フォレストコンサル No.144, 3465～（2016）

講演

きのこ栽培技術の変遷と きのこを巡る最近の状況と課題

東京農業大学　地域環境科学部 森林総合科学科
教授　江口　文陽

1．はじめに

きのこは、私たちの生活の中で、いつでも何らかの種類を購入することが可能となった特用林産物である。きのこには疾病の予防や治療に効果を発揮することが医科学的にも確認され、消費者の注目度は高くなっている。

機能性食品としてきのこをみた場合、天然素材であるきのこは、品種（種）、栽培法（土壌、環境など）によってその効能が大きく異なる。このことは、同じ品種の米でも産地や生産法が異なれば味が違うことから誰もが理解していることであり、味覚が異なれば機能性成分も異なることを考える必要がある。したがって消費者が機能性食品素材としてきのこを選択する際には、医科学的評価系の確立された製品であることを確認し、生産地、品種、栽培法、品質管理の面から良い製品を選択する区別化の確かな知識を持ち、安全性と機能成分が安定的に保持された製品を購入することが肝心である。

きのこ生産は、どのような栽培技術を辿ってきたのか、技術士がきのこ業界に貢献すべきことはいかなるものなのかを私論を含めて述べることとする。

2．日本におけるきのこの食経験と栽培技術

日本人がきのこを食べる習慣はかなり古く、縄文時代にはすでに食用としていた形跡がある。また、「日本書紀」や「万葉集」などの古い書物にもきのこを食べた記録がある。その時代はまだ自然にはえていたきのこを採って食べていたと考えるが、今から400年前後の江戸時代初期になって、エノキタケが人の手で栽培されるようになった。さらにシイタケにおいては豊後国（現在の大分県）にいた炭焼き職人の源兵衛が、炭焼きで残ったシイの木の丸太にシイタケが出ているのを見つけ、栽培することを思いついたといわれている。しかし、当時のシイタケ栽培は丸太（原木）に鉈（なた）で傷（鉈目＝なため）をつけ、自然界に飛んでいるシイタケの胞子が鉈目に付くのを待っているという運まかせの方法だったため生産量は安定しなかった。

シイタケなどの多くのきのこは一つの胞子から菌糸が発芽して原木に増殖しても私たちが食べるようなきのこ“子実体”の発生には至らない。胞子はそのからだの中に一つの核しか持っていないので菌糸発芽してもその菌糸も一つの細胞の中には一つの核しか存在しない一核菌糸ということになる。子実体になるための菌糸は一つの細胞の中に二つの核が必要である。そのためには、胞子発芽した一核の菌糸同士が接合して一つの細胞の中に二つの核が存在する二核菌糸にならなくてはいけない。そんな自然界での営みを経て立派な子実体が誕生するのである。

江戸時代には原木に胞子が付着して二核菌糸になる偶然性を狙ってきのこの生産がおこなわれていたが、明治時代に入ると三村鐘三郎により胞子を大量に集めて水と混合した液

体を原木に塗り込む方法やシイタケの菌糸が蔓延した榾木（ほだぎ＝原木に菌糸が成長して子実体が発生するようになった木のことをいい、そのような状態になることを榾化という）から木片を切り出し、新しい原木に埋め込む方法なども試みられた。さらに、昭和の時代に突入すると森本彦三郎がシイタケの菌糸が純粋に培養された鋸屑を利用した栽培法を考案した。それら先人たちの技術をさらに改良してきのこを育てるための原木にきのこのもとになる二核菌糸が成長した円錐型の木片“種駒”を植え付け、きのこを人工的に栽培する方法を1942年に森喜作が発明、現在の生産でも利用されている。種駒の発明は、ヒメマスや真珠の養殖とならび日本における昭和の農林水産分野における三大発明と評された。この発明により本格的な原木栽培が始まり、シイタケの安定生産が確立した。また、シイタケは日本の主要な農産物として海外へも輸出されるようになり、外貨を稼ぐ主要産物であった。

このように自然の木（原木）にきのこの菌を繁殖させて育てる方法を原木栽培（写真1）という。原木栽培は、昔から行われてきた方法で、今でもシイタケをはじめ少量ではあるがヒラタケ、ムキタケ、キクラゲおよびナメコなどのきのこがつくられている。

写真1　榾木から発生するシイタケの子実体

3．シイタケの増産ノウハウと施策

シイタケの林地内栽培を例にして原木栽培の工程を説明する。原木の樹種は、ミズナラ、コナラ、クヌギ、シイ、サクラなどの落葉広葉樹が利用される。シイタケの原木に適した樹種の決め手は、シイタケの菌糸成長を抑制する精油成分などを多く含まず、樹皮の下に菌糸の塊をつくってきのこを発生させるため、樹皮がしっかりしていて剥離しにくいことである。熊本などの九州の里山では、昭和40年代に行政がクヌギの造林を支援して生産振興を図った。原木の伐採時期は、落葉した頃から12月初旬頃まで15～25年程度の樹齢木を選定して行い、原木として伏せ込んだ時に芽が吹きださないように30％程度の含水率まで森林内で2～3か月程度乾燥させる。約1m前後の長さに玉切り（切断）された原木にドリルで種駒を植え付けるための接種穴を開けたら直ちに種駒を接種する。原木に滅菌処理をしないで種駒を接種できるのは、立木として成長していた樹木はその内部が害菌に汚染されていないからである。種菌を接種した原木は害菌による汚染や害虫の侵入を防ぐために菌糸が成長するまでの数か月間は乾燥と温度上昇に注意を最大限に払って管理（仮伏せ）する。その後1～2年かけて本格的な培養（本伏せ）を行う（品種や栽培法によっては種菌接種後、半年でシイタケを発生させる技術もある）。本伏せは、鳥居を組んだような形の鳥居伏せや合掌伏せなど森林内の斜面や作業の効率を考えて現場環境に適応させて実施する。

我々がスーパー等で購入する子実体は、原木に十分に菌糸が蔓延し榾化した段階で栽培環境の湿度や温度の状況によって発生する。榾木に雨水がかかったり、急激な温度低下などの刺激を受けると子実体は大量発生する。

4．シイタケの種類

シイタケといってもその種類は数多く、農林水産省種苗登録株に指定されている菌株は150株を超えている。その菌株は、春や秋などに発生しやすいものや1年を通して発生するもの、高温や低温などといったように発生

適正温度が異なるもの、栽培の方法が異なるものなどさまざまである。大規模生産者などは通年での均一した生産量と収入を考慮して菌株選定する。また、シイタケは収穫する季節によって、春の“春子”、初夏の“藤子”、秋の“秋子”、冬の“寒子”、発生した時の天候によって雨にあたって水分を多く含んだものは雨子（あまこ）、晴天が続いて水分が少ないものは日和子（ひよりこ）と呼ばれる。

また、消費者に提供するニーズや料理のバリエーションに答えるため、傘が肉厚でこんもりと丸い“冬菇（どんこ）”、傘が薄くて乾燥物からの水戻しが早い“香信（こうしん）”、冬菇と香信との中間の“香菇”に大別され、傘が花模様に割れた冬菇の乾燥方法の違いなども含めて茶花冬菇や天白冬菇として製品の仕上げを美しくする加工品もある。

子実体の収穫は、種駒接種から約1年半後の秋に発生するものが多いが、シイタケの菌種と樹種、さらには原木1本当たりの種駒の接種個数を増やすなどして1年後の春に発生させることも可能である。種駒の接種数を増やすことは種駒代金が嵩むとともに菌糸が原木に早く成長することによって榾木の分解が促進され3年程度で榾木が利用できなくなる。コナラ、クヌギなどを原木として1年半後から子実体を収穫した場合、5～6年程度継続し収穫できる。

5．健康増進を考えたシイタケの利用法

シイタケは生で食すときは、収穫してからの時間経過が少ない鮮度の高いものほど血漿コレステロールの低下に関与するエリタデニンという成分が多く含まれていることが確認されている。また、生のシイタケを保存する際は、シイタケの傘のひだを日光に当てるようにして干すとビタミンDが合成される。ビタミンDはカルシウムを骨に吸収させるための栄養成分でもあり骨粗鬆症の予防に必要である。

シイタケの香りや旨みの成分は、各種料理の味を引き立てるとともに食欲増進にも貢献するものである。森林の恵みともいえるきのこを生活の中にきのこ料理（写真2、3）として多く取り入れて健康増進を図っていただきたい。

写真2　シイタケの肉シュウマイ（料理：木田マリ）

写真3　ハタケシメジのソテー（料理：木田マリ）

6．原木栽培から菌床栽培へ

原木栽培は自然に近い栽培法であり、野生種に近いシイタケが発生する。しかし露地に榾木を置いての生産は天候によって収穫できる量や品質が左右される。また、森林で生産される原木の減少、生産者の高齢化に伴う作業量軽減対策からきのこの栽培は原木栽培よりも菌床栽培の方法が多く用いられるようになった。

時として原木栽培は野生種に近く肉厚でしっかりしたシイタケであると評す生産者や流通業者が存在する。しかし、栽培技術の革新的な開発や菌床に適した品種の作出から現

在は原木と菌床のそれぞれのシイタケに利点がある。では菌床栽培とはいかなる方法であろうか？

菌床栽培は、おが屑と栄養剤（米ぬかや麦ぬか）をきのこの種類ごとに適正な配合比率で混合する。その混合培地に水を加えてきのこの菌糸が成長しやすい含水率に調節するのだ。この培地は、空中に浮遊した雑菌を含んでいるので耐熱性の素材でつくられた袋やビンに詰め、高温殺菌して害となる菌をなくすことが肝心である。殺菌終了後、培地の熱が低下するのを待って、きのこの種菌を培地内に接種する。種菌接種後の袋やビンは、温度と湿度を制御した培養室の中できのこの菌糸が熟成するまで培養する。培養終了後、培養ビンの蓋や袋の封を開けて、培養室よりも低い温度と高い湿度できのこの芽を形成させて私たちが食す部位である子実体へと成長させる。

培養室や発生室は細かな制御が必要である。おいしく形の良いきのこを大量に生産するには、温度、湿度、光や二酸化炭素濃度などをきのこが気持ちよく成長可能な状態に調節することが大切なのだ。

現在シイタケ（写真4）のほか、さまざまなきのこ（写真5）が菌床栽培で生産されている。菌床栽培は、おが屑と混合する栄養剤を工夫することでカルシウム、カリウム、鉄などの無機成分やきのこの旨みや香り成分などを高く引き出すことも可能となっている。さらに、ビンや袋を既定の大きさに定めていることから機械を導入した作業効率を高めた生産ラインを導入することが可能であり、労働力の軽減化にも貢献している。

菌床栽培では培地に菌糸を植え付けるが、菌糸が成長する時を栄養成長期と呼ぶ。また、子実体が培地から発生してくる時を生殖成長期と呼ぶ。栄養成長期から生殖成長期に変わるのはどんな外部刺激が引き金になるのだろうか。その一つに温度がある。25℃前後で栄養成長していた菌糸を15℃位の低温下にさらすとどうだろう。きのこは自然界での冬に向かう準備の信号を感じとり子孫を残すための胞子を蓄えた子実体という生殖器官を作り出すのだ。胞子は脂肪酸という不凍液と同じような役割を果たす成分を持っているので温度が下がっても自然環境の中で生き延び、春を迎えて菌糸を成長させる時期をじっと待つのである。

写真4　菌床から発生するシイタケの子実体

写真5　菌床栽培で生産されるいろいろなきのこ

栽培ハウスで生産されるきのこは、こうしたきのこの自然界での営みを熟知した生産者が試行錯誤、研究を続けて掴みえたノウハウによりいつでも安定的においしくきのこを食べることを可能にしているのだ。

7．きのこを活用した技術展開の可能性

スーパーで売られているきのこは、食品としての見方が強いと思うが、私たちの生活にとって役立つパワーが食品としての機能以外にも備わっている。きのこの持つグローバルな効用を紹介する。きのこは、食物連鎖のピラミッドの中では分解者に分類される生き物

だ。きのこは、森や草原の落ち葉や小枝そして倒れた木々を分解して質の良い肥料にしてくれる。きのこは森をきれいにする「掃除屋」として大切な役割を持っている。きのこが分解する木本植物の細胞壁には、強固な化学物質であるリグニンが多く含まれている。このリグニンを壊してくれるのがきのこの持つ酵素である。この酵素の働きを利用して、リグニンを分解し、紙の原材料を木から取り出すバイオメカニカルパルピングという技術が開発され、これまで化学薬品や熱を利用して紙を生産していた時よりも大幅に環境に優しい紙づくりが可能となっている。さらにこのリグニンと化学構造の似た猛毒物質のダイオキシンや化学兵器(サリンなど)をきのこによって分解し、環境をきれいにしていく技術（バイオレメディエーション）の研究も盛んに行われている。きのこの持つ環境浄化作用もヒトの健康増進に対して貢献している。

きのこのからだは、糖、タンパク質、食物繊維、ビタミン、ミネラルなどからできている。きのこの持つこの成分に病気の予防や治療に対する高い効果があることがわかり、数種のきのこから医薬品や機能性食品が誕生した。

きのこには、私たちの健康やよりよい生活環境をつくるためのパワーがまだまだ隠れていると考えられるため、大きな夢を持って科学的な実験をおこないきのこの化学パワーをさらに発見することに期待が寄せられている。

8．加工技術を活かしたきのこ新商品の創出

エノキタケの年間生産量は、きのこの中で最多である。しかし、その消費は季節変動（冬場の鍋物需要をピークに、夏場は生産調整が行われている）があり、通年での需要拡大が課題である。このような背景から、料理の素材として通年利用による安定生産を期待して開発された加工食品が“えのき氷”だ。“えのき氷”の製造は、300gの生エノキタケ子実体をみじん切りにしたものに400mlの水をいれ、ミキサーにてペースト状にする。このペーストをとろ火で約60分加熱し、粗熱を取ったのち凍結させえのき氷（写真6）を調製した。3個の“えのき氷”を被験者に毎日、3ヶ月間連続的に摂食してもらい効果を確認した。えのき氷3個/人/日の用量で味噌汁やスープの形態で摂食することを推奨し、基本レシピを配布した。脂質異常症に関する検査数値が疾患と正常の境界領域に区分される方を対象として飲食試験を実施したところ、“えのき氷”摂食による血清脂質改善効果や脂質異常症の改善を確認した。総コレステロールとLDLコレステロール（悪玉）の低下は顕著であり、HDLコレステロール（善玉）の上昇を確認、図1に示したように内臓脂肪の減少を確認した。

すなわち、えのき氷摂食は、境界域脂質異常症などを改善し、メタボリックシンドロームの予防、治療に有益であると言える。2000万人が見込まれる同症候群の予防によって、2兆円の医療費削減が見積もられており、えのき氷は食事療法の素材として十分に貢献することが期待されている。

9．技術士の「知」を活用した産業振興

研究者は、実用化の見込める新技術に対して自らプレゼンテーションを行い企業とのマッチングを図る。しかしながら、わが国で

写真6　エノキタケ加工食品“えのき氷”えのき氷3ブロック中に生のエノキタケが約50g入っている

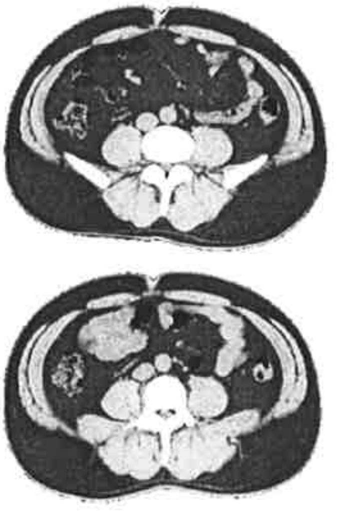

図1. えのき氷の摂食による内臓脂肪の減少効果
上段：摂食前、下段：摂食3か月後
赤色部位：内臓脂肪、青色部位：皮下脂肪

は一般的に産学における「学」は、大学や高等専門学校などを指し示すものといった見方が大勢を占めている。「学」に関するこういった考え方は間違いであり「学」とは、研究や開発を基盤としている全研究（技術）者を指すもので大学などとは限らない。したがって、わが国の税金を利用し、公的競争資金獲得へのチャレンジが可能な国立、独立行政法人、都道府県、市町村、公益法人などの試験研究機関も「学」に分類されるものであり、分配投下式による予算を利用しての試験や管理研究のみではなく、新規性、独創性に富み、産業創出を目指す有用研究を競争的かつ意識的に行うことが必要である。

特にわが国ではバブル期において、中央からの投下方式での予算分配によって、全国横並びの「はこもの」研究施設と稼働率の少ない、時には稼動なき高価精密測定機器などが公的試験研究機関に設置されていることも多い。技術士などの「学」としての知的財産を有効的に活用すると共に、活用可能な施設や機器の利活用が産学連携および新技術創出の近道ではないだろうか。公設機関の利活用にあたっては、機器の運用資金や人材面で問題が散見されるのも事実だが、その新しい対応にこそ行政が力を注ぐべきではないだろうか。

生産コストの安い諸外国に対応して日本経済を活性化するためには、独自の知的財産権や開発権などを行使していくことが必要である。そのためには、勤勉という日本人の特質を再度思い出して、社会のニーズに答えられるシーズの基盤構築と応用への変換を各領域の研究者や技術者（技術士）が保有機器やマンパワーを駆使して競争的に取り組むことが何よりではないだろうか。

10. マッチングがカギ

欧米諸国においては、特許権を保持した民間の流動的研究者が大手企業や投資家とのマッチングによってベンチャービジネスを展開していることは多く見られる。現在、製造業を中心とする生産・開発企業は、広く世界の学（人の頭脳を含む知的財産）に目を向けることが必要だ。また、わが国で見られる産学連携というと企業が研究者に費用投下し、研究者は保持する技術を提供するものと言った考え方が一般的になっている。しかしながら、そのような考え方では経済の低迷を抜本的に改革する国際競争力のある産学連携は機能しないと考える。

有効的な産学連携推進のためには、企業側は大小に関わらず研究開発部門を持つことではないだろうか。その研究開発部の人材を社会人博士課程などの制度を活用しで大学へ派遣し、知的財産権を考案する技術開発力を産学共同で磨き上げるとともに、学位を持つ社内研究員や技術士の育成へと繋げることも一つの方法ではないだろうか。

さらに、産学連携ではより効率的なマッチングが成功のカギとなる。私が知り得るマッチングにおいては、コーディネーターが抑制になっていたケースも多い。産学双方ともに

コーディネーターに対する目利きが必要ではないだろうか。時に研究開発や営業開発を経験した大企業出身者がコーディネーターとして仲介を斡旋することもあるが、連携の実施は企業と研究者との相性が重要である。すなわちコーディネーターの経験のみに頼ることや意図する連携ではなく、専門的な技術分野のノウハウを熟知した技術士が仲介的な役割を果たし、ルールや契約基本方針を双方納得したうえで連携することが何よりと考える。とかく日本の産学連携は、契約書なきまま進行することも見られるが、これは双方にとって益なき行為であると認識するべきである。

さらに、産学連携が推進されても互いにその成果に対して第三者的評価基準を持って再確認することが必要である。その評価者の主役となる存在こそ、幅広い知識と一貫した哲学を兼ね備えた技術士が担うべき役目の一つではなかろうか。

林業・林産業界の産学連携がしっかりした形で進展すれば、一連の産業形態の流れが強化され、産業界の活性化に寄与することが可能ではないかと考えている。技術士の役割は、多機能性を発現するきのこを取り扱う業界においても必要不可欠であると私は考える。

11. おわりに

近年、きのこの理化学的・医療科学的評価研究（写真7）は、数種のきのこで開始されてはいるものの解決しなくてはならない課題が山積している。その課題を少しずつ解明すれば21世紀の新規医薬品・機能性食品・病者用食品・化粧品・環境関連用品などとしての新たな製品開発にも期待が寄せられるものと考える。

きのこの持つ成分や生活サイクルは多機能性を発現するものであり、多方面の「知」を集積した技術士や研究者と企業との連携により大きな新課題が創出されると共に山積する問題を早期解決へと導くカンフル的な作用が発揮されるかもしれない。

写真7　本態性高血圧疾患モデル動物を利用したきのこ飲食による高血圧改善効果の医療科学的解析（血圧測定）

参考書籍

江口文陽　木田マリ、宮澤紀子　からだがよろこぶエノキ氷健康レシピ（メディアファクトリー）
江口文陽　科学が証明　エノキダイエット（メディアファクトリー）
江口文陽　きのこを利用する（地人書館）
江口文陽・木田マリ・吉本博明　からだにおいしいきのこ料理115（理工図書）
檜垣宮都・江口文陽・渡邉泰雄　きのこを科学する（メディアファクトリー）
小野村雄　山の光（村田正幸復刻版）

江口文陽（えぐちふみお）プロフィール

■略歴
専門（研究内容）林産化学、きのこ学、林産製造学、木材劣化生物学

1965年群馬県生まれ、東京農業大学大学院農学研究科博士後期課程修了（博士）、日本学術振興会特別研究員、東京農業大学非常勤講師、高崎健康福祉大学助教授、教授を経て2012年4月東京農業大学教授。同大学院指導教授、東京農業大学「食と農」の博物館長、独立行政法人日本学術振興会学術システム研究センター専門研究員。

■社会活動
2015年ミラノ万博日本館サポーター、日

本きのこ学会前会長（2015年3月末まで)、応用薬理研究会理事、日本炎症・再生医学会評議員、日本食品保蔵科学会評議員、第15回応用薬理シンポジウム会長、東京大学大学院非常勤講師

■受賞

日本木材学会賞、日本木材学会奨励賞、日本きのこ学会奨励賞、森喜作賞、地域環境科学賞、旦尾健康づくり財団「あさを賞」、中川威雄技術奨励賞、フィリピン科学技術庁出版物最優秀賞などを受賞。

■著書など

編著書：「きのこを科学する」、「生命と環境の科学」、「生活環境論」、「きのこを利用する」いずれも地人書館。著書：「きのこ学への誘い」海青社、「木のびっくり話100」講談社、「きのこの生理活性と機能」シーエムシー出版、「きのこ・・医薬品・機能性食品から環境浄化まで」シーエムシー出版、「機能性食品の安全性ガイドブック」サイエンスフォーラム