

# 防火樹木を用いた地震火災対策の評価 に関する研究

二神 透<sup>1</sup>・國方 祐希<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 愛媛大学准教授 防災情報研究センター (〒790-8577 松山市文京町3番地)

E-mail: futagami.toru.mu@chime-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 堺市役所 土木部 (〒590-0078 堺市堺区南瓦町3番1号)

E-mail: kunikata.yuki.10@ccc.chime-u.ac.jp

まちに緑を増やすことはアメニティーや温暖化対策、ゲリラ豪雨の抑制といった防災対策や地震火災対策につながる。従来、防火樹木の防火効果について、葉一枚の防火力、複数配置した場合の輻射熱遮閉力、樹木背後の建物の可燃性の可否に関する実験が行われている。本研究では、従来の地震時火災延焼シミュレーションを用いて、セットバックのような道路の拡幅、生け垣化、空き家の更地化と樹木の配置といった、緑化による防災効果について定量的評価を行っている。具体的には、住民による緑のまちづくり計画が進んでいる、神奈川県茅ヶ崎市浜竹一丁目を対象として、現在の樹木の持つ防火力、オープンスペースの宅地化、前述した緑化計画の定量的評価を行っている。

**Key Words :** fire prevention tree, earthquake fire, tree planting, evaluation of fire protection effect

## 1. はじめに

現在、東京を中心とした都市直下型地震、太平洋側を中心とした南海地震あるいは南海トラフ巨大地震の発生確率は 30 年以内に 70%と想定されており、いつ巨大地震が起きてもおかしくない状態にある。更に、東日本大震災以降、日本は地震の活動期に入ったといわれ、活断層やプレート境界での巨大地震がいつどこで起きても不思議ではない。地震対策は揺れ対策であり、家屋の耐震化が基本となるが、全国の住宅の耐震化率は 82%に留まり、特に木造密集市街地(木密)での地震火災の危険性が指摘されている。しかし、都市計画的な面的整備は遅々として進んでいないのが現状である。

従来より、樹木の防火効果に関する種々の研究が行われている<sup>1)7)</sup>。岩河<sup>1)</sup>によれば、1923年の関東大震災の避難場所の面積と安全性を評価した報告書が引用されており、地震火災に対して、10ha以上の避難地は安全であるが、1ha以下はすべて危険であり、この中間値(1ha~10ha)には安全と危険が混在することを指摘している。その中でも、避難場所の面積が4haであった深川岩崎邸(現在の清澄庭園)と本所陸軍被服廠跡(現在の横網公園)との安全性の比較を行っている。深川岩崎邸は、地震火災を正面から受け止めながらも2万人の命を助けている。一方、本所陸軍被服廠跡では、38,000

人の命が失われている。すなわち、後者では、関東大震災の全犠牲者の半数を上回っていることを指摘している。岩河は、この理由を、「深川岩崎邸の周囲は、樹木および池に囲まれており、輻射熱、火災旋風から多くの命を守った。」と報告している。

樹木の耐火力に関する研究を分類すれば、1本の樹木や一枚の葉による防火力<sup>2)</sup>、樹木の配置による輻射熱の遮蔽力<sup>3)5)</sup>、輻射熱の遮蔽による背後の建物の延焼危険性の回避の可否<sup>6)</sup>が挙げられる。また、阪神・淡路大震災の調査より、樹木が家屋の倒壊を防いだ事例も報告されている<sup>7)</sup>。以上のように、都市に樹木を整備すれば、防災上の効果があるという定性的評価は認められているが、定量的評価に関する研究はほとんどなされていない。これに対して、二神らは、地震時の火災延焼シミュレーション・システムに防火樹木のモデルを組み込みこんだシステムを開発している<sup>8)</sup>。そして、松山を対象に道路に防火樹木を配置した場合の輻射熱計算を実施し、風速が大きければ、防火効果が見られないことを定量的に評価している<sup>9)</sup>。しかし、建物データの入力や樹木の配置について汎用化が行われていなかったため、様々な地域でのシステムの活用が困難であった。そこで、都市の建物データの取得を汎用化し、樹木の配置についても任意の個所に、樹木の幅や高さ・遮蔽率を入力することで防火効果を評価可能なシステムの開発を行った。また、人

体への輻射熱の安全性を評価するために、輻射熱危険領域を火災の延焼に対して明示するとともに、松山市の避難場所を対象に、安全性の評価と防火樹木整備による安全性の向上化評価を行っている。

本研究では、開発したシステムを用いて、神奈川県茅ヶ崎市浜竹一丁目を対象として、行政と住民が緑化対策として計画している、生け垣化や、空き家の緑地化、セットバック、駐車場の宅地化といったまちづくりに対する防火力の定量的評価について報告する。

## 2. システムの適用について

### (1) 樹木を用いたシミュレーション・システムの概要

本研究で用いる「地震火災延焼シミュレーション・システム」の特徴は、風向・風速といった気象条件を設定し、同時多発的に発生した火災の延焼状況を視覚的かつ定量的に把握することのできる点にある。図-1にシミュレーション・システムの全体フローを示す。

従来は、現地調査を行い一軒一軒の建物の属性を木造、防火木造、耐火造に分類して入力していた。しかし、この方法では対象地域が広範囲になれば、データの採取に多大な時間を要することになる。現在は、図-1に示すような国土地理院の運営する「基盤地図情報ダウンロードサービス」より対象とする市町村の2500分の1の測量データ（国土空間データ）をダウンロードし、任意の地域のデータをシミュレーション用のデータに変換することでシミュレーションを実行している。延焼計算に用いる都市構造データのパラメータは建蔽率、木造建物混成比、耐火建物混成比である。図中下はシミュレーションの実行部分であり、図中右の緑地のデータを整備することにより、避難場所の安全性評価や、緑による都市計画的な評価を行うことができる。図-3は、画面中央部にマウスでカーソルをクリックし緑地を配置している様子である。緑地のパラメータは、画面右下にあるように、樹木の幅、高さ、火災から緑地で防護する建物間の距離と、葉幹による遮蔽率である。

### (2) シミュレーションの前提条件

茅ヶ崎市は神奈川県南部に位置し南は相模湾に面している。東京や横浜のベッドタウンであり、近年も人口が増加している。また、神奈川県の被害想定<sup>9)</sup>では地震による延焼で 18,000 件以上の家屋が焼失するとされている。茅ヶ崎市内で特に地震火災の危険性の高い地域が JR 東海道線以南の地域である。また、茅ヶ崎市は「地震による地域危険度測定調査報告」<sup>10)</sup>を公表しており、その中で、市の火災危険度の測定結果を公表している。その中でも、行政と住民による緑のまちづくり計画が行われている茅ヶ崎市浜竹一丁目を対象地域としてシミュ

レーションの適用を行う。

初めに国土空間データを用いて、図-4 に対象地域の建物データを抽出した。つぎに、茅ヶ崎市から頂いた都市計画図を基に当該地域の建物データを修正した。変更後の都市構造データを図-5 に示す。変更前は建物総数が 1,027 軒だったのに対し、変更後は 1,045 軒へと増加し

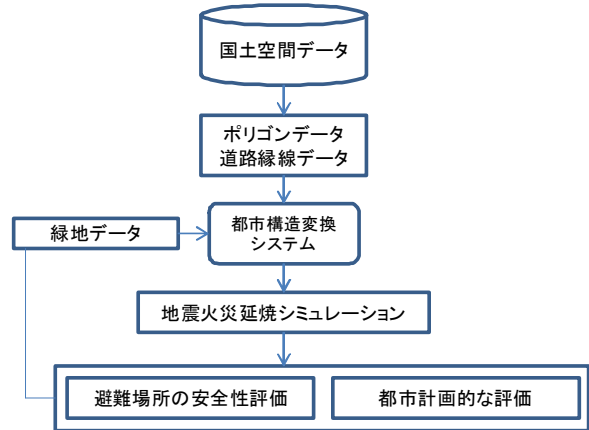


図-1 樹木を用いた地震火災対策のフロー

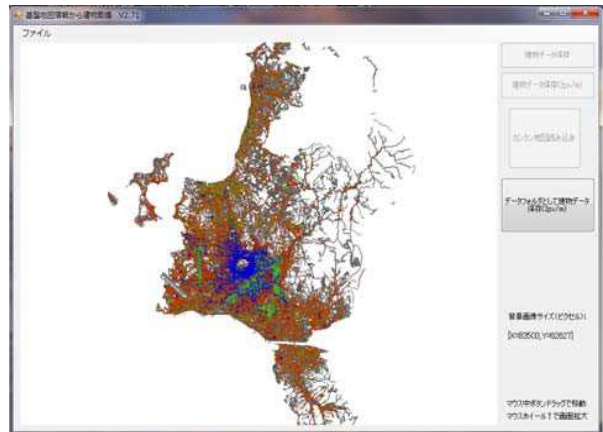


図-2 松山市の国土空間データ

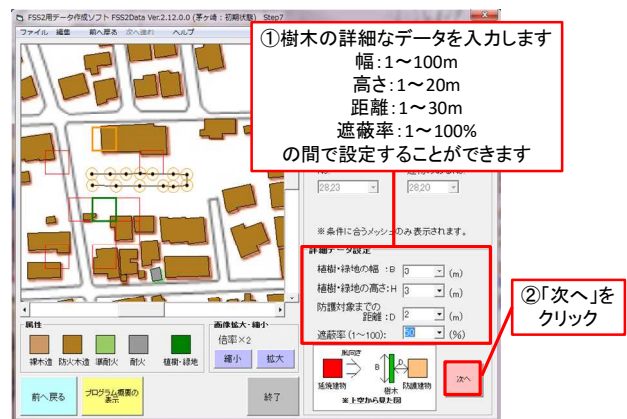


図-3 マウスによる緑地の配置とパラメータ設定



た。茅ヶ崎市浜竹一丁目は茅ヶ崎市の東に位置し、東海道本線の南に位置している地域である。古くは漁師町であり、古くからの建物が多く存在する。また、地区内の道路は道幅の狭い道路が多く、行き止まりとなっている箇所も多数存在する。そのため、災害から避難する際に混雑することが予想され、さらに行き止まりから引き返さなくてはならないなど、避難行動に時間がかかり、安全に避難できない可能性がある。また、現況の樹木をデータを入力するために、Google map を用いて樹木の位置、遮蔽率等を算出した。樹木はこの地域において約 100 か所存在し、そのほとんどが家屋のすぐ前にある植木や垣根であった。また、この地域では、街路樹などの道路周辺での樹木の存在はなかった。

つぎに、当該地域の出火点を想定するために、浜竹一丁目の建物の築年数のデータを、公益社団法人都市緑化機構の鳥越昭彦氏に提供して頂いた。浜竹一丁目においては家屋の多くが、新耐震基準の 1981 年以降に建てられたものであるが、1945 年以前に建てられた建物が 4 軒存在するため、この 4 軒を出火点の候補としてシミュレーションを行う。

風向・風速に関しては横浜地方気象台のデータ<sup>11)</sup>をもとにしている。多くの自治体の地震火災の想定で使用される冬場の風が強く乾燥した時期の風向・風速を使用する。使用するのは茅ヶ崎市に近い辻堂のデータである。冬場 1 月のデータを参考にし、風向は北西、風速は、平均風速 3m/s と強風時の 8m/s を用いる。

適用計算する事例は、現状の都市構造（現況の緑地の有無）の二つのデータ、図-6 の駐車場や空き地となっている部分に家を建てた場合の都市構造データ（緑地の有無）の二つのデータを作成する。そして、図-7 の実際に計画されている緑化計画をもとに、空き家を取り壊し緑地化、セットバック、生垣の設置等を行ったデータを作成する。

### (3) シミュレーション適用結果と考察

まず、候補として挙げた 4 か所の出火点に対して風速 3m/s、8m/s で火災の延焼の比較を行った結果、図-8 に示すように、対象地域の中央上側の出火点における焼失面積が最大（風速 8m/s・出火点 4）となるためこの地点を出火点として選定した。シミュレーション結果より、シミュレーション終了時間を 3 時間に設定し、現状、オープンスペース削除、緑地対策後の各都市構造で緑地の有無による延焼の違いを比較するためシミュレーションを行う。

シミュレーションの設定条件は、前述したように、現状の都市構造（現況の緑地の有無）、駐車場や空き地となっている部分に家を建てた場合の都市構造データ（緑地の有無）、実際に計画されている緑化計画（空き家を



図-4 茅ヶ崎市浜竹一丁目（国土空間データ）



図-5 茅ヶ崎市浜竹一丁目（修正済み）

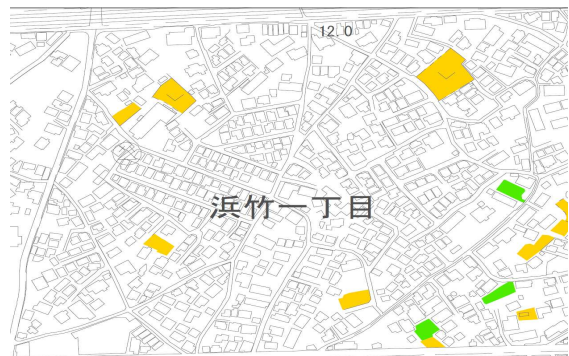


図-6 オープンスペースの分布（駐車場、空き地）

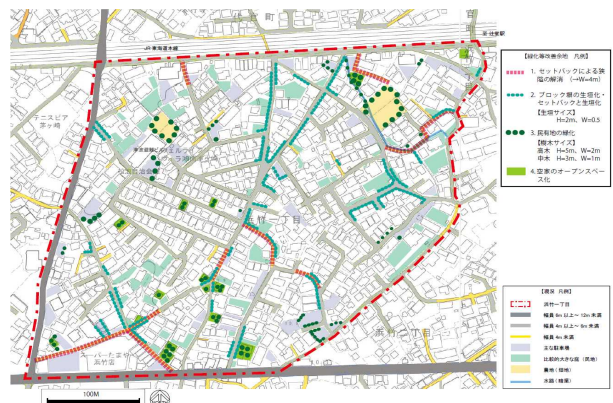


図-7 浜竹一丁目緑地整備計画

取り壊し緑地化、セットバック、生け垣の設置等)を行った都市構造データを用いた3時間後の焼失面積の推移である。

初めに、**図-9**に示すように現況の都市構造における緑地が無い場合と緑地を設置した場合を比較すると、3時間後の焼失面積より、樹木が無い場合と比べて85%に減少した。シミュレーション開始後30分後には延焼面積に差が生じ始め90分、100分と時間が経つにつれその差が広がっていることが分かる。これは、現在、浜竹一丁目に存在している樹木の延焼速度抑制効果を表している。また、**図-10**は同じ建物において樹木の有無による発火時間を比較したものである。グラデーションで表示をしているが、同じ色であっても出火時間に変化が見られる。樹木を設定した場合、樹木が無い場合と比べて14分出火時間が遅くなっていることが分かる。北側に樹木が多く存在しているため、延焼速度が遅くなっているからであると考えられる。風下方向に関しては延焼範囲に大きな違いは見られないが、先程と同じように発火時間を比較すると、樹木を設置した場合延焼速度が抑制されていることが分かった。

つぎに、オープンスペースを削除した場合の都市構造データを作成する。都市緑化機構から頂いたデータをもとに駐車場などに木造住宅を設置した。建物総数は現在の都市構造と比べ、1,098軒となり、53軒増加している。樹木の有無による延焼の違いを**図-11**に示す。現状の都市構造でシミュレーションを行った時と比べ、延焼面積の乖離が小さいことがわかり、延焼面積に大きな差が生じ始めたのは火災発生後140分後となった。180分後の延焼面積も樹木がない場合と比べ樹木を設置した場合は92%への減少にとどまった。また、最終的な延焼建物総数は現在の都市構造で樹木がある場合、584軒であったのに対し、オープンスペースを削除し、樹木を設置した場合625軒へと増加している。これは、今回追加した建物の多くが延焼したことがわかる。つまり、現在あるオープンスペースに建物を建築した場合、都市の防火力が大きく低下することを示唆することができた。また、建物の発火時間を見てみてもそのことがわかる。**図-12**に現状、オープンスペース削除後のシミュレーション画面の一部を示す。現在の都市構造でシミュレーションを行った場合111分に発火していた建物がオープンスペースを削除した場合79分に発火しており、発火時間が22分速くなっていることがわかる。地域の建物が増加することで緑地がある場合であっても延焼速度が抑制されず、延焼範囲が広域に広がる可能性が十分考えられ、住民が避難する際に火災の危険性が增大することが考えられる。換言すれば、オープンスペースの重要性を示唆していると言えよう。

最後に、緑化対策を反映させた都市構造データを**図-**

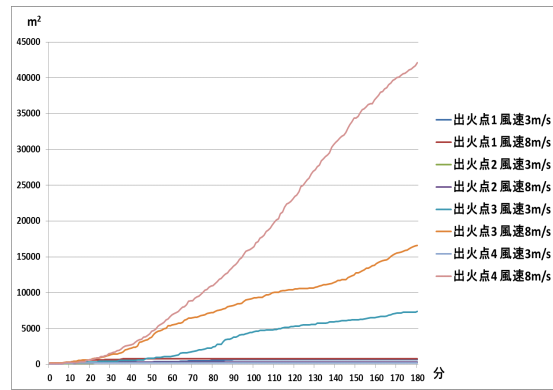


図-8 各出火点と各風速による焼失面積

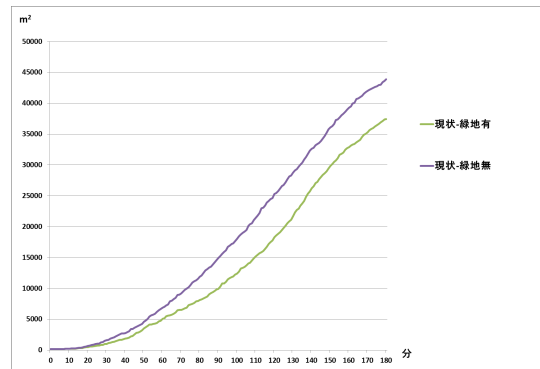


図-9 現状都市構造と緑地の有無比較

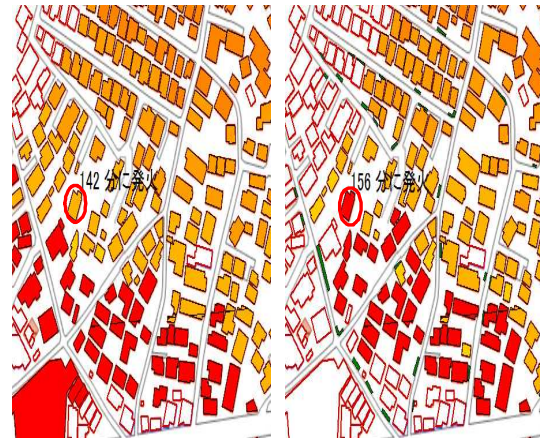


図-10 緑地による延焼遅延効果(右緑地あり)

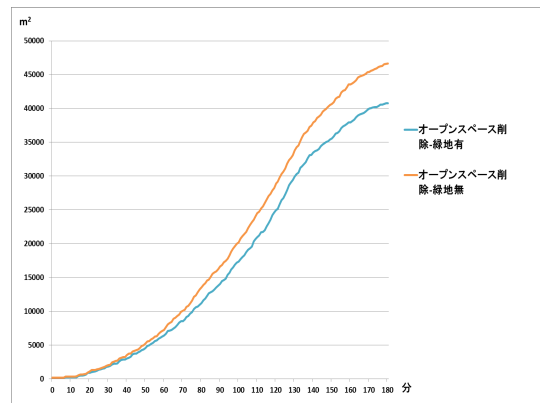


図-11 オープンスペース削除と緑地の有無比較



13 に示す。現在の都市構造の緑地配置のような緑地が点々と存在しているのではなく、線として緑地を配置している。また、空き家の削除とその土地の緑地化、セットバックによる道路幅の拡張を行っている。現状の都市構造と緑化対策を行った場合のシミュレーション結果を図-14 に示す。火災発生から 50 分まではほぼ延焼面積は一致している。そこからの延焼面積は 130 分まで差が広がっている。緑地を線状に配置することで火災の延焼を抑える効果が大いにあることがわかる。最終的な延焼面積も 88% に抑制されている。しかし、風向を北西に設定しているため、南東方向の延焼範囲に大きな違いが生じなかった。これは、地域の中心、出火点から見て南東方向の住宅密集地の緑地の整備や道路幅の拡張が計画に入っていないためだろう。

今回設定した、都市構造データを用いて、現状・緑地無し、現状・緑地あり、オープンスペース削除・緑地有、オープンスペース削除・緑地無、緑化対策後のそれぞれの防火力を図-15 に示す。この図より、樹木を設置することでどのケースでも火災の延焼を抑えることができることがわかった。しかし、現状で緑地がある場合とオープンスペース削除後で緑地を設定しない場合とでは延焼範囲はほぼ同じ推移を示しており、駐車場や田畑をなくすことで、都市の防火力は緑地がある場合でも現状に比べ大きく低下することが分かる。また、オープンスペースに建物を建てシミュレーションを行うと現在の都市構造と比べ、建物の発火時間が早くなり、火災の延焼速度が速くなることが確認できた。また、どの場合のシミュレーション結果でも風下方向の延焼範囲に大きな違いは見られなかった。これは、風下方向に建物が多く密集していることに加え、風速が 8m/s と大きかったのが原因であろう。

### 3. おわりに

樹木の配置をマウスでクリックし、必要なパラメータを入力することにより、緑地の防火効果を評価可能なシミュレーション・システムの開発を行った。従って、現在、都市に植樹されている樹木の防火効果と、緑化対策などの都市対策を行うことによる都市の防火効果の定量的評価が可能となった。

神奈川県茅ヶ崎市においては、現在の都市構造、オープンスペースを削除した場合の都市構造、緑地対策を行った都市構造でシミュレーションを行い、都市に存在する樹木の防火効果を検証した。各都市構造においても樹木のない場合では延焼範囲は対象地域の大半を占める。そこで、現在、実際に植樹されている樹木をシミュレーションに反映させると建物の発火時間が 10 分から 20 分ほど遅くなることがわかり、延焼範囲も樹木を設置しな

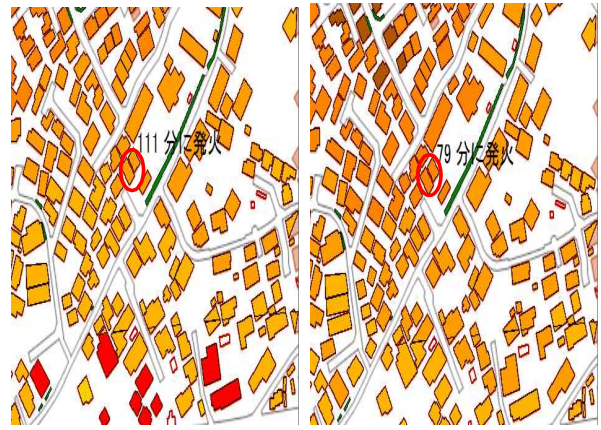


図-12 オープンスペースの削除と住宅化 (左)



図-13 緑化対策後の都市構造データ

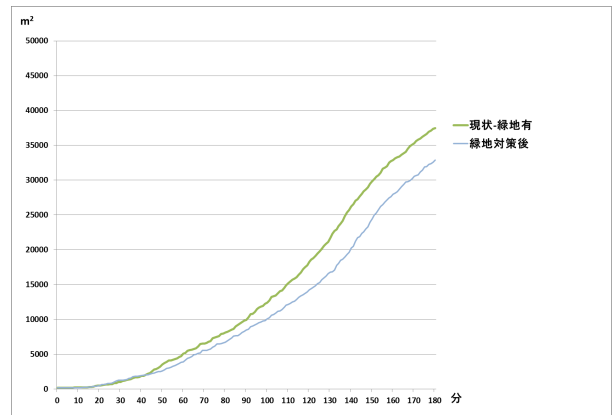


図-14 現状都市構造と緑地の有無

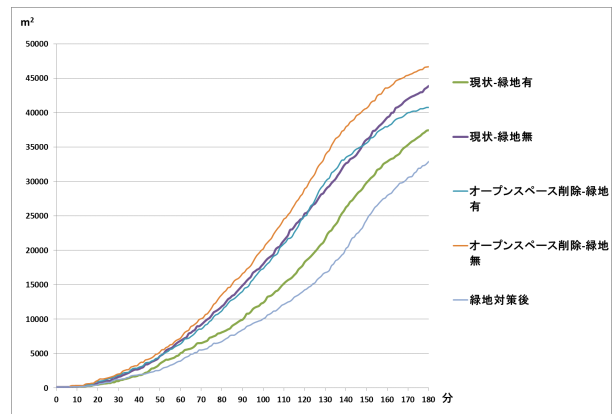


図-15 全都市構造対策の比較図

いときに比べ最大で約 8 割に抑えることができ、樹木の防火効果がみられることが分かった。特に風下方向以外への延焼範囲への影響が顕著にみられた。しかし、風下方向に関しては樹木を設置した場合であっても延焼範囲に大きな違いは見られなかった。これは、今回の気象条件が風速 8m/s と大きな値を想定していることによるものと考えている。そして、緑地対策を行った場合のシミュレーションでは延焼範囲、建物の発火時間は現状と比べ減少しており、対策の効果がみられた。しかし、やはり風下方向においては延焼範囲に大きな違いは見られなかった。これは、対象地域の中心に当たる地区の住宅密集地域における対策があまり行われていないことと、風向が大きく関係していると考えられる。しかし、緑地対策など都市計画を行う際の指標として本シミュレーションを使用することで、対策の評価が行え、都市の緑化推進のインセンティブになると考えている。

神奈川県茅ヶ崎市浜竹一丁目への適用においては実際に行われる緑地対策をシミュレーションで示すことで、一部で火災の延焼を食い止めている部分の存在を明らかにした。しかし、火災が回り込んで延焼している箇所も明らかになり、その部分を緑地化することで火災を完全に食い止めることができる可能性がある。今後は、現在の緑地対策だけでなく、その対策では効果が見られない部分を明らかにし、新たに緑地を配置すべき場所を明確にしていく必要があると考えている。

**謝辞:**本研究を進めるにあたり、データの提供並びに現地調査等ご協力いただきました、公益財団法人 都市緑化機構 鳥越昭彦様、手代木純様 国土交通省 都市局 公園緑地・景観課 森口俊宏様 前・国土交通省 都市

局 公園緑地・景観課 菅原のえみ様 に心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 岩河信文：都市における樹木の防火機能に関する研究(造園学会賞受賞者業績要旨)，造園雑誌，48(1),pp.26-31,1984.
- 2) 岩崎哲也：受熱時に樹葉水分が温度上昇を抑制する効果の実証ならびに樹葉の形状変化に関する実験，ランドスケープ研究，70(4),pp.306-311,2007.
- 3) 斉藤庸平，岩河信文：樹木の防火機能に関する研究：樹木による延焼遮断効果算定法，造園雑誌，Vol.46,No.5,pp.158-163,1982.
- 4) 林寿則：都市災害時の樹木の防火機能について，生態環境研究，14(1),pp.57-64,2007.
- 5) 福嶋司，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 31(2),pp.35-45,1989.
- 6) 林寿則，篠原雅彦，松島早苗，藤原一絵：火災近傍の樹木による背後での受熱量の低減効果に関する実験研究，日本緑化工学会誌，Vol.38,No.11,pp.33-38,2012.
- 7) 森本幸祐，中村彰宏，佐藤治雄：街路樹の機能と阪神・淡路大震災，国際交通安全学会誌，Vol.222.No.1,pp.49-56,1996.
- 8) 二神透，木俣昇，末廣文一：火災延焼シミュレータを用いた防火樹木整備支援システムの開発，土木計画学研究・論文集，No.23 no2,pp.325-334,2006.
- 9) 神奈川県地震被害想定調査(2011年3月1日)(<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f5151/p15579.html>)
- 10) 茅ヶ崎市 平成 20 年度地震による地域危険度測定調査報告  
<http://www.city.chigasaki.kanagawa.jp/machidukuri/1007927/1008006/1008024/index.html>
- 11) 横浜地方気象台 平成24年(2012年)神奈川県の気象・地震概況

(2016.4.22受付)