

# 里山林の施業効果のモニタリング（第2報）

2012年度～2016年度

江口則和

## 要 旨

里山林における森林整備（除間伐やナラ枯れ被害木伐採）が、林内環境や林床構成種にどのような影響を与えるのかを明らかにするとともに、健全で持続的な里山管理手法を開発することを目的とした。あいち森と緑づくり税を活用した里山林の森林整備事業を実施した26箇所の実態調査を行った結果、ナラ枯れにより生じるギャップのみでは林床植生に与える影響が小さいため、林床の種多様性を高めるには、除間伐まで実施することが必要ということが分かった。また、小牧市のナラ枯れ被害地（被害木はコナラ）において、更新木として期待されるコナラ実生の発生活長及び生理特性を調べた。その結果、除間伐も含めた被害地整備を行ったところほど、開空度が高くなり、コナラ実生の生理活性が高くなることが認められた。また、除間伐を含めた被害地整備を行うとコナラ実生の虫害程度も小さく抑えられ、死亡率も低くなった。以上の結果から、健全な里山管理を実施するためには、除間伐の実施による光環境の改善がポイントになることが考えられた。

## I はじめに

里山林は、かつて農村の薪炭肥料の供給源として、10年～30年程度の短い周期の皆伐萌芽更新、下刈、落葉掻きなどの植生攪乱を伴う施業によって維持管理されていた(松本 2010)。しかしながら、化石燃料の利用が普及しはじめた1950年代以降、利用や管理がされずに放置される里山林が増えてきた(黒田 2010)。その結果、人が立ち入れないほどのヤブが生じ(黒田 2010)、里山林内の樹木が大径化する(黒田 2010、松本 2010、大住 2010)といった状況が生じた。1980～90年代以降に問題が顕在化してきたナラ枯れも、里山林の放置に伴うミズナラやコナラの大径化が原因と言われている(Kagaya et al. 2010、小林・上田 2005、大住 2008・黒田 2010)。

放置された里山林では、外見上は落葉広葉樹から成立しているが、林内は暗く、植物相は非常に単純化しており、里山が有する本来の機能はほとんど発揮されていないと言われる(白井・熊川

2005)。そのため本県では、あいち森と緑づくり税を活用した里山林の森林整備事業（あいち森と緑づくり事業）が行われている。このような森林整備によって、林内環境がどのように変化するのか、また林床構成種の単純化が回避されるかどうか、さらに更新木の再生が期待できるかどうかを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、里山林における森林整備（除間伐やナラ枯れ被害木の伐採）が林内環境や林床構成種に与える影響を明らかにするとともに、健全な里山管理手法を明らかにすることを目的とした。

## II 方法

### 1. 実態調査

里山林植生の実態を明らかにするため、除間伐＋枯死木除去を行った里山林整備事業施業地（以下、事業地）26か所（表-1）で、立地環境及び植生の調査を行った。調査は各施業地で数年毎に

合計 2~3 回行った。整備及びナラ枯れによる環境変化について、光環境の指標となる開空率を調べた。植生調査については、更新木が存在する林床の植被率と被度を調べ、種多様性の指標となる Shannon-Wiener の多様度指数( $H'$ )を算出した。

整備効果及びナラ枯れによる影響は、一般化線形混合モデル(GLMM)を作成し、Wald 検定を行うことで評価した。応答変数は「開空度」、「植被率」、「多様度指数」とし、分布はガンマ分布(リンク関数は log)を仮定した。説明変数について、固定効果は「整備後の年数」及び「ナラ枯れの有無」、ランダム効果は「事業地」とした。解析には統計解析ソフト R(R project 2014 ver. 3.1.0)及びパッケージ lme4(ver. 1.17)を用いた。

## 2. 植生等動態調査

小牧市大山の県有林内ナラ枯れ被害地(被害木

はコナラ)において、2012 年に調査地を設けた。調査地の立地環境は表-1 のとおりである。各調査地に、手を入れない処理(以下、放置区)、枯死木のみを伐採する処理(以下、伐採区)、大径木も含めた本数率 50%の除間伐+枯死木伐採区を行って今後のナラ枯れ発生も予防する処理(以下、防除区)の 3 種類の処理区を設置した。各処理の範囲は、中心をコナラ枯死木とする半径 20m の円状とした。2012 年から毎年 7~8 月の曇天時の昼間に開空率を調べた。

コナラのナラ枯れ被害地では、コナラ種子が大量に存在するため、コナラ実生が更新木として期待できる。そこでコナラ実生に着目し、整備方法の違いによるコナラ実生の生理的な活性及び発生消長を調べた。調査は 2014 年春に発生したコナラ実生を対象として行った。2015 年 8 月~9 月に、コナ

表-1 調査地詳細

No	整備年	事業地	傾斜°	方位	標高m	堆積様式	局所地形	土壌型	ナラ枯れ
1	2009	幸田町大草	26	西南西	385	残積	山頂緩斜面	B <sub>C</sub>	有
2	2009	田原市加治町	25	南東	110	崩積	山腹上昇斜面	B <sub>C</sub>	無
3	2010	名古屋市緑区	12	北北東	40	残積	山頂緩斜面	B <sub>C</sub>	有
4	2010	豊橋市石巻小野田	20	北西	70	葡行	山腹上昇斜面	B <sub>D(d)</sub>	有
5	2011	犬山市向田	26	北西	140	崩積	山脚堆積面	B <sub>B</sub>	有
6	2011	春日井市東神明町	23.5	東北東	80	残積	山腹上昇斜面	B <sub>C</sub>	有
7	2011	豊田市富田町	32	南	110	残積	山頂急斜面	B <sub>B</sub>	有
8	2011	豊橋市石巻小野田	27	南西	75	葡行	山腹上昇斜面	B <sub>D(d)</sub>	有
9	2012	春日井市高蔵寺町	27	南西	80	残積	山頂急斜面	B <sub>C</sub>	有
10	2012	阿久比町草木	18	西	40	残積	山頂緩斜面	B <sub>C</sub>	有
11	2012	岡崎市茅原沢町	45	南西	80	葡行	山腹上昇斜面	B <sub>D(d)</sub>	有
12	2012	豊橋市石巻小野田	26	南西	75	残積	山頂緩斜面	B <sub>C</sub>	無
13	2013	名古屋市緑区	15	西北西	20	残積	山頂緩斜面	B <sub>C</sub>	有
14	2013	名古屋市天白区	15	西北西	55	残積	山脚堆積面	B <sub>D(d)</sub>	有
15	2013	名古屋市名東区	21	北西	75	残積	山頂緩斜面	B <sub>C</sub>	有
16	2013	名古屋市千種区	21	南西	70	葡行	山腹上昇斜面	B <sub>D(d)</sub>	有
17	2013	春日井市高蔵寺町	22	南	65	葡行	山腹上昇斜面	B <sub>D(d)</sub>	有
18	2013	美浜町奥田	28	南	20	残積	山頂急斜面	B <sub>D(d)</sub>	無
19	2013	岡崎市秦梨町	40	南	83	残積	山頂急斜面	B <sub>B</sub>	無
20	2013	豊田市富田町	28	南東	110	残積	山頂急斜面	B <sub>D(d)</sub>	有
21	2014	名古屋市守山区	8	南東	73	残積	山脚堆積面	B <sub>D</sub>	有
22	2014	名古屋市守山区	22	東南東	82	崩積	山頂緩斜面	B <sub>C</sub>	有
23	2014	名古屋市天白区	15	北西	77	葡行	山腹平衡斜面	B <sub>C</sub>	有
24	2014	小牧市池之内	24	南	79	葡行	山腹上昇斜面	B <sub>D(d)</sub>	無
25	2014	豊田市下川口	30	北東	145	崩積	山頂急斜面	B <sub>C</sub>	有
26	2014	豊川市赤坂	28	北東	86	葡行	山腹上昇斜面	B <sub>D(d)</sub>	無
小牧	2012	小牧市大山	21	南西	250	葡行	山腹平坦斜面	B <sub>D(d)</sub>	有

ラ実生の生理活性を光合成蒸散測定装置(Li-6400 Li-Cor, NE)により測定した。各処理 5 個体ずつ調査した。光-光合成曲線(光合成有効放射束密度を 0、50、100、150、300、600、1200、1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と変化させたときの光合成速度、測定時の  $\text{CO}_2$  濃度は 400ppm、温度は 25 $^{\circ}\text{C}$ 、大気飽差は 1-2g  $\text{m}^{-3}$ )及び A/Ci 曲線( $\text{CO}_2$  濃度を 0、50、100、200、400、800、1200、1500 ppmと変化させたときの光合成速度、測定時の光合成有効放射束密度は 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、温度は 25 $^{\circ}\text{C}$ 、大気飽差は 1-2g  $\text{m}^{-3}$ )を作成し、光利用能力の指標となる「量子収率」及び「暗呼吸速度」(Thornley & Johnson 1990)、 $\text{CO}_2$  固定能力の指標となる「最大カルボキシル化速度( $V_{\text{cmax}}$ )」、「最大電子伝達速度( $J_{\text{max}}$ )」、「光及び  $\text{CO}_2$  飽和時の最大光合成速度( $A_{\text{max}}$ )」(Farquhar et al. 1980)を算出した。生理活性の測定後、実生の細根を数 cm サンプルングし、単位根長あたりの菌根数を調べた。さらに木部(茎及び根)を 105 $^{\circ}\text{C}$ で 48 時間乾燥させ、木部乾燥重量を調べた。コナラ実生の発生消長について、2014 年春に発生した各処理 20 本ずつのコナラ実生にマークをし、2014 年、2015 年、2016 年の夏(7 月~8 月)にマークした個体の虫害程度(被害なし「0」、葉被食率が 0-20%「1」、20-40%「2」、40-60%「3」、60-80%「4」、80%-激害「5」の 6 段階評価)と死亡率を調べた。

整備の効果は、一般化線形モデル(GLM)(応答変数は「開空率」、「虫害程度」、「死亡率」)もしくは GLMM(応答変数はその他)を作成し、前者は尤度比検定、後者は Wald 検定を行うことで評価した。応答変数「開空率」、「量子収率」、「暗呼吸速度」、「 $V_{\text{cmax}}$ 」、「 $J_{\text{max}}$ 」、「 $A_{\text{max}}$ 」、「木部乾燥重量」については、ガンマ分布(リンク関数は log)を仮定した。応答変数「菌根数」については、ポアソン分布(リンク関数は log)を仮定し、オフセット項として log(調査した細根の長さ)を用いた。応答変数「虫害程度」については多項分布(リンク関数は logit)を、「死亡率」につい

ては二項分布(リンク関数は logit)を仮定した。説明変数の固定効果は「処理方法(対照区、伐採区、防除区)」とし、ランダム効果には「経過年」を用いた。尤度比検定によって整備の効果有意( $P<0.05$ )であった場合、各処理の違いを Tukey 法による多重比較によって評価した。解析には統計解析ソフト R(R project 2014 ver. 3.1.0)及びパッケージ lme4(ver.1.17)とパッケージ multcomp(ver.3.0.3)を用いた。

### III 結果

#### 1. 実態調査

事業地における開空率の結果を図-1 に示す。整備を行うことで開空率が増加し( $P<0.05$ )、その増加は整備後 4 年目まで持続した。一方、ナラ枯れの有無による影響は小さかった( $P=0.22$ )。

植被率の結果を図-2 に示す。整備後 1 年目では顕著な変化は認められなかったものの、2 年目以降著しく増加した( $P<0.001$ )。一方、ナラ枯れの有無による影響は小さかった( $P=0.47$ )。

H の結果を図-3 に示す。植被率と同様、整備後 1 年目では顕著な変化は認められなかったものの、2 年目以降に増加した( $P<0.001$ )。一方、ナ

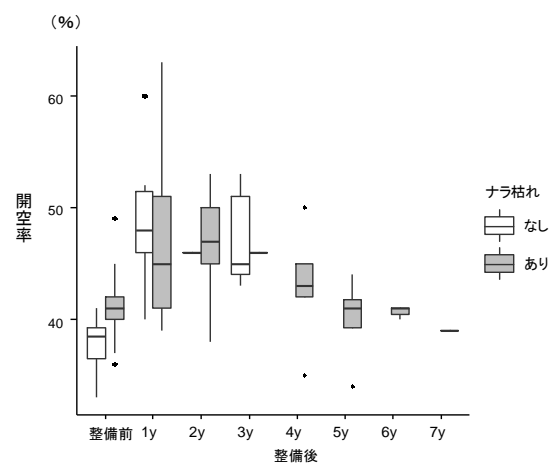


図-1 事業地における開空率

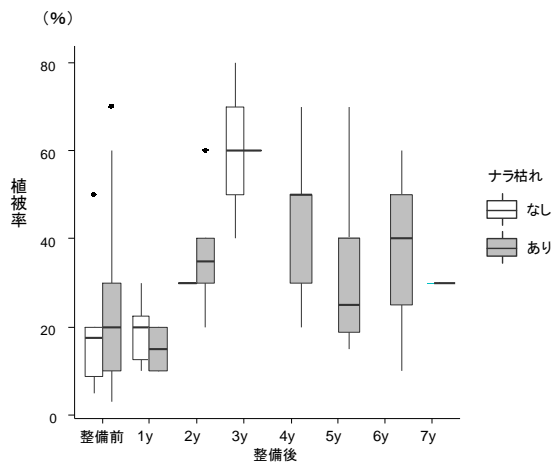


図-2 事業地における林床植被率

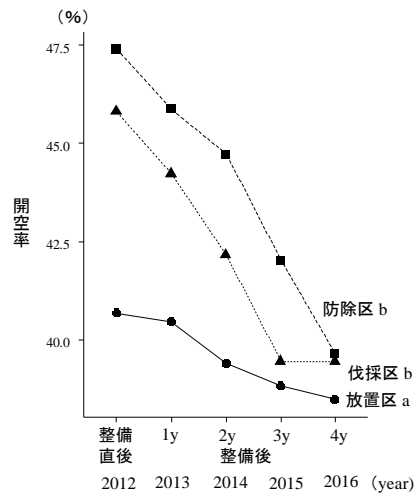


図-4 動態調査地における開空率

異なるアルファベットは多重比較の解析結果、有意であったことを示す

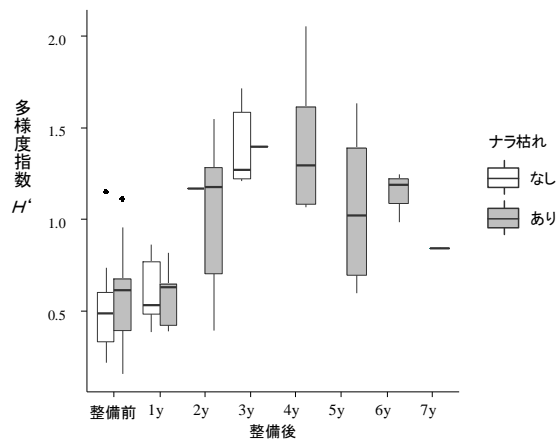


図-3 事業地における林床植物の種多様性

ラ枯れの有無による影響は小さかった ( $P=0.18$ )。

## 2. 植生等動態調査

調査地の開空率の変化を図-4 に示す。処理によって有意な違いが認められ ( $P<0.001$ )、期間全体として放置区<伐採区<防除区の傾向であった。

コナラ実生の生理的活性を表-2 に示す。処理によって有意な変化が認められたものは  $V_{cmax}$ 、 $A_{max}$ 、菌根数であった。これらのパラメータについて、放置区が共通して最も小さかった。

コナラ実生の虫害程度を図-5 に示す。処理によって有意な違いが認められ ( $P<0.001$ )、全体として放置区>伐採区>防除区の傾向であった。

図-4 動態調査地における開空率

表-2 動態調査地におけるコナラ実生の生理活性

値は中央値±四分位偏差、異なるアルファベットは多重比較の解析結果、有意であったことを示す

パラメータ	放置区	伐採区	防除区	P値
量子収率 ( $\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ quanta}$ )	$0.05 \pm 0.00$	$0.04 \pm 0.02$	$0.03 \pm 0.01$	0.094
暗呼吸速度 ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$0.67 \pm 0.64$	$2.38 \pm 1.69$	$2.58 \pm 1.07$	0.222
$V_{cmax}$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$23.41 \pm 2.22$ a	$37.83 \pm 8.81$ b	$27.90 \pm 10.05$ ab	*
$J_{max}$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$114.28 \pm 6.96$	$173.72 \pm 68.69$	$184.86 \pm 99.66$	0.076
$A_{max}$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$6.05 \pm 0.79$ a	$15.29 \pm 10.08$ b	$17.79 \pm 16.60$ b	*
菌根数 ( $\text{mm}^{-1}$ )	$0.55 \pm 0.11$ a	$0.98 \pm 0.38$ b	$1.05 \pm 0.25$ b	***
木部乾燥機重量 (mg)	$258.50 \pm 43.50$	$197.00 \pm 79.00$	$404.00 \pm 221.50$	0.085

コナラ実生の死亡率を図-6 に示す。処理によって有意な違いが認められ ( $P<0.001$ )、全体として放置区>伐採区>防除区の傾向であった。

## IV 考察

ナラ枯れ等による枯死木が発生した場合の里山整備方針として、次の3通りの手法、1. 地域住民の安全に支障のない箇所ではコストを抑えるため放置、2. 歩道沿いなど地域住民の安全に支障をきたす箇所では枯死木のみ除去、3. 里山再生を目的とした場合は林内環境改善のため枯死木処理とともに除間伐、が考えられる。本研究によって、

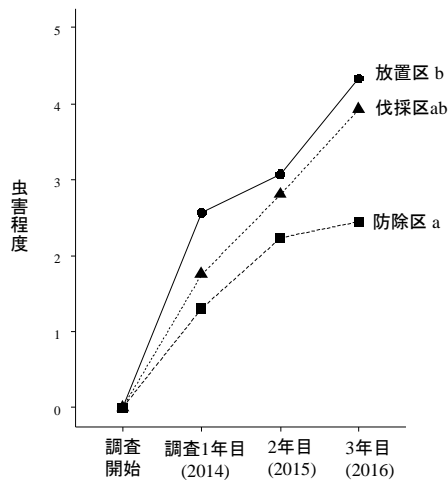


図-5 動態調査地におけるコナラ実生の虫害程度  
異なるアルファベットは多重比較の解析結果、有意であったことを示す

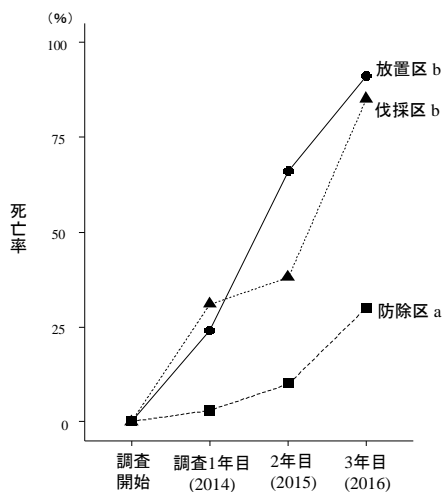


図-6 動態調査地におけるコナラ実生の死亡率  
異なるアルファベットは多重比較の解析結果、有意であったことを示す

これら異なる3つの整備方針で里山林に異なる影響の出ることが示された。

まず放置する場合について、林業関係者からは、枯死木を放置したとしても、ギャップ発生に伴って林床の光環境が改善するため、林床植物の種多

様性が増加するなど、公益的機能にとってプラスの効果があるのではないかと、という意見を聞くことがある。確かに、枯死木が発生すると林床の光環境は若干改善するが(江口 2015、江口ら 2014)、枯死木のみ除去した場合(本研究では伐採区)や除間伐まで実施した場合(本研究では防除区)に比べると光環境の改善効果は著しく小さかった(図-4)。ナラ枯れが発生していない林分と発生した林分において、整備前の林床の植被率や種多様性を比較しても、違いはほとんど認められない(江口 2015、江口ら 2014)。更新木として期待できるコナラ実生の  $CO_2$  固定能力 ( $V_{cmax}$  や  $A_{max}$ ) も低く(表-2)、死亡率も高かった(図-6)。これは、弱光環境下で光利用能力を高める(量子収率を高めて暗呼吸速度を低くする)といった環境適応ができなかったことが原因の一つと言えた(表-2)。先行研究からも、ナラ枯れ被害地は耐陰性の高い低木層やササに林床が覆われてしまい、高木性樹種が失われることも懸念されている(林田ら 2013、伊藤ら 2011)。以上から、被害地を放置するだけでは、健全で持続的な里山林として維持することは困難であることが考えられた。

次に枯死木のみ除去する整備について、光改善効果は放置する場合に比べて大きく(図-4)、コナラ実生の  $CO_2$  固定能力 ( $V_{cmax}$  や  $A_{max}$ ) の増加が認められた(表-2)。すなわちコナラ実生が更新するには、枯死木除去程度の光環境の改善が必要と考えられた。しかしながら、除間伐をした場合(防除区)に比べると死亡率が高く、処理3年目にはおおよそ80%の個体が死亡した(図-6)。これは、防除区に比べて林冠閉鎖が早期に起こり(図-4)、時間経過とともにコナラ実生に必要な光が不足したことが原因だと考えられた。すなわち、枯死木のみ除去という整備を行っても、そのまま里山林に手を入れなければ、いずれ放置した場合と同様の状態になる可能性が高いといえた。

最後に除間伐を含めた里山整備について、3種類の整備の中では、光環境の改善効果も最も大きく（図-4）、コナラ実生の生理活性の向上も認められ（表-2）、死亡率も最も低かった（図-6）。また、除間伐を含めた里山整備を行った事業地においても、光環境の改善（図-1）及びその後の植被率（図-2）と種多様性（図-3）の著しい増加が認められた。以上から、3種類の整備手法の中では、除間伐を伴う整備が健全な里山再生のために効果的な手法と考えられた。

なお、放置区では虫害程度及び死亡率が高く、防除区では虫害程度及び死亡率が低かったことから（図-5、6）、本研究におけるコナラ実生の死亡要因には、虫への食われやすさも大きく影響していると考えられた。虫害被害の発生は場所による影響が大きい、菌根菌の働きによって樹木の生理活性が増加すると、被食防衛物質が多く作られ、植食者に影響を与えることも知られている（Gilbert & Johnson 2015）。実際、本研究で対象としたコナラ実生でも、放置区に比べて防除区で菌根数やCO<sub>2</sub>固定能力（ $V_{cmax}$ や $A_{max}$ ）が高かった（表-2）。しかしながら、死亡率、虫害程度、菌根数、生理活性の関係は状況証拠でしかないため、里山再生に有望なコナラ苗木を開発するためにも、今後はこれら因果関係を実験的に解明することが必要と考えられる。

健全な里山再生に有望と考えられる除間伐を含めた整備手法であるが、懸念事項もある。それは、整備による光環境の改善効果が、整備後の年数とともに小さくなってしまいう点である（図-2、4）。いつ、どのタイミングで再整備を行うべきなのか、という点を検討するためにも、整備後の光環境改善効果がどれだけ持続するのか、林冠閉鎖後に林床植生や更新木の動態はどうなるのか、引き続きモニタリングを継続していくことが必要である。

本研究から、健全な里山管理を実施するためには、枯死木除去とともに除間伐の実施による光環境の改善がポイントになることが判明した。しかしながら、整備の持続期間は不明であるため、今後は整備の効果がどれだけ継続するのか、引き続きモニタリングを実施する必要があると考えられた。

## 引用文献

- 江口則和 (2015) 里山林の施業効果のモニタリング (第1報). 愛知県森林・林業技術センター報告 **52**:19-28
- 江口則和・中島寛文・山下昇(2014) ナラ枯れ跡地の森林整備が被害地の更新に与える影響. 中部森林研究 **62**:37-40
- Farquhar GD, von Caemmerer S, Berry JA. (1980) A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C3 species. *Planta* **149**:78-90
- Gilbert L, Johnson D. (2015) Plant-mediated “apparent effects” between mycorrhiza and insect herbivores. *Current Opinion in Plant Biology* **26**:100-105
- 林田光祐・大谷ゆき・大谷博彌(2013) ミズナラ二次林におけるナラ枯れ前後の16年間の林分構造の推移. 山形大学紀要（農学） **16**:297-304.
- 伊藤宏樹・衣浦晴夫・奥恵一 (2011) ササ型林床を有するナラ類集団枯損被害林分の林分構造. 日本森林学会誌 **93**:84-87
- Kagaya SE et al. (2010) Genetic structure of oak wilt vector beetle *Platypus quercivorus*: inferences toward the process of damaged area expansion. *BMC Ecology* **10**:21
- 小林正秀・上田明良(2005) カシノナガキクイムシとその共生菌が関与するブナ科樹木の萎凋

枯死—被害発生要因の解明を目指して—. 日本林学会誌 **87**:435–450.

黒田慶子(2010) 不安定化する里山生態系—近年のナラ枯れ拡大が示すこと—. 22–23 pp.

松本和馬 (2010) 里山林の生物多様性. *In* 里山に入る前に考えること (ed) 黒田 慶子 6-13 pp, 森林総合研究所関西支所, 京都.

大住克博 (2008) 変容する里山林—ナラ枯れの舞台—. *In* ナラ枯れと里山の健康(ed)黒田 慶子、89-107 pp、全国林業改良普及協会、東京.

大住克博 (2010) 里山林の生態. *In* 里山に入る前に考えること (ed) 黒田 慶子 17-19 pp, 森林総合研究所関西支所, 京都.

白井一則・熊川忠芳(2005) 都市近郊林に関する研究. 愛知県森林・林業センター報告 **42**:21–31.

Thornley JHM, Johnson IR (1990) Plant and crop modelling: a mathematical approach to plant and crop physiology. Plant and crop modelling: a mathematical approach to plant and crop physiology. p.xv + 669 pp.