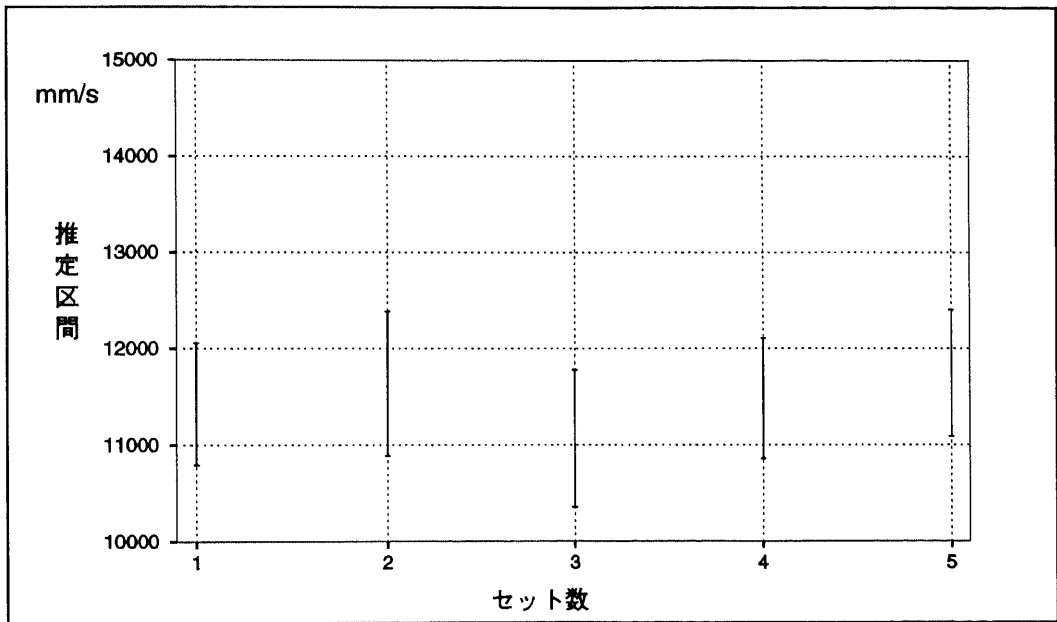


図 24 打突速度の推定区間 (被験者 2)

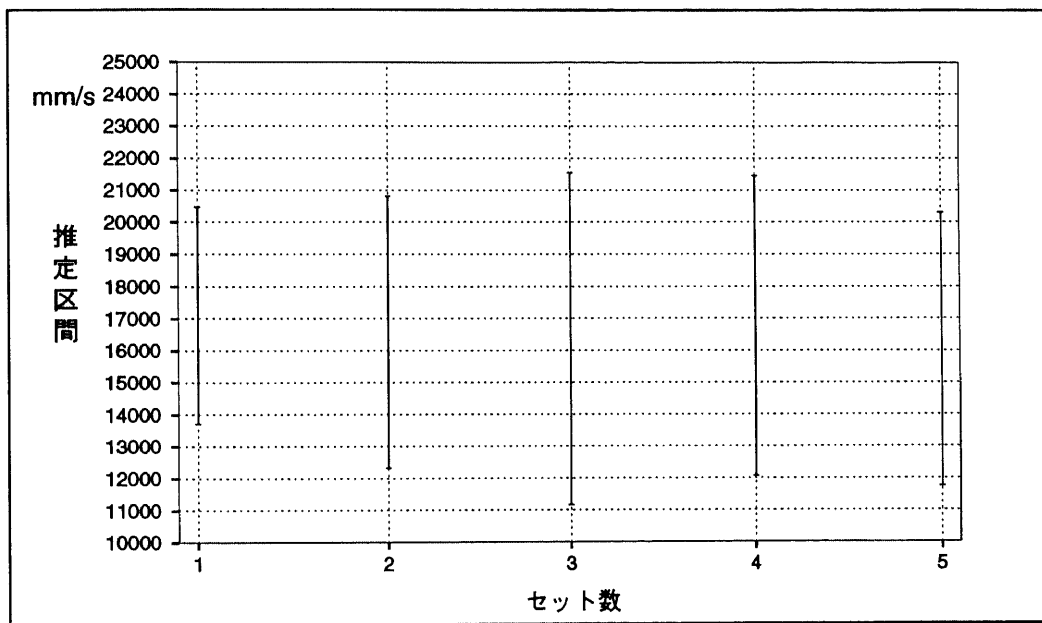


図 25 打突速度の推定区間 (被験者 3)

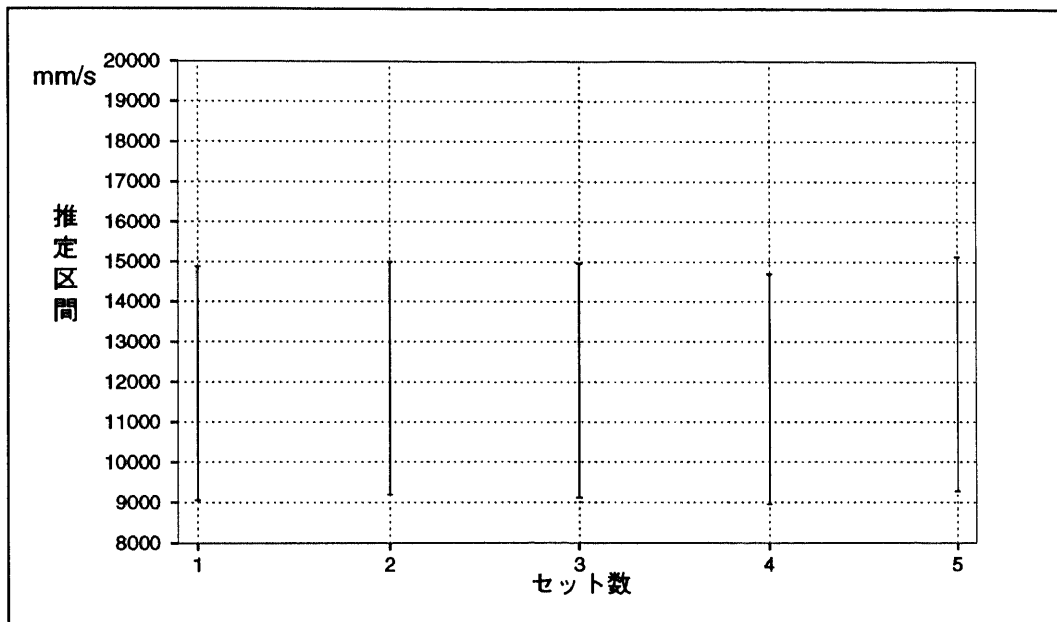


図 26 打突速度の推定区間 (被験者 4)

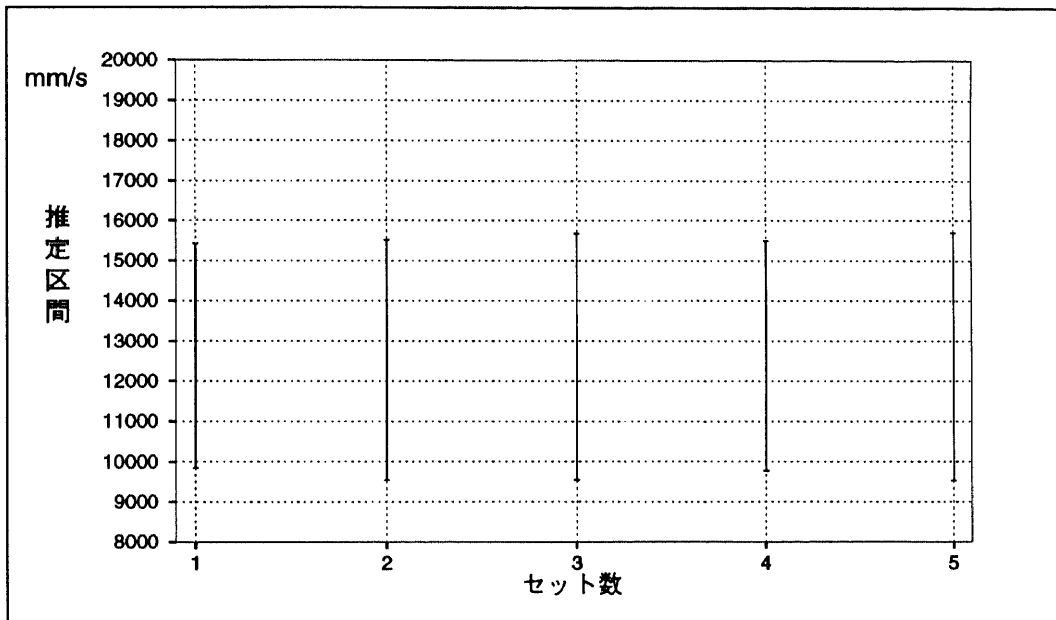


図 27 打突速度の推定区間 (被験者 5)

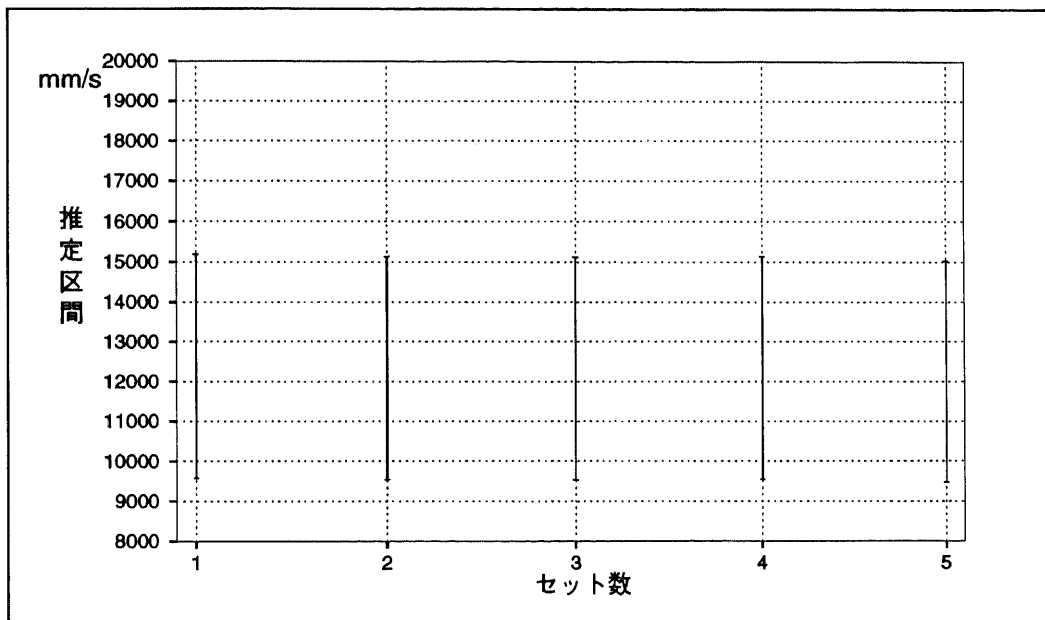


図 28 打突速度の推定区間 (被験者 6)

第5節 小括

本研究課題では、可能性線形回帰分析(ファジィ理論)を用いて、打突速度を推定し、その向上の可能性を示す手法を考案した。結果は、以下のようであった。

- (1) 可能性線形回帰を用いて、打突速度を個々人のデータのばらつきを考慮して、推定範囲を求めることができた。
- (2) 求められた推定範囲の内最も良い記録を“パフォーマンス向上の可能性”と定義し具体的な到達目標として設定できた。
- (3) “パフォーマンス向上の可能性”は、具体的な到達目標としては十分利用可能であることが示された。

第 8 章 曖昧性を考慮した体力の総合評価 (研究課題 2-2)

第 1 節 目的

現在，知的障害者の施設において，体育活動の重要性が指摘されている．就労や社会復帰のために基礎的な体力や運動能力の向上が求められているからである．体力・運動能力は様々な要素から成り立っており，それぞれ個別の測定方法を用いて測定されている．これらの体力・運動能力を総合的に評価することは，就労や社会復帰の可能性を推定する上で非常に重要である．しかし，知的障害者の曖昧性を考慮した総合評価の手法は確立されていない．そこで，ファジィ主成分分析を用いた知的障害者の体力・運動能力の総合評価を定式化し，その有効性を検討する．

第 2 節 方法

1. 測定項目

測定項目は，閉眼片足立ち，タッピング (1 分間)，自転車エルゴメーターによる 5 分間の自転車こぎ，握力 (左右)，背筋力，立ち幅跳びの 6 項目である．また各測定項目は 2 回ずつ測定を行った．

2. 被験者

被験者は，施設 M の知的障害者男性 10 名，女性 10 名である．被験者の基礎データを表 4 に示す．

3. 分析方法

本研究では，被験者が知的障害者という点を考慮し，通常の主成分分析ではなくファジィ主成分分析を用いる．ファジィ主成分分析は，データがファジィ数である時に用いられる主成分分析である．各測定項目の 2 回の測定値の幅をファジィデータの上限と下限とし，2 つの測定値の平

表 4 被験者の基礎データ

| | 男性 (平均±SD) | 女性 (平均±SD) |
|---------|--------------|--------------|
| 年齢 (歳) | 31.0 ± 5.59 | 34.9 ± 7.33 |
| 身長 (cm) | 162.0 ± 6.88 | 150.4 ± 5.77 |
| 体重 (kg) | 55.7 ± 7.65 | 56.7 ± 5.39 |
| IQ | 30.1 ± 19.71 | 34.2 ± 14.53 |

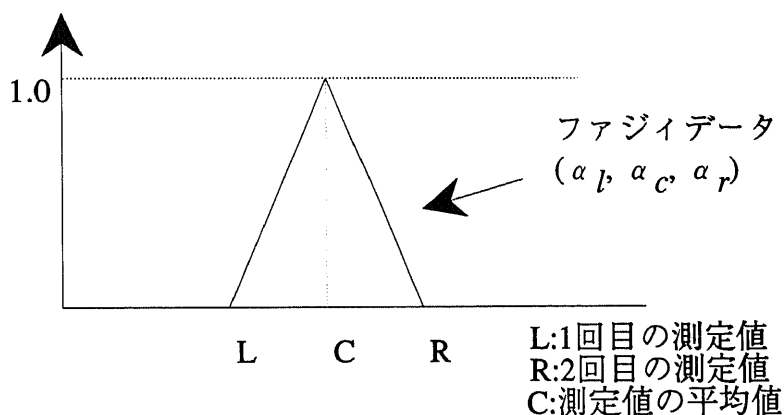


図 29 ファジィデータ

均値を中心値とする三角型のメンバーシップ関数を設定した (図 29)。このメンバーシップ関数を用いて合成変量を算出する。

第 3 節 ファジィ主成分分析による解法

本研究課題で採用しているファジィデータは上限 (x_r), 中心値 (x_c), 下限 (x_l) の 3 つのパラメータで表現出来る。このときサンプル X は n 個のデータをもっている p 変数を表している。この時このようなサンプルを

以下のように表す.

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} X_{\tilde{11}} & X_{\tilde{12}} & \cdots & X_{\tilde{1p}} \\ X_{\tilde{21}} & X_{\tilde{22}} & \cdots & X_{\tilde{2p}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{\tilde{n1}} & X_{\tilde{n2}} & \cdots & X_{\tilde{np}} \end{bmatrix}$$

また, データの平均 \bar{X} は,

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{\tilde{ij}}$$

である. そして, ファジィ分散共分散行列は,

$$V_{\tilde{ij}} = \frac{1}{n} \sum_k^n \sum_l^n (X_{\tilde{ki}} - \bar{X}_i)(X_{\tilde{lj}} - \bar{X}_j) \\ (i, j = 1, 2, \dots, p)$$

で, あらわす. ここで, このような固有値問題は以下のような線形計画問題として解くことができる⁴⁴⁾.

$$\max f_1 = \lambda$$

$$\min f_2 = \bar{\lambda} - \lambda$$

subject to

$$V_{\tilde{li}} \mathbf{l}_i \subseteq \bar{\lambda} \mathbf{l}_i$$

$$V_{\tilde{li}} \mathbf{l}_i \supseteq \lambda \mathbf{l}_i$$

$$\lambda \leq \lambda \leq \bar{\lambda}$$

$$(l_i, l_j) = \begin{cases} 1: & i = j \\ 0: & i \neq j \end{cases} \quad (i, j = 1, \dots, p)$$

ここで, λ は固有値の中心値であり, $\bar{\lambda}, \lambda$ はそれぞれ固有値の上限と下限を表す, また l は λ の固有ベクトルであり, f は目的関数である. 本研究課題では f は,

$$\max f_1 = \lambda$$

$$\min f_2 = \bar{\lambda} - \lambda$$

を採用し, 固有値の巾が最小になるように求めている.

表 5 各測定項目の平均値と標準偏差

| items | 男性 (平均± SD) | 女性 (平均± SD) |
|------------------------|---------------|---------------|
| 閉眼片足立ち (sec) | 35.7 ± 93.11 | 5.9 ± 12.01 |
| タッピング (times/min) | 216.7 ± 38.16 | 216.5 ± 28.74 |
| ペダリング (km) | 1.65 ± 0.79 | 1.20 ± 0.56 |
| 握力 (R)(kg) | 19.2 ± 7.26 | 16.4 ± 4.16 |
| 握力 (L)(kg) | 17.7 ± 8.05 | 15.4 ± 4.92 |
| 背筋力 (kg) | 39.5 ± 22.45 | 29.9 ± 18.71 |
| 立幅跳び [※] (cm) | 103.6 ± 62.70 | 60.6 ± 35.00 |

表 6 ファジィデータの中心値の固有値と固有ベクトル (男性)

| item | 固有値:3.62 | 固有値:1.27 |
|--------|----------|----------|
| | 固有ベクトル 1 | 固有ベクトル 2 |
| 閉眼片足立ち | 0.303 | -0.533 |
| タッピング | -0.137 | -0.786 |
| ペダリング | -0.355 | 0.198 |
| 握力 (R) | -0.466 | -0.100 |
| 握力 (L) | -0.498 | 0.005 |
| 背筋力 | -0.367 | -0.079 |
| 立幅跳び | -0.404 | -0.230 |

第 4 節 結果

男性，女性別のそれぞれの測定結果の平均値を表 5 に示す。また，男性のファジィデータの中心値の固有値と固有ベクトルを表 6 に，女性のファジィデータの中心値の固有値と固有ベクトルを表 7 に示す。また，ファジィ第 1 主成分，とファジィ第 2 主成分による構造係数を表 8 に，合成得点を表 9 に示す。

表 7 ファジイデータの中心値の固有値と固有ベクトル (女性)

| item | 固有値:3.53 | 固有値:1.87 |
|--------|----------|----------|
| | 固有ベクトル 1 | 固有ベクトル 2 |
| 閉眼片足立ち | -0.279 | -0.407 |
| タッピング | -0.105 | -0.598 |
| ペダリング | -0.236 | 0.515 |
| 握力 (R) | -0.459 | 0.274 |
| 握力 (L) | -0.476 | 0.234 |
| 背筋力 | -0.448 | 0.259 |
| 立幅跳び | -0.465 | -0.120 |

表 8 中心値の構造係数

| | 男性 | | 女性 | |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| | 第 1 主成分 | 第 2 主成分 | 第 1 主成分 | 第 2 主成分 |
| 閉眼片足立ち | -0.577 | 0.60 | 0.525 | 0.556 |
| タッピング | 0.261 | 0.885 | 0.198 | 0.818 |
| ペダリング | 0.675 | -0.223 | 0.443 | 0.704 |
| 握力 (R) | 0.887 | 0.011 | 0.863 | -0.375 |
| 握力 (L) | 0.948 | -0.006 | 0.895 | -0.320 |
| 背筋力 | 0.698 | 0.089 | 0.841 | -0.355 |
| 立幅跳び | 0.768 | 0.259 | 0.873 | 0.167 |

表9 ファジィ合成得点

| | 第1主成分 | | | 第2主成分 | | | |
|----|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | <i>ID</i> | <i>L</i> | <i>C</i> | <i>R</i> | <i>L</i> | <i>C</i> | <i>R</i> |
| 男性 | 1 | -1.43 | -1.47 | -1.49 | -0.50 | 0.20 | 0.60 |
| | 2 | -0.22 | -0.27 | -0.32 | 0.95 | 0.38 | -0.14 |
| | 3 | -0.65 | -0.68 | -0.69 | -1.58 | -1.54 | -1.35 |
| | 4 | 0.37 | 0.39 | 0.40 | -0.18 | -0.32 | -0.60 |
| | 5 | 1.91 | 1.71 | 1.51 | -1.60 | -1.54 | -1.33 |
| | 6 | -0.82 | -0.89 | -0.93 | 0.36 | 0.53 | 0.71 |
| | 7 | 0.65 | 0.79 | 0.91 | 1.07 | 1.66 | 1.79 |
| | 8 | 0.95 | 1.08 | 1.20 | 0.99 | 0.92 | 0.89 |
| | 9 | 0.08 | 0.14 | 0.19 | 0.70 | 0.04 | -0.31 |
| | 10 | -0.84 | -0.81 | -0.78 | -0.21 | -0.34 | -0.26 |
| 女性 | <i>ID</i> | <i>L</i> | <i>C</i> | <i>R</i> | <i>L</i> | <i>C</i> | <i>R</i> |
| | 1 | 0.72 | 0.91 | 1.11 | -0.52 | -0.63 | -0.75 |
| | 2 | -0.83 | -1.07 | -1.25 | -0.22 | -0.38 | -0.55 |
| | 3 | 1.06 | 1.16 | 1.23 | -0.48 | -0.38 | -0.23 |
| | 4 | 0.87 | 0.80 | 0.73 | 0.17 | 0.19 | 0.12 |
| | 5 | -0.06 | -0.21 | -0.29 | 0.61 | 0.22 | -0.50 |
| | 6 | 0.59 | 0.51 | 0.35 | -1.13 | -0.86 | -0.54 |
| | 7 | -0.85 | -0.81 | -0.75 | 0.88 | 0.77 | 0.79 |
| | 8 | -1.15 | -1.08 | -1.06 | 1.45 | 1.69 | 1.80 |
| | 9 | -1.49 | -1.30 | -1.10 | -1.73 | -1.70 | -1.42 |
| 10 | 1.14 | 1.11 | 1.04 | 0.96 | 1.08 | 1.28 | |

表 10 ファジィ合成得点の中と IQ の相関係数

| 相関係数 | 男性 IQ | 女性 IQ |
|---------|----------|----------|
| 第 1 主成分 | -0.58 | 0.34 |
| 第 2 主成分 | 0.11 | -0.34 |

第 5 節 考察

男性において、第 1 主成分は閉眼片足立ちをのぞいて、また女性では全ての構造係数が正の大きな値を示している。すなわち第一主成分は変量に共通する「基礎的体力」を代表していると考えられる。また第一主成分の 2 乗和は男性で 3.62、女性で 3.53 であり、最も望ましい基準値の 51.7%、50.4%になっている。

また第 2 主成分は、タッピング、閉眼片足立ちに正の値をもち、握力、背筋力に負の値をもっている。第 2 主成分は筋力と神経系を分けるような要素を代表していると考えられる。この第 2 主成分の構造係数の 2 乗和は、男性で 1.27、女性で 1.87 であり、最も望ましい基準値の 18.1%、26.7%となっている。第 1 主成分と第 2 主成分を加えると、男性で 69.8%、女性で 77.1%になっているので、7 つの変量の変動のそれぞれ 70%と 77%が 2 つの主成分に要約されていると推察できる。

ファジィ主成分分析を用いているので、結果は範囲をもっており、もとのデータの曖昧性を考慮した結果が得られた。またファジィ合成得点と IQ の相関係数では男性の第一主成分で -0.58 という有意ではないが負の大きな値を示した。このことは曖昧性を考慮した総合評価において、男性の第一主成分が運動能力だけでなく知的な能力も考慮した総合評価として利用出来る可能性を示唆するものである。

第 6 節 小括

知的障害者の施設において、基礎的な体力や運動能力の向上が求められている。そのために体力・運動能力を総合的に評価することは、就労や社会復帰の可能性を推定する上で非常に重要である。そこで本研究では、彼らの曖昧性を考慮した総合評価の手法を確立し、ファジィ主成分分

析を用いた知的障害者の体力・運動能力の総合評価を定式化した。その結果、曖昧性を考慮しながら知的障害者の運動能力を総合的に評価することが可能であり、本研究課題の手法の有効性を確かめることができた。

第9章 3次元解析によるファジィ推論を用いた運動パフォーマンス改善システム (研究課題 3-1)

第1節 はじめに

1. 運動パフォーマンスの改善モデル

運動パフォーマンスの改善という問題を考えた場合、運動の試技者とその指導にあたっている監督やコーチなどの熟練指導者の間で図30のようなループをもちいてパフォーマンスの向上が達成されている。このループは運動の試技者の外界に存在するもので、運動の試技者の中にある固有受容器からのフィードバックループとは区別される。このループは一種のフィードバックループシステムとしてとらえることが出来る。

このシステムにおいて、熟練指導者は運動の試技者の動作に対して、自分のもっている経験的知識を用いて主観的に評価し、どの点が改善すべき点であるかを判断する。そして、さらにこれまでの経験からパフォーマンスを改善するための最も重要な点に絞って指示を与える。そして再び運動の試技者のパフォーマンスを評価し上述のプロセスを繰り返す。このような改善システムを分析する上で無視出来ないのが人間がかかわることによる曖昧性である。この曖昧性は試技者と熟練指導者の両方に存在する。試技者のもっている曖昧性の最も大きなものは動作の曖昧性であり、熟練指導者のもっている曖昧性の大部分は主観的評価の曖昧性である。しかしこれらの曖昧性を含んでいるとは言え、運動パフォーマンスを改善する上で人間による評価が最も信頼されており、実際に最も多く用いられている。

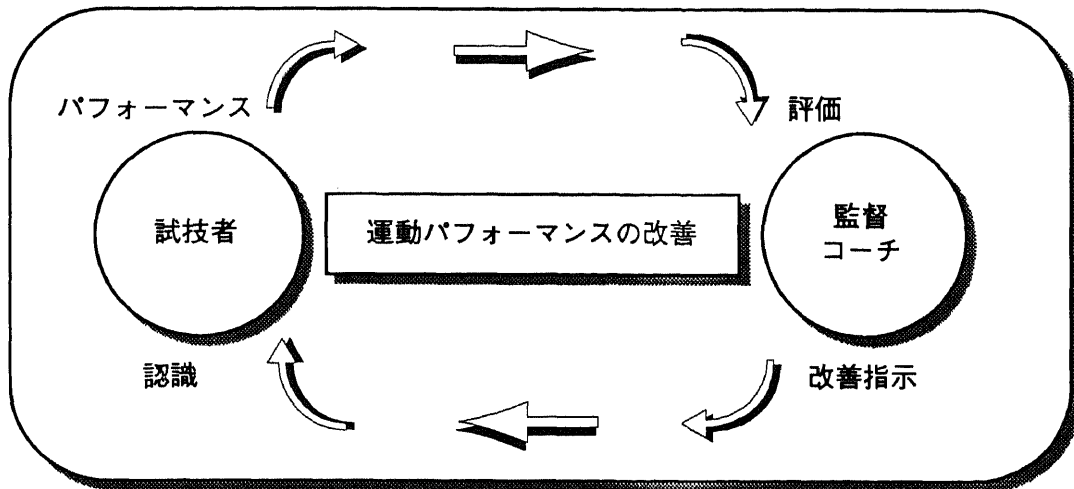


図 30 運動パフォーマンスの改善

2. 運動パフォーマンスの評価モデル

さらに、運動パフォーマンスの評価モデルにおいて、図 31 に示すように試技者には二つの評価がなされてきた。一つは客観的評価でありもう一つは主観的評価である。どちらも重要な評価法であるが客観的評価はデータに基づいており厳密である。具体的には体力・運動能力テスト、スキルテストなどである。これに対して主観的評価は主に人間が行っており、そのため経験に基づいており曖昧である。このような主観的評価は厳密ではないが実際の運動パフォーマンス評価の場合、重要視されることが多くまた信頼もされている。

3. 運動パフォーマンスの改善支援システムの概要

前節までに見てきたように、運動パフォーマンスを改善するためには熟練指導者の主観的評価が重要である。しかしすべての状況で熟練指導者の指導を受けることは望めず、その経験に基づいた高度な知識を利用することは一般的には困難である。そこで本研究課題では図 32 に示す運動パフォーマンス改善支援システムを構築し、経験に基づいた高度な知識の共有と再利用を可能にすることを目指すものである。

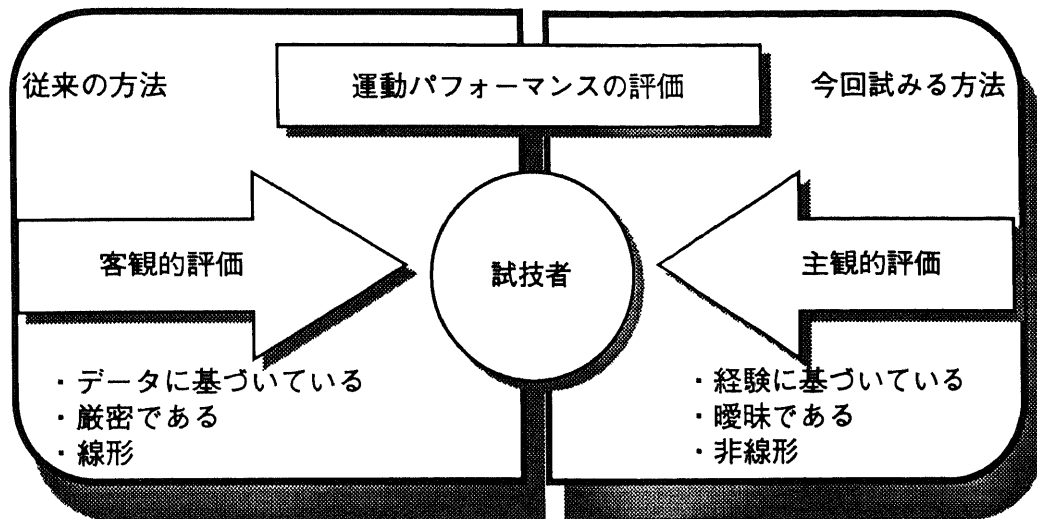


図 31 運動パフォーマンスの評価モデル

第 2 節 目的

本研究課題では本研究の大きな目的である，人間の運動パフォーマンスを改善するための総合的な運動評価支援システムを構築することである。研究課題 1-1，研究課題 1-2 で明らかにされた熟練指導者の主観的評価の利用はもとより，研究課題 2-1 に示された運動パフォーマンスの向上の可能性や，研究課題 2-2 で検討された曖昧さを考慮した総合評価の各々の方法を有機的に結合し，さらに動作の分析を 2 次元から 3 次元の動作分析に拡張した運動評価支援システムを構築する。また構築したシステムを評価するため剣道の正面打ちの素振り動作を例として取り上げ，実際の熟練指導者の評価と比較することによって本システムの有効性を示すものである。

第 3 節 方法

1. システム構成

運動評価支援システムの構成を図 33 に示す。各構成要素はそれぞれ研究課題 1-1(曖昧な知識の表現)，研究課題 1-2(言語的指導の再現)，研究課

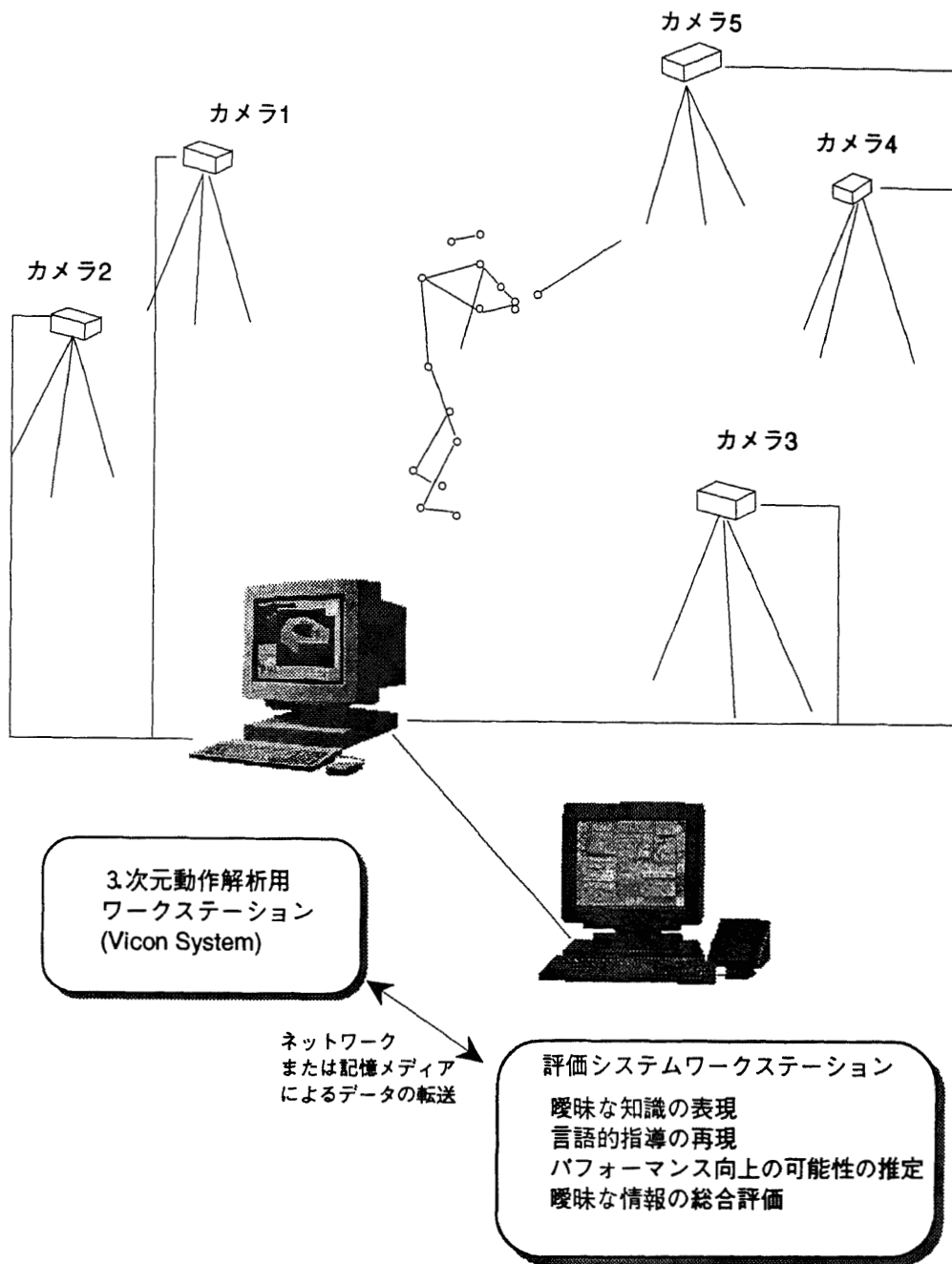


図 32 システムの概要

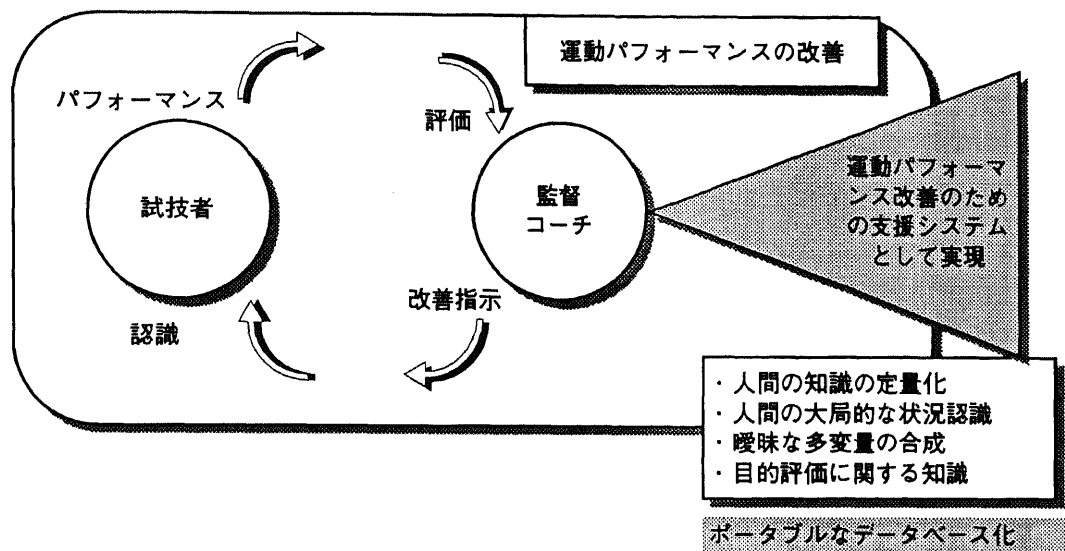


図 33 運動評価支援システムの構成

表 11 被験者の特性

| | |
|---------|--------------|
| 身長 (cm) | 172.9 ± 6.16 |
| 体重 (kg) | 73.5 ± 7.79 |
| 年齢 (才) | 23.7 ± 2.76 |
| 剣道歴 (年) | 7.2 ± 7.13 |

題 2-1(パフォーマンス向上の可能性), 研究課題 2-2(曖昧な情報の総合評価法) で検討された方法を用いて実現している。

2. 被験者

被験者の特性を表 11 にしめす。また本システムで用いる高度な知識を提供した熟練指導者の基礎データを表 12 に示す。

3. 可能性指標

研究課題 2-1 で検討された方法で、向上の可能性を推定することが可能であることが示された。可能性の推定は可能性線形回帰分析³³⁾を用い

表 12 熟練指導者の基礎データ

| | |
|---------|--------------|
| 身長 (cm) | 178.0 ± 2.83 |
| 体重 (kg) | 76.3 ± 4.64 |
| 年齢 (才) | 23.3 ± 2.36 |
| 剣道歴 (年) | 15.0 ± 2.94 |

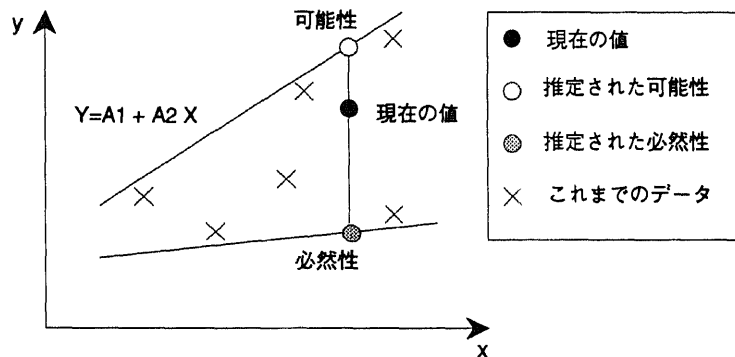


図 34 可能性指標

で行っているが、可能性線形回帰では推定結果は範囲として求められる。この範囲のうち、最も良い(大きい)か小さいかは課題によって異なる)値を向上の可能性と定義し、これまでその有効性が示されてきた(研究課題 2-1)。さらにその可能性を基にして可能性指標 (Probability Index, 以下 PI) を、向上できる可能性の程度を示す指標として算出した。

$$PI = \frac{x - necessity}{probability - necessity} \times 100$$

ここで *probability* は可能性を、*necessity* は必然性を表す。それぞれ可能性線形回帰で求められた範囲のうち、最も良い値 (*probability*) と良くない値 (*necessity*) である。この PI は最も良い値 (可能性) と最も悪い値 (必然性) のどのあたりに現在いるかということを示すもので、100 に近いほど可能性を満足しており、0 に近いほどまだまだ可能性を示している。PI の概念を図 34 に示す。

この PI は、パフォーマンスの向上の可能性の指標として用いること

が可能である。しかしあくまでこれは、これまでのデータによる予測であり、100以上の値がでることがある。この場合は、そのときだけ被験者が頑張ったのか、それまでに頑張らなかったのかは可能性指標からだけでは判断出来ない。

第4節 結果

1. 経験則の抽出

研究課題 1-1 の方法を用いて、主観的評価を定量化しファジイルールデータベースを構築するための経験則をアンケートを用いて調査した。剣道の正面打ちに関して動作の部分の主観的評価を経験則として整理すると

- (1) 剣先に力が入っていなければ、踏み込みをしっかりとる。
- (2) 腰の上下動があれば、背すじが倒れないようにする
- (3) 腰が残っていれば、左足の引きつけを早くさせる

というものが得られた。このルールの抽出にはデルファイ法を用いて3人の熟練指導者の意見を統合した。また、心構えの点でも以下のルールが抽出された。

- (1) 剣先に力が入っていなければ、相手がいることを想像する。
- (2) 頭の位置の上下動があれば、目線を変えないようにする
- (3) 腰が残っていれば、体の力みを取る

2. ファジイルールデータベースの構築

ファジイルールデータベースは、前述の経験則を IF-THEN ルール⁴⁸⁾に変換しデータベース化した。このときにフォームのパラメータを更に下位の入力変数 ($x_1 \sim x_4$) に分けて記述した。これらを図 35に示した。入力変数はそれぞれ、 x_1 (剣先の速度)、 x_2 (腰の上下動)、 x_3 (上体角)であり後件部の出力変数は y_1 (右足の踏み込み巾)、 y_2 (上体角)、 y_3 (引きつけ時間)とした。これらの前件部のメンバーシップ関数および後件部のメンバーシップ関数を図 36および図 37に示した。それぞれのメンバーシップ関数は、熟練指導者3人に被験者が素振りを行っているビデオ30本分

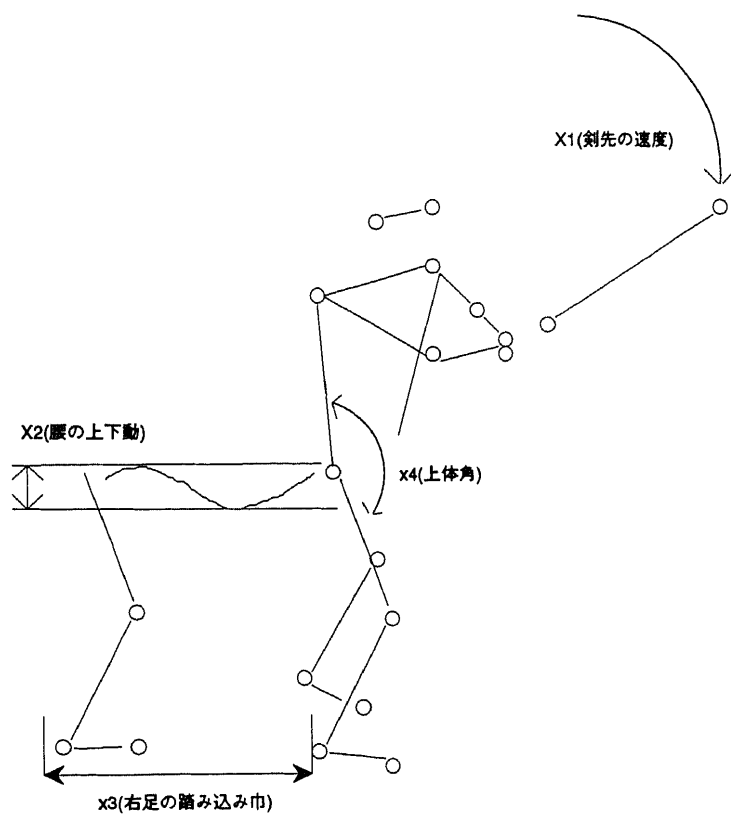


図 35 素振りフォームの入力変数

(初級者から上級者まで)を見てもらい、指摘された点から各変数の最大値と最小値を求め、 π 型のメンバーシップ関数の下底とした。そしてメンバーシップ関数の上底は37.5パーセンタイル点と87.5パーセンタイル点とし、全体の50パーセントが含まれるように設定した。

各変数を用いて、経験則のファジイルール化を行うと以下のようなになる。

ルール 1: IF x1 is 力がない
THEN y1 is 大きくする

ルール 2: IF x2 is 大きい
THEN y2 is 倒れないようにする

ルール 3: IF x3 is 小さい
THEN y3 is 早くさせる

ルール 4: IF x1 is 力がない
THEN 相手がいることを想像する。

ルール 5: IF x2 is 大きい
THEN 目線を変えないようにする

ルール 6: IF x3 is 小さい
THEN 体の力みを取る

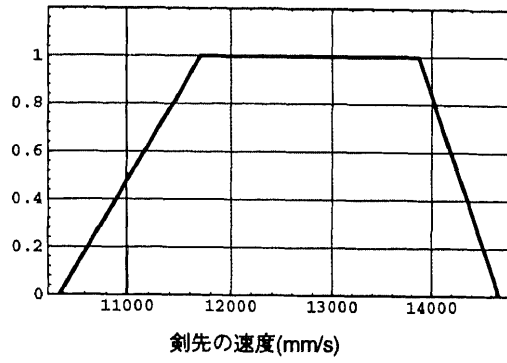
第5節 考察

1. 向上の可能性の推定

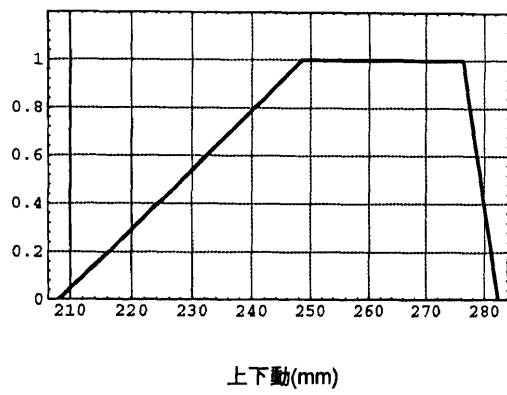
各被験者の可能性指標を表13に示す。本節では、剣道のパフォーマンスで最も重要な剣先の最大速度の向上の可能性を推定した研究課題2-1の推定式を用い、各被験者の可能性指標を算出した。この可能性指標の算出には可能性の推定式を求めるための実験とは別に、素振りの速度を5回計測しその最大値を用いた。

2. 評価例

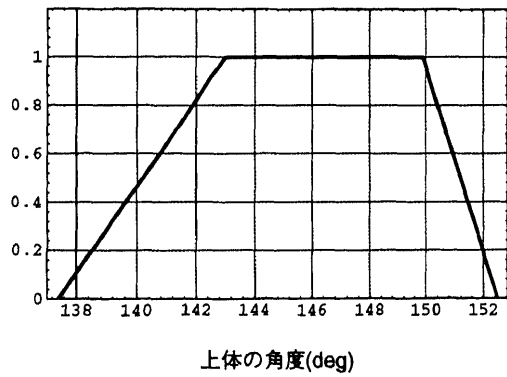
本システムの有効性を確かめるために、6名の被験者について評価を行い、熟練指導者の評価と比較した。



力がない

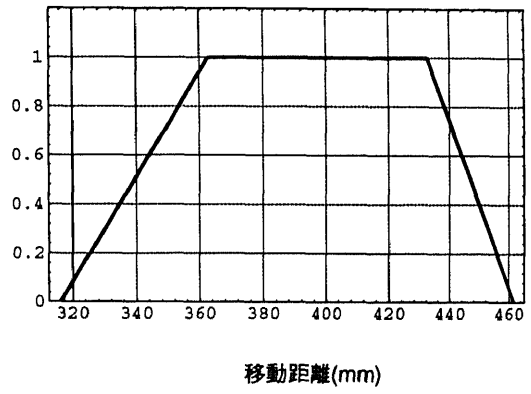


腰の上下動

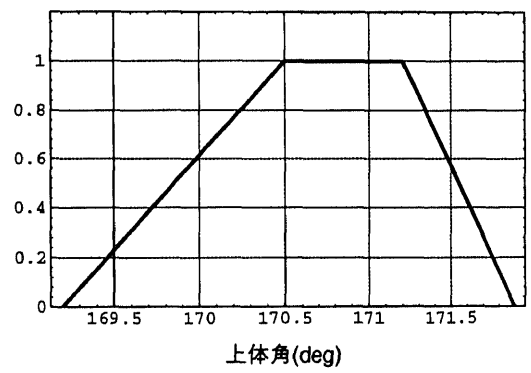


腰の残り

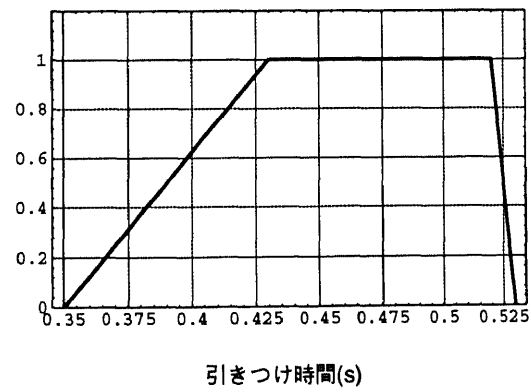
図 36 素振りフォームの前件部のメンバーシップ関数 1



短い

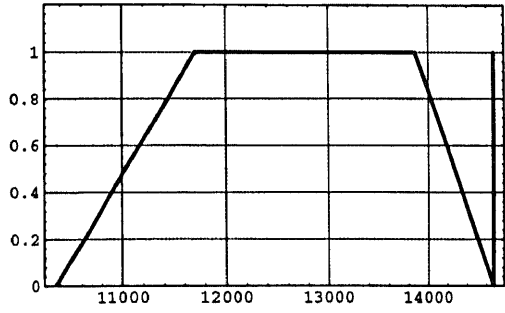


倒れていない

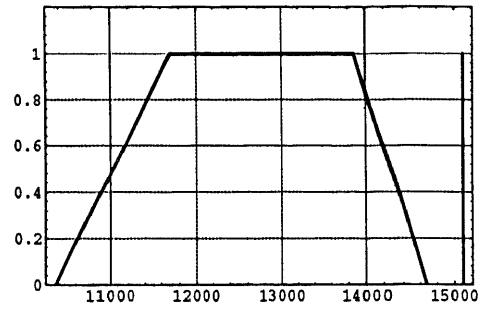


遅い

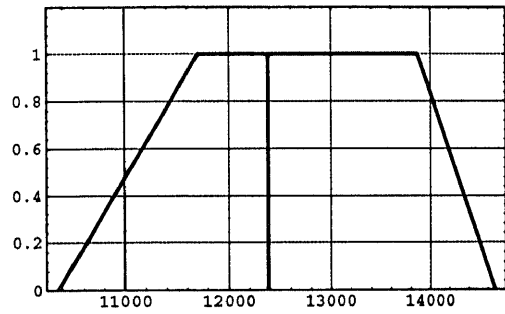
図 37 素振りフォームの後件部のメンバーシップ関数 2



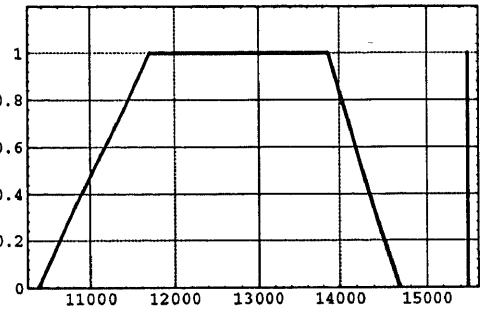
被験者1



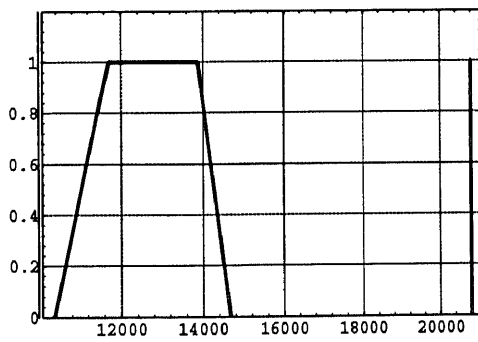
被験者4



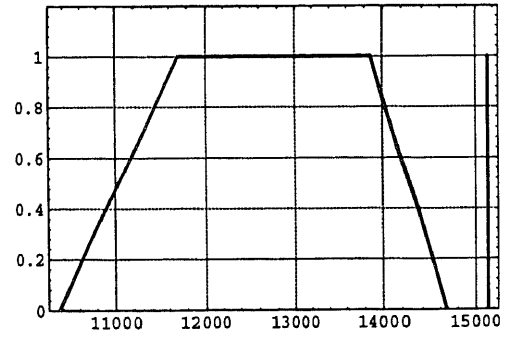
被験者2



被験者5

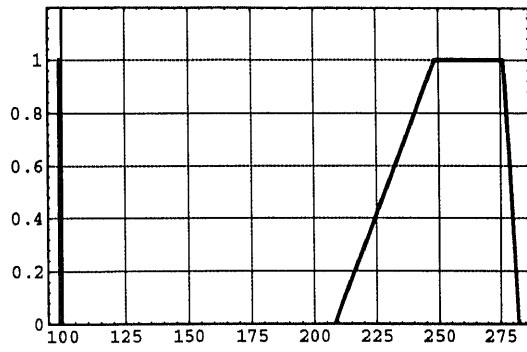


被験者3

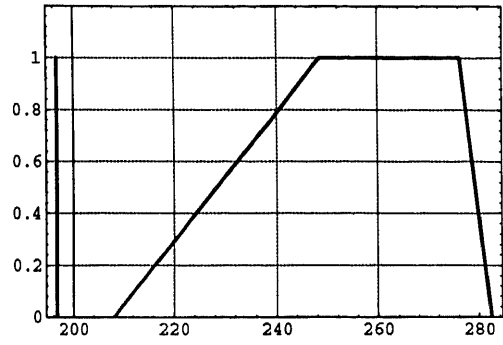


被験者6

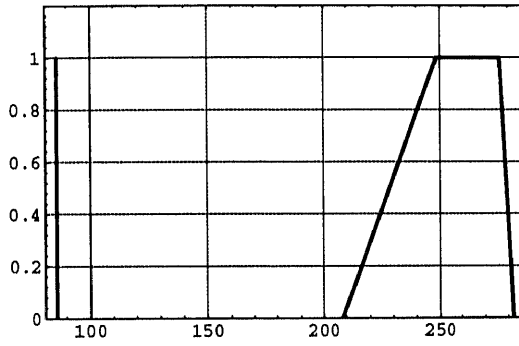
図 38 各被験者の入力変数のメンバーシップ関数 (素振り速度)



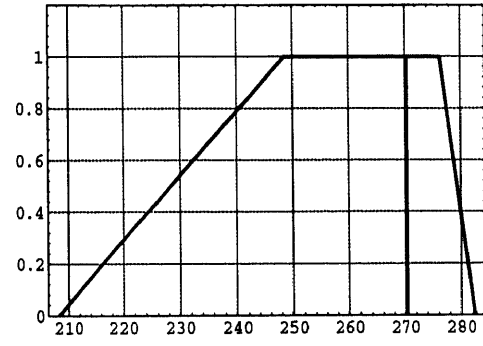
被験者1



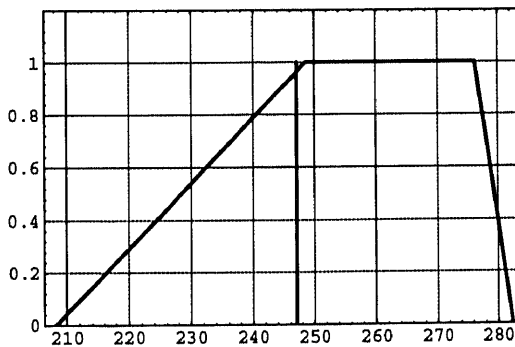
被験者4



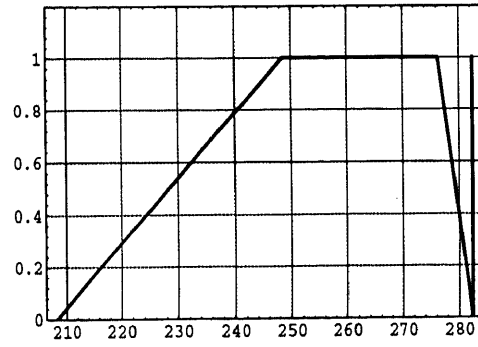
被験者2



被験者5

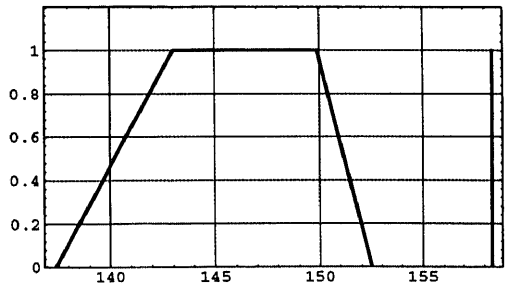


被験者3

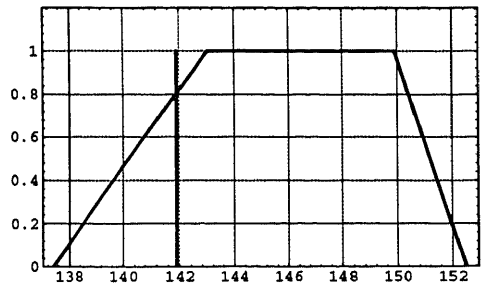


被験者6

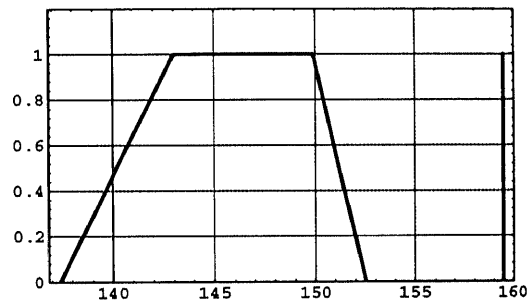
図 39 各被験者の入力変数のメンバーシップ関数 (腰の上下動)



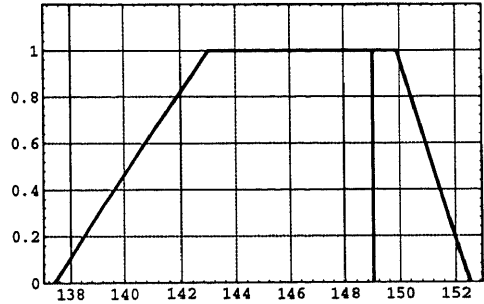
被験者1



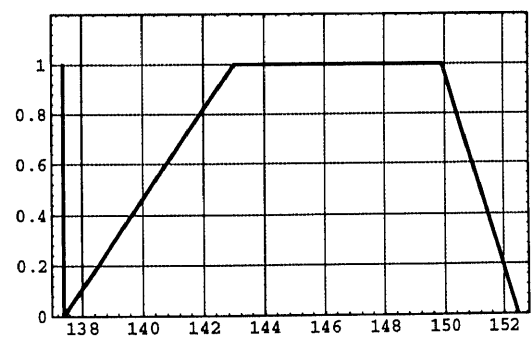
被験者4



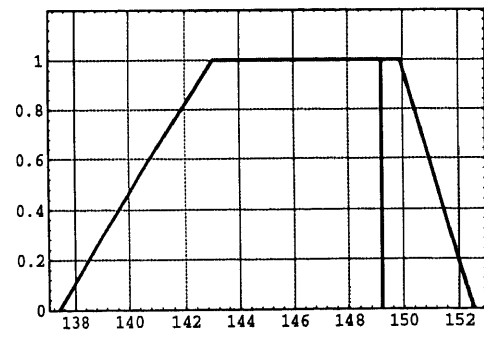
被験者2



被験者5



被験者3



被験者6

図 40 各被験者の入力変数のメンバーシップ関数 (上体角)

表 13 各被験者の可能性指標

| 被験者 | 被験者 1 | 被験者 2 | 被験者 3 | 被験者 4 | 被験者 5 | 被験者 6 |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 可能性 (mm/s) | 15524.90 | 12402.54 | 21539.63 | 15126.72 | 15697.10 | 15185.75 |
| 必然性 (mm/s) | 11703.86 | 10355.82 | 11160.45 | 8956.32 | 9527.90 | 9473.35 |
| 評価対象 (mm/s) | 12384.60 | 14674.30 | 15102.10 | 20812.10 | 15136.20 | 15494.40 |
| 可能性指標 | 17.82 | 211.00 | 37.98 | 192.14 | 90.91 | 105.40 |

システムの出力方式を図 41 に示した。また、出力結果の一覧と熟練指導者からのアンケートの比較を図 42 に示した。

第 6 節 小括

本研究課題では、これまでの研究課題の結果を踏まえて、研究課題 1-1、研究課題 1-2 で明らかにされた熟練指導者の主観的評価の利用はもとより、研究課題 2-1 で示された運動パフォーマンスの向上の可能性や、研究課題 2-2 で検討された曖昧さを考慮した総合評価の各々の方法を有機的に結合し、さらに動作の分析を 2 次元から 3 次元の動作分析に拡張した運動評価支援システムを構築した。また可能性指標を設定し、さらに具体的な現状の把握を行いやすくした。また研究課題 1-1、研究課題 1-2 では直接悪い部分を直すルールをもちいて、改善指示を生成したが、本研究課題では剣先の速度は踏み込みの中から、頭の上下動は腰の上下動から、前傾は右足の引きつけからそれぞれ改善するという経験的指示を再現することができ、結果に示すように、おおむね良好な指示を生成することが可能となっている。

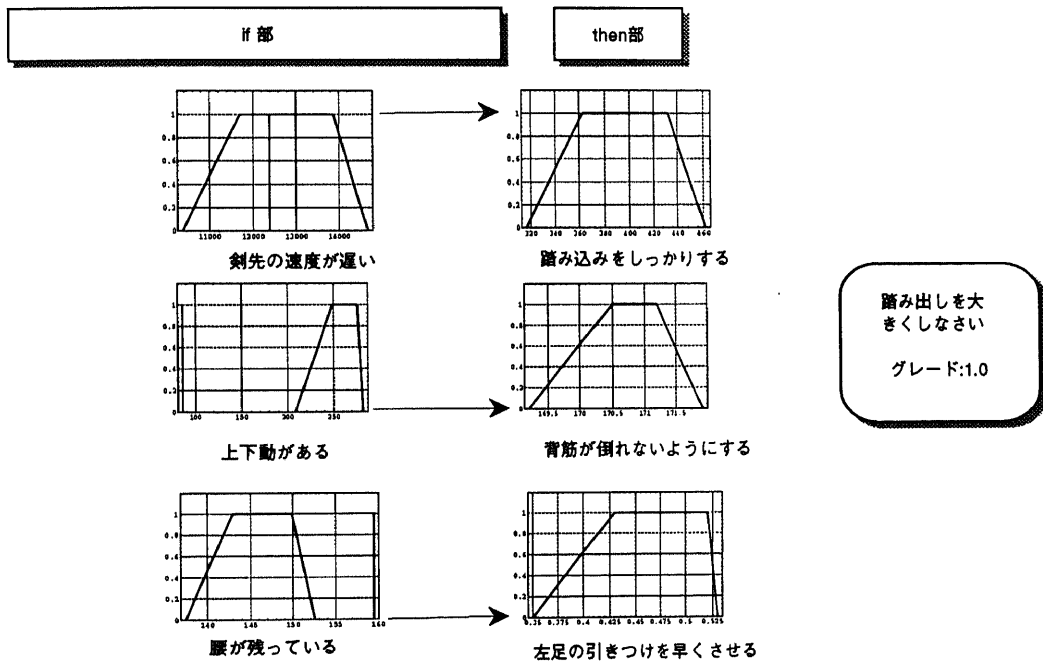


図 41 出力ダイアグラム

システムの出力

専門家の判断

| | | | |
|------|-------------------|------|--|
| 被験者1 | 出力なし | | <ul style="list-style-type: none"> ・振るバランスは問題なし ・姿勢が良い ・奇麗 |
| | 出力なし | | |
| | 出力なし | | |
| 被験者2 | 出力なし | | <ul style="list-style-type: none"> ・硬い ・剣先に力が入っていない ・前に出す距離をもう少し伸ばす |
| | 踏み込みを しっかりする | 1.0 | |
| | 出力なし | | |
| 被験者3 | 出力なし | | <ul style="list-style-type: none"> ・目線を変えない ・背筋が倒れないようにする |
| | 背筋が倒れない ようにする | 0.99 | |
| | 左足の引きつけを 早くさせる | 0.01 | |
| 被験者4 | | | <ul style="list-style-type: none"> ・体重移動をスムーズに |
| | | | |
| | 左足の引きつけを 早くさせる | 0.8 | |
| 被験者5 | | | <ul style="list-style-type: none"> ・もう少し前傾になりながら動作に移る |
| | 背筋が倒れない ようにする | 1.0 | |
| | 左足の引きつけを 早くさせる | 1.0 | |
| 被験者6 | | | <ul style="list-style-type: none"> ・下腿が残っている |
| | | | |
| | 左足の引きつけを 早くさせる | 0.01 | |

図 42 システムの出力と熟練指導者の判断の比較

第10章 評価知識のネットワーク による共有と分散管理 (研究課題 3-2)

第1節 目的

運動パフォーマンスを評価する上で、人間の主観的判断は非常に有効である。しかし、そのような主観的判断は個人個人で固有のものであり、そのコンピュータネットワーク上の再利用や蓄積は今まで全く行われて来なかった。しかし運動パフォーマンスを改善するためにはこのような熟練指導者の知識の蓄積と再利用をはかることが重要であると考えられる。

これまで、我々はファジィ理論を用いて熟練指導者の知識をコンピュータ上に再現性よく記述できることを示し、その有効性を確かめている。この知識データはファジィエキスパートシステムのアプリケーションとして利用出来る様になった。しかし現在のこのアプリケーションは特定のコンピュータ用 (NeXT 用) であり、知識の蓄積は可能であるが再利用に関して不十分であると考えられる。

そこで、本研究課題では上述の利用制限をなくしネットワーク上でのファジィ知識データベースを利用する方法を開発する。そして運動パフォーマンス改善支援のためのネットワーク利用型エキスパートシステムを考案する。コンピュータネットワークは、今後ますます発展し、多くの人にとって身近な存在になることが考えられる。またネットワークを利用すると、データの分散管理が可能となる。利用データの増加にともないこれまでのような一元管理には限界があると考えられる。

実際のデータのアクセスには WWW(World Wide Web) のブラウザ*を利用する。現在ネットワークに接続しているコンピュータで、WWW が利用可能なものがほとんどであり、今後リリースされるコンピュータも WWW のブラウザが利用出来ないものは出て来ないと考えられるからである。ネットワークを利用する利点には以下のようなものが考えられる。

- ネットワーク上のどこに知識を蓄積していてもアクセスが可能。

*インターネット上の情報を検索するソフトウェア

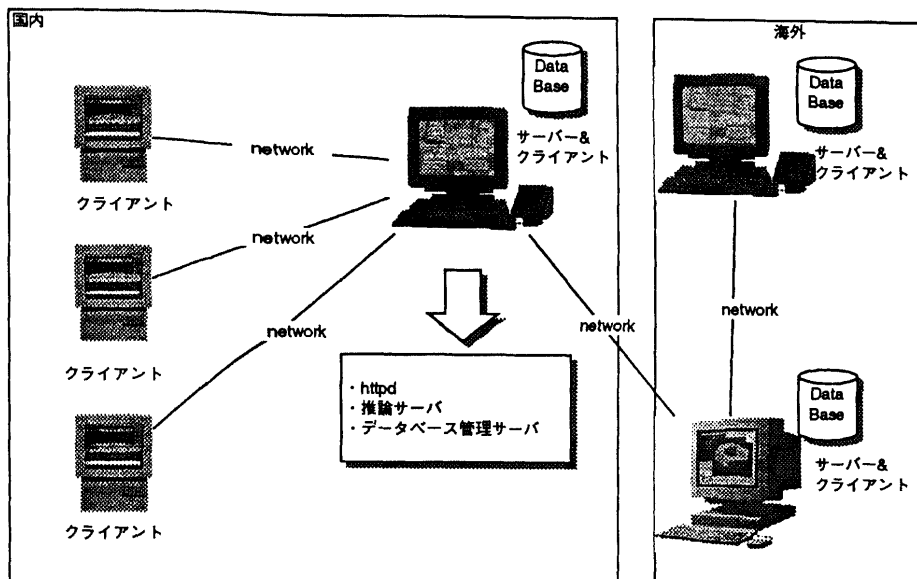


図 43 知識データベースの分散管理の概念

- ネットワークに接続しているコンピュータで、今後も WWW は利用可能。
- 知識の蓄積・利用の両方の利用が可能。
- 主観的な知識データベースとして様々な分野に応用可能。

第 2 節 方法

システムの構造

システムの構造を図 43に示す。このシステムでは、それぞれのプログラムを独立させることにより、ネットワークによる利用を可能にしている。

またそれぞれのプログラムは DO(Distributed Objects)[†]技術を用いており、独立したプログラムながら連係することが可能になっている(図 44)。しかもそれぞれのプログラムがどこにあるかは(同一マシン上かネットワーク上か)は全く問題にならない。

[†]Next Computer, Inc.

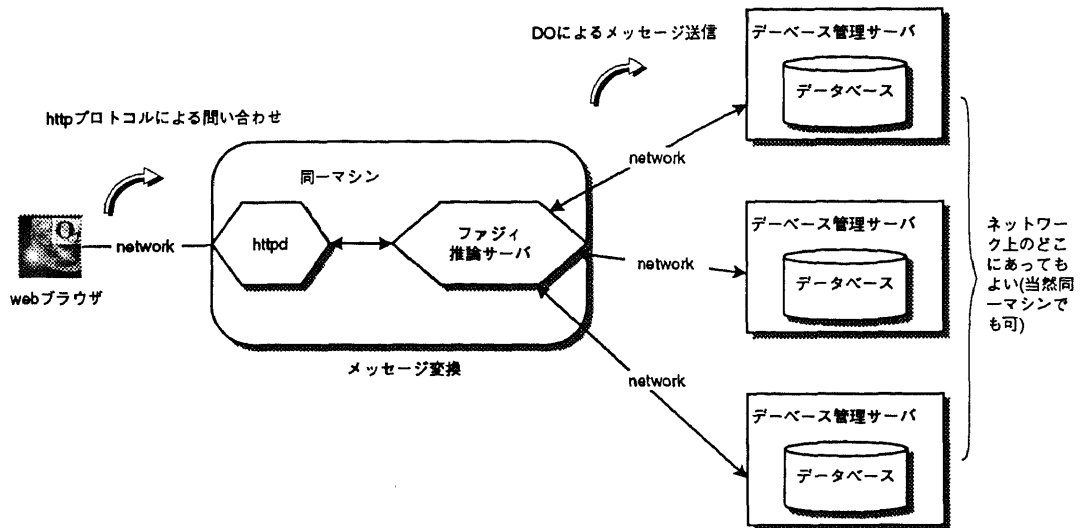


図 44 各プログラムの役割

第3節 小括

運動パフォーマンスを評価する上で、人間の主観的判断は非常に有効である。しかし、そのような主観的判断は個人個人で固有のものであり、その再利用や蓄積は今まで全く行われて来なかった。しかし運動パフォーマンスを改善するためにはこのような熟練指導者の知識の蓄積と再利用をはかることが重要であると考えられる。その利用方法として、コンピュータネットワークをもちいた方法を提案した。しかし本研究課題では概念とプログラムだけであるのでその有効性を確かめた訳ではないが、このような試みは全く初めてであり、他の分野での応用も可能なので今後の課題として発展させていく必要がある。

第11章 ファジィ理論を用いた知的障害者の体力分析の試み (研究課題 4-1)

第1節 はじめに

現代社会は、知的な発達障害者 (Mental Retarded)(以下 MR 者と表記する) に対する雇用法の適用、運賃割引制度など社会への参加の機会を増すべく努力が払われている。また、MR 者と社会とのかかわりは今後ますます増大すると考えられる。しかし現実には、MR をもった人たちにとって完全に住みよい社会が実現されているとは言い難い。その原因の一つとして、MR をもった人たちの実態がよく把握されておらず、理解が不十分であるという点がある。

例えば体力・運動能力テストにおいては、Sengstock²⁵⁾、水野等¹⁹⁾、波多野⁸⁾は MR 児の運動能力を、Bundschuh 等³⁾、浅野等²⁾、芳賀等⁷⁾は MR 者の全身持久力の測定結果を報告しているが、いずれの調査も健常者に対する測定方法や指標が用いられており、健常者より劣ると報告している。しかし MR を持つ人々は、テストに対する意欲やテストの理解力、検者との相性等によって結果が大きく変化することが多々ある⁴³⁾ので、既存の方法でのテストの評価には問題があると考えられる。これに対して、Fernhall⁶⁾は MR 者に適したテストによって調査をすることを提唱している。しかし、現実に新しい測定方法を開発することは、多くの時間を必要とし、しかも今までのデータが活用できないという点が挙げられる。これらのことから、既存のテスト項目を用いて、MR 者の特性を考慮した体力の分析・評価の方法を開発することが必要であると考えられる。

1973 年、Zadeh⁵³⁾は「不適合性の原理」を発表した。このなかで扱うシステムが一定の限界を超えたときに、厳密で意義のある記述は不可能であることを主張した。体力を分析・評価することは人間という非常に複雑なシステムを記述することである。さらに、MR 者・MR 児の特性を考慮した場合、曖昧さを含んだ体力の分析・評価は、より彼らの実態を示しうるものと考えられる。しかし、曖昧さを含んだ体力の分析・評価は試みられていない。

そこで本研究課題では、MR 者・MR 児の特性と人間に内在する曖昧

表 14 被験者の基礎データの平均値と標準偏差

| 項目 | 男性 (平均±SD) | 女性 (平均±SD) |
|------------|---------------|---------------|
| 年齢 (歳) | 31.1 ± 10.27 | 41.8 ± 12.62 |
| 身長 (cm) | 158.3 ± 9.23 | 144.8 ± 5.19 |
| 体重 (kg) | 57.0 ± 9.07 | 53.4 ± 9.16 |
| IQ | 37.5 ± 10.94 | 36.5 ± 10.42 |
| 施設入所時間 (月) | 101.3 ± 55.44 | 147.1 ± 38.81 |

さを体力の評価問題として検討するために、ファジィ理論を用いた体力分析・評価の方法を提案し、その有効性を示すことを目的とした。

第 2 節 方法

1. 対象

対象は、MR 者の授産施設 T に入所しているもの、合計 50 名 (男性 32 名、女性 18 名) である。被験者の男女別の身長、体重、IQ、施設入所時間の平均値と標準偏差を表 14 に示した。運動能力の測定項目は以下の 12 項目とした。

- (1) 立位体前屈
- (2) 伏臥上体そらし
- (3) 閉眼片足立ち
- (4) 握力 (右)
- (5) 握力 (左)
- (6) 背筋力
- (7) 立ち幅跳び
- (8) ソフトボール投げ
- (9) シャトルラン

- (10) 50m 走
- (11) 上体おこし
- (12) 1500m, 1000m 走

第 3 節 測定結果

1. MR 者の体力特性

i) 健常者との平均値の比較

MR 者の体力測定における各項目の平均値を表 15 に示した。この平均値は、各人の測定値 (3 回) の平均値を代表値とし、算出したものである。また、健常者のデータは日本人の体力標準値第四版³⁸⁾の標準化された平均値と標準偏差のなかで、MR 者の平均年齢 (男性 31 才、女性 41 才) に相当する値を採用した。これらを比較すると、健常者の値に比べて MR 者の値がかなり低い傾向が見られた。

ii) 健常者との分散の比較

健常者と障害者の分散の有意差を検定した。検定は F 検定を用いた。検定の結果を表 16 に示した。表 16 において、閉眼片足立ちをのぞいて、MR 者の方が有意に大きい項目が見られた。これらは個人差が大きいことを示している。

2. 正規性の検定

表 15 では健常者と MR 者の平均値を比較したが、これはどちらの集団も正規分布をしているという仮定のもとに比較を行っていた。ここではその正規性について検討する。これらの有意性は統計的方法²⁸⁾の“正規性の検定”によった。尖度、歪度共の標本数は 50 である。

表 15 MR 者と健常者の体力測定 of 平均値と標準偏差

| グループ | MR 者 (平均 ± SD) | |
|---------------------|----------------|---------------|
| 項目/性別 | 男性 | 女性 |
| 立位体前屈 (cm) | -8.4 ± 12.12 | -3.1 ± 11.09 |
| 伏臥上体そらし (cm) | 32.5 ± 16.69 | 27.5 ± 11.26 |
| 閉眼片足立ち (sec) | 5.2 ± 9.27 | 2.1 ± 1.93 |
| 握力 (右)(kg) | 29.0 ± 10.28 | 20.1 ± 5.25 |
| 握力 (左)(kg) | 28.2 ± 10.50 | 19.7 ± 5.49 |
| 背筋力 (kg) | 70.6 ± 37.40 | 43.9 ± 18.70 |
| 立ち幅跳び (cm) | 133.6 ± 63.97 | 87.6 ± 39.42 |
| softball 投げ (m) | 18.6 ± 12.34 | 8.7 ± 4.97 |
| シャトルラン (sec) | 19.3 ± 10.40 | 20.8 ± 5.56 |
| 50m 走 (sec) | 12.9 ± 9.00 | 15.4 ± 6.41 |
| 上体おこし (times) | 10.6 ± 5.13 | 9.0 ± 2.70 |
| 1000m,1500m 走 (min) | 9.8 ± 5.37 | 7.8 ± 2.40 |
| グループ | 健常者 (平均 ± SD) | |
| 項目/性別 | 男性 | 女性 |
| 立位体前屈 (cm) | 11.3 ± 6.20 | 13.8 ± 5.70 |
| 伏臥上体そらし (cm) | 49.4 ± 8.40 | 50.1 ± 7.30 |
| 閉眼片足立ち (sec) | 77.0 ± 81.00 | 77.0 ± 81.00 |
| 握力 (右)(kg) | 50.1 ± 6.70 | 31.1 ± 5.00 |
| 握力 (左)(kg) | 50.1 ± 6.70 | 31.1 ± 5.00 |
| 背筋力 (kg) | 145.4 ± 25.30 | 87.7 ± 18.80 |
| 立ち幅跳び (cm) | 219.0 ± 31.00 | 160.0 ± 26.00 |
| softball 投げ (m) | 47.2 ± 7.10 | 22.4 ± 6.10 |
| シャトルラン (sec) | 11.1 ± 0.45 | 12.8 ± 0.60 |
| 50m 走 (sec) | 7.6 ± 0.50 | 9.0 ± 0.70 |
| 上体おこし (times) | 20.4 ± 4.00 | 11.7 ± 4.60 |
| 1000m,1500m 走 (min) | 6.2 ± 0.40 | 5.3 ± 0.44 |

表 16 健常者と障害者の間の分散の有意差 (5%水準)

| 項目 | 性別 | 結果 |
|----------------|-----|------------|
| 立位体前屈 | 男女共 | MR 者の方が大きい |
| 伏臥上体そらし | 男性 | MR 者の方が大きい |
| 閉眼片足立ち | 男女共 | 健常者の方が大きい |
| 握力 (右) | 男性 | MR 者の方が大きい |
| 握力 (左) | 男性 | MR 者の方が大きい |
| 背筋力 | 男性 | MR 者の方が大きい |
| 立ち幅跳び | 男性 | MR 者の方が大きい |
| ソフトボール投げ | 男性 | MR 者の方が大きい |
| シャトルラン | 男女共 | MR 者の方が大きい |
| 50m 走 | 男女共 | MR 者の方が大きい |
| 1000m, 1500m 走 | 男女共 | MR 者の方が大きい |

i) 歪度の検定

正規性の検定の一つとして歪度の検定がある。これは、分布の歪みを表している。歪度の式は以下の様である。

$$m_3 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 / n$$

$$m_2 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n$$

として、次の値を求める。

$$\sqrt{b_1} = g_1 = m_3 / (m_2 \sqrt{m_2})$$

この値は 0 であると、歪みがなく、正に大きくなると平均値よりも高い値が多くあり、逆に負になれば平均値よりも小さい値が多くあることになる。各測定項目の歪度を表 17 に示した。

ii) 尖度の検定

正規性のもう一つの検定として、尖度の検定がある。これは分布のとがりを表しているものであり、以下の式で表される。

$$g_2 = b_2 - 3 = (m_4 / m_2^2) - 3$$

表 17 各測定項目の歪度

| 項目 | 歪度 | 結果 |
|----------------|-------|----|
| 立位体前屈 | 0.05 | ns |
| 伏臥上体そらし | 0.11 | ns |
| 閉眼片足立ち | 6.46 | ** |
| 握力(右) | 0.11 | ns |
| 握力(左) | -0.04 | ns |
| 背筋力 | 0.39 | * |
| 立ち幅跳び | 0.05 | ns |
| ソフトボール投げ | 1.14 | ** |
| シャトルラン | 2.15 | ** |
| 50m 走 | 2.52 | ** |
| 上体おこし | 0.08 | ns |
| 1000m, 1500m 走 | 2.48 | ** |

(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

表 18 各測定項目の尖度

| 項目 | 尖度 | 結果 |
|----------------|-------|----|
| 立位体前屈 | 2.07 | ** |
| 伏臥上体そらし | 1.89 | ** |
| 閉眼片足立ち | 58.94 | ** |
| 握力(右) | 2.67 | ns |
| 握力(左) | 2.44 | * |
| 背筋力 | 2.31 | * |
| 立ち幅跳び | 2.05 | ** |
| ソフトボール投げ | 3.68 | * |
| シャトルラン | 8.21 | ** |
| 50m 走 | 10.70 | ** |
| 上体おこし | 2.81 | ns |
| 1000m, 1500m 走 | 11.75 | ** |

(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

ここで

$$m_4 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 / n$$

正規分布の場合この値は3という値をとり、3より大きい場合はとがった分布であり、3より小さい値は頂上が平坦な曲線を表している。歪度と同様に表18に示した。

歪度、尖度共に多くの項目で有意性が認められた。特に尖度が握力(右)と上体おこし以外のすべての項目において有意性を示したことは、これらの項目が正規分布としては、尖りすぎかまたは、平たすぎることを示している。

第4節 ファジィ理論による運動の分析と評価

1. ファジィ理論を用いた運動の分析

前章までの結果から、正規分布としてMR者の体力を分析することが難しいと考えられる。そこで新たな方法としてファジィ理論に基づいて分

析する方法を考案する。ファジィ理論は1965年にL. A. Zadeh⁴⁹⁾によって提案され、曖昧さを定量的に取り扱う基礎となった。曖昧さを定量的に取り扱うために、ファジィ理論ではメンバーシップ関数によってその曖昧さを特性づけている。本研究においてもその方法に則り、人間の運動をその曖昧性を含んだ形でメンバーシップ関数として定義する。そして、各個人のデータを曖昧性を含んだ形でファジィ理論を用いて表現しその特性を明らかにすることを試みる。

2. メンバーシップ関数の定義

ファジィ理論で用いられているメンバーシップ関数は多くのものが考案されている³⁴⁾。それらの中で本研究では文献⁴⁸⁾の π 型のメンバーシップ関数を用いる。このメンバーシップ関数は図45の4つのパラメータによって特徴づけられている。これらのパラメータのうち、 a_s 、 a_z は最大満足(適合度=1.0)区間を表し、 b_s と b_z はメンバーシップのグレードが1.0から0.5に低下する区間の長さを表す。これらの4つのパラメータを以下の方法で算出する。これらのパラメータを、全ての項目について男女の値を用いて算出した。

b_s a_s と各項目の測定値の12.5パーセントの値の差の絶対値

a_s 各項目の測定値の第一四分位点

a_z 各項目の測定値の第三四分位点

b_z a_z と各項目の測定値の87.5パーセントの値の差の絶対値

正規性の検定から分布が歪んでいるか、または尖りが平たい項目が多く見られた。図45の各パラメータはそれらの値を反映する様に設定されることになる。さらに、隣り合うメンバーシップ関数のグレードの合計は1である $\mu(x_i) + \mu(x_{i+1}) = 1$ という制約条件を用いて二つのメンバーシップ関数を導く。これは、元のメンバーシップ関数がMR者の運動能力の“普通です”というメンバーシップ関数を表していると仮定できるからである。この“普通です”というメンバーシップ関数から“十分優れています”というメンバーシップ関数と“努力しましょう”というメンバーシップ関数を導くことができる(図46)。これらのメンバーシップ関数を用いると、MR者の運動能力をファジィ推論を用いて評価することが可能で

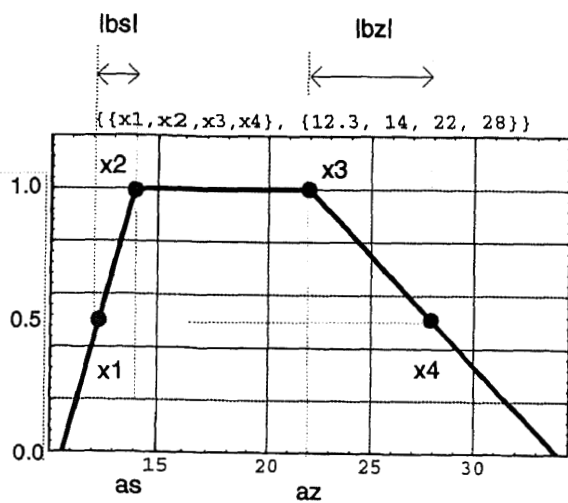
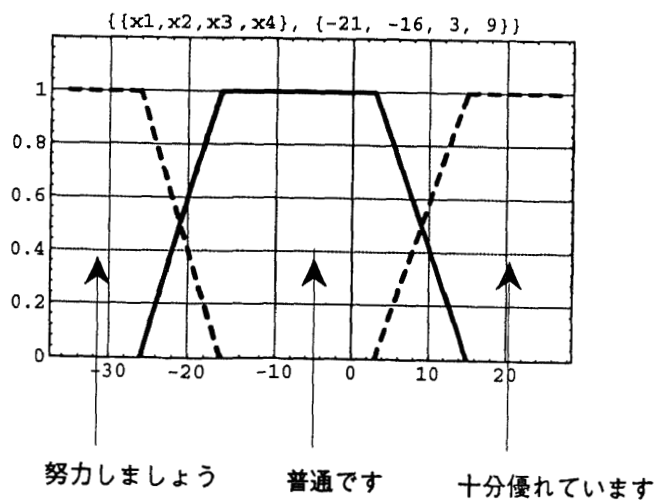


図 45 メンバーシップ関数のパラメータ



$$\mu(x_i) + \mu(x_{i+1}) = 1$$

図 46 基準メンバーシップ関数

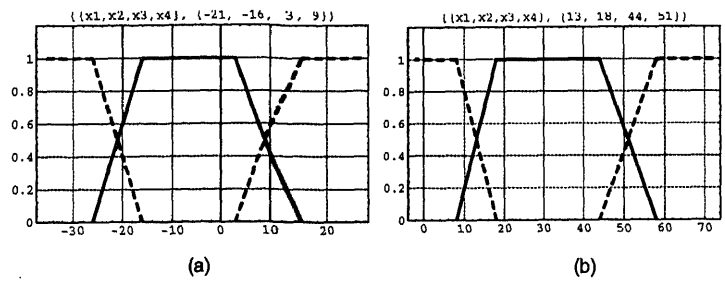


図 47 立位体前屈 (a) と伏臥上体そらし (b) のメンバーシップ関数

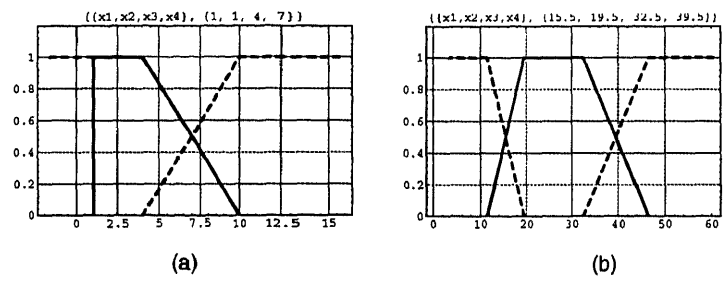


図 48 閉眼片足立ち (a) と握力 (右)(b) のメンバーシップ関数

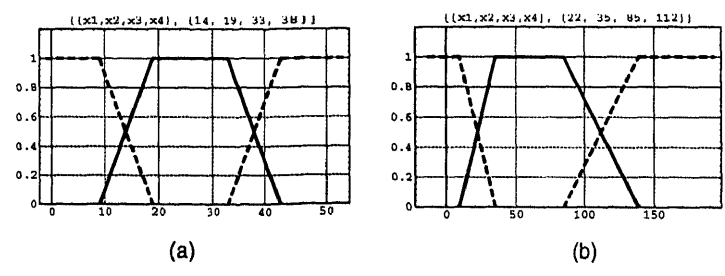


図 49 握力 (左)(a) と背筋 (b) のメンバーシップ関数

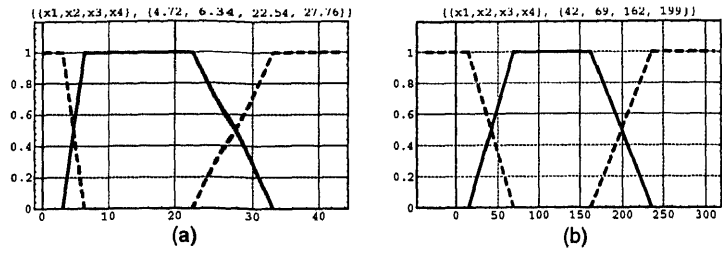


図 50 立ち幅跳び (a) とソフトボール投げ (b) のメンバーシップ関数

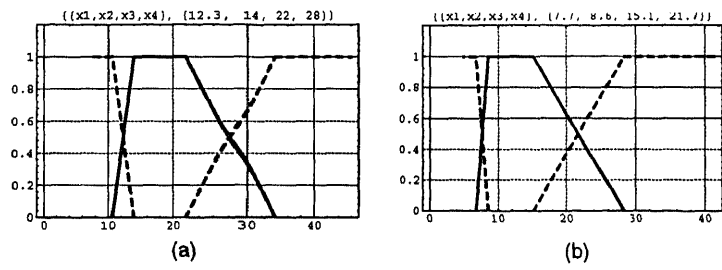


図 51 シャトルラン (a) と 50m 走 (b) のメンバーシップ関数

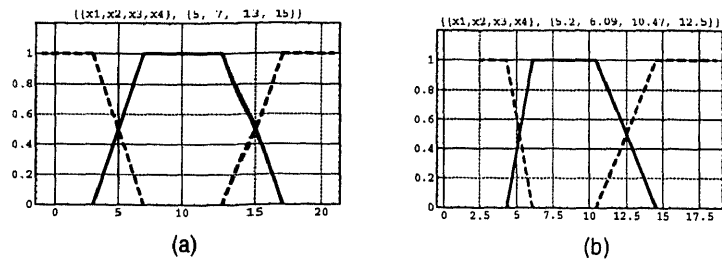


図 52 腹筋 (a) と 1000m, 1500m 走 (b) のメンバーシップ関数

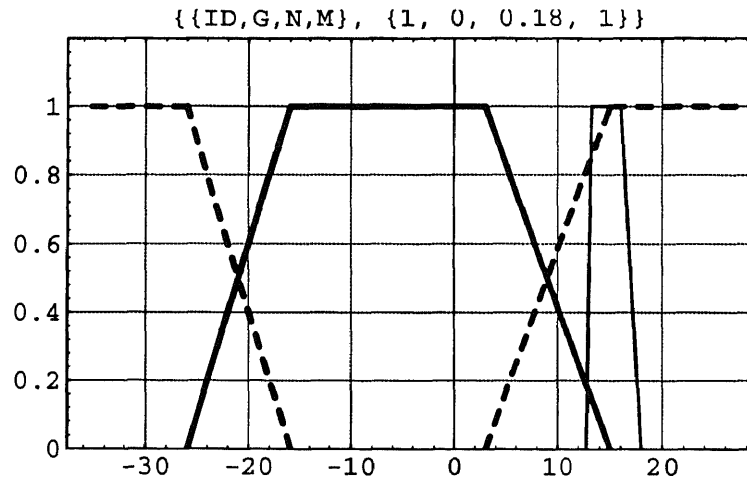


図 53 評価の一例 (立位体前屈)

ある。これによって生成したメンバーシップ関数は図 47から図 52の様であった。

これらの算出されたメンバーシップ関数は、分布の特性を 4つのパラメータで表したものであるといえる。これは平均値と標準偏差という二つの代表値で表すよりもきめの細かい表現が可能であるということになる。

3. ファジィ評価

ここでは、前述のファジィ理論に基づいた評価がどのように行われるかを示す。まず、個人を表すメンバーシップ関数を定義する。基準メンバーシップ関数と同様に、個人の全ての測定値 (3回×5セット)、計 15個から as , az , bs , bz の 4つのパラメータを算出する。そして個人のメンバーシップ関数と基準メンバーシップ関数の適合度を計算する。適合度は各基準メンバーシップ関数と個人のメンバーシップ関数のグレードの \min 演算を行うことによって各評価の適合度を求めることができる。一例を挙げると図 53の様になる。この図では、“普通です”、“十分優れています”、“努力しましょう”の各基準メンバーシップ関数に、個人データがどの程度適合しているかを表している。この例では、“普通です”に 0.18で、“十分優れています”に 1.0でそれぞれ適合していることになる。

4. ファジィ理論を用いた評価と従来の評価の比較

従来の評価では、三段階や五段階の評価を行うことが多い。一般的な三段階、五段階評価は平均値と標準偏差を基準に求められる。本研究課題では三段階評価を用いているので、一般的な三段階評価を当てはめてみると、

(1) 努力しましょう (More)

$$X < \bar{X} - \sigma$$

(2) 普通です (Norm)

$$\bar{X} - \sigma \leq X < \bar{X} + \sigma$$

(3) 十分優れています (Good)

$$\bar{X} + \sigma \leq X$$

となる。このような通常の三段階評価を用いて評価した場合とファジィ評価とを項目別に被験者一人一人について評価した結果を図 54から図 57に示した。ここで、

item1 立位体前屈

item2 伏臥上体そらし

item3 閉眼片足立ち

item4 握力 (右)

item5 握力 (左)

item6 背筋力

item7 立ち幅跳び

item8 ソフトボール投げ

item9 シャトルラン

item10 50m 走

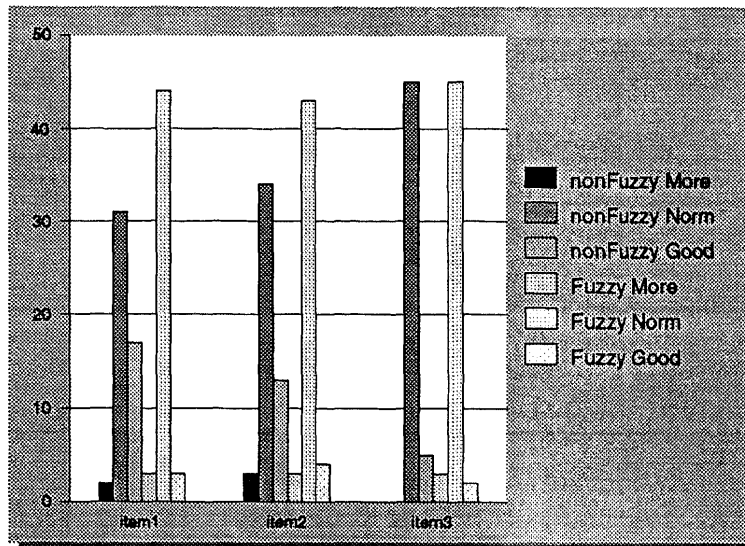


図 54 三段階評価の度数分布 1

item11 上体おこし

item12 1500m, 1000m 走

である。従来法では、平均値と標準偏差を基準としているので、正しく三段階に評価することができない(度数が0の項目が見られる)。これに対して、ファジィ評価は分布に歪みが見られても正しく三段階に評価を行うことが可能である。しかも、各評価に対してグレードとしてメンバーシップ値を割り当てているので、さらにきめの細かい評価が可能である。また、非線形で、個人のデータの曖昧性を加味した評価が可能である。

第5節 小括

本研究では、MR者の特性と人間に内在する曖昧さを考慮し、ファジィ理論を用いた体力分析の方法を提案した。要約すると

- (1) MR者の運動能力は、一般人に比べると値は低い項目が多い。
- (2) MR者の運動能力の分布特性は、正規分布をしているとは言えない。

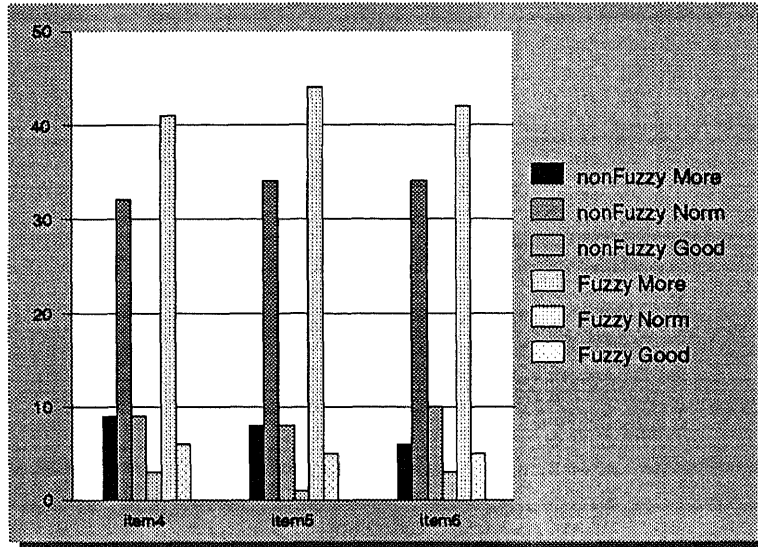


図 55 三段階評価の度数分布 2

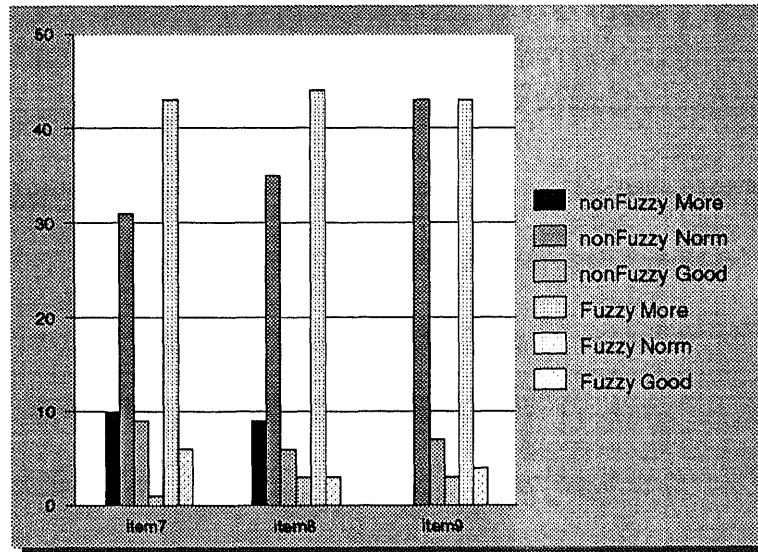


図 56 三段階評価の度数分布 3

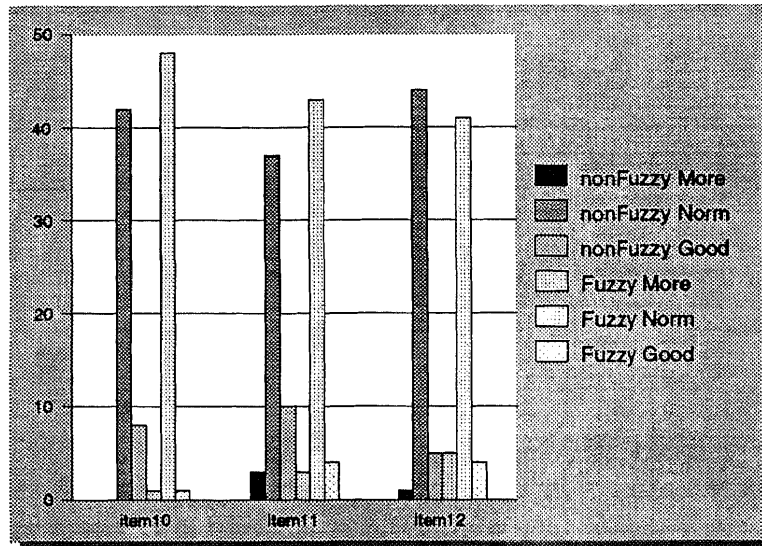


図 57 三段階評価の度数分布 4

- (3) MR 者の運動能力を分析するには、ファジィ理論を用いた方法が有効であった。
- (4) MR 者の運動能力を評価するために、ファジィ理論を用いた評価方法が有効であった。

今後の課題としては、

- 運動能力だけでなく、動作の分析へのファジィ理論の適用
- ファジィ理論を用いた身体能力の改善の可能性の定量化
- 人間の主観を取り入れた身体運動の評価
- MR 者の特性を考慮した測定方法の開発

などが考えられる。

第12章 可能性線形回帰分析を用いた知的障害者の1500m走の記録向上の可能性の推定(研究課題4-2)

第1節 はじめに

現代社会では、知的な発達障害者の社会参加の機会を増すべく、雇用法の適用や運賃割引制度など様々な努力が払われている。そのため、知的な発達障害者と社会とのかかわりは今後ますます増大すると考えられる。知的な発達障害者が社会生活を送る上で重要な体力要素¹¹⁾に全身持久性がある⁶⁾。全身持久性は労働に従事する上で必要であり、健康の維持増進に大きな影響がある²⁾。そのため、知的な発達障害者の全身持久性の向上の可能性を正確に把握することは非常に重要であると考えられる。

男性の全身持久性を表すのには、主に1500m走のタイムが指標として用いられている¹⁷⁾。しかし、1500m走の測定は、知的な発達障害者にとって非常に負担が大きく、測定不可能な場合が多い⁴³⁾。そこで、他の測定可能な項目から1500m走のタイムを推定する必要がある。一般的に、このような推定には重回帰分析が用いられている^{18, 12)}が、健常者の場合と異なり、通常の方法は知的な発達障害者に対して有効ではない。これは、知的な発達障害者の測定値の分布が正規分布と仮定できないことや、測定方法に対する知的な発達障害者の理解の程度が、測定時ごとに異なるためであると考えられる。

そこで、本研究課題では知的な発達障害者の1500m走のタイムを可能性線形回帰分析³³⁾を用いて推定する方法を提案する。可能性線形回帰では、データの解析はファジィ理論⁴⁹⁾に基づいているので、正規分布の仮定は必要ではない。そして測定値の変動は全て“可能性”としてとらえられている。

表 19 被験者の基礎データ

| | 平均±SD |
|---------|--------------|
| 年齢 | 32.7 ± 11.00 |
| 身長 (cm) | 160.0 ± 7.46 |
| 体重 (kg) | 55.7 ± 7.84 |
| IQ | 37.8 ± 10.84 |

第 2 節 方法

1. 被験者

被験者は、知的な障害をもつ男性 20 名であり、被験者の特性は表 19 の通りである。

2. 測定項目

測定項目は、立位体前屈、伏臥上体そらし、閉眼片足立ち、握力 (右)、握力 (左)、背筋力、立ち幅跳び、ソフトボール投げ、シャトルラン、50m 走、上体おこし、1500m 走、の 12 項目とした。これらの項目は、6 ヶ月間に 3 回を 1 セットとし 3 セットの測定を行った。ただし、1500m 走は各セットごとに 1 度だけ測定を行った。測定方法は日本人の体力標準値第 4 版³⁸⁾に準じて行われた。

3. 可能性線形回帰分析の説明

可能性線形システムとは、係数がファジィ数である線形システムをいい、次のように表される。

$$Y = A_1x_1 + \cdots + A_nx_n$$

ここで、 x は通常の数値であり、 A_i はファジィ数である。このファジィ数 A_i は左右対称なものとし、図 58 のようであり、 $A_i(\alpha_i, c_i)$ で表す。このとき、 α_i は中心を、 c_i は中心からの幅を表す³³⁾。

この可能性線形システムで出力 Y を計算する。係数の可能性分布が A_i で与えられたので、 Y の可能性分布 $\mu_Y(y)$ は拡張原理⁴⁹⁾から、

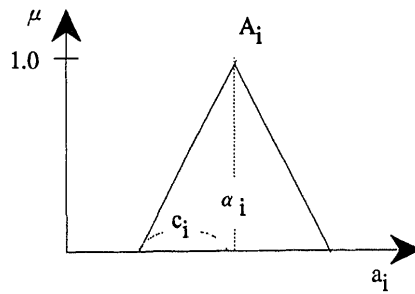


図 58 対称なファジイ数

$$\mu_Y(y) = \sup_{\mathbf{a}|y=\mathbf{a}\mathbf{x}} \mu_{A_1}(a_1) \wedge \cdots \wedge \mu_{A_n}(a_n)$$

で表される。ただし、 $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_n)$ であり、 $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^t$ である。ファジイ係数 $A_i = (\alpha_i, c_i)$ を求める問題は、以下の線形計画問題に帰着できる。

$$\min_{\mathbf{a}, \mathbf{c}} \sum_{j=1}^m \mathbf{c}|\mathbf{x}_j| = \mathbf{J}(\mathbf{c})$$

$$\text{subject to } y_j \leq bfa x_j + \mathbf{c}|\mathbf{x}_j| \quad (j = 1, \dots, m)$$

$$y_j \geq \mathbf{a}x_j - \mathbf{c}|\mathbf{x}_j| \quad \mathbf{c} \geq 0$$

第 3 節 結果

1. 測定結果

各測定値の平均値と標準偏差を表 20 に示した。

これらの測定項目と 1500m 走との相関係数を求め表 21 に示した。

表 20 各測定項目の平均値と標準偏差

| 項目 | 平均値±SD |
|---------------|---------------|
| 立位体前屈 (cm) | -12.6 ± 12.53 |
| 伏臥上体そらし (cm) | 32.4 ± 16.28 |
| 閉眼片足立ち (s) | 2.8 ± 2.27 |
| 握力 (右)(kg) | 29.3 ± 10.68 |
| 握力 (左)(kg) | 28.9 ± 9.34 |
| 背筋力 (kg) | 62.1 ± 26.91 |
| 立ち幅跳び (cm) | 135.7 ± 54.36 |
| ソフトボール投げ (m) | 19.82 ± 12.5 |
| シャトルラン (s) | 17.47 ± 8.32 |
| 50m 走 (s) | 12.48 ± 11.18 |
| 上体おこし (times) | 8.75 ± 6.10 |
| 1500m 走 (min) | 9.60 ± 3.96 |

表 21 1500m 走の記録と他の項目の相関係数

| 項目 | 相関係数 |
|----------|---------|
| 立位体前屈 | -0.3282 |
| 伏臥上体そらし | -0.6507 |
| 閉眼片足立ち | -0.5639 |
| 握力 (右) | -0.5965 |
| 握力 (左) | -0.63.5 |
| 背筋力 | -0.6099 |
| 立ち幅跳び | -0.7173 |
| ソフトボール投げ | -0.6794 |
| シャトルラン | 0.8259 |
| 50m 走 | 0.8331 |
| 上体おこし | -0.4475 |

2. 推定モデル

1500m 走との相関が 0.6 以上の項目を推定のための説明変量として採用した。そのため本研究における全身持久性の推定モデルは、

$$Y = A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 + A_4x_4 + A_5x_5 + A_6x_6 + A_7x_7$$

となった。ここで、 x_1 は伏臥伏臥上体そらし、 x_2 は握力(左)、 x_3 は背筋力、 x_4 は立ち幅跳び、 x_5 はソフトボール投げ、 x_6 はシャトルラン、 x_7 は50m 走である。

3. 推定式

前述の線形計画問題を解いて、被験者一人一人についてファジィ係数を求めた。これらのファジィ数は図 58 に示されるとおり、 α_i (中心)と c_i (中心からの幅)の二つのパラメータで表現できる³³⁾。

$$\begin{aligned} Y_1 &= (0.001, 0.001)x_2 + (0, 0.001)x_4 \\ &\quad + (0.458, 0)x_6 \\ Y_2 &= (0.001, 0.001)x_1 + (0.023, 0)x_2 \\ &\quad + (0.002, 0)x_4 + (0.141, 0)x_6 \\ &\quad + (0.334, 0)x_7 \\ Y_3 &= (0.138, 0)x_1 + (0.038, 0.003)x_2 \\ &\quad + (0.021, 0)x_3 + (0.006, 0)x_5 \\ &\quad + (0.171, 0)x_6 + (0.108, 0)x_7 \\ Y_4 &= (0.01, 0.003)x_1 + (0.011, 0)x_2 \\ &\quad + (0.001, 0)x_4 + (0.056, 0)x_5 \\ &\quad + (0.116, 0)x_6 + (0.623, 0)x_7 \\ Y_5 &= (0, 0.024)x_1 + (0.505, 0)x_6 \\ &\quad + (0.260, 0.049)x_7 \\ Y_6 &= (0.026, 0.005)x_1 + (0.058, 0)x_2 \\ &\quad + (0.10, 0.001)x_3 + (0.372, 0)x_6 \\ &\quad + (0.217, 0)x_7 \\ Y_7 &= (0.039, 0)x_1 + (0, 0.001)x_3 \\ &\quad + (0.003, 0.001)x_4 + (0, 0.006)x_5 \\ &\quad + (0.121, 0)x_6 + (0.408, 0)x_7 \\ Y_8 &= (0.039, 0)x_1 + (0, 0.012)x_2 \\ &\quad + (0.065, 0)x_5 + (0.866, 0)x_7 \\ Y_9 &= (0.692, 0)x_1 + (1.013, 0)x_2 \\ &\quad + (0.119, 0)x_3 + (0.011, 0)x_4 \\ &\quad + (1.847, 0.172)x_5 + (0.171, 0)x_6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_{10} &= (0.028, 0)x_1 + (0.209, 0)x_2 \\
&\quad + (0.024, 0)x_3 + (0.173, 0)x_6 \\
&\quad + (0.033, 0.014)x_7 \\
Y_{11} &= (0.013, 0)x_2 + (0, 0.002)x_3 \\
&\quad + (0.004, 0)x_4 + (0.367, 0)x_6 \\
Y_{12} &= (0.002, 0.001)x_3 + (0.004, 0)x_4 \\
&\quad + (0.004, 0)x_5 + (0.663, 0)x_7 \\
Y_{13} &= (0.043, 0.003)x_1 + (0.031, 0)x_2 \\
&\quad + (0.002, 0)x_3 + (0.403, 0)x_7 \\
Y_{14} &= (0.098, 0.001)x_2 + (0.005, 0)x_3 \\
&\quad + (0.015, 0)x_4 + (0.056, 0.019)x_5 \\
&\quad + (0.26, 0)x_7 \\
Y_{15} &= (0, 0.005)x_1 + (0.007, 0.004)x_2 \\
&\quad + (0.081, 0)x_5 + (0.371, 0)x_6 \\
&\quad + (0.034, 0)x_7 \\
Y_{16} &= (0.013, 0.006)x_1 + (0.024, 0)x_2 \\
&\quad + (0.006, 0)x_3 + (0.001, 0)x_5 \\
&\quad + (0.48, 0)x_7 \\
Y_{17} &= (0.042, 0)x_2 + (0.065, 0)x_3 \\
&\quad + (0, 0.008)x_4 + (0.19, 0)x_5 \\
&\quad + (0.042, 0)x_6 + (0.245, 0.035)x_7 \\
Y_{18} &= (0, 0.012)x_1 + (0.011, 0)x_3 \\
&\quad + (0.744, 0)x_7 \\
Y_{19} &= (0, 0.006)x_1 + (0.256, 0.022)x_2 \\
&\quad + (0.021, 0.007)x_4 + (0.558, 0)x_5 \\
Y_{20} &= (0, 0.032)x_1 + (0.193, 0)x_2 \\
&\quad + (0, 0.011)x_3 + (0.464, 0.126)x_5 \\
&\quad + (0.334, 0)x_7
\end{aligned}$$

これらの推定式は、 $\alpha_i > 0$ という拘束条件を用いているので、0である係数が見られる。求められた推定式から得られた推定区間を、図 59、図 60及び図 61に示す。これらの図は各セットごとにまとめてある。

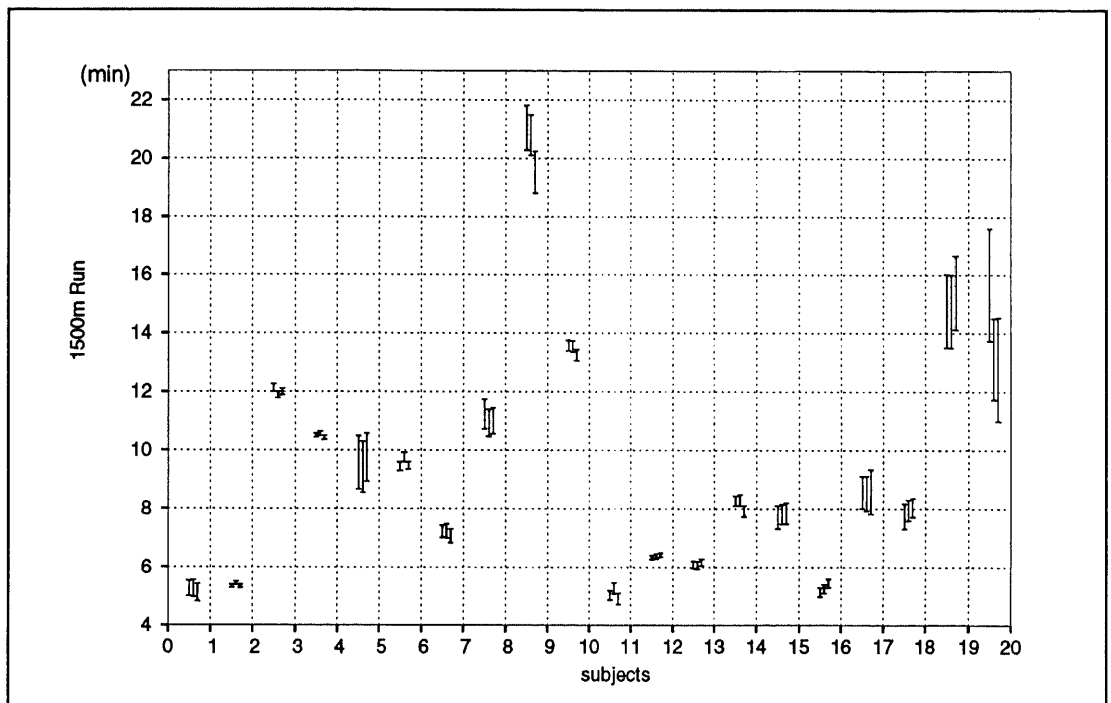


図 59 1500m 走の記録の推定区間 (1 set)

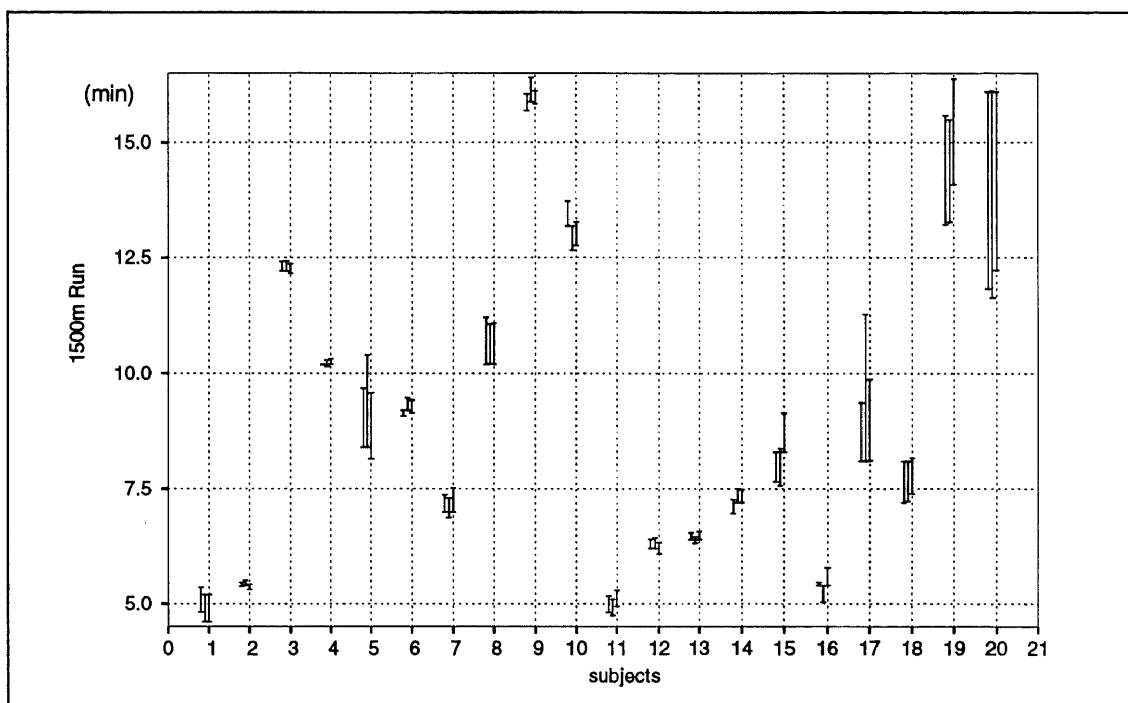


図 60 1500m 走の記録の推定区間 (2 set)

第4節 向上の可能性としての推定値

1. 可能性の推定とその妥当性

前章で求められた推定区間のうち、最も小さい値をパフォーマンスの“向上の可能性”と定義し、個人個人について、1500m走のタイムの向上の可能性を検討する。そして、推定の妥当性を確かめるために、4度目の1500m走の測定を行った。4度目の1500m走の測定値と可能性線形分析による推定値および同じモデルでの重回帰分析による推定値を、表22に示した。

可能性線形回帰を用いた推定値は、個々人のデータのばらつきを考慮して向上の可能性が推定されている。20人の内1分以内の推定が行えたものは9名、またほぼ推定値に近いものは7名で、20名の内、計16名が推定範囲内に4回目の測定値が入ってきている。これに対して、4名のものが推定値以上の記録を出している。しかし、その4名の内推定範囲と測定値の差が1分以内の者が2名おり、これらのものはほぼ推定できていたと考えられる。また、重回帰分析による推定値では、非常に良い推定が行われている(ID1, ID4, ID12など)場合もあるが、マイナスの値やほとんどゼロの値(ID2, ID9)、非常に大きな値(ID11, ID20)などが算出されており、MR者に対して重回帰分析では限界があることを示している。

第5節 小括

本研究では、ファジィ理論を用いて、全身持久性を推定し、その向上の可能性を示す手法を考案した。結果は、以下のものであった。

- (1) 可能性線形回帰を用いて、1500m走のタイムを個々人のデータのばらつきを考慮して、推定範囲を求めることができた。
- (2) 求められた推定範囲の内最も良い記録を“パフォーマンス向上の可能性”と定義し具体的な到達目標として設定できた。
- (3) “パフォーマンス向上の可能性”は、20人中18名について妥当な推定を行っており、具体的な到達目標としては十分利用可能であることが示された。

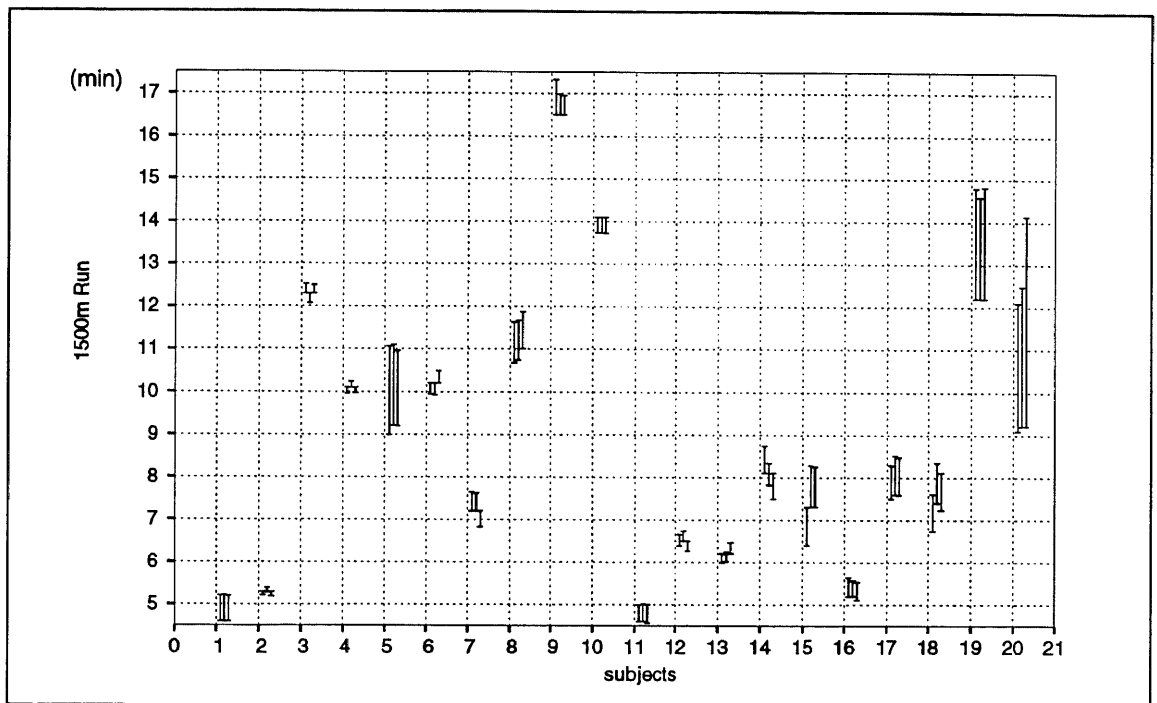


図 61 1500m 走の記録の推定区間 (3 set)

表 22 可能性の推定の妥当性の検討

| 被験者 | 1500 走 | 可能性線形回帰による推定 | 重回帰による推定 |
|------|--------|--------------|----------|
| ID1 | 5.01 | 4.59 | 4.89 |
| ID2 | 5.35 | 5.18 | -0.63 |
| ID3 | 12.19 | 11.88 | 6.52 |
| ID4 | 10.41 | 9.95 | 10.26 |
| ID5 | 9.04 | 8.14 | 5.46 |
| ID6 | 10.11 | 9.07 | 7.91 |
| ID7 | 6.37 | 6.87 | 7.41 |
| ID8 | 11.25 | 10.19 | 4.33 |
| ID9 | 12.11 | 15.84 | 0.47 |
| ID10 | 14.44 | 12.66 | 6.56 |
| ID11 | 4.48 | 4.56 | 56.08 |
| ID12 | 6.31 | 6.08 | 5.86 |
| ID13 | 6.34 | 5.99 | 3.90 |
| ID14 | 8.4 | 6.96 | 12.26 |
| ID15 | 7.56 | 6.39 | 9.98 |
| ID16 | 5.2 | 5.03 | 10.69 |
| ID17 | 7.60 | 7.50 | 12.04 |
| ID18 | 8.05 | 6.73 | 6.71 |
| ID19 | 13.21 | 12.19 | 18.31 |
| ID20 | 9.02 | 9.09 | 100.51 |

第13章 総括

第1節 総括的考察

本研究では、“運動パフォーマンスを改善する”という課題に対して、様々なアプローチを行い、最終的に運動パフォーマンスを改善するための支援システムを構築しその大きな目的を達成した。全ての研究課題に共通している概念は“人間の曖昧さをどうとらえるか”というものであり、本来誤差として処理されてきた人間の曖昧さに積極的に取り組むことによって、人間の運動の新たな一面を導くことが出来た。本研究で重要な役割を演じているのがファジィ理論である。これは1965年にMITのL. A. Zadehによって提唱された“曖昧さ”を取り扱う理論である。このファジィ理論に則って、“運動パフォーマンスを改善する”という大きな問題を小さな各研究課題に分けて課題の達成に取り組んだ。

研究課題1では、専門家の主観的判断を定量化する方法として、ファジィ理論を用いた方法の有効性を示すことを検討した(研究課題1-1)。そして、定量化した主観的な情報を用いて実際に運動を評価し、本手法の有効性を検討した(研究課題1-2)。研究課題1では運動パフォーマンスの評価法に着目し、運動パフォーマンスの評価方法として、熟練者の評価方法を考慮に入れて、ファジィ推論を用いた方法を提案した。運動パフォーマンスの評価パラメータとしては、フォームに対して振り角、踏み込み位置、足首角、上体角、踏み込み幅を選択し、運動能力に対するパラメータとしては脚筋力、片足立ちを用いた。定量的に測定したこれらの値を用いて運動パフォーマンスを評価した結果、熟練者が行っているのと同様な評価が可能であった。更にファジィ推論を用いて評価を行っているので、フォームが多少変動してもその変動を吸収し、再現性の高い評価を行うことが可能であった。また、本研究で用いられた手法で運動パフォーマンスを評価するための熟練者の知識の蓄積が可能であることが示された。

研究課題2では、可能性線形回帰分析をもちいて目標パフォーマンスの向上可能性を定量化することを目的とした(研究課題2-1)。また全体評価の指標としてファジィ主成分分析を定式化し、曖昧な情報を含む場合の総合評価の方法を検討した(研究課題2-2)。問題解決の重要な特徴には、目標が必要であるという点が示されている。研究課題2-1では対象の運動パフォーマンスを剣道の素振り動作(面打ち)の剣先の打突速度とした。

これは剣先のスピードが剣道のパフォーマンスに大きなウエイトを占めるからである。そして、剣道の打突速度の向上の可能性を、上体の上下動、移動距離から推定する方法を可能性線形回帰分析を用いて定式化した。その結果、可能性線形回帰を用いて、打突速度を個々人のデータのばらつきを考慮して、推定範囲を求めることができた。また研究課題 2-2 では、曖昧さを含んだ情報を処理するために被験者を知的障害者とし、彼らの就労や社会復帰の可能性を推定する上で非常に重要な体力・運動能力の総合評価をファジィ主成分分析をもちいて定式化し、その有効性を検討した。その結果、曖昧性を考慮しながら知的障害者の運動能力を総合的に評価することが可能であり、研究課題 2-2 の手法の有効性を確かめることができた。

研究課題 3-1 では総合的な運動パフォーマンスを改善するための、支援システムを提案した。これは人間の曖昧性に着目し、運動の評価、言語的指導、改善点の言語的表現、総合評価からなるものであった。その結果、研究課題 1-1、研究課題 1-2 で明らかにされた熟練者の主観的評価の利用はもとより、研究課題 2-1 で示された運動パフォーマンスの向上の可能性や、研究課題 2-2 で検討された曖昧さを考慮した総合評価の各々の方法を有機的に結合し、さらに動作の分析を 2 次元から 3 次元の動作分析に拡張した運動評価支援システムを構築した。また可能性指標を設定し、さらに具体的な現状の把握を行いやすくした。さらに研究課題 3-2 として、評価知識のネットワークによる共有と分散管理を検討した。研究課題 3-2 はコンセプトとプログラムだけであるのでその有効性を確かめた訳ではないがこのような試みは全く初めてであり、他の分野での応用も可能なので今後の課題として発展させていく必要があることが示唆された。

研究課題 4-1 および研究課題 4-2 は、曖昧性を考慮した評価法の有効性を確かめるために、体力評価問題として検討した。そのため知的障害者の体力を分析し、分布によらない評価が可能であることを示した(研究課題 4-1)。その結果 MR 者の運動能力は、一般人に比べると値は低い項目が多く、MR 者の運動能力の分布特性は、正規分布をしているとは言えないということが明らかになった。また MR 者の運動能力を分析するには、ファジィ理論を用いた方法が有効であり、評価する場合もファジィ理論を用いた方法が有効であることが示された。そして可能性線形回帰分析という手法を用いて、知的障害者に具体的な到達目標を設定する方法を検討した(研究課題 4-2)。その結果、可能性線形回帰を用いて、1500m

走のタイムを個々人のデータのばらつきを考慮して、推定範囲を求めることができた。また求められた推定範囲の内最も良い記録を“パフォーマンス向上の可能性”と定義し具体的な到達目標として設定できた。さらに“パフォーマンス向上の可能性”は、20人中18名について妥当な推定を行っており、具体的な到達目標としては十分利用可能であることが示された。これらのことから、人間の運動パフォーマンスの改善や体力の評価分析には本研究でもちいられた手法が有効であることが確かめられた。

第2節 要約と結論

本研究では人間の運動が本質的に曖昧さを含んでおり、この曖昧さは人間のような複雑なシステムを解析する上で避けられない問題であるという観点から、運動パフォーマンスを改善するための支援システムを構築した。それぞれの研究課題からの目的と結果は以下のようである。

- (1) 専門家の主観的判断を定量化する方法として、ファジィ理論を用いた方法の有効性を示すことを検討した(研究課題 1-1).
 - (a) 専門家がもっている知識をメンバーシップ関数をもちいて再現性よく表現することができた。
 - (b) 曖昧な情報の取り扱いが可能であった。
- (2) 運動パフォーマンスの評価方法として、熟練者の評価方法を考慮に入れて、ファジィ推論を用いた方法を提案した(研究課題 1-2).
 - (a) 熟練者が行っているのと同様な評価が可能であった。
 - (b) フォームが多少変動してもその変動を吸収し、再現性の高い評価を行うことが可能であった。
 - (c) 運動パフォーマンスを評価するための熟練者の知識の蓄積が可能であることが示された。
- (3) 可能性線形回帰分析(ファジィ理論)を用いて、打突速度を推定し、その向上の可能性を示す手法を考案した(研究課題 2-1).
 - (a) 可能性線形回帰を用いて、剣道の打突速度を個々人のデータのばらつきを考慮して、推定範囲を求めることができた。

- (b) 求められた推定範囲の内最も良い記録を“パフォーマンス向上の可能性”と定義し具体的な到達目標をとして設定できた。
 - (c) “パフォーマンス向上の可能性”は、具体的な到達目標としては十分利用可能であることが示された。
- (4) 曖昧性を考慮した総合評価の手法を確立し、ファジィ主成分分析を用いた知的障害者の体力・運動能力の総合評価を定式化した(研究課題 2-2).
- (a) 曖昧性を考慮しながら知的障害者の運動能力を総合的に評価することが可能であった。
 - (b) 曖昧性を含んだ情報の合成が可能であることが示された。
- (5) これまでの研究課題の結果を踏まえて、研究課題 1-1, 研究課題 1-2 で明らかにされた熟練者の主観的評価の利用はもとより、研究課題 2-1 示された運動パフォーマンスの向上の可能性や、研究課題 2-2 で検討された曖昧さを考慮した総合評価の各々の方法を有機的に結合し、さらに動作の分析を 2次元から 3次元の動作分析に拡張した運動評価支援システムを構築した(研究課題 3-1).
- (a) 可能性指標を設定し、さらに具体的な現状の把握を行いやすくした。
 - (b) 経験的指示を再現することができた。
- (6) 運動パフォーマンスを評価する上で、有効な人間の主観的判断のコンピュータネットワーク上の分散管理方法を提案した(研究課題 3-2).
- (a) コンセプトとプログラムだけであるのでその有効性を確かめられず、今後の課題とした。
- (7) MR 者の特性と人間に内在する曖昧さを考慮し、ファジィ理論を用いた体力分析の方法を提案した(研究課題 4-1).
- (a) MR 者の運動能力は、一般人に比べると値は低い項目が多い。
 - (b) MR 者の運動能力の分布特性は、正規分布をしているとは言えない。

- (c) MR 者の運動能力を分析するには、ファジィ理論を用いた方法が有効であった。
 - (d) MR 者の運動能力を評価するために、ファジィ理論を用いた評価方法が有効であった。
- (8) ファジィ理論を用いて、全身持久性を推定し、その向上の可能性を示す手法を考案した(研究課題 4-2).
- (a) 可能性線形回帰を用いて、1500m 走のタイムを個々人のデータのばらつきを考慮して、推定範囲を求めることができた。
 - (b) 求められた推定範囲の内最も良い記録を“パフォーマンス向上の可能性”と定義し具体的な到達目標をとして設定できた。
 - (c) “パフォーマンス向上の可能性”は、20人中18名について妥当な推定を行っており、具体的な到達目標としては十分利用可能であることが示された。

第3節 今後の研究課題と研究の限界

本研究は、人間の曖昧さを体育の観点から扱った初めての試みであり、さらに多くの課題が明らかになった。また本手法での限界も明らかになった。

研究の限界

- 本研究で扱う知識は、専門家の方から調査するものであり、その専門家が知らないことは、システムは知りようがない。これは本システムが知識のソース(源)に非常に多く依存していることを示している。本支援システムの限界は調査対象に限定される。
- 本手法での評価は現在ある知識しか利用出来ない。新しい技や新しい理論体系が生まれたときそのままでは対処出来ない。
- 厳密な運動力学モデルに立脚していないので、間違ったルールを構築する可能性がある。

これらを踏まえて、今後の課題として以下のものが考えられる。

今後の課題

- 新たな知識を獲得するために学習機能を付加する。
- 言語ベースの指示だけでなく、グラフィカルな指示を出来るようにする。
- 力学的モデルに基づいた、運動の効率なども判断基準に付加出来るようにする。
- 指導を受ける側の心理的要素も考慮する。
- 改善支援システムがどの程度有効であるか検証する。

謝辞

本研究を進めるにあたり、常に厳しくしかしペースののろい私を決して見捨てることのなかった筑波大学体育科学系、浅見高明教授に心より感謝致します。また、全く私が勝手に押しかけたような状態でファジィ理論を一から指導して下さり、博士論文の作成に丁寧な御指導を賜りました筑波大学構造工学系、安信誠二助教授に厚く御礼申し上げます。筑波大学体育科学系、田中喜代次助教授には本論文をまとめるだけでなく公私共にお世話になりました。御礼申し上げます。本研究を進めるにあたり丁寧な御指導を賜りました筑波大学体育科学系、吉田茂助教授に心より謝意を申し上げます。本研究を進めるにあたり、様々な御援助を頂いた筑波大学体育科学系、後藤邦夫助教授に深く感謝致します。通産省工業技術院、生命工学工業技術研究所人間環境システム部、福祉医用工学研究室の藤本浩志博士には本研究の実験等に多大なる御援助を頂きました。生命工学工業技術研究所人間環境システム部システム設計研究室の横井孝志博士には本研究に欠かせない実験施設を快く使用させて頂きました。生命工学工業技術研究所人間環境システム部 形態機能研究室の木塚朝博博士には本研究を進めるにあたり多大なる助言を賜っただけでなく、色々お世話になりました。深謝致します。

本研究を進めるにあたり、協力して下さった被験者の皆様、また貴重な知識を惜しみなく提供して下さった剣道部・剣道同好会の皆様、実験の被験者となり、また助手となって協力してくれた平井仁君、竹内克彦君、高司譲君、浅見研究室の皆さんに深く感謝致します。様々な御助言を頂いた筑波大学体育科学系の諸先生方とご協力頂いた方々に御礼申し上げます。

最後に、私の生活を支え、惜しめない協力と最も厳しい批判を深い愛情で注いでくれた妻、文に感謝致します。

参考文献

- 1) 浅見俊雄: サッカーの技術構造とスキルテスト, 体育科教育, 18(2), 40-43, (1970).
- 2) 浅野勝己, 熊谷秋三, 長友睦美, 松坂晃, 平木場浩二, 加藤晋一: 精神遅滞者の走行トレーニングの有気的作業に及ぼす影響に関する研究, 筑波大学体育科学系紀要, 6, 133-145, (1977).
- 3) Bundschuh, E., Cureton, K.: Effect of bicycle Ergometer Conditioning on the Physical Work Capacity of Mentally Retarded Adolescent, *American Corrected Therapy Journal*, 36, 159-163, (1982).
- 4) 調枝孝治: 運動学習における巧みさ, 体育の科学, 18, 279-283, (1973).
- 5) D. dubois and H. Prade: Fuzzy Sets and Systems – Theory and Applications, Academic Press, (1980).
- 6) Fernhall, B., Tymeson, G. T., Webster, G. E.: Cardiovascular Fitness of Mentally Retarded Individuals, *Adapted Physical Education Quarterly*, 15, 12-22, (1989).
- 7) 芳賀脩光, 宮下充正, 柿崎恭子, 加藤洋一, 山中邦夫, 植屋悦男, 柿崎徳衛, 平井淳, 芳賀登, 大石三四郎: 精神遅滞者の全身持久性トレーニング効果についての検討, 筑波大学体育科学系紀要, 8, 181-191, (1985).
- 8) 波多野義郎: 正常児に比べた精神薄弱児の調整的運動能力に関する研究, 体育科学, 4, 170-179, (1976).
- 9) 廣田薫: あいまい制御 知能ロボット, マグロウヒルブック, 東京, (1985).
- 10) 本多中二, 大里有生: ファジィ工学入門, 海文堂, 東京, (1989).
- 11) 猪飼道夫: 身体運動の生理学, 杏林書院, 東京, (1973).
- 12) 岩原信九郎: 教育と心理のための推計学, 日本文化科学社, 東京, (1957).
- 13) Jonson-Laird, P. N.: Mental models, Cambridge University Press, Cambridge, (1988).

- 14) Knapp, B. N.: Skill in sport, Routledge and Kegan Paul, London, (1963).
- 15) Linstone, Harold A.: The Delphi Method, Addison-Wesley Publishing Company, New York, (1975).
- 16) 松田岩男: 運動技術の構造とスキルテスト, 体育科教育, 18(2), 15-18, (1970).
- 17) 松浦義行: 体力測定法, 朝倉書店, 東京, (1983).
- 18) 松浦義行: 体育・スポーツ科学のための統計学, 朝倉書店, (1985).
- 19) 水野康弘, 矢部京之助: 重度精神遅滞児に見られる運動学習の遅れ, 体育の科学, 32(4), 275-281, (1982).
- 20) 向殿政男: ファジィのはなし, 日刊工業新聞社, 東京, (1989).
- 21) 向殿政男, 本多中二: ファジィ「あいまい」の科学, 岩波書店, 東京, (1990).
- 22) 野口義之: スキルテストとその限界, 体育科教育, 18(2), 21-23, (1970).
- 23) Robb, M.: Feedback, *Quest*, 6, 36-42, (1966).
- 24) 佐藤方哉 (編): 学習 II-その展開 (現代基礎心理学 6), 東京大学出版会, (1983).
- 25) Sengstock, W. L.: Physical Fitness of Retarded Boy, *The Research Quarterly*, 37, 113-120, (1964).
- 26) Shephard, R. J.: Physical performance tests for soccer, Canadian Soccer Association, (1974).
- 27) Singer, R. N. : Motor leaning and human performance, MACMILLAN, New York, (1975).
- 28) Snedecor, Geoge W., William G. Cochran: STATISTICAL METHODS, The Iowa State University Press, Ames., 6th edition, (1967).
- 29) Stratton, G. M.: Some preliminary experiments in vision without inversion of the retinal image, *Psychol. Rev.*, 3, 611-617, (1896).

- 30) Stratton, G. M.: Vision without inversion of the retinal image, *Psychol. Rev.*, 4, 341-360, (1897).
- 31) 竹内虎士: 竹刀スピードと攻防の機序分析(第1報), *武道学研究*, 9(2), 17-18, (1976).
- 32) 田中英夫, 上嶋暁, 浅井喜代治: ファジィ関数による線形回帰モデル, *日本オペレーションズ・リサーチ学会誌*, 25(10), 1051-1057, (1986).
- 33) 田中英夫: ファジィモデリングとその応用, 朝倉書店, 東京, (1990).
- 34) 田中一男: 応用をめざす人のためのファジィ理論入門-ファジィ集合からファジィ制御まで-, ラッセル社, 東京, (1991).
- 35) 田中幸夫, 藤田紀盛, 百鬼史訓, 橋爪和夫, 横山直也: 剣道における打突動作のバイオメカニクスの研究-踏み込み動作について(その3)-, *武道学研究*, 12(1), 1-7, (1980).
- 36) 寺野寿郎, 浅井喜代治, 菅野道夫, 共編: 応用ファジィシステム入門, オーム社, 東京, (1989).
- 37) 寺野寿郎, 浅井喜代治, 菅野道夫: ファジィシステム入門, オーム社, 東京, (1987).
- 38) 東京都立大学体育学研究室編: 日本人の体力標準値第四版, 不昧堂, 東京, (1989).
- 39) 内匠屋潔: 身体部分の加速度から見た剣道の分析-正面打について-, *武道学研究*, 9(2), 42-43, (1976).
- 40) 内匠屋潔, 真柄浩: 身体部分および竹刀位相変化からみた剣道の分析, *武道学研究*, 10(2), 36-39, (1977).
- 41) 内匠屋潔, 小林一敏: 正面打撃における「むち」的動作の考察, *武道学研究*, 12(1), 35-36, (1979).
- 42) Wiener, N.: *Cybernetics*, M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, (1948).
- 43) 矢部京之助, 三田勝己, 青木久, 西村辨作, 水野真由美, 若林慎一郎: 精神遅滞児と自閉症児の体力・運動能力, *体育の科学*, 29, 740-743, (1979).

- 44) 山内健二, 薮内賢之, 和多田淳三, 中森義輝: ファジィデータの主成分分析法の構成, 第 11 回ファジィシステムシンポジウム講演集, 241–242, (1996).
- 45) 安信誠二, 宮本捷二, 井原廣一: Fuzzy 制御による列車位置停止制御, 計測自動制御学会論文集, 19(11), 873–880, (1984).
- 46) 安信誠二, 宮本捷二, 井原廣一: 予見 Fuzzy 制御方式による列車自動運転, システムと制御, 28(10), 605–613, (1984).
- 47) 安信誠二: ファジィ理論の実システムへの応用–仙台市地下鉄列車自動運転–, 日本機械学会誌, 91(836), 639–644, (1988).
- 48) 安信誠二: ファジィ工学, 昭晃堂, 東京, (1991).
- 49) Zadeh, L. A.: Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 338–353, (1965).
- 50) Zadeh, L. A.: Fuzzy Algorithms, *Information and Control*, 12, 94–102, (1968).
- 51) Zadeh, L. A.: Probability Measures of Fuzzy Events, *J. Math. Analysis and Appl.*, 23, 421–427, (1968).
- 52) Zadeh, L. A.: Similarity Relation and Fuzzy orderings, *Information Sciences*, 3, 177–200, (1971).
- 53) Zadeh, L. A.: Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-3, 28–44, (1973).
- 54) Zadeh, L. A.: The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. Part 1, *Information Sciences*, 8, 199–129, (1975).
- 55) Zadeh, L. A.: The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. Part 2, *Information Sciences*, 8, 301–357, (1975).

- 56) Zadeh, L. A.: The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. Part 3, *Information Sciences*, 9, 43–80, (1975).
- 57) Zadeh, L. A.: A Fuzzy-Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts, *Int. J. Man-Machine Studies*, 8, 249–291, (1976).
- 58) Zadeh, L. A.: Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility, *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 3–28, (1978).
- 59) Zadeh, L. A., Bellman R. E.: Decision-making in a Fuzzy Environment, *Management Science*, 17B, 141–164, (1970).