

申請者	学科名	情報システム工学科	職名	准教授	氏名	山崎 大河 印
調査研究課題	身体運動における協調構造の研究：筋モデルを用いた解析					
交付決定額	700,000円					
調査研究組織	氏名	所属・職		専門分野	役割分担	
	代表	山崎 大河	情報工学部 情報システム工学科・准教授	生体やロボットの運動制御	研究全般の実施および統括	
	分担者					
調査研究実績の概要	<p>(1) 運動計測からその運動を引き起こした筋活動を推定するための、筋骨格モデルの構築に取り組んだ。筋骨格モデルを用いた筋活動の推定は、主に順モデルを用いる方法と、逆モデルを用いる手法に分かれるが、本研究ではそのうちの後者に着目した。人間の神経系は、その身体制御のために逆モデルを使っている可能性があると考えられているため、逆モデルを求めることは、神経系が行う必要のある計算を理解することにも密接に関連している。また、逆モデルを用いた筋活動の推定には（順モデルを用いた推定に比べて）計算量が少ないという利点もある。しかし、従来の逆モデルの多くでは、速い運動を行う際の筋活動の制約になると考えられる筋の活性化ダイナミクスが考慮されていないことが多いため、これらを考慮した逆モデルの構築を目指した。</p> <p>本研究[成果資料 1, 2]では、肘関節を屈曲・伸展する周期運動および到達運動に着目し、筋の活性化・非活性化ダイナミクスの制約を考慮した逆モデルを用いることで、その実行可能な速度や振幅に与える影響を評価した。具体的には、活性化と非活性化において異なる時定数をもつ筋の活性化ダイナミクスに対して、その解に由来した不等式制約を取り入れた筋張力配分問題を解いた。そして、筋の活性化ダイナミクスを考慮しない条件と考慮した条件の下での筋骨格系の逆モデルに対して、様々な周期や振幅の運動軌道を入力し、出力として得られる筋活動度や運動指令の値を評価することで、運動の実行可能性を推定した。その結果、周期運動と到達運動、いずれにおいても筋の活性化ダイナミクスを考慮した場合は、考慮しない場合より、実行不可能と推定される運動の領域が広がることを示した。また、到達運動において実験的に計測される三相性の筋活動が、活性化ダイナミクスを考慮しない場合は再現できず、考慮した場合には再現できることを示した。</p>					

<p>調査研究実績 の概要</p>	<p>(2) ヒトが肘関節を屈曲・伸展して前腕の周期運動を行うとき、最も「快適」と感じる振幅は周波数の増加とともに小さくなることが知られている。このような振幅の選択は、運動の安定性に関連する可能性が指摘されている。ただし、安定性に関わる、これまでの解析でも、筋の活性化ダイナミクスの影響は簡単のため省略されていた。しかし、筋の活性化ダイナミクスは、筋の活動度や、拮抗筋の共同収縮レベルにも、影響を与える場合があると予想される。そして、その影響は安定性の評価にも及ぶ可能性がある。したがって、運動の安定性の評価に対しても、筋の活性化ダイナミクスの影響の大きさを、明らかにしておく必要がある。</p> <p>本研究[成果資料 3]では、筋モデルを用いた周期運動の安定性解析に対して、筋の活性化ダイナミクスの考慮が与える影響を調べた。そのため上記の(1)で述べた逆モデルの出力によってフィードフォワード的に駆動された筋骨格系の安定性を解析した。解析の結果、筋の活性化ダイナミクスを考慮することによって、運動の安定性がどの程度高く評価される傾向があるのかを具体的に明らかにした。この結果から、特に速度の大きな運動の安定性を評価する際には、活性化ダイナミクスを考慮した筋モデルを用いるべきであることなどが示唆された。</p> <p>(3) 定常歩行運動中の大腿、下腿、足部が矢状面内において鉛直軸となす角度(仰角)を計測し、これらの角度を座標にとった3次元空間中にプロットすると、データはある平面上にほぼのることが知られている。これは歩行の平面法則(planar law)と呼ばれ、身体運動の協調の一例とされている。平面法則は、様々な速度での歩行や走行、斜面での歩行、階段での歩行、膝を曲げた姿勢での歩行、膝と腰を曲げた姿勢での歩行、ハーネスで吊り下げられ重力補償された状態での歩行(air-stepping)、跳躍などでも見られる。平面法則にみられる平面の向きは歩行速度や歩行条件(坂道、階段など)によって変化すること、独立歩行開始期の幼児の歩行における平面性の高さは、より年長の幼児や大人の歩行よりも低いことなどが報告されている。しかし、歩行中の姿勢は歩行速度によって変化することなどから、平面法則のような速度によらない不変性の存在には疑問も呈されており、また、平面法則の起源が神経系の働きにあるのか否かについての議論もなされているなど、その意味するところは必ずしも明確ではない。</p> <p>本研究[成果資料 4]では、平面法則の解析において、データを表現する座標系が解析結果に与える影響を明らかにした。まず、仰角と相互に座標変換(線形変換)可能で、かつ、いずれの座標系に含まれる角度も共通の尺度(degree)で測れるような複数の座標系を系統的に作成し、座標系の取り方の違いが平面法則の成立に与える影響を調査した。その結果、同じ情報をもつデータであっても、座標系の設定によって平面法則の成立状況は大きく変化することを示した。さらに、仰角と同等の情報を含み、仰角よりも高い平面性を生む座標系や低い平面性を生む座標系の具体例を示した。また、座標変換によって平面性の高さが変化する仕組みを数理的な面から考察した。平面性の高さは、データのもつ情報とデータを表現する座標系の性質の両方によって決まること、座標変換はデータの空間的な分布を特定の方向に拡大・縮小させることで平面性の高さを変えることなどを示した。これらの結果は、平面法則に基づく解析結果を解釈する際には、座標系の選択による影響も考慮すべきであることを示している。</p>
<p>成果資料目録</p>	<p>[1] Katsutoshi Idehara, Taiga Yamasaki, Naohiro Nakada and Xin Xin, Influence of Muscle Activation and Deactivation Dynamics on Feasible Forearm Movements, 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Short Papers No. 3345, 2013, July 3-7, Osaka</p> <p>[2] 出原勝利, 山崎大河, 松田啓佑, 中田直宏, 忻欣: 筋の活性化ダイナミクスが肘関節運動の実行可能性に与える影響, 第57回システム制御情報学会研究発表講演会, CD-ROM, 314-3, 2013. 5. 15-17, 兵庫県民会館</p> <p>[3] 中田直宏, 山崎大河, 出原勝利, 忻欣: 筋の活性化ダイナミクスが腕の周期運動の安定性に与える影響, 第46回日本人間工学会中国・四国支部大会, 2013. 12. 8, サテライトキャンパスひろしま</p> <p>[4] 山崎大河, 仲達俊介, 忻欣, 歩行運動の平面法則が成立する座標系について, 計測自動制御学会論文集, Vol. 49, No. 12, pp. 1172-1178 (2013)</p>

