

淡水産橈脚類 *Sinodiaptomus valkanovi* KIEFER に おける筋繊維の透過電子顕微鏡学的研究

富 川 哲 夫*

Morphological studies of Muscle minute structure in Transmission

Electron Microscope with Fresh water Copepod,

Sinodiaptomus valkanovi KIEFER

Tetsuo TOMIKAWA

1. 緒言

淡水産橈脚類の筋繊維の透過電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscope 以下 TEM と略す) による研究は, *Acanthocyclops vernalis* と *Cyclops strenus* については, パリのエコール高等師範学校生物学教室の Bouligand (1962, 1963) と, 北アメリカ産の *Macrocyclus albidus* については, ハーバード大学医学部の Fahrenbach (1963) により行われている。

筆者は今回, 淡水産橈脚類 *Sinodiaptomus valkanovi* KIEFER の筋繊維の微細構造を観察し, 若干の見解が得られたので報告する。この研究を進めるに当たっては, 神戸大学理学部助教授高橋永治博士の終始変わらぬご懇切なご指導と, さらに本論文のご校閲までいただいた。また夙川学院長・夙川学院高等学校長増谷勲先生には, 本研究の遂行に当たって格別なご配慮とご支援をいただいた。ここに両先生に対し記して心から厚く御礼申し上げる。

2. 材料と方法

材料は1985年7月末, 神戸市垂水区の溜池より採集した *Sinodiaptomus valkanovi* KIEFER を用いた。試料の作製については固定 (前固定, 後固定)・脱水・包埋・薄切・染色を行ってから観察したが, 以下試料の作製について簡単に述べる。

前固定には25%グルタルアルデヒドを, 0.07M のリン酸緩衝液で, 最終濃度5%, pH7.2にしたものを用いた。採集直後の新鮮な材料を4℃で2時間固定した後, 3回リン酸緩衝液で洗った。その後1%オスミウム酸水溶液 (OsO₄) を用い, 4℃の下で, 2時間固定した。

脱水にはエタノールを用い, 30%・50%・70%・90%・100%液にそれぞれ20分間ずつ漬け, エタノールを捨てた後, 100%アセトンで数回洗った。包埋にはつぎの用法で調合したエポン樹脂を用いた。まずA・B2液をつくる。

A液	Epon 812	62ml
	DDSA	100ml
B液	Epon	100ml
	MNA	89ml

そして4℃で保存する。A液は軟らかく, B液は硬い。使用に当たってA液とB液を混合するが混合比は1:1で使用した。両液を混合するときは, 予め40℃に加温して粘性を下げた。まず, 初めに材料を100%アセトンと, エポン混合液の1:1の液に12時間 (室温) 浸し, 次に, 混合比を1:3にした後に12時間, さらにエポン混合液のみに12時間 (4℃) 浸し, 材料に十分樹脂を浸透させた後にカプセルに移し, 45℃, 12時間, 次いで60℃, 12時間加熱し, 樹脂を重合させた。でき上がった材料は室温で保存した。薄切にはガラスナイフを使い, ウルトラミクロトーム (ライヘルト OmU・2型) を使って薄切した。薄切した切片は, メッシュに張りつけ, 酢酸ウラニル1%溶液で30分間染色した後, TEM (JEM-100B型) で観察した。観察は4000~15000倍で行った。

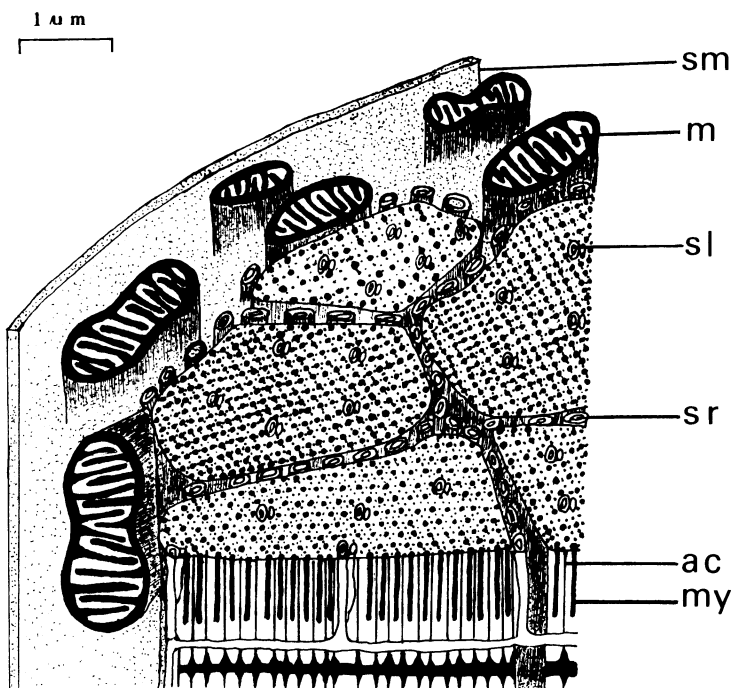
3. 結果

TEM の観察結果を写真1~3に示した。

また, これらの結果から横紋筋繊維の構造を模式的に図1に示した。

写真1は横紋筋繊維の横断面 (×4000) を撮ったもので, 不定形または台形の筋原繊維が多数認められる。筋原繊維の直径は大小さまざまで, 細かいもので1μmか

* 夙川学院高等学校



記号説明

- ac : アクチンフィラメント
- m : ミトコンドリア
- my : ミオシンフィラメント
- sl : 筋小管
- sm : 筋繊維膜
- sr : 筋小胞体

図1 *Sinodiaptomus valkanovi* における筋繊維の微細構造

ら太いもので5μm程度までである。写真2は、これらの横紋筋繊維の横断面をさらに拡大(×15000)したものである。この写真にみられるごとく、筋原繊維と筋原繊維との間には、結合組織からなる筋原繊維鞘によって分けられている。これらの筋原繊維には、比較的太いミオシンフィラメント(直径約100Å,長さ1.5μm)と、細いアクチンフィラメント(直径約50Å,長さ2μm)が交互に規則正しく並んでいる(写真2)。また、これらの筋原繊維の横断面には、それぞれ数個の筋小管(sarcotubula longitudinal)が認められる。さらに筋原繊維と筋原繊維のすき間には、多数の筋小胞体(sarcoplasmic reticulum)が観察される(写真2)。写真3は筋繊維膜(sarcoplasmic membrane)内部の一部を拡大(×7500)したものである。多数のミトコンドリア(mitochondria)が筋繊維膜に沿って存在し、クリスタ特有の形態がみられる。

4. 考察

筋繊維は、動物の筋組織を構成する繊維状の構造をつくり、その代表的なものは横紋筋である。一般的には1~数個の核をもち、細胞質は筋形質とよばれる収縮性の強い一定の方向に走る筋原繊維によりなっている。この筋原繊維の横紋の有無によって横紋筋と平滑筋とに大別される。本種の筋原繊維は、直径50~100Åのフィラ

メント(原繊維)からなり、このフィラメントは収縮性の強いタンパク質よりなっている。この筋原繊維は、筋原繊維鞘とよばれる薄い膜によって囲まれ、この膜はT系(T system)と、筋小胞体とからなる、筋小管系(sarcotubular longitudinal system)を構成している。この、T系の機能は未だ不明な点も多く、筋繊維膜から、すべての筋原繊維に活動電流を速く伝えることにあるらしく、したがって筋小胞体そのものは、Ca²⁺の働きと、筋そのものの代謝に直接関係しているものと考えられている。この度の研究で、筋繊維には予想を越える多数のミトコンドリアが存在していることが判った(図1,写真3)。細胞呼吸におけるATPの生成機構に関与し、筋収縮に必要なエネルギーを供給するミトコンドリアの空間部分は、マトリクスとよばれ、ここにはATP合成酵素や、電子伝達系酵素など、さまざまな呼吸酵素を含んでいると考えられている。

本種の筋原繊維の横断面のミオシンフィラメントと、アクチンフィラメントの形態および筋小胞体の構造はBouligand(1962, 1963)および, Fahrenbach(1963)の報告と、ほぼ同様な結果が得られた。また、本種の筋繊維膜(sarcoplasmic membrane)の電顕像は、明らかに三層構造が認められるが、この三層構造が、はたしてタンパク質-脂質-タンパク質からなるものか、または、脂質-タンパク質-脂質かについては、今後の検

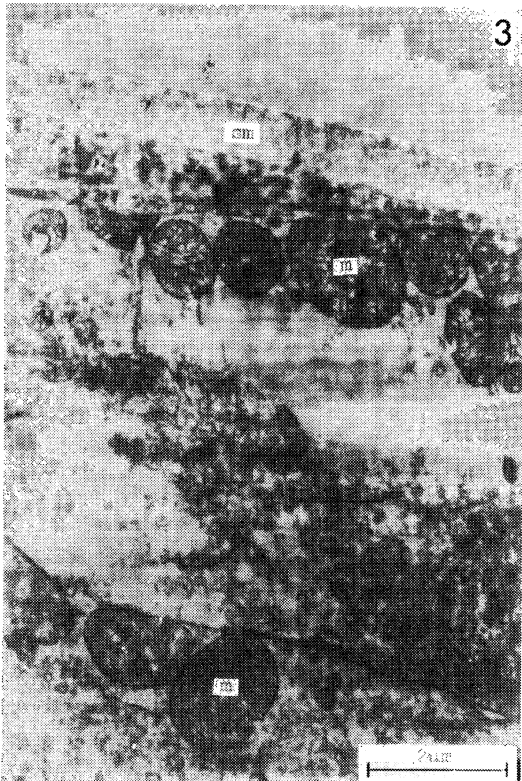
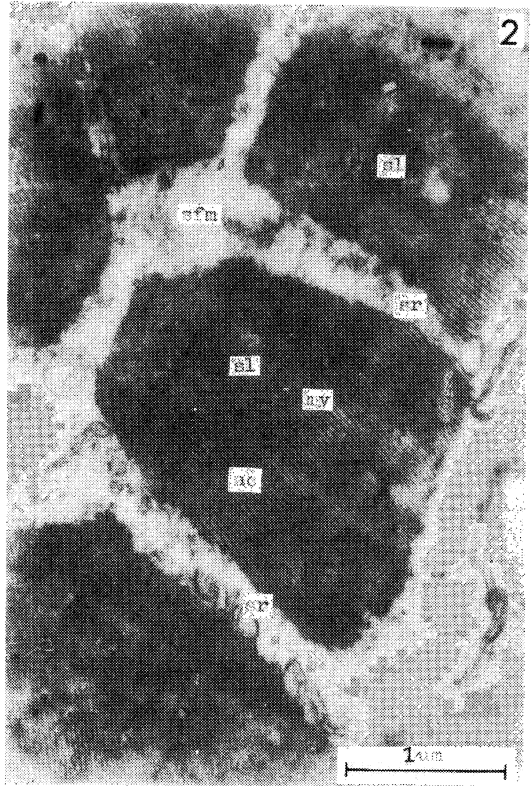
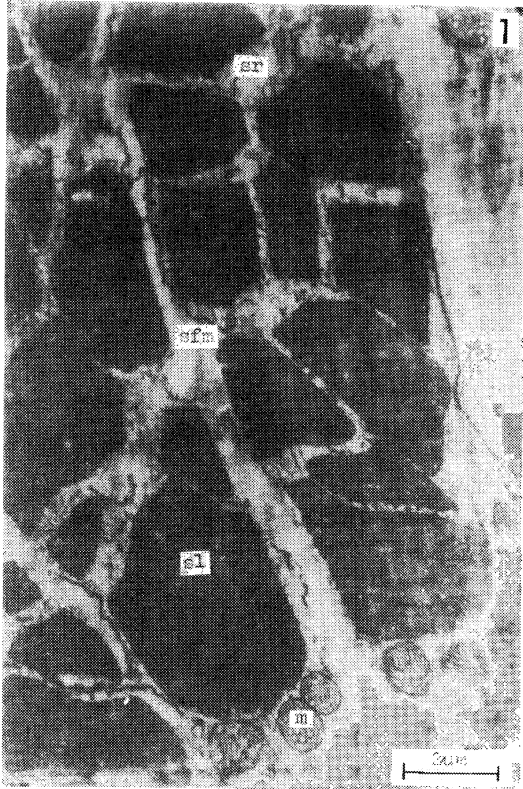


図2. *Sinodiaptomus valkanovi* の筋繊維の透過電子顕微鏡写真

- 写真1. 筋繊維×4,000
 2. 筋原繊維×15,000
 3. 筋繊維膜×7,500

記号説明

- ac : アクチンフィラメント
 m : ミトコンドリア
 my : ミオシンフィラメント
 sfm : 筋原繊維鞘
 sl : 筋小管
 sm : 筋繊維膜
 sr : 筋小胞体

討課題でもある。

5. 摘要

淡水産橈脚類 *Sinodiaptomus valkanovi* KIEFER における筋繊維（筋細胞）の微細構造について、透過電子顕微鏡学的研究を行った。

(1) 研究材料は、新鮮なものを用い、特に胸腹部背側横紋筋を観察した。

(2) 筋繊維を構成する筋原繊維の直径は $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ までのものが多く、その横断面の形態は不定形または台形を示すものが多い。筋原繊維には比較的太いミオシンフィラメント (100\AA) と、細いアクチンフィラメント (50\AA) が交互に規則正しく存在している。

また、筋原繊維の中には、筋小胞体や、筋小管系などの微細構造が認められた。

(3) 筋繊維膜の構造は、三層構造が認められ、その内面には多数のミトコンドリアが存在している。

6. 引用文献

- (1) Bouligand, Y (1962) : Les ultrastures du muscle strie et de ses attaches au squelette ches les *Cyclops* (crustaces copepodes). J. Microscopie, I. 377-394.
- (2) Bouligand, Y (1963) : Les ultrastructures du musculaires des copepodes II. Membrane sarcoplasmique, reticulum sarcoplasmique et jonction neuro-musculaire chez les *cyclops*. J. Microscope, 2, 197-212.
- (3) Fahrenbach, W. F., (1969) : The sarcoplasmic reticulum of striated muscle of a Cyclopoid Copepod. J. Cell. Bioll., 17. 629-640.
- (4) Gonony, W. F., (1969) : Review of medical physiology. 松田幸次郎・市岡正通・八木欽治共訳, 医科生理学展望 p.1-559. 東京丸善.
- (5) 東昇・遠山益 (1979) : 電子顕微鏡学実習. p.1-283. 東京共立出版.
- (6) 小林佐太郎・和久義久 (1976) : 現代生物学的通説. p.1-245. 東京ドメス出版.
- (7) Sandborn, E. B., (1973) : Cell and Tissues by light and electron Microscopy. Muscle., p.284-333. 牧田登之訳. 東京大学出版会.
- (8) 富川哲夫 (1984) : 走査電子顕微鏡による淡水プランクトンの研究. (I)兵庫生物. 8, 5, 271-274.
- (9) 富川哲夫 (1985) : 走査電子顕微鏡による淡水プランクトンの研究. (II)特に微細構造について. 兵庫生物. 9, 1, 6-10.
- (10) 富川哲夫 (1986) : 淡水産橈脚類 *Sinodiaptomus*

valkanovi KIEFER の内部形態に関する研究. (I) 筋肉系について. 兵庫生物. 9, 2, 65-72.

- (11) 富川哲夫 (1987) : 淡水産橈脚類 *Sinodiaptomus valkanovi* KIEFER の内部形態に関する研究. (II) 神経系ならびに生殖系について. 兵庫生物. 9, 3, 137-142.