

地域における竹資源量の把握と
その有効利用に関する研究

菊川 裕幸

2024

目次

| | |
|-------------------------------------|----|
| 第1章 研究の背景および目的 | 1 |
| 1-1 研究の背景 | 1 |
| 1-1-1 我が国における竹林の分布拡大および放置竹林の現状と課題 | 3 |
| 1-1-2 放置竹林の整備や竹活用の現状と課題 | 7 |
| 1-2 研究の目的 | 14 |
| 1-3 研究の構成 | 16 |
| 第2章 丹波篠山市の竹林分布と近年の変遷 | 27 |
| 2-1 調査対象地の概要と調査方法 | 28 |
| 2-2 結果 | 30 |
| 2-2-1 Arc GIS を用いた航空写真の分析による竹林拡大の現状 | 30 |
| 2-2-2 抽出した各竹林の分析結果 | 35 |
| 2-3 考察 | 43 |
| 2-4 結論 | 45 |
| 第3章 丹波篠山市の放置竹林における地上部現存量および竹資源量の推定 | 49 |
| 3-1 丹波篠山市の放置竹林における地上部現存量とアロメトリー式の作成 | 50 |
| 3-1-1 調査方法 | 50 |
| 3-1-2 結果 | 51 |
| 3-1-3 考察 | 57 |
| 3-2 丹波篠山市における竹林の年間拡大率および竹資源量の推定 | 60 |
| 3-2-1 調査方法 | 60 |
| 3-2-2 結果 | 60 |

| | |
|---|-----|
| 3-2-3 考察 | 63 |
| 3-3 結論 | 65 |
| 第4章 竹資源の農産物への利用の検討 | 69 |
| 4-1 竹チップのマルチングがダイズ品種(丹波黒大豆)とホウレンソウの栽培における 雑草の防除と生育に及ぼす影響 | 72 |
| 4-1-1 研究の目的 | 72 |
| 4-1-2 調査方法 | 73 |
| 4-1-3 結果 | 77 |
| 4-1-4 考察 | 81 |
| 4-1-5 結論 | 82 |
| 4-2 竹粉の施用が米の外観品質と食味に及ぼす影響 | 84 |
| 4-2-1 研究の目的 | 84 |
| 4-2-2 調査方法 | 84 |
| 4-2-3 結果 | 87 |
| 4-2-4 考察 | 94 |
| 4-2-5 結論 | 95 |
| 4-3 乾燥汚泥・竹チップ混和堆肥の熱水抽出液の特性評価と堆肥施用がダイズ (丹波黒大豆)の生育に及ぼす影響 | 97 |
| 4-3-1 研究の目的 | 97 |
| 4-3-2 調査方法 | 98 |
| 4-3-3 結果 | 102 |
| 4-3-4 考察 | 108 |
| 4-3-5 結論 | 110 |
| 4-4 本章の結論 | 111 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 第5章 竹資源の畜産分野への利用の検討 | 117 |
| 5-1 水分と添加物の違いが竹サイレージの発酵品質と化学成分に及ぼす影響 | 119 |
| 5-1-1 研究の目的 | 119 |
| 5-1-2 調査方法 | 119 |
| 5-1-3 結果 | 122 |
| 5-1-4 考察 | 127 |
| 5-1-5 結論 | 129 |
| 5-2 採卵鶏の卵の生産性と品質に対する竹サイレージ給餌の有効性 | 130 |
| 5-2-1 研究の目的 | 131 |
| 5-2-2 調査方法 | 131 |
| 5-2-3 結果 | 135 |
| 5-2-4 考察 | 140 |
| 5-3 本章の結論 | 143 |
| 第6章 総合考察：丹波篠山市における竹資源の整備と有効活用法の方向性 | 149 |
| 6-1 本研究で得られた知見 | 149 |
| 6-2 丹波篠山市における竹資源の有効活用法の検討 | 151 |
| 6-3 丹波篠山市における竹林整備の現状 | 156 |
| 6-4 本研究から得られた知見と今後の課題 | 162 |
| 謝辞 | 166 |

第1章 研究の背景および目的

1-1 研究の背景

竹は熱帯から温帯にかけて分布しており、温帯地域に生育している竹類は単軸型と呼ばれ、単軸分岐する地下茎についている芽子が単発的に伸長し稈となるマダケ (*Phyllostachys bambusoides* Siebold et Zuccarini) やモウソウチク (*P. pubescens* Mazel ex Houzeau) などに代表される (内村, 2005)。一方、熱帯地域にある熱帯低地と熱帯高地のうち、熱帯低地では仮軸分岐し、株立型となり、既成の稈の地中部にある大型の芽子が垂直に伸長し稈になるホウライチク (*Bambusa multiplex* Raeusch.) やタイサンチク (*Bambusa vulgaris* var. *stricta*) などが分布する (内村, 2005)。竹はアジア、南北アメリカ、熱帯アフリカ、オセアニアなど世界の様々な場所で分布しており、世界の竹亜科植物は1,400種類にのぼるといわれている (林野庁, 2018)。一方、我が国の竹亜科植物は、日本列島に自然に分布する種に加え、古い時代以来の外国からの導入種で帰化もしくは長期にわたり一定の地域で栽培利用の歴史のあるものを含むと131種にのぼる (林野庁, 2018)。その中でも我が国で利用されている主な有用種は、モウソウチク、マダケ、ハチク (*P. nigra* Munro var. *henonis* Stapf) の3種である。マダケとハチクはそれぞれ史前帰化種あるいは自生種とされ、モウソウチクは17世紀に日本に導入された外来種である (柴田, 2003)。

我が国における竹の利用は、古くは縄文時代から始まったとされ、遺跡からは竹で編んだ籠が、弥生時代には農耕用の箕、漁業用の竹製の筥が発掘されている (内村, 2005)。時代は進み、古代といわれる飛鳥時代、奈良時代、平安時代には万葉集に竹を詠んだ歌が、古事記には筥の記述がみられる。さらに、竹製の杖や楽器類、竹箱なども見つかっており、マダケやハチクなどが材料として使用されている。その後も室町時代、江戸時代と竹の利用は続き、筥は旬の食材として、竹材は和の文化である茶道の道具などとして使われ、日本人にとって身近な資源であり続けてきた。このように竹は古の時代より我々の暮らしに役立てられてきたことがわかる (林野庁, 2018)。

我が国の人々は時代が変わっても竹を資源として活用し続けてきた。かつて竹林は、地域

資源として人々の生活と密接な関わりを持ち、里山の一部を構成していた(栗田ら, 2009)。数十年前までの日本人にとって、竹類は生活に不可欠な植物であるばかりでなく、七夕やどんど焼きといった民俗行事でも利用され(鈴木, 2008)、防災に役立つ植物としても認識されていた(柴田, 2003)。しかし、1980年代になると、他の木材生産と同様に生産者の高齢化、安価な竹材輸入の増加と竹材価格の低迷、海外竹製品の輸入量の増加などが影響し、竹林の管理放棄が進行した(柴田, 2010)。さらに1990年代には海外からの筍製品の輸入が急増し、国内の筍生産が急減するなど、近年の経済活動の発展によりその有用性は低下し、利用されなくなった竹林が年々増加している(林野庁, 2018)。

我が国の国土面積 3,780 万 ha のうち、森林面積は 2,508 万 ha であるが、竹林面積は、2012 年には約 16 万 ha となり、西日本を中心に微増傾向で推移している(林野庁, 2018)。その背景には、筍や竹材生産によって適切に管理されている竹林がある一方で、竹林所有者の高齢化や、資源としての利用価値の低下で適切な管理が行われずに、長期間放置された竹林が増加し、結果として自然に拡大していることが多くの研究で明らかになっている(たとえば、久米村ら, 2009 ; 柴田, 2010 ; 篠原ら, 2014)。

かつては全国の竹林のほぼ 9 割が管理・経営されていたが、現在では全竹林面積の 3 分の 2 程度が管理を受けていない竹林であり(柴田, 2010)、西日本の里山地域を中心として放置竹林(特にモウソウチク林)の増加が問題となっている(小谷・江崎, 2012)。そして適切に管理されず、放置された竹林の竹は隣接する畑地や造林地に侵入し(鳥居, 2002)、生物多様性を低下(山口・井上, 2004 ; 鈴木, 2010a)させ、モウソウチクの場合は広葉樹二次林への侵入で竹稈密度を高め、他の樹木を被圧すること(鈴木, 2008)が報告されている。それだけに留まらず、ヒノキ人工林に侵入した竹は表層土壌の含水率を低下させ、土壌保水機能の低下(横尾ら, 2005)や土砂災害の危険性の上昇(日浦ら, 2004)をもたらすなど、数多くの問題が提起されている。一方で、こういった悪影響を与える竹林において、竹を駆除するだけでなく、竹資源活用の観点から放置竹林を健全な竹林へと整備することの必要性が指摘されており(木村ら, 2006)、その林分構造を把握しておくことが重要である

と考えられている（阿部・柴田，2009）。

一部の自治体では，放置竹林の整備を実施しているが（嶋田，2019），伐採後の竹の有効な利用法が少ないことや経済的価値が低いこと，竹類の再生スピードが速いために，持続的な整備となりにくい現状があると考えられる。また，放置竹林の整備の推進のためには適切な整備方法の確立に必要となる知見を蓄積することが重要である（たとえば，阿部・柴田，2009）が，放置竹林の林分構造に関する研究や竹林整備に関する研究は少ない現状にある（渡邊，1985）。

そこで本節では，我が国における竹林の分布拡大および放置竹林の現状と課題や，放置竹林の整備や活用の状況と課題について，既往文献および研究事例の検討を通じ，現状の分析を行うとともに，竹資源の資源量の把握の必要性や伐採後の竹の有効利用法の検討の必要性とその課題を明らかにすることとした。

なお，林野庁（2018）の竹林の分類では，「放置竹林はかつて管理されていた竹林であるが，現在は管理がされていない竹林であり，管理の再開によって元の竹林に再生することが可能な竹林」とされている。また「拡大竹林は元々竹林ではなかった場所に竹が侵入しつつある場所」，「木竹混交林は，竹林ではなかった場所に竹が侵入しつつある場所」とされている（柴田，2010）。荒廃して見える竹林には，放置竹林，拡大竹林と木竹混交林があるが，本論では拡大竹林や木竹混交林であっても，管理がされずに放置された状態の竹林を放置竹林として取り扱うこととした。

1-1-1 我が国における竹林の分布拡大および放置竹林の現状と課題

前節で触れたように，かつての日本人と竹は密接な関係にあり，農家の周辺や里山に生育している竹の多くは栽培されているものであり，農林漁業の資材や日用雑貨品，日常生活用の道具類の原材料となるほか，簡易建築の建材としても利用されていた（内村，2005）。つまり竹林は人々の生活と密接に関わりをもち，地域景観資源として里山の一部を構成していたのである（栗田・包清，2009）。日本の有用三大竹として知られる大型の竹類としては，

モウソウチク、マダケおよびハチクが挙げられるが、いずれの竹林もかつては適切な管理がなされていた。竹は開花周期が数十年といわれ、他の植物に対して人間が行ってきた交配による品種改良ができなかったため、日本人は野生の竹をそのままの状態でもコントロールする技術を培い、適切な密度管理を行うことで竹林を管理し続けてきた（柴田, 2010）。

しかし、1960年代になり高度経済成長が始まると都市近郊農家の若者は職を求めて都会へと移り、農地や里山の管理は次第に粗放になっていった（内村, 2005）。そして1970年前後のマダケの一斉開花による竹材供給バランスの崩壊（柴田, 2010）と石油製品の進出による竹材の代替材料の登場により、日用品材料としての竹材の無価値化が同時に起こった。モウソウチクについては1990年前後から顕著になった安価な水煮筍の大量輸入もあり（柴田, 2003）、竹材と筍の両方の生産が衰退し、日本人が竹を利用する機会は減少の一途をたどっていった。

その結果、竹材や筍の生産の場であった竹林は利用されなくなり、管理を失い、時間とともに分布を拡大し始めることとなった。2012年現在で竹林面積の最も多い府県は、鹿児島県の16,000haで次いで大分県の13,600ha、福岡県の12,900haと続いており、九州地方を中心に西日本に多くなっている。全国の竹林面積の推移をみると、1986年には147,000haであったのが微増を続け、2012年には161,000haとなっている（林野庁, 2018）。

モウソウチクは特に拡大力（侵入速度）が速く、気温、年間降水量、積雪量、侵入先の隣地の特性などの要因によって侵入速度に差が生まれることが指摘されているが（篠原ら, 2014）、年間に8.1%ずつ竹林面積を広げていくとされている（嶋田, 2019）。そのため、放置竹林への対策を講じなければ、その拡大を止めることはできず、様々な社会課題を引き起こす原因になると考えられる。

竹林拡大は、筍や竹材の生産を行っていた竹林の管理が放棄され、伐採が行われなくなることに起因し、その結果、林内の竹稈密度が高くなり、枯死竹が残存し、人が立ち入れない状態となる。竹は地下茎を周囲へと伸長させ、地下茎から筍を発生させて分布域を拡大させていくが、地下茎は年間に2~3m周囲へと伸長する（林野庁, 2018）。地下茎を伸ばすとい

う特性と、竹林や周辺の森林において管理が行われなくなったことにより、竹林拡大は継続するが、地下茎で成長する竹の拡大を阻止することは容易ではなく、根本的な解決策は得られていない（鳥居，2018）。このような背景から、竹林の分布拡大や放置竹林に関する研究は2000年代から増加している。これまでに竹林の分布や放置竹林の拡大について調査した研究の一部を表1-1に示した。

鳥居・井鷲（1997）は京都府南部を対象に地図及び空中写真を用いてその増加を明らかにし、調査地の竹林の分布拡大に不都合な要素は多くなく、竹林が増加し続けることを報告している。また、大野ら（1999）は大阪府泉南地域を対象に地形図を用いて、分布状況の変化を調査し、竹林面積が増加していること、竹林の分布は居住地周辺に多いこと、竹林面積が大きいほど拡大率は小さい傾向がみられたことを報告している。続いて、大野ら（2002）は大阪府岸和田市の竹林を対象に、GISの空間解析機能を用いて竹林面積、標高、傾斜度、傾斜方位を調査し、竹林面積が増加していることに加え、それぞれの竹林をタイプ分けした。片野田（2003）は鹿児島県蒲生町を対象に、竹の侵入による林相の変化をタイプ分けし、竹林の拡大面積を算出し、それが増加していること、林冠内への竹の侵入のメカニズムを明らかにした。甲斐・辻井（2004）も大野ら（2002）と同様にGISを用いて、竹林の立地環境要因（起伏量、樹冠疎密度など）を調査し、30年間にわたる竹林拡大の時系列変化を明らかにした。これらの研究のように、1990年代後半から2000年代前半にかけては、竹林面積の拡大が数多く報告され、拡大予測や標高や傾斜度など竹林の詳細が明らかになっている。課題として、計画的かつ効率的な管理計画を確立することで、健全な状態での竹林の維持と無秩序な竹林の拡大を抑制することが求められるが（大野ら，2004）、そうした課題に向き合うための研究の蓄積は未だに不十分といえる。加えて、放置竹林内部の立竹密度、枯竹率などの構造も明らかにされていない研究が多い。

そうした中、西川ら（2005）は空中写真をデジタルオルソフォトに加工し、福岡県篠栗町と立花町を対象に30年間の竹林面積の推移と竹林分布フロントの移動速度を1.1～1.6m/yearになることを明らかにした。鈴木（2008）は南関東最大の筍生産地域である千葉

県夷隅郡を対象に、GISによって竹林面積を算出し、年間拡大率を求めた。その結果、竹林は35年間で拡大しており、特に放棄された畑地での拡大が著しいことがわかった。林・山田(2008)は熊本県戸島山を対象に空中写真と現地踏査によって竹林調査を試み、竹林拡大は斜面凹凸度では斜面凸部で、斜面傾斜では平地で有意に高く、竹林管理の際は斜面凸部及び平地を優先的に管理することが望ましいと結論付けた。このように2000年代後半はGISによる分析に加えて、竹林管理の優先度を示す研究がみられるようになった。さらに、後藤ら(2008a)のように、アロメトリー式を用いて竹林の地上部現存量を推定し、胸高直径(DBH)から稈の乾物重を高い精度で求められる研究や、阿部・柴田(2009)のように放置モウソウチク林の林分構造と整理伐後の動態を調査することで、稈密度や地上部現存量を明らかにし、資源管理に応用するための研究が行われた。資源管理という点では、北里・井上(2013)が竹の利用率を求め、竹稈レベル及び竹林レベルでの利用率を算出している。これによって後藤ら(2008a)と同様に胸高直径(DBH)のみの測定からモウソウチク林の資源量を簡易に評価することが可能となった。

2010年代に入ると、篠原ら(2014)によるこれまでの竹林分布や拡大に関する既往論文が整理され、モウソウチク林拡大の実態や現存量の把握ならびに、侵入した林地の公益的機能に及ぼす影響が示された。これによってモウソウチク林は他のヒノキ林などのタイプと比べて洪水、渇水、表層崩壊、表面侵食のリスクが低いことが示された。宮崎ら(2015)は機械学習法のMaxEntを利用し、既存の竹林から拡大可能な範囲を予測し、竹林の侵入確率を予測するモデルを構築し、小面積の竹林から優先的に除去を行うことが将来の竹林面積を縮小させるうえで有効であることを明らかにした。平田ら(2020)は西日本を中心に増加を続ける竹林の拡大について、日本と中国のマダケ属の分布情報と気候データを用いたマダケ属の潜在生育域を日本全土で推定する統計モデルを構築し、東北地方から北海道の低地を中心に生育確率の上昇を予測した。これらのように、既往研究のデータを活用し、より具体的な資源量の把握や分布拡大のシミュレーションが行われるようになっている。

表 1-1 に示した既往研究についてまとめると、地図や航空写真を用いた比較においては

おおむね竹林の増加が認められ、西日本を中心に問題となっている竹林拡大がより深刻化することが懸念されている。一方で、竹資源をバイオマス利用するために必要な地上部現存量把握のためのアロメトリー式や竹林の利用率を求める方法も示されており、竹林拡大を防止するために必要な竹林整備を継続的に行うための機運は高まりを見せているといえる。そのため、対象地域の竹林の分布拡大を明確に把握し、現状を解析したうえで、自治体単位で計画的な竹林整備を行っていく必要があると考えられる。しかし、いずれの研究においても竹林分布、竹林拡大、竹林拡大予測、地上部現存量の把握といったように、それぞれのテーマに終始しており、地域の竹林の把握（竹林面積、傾斜度、道路からの距離など）から竹林内の植生構造の把握（立竹密度、胸高直径（DBH）など）を行って竹資源量の推定をしたうえで、竹林管理計画の策定を行うといった一連の流れを示した既往研究は見当たらない。すなわち、竹資源のバイオマス利用を推進することを目的とした放置竹林の管理や整備手法を検討する必要がある。

1-1-2 放置竹林の整備や竹活用の現状と課題

西日本を中心として放置竹林が増加していることは前項で述べたが、景観の維持や環境保全を目的とした竹林の拡大防止のための管理の必要性が指摘されている（内村，2005）。竹林の拡大による植林地や果樹園、茶畑などの侵入は農業被害としても認識されており（鈴木，2008），その対策として一部の地域では自治体の積極的な介入による竹林拡大防止策が試験的に講じられているが（荒生ら，2003），鈴木ら（2010）による竹林所有者と地域住民の竹林に対する意識調査では竹林は所有者の資産であるという考え方が強く，地域全体の問題として竹林拡大抑制策に取り組もうとする意識が低かったと報告している。相原・立花（2018）による竹林の荒廃，拡大に関する周辺住民や行政の認識に対する調査においても，竹林が荒廃しているという意識はあるものの，拡大しているという意識はなく，行政の竹林整備事業の重要度は低かったことが報告されている。長谷川ら（2020）は，今の人々は生活の中で竹を利用する機会が減少し，隣接する竹林が拡大，荒廃していても地域住民は「気づ

いていない、困っていない」現状があると述べている。以上のように、地域住民にとって竹林管理の重要性は低く、今後は竹林整備を誰が担っていくのか、どのように進めていくのかが課題となっている。そこで、地域全体で竹林管理に興味をもてるような工夫として、自治体の市民活動団体による竹林整備活動を視野に入れたマニュアル書の公開（柴田，2010）などが求められる。

そのため、竹林整備の際には竹材生産竹林や筍生産竹林ごとに稈密度に関する指標が必要となる。管理された竹林では、稈密度はマダケやモウソウチクのような大径の竹材生産林で 3,000～6,000 本/ha 程度に維持されるが、管理放棄された場合には、枯死稈も含めるとマダケで 10,000～20,000 本/ha、モウソウチクで 10,000～12,000 本/ha の高密度になる（林野庁，2018）。小谷・江崎（2012）が石川県金沢市を対象に行った調査では、モウソウチク林の放置年数が 20 年を超えた場合、枯死竹もあわせた本数は 12,300～14,625 本/ha になり、かなりの高密度となった。加えて高密度化が進行すると立ち枯れが発生し、さらに枯れた竹が倒伏し竹林内に立ち入ることが困難となり（嶋田，2019）、竹林整備の難易度が増すことが予想される。

こうした状況の放置竹林をもとの管理竹林に戻すには、管理竹林のような密度に戻すための竹林整備が必要となる。一方で、竹は中空とはいえ 1 本あたり数十kgあり、人力で扱うには重労働であり、伐採時の倒伏などの危険性も高い。労働力とコスト削減のためにできるだけ小型の機械（林内作業車、ミニグラップル、ポータブルウィンチ等）を用いることも考えられるが、現状では竹の伐採搬出コストは高く、竹資源を持続的に利用していくことには課題が多いと言わざるを得ない。

竹林拡大が及ぼす様々な負の影響を考えれば、伐採ではなく、除草剤（グリホサート系、塩素酸系）を用い、費用をかけ駆逐を行うことも考えられる。石井（2009）はモウソウチクに対し、薬剤（除草剤）を当年枝と 2 年生以上の稈に施用し、いずれも施用翌年の 6 月までにはすべて枯死したことを報告している。食塩施用試験においても、マダケ及びハチクは翌年の新稈発生量が激減しており、一定の効果を見出している。しかし、このように竹林を邪

魔者として駆逐するのではなく、ボランティアなどの活用によって逸出したものを処分する活動や、かつての管理手法を参考にした管理計画を立て、新たな管理方法を確立することが重要であるとの指摘もある（柴田, 2003）。

市民による竹林管理の事例では、都市近郊のニュータウンに存在する竹林を、竹材利用や筍掘りによって継続的に整備できる可能性を示したものがある（永田, 2001）。福岡県北部では、産官学が連携した協働イベントや環境学習ワークショップなどが行われ、竹林管理や整備が進んでいる（長谷川ら, 2020）。密度管理が重要である竹林管理は、このような地域住民の継続的な活動で成し遂げられる可能性が高い。長期間放置せず、適正な管理ができれば、竹林は比較的管理が容易な存在であること（柴田, 2003）からも、持続的な管理は重要である。

持続的な竹林管理のためには、竹材の需要拡大や有効な竹資源の利用法の確立が、自治体やボランティアの活動の意欲向上につながると考えられる。従来利用に加えて、近年では様々な竹資源の利用法が提案されている。林野庁（2018）の資料を参考に、従来竹資源利用と近年竹資源利用の方法について表 1-2 にまとめた。近年では、従来利用のほか、成分抽出やマテリアルとしての活用が期待されている。しかし、いずれも一部地域での取り組みに留まっており、大規模な利用による竹材の需要拡大にはつながっていない。そのため、竹材が地域内で利用でき、循環できるような利用方法の確立が重要である。

竹の農業利用を検討した既往研究の一部を表 1-3 に示した。竹の農業利用に関する研究の多くは 2000 年代を中心に増加しており、西日本を中心に分布を拡大させている竹林の有効活用法を多くの地域が求めてきたことがわかる。研究の多くは竹材を竹破砕機によってチップ化した竹チップもしくは竹粉を利用している。用途としては、マルチングや肥料といった農園芸や家畜飼料への利用が多い。

農園芸への利用をみると、繊維状竹破砕物をダイズ栽培に利用した研究（山川ら, 2009a ; 山川ら, 2009b ; 中川ら, 2009）があり、竹に含まれるカリウム成分等がダイズ栽培に一定の効果があることを明らかにしている。果樹栽培においてもブルーベリーの栽培培地（中谷

ら、2013) や鉢植えブドウのマルチングに竹粉を利用した例(福田ら、2013) がみられ、花き栽培では草花の栽培培地に竹粉を利用した例もあり(Fudano et al, 2016), 幅広い利用が報告されている。また、竹材そのものを農業用ハウスの資材として利用した例(長野ら、2017) や生竹を農業用ハウスのボイラー燃料として利用した例(麻生・副島、2018) も挙げられる。

畜産への利用をみると、竹粉を敷料として使用し、のちに堆肥化しその品質を調査した例(太田、2008; 太田、2009; 大島ら、2015) があり、いずれも敷料や堆肥としての竹の利用に一定の効果を見出している。また、近年高騰している家畜飼料を一部代替するために、竹粉をサイレージ化して鶏に給餌したり(松井ら、2009; 中村ら、2010), 豚や牛などの大型家畜に給餌した例(石田ら、2017; 大島ら、2019; 植手ら、2021) も数多くみられる。このように、竹資源の活用範囲はマルチング、栽培培地、家畜飼料や敷料の利用と多岐にわたっている。なかには竹以外の地域の低・未利用資源を組み合わせた研究も見られる(家木ら、2010; 大島ら、2016)。いずれの研究においても竹の利用に一定の効果は認められるが、一般農家への普及や実用化には至っていないケースが多く、それぞれの地域で応用できる農業利用法の確立が重要であると考えられる。

表 1-1 竹林の分布拡大や放置竹林に関する既往研究

| 発表年 | 対象項目 | キーワード | 調査エリア | 著者 | 発表誌 |
|-------|---------------------------------------|--|---------|-------|------------------------------|
| 1997 | 竹林の分布拡大 | 空中写真, 竹林分布, 土地利用変化 | 京都府 | 鳥居・井鷲 | 日本生態学会誌 47 (1) |
| 1998 | 竹林の分布拡大速度の推定 | 空中写真, 竹林分布, 拡大速度 | 滋賀県・京都府 | 鳥居 | 日本生態学会誌 48 (1) |
| 1999 | 地形図を用いた都市近郊林における竹林化の解析 | 地形図, 竹林面積拡大速度, 竹林分布 | 大阪府 | 大野ら | ランドスケープ研究 62 (5) |
| 2002 | 竹林の拡大特性 | 地形図, 竹林面積, 竹林拡大特性 | 大阪府 | 大野ら | ランドスケープ研究 65 (5) |
| 2002 | 竹林の分布拡大速度の推定 | 空中写真, 竹林分布拡大速度 | 奈良県 | 鳥居 | 環境情報科学論文集 16 |
| 2003 | 竹林拡大の実態 | 竹林拡大, 侵入抑制, 親観植生図, 林分構造 | 鹿児島県 | 片野田 | 九州森林研究 56 |
| 2003 | 周辺二次林に侵入拡大する存在としての竹林 | 竹林分布, 里山林, モウソウチク, 分布拡大速度, 空中写真 | 滋賀県・京都府 | 鳥居 | 日本緑化工学会誌 28 (3) |
| 2004 | 里山における竹林拡大の時系列的変化と要因 | 竹林拡大, 竹林整備, 竹材利用, 里山景観, GIS | 宮崎県 | 甲斐・辻井 | 宮崎大学農学部研究報告 50 (1・2) |
| 2004 | 竹林分布とその周辺環境への影響 | 航空写真, 竹林地盤(物理性・化学性) | 山口県 | 山本ら | 土木学会論文集 776 |
| 2004 | 都市周辺山麓部の放置竹林の拡大にもなう土砂災害危険性 | 放置竹林, 土砂災害, 崩壊モデル, 竹のルートマップ, 竹林土壌の物理的性質 | 高知県 | 日浦ら | 日本地すべり学会誌 41 (4) |
| 2004 | 竹林の動態変化とその拡大予測 | 竹林拡大, 増加速度, 周辺土地利用, 変容形態, GIS | 大阪府 | 大野ら | ランドスケープ研究 67 (5) |
| 2005 | 隣接する土地被覆別にみた竹林分布変化の特徴 | 侵入率, 竹林拡大, デジタルオルソフォト, 分布フロント移動速度, 隣接エッジ | 福岡県 | 西川ら | 日本森林学会誌 87 (5) |
| 2006 | 竹林の拡大とその生態 | 航空写真解析, GIS, 竹林拡大速度 | 山口県 | 鈴木ら | 土木学会論文集 G62 (4) |
| 2006 | モウソウチク林の地上部現存量 | 地上部現存量, 放置竹林 | 鹿児島県 | 村上ら | 九州森林研究 59 |
| 2006 | 市民参加による竹林拡大抑制と里山再生 | 里山, 竹林の拡大, 市民参加, 森林管理, GIS | 福岡県 | 明石ら | 九州森林研究 59 |
| 2008 | タケノコ生産地域における竹林の分布拡大過程 | タケノコ生産, 竹林分布拡大, 竹林拡大速度 | 千葉県 | 鈴木 | 植生学会誌 25 (1) |
| 2008 | 竹林の分布拡大の地形条件 | 竹林分布, セルオートマトン, 竹林管理, 分布拡大 | 熊本県 | 林・山田 | 保全生態学研究 13 (1) |
| 2008a | アロメトリー式から求めた地上部現存量と林分構成による放棄竹林の構造解析 | アロメトリー, 地上部現存量, 放置竹林 | 岐阜県 | 後藤ら | システム農学 24 (4) |
| 2008b | 放棄竹林生態系の現存量ならびに炭素貯留量の推定 | 現存量, 炭素貯留量, 森林生態系 | 岐阜県 | 後藤ら | システム農学 24 (4) |
| 2008 | 継続的な伐竹によるモウソウチクの再生力衰退とその他の植生の回復 | 竹林拡大, 竹林管理, 里山保全, 生物多様性, 里山保全ボランティア活動 | 福岡県 | 藤井・重松 | ランドスケープ研究 71 (5) |
| 2009 | 竹林拡大防止技術 | 竹林拡大防止, 伐採, 竹炭利用, 含水率 | 岡山県 | 石井 | 岡山県林業試験場研究報告 25 |
| 2010 | 竹林の分布変化 | 竹林拡大, GIS, 植生地理学 | 京都府 | 小林 | 地理学論集 85 (1) |
| 2010 | 竹林の分布拡大過程における土地利用履歴 | 耕作放棄, たけのこ生産, 土地利用, モウソウチク, 植生・土地利用図 | 広島県 | 鈴木 | 地理学評論 Series A 83 (5) |
| 2010 | 地上部および地下部の成長からみた竹林拡大の解析 | 空中写真, 竹林拡大, 成長様式, 地下茎伸長速度, 林縁拡大速度 | 岐阜県 | 河合ら | 日本森林学会誌 92 (2) |
| 2010 | 竹林所有者と住民の竹林拡大に対する課題認識の差異 | 竹林拡大, 市民参加, たけのこ生産, 景観管理計画 | 徳島県 | 鈴木ら | 景観生態学 15 (1) |
| 2010 | 自然環境情報GISと国土数値情報を用いた日本全域の竹林分布と環境要因の推定 | 自然環境情報 GIS, 国土数値情報, 一般化線形モデル, 竹林分布 | 日本全域 | 染谷ら | 景観生態学 15 (2) |
| 2011 | モウソウチク林群落拡大モデルに関する基礎的研究 | 放置竹林, 拡大モデル, 侵略種, 地理情報システム | 千葉県 | 鬼束 | 日本緑化工学会誌 37 (1) |
| 2012 | 竹林資源管理支援のための 環境・経済評価モデルの開発 | 竹林管理手法, 竹林資源量推計, 意思決定支援モデル | 兵庫県 | 池野 | 土木学会論文集 G68 (6) |
| 2013 | 現存植生図を基にした竹林の面積・分布・傾斜に関する予測 | GIS, 竹林面積, 竹林分布, 竹林拡大 | 兵庫県 | 藤原・伊藤 | Hikobia 16 |
| 2013 | モウソウチクにおける竹稈および竹林レベルでの利用率 | 一変数利用材積表, 資源量, タケ, 賦存量, 利用可能直径 | 熊本県 | 北里・井上 | 日本森林学会誌 95 (1) |
| 2014 | モウソウチク林の拡大と林地の公益的機能に与える影響 | 竹林拡大, バイオマス, 表面流, 蒸発散, 水資源 | 日本全域 | 篠原ら | 日本森林学会誌 96 (6) |
| 2015 | シナリオ分析に基づいた竹林の管理計画立案 | 外来生物, クローナル植物, 種の分布モデル, 竹林管理, MaxEnt | 兵庫県 | 宮崎ら | 保全生態学研究 20 (1) |
| 2017 | 竹林の分布と林分構造を基にした荒廃の指標化 | 放置竹林, 管理竹林, 枯竹率, マダケ, 全株密度 | 群馬県 | 高田ら | 宇都宮大学農学部演習林報告 53 |
| 2020 | 竹林分布に対する気候変動影響評価 | 影響評価, 適応策, 外来種, 放置竹林, 種分布モデル | 日本・中国 | 平田ら | 環境情報科学論文集 34 |

表 1-2 従来の竹の利用方法と近年の竹の利用方法(林野庁(2018)を参考に作成)

| 利用形態 | 区分 | 主な用途 |
|------|----------|--|
| 従来 | 日常雑貨 | カゴ, ザル, 串, 団扇, 扇子, 物差し, 食器類, 竹ぼうき, すだれ, 物干し竿, 傘, 竹光等 |
| | 建設・建築用品等 | 外装材, 内装材, 竹足場, 海苔竹, 漁礁等 |
| | 造園用資材 | 垣根, 植木支柱等 |
| | 伝統工芸品 | 茶道用具, 生け花用具, 尺八, 笛, 弓矢, 竹刀, 釣り竿等 |
| | 農業利用 | 竹炭, 竹酢液 |
| 近年 | 原料利用 | 抽出液(抗菌・抗ウイルス), セルロースナノファイバー, パルプ, バイオマス燃料 |

表 1-3 竹の農業利用法の既往研究

| 発表年 | 対象項目 | 利用種別 | 著者 | 発表誌 |
|-------|---|------------|--------------|---------------------------------------|
| 2000 | タケ堆肥化物の理化学的特性と栽培利用 | 堆肥, 栽培培地 | 磯部・内山 | 大阪府立農林技術センター研究報告 36 |
| 2002 | 竹炭培地によるシンビジウムの切り花栽培 | 栽培培地 | 新居ら | 徳島県立農林水産総合技術センター農業研究所試験研究報告 37 |
| 2005 | キノコ菌床および竹チップを副資材として利用した乳牛ふんの堆肥化 | 堆肥化の副資材 | 坂井ら | 西日本畜産学会報 48 |
| 2005 | 竹粉サイレージ給与が肉用鶏のふん便臭気に及ぼす影響 | 家畜飼料 | 大谷ら | 静岡県中小家畜試験場研究報告 16 |
| 2007 | モウソウチクサイレージの調製とその発酵品質 | 家畜飼料 | 大谷・岩澤 | 静岡県中小家畜試験場研究報告 17 |
| 2008 | 竹材の敷料及びたい肥化副資材としての利用 | 畜産における敷料 | 太田 | 山口県畜産試験場研究報告 23 |
| 2008 | 肉用牛飼料としての竹の利用 | 家畜飼料 | 阿立ら | 愛媛大学農学部農場報告 30 |
| 2009 | 家畜敷料に竹材を利用した堆肥の幼植物試験 | 堆肥の機能分析 | 太田 | 山口県畜産試験場研究報告 24 |
| 2009 | モウソウチクサイレージの鶏飼料への給餌 | 家畜飼料 | 松井ら | 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター研究報告 2 |
| 2009a | 繊維状竹破砕物のカリ成分とマルチがダイズ品種フクユタカの生育と収量に及ぼす効果 | マルチング | 山川ら | 日本土壌肥科学雑誌 80 (1) |
| 2009b | 繊維状竹破砕物と窒素肥料の施用位置がダイズ品種フクユタカの収量と三要素集積に及ぼす影響 | 表面施用と肥料 | 山川ら | 日本土壌肥科学雑誌 80 (4) |
| 2009 | 竹粉サイレージの給与が肉用鶏および採卵鶏の排せつ物臭気に及ぼす影響 | 家畜飼料 | 中村ら | 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター研究報告 2 |
| 2010 | 竹を用いた構造材料の開発 | 構造材料の開発 | 洪沢 | 日本木材加工技術協会 63 (4) |
| 2010 | モウソウチクとトウフ粕および醤油粕混合ペレットの飼料特性と乳牛への給与 | 家畜飼料 | 家木ら | 日本草地学会誌 56 (1) |
| 2010 | 竹粉サイレージの給与における肉用鶏の排せつ物が堆肥化に及ぼす影響 | 堆肥 | 中村ら | 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター研究報告 3 |
| 2013 | 山口県における未利用資源を活用したブルーベリー培地栽培技術 | 栽培培地 | 中谷ら | 山口県農林総合技術センター研究報告 4 |
| 2013 | 鉢植えブドウ‘デラウェア’における竹粉マルチが果実品質に及ぼす影響 | マルチング | 福田ら | 岡山大学農学部センター報告 35 |
| 2014 | 乳牛ふん堆肥化における副資材としての竹粉破砕物の利用 | 堆肥 | 竹下・小山 | 福岡県農業総合試験場研究報告 33 |
| 2015 | 黒毛和種育成雌牛の敷料に用いた解砕繊維状竹粉の堆肥化特性 | 敷料, 堆肥 | 大島ら | 日本暖地畜産学会報 58 (1) |
| 2015 | 食用キノコ菌床栽培における竹利用 | キノコ栽培資材 | 上辻・水谷 | 岐阜県森林研究所研究報告 44 |
| 2016 | 竹林間伐材を利用した竹粉および竹炭の水稲育苗培地の有効性 | 水稲育苗培土 | 矢内ら | 日本土壌肥科学雑誌 87 (4) |
| 2016 | 竹粉の性質とその園芸生産への利用 | 花苗, 野菜の培養土 | Fudano et al | 農業生産技術管理学会誌 23 (2) |
| 2016 | 水分含量と米ヌカ添加割合が解砕繊維状竹粉サイレージの発酵品質に及ぼす影響 | 家畜飼料 | 大島ら | 日本暖地畜産学会報 59 (2) |
| 2016 | 堆肥化副資材としての竹粉の特性 | 堆肥 | 中村ら | 愛知県農業総合試験場研究報告 48 |
| 2016 | 生竹・竹堆肥マルチが温室トマトの生育と収量に与える影響 | マルチング | 八木ら | 愛媛大学農学部農場報告 38 |
| 2016 | 竹パウダーおよび有機イグサの飼料資源としての可能性 | 家畜飼料 | 仲川ら | 東海大学農学部紀要 35 |
| 2017 | 粉砕伐採タケの給与が黒毛和種繁殖雌牛の養分摂取量, 咀嚼時間, 第一胃内発酵および血液性状に及ぼす影響 | 家畜飼料 | 石田ら | 日本草地学会誌 63 (3) |
| 2017 | 竹チップ燃焼残渣からのカリウム回収 | 肥料 | 桑原ら | 廃棄物資源循環学会論文誌 28 |
| 2017 | 未利用竹材を用いたセルフビルド可能な農業用ハウス構造の開発 | 農業建築資材 | 長野ら | 農業施設 48 (3) |
| 2018 | 竹粉肥料の施用がエダマメ‘早生枝豆白鳥’の生育および農地環境に与える影響 | 肥料 | 近藤・廣住 | 四日市大学論集 30 (2) |
| 2018 | 生竹を燃料として用いた農業ハウス用バイオマスボイラーの研究開発 | 燃料 | 麻生・副島 | 福岡大学工学集報 96 |
| 2019 | 竹粉資材施用が水田の土壌環境に与える影響 | 肥料 | 横井・廣住 | 四日市大学論集 31 (2) |
| 2019 | 肥育豚への解砕繊維状竹粉サイレージ給与が発育および肉質に及ぼす影響 | 家畜飼料 | 大島ら | 鹿児島大学農学部農場研究報告 40 |
| 2019 | 乳酸発酵用高速竹粉製造機の開発 | 用途不明 | 佐野ら | 森林利用学会誌 34 (1) |
| 2019 | 竹粉を利用した畜産汚水の窒素低減技術 | 畜産汚水の窒素低減 | 瀧澤ら | 愛知県農業総合試験場研究報告 51 |
| 2020 | 土壌への竹粉施用によるトマト青枯病の防除効果 | 病害防除 | 藤堂ら | 農業生産技術管理学会誌 26 (1) |
| 2020 | 竹粉施用によるトマトの生育・収穫物への影響とナス科作物の土壌伝染性病害に対する防除効果 | 肥料および病害防除 | 中原ら | 農業生産技術管理学会誌 26 (1) |
| 2021 | 乳用牛における竹の給与技術 | 家畜飼料 | 植手ら | 愛知県農業総合試験場研究報告 53 |

1-2 研究の目的

前節では、竹林を取り巻く環境が時代とともに変化してきたこと、それに伴って放置竹林が拡大していること、放置竹林の整備や竹活用によって、竹を駆逐するだけではなく、現代のニーズに合致した有効利用を行うことが重要であることが示された。

また、既往研究では竹林の分布拡大や拡大速度の推定、竹資源の地上部現存量の推定などが様々な地域を対象に研究がなされているが、これらすべてを同一の地域で研究した事例は見出せない。

本研究の調査対象地とした兵庫県丹波篠山市（旧篠山市で 2019 年に市名変更。本研究の一部は 2019 年以前に行われているが本論の表記は丹波篠山市とした）は、兵庫県の中東部に位置する主産業を農業とする地域であるが、竹林の荒廃、拡大については他地域の例に漏れず、同様の問題が発生しており、行政や地域住民が連携した竹林管理が求められるようになってきた。近年、同市では竹林整備用に竹の破砕機を 2 台導入して、市民を対象に無償貸し出しを実施するなど、竹林整備の機運が高まっており、竹林や竹林整備に目を向ける地域住民が徐々に増加していると考えられる。しかし、同市における竹林の分布や拡大に関する知見や竹資源の循環的利用に関する研究は十分に蓄積されているとは言い難い。

そこで、本研究では丹波篠山市を研究対象地とし、既往研究を踏まえ、以下の 4 つの主要な研究目的を設定して調査、解析を行うこととした。

- 1) 丹波篠山市の竹林の状況について、航空写真により 1999 年と 2016 年を比較し、竹林の分布や拡大の状況を明らかにする。また、2016 年に確認できた竹林を対象に現地踏査を行い、管理の状況や分布域を明らかにする。
- 2) 2016 年の竹林の状況をもとに、平均的な放置竹林を選定し、竹稈及び枝葉をサンプリングし、地上部現存量を推定するためのアロメトリー式を作成する。それをを用いて、同市内の竹の賦存量を推定する。
- 3) 竹材の有効な利用法として、同市内で利用できる様々な農業利用等を提案する。
- 4) 以上の調査結果に基づいて、同市における竹資源量と竹利用量の関係を明らかにし、

竹林整備の目安や竹の循環型の利用方法を提案する。

1-3 本研究の構成

本研究の構成を図 1-1 に示した。

第 1 章では、既往文献および事例研究を踏まえ、我が国における竹林拡大ならびに放置竹林の現状と課題、放置竹林の整備や竹資源活用の現状と課題を明らかにし、丹波篠山市における本研究の背景と研究目的を明らかにした。

第 2 章では、丹波篠山市内の竹林拡大の実態を把握するため、1999 年と 2016 年の竹林面積等の増減について、航空写真から Arc GIS を用いて解析を行い、竹林面積の変化や、抽出した各竹林に関する分析を通じて、丹波篠山市における竹林の変遷を明らかにすることを試みた。

第 3 章では、第 2 章の結果に基づいて、標準的な放置モウソウチク林を選定し、地上部の現存量調査を行い、林分内の竹資源量を明らかにするとともに、丹波篠山市内の竹資源量を推定した。

第 4 章では、竹資源の農業への有効な利用法の確立を目的として、主に丹波篠山市内で竹の利用が考えられる主要農作物として丹波黒大豆と水稻を選び、竹チップや竹チップ混和堆肥を用いた栽培試験等を行い、生産性や品質等を明らかにすることを試みた。

第 5 章では、畜産分野への竹資源の利活用を検討するために、竹サイレージの利用や、採卵鶏への竹チップの給餌に関して応用研究を試みた。

第 6 章では、本研究で得られた知見に基づいて、丹波篠山市における竹資源の有効利用法の検討を行い、利用可能な竹資源と供給状況を明らかにすることを試みた。また、現在丹波篠山市で行われている竹破砕機の使用実績をまとめ、自治体やボランティア団体による竹林整備の現状を調査し、持続的な竹林整備の方法を検討した。

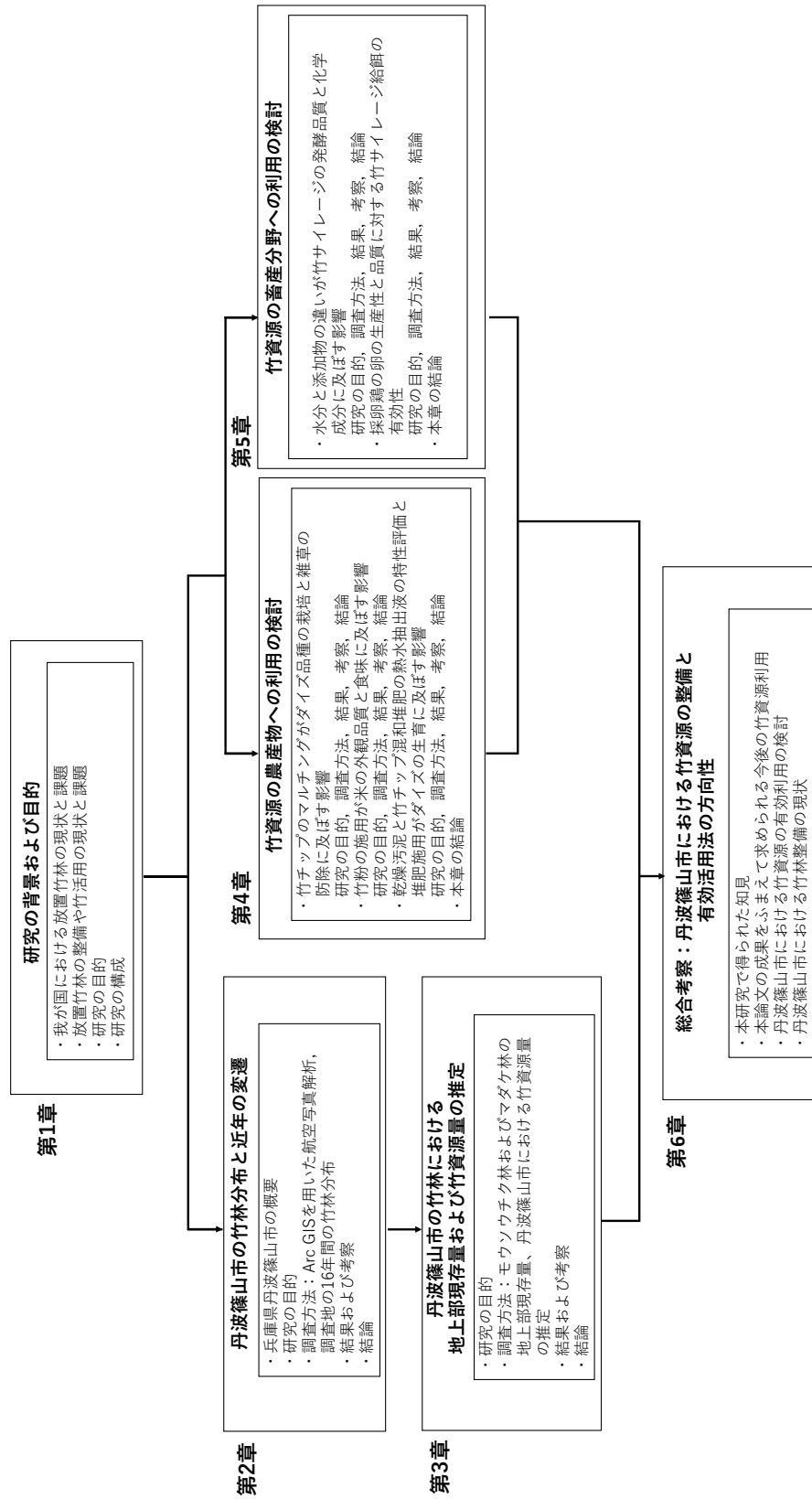


図 1-1 本研究の構成

引用文献

- 阿部佑平・柴田昌三(2009) 天王山における放置モウソウチク林の林分構造と整理伐後3年間の動態. 日本緑化工学会誌 35(1) : 57-62.
- 阿立真崇・橘 哲也・上田博史(2008) 肉用牛飼料としての竹の利用. 愛媛大学農学部農場報告 30 : 1-6.
- 相原隆貴・立花 敏(2018) 竹林の荒廃・拡大に対する周辺住民の認識・評価—茨城県つくば市荃崎地区を事例に—. 森林計画学会誌 51(2) : 37-46.
- 明石隆宏・伊東啓太郎・橋本大輔・池田朝二・真鍋 徹(2006) 直方市新入地区における市民参加による竹林拡大抑制と里山再生に関する研究 - 3 年代の航空写真の比較による竹林拡大プロセスについて -. 九州森林研究 59 : 52-55.
- 荒生安彦・近藤知訓・本間寛康(2003) 静岡県における放任竹林対策の取り組み. 森林計画研究会会報 409 : 11-16.
- 麻生裕之・副島淳史(2018) 生竹を燃料として用いた農業ハウス用バイオマスボイラーの研究開発: 竹チップの自動乾燥分別装置の開発. 福岡大学工学集報 96 : 1-5.
- Fudano T., Kataoka K., Takisawa R., Kishida F., Toyoda M., Kaneko M. and Shiroyama Y. (2016) Utilization of bamboo powder as a substrate for horticultural production. 農業生産技術管理学会誌 23(2) : 49-60.
- 藤原道郎・伊藤休一(2013) 淡路島における現存植生図を基にした竹林の面積, 分布および傾斜に関する予察的研究. Hikobia16:393-402.
- 藤井義久・重松敏則(2008) 継続的な伐竹によるモウソウチクの再生力衰退とその他の植生の回復. ランドスケープ研究 71(5) : 529-534.
- 福田文夫・近藤毅典・山本 昭・清瀬真美・平野 健・森永邦久(2013) 鉢植えブドウ‘デラウェア’における竹粉マルチが果実品質に及ぼす影響. 岡山大学農学部センター報告 35 : 18-22.
- 後藤誠二郎・巳嘎那・河合洋人・張 福平・渡辺 修・西條好迪・秋山 侃(2008a) アロ

- メトリー式から求めた地上部現存量と林分構成による放棄竹林の構造解析. システム農学 24(4) : 223-232.
- 後藤誠二郎・巳嘎那・河合洋人・張 福平・賈 書剛・西條好迪・秋山 侃 (2008b) 放棄竹林生態系の現存量ならびに炭素貯留量の推定に関する研究. システム農学 24(4) : 243-252.
- 長谷川逸人・須藤朋美・村山英亮・伊東啓太郎 (2020) 福岡県北部における多主体協働による竹林管理の実践プロセスと課題. 景観生態学 25(2) : 185-192.
- 林 加奈子・山田俊弘 (2008) 竹林の分布拡大は地形条件に影響されるのか?. 保全生態学研究 13(1) : 55-64.
- 平田晶子・高野 (竹中) 宏平・相原隆貴・中尾勝洋・津山幾太郎・唐 勤・松井哲哉・肱岡靖明 (2020) 日本の竹林分布に対する気候変動影響評価-拡大リスク増大下での適応にむけて-. 環境情報科学論文集 34 : 210-215.
- 日浦啓全・有川 崇・バハドゥール ドウラ ドゥルガ (2004) 都市周辺山麓部の放置竹林の拡大にともなう土砂災害危険性. 日本地すべり学会誌 41(4) : 323-334.
- 家木 一・小池正充・藤岡一彦 (2010) モウソウチク (*Phyllostachys pubescens*) とトウフ粕および醤油粕混合ペレットの飼料特性と乳牛への給与. 日本草地学会誌 56(1) : 34-38.
- 池野優子・松井孝典・加藤 悟・町村 尚 (2012) 竹林資源管理支援のための環境・経済評価モデルの開発. 土木学会論文集 G68(6) : 455-464.
- 石井 哲 (2009) 竹林拡大防止技術に関する研究. 岡山県林業試験場研究報告 25 : 13-32.
- 石田元彦・浅野桂吾・本元果歩・長井 誠 (2017) 粉碎伐採タケの給与が黒毛和種繁殖雌牛の養分摂取量, 咀嚼時間, 第一胃内発酵および血液性状に及ぼす影響. 日本草地学会誌 63(3) : 142-147.
- 磯部武志・内山知二 (2000) タケ堆肥化物の理化学的特性と栽培利用. 大阪府立農林技術センター研究報告 36 : 1-4.
- 甲斐重貴・辻井美香 (2004) GIS を用いた九州南部地域の里山における竹林拡大の時系列的

- 変化と要因の検討. 宮崎大学農学部研究報告 50(1・2) : 73-83.
- 片野田逸朗 (2003) 蒲生町西浦地域における竹林拡大の実態. 九州森林研究 56 : 82-87.
- 河合洋人・西條好迪・秋山 侃 (2010) 地上部および地下部の成長からみた竹林拡大の解析.
日本森林学会誌 92(2) : 93-99.
- 木村栄理子・深町加津枝・古田裕三・奥 敬一・柴田昌三 (2006) 嵯峨嵐山における竹林景
観の実態と景観保全施策に関する研究. ランドスケープ研究 70(5) : 605-610.
- 北里春香・井上昭夫 (2013) モウソウチクにおける竹稈および竹林レベルでの利用率の決定.
日本森林学会誌 95(1) : 1-7.
- 小林勇介 (2010) GIS を用いた竹林の分布変化の研究-京都府西南部における事例-. 地理学
論集 85(1) : 42-50.
- 小谷二郎・江崎功二郎 (2012) 放置期間の違いが竹林の下層植生の発達に与える影響. 森林
立地 54(1) : 19-28.
- 近藤海斗・廣住豊一 (2018) 竹粉肥料の施与がエダマメ ‘早生枝豆白鳥’ の生育および農地
環境に与える影響. 四日市大学論集 30(2) : 185-191.
- 久米村明・寺岡行雄・竹内郁雄 (2009) 放置モウソウチク林の林分構造と地上部現存量. 鹿
児島大学農学部演習林研究報告 36 : 1-8.
- 栗田 融・包清博之 (2009) 竹林活用を基調とした地域景観の保全に資する地域類型に関す
る基礎的研究. ランドスケープ研究 72(5) : 735-740.
- 桑原智之・山本祥平・吉田俊介・西 政敏・帯刀一美・佐藤利夫 (2017) 竹チップ燃焼残渣
からのカリウム回収の検討. 廃棄物資源循環学会論文誌 28 : 50-57.
- 松井繁幸・蔡 義民・大石誠一・横越英彦・岩澤敏幸・中村茂和・池谷守司・関 哲夫 (2
009) モウソウチクサイレージの鶏飼料への応用. 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究セ
ンター研究報告 2 : 27-33.
- 宮崎祐子・三橋弘宗・大澤剛士 (2015) シナリオ分析に基づいた竹林の管理計画立案. 保全
生態学研究 20(1) : 3-14.

- 村上桂太・竹内郁雄・寺岡行雄（2006）鹿児島県におけるモウソウチク林の地上部現量. 九州森林研究 59 : 121-124.
- 長野伸悟・小林広英・谷 幸次（2017）未利用竹材を用いたセルフビルド可能な農業用ハウス構造の開発(1). 農業施設 48(3) : 45-56.
- 永田和宏（2001）緑地・公園内竹林の市民管理. ランドスケープ研究 65(4) : 302-305.
- 中川由紀・山川武夫・梶原良徳（2009）繊維状竹破砕物の表面施用の時期と中耕培土がダイズ品種フクユタカの窒素固定と生産に及ぼす効果. 日本土壤肥料学会誌 80(2) : 109-115.
- 仲川侑希・Rajeev P.・神鷹孝至・増岡智加子・安田 伸・岡本智伸・井越敬司・小野政輝・椛田聖孝（2016）竹パウダーおよび有機イグサの飼料資源としての可能性. 東海大学農学部紀要 35 : 9-15.
- 中原浩貴・藤堂麻依・松添直隆（2020）竹粉施用によるトマトの生育・収穫物への影響とナス科作物の土壤伝染性病害に対する防除効果. 農業生産技術管理学会誌 26(1) : 13-21.
- 中村茂和・松井繁幸・杉山 典・黒田博通（2009）竹粉サイレージの給与が肉用鶏および採卵鶏の排せつ物臭気に及ぼす影響. 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター研究報告 2 : 43-48.
- 中村茂和・松井繁幸・杉山 典・黒田博通（2010）竹粉サイレージの給与における肉用鶏の排せつ物が堆肥化に及ぼす影響. 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター研究報告 3 : 33-38.
- 中村和久・瀧澤秀明・柳澤淳二（2016）堆肥化副資材としての竹粉の特性. 愛知県農業総合試験場研究報告 48 : 153-156.
- 中谷幸夫・藤山昌三・渡辺卓弘・大崎美幸・木村一郎（2013）山口県における未利用資源を活用したブルーベリー培地栽培技術の確立. 山口県農林総合技術センター研究報告 4 : 39-48.
- 新居宏延・高木和彦・前田浩典（2002）竹炭培地によるシンビジウムの切り花栽培(1). 徳島県立農林水産総合技術センター農業研究所試験研究報告 37 : 31-35.

- 西川僚子・村上拓彦・吉田茂二郎・光田 靖・長島啓子・溝上展也（2005）隣接する土地被覆別にみた竹林分布変化の特徴．日本森林学会誌 87(5)：402-409.
- 鬼束大平・加藤 顕・小林達明（2011）千葉県におけるモウソウチク林群落拡大モデルに関する基礎的研究．日本緑化工学会誌 37(1)：90-95.
- 大野朋子・平井 潤・丸山 宏・前中久行（1999）地形図を用いた都市近郊林における竹林化の解析．ランドスケープ研究 62(5)：599-602.
- 大野朋子・加我宏之・下村泰彦・増田 昇（2002）大阪府岸和田市における竹林の拡大特性に関する研究．ランドスケープ研究 65(5)：603-608.
- 大野朋子・下村泰彦・前中久行・増田 昇（2004）竹林の動態変化とその拡大予測に関する研究．ランドスケープ研究 67(5)：567-572.
- 大島一郎・富永 輝・松元里志・野村哲也・廣瀬 潤・石井大介・片平清美・山口 浩・主税裕樹・高山耕二・中西良孝（2015）黒毛和種育成雌牛の敷料に用いた解砕繊維状竹粉の堆肥化特性．日本暖地畜産学会報 58(1)：29-35.
- 大島一郎・狩宿友樹・亀澤 樹・柴田果歩・富永 輝・柳田大輝・飯盛 葵・石井大介・松元里志・片平清美・野上直樹・高山耕二・中西良孝（2019）肥育豚への解砕繊維状竹粉サイレージ給与が発育および肉質に及ぼす影響．鹿児島大学農学部農場研究報告 40：1-6.
- 大島一郎・久田真士・柳田大輝・廣瀬 潤・石井大介・松元里志・片平清美・主税裕樹・高山耕二・中西良孝（2016）水分含量と米ヌカ添加割合が解砕繊維状竹粉サイレージの発酵品質に及ぼす影響．日本暖地畜産学会報 59(2)：131-134.
- 太田壮洋（2008）竹材の敷料及びたい肥化副資材としての利用に関する研究．山口県畜産試験場研究報告 23：59-64.
- 太田壮洋（2009）家畜敷料に竹材を利用した堆肥の幼植物試験による評価．山口県畜産試験場研究報告 24：75-78.
- 大谷利之・岩澤敏幸（2007）モウソウチクサイレージの調製とその発酵品質．静岡県中小家畜試験場研究報告 17：53-57.

- 大谷利之・杉山 典・関 哲夫・岩澤敏幸・池谷守司 (2005) 竹粉サイレージ給与が肉用鶏のふん便臭気に及ぼす影響. 静岡県中小家畜試験場研究報告 16 : 55-58.
- 林野庁(2018)竹の利活用推進に向けて. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take-riyou/attach/pdf/index-3.pdf>, (確認日 : 2020 年 9 月 16 日).
- 坂井隆宏・脇屋裕一郎・式町秀明 (2005) キノコ廃菌床および竹チップを副資材として利用した乳牛ふんの堆肥化. 西日本畜産学会報 48 : 57-63.
- 佐野孝志・仁多見俊夫・酒井秀夫 (2019) 竹林再生のための乳酸発酵用高速竹粉製造機の開発. 森林利用学会誌 34(1) : 37-46.
- 柴田昌三 (2003) モウソウチクと日本人. 日本緑化工学会誌 28(3) : 406-411.
- 柴田昌三 (2010) 竹資源の新たな有効利用のための竹林施業. 森林科学 58 : 15-19.
- 渋沢龍也 (2008) 竹を用いた構造材料の開発. 木材工業 63(4) : 152-157.
- 嶋田暁文 (2019) 竹の有用性・可能性・利用促進に係る課題 放置竹林問題に関心のある人たちのための竹入門. 地方自治ふくおか 68 : 5-43.
- 篠原慶規・久米朋宣・市橋隆自・小松 光・大槻恭一 (2014) モウソウチク林の拡大が林地の公益的機能に与える影響 - 総合的理解に向けて -. 日本森林学会誌 96(6) : 351-361.
- 染矢 貴・竹村紫苑・宮本 駿・鎌田磨人 (2010) 自然環境情報 GIS と国土数値情報を用いた日本全域の竹林分布と環境要因の推定. 景観生態学 15(2) : 41-54.
- 鈴木素之・長谷川秀人・六信久美子・山本哲朗 (2006) 山口県における竹林の拡大とその生態. 土木学会論文集 G62(4) : 445-451.
- 鈴木重雄 (2008) 筍生産地域における竹林の分布拡大過程 : 千葉県大多喜町の事例. 植生学会誌 25(1) : 13-23.
- 鈴木重雄・正本英紀・井坂利章・古川順啓・東 彰一・大田直友・鎌田磨人 (2010) 徳島県阿南市における竹林所有者と住民の竹林拡大に対する課題認識の差異. 景観生態学 15(1) : 1-10.
- 鈴木重雄 (2010) 竹林の分布拡大過程における土地利用履歴の影響-広島県竹原市小吹集落

- の事例-。地理学評論 Series A83(5) : 524-534.
- 高田真莉子・逢沢峰昭・中山ちさ・大久保達弘 (2017) 群馬県における竹林の分布と林分構造を基にした荒廃の指標化。宇都宮大学演習林報告 53 : 27-41.
- 瀧澤秀明・星野佑太・鈴木良地・堤 公生・豊島浩一 (2019) 竹粉を利用した畜産汚水の窒素低減技術。愛知県農業総合試験場研究報告 51 : 123-126.
- 竹下美保子・小山 太 (2014) 乳牛ふん堆肥化における副資材としての竹粉碎物の利用。福岡県農業総合試験場研究報告 33 : 34-38.
- 鳥居厚志 (1998) 空中写真を用いた竹林の分布拡大速度の推定 : 滋賀県八幡山および京都府男山における事例。日本生態学会誌 48(1) : 37-47.
- 鳥居厚志 (2002) 空中写真を用いた竹林の分布拡大速度の推定(II)-奈良県天香具山における事例-。環境情報科学論文集 16 : 57.
- 鳥居厚志 (2003) 周辺二次林に侵入拡大する存在としての竹林。日本緑化工学会誌 28(3) : 412-416.
- 鳥居厚志 (2018) 竹の駆除は容易ではない。JATAFF ジャーナル 6(8) : 12-16.
- 鳥居厚志・井鷲裕司 (1997) 京都府南部地域における竹林の分布拡大。日本生態学会誌 47(1) : 31-41.
- 藤堂麻依・中原浩貴・松添直隆 (2020) 土壌への竹粉施用によるトマト青枯病の防除効果。農業生産技術管理学会誌 26(1) : 23-31.
- 植手俊樹・内山雄紀・松原 靖・福島宜彦・佐藤 精・白石 徹 (2021) 乳用牛における竹の給与技術。愛知県農業総合試験場研究報告 53 : 133-140.
- 上辻久敏・水谷和人 (2015) 食用キノコ菌床栽培における竹利用の可能性。岐阜県森林研究所研究報告 44 : 17-20.
- 内村悦三 (2005) タケと竹を活かす-タケの生態・管理と竹の利用-。林業改良普及双書 148.
- 渡邊政俊 (1985) 竹林の生態学的特徴に関する研究(II) 放任モウソウチク林の林分構造。Bamboo Journal 13 : 7-17.

山口 修・井上升二 (2004) モウソウチクを主とするタケ類の里山林への侵入と照葉樹林への参入. 兵庫教育大学研究紀要. 第3分冊 24 : 81-94.

山川武夫・山野麻有子・池田元輝 (2009a) 繊維状竹破碎物のカリ成分とマルチがダイズ品種フクユタカの生育と収量に及ぼす効果. 日本土壌肥料学雑誌 80(1) : 7-13.

山川武夫・山野麻有子・池田元輝 (2009b) 繊維状竹破碎物と窒素肥料の施用位置がダイズ品種フクユタカの収量と三要素集積に及ぼす影響. 日本土壌肥料学雑誌 80(4) : 379-386.

山本哲朗・楠木覚士・鈴木素之・島 重章 (2004) 現地調査と航空写真に基づく山口県内の竹林分布とその周辺環境への影響. 土木学会論文集 776 : 107-112.

八木起憲・当真 要・森田展樹・石掛桂士・阿立真崇・山下陽一・上野秀人・長崎信行 (2016) 生竹・竹堆肥マルチが温室トマトの生育と収量に与える影響. 愛媛大学農学部農場報告 38 : 1-8.

矢内純太・中尾 淳・大迫敬義・宮藤久士・古田裕三・佐野新悟 (2016) 竹林間伐材を利用した竹粉および竹炭の水稻苗箱培土としての有効性. 日本土壌肥料学雑誌 87(4) : 241-246.

横井亮太・廣住豊一 (2019) 竹粉資材施用が四日市市堂ヶ山町水田の土壌環境に与える影響. 四日市大学論集 31(2) : 317-326.

横尾謙一郎・酒井正治・今矢明宏 (2005) ヒノキ人工林に侵入した竹が林分構造と土壌に与える影響. 九州森林研究 58 : 195-199.

第2章 丹波篠山市の竹林分布と近年の変遷

我が国においてもっとも大型になり、資源としての利用価値が高い三大有用竹としては、マダケ類のモウソウチク (*Phyllostachys pubescens* Mazel ex Houz.), マダケ (*P. bambusoides* Siebold et Zuccarini), ハチク (*P. nigra* Munro var. *henonis* Stapf) が挙げられ (内村, 2009; 柴田, 2010), 現在もこの3種は広く栽培されている (西川ら, 2005)。

竹類はイネ科の植物であり他の樹木とは比較にならないスピードで成長し (嶋田, 2019), 特にマダケ属の竹は発筍からわずか2~3か月で成熟サイズに達することから (Zhou et al., 2005), かつては食料や材が得られる有益な植物であり, 特に農家にとっては農作業の資材となり, 現金収入を得やすいことから盛んに栽培が行われてきた (大野ら, 2002)。しかし, 1960年代のマダケの全国的な開花, 枯死を経て, 1980年代ごろより海外からの安価な竹材輸入が増加したこと, さらに1990年代には海外からの筍製品 (主に水煮筍) の輸入が急増したことによって, 国内の竹林において竹材と筍という二種類の竹林からの収穫物がもたらす経済的価値が減少した (柴田, 2010; 林野庁, 2017)。

その結果, 我が国の三大有用竹の竹林はいずれも, 多くが管理されず荒廃していき, 周辺土地利用 (人工林や里山などの樹林, 休耕農地, 溜め池等) に対する拡大が増加していった (柴田, 2010)。特に農村部の里山林においては, 山林所有者の高齢化や不在村化が顕著になり (片野田, 2003), 放置された竹林の拡大が植生の変化として顕在化 (鈴木ら, 2006) した結果, 2012年には日本全国の竹林面積は約16万ヘクタールとなり, 長期的に微増傾向で推移している (林野庁, 2018)。また, 現在「森林環境税」を導入している36府県のうち, 22県が竹林整備を同税で行うなど, 全国各地で対処すべき問題となっている (相原・立花, 2018)。

このような現状を踏まえ, 近年では竹林拡大の実態に関する研究 (大野ら, 2002; 片野田, 2003; 鈴木ら, 2006 など) が増加し, 竹を資源として利用するための資源量の調査 (奥田ら, 2006; 北里・井上, 2013) も行われるなど, 資源量を簡易に評価することが, 竹資源のバイオマス利用推進の一手となっている。

本章で研究対象地とした丹波篠山市も放置竹林の増加が顕著になっており、市内には放置されたモウソウチク林の増加が目立つようになっている。また、同市では行政が主体となって環境政策の一環として市民に竹破砕機の貸し出しを実施するなど、竹林整備やその資源利用に注力している。今後、竹が資源として再び利活用されるためには、市域全体の竹の分布や拡大状況、地上部現存量を明らかにする必要がある。

そこで本章では、丹波篠山市の竹林拡大の実態を把握するために、同市より提供可能であった最も古い航空写真データ（1999年）と最新の航空写真データ（2016年）を比較し、竹林の分布状況、竹林の拡大や減少（消滅）の状況とそれに伴うそれぞれの竹林の結合状況などを解析した。また、2016年に確認できた竹林を対象に現地踏査を行い、竹種、管理状況、分布域などを調査した。

2-1 調査対象地の概要と調査方法

調査対象地は丹波篠山市内の全竹林とした。丹波篠山市の総面積は377.59km²であり、主要な産業は農業である。標高200～300mの篠山盆地が中央部にある。気候は年較差、日較差ともに大きい内陸性気候で年平均気温は約12.7℃、年間降水量は約1,350mm（2000年から2007年の平均値）である（丹波篠山市，2020a）。

丹波篠山市における農業の実態をみると、販売農家の作付面積では、最も多いのが水稲の1,898ha、次いで豆類のダイズ542ha、蔬菜の89haであり、畜産農家に関しては肉用牛が19戸、鶏（採卵鶏）が4戸となっている（2020年農林業センサス，2020）。

丹波篠山市の竹林について兵庫県林業統計書をみると、2008年の竹林面積は99haとなっており（兵庫県農政環境部，2010）、2020年も99haと面積の増減はなく（兵庫県農政環境部，2022）、竹林に関する調査が行われていないことが考えられた。丹波篠山市における竹活用の歴史について篠山市歴史文化基本構想（丹波篠山市，2020b）をみると、市内を流れる大山川や篠山川には細工に手ごろなマダケの竹やぶが多く、竹籠の製造業者が大正中期から昭和中期まで存在していたことがわかった。また、箒や箕などの日用雑貨、農具及び運

搬籠を近隣だけでなく大阪、神戸などへも卸していたが、時代の変遷とともに河川改修による原料不足、プラスチック製品の安価な供給により、1960年ごろに竹細工は終焉を迎えている。このように、丹波篠山市においてもかつて竹は生活の中で広く利用されてきたが、全国的な竹利用の減少と同時期にその利用は減少したことが明らかになった。

調査には1999年4月と2016年4月に撮影された航空写真を使用した。航空写真はデジタルオルソ画像に変換し、GISソフト(ArcGIS, esri ジャパン製)を用いて座標を設定し、目視判読により15 m²以上の竹林を抽出した。目視判読の精度を高めるために、1999年および2016年の両年のデータについてそれぞれ2回ずつ判読を行った。竹林の面積に加えて、標高、主要道路(道路法に基づく一般国道、都道府県道、市町村道および特例都道等)からの距離を測定するために、航空写真のほかに国土地理院発行の数値地図25,000(地図画像)、基盤地図情報(数値地形モデル)10mメッシュ(標高)、道路縁データを用いた。両年の面積の比較については、抽出した竹林を重ね合わせることで、その増減を求めた。

加えて、2016年に確認できた竹林について、市内の各地域を巡回し、踏査が可能であった竹林1,209か所について、竹種、竹林数、竹林面積、管理状況、分布場所を調査した。竹林面積はGISソフトによって算出し、管理状況は管理、一部管理、放置竹林の3つに、分布場所は山林、農地、住宅地、河川、その他の5つに分け、それぞれ目視で判定した。なお、分布場所について、山林に位置していた竹林が農地に侵入した事例については農地とカウントした。

踏査ができなかった竹林は、林道や農道がなく、安全に立ち入ることができなかった竹林である。

本研究のデータ分析では、竹林面積等の年代間比較等の2群間のデータ比較を行い、竹林面積、主要道路までの平均距離、平均傾斜度、平均竹林標高については対応のある母平均の差の検定(t検定)を行った。ただし、新規発生と開発等による消滅の2群間の比較については、対応のない母平均の差の検定(t検定)を行った($p < 0.05$, 両側検定)。竹林の2群間のデータ比較については母比率の差の検定によって分析した($p < 0.05$, 両側検定)。統計

処理には統計ソフトエクセル統計 7.0 for Windows（エスミ社製，2019年版）を用いた。

2-2 結果

2-2-1 Arc GIS を用いた航空写真の分析による竹林拡大の現状

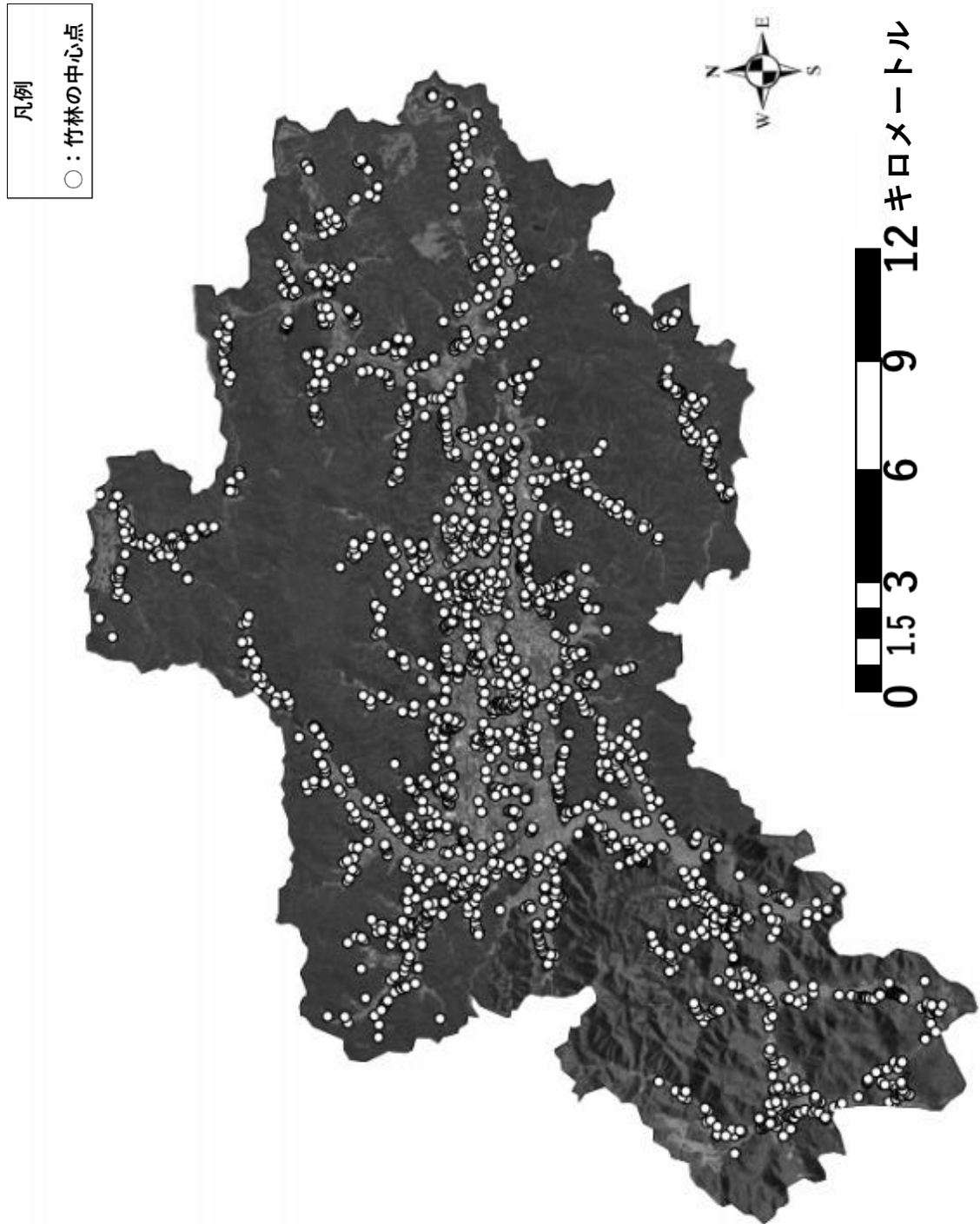
丹波篠山市における 1999 年と 2016 年の竹林の分布状況を図 2-1 に示した。竹林の分布は 1999 年および 2016 年の両年において市内のほぼ全域で確認できた。主に竹林が確認できた場所は主要道路沿いや集落のある地域で，山林においては林縁が多く，山頂付近に竹林は確認できなかった。17 年の間でもこの特徴はあまり変化していなかった。

抽出した竹林の合計面積と各竹林の状況の比較結果を表 2-1 に示した。確認できた竹林は 1999 年に 2,007 か所，2016 年に 2,072 か所と 65 か所の増加がみられた。竹林面積の合計をみると，1999 年は 186.5ha であったが，2016 年には 229.1ha となり，竹林拡大によって約 1.2 倍に増加していた。

各竹林面積の平均値は 1999 年の $968.4 \pm 1,438.3 \text{ m}^2$ から 2016 年の $1,134.1 \pm 1,507.6 \text{ m}^2$ に有意に増加していた。竹林の中心ポイントから主要道路までの距離は，1999 年には $23.4 \pm 20.5 \text{ m}$ であったが，2016 年には $21.7 \pm 18.6 \text{ m}$ となり，有意に近くなっていた。竹林の平均傾斜度は 1999 年には $14.2 \pm 9.9^\circ$ であったのが 2016 年には $13.5 \pm 9.6^\circ$ となり約 0.5° 有意に小さくなっていた。

竹林の平均標高は 1999 年には $236.0 \pm 37.8 \text{ m}$ であったが，2016 年には $230.9 \pm 47.7 \text{ m}$ と有意に低くなっていた。丹波篠山市は多紀連山や深山山地などの標高 500～800m の山地及び丘陵地に囲まれているが，市域中央部の篠山盆地は標高約 200m である。このことから，市域中央部を基準とすると，竹林は約 30～40m 高い標高に位置していることが示された。

a) 1999 年



b) 2016 年

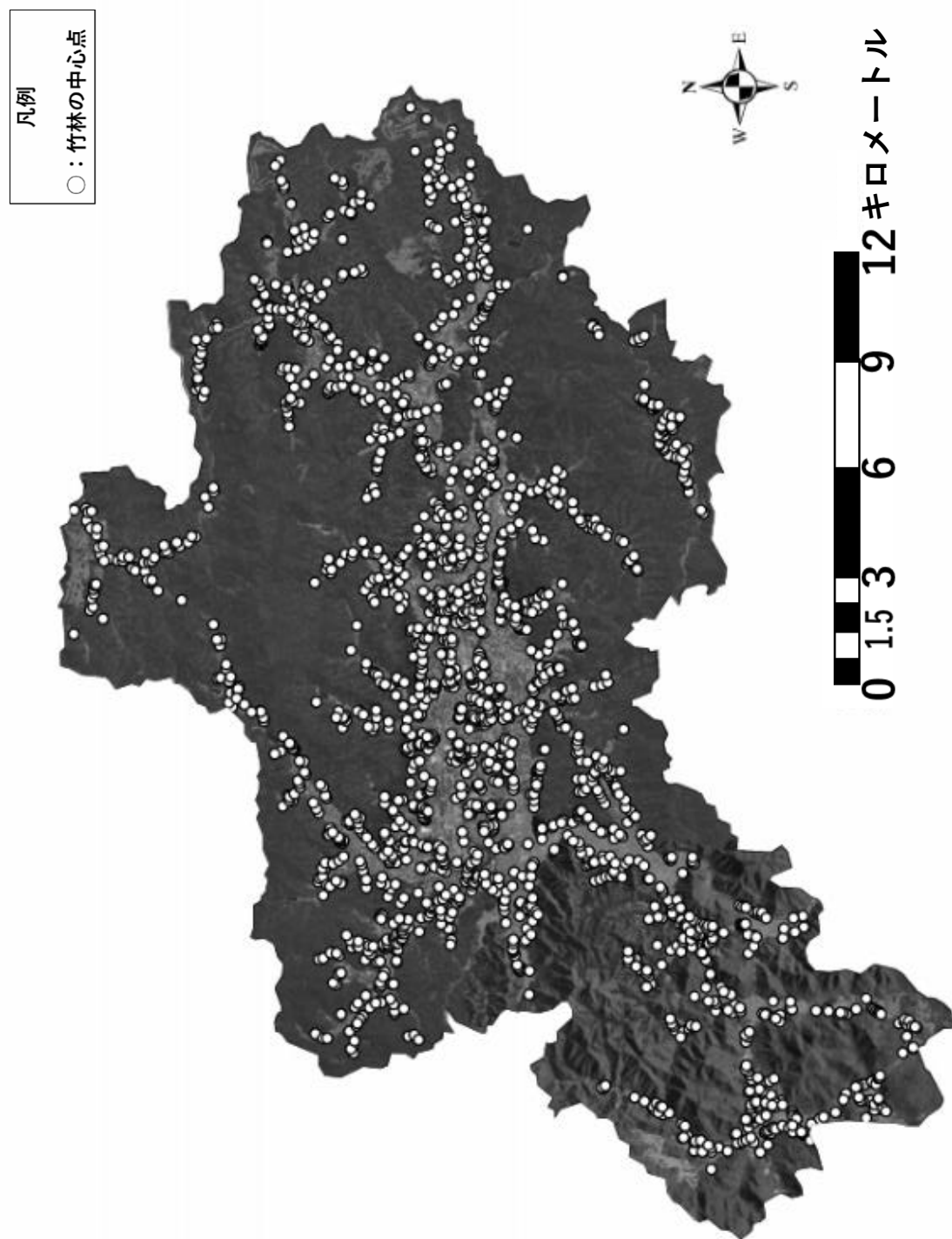


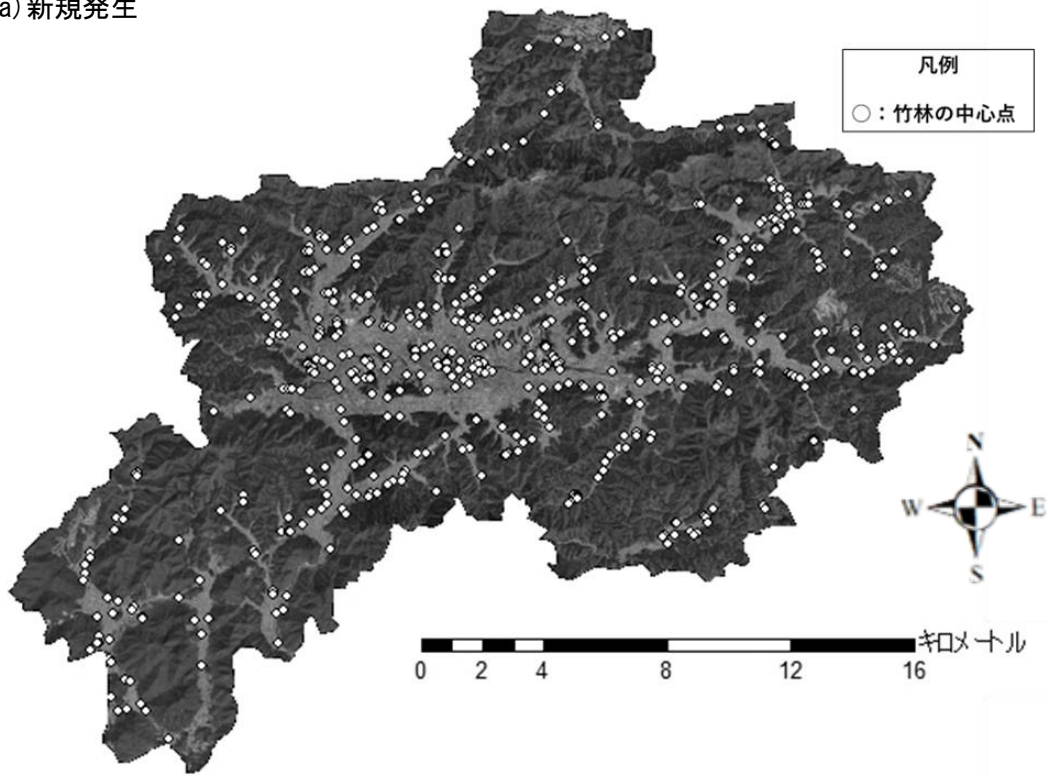
図 2-1 丹波篠山市における 1999 年と 2016 年の竹林の分布

表 2-1 1999 年と 2016 年の竹林の総面積と各竹林の比較

| 調査年 | 分類 | 竹林数 (箇所) | 竹林面積 | | 道路までの平均距離 ±SD(m) | 平均傾斜度 ±SD (°) | 平均標高 ±SD(m) |
|------|----------|-------------|---------|-----------------|---------------------|------------------|----------------|
| | | | 総面積(ha) | 平均±SD(m) | | | |
| 1999 | 総数 | 2,007 | 186.5 | 968.4±1,438.3 | 23.4±20.5 | 14.2±9.9 | 236.0±37.8 |
| 2016 | | 2,072 | 229.1 | 1,134.1±1,507.6 | 21.7±18.6 | 13.5±9.6 | 230.9±47.7 |
| 2016 | 新規発生 | 594 | 27.6 | 478.9±509.5 | 19.9±17.2 | 13.4±9.4 | 242.3±40.3 |
| 2016 | 開発等による消滅 | 493 | 26.2 | 543.9±720.3 | 23.9±22.1 | 13.7±9.6 | 239.6±41.3 |
| 1999 | 面積減少 | 434 | 66.4 | 1,580.4±2,007.4 | 26.2±23.1 | 15.8±10.9 | 237.5±36.5 |
| 2016 | | 435 | 47.6 | 1,130.3±1,379.1 | 24.2±22.0 | 14.7±10.7 | 228.2±49.4 |
| 1999 | 面積増加 | 1,080 | 94.0 | 916.9±1,325.1 | 22.1±18.4 | 13.8±9.5 | 233.7±36.5 |
| 2016 | | 1,043 | 153.9 | 1,501.7±1,777.7 | 21.8±17.6 | 13.1±9.3 | 225.5±49.6 |

* : $p < 0.05$ で有意差あり, ns : 有意差なし

a) 新規発生



b) 開発等による消滅

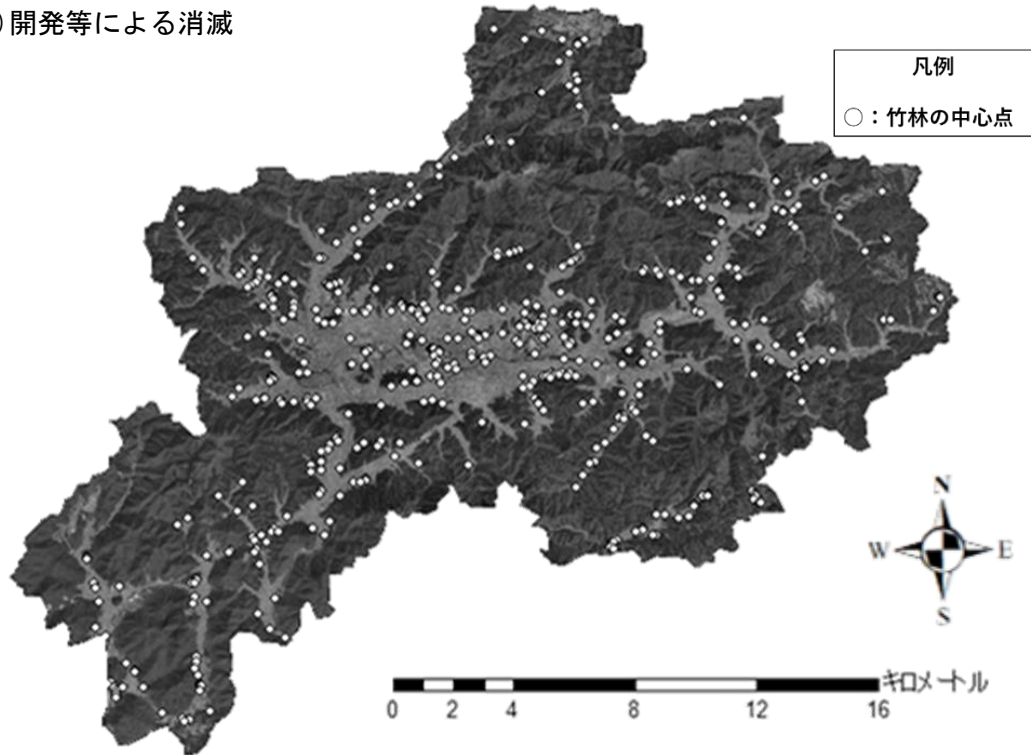


図 2-2 丹波篠山市における新規発生と開発等により消滅した竹林の分布

2-2-2 抽出した各竹林の分析

抽出した各竹林，それぞれの2年度の比較によって4つのタイプに分類した（表2-1）。すなわち，1999年には確認できなかったが2016年には確認できたものを「新規発生」，逆に1999年に確認できたが2016年に確認できなかったものを「開発等による消滅」，両年において同じ場所にあり，面積が減少したものを「面積減少」，面積が増加したもの（1999年における複数の竹林が1つの竹林に結合した例を含む）を「面積増加」とした。なお，変化がなかった竹林は認められなかった。

新規発生および開発等による消滅の各竹林を図2-2に示した。新規発生は594箇所で総面積は27.6ha，開発等による消滅は498か所で総面積は26.2haであった。単純比較はできないが17年間で500ヶ所，30haほどの竹林の消失があったことが示された。

また，面積減少は435か所で1999年に総面積が66.4haであったものが2016年には47.6haと約30%減少しており，統計的に有意な減少であった。面積減少に関しては，1999年と2016年の比較では平均標高に有意な差はみられなかったが，主要道路までの距離は有意に近くなり，平均傾斜度は有意に小さくなった。

面積増加は1,043か所と減少した竹林の約2倍の箇所数となり，面積も1999年に94.0haであったものが2016年には153.9haと約1.7倍に有意に増加していることが示された。面積増加に関しては，1999年と2016年の比較では主要道路までの距離と平均標高に有意な差はみられなかったが，平均傾斜度は 0.7° の有意な増加がみられた。面積増加のうち，複数の竹林が結合した例は43箇所あり，合計面積は21.4haであった。結合した竹林面積の平均は $4,971.4 \pm 3,841.1 \text{ m}^2$ と面積増加した竹林面積の平均の3倍以上となった。

1999年と2016年の各竹林の変化について，面積，道路からの距離，平均傾斜度に関する詳細を図2-3に示した。

面積をみると， 500 m^2 以下の竹林は1999年には全体の43.0%であったが，2016年には30.4%となり，1999年と比べて2016年には有意に減少していた。一方で $1,000 \sim 2,000 \text{ m}^2$ ， $2,500 \sim 3,000 \text{ m}^2$ ， $4,000 \sim 4,500 \text{ m}^2$ の竹林については2016年には有意に増加していた。この

ことから、竹林の数の増減はほとんどないが、各竹林の面積が増加していることが示された。

道路からの距離は、両年とも 10～15m が全体の約 30%を占めた。一部の距離のカテゴリーで年度間の有意な増減がみられたが、その傾向は明らかではなかった。

平均傾斜度は 0～5° が最も多かったが、すべての傾斜において年度間の有意な差は認められなかった。

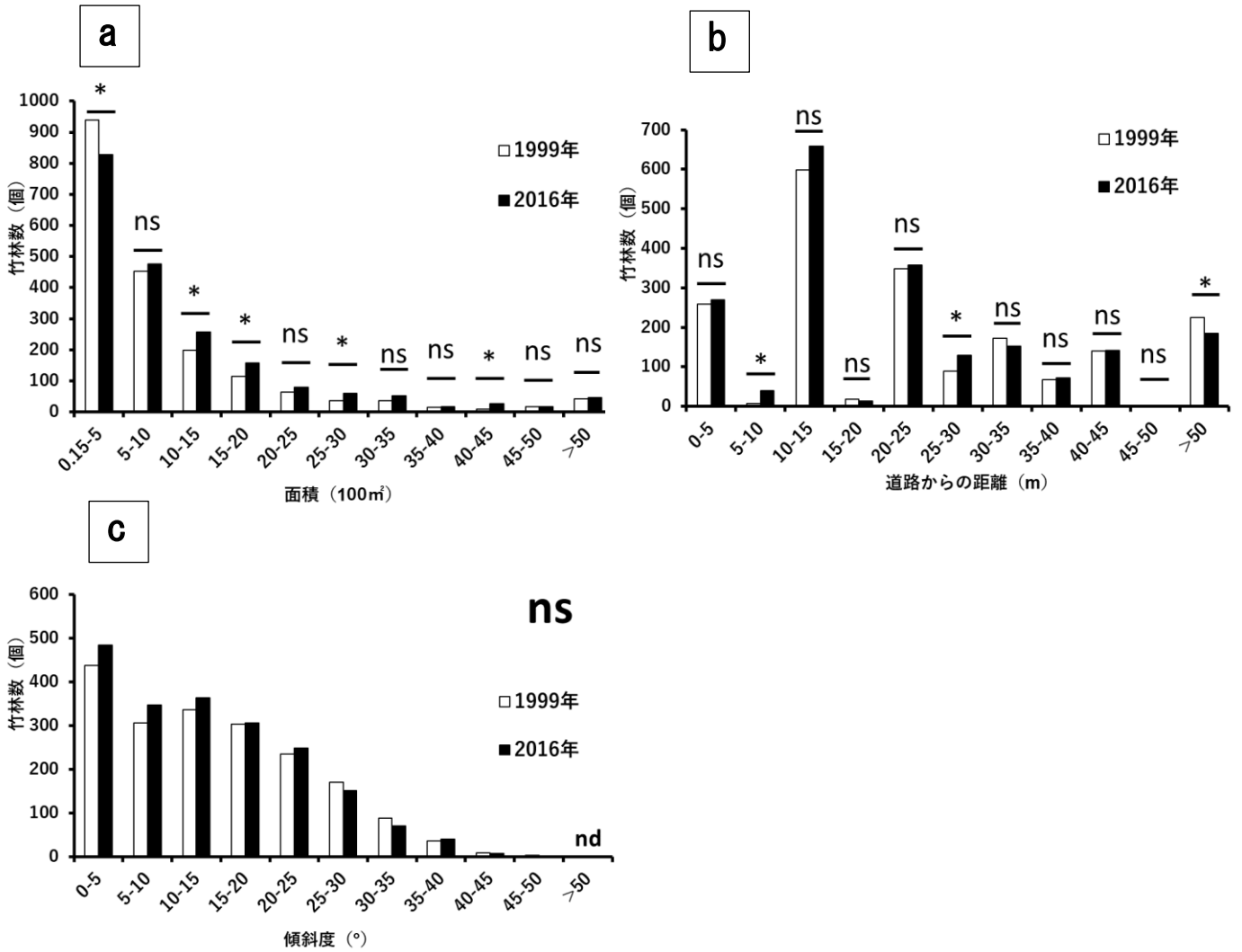


図 2-3 1999 年と 2016 年の竹林の比較 (a : 面積, b : 道路からの距離, c : 傾斜度)

* : $p < 0.05$ で有意差あり, ns : 有意差なし

踏査が可能であった各竹林の状況を表 2-2 に、モウソウチク林の管理状況を図 2-4 に示した。

踏査が可能であった竹林は 1,209 か所で、全竹林の 58.3%であった。竹種と竹林数をみると、モウソウチクが 58.0%と過半数を占め、次いでマダケが 39.2%、ハチクが 2.5%であった。各竹林の平均面積をみると、モウソウチクが 1258.7 m²と最も大きく、次いでマダケの 1010.1 m²となった。竹林が認められた場所は、踏査した竹林についてみると、山林が 88.2%、次いで農地が 6.9%、河川が 3.5%となり、約 90%が山林における出現であることが示された。

管理状況をモウソウチク林、マダケ林についてそれぞれみると、管理竹林は 7.4%、3.6%、一部管理の竹林は 38.2%、27.4%、放置竹林は 54.4%、69.0%となった。両種とも、大半が放置されており、管理竹林は 10%以下であった。一部管理の竹林は、林道沿いや道路沿いなどのごく一部を管理しているに過ぎず、このカテゴリーの竹林の中で、林内の間伐や枯死竹の抜去等がなされている竹林は確認できなかった。

分布場所をモウソウチク林、マダケ林についてみると、それぞれ、山林が 89.6%、58.4%と最も多かった。次いで、農地が 5.7%、20.0%となり、モウソウチクとマダケを比較すると、マダケの農地への拡大の割合が大きかった。

表 2-2 踏査した竹林の竹種と管理状況および分布場所

| 竹種 | 竹林数 (箇所, %) | 竹林面積 | | 管理状況 (箇所, %) | | | 分布場所 (箇所, %) | | | | |
|--------|----------------|-------------|---------------------------|--------------|------------|------------|--------------|-----------|----------|-----------|----------|
| | | 総面積 (ha) | 平均 面積(m ²) | 管理 | 一部管理 | 放置 | 山林 | 農地 | 住宅地 | 河川 | その他 |
| モウソウチク | 701(58.0) | 86.6 | 1258.7 | 52(7.4) | 268 (38.2) | 381 (54.4) | 628 (89.6) | 40 (5.7) | 13 (1.9) | 5 (0.7) | 15 (2.1) |
| マダケ | 474(39.2) | 46.5 | 1010.1 | 17(3.6) | 130 (27.4) | 327 (69.0) | 277 (58.4) | 95 (20.0) | 19 (4.0) | 65 (13.7) | 18 (3.8) |
| ハチク | 30 (2.5) | 2.4 | 801.6 | 0 (0) | 6 (20.0) | 24 (80.0) | 8 (26.7) | 12 (40.0) | 1 (3.3) | 9 (30.0) | 0 (0) |
| その他* | 4 (0.3) | 0.1 | 252.8 | 0 (0) | 0 (0) | 4 (100) | 3 (75.0) | 0 (0) | 0 (0) | 1 (25.0) | 0 (0) |
| 合計 | 1,209 | 135.6 | 830.8 | 69 | 404 | 736 | 916 | 147 | 33 | 80 | 33 |

* その他の竹種はクロチクである

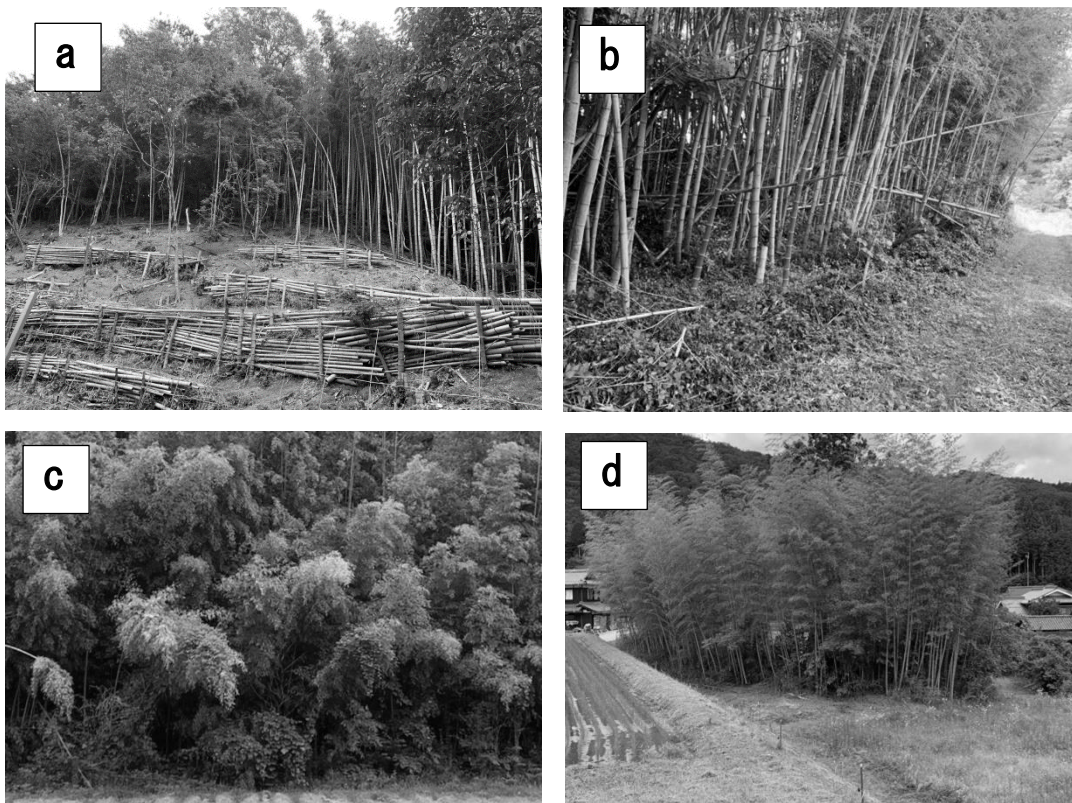


図 2-4 モウソウチク林の管理状況 (a: 管理竹林, b: 一部管理, c: 放置竹林, d: 農地への拡大)

2-2-2 で示した抽出した竹林の面積、道路からの距離、傾斜度の情報に加えて、竹林の現地踏査の結果を踏まえ、2016年のデータから抽出された竹林面積と傾斜度及び道路からの距離の関係と傾斜度と道路からの距離の関係を図 2-5a, b に示した。竹林面積と傾斜度、道路からの距離に相関関係はみられなかった。そこで、傾斜度は 20° を越えると人の移動や伐採等の作業は行いにくくなるが、伐採した竹が自然滑落する（林野庁, 2018）こと、丹波篠山市の竹林はその多くが山林であるため（表 2-2）、傾斜度が低い竹林が少ないことを踏まえ、 20° を伐採可能傾斜度と設定した。また、道路からの距離は人力での搬出が可能とされる 30m を伐採可能距離と設定し（三好, 2015）、両者の条件を満たす各竹林を図 2-5c に、それぞれの竹林の詳細を表 2-3 に示した。

傾斜度が 20° 以下の竹林は 1,464 箇所あり、総面積は 150.6ha となった。道路までの平均距離は 20.5 ± 18.2 m, 平均傾斜度は 9.8° となった。道路からの距離が 30m 以下の竹林は 1,510 箇所あり、総面積は 150.0ha となった。道路までの平均距離は 13.9 ± 9.2 m, 平均傾斜度は $13.3 \pm 14.5^{\circ}$ となった。いずれも平均標高に大きな差はなかった。両者の条件を満たす竹林は 1,159 箇所となり、その面積は 110.1ha となり 2016 年の合計竹林面積の 55.9% に該当した。両者の条件を満たす竹林の平均面積は $950.3 \pm 1,436.6$ m², 道路までの平均距離は 13.3 ± 9.3 m, 平均傾斜度は $9.3 \pm 14.0^{\circ}$ であった。また、両者の条件を満たす竹林は丹波篠山市内全域に存在していることが示された（図 2-6）。

表 2-2 より、丹波篠山市内の竹林のうち、58.0%がモウソウチク林、39.2%がマダケ林であることがわかっている。これを参考にすると、同市で活用可能なモウソウチク林は 672 箇所、マダケ林は 452 箇所となる。竹林面積を平均面積から算出すると、モウソウチク林で 63.9ha, マダケ林で 43.0ha が利用可能であることが示された。

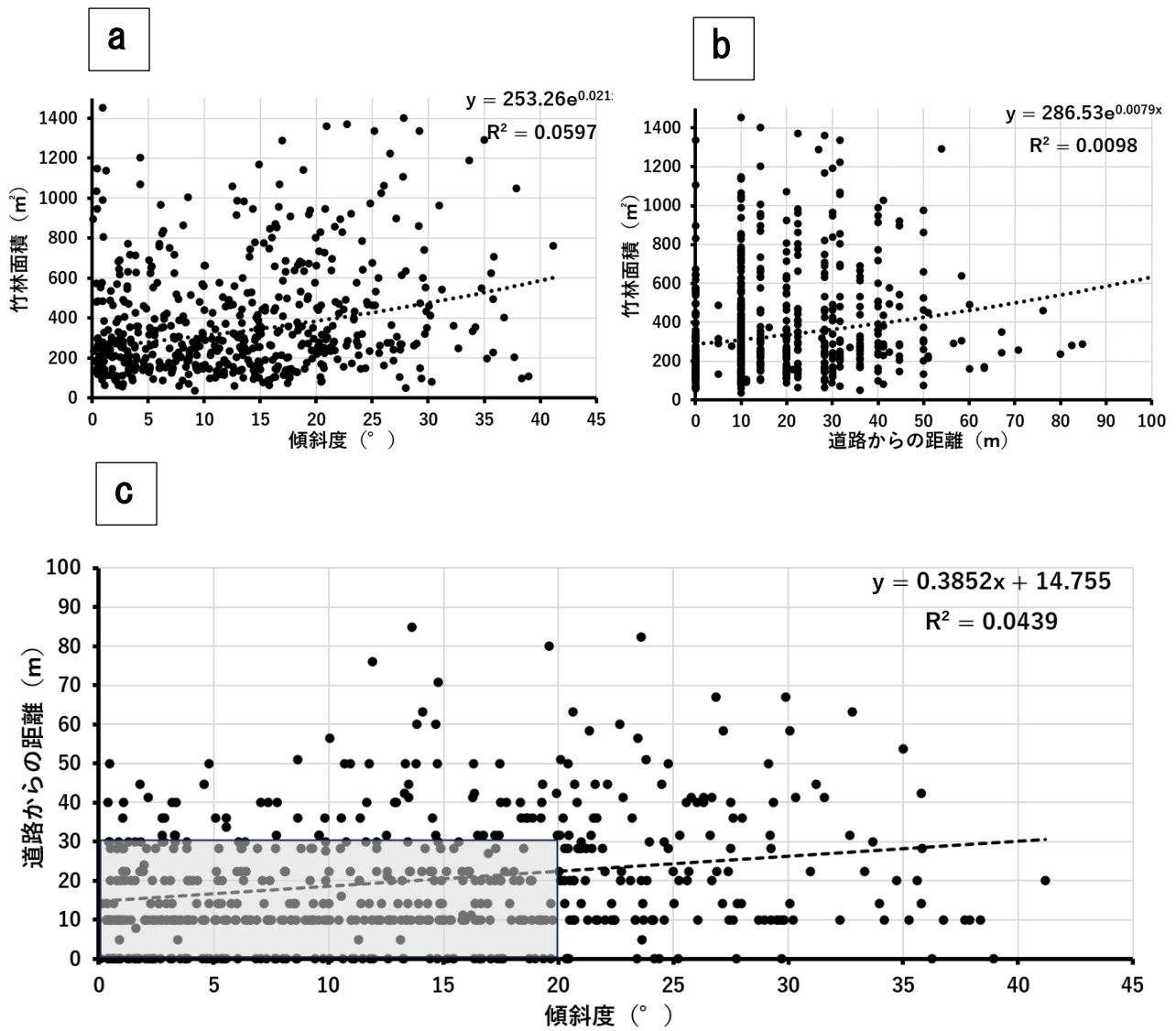


図 2-5 2016 年のデータに基づく竹林面積と傾斜度及び道路からの距離の関係 (a: 竹林面積と傾斜度, b: 竹林面積と道路からの距離, c: 伐採が容易な竹林)

表 2-3 2016 年のデータに基づく傾斜度 ($\leq 20^\circ$) 及び道路からの距離 ($\leq 30\text{m}$) の竹林の

詳細

| カテゴリ | 竹林数 (箇所) | 竹林面積 | | 道路までの 平均距離 \pm SD(m) | 平均傾斜度 \pm SD ($^\circ$) | 平均標高 \pm SD(m) |
|-------------------------------|--------------|--------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | | 総面積(ha) | 平均 \pm SD(m) | | | |
| 傾斜度 ($\leq 20^\circ$) | 1,464 | 150.6 | 1,028.5 \pm 1,499.9 | 20.5 \pm 18.2 | 9.8 \pm 13.7 | 232.8 \pm 37.0 |
| 道路からの距離 ($\leq 30\text{m}$) | 1,510 | 150.0 | 993.1 \pm 1,376.1 | 13.9 \pm 9.2 | 13.3 \pm 14.5 | 236.7 \pm 38.8 |
| 両者とも満たしている | 1,159 | 110.1 | 950.3\pm1,436.6 | 13.3\pm9.3 | 9.3\pm14.0 | 232.3\pm38.1 |

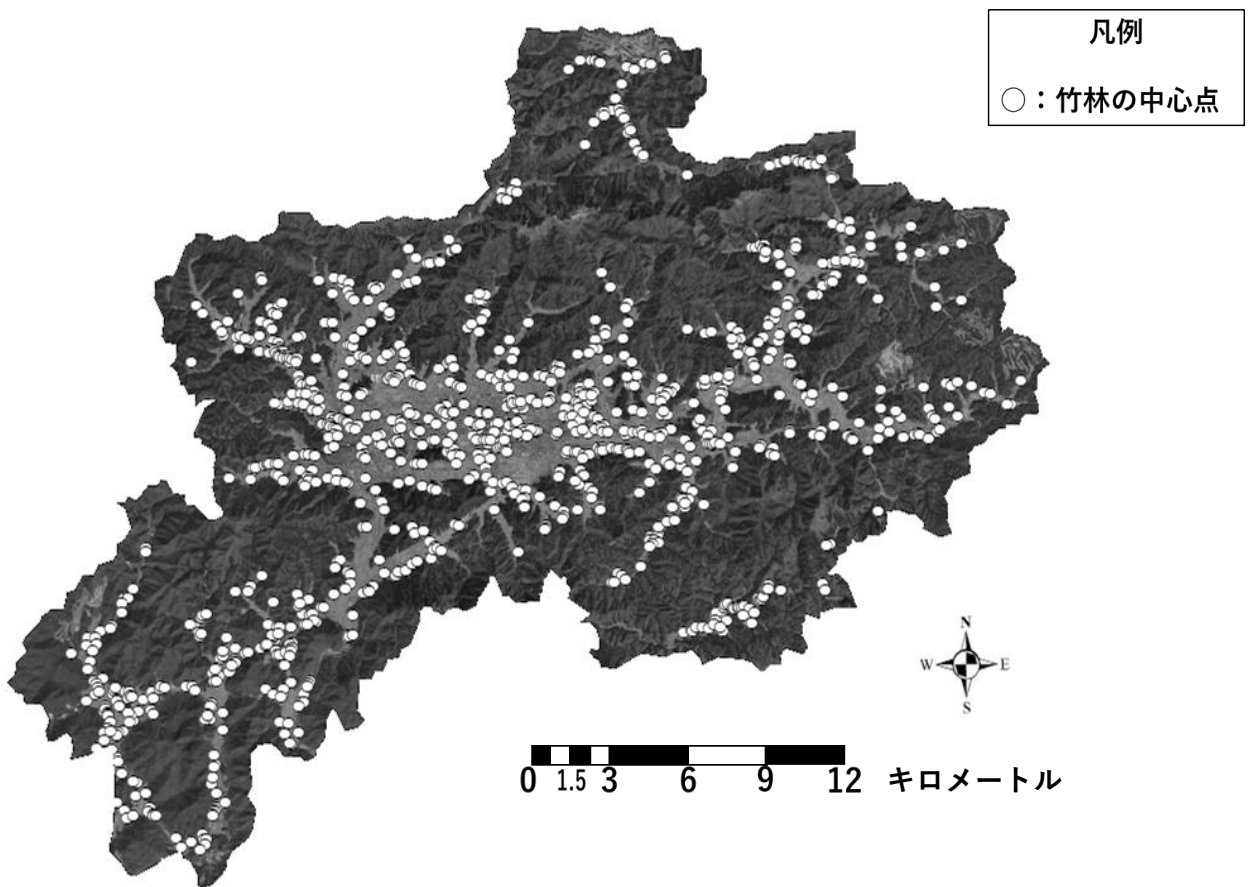


図 2-6 2016 年のデータに基づく傾斜度 ($\leq 20^\circ$) 及び道路からの距離 ($\leq 30\text{m}$) の竹林

2-3 考察

かつて竹林は、その面積のほぼ9割が管理・経営されていたが、現在では3分の1程度しか管理されておらず（柴田，2010），放置竹林が拡大している。さらに地球温暖化の影響を受け、平均気温が4℃上昇した場合、モウソウチクとマダケの生育に適した地域の割合が増加し、分布域が現在より最大500km北上するといった予測も行われており（Takenaka et. al., 2017），放置竹林の管理や対策は今後ますます重要な課題となるといえる。

丹波篠山市もその例に漏れず、放置竹林が増加している。そこで本節では、1999年と2016年の竹林の状況を比較し、17年間で竹林がどのように変化したのかを解析した。竹林面積の増加には竹林数および個々の竹林面積の増大の2つの要因が挙げられるが（鳥居，1998），丹波篠山市では竹林数の大きな変化はなく、個々の竹林面積が増加していることが、合計面積増加の要因であると考えられた（表2-1）。加えて、竹林面積の増加の要因には竹林の拡大に伴い、複数の竹林が結合し、より大面積の単一の竹林に変化したことが考えられる（真鍋ら，2020）。本章においても結合した竹林数は43箇所みられ、その平均面積は4,971.4 m²と丹波篠山市内の竹林の平均面積と比べると大面積であることが示された。竹林の傾斜は、全体でみると1999年と2016年の間に有意な差がみられたが、0-5°，5-10°といった傾斜度の比較では有意な差はみられず、標高についても有意差はみられなかった。大阪府岸和田市では、0-20°の場所で竹林の拡大及び縮小が頻繁に発生しており、かつ複数の竹林が結合する事例も0-20°の場所で顕著であったことが報告されている（大野ら，2002）。丹波篠山市においても0-20°にある竹林が1,100箇所あり、全体の半数以上となり、大野ら（2002）と同様の傾向を示した。以上のことから、丹波篠山市の竹林拡大は斜面方向ではなく、等高線方向に発現していると考えられた。

竹林の変遷について詳細をみると、新規発生は594箇所、開発等による消滅は498箇所であった。大野ら（2002）は大阪府岸和田市を対象に竹林の調査を行い、1980年代以前には竹林が少なかった場所でも、1990年代以降は多くの竹林が分布していたことを報告している。竹林の利用がほぼ考えられない現状で新たに竹を植栽した可能性は低く、竹林が周辺

域に拡大し、竹類にとって好適とは言えない場所にも進出するようになった(真鍋ら, 2020)ことが原因であると考えられる。そして竹林の消滅は、17年間でかつての竹林が市街地化等の人為的な影響を受けたことによると考えられ、竹林管理の減少による影響はほとんど受けていないと考えられた(表2-1)。

踏査した1,209箇所(箇所)の竹林の58.0%はモウソウチクで、39.2%はマダケであった。管理状況をみると、管理竹林はモウソウチクで7.4%、マダケで3.6%のみで、いずれの竹林も半数以上が放置状態であった。分布場所は山林が多く、モウソウチクで89.6%、マダケで58.4%であった。以上より、丹波篠山市内の竹林の管理は十分でなく、今後竹林整備が行わなければ山林やその周囲に竹林が拡大していく可能性が示された(表2-2)。

1999年と2016年の各竹林の比較によって、道路からの距離は両年ともに約90%の竹林が50m未満にあり、特に10~15mの竹林が全体の約35%を占めていた。傾斜についてみると両年ともに0~5°の竹林が最も多く(図2-2)、淡路島の竹林を調査した藤原・伊藤(2013)の研究と同様の傾向を示した。以上から、丹波篠山市の竹林は山林への分布が多いものの、道路からの距離が近く、傾斜もその多くが0~20°程度であることが明らかになった。竹林の傾斜および道路からの距離は、管理作業を行う上で重要な指標となる(山本ほか, 2013)。また、栗田・包清(2009)は、傾斜度0~5°を「活用容易傾斜」、建物・集落からの距離では0~500mを「接近容易距離」、道路からの距離では0~50mを「活用容易距離」と区分し、これらすべての条件を満たす竹林を「活用容易タイプ」としている。2016年の各竹林の状況をみると、多くの竹林はこれらの「活用容易タイプ」に分類できることが示された。さらに、活用が容易と考えられる傾斜度20°以下かつ道路からの距離30m以内の竹林を抽出すると、1,159箇所(箇所)の竹林が示された。その面積は110.1haとなり2016年の合計竹林面積の55.9%となった。以上より、丹波篠山市の竹林は活用の制約が比較的少なく、その可能性が高いと考えられる。また、竹林の位置は丹波篠山市内のほぼ全域で確認できたため、各自治体エリアで整備が容易かつ活用可能な竹林を優先的に管理していくことが望ましい。

2-4 結論

本章では、丹波篠山市における 1999 年と 2016 年の 17 年間の竹林の変化について航空写真を用いて GIS で解析を行い、現地調査が可能であった竹林については踏査によって竹種、管理状況等を明らかにした。調査の結果、17 年間で竹林数の大きな変化はなかったが、両年間の母比率の差の検定の結果、各竹林の面積は有意に増加し、2016 年に 2,072 箇所、229.1ha の竹林が確認された。そのうち踏査を行った 1,209 か所の竹林の竹種は 58.0%がモウソウチクで、39.2%がマダケであった。また、両種ともに半数以上は放置竹林で、その多くが山林に分布していることが明らかになった。また、同市内において 2016 年に確認された竹林について、その整備や活用が容易と考えられる条件として、傾斜度 20° 以下、道路からの距離 30m 以下を抽出したところ、1,159 箇所、110.1ha の竹林が示された。

引用文献

- 藤原道郎・伊藤休一 (2013) 淡路島における現存植生図を基にした竹林の面積, 分布および傾斜に関する予察的研究. *Hikobia*16:393-402.
- 兵庫県 (2023) 2020年農林業センサス兵庫県結果表. https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk11/nourinsuisantoukei/nouringyou_census2020-2.html (参照: 2023年11月1日).
- 兵庫県農政環境部 (2010) 平成20年兵庫県林業統計書. <https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk14/documents/ringyotokei20.pdf>. (確認日: 2023年11月1日).
- 兵庫県農政環境部 (2022) 令和2年度兵庫県林業統計書. <https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk14/documents/r2ringyotokei.pdf>. (確認日: 2023年11月1日).
- 片野田逸朗 (2003) 蒲生町西浦地域における竹林拡大の実態. *九州森林研究* 56: 82-87.
- 北里春香・井上昭夫 (2013) モウソウチクにおける竹稈および竹林レベルでの利用率の決定. *日本森林学会誌* 95(1): 1-7.
- 栗田 融・包清博之 (2009) 竹林活用を基調とした地域景観の保全に資する地域類型に関する基礎的研究. *ランドスケープ研究* 72(5): 735-740.
- 真鍋 徹・柴田昌三・長谷川逸人・伊東啓太郎 (2020) 竹林の拡大に関する景観生態学的研究—竹林の持続可能な利用に向けて—. *景観生態学* 25(2): 119-135.
- 三好京子 (2015) 放置竹林の現状および整備コストに関する研究. 京都大学大学院農学研究科森林科学専攻 修士論文.
- 西川僚子・村上拓彦・吉田茂二郎・光田 靖・長島啓子・溝上展也 (2005) 隣接する土地被覆別にみた竹林分布変化の特徴. *日本森林学会誌* 87(5): 402-409.
- 奥田史郎・鳥居厚志・伊藤武治・上村巧・佐々木達也・伊藤崇之・木村光男・豊田信行・佐渡靖紀・山田隆信・山田倫章・伊藤孝美・竹内郁雄 (2006) タケの地上部現存量を簡易に推定する. *森林総合研究所研究成果選集*: 42-43.
- 大野朋子・加我宏之・下村泰彦・増田 昇 (2002) 大阪府岸和田市における竹林の拡大特性に関する研究. *ランドスケープ研究* 65(5): 603-608.

- 林野庁 (2017) 森林・林業白書 (2016 年度). 林野庁.
- 林野庁 (2018) 竹の利活用推進に向けた報告書. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take-riyou/attach/pdf/index-3.pdf>. (確認日: 2023 年 11 月 1 日).
- 柴田昌三 (2010) 広がるタケの生態特性とその有効利用への道 竹資源の新たな有効利用のための竹林施業. 森林科学 58: 15-19.
- 嶋田暁文 (2019) 竹の有用性・可能性・利用促進に係る課題 放置竹林問題に関心のある人たちのための竹入門. 地方自治ふくおか 68: 5-43.
- 鈴木素之・長谷川秀人・六信久美子・山本哲朗 (2006) 山口県における竹林の拡大とその生態. 土木学会論文集 G62(4): 445-451.
- Takenaka, K., Hibino, K., Numata, A., Oguro, M., Aiba, M., Shiogama, H., Takayabu, I. and Nakashizuka, T. (2017) Detecting latitudinal and altitudinal expansion of invasive bamboo *Phyllostachys edulis* and *Phyllostachys bambusoides* (Poaceae) in Japan to project potential habitats under 1.5°C-4.0°C global warming. *Ecology and Evolution* 7: 9848-9859.
- 丹波篠山市 (2020) 丹波篠山市の概要. <https://www.city.sasayama.hyogo.jp/pc/nouto/about/>. (確認日: 2020 年 9 月 16 日).
- 丹波篠山市 (2020) 篠山市歴史文化基本構想～歴史・文化を活かしたまちづくり～. <https://www.city.tambasasayama.lg.jp/material/files/group/36/06bunkatekikeikan.pdf>. (確認日: 2023 年 11 月 1 日).
- 鳥居厚志 (1998) 空中写真を用いた竹林の分布拡大速度の推定: 滋賀県八幡山および京都府男山における事例. 日本生態学会誌 48(1): 37-47.
- 内村悦三 (2009) 現代に生かす竹資源. 創森社.
- 山本ジェイミー順子・藤原道郎・大藪崇司・澤田佳宏・山本 聡 (2013) 淡路島における竹林および立地環境の分布を基にした竹林管理の仕組み. *Hikobia*16:403-412.
- Zhou BZ, Fu MY, Xie JZ, Yang XS, Li ZC (2005) Ecological functions of bamboo fore

st: research and application. J. Forestry Res16:143-147.

第3章 丹波篠山市の放置竹林における地上部現存量および竹資源量の推定

竹は短期間で再生可能で、その資源は様々な目的に利用可能であることから、優良なバイオマス資源とみなすことができる。すなわち、我が国は竹資源に恵まれた国の一つであるといえる（北里・井上，2013）。しかし、第1章でも述べたように、現在我が国において竹産業のみならず農林水産業における従来のような竹材利用は少なくなっている（柴田，2010）。加えて、農業分野では竹のチップ化によるマルチング資材や堆肥、家畜飼料及び敷料としての利用が報告されているが、こうした新たな竹資源の利用はそれほど進んでいない。一方で、近年では工業分野におけるエネルギー源としての利用や竹材のパルプ化、繊維としての利用など様々な試みがなされている（柴田，2010；林野庁，2018）。このような新用途を開発しつつある分野からは、通年の原料供給を求められることが多い（柴田，2010）、竹を資源として有効に活用するためには、放置竹林の整備や適切な管理を行い、その資源量を正しく把握し（Kleinn and Morales, 2006）、必要に応じて供給できる竹資源供給システムが不可欠である。これまでの既往研究では、放置竹林内部の構造を明らかにし、胸高直径（DBH）から高精度で竹稈の乾物重（D.W.）を推定できるアロメトリー式の作成（後藤ら，2008）やモウソウチクの竹稈レベルでの利用率が明らかになっており（北里・井上，2013）、地上部現存量を簡易に推定する方法も示されている（奥田ら，2006）。

そこで本章では、我が国における三大有用竹の中でも栽培面積が広く（内村，2004）、資源として最も多く存在するとされるモウソウチクとマダケを対象として（北里・井上，2013）、本研究の調査対象地域である丹波篠山市の放置竹林の単位面積当たりの地上部現存量を測定するために、稈に加え、調査事例は少ないが、資源価値があると考えられる枝葉のアロメトリー式を作成した。加えて、モウソウチクのみ、竹稈を全伐し、DBH及び稈と枝葉の重さを実測し、作成したアロメトリー式との当てはまりについて検討を行った。また、既往研究を参考に丹波篠山市内の竹林の拡大予想とアロメトリー式を用いた地上部現存量の推定を行った。

3-1 丹波篠山市の放置竹林における地上部現存量の調査とアロメトリー式の作成

3-1-1 調査方法

アロメトリー式の作成のために、同市内の放置竹林から、林縁の影響なく 10m×10m のプロットを設けられる面積を持つモウソウチク林とマダケ林を各 3 箇所（以下、モウソウチク林は p1～p3, マダケ林は b1～b3 とする）抽出した。抽出にあたっては、丹波篠山市役所を通じて 1) 10m×10m のプロット設定が可能であること, 2) 5 年以上管理がなされていない竹林であること, 3) 調査にあたり地権者の承諾が得られることを条件とし、条件に合致する竹林を山林等の所有者から募集した。応募のあった 20 か所の竹林の中から、第 2 章の結果を踏まえ、丹波篠山市において最も数の多い竹林の条件として、1) 面積が 500 m²未滿, 2) 主要道路からの距離が 10～15m, 3) 傾斜度が 0～20° 未滿の条件に合うモウソウチク林とマダケ林のそれぞれ 3 箇所を調査対象とした。2021 年 8 月 21 日～9 月 30 日（モウソウチク林 p3 のみ 2020 年 8 月 22～23 日）に、プロット内の枯死竹以外のすべての竹稈の胸高直径（以下、DBH）を計測した。DBH は直径巻尺を用いて 0.5mm 括約で測定した。

アロメトリー式の作成にあたっては、後藤ら（2008）を参考に竹稈のサンプリングを行った。なお、後藤ら（2008）は対象竹林から無作為にサンプリングを行っているが、丹波篠山市内のモウソウチク林やマダケ林には大型の竹が多くみられ、DBH に幅があるため、従来とは異なる方法となるが、プロット内から DBH2～14cm の範囲で 1 年生以上の竹稈から DBH 階 2cm ごとに各 2 本を伐採した。林分内に該当する DBH 階がない場合は対象なしとした。伐採した DBH 階は、モウソウチク林は p1 で 6～12cm（8 本）、p2 で 8～14cm（6 本）、p3 で 8～12cm（6 本）の合計 20 稈、マダケ林は b1 で 4～8cm（6 本）、b2 で 2～6cm（6 本）、b3 で 4～10cm（8 本）の合計 20 稈であった。

各稈について DBH（cm）、高さ（m）を測定したのち、稈、枝および葉を部位別に分けて生重（kg）を測定、ビニールハウス内で約 1 か月通風乾燥させ、乾物重を測定したが、乾燥条件が不十分であったため、2023 年 8 月 21 日に調査対象としたモウソウチク林およびマダケ林からそれぞれ 4 本の竹を新たにサンプリングし、85℃に設定した乾燥器において 48 時間以

上乾燥し、それ以上重量が減少しないことを確認し、乾燥率を算出した。この乾燥率を 2020～2021 年にサンプリングした稈及び枝葉の生重に乗じて解析用の乾物重とした。なお、追加でサンプリングした竹もアロメトリー式の解析に用いた。すなわち、モウソウチク、マダケいずれも合計 24 稈を分析した。

アロメトリー式の作成と適合性の検証の解析では、説明変数の DBH、目的変数の稈高、乾物量をそれぞれ対数化し、線形モデル (ANOVA) で解析した。例えば、計算では $\ln(D.W) = a + b' \times \text{DBH}$ のように D.W を推測するが、これを $D.W = \exp(a) \times (\text{DBH})^{b'}$ という形に変換した。作成したアロメトリー式をもとに、DBH 階 0.25cm 刻みで、予測値を算出した。統計解析には、統計ソフト IBM SPSS Statistics 24.0 for Windows / IBM Corporation (Chicago, IL, USA) を用いた。

モウソウチクの全伐調査はモウソウチク林 p3 で行い、アロメトリー式作成のためのサンプルと共用した。2020 年 8 月 22～23 日にかけて、10m×10m のプロットを設け、プロット内の竹稈を地際で伐採した。毎竹調査として、伐採後に DBH、全長及び高さを測定したのち、稈と枝葉を切り分け、それぞれの長さとし、重さ (生重) を測定し、先述した乾燥率をサンプリングした稈及び枝葉の生重に乗じて解析用の乾物重とした。なお、枝葉の切り分けにおいては、節から発生している枝葉に加えて、稈頂部の枝葉と判断できる直径約 1.5cm 以下の部分を切断し枝葉の長さおよび重さとした。胸高直径は直径巻尺を用いて 0.01cm 括約で、稈高および稈と枝葉の長さは巻尺によって 0.1cm 括約で測定した。

3-1-2 結果

竹稈は円柱形であることから、地上部現存量を求める際には $(\text{DBH})^2 \times \text{高さ (H)}$ をベースに推定することが多い (後藤ら, 2008)。ここでいう高さとは、地際から頂端までの稈高である。

しかし、竹稈の高さを群落の中で 1 本ずつ測定することは困難であるとともに、樹高と直径の関係に一定の傾向がみられることから (奥田ら, 2006)、始めに DBH から高さ H を推定

するためのアロメトリー式から両種について(1), (2)を作成した。

$$\boxed{\text{アロメトリー式 : } H = a^* \times \text{DBH}^{b^*}} \quad (\text{べき乗関数 } a^*, b^* \text{ は定数})$$

すなわち、DBH と H を自然対数化し、線形モデルで解析し、各種について以下のように求めた式を逆変換した (図 3-1, 表 3-1)。

$$(1) \text{モウソウチク : } H = 4.797 \text{DBH}^{0.503}$$

$$(2) \text{マダケ : } H = 2.944 \text{DBH}^{0.800}$$

その結果、モウソウチクは寄与率 (R^2) が 0.746、マダケでは 0.858 と両者ともに高い推定精度を持つことが示された。後藤ら (2008) は、DBH から高さ H を推定し、推定した高さ H の値から $(\text{DBH})^2 H$ 式を用いて地上部乾物重 (以下、D. W.) を算出しているが、本章では、高さ (H) は DBH からある程度予測できることから、D. W. は式 (4) のように係数 (a)、次数 (b) を用いた DBH のみの予測式から求めることができる。なお、D. W. は無条件で (3) 式から (4) 式に変換できることから今回は $(\text{DBH})^2 H$ 式ではなく、各種について (5)、(6) のように DBH から直接 D. W. を推定した (図 3-2)。

アロメトリー式をもとに D. W. を求めると、 $(\text{DBH})^2 H$ 式は

$$\boxed{\text{D. W.} = a' \times (\text{DBH})^2 H^{b'}}$$

$$\text{ここで、(3) } \text{D. W.} = a' \times (\text{DBH})^2 H^{b'}$$

$$= a' \times (\text{DBH})^2 \times (a^* \times \text{DBH}^{b^*})^{b'}$$

$$= a' \times a^{*b'} \times (\text{DBH})^{2+2b^*b'}$$

$$\boxed{= a \times \text{DBH}^b} \quad (4)$$

と変換できることから (4) を用いて各種 D. W. を推定した。

$$(5) \text{モウソウチク : } \text{D. W. (stem)} = 0.168 \text{DBH}^{1.972}$$

$$(6) \text{マダケ : } \text{D. W. (stem)} = 0.104 \text{DBH}^{2.217}$$

その結果、モウソウチクは寄与率 (R^2) が 0.955、マダケでは 0.978 となり (いずれも $p < 0.001$)、高い精度で DBH から D. W. を推定できることが明らかになった。また、枝と葉の

乾物重についても DBH を用いたアロメトリー式を作成した（表 3-1）。枝をみると、モウソウチクは寄与率(R^2)が 0.356 ($p=0.002$)、マダケは 0.647 ($p<0.001$) となりアロメトリー式の当てはまりはモウソウチクで中程度、マダケでやや高くなった。葉をみると、モウソウチクは寄与率(R^2)が 0.253 ($p=0.012$)、マダケは 0.374 ($p=0.002$) となり、アロメトリー式の当てはまりは枝よりも低くなった。枝+葉をみると、モウソウチクは寄与率(R^2)が 0.403、マダケは 0.593（いずれも $p<0.001$ ）となり、アロメトリー式の当てはまりは中程度となった。

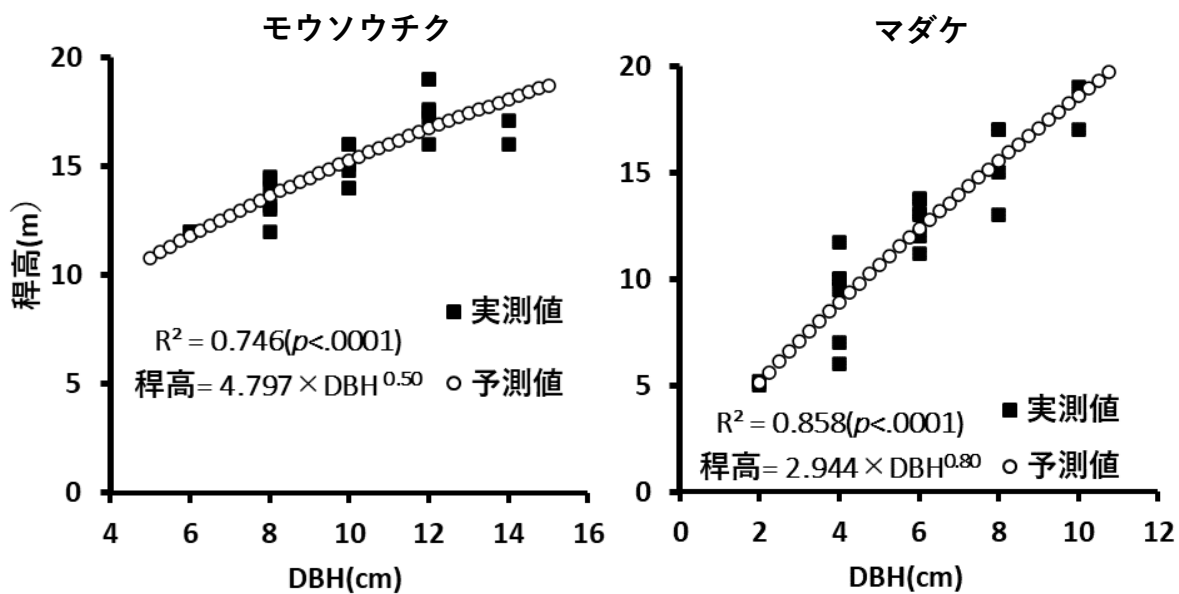


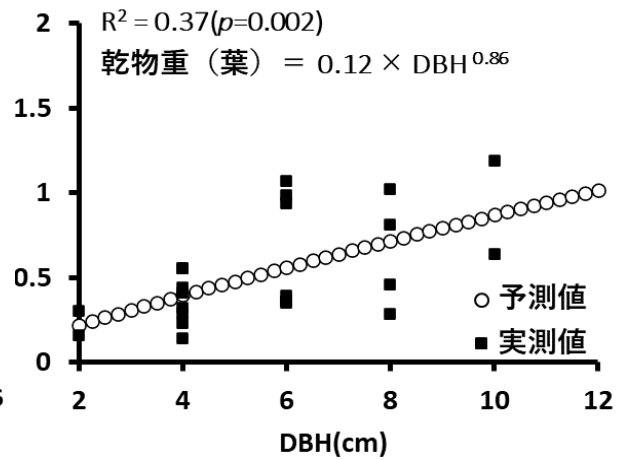
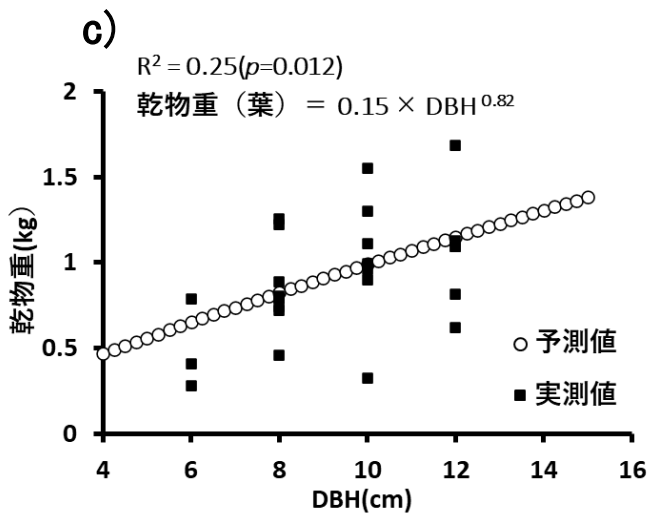
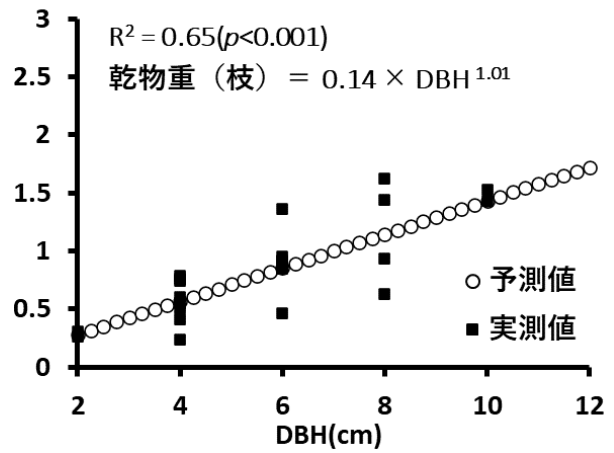
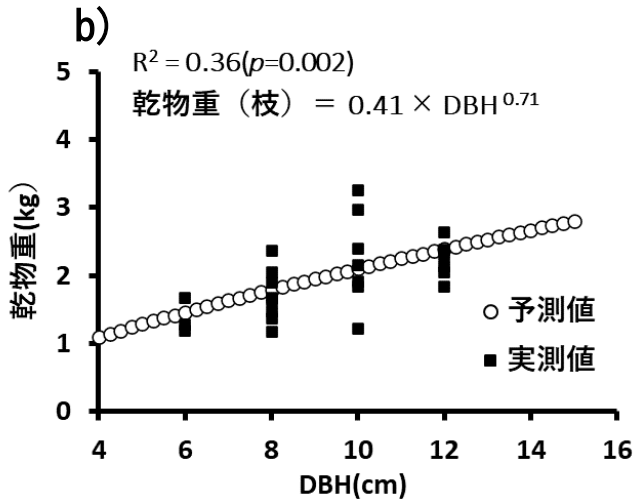
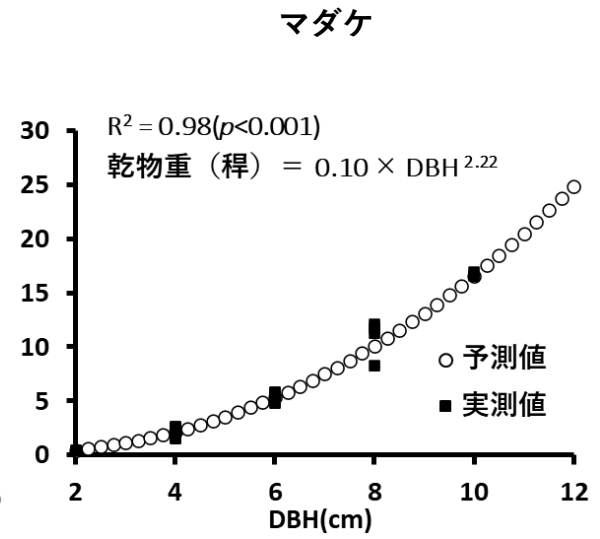
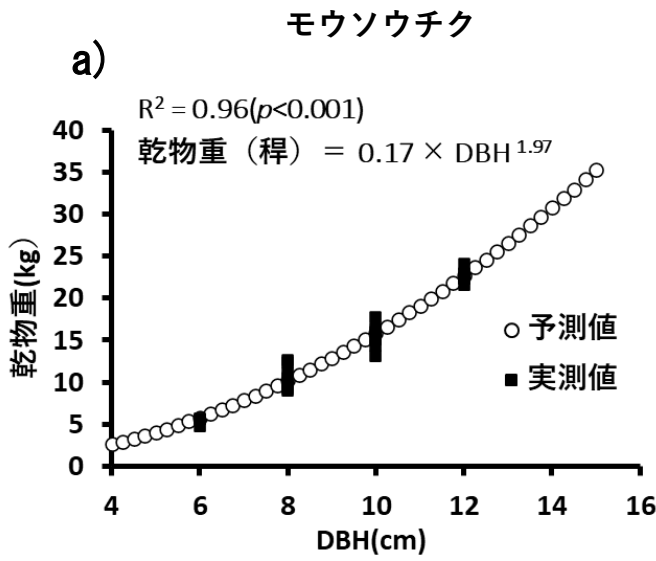
図 3-1 モウソウチクおよびマダケの稈高と DBH の関係および稈高推定のためのアロメトリー式

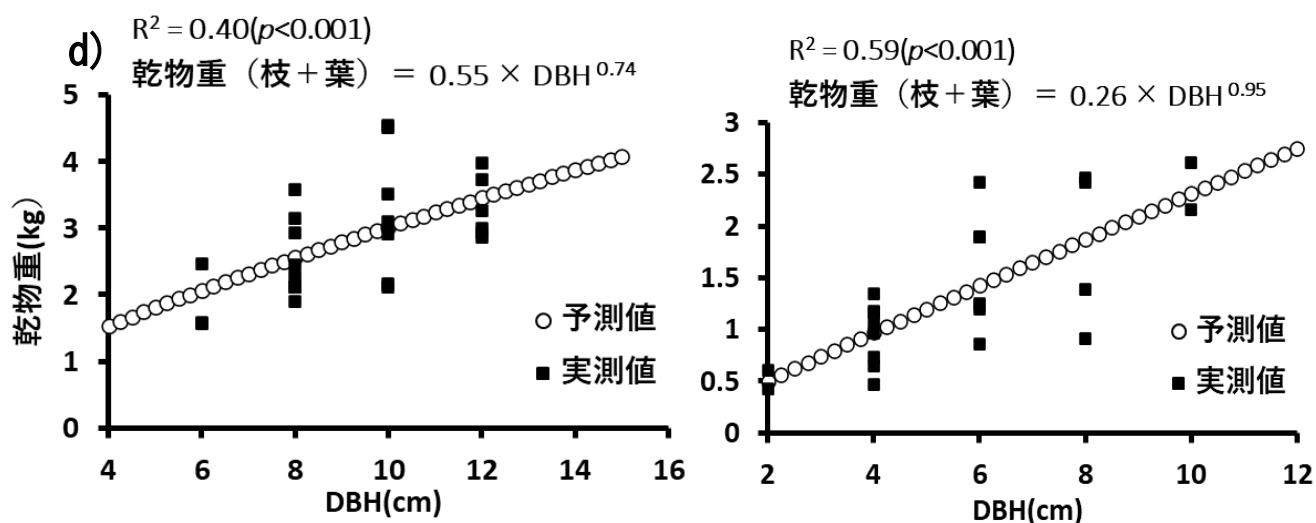
注) 予測値は DBH 階 0.25cm 刻みでアロメトリー式から推定した。

表 3-1 DBH より算出した各推定値とその寄与率

| 竹種 | 計測対象 | 目的変数 説明変数 | 係数 次数 | 推定値 | 95%信頼区間 | | 寄与率 | ρ値 | 式番号 |
|--------|----------------------------|-----------------------|----------|-------|---------|-------|-------|--------|-----|
| | | | | | 下限 | 上限 | | | |
| モウソウチク | 高さ | 高さH | 係数 a* | 4.797 | 3.508 | 6.561 | 0.746 | <.0001 | (1) |
| | | DBH | 次数 b | 0.503 | 0.366 | 0.640 | | | |
| マダケ | 高さ | 高さH | 係数 a* | 2.944 | 2.229 | 3.888 | 0.858 | <.0001 | (2) |
| | | DBH | 次数 b | 0.800 | 0.639 | 0.961 | | | |
| モウソウチク | 稈 (DBH ²) H | D. W. | 係数 a* | 0.150 | 0.094 | 0.239 | 0.961 | <.0001 | |
| | | (DBH ²) H | 次数 b | 0.886 | 0.802 | 0.970 | | | |
| モウソウチク | 稈 | D. W. | 係数 a* | 0.168 | 0.085 | 0.251 | 0.955 | <0.001 | (5) |
| | | DBH | 次数 b | 1.972 | 1.763 | 2.180 | | | |
| マダケ | 稈 (DBH ²) H | D. W. | 係数 a* | 0.082 | 0.059 | 0.112 | 0.979 | <.0001 | |
| | | (DBH ²) H | 次数 b | 0.998 | 0.924 | 1.071 | | | |
| マダケ | 稈 | D. W. | 係数 a* | 0.104 | 0.059 | 0.148 | 0.978 | <0.001 | (6) |
| | | DBH | 次数 b | 2.217 | 2.015 | 2.418 | | | |
| モウソウチク | 枝 | D. W. | 係数 a* | 0.406 | -0.052 | 0.863 | 0.356 | 0.002 | |
| | | DBH | 次数 b | 0.705 | 0.211 | 1.200 | | | |
| モウソウチク | 葉 | D. W. | 係数 a* | 0.147 | -0.100 | 0.394 | 0.253 | 0.012 | |
| | | DBH | 次数 b | 0.820 | 0.089 | 1.552 | | | |
| モウソウチク | 枝+葉 | D. W. | 係数 a* | 0.548 | -0.082 | 1.178 | 0.403 | <0.001 | |
| | | DBH | 次数 b | 0.743 | 0.240 | 1.246 | | | |
| マダケ | 枝 | D. W. | 係数 a* | 0.144 | 0.038 | 0.250 | 0.647 | <0.001 | |
| | | DBH | 次数 b | 1.009 | 0.633 | 1.384 | | | |
| マダケ | 葉 | D. W. | 係数 a* | 0.122 | -0.018 | 0.262 | 0.374 | 0.002 | |
| | | DBH | 次数 b | 0.857 | 0.261 | 1.453 | | | |
| マダケ | 枝+葉 | D. W. | 係数 a* | 0.264 | 0.048 | 0.480 | 0.593 | <0.001 | |
| | | DBH | 次数 b | 0.949 | 0.529 | 1.369 | | | |

注) 係数 a*, 次数 b はアロメトリー式に用いられる数値であり, 例えば D. W を求めるアロメトリー式に用いられる定数 a*, b は, $a=e^{a^*}$ $b=b$ となり, アロメトリー式は, $D. W = e^{a^*} (DBH)^b$ となる。





注) 予測値はDBH階0.25cm刻みでアロメトリー式から推定した。

図3-2 モウソウチクおよびマダケの各部位の乾物重とDBHの関係 (a: 稈, b: 枝, c: 葉, d: 枝+葉)

モウソウチク林 p3 の全伐による毎竹調査の結果及び作成したアロメトリー式から算出した竹資源量の推定値を表3-2に示した。プロット内の枯死竹を除く竹稈は101本確認でき、そのすべてを調査対象とした。DBHの平均は 13.8 ± 1.5 cm, 全長の平均は 16.8 ± 2.0 mであった。生重の平均は稈で 48.2 ± 12.6 kg, 枝葉で 5.4 ± 2.2 kgとなり、これらに乾燥率を乗じると稈は 30.5 ± 7.9 kg, 枝葉は 3.5 ± 1.4 kgとなった。毎竹調査で得たDBHを地上部重の推定に用いたところ、乾物重の平均は稈で 29.9 ± 6.1 kgとなり、実測値よりも0.6kg軽く、枝葉は 3.8 ± 0.3 kgとなり、実測値よりも0.3kg重くなった。プロット内の全竹の全重乾物重の実測値は3.43tで、推定値は3.41tと0.02tの誤差で地上部乾物重が推定できることが示された。

表 3-2 全伐したモウソウチクの毎竹調査と推定した竹資源量

| 調査区 | 胸高直径平均 ±標準偏差 (cm) | 全長平均 ±標準偏差 (m) | 生重平均±標準偏差 (kg) | | 乾物重平均±標準偏差 (kg) | | 全重乾物重 合計(t) |
|-----|-------------------------|----------------------|----------------|---------|-----------------|----------------|----------------|
| | | | 稈 | 枝葉 | 稈 | 枝葉 | |
| 実測値 | 13.8±1.5 | 16.8±2.0 | 48.2±12.6 | 5.4±2.2 | 30.5±7.9 | 3.5±1.4 | 3.43 |
| 推定値 | - | - | - | - | 29.9±6.1 | 3.8±0.3 | 3.41 |

実測値を得た本数は 101 本で推定値は表 3-1 よりモウソウチクの稈と枝葉のアロメトリー式から算出

3-1-3 考察

竹をバイオマス資源として継続的に利用するためには、将来的な利用可能量といった資源量の把握が不可欠である（久米村ら，2009）。地上部現存量を簡易に推定する方法は数多く示されており（村上ら，2006；奥田ら，2007；佐渡・山田，2007；阿部・柴田，2009），日本各地のモウソウチク林における地上部現存量も明らかになっている（篠原ら，2014）。

しかし、丹波篠山市のように資源利用の対象とする竹林の多くが放置されている場合は、管理竹林において作成したアロメトリー式を用いるのではなく、放置竹林で作成したアロメトリー式を用いる必要がある（後藤ら，2008）。本節では、10m×10m のプロットが確保できる放置モウソウチク林およびマダケ林のうち、調査条件に適合する竹林を 3 か所抽出して、各竹種を DBH2cm 刻みでサンプリングし、地上部乾物重の推定のためにアロメトリー式を作成し、調査竹林の地上部乾物重を推定した。

既往研究をみると、村上ら（2006）は鹿児島県の立竹密度 5,000～5,130 本/ha の放置モウソウチク林 2 林分を対象に 2 年生以上の稈を 9～10 本サンプリングし、稈高および枝下高を累乗近似で回帰して求めた回帰式に DBH を代入して地上部現存量を推定している。佐渡・山田（2007）は山口県の立竹密度 3,978～8,800 本/ha の放置モウソウチク林 3 林分を対象に 2 年生以上の稈を 10 本サンプリングし、DBH と乾燥重量の関係を累乗式に当てはめ、地上部現存量を推定している。後藤ら（2008）は岐阜県の放置モウソウチク林 12 林分（立

竹密度平均 14,500 本/ha), 放置マダケ林 21 林分 (立竹密度平均 18,419 本/ha) からモウソウチク 38 本, マダケを 40 本サンプリングし, 高さと稈の乾物重のアロメトリー式を作成し地上部現存量を推定している。阿部・柴田 (2009) は京都府と大阪府境界に位置する天王山の立竹密度 7,967~8,300 本/ha の放置モウソウチク林 3 林分を対象に 1 年生以上の稈を 7 本サンプリングし, アロメトリー式を作成し地上部現存量を推定している。以上の研究において稈の決定係数 (R^2) の数値は 0.9 を超え, 非常に高精度で推定できているが, 調査対象はモウソウチク林のみとなっている。

次節で述べるが, 丹波篠山市の放置竹林は管理放棄により, モウソウチク林は放置立竹密度が約 13,000 本/ha, 放置マダケ林では 22,500 本/ha と高密度になっている。そのため, 本節では既往研究よりも高密度化した放置竹林を対象に, DBH 階 2cm 刻みで竹稈を採取して, 解析を行った。その結果, アロメトリー式の寄与率をみると, モウソウチクで 0.955, マダケで 0.978 となり, 既往研究の精度と同程度となり高い精度で推定ができていることがわかった。

しかし, DBH からの枝および葉の乾物重の推定に関しては, モウソウチク, マダケの寄与率 (R^2) はそれぞれ, 枝 (0.356, 0.647), 葉 (0.253, 0.374) の順に低い値となり, 精度の高い推定ができるとは言えない結果となった (表 3-1)。特に葉の寄与率が低かった要因として, 葉の量は周辺の稈密度や光環境に大きく影響されるため (後藤ら, 2008), DBH からの推定では高い精度を得ることができなかつたことが考えられる。本研究では 3 箇所という限られた竹林でのサンプリングであるため, 今後はサンプル数や調査地点を増やした検証が必要である。

作成したアロメトリー式の精度を検討するために, モウソウチク林 1 箇所を対象に, プロット内の竹の全伐を行い, 毎竹調査および地上現存量を測定した。モウソウチクにおけるアロメトリー式の枝葉の寄与率は高い精度とはいえないが, 竹稈 1 本あたりの乾物重の平均値について, 実測値と推定値を比較すると, 稈の誤差は 0.6kg, 枝葉の誤差は 0.3kg であった。プロット内のすべての竹の地上部乾物重では, 実測値は 3.43t で推定値は 3.41t であ

り、その誤差は0.02tとなり、高い精度で竹資源量が推定できることが示された(表3-2)。

本章ではアロメトリー式による推定値と実測値の検証はモウソウチク林1箇所のみに残ったが、今後はマダケ林の調査も加え、アロメトリー式の妥当性の検証が必要であると考えられる。

3-2 丹波篠山市における竹林の年間拡大率および竹資源量の推定

本節では、これまで国内において行われたモウソウチク林の拡大に関する研究を取りまとめた篠原ら（2014）を参考にして、第2章および第3章第1節で明らかになった丹波篠山市内の竹林の拡大予想と地上部現存量の推定を行った。

3-2-1 調査方法

竹林面積の拡大率について、鳥居・井鷲（1997）、鈴木（2008）、篠原ら（2014）を参考に下記の式を用いて年間拡大率 AER（ha/（ha year））を算出した。

$AER = (A_{\text{after}} / A_{\text{before}})^{1/Y} A_{\text{after}}$ は解析終了年の竹林面積（ha）、 A_{before} は解析開始年の竹林面積（ha）、 Y は解析年数（year）である。本章では竹林面積が1999年と2016年の2年度間において増減が確認された竹林を対象にした。

放置竹林の単位面積当たりの地上部現存量を求めるために、前節と同様に同市内の放置竹林から抽出したモウソウチク林とマダケ林の各3か所から得たデータを用いた。

3-2-2 結果

丹波篠山市における航空写真を用いた竹林解析の結果、1999年には186.5haの竹林が、2016年には225.1haの竹林が確認できた（第2章）。これらの数値を前出のAERを求める式に代入して竹林の年間拡大率AERを算出した。その結果、同市内における竹林のAERは1.01ha/（ha year）となった。

放置モウソウチク林およびマダケ林の林分概況を表3-3に、アロメトリー式から推定した地上部乾物重を表3-3に示した。DBHから稈の乾物重を求める際には、アロメトリー式は(5)、(6)式を用いた。枝と葉についても同様のアロメトリー式を求めたが推定精度が低かったことから、その精度を高めるために、枝+葉のアロメトリー式を用い、参考値として使用した。

立竹密度は、放置モウソウチク林では10,100～15,100本/ha、平均で12,900±2,550本

/ha, 放置マダケ林では 20,000~23,700 本/ha, 平均で 22,400±2,080 本/ha であった。林分内の放置モウソウチク林 3 か所の平均 DBH は 10.79±2.62cm, 放置マダケ林 3 か所の平均 DBH は 5.80±1.15cm であった。

アロメトリー式から推定した地上部現存量(乾物重)は, 放置モウソウチク林で 239.6~341.1t/ha で, 3 竹林の平均は 276.8±55.9t/ha となった。放置マダケ林では, 114.6~206.1t/ha で, 3 竹林の平均は 173.3±51.0t/ha となった(表 3-4)。

表 3-3 放置モウソウチク林およびマダケ林の林分概況

| 番号 | 竹種 | n | 立竹密度 (本/ha) | 平均DBH± 標準偏差(cm) |
|--------|--------|-----|----------------|--------------------|
| 1 | モウソウチク | 135 | 13,500 | 9.75±1.94 |
| 2 | モウソウチク | 151 | 15,100 | 8.86±2.17 |
| 3 | モウソウチク | 101 | 10,100 | 13.8±1.80 |
| 平均値±SD | | | 12,900±2,553.4 | 10.79±2.62 |
| 1 | マダケ | 237 | 23,700 | 6.31±1.86 |
| 2 | マダケ | 235 | 23,500 | 6.60±1.30 |
| 3 | マダケ | 200 | 20,000 | 4.47±2.71 |
| 平均値±SD | | | 22,400±2,080.9 | 5.80±1.15 |

表 3-4 放置モウソウチク林およびマダケ林のアロメトリー式から推定した地上部現存量

| 番号 | 竹種 | 地上部稈現存量 | 地上部枝葉現存量 | 地上部総現存量 |
|-----|--------|---------------|--------------|-------------|
| | | 合計 [a] (t/ha) | 合計[b] (t/ha) | [a+b](t/ha) |
| 1 | モウソウチク | 209.7 | 40.0 | 249.7 |
| 2 | モウソウチク | 198.0 | 41.6 | 239.6 |
| 3 | モウソウチク | 302.3 | 38.8 | 341.1 |
| 平均値 | | 236.7±57.1 | 40.1±1.4 | 276.8±55.9 |
| 1 | マダケ | 163.4 | 35.9 | 199.3 |
| 2 | マダケ | 168.9 | 37.2 | 206.1 |
| 3 | マダケ | 92.8 | 21.8 | 114.6 |
| 平均値 | | 141.7±42.4 | 31.6±8.5 | 173.3±51.0 |

注) 地上部現存量はアロメトリー式で推定した地上部乾物重を示す。

拡大竹林のうち、2章で明らかになった丹波篠山市内のモウソウチク林は701箇所あり、踏査した竹林1,209箇所のうち58.0%を占めている。そのうち、一部管理は38.2%、放置は54.4%であり、今後管理される竹林の割合が増加する可能性は低いと考えられる。以上より、丹波篠山市内におけるモウソウチク林の割合を50～60%に想定し、放置が進むと仮定し竹林面積の変化を算出したところ、2016年には112.6～135.1haであったモウソウチク林が2025年には124.3～149.2haに拡大し、2035年には138.9～166.7haに拡大することが示された(表3-5)。

表3-5 丹波篠山市内の竹林面積の推定

| 年 | 竹林面積の推移 (ha) | モウソウチク林面積の推移 | |
|------|-----------------|--------------|-----------|
| | | 50%想定(ha) | 60%想定(ha) |
| 1999 | 186.5 | 93.3 | 111.9 |
| 2016 | 225.1 | 112.6 | 135.1 |
| 2020 | 235.3 | 117.6 | 141.2 |
| 2025 | 248.7 | 124.3 | 149.2 |
| 2030 | 262.8 | 131.4 | 157.7 |
| 2035 | 277.8 | 138.9 | 166.7 |

3-2-3 考察

竹林の資源を安定的かつ持続的に利用するためには竹林の資源供給力、つまり竹林の資源量を把握する必要がある。しかし、2000年代当初は竹林の林分構造や地上部現存量などに関する情報は少ない状況であった(村上ら, 2006)。その後、放置モウソウチク林や放置マダケ林を対象にアロメトリー式を作成した研究(後藤ら, 2008; 阿部・柴田, 2009)がみられるようになったが、まだこうした情報は少ない現状がある。一方、時代が進むにつれ、西日本を中心に竹林の拡大が問題視されるようになり、第1章で示したように、モウソウチク林の面積拡大や地上部現存量については数多くの研究が報告されるようになった。本章ではこのような研究を取りまとめた篠原ら(2014)や真鍋ら(2020)を参考にし、丹波篠山市の竹林拡大の状況把握や報告の少ない地上部現存量の推定を行い、同市域の竹資源量とその将来予測を明らかにした。

同市内で1999年と2016年の2年度にわたり存在している竹林の数は約1,400箇所であり、17年間の間に新規に発生した竹林は約600箇所となっていた(第2章)。17年間の竹林面積から年間拡大率AERを求めたところ、1.01ha/(ha year)となった。篠原ら(2014)は関東地方から九州地方の31地域のデータからAERを求めており(竹の種類は限定されていない)、その結果は、すべての地域、すべての期間の平均で1.03ha/(ha year)と報告している。真鍋ら(2020)においても同様に竹林の年間拡大率を算出しており、51の竹林のうち、年間拡大率が1.00を超えた竹林は46(90.2%)で、5竹林では竹林面積が減少していた。年間拡大率が最も高かったのは京都府田辺町の1.115(鳥居・井鷲, 1997)で、最も低かったのは京都府京都市の0.994(小林, 2010)となっている。以上の結果と丹波篠山市における竹林の拡大率は同程度であり、全国の竹林と同様の傾向を示していると考えられる。

真鍋ら(2020)は2000年以降の竹林面積を評価した研究は少なく、近年の拡大状況の包括的な評価は難しいと指摘しているが、本章では2016年の丹波篠山市の竹林拡大の状況を把握することができた。現地踏査によって同市内における竹林の58.0%はモウソウチク林であるため、現状のまま竹林の整備や適切な管理が行われなければ、竹林は表3-5のように微

増を続けていくことが予想される。

立竹密度をみると、丹波篠山市の放置モウソウチク林 3 箇所の平均は、 $12,900 \pm 2,553$ 本/ha、マダケ林 3 箇所では $22,400 \pm 2,080$ 本/ha であった(表 3-4)。通常、稈密度は管理放棄されたモウソウチク林で、枯死竹を含めると、 $10,000 \sim 12,000$ 本/ha、マダケ林では $10,000 \sim 20,000$ 本/ha になるとされる(林野庁, 2018)。報告事例の多いモウソウチク林の立竹密度をみると、鹿児島県で $5,000 \sim 5,130$ 本/ha(村上ら, 2006)、同じく鹿児島で $5,230 \sim 6,130$ 本/ha(久米村ら, 2009)、山口県で $3,978 \sim 8,800$ 本/ha(佐渡・山田, 2007)となっており、都道府県別にみた竹林面積で 1 位の鹿児島県、4 位の山口県よりも同市の立竹密度は高くなっている。同市に立地や気候が近い京都府においても $4,803 \sim 8,800$ 本/ha(渡邊, 1985)となっている。先行研究におけるモウソウチク林の立竹密度を集約した篠原ら(2014)をみても、立竹密度は $3,978 \sim 8,800$ 本/ha とその幅は広いが、 $9,000$ 本/ha を越える地域は見当たらなかった。本章の調査対象竹林の調査では枯死竹を含めていないが、他地域と比較し、同市の竹林の高密度化が進行していることが示された。

放置モウソウチク林の稈密度は約 $8,000$ 本/ha 程度で一定に推移することが報告されている(阿部・柴田, 2009)。放置マダケ林の稈密度についての報告は見られないため、一概に論じることはできないが、丹波篠山市の放置竹林は竹種を問わず、稈密度が高くなる傾向がみられた。通常、竹林が長期間放置されると、枯死稈密度が高まり、生存している稈の密度は低下すると考えられるが、丹波篠山市の場合は逆に稈密度が高かった。村上ら(2006)や久米村ら(2009)が対象としたモウソウチク林はおおむね 10~20 年の放置が確認されている竹林である。本章では、対象となる竹林は 5 年以上の放置竹林としたため、枯死稈はそれほど多くなく、生存している竹が多くなったことから稈密度が高まったと考えられた。また、本章では枯死稈の本数や密度は調査しなかったが、少なくとも竹林内の毎竹調査に支障をきたすような状態ではなかった。そのため、放置後の年数がそれほど経過していないことが予想される。この点についても、今後は放置後の経過年数と枯死稈の関係を明らかにする必要がある。また、同市の竹林の高い密度は平均 DBH が小さいことに起因している可能性も

考えられる。

稈密度と同様に、地上部現存量についてみると、日本各地のモウソウチク林における地上部現存量の報告（篠原ら，2014）では、地上部現存量の平均は 144.2t/ha となっており、40 箇所以上のモウソウチク林の地上部現存量を調査した報告（奥田ら，2007）は 150～200t/ha となっている。また、後藤ら（2008）はマダケ主体の竹林における地上部現存量の上限は 150.0t/ha と推測している。一方、本章で明らかになった地上部現存量は放置モウソウチク林で 276.8t/ha，放置マダケ林で 173.3t/ha と既往研究よりも約 1.2～1.8 倍程度多くなった。このことから、丹波篠山市の放置竹林の稈密度は他の地域よりも高い傾向があり、そのことが地上部現存量が多くなる要因になっていると考えられる。

立竹密度が高くなると、枯死竹の除去や竹林内の作業経路の確保等、その後の整備作業に労力と時間がかかることが予想される。そのため、竹林の稈密度が高くなる前に、適切な管理を行い、継続的に資源管理ができる竹林に整備していくことが重要である。

3-3 結論

本章では、丹波篠山市内の放置モウソウチク林及び放置マダケ林を対象に、地上部現存量推定のためのアロメトリー式を作成した。DBH から高さを推定するアロメトリー式の寄与率 (R^2) はモウソウチクで 0.746，マダケで 0.858 と高い推定精度となった。DBH から直接、稈の乾物重を推定するアロメトリー式の寄与率 (R^2) はモウソウチクで 0.995，マダケで 0.978 となり高い推定精度となった。一方、枝葉の寄与率は中程度となり、推定精度は稈よりも低くなった。これらのアロメトリー式を用いて、同市内の竹林の地上部現存量を求めた。立竹密度は、放置モウソウチク林で 12,900±2,553 本/ha，放置マダケ林で 22,400±2,080 本/ha となり、他の地域よりも高密度化していた。そのため、地上部現存量も放置モウソウチク林で 276.8t/ha，放置マダケ林で 173.3t/ha と既往研究よりも約 1.2～1.8 倍程度多くなった。これらの結果から、丹波篠山市内の竹林は放置後の年数が短い可能性が考えられた。

引用文献

- 阿部佑平・柴田昌三(2009) 天王山における放置モウソウチク林の林分構造と整理伐後3年間の動態. 日本緑化工学会誌. 35(1) : 57-62.
- 後藤誠二郎・巳 嘎那・河合洋人・張 福平・渡辺 修・西條 好迪・秋山 侃(2008) アロメトリー式から求めた地上部現存量と林分構成による放棄竹林の構造解析. システム農学 24(4) : 223-232.
- 片野田逸朗(2003) 蒲生町西浦地域における竹林拡大の実態. 九州森林研究 56 : 82-87.
- 菊川裕幸(2021) 兵庫県丹波篠山市における竹林の拡大とモウソウチクの地上部現存量調査. 共生のひろば 16 : 62-65.
- 北里春香・井上昭夫(2013) モウソウチクにおける竹稈および竹林レベルでの利用率の決定. 日本森林学会誌 95(1) : 1-7.
- Kleinn C. and D. Morales H. (2006) An inventory of Guadua (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia. European Journal of Forest Research volume 125 : 361-368.
- 小林勇介(2010) GISを用いた竹林の分布変化の研究-京都府西南部における事例-. 地理学論集 85: 42-50.
- 久米村明・寺岡行雄・竹内郁雄(2009) 放置モウソウチク林の林分構造と地上部現存量. 鹿児島大学農学部演習林研究報告 36 : 1-8.
- 真鍋 徹・柴田昌三・長谷川逸人・伊東啓太郎(2020) 竹林の拡大に関する景観生態学的研究-竹林の持続可能な利用に向けて-. 景観生態学 25(2) : 119-135.
- 村上桂太・竹内郁雄・寺岡行雄(2006) 鹿児島県におけるモウソウチク林の地上部現存量. 九州森林研究 59 : 121-124.
- 奥田史郎・鳥居厚志・伊藤武治・上村巧・佐々木達也・伊藤崇之・木村光男・豊田信行・佐渡靖紀・山田隆信・山田倫章・伊藤孝美・竹内郁雄(2006) タケの地上部現存量を簡易に推定する. 森林総合研究所研究成果選集 : 42-43.

- 林野庁(2018)竹の利活用推進に向けて. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/ta-ke-riyou/attach/pdf/index-3.pdf> (参照:2020年9月16日).
- 佐渡靖紀・山田隆信 (2007) 山口県におけるモウソウチク林の地上部現存量. 日本森林学会大会要旨集 118: 11.
- 柴田昌三(2010) 広がるタケの生態特性とその有効利用への道 竹資源の新たな有効利用のための竹林施業. 森林科学. 58: 15-19
- 篠原慶規・久米朋宣・市橋隆自・小松 光・大槻恭一 (2014) モウソウチク林の拡大が林地の公益的機能に与える影響 - 総合的理解に向けて -. 日本森林学会誌 96(6): 351-361.
- 鈴木素之・長谷川秀人・六信久美子・山本哲朗 (2006) 山口県における竹林の拡大とその生態. 土木学会論文集 G62(4): 445-451.
- 鈴木重雄 (2008) 筍生産地域における竹林の分布拡大過程 : 千葉県大多喜町の事例. 植生学会誌 25(1): 13-23.
- 鳥居厚志・井鷲裕司(1997) 京都府南部地域における竹林の分布拡大. 日本生態学会誌 47(1): 31-41.
- 内村悦三 (2004) 竹の魅力と活用. 創森社.
- 渡辺政俊 (1985) 竹林の生態的特徴に関する研究 (II) 放任モウソウチク林の林分構造. Bamboo Journal 3: 7-17.

第4章 竹資源の農産物への利用の検討

本章では、丹波篠山市で適用できる可能性の高い、竹資源の農業利用に関する調査研究の結果について考察する。

放置竹林は強い繁殖力で拡大を続け、山林を覆いつくす、農地に侵入するといった様々な悪影響を及ぼしている。竹林はかつて竹材としての利用、筍採取など地域の人々によって利用されてきたが、その利用が減り、管理を失った竹林が増加している。そのため、竹林の再整備が必要であるが、それは竹林資源の利用と一体となっていくべきである(内村, 2005)。

山川ら(2009a)は竹林を伐採する活動は盛んであるが、間伐材の伐採後の利用が少なく、その処理法が問題となり生態系を健全に回復するための方向性が明確となっていないことを指摘している。一方で、近年、伐採した竹を竹専用の破砕機によってチップ化する機械が開発され、竹チップ(竹破砕物、竹粉)の農業分野での利用が広まりをみせている。

竹チップの農業利用のうち、作物生産についてみると、ダイズやイネ栽培における利用が確認できる。山川ら(2009a)はダイズ品種(フクユタカ)のポット栽培において、マルチング資材として竹チップを利用し、総莢数や稔実莢数が有意に増加し、増収効果を与えるものの、竹チップに含まれるカリウムの量は標準的に施用される2割程度であることを明らかにしている。中川ら(2009)は山川ら(2009a)の結果を踏まえ、同品種の圃場栽培において竹チップの表面施用を行い、中耕培土を行う栽培方法で竹チップを表面施用するとやや減収となるが、無中耕無培土栽培における竹チップの表面施用は増収効果をもたらすことを明らかにしている。また、山川ら(2009b)はダイズの収量に加えて、肥料の三要素の集積に及ぼす効果を検証し、竹チップの表面施用では子実収量が増加するが、混合施用は施肥した窒素の吸収が阻害され、子実収量が低下したことを明らかにしている。水稻栽培への利用例としては、矢内ら(2016)が竹チップ及び竹炭を水稻育苗培土として用い、育苗の培養用土の重量の軽減と、水稻幼苗や水稻の生育、収量には悪影響がなかったことを報告している。

竹チップのマルチング資材としての利用をみると、水分環境の改善や雑草抑制のための

使用例が確認できた。水分環境の改善について、保水の効果をみると、丸居・牧嶋（2010）は竹チップ（高圧で竹をすりつぶした破砕物）をポット栽培のサイズに厚さ 2cm, 4cm で施用し、約 20%の節水効果が認められ、竹チップには一定の保水能力があることを明らかにしている。また、福田ら（2013）は鉢植えブドウに竹チップマルチを表面施用し、土壌水分の損失が小さく、土壌水分含量が安定することから、果実品質の向上に寄与できる可能性を示している。雑草抑制効果をみると、鈴木ら（2007）は木材チップと竹チップを用いて雑草の植被率を測定し、雑草の抑制効果はスギやヒノキのチップと比べ、竹チップの効果が遜色ないことを明らかにしている。八木ら（2016a）は生の竹チップおよび竹堆肥を土壌表面に 2～3cm 被覆することで、竹資材から溶出した養分がトマトの尻腐れ果率の低下に寄与し、増収が期待できること、同様の方法で竹チップおよび竹堆肥を土壌表面に被覆すると、1 か月半程度、雑草生育の抑制効果があることを報告している（八木ら、2016b）。

竹チップもしくは竹資材の花き栽培への利用例をみると、栽培培地として使用されていることが確認できた。磯部・内山（2000）は竹チップを攪拌、加熱によって急速発酵させた竹堆肥をナデシコ栽培培地に使用し、その混合率の高低を問わず生育が良好であったと報告している。新居ら（2002）は竹炭をシンビジウム切り花栽培に用いる発酵バークに混合し、採花本数に差がないことから、発酵バークの増量資材として利用が可能であることを報告している。Fudano et al.（2016）は竹チップを花きの鉢物栽培培地として利用できるかを検証し、標準施肥量の 2 倍量を施与することで通常の培養土と同様の生育になることを明らかにしている。

また、竹チップを家畜排せつ物と混和して堆肥化した例も数多く確認できた。坂井ら（2005）は竹チップを戻し堆肥（畜産農家等で生産された堆肥を水分の低い状態にし、敷料や副資材として利用する堆肥）の代替資材としての利用可能性を探るために、乳牛ふんの堆肥化に竹チップを副資材として混和し、堆肥化の際の温度上昇効果が高いことを報告している。竹下・小山（2014）も同様に乳牛ふん堆肥化の副資材として竹チップを使用し、従来のおがくずから竹チップに 100%代替できる可能性を示している。中村ら（2016）において

も、堆肥化副資材としての竹チップの利用は、おがくずよりも易分解性有機物の含量が多く、堆肥の温度上昇効果があることを報告している。

以上のように、竹資源は幅広く農産物に利用できることが報告されてきた。そこで本章では、竹チップや竹粉の農業利用の可能性をさらに検討するため、①ダイズとハウレンソウ栽培への効果、②水稲栽培への効果、③乾燥汚泥との混和の可能性及び混和物のダイズ栽培への効果について検討することとした。

4-1 竹チップのマルチングがダイズ品種(丹波黒大豆)とハウレンソウの栽培における

雑草の防除と生育に及ぼす影響

4-1-1 研究の目的

近年、筍の生産や消費の減少、竹細工等民芸品の消費低迷、竹林所有者の高齢化などにより、竹林の里山的利用価値が失われ、管理されずに放置された竹林が増加している。竹林の拡大は 1990 年代から指摘され始め(鳥居・井鷲, 1997)、放置された竹林は里山の景観を損ねるだけでなく、生物多様性の低下(宮崎ら, 2009)、土砂災害の危険性(日浦ら, 2004)等の悪影響を及ぼすことが指摘されている。近年では、竹林や森林の再生のための活動が盛んに行われているが、間伐材の伐採後の有効な利用方法が見出されないために、その処理法が問題となり、生態系を健全に回復するための方向性が明確となっていない(山川ら, 2009a ; 山川ら, 2009b)。

一方、近年では伐採した竹を破砕して直径 5mm 以下のチップに加工することができる粉砕機が開発され、普及し始めている。竹材を粉砕機で処理することで大幅な減容化(体積の 1/20)が可能となり、破砕した竹(以下、竹チップ)の利用が農業の分野で試みられるようになってきている。

竹チップの農業利用については、本章冒頭で述べたように、ダイズ栽培への竹チップの利用例(山川ら, 2009a ; 山川ら, 2009b ; 中川ら, 2009)があり、ダイズ植物体の乾物重および子実重、総莢数、稔実莢数が有意に高く、竹粉のマルチングによって増収効果があるなど、一定の効果を見出している。鈴木ら(2007)は木材チップと竹チップの敷設が雑草類の現存量と植被率に与える影響について、樹種(スギ・ヒノキ・広葉樹・竹)とチップ厚(0cm・5cm・10cm・20cm)を変えて行い、樹種にかかわらずチップ厚 20cm で雑草類の発生をほぼ抑制できるという結果を報告している。加えて、八木ら(2016a, 2016b)は生の竹チップおよび竹堆肥を土壌表面に 2~3cm 被覆することで 1 か月半程度、雑草生育の抑制効果があることを報告している。

このように、ダイズ栽培および栽培地における雑草発生抑制効果についてはいくつかの

先行研究が認められるが、ダイズ栽培に関しては丹波黒大豆 (*Glycine max*) のような栽培期間が約 6 か月と長期になる作物や、その逆に栽培期間が短期の葉物野菜等への竹チップのマルチング効果の報告は見当たらない。研究によっては竹チップの原料である竹稈の年数が不明である、破碎の処理に植織機という特殊な機械が用いられているなど実用化に向けた検証は十分にできていないと考えられる。また、雑草発生抑制効果に関しては、発生した雑草の乾物重や本数の調査が行われていない研究もあり、竹チップ厚も 5cm, 10cm, 20cm と幅がありその検証も十分ではない。

そこで本研究では、2~3 年生のモウソウチク (*P. pubescens* Mazelex Houzeau) 稈を竹破砕機によってチップ化し、マルチングに使用した際に、栽培期間が 5 か月と長いダイズ品種 (丹波黒大豆) の生育や収量にどのような影響を与えるのかを明らかにすることを目的としてダイズの圃場試験を行った。また、竹チップマルチングに雑草発生抑制効果があるのか、ほかの資材と効果の差があるのかを明らかにすることを目的として、ホウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.) 圃場におけるマルチング後の雑草発生数ならびに乾物重、ホウレンソウの生育状態を調査した。

4-1-2 調査方法

供試した竹チップ

試験に供試した竹チップは、篠山市内の放置竹林から伐採した 2~3 年生のモウソウチク (全竹) を竹粉砕機 (KIORITZ 製, KCM123S) を用いて径 5mm 以下に粉砕したものを使用した。粉砕したチップはフレコンバッグに詰め、直射日光および雨の当たらない屋根のある場所で約 1 か月保管したのち供試した。

通常、持続的な竹林生産のためには間伐施業を行う必要があり、その伐採方法は毎年伐採法、隔年伐採法、3~4 年ごとの伐採法があるが、モウソウチクのような太い竹は毎年伐採することが望ましいとされる (内村, 2005)。また、伐採年齢は材としての利用価値や地下茎への養分貯蔵など竹を育成する観点から 3 年生以上が伐採に適した竹齢とされている (内

村, 2005)。こうした背景から先行研究では3~5年生稈の利用が多く, 2~3年生稈の利用例は少ない。しかし, 2章で述べたように丹波篠山市内には新規発生した竹林も多く, 現地踏査の結果, 比較的若い稈を数多くの竹林で確認することができた。今後, 竹林整備や継続的な竹林管理が始まれば, 3~5年生稈だけでなく, 2~3年生稈も利用の対象となり得る。そこで本章では2~3年生稈を伐採対象とし, 竹破砕機によってチップ化し, 実証を行った。

加えて, 竹チップのマルチングの厚みに関しては, 先行研究では最低でも約3~5cmで行われている。先行研究では約3cmのマルチングで3.3kg/m²の重量になることがわかっている。そのため鈴木ら(2007)のように5cmのマルチングで検証すると, 1m²あたりの必要量は5kgを越え, 作業には多くの労力や時間が必要にある。これらを踏まえ, 本節では厚みが3cm以下でも防草効果が期待できるかどうかの検討を行うこととした。また, 竹チップと比較するためにもみ殻, わらもマルチング資材として使用した。

調査内容

①竹チップマルチングによるダイズ品種(丹波黒大豆)の栽培試験

試験区として, 畝幅1.2m, 長さ25mの畝に, 表面に竹チップをマルチングせずに慣行栽培を行った対照区, 竹チップを2cmの厚みでマルチングした竹チップ区の計2区を設けた。種子はJA丹波ささやまから調達し, 2014年6月10日に200穴セルトレイに播種し, 発芽器にて25℃, 72時間の加温を行った。その後, 3~4日間自然条件下で管理し, 主茎長約15~20cm, 葉齢3~3.5程度になった丹波黒大豆の苗を株間40cm, 1株1本植として, 栽植密度を1m²あたり約2.5株となるように上記の試験区に定植した。試験は兵庫県立篠山東雲高等学校圃場で, 自然条件下でセルトレイから移植した2014年6月17日から収穫を行った2014年11月下旬に行った。

生育および収量の調査は, 収穫時に生育中庸であった10株を地際から刈取り, 室内で2週間通風乾燥させてから行った。最初に株ごとに地上部乾物重, 主茎長, 主茎節数, 収量構成要素(百粒重, 着莢数), 子実の規格別割合を計測した(兵庫県立農林水産技術総合セン

ター（2011）を参照）。主茎長は一番長い茎を主茎とし、地際から茎の最上部までの長さを計測した。主茎節数は子葉節を第1節とした主茎の最上部までの節数とし、百粒重については無作為に整粒100粒の重さを測定し、2回測定の平均とした。また、子実の規格別割合はふるいを用いて、a) 10mm以上～11mm未満を2L, b) 9.1mm以上～10mm未満をL, c) 8.1mm以上～9.1mm未満をM, d) 8mm未満をS, e) 割れやS未満を外品とした。収量構成要素ならびに子実の規格別割合の測定に関しては、株あたりの全ての子実を対象とした。

収量構成要素および子実の規格別割合について、対照区と竹チップ区の両試験区間の差を求めるために対応のあるt検定を行った。これらの統計処理にはソフトウェア エクセル 統計 for Windows (BellCurve 社製, 2016年版) を用いた。

②竹チップマルチングによるハウレンソウの生育調査と雑草発生抑制効果に関する調査

試験区として、畝幅1m、長さ5mの畝を事前に耕うん、除草した。竹チップをマルチングしない対照区、竹チップを厚さ1cmマルチングした1cm区、2cmマルチングした2cm区の計3区を設け、各処理区を2セット設けた(図4-1)。各処理区の面積は5㎡とした。竹チップのマルチングが植物の生育に与える影響を検討するために、上記の試験区に竹チップマルチングを行う前に、JA丹波ささやまから調達したハウレンソウの種子を株間10cm、条間20cmの3条で播種した。

ハウレンソウの栽培は全ての試験区において無施肥で行った。試験は兵庫県立篠山東雲高等学校圃場で、自然条件下でマルチング・播種を実施した2014年9月30日から収穫を行った11月10日まで行った。収穫後はハウレンソウを抜去した同一の圃場を2015年4月2日まで維持し、雑草の抜き取り調査を行った。試験期間は、丹波篠山市内ではおおよそ9月から3月にかけて軟弱野菜が栽培されていることから、実用化も視野に入れ上記のように設定した。

調査最終日のハウレンソウの生育調査については、生育中庸な5株について、地際から最も長い葉の先端までの高さ(以下、草丈)を計測した。

雑草発生数は、試験区内の生育が中庸な場所を選び、1坪(1m×3.3m = 3.3㎡)当たり

の雑草本数（イネ科雑草のように分けつしていた場合も1本としてカウントした）を毎日午後4時ごろにカウントした。長期的な雑草の生育抑制効果をみるために半年後の雑草本数についても同様に1坪当たりの雑草数をカウントした（データは m^2 あたりに換算した）。その後、ハウレンソウを根ごと採取し付着した土を洗い流した後に、室内で数日間通風乾燥し乾物重を測定した。



図4-1 ホウレンソウの生育調査における竹チップマルチングの様子（a: 竹チップマルチング施用の様子，b: 試験区全体の概要）

③他の農業資材によるマルチングによる雑草発生抑制効果に関する調査

竹チップ以外の資材として、もみ殻、わらによる雑草発生抑制を検証するために、試験区として、畝幅1m、長さ1mの合計 1 m^2 の畝に何もマルチングしない対照区、竹チップをマルチングした竹チップ区、もみ殻をマルチングしたもみ殻区、わらを敷き詰めたわら区の計4区を設けた。対照区以外の全ての試験区において1cm～2cm程度、土壌表面が隠れる程度に被覆した。試験は兵庫県立篠山東雲高等学校圃場で、自然条件下でマルチングを実施した2014年10月2日から10月31日に行い、試験区 1 m^2 全体を対象にし、発生した雑草数を②と同様の方法で測定した。

4-1-3 結果

①竹チップマルチングによるダイズ品種（丹波黒大豆）の栽培試験

ダイズ品種（丹波黒大豆）の栽培に竹チップをマルチングした区と対照区について、収量を調査した結果を表 4-1 に示した。対照区に比べ、竹チップマルチング区の地上部乾物重、主茎長、着莢数、百粒重が有意に増加した（t 検定、 $p < 0.05$ ）。

試験に供試した丹波黒から収穫された子実を粒径ごとに選別した結果を図 4-2 に示した。対照区に対して竹チップをマルチングした区では、外品（クズ豆、S サイズ以下）の割合が有意に増加し、有意差はみられなかったが M、L の割合が低下した。一方で、農家にとって最も買い取り価格が高い 2L の割合が竹チップ区で有意に増加し、75.4%となった。

表 4-1 ダイズ品種（丹波黒大豆）収穫期における各処理区の乾物の収量

| 調査区 | 地上部 乾物重(g) | 主茎長 (cm) | 節数 | 着莢数 (株あたり) | 百粒重 (g) |
|-------|---------------|-------------|---------------|---------------|------------|
| 対照区 | 273.3±52.7* | 71.8±5.7* | 10.6±1.2 n.s. | 166.3±28.8* | 78.1±4.0* |
| 竹チップ区 | 385.2±123.9* | 76.6±2.8* | 10.5±1.5 n.s. | 215.3±57.7* | 85.6±5.1* |

全てのデータは 10 株の平均値±標準偏差を示す。

*は 5%水準で有意。n. s. は有意差なし。n=10

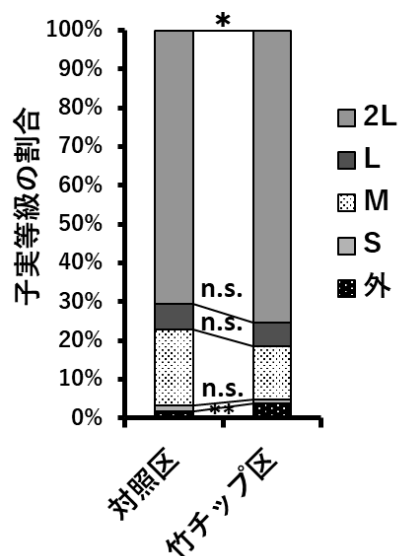


図 4-2 ダイズ品種（丹波黒大豆）の子実の規格別割合（10 株の平均値）

②-1 竹チップマルチングがハウレンソウの生育に与える影響

マルチング試験で使用した試験区に播種したハウレンソウの生育の推移を図 4-3 に示した。ハウレンソウは播種後 10 日前後で発芽が認められたが、草丈が短く調査が困難であったため、播種後 22 日目より調査を開始し、44 日目まで草丈を測定した。示した数値は生育中庸な 5 株の平均値である。最終的には対照区 6.6 cm, 竹チップ厚 1cm 区 9.0cm, 竹チップ厚 2cm 区 4.6cm となり、竹チップの 1cm 以上のマルチングは、ハウレンソウの生育をおさえることが示された。

②-2 竹チップの厚みを変えたマルチングによる雑草発生抑制効果

竹チップの厚みを変えてマルチングした試験の雑草発生数の推移を図 4-4 に示した。試験開始後、約 1 週間で全ての試験区において雑草の発生が見られた。その後対照区では急激に雑草の発生本数が増加していき、試験開始 17 日後の雑草本数は 447 本/m²となった。これに対し、竹チップ厚 1cm 区では 216 本/m², 竹チップ厚 2cm 区では 79 本/m²となった。半年後の雑草発生数と乾物重を表 4-2 に示した。1 m²あたりの雑草発生数は、竹チップ厚 1cm 区, 対照区, 竹チップ厚 2cm 区の順に低くなったが、乾物重は対照区 2,950g に対して竹チップ厚 1cm 区 1,000g, 竹チップ厚 2cm 区 300g であり、竹チップを 2cm マルチングしたことによる雑草発生抑制効果が最も高いことが示された。また、雑草 1 本あたりの乾物重は対照区で 6.36g, 竹チップ厚 1cm 区で 1.85g, 竹チップ厚 2cm 区で 1.00g と竹チップの厚みが増すごとに減少する傾向がみられた。発生した雑草はオオイヌノフグリ, スズメノカタビラ, ハコベといった畑地雑草で、試験区による種の違いはなかった。

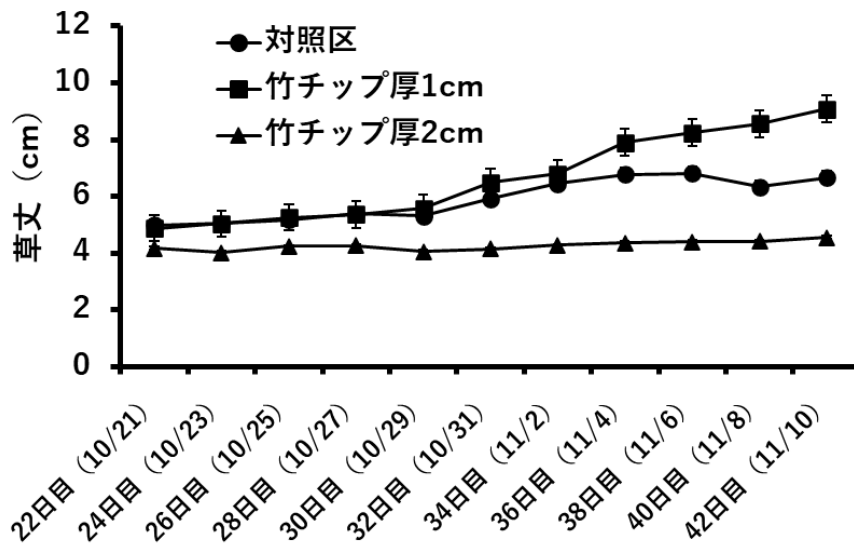


図 4-3 ホウレンソウの生育の推移

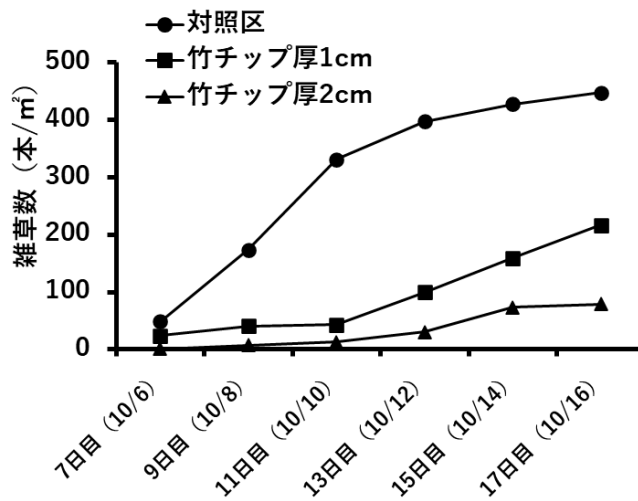


図 4-4 竹チップマルチングの厚みによるホウレンソウ栽培における雑草発生本数の推移

表 4-2 竹チップマルチングによる半年後のホウレンソウ栽培における雑草発生抑制効果

(1 m²あたり)

| 調査区 | 雑草数 (本/m ²) | 乾物重 (g/m ²) |
|-----------|----------------------------|----------------------------|
| 対照区 | 464 | 2,950 |
| 竹チップ厚1cm区 | 540 | 1,000 |
| 竹チップ厚2cm区 | 300 | 300 |

③他の資材のマルチングによる雑草発生抑制効果

調査は各試験区 1 区のみで行った。全ての試験区において 1 m²あたりの雑草本数をカウントし、根ごと抜き取り余分な土を落とした後に生重を測定した。

3 種類の資材によるマルチングについて、調査した雑草発生本数の 28 日間の推移を図 4-5 に示した。対照区では 28 日間で 481 本/m²の雑草が発生したのに対し、マルチングを行った他の 3 区においては、雑草の発生が抑制された。最終的な雑草発生本数は竹チップ区で 111 本/m²、もみ殻区で 165 本/m²、わら区で 196 本/m²となった。発生した雑草の生重は、竹チップ区 70g、もみ殻区 190g、わら区 220g、対照区 570g (表 4-3) となり、竹チップマルチングによる雑草発生抑制効果は前節の竹チップ厚 1cm と同様の結果を示した。

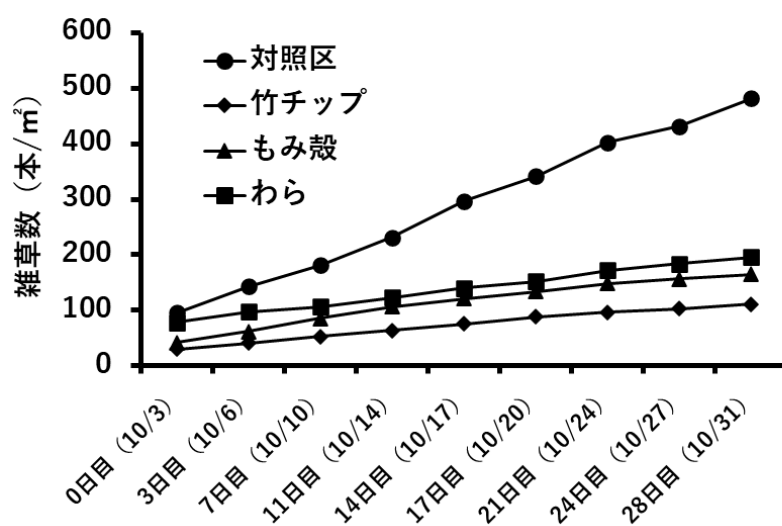


図 4-5 マルチング資材の違いによる雑草発生数の推移

表 4-3 マルチング資材の違いによる雑草発生数と生重 (1 m²あたり)

| 調査区 | 雑草数 (本/m ²) | 生重 (g/m ²) |
|-------|----------------------------|---------------------------|
| 対照区 | 481 | 570 |
| 竹チップ区 | 111 | 70 |
| もみ殻区 | 165 | 190 |
| わら区 | 196 | 220 |

注) 調査区は 1m×1m の 1 m²とし、反復はなし

4-1-4 考察

ダイズ品種（丹波黒大豆）栽培における竹チップマルチングの結果は、マルチングをしない対照区と比べ、地上部の生育を促し乾物重や着莢数、百粒重を有意に増加させた。竹破砕物の表面施用は主茎長の増加や粒重を増加させること（山川ら，2009a；山川ら，2009b）が認められており、本研究でも同様の結果となった。

竹材にはカリウムが十分に存在することで根粒の形成や成長が促進されること（村本ら，1992；亀和田・柴田，1997）が知られており、本研究ではそのことが乾物生産や子実生産の増加につながったと推察される。一方で、竹チップマルチングを行っていない対照区では、雑草が繁茂し、栄養分の競合や日照不足により大豆の生育を阻害した結果、乾物重や着莢数、百粒重が減少したと考えられる。これらのことにより、生育期間が長いダイズ品種（丹波黒大豆）の栽培においては竹チップマルチングが有効であることが明らかとなった。しかし、丹波黒大豆のように生育期間が約6カ月と長い場合は、追肥を行う必要がある。そのため、今後は不足する施肥量を明確にし、施肥設計を行う必要がある。

竹チップマルチングによるハウレンソウの生育への影響を調査した結果、対照区と比べ竹チップ厚1cm区でハウレンソウの生育が促進されることが示された。これは、竹に含まれる窒素(N)、リン酸(P_2O_5)、カリウム(K_2O)などの栄養素（山川ら，2009a；山川ら，2009b）が影響を与えていることによると考えられる。一方、対照区と竹チップ厚2cm区ではハウレンソウの生育が阻害された。対照区でハウレンソウの生育が阻害された要因は雑草の繁茂による栄養分の競合が起こったと推測された。八木ら（2016a）は、竹チップと竹堆肥を用いて雑草抑制効果を検証したが、その効果は資材の性質よりも被覆の厚さに起因すると報告している。すなわち、被覆が厚いほど遮光効果によって雑草の発生本数を抑制することにつながる。以上のことから、竹チップ厚2cm区ではハウレンソウも雑草と同様に生育が抑制されたことが考えられる。そのため、ハウレンソウのような軟弱野菜の場合は、竹チップの厚みを1cm程度とし、植物の生育に伴って、竹チップを追加でマルチングすることが有効であると考えられる。

竹チップマルチングによる雑草発生抑制に関しては、竹チップを 1cm 以上の厚みで施用することで、初期の雑草発生を抑制しその後の生育も遅らせることが示された。また、竹チップの厚みが増すと雑草 1 本あたりの乾物重が低下したことから、雑草の生育を阻害し、軟弱化させている可能性も示された。スギやヒノキ、竹をチップ化し敷設することによる雑草の発生抑制効果を検証した研究（鈴木ら、2007）では、敷設の厚み 20cm でほぼ植生の発生を抑制できるという報告されているが、本研究では竹チップマルチングの厚みが 2cm でも、植生の発生を抑制できることが明らかとなった。ただし、試験期間が 10 月から 3 月と気温が低い時期であったため、今後は気温が高く雑草の発生が増加する春季から夏季に試験を行い、雑草発生抑制効果を確認する必要がある。

竹チップに加え、それ以外の資材を利用したマルチングによる雑草発生抑制に関しては、竹チップ、もみ殻、わら、対照区の順に効果が認められた。資材の大きさが竹チップは 5mm 以下、もみ殻では 5mm 以上、わらでは 1 本が 1m 以上であり、土壌を覆うように均一にマルチングをしても、資材によってはすきがまが生じ、遮光程度に差が出たことが雑草発生抑制効果の差につながったと考えられる。

4-1-5 結論

放置竹林の整備によって間伐した竹は大量に発生するが、竹破碎機によって減容化してもその利用法を確立することは重要な課題である。本節では竹チップを大量かつ容易に使用できる方法として竹チップマルチングの有効性を検証した。その結果、竹チップマルチングはダイズ品種（丹波黒大豆）の栽培や雑草発生抑制に有効であることが明らかとなった。丹波黒大豆は竹チップを 2cm の厚みで表面施用したのち定植することで地上部乾物重を有意に増加させ、結果的に収量も有意に増加させることが示された。また、収益確保に重要な要素である子実の規格別割合も外品は増加するものの 2L も有意に増加することから、竹チップマルチングは黒大豆栽培において有用であることが示された。丹波篠山市の地域特産品である丹波黒大豆は市内の農家の多くが栽培しており、竹チップが大量に使用できる可

能性がある。ハウレンソウの栽培においても 1cm 厚で竹チップをマルチングすることで、雑草の生育を抑制し、ハウレンソウの生育を促す効果もみられた。加えて、竹チップはもみ殻やわらなどの資材と比べて、雑草をより高く抑制する効果が認められた。

今後は、竹チップマルチングが土壌の性質にどのような影響を与えるか、施用量を変えることで乾物生産や子実生産を増加させることができるのかを検討し、その利用を推進していく必要がある。

4-2 竹粉の施用が米の外観品質と食味に及ぼす影響

4-2-1 研究目的

近年、放置竹林の拡大や荒廃が問題となっている。竹林面積は昭和 50 年代後半より増加し、2007 年の段階で約 16 万 ha となっている（林野庁，2016）。放置竹林は、里山の景観を損ね、生物多様性を低下させる（宮崎ら，2015）、さらに土砂災害の危険性（日浦ら，2004）等の悪影響が指摘されている。問題解決のためには早急な竹林整備が必要であるが、毎年周囲に 3m ずつ拡大するとされる場合もある竹林（宮崎ら，2015）を整備するためには多大なコストと労力が必要になる。また、伐採後の竹の利用法も徐々に確立されているが、大量消費には結びついていないのが現状である。

一方、最近では全国的に地域資源や未利用資源を農業に利活用する取組が活発に行われている。竹に関しても一部地域では、水稻育苗培土としての竹資源の利用において、竹粉堆肥を活用した水稻培土軽量化技術が実証されていたり（矢内ら，2016）、広島県庄原市では竹粉に牛糞やカキ殻を混和した堆肥を水稻栽培に供試し、良食味米の生産を可能にしている（松田，2016）。

このように全国各地で竹粉を利用した水稻栽培が行われているが、竹粉のみを栽培に供試した試験はまだない。そこで本研究では、ヒノヒカリと恋の予感の水稻 2 品種を用い、竹粉の混合割合を変えた試験区を設定し、生育状況や収量構成要素、外観品質ならびに食味を調査し、竹粉の水稻栽培への利用の可能性を評価することを目的とした。

4-2-2 調査方法

供試品種と栽培方法

2016 年に兵庫県立播磨農業高等学校の水田で水稻栽培を行った。栽培試験はヒノヒカリと恋の予感 2 品種を慣行に従い 5 月 13 日に播種し、育苗した成苗を 6 月 25 日に栽植密度 16 株/m²になるよう 1 株 3 本植えの設定で機械移植を行った。なお種もみは JA 兵庫みらいより調達した。

試験区の設定

試験区はヒノヒカリ，恋の予感の各品種につき，施肥をしない無処理区，慣行区（慣行栽培），慣行 1/2 区（慣行栽培の施肥量を 1/2 に設定），竹粉+慣行区（慣行栽培に竹粉を 1t/10a の割合で土壤に混和），竹粉+慣行 1/2 区（慣行栽培の施肥量を 1/2 とし竹粉を 1t/10a の割合で土壤に混和），竹粉区（施肥をせずに竹粉のみを 1t/10a の割合で混和）の合計 6 試験区を設けた。なお，施肥が必要な区は元肥のみとし，有機質肥料 (N-P₂O₅-K₂O 各 5.5-3.5-1.5%) を 10a 当たり 60kg 施用した。各区の面積は 10m×10m の合計 100 m²とし，繰り返しはなしとした。

また，竹粉は竹粉碎機（KIORITZ 製，KCM123S）を用いて丹波篠山市内の放置竹林から伐採した 2～3 年生のモウソウチク（*P. pubescens* Mazel ex Houzeau）の全竹を 5mm 以下に粉碎したものを使用した。粉碎した竹粉はフレコンバッグに詰め，直射日光および雨の当たらない屋外で約 1 か月保管したのち供試した。供試にあたっては，竹粉を土壤表面に散布し，小型のトラクタにて耕うんし，混和した。

生育調査と収量調査

移植は 6 月 25 日に行った。移植後，各処理区 3 箇所に観測地点（5 株/地点）を設け，2 週間に 1 回，草丈と茎数を調査した。10 月 19 日に各処理区で収穫適期の水稻 60 株（20 株，3 反復）を地際から刈取り，ハウス内において 2 週間の通風乾燥を行った後，脱穀・籾摺りをして収量と収量構成要素を調査した。調査項目としては全重，総玄米重，精玄米重を，収量構成要素としては穂数，一穂籾数，総籾数，登熟歩合，玄米千粒重，精玄米収量を調査した。

外観品質

収穫後乾燥・脱穀・籾摺りした玄米の中から約 20g，3 反復抽出したものを供試玄米とし，穀粒判別器（RGQI20A，サタケ製）を用いて，整粒，未熟粒（乳白粒，基部未熟粒，背・腹白粒，青未熟粒，その他未熟粒），被害粒，死米，着色粒，胴割粒の 6 分類に選別し，重量換算割合をもって外観品質とした。また，外観品質と同時に供試玄米の長さ，幅，厚み，白

度についても計測した。

食味値と炊飯米食味試験

収穫調製加工した玄米の中から約 150g を 3 反復抽出し、米粒食味計 (RLTA10A, サタケ製) を用いて、食味値、タンパク質、アミロース、脂肪酸度を測定した。

土壌分析

水稻を栽培した試験圃場について、試験実施前 (2016 年 4 月) と実施後 (2017 年 1 月) に圃場の土壌を採取し、成分量ならびに物理性について分析を行った。試験実施前の土壌サンプリングは、圃場の 5 箇所から表土約 20cm を採取し混合した。また実施後のサンプリングは試験区画ごとに 5 箇所ずつ表土約 20cm を採取し混合した。測定項目は pH, 必須要素の窒素, リン酸, カリウム, 微量元素の銅, 亜鉛, マンガン, ホウ素, 腐食含量, 物理性として気相率, 液相率, 固相率である。

統計分析

まず各試験区の測定値の平均値と標準偏差を算出した。次に穂数 (株), 1 穂粒 (粒) についてそれぞれを対象に試験区と反復を因子とする二元配置分散分析法を使って主効果を検定し, 各試験区の平均値の差には Tukey HSD を適用した。穂数 (株), 1 穂粒 (粒) 以外の特性値については, 反復を対象に試験区を因子とする一元配置分散分析法にて主効果を検定し, 各試験区の平均値の差に Tukey HSD を適用した。上記分析をヒノヒカリと恋の予感の 2 品種について実施した。統計的有意性検定の有意水準は 5% とした。統計解析は解析プログラム IBM SPSS Statistics24 にて実施した。

4-2-3 結果

生育調査

水稻の生育のうち、草丈と茎数の推移を図 4-6、4-7 に示した。なお、草丈と茎数については統計処理は行っていない。草丈は両品種ともに試験区間における大きな差はなく、順調に生育を続けた。茎数はヒノヒカリで竹粉+慣行1/2区、慣行区、竹粉+慣行区の順に多くなり、恋の予感では慣行区、竹粉+慣行区、竹粉+慣行1/2区の順に多かった。

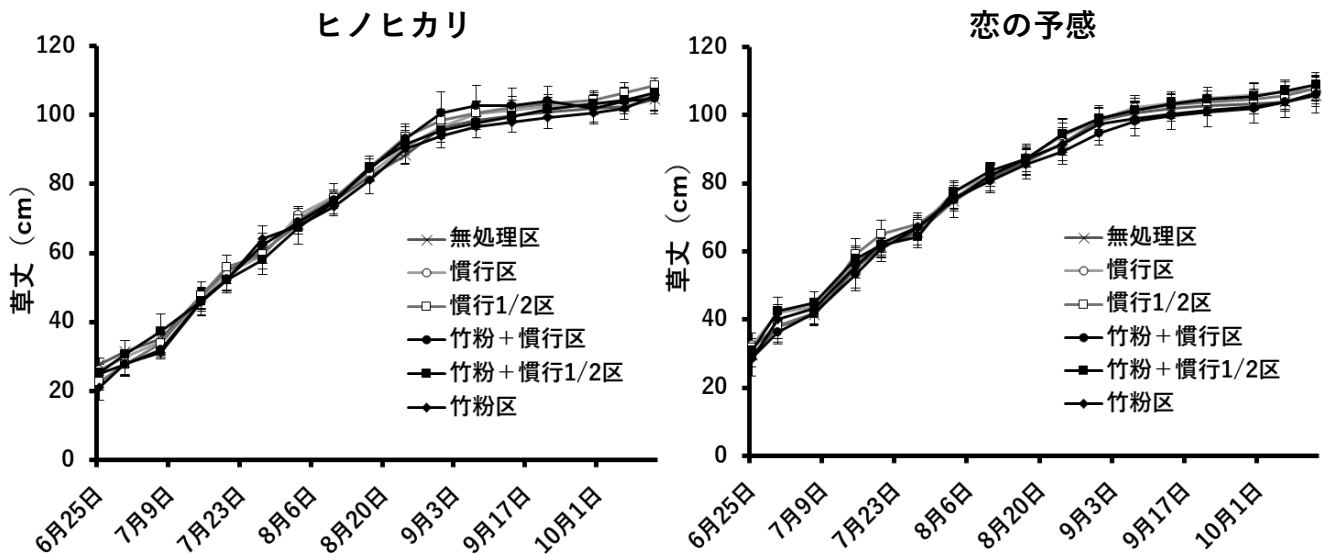


図 4-6 水稻の生育における草丈の推移

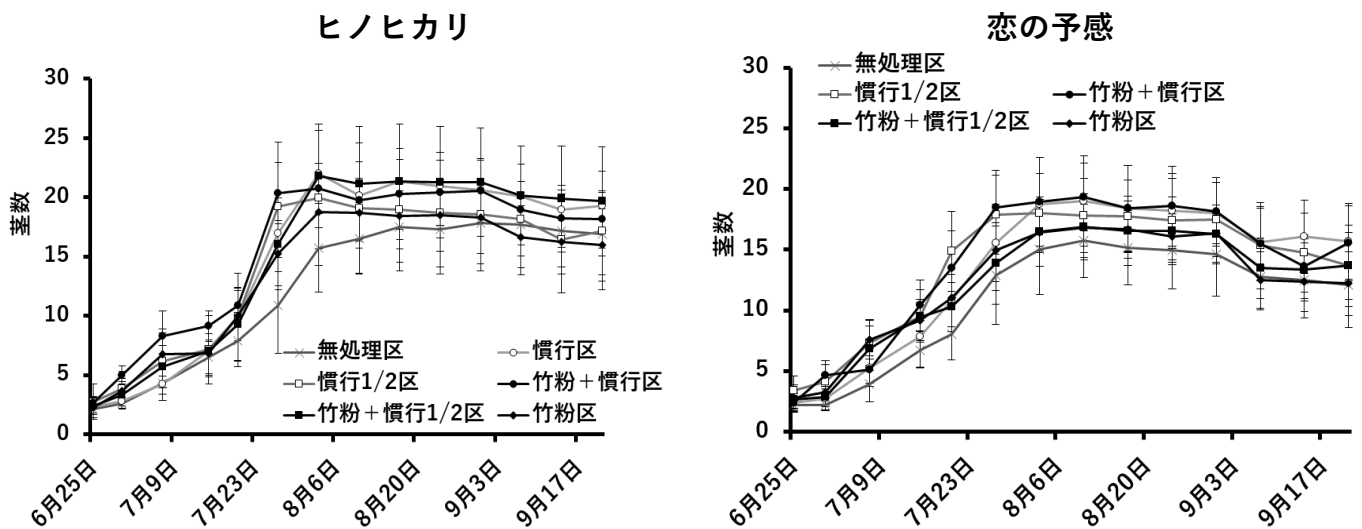


図 4-7 水稻の生育における茎数の推移

収量と収量構成要素

収量ならびに収量構成要素を表 4-4 に示した。収量はヒノヒカリで慣行区が最も多く、次いで竹粉区となった。恋の予感では竹粉区が最も多く、次いで竹粉+慣行 1/2 区となった。穂数はヒノヒカリで慣行 1/2 区が 18.9 本と最も多く、竹粉区が最も少なかった。有意な差は認められなかった。一方、恋の予感では竹粉+慣行区が 15.4 本と最も多く、竹粉区が最も少なかった。また、無処理区と竹粉+慣行区、竹粉+慣行区と竹粉区に有意な差が認められた。

1 穂粒数はヒノヒカリで竹粉区が最も多く、無処理区が最も少なく有意な差が見られた。恋の予感では竹粉+慣行 1/2 区が最も多く、無処理区が最も少なかった。無処理区と竹粉+慣行 1/2 区、竹粉区に有意な差が認められた。

玄米千粒重はヒノヒカリで無処理区、慣行区、慣行 1/2 区が最も大きく、竹粉+慣行区が最も小さかった。無処理区と竹粉+慣行区、竹粉+慣行 1/2 区及び竹粉区、慣行区と竹粉+慣行区、竹粉+慣行 1/2 区及び竹粉区、慣行 1/2 区と竹粉+慣行区、竹粉+慣行 1/2 区及び竹粉区に有意差が認められた。恋の予感では竹粉区が最も大きく、竹粉+慣行区が最も小さかった。無処理区と竹粉+慣行区、竹粉+慣行 1/2 区、慣行 1/2 区と竹粉+慣行区、竹粉+慣行 1/2 区、竹粉区+慣行区と竹粉、竹粉+慣行 1/2 区と竹粉区に有意差が認められた。両品種ともに竹粉区+慣行区が最も少なくなった。

表 4-4 収量構成要素と収量（平均値±標準偏差）

| 品種 | 試験区 | 穂数（穂） | 1穂粒数（粒） | 登熟歩合（%） | 玄米千粒重（g） | 精玄米収量（kg/10a） | | | | | |
|-------|-----------|----------|---------|------------|----------|---------------|------|----------|----|------------|------|
| ヒノヒカリ | 無処理区 | 16.3±3.5 | n.s. | 112.9±18.3 | b | 90.2±4.5 | n.s. | 21.4±0.2 | a | 349.3±12.1 | n.s. |
| | 慣行区 | 18.5±3.1 | n.s. | 125.8±18.0 | ab | 86.9±7.6 | n.s. | 21.4±0.1 | a | 374.5±23.3 | n.s. |
| | 慣行1/2区 | 18.9±4.4 | n.s. | 118.5±14.7 | ab | 86.1±6.2 | n.s. | 21.4±0.2 | a | 348.7±25.5 | n.s. |
| | 竹粉+慣行区 | 17.8±2.5 | n.s. | 118.3±17.0 | ab | 82.7±6.3 | n.s. | 20.6±0.1 | b | 322.2±23.5 | n.s. |
| | 竹粉+慣行1/2区 | 18.8±5.1 | n.s. | 119.6±23.8 | ab | 82.6±8.9 | n.s. | 20.8±0.2 | b | 328.7±29.6 | n.s. |
| | 竹粉区 | 15.3±2.5 | n.s. | 126.3±12.8 | a | 86.9±2.1 | n.s. | 20.8±0.1 | b | 365.6±12.5 | n.s. |
| 分散分析 | 試験区 | * | * | n.s. | | ** | | n.s. | | | |
| | 反復 | n.s. | n.s. | - | | - | | - | | | |
| 恋の予感 | 無処理区 | 12.1±3.3 | b | 121.1±21.5 | b | 89.3±4.4 | n.s. | 22.1±0.1 | a | 382.5±52.1 | n.s. |
| | 慣行区 | 14.9±3.1 | ab | 129.0±17.6 | ab | 95.0±2.8 | n.s. | 21.8±0.1 | ab | 427.1±33.3 | n.s. |
| | 慣行1/2区 | 14.1±3.3 | ab | 123.2±16.9 | ab | 94.5±2.0 | n.s. | 22.0±0.2 | a | 410.5±9.0 | n.s. |
| | 竹粉+慣行区 | 15.4±3.2 | a | 131.6±19.2 | ab | 93.5±4.6 | n.s. | 21.3±0.2 | c | 419.1±15.0 | n.s. |
| | 竹粉+慣行1/2区 | 13.7±2.7 | ab | 136.6±19.2 | a | 91.6±2.8 | n.s. | 21.5±0.2 | b | 429.7±11.0 | n.s. |
| | 竹粉区 | 12.0±2.2 | b | 135.0±16.6 | a | 93.9±0.3 | n.s. | 22.1±0.3 | ab | 449.1±22.8 | n.s. |
| 分散分析 | 試験区 | ** | ** | n.s. | | ** | | n.s. | | | |
| | 反復 | n.s. | n.s. | - | | - | | - | | | |

** : p<0.01, * : p<0.05, n. s. は有意差なし

注) 1試験区あたり20株, 3反復で試験を行った

外観品質

整粒割合はヒノヒカリでは無処理区で最も大きく、竹粉+慣行区で最も小さかった。無処理区と慣行1/2区、竹粉+慣行区、竹粉+慣行1/2区及び竹粉区、慣行区と慣行1/2区、竹粉+慣行区、竹粉+慣行1/2区及び竹粉区に有意差が認められた。恋の予感では竹粉区が最も大きく、慣行区が最も小さかった。慣行区と竹粉区に有意差が認められた。

未熟粒はヒノヒカリでは、竹粉+慣行区で最も多く、無処理区で最も少なかった。無処理区と慣行1/2区、竹粉+慣行区、竹粉+慣行1/2区及び竹粉区、慣行区と慣行1/2区、竹粉+慣行区、竹粉+慣行1/2区及び竹粉区に有意差が認められた。恋の予感では慣行区が最も多く、竹粉が最も少なかった。慣行区と竹粉区に有意差が認められた（表4-5）。

粒長は恋の予感では慣行1/2区で最も大きく、竹粉+慣行区で最も小さかった。慣行1/2区と竹粉+慣行区に有意差が認められた。それ以外の外観については両品種ともに試験区ごとの有意な差はなかった。また、玄米の長さ、幅、厚み、白度においても品種、試験区に大きな差はなかった。

表 4-5 玄米の穀粒判別機による外観品質（平均値±標準偏差）

| 品種 | 試験区 | 整粒 (%) | 未熟粒 (%) | 被害粒 (%) | 死米 (%) | 着色粒 (%) | 胴割粒 (%) | 粒長 (mm) | 粒幅 (mm) | 粒厚 (mm) | 白度 |
|-------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| ヒノヒカリ | 無処理区 | 77.1±1.7 a | 22.1±2.1 b | 0.40±0.10 | 0.03±0.06 | 0.23±0.12 | 0.10±0.17 | 5.12±0.01 | 2.76±0.00 | 1.93±0.00 | 18.1±0.1 |
| | 慣行区 | 75.3±5.2 a | 23.5±5.0 b | 0.87±0.21 | 0.13±0.06 | 0.20±0.10 | 0.00±0.00 | 5.10±0.02 | 2.73±0.03 | 1.93±0.01 | 18.0±0.2 |
| | 慣行1/2区 | 66.3±3.9 b | 32.4±3.5 a | 1.00±0.61 | 0.23±0.23 | 0.10±0.10 | 0.03±0.06 | 5.06±0.03 | 2.70±0.02 | 1.92±0.00 | 18.4±0.4 |
| | 竹粉+慣行区 | 64.3±1.2 b | 34.6±1.5 a | 0.77±0.15 | 0.23±0.15 | 0.13±0.15 | 0.03±0.06 | 5.08±0.05 | 2.75±0.09 | 1.93±0.04 | 19.5±1.5 |
| | 竹粉+慣行1/2区 | 67.1±1.9 b | 31.5±2.3 a | 0.87±0.57 | 0.27±0.06 | 0.13±0.12 | 0.10±0.10 | 5.05±0.01 | 2.72±0.00 | 1.91±0.01 | 18.6±0.3 |
| | 竹粉区 | 66.6±1.3 b | 32.4±1.3 a | 0.90±0.26 | 0.03±0.06 | 0.00±0.00 | 0.07±0.12 | 5.09±0.07 | 2.74±0.06 | 1.94±0.03 | 19.5±0.6 |
| | 試験区 | ** | ** | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| 分岐分析 | 無処理区 | 80.8±0.7 ab | 18.5±0.9 ab | 0.47±0.15 | 0.07±0.06 | 0.17±0.15 | 0.00±0.00 | 5.17±0.01 | 2.79±0.02 | 1.97±0.02 | 19.4±0.9 |
| | 慣行区 | 75.0±1.9 a | 24.3±1.7 a | 0.50±0.17 | 0.03±0.06 | 0.13±0.15 | 0.07±0.12 | 5.16±0.01 | 2.82±0.10 | 1.97±0.02 | 20.4±2.6 |
| | 慣行1/2区 | 77.4±3.3 ab | 21.8±2.9 ab | 0.70±0.35 | 0.03±0.06 | 0.03±0.06 | 0.07±0.06 | 5.19±0.02 | 2.78±0.01 | 1.97±0.01 | 19.1±0.1 |
| | 竹粉+慣行区 | 77.4±3.1 ab | 21.8±3.1 ab | 0.73±0.29 | 0.00±0.00 | 0.03±0.06 | 0.10±0.10 | 5.13±0.02 | 2.74±0.02 | 1.96±0.00 | 19.2±0.3 |
| | 竹粉+慣行1/2区 | 76.9±3.0 ab | 22.3±3.3 ab | 0.57±0.31 | 0.10±0.00 | 0.03±0.06 | 0.13±0.12 | 5.14±0.02 | 2.75±0.01 | 1.96±0.01 | 19.3±0.2 |
| | 竹粉区 | 81.8±1.2 b | 17.7±1.0 b | 0.37±0.21 | 0.03±0.06 | 0.03±0.06 | 0.07±0.12 | 5.17±0.04 | 2.79±0.01 | 1.98±0.01 | 19.6±0.2 |
| | 試験区 | * | * | ns | ns | ns | ns | * | ns | ns | ns |

反復を対象に試験区を因子とした一元配置分散分析

** : p<0.01, * : p<0.05, n.s.は有意差なし

注) 1 試験区あたり、玄米から 20g をサンプリングし、3 反復で試験を行った

食味

米粒食味計での玄米の食味評価の結果を表 4-6 に示した。食味値はヒノヒカリで竹粉区、慣行 1/2 区、竹粉+慣行区の順に高く、慣行区で最も低かった。無処理区と慣行区及び竹粉区、慣行区と慣行 1/2 区、竹粉+慣行区及び竹粉区、慣行 1/2 区と竹粉+慣行 1/2 区、竹粉+慣行区と竹粉+慣行 1/2 区、竹粉+慣行 1/2 区と竹粉区に有意な差が認められた。恋の予感では慣行 1/2 区で最も高く、竹粉+慣行 1/2 区で最も低かった。慣行区と慣行 1/2 区及び竹粉区、慣行 1/2 区と竹粉+慣行 1/2 区、竹粉+慣行区と竹粉+慣行 1/2 区、竹粉+慣行 1/2 区と竹粉区に有意な差が認められた。

タンパク質はヒノヒカリでは慣行区で最も高く、竹粉区と慣行 1/2 区で最も低かった。恋の予感では竹粉+慣行 1/2 区で最も高く、慣行 1/2 区、竹粉区で最も低かった。両品種ともに有機質肥料の施用が少ない試験区においてタンパク質の含有量が低下する傾向が見られた。

アミロースはヒノヒカリでは慣行区が最も高く、竹粉区が最も低かった。恋の予感では竹粉+慣行 1/2 区が最も高く、慣行 1/2 区が最も低かった。

表 4-6 玄米の米粒食味計による分析（平均値±標準偏差）

| 品種 | 試験区 | 食味値 | タンパク質 (%) | 水分 (%) | アミロース (%) | 脂肪酸度 (KOH mg/100g) | | | | | |
|-------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|--------------------|----|----------|----|----------|---|
| ヒノヒカリ | 無処理区 | 73.0±1.0 | bc | 7.7±0.2 | bc | 16.1±0.1 | a | 19.2±0.1 | bc | 13.8±0.2 | c |
| | 慣行区 | 70.0±1.0 | d | 8.2±0.1 | a | 16.1±0.1 | a | 19.5±0.1 | a | 13.3±0.1 | c |
| | 慣行1/2区 | 74.3±0.6 | ab | 7.6±0.1 | c | 15.9±0.1 | ab | 19.1±0.1 | c | 15.1±0.3 | b |
| | 竹粉+慣行区 | 74.3±0.6 | ab | 7.7±0.2 | c | 15.1±0.1 | c | 19.1±0.1 | c | 16.2±0.1 | a |
| | 竹粉+慣行1/2区 | 71.7±0.6 | cd | 8.1±0.1 | ab | 15.1±0.1 | c | 19.3±0.1 | ab | 15.9±0.3 | a |
| | 竹粉区 | 75.0±0.0 | ab | 7.5±0.1 | c | 15.0±0.0 | c | 19.0±0.1 | c | 15.8±0.3 | a |
| 分散分析 | 試験区 | ** | ** | ** | ** | ** | | | | | |
| 恋の予感 | 無処理区 | 71.7±0.6 | ab | 7.9±0.0 | c | 15.7±0.1 | a | 19.3±0.1 | bc | 14.5±0.3 | |
| | 慣行区 | 69.7±0.6 | bc | 8.2±0.1 | ab | 15.9±0.1 | b | 19.5±0.1 | ab | 14.8±0.1 | |
| | 慣行1/2区 | 74.0±0.0 | a | 7.7±0.0 | c | 15.9±0.1 | ab | 19.1±0.0 | d | 14.7±0.0 | |
| | 竹粉+慣行区 | 72.7±2.1 | ab | 8.0±0.1 | bc | 15.9±0.1 | ab | 19.2±0.2 | cd | 15.0±0.3 | |
| | 竹粉+慣行1/2区 | 68.7±1.2 | b | 8.4±0.2 | a | 15.7±0.1 | ab | 19.6±0.1 | a | 14.8±0.7 | |
| | 竹粉区 | 73.7±1.2 | a | 7.7±0.1 | c | 15.9±0.1 | ab | 19.2±0.1 | cd | 14.0±0.3 | |
| 分散分析 | 試験区 | ** | ** | * | ** | ns | | | | | |

反復を対象に試験区を因子とした一元配置分散分析

** : p<0.01, * : p<0.05, n.s.は有意差なし

注) 1 試験区あたり、玄米の中から約 150g をサンプリングし 3 反復で試験を行った

土壌分析

土壌分析の結果を表 4-7 に示した。全窒素は竹粉+慣行区で最も多く、慣行区で最も少なかった。硝酸態窒素は試験実施前と比較し竹粉+慣行 1/2 区で、アンモニア態窒素は慣行区で少なくなった。有効態リン酸ならびに交換性カリウムは、慣行区で最も少なく、イネによる吸収が最も多かった。微量元素においても試験実施前と比較し、慣行区の要素が減少していた。一方、竹粉+慣行区において微量元素が増加していた。腐植含有量は竹粉区が 5.8% と最も多く、次いで竹粉+慣行区となった。竹粉を投入した試験区は腐植が多い傾向にあった。それに伴い、物理性では竹粉区で最も気相率が高く、液相率が低かった。

表 4-7 土壤分析の結果

| 試験区 | pH | 窒素 | | | 必須要素 | | | | 微量元素 | | | 腐植 | | | 物理性 (三相分布) | | |
|-------------|-----|-------------------|---------|-----------------|--------------------|------------------|-------------------|---------|----------|------------|-----------|----------|---------|---------|------------|--|--|
| | | 熱水抽出性窒素 (mg/100g) | 全窒素 (%) | 硝酸態窒素 (mg/100g) | アンモニア態窒素 (mg/100g) | 有効態リン酸 (mg/100g) | 交換性カリウム (mg/100g) | 銅 (ppm) | 亜鉛 (ppm) | マンガン (ppm) | ホウ素 (ppm) | 腐植含量 (%) | 気相率 (%) | 液相率 (%) | 固相率 (%) | | |
| 試験実施前 | 5.9 | 5.77 | 0.23 | 0.50 | 0.57 | 12.7 | 9.3 | 4.72 | 15.5 | 63.3 | 0.77 | 4.6 | 10.1 | 50.1 | 39.8 | | |
| 無処理区 | 5.8 | 6.01 | 0.22 | 0.25 | 0.52 | 12.3 | 11.0 | 5.07 | 15.2 | 60.7 | 0.34 | 4.3 | 16.2 | 51.0 | 32.7 | | |
| 慣行区 | 5.5 | 5.72 | 0.16 | 0.13 | 0.43 | 11.3 | 8.3 | 4.48 | 12.6 | 48.7 | 0.28 | 3.2 | 10.4 | 53.6 | 36.1 | | |
| 慣行1/2区 | 5.6 | 6.58 | 0.26 | 0.12 | 0.49 | 12.1 | 10.5 | 5.37 | 16.9 | 75.0 | 0.39 | 5.3 | 9.9 | 53.0 | 37.0 | | |
| 竹粉 + 慣行区 | 5.8 | 8.41 | 0.28 | 0.08 | 0.60 | 13.5 | 11.0 | 6.05 | 20.5 | 99.8 | 0.39 | 5.7 | 10.7 | 50.8 | 38.5 | | |
| 竹粉 + 慣行1/2区 | 5.7 | 7.71 | 0.26 | 0.06 | 0.60 | 11.7 | 10.0 | 5.56 | 18.4 | 76.9 | 0.35 | 5.4 | 12.9 | 51.0 | 36.1 | | |
| 竹粉区 | 5.8 | 7.68 | 0.25 | 0.08 | 0.65 | 11.3 | 11.5 | 4.68 | 15.7 | 70.6 | 0.35 | 5.8 | 17.7 | 45.1 | 37.2 | | |

4-2-4 考察

品質を損なわずに食味を向上させるためには、きめ細やかな施肥管理や栽培技術が必要になる。特に食味に影響を与える要因の一つであるタンパク質含有量を低下させるために、施肥を抑制する農家や牛糞、牡蠣殻、もみ殻などの地域資源を堆肥化して有機物を多く投入し、化学肥料の使用量を低減させている農家も多い。その結果、高品質の良食味米の生産を可能にしている地域もあるが、様々な資材が混和されているために、効果の検証が明確にできていない現状がある。そこで本研究では地域の低利用資源である竹粉を用い、竹粉のみの施用や竹粉と有機質肥料の混合施肥による生育と収量、土壌の関係を明らかにし、竹粉の施用が米の品質に及ぼす影響を調査した。

本節で供試した 2 品種の生育について考察した結果、草丈は試験区間に大きな差はなかったが、莖数においては竹粉区が最も少なく、それ以外では施肥を行わない試験区で減少する傾向が見られた。大橋ら (2008) は、竹粉による窒素競合だけでなく、竹粉が水稻の生育を抑制した可能性を示唆しており、そのことが本研究においても莖数の低下につながったと考えられた。

しかし、収量構成要素を見ると 1 株当たりの穂数は慣行区と比べ、ヒノヒカリでは竹粉+慣行 1/2 区が、恋の予感では竹粉+慣行区が増加していた。1 穂粒数においてもヒノヒカリで竹粉区が、恋の予感で竹粉+慣行 1/2 区が最も多くなった。精玄米収量は品種間や試験区間にばらつきはあるものの、有意な差は認められず、竹粉の施用では大きな影響を与えないと考えられる。なお、ヒノヒカリの収量が全体的に低下した原因として、試験圃場の排水性が悪く中干しが十分でなかったこと、9 月の降水量が例年よりも多く、圃場の排水が十分にできなかったことが考えられる。

玄米の外観品質では、ヒノヒカリで無処理区が、恋の予感で竹粉区の整粒比が最も高かった。ヒノヒカリでは竹粉施用によって整粒比が低下する傾向にあったが、恋の予感では竹粉施用によって向上しており、品種によって整粒比の傾向に違いがあった。外観品質 (整粒比) の低下には、高温や日照不足が関与していると考えられるが、本試験においては両品種、各

試験区に温度や日照における差はほとんどなかったことから、今後はさらなる検証が必要である。

米粒食味計で調査した玄米の食味値は、恋の予感と比べヒノヒカリのほうが高く、両品種ともに慣行 1/2 区、竹粉区で高い傾向が見られた。ヒノヒカリにおいては両試験区ともに整粒比が低かったが、食味値は高く、整粒比の低下が食味値に影響を与えていないことが示唆された。また、食味値に大きな影響を与えるタンパク質含有量は、両品種で無処理区、慣行 1/2 区、竹粉区で低い値となり、無施肥栽培を行うとタンパク質含有量の低下を伴い、食味の総合評価が向上するという齊藤ら（2002）の結果を支持した。

竹粉にはリン酸はほとんど含まれていないが、窒素は約 3.6mg (gDw⁻¹)、カリウムは約 5.3mg (gDw⁻¹) 含まれている（山川ら、2009a）。土壌分析では、竹粉施用によるこれらの含有量に大きな差は見られなかったが、腐植含有や土壌の気相率が上昇する傾向が見られた。

藤井（1999）は、産米の食味向上に必要な有機物の条件として、土壌物理性の改善、窒素供給の維持を挙げており、C/N 比が高い堆肥の施用は初期生育の抑制や食味不良の大きな要因になるとしている。竹の C/N 比は 200 近く（大橋ら、2008）と、この条件には当てはまらないが、本試験では、竹粉施用により茎数の抑制があったものの、収量には大きな影響はみられず、食味値は竹粉施用で向上する結果となかったほか、土壌の腐植含有を増加させ気相率も向上させた。このことより、良食味米の生産には竹粉施用が有効であることが示唆された。また、竹粉を利用することで環境や景観に悪影響を及ぼす放置竹林解消の一助になることが期待できる。

4-2-5 結論

本節では、地域の低利用資源である竹を用いることによる、米の外観品質や食味に及ぼす影響を明らかにした。その結果、竹粉施用による有意な収量の低下等は見られず、タンパク質含有量の低下により、食味値は慣行区に比べて有意に向上した。さらに、土壌の腐植増加や気相率の向上に寄与でき、10a 当たり 1t の竹粉施用は、栽培環境改善にも寄与できると

考えられた。また、再生可能な竹のような地域資源を活用することで、昨今高騰している農業関連資材のうち、化学肥料使用量の削減に寄与でき、農家の経営改善につながることを考えられる。

しかし、1回だけの栽培試験では気象要因などにより結果にばらつきが生じている可能性がある。今後は再現性を確実にするために栽培回数を増やし、品種等による違いの検証も行う必要がある。また、竹粉の安定供給の視点や、経営効果、品種によるばらつきや連年施肥による影響についても検討する必要がある。

4-3 乾燥汚泥・竹チップ混和堆肥の熱水抽出液の特性評価と堆肥施用がダイズ

(丹波黒大豆)の生育に及ぼす影響

4-3-1 研究の目的

下水汚泥は我が国において年間約 226 万 Mg 発生しており、バイオガス化や燃料化が可能な資源であるが、その利用の割合は約 15% (バイオガス 12.8%, 汚泥燃料等 2.0%) と非常に少ないのが現状である (国土交通省, 2014)。また下水には、国際的に価格が上昇し続けているリンも含まれておりその回収と利用が課題となっている。下水汚泥利用の一部には緑地や農地での利用があり、一部の自治体では高温で乾燥させた「乾燥汚泥」による農地還元がおこなわれている。丹波篠山市では、各下水処理場で微生物による水処理をおこなった後、不要・過剰となった微生物が余剰汚泥 (水分約 98.5%) として排出されている。余剰汚泥はさらに汚泥脱水器によって水分を約 80%にまで下げて脱水ケーキにしたのち、減量化のために 800°C の高温乾燥によって水分約 30%にし、それを乾燥汚泥として利用している。乾燥汚泥は肥料成分として窒素、リンが多く含まれている (伊達, 1988)。丹波篠山市で製造された乾燥汚泥は「あさぎり乾肥」として農水省の肥料登録を取得しており、年間 30 Mg 程度が市民にも配布されている。しかし、他地域における乾燥汚泥の例にもれず、その悪臭によって利用は進んでおらず、配布されなかった乾燥汚泥は産業廃棄物として費用をかけて処理されている。

一方、近年の経済的価値の低下による竹林資源需要の減少により (林野庁, 2017)、竹林の高密度化が進み、管理者の高齢化問題もあいまって全国的に竹林の荒廃が進んでいる (渡邊, 2004; 矢内ら, 2016)。丹波篠山市でも例に漏れず、急増する放置竹林の整備・伐採や、伐採後の竹の処理が課題となっている。竹の処理活用法としては集成材や舗装資材としての竹チップの利用や竹粉や竹炭の農業利用など多くの提案がある (朝木, 2006; 南雲ら, 2014; 中川ら, 2009; 浦田ら, 2007; 山川ら, 2009a; 矢内ら, 2016)。

一方で竹には脱臭・抗菌作用があることが知られている。下水汚染や竹以外でも地域の未利用資源である街路樹の剪定枝葉を混和した堆肥の製造 (久保, 2003) や、有機質土壌改良

資材（バーク堆肥と下水汚泥類）の緑化樹に対する施用効果（長谷川・川九，1983）の検証など様々な資源のバイオマス利用の試みも各地で数多くおこなわれている。

そこで本節では、乾燥汚泥の農地還元を促進し、バイオマス利用を増加させるために、地域の低利用資源である乾燥汚泥肥料と低利用資源である竹破砕物（竹チップ）を混和し、堆肥を作製することで臭気を軽減することによって、その有効活用の可能性を検討することとした。作製した堆肥については植物種子発芽試験を実施し、発芽試験に使用した熱水抽出液の化学性を調べるとともに、圃場に堆肥を施用して作物生育量への影響を評価することを目的とした。

4-3-2 調査方法

供試試料

乾燥汚泥には、丹波篠山市上下水道部下水道課あさぎり苑が2016年3月に製造したものをを用いた。また、製造年度による試料成分の変動の確認のために、同市がおこなっている肥料取締法に基づく公定分析の過去3か年の結果を調査した（表4-8）。その結果、年度によって若干のばらつきはあるものの、窒素（N）が約4%、リン酸（ P_2O_5 ）が約3%、カリ（ K_2O ）が約0.2%が含まれており、重金属については肥料取締法の公定規格に定められた基準値（肥料の品質の確保等に関する法律に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件、有害成分別表第二）を超えるものはないことを確認した。

竹チップは樹木粉碎機（KIORITZ 製、KCM123S）を用いて、丹波篠山市内の放置竹林から伐採した2～3年生のマダケ（*Phyllostachys bambusoides* Siebold et Zuccarini）とモウソウチク（*P. pubescens* Mazel ex Houzeau）の全竹を5 mm以下に粉碎して使用した。マダケとモウソウチクの混合比率はほぼ1:1とした。

表 4-8 丹波篠山市で製造された乾燥汚泥の成分の変動（3 年）

| 検査項目 | 2013年 | 2014年 | 2015年 | 平均 | 標準偏差 |
|--|-------|-------|-------|-------|------|
| 水分 (%) | 27.7 | 32.8 | 17.6 | 26.0 | 7.7 |
| pH | 5.6 | 5.6 | 5.5 | 5.6 | 0.1 |
| 電気伝導度 (mS m ⁻¹) | 260 | 320 | 200 | 260 | 60 |
| 窒素 (N) (%) | 4.5 | 3.9 | 4.5 | 4.3 | 0.3 |
| リン酸 (P ₂ O ₅) (%) | 3.0 | 3.2 | 2.8 | 3.0 | 0.2 |
| カリ (K ₂ O) (%) | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 有機炭素 (C) (%) | 35.8 | - | 36.7 | 36.2 | 0.6 |
| 主成分 C/N比 | 8.0 | 6.7 | 8.1 | 7.6 | 0.8 |
| 塩基置換容量 (cmol(+) kg ⁻¹) | 66.4 | 52.1 | 52.5 | 57.0 | 8.1 |
| 石灰 (CaO) (%) | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.1 |
| 苦土 (MgO) (%) | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.0 |
| 灰分 (%) | 14.0 | - | 9.3 | 11.6 | 3.4 |
| 硝酸態窒素 (mg kg ⁻¹) | 57.0 | 140.0 | 110.0 | 102.0 | 42.0 |
| アンモニア態窒素 (mg kg ⁻¹) | 5100 | 3800 | 3300 | 4067 | 929 |
| 無機態窒素 (mg kg ⁻¹) | 5157 | 3940 | 3410 | 4169 | 896 |
| 重金属 | | | | | |
| ヒ素 (mg kg ⁻¹) | 0.6 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.2 |
| カドミウム (mg kg ⁻¹) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| 水銀 (mg kg ⁻¹) | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| ニッケル (mg kg ⁻¹) | 10.5 | 11.2 | 9.6 | 10.4 | 0.8 |
| クロム (mg kg ⁻¹) | 11.1 | 11.1 | 7.1 | 9.8 | 2.3 |
| 鉛 (mg kg ⁻¹) | 9.9 | 13.7 | 7.4 | 10.3 | 3.2 |

注) 分析方法：農林水産省農業環境技術研究所法（1992 年版）

表中の (-) は未測定

堆肥の作製

乾燥汚泥と竹チップの混和割合を重量比 5:5, 7:3, 9:1 の 3 パターンとし、後述の各試験区における混和量を 100kg/m²にした。なお、乾燥汚泥と竹チップの比重はいずれもおよそ 0.4kg/L のため、重量比と体積比はほぼ同じであった。なお、本節では乾燥汚泥と竹チップ両者の有効利用を目的としたが、より乾燥汚泥の処理を優先するために混合比率を 5:5～9:1 の範囲に設定した。混和は 2017 年 3 月 25 日におこなった。各試料の水分率を乾燥減量法によって測定し、水分率が 60%となるように加水した。風雨の影響を受けないようビニールハウス内で約 50 日間かけて堆肥化をおこなった。1 週間に 1 回、温度モニターのプロ

ープを堆肥中心部に差し込んで温度を測定し、外気温と等しくなるまで1週間に1回の切り返しをおこなった。温度測定と同時に、アンモニア濃度をガス検知管（GV-100S，GASTEC製）で計測した。また、臭気測定器（においモニターOMX-SRM，神栄テクノロジー製）による臭気評価もおこなった。アンモニア濃度と臭気は堆肥の表面からおおよそ10cm，20～25cm，45～50cmの3箇所から50gずつサンプルをビニール袋に採取し密封した状態で測定した。

発芽試験

植物の発芽試験には、コマツナ (*Brassica rapa* var. *perviridis*) を供試し、山口 (2003) を参考に発芽試験をおこなった。シャーレ中に播種済発芽シート（たねびた，大起理化工業製）を敷き、熱水抽出液 10mL を添加した。熱水抽出液は熱水抽出物の分析と共用するために、藤原 (1985) の方法に従って調製した。すなわち、試料 5g に熱水 50mL を加えて軽く振とうしたのち、2時間静置し、ろ紙 (No. 2，アドバンテック) を用いたろ過によってろ液を取出し、熱水抽出液を得た。試料には1週間ごとに切り返しをおこなった堆肥の表面から10cm，20～25cm，45～50cmの3箇所から50gずつ採取・混和したものをを用いた。発芽試験では、対照区として堆肥の熱水抽出液を用いず、蒸留水 10mL を添加した区を設けた。その後、1試験区 50粒の種子を 30℃暗所条件で培養し、対照区の発芽がすべて認められた時点で発芽率を調べた。なお、試験はそれぞれ3反復で実施した。

熱水抽出液の分析

用意した熱水抽出液を以下の分析に供した。すなわち pH，電気伝導度 (EC)，溶存有機炭素 (DOC)，溶存全窒素 (DTN) を測定した。DOC と DTN 測定には全有機炭素計 (TOC-LCPH，島津製作所製) を用いた。さらに、光学的特性を調べるために、腐植成分含有量の指標として活用できる E2/E3 (Peuravuori and Pihlaja, 1997) および SUVA₂₅₄ (Weishaar et al., 2003) を算出した。E2/E3 は分光光度計 (V-630，日本分光製) を用いて 250nm ならびに 365nm の吸光度比から算出した。SUVA₂₅₄ 値は 254nm の吸光度 × 100 (cm) ÷ 用いたセルの光路長 (cm) / 試料の DOC 濃度 (mgC /L) から算出した。分析はそれぞれ3反復で実施した。

堆肥の圃場施用試験

堆肥の地産地消を視野に入れ、丹波篠山市の特産品である丹波黒大豆 (*Glycine max*) の栽培に堆肥を供試した。

兵庫県立篠山東雲高等学校内圃場(細粒質普通風化変質赤黄色土)をトラクタによって50cm程度耕うん、整地した後、畝たてをおこなった。ここに畝幅1.5m、畝長7m(10.5m²)の試験区を設け、混和後50日が経過した乾燥汚泥・竹チップの混和割合の異なる堆肥(5:5, 7:3, 9:1)をそれぞれ10Mg/haとなるように施用し、小型耕うん機を用いて深さ15cmすき込みをおこなった。対照区として堆肥を施用しない慣行栽培区(窒素90kg/ha, リン183kg/ha, カリウム67.5kg/ha)を設けた。試験区はそれぞれ3反復で合計12区設けた。

丹波黒大豆の種子はJA丹波ささやまより調達し、2019年7月8日に168穴セルトレイに播種し、発芽器にて25℃、72時間の加温を行った。その後、3~4日自然条件下で管理し、主茎長約15~20cm、葉齢3~3.5程度になった丹波黒大豆の苗を準備した。耕起後30日目にあたる2019年7月15日に準備した苗を栽植密度2株/m²となるようにそれぞれの試験区に移植した。移植後は慣行栽培をおこない、1週間ごとに生育中庸な同じ畝の連続する5株の主茎長を計測して生育の推移を調査し、11月下旬には収穫した株の主茎長、子実の等級割合と収量構成要素(百粒重、着莢数、収量)を調査した。すなわち、12試験区それぞれから生育中庸であった5株を地際から刈取り、室内で2週間通風乾燥させたのち株ごとに主茎長、子実の等級割合、百粒重、着莢数を計測した(兵庫県立農林水産技術総合センター(2011)を参照)。主茎長は一番長い茎を主茎とし、地際から茎の最上部までの長さを計測した。子実の等級割合はふるいを用いて10mm以上を2L, 9.1mm以上~10mm未満をL, 8.1mm以上~9.1mm未満をM, 8mm未満と割れやひびのあるものを規格外品とした。百粒重は無作為に整粒100粒の重さを測定し、2回測定 of 平均を用いた。着莢数として整莢の数を測定した。これら収量構成要素および子実の等級割合の測定は、株あたりの全ての子実を対象に行なった。さらに、試験区ごとに子実収量(g/m²)を求めた。

丹波黒大豆の生育状況と収量結果の比較には統計解析ソフト(SPSS Statistics24, IBM)

を用いた。主茎長，着莢数，百粒重，収量については一元配置分散分析をおこない，Tukey-HSD 検定によって試験区間平均の多重比較をおこなった。

4-3-3 結果

堆肥化による混和物の変化

混和 7 日目で堆肥の温度は約 50~60°C まで上昇し，14 日目を過ぎてからは気温と同様の値となったため，切り返しを終了した。においモニターを用いた臭気測定の結果，乾燥汚泥そのものは 200 段階で 169 であったが，竹チップと混和したことで徐々に臭気が低下し混和後 40 日目には 5:5 の試験区で 3.3，7:3 の試験区で 3.6，9:1 の試験区で 4.6 と臭気的大幅な軽減が認められた。作業に立ち会った複数人の体感上も，少なくとも 40 日を経た時点で臭気的大幅な軽減が認められた。

混和後 7 日間はアンモニア濃度の大きな変化はなかったが，14 日目以降はほとんどの試験区において徐々に濃度が低下した(図 4-7)。堆肥混和 21 日目以後は常に汚泥と竹チップを 5:5 で混和した区が最も低い濃度を示した。

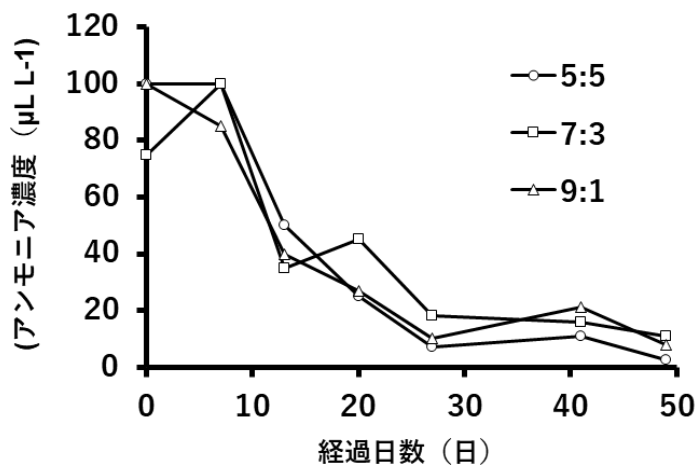


図 4-7 堆肥化の経過日数に伴うアンモニア濃度の変化

発芽試験

堆肥化の経過にともなうコマツナの発芽率の変化を図 4-8 に示した。対照区のすべての発芽が認められたのは 3 日目であった。竹チップの割合が多い 5:5 の試験区は堆肥化期間が短くても発芽率は高かった。7:3 の試験区では 7 日目～14 日目までの発芽率が $39.7 \pm 15.2\%$ と低下したがその後は順調に発芽した。汚泥の割合が高い 9:1 の試験区では混和後 0 日目～7 日目までは発芽率が $15.3 \pm 5.0\%$ と低い値を示したが、28 日目～42 日目には $72.3 \pm 17.2\%$ の発芽が認められた。

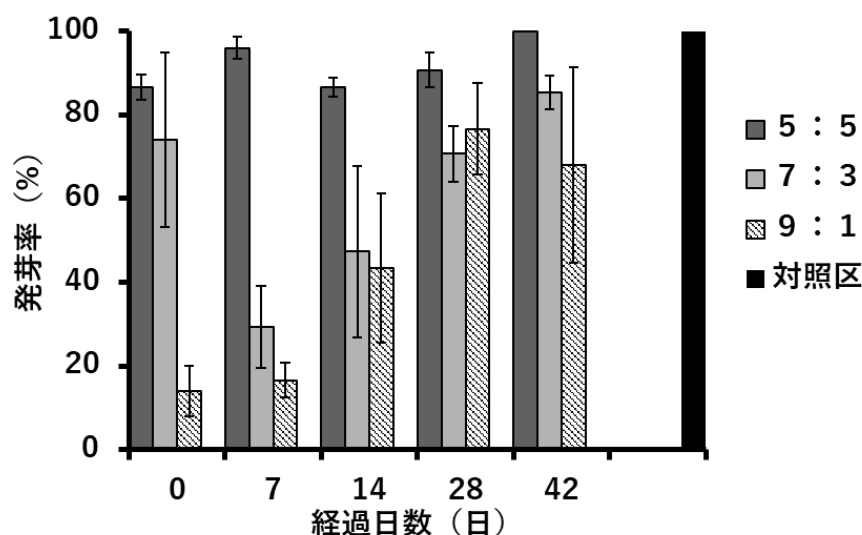


図 4-8 堆肥化の経過に伴うコマツナ発芽率の変化

注) エラーバーは 3 反復の標準偏差を示す

熱水抽出液の特性評価

堆肥化の過程における熱水抽出液の pH と EC の変化を図 4-9 に示した。混和後の日数経過に伴って pH と EC は低下またはおおよそ横ばいであった。すべての試験区において、pH ならびに EC は植物の栽培や生育に支障を来す値ではなく、作物生産に利用可能な範囲であった (日本土壌協会, 2012)。DOC と DTN は 14 日目以降には大きな変化は認められず、両者の変動傾向はおおよそ同じであった。

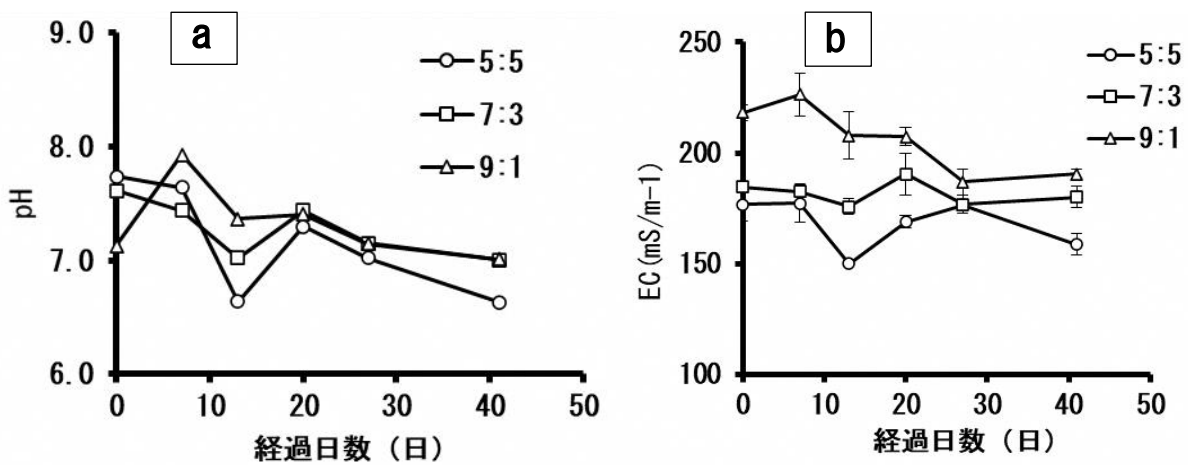


図 4-9 堆肥化の経過日数に伴う (a) pH, (b)EC の変化

注) エラーバーは 3 反復の標準偏差を示す

E2/E3, SUVA₂₅₄, DOC, DTN の変化を図 4-10 に示した。E2/E3 は 9:1 試験区では 7 日目に急激に低下して以降は漸減し, 7:3 試験区では堆肥化過程を通じて漸減傾向にあった。SUVA₂₅₄ の値は, 全ての試験区において緩やかな上昇傾向にあった。

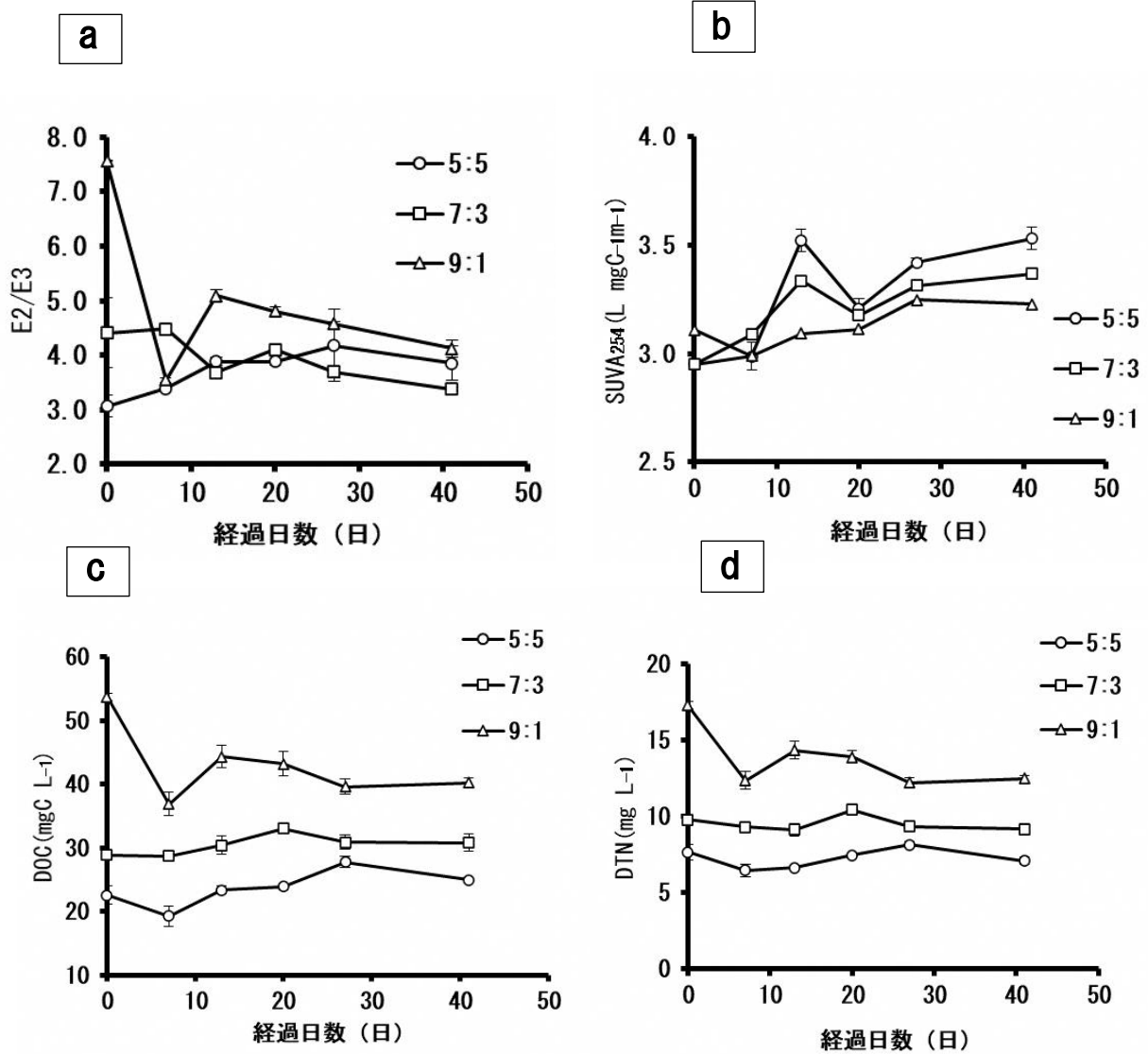


図 4-10 堆肥化の経過日数に伴う (a) E2/E3 , (b) SUVA₂₅₄, (c) DOC, (d) DTN の変化

注) エラーバーは 3 反復の標準偏差を示す

圃場施用試験からみた丹波黒大豆生育への影響評価

丹波黒大豆の栽培試験では、栽培経過日数とともに主茎長は増加した（図 4-11）。慣行栽培区と堆肥施用区との間で大きな違いは認められなかったが、乾燥汚泥の混和量が多い試験区 9:1 から 7:3, 5:5 の順に値が低くなる傾向が示された。

収穫期を迎えた丹波黒大豆の生育状況と収量を表 4-8 に示した。収穫時での主茎長については堆肥 9:1 区ならびに堆肥 7:3 区では対照区に比べて 1%水準で有意に高いことが認められた。着莢数は堆肥 9:1 区で最も多く、堆肥 5:5 区がそれに次いでおり、対照区とそれらの間には 1%水準で有意な差が認められた。百粒重と収量は共に堆肥 9:1 区が最も大きかったが、5%水準で有意な差は認められなかった。収穫した子実をふるいにかけて等級選別をおこなった結果においても、試験区間の大きな差は認められなかった（図 4-12）。

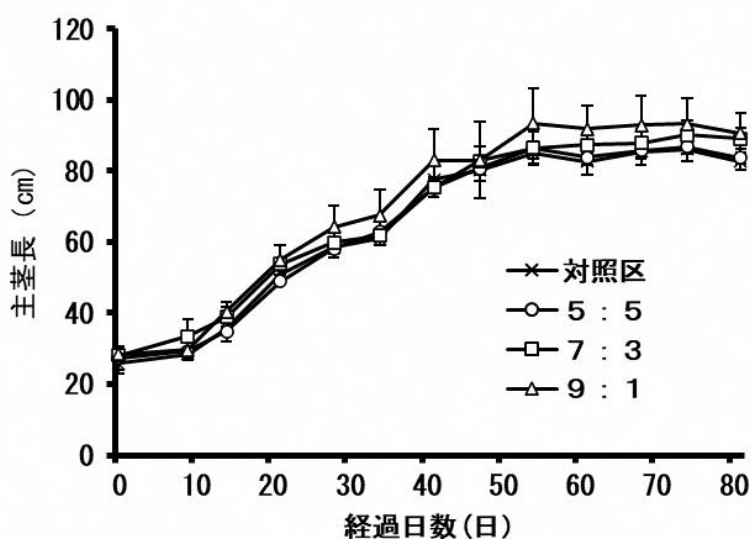


図 4-11 植物栽培試験における丹波黒の主茎長の推移

注) エラーバーは 3 反復の標準偏差を示す

表 4-9 圃場栽培試験における丹波黒大豆の生育と収量（平均値±標準偏差）

| 品種 | 試験区 | 主茎長(cm) | 莢数(莢) | 百粒重 (g) | 収量 (10m ²) |
|-------|--------|-------------|--------------|----------|------------------------|
| | | 平均値±標準偏差 | 平均値±標準偏差 | 平均値±標準偏差 | 平均値±標準偏差 |
| 丹波黒大豆 | 慣行栽培区※ | 82.6±5.4 b | 89.7±25.6 b | 62.5±0.2 | 140.4±17.5 |
| | 堆肥5:5区 | 83.7±5.9 b | 96.3±15.6 ab | 60.8±1.2 | 152.4±28.7 |
| | 堆肥7:3区 | 89.1±5.0 ab | 82.5±16.8 b | 62.4±1.5 | 138.8±6.8 |
| | 堆肥9:1区 | 90.9±10.7 a | 115.1±27.2 a | 63.0±2.7 | 183.7±34.0 |
| 分散分析 | 試験区 | ** | ** | n.s. | n.s. |

注) 各測定項目について、異なる小文字アルファベットは試験区間において 5%水準の有意差があることを示す

※：対照区 **：p < 0.01, n.s. は有意差なし

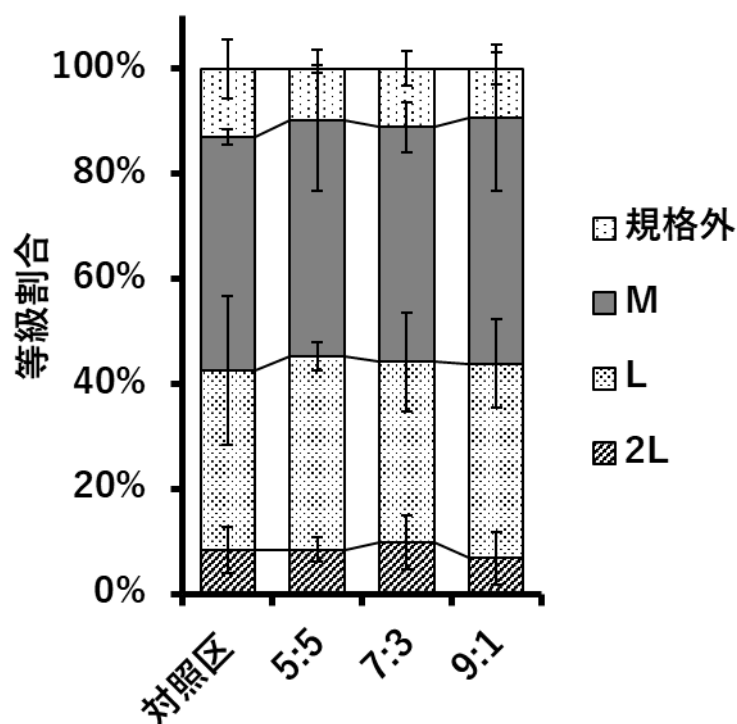


図 4-12 丹波黒大豆子実の等級別割合

注 1) 2L (粒径 10.0 mm 以上), L (粒径 9.1~10.0 mm 未満), M (粒径 8.1~9.1 mm 未満), 規格外 (粒径 8.0 mm 未満または割れやひびの入った子実)

注 2) エラーバーは 3 反復の標準偏差を示す

4-3-4 考察

堆肥化に供した混和物の変化をみると、資材混和 7 日目で堆肥の温度は 60°C まで上昇したが、アンモニア濃度とともに 14 日目以降、低下する傾向がみられた。竹は易分解性有機物が多いこと（太田，2008）や腐敗に関与する好気性菌，大腸菌群等が高い菌数レベルで分離されること（岩澤ら，2005）が明らかとなっている。そのため，堆肥の混和時に水分を 60% に調整したことで竹チップの割合が最も高い 5:5 の試験区において，好気性菌の発酵条件が整い，微生物による初期の有機物分解が盛んにおこなわれた結果，その後の硝化作用や揮散によりアンモニア濃度が低下したと考えられる。

発芽試験をみると，竹チップの割合が多い 5:5 の試験区の発芽率が最も高く，9:1 の試験区の発芽率が低い傾向がみられた。大島ら（2015）は和牛の敷料に用いた解砕繊維状竹粉の堆肥化特性を調査した結果，竹チップにおける発芽率が有意に低下したと報告し，発芽抑制の原因はアンモニア態窒素の残留である可能性を述べている。本研究では 28 日目以降のアンモニア濃度が低下しており，発芽抑制が低減したと考えられる。ただし，7:3 及び 9:1 の試験区においては発芽率は 42 日目においても 7 割程度に留まっており，堆肥化が十分におこなわれていないことを示している。今後は発酵が十分におこなえるように断熱材で囲ったり保温透湿シートで表面を覆ったりするなどの工夫を行う必要がある。それによって外気の影響を受けずに発酵温度を維持することができ，十分な一次発酵が行えるようになると思われる。

熱水抽出液の特性評価をみると，すべての試験区において pH, EC は低下または横ばいで，DOC と DTN は 14 日目以降に大きな変化は認められなかった。E2/E3 は 9:1 試験区では 7 日目に急激に低下して以降は漸減し，7:3 試験区では堆肥化過程を通じて漸減傾向にあった。SUVA₂₅₄ の値は，全ての試験区において緩やかな上昇傾向にあった。このことは，竹チップの混和によって堆肥成分の変動は少なく安定した資材となったことを示唆している。

堆肥化過程の有機物分解については，低分子の糖類およびタンパク質などの易分解性有機物（第 1 段階），セルロースおよびヘミセルロース（第 2 段階），リグニン（第 3 段階）の

順に分解が進行するという報告がある（藤原，2003）。E2/E3 は有機物の分子量と逆相関を示すことが報告されており（Peuravuori and Pihlaja, 1997），9:1 と 7:3 の試験区では低分子有機物の分解が進行し，相対的に腐植物質などの高分子有機物の割合が高まったことが示唆された。5:5 の試験区の E2/E3 値は堆肥化過程 28 日目までは緩やかに上昇し 42 日目には低下した。5:5 の試験区では乾燥汚泥の混和割合が少なく堆肥化初期段階でも発芽阻害が軽微であったことから，発芽阻害を示す遊離フェノールなどの低分子有機物が少なかったことが考えられる。

堆肥の熱水抽出液におけるデータは得ていないが，水中の DOC における解釈にならうと，芳香族性の高い腐植物質の割合が堆肥化の進行と共に相対的に増加したことが考えられる。少なくとも堆肥化過程で温度が低下し，アンモニア濃度が減少する中で，この値が上昇し続けていることは，堆肥そのものの質的变化がまだ定常状態に至っておらず，完熟し切っていなかったことを示している。堆肥の熱水抽出物中の芳香族成分の割合の上昇は発芽阻害を示す遊離フェノールの増加によることも考えられるが，発芽試験で述べたように発芽阻害は軽減されているのでその可能性は低い。

圃場施用試験からみた植物生育への影響評価をみると，丹波黒大豆の生育に関しては慣行栽培区と堆肥施用区との間で大きな違いは認められなかった。着莢数は堆肥 9:1 区が有意に多く，次いで堆肥 5:5 区となった。竹には窒素やリン，カリウムが含まれているが（矢内ら，2016；山川ら，2009b），これに加えて乾燥汚泥には肥料成分が含まれている。丹波黒大豆の主莖長と着莢数については汚泥比率が高い区で有意に増加し，汚泥が正に影響したことが示唆された。百粒重・収量では有意な差は認められなかったが，マメ科作物においては窒素は絶対共生菌である根粒菌，根圏土壌微生物バイオマス（地力窒素）から得ており（吉田・谷田沢，1967），そこに窒素肥料を施肥しても吸収割合が非常に低いために結果に差が出にくかったのではないかと考えられる。2016 年における兵庫県の黒大豆収量は $143\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ であり（兵庫県農政環境部，2018），本研究における対照区の収量とおおむね同じであった。5:5 及び 7:3 の試験区においても大きな差はなく，9:1 の試験区において収量が増加した

のは、竹に比べて乾燥汚泥に含まれるリン酸含有量が多く（山川ら，2009b），その結果としてリン酸の施肥量が他の試験区と比べて多くなったことが影響していると考えられる。

4-3-5 結論

本節から，乾燥汚泥に竹チップを混和し堆肥化することで汚泥臭気の原因となるアンモニア濃度が低減される一方で，作物生産におけるリスクは低いことが示された。堆肥 9:1 区では，莢数が有意に増加し，収量の増加につながるなど，黒大豆の栽培に有効であることが示された。下水汚泥（余剰汚泥）が産業廃棄物として処分されている現状を考えると，農地や緑地に還元するために使用することに問題がなければその処分費用も軽減できる。今後，産地への普及拡大も視野に入れるとすれば，堆肥の成分分析や微生物量，経年施用による効果の検証が課題として残されるものの，有効な活路が開かれたと考えられる。

4-4 本章の結論

本章では竹資源の農産物への利用を検討するために、竹チップのマルチング利用、水稻栽培の有機物としての施用、乾燥汚泥と混和した堆肥の品質について考察した。

4-1 節では、竹チップマルチングによる雑草防除効果の検証と竹チップが作物に及ぼす影響を検証するために、丹波篠山市の特産品である丹波黒大豆とホウレンソウを供試し、圃場で栽培試験を行った。竹チップマルチは 1cm 以上の厚みで散布することによって雑草の初期発生とその後の成長を抑制する効果が認められた。また、竹チップの表面施用によって丹波黒大豆の地上部の成長が促進され収量が増加した。一方で、ホウレンソウのような蔬菜に関しては竹チップの厚さが生育に影響することが明らかになった。以上のことから、竹チップのマルチングや作物栽培における表面施用は有効であることが明らかとなった。今回の供試作物は丹波黒大豆とホウレンソウのみであったが、今後は他の作物に対する効果を検証することで、マルチング資材としての竹チップの有用性が高められる可能性がある。

4-2 節では、破碎した竹粉を水稻栽培に供試し、水稻の外観品質ならびに食味、土壌の性質に与える影響を検討した。試験区には慣行区、竹粉を 10a あたり 1t 施用した竹粉区などを設けた。その結果、竹粉施用による収量の有意な低下は見られず、竹粉区ではタンパク質含有量の低下により、食味値が慣行区に比べて有意に向上した。さらに、竹粉を施用することで土壌の腐植増加や気相率の向上が可能になり、10a あたり 1t の竹粉施用は、栽培環境改善にも寄与できることが示された。

4-3 節では、乾燥汚泥の農地還元を促進しバイオマス利用を増加させることを目的として、地域の低利用資源である汚泥と竹の破碎物（竹チップ）を混和して堆肥化し、その施用効果を検討した。また、堆肥の熱水抽出液の特性および圃場への堆肥施用による植物生育への影響について検討した。乾燥汚泥と竹チップの混合割合を 5:5, 7:3, 9:1 にした 3 区を設定した結果、乾燥汚泥と竹チップが持つそれぞれの肥料要素を反映した生育結果が得られた。また、熱水抽出液によるコマツナの発芽試験を行い、同液の pH, EC, DOC, DTN, E2/E3, SUVA₂₅₄ について特性を調べた結果、腐熟が進行しても植物の生育に悪影響を及ぼすことはなく、堆

肥の資材として竹チップは安定した性質を持っていることが明らかになった。加えて、作製した堆肥（50 日目）を用いて地域特産品である「丹波黒大豆」の圃場栽培試験をおこなった。作成した堆肥は 2 週間が経過すると臭気の原因の一部であるアンモニア濃度が低下した。熱水抽出液の特性については、pH, EC, E2/E3 は日数経過によって低下傾向にあり SUVA₂₅₄ は上昇傾向にあることから堆肥化過程における腐熟の進行が示唆された。発芽試験では 9:1 区の発芽の阻害が堆肥化初期において顕著であったが、腐熟の進行に従って阻害は軽減された。堆肥 5:5 区では阻害が認められず、重金属において基準値を超えるもの（肥料の品質の確保等に関する法律に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件、有害成分別表第二参照）はなかったことから作物生育や安全性に悪影響を及ぼす可能性は極めて低いと考えられる。圃場栽培試験では堆肥施用区において丹波黒大豆の主茎長、着莢数が 1%水準で有意に増加した。収量に有意な差は認められなかったものの、堆肥 9:1 区で最大値を示し、少なくとも負の影響は認められなかった。この結果より、乾燥汚泥と竹チップの混和堆肥は汚泥の臭気問題を軽減することで、地域資源を活用した堆肥として農業生産に利用可能であることが示唆された。

以上から、竹資源の農産物への利用は一定の効果があることが示された。対象となる作物によって、利用方法をマルチングや土壌への混和、他の資材との混和による堆肥化などを変化させることで、さらに利用の幅が広がると考えられる。

引用文献

- 朝木隆行 (2006) ホウレンソウ栽培における竹炭の利用. 農及園 81 : 1262-1266.
- 伊達 昇 (1988) 便覧 有機質肥料と微生物資材. 農山漁村文化協会.
- Fudano T., Kataoka K., Takisawa R., Kishida F., Toyoda M., Kaneko M. and Shiroyama Y. (2016) Utilization of bamboo powder as a substrate for horticultural production. 農業生産技術管理学会誌 23(2) : 49-60.
- 藤原俊六郎 (1985) シャーレを使った簡易腐熟度検定法. 土壤肥料学会誌 56 : 251-252.
- 藤原俊六郎 (2003) 堆肥のつくり方・使い方. 農山漁村文化協会. 東京.
- 藤井弘志 (1999) 水稻の収量・品質に与える施用有機物の影響. 日本土壤学会シンポジウム (北海道) 288.
- 福田文夫・近藤毅典・山本 昭・清瀬真美・平野 健・森永邦久 (2013) 鉢植えブドウ ‘デラウェア’ における竹粉マルチが果実品質に及ぼす影響. 岡山大学農学部センター報告 35 : 18-22.
- 長谷川秀三・川九邦雄 (1983) 有機質土壌改良資材 (バーク堆肥と汚泥類) の緑化樹に対する施肥効果について. 造園雑誌 46 (5) : 176-181.
- 日浦啓全・有川 崇・ドウラ ドゥルガ バハドゥール (2004) 都市周辺山麓部の放置竹林の拡大にともなう土砂災害危険性. 日本地すべり学会誌 41 : 323-334.
- 兵庫県立農林水産技術総合センター (2011) 第 4 章 生育・収量調査法 <https://web.pref.hyogo.lg.jp/af11/documents/000185324.pdf> (確認日:2016年1月13日).
- 兵庫県農政環境部農林水産局農産園芸課 (2018) 大豆品種別作付面積の推移. https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk12/af11_000000019.html (確認日:2018年5月1日).
- 磯部武志・内山知二 (2000) タケ堆肥化物の理化学的特性と栽培利用. 大阪府立農林技術センター研究報告 36 : 1-4.
- 岩澤敏幸・大谷利之・池谷守司 (2005) 鶏による竹資源利用に関する研究. 静岡県中小試研

報 16 : 49-53.

亀和田國彦・柴田和幸(1997)陽イオン交換容量の測定を要さない土壌試料のための簡易な交換性陽イオンの浸出法. 日本土壌肥料学会誌 68 : 61-64.

国土交通省 (2014) 資源・エネルギー循環の形成. http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html (確認日 : 2017 年 5 月 1 日).

久保 光 (2003) 下水汚泥の有効利用に関する調査・研究 (その 5). 福井県雪対策・建設技術研究所年報 16 : 104-107 .

丸居 篤・牧嶋健佐 (2010) 竹破砕物によるマルチングが畑地土壌中の保水と水質に与える影響. 圃場と土壌 42 (10・11) : 43-49.

松田一馬 (2016) 食味・味度値がぐんぐんアップ. 現代農業 2016 年 4 月号. pp63-65.

宮崎祐子・染川知之・和口美明(2009)奈良県の里山林におけるオサムシ科甲虫相調査. 奈良県森林技術センター研究報告 38 : 65-68.

宮崎祐子・三橋弘宗・大澤剛士 (2015) シナリオ分析に基づいた竹林の管理計画立案. 保全生態学研究 20(1) : 3-14.

村本穰司・後藤逸男・蜷木 翠(1992)振とう浸出法による土壌の交換性陽イオンおよび陽イオン交換容量の迅速分析. 土壌肥料学会誌 63 : 210-215.

南雲俊之・安藤真奈実・森 智郁 (2014) 竹炭の成分組成から見た土壌改良資材としての特徴. 土壌肥料学会誌 85 : 37-42.

中川由紀・山川武夫・梶原良徳 (2009) 繊維状竹破砕物の表面施用の時期と中耕培土がダイズ品種フクユタカの窒素固定と生産に及ぼす効果. 日本土壌肥料学会誌 80(2) : 109-115.

中村和久・瀧澤秀明・柳澤淳二 (2016) 堆肥化副資材としての竹粉の特性. 愛知県農業総合試験場研究報告 48 : 153-156.

新居宏延・高木和彦・前田浩典 (2002) 竹炭培地によるシンビジウムの切り花栽培 (1). 徳島県立農林水産総合技術センター農業研究所試験研究報告 37 : 31-35.

日本土壌協会 (2012) 土壌診断と作物生育改善. 日本土壌協会. 東京.

- 大橋善之・大嶋 優・吉岡善晴 (2008) 京都府丹後地域の未利用資源 (有機物) の水稲「コシヒカリ」に対する施用技術. 作物研究 53 : 41-46.
- 大島一郎・富永輝・松元里志・野村哲也・廣瀬潤・石井大介・片平清美・山口浩・主税裕樹・高山耕二・中西良孝 (2015) 黒毛和種育成雌牛の敷料に用いた解砕繊維状竹粉の堆肥化特性. 日本暖地畜産学会報 58(1) : 29-35.
- 太田壮洋 (2008) 竹材の敷料及びたい肥化副資材としての利用に関する研究. 山口県畜産試験場研究報告 23 : 59-64.
- Peuravuori, J. and Pihlaja, K. (1997) Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances. *Analytica Chimica Acta* 337 : 133-149.
- 林野庁 (2016) 森林・林業白書 (2015 年度) 林野庁. 東京.
- 林野庁 (2017) 森林・林業白書 (2016 年度) 林野庁. 東京.
- 浦田光雅・武永順次・及川洋征・神田修平・石川駿二・福田清春 (2007) 土壌への木竹炭混入が葉菜類の生育に及ぼす影響. 木質炭化学会誌 4 : 7-12.
- 齊藤邦行・速水敏史・石部友弘・松江勇次・尾形武文・黒田俊郎 (2002) 有機栽培を行った米飯の食味と理化学特性. 日本作物学会誌 71 : 169-173.
- 鈴木保志・根岸仁史・後藤純一 (2007) 木材チップと竹チップの雑草発生抑制効果. 第 118 回日本森林学会大会 : P1c05.
- 竹下美保子・小山 太 (2014) 乳牛ふん堆肥化における副資材としての竹粉碎物の利用. 福岡県農業総合試験場研究報告 33 : 34-38.
- 鳥居厚志・井鷲裕司 (1997) 京都府における竹林の分布拡大. 日本生態学会誌 47 : 1-41.
- 内村悦三 (2005) 竹林整備と竹材・筍利用の進め方. 全国林業改良普及協会. 東京.
- 渡邊政俊 (2004). 竹林栽培と竹林生産の動向. 内村悦三編. 竹の魅力と活用. 創森社. 東京.
- Weishaar, J. L., Aiken, G. R., Bergamaschi, B. A., Fram, M. S., Fujii, R., and Mopper, K. (2003) Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the

chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. Environmental Science & Technology 37 : 4702-4708.

八木尠憲・当真 要・森田展樹・石掛桂士・阿立真崇・山下陽一・上野秀人・長崎信行 (2016a) 生竹・竹堆肥マルチが温室トマトの生育と収量に与える影響. 愛媛大学農学部農場報告 38 : 1-8.

八木尠憲・当真 要・森田展樹・石掛桂士・阿立真崇・山下陽一・上野秀人・長崎信行 (2016b) 竹粉および竹粉堆肥被覆による雑草抑制効果. 愛媛大学農学部農場報告 38 : 9-15.

山口武則 (2003) 幼植物試験等による堆肥の簡易品質評価法. 環境保全型施肥・土壌管理技術 : 21-30.

山川武夫・山野麻有子・池田元輝 (2009a) 繊維状竹破砕物のカリ成分とマルチがダイズ品種フクユタカの生育と収量に及ぼす効果. 日本土壌肥科学雑誌 80(1) : 7-13.

山川武夫・山野麻有子・池田元輝 (2009b) 繊維状竹破砕物と窒素肥料の施用位置がダイズ品種フクユタカの収量と三要素集積に及ぼす影響. 日本土壌肥科学雑誌 80(4) : 379-386.

矢内純太・中尾 淳・大迫敬義・宮藤久士・古田裕三・佐野新悟 (2016) 竹林間伐材を利用した竹粉および竹炭の水稻苗箱培土としての有効性. 日本土壌肥科学雑誌 87(4) : 241-246.

吉田重方・谷田沢道彦 (1967) 根粒菌による IAA の合成と分解に及ぼす培地中窒素化合物の影響. 日本土壌肥科学会誌 38 : 383-387.

第5章 竹資源の畜産分野への利用の検討

我が国における竹林面積は、2012年には約16万ha（全森林面積の0.6%）となっており、九州や中国地方等の西日本に多く分布し、また長期的に微増傾向で推移している（林野庁、2018a）。1993年の統計では、日本の竹林面積11.2万haの99%がモウソウチク（*P. pubescens* Mazelex Houzeau）とマダケ（*Phyllostachys bambusoides* Siebold et Zuccarini）で占められ、両者の面積比はおよそ3:1で構成されていた（鳥居・井鷲、1997）。かつて竹類は日本人の生活に有用な植物資源であったが（柴田、2003）、近年の竹類の経済的価値の低下による竹林需要の減少により（林野庁 2018b）、全国的に竹林の荒廃化が進行している。

兵庫県の一部地域においても急増する放置竹林の整備・伐採や、伐採後の竹の処理が課題となっている（菊川ら、2018）。今後、気候変動によってさらに竹林の拡大が予測されることから（Takenaka et al., 2017）、早急な竹林の再管理ならびに資源活用法の確立が必要である。

畜産分野のうち、家畜飼料としての竹チップの利用をみると、萬田ら（1992）がモウソウチクを家畜の新しい飼料源として着目し、サイレージ化を試み、一般組成は稲わらと比較して、粗タンパク質、粗脂肪、可溶性無窒素物、粗灰分は低く、飼料価値は低いことを報告している。その後、竹破砕機が開発され、飼料用に適した竹チップの入手が容易になったことから、モウソウチクに付着する乳酸菌を活用したサイレージ調製技術が開発された（大谷・岩澤、2007）。松井ら（2009）は乳酸菌を添加したモウソウチクサイレージをブロイラー及び採卵鶏に給餌し、竹チップ給餌はブロイラーは2.5%以下、採卵鶏は5%までであれば生産性に影響がないことを報告している。さらに松井ら（2010）はモウソウチクサイレージ給餌によって、肉養鶏の液性免疫の増強や採卵鶏の卵黄中のビタミンEが増加するなど、品質が向上することも明らかにした。藤井・米田（2015）も採卵鶏飼料として、竹粉や自家発酵竹粉の有用性を明らかにするなど、養鶏に対する竹サイレージの有用性に関する研究は数多くある。

肉養鶏や採卵鶏の給餌だけでなく、大家畜へのモウソウチクサイレージの給餌試験も2010年代に数多く行われている。家木ら（2010）はモウソウチクとトウフ粕及び醤油粕を混合したペレットを乳牛に給餌し、粗飼料（アルファルファヘイキューブ）の代替可能性を示した。続いて家木（2011）は竹の飼料利用による牛乳の高付加価値化についてアンケートを実施し、食料自給や環境保全に配慮した取り組みとして消費者の理解を得られる可能性を示している。

以上のように、竹破砕機の開発により、竹チップの畜産利用の可能性が高まっている（大谷・岩澤，2007）。秋友ら（2009）は、竹サイレージはコスト面では輸入乾草と競争できるレベルにあると報告している。

ただし、モウソウチクのみ飼料化は栄養面や嗜好面で課題があり、採卵鶏では5%の添加が限度であること（大谷・岩澤，2007）、黒毛和種繁殖牛への給餌試験では供試した竹材でいずれも嗜好性が悪かったこと（秋友ら，2009）が報告されている。

また、研究の多くはモウソウチクで行われており、ペレット化されたものが用いられていることが多く、伐採後に直接利用することが困難である。さらに竹類は季節によって含有水分量が異なるため、その調整にも手間がかかる。

そこで本章では竹チップを原料とする竹サイレージの有効性について検討することとした。

5-1 水分と添加物の違いが竹サイレージの発酵品質と化学成分に及ぼす影響

5-1-1 研究目的

本節では、マダケ (*Phyllostachys bambusoides* Siebold et Zuccarini) とモウソウチク (*P. pubescens* Mazelex Houzeau) について水分量の違いによる飼料成分への影響を検討することとした。さらに、栄養面ならびに家畜の嗜好性を高めるとともに、乳酸菌のプロバイオティック効果 (Tannock, 1999) による家禽の健康増進が期待できるよう、地域資源である酒粕や糖蜜、農研機構畜産草地研究部門の保有乳酸菌株である乳酸菌 (*Lactococcus lactis*) R050 株およびセルラーゼを、竹粉サイレージに添加し、その発酵品質ならびに化学成分を考察することを目的とした。

5-1-2 調査方法

試験区の設定

本節では、以下の5つの試験 (試験1~試験5) を実施した。

試験1および2は小規模試験とし、竹種をモウソウチクおよびマダケとした。それぞれ稈部と葉部に分け、試験1では水分含量を35%、45%、55%に調整し、試験2では酒粕および乳酸菌 R050 株ならびにその両方を添加して、それぞれサイレージ化後の飼料成分を分析した。

試験3および4はポリドラムを用いた試験とした。竹種をモウソウチクの全竹とし、試験3では酒粕と糖蜜をそれぞれサイレージの重量の5%、10%、15%になるように添加し、試験4では乳酸菌 R050 株、糖蜜(5%)、セルラーゼおよび酒粕(5%)を添加し、それぞれサイレージの発酵品質を分析した。また、試験5として、試験3および試験4に供試したサイレージの飼料成分を分析した (表5-1)。

竹資材の準備

供試材料として、2017年1月6日に丹波篠山市内の放置竹林より2~3年生のモウソウチクおよびマダケをそれぞれ10本伐採し、稈部と葉部に分けたのち、それぞれを速やかに竹

破砕機（KIORITZ 製，KCM123S）を用いて，5mm 以下に粉砕した。伐採した 10 本から得たチップを各種別に混和したものをポリプロピレンの 1t 容量フレコンバッグに詰め，作業現場から持ち帰り，当日中に各試験に供した。

添加物

添加物として乳酸発酵能が高い優良菌株である農研機構畜産草地研究部門保有の乳酸菌 R050 株，市販のセルラーゼ（C0057，東京化成工業株式会社製）および糖蜜（農業用精糖蜜，有限会社サンジェットアイ製），酒粕（辰馬本家酒造株式会社製，粗タンパク含量 13.3%）を用意した。試験 2 および試験 4 において乳酸菌は 1.0×10^5 CFU/g となるように，試験 4 で用いたセルラーゼについては竹サイレージの重量の 0.01% となるように，それぞれを 100ml の蒸留水に融解し，スプレーを用いて添加した。試験 3 および試験 4 で用いた糖蜜は液体状であるため，スプレーで竹サイレージの重量の 5%，10%，15% となるように添加した。

表 5-1 試験区の概要

| 試験区 | 供試竹種 | 試験規模 | サイレージ調製方法 | 添加物 |
|-----|----------------|----------|---|---------------------------|
| 試験1 | モウソウチク， マダケ | 小規模発酵法 | 竹は稈部，葉部に分け，それぞれ水分含有量を35%，45%，55%に調製 | なし |
| 試験2 | モウソウチク， マダケ | 小規模発酵法 | <ul style="list-style-type: none"> ・竹は稈部，葉部に分けて調製 ・酒粕は5%添加 ・R050株は1.0×10^5CFU/gに調製してスプレーで添加 | 酒粕，R050株 |
| 試験3 | モウソウチク | ポリドラム発酵法 | <ul style="list-style-type: none"> ・竹は全竹を使用 ・酒粕は5%，10%，15%添加 ・糖蜜はスプレーで5%，10%，15%添加 | 酒粕，糖蜜 |
| 試験4 | モウソウチク | ポリドラム発酵法 | <ul style="list-style-type: none"> ・竹は全竹を使用 ・酒粕は5%添加 ・糖蜜はスプレーで5%添加 ・R050株は1.0×10^5CFU/gに調製してスプレーで添加 ・セルラーゼは0.01%に調製してスプレーで添加 | 酒粕，糖蜜， R050株，セル ラーゼ |

試験 2～4 で用いた酒粕は水分を飛ばすために天日干しを 1 週間行い，ミキサーで粉砕したものを竹サイレージの重量の 5%，10%，15% となるように添加した（表 5-1）。事前の乳酸菌の混入を防止するため，糖蜜，セルラーゼ，乳酸菌の順番で添加を行った。

サイレージの調製法

サイレージの調製は小規模発酵法（試験 1・試験 2）とポリドラム発酵法（試験 3・試験 4）によって実施した（蔡ら，2002）（図 5-1）。小規模発酵試験では，エチレン，ナイロンおよびビニリデンの積層フィルム（旭化成製，飛竜 KN タイプ 180×260mm）の袋内に添加物調整を行った試料を 100g 入れ，バキュームシーラー（シャープ株式会社製，SQ-202）で脱気して嫌気条件として密封した。ポリドラム発酵試験では，20L 容量のポリドラムに竹チップを 20kg 入れ，スコップで圧密し，蓋を閉めてそのまま室内で維持した。各試験はそれぞれ 3 回の繰り返し試験とした。



図 5-1 試験区の様子 (a:小規模発酵試験 (試験 1 及び 2, 1 袋 100g に調整), b: ポリドラム試験区 (試験 3~5, 1 缶 20kg に調整))

すべての試験は室内で常温にて 1 か月間静置することとし，2017 年 2 月に分析に供した。小規模発酵試験（試験 1 及び試験 2）では，まず発酵品質の分析を 3 反復実施し，化学成分については各試験区の 3 反復のサンプルを 1 つにまとめたのち，100g を試験に供した。ポリドラム発酵試験（試験 3 及び試験 4）では，ポリドラムの中から無作為に 5 箇所からサンプリング（1 箇所につき 100g）したものをよく混和し，まず発酵品質の分析を 3 反復実施し，残りのサンプルから 100g を取り出し，化学成分を分析した。

化学分析

モウソウチクサイレージの化学組成（灰分，酸性デタージェント繊維：ADF，中性デタージェント繊維：NDF，粗たんぱく質：CP，粗脂肪，エネルギー）は常法（阿部，1988；自給飼料品質評価研究会編，2001）により，乾物重量は70℃通風乾燥法により定量した。

サイレージの pH は試料 10g に蒸留水 90ml を加えてよく攪拌してから 4℃の冷蔵庫で 12 時間静置した後，抽出液をろ過し，ガラス電極 pH メーターを用いて測定した（蔡ら，2002）。有機酸含量については測定抽出液をイオン交換樹脂（東京有機化学工業株式会社製，AmberliteIR120RH+）で処理して高速遠心分離（12,000rpm×5 分間）し，その上澄み液をフィルターで濾過してから高速液体クロマトグラフによって分析した（蔡ら，2002）。

統計処理

試験 3 及び試験 4 については試験区間の 5%水準の有意差を求めるために，Fisher の最小有意差法によって得られたデータを解析した。統計処理には，統計ソフトエクセル統計 for Windows（Bell Curve 社製，2017 年版）を用いた。なお，試験 1，2 及び 5 の化学成分の分析は 3 反復のサンプルを 1 つにまとめて行ったため，統計処理は行っていない。

5-1-3 結果

各試験の結果を以下に示す。

試験 1

試験 1 の飼料成分分析の結果を表 5-2 に示した。水分含量は竹サイレージの重量の 35，45，55%の 3 水準としたが，水分含量による各化学成分の差はほぼなかった。マダケとモウソウチクで共通して，稈部の乾物重は約 96%，ADF は 66～72%，NDF は 87～92%となり葉部より ADF で 12～20%，NDF で 7～16%高かった。葉部の灰分は 5.5～7.6%，CP は 5.1～8.0%，粗脂肪は 2.7～3.3%であり，稈部より灰分で 4～6%，CP で 4～6%，粗脂肪で 2%それぞれ高かった。マダケとモウソウチクの竹種間で差が大きかったのはマダケの葉部で，NDF が低く，CP が高かった。

試験 2

試験 2 の結果を表 5-3 に示した。マダケとモウソウチクともに、ADF, NDF は稈部が葉部より高く、灰分、粗脂肪は稈部が葉部より低くなった。CP は両種ともに葉部に酒粕を添加した区が最も高くなる傾向であった。これらの結果から、飼料的価値はマダケ、モウソウチクともに、葉部が優れている傾向が示された。

表 5-2 水分含有量と利用部位によるサイレージ化学成分（小規模発酵試験，試験 1）

| 竹種 | 部位 | 処理区 | 乾物(DM)率 (%) | サイレージ化学成分 | | | | | |
|--------|----|-------|----------------|-----------|--------|--------|-------|--------|------------|
| | | | | 灰分(%) | ADF(%) | NDF(%) | CP(%) | 粗脂肪(%) | エネルギー(J/g) |
| マダケ | 稈部 | 水分35% | 95.72 | 1.31 | 69.62 | 89.63 | 1.42 | 0.72 | 19611 |
| | | 水分45% | 95.77 | 1.34 | 69.87 | 89.97 | 1.44 | 0.71 | 19398 |
| | | 水分55% | 95.56 | 1.33 | 71.50 | 91.83 | 1.36 | 0.68 | 19683 |
| | 葉部 | 水分35% | 93.89 | 6.65 | 51.11 | 74.65 | 7.95 | 2.71 | 19373 |
| | | 水分45% | 94.77 | 7.61 | 49.24 | 73.63 | 7.77 | 2.73 | 19412 |
| | | 水分55% | 94.02 | 7.25 | 51.46 | 75.38 | 7.64 | 2.64 | 19370 |
| モウソウチク | 稈部 | 水分35% | 96.36 | 1.67 | 66.33 | 88.45 | 0.92 | 1.24 | 19157 |
| | | 水分45% | 96.21 | 1.74 | 67.51 | 88.49 | 0.89 | 1.27 | 19387 |
| | | 水分55% | 95.62 | 1.74 | 67.58 | 86.76 | 0.88 | 1.06 | 19016 |
| | 葉部 | 水分35% | 95.61 | 5.78 | 54.96 | 80.05 | 5.55 | 3.28 | 19413 |
| | | 水分45% | 95.72 | 5.74 | 54.95 | 80.36 | 5.20 | 3.27 | 19455 |
| | | 水分55% | 95.18 | 5.50 | 54.59 | 79.70 | 5.11 | 3.06 | 19574 |

測定は、3 反復のサンプルを 1 つにまとめて行った。

ADF : Acid Detergent Fiber (酸性デタージェント繊維), NDF : Neutral Detergent Fiber (中性デタージェント繊維) CP : Crude Protein (粗タンパク質)

表 5-3 添加物と利用部位によるサイレージ化学成分（小規模発酵試験，試験 2）

| 竹種 | 部位 | 処理区 | 乾物(DM)率 (%) | (%DM) | | | | | |
|--------|----|----------|----------------|-------|--------|--------|-------|--------|------------|
| | | | | 灰分(%) | ADF(%) | NDF(%) | CP(%) | 粗脂肪(%) | エネルギー(J/g) |
| マダケ | 稈部 | 無添加 | 97.00 | 1.46 | 70.69 | 90.23 | 1.38 | 0.86 | 19428 |
| | | 酒粕5% | 96.31 | 1.48 | 67.09 | 85.31 | 2.78 | 0.73 | 19597 |
| | | 乳酸菌 | 96.13 | 1.23 | 70.55 | 92.02 | 1.21 | 0.62 | 19359 |
| | | 酒粕5%+乳酸菌 | 95.34 | 1.20 | 68.02 | 88.35 | 2.80 | 0.83 | 19451 |
| | 葉部 | 無添加 | 95.05 | 7.50 | 49.63 | 73.46 | 7.73 | 2.94 | 18973 |
| | | 酒粕5% | 94.07 | 6.82 | 47.49 | 69.62 | 9.05 | 3.24 | 19517 |
| | | 乳酸菌 | 95.12 | 6.94 | 49.27 | 72.66 | 8.15 | 3.23 | 19455 |
| | | 酒粕5%+乳酸菌 | 93.79 | 7.07 | 48.36 | 70.61 | 8.70 | 2.88 | 19618 |
| モウソウチク | 稈部 | 無添加 | 97.63 | 2.01 | 67.50 | 87.91 | 0.85 | 0.92 | 19261 |
| | | 酒粕5% | 97.02 | 1.96 | 64.88 | 83.49 | 2.44 | 1.03 | 19158 |
| | | 乳酸菌 | 98.01 | 2.00 | 66.22 | 86.73 | 0.88 | 0.74 | 19035 |
| | | 酒粕5%+乳酸菌 | 96.57 | 1.92 | 64.04 | 84.64 | 2.37 | 0.57 | 19042 |
| | 葉部 | 無添加 | 95.97 | 6.36 | 52.06 | 77.26 | 6.15 | 3.19 | 19323 |
| | | 酒粕5% | 94.98 | 6.27 | 49.00 | 72.07 | 7.37 | 2.84 | 19616 |
| | | 乳酸菌 | 96.32 | 6.02 | 53.26 | 79.63 | 5.43 | 2.72 | 19455 |
| | | 酒粕5%+乳酸菌 | 94.98 | 5.38 | 50.93 | 76.26 | 6.66 | 2.63 | 19494 |

測定は、3 反復のサンプルを 1 つにまとめて行った

ADF : Acid Detergent Fiber (酸性デタージェント繊維), NDF : Neutral Detergent Fiber (中性デタージェント繊維) CP : Crude Protein (粗タンパク質)

試験 3

試験 3 の結果を表 5-4 に示した。pH は無添加と比べ酒粕あるいは糖蜜の添加で有意に低く、糖蜜 15%で最も低くなった。乳酸菌含量は無添加でほかの試験区と比べ有意に低く、糖蜜 10%で最も高くなった。酢酸含量は糖蜜 15%で最も高く、酒粕 5%で最も低くなった。酪酸含量は無添加がほかの試験区に比べ有意に高くなった。酒粕、糖蜜ともに添加量が増加するにつれて、pH は低下し、乳酸および酢酸含量は増加した。

表 5-4 添加物および添加量によるサイレージ発酵品質（ポリドラム試験，試験 3）

| 竹種 | 処理区 | 乾物(DM)率 (%) | pH | Lactic acid | Acetic acid | Propionic acid | Butyric acid |
|----------------|-------|----------------|-------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | | | | (%FM) | | | |
| モウソウチク (全竹) | 無添加 | 51.94±0.14 d | 5.63±0.01 a | 0.241±0.028 c | 0.190±0.008 de | 0.019±0.010 abc | 0.013±0.007 a |
| | 酒粕5% | 53.53±0.09 c | 4.32±0.14 b | 0.975±0.064 b | 0.184±0.008 e | 0.009±0.001 c | 0.001±0.000 b |
| | 酒粕10% | 55.43±0.26 b | 4.14±0.06 b | 1.066±0.114 b | 0.240±0.034 bc | 0.010±0.001 c | 0.001±0.000 b |
| | 酒粕15% | 57.51±0.17 a | 4.24±0.03 b | 1.142±0.080 b | 0.238±0.058 bcd | 0.030±0.014 ab | 0.007±0.006 b |
| | 糖蜜5% | 50.92±0.14 e | 4.23±0.20 b | 1.164±0.241 b | 0.210±0.010 cde | 0.017±0.008 bc | 0.004±0.003 b |
| | 糖蜜10% | 48.74±0.20 fg | 3.75±0.02 d | 1.812±0.027 a | 0.286±0.028 ab | 0.020±0.006 abc | 0.002±0.002 b |
| | 糖蜜15% | 46.42±0.46 g | 3.92±0.04 c | 1.759±0.024 a | 0.330±0.014 a | 0.033±0.008 a | 0.003±0.001 b |

測定値は平均値±標準偏差 (n=3)。%FM は原物を示す

*異なるアルファベット文字間には，Fisher の最小有意差法（5%水準）で有意差があることを示す。

試験 4

試験 4 の結果を表 5-5 に示した。pH は無添加に比べほかの試験区で有意に低下し，最も低い値であったのは糖蜜を添加した区であった。乳酸および酢酸含量は糖蜜添加区がほかの試験区と比べ有意に高かった。プロピオン酸および酪酸含量はいずれも低かった。

表 5-5 添加物によるサイレージ発酵品質（ポリドラム試験，試験 4）

| 竹種 | 処理区 | 乾物(DM)率 (%) | pH | Lactic acid | Acetic acid | Propionic acid | Butyric acid |
|----------------|-------|----------------|-------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| | | | | (%FM) | | | |
| モウソウチク (全竹) | 無添加 | 51.42±0.60 b | 6.26±0.39 a | 0.164±0.056 c | 0.138±0.006 b | 0.010±0.001 ab | 0.006±0.002 ab |
| | 乳酸菌 | 50.89±0.28 b | 5.51±0.05 b | 0.268±0.020 c | 0.114±0.002 b | 0.008±0.000 b | 0.009±0.002 a |
| | 糖蜜5% | 49.67±0.37 c | 4.23±0.07 d | 0.861±0.090 a | 0.211±0.031 a | 0.013±0.004 a | 0.004±0.004 ab |
| | セルラーゼ | 51.13±0.15 b | 5.38±0.27 b | 0.269±0.076 c | 0.142±0.015 b | 0.008±0.002 ab | 0.006±0.004 a |
| | 酒粕5% | 53.42±0.12 a | 4.82±0.05 c | 0.516±0.048 b | 0.135±0.005 b | 0.010±0.004 ab | 0.000±0.000 b |

測定値は平均値±標準偏差 (n=3)。%FM は原物を示す

*異なるアルファベット文字間には，Fisher の最小有意差法（5%水準）で有意差があることを示す。

試験 5

試験 5 の結果を表 5-6 に示した。試験 3 に供試したサイレージの飼料成分では、ADF と NDF は酒粕添加によって低下し、CP は増加した。試験 4 に供試したサイレージの飼料成分をみると、上記同様の結果が得られ、セルラーゼ添加による飼料成分の変化は認められなかった。また、糖蜜添加の効果は明瞭ではなかった。これにより、飼料成分が最も優れているのは酒粕添加区であり、その添加量は 15% が最も良好であることが示された。

表 5-6 モウソウチク（全竹）への添加物および添加量によるサイレージ化学成分（ポリドラム試験，試験 5）

| 処理区 | 乾物(DM)率 (%) | 灰分(%) | ADF(%) | NDF(%) (%DM) | CP(%) | 粗脂肪(%) | エネルギー(J/g) |
|------------|----------------|-------|--------|-----------------|-------|--------|------------|
| 試験3 | | | | | | | |
| 無添加 | 97.81 | 2.41 | 64.87 | 85.93 | 3.81 | 0.73 | 19968 |
| 酒粕5% | 96.49 | 2.33 | 58.92 | 81.43 | 5.92 | 1.76 | 20390 |
| 酒粕10% | 95.66 | 2.43 | 55.24 | 75.93 | 7.33 | 1.78 | 20468 |
| 酒粕15% | 94.62 | 2.01 | 51.66 | 71.24 | 8.57 | 1.82 | 20535 |
| 糖蜜5% | 97.44 | 2.32 | 62.77 | 86.00 | 3.92 | 1.39 | 20002 |
| 糖蜜10% | 97.45 | 2.66 | 62.83 | 85.45 | 3.92 | 1.36 | 19917 |
| 糖蜜15% | 97.17 | 2.63 | 62.21 | 84.93 | 4.07 | 1.23 | 19880 |
| 試験4 | | | | | | | |
| 無添加 | 97.48 | 2.34 | 64.84 | 87.66 | 3.61 | 1.15 | 19938 |
| 乳酸菌 | 96.89 | 2.24 | 64.45 | 86.31 | 4.04 | 1.01 | 19959 |
| 糖蜜5% | 97.04 | 2.42 | 65.19 | 86.74 | 3.86 | 0.79 | 19849 |
| セルラーゼ | 97.12 | 2.43 | 64.23 | 85.97 | 3.91 | 0.55 | 20004 |
| 酒粕5% | 95.93 | 2.21 | 60.81 | 80.14 | 5.87 | 0.67 | 20169 |

測定は、3 反復のサンプルを 1 つにまとめて行った

ADF : Acid Detergent Fiber (酸性デタージェント繊維), NDF : Neutral Detergent Fiber (中性デタージェント繊維) CP : Crude Protein (粗タンパク質)

5-1-4 考察

本研究ではマダケとモウソウチクの2種類の竹を、稈部および葉部の部位別に、水分含量を35、45、55%に調整した試験1、2種類の竹の部位別に酒粕と乳酸菌、ならびにその両方を添加し、ともにサイレージ化後の飼料成分を分析した試験2を小規模発酵試験によって行った。試験3では、モウソウチクチップに酒粕と糖蜜を5~15%添加し、試験4ではモウソウチクに乳酸菌、セルラーゼ、糖蜜(5%)および酒粕(5%)をそれぞれポリドラム試験で添加し、ともにサイレージの発酵品質を分析し、さらに試験5では試験3と試験4に供したサイレージの飼料成分を分析した。

先行研究では、チップパーを用いて粉砕した場合、若い竹材であるほど品質は向上するが、水分含量が高すぎて使いづらくなるという報告がある(秋友ら, 2009)。試験1ではマダケとモウソウチクを稈部と葉部に分け、水分量を35%、45%、55%にサイレージ調製し、飼料成分を分析した。その結果、水分量による成分の大きな違いはなく、ともに葉部の方が飼料的価値が高いことが示された。大谷・岩澤(2007)はモウソウチク粉末の飼料的価値が低いと報告しているが、本研究では粗タンパク質は葉部で両種とも5.1~8.0%、脂肪含有量は2.6~3.3%であり飼料的価値が低いとまでは言えない結果となった。

モウソウチクには野生の乳酸菌が高い菌数レベルで付着している(大谷ら, 2004)ことから、試験2ではより良好なサイレージを製造するために、乳酸菌R050株と地域資源である酒粕を添加した。その結果、部位別にみた飼料成分は試験1の結果と同様の傾向を示し、葉部の方が高くなった。その中でも粗タンパク質は酒粕5%で最も高くなり、ADFは最も低くなった。これは酒粕由来の粗タンパク質が加わったことによる変化であると考えられる。酒粕を利用するにあたっては、天日干しと粉砕といった手間がかかるが、飼料的価値を向上させることができたこと、多くの酒粕が産業廃棄物として処分されていることを考えると、その利用には価値があると考えられる。

試験1と試験2の結果より、2種類の竹種間には化学成分に大きな差はなく、共通して葉部の粗タンパク質、粗脂肪が稈部より高い傾向にあることが示された。また、竹だけでは不

足する飼料成分を補うために酒粕を添加したことで粗タンパク質が増加した。このことより、モウソウチクを主原料とし、全竹を用いて酒粕を添加することで粗タンパク質や粗脂肪の含有量を増加させ、飼料価値を向上させるとともに、地域資源の活用にも寄与できると考えられた。

より大きな容量で行った試験 3~5 では、添加物の効果について検討するために、試験 3 では試験 2 の酒粕に加えて糖蜜を添加した。それぞれ添加割合を変えた処理区を設定した結果、pH は無添加区と比べ、ほかのすべての処理区で有意に低下し、酒粕や糖蜜の添加割合が増加するにしたがって酢酸の含有量も低下したことから、サイレージ化が促進されることが示された。酪酸は無添加区と比べると、他の処理区ではほぼ発生がなかった。試験 4 では供試した添加物をすべて混和した 5 つの処理区を設けた。糖蜜と酒粕は試験 3 の結果に従い添加量をそれぞれ 5%とした。

その結果、pH は試験 4 の結果と同様に糖蜜添加によって有意に低下し、次いで酒粕、セルラーゼ、乳酸菌それぞれの添加、無添加の順に高くなった。乳酸は糖蜜添加区と酒粕添加区で有意に増加した。これは糖蜜と酒粕が乳酸菌の増殖を助長させたためと考えられる。酢酸は糖蜜区で有意に増加したが、プロピオン酸や酪酸については傾向をつかむことができなかった。以上のことから、竹から良質なサイレージを得るためには、酒粕や糖蜜の添加が重要であることが示唆された。しかし、実際の生産現場や輸送等のコストも勘案すると最適な添加量は 5%程度が望ましいのではないかと考えられる。

試験 5 では試験 3 および試験 4 に供試したサイレージの飼料成分を分析した。その結果、酸性デタージェント繊維 (ADF) と中性デタージェント繊維 (NDF) が低かったのは酒粕添加区で、特に 15%の添加区の値が最も低い値であった。粗タンパク質は酒粕添加区で増加する傾向がみられた。粗脂肪は試験 4 の範囲では無添加区で最も高く、試験 3 の範囲では酒粕 15%添加区で最も高かった。この点については、傾向が一致しなかったため、さらなる検証が必要である。

添加物についてみると、試験 2 では酒粕 5%の添加によって粗タンパク質および粗脂肪の

含有量が無添加と比べ1%上昇し、試験3では酒粕の添加によって良質なサイレージが得られることが示された。試験4では処理区の中で酒粕5%区の発酵品質が優れること、試験5においても酒粕5%が粗タンパク質、エネルギーともに糖蜜5%、セルラーゼ処理区よりも高かったことが示された。試験5の結果からは、酒粕の添加量を増加させると粗タンパク質や粗脂肪が増加することが明らかになったが、生産上のコストや手間を考慮し、総合的に判断すると、添加物によるサイレージの化学成分および飼料成分が最も優れているのは酒粕添加で、その量は5%程度が適切であると考えられた。

5-1-5 結論

本節は、地域の低・未利用資源である竹材をサイレージの主原料として用いるため、2種類の竹種、マダケおよびモウソウチクの稈部および葉部の部位別に、水分含量を35、45および55%に調整した試験1と、2種類の竹材の部位別に酒粕と乳酸菌R050株、ならびにその両方を添加した試験2を行い、ともにサイレージ化後の飼料成分を分析した。次いで大容量の試験として、試験3では、モウソウチクに酒粕と糖蜜を5~15%添加し、試験4ではモウソウチクにR050株、セルラーゼ、糖蜜および酒粕を添加し、ともにサイレージの発酵品質を分析し、試験5では、試験3と試験4に供したサイレージの飼料成分を分析した。その結果、水分含量はサイレージの化学成分に影響を及ぼさず、一方、酒粕を5%添加することによりサイレージのpHを有意に低下させ、粗タンパク質を増加させ、かつ酪酸やプロピオン酸が少なく良質な品質のサイレージが生産できることが明らかになった。

5-2 採卵鶏の卵の生産性と品質に対する竹サイレージ給餌の有効性

日本の竹林は、今後予想される気候変動・温暖化の影響を受けて、これまで西日本中心の分布であったものが北日本に分布拡大する可能性が報告されている (Takenaka et al., 2017)。すなわち、今後、日本の竹林面積は特定の地域での拡大に加えて、気候変動によって増加することが考えられる。

かつては、全国の竹林のほぼ9割が管理・経営されていたが (柴田, 2010)、時代の変化とともに竹の経済的価値は低下し、需要減少 (林野庁, 2014) やそれに伴う管理放棄により、竹林の高密度化が進行している (渡邊, 2004)。竹が優占している森林では、植物種の多様性が大きく損なわれるとともに、森林として有している様々な公益的機能の発揮に支障が生じることも懸念されている (林野庁, 2018a)。そのため、荒廃竹林の再生に向けて、未利用竹の伐採を行い、適切な竹稈密度に戻すことが強く求められている (矢内ら, 2016)。

我が国における竹の利用については、従来からの丸竹・割竹、竹炭や竹酢液としての利用のほか、成分抽出などの新たな利用方法が研究・開発されており、原料としての竹の活用が期待されている (林野庁, 2018b)。新たな利用方法としては、伐採後の竹を破砕機によってチップ化したものを肥料や土壌改良剤 (山川ら, 2009a ; 山川ら, 2009b) または、飼料 (大谷ら, 2004 ; 中村ら, 2009) として利用する方法の考案も含まれており、収量増加や品質保持など様々な効果が報告されている。

特に飼料利用は、飼料自給率が低迷する我が国において重要な課題であり、飼料米やエコフィード、未利用資源の活用による飼料自給率全体の引き上げを目標とした取り組みが全国で展開されている。その中には竹を嫌気条件で乳酸発酵させて、貯蔵した家畜飼料 (サイレージ調製) に加工したものをヤギやウシに給餌した研究 (萬田ら, 1992) や竹破砕物の加工処理方法の違いによる竹サイレージの発酵品質の影響調査 (大島ら, 2015)、肉養鶏および採卵鶏の排せつ物臭気に及ぼす影響 (中村ら, 2009) も含まれ、竹の飼料利用が徐々に行われつつある。

しかし、これらの研究で得られた結果は、原料である竹の伐採時期や樹齢が異なっていた

り、竹の利用部位が稈または枝葉もしくはその両方であったりと、条件がそれぞれに異なり、大きなばらつきがある。また、対象とする家畜によってもその給餌効果に違いがある。さらに経済的効果の検証が不十分であるなど、実用化に向けては、詳細な条件設定とその試験結果を示すことが重要である。

5-2-1 研究の目的

本研究は、飼養期間が短く、品質への影響評価が比較的行いやすい採卵鶏への応用を目指し、原料である竹の種類、飼料への適切な混和量、産卵率や卵重、鶏卵品質や消費者への影響など、生産から消費までの各段階における採卵鶏への竹サイレージ給餌の有効性を明らかにすることを目的とした。

5-2-2 調査方法

本研究では、はじめに竹種の選定に関する試験として、1)竹の種による飼料成分の違いについて実験を実施し、そのうち優れた飼料成分であった種を用いて、2)一般飼料への竹サイレージの混和量(3%および5%)の違いによる産卵率及び卵重への影響を調査した。その後、優れた結果が得られた竹サイレージの混和量を採用して、3)竹サイレージの長期給餌による産卵率と鶏卵品質への影響および4)竹サイレージ給餌による鶏卵品質と官能試験への影響について調査した。

竹のチップ化および採卵鶏の飼養条件の検討

試験に供試する竹チップの材料は2015年5月から6月に丹波篠山市内の放置された竹林より伐採した2年から3年生のモウソウチク (*P. pubescens* Mazelex Houzeau) およびマダケ (*Phyllostachys bambusoides* Siebold et Zuccarini) とした。竹チップの製造は、竹粉砕機 (KIORITZ 製, KCM123S) を用いて、種類別に稈部、葉部に切り分けたものを5mm以下に粉砕した (図5-2)。粉砕したチップはポリプロピレンの1t容量フレコンバッグ (株式会

社フジテックス製、フレキシブルコンテナバッグ B) に詰め、投入口を固く結束して嫌気状態にしたのち、直射日光および雨の当たらない屋根のある場所で約 1 か月間保管し、サイレージ化（竹チップをフレコンバッグに入れ乳酸発酵させ、かつ貯蔵したもの）した。



図 5-2 竹チップの製造 (a : 破砕機によるチップ化, b : 稈部と葉部)

採卵鶏の飼養場所は兵庫県立播磨農業高等学校内の開放型鶏舎で行い、飼養形態は各ケージに 1 羽、各ケージ面積は 900 cm²とし、自由摂食ならびに自由引水条件下で飼育した。鶏種には過去のすべての試験において産卵率が 90%以上とされる採卵鶏品種“ボリスブラウン”を用いた。対照区および竹チップ添加区の飼料には、市販の成鶏飼育用配合飼料 (JA 組合飼料株式会社製、粗タンパク質含量 17 %, 代謝エネルギー含量 2,859kcal/kg) を用いた。

1) 竹種の選定に関する試験（飼料成分の分析）

竹の種類（モウソウチク，マダケ）による飼料成分の違いを明らかにするとともに，優れた竹種を採卵鶏に給餌するための予備試験を実施した。上記の通りに製造した竹サイレージをよく混和したのち，100g を飼料成分の分析用として供試した。

竹チップの化学組成を常法（阿部，1988；自給飼料品質評価研究会編，2001）に従って分析（乾物あたりの有機物・粗タンパク質・粗脂肪・中性デタージェント繊維・酸性デタージェント繊維の割合，総エネルギー）した結果，両種の飼料成分に大きな差がないことが確認され，大谷・岩澤（2007）の竹サイレージの飼料成分と比較しても家畜への給餌に問題はないと判断された。そこで，本節では，資源量が多く再生力が旺盛かつ拡大が顕著なモウソ

ウチクを採卵鶏の飼料と決定した。

サイレージの pH は、蔡ら（2002）と同様に、試料 10g に蒸留水 90ml を加えてよく攪拌してから 4℃の冷蔵庫で 12 時間静置した後、この抽出液をろ過し、ガラス電極 pH メーターを用いて測定した。有機酸含量（新鮮重あたりの乳酸・酢酸・プロピオン酸・酪酸の割合）についても、蔡ら（2002）と同様に、測定抽出液をイオン交換樹脂（東京有機化学工業株式会社製、AmberliteIR120RH+）で処理して高速遠心分離（12000rpm×5 分間）し、その上澄み液をフィルターでろ過してから高速液体クロマトグラフによって分析した。

2) 一般飼料への竹チップの混和割合の違いによる産卵率及び卵重への影響の解析

本試験は採卵鶏の竹サイレージへの嗜好性と生産性を確認するために、モウソウチクの竹サイレージを供試して実施した。試験に供試した採卵鶏は 2015 年 7 月 21 日時点で 182 日齢であった。調査項目は産卵率および卵重とした。2015 年 7 月 21 日から 8 月 16 日の 16 日間（182 日齢から 198 日齢）、同年 9 月 15 日から 10 月 4 日までの 19 日間（237 日齢から 257 日齢）にそれぞれ 5 羽を供試し、給餌には竹チップの混和割合を 0%（対照区）、3%、5%とした 3 区を設けた。

3) 竹サイレージの長期給餌による産卵率と鶏卵品質への影響の解析

本試験では採卵鶏への竹サイレージの長期給餌が産卵率と鶏卵品質に及ぼす影響について調査した。

前項の一般飼料への竹チップの混和割合の違いによる産卵率及び卵重への影響の解析より、竹サイレージ 3%添加区と 5%添加区では、平均値で見ると 5%添加区の方が産卵率が高かったため、竹サイレージの混和割合を 0%（対照区）および 5%に設定し、2016 年 1 月 1 日から 12 月 31 日の 365 日間給餌を各区について 30 羽を対象に供試した。調査項目は産卵率ならびに卵重とした。なお、試験に供試した採卵鶏は 2016 年 1 月 1 日時点で 346 日齢であった。さらに、一般的に夏場の産卵率が低下する（泉川・大西，2013）ことが知られているため、夏季（2016 年 7 月 27 日から 10 月 5 日）のみ残飼料を計測した。

4) 竹サイレージ給餌による鶏卵品質と官能試験への影響の解析

本試験では竹サイレージ給餌が鶏卵品質と官能試験に与える影響について調査した。

前項の竹サイレージの長期給餌による産卵率と鶏卵品質への影響に関する調査に供試した採卵鶏を対象に、給餌開始 210 日目にあたる 2016 年 8 月 28 日に卵質を分析するために 20 個の鶏卵をそれぞれの区から無作為に抽出し、卵殻強度、ハウユニット値（濃厚卵白の高さ）、卵黄色を測定した。卵殻強度は卵殻強度計（富士平工業株式会社製，NFN384），濃厚卵白の高さは卵白高測定器（富士平工業株式会社製），卵黄色はヨークカラーファン（DSM 社製）により測定した。鶏卵の成分も同様に、給餌開始後 210 日目にあたる 2015 年 8 月 28 日に鶏卵 10 個を無作為に抽出し、鶏卵 10 個を混和したものをサンプルとして測定を行った。鶏卵の混和物は速やかに分析センターに冷蔵で輸送し、到着後速やかに測定された。測定項目ならびに測定方法は水分（常圧加熱乾燥法），タンパク質（ケルダール法），脂質（酸分解法），炭水化物，脂質（原子吸光光度法），熱量である（すべて日本食品分析センターにて分析）。

官能試験に関しては、2016 年 5 月 29 日から 6 月 30 日に生産された卵を対照区、竹サイレージ区に分け、2 個ずつパックに入れたものを供試した。上記の試験日を設定した理由は、夏場に入ると産卵率や卵の品質低下の可能性があること、消費者への販売後から官能試験までの鮮度を保てないことを考慮したためである。官能試験の対象者は、採卵鶏の飼養地である高等学校に鶏卵の購入に訪れた方とし、無作為に 40 名を選出した。評価への影響を避けるために、その場での回答は避け、同封したはがきは無記名での回答を依頼した。回答までの日数は概ね 1 日から 2 日以内とし、試験場所は、対象者の自宅内とした。評価項目は色味、におい、食味、購買意欲とした。

統計処理

竹サイレージの混和量の違いによる産卵率及び卵重への影響については、対照区、竹サイレージ 3%区、竹サイレージ 5%区の試験区間の 5%水準の有意差の有無を求めるために、Fisher の最小有意差法によって分析した。竹サイレージの長期給餌による産卵率と鶏卵品質への影響については、対照区、竹サイレージ区の両試験区間の差を求めるために、産卵数、

卵重ともに対応のある t 検定を行った。竹サイレージ給餌による鶏卵品質については対照区、竹サイレージ区の両試験区間の差を求めるために、卵殻強度、ハウユニット値、卵黄色ともに対応のある t 検定を行った。これらの統計処理にはソフトウェア エクセル統計 for Windows (BellCurve 社製, 2017 年版) を用いた。

5-2-3 結果

前節で述べた 4 種の調査試験の結果を以下に述べる。

1) 竹種の選定に関する試験（飼料成分の分析）

モウソウチクとマダケの飼料成分の分析結果を表 5-7 に、発酵させたモウソウチクの竹チップの発酵品質を表 5-8 に示した。粗タンパク質は両種において葉部が高い値となり、稈部の約 6 倍となった。粗脂肪においても粗タンパク質と同様の傾向となり、葉部の方が高い値であった。一方、中性デタージェント繊維や酸性デタージェント繊維は両種ともに稈部で高い値であった。発酵品質は稈部、葉部ともに pH は 4.2 から 4.5 となり、プロピオン酸や酪酸はほぼ検出されなかった。乳酸は稈部の 0.37 % に比べ、葉部は 1.24 % と 3 倍以上多かった。

表 5-7 竹チップの飼料成分

| 種名 | 部位 | OM | CP | EE | NDF | ADF | GE |
|--------|----|----------|------|------|-------|-------|---------|
| | | (乾物あたり%) | | | | | (J/g) |
| マダケ | 稈部 | 98.54 | 1.38 | 0.86 | 90.23 | 70.69 | 19428.0 |
| | 葉部 | 92.50 | 7.73 | 2.94 | 73.46 | 49.63 | 18973.0 |
| モウソウチク | 稈部 | 97.99 | 0.85 | 0.92 | 87.91 | 67.50 | 19261.0 |
| | 葉部 | 93.64 | 6.15 | 3.19 | 77.26 | 52.06 | 19323.0 |

表中の数値は 3 反復の平均値

OM : Organic Matter (有機物), CP : Crude Protein (粗タンパク質), EE : Ether Extract (粗脂肪), NDF : Neutral Detergent Fiber (中性デタージェント繊維), ADF : Acid Detergent Fiber (酸性デタージェント繊維), GE : Gross Energy (総エネルギー)

表 5-8 モウソウチクの発酵品質

| 種名 | 部位 | 乾物重 (%) | pH | 乳酸 | 酢酸 | プロピオン酸 | 酪酸 |
|--------|----|------------|------|-----------|------|--------|------|
| | | | | (新鮮重あたり%) | | | |
| モウソウチク | 稈部 | 54.74 | 4.25 | 0.37 | 0.20 | nd | 0.01 |
| | 葉部 | 49.92 | 4.49 | 1.24 | 0.37 | 0.01 | 0.02 |

表中の数値は3反復の平均値

2) 一般飼料への竹チップの混和割合の違いによる産卵率及び卵重への影響

182日齢から198日齢、237日齢から257日齢の採卵鶏を対象にした試験の産卵率および卵重を表5-9に示した。182日齢から198日齢の試験区では竹サイレージ5%添加区で産卵率の有意な低下がみられ、237日齢から257日齢の試験区では竹サイレージ3%添加区で有意な産卵率の低下がみられた。卵重は竹サイレージ3%添加区でやや重くなる傾向があったが、日齢、試験区の違いによる有意な差はみられなかった。

表5-9 産卵率と卵重

| 日齢 | 試験区 | 産卵率(%) | 卵重(g) |
|-----------|-----------|-------------|-------------|
| 182日～198日 | 対照区 | 88.9±10.1 a | 61.7±2.4 ns |
| | 竹サイレージ3%区 | 91.6±12.7 a | 63.2±2.5 ns |
| | 竹サイレージ5%区 | 80.7±17.9 b | 63.1±3.4 ns |
| 237日～257日 | 対照区 | 86.0±12.0 a | 65.1±2.8 ns |
| | 竹サイレージ3%区 | 68.0±13.6 b | 65.7±2.9 ns |
| | 竹サイレージ5%区 | 88.0±15.1 a | 64.8±1.7 ns |

表中の異なるアルファベット間には、Fisherの最小有意差法で5%水準で有意差あり。nsは有意差なし

3) 竹サイレージの長期給餌による産卵率と鶏卵品質への影響

試験開始時に 346 日齢であった、採卵鶏 60 羽を対象に、竹サイレージを 5% 給餌した試験の産卵率および卵重の 1 年間の推移を図 5-2 に示した。産卵率は 1 月から 4 月には竹サイレージ区が有意に高く推移し、対照区の産卵率が大きく低下した 8 月においても、竹サイレージ区の産卵率が有意に高く、生産性を維持していた。産卵率は試験最終月の 2016 年 12 月を除いて、対照区に比べて竹サイレージ区が高かった。卵重に関しては 1 月、4 月、9 月は竹サイレージ区が、2 月、3 月、12 月は対照区が有意に高くなったが、いずれもその差は大きくなく、生産性に影響を与えるレベルではないと考えられた。産卵率の低下期にあたる 7 月下旬から 10 月上旬までの残飼料の計測結果を図 5-3 に示した。調査期間中すべての測定日において、対照区が竹サイレージ区の約 2 倍の残飼料となった。特に 8 月中旬の対照区の残飼料は 6.82kg と非常に多く、採食が減退していることが示された。

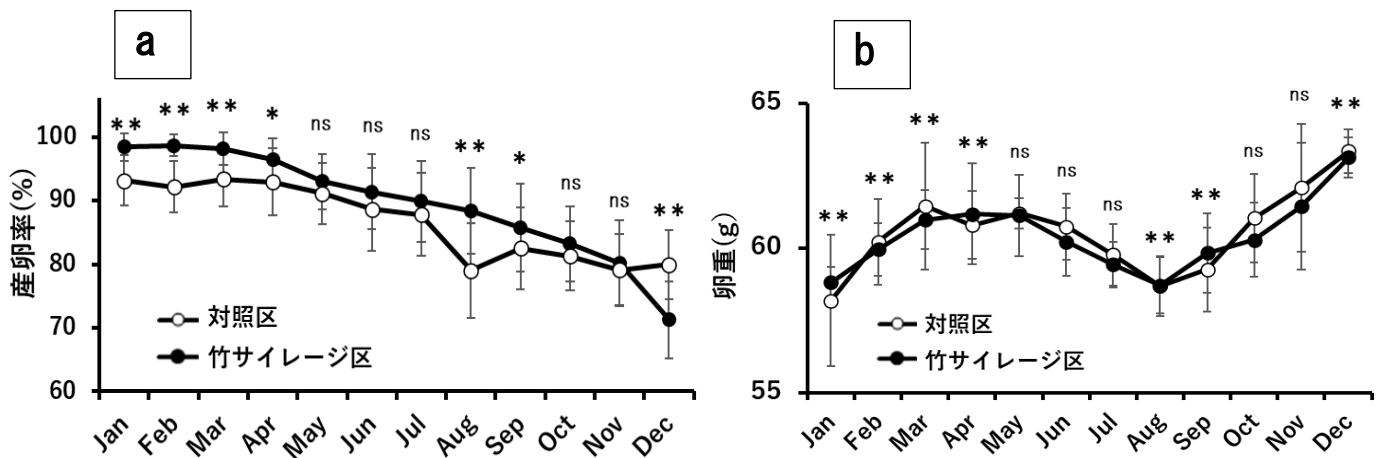


図 5-2 竹サイレージ 5% 給餌による産卵率と卵重の推移 (a: 産卵率, b: 卵重)

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, ns : 有意差なし (t 検定)

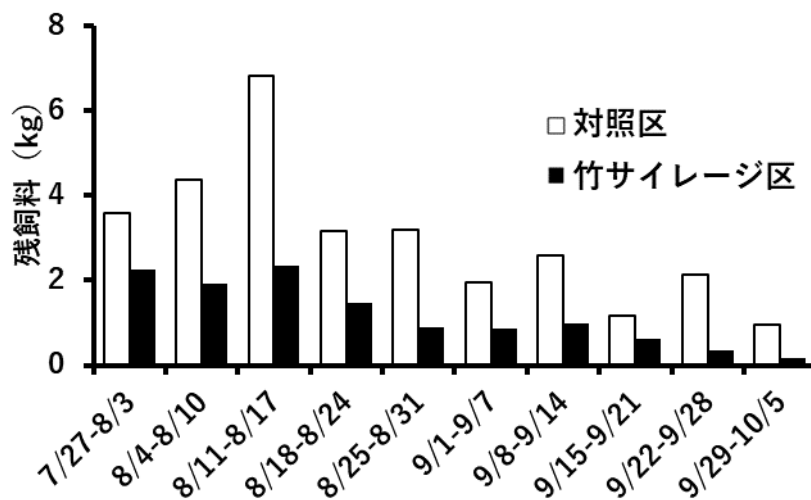


図 5-3 竹サイレージ 5%給餌による夏季の残飼料の推移

4) 竹サイレージ給餌による鶏卵品質と官能試験への影響

鶏卵の食品分析の結果を表 5-10 に示した。比較の条件は大きく異なるが、我が国の標準的な鶏卵品質との差異をみるため、日本食品標準成分表（文部科学省，2015）による鶏卵品質と比較した結果、本試験の炭水化物がやや高い値であること、ナトリウムがやや低い値であることを除き、大きな差はなかった。試験区間の比較では対照区に比べ竹サイレージ区で脂質がやや高く、炭水化物は約 2 倍高くなった。

鶏卵品質は卵重、卵殻強度、ハウユニット値、カラーファンともに試験区間における有意な差はみられなかった（表 5-11）。なお、ハウユニット値は卵白の高さを卵重で補正した数値で、通常、健康な鶏の生んだ産卵直後の正常な卵では約 80 以上の値を示し、鶏の日齢が進むに連れて低下する。カラーファンは色調が 15 段階に区分され、数値が大きくなると黄色の度合いが濃くなり、低くなるほど淡くなる。一般的には、カラーファンの数値が 8~9 程度あれば問題ないとされている。

官能試験の結果を表 5-12 に示した。色味については、竹サイレージの卵で“卵黄の色は

薄い”の回答が 52.5%，“卵黄の色は濃い”の回答が 20.0%，“変わらない”の回答が 27.5%であった。においについては，“生臭さが薄い”の回答が 40.0%，“変わらない”の回答が 57.5%であった。食味については，“竹サイレージ区がおいしい”の回答が 47.5%，“変わらない”の回答が 40.0%であり，購入意欲については，“竹サイレージ区の卵を購入したい”の回答が 87.5%と大半を占めた。

表 5-10 鶏卵の食品分析

| 試験区 | 水分 (%) | エネルギー (kcal) | タンパク質 (g) | 脂質 (g) | 炭水化物 (g) | ナトリウム (mg) |
|---------|--------|--------------|-----------|--------|----------|------------|
| 標準成分* | 76.1 | 151 | 12.3 | 10.3 | 0.3 | 140 |
| 対照区 | 74.7 | 162 | 12.3 | 11.2 | 0.9 | 130 |
| 竹サイレージ区 | 75.2 | 145 | 12.4 | 9.8 | 1.7 | 134 |

*日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）から引用。n=10

表中の値はすべて可食部 100 g 当たりの数値。

表 5-11 鶏卵の品質

| 試験区 | n | 卵重 (g) | 卵殻強度 (kg/cm ²) | ハウ ユニット値 | カラーファン スコア |
|---------|----|----------|----------------------------|----------|------------|
| 対照区 | 21 | 63.3±4.0 | 2.87±0.65 | 84.8±8.4 | 12.1±1.3 |
| 竹サイレージ区 | 22 | 63.5±5.0 | 2.76±0.50 | 85.3±6.8 | 12.1±1.1 |

対応のある t 検定で両区に有意差なし。n=20

表 5-12 官能試験に関するアンケート結果 (n=40)

| 項目 | 設問内容 | 回答 (%) |
|------|---------------------------|--------|
| 色味 | 竹サイレージ添加区の卵黄の色は薄い | 52.5 |
| | 竹サイレージ添加区の卵黄の色は濃い | 20.0 |
| | どちらも色は変わらない | 27.5 |
| におい | 竹サイレージ添加区の卵の方が生臭さが薄い | 40.0 |
| | 竹サイレージ添加区の卵の方が生臭さが濃い | 2.5 |
| | どちらもにおいは変わらない | 57.5 |
| 食味 | どちらの卵がおいしかったですか (対照区) | 10.0 |
| | どちらの卵がおいしかったですか (竹サイレージ区) | 47.5 |
| | どちらも味は変わらない | 40.0 |
| 購入意欲 | 総合的に判断して竹サイレージの卵を購入したい | 87.5 |
| | 総合的に判断して竹サイレージの卵を購入したくない | 12.5 |

5-2-4 考察

本節では、1)竹の種類による飼料成分の違いについて実験を実施し、差が認められなかったことからモウソウチクを供試し、2)一般飼料への竹サイレージの混和量(0%, 3%および5%)の違いによる産卵率及び卵重への影響を調査した。その後、優れた結果が得られた竹サイレージの混和量 5%を採用し、3)竹サイレージの長期給餌による産卵率と卵品質への影響および4)サイレージ給餌による鶏卵品質と官能試験への影響について調査した。

モウソウチクの飼料的価値については、様々な研究がすでになされており、萬田ほか(1990)は稲わらに比較して飼料価値が低いこと、秋友ら(2009)は竹材のサイレージは牛の飼料として利用するには嗜好性などの課題があると指摘しているものの、藤井・米田(2015)は採卵鶏の臭気軽減に竹粉が有効であることを、大島ら(2015)は竹の加工処理方法の違いにより発酵品質が向上することを報告している。これらの点を踏まえ、本研究では竹サイレージの実用化を目指し、竹破砕機によって間伐した竹を簡易に竹チップ化し、フレコンバッグで保存して給餌する容易な方法を採用して試験を実施した。

1)竹種の選定に関する試験(飼料成分の分析)

竹の伐採後、破砕機によってチップ化した竹2品種をフレコンバッグに入れ、嫌気条件で1か月間発酵させ、サイレージ化したところ、マダケとモウソウチクの飼料成分に大きな差はなかった。両品種とも粗タンパク質、粗脂肪は共通して葉部に多く含まれ、中性デタージェント繊維、酸性デタージェント繊維は稈部に多く含まれていた。モウソウチクの全竹を粉砕し、サイレージ化した大谷・岩澤(2007)の研究においては、モウソウチクサイレージの化学組成は、粗タンパク質1.1%、酸性デタージェント繊維62.6%と報告しているが、本研究と比較すると、粗タンパク質は稈部と同様で、酸性デタージェント繊維は稈部の方が高い値となった。

竹の種類に関しては、飼料的価値はマダケの葉部が高いと考えられるが、モウソウチクはマダケに比べて各稈のバイオマス量が大きいことや、葉部に比べ硬質の稈部が総重量の大

部分を占めること（大島ら，2015）から，モウソウチク的全竹を飼料として活用することが適切であると考察された。そのため，採卵鶏への給餌飼料にモウソウチクを採用することとして，その発酵品質を調査した結果，稈部，葉部ともに pH は 4 程度になり，特に葉部において乳酸菌の量が多くなった。モウソウチクサイレージは当初の pH は 6.0 であり，25℃で 30 日以上保存した場合には pH が 5 以下となり，発酵品質が安定する（大谷・岩澤，2007）という報告がある。つまり，本研究のように自然条件で保存する場合には，調製時期も重要であるといえる。本研究では，発酵品質を低下させるプロピオン酸および酪酸はほとんど発生せず，良質な乳酸発酵が行われたと考えられた。竹サイレージの発酵品質を調査した大島ら（2015）の試験においても発酵 1 か月後に乳酸菌量が最大となり，またその後の乳酸菌量に大きな変化はないことが示されており，1 か月程度の貯蔵後に給餌することが経済性にも優れており，妥当であることが示唆された。

2) 一般飼料の竹チップの混和割合の違いによる産卵率及び卵重への影響

採卵鶏 5 羽を供試した短期間の竹サイレージ給餌試験では，産卵率は 1 回目の試験においては竹サイレージ 5 %区で，2 回目の試験では竹サイレージ 3 %区で有意な低下が見られた。ここでは卵重の試験区間における有意差がなかったことや，夏場の産卵率が低下する期間における試験であったこと，供試羽数が少なかったことにより，結果が一定しなかったと考えられた。

産卵率について平均値をみると，対照区と竹サイレージ 5 %区に大きな差はなかったが，竹サイレージ 3 %区と 5 %区間にはばらつきが生じた。大谷・岩澤（2007）によるモウソウチク由来の家禽用生理活性資材の採卵鶏への給餌試験においては，竹サイレージは 5 %添加まで生産性に及ぼす悪影響がないことが確認されているが，今後はさらなる検証が必要である。

3) 竹サイレージの長期給餌による産卵率と鶏卵品質への影響

竹サイレージ 5%の給餌を 1 年間実施した結果，産卵率は 12 月を除き，高い値を維持した。対照区の産卵率が低下した 8 月の残飼料をみると，対照区では竹サイレージ区に比べ約

2倍程度多くなった。夏季はアニマルウェルフェアに対応した管理を行っても採食率や産卵率が低下することが知られている（泉川・大西，2013）が，竹サイレージの給餌は夏場の採卵鶏の採食を高め，さらにモウソウチクに含まれる生理活性物質（安藤ら，2003）により産卵率を向上させる可能性が示された。

竹サイレージ区における12月の有意な産卵率の低下については，竹サイレージ給餌との関連は不明であり，今後対照鶏の健康状態を観察する，さらに長期にわたる給餌試験を行う，などによって検証する必要がある。

4) 竹サイレージ給餌による鶏卵品質と官能試験への影響

鶏卵の食品分析による結果をみると，標準成分については，対照区および竹サイレージ区間に大きな差は認められず，竹サイレージの給餌が食品成分を損なわせることや栄養価を低下させることは少ないと考えられた。鶏卵品質についても同様に，各調査項目について試験区間の有意差はなかった。また，養鶏場の大型化に伴う集卵作業の機械化により破卵の増加が問題となっているが（阿部ら，1995），竹サイレージ5%添加による卵殻強度への影響はなく，さらに消費者側の指標ともなるハウユニット値やカラーファンスコアにも差がなかったことより，流通や消費段階における悪影響はほぼないと考えられた。消費者を対象にした官能試験についても，色味が対照区に比べ薄いと評価された以外は，生臭さが薄い，竹サイレージの方がおいしいという結果が得られており，竹サイレージを使用した養鶏が農家所得を低下させることにはつながらないと考えられた。今後は竹サイレージの供給体制の整備が課題となると考えられる。

5-3 本章の結論

本章では、地域の低・未利用資源である竹材の家畜飼料としての有用性を検証することを目的とした。5-1 節では竹材をサイレージの主原料として用いるため、2 種類の竹種、マダケ (*Phyllostachys bambusoides* Siebold et Zuccarini) およびモウソウチク (*P. pubescens* Mazelex Houzeau) の稈部および葉部のそれぞれを破砕したものについて、水分含量及び添加物 (酒粕, 乳酸菌 R050 株) を混和した試験, モウソウチクのみ添加物 (酒粕, 糖蜜, R050 株, セルラーゼ) を混和した試験を行い, それぞれの化学成分及び発酵品質を分析した。その結果, 水分含量はサイレージの化学成分に影響を及ぼさず, 一方, 酒粕を 5% 添加することによりサイレージの pH を有意に低下させ, 粗タンパク質を増加させ, かつ酪酸やプロピオン酸が少なく良質な品質のサイレージとなった。このことから, 竹材をサイレージとして使用する際の水分調整は水分含量が 35~55% の範囲にある場合は不要で, 栄養価値を高めるためには酒粕の 5% 添加が有効であることが明らかになった。給餌する家畜種に合わせて, 酒粕などの低利用資源を組み込むことでその飼料価値を高めることができる可能性が明らかになった。

次に, 5-2 節では原料である竹の種類, 飼料への適切な混和量, 産卵率や卵重, 鶏卵品質や消費者への影響など生産から消費までの各段階において, 採卵鶏への竹サイレージ給餌の有効性を明らかにすることを目的とし, 竹チップを 1 か月間嫌気条件で保管し, 採卵鶏 (ボリスブラウン) の飼料として給餌した。モウソウチクの竹サイレージは葉部に多くの乳酸菌を含み, 酪酸やプロピオン酸の生成はなく発酵は順調に進行した。採卵鶏への 1 年間の長期給餌の結果, 産卵率は対照区より高く推移し, 卵重には大きな差は見られなかった。夏季給餌中の残飼料も竹サイレージ区で少なく, 高い嗜好性が確認された。通常, 産卵率は夏季に低下するが, 竹サイレージ給餌によって生産性の向上に寄与できることが明らかになった。また, 鶏卵の食品分析や, 流通上問題となる卵殻強度, 新鮮さの指標であるハウユニット値に関しても対照区と竹サイレージ区間に有意な差はなく, 品質に問題がないことも確認できた。この結果より, 採卵鶏への飼料に 5% の竹サイレージを添加することは, 鶏

卵の生産性を高め、品質を維持できることが明らかになった。

引用文献

- 阿部 亮 (1988) 炭水化物成分を中心とした飼料分析法とその飼料栄養評価法への応用. 畜産試験場研究資料 2 : 1-75.
- 阿部 渉・東海林孝礼・宮腰温子・嘉藤太加雄・中川忠雄 (1995) カキ殻の飼料添加が産卵後期の鶏卵殻質におよぼす影響. 新潟県畜産試験場 11 : 75-79.
- 秋友一郎・太田壮洋・岡村由香 (2009) 未利用資源の畜産的利用に関する研究-竹材の畜産分野への利用に関する研究 (発酵飼料化) -. 山口県畜産試験場研究報告 24 : 79-84.
- 安藤浩毅・森田慎一・古川郁子・神野好孝・坂木 剛・広末英晴 (2003) 加圧熱水によるモウソウチクからのキシロオリゴ糖の生成. 木材学会誌 49(4) : 293-300.
- 藤井康代・米田華菜子 (2015) 採卵鶏飼料としての竹粉および自家発酵竹粉の有用性. Bamboo Journal 29 : 29-35.
- 自給飼料品質評価研究会編 (2001) 粗飼料の品質評価ガイドブック. 日本草地畜産種子協会. 東京.
- 家木 一・小池正充・藤岡一彦 (2010) モウソウチク (*Phyllostachys pubescens*) とトウフ粕および醬油粕混合ペレットの飼料特性と乳牛への給与. 日本草地学会誌 56(1) : 34-38.
- 家木 一 (2011) ペレットに加工したモウソウチクの泌乳牛用飼料としての利用性に関する研究. 愛媛県農林水産研究所畜産研究センター1 : 1-10.
- 泉川康弘・大西美弥 (2013) アニマルウェルフェアに対応した鶏の飼養管理. 香川畜産試験場報告 48 : 29-36.
- 菊川裕幸・木田森丸・圓増まどか・稲元友佳子・岸本賢一・加藤 拓・藤嶽暢英 (2018) 乾燥汚泥・竹チップ混和堆肥の熱水抽出液の特性評価と堆肥施用がダイズ (丹波黒大豆) の生育に及ぼす影響. 日本土壌肥科学雑誌 89(3) : 295-301.
- 文部科学省 (2015) 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂). http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.htm (参照 : 2017 年 12 月 1 日).
- Takenaka, Kohei T., K. Hibino, A. Numata, M. Oguro, M. Aiba, H. Shiogama, I. Takayabu,

- T. Nakashizuka (2017) Detecting latitudinal and altitudinal expansion of invasive bamboo *Phyllostachys edulis* and *Phyllostachys bambusoides* (Poaceae) in Japan to project potential habitats under 1.5°C-4.0°C global warming. *Ecology and Evolution*, 7(23):9848
- 萬田正治・長 英司・徳田博幸・黒肥地一郎・渡邊昭三 (1992) モウソウチクの飼料的価値. 鹿兒島大學農學部學術 40 : 173-179.
- 松井繁幸・蔡 義民・大石誠一・横越英彦・岩澤敏幸・中村茂和・池谷守司・関 哲夫 (2009) モウソウチクサイレージの鶏飼料への応用. 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター研究報告 2 : 27-33.
- 松井繁幸・蔡 義民・大石誠一・横越英彦・岩澤敏幸・中村茂和・池谷守司・関 哲夫 (2010) モウソウチクサイレージの鶏飼料への応用 (2). 静岡県畜産技術研究所中小家畜研究センター研究報告 3 : 27-32.
- 中村茂和・松井繁幸・杉山 典・黒田博通 (2009) 竹粉サイレージの給与が肉用鶏および採卵鶏の排せつ物臭気に及ぼす影響. 静岡県中小家畜試験場研究報告 2 : 43-48.
- 大谷利之・和久田高志・関 哲夫・岩澤敏幸・池谷守司 (2004) 畜産分野における竹資源の利活用. *Bamboo Journal* 21 : 72-77
- 林野庁 (2014) 森林・林業白書 (平成 26 年度). 林野庁. 東京.
- 林野庁 (2018a) 森林・林業白書 (平成 30 年度). 林野庁. 東京.
- 林野庁 (2018b) 竹の利活用推進に向けて. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take-riyou/attach/pdf/index-3.pdf>.
- 大谷利之・岩澤敏幸 (2007) モウソウチクサイレージの調整とその発酵品質. 静岡県中小家畜試験場研究報告 17 : 53-57.
- 大島一郎・加藤洋平・久田真士・石川あい・廣瀬 潤・石井大介・白坂清春・松元里志・片平清美・主税裕樹・高山耕二・中西良孝 (2015) 加工処理方法の違い (破碎または解砕) が竹材の保存性とサイレージの発酵品質に及ぼす影響. *日本暖地畜産学会報* 58(2) : 225-

- 蔡 義民・藤田泰仁・佐藤崇紀・増田信義・西田武弘・小川増弘 (2002) 麦茶残渣サイレー
ジの調製貯蔵と発酵品質. 日本畜産学会報 73(2) : 283-289.
- 柴田昌三 (2003) モウソウチクと日本人. 日本緑化工学会誌 28(3) : 406-411.
- 柴田昌三 (2010) 竹資源の新たな有効利用のための竹林施業. 森林科学 58 : 15-19.
- Tannock, G. W. (1999) Probiotics—a critical review. Horizon Scientific Press, Norfolk.
- 渡邊政俊 (2004) 竹林栽培と竹林生産の動向. 内村悦三編 竹の魅力と活用. 創森社. 東京.
pp. 61-64.
- 山川武夫・山野麻有子・池田元輝 (2009a) 繊維状竹破砕物のカリ成分とマルチがダイズ品
種フクユタカの生育と収量に及ぼす効果. 日本土壌肥料学会誌 80 : 7-13.
- 山川武夫・山野麻有子・池田元輝 (2009b) 繊維状竹破砕物と窒素肥料の施肥位置がダイズ
品種フクユタカの収量と三要素集積に及ぼす影響. 日本土壌肥料学会誌 80 : 379-386.
- 矢内純太・中尾 淳・大迫敬義・宮藤久士・吉田裕三・佐野新悟 (2016) 竹林間伐材を利用
した竹粉および竹炭の水稻苗箱培土としての有効性. 日本土壌肥料学会誌 87 : 241-246.

第6章 総合考察：丹波篠山市における竹資源の整備と有効活用法の方向性

6-1 本研究で得られた知見

第2章では丹波篠山市を対象地とし、竹林分布と近年の変遷を調査した結果、同市の竹林は1999年と2016年でその数に大幅な変動はなかったが、竹林合計面積は42.6ha増加しており、現地踏査の結果からはその半数以上が放置竹林であることが明らかになった。人間の管理が粗放化した竹林は既往研究をみても拡大の一途にあることがわかる。丹波篠山市においても同様に放置竹林の拡大が進行していることが予測される。放置竹林の管理のためには、各竹林の面積、道路からの距離、傾斜などの情報が必要となるが、第2章ではそれらの情報を整理し、同市の竹林の多くが「活用容易タイプ」に分類できることから、その活用の制約が比較的少ないことを明らかにすることができた。

第3章では第2章の結果を踏まえ、対象地域における竹資源の利用促進のために、丹波篠山市の竹林における地上部現存量及び竹資源量の推定を行った。地上部現存量の推定のためのアロメトリー式の作成においては、放置モウソウチク林及び放置マダケ林の稈重（乾物重）を胸高直径（DBH）から高い精度で推定することができた。枝葉重（乾物重）のアロメトリー式の推定精度は高くなかったが、稈と併せて考えると、竹林のおおよその資源量を推定することが可能となった。また、同市の竹林面積の拡大率を求めたところ、1.01ha/（ha year）となった。以上の結果より、丹波篠山市の竹林の地上部現存量を算出すると、放置モウソウチク林で276.8t/ha、放置マダケ林で173.3t/haとなった。竹林面積の推移は2016年に225.1haであった竹林が2035年には277.8haになる可能性が示された。このように、現状では竹林は拡大を続けることが予想されることから、同市の竹林の約60%を占め、生育が旺盛であるモウソウチク竹林を優先的に整備していく必要があると考えられる。

第4章では竹資源の農産物への利用を検討するために、竹チップのマルチング利用、水稻栽培の有機物としての施用、乾燥汚泥と竹チップを混和した堆肥の品質を考察した。その結果、竹チップのマルチングが丹波黒大豆に増収効果があり、竹チップ厚1cmのマルチングがハウレンソウ栽培で雑草を抑制し、生育促進につながる事が明らかとなった。また、水稻

栽培での 1t/10a の竹粉施用は、水稻の生育を阻害することなく、収量や外観品質は慣行栽培とほぼ変わらなかったが、食味値は有意に増加することが示された。乾燥汚泥と竹チップを混和し堆肥化した試験ではその品質を分析し、調整した堆肥を丹波黒大豆栽培に供試した。その結果、調製した堆肥は作物の生育や施用の安全性に悪影響を及ぼす可能性はなく、丹波黒大豆の収量を増加させる可能性が認められた。以上のことから、丹波篠山市の主要な栽培作物に竹チップ資材が利用できることが明らかになった。

第 5 章では竹資源を中心に地域の未・低利用資源を組み合わせた竹サイレージの有効性の検証、竹サイレージの採卵鶏給餌に及ぼす影響を検討した。その結果、サイレージ化において水分調整は重要な課題であるが、竹チップをサイレージ化する場合、水分が 35～55%の範囲にある場合の調整は不要で、さらにサイレージとしての栄養価値を高めるためには酒粕 5%添加が有効であることが明らかになった。また、モウソウチクサイレージを一般飼料に混合して採卵鶏に給餌する際の混合量は 5%が適量であり、それによって生産性向上、飼料代削減の可能性が高まることが明らかになった。昨今の穀物価格の高騰により飼料価格も依然として高騰を続けているため、竹資源を家畜飼料として一部であっても代替できることは、畜産農家の収益増加にも寄与できると考えられた。

6-2 丹波篠山市における竹資源の有効利用法の検討

本研究では、丹波篠山市の竹林拡大の現状および 2016 年現在の各竹林の面積や傾斜角、標高、道路までの距離等を解析した。また、同市内の放置モウソウチク林及びマダケ林から、地上部現存量を推定し、竹林面積から資源量を推定した。加えて、竹林伐採後に産出される竹チップの農業生産への利用方法について検討を行った。これらの結果を踏まえ、本項では丹波篠山市における竹林の整備計画と伐採後の竹資源（竹チップ）の農業分野への有効利用法について検討する。

丹波篠山市における農業の実態として、農家の作付面積をみると、農業では最も多いのは水稲 1,898ha、次いで豆類のダイズ 542ha、蔬菜の 89ha であり、畜産では農家戸数でみると肉用牛が 19 戸、鶏（採卵鶏）が 4 戸となっている（兵庫県農林業センサス，2020）。これらの背景を踏まえ、丹波篠山市における竹資源の農業利用の可能性について、第 4 章及び第 5 章で得た結果に加え、これまでの既往研究の中から応用可能と考えられるものを表 6-1 に示した。

丹波篠山市において作付面積の割合が最も多いのは水稲である。水稲についての竹の利用に関する既往研究は少ないが、水稲苗箱培土として竹粉及び竹炭が培養土の 20~30% 程度の混和で利用可能であることが示されており（矢内ら，2016），第 4 章第 2 節で示したように、栽培前の有機物施用として 10a/1t の竹粉の施用によって収量やコメの外観品質への影響はなく、食味値が上昇することが明らかになっている（菊川ら，2017）。次に多い作物は豆類（ダイズ）となっており、そのうちの大半は地域特産品の丹波黒大豆の栽培となっている。ダイズについては、竹粉を表面施用することによって、竹粉に含まれるカリウムの影響を受け、莢数や百粒重が増加し、増収することが報告されている（山川ら，2009a；山川ら，2009b）。また、第 4 章第 1 節で示したように、丹波黒大豆を対象にした厚さ 2cm の竹チップのマルチングによって同じく莢数や百粒重が増加することが明らかになっている（菊川，2016）。さらに、第 4 章第 3 節で示したように、同市内で発生する乾燥汚泥に竹チップを混和した堆肥を丹波黒大豆栽培に施用したところ、慣行栽培と比較して収量に影響を及

ぼさないことが明らかになった（菊川ら，2018）。また，第4章第1節で示したように，竹チップの厚みを1cmとしマルチングを行い，ハウレンソウを栽培することで雑草の発生を抑制し，ハウレンソウの生育を促進することが明らかになった（菊川ら，2018）。ハウレンソウの栽培面積は1haと少ないが，それ以外の野菜も含めると89haの栽培が行われているため，数多くの野菜に竹チップマルチングを行うことにより，大量の竹チップが利用できる可能性がある。

一方，畜産への利用をみると，対象農家数は少ないが，同市内では肉用牛や採卵鶏が飼養されている。肉用牛の飼料として，第5章第1節で示したように，モウソウチクサイレージのみでも飼料価値は一定程度認められるが，それに酒粕5%を加えることで良質のサイレージとなることが明らかになっている（菊川ら，2020）。同市内には酒造業者もいくつかあるため，酒粕の供給も実現可能性が高いと考えられる。本研究では肉用牛への給餌試験は行っていないが，既往研究の結果からも，肉用牛へのモウソウチクサイレージの給餌は問題ないことが報告されている（阿立ら，2008；石田ら，2017）。また，飼料のみならず，竹チップは敷料としての利用も可能であること（大島ら，2013），畜産廃棄物の堆肥化の際の副資材としても利用が可能であること（竹下・小山，2014）から，肉用牛農家においても十分利用できる。続いて，採卵鶏への利用をみると，第5章第2節で示したように，一般飼料に5%の竹チップを混和すると，産卵率が向上し，卵重やその他の卵品質には悪影響を及ぼさないことが明らかになっている（菊川ら，2019）。以上のように，畜産分野においても竹資源の利用は十分可能である。

表 6-1 丹波篠山市における竹資源の農業利用の可能性に関する知見

| 利用種類 | 利用方法 | 内容・効果 | 利用量・頻度など | 著者・発表年・発表誌 |
|---------|----------------------|---|---|-----------------------------|
| | ダイズ栽培におけるマルチング | 竹チップのマルチングはダイズ（丹波黒大豆）の莢数、百粒重を増加させる。 | 表面に2cm厚でマルチング。おおよそ1.1kg/m ² 。 | 菊川（2016）人と自然（第4章第1節） |
| | ハウレンソウ栽培におけるマルチング | 竹チップ厚1cmのマルチングは雑草の発生を抑制し、ハウレンソウの生育を促進する。 | 表面に1cm厚でマルチング。おおよそ0.5kg/m ² 。 | 菊川（2016）人と自然（第4章第1節） |
| | 水稲栽培の有機物 | 竹粉の水稲栽培への施用は、水稲の収量や外観品質を低下させることなく、食味も向上する。 | 10aあたり1t程度の元肥としての施用。 | 菊川ら（2017）美味技術学会誌（第4章第2節） |
| 作物・蔬菜生産 | 乾燥汚泥と竹チップの混和による堆肥の施用 | 乾燥汚泥と竹チップを混和させ約2か月間熟成させた堆肥のダイズ（丹波黒大豆）への施用（乾燥汚泥：竹チップの混和割合は5：5，7：3，9：1）は、慣行栽培と比較して、収量に影響を及ぼさない。 | 10aあたり1t程度の元肥としての施用。混和割合は9：1，5：5が増収につながった。 | 菊川ら（2018）日本土壤肥料学会誌（第4章第3節） |
| | ダイズ栽培における表面施用 | 竹粉のマルチはダイズ（フクユタカ）に増収効果をもたらす。竹粉に含有されるカリウムはダイズの生育にプラスの効果がある。 | 1/5000aのワグネルポットに56gの表面施用。 | 山川ら（2009）日本土壤肥料学会誌 |
| | 水稲苗箱培土 | 原土（培養土）に対して竹粉および竹炭を混和して使用することで、軽量化につながり、収量の低下も発生しない。 | 原土（培養土）の20～30%。 | 矢内ら（2016）日本土壤肥料学雑誌 |
| | 竹サイレージ飼料 | モウソウチクサイレージに酒粕を5%添加することでサイレージのpHを低下させ、粗タンパク質が増加するなど、畜産飼料としての一定の価値がある。 | 本研究では給餌試験は行っていないが、既往研究から一般飼料の5～10%程度の混和が可能。 | 菊川ら（2020）西日本暖地畜産学会誌（第5章第1節） |
| 畜産 | 採卵鶏の飼料 | 一般飼料に5%の竹チップを添加することで、産卵率が増加し、品質にも悪影響を及ぼさない。 | 一般飼料に5%の混和が可能。 | 菊川ら（2019）人と自然（第5章第2節） |
| | 肉用牛の敷料 | 竹粉を肉用牛の敷料として使用しても、通常のオガクズ利用の場合と肉用牛の生育やにおいの発生状況は変わらない。 | 牛房に約30cm厚で敷き詰める。約3.5か月使用。 | 大島ら（2013）鹿児島大学農学部農場研究報告 |

以上から、丹波篠山市内における竹資源の農業利用可能性に関する推定量を試算し、表 6-2 に示した。表 6-2 ではすべての耕地面積を対象に利用推定量を算出した。マルチング施用の場合は、畑全体ではなく畝上の施用となることが想定されるため、利用率は 50%に設定した。ダイズ栽培にマルチング施用した場合は 0.55t/10a で利用推定量は 2,981t、水稲栽培の有機物として施用した場合は 1t/10a で利用推定量は 1,440t、乾燥汚泥と竹チップの堆肥を有機農家が使用した場合は 1t/10a で利用推定量は 940t となった。これらすべてを合計すると、年間の竹チップ利用量は最大で 5,399t になることが予想された。

表 6-2 丹波篠山市における竹資源の農業利用の推定量

| 利用用途 | 利用量の目安 (t) | 対象耕地面積 (ha) | 利用推定量 (t) |
|---|---------------|----------------|--------------|
| ダイズ栽培のマルチング施用（利用量は1.1kg/m ² であるが、畝上に施用するため0.55kg/m ² で換算） | 0.55t/10a | 542.0 | 2,981 |
| 蔬菜栽培のマルチング施用（利用量は0.5kg/m ² であるが、畝上に施用するため0.25kg/m ² で換算） | 0.25t/10a | 1.0 | 3 |
| 水稻栽培の有機物としての施用 | 1t/10a | 144.2 | 1,440 |
| 乾燥汚泥と竹チップの堆肥化 (有機農業に使用, 混合割合1:1) | 1t/10a | 94.0* | 940 |
| 大型家畜飼料や敷料 | 1.5t/年 | 肉用牛農家19戸 | 29 |
| 採卵鶏飼料 | 1t/年 | 採卵鶏農家4戸 | 4 |
| 丹波焼の焼成材等（菊川・三輪, 2017） | 2t/年 | - | 2 |
| 年間合計利用量 | | | 5,399 |

* 丹波篠山市で 2023 年現在有機農業に取り組んでいる農地面積で想定した。

第 2 章及び第 3 章の結果より丹波篠山市内で利用可能な竹資源と現在の供給状況を表 6-3 に示した。丹波篠山市の 2016 年現在の竹林数は 2,072 箇所であり、そのうち 1,209 箇所について現地踏査を行った。これらの結果から同市内におけるモウソウチク林は 58.0%、マダケ林は 39.2%であることが明らかになった。加えて、伐採が容易とされる傾斜度 20° 以下かつ道路からの距離が 30m 以下の竹林は、1,159 箇所、110.1ha 存在することが推定された。以上より、丹波篠山市において利用可能な竹資源は、モウソウチク林で 672 箇所あり面積は 63.9ha、マダケ林は 454 箇所、43.0ha 存在すると想定された。現地踏査の結果より管理竹林はモウソウチク林で 7.4%、マダケ林で 3.6%とその割合が低いことから、竹林は放置竹林を想定し、竹林面積に ha あたりの地上部現存量（放置竹林から求めたアロメトリー式を使用）を乗じ、地上部現存量を算出した。その結果、モウソウチク林は 17,688t、マダケ林は 7,552t となり、丹波篠山市全体で 25,240t の竹資源が存在すると推測された。そのうち、伐採可能量は持続的な竹資源の供給を考慮し、推定面積から算出した地上乾物重の 1/4 と設定した。1/4 の設定は、毎年 4 年生の稈を伐採することを想定し、毎年発生する竹稈の本数を一定となるように管理することで可能と考えた。

丹波篠山市の竹林整備状況は、丹波篠山市役所が行っている竹破砕機の無償貸し出し利用者に向けて実施したアンケート結果を集計した（詳細は次項）。2020年現在の竹林の伐採面積はモウソウチク、マダケいずれも2.4haであり、地上部乾物重はモウソウチク林が664.3t、マダケ林で415.9tとなった。これらを合計すると1,080.2tであり、伐採可能量の17.1%に留まっていた。表6-2で示した竹資源の年間合計利用量5,399tの需要があると仮定すると、現状の供給率は20.0%であり十分な量は確保できていないことがわかった。しかし、伐採可能量は推定された需要量の1.17倍存在する結果となったことから、竹林整備が進み、竹チップの生産量が増加すれば十分に供給でき、丹波篠山市域内で竹資源の循環を持続的に行うことが可能であると考えられる。また、表6-3は伐採が容易とされる竹林のみを対象としているため、条件を緩くすることでさらに伐採可能な量は確保できると考えられる。

表6-3 丹波篠山市における利用可能な竹資源と供給状況

| 竹種 | 本研究で明らかになった項目 | | | | 丹波篠山市の竹林整備状況 と現在の供給の状況** | |
|--------|---------------|--------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| | 推定竹林数 (個) | 推定面積 (ha) | 地上部乾物重 (t) | 伐採可能量* (t) | 伐採面積 (ha) | 地上部乾物重 (t) |
| モウソウチク | 672 | 63.9 | 17,688 | 4,422 | 2.4 | 664.3 |
| マダケ | 454 | 43.0 | 7,552 | 1,888 | 2.4 | 415.9 |
| 合計 | 1,126 | 106.9 | 25,240 | 6,310 | 4.8 | 1080.2 |

* 伐採可能量は持続的な竹資源の供給を考慮し、4年生以上の稈を想定し、推定面積から算出した地上乾物重の1/4と設定した

** 丹波篠山市の竹林整備状況は、竹破砕機利用者を対象に行政が行っているアンケートの結果を記載した（調査年は2018～2020年、調査票配布数は77件で回答率は100%）

6-3 丹波篠山市における竹林整備の現状

2016年現在、丹波篠山市の竹林数は約2,000箇所である。2016年に存在した竹林の中で、面積が1,000㎡以下の小規模な竹林数は約770箇所であり、全体の約40%を占めることが明らかになった。道路からの距離は10～15m、20～25mが、傾斜角は0～5°が多く、30°を超えるような竹林はほとんどなかった。以上のことから、同市内の竹林は比較的整備しやすい環境にあると言える。兵庫県豊岡市を対象に竹林の管理計画の立案を行った宮崎ら(2015)は、シナリオ分析の結果、小規模の竹林から優先的に除去を行うことが将来の竹林面積を縮小させるうえで最も有効としている。また、藤原・伊藤(2013)は各竹林内の一部の管理を行えなかった場合、その部分から竹の地下茎および竹稈の再生が始まるため、竹林内の全域の管理が必要と述べている。これらのことから総合的に判断して、管理しやすい竹林および優先的に管理すべき竹林は、傾斜角が小さく、道路からの距離が近い小規模のものであると考えられる。

一方、丹波篠山市の竹林拡大面積は1.01ha/(ha year)と推定されているが、今後継続的な竹林整備等によって竹林を伐採及び管理しなければ、年々管理放棄された竹林が増加することが予想される。

こうした背景を踏まえ、同市において竹破碎機の無償貸し出しが2018年から行われるようになった。貸出される竹破碎機は、同市が購入したもので、市民を対象に無償で貸し出されている。破碎機は大型機と小型機の2台あるがいずれもKIORITZ製である。大型機は自走式で、本体の大きさは1,855×730×1,380(mm)、重量は375kgとなっており、軽トラックでの運搬はできない。2019年から導入されたもう1台は小型の自走式で、本体1,620×730×1,290(mm)、重量は345kgとなっており、軽トラックの運搬が可能である。貸し出しには様々な条件や報告書が必要となり、完全予約制での運用となっている。

貸し出しの対象は市内で竹林整備を行う団体(自治会、まちづくり協議会、環境保全団体等)となっており、貸し出しの条件は1)竹チップの一部を市に提供すること、2)竹以外(木材など)をチップ化しないこと、3)営利目的の利用ではないこと、4)粉碎した竹チップを廃

棄処分しない（再利用する）こと、となっている。貸し出しの可能回数は、半年（4～9月、10月～3月）ごとに1回（最大11日間）、合計年2回まで予約・利用が可能である（図6-1）。貸し出し時には申請書に使用団体名、使用場所、機器保管場所、保険の加入状況、土地の利用元可等の記載が必要となる。また貸し出し終了後には、実績報告として竹破碎機の使用日時、使用時間、伐採場所、伐採面積、伐採竹の種類、竹チップの使用方法、伐採終了時の現場写真等を提出する必要がある（図6-2）。加えてその1か月後には再度現場の写真の提出が求められる。これは、伐採後の竹の不法投棄等を防止するためである。

2台に増えました！ 竹粉碎機を貸し出します

軽トラに乗る！
「小型機」増台

予約制
最大11日間
貸出

団体が年2回まで
利用可

放置竹林や竹の処分にお困りではありませんか？

丹波篠山市では美しい里山、城下町の景観保全のため、竹をチップ化できる竹粉碎機を無料で貸し出しています。放置竹林、伐採した竹が山積み状態…そんな困りごとに竹粉碎機をお役立てください！チップにすれば容積が減って竹の処分がしやすくなり、さまざまな用途に活用できます。



▲伐採した竹が積み重なったままで見えている印象、景観も。



▲竹粉碎機で竹が粉末でき、こんなにスッキリ！チップはその場に置いて下草類などに。

貸し出しについて

貸出対象 市内で竹林整備を行う団体（自治会、まちづくり協議会、環境保全団体等）

貸出条件

- 竹チップの一部を市に提供すること。
- 竹以外（木材など）をチップ化しないこと。
- 営利目的の利用ではないこと。
- 粉砕した竹チップを廃棄処分しない（再利用する）こと。
- 半期（4～9月、10月～3月）ごとに1回、合計年2回まで予約・利用可。（貸出希望日の2週間前に機器があれば、回数に制限なく予約可能です。）

貸出料金 無料 ※ただし機器のカンソート代、運搬費用は借用人負担。
※過失による故障や破損時は、修理費の負担をお願いします。

貸し出しから利用までの手順

- 空き状況の確認、仮予約
- 借用希望日の10日前までに借用申請書（様式あり）提出
- 農都環境課より借用許可書発行
- 竹粉碎機借用 → 使用 → 返却と竹チップの提出
- 実績報告書等（様式あり）提出 → 完了 ※アンケートにご協力いただく場合があります。

様式ダウンロード <https://www.city.sasayama.hyogo.jp/pc/group/kankyo/>

提供いただいたチップは、肥料化や「あまぎり産」の産廃処理などに活用中。

貸し出す機器

1号機
竹太郎



2号機
竹次郎



| 機器名称 | 1号機（竹太郎） | 2号機（竹次郎） |
|------|---|---|
| 機器概要 | 初代、大型機、自走式。 本体：1,855×730×1,380 (mm)、375kg 燃料：ガソリン（12リットル搭載可能） | 新形、小型機、自走式。 本体：1,620×730×1,290 (mm)、345kg 燃料：ガソリン（12リットル搭載可能） |
| 運搬 | 軽トラで運搬。* | 軽トラで運搬。* |
| 排出 | 粉砕したチップが上から排出されるので狭な道に集めやすい。 | 粉砕したチップが下から排出されるので狭な道に集めにくい。 |

貸し出し期間の例

金曜日から翌々週の月曜日までの、最大11日間を1回の貸し出し期間とします。（※期間は貸出日域に多少の差があります。）
借用日・返却日は、期間中自由に設定できます。希望日時の調整は竹粉碎機管理業者と直接行っていただきます。

| 日 | 月 | 火 | 水 | 木 | 金 | 土 |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 借用開始 | 借用開始 | 借用開始 | 借用開始 | 借用開始 | 借用開始 | 借用開始 |
| 借用終了 | 借用終了 | 借用終了 | 借用終了 | 借用終了 | 借用終了 | 借用終了 |

▲貸し出し期間中は借用、返却が自由にできます（管理業者の休業日のぞく）。

農都創造部 農都環境課 創造農村室 〒669-2397 丹波篠山市北新町41（第2庁舎2階）
TEL 079-552-1117 FAX 079-552-2090
メール kankyo_div@city.sasayama.hyogo.jp

図6-1 丹波篠山市における竹破碎機貸し出しの広報用チラシ（引用：<https://www.city.tambasayama.lg.jp/soshikikarasagasu/nomiyakokankyoka/envpolicy/5066.html>。2023年7月12日確認）。

| | |
|------------------|--|
| 借用機器 | |
| 借用期間 | 年 月 日 () から 年 月 日 () まで 日間 (うち使用日数 日間) (延べ使用時間 時間) |
| 使用場所 (面積) | 丹波篠山市 (約 m ²) |
| 使用責任者 | 住所: 氏名: 電話番号: |
| 竹種 | モウソウ・マダケ・ハチク・() |
| 作業参加者数 | 延べ 人 |
| 粉碎した竹の 利用方法 | |
| 使用の感想 その他報告事項 | |

図 6-2 竹破砕機の実績報告書（報告部分のみを抜粋）

2020年3月までの3か年の丹波篠山市内における竹破砕機の利用状況について、丹波篠山市農都創造部農都環境課より情報提供を受け、取りまとめた結果を図6-3に示した。使用したデータ数は、2018年は24件、2019年は18件、2020年は35件の合計77件であった。3か年の利用回数（団体数）は77団体となり、内訳は自治体が35件(45.5%)、組合が10件(13.0%)、任意団体が30件(39.0%)、個人が2件(2.6%)であった。3か年での竹林整備の合計面積は113,911 m²となり、述べ作業人数は1,214人、述べ作業時間は987時間であった。

各調査項目を年ごとにみると、伐採した竹の種類（複数回答可）はどの年もモウソウチクが最も多く、3か年の平均で全体の72.4%となった。次いでマダケの60.2%、ハチクの16.3%となった。伐採した竹林面積は2020年には急増した。どの年もモウソウチクとマダケが多い傾向があった。参加人数、作業時間についても竹林面積と同様の傾向を示した。竹林整備の団体は、増加傾向にある。2018年と2019年には自治体が最も多かったが、2020年には任

意団体が最も多くなった。これらの結果から、丹波篠山市内ではモウソウチク林やマダケ林の整備の必要性が高く、竹林整備を自主的に実施する団体が増加していることが示された。2018年の竹破砕機の導入直後には大型の竹破砕機のみでの貸し出しであったため、軽トラックでの運搬ができず、利用団体が限られたことや竹林整備への地域住民の興味関心や制度の周知が不十分であったため利用団体が少なく、面積や参加人数、作業時間等も少なかったと考えられる。しかし、小型竹破砕機の補充や地域住民の竹林伐採の興味関心の高まりによって、任意団体の利用を増加させたと考えられる。

破砕後の竹チップの使用方法（複数回答可）のうち、3か年合計で最も多かったのは雑草抑制が55件（70.5%）、堆肥化が25件（32.1%）、土壌改良が12件（15.4%）、その他（燻炭等）が8件（10.3%）となった。雑草抑制として耕地へのマルチングもしくは伐採後の竹林への散布などが考えられるが、詳細まで調査することはできなかった。いずれにしても、竹チップの活用方法はまだ限定的であると考えられた。

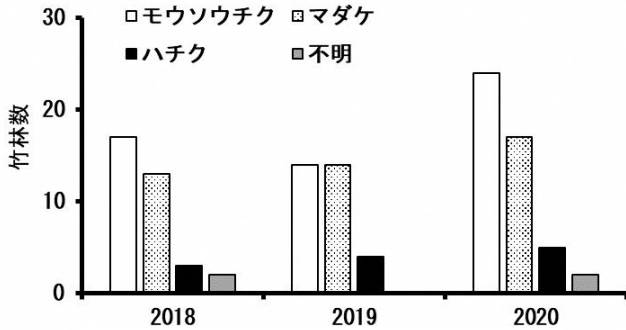
竹資源の循環的利用を考えるうえで課題となる竹破砕機の稼働状況を表6-4に示した。稼働日数の合計は2018年と2019年は82日で、2020年には152日であった。竹破砕機の貸し出し期間は11日間であるが、そのうち稼働している日数は3～4日に留まり、3か年の平均では4.1日であった。稼働時間の合計は2018年で291時間、2019年で206時間、2020年では490時間となった。貸し出し期間あたりの稼働時間は3か年の平均で12.5時間となり、1日あたり3時間の稼働に留まっていた。整備面積は貸し出し期間あたりの3か年の平均をみると336.0㎡であった。

以上より、竹破砕機を最大稼働した場合を想定すると、1回の貸出期間が11日間で、機械整備に要する日数が3日間必要であるため、1期間あたり14日間を要する。すなわち、1年間で竹破砕機1台あたり、25回程度使用でき、年間275日間の稼働が可能である。竹破砕機を275日稼働し、1日あたり3.1時間の作業ができれば、整備面積の合計は9.36haとなり、この値にモウソウチクの地上部乾物重の推定量を乗じると、年間2,590tの竹資源が利用可能となる。現在丹波篠山市には2台の竹破砕機を貸し出ししているため、2台ともに

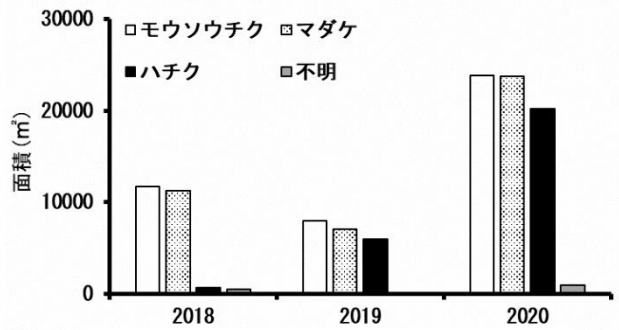
最大で稼働することができれば使用可能な竹資源量は合計 5,180t となり、本章第 2 節で述べた丹波篠山市における竹資源の農業利用の推定量 5,399t を確保できる可能性が示された。

丹波篠山市にて 2021 年に地域住民を対象に開催された「竹の座談会」では、①竹チップの活用方法（費用対効果等）、②竹チップの需要と供給のマッチング、③放置竹林や竹林整備について問題意識を共有できるグループ作り（行政と地域の協働）等の意見が挙げられ、同市住民の竹林整備に関する意識が高いことが報告されている（菊川, 2021）。鈴木ら（2010）による竹林拡大に関する調査では、竹林拡大防止策について、竹林所有者と所有住民の 7 割以上が必要性を感じていると報告している。以上のように、竹林整備の機運は高まりを見せつつある現状において、竹破砕機の稼働日数および稼働時間の増加は十分に可能であると考えられた。

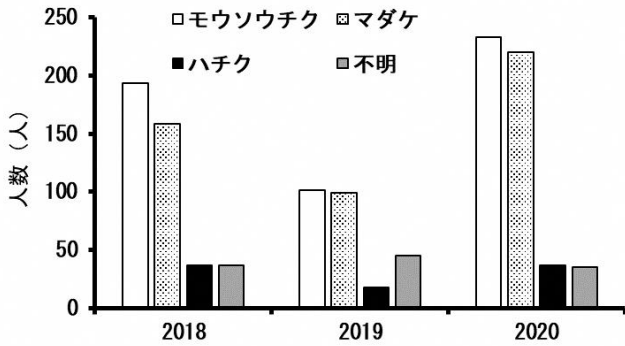
a) 伐採した竹の種類（複数回答可）



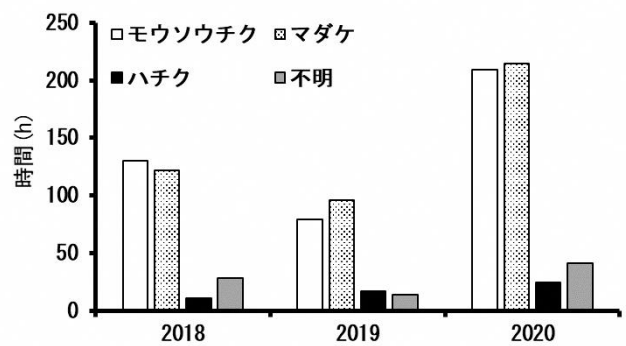
b) 伐採した竹林の面積



c) 竹林整備の参加人数



d) 竹林整備の作業時間



e) 竹林整備の団体数

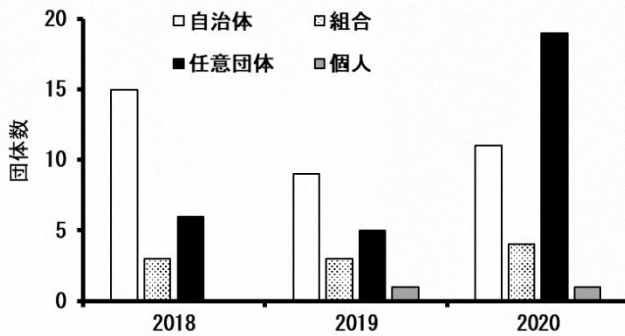


図 6-3 丹波篠山市における 3 か年の竹破碎機の利用状況

表 6-4 丹波篠山市における 3 か年の竹破碎機の稼働状況

| 年 | 稼働日数 (日) | | 稼働時間 (時間) | | | 整備面積 (㎡) | | |
|------|----------|------------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|------------|
| | 合計 | 平均 (期間あたり) | 合計 | 平均 (期間あたり) | 平均 (日あたり) | 合計 | 平均 (日あたり) | 平均 (時間あたり) |
| 2018 | 82 | 3.4 | 291 | 12.1 | 3.5 | 24,125 | 294.2 | 84.1 |
| 2019 | 82 | 4.6 | 206 | 11.4 | 2.5 | 21,437 | 261.4 | 104.1 |
| 2020 | 152 | 4.3 | 490 | 14.0 | 3.2 | 68,749 | 452.3 | 141.3 |
| 平均 | 105.3 | 4.1 | 329 | 12.5 | 3.1 | 38103.7 | 336.0 | 109.8 |
| 最大稼働 | 275 | 11 | 852.5 | 34.1 | 3.1 | 93604.5 | 340.4 | 109.8 |

6-4 本研究から得られた知見と今後の課題

竹と日本人との関わりは古く、身近な資源として様々な場面で利用されてきた。しかし、1980年代以降の竹資源利用の衰退に伴って、日本各地で放置竹林の増加や拡大が顕著になっている。放置竹林の拡大によって森林における水源涵養機能や土砂災害防止機能などの公益的機能が低下するなどの問題が指摘されている。こうした背景より近年では、放置竹林の整備を行政や市民団体が積極的に行うようになってきた。また、伐採した竹を破砕機によってチップ化し、竹チップとして農業に利用するケースもみられるようになってきている。

丹波篠山市においても竹林整備の機運が高まりをみせており、竹林面積や竹林ごとの道路からの距離や傾斜度を示すことは、継続的な竹林整備及び管理などの活動に資することができる。また、放置竹林の地上部現存重や資源量の推定を行うことで、竹資源の利用促進にも寄与できる。

竹林整備が活発化すると新たな課題となるのが、伐採後の竹の利用方法である。既往研究では農業、園芸、畜産など様々な分野で竹資源を活用する取り組みが報告されている。本研究では、地域内で農業分野において利用可能な方法を検証することで、地域内で竹資源を循環的に利用する可能性を考察した。竹資源の農産物への利用としては、竹チップのマルチングによるダイズ（丹波黒大豆）栽培、ハウレンソウ栽培や雑草防除に及ぼす影響、竹チップの施用が米の外観品質と食味に及ぼす影響、乾燥汚泥・竹チップ混和堆肥の熱水抽出液の特性評価と堆肥施用がダイズ（丹波黒大豆）の生育に及ぼす影響を明らかにし、竹チップの利用は一定の効果があることを示した。竹資源の畜産分野への利用に関しては、竹チップを竹サイレージの原料として用い、水分と添加物の違いが竹サイレージの発酵品質と化学成分に及ぼす影響、採卵鶏の卵の生産性と品質に対する竹サイレージ給餌の有効性を検証し、竹チップの畜産分野への利用についても一定の効果がみられることを明らかにした。これらの調査を基に、丹波篠山市における竹林整備計画、農業分野における竹資源の有効利用法を提案し、竹資源の継続的な管理と利用の推進に向けた方向性を示すことができた。

今後の課題として、効率的な竹林整備の推進と竹チップの供給体制の構築が挙げられる。

丹波篠山市内の竹林面積は年々増加していくことが予想される。一方で竹林整備の機運は高まっており、伐採後の竹をチップ化する取り組みも行われている。しかし、農家側の竹チップ利用のニーズと竹林整備側の供給体制のマッチングはうまくできていないのが現状である。そのため、今後は、行政と農業者及び竹林整備団体が連携し、竹林整備の場所、産出できる竹チップ量、農業者側の竹チップの必要量などを共有できるシステムが構築できれば、適切な竹資源の循環的利用が図ることが可能となると考えられる。

引用文献

- 阿立真崇・橘 哲也・上田博史（2008）肉用牛飼料としての竹の利用．愛媛大学農学部農場報告 30：1-6.
- 藤原道郎・伊藤休一（2013）淡路島における現存植生図を基にした竹林の面積，分布および傾斜に関する予察的研究．Hikobial6:393-402.
- 兵庫県（2023）2020年農林業センサス兵庫県結果表．https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk11/nourinsuisantoukei/nouringyou_census2020-2.html（参照：2023年11月1日）.
- 石田元彦・浅野桂吾・本元果歩・長井 誠（2017）粉碎伐採タケの給与が黒毛和種繁殖雌牛の養分摂取量，咀嚼時間，第一胃内発酵および血液性状に及ぼす影響．日本草地学会誌 63(3)：142-147.
- 菊川裕幸（2016）竹チップのマルチングがダイズ品種(丹波黒大豆)の栽培と雑草の防除に及ぼす影響．人と自然 27：103-108.
- 菊川裕幸（2021）たけかんむりのまち，兵庫県丹波篠山市における竹林整備と竹の農業利用について考える～官民一体となった竹座談会の開催～．竹 147：15-17.
- 菊川裕幸・木田森丸・圓増まどか・稲元友佳子・岸本賢一・加藤 拓・藤嶽暢英（2018）乾燥汚泥・竹チップ混和堆肥の熱水抽出液の特性評価と堆肥施用がダイズ(丹波黒大豆)の生育に及ぼす影響．日本土壌肥料学雑誌 89(4)：295-301.
- 菊川裕幸・蔡 義民・柴田昌三（2019）採卵鶏の卵の生産性と品質に対する竹サイレージ給餌の有効性．人と自然 30：39-47.
- 菊川裕幸・和田郁香・石突裕樹・越智龍彦（2017）竹粉の施用が米の外観品質と食味に及ぼす影響．美味技術学会誌 16(1)：10-16.
- 宮崎祐子・三橋弘宗・大澤剛士（2015）シナリオ分析に基づいた竹林の管理計画立案．保全生態学研究 20：3-14.
- 大島一郎・松元里志・木山孝茂・廣瀬 潤・石井大介・片平清美・山口 浩・主税裕樹・高山耕二・中西良孝（2013）解砕繊維状竹粉の黒毛和種育成雌牛への敷料利用．鹿児島大

学農学部農場研究報告 35 : 7-11.

竹下美保子・小山 太 (2014) 乳牛ふん堆肥化における副資材としての竹粉碎物の利用. 福岡県農業総合試験場研究報告 33 : 34-38.

山川武夫・山野麻有子・池田元輝 (2009a). 繊維状竹破碎物のカリ成分とマルチがダイズ品種フクユタカの生育と収量に及ぼす効果. 日本土壤肥料学会誌 80 : 7-13.

山川武夫・山野麻有子・池田元輝 (2009b). 繊維状竹破碎物と窒素肥料の施用位置がダイズ品種フクユタカの収量と三要素集積に及ぼす影響. 日本土壤肥料学会誌 80 : 379-386.

矢内純太・中尾淳・大迫敬義・宮藤久士・吉田裕三・佐野新悟 (2016) 竹林間伐材を利用した竹粉および竹炭の水稻苗箱培土としての有効性. 日本土壤肥料学会誌 87 : 241-246.

謝辞

本論文は筆者が京都大学大学院農学研究科森林科学専攻博士後期課程に在籍中の研究成果を中心にこれまでの竹に関する研究をまとめたものである。同専攻教授 柴田昌三先生には指導教員として本研究の実施の機会を与えていただき、その遂行にあたっては終始、ご指導をいただいた。ここに深謝の意を表す。同専攻教授 松下幸司先生並びに准教授 坂本正弘先生には副査としてご助言をいただくとともに本論文の細部にわたりご指導を戴いた。ここに深謝の意を表す。

第2章及び第3章の調査では、丹波篠山市内の竹林の現地調査にあたり、丹波篠山市役所 環境みらい部 農村環境課 創造農村室 山口達成氏、野口翔大氏に地域団体等との調整に多大なるご尽力を頂いた。現地踏査では、丹波篠山市 地域おこし協力隊 阪下竜喜氏に1000箇所を越える竹林調査へのご協力を賜った。ArcGISを用いた解析では、兵庫県立人と自然の博物館 自然・環境マネジメント研究部 生態研究グループ 主任研究員 三橋弘宗先生に丁寧なご指導を賜った。アロメトリー式の作成では、島根大学生物資源科学部 准教授 山下多聞先生に丁寧なご指導を賜った。

第4章及び第5章は著者が兵庫県立篠山東雲高校等学校に教諭として勤務していた際に行った研究である。第4章第2節では、水稻栽培の管理や調査について、兵庫県立氷上高等学校 教諭 和田郁香氏に、コメの食味や外観品質の調査については株式会社サタケ 技術本部選別・計測・計量グループ 石突裕樹氏と越智龍彦氏に多大なるご尽力を賜った。第4章3節では、乾燥汚泥と竹チップの堆肥化にあたり、研究デザインや土壌分析など多岐にわたり、神戸大学大学院農学研究科 生命機能科学専攻 助教 木田森丸先生並びに教授 藤嶽暢英先生に丁寧にご指導を賜った。

第5章では竹サイレージの調製及び成分分析について、国立研究開発法人国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域 主任研究員 蔡 義民先生に丁寧にご指導を賜った。

本論文は上記の方々のご指導、ご支援なくして完成できなかった。皆様に心から御礼申し上げます。