

表面筋電図を用いた柔道の駆け引きの「技」による崩し動作の分析 Analysis of breaking balance technique in tactics "Waza" of Judo with electromyogram

高木 雅也*¹
Masaya Takagi

藤波 努*²
Tsutomu Fujinami

*¹ *² 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科
School of Knowledge Science,
Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract : In Judo, "Kuzushi" technique is one of physical skills to use gamesmanship with an opponent. This study focused on how experts use a power of an opponent in this technique. We measured a surface EMG of both arms of the experts and filmed its movement while they performed "Kuzushi". As an experimental result, We found that the experts use hyposthenia of both arms when they performed it and while the experts use hyposthenia, muscles of both arms of opponents are being strained.

1. はじめに

スポーツや楽器演奏、美術品の造形には数多くの身体的技能がある。この技能の習得には、熟練者からの言葉による伝達や、教本の熟読による知識の獲得などの方法がある。しかし、熟練者にとって自身の感覚を言葉で表現することは難しく、また初心者にとっても、熟練者の言葉や動作から重要なポイントを的確に理解することは難しい。それゆえ、一般的に身体的技能の習得には多大な時間が必要となってしまう。

こうした身体的技能習得の難しさから、熟練者の優れた技能の明確化が必要となっており、スポーツや楽器演奏などの身体的技能についての研究が数多く行われている。また、熟練者の身体的技能について Bernstein[Bernstein, 1967]は精巧かつ複雑な身体動作から生み出される熟練技能は力の使い方であると述べていることから、身体的技能における力の使い方の研究は特に盛んに行われている。しかし、現在までに行われた身体的技能に関する研究の多くは、動作者が個人で行う身体的技能を対象としており、相手が存在する状況下における相手との駆け引きを利用した身体的技能を対象とした研究は少ない。相手との駆け引きを利用した身体的技能は、相手の出方を伺いつつ自らの力の制御を行う必要があるため、より高度な身体的技能であり、習得の難易度も非常に高い技能といえる。

本研究では、この相手との駆け引きを利用した身体的技能について柔道の崩し動作に注目し、崩し動作中の両者の力の使い方の関連を調べることで、熟練者が崩し動作において相手の力や動作を利用するメカニズムの解明を試みた。

2. 崩し動作

柔道競技において、互いに組み合った状態から相手を仰向けに投げる投技は最も基本的な攻撃方法となる。柔道では、「柔能く剛を制す」という言葉が良く用いられるように、相手の体格、力、動作の利用によって少ない力で相手を投げることを投技の真髄としており、相手の体格、力、動作の利用のために崩し動作が必要となる。この崩し動作とは投技を仕掛けるにあたって、事前に相手の重心を意図的に導いて相手を投げられやすい状態にするものである。[Fig.1]

崩し動作について佐藤ら[佐藤, 2006]は、崩し動作の成功には相手の重心の誘導を行うと共に自分の重心の安定を図り、さら

にそれらの動作を相手に認識されることなく行う必要があると述べている。相手に悟られずに相手の重心を意図的に誘導することは、瞬間的に動作や力の方向が変化し続ける柔道競技において非常に難しいものといえる。そのため、相手の動作や力の判断及びそれらの利用が崩し動作において不可欠であり、駆け引きを利用した身体的技能の一つといえる。

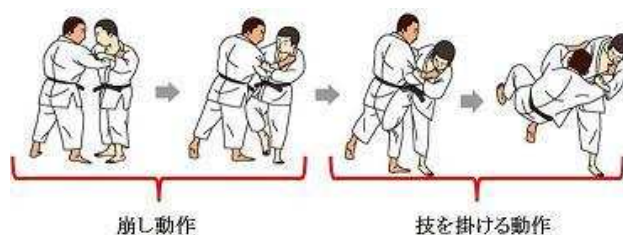


Fig.1 崩し動作

3. 実験内容

3.1 実験タスク

研究対象として柔道の崩し動作を取り上げるにあたり、柔道の崩し動作を簡略化した動作として「縄引き」を実験タスクに設定した。縄引きとは、縄の両端を互いに握って立つ位置を固定した状態から始め、縄を引く・緩めることで、相手を1歩でも動かした方が勝利するというバランスゲームである。[Fig.2]

縄引きにおける崩し動作は、縄を引いて相手の重心を前方に移動させるものと、縄を緩めて相手の重心を後方に移動させるものの2種類がある。このうち、縄を緩める崩しは相手が縄を引く動作に合わせて縄を緩める必要があるため、柔道の崩し動作と同様に相手との駆け引きの利用が必要となる。また縄引きは、柔道の初心者に崩しを教えるために用いられている。



Fig.2 縄引きの様子

3.2 計測機器の説明

本研究では、縄引き中の両者の上半身の筋活動の変化を調べるために、上半身の表面筋電位の測定を行った。本研究の実験においては、力を込めた引き動作や急に力を緩める動作により被験者の激しい動きが予想されるため、実験中の動作変化に耐えうる機器として携帯使用可能なデジテックス研究社製の Polymate AP1532 を用いて表面筋電位の測定を行った。

表面筋電位の測定箇所には、縄引きの崩し動作中に変化が見られる筋肉として両腕の長橈側手根伸筋(前腕部)、上腕三頭筋(上腕部)、広背筋(背部)の6箇所の筋肉を設定した。

3.3 被験者の設定

実験の被験者には、岐阜県の高校の柔道部員に協力を依頼し、柔道経験年数や段位、競技実績の異なる4名の柔道選手を被験者として設定し、それぞれの熟練度を上級者・中級者・初級者の3種類のカテゴリーに分類した。[Table 1]

Table 1 被験者の熟練度の分類

熟練度	柔道経験年数	段位	戦績
上級者(M選手)	12年4ヶ月	参段	全国規模の大会で優勝
中級者(I選手)	7年8ヶ月	二段	県規模の大会で入賞
中級者(O選手)	10年3ヶ月	初段	県規模の大会に出場
初級者(M選手)	8ヶ月	無段	県規模の大会に出場

3.4 実験手法

Table 1に示した4名の被験者について総当たり形式で6パターンの組を作成し、各組について実験を行った。開始の合図から被験者のどちらかの足が1歩移動するまでを1試行として合計15回の試行を行った。この1試行中の被験者の筋活動の様子について3.2節で述べた6箇所の筋肉の表面筋電位を測定し、それと共に被験者の動作変化の様子をビデオカメラによって撮影した。

4. 実験結果

4.1 熟練度による筋活動の違い

上級者(M選手)が中級者(I選手)を対戦相手として、実験を行った際の1試行中の筋活動の変化として右腕の上腕三頭筋の表面筋電図をFig.3に示す。Fig.3における実験タスクの試行区間(縄引きの動作区間)は点線で区切られた区間(1秒時点から17秒時点)である。Fig.3より、試行区間において筋活動が活発に行われている区間と、大幅に減少している区間が存在していることが分かる。この特徴は、上級者においては測定した6箇所全ての筋肉に見られ、また対戦相手を問わずに見られた。

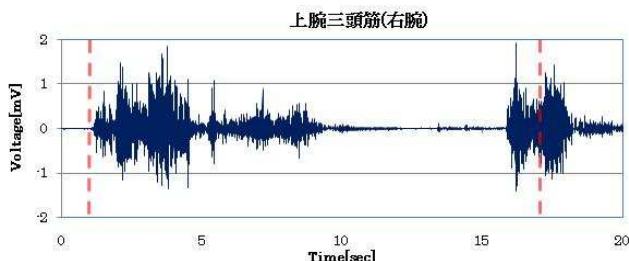


Fig.3 上級者の表面筋電図(右:上腕三頭筋)

一方、中級者2選手の試行中の筋活動においては、測定した数箇所の筋肉において上級者と同様に筋活動が活発に行われている区間と、大幅に減少している区間とが明確に確認できるものの、筋活動の大幅な減少が見られない筋肉も存在した。

また初級者の選手においては、測定した全ての筋肉について常に一定程度の筋活動が行われており、筋活動の大幅な減少は明確に確認が出来なかった。これより、熟練度により試行中の筋活動の減少において違いが生じていることが分かる。

4.2 筋活動の変化と動作変化の関連

試行中の筋活動の減少について熟練度による違いが見られたことから、1試行中において筋活動の大幅な減少が見られる区間に注目し、その区間の両者の筋活動の変化と動作の変化との関連を分析した。分析にあたり、筋活動の大幅な減少が見られる区間について、各筋肉の筋電位信号の平均振幅であるRMSを求め、RMSの時間変化を見ることで試行中の両被験者の筋活動の比較を行った。

(1) 上級者における筋活動の変化と動作変化の関連

上級者(M選手)と中級者(I選手)との対戦の1試行において、上級者の筋活動に大幅な減少が見られた区間のRMSの時間変化をFig.4に、同区間の中級者のRMSの時間変化をFig.5に示す。Fig.4より、9秒付近から16秒付近において上級者の両腕の筋活動が大幅に減少しており、その後両腕の筋活動が活発に行われていることが分かる。一方、Fig.5より中級者の筋活動を見ると、8秒付近から15秒付近の区間において両腕の筋活動が活発に行われ、その後両腕の筋活動が減少しており、上級者の筋活動と対照的な変化を見せている。また、この試行中の両選手の動作変化を確認したところ、Table.2に示す動作変化が確認できた。これらの筋活動の変化及び動作変化を照らし合わせると、上級者は縄を緩める際に両腕の全ての筋肉の筋活動が減少していることが分かる。また、上級者は相手の両腕の筋活動が活発になった際に縄を緩め、逆に相手の筋活動が減少した際に縄の引きを行っていることが分かる。

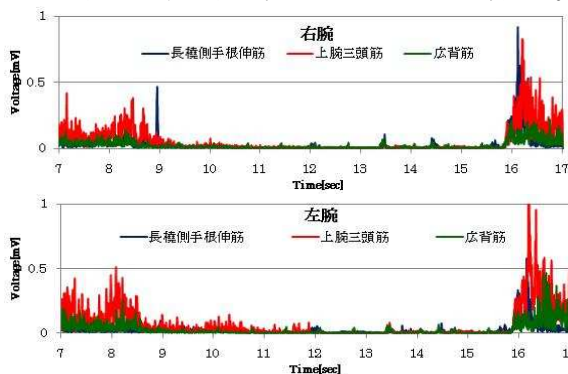


Fig.4 上級者(M選手)のRMSの時間変化

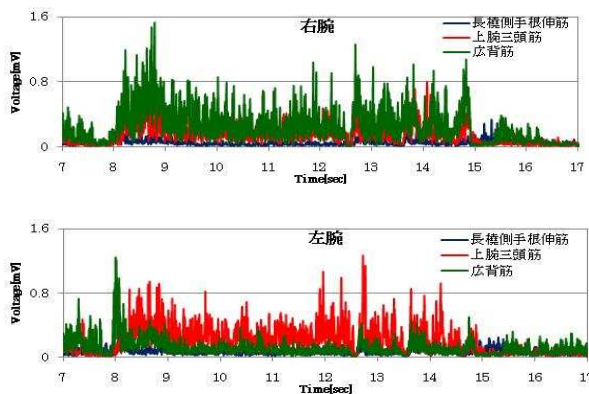


Fig.5 中級者(I選手)のRMSの時間変化

Table.2 上級者(M選手)と中級者(I選手)の動作変化

時間	上級者(M選手)の動作	中級者(I選手)の動作
7.0秒 - 8.5秒	縄を引く	縄の引きを堪える
8.5秒 - 14.0秒	縄を緩める	縄を緩められ 上体が後方に反れる
14.0秒 - 15.0秒	縄を緩めた状態を保つ	上体を立て直す
15.0秒 - 17.0秒	縄を引く	縄を引かれ 前方に1歩踏み出す

(2) 中級者における筋活動の変化と動作変化の関連

2人の中級者(I選手、O選手)同士の対戦の1試行において、同様にRMSの時間変化を求めたものをFig.6及びFig.7に示す。また、この試行中の両選手の動作変化をTable.3に示す。Fig.6及びFig.7より14秒付近から17秒付近の区間においてI選手の両腕の筋活動に大幅な減少が見られ、また17秒付近から19秒付近の区間においてはO選手の右腕の筋活動が大幅に減少し、両腕の筋活動が穏やかになっていることが分かる。こうした筋活動の変化と動作変化を照らし合わせると、2人の中級者は共に、縄を緩める際に両腕の筋活動が減少しており、相手の両腕の筋活動が活発になった際に縄を緩めているという点において上級者と共通していることが分かる。しかし、上級者は縄を緩める際に両腕の全ての筋肉の筋活動が大幅に減少し、ほとんど活動をしていないのに対し、中級者は一部の筋肉に筋活動が見られる。また、上級者は1回の崩し動作の中で引きと緩めを頻りに切り替える傾向があるのに対し、中級者の2人は共に1回の崩し動作が引き・緩めの何れか単体の動作で終わることが多いという違いがあった。

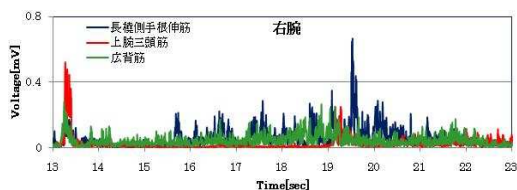


Fig.6 中級者(I選手)のRMSの時間変化

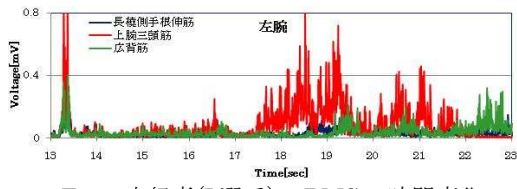


Fig.7 中級者(O選手)のRMSの時間変化

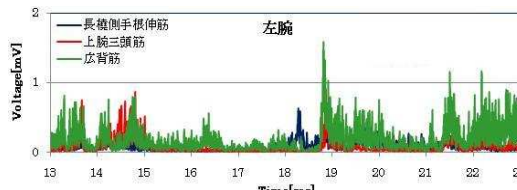
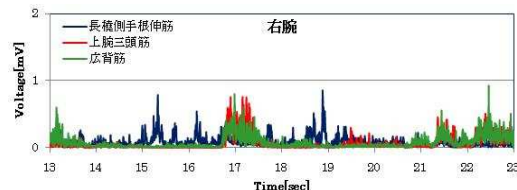


Table.3 中級者(I選手、O選手)の動作変化

時間	中級者(I選手)の動作	中級者(O選手)の動作
13.0秒 - 14.5秒	縄の引きに対し 縄を緩める	縄を引く
14.5秒 - 16.5秒	縄を緩めた状態を保つ	縄を緩められ 上体が後方に反れる
16.5秒 - 17.5秒	縄の引きを堪える	縄を引く
17.5秒 - 21.0秒	縄を引いて堪える	堪える動作に対し 縄を緩める
21.0秒 - 22.0秒	引きを堪える動作に対し 縄を緩める	縄の引きを堪える
22.0秒 - 23.0秒	縄の緩めた状態を保つ	縄を緩められ 後方に1歩踏み出す

(3) 初級者における筋活動の変化と動作変化の関連

初級者(H選手)と中級者(I選手)との対戦の1試行において、同様にRMSの時間変化を求めたものをFig.8及びFig.9に示す。また、この試行中の両選手の動作変化をTable.4に示す。Fig.8より、初級者は常に両腕の筋活動がある程度行われた状態にあることが分かる。また筋活動の変化と動作変化を照らし合わせると、初級者は縄を緩める際に両腕の筋活動が活発に行われている事が分かる。また、Fig.9より初級者が縄を緩めている間(12.0秒から13.5秒)の、相手の筋活動を見ると相手の両腕の筋活動はほとんど行われていない状態にあることが分かる。さらに、初級者の1回の崩し動作は中級者と同様に単体の動作で終わることが多く、そのほとんどが引き動作であった。

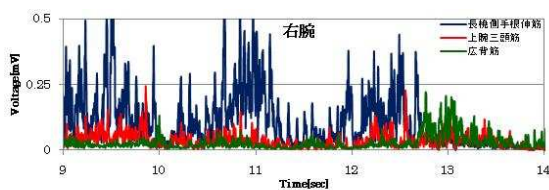


Fig.8 初級者(H選手)のRMSの時間変化

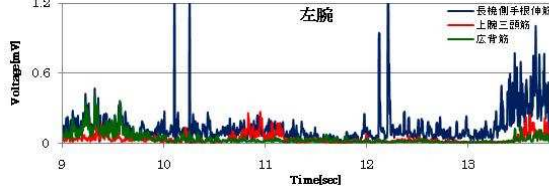
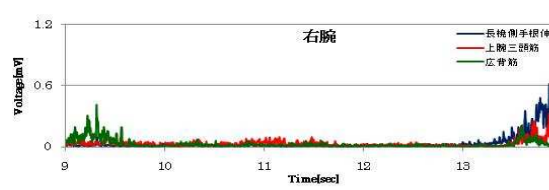
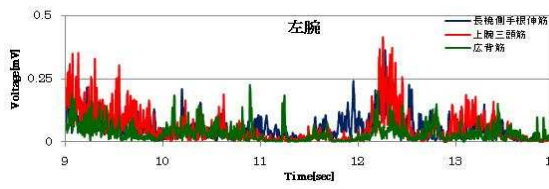


Fig.9 中級者(I選手)のRMSの時間変化

Table.4 初級者(H 選手)と中級者(I 選手)の動作変化

時間	初級者(H 選手)の動作	中級者(I 選手)の動作
6.0 秒 - 8.0 秒	縄を引かれ 上体が前方に傾く	縄を引く
8.0 秒 - 10.0 秒	上体を立て直し縄を引く	縄の引きを堪える
10.0 秒 - 12.0 秒	縄の引きを堪える	縄を引く
12.0 秒 - 13.5 秒	縄を緩める	縄を緩める動作に対し 縄を引く
13.5 秒 - 14.0 秒	縄を引かれ 前方に1歩踏み出す	縄を引く状態を保つ

5. 結論

5.1 崩し動作における脱力の利用

熟練者の優れた身体的技能において、「脱力」は一つのキーワードとなる。身体技能における脱力について、藤沢ら[藤沢,2008]は、ドラム演奏の熟練者はドラム演奏時に腕の脱力を利用してドラムスティックの長さや重さを利用している事を示している。このように身体的技能における動作時に脱力を用いる事で、動作者以外の力を効果的に利用することが出来るといえる。

実験結果より、上級者ほど縄を緩める動作において両腕の筋活動が大幅に減少しており、またその際には相手の両腕の筋活動が活発に行われていることが分かった。こうした結果から、上級者ほど縄を緩めて相手を後方に傾ける崩し動作において両腕の脱力を利用しており、脱力を利用することによって相手が縄を引く力や縄の引きを堪える力を利用しているといえる。

5.2 崩し動作における偽装動作の利用

スポーツの実戦の場においては、一般的にフェイントと呼ばれる偽装動作という技能動作が用いられる。この偽装動作について嶋田ら[嶋田,2008]は、偽装動作は相手の意識を逸らせるために行う見せかけの動作であると述べている。

実験結果より、上級者は1回の崩し動作の中で縄を引く・緩めるという2種類の動作の切り替えを頻繁に行う傾向にあることが確認できた。また、この縄の引き・緩めの切り替えは、相手の筋活動が減少した際には縄を引き、逆に相手の筋活動が活発になった際には縄を緩めるというように、相手の両腕の筋活動の変化に追従するように切り替えを行っていた。ここから考えるに、上級者が行う縄の引き・緩めの切り替えという相手を崩す方向の変更が、相手の防御を攪乱する偽装動作の役割を果たしているのではないだろうか。今回の実験結果からは、1回の崩し動作中の崩す方向の切り替えが偽装動作に結びついていることは断定できないが、この切り替えにより、相手は崩し動作に対応した防御を行う事が困難になっている可能性は大いにあるといえるだろう。

5.3 研究のまとめ

2節で述べたとおり、崩し動作は意図的に相手の重心を誘導する技術であり、自分を攻める(投げる)べく力をかけてくる相手に対して行わなければならない技術である。そのため、崩し動作を成功させるには、自分が崩す動作を相手に悟らせず、かつ、相手の動作や力を利用する必要があるといえる。まず、自分の崩す動作を相手に悟らせないという点については、上級者が行う崩す動作(方向)の切り替えが関係するといえよう。つまり、崩し動作を1つの動作(方向)に絞るのではなく、相手の状況に応じて変化させることが、相手に自分が崩そうとする動作を悟らせないことに繋がると考えられる。そして、相手の動作や力の利用に

については、相手が自分を崩しにくる動作や力、もしくは自分の崩し動作を相手が防御する動作や力などを利用する必要がある。そのため的手段として、相手の力を受け流すべく、意図的に脱力を行う必要があるといえるだろう。

以上の考察から、崩し動作の中で相手との駆け引きを利用するメカニズムについてまとめると、以下のようになる。

- ①:1回の崩し動作の中で、複数の動作・力を組み合わせることで相手の対応に混乱を生じさせる。
- ②:各瞬間において、相手が自分を攻めにくる動作・力や相手が自分の崩しを防御する動作・力を利用する。そのために意図的にタイミング良く脱力を行う必要がある。

これら2点の要素が満たされることで、相手との駆け引きを効果的に利用し、自分の崩し動作のパフォーマンスを向上させることに繋がると考えられる。

6. 今後の課題

本研究における今後の課題として、重心移動の計測がある。本研究では、実験において試行中の両被験者の重心移動を調べるため足元に圧力センサを配置したが、有効なデータが得られなかった。これは、実験中の動作が非常に激しく圧力センサとして用いた機器自体に揺れや傾きが生じてしまったことが原因と考えられる。崩し動作における相手との駆け引きの利用について調べる上では、相手の体重の利用や相手の崩し動作に対する自分のバランスの保持という点について重心移動は重要な要素になるといえよう。そのため、今後は実験中の激しい動作変化に対応するため、安定性の高い重心移動の測定機器の選定を行う必要がある。

また、実験後に行った被験者との会話において「膝の力の抜き」が崩し動作において重要になるという意見が得られた。膝の力の抜きは相手の動作に素早く対応し自分の姿勢を保つために必要と考えられる。崩し動作には自分の姿勢が保たれることも重要である。そのためモーションキャプチャ等により被験者の体幹部や膝の変化について調べることで、相手の力に対して自分の姿勢を如何に保っているかという点について今後調べていく必要があるといえる。

参考文献

[Bernstein,1967] Bernstein NA. The coordination and regulation of movements. Oxford Pergamon Press, 1967.

[佐藤,2006] 佐藤忠之, 川上泰雄, 志々田文明. 合気道競技の投技における「崩し」の方法: 隅落と引落を中心に. スポーツ科学研究, 3, pp.69-77, 2006.

[藤沢,2008] 藤沢卓矢, 岩見直樹, 奇能雅文, 三浦雅展. 表面筋電位および記録映像を用いたシングルストローク演奏時におけるドラムスティック制御動作の解析. 情報処理学会研究報告 Vol.2008, No.78, pp.161-166, 2008.

[嶋田,2008] 嶋田拓郎, 森周司. 偽装動作を含む身体運動の知覚と予測に関する研究. 電子情報通信学会技術研究報告. 108(26), pp113-117, 2008.