新しい95％的中確率法による弓道成績の評価

宮　本　正　一

Development of a Statistical Method of Measuring the Probability of Hitting the Target in Japanese Archery

Masakazu Miyamoto (Department of Psychology, Faculty of Education)

キーワード：評価，カイ２乗分布，運動技能，弓道

問　　題

弓道（和弓）というスポーツの成績は直径約36cmの的に矢が中ったかどうかだけで評価され，中った場合が１ポイント，はずれた場合が０ポイントである。これは的の中心に矢が中るほど得点が高くなる洋弓（アーチェリー）とは大きく異なっている。競技規則としては単純明快であり問題はない。しかし『あがり』などといった，成績へ及ぼす心理的影響の過程やそれらの程度を比較検討しようとする場合には，この０１データだけでは指標が粗く，貴重な情報が成績の指標に反映されていないと思われる。従ってより精密でしかも妥当性も備えた成績の指標が必要とされる。本研究の目的は，弓道成績の評価において，矢のささった位置情報をも反映させた新しい成績評価法である「９５％的中確率法」を新たに開発し，その妥当性を検討することである。

従来の弓道の成績は矢が的に中った場合は的のどこに中ろうと１ポイント得点が与えられる。すなわち図１において，Ａのような的の中心近くに中った場合でも，Ｂのような的の周辺の位置に中った場合でも同じ１ポイントである。逆にＣのように的から遠く離れた場合でも，Ｄのように的のすぐ近くにささってはずれた場合でも同じように０ポイントである。この成績の評価法には明らかに矢の位置情報が十分に反映されてはいない。かつて宮本（1989a, 1989b, 1993a）はこの位置情報を考慮した指標を開発した。それは次のようなものである。

①的の中心を原点とし，横軸をｘ，縦軸をｙとする２次元平面を考える。

②ささった矢の位置A_i（x_i, y_i）を測定する。

③各実験条件下で放たれた矢の位置情報を平均し，重心Ｇ（x_g, y_g）を求める。

④この重心Ｇからそれぞれの矢A_iまでの距離L_iを求める。

$$L_i=\sqrt{(x_i-x_g)^2+(y_i-y_g)^2} \quad (1)$$

⑤これらの距離の平均値Ｄを求める。

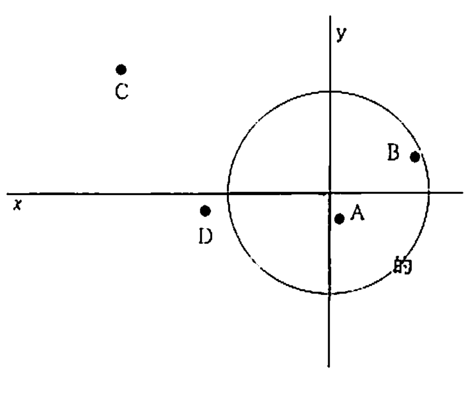

図１　伝統的な弓道成績の評価法の例。円は的，４つの小円は矢が刺さった位置を意味する。的の横軸(x)と縦軸(y)は筆者が便宜上書き加えた。

$$D=\frac{\Sigma L_i}{n} \quad (2)$$

⑥この平均値を半径とする円を描き，この確率円ＰＣと半径約180㎜の的Ｔとの重なりの部分の面積を求める。

⑦確率円ＰＣと的Ｔとが全く重ならない場合は的中確率０となる。

⑧確率円ＰＣと的Ｔとが部分的に重なる場合は，その重なりの部分を積分により求め，「重なりの面積÷確率円ＰＣの面積」により的中確率が得られる。

⑨的Ｔが確率円ＰＣの中に完全に包含される場合には，「的Ｔの面積÷確率円ＰＣの面積」が的中確率となる。

最後に

⑩確率円ＰＣの方が小さく，的Ｔの中に完全に包含される場合には，的中確率は１となる。

しかしさらに研究を続けていくうちに，この確率法にも問題点があることが分かった（宮本，1992b, 1992c, 1992d, 1992e, 1993b）。それは(2)式で得られる，確率円の半径となっている距離の平均値である。宮本（1989a, 1989b, 1993a）の場合には、矢の数が８と一定であるため問題とならないが，矢の数が変動する場合，特に数が大きくなる場合には確率円ＰＣが小さくなり，的Ｔの中に完全に包含される場合が非常に多くなった。これは実際の単純的中率（中った矢の数÷放った矢の数）と大きく乖離してしまうことになる。そこで確率円の半径を次のように考えた新しい成績評価法を開発した。

一般に，正規分布N（μ，σ^2）にしたがう確率変数Ｘを標準化

$$Z=\frac{X-\mu}{\sigma} \quad (3)$$

すると，Ｚは標準正規分布にしたがう。そこで正規分布N（μ，σ^2）からの大きさｎの標本についての標本統計量

$$\chi^2=\Sigma\left(\frac{X_i-\mu}{\sigma}\right)^2 \quad (4)$$

は自由度ν＝ｎのカイ２乗分布にしたがう（芝・南風原，1990）。またμの代わりに標本平均$\bar{X}$を代用した統計量

$$\chi^2=\Sigma\left(\frac{X_i-\bar{X}}{\sigma}\right)^2 \quad (5)$$

は自由度ν＝ｎ－１のカイ２乗分布にしたがう。

ここで標本分散

$$s^2=\frac{1}{n}\Sigma(X_i-\bar{X})^2 \quad (6)$$

を代入すると，

$$\chi^2=\frac{ns^2}{\sigma^2} \quad (7)$$

となる。

いまここで９５％的中確率を考える。自由度ν＝ｎ－１のカイ２乗分布における下側確率.05に対応するχ^2の値と標本分散s^2の値が既知ならばσの値は(7)式により求められる。その1.96倍を半径とする確率円を考えると，矢は９５％の確率でこの円の中に集まると考えられる。これ以降の的中確率の計算法は上述したものと同一である。

図１の具体例にこの方式をあてはめた結果が図２である。ここにおいて４本の矢の位置は㎜単位でA(16, -28), B(144, 56), C(-320,240), D(-188, -20)と表現され，平均すると重心G(-87,62)がもとまる。自由度4-1=3における95%のχ^2は7.815であるので，(7)式より、σ=149.64が得られる。そこでその1.96倍の半径293.3の大きさで9

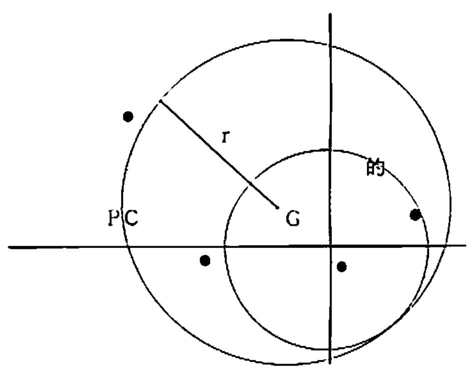

図２　新しい95％的中確率法のあてはめの例。Ｇは重心，ｒは半径，ＰＣは確率円である。

５％確率円を描くと的はほとんど確率円内にはいってしまい，的中確率 p=0.385が得られた。

以下ではこの９５％的中確率法を具体的データにあてはめ，妥当性を検討してみる。

方　　法

①被験者

表１に示す，岐阜大学の弓道部の男女学生19名である。彼らの試合前日の（規定，競射）練習時の成績，試合当日の規定練習と試合の成績とを分析の対象にした。各ケースは４試行（以後，射と呼ぶ）から構成されている。

②試合

４つの対外試合とその前日練習はすべて岐阜大学弓道場で行われた。実験者は被験者の動作と矢が刺さった位置とをビデオで録画し，さらに矢が的に中ったかどうか，矢が的のどこに中ったかを用紙に記録した。４つの試合毎に分析を加えるとデータ数が限られるので，４つの試合の結果をまとめて分析を加えた。練習，試合とも４本の矢を持ち射る，立（たち）組の場合を一つの分析単位としたため，自由練習時や合同練習時の結果は分析の対象からはずした。

表１　被験者毎，練習（試合）形態毎の４射のケース数

被験者	前日規定	前日競射	当日規定	試合	計
1 MMK	3	4	2	5	14
2 MYY			2	2	4
3 FON			3	5	8
4 FFA			3	5	8
5 MOH	3	4	2	5	14
6 MKM	3	4			7
7 MTA	3	6	2	5	16
8 MNT	7	8	2	7	24
9 MKN	3	6	2	5	16
10 FKM	8	9	4	10	31
11 FKK	6	5	3	4	18
12 FTA	3	4	1	5	13
13 FMK	8	9	7	15	38
14 MAY	3	4		2	9
15 MTK	3	4	2	5	14
16 MYM			2	3	5
17 MTS			2	5	7
18 FYN	1				1
19 FOT	1				1
計	55	67	39	88	249

③単純的中率

被験者は２８メートル離れた尺二と呼ばれる星型的を射る。この的は２つの同心円からなり，外側は直径３６cmの白い円であり，その中心に直径１２cmの黒い円が描かれている。放された矢が直径３６cmの円内に刺さった場合が的中と呼ばれ，正反応となる。弓道というスポーツは，個人あるいは団体でこの的中数の多寡を競う競技である。本研究の場合はすべて団体戦であり，放った矢のなかで的に中った割合を単純的中率（％）と呼ぶ。

④偏向度

各被験者の矢はある方向に偏る傾向がある。この偏向の程度を，的の中心から重心G（X_g, Y_g）までの距離で代表させ，偏向度Ｉ（inclination）で表す。従って単位は㎜となる。大道(1991)はこれを指向性と呼んでいる。

$$I=\sqrt{(X_g)^2+(Y_g)^2} \tag{8}$$

⑤安定度

推定された母集団分散の開平値の1.96倍を確率円の半径ｒ（radius）とした。そしてこの指標を以後大道（1991）を参考にして，安定度（stability）と呼ぶことにする。どのくらい矢が安定して同じ場所に行くかという指標である。

⑥９５％的中確率

上記の確率円と的との重なる部分の面積を９５％的中確率pと呼ぶ。

⑦角変換値

岩原（1965）に従い，９５％的中確率に角変換を施した。その際，p=1.0の時には

$$p=\frac{n-0.25}{n} \tag{9}$$

(9)式の特例があるが，この特例を実施すると逆

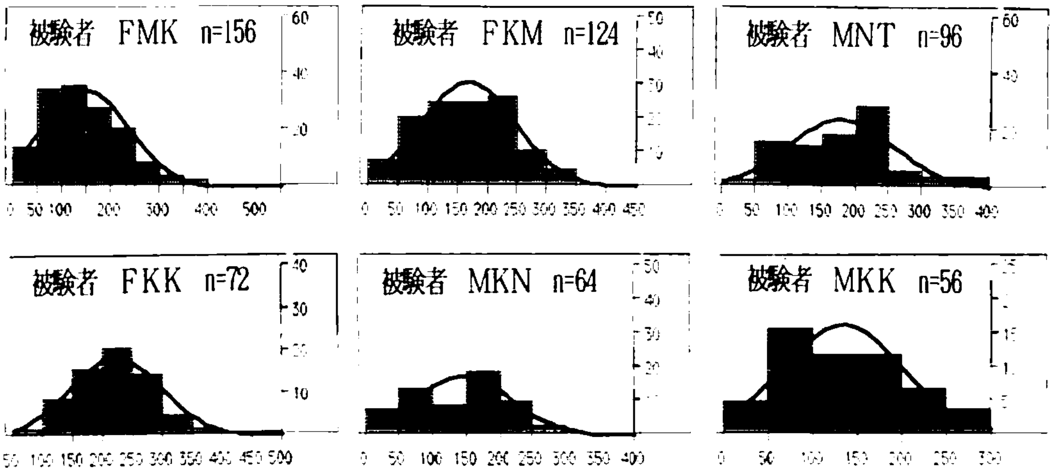

図3　的の中心から矢までの距離に関する6人の被験者の度数分布多角形

転現象が起こるため，n=4の場合にはこの特例を実施しなかった。そのため17ケースあったp=1.0の場合には最大値90°をそのまま用いた。

結　　果

248のケース，計992本の矢の位置情報が得られた。まず的の中心に矢はあつまると仮定し，的の中心からからそれぞれの矢までの距離X_iを(1)式により求めた。次いでこのX_iが正規分布に近似しているかどうかを検討した。この測度は個人差が大きいものと考えられるので，表1に示された被験者の中からデータ数の多い6名について分析を加えた。図3にそれぞれの被験者毎の度数多角形とあてはめられた正規分布曲線を示す。これら6つの分布形から判断されるように，データ数が少ない場合は曖昧な部分が見られるとはいえ，極端に正規分布から逸脱しているケースはないものと考えられる。

表2　5つの指標の平均，SD，最小最大値（4射の場合，n＝249）

指　標	平均	SD	最小	最大
単純的中率	57.5	26.3	0	100
偏向度	97.3	53.8	2.2	343
安定度	205.1	66.3	65.4	475
95%的中確率	0.60	0.21	0.13	1
角変換値	51.4	13.65	20.9	90

次に各被験者毎各立組毎に単純的中率，偏向度，安定度の指標である確率円の半径r，95%的中確率，角変換値の5測度を求めた。表2はそれらの平均，標準偏差，最小値，最大値を示したものである。単純的中率はこの場合，0, 25, 50, 75, 100のいずれかの値をとる離散変量である。

表3はこれら5つの変量の積率相関行列である。偏向度と確率円の半径との相関係数.05を除いて，すべての値が有意な相関値であった。

①偏向度

単純的中率の5水準毎に偏向度の平均，それらの95%信頼区間，比較のためのに95%信頼区間円を図4に示す。的中率が増大するにつれて偏向度も小さくなっている。つまり4本の矢の重心が的の中心に近づくことがわかる。一要因の分散分析を行ったところ，明白な有意差が得

表3　5つの指標間の相関（4射の場合，n＝249）

	(A) 単純的中率	(B) 偏向度	(C) 安定度	(D) 95%的中確率	(E) 角変換値
(A)	1.00	-.56**	-.55**	.80**	.78**
(B)		1.00	.05	-.61**	-.60**
(C)			1.00	-.73**	-.72**
(D)				1.00	.99**
(E)					1.00

** $p<.01$

られた（F=30.40, df=4/244, p<.001）。しかし0%（0/4)の場合と25%（1/4)の場合とでは全く差が認められない。分散分析後に行われたＬＳＤ法による平均値間の多重比較によっても有意差はない（MSe=1970.42, p<.05）。25%(1/4)の場合と50%(2/4)の場合とでは95%信頼区間においてはっきり異なっている。また50%(2/4)の場合と75%(3/4)の場合との間にも明確な違いが認められる。最後に，75%(3/4)の場合と100%(4/4；皆中と呼ばれている)の場合とでは95%信頼区間において重なりが認められ，多重比較の結果も有意差には至っていない。

②安定度

単純的中率の５水準毎に安定性の平均，それらの95%信頼区間，比較のためのに95%信頼区間円を図５に示す。的中率が増大するにつれて安定度も増している。すなわち確率円の半径が小さくなっている。一要因の分散分析でもはっきりとした有意差が得られた（F=31.86, df=4/244, p<.001）。１本も中らない場合(0%；0/4)と１本中る場合(25%；1/4)とでは95%信頼区間においてわずかの重なりが認められるが，多重比較の結果は有意であった（MSe=2948.96, p<.05）。１本中る場合(25%；1/4)と２本中る場合(50%；2/4)の場合との間には95%信頼区間円が全く重なっており，差がみられない。多重比較の結果も有意ではない。３本中る場合（75%；3/4)は１，２本の場合とはっきりとした差がみられている。さらに４本全部中る皆中の場合(100%；4/4)は他

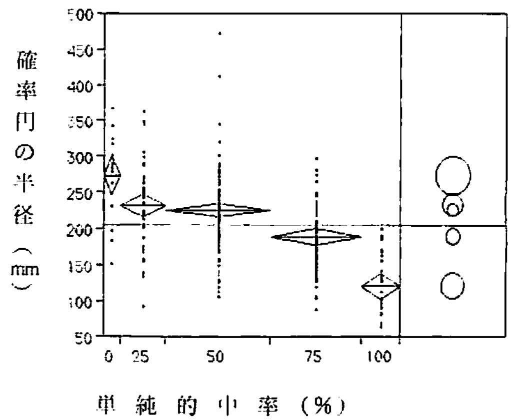

図５　単純的中率ごとに表示されたそれぞれの確率円の半径（安定度），それらの平均，95%信頼区間，区間円

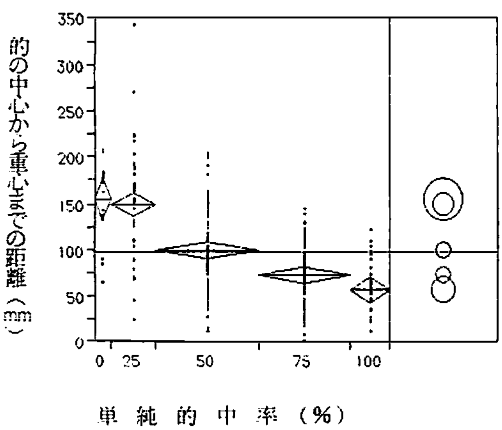

図４　単純的中率ごとに表示された的の中心から矢までの距離（偏向度），その平均，95%信頼区間，区間円

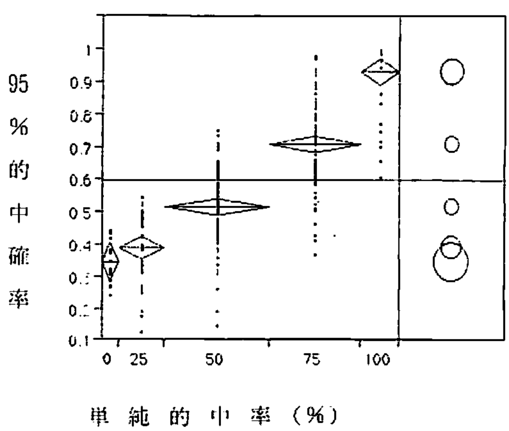

図６　単純的中率ごとに表示されたそれぞれの95%的中確率，それらの平均，95%信頼区間，区間円

の４つの場合より，さらに半径が小さくなっている。

③９５％的中確率

単純的中率の５水準毎に確率の平均，それらの信頼区間，比較のための信頼区間円を図６に示す。的中率が増大するにつれて確率も増している。一要因の分散分析でもはっきりとした有意差が得られた（F=121.66, df=4/244, p<.001)。１本も中らない場合(0%:0/4)と１本中る場合(25%:1/4)とでは信頼区間において重なりが認められ，多重比較の結果（MSe=0.0155, p<.05）でも有意差には至っていない。他の平均値間の対比較はすべて有意であった。１本中る場合，２本中る場合，３本中る場合，４本中る場合の間には95％信頼区間円が全く重なっておらず，はっきりとした弁別力をもっていることがわかる。

④角変換値

単純的中率の５水準毎に９５％的中確率に対する角変換値の平均，それらの信頼区間，比較のための信頼区間円を図７に示す。変換前の図６とほとんど同一であるので詳細は省略するが，４本と３本との間がさらに大きくなる一方，０本と１本との間がさらに小さくなっている点が少し異なっている。当然のことであるが，一要因の分散分析でもはっきりとした有意差が得られた（F=115.94, df=4/244, p<.001）。

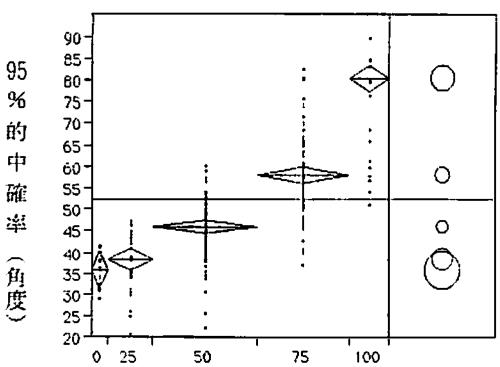

図７　単純的中率ごとに表示されたそれぞれの95％的中確率の角変換値，それらの平均，95％信頼区間，区間円

⑤Ｎが大きい場合

弓道の練習や試合の場合，その多くは２立８射から５立２０射で行われる。したがってそのような場合も，この９５％的中確率の値は単純的中の値とある程度の対応関係が期待される。そこで249組の立を各被験者毎，各練習形態や試合毎にまとめて，矢の数であるＮ（8～20）を大きくして，単純的中率と９５％的中確率とを求め，両者の関係を検討した。分析の対象となったケース数は表４の如くである。

得られた単純的中率，偏向度，安定度，９５％的中確率，角変換値という５つの測度間の積率相関係数行列を表５に示す。また図８に示すように単純的中率と９５％的中確率との散布図は相関係数が.77となり，回帰直線は有意となった（F=93.15, df=1/65, p<.001）。

表４　多数射の場合の被験者毎のケース数

被験者	8射	12射	16射	20射	計
1 MKK	1	1	1	1	4
2 MYY	2				2
3 FON		1		1	2
4 FFA		1		1	2
5 MOH	1	1	1	1	4
6 MKM		1			1
7 MTA	2	1	1	1	5
8 MNT	1	2	4		7
9 MKN	2	1	1	1	5
10 FKM		2	1	4	7
11 FKK		1	1	2	4
12 FTA		1	1	1	3
13 FMK		4		5	9
14 MAY	1	1	1		3
15 MTK	1	1	1	1	4
16 MYM	1	1			2
17 MTS	1			1	2
計	13	20	14	21	67

考　　察

得られた結果から，本研究で新たに開発したカイ２乗分布に基づいた９５％的中確率法という成績評価法は従来の評価法のもつ情報を基本的には包含する有効な指標であることが明らかになった。さらにこの９５％的中確率法はいくつかの利点もある。以下にそれらのいくつかを検討してみよう。

まず第１は９５％的中確率という指標は離散変量ではなく連続変量ということである。そのため図６に示すように微妙な差異も考慮した分析が可能になった。

第２は被験者の技能を安定度と偏向度という２つの指標に分けて検討できるという点である。この２つの指標はお互いに相関係数が低い（r=.04）ことから，技能の別の側面を測定しているという点で興味がある。

表５　５つの指標間の相関行列（多数射の場合，n＝67）

	(A) 単純的中率	(B) 偏向度	(C) 安定度	(D) 95%的中確率	(E) 角変換値
(A)	1.00	-.55**	-.60**	.77**	.77**
(B)		1.00	.04	-.32**	-.31**
(C)			1.00	-.90**	-.90**
(D)				1.00	.99**
(E)					1.00

** p<.01

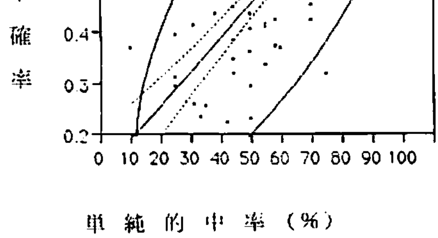

図８　多数射における単純的中率と95%的中確率の散布図

では次に偏向度（図４），安定度（図５），９５％的中確率（図６）という３種の指標を総合的に考慮して技能の学習の過程を考察してみよう。

単純的中率０％と25%との違いは安定度だけである。つまり偏向度では有意な差が認められないことから，安定度が増せば成績が１段階上昇することが予測できるのである。

単純的中率25%と50%とを分ける測度は偏向度である。つまり的の中心近くに矢が集まることが，この段階では大切な要件となるのである。これが可能になれば成績がさらに上昇することが予測できる。

次の段階である単純的中率50%と75%とを分ける測度は安定度と偏向度の双方である。つまり矢の位置が安定していることと矢が的の中心近くに集まることの双方の条件が整わないと成績が１段階上昇できないのである。その意味でこの段階が技能向上の大きな壁と考えられる。したがって宮本（1991）が指摘するように，この学習段階で多くの学生がスランプを経験するものと考えられる。

最後に，単純的中率75%から100%への上達は安定度が重要になる。偏向度では有意な差がみられないので，矢の位置が同じ位置に安定して定まることが皆中への条件であると言える。

結局，学習の多くの段階において一番重要な要因は安定度が増加し，矢が同じ所に飛んでいくことである。しかしここで分析された被験者の多くは公式戦に参加できるだけのある程度高い技能水準にあることも考慮しなければならない。もう少し低い技能水準の被験者についても検討が必要であろう。さらにこの９５％的中確率法は宮本（1992a）の研究にみられるような，ＰＭリーダーシップ論のような２次元表示上のデータ分析にも利用可能と思われる。

要 約

弓道の成績は矢が的に中ったかどうかだけの０１のいう離散尺度により評価されている。弓道の試合場面を「自然の実験」と考え，そこでの心理過程を検討する場合にはもっと精度の高い測度が必要である。本研究は矢が的に刺さった位置情報までも組み込んだ９５％的中確率法を新たに開発し，その妥当性を検討したものである。この方法は的の中心から矢までの距離の２乗和はカイ２乗分布に従うという仮説の下に距離の母分散を推定し，それにしたがい９５％確率円を求めるものである。その結果，９５％的中確率と単純的中率とには高い相関が得られた。また４射の場合の各単純的中率毎の分析では，同じ的中率でも的中確率はかなりの範囲で変動することがわかった。最後に安定度と偏向度から学習過程の特徴が分析された。新しく開発されたこの９５％的中確率法は有効な方法であり，妥当性も高いことが結論づけられた。

引 用 文 献

岩原信九郎 1965
新訂版 教育と心理のための推計学
日本文化科学社 東京

宮本正一 1989a
弓道の射技動作での観察者効果
日本心理学会第53回大会発表論文集 219.

宮本正一 1989b
弓道における社会的促進
日本グループ・ダイナミックス学会第３７回大会発表論文集 45-46.

宮本正一 1991
２年間にわたる弓道の学習曲線の分析
総合初等教育研究所紀要 ２，23-37.

宮本正一 1992a
集団宿泊時における児童のリーダーシップ
岐阜大学教科教育学研究 １，1-10.

宮本正一 1992b
「あがり」に関する実証的研究：弓道における逆U字仮説の検討
岐阜大学教育学部研究報告―人文科学―，40，260-269.

宮本正一 1992c
弓道における『あがり』と心拍
東海心理学会第41回大会発表論文集，54.

宮本正一 1992d
弓道における『あがり』と心拍（Ⅱ）
日本心理学会第56回大会発表論文集，653.

宮本正一 1992e
弓道における共行動の効果
日本グループ・ダイナミックス学会第40回大会発表論文集，119-120.

宮本正一 1993a
人前での心理学
ナカニシヤ出版 京都

宮本正一 1993b
弓道における『あがり』と心拍（Ⅲ）
東海心理学会第42回大会発表論文集，31.

小笠原清信・白石暁 1982
写真と図解による弓道（増補版）
大修館書店 東京

大道等 1991
動きを測る
大修館書店 東京

芝祐順・南風原朝和 1990
行動科学における統計解析法
東京大学出版会 東京