

ソフトテニス・アンダーカットサービスの キネマティクスの分析

Kinematic Analysis of Under Cut Service in Soft Tennis

山 本 敬 三¹⁾
Keizo YAMAMOTO

背景と目的

アンダーカットサービス（以下、UCサービス）は、ゴム製の中空軟式ボールを使うソフトテニス特有のサービスである。このサービスでは、ボール着地後のバウンド高が小さくなり、バウンド方向も変則的になるため、レシーブが難しく相手の陣形を崩すのに有効である。選手は打球時にボールの下部をカットしてボールを回転させる。指導現場においてもインパクト時のボールスピンはきわめて重要と考えられている。UCサービス動作時の連続写真を図1に示す。図中の数字は、ボールインパクト時（③）の時間を0とした時の時間経過を表す。この図より、ボールインパクトからボールリリース（⑫）までの時間は8.5msで、その間、ボールはラケット面を転がりながら回転していく様子が観察される。硬式テニスに関する研究報告では、インパクト時のラケットとボールの接触時間を大きくすることで、ボールスピンを生み出すことが可能であると述べられている。ストリング交差点の潤滑によってラケットのスピン性能を向上させることができることが報告され

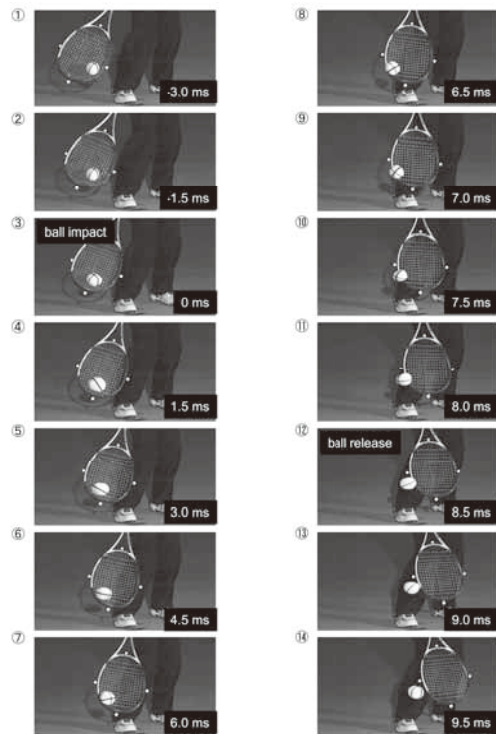


図1 アンダーカットサービス動作の連続写真
連続写真はハイスピードビデオカメラMEMRECAM GX-1 (2000fps, nac Image Technology, Inc.) で撮影された映像から作成された。写真中の数字は、ボールインパクト（③）の時間を0とした時の経過時間（ms）を示す。

ている（川副ら、2005a）。一方でソフトテニスに関しては、前田ら（2005）の報告で、インパクト時のボールの初速度や回転数によって、ボールに特異な飛行挙動を生じさせるこ

1) 北翔大学生涯スポーツ学部スポーツ教育学科

キーワード：ソフトテニス、アンダーカットサービス、ボール回転

とができるとされている。しかし、UCサービスのようにはバウンド後のボール挙動に影響を与えるサービス動作について論じられた報告は見当たらない。ここでは、ボールスピンを生み出す要因やボールスピんとUCサービスのパフォーマンスの関係性に着目する。本研究では、ソフトテニス・UCサービス時におけるラケットのスイング動作とボール挙動を分析し、パフォーマンスに寄与する要因を明らかにすることを目的とした。

方法

被験者

被験者は大学ソフトテニス部に所属する女子選手7名とした。7名はいずれも2005年北海道ランキング1-8位の実力を有する選手であり、うち1名は国際大会出場への経験があった（身長 159.5 ± 2.4 cm、体重 53.1 ± 4.9 kg、年齢 19.1 ± 0.8 歳、平均 \pm 標準偏差）。被験者には、十分なウォーミングアップを行わせた後に、UCサービスを課した。実験試技では、各被験者にサービスエリア内に3回入るまで課した（全21試技）。UCサービスを行うにあたって、サービス位置は指定せずに、ルールの範囲内で被験者に任意に行わせた。

動作分析

実験はカットサービスが多く用いられるウッドフロアのインドアコートで行った。ラケット・スイング動作およびボール軌跡の撮影をそれぞれ2台のビデオカメラ（60fps）を用いて行った。各ビデオカメラの配置を図2に示す。図中、camera 1,2でスイング動作を、camera 3,4でボール軌跡を撮影

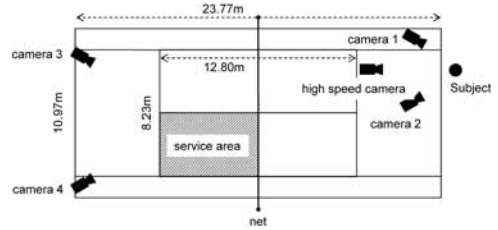


図2 実験系

camera 1と2でラケットのスイング動作を撮影する。
camera 3と4では、打球後のボール挙動を撮影する。
high speed cameraで打球時のボール挙動を撮影する。

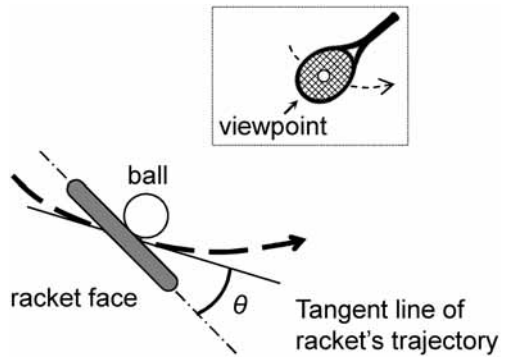


図3 インパクトアングル θ の定義

ボールインパクト時におけるラケット面とラケット軌道とのなす角度をインパクトアングルと定義する。

し、後に、3次元動作解析ソフトウェア（FrameDiasII, DKH Co., Ltd）を用いて三次元動作分析を行った。スイング動作の解析では、ラケット面の周囲に4点に反射マークを貼り付け、これらの3次元座標を求めた。分析結果から打球時におけるラケットのヘッド速度（スイング速度、swing speed）とラケット面とスイング方向とのなす角度（インパクトアングル、impact angle θ ）を算出した（図3）。

ボール軌跡の分析では、相手コートに配置された2台の同期ビデオカメラ（60fps、図2のcamera 3, 4）を用いて、打球から2回目のバウンドまでのボール軌道を撮影した（図4）。三次元動作分析から、打球後のボールの最高点（ h_{max} ）と1回目のバウンド後

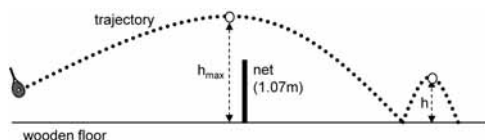


図4 ボール軌跡から計測される項目
 h_{max} はボールが最高点に達した時のボールの高さを示す。
 h はサーブエリア内で1回バウンド後のボールの高さを示す。



図5 ボール回転速度を求めるためのマーキング
 ボール(φ66 mm)表面に互いに直行する基準線を引いてマーキングした。

のボールの最大高 (h) を求め、バウンド比 (bounce ratio) を次式より算出した。

$$\text{bounce ratio} = \frac{h}{h_{max}} \times 100 (\%)$$

本研究では、上記バウンド比をUCサービスの評価指標とした。また、打球後のボール回転速度 (rotating speed) を求めるためにボールにマーキング (図5) を行い、打球直後のボールをハイスピードビデオカメラ (HSV-500C3, nac社製、撮影速度250fps, シャッター速度1/2000 sec, 図2のhigh speed camera) を用いて撮影した。被験者の正面に設置したハイスピードカメラの映像から回転数とそれに要した時間で除すことで、回転速度を求めた (前田, 2005)。解析ではボールの一軸周りの回転速度のみを計測し、回転

方向は計測しなかった。

統計処理

本研究では、各測定項目間の相関関係を明らかにするために、ピアソンの相関係数の検定を実施した。また、インパクトアングルとスウィング速度を説明変数、ボール回転速度を目的変数とした重回帰分析を行い、2つの説明変数の貢献度を評価した。すべての統計解析には SPSS for Windows Ver. 14.0を用い、いずれの統計処理も有意性は危険率5%未満とした。

結果

各被験者のスウィング速度、インパクトアングル、ボール回転速度およびバウンド比を表1に示す。また、各測定項目間の相関係数 (r) を図6に示す。この図よりすべての項目間において、有意に相関関係が認められた ($p < .05$)。特に、インパクトアングル、回転速度およびバウンド比の3つの計測項目間には、高い相関関係が認められた。インパクトアングルとスウィング速度を説明変数、ボール回転速度を目的変数とした重回帰分析では、決定係数 (R^2) が0.721 ($p < .05$)、重回帰式におけるインパクトアングルとスウィング速度の標準偏回帰係数はそれぞれ-0.698および0.254であった。

考察

本研究の測定項目間には、有意な相関関係が認められ (図6)、UCサービスにおいて、

インパクトアングルを小さくし、スウィング速度を大きくすることで、ボール回転速度を増加させ、バウンド比を小さくできることが示唆された。川副（2005b）は、硬式テニスのグラウンドストロークにおいて、ボールとストリングスが接触して離れるまでの時間（接触時間）が長いほどボール回転速度が大きくなると述べ、本研究においてもボールの回転速度を大きくするために、インパクトアングルを小さくし、ボールをラケット面上で転がすことで接触時間が大きくなっていたと考えられる。

インパクトアングルとスウィング速度を説明変数、ボール回転速度を目的変数とした重回帰分析において、標準偏回帰係数は目的変数の予測に対する各説明変数の説明力（貢献度）を表すことから、係数の絶対値が大きい

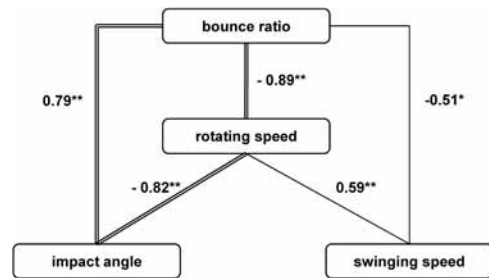


図6 各測定項目間の相関関係

図中の数字は、相関による項目間の相関係数を表す。
(* $p < .05$, ** $p < .01$)

インパクトアングル (-0.698) の方が、スウィング速度 (0.254) よりもボール回転速度に貢献していることが示唆された。川副ら (2005b) は、ボールの「スピニング量が増すと接触時間も長くなる」と報告している。本研究結果から、ラケットとボールの接触時間を長くするために、インパクトアングルを小さくし、ボールをカットする動作技術の習得が

表1 各試技の計測結果

subjects	swinging speed (m/s)	impact angle (deg)	rotating speed (rot/s)	h_{max} (m)	h (m)	bounce ratio (h/h_{max})
A	24.8	19.0	50.0	1.57	0.47	0.30
	20.3	12.2	50.0	1.88	0.44	0.23
	20.3	11.7	50.0	1.55	0.50	0.32
B	20.9	20.7	41.7	1.84	0.63	0.34
	20.2	17.8	50.0	1.65	0.53	0.32
	20.4	22.5	50.0	1.61	0.58	0.36
C	16.2	76.4	25.0	1.78	0.98	0.55
	15.7	78.9	31.3	2.12	1.05	0.50
	16.2	57.3	35.7	2.29	1.00	0.44
D	18.1	17.0	41.7	2.99	1.09	0.36
	17.9	17.5	35.7	2.71	1.09	0.40
	18.5	16.6	41.7	2.41	0.94	0.39
E	19.1	14.5	41.7	2.02	0.73	0.36
	17.6	11.2	41.7	1.82	0.61	0.34
	18.1	7.9	50.0	1.55	0.46	0.30
F	16.8	53.9	31.3	1.94	0.99	0.51
	15.7	39.6	31.3	1.56	1.02	0.65
	17.7	52.0	25.0	1.98	1.04	0.53
G	17.0	9.8	50.0	1.48	0.38	0.26
	16.9	12.8	50.0	1.48	0.38	0.26
	16.3	15.5	41.7	1.85	0.56	0.30
Mean	18.3	27.8	41.2	1.91	0.74	0.38
S.D.	2.2	22.3	8.7	0.41	0.27	0.11

パフォーマンス向上には有効であると考えられる。指導現場においては、ラケットとボールの接触時間が数ミリ秒（図1）であることを考慮すると、UCカットサービスの動作技術習得のための特別なトレーニング方法が必要と考えられ、今後の検討事項としたい。

ボールの特異な飛行挙動に関する研究，スポーツ産業研究学会，Vol. 15, No.2, 33-41.

結 論

本研究結果より、下記の知見を得た。

- (1)UCカットサービスでは、打球時にボールをラケット面上で転がすことで、ボールに回転を与えている。
- (2)UCカットサービスでは、ボールの回転速度を高めることで、バウンド比を低くできる。
- (3)ボールの回転速度が高い試技では、インパクトアングルが小さい。
- (4)インパクトアングルとラケットのスウィング速度とでは、インパクトアングルの方が、ボールの回転速度に及ぼす影響が大きい。

引用文献

- 1) 川副嘉彦, 沖本賢次, 沖本啓子. 2005a. テニスラケットのスピニング性能のメカニズム (ストリング交差点潤滑によるスピニング性能向上の超高速ビデオ画像解析), 日本機械学会論文集 (C編), 72巻, 718号, 196-203.
- 2) 川副嘉彦. 2005b. テニスに関する実験力学的研究:目に見えないものを見るーラケットのスピニング性能の謎を解くー, 実験力学 / 日本実験力学会編集委員会 編, Vol. 5 No. 4, 335-342.
- 3) 前田正登. 2005. ソフトテニスにおける

