

< 調査報告（環境） >

粘菌博物館による生態系保護活動と経済効果

加 藤 修 一

要旨

自然の理解は観察が論理に優先するが、観察が与える“共に生きている”という共感を引き起こすような感動を基調とする行動こそが環境問題を解く鍵である。

粘菌博物館は粘菌そのものの理解と、粘菌を通して自然環境を守る意義及び微生物の産業利用の理解が深まる施設として期待が大きい。ここでは粘菌学校を開設してバイオマスや汚染物質除去などの微生物産業に続いて食の安全や、健康への貢献、生命現象の解析などの未来産業が課題として取り上げられている。

キーワード

自然 自然環境 生物多様性 環境哲学 生態系保護 NPO法人知的コミュニケーション研究機関連合（AIIC）粘菌研究センター 自然の森公園 粘菌博物館 粘菌 *Physarum polycephalum* 粘菌学校 微生物 微生物産業 土壌分析 有害物質検出 走性

I 教育への提言

1. 自然環境問題に対する基本的な考え方

自然環境や生物多様性を守るとは生態系の一員である人間にとって必要不可欠である。自然環境はそこで生存する生物の生きる権利を保障する共有財産である。人間の自然破壊を伴う自然遺産の産業化は他の生物にとっては身勝手な行動であり、人間にとっても後世にまでも様々な悪影響を与えることになる。自然環境保護の教育が叫ばれて久しいが、環境保護の意味が十分に理解されていない。自然や環境の意味が理解できないと保護の意味も意義も分からない。環境問題においては、排気ガスや産業廃棄物を無くすことだけでなく、人間の

生活を豊かにするはずの産業の発展が同時に他の生物の生存権を脅かしている現在、自然の中における人間存在の意味が問われる。環境破壊は誰もが加害者であり、被害者である。環境保護活動は自然環境下で生存する者に課せられた義務である。人間にあっては守るべき環境道徳であり、これは環境に対する強い倫理観を必要としているが、その基盤を支えているのが環境哲学である。

私は「NPO法人知的コミュニケーション研究機関連合」を立ち上げて環境哲学を模索しながら生物たちが気持ちよく暮らせる自然環境を守る仕事をしている。

知的コミュニケーションとは我々の知恵を使って生物たちの言い分をよく訊くことである。研究機関連合とは、生物の棲みやすい環境を守ることを調べる仲間の集まりである。このNPO活動は千葉県福祉・医療機器研究会⁽¹⁾の福祉コミュニケーション交流会の活動を自然環境に置き換えたものである。日々の活動の中で模索している環境哲学をここで紹介する。ここでは哲学用語や、厳密な科学的知見を避けて、観察できる事実から考えられること、人間を主体とするのではなく、自然の側からの“意見”を取り入れている。

2. 環境哲学

要 旨

これは自然環境を守るという立場に立って観察によって得られた知見から自然と人間の関係を考察したものである。

哲学の根本問題は如何に生きるかにある。哲学は、自然の脅威、不思議から自然哲学、やがて形而上学が生まれ、神学の庇護を受けて成長するが、産業革命で科学が台頭すると科学哲学が力を持つ。哲学は元来、言語の多義性を操作して思想を正当化する風潮があるが、20世紀に入るとこの傾向を嫌い英米では論理実証主義を経て分析哲学へ、厳密な論理思考に数学、記号論理学を哲学の根本に据える考え方が、また、ドイツやフランスでは現象学、マルクス主義、実存主義、構造主義、ポスト構造主義へと形而上学脱皮の試みが続いて現代哲学の主流となってくる。哲学には背景がある。経済格差を問題にすればマルク

ス主義に、宗教に根を下ろすには宗教哲学、不安定な世相や生の非合理性を問題とする実存主義や精神分析、生の哲学、科学の急速な進歩に不安を覚える科学哲学などの諸哲学が台頭して現在に至る。一方、環境問題は自然の特質を考えて自然の一員である人間はいかに生きるべきかの示唆を与えている。環境哲学の意義は環境問題を引き起こす主体である人間の行動を人間から自然に主体を移して考察する点にある。

序 説

- (1) 自然とは何か。昔からいろいろな説明があるが、未だに誰もが納得できる説明がない。
- (2) 人間が創る社会などの仲間同士のグループは人間の世界であるが、自然界とは人間が出てくる前からある世界のことである。無限小の世界から無限大の世界まで広がっている。物理学的にはあらゆる物質はエネルギーに還元できるから物質界はエネルギー界と言えよう。自然界には物質と関わる生命がある。物質と生命の関係は多くの謎が残されている。人間においては心身問題として哲学上の重要課題の一つである。物質や生物の生死、繁栄と絶命は絶えず繰り返されている。このように自然界の現象は始まりも終わりもなく絶えず変化している。
- (3) 自然界は我々の外の世界にあるが、我々の体の中にも自然界がある。心臓の動きや血液の流れなど生きるために必要なしくみは自然が創りあげている。
- (4) 我々は科学により自然のしくみを調べてその結果を応用してロボットや宇宙船を創ることができる。科学を創り出した人間を創造したのは自然である。自然は人間だけでなくあらゆる生命を生み出している。科学の力ではその理由は明らかにできない。科学は計算できるもの、測ることができるものを分析して調べることはできる。しかし、調べたいものがなぜ創られたかは解らないままである。科学は数量化できる規則となる公理系を決めて物事を数量化できる範囲に限定しているためである。人間の決めた物差しで未知の広大な自然界を測定することはできない。自然に対して人間の意志に代わる超自

自然的な力を想定することに非科学性を感じた物理学者や生物学者は生命の誕生を偶然と捉えている。しかし、この考えでは、偶然が生み出したとする生物の合目的な行動を説明することには無理がある。ランダムな組み合わせでできたとなると生物のシステム、思考、運動などの特質もランダムであるはずだが、実際には生存を目指したはっきりとした目的がある。あるいは組み合わせた材料そのものに内在する生命を、かつ、その生命が生命維持の活動を秘めているとすれば組み合わせ方と環境との相互作用で生命の顕在化が実現するとも考えられる。我々生物は自然が創り出したものであるが、何年かすると自然に帰る。我々の体は自然からの借り物で時間が来たら自然に返すだけである。それでいて心は悩み続ける。我々はどこから来てどこに行くのかという大問題は古昔から問われているものである。現代においても誰もが納得できる答えは見つかっていない。

(5) 自然自体はよくわからなくても、自然の特徴を調べると自然とは何かについての答えに近づくかもしれない。群盲象を評すというインドの寓話は、数人の盲人が象の各部だけを触ってそれぞれが象の印象を語るが、結局この話からは象はどんな動物か解らないというものである。でも、今では情報処理技術が進んでいるため、科学的方法により情報の確度、情報間の関係を調べて、自然の全体像構築は進むが、構築に必要な情報の意味、量、質が未知のままである限り構築が完成することはない。科学的方法はいわば森を知るために森の木を分析するものであるが、森全体をみるには科学的方法を補足する直観的、感性的ともいうべき理解が要求される。

(6) 自然の特徴を挙げると次のようになる。

① 生物多様性

自然界には多様な生物がいる。どれも能力や知恵を働かせて生きている。当然自然環境のそれぞれの生物に対する淘汰圧は多様となり、適応や進化の能力の獲得が生存に有利に働くことになる。適応や進化を含む環境と生物のダイナミックな関係は無視することはできない。

② 生物同士のネットワーク

生物は互いに関係を持って生きている。協力、敵対、無関心等、どのような関係であっても、どこに餌があるか、水があるか、陽当たりがよいかな等の生命活動に付随する環境条件や物理化学的な特徴、すなわち、生物の存在自体の情報を伝えあっている。

③ 自然環境

生物が生き続ける環境

我々の世界には多様な生物がいるということは、それぞれの生存に必要な環境が与えられていることを示している。

④ 適応と進化の能力を与える

棲んでいる場所が生きにくい場所であればその場所で棲めるように体の働きを変える。これが適応である。噴火口の高温の中で生きる微生物がその例である。とても生きて行けない場所なら体そのものを変える。鳥やヒトに変わる進化である。

⑤ 生物に生きる目的を与える

生物は食糧がないと生きて行けない。敵に狙われないように食糧と命を守る。これを確実にするために子孫を増やし仲間を増やす社会づくりを行うことになる。外敵から守るだけでなく、仲間同士の共食いを避けることと生存の効率を上げるために階級をつくるが、ときとして階級を維持するために階級闘争を始める。

⑥ 果てしなく続く闘争を避ける自然の知恵

ヒトの脳は歩行と樹上生活、道具の利用で外敵から身を守り、狩猟や耕作などで食糧に不自由がなくなると仲間同士の闘争を避けるために心を発達させる。脳の下部組織である旧皮質にある大脳辺縁系^[2]は本能の働きを進めて、自分のことしか考えないため周りとのトラブルが絶えない。やがて脳に新皮質という新しい部分ができる。その前の部分、前頭連合野^[2]ができると、人の悲しみなど周りの感情を理解しようとする心が働きます。

心は脳にあるという人が多いが、脳がない生物にも心があるから、脳は心という水を出す蛇口と考えた方がわかりやすい。心の働きが悪いといつまでたっても自分のことしか考えないし、闘争を続けることになり、平気で生物を殺し、自然環境を壊すことになる。

⑦ 自然の立場からみる生物の目的

生物の第一目的は食糧確保だが、生物は生存するために棲みやすい環境を求める、知恵を使って、環境に合わせる、自分を進化させ、脳を発達させ、道具を作り、科学を発達させる。自然の立場に立つと、自然は生物を使って自分の特性である、自然環境を理解させると同時にこれに合わせるように適応、進化させるために生物内部に働く自然の力を理解させようとしていると考えられる。自分の創造したものが鏡となって自分と向かい合っている。その目的は我々の子どもを見て我々の振る舞いを理解することに似ている。要するに自然の目的は被造物の様々な行動、発展、進化を通して自らを理解すると解釈すると、終わらない万物流転の意味するところは、自然と被造物の対比と理解の深化が続く被造物の自然への、また、被造物は自然の創造物であるから自然の自己への永遠回帰である。

⑧ 自然は生物たちに家を建てる材料と考える力を与えたが、どんな家を創るかはそれぞれの考えに任せている。これが自由意志である。我々はよく問題とするものにどうすれば幸福になるかとか、何のために生きているかがある。蓄財や善行のためなどの答えを用意しても誰も同意しない。心の底から納得できないからである。頭でわかっても気持ちがついていかない。自分で答えを見つけるしかない。我々は母である自然という森の中で迷子になっている。出口を見つけるには森のルールに従うことだ。どんな生物も大事に扱い、生きる環境を大切を守ることである。その意味はどれもがそれ自体の自然環境の理解と知恵をもつこと、我々と共生している事実を知ることができるからである。全ての生物を観察することは容易ではない。ある生物に絞り、詳しく観察するだけでも自然のルールを知ることができ

る。生物は自然環境を通して互いに連絡し合っているからである。与えられた環境で懸命に生きている姿に共感して深い感動を得られるなら環境保護の意義^[3]を実感することができる。共感を得るには親近感を抱くことが前提である。では、親近感を持つにはどうするとよいだろうか。ふるさとの山河が有害物質で汚染され、あるいは開発の名目で消えてゆくとき、ふるさとの深い思い入れを持つほどの親近感を抱く人は悲しみと怒りを覚える。自分とかかわりのない場所に親近感を持つには、そこで動物と接触する、絵を描くなど自己との何らかの関わりを持つ積極的な行動が有効である^[4]。自然環境に対する我々の態度の在り方は理性による判断と、感性による共感と感動に基づく行動にまとめられるが、その好例として次の名句を挙げる。

「朝顔につるべ取られてもらい水」

「千代尼句集」加賀千代女 江戸・元禄

朝起きて水をくみに井戸にいくと驚いたことに朝顔のツタがつるべに絡み、花が咲いている。水くみをするには朝顔を取り除くことになる。それはかわいそうなので、近所の井戸からもらい水をした。今を生きている朝顔に共感をおぼえて自分の行動を変えたものだが、この句には環境保護の原点が示されている。保護する対象を傍観するのではなく、これを守るための行動をすることが人々に感動を呼び、後世まで残る名句となっている。

文献

- ^[1] 加藤修一：医療福祉残業及び千葉県の取り組み 千葉経済大学 千葉経済論叢 第31号 pp.45－55 2005年1月
- ^[2] 加藤修一：創造性の生理的基礎 金原出版 1988
- ^[3] C. W. フレンド：先輩の教え 第1巻 星雲社 2007
- ^[4] S. Kato : The mind-body problem and activity: Is intelligence useful in environmental protection activities? 2012 International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology.IPCBEE vol.41 IACSIT Press, Singapore、pp.99－107 (2012)

II 粘菌博物館設立の経緯と生態系保護活用

粘菌の有害物質検出能力を示す走性を活用することで土壌の安全性を確認する方法を提案しているが、粘菌そのものが未だ一般的に知られていないため、この方法を一般に普及させることは期待できない。粘菌の特性を明らかにしてその機能を活用するためにNPO法人知的コミュニケーション研究機関連合(AIIC)(設立:平成21年(会員数20名強、平均年齢60代 会員:元議員、役人、教員、会社員、主婦など)は2014年4月に千葉県市原市東国吉に粘菌研究センター、2015年4月にフィールドワークのための自然の森公園、2016年6月に粘菌博物館^{(1)~(3)}、同7月に粘菌学校を開設した。この施設利用者の意識調査によると、粘菌そのものの理解と、粘菌を通して自然環境を守り生物多様性の意義を確認する施設として期待が大きい。この施設を母体とした理科支援のための出前講座も好評である。

ところで、粘菌は微生物として分類されるが、微生物とは顕微鏡で見える微小な生物の総称である。生物界はウイルスと一般生物界に分かれる。原生生物(微生物)、原生生物は高等微生物(一般藻類、原生動物(ミドリムシ、アメーバ、ゾウリムシ)、菌類、地衣類)と下等微生物(細菌類、藍藻類)に分かれる。菌類は粘菌類と真菌類(カビ、キノコ、酵母)に分かれる。高等微生物に至る系統を真核生物と呼び細胞は核膜に包まれた核をもつ。一方、下等微生物は原核生物と呼び、細胞は核膜を持たないのでDNAは裸のままである。菌類の推定種数は150万で既知の比率は5%である⁽⁴⁾。粘菌類は世界で900種が知られている。粘菌類は体がアメーバ状で変形菌類ともいう。粘菌は高等微生物であるが、ヒトと同じ真核生物で近縁関係にある。単細胞で脳神経系を持たないがヒトと同じ生理的機能があり、記憶、学習、判断等の知能をもつ。このため粘菌はヒトの替動物として研究対象に選ばれている。ヒトの生理学的しくみは粘菌という単細胞に単純化されている。粘菌博物館は粘菌自体の理解と同時にヒトのしくみを理解する施設である。

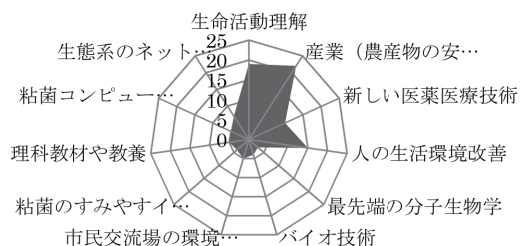


博物館内部（左：正面から後部をみる）



（右：後部から正面をみる）

アンケート結果 粘菌博物館への役割と期待
(対回答数 複数回答可)



2016年6月開館以来半年間で日本全国から子供から高齢者まで年齢層が広く、学生、会社員、主婦、教員、博物会員、バイオ研究者、年金受給者など来訪者は200名を超えている。展示品は粘菌写真、標本、実物、学会発表論文、資料など様々である。粘菌博物館に対する要望は回答数59で粘菌学校の充実13(22.0%)、観察できる施設や装置11(18.6%)、以下同率で、展示物を増やす、

観察用公園の拡張整備となっている。また、粘菌博物館への役割に対する期待を訊くと99解答数中、農産物の安全22（22.2%）生活環境改善15（15.2%）生命活動理解19（19.2%）の上位3項目が挙げられている（上図）。

来訪者は粘菌の関心度が高く、その粘菌を通して生命活動を理解しようとする観察志向と生活環境を改善したいという健康志向がうかがえる。

文献

- ^{〔1〕} 千葉）粘菌ってなんだ？ 市原に「博物館」誕生 朝日新聞 DIGITAL
2016年6月16日「google “粘菌博物館”」
- ^{〔2〕} 正体は動物？植物？「粘菌博物館」が誕生 市原 千葉日報2016年6月9日
- ^{〔3〕} 世界でも珍しい粘菌博物館が市原市東国吉に登場 2016/7/1シティライフ
掲載記事
- ^{〔4〕} 環境微生物図鑑 千原光雄 須藤隆一 小島貞男編 講談社1995

Ⅲ 経済効果

粘菌博物館では、粘菌学校を開校して粘菌や他の微生物の生態、生理、知性、産業への貢献が課題として取り上げられている。化学肥料に代わり微生物を利用して安全な農作物を生産する手法^{〔1〕}、また、土壌や水、食材の特安全性確認ができる粘菌の高い有害物質検出能力などの課題は好評である。現在は健康志向に入り、食の安全を求める消費者に質の高い食品の提供ができれば恒久的な経済効果が期待できる。微生物の現行の産業利用^{〔2〕}とこれからの微生物産業^{〔3〕}として扱う課題に次のようなものがある。

1. 微生物産業

(1) バイオマス

微生物によるセルロースやヘミセルロースの分解により生活に必要なエネルギーを作る。

(2) バイオレメディエーション

土壌や石油汚染に対する微生物の化学物質の分解能力、蓄積能力などを利

用して土壌や地下水等の汚染浄化

(3) 微生物による金属腐食の解明と対策

さらに進んで食の安全や、健康への貢献、生命現象の解析などの未来産業が考えられる。

2. 汚染物質の検出センサー

重金属類、塩素化合物、PHなどの検出に関わる微生物細胞内イオンの移動や浸透圧に対する感受性：食の安全への応用、簡易型センサーの開発

3. 粘菌の知的行動の応用

道路や鉄道網の企画、意志決定システムの解明、粘菌コンピュータ

4. 疾病の判定能力

微生物、特に線虫による癌マーカ、尿や血液中のイオン検出

5. 老化や再生のメカニズム

自然界における見かけ上の‘不死性’を粘菌のライフサイクルにより解明

6. 微生物ゲノム情報による遺伝資源ライブラリー構築や微生物ネットワークの解明

文献

^[1] 土耕菌ナルナルHP

^[2] 独立行政法人製品評価技術基盤機構HP

^[3] NPO法人知的コミュニケーション研究機関連合（AIIC）HP

以下に粘菌の有害物質検出能力についての研究を紹介する（第10回21世紀科学と人間シンポジウム2017年3月10日・11日）。

粘菌*Physarum polycephalum*による残土内有害物質の検出 —土壌分析—

Application of *Physarum polycephalum* to detectng a toxics substance in surplus soil.

-Soil analysis-

○^{1,2,3}加藤修一³石井守³宮下勇治³安藤猛³大塚洋一³高橋光春³中村良子³佐藤勝夫³中村敏枝³徳永修二³竹内正好³中川桂子

Shuichi Kato, Mamoru Ishi, Yuji Miyasita, Tsuyoshi Ando, Yoichi Otsuka, Mitsuharu Takahashi, Yoshiko Nakamura, Katsuo Sato, Toshie Nakamura, Shuji Tokunaga, Masayoshi Takeuchi, and Keiko Nakagawa

¹NPO AIIC附属粘菌研究センター, ²千葉経済大学, ³NPO法人知的コミュニケーション研究機関連合 (AIIC)

¹NPO AIIC Myxomycete Research Center, ²Chiba Keizai University, ³NPO Association of Institute for Intelligent Communications (AIIC)

要旨

土壌内有害物質の現行法にしたがう土壌分析検査法は費用も時間もかかるばかりか、人体への健康被害を優先しているため土壌生態系への影響を考えるほどの精度はない。これに対して粘菌*Physarum polycephalum*変形体の走性パターンから土壌内有害物質を検出する方法は難しい手法も知識も必要としない簡易的、短時間、僅かな土壌試料、安価であるうえ高精度である。土壌中の微生物には微量な有害物質でも生存を脅かされるが、この有害性を検出できる*Physarum*の特性は、たとえ有害物質の特定が不得意でも、土壌生態系に対する土壌検査用生物センサーとして期待できる。この論文では、*Physarum*の有害物検出能力を通して微生物が土壌環境にどのように対応しているかを調べる微生物環境生理学、これを基礎として生物多様性を支える微生物にまで範囲を広げる環境基準の制定など新しい分野を確立する必要性を述べている。

1. はじめに

本報は前報⁽¹⁾に関連した土壌分析及びその課題の報告である。

前報で報告したが、*Physarum*による金属イオン反応では、金属イオン水に*Physarum*は嫌悪反応である負の走性を示したが、刺時間経過とともに刺激に

対する順化がみられた。本報では走性と電気伝導率の関係、及び土壌分析結果を報告する。

2. 実験方法と結果

(1) 電気伝導率

精製水 1 ml 当たり金属 1 g が 10℃ のもと、60 日かけて溶出したイオン水 1 ml の電気伝導率を測定した。測定条件は Ag-AgCl 電極、電源：1 Hz、0.3V、*Physarum* の走性の数量化は前報の条件に従って寄り付き（正の走性 1～4）、無方向（0）、逃避（負の走性、－1～－4）とした。*physarum* の電気伝導率 13.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ より各金属イオン水の電気伝導度が高くなるほど *physarum* の負の走性が強まる傾向にある。電気伝導度 7.93 の Hg では動きが特定しない無関心であるが、他のイオン水全てにおいて逃避している。

電気伝導率 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$\mu\text{S}/\text{cm}$	粘菌接近
physarum	13.9	
Al	20.06	－3
Zn	12.95	－2
Fe	28.3	－3
Pb	14.97	－2
Cu	13.9	－2
Hg	7.93	0
公園土	58.3	3
残土	110.25	－3

表 1 電気伝導率 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Ag-AgCl 電極、電源 1 Hz 0.3V、イオン水 1 ml

公園では電気伝導率が 58.3 と高いが、餌となる微生物が豊富であることから有害となるイオンの効果が打ち消されるか、有害とはならないイオンの存在を示唆している。

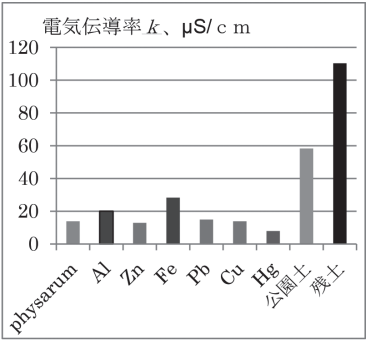


図1 電気伝導率 $\mu\text{S/cm}$

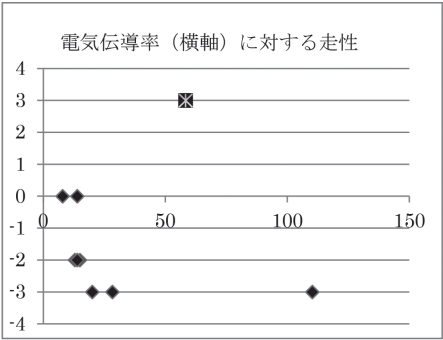


図2 電気伝導率 $\mu\text{S/cm}$ と走性
プロット■は公園土、右端は残土

(2) 土壌分析

上記の土壌である、残土と公園土それぞれ500gの溶出試験及び一般性性状試験を行った。測定法は第二種特定有害物質（重金属等）に対する平成15年環告第18号による。その結果を表2、表3に示す。判定基準は平成14年法律第53号「土壌汚染対策法」による。

計量項目	計量結果	判定基準値
(溶出試験) 単位: mg/l		
カドミウム	0.005 未満	0.01 以下
シアン	不検出(0.1未満)	不検出
鉛	0.005 未満	0.01 以下
六価クロム	0.02 未満	0.05 以下
砒素	0.001 未満	0.01 以下
総水銀	0.0005 未満	0.0005 以下
セレン	0.001 未満	0.01 以下
ふっ素	0.2 未満	0.8 以下
ほう素	0.2 未満	1.0 以下
(一般性状試験)		
形状	砂状	色 黄茶褐色

図1 残土分析結果

計量項目	計量結果	判定基準値
(溶出試験) 単位: mg/l		
カドミウム	0.005 未満	0.01 以下
シアン	不検出(0.1未満)	不検出
鉛	0.005 未満	0.01 以下
六価クロム	0.02 未満	0.05 以下
砒素	0.001 未満	0.01 以下
総水銀	0.0005 未満	0.0005 以下
セレン	0.001 未満	0.01 以下
ふっ素	0.55 未満	0.8 以下
ほう素	0.26 未満	1.0 以下
(一般性状試験)		
形状	小塊状	色 茶褐色

図2 公園土分析結果

溶出試験による残土分析結果は以下の値 (mg/l) で示される。カドミウム0.005 (未満)、シアン検出不可、鉛0.005 (未満)、六価クロム0.02 (未満)、砒素0.001 (未満)、総水銀0.0005 (未満)、セレン0.001 (未満)、ふっ素0.55、ほう素0.26となり、全て汚染判定基準値を下まわっている。公園土では、ふっ素0.2、ほう素0.2以外は残土成分と同じである。残土は公園土に対して、ほう素は微増、ふっ素は3倍弱となっている。形状は砂状と小塊状、色も黄茶褐色と茶褐色の違いがみられる。形状や色の違いは不明である。

考 察

Physarum 走性を土壌内有害物質センサーとして利用する場合、次のような解決すべき課題がある。すなわち、検査指標としての*Physarum*は有害物質を避けて偽足を広げていくが、その広がりの方の動的変化、すなわち負の走性を示す動的形態の定量化(形態を波形情報としての関数化)、走性パターンである、形態特有の生理学的メカニズムの解明、既に発表したコンピュータシミュレーションに有害物質に対するセンシングシステムを導入して走性システムを構築する。さらに、偽足の一部が受容した情報に基づいて*Physarum*全体の動きを決める意思決定システムを走性を示す行動解析から推定するなどである。

*Physarum*は、有害刺激の濃度に比例して負の走性、行動停止、ATP減少、機能停止の段階に進む^{[3]~[5]}。本実験における金属イオン溶出濃度では負の走性が顕著にみられた。

ところで、走電性は細胞内遊離イオン濃度に応じて電気刺激を避ける負の走性を示すため金属拒否反応は金属イオンと*Physarum*の遊離イオン間の電界強度が生み出す嫌悪反応と考えられる^{[6]~[10]}。本報で述べたように金属イオン水の電気伝導率が*Physarum*の電気伝導率より高値であれば逃避(負の走性)を示したが、これを裏付けるものとして注目したい。さらに、着目したいことは電気頻回刺激に対する負の走性^[9]は細胞内のNa, Caなどの陽イオン濃度の増加、細胞内外のイオン濃度の平衡による*Physarum*の外的刺激に対する耐性、

広くは順化、適応能力の可能性である。生存を脅かす環境条件であってもこれを克服できる生理システムが解明されると生物の適応過程や進化の説明に役立つものと考ええる。

平成15年環告第18号の測定法によると今報で扱う残土は安全な土壌となり危険物対象の土壌ではない。測定成分の種類を増やす、土壌採取の場所を変えるなどの対策をとると安全基準に合わない結果が得られる可能性がある。この基準は疫学調査や動物実験に根拠を置くため微生物への毒性は対象外となる。残土ではふっ素0.55、ほう素0.26となり、公園土のふっ素0.2、ほう素0.2を上回る。*Physarum*にとってハロゲンは濃度により毒性を持ち、濃度に比例して走化性を示す。これも有害物質となる可能性がある⁽¹⁾。微生物が激減し、変形菌が逃避する残土は明らかに生存を脅かす有害物質を示唆している。多細胞生物である人間は微量な有害物質では知覚もできないし、有害の影響は長年の蓄積効果がないと健康被害として現れない。単細胞である変形菌は微量であっても生存を脅かす有害物質には敏感な反応を示す。*Physarum*の感電性はヒトの100万倍ほどの高感度である。その根拠は刺激電流0.5nAで膜電位の興奮を起こす⁽¹¹⁾が、ヒトではマクロショックでは1.0mA、ミクロショックでは、0.1mA、静電気の感電0.5mA（2千～3千V）に基づいている。さらに、*Physarum*には記憶や学習能力が認められるため、これを応用すれば有害刺激に対する高感度の感受性が期待できる⁽⁶⁾。

農作物の育成と生物多様性を支える土壌微生物の立場から環境基準を見直す必要がある。そのためには、生存のためにネットワークを構築している生物多様性の意義を理解し、我々を含めてどの生物も共に自然の恩恵を共有しているという、各人の自覚が要求される⁽¹²⁾。

参考文献

- ⁽¹⁾ 粘菌*Physarum polycephalum*による残土内有害物質の検出 第9回21世紀科学と人間シンポジウム 加藤修一他2016.3
- ⁽²⁾ 粘菌の行動パターン形成のシミュレーション(複雑系) (OS.12: パターン形成と

- 複雑性) 加藤 修一, 穂積 英暢, 北村 克洋 Dynamics and Design Conference : 機械力学・計測制御講演論文集 : D&D 2001 (abstract), p.51, 2001
- [3] モジホコリを利用した細胞内ATP濃度を指標とする環境汚染度分析手法の開発 海老根雅人 加藤修一 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌) Vol. 136 (2016) No. 9
- [4] 酸性雨・漂白剤の粘菌に与える影響 Effects of the Acid Rain and Bleacher to the *Physarum Polycephalum* 加藤 修一 梅津 謙介 三田 秀峰 川崎 範康 穂積 英暢 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集D-7-13 1999年.情報・システムソサイエティ大会 (講演論文集), p.56,
- [5] 水溶液による変形菌フィザルムの原形質流動と細胞膜への影響 (C-13.有機エレクトロニクス,一般セッション) 片岡 健一, 加藤 修一, 海老根雅人 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2008年_エレクトロニクス(2), p.134
- [6] S. Kato, Galvanotaxis of the plasmodium of *Physarum polycephalum*, *Integral Biomathics Support Action 1st Ann.Conf. on Integral Biomathics*. Stirling University. Scotland 2011. Pre-prints. 2011, pp.107-110. In: P. L.Simeonov, et al (eds.). *Integral Biomathics: Tracing the Road to Reality. Proc. of iBioMath' 2011-Am*, San Jose,CA, USA, *iBioMath 2011-Eu*, Paris, France and *ACIB '11*, Stirling, UK: 2012, Part1:7. Springer-Verlag.
- [7] Kato S and Ebine M.: Control of plasma streaming of *Physarum polycephalum* by Electric Stimulation, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Proceedings of the 2008 IEICE Conference, C-13:54, 2008
- [8] 電気刺激による*Physarum polycephalum*の原形質流動の制御 (C-13.有機エレクトロニクス,一般セッション) 海老根雅人, 加藤 修一, 片岡 健一 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2008年_エレクトロニクス(2), p.133, 2008
- [9] 変形体*Physarum*における頻回電気刺激に対する回避行動 海老根雅人、加藤修一第 57回中部日本生理学会論文集 p55 (2010)
- [10] 海老根雅人,加藤修一: *Physarum polycephalum*の走電性と膜電位, 第84回日本生化学会大会, 4P-0471, 2011.
- [11] H.Kuroda, Origin of the membrane potential in plasmodial droplets of *Physarum polycephalum*, *J.Gen.Physiol*,1981,pp. 637-655

- ^[12] S. Kato: The mind-body problem and activity: Is intelligence useful in environmental protection activities? 2012 International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology. IPCBEE vol.41 IACSIT Press, Singapore, pp.99-107 (2012)

謝 辞

当NPO活動に協働し、貴重なアドバイスを戴いた石井商事株式会社石井守、洋子ご夫妻、土壌菌農法研究所石井一行氏、アンケートに協力戴いた粘菌博物館関係者、来訪者、市原市立市東中学三年生、教職員の方々、その他当会員諸氏、千葉経済大学教職員及び学生諸君、市原市教育委員会、また、活動支援助成を戴いた市原ロータリクラブ『地域社会貢献基金』、双葉電子記念財団「青少年創造性開発育成事業」の関係者の皆さまに心から感謝申し上げます。

かとう しゅういち（本学非常勤講師）