

野球の2塁走疾走時間を短縮するためのステップ長およびステップ頻度

Step length and frequency to shorten base-running time in baseball.

今若 太郎 (国立スポーツ科学センター スポーツ科学部)
谷中 拓哉 (横浜商科大学 商学部)
角田 直也 (国士舘大学大学院 スポーツ・システム研究科)

抄録

本研究は、野球の2塁走(本塁から2塁までの走塁)におけるステップ長およびステップ頻度から、触塁後の疾走速度低下の要因について明らかにすること、2塁走疾走時間とステップ変数や疾走速度、疾走距離などの関係を調べ、2塁走疾走時間を短縮する方法について検討することを目的とした。大学野球選手15名を対象に3次元パニングDLT法を用いて、2塁走におけるステップ変数および疾走速度、疾走距離、触塁方向転換角度を算出した。その結果、1塁触塁後の疾走速度低下の要因は、ステップ長の低下であることが明らかになり、2塁走疾走時間を短縮するためには、疾走距離を短くする疾走方法ではなく、高い疾走速度を獲得すること、直線に近い経路で1塁を通過していくことが重要であることが推察された。また、疾走速度が低下する1塁触塁後以降は、ステップ頻度を高いまま維持することおよび低下したステップ長を再度高めることで、2塁走疾走時間を短縮できる可能性が示唆された。

1. 緒言

野球における「走塁」とは、攻撃を構成する要素の1つである。野球の走塁は、盗塁や1つの塁間を疾走する際にみられる「直線走」と、本塁から2塁、もしくは1塁から本塁のような2つ以上の塁間を疾走し、複数回、ベースを踏む動作(以下、触塁と略す)を伴う方向転換走(以下、野球の方向転換走と略す)に大別できると考えられる。特に1本の安打で本塁から2塁まで到達する際の野球の方向転換走(以下、2塁走と略す)の巧拙は、走者を得点圏に進めることが定石である野球の攻撃において重

要になるとされており(羽鳥, 1977), 竹田ほか(2019)は、0.1秒以内のごくわずかな差が30 cmから50 cmの「タッチの差」となるため、ベースまでの到達時間が極めて重要であると述べている。これまで、野球の方向転換走については、大岡ほか(2013)が2塁から本塁まで、今若ほか(2016)が2塁走や本塁から3塁までの疾走速度について検討している。その結果、いずれの先行研究においても、触塁後に有意な疾走速度の低下が認められており、触塁という動作は、その後の疾走速度低下の要因であることが示唆されている。疾走速度は、ステップ長とステップ頻度によって決定されるため、疾走速度が低下している触塁後にその両方、もしくはいずれかに変化が起きていることが考えられるが、触塁前後におけるステップ変数と疾走速度に関する検討はされていない。これまで野球選手のステップ長やステップ頻度に関しては、30 m直線走(蔭山ほか, 2017)や1塁から2塁の盗塁(田邊ほか, 2018)を対象に検討されているが、野球の方向転換走における触塁前後のステップ長やステップ頻度に着目した研究は非常に少ない。今若ほか(2016)は、2塁走における1塁触塁後区間の平均ストライドが1塁触塁前区間と比較して、有意に低下していたことを報告しているが、この研究の平均ストライドは塁間の直線距離の半分である13.7 mを区間歩数で除することで算出したため、過小評価している可能性がある^{注1)}。野球の方向転換走では、進行方向に対し、一度右方向に膨らむ走路を取る選手が多いため、実際の疾走距離と塁間の直線距離は一致しない。したがって、野球の方向転換走におけるステップ変数について検討するためには、塁間の直線距離を用いた算出方法ではなく、1ステップ毎に算出する必要があると考えられる。また、触塁前後のステップに関して、触塁するための歩幅調整は疾走速度の低下を招く(今若ほか, 2016)と

Taro IMAWAKA (Department of Sports Science, Japan Institute of Sport Sciences)
Takuya YANAKA (Faculty of Commerce, Yokohama College of Commerce)
Naoya TSUNODA (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)

受付日: 2020/9/16 受理日: 2021/2/24

述べられていることから、ステップ変数の大小だけではなく、ステップの調整度合も野球の方向転換走パフォーマンスと関係している可能性が考えられる。以上のことから、2塁走におけるステップ長やステップ頻度について明らかにすることで、触塁前後の疾走速度変化の要因を示すことができるものと考えられる。疾走時間を短縮するためには、①疾走速度、②疾走距離の2つについて検討し、最適な疾走方法を考案することが必要であると考えられるが、どちらがより重要となるか、もしくはこの2点の適切な組み合わせが存在するかなどは検討されていない。

そこで本研究では、2塁走におけるステップ長とステップ頻度から、触塁後の速度低下の要因について明らかにすること、また、2塁走疾走時間とステップ変数や疾走速度、疾走距離の関係を調べ、2塁走疾走時間を短縮する方法について検討することを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は全員が右打ちの大学野球選手15名(年齢 20.8 ± 0.7 歳, 身長: 1.73 ± 0.06 m, 体重: 71.6 ± 6.9 kg)とした。被験者に対して、研究の目的および測定方法について説明を行い、任意による測定参加の同意を書面にて得た。本研究は、著者が以前所属していた国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科研究倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 実験設定

実験は、屋外の野球グラウンド(内野が全面土)で実施された。被験者には十分なウォーミングアップを実施させ、野球用スパイクを履かせた。実験試技は2塁走とし、実戦と同様の状況を想定するために、右打席にて打撃を行わせた後、疾走をスタートさせた。打撃を行わせる際は、ホームベースから投手方向に約3 m離れた位置から、下手投げでストライクゾーン中央付近にトスアップされた野球ボールを、センター方向に向かって強い打球を放つように指示をした。2塁走を行う際は、センターオーバーの打球を放ったと想定し、最短時間で2塁まで到達するように、また、2塁への触塁はスライディングの影響を排除するために駆け抜けるように指示をした。2回の成功試技を得られるまで、十分な休息時間を設けながら測定を実施した。足を滑らせるなど疾走フォームを崩した場合や触塁できなかった場合、打者がセンター方向以外に打撃したと自己判断した場合、明らかにレフトやライト方向へ打球が放たれた場合は失敗試技とした。

被験者の2塁走疾走動作は、3台のデジタルビデオカメラ

ラ(スポーツコーティングカム: GC-LJ20B, スポーツセンシング社, 撮影スピード: 59.94 fps, 露出時間: 1/1000 s)を用いて撮影した。3台のうち、2台は固定カメラとした。固定カメラの1台は、1塁ファウルラインの延長線上(1塁からライト方向に約5 mの位置)に設置し、1塁から本塁へ向かう方向に画角を向けた。2台目の固定カメラは1塁と2塁を結ぶ線の延長線上(2塁からレフト方向に約5 mの位置)に設置し、2塁から1塁へ向かう方向からそれぞれ撮影した。残りの1台はピッチャーマウンド付近の内野中央に設置し、パンニング撮影を行った(図1)。また、3台のデジタルビデオカメラの同期は、画角内に電氣的に制御されたLEDランプの点灯を映しこむことで実施した。

実験に先立ち、後述のキャリブレーションを実施し、撮影範囲における座標系を定義した。本塁-1塁間における撮影範囲はホームベースから1塁にかけて横35 m×縦6 m×高さ2 mとした。本塁-1塁座標系は、原点(O_{HF})をホームベースの捕手側の頂点とし、本塁から1塁へ向かうベクトルを X_{HF} 、鉛直に向かうベクトルを Z_{HF} 、 X_{HF} と Z_{HF} の成す面に直行するベクトルを Y_{HF} として定義した。キャリブレーションポイントは、 X_{HF} 方向へ5 mおきに8点、 Y_{HF} 方向へ3 mおきに3点、 Z_{HF} 方向へ1 mおきに3点の合計72点であった(キャリブレーション誤差 $X_{HF}: 0.027$ m, $Y_{HF}: 0.029$ m, $Z_{HF}: 0.019$ m)。1塁-2塁間の撮影範囲は、1塁付近から2塁方向へ向かって横6 m×縦30 m×高さ2 mとした。1塁-2塁座標系は、原点(O_{FS})を1塁の右翼手側、ファウルライン上の角とし、1塁から右翼手方向へ向かうベクトルを X_{FS} (X_{HF} と同ベクトル)、鉛直方向に向かうベクトルを Z_{FS} 、 X_{FS} と Z_{FS} の成す面に直行するベクトルを Y_{FS} として定義した。キャリブレーションポイントは X_{FS} 方向へ3 mおきに3点、 Y_{FS} 方向へ5 mおきに7点、 Z_{FS} 方向へ1 mおきに3点の合計

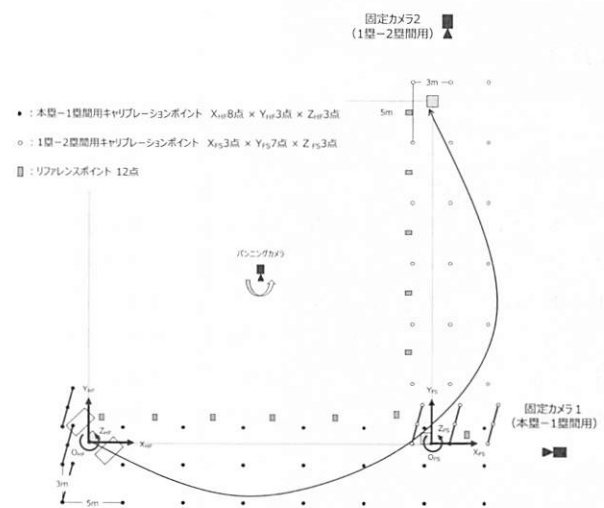


図1. 実験設定

63点であった(キャリブレーション誤差 X_{FS} :0.023 m, Y_{FS} :0.016 m, Z_{FS} :0.020 m)(図1)。また、後述の3次元座標取得のために、12点のリファレンスポイントを設置した。この12点のリファレンスポイントは、事前に試技の妨げにならないことを確認し、キャリブレーション撮影および試技撮影を通して固定した。

3. 測定項目および算出項目

本研究ではパフォーマンス指標として、2塁走疾走時間を測定した。2塁走疾走時間は、右打席にて打撃を行った後に踏み出される1歩目の接地をスタートと定義し(全被験者において右脚であった)、スタートから2塁触塁までに要したフレーム数をカウントすることで算出した。なお、2試技のうち、2塁走疾走時間が短い試技を後述の分析対象とした。

撮影した映像は、3次元動作解析ソフト(Frame-DIAS V, DKH社製)を用いて、太田ほか(2010)と田邊ほか(2018)を参考に被験者の動きを代表するものとして、接地時における左右の上前腸骨棘中点を目安とした腰点中央^{注2)}をデジタイズし、3次元パンニングDLT法から、デジタイズ点の3次元座標を取得した。座標値は、バターワース型ローパスデジタルフィルタを用いて、遮断周波数7 Hzで平滑化した(Toyoshima and Sakurai, 2016)。

2塁走における各塁間を最大膨らみ幅以前と以降に分けた木野村ほか(2017)を参考に、本研究において、各塁間における最大膨らみ幅を基準に5つの分析区間を定義した。最大膨らみ幅は、塁と塁を結ぶ線から腰点中央の距離を膨らみ幅として算出し、その最大値として定義した。すなわち、本塁-1塁間最大膨らみ幅は、 O_{HF} と O_{FS} を結ぶ線から Y_{HF} 軸のファウルエリア方向における腰点中央の距離の最大値、1塁-2塁間最大膨らみ幅においては、 O_{FS} と2塁中央を結ぶ線から X_{FS} 軸の右翼手方向における腰点中央の距離の最大値である(図2)。5つの分析区間は、①1塁触塁中:1塁触塁ステップおよび1塁離塁ステップからなる1サイクル、②本塁-1塁間前半:スタートから本塁-1塁間最大膨らみ幅を含むステップまで(以下、HF前半と略す)(11.8 ± 0.8 steps)、③本塁-1塁間後半:HF前半に続くステップから1塁触塁中まで(以下、HF後半と略す)(4.9 ± 0.7 steps)、④1塁-2塁間前半:1塁触塁中に続くステップから1塁-2塁間最大膨らみ幅を含むステップまで(以下、FS前半と略す)(5.7 ± 0.9 steps)、⑤1塁-2塁間後半:FS前半に続くステップから2塁触塁まで(以下、FS後半と略す)(9.1 ± 0.9 steps)として、それぞれ定義した。なお、ステップは脚の接地から続く反対脚の接地直前のフレームまでと定義し、接地瞬間のフレームは映像から目視で判定した。ステップに関する変数として、1ステップにおける腰点中央の水平面に

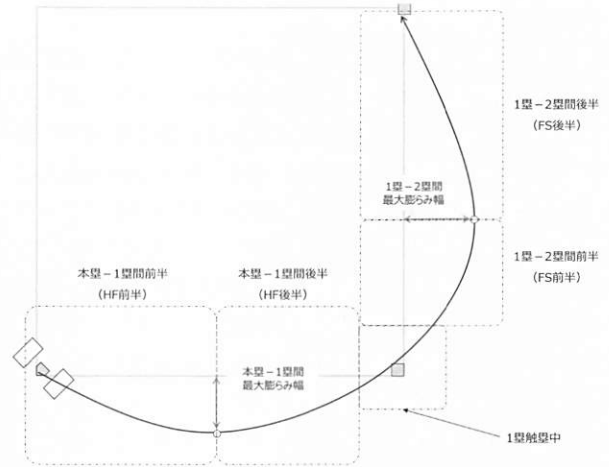


図2. 区間定義

における移動距離(本塁-1塁間では X_{HF} - Y_{HF} における水平面、1塁-2塁間においては、 X_{FS} - Y_{FS} における水平面)をステップ長、1ステップの所要時間の逆数をステップ頻度として算出した。さらに、算出したステップ長とステップ頻度の積を疾走速度とした。また、伊藤ほか(1998)を参考にステップ長指数およびステップ頻度指数を以下の式によって算出した。なお、ここで g は重力加速度を示す。

$$\text{ステップ長指数} = \text{ステップ長} \cdot \text{身長}^{-1}$$

$$\text{ステップ頻度指数} = \text{ステップ頻度} \cdot (\text{身長} \cdot g^{-1})^{1/2}$$

1ステップごとに求めたこれらステップ変数および疾走速度は、区間ごとに平均化した。また、ステップ長およびステップ頻度においては、各区間における変動係数を求めた(以下、ステップ長CVおよびステップ頻度CVと略す)。変動係数は大村・金高(1994)を参考に、各区間におけるステップ頻度や身長比ステップ長の変化度合を表す指標として用いた。また、各区間におけるステップ長の和を疾走距離として算出した。

野球の方向転換走に関する指導書では、方向転換を行う際にどのように触塁するかという点についても着目されている(ウインフィールド, 1994, p.104)。したがって、本研究においても、より詳細に触塁前後のステップ変数に着目するために、1塁触塁中において、1ステップごとにステップ長、ステップ頻度、疾走速度、ステップ長指数、ステップ頻度指数を算出した。さらに、1塁触塁中の方向転換の指標として、触塁ステップおよび離塁ステップにおける腰点中央の水平面の速度ベクトルの内積を、触塁方向転換角度として定義した。

4. 統計処理

得られた測定値は平均±標準偏差で示した。試技間信頼性を評価するために、級内相関係数 (ICC) を算出した。算出した変数の区間差の検定には1要因分散分析を行い、主効果が認められた場合には、Bonferroni法による多重比較検定を実施した。触塁中区間の触塁ステップと離塁ステップの比較には、対応のあるt検定を用いた。各区間における変数と2塁走疾走時間の関係性を検討するためにピアソンの積率相関係数を用いた。また、各区間におけるステップ変数および触塁方向転換角度が2塁走疾走時間に及ぼす影響の大きさを検討するために、従属変数を2塁走疾走時間としたステップワイズ法による重回帰分析を行った。多重共線性の問題を回避するために、全ての区間間のVariance inflation factor (VIF) が10以下であることを確認した。効果量(以下、ESと略す)は、水本・竹内(2008)に倣い、分散分析では偏 η^2 を、対応のあるt検定においては、rをそれぞれ算出した。統計処理の有意水準は5%に設定した。本研究における統計処理は、SPSS Ver. 24.0 (IBM社製)を使用した。

III. 結果

全被験者における2塁走疾走時間の平均値は、 $8.02 \pm 0.30s$ であった。試技間信頼性は、 $ICC = .763$ を示し、試技間信頼性は良好であった(出村, 2007)。

I. 各変数における区間比較

表1に各区間における算出項目をそれぞれ示した。1要因分散分析の結果、疾走距離 ($p = .000$, $ES = .951$)において、区間に有意な主効果が認められ、1塁触塁中と全区間の間、HF後半およびFS前半とHF前半およびFS後半の間にそれぞれ有意な差が認められた。ステップ長 ($p = .000$, $ES = .804$) およびステップ長指数 ($p = .000$, $ES = .804$) およびステップ長指数 ($p = .000$, $ES = .804$) およびステップ長指数 ($p = .000$, $ES = .804$)

表1. 各算出項目における区間比較

	HF前半	HF後半	1塁触塁中	FS前半	FS後半	P値 (ES)	多重比較
疾走距離(m)	16.83 ± 1.41	8.64 ± 1.24	3.55 ± 0.33	9.43 ± 1.35	16.93 ± 1.21	.000 (.951)	1塁触塁中 < HF後半, FS前半 < HF前半, FS後半
ステップ長(m)	1.43 ± 0.08	1.76 ± 0.11	1.77 ± 0.17	1.67 ± 0.07	1.89 ± 0.11	.000 (.804)	HF前半 < FS前半 < HF後半, 1塁触塁中, FS後半
ステップ頻度(Hz)	4.20 ± 0.26	4.43 ± 0.32	4.31 ± 0.35	4.29 ± 0.19	4.09 ± 0.24	.001 (.343)	FS後半 < HF後半, FS前半
疾走速度(m/s)	6.02 ± 0.18	7.72 ± 0.28	7.51 ± 0.33	7.12 ± 0.32	7.55 ± 0.32	.000 (.944)	HF前半 < FS前半 < HF後半, 1塁触塁中, FS後半; 1塁触塁中 < HF後半
ステップ長指数	0.82 ± 0.04	1.01 ± 0.05	1.02 ± 0.08	0.96 ± 0.03	1.07 ± 0.05	.000 (.809)	HF前半 < FS前半 < HF後半, 1塁触塁中, FS後半
ステップ頻度指数	1.77 ± 0.10	1.86 ± 0.12	1.81 ± 0.13	1.81 ± 0.06	1.72 ± 0.08	.001 (.343)	FS後半 < HF後半, FS前半
ステップ長CV(%)	20.27 ± 2.08	7.32 ± 3.73	8.01 ± 6.43	6.94 ± 2.69	7.60 ± 1.90	.000 (.685)	HF後半, 1塁触塁中, FS前半, FS後半 < HF前半
ステップ頻度CV(%)	7.84 ± 2.07	6.34 ± 3.87	8.85 ± 7.41	7.04 ± 2.36	6.42 ± 1.75	.367 (.068)	n.s.

HF前半: 本塁-1塁間前半, HF後半: 本塁-1塁間後半, FS前半: 1塁-2塁間前半, FS後半: 1塁-2塁間後半

Mean ± S.D.

= .809)において、区間に有意な主効果が認められ、いずれもHF前半と全区間の間、FS前半とHF後半、1塁触塁中およびFS後半の間に有意な差が認められた。ステップ頻度 ($p = .001$, $ES = .343$) およびステップ頻度指数 ($p = .001$, $ES = .343$)において、区間に有意な主効果が認められ、いずれもFS後半とHF後半およびFS前半の間に有意な差が認められた。疾走速度 ($p = .000$, $ES = .944$)において、区間に有意な主効果が認められ、HF前半と全区間の間、FS前半とHF後半、1塁触塁中およびFS後半の間、HF後半と1塁触塁中の間にそれぞれ有意な差が認められた。ステップ長CV ($p = .000$, $ES = .685$)において、区間に有意な主効果が認められ、HF前半とすべての区間の間に有意な差が認められた。ステップ頻度CV ($p = .367$, $ES = .068$)においては、区間に有意な主効果が認められなかった。

表2に1塁触塁中における触塁ステップおよび離塁ステップの疾走速度、ステップ変数をそれぞれ示した。疾走速度ではステップ間に有意な差が認められ ($p = .001$, $ES = .727$)、離塁ステップが有意に低い値を示した。ステップ変数においては、いずれの項目もステップ間に差が認められなかった(ステップ長: $p = .563$, $ES = .149$; ステップ頻度: $p = .363$, $ES = .244$; ステップ長指数: $p = .589$, $ES = .156$; ステップ頻度指数: $p = .380$, $ES = .236$)。

全被験者における触塁方向転換角度の平均値は、 $15.2 \pm 5.0^\circ$ であった。

表2. 1塁触塁中における各算出項目のステップ間比較

	触塁ステップ	離塁ステップ	p値	ES
疾走速度(m/s)	7.76 ± 0.35	7.27 ± 0.46	.001	.727
ステップ長(m)	1.80 ± 0.34	1.74 ± 0.14	.563	.149
ステップ頻度(Hz)	4.44 ± 0.79	4.19 ± 0.32	.363	.244
ステップ長指数	1.04 ± 0.17	1.00 ± 0.08	.589	.156
ステップ頻度指数	1.86 ± 0.31	1.76 ± 0.14	.380	.236

Mean ± S.D.

2. 各算出項目と2塁走疾走時間の関係

表3に各区間における算出項目と2塁走疾走時間の関係をそれぞれ示した。ステップ頻度はFS前半 ($r = -.539$, $p = .038$)において、有意な負の相関関係が認められた。疾走速度はいずれの区間においても、有意な負の相関関係が認められた(HF前半： $r = -.584$, $p = .022$ ；HF後半： $r = -.841$, $p = .000$ ；1塁触塁中： $r = -.863$, $p = .000$ ；FS前半： $r = -.858$, $p = .000$ ；FS後半： $r = -.869$, $p = .000$)。ステップ長指数はHF後半 ($r = -.544$, $p = .036$) およびFS前半 ($r = -.529$, $p = .043$)において、有意な負の相関関係が認められた。ステップ頻度指数はFS前半 ($r = -.711$, $p = .003$)およびFS後半 ($r = -.522$, $p = .046$)において、有意な負の相関関係が認められた。

図3に触塁方向転換角度と2塁走疾走時間の関係を示した。両者の間に有意な正の相関関係が認められた($r = .611$, $p = .016$)。

表4に2塁走疾走時間を従属変数、各区間におけるステップ変数および触塁方向転換角度を独立変数としたステップワイズ法による重回帰分析の結果を示した。その結果、FS前半ステップ頻度指数 (X_1)、HF前半ステッ

表3. 各区間における算出項目と2塁走疾走時間の関係

	HF前半	HF後半	1塁触塁中	FS前半	FS後半
疾走距離(m)	492	-383	-331	-663	.222
ステップ長(m)	124	-435	-331	-369	-212
ステップ頻度(Hz)	-.389	-.014	-.113	-.539*	-.416
疾走速度(m/s)	-.584*	-.841*	-.863*	-.858*	-.869*
ステップ長指数	-.132	-.544*	-.428	-.529*	-.290
ステップ頻度指数	-.432	-.016	-.139	-.711*	-.522*
ステップ長CV(%)	.001	.386	-.083	-.026	-.101
ステップ頻度CV(%)	.193	.154	-.276	-.105	-.122

HF前半：本塁-1塁間前半, HF後半：本塁-1塁間後半, FS前半：1塁-2塁間前半, FS後半：1塁-2塁間後半 * $p < .05$

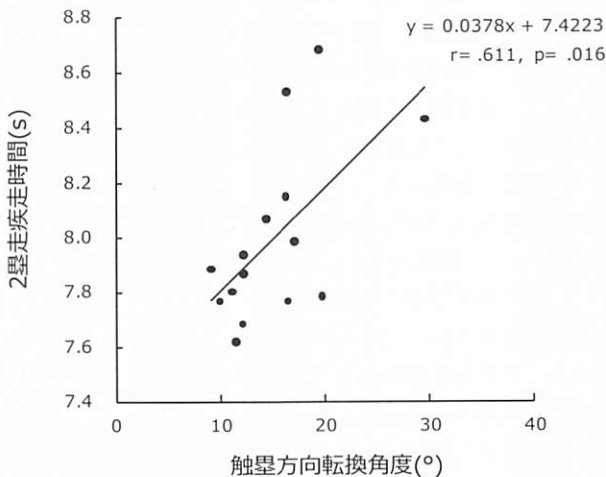


図3. 触塁方向転換角度と2塁走疾走時間の関係

表4. ステップワイズ法による重回帰分析結果

従属変数	独立変数	B	SEB	β	R ²
2塁走疾走時間	FS前半ステップ頻度指数	-2.742	.741	-.529	.981
	HF前半ステップ長	-2.289	.397	-.569	
	HF前半ステップ頻度指数	-1.907	.298	-.607	
	FS前半ステップ長	-2.711	.360	-.593	
	1塁触塁中ステップ長CV	-.012	.002	-.257	
	FS後半ステップ頻度	-.563	.144	-.430	
	FS前半ステップ長CV	-.006	.003	-.140	

HF前半：本塁-1塁間前半, FS前半：1塁-2塁間前半, FS後半：1塁-2塁間後半

B：非標準化係数
SEB：非標準化係数標準誤差
 β ：標準化係数
R²：決定係数

プ長 (X_2)、HF前半ステップ頻度指数 (X_3)、FS前半ステップ長 (X_4)、1塁触塁中ステップ長CV (X_5)、FS後半ステップ頻度 (X_6)、FS前半ステップ長CV (X_7) の7変数を独立変数とした有意な回帰式が得られ ($Y = 26.616 - 2.724 X_1 - 2.289 X_2 - 1.907 X_3 - 2.711 X_4 - 0.021 X_5 - 0.563 X_6 - 0.006 X_7$)、これら7変数で2塁走疾走時間を98.1%説明できることが示された。

IV. 考察

本研究の目的は、2塁走疾走中のステップ長、ステップ頻度から1塁触塁後の疾走速度低下の要因を明らかにすること、ならびに2塁走疾走時間を短縮するための疾走方法を検討することであった。その結果、2塁走における疾走速度は、1塁離塁時点で低下していることが認められ、その後も低下していくことが示された。また、疾走速度の低下していた区間のステップ長も有意に低下していたことから、ステップ長の低下が疾走速度の低下であることが明らかとなった。2塁走疾走時間に影響を及ぼすステップ変数を明らかにするために重回帰分析を行った結果、2塁走疾走時間を短縮するためには、本塁-1塁間では高い疾走速度を獲得すること、1塁-2塁間においては、ステップ長およびステップ頻度を高めて、1塁触塁で低下した疾走速度を再度獲得することが重要であると示唆された。

1. 各変数における区間比較

各変数における区間比較から、1塁触塁前後(HF後半、1塁触塁中、FS前半)におけるステップ変数と疾走速度に着目し、考察していく。本研究における、FS前半(1塁触塁後の区間)の疾走速度は、HF後半(1塁触塁前の区間)および1塁触塁中と比較して有意に低下していた(表1)。また、HF後半と1塁触塁中の間にも有意な差が認められ、1塁触塁中が低値を示した。この結果を踏まえ、1塁

触塁による疾走速度の変化について詳細に検討するために、1塁触塁中の1サイクルにおけるステップごとの疾走速度をみてみると、触塁ステップの疾走速度 (7.76 ± 0.35 m/s) はHF後半 (7.72 ± 0.28 m/s) とほぼ同程度を示していたものの、離塁ステップ (7.27 ± 0.46 m/s) で大きく低下し、触塁ステップと比較して有意な差が認められている(表2)。これまでの先行研究では、触塁後の区間において、疾走速度が低下することが報告されているが、触塁後区間の定義が異なっており(大岡ほか, 2013:触塁後3ステップの平均疾走速度; 今若ほか, 2016:触塁後の13.7 m平均疾走速度)、触塁後のどの時点で疾走速度が低下しているかは明らかにされていない。本研究の結果、2塁走における触塁後の疾走速度低下は、触塁から1歩踏み出す時、すなわち離塁時から生じることが明らかとなった。さらに、FS前半の疾走速度 (7.12 ± 0.32 m/s) は、離塁ステップよりも低値を示しているため、1塁離塁後も疾走速度は低下していくこと、また、FS前半において、1塁触塁前と同程度まで再加速できないことが示された。

疾走速度はステップ長とステップ頻度の積によって決定されるが、2塁走全体のステップ変数を示し、触塁前後の速度変化の要因を検討した研究はみられない。本研究において検討した結果、FS前半のステップ長およびステップ長指数は、HF後半および1塁触塁中と比較して、いずれも有意に低下していた(表1)。したがって、FS前半における疾走速度の低下は、その区間のステップ長の低下が要因であることが明らかになった。一方で、1塁触塁中のステップ変数においては、ステップ間に有意な差が認められず、なぜ離塁ステップで疾走速度が低下しているかという点については、明らかにすることが出来なかった。野球の方向転換走は、疾走中にそれまでの接地面(平坦な地面)とは異なる接地面(厚さ約12 cm(5インチ)のベース)に接地することが要求される。ベースは地面より柔らかいため、触塁ステップと離塁ステップでは接地中に獲得できる地面反力が異なることが考えられるが、両ステップ間におけるステップ変数の変化には一様の傾向は認められなかった。これは、触塁前の疾走経路および動作を含めた触塁動作が被験者個々によって異なるため、1塁触塁中に獲得できる地面反力の個人差が大きく、ステップ変数にばらつきが生じた結果であると推察される。指導書の多くは、ベースの内側(ベースの投手側に最も近い角)を踏むことを推奨しており(村上, 1989, p.359; 戸栗, 2003, p.71)、ベースの接地箇所も触塁中に獲得できる地面反力に影響を与える要因であることが考えられる。しかし、これらの点について検討した研究はみられないため、今後、触塁前後を含めた触塁動作における詳細な検討が必要であると考えられる。

2. 各算出項目と2塁走疾走時間の関係

各区間における算出項目と2塁走疾走時間の関係について検討したところ、いずれの区間においても、疾走速度と2塁走疾走時間の間に有意な負の相関関係が認められた。一方で、疾走距離においては、いずれの区間においても有意な相関関係は認められなかった(表3)。これまで指導書では、「走路をふくらませ、遠回りするのはいけない」(村上, 1989, p.358)や「走る距離が長くなれば時間がかかるのは明白であり…」(ウィンフィールド, 1994, p.104)と記述されているように、野球の方向転換走において、目的の塁に達するまでの疾走距離をできるだけ短くすることが重要であると考えられていた。しかし、全ての区間における疾走距離と2塁走疾走時間の間に相関関係が認められなかったことから、2塁走疾走時間を短縮するためには、疾走距離を短くすることよりも疾走速度を高くするような疾走方法が重要となることが明らかとなった。

ステップ変数と2塁走疾走時間の関係について検討してみると(表3)、疾走速度が最も高いHF後半でステップ長指数と2塁走疾走時間との間に有意な負の相関関係が認められている。本塁-1塁間における最大膨らみ幅以降において、高いステップ長指数で疾走することで疾走速度が高まり、2塁走疾走時間の短縮に繋がるものと考えられる。1塁触塁後のFS前半においては、ステップ長指数、ステップ頻度およびステップ頻度指数で2塁走疾走時間との間に有意な負の相関関係が認められた。FS前半は、1塁触塁前の区間と比較し、ステップ長および疾走速度が有意に低下している区間であり、この区間でステップ長およびステップ頻度を高め、素早く再加速することが重要であると推察される。また、ステップ頻度指数はFS後半においても2塁走疾走時間との間に負の相関関係が認められている。蔭山ほか(2017)によると野球選手の直線走における疾走時間は、25 mを通過するまでのステップ頻度と関連性が高いことが報告されている(蔭山ほか, 2017)。本研究におけるFS後半は2塁走における最後の区間であり、ほぼ直線に近い経路で疾走しているものと考えられ、野球選手の疾走速度を高めるためにはステップ頻度が重要だとする報告を支持する結果となった。

本研究の結果から、2塁走における1塁触塁動作は、疾走速度を低下させ、その要因が触塁後のステップ長低下であることが明らかとなった。これまでに実施された方向転換走に関する多くの研究では、一定距離の直線走後に指定の角度($30 - 180^\circ$)で方向転換することを課題としており、それらの結果から、最大努力における方向転換走の疾走速度と方向転換角度はトレードオフの関係にあることが報告されている(Dos' Santos et al, 2018)。このことから、大きな角度での方向転換走は、小さな角度での方向転換走よりも疾走速度が低くなり、疾走時間が延長

されることが明らかとなっている。2塁走のような野球の方向転換走は、塁間と塁間の組み合わせを見てみると90°の方向転換走であるが、実際には触塁に至る角度、離塁する角度などは選手によって異なることが考えられる。しかし、これまでに2塁走における触塁方向転換角度について検討した研究はみられない。そこで本研究では、1塁触塁中の触塁ステップおよび離塁ステップを用いて、触塁方向転換角度を算出し、2塁走疾走時間との関連について検討した。触塁方向転換角度の平均値は $15.2 \pm 5.0^\circ$ (最小 9.2° ～最大 29.7°)であった。塁間の組み合わせ角度と比較しても、方向転換角度は非常に小さく、選手によっては直線走に近い経路で、1塁触塁を実施していることが示された。また、両者の間に正の相関関係が認められ(図3)、これまでの方向転換走における報告を支持する結果となった。本研究で提示した触塁方向転換角度は、疾走経路の影響を受けるため、ある程度意識的に変化させることが可能であると考えられる。以上のことから、2塁走疾走時間を短縮するためには、1塁触塁を起点とする急な方向転換は避け、直線に近い経路で1塁を通過していくべきであることが示唆される。

次に、ステップ変数が2塁走疾走時間に及ぼす影響の大きさを検討するために、2塁走疾走時間を従属変数、各区分におけるステップ変数および触塁方向転換角度を独立変数とした重回帰分析を実施した。その結果、2塁走疾走時間はHF前半のステップ長およびステップ頻度指数、1塁触塁中のステップ長CV、FS前半のステップ頻度指数、ステップ長およびステップ長CV、FS後半のステップ頻度指数の7変数で98.1%説明できることが示された(表4)。非標準化係数Bの符号について着目すると、選択された7変数の全てが負の値であった。HF前半において選択されたステップ長及びステップ頻度指数の結果は、最初の区間で両ステップ変数を高め、素早く加速することが重要であることを示していると考えられる。また、1塁触塁後のFS前半ではステップ頻度指数、ステップ長およびステップ長CVが選択された。疾走速度が有意に低下しているFS前半において、1塁触塁前後で差が認められていないステップ頻度指数は、高い状態で維持すること、1塁触塁前と比較して低下しているステップ長は、区間内で変化させ、再度高めることが2塁走疾走時間を短縮することに繋がる可能性が推察される。さらに、ステップ頻度指数は、最後の区間であるFS後半においても選択されていることから、1塁-2塁間では共通して、ステップ頻度指数を高める必要があることが示された。本研究では全被験者(15名中15名)、大岡ほか(2013)においては、被験者の90%(10名中9名)で触塁後に疾走速度の低下が認められており、触塁後の疾走速度低下は、多くの選手において引き起こされる現象であることが考えら

れる。以上のことから、本塁-1塁間では素早く加速し、高い疾走速度を獲得すること、1塁-2塁間においては、ステップ長およびステップ頻度を高めて再加速することが重要であると考えられる。

3. 本研究の限界と今後の課題

本研究において、1塁触塁後に疾走速度が有意な低下を示したことで、触塁方向転換角度と2塁走疾走時間の間に有意な正の相関関係が認められたことなどから、2塁走疾走時間には1塁触塁動作が重要となることが推察される。触塁方向転換角度は、その前の区間、すなわち本研究における本塁-1塁間の疾走経路によって決定され、その後の1塁-2塁間における疾走経路にも大きく関わってくると考えられる。これまでに野球の方向転換走の疾走経路については、塁間の最大膨らみ幅を疾走経路の指標として扱っている研究(大岡ほか、2013;今若ほか、2016;木野村ほか、2017)がいくつかみられる。しかし、最大膨らみ幅に達するまでの疾走経路は、選手個人によって異なることが考えられるため、塁間における1点の位置情報のみで疾走経路について検討することは難しい。したがって、2塁走疾走時間を短縮するために、最も適した疾走経路を明らかにするためには、全区間における疾走経路を算出する必要があると考えられる。また、膨らみ幅が大きく触塁方向転換角度は小さい疾走経路、膨らみ幅が小さく触塁方向角度が大きい疾走経路などを同じ選手に疾走させ、比較することで、より適した疾走経路が明らかにできるだろう。さらに、Young et al. (2002)は、方向転換走の速度には、技術、直線走速度、脚筋力が関わっており、その技術として接地方法や身体姿勢を挙げている。先に述べたように、野球の方向転換走は、疾走中にそれまでの地面とは異なる厚さを有するベースに接地することが要求される。したがって、触塁時の身体姿勢や、触塁動作が2塁走疾走時間に与える影響は大きいことが推察される。以上のことから、野球の方向転換走における全区間の疾走経路や触塁時の身体動作などを算出することで、疾走時間の短縮に最適な疾走経路や触塁動作が明らかとなり、効率の良いトレーニング方法などが考案できるものと考えられる。

本研究はセンター方向の打球に伴う2塁走を対象としているが、野球の方向転換走には、状況に応じた経路選択が必要となると述べられているため(大岡ほか、2013)、打球方向や種類によって疾走経路が異なることが考えられる。また、野球場には、内野のサーフェース面が、土のみの球場、ベース回りのみが土であり、その他が人工芝で覆われている球場など、さまざまなタイプが存在する。このサーフェースの違いによっても、触塁前後の疾走速度変化や、ステップ変数が異なる可能性が考えられる。

今後はこれらの点についても、検討する必要があるだろう。

V. 総括

本研究の目的は、2塁走におけるステップ長とステップ頻度から触塁後の疾走速度低下の要因について明らかにし、2塁走疾走時間を短縮するための疾走方法を検討することであった。主な結果は以下の通りである。

1. 1塁触塁後に有意な疾走速度の低下が認められ、その速度低下は1塁触塁中に生じることが明らかとなった。また、疾走速度と同様に、1塁触塁後にステップ長が有意に低下していた。
2. 2塁走疾走時間と疾走速度の間に有意な負の相関関係が認められたが、区間距離との間には有意な相関関係が認められなかった。
3. 2塁走疾走時間と触塁方向転換角度の間に有意な正の相関関係が認められた。
4. 本塁-1塁間前半のステップ長およびステップ頻度指数、1塁触塁中のステップ長CV、1塁-2塁間前半のステップ頻度指数、ステップ長およびステップ長CV、1塁-2塁間後半のステップ頻度指数の7変数によって、2塁走疾走時間の98.1%を説明できることが示された。

以上のことから、1塁触塁後における疾走速度低下の要因は、ステップ長の低下であることが明らかになり、2塁走疾走時間を短縮するためには、疾走距離を短くする疾走方法ではなく、高い疾走速度を獲得すること、直線に近い経路で1塁を通過していくことが重要であることが示された。また、疾走速度の低下する1塁触塁後以降は、ステップ頻度を高いまま維持することおよび低下したステップ長を再度高めることで、2塁走疾走時間を短縮できる可能性が示唆された。

注

- 1) 2塁走のような走塁は疾走経路が直線ではないため、区間距離が13.7mより長いことが考えられる。したがって、区間の直線距離である13.7 mを区間歩数で除して算出した平均ステップ長は実測のステップ長より過小評価している可能性がある。
- 2) 本研究では疾走動作中の身体の動きを代表とするものとして、左右の上前腸骨棘中点を目安とし、身体重心に近い腰点中央を用いた。この手法を用いて約15 mの分析区間における疾走速度を算出した太田ほか(2010)は、「…得られた結果は、先行研究と逸脱したものでなく、十分な信頼性を持ち合わせるものである」と述べられている。また、走塁に関する研究(田

邊ほか, 2018)で約30 mの撮影範囲を対象に利用されていることから、撮影範囲が広域にわたる場合において、身体重心と同様の指標として有用性の高い手法であると考えられる。

文献

- Change, Y., and Kram, R. (2007) Limitations to maximum running speed on flat curves. *The journal of experimental biology*, 210 : 971-982.
- 出村慎一監 (2007) 健康・スポーツ科学のためのSPSSによる統計解析入門. 杏林書院: 東京, pp. 124-136.
- Dos' Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., and Jones, A, P. (2018) The effect of angle and velocity on change of direction biomechanics: an angle-velocity trade-off. *Sports Medicine*, 48 : 2235-2253.
- 羽鳥好夫 (1977) 野球における走塁に関する研究 (第一報) - 熟練者の本塁・2塁間の走塁について -. *東京学芸大学紀要*, 29 : 173-178.
- 今若太郎・伊原佑樹・手島貴範・田中重陽・平塚和也・岩城翔平・角田直也 (2016) 大学野球選手における走塁の運動学的解析. *東京体育学研究*, 7 : 5-11.
- Ishimura, K., and Sakurai, S. (2016) Asymmetry in determinants of running speed during curved sprinting. *Journal of applied biomechanics*, 32. 394-400.
- 蔭山雅洋・土川千尋・大石祥寛・鈴木智晴・藤井雅文・前田明 (2017) 大学野球選手における30m全力疾走中のピッチとストライドの特徴. *スポーツパフォーマンス研究*, 9 : 83-196.
- 木野村嘉則・木下達生・波戸謙太・葛原憲治 (2017) 野球における二塁までのベースランニング時の走塁コースの分類に関する試案: 中学生及び高校生による自由走路疾走条件を事例として. *東邦学誌*, 46 (2) : 93-104.
- Miyaguchi, K., Demura, S., Nagai, K., and Uchida, Y. (2011) Comparison of base running in baseball players and track-and-field athletes. *Health*, 3 (1) : 26-31.
- 水本篤・竹内理 (2008) 研究論文における効果量の報告のために - 基礎的概念と注意点 -. *英語教育研究*, 31 : 57-66.
- 村上豊 (1989) 科学する野球/ドリル編. 株式会社ベースボール・マガジン社: 東京, pp. 358-359.
- 大村一光・金高宏文 (1994) 走り幅跳びの助走に関する研究 - 高校生競技者におけるコントロールマーク設定のちがいが助走に及ぼす影響 -. *鹿児島女子短期大学紀要*, 29 : 39-50.

- 大岡昌平・藤村美歌・前田正登 (2013) 野球における進塁時間短縮方法に関する研究. 体育・スポーツ科学, 22 : 41-48.
- Suzuki, Y., Ae, M., Takenaka, S., and Fujii, N. (2014) Comparison of support leg kinetics between side-step and cross-step cutting techniques. Sports biomech. 13 (2) : 749-755.
- 竹田正樹・中村航記・吉田真士・服部駿平・今泉駿・宮本直人 (2019) 野球の走塁におけるライン取りがタイムに及ぼす影響. 日本機械学会シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2019 講演論文集, B-20.
- 田邊智・川端浩一・山田一典・村上雅俊 (2018) 野球における盗塁時間と走速度, ストライド, ピッチ, 歩隔との関係について. 大阪体育学研究, 57 : 15-28.
- 戸栗和秀 (2003) 一つ先を狙う走塁 [PART1] 現場からの声. ベースボール・マガジン社編 ベースボールクリニック2003年05月17日発売号. ベースボール・マガジン社：東京, pp. 7-8.
- ウインフィールド：前田祐吉訳 (1994) ウインフィールドのベースボールバイブル. ベースボール・マガジン社：東京, pp. 104-105.
- Young, B, W., James, R., and Montgomery, I (2002) Is muscle power related to running speed with change of direction?. Journal of sports medicine and physical fitness, 42 (3) : 282-288.

連絡責任者

住所：〒115-0056 東京都北区西が丘3-15-1 国立スポーツ科学センター

氏名：今若 太郎

電話番号：03-5963-0250

E-mail：taro.imawaka@jpnssport.go.jp