



まつたけ山再生活動から見えてくるもの ～微生物生態学の視点から～

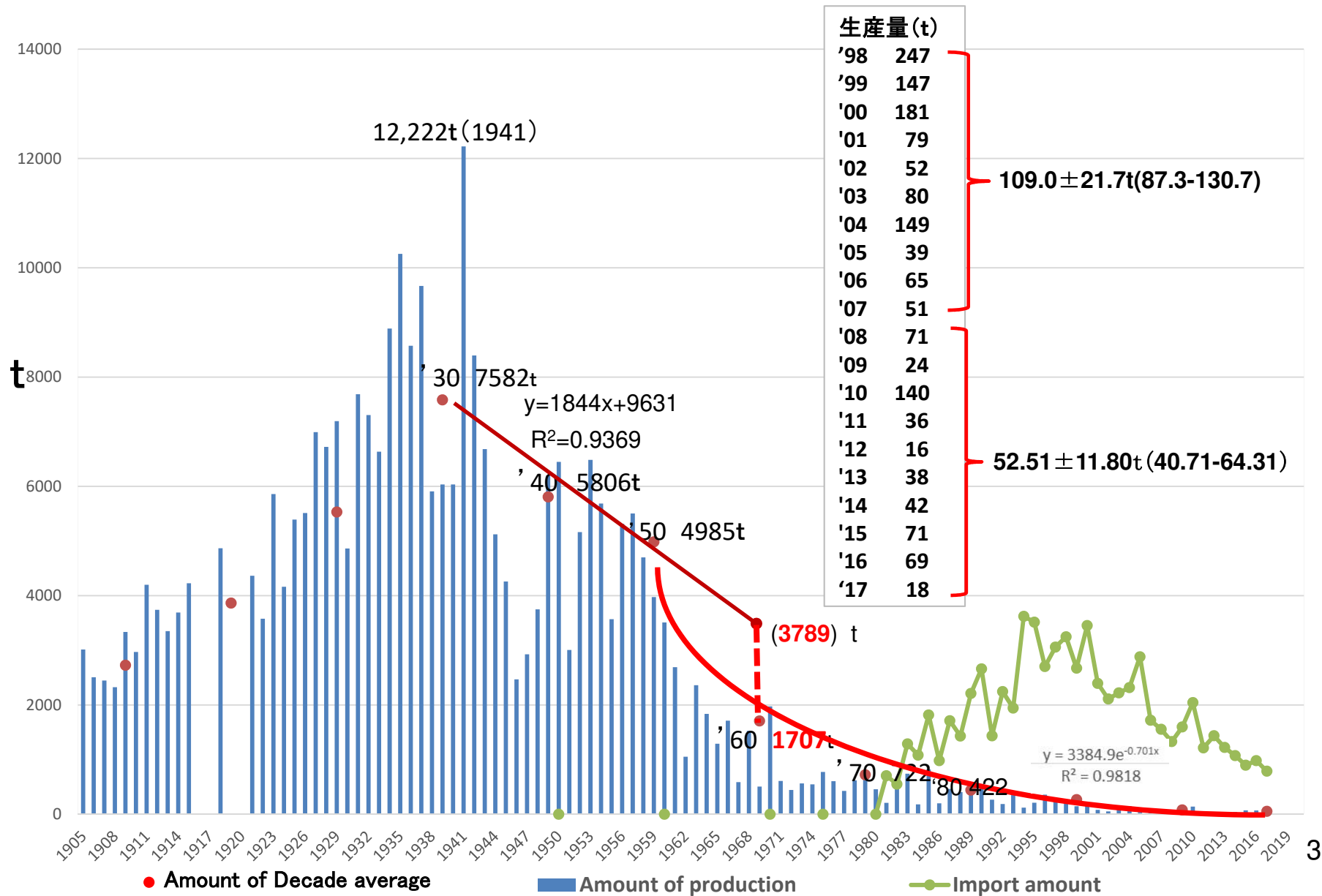
岩手県岩泉町 まつたけ研究所 向林試験林

吉村文彦
微生物生態学者
マツタケ生物学
まつたけ山復活させ隊

目次

- 1) 国産マツタケ生産量の推移
直近10年：1930年代の0.7%
減少要因は四つ
 - 1.アカマツ林の面積減少
 - 2.壮齡アカマツ林の変質
 - 3.アカマツ林の老齡化
 - 4.気候変動のあおりを受ける
- 2) マツタケの生活 *in Vitro* and *in Situ*
相利共生、でも少し特別?!
Hostと6つの親和性
マツタケとアカマツの共生の実態は！
相利共生関係は安定か？
- 3) マツタケ山再生法
林地栽培方法論
マツタケが好むアカマツ林とは
植生調節・地掻の効果
林地栽培の課題
岩手県岩泉町の例(現在50Kg/1ha)
まつたけ山復活させ隊の例
若齡アカマツ林のマツタケ発生例

国産マツタケの生産量の推移



マツタケ発生量減少要因

1. アカマツ林の面積減少（生息地の面積減少）

- 伐採圧力
- 戦中：平時需要に加えて、軍需用材の大量伐採
建築用材、杭木、軍需造船用材、**風致林・社寺林伐採**他
 - 戦後の復興：樹木の大量伐採（**はげ山拡大☆**）
1950年 チェーンソー普及（1954年頃）
マツ類をパルプ材（サハリンのエゾマツ，トドマツの代替）
 - 1960年代 高度経済成長期
里山林の宅地化、ゴルフ場に転用、奥山林伐採
拡大造林（森林面積＝国土の67%：その40%が人工林）
1963年 広葉樹パルプ；50%を越える
1964年 丸太完全自由化：林業の崩壊（今、木材自給率は“35%”）
- 1940～50年代の発生量減の要因は 1 である（直線的）

- 1970年代：弱り目に祟り目
マツノザイセンチュウ病枯損による減少 加わる

2. アカマツ林の放置(生息地の質劣化)

1960年代：生活の近代化

- エネルギー源が薪炭・石炭からプロパン・石油へ
 - 化学肥料が安価・全面使用：緑肥などを不採取
- 農業の変化・林業の衰退＝里山林資源の放棄拡大
立木密度高く落葉量増加、腐植の過剰堆積
土壌の富栄養化（競争微生物の増加、**感染拒否**）
腐植が孢子をトラップ
アカマツ細根が腐植層に上昇
B層の細根量減少/菌根量減
弱いシロ・弱々しいマツタケ、生産量が低下

1960年代の大幅な発生量減は 1+2 が重なる（指数関数的減少）

3. アカマツ林の更新：無 老齢化

発生期間は通常30～70年壮齢林

1970年以降：林家の高齢化、意欲の低下アカマツ林の若返り少なし
昔は、母樹を残して皆伐・天然下種更新/補植

1970年代以降の大幅な発生量減は 1+2+3 が重なる

4. 生息地の気象条件：発生期の気象の影響・異常気象のあおり

最近の発生減は **1+2+3+4** が要因

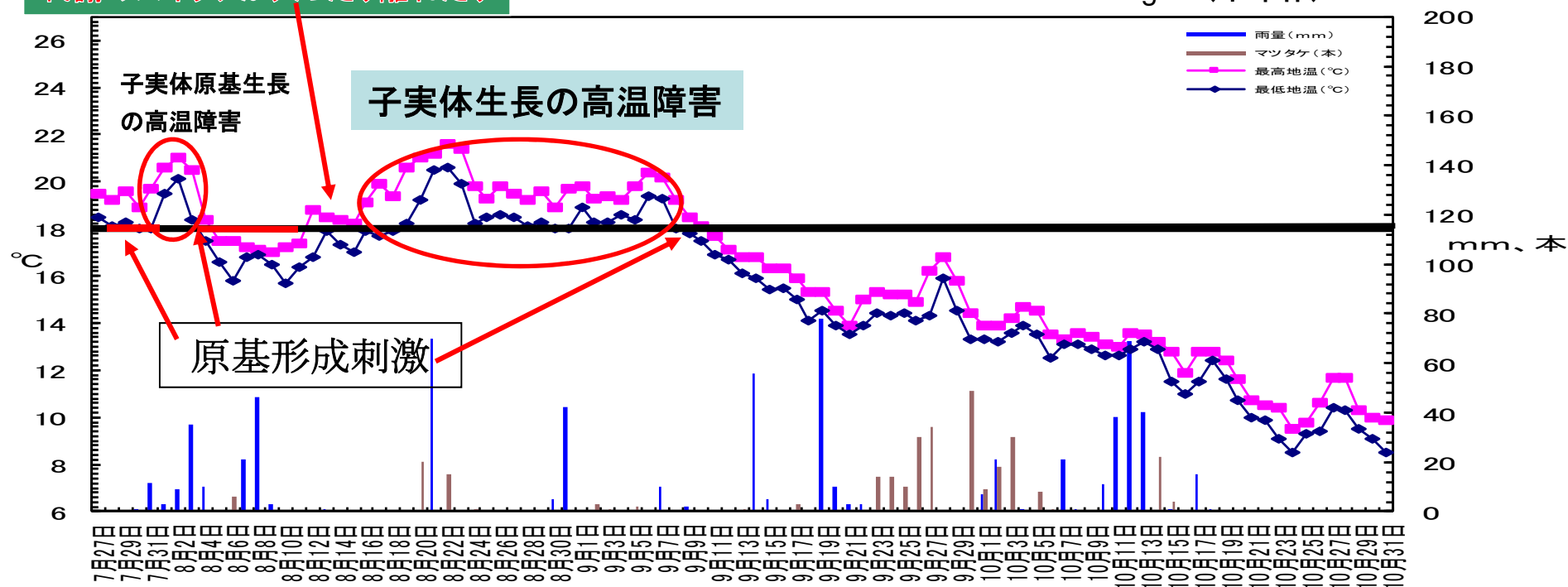
気になること：
 冬期平均温度が高い：“休眠せず”
 生活リズムに変調は？
 病虫害菌の生残率

原基形成刺激の解除

代謝のスイッチが入ったり離れたたり

地温と雨とマツタケ（1991）

20.7Kg/ha(平年作)



温度刺激
×

子実体
原基形成

7日

原基生長

7-10日

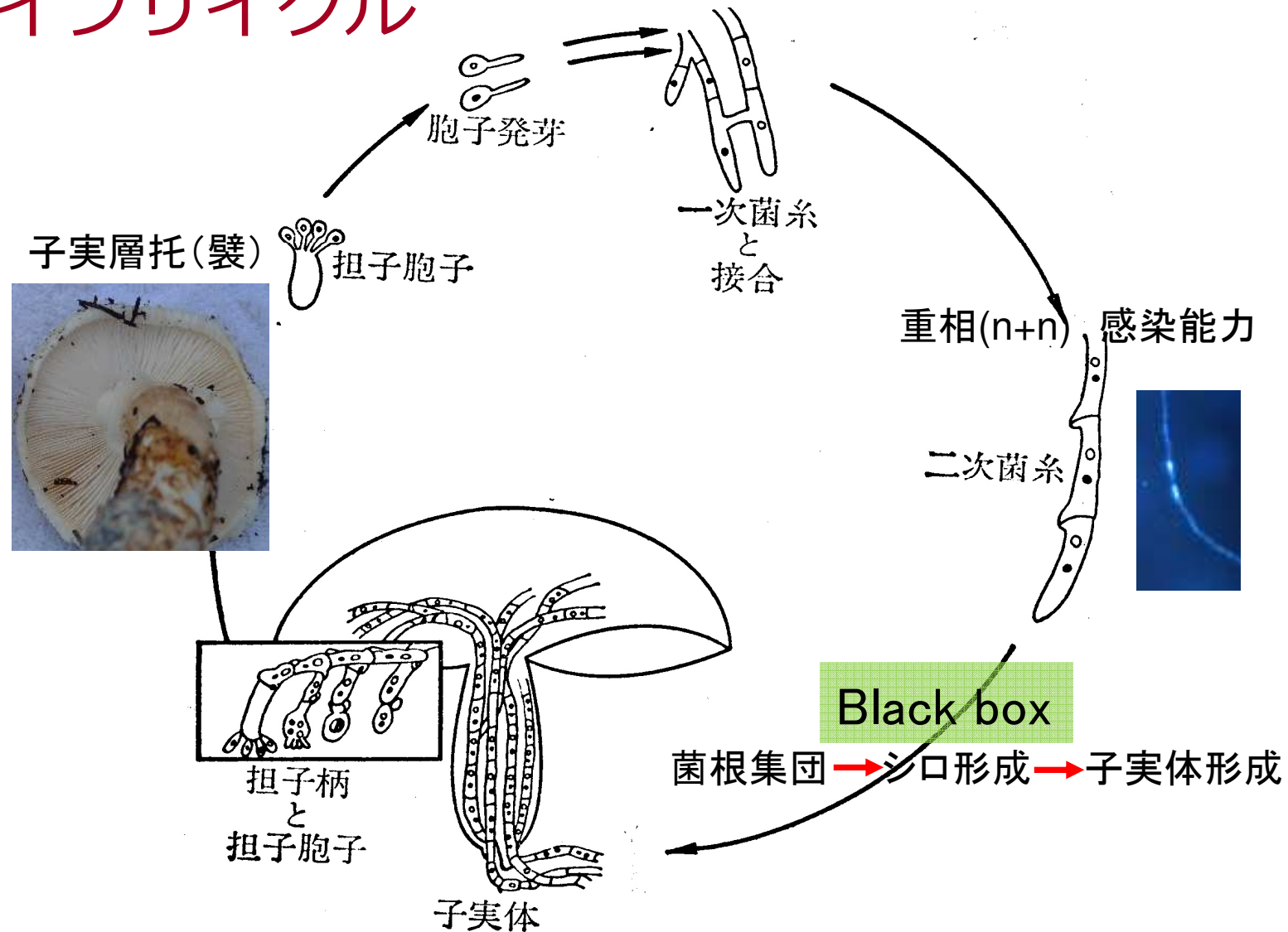
子実体生長

7-10日

開傘

マツタケの生活 *in Vitro* and *in Situ*

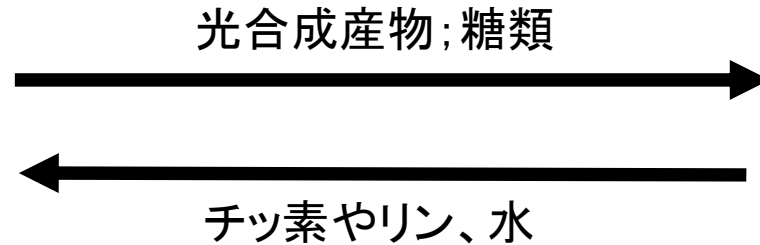
ライフサイクル



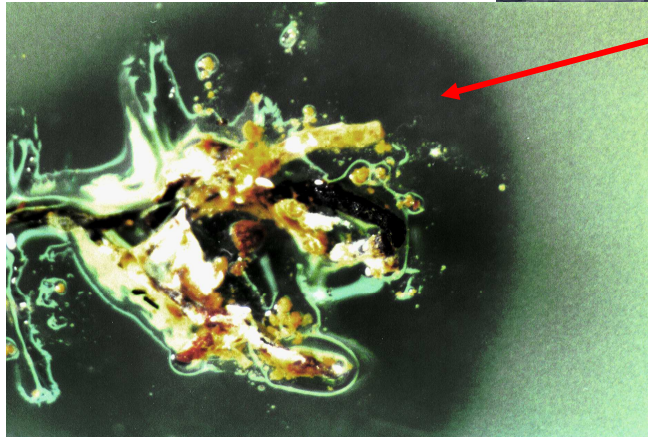
アカマツ(ホスト)とのつながりは！



生長がよい



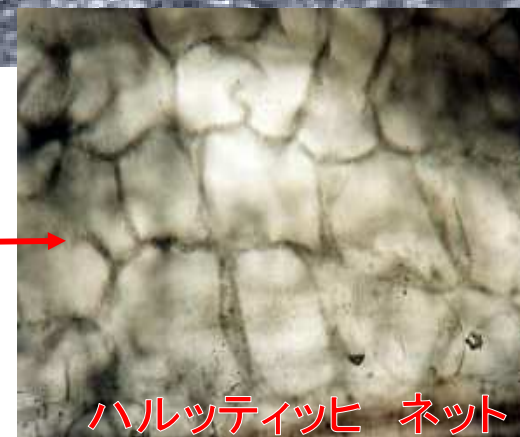
菌根



微生物排除能力(マツタケに特有)



拡大



ハルツィツヒ ネット
養分のやりとり

毛羽だった菌糸と細根の分岐

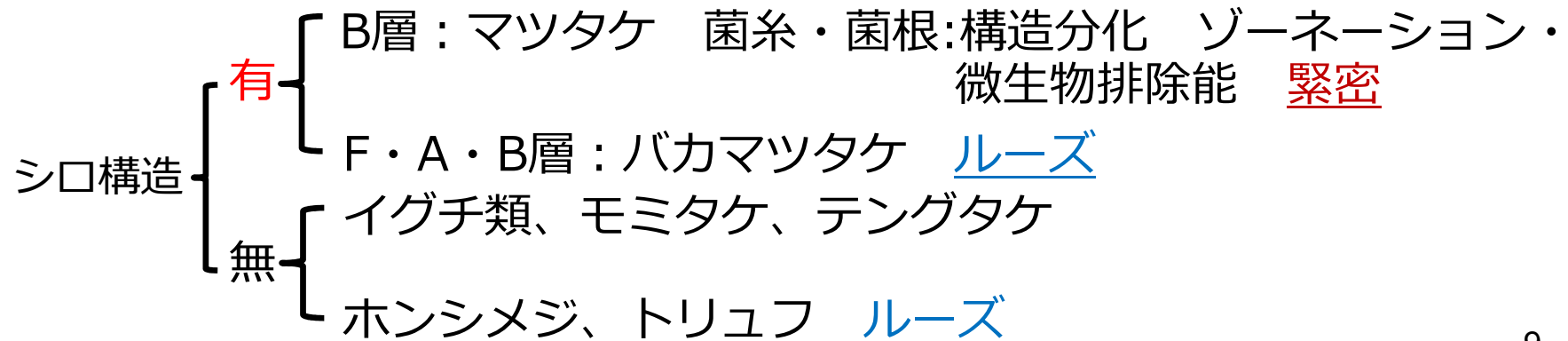
マツタケの生活様式は相利共生、 少し特別?!

共生(Symbiosis)とは

- 複数の生物が時間と空間を緊密に共有する関係をいう (1877: フランクの菌根共生)
- 1種の生物では持ち得ない機能に関係する生物種達が共有する生物戦略
genome reduction, オルガネラ化
- 関係する種間関係は不変ではない

- ①腐生性 シイタケ、ヒラタケ (エリンギ)、エノキダケ、
マイタケなど
- ②寄生性 ナラタケ、ヤグラタケ、冬虫夏草、タマノリイグチなど

- ③菌根性 ホストの菌根組織の分化程度



マツタケとアカマツには6つの親和性

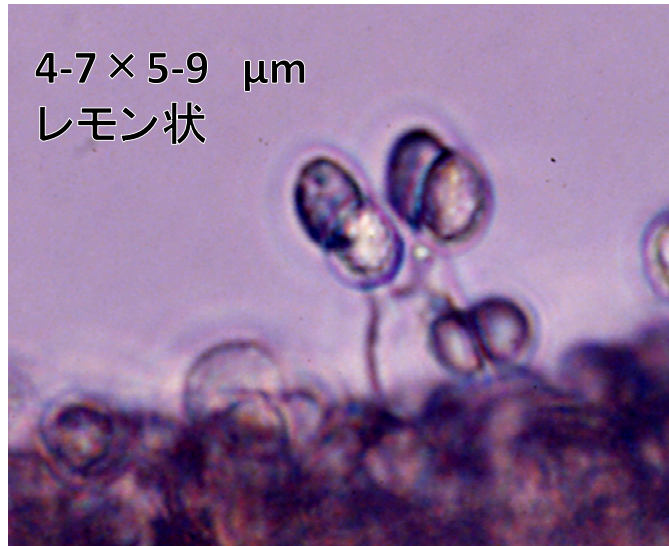
1種の生物では持ち得ない機能を関係する
生物種達が共有する生物戦略

(Six Affinities)

胞子(Spore)

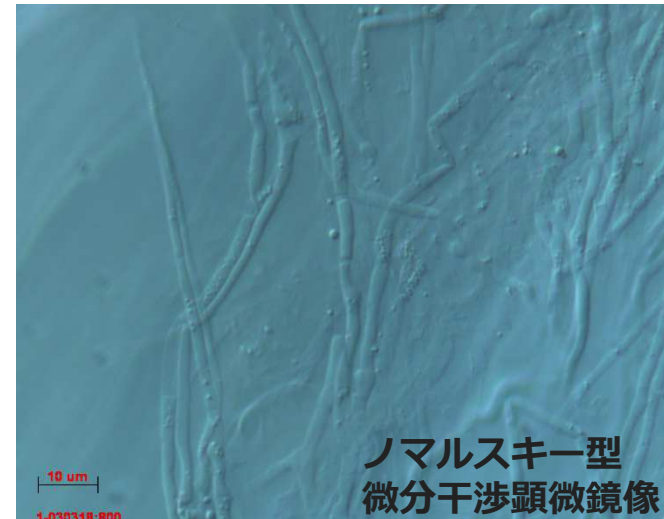
- 1) 発芽率が低い!
0.05-1%、シイタケ100%

1-2核タイプがある。
遺伝子的多様性が高い。
1核胞子単個培養に課題



菌糸(Hypha)

- 2) 培養菌糸の生長も悪い!
競争に弱い. V.B群必須
(0.3~0.5mm/day)



- 3) 培養菌糸は担子菌類の特徴・クランプコネクションを
欠く!

菌糸と根(Hypha and Root)

4) 出会い・認識：第1の親和性 First Affinity

アカマツのパートナーきのこは200種(?)以上、競争/偶然/誘引？
マツタケに選択権がある？

認識機構は？ スギの根に感染しない。

- 両者の接触によって誘導される「変化」が根の表皮細胞に生じることはないか？ 刺激と受容体(鍵と鍵穴)
- ヤブガラシの巻きひげには自らの体に巻き付くことを避けるため、自分の分泌物・シュウ酸化合物を認識。

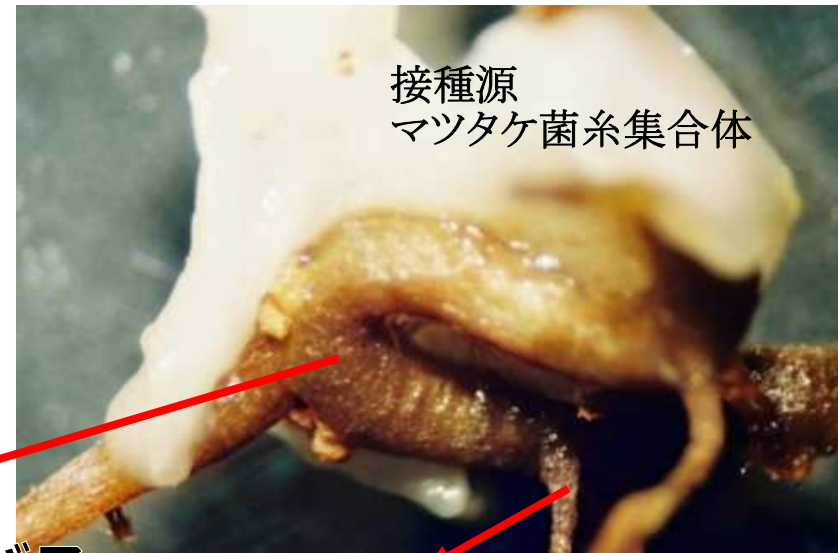
菌糸体侵入と根の防御反応



新しく伸びたアカマツ細根

出会い後、マツタケ菌糸は、しばらく根の表面で生活
接触後、まもなく、根の激しい抵抗

傷痕反応
タンニン分泌
寄生性を帯びる



接種源
マツタケ菌糸集合体

根の生長も障害

マツタケの寄主は

マツ科の植物(カラマツを除く):アカマツ、クロマツ、ハイマツ、ツガ、コメツガ、シラビソ、トドマツ、アカエゾマツ、チョウセンゴヨウ、ウンナンマツ、レバノンスギなど.

中国でコナラやシイ、マテバシイの仲間が寄主植物、日本でも広葉樹であるシラカバの仲間オノオレ林に発生.

ヒノキ科のネズとCedrela(センダン科)セドロに感染.

菌根 (Mycorrhiza)

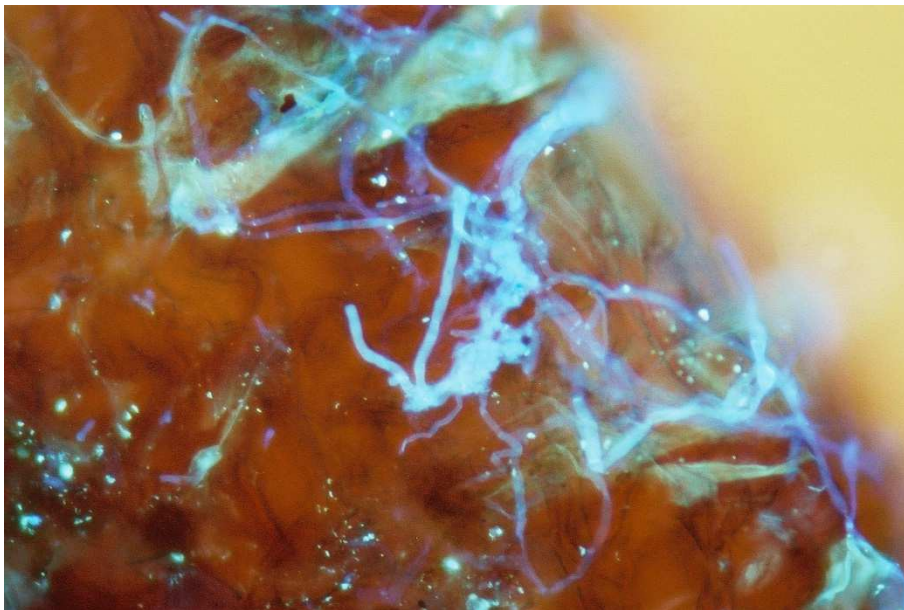
5) 表皮細胞に侵入：第2の親和性 Second Affinity

感染成立 関係性が緊密になる.

菌根になると発揮される機能 マツタケに特有なものがある.

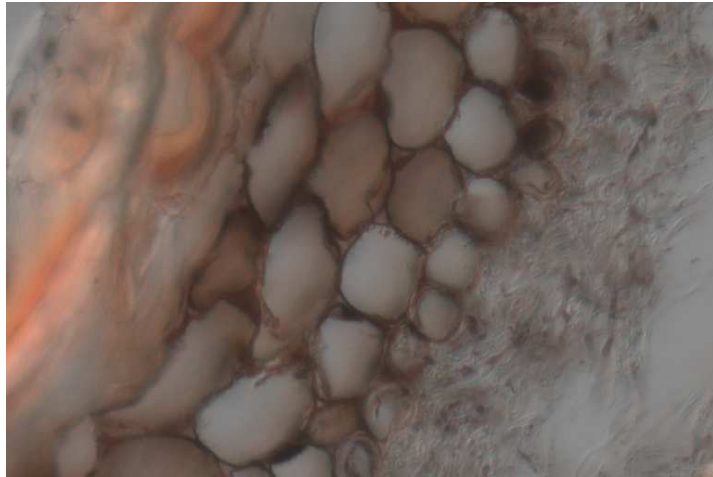
感染の始まり 物理的？ 化学的？ 生物的(協同作用)？

表皮細胞に侵入



菌根（続き）

6) 皮層細胞間隙へ侵入：第3の親和性 **Third Affinity**

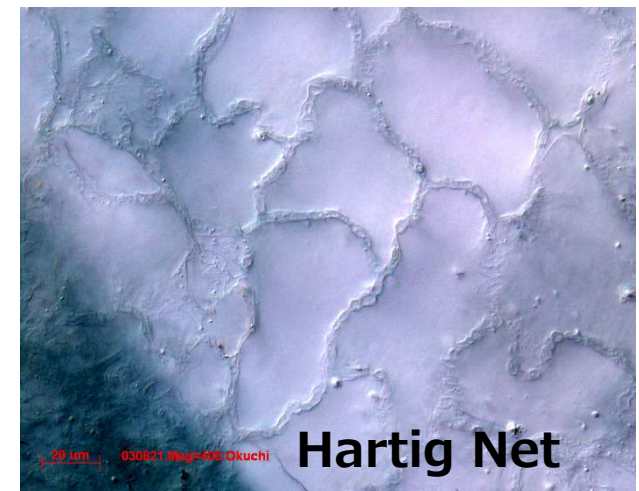


表皮細胞に止まらず
皮層細胞間隙へ侵入
攻撃性

菌と寄主樹の相利共生(菌根)成立：

根の分枝、Mantle、Hartig Net、
(協同作用：微生物排除能、クランプコネクション形成)

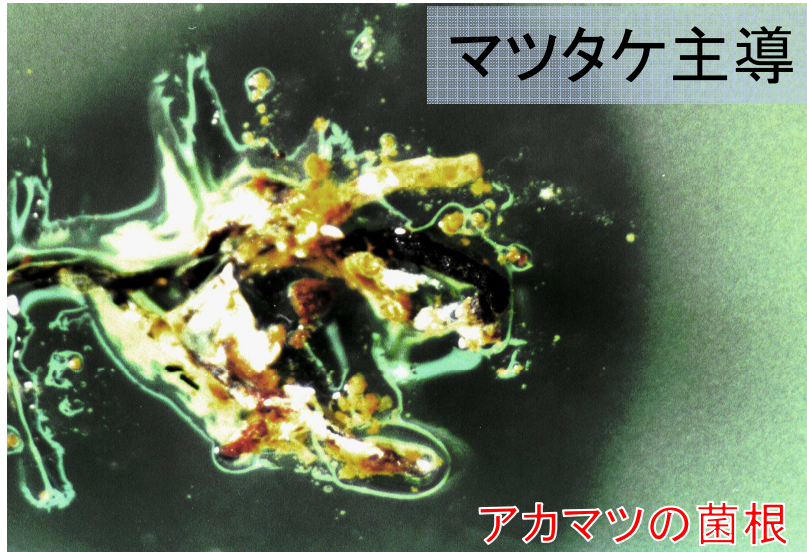
Branched fiber roots



菌根（続き）

7) 微生物排除能：第4の親和性 **Fourth Affinity**

Host細根のみあるいはマツタケ菌糸のみでは見られない現象（協同作用）



カビや細菌を抑えるが、抗菌スペクトルに特徴がある。 *Mortierella* sp.(クサレケカビ属).

viable but non-culturable 細菌が根圏に「いる」(生態的役割? ★)

intact but nonviable(瀕死の状態)、

viable but not culturable(飢餓状態: 培養法が不明),

viable but injured(回復法不明),

ウルトラミクロバクテリア(矮小細菌),

共生生活過程で自力で生活できなくなった細菌

これらの細菌類が活動すると、
排除されるのではないかな?

f.e. *Mycobacterium leprae*, *Treponema pallidum* etc.

菌根集団の質的变化への移行

8) シロ(Shiro)の形成

その引き金は？ マツタケ主導

菌根群のシロ構造形成の生物学的意味は？

なぜ必要？ 環境防衛対策？

アジアなどの二次林(遷移林)： tightly 助け合う？

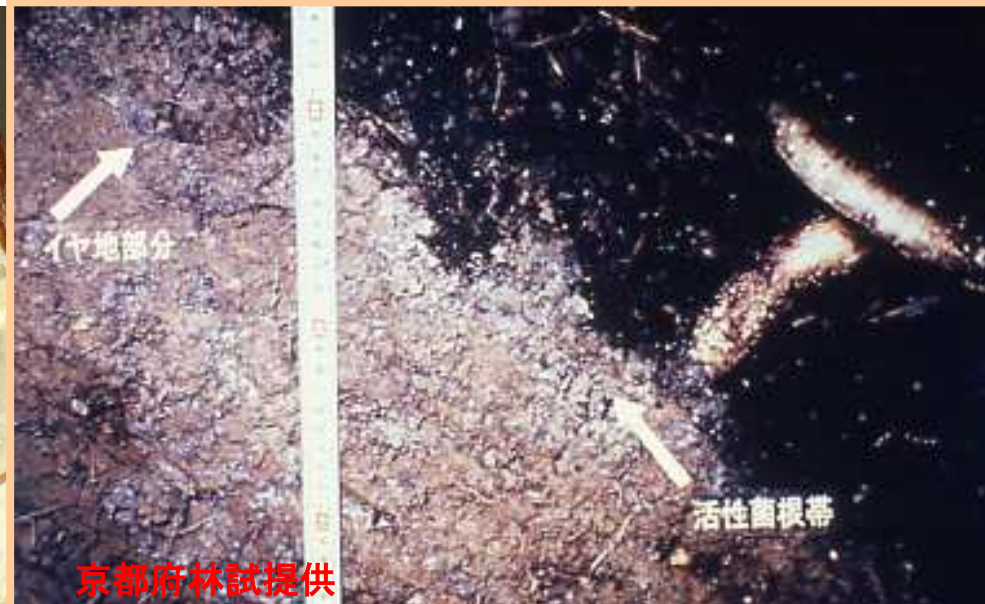
たとえば北米大陸のマツ科植物： [安定的]遷移林では loosely ？
(小原弘之氏談)

第5の親和性

Fifth Affinity

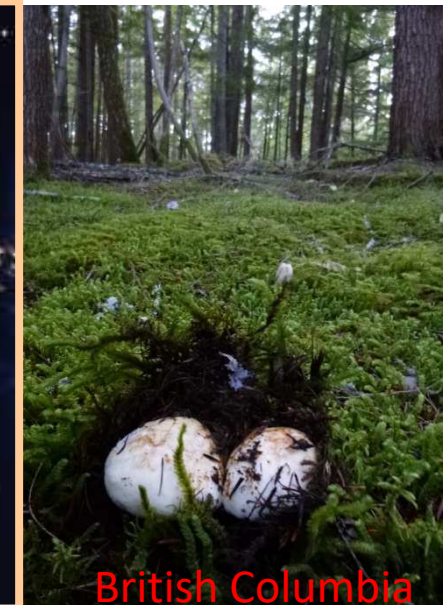


菌根群



京都府林試提供

シロ

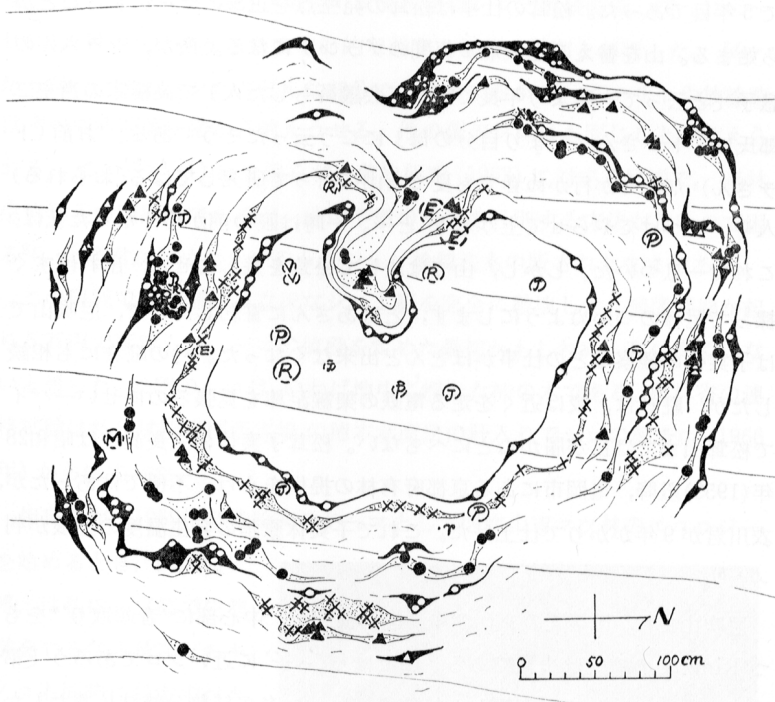


British Columbia

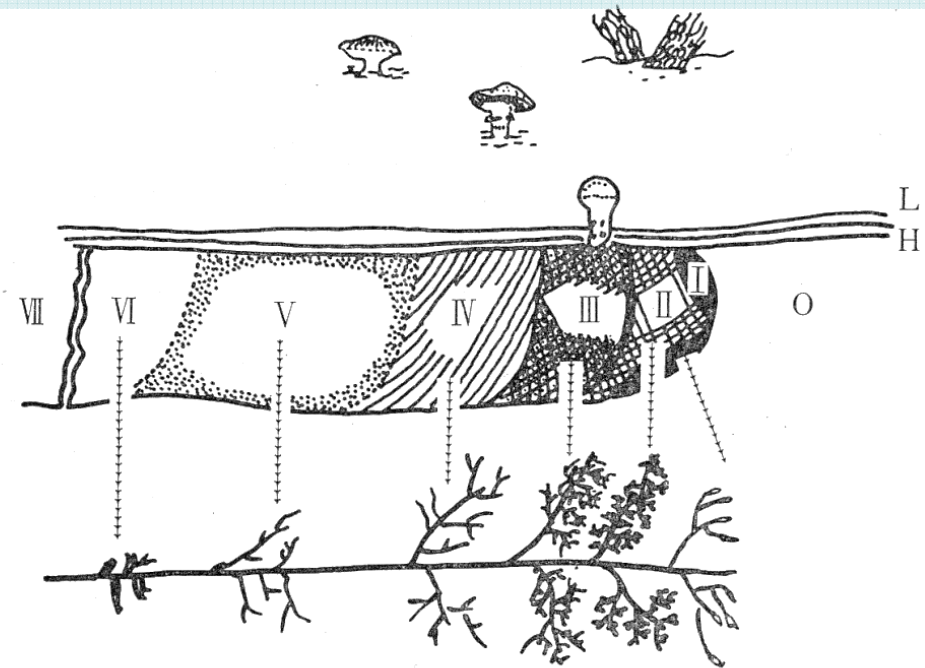
Ms. Shiho Satsuka
(Toronto Univ.)

シロとは

「マツタケが感染したアカマツ根(菌根)の影響が及ぶ範囲(根圏)」に生活するアカマツの根とマツタケ菌糸、その他微生物・小動物がつくる生態系で、その菌糸・菌根構造は、栄養生長に関わる菌糸(I)と生殖生長にかかわる菌根(Ⅲ)とに分化する。また、遺伝子的に単一のクローン(ジェネット)でなく複数のジェネットからなるが、統制の取れた秩序ある一つの共同体である。



シロの広がり 濱田 稔 図



Ⅲ(AMZ : 生殖生長にかかわる菌根帯)

シロの模式図(冬) 小原 弘之 図 17

子実体 (Fruitbody)

9) 子実体形成

第6の親和性 Sixth Affinity

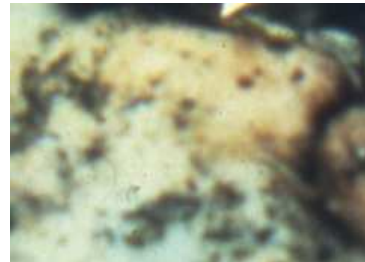


シロ表面

シ口径30cm・体積1.5-2Lになると子実体発生
子実体形成条件など不明？

原基形成刺激：温度、ほかの刺激？

Host抜きの子実体形成は、現在不能



温度上昇で刺激解除/子実体生長障害

マツタケとアカマツと土壤微生物の共同作用

10) 土壤微生物の役割？

Helper { Bacteria
Ectomycorrhizal Fungi

菌根形成に貢献(発芽促進・菌糸成長や
根の皮層を柔らかくし、感染を助ける 他)

ツガの生長を見ると、発芽後10年
くらいで急成長：菌根菌が交代する?!

人とアカマツとマツタケの共生関係

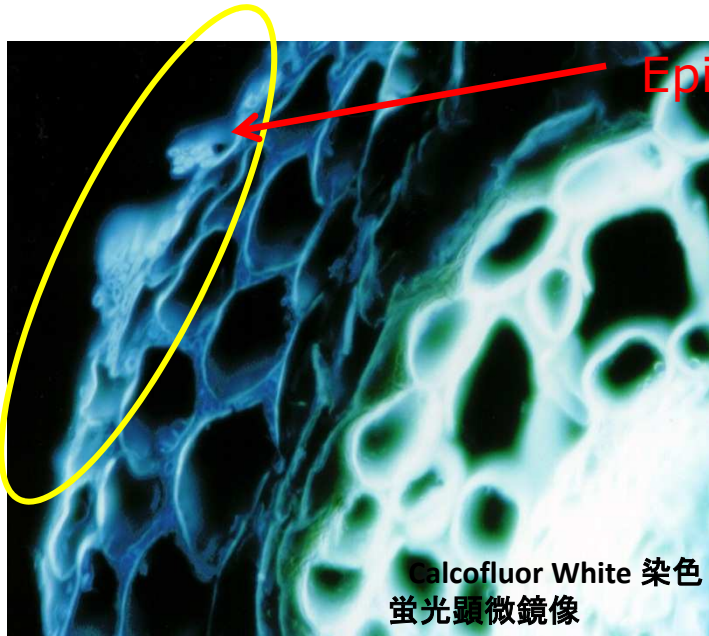
11) 人は里山林を活用

アカマツ林(ハビタット) 攪乱 = マツタケ生育環境 = マツタケの半栽培
特別にそうしたわけではなく、日々の暮らしに必要な物資を採取
したことが 結果的に三者の共生関係を生み出した。

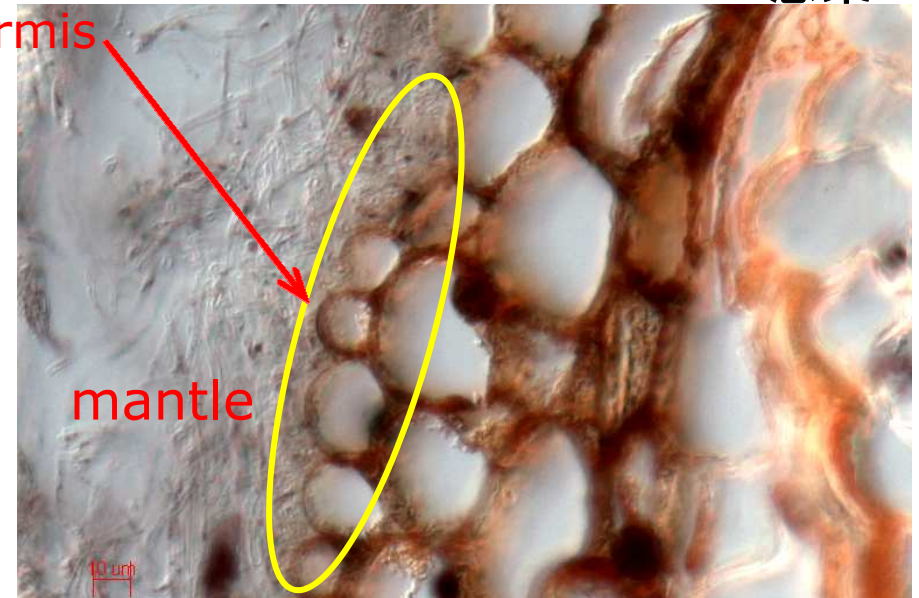
マツタケとアカマツの共生の実態は？

アカマツは単独（マツタケ抜き）でも生きるが、マツタケは単独では生活を全うできない。

非感染



感染



表皮がダメージを受けている。

根毛を締め上げる



傷痕反応 タンニン分泌
根の発達障害



細胞間隙も肥厚



貫通する



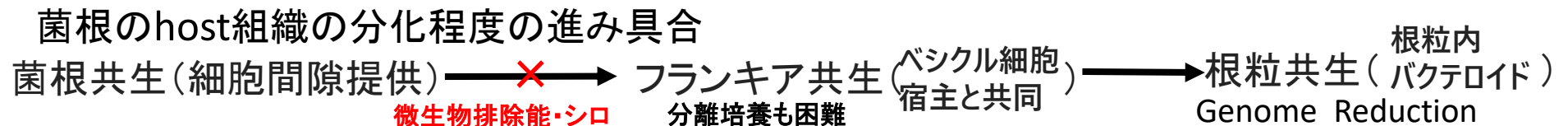
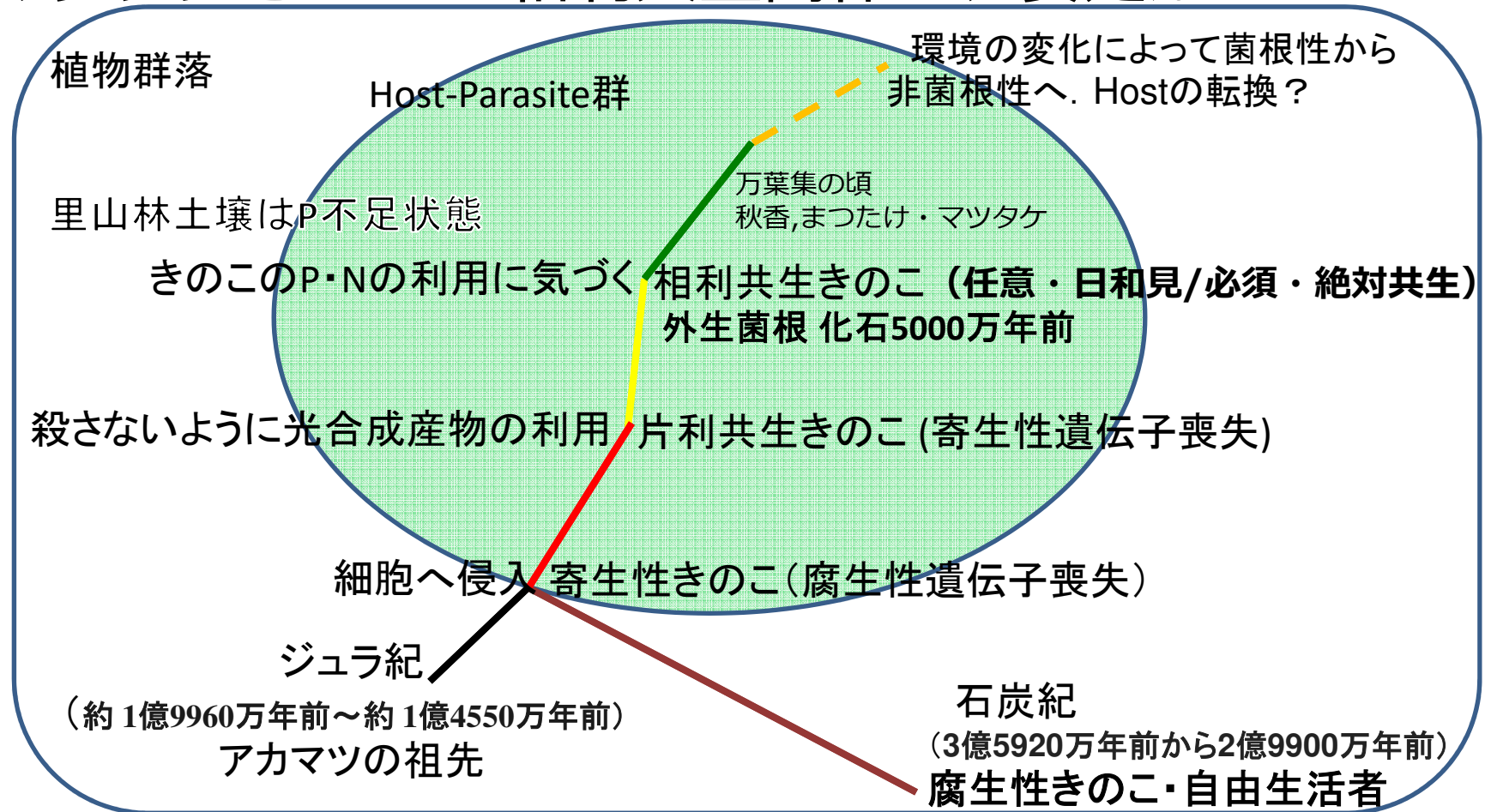
マツタケは、一定程度の攻撃性（寄生性）を有している！ 19

でも、共生関係を維持するのだろう！

アカマツは、住まいと栄養をマツタケに提供する意義があると、マツタケは、里山林に不足するNやPをアカマツに提供する意義があると認識！ 両者は、目下、せめぎ合いながら、相利共生関係を続けているのだろう！

今後、アカマツはマツタケの生活を支える、逆にマツタケはアカマツの生活に資するという関係を、両者は維持するか強化するか解消するのか？

マツタケとHostの相利共生関係は、安定か？



Ewald.P.W.(1987)改変

マツタケ栽培法 人工栽培か 林地栽培か



岩手県岩泉町 岩泉まつたけ研究所 向林試験林(1994)

林地栽培方法論 相利共生関係を成立させ維持するためには

マツタケの生活は、アカマツ林（樹齢、密度、向き、地表、土壌、細根量、菌根、根圏微生物、ミクロクリマなど）と温度と水が規定要因である。

若齢アカマツ林 20(?) – 30年生

第一段階

感染・菌根形成

寄主を感染されやすい状態にする

樹木の密度、細根量

土壌の富栄養化の改善

接種源の検討：孢子、菌糸、菌根（石突き、シロ、感染苗）

壮齢アカマツ林 30 – 80年生

第二段階

シロ形成

シロ周辺の菌根を増やし強いシロづくり（ホスト密度・樹齢）

第三段階

シロ数の拡大期 子実体発生量の拡大

菌根量増加、強いシロづくり

弱いシロは、物理的・化学的・生物的環境変化に弱い。

弱々しいマツタケ（質）の発生、シロ当たりの生産量低下

子実体の形態形成障害の除去

獣害・動物食害・ナメクジ・虫食い対策

温度・土壌水分量調節（ミスト撒布）

寄主アカマツの補植・若返り

老齢アカマツ林 80年生以降

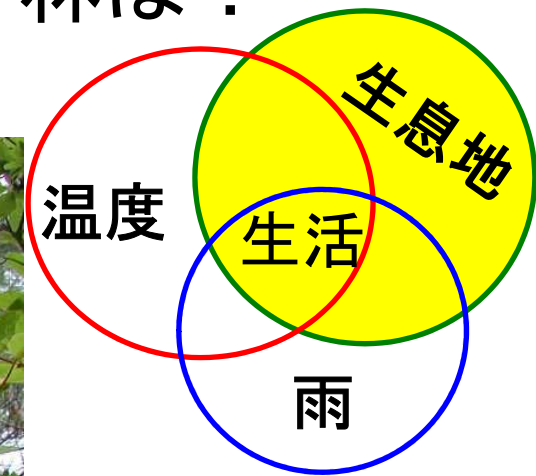
アカマツ林の若返り：皆伐・強度の地掻、異齢林づくり

作業
密度調整、地掻
微気象が変化



群馬県太田市金山城 260年弱マツタケをとり続けた

マツタケが健全に生活するアカマツ林は？



孢子源

近くの山にマツタケが発生
受け入れ体制

植生

樹齢：20-70年

アカマツ立木密度：

25本/100m²/20年生

中小径木密度：3-5本/m²

灌木：高さ膝頭以下は不要

土壌

腐植層厚さ：0-3cm

細根密度（感染前）：

2-3本/100cm²

ネズミサシ(ネズ)はマツタケのホスト、残す。



高等植物の密度調整

密度調整効果

寄主樹の保全

落葉量調節

微気象調節

林床の堆積物の地掻

地掻の効果

胞子のトラップ除去

富栄養化源の除去

有害腐植成分の除去

競争微生物の排除

Helper 微生物増加

植物根の上昇阻止

アカマツ細根の増殖

微気象調節

地温調節

断熱効果

土壤水分調節



発生林：腐植の厚み2-3cm位にする

未発生林： 0cmにする

林地栽培の解決すべき今日的諸問題

マツタケの栽培ができる唯一の方法であるが、4つの課題

1) 生息地の危機

a) アカマツ林の危機

明治（1868）以降、治山治水工事で、全国のアカマツ林面積は増加し、おそらく1930年代に最大になり、その後、開発や里山林資源の放棄でその面積は大幅に減少/遷移している。

更に、マツノザイセンチュウ病が追い打ちを掛けている（'70～）。残ったアカマツ林は、立木密度も高く腐植の堆積も多く、土壌も富栄養化していてマツタケが生活しにくい林となっている。

今あるアカマツ林も多くは老齢化しその存在は危機的である。

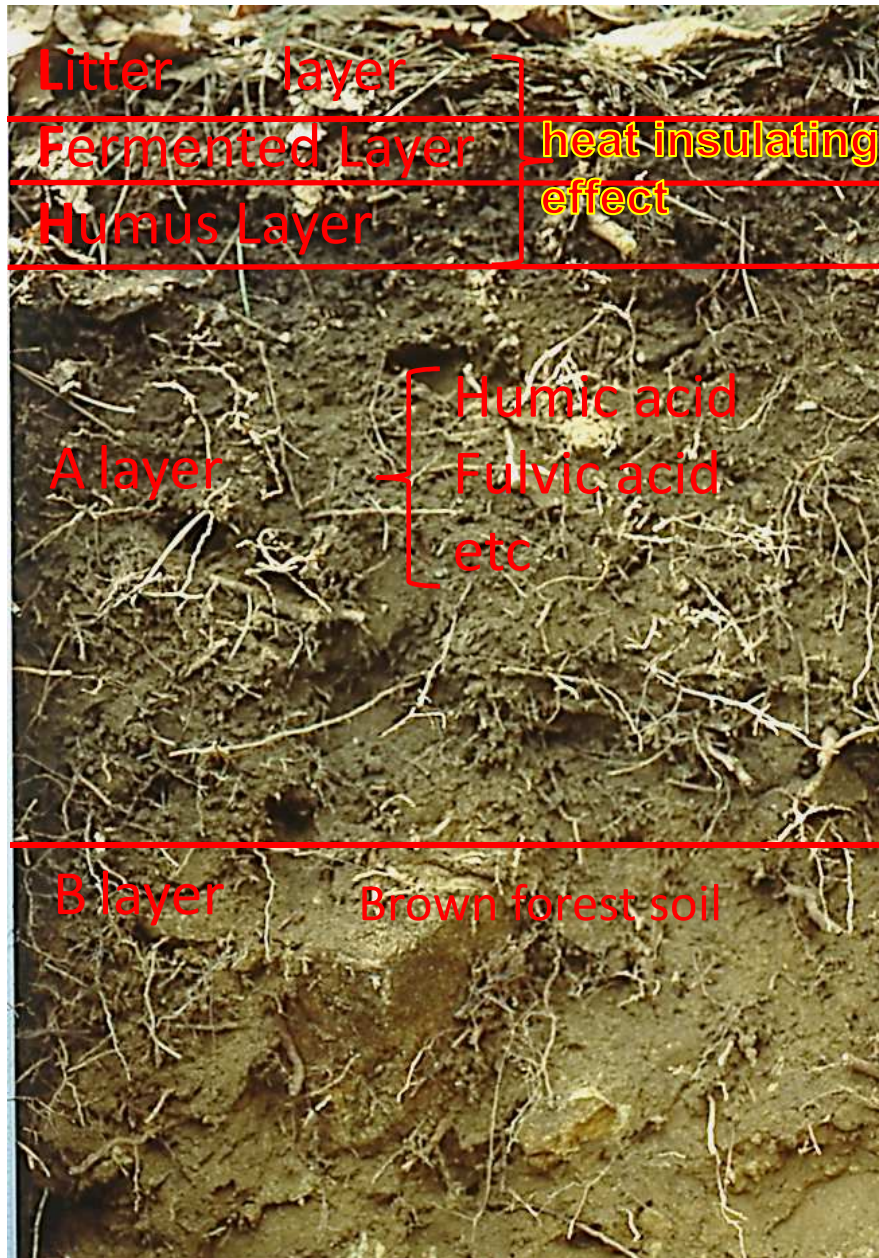


滋賀県 長浜市 浅井町 2005. 6



香川県 高松市 塩江 2016.10

b) 富栄養化土壌断面



落葉層は土壌浸食を防ぎ、無駄な流水を防ぐ。

落葉・落枝(L層)をトビムシ、ワラジムシ、ササラダニ、ヨロイジュズダニなど小動物が分解。菌類、細菌などに引き継がれ、やがて腐植となる。

地表の堆積物は断熱効果と土壌水の蒸散抑制効果を持つが、B層の水分含量を低くする。

富栄養化土壌では、菌根が減り、シロは弱る、やがてマツタケが生活しなくなる。土壌の富栄養化は、土壌中の細菌グルコースデヒドロゲナーゼ活性(トリフェニルフォルマザン量)を比較した(20 μ g以下)。TOCを比較。

- 1) A層が発達すると細根が上昇
B層の細根量減:菌根少 弱いシロ
- 2) 微生物との競争に負ける
- 3) 腐植層に孢子がトラップされる
- 4) アカマツは感染を拒否

2) マツタケを栽培する感覚がなく（採るだけ・待つだけ） 楽な生活に慣れた体には山作業は辛い。

2016年10月

京都市場と盛岡市場のまつたけの販売価格

	数量	金額	Kg当たり	
生シイタケ	15,959	15,602,836	978	
まつたけ	1,703	21,599,050	12,683	
生シイタケ	154,037	154,642,921	1,004	
まつたけ	427	14,784,989	34,625	

大間のクロマグロ 120万円/Kg (2019. 1.5)
名古屋 梅雨まつたけ 260万円/Kg
兵庫篠山 367万円/Kg (2012. 10)

松茸は儲かる作物

$20\text{Kg} \times 20\text{ha} \times 34625 = 1385\text{万円}$

天候の影響が大である

質的に不安定

雇用の面

シイタケは通年雇用

マツタケはたかだか1ヶ月強

山の立体的通年利用を考える

マツタケ栽培と他の作物生産の兼業

岩手県には、アミタケだけで300-400万円

シモフリシメジ；蕎麦300円 → 800円

長野県には、まつたけ生産専業林家
1ヶ月ほどの採取・販売業務他で十分
な生活を松茸は保証。残りの時間は
生活をエンジョイ、アカマツ林の手
入れ

3) マツタケ栽培には時間が掛かる！

マツタケの初シロ形成アカマツ樹齢は、平均30年 **待てない！**

これは本当か!?

アカマツ若齢林にマツタケ発生

例1

これまでは、5年生のアカマツ林に発生したという一見報告があったが詳細は不明であった。

例2

京都府亀岡市篠村にある保安林内（周辺にはマツタケの発生が見られた）のことである。砂防堰堤をつくるため、重機で法面を造成、そこに2年生のアカマツ苗とヤシャブシを密度高く植えた。1965年のことであった。3年後にはヤシャブシのみを伐採した（アカマツはのびのび育ったことだろう）。5年後の1970年秋、マツタケが連なって発生したのである。樹齢7年生の植栽アカマツにマツタケが発生したことになる。

例3

兵庫県猪名川町でマツタケ復活をねらうグループの活動地。元はマツタケの発生するアカマツ林だったが放棄され、照葉樹林となっていた。それを皆伐し、伐採木の切り株は掘り起こして除去、徹底的に地搔。マツノザイセンチュウ抵抗性のアカマツ2年生苗（兵庫元気マツ）を植栽した（2010年）。補整手入れは継続して実施していたところ、2016年11月、待望のマツタケが2本発見された。樹齢7年有余の抵抗性アカマツ林にマツタケが発生した。

上記の成功例を、“偶然に” 終わらせないためには、マツタケの栽培概念が必要

照葉樹林：皆伐・土壌の徹底的な改善作業が必要（強度に地剥(重機) から地搔）。
寄主が感染されやすい状態を人為的につくる(アカマツ立木密度・細根密度 高)。
胞子密度条件を考える（高い）。

広葉樹林をアカマツ林に！ 京まつたけ復活 大 作 戦 成 功



まつたけ山復活させ隊 活動拠点 風景 Jan. 2017
京都市 左京区 岩倉 村松 「香川山」 標高170m

1975年(？)開発当時の林相

ソヨゴ、アセビ、サカキ、クロバイなども見られる 2005. 5



1975? ヒノキ混じりの照葉樹林
開発 皆伐 重機で削る
2005. 5 放置アカマツ林
2005. 6 放置林手入れ開始
2006. 4 手入れ終了
補整作業
2016.10-11 京マツタケ香川山に復活

皆伐、重機による地掻後30－35年

アカマツ林 遠景

2005. 5





でも、中は、こんな様子 やはり放置林

34
2005. 5

いよいよ手入れ開始です！



マツタケ発生整備作業中

手ノコで中径木伐採・草本刈り取り

2005. 16th June



中小径木の 密度調整

2005. 6 36



草本刈り取りと地掻作業 2005. 6

照葉樹林のアカマツ林再生



根が縦横に絡まった腐植を剥ぎ取って(地剥ぎ)から地掻をする





高等植物の密度調整と地掻 終了 2005.9

手入れがなければ、画面右のような林になる！



左：皆伐・地掻後、手入れを続けた 2017. 6 右：(隣接) 皆伐・地掻後、放置

マツノザイセンチュウ病に打ちかち、育つアカマツ美林



2016. 8

マツタケ初シロ形成 京まつたけの復活



みやこまつたけ

雍州府志 第6巻土産 黒川道祐著 1684.

洛陽四辺のまつたけと他州の田舎まつたけ

43

2016. 10月22日発生

京まつたけの初シロ形成 復活



2016年

10月22日 2本

10月26日 1本

10月28日 7本

11月 5日 2本

11月12日 1本

11月16日 1本

計 14本

2017年

10月27日 1本

2018年

10月16日 3本



京 松 茸

Occurrence at Shiro No. 5
of Kagawayama in Kyoto

W.192g, H.13.5cm, pileus dia.12cm, stipe dia.4cm, stipe length 10cm
27th Oct., 2017

2018 10.16 発生

終

まつたけ山復活させ隊ブログをご覧ください！