

井村祥子氏の提出した「クラシックバレエの脚の動作分析 ～ルルベとフェットについて～」と題する本論文は、クラシックバレエで用いられる連続回転動作を代表するフェットターン（以下フェットと略す）についてバイオメカニクスの観点から動作分析を行い、1)連続回転を可能にする身体の使い方を明らかにし、その際の運動強度を推定し、2)簡単な数学モデルを用いてそのターンのコンピュータシミュレーションを行い、回転の速さ及び接地足と床との間の摩擦係数が連続回転を可能にする関節トルク発揮に及ぼす影響を明らかにした。さらに、クラシックバレエで爪先立ちの方法として頻繁に用いられるルルベ・アン・ポワント（以下ルルベと略す）について同様の観点から動作分析を行い、3)クラシックバレエの特徴であるターンアウト（股関節と膝（下腿）関節を外旋位に保つ）と上体を鉛直位に保つことの間に関連があることを初めて明らかにし、加えて1)、2)、3)で得られた知見の意義を述べたものである。

フェットの連続回転の仕組みについては、熟練した7名の女性バレエダンサーの同ターンの動作分析により、既に提唱されていた連続回転を可能にする仕組みについての仮説の妥当性を明らかにした。つまり、ダンサーは支持足の足底が床についているときに、遊脚及びそれと同側の四肢の回転方向へのスイングにより、床から外力として身体に作用する回転方向へのトルクを生み出し、その前の爪先立っての回転で床との摩擦により失われる身体の角運動量を補っていた。これらのことを、3台の高速度映画カメラと1台の床反力計を用い、体幹及び四肢の角運動量の算出及び床反力計から支持足に作用したトルクの鉛直軸成分の算出によって、明らかにした。さらに、仮説では言及されていなかった支持脚側の四肢の役割が明らかになった。フェットでは、上体を観客の正面に向けるに際し、その時間を長くすることが審美性の観点から要求される。支持脚側の肩関節で開いた四肢を水平内転させて閉じる際に発揮される内転トルクの反作用が上体の回転速度の増大を遅らせ、その時間を長くすることに役立っていることが明らかになった。

フェットにおける四肢の運動強度については、四肢の主な関節でのトルク発揮を逆動力学により求め、先行研究で報告されている最大努力での発揮トルクとの比較により、その推定を行った。その結果、一般的には、遊脚とそれと同側の四肢のスイングのための運動強度よりも、支持脚屈伸のための運動強度が高いことが明らかになった。特筆すべきことは、支持脚の屈伸に直接関わりのない同脚股関節外転の発揮トルクも大きいことを明らかにしたことである。これは、遊脚のスイング由来の身体バランスの崩れを防ぐために、上体を遊脚と反対側にずらす必要から生ずることが明らかとなった。その結果、支持脚の屈伸に関わる筋のみならず、股関節外転に関わる筋のトレーニングもこのターンのためのトレーニングとして有効であることが示唆された。

フェットを可能にする身体のトルク発揮に及ぼす回転の速さと支持足と床との間の摩擦係数の影響を、遊脚とそれ以外の身体部分からなる2セグメント数学モデルを用いてコンピュータシミュレーションにより調べた。その際、身体質量中心を通る鉛直軸周りの身体の慣性モーメントと鉛直方向の床反力及び足底の接床面積は、実験で得られた値を簡単な曲線で近似して用いた。また、身体が発揮する鉛直軸方向のトルクのパターンも実験で得られたそれに基づいたが、最大値、最小値及びそれらを結ぶ曲線の傾きは変数とした。

ダンサーがフェットを行った実験条件に近い回転速度と床との摩擦係数を用いて、連続回転が可能になる身体のトルク発揮を調べ、回転が可能となる先の3変数の組み合わせを求め、それらの範囲を確定した。その後、回転の速さと摩擦係数の値を変えて組み合わせ、それに応じた連続回転が可能となる3変数の組み合わせの範囲を確定した。その結果、回転速度が大きくなるに伴い3変数の組み合わせが取れる範囲が狭くなり、実際のターンを行う場合に遊脚の動作のバリエーションが少なくなることが予想された。また、床の摩擦係数が大きくなると遅めの回転は不可能となり、体肢のスイングに必要な関節トルクの実験能力が低いと、それは回転の制限要因になることが明らかになった。

クラシックバレエを特徴づける動作に、ターンアウトと上体を鉛直位に保つことがある。ターンアウトを伴わずに、両足を前後方向に向けて揃えて立つと、股関節で発揮される屈伸トルクは身体の矢状面に垂直な成分のみを持ち、上体（骨盤）を前後方向へ傾ける作用を持つ。一方、ターンアウトして立つと、股関節屈伸トルクの矢状面に垂直な成分は減り、前額面に垂直な成分が増える。後者の成分が上体に及ぼす作用は、左右の股関節での発揮トルクが同様であれば相殺される。よって、両脚の股関節で同様にトルク発揮がされる場合には、ターンアウトにより上体の動揺を軽減できると考えられる。これを作業仮説とし、高速度ビデオカメラと床反力計を用い、ターンアウトした直立位からの脚の屈伸により爪先立つルルベの際に脚の関節で発揮されるトルクを、7名の熟練した女性バレエダンサーについて調べた。その結果、股関節伸展トルクの矢状面に垂直な成分は前額面に垂直な成分に比べて小さく、後者の成分のほとんどは、対側の同成分によって相殺されることが明らかになった。このことから、作業仮説の妥当性が確かめられ、ターンアウトは上体の鉛直位の保持を容易にする機能を持つことが示唆された。クラシックバレエでのターンアウトは審美性の観点から必要とされており、上体の鉛直位の保持も同じ観点から必要とされている。この両者が機能的な関連を持つということが示唆されたことは重要である。

以上のように井村祥子氏の論文は、フェットとルルベというクラシックバレエの代表的な動作2つを取り上げ、主に脚の働きに焦点を当てて動作分析を行い、回転の仕組みとそれに必要な体力水準、足と床との摩擦が回転動作に及ぼす影響、及び審美性の観点から必要とされているターンアウトの機能的意味について新知見を提供した。したがって、本審査委員会は全員一致して、博士（学術）の学位を授与されるにふさわしいと認定した。