

2009 年度 修士論文

**野球のボール回転速度が
バッティングパフォーマンスに与える影響**

The effect of ball spin rate on batting performance

**早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域**

5008A062-9

諸星 潤

Morohoshi, Jun

研究指導教員： 彼末 一之 教授

目次

第1章 序論.....	1
第2章 実験1	
ピッチングマシンから投球されるボール回転速度を変化させたボールに対するバッティング.....	3
方法	
結果	
考察	
第3章 実験2	
ボールの位置を予測してスイングしたときに正確性と再現性（ティー打撃）.	19
方法	
結果	
考察	
第4章 総合論議.....	29
第5章 謝辞.....	30
第6章 参考文献.....	31

第1章 序論

野球の投手はピッチャーマウンドから 18.44 m 先の捕手に向かって投球する。試合では球種、コースを投球毎に変えることで相手打者に思い通りのバッティングをさせないようにする。一般に最も多く投球されるのは直球である。打者は投球される球種が直球だとわかっている場合は正確にボールを捉える可能性が高いと言われており (Rob, 2002)、投手は他の球種と組み合わせることで相手打者に狙い球を絞らせないようにしている。しかし、阪神タイガースに所属する藤川球児投手の直球は事前に直球だとわかっているにもかかわらず空振りをしてしまうと対戦した多くの打者が述べている (週刊ベースボール, 2009)。彼の直球のスピードは 145km/h と特に速いわけではない。そこで、藤川投手の直球が打ちにくいのはボールの「回転」に特徴があるのではないかと考えられている。

回転速度の速い直球は揚力が大きく働くため、回転速度の遅い直球に比べ落下距離が小さくなる (Adair, 1990; 溝田, 1997; Alaways and Hubbard, 2001; Jinji and Sakurai, 2006)。溝田ら (1997) によれば、ボール移動速度 40 m/s (144km/h) のボールの回転軸が移動方向に対して垂直かつ地面に平行なときボール回転速度が 30 rps であれば、ボールリリース位置からホームプレートまでの落下距離は 30 cm であり、ボール回転速度が 40 rps であれば落下距離は 20cm であると報告している。投手の投じる直球のボール移動速度とボール回転速度の間には正の相関関係があり (神事ら 2008)、平均的な値はボール移動速度が 40 m/s のときのボール回転速度は約 38 rps である。打者は学習によりボールの初速や投射角度からインパクトの時間や高さを予測してスイングを行っており、これまで学習してきたボール移動速度に対応していない回転速度のボールが投げられるとうまく打ち返すことができない可能性がある (Rob, 2002)。実際、藤川投手のボール回転速度は 45 rps であるとテレビ局による簡易的な実験では示されている。

投手の投げたボールが打撃位置に到達する時間は約 0.4 秒、バットスイングには約 0.15 秒を要する (Adair, 1990; 石垣ら 1997) つまり、打者はインパクトの約 0.25 秒前までにミートポイントを予測してスイングを開始しなければならない。しかし、インパクト約 0.25 秒前の時点では回転数の異なるボールでも落下距離には 2~3cm の差しかなく、ここまでの情報では打者はその後起こるボール回転速度の違いによる落下距離の変化には対応できないことが予想される (Adair, 1990)。また打者はインパクトの際に直径 7cm 程度のボールを、直径 6cm 程度のバットで正確に打ち返さなくてはならない。しかも、ただバットにボールを当てれば良いわけではなく、**バットの芯**と呼ばれる部分に当てる必要がある。**バットの芯**とはボールの反発係数が最も高い部分であり、約 85cm のバットでは長軸方向に先端から 15 cm の付近で $\pm 3 \sim 5$ cm 程度だと報告されている。(Cross, 1998; Nicholls, 2006)。また、Adair (1990)は計算機シミュレーションでは、ボールの中心の 1.3cm 下をバットで打ったときが最も飛距離が長く、またボールの中心から 2.5cm 以下をバットで打った場合はフライになり飛距離が低下してしまうと推測している。つまりボールとバットの位置関係がバットの半径方向に中心から 0~2cm の範囲内でなければヒットになる確率は低くな

ると言える。

以上のことから、投球されたボールの回転速度が通常よりも大きいことで落下距離が小さくなることは打者のバッティングに影響を与えると予想できる。しかし、多くの研究は、単にボール回転速度の計測だけであったり、ボール回転速度の違いによる軌道の変化、バッティングをシミュレーションした実験でのインパクト位置の空間的誤差を解析したもので、実際にボール回転速度を変化させ、バッティングを行った実験はない。

本研究ではピッチングマシンを使用し、ボール移動速度を変えずにボール回転速度を変化させることがバッティングのパフォーマンスにどのように影響するかについて検討していく。さらに、打者がボール回転速度の違いによって生じる落下距離の変化を予測して、バットスイングを調整することができるかを検討するため、バッティングティーを用いて、ティー台に置かれたボールを打つ試行とボールの上をスイングする試行を行い、それぞれのスイングの正確性と再現性を検討していく。

第2章 方法

本研究では以下の2つの実験を行った。

実験1. ピッチングマシンから投球されるボール回転速度を変化させたボールに対するバッティング

実験2. ボールの位置を予測してスイングしたときの正確性と再現性 (ティー打撃)

実験1 ピッチングマシンから投球されるボール回転速度を変化させたボールに対するバッティング

被験者

元プロ野球選手1名、現役独立リーグ選手1名、社会人クラブチーム選手7名、大学野球部部員2名、大学準硬式野球部員2名の合計13名を被験者とした。被験者にはあらかじめ実験についての説明を行い、同意を得た上で実験を行った。被験者の属性を表1に示す。

表1. 被験者の身体的特徴

Sub	Age (Year)	Height (m)	Weight (kg)	Career (Year)	Swing	所属
A	33	173	70	25	L	元プロ野球選手
B	24	172	65	16	L	社会人クラブ
C	21	174	77	15	R	大学硬式野球部
D	25	174	82	13	R	独立リーグ
E	23	176	70	14	L	社会人クラブ
F	25	176	78	17	R	社会人クラブ
G	21	173	70	13	R	大学硬式野球部
H	31	172	70	21	L	社会人クラブ
I	19	171	70	10	R	大学準硬式野球部
J	24	164	65	15	L	社会人クラブ
K	22	176	72	12	R	社会人クラブ
L	19	176	67	12	R	大学準硬式野球部
M	24	178	72	17	R	社会人クラブ
Ave.	23.9	173.5	71.4	15.4		
S.D.	4.1	3.5	5.0	4.0		

実験手順

実験は屋外の打撃練習施設で行った。被験者は、ホームベースから17mの位置に設置された2個のホイール式のピッチングマシンから投球される36m/s程度(130km/h)の直球のバッティングを30回行った。ボール移動速度はホームベース後方に設置したスピードガンがおよそ130km/hを計測するよう設定し、毎球確認した。事前にホイールの回転速度とボール回転速度の関係を確認し、ピッチングマシンのホイールの設定値を3段階に変えることで、ボール移動速度を変えずにボール回転速度を約30、40、50 rpsに変化させた。被験者には回転速度は知らせずに、各10球になるようにランダムに行った。ピッチングマシンにボールを入れる際は、ボールの回転軸を一定にするため、ボールの縫い目の向きが常に同じになるように留意した。本番の試行に入る前に、被験者に10球程度の練習をさせ、

その中で打ちやすいと判断した位置（左右方向のみ、投球方向は被験者のインパクトが撮影できる位置に調節）に軸足（捕手寄りの足）の位置を決め、打撃を開始するとき、軸足を常にその位置に置くように指示した。ボールは野球用硬式球（ミズノ社製）を使用した。バット（ミズノ社製、84 cm、900 g）は全ての被験者が同一のものを使用した。試行に疲労の影響が出ないように、15 試行後に 10 分程度の休憩を設けた。

撮影

ボールインパクトの撮影

2 台の高速度ビデオカメラ（図 1 camera1 および camera2 ,Fastec Imaging 社製 Trouble Shooter、撮影速度：1000 fps、露光時間：1/10000 sec）を同期し、ボールとバットが衝突（インパクト）する前後約 0.3 sec のボールおよびバットの様子を撮影した。一台（camera1）はホームベースから投球方向に対し垂直に、もう一台（camera2）は捕手側 6 m に設置した。バットのヘッド（遠位先端部）、およびバットのグリップ（バットのヘッドからグリップ側に 45cm の部分）にテープを巻き付け、解析の際のバット位置の指標とした（図 2）。

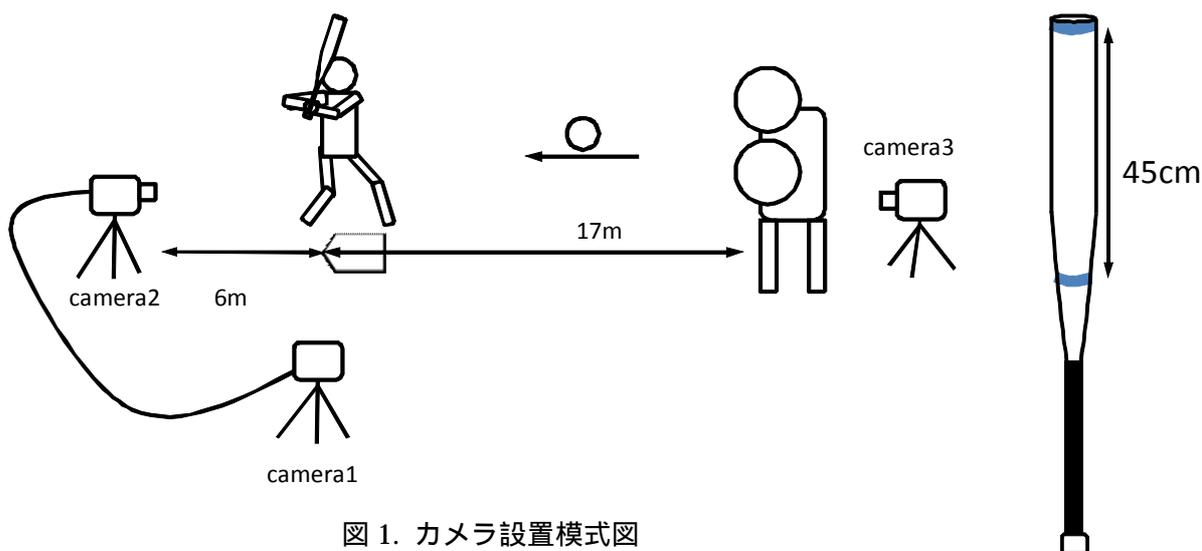


図 1. カメラ設置模式図

図 2. テープ位置

ボール回転の撮影

投球されたボールの回転速度を確認するため、高速度ビデオカメラ（図 1 camera3, Fastec Imaging 社製 Trouble Shooter、撮影速度：1000 fps、露光時間：1/10000 sec）をピッチングマシンの後方に設置し、ボール投射後約 0.15 sec を撮影した。

データ処理

ボールインパクト位置の3次元解析

2台の高速ビデオカメラから得た打撃中のバットのヘッド、グリップ、ボールの動きを動作解析ソフト Frame Dias (DKH社製) を用いてデジタル化した。デジタル化区間はインパクトの前5コマ、後2コマの8 msecとした(図3)。画像上でバットの芯を目で見て決定することは困難であったため、バットヘッド、グリップの座標から、先行研究を参考にバットのヘッドからグリップ方向に15 cm移動した位置をバットの芯と定義した。(Cross, 1998; Nathan, 2003) (図4)。インパクトはボール中心とバットの芯の距離(Distance) が最も短い時点と定義した。計測点の3次元座標値の算出は、各カメラの映像から得られた計測点、較正点の2次元座標値を用い、DLT法(Direct Linear Transformation method)を用いて行った。空間座標系は右手系で、ホームベースの頂点を原点とし、投球方向をSpace-Y軸(投手に向かって+)、水平面で投球方向に対して直交する方向をSpace-X軸(右打者:1塁に向かって+、左打者:3塁に向かって+)、さらに鉛直上方向をSpace-Z軸とした(図5)。較正点の実測3次元座標と推定値との平均誤差は、静止座標系のX、Y、Z軸とも10mm以下であった。

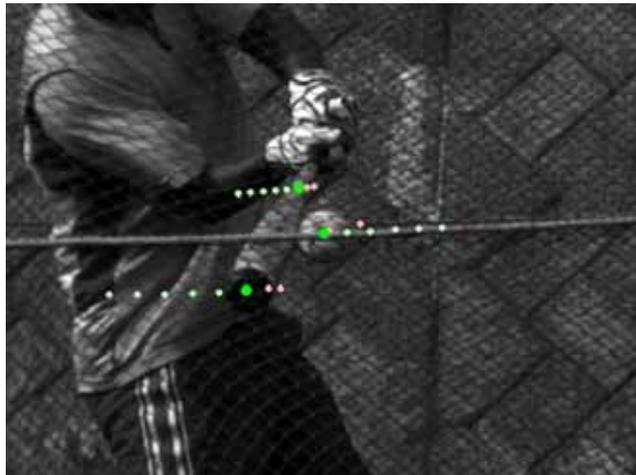


図3. 解析範囲

デジタル化した連続する緑の5点はインパクト前のバットヘッド、グリップ、ボールの位置
赤い点はインパクト後のバットヘッド、グリップ、ボールの位置を表している。

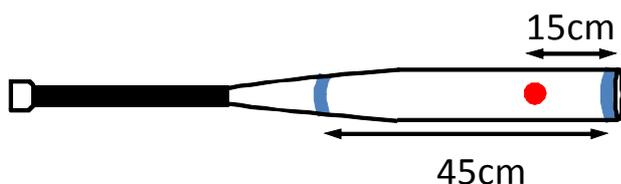


図4. バットの芯座標の算出

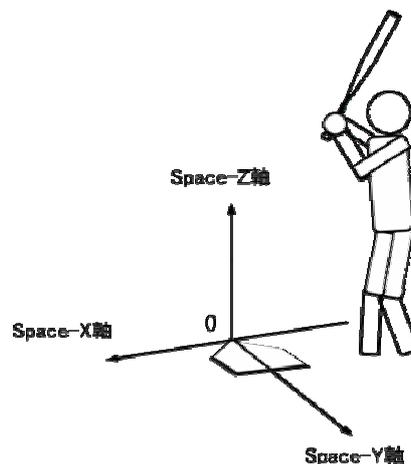


図5. 3次元座標系の設定

インパクトの定義

デジタル化した区間内でバットの芯とボールの中心との距離 (Distance) が最小となる時点をインパクトと定義した。

Bat 座標系の定義

インパクト時のバットの芯とボールの位置関係を明らかにするために空間座標系 X-Z 平面においてのバットの芯を原点とし、バットの長軸を Bat-X 軸とし、グリップ方向を -、ヘッド方向を + で表した。また、バットの芯 (原点) を通り、Bat-X 軸に直交する直線を Bat-Y 軸とし、図 6 のように ± を表した。

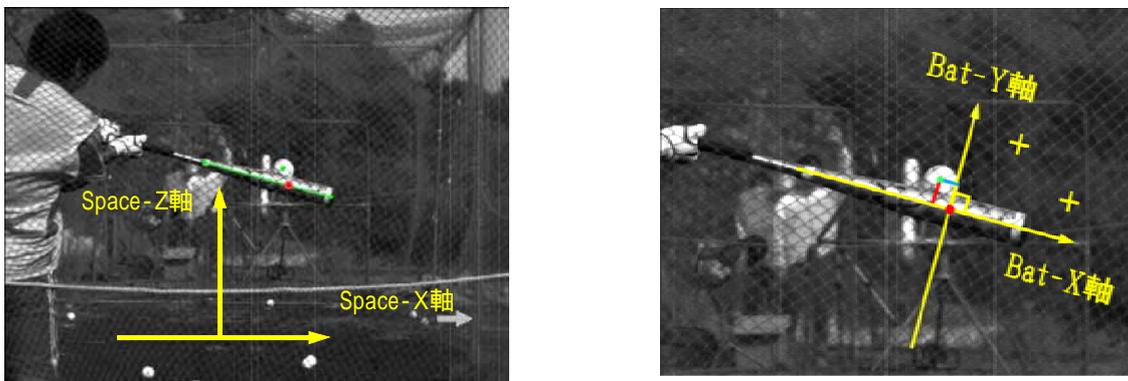


図 6. Bat 座標系の定義

ボール回転速度の算出

Camera3 の映像からボール回転速度を算出した。投球されたボールが 1 回転するまでに要したフレーム数を目視によって計測し 1 秒あたりのボール回転数を回転速度として算出した (図 7) 。



図 7. ボールが一回転した様子

図 7 左を 0 コマ目とすると、34 コマ目(図 7 右)で 1 回転したと見て取れる。1 コマが 1/1000sec なので、ボール回転速度 (rps) は
$$\text{Spin Rate} = 1000 / 34 = 29.4 \text{ rps}$$
となる。

ボール移動速度の定義

ボールの移動速度を算出するためインパクト前 5 msec のボール移動速度の平均をボール移動速度と定義した (図 8)。



図 8. ボール移動速度の定義

統計処理

回転速度と Space-Z、Space-Z と Bat-Y、回転速度と Bat-Y、Space-X と Bat-X の関係の解析にはピアソンの相関係数の検定を用いた。

結果

ピッチングマシンから投げられたボール

図 9 はピッチングマシンから投げられたボール移動速度、ボール回転速度の平均と標準偏差を示した。図 9 左からボール移動速度が一定であったことが示される。図 9 右からボール回転速度をコントロールできたことが示された。ボール回転速度と Space-Z (ボールの高さ) には被験者 B のみ相関関係が認められ、他の被験者には認められなかった。

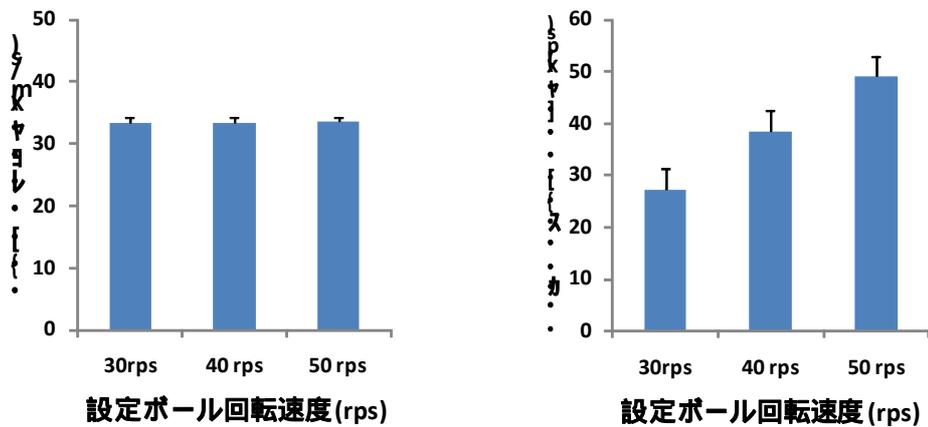


図 9. 平均ボール移動速度、ボール回転速度

インパクト位置

図 10 に被験者 A の全 30 球の Bat 座標系におけるインパクト位置を示した。赤い点線の四角い枠は強いライナーを打てる範囲 (バットの芯) を表し、青の点はインパクト時のボールの中心を表している。図左のボールはボールの大きさを表している。Bat-X、Bat-Y のそれぞれにバラツキが生じている。この被験者 A では 30 球中 7 球バットの芯で捉えており、この値は被験者中で最高のものであった。

図 11 に全被験者のインパクト位置の分布を表した。また、インパクト位置の Distance、Bat-X、Bat-Y の平均値と標準偏差を表 2 に表した。

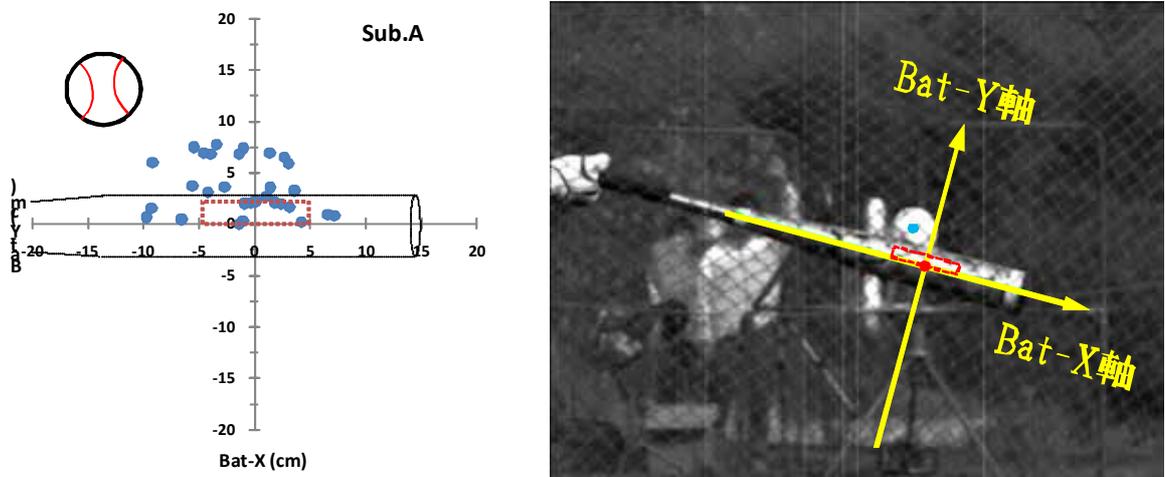


図 10. インパクト位置

表 2. Distance、Bat-X、Bat-Y の平均および標準偏差

Subject	Swing	Distance (cm)		Bat-X (cm)		Bat-Y (cm)	
		ave	SD	ave	SD	ave	SD
A	L	5.7	2.7	-1.0	4.5	3.5	2.6
B	L	4.7	2.3	-1.9	3.7	1.9	2.6
C	R	6.9	3.3	-4.4	4.5	3.7	2.5
D	R	6.3	2.8	-3.4	4.4	3.5	2.4
E	L	6.9	2.9	0.5	5.3	4.0	3.5
F	R	7.1	3.1	-1.9	5.9	2.3	4.2
G	R	6.6	2.9	-2.8	4.9	3.8	2.5
H	L	7.5	3.4	-1.4	5.8	4.7	3.4
I	R	7.9	5.1	-5.7	5.9	3.1	3.4
J	L	6.3	3.8	2.6	6.0	2.2	2.9
K	R	5.9	2.9	-3.0	5.1	1.1	3.4
L	R	9.8	4.7	-8.7	4.8	3.3	2.9
M	R	11.0	6.0	-8.6	7.4	3.7	4.0

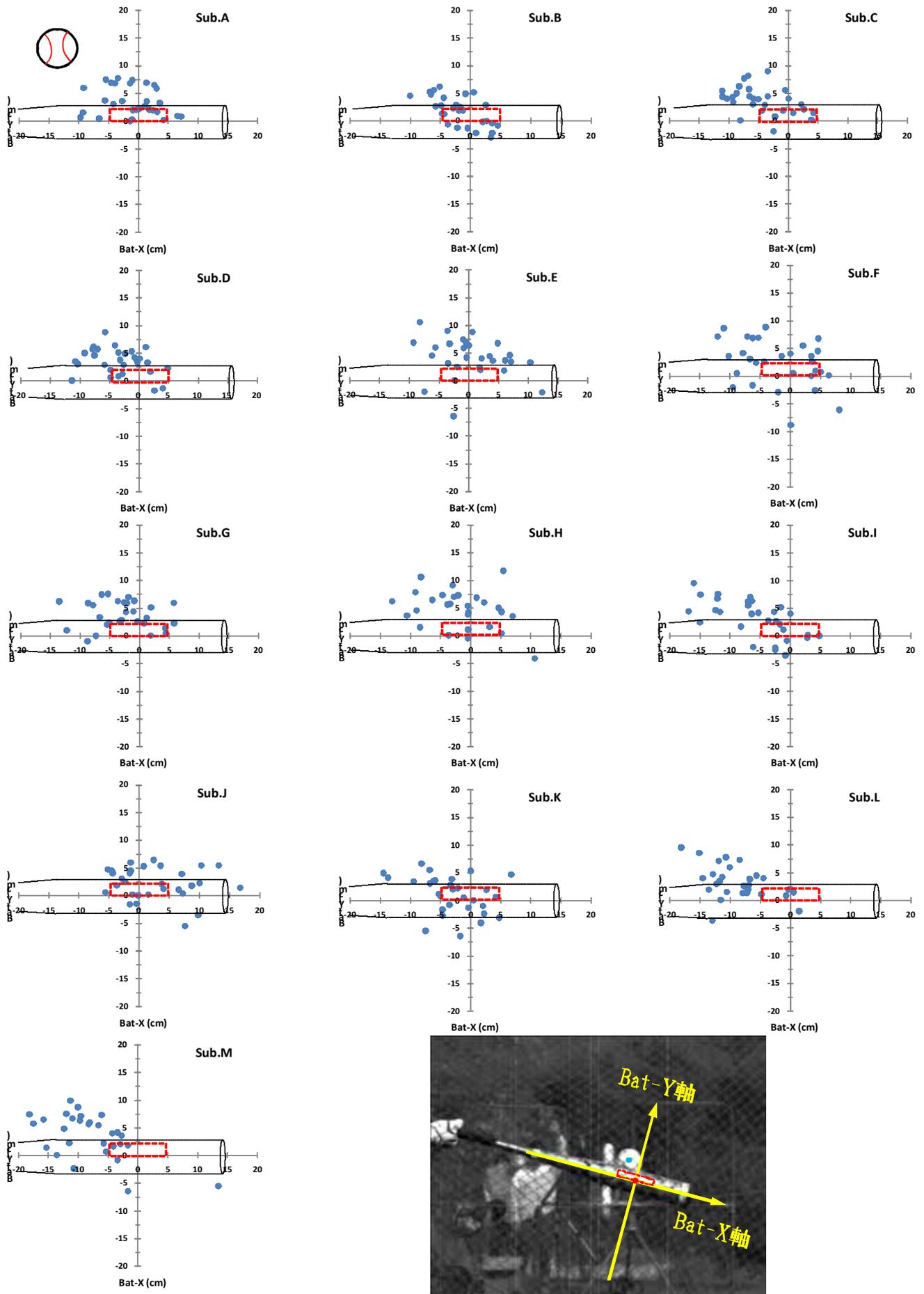


図 11. 全被験者のインパクト位置

ボール回転速度と Bat-Y の関係

図 12 に被験者 A の投球されたボールの回転速度と Bat-Y の関係を示した。赤い枠線はバットの長軸から 2.5 cm の範囲、つまり強いライナーを打てる範囲を表し、枠の上ではフライに、枠の下はゴロになる。赤い点はバットの芯の範囲で捉えられ、さらにバットの中心から半径方向に 2.5cm の範囲で打てた試技を表している。赤枠の中でも青い点は、長軸方向に芯からずれていたことを意味する。この被験者ではボール回転速度と Bat-Y の間に有意な相関関係が認められた ($r=0.67$, $p<0.001$)。同様の傾向は被験者 13 名中 8 名で認められた。また、図 13 には被験者 A の試技回数と Bat-Y、それぞれのボール回転速度の試技回数と Bat-Y の関係を示した。試技回数と Bat-Y には有意な相関関係は認められなかったことから本実験条件下では学習効果はなかったことが示された。図 14 に全被験者のボール回転速度と Bat-Y の分布を表した。

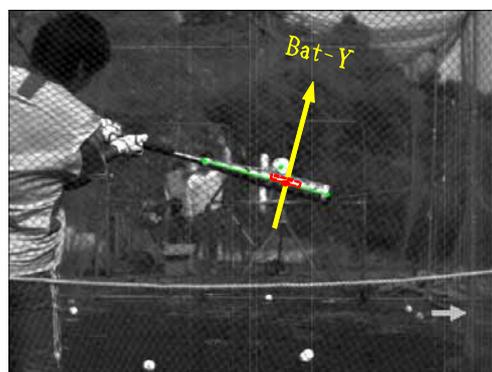
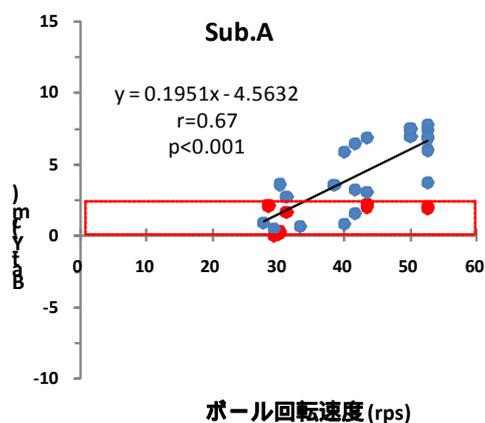


図 12. ボール回転速度と Bat-Y の関係

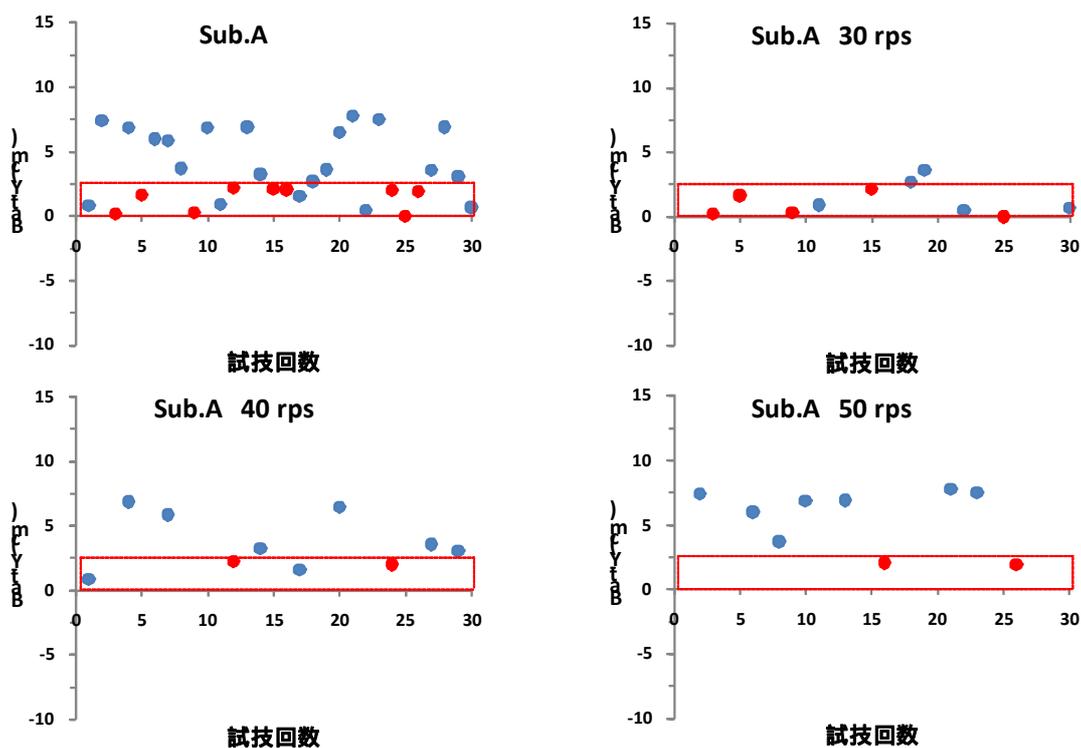


図 13. 試行回数と Bat-Y の関係

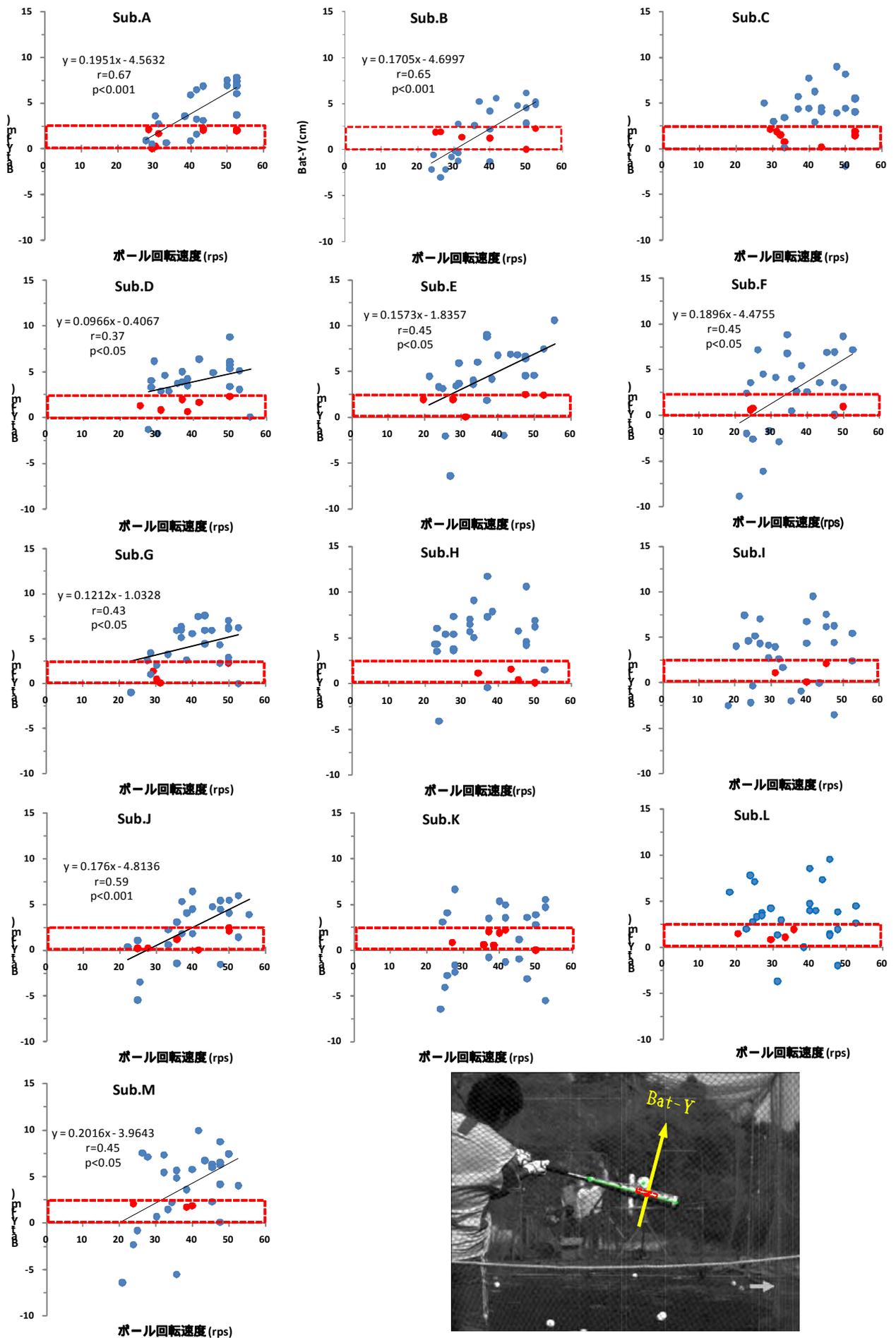


図 14. 全被験者のボール回転速度と Bat-Y の関係

Space-Z と Bat-Y の関係

図 15 に被験者 L の Space-Z (ボールの高さ) と Bat-Y の関係を示した。赤い枠線はバットの長軸から 2.5 cm、つまり強いライナーを打てる範囲を表し、枠を超えるとフライに、枠の下はゴロになる。この例では Space-Z と Bat-Y の間に有意な相関関係が認められ ($r=0.45$ 、 $p<0.05$) ボールが高くなるとボールの下を打っていることを示している。同様の傾向は被験者 13 名中 6 名で認められた。図 18 に全被験者の Space-Z と Bat-Y の分布を表した。

Space-X と Bat-X の関係

図 16 に被験者 F の Space-X (内外角方向のボール位置) と Bat-X の関係を示した。赤い枠の範囲に収まっていれば、バットの芯の範囲で対応していることになる。この例では Space-X と Bat-X の間に有意な相関関係が認められ ($r=0.70$ 、 $p<0.001$) 半数以上がバットの芯から外れている。同様の傾向が被験者 13 名中 10 名で認められた。図 19 に全被験者の Space-X と Bat-X の分布を表した。

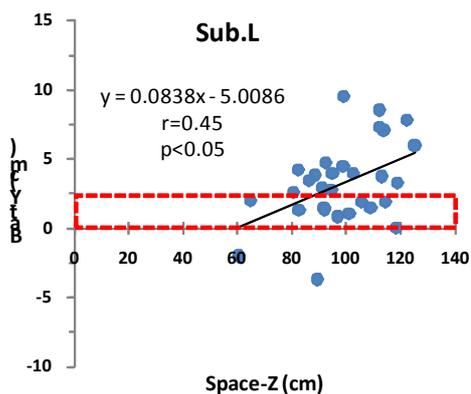


図 15. Space-Z と Bat-Y の関係

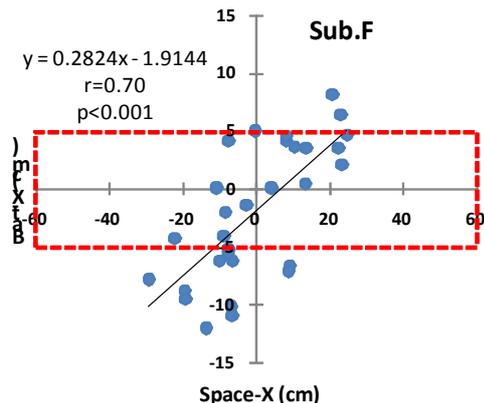
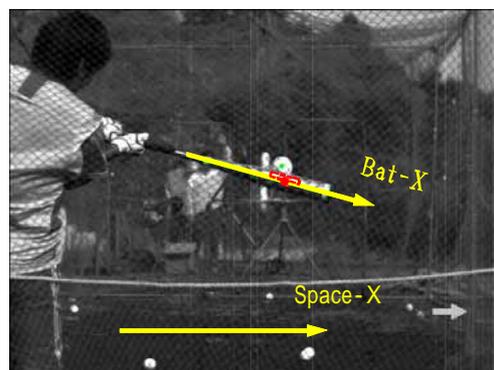
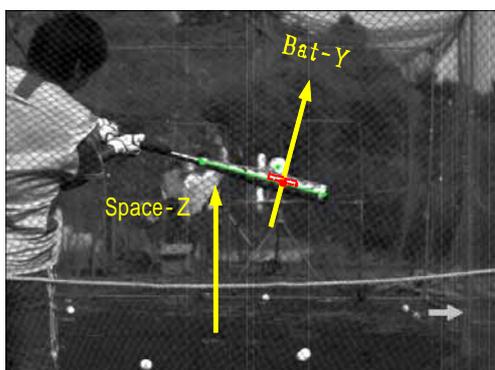


図 16. Space-X と Bat-X の関係



ボール回転速度と成功率の関係

全被験者のデータをまとめてボール回転速度と成功率の関係を求めたものを図 17 に示した。バットの芯の範囲にボールが当たった試技を成功試技として成功率を算出した。ボール回転速度を 10 rps 刻みに区切った。ボール回転速度 25 ~ 35 rps のときにバットの芯に当たる確率の高いことがわかる。

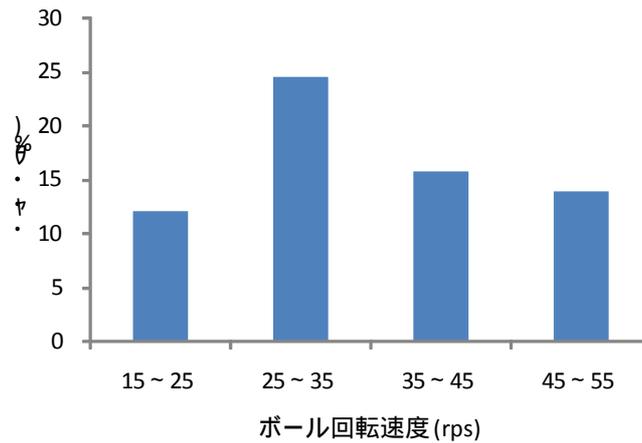


図 17. ボール回転速度と成功率の関係

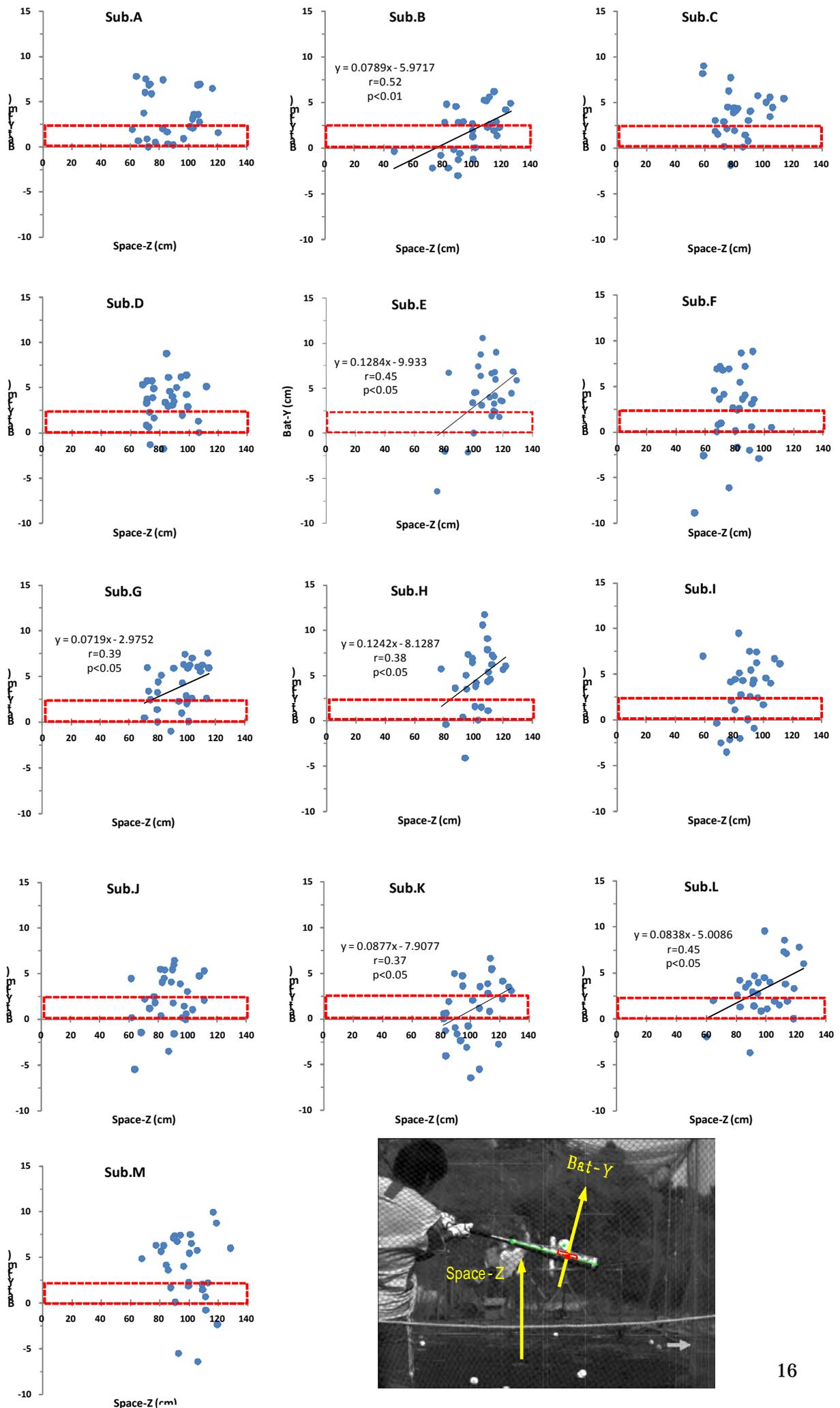


図 18. 全被験者の Space-Z と Bat-Y の関係

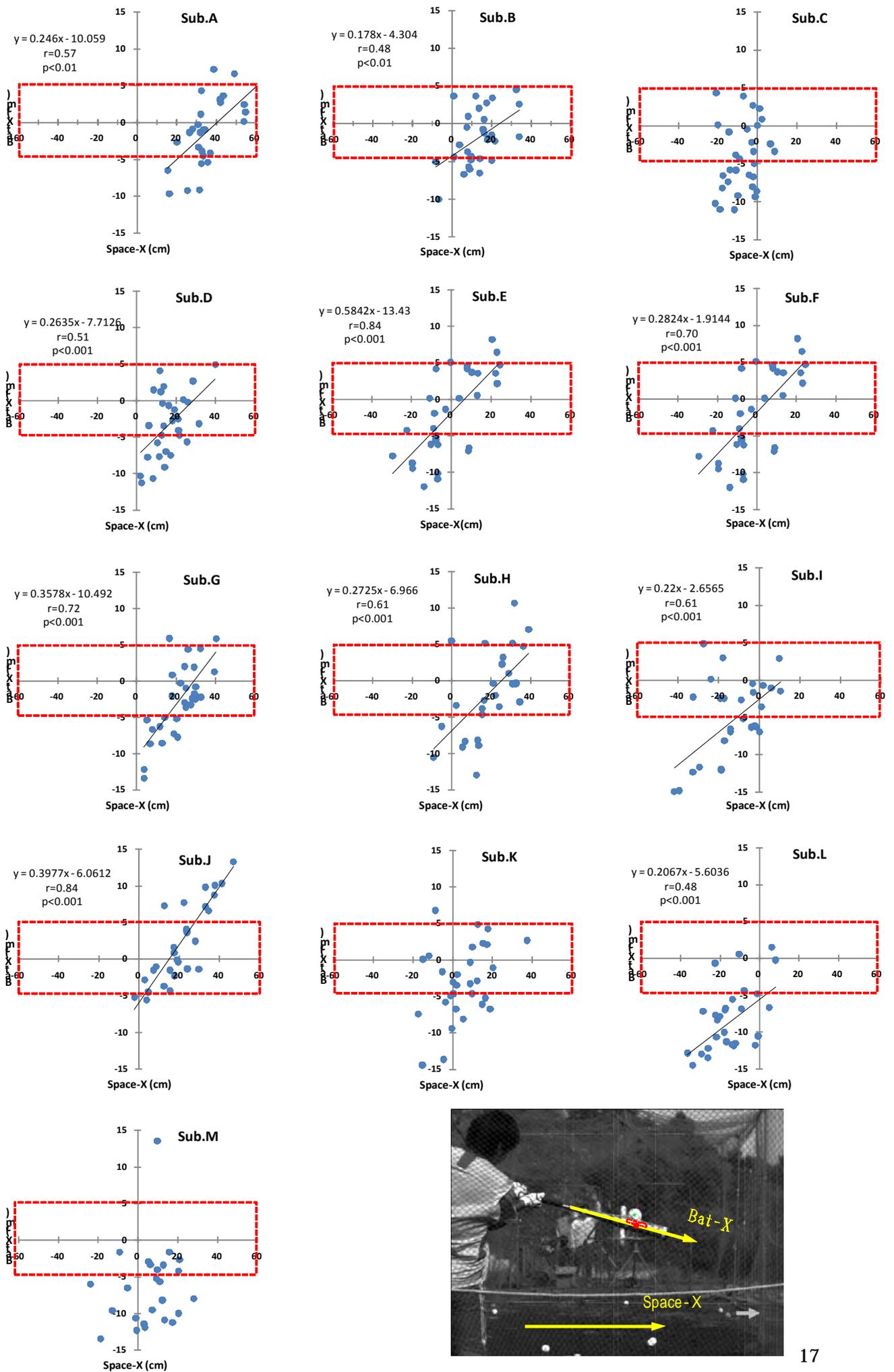


図 19. 全被験者の Space-X と Bat-X の関係

考察

競技レベルの高いと思われる被験者はバットの芯に当てる能力が高い。(被験者 A,B,C,D)

ボール回転速度と Bat-Y の関係で有意な相関関係が認められたことからボール回転速度が速くなることによってボールの落下距離が小さくなったと思われる。ボール回転速度が 30 rps 付近がすべての被験者で Bat-Y の値が 0 cm に近づいていることから、ボール移動速度が 36m/s (130km/h) でボール回転速度が 30 rps で投球されたボールはバットの芯で捉え易いと思われる。神事ら (2008) の小学生から大学生の投手を対象とした研究で、ボール移動速度とボール回転速度の関係を解析したところ有意な相関関係があり、ボール移動速度が 36 m/s のときにはボール回転速度は 33 rps であった。神事らのデータが一般的なものであるなら、被験者にとって本実験の 30 rps と設定したボールは多くの投手が投じるボールの軌道とほぼ同様であったと思われる。

本実験では同じボール移動速度で行ったにも関わらず、30 rps の試技のときは Bat-Y が 0 cm に近く、40 rps、50rps の試技の際は Bat-Y が大きくなっていることから、被験者はボール回転速度の変化による落下距離の変化には対応しきれていないと考えられる。被験者はボール移動速度に対応し、学習したプログラムに従って、バットスイングを行っているとされる。しかし、溝田ら (1997) によれば、36 m/s でボールの回転軸が地面と平行でボール回転速度 30 rps の場合、ボールリリースからホームプレートまでの落下距離は 45cm であり、ボール回転速度 40 rps では落下距離は 38cm、ボール回転速度が 50 rps では 30cm と報告しているが、本実験でボール回転速度が 50 rps での空振り率は 10 球中 1、2 球であったことから、被験者はボール回転速度による落下距離の変化に対応しバットに当てることはできるが、バットの芯に当てるところまでは対応しきれていない。

一般的に球速の速い高めのボールを打つと空振りやフライになると言われているが、本実験で Space-Z (ボールの高さ) と Bat-Y の間に有意な相関関係が認められた被験者があまり多くなかったのは、本実験の被験者は大学の野球部以上の野球経験者であるため 36 m/s のボール移動速度に対応できるレベルであることと、本実験で設定した Space-Z が被験者にとって比較的打ちやすい高さであったためと考えられる。

Space-X (内外角方向のボール位置) と Bat-X の間で多くの選手が有意な相関関係が認められたが、競技レベルの高いと思われる被験者は近似曲線の傾きが小さく、バットの芯に近い範囲内で対応していた。Space-X と Bat-X の間に相関関係が認められなかった被験者は Space-X のバラツキが小さかった (マシンのボールが限られたコースにしか来なかった) ためだと思われる。

多くの被験者はコース (Space-X) のよってバットの長軸上 (Bat-X) の位置が左右されるが、競技レベルの高いと思われる被験者は他の被験者と比べるとコースが異なってもバットの芯に近い範囲にボールを当てることができていた。また、30rps のボールが投じられた際は Bat-Y が小さくなっていることから、打者はボール移動速度に対応したボール落下距離を予測し、スイングを行っていると考えられ、特に競技レベルの高いと思われる被験

者はボール回転速度が 30rpm の際は、Bat-Y が小さくなっていた。予測に反した落下距離であっても被験者は、投げられたボールの軌道からスイングの軌道を修正し、バットに当てることはできていたが、バットの芯でボールを捉えることができず、多くがフライになっていた。

第3章

実験 2. ボールの位置を予測してスイングしたときの正確性と再現性 (ティー打撃)

実験 1 では、ボール回転速度を変化させたため、ボール回転速度によって生じる落下距離の変化に対応しきれなかったことが予想される。実際に投手が投げるボール回転速度は本実験程のバラツキはなく、落下距離も一定であると思われる。しかし、藤川投手の直球は落下距離が小さいと予測できるが、多くの選手はバットの芯で捉えることができない。それは、ボール位置を予測してスイングを調整することはボールを見てスイングを行うことより難しいためではないかと予想される。

そこで、実験 2 ではバッティングティーの上に置かれたボールを打つ試行とそのボールの上をスイングしたときのバットの芯とボール中心の距離 (Distance) の正確性とインパクト時のバットの芯の位置とスイングの再現性を検討した。

方法

被験者

元プロ野球選手 1 名、現役独立リーグ選手 1 名、社会人クラブチーム選手 7 名、大学野球部部員 2 名、大学準硬式野球部員 1 名の合計 12 名を被験者とした。被験者にはあらかじめ実験についての説明を行い、同意を得た上で実験を行った。被験者の属性を表 3 に示す。

表 3. 被験者の身体的特徴

Sub	Age (Year)	Height (m)	Weight (kg)	Career (Year)	Swing	所属
A	33	173	70	25	L	元プロ野球選手
B	24	172	65	16	L	社会人クラブ
C	21	174	77	15	R	大学硬式野球部
D	25	174	82	13	R	独立リーグ
E	23	176	70	14	L	社会人クラブ
F	25	176	78	17	R	社会人クラブ
G	21	173	70	13	R	大学硬式野球部
H	31	172	70	21	L	社会人クラブ
J	24	164	65	15	L	社会人クラブ
K	22	176	72	12	R	社会人クラブ
L	19	176	67	12	R	大学準硬式野球部
M	24	178	72	17	R	社会人クラブ
Ave.	24.3	173.7	71.5	15.8		
S.D.	4.0	3.6	5.2	3.9		

撮影

実験 1 と同様に、2 台の高速ビデオカメラ (図 20 camera1 および camera2, Fastec Imaging 社製 Trouble Shooter、撮影速度: 1000 fps、露光時間: 1/10000 sec) を同期し、インパクト前後約 0.3 sec のボールおよびバットの様子を撮影した。一台 (camera1) はホームベースから投球方向に対し垂直に、もう一台 (camera2) は捕手側 6 m に設置した。バットのヘッド、およびバットのグリップにテープを巻き付け、解析の際のバット位置の指標とした。

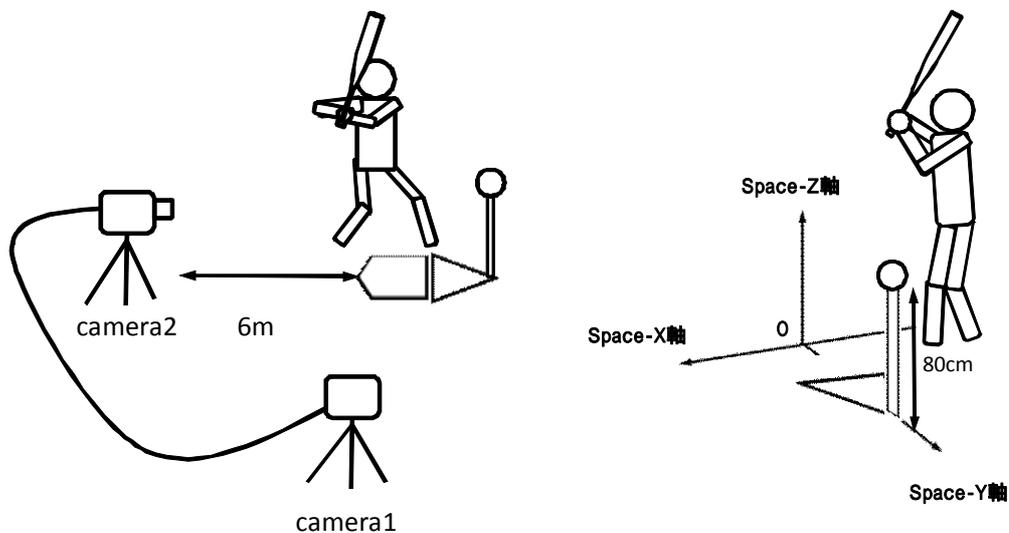


図 20. カメラ設置模式

実験手順

被験者はバッティングティー (ミズノ社製) を使用し、ティーバッティングを行った。ボールは野球用硬式球 (ミズノ社製) を、バット (ミズノ社製、84cm、900g) は全ての被験者が同一のものを使用した。地面からボールの中心までが 80cm となるようにティーの高さを設定した (図 19)。被験者は、最適と判断した位置に立ち、常に同じ場所に軸足 (捕手寄りの足) を置いて打撃を行った。ティーバッティングは実打と空振りを交互に 15 球ずつ、合計 30 球行った。「実打」はセンター方向へ強いライナーを打つように、「空振り」はボールの上をスイングするように指示を与えた。また、被験者 A、C、D、G にはボール中心を 75cm の高さに設定して、同様の実験を行った。

データ処理

空間座標系の設定、インパクトの定義、Bat 座標系は実験 1 と同様の方法で行った。

Ball 座標系の定義

インパクト時のボール中心とバットの芯の位置を明らかにするために空間座標系 X-Z 平面においてのボール中心を原点とし、水平面で投球方向に対して直交する方向を Ball-X 軸 (右打者：1 塁に向かって+、左打者：3 塁に向かって+) とし、鉛直上方向を Ball-Z 軸とした (図 21)。

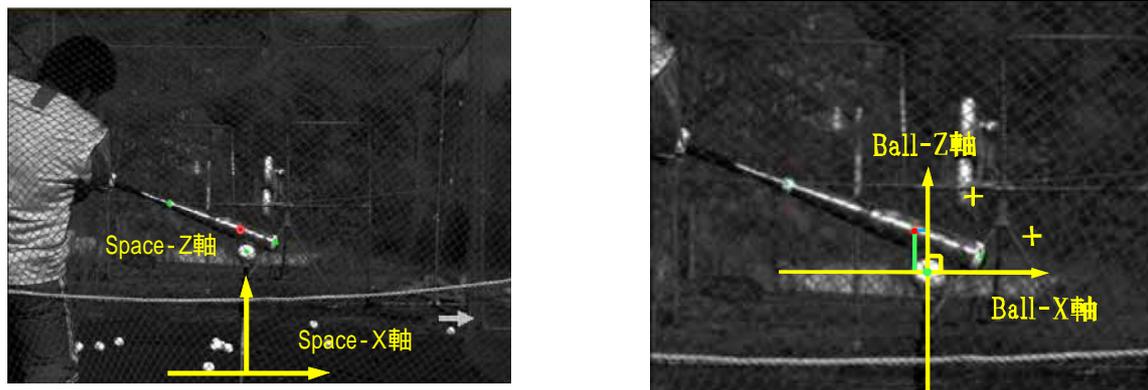


図 21. Ball 座標系の定義

Bat-angle の定義

Ball 座標系において、Ball-X 軸とバットの長軸の成す角度を Bat-angle と定義した (図 22)。

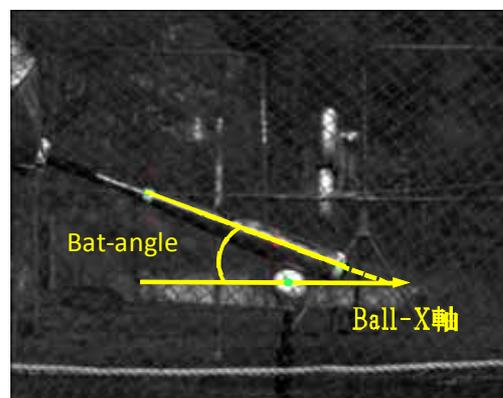


図 22. Bat-angle の定義

統計処理

実打と空振りのボール中心とバットの芯の距離 (Distance) に F 検定と対応のない t 検定を使用し、有意水準を $p < 0.05$ とした。また、実打と空振りの Bat-angle にも F 検定を使用した。

結果

インパクト位置

図 23 に被験者 A (75cm,80cm) 、F (80cm) の全 30 球の Ball 座標系におけるインパクト位置を示した。ボール位置 80cm 場合の青い円はボール位置を表し、青い点は実打のインパクト時のバットの芯の位置を表している。緑の円は実際に置かれているボールの 1 個上にある仮想的なボールを表し、緑の点は空振り試行のインパクト時のバットの芯の位置を表している。点線のバットは実打、空振りの試行のセンター方向に強いライナーを打てると思われるバットの位置を表している。ボール位置 75cm の場合の橙色の円はボール位置を示し、橙色の点は実打のインパクト時のバットの芯の位置を表している。青い円は実際に置かれているボールの 1 個上にあるボールを表し、青い点は空振り試行のインパクト時のバットの芯の位置を表している。バットの角度は平均 Bat-angle である。表 4 は各被験者のボール中心とバットの芯の距離 (Distance) の平均値および標準偏差、 F test、 t test の結果を示している。表 5 は各被験者の Bat-angle の平均値および標準偏差、 F test の結果を示している。

被験者 A は、実打試行のインパクト位置の正確性 (Distance の平均値) 、再現性 (Distance の標準偏差) とともに高い。空振り試行では実打試行に比べ正確性は低い再現性は実打試行と変わらないことがわかる。一方、被験者 F は実打試行、空振り試行ともに正確性、再現性が高いことがわかる。また、実打試行と空振り試行の Bat-angle の再現性 (標準偏差) に有意差がなかったことから被験者 A、F とともに実打試行と空振り試行のスイングは同程度に安定したスイングができていると言える。被験者 F は空振り試行でもバットの芯で捉えることができるが、被験者 A はバットのグリップ側に当たってしまうことになる。被験者 12 中 10 名が被験者 A と同様に空振り試行で仮想ボールをバットの芯で捉えられていなかった。図 24 に全被験者の Ball 座標系におけるインパクト位置の分布を表した。

図 25 は被験者 A、C、D、G の 75cm の空振り試行を × で、80cm の実打試行のインパクト位置を ○ で Bat 座標系に示したものである。75cm の空振りと 80cm の実打は同じ高さの実打と空振りであることから、空振り試行ではバットの芯から長軸上にずれてボールが当たっていることがわかる。

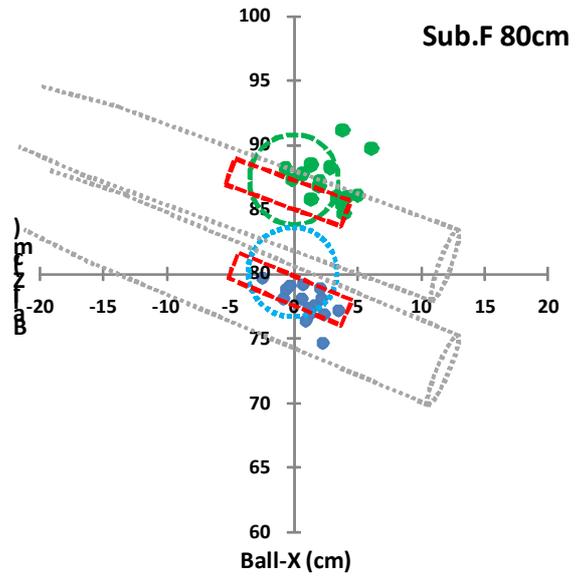
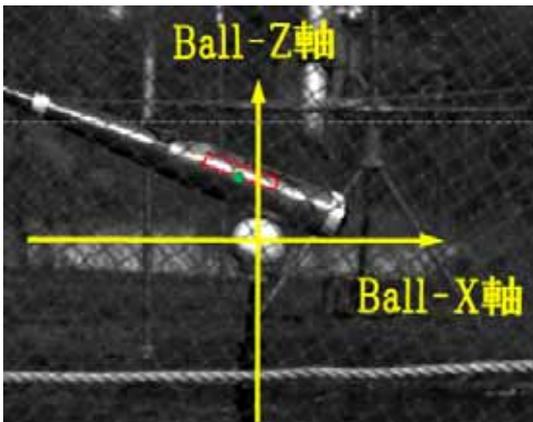
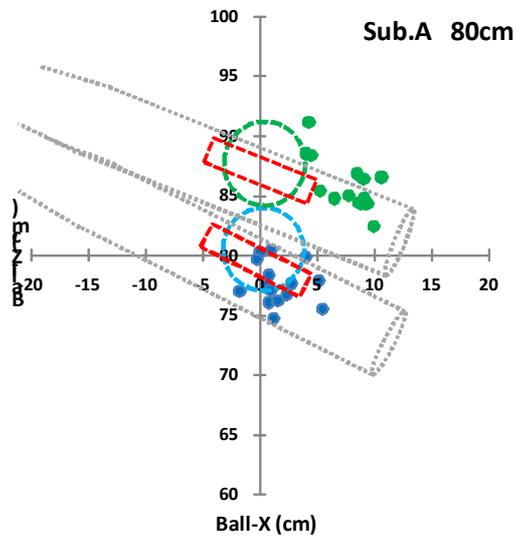
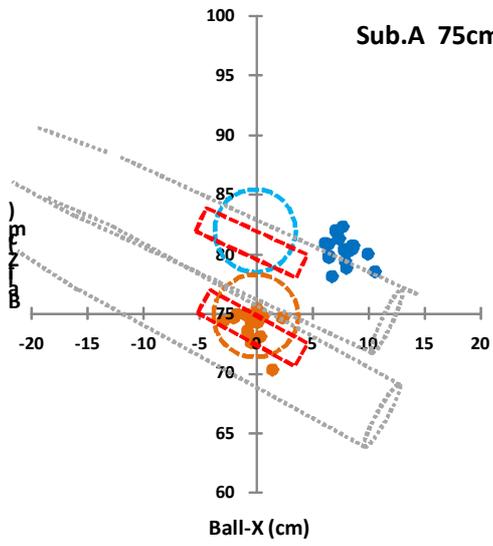


図 23. Ball 座標系インパクト位置

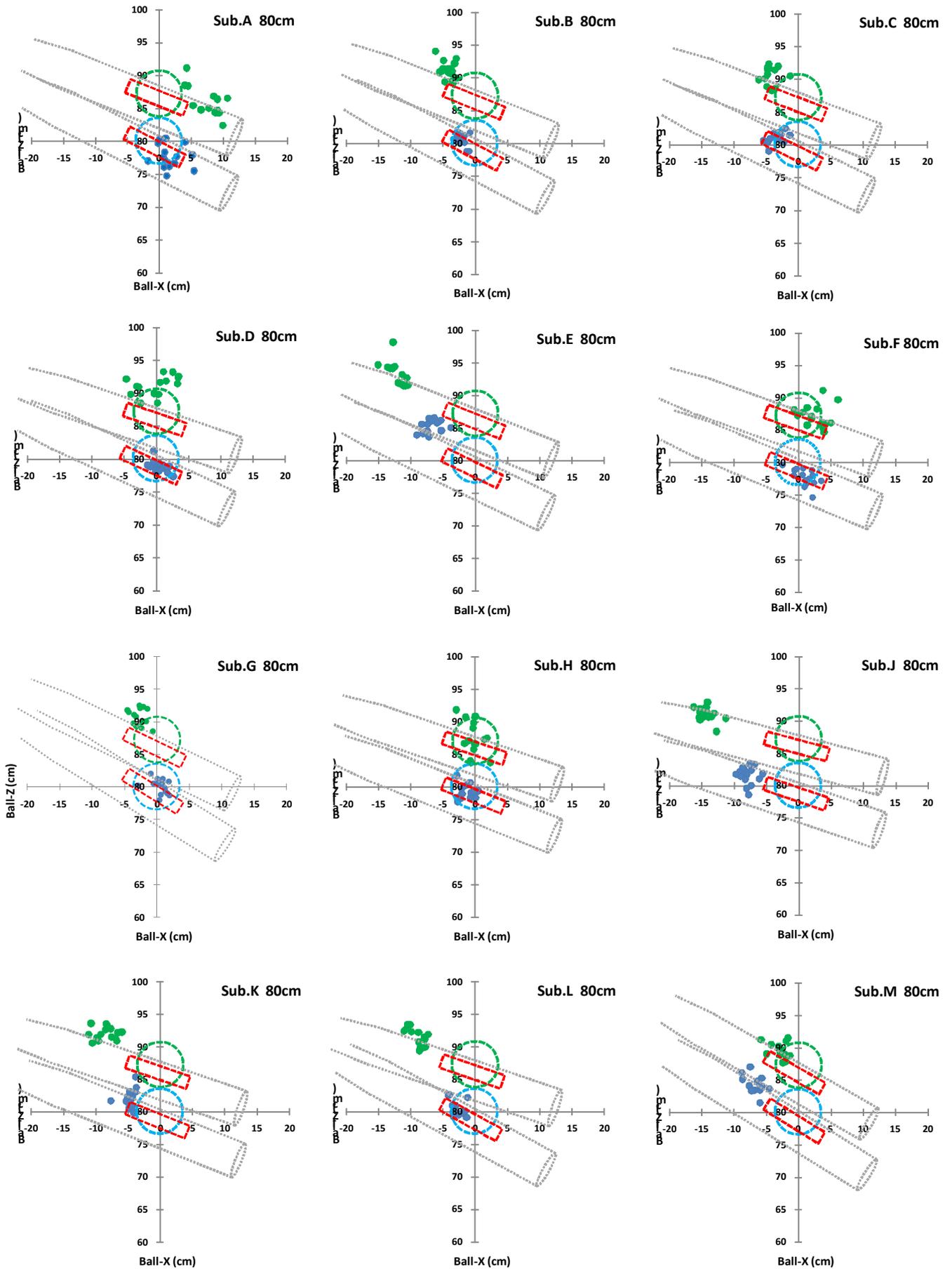
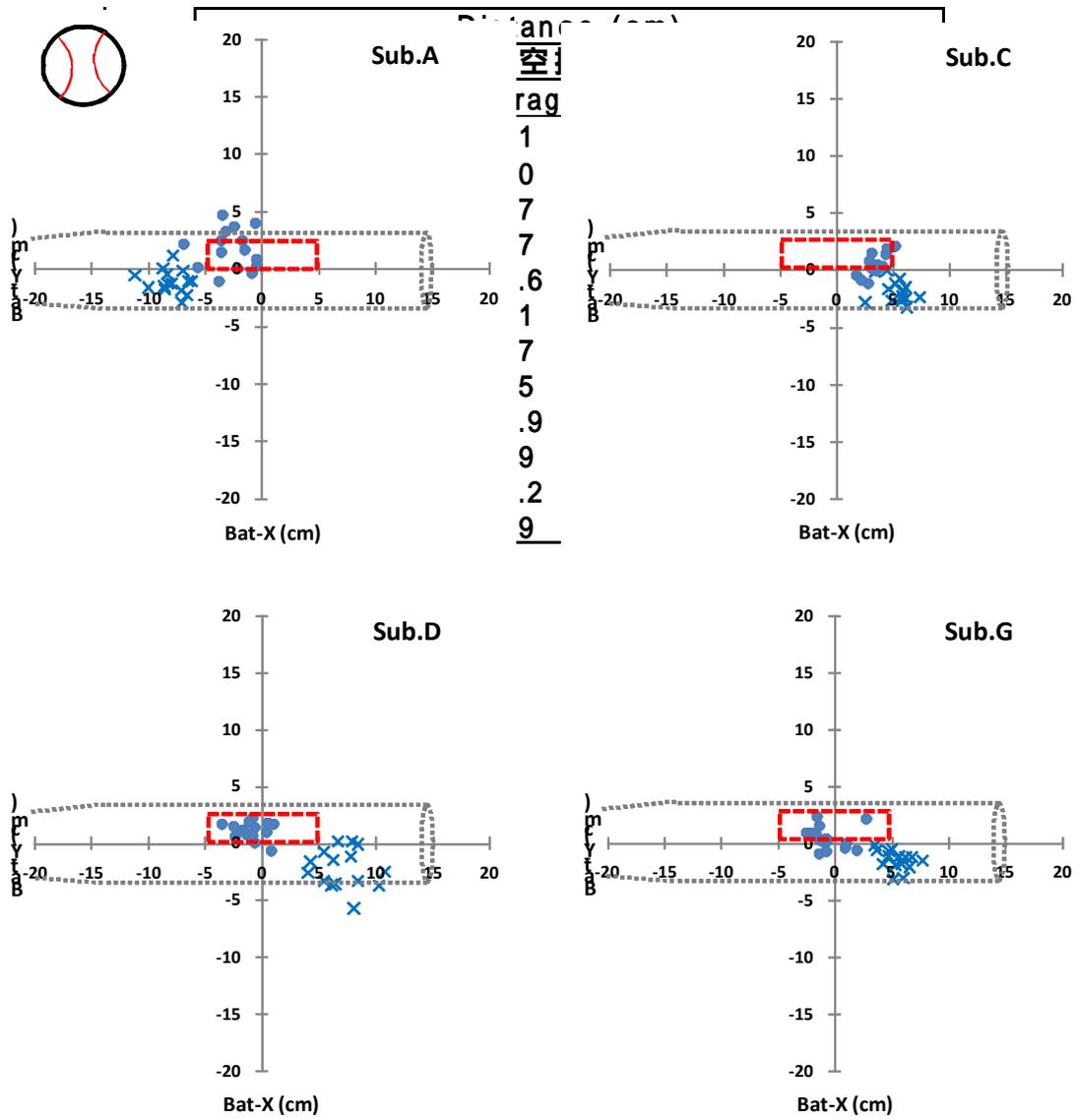


図 24. 全被験者 Ball 座標系のインパクト位置

表 5 各被験者の Bat-angle の平均値及び標準偏差と F test の結果

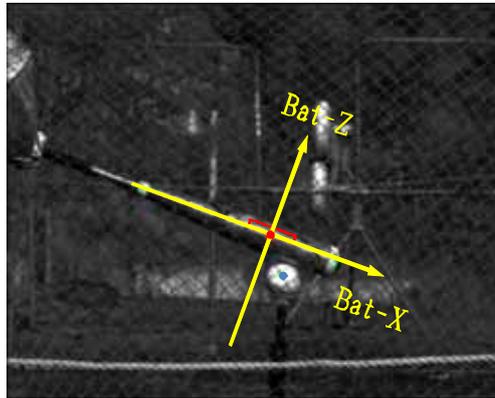
Sub	Bat-angle (deg)				F test ρ
	実打		空振り		
	average	SD	average	SD	
A	27.2	1.1	22.3	1.8	-
B	28.1	0.6	22.3	0.9	-
C	26.3	1.0	21.4	0.7	-
D	24.9	0.7	19.7	1.4	-
E	26.6	0.8	22.3	1.0	-
F	23.1	0.8	20.0	1.2	-
G	32.6	0.7	26.4	1.1	-
H	22.2	1.1	19.4	1.4	-
J	19.0	0.7	15.5	1.1	-
K	22.0	0.9	18.7	0.8	-
L	29.1	1.5	19.6	1.1	-
M	32.2	1.5	30.1	1.2	-

表 4 各被験者の Distance の平均値及び標準偏差と F test、t test の結果



考察

ボールを見て実際にボールを打つ試行（実打）とボールを見てボール位置を予測してスイングを行う試行（空振り）はともに再現性は高くスイングすることはできていたが、空振りの試行ではボールをバットの芯に当てる正確性は多くの被験者で低くなっていた。本実験では、ボールの上をスイングするように指示したが、多くの被験者はスイングが鉛直方向 (Bat-Z) より左右方向 (Bat-X) に大きくずれていたことから、バットの芯の位置を空間的に認識し、調整することは困難であると思われる。また、空振りの試行はバットとボールが当たるのがほとんど 図 25. Bat 座標系のインパクト位置 生についてのフィードバック情報がなかったことがスイングを修正できなかった原因ではないかと思われる。



本実験からボールの位置を予測してスイングをしたときは、実際にボールを打つことと比べるとスイングの再現性には差はないが、バットの芯に当てる正確性は低くなると言える。それは、空振り試行のときは、スイング時のバットの芯の空間的位置がそもそもずれてしまっているのではないかと思われる。

第4章 総合論議

本論文では、投球されるボール回転速度を変化させた時にバッティングパフォーマンスにどのような影響を与えるのか (実験 1)、またホップするボールを想定して実際のボールの位置よりも上をスイングするときの正確性と再現性について (実験 2)検討した。

実験 1 から競技レベルの高いと思われる被験者は投球されたボールの高さ (Space-Z)、コース (Space-X) に対応しスイングを行い、バットの芯に近い範囲でボールを捉えることができていた。しかし、ボール回転速度の違いによる落下距離の変化には対応しきれずフライやファールになっていた。ボール回転速度と Bat-Y の間に多くの被験者で相関関係が認められ、30 rps の試技はバットの長軸に近い範囲でボールを捉えていたことと、神事ら (2008) の研究でボール移動速度とボール回転速度の間に相関関係があったことから、一般的な投手が投げるボール移動速度に応じた平均的なボール回転速度のボールの軌道は予測しやすく、バットの芯に当てやすいことが言える。打者は一般的なボール移動速度に応じたボールの軌道を予測してスイングするプログラムが身に付いているかもしれない。特にプロ野球選手、本実験では被験者 A のような選手はそのプログラムが強く働いているのではないかと思われる。実際、藤川投手のボール回転速度が速い直球を多くのプロ野球選手が何度対戦しても空振りをしてしまうのはそのためではないかと考えられる。そこで、ボール回転速度の速い直球を打ち返すためにはボールの軌道の上をスイングすればいいのではと思い実験 2 を行った。

実験 2 ではティー打撃を行い、ティー台に置かれたボールを打つ試行 (実打) とティー台に置かれたボールの上をスイングする試行 (空振り) を行った。スイングの再現性は実打、空振りともに高かった。しかし多くの被験者はバットの芯でボールを捉える正確性は低くなり、スイングのずれが鉛直上方向より左右方向の方が大きかったことから、実際にボール回転速度の速い直球のボールを予想する軌道よりも上を狙って振ったとしても、バットの先、もしくはグリップ側にボールが当たってしまい、ヒットになることは少なくなることが予想される。特に仮想的なボール位置を予測してスイングするとボールの止まっているティー打撃ですら正確性が低くなったことから、実際の打撃ではもっと正確性が低くなると思われる。

しかし、2 名の被験者が実打、空振りともに再現性、正確性が高かったことからボール位置を予測して正確にスイングできる選手もいることがわかった。これは、仮想的なボールの位置がたまたま被験者のイメージと一致したためではないだろうか。

ボール回転速度の速い直球を打ち返すには、ボール回転速度の速いボールを打ち返す練習をし、ボールの軌道を予測するプログラムを習得するか、投じられたボールの上を再現性高く、正確に振れる技術を身につける方法が考えられる。

今後の展開

実験 1 で使用したボールは試合で使用される縫い目の赤いボールではなく、ピッチングマシン用のボールを使用したため縫い目が黄色くボールの回転の様子を視覚的に認識することができなかった。縫い目が赤いボールを使用した場合、ボール回転速度の変化に対応できるかもしれない。

本実験でボール回転速度が 20 rps 近くになってしまったことが数回あり、その試技では、被験者はボールの上を振ってしまっていた (図 26) ことから、ボール回転速度を 30 rps より低くして行うことでボール回転速度とバッティングパフォーマンスの関係をより詳細に明らかにできると思われる。

また、狭いネットの中で行ったため打球の判断 (飛距離など) ができなかった。球場のような広い場所で実験を行えば、ヒットかどうかなどもわかり、ボール回転速度がバッティングパフォーマンスをより詳細に明らかになるとと思われる。

実験 2 のボール位置予測をバッティングティーではなくマシン、もしくは実際に投手が投球したボールで行ったときの再現性と正確性を調べる必要がある。



図 26. ボール回転速度が 20rps の際のインパクトの様子

第5章 謝辞

本論文を作成するにあたり、多大なご指導を頂きました主査の彼末一之先生に心より御礼を申し上げます。また副査としてご指導頂きました金岡恒治先生、土屋純先生、矢内利政先生にもあわせて御礼を申し上げます。

研究室ミーティング等で多くの助言を頂きました村岡哲郎先生、坂本将基先生、永見智行さん、水口暢章さんにも深く感謝致します。

屋外の寒い実験を手伝って頂いた彼末研究室、矢内研究室のみなさまの力が無ければこの論文を書くことはできませんでした。心より感謝致します。また、被験者として協力して頂いたみなさまにも深く感謝致します。

みなさんどうもありがとうございました。

2010年1月14日

諸星潤

参考文献

Adair .K. R : The physics of baseball. New York : Harper & Row, 1990

Nathan. A. M : Characterizing the performance of baseball bats. American Journal of Physiology, 71, 134-143 .2002

Gray R.: Behavior of College Baseball Players in a Virtual Batting Task. Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance **28**: 5, 1131-1148, 2002

Alaways, L. W. and Hubbard, M. : Experimental determination of baseball spin and lift. Journal of Sports Sciences **19**:349-358, 2001

石垣尚男, 福田和夫: 野球のバッティングにおけるボール情報の有用性、愛知工業大学研究報告 **32**:27-31, 1997

溝田武人, 久羽浩幸, 大原慎一郎, 岡島厚: フォークボールの不思議?.日本風工学研究会誌 **70**:27-38, 1997

Jinji. T. and Sakurai. S. : Direction of Spin Axis and Spin Rate of the Pitched Baseball. Sports Biomechanics **5**:2.197-214, 2006

Nicolls, R. L. : Numerical analysis of maximal bat performance in baseball. Journal of Biomechanics **39**:1001-1009, 2006

Cross. R. : The sweet spot of a baseball bat. Physics Department, American Journal of Physics. 66-9, 772-779

神事努, 桜井伸二, 清水卓也, 鈴木康博: 発育期の野球投手におけるボールスピンの特徴.、中京大学体育学論叢 **49-1**:21-27, 2008