広域避難場所における防火性からみた緑の評価のための リモートセンシング調査

RESEARCH FOR EVALUATION OF VEGETATION ON FIRE PREVENTION IN SAFETY EVACUATION AREA USING REMOTE SENSING

鍵屋 浩司*, 尾島 俊雄**
Koji KAGIYA and Toshio OJIMA

In this study we evaluated the quality of vegetation for fire prevention for the safety evacuation area in Tokyo ward area using satellite remote sensing.

We analyzed multi-temporal data of Landsat TM to get the distribution data of deciduous vegetation. The safety evacuation areas are classified by their effective area and composition of land cover into eight types to consider measures for more preventive of fire spreading.

As solution, we showed necessity to put evergreen broad leafed trees on the fringe of the safety evacuation area.

keywords: remote sensing, Landsat, multi-temporal data, fire prevention, species of trees, safety evacuation area

リモートセンシング、ランドサット、マルチテンポラルデータ、防火、樹種、広域避難場所

1. はじめに

1-1 火災と緑

市街地火災、特に地震火災における緑の延焼防止効果や、輻射熱遮断効果は、関東大震災や阪神・淡路大震災等で報告されてきた。

田中(1923)¹⁾は関東大震災後の旧東京市内 26 カ所の公園・神社・仏閣・私邸等それぞれの面積・樹木本数・樹木分布などと被害状況との関係について、森林・樹木の防火効果の観点から考察している。

阪神・淡路大震災では、糸谷・北澤(1995)²⁾が震災時の公園緑地の利用状況や地震火災の焼け止まりの調査をしている。特に緑による焼け止まりに関する調査では、造園学会の報告(1995)³⁾が詳しい。

地震火災以外の大規模火災としては、新潟大火(1955)⁴⁾の報告や、酒田大火(1976)⁵⁾の報告でも緑の延焼防止効果が指摘されている。

こうした過去の事例が示すように、緑の防火性を活用した都市防災対策は有効であるといえる。

1-2 広域避難場所

災害対策基本法(昭和36年法律第223号)の規定に基づく地域防災計画の避難拠点として、自治体によりその名称は異なるが、広域避難場所もしくは避難場所が指定されている。

東京都の場合、都市における地震火災が拡大し、生命に危険が

及ぶような事態における安全な避難場所として、区部を対象に現在 148 カ所が避難場所に指定されている⁶⁾。

この避難場所の指定にあたっては、周辺の市街地大火による輻射熱から安全な有効面積を理論式より算定⁷⁾し、それに見合った場所を避難場所の候補としている。

ここで各避難場所面積に対する有効面積の割合と、避難計画人口 1 人あたり有効面積との関係を図 1⁷⁾に示す。

図1 一人あたり有効面積と有効面積の割合との関係

* 早稲田大学理工学総合研究センター 助手・工修

** 早稲田大学理工学部建築学科 教授・工博

Research Assoc., Advanced Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, M. Eng.
Prof., Dept. of Architecture, School of Science and Engineering, Waseda University, Dr. Eng.

これによると、有効面積の割合が60%以下となるような規模の小さな避難場所では、一人あたり有効面積が極めて低いのが実情である。このことは、避難場所周縁部の防火対策を積極的に進める必要性を示している。

現在、地震火災からの安全確保には、輻射熱から安全な面積の確保と周辺部に耐火建造物を配置することに重点が置かれている。しかし、これらの避難場所が平常時には公共性の高い用途に供され、また都市環境緩和や景観の観点も考慮すると、防火性の高い緑を配置するほうがより効果的である。

1-3 都市防災対策におけるリモートセンシングの位置づけと

研究目的

都市スケールのようなマクロな計測を行う際には、その計測対象をあらかじめ空間軸に沿って整理しておく必要がある。表1は、Space Modular Coordination Chart⁸⁾に基づき、空間軸により各種防災施設を整理したもの⁹⁾である。

ここで、Sモデルは地上計測（グランドトゥーレース）によって、H(1)モデルは航空機、H(2)からは人工衛星をプラットフォームとするリモートセンシングによる計測が可能である。本研究で対象とする避難場所は、表1のH(2)～H(3)モデルに対応しており、環境場は10kmから100km、画素は10～100mのスケールに相当する。

表1 各種防災施設の位置づけ

Model	S	H(1)	H(2)	H(3)
FIELD(m)	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
MESH(m)	1	10 ¹	10 ²	10 ³
PIXEL(m)	0.1	1	10 ¹	10 ²
避難施設	公開空地 庭	一時集合場所 避難所	広域避難場所	広域防災拠点
延焼遮断・ 火災防御系 施設	延焼防止線 耐火建物 消防水利	防火区画 延焼遮断帯 消防車通行 可能道路	市街地内空地 緑地保全地区 生産緑地	郊外空地 市街化調整 区域 近郊緑地保全 地域
医療救護系 施設	救護所	救護所	救急病院	拠点病院
輸送系施設		配給拠点	配給拠点 集積所	緊急輸送路 輸送拠点
情報広報系 施設	個人	町村 地区防災基地	市区 地域防災基地 同報無線	国 都道府県 広域防災拠点 マスコミ

一方、防火性からみた広域避難場所における緑の実態調査は、従来は実地調査による植生の目視判別に依存していた。従って、都市全域における調査を行う場合、多大の時間と労力が必要となるため広域避難場所すべてについて調査した事例はない。

加えて、広域避難場所における有効面積拡大を目標とした緑化基準は現在のところ見られない。都市緑化推進のためには、防災面からも緑の機能を考慮した事前評価手法および基準が有効である。

以上より本研究は、緑の防火性の観点から東京都区部の広域避難場所の緑化計画のための基礎調査として、広域を効率的に調査する手段である地球観測衛星によるリモートセンシングを用い、その応用可能性について検討する。さらにその結果をふまえ、広域避難場所への緑の防火性を考慮した緑化手法を提案する。

2. 防火性からみた緑

2-1 緑の防火性に関する従来研究

緑の防火性とは緑の輻射熱遮断効果および、枝葉の非着炎性による延焼防止効果の反映した性質をいう。

この2つの効果に関する従来研究として、井上・中元(1951)¹⁰⁾は植物の発火までの平均時間の測定や、不発火性の現象の発生率の算出および葉の厚さと含水率との関係を考察した。中村(1948)¹¹⁾は、ガス炉と電気炉を用いて、葉の厚さと脱水時間との関係や着火性について実験した。木村・加藤(1948)¹²⁾は、樹木の防火性について樹葉の含水量から実験を行った。

都市防災計画に関連した研究として岩河(1984)¹³⁾は樹木の遮蔽効果について野外実験を行い、都市における樹木の防火機能について研究した。高橋・福嶋(1980)¹⁴⁾は、広域避難場所における植生の防火機能について、既往文献等により植物の防火性を種ごとに整理し、植物の防火性を大・中・小・危険の4類型に分類した。また福嶋・門屋(1990)¹⁵⁾は都市公園の防火機能に関して、樹木の構成と配置の研究を行っている。

2-2 防火性による緑の分類

緑の防火機能に関する以上の知見を整理すると、概ね次に示すような緑が防火性が高いといえる¹⁶⁾。

- 1) 樹木である
- 2) 葉は広葉で密生している
- 3) 葉の含水量が多く葉が厚い
- 4) 常緑である
- 5) 葉の樹脂分が少ない

すなわち、1)火災面から放射状に直進する輻射熱に対して、樹木は障害物として輻射熱を遮蔽する。また熱気流の動きを妨げるため火災が流れるのを防ぎ、飛来する火の粉を阻止する。

2)1)における遮蔽効果は、樹冠の空隙が少ないほど遮熱や防風の効果が大きくなる。

3)水分が多いと比熱が大きいので、葉が熱せられたとき、葉温が上昇しにくい。また葉が厚いと水分がなくなるまでの時間が長くなるため、葉に引火する時間が延びる。

4)火災は冬季に多く発生することから、落葉樹よりも常緑樹の方が有効である。

5)葉に樹脂分のある樹木、例えばマツ・スギなどは一旦引火すると勢いよく燃える。さらに針葉樹は葉が細く、枯れ葉が残存して延焼性が大きい。

以上をふまえて防火性から緑を分類した(表2)。すなわち、最も防火性に優れるのが常緑広葉樹であり、次に落葉広葉樹、針葉樹、そして常緑草と夏緑性の草は防火性が低い。

表2 防火性からみた緑の分類

緑の種類	葉の有無		防火
	夏季	冬季	
常緑広葉樹	○	○	最適
落葉広葉樹	○	×	
針葉樹	○	○	不適
常緑草	○	○	
夏緑性の草	○	×	

3. リモートセンシングによる土地被覆の把握

3-1 解析の概要

解析に使用したデータは、Landsat TM の東京周辺のデータ (D107-035)である。そして落葉性の植生の分布を把握するために、夏季・冬季のマルチテンポラルデータの解析を行った。

夏季・冬季のデータとして、1987年7月24日と1991年1月8日のデータを用いた。解析対象範囲は東京都区部を含む東西約40km・南北約30kmである。

落葉性の植生の把握については、夏季・冬季の土地被覆分類結果を重ね合わせ、夏季に樹木や草地と分類され、冬季にそれ以外に分類されたものを、それぞれ落葉樹および夏緑性の草とした。

3-2 マルチテンポラルデータの解析

落葉性の植生の把握において、夏季・冬季のデータを画素単位で重ね合わせるため、夏季のデータを基準にして冬季のデータに対して幾何補正を行った。ここではGCP (地上基準点) を12カ所設定して幾何補正したところ、補正誤差は各基準点ともに1ピクセル未満であった。

緑の種類の把握は、教師付最尤法による土地被覆分類によった。分類項目は夏季・冬季それぞれについて、広葉樹・針葉樹・草地・裸地・水域・建造物の6つのクラスとした。

トレーニングエリアは、現存植生図¹⁷⁾および航空写真により、対応する画素がピュアピクセルとなるように選定した。以下に各クラスのトレーニングエリアを示す。

- ・広葉樹：明治神宮・自然教育園
(樹種：スダジイ・コナラ・シラカン)
- ・針葉樹：狭山湖付近の山林・生田付近の山林
(樹種：アカマツ・スギ・ヒノキ)
- ・草地：多摩川河川敷・荒川河川敷
- ・水域：東京湾・多摩川・隅田川・荒川・多摩川競艇場
- ・建造物：銀座・秋葉原・京島・池袋・大井町の建造物

植生分布の把握にあたっては、夏季・冬季の土地被覆分類結果を重ね合わせ、夏季に広葉樹や草地と分類され、冬季にそれ以外のクラスに分類された画素をそれぞれ落葉広葉樹・夏緑性の草とした。一方、夏季と同じクラスに分類された画素については、常緑広葉樹・常緑性の草とした。なお針葉樹は、夏季に針葉樹と分類された画素は冬季も針葉樹とした。

以上から、表2の防火性から見た緑の分類に基づき、常緑広葉樹・落葉広葉樹・針葉樹・常緑草・夏緑性の草・裸地・水域・建造物の8項目の土地被覆分布データを作成した。

3-3 土地被覆分類の精度の評価

夏季・冬季のデータの土地被覆分類における分類精度の評価は、土地被覆分類で用いたトレーニングエリアとは別に、分類精度評価用に、事前に各クラスごとにサンプルエリアを抽出した。そして、土地被覆分類後に各サンプルエリアにおいて当該クラスに分類された割合で評価した。

なお、精度評価に用いたサンプルエリアは、トレーニングエリアと同様に現存植生図および航空写真を用い、エリア内の土地被覆が均質になるような場所を選んだ。

これは、分類精度評価として最もよく用いられるものである²⁰⁾。

表3・4に、夏季・冬季それぞれのサンプルエリアの分類精度を示す。これによると、夏季データにおける平均精度は80.4%、冬季データについては80.2%であった。

表3 各クラスの分類精度 (夏季)

	広葉樹	針葉樹	草地	裸地	建造物	水域	未分類	画素数
広葉樹	73.5	16.0	0.9	0.0	0.6	0.0	8.9	325
針葉樹	21.4	66.7	0.9	0.0	0.0	0.0	11.1	117
草地	0.0	0.2	84.7	0.0	0.0	0.0	15.1	483
裸地	0.0	0.0	0.0	83.0	0.0	3.0	14.1	135
建造物	0.0	0.0	0.0	1.1	90.3	0.0	8.6	1311
水域	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	83.9	14.5	573

表4 各クラスの分類精度 (冬季)

	広葉樹	針葉樹	草地	裸地	建造物	水域	未分類	画素数
広葉樹	74.3	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	16.6	175
針葉樹	17.2	72.0	0.0	0.0	2.2	0.0	8.6	93
草地	0.0	0.0	83.9	0.0	0.0	0.0	16.1	93
裸地	0.0	0.0	0.4	83.9	0.8	0.0	14.9	248
建造物	0.0	0.4	0.0	1.4	82.8	0.7	14.7	941
水域	0.0	0.1	0.0	0.0	1.6	84.4	13.9	1356

4. 広域避難場所における緑の評価

4-1 概要

広域避難場所は、地震火災時の安全な避難の場であるとともに、平常時は公共性の高い用途に供されていることを考えると、良好な都市環境形成のための緑化が必要であり、またそれは地震火災時に有効に機能するものでなくてはならない。

しかし、防火を考慮した都市緑化推進のための具体的な基準や目標は現在のところほとんど見られない。そこで本研究では評価にあたり、広域避難場所を有効面積およびリモートセンシングによる土地被覆構成から類型化することによって相対評価する。そして各類型の特性をふまえて、緑の防火性を活用した緑化手法を提案する。

土地被覆による類型化は、夏季・冬季の土地被覆分類結果をもとに作成した土地被覆分布データから、それぞれの避難場所に相当する部分を抽出したものをを用いる。加えて、避難場所周縁部の土地被覆データも抽出した。なお、避難場所周縁部とは、避難場所の境界線の内側1ピクセルの領域とした。

避難場所周縁部の土地被覆データは、避難場所内部の有効面積確保の観点から、各避難場所について防火性の最も高い常緑広葉樹の割合を集計し、各類型ごとにそのヒストグラムを作成した。

4-2 広域避難場所における緑の評価

4-2-1 有効面積・土地被覆構成による広域避難場所の類型化

広域避難場所に求められるのは周囲の市街地大火から安全な有効面積の確保と避難者1画人口一人あたりの有効面積の確保である。そこで各避難場所の特性を、避難者1画人口一人あたり有効面積と広域避難場所総面積に対する有効面積の割合をもとに、クラスター分析により次のように3つに分類した (図2)。

すなわち、一人あたり有効面積が極めて小さい (Ⅰ類型)、一人あたり有効面積が小さく有効面積の割合が大きい (Ⅱ類型)、一人あたり有効面積が大きく有効面積の割合が大きい (Ⅲ類型)、の3類型とした。

土地被覆構成による類型化は、緑の構成の特性を把握するために、各避難場所内の常緑広葉樹・落葉広葉樹・針葉樹・常緑草・夏

緑性の草・その他の6項目の割合をもとにクラスター分析を行い、4類型に分けた。図3に避難場所の土地被覆構成による各類型の分布を示す。

そして緑の構成の特性の各類型の特徴については、類型ごとに土地被覆構成の平均を求めたところ、常緑広葉樹が多い(A類型)、落葉広葉樹・針葉樹が多い(B類型)、草地が多い(C類型)、植生が少ない(D類型)と特徴づけられた。

図2 有効面積によるタイプの分布

図3 土地被覆構成によるタイプの分布

4-2-2 緑の防火性からみた評価と対策

表5は、避難場所の類型別評価と対策を示したものである。A類型は、比較的周縁部の常緑広葉樹の割合が多く、周縁部の防火性も高いといえる。その一方でD類型は、周縁部の常緑広葉樹の割合が低く、周縁部における防火対策を検討する必要がある。

また特に対策が必要なのは、C類型における河川敷などの草の多い避難場所で、冬季に枯れ草への引火の危険性があり、周縁部に常緑広葉樹林を配置するなどの対策が必要である。

また、全般的に多くの避難場所においては、防火性を考慮した緑化手法の検討が必要であるといえる。

5. おわりに

5-1 結論

本研究では、地球観測衛星によるリモートセンシングを用い、東京都区部の避難場所の緑について、緑の防火性を考慮した調査手法としてリモートセンシングの応用可能性を検討した結果、以下のような成果を得た。

- 1) 緑の中で防火効果の大きい常緑広葉樹の分布を把握するために、夏季・冬季のマルチテンポラルデータを解析し、避難場所における植生分布を把握した。
- 2) 1)における夏季・冬季のデータの土地被覆分類結果について、分類精度は80%程度であった。
- 3) 1)2)をふまえ、東京都区部の避難場所について、防火性の観点からその緑を評価する手法を提案し、さらにこれにより避難場所における緑の防火性を考慮した緑化手法を提案した。

避難場所の整備にあたっては、面積の確保のみならず、樹木の防火性を活用した緑化計画が必要である。そこでは避難場所の特性把握するための事前評価が要求され、広域性・均質性・周期性に優れた地球観測衛星のリモートセンシングは、その基礎調査に有効であるといえる。

5-2 今後の課題

今回は地球観測衛星データによる解析調査を行ったが、今後行政データとして実用化するためには、航空機MSS等の高分解能データとLandsatデータとを用い、画素の大きさの相違に伴う土地被覆の同定に関する比較検討が必要である。

また、都市緑化推進に関しては、量に重点を置いた緑化のほかにも、防火性等の緑の質を考慮した緑化推進のための基準づくりが求められ、そのための計測手法の開発やデータの蓄積が必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、市川健君(日本工営、当時早稲田大学大学院生)の協力を受けました。ここに謝意を表します。

本研究に関する既発表論文

- 1) 鍵屋浩司：リモートセンシングを用いた広域避難場所における緑の評価、第20回(平成8年度春季)日本リモートセンシング学会学術講演会論文集、pp.9-12, 1996.5
- 2) 市川健・鍵屋浩司・尾島俊雄：リモートセンシングを用いた広域避難場所における緑の評価、(その1)マルチテンポラルデータの解析・(その2)緑の分布による広域避難場所の評価とその対策、1996年度日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、pp.517-520, 1996.9

注記

本研究で使用したLandsatデータは、宇宙開発事業団より提供を受けたものである。

「衛星データ所有：米国政府」

「衛星データ提供：EOSAT/宇宙開発事業団」

表5 広域避難場所の緑の評価および対策

類型 (総面積)		A類型 (509ha)	B類型 (214ha)	C類型 (3831ha)	D類型 (1598ha)
土地被覆の 特徴		常緑広葉樹が多い	落葉樹・針葉樹が多い	草地が多い	植生が少ない
土地被覆の 代表的構成		(明治神宮・代々木公園一帯)	(砧公園・大蔵運動公園一帯)	(江戸川南部一帯)	(JR 田端・尾久操車場)
避難場所名	I 類型	明治神宮・代々木公園一帯 新宿御苑 他14箇所	谷中墓地 清澄庭園 他4箇所	光が丘団地・光が丘公園一帯 皇居前広場・日比谷公園 他63箇所	JR田端・尾久操車場 永田町・霞ヶ関地区 他45箇所
	II 類型		砧公園・大蔵運動公園一帯	多摩川河川敷・六郷橋一帯 東京国際空港 他3箇所	
	III 類型			江戸川南部一帯 大井埠頭一帯 他5箇所	晴海地区
周縁部の 常緑広葉樹 の割合		避難場所数(箇所) 0 5 10 15 20 25 30 35 40 ● I 類型 □ II 類型 ■ III 類型	避難場所数(箇所) 0 5 10 15 20 25 30 35 40 ● I 類型 □ II 類型 ■ III 類型	避難場所数(箇所) 0 5 10 15 20 25 30 35 40 ● I 類型 □ II 類型 ■ III 類型	避難場所数(箇所) 0 5 10 15 20 25 30 35 40 ● I 類型 □ II 類型 ■ III 類型
問題点 と 評価	I 類型	内部・周縁部ともに常緑 広葉樹が多く、防火性に 優れる	周縁部の防火性は比較的 期待できるが、枯れ木・ 枯草への引火の可能性が ある	周縁部の緑の防火性が低 く、さらに枯草への引火 の可能性はある	緑の防火性は期待できず また1人当たりの有効面 積も小さい
	II 類型		有効面積の割合及び周縁 部の緑の防火性が比較的 大きい、枯れ木・枯草 への引火の可能性はある	周縁部の緑の防火性が低 く、さらに枯草への引火 の可能性はある	
	III 類型			有効面積の割合が大きく 1人当たりの有効面積も 大きい、冬季に枯草へ の引火の可能性はある	植生は少ないが、有効面 積の割合および1人当 たりの有効面積が大きい
対策	I 類型	・現状を維持する	・周縁部に常緑広葉樹の 樹林帯を整備する ・落葉等の処理を行う ・撒水設備を設ける	・周縁部に常緑広葉樹林の 樹林帯を重点的に整備す る	・周縁部に常緑広葉樹の 樹林帯を整備する ・周囲の建造物を耐火造 にする
	II 類型		・落葉等の処理を行う	・周縁部に常緑広葉樹林の 樹林帯を整備する	
	III 類型			・周縁部に常緑広葉樹林の 樹林帯を整備する	・現状を維持する

注) 広域避難場所の有効面積算定の概要²¹⁾

①広域避難場所候補地の選定

短辺 300m 以上で、敷地面積 10ha 以上の空地（さら地・緑地帯・耐火建築群・木造建築物があっても建築率 2% 以下等）。

②炎面からの輻射放熱と安全限界輻射受熱による必要前面距離の算定

- ・安全限界輻射受熱：2050kcal/m²h（人間に対して）
- ・炎面の諸仮定数値：輝面温度 850℃、輝面率 0.5 として輻射放熱 39,350kcal/m²h
- ・角関係（形態係数）は $\psi=2,050/39,350=0.0521$

炎の形と大きさを下図のようにモデル（斜 6 面体）化し、上記の設定値より許容角関係以下になる距離 N（必要前面距離）を算定する。

θ =炎の風下における傾き角 $\tan \theta = 4D \cdot m \cdot n / v^2$

L=炎の長さ (m) W=市街地正面幅 (火災幅) D=火災奥行 (m) $D=V \cdot t$

m=平均建築率 n=延焼速度比 v=風速 (m/s) V=火災の延焼速度 (m/h)

t=1 棟が着火してから燃え落ちまでの時間 (h)

また、必要前面距離を算定する条件として、次の効果を見込む場合がある。

1. 市街地境界にある耐火建物の効果
2. 奥行きが狭い市街地の効果
3. 河川高水敷の堤防効果
4. 崖の高低差による効果
5. 樹木の有無による効果

③有効面積の算定

広域避難場所の周囲の市街地境界線から必要前面距離をとった領域の面積が安全面積で、これをもとに下式によって有効面積を算定する。

$$B = \{A_1 + (A - A_1)\alpha\} \beta$$

B: 有効面積 A: 避難場所面積 A_1 : 安全面積 α : 広域避難場所周辺の出火率 β : 広域避難場所内地物の状況によって決まる有効面積係数

参考文献

- 1) 田中八百八：大正の大地震及び大火と帝都の樹園，山林泉報（臨時増刊），pp1-29, 1923
- 2) 糸谷正俊、北澤武夫：阪神・淡路大震災にかかわる公園利用実態調査（概要報告），公園緑地，Vol. 55, No. 6, 1995
- 3) 阪神大震災調査特別委員会：公園緑地などに関する阪神大震災緊急調査報告書，日本造園学会，1995. 6
- 4) 入沢恒：焼止り状況と市街地の形態，建築雑誌，Vol. 71, No. 831, 1956
- 5) 岩河信文：樹木の被害の概況，酒田市大火調査速報，1976
- 6) 東京都総務局：第 5 次東京都震災予防計画，東京都情報連絡室，1995, pp. 121-122
- 7) 東京都防災会議：東京都地域防災計画 震災編（平成 4 年修正），1993, pp663-676

- 8) 尾島俊雄：環境場設定の Space Modular Coordination Chart, (その 1) 時空間分割表，日本建築学会論文報告集 No. 319, pp. 84-89, 1982. 9; (その 2) 実用化への考察，日本建築学会論文報告集 No. 320, pp. 108-111, 1982. 10
- 9) 依田浩敏・尾島俊雄：広域災害におけるリモートセンシング利用に関する研究 - 東京都区部の広域避難場所の検討 -，日本建築学会計画系論文報告集 No. 411, pp. 1-8, 1990. 5
- 10) 井上桂・中元六雄：樹木の燃焼，日本林学会誌 33(3) (4), 1951
- 11) 中村貞一：樹木の防火力の研究（第 1 報）緑地用樹木の葉の含水率と脱水時間についての比較実験，造園雑誌 Vol. 12, No. 1, 1948. 11
- 12) 木村英夫・加藤和夫：樹木の防火性に関する研究（樹木の含水率について），造園雑誌 Vol. 11, No. 1, 1948, 3
- 13) 岩河信文：樹木の防火力と防火対策への適用，建築研究報告 105, 1984
- 14) 高橋啓二・福岡司：大震災時の広域避難場所における植生の防火機能と調査方法について，森林立地 Vol. 131, No. 2, 1980
- 15) 福岡司・門屋健：樹木の構成と配置からみた都市公園の防火機能に関する研究，森林立地 Vol. 131, No. 2, 1990
- 16) 新田伸三：環境緑地Ⅱ 植栽の理論と技術，鹿島出版会，pp. 132-136, 1975
- 17) 環境庁：第 3 回自然環境保全基礎調査（基礎調査）現存植生図 1:50,000, 1985
- 18) 東京都環境保全局自然保護部：東京都現存植生図 1:25,000, 1987
- 19) 財団法人野外自然博物館後援会：自然教育園現存植生図 1:1000, 1967
- 20) 高木幹雄・下田陽久：画像解析ハンドブック，東京大学出版会，1992, pp. 684-685
- 21) 日本火災学会：新版 建築防火教材，日本火災学会，1980, pp. 150-151

(1997年 1 月 10 日原稿受理，1997年 4 月 4 日採用決定)