

藻類による水及び水辺の変色事例について

保坂三継*

Case Studies on Discoloration of Water and the Watersides due to Algal Growth

Mitsugu HOSAKA*

Keywords: 変色現象 discoloration, 藻類 algae, 水 water, 水辺 waterside, 藍藻 blue-green algae (cyanobacteria), 紅藻 red algae, 緑藻 green algae

緒言

植物プランクトンなどの微細な藻類が大量に繁殖して、海や湖沼の水、あるいは降り積もった雪や氷が変色することがある。こうした現象が海で発生した場合は「赤潮」、湖沼の場合は「水の華（みずのはな）」あるいは「アオコ」などと呼ばれ、一般にもよく知られている。しかし、このような変色現象が身近な生活環境中の水でもしばしば発生することはあまり知られていない。変色現象の中でもとりわけ赤色系の変色現象は他の色調よりも目立つため、異常現象として認識されやすい。また「血」を連想させるためか、住民が不安に思うなどして保健所等への苦情や問い合わせ事例となることが多い。

本報告では都内において水及び水辺が「赤く変色した」ために水質研究科水環境微生物研究室に問い合わせがあった4件の変色現象について調査し、その原因が藻類によるものであることを明らかにした。これらのうち、特に付着性の藻類による水辺の赤変事例についてはあまり報告がなく、貴重な事例である。

材料及び方法

1. 試料

平成10年から平成16年にかけて、都内の公園池、学校プール、溪流の水辺及び臨海部のアスファルト舗装の水溜まりで発生した4件の赤変現象につき、当該施設の管理者や保健所担当者から原因調査のために搬入された水試料（池の水、プール水）、溪流の水辺の石及びアスファルト片を試料とした。

2. 調査方法

1) 水試料 都内公園の池の水及びプール水はよく混合し、0.05 mLを分取して界線付きスライドガラスに載せ、カバーガラスで覆い、生物顕微鏡(NIKON製 OPTIPHOTO)で観察した。出現した生物の形態の詳細な観察には必要に

応じて位相差装置または微分干渉装置を併用した。観察結果から優占種について同定し、また計数して定量した。

2) 溪流の水辺の石及びアスファルト片 変色部分をピンセットなどで掻き取り、蒸留水に懸濁して分散させたのち、水試料と同様にスライドガラスに載せ、観察した。また実体顕微鏡(NIKON製 SMZ-U)により試料を直接検鏡した。

3) 藻類の同定 藻類の同定は、Geitler(1925)¹⁾、Pascher(1927)²⁾、Huber-Pestalozzi(1938)³⁾、Huber-Pestalozzi(1950)⁴⁾、Smith(1950)⁵⁾、山岸・秋山(1977)⁶⁾、野崎(1985)⁷⁾、瀬戸(1987)⁸⁾、Canter-Lund and Lund(1995)⁹⁾、渡辺(1998)¹⁰⁾、Komárek, Kling and Komárková(2003)¹¹⁾、Sheath(2003)¹²⁾、Nozaki(2003)¹³⁾による記載に従った。

結果及び考察

1. 植物プランクトンによる変色現象

事例1 都内公園の池水の赤変

平成12年11月に、都内の公園池の管理者から、池水が夏季に赤変する現象があったとの問い合わせがあった。変色のあった夏季からかなり日数が過ぎていたが、まだ「赤く着色している」とのことであったので、池水を採取した。採取時の池水の色調は「赤」というよりも褐色を呈していた。池水を検鏡したところ、数種類の植物プランクトンが観察されたが、優占していた種は藍藻ネンジュモ目ネンジュモ科の *Cylindrospermopsis raciborskii* であった。本種ははじめ *Anabaenopsis* の1種として *Anabaenopsis raciborskii* の学名で呼ばれていたが、1972年になって *Cylindrospermopsis* 属に移された。そのため、1970年代までの文献^{1, 3, 6)}には *Anabaenopsis raciborskii* として記載されている。

観察された *C. raciborskii* を写真1~3に示す。*C. raciborskii* は多数の細胞が連結して糸状体と呼ばれる長い糸状の群体を形成する浮遊性藍藻で、試料中には49,000糸状体/mLと高濃度に存在していた。糸状体を構成する細胞

* 東京都健康安全研究センター環境保健部水質研究科 169-0073 東京都新宿区百人町 3-24-1

* Tokyo Metropolitan Institute of Public Health

3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073 Japan

には、長方形の栄養細胞(写真1のT)の他に、鈍円錐形のヘテロキスト(異形細胞)(写真1のH)と長楕円形のアキネート(写真1のA)と呼ばれる特殊な細胞が確認された。本試料の栄養細胞は幅2~2.5 μm 、長さ6~15 μm で、細胞の接続部(写真3の鋸で示す)はほとんどくびれず、そのため細胞の長さはわかりにくい。ヘテロキストは窒素固定を行う細胞とされ、糸状体の片方あるいは両方の先端部にあり、幅2.5~3 μm 、長さ7~8 μm で、特徴的な鈍円錐形をしている。アキネートは孢子とも称され、幅3.5~4 μm 、長さ9~17 μm で、ヘテロキストに連続している場合(写真3のA1)と、離れて存在する場合(写真3のA2)がある。C. *raciborskii* の細胞の色調について Geitler(1925)¹⁾、渡辺(1998)¹⁰⁾は淡青緑色としているが、Komárek, Kling and Komárková(2003)¹¹⁾は淡青緑色あるいは黄色がかった色調としている。本事例の細胞は青緑色が極めて薄く、その一方、細胞内には淡黄褐色の顆粒が見られ、またほとんどの糸状体に褐色の顆粒を含むアキネートが形成されていたため、全体に淡褐色を呈していた。

1979年にオーストラリアのPalm島で、本種が繁殖した水源ダム湖の水を飲用したことが原因と考えられる肝炎が住民に多発し¹⁴⁾、湖水から単離された本種の培養藻体から肝臓毒性を示すグアニジン化合物である *cyliospermopsin* が分離された¹⁵⁾。今回観察されたC. *raciborskii* については毒性の有無は不明であるが、この公園池は飲料水源とは関係なく、また池内の魚やその他の動物などの斃死も観察されていない。

池水には第2優占種としてクリプト藻クリプトモナス目クリプトモナス科の *Cryptomonas* spp. が1,400細胞/mL存在していた。*Cryptomonas* spp. については詳細な同定は行わなかったが、長さ30 μm 前後で緑褐色の種類と、これよりもやや小さくて赤褐色の種類が観察された。

以上のことから、池水が褐色を呈したのは、黄褐色のC. *raciborskii* が多数繁殖して褐色の色調となり、これに緑褐色から赤褐色を呈する *Cryptomonas* spp. が加わったためと考えられた。

事例2 都内の学校プール水の赤変

平成16年3月に、都内の学校プールの水が赤変したとの問い合わせが管理者からあり、当該のプール水が持ち込まれた。ピーカーにとった当該の水は目視でも淡赤色を呈しており、検鏡したところ、球形で赤色、鞭毛を持ち遊泳するプランクトンが非常に多数見られた(写真4~6)。詳細に観察したところ、細胞はほぼ球形からわずかに楕円形、直径50 μm 前後、内部の原形質塊は赤色で涙滴型である(写真4)が、細胞の向きによっては球形にも見える(写真5)。細胞壁(写真5のC)と原形質塊の間には透明で厚い寒天質様被層(写真5のM)がある。涙滴型の原形質塊の頂端から2本の等長の鞭毛(写真6のF)が鞘(写真6のS)を経て出ており、これを動かして回転しながら活発に遊泳していた。こうした特徴から、この生物は緑藻オオヒゲマワリ目オオヒゲマワリ科の *Haematococcus lacustris* の遊泳細胞と同定

された。細胞濃度は1 mLあたり5,400細胞であった。

通常、緑藻はクロロフィルaとbを持ち、藻体は緑色である。*Haematococcus* 属も人工的な培養で栄養その他の条件が良い場合は緑色だが、栄養が乏しく、不適当なpHや強い太陽光などにさらされる自然環境では細胞内に *haematochrome* と呼ばれるカロチノイド系の赤い色素を多量に含み、その名の通り「血」のような赤色を呈するようになる。本事例の場合、プール水という貧栄養環境で繁殖したために、赤色の細胞が増え、水を赤変させたものと考えられる。

2. 付着藻類による変色現象

事例3 多摩地域溪流の水辺の赤変

平成10年5月に、都内多摩地区の溪流の水辺が血のように赤くなっていて気味が悪いとの問い合わせが地元住民から保健所にあり、筆者のもとに保健所担当者から赤変した水辺の石が持ち込まれた。当該の石は小さなパッチ状に赤紫色~濃赤色の膜状付着物が多数認められた。赤紫色の膜状部分を少量削り取って検鏡したところ、鮮紅色の不定形の膜状をした細胞塊が観察された。詳細に観察すると、膜状の細胞塊の平面観では、細胞は煉瓦状に整列して配置していた(写真7)。さらに細胞塊を側面から観察すると、幅7.5~11.0 μm 、長さ6.5~9.5 μm の四角い細胞が数個直列に並んで柱状構造の糸状体を形成し、糸状体の頂端細胞はドーム状(写真8のA)、基盤部分の細胞は三角形からいびつな多角形であった(写真9のB)。この糸状体が多数密着して、一定の厚みを持った膜状構造となっている様子(写真9)が観察された。これらの形態から、この藻体は紅藻カクレイト目ベニマダラ科の *Hildenbrandia rivularis* であると同定された。本種は溪流など清流の川岸の岩石上に着生して繁殖することが知られている。すなわち本事例は、水質の良好な多摩地区の溪流の水辺で *H. rivularis* が著しく繁殖して石が赤く着色したことによる現象と判明した。

事例4 臨海地区アスファルト舗装水のたまりの赤変

平成14年5月に、臨海地区のアスファルト舗装の水たまりが赤変したとの問い合わせが管理者からあり(写真10)、アスファルト舗装の一部が持ち込まれた。当該のアスファルトを検鏡したところ、毛状、膜状、塊状のいずれの形状の藻体も観察されなかったが、球形で暗紅色の粒子がおびただしく付着していた(写真11)。赤変部分を少量削り取って詳細に検鏡したところ、暗紅色の粒子は直径17~28 μm 、平均22.5 μm のほぼ球形で、藻類の細胞と思われた。細胞壁は堅牢で、表面に突起や厚い寒天質被膜はなく、不動であった。内部には外壁に沿って多数の赤色の顆粒状構造物が充填し、葉緑体等は明らかでなかった(写真12)が、一部のは顆粒状構造物が収縮し、やや薄い緑色の原形質が観察できた(写真12中の挿入写真)。このことから、この粒子は緑藻であることがわかり、上記の形態から *Haematococcus* 属のシストと判定された。*Haematococcus* 属は自然環境中では岩場の窪み⁹⁾のほか、公園に設置されて

いる装飾構造物⁹⁾、墓石の「閼伽(あか)」¹⁶⁾など、雨水が溜まるような場所にしばしば出現し、水が蒸発するなど環境が悪化すると赤色の *haematochrome* を内部に蓄積してシストとなり、これらを赤く着色することが知られている。こうしたことから、本事例の赤変現象は、アスファルトの水溜まりに繁殖した *Haematococcus* 属の藻が、水溜まりが干上がるにつれて(写真 10)急速な環境悪化によってシストとなり^{5, 9)}、アスファルトに大量に付着したことによるものと考えられた。

なお、淡水産の藻類で紅色で球形を呈するものには *Haematococcus* 属のほかにも、紅藻のチノリモ目チノリモ科のチノリモ *Porphyridium cruentum* がある。チノリモは単細胞で球形、直径 7~13 μm 、中心にピレノイドを持つ星形の葉緑体を持つ⁶⁾。単細胞の藻体が多数集まり、暗赤色の粘質膜を形成するため、「血糊藻」と呼ばれる。本事例の赤変原因藻は粘質膜の形成は見られず、細胞の大きさが異なり、細胞内には赤色顆粒が充満しており、ピレノイドを持つ星形の葉緑体は観察されないなどの点でチノリモとは異なる。また、データは示さないが、生体吸収スペクトルでも紅藻や藍藻に特異的な光合成色素であるフィコビリ蛋白に由来する 615~495nm 付近の吸収ピーク^{17, 18)}がみられないことを確認している。

結語

これら 4 例の赤変現象は、いずれも赤色や褐色を呈する藻類の繁殖によるものであり、試料を検鏡し、形態を詳細に観察することによって原因藻類を同定することができた。これらの変色現象に伴う健康被害はない。

藻類は専門家が検鏡すればそのほとんどが同定可能であるが、野外の変色現象の原因藻類は時間の経過とともに急速に変化・消滅してしまうことがある。住民の不安や苦情に迅速かつ的確に答えるためには、迅速な試料採取と専門家への調査依頼が必要である。

まとめ

身近な生活環境中の水及び水辺が赤く変色したとして問い合わせがあった 4 例の変色現象について調査した。これら 4 例の赤変現象が藻類の増殖によるものであることを明らかにした。4 例の原因藻類と発生場所及び色調は、藍藻 *Cylindrospermopsis raciborskii* (公園の池：褐色)、紅藻 *Hildenbrandia rivularis* (溪流の水際：紅色)、緑藻 *Haematococcus lacustris* (プール水：紅色) 及び *Haematococcus* 属のシスト(アスファルトの水溜まり：紅色)であった。通常、緑藻類の藻は緑色を呈するが、今回の事例では紅色の色素を含有する種類(*Haematococcus* 属)によるものであった。なお、これらの現象に伴う健康被害はなかった。変色現象の原因藻類は、時間の経過とともに急速に変化・消滅することがあるので、住民の不安や苦情に答えるためには迅速な試料採取と専門家による検鏡が必要である。

文 献

- 1) Geitler, L. : Cyanophyceae, In Pascher, A. (ed), *Die Süßwasser-flora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz*, Heft 12, 1-450, 1925, Verlag von Gustav Fischer, Jena.
- 2) Pascher, A. : Volvocales=Phytomonadinae, In Pascher, A. (ed), *Die Süßwasser-flora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz*, Heft 4, 20-506, 1927, Verlag von Gustav Fischer, Jena.
- 3) Huber-Pestalozzi, G. : Das Phytoplankton des Süßwassers Sytematik und Biologie, 1. Teil, In Thienemann, A. (ed), *Die Binnengewässer*, Band XVI, 1. Teil, 1938, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- 4) Huber-Pestalozzi, G. : Das Phytoplankton des Süßwassers Sytematik und Biologie, 3. Teil, In Thienemann, A. (ed), *Die Binnengewässer*, Band XVI, 3. Teil, 1950, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- 5) Smith, G. M. : *Fresh-water Algae of the United States*, 2nd ed., 1950, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- 6) 山岸高旺, 秋山優編 : 日本淡水藻図鑑, 1977, 内田老鶴園新社, 東京.
- 7) 野崎久義 : *Haematococcus lacustris*, 山岸高旺, 秋山優編, 淡水藻類写真集 4 巻, 40, 1985, 内田老鶴園, 東京.
- 8) 瀬戸良三 : *Hildenbrandia rivularis*, 山岸高旺, 秋山優編, 淡水藻類写真集 7 巻, 33, 1987, 内田老鶴園, 東京.
- 9) Canter-Lund, H. and Lund, J. W. G. : *Fresh-water Algae Their Microscopic World Explored*, 1995, Biopress Limited, Bristol.
- 10) 渡辺真之 : *Cylindrospermopsis raciborskii*, 山岸高旺, 秋山優編, 淡水藻類写真集 20 巻, 28, 1998, 内田老鶴園, 東京.
- 11) Komárek, J., Kling, H. and Komárková, J. : Filamentous Cyanobacteria, In Wehr, J. D. and Sheath, R. G. (ed), *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification*, 117-196, 2003, Academic Press, New York.
- 12) Sheath, R. G. : Red Algae, In Wehr, J. D. and Sheath, R. G. (ed), *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification*, 197-224, 2003, Academic Press, New York.
- 13) Nozaki, H. : Flagellated Green Algae, In Wehr, J. D. and Sheath, R. G. (ed), *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification*, 225-252, 2003, Academic Press, New York.
- 14) Hawkins, P.R., Runnegar, M.T.C., Jackson, A.R.B., et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **50**(5), 1292-1295, 1985.
- 15) 原田健一, 楠見武徳 : 毒素の化学と分析, 渡辺真利代, 原田健一, 藤木博太編, アオコ その出現と毒素, 117-164, 1994, 東京大学出版会, 東京.
- 16) 小島貞男, 小林弘 : 素顔の水処理微生物 総集版 II,

- 「水」1997 臨時増刊号, 90-95, 1977.
- 17) 横浜康継, 千原光雄: 光合成色素の分析, (社) 日本水産資源保護協会編, 赤潮生物研究指針, 174-186, 1987,
- 秀和, 東京.
- 18) 保坂三継: 日本水処理生物学会誌, **27**(1), 21-31, 1991.

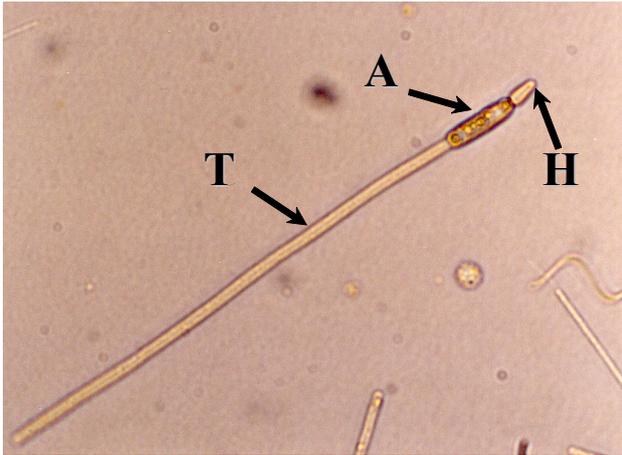


写真1. *Cyrindrospermopsis raciborskii*
 栄養細胞(T), ヘテロキスト(H), アキ
 ネート(A)



写真2. *Cyrindrospermopsis raciborskii*
 位相差装置による観察像

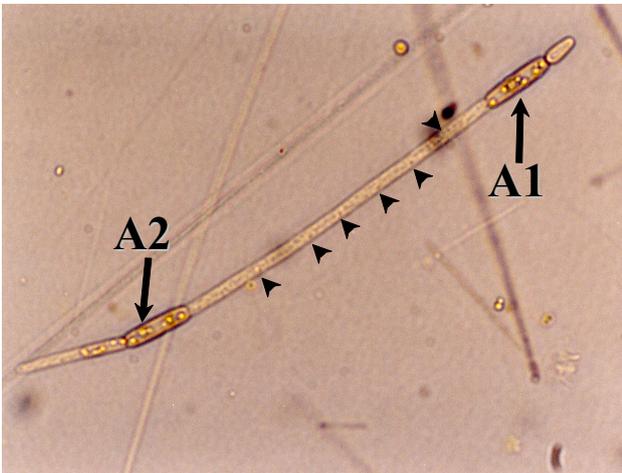


写真3. *Cyrindrospermopsis raciborskii*
 アキネート(A)を2個持つ糸状体
 鏝は細胞の接続部を示す



写真4. *Haematococcus lacustris*

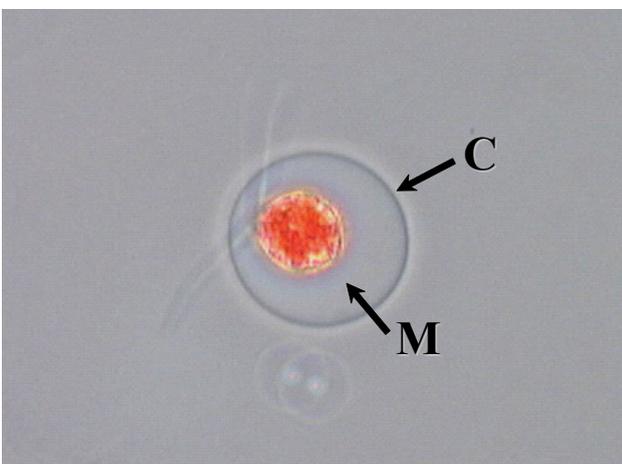


写真5. *Haematococcus lacustris*
 細胞壁(C), 原形質塊周囲の寒天質
 様被層(M)

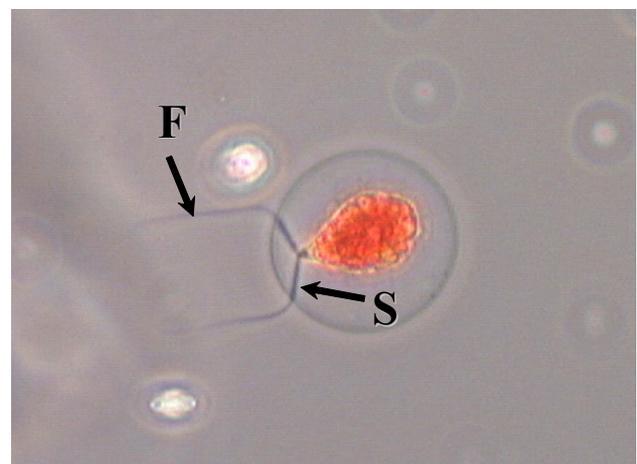


写真6. *Haematococcus lacustris*
 鞭毛(F), 鞘(S)

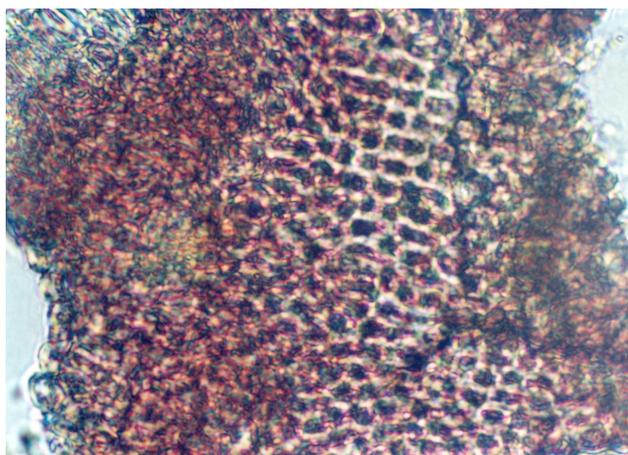


写真7. *Hildenbrandia rivularis*
平面観

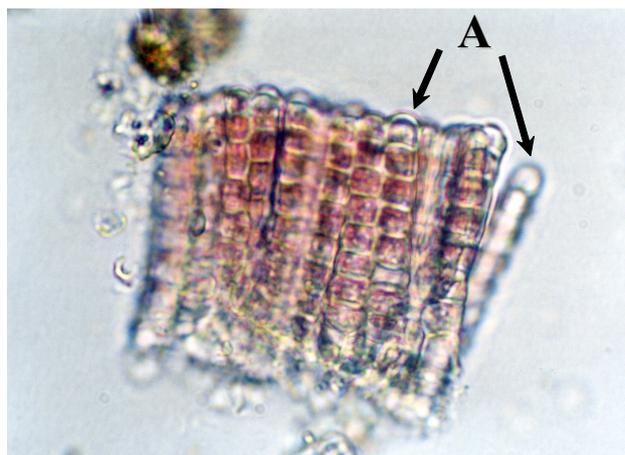


写真8. *Hildenbrandia rivularis*
糸状体と頂端細胞(A)

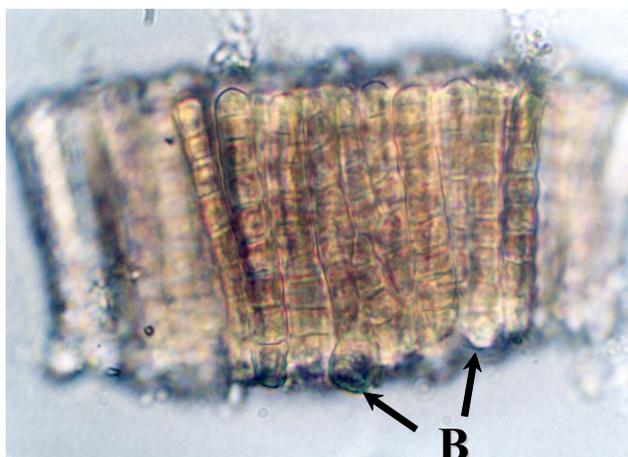


写真9. *Hildenbrandia rivularis*
糸状体と基部細胞(B)



写真10. アスファルトの水溜まりの
赤変状況



写真11. 赤色粒子のアスファルトへの
付着状況

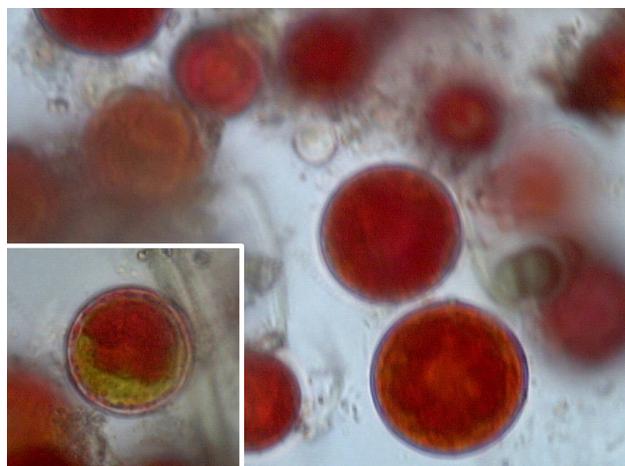


写真12. *Haematococcus*属のシスト
赤色顆粒が充満し、薄緑色の原形質がみら
れるもの(左下)もある