放置モウソウチク林の落葉量の年変動と伐採後の葉量の回復過程 —高知県の帯状皆伐区での10年間の観測事例—

伊藤 武治^{*,1}・奥田 史郎²・酒井 敦¹

放置竹林の循環利用または駆除を進めるため、落葉量の長期的な変動や伐採に対する応答など基礎的な生態を明らかにした。竹林に6m幅の帯状皆伐区と対照区を設け、その後10年間における竹稈の本数と落葉量の変化を調査した。あわせて、伐採後の経過年数別に葉面積指数(LAI)を測定した。長期観測によって、落葉量は5~6月をピークとする季節変動を示し、落葉量の年変動および季節変動は隔年周期のパターンを示すことが明らかになった。落葉量とLAIの測定から、葉量は伐採後4年で対照区と同程度に回復すると推定された。一方、竹稈の本数密度は伐採後10年経過しても対照区の47.4%までしか達していなかった。竹林の帯状皆伐においては、循環利用を考えた場合、10年程度では竹稈の本数密度が回復しない可能性がある。一方、駆除を考えた場合は、葉量が回復する4年より短い周期で伐採するなど徹底した防除が必要であると考えられた。

キーワード：放置竹林、モウソウチク、落葉量、葉面積指数、葉量回復過程

Takeharu Itou,^{*,1} Shirou Okuda,² Atsushi Sakai¹ (2018) Inter-annual Variations in Leaf Fall and Leaf Recovery Process in an Unmanaged Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens*) Forest after Strip Cutting: 10 Years of Observation at the Kochi Prefecture. *Jpn For Soc* 100: 124-128 Because of the promotion of cyclic use or extermination of unmanaged bamboo forests, we conducted a basic study on long-term leaf fall variation and biological reactions to harvest cutting. We surveyed the variation in leaf fall and recruitment of culms at both 6 m wide strip-cutting site and one uncut site in a moso bamboo forest over 10 years. We also measured leaf area index (LAI) at both sites. During long-term observations, leaf fall was highest from May to June, demonstrating that yearly and seasonal leaf fall patterns were biannual. LAIs and leaf fall showed that leaf biomass could recover within 4 years after strip-cutting. Culm densities recovered to only 47.4% of that of the uncut site 10 years after cutting. Thus, a 10-year rotation would be too short for use with bamboo resources, whereas a short rotation cutting of less than 4 years would be necessary for the extermination of bamboo forests.

Key words: unmanaged bamboo forest, *Phyllostachys pubescens*, leaf fall variation, leaf area index, leaf recovery process

I. はじめに

タケは昔から貴重な資源であり、タケノコは食用に、竹材は家具材や建築材などに利用されてきた(上田 1963)。とくにモウソウチク(*Phyllostachys pubescens*)は、タケノコの生産に有用であり、間伐・施肥などの生産管理手法の技術開発などがなされてきた(青木・野中 1987)。しかし、タケノコは安価な外国産のものにおされ、竹材は石油製品などに置き換わってしまい、竹林管理者の高齢化や後継者不足などで放置されるようになった(柴田 2010)。そのため、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(鳥居・井鷲 1997)。放置竹林は、下層植生の多様性の低下(瀬嵐ら 1989; 鈴木 2010)や昆虫相への影響(江崎ら 2010; 小林ら 2001)を招くとされ、駆除を望む声が多く聞かれる。

一方、地球環境への関心から持続的可能な社会実現への期待が高まっており、2000年頃から木質バイオマスが注目されるようになった(林野庁 2000)。奥田ら(2008)は、竹林の持つバイオマス量(地上部現存量)が、100~280 dry ton ha⁻¹と30~40年生の人工林に匹敵することを明らかにしている。竹林のバイオマス資源利用に関しては、含水率の高い竹チップを効率的に燃焼させる技術が開発され(麻生・福島 2016)、花卉栽培用の温室や一般家庭の熱源

として利用されている(加久ら 2014)ほか、パルプ材として利用(西村 2014)も進められている。

このように放置竹林は大きな社会問題となっており、これを駆除または循環利用することが強く求められている。こうした問題に対応するためには、竹林の生産力や伐採に対する応答など基礎的な生態を明らかにすることが必要である。竹林の生産力については、井鷲(1994)によって純生産量や群落レベルの炭素循環などが明らかにされている。伐採後の生態的な応答に関しては、再生した竹稈の矮小化が見られること(例えば、藤井ら 2005; 鈴木ら 2008)や、隣接する竹林の距離に応じて再生する竹稈のサイズが異なること(例えば、藤井ら 2005; 伊藤・山田 2005; 鈴木ら 2008)などが明らかにされている。このように、伐採後のバイオマス資源である竹稈に関する研究は多く見られるが、葉量の変化に着目した事例(河原ら 1987)は少ない。一方、タケノコの豊凶と連動した落葉量の変動が定性的に述べられてきた(森田・浜田 1983; 野中 1983)。しかし、竹林を対象とした葉量の変化に関する既往の調査期間は、長くても5年程度であり(河原ら 1987)十分とは言えない。

本研究では、放置竹林の基礎的な生態を把握することを目的に、生産力の指標として葉量に着目し、落葉量の10年間の年変動および季節変動を調べた。また、資源の循環利用を前提として放置竹林を帯状に皆伐し、竹稈と落葉量の

*連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: takeharu@ffpri.affrc.go.jp

¹ 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所四国支所 〒780-8077 高知県高知市朝倉西町 2-915 (Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization, 2-915 Asakura-Nishimachi, Kochi, Kochi 780-8077, Japan)

² 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所関西支所 〒612-0855 京都府京都市伏見区桃山町永井久太郎 68 番地 (Kansai Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization, 68 Nagaiyutaro, Momoyama, Fushimi, Kyoto, Kyoto 612-0855, Japan)

(2017年11月10日受付: 2018年5月21日受理)

回復過程を追跡した。森林の生産性を間接的に測る手法として、リタートラップを用いた落葉量の測定が広く行われている(佐藤 1999)。しかし、落葉量は葉の現存量をリアルタイムに測定しているわけではなく、周辺の林分からの干渉も考えられる。これを補完するため、落葉量の測定とともに光学的な測定による葉面積指数(LAI)の測定も同時に行った。

II. 調査地および方法

1. 調査地概要

本研究は、高知県高知市の40年以上放置されていたモウソウチク林(0.43 ha)において行った。試験地とした竹林は丘陵地の中腹(標高50~70 m)に位置し、西向きの緩傾斜地(12~27°)に成立していた。試験地に近い高知観測所(標高1 m)における、2006~2016年の年平均気温は17.5℃、平均年降水量は2,719 mmであった(気象庁 2017)。当該の竹林は、ほぼモウソウチクのみで構成され、本数密度が7,500~9,000 本 ha⁻¹、平均胸高直径が11~13 cmとサイズの大きい個体が多く、推定された地上部現存量も170~200 dry ton ha⁻¹(奥田ら 2011)あり、さまざまな竹林の中央値である170 dry ton ha⁻¹(奥田ら 2008)と比較しても蓄積の大きい竹林であった。

試験地に、水平距離にして幅約6 m、長さ約40 mの帯状試験区を等高線と垂直方向に3カ所並列して設けた。循環的な利用を想定した場合、伐採幅6 mは伐倒の生産性を向上させるために最低限必要であると推測されている(伊藤ら 2010)。次に、3カ所の試験区の皆伐後の経過年数が異なるように設定するために、試験区を1カ所ずつ2005年11月、2008年1月および2010年2月に皆伐した。それぞれの試験区を以下「A区」、「B区」および「C区」と呼ぶことにする。また、斜面上に向かって最も右側にある皆伐区の右側に約6 mのバッファゾーンを設けて、約6 m × 40 mの「対照区」を設けた。

2. 胸高断面積合計および発生本数

2006年から2016年のA区および対照区に発生した新竹の本数を、2007年から2017年に翌年の新竹が発生する前の3月から4月に毎年記録した。また、対照区の立竹の本数を2005年と2016年に記録した。その上で、各試験区の竹稈の本数密度を計算した。ここで、伐採したA区の立竹本数密度が対照区と同じと仮定して、2005年の対照区に対するA区の立竹密度の割合(A区/対照区 × 100(%))を、A区の立竹の「本数密度の回復率」とする。本試験では、モウソウチクの年変動の解明を目的としたため、他の樹木の本数密度は計測しなかった。なお、本稿では展葉する前の若芽を「タケノコ」、展葉したタケのうち発生から1年未満のものを「新竹」とよぶこととする。

3. 落葉量の観測

各試験区における落葉量の推移は、リタートラップを用いて観測した。2006年3月に対照区およびA区に、直径86 cm(面積0.58 m²、網目1 mm)の円錐状のリタートラップを高さ1 mで3基ずつ設置した。リタートラップは、試験区の中央部分に分散させて配置した。リタートラップにたまった落下物は、2カ月ごとに回収し、タケの葉、タケ

の葉以外の器官およびその他(広葉樹の葉など)に分別し、75℃で72時間以上乾燥した後、重量を測定した。モウソウチクの落葉のピークは4~6月とされている(Ikegami *et al.* 2014; 井鷲 1994)ため、4月から翌年2月に回収した落葉の合計を「年落葉量」(例えば、2006年は2006年4月~2007年2月のサンプル)とした。

4. 葉面積指数の測定

葉面積指数(LAI)は、2台のプラントキャノピーアナライザー(LAI-2000, Li-Cor社)を用い、曇天時および日没時に行った。測定方法は、宮本ら(2009)を参考にした。各試験区内の4カ所に観測定点を設定し、隣接する試験区の葉の影響を受けないように測定装置のレンズに45°のビューキャップを装着した上で、頭頂部のセンサーのデータを分析の対象にした。測定はA、B、C区および対照区で、2010年3、5、8、11月、2011年2、6、9月および2012年4月に行った。皆伐当年、2年後、4年後のLAIの推定値として、それぞれ2010年に観測したC、BおよびA区のデータを用いた。また、同様にして皆伐1年後、3年後および5年後のLAIの推定値が、2011年の観測データから得られる。したがって、2010年および2011年の測定で皆伐当年から5年後までのLAIを測定したことになる。落葉量のデータから冬季は落葉量が少なく葉量が安定していたため、伐採後の経過年数によるLAIの比較には2010年3月および2011年2月のデータを用いた。対照区では、観測年による変動の影響を考慮して、2010年3月と2011年2月の両方のデータを解析に使用した。

5. 解析方法

A区と対照区の年落葉量の違いを、等分散を仮定しない*t*検定で観測年ごとに検定した。皆伐後の経過年数によるLAIの違いに対しては、Tukey-KramerのHSD検定を用いて多重比較を行った。統計解析には、プログラムR ver.3.3.2(R Core Team 2016)を用いた。

III. 結 果

1. 立竹本数の変化

対照区およびA区で発生した新竹の本数密度の推移を図-1に示す。対照区では、2012年までは少ない年で500 ha⁻¹本前後、多い年で700~1,000 ha⁻¹本と新竹発生本数に隔年での豊凶が観測された。一方、A区では明瞭な豊凶は観測されなかった。

対照区の本数密度は2005年に7,307 本 ha⁻¹であったのに対し、2016年では9,870 本 ha⁻¹であった。A区の本数密度は年数の経過に伴い増加し、2016年では3,465 本 ha⁻¹であった。対照区を基準とした伐採後の立竹の本数密度の回復率を図-2に示す。今回の帯状皆伐においては、伐採10年後の本数密度の回復率は47.4%であった。

2. 落葉量の変動

落葉量の10年間の推移を図-3に示す。落葉量は、対照区およびA区ともに5~6月をピークとし、隔年で異なる変動パターンを示した。2006年が先頭の隔年を「季節変動の大きい年」、2007年が先頭の隔年を「季節変動のなだらかな年」とする。対照区において、季節変動の大きい年

図-1. 対照区と伐採区 (A 区) に発生した新竹の本数推移

図-2. 伐採後の立竹の本数密度の回復率

図-3. 対照区と伐採区 (A 区) の落葉量の季節変化

棒グラフとエラーバーは全測定値の平均値と標準偏差を示す。

では、年落葉量の 49.2% (55.2~67.2%) が 5~6 月に観測された。一方季節変動のなだらかな年では、年落葉量の 36.8% (18.7~54.2%) が 5~6 月に観測されたものの、23.2% (17.2~33.7%) が 10~12 月に観測された。

次に、年落葉量の合計の推移を図-4 に示す。対照区および A 区とも隔年周期で、2006 年を先頭とする「落葉量の多い年」と、2007 年を先頭とする「落葉量の少ない年」が見られた。このうち、2006 年と 2008 年の年落葉量は対

図-4. 対照区と伐採区 (A 区) の落葉量の年変動

棒グラフとエラーバーは全測定値の平均値と標準偏差を示し、*, **, *** 印はそれぞれ 5, 1, 0.1% 水準で有意差があることを示す (等分散を仮定しない *t* 検定)。

図-5. 皆伐後の経過年数に応じた LAI の変化

棒グラフとエラーバーは全測定値の平均値と標準偏差を示し、異なるアルファベットは 5% 水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer の HSD 検定)。

照区が A 区より有意に多かった (それぞれ $p < 0.01$ および $p < 0.001$)。一方、落葉量の少ない年のうち、2011 年と 2015 年の年落葉量は、皆伐を行った A 区が対照区より有意に多かった ($p < 0.05$)。対照区において落葉量の多い年の全期間における平均落葉量は $4.2 \text{ dry ton ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ であった。

3. LAI の変動

対照区の全期間を通じての LAI の平均値は 6.9 ha ha^{-1} であった。皆伐からの経過年数に応じた LAI の推移を図-5 に示す。皆伐当年から 1 年目までは LAI の変動はなく、その後増加する傾向を示し、4 年後には対照区との有意差が見られなくなった。

IV. 考 察

1. 落葉量の季節変動および年変動

落葉量の季節別推移では 5~6 月に落葉のピークが見られた (図-3)。これはモウソウチク林の落葉パターンを単年度観測した事例で、4~6 月にピークが見られるとの報告 (Ikegami *et al.* 2014; 井鷲 1994) に合致する。この 5~

6月の落葉量の推移は、2006年を隔年に先頭とする落葉量の季節変動の大きい年と、2007年を先頭とする季節変動のなだらかな年にわかれた(図-3)。また、これまで「タケの秋」と言われる5月頃の落葉量が年によって異なることが経験的に知られていたが、今回の観測でも落葉量の多い年と落葉量の少ない年が隔年で現れることが示された(図-4)。

野中(1985)は、立竹後の葉替わりのパターンを目視で判別し、竹齢が偶数年の立竹では4~6月の早い時点で落葉が完了するのに対して、竹齢が奇数年ではなだらかに落葉を続け10月頃に葉替わり率が100%に近くなることを定性的に報告している。森田・浜田(1983)は、タケノコの豊凶が明確なモウソウチク林では、タケノコの豊作年が隔年で起きるため、落葉量の多い年も隔年で起きることを定性的に報告している。

今回の長期的な観測でも、対照区において新竹の豊凶が確認され(図-1)、新竹の多く発生した翌年が「季節変動の大きい年」(図-3)にあたり、「落葉量の多い年」にあたる(図-4)ことが明らかになっており、これまでの報告を定量的に支持するものとなっている。

2. 伐採に対する葉量と竹稈の応答

伐採後の経過年数が異なるLAIの観測から、LAIは皆伐後4年もすれば対照区と有意な差がないほど回復することが明らかになった(図-5)。一方、リタートラップを用いた落葉量の推定値では、対照区とA区の年落葉量の差は伐採後3年までは落葉量の多い年において有意な差があるが、伐採後4年以降は有意差がないか、むしろA区の年落葉量の方が有意に多かった(図-4)。今回の試験区の幅は6mと狭かったため、隣接する竹林からの落葉が混じった可能性は否定できない。しかし、LAIによる葉量の推定でも伐採後4年で有意差がなくなっており(図-5)、带状皆伐後4年程度で林分として葉量が回復することは確かであるといえる。また、これらの結果は河原ら(1987)のリタートラップによる調査で、皆伐後葉量が3~4年で回復するとの報告を支持している。

一方で、今回の带状皆伐区では10年経過しても、竹稈の本数密度の回復率は47.4%と低く(図-2)、葉量の回復と比較して大きな違いが見られた。これまでに、竹林を伐採するとまず矮小化した個体が多く発生することが知られている(藤井ら 2005; 鈴木ら 2008)。今回の試験地でも、対照区の立竹の平均胸高直径が10~15cmであるのに対して、皆伐直後は平均胸高直径5~10cmの新竹が発生しており、発生した竹稈の直径は小さい傾向が認められた(奥田ら 2011)。河原ら(1987)は、モウソウチクの葉量と D^2H の関係式を求め、旧竹に対して新竹の方が同じ D^2H において大きな葉量(例えば、平均的な $D=10.8$ cm, $H=13.0$ mの個体では葉量が2.56倍)になることを示しており、これを誤差によるものだと考察している。しかし、今回観測した落葉量やLAIの回復過程と新竹の発生本数から推察すると、新竹当たりの葉量が多くなっていた可能性が高い。すなわち、今回の調査地では带状皆伐後に、直径が小さく葉量が多い竹稈が発生して林分の葉量が3~4年

で元の水準に回復し、その後10年以上かけて竹稈の本数密度が回復しているものと考えられる。今後は、皆伐後に発生した新竹の葉量が実際に多くなっているのか調査し、上記の仮説を検証していく必要がある。

3. まとめ

今回の10年にわたる観測から、定性的に記載されていたモウソウチク林の落葉量の年変動および季節変動のパターンを、異なる試験地での長期的な観測において定量的な数値をもって支持する結果が得られた。また、放置竹林を带状皆伐すると、葉量は4年程度で回復するが竹稈の本数密度は10年経過しても50%程度しか回復しないことが示された。放置竹林の循環利用を前提とすると、再収穫まで10年程度の期間を設定しても竹稈のバイオマス資源が回復しない可能性がある。一方、竹林の駆除を考えた場合、葉量は4年程度で伐採前の水準に速やかに戻り、物質生産を行うと考えられることから、葉量が回復する期間より短い1~3年周期で伐採するか、全面的な皆伐や下刈りを行うなど、徹底した防除が必要であると考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、竹林所有者の門田 淳氏には、試験地の提供ならびに維持管理など多大なるご協力をいただいた。森林総合研究所四国支所の職員および非常勤職員の方々においては、試験地設定および試料回収などを行っていただいた。また、リタートラップ試料の分別作業は、多くの非常勤職員の方々に補助をしていただいた。これらの方々に深く感謝申し上げる。本研究の一部は、農林水産省の実用技術開発事業「タケ資源の持続的利用のための竹林管理・供給システムの開発」(1731)および農食研事業「侵略的拡大竹林の効率的駆除法と植生誘導技術の開発」(27022C)の予算を用いて行った。

引用文献

- 青木尊重・野中重之(1983)モウソウタケノコの生産技術。(日本産主要竹類の研究。青木尊重編、葦書房)。303-384
 麻生裕之・福島淳史(2016)生竹を燃料とした農業ハウス用バイオマスボイラーの研究開発。福岡大学工学集報 96: 1-5
 江崎功二郎・八神早季・平松新一(2010)金沢市の放置竹林における地表生ゴミムシ類の出現種と季節変化。石川県林試研報 42: 6-9
 藤井義久・重松敏則・西浦千春(2005)北部九州における竹林皆伐後の再生過程。ランドスケープ研究 68: 689-692
 Ikegami N, Satake T, Nagayama Y, Inubushi K (2014) Changes in silica in litterfall and available silica in the soil of forests invaded by bamboo species (*Phyllostachys pubescens* and *P. bambusoides*) in western Japan. Soil Sci Plant Nutr 60: 731-739
 井鷲裕司(1994)物質経済からみたタケ群落の生態学的研究。広島大学博士論文
 伊藤孝美・山田倫章(2005)モウソウチク林の侵入と繁殖特性。大阪府立食とみどりの総合技術センター研究報告 41: 11-18
 伊藤崇之・村上 勝・谷山 徹(2010)竹利用のキーは伐出のコスト。森林科学 58: 20-23
 加久美雪・藤原道郎・大藪崇司・澤田佳宏・山本 聡(2014)兵庫県淡路島における竹稈量の推定にもとづく持続的な竹稈の燃料利用と竹林管理の可能性。環境情報科学学術研究論文集 28: 19-24
 河原輝彦・加茂皓一・井鷲裕司(1987)伐採後のモウソウチク林の再生過程。Bamboo J 5: 63-74
 気象庁(2017)気象統計情報。http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html (2017年3月参照)
 小林正秀・小島信継・野崎 愛(2001)森林生態系に配慮した竹類の侵入防止法と有効利用に関する調査 [II]。京都府林業試験場業務年報 平成12年度。44-46
 宮本和樹・奥田史郎・稲垣善之・小谷英司・野口麻穂子・伊藤武治(2009)間伐から5年が経過したヒノキ人工林の成長と葉面積積数の比較。森林立地 51: 21-26
 森田 茂・浜田 甫(1983)モウソウチクたけのこの豊凶と親竹の葉

- 替りについて. 日林九支研論集 36: 259-260
- 西村 修 (2014) 日本の竹 100%の紙で社会的課題に挑戦. 森林技術 870: 12-15
- 野中重之 (1985) モウソウチクの竹齢と葉替り. 日林九支研論集 38: 303-304
- 奥田史郎・伊藤武治・鳥居厚志 (2008) タケ資源の持続的利用を目的とした管理技術の開発. 四国の森を知る 10: 2-3
- 奥田史郎・伊藤武治・鳥居厚志 (2011) 列状伐採したモウソウ竹林の伐採後 5 年間の再生量—6 m 幅で伐採した高知市内の竹林での事例—. 日林講 112: Pa1-48
- R Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. <https://www.R-project.org/> (2016 年 2 月参照)
- 林野庁 (2000) 平成 11 年度林業白書. 林野庁
- 佐藤 保 (1999) 5 リターフォール. (森林立地調査法. 森林立地調査法編集委員会編, 博友社). 197-198
- 瀬嵐哲央・丸真喜子・大森美紀・西村武秀 (1989) 竹林群落の構造と遷移の特性 —雑木林の竹林化—. 金沢大学教育学部紀要 (自然科学編) 38: 25-40
- 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
- 鈴木重雄 (2010) 竹林は植物の多様性が低いのか? 森林科学 58: 11-14
- 鈴木重雄・菊池亜希良・中越信和 (2008) モウソウチク程の除去後に再生した植生の構造と種組成の変化. 景観生態学 12: 43-51
- 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. 日生態誌 47: 31-41
- 上田弘一郎 (1963) 有用竹と筍. 博友社