

# 63キロ級女子柔道における立ち技の動作解析

## Motion Analysis of the Stand Technique for 63 kilogram

### Women's Judo

倉賀野 哲造, 田辺 陽子

KURAGANO Tetsuzo and TANABE Yoko

#### Abstract

The motions of the stand technique of 63 kilogram woman participants were analyzed using “British Judo Open Championship” video data. This video data was disassembled into frame data called AVI, which is a file format developed by Microsoft Corp. The motions performed by participants were analyzed using a software system implemented by us based on “Open CV”, which is an open source library developed by Intel Corp. When the opponents were thrown down, their downward velocities were statistically analyzed according to judgments known as “*Ippon*” and “*Waza-ari*”. In addition to these, a new criteria of an opponent’s landing posture, which describes the position of the upper body in contact with the “*Tatami*”, was introduced. It was classified into five numbered data according to the position of the body in contact with the “tatami” when thrown down. These numbered data points were also statistically analyzed according to whether they were judged as being either “*Ippon*” and “*Waza-ari*”. The mean value and standard deviation were calculated for the velocity and posture. Then, using mean velocity and standard deviation, mean posture numbered data and its standard deviation, Gauss curves were drawn as membership functions of fuzzy-logic for “*Ippon*” and “*Waza-ari*” respectively. If one Gauss curve represents “*Ippon*”, and another Gauss curve represents “*Waza-ari*”, the union was dealt with as an area judged as “*Ippon*” or “*Waza-ari*” without exception according to the precept of fuzzy-logic. And the intersection was dealt with as an area judged as either “*Ippon*” or “*Waza-ari*” according to the precept of fuzzy-logic. This is a case study of the motion analysis of Judo using downward velocity and posture taken from “British Open Judo Championship” video data.

#### 1. はじめに

“British Judo Open Championship” のビデオデータを使って 63 キロ級の女子柔道の立ち技の動作を解析した。女子柔道に着目した理由は、著者の 1 人が女子柔道の専門家であるからである。柔道の試合において「一本」と「技あり」の判定が下されているが、観客にとって下された判定が、なぜ「一本」と下されたか、なぜ「技あり」と下されたのか大変あいまいである。本研

究では、採集されたビデオデータを用いて、公式判定がどのようになされているかを統計的に調査した。投げられた選手の落下速度に基づく「一本」と「技あり」の差、および、畳への着地姿勢に基づく「一本」と「技あり」の差を公式判定に基づいて調査した。

柔道の動作に関する研究は多岐に渡っているが、これらの研究は柔道の実際の試合を取り扱ったものではない。Iwamura, Hreljac, Escamilla, と Edwards(2006)は、払い腰、背負い投げ、大外刈りで投げられた柔道家の重心の3次元の解析をしている。被験者は、投げる人が4人で、投げられる人は1人であった。動作は、“Peak performance technology Inc” Englewood, Co のシステムを使って解析された。しかし、この研究は、柔道の試合の動作を解析したものではない。

Blais, Trilles, Lacouture(2007)は、双手背負い投げの時の関節の動きとエネルギーの消費について研究している。2個のフォースプレートと共に、2個の力センサに接続されたエルゴメータと同期された6台の赤外線カメラを用いている。双手背負い投げに限定されているが、モデリングの方法は記述されている、しかし、それを解く方法は述べられていない。さらに、この研究は、柔道の試合中の動作については述べられていない。

Sacripanti(2010)は、柔道の競技に数学理論を導入した生体力学論を述べている。2階の微分方程式を示しながら、偶力の技術について内股を例にあげて紹介しているが、具体的に2階の微分方程式の解き方については述べられていない。

Pasculli と Sacripanti(2010)は、柔道は最も複雑なスポーツであると指摘しながら試合中の柔道家の移動について報告している。これは16の仮想試合を検討したもので、実際の柔道の試合に適用した研究ではない。

## 2. 方法

### 2.1 協力者

“British Judo Open Championship” のビデオから63キロ級の女子のデータのみを用いた。解析した試合数は37である。

### 2.2 ビデオデータからの位置の抽出

ビデオデータは、“XMedia Record” というソフトウェアライブラリーを使用して、AVI と呼ばれる書式に変換される。AVI はオーディオとビデオ情報をコンピュータにストアするためのファイルの書式である。柔道の立ち技を実施している時の動作は、“OpenCV” を基に我々が開発したソフトウェアシステムにより解析した。“OpenCV” は、インテルによって開発されたコンピュータビジョンと画像処理のためのオープンソースライブラリーである。

身体部位の位置は、「コマ送り」に基づいて AVI 画像上に目視により手動で指定し、コンピュータにより入力する。AVI 画像におけるピクセルの値の実空間の較正は、AVI 画像における畳の長さとは対応するピクセルの数により行う。この方法を図1に示す。

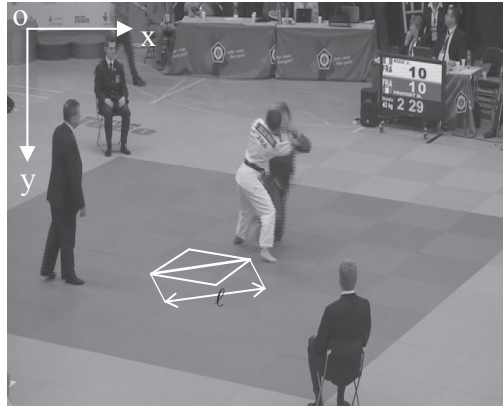


Figure 1. 63 kilogram women participants, the length of the “tatami” and left-hand co-ordinate  $l = 2.24$  metres

AVI 画像の座標系は、左の上方であり、これが画像の3次元解析の座標系の原点になる。これは左手系である。そこで、左手系は、左・下の角が座標系の原点になるように右手系に変換される。解析項目は、投げられた時の指定身体部位の落下速度と着地姿勢である。

### 2. 3 速度の算出

右手系に変換された指定された身体部位の位置データは，“Excel”を使って、 $x$  座標値と時間、 $y$  座標値と時間に分解される。“Excel”は、マイクロソフトにより開発された“Office”の1つのソフトウェアである。“Excel”のマクロ機能を使って速度を算出する。統計的に解析する落下速度は、「かけ」から始まり「畳」に着地するまでの投げられた時の最高の速度である。落下速度は、毎秒における移動距離である。落下速度の絶対値は正しくないかもしれないが、相対的な速度の比較は正しい。着地の場合の身体部位は、肩、腰、尻、および、背中全体である。

### 2. 4 着地姿勢の数値化

投げられた人の畳に落ちた時の姿勢を5段階で数値化する。5つの数値指標は、1,2,3,4,5である。この数値化は、「コマ送り」をしながら目視により行う。図2(a)のような着地姿勢の場合は、「うつ伏せ」と命名し、数の1を指標とする。図2(b)のような着地姿勢の場合は、「うつ伏せ 45度」と命名し、数の2を指標とする。図2(c)のような着地姿勢の場合は、「垂直」と命名し、数の3を指標とする。図2(d)のような着地姿勢の場合は、「肩垂直」と命名し、数の3を指標とする。このような着地姿勢は両膝を畳につけた背負い投げや、1本背負い投げで投げられた時に起こる。図2(e)のような着地姿勢の場合は、「仰向け 45度」と命名し、数の4を指標とする。図2(f)のような着地姿勢の場合は、「仰向け」と命名し、数の5を指標とする。図2(g)に背中の部分に番号を与え、上述した着地姿勢の場合に背中のどの部分が畳についているかを表1に整理する。

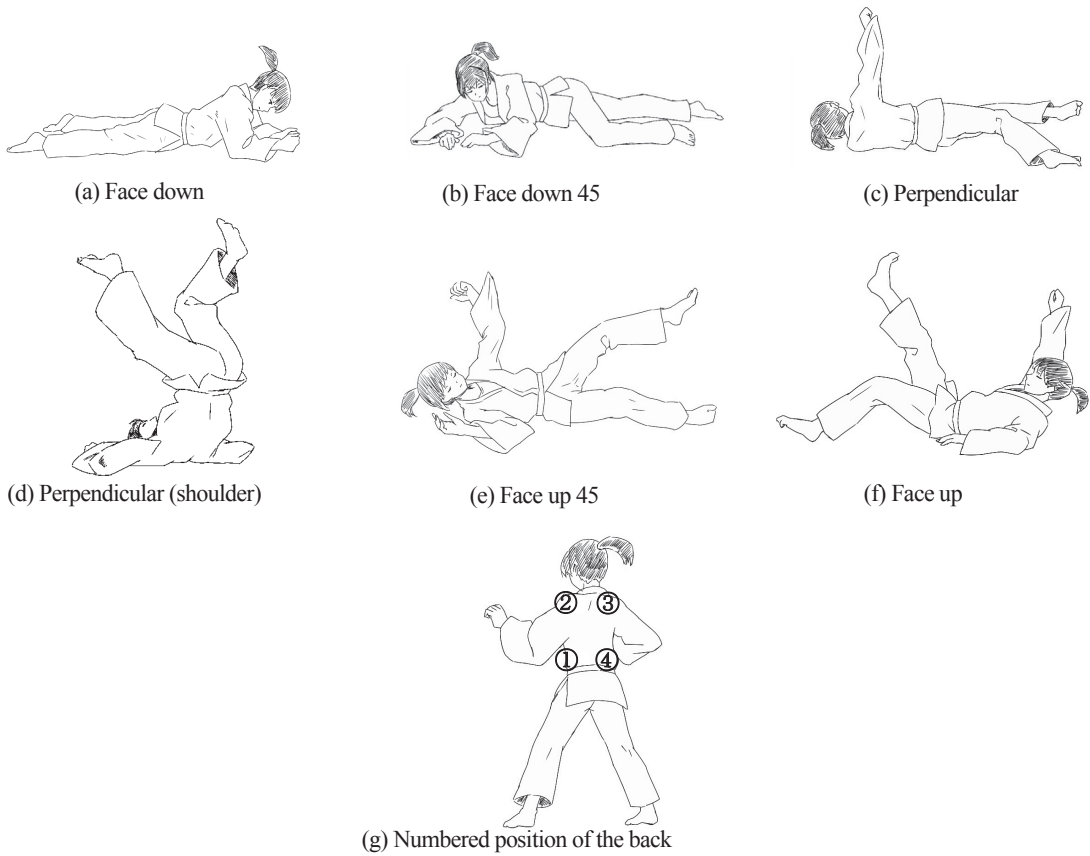


Figure 2. Landing on “tatami” posture and numbered position of the back

Table 1. Landing posture

Landing status	Description of landing status	Body parts contacting “tatami”	Assigned number	Depicted Figure number
Face down	Lower chest and elbows contact the “tatami”. Back of the body is facing up.	Chest of ①②③④ contact the “tatami”.	1	Figure 2 (a)
Face down 45	Shoulder location is approx. 45 degrees to the “tatami”.	①②or③④ of chest contact the “tatami”.	2	Figure 2 (b)
Perpendicular (two cases)	Shoulder is perpendicular to the “tatami”. Upper body contacts “tatami”	Either ①②, ③④, or ②③ contact the “tatami”	3	Figure 2 (c), (d)
Face up 45	Facing upward, shoulder location is approx. 45 degree to the “tatami”.	Either ①② or ③④ contact the “tatami”	4	Figure 2 (e)
Face up	Entire back contacts the “tatami”	①②③④ contact the “tatami”	5	Figure 2 (f)

## 2. 5 判定時間の算出

選手が着地してから審判の判定（「一本」、 「技あり」）がなされるまでに時間差があるため、着地してから判定が出されるまでの時間を計測する。計測の方法は、映像をコマ送りしながら目視により選手の着地から審判が手を上げるまでのフレーム数（コマ数）を数え、1/25 を乗ずることにより算出する。

## 2. 6 落下速度と判定時間の関係

勝負判定の評価基準の中に、「相当な強さと速さをもって投げた時」竹内(2001). とあるため、落下速度と判定に要する時間の関係を検証する。

## 2. 7 着地姿勢と判定時間の関係

勝負判定の評価基準の中に「大きく背中を着くように」とあるため、着地姿勢と判定に要する時間の関係を検証する。

## 2. 8 ファジィ理論

計算の基礎となる値や、値と値の関係にあいまい性があることを前提にした推論体系がファジィ理論で、人間の感性を記述するのに適している。ファジィ集合は、あいまいさを表現するために、1965年にロトフィ・ザデーが提案した概念で、「集合」を拡張したものである。例えば、「若い集合」と「若くない集合」を考えた場合、2つの集合の境界は明確に定義できない。なぜならこれを判断する人の主観によって、その判断が異なるだけでなく、本来明確にその境界を決められる性質のものでもないからである。しかし、このような問題を数学的に扱えるようにすることは人間の感性をモデル化するときに非常に重要となる。そこで、メンバーシップ関数を定義し、ある要素がファジィ集合にどのくらい所属するかをはかることにする。メンバーシップ関数に対する操作としては、通常集合演算である和集合、積集合（共通部分）の演算がある。

本研究では、一本と技ありと、判定された時の落下速度と、着地姿勢を統計的に整理し、平均値と標準偏差を求め、正規分布曲線を描き、それをメンバーシップ関数として扱い、集合の要素としては落下速度と着地姿勢の指標として、和集合のときには秒速がどの位からどの位まで、着地姿勢の指標がいくつかからいくつまでというように和集合を求める。積集合も同様にして求める。

## 3. 結果と考察

63kg級の女子柔道を扱った試合数は37で、「一本」が20試合(54%)で「技あり」が14試合(37.8%)「有効」が13試合(35%)であった。本研究では「一本」と「技あり」を取り扱い、「有効」は取り扱わない。

### 3. 1 落下速度

落下速度を整理し、「一本」、「技あり」を統計的に解析し整理すると、「一本」の平均落下速度は16.4m/s、標準偏差は3.4m/sであった。

「技あり」の平均落下速度は13.9m/s、標準偏差は2.8m/sであった。これらを表2にまとめる。

Table 2. Downward velocity

	“Ippon”	“Waza-ari”
Number of data	20	14
Mean value (metre per second)	16.4	13.9
Standard deviation (metre per second)	3.4	2.8

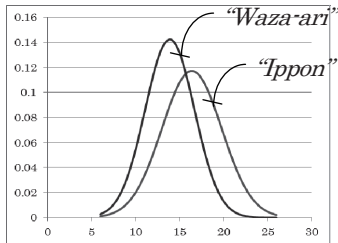


Figure 3. Downward velocity membership curves for “Ippon” and “Waza-ari”

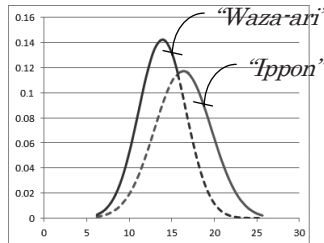


Figure 4. Union of “Ippon” and “Waza-ari” downward velocity membership curves

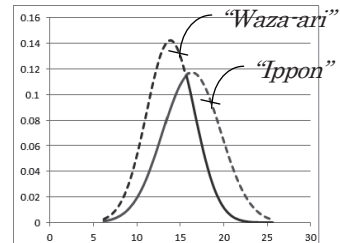


Figure 5. Intersection of “Ippon” and “Waza-ari” downward velocity membership curves

「一本」の場合の平均落下速度は 16.4m/s で標準偏差は 3.4m/s であるため「一本」と判定された場合の 68.26%の落下速度は 13m/s から 19.8m/s になっている。

「技あり」の場合の平均速度は 13.9m/s で標準偏差は 2.8m/s であるため「技あり」と判定された場合の 68.26%は落下速度が 11.1m/s から 16.7m/s になっている。

表 2 に示した平均値、標準偏差を用いて確率密度関数をメンバーシップ関数として描くと図 3 のようになる。

「一本」と「技あり」の和集合を図 4 に示す。これから分かる事は落下速度が 11.1m/s から 19.8m/s の場合は 68.26%確率でファジイ論理の概念により、「一本」もしくは「技あり」の判定になっている事である。

図 5 に示すような「一本」と「技あり」のメンバーシップ関数の積集合（共通領域）は時によっては「一本」と判定されたり、「技あり」と判定されたりする曖昧な領域である。

落下速度が 13m/s から 16.7m/s の場合は 68.26%の確率で「一本」か「技あり」に判定されている。落下速度が同じであってもファジイ論理の概念により、時により「一本」と判定されたり、「技あり」と判定されたりしている。

### 3. 2 着地姿勢と判定

着地姿勢を数値化し、「一本」, 「技あり」の判定に従って統計的に整理すると表 3 のようになる。

Table 3. Landing posture analyzed statistically

	“Ippon”	“Waza-ari”
Number of data	20	14
Mean value	4.3	3.3
Standard deviation	0.7	0.7

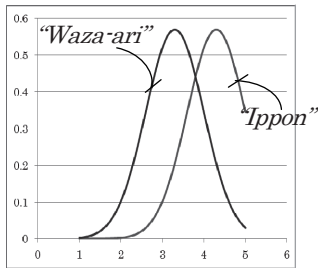


Figure 6. Landing posture membership curves for “Ippon” and “Waza-ari”

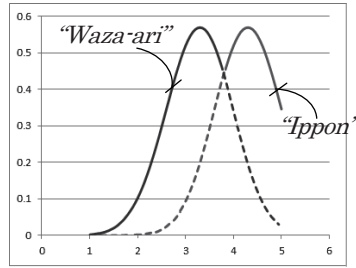


Figure 7. Union of “Ippon” and “Waza-ari” landing posture membership curves  
Solid line shows the union.

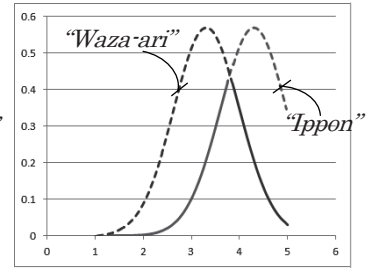


Figure 8. Intersection of “Ippon” and “Waza-ari” landing posture membership curves  
Solid line shows the intersection.

表 3 からわかることは、着地姿勢の指標が 3.6（「仰向け 45 度」に近い）場合から、5（「仰向け」）の場合は 68.26%の確率で「一本」と判定されている。

着地姿勢の指標が 2.6 すなわち「垂直」に近いところから指標が 4 すなわち「仰向け 45 度」に近い場合には、68.26%の確率で「技あり」と判定されている。

表 3 に示す平均値と標準偏差を用いて確率密度関数をメンバーシップ関数として扱い、メンバーシップ関数を描くと図 6 のようになる。

「一本」の場合は、平均が 4.3 で、標準偏差が 0.7 であるから、着地姿勢の指標が 3.6 から 5 までの場合は 68.26%の確率で「一本」と判定されている。すなわち、着地姿勢が直角より少しあお向けに近い場合は、この確率で「一本」になっている。

「技あり」の場合は、着地姿勢の指標の平均値が 3.3 で、標準偏差が 0.7 であるため、着地姿勢の指標が 2.6 から 4 までが 68.26%の確率で「技あり」と判定されている。すなわち、直角に近いうつ伏せからあお向け 45 度までの着地姿勢の場合は、「技あり」と判定されている。

「一本」と「技あり」の場合のそれぞれのメンバーシップ関数の和集合を図 7 に示す。実線で示したのが和集合である。着地姿勢の指標が 2.6 すなわち表 1 の「垂直」に近いところから指標が 5 すなわち表 1 の「仰向け」の場合には確率 68.26%で例外なくファジイ論理の概念により「一本」もしくは「技あり」と判定されている。

「一本」と「技あり」の積集合（共通領域）を図 8 に実線で示す。着地姿勢の指標が 3 と 5 の間にある場合はファジイ論理の概念に従って審判により「一本」と判定されたり、「技あり」と判定されたりしている曖昧な領域である。

### 3. 3 着地してから判定がなされるまでの時間

選手が投げられて着地してから「一本」、 「技あり」の判定が出るまでの時間を計測し、統計的に整理すると表 4 のようになる。

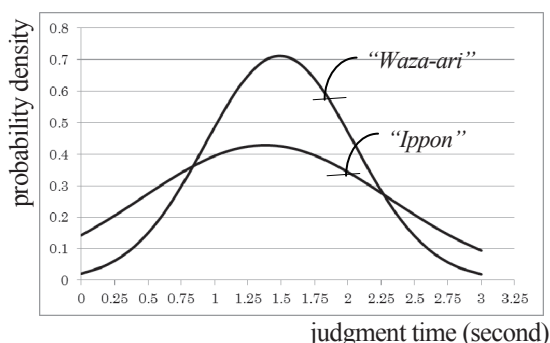


Figure 9. Probability density and judgment time

Table 4. Time to judgment

	“Ippon”	“Waza-ari”
number of data	20	12
mean value (second)	1.38	1.49
Standard deviation (second)	0.93	0.56

この表の平均値、標準偏差を用いて確率密度関数をメンバーシップ関数として図9に示す。

「技あり」の判定は、平均時間が1.49秒で、標準偏差が0.56秒である。

「一本」の判定は、平均時間が1.38秒で「技あり」の場合より0.1秒程度早いですが、標準偏差が0.93秒となっており、「技あり」と比較して0.37秒も遅くなっており、審判が「技あり」の場合よりも迷いながら慎重に判定を下していることがわかる。

「一本」の場合は68.26%の判定が0.45秒から2.31秒までの1.86秒間になされており、「技あり」の場合は68.26%の判定が0.93秒から2.05秒までの1.12秒間になされている。

判定時間のばらつきを見ると、「一本」が1.86秒、「技あり」が1.12秒となっており、「一本」の場合は審判が慎重に判定を下していることが理解出来る。

### 3.4 落下速度と判定時間の関係

落下速度と判定に要する時間の相関関係の有無を探るため回帰分析を行った。「一本」、「技あり」の際の相手の落下速度と判定までの時間とそれらに対する回帰直線を図10と図11に示す。これにより相手の落下速度と判定時間は無相関であることが分かる。落下速度に関係なく判定されていることが分かる。



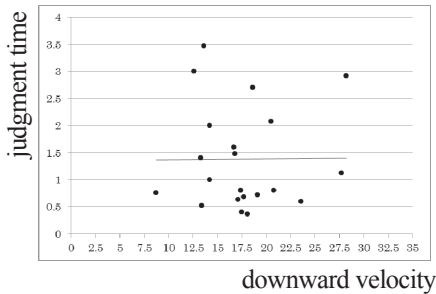


Figure 10. Relation between downward velocity and judgment time when judged as “Ippon”

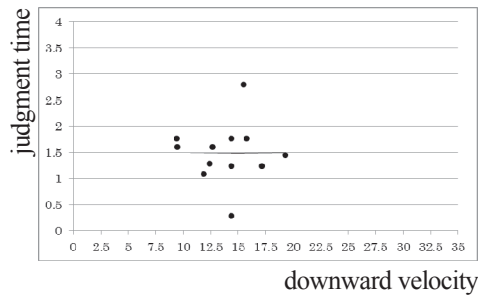


Figure 11. Relation between downward velocity and judgment time when judged as “Waza-ari”

### 3. 5 着地姿勢（着地指標）と判定時間の関係

着地姿勢と判定に要する時間の相関関係の有無を探るために回帰分析を行った。「一本」, 「技あり」の際の着地姿勢と判定までの時間とそれらに対する回帰直線を図 12, 図 13 に示す。

図 12 から着地姿勢が仰向けに近いほど（姿勢の着地指標が 5 に近いほど）判定時間が短くなっている事が理解できる。相関係数は-0.5 である。図 13 から着地指標が 5 に近いほど、すなわち、着地姿勢が仰向けに近いほど判定に要する時間は短い傾向がある。相関係数は-0.1 である。

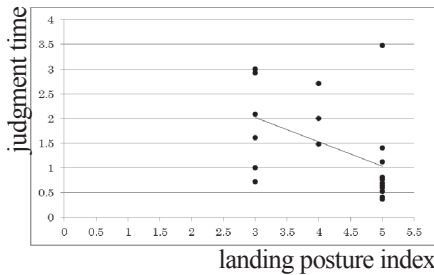


Figure 12. Relation between landing posture index and judgment time when judged as “Ippon”

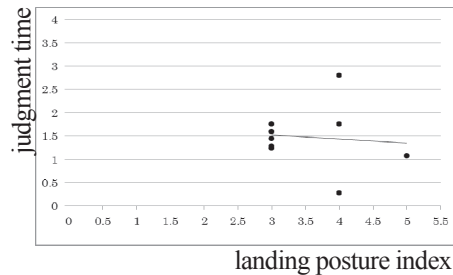


Figure 13. Relation between landing posture index and judgment time when judged as “Waza-ari”

## 4. おわりに

“British Judo Open Championship” のビデオ・データを使って 63 キロ級の女子柔道家の立ち技の動作を解析した。「一本」と「技あり」に基づいて投げられた人の落下速度と着地姿勢を統計的に解析した。投げられた人の落下速度その標準偏差, 投げられた人が畳に着地した時の平均着地指標とその標準偏差を用いてガウス曲線をファジィ論理のメンバーシップ関数の曲線として「一本」, 「技あり」に対して描画した。

もし 1 つのガウス曲線が「一本」を表現し、もう一方が「技あり」を表現しているなら、この和集合はファジィ論理の概念に基づいて必ず「一本」もしくは「技あり」として判定されている。

そして積集合（共通領域）は「一本」または「技あり」として判定されるファジィ論理の概念に基づく曖昧な領域である。

選手が投げられて着地してから「一本」，「技あり」の判定が出るまでの時間を計測し，統計的に整理した。

「一本」，「技あり」の際の選手の落下速度と判定までの時間とそれらに対する回帰直線を示した。これにより落下速度と判定時間は無相関であることがわかり，落下速度に関係なく判定されていることが分かった。

「一本」，「技あり」の際の着地姿勢と判定までの時間とそれらに対する回帰直線を示した。

着地姿勢が仰向けに近いほど（着地姿勢の指標が5に近いほど）判定時間が短くなっている事が理解できた。

「一本」の判定は，平均時間が1.38秒で「技あり」の場合より0.1秒程度早い，標準偏差が0.93秒となっており，「技あり」と比較して0.37秒も遅くなっており，審判が「技あり」の場合よりも迷いながら慎重に判定を下していることが分かった。

「一本」の場合は，68.26%の判定が0.45秒から2.31秒までの1.86秒間になされており，「技あり」の場合は68.26%の判定が0.93秒から2.05秒の1.12秒間になされている。

判定時間のばらつきを見ると，「一本」が1.86秒，「技あり」が1.12秒となっており，「一本」の場合は審判が慎重に判定を下していることが分かった。

#### 参考文献

- Blais, L., Trilles, F., and Lacouture, P., (2007) Three-dimensional joint dynamics and energy expenditure during the execution of a Judo throwing technique (Morote Seoi Nage), *Journal of Sports Science* 2007; 25(11), 1211-1220.
- Imamura, R., Hreljac, A., Escamilla, R.F., and Edwards, B., (2006) A Three-dimensional analysis of the center of mass for three different Judo throwing techniques, *Journal of Sports Science and Medicine* (2006) CSSI, 122-131.
- Pasculli, A. and Sacripanti, A. (2010) How Athletes shift during fights-Competitions Judo Patterns Computational biomechanics and fighting strategy indication-. *Advances in Judo Biomechanics Research.*, 341
- Sacripanti, A., (2010) A Physical Complex System –Advanced Biomechanical theory of Judo Competition-. *Advances in Judo Biomechanics Research.*, 293