

武道のバイオメカニクス研究

— なぎなたを例として —

石毛勇介、木村恭子、宮腰浩一、丸橋利夫、井上哲朗、立木幸敏、井下佳織、
小西由里子、黒川道子、松尾牧則、井上 弘、大倉和寛、黒田敦子

1. はじめに

2006年度に実施した特定課題プロジェクト（「武道におけるスポーツ科学研究に関する調査、および、その活用を目的としたデータベース構築の検討」）において、武道を対象としたバイオメカニクス研究は、スポーツ栄養学、スポーツ心理学といった他の研究分野と比べて、比較的数量多くの研究がなされていること、および、武道の各種目の専門家とバイオメカニクスの研究者が研究テーマを絞り、集中的に研究を進める必要があることが指摘された¹⁾。本プロジェクトにおいては、こうした点を鑑み、比較的数量多く行われている武道のバイオメカニクス研究の問題点を明らかにし、さらに、武道におけるバイオメカニクス研究の今後の方向性について、何らかの提言を行うということを目的とした。特に、武道種目の中でもなぎ

なたを選択し、具体的な事例をもとに、なぎなたのバイオメカニクス研究を実施する上での問題点を明らかにし、なぎなた以外の他の武道種目における活用を検討する際の基礎資料となるよう配慮した。

2. 武道における科学的研究（バイオメカニクスを中心として）

ここで、2006年度に実施した特定課題プロジェクト（「武道におけるスポーツ科学研究に関する調査、および、その活用を目的としたデータベース構築の検討」）における集計結果（表1）¹⁾をもとに、武道を対象とした科学的研究（とりわけ、バイオメカニクス研究）の概要について触れてみたい。

表1 各種目におけるカテゴリー別文献数の比較

	運動生理学	スポーツ医学	バイオメカニクス	スポーツ栄養学	スポーツ心理学	合計
柔道	90	58	44	3	26	221
剣道	34	66	41	0	22	163
合気道	0	14	1	0	2	17
空手道	33	22	8	2	2	67
なぎなた	6	9	16	1	3	35
弓道	25	3	31	0	16	75
少林寺拳法	9	1	20	0	0	30
合計	194	173	161	6	71	608

武道におけるスポーツ科学研究を5つのカテゴリー（運動生理学、スポーツ医学、バイオメカニクス、スポーツ栄養学、スポーツ心理学）に分けた場合、バイオメカニクスに分類される文献の数（161件）は、運動生理学（197件）、スポーツ医学（173件）について、3番目となっており、数の上では他の分野に引けを取らないものとなっている。数字の上では相当数のバイオメカニクス研究が行われており、そうした研究の成果が蓄積され発展してきているということも言えよう。

種目別にみると、柔道、剣道といった種目において、バイオメカニクスに分類される文献数が多くなっている。しかし、こうした種目では、スポーツ科学的研究の総数が多いため、種目ごとの文献数に占めるバイオメカニクス研究の文献数は、必ずしも高いわけではない。種目ごとの文献総数に占めるバイオメカニクス研究の文献数の比率で見ると、全体平均26%に対して、少林寺拳法67%、なぎなた46%、弓道41%となっている。

一般論として、弓道は比較的静的な運動であるという点や、弓矢などの用具を用いるという点、さらには、人を相手にする対人種目ではなく、静止している的を目標として優劣を競うという点において、他の種目よりもバイオメカニクス研究

を行いやすいということは容易に想像できる。一方、少林寺拳法は二人一組で稽古をすることが主体であり、技は、剛法、柔法を合わせて六百数十におよぶ。その技の多さから、それぞれの技が掛かる原理、コツを習得するための技の解析が積極的に行われてきた。さらに運用法（乱捕り）において、技法を十分に発揮し、かつ、安全に稽古ができるように、少林寺拳法連盟本部が主体となって、防具開発に力を注いできたという背景がある。また、なぎなたにおいても対人競技ではあるが、用具を使用するという点において、他の種目よりもバイオメカニクス研究が活発に行われているということが予想される。

それでは、なぎなたを例として、具体的にどういったバイオメカニクス研究が行われているかということを見てみよう。

表2は、2006年度特定課題プロジェクトの集計結果から、なぎなたに関するバイオメカニクス研究（バイオメカニクスのカテゴリーに分類される研究）の部分を抜粋したものである。映像を用いた、いわゆる動作分析（キネマティクス）に分類されるものが多いことがわかる。これは、なぎなた特有の傾向ではなく、他の種目においても共通してみられる傾向である。動作分析は直感的に

表2 なぎなたにおけるバイオメカニクス研究文献一覧

タイトル	著者	出典
なぎなたの打法について	高橋千代子	武道学研究 2(1) pp.29-、1969 [東海女子高校]
なぎなたの基本打突の分析	船原静江1、金芳保之、稲岡和子	武道学研究 15(2) pp.95-、1982 [大阪府立生野高校]
なぎなたの構え方が打突にあたる影響	木村恭子、吉田定子	武道学研究 22(2) pp.93-、1989 [国際武道大学]
なぎなた競技における発現打突について	北田吾希子1、恵土孝吉1、井上哲朗1、高橋千代子2	武道学研究 22(2) pp.95-、1989 [1金沢大学、2全日本なぎなた連盟]
なぎなたの切先(きつき)を伸ばすバイオメカニクスの要因について	島名きよみ、瀧本、隆文、金子、公寛	日本体育学会大会号43(A),405,19921031(ISSN 04846710) (社団法人日本体育学会)
試合競技と演技競技との技の比較：第36回全日本なぎなた選手権大会の試合分析より	久保千草	日本体育学会大会号 43(B), 710,19921031(ISSN 04846710) (社団法人日本体育学会)
なぎなたにおける持ちかえ技の速さに関する動作学的研究	藤原ひかる	卒業研究抄録集 1994.4,19950301(大阪体育大学)
なぎなたのスネ打ち動作における送り足の床反力について	谷村尚美、飯本雄二、溝口、百合子	日本体育学会大会号 (46),393,19950910(ISSN 04846710) (社団法人日本体育学会)
なぎなた競技における側面打ちの速さの要因について—高速VTR動作分析と床反力からみた熟練者と未熟練者の比較	谷村尚美、飯本雄二	中京女子大学研究紀要 (通号30), 29~35,1996 (ISSN 1340815) (中京女子大学大学院〔ほか〕編/中京女子大学大学院〔ほか〕)
なぎなた側面打ちの動作速度と床反力について	谷村尚美1、飯本雄二2	武道学研究 28(別冊) pp.52-、1995 [1中京女子大学大学院、2中京女子大学]
なぎなたの側面打ちの演技競技と試合競技の違い	谷村尚美1、飯本雄二2	武道学研究 29(別冊) pp.52-、1996 [1中京女子大学大学院、2中京女子大学]
なぎなたのスネ打ちに関する時間的・力学的特性の相関関係	飯本雄二、谷村尚美	中京女子大学研究紀要 (通号32),9~17,1998 (ISSN 1340815) (中京女子大学大学院〔ほか〕編/中京女子大学大学院〔ほか〕)
動作分析からみたなぎなた選手の習熟度—中段の構えからの側面打ちの技術分析—	関和彦、大津博美、萬屋利恵、成澤三雄	平成6年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究—第21報—、163-166,1998.
なぎなたの打ち返しに関するバイオメカニクス	秋山由里、植屋清見	武道学研究 32(別冊) pp.58-、1999.
なぎなたの基本動作に関するバイオメカニクス	秋山由里、坂下昇次、中村和彦、川村協平、植屋清見	日本体育学会大会号 (50),734,19990915(ISSN 04846710) (社団法人日本体育学会)
なぎなたのしかけわざ「払い」と「払い落とし」の動作分析	福田啓子、谷口あき、戸松、彩花、藤原、素子	日本体育学会大会号 (51),248,20000825(ISSN 04846710) (社団法人日本体育学会)

理解しやすいという利点を有しており、また、比較的容易に実験のセットアップを行うことができるため、その数が多くなっているであろう。

いずれにしても、武道に関する科学的研究は相当数に上り、なかでもバイオメカニクス研究、とりわけ動作分析は、その実施しやすさとも相まって、広く行われているといえることができる。

3. 武道のバイオメカニクス研究における問題点

さて、このように広く行われているようにみえる武道を対象としたバイオメカニクス研究であるが、バイオメカニクスを専門とする立場からこうした研究を概観した場合、そうした研究が持つ問題点が浮き彫りとなる。もちろん、すべての研究がそうした問題点を有しているわけではないし、問題点を見事にクリアした研究が存在することも事実である。しかし、自分が行った武道を対象としたバイオメカニクス研究も含め、多くの研究に共通する問題点があるように思う。

第1の問題点としては、武道を対象としたバイオメカニクス研究（とりわけ動作分析）の多くが、現象を追うのみに終始している点である。先ほども述べたように、動作分析は、極端な話をすれば、ビデオカメラ、もしくは、カメラさえあれば、つまり動作を撮影する機材さえあれば行うことができる。近年では、ハードウェアの飛躍的な進歩によって、誰もが簡単に動作を撮影することができる。武道の動作においても、研究者ではなくてもコーチや選手が、自ら動作を撮影し、その撮影した画像を分析することができる。

以前、筆者が共同研究者として実施した、なぎなたを対象とした研究においても、現象を追うのみに終始し、動作のメカニズムを明らかにするという点にまでは至らなかった。その研究では、『なぎなたスネ打ち動作に関する三次元動作分析

試合時に於ける有効打突について』²⁾というタイトルにて、なぎなたのスネ打ち動作における、体捌きを伴った打突と手先のみによる打突の違いを三次元動作分析の手法を用いて数値化し、2種類の打突における、踏み込み前足の1歩目の、地面反力、前足の部分重心の移動距離、前足の部分重心の移動距離に対する頭頂部の移動距離の比率、前足着地からなぎなたが打突の対象物に当たるまでの時間等のパラメータを計算により求めた。この例では、現象を数値化するということ（前述のパラメータの算出）に留まり、各パラメータがどういったメカニズムによって制御され、コントロールされているのかといった点について、検討をすることができなかった。たとえば、繰り出しによるスネ打ち動作では、足幅が狭く、前後方向の地面反力も小さく、踏み込みによって前足が着地した瞬間から、なぎなたが打突の対象物に当たるまでの時間が大きいという結果が得られたが（現象の定量）、どうして、そうしたことになるのかというメカニズムの解明には至っていない。大きな地面反力をなぎなたの加速につなげることによって、なぎなたがより大きな加速度を得ることができる結果、踏み込みによって前足が着地した瞬間から、なぎなたが打突の対象物に当たるまでの時間が小さくなるといった「何故・どうして」の部分をはっきりとすることが重要である。

2番目の問題点として、武道におけるバイオメカニクス研究が、現場のニーズを十分に吸い上げたものであるかという点である。武道を対象としてバイオメカニクスの研究を行う場合、研究者自身が研究対象とする武道種目の経験者であり、バイオメカニクスと武道の双方に十分な知識を有しているということが理想ではあるが、通常は、武道種目の指導者がバイオメカニクスの研究を行う場合が多い。そうした場合、多くは、先ほど述べた1番目の問題点、つまり、現象の数値化に終

始するという事に陥りやすい。現実的には、武道種目の指導者とバイオメカニクスの研究者がタッグを組み、第1点目の問題点を克服すべく、研究を進めていく必要がある。ここで、非常に重要となるのが、現場のニーズをバイオメカニクスの研究者がいかにか吸い上げて、研究の内容に反映させるかということである。言い換えれば、研究者のための研究を行っても、指導現場に受け入れられるような結果を得ることは非常に難しいと考える。したがって、研究者は現場がどういったものを望んでいるのかという点をしっかりと把握する必要があるのだが、これが実は言うは易く行うは難しである。自身の経験からも思うところであるが、まず、研究者が対象とする種目の素人である場合、現場で用いられる言葉（用語）を理解することすら非常に困難である。また、指導者が発する言葉が、事実を指しているのか、それとも本人（もしくは選手）の感覚を指しているのかということも、分類が困難な場合が多い。

4. なぎなたを例に武道のバイオメカニクス研究における問題点を考える

ここで、本プロジェクトにおいて行った、なぎなたを対象としたバイオメカニクス研究の具体例について、その進行過程も含めて紹介する。

プロジェクトの遂行にあたり、もっとも考慮した点は、前述の2つの問題点、つまり、現象を追うことのみで終始するのではなく、メカニズムの

解明に踏み込むこと、および、現場のニーズをしっかりと把握して進めるということである。そのため、まずは、なぎなた指導者とのディスカッションを特に重視した。具体的には、まず、指導者が常々感じている疑問点やこういったことがわかると面白いといった点をできる限り挙げてもらい、その1つ1つを指導者自身の言葉で説明してもらった。

実際に、指導者から得られた内容を列挙すると下記の通りとなる。

- ① 有効打突にならない打突のありよう（刃の向き、しなり、防具の打突点の様子など）
- ② 打突時の腰、膝、肩、肘の動く過程と筋肉の動き
- ③ 足捌きによる重心移動とそれによって生まれるスピード（古流において重要視されている動き）

また、指導者からの説明を受け、筆者がその意図を理解し、バイオメカニクスの観点から、どういった研究手法が考えられるか検討を行った。たとえば、①の場合には、まずは、高速度ビデオやモーションキャプチャシステムを用いて、刃の向き（刃筋）やなぎなたのしなり等を定量すること（現象を捉える）を考えた。図1は、モーションキャプチャシステムにおいて刃筋を定量するために、なぎなたに貼付した反射マーカの様子で

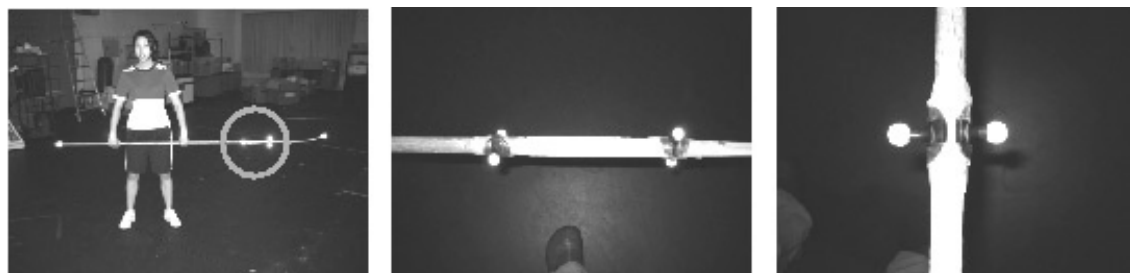


図1 なぎなたの刃筋定量のための反射マーカ

ある。互いに直交するマーカーによって、動作中の刃筋を定量することが可能となる。その上で、有効打突になる打突においては、いわゆる“決め”が重要であるという指導者の指摘をもとに、打突を決めるための重要な要因として、なぎなたを振り下ろす際に、より身体に近いほうの手（軸手）の使い方に着目し、その使い方の違いがなぎなたの刃筋やなぎなた自体の動き（速度や角速度）に影響を及ぼすという仮説を立て、レベルの異なる被験者において検証することとした。

図2はレベルの異なる被験者における、「側面」という動作中のなぎなたの矢状面上の動きをスティックピクチャーで示したものである。なぎなたを振り下ろす局面において、初心者は上級者と比較して、なぎなたの末端に近い部分（石突）の動きが少なく、軸手をうまく使えていないことが推察される。この点について、さらに検証するためには、筋電図等の手法を併せて用いることが必要であるが、現時点では、筋電図による確認は行っていない。また、なぎなたを単純化したモデルを

用いて、軸手を含めた左右の手の使い方の違いをシミュレートし、実際の動作と併せて検討するということも必要であろう。

ここで示した内容以外にも、多くの仮説や、それに対する手法（方法論）を考えることができる。ここでは、ほんの1例を示したに過ぎないが、このように指導者とのディスカッションには、武道のバイオメカニクス研究におけるアイデアの種が数多く存在し、そうしたものを1つ1つ取り上げ、具体化していく作業が重要である。指導者などの専門家の“見る眼”は、非常に鋭いものがあり、我々研究者は、そうしたものを研究的な手法に置き換えるだけで十分という場合も多い。ただし、そうした場合でも、やはり、指導者と研究者との共通言語が必要である。それぞれが専門とする分野でのみ通用する用語を用いるのではなく、指導者と研究者がスムーズに共通の言語を用いて会話するためには、とにかく、指導者と研究者とのディスカッションに十分な時間を割くことが大切である。

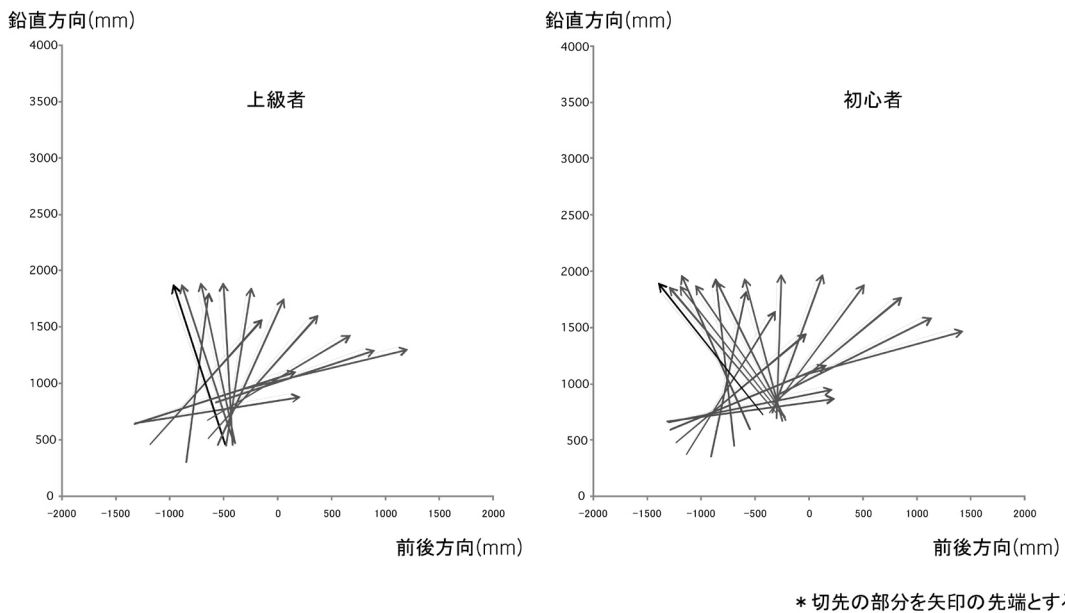


図2 「側面」動作におけるなぎなたのスティックピクチャー表示（矢状面）

5. 今後へ向けて

保江 (2007) や吉福 (2005) が指摘しているように、武道を科学的に分析することによって、武道における“技”や“奥義”のメカニズムを部分的ではあるにせよ、明らかにすることが可能である。こうしたメカニズムの解明が進むためには、更なる計測機器の進歩（たとえば、最新の機器を用いた場合でも、武道の専門家が指摘するような僅かな違いを定量的に明らかにすることが不可能な場合も多い。）が必要な場合もあるであろう。しかし、現在の機器を用いて、これまでに明らかにされていないメカニズムを明らかにすることができ、そうした事例も数多く存在すると考えることができ、そうした事例を1つでも増やすためには、やはり、武道の専門家とバイオメカニクスの研究者との密接な協力関係が重要である。今後は、武道の専門家とバイオメカニクスの研究者との間のインターフェイスの役割を担う人材の確保や、武道の専門家がそのままバイオメカニクスの研究者となり得る環境の整備が望まれる。

近年の古武術ブームにみられるように、武道は我が国における存在感を増々大きなものとしている。武道に関する科学研究における、国際武道大学の果たす役割は、これまでより一層大きなものとなっている。本プロジェクトの内容が、そうした点に僅かながらでも貢献することを期待する。

6. 参考文献

- 1) 石毛勇介ほか：武道におけるスポーツ科学研究に関する調査、及びその活用を目的としたデータベース構築の検討。平成18年度武道・スポーツ科学研究所年報第12号：p53-68, 2007.
- 2) 木村恭子ほか：なぎなたスネ打ち動作に関する三次元動作分析 試合時に於ける有効打突について。日本武道学会第39回大会研究発表抄録：p27, 2006.
- 3) 保江邦夫：武道vs. 物理学。講談社, 2007.

- 4) 吉福康郎：武術家甲野善紀の技のバイオメカニクスの解明。人体科学 14(2)：p25-34, 2005.