関西自然保護機構会報 17(2)：93－102，1995

原　著

阪神大震災と緑の機能

大阪府立大学農学部　森　本　幸　裕

TREES AND ENVIRONMENTAL QUALITY IN HANSHIN GREAT QUAKE DISASTER

Yukihiro MORIMOTO　*Lab. of Landscape Architecture and Conservation, Faculty of Agriculture, Osaka Prefecture University.*

はじめに

1995年１月17日午前５時46分，北緯34度36.1分，東経135度0.4分の直下20kmを中心にM7.2の大地震が発生，死者5,000名以上，倒壊家屋15万棟の被害をもたらした。この大きな震災にあって，植物たちはいったいどうなったのか？　緑地はいかなる役割を果たしたのだろうか？　日本造園学会関西支部でも緑地の緊急調査を行うことになり，小生もそのメンバーの一人として参加することになった。奇しくも本年70周年を迎えた日本造園学会の設立の動機のひとつは，関東大震災の復興にあたって，緑の防災機能を生かした都市計画を支援することにあったという。現在，防災公園の整備も進行中であるが，今回の震災の状況を植物の視点から明らかにしておくことはこうした復興への手がかりを得るのに役立つだろう。

以下の小論は緊急調査時の体験と植物調査研究班の調査結果をもとに，小生の私見を交えて，今回の震災から見た緑の機能とこれからの防災都市計画への緑からのアプローチの考え方について論じたものである。

震災の特徴

地震そのものは自然現象であり，ふつうその被害は天災とされる。自然保護をいうときに天災はどう取り扱ったらいいのか，ちょっと苦しいところがあるが，少なくとも被害は社会との関係で発生するものである。この被害の特徴から考えたい。

今回の震災は今までに類例のない特徴をいくつか備えていた。つまり，高度に成熟した都市が被った初めての大震災であり，再開発の遅れた都市の下町で，しかも高齢者に被害が多かったという事実があげられる。つまり震災は現在の都市の社会構造を大きく反映したものとなっている。

ひとくちに震災といっても，いろいろな方面に多種多様な被害がある。関東大震災の場合，多くは地震後発生した大火によるものであり，強風に煽られた火災が焼け止まるためには大規模な緑地や河川を必要とした。空地があっても樹林がなければ避難地としての機能はたいへん劣ることもこのとき，明らかとなった。

これに対して今回の震災ではかなり違った様相が見られた。震度７の揺れに伴う木造家屋の倒壊と中央区を中心としたビルの倒壊，高架道路・鉄道被害，臨海部における液状化，長田区と須磨区を中心とした火災，一部の急傾斜地開発地における斜面崩壊被害など，多様な震災の様相があらわれた。六甲山系では山地斜面の崩壊が数百カ所で発生したが，関東大震災と比べて特に多いものではないという。斜面に関する大きな被害は危険な

急傾斜地を無視した開発地にのみ出現した。

一方，地震によっては津波や大規模な斜面崩壊，土石流などが大きな被害をもたらすこともあり，今回の現象が総てではないことを忘れてはならない。あくまで阪神大震災もひとつの事例であり，その様相を具体的に明らかにしておくことがまずたいせつであると考える。

植物の被害

振動による折損，倒木

震度７で鉄筋コンクリートの建物ですら倒れるのだから樹木もたいへんだろうという予想で公園を中心とした緑地を見て回ったが，驚いたことに，なかなか被害が見あたらない。地震の震動による直接的な樹木被害は極めて少数に止まったのである。家屋倒壊が激しく，地割れが走るところでも庭木や公園の樹木に折損や倒木は見られなかった。倒壊家屋の横で樹木がしっかり立っているのはちょっと不思議な光景であった。地割れのすぐそばの，支柱も真新しい木でさえも被害はない。樹木の構造は基本的に地震の震動程度の変位は柔構造で吸収してしまうために，被害がないと見られる。

きわめて希に見られた折損樹木はすべて幹の心材の部分などに腐朽が発生して空洞化していた。夙川右岸のクロマツ，灘区春日神社のクスノキ（天然記念物で樹齢800～1000年とされる）などがそうした事例である。

植栽基盤崩壊による被害

樹木の存立している地盤が崩壊した場合には当然樹木も被害を受けざるを得ない。西宮市のため池堤防盛土の崩壊に伴うソメイヨシノの倒木や芦屋川右岸の石積み盛土が崩壊して倒木した例をはじめ，盛土地盤でいくつか被害が見られた。一方，植桝を構成している石積みや煉瓦などが崩壊したが，土壌は根系の緊縛作用によって崩壊を免れている事例も随所に見られた。土壌断面や根系の垂直分布を目の当たりに見るようなこの状態で放置すると何らかの被害は発生することが予測される。

その他

臨海部では液状化によって噴出した砂泥の塩類濃度が高く，pHも高いことから，塩類濃度障害や土壌通気性阻害による害（落葉，落果，葉の展開時期の遅延など）が見られるようであるが，大きな被害とはなっていない。なお，家屋等倒壊に伴って下敷きとなったアオギリ（東灘区）や火災による被害もあるが，これらについては被害軽減効果と表裏一体であり，次項で述べる。

植物の被害軽減効果

支持機能

１）家屋等倒壊被害軽減

木造家屋が倒壊しかかっているのを樹木が支えていると考えられる事例が灘区，東灘区を中心に見られた。２階建て家屋が数本の庭木により掛かっている事例（西宮市）もあるが，１階が挫屈して２階が歩道部分にはみ出したものの，街路樹で倒壊を免れている事例も多かった。こうした支持力は樹木の転倒モーメントとして捉えることができる。街路樹についてはこれまで引き抜き試験はあるが，モーメントを測定した研究はたいへん少ない。林地での測定結果から見れば，直径15～25cmの樹木は１～３t・m程度の支持力は期待できるので，木造家屋の場合，樹木の支持力は十分に意味があると考えられる。この支持力はブロック塀の倒壊被害軽減にも役立っている。特にブロック塀は倒壊しているものが多く，このそばに樹木が植栽されている事例で，避難路の確保に大きな意味があったと思われるものもあった。

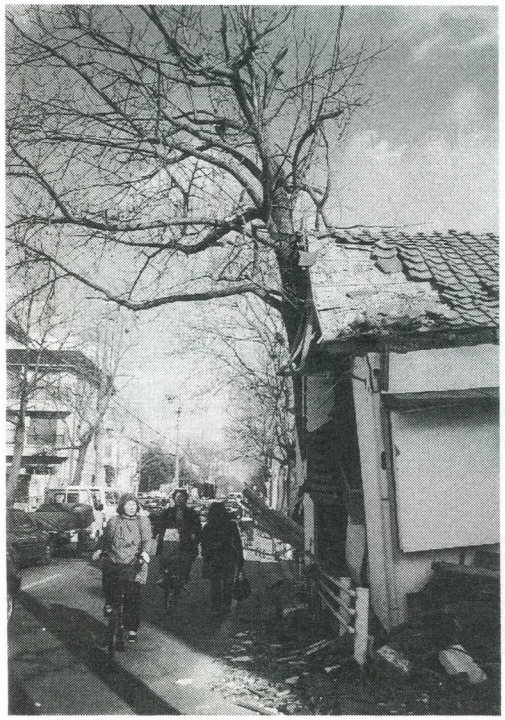


写真　倒壊家屋を支える街路樹のユリノキ（神戸市東灘区）.

2）モルタルなど剥離・落下防止

ツル植物が被覆している塀や建物壁面のモルタルやタイルについて，ツル植物による支持効果によって剥離・落下被害が軽減されていると考えられる事例は灘区，東灘区，芦屋，西宮などで57件の事例を収集することができた。

火災被害軽減効果

1）単木の事例

今回の震災時には幸い風速がせいぜい2～4m／秒程度と小さかったことと，木造家屋の倒壊が多かった地区では，倒壊したことによって燃え広がりにくい条件が形成されたことが特徴としてあげられる。これが，消火活動が満足に行えなかったにもかかわらず，関東大震災のときのようなきわめて大きな火災とはならなかった重要な背景と思われる。したがって，大規模な緑地でなくとも，生垣や庭木のような小規模な樹木群でも，焼け止まりを形成する事例が見られた。

焼け止まり線上の樹木を観察すると，火災面は葉が炭化したり，褐変しているが，その反対側は正常な状態を保っている例が極めて多かった。

こうした樹木の事例を選んで，赤外ビデオと葉緑素計で調べてみた。

a）調査場所：神戸市長田区大橋8丁目交差点付近，調査日：3月18日

b）樹種：アラカシ，樹高4.2m，枝張り2.0m

c）方法：赤外ビデオによって近赤外IR，赤R，緑Gの映像をハンディカムに収録し，フォルスカラー合成による観察，およびNDVIつまり(IR−R)／(IR+R) の画像による活力度評価を行った。現地における葉緑素計を用いた葉の測定値を参考に葉の被害と生存状況の閾値を求めた。

d）所見：本樹木は歩道植桝に植栽されており，消失家屋から約4m程度の距離にある。遺存物などの状況によれば，接炎によって樹冠西部（画面左）の葉が一部焼失したものと思われる。残った葉は熱ストレスで組織が壊死したと思われるものと，通道組織の焼損のためか，葉が巻いた状態となって褐変している葉群もある。赤外ビデオによれば，焼失部の反対側の樹冠，全体の約1／4程度が，被災より2カ月経過した時点で生きていることが判明した。

このアラカシの事例では，一部の葉が焼失したにもかかわらず，燃え広がらずに立ち消えており，顕著な防火性と耐火性を持っていることを示している。このほか，タイサンボク，ウバメガシ，シラカシ，サザンカ，ネットフェンスにからんだヘデラ類など30種あまりの常緑樹で，火災に直面した側で被害葉があるものの反対側で生存している事例が観察された。また，従来，耐火性が高くないとされていたクスノキでも明らかに燃え広がりを防止する機能を持っていることが明らかとなっ

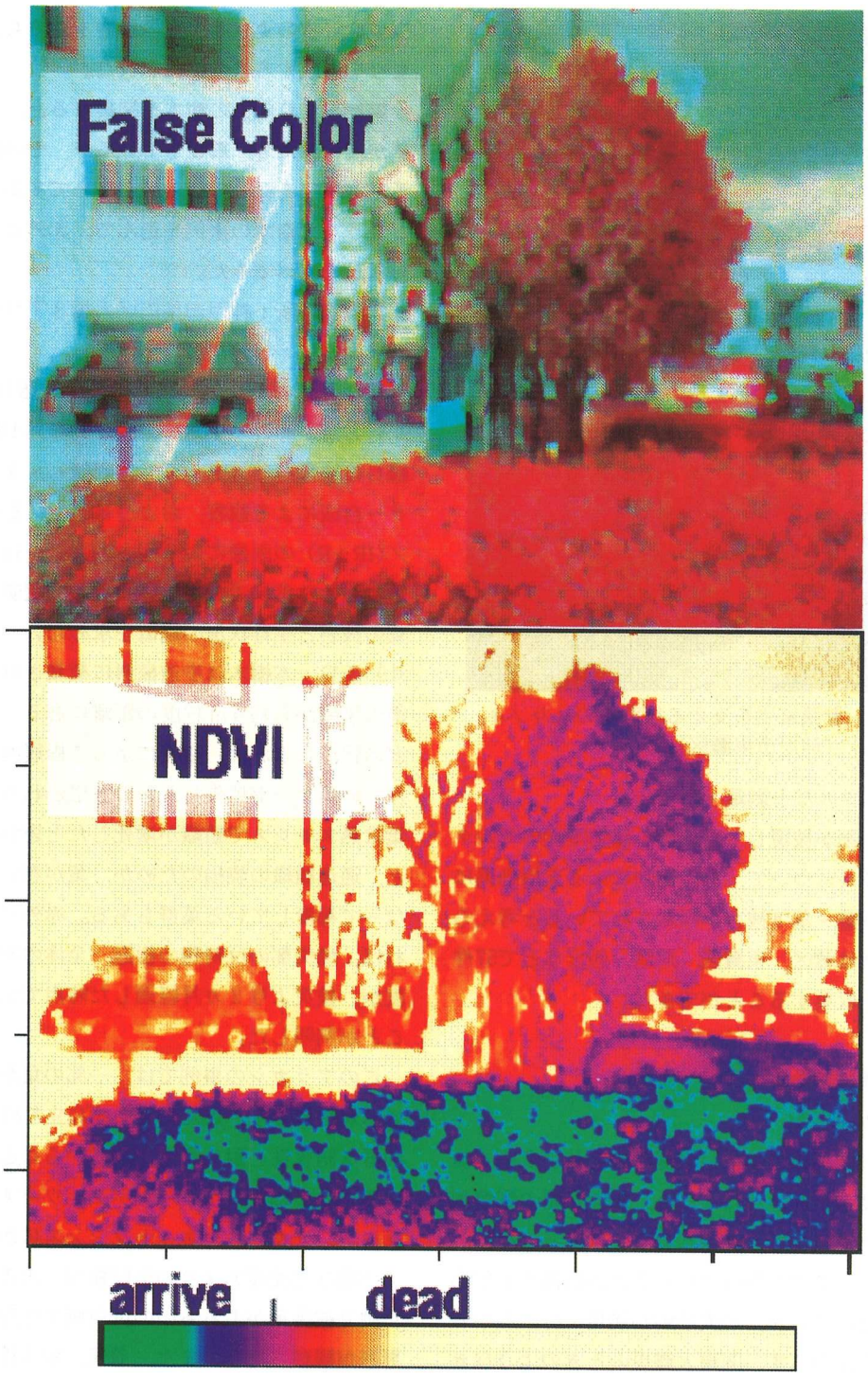


図 1　焼けどまり樹木の赤外線テレビカメラによる解析.
（上）フォルスカラー合成.　（下）NDVI 画像.

た。

唯一，今回の火災現場で危険と考えられたものはカナリーヤシに着生するシダ類の枯葉である。これは長田区の大国公園で見る限り，ヤシ本体と常緑であるヤシの葉はなんら外見上の被害がないにもかかわらず，シダ類の枯葉はすべて燃えており，たいへん引火しやすいと考えられる。これはちょうど冬季であったことにもよると思われる。なお，枯れたシダ類がたいへん燃えやすいのはアカマツ林の山火事でよく観察されるところである。

2）緑地面積の効果

長田区，須磨区の大規模火災地域において，ほとんど火に囲まれた公園緑地が3カ所あった。大国公園，新長田公園，御蔵公園である。このうち，大国公園は鷹取商店街の大規模火災の焼け止まりを構成している。これら3公園にあった樹木を火災の被害度によって3段階に区分し，その構成比を見たのが図2である。被害度Aは全面的に被害が見られ，生死も危ぶまれる状態，Bは樹冠の1／2程度に被害が見られる状態，Cは被害が少ないか見られない状態である。これによれば最も面積の広い大国公園では被害度Bが多いものの，面積の狭い公園と異なって被害度Aの割合が少なく，面積の効果が見られる。しかし，火災当時はかなり熱くて，一時はそこにおれなかったという証言もあり，かならずしも充分な面積とは言えない。

大国公園のクスノキは概して活力度は高くなく，葉緑素濃度は低く，樹冠密度も高くなかった。この原因は土壌条件にあり，整備に用いられたマサ土の土壌改良が十分でなかったと見られる。土壌条件を整備すれば，葉の密度は数倍に増加すると考えられ，より有効な緩衝機能を果たすはずである。

一方，新長田公園や御蔵公園ではかなり被害は大きく，大規模火災に対する小さな公園の意義は大きくないことを示していると見られる。

3）焼け止まり線と樹木

樹木が明らかな延焼防止効果を持っていることはこれまでの調査でも明らかとなったが，焼け止まり現象全体においてどの程度の役割を果たしたかという点を航空写真を利用して調べた。用いた航空写真は1月18，20日に撮影された1／4,000の

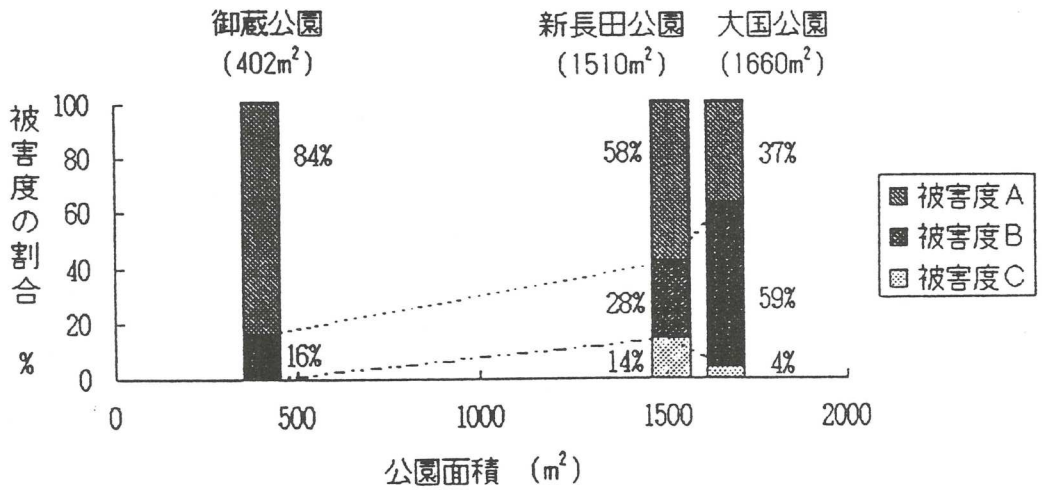


図2　樹木の被害度と公園面積の関係（木田幸男ら）.

表1　大規模火災の焼け止まり線の分類結果（中村彰宏ら）.

関係区名	地区名	焼失*面積	焼失*棟数	罹災*世帯数	焼け止まり線総延長	道路	非耐火建築物	耐火建築物	空地	緑
		m^2	棟	世帯	m	m	m	m	m	m
須磨区・長田区	西代市場周辺	34407	419	432	1133	830	48	97	122	36
須磨区・長田区	水笠西公園周辺	106241	1164	1314	2280	1428	170	244	394	44
長田区	高橋病院周辺	38850	825	829	1220	889	32	177	122	0
長田区	神戸デパート南	35100	361	449	987	550	66	273	82	16
長田区	新長田駅南	39570	434	390	1045	909	0	136	0	0
長田区	菅原変電所周辺、御蔵通5・6丁目	74043	927	1047	2168	1414	46	478	230	0
兵庫区	会下山南（松本通3～7丁目）	53346	531	581	1937	987	332	384	226	22

*建設省建築研究所報告書'

ものである。焼失面積33,000m^2以上の大規模火災は須磨区長田区兵庫区で計7件発生しており，これらの焼け止まり線を判読分類し，最も近い建築物までの距離を計測した。

焼け止まり線から最も近い建築物までの距離（オープンスペース）の規模とその建築物の特性を調べたところ，耐火構造の建築物の場合は焼け止まりオープンスペースの規模の間に明らかな関係が見いだせなかったが，非耐火構造の場合は5m以上のオープンスペースを伴っていることが多かった。

焼け止まり線分類結果は表1のようであった。なお，この分類で緑には街路樹のある道路は含まれていない。

この結果からみると，道路が焼け止まり線に占める位置が最も大きいことがわかる。街路樹のある道路はないものと比べて当然，焼け止まり効果は大きいと考えられる。

一方，前項で述べたように緑は明らかな焼け止まり効果が認められたにもかかわらず，この全体を対象とした焼け止まり線に占める緑の割合はたいへん低い。これは前項の例が特殊であるからではなく，もともとたいへん緑が少ない場所であったことによると考えられる。この点をつぎの調査で確かめようとした。

4）焼失地域の緑のオープンスペース

大規模火災が多発した神戸市須磨区，長田区を対象に，震災前の航空写真（1994年5月18－20日撮影，1／6300）を用いて，焼失地をオープンスペースと樹木の分布を調査した。

方法は以下の通りである。まず建設省建築研究所による調査結果に基づき焼失区域を確定し，前述の航空写真をスキャナを用いて600dpiで読みとり，画像処理によって樹木投影面積および空地の面積を求めた。航空写真の若干の歪みと航空写真で読みとれる樹木の大きさの限界などの問題は計測結果に大きな影響を及ぼさないように心がけた。なお，草本による土地被覆は緑被率計測には含めていないが，焼失地域においては，この面積はたいへん少ない。

この結果を焼失面積との関係でグラフに示す。図3は空地率を，図4は緑被率を示した。焼失地域は極めて空地および緑被が少なく，前者はすべて30％未満，後者は3％未満となった。特に焼失面積と緑被率の関係によると大規模焼失地の方が緑被率の分布の上限が低下する傾向が読みとれる。

ここで，もう少し緑被率と火災の関係について調べてみよう。神戸市全体について行政区レベルでの緑被率のデータを表2に示す。資料はやや古く，まだ葺合区と生田区が中央区となっていないが，六甲山系南側市街地7,547haを対象としており，現在と比べて10％を越える大幅な増減は考え

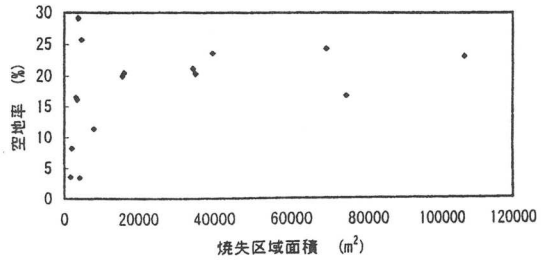


図 3　焼失規模と空地率の関係（中村彰宏ら）.

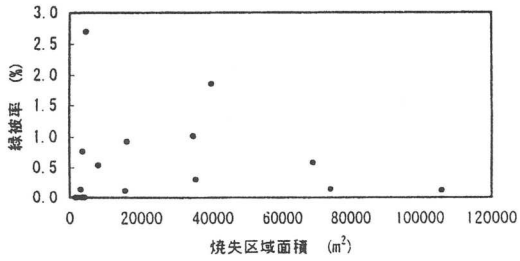


図 4　焼失規模と緑被率の関係（中村彰宏ら）.

にくい。これによると全市平均で24.3%，長田区でも21.1%，須磨区30.0%となっており，さきに述べた今回の大規模焼失地だけを対象として計測した緑被率が顕著に低かったことが判る。

一方，地震による出火件数については神戸大学工学部室崎研究室の資料がある。これによると一般世帯10,000世帯あたりの出火件数は阪神地域で平均1.67に対し，神戸市中央区4.39と最も多く，ついで芦屋市4.35である。大規模火災の多かった長田区は4.21と多い部類には属しているが特に多かったわけではない。

これらからつぎのような推測が成り立つ。出火についてはもちろん緑被率は無関係であるが，大規模火災となるかどうかにはその地域の特にきめ細かなスケールでの緑被率が関係している。また，区レベルのような大きなスケールでの緑被率は必ずしも住宅地そのものの防災的な質に関わる緑被状況を反映していないといえる（図５）。

表 2　神戸市の緑被率（神戸市）.

	昭和47年 (A)	昭和52年 (B)	増減 (B－A)	伸び率 [B/A]
東灘区	21.5 %	26.6 %	5.1 %	1.24
灘区	15.7	20.4	4.7	1.30
葺合区	9.5	8.6	−0.9	0.91
生田区	11.0	10.4	−0.6	0.95
兵庫区	9.2	11.5	2.3	1.25
長田区	17.2	21.1	3.9	1.23
須磨区	25.5	30.0	4.5	1.18
垂水区	41.0	41.8	0.8	1.02
全区	21.0	24.3	3.3	1.16

調査区域面積　7,547ha　（六甲山系南側市街地）
（市街化区域 19,798ha ）

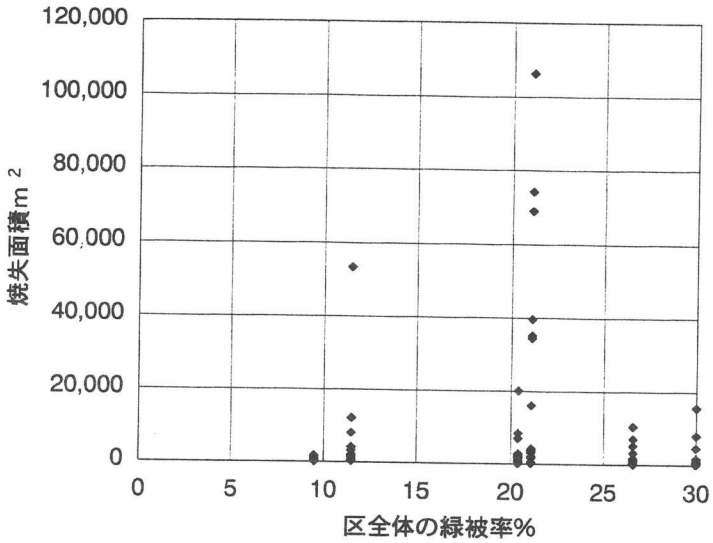


図5　神戸市における区レベルの緑被率と火災規模の関係.

まとめと提言

樹木の意義

今回の神戸，阪神間の調査地域は住宅等が密集した地域であり，緑被率が低いことが特徴としてあげられる。特に市街地火災が大きな被害をもたらしたところはもともと植物がたいへん少なく，したがって震災において植物が果たした役割は絶大とはいえない。

しかしわずかに存在した樹木はそれなりに明らかな被害軽減効果を持っていたと結論できる。

この効果は植物の存在形態から見て，まず，身近な樹木と規模の大きな緑地のふたつにわけられる。身近な樹木は支持力と防火力によって各種被害軽減効果や火災規模拡大を防止し，大きな緑地は大規模火災の焼け止まりや避難地としての役割を果たした。

さらに健全な樹木の意義が指摘できる。樹木の支持機能については健全な個体はそうでないものよりはるかに大きいことが知られており，倒壊被害等防止効果は健全個体の方が大きいことは間違いない。さらに，火災被害軽減効果についても，その機能の多くが葉の含む水分に起因するものであり，水分ストレスが少なくて葉量の多い，つまり健全な樹木の効果が大きいといえる。

神戸市で採用されていた街路樹の無剪定方式については以下のような利点が指摘できる。(a)幹材成長の増加による支持力の増加，(b)葉量増加による防火性の向上，(c)剪定傷口からの腐朽菌侵入による幹の空洞化が起こりにくく，前2者の効果がより期待できること。大きな街路樹を健全に育てるための管理形態については，今後検討されるべきであろう。

また，従来防火効果が弱いとされていたクスノキでも引火，延焼現象は見られず，防火用樹種についてもあらたな知見が得られた。

震災に関連した植物の効果を総合的に見れば，建物等倒壊被害軽減効果や火災被害軽減効果など，さまざまな環境要素の変動に対して緑地は大きな緩衝作用を持っているということができる。しか

しながら，これらは総合的なものであるがゆえに，ひとつの機能だけを抽出して，それのみを計画標準などに反映させることも適当でないだろう。また，これらはあくまで緩衝作用であり，いわば要塞的な耐性として過大評価することはできない
これまでに指摘した効果は緑地の物理的効果の一部であり，今回取り扱わなかった，実にさまざまな要素を含む総合的な緩衝作用のひとつのあらわれとして捉えるべきである。

提　言

1）都市緑地のネットワークの意義

さきに述べたように，規模が小さくても身近な植物が避難路確保と延焼防止に役立つ事例があることと，規模の大きなまとまりとしての緑地の重要性も指摘できた。これらを総合すれば，従来より提言されてきた民地の保存樹木，生態学的コリドー，都市林，緑のネットワーク，など，緑の存在形態の階層構造の意義が再確認できるものと考える。

2）植栽基盤の重要性と灌水設備

地震は健全な植物に対してほぼなんらの直接的影響も与えなかったが，石垣などを利用した盛土植栽基盤の崩壊にともなう倒木や，盛土や埋め立て植栽基盤の沈下など，植栽基盤そのものの崩壊に対して植物は無力であった。一方，根圏土壌については植物根系の土壌緊縛効果が指摘できる。さらに上述の緩衝作用が期待できる健全な植物群の育成の成否は植栽基盤の性質に大きく影響を受ける。したがって，土木的に安定でかつ樹木育成に適した植栽基盤の整備が重要な課題となる。

樹木の防火機能についてはその機能が水分の多い枝葉に因るものであり，水分ストレスが生じた個体では健全個体より相当量の水分が減少することが知られている。通常，都市公園や街路の緑化に際しては灌水設備はつけないことが現在では標準的となっているが，神戸市をはじめ瀬戸内海地方では年により大幅な乾燥が生じ，防火機能が著しく減退することは必至である。都市気候との対応から考えても灌水設備は今後の大きな課題といえる。その方法については雨水貯留や地下水などを活かすことも考えられる。

3）育成管理とモニタリング

上述の緑地の緩衝作用は樹木が健全に育成しているほど，つまり生物活性が高く，かつ現存量が大きい方が有利に働くはずであるだけでなく，かつ健全な樹木では一次被害が発生しないことが明らかとなった。これは強剪定により傷口から腐朽したり，小さく仕立てられた街路樹よりは健全に大きく育てられた植樹帯の方が有利であることを示す。

一方，樹木の防火性の対極にあると考えられる森林火災は異常乾燥気候とそれによる樹脂を多く含む針葉樹のリターの乾燥化が背景にあることが多い。住宅地周辺では緑化において，植物種の選定と水ストレスの少ない良好な成育環境の維持が行われなければ，火災に対する有効な緩衝作用も充分に発揮できないことにもなる。

すなわち，健全な樹木育成のためのモニタリングとその診断を総合的な緩衝作用という視点からも行うこと。さらにその診断結果に基づく育成管理の充実化を計っていくことが今後，切に望まれる。

これまで，大火の経験が緑地帯の計画の推進に結びついた例は1871年のシカゴ大火や1872年のボストン大火などがある。関東大震災の復興の場合については，日本造園学会が設立されたものの，決して効果的にグリーンベルトが造成されたわけではない。それを上回る目先の開発圧力が震災という100年オーダーの危機への対応を先送りしてしまった感が強い。今回こそ，自然を基調とした日常的なアメニティ豊かな生活環境の創造の契機

となればと考える。

謝　辞

本稿は日本造園学会会員による資料収集，および学会の阪神大震災調査実行委員会の樹木部会に参加された木田幸男氏，竹田雅次氏，武部雄三氏，中村彰宏氏によるとりまとめ資料に基づいているところが多い。記して謝意を表する。