

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04232

研究課題名（和文）キノコの子実体形成過程における水分経路のRIイメージング

研究課題名（英文）RI imaging of the water passage during the Fruiting Body Development of Mushroom

研究代表者

二宮 尚（Ninomiya, Nao）

宇都宮大学・工学部・准教授

研究者番号：70212123

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の成果は大きく分けて、3つに区分される。

1つ目は、蛍光染料を用いた可視化によって、キノコの子実体の成長過程において、特に傘の部分の成長には主に空気中の水分が吸収されていることが分かった。2つ目に、傘の成長において、最初に形成された部分が傘の中心を構成し、その部分はそれ以上、成長する事なく、傘の周囲が新たに形成されて行くことが分かった。3つ目の成果として、RI物質としてセシウム137を用いた可視化を試みたが、線の空気中の飛程がそれほど長くないため、子実体を取り巻く程度の領域の大きさでの計測は現実的ではないことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

キノコの子実体形成過程における水分経路のin-vivo観察が可能であれば、キノコのより良い栽培方法を明らかにする事が可能である。本研究の成果として、RI物質を用いた三次元の可視化が容易ではない事が明らかになったが、蛍光染料を用いた観察により、キノコの傘は最初に中心部分が形成され、その後、周辺部分が順に成長する事、その際、主に空気中の水分を吸収して成長する事などが分かった。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have obtained the following conclusions.

First, by the visualization using fluorescent dye, it is found that water vapor is provided to the cap of mushroom. Second, during the growth of the cap of mushroom, center part is firstly created and will not grow anymore and then the peripheral part is subsequently added. Third, by the preliminary experiment using Cs-137 as RI emitting material, it is found that three-dimensional visualization of whole fruit body is not realistic as the range of beta rays in the air is limited.

研究分野：熱工学

キーワード：キノコ 水分 RI 可視化

1. 研究開始当初の背景

日本は国土の 2/3 が森林であるが、間伐材の大半が利用されておらず、有効な利用方法の確立が望まれている。一方、キノコは木材を完全分解することが可能であり、木材の新たな利用方法の可能性を秘めているだけでなく、農業的利用価値も高い。キノコの発生機構についてはいまだ未解明な部分が多いが、一部のキノコでは原木栽培や菌床栽培などの人工栽培が可能となっており、その生育環境については一定のノウハウの蓄積があり、水分が重要な役割を果たしていることが分かっている。しかし、キノコの子実体には植物の導管のような組織はなく、水分含有量が 80~90% である子実体の形成過程における水分経路が不明であり、その詳細を明らかにすることで効率的な栽培方法に重要な知見を与えられたい。

これに対し、応募者らは「蛍光染料を用いたシイタケの水分経路の可視化」を行った。



図1 石突きに注入した場合



図2 傘に散布した場合

図1及び図2は、その結果の一部である。図1は、シイタケの原基の石突き付近に蛍光染料を注入したものが成長した子実体の断面を蛍光観察した結果を示したもので、子実体の柄の部分には蛍光染料の浸透が確認出来るが、着色は柄の途中までで止まっており、傘の部分は着色していないことが分かる。図2は、子実体原基全体に上方から蛍光染料を散布したものが成長した場合の結果で、子実体の傘の内部への蛍光染料の浸透が確認出来る。これらの結果から、子実体の形成過程において、傘の部分は空気中の水分を外部から摂取することで成長しているのではないかと推測された。

2. 研究の目的

本研究では、キノコには不活性で、水分と共に移動する RI 物質をトレーサーとすることで、キノコの子実体形成過程における水分経路を in-vivo でイメージングすることで、キノコの成長過程における最適な栽培環境に関する新たな知見を得ることを目的とする。

キノコの子実体には植物の導管のような水分輸送のための明確な組織はなく、水分含有量が 80~90% である子実体の形成過程における水分経路が不明である。既存の研究として、キノコの菌糸などにおける特定の物質の移動に着目した研究は数例あるが、子実体の成分の大半を占める水分の経路や移動に関する研究例は皆無であり、その詳細を明らかにすることは効率的な栽培方法に重要な知見を与えられたい。

また本研究では、RI 物質をトレーサーとして用いることで、キノコの子実体内部の水分経路をキノコ1個体のライフタイムにわたって、in-vivo でイメージングすることを目的としているが、生体に対するライブイメージング技術としては、医療用の MRI や X 線 CT が良く知られている。しかし、これらの装置は非常に高額である上に、水分や組織の分布や形状を計測するものであって、水分移動の観測には向かない。一方、PET は 18F-FDG というブドウ糖をポジトロン

核種とすることで、癌などのブドウ糖消費の高い部位を検出することが可能であるが、こちらも非常に高額な上に、キノコもブドウ糖を分解する可能性が高く、必ずしも水分と共に移動するとは限らず、水分移動の観測に適しているとは言えない。

そこで本研究では、キノコには不活性な物質をトレーサーとすることで、純粋に水分の移動のみを観察することを目的とする。トレーサーとしては、非破壊でキノコ1個体のライフタイムにわたる in-vivo なイメージングが可能な RI 物質を利用する。水に対する RI トレーサーとしては、水素の同位体であるトリチウム ($^3\text{H}, \text{T}$) を含んだトリチウム水 (HTO) が最適であるが、放射線強度が強く観測しやすいヨウ素 ^{125}I 水溶液の利用も検討する。

また、イメージング方法としては、複雑な三次元再構築を必要としないピンホールカメラを使用する予定であり、シンチレータにより放射線を蛍光化し、光電子増倍管で観測する。

3. 研究の方法

本研究では、キノコの子実体の形成過程における水分経路をキノコ1個体のライフタイムにわたって in-vivo でイメージングするために、RI トレーサーを用いた可視化を行う。

具体的には、本学バイオサイエンス教育研究センターの RI 管理区域内に設置した温度・湿度が調整可能な恒温恒湿室内に、キノコの成長に適した低温高湿環境を実現し、シイタケの菌床栽培を行う。菌床に対する発生処理により、子実体の原基を発生させた後、子実体の各所に極微量の RI トレーサーを注入し、その成長過程における水分経路のライフタイム・イメージングを行い、シイタケの子実体が外部から水分を取り込む経路の詳細を明らかにする。

RI トレーサーとしては、トリチウム水 (HTO) もしくはヨウ素 ^{125}I 水溶液を用い、それらから放出される線の観測を行う。一般的な RI イメージングは、標本を薄くスライスし、感光紙上に静置することで投影像を得るが、それではライフタイムの観測は出来ない。in-vivo な観測を行うには、非接触にて標本を周囲から観測し、CT 技術によって三次元再構築を行う必要があるが、それらを可能とする医療用機器は非常に高価な上に、非医療目的の利用は一般には解放されていない。そこで本研究では、イメージング方法としてピンホールカメラを用いることで、CT などに必要な複雑な三次元再構築を行うことなく、子実体内部の水分経路を非破壊で観測することを試みる。放射線の可視化にはシンチレータを用い、微弱な蛍光を光電子増倍管で増幅することによって観測する。一般に、ピンホールカメラを用いる場合、トレーサーから十分な放射線量が得られない可能性が危惧されるが、キノコの子実体の成長は約4日と非常に遅いので、十分な長時間露光が可能であると考えられる。

尚、ピンホールカメラに必要な露光時間が非常に長くなり、計測中のキノコの子実体の成長が無視出来なくなった場合には、補完的にテレセントリックな観測を行うことで、in-vivo な計測は実現可能であると考えられる。一般に、放射線は放射線源から放射状に放出されるため、地球上の観測から CT 技術によって三次元再構築することで、内部の放射能分布を推定するが、地球上の観測と複雑な再構築計算が必要となる。一方、テレセントリックな観測系では平行投影の観測が可能となるので、複雑な計算を必要としない。放射線を平行投影する具体的な方法としては、標本と撮像面の間に放射線に対して不透明な材質の八二カムを設置することで、放射線の平行投影成分のみが観測可能になると推測する。

以上により、キノコの子実体形成過程における水分経路の RI イメージングが実現出来た暁には、シイタケの菌床栽培における最適な栽培条件の検証を行う。応募者らの既報において、空気中の水分の摂取が傘の部分の成長に重要な影響を及ぼしている可能性は示唆されたが、この知見を産業的に有効な上方とするためには、子実体の成長の各ステージにおける最適な温度・湿度

環境を明らかにする必要がある。そこで、**様々な温度・湿度環境下**でシイタケの子実体の栽培実験を行い、本手法によって、その水分経路を可視化し、最適な栽培条件の探索に必要な基礎的なデータを蓄積することを試みる。

4．研究成果

本研究の成果は大きく分けて、3つに区分される。

1つ目は、蛍光染料を用いた可視化によって、キノコの子実体の成長過程において、特に傘の部分の成長には主に空気中の水分が吸収されていることが分かった。

2つ目に、傘の成長において、最初に形成された部分が傘の中心を構成し、その部分はそれ以上、成長する事なく、傘の周囲が新たに形成されて行くことが分かった。

3つ目の成果として、RI 物質としてセシウム 137 を用いた可視化を試みたが、線の空気中の飛程がそれほど長くないため、子実体を取り巻く程度の領域の大きさでの計測は現実的ではないことが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 窪田 敏和、鈴木 智大、金野 尚武、二宮 尚	4. 巻 26
2. 論文標題 蛍光色素ローダミンBを用いたシイタケ子実体生長過程における水分経路の可視化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本きのこ学会誌	6. 最初と最後の頁 164 ~ 168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24465/msb.26.4_164	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ninomiya Nao, Tanaka Yukihisa, Sotome Satoshi, Eda Masahide, Watanabe Atsushi	4. 巻 22
2. 論文標題 3-D measurement of 2-D jet by 3-D 3-C SPIV	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Visualization	6. 最初と最後の頁 305 ~ 312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12650-018-0529-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Doh Deog-Hee, Chun Kang Woo, Ninomiya Nao, Choi Byung Chul	4. 巻 33
2. 論文標題 A swirl static mixer with diluent for reducing the flammable extent of venting gases in a low-flashpoint fueled vessel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mechanical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 3311 ~ 3321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12206-019-0626-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Takeda Gentaro, Ito Yu, Yamashiro Kenji, Takahashi Hideyuki, Ninomiya Nao, Uranaka Yuya, Fujikura Jurai	4. 巻 37
2. 論文標題 Instability of wall jet produced by two-dimensional inclined jet	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Mechanical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 169 ~ 177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12206-022-1218-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Kosuke, Yasugi Masaki, Yamamoto Hirotsugu, Ninomiya Nao	4. 巻 29
2. 論文標題 Improvement of the distortion of aerial displays and proposal for utilizing distortion to emulate three-dimensional aerial image	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Review	6. 最初と最後の頁 261 ~ 266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10043-021-00714-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasugi Masaki, Utsunomiya University 7-1-2 Yoto, Utsunomiya, Tochigi 321-0904, Japan, Adachi Mayu, Inoue Kosuke, Ninomiya Nao, Suyama Shiro, Yamamoto Hirotsugu	4. 巻 34
2. 論文標題 Development of Aerial Interface by Integrating Omnidirectional Aerial Display, Motion Tracking, and Virtual Reality Space Construction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1175 ~ 1183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p1175	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kudo Daiki, Yasugi Masaki, Ninomiya Nao, Suyama Shiro, Yamamoto Hirotsugu	4. 巻 31
2. 論文標題 Reduction of converging distance change in an aquatic display formed with aerial imaging by retro-reflection in conjugated optical structure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 10965 ~ 10965
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.479940	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計26件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 N. Ninomiya, M. Matsuda and N. Araki
2. 発表標題 In-vivo Measurement of the Blood Flow in the Heart of Medaka Embryo
3. 学会等名 13th Int'l Symp. on Particle Image Velocimetry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Araki, N. Ninomiya and M. Matsuda
2 . 発表標題 PIV Measurement of the Blood Flow in the Heart of Medaka Embryo
3 . 学会等名 ASME-JSME-KSME Joint Fluid Eng. Conf. (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Kong, G. Cho, N. Ninomiya, S. Kang and D.-H. Doh
2 . 発表標題 Investigation on Energy Shares and Flow Structures of the Mixing Flows using 3D-POD Analyses
3 . 学会等名 ASME-JSME-KSME Joint Fluid Eng. Conf. (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Ninomiya, M. Matsuda, N. Araki and N. Yano
2 . 発表標題 In-vivo PIV Measurement of the Blood Flow of Medaka Embryo
3 . 学会等名 15th Asian Symp. on Visualization (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Ninomiya, M. Matsuda, N. Araki and N. Yano
2 . 発表標題 In-vivo PIV Measurement of the Blood Flow in the Heart of Medaka Embryo
3 . 学会等名 2nd Pacific Rim Thermal Eng. Conf (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Ninomiya, M. Matsuda, N. Araki and N. Yano
2 . 発表標題 In-vivo PIV Measurement of the Blood Flow in the Heart and Main Vein of Medaka Embryo
3 . 学会等名 20th Int'l Symp. on Appl. Laser Imaging Tech. Fluid Mech. (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 N. Ninomiya, M. Matsuda, N. Araki and N. Yano
2 . 発表標題 PIV Measurement of the Blood Flow in the Heart and Main Vein of Medaka Embryo
3 . 学会等名 19th Int'l Symp. on Flow Visualization (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Inoue, M. Yasugi, N. Ninomiya and H. Yamamoto
2 . 発表標題 Deforming Aerial Image by Use of Deflection of Beam Splitter in See-Through AIRR
3 . 学会等名 10th Laser Display and Lighting Conf. (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 D. Kudo, K. Chiba, M. Yasugi, N. Ninomiya and H. Yamamoto
2 . 発表標題 Influence of Diverging Angle of the Light Source on the Image Sport Formed in Water by Use of Retro-Reflection
3 . 学会等名 10th Laser Display and Lighting Conf. (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 G. Takeda, Y. Ito, K. Yamashiro, H. Takahashi, H. Uoya and N. Ninomiya
2 . 発表標題 Effect of Initial Velocity Distributions in Transition Region Impingement of Slot Jet
3 . 学会等名 12th Int ' I Conf. on Zinc & Zinc Alloy Coated Steel (GALVATECH) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 G. Takeda, Y. Ito, K. Yamashiro, H. Takahashi, N. Ninomiya, Y. Uranaka and J. Fujikura
2 . 発表標題 Instability of Wall Jet Produced by Two-Dimensional Inclined Impinging Jet
3 . 学会等名 7th Int'l Conf. on Jets, Wakes and Separated Flows (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 N. Ninomiya, M. Matsuda, N. Araki and N. Yano
2 . 発表標題 In-vivo PIV Measurement of the Blood Flow in the Heart and Main Vein of Medaka Embryo
3 . 学会等名 20th Int ' I Symp. on Application of Laser and Imaging Tech. to Fluid Mech. (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Kobayashi, N. Ninomiya, M. Iigo and R. Tada
2 . 発表標題 Video Analysis about the Glimmer Synchronization of <i>Luciola Parvula</i> Fireflies
3 . 学会等名 13th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Ninomiya
2. 発表標題 Application of Visualization Techniques to Plants and Animals
3. 学会等名 27th Intelligent Mechatronics Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Ninomiya, S. Kobayashi, K. Yamazaki and M. Iigo
2. 発表標題 Video Analysis of the Glimmer Synchronization of <i>Luciola Parvula</i> Fireflies
3. 学会等名 20th International Symposium on Flow Visualization (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Yamazaki, N. Ninomiya, S. Kobayashi and M. Iigo
2. 発表標題 The Synchronization of <i>Luciola Parvula</i> Fireflies to the External Stimulus
3. 学会等名 17th Asian Symposium on Flow Visualization (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 G. Takeda, N. Ninomiya and S. Akutsu
2. 発表標題 Effect of Initial Velocity Distribution on Two-Dimensional Wall Jet of Transition Region Impinging
3. 学会等名 17th Asian Symposium on Flow Visualization (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩波礼将, 横井勇人, 秋山真太郎, 重水大智, 荒木夏生, 二宮 尚, 松田 勝, 鈴木 徹, 下田修義
2. 発表標題 ジーンボディにおけるDNAメチル化の機能的役割
3. 学会等名 第13回日本エピジェネティクス研究会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Iwanami, H. Yokoi, S. Akiyama, D. Shigemizu, N. Araki, N. Ninomiya, M. Matsuda, T. Suzuki, N. Shimoda
2. 発表標題 De novo methylation of zebrafish angpt11b gene body by Dnmt3bb.2 secures the expression level and integrity of the transcript
3. 学会等名 The 25th Japanese Medaka and Zebrafish Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩波礼将, 横井勇人, 秋山真太郎, 重水大智, 荒木夏生, 二宮 尚, 松田 勝, 鈴木 徹, 下田修義
2. 発表標題 生存可能なゼブラフィッシュDNAメチル化酵素変異体により明らかになったジーンボディメチル化の役割
3. 学会等名 第42回日本分子生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林士朗, 二宮 尚, 飯郷雅之
2. 発表標題 動画解析によるヒメボタルの発光同期に関する研究
3. 学会等名 第49回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山城研二, 武田玄太郎, 伊藤 優, 高橋秀行, 二宮 尚, 浦中祐哉
2. 発表標題 可視化による傾斜衝突噴流のストローハル数評価
3. 学会等名 第49回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浦中祐哉, 藤倉寿来, 二宮 尚
2. 発表標題 二次元衝突噴流の自励振動に対する衝突角度の影響
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎晃太郎, 小林士朗, 二宮 尚, 飯郷雅之
2. 発表標題 ヒメボタルの発光同期の動画解析
3. 学会等名 第29回日本時間生物学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 二宮 尚
2. 発表標題 きの子実体成長過程における水分経路の可視化
3. 学会等名 第166回微小光学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山崎晃太郎, 小林士朗, 二宮 尚, 飯郷雅之
2. 発表標題 外部刺激に対するヒメボタルの発光同期について
3. 学会等名 第60回日本伝熱シンポジウム講演論文集
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

流体計測法(改訂第2版), 応用編, 日本機械学会, 担当部分: 「1・3・3 ドブラー位相シフトホログラフィ」, (2019)

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鈴木 智大 (Suzuki Tomohiro) (10649601)	宇都宮大学・バイオサイエンス教育研究センター・准教授 (12201)	
研究分担者	金野 尚武 (Konno Naotake) (60549880)	宇都宮大学・農学部・准教授 (12201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
韓国	Korea Maritime & Ocean University			