

電気がキノコの発生に及ぼす影響

～迫り来る環境異変の前に～



青森県立名久井農業高等学校 環境班

坂本成海 大平竜福

1 研究の背景と目的

落雷を受けた樹木にキノコがよく発生すると昔からいわれている。理由は高圧電流がキノコの菌糸を切断し、そこに原基というキノコのもとができるからである。また近年はキノコに青色光受容体があることが発見され、栽培に光を活用する研究が始まっている。キノコの収量を左右するのは発生といわれる。したがって人工的な菌床栽培では低温に加え、菌糸のまわった培地の表面をスプーンでかき出す「菌かき」という物理的刺激を与えて発生を促すのが一般的な技術となっている。そこで私は落雷、青色光、菌かきなどの共通点として電気刺激を考えた。光や物理的刺激を受けることで培地に電気が流れ、そこに原基ができると思ったからである。もしそうであれば、この現象を確かめたうえで新たな自生地環境を再現した人工的な発生促進技術を考案したいと考え、本研究に取り組むことにした。

2 研究の方法

(1) 外部刺激が培地に与える影響を探る

暗黒下でナメコの培地に光などで刺激を与え、培地内にどのような電圧変化が起こるか測定することにした。
<実験方法>

- ① 森のキノコ倶楽部「ナメコ農園」(森産業株式会社) キットを準備する。これはオガクズに菌を植え付けたもので、すべて同じ条件で作られているため実験に用いた。
- ② 培地の上から水をかけて浸透させ、その後、余分な水は捨てる。
- ③ 培地の表面5mmをスプーンなどでかきとる「菌かき」処理を行う。
- ④ その後、赤玉土を1cmの厚さで培地に敷く。
- ⑤ 培地に電圧測定ロガーの電極を5cmはなしてさし、段ボール箱を被せる。
- ⑥ 区によっては箱の上部に照明をつけたり、CDのイヤホンコードをさして培地に刺激を与えた。
- ⑦ 測定は培地への振動などのまったくない夜10時の実験室でタイマーを使って電圧を測定した。
- ⑧ なお測定は3回繰り返して行いデータを集計した
- ⑨ 試験区は次の通りとした。

試験区	概要
Control	白熱灯を40Luxで点灯
白熱灯ゆらぎ区	白熱灯を40Luxで1/fゆらぎで明滅
青色光区	450nmの青色LED(450nm)を40Luxで点灯
青色光ゆらぎ区	白熱灯に青色セロファンをかぶせ10Lux、1/fゆらぎで明滅
音楽区	イヤホンコードを切断して培地にさし、CDの音楽を流す

※ 1/f ゆらぎ

規則性とランダムの中間のリズムで小川のせせらぎや木漏れ日など自然現象に多く見られる。自然のリズムとして扇風機などに応用されている。本実験ではアカリ社の1/fゆらぎ発生装置を利用して白熱灯を明滅させた。

※ 音楽

モーツアルトのKV581(クラシック音楽は1/fゆらぎのリズムが入っているといわれるため)

試験区の図



試験装置は手作り



(2) 外部刺激がナメコの発生に与える影響を探る チャレンジ1

Controlの他、電圧が常に変化し続けている青色光ゆらぎ区と音楽区の3区を設置し、実際にそれぞれ

のナメコの発生や収穫量について比較する。

<実験方法>

- ① 森のキノコ倶楽部「ナメコ農園」(森産業株式会社)キットを準備する。これはオガクズに菌を植え付けたもので、すべて同じ条件で作られているため実験に用いた。
- ② 培地の上から水をかけて浸透させ、その後、余分な水は捨てる。
- ③ 培地の表面5mmをプーンなどでかきとる「菌かき」処理を行う。
- ④ その後、赤玉土を1cmの厚さで培地に敷き段ボール箱をかぶせる。
- ⑤ 試験区、栽培歴は次の通りとした。

試験区	概要
Control	白熱灯を40Luxで点灯
青色光ゆらぎ区	白熱灯に青色セロファンをかぶせ10Lux、1/fゆらぎで明滅
音楽4日区	イヤホンコードを切断して培地にさし、CDの音楽を4日流す

青色セロファンを使った青色光ゆらぎ区



栽培暦



(3) 外部刺激がナメコの発生に与える影響を探る チャレンジ2

イヤホンと電極の間に抵抗器を入れ、培地に流れる電圧、電流が1/10程度になるよう調整する。Controlの他、音楽6時間区、音楽24時間区、音楽72時間区の3区を設置し、実際にそれぞれのナメコの発生や収穫量について比較する。

可変抵抗器で電圧が1/10に調整



手作りの実験箱



<実験方法>

- ① イヤホンと電極の間に1MΩの可変抵抗器を入れ、CDから出力された電圧が約1/10になるように調整。
- ② この後はチャレンジ1と同じなので省略する。
- ③ 試験区と栽培歴は次の通りとした。

試験区	概要
Control	白熱灯を40Luxで点灯
音楽6時間区	抵抗器で1/10の電圧に下げたCDの音楽を6時間流す
音楽24時間区	抵抗器で1/10の電圧に下げたCDの音楽を24時間流す
音楽72時間区	抵抗器で1/10の電圧に下げたCDの音楽を72時間流す

v 発生を待つナメコ培地



栽培暦

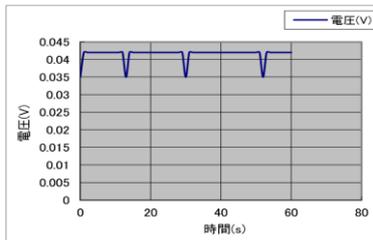


3 研究の結果

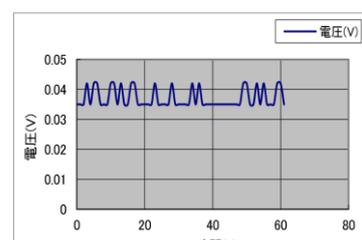
(1) 外部刺激が培地に与える影響を探索

暗黒下でナメコの培地に光刺激を与え、培地内にどのような電圧変化が起こるか1秒間隔でControl、青色光区、白熱電灯ゆらぎ区をそれぞれ60秒間測定した。

■ 白熱電球点灯 電流0.1~0.3μA

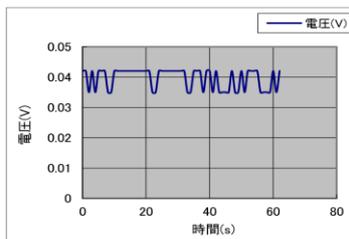


■ 青色LED点灯 電流0.5~0.7μA

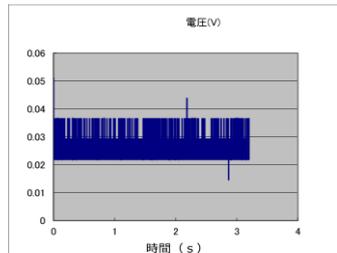


60秒間の電圧を測定した結果、現在の栽培法である白熱灯点灯したControl（上）では、ほとんど培地内の電圧変化は見られなかった。また電流もわずかな変化であった。しかし波長450nmの青色光LED区（右上）では、小刻みな電圧変化が起きていた。さらに白熱灯を1/fゆらぎで明滅させたゆらぎ区（右）では、青色光LEDと同じような電圧変化があらわれた。また青色光LED区とゆらぎ区は電流が0.5~0.7μAとControlの0.1~0.3μAより大きくなった。また白熱灯をゆらぎのリズムで照射すると青色光と同じぐらいの電流が流れることがわかった。

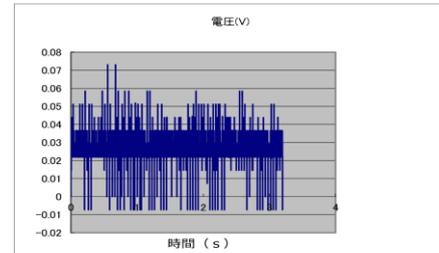
■ 白熱電球 ゆらぎ明滅



■ 白熱電球点灯 測定間隔 0.000

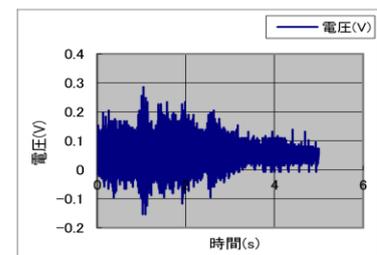


■ 白熱電球 ゆらぎ明滅

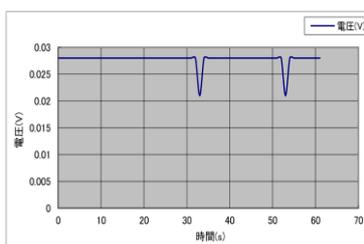


次にわずか3秒を0.0001秒間隔で電圧を測定してみた。すると1秒間隔ではわからなかった細かい電圧変化を捉えることができた。やはり同じ白熱灯でも点灯させるよりゆらぎのリズムで明滅させると複雑に大きく変化することがわかった。ゆらぎのリズムはキノコの発生を促す木漏れ日のリズムである。そこで同じゆらぎのリズムといわれるクラシック音楽を培地に流して測定した。測定の結果、培地の中に小刻みな電圧変化が起きていることが確認できた、これはキノコが発生しやすい木漏れ日と同じゆらぎのリズムである。つまりゆらぎのリズムで光を明滅させる代わりに音楽を培地に流すとキノコの発生が促される可能性が出てきた。そこで実際に栽培する前にかけるCDのボリュームによって電圧が変化するか測定してみた。音楽をかけない無音状態だと電圧はほぼないが（右）、CDのボリュームを変えても電圧は変わらないことがわかったので（下右、下左）、ボリュームを8に固定して流すことにした。

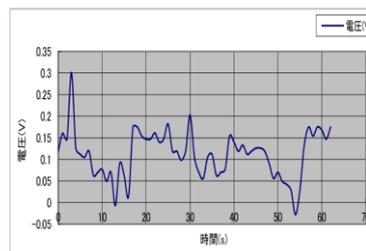
■ 音楽



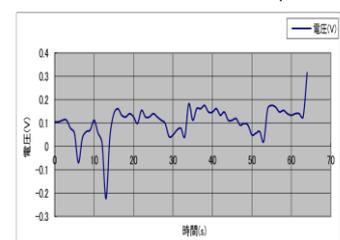
■ 暗黒無音



■ 音楽 (Volume 1 電流1~50μA)



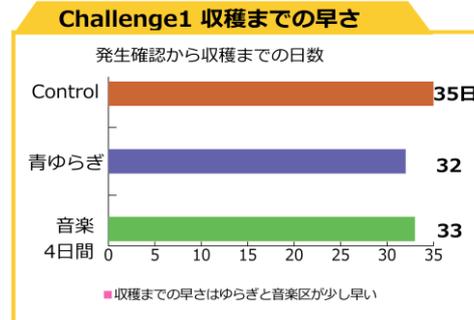
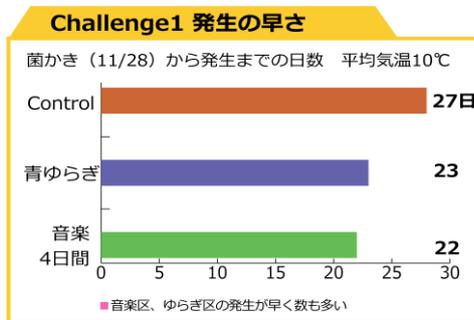
■ 音楽 (Volume 8 電流1~50μA)



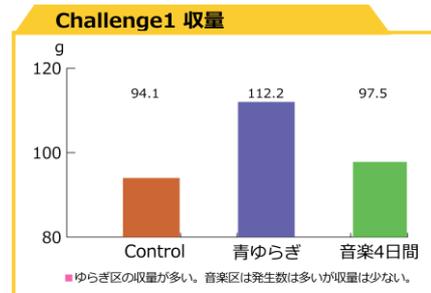
(2) 外部刺激がナメコの発生に与える影響を探索 チャレンジ1

光や音楽による外部刺激を測定の結果、青色光とゆらぎのリズムで明滅させた区が最も電圧変化が起こることがわかった。今回使った波長 450nm の青色光のエネルギーは 2.76eV と 700nm の赤色光 1.77eV に比べて大きいことがわかっている。もしかしたらこの青色光や光が揺らぐことで起こる培地の電圧の強弱が、キノコの発生を促しているのかもしれないと私は考えた。

そこで Control に加え、青色光を明滅させた区、音楽を流す区の 3 区で実際にナメコを栽培し、発生状況や収量などを比較してみた。



11月28日に菌かき処理した後、青色光ゆらぎ区、音楽を4日間（96時間）を設定して観察行った。その結果、予想どおり音楽4日区と青色光ゆらぎ区が22日後、23日後にそれぞれ発生が確認され、Controlよりも早かった。また傘が4cmになったものを収穫と決めて調査を続けたところ、やはり収穫までの日数も青色光ゆらぎ区と音楽4日区が数日だが早くなった。



最終的な収量を確認すると、Controlの94.1gに対して青色光ゆらぎ区は112.2gと約20%も収量が多かった。ところが期待していた音楽区は97.5gとほとんど差はなかった。早く発生したにもかかわらず、なかなか大きくならなかった。そこでもう一度原因を考え、再挑戦することにした。

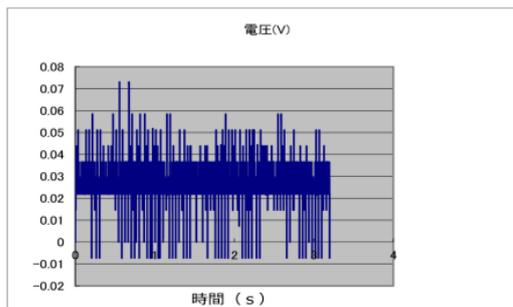


■ Control 青ゆらぎ 音楽 ■ 音楽区は培地側に無数発生

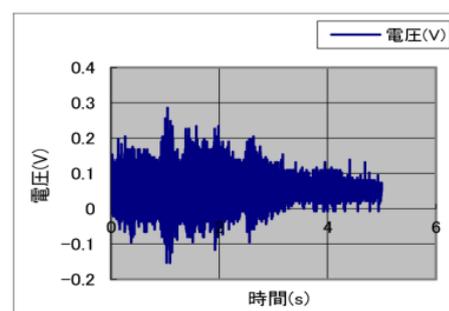
(3) 外部刺激がナメコの発生に与える影響を探る チャレンジ2

分析の結果、私たちは電圧の違いに気がついた。ゆらぎも音楽も同じような電圧の変化を培地に与えているが光が0.06V前後であるのに対し音楽は10倍の約0.3Vである。

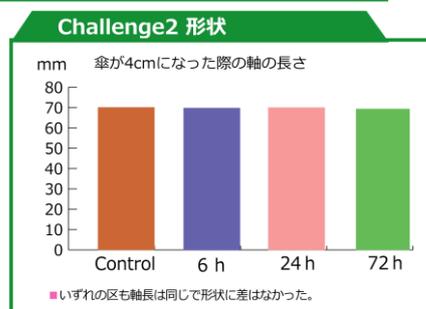
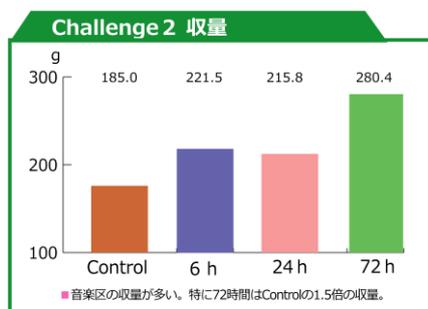
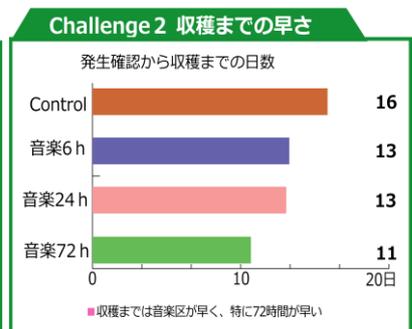
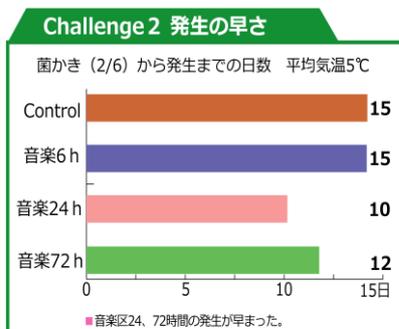
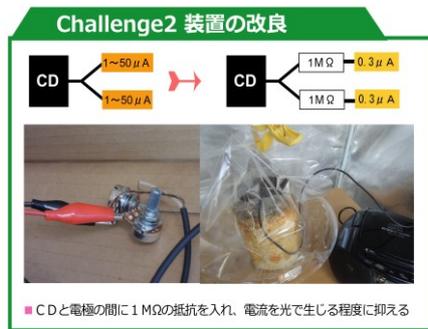
■ 白熱電球 ゆらぎ明滅



■ 音楽



つまり光の 10 倍もの電圧、電流により大きな刺激を与えつづけた可能性がある。これではせっかく発生したキノコの原基の成長を阻害するかもしれない。そこで電気の出力を落とすために CD プレーヤーと培地にさす電極の間に 1MΩ の可変抵抗器を入れ、流れる電流が 10 分の 1 の 0.3μA になるよう調整して再度実験を行った。その際、音楽を 6 時間、24 時間、72 時間流す 3 区を設けた。その結果、発生はやはり音楽区が早くなった。特に 24 時間と 72 時間では培地の横にも小さなナメコが無数に発生してきた。収穫までの日数では 72 時間区が Control より 5 日も早くなった。また前回と違い、順調にキノコが成長しているように感じた。



収穫の結果、音楽を流した区がいずれも Control よりも増収したが特に 72 時間音楽を流した区が 280g と Control の約 51% も増収した。前回の実験より全体に収量が多かったのは平均気温 5℃ と適温により近かったからだと思われる。また軸の長さなど収穫したナメコの形状はどの区も違いがなく、音楽を流しても奇形にならないことがわかった。試食したがまったく問題がなかった。

4 研究の考察

キノコは低温や雷、菌かきなど物理的な刺激によって原基形成が促されるといわれている。私は本実験で培地内の電圧及び電流の変化によって発生を促せること、そしてその結果、増収できることを証明した。実験は外部刺激を受けないように特殊な場所や時間を設定して行ったが、これは昔から山を歩いてはキノコを収穫してきた先人が話す雷跡や木漏れ日の差し込む明るい奥山でナメコがとれる実話を電気の視点で説明できるもので今までなかったものである。現在、落雷を再現してキノコの発生を促す装置が開発されているが、10 万ボルトの高電圧を流すため使い方に気をつけなければならないうえ、コストも数十万円もかかるといわれている。しかし私の研究では高電圧でなくても微弱な電圧、電流で菌糸を傷つけ発生させる方法である。いいかえるとキノコの菌床を思いっきりなぐらずに、チクチクつねって発生させるアイデアで、より安価で安全な農業技術開発に活かせるものと考えている。なおこの研究は平成 30 年 5 月に開催された学会、日本環境化学会で発表したところ発展性のある優れた技術として全国の環境技術の関係者の注目を集めた。さらにまだよく解明されていないキノコの発生のメカニズム解明に役立つものと平成 30 年に開催された日本植物生理学会でも話題となった。青森県はキノコの産地であり、天然物が数多く収穫されている。しかし地球は温暖化が進んでおり、猛暑や豪雨でキノコがいつとれなくなるか分からない危うい状況にある。そのため将来は人工的な栽培にシフトすることが予想される。この自生地の環境を電気再現する新しい視点から生まれた技術はキノコの不思議な生態を探る手がかりとなる。今後さらに研究を続け、環境保全と私たちの暮らしに役立つ安定した農業技術へ発展させたいと考えている。