

1946年南海地震における新宮市の火災延焼動態

Dynamics of Spreading Fire in Shingu City During 1946 Nankai Earthquake

辻原治¹・尾崎嘉紀²・角希美³

Osamu Tsujihara, Yoshinori Ozaki and Nozomi Kado

¹和歌山工業高等専門学校教授 環境都市工学科 (〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島77)

Professor, Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Wakayama College

²和歌山工業高等専門学校専攻科 エコシステム工学専攻 (〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島77)

Student, Ecosystem Engineering Course, National Institute of Technology, Wakayama College

³和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島77)

Student, Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Wakayama College

In the 1946 Nankai earthquake, a fire broke out in Shingu City, Wakayama Prefecture, and the city area was completely destroyed. More than 2000 houses are reported to have been burned out. However, the fires have not been fully investigated and the dynamics of the spreading fire is not known. In this study, the housing map with road map was restored to build the analytical model in the reported burnt area, using the aerial photograph before the event of the earthquake. Then, spreading fire analysis was performed by applying the Petri-net algorithm, using the map. The results of the analysis were verified based on the testimonies

Keywords: *spreading fire, analysis, Petri-net, verification*

1. はじめに

昭和南海地震は、今から約75年前の1946年12月21日午前4時19分に紀伊半島沖を震源として発生し、マグニチュード8.0であった。この地震により和歌山県では死者269人、全壊2439戸、焼失2399戸の被害が報告されている¹⁾。新宮市では、死者58人、全壊600戸、焼失2398戸と²⁾、とくに火災による被害が大きく、市街地の大半が焼失した。当時は第二次世界大戦後間もない頃であったという社会的背景もあり、十分な調査がなされたとは言い難い。住民からの聞き取り調査などによる断片的な証言等は存在するものの、延焼動態に関する詳細な調査、報告は存在しない。

新宮市の市街地には、世界遺産にも登録されている熊野速玉大社があり、平安時代前期に製作された神像をはじめ、多くの国宝や重要文化財がある。その他、熊野大神が熊野三山として祀られる以前、最初に降臨された聖地とされる神倉山や天然記念物に指定されている浮島の森など、後世に残していくべき歴史的建造物や自然が存在する。これらは幸いにも地震火災による類焼を免れた。

昭和南海地震が発生して75年以上が経過し、伝承することが難しくなっている中で、当時の地震火災を検証する意義は大きいと考える。新宮市の市街地は、昭和南海地震の大火の後復興したが、街路の配置に大きな変化はなく、道幅や一部路線の変更はあったものの、街並み自体はそれほど変わっていない。現在の建物の耐火安全性は向上しているとしても、過去に起こった地震火災を検証し、今日的課題に生かすことができる。大規模地震が発生したときには、地震による建物の倒壊、津波による浸水などと共に、火災によるリスクについて自治体や住民などが理解し、火災発生時の住民による初期消火や避難行動、消防による対応、また、歴史的建造物なども含めた防災まちづくりなどに役立たせることが重要である。

本研究では、1946年の南海地震による新宮市の火災の延焼動態を解析によって明らかにすることを目的とし、証言記録などと比較することで検証する。

2. 延焼解析法

(1) 延焼速度式

延焼解析を行うためには、棟内および棟間の延焼速度を表す延焼速度式が必要で、物理的な根拠や市街地火災の被害調査に基づいて構築されている。延焼速度式を最初に提案したのは浜田³⁾であり、火災事例や実物大木造家屋の火災実験結果を参考に、火元の建物の出火から延焼する側の建物が着火するまでの時間を説明する式を提案した。この式はもともと純木造家屋への適応を基本としたものであるが、その後、防火木造や耐火造の延焼速度式も提案されている。また、1995年の阪神・淡路大震災の後、東京消防庁より新たな延焼速度式（東消式 97）⁴⁾が提案された。この式は、阪神・淡路大震災における市街地火災の調査・検討より、建物の全半壊等による影響を考慮した延焼速度式である。さらに、地震被害を受けた準耐火・耐火造建物の延焼性状に関する検討が加えられ、新たな延焼速度式（東消式 2001）⁵⁾が構築されており、これが現状では最も信頼性の高い式の一つといえる。それ以外にも、国土交通省総合技術開発プロジェクトによって放射・接炎、気流、火炎合流等の実験等に基づくモデル⁶⁾や樋本・田中の物理モデル⁷⁾等も提案されている。

(2) 市街地延焼解析の方法

GISの発展や延焼速度式の提案等によって、一棟ごとの延焼拡大の状況のミクロ的なシミュレーションも行われるようになった。矢野ら⁸⁾は、火災の延焼過程を、建物の延焼過程、隣接建物等の関係で定まる伝播過程、および着火過程に分けて捉え、独自の式を用いて神戸市の地震火災の動態をシミュレートした。東京消防庁でも、同庁が提案した延焼速度式を用いた1995年兵庫県南部地震における神戸市の延焼シミュレーションを行っている⁹⁾。関沢ら⁹⁾は、解析モデルのデータ作成に電子住宅地図を用いて予め延焼経路データを作成し、地震発生後に得られる風向、風速、出火情報などの条件を入力して延焼シミュレーションを行うシステムを構築している。辻原ら^{10,11)}は同様に電子住宅地図を用いた簡便なデータ作成サブシステムを組み込んだ延焼シミュレーションシステムを提案している。また、延焼解析にグラフ理論の一種であるペトリネット¹²⁾を適用することで、同時多発火災に対応できるようシステムを改良している¹³⁾。さらに、兵庫県南部地震における魚崎北町の延焼シミュレーションを行い、調査による延焼動態と比較している¹⁴⁾。

本研究では、一棟ごとの延焼解析法のうち、ペトリネットによる方法¹³⁾を用いることとした。以下では、この方法の概要を述べる。なお、延焼速度式として、後述のとおり、解析対象の地域の建物の開口部など内部構造等の詳細が不明であり、ここでは経験則の要素が強い東消式2001⁵⁾を用いることとした。

建物の平面は、図1に示すような家枠の頂点と内部の一点に位置するプレースと呼ばれる円で構成される。プレース間は図2に示すように、トランジションと呼ばれる棒とアークと呼ばれる矢印によって結ばれる。トークンと呼ばれる黒丸がプレース内に存在すると、そのプレースが着火していることを表す。トークンがアークに沿って移動する。アークには重みを付けることができ、その入力側のプレースに貯まっているトークンの数と重みが一致すると、トランジションが発火してトークンを出力側のプレースに指定された数だけ移動させる。延焼解析のモデルにおいては、入力アークの重みとして、これを挟む2つのプレース間を延焼するために要する時間が割り当てられる。建物間についても、図3に示すように、プレース間にアークとトランジションを配置することで、延焼シミュレーションの対象とする区域全体のネットワークモデルを作成することができる。アークに付与する重みの算

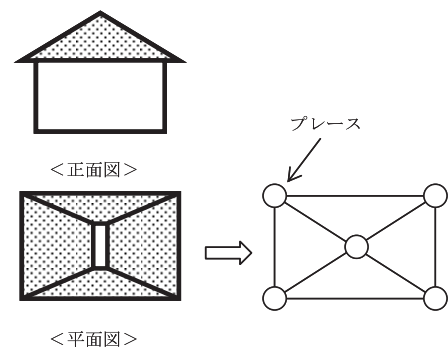


図1 建物のモデル

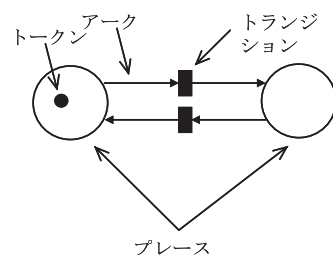
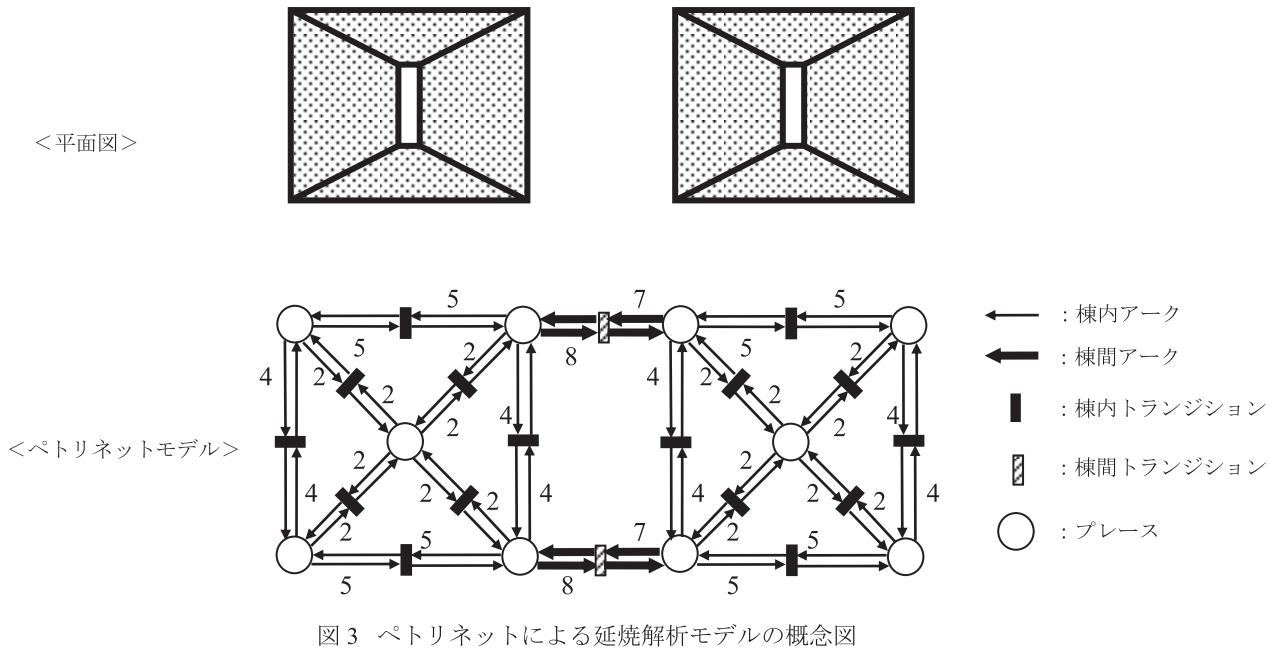


図2 ペトリネットの基本要素

出においては、東京消防庁の提案式（東消式 2001）⁵⁾を用いている。



3. 延焼解析モデル

現在のような住宅地図は1946年当時なかったため、以下の手順で延焼解析のためのモデルを作成した。

(1) 道路地図の作成

1946年5月に米軍により撮影された空中写真の印刷物を国土地理院から購入し、これにトレーシングペーパーを重ね、道路をなぞることにより地図を作成した。その際、焼失区域は文献15)を参照した。地震が発生したのが1946年12月であったことから、空中写真には地震発生当時の状況がほぼ表されていると考えられる。

(2) 建物形状の描画

道路地図上に、写真から読み取れる建物の平面形状を手書きで書き込んだ。

(3) 電子住宅地図の作成

上記の地図上に、直交座標の座標原点と座標軸を設定し、家枠の頂点座標 (x, y) をcm単位で読みとり、建物に割り当てた番号、建物を構成する頂点の数とともにExcelシートに書き込み、電子データを作成した。

(4) 空中写真の歪み修正と地図の拡大

空中写真は性質上、実際の形状と比べ歪んでいる場合がある。本研究で用いた空中写真も歪みが確認されたため、有限要素法の形状関数¹⁶⁾の考え方をを用いて現在の地理院地図に合わせるような修正を行った。以下では、その方法について述べる。

(x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 、 (x_4, y_4) を(3)で作成した地図における特徴点の座標（写真上の座標）とする。単位はcmである。これらの特徴点は、地震発生当時の地図と現在の地理院地図で対応が可能で、4点で形成される四角形が地震火災で焼失した範囲をできるだけ含むように設定した。一方、 (ξ_1, η_1) 、 (ξ_2, η_2) 、 (ξ_3, η_3) 、 (ξ_4, η_4) は同じ特徴点の地理院地図における座標とする。地理院地図の座標はm単位とした。地震発生当時の地図の特徴点と地理院地図の座標の特徴点に重なるように座標全体を歪ませることで

修正を行った。式(1)に座標の変換に用いた式を示す。

$$\{\xi \quad \eta\} = \{1 \quad x \quad y \quad xy\} \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1 y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2 y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & x_3 y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & x_4 y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 & \eta_1 \\ \xi_2 & \eta_2 \\ \xi_3 & \eta_3 \\ \xi_4 & \eta_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

このようにして作成した解析モデルを図4に示す。同図には、一部焼失区域以外の建物が含まれているが、延焼解析においては、それらの建物へのリンクは切断している。

4. 延焼解析

(1) 当時の新宮市について

新宮市は、熊野信仰のまちとして有名である。産業としては、熊野材の集積地として近世からの歴史がある。機械製材の導入も早く、製材品を江戸に送っていたことから木材業で発展した。近隣にある現在の北山村などから、材木を筏流して熊野川を利用し新宮市まで運搬していた時代があり、今でも観光筏下りとして残っている。明治33年には木材合名会社が設立され、取引も盛んになり、奈良県の十津川、吉野方面からも山林の地主達も材木の集積地である新宮に移り住み木材業を営んだ¹⁷⁾。当時、新宮の実業家といえば材木屋であり、材木屋が新宮の実業化のシンボル¹⁷⁾とされていたほどである。明治32年には、新宮水力電気(株)の鮎田発電所が完成し新宮に電灯がつき¹⁸⁾、明治41年には電話も開通した¹⁹⁾。

新宮市中心部は明治29年に大火に見舞われており、昭和南海地震の火災で焼失した区域も含んでいる。明治時代に撮影された新宮市街の遠景が絵葉書として残っており、これを見ると2階建ての建物が多い。明治の大火からの復興と、林業が盛んであったこと、他地域から人が集まってきたこと、また林業を中心に大変景気が良かったことなどを勘案すると、2階建ての建物が多かったのも不思議ではない。また、図5は昭和南海地震の際の新宮における火災の様子が撮影されたものであるが、2階建ての建物が多く見られる。そこで、後述の延焼解析については、一棟ごとの判別が困難であり、耐火造とした三和銀行の建物を除き、すべて2階建ての裸木造とした。なお、南海地震で焼失した地域は震災の前年に終結した大戦で空襲は受けていない。

(2) 解析条件

a) 風速及び風向

文献に「風は余り強くなく・・・」²⁰⁾、という記述があることから軽風の範囲と考え、風速は3mと仮定した。「火勢は、はじめ南に延び・・・」²¹⁾の記述があり、また、図5の火災により発生した煙の様子から、北からの風と仮定した。同図の下が北側である。しかし、風速・風向については記録がなく、曖昧が残る。また、火災の途中、自然現象あるいは火災が原因で風速や風向に時間的な変化があったと考えられるが、適切に考慮することが困難であるため、延焼解析においては風速と風向の変化は無視することとした。

b) 震度

新宮市では震度6の様相を呈した²²⁾とされている。当時は、現在のように震度6は弱と強に分けられていないが、本研究で用いる東京消防庁の東消式2001⁵⁾では、準耐火造および耐火造の建物の延焼速度が、地震動

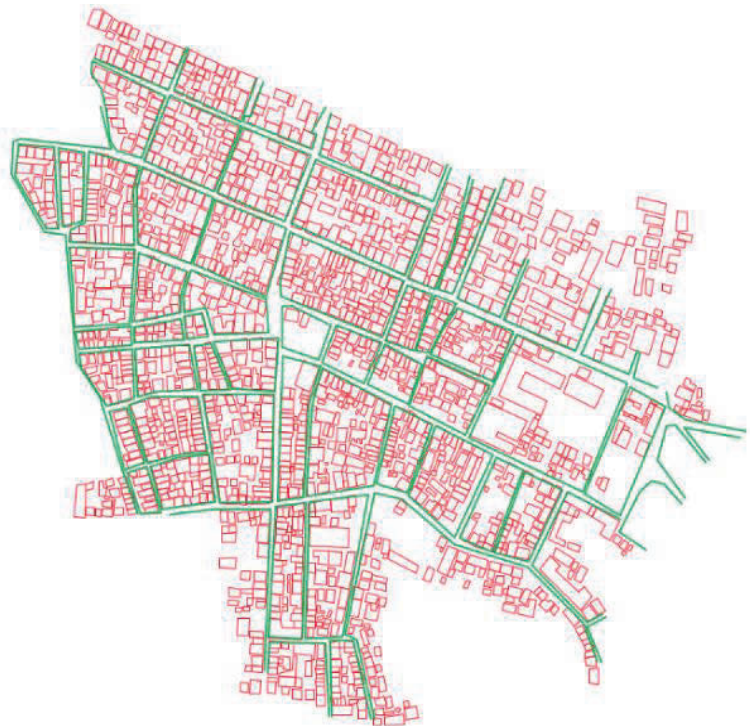


図4 解析モデル

加速度の関数として表される区画損傷率にも関係することから、被害の状況などから震度6強と仮定した。震度と加速度の関係については文献に示されている値²³⁾を用いた。しかし、今回対象とした地震当時の建物モデルについては、銀行の一棟を除いて、すべて木造としているため、震度の影響はほとんどない。なお、焼失区域においても、地震によって倒壊した建物もあったという報告もある。東消式2001⁹⁾において、木造系で、倒壊した建物と倒壊していない建物間、また倒壊した建物間の類焼の速度を表す式が提案されているが、どの建物が倒壊したかを知ることができないため、後述の延焼解析においては、建物の倒壊は考慮しないこととした。

c) 消火活動

文献に、「あまりの大地震に茫然自失となっていた市民は、消火にまで気がまわらなかった。火が近隣に燃えうつりはじめてから、ようやく消火にかかったが、停電、断水に加えて倒壊した家屋・電柱が道路をふさいでいるという最悪の状態では、手のつけようがなかった。」²¹⁾、「警防団も地震のため出足が悪く、地震と同時に断水し、防火の術は全くなかった。」²⁰⁾の記述がある。一方、古井戸の水を利用して腕車ポンプで火勢を食い止めたり、延焼の拡大が進んでから、市街地の北側にある熊野川に近い建物に対して川から水を引いて消火を行ったり、一部の建物にダイナマイトを仕掛けて人為的に倒壊させるなどして、延焼の更なる拡大を食い止めたようである²⁴⁾。このような消火活動が、焼け止まりを作ることに一定の効果はあったと考えられる。しかし、後述の延焼解析は焼失区域を対象としていることから、その範囲内においては、消火活動がなされたとしても殆ど効果がなかったと推察できる。そこで、焼失区域においては、消火活動を伴わない放任火災として解析することとした。

d) 火元

新宮市史に、当時の元町いまの大橋通三丁目の店舗付近から火の手が上がったとの記述がある²¹⁾。その他の文献や証言記録に、火元が複数あったという記述はない。そこで、後述の延焼解析では、火元は単独とした。

(3) 延焼解析結果

地震が発生して間もなく火災が発生している²¹⁾ことから、午前4時19分に火災発生とした。文献によれば、「18時間も荒れに荒れ、狂いに狂った呪火も、新宮の中心部を焼き払って、午後8時ころようやく鎮火した。」²⁵⁾とあるが、18時間の延焼であれば鎮火は午後10時ごろ²⁰⁾となり、どちらが正しいかは不明である。

図6に午前5時から午後8時まで、1時間ごとの延焼の状態を示す。火元は、同図(a)の中心部の建物である。なお、同図に示す建物群において、一部焼け止まりを超えた範囲の建物も含んでいる。これらについては隣棟間延焼のリンク（トランジション）を切断している。

(4) 解析結果の検証

解析結果を検証するために、火勢が到達した場所と時間が特定できる証言記録と比較することとした。証言には、街路や建物の名称が用いられているため、参考のため図7に主な街路および関係する建物の位置と名称を示す。また、火元の位置も図に示す。

以下では、いくつかの証言記録との対応関係について述べる。

a) 午前7時頃

「南下して馬町方面にまわった火勢は、今の大橋通4丁目で防ぐことができた。それは朝日の登る7時頃の事であった。」²¹⁾の証言がある。現在の大橋通4丁目付近と午前7時の延焼動態を図8に示す。解析結果では、午前7時時点では火勢が大橋通4丁目に届いていない。延焼解析では、図6より午前10時頃の到達となる。この差は大きく、風速や風向の違いでは説明するのは困難であり、飛び火等、別の要因の可能性もある。

b) 午後0時頃

「ついに病院まで燃え広がり、昼過ぎに全焼した。」²⁷⁾の証言がある。図9に午後1時の延焼動態と病



図5 1946年南海地震における火災（中瀬古友夫氏提供）

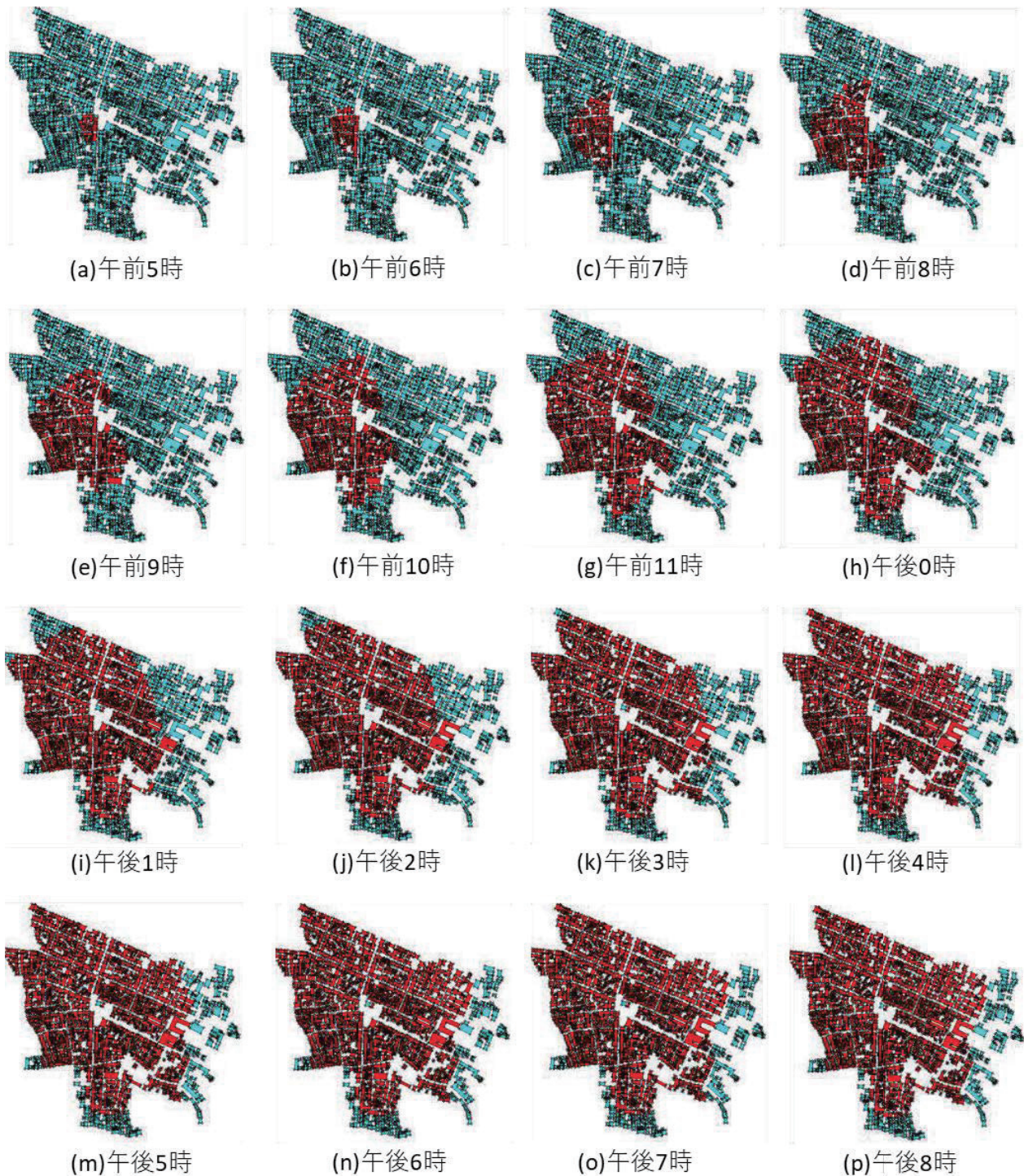


図6 午前5時から午後8時までの1時間ごとの延焼動態

院の位置を示しており、図6の(h)に示す午後0時の延焼動態では病院に延焼していないことから、午後0時から1時の間に延焼したこととなり、延焼解析は証言に整合している。

c) 午後4時頃

「午後四時頃になって市繁華街は殆んど全滅した。」²⁸⁾の証言がある。図6において、(l)の午後4時と(p)の午後8時の動態に大きな違いがないことから、延焼解析でも、午後4時頃には焼失した区域にあるほとんどの建物が延焼したと考えることができ、証言と整合している。

d) 夕刻

「下本町・竹屋町・川原町をなめ尽くした火は、夕刻には市役所前に迫ってきた。」²⁵⁾の証言がある。図10より、午後5時には火勢が市役所付近に迫っていることがわかり、証言に近い結果となった。

e) 出火からの延焼の経路

「横町を中心に『の』の字なり吹く風の思いうように焼かれて終わった。」²⁹⁾の証言がある。図11に示すように解析による延焼経路は、『の』の字を描いているように見ることができ、証言と整合している。シミュレーションでは、風速及び風向は一定としたが、延焼経路が概ね対応しており、風の影響の程度を検討するうえで、参考になると考えられる。



図7 街路名など

5. まとめ

本研究で得られた成果を以下に述べる。

- (1) 昭和南海地震での新宮市地震火災の延焼動態を解析的に明らかにすることができた。
- (2) 資料や住民の証言と比較することにより、一部証言とは異なった部分はあったものの、解析結果は概ね妥当な結果になったと考えられる。



図8 午前7時の延焼動態と現在の
大橋通4丁目付近



図9 午後1時の延焼動態と病院
の位置



図10 午後5時の延焼動態と市役所
の位置

当時、火災が発生した状況においては、地震動により一部の建物は倒壊し、また、風についても延焼中、風速・風向共に変化したと考えられる。しかし、これらに関する資料がなかったため考慮できていない。今後、震度から推定される建物倒壊率や風速や風向の変化が延焼解析結果に及ぼす影響について検討が必要と考える。

南海地震の30年発生確率は70～80%と言われており、地震の発生に備えて各所で対策が講じられているが、火災対策はなおざりにされがちである。世界遺産の構成資産の一つであり、熊野三山の一部をなす熊野速玉大社は市街地のはずれに位置し、1946年の地震火災の際には建物の類焼を免れたが、境内に飛び火があったことが報告されている³⁰⁾。過去の被害の教訓を生かしながら、歴史的建造物を含めた防災



図11 『の』の字のように見える延焼過程

まちづくりや仕組みづくりが重要である。

謝辞：熊野学研究委員会委員・新宮市文化財保護審議会委員の中瀬古友夫氏に資料の提供ならびに研究を進める中で貴重な助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 和歌山地方気象台：和歌山県の主な地震・津波災害，和歌山地方気象台HP，<https://www.jma-net.go.jp/wakayama/bousai/phenomenon/zishinsaigai.html> (2021年7月8日閲覧)。
- 2) 新宮市史編さん委員会編集：新宮市史，新宮市役所，p.652，1972。
- 3) 浜田稔：火災の延焼速度について，火災の研究，第1巻，相模書房，1951。
- 4) 火災予防審議会：直下の地震を踏まえた新たな出火要因及び延焼性状の解明と対策，1997。
- 5) 火災予防審議会：地震火災に関する地域の防災性能計画手法の開発と活用方策，2001。
- 6) 国土交通省総合技術開発プロジェクト，まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発（防災まちづくり総プロ）報告書，2003。
- 7) 樋本圭佑，田中孝義：都市火災の物理的延焼性状予測モデルの開発，日本建築学会環境系論文集，第607号，pp.15-22，2006。
- 8) 矢野公一，松井武史，高井広行，坊池道昭，上村雄二：大規模地震火災の延焼シミュレーションに関する研究，土木計画学研究・講演集，No.19(2)，pp.39-42，1996。
- 9) 関沢愛，高梨健一，遠藤真，座間信作，山瀬敏郎，篠原秀明，佐々木克憲：リアルタイム延焼予測に基づく消防活動支援情報の出力システム，地域安全学会梗概集，No.11，pp.117-120，2001。
- 10) 辻原治，伏見悠生，久堀貴史，澤田勉：電子住宅地図を用いた簡便な地震時火災延焼シミュレーションシステムの構築，土木情報利用技術論文集，Vol.12，pp.237-244，2003。
- 11) TSUJIHARA, O., FUSHIMI, Y., KUBORI, T., SAWADA, T. and MITSUIWA, Y.: Simulation System of Spreading Fire in an Earthquake Using Digital Residential Maps, Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering, pp.1-9(in DVD-ROM), 2004.
- 12) 村田忠夫：ペトリネットの解析と応用，近代科学社，1992。
- 13) 辻原治，寺田和啓，澤田勉：ペトリネットを導入した地震時同時多発火災に対する延焼シミュレーションシステムの構築，土木情報利用技術論文集，Vol.14，pp.129-136，2005。
- 14) TSUJIHARA, O., TERADA, K. and SAWADA, T.: GIS Based Simulation System of Urban Spreading Fire in Earthquake Applying Petri net, Proceedings of The International Symposium on Management System for Disaster Prevention, pp.1-8 (in CD-ROM), 2006.
- 15) 前掲文献2)，p.653。
- 16) I.M.Smith(戸川隼人訳)：有限要素法のプログラミング・構造・流体への応用-，pp.53-55，哲学出版(ワイリー・ジャパン発行)，1984。
- 17) 永廣柴雪：新宮あれこれ，図書刊行出版，pp.62-63，1961。
- 18) 前掲文献2)，p.1002。
- 19) 前掲文献2)，p.403。
- 20) 同胞援護会和歌山県支部：昭和紀伊洪浪の記，p.90，1948。
- 21) 前掲文献2)，pp.647-648。
- 22) 上野山巳喜彦：新宮市災害史誌，p.134，2017。
- 23) 前掲文献5)，p.178。
- 24) 前掲文献2)，p.648。
- 25) 前掲文献2)，p.649。
- 26) 前掲文献22)，p.305。
- 27) 前掲文献22)，p.301。
- 28) 前掲文献20)，p.91。
- 29) 前掲文献22)，p.290。
- 30) 前掲文献2)，p.659。