

## ミドリムシに対する強磁場の影響

著者	谷本 能文, 泉 俊輔, 吉田 耕一, 鈴木 友恵, 藤原 好恒, 平田 敏文, 山田 外史, 伊藤 喜久男
雑誌名	環境科学会誌 = Environmental science
巻	13
号	1
ページ	61-67
発行年	2000-02-29
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/48636">http://hdl.handle.net/2297/48636</a>

doi: 10.11353/sesj1988.13.61

## ミドリムシに対する強磁場の影響

谷本 能文\*・泉 俊輔\*・古田 耕一\*・鈴木 友恵\*・藤原 好恒\*・  
平田 敏文\*・山田 外史\*\*・伊藤 喜久男\*\*\*

### 摘 要

ミドリムシに対する強磁場の影響について研究した。生きているミドリムシは、水平方向の勾配強磁場(380 T<sup>2</sup>m<sup>-1</sup>)中では、高磁場方向に移動する(正の走磁性)。一方、EDTAで殺したミドリムシは、低磁場側に集まった。8 Tの均一磁場では走磁性は見られなかった。強磁場中のミドリムシの顕微鏡観察の結果、ミドリムシは磁場とほぼ垂直方向に配向して泳ぎ、また殺したミドリムシも磁場配向していた。ミドリムシの正の走磁性は、ミドリムシの磁場配向とミドリムシにかかる不均一な磁気力の2つを考慮することにより説明された。

キーワード：ミドリムシ，走磁性，磁場効果，勾配磁場

### 1. はじめに

最近、人体が磁場に曝される機会が著しく増大している。例えば、最近流行の携帯電話の受話部表面での磁場は0.01 T程度、文房具として使われているマグネットボタンの表面磁場は0.05 T程度等である(1 T=10,000 ガウス)。医療診断用として普及しているMRI(核磁気共鳴イメージング)では、0.5 T程度の磁場を使っている。また、現在開発中のリニアモーターカーや、研究用に用いられるようになったシンクロトロン放射光源・核融合実験炉などでは数 Tの強磁場が使われている。これらの磁場は、地磁気(0.00005 T程度)と比べると著しく強いことから、磁場の生体に対する影響が心配されている。我が国では、「環境科学シンポジウム 1988」で磁場・電場環境の生体影響が取り上げられるなどこの問題が早くから注目されてきている<sup>1)</sup>。また、外国においても、磁場の生物に対する影響についてはこれまで種々の研究が報告されている<sup>2)</sup>。

我々は種々の化学反応に対する磁場影響について研究しその機構を解明してきた<sup>3,4)</sup>。そして、磁気化学的立場から、生物に対する磁場の影響を理解することを試みてきている<sup>5,6)</sup>。静磁場の生物個体に対する影響に関する最近の研究例としては、アフリカツメガエルの受精卵を6.34 Tの磁場中で保温しその

後の胚発生を観察したが受精卵からは正常なオタマジャクシがふ化した<sup>7)</sup>、ショウジョウバエの突然変異が8 Tの磁場により対照群と比べて1.8倍増大した<sup>8)</sup>、ショウジョウバエの体細胞組換えスポットが5 Tの磁場により自然紫外線の2~4倍に相当する程度増加した<sup>9)</sup>などがある。これらの報告からも明らかなように、磁場が生物の個体死や細胞死を引き起こすといったような顕著な影響を与えることはほとんどないものと考えられるが、生体に対する磁場影響の全貌については未解明のままである。

我々は、磁場による影響を高感度に検出するために、(1) 強磁場を用い、(2) 生物の「行動」を検出指標に使うことなどの方法により、磁場の生体影響を解明するための研究を進めてきている。ミドリムシは生物学的・生理学的機能がよく研究されている体長数10 μmの単細胞生物であり、超伝導磁石中の小さなスペースでの研究に最適と思われる<sup>10)</sup>。また、ミドリムシの磁場配向の研究が報告されているもの<sup>11,12)</sup>、その行動に対する磁場影響については、全く研究されていなかった。そこで生物個体に対する強磁場影響を探るために、今回ミドリムシを例に検討した。その結果、ミドリムシは勾配磁場中に置くと高磁場方向に集まるという正の走磁性を示すことが初めて見出された。この走磁性の原因は、ミドリムシの磁場配向とミドリムシにかかる不均一な磁気力

1999年7月19日受付，1999年11月2日受理

\* 広島大学大学院理学研究科数理分子生命理学専攻，〒739-8526 東広島市鏡山1-3-1，

\*\* 金沢大学工学部附属電磁場制御実験施設

\*\*\* 金属材料技術研究所極限場研究センター

の2つにより起こるものと推察された。

## 2. 実験

ミドリムシ (*Euglena gracilis* Z) は、滅菌した Cramer-Myers 培地中 25°C 明所で 2~3 週間培養して用いた<sup>13)</sup>。実験に用いたミドリムシの濃度は、溶液の見かけの吸光度により決めた。シャーレと NMR 管を使った観察実験では、2 mm の光路長のとき 675 nm での吸光度が約 0.15 になるように、また特殊顕微鏡システムによる実験では吸光度が約 0.05 になるようにミドリムシの濃度を調節した。また、必要に応じて、ミドリムシを含む水溶液に濃度が 10 mM になるようエチレンジアミン四酢酸 (EDTA) を加えてミドリムシを殺した。

水平磁場の影響の実験には、水平方向に直径 50 mm × 長さ 375 mm のボアチューブを持つ超伝導磁石 (オックスフォード社, SM-1000, 最大磁場 9 T) を用いた。また、垂直磁場の影響の実験には、垂直方向に直径 100 mm × 長さ 665 mm のボアチューブをもつヘリウムフリー超伝導磁石 (住友重機社, HF-10, 最大磁場 10 T) を用いた。それぞれの磁石のボアチューブ内の磁場強度分布と試料の置かれた位置の概略を図 1 に示す。ボアチューブ中の磁場の中心からの距離  $z$  での勾配磁場強度を磁場強度 ( $B(z)$ ) とその場所での磁場勾配 ( $dB(z)/dz$ ) の積 ( $B(z) \cdot dB(z)/dz$ ) と定義すると、オックスフォード社製超伝導磁石では、 $z=50$  mm の位置で、住友重機社製磁石では  $z=56$  mm で勾配磁場強度が最大であり、それぞれ約  $380 \text{ T}^2\text{m}^{-1}$  と約  $350 \text{ T}^2\text{m}^{-1}$  であった。なお、均一磁場中の実験は、オックスフォード社製超伝導磁石の中心 (均一度  $2.2 \times 10^{-2}$  (中心から  $\pm 20$  mm 以内)) で行なった。

走磁性の観察実験では、ミドリムシを含む水溶液 3 ml を入れた直径 30 mm のシャーレ、あるいはミドリムシを含む水溶液で完全に満たされた直径 5 mm × 長さ 180 mm の蓋付き NMR 管を 12 時間ボアチューブ内に放置後、ボアチューブから取り出して写真撮影した。

水平磁場内でのミドリムシの行動は特殊顕微鏡ファイバースコープにより“その場”観察した。ミドリムシを含む水溶液で満たした厚さ 2 mm × 幅 12.5 mm × 長さ 45 mm の蓋付き石英セルをボアチューブ内におき、ハロゲンランプからの光を光ファイバーでボアチューブ内に導き視野部を照明した。そして、ファイバースコープを取り付けた特殊顕微鏡により磁場内でのミドリムシの挙動を観察し、8 mm ビデオカメラにより観察結果を記録した。拡大倍率は 750 倍程度である。

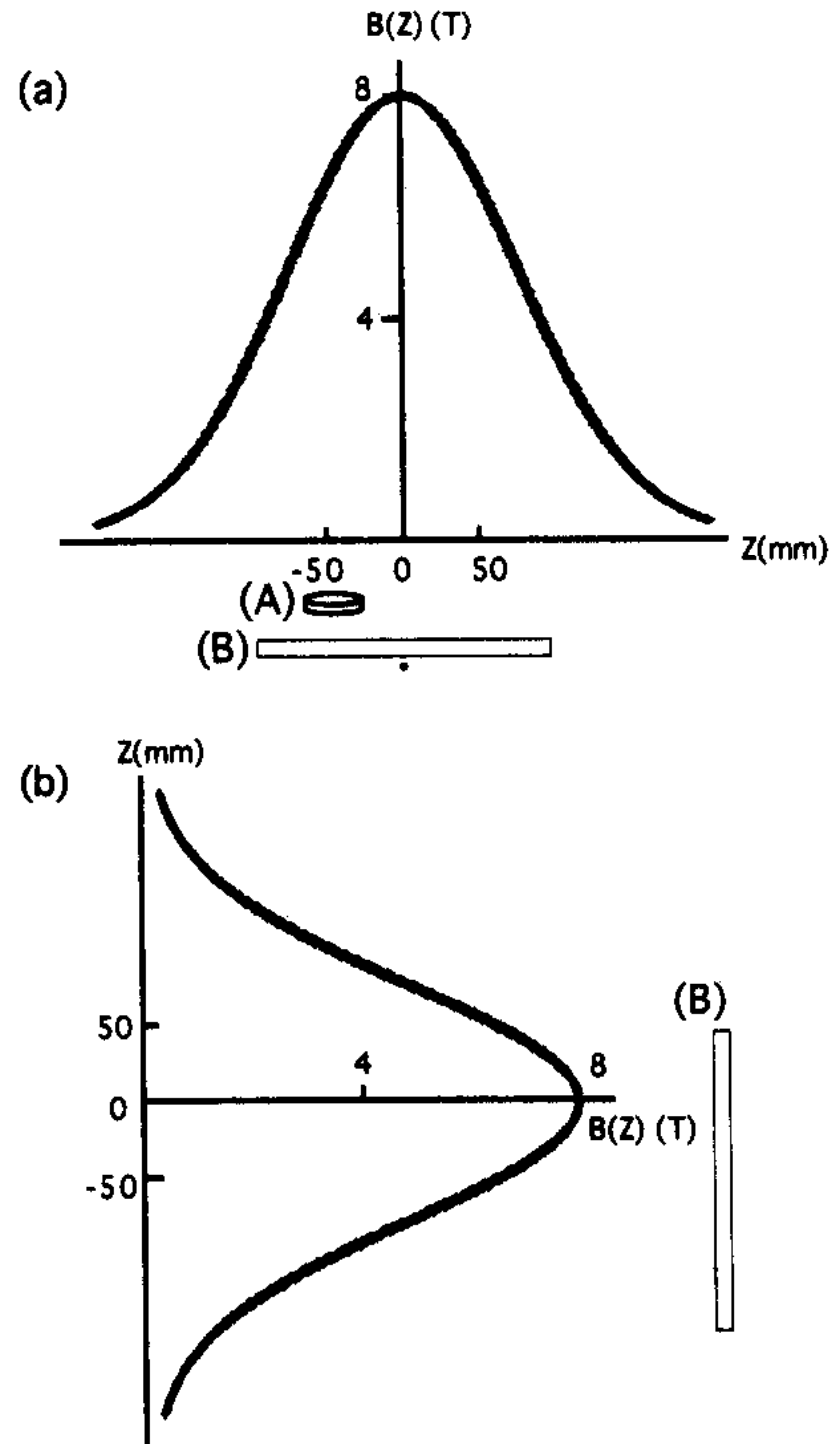


図 1 超伝導磁石 磁場強度の分布  
(a)水平磁場 (b)垂直磁場 図中AとBはそれぞれシャーレ・石英セルと NMR 管の設置した位置を示す

水平磁場中の実験は数 10 回の繰り返し実験により、また垂直磁場中の実験は 3 回の繰り返し実験により、それぞれの実験結果の再現性を確かめた。

## 3. 結果

### 3.1 水平磁場の影響

ミドリムシは鞭毛・核・眼点・葉緑体等をもつ体長  $50 \mu\text{m}$  ほどの単細胞生物である<sup>10)</sup>。鞭毛運動により鞭毛のある方向へ、または体を伸縮させるユーグレナ運動により移動する。

直径 30 mm のシャーレにミドリムシを入れ、水平磁場の影響を調べた。生きているミドリムシをゼロ磁場と勾配磁場強度が約  $380 \text{ T}^2\text{m}^{-1}$  の勾配強磁場中に 12 時間置いた後、シャーレを取り出しミドリムシの分布を観察した (図 2)。写真 (a), (b), (c) の中央部を横方向にスキャナーでトレースして、縦軸を相対濃度 (黒化度) で表した図をそれぞれ (d),



(e), (f) に示す。ゼロ磁場ではミドリムシはシャーレ内に均一に分布したが (図 2 (a, d)), 勾配強磁場中ではミドリムシは高磁場方向に偏った (図 2 (b, e))。勾配磁場中に約 1 時間放置後にはミドリムシの偏りが見られた。また, 勾配磁場強度約  $50 \text{ T}^2\text{m}^{-1}$  以上の磁場で偏りが見られた。一方, 8 T の均一磁場ではこのような走磁性は見られず, 均一に分布していた。更に, EDTA により殺したミドリムシを勾配

強磁場中におくと低磁場側に片寄った (図 2 (c, f))。つまりミドリムシを構成している体組織は反磁性であるにも関わらず, 生きているミドリムシは何らかの方法で磁場を感じ磁場の強い方に移動していることが分かった。

図 2 の実験ではシャーレの上部に空間があり磁場中で水溶液それ自身が動くことも考えられる。この点を検討するために, 水溶液の流動の起こりにくい密閉可能な細管 (NMR 管) を使って同様の実験をおこなった。図 3 がその結果である。磁場が無いときには, ミドリムシは細管中にほぼ均一に分布している。一方勾配磁場中では, 磁場の中心付近の濃度が高くなっていることが分かる。液の流動・対流の起こりにくい細管中でも磁場の強い方にミドリムシが移動し, 水溶液の流動によりミドリムシが移動したわけではないことが明白となった。この実験からもミドリムシの走磁性には磁場勾配が必要であることが分かる。一方, 殺したミドリムシでは, 磁場の有無にかかわらず細管中にほぼ均一に分布していた。殺したミドリムシが移動するためには液の対流が必要であり, 細管では対流が起こりにくいためミドリムシは動かなかったものと考えられる。このことから図 2 のシャーレ中の殺したミドリムシ自身で泳ぐ力の無い死んだミドリムシが低磁場側に移動するのは, 液に流動が起こるためと考えられる。

### 3.2 垂直磁場の影響

ミドリムシには重力を感じて移動する走地性という性質がある。走磁性に対する重力の影響を見るために, 垂直磁場中でミドリムシの挙動を観察した。ミドリムシを含む溶液で満たした長さ 180 mm の NMR 管を, (a) 磁石の外と (b) 磁場中心と NMR 管の中心が一致する位置に 12 時間置いたときの結果を図 4 に示す。(b) では NMR 管の中央から上下 5.6 mm のところの勾配磁場強度が約  $350 \text{ T}^2\text{m}^{-1}$  となり, 3.1 の水平磁場の影響の実験から管の中央部

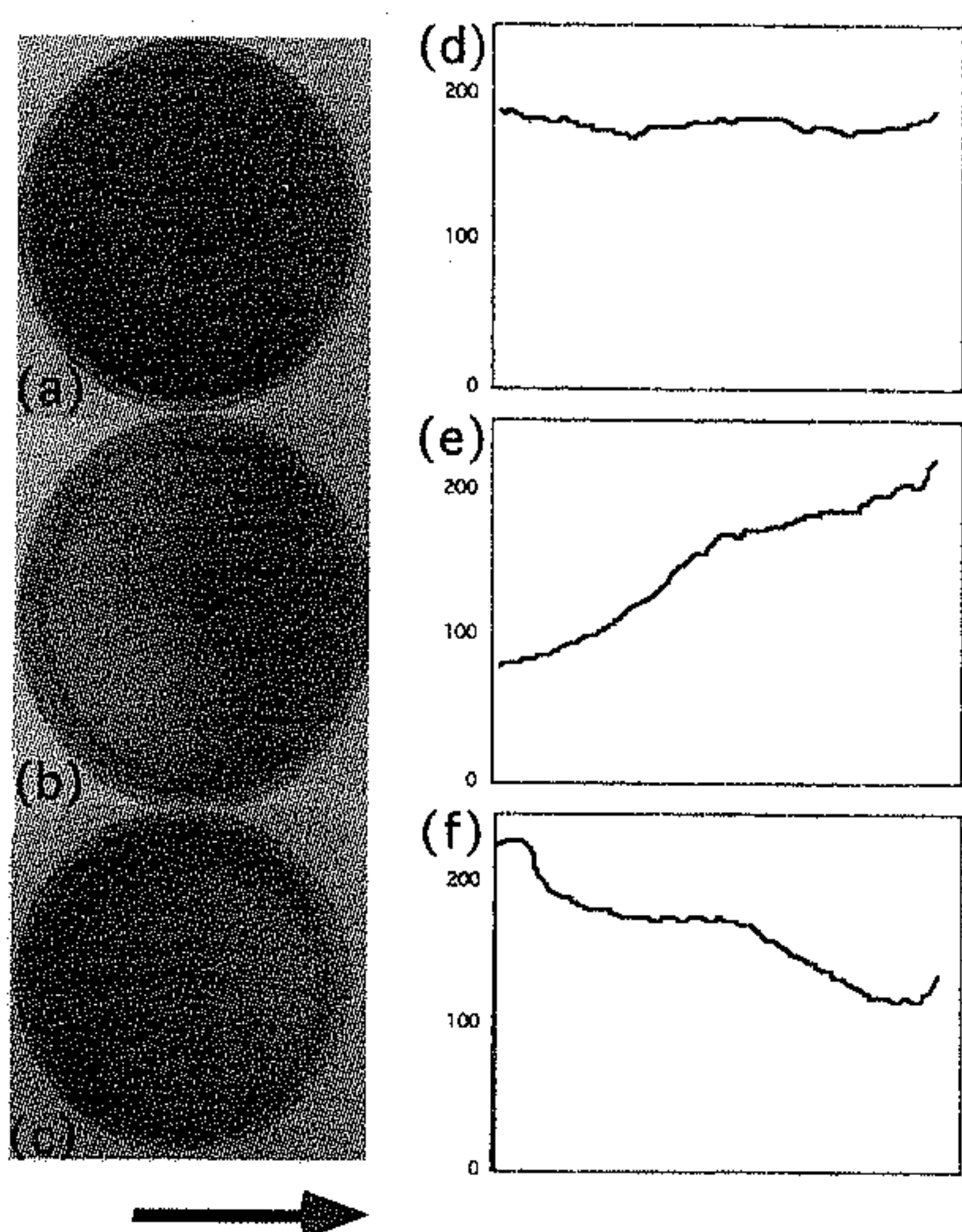


図 2 シャーレ中のミドリムシに対する水平磁場の影響 (a)ゼロ磁場 (b)勾配磁場中(図 1 参照  $380 \text{ T}^2\text{m}^{-1}$ ) (c)EDTA で殺したミドリムシ(磁場は(b)と同じ)写真(a), (b), (c)の中央部を横方向にスキャナーでトレースして, 縦軸を相対濃度(黒化度)で表した図をそれぞれ(d), (e), (f)に示す 矢印は磁場の方向(低磁場→高磁場)

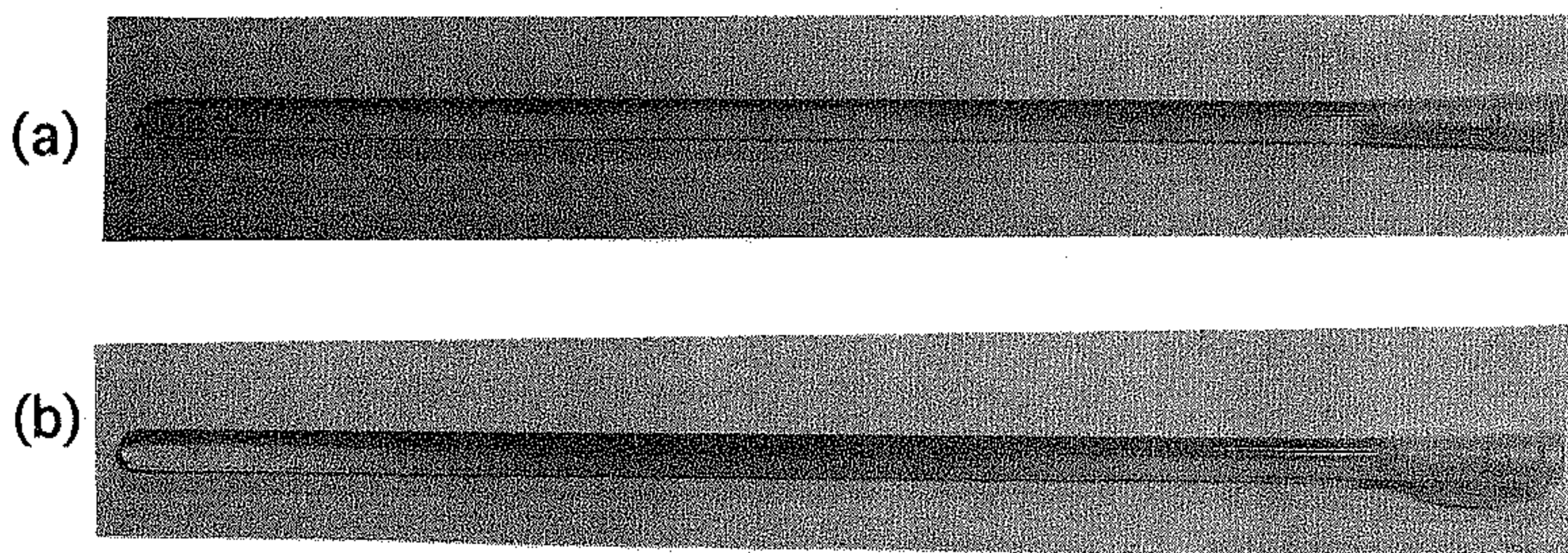


図 3 密閉 NMR 管中のミドリムシに対する水平磁場の影響 (a)ゼロ磁場 (b)勾配磁場中(図 1 参照)



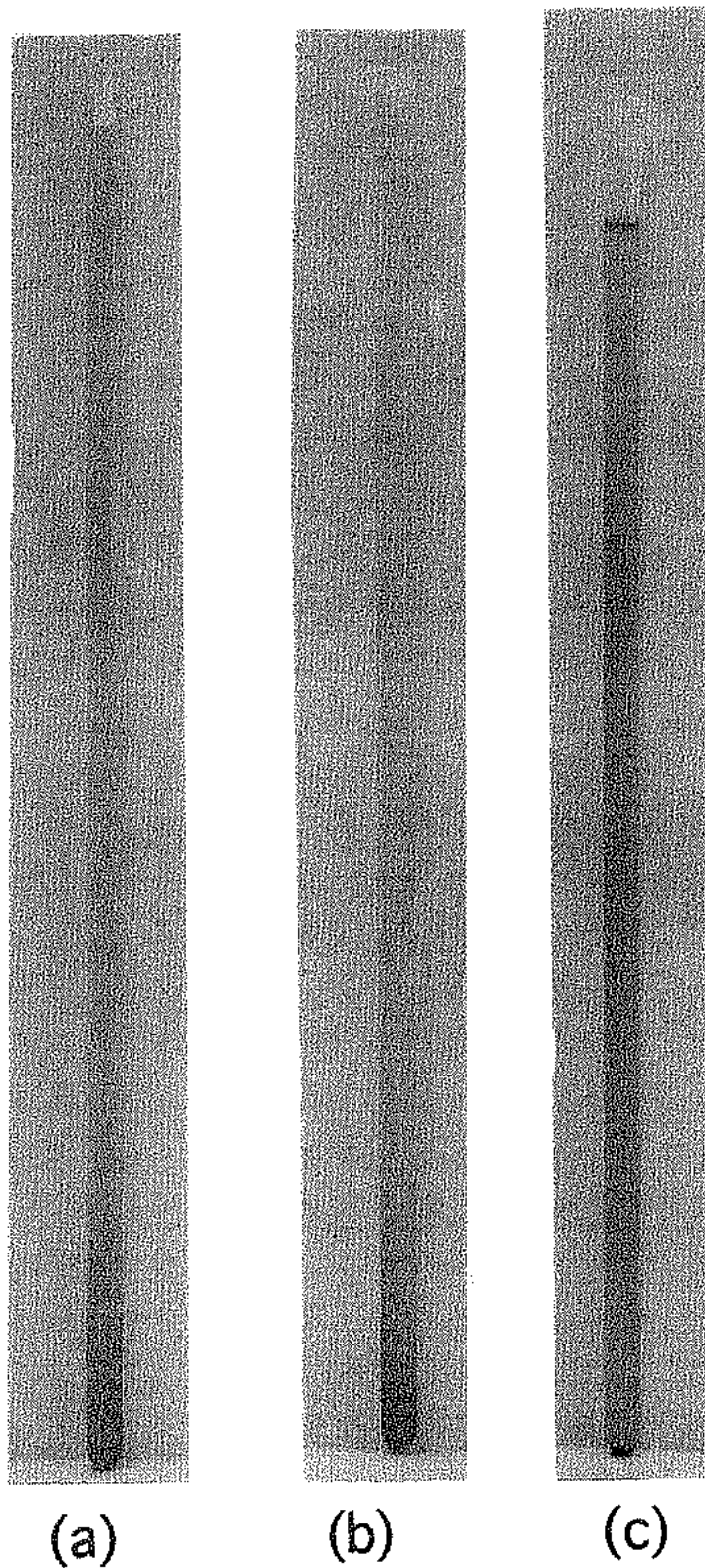


図4 密閉 NMR 管中のミドリムシに対する垂直磁場の影響  
(a)ゼロ磁場 (b)勾配磁場中(図1参照,  $350 \text{ T}^2 \text{ m}^{-1}$ ) (c)EDTA で殺したミドリムシ(磁場は(b)と同じ)

にミドリムシが集まることが期待された。しかし、結果は写真のように、磁場の有無にかかわらずミドリムシは NMR 管の底に沈んでいた。このことからミドリムシの走磁性は重力と比べて非常に弱い力により起こっていることが分かる。なお、参考のために EDTA で殺したミドリムシについても同様の実験をしたが、(c)に示すように磁場の有無にかかわらず、ミドリムシは NMR 管内にほぼ一様に分布していた。

### 3.3 特殊顕微鏡ファイバースコープによる“その場”観察

ミドリムシは磁場の強い方へ向かって泳ぐとすれば、勾配磁場中では当然磁場の方向に対して平行になり強磁場側に向かって泳いでいるものと予想され

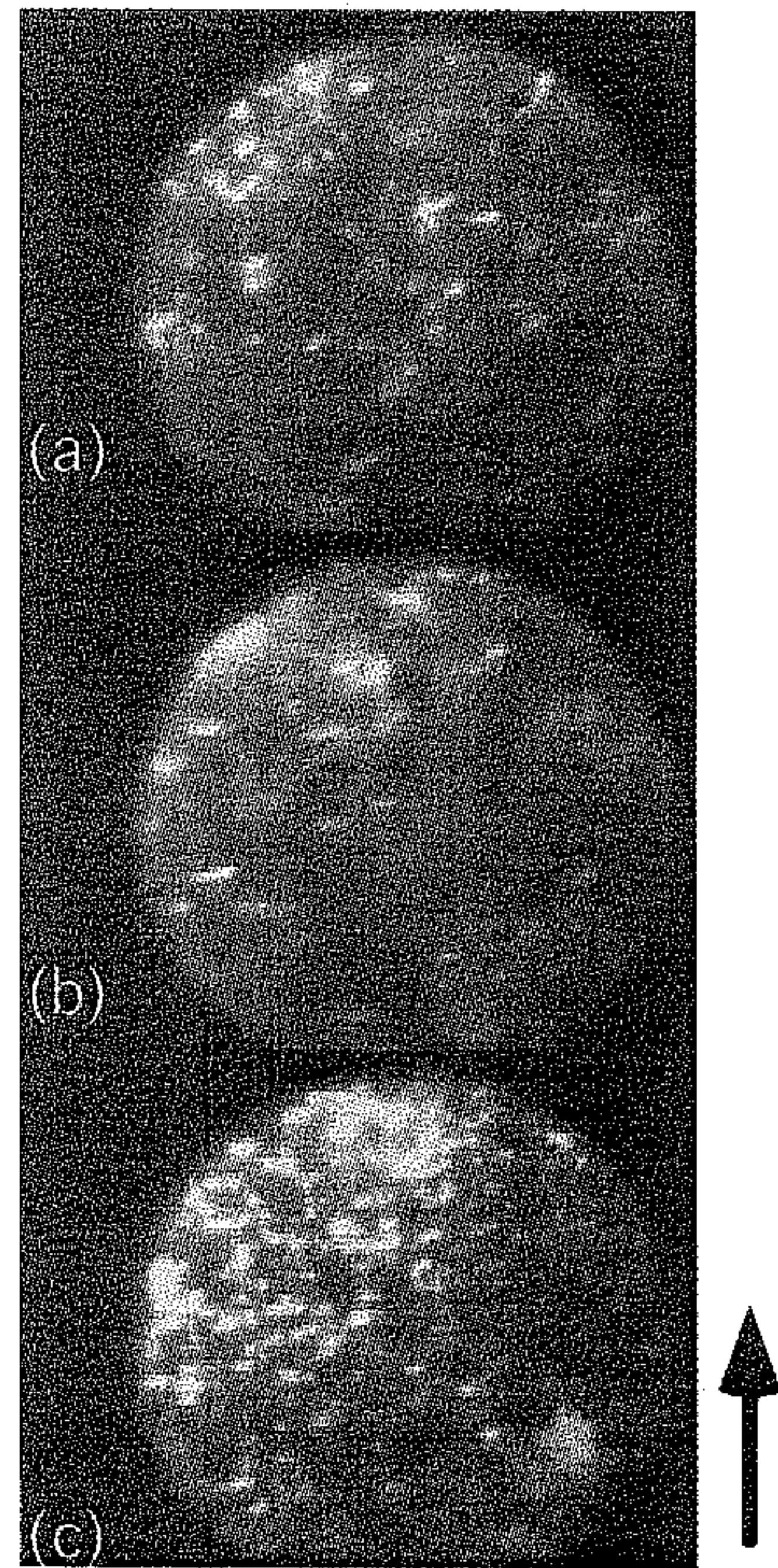


図5 水平磁場中のミドリムシのビデオ写真  
(a)ゼロ磁場 (b)勾配磁場中( $380 \text{ T}^2 \text{ m}^{-1}$ ) (c) EDTA で殺したミドリムシ(磁場は(b)と同じ) 矢印は磁場の方向(低磁場→高磁場)

た。そこで水平磁場内でミドリムシがどのような挙動をしているのか特殊顕微鏡ファイバースコープを用いて“その場”観察した。図5がその結果である。(a)はゼロ磁場中、(b)は  $380 \text{ T}^2 \text{ m}^{-1}$  の勾配強磁場中の写真であり、白く見えるのがミドリムシである。磁場の無いときは、ランダムな向きにミドリムシは泳いでいるが、磁場中ではほとんどのミドリムシは磁場に対してほぼ垂直に配向して泳いでいた。磁場勾配のない  $8 \text{ T}$  の均一磁場中、さらに走磁性は見られない  $1 \text{ T}$  以下の低い均一磁場中でもかなりの数のミドリムシが配向していた。ミドリムシは石英セルの端まで泳ぐとそのまま壁に沿って進むのではなく、向きを変えて来た方に戻って泳いでいくものが多数いた。一方、殺したミドリムシは磁場に対してほぼ垂直に配向した(図5(c))。このようにミドリムシの磁場配向はミドリムシの生死に関係なく起こる。また、磁場勾配の有無に関わらず、さらに走磁性の見られない約  $0.5 \text{ T}$  の低い磁場中でも見られ、配向は磁場の印加とほとんど同時に起こった。



すなわち、ミドリムシ個体の磁場配向は、体組織を構成する反磁性の葉緑体・核・細胞膜などが磁場に対して配向するため起こるものといえることができる。クロロフィルの磁場配向と関連して、ミドリムシからの蛍光の偏光解消度の磁場効果が報告されている<sup>11,12)</sup>。今回の顕微鏡観察で明らかとなったミドリムシ個体の磁場配向の原因が、ミドリムシ個体中に存在するクロロフィルの磁気異方性によるものなのか、それとも他の組織の磁気異方性によるものなのかについては、現在のところ不明である。

#### 4. 考 察

化学反応に対する静磁場の影響は、磁場の(1)量子力学的効果、(2)熱力学的効果、(3)力学的効果に大別される<sup>4)</sup>。(1)では、反応中間体として存在する反応中間体であるラジカル対の電子スピン状態間の遷移が均一静磁場により影響を受ける。有機化合物の光反応などで詳細に研究されている<sup>14)</sup>。(2)は、物質のもつ磁気エネルギーが熱エネルギーと比べて大きいとき起こる。ある反応において、反応系と生成系の等方的磁気エネルギーが異なるとき、化学平衡が均一磁場により移動する(等方的磁気エネルギーによる効果:2-a)。この効果は通常物質では見られないが強磁性体の関与する反応で見られることが報告されている<sup>15)</sup>。物質が磁氣的に異方性を有するときは、物質は磁気エネルギーがもっとも安定になるように配向する(異方的磁気エネルギーによる効果:2-b)。1個の分子の異方的磁気エネルギーは熱エネルギーに比べて極めて小さいため配向は起こらない。しかし、規則正しい分子・イオンの巨大な集合体では磁気エネルギーが熱エネルギーを凌ぐようになり配向が起こる。反磁性結晶の磁場配向がその例である<sup>16)</sup>。(3)は反応の際の物質輸送過程に対する磁場の影響である。均一磁場中を運動するイオンに対するローレンツ力(3-a)によりイオンの運動方向が磁場により変化する。電気化学反応の磁場効果がその例である<sup>17)</sup>。以上は均一静磁場の効果であるが、その他に、(3)に分類される磁場の効果として勾配磁場中に物体を置いたときに加わる磁気力(3-b)がある。磁気力  $F_{\text{mag}}$  は物質の磁化率  $\chi$  と勾配磁場強度の積に比例する。

$$F_{\text{mag}} = (1/\mu_0) \chi B(z) dB(z)/dz$$

ここで  $\mu_0$  は真空の透磁率である。常磁性体・強磁性体には引力、反磁性体には斥力となって作用する。銀樹成長の磁場効果がその例である<sup>18)</sup>。

以上のような化学反応で解明されている磁場効果の機構を基に、ミドリムシの走磁性について考察し

てみる。結果3.1~3.3をまとめると、(i)ミドリムシの体組織は反磁性である、(ii)約  $50 \text{ T}^2\text{m}^{-1}$  以上の勾配強磁場中の生きているミドリムシについてのみ走磁性が見られる、(iii)ミドリムシはその生死にかかわらず、約  $0.5 \text{ T}$  以上の磁場で磁場にほぼ垂直に配向するということになる。(1)から(3-a)に分類される磁場効果はすべて均一磁場による影響であるが、ミドリムシの走磁性は勾配磁場中でのみ見られることから、(3-b)の磁気力がその主たる原因と考えられる。同時に(iii)の実験結果にあるようにミドリムシは磁場配向することから、ミドリムシは磁氣的に異方性であり(2-b)の影響も受けていることを考慮する必要がある。

すなわち、ミドリムシの走磁性は次のように説明される。ミドリムシの体組織は種々の反磁性物質が配列し、かつそれらは不均一に分布している。このために勾配磁場中では磁場配向すると同時に、体の部位により不均一な磁気力を受ける(図6)。ミドリムシは葉緑体を持ち比較的体の後部に多く見られるが、葉緑体はポルフィリン環をもつため他の器官にくらべて大きな反磁性磁化率を持つことが考えられる。仮にこのためミドリムシの後端部にかかる磁気力が前端部(眼点側)にかかる力より大きくなれば、図6に示すようにミドリムシの体は全体としてほぼ磁場に垂直に配向するものの、進行方向はわずかに高磁場方向を向くのではと推察される。その結果、勾配強磁場中にミドリムシを置くと、徐々にミドリムシは高磁場方向に移動していくものと考えられる。このように、磁場中ではミドリムシの泳ぐ方向が規制されることから、ミドリムシの体組織が異方的反磁性磁化率をもつために起こる磁場配向(2-b)が走磁性の第一要因といえることができる。さらにミドリムシは磁場とほぼ垂直方向に行き来する。磁場配向だけが原因であるならば、均一磁場中でも走磁性は見られるはずであるが、走磁性は勾配強磁場中でのみ観察されない。このことからミドリムシにかかる不均一な磁気力(3-b)が走磁性の第二の要因であるといえることができる。

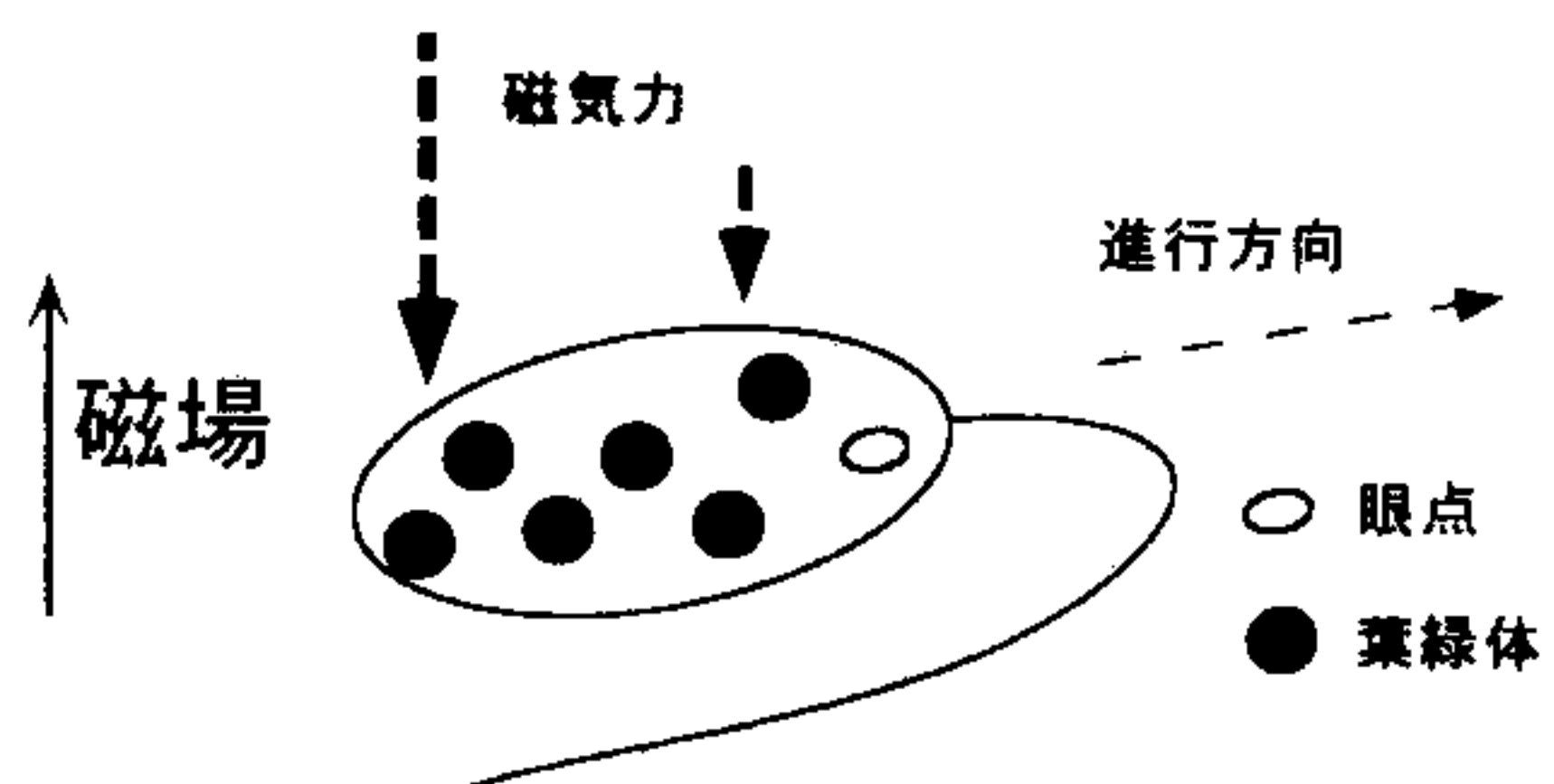


図6 ミドリムシの走磁性のメカニズム

ミドリムシの磁場配向は磁場の印加とほぼ同時に起こるのに対して、ミドリムシが高磁場側に移動するまでに1時間以上かかることや、垂直磁場では走磁性が見られないことから、反磁性磁化率による弱い磁気力がミドリムシに作用し、ミドリムシの走磁性を引き起こすという解釈を支持しているように思われる。

磁場配向だけで走磁性が説明できないことは実験結果から明らかであるが、念のため仮に磁場配向のみが走磁性の原因となりうるかどうか検討してみる。いまミドリムシが磁場と垂直ではなく少し傾いて配向したと仮定する。そうすると時間が経つにつれ正の走磁性を示すのではないか。しかし磁場配向の場合磁場方向に対して2つのミドリムシの配向が可能である。すなわち、鞭毛のある頭を幾分高磁場方向に向けたミドリムシと逆に頭を低磁場方向に向けたミドリムシが同数存在することになる。したがって正の走磁性を示すミドリムシと同数の負の走磁性を示すミドリムシが存在することになり、実験結果と一致しない。

さらに、好気性生物であるミドリムシは、酸素がないと生きていけない。磁場の強い方が液体中の常磁性の溶存酸素濃度が高くなる可能性が考えられる。しかし、本実験に用いた勾配磁場の強度では、直径30 mmのシャーレの両端で溶存酸素濃度が異なることは非常に考えにくい<sup>19)</sup>。また、蓋をしたNMR管を使った実験では、シャーレとは異なり大気中の酸素が磁場により溶け込む可能性が低い、それにもかかわらず生きているミドリムシの走磁性が見られたことから勾配磁場による酸素濃度の違いがミドリムシの走磁性を引き起こした可能性は極めて小さい。

以上考察したように、ミドリムシの走磁性は、ミドリムシの磁場配向と勾配磁場による不均一な磁気力の両方を考慮することによりはじめて説明が可能である。

生物個体を構成する種々の生体物質は、ある一定の秩序を持って体内に不均一に分散されている。このことは、種々の生物個体が磁気異方性を有し、磁場配向を示したり不均一な磁気力を受ける可能性を示唆している。したがって、数T程度の強磁場中のミドリムシに見られた走磁性は、他の生物個体でも見られる可能性が高いように思われる。どのような生物に走磁性が見られるのか、現在ミドリムシ以外の生物個体についても検討を進めているところである。

数T程度の強磁場に生物が曝される機会はほとんど無い。しかし、リニアモーターカー・シンクロ

トロン放射光源・核融合実験炉などを運転中、何らかの理由により数Tの強磁場中で作業をしなければならないような場合、作業者が磁場配向や磁気力の影響を受ける可能性のあることを、本研究は示唆している。

謝辞： 本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(09874157, 09878137)、岩谷直治記念財団研究補助金により行われた。

## 文 献

- 1) 志賀 健・中馬一郎 (1989) 環境科学シンポジウム 1988 II. 磁場と電場の影響. 環境科学会誌, 2, 129-134.
- 2) World Health Organization (1987) Environmental Health Criteria 69, Magnetic Fields, World Health Organization, Geneva.
- 3) 谷本能文・藤原好恒 (1995) 強磁場中の有機化学. 有機合成化学協会誌, 53, 413-422.
- 4) 谷本能文・曹紅 (1997) 化学反応の強磁場制御. 日本応用磁気学会誌, 21, 14-21.
- 5) 谷本能文・高松信二・森 俊雄・鈴木文男・二階堂修・伊藤道也・渡辺正己 (1992) X線・紫外線の細胞致死作用に対する静磁場の影響. 環境科学会誌, 5, 279-283.
- 6) Bessho, K., S. Yamada, T. Kunitani, T. Nakamura, T. Hashiguchi, Y. Tanimoto, S. Harada, H. Yamamoto and R. Hosono (1995) Biological Responses in *Caenorhabditis Elegans* to High Magnetic Field. *Experientia*, 51, 284-288.
- 7) Ueno, S., K. Shiokawa and M. Iwamoto (1990) Embryonic Development of *Xenopus Laevis* under Static Magnetic Fields up to 6.34 T. *J. Appl. Phys.*, 67, 5841-5843.
- 8) 吉川 勲・岩坂正和・上野照剛 (1995) ショウジョウバエ体細胞突然変異検出系への磁場影響. 日本応用磁気学会誌, 19, 597-600.
- 9) Koana, T., M. O. Okada, M. Ikehata and M. Nakagawa (1997) Increase in the Mitotic recombination Frequency in *Drosophila melanogaster* by magnetic field exposure and its suppression by Vitamin E Supplement. *Mutation Research*, 373, 55-60.
- 10) 北岡正三郎(編) (1989) ユーグレナー生理と生化学, 学会出版センター, 東京.
- 11) Geactintov, N.E., F Van Nostrand, J. F. Becker and J. B. Tinkel (1972) Magnetic Field Induced Orientation of Photosynthetic Systems. *Biochim. Biophys. Acta*, 267, 65-79.
- 12) Geactintov, N. E., F. Van Nostrand and J. F. Becker (1974) Polarized light spectroscopy of photosynthetic membranes in Magneto-Oriented whole cells and Chloroplasts Fluorescence and

- Dichroism. *Biochim. Biophys. Acta*, **347**, 443-463.
- 13) Shimoda, K., T. Hirata and Y. Noma (1998) Stereochemistry in the reduction of enones by the reductase from *Euglena gracilis* Z. *Phytochemistry*, **49**, 49-53.
- 14) Nagakura, S., H. Hayashi and T. Azumi (Eds.) (1998) *Dynamic Spin Chemistry*, Kodansha/Wiley, Tokyo.
- 15) Yamaguchi, M., I. Yamamoto, T. Goto and S. Miura (1989) Shift in the chemical equilibrium of the LaCo<sub>5</sub>-H system by strong magnetic fields. *Phys. Lett. A*, **134**, 504-506.
- 16) Katsuki, A., R. Tokunaga, S. Watanabe and Y. Tanimoto (1996) The effect of high magnetic field on the crystal growth of Benzophenone. *Chem. Lett.*, 607-608.
- 17) Watanabe, T., Y. Tanimoto, R. Nakagaki, M. Hiramatsu and S. Nagakura (1987) The magnetic field effects on electrolysis. III. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **60**, 4166-4168.
- 18) Katsuki, A., S. Watanabe, R. Tokunaga and Y. Tanimoto (1996) The effects of high magnetic field on the deposition of silver. *Chem. Lett.*, 219-220.
- 19) 池添泰弘・廣田憲之・崎浜竜也・茂木邦雄・植竹宏往・中川 準・菅原宏治・北沢宏一 (1997) 勾配磁場による酸素溶解加速効果. 第1回新磁気科学シンポジウムプロシーディング, pp.231-236.

## Effects of High Magnetic Field upon *Euglena gracilis*

Yoshifumi TANIMOTO, Syunsuke IZUMI, Koichi FURUTA, Tomoe SUZUKI,  
Yoshihisa FUJIWARA, Toshifumi HIRATA, Gaishi YAMADA\*\* and Kikuo ITOH\*\*\*

(\*Department of Mathematical and Life Sciences, Graduate School of Science,  
Hiroshima University, 1-3-1 Kagamiyama,  
Higashi-Hiroshima 739-8526, Japan,

\*\*Kanazawa Univ., \*\*\*National Research Institute for Metals)

### Abstract

Effect of high magnetic field on *Euglena gracilis* Z was examined. *Euglena* was placed in a high gradient magnetic field (380 T<sup>2</sup>m<sup>-1</sup>). Living *Euglena* moved to higher magnetic field, whereas dead *Euglena* moved to the opposite side (lower magnetic field). From the *in-situ* microscope observation, *Euglena* was found to be oriented approximately perpendicular to the magnetic field regardless of life and death. Based on the above observations the mechanism of magnetotaxis of *Euglena* was discussed.

**Key Words** : magnetic field effect, *Euglena gracilis*, magnetotaxis