

# トドマツ林分内におけるマツタケ発生地のシロ土壤環境

誌名	日本菌学会会報 = Transactions of the Mycological Society of Japan
ISSN	00290289
著者名	宜寿次,盛生 東,智則 由田,茂一 米山,彰造 原田,陽 津田,真由美 玉井,裕
発行元	日本菌学会
巻/号	60巻2号
掲載ページ	p. 43-48
発行年月	2019年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## トドマツ林分内におけるマツタケ発生地のシロ土壤環境

宜寿次盛生<sup>1)\*</sup>・東 智則<sup>1)</sup>・由田 茂一<sup>1)</sup>・米山 彰造<sup>1)</sup>・  
原田 陽<sup>1)</sup>・津田真由美<sup>1)</sup>・玉井 裕<sup>2)</sup>

- 1) 北海道立総合研究機構林産試験場, 〒071-0198 北海道旭川市西神楽 1-10  
2) 北海道大学農学部, 〒060-8589 札幌市中央区北 9 西 9

## Investigation of soil environments in the vicinity of *Tricholoma matsutake* mycelium in *Abies sachalinensis* stands

Seiki GISUST<sup>1)</sup>, Tomonori AZUMA<sup>1)</sup>, Shigeichi YOSHIDA<sup>1)</sup>, Shozo YONEYAMA<sup>1)</sup>,  
Akira HARADA<sup>1)</sup>, Mayumi TSUDA<sup>1)</sup>, Yutaka TAMAI<sup>2)</sup>

- 1) Forest Products Research Institute, Hokkaido Research Organization, Nishikagura 1-10,  
Asahikawa, Hokkaido 071-0198, Japan  
2) Laboratory of Forest Bioresource Technology, Research Faculty of Agriculture,  
Hokkaido University, N9W9, Kita-ku, Sapporo 060-8589, Japan

(Accepted for publication: October 7, 2019)

To understand the habitat of *Tricholoma matsutake* in Hokkaido, we investigated the soil environment in an *Abies sachalinensis* plantation where this fungus colonized. As a result, soil pH and microbial quantity (colony forming unit; cfu) showed lower trend around the colony of *T. matsutake* than those areas where this fungus was not colonized. In addition, soil temperature was maintained over 0°C even in the mid-winter despite the minimum air temperature recorded below -20°C, due to snow cover on the forest floor.

(Japanese Journal of Mycology 60: 43–48, 2019)

Key Words—Fir forest; Soil pH; Soil temperature; *Tricholoma matsutake*

アカマツ *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc. 林に生息するマツタケ *Tricholoma matsutake* (S. Ito & S. Imai) Singer は、土壤微生物が少ない立地環境を好むと考えられている (小川 1977, 1978)。また、アカマツ林で雑木を除去し落葉層をかき取ること (すなわち、環境整備) で、マツタケ子実体を発生させる土壤中の菌糸体コロニーであるシロの数が増え、土壤微生物も減少する事例が報告されている (吉村 2003)。寒冷地の北海道における本菌の宿主は、ハイマツ *Pinus pumila* (Pall.) Regel (Ogawa 1976a)、アカエゾマツ *Picea glehnii* (Fr. Schmidt) Mast. (Ogawa 1976b)、ならびにトドマツ *Abies sachalinensis* (Fr. Schmidt) Mast. (村田・南出 1989) である。それら林分におけるマツタケの生態調査は限られているが、

雌阿寒岳のハイマツ林とアカエゾマツ林では、アカマツ林の場合と同様にシロ土壤中の菌類相 (主に糸状菌) が少なく単純なことが報告されている (Ogawa 1976a, b)。

村田ら (2001) は、北海道北東部のトドマツ林において、マツタケが発生する林分の環境整備とその効果を検証したが、土壤微生物に関しては調査を行っていない。北海道のマツタケ発生林は、本州でのマツタケ収穫量の一貫した減少傾向に伴って、その重要性が増していると考えられる。トドマツは、マツタケの宿主として報告事例が少ないモミ属の樹種であるが (Endo et al. 2015)、北海道では自生種でありかつ重要な造林木であるため、潜在的なマツタケ発生林分も多いことが予想される。そこで、筆者らは、マツタケ発生が確認されているトドマツ林分 (村田ら 2001) で、2011 年から 2013 年にかけて、本菌のシロ周辺の土壤環境を調査した。

\*責任著者 (Corresponding author) : gisusi-seiki@hro.or.jp

調査地は、北海道北東部に位置する西興部村の道有林にあり、明治時代末期に山火事が発生したトドマツ主体の天然林に、1952年にトドマツ苗を樹下植栽したが不成績に終わった林分である(村田ら 2001)。北緯 44°21′, 東経 142°57′, 標高約 250m, 傾斜 30~36°の南西斜面に位置し、土壌は礫岩を母材とする B<sub>D</sub> 型(適潤性褐色森林土)(寺田 1967)で、従来、林床にはクマイザサが密生し腐植層で厚く(~10 cm)覆われていた。1993年にマツタケ発生環境の改善を目的として除間伐、腐植層除去などが行われた結果、トドマツの平均胸高直径は 15.9 cm, 立木密度は 510 本/ha となった(1993年時点)。その後 2000 年まで、マツタケの自然感染によるシロの増加を目的とした環境整備として、中下層広葉樹の除伐等が随時行われた。2011 年の調査時には、トドマツ立木密度に変化はなく、クマイザサ等の植生回復が若干認められ、腐植層は厚さ 5 cm 未満であった。まず、村田ら(2001)が識別したマツタケの「シロ 3-1」の位置を確定し、シロの外周を調査区「P3」とした。本調査地では 2001 年以降、毎年のようにマツタケ子実体の発生が確認されていたが、その発生量調査は行われていなかった。2013 年 10 月 1 日には、「シロ 3-1」で子実体発生を確認した(Fig. 1)。次に、マツタケ発生が見られないトドマツ林分として、P3 から北東に約 300~400 m に位置する尾根を越えた別の南西斜面に、新たな調査区 C1 および C2 を設けた。この斜面では、過去にマツタケ発生の情報はなく、腐植層除去などは実施されていない。

西興部の気象庁アメダスデータ(AMeDAS; <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)では、12 月から翌年 3 月までは平均気温が 0℃ 未満で推移し、最低気温は -20℃ を下回る。なお、本研究における西興部の気温データの利用に際しては、アメダス測定地点と本調査地の標高差から、通減率 0.55℃/100 m に基づき、一律に 0.6℃ 低下させた値を用いた。各調査区(C1, C2, P3)の林床土壌深度 10 cm に温度記録計(株式会社 KN ラボラトリー製サーモクロン G タイプ)を埋設し、2013 年 5 月から 2016 年 4 月まで温度変化を記録した(通常は 1 時間間隔、積雪期は 2 時間 30 分間隔)。その結果、各調査区の各年データに有意な違いは認められなかった。一例として、P3 の 2014 年のデータを示す(Fig. 2)。土壌温度(地温)は、厳寒期でも積雪による保温効果で 0℃ 以上を維持し、マツタケ菌糸体の凍結などは生じていないと推察された。また、最高地温は 8 月上旬に 21.5℃ を記録したが、月平均地温は 18℃ 未満であり、長野県のマツタケ山(アカマツ林)で標高が最も高い試験地の地温(竹内ら 2011, 古川ら 2016)に比べても同程度以下だった。

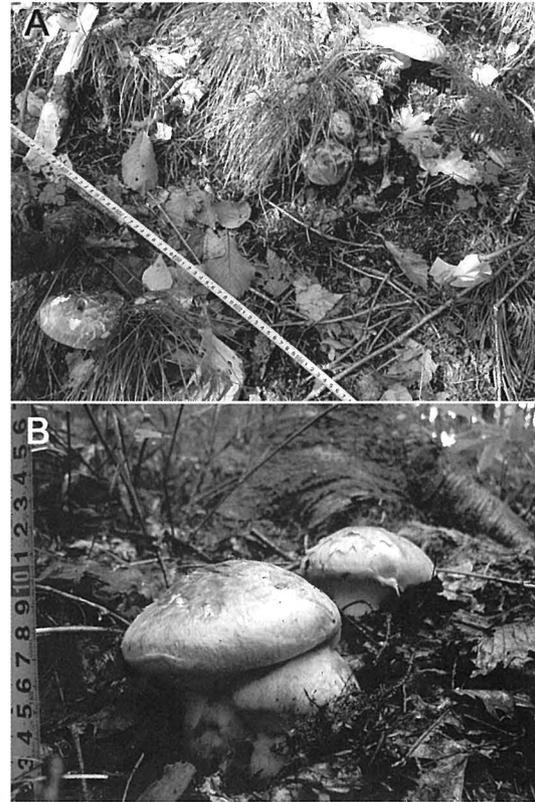


Fig. 1. Basidiomata occurrences of *Tricholoma matsutake* in the P3 plot of Nishiokoppe study site. A: Arc-shaped fruiting of several basidiomata on 25 October 2012. B: Gathered fruiting of three basidiomata near the standing tree of *Abies sachalinensis* on 1 October 2013.

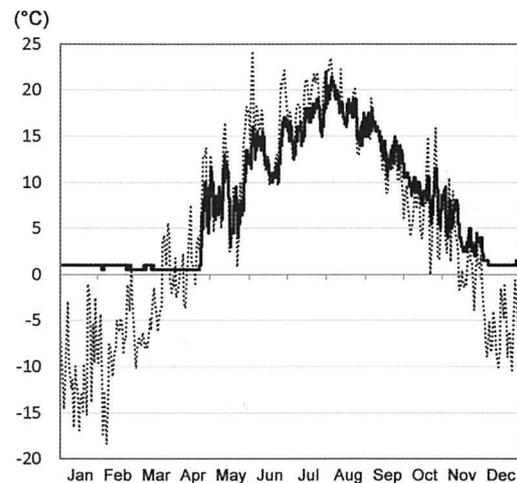


Fig. 2. Soil temperature at 10 cm depth from forest floor surface in the P3 plot, measured in 2014. Solid line indicates soil temperature measured at 1 h interval in the warm seasons, and at 2.5 h interval in the snow season. Dotted line indicates daily mean temperature estimated from the data measured at Nishiokoppe observatory of AMeDAS.

調査区 P3 では、「シロ 3-1」の菌叢先端を目視で確認し、菌叢が明瞭であった 3 か所（シロを円型とみなし、斜面谷側から尾根側に向かい左、上、右）からシロ外側へ 10~20 cm を土壌試料採取位置とした。Table 1 に示すように、2011~2013 年に計 9 回、毎回重ならないように 3 位置から直径 5 cm のコアサンプラー（大起理化学株式会社製、DIK-1621）を用いて土壌深 0~20 cm まで 5 cm ごと（4 水準）、各回計 12 試料を得た。調査区 C1 は、2011 年 10 月 31 日に斜面に向かい水平方向約 10 m×垂直方向約 25 m の表層をレーキでかき取り除去した。かき取り処理後の腐植層の厚さは 5 cm 未満であった。かき取り処理区内で斜面に向かい水平方向に約 5 m 離れて並ぶ 2 本のトドマツ立木間の 3 か所から、2012~2013 年に計 5 回、調査区 P3 と同様に試料を採取した（Table 1）。調査区 C2 は、C1 から西に約 50 m 離れた位置に設置し、2012 年 6 月 13 日に C1 と同様に表層をかき取り除去した。C1 と同様に、2012~2013 年に計 5 回試料を採取した（Table 1）。採取した試料はサンプル缶ごとクーラーボックスで保冷しながら持ち帰り、スクリュウキャップ付ガラスビンに移し替え、Ogawa (1976a) の方法に準じて分析に供するまで最大 30 日間、1.5℃で冷蔵保管した。

各試料の pH（亀和田 1997）、および土壌水分（赤外線水分計を用いた含水率、w/w）を測定した。好気性細菌は、加藤（1992）の計数方法を改変し、標準寒天培地（日水製薬株式会社）を用いて、乾燥土壌 1 g 当たりのコロニー形成数（cfu）を算出した。25℃で培養を行い、出現したコロニーを培養開始後 1 日目から計数し 14 日目に観察を終えた。糸状菌様コロニーが若干認められたが、細菌のコロニーと合わせて微生物として計数した。シャーレ 5 枚の平均値をその試料の土壌微生物量（cfu）とした。

得られたデータは、エクセル統計 2015（株式会社社会情報サービス）を用いて解析した。まず 3 種類のデータ（pH、水分、微生物量）について試料の冷蔵保管日数との間で相関係数を求め、母相関係数の無相関の検定を行った。その結果、保管日数と水分は有意な負の相関（ $r = -0.228$ ,  $p = 0.0005$ ）を、保管日数と微生物量は有意な正の相関（ $r = 0.157$ ,  $p = 0.0175$ ）をそれぞれ示した。また、3 調査区の平均保管日数（C1 : 15.2 日、C2 : 14.2 日、P3 : 9.9 日）の差が大きかった。そこで、データ総数 228（Table 1）から保管日数 10 日以内の 120 試料を抽出し再計算した結果、3 調査区の平均保管日数（C1 : 7.2 日、C2 : 6.5 日、P3 : 6.8 日）の差は減少し、保管日

Table 1. Samples collected and used for the data analysis

Date of sampling	Number of samples in the following points					
	C1		C2		P3	
	Collected	Analyzed	Collected	Analyzed	Collected	Analyzed
2011/5/20					12	8
2011/7/5					12	12
2011/9/29					12	12
2012/5/16					12	12
2012/6/13	12	0	12	0		
2012/7/17					12	0
2012/8/23	12	4	12	4		
2012/9/13					12	12
2012/10/25	12	4	12	4		
2013/6/3			12	8	12	8
2013/7/23	12	4			12	4
2013/8/27	12	8	12	8		
2013/9/24					12	8
(Total)	60		60		108	
(Total)		20		24		76

Samples were stored at 1.5℃ for up to 30 d until use for the analysis.

Data analysis was performed using samples stored less than 10 d.

Table 2. Correlation coefficient (upper right triangle) and uncorrelated test of population correlation coefficient (lower left triangle)

	Sample storage days	Soil pH	Soil moisture	Soil microbial quantity	Soil depth
Sample storage days		0.098	0.087	0.008	-0.000
Soil pH	$p=0.288$		-0.189	0.183	0.015
Soil moisture	$p=0.342$	$p=0.038^*$		0.368	-0.449
Soil microbial quantity	$p=0.933$	$p=0.046^*$	$p<0.001^{**}$		-0.426
Soil depth	ic	$p=0.873$	$p<0.001^{**}$	$p<0.001^{**}$	

\* Significant difference at  $p<0.05$ .

\*\* Significant difference at  $p<0.01$ .

ic : Impossible to calculate because the correlation coefficient is less than  $1 \times 10^{-10}$

数と水分 ( $r=0.087$ ,  $p=0.342$ ) および保管日数と微生物量 ( $r=0.008$ ,  $p=0.933$ ) の相関は認められなかった (Table 2). すなわち, この操作により, 保管日数の違いによるデータ解析への影響は十分に低下したと考えられた. 次に, 各データを目的変数, 調査区および試料採取条件 (採取日, 深度) を固定因子として多元配置分散分析について検討したが, ルビーン検定で等分散性は棄却されたため, 3調査区をノンパラメトリック法であるクラスカル=ウォリス検定を行い Scheffe の多重比較を行った.

土壌 pH は, 調査区 P3 で 5.3~6.8 (平均 6.2), C1 で 6.2~7.7 (平均 7.1), C2 は 5.3~7.6 (平均 6.7) となり, P3 のシロ外周において C1, C2 よりも有意に低かった (Fig. 3, Table 3). これらの値は, 寺田 (1967) の報告 (道北の B<sub>0</sub> 型土壌の平均 pH5.29) に比べて高い値となったが, これは既報での試料が樹根を除いた風乾細土 (林野庁林業試験場 1955) であり, 本調査区の土壌に含まれる有機物が影響したと考えられる. 各調査区における深度ごとに pH を比較すると, C1 のみ有意な違いが認められ (Fig. 3), 試料採取日ごとの比較では P3 のみ有意な違いが認められた (データは示していない).

土壌水分 (含水率; w/w) は, P3 が 19.9~47.8% (平均 28.2%), C1 が 16.4~35.9% (平均 23.8%), C2 が 13.6~49.5% (平均 27.5%) で, P3 に対して C1 が有意に低かった (Fig. 3, Table 3). 次に, 各調査区の土壌水分を試料採取日で比較したところ, C1 のみ採取日で違いがあることが示唆されたが, 多重比較では有意差は検出されなかった. 各調査区における深度ごとに土壌水分を比較すると, 表層が下層に比べ有意に高い傾向が認められた (Fig. 3).

土壌微生物量 (cfu) は, P3 が  $0.3\sim92.4 \times 10^6$  (平均  $7.9 \times 10^6$ ), C1 が  $1.2\sim93.6 \times 10^6$  (平均  $18.5 \times 10^6$ ), C2 が  $3.6$

~ $83.6 \times 10^6$  (平均  $21.2 \times 10^6$ ) で, P3 が有意に低かった (Fig. 3, Table 3). 各調査区の土壌微生物量を試料採取日で比較したところ, P3 のみ採取日で違いがあることが示唆されたが, 多重比較では有意差は検出されなかった. 深度別の比較では, 3調査区とも土壌微生物量は表層に多く, 深くなると減少した (Fig. 3). この点は, アカマツ林内のマツタケのシロで示された結果と同様と言える.

3種類のデータ (pH, 土壌水分, 土壌微生物) とその土壌深度について, それぞれの相関係数は pH と深度の組み合わせ以外はすべて有意であり (Table 2), 深度と水分および微生物量の関連が示唆された.

以上のように, トドマツ林のマツタケのシロ周辺の土壌 pH および微生物量 (cfu) は, マツタケ未発生林分の値よりも低い傾向が認められた. これは, 本州のアカマツ林で報告されている傾向と一致する. ただし, 北海道の調査事例はまだ限られているため, 今後, 調査事例を増やして比較検討することが望まれる. また, このよ

Table 3. pH, moisture, and microbial quantity (cfu) of soil in each sampling point in the study site

Sampling point	Number of samples	Mean value and significance in each parameter of soil		
		pH	Moisture (%)	Cfu $\times 10^6$
C1	15	7.1 a	23.8 a	18.5 a
C2	18	6.7 a	27.5 ab	21.2 a
P3	57	6.2 b	28.2 b	7.9 b

Different letter indicate significant differences between sampling sites (Non-parametric Kruskal-Wallis test).

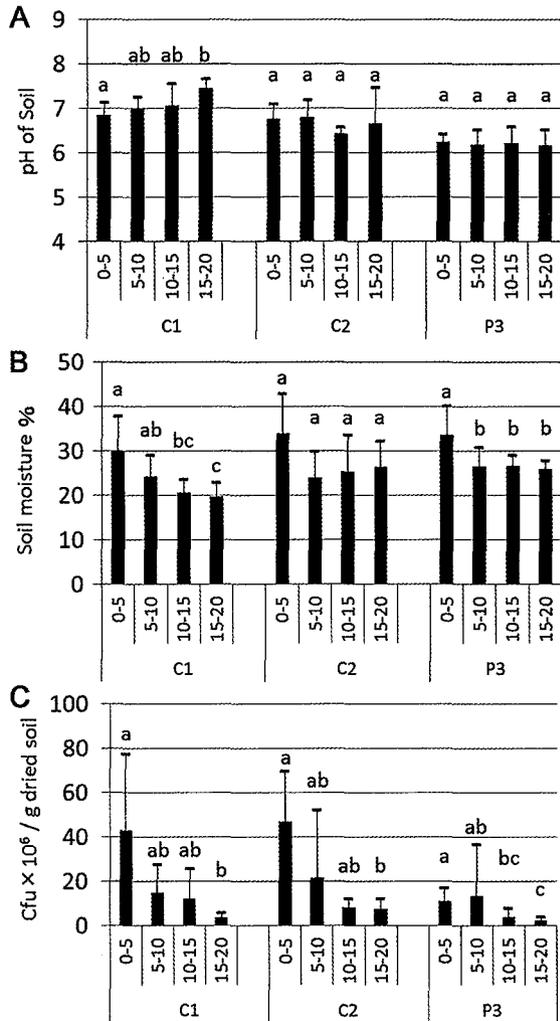


Fig. 3. Soil pH (A), soil moisture (B), and soil microbial quantity (C) at different soil depth in each sampling point in the study site. Different letters in each column indicate significant difference between soil depth in each sampling point (Scheffe's multiple comparison test at  $p < 0.05$ ). Number of samples used for the analysis was 5 for C1, 6 for C2, and 19 for P3, respectively. Bars are means and errors are SDs.

うな比較以外にも、寒冷なフィンランドのマツタケ発生地の事例や (Vaario et al. 2011), 近年報告された本州亜高山帯針葉樹林のマツタケ発生地の事例 (Endo et al. 2015) なども合わせ検討することが望まれる。

本州のアカマツ林では、マツタケ増産のための環境整備に関する知見が蓄積している (小川 1978, 吉村 2003, 古川ら 2016)。今後、北海道のトドマツ林分において、マツタケの生育環境に適した環境整備を実施することで、土壌 pH および微生物量の値が低下し、マツタケのシロ形成や子実体発生量に対して効果をもたらすことを

示す必要がある。

## 謝 辞

本研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究「森林資源を最適利用するための技術開発」として行った。

本研究には北海道有林を使用させていただき、本試験地を管轄するオホーツク総合振興局西部森林室には大変お世話になった。記して謝意とする。

## 摘 要

北海道におけるマツタケ発生地の特性を把握するために、マツタケの発生が見られるトドマツ人工林で本菌が作るシロ周辺の土壌環境を調査し、未発生林の土壌環境と比較した。その結果、マツタケが発生しない林地の土壌に比べて、シロ周辺では pH および微生物量 (cfu) の値が低い傾向が見られた。また、厳冬期には気温が  $-20^{\circ}\text{C}$  を下回るものの、林床は積雪に覆われているため、土壌温度は  $0^{\circ}\text{C}$  以上で維持されていた。

## 引用文献

- Endo N, Dokmai P, Suwannasai N, Phosri C, Horimai Y, Hirai N, Fukuda M, Yamada A (2015) Ectomycorrhization of *Tricholoma matsutake* with *Abies veitchii* and *Tsuga diversifolia* in the subalpine forests of Japan. *Mycoscience* 56: 402–412
- 古川 仁・増野和彦・竹内嘉江 (2016) 地球温暖化に適応したマツタケ発生林施業法の開発. 長野県森林セ研報 30: 87–100
- 亀和田國彦 (1997) 土壌環境分析法 (日本土壌肥料学会監修). 博友社, 東京, pp 195–197
- 加藤邦彦 (1992) 新編土壌微生物実験法 (土壌微生物研究会編). 養賢堂, 東京, pp 15–16
- 村田義一・南出隆司 (1989) 北海道産マツタケの発生現況. 北方林業 41: 293–299
- 村田義一・高橋義昭・洞平勝男・安達 洋 (2001) トドマツ天然林におけるマツタケの発生現況と発生環境の整備. 北林試研報 38: 1–22
- Ogawa M (1976a) Microbial ecology of 'Shiro' in *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing. and its allied species. II *Tricholoma matsutake* in *Pinus pumila* var. *yezoalpina* forest. *Trans mycol Soc Jpn* 17: 176–187
- Ogawa M (1976b) Microbial ecology of 'Shiro' in *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Sing. and its allied

- species. III *Tricholoma matsutake* in *Picea glehnii* and *Picea glehnii-Abies sachalinensis* forest. *Trans mycol Soc Jpn* 17: 188–196
- 小川 眞 (1977) アカマツ林における菌根菌—マツタケ—の微生物生態学的研究 III マツタケのシロ土壤と菌根における菌類相. *林試研報* 293: 105–170
- 小川 眞 (1978) マツタケの生物学. 築地書館, 東京, pp 1–326
- 林野庁林業試験場 (1955) 国有林林野土壤調査方法書, 22–32
- 竹内嘉江・松瀬収司・小坂信行・増野和彦 (2011) マツタケ発生林施業法の開発. *長野県林総セ研報* 25: 65–75
- 寺田喜助 (1967) 北海道の土壤の地域性ならびにトドマツの地位指数と土壤因子に関する研究. *北林試研報* 4: 1–101
- Vaario L-M, Fritze H, Spetz P, Heinonsalo J, Hanajik P, Pennanen T (2011) *Tricholoma matsutake* dominates diverse microbial communities in different forest soils. *Appl Environ Microbiol* 77: 8523–8531
- 吉村文彦 (2003) 第6章：土壤微生物社会における拮抗と協同—マツタケのシロを例にして—. *土壤微生物生態学* (堀越孝雄・二井一禎編著). 朝倉書店, 東京, pp 134–150