

卒業論文

*Euglena mutabilis* の  
生育環境と光合成機能の解析

平成 21 年 3 月

北九州市立大学 国際環境工学部

環境化学プロセス工学科

2005511029 田中 麻莉

## 目次

1. 概要/Abstract	.....3
2. 緒言	.....4
3. 分布調査	.....5
3.1. 調査地	
3.2. サンプルリング	
3.3. 分析方法	
3.4. 結果	
4. 培養実験	.....10
4.1. 実験操作	
4.2. 結果	
5. 結論	.....14
6. 謝辞	.....14
7. 参考文献	.....15
8. 付録	.....16

## 1. 概要/Abstract

*Euglena mutabilis* Schmitz は酸性坑廃水(AMD)の指標種とされている。*E. mutabilis* の生育環境を解析するために分布調査と培養実験を行った。分布調査から、酸性坑廃水である南田川の他に、竹田市の飲泉、坊がつる湿原の湧水、タデ原湿原、すずめ地獄において *E. mutabilis* の生育が確認出来た。*E. mutabilis* は好酸性にも関わらず、pH7.73 でも生育していることがわかった。*E. mutabilis* の生育が認められた地点と認められなかった地点との水質データを分析すると Na, Ca, Fe に有意差は見られた。

*E. mutabilis* の光合成機能を解析するため、南田川に生育する *E. mutabilis* と酸性坑廃水を用いて培養実験を行った。この結果、*E. mutabilis* は pH8 のとき生理活性が最大値を示すことがわかった。しかし、培養を続けていくと生理活性は低下し、pH2 のとき活性は安定していた。

*Euglena mutabilis* was reported to colonize in highly acidic (pH<3.0) mine drainage. We carried out field survey and incubation experiment to analyze environmental conditions of the habitat of *E. mutabilis* and the requirement for its growth. We found the new distribution sites of *E. mutabilis* in northern part of Kyushu; Insen, spring of Bougatsuru mire and Tadewara mire, Suzume jigoku, Minamidagawa river of AMD. We found the species distributed even under neutral condition of pH=7.73. The significant difference was observed Na, Ca, Fe between the habitats of with and without *E. mutabilis*.

We carried out incubation experiment to analyze environmental conditions of the habitat of *E. mutabilis* and the requirement for its growth. We found the species showed maximum photosynthetic and respiration activities at pH=8.0. However, it decreased, and revitalization was steady to the physiology revitalization at pH2 when keeping culturing it.

## 2. 緒言

### 2.1 *E. mutabilis*

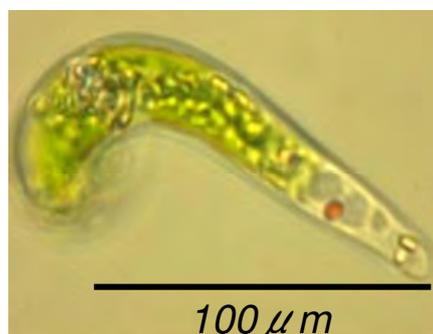


Fig.1 *Euglena mutabilis* Schmitz

*Euglena mutabilis* Schmitz は鞭毛虫 (*Euglena* 属) であり水中で生育している。細胞体はやや細長い円筒状で後端部は尖っている。細胞長は幅広く 70~170  $\mu\text{m}$  である。酸性坑廃水、酸性鉱山湖の指標種として生育が報告されており、強酸性環境と重金属に耐性のあることがわかっている<sup>1)</sup>。酸性坑廃水は、採鉱によって生成される。一般に鉱山には黄鉄鉱 ( $\text{FeS}_2$ ) が多く見られる。これが採鉱することによって空気中の酸素と水にさらされ、鉄酸化細菌、硫黄酸化細菌が活動をはじめ、 $\text{FeS}_2$  に直接作用するようになる。そこで反応が起こり硫酸が生成され重金属を溶かし出す<sup>3)</sup>。酸性坑廃水のような低 pH、高金属濃度、高硫酸塩濃度という特徴をもつ環境で生育していることが現地調査で確認された報告はあるが、生存量の環境要因や生理活性に関する研究、国内で生育環境に関して研究された例はない。

そこで、*E. mutabilis* の生育環境を解析するために、分布調査、光合成機能を解析するための培養実験を行うことを目的とした。

### 2.2 光合成、呼吸

*E. mutabilis* は鞭毛藻類に属し植物と同様に光合成を行う。植物の光合成は二酸化炭素と水から太陽の光エネルギーを使って有機物を合成し、同時に水中に酸素を放出する。これは、無機物から有機物を合成する過程 (一次生産) である。しかし、同時に光の有無に関係なく常に呼吸を行い、体内の有機物と酸素を消費して水中に二酸化炭素を放出する。植物の光合成作用は光の強さと密接に関係しており、弱い光では、わずかの光合成が行われるが、その量は呼吸量より小さい。さらに光が強くなると、ある光の強さで、光合成による酸素と二酸化炭素の出入りと、呼吸による二酸化炭素と酸素の出入りとが等しくなる。光が強くなるにつれて、光合成は光の強さに比例して直線的に増加する。光がさらに強くなると、その傾きはしだいにゆるやかになり一定の値を示すようになる。

### 2.3 クロロフィル a

クロロフィル a は葉緑素の主成分で藻類の量を示す指標とされる。葉緑素は主成分としてクロロフィル a と b、c の 3 種類がある。植物プランクトンの種類によってこの構成がことなるため、3 種類を個別に分析することもできる。クロロフィル a は全ての藻類に含まれ、クロロフィル b は緑藻類、クロロフィル c はケイ藻、渦べん毛虫に含まれている。

## 3. 分布調査

### 3.1. 調査地

*E.mutabilis* の生育が多く確認されている酸性坑廃水の特徴である、pH7.0 以下、高重金属濃度、硫酸イオン濃度が高いという報告のある坑廃水を含む湧出水であることを基準として 37 ヶ所を選定した (Fig.2)。



Fig.2 選定した調査地

小松地獄	円形分水	うるしま川	はげの湯
赤川荘	ガニ湯	桑畑湧水	宝珠山第一坑口
老野湧水	天満湧水	くしろ湧水	宝珠山第二坑口
矢原	飲泉所 1	ぼうがつる	釈迦湧水
河宇田	飲泉所 2	塚原温泉	採銅所 A
泉水	七里田温泉	田の原川	採銅所 B
長小野	め組茶屋	スズメ地獄	採銅所 C
瀧目権現	明礬温泉	涌蓋山湧水	採銅所 D
	血の池地獄	上田	八幡

### 3.2 サンプルング

それぞれの調査地点で水質を測定するための採水と底生藻類を観察するためにバイオフィルムの採取を行った。現地で底生藻類が認められなかった地点では採取を行わなかった。採水した試料 5C ろ紙 (ADVANTEC) でろ過した後、100mL ポリエチレン容器に保存し、バイオフィルムはチャック付きポリ袋 (170×120) に空気が入らないように密閉して持ち帰った。

### 3.3. 測定

測定項目は水温、pH、EC (電気伝導度)、DO (溶存酸素濃度)、流速、TOC、IC、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、溶存金属 (Na、Ca、Mg、Si、Fe、Al) である。水温、pH、EC、DO、流速は現地で測定を行い、TOC、IC、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、溶存金属は実験室で測定を行った。

#### 3.3.1 水温、pH、EC (電気伝導度)、DO (溶存酸素濃度)

温度はデジタルサーモメーター (iuchi, MODEL2455) を使用して測定を行った。pH、EC は pH メータ (HORIBA, D-54) に pH 複合電極 (プラスチックボディ電極, 9621-10D) および、浸せき形導電率電極 (9382-10D) を接続したものを使用して測定を行った。pH の測定方式はガラス電極法、EC は交流 2 電極方式である。DO は溶存酸素計 (HORIBA, OM-51) に防水溶存酸素電極を接続したものを使用して測定を行った。測定方式は隔膜式ガルバニ電池法である。

#### 3.3.2 流速

簡易型プロペラ式流速計 (KENEK, 本体 VR-201, 検出器 VRT-200-20N) を使用して測定を行った。

#### 3.3.3 TOC (全有機炭素) , IC (無機体炭素)

全有機炭素計 (島津製作所、TOC-V<sub>CSH</sub>) を使用して燃焼触媒酸化方式により NPOC、TC を測定することによって TOC、IC を算出した。

##### 3.3.3.1 測定原理

試料に酸を加えて、pH2~3 にした後スパージガスを通気する事で試料中の IC を除去する。このように IC 除去処理後の試料の TC (全炭素) 測定することで TOC を求める。TC と IC の差から求めたものを NPOC (不揮発性有機炭素) と呼ぶ。これは TOC とは区別されるが、一般に自然環境や公共水、純水などに含まれる揮発性有機物は少ないので NPOC は TOC とみなされる。次に TC の測定原理について述べる。試料中の TC が燃焼あるいは分解して二酸化炭素になり、この燃焼物を含むキャリアガスは冷却、除湿される。さらに非分散型赤外線式ガス分析部 (NDIR) のセルに至り、二酸化炭素が検出される。NDIR の検出信号はピーク形状になり、このピーク面積がデータ処理部で測定され

る。ピーク面積は試料中の TC 濃度に比例するため、TC 標準液により検量線式を求めておけば、TC 濃度が測定できる。

### 3.3.4 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (硫酸イオン濃度)

採水した試料を 0.2μm メンブランフィルター (ADVANTEC, 25AS020AN) でろ過した。その後、EC が 10mS/m 以下になるように希釈を行い、バイアル瓶に移し、北九州市立大学計測・分析センターに測定を依頼した。装置は Dionex 製イオンクロマトグラフ・DX-120 である。

#### 3.3.4.1 測定原理

溶離液を移動相として、イオン交換体などを固定相とした分離カラム内で試料中溶液中のイオンをを分離・溶出させて電気伝導率を検出して定量する。

### 3.3.5 溶存金属 (Na、Ca、Mg、Si、Fe、Al)

金属反応を避けるために採水した試料を持ち帰って、ただちに pH2 以下になるように 1.0N 硝酸を加えた。その後 ICP 発光分光分析法で測定した。装置はパーキンエルマー・Optima 4300DV である。

#### 3.3.5.1 測定原理

高温の誘導結合プラズマ(ICP)の中に試料を噴霧し、励起された原子から発する個々の波長の発光強度を測定して濃度を測定する。

### 3.3.6 統計処理

得られたデータは *E.mutabilis* の生育が認められた地点と生育が認められた地点で水質に有意差があるかを判断するために、一元配置分散分析を行った (SPSS for Windows スタンダードバージョン)。

## 3.4. 結果

### 3.4.1. バイオフィルム観察結果

南田川、竹田市の飲泉、坊がつる湿原の湧水、タデ原湿原、すずめ地獄の 5 地点で *E.mutabilis* を観察することができた。老野湧水、矢原湧水、河宇田湧水、泉水湧水、長小野湧水、天満湧水、田の原川、釈迦湧水、採銅所 A、採銅所 B、採銅所 C、採銅所 D では底生藻類は認められなかった。観察結果を Table.1 に示す。

Table1 底生藻類観察結果

	珪藻	緑藻	藍藻	ユーグレナ属
小松地獄	○			
赤川温泉		○		
瀧目権現		○		
円形分水		○		
ガニ湯		○		
飲泉所 1			○	○
飲泉所 2		○	○	
七里田温泉		○		
め組茶屋温泉		○		
明礬温泉	○			
血の池地獄	○			
くしろ湧水		○	○	
ぼうがつる			○	○
塚原温泉			○	
南田川				○
タデワラ				○
すずめ地獄		○		○
涌蓋山湧水	○			
上田		○		
はげの湯	○		○	
宝珠山第一坑口	○		○	
宝珠山第二坑口	○		○	
八幡		○	○	

観察結果からは *E.mutabilis* の生育が認められた地点と生育が認められなかった地点での差は見られなかった。*E.mutabilis* の生育が認められた地点のうち、南田川での *E.mutabilis* の存在量特に多かった。

### 3.4.2. 測定結果

#### 3.4.2.1 分散分析

分析結果を Table2 に示す。分析結果より Na、Ca、Fe のとき有意水準 5% で *E.mutabilis* の生育が確認された地点と確認されなかった地点とで有意差が得られ、他の測定項目について有意差は得られなかった。

Table2 各測定項目における平均値と誤差範囲

測定項目	単位	<i>E.mutabilis</i>	平均値	誤差範囲	有意差
温度	°C	存在しない	17.4	1.9	なし
		存在する	17.5	5.2	
pH	-	存在しない	6.45	0.28	なし
		存在する	5.24	0.68	
EC	ms/m	存在しない	87.79	27.44	なし
		存在する	96.32	75.70	
DO	mg/L	存在しない	7.56	0.54	なし
		存在する	5.92	2.33	
TOC	ppm	存在しない	9.664	7.462	なし
		存在する	43.947	41.018	
IC	ppm	存在しない	41.309	12.801	なし
		存在する	105.718	82.316	
流速	cm/s	存在しない	11.0	2.7	なし
		存在する	3.5	1.6	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ppm	存在しない	399.5	100.2	なし
		存在する	596.2	386.3	
Na	ppm	存在しない	19.631	3.188	あり
		存在する	50.335	21.463	
Mg	ppm	存在しない	28.718	13.199	なし
		存在する	25.873	11.240	
Al	ppm	存在しない	9.909	7.038	なし
		存在する	8.267	6.981	
Si	ppm	存在しない	37.165	5.201	なし
		存在する	52.865	20.868	
Ca	ppm	存在しない	40.480	11.049	あり
		存在する	177.902	94.290	
Fe	ppm	存在しない	5.212	3.956	あり
		存在する	34.261	21.279	

### 3.4.2.2 pH

pH 測定結果を 3.4.2.2 に示す。*E. mutabilis* は酸性環境で生育することは知られているが、今回の実験では *E. mutabilis* の生育が認められた地点の pH の範囲は 3.74~7.73 であった。このことから、*E. mutabilis* は酸性環境以外でも生育できることがわかった。

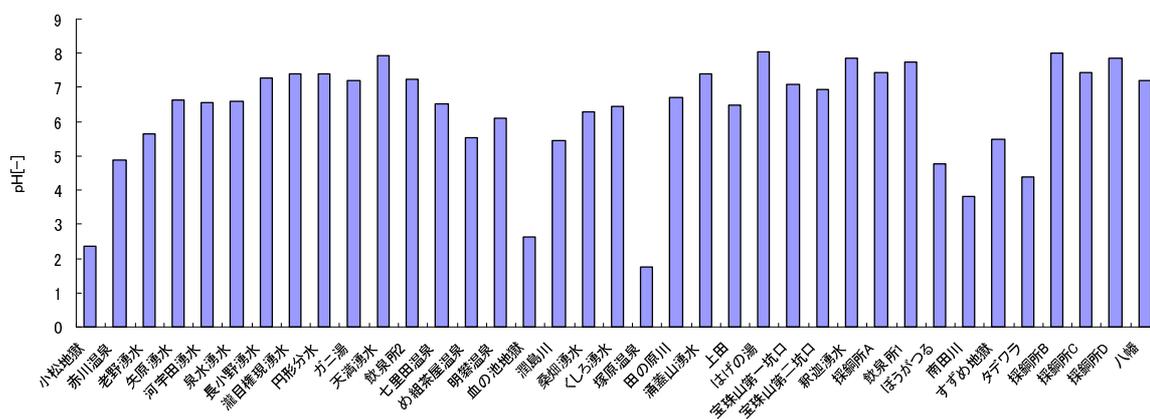


Fig3 pH 測定結果

## 4. 培養実験

### 4.1 実験方法

#### 4.1.1 光合成活性・呼吸活性測定

0 日目と 3 日目に設定した pH の値での溶存酸素濃度の変化速度により光合成活性・呼吸活性を求めた。南田川で採取した *E. mutabilis* をサンプルとし、南田川で採水した坑廃水を培養液とした。培養液は pH2、3 のときは 0.1 または 1.0N 硫酸、pH4、5、6、7、8 のときは 0.05M トリス MES 緩衝液、0.1 または 1.0N 水酸化ナトリウム水溶液、pH9 のときは 0.1M グリシン-水酸化ナトリウム水溶液で調整をした。調整後の培養液 10mL に  $1.0 \times 10^4$  個/mL の *E. mutabilis* を入れ、0 日目のポータブル溶存酸素計 (TOADKK, DO24-P) を使用して Fig4.1 に示した装置を組み立て、溶存酸素濃度を測定した。測定時の温度は 20℃、水中の光強度は  $150 \mu \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、反復数 3 回として光合成速度は光を照射した状態で溶存酸素濃度を 50 分間測定し、呼吸速度はアルミホイルで覆い光を遮断して溶存酸素濃度を 50 分間測定した。測定後、明条件と暗条件で光強度  $220 \mu \text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  とし、GROWTH CHAMBER 内で 3 日間培養した。培養終了後、明条件、暗条件それぞれについて 0 日目と同様に光合成速度、呼吸速度を測定した。このとき、それぞれの pH に調整した培養液を 40% 入れ替えた。

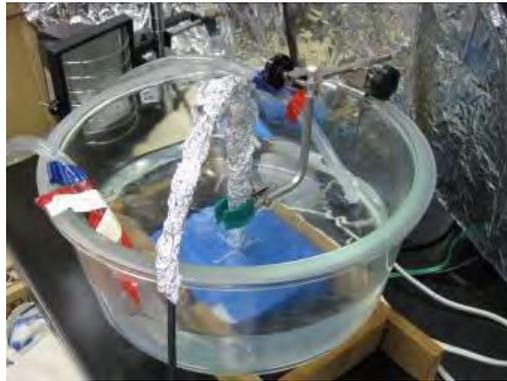


Fig 4 溶存酸素測定装置

#### 4.1.2 統計処理

調整したそれぞれの pH の速度間に有意差があるか分散分析を行い（SPSS for Windows スタンダードバージョン）、さらに分散分析の結果より、有意確率 5%以下の因子について、Tukey 検定を用いて多重比較検定を行った。

#### 4.1.3 増殖率の測定

0 日目に *E.mutabilis* の初期濃度  $1.0 \times 10^4$  個/mL をとした試料 10mL のクロロフィル a をアセトン抽出し、クロロフィル a 濃度を定性的に測定することで増殖率を算出した。まず、ガラス繊維ろ紙（Wattmann, GF/F）でろ過を行い、90%アセトンを加えながらろ紙を乳鉢ですりつぶし乳液状にした。乳液状になった試料を 90%アセトンでゆすぎながら遠沈管に移し 2 時間 4℃、暗条件下で放置した。その後、3000rpm、10 分間遠心分離を行い、90%アセトンで対照にして 663nm、750nm で吸光度を測定した。0 日目に pH2、3、4、5、6、7、8 に調整した *E.mutabilis* の初期濃度  $1.0 \times 10^4$  個/mL をとした試料 10mL を 7 日間明条件下、暗条件下で培養し、7 日目に 0 日目と同様に測定を行った。pH の調整と培養方法は光合成・呼吸活性の測定と同様の方法で行った。反復数は 3 回とした。

### 4.2. 結果

#### 4.2.1 光合成活性・呼吸活性

0 日目の光合成活性、呼吸活性を Fig.5 に示す。光合成活性、呼吸活性ともに pH8 のとき最大値を示した。多重比較検定を行った結果、5%水準で光合成活性は pH8 と pH2、3、4、5、6、7 との間に有意差が見られた。呼吸活性は pH3 と pH8 のときに有意差が見られた。この結果から *E.mutabilis* は光合成、呼吸を行うには pH8 のときが適しているということが考えられる。

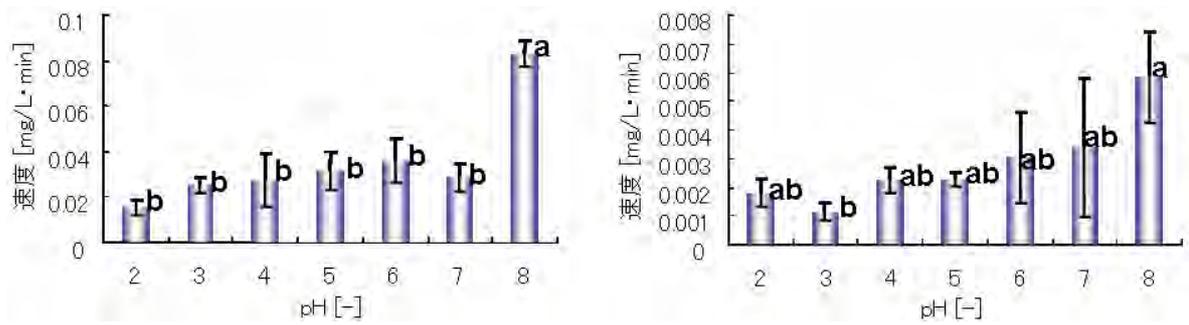


Fig.5 0日目の総光合成活性（左）と呼吸活性（右）

a、b は速度間の有意差を示す。

0日目と3日目の光合成活性を比較した図を Fig.6 に示す。3日目も0日目と同様に pH8 のときに最大値を示したが、分散分析の結果、0日目と比較すると pH8 のときの3日目の総光合成活性は 5%水準で有意に低下していることがわかった。0日目と3日目の速度間に pH2、4、6、7、のときに有意差はなく、特に pH2 のときの低下率は最も小さかった。このことから pH2 のとき総光合成活性が安定していると考えられる。

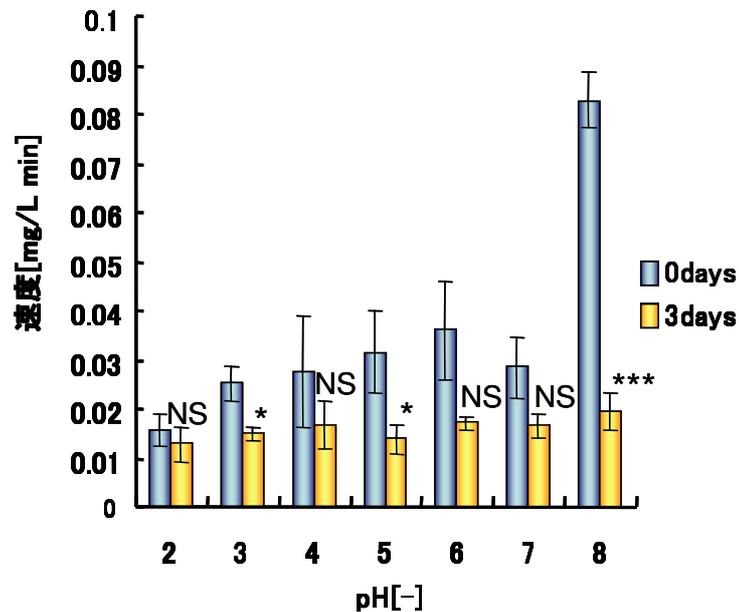


Fig.6 0日目と3日目の総光合成活性の比較

NS は 0 日目と 3 日目の総光合成活性に有意差がないことを示す。\* は 5%以下で有意差があることを示し、\*\*\* は 0.05%以下で有意差があることを示す。

3日目の明条件、暗条件培養後の総光合成活性を比較した図を Fig7 に示す。暗条件培養後よりも明条件で培養後の方が、活性が大きいということがわかった。分散分析の結果、5%水準で pH3 と pH6 のときに有意差が得られた。

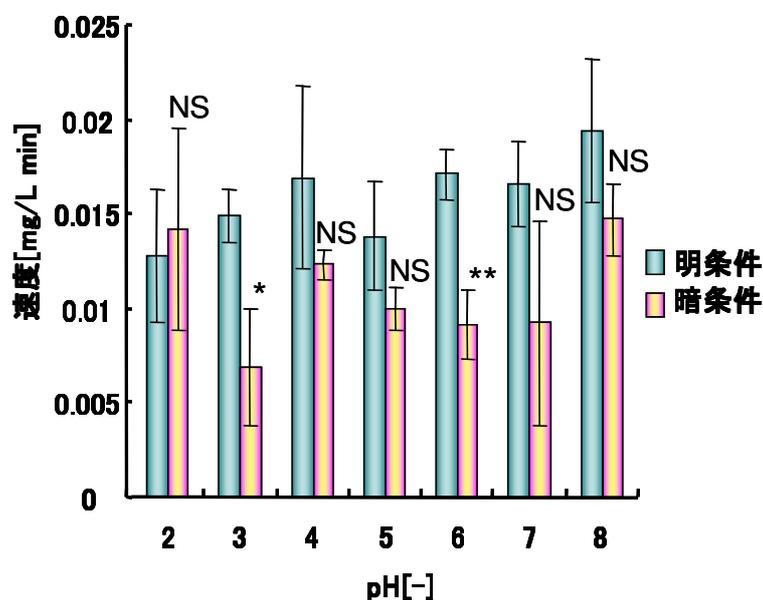


Fig.7 明条件、暗条件培養後

NS は明条件培養後と暗条件培養後の総光合成活性に有意差がないことを示す。\* は 5%以下で有意差があることを示し、\*\* は 0.5%以下で有意差があることを示し、\*\*\* は 0.05%以下で有意差があることを示す。

#### 4.2.2 増殖率

Fig.8 に増殖率を示す。Control と比較して全ての 7 日後のクロロフィル濃度が減少していたことから *E.mutabilis* は減少していたと考えられる。また、明条件のときよりも暗条件のときのほうがクロロフィル濃度は高く、pH が高いほうがクロロフィル濃度が高いということが考えられる。しかし、3 回の吸光度のばらつきが大きく安定しなかったため、測定方法を再検討する必要がある。

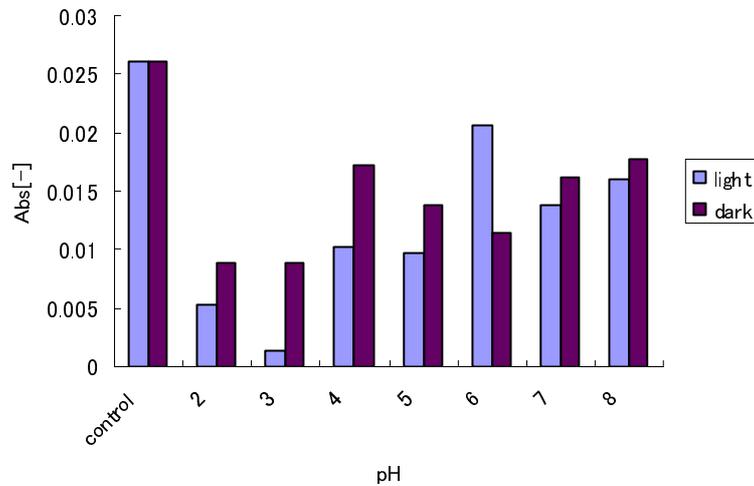


Fig.8 7日後の増殖率

## 5. 結論

分布調査から、*E. mutabilis*はNa、Ca、Feを多く含む水質が適しているということが考えられる。また光合成、呼吸を行うには中性付近の方が適しているといえるが、培養をおこなっていくうえでは培養液をpH2に調整し、光を照射した状態で培養することが適しているということが考えられる。pHについて、*E. mutabilis*は酸性環境を好むため*E. mutabilis*の生育が確認できた地点と確認できなかった地点で有意差が得られることが予測されたが*E. mutabiis*の生育範囲は広く、現地ではpH7.73でも生育できるということがわかった。今後、生育環境をさらに解析するために共生、競争を考えた種間関係についての培養実験、金属濃度を変えた培養実験を行うことが必要である。

## 6. 謝辞

原口昭教授、伊豫部勉特別研究員、香春町教育委員会 野村憲一様、本研究を行うにあたってご協力していただいた全ての方々に心からお礼申し上げます。

## 7. 参考文献

- 1) Olaveson, M.M. and Nalewajko C. (2000) Effects of acidity on the growth of two *Euglena* species, 39-56.
- 2) Lessmann D., Deneke R., Ender R., Hemm M., Kapfer M., Krumbeck H., Wollmann K. and Nixdorf B. (1999) Lake Plessa 107 (Lusatia, Germany) –an extremely acidic shallow mining lake, 293-299
- 3) 遠藤祐司、荻野激 (1999) 北海道における酸性坑廃水対策の実例、40~42
- 4) S.S. Brake, H.K. Dannelly, K.A. Connors (2001) Controls on the nature and distribution of an alga in coal mine-waste environments and its potential impact on water quality, 458~469
- 5) S.S.Brake, S.T. Hasiotis, H.K. Dannelly, K.A. Connors(2002) stromatolite builders in acid mine drainage: Implication for Precambrian iron formations and oxygenation of the atmosphere?, 599~602
- 6) TOC-V CSH/CSN ユーザーズマニュアル, 島津製作所
- 7) 岸学 (2005) SPSS によるやさしい統計学、株式会社オーム社
- 8) 日本分析化学北海道支部 (2006) 水の分析 (第 5 版)、化学同人株式会社
- 9) H.Mann and W.S Fyfe (1989) Metal uptake Fe-, Ti-oxide biomineralization by acidophilic microorganisms in mine-waste environments, 2731~2735
- 10) 西条八束、三田村緒佐武 (1995) 新編 湖沼調査法、講談社サイエンフィティク
- 11) 新 公害防止の技術と法規 水質編 (2006)、丸善株式会社
- 12) J. W. Hargreaves and B. A. Whitton (1976), Effect Of pH Growth of acid Stream Algae

## 8. 付録

### 8.1 分布調査の測定結果

Table3 温度、pH、EC、DO の測定結果

	温度	pH	EC	DO
単位	℃	—	mS/m	mg/l
小松地獄	12.3	2.36	266	4.13
赤川温泉	11.9	4.88	22.4	7.05
老野湧水	14.8	5.66	13.49	6.75
矢原湧水	16.2	6.64	17.45	6.54
河宇田湧水	15.1	6.56	16.72	7.17
泉水湧水	14.9	6.58	24.4	7.52
長小野湧水	13.3	7.27	13.66	6.84
瀧目権現湧水	14.2	7.41	11.18	7.46
円形分水	12.1	7.41	14.05	8.01
ガニ湯	35.6	7.19	403	6.07
天満湧水	19.9	7.95	93	9.23
飲泉所 2	18.9	7.24	65.4	1.95
七里田温泉	17.6	6.51	55.2	6.68
め組茶屋温泉	11.1	5.54	29.6	4.5
明礬温泉	28	6.11	55.7	11.89
血の池地獄	60.2	2.63	390	8.28
潤島川	21.9	5.45	163.1	0.17
桑畑湧水	15.5	6.31	20.1	8.54
くしろ湧水	14.8	6.44	13.66	7.77
塚原温泉	16.1	1.77	736	3.44
田の原川	7.6	6.71	36	11.3
涌蓋山湧水	10.8	7.4	18	9.18
上田	11.3	6.48	26.5	9.16
はげの湯	44.8	8.06	45.8	2.97
宝珠山第一坑口	17.4	7.08	6.96	6.21
宝珠山第二坑口	16.3	6.93	45	6.72
釈迦湧水	12.1	7.84	11.32	9.45
採銅所 A	9	7.43	15.8	9.81
飲泉所 1	36.9	7.73	399	11.27
ぼうがつる	10.9	4.78	25.8	0.28

南田川	19.1	3.83	19.2	4.5
すずめ地獄	11.4	5.49	23.5	7.63
タデワラ	9	4.37	14.1	
採銅所 B	14.3	8	32.7	8.17
採銅所 C	8.2	7.42	56.6	8.35
採銅所 D	8.4	7.86	15.16	8.2
八幡	10.8	7.22	75.3	7.9

Table4 TOC、TC、IC、流速の測定結果

	TOC	TC	IC	流速
単位	ppm	ppm	ppm	cm/s
小松地獄	3.058	4.102	1.044	0
赤川温泉	0.556	2.673	2.117	68.2
老野湧水	0.648	46.72	46.072	7.2
矢原湧水	0.458	23.88	23.422	0
河宇田湧水	0.778	20.81	20.032	0
泉水湧水	2.499	21.04	18.541	0
長小野湧水	0.842	16.25	15.408	0
瀧目権現湧水	0.603	11.85	11.247	12.8
円形分水	1.245	11.86	10.615	20.9
ガニ湯	240.9	619.3	378.4	3.9
天満湧水	1.657	124.3	122.643	8.6
飲泉所 2	1.92	83.55	81.63	0
七里田温泉	1.838	64.19	62.352	0
め組茶屋温泉	2.2	94.81	92.61	35
明礬温泉	1.814	4.945	3.131	46
血の池地獄	4.201	4.678	0.477	0
潤島川	2.416	168.4	165.984	0
桑畑湧水	0.542	28.67	28.128	21
くしろ湧水	0.643	17.95	17.307	9.1
塚原温泉	2.858	4.577	1.719	0
田の原川	2.927	9.104	6.177	8.2
涌蓋山湧水	2.591	10.98	8.389	4.4
上田	2.556	3.968	1.412	4.7
はげの湯	3.029	14.39	11.361	10.8

宝珠山第一坑口	5.227	67.21	61.983	6.5
宝珠山第二坑口	2.845	30.29	27.445	16.6
釈迦湧水	2.716	13.29	10.574	10.5
採銅所 A	3.031	18.16	15.129	11.5
飲泉所 1	167	519.3	352.3	0
ぼうがつる	2.377	24.89	22.513	8.1
南田川	3.079	16.15	13.071	3.2
すずめ地獄	3.331	38.32	34.989	6.2
タデワラ				0
採銅所 B	2.369	37.82	35.451	19.8
採銅所 C	2.631	10.52	7.889	0
採銅所 D	2.491	8.938	6.447	0
八幡	5.148	31.9	26.752	25.7

Table 5 溶存金属の測定結果

	Na	Mg	Al	Si	Ca	Fe
単位	ppm					
小松地獄	12.98	10.68	45.03	125.24	21.78	22.57
赤川温泉	11.50	8.71	0.50	69.12	29.60	0.39
老野湧水	11.27	6.01	0.97	28.39	11.89	0.98
矢原湧水	9.06	5.73	1.34	32.61	13.58	0.37
河宇田湧水	8.85	5.44	1.44	31.93	14.06	1.79
泉水湧水	8.40	4.72	1.08	30.24	13.69	0.20
長小野湧水	7.85	3.44	1.50	29.31	12.08	0.09
瀧目権現湧水	6.41	2.66	1.58	21.99	9.80	0.11
円形分水	32.26	313.79	2.28	73.67	7.80	0.19
ガニ湯	60.62	54.53	1.43	37.58	200.68	0.02
天満湧水	35.17	286.75	1.14	72.13	48.65	0.00
飲泉所 2	29.45	21.87	0.88	28.51	41.30	0.13
七里田温泉	11.10	5.87	1.66	31.02	49.86	0.00
め組茶屋温泉	12.58	4.22	10.32	57.02	39.12	0.01
明礬温泉	42.38	18.29	2.82	83.69	12.67	1.94
血の池地獄	41.83	34.84	2.67	47.64	53.71	3.95
潤島川	13.25	6.91	1.04	30.01	305.45	0.50
桑畑湧水	8.63	4.03	1.61	26.96	13.47	0.00

くしろ湧水	8.49	4.88	0.91	26.80	12.00	0.18
塚原温泉	25.88	24.16	216.61	96.65	17.02	0.44
田の原川	6.01	1.92	1.51	25.59	74.91	121.81
涌蓋山湧水	5.14	1.87	0.43	16.35	7.00	4.83
上田	54.32	0.79	0.60	49.54	5.60	0.14
宝珠山第一坑口	31.09	21.07	1.24	15.25	11.17	0.00
宝珠山第二坑口	10.72	16.10	1.01	17.72	74.28	0.75
釈迦湧水	6.67	1.47	0.89	9.61	44.51	0.00
採銅所 A	7.06	1.79	0.90	8.07	7.80	0.00
飲泉所 1	47.45	28.87	1.28	43.25	140.55	0.46
ぼうがつる	8.42	4.93	1.23	27.01	16.80	0.10
南田川	122.29	28.36	36.19	35.84	524.98	101.43
タデワラ	67.60	64.85	1.64	135.15	200.94	68.08
すずめ地獄	5.92	2.35	1.00	23.07	6.24	1.24
採銅所 B	4.72	1.81	0.68	2.67	16.16	0.00
採銅所 C	8.09	3.40	0.75	10.13	33.55	0.20
採銅所 D	8.64	2.22	0.87	6.69	9.43	0.00
八幡	68.15	10.30	1.49	9.97	42.24	0.00

## 8.2 増殖率測定 of 吸光度

Table 6 明条件培養後の測定結果

pH	1 回目	2 回目	3 回目
2	-0.0127	0.0046	0.0242
3	—	0.0001	0.0026
4	—	0.0063	0.0142
5	0.0219	0.0032	0.0041
6	0.0548	0.0074	-0.0005
7	0.0424	0.0005	-0.0015
8	0.0405	0.0059	0.0015

\* —は測定できなかったものを示す。

Table7 暗条件培養後の測定結果

pH	1 回目	2 回目	3 回目
2	0.0152	0.0023	0.009
3	0.0009	0.0186	0.0072
4	—	0.0299	0.0047
5	0.0388	-0.0014	0.0038
6	0.0158	-0.0009	0.0195
7	0.0052	0.0035	0.0398
8	—	0.015	0.0205

\* —は測定できなかったものを示す。