The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	カエル骨格筋のシンクロトロン放射による動的構造研究 : 正弦波筋長変化に伴うX線回折図形の変化
Author(s)	王, 恩忠
Citation	大阪大学, 1990, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/37045
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【63】

氏名・(本籍)	王（おう）　恩（おん）　忠（ちゅう）
学位の種類	工　学　博　士
学位記番号	第　9211　号
学位授与の日付	平成2年3月24日
学位授与の要件	基礎工学研究科物理系専攻 学位規則第5条第1項該当
学位論文題目	**カエル骨格筋のシンクロトロン放射による動的構造研究** **－正弦波筋長変化に伴うX線回折図形の変化－**
論文審査委員	(主査) 教授 三井　利夫 (副査) 教授 葛西　道生　教授 柳田　敏雄　教授 植木　龍夫

論文内容の要旨

等尺収縮中の筋肉の長さを外から変化させると，筋肉中のミオシン頭部をある程度足並みを揃えて動かすことができる。1986年に若林らはシンクロトロン放射光中の強力X線を用い，等尺収縮中のカエル骨格筋の長さを正弦波的に変えてX線回折像の変化を調べ，14.3nm ミオシン子午線反射と，(1，0)及び(1，1)赤道反射の強度が振動的に大きく変化することを見出した。しかし，この際の14.3nm子午線反射強度の変化は振動の1周期に2つのピークを示すなど高調波成分を含んでいた。一般にこの種の実験で高調波成分を小さくするには振幅を小さくすることが有効である。しかし振幅を小さくすると強度変化の測定精度が悪くなる。若林らの場合には筋長変化の振幅が1.0％から2.5％でのデータが含まれていた。今回我々の実験では筋長変化の振幅を筋長の1％とした。その結果，高調波成分をかなりの程度減らすことができた。X線反射の強度変化は周波数と温度の関数として調べた。すなわち，温度は4℃と17℃で，筋長変化の周波数は2,5,10Hz において測定を行った。また，以前の実験結果と比較のため，筋長変化の振幅を3％とした実験も行った。得られた主要な結果は次の如くである。なお以下では簡単のため，14.3nmミオシン子午線反射の強度を$I_{14.3\,nm}$，(1，0)と(1，1)赤道反射の強度をI(1，0)，I(1，1)と記す。

(1) 周波数依存

$I_{14.3nm}$ の変化は2,5,10Hz での測定に対し顕著な周波数依存を示した。17℃では，波形は正弦波に近いものが得られ，張力に対する位相遅れが再現的に観測された。位相遅れは2Hz では小さいが，5Hz で大きくなり，10Hz ではπ／2に近づいた。4℃では，2Hz で正弦波的であったが，5Hz でピークの幅が大きくなり，10Hz ではピークが2つに分裂した。また周波数が高くなるに連

れて，振幅は大きくなり，振動中心を結ぶ線の位置は下降した。

Ｉ（１，０）とＩ（１，１）は近似的に正弦波的な変化を示した。張力に対してＩ（１，０）の変化はほぼ同位相，Ｉ（１，１）の変化はほぼ逆位相で，位相の周波数依存は見られなかった。周波数が大きくなるに連れて振幅が大きくなる傾向があったが，振動中心を結ぶ線の位置は正弦波筋長変化のない場合とほとんど同じレベルにあった。

(2) 温度を１７℃から４℃へ変える効果

$I_{14.3nm}$ の変化は，上記のように，１７℃では2,5,１０Hz で単一のピークを示したが，４℃では５Hz でその幅が大きくなり，１０Hz では２つのピークを示した。その極小値つまり谷の部分は１７℃より４℃で著しく深くなり，振動中心を結ぶ線の位置は下降した。振幅は４℃で大きくなり，2,5,１０Hz で１７℃に比べて平均して約４０％大きくなった。

Ｉ（１，０）とＩ（１，１）の変化では，１７℃に比べて４℃で，振動中心を結び線のレベルはあまり変わらず，振幅は１０％程度大きくなった。

(3) 筋長変化の振幅を１％から３％へ変える効果

$I_{14.3nm}$ の変化の振幅は筋長変化の振幅の増大に連れて大きくなり，どの周波数でも２つのピークを示した。３％では振動中心を結ぶ線のレベルは１％の場合より下がった。

Ｉ（１，０）とＩ（１，１）の変化の振幅は，各周波数での値を平均して，筋長変化の振幅が３％の場合は１％の場合より倍くらい大きくなった。Ｉ（１，１）の変化は特に大きく，かつ振動中心を結ぶ線は下降した。位相については１％と３％で変化は認められなかった。

これらの結果は正弦波筋長変化の際に筋肉内の或る種の分子が非常に大きな粘性抵抗に逆らって運動していることを示す。この或る種の分子がアクチンフィラメントに弱く結合しているミオシン頭部であると仮定して観測結果を説明することができることを議論した。得られた結果を他の研究者による速い筋長変化や遅い筋長変化の実験データと比較しての議論も行った。

論文の審査結果の要旨

筋内の収縮の分子的機構を解明するには，収縮の際にミオシン頭部がどのような動きをするかについての知見が基本的に重要である。そのための一つのアプローチは，筋肉を等尺収縮つまり長さ一定で張力を発生している状態におき，外から筋長を変えることによって，ミオシン頭部に或る程度足並の揃った運動をさせ，その動きをＸ線回折法で調べることである。１９８６年に若林克三等はシンクロトロン放射中の強いＸ線を用い，等尺収縮中のカエル骨格筋の長さを正弦波的に変えると，Ｘ線回折像が比較的大きな周期的変動をすることを見出した。しかし，そのときの回折強度の変化は大きな高調波成分を含み，結果の解析は困難であった。本論文は若林等の研究を引きついだものであるが，筋長変化の振幅を小さく全長の１％におさえ，高調波成分を小さくしている。その結果多くの回折ピークの強度変化が正弦波的になり，回折図形の変化における位相遅れ等が明瞭に観測されることとなった。

測定にはシンクロトロン放射中の強いX線を用いている。時間分解能は10ms 程度であった。詳しい測定はミオシン由来の１４.３nm 子午線反射と（１，０），（１，１）赤道反射について行った。正弦波筋長変化の周波数は2,5,１０Hz で，測定温度は４℃と１７℃であった。１４.３nm 子午線反射強度は著しい周波数依存を示した。１７℃では，波形は正弦波に近く，張力に対する位相の遅れの周波数依存が顕著であった。すなわち，位相遅れは２Hz では小さく，５Hz では増大して，１０Hz ではπ／２に近づいた。４℃では，２Hz で正弦波的であったが，５Hz でピークの幅が大きくなり，１０Hz ではピークが２つに分裂した。また，周波数が上るにつれ，また温度が下がるにつれて，振幅は大きくなった。赤道反射（１，０）と（１，１）の変化はどの周波数，どの温度でも近似的に正弦波的であった。張力に対して（１，０）はほぼ同位相，（１，１）はほぼ逆位相で，位相の周波数依存は見られなかった。

これらの結果は，筋長変化の際に或る種の分子がアクチンフィラメントに沿い，大きな粘性抵抗に逆らって運動していることを示す。本論文ではこの分子がアクチンフィラメントに弱く結合しているミオシン頭部であると仮定して，観測結果をよく説明できることを示した。また，これらの結果をふまえて，他の研究者による速いステップ状の筋長変化や遅い筋長変化の実験データについての議論も行っている。

本論文は筋収縮の分子的機構に関する重要な知見を報じており，また筋肉の動的構造解析の方法論の上からも示唆に富むものである。よって学位論文に値するものと認める。