

# アマチュアボクシングにおいて頭部に作用する 衝撃の安全・非侵襲な直接計測

立命館大学 長野 明紀

## Safe and Non-invasive Evaluation of The Impact Load of Punches in Amateur Boxing

by

Akinori Nagano

*Faculty of Sport and Health Science  
Ritsumeikan University*

### ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the impact of boxing punches in a safe and non-invasive manner. We collected punching data from two experienced right-handed boxers. The motions were (1) jab, (2) one-two, (3) one-two-three and (4) one-two-hook. Thirty seconds of punching motions were collected in each case. The subject threw punches into punching mitts, which were held by an experienced boxer. Motion data were collected using an optical motion capture system. Ground reaction forces were collected in an experimental environment which has 15 force plates arrayed in a rectangle shape. Small and light-weight accelerometers were attached on the outside of the wrist of both arms. Based on the data from the motion capture system and force plates, the impulse of a punch was calculated as 10.00 ~ 19.87 kg·m/s and 7.28 N·s ~ 9.85 N·s. The measured values from the accelerometers were found to exceed  $\pm 16G$ . The results of this research suggest that the impacts can be reasonably assessed in activities that include strong collisions such as boxing. These findings will be sound foundations to further develop this line of research.

## 要 旨

本研究では、アマチュアボクシングの打撃動作の衝撃を安全・非侵襲に計測する事を目的とした。2名のボクシング経験を持つ右利きの被験者からパンチ動作中のデータを取得した。動作は(1)左ジャブ、(2)ワン・ツー、(3)ワン・ツー・スリー、(4)ワン・ツー・フックの4試技であった。それぞれの試技について30秒を計測時間とし、その間に適度な間隔で練習用ミットに対して打撃を行った。光学式モーションキャプチャーシステムを用いて250Hzで座標データを取得した。またフォースプレートが15枚長形状に敷き詰められた計測環境で、左・右脚に作用する床反力を独立に計測した。更に小型・軽量・ウェアラブルな加速度センサで加速度データを取得した。加速度センサは被験者のグローブ両手首部背側に装着した。光学式モーションキャプチャーシステムおよびフォースプレートから得られたデータに基づき、前者ではパンチ一発あたりの衝撃が10.00～19.87 kg·m/s、後者では7.28 N·s～9.85 N·s程度であるとの結果が得られた。加速度センサを用いた計測によりその衝撃は瞬間的に±16Gを上回る事も明らかとなった。本成果はボクシング等の強い衝突を含む動作においても衝撃を信頼性高く定量評価できる可能性を示すものであり、今後の研究を進展させて行く礎となる知見が得られたものとする。

## 緒 言

アマチュアボクシングはオリンピック競技の一つであり、2012年のロンドンオリンピックにおいて日本人選手が44年ぶりにメダルを獲得したことは記憶に新しい。近年アマチュアボクシング競技における日本人選手の活躍は目覚ましく、2016年にリオデジャネイロ、2020年に東京で開催されるオリンピックにおいてもメダル獲得が期

待されている。また競技としての裾野も広く、高校の部活動等において優れた指導を受けた選手が後に大成する傾向が明らかに見て取れる。

アマチュアボクシング競技を安全に実施し、科学的・効率的トレーニングを推進するためには、ボクシング動作を正確に計測し、そのメカニズムを理解することが必要である。しかしボクシングにおいては、拳により顔面・頭部及び腹部に打撃を加えることを主要な目的としており、その動作を安全・非侵襲に計測し、メカニズムを解析することはこれまで困難であった。特に打撃が加えられた際に作用する衝撃については、これまで十分な知見が蓄積されているとは言い難い。そのため打撃が身体に及ぼす影響は定量的・科学的に理解されて来ておらず、選手や指導者の自己管理によって安全性が確保されている状態である。

ボクシングの動作を解析した先行研究は非常に限られている。Waliko et al.<sup>1)</sup>はダミー人形型測定装置を用いた計測を行った。この研究では衝突実験用のダミー人形型測定装置を設置し、それに対するパンチ動作を行わせている。ボクシングにおいては静止した対象にパンチを打つ事は稀であり、この実験設定は実際の動作を適切に反映しているとは考え難い。Pedzich et al.<sup>2)</sup>はボクシングを含む様々な格闘技の動作中の関節発揮トルクを動作解析により計測している。これにより動作解析の手法の信頼性は確認されているが、この研究では動作に伴う衝撃の計測は為されていない。Crisco<sup>3)</sup>はアメリカンフットボールの際に作用する衝撃を加速度センサを用いて計算する方法を定式化した。しかしこれは1軸の加速度センサを複数用いる有線のシステムであり、着用者に対する拘束が大きいという問題がある。

本研究ではこれらの問題を解決するために、アマチュアボクシングの打撃動作の衝撃を安全・非侵襲に直接計測する事を目的とした。計測には光学式モーションキャプチャーシステム、フォース

プレート，及び小型・軽量の慣性センサを用いた。将来的にはアマチュアボクシングの練習や試合の際に発生する衝撃をリアルタイムに評価して，練習及び競技を安全に遂行する指針とすることを目指し研究を推進した。

## 1. 方法

### 1. 1 実験プロトコル

本研究は立命館大学びわこ・くさつキャンパスにおける人を対象とする研究倫理審査委員会のガイドラインに従い，承認を得て実施した。ボクシングの打撃動作に伴い発生する衝撃を計測・評価した。2名のボクシング経験を持つ被験者からパンチ動作中のデータを取得した。被験者はいずれも右利きであった。動作は(1)左ジャブ，(2)ワン・ツー（左ジャブの後速やかに右ストレートを打つ），(3)ワン・ツー・スリー（ワン・ツーの後速やかに左ストレートを打つ），(4)ワン・ツー・フック（ワン・ツーの後速やかに左フックを打つ）の4試技であった。それぞれの試技について30秒の時間を計測時間とし，その間に適度な間隔で練習用ミットに対して打撃を行った。練習用ミットは熟練者が装着しパンチを受けた。グローブはWinning社製の10オンスの練習用グローブ，ミットはWinning社製の練習用ミットであった。光学式モーションキャプチャーシステム，フォースプレート，および小型・軽量・ウェアラブルな加速度センサを用いてデータを取得した(図1)。試技のうち，安定的なパンチ動作が見られた3回の打撃動作を分析に用いた。

### 1. 2 光学式モーションキャプチャーシステム

MotionAnalysis社 MAC3Dシステムを用いて250Hzでデータを取得した。カメラは16台を用いた。被験者（パンチを打つ側）については頸椎部(C7)，左肩，左肘，左拳(3箇所)，右肩，右肘，右拳(4箇所)に反射マーカを貼付した。験者(パ



図1 計測用反射マーカと加速度センサの装着方法  
計測用反射マーカは左拳に3個，右拳に4個両面テープを用いて装着した。加速度センサは両面テープを用いて手首外側に装着の後，ビニールテープを用いて固定した。(この図はビニールテープで固定する前の状態。)

ンチを受ける側)については頸椎部(C7)，左肩，左肘，左拳(4箇所)，右肩，右肘，右拳(5箇所)に反射マーカを貼付した。全てのマーカの位置を，全く欠損無くキャプチャーすることが出来た。前腕部において，パンチ衝突直前の速度並びに前腕部の質量の推定値(身体分節質量とグローブ・ミットの質量)からパンチの力積の大きさを評価した。

### 1. 3 フォースプレート

Tec 技販社製 TF-4060-Bを用いて500Hzでデータを取得した。フォースプレートが15枚長方形状に敷き詰められた実験室で，被験者・験者の左・右脚に作用する床反力を独立に計測した。計測した力の波形を試技毎に比較した。また，特に前後方向(相手方向)の成分に着目し，打撃動作1回当たりに相手方向に生み出される力積を求めた。

### 1. 4 加速度センサ

ATR-Promotions社製 TSND121を用いて100Hzでデータを取得した。加速度センサは被験者のグローブ両手首部背側，及びミットを持った験者の手首背側部に装着した。両面テープで取り付けした後ビニールテープで強固に固定した。計測レンジはこの市販センサで最大の $\pm 16G$ とした。この

表1 パンチの衝撃の動作解析結果

衝突直前の速度及び運動量はモーションキャプチャーで得られたデータから求めた。衝突時間は加速度センサの信号から求めた。推定平均加速度は衝突直前の運動量を衝突時間で割ることで求めた。

	試行	速度(m/s)	運動量(kg・m/s)	衝突時間(s)	推定平均加速度(G)
被験者A	左ジャブ	7.431	13.75	0.15	5.18
	ワン・ツー 左ジャブ	6.63	12.26	0.13	5.35
	ワン・ツー 右ストレート	8.724	16.14	0.14	6.36
	ワン・ツー・スリー 左ジャブ	6.213	11.49	0.13	4.88
	ワン・ツー・スリー 右ストレート	8.423	15.58	0.13	6.45
	ワン・ツー・スリー 左ストレート	6.860	12.69	0.15	4.56
	ワン・ツー・フック 左ジャブ	5.658	10.47	0.14	4.14
	ワン・ツー・フック 右ストレート	7.564	13.99	0.13	5.82
	ワン・ツー・フック 左フック	8.120	15.02	0.16	5.31
被験者B	左ジャブ	6.095	12.46	0.13	4.69
	ワン・ツー 左ジャブ	5.479	11.20	0.13	4.42
	ワン・ツー 右ストレート	8.091	16.53	0.15	5.42
	ワン・ツー・スリー 左ジャブ	5.094	10.41	0.12	4.46
	ワン・ツー・スリー 右ストレート	7.152	14.62	0.14	5.34
	ワン・ツー・スリー 左ストレート	6.753	13.8	0.14	4.81
	ワン・ツー・フック 左ジャブ	4.893	10.00	0.11	4.56
	ワン・ツー・フック 右ストレート	7.129	14.57	0.13	5.75
	ワン・ツー・フック 左フック	9.725	19.87	0.19	5.17

加速度センサでは3成分の加速度（及び3成分の角速度）を計測することが出来る。分析には加速度データのみを用いた。

## 2. 結果

### 2.1 モーションキャプチャーデータ

モーションキャプチャーデータから求めたパンチの力積を表1に示す。パンチ一発当たりの力積は被験者Aにおいては10.47～16.14kg・m/s、被験者Bにおいては10.00～19.87kg・m/sであった。

最も力積が大きかったのは被験者Aにおいてはワン・ツーの右ストレート、被験者Bにおいてはワン・ツー・フックの左フックであった。

### 2.2 床反力データ

床反力データの例を図2に示す。左脚（前脚）に作用する前後方向の成分は正・負の値を交互に示していた。これは身体を相手方向に推進する動作と、身体を手前に戻す動作を交互に繰り返していた事を示している。一方で右脚（後脚）に作用

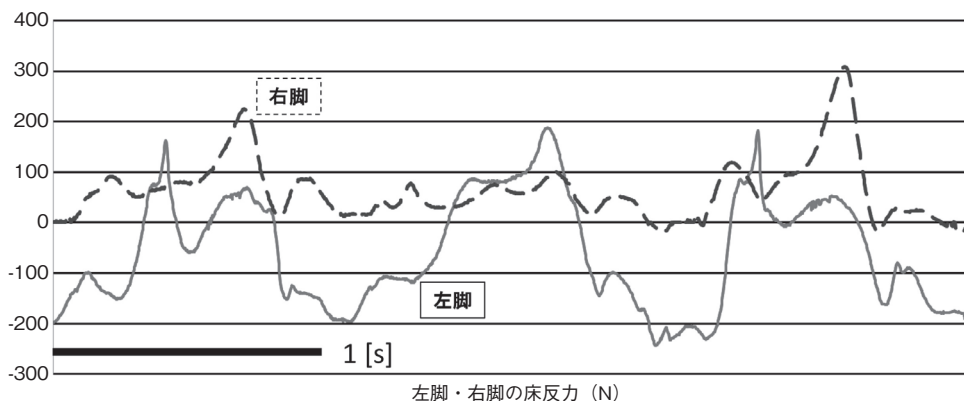


図2 床反力の相手方向（前後方向）の成分

左脚・右脚の値をそれぞれ実線と破線で示す。左ジャブを3発打った際の波形の例。左脚（前脚）に作用する前後方向の成分は正・負の値を交互に示していた。一方で右脚（後脚）に作用する床反力はほぼ正の値を示した。

表2 床反力の相手方向(前後方向)の成分を積分することで求めた力積の値  
表1に示した値と同様の結果が得られた。ワン・ツー・フックについてはフック  
の動作時にパンチの方向が90度変わるため、この分析からは除外した。

		左ジャブ	ワン・ツー	ワン・ツー・スリー
被験者A	力積合計(N・s)	7.28	18.77	29.56
	パンチ1発あたりの力積(N・s)	7.28	9.39	9.85
被験者B	力積合計(N・s)	8.52	18.58	26.72
	パンチ1発あたりの力積(N・s)	8.52	9.29	8.91

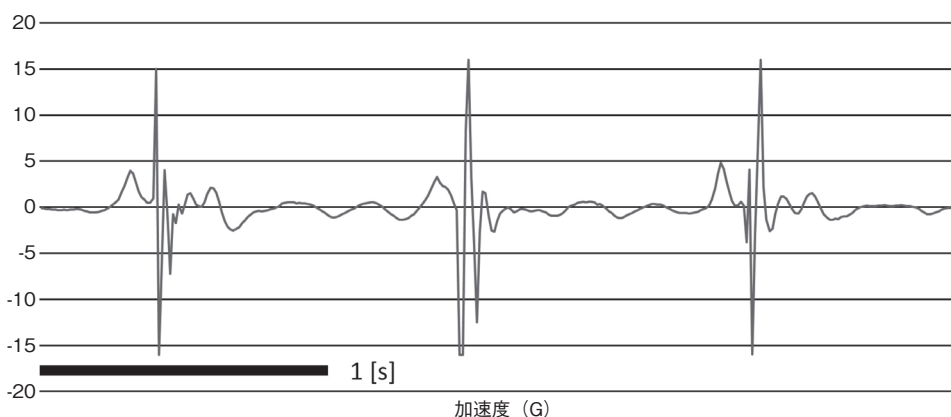


図3 手首に装着した加速度センサの計測値  
左ジャブを3発打った際の、前腕の長軸方向の成分を示す。衝突の際に大きなピーク値が発生し、  
加速度センサの計測レンジ(±16G)を超えていることが解る。

する床反力はほぼ正の値を示した。これは右脚が主として身体を相手方向に推進する作用を生み出していたことを示している。打撃動作1回あたりに相手方向に生み出された力積を表2に示す。この力積は、完全に一対一対応はしないもののモーションキャプチャーで求めたパンチの運動量と同じ範囲内の値であった。ワン・ツー・フックではフックに於いて90度パンチの方向が変わるため、床反力波形の規則性が低かったのでこの分析は行わなかった。

### 2. 3 加速度データ

加速度センサのデータを図3に示す。インパクトの直前までの打撃動作についてはノイズの少ない計測が出来ていた。インパクトの瞬間の加速度はこのセンサで測れるレンジ(±16G)を超えており、より計測レンジの広いセンサを用いる必

要が示唆された。加速度センサの値に非常に大きなノイズが乗っている時間を衝突時間とみなし、これを求めた。また衝突以前のパンチの速度をこの衝突時間で割り、衝撃に伴う平均加速度の推定値を求めた値を表1に示す。

### 3. 考 察

本研究ではボクシングのパンチ動作に伴い発生する衝撃を定量評価することを目的とした。手法としては光学式モーションキャプチャーシステム、フォースプレート、小型・軽量・ウェアラブルな加速度センサを用いた。

光学式モーションキャプチャーシステムを用いた計測・解析の結果、衝突直前に拳および前腕部が持っている運動量が計算できた(表1)。その値は10.00～19.87 kg・m/sであった。効果的に打撃が当たった場合、この力積の大部分が相手に伝

わると考えられる。パンチの打ち方や選手の階級にも依存するが、ボクシングの打撃に伴う衝撃はこのレンジの近辺に分布する事が示された。

床反力のデータを解析した結果も同様の値を示した。床反力の作用として発生する相手方向の力の力積はパンチ一発当たり  $7.28 \text{ N}\cdot\text{s} \sim 9.85 \text{ N}\cdot\text{s}$  に分布しており (表 2), これは前述した拳と前腕部が持つ運動量と同様の値となっている。これらの結果は、光学式モーションキャプチャーシステムを用いてもフォースプレートを用いても、打撃の際に発生する衝撃を妥当に評価出来る事を示すものである。

加速度センサを用いた計測の結果、多くの場合で計測値がこのセンサの計測限界 ( $\pm 16\text{G}$ ) を超えてしまっており、計測不能となっていた (図 3)。パンチの当たる瞬間は拳にこれ以上の加速度が生じている事を示す結果であるので、今後は計測手法を改善する必要がある。一つの方法として考えられるのは、サンドバッグ等質量の大きな対象に打撃を加え、なおかつこの対象物に加速度センサを装着しておく方法である。この場合は対象物の質量が大きいのので加速度は今回の結果よりも小さくなり、加速度センサの計測レンジ内に収まると考えられる。対象物の質量としては実際のボクシング実施時の相手の頭部や胴体の実効質量に近い値が望ましい。実効質量を正確に定めるためには実際の試合やスパーリングの場面におけるデータ収集と分析が必要である。本研究の次のステップとしてはこの方向を検討していく予定である。もう一つの方法としては、より計測限界値の大きな加速度センサを開発・使用することが考えられる。これはボクシングに限らず衝撃力の発生する多くのスポーツ動作に於いて活用できると考えられ、大きな波及効果を持つものであり、今後この方向に研究を進展させることも検討したい。

#### 4. 結 論

本研究では光学式モーションキャプチャーシステム、フォースプレート及び加速度センサを用いてボクシングのパンチに於いて発生する衝撃を評価した。光学式モーションキャプチャーシステムおよびフォースプレートから得られたデータに基づき、前者では衝撃が  $10.00 \sim 19.87 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ , 後者では  $7.28 \text{ N}\cdot\text{s} \sim 9.85 \text{ N}\cdot\text{s}$  程度であるとの結果が得られた。加速度センサを用いた計測によりその衝撃は瞬間的に  $\pm 16\text{G}$  を上回る事も明らかとなった。今後研究を大きく発展させていくための方向性も明確となった。

#### 謝 辞

本研究を助成して下さった公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に感謝の意を表したい。本研究は立命館大学スポーツ健康科学部で実施した。研究に大きな貢献をして下さった立命館大学スポーツ健康科学部の樋口貴俊氏、工藤将馬氏、赤熊亮祐氏に感謝する。

#### 文 献

- 1) Walilko, T.J., Viano, D.C., Bir, C.A., Biomechanics of the head for Olympic boxer punches to the face., *British Journal of Sports Medicine.*, **39**, 710-719 (2013)
- 2) Penzich, W., Mastalerz, A., Sadowski, J., Estimation of muscle torque in various combat sports., *Acta of Bioengineering Biomechanics.*, **14**, 107-112(2012)
- 3) Crisco, J.J., Chu, J.J., Greenwald, R.M., An algorithm for estimating acceleration magnitude and impact location using multiple nonorthogonal single-axis accelerometers., *Journal of Biomechanical Engineering.*, **126**, 849-854(2004)