アワビミオシンの限定分解

浅川 哲 弥, 東 尚 巳

(1989 年 9 月 4 日受付)

Proteolytic Digestion of Myosin from Abalone *Haliotis discus*
Smooth Muscle.

Tetsuya Asakawa* and Naomi Azuma*

Abalone myosin was digested with proteases, (trypsin, chymotrypsin, nagarse, papain) in the presence of CaCl_2 or EDTA. The time course of the digestion and the properties of degradation products were investigated by SDS-polyacrylamide gel electrophoresis.

In the presence of CaCl_2 , myosin light chains were not digested, but in the presence of EDTA, regulatory light chains disappeared at first, followed by SH light chains.

Heavy meromyosin (HMM) was obtained by tryptic and chymotryptic digestion of abalone myosin. These HMM had multiple cleavages in the heavy chain (HC) region.

Subfragment-1 (S1) was also obtained by chymotryptic, nagarse and papain digestion and by tryptic digestion in the presence of EDTA. The molecular weight of S1 HC was 90~100 kilodalton (kD). Papain S1 obtained in the presence of CaCl_2 had a single HC (94 kD) and two light chains, but other S1 had intra-cleavages in the HC region.

These results indicate that abalone myosin has protease sensitive region whose cleavage leads to HMM or S1, like skeletal muscle myosin, homogeneous S1 preparation is obtained by digestion with papain.

ミオシン分子は ATPase 活性部位及びアクチン結合部位を含む双頭の頭部と、フィラメント形成能を持つ長い尾部からなる巨大分子である。このミオシン分子は様々なプロテアーゼにより限定分解され、頭部を含む水溶性分画と、尾部を含む不溶性分画が得られる。トリプシン¹⁾ やキモトリプシン²⁾ による分解の結果、ウサギミオシンは、双頭の頭部を持つヘビーメロミオシン (HMM) とライトメロミオシン (LMM) に分かれる。またこの HMM は、トリプシン³⁾ やキモトリプシン⁴⁾ によって球状の頭部であるミオシンサブフラグメント 1 (ミオシン S1) と首の部分であるミオシンサブフラグメント 2 (ミオシン S2) に分解される。さらに、ミオシンをパペインによって処理すると、ロッドと呼ばれるミオシン S2 と LMM のつながったフラグメントとミオシン S1 が得られる。⁵⁾ このように異なるプロテアーゼにより、様々なミオシンのフラグメントが得られ、異なる条件下でのその分解の様子から、ミオシン分子の構造の特徴についての知見が得られている。

最近になり、軟体動物のミオシンから HMM やミオシン S1 の調製が報告されている。⁶⁻⁸⁾ 我々は、さらに、アワビ平滑筋からミオシンを調製し、その酵素的な性質について報告した。¹⁰⁾ さらに、アワビミオシンのパペイン処理により、ミオシン S1 を調製しその性質を報告している。¹¹⁾ この報告では、 Ca^{2+} イオン (Ca) 及び EDTA 存在下に於てパペインを含め、さらに 3 種類 (トリプシン、キモトリプシン、ナガラーゼ) のプロテアーゼでアワビ平滑筋ミオシンを限定分解し、その生じた分解生成物の性質について報告する。

実験材料および方法

実験材料として、北海道産のエゾアワビ *Haliotis discus* の腹足筋 (平滑筋) を用いて実験を行った。

アワビ平滑筋ミオシンは、先報¹⁰⁾ に述べた方法で、調製した。得られたミオシンは、50% グリセリン溶液とし、 -20°C で保存した。

ミオシンのプロテアーゼによる分解は、6 mg/ml ミオ

* 北海道教育大学旭川分校 (Hokkaido University of Education at Asahikawa, Hokumoncho, Asahikawa, Hokkaido 070, Japan).

略語: EDTA, ethylenediamine tetraacetate. PMSF, phenyl methyl sulfonyl fluoride. kD, kilodalton.

EGTA, ethylene glycol bis(2-aminoethylether)-N,N,N',N'-tetraacetate.

シン, 50 mM KCl, 20 mM Tris-maleate (pH 7.0), 20°C の条件下で, Ca 存在下 (0.1 mM EGTA, 0.2 mM CaCl₂) 或は, EDTA 存在下 (1 mM EDTA) で行なった。ミオシンに対する各プロテアーゼの重量比, 反応時間は, 各図の説明に記した。用いた重量比, 反応時間は, Ca 存在下のナガーゼ処理において, ミオシン HC (210 kD) がほぼ消失する条件, 即ちミオシン: ナガーゼ=1: 500, 30 分間の反応を基準とした。しかし, トリプシン処理の場合, 酵素活性が強いため, 反応時間を 10 分とした。また, キモトリプシン処理の場合は, 逆に酵素活性が低かったので, ミオシンとの重量比を 1: 100 とした。タンパク質分解反応を停止するために, トリプシンに対しては 1.3 倍重量の大豆トリプシンインヒビターを加え, キモトリプシン, ナガーゼに対しては, 0.3 mM PMSF, パパインに対しては, 0.3 mM ヨード酢酸を加えた。得られた反応混液は, 15,000 rpm, 10 分間遠心し, 沈殿と, 水溶性画分に分けた。水溶性画分は固体硫酸を加えて 70% 飽和とし, 生じた沈殿を 15,000 rpm, 10 分間遠心して集めた。得られた沈殿は, 少量の 50 mM KCl, 20 mM Tris-maleate (pH 7.0) を加えて溶かし, 同液で平衡化した Sephacryl S-300 カラム (1.5×20 cm) でゲルろ過した。このカラムのボイド容量は, 25 ml, カラム容量は, 86 ml であった。

SDS-ポリアクリルアミドスラブゲル電気泳動 (SDS-PAGE) は, Porzio-Pearson の方法¹²⁾に従って, 10% ゲルで行った。電気泳動したサンプル量は, プロテアーゼ処理による生成物の時間変化を調べる場合 (Fig. 1, 3, 5 7), 20 µg であった。プロテアーゼ処理後の生成物の分離過程の電気泳動 (Fig. 2, 4, 6, 8) では, 反応停止後の全生成物, 水溶性画分, それらと等量になるように水を加えて懸濁した沈殿, カラムからの溶出ピークの分画から, それぞれ 0.1 ml を取り出して電気泳動サンプルを調製後, 5 µl を電気泳動に供した。電気泳動後, ゲルを Coomassie brilliant blue R-250 で染色した。

タンパク質濃度は, ビューレット法¹³⁾を用いて, 540 nm の吸光度を測定し, 牛血清アルブミンをスタンダードとして比色定量した。

用いたプロテアーゼのうちトリプシン, キモトリプシン, パパインはシグマ社, ナガーゼは長瀬産業より購入した。

実験結果および考察

アワビミオシンのトリプシン処理 Fig. 1, a, b にそれぞれ, Ca 及び EDTA 存在下でのトリプシンによるアワビミオシンの分解の時間経過を SDS-PAGE で示した。Ca 存在下では, ミオシン重鎖 (HC) は 186 kD (kD), 180 kD を経て約 10 分でほぼなくなり,

主要な断片として 152 kD, 78 kD, 68 kD, 63 kD, 59 kD が生成した。ミオシン軽鎖 (LC) の LC1, LC2 は, 10 分後にもはっきり見られた。EDTA 存在下では, HC は Ca 存在下よりも早くなり, 9 分後には, 主要な断片として 152 kD, 89 kD, 68 kD, 59 kD, 19 kD などが生成していた。この場合 LC はまず調節軽鎖 (LC2) が 1 分以内に消失し, 数分のうちに SH 軽鎖 (LC1) もほとんど消失した。

Fig. 2, a, b には, Ca 及び EDTA 存在下でのトリプシン分解生成物の分離過程を SDS-PAGE で示した。Ca 存在下の反応全生成物 (T) は, 遠心して不溶性沈殿 (P) と低イオン強度の溶媒に溶ける可溶性の上清 (S) に分離された。この沈殿と上清に含まれるタンパク質の重量比は, 40: 60 であった。この上清を硫酸分画で濃縮しゲルろ過をすると, ボイド容量付近 (26 ml) にシャープなピークがみられた。このピーク (H) には 167 kD, 152 kD, 78 kD, 68 kD, 63 kD, 59 kD 及び LC1, LC2 が含まれており, 内部切断をうけた HMM が生成したと考えられる。一方, EDTA 存在下では生じた沈殿 (P) と上清 (S) に含まれるタンパク質の重量比は, 49: 51 であった。ゲルろ過では Ca 存在下の場合と同様な大きさの断片を含む内部切断をうけた HMM (溶出容量 27 ml) (H) のシャープなピークが見られたが, さらに 38 ml 付近にやはりシャープなピークがみられた。このピーク (S1) には 89 kD, 68 kD, 19 kD が含まれており, 内部切断を受けたミオシン S1 であろうと考えられる。ともに LC は失われていた。

キモトリプシン処理 Fig. 3, a, b にそれぞれ, Ca 及び EDTA 存在下でのキモトリプシンによるアワビミオシンの分解の時間経過を示した。Ca 存在下では HC は次第に断片化していき, 24 分後では主要な断片として 175 kD, 150 kD, 100 kD, 89 kD, 76 kD, 50 kD などが生成した。LC1, LC2 は 24 分後にも分解されていなかった。EDTA 存在下では, HC は Ca 存在下より多くの断片が生じ, 30 分後には主要な断片として 133 kD, 89 kD, 76 kD, 68 kD, 62 kD, 50 kD, 47 kD, 42 kD, 39 kD, 37 kD などが生成していた。LC は 6 分以内にすべてが消失した。ここにデータは示さないが, 時間経過の細い観察によると, LC2 のほうが LC1 より先に消失していた。

Fig. 4, a, b に, Ca 及び EDTA 存在下でのキモトリプシン分解生成物の分離過程を SDS-PAGE で示した。Ca 存在下では, 反応停止後の全生成物 (T) には 20 本ほどのバンドがみられた。全生成物のうち, 遠心後の沈殿 (P) と上清 (S) に含まれるタンパク質の重量比は, 52: 48 であった。その上清 (S) をゲルろ過すると, 2 つのシャープなピークがみられた。まずボイド容量付近 (27

Fig. 1. Time course of the trypsin digestion of abalone myosin.

Abalone myosin was digested with trypsin (1: 500 by weight ratio) in the presence of 0.1 mM CaCl_2 (panel a) or 1 mM EDTA (panel b). M, abalone myosin; Mf, rabbit myofibril; HC, myosin heavy chain; C, C-protein; α , α -actinin; A, actin; TN-T, troponin-T; TM, tropomyosin; TN-C, troponin-C; RLC1, 2, 3, rabbit myosin light chain 1, 2, 3; LC1, LC2, abalone myosin light chain 1, 2

The numbers above and on the side of the gel indicate the digestion time (min) and molecular weight (kD), respectively.

Fig. 2. SDS-gel electrophoresis of fractions from trypsin digestion of abalone myosin.

Abalone myosin was digested with trypsin (1: 500 by weight ratio) in the presence of 0.1 mM CaCl_2 (panel a) or 1 mM EDTA (panel b) for 10 min. M, abalone myosin; Mf, rabbit myofibril; T, total digestion product; P, precipitate of the centrifugation; S, supernatant after the centrifugation; H, abalone heavy meromyosin; S1, abalone subfragment-1

The numbers on the side of the gel indicate molecular weight (kD).

*, + indicate the fragments which consisted of HMM and S1, respectively.

Fig. 3. Time course of the chymotrypsin digestion of abalone myosin.

Abalone myosin was digested with chymotrypsin (1: 100 by weight ratio) in the presence of 0.1 mM CaCl_2 (panel a) or 1 mM EDTA (panel b).

Other specifications are the same as in Fig. 1.

Fig. 4. SDS-gel electrophoresis of fractions from chymotrypsin digestion of abalone myosin.

Abalone myosin was digested with chymotrypsin (1: 100 by weight ratio) in the presence of 0.1 mM CaCl_2 (panel a) or 1 mM EDTA (panel b) for 30 min.

Other specifications are the same as in Fig. 2.

ml) に, 175 kD, 160 kD, 71 kD, 68 kD, 62 kD, 55 kD 及び LC 1, LC 2 が含まれたピーク (H) がみられた。内部切断を受けた HMM が生成したと考えられる。また, 38 ml 付近に 100 kD, 89 kD, 26 kD 及び LC 1, LC 2 を

含むピーク (S 1) がみられ, 内部切断を受けたミオソシン S 1 であろうと考えられる。一方, EDTA 存在下でも, やはり 20 数本のタンパク質バンドがみられた。遠心後の沈殿 (P) と上清 (S) に含まれるタンパク質の重量比

Fig. 5. Time course of the nagarse digestion of abalone myosin.

Abalone myosin was digested with nagarse (1: 500 by weight ratio) in the presence of 0.1 mM CaCl_2 (panel a) or 1 mM EDTA (panel b).

Other specifications are the same as in Fig. 1.

Fig. 6. SDS-gel electrophoresis of fractions from nagarse digestion of abalone myosin.

Abalone myosin was digested with nagarse (1: 500 by weight ratio) in the presence of 0.1 mM CaCl_2 (panel a) or 1 mM EDTA (panel b) for 30 min.

Other specifications are the same as in Fig. 2.

は、55:45であった。この上清 (S) のゲルろ過では 2 つのピークがみられた。ボイド容量付近の比較的小さなピーク (H) (25 ml) には、89 kD, 76 kD, 68 kD, 62 kD, 50 kD, 47 kD, 42 kD, 39 kD が含まれ、内部切断をうけ

た HMM が生成したと考えられる。さらに、39 ml 付近の大きな第 2 ピーク (S1) には 89 kD, 71 kD が含まれており、これはミオシン S1 であろうと考えられる。ともに LC は失われていた。

Fig. 7. Time course of the papain digestion of abalone myosin.

Abalone myosin was digested with papain (1: 500 by weight ratio) in the presence of 0.1 mM CaCl_2 (panel a) or 1 mM EDTA (panel b).

Other specifications are the same as in Fig. 1.

Fig. 8. SDS-gel electrophoresis of fractions from papain digestion of abalone myosin.

Abalone myosin was digested with papain (1: 500 by weight ratio) in the presence of 0.1 mM CaCl_2 (panel a) or 1 mM EDTA (panel b) for 30 min.

Other specifications are the same as in Fig. 2.

ナグゼ処理 Fig. 5, a, b にそれぞれ, Ca 及び EDTA 存在下でのナグゼによるアワビミオシンの分解の時間経過を示した。Ca 存在下では, HC は次第に消失し, 30 分後では主要な断片として 156 kD, 133 kD,

112 kD, 101 kD, 89 kD, 78 kD, 66 kD, 58 kD, 54 kD, 24 kD などが生成した。LC 1, LC 2 は 30 分後にも分解されていないかった。EDTA 存在下では, トリプシン, キモトリプシンの時と同様 HC は Ca 存在下より多くの

断片が生じ、30分後には主要な断片として156 kD, 133 kD, 101 kD, 89 kD, 78 kD, 71 kD, 66 kD, 58 kD, 24 kDなどが生成していた。LCはまずLC2が6分以内に消失し、その後LC1も徐々に分解していき、24分後には消失した。

Fig. 6, a, bに、Ca及びEDTA存在下でのナガゼ分解生成物の分離過程をSDS-PAGEで示した。Ca存在下での反応全生成物(T)には、23本ほどのタンパク質バンドがみられた。全生成物のうち、遠心後の沈殿(P)と上清(S)に含まれるタンパク質の重量比は、69:31であった。上清(S)をゲルろ過をすると1つの大きなピークのみがみられた。ボイド容量から遅れた36 ml付近に89 kD, 66 kD, 24 kD及び、LC1, LC2を含むピーク(S1)がみられ、内部切断を受けたミオシンS1であろうと考えられた。一方、EDTA存在下の反応生成物(T)では遠心後の沈殿(P)と上清(S)に含まれるタンパク質の重量比は、81:19であった。可溶性の上清(S)のゲルろ過により、Ca存在下の場合と同様に、ボイド容量から遅れてピーク(S1)(38 ml)が得られた。このピークは、Ca存在下の場合より小さく、89 kD, 66 kDが含まれ、ミオシンS1であろうと考えられた。LCはともに失われていた。

パバイン処理 Fig. 7, a, bにそれぞれ、Ca及びEDTA存在下でのパバインによるアワビミオシンの分解の時間経過を示した。Ca存在下では、HCは次第に分解していき、30分後ではまだHCが残っていたが、主要な断片として160 kD, 140 kD, 120 kD, 106 kD, 94 kD, 82 kD, 66 kD, 52 kDなどが生成した。LC1, LC2は、30分後にも分解されていなかった。EDTA存在下では、HCからはCa存在下と似た大きさの断片が生じ、30分後の主要な断片としては160 kD, 140 kD, 120 kD, 106 kD, 94 kD, 82 kDなどが認められた。LCはまずLC2が6分すぎに消失し、その後LC1も徐々に分解していた。

Fig. 8, a, bに、Ca及びEDTA存在下でのパバイン分解生成物の分離過程をSDS-PAGEで示した。Ca存在下の分解では、反応停止後の全生成物(T)には他のプロテアーゼの場合より少ない10本のタンパク質バンドがみられた。この遠心後の沈殿(P)と上清(S)に含まれるタンパク質の重量比は、76:24であった。この上清(S)には94 kDの主成分のほか160 kD, 156 kD, 52 kD及びLC1, LC2が見られ、これをゲルろ過すると、ボイド容量から遅れた36 ml付近に94 kD及び、LC1, LC2を含む1つの大きなピーク(S1)がみられた。これはミオシンS1であろうと考えられる。一方、EDTA存在下では、Ca存在下より多くのタンパク質バンドがみられ、遠心後の可溶性の上清(S)には94 kD, 52 kD,

47 kDのバンドが主としてみられた。全生成物のうち、遠心後の沈殿(P)と上清(S)に含まれるタンパク質の重量比は、88:12であった。この上清のゲルろ過により、Ca存在下の反応の場合と同様に、ボイド容量から遅れた38 mlに小さなピークが得られた。このピーク(S1)には、94 kD, 52 kDが含まれていることがわかり、ミオシンS1であろうと考えられる。LCはともに失われていた。

Ca及びEDTA存在下という条件の違いは、LCの分解の様子に明らかに現れた。即ち、Ca存在下ではLC1, LC2共に分解を受けないのに対し、EDTA存在下ではまず先にLC2が消失し、その後LC1が次第に分解を受けるという傾向が4種類のプロテアーゼ全てについて観察された。同様の観察が、Szentkiralyiら⁶⁾、Staffordら⁷⁾によってホタテガイ類筋原線維のパバイン処理、またKonnoら⁹⁾によってホタテガイミオシンのキモトリプシン処理において報告されている。軟体動物のミオシン(とくに、ホタテガイ、アカザラガイ)の調節軽鎖は10 mM EDTA処理によってHCから解離し、カルシウム感受性が失われる事が知られている。^{14,15)} アワビミオシンの場合も、ホタテガイミオシンほど容易ではないが、EDTA処理及びEGTA処理によって調節軽鎖(LC2)が解離する。^{*}従って、EDTA存在下では調節軽鎖とHCの結合が緩み、調節軽鎖がプロテアーゼに分解されやすくなると思われる。

一方、Ca存在下ではLC2が分解されにくい部分を外側に出しLC1を被うようにHCとかたく結合しているためにLCの分解が起こらないものと思われる。Hardwickeら¹⁰⁾は、ホタテガイ類ミオシンを脱感作して調節軽鎖を除くと初めてSH軽鎖の3つのSH基がSH試薬でラベルできることを報告している。また、Ashibaら¹⁷⁾は、ホタテガイミオシンのSH軽鎖の交換は、脱感作ミオシンの方が容易であり、調節軽鎖の存在がSH軽鎖の交換を阻害することを報告している。これらは、LC2がLC1にオーバーラップして存在しているという推定を支持する結果である。

HCの分解について、各プロテアーゼにより生成するフラグメントの種類をSDS-PAGEで調べると、Ca存在下とEDTA存在下で較べた場合、両条件下で共通にみられるフラグメントも多いが、一方の条件下にのみみられるフラグメントも存在した。また可溶性画分のゲルろ過により得られるピークを分析することにより、次のことがわかった。トリプシンにより、Ca存在下ではHMMが生成するが、EDTA存在下では、HMMの他ミオシンS1も生成した(Fig. 2)。キモトリプシンでは、Ca存在下ではミオシンS1に100 kDと89 kDが含ま

^{*} 未発表。

れているのに対し, EDTA 存在下でのミオシン S1 には 89 kD と 71 kD が含まれ, また HMM においても内部分解が進んでいた (Fig. 4)。ナガーゼでは, 24 kD が生成するが, Ca 存在下では, これが不溶性画分中であらわれ, EDTA 存在下では, 可溶性画分に含まれていた。このことは同じ 24 kD でも Ca 存在下と EDTA 存在下で得られるものはそれぞれロッド及びヘッ드의分解物であることを示唆する。ババイン分解では, Ca 存在下での 94 kD, 52 kD の生成がめだっていた。HC の分解に対する Ca 存在下と EDTA 存在下の違いは, 主として EDTA 存在下における LC の消失によるものと考えられる。

4 種のプロテアーゼによって得られるミオシンの分解生成物の違いを可溶性画分をゲルろ過して得られる HMM とミオシン S1 に注目して比べてみた。ゲルろ過を行なった結果, 可溶性画分には HMM とミオシン S1 の存在することが明らかとなった。

HMM は, トリプシン及びキモトリプシンによる分解によって得られた。Ca 存在下で得られたトリプシン HMM では 152 kD の HC と 78 kD, 68 kD, 63 kD, 59 kD などのバンドを持ち, キモトリプシン HMM では 175 kD, 160 kD の HC と 68 kD から 39 kD の低分子量成分を含んでいた。ともに EDTA 存在下で得られた HMM は LC を含まず, 内部切断が進み低分子量成分の量が増えていた。

ミオシン S1 はミオシンのトリプシンによる EDTA 存在下での分解及びキモトリプシン, ナガーゼ, ババインによる処理で得られた。トリプシンミオシン S1 は 89 kD, 68 kD, 19 kD を含んでいた。68 kD, 19 kD は 89 kD の内部切断生成物であろう。キモトリプシンミオシン S1 では, 89 kD が主成分であるが, Ca 存在下では 100 kD, EDTA 存在下では 71 kD がみられた。ナガーゼミオシン S1 では, 89 kD, 66 kD, 24 kD のバンドがみられ, ババインミオシン S1 では, 94 kD のバンドのみが得られた。すなわち得られたミオシン S1 の HC の分子量は, トリプシン, キモトリプシン, ナガーゼによる分解では 89 kD であったが, ババインでは, 94 kD であった。Ca 存在下で得られた軟体動物ミオシン S1 の HC の分子量は 90~100 kD⁶⁻⁹⁾であり, ウサギ骨格筋ミオシンと同じような大きさのミオシン S1 が得られることからアワビミオシンを含めて, 軟体動物ミオシンには骨格筋ミオシンと同じようなプロテアーゼに敏感な領域が存在することが推定された。

また, トリプシンミオシン S1 (89 kD) にはさらに, 68 kD, 19 kD, ナガーゼミオシン S1 (89 kD) には 66 kD, 24 kD と異なるフラグメントが存在するなど, 生成フラグメントの大きさには違いがみられた。Asakawa

ら¹⁰⁾はアワビババインミオシン S1 のトリプシン分解により, 68 kD, 23 kD のフラグメントの生成を報告し, 68 kD が N 端側, 23 kD が C 端側と推定している。従って, アワビミオシン S1 には, 68 kD と 23 kD のふたつのドメインが存在し, さらにこれらにはプロテアーゼの作用を受けやすい領域が存在することが示唆された。

またナガーゼおよびババインによる EDTA 存在下でのミオシン S1 の生成量は, Ca 存在下と比べ, SDS 電気泳動図のバンドも薄く, カラムからの溶出ピークの 280 nm の吸光度も小さいので, Ca 存在下より少なかった。さらにそのミオシン S1 の LC は消失していた。

このように, Ca または EDTA 存在下という異なる条件下で 4 種の異なるプロテアーゼをアワビミオシンに作用させることにより得られた水溶性画分をゲルろ過することにより, アワビミオシンから HMM またはミオシン S1 が生じることがわかった。このことから, アワビミオシンはウサギ骨格筋ミオシンと同じようにプロテアーゼの作用を受けやすい領域を持ち, よく似た構造を持つことが示唆された。さらにミオシン S1 に含まれる生成フラグメントの大きさは, プロテアーゼの種類によって少し違いがみられたが, 68 kD と 23 kD の 2 つの主要なフラグメントが存在し, 2 つのドメイン構造の存在が示唆された。しかし, ウサギ骨格筋ミオシン S1 のような 25 kD, 52 kD, 20 kD の 3 つのドメイン構造は見られず, アワビミオシン S1 の構造についてはそのプロテアーゼに対する感受性がウサギ骨格筋ミオシン S1 と異なることが示唆された。

文 献

- 1) A. G. Szent-Györgyi: *Arch. Biochem. Biophys.*, **42**, 305-320 (1953).
- 2) J. Gergely: *J. Biol. Chem.*, **200**, 543-550 (1953).
- 3) H. Muller and S. V. Perry: *Biochem. J.*, **85**, 431-439 (1962).
- 4) M. Onodera and K. Yagi: *J. Biochem.*, **69**, 145-153 (1971).
- 5) S. Lowey, S. Slayter, A. G. Weeds, and H. Baker: *J. Mol. Biol.*, **42**, 1-29 (1969).
- 6) E. M. Szentkiralyi, A. G. Szent-Györgyi, and J. Kendrick-Jones: *J. Mol. Biol.*, **74**, 179-203 (1973).
- 7) W. F. Stafford, E. M. Szentkiralyi, and A. G. Szent-Györgyi: *Biochemistry*, **18**, 5273-5280 (1979).
- 8) S. Kamiya, B. Yoshitomi, K. Konno, and S. Watanabe: *J. Biochem.*, **98**, 149-156 (1985).
- 9) K. Konno and S. Watanabe: *J. Biochem.*, **98**, 141-148 (1985).
- 10) 浅川哲弥, 東 尚巳: *日水誌*, **53**, 1243-1249 (1987).
- 11) T. Asakawa and N. Azuma: *J. Biochem.*,

- 103, 667-671 (1988).
- 12) M. A. Porzio and A. M. Pearson: *Biochim. Biophys. Acta*, **490**, 27-34 (1977).
- 13) J. W. Pelley, C. W. Garner, and G. H. Little: *Anal. Biochem.*, **86**, 341-343 (1978).
- 14) 浅川哲弥: 北海道教育大学紀要第二部 A, **37**, 65-73 (1980).
- 15) K. Nishita, T. Ojima, and S. Watanabe: *J. Biochem.*, **88**, 663-673 (1979).
- 16) P. M. D. Hardwicke, T. Wallimann, and A. G. Szent-Györgyi: *J. Mol. Biol.*, **156**, 141-152 (1982).
- 17) G. Ashiba and A. G. Szent-Györgyi: *Biochemistry*, **24**, 6618-6623 (1985).