

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

杉本光公* 浅見高明**

Abstract

As many effort has been made to increase the opportunity of the social participant of the individuals with mental retardation in modern society, the contact between the individuals with mental retardation and the society will increase more and more. When the individuals with mental retardation lead the social life, the one of the most important physical factor is total body endurance. So it is important that we secure the probability of improving the total body endurance performance precisely. We are used to measure the record of 1500m run for the indicator of endurance performance. But it is very hard to measure for the individuals with mental retardation. So we try to estimate the record from other physical factor. Generally the multiple regression are used to apply such the estimation, but for the individuals with mental retardation, multiple regression isn't available because their data distribution does not fit the normal distribution and their understanding of the measuring method is different each measuring time. So we propose the method which can estimate the record of 1500m run. This method use Liner Probability Regression, which based on the Fuzzy Theory. The Fuzzy Theory is proposed from L. A. Zadeh in 1965. This theory use membership function instead of population value.

The subjects consisted of 20 individuals with mental retardation aged 32.7 ± 11.0 . The test items were Standing trunk flexion, Trunk extension, Closed-eyes foot balance, Grip strength(R,L), Back strength, Standing long jump, Soft ball throw, Shuttle run, 50m run, Sit ups and 1500m run.

The result were as follows:

- The method using probability liner regression could estimate the range of the record of 1500m run.
- The method using probability liner regression could numerically set the object of improving performance.
- The estimated range which was set "the improving probability of performance" was very valid range.

1. 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⁴⁾に全身持久力がある³⁾。全身持久力は労働に従事する上で必要であり²⁾、健康の維持増進に大きな影響がある¹⁾。そのため、知的な発達障害者の全身持久力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。男性の全身持久力を表すのには、主に1500m走のタイムが指標として用いられている⁶⁾。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¹²⁾。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^{5,7)}が、健常者の場合と異なり、通常の推定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。可能性線形回帰において可能性はメンバーシップ関数で表現されている。このため分布の形に依存することなく曖昧性を表現できる。このような特質を備えた可能性線形回帰分析は重回帰分析の自然な拡張となっており、曖昧なデータのモデル化に適している。また、可能性線形回帰では確率モデルによらないので、データの変動に対して頑健である。本質的に曖昧性を含む本研究の場合、重回帰分析ではモデル化が困難であり、可能性線

1996年4月10日受付

* 筑波大学大学院体育科学研究科

〒305 つくば市天王台 1-1-1

** 筑波大学体育科学系

〒305 つくば市天王台 1-1-1

キーワード：可能性線形回帰分析(The possibility liner regression analysys), 知的障害者(Person with mental retardation), 1500m走(1500m run), パフォーマンス(Performance)

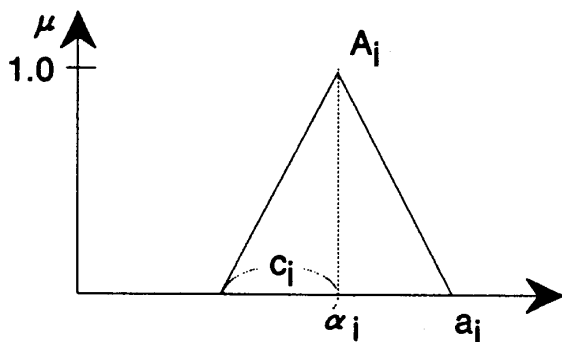


図1 対称なファジィ数
Fig. 1 Symmetrical fuzzy number

形回帰の方が適していると予想される。そこで、本研究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¹⁰⁾を用いて推定する方法を提案する。持久走能力のパフォーマンスを他の能力から推定可能であるかどうかは、本論文では明らかにはできないが、本手法は曖昧なデータを含む場合の可能性の推定を行う方法を示すものである。可能性線形回帰では、データの解析はファジィ理論¹³⁾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。

2. 方法

2.1 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。

$$Y_j = A_1 x_{j1} + \dots + A_n x_{jn} \quad (1)$$

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1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¹⁰⁾。このとき、式1の Y_j は、

$$Y_j = (\alpha X_j, C|X_j|) \quad (2)$$

表1 被験者の基礎データ
Table 1 The basic data of subjects

	average ± SD
age	32.7 ± 11.00
height (cm)	160.0 ± 7.46
weight (kg)	55.7 ± 7.84
IQ	37.8 ± 10.84

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(1式)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。

$$\begin{cases} y_i \in Y_i \\ (j=1, \dots, m) \end{cases} \iff \begin{cases} y_i \leq \alpha x_j + c|x_j| \\ y_i \geq \alpha x_j - c|x_j| \end{cases} \quad (3)$$

2. 推定区間 Y の幅の合計を最小にする。すなわち

$$\min_{\alpha, c} \sum_{j=1}^m c|x_j| \quad (4)$$

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。

2.2 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1の通りである。

2.3 測定項目

測定項目は、立位体前屈、伏臥体後反、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。これらの項目の測定は、測定項目毎に3回の測定を1セットとして行った。測定期間を6か月とし、この6か月間に3セットの測定を行った。この6か月間に被験者は普段より体育重視の生活(トレーニング)を行った。このため各測定項目

表2 平均値と標準偏差
Table 2 Average and Standard deviation

item	average ± SD
Standing trunk flexion (cm)	-12.6 ± 12.53
Trunk extension (cm)	32.4 ± 16.28
Closed-eye foot balance (sec)	2.8 ± 2.27
Grip strength (R) (kg)	29.3 ± 10.68
Grip strength (L) (kg)	28.9 ± 9.34
Back strength (kg)	62.1 ± 26.91
Standing long jump (cm)	135.7 ± 54.36
Soft ball throw (m)	19.82 ± 12.5
Shuttle run (sec)	17.47 ± 8.32
50m run (sec)	12.48 ± 11.18
Sit ups (times)	8.75 ± 6.10
1500m run (min)	9.60 ± 3.96

の測定回数は9回となった。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¹¹⁾に準じて行われた。

3. 結果

3.1 測定結果

各測定値の平均値と標準偏差を表2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3に示した。

3.2 推定モデル

20の標本で1%水準で有為な相関⁹⁾(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力の推定モデルは、

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

となった。ここで、 x_1 は伏臥体後反、 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。

表3 1500m走と他の項目との相関係数
Table 3 Correlation efficiency between 1500m

item	Correlation efficiency
Standing trunk flexion	-0.3282
Trunk extension	-0.6507
Closed-eyes foot balance	-0.5639
Grip strength (R)	-0.5965
Grip strength (L)	-0.63.5
Back strength	-0.6099
Standing long jump	-0.7173
Soft ball throw	-0.6794
Shuttle run	0.8259
50m run	0.8331
Sit ups	-0.4475

3.3 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(式1~式20)。

これらのファジィ数は図1に示されるとおり、 α_j (中心)と c_j (中心からの幅)の二つのパラメータで表現できる¹⁰⁾。

$$Y_1 = (0.001, 0.001) x_2 + (0, 0.001) x_4 + (0.458, 0) x_6 \quad (5)$$

$$Y_2 = (0.001, 0.001) x_1 + (0.023, 0) x_2$$

$$+ (0.002, 0) x_4 + (0.141, 0) x_6 + (0.334, 0) x_7 \quad (6)$$

$$Y_3 = (0.138, 0) x_1 + (0.038, 0.003) x_2 + (0.021, 0) x_3 + (0.006, 0) x_5 + (0.171, 0) x_6 + (0.108, 0) x_7 \quad (7)$$

$$Y_4 = (0.01, 0.003) x_1 + (0.011, 0) x_2 + (0.001, 0) x_4 + (0.056, 0) x_5 + (0.116, 0) x_6 + (0.623, 0) x_7 \quad (8)$$

$$Y_5 = (0, 0.024) x_1 + (0.505, 0) x_6 + (0.260, 0.049) x_7 \quad (9)$$

$$Y_6 = (0.026, 0.005) x_1 + (0.058, 0) x_2 + (0.10, 0.001) x_3 + (0.372, 0) x_6 + (0.217, 0) x_7 \quad (10)$$

$$Y_7 = (0.039, 0) x_1 + (0, 0.001) x_3 + (0.003, 0.001) x_4 + (0, 0.006) x_5 + (0.121, 0) x_6 + (0.408, 0) x_7 \quad (11)$$

$$Y_8 = (0.039, 0) x_1 + (0, 0.012) x_2 + (0.065, 0) x_5 + (0.866, 0) x_7 \quad (12)$$

$$Y_9 = (0.692, 0) x_1 + (1.013, 0) x_2 + (0.119, 0) x_3 + (0.011, 0) x_4 + (1.847, 0.172) x_5 + (0.171, 0) x_6 \quad (13)$$

$$Y_{10} = (0.028, 0) x_1 + (0.209, 0) x_2 + (0.024, 0) x_3 + (0.173, 0) x_6 + (0.033, 0.014) x_7 \quad (14)$$

$$Y_{11} = (0.013, 0) x_2 + (0, 0.002) x_3 + (0.004, 0) x_4 + (0.367, 0) x_6 \quad (15)$$

$$Y_{12} = (0.002, 0.001) x_3 + (0.004, 0) x_4 + (0.004, 0) x_5 + (0.663, 0) x_7 \quad (16)$$

$$Y_{13} = (0.043, 0.003) x_1 + (0.031, 0) x_2 + (0.002, 0) x_3 + (0.403, 0) x_7 \quad (17)$$

$$Y_{14} = (0.098, 0.001) x_2 + (0.005, 0) x_3 + (0.015, 0) x_4 + (0.056, 0.019) x_5 + (0.26, 0) x_7 \quad (18)$$

$$Y_{15} = (0, 0.005) x_1 + (0.007, 0.004) x_2 + (0.081, 0) x_5 + (0.371, 0) x_6 + (0.034, 0) x_7 \quad (19)$$

$$Y_{16} = (0.013, 0.006) x_1 + (0.024, 0) x_2 + (0.006, 0) x_3 + (0.001, 0) x_5 + (0.48, 0) x_7 \quad (20)$$

$$Y_{17} = (0.042, 0) x_2 + (0.065, 0) x_3 + (0, 0.008) x_4 + (0.19, 0) x_5 + (0.042, 0) x_6 + (0.245, 0.035) x_7 \quad (21)$$

$$Y_{18} = (0, 0.012) x_1 + (0.011, 0) x_3 + (0.744, 0) x_7 \quad (22)$$

$$Y_{19} = (0, 0.006) x_1 + (0.256, 0.022) x_2 + (0.021, 0.007) x_4 + (0.558, 0) x_5 \quad (23)$$

$$\begin{aligned}
 Y_{20} = & (0, 0.032) x_1 + (0.193, 0) x_2 \\
 & + (0, 0.011) x_3 + (0.464, 0.126) x_5 \\
 & + (0.334, 0) x_7 \quad (24)
 \end{aligned}$$

これらの推定式は、 $a_i > 0$ 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2、図3および図4に示

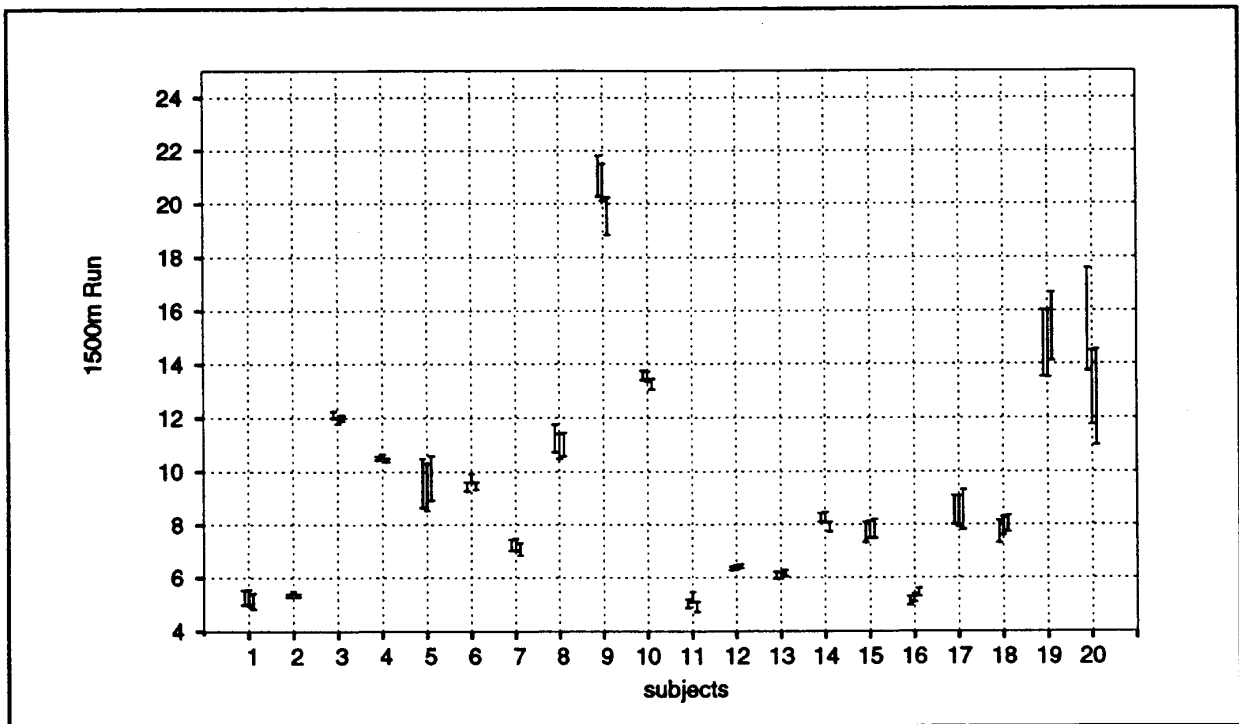


図2 1500m走の推定区間(1セット)
Fig. 2 The estimate range of 1500m run(1 set)

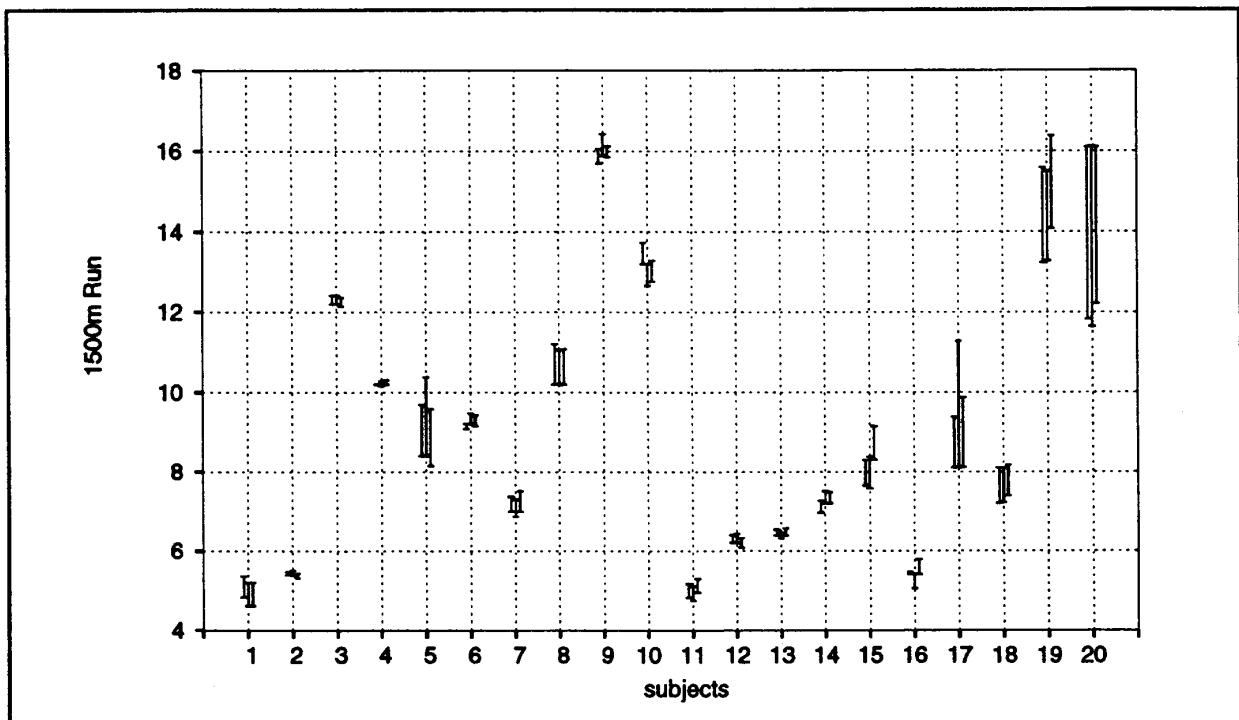


図3 1500m走の推定区間(2セット)
Fig. 3 The estimate range of 1500m run(2 sets)

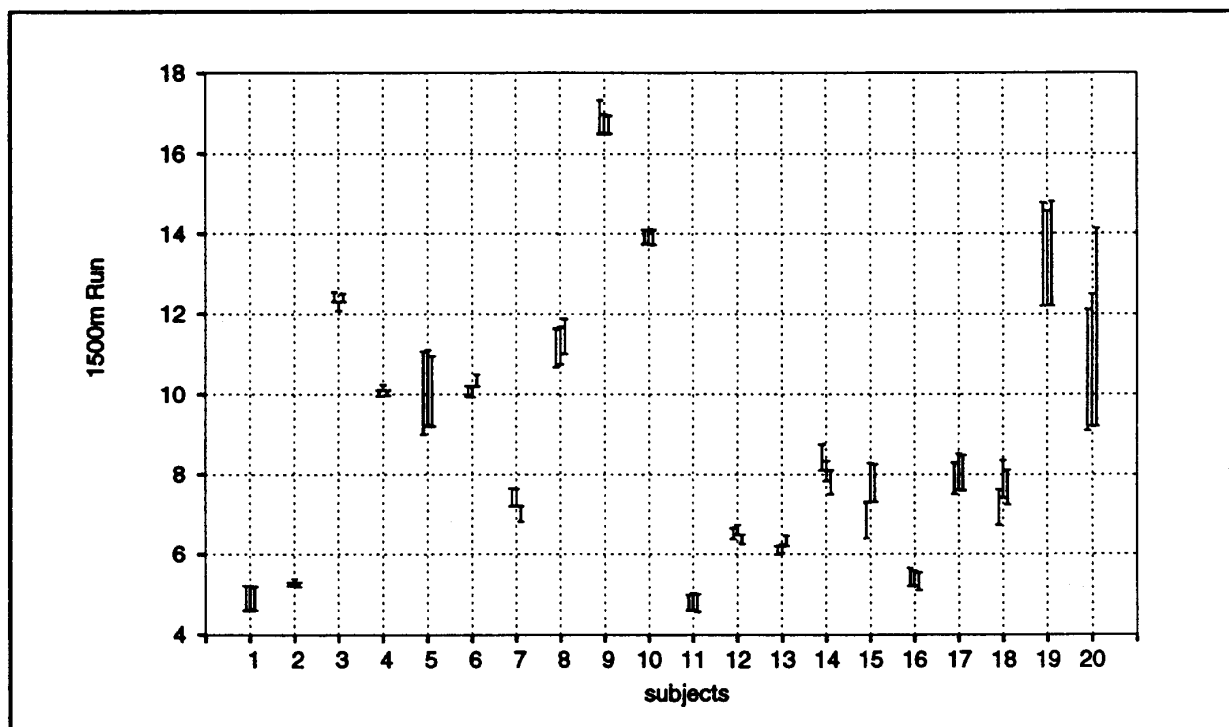


図4 1500m走の推定区間(3セット)
Fig. 4 The estimate range of 1500m run(3 sets)

す。これらの図は各項目ごとに9回の測定(3回×3セット)のうち、各セットごとにまとめてある。そのため、各人ごと3本ずつの推定区間が得られている。

4. 向上の可能性としての推定値

4.1 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¹⁰⁾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、1500m走のタイム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。本研究で見積もられた向上の可能性の推定値に対して、4回目の測定との偏差平方和を取ってみると、可能性線形回帰からの推定値では、27.3であった。また重回帰分析では11469.7であり可能性線形回帰のほうが非常に高い精度で推定できていることを示している。また、表4において4回目の測定値(基準値)±5%の範囲に推定値が入っているのは、可能性線形回帰では14名、重回帰では3名であり、可能性線形回帰の方が重回帰分析より良好な推定が行われている。

表4 向上の可能性とその妥当性
Table 4 The validity of estimation

PLR:Probabilityliner regression, MR:Multiple regression.

subject	1500run	estimation from PLR	estimation from MR
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	7.598	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

(min)

5. 論 議

本研究では、従来ほとんど行われていない、知的障害者の運動能力“1500m走”の記録向上の可能性を定量化することを試みた。可能性を表現する方法として可能性線形回帰分析を採用した。可能性線形回帰分析は回帰モデルが曖昧さを含んでおり、本研究におけるモデル化には従来法より適切であると考えられたからである。この根拠は、

1. 可能性線形回帰では変数の変動を全て可能性としてとらえる
2. 可能性線形回帰ではシステム自体に曖昧性を包含している
3. 可能性線形回帰は人間を構成要素として含む様なシステムのモデル化に有効である

などが考えられる¹⁰⁾。本研究において被験者は知的障害者であり、健常者に比べてデータのばらつきが大きく、曖昧さが大きい。そのため従来の確率モデルによる推定より可能性モデルによる推定の方が適していると考えられる。本研究に用いられた手法は、部分的に無知な情報を含むシステム(人間を含む)をモデル化するのに有効な手法であると考えられる⁸⁾。さらに、人間の判断などの主観的曖昧さを含むシステムも記述可能である。これは可能性線形回帰がファジイ理論に基づいているためであり、この特性はメンバーシップ関数の特性に負うところが大きい¹³⁾。

6. おわりに

本研究では、可能性線形回帰分析(ファジイ理論)を用いて、全身持久力を推定し、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。

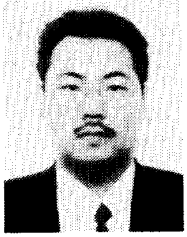
1. 可能性線形回帰を用いて、1500m走のタイムを個々人のデータのばらつきを考慮して、推定範囲を求めることができた。
2. 求められた推定範囲の内最も良い記録を“パフォーマンス向上の可能性”と定義し具体的な到達目標をとして設定できた。
3. “パフォーマンス向上の可能性”は、20人中14名について妥当な推定を行っており、重回帰分析より良好な結果が得られた。そのため具体的な到達目

標としては十分利用可能であることが示された。

謝辞：本研究を進めるにあたり、筑波大学構造工学系安信誠二教授、筑波大学体育科学系後藤邦夫助教授に多大なるご指導を賜りました。ここに深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 浅野勝巳, 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, (1997).
- 2) Fernhall, B.: Physical fitness and exercise training of individuals with mental retardation, *Medicine and science in sports and exercise*, 10, 443-448, (1993).
- 3) Fernhall, B., Tymeson, G. T., Webster, G. E.: Cardiovascular fitness of mentally retarded individuals, *Adapted physical education quarterly*, 15, 12-22, (1989).
- 4) 猪飼道夫: 身体運動の生理学, 杏林書院, (1973).
- 5) 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).
- 6) 松浦義行: 体力測定法, 朝倉書店, (1983).
- 7) 松浦義行: 体育・スポーツ科学のための統計学, 朝倉書店, (1985).
- 8) 日本ファジイ学会編: 講座ファジイ6ファジイOR, 日刊工業新聞社, 東京, (1993).
- 9) Gorge W. Snedecor and William G. Coshran: *STATISTICAL METHODS, 6th edition* The Iowa State University Press., (1967).
- 10) 田中英夫: ファジイモデリングとその応用, 朝倉書店, 東京, (1990).
- 11) 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).
- 12) 矢部京之介, 三田勝巳, 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(10), 740-743, (1979).
- 13) Zadeh, L. A.: Fuzzy sets, *Information and control*, 8, 338-353, (1965).



杉本光公 (すぎもと みつきみ)

1990年筑波大学大学院体育科学研究科編入学, 現在に至る. 人間の動作の曖昧さの定量化, 主観的評価, 向上の可能性の定量化等, 主として体育科学にファジィ理論を取り入れた研究を行う. 日本体育学会, 日本ファジィ学会, スポーツ教育学会の会員. (バイオメカニズム学会の正会員)



浅見高明 (あさみ たかあき)

1959年東京教育大学体育学部卒業. 1960年東京大学大学院人文科学研究科修了(修士). 1965年東京大学大学院教育学研究科修了(博士). 1965年大阪体育大学講師. 1968年大阪体育大学助教授. 1969年東京教育大学体育学部助教授. 1975年筑波大学体育科学系助教授. 1982年筑波大学体育科学系教授, 現在に至る. 日本体育学会理事. 日本体育学会茨城支部長, 日本武道学会常任理事, 人体科学会常任理事, 日本人間工学会評議員, 日本人類学会評議員. (バイオメカニズム学会の名誉会員)