

シイタケ胞子の形状計測と胞子飛散機構に関する基礎的研究

香川大学大学院工学研究科
香川大学創造工学部
茨城大学理学部
国立科学博物館植物研究部
茨城大学理学部

○学生会員 田中 邦明
正 会 員 石 塚 正 秀
非 会 員 五十嵐康人
非 会 員 保坂健太郎
非 会 員 北 和 之

1. はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所での事故によって、放射性物質が大気中に大量に放出され、土壌や森林に沈着している。既往研究によって、きのこなどの真菌類がこの放射性物質を吸収し、胞子として再飛散していることが明らかとなった。このような背景から、きのこ胞子により再飛散した放射性物質の影響の解明が求められている。本研究では、飛散胞子に着目し、シイタケ胞子の形状特性の計測および沈降速度の測定を行った。

2. PIV法による放出胞子の放出速度の算定

(1) 実験および解析の概要

シイタケ (*Lentinula edodes*) を栽培し、採取したシイタケの子実体を用いて胞子が放出される様子を高速カメラで撮影した。透明カップ内に子実体を設置し、後方からLEDライトで照らして撮影を行った。撮影した動画をPIV (Particle Image Velocimetry) 法で解析し、胞子の飛散速度を算出した。

(2) 解析結果

PIV解析の結果、平均速度は約2 mm/sであった。また、2.2 mm/sと3.1 mm/sでピークが表れた。

3. シイタケ胞子の粒径および形状の計測

(1) 実験装置

測定は、乾式粒子画像分析装置 (Morphologi G3, Malvern, Inc.) を用いて行った。

(2) 測定条件

市販のシイタケから採取した湿潤胞子 (放出された直後の胞子) および、比較対象としてシイタケ栽培時に採取した胞子を乾燥させた乾燥胞子 (放出されてから時間の経過した胞子) の二種類で実験した。また、乾燥胞子については、手作業でガラスプレートに配した場合とSDU (Sample Dispersion Unit) を用いてガラス

プレートに配した場合について測定を行った。

(3) 測定結果

・CE Diameter (面積円相当径) の比較

図-1にシイタケ胞子の画像を示す。乾燥胞子の径は $3.93 \pm 0.93 \mu\text{m}$ であるのに対して、湿潤胞子の径は $4.44 \pm 0.35 \mu\text{m}$ であった。湿潤胞子は水分を多く含むため乾燥胞子よりも大きい値になったと考えられる。

・Aspect Ratio (アスペクト比) の比較

乾燥胞子は、0.8付近にピークが表れているのに対して、湿潤胞子は0.68付近にピークが表れており、長軸径 ($5.3 \mu\text{m}$) が、短軸径 ($3.8 \mu\text{m}$) の約1.4倍となり、野生種とはやや異なるサイズ分布を示した (図-2)。逆に、乾燥胞子では長軸径と短軸径の長さの差が小さい

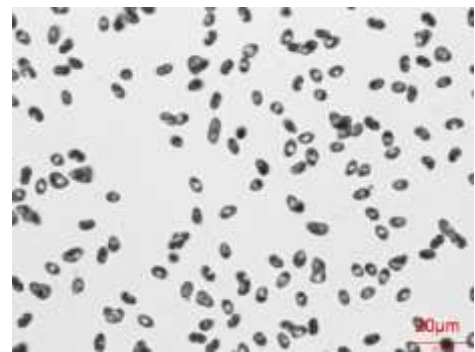


図-1 顕微鏡観察した湿潤シイタケ胞子 (50倍)

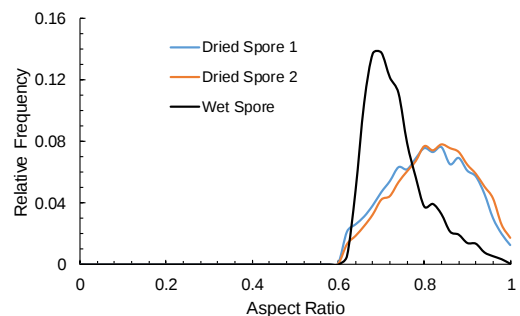


図-2 乾燥胞子と湿潤胞子のアスペクト比の比較

キーワード：放射性物質、再飛散、PIV法、ストークス則、沈降速度

〒761-0396 香川県高松市林町2217番20 TEL:087-864-2143 FAX:087-864-2188

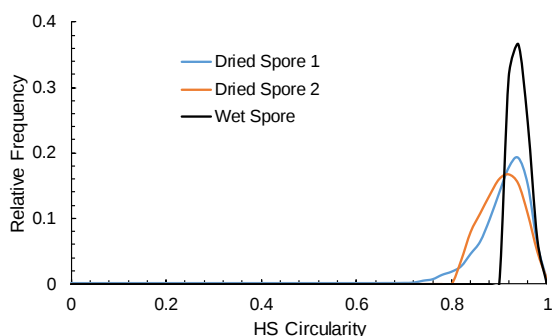


図-3 面積円形度の比較

結果が得られた。なお、二種類の乾燥胞子の違いはみられなかった。

・HS Circularity (面積円形度) の比較

面積円形度は式(1)によって求められる。湿潤胞子が乾燥胞子より高い値に多く集中している(図-3)。長軸径と短軸径の長さの差が小さくアスペクト比が大きい乾燥胞子は、円形度が高くなると思われるが、円形度は全体の形状の影響を受けることから、乾燥胞子の不均一で凹凸のある形状が影響し、同じ面積をもつ円と比べて周囲長が長くなりやすいため、湿潤胞子のほうがより面積円形度が高い結果となったと考えられる。

$$HS\ Circularity = \frac{4 \times \pi \times A}{L^2} = \frac{CEL^2}{L^2} \quad (1)$$

ここで、 A は粒子面積、 L は粒子の周囲長、 CEL は粒子と同じ面積をもつ円の周囲長である。

4. 終末沈降速度の推定

(1) ストークス則を用いた算定の方法

粒子周りの流れの状態が層流であるとき、以下の式(2)を用いて粒子の終末沈降速度を求めることができる。

$$u_{\infty} = \frac{(\rho_p - \rho_f)gx^2}{18\mu} \quad (2)$$

ここで、 u_{∞} は終末沈降速度、 ρ_p は胞子密度、 ρ_f は空気密度、 g は重力加速度、 x は胞子の面積円相当径の中央値(d_{50})、 μ は空気の粘度である。

表-1 終末沈降速度の計算に用いる変数と値

Parameter	Value	Unit
$d_{50} (\bar{x})$	1~10	μm
ρ_p	990~1350	kg/m^3
ρ_f	1.21	kg/m^3
μ	0.0000181	$\text{Pa} \cdot \text{s}$
g	9.81	m/s^2

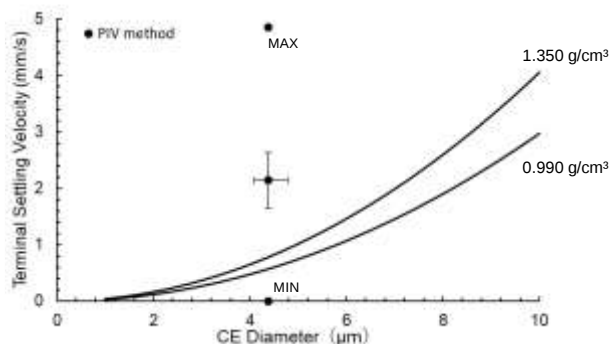


図-4 ストークス則(実線)と PIV 法(点)による沈降速度の比較

(2) 使用条件

表-1 に示す値を用いて終末沈降速度の推定を行った。胞子密度は、花粉の密度と類似すると仮定して、990—1350 kg/m^3 とした。

(3) 結果および PIV 法との比較

終末沈降速度の推定および PIV 法によって算出した平均速度をプロットした結果を図-4 に示す。なお PIV 法による解析は湿潤胞子で行ったため、面積円相当径は湿潤胞子の中央値 $4.38 \mu\text{m}$ とする。二つの結果を比較すると $4.38 \mu\text{m}$ において、PIV 法による解析から求めた平均落下速度は約 2 mm/s 、ストークス則を適用して求めた終末沈降速度が $0.57\text{--}0.78 \text{ mm/s}$ であり、PIV 法による解析から求めた速度が 2.7—3.8 倍速いという結果となった。

5. まとめ

本研究では、シイタケ胞子の形状特性の計測および沈降速度の測定など胞子飛散に関する研究を行った。

湿潤胞子は、面積円相当径が約 $4.44 \mu\text{m}$ 、アスペクト比が 0.68、面積円形度が 0.93 であることが明らかとなった。また、PIV 法から求めた平均落下速度は約 2 mm/s 、ストークス則による終末沈降速度は $0.57\text{--}0.78 \text{ mm/s}$ となり、PIV 法による解析から求めた沈降速度と比較すると 2.7—3.8 倍小さい値を示す結果となった。

謝辞：

本研究は科学研究費補助金 (17H01873, 17H01478) の助成を受けた。

参考文献：

- 1) Ishizuka, M., M. Mikami, T. Y. Tanaka, Y. Igarashi, K. Kita, Y. Yamada, N. Yoshida, S. Toyoda, Y. Satou, T. Kinase, K. Ninomiya, and Shinohara, A., Journal of Environmental Radioactivity, JENR_JENVRAD-D-15-00721, doi:10.1016/j.jenvrad.2015.12.023, 166, Part 3, pp.436-448, 2017.