

造成後約 20 年が経過した都市内再生林におけるコナラとアラカシ実生の成長特性

Growth Characteristics of *Quercus serrata* and *Quercus glauca* Seedlings in a Restored Urban Forest After Approximately 20 Years Since Construction

田端 敬三

Keizo TABATA

Abstract: To clarify the regeneration processes of two *Quercus* (*Fagaceae*) species, *Quercus serrata*, deciduous broad-leaved tree and *Quercus glauca*, evergreen broad-leaved tree in an urban forest, 163 research quadrats (163 m²) on the forest floor in a restored deciduous broad-leaved forest, "Inochi- No-Mori" in Kyoto city after approximately 20 years since construction were set up. Growth characteristics, recruitment, mortality and relative height growth rates of seedlings of these two species were investigated. As a result, the recruitment rate of *Q. serrata* seedlings tends to be higher than that of *Q. glauca* seedlings, when diffuse site factor was larger than 15.0%, particularly. The relative height growth rate of *Q. serrata* seedlings in the 15–50-cm height class was relatively high when diffuse site factor was larger than 15.0%. On the other hand, the mortality rate of *Q. glauca* seedlings in the 15–50-cm height class was very lower than that of *Q. serrata* seedlings. These results indicate that in order to promote the regeneration of *Q. serrata* in this site, it is necessary to maintain a light environment with a diffuse site factor amount of larger than 15.0% around the mature *Q. serrata* trees, by thinning the upper trees and to selectively remove *Q. glauca* seedlings.

Keywords: restored urban forest, woody seedling, regeneration, relative light intensity, neighbor parent trees

キーワード: 都市内再生林, 木本実生, 天然更新, 相対光量, 隣接親個体

1. はじめに

経済効率, 人間生活の利便性の追求等を最優先する都市開発が為された結果, 現代の都市の環境は, 緑地が激減し, 大気汚染や高温化, 生物多様性の低下など荒廃した状態となっている。このような都市の状況に対して, 自然性の高い森林を再生し, 環境の改善を図ることが非常に重要である¹⁾。こうした都市域での森林再生の画期的な事例として, 京都市梅小路公園「いのちの森」がある。いのちの森の自然再生の主な目標として, ムクノキ, エノキ, ケヤキが優占する落葉広葉樹林の植生が設定されている^{2,3,4,5)}。ムクノキ, エノキ, ケヤキが優占する落葉広葉樹林は, 約 8500~5000 年前の京都盆地を覆っていたと推定されており⁶⁾、古代の山城原野の原植生であると考えられている。加えて, 「京の原風景の再生」を目標とするいのちの森では, 京都盆地周辺に存在していたコナラ林の植生も目標に設定されている^{2,3,4,5)}。

コナラ林は, 日本の暖温帯域の代表的な落葉広葉樹林で, 非常に多様な樹種により構成されている^{7,8)}。また, 多くの樹種が, 春の開花期, あるいは秋の紅葉・黄葉期に, 林内を美しく彩る。さらに, 林冠層で落葉樹が優占しているため, 早春の開葉期には, 下層まで光が届き, 林床植物の出現種数も多い^{7,8)}。このように, 種多様性が高く, 景観的にも秀でているコナラ林は, 都市住民の散策などの余暇活動や環境教育の場としても適しており^{7,8)}、都市域において再生を図るべき, 優れた植生であると考えられる。

自然再生では, 可能な限り, 自然が有する再生能力を活かした計画を立てることが重要であり⁹⁾、市街地での森林再生においても, 天然更新の活用等, できるだけ人為的な干渉を控えた手法が望ましい³⁾。従って, 都市域でコナラ林の植生の再生を図るには, 林床で種子から発芽し, 定着したコナラ実生の成長を促し, 森林群落を発達させることが肝要である。そのためには, 林床でのコナラ実生の成長特性の把握が不可欠となる。林内でのコナラ実生の成長過程については数多くの研究事例^{10,11,12,13)}が存在するが, しかし, いずれも郊外の二次林で実施されたものであり, 特定の

機能や構造を持つとされる都市の森林¹⁴⁾での研究例ではない。都市内に再生された落葉広葉樹林で行われたコナラ実生の生育状況に関する研究事例³⁾を除き, 都市林での研究例は皆無である。

そこで, 本研究は, 造成から約 20 年が経過し, さらに森林構造が発達した都市内再生林, いのちの森の林床において, 成長初期段階にあるコナラ実生と, コナラと同じブナ科コナラ属の樹種であり, 本調査地の造成後早期においては実生の個体数が少なかったものの, 以降, 急激に増加し, 動向に注目すべき種と考えられるアラカシを比較対象として加えて, これら 2 樹種の新規加入, 枯死, 成長について調査した。一般に植物の成長は個体サイズに依存し¹⁵⁾、加えて, 実生の生残や成長には林床の光環境が大きく影響する¹⁶⁾。また, コナラの堅果の大半は, 母樹の樹冠の範囲内に落下し^{17,18)}、コナラと同じく重力散布型の堅果をつけるアラカシにおいても, 周囲の母樹の密度が種子の供給を規定すると考えられる。よって, コナラ, アラカシ 2 樹種の, 枯死, 成長については, 実生の初期サイズおよび林床の光環境との関連性を検討した。また, 新規加入については, 林床の光環境および種子の供給ポテンシャルの指標として隣接する成木の個体数との関係を調査した。以上から, 都市域で, 落葉広葉樹が優占する植生を目標として造成された再生林における, コナラとアラカシの更新過程を明らかにすることを目的とした。

2. 調査地概要

調査対象地いのちの森が位置する京都市の気候は, 年間の平均気温が 15.9°C である¹⁹⁾。月別の平均気温は, 最高が 8 月の 28.2°C, 最低が 1 月の 4.6°C である。暖かさの指数は 130.7°C・月, 寒さの指数は -0.4°C・月で, 照葉樹林帯に該当する。年間の降水量は 1491.3mm である (1981 年~2010 年の平年値)¹⁹⁾。

いのちの森は, 京都市の総合公園, 梅小路公園 (京都市下京区 北緯 34° 59' 16", 東経 135° 44' 40", 面積 11.65ha) の中心施設である。1996 年 4 月に開園し, 面積は 6048m² である。旧国鉄貨

物跡地に造成され、森林の再生の目標としては、下鴨神社の社叢、糺の森に見られるようなムクノキ、エノキ、ケヤキなどが優占する落葉広葉樹林が設定され、また京都盆地周辺の丘陵地に存在していたコナラ林の植生も目標設定されている^{2,3,4,5)}。

造成の際には、京都市内の地下鉄工事の建設残土が主体の盛土がなされ、樹木の植栽によって、密度や樹種構成が異なる多様な林分が初期設定された。以後は人為的な干渉は極力控え、植生遷移の進行に任せることにより、目標とする落葉広葉樹優占の森林の再生を図っている^{2,3,4,5)}。しかし、過度な繁茂によって他種を圧迫し、植生遷移の停滞を招く植物種については、ある程度の除去を行う方針を採用している⁵⁾。

いのちの森では胸高直径 5cm 以上の植栽樹木を対象とする毎木調査が 2005 年と 2015 年に各々、9 月から翌年 3 月にかけて実施されている^{4,20)}。植栽樹木の全樹種での胸高断面積合計は 2005 年が 14.8m²/ha、2015 年は 24.0m²/ha であった。樹種別では 2005 年と 2015 年のいずれもコナラが最大で、2015 年は 6.1m²/ha (全体比 25.4%) であった。次いでアラカシが 3.6m²/ha (15.0%)、ケヤキが 2.7m²/ha (11.3%) となっていた。また 2006 年 3 月に計測された樹高の最大はクスギで、13.2m であった。またコナラの樹高の最大は 11.2m、アラカシの最大は 11.4m であった^{4,20)}。

2015 年での植栽樹木の全樹種での個体密度は 630.0 個体/ha であった。樹種別ではコナラが最も多く、167.0 個体/ha (全体比 26.5%) となっていた⁴⁾。

3. 調査方法

(1) 調査コドラートの設置

いのちの森全域において、1m×1m の調査コドラートを、5m 間隔で計 163 ヶ所に設置した。コドラートの設置は、2012 年に行った⁴⁾。

(2) 実生の生育状況の調査

163 ヶ所の各コドラート内に出現した木本実生を対象として、生育状況を調査した。出現した各木本実生について、番号札を付け、個体識別を行い、樹種、樹高を記録した。調査は 2012 年、2013 年、2014 年、2015 年の各々、9 月から 12 月にかけて実施した⁴⁾。今回、各樹種の実生の定着条件の経年変化を明らかにすることに主眼を置いたため、夏季以前に枯死し、定着まで至らなかった当年生実生については調査対象外とした。

(3) 光環境の評価

163 ヶ所の各コドラートの光環境の評価を行った⁴⁾。魚眼レンズ (Nikon FC-E8) を取り付けたデジタルカメラ (Nikon Coolpix 950) を、各 163 ヶ所のコドラートの中央に据えて、地上から約 50 cm の高さでの全天空写真を撮影した。全天空写真の撮影は、各コドラートについて 2013 年、2014 年、2015 年に各々 1 回行った。撮影の時期は、6 月から 11 月上旬にかけての、曇天の日あるいは、太陽高度が低い夕刻を選択した。撮影した全天空写真から、解析ソフト²⁰⁾を用いて、天頂方向の明るさを加重した相対散乱光量²²⁾を算出した。

4. 解析方法

(1) 相対散乱光量

相対散乱光量の、163 ヶ所の各コドラートについての、2013 年、2014 年、2015 年の計 3 回ずつの計測値、合計 489 の計測値全体を、3 つの階級に区分した (階級 I : 10.0%未満、階級 II : 10.0%以上 15.0%未満、階級 III : 15.0%以上)。

(2) 新規加入速度

コナラ、アラカシ各樹種の実生の新規加入速度について、光環境および種子の供給ポテンシャルとの関係性を検討した。種子供給ポテンシャルの指標として、コドラート周辺に位置する、実生

と同じ樹種の植栽木の本数を採用した。各コドラートを中心とした半径 5m あるいは 10m の円形の範囲内に生育する植栽木の本数をカウントした。さらに植栽木の本数を、3 つの階級 (階級 I : 0 本、階級 II : 1 本~3 本、階級 III : 4 本以上) に区分した。

2012 年~2013 年、2013 年~2014 年、および 2014 年~2015 年の各々の調査期間について、相対散乱光量の各階級、および、植栽木本数の各階級、それぞれに該当するコドラートでの新規加入速度の値を合計し、さらにその合計値を該当コドラート数で除算することにより、相対散乱光量階級別、植栽木本数階級別での新規加入速度の平均値を算出した⁴⁾。

半径 5m 範囲内に生育する植栽木本数の階級別での新規加入速度の平均値については、いのちの森外縁から 5m 以上内側に位置するコドラート、半径 10m 範囲内に生育する植栽木本数の階級については、いのちの森外縁から 10m 以上内側に位置するコドラートを各々、計算の対象とした。

同じカテゴリー (植栽木本数および相対散乱光量が同階級) のコナラ、アラカシ間での、新規加入速度の平均値の有意差を、Welch の *t* 検定を用いて検討した。また Tukey 検定により、同じ樹種内で、且つ、植栽木本数が同階級での、異なる相対散乱光量階級間での平均値の有意差を多重比較した。

(3) 枯死率および樹高相対成長速度

2012 年、2013 年、2014 年、2015 年の各実生の樹高の測定値から、以下の式により、2012 年~2013 年、2013 年~2014 年、2014 年~2015 年、各々の調査期間での樹高相対成長速度を計算した⁴⁾。

樹高相対成長速度 (cm/cm/年)

$$= [\text{Ln}(\text{樹高の期末値}) - \text{Ln}(\text{樹高の初期値})]$$

コナラ、アラカシ各樹種の実生の枯死率と樹高相対成長速度に影響を与える要因として、実生の初期サイズと光環境を検討した。

調査期間 2012 年~2013 年では、2012 年での樹高、調査期間 2013 年~2014 年は、2013 年の樹高、調査期間 2014 年~2015 年では 2014 年の樹高を初期値として使用した。樹高の初期値は、2 つの階級 (階級 I : 15cm 未満、階級 II : 15cm 以上 50cm 以下) に区分した⁴⁾。

2012 年~2013 年、2013 年~2014 年、および 2014 年~2015 年の各々の調査期間について、相対散乱光量の各階級、樹高の初期値の各階級、それぞれに該当する実生が示した樹高相対成長速度の値を合計して、さらにその合計値を実生の本数で除算することによって、相対散乱光量階級別、樹高の階級別での樹高相対成長速度の平均値を算出した。また枯死率についても同様に、相対散乱光量の各階級、樹高の初期値の各階級、それぞれに該当する実生の生存本数、枯死本数から相対散乱光量階級別、樹高階級別での枯死率を算出した。

Fisher の正確確率検定を用いて、同じカテゴリー (樹高および相対散乱光量が同階級) のコナラとアラカシとの間で枯死率を比較した。また同じ樹種内で樹高が同階級での、異なる相対散乱光量階級間での枯死率の相違の有無を、Fisher の正確確率検定の Bonferroni の補正により検討した。

同じカテゴリー (樹高および相対散乱光量が同階級) のコナラ、アラカシ間での樹高相対成長速度の平均値の有意差を、Welch の *t* 検定によって、検討した。また Tukey 検定により、同じ樹種内で、且つ、樹高が同階級での、異なる相対散乱光量階級間での平均値の有意差を多重比較した。

以上の統計解析には、R version 3.6.3²³⁾を使用した。

5. 結果

(1) 新規加入速度

3 調査期間全体での新規加入速度の平均は、コナラが 74.4 本

表一 相対散乱光量階級別でのコナラ、アラカシ実生の新規加入速度

調査期間	樹種	相対散乱光量 (%)									計		
		< 10.0			10.0 ≤ < 15.0			15.0 ≤			新規加入速度 (本/100m ² /年)		
		新規加入速度 (本/100m ² /年)	平均	S.D.	新規加入速度 (本/100m ² /年)	平均	S.D.	新規加入速度 (本/100m ² /年)	平均	S.D.	新規加入速度 (本/100m ² /年)	平均	S.D.
2012-2013	コナラ	23	0.0	0.0	113	6.2	48.7	27	14.8	53.4	163	6.7	46.0
	アラカシ	23	21.7	85.0	113	8.8	51.0	27	0.0	0.0	163	9.2	53.1
	ρ 値	ns			ns			ns			ns		
2013-2014	コナラ	14	7.1	26.7	114	84.2	370.7	35	191.4	431.4	163	100.6	371.1
	アラカシ	14	257.1	793.9	114	136.8	576.1	35	40.0	126.5	163	126.4	537.2
	ρ 値	ns			ns			ns			ns		
2014-2015	コナラ	12	66.7	161.4	124	126.6	388.9	27	88.9	178.3	163	116.0	349.4
	アラカシ	12	8.3	28.9	124	14.5	67.1	27	22.2	64.1	163	15.3	64.4
	ρ 値	ns			**			ns			***		
3調査期間計	コナラ	49	18.4	83.4	351	74.1	317.5	89	106.7	296.1	489	74.4	298.8
	アラカシ	49	85.7	431.6	351	52.4	336.2	89	22.5	87.6	489	50.3	317.9
	ρ 値	ns			ns			*			ns		

ρ 値: 同じ調査期間, 同じ相対散乱光量階級のコナラ, アラカシ間での比較結果を示す。***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, ns: $p \geq 0.05$

/100m²/年, アラカシは 50.3 本/100m²/年となっていた(表一)。

調査期間別の平均値は, 2012 年~2013 年は, コナラが 6.7 本/100m²/年, アラカシは 9.2 本/100m²/年であった。また, 2013 年~2014 年においては, コナラが 100.6 本/100m²/年, アラカシは 126.4 本/100m²/年であった。2014 年~2015 年では, コナラが 116.0 本/100m²/年, 一方, アラカシは 15.3 本/100m²/年であり, コナラとアラカシの間で平均値に有意な差が見られた ($p < 0.001$, 表一)。

同一の相対散乱光量階級内での新規加入速度の平均値を, コナラとアラカシとの間で比較すると, 3 調査期間全体では, 「相対散乱光量 15.0%以上」の階級で, コナラが 106.7 本/100m²/年, 一方, アラカシは 22.5 本/100m²/年であり, コナラとアラカシの間で有意な差が見られた ($p < 0.05$, 表一)。また, 調査期間別では, 2014 年~2015 年での「相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」の階級で, コナラの平均値が 126.6 本/100m²/年, 他方, アラカシは 14.5 本/100m²/年となっており, コナラ, アラカシの間で有意差があった ($p < 0.01$, 表一)。

種子の供給ポテンシャルと新規加入速度との関係を見ると, 調査期間 2014 年~2015 年において, 「半径 5m 範囲内の同種の植栽木 1 本以上 3 本以下」および「4 本以上」, 「半径 10m 範囲内の同種の植栽木 4 本以上」, 各々の階級で, コナラの新規加入速度の平均値がアラカシに比べ, 有意に高くなっていた(表二)。

さらに, 種子の供給ポテンシャルと光条件を併せて検討すると, 調査期間 2014 年~2015 年での「半径 5m 範囲内の同種の植栽木が 1 本以上 3 本以下, 且つ, 相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」, 「半径 5m 範囲内の同種の植栽木が 4 本以上, 且つ, 相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」および「半径 10m 範囲内の同種の植栽木が 4 本以上, 且つ, 相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」, 各々の条件においてコナラ, アラカシ間で有意な差が見られ, コナラの平均値が高い値を示していた ($p < 0.05$, 表二)。

また同一樹種内で, 同じ植栽木本数階級内の異なる相対散乱光量階級間で新規加入速度を比較した結果, 調査期間 2013 年~2014 年, および 3 調査期間全体において, 半径 5m 範囲内の同種の植栽木は 0 本で, 且つ, 相対散乱光量階級「10.0%未満」と「10%以上」との間で, アラカシの新規加入速度の平均値に有意差が見られた ($p < 0.05$, 表二)。

樹高 15cm 以上に到達した個体の新規加入速度の平均値は, 調査期間 2012 年~2013 年では, コナラが 5.5 本/100m²/年, 一方, アラカシは 16.6 本/100m²/年と, アラカシの値が有意に高くなっていた ($p < 0.05$, 表三)。調査期間 2013 年~2014 年は, コナラ, アラカシの 2 樹種とも 25.2 本/100m²/年を示した。調査期間 2014 年~2015 年はコナラが 39.3 本/100m²/年, アラカシは 31.9 本/100m²/年であった。3 調査期間全体ではコナラが 23.3 本/100m²/年, アラカシが 24.5 本/100m²/年となっていた(表三)。

また, 163 ヶ所のコードラート内で生育が確認された実生由来である樹高 50cm 以上の個体の密度の平均値は, 2015 年にはコナラ

が 4.9 本/100m², アラカシは 26.4 本/100m²であり, アラカシの個体密度が有意に高くなっていた ($p < 0.05$, 表一四)。2015 年での各樹種の樹高の最大値はアラカシが 191cm, コナラでは 124cm であった。

(2) 枯死率

樹高 15cm 未満での枯死率は, 調査期間 2012 年~2013 年において, コナラが 56.0%/年, アラカシは 26.6%/年であった。2013 年~2014 年では, コナラは 52.9%/年, アラカシが 31.8%/年, また, 2014 年~2015 年においては, コナラが 23.4%/年, アラカシは 12.1%/年となっていた。3 調査期間全体では, コナラが 41.3%/年, アラカシは 22.5%/年であった。いずれの期間においても, 2 樹種間で有意な相違が見られた(表一五)。

また, 樹高 15cm 以上 50cm 以下については, 3 調査期間全体で, コナラが 12.1%/年, アラカシは 7.4%/年の枯死率をそれぞれ示し, コナラの値がアラカシより有意に高くなっていた ($p < 0.05$, 表一五)。

同じカテゴリー(樹高および相対散乱光量が同階級)のコナラとアラカシとの間の比較では, 調査期間 2012 年~2013 年での「樹高 15cm 未満, 且つ, 相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」, 調査期間 2013 年~2014 年での「樹高 15cm 未満, 且つ, 相対散乱光量 15.0%以上」, 調査期間 2014 年~2015 年での「樹高 15cm 未満, 且つ, 相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」, 3 調査期間全体での「樹高 15cm 未満, 且つ, 相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」, 「樹高 15cm 未満, 且つ, 相対散乱光量 15.0%以上」, 「樹高 15cm 以上 50cm 以下, 且つ, 相対散乱光量 15.0%以上」の各々の条件下において, コナラ, アラカシ間で, 有意な枯死率の相違が見られた。いずれも, コナラがアラカシより高い枯死率を示していた(表一五)。

また同じ樹種内で, 且つ, 樹高が同階級での, 異なる相対散乱光量階級間で枯死率を比較した結果, 3 調査期間全体で, 樹高 15cm 未満のアラカシにおいて, 相対散乱光量階級「10.0%未満」と「15.0%以上」との間で, 枯死率に有意な相違が見られた ($p < 0.05$, 表一五)。

(3) 樹高相対成長速度

樹高および相対散乱光量が同階級のコナラとアラカシとの間の比較では, 調査期間 2013 年~2014 年での「樹高 15cm 以上 50cm 以下, 且つ, 相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」, 調査期間 2014 年~2015 年での「樹高 15cm 未満, 且つ, 相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」, 3 調査期間全体での「樹高 15cm 未満, 且つ, 相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」, 「樹高 15cm 以上 50cm 以下, 且つ, 相対散乱光量 15.0%以上」の各条件において, コナラとアラカシとの間で, 樹高相対成長速度の平均値に有意差が見られた(表一六)。

同一樹種, 同一の樹高階級内での, 相対散乱光量階級間の比較では, 3 調査期間全体での樹高 15cm 未満のコナラにおいて, 「相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」と「相対散乱光量 15.0%以上」

表-2 コドラートを中心とした圏域内に位置する同種の植栽木本数階級別および相対散乱光量階級別での
コナラ、アラカシ実生の新規加入速度

調査期間	圏域	圏域内の同種の植栽木本数	樹種	相対散乱光量 (%)									計		
				< 10.0			10.0 ≤ < 15.0			15.0 ≤			新規加入速度 (本/100m ² /年)		
				コドラート数 [†]	平均	S.D.	コドラート数 [†]	平均	S.D.	コドラート数 [†]	平均	S.D.	コドラート数 [†]	平均	S.D.
2012-2013	5 m	0	コナラ	6	0.0	0.0	41	0.0	0.0	7	0.0	0.0	54	0.0	0.0
			アラカシ	8	0.0	0.0	51	0.0	0.0	16	0.0	0.0	76	0.0	0.0
		<i>p</i> 値	ns			ns			ns			ns			
		1 ≤ < 3	コナラ	0	-	-	12	0.0	0.0	6	0.0	0.0	18	0.0	0.0
			アラカシ	6	66.7	163.3	13	0.0	0.0	2	0.0	0.0	21	19.0	87.3
		<i>p</i> 値	-			ns			ns			ns			
	4 ≤	コナラ	12	0.0	0.0	33	21.2	89.3	8	50.0	92.6	53	20.8	79.3	
		アラカシ	4	0.0	0.0	22	18.2	66.4	2	0.0	0.0	28	14.3	59.1	
	<i>p</i> 値	ns			ns			ns			ns				
	10 m	0	コナラ	0	-	-	9	0.0	0.0	1	-	-	10	0.0	0.0
			アラカシ	4	0.0	0.0	16	0.0	0.0	8	0.0	0.0	28	0.0	0.0
		<i>p</i> 値	-			ns			-			ns			
1 ≤ < 3		コナラ	2	0.0	0.0	13	0.0	0.0	0	-	-	15	0.0	0.0	
		アラカシ	1	0.0	-	5	0.0	0.0	2	0.0	0.0	8	0.0	0.0	
<i>p</i> 値		-			ns			-			ns				
4 ≤	コナラ	14	0.0	0.0	29	3.4	18.6	14	0.0	0.0	57	1.8	13.2		
	アラカシ	11	0.0	0.0	30	13.3	57.1	5	0.0	0.0	46	8.7	46.3		
<i>p</i> 値	ns			ns			ns			ns					
2013-2014	5 m	0	コナラ	3	0.0	0.0	39	20.5	128.1	12	0.0	0.0	54	14.8	108.9
			アラカシ	5	80.0	130.4	51	5.9	31.1	20	0.0	0.0	76	9.2	43.7
		<i>p</i> 値	ns			ns			ns			ns			
		1 ≤ < 3	コナラ	0	-	-	9	122.2	216.7	9	233.3	421.3	18	177.8	330.0
			アラカシ	4	800.0	1467.4	13	69.2	131.6	4	175.0	350.0	21	228.6	658.9
		<i>p</i> 値	-			ns			ns			ns			
	4 ≤	コナラ	8	12.5	35.4	36	158.3	587.2	9	444.4	667.3	53	184.9	563.4	
		アラカシ	2	0.0	0.0	20	360.0	887.0	6	83.3	75.3	28	275.0	757.5	
	<i>p</i> 値	ns			ns			ns			ns				
	10 m	0	コナラ	1	0.0	-	6	0.0	0.0	3	0.0	0.0	10	0.0	0.0
			アラカシ	2	50.0	70.7	16	6.3	25.0	10	0.0	0.0	28	7.1	26.2
		<i>p</i> 値	-			ns			-			ns			
1 ≤ < 3		コナラ	0	-	-	13	7.7	27.7	2	100.0	141.4	15	20.0	56.1	
		アラカシ	2	50.0	70.7	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	8	12.5	35.4	
<i>p</i> 値		-			ns			ns			ns				
4 ≤	コナラ	7	14.3	37.8	35	88.6	192.2	15	113.3	337.8	57	86.0	227.9		
	アラカシ	4	25.0	50.0	35	120.0	383.3	7	128.6	256.3	46	113.0	347.4		
<i>p</i> 値	ns			ns			ns			ns					
2014-2015	5 m	0	コナラ	6	0.0	0.0	35	17.1	61.8	13	0.0	0.0	54	11.1	50.2
			アラカシ	6	0.0	0.0	56	0.0	0.0	14	0.0	0.0	76	0.0	0.0
		<i>p</i> 値	ns			ns			ns			ns			
		1 ≤ < 3	コナラ	0	-	-	14	114.3	183.4	4	225.0	170.8	18	138.9	181.9
			アラカシ	2	0.0	0.0	15	6.7	25.8	4	25.0	50.0	21	9.5	30.1
		<i>p</i> 値	-			*			ns			**			
	4 ≤	コナラ	3	266.7	251.7	42	238.1	588.1	8	187.5	258.8	53	232.1	533.4	
		アラカシ	1	100.0	-	20	25.0	63.9	7	71.4	111.3	28	39.3	78.6	
	<i>p</i> 値	-			*			ns			*				
	10 m	0	コナラ	1	0.0	-	5	0.0	0.0	4	0.0	0.0	10	0.0	0.0
			アラカシ	2	0.0	0.0	21	0.0	0.0	5	0.0	0.0	28	0.0	0.0
		<i>p</i> 値	-			ns			ns			ns			
1 ≤ < 3		コナラ	2	0.0	-	9	55.6	166.7	4	100.0	200.0	15	60.0	159.5	
		アラカシ	1	0.0	-	6	0.0	0.0	1	0.0	-	8	0.0	0.0	
<i>p</i> 値		-			ns			-			ns				
4 ≤	コナラ	5	160.0	230.2	44	206.8	568.3	8	37.5	74.4	57	178.9	505.9		
	アラカシ	5	20.0	44.7	31	19.4	54.3	10	50.0	97.2	46	26.1	64.8		
<i>p</i> 値	ns			*			ns			*					
3調査期間計	5 m	0	コナラ	15	0.0	0.0	115	12.2	81.8	32	0.0	0.0	162	8.6	69.1
			アラカシ	19	21.1	71.3	158	1.9	17.7	51	0.0	0.0	228	3.1	25.5
		<i>p</i> 値	ns			ns			ns			ns			
		1 ≤ < 3	コナラ	0	-	-	35	77.1	164.6	19	157.9	309.7	54	105.6	226.9
			アラカシ	12	300.0	858.1	41	24.4	79.9	10	80.0	220.1	63	85.7	391.4
		<i>p</i> 値	-			ns			ns			ns			
	4 ≤	コナラ	23	39.1	119.6	111	147.7	498.9	25	236.0	446.2	159	145.9	456.6	
		アラカシ	7	14.3	37.8	62	130.6	522.8	15	66.7	90.0	84	109.5	451.4	
	<i>p</i> 値	ns			ns			ns			ns				
	10 m	0	コナラ	2	0.0	0.0	20	0.0	0.0	8	0.0	0.0	30	0.0	0.0
			アラカシ	8	12.5	35.4	53	1.9	13.7	23	0.0	0.0	84	2.4	15.3
		<i>p</i> 値	-			ns			ns			ns			
1 ≤ < 3		コナラ	4	0.0	0.0	35	17.1	85.7	6	100.0	167.3	45	26.7	98.6	
		アラカシ	4	25.0	50.0	14	0.0	0.0	6	0.0	0.0	24	4.2	20.4	
<i>p</i> 値		ns			ns			ns			ns				
4 ≤	コナラ	26	34.6	112.9	108	113.9	385.6	37	54.1	219.3	171	88.9	326.7		
	アラカシ	20	10.0	30.8	96	54.2	238.8	22	63.6	159.0	138	49.3	209.4		
<i>p</i> 値	ns			ns			ns			ns					

†: 圏域5mについては、いのちの森外縁から5m以上内側に位置するコドラート数。圏域10mについては、いのちの森外縁から10m以上内側に位置するコドラート数
*p*値: 同じ調査期間、同じカテゴリ(植栽木本数および相対散乱光量が同階級)のコナラ、アラカシ間での比較結果を示す。***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, ns: $p \geq 0.05$
 アルファベットは、同じ調査期間、同じ樹種内で植栽木本数が同階級での、異なる相対散乱光量階級間での多重比較結果を示す。異なるアルファベットは有意差を表示 $p < 0.05$

の間で、樹高 15cm 未満のアラカシでは、「相対散乱光量 10.0% 未満」と「相対散乱光量 10.0%以上」の間で、また、樹高 15cm 以上 50cm 以下のコナラについては「相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満」と「相対散乱光量 15.0%以上」の間で、各々、有意差が見られた ($p < 0.05$, 表-6)。

6. 考察

今回、コナラ実生の新規加入速度は、アラカシより比較的高い値が見られ、特に、相対散乱光量が 15.0%以上の光条件においては、コナラ実生の新規加入速度は、アラカシ実生より有意に高い値を示していた(表-1)。本調査地で、1998年から2000年にかけて実施した樹高 15cm 以上の実生を対象とする調査では、コナ

ラの新規加入速度の全体での平均値は 13.9 本/100m²/年であった³⁾。今回の3調査期間全体での樹高 15cm 以上に到達したコナラ個体の新規加入速度の平均は、23.3 本/100m²/年であり(表-3)、前回の調査より、高い値が見られた。要因として、母樹として導入したコナラの植栽木が、前回調査では、繁殖開始サイズ²⁴⁾まで成長したものが少なかった可能性が考えられる。

コナラ実生の新規加入速度の平均は、調査期間 2012年~2013年が 6.7 本/100m²/年、対して、2013年~2014年は 100.6本/100m²/年、2014年~2015年が 116.0本/100m²/年と、2012年~2013年において低い値となっていた(表-1)。コナラの結実には豊凶が見られる^{18,25)}。調査期間 2012年~2013年での低い新規加入速度は、コナラの植栽木の凶作年に該当していたことによ

表一 樹高 15cm 以上に到達した実生個体の新規加入速度

樹種	2012-2013		2013-2014		2014-2015		3調査期間計	
	新規加入速度 (本/100m ² /年)		新規加入速度 (本/100m ² /年)		新規加入速度 (本/100m ² /年)		新規加入速度 (本/100m ² /年)	
	コドラート 数	平均 S.D.	コドラート 数	平均 S.D.	コドラート 数	平均 S.D.	コドラート 数	平均 S.D.
コナラ	163	5.5 37.3	163	25.2 94.5	163	39.3 176.5	489	23.3 118.2
アラカシ	163	16.6 59.1	163	25.2 98.3	163	31.9 106.4	489	24.5 90.4
ρ 値	*		ns		ns		ns	

ρ 値: 同じ調査期間のコナラ、アラカシ間での比較結果を示す。*: $p < 0.05$, ns: $p \geq 0.05$

るものと考えられる。

相対散乱光量 10.0%未満の光条件での、コナラ実生の新規加入速度は、調査期間 2012 年～2013 年が 0.0 本/100m²/年、調査期間 2013 年～2014 年では 7.1 本/100m²/年といずれも低い値を示していた。対して、調査期間 2014 年～2015 年では 66.7 本/100m²/年となっていた(表一)。コナラの実生稚樹は、相対照度が 5%以下では長期間の生存は困難とされている^{10,18)}。本調査地での、コナラの実生の定着に最低限必要な光条件の解明には、調査期間 2014 年～2015 年において一旦の定着が見られた実生個体の生残についての追跡調査が引き続き必要である。

2013 年～2014 年と 2014 年～2015 年の各調査期間について、同一の相対散乱光量階級内で異なる植栽木本数階級の間での、コナラ実生の新規加入速度を比較すると、植栽木本数階級がより上位になるにつれて、新規加入速度もより高い値を示し(表二)、隣接地で生育する植栽木個体に多数の堅果の結実があった場合において、多くの実生が確認される傾向が見られた。

コナラ実生は生育の初期において、子葉の貯蔵物質を使用して成長し、従って、この段階では、種子の重量が大きく成長に影響する^{18,26)}。コナラ実生の枯死率は、3 調査期間全体で、樹高 15cm 未満が 41.3%/年、一方、樹高 15cm 以上 50cm 以下では 12.1%/年と、初期サイズの大きな実生個体が、より低い枯死率を示した(表一五)。コナラの実生の枯死要因としては、動物による食害、昆虫の摂食やノネズミによる根切り^{12,18)}などが挙げられている。しかし、都市の中心部に新たに再生された森林である本調査地では、

表一四 樹高 50cm 以上実生の個体密度

樹種	2013年		2014年		2015年	
	個体密度 (本/100m ²)		個体密度 (本/100m ²)		個体密度 (本/100m ²)	
	コドラート 数	平均 S.D.	コドラート 数	平均 S.D.	コドラート 数	平均 S.D.
コナラ	163	4.3 35.7	163	3.7 29.2	163	4.9 39.8
アラカシ	163	19.0 81.3	163	20.2 77.9	163	26.4 99.3
ρ 値	*		*		*	

ρ 値: 同じ調査年のコナラ、アラカシ間での比較結果を示す。*: $p < 0.05$

は、ノネズミの生育は確認されていない。コナラ実生の地下部は発達し、全重量の 50～68%を地下部の重量が占めていたとの報告がある^{10,18)}。コナラの当年生稚樹は夏季に多く枯死し、乾燥が主な要因となっていることが指摘されている^{13,18)}。本調査地の土壌基盤は、地下鉄の建設残土が主体であり^{23,4)}、土壌条件は良好ではなく、保水能力は低いと思われる。初期サイズが大きなコナラ実生の個体は十分な同化器官を有し、これにより得られた光合成産物を地下部へと分配し、乾燥ストレスに対する耐性を高めることが可能となる。これに対して、十分な同化器官を有していない初期サイズの小さなコナラ実生は、地下部の発達も充分ではなく、乾燥ストレスに対する耐性が低く、本調査地の乾燥した土壌環境において、生理的要因により生育が阻害された可能性が高い。

コナラ実生の樹高相対成長速度は、小さな初期サイズの樹高 15cm 未満の個体では、光条件が相対散乱光量 10.0%以上 15.0%未満の場合に高い値を示し、対して、大きな初期サイズの樹高 15cm 以上 50cm 以下の個体は、相対散乱光量 15.0%以上の場合で値が高くなっていった(表一六)。前述のように、生育の初期段階では、成長には種子の重量の影響が大きい。また、初期サイズの小さなコナラ実生は、地下部の発達が不十分で、乾燥ストレスへの耐性が低い。従って、相対散乱光量 15.0%以上の明るい光条件は、同時に土壌も乾燥して、初期サイズの小さなコナラ実生の生育にはマイナスに作用した可能性がある。このような要因により、コナラ実生の、初期サイズの小さな個体と大きな個体間で成長の特性に異なる傾向が見られたものと推察される。

表一五 樹高階級別、相対散乱光量階級別での、コナラ、アラカシ実生の枯死率

調査期間	樹高(cm)	樹種	相対散乱光量(%)											
			< 10.0			10.0 ≤ 15.0			15.0 ≤			計		
			生存 本数	枯死 本数	枯死率 (%/年)	生存 本数	枯死 本数	枯死率 (%/年)	生存 本数	枯死 本数	枯死率 (%/年)	生存 本数	枯死 本数	枯死率 (%/年)
2012-2013	< 15	コナラ	0	1	100.0	25	22	46.8	34	52	60.5	59	75	56.0
		アラカシ	27	14	34.1	154	51	24.9	7	3	30.0	188	68	26.6
	ρ 値				**			ns			***			
	15 ≤ 50	コナラ	0	1	100.0	5	0	0.0	40	10	20.0	45	11	19.6
		アラカシ	50	9	15.3	131	10	7.1	10	1	9.1	191	20	9.5
	ρ 値				ns			ns			ns			
計	コナラ	0	2	100.0	30	22	42.3	74	62	45.6	104	86	45.3	
アラカシ	77	23	23.0	285	61	17.6	17	4	19.0	379	88	18.8		
ρ 値				***			*			***				
2013-2014	< 15	コナラ	0	0	-	23	18	43.9	9	18	66.7	32	36	52.9
		アラカシ	26	12	31.6	108	50	31.6	12	6	33.3	146	68	31.8
	ρ 値				ns			*			**			
	15 ≤ 50	コナラ	0	0	-	6	0	0.0	34	4	10.5	40	4	9.1
		アラカシ	33	3	8.3	125	5	3.8	13	2	13.3	171	10	5.5
	ρ 値				ns			ns			ns			
計	コナラ	0	0	-	29	18	38.3	43	22	33.8	72	40	35.7	
アラカシ	59	15	20.3	233	55	19.1	25	8	24.2	317	78	19.7		
ρ 値				**			ns			***				
2014-2015	< 15	コナラ	0	1	100.0	46	20	30.3	72	15	17.2	118	36	23.4
		アラカシ	5	0	0.0	169	26	13.3	80	9	10.1	254	35	12.1
	ρ 値				**			ns			**			
	15 ≤ 50	コナラ	0	0	-	39	3	7.1	36	4	10.0	75	7	8.5
		アラカシ	17	0	0.0	126	14	10.0	72	2	2.7	215	16	6.9
	ρ 値				ns			ns			ns			
計	コナラ	0	1	100.0	85	23	21.3	108	19	15.0	193	43	18.2	
アラカシ	22	0	0.0	295	40	11.9	152	11	6.7	469	51	9.8		
ρ 値				*			*			**				
3調査期間計	< 15	コナラ	0	2	100.0	94	60	39.0	115	85	42.5	209	147	41.3
		アラカシ	58	26	31.0	431	127	22.8	99	18	15.4	588	171	22.5
	ρ 値				***			***			***			
	15 ≤ 50	コナラ	0	1	100.0	50	3	5.7	110	18	14.1	160	22	12.1
		アラカシ	100	12	10.7	382	29	7.1	95	5	5.0	577	46	7.4
	ρ 値				ns			*			*			
計	コナラ	0	3	100.0	144	63	30.4	225	103	31.4	369	169	31.4	
アラカシ	158	38	19.4	813	156	16.1	194	23	10.6	1165	217	15.7		
ρ 値				**			***			***				

ρ 値: 同じ調査期間、同じカテゴリ(樹高および相対散乱光量が同階級)のコナラ、アラカシ間での比較結果を示す。***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, ns: $p \geq 0.05$
異なるアルファベットは、同じ調査期間、同じ樹種内で樹高が同階級での、異なる相対散乱光量階級間での枯死率の有意な相違を表示、 $p < 0.05$

表一6 樹高階級別、相対散乱光量階級別でのコナラ、アラカシ実生の樹高相対成長速度

調査期間	樹高 (cm)	樹種	相対散乱光量 (%)												
			< 10.0			10.0 ≤ 15.0			15.0 ≤			計			
			本数	平均	S.D.	本数	平均	S.D.	本数	平均	S.D.	本数	平均	S.D.	
2012-2013	< 15	コナラ	0	-	-	25	0.11	0.20	34	0.14	0.17	59	0.13	0.18	
		アラカシ	27	0.18	0.27	154	0.08	0.19	7	0.09	0.15	188	0.10	0.20	
			<i>p</i> 値	ns											
	15 ≤ 50	コナラ	0	-	-	5	0.08	0.11	40	0.15	0.17	45	0.14	0.16	
		アラカシ	50	0.05	0.13	131	0.04	0.09	10	0.11	0.18	191	0.05	0.10	
			<i>p</i> 値	***											
計	コナラ	0	-	-	30	0.11	0.18	74	0.14	0.17	104	0.13	0.17		
	アラカシ	77	0.10	0.20	285	0.06	0.15	17	0.10	0.16	379	0.07	0.16		
		<i>p</i> 値	ns												
2013-2014	< 15	コナラ	0	-	-	23	0.28	0.20	9	0.16	0.09	32	0.24	0.18	
		アラカシ	26	0.32	0.29	108	0.26	0.24	12	0.23	0.22	146	0.26	0.25	
			<i>p</i> 値	ns											
	15 ≤ 50	コナラ	0	-	-	6	0.01	0.01	34	0.15	0.17	40	0.13	0.16	
		アラカシ	33	0.14	0.15	125	0.12	0.12	13	0.10	0.14	171	0.12	0.13	
			<i>p</i> 値	***											
計	コナラ	0	-	-	29	0.22	0.21	43	0.15	0.15	72	0.18	0.18		
	アラカシ	59	0.22	0.24	233	0.18	0.20	25	0.16	0.19	317	0.19	0.21		
		<i>p</i> 値	ns												
2014-2015	< 15	コナラ	0	-	-	46	0.19	0.19	72	0.12	0.13	118	0.15	0.16	
		アラカシ	5	0.13	0.19	169	0.13	0.14	80	0.14	0.15	254	0.13	0.14	
			<i>p</i> 値	*											
	15 ≤ 50	コナラ	0	-	-	39	0.09	0.12	36	0.08	0.09	75	0.08	0.11	
		アラカシ	17	0.15	0.20	126	0.12	0.16	72	0.07	0.06	215	0.11	0.14	
			<i>p</i> 値	ns											
計	コナラ	0	-	-	85	0.14	0.17	108	0.11	0.12	193	0.12	0.15		
	アラカシ	22	0.15	0.19	295	0.13	0.15	152	0.11	0.12	469	0.12	0.14		
		<i>p</i> 値	ns												
3調査期間計	< 15	コナラ	0	-	-	94	0.19	0.20	115	0.13	0.14	209	0.16	0.18	
		アラカシ	58	0.24	0.28	431	0.14	0.20	99	0.14	0.16	588	0.15	0.20	
			<i>p</i> 値	*											
	15 ≤ 50	コナラ	0	-	-	50	0.08	0.11	110	0.13	0.15	160	0.11	0.14	
		アラカシ	100	0.10	0.15	382	0.09	0.13	95	0.08	0.09	577	0.09	0.13	
			<i>p</i> 値	ns											
計	コナラ	0	-	-	144	0.15	0.18	225	0.13	0.15	369	0.14	0.16		
	アラカシ	158	0.15	0.22	813	0.12	0.17	194	0.11	0.13	1165	0.12	0.17		
		<i>p</i> 値	ns												

*p*値: 同じ調査期間、同じカテゴリ(樹高および相対散乱光量が同階級)のコナラ、アラカシ間での比較結果を示す。***: *p* < 0.01, *: *p* < 0.05, ns: *p* ≥ 0.05
 アルファベットは、同じ調査期間、同じ樹種内で樹高が同階級での、異なる相対散乱光量階級間での多重比較結果を示す。異なるアルファベットは有意差を表示 *p* < 0.05

今回、比較対象としたアラカシ実生は、新規加入速度や樹高相対成長速度は低い値を示したが(表一1, 表一2, 表一6), 一方、枯死率も低く、特に樹高15cm以上の個体では非常に低い値となっていた(表一5)。いのちの森の造成から2~4年が経過した1998年~2000年に、樹高15cm以上の実生を対象として実施した調査では、アラカシの個体密度は、1998年は0.0本/100m²であった。しかし、1999年が2.5本/100m²、2000年には12.5本/100m²と、造成後4年目以降、個体数の増加傾向が見られた。今回の調査において、163ヶ所のコードラート内で確認された実生由来の樹高50cm以上のアラカシ個体の密度は26.4本/100m²(表一4)であり、樹高の最大も191cmであった。しかし、今後、繁殖可能な段階に到達した個体が出現すると、定着率の高いアラカシ実生の個体数はさらに増大する可能性がある。常緑広葉樹が低木層で優占する状態では、コナラ実生の枯死率は非常に高い値を示したことが報告されている^{12,18)}。前述のように、いのちの森では人為的干渉を控えることが基本方針であるが、過度な繁茂により他種の生育を阻害するような植物種についてはある程度の除去を行う⁵⁾。本調査地で、コナラの更新を促進し、落葉広葉樹が優占する林分の発達を図るためには、母樹となるコナラ植栽木の周辺で上層木を適度に間伐し、コナラ実生の定着、成長に適した相対散乱光量15%以上の光環境を維持する。しかし、これは同時にアラカシの更新を促すことにもつながるため、加えて、成長が顕著なアラカシの幼木の選択的な除去も必要となると考えられる。

補注及び引用文献

- 1) 夏原由博 (1998) : 都市にどのような森をつくるか : 生活衛生 42(4), 113-133
- 2) 森本幸裕・夏原由博編 (2005) : いのちの森 - 生物親和都市の理論と実践 : 京都大学学術出版会, 397pp
- 3) 田端敏三・森本幸裕 (2012) : 都市内再生林の造成後早期に侵入定着した木本実生の成長特性 : ランドスケープ研究 75(5), 431-434
- 4) Tabata, K. and Morimoto, Y. (2017) : Regeneration Traits of *Celtis sinensis* Pers. and *Aphananthe aspera* (Thunb.) Planch. in a Created Urban Tree Plantation approximately 20 years after construction : Journal of Environmental Information Science 45(5), 1-8

- 5) 田端敏三 (2012) : 生態系モニタリングにみる驚嘆すべき15年の変遷 : 森本幸裕編「景観の生態史観—攪乱が再生する豊かな大地」: 京都通信社, 191-193
- 6) 高原 光 (1998) : 近畿地方の植生史 : 安田喜憲・三好教夫編「図説日本列島植生史」: 朝倉書店, 114-137
- 7) 星野義延 (2005) : 落葉広葉樹二次林 (コナラ林) : 福嶋 司・岩瀬 徹編「図説日本の植生」: 朝倉書店, 36-37
- 8) 田端敏三・白井佑季・奥村博司・阿部 進 (2016) : 奈良市近郊のコナラ二次林における主要樹種の立地適性 : 日本緑化工学会誌 42(3), 437-443
- 9) 日本生態学会生態系管理専門委員会 (2005) : 自然再生事業指針 : 保全生態学研究 10(1), 63-75
- 10) 橋詰隼人・勝又 章 (1985) : 二次林の再生過程に関する研究 (I) コナラ二次林における稚樹の成立状態と生長について : 広葉樹研究 3, 63-74
- 11) 長池卓男・橋本良二 (1991) : コナラ林におけるコナラ稚樹群の動態と成長発達 : 日本林学会発表論文集 102, 457-458
- 12) 西村尚之・白石高子・山本進一・千葉喬三 (1991) : 都市近郊コナラ林の構造と動態 (II) 林内における3年間のコナラ実生の動態 : 日本緑化工学会誌 16(4), 31-36
- 13) 鈴木 創・久野春子 (1993) : コナラ二次林における稚樹の消長と生理的特性 : 日本林学会発表論文集 104, 551-552
- 14) 坂本圭児 (1999) : 都市林の保全と管理 : 岡田光正・大沢雅彦・鈴木基之編「環境保全・創出のための生態工学」: 丸善, 32-42
- 15) 長嶋寿江 (2009) : 植物のサイズと成長 成長解析 : 低温科学 67, 113-118
- 16) 西村尚之・大田武志・坂本圭児・千葉喬三 (1997) : コナラとアベマキの実生の成長に及ぼす光と土壌水分の影響 : 日本緑化工学会誌 23(4), 220-227
- 17) 升原一介 (1991) : 有用落葉広葉樹 (クヌギ, コナラ, ミズナラ) の開花・結実特性 : 広島県林業試験場研究報告 25, 1-25
- 18) 横井秀一 (2009) : コナラ : 日本樹木誌編集委員会編「日本樹木誌 1」: 日本林業調査会, 287-341
- 19) 気象統計情報 : 気象庁ホームページ
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2020.9.18 参照
- 20) 京都ビオトープ研究会 (2006) : いのちの森 No.10 2005年度調査報告, 40pp
- 21) 竹中明夫 (2009) : 全天写真解析プログラム CanopOn2,
<http://takenaka-akio.cool.ne.jp/eto/canopon2/>, 2009.3.6 更新, 2020.9.1 参照
- 22) Anderson, M.C. (1971) : Radiation and crop structure : In: Sestak, Z., Catsky, T., Jarvis, P.G. (Eds.), Plant Photosynthetic Production: Manual of Methods. Junk, The Hague, 412-466
- 23) R Development Core Team (2020) : R: a language and environment for statistical computing : R Foundation for Statistical Computing, Vienna
- 24) 正木 隆・陶山佳久 (2011) : 9 樹木の繁殖と種子散布 : 日本生態学会編「森林生態学」: 共立出版, 136-153
- 25) 長池卓男・橋本良二 (1994) : コナラ林の堅果落下数の年変動 : 岩手大学農学部演習林報告 25, 17-22
- 26) 阿部信之・木村憲一郎・橋本良二 (1997) : コナラおよびミズナラ実生の成長・発達と種子重 : 岩手大学農学部演習林報告 28, 13-25

(2020.9.26受付, 2021.3.30受理)