

体育科学へのファジイ理論の応用

杉本光公

信州大学農学部食料生産科学科

要約 人間の運動は機械の運動などと違い、動作に幅がある。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。人間ほど複雑なシステムはないといえる。本稿は、このような曖昧な人間の運動を解析、評価する上で、ファジイ理論がどのような役割を担ってきたのかをレビューし、様々な分野に応用されているファジイ理論の有効性を示すと共に、今後の研究の発展性を考察する。

キーワード：ファジイ理論，運動パフォーマンス，測定評価，可能性線形回帰分析

はじめに

(1) 不適合成の原理

人間の運動は機械の運動などと違い、動作に幅がある。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¹⁾である。人間ほど複雑なシステムはないといえる。

(2) 従来分析方法

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きた。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なされており、その点に関しては、従来法となら変わらない。

(3) ファジイ理論の有効性

現実の世界では、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。しかしファジイ理論は

受理日 10月1日

採択日 11月18日

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割愛するが、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、曖昧な情報の定量化が可能である。

体育科学へのファジィ理論の応用研究

実際に、これまでファジィ理論を応用した研究の例を挙げ、その有効性を示す。

(1) 曖昧性を考慮した体力評価

これまで、従来の統計的手法で処理されていた、人間の体力というものをファジィ理論を用いて評価した。母集団の分布によらず、適切な評価が可能であることが示されている。

i) 目的

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、測定値の分布が一般でない知的な発達障害者（以下MR者と表記する）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・評価の方法を提案することを目的とした。

ii) 方法

対象は、MR者の入所授産施設Tに入所している者、合計50名（男性32名、女性18名）である。運動能力の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、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、Sit ups、1500m、1000m走の12項目とした。また、これらの項目は日本人の体力標準値第四版²⁾の測定方法に準拠して測定を行った。

iii) 結果・考察

従来の評価では、平均値と標準偏差から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。本研究では三段階評価を用いているので、一般的な三段階評価は、

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。ここで \bar{X} は平均値、 σ は標準偏差、 x は

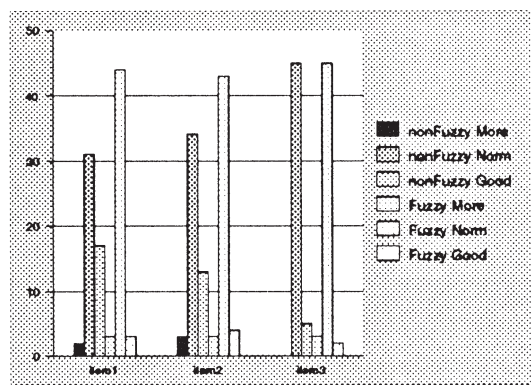


図1：ファジィ評価法と従来評価法の比較

item1：立位体前屈、item2：伏臥上体そらし、item3：閉眼片足立ち

評価ラベル (Good (十分優れています), Norm (普通です), More (努力しましょう))

各測定値である。この三段階評価を用いて、被験者一人一人を評価したの結果の一例をファジィ評価と従来の評価を合わせて図1に示した。グラフの縦軸は、各ラベルに評価された度数である。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。

(2) ファジィ理論をもちいた主観的な運動評価の定量化

監督やコーチといった熟練指導者は、選手の能力を的確に見抜く能力がある。しかしこの評価基準は曖昧で、非常に主観的である。このような主観的判断基準を定量的に扱う方法を示している。

i) 目的

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ポイントとして非常に重要である。そこで、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。

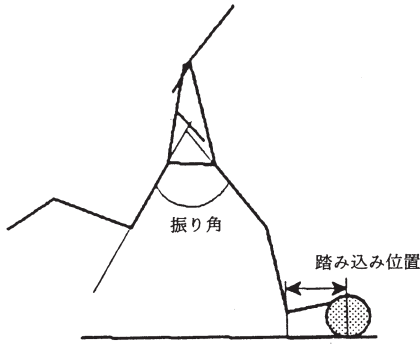


図2：定量化のパラメータ1

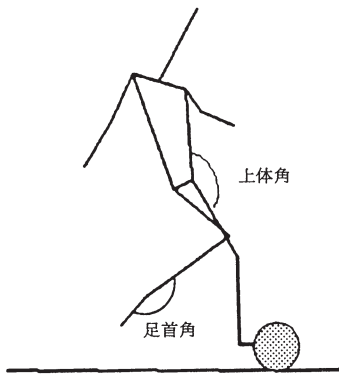


図3：定量化のパラメータ2

ii) 方法

対象は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。

iii) 結果・考察

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。ビデオ画像の問題点を各コーチに評価してもらい、2人以上に指摘されている点を改善点として抽出した。そして、主観的評価を実際の動作と対応させた。

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)

各改善点は上述の角度や長さで代表できるとし、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2および図3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³⁾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4に示した。

このメンバーシップ関数は人間の主観的曖昧さを表しているといえ、今後の研究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ている。

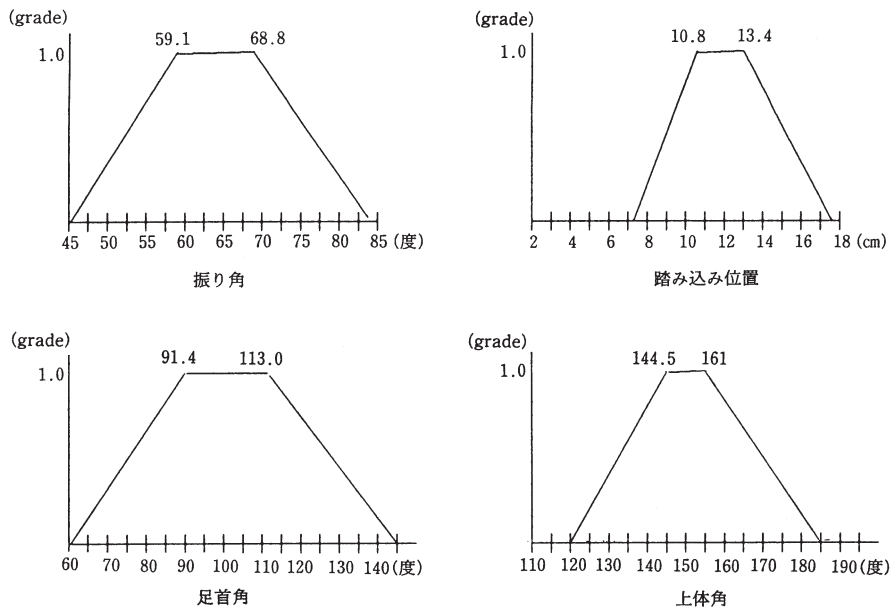


図4：メンバーシップ関数

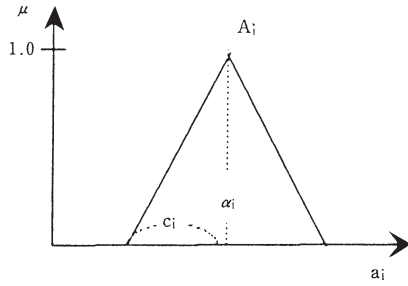


図5：対称なファジィ数

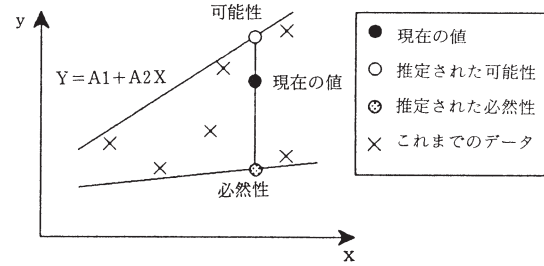


図6：可能性線形回帰分析の概念

(3) 可能性線形回帰分析による向上の可能性の推定
運動パフォーマンスを向上させる上で、具体的な到達目標を設定することは非常に有効である。常に変動する運動パフォーマンス（ここでは1500m走の記録）に対して、可能性線形回帰分析（ファジィ拡張された線形回帰分析）による向上の可能性の推定方法を示している。

i) 目的

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⁴⁾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⁵⁾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。

ii) 方法

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²⁾に準じて行われた。

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。

$$Y = A_1x_1 + \dots + A_nx_n$$

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5のようであり、A_i(a_i, c_i)で表す。このとき、a_iは中心を、c_iは中心からの幅を表す⁴⁾。

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μ_γ(y)は拡張原理³⁾から、

$$\mu_\gamma(y) = \sup_{a|y=ax} \mu_{A_1}(a_1) \wedge \dots \wedge \mu_{A_n}(a_n)$$

表1：可能性の推定の妥当性の検討

被験者	1500走の測定値	可能性線形回帰の推定値	重回帰の推定値
ID 1	5.01	4.59	4.89
ID 2	5.35	5.18	-0.63
ID 3	12.19	11.88	6.52
ID 4	10.41	9.95	10.26
ID 5	9.04	8.14	5.46
ID 6	10.11	9.07	7.91
ID 7	6.37	6.87	7.41
ID 8	11.25	10.19	4.33
ID 9	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

で表される。ただし、a = (a₁, ..., a_n)であり、x = (x₁, ..., x_n)^tである。ファジィ係数A_i = (a_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。

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

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

$$y_j \geq ax_j - c|x_j| \quad c \geq 0$$

可能性線形回帰分析の概念を図6に示した。

iii) 結果・考察

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1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人のうち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名のうち、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名のうち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。

おわりに

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。現状の評価には、人間の曖昧さを考慮した評価法が示されている⁹⁾。また、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。これらの問題に対して、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との有効性が示されている^{7,8)}。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。また、運動パフォーマンスの向上の可能性を定量化する試みもなされている⁹⁾。さらに、これらの蓄積された監督・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されている。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されている。

最後に、このようなファジィ理論の応用は、体育科学の分野だけでなく、農学の分野にも応用が可能であると考えられる。農学が対象とする自然も当然曖昧で、不確定な要素が多く含まれるものであると考えられるからである。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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，不味堂，東京，1989.
- 3) 安信誠二，ファジィ工学，昭晃堂，東京，1991.
- 4) 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.
- 5) Zadeh, L. A.: Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 338-353, 1965.
- 6) 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), 95-104, 1996.
- 7) 杉本光公，安信誠二：ファジィ推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), 89-94, 1996.
- 8) Mitsukimi Sugimoto and Takaaki Asami: The utility of total evaluation of physical fitness based on fuzzy principal component analysis for individuals with mental retardation, *CIRCULAR*, 57, 23-28, 1996.
- 9) 杉本光公，浅見高明：可能性線形回帰分析を用いた知的障害者の150m走の記録向上の可能性，*バイオメカニズム学会誌*, 20(4), 191-197, 1996.

The Application of Fuzzy Logic for Sport Sciences

Mitsukimi SUGIMOTO

Division of Plant Science and Technology,
Department of Food Production Science,
Faculty of Agriculture, Shinshu University

Summary

Some uncertainty always exists in the movement of humans, differing from that of machines. In this article, this uncertainty is treated as "Fuzziness". It is impossible for humans to repeat their movement with complete accuracy because of its fuzziness which cannot be avoided as an intrinsic nature of the human movement. This fuzziness is an important subject of study which can not be passed over in the analysis of human movement. In the study of mechanisms, the strict and significant analysis of the system is said to be impossible when its complexity exceeds a certain level. There is seldom the system of which complexity exceeds that working in the human movement. In this article, the author reviews the role of "Fuzzy Logic" having played in the sports science which need to analyze and evaluate many complicated human movements, and indicates the effectiveness of application of the fuzzy logic to many fields of study and discusses the possibility of development in the science.

Key word : Fuzzy logic, Physical performance, Measurement and evaluation, Possibility liner regression.