樹木外観の季節変化と活力度の関係

Influence of Seasonal Changes and Vigor on Appearance of Trees

三浦 利夫* 飛岡 次郎*
Toshio MIURA Jiro TOBIOKA

摘要：樹木の季節変化は、樹木の健康状態や生長度と関連が高い。季節別に活力度のモニタリングを行うことにより、樹木の季節変化と活力度の関係を明らかにすることは、緑化樹木の研究に基礎資料を提供する。

本研究はケヤキ・クスノキ・メタセコイアの3樹種を4月から12月の期間、毎月赤外線テレビカメラで観測し、季節別の活力度を解析すると共に、樹木の季節毎のイメージとその評価方法を検討した。その結果、活力度と季節別の評価に高い相関を見つけ出すことができた。これらの結果は、植栽計画や維持管理に活用が可能で、良好な緑空間の創出に役立つと考えられる。

1. はじめに

樹木は季節によりその様相が異なり、特に落葉樹は春は新緑、秋は紅葉というように、人々に季節感を与えている。また、活力度が高く生き生きした樹木は緑空間の良好な景観要素となり、うるおいやすらぎを与えてくれる。樹木外観の季節変化と樹木の活力度は、緑空間の評価において大きな影響を及ぼしている。

そこで良好な緑空間を創出するためには、季節別の樹木のイメージと季節別の樹木の活力度の状態を把握することが重要となる。しかし、樹木の季節別のイメージや樹木が利用者に与える心理的影響は定量化が難しく、研究例も少ない¹⁾。また、樹木の活力度に関しては各種研究が行われているが、樹木の活力度は外観の変化以外にも生理的特性を把握する必要があり、総合的な評価という点で問題が残されているといえる。

本研究は、三重大学構内にあるクスノキ・ケヤキ・メタセコイアの3樹木を対象として1993年4月から12月までの期間における、これら3樹木の外観の季節変化と活力度を測定し、これを定量的に明らかにすることを目的として実施したものである。

外観の変化については、景観等の定量的な評価に最近よく利用されているAHP（階層分析法）とイメージの評価に適したSD法により目視で評価した。そして、活力度については、樹木の近赤外の反射特性を利用した赤外線テレビカメラシステム²⁾と目視によるモニタリングにより分析を行った。また、本測定法は、樹木の反射分光特性を活用し樹木の表面の変化を測定したものであるため、内部的な生理的機能の評価は難しいといえる。しかし、同樹木を長期的に外観と活力度をモニ

タリングすることにより、季節別の生理的特性を把握することができると思われる。

2. 研究方法

三重大学構内のクスノキ・ケヤキ・メタセコイアの3樹種について、4月から12月の期間、毎月写真撮影と赤外線テレビカメラによる観測を行った。表-1に観測した樹木の諸元を示す。

(1) 目視による評価

目視による樹木の活力度の評価法は科学技術庁資源調査会報告³⁾による樹勢・樹形・幹・枝・葉等の状態から4段階に識別されることが多かった。これらは専門家によって評価されてきたが、樹木のもつ心理的機能に対する評価はなされていなかった。本研究では季節別の樹木が、どのようなイメージを利用者に与えているのかを写真を提示し、AHPとSD法によるアンケート調査を行い分析した。AHPは階層別に対比較を行うことにより、評価項目の重要性を明らかにすることが可能である。

第1レベルを『季節別の評価』とし、景観性・自然性・快適性の3項目で評価を行い、さらに景観性は調和・景観要素、自然性は緑量・季節感・環境保全、快適性は雰囲気・緑陰により評価を行った。目視から受けるイメージを7項目の機能に分類し、各機能が季節別の評価においてどのような重みを持つか分析するとともに、各樹木の季節別の評価を行った。SD法では樹木の季節変化の評価に適した形容詞を21対選択し（表-2）、7段階評定により評価を行った。

AHPとSD法によるアンケート調査では、樹木の外観の変化が判別できるように5月・7月・9月・10月・11月のサンプルを選択

し、図-1に示す写真を提示した。アンケート調査の被験者は樹木に関する知識を持つ、三重大学生物資源学部4年生20名とした。

(2) 光学的手法

近赤外線は健全な樹木の葉の反射率が高く、活力度の指標としてその有効性⁴⁾が知られている。本研究では森本らが構築した赤外線テレビカメラを用いたリモートセンシングシステムによる調査を行った。テレビカメラの分光感度特性は400nm～1800nmであり、毎月定位置で三脚に固定し、フィルターを取り替え、近赤外（IR）・赤（R）・緑（G）の3バンドの映像を携帯用ビデオ録画装置でテープに記録した。そして、日影の影響が少なくなるように12時から2時に南側から撮影した。記録したデータは、ラスターオプス・ビデオキャプチャーボードによりMacintosh IIciに取り込み、Photo shopとSpy glassの市販ソフトを用いて解析した。3バンドのデータは、近赤外の画像では樹木の葉からの反射率が高く、葉が白く光り、赤の画像ではクロロフィルの吸収が大きく樹木は黒く映り、緑の画像では樹木の色彩をモノクロの状態で映し出す等の特性を持っていた。そして、近赤外・赤・緑の画像から、バイバンド比・NDVI・フォスカラー等の活力度指標となる画像を作成した。

3. 解析結果及び考察

(1) 目視による評価

ケヤキ・クスノキ・メタセコイアの5月19日・7月22日・9月27日・10月27日・11月19日の各サンプルを目視により活力度を評価した。各サンプルの特徴は以下の通りである。

①ケヤキ：サンプル1は、新緑のケヤキで葉

*三重大学生物資源学部

ケヤキ

クスノキ

メタセコイア

サンプル
1
(5月19)

サンプル
2
(7月22)

サンプル
3
(9月27)

サンプル
4
(10月27)

サンプル
5
(11月27)

図-1 季節別の写真

表-1 樹木の諸元

諸 元	クスノキ	ケヤキ	メタセコイア
樹 高 (m)	10.2	9.5	14.1
枝張り (m)	8.9	9.1	6.5
目通り周 (m)	0.85	1.45	1.00
植栽年	1955	1970	1970
土壌条件	砂質土	砂質土	砂質土
立地条件	建物に隣接	駐輪場に隣接	建物に隣接

表-2 形容詞一覧

1. 美しい	- 醜い	12. 陽気な	- 陰気な
2. 雰囲気のある	- 殺伐とした	13. 個性的な	- 平凡な
3. 自然的な	- 人工的な	14. 緑が豊かな	- 緑が乏しい
4. 変化に富んだ	- 単調な	15. 明るい	- 暗い
5. 洗練された	- 素朴な	16. 調和のとれた	- ちぐはぐな
6. 潤いのある	- 潤いのない	17. 力強い	- 弱々しい
7. 落ち着いた	- にぎやかな	18. 鮮やかな	- くすんだ
8. 親しみやすい	- よそよそしい	19. 整然とした	- 雑然とした
9. 快適な	- 不快な	20. 軽快な	- 重々しい
10. 伝統的な	- 近代的な	21. 好きな	- 嫌いな
11. さわやかな	- むさくるしい		

はまだ完全にそろっていない状態であった。
サンプル2は葉の色も濃くなり、葉・枝も密で緑量は豊富であった。サンプル3は葉が水不足で一部枯れていた。葉の色も好ましくなく活力度の低下が見られ、緑量に欠けた感じであった。サンプル4は、紅葉しているが天候不順の影響を受け、鮮やかさに欠けていた。サンプル5は葉がほとんど落葉し、枝のみで冬の様相を呈していた。

②クスノキ：サンプル1は、新緑のクスノキで葉は若草色で生き生きとした感じであった。サンプル2は葉の色が濃く深緑色になっていた。サンプル3、サンプル4は葉の色に生氣がなく、活力度の低下が見られた。サンプル5は葉の色が濃く、冬の様相を呈していた。また、1～4のサンプルに比べ空隙率（樹冠に対する空間の割合）が高かった。クスノキは常緑樹であるため、他の2樹種に比べ季節別の外観の変化は少なかった。

③メタセコイア：サンプル1は、新緑のメタセコイアで葉はまだ柔らかい状態であった。サンプル2は葉の色も濃くなり、緑量も豊富になった。サンプル3は、葉や枝が衰弱し一部枯れていた。葉の色も褐色になり、活力度の低下が見られた。サンプル4は紅葉し始めていたが、天候不順で鮮やかさに欠けていた。サンプル5は葉が一部落葉していたが、紅葉の状態はメタセコイア本来の赤黄色とは異なっていた。

そしてこれらの季節による樹木の外観の変化が、緑空間においてどのように評価されるかをAHPを用いて分析した（図－2・図－3）。季節別の評価は、レベル2の評価体系では自然性・景観性のウェイトが高かった。レベル3の評価体系では調和・環境保全・雰囲気の高く、全体の6割以上を占めた。緑量・景観要素・緑陰のウェイトは低く、季節別の評価に影響度が低いことがわかった。AHPでは評価を行う過程や、重要な項目のウェイトを設定した意思決定を行うことが可能で、定性的なサンプルの比較に適しているといえる。次に、樹種別に5サンプルの一对比較の結果を検討した（表－3）。

①ケヤキの一对比較

サンプル1～5のケヤキの評価は、2＞1＞4＞5＞3の順となった。サンプル2は緑量に富み環境保全・緑量緑陰の評価が高く、総合で一番高い評価であった。また、春から初夏にかけてのサンプルの評価が高かった。紅葉の時期は雰囲気・景観性の評価が高いが、落葉後は評価が下がった。残暑の影響を受けたサンプル3は葉の色も脱色し、樹木の活力度が落ちて評価が下がった。

②クスノキの一对比較

サンプル1～5のクスノキの評価は、2＞

表－3 一对比較得点

ケ ヤ キ	調 和	景 観	緑 量	季 節	環 境	雰 囲 気	緑 陰	季節別の評価
サンプル 1	0.273	0.273	0.343	0.185	0.271	0.273	0.275	0.254
サンプル 2	0.273	0.273	0.343	0.223	0.342	0.273	0.355	0.278
サンプル 3	0.091	0.091	0.129	0.074	0.183	0.091	0.209	0.113
サンプル 4	0.273	0.273	0.129	0.295	0.114	0.273	0.106	0.208
サンプル 5	0.091	0.091	0.055	0.223	0.090	0.091	0.055	0.148

ク ス ノ キ	調 和	景 観	緑 量	季 節	環 境	雰 囲 気	緑 陰	季節別の評価
サンプル 1	0.200	0.238	0.243	0.194	0.200	0.192	0.139	0.202
サンプル 2	0.200	0.296	0.243	0.257	0.200	0.310	0.417	0.250
サンプル 3	0.200	0.153	0.192	0.161	0.200	0.153	0.175	0.181
サンプル 4	0.200	0.191	0.192	0.194	0.200	0.192	0.175	0.195
サンプル 5	0.200	0.123	0.130	0.194	0.200	0.153	0.094	0.172

メタセコイア	調 和	景 観	緑 量	季 節	環 境	雰 囲 気	緑 陰	季節別の評価
サンプル 1	0.278	0.343	0.382	0.333	0.323	0.343	0.343	0.325
サンプル 2	0.278	0.343	0.382	0.333	0.348	0.343	0.343	0.331
サンプル 3	0.123	0.129	0.100	0.111	0.133	0.129	0.129	0.123
サンプル 4	0.230	0.129	0.100	0.111	0.133	0.129	0.129	0.148
サンプル 5	0.093	0.055	0.035	0.111	0.064	0.055	0.055	0.072

1>4>3>5の順となった。ケヤキと比べ季節変化に乏しく評価得点の差は小さかった。特に調和・環境に関しては、評価の差はほとんど見られなかった。春から初夏の評価が高く、秋は葉の色が濃く暗い感じで評価は低かった。

③メタセコイアの一対比較

サンプル1～5のメタセコイアの評価は、2>1>4>3>5の順となった。春から初夏にかけてのサンプルの評価が高く、秋の評価は低かった。サンプル5の落葉の状態は季節感はあるものの総合的な評価は低かった。春と秋の評価の差は3樹木の中で一番大きく、季節別の生理的特性の違いを示しているといえる。メタセコイアの紅葉は本来高い評価を得ると思われるが、調査年の1993年は夏の天候不順の影響により色合いの状態が好ましくないため評価が低かった。

SD法による選好性(好きな⇔嫌いな)の評価では、ケヤキはサンプル番号で2>1>4>5>3の順となり、クスノキはサンプル番号で2>1>4>3>5の順となり、メタセコイアはサンプル番号で2>1>4>3>5の順となった(図-4)。これはAHPによる一対比較と同様な傾向を示しており、季節別の評価と高い相関が見られた。これにより選好性はAHPによる評価と同様の過程を持って決定されていると考えられる。また、図-5の季節別のプロフィールから季節別の高得点の形容詞は、春(5/19)は明るい・鮮やかな、夏(9/27)はくすんだ、秋(11/19)は暗い・陰気な等が抽出され、樹木の季節別のイメージが明らかになった。

次に、3樹種の5サンプルの20対の形容詞(好きな⇔嫌いなの評価を除く)の7段階評

表-4 因子負荷量

形容詞	第1因子	第2因子
1.	0.857	0.050
2.	0.827	0.026
3.	0.500	0.120
4.	0.072	-0.032
5.	0.699	0.201
6.	0.979	0.067
7.	0.128	0.914
8.	0.876	0.125
9.	0.875	0.067
10.	-0.072	0.788
11.	0.864	-0.038
12.	0.891	0.020
13.	0.523	0.312
14.	0.987	0.018
15.	0.857	-0.105
16.	0.746	-0.011
17.	0.967	0.111
18.	0.895	-0.049
19.	0.806	0.346
20.	0.585	-0.190

定得点から、因子分析を行った。第1因子と第2因子の累積寄与率は82.1%であった。表-4に因子負荷量を示す。第1因子は、潤いのある・緑が豊かな・力強い等で表され、季節感の評価因子といえる。第2因子は、落ち着いた等で表され、閑静の評価因子といえる。そして、各サンプルの緑空間の因子構造での位置づけを、季節感の評価因子(第1因子)と閑静の評価因子(第2因子)の因子得点散布図(図-6)から検討した。季節感の評価の因子得点の順序はサンプル番号で示すと、ケヤキは2>1>3>5>4、クスノキは2>3>1>4>5、メタセコイアは2>3>4>1>5となった。一対比較得点と同様の傾向を示していたが、季節感を表す形容詞と機能別の評価によるAHPと評価基準が異なるため、若干の食い違いも見られた。しかし、SD法による因子分析を使った評価は、3樹種相互の比較が可能であり、有効な評価法であると思われる。

(2) 光学的手法

活力度指標としては、バイバンド比・NDVI・フォルスカラーを作成したが、近赤外と赤のデータを活用

図-4 季節別の選好性評価

図-5 3樹種の季節別のプロフィール

したNDVI: $(IR-R) / (IR+R)$ がサンプルの活力度の差が明確に現れていた。NDVIは植物のクロフィル濃度や葉の密度に対応し、活力度指数としてその利用性が高い⁵⁾。観測した樹木の光学的情報は、撮影した日時が違い、反射率の大きさやバラツキが異なるため、活力度の比較は建物等の既輝度値を利用してヒストグラム変換による標準化を行った。また、観測の対象となる樹木は近距離のため、天候・気温・湿度などによる影響は考慮しないものとした。

各バンドの画像は、反射率のデータをモノクロ256階調で表示している。NDVI画像では、白く明るい部分が活力度が高いことを示し、視覚的な評価が可能となった。3樹種の中で最も近赤外の反射率の高かったケヤキの季節別のNDVI画像を図-7に示す。そして、各サンプルの影の部分を除き、近赤外を反射している葉の部分の輝度値の平均で比較を行った(図-8)。分析に用いたサンプルは5月19日、6月21日、9月1日、9月27日、10月27日、11月27日に撮影したものをを用いた。

①ケヤキ: 5月19日、6月21日、9月1日の春から夏の時期の活力度が高く、9月27日、10月27日、11月27日と徐々に活力度の低下が見られた。夏場に活力度のピークを迎えるようである。

②クスノキ: 春から初夏にかけて活力度が上がり、夏以降はゆっくり下がる傾向を示していた。3樹種の中では近赤外の反射率は一番低かった。

③メタセコイア: 春が一番活力度が高く、徐々に低下が見られた。

また、t検定による比較でも3樹種の季節別の輝度値について有意差が見られた。そして、輝度値と第1因子の因子得点との関係では、ケヤキは0.679、クスノキは0.707、メタセコイアは0.668であり、比較的高い相関が見られた。これは、NDVI画像の輝度値による活力度の評価の有効性を示唆しているといえる。本システムでは、樹種により反射率に差は見られたが、季節別の活力度の推移を確認することができた。いろいろな樹木について季節別の近赤外線データを収集することは、緑空間の維持管理に関して有益な情報を提供すると思われる。

次に、樹木の活力度と季節変化の評価の関係を検討した。活力度とイメージの評価では、美しい・潤いのある・快適な・調和の取れた等の形容詞が高い相関を示していた。これらの形容詞は、樹木の活力度の状態を判断するのに適しており、因子分析の第1因子の形容詞が多かった。活力度とAHPの評価では、クスノキは0.789、メタセコイアは0.766と相関が高く、活力度が高いサンプルはAHPの

図-6 因子得点散布図

サンプル1 (5/19)

サンプル4 (9/27)

サンプル2 (6/21)

サンプル5 (10/27)

サンプル3 (9/1)

サンプル6 (11/27)

図-7 活力度一覧写真 (NDVI画像)

評価を上げていた。しかし、ケヤキはサンプル3（9/27）が活力度が高かったにもかかわらず評価が低く、相関は0.350と低くなった。これは、春から夏の活力度が高い時期の評価が良いため、活力度が低下し始めて、外観の変化が輝度値以上に低く評価されたと考えられる。ケヤキにとって夏は大きな負担であり、生理的には一時的に機能が低下し外観に影響が出たと思われる。しかし、翌月にはほとんど影響は見られなかった。サンプル4は紅葉の時期であり、活力度が低かったにもかかわらず、選好性の対象として高い評価を得ていた。外観の変化が好ましい心理的影響を与えている例といえるであろう。

樹木は季節の移ろいにより外観が変化していくが、活力度から見ると、春から初夏の時期が一番旺盛であった。季節変化の評価も、春から夏の時期が高い値であった。健康な樹木では、一年を通じて生理的に活力度の変化はあるが、衰弱した樹木の様な極端な評価の低下⁶⁾は見られなかった。

4. まとめ

赤外線テレビカメラにより季節別の活力度の測定を行うとともに、目視による評価を行った。その結果、以下の点が明らかになった。

1. 樹木の季節変化のイメージと評価

AHPにより樹木の季節別の評価を行い、調和・環境保全・雰囲気の評価項目が大きな影響を与えていることがわかった。また、SD法による因子分析により、季節別の評価では春から初夏の評価が高いことがわかった。また、クス・ケヤキの春から初夏の評価は、メタセコイアより高い評価であった。

2. 光学的評価システムの有効性

赤外線テレビカメラにより樹木の季節変化を定量的に把握することができた。そして、春から初夏の活力度が高く、活力度は季節感

図-8 季節別のNDVI画像の輝度値

の評価、および選好性と相関が高いことがわかった。

今回の実験は日程の問題から、赤外線テレビカメラによる解析と、目視による解析を全て同じサンプルで行うことができなかった。また、天候不順に加え、データ数の不足から多少のバラツキが見られた。季節別の生理的特性を把握するためには、サンプル数を増やすとともに各種樹木についての長期的なモニタリングが重要といえる。しかし、季節別の赤外線のデータは、活力度の重要な指標⁷⁾であり、植栽計画や維持管理のための重要な基礎資料となるであろう。

本研究の実施にあたっては、大阪府立農学部森本教授に機器の便宜や、ご指導をいただいた。厚く御礼申し上げます。

引用文献

1) 生活環境資源としての森林・木(1985):

林野庁企画課, 森林の視覚心理効果に関する実験, 119-143

2) 森本幸裕・小橋澄治(1987): 赤外線テレビカメラとパソコンを利用したリモートセンシングシステム, 緑化研究 第9号, 20-31

3) 科学技術庁資源調査会報告26(1972): 資源調査会資料

4) 姉尾俊夫(1977): リモートセンシングによる樹木の活力評価のための基礎的研究(I), 京都府大演報 21, 1-13

5) 森本幸裕(1991): 街路樹ケヤキの活性度診断, 日本緑化工学会誌 17(1), 9-15

6) 三浦利夫・飛岡次郎他(1995): 樹木の活力度の景観評価に与える影響, (投稿中)

7) 樹木活力(活性)度をめぐる諸問題(1991): 造園雑誌 55(2), 148-155

(1994. 4. 9 受付, 1995. 10. 29 受理)

Summary : The seasonal changes in trees are highly dependant on their health and growth rate. Monitoring the vigor of trees at every season provides basic data which can be used at trees planting to predict the physiological characteristics of their seasonal change. In this study, 3 kinds of trees ; zelkova, camphor and metasequoia were monthly observed from April to December, using an infrared television camera. The vigor of the trees was evaluated in each season and the relationship between their image and the evaluation in each season was investigated. The data shows that there is a high correlation between the vigor and the seasonal evaluations.