

第6章 緩衝緑地の樹林構造の評価

緩衝緑地の整備においては、短期間に大規模な緑地の整備を行うため、施工時において「パターン植栽」という特有な植栽手法を用いて100 m²あたり35～75本の高密度な植栽が施された。このパターン植栽の方法が適用された理由として、産業公害の防止に対して早期の効果発現を図るため、モジュール化したパターンの組み合わせにより、大規模な樹林を早期整備させることにあった。そして、緩衝緑地による将来的な樹林の構成として考えられたのが、「多種多層林」出会った。既に、パターン植栽の手法により整備された緩衝緑地は、初期に整備された緑地も30年以上が経過しているが、その実態を検証するため、本資料においては、兵庫県姫路市の緩衝緑地である浜手緑地の中島地区を事例に、現地にて樹木調査を行った。

この結果を基に、第4章では、当初の植栽密度の違いにかかわらず、現存樹木数は100 m²あたり20本以下となり、低木層は消失し、設計当初に想定していた高木層・亜高木層・低木層からなる階層構成は成立していないことを明らかにした。また、樹高階と胸高直径階の分布から調査地区の樹林タイプを三つに区分することができた。

次に、第5章において、樹木調査の結果に基づき、樹高(H)と胸高直径(D)のデータより、アスペクト比と材積指数を算出し、緩衝緑地を構成する樹木の生長動態について、検証を試みた。この結果、当地域の潜在自然植生を構成するアラカシ、コジイの生長量が顕著に見られ、樹冠部の閉塞に伴い、亜高木層にある樹種を被圧している状況について考察した。

本章では、前章までの調査分析を踏まえ、兵庫県姫路市の中島地区を事例として、形成された緩衝緑地の樹林について、現存する樹木と相対照度、天空率、土壤環境要因との関係について検討するとともに、鬱閉度、多様度、活力度の指標を用いて現況の樹木の生育環境特性について評価を試みた。

1. 調査の方法

調査対象地は、旧公害防止事業団（現環境保全再生

機構）が姫路地区共同福利施設建設譲渡事業の第Ⅱ期事業として整備した緩衝緑地の中島地区である。以下の方法で、緑地内の相対照度計測、土壤調査、活力度調査を行った。調査は、2004年8月21日から24日の4日間で行った。

1) 各調査区における相対照度と天空率を計測した。相対照度は8月26日の晴天時に株式会社カスタム製デジタル照度計LX-1332により各調査区画の中心付近と、遮蔽物のない全天を同時に地表から1.0m上部において5回反復測定して相対値を算出し、その平均値を相対照度とした。天空率は、調査地中心から鉛直上部の樹冠の様子を魚眼レンズ（SIGMA 15mm F2.8 FISHEYE）により撮影し、写真解析ソフト（Canopon2）を用いて空隙率（空の見える割合）を算出し、天空率とした。天空率の算出データを（参考資料-3）に示す。

2) 深さ約30cmの土壤断面調査を調査区画ごとに1箇所行った。土性、土色、根系の発達、土壤硬度などから、土壤層位を判定した。土壤硬度は、山中式土壤硬度計により地表から5cmごとに測定した。また、同一調査地点のA層から土壤サンプルを採取し、腐植含有量、三相分布、pH(H₂O)を測定した。土壤断面調査によるデータを（参考資料-2）に示す。

3) 科学技術庁資源調査会¹⁾の活力指標の判定を同一人が行い、生育状態の指標とした。活力指標は、樹勢、樹形、枝の伸長量、梢端の枯損、枝葉の密度、葉の形状、葉の大きさ、葉の色、ネクロシスの9項目について、それぞれ良好1～瀕死状態4の4段階に区分し、目視で判定し、各個体について9項目の平均値を求めた。

2. 調査の結果

各調査区における樹木調査、下層植生調査の結果を表6-1に、相対照度、天空率、土壤調査の結果を表6-2に示す。以下に、相対照度、土壤環境因子と樹林構造との関係について検討結果を記す。

2.1 相対照度・天空率

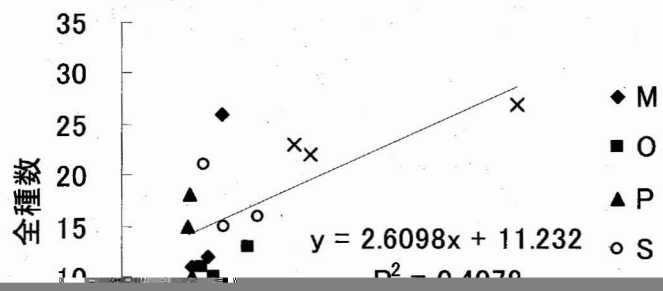
表6-2より、相対照度についてはパターンXとそれとことと比較すると高い数値を示した。これはパターン

表6-1 樹木・植生調査結果

パターン	現存 本数	植被率 (%)		優占樹種		種数	
		高木	亜高木	優占種	次優占種	木本	草本
M	15.3	31.7	38.3	クスノキ	マテバシイ	11.7	4.7
O	19.0	90.0	40.0	シイノキ	タブノキ	8.3	3.0
P	17.7	90.0	11.7	アラカシ	ヤマモモ	12.0	3.5
S	18.7	90.0	20.0	アラカシ	モッコク	13.7	3.7
X	20.7	46.7	50.0	トウカエデ	オオシマザクラ	15.3	8.7

表6-2 相対照度・天空率・土壌調査の特性

区分	調査区	相対照度 (%)	天空率 (%)	土壌A層深度 (cm)	土壌硬度 (mm)		腐植含有量 (g/kg)	三相分布 (v/v%)			pH
					表層 (0mm)	平均 (0-30mm)		気相	液相	固相	
M	M1	1.2	18.0	4.0	14.2	14.1	128.0	22.5	23.3	54.2	6.6
	M2	1.5	17.6	5.0	7.0	14.2	92.8	42.6	25.3	32.1	6.9
	M3	1.7	14.4	8.0	15.3	15.0	50.0	21.4	24.2	54.4	6.0
	平均	1.5	16.7	5.7	12.2	14.4	90.3	28.8	24.3	46.9	6.5
O	O1	2.2	23.0	5.0	9.7	15.6	97.7	30.8	21.8	47.4	6.3
	O2	1.4	24.4	5.0	17.5	18.6	75.8	23.9	31.8	44.3	6.3
	O3	1.6	14.3	5.0	12.3	15.7	117.0	31.4	26.9	41.7	6.4
	平均	1.7	20.6	5.0	13.2	16.6	96.8	28.7	26.8	44.5	6.3
P	P1	1.2	25.2	5.0	8.7	12.0	155.0	46.8	25.4	27.8	6.6
	P2	1.1	20.8	7.0	11.2	17.5	44.5	50.2	18.1	31.7	6.0
	P3	1.2	19.0	8.0	12.5	14.9	62.9	31.6	22.6	45.8	6.2
	平均	1.2	21.7	6.7	10.8	14.8	87.5	42.9	22.0	35.1	6.3
S	S1	1.4	19.4	10.0	12.2	14.0	61.2	60.3	12.0	27.7	5.9
	S2	1.7	24.5	5.0	13.8	15.0	33.4	33.3	19.9	46.8	5.7
	S3	2.3	19.8	10.0	11.3	12.7	102.8	45.2	18.2	36.6	5.3
	平均	1.8	21.2	8.3	12.4	13.9	65.8	46.3	16.7	37.0	5.6
X	X1	3.2	20.8	5.0	11.5	13.1	19.0	27.9	23.7	48.4	6.5
	X2	2.9	12.5	5.0	10.8	13.9	20.9	28.3	25.3	46.4	6.6
	X3	6.7	18.0	5.0	16.5	20.1	36.6	31.0	22.8	46.2	6.4
	平均	4.3	17.1	5.0	12.9	15.7	25.5	29.1	23.9	47.0	6.5



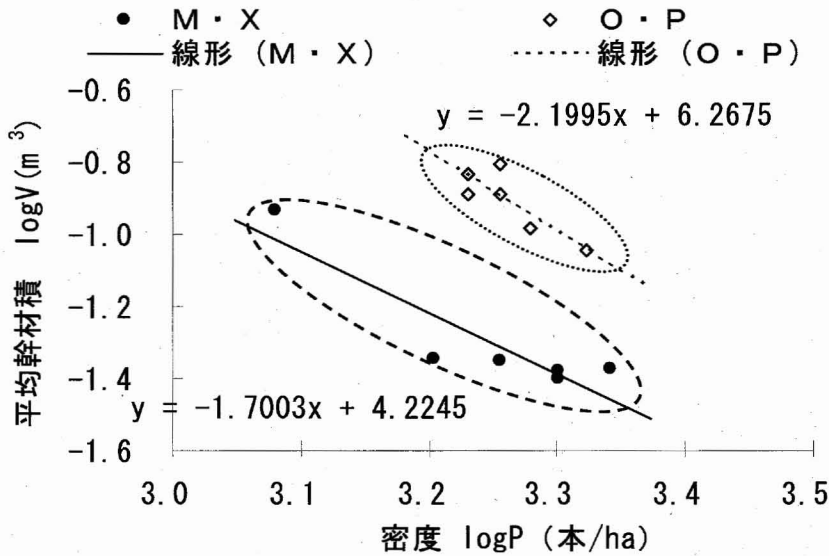


図 6-3 密度と平均幹材積

表 6-3 logP-logv分布の相関と α 値

パターン	相関係数	近似式	α 値
M・X	-0.90058	$y = -1.7003x + 4.2245$	1.7
O・P	-0.85304	$y = -2.1995x + 6.2675$	2.2

以外のパターンとの間に相違が見られ、パターンXでは2.9~6.7%と他のパターンが1.2~2.3%の間にあるXでは高木層を落葉広葉樹のオオシマザクラ・トウカエデが優占していることにより、他の樹林に比較して明るい林床環境が形成されていることによるものと考えられる。次に天空率についてみると、パターン毎の顕著な差異は認められず、12~25%の間にあった。

相対照度と樹林の生育状況との関連について見ると、図6-1に示すとおり相対照度と調査区における樹木・下層植生を含む全種数との間に正の相関が認められた。(P<0.01) このことは、パターンXのように相対照度が高い樹林ほど、樹林構成として多様な種の樹林が形成されるとともに、下層植生が発達し、種数が多様化していることを示している。

天空率については、図6-2に示すとおり今回の計測結果から有意な相関は認められなかった。これは、相対

照度が調査区内5地点での計測値を平均したのに対して、天空率の計測は各調査区の中央部1箇所に限定したことにより、林内の天空率値に適正に反映されていない可能性がある。天空率を用いた樹林構造の評価については今後の課題としたい。

2.2 土壤環境因子と樹林の生育状況

2.2.1 土壤環境の現況

(1) 土壤硬度

山中式土壤硬度計の計測値から、土壤硬度について、いずれのパターンにおいても表層0cmの地点において調査区M-2、O-1等の一部の調査区では硬度11mm以下となっており、建設省土木研究所²⁾の土壤硬度判定指標によると、「膨軟すぎ」の箇所であった。その他の深度では、いずれの調査区においても硬度に特に顕著な差異は認められず、0-30cmの平均値で見ると12~

20mmの範囲にあり、上記の判定指標によれば、「柔らか」であり、樹木の生育上の阻害要因とはなっていないと考えられる。寺島ら³⁾によると、踏圧による影響は表層から10cmの範囲が顕著にみられるとの報告がなされており、今回の調査結果から踏圧による影響は認められず、現況林内への立ち入り利用はほとんどないものと推察される。

(2) 腐植含有量

表6-2より、A層深度については、4~10cmの範囲にあり、全地区平均では6.1cmであった。パターンにより比較すると、パターンSが平均8.3cmで他のパターンよりも高い数値を示した。A層について腐植含有量を調査したところ、パターンXと他のパターンとの間で相違が見られ、パターンXが平均25.5g/kgであったのに対して、他のパターンでは平均65.8~96.8g/kgであった。日本造園学会のマニュアル⁴⁾によれば、「火山灰土」で50g/kg以上あることとされており、調査対象地は、マサ土であり、マニュアルには基準値が規定されていないが、一般に造成客土に用いられるマサ土の腐植含有量は火山灰土よりも少ないと考えられ、パターンX以外の調査区では、A層が腐植に富んでいることを示していると言えよう。

パターンXの腐植含有量が低かった理由としては、常緑樹が優占する他の調査区に比較して、落葉の堆積量が少なかったことが主な要因と考えられる。仮に落葉の系外への流出がなく、調査区内での分解により落葉の堆積量が少なくなったのであれば、未分解有機物が土壌のA層に蓄積し、腐植含有量も増大するはずであるが、常緑樹が優占する他の調査区と比較して腐植含有量は低くなっている。したがって、落葉の堆積量が少ないのは系内での分解のためではなく、系外への流出によりその場に堆積しなかったためと考えられる。

(3) 三相分布

表6-2より、三相分布については、気相率が21.4~60.3%、液相率が12.0~31.8%、固相率が27.7~54.4%であった。固相率については、前掲のマニュアル⁴⁾によれば、鉾質土壌の場合は50%以下が望ましいとされており、調査区M-1で54.2%を示したが、その他の調査区点では、50%以下であり、樹木の生育基盤として良好と言える。

(4) pH

pHは、5.3~6.9と弱酸性を示し、樹木の生育基盤として良好と言える。

2.2.2 土壤環境因子との相関

次に、土壤環境因子と樹木の生育状況との相関についてみると、図6-1に示すとおり腐植含有量については、全種数 ($P < 0.01$) との間に負の相関が見られた。森林の種数について、木元ら⁵⁾によると肥沃な土壌ではむしろ低く、種数の多い森林は土壤養分(リンとカリ)が少し乏しいところに成立していることが報告されており、下層植生も含めた種数と腐植含有量との関係については、概ねこの傾向に合致していると言えよう。また、落葉の堆積が下層植生における草本類発達の阻害要因となっていることも推察される。土壤A層深度、土壤硬度、pHについては樹林構造との間に特に有意な相関はみられなかった。

今回の調査結果からは、相対照度、土壤環境因子(表層から30cmまで)の因子が、現在の樹林構造の相違を大きく規定する要因として特定することは困難であった。現在の樹林構造については、パターン植栽の樹種構成における陰樹と陽樹の構成の違い、常緑樹が主体の樹林における落葉樹の混交の度合いによって左右されている可能性が高いことが示唆された。なお、今回の土壤調査では表層から30cmまでにとどまっております。今後さらに下層のれき質層までを含めた調査解析を行う必要があると考えられる。

3. 樹林の評価

樹木調査の結果と樹林構造と相対照度、土壤環境因子との関係についての分析結果を踏まえ、植栽施工から約30年が経過した中島地区の現在の樹木の生育環境を樹林の鬱閉度、種の多様度、活力度等の指標により、定量的に評価した。

3.1 鬱閉度

各調査区の樹木間の競争状態を推測するため、平均幹材積(V)と植栽密度(P)の関係を検討した。平均幹材

表6-4 天然林における種多様度の気候帯による差異

緯度・標高	調査地	β	H [^]
暖温帯 (鹿児島県)	タブ林	10.42	3.77
冷温帯 (苗場山) (奥日光) (本州中部各)	ブナ林	2.80	—
	ブナ林	2.36	1.71
	カラマツ林	2.09	1.27
冷温帯～亜高山帯 (奥日光) (石狩川)	シラビソ林, オオシラビソ林	1.60	0.72
	トドマツ-エゾマツ林	1.98	1.26

伊藤秀三^{*)}より作成

表6-5 樹木の多様度変化

パターン	調査区	樹木				下層植生			
		個体数	種数	β	H [^]	個体数	種数	β	H [^]
M	M-1	13	2	1.86	0.89	14	3	2.60	1.38
	M-2	17	2	2.06	0.98	17	6	4.12	2.16
	M-3	18	3	2.19	1.19	207	9	2.01	1.58
	平均	16.0	2.3	2.04	1.02	79.3	6.0	2.91	1.71
O	O-1	20	2	1.11	0.29	29	4	1.97	1.27
	O-2	20	2	1.92	0.93	20	6	4.13	2.16
	O-3	21	2	2.10	1.00	26	4	2.36	1.46
	平均	20.3	2.0	1.71	0.74	25.0	4.7	2.82	1.63
P	P-1	20	3	1.74	1.05	97	3	1.62	0.87
	P-2	19	4	1.82	1.19	62	6	1.90	1.39
	P-3	17	3	2.09	1.17	53	10	3.79	2.41
	平均	18.7	3.3	1.88	1.14	70.7	6.3	2.44	1.56
S	S-1	27	3	2.39	1.36	81	10	6.07	2.80
	S-2	21	3	2.31	1.32	51	4	1.28	0.71
	S-3	17	4	2.23	1.38	130	7	1.23	0.67
	平均	21.7	3.3	2.31	1.35	87.3	7.0	2.86	1.39
X	X-1	28	4	5.04	2.33	283	14	4.57	2.53
	X-2	20	4	4.63	1.99	311	10	5.27	2.66
	X-3	24	4	4.52	1.99	76	14	8.10	3.22
	平均	24.0	4.0	4.73	2.10	223.3	12.7	5.98	2.80

※ β , H[^] はいずれも各測定値の平均値

表6-6 各調査区における主要樹種の活力度

パターン	樹種 (学名)	活力度
M	カナメモチ (<i>Photinia glabra</i>)	2.11
	クスノキ (<i>Cinnamomum camphora</i>)	2.45
	マテバシイ (<i>Pasania edulis</i>)	2.01
O	シイノキ (<i>Castanopsis cuspidate</i>)	2.23
	タブ (<i>Machilus thunbergi</i>)	2.31
	アラカシ (<i>Quercus glauca</i>)	2.20
P	エノキ (<i>Celtis sinensis</i> var. <i>japonica</i>)	2.75
	カナメモチ (<i>Photinia glabra</i>)	2.22
	ヤマモモ (<i>Myrica rubra</i>)	2.34
	アラカシ (<i>Quercus glauca</i>)	2.02
S	ナンキンハゼ (<i>Triadica sebifera</i>)	2.65
	ネムノキ (<i>Albizia julibrissin</i>)	2.67
	モッコク (<i>Ternstroemia gymnanthera</i>)	2.27
X	オオシマザクラ (<i>Prunus lannesiana</i>)	2.31
	トウカエデ (<i>Acer buergerianum</i>)	2.12

積 (調査区内の立木の幹材積合計を立木本数で割ったもの) は、調査区毎に測定した樹木の胸高直径と樹高から立木幹材積表⁷⁾より幹材積を算出し求めた。平均幹材積と密度の関係は以下の式で求められる⁵⁾。

$$v P^\alpha = k (\alpha \cdot K) \text{は定数} \quad \dots(1)$$

$$\log v = -\alpha \log P + K \quad \dots(2)$$

上記の式は、林冠が鬱閉した状況の樹林に用いられ、樹林の生育状態が高密度なときは、競争密度指数 (α) は、ほぼ1.5 (最多密度) を示し樹林内の競争度合いが高いことを表す。逆に、樹林の生育状態が低密度であるとき、 α 値は1に近づき、競争度合いが低いことを表す。また、依田⁸⁾によると、陰樹では α 値は1.5を超えることがあるとしている。

上記の(1)式を(2)式に変換し、各調査区の ($\log P$, $\log v$) を求め図6-3のようにプロットしたところ、樹林構造の似通ったパターンM, X (亜高木層が多く、高木層は少ない樹林) 及びパターンO, P (高木層が優占している樹林) の二つのグループに区分され、表6-3に示す近似式 ($P < 5.0\%$ で有意) を得た。また、その傾きから α 値を求めた。この結果、パターンM, Xでは、表6-2に示すとおり高木層と亜高木層の植被率がそれぞれ30~50%の範囲で成立している。

一方、パターンO, Pの樹林構造は、高木層にある樹種が優占することによって、亜高木層を被圧し

ている状態であり、高木層の植被率が90.0%を占めるのに対して、亜高木層の植被率が10~40%と低くなっていた。いずれのパターンも、現状は樹林の鬱閉の度合いは高い状態にあり、 α 値からは、パターンOとPはパターンMとXよりも鬱閉度合いはより高い状態にある。

3.2 種の多様度

各調査区の種多様性を検証するため、伊藤ら⁵⁾が望ましいとしているsimpsonの β , shannonの H' を用いて、現況の樹林の多様度を評価した。なお下層植生については、樹木の種数とは別に解析を行った。岡村ら⁹⁾は、名古屋市南部の都市公園における種の多様度 ($1/\lambda = \beta$) として1.7~10.0となることを報告している。

同じく岩本ら¹⁰⁾は、北九州近郊の里山林において種の多様度 ($1/\lambda$) として40年生樹林において6.23~9.15となることを報告している。一方、伊藤⁵⁾によれば、わが国の緯度・標高の異なる気候帯に属する樹林の β , H' を表6-4のように示している。

各パターンの高木・亜高木・低木における現況の多様度の平均は、表6-5のようになりパターンXが $\beta : 4.73$ ($H' : 2.10$) と調査区の中で最も高く、次いでパターンSが同じく $\beta : 2.31$ ($H' : 1.35$) であった。パターンM・Pは $\beta \cdot H'$ の順位が異なるが、それぞれ $\beta : 2.04, 1.88$ ($H' : 1.02, 1.14$)

とパターンS・Xよりも低い結果となり、パターンOは $\beta:1.71$ ($H^{\sim}:0.74$)であり、調査区中では最低値であった。現況の多様度は表6-4における冷温帯の自然林と同程度の多様性で、暖温帯のタブ林の1/5程度であった。また、岩本らの調査結果と比較すると里山林の1/3程度であった。調査対象地の樹林内では、施工後30年間枯死木の伐採の他は、間伐は行われておらず、樹種間の遷移に委ねられたものの、現状の多様度は里山林や都市公園内の現存二次林などの多様度と比較しても低い値を示した。

一方、下層植生の多様度はパターンXが、最も高く $\beta:5.98$ ($H^{\sim}:2.80$)、次いでパターンMが $\beta:2.91$ ($H^{\sim}:1.71$)、パターンO・P・Sではそれぞれ $\beta:2.82, 2.44, 2.86$ ($H^{\sim}:1.63, 1.56, 1.39$)であった。相対照度、土壌調査の結果を勘案すると、パターンXと他のパターンとの相異は、落葉樹の混交と優占度の相異によって生じているものと考えられる。

3.3 活力度

1.0 \leq 活力度 <2.0 であれば良好で、2.0 \leq 活力度 ≤ 4.0 であると何らかの問題があるとされている¹⁾。

表6-6から各パターンのいずれの樹種も評価が2.0上であり、活力度が良好とは言えない。樹種別に見てみると、クスノキ(2.45)、エノキ(2.75)、ナンキンハゼ(2.65)、ネムノキ(2.67)等の陽樹の性質を有する樹種の評価が、アラカシ(2.02~2.20)、カナメモチ(2.12)等の陰樹の性質を有する樹種と比較して低い結果となった。これらのことから、中島地区では施工後約30年が経過し、現況は陽樹が陰樹に被圧されて、陽樹が後退し陰樹の優占する樹林へと移行しつつあるものと考えられる。

まとめ

パターン植栽を用いて施工され、約30年が経過した中島地区の緩衝緑地を形成している現在の樹林構造について、相対照度、土壤環境との関係について分析した結果、相対照度と種数の間には正の相関、腐植含有量と種数の間に負の相関が認められた。また、現在の樹林の生育環境を鬱閉度、多様度、活力度により評価した結果、以下の知見を得た。

(1)樹林の鬱閉状態について、競争密度指数(α)を用いて評価したところ、パターンM、Xと、パターンO、Pの二つのグループに区分された。いずれも

林冠が閉じた過密な状態を呈し、特に後者では高木層に特定の常緑広葉樹が優占し、亜高木層が被圧された林内環境を呈していた。

(2)種の多様度について、樹木、下層植生ともパターンXが他のパターンよりも高い数値を示し、落葉樹が混交し、優占することにより、多様度指数を高めていることが示唆された。

(3)樹木の活力度について、いずれの調査区も活力度は2以上を示し、良好とは言えない生育状態であり、陰樹よりも陽樹において活力度は劣っていた。

緩衝緑地を整備するための独自の手法として用いられた「パターン植栽」について、中島地区では施工後間伐などの人為的管理は行われず、樹木の成長に委ねられたまま施工後約30年近くが経過し、今日では樹林の林冠部が閉塞し、樹木の生育状態も良好とは言えない状況にある。

今後とも都市の基盤を支える緑地帯として樹林を保全・維持していくためには、間伐・枝打ちなどのより積極的な管理行為による樹林の鬱閉状態の改善が課題と考えられる。

引用文献

- 1) 科学技術庁資源調査会(1972) 樹木活力指標の評価基準
- 2) 建設省土木研究所(1995) 植栽造成基盤技術に関する共同研究報告書, 42
- 3) 寺島悦子, 藤井英二郎, 三島孔明(2002) ケヤキ幼齢木の生長に及ぼす踏圧の影響に関する実験的研究, ランドスケープ研究, 65(5): 479-482
- 4) 日本造園学会(2000) 緑化事業における植栽基盤整備マニュアル
- 5) 木元新作・武田博清(1989) 群集生態学入門, 共立出版, 198pp
- 6) 伊藤秀三(1977) 群落の組織と構造・植物生態学講座2, 朝倉書店, 332pp
- 7) 林野庁計画課編(1970) 立木幹材積表 西日本編, 日本林業調査会, 319pp
- 8) 依田恭二(1979) 森林の生態学, 築地書店, 331pp
- 9) 岡村譲, 佐藤篤美, 林進(1999) 名古屋市南部の都市公園・緑地の樹種の多様性に関する研究, ランドスケープ研究, 62(5), 613-616
- 10) 岩本辰一郎, 重松敏則, 朝廣和夫(2003) 北九州近郊における里山林の伐採年代と樹林構造に関する基礎的研究, ランドスケープ研究, 66(5): 543-546