

Integrated study of human accelerated sprinting

(ヒトの加速疾走に関する総合的研究)

永原 隆

疾走能力は、陸上競技の短距離走においてのみならず、球技などの種目においても重要な能力である。陸上競技の100m走において、レース中の疾走速度はスタート後6秒前後で最高値に達し、その後ゴールまで減少する。また、100m走における最高速度は、ゴールタイムとの間に非常に高い相関がある。したがって、100m走においてパフォーマンスを向上させるために最も優先すべき課題は、限られた時間内に遂行できる加速疾走の能力を高めることである。

疾走は、ヒトの最も基本的な移動運動の一つであることから、これまで数多くの研究において対象とされてきたが、これまでの疾走を対象とした研究は、異なる一定速度条件下で実験を行ったものや加速局面の特定の1歩あるいは区間を分析したものに限られる。しかし、全力疾走の加速局面では、姿勢が大きく変化することに加えて、左右差や周期的な運動における変動性を含んで動作や力の発揮が変化することから、加速疾走を適切に評価するためには、加速局面全体を1歩ごとに分析する必要がある。また、効果的な加速と関係する要因について検討しようとする場合にも、より実践的に有用な知見を得るためには加速局面全体に渡って、加速能力と時空間変数、キネマティクス変数との関係を明らかにすることが重要となる。一方、疾走能力は、疾走技術のみによって決定されるのではなく、体力特性や身体の形態的特性の影響を強く受けている。このことから、効果的に加速するために重要となる要因について、技術的な観点だけでなく、体力や形態特性による評価を加えることは、疾走能力の向上に資する知見を提供するという観点において非常に有用であろう。

このような背景から、本研究では加速疾走の特徴と効果的な加速の方略および加速能力に影響する身体特性について明らかにすることを目的とした。研究を進めるにあたっては、これまで研究・実践の両面で加速局面が区分されて捉えられているにも関わらず、定量的な区分がなされていないという背景から、加速局面における複数の加速区間や加速局面の区分点(トランジション)が存在するという仮説を検証する。研究課題は以下の通りであり、各課題には2つの下位の課題を設定した。1)加速疾走における時空間変数の変化を明らかにし、疾走中の加速度とその他の時空間変数の変化率から、加速局面の区分点と効果的な加速に影響する要因を解明する。2)加速疾走中のトランジション現象について明らかにし、加速方略の変容および効果的な加速に影響を与える要因についてキネマティクスの観点から知見を得る。3)下肢のカーパワー発揮能力および部分長が加速疾走能力に与える影響を明らかにする。

研究課題1では、21名の男子短距離選手を対象に60mの全力走を行わせ、疾走中の被験者を6台の高速度カメラ(250Hz)で撮影した。得られた映像から、1歩ごとの接地・離地の瞬間を判定し、つま先の位置をデジタル

ずすることで、接地位置を取得した。その後、それらの値から、疾走中の速度、ステップ長、ステップ頻度、支持時間、滞空時間を求めた。得られたそれらの変数には、左右差や変動性、分析の過程で生じたエラーなどのノイズ成分を含んでいたため、4次の多項式で近似し、各変数の加速局面全体に渡る1歩ごと変化を得た。研究課題1-1では、実際の加速疾走中にどのように時空間変数が変化するかについて検討した。その結果、速度、ステップ長、支持時間、滞空時間については、スタート直後急激に増加、あるいは減少した後に緩やかに変化する共通した変化パターンを全被験者が示したのに対して、ステップ頻度はスタート直後に増加が頭打ちとなり、値の変化パターンには個人間の差が大きいことが分かった。

研究課題1-2では、どのような時空間変数が効果的な加速と関係しているのかを明らかにするために、時空間変数の変化率として、研究課題1-1で近似して得た時空間変数の一次導関数を求め、1歩ごとの加速度とその他の変数の変化率との関係について、ピアソンの積率相関係数を指標として検討した。その結果、スタート後1歩目から3歩目では加速度とステップ頻度変化率との間に比較的高い相関関係があった。また、5歩目から15歩目までは加速度とステップ長変化率との間に有意な正の相関関係がみられた。16歩目以降は、加速度とステップ長・ステップ頻度どちらの間にも比較的高い正の相関係数が示された。これらの結果から、加速度とステップ長・ステップ頻度の関係の変化によって、加速局面が4歩目と15歩目を境に3つに区分でき、第1加速区間ではステップ頻度、第2加速区間ではステップ長、第3加速区間ではステップ長あるいはステップ頻度を増加させることが効果的な加速に重要であることが明らかになった。

研究課題2では、12名の男子短距離選手を対象に60mの全力走を行わせ、疾走中の被験者の動作を60台の赤外線カメラ(250Hz)で撮影した。得られた身体各部の座標値から、身体重心や動作に関する各変数を算出した。研究課題2-1では、研究課題1でグループとして明らかにした加速局面の区分点が、個人の疾走においても特定できるのかについて検討した。支持期における身体重心高を変数として、直線近似を行い、残差を指標として、加速局面を3つに区分する区分点1(4.4 ± 0.9歩目)と区分点2(14.1 ± 2.0歩目)を特定した。また、区分点1前後における身体重心高の特異的な変化は下肢が担い、区分点2前後の身体重心高の変化には頭部や体幹部の姿勢が大きく影響していることが分かった。

研究課題2-2では、加速疾走における疾走速度の増加とともに、どのように疾走動作が変化するかについて明らかにした。研究課題2-1で特定した区分点1では、ステップ頻度の増加が頭打ちとなり、区分点1の次の1歩で、接地位置が身体重心の前方へ移り、支持期における膝関節の屈曲が始まり、支持時間の減少が一時的に停滞するといった特徴的な変化が生じることが明らかになった。研究課題2-1で特定した区分点2前後では、各変数の変化は急激ではないものの、体幹部が直立に近い姿勢で安定し、股関節の支持期における伸展角速度や屈曲伸展変位が減少するといった特徴的な変化が見られた。これらのことは、研究課題2-1で特定した区分点の妥当性を示すものであり、加速疾走におけるトランジション現象が特異的な動作の変化として評価できることを示している。支持脚の3つのセグメントの水平速度への貢献から、各加速区間における加速方略の違いを検討した結果、第1加速区間は大腿および下腿、第2加速区間は大腿、下腿、足部、第3加速区間は下腿および足部が速度の増加を担っていることがわかった。一方、各加速区間における変数の変化率を指標として加速能力と

の関係を検討した結果、第1加速区間では、支持脚大腿部の後方へのスイング、第2加速区間では支持期における膝関節の伸展角速度を減少させ、下腿の前方への回転を促進させながら、ステップ長を増加させること、第3加速区間では、支持期における下腿や足部の前方への回転を促進させることが効果的な加速に重要であることが明らかになった。

研究課題3-1では、19名の男子短距離選手を対象に、60m走の後に4種類の鉛直ジャンプテスト(Squat Jump: SJ, Counter Movement Jump: CMJ, Rebound Jump: RJ, Ankle rebound Jump: AJ)を行わせ、それらの値と研究課題1-2で取得した1歩ごとの加速度との関係を検討した。その結果、SJとCMJの跳躍高は5歩目から15歩目まで、AJのインデックスは14歩目から19歩目まで、加速度との間に有意な正の相関があった。これらの結果から、第2加速区間ではSJやCMJに代表される下肢全体による大きな伸展力-パワーの発揮能力、第3加速区間ではAJに代表される足関節の底屈による反動的な力-パワーの発揮能力が体力特性として加速能力向上に重要であることが明らかになった。

研究課題3-2では、21名の男子短距離選手について、身体各部分(身長、肩峰高、大腿長、下腿長、足長、前足長、後足長、足趾長、前足後足長比)の長さを計測した。そして、それらの値と研究課題1-2で取得した1歩ごとの加速度との関係について検討した。その結果、第2加速区間において、足長、前足長、足趾長と加速度との間に有意な正の相関があり、第3加速区間において前足長、前足後足長比と加速度との間に有意な正の相関があった。これらのことから、足長、前足長、足趾長が長いことは第2加速区間における加速に有利であり、前足長が長いこと、前足後足長比が高いことは第3加速区間において加速に有利な形態的特性であることがわかった。

本研究の結果から、100m走のパフォーマンス向上に取り組む場合、加速局面が3つに区分されることを理解し、それぞれの区間において効果的に加速できるように、ステップ長やステップ頻度への意識を変化させるとともに、重要となる動作や姿勢を参考として高い最高速度に達することができる効果的な加速を養成することが有効と考えられる。また、加速区間ごとに必要な体力特性が異なることを認識し、改善すべき加速区間に即したトレーニング手段を選択する必要がある。形態的特徴(部分長)を変えることは容易ではないが、本研究で加速能力に対して重要性が示された長い足長などの特徴はソールの固いスパイクを使用するといった策を講じることで対応できる可能性がある。これらのことから、本研究で明らかとなった知見は、レースの組み立てやトレーニングの方向性を決定する際の一助となろう。