

学位論文要旨

歩行およびランニングからのストップ動作に関する
バイオメカニクス的研究

広島大学大学院 教育学研究科

文化教育開発専攻

富永 亮

目次

第 1 章 諸言	………… (1)
第 1 節 研究の背景と意義	
第 2 節 バイオメカニクス的手法を用いたストップ動作の分析	
第 3 節 本研究の目的	
第 2 章 速度の変化がストップ動作の地面反力に及ぼす影響	………… (3)
第 1 節 目的	
第 2 節 方法	
第 3 節 結果	
第 4 節 考察	
第 3 章 速度の変化がストップ動作の姿勢に及ぼす影響	………… (4)
第 1 節 目的	
第 2 節 方法	
第 3 節 結果	
第 4 節 考察	
第 4 章 速度の変化がストップ動作の筋活動に及ぼす影響	………… (5)
第 1 節 目的	
第 2 節 方法	
第 3 節 結果	
第 4 節 考察	
第 5 章 総合考察	………… (6)
第 1 節 本研究の成果と意義	
第 2 節 今後の課題	

引用文献

第1章 諸言

第1節 研究の背景と意義

バスケットボール，ラグビー，サッカーなどの競技スポーツでは，緩急のあるランニング，方向転換，ストップなど様々な動作が行われる．これらの動作には，身体の色度を落とす減速が含まれる．制御を保ちながら効率的に減速できるようになれば，次の動作への準備，方向転換，新しい方向への加速にかかる時間をより長くとれるようになるため (Cook, 2011)，必然的に，相手と適度な距離をとったり，相手より有利な位置でボールを受ける機会を多く得ることができる (Kovacs et al., 2008)．また，競技中の選手の動きは，歩行，遅いランニング，ランニング，スプリントの繰り返しであり (Dwyer and Gabbett, 2012)，常に一定の色度から減速が行われることはほとんどないため，いろいろな色度から減速できる能力は，高い競技パフォーマンスを発現するための重要な要因になると考えられる．特にストップ動作は，減速する能力の優劣が動作全体に大きく影響するため，身体の色度方を解析することが望まれている．

第2節 バイオメカニクス的手法を用いたストップ動作の分析

ストップ動作に関する研究は，バイオメカニクス的手法のうち，地面から受ける外力（地面反力）を計測する地面反力法，記録された映像から座標を読み取り，座標データに変換する動作計測法，筋の収縮時に観測される電気信号を計測する筋電図法が用いられ，2歩で停止したときに前方に踏み出した1歩目（Lead limb）とその1歩目を踏み出したときの支持脚（Trail limb）が分析対象として扱われている．以下に，ストップ動作の分析で使用された3つの方法（地面反力法，動作計測法，筋電図法）での報告を記した．

地面反力を検討した報告によると，通常色度の歩行と比べ，歩行からのストップ動作における Trail limb では前方成分と鉛直成分が歩行より小さく，Lead limb では後方成分と鉛直成分が大きかった (Jaeger and Vanitchatchavan, 1992)．歩行色度を増加させた場合，Trail limb の後方成分は変化しないが，Lead limb の後方成分は増大した (Bishop et al., 2002)．以上の報告から，ストップ動作において，Lead limb の後方成分が減速に関与していることが示唆された．しかし，これらの研究では，地面反力の前後方向の成分における最大ピークなどの変数のみがいられ，着地してから最大ピークが生じ

るまでの時間，後方成分の力積，内外側成分については検討されていない．また，歩行よりも速いランニングからのストップ動作の地面反力については検討されていない．

姿勢を検討した報告によると，全身の質量中心（Center of mass: COM）は，停止するまで圧力中心（Center of pressure: COP）の後方に位置し，COMの前方への水平速度は，Lead limbの片脚支持期において急激に減速し，全体の約70%が減少した（Jian et al., 1993）．以上の報告から，COMの位置を後方に維持するための姿勢の調節が行われ，Trail limbよりLead limbにおける身体の使い方が減速に関与していることが示唆された．しかし，速度の変化の影響，体幹および下肢の関節角度に関する検討は少ない．また，地面反力と同様，ランニングからのストップ動作の姿勢については検討されていない．

筋活動を検討した報告によると，通常速度の歩行と比べ，歩行からのストップ動作におけるTrail limbではヒラメ筋の活動が抑制され，前脛骨筋の活動が活発になったが，Lead limbではヒラメ筋の活動が活発になり，前脛骨筋の活動が抑制された（Hase and Stein, 1998）．歩行速度を増加させた場合，中臀筋，ハムストリング，ヒラメ筋の活動時間は大きく，活動開始は早まる傾向がみられた（Bishop et al., 2004）．以上の報告から，股関節周囲および下肢の筋活動の活動時間や活動開始時間などが減速に関与していることが示唆された．しかし，積分筋電図や整流化平均値については検討されていない．また，地面反力や姿勢と同様，ランニングからのストップ動作の筋活動に関する検討は少ない．

第3節 本研究の目的

歩行からのストップ動作は，これまでに地面反力法，動作解析法，筋電図法を用いて詳しく検討されている．しかし，ランニングからのストップ動作に関する研究は少なく，競技スポーツで求められる技術的要素については十分に明らかにされていない．競技スポーツにおけるストップ動作の技術的要素を明らかにするためには，速度や歩数の違いがストップ動作の技術的要素に及ぼす影響について検討する必要がある．

本研究では，歩行およびランニングから素早く止まるストップ動作をとり上げ，速度の変化が地面反力，姿勢，筋活動に及ぼす影響を，バイオメカニクス的手法を用いて検討することにより，ストップ動作の技術的要素を明らかにすることを目的とした．

第2章 速度の変化がストップ動作の地面反力に及ぼす影響

第1節 目的

本章では、速度の変化がストップ動作の地面反力に及ぼす影響について、地面反力法を用いて検討することにより、ストップ動作における速度の変化と地面反力の関連性を明らかにすることを目的とした。

第2節 方法

被検者は、定期的にスポーツや身体活動に参加していた健康な男子大学生10名とし、直進動作、2歩でのストップ動作、1歩でのストップ動作の3つの課題を行った。直進動作は、歩行およびランニングから一定の速度で直進した。2歩でのストップ動作は、歩行およびランニングから右足、左足の順に着地させ、その両脚で停止した。1歩でのストップ動作は、歩行およびランニングから右足を着地させ、その片脚のみで停止した。歩行およびランニングの速度は、1.5m/s から 3.5m/s まで 0.5m/s ごとに5つの速度を設定し、1.5 m/s, 2.0m/s は歩行、2.5m/s, 3.0m/s, 3.5m/s はランニングとした。地面反力の計測には、60cm×40cm の地面反力計1台を使用し、右足が着地したときの外側、内側、後方、鉛直の4つの成分の最大ピーク、および着地の瞬間から最大ピークが生じるまでの時間（最大ピーク到達時間）、後方成分の力積などを分析した。

第3節 結果および考察

後方成分の最大ピークは、ストップ動作の方が直進動作より大きく、速度の増加に伴って増大したことから、ランニングからのストップ動作の減速にも後方成分の最大ピークが関与していると考えられた。鉛直成分の最大ピークは、直進動作とストップ動作にかかわらず速度の増加に伴って増大したが、課題間で違いはみられなかった。さらに、鉛直成分の最大ピーク到達時間は、ストップ動作の方が直進動作より小さく、直進動作と異なり、後方および鉛直成分の最大ピークは、ほぼ同じタイミングで生じていた。速度の増加に伴う後方成分の増大は、被検者が移動する方向（前方）に回転させる作用を強める原因となるが、鉛直成分の最大ピーク到達時間は、この回転作用の抑制に関与していると考えられた。外側成分の最大ピークは、1歩でのストップ動作の方が直進動作および2歩でのストップ動作より大きかったのに対し、内側成分の最

大ピークは、2歩でのストップ動作の方が直進動作および1歩でのストップ動作より大きかった。2歩でのストップ動作の基底面は、両足が地面に接触している部分を結んだ範囲全体であり、COMから離れた位置に着地するため、内側成分が大きかったと考えられた。一方、1歩でのストップ動作の基底面は、右足と地面が接触している部分のみであり、COMから近い位置に着地するため外側成分が大きかったと考えられた。後方成分の力積においては、ストップ動作の方が直進動作より大きく、速度の増加に伴って増大した。また、全ての速度条件において、2歩でのストップ動作は1歩でのストップ動作の約87%であった。このことから、2歩でのストップ動作は、2歩目の減速で完全に停止したと推測された。

第3章 速度の変化がストップ動作の姿勢に及ぼす影響

第1節 目的

本章では、速度の変化がストップ動作の姿勢に及ぼす影響について、動作計測法を用いて検討することにより、ストップ動作における速度の変化と姿勢の関連性を明らかにすることを目的とした。

第2節 方法

被検者は、定期的にスポーツや身体活動に参加していた健康な男子大学生10名とした。実験手順のうち、課題と速度は、第2章と同様に行った。姿勢への影響を検討するため、反射マーカを各被験者の肩峰、大転子、大腿骨遠位外踝、腓骨遠位外踝、踵、つま先の計6箇所に貼付し、300frames/sに設定した高速度カメラ4台で各課題を撮影した。画像データから、着地の瞬間と後方成分の最大ピーク時における体幹および下肢の関節角度を分析した。

第3節 結果および考察

後方成分の最大ピーク時において、下腿角度はストップ動作の方が直進動作より小さく、ストップ動作は速度の増加に伴って減少したが、直進動作は速度の増加に伴って増大した。股関節角度は、ストップ動作の方が直進動作より大きかったのに対し、膝関節角度は、ストップ動作の方が直進動作より小さかった。股関節および膝関節角

度は、直進動作とストップ動作にかかわらず速度が速いほど大きかった。ストップ動作では、直進動作より股関節を屈曲、膝関節を伸展し、下腿を地面に対して鋭角にすることで COM を COP より後方に維持していると考えられた。また、速度の増加に対しては、股関節および膝関節を屈曲し、下腿を後傾させることで COM の低い姿勢をとり、安定性を高めていると考えられた。着地の瞬間においても後方成分の最大ピーク時と同様の傾向がみられたことから、着地の瞬間からこれらの関節を適切に調整する必要があると考えられた。また、着地の瞬間における股関節および膝関節角度は、1歩でのストップ動作の方が2歩でのストップ動作より大きく、1歩でのストップ動作では、COM が低い姿勢をとることで姿勢の安定性を確保していると考えられた。

第4章 速度の変化がストップ動作の筋活動に及ぼす影響

第1節 目的

本章では、速度の変化がストップ動作の筋活動に及ぼす影響について、筋電図法を用いて検討することにより、ストップ動作における速度の変化と筋活動の関連性を明らかにすることを目的とした。

第2節 方法

被検者は、定期的にスポーツや身体活動に参加していた健康な男子大学生 5 名とした。実験手順のうち、課題は、第 2 章と同様に行った。筋活動の導出には、無線型の表面筋電図システムを使用し、股関節周囲（中臀筋）および下肢（内側広筋、外側広筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、ヒラメ筋）の筋の積分筋電図および整流化平均値を分析した。歩行およびランニングの速度は、被検者の任意とし、歩行、遅いランニング、ランニングの自己選択速度とした。結果的に、歩行で約 1.4m/s、遅いランニングで約 1.9m/s、ランニングで約 3.2m/s となり、各速度の実測値に有意差が認められた。

第3節 結果および考察

積分筋電図は、計測した全ての筋において、ストップ動作の方が直進動作より大きく、1歩でのストップ動作の方が2歩でのストップ動作より大きかった。反対に、整流化平均値（筋の活動レベル）においては、課題間で違いはみられなかった。速度の増

加に対しては、直進動作とストップ動作にかかわらず速度が速いほど大きい傾向がみられた。ストップ動作では、積分筋電図の方が整流化平均値より減速に関与し、歩行より速度の速いランニングからのストップ動作ほど重要であると考えられた。また、筋の活動量は、1歩でのストップ動作は、2歩でのストップ動作より大きかった。これは、両脚ではなく、片脚で身体を減速させるとともに、安定した姿勢を維持しなければならないことが関係していると考えられた。さらに、本章の中臀筋の整流化平均値は、1歩でのストップ動作の方が2歩でのストップ動作より大きい傾向がみられた。中臀筋は、股関節の伸筋群の補助と股関節を外転・外旋させる働きがある。1歩でのストップ動作では、中臀筋の整流化平均値が体幹部および全身の姿勢の安定性を確保することに関与していると考えられた。

第5章 総合考察

第1節 本研究の成果と意義

第1項 直進動作とストップ動作の比較

ストップ動作における技術要素としては、速度の増加に伴い、大きな後方への地面反力を発揮させるとともに、同じタイミングで鉛直上向きの地面反力を生じさせることが重要である。これにより、後方成分とは逆向きの回転作用を生じさせ、身体が前方に回転してしまうのを抑制すると考えられた。その時の姿勢としては、着地の瞬間から後方成分の最大ピーク時にかけて、股関節を屈曲、膝関節を伸展し、下腿を地面に鋭角に着地させ、腰部を着地した足部より後方に残すことが重要である。これにより、COMはCOPより後方に維持され、効果的に鉛直成分の回転作用を生じさせることができると考えられた。また、速度の増加に伴い、後方成分の最大ピーク時において、股関節と膝関節を屈曲することで、COMが低い姿勢をとり、倒れにくくすることで、姿勢の安定性を高めていると考えられた。直進動作に比べ、ストップ動作においては、体幹および下肢の筋活動量を増大することにより、増大する衝撃力に耐え、身体を保護していると考えられた。

第2項 2歩と1歩でのストップ動作の比較

2歩と1歩でのストップ動作における技術要素の違いとして、2歩でのストップ動作

では、内側方向への地面反力を発揮させるために、COM から離れた位置に足部を着地させるのに対し、1 歩でのストップ動作では、外側方向への地面反力を発揮させるために、COM から近い位置に足部を着地させることが重要である。これにより、2 歩でのストップ動作では、基底面の大きい安定性の高い姿勢をとることができ、1 歩でのストップ動作では、着地した後、狭い基底面内に COM を最短で移動させることができると考えられた。また、2 歩でのストップ動作において、COM の水平速度の大部分は 1 歩目で減少していることから、1 歩でのストップ動作と同様、1 歩目で身体を停止させる意識が重要であると考えられた。一方、1 歩でのストップ動作においては、股関節と膝関節をより屈曲していることから、COM の低い姿勢をとり、姿勢の安定性を確保していると考えられた。さらに、1 歩でのストップ動作では、特に中臀筋の活動が高ことから、片脚スクワットや多方向ランジなどの機能的エクササイズを練習に取り入れると適切な動作パターンの習得に効果的であると考えられた。

第 2 節 今後の研究課題

本研究では、各課題の姿勢として体幹および下肢の関節角度を検討したが、着地時の足部の向きや上肢の使い方もストップ動作の減速に影響を及ぼしている可能性が考えられる。また、実際の競技スポーツでは、相手や仲間の選手、ボールなどの動きに反応し、素早く止まる場面も多く存在する。このような外的条件に反応して停止するストップ動作については、歩行からのストップ動作において多く検討されているが、ランニングからのストップ動作においては、十分に検討されていない。これらの点について、競技種目ごとに高い競技パフォーマンスを有する選手のデータを集積することにより、各競技に特異的なストップ動作の技術要素を明らかにすることが今後の課題である。

引用文献

- Bishop, M, Brunt, D, Pathare, N, Patel, B (2002) The interaction between leading and trailing limbs during stopping in human. *Neuroscience Letters* 323: 1-4
- Bishop, M, Brunt, D, Pathare, N, Patel, B (2004) The effect of velocity on the strategies used during gait termination. *Gait & Posture* 20: 134-139
- Cook, G (2011) アスレティックボディ・イン・バランス. 石塚利光ほか監修, ブックハウス HD: 東京, pp.205-213
- Dwyer, D, Gabbett, TJ (2012) Global positioning system data analysis: velocity ranges and a new definition of sprinting for field sports athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26: 818-824
- Hase, K, Stein, RB (1998) Analysis of rapid stopping during human walking. *Journal of Neurophysiology* 80: 255-261
- Jian, Y, Winter, DA, Ishac, MG, Gilchrist, L (1993) Trajectory of the body COG and COP during initiation and termination of gait. *Gait & Posture* 1: 9-22
- Jaeger, RJ, Vanitchatchavan, P (1992) Ground reaction forces during termination of human gait. *Journal of Biomechanics* 25: 1233-1236
- Kovacs, MS, Roetert, P, Ellenbecker, TS (2008) Efficient deceleration: the forgotten factor in tennis-specific training. *Strength and Conditioning Journal* 30: 58-69