

都市公園の植栽地の維持管理がスダジイの生存年数に与える影響の数値モデルによる解析

Analyses of the Maintenance Factors that have an Influence on the Lifetime of *Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii* in the Planting Sites of City Parks by Using a Numerical Model

渡辺 淳*

Jun WATANABE

Abstract: This study was an attempt to identify adequate maintenance regime for trees in the planting sites of city parks. The lifetime of trees that received 7 types of maintenance regimes was compared using a numerical model described by Watanabe (2011), to which some revisions were made. Tree density, soil texture, site preparation, and maintenance regimes were identified as factors that influence the lifetime of trees, decided 3 levels on 4 factors, and $3^4=81$ simulated cases of planting sites that received the 7 types of maintenance regimes (in combination with pruning, litter removal, and trampling) were evaluated. The results were as follows: (1) To increase the lifetime of trees in the planting sites of city parks by using maintenance regimes, it was valid to reduce the intensity of pruning gradually by 40-60 years after planting and then accelerate losing the surface soil in the absence of litter removal and trampling by 70-90 years after planting. (2) The lifetime of trees in the planting sites of city parks was influenced by parameters in the following order: pruning > site preparation > litter removal > tree density > trampling. (3) This study and that by Watanabe (2011) showed that the most important factor for tree growth rate was site preparation, but the most important factor for increasing the lifetime of trees was pruning in the planting sites of city parks.

Keywords: city park, planting site, tree maintenance, soil management, lifetime of trees, numerical model

キーワード: 都市公園, 植栽地, 樹木管理, 土壌管理, 樹木の生存年数, 数値計算モデル

1. はじめに

公共施設の維持管理が大きな課題となっている今日、公園施設長寿命化計画策定指針(案)では、都市公園の植栽の取扱いについて、管理の質により発揮する機能に大きな差が生じる特性があり、その機能を最大限発揮させるよう、長期的な観点で計画的に管理方法を整理する⁴⁾とされている。一方、管理の質と発揮される機能との関係やその長期的な変化は必ずしも明らかではない。

アセットマネジメントが街路樹や公園緑地の植栽等について議論されている今日⁵⁾においても、都市公園の植栽地の経済価値を評価するための指標はまだないが、それを求めることは適切な維持管理のために有益であると考えられる。その指標と維持管理手法との関係を明らかにすることによって、適切な維持管理の検討が可能になるものと考えられる。

植栽地の経済価値は、ある年の機能の経済価値の総計の割引現在価値を開園年から樹木の生存年数分足し合わせたものとしてとることができる。樹木の生存年数を n 、割引率を r とすると、

$$(\text{植栽地の経済価値}) = \sum_{t=1}^n \{ (t \text{ 年の機能の経済価値の総計}) / (1+r)^t \}$$

植栽地の経済価値は、樹木の生存年数と各年の機能の双方に依存し、割引率を考慮しても、樹木の生存年数が極端に小さい場合には、植栽地の経済価値は低下するものと考えられる。

ところが、実際に維持管理の種類や強度ごとの樹木の生存年数を調査することは困難であるため、関連する既往研究は見当たらない。そのため、ここではまず手始めとして、植栽地の維持管理が樹木の生存年数に与える影響を数値モデルによって検討することを本研究の目的とする。

2. 方法

(1) 植栽地条件の設定

植栽地条件については、維持管理条件とその他の条件の樹木の生存年数への影響程度を比較するため、以下のように設定している。すなわち、樹種については、後に述べる枯死モデルの設定のため、スダジイ(*Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*)を選定している。植栽密度は、都市公園の植栽地調査⁶⁾から、平均的と考えられる2, 3, 4本/100m²、土性は、砂壤土、壤土、埴壤土としている。造成条件、剪定条件、落葉落枝の除去条件、踏圧条件については、渡辺(2011)⁷⁾と同様としている。すなわち、造成条件は有効土層の深さ100, 75, 50cm、剪定条件は2年に1回葉の30, 50, 70%を除去、落葉落枝の除去条件は落葉落枝の70, 10, 0%を土壌に還元、踏圧条件は植栽地全面に対する平均値として毎年0.5, 5, 50回の踏圧としている。

また、これらの計算条件の変更時期の組み合わせは無限に存在するため、ここでは条件をそろえて、生存年数の長さによって評価することとして、これらの条件は計算期間をとおして不変としている。なお、計算期間は2001年を起点として後に述べる枯死モデルによって樹木が枯死するまでである。

(2) 数値計算モデル

図-1に示すように、渡辺(2011)⁷⁾の数値計算モデルの信頼性を高めるために新たに以下のモデルを設定している。

1) 気象条件の確率モデル

渡辺(2011)における気象モデルでは、気象条件の影響を排除するため、気温と大気中CO₂濃度は将来予測値、その他は1990年時の平年値を使用している。しかし、気象条件の実際の影響は、生起確率によって与えられるべきものであると考えられる。そこで、気象要素の変動を考慮したモデルを用いて、多数回の計算を行うことで、モデル計算の信頼性を高めることを目的として、気象モデルの確率モデル化を行っている。気象モデルのうち、日単位の雲量、全日射量、平均気温、気温の日較差、降水量について、気象庁の1971~2000年までの日別データ(東京)³⁾を用いて、以下のように設定している。まず、約30年間の日別データ

*東京平線(株)

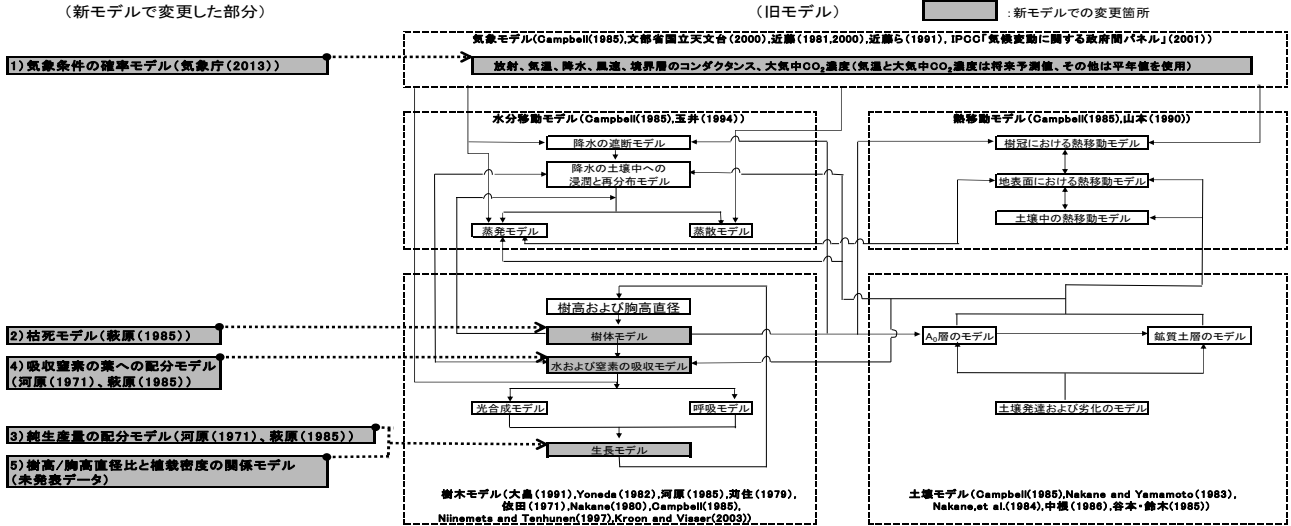


図 - 1 新旧数値計算モデルの概要

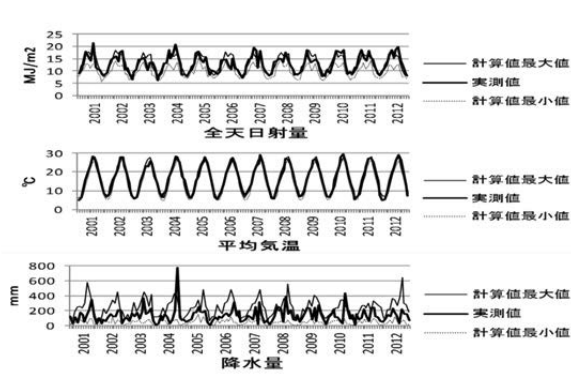


図 - 2 気象要素の計算値と実測値の比較

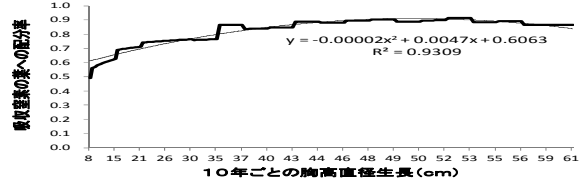


図 - 4 吸収葉素の葉への配分率

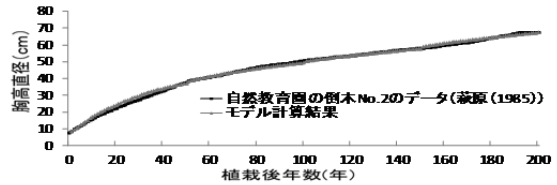


図 - 5 モデルのキャリブレーション

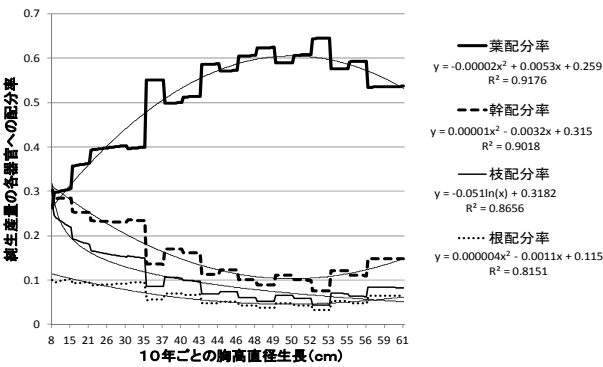


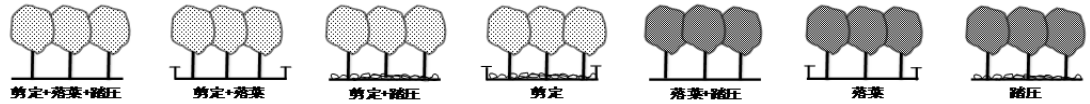
図 - 3 純生産量の各器官への配分率 (リター量のグラフは省略)

モデル計算の条件
気象条件：気象庁の1971～2000年までの日別データを用いた確率モデルを使用
大気中CO₂濃度：過去の推定値
樹種：スダジイ
植栽密度条件：植栽後0～50年3本/100m²、植栽後50～100年2本/100m²
植栽後100～150年1.5本/100m²、植栽後150～200年1本/100m²
土性条件：壤土
造成条件：良
剪定条件：強 (ただし、植栽後20年以降はなし)
落葉落枝の除去条件：強 (ただし、植栽後20年以降は弱)
踏圧条件：強 (ただし、植栽後20年以降は弱)
純生産量の配分率：自然教育園のスダジイのDBH生長量と各種の推定式を用いて、DBH階級ごとの葉、枝、幹、根の生長量および葉、枝、根のリター量から、純生産量の各器官への配分率を求めるモデルを使用
吸収葉素の葉への配分率：DBH階級ごとの葉、枝、幹、根の生長量および葉、枝、根のリター量にそれぞれの窒素の平均的な含有率を乗じて、吸収葉素の葉への配分率を求めるモデルを使用

から、月ごとの雲量の値の発生確率と月ごと雲量ごとの全天日射量、平均気温、気温の日較差、降水量の値の発生確率を求めている。次に、月ごとに異なる雲量の発生確率を用いて、乱数を発生させることによって、日ごとの雲量を決定し、月ごとと雲量ごとの全天日射量、平均気温、気温の日較差、降水量の発生確率を用いて、それぞれの気象要素ごとに乱数を発生させて決定している。図-2に、全天日射量の月別平均値、平均気温の月別平均値、降水量の月間値の10回の計算値の最大値と最小値を気象庁の2001～2012年の月別データ(東京)³⁾と比較している。両者の対応はよく、計算値の信頼性は高いと考えられる。

2) 枯死モデル

渡辺(2011)におけるモデルでは、樹木の枯死が明示的には考慮されていないが、樹木の生存にはある程度の生長が必要であることが知られている。樹体の呼吸量が光合成量を上回るようになれば樹木は衰退し、やがて枯死する。萩原(1985)¹⁾は、東京の自然教育園内のスダジイ巨樹の倒木5本(推定樹齢108～220年)について樹幹解析を行い、年輪幅の平均生長速度が0.5mm/年を下まわると形成層活動の部分的な停止が起こるとし、そのうち4本は枯死前の10年間の年輪幅の生長速度が0.5mm/年未満であることを示した。これらのデータから、成木段階におけるスダジイの枯死条件を、ここでは胸高直径(DBH)生長速度が1mm/年未満が10年連続した場合と設定する。



維持管理条件	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強
剪定条件	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱
落葉落枝の除去条件	弱	中	強	弱	中	強	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱
踏圧条件	弱	中	強	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱	すべて弱

図-6 植栽地型(維持管理条件の内訳)

表-1 数量化第I類による植栽地型ごとの樹木の生存年数に影響を与える要因の解析 (n=3⁴×10=810)

要因	外的基準		剪定+落葉+踏圧の生存年数		剪定+落葉の生存年数		剪定+踏圧の生存年数		剪定の生存年数		落葉+踏圧の生存年数		落葉の生存年数		踏圧の生存年数			
	カテゴリ	レンジ	カテゴリ	レンジ	カテゴリ	レンジ	カテゴリ	レンジ	カテゴリ	レンジ	カテゴリ	レンジ	カテゴリ	レンジ	カテゴリ	レンジ		
	数量	R	数量	R	数量	R	数量	R	数量	R	数量	R	数量	R	数量	R		
植栽密度	低	18.6		18.6		20.3		21.1		20.3		20.4		27.5		27.5		
	中	-4.5	0.57	-4.4	0.57	-3.3	0.57	-5.4	0.57	-4.6	0.59	-4.6	0.59	-6.6	0.59	-6.6	0.59	
	高	-14.1		-14.2		-17.0		-15.7		-15.8		-15.8		-20.9		-20.9		
土性	粗	-0.8		-0.9		-1.0		0.3		-2.7		-2.9		-2.7		-2.7		
	中	0.0	1.5	0.2	1.6	-0.4	2.4	-0.1	0.5	1.1	4.3	1.3	4.5	0.6	4.8	0.6	4.8	
	細	0.7	0.03	0.7	0.03	1.4	0.05	-0.2	0.01	1.6	0.09	1.6	0.10	2.1	0.09	2.1	0.09	
造成	良好	21.2		20.6		20.2		16.7		32.3		31.8		33.9		33.9		
	中	1.1	43.4	1.4	42.7	0.5	40.9	-0.5	32.9	-4.0	60.6	-3.7	59.9	-1.0	66.7	-1.0	66.7	
	不良	-22.2	0.67	-22.1	0.66	-20.7	0.60	-16.2	0.52	-28.3	0.77	-28.1	0.77	-32.8	0.76	-32.8	0.76	
維持管理	弱	42.2		42.2		38.8		36.6		27.7		27.4		16.1		16.1		
	中	-13.4	71.0	-12.3	72.1	-7.1	70.5	-4.7	68.6	-15.5	43.2	-15.4	42.8	-7.6	24.6	-7.6	24.6	
	強	-28.8	0.84	-29.9	0.84	-31.7	0.80	-32.0	0.78	-12.2	0.69	-12.0	0.68	-8.5	0.44	-8.5	0.44	
定数項	72.3		72.4		75.8		77.9		86.9		87.2		98.5		98.5		98.5	
重相関係数	0.886		0.885		0.858		0.842		0.862		0.860		0.837					

植栽地型: 剪定+落葉+踏圧、剪定+落葉、剪定+踏圧、剪定、落葉+踏圧、落葉、踏圧については図-6を参照
 樹種: スダジイ 植栽密度条件: 低(2本/100m²)、中(3本/100m²)、高(4本/100m²) 土性条件: 粗(砂壤土)、中(壤土)、細(埴壤土)
 造成条件: 良好(有効土層100cm)、中(有効土層75cm)、不良(有効土層50cm)
 維持管理条件
 剪定条件: 弱(2年に1回葉の30%を除去)、中(2年に1回葉の50%を除去)、強(2年に1回葉の70%を除去)
 落葉落枝の除去条件: 弱(落葉落枝の70%を土壌に還元)、中(落葉落枝の10%を土壌に還元)、強(落葉落枝の0%を土壌に還元)
 踏圧条件: 弱(植栽地全面に対する平均値として毎年0.5回の踏圧)、中(同毎年5回の踏圧)、強(同毎年50回の踏圧)
 土性条件の剪定+落葉+踏圧、剪定+落葉、剪定+踏圧、剪定を除いて、1%未満の危険率で有意

3) 純生産量の配分モデル

渡辺 (2011) においては、研究例から純生産量の幹への配分率を40%として、DBH 生長量を求め、これを用いて各種の推定式⁷⁾から、葉、枝、幹、根の生長量および葉、枝、根リター量を求めている。一方、純生産量の各器官への配分率は、樹齢や樹木の大きさによって変化するものと考えられる。ここでは、自然教育園のスダジイのDBH 生長量¹⁾と各種の推定式⁷⁾を用いて、DBH 階級ごとの葉、枝、幹、根の生長量および葉、枝、根のリター量を求めて、図-3に示すように、純生産量の各器官への配分率を求めて使用している。

4) 吸収窒素の葉への配分モデル

渡辺 (2011) においては、モデルのキャリブレーションにおける当てはまりのよさから、吸収窒素の葉への配分率を35%として、不変であると設定している。吸収窒素の葉への配分率も、樹齢や樹木の大きさによって変化するものと考えられる。ここでは、先のDBH 階級ごとの葉、枝、幹、根の生長量および葉、枝、根のリター量にそれぞれの窒素の平均的な含有率²⁾として、葉1.22%、枝0.34%、幹0.14%、根0.19%を乗じて、図-4に示すように、吸収窒素の葉への配分率を求めて使用している。

5) 樹高/胸高直径比と植栽密度の関係モデル

渡辺 (2011) における樹高 HI (m) / 胸高直径 DBH (cm) 比と植栽密度 DEN (本/100m²) との関係式は相関係数が低く、信頼性が乏しい。そのため、1991年に東京の代々木公園のスダジイ244本について実測した未発表データを用いて、幹を中心として半径10m以内の高木本数から計算した植栽密度と植栽密度ごとのHI/DBH比の平均値から関係式を求めて使用している。

$$HI/DBH = 0.2322 \text{ DEN}^{0.1488} \quad R^2 = 0.686 \quad (n=17) \quad **$$

** : 1%未満の危険率で有意

(3) 本モデルの問題点

ここでは条件設定をより単純化して、維持管理強度の影響を比較するため、一様な無限空間を仮定した渡辺 (2011) のモデルの形式を踏襲することとしている。このモデルでの計算は、樹木の個体差や立地の不均一性を無視しており、日射に対しては植栽地

の内部や北側に存在する樹木の場合に相当し、より厳しい(生存年数の小さい)結果となるものと考えられるが、より安全側であると考へ、そのまま使用している。

(4) モデルのキャリブレーション

モデルのキャリブレーションには、関東地方のスダジイの生長の実測値として、自然教育園の倒木(推定樹齢215年)の地上1.6mの年輪解析結果¹⁾を地上1.3mのDBHに換算したものをを用いている。図-5に示すように、新たに設定したモデルを用いて、植栽密度を段階的に変化させ、トライアルによって、200年間の計算値が実測値に近づくようにしている。

(5) データ処理方法

長期的に樹木の生長に影響を与える維持管理条件として、剪定、落葉落枝の除去、踏圧の3つの要因を考へ、これらの影響の有無によって、図-6に示すように7つの植栽地型を設定している。これらの植栽地型ごとに、植栽密度条件、土性条件、造成条件、維持管理条件それぞれ3水準の3⁴=81通りの計算条件について、枯死条件になるまでの年数を求めている。なお、繰り返し計算数は、予備計算において生存年数の標準偏差が安定する10回としている。計算結果を用いて、7つの植栽地型ごとに、上記4つの条件を説明変数、樹木の生存年数を目的変数とする数量化第I類によるデータ解析を行い、各条件の影響程度を求めている。

3. 結果および考察

(1) 樹木の生存年数と各要因との関係

数量化第I類による解析結果を表-1に示す。表-1から、植栽密度条件の影響は、すべての植栽地型で植栽密度が低いほど、樹木の生存年数が大きい。植栽地型間での違いをみるために、カテゴリ-数量のレンジをみると、剪定と落葉落枝の除去が強い植栽地型(剪定+落葉+踏圧、剪定+落葉)では、33年と小さく、剪定または落葉落枝の除去の一方が強い植栽地型(剪定+踏圧、剪定、落葉+踏圧、落葉)では、36~37年と中間的で、剪定も落葉落枝の除去も弱い植栽地型(踏圧)では、48年と大きい。

表-1から、土性条件の影響は全体的に小さい。これは、モデ

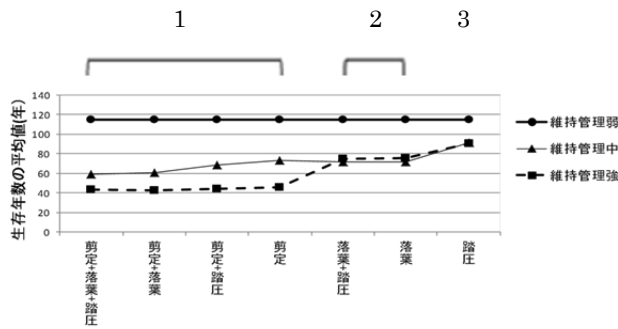


図-7 植栽地型ごとの樹木の生存年数の平均値
(生存年数の平均値：表-1の定数項+維持管理のカテゴリ-数量)

ルの設定上、土壌の粒径組成のみの違いをみたことになり、土壌中の有機物含有量や土壌硬度の影響が造成条件に含まれているためであると考えられる。

表-1から、造成条件の影響は、すべての植栽地型で造成条件が良好なほど、樹木の生存年数が大きい。カテゴリ-数量のレンジをみると、剪定が強く、落葉落枝の除去と踏圧が弱い植栽地型(剪定)では、33年と最も小さく、剪定が強く、落葉落枝の除去または踏圧が強い植栽地型(剪定+落葉+踏圧、剪定+落葉、剪定+踏圧)では、41~43年と中間的で、剪定が弱い植栽地型(落葉+踏圧、落葉、踏圧)では、60~67年と大きい。

表-1から、維持管理条件の影響は、落葉+踏圧と落葉を除くすべての植栽地型で、維持管理条件が弱いほど樹木の生存年数が大きい。カテゴリ-数量のレンジをみると、剪定が強い植栽地型(剪定+落葉+踏圧、剪定+落葉、剪定+踏圧、剪定)では、69~72年と大きく、剪定が弱く、落葉落枝の除去が強い植栽地型(落葉+踏圧、落葉)では、43年と中間的で、剪定も落葉落枝の除去も弱い植栽地型(踏圧)では、25年と小さい。

(2) 樹木の生存年数を高めるための方策

表-1の定数項の値に維持管理弱~強のカテゴリ-数量を加えた値は、図-7のように、それぞれ維持管理強度ごとの樹木の生存年数の平均値を示している。植栽密度条件や造成条件が中庸な場合に、図中1より、強剪定は40年未満、中剪定は60年未満、図中2より、落葉落枝の除去は70年未満、図中3より、踏圧は90年未満とすることが望ましいものと考えられる。維持管理条件の調整によって、樹木の生存年数を高めるためには、図-7より、まず剪定強度を強→中→弱と低下させていくこと、次いで、落葉落枝の除去や踏圧をさけて、表層土の膨軟化を促進することが有効であると考えられる。

樹木の生存年数と各要因との関係でみたように、樹木の生存年数に対する交互作用として、剪定や落葉落枝の除去は植栽密度条件の影響を緩和し、剪定は造成条件の影響を弱める働きがある。その結果として、図-8に示すように、樹木の生存年数に影響を与える要因をみると、図中1剪定が強い植栽地型では、剪定条件>造成条件>植栽密度条件の順に影響が大きく、図中2剪定が弱く、落葉落枝の除去が強い植栽地型では、造成条件>落葉落枝の除去条件>植栽密度条件の順に影響が大きく、図中3剪定が弱く、落葉落枝の除去が弱い植栽地型では、造成条件>植栽密度条件>踏圧条件の順に影響が大きい。維持管理条件とその他の条件を含めた調整によって、樹木の生存年数を高めるためには、要因間の交互作用があるため、植栽地型ごとに影響程度を考慮して、優先順位を決めて対応する必要があるものと考えられる。

4. おわりに

渡辺(2011)における100年間の樹木のDBH生長への影響の

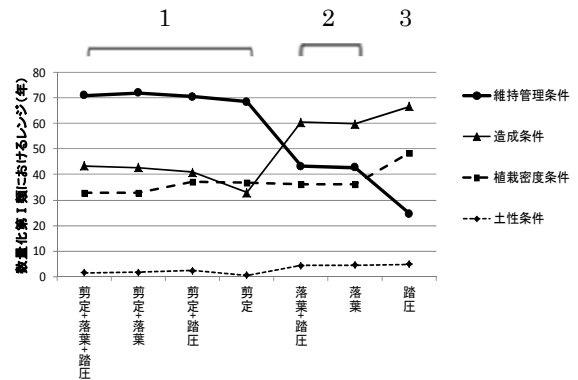


図-8 植栽地型ごとの樹木の生存年数に影響を与える要因

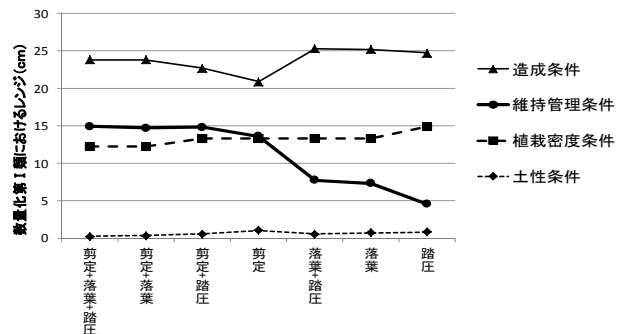


図-9 植栽地型ごとの樹木の最終DBHに影響を与える要因

大きさは、造成条件>剪定条件>落葉落枝の除去条件>踏圧条件の順であった。生存年数への影響は図-8から、剪定条件>造成条件>落葉落枝の除去条件>植栽密度条件>踏圧条件の順であり、剪定条件が特に大きく、DBH生長への影響程度とは異なっている。今回の計算においても、樹木が生存年数に達した時のDBHを目的変数として同様の解析を行うと、図-9に示すように、すべての植栽地型について、最大の要因は造成条件となり、維持管理条件の影響は相対的に小さくなっている。これらのことから、樹木のDBH生長に対しては造成条件が、樹木の生存年数に対しては剪定条件が最も影響の大きい要因であると考えられる。

現実の都市公園の植栽地と今回の計算値との整合性の確認は困難であるが、現実の都市公園の植栽地を再現するために設定した数値計算モデルによる計算結果からは、樹木の生存年数を高めるために、植栽後一定期間までに剪定強度を徐々に低下させていくことが特に重要であることが示唆される。ただし、幼齢木、壮齢木、老齢木に対する剪定方法は異なるため、実際の剪定技術を考慮した検討が必要であると考えられる。

引用文献

- 萩原伸介(1985): スダジイ巨樹の肥大成長様式の解析: 自然教育園報告 16, 47-66
- 河原輝彦(1971): Litter Fall による養分還元量について(II) 有機物量および養分還元量: 日林誌 53(8), 231-238
- 気象庁: 気象庁ホームページ, 気象統計情報: <www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/>, 更新日記載なし, 2013.1.15 参照
- 国土交通省都市局公園緑地・景観課: 公園施設長寿命化計画策定指針(案): <www.nlit.go.jp/common/000209164.pdf>, 更新日記載なし, 2013.2.10 参照
- 関西剛康(2009): 都市公園のアセットマネジメントに関する考察-京都市の街区公園を事例として-, 南九州大学研報 39A, 19-27
- 渡辺淳(1995): 都市公園の植栽地における樹木の生育に影響を与える要因の解析: ランドスケープ研究 58(5), 145-148
- 渡辺淳(2011): 都市公園の植栽地の維持管理条件が樹木の生長に与える影響に関する数値モデルの検討: ランドスケープ研究 74(5), 457-462