

## □ 令和6年能登半島地震に伴って発生した 輪島市大規模火災の市街地火災延焼シミュレーション

消防庁消防大学校消防研究センター 技術研究部 地震等災害研究室

主幹研究官 高梨健一

### 1. はじめに

2024年1月1日16時10分に発生した令和6年能登半島地震では、石川県輪島市や志賀町で震度7を記録したほか、石川県七尾市、珠洲市、穴水町、能登町で震度6強、石川県中能登町、新潟県長岡市で震度6弱を観測するなど、広い範囲が強い揺れに見舞われた。また、この地震発生に伴って、新潟県上越市で遡上高5.8 m、石川県能登町白丸で痕跡高4.7 mとなる津波が押し寄せて各地で被害がでたほか、各地で土砂災害も数多く発生して道路が各所で寸断されるなどの被害も発生した。

消防庁の6月18日14時00分時点の取りまとめによると、この地震による人的被害は死者260人（うち30人が災害関連死）、行方不明者3人、負傷者1,323人となっているほか、住家被害は全壊8,418棟、半壊21,246棟、床上浸水6棟、床下浸水19棟、一部破損95,401棟の合計125,090棟となっている。

新潟県、富山県、石川県の3県において、これらの地震、津波、土砂災害に伴う火災が合計17件報告されているが、中でも、輪島市河井町で発生した火災は、古い木造建築物が多い地域での火災だったこと、地震による電柱の倒壊等による通行障害、さらに地震によって消火栓や一部の防火水槽、自然水利などの水利が利用不能になったことなど各種の要因が重なって、焼失棟数約240棟、

焼失面積約49,000㎡の大規模な市街地火災となった<sup>1)</sup>。

本稿では、この火災の市街地火災延焼シミュレーション結果について紹介する。

### 2. 消防研究センターの市街地火災延焼シミュレーションの概要

消防研究センターの市街地火災延焼シミュレーションソフトウェア（以下、「ソフトウェア」という）では、出火点や風向、風速、計算終了時刻などを入力することで、建築物1棟1棟の延焼時間を計算して火災の進展を予測することが可能である。図1に市街地火災延焼シミュレーションの画面例を示す。

ソフトウェアでは、火災は出火点として設定した建築物の重心で始まる。また、火災が建築物の重心まで延焼した時点で、盛期火災に至ったと考える。盛期火災の状態は別途設定可能な盛期火災の継続時間（以下、「燃え落ち時間」という）が経過した時点で終了するものとし、盛期火災に至ってから燃え落ち時間が経過するまでの間に隣棟に着火した場合に隣棟に延焼することとしている。

隣棟間の延焼時間の計算には、風速と建築物間の距離から延焼速度を求めることができる東京消防庁の開発した延焼速度式<sup>2)</sup>の風速補正部分を、

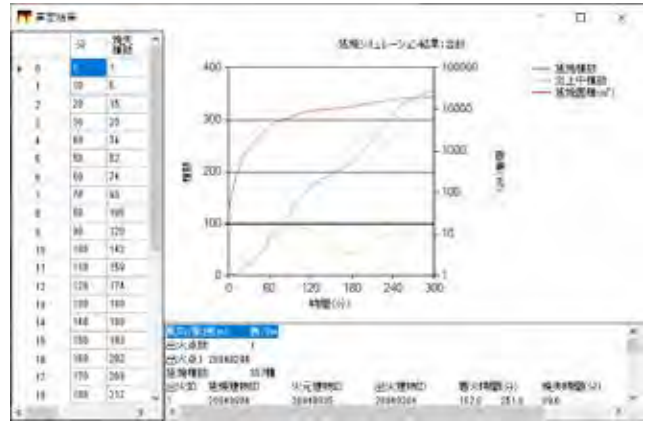


図1 市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの画面例

風速に応じた浜田式<sup>3)</sup>の増加率によって補正するよう改良した式を通常は用いており、東京消防庁が開発した元々の風速補正も利用可能である。

また、このソフトウェアでは、各出火点に計算開始からの時間遅れを設定できるため、飛び火による出火時刻が判明していれば、この機能を用いて飛び火の再現を行うことも可能である。

なお、ソフトウェアでは、多数の試行の繰り返しや計算結果の速やかな出力を可能とするため、正確さを考慮しつつ建築物条件の簡略化と延焼経路の事前計算による実行時間の短縮により高速化を図っている。建築物条件の簡略化では、構造種別を木造と耐火造の2種類とし、全ての建築物は2階建てとしているほか、地形の影響を考慮せず、全ての建築物が同一平面上に存在するものとして計算を行っている。また、延焼経路の事前計算については、図2のように建築物の外形線を20 cm 間隔に分割し、風速0 m/s の際の延焼速度

を用いて異なる建築物の重心間の延焼時間が最短となる経路を計算しておくこととしている。そして、風速の設定に関わらずこの経路を利用することで、シミュレーション実行時の計算時間を短縮している。延焼経路と建築物の表示例を図3に示す。

さらに、ソフトウェアでは、消防活動の効果を盛り込むための方法として、延焼阻止線を設定することが可能である。延焼阻止線と交差する延焼経路を延焼計算に利用しないことで、延焼阻止効果を実現しており、計算結果には焼損棟数の減少や延焼拡大の遅延として効果が表れる。

### 3. Google ストリートビューを用いた延焼範囲周辺の建築物外壁に関する分析

延焼範囲における市街地の状況を把握するため、Google ストリートビューを用いて、延焼範囲の

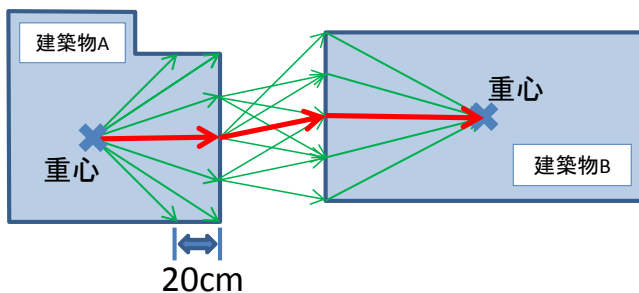


図2 延焼経路の事前計算

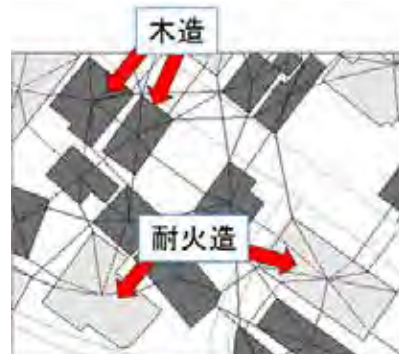


図3 延焼経路と建築物の表示例

建築物の外壁の状況について調査を行った（図4参照）。

ストリートビューで見ることのできる外壁に限られること、また、撮影された時期から火災発生までに建て替えや補修などが行われている可能性があることなどから、火災発生当時の状況を直接示しているデータとはならないものの、ストリートビューで見ることのできた建築物については、少なくとも約57%の建築物の外壁に板張り部分があることが判った。

また、ストリートビューで見ることのできない街区内部の建築物については、建て替えが進んでいない老朽化した建築物が多いことが予想された。

そこで、今回のシミュレーションでは、木造建

築物の延焼計算に、裸木造に対応した東京消防庁の延焼速度式の風速補正部分を、風速に応じた浜田式の増加率によって補正するよう改良した式を用いることとした。

#### 4. 利用データと設定条件

延焼経路データの作成に必要な都市データは、国土地理院から公開されている基盤地図情報を一部変更して用いた。構造種別については、基盤地図情報で堅ろう建物に分類されている建築物のほか、Google ストリートビューや現地調査に基づいて判断した建築物を耐火建築物として設定し、それ以外の建築物を木造建築物として設定した。

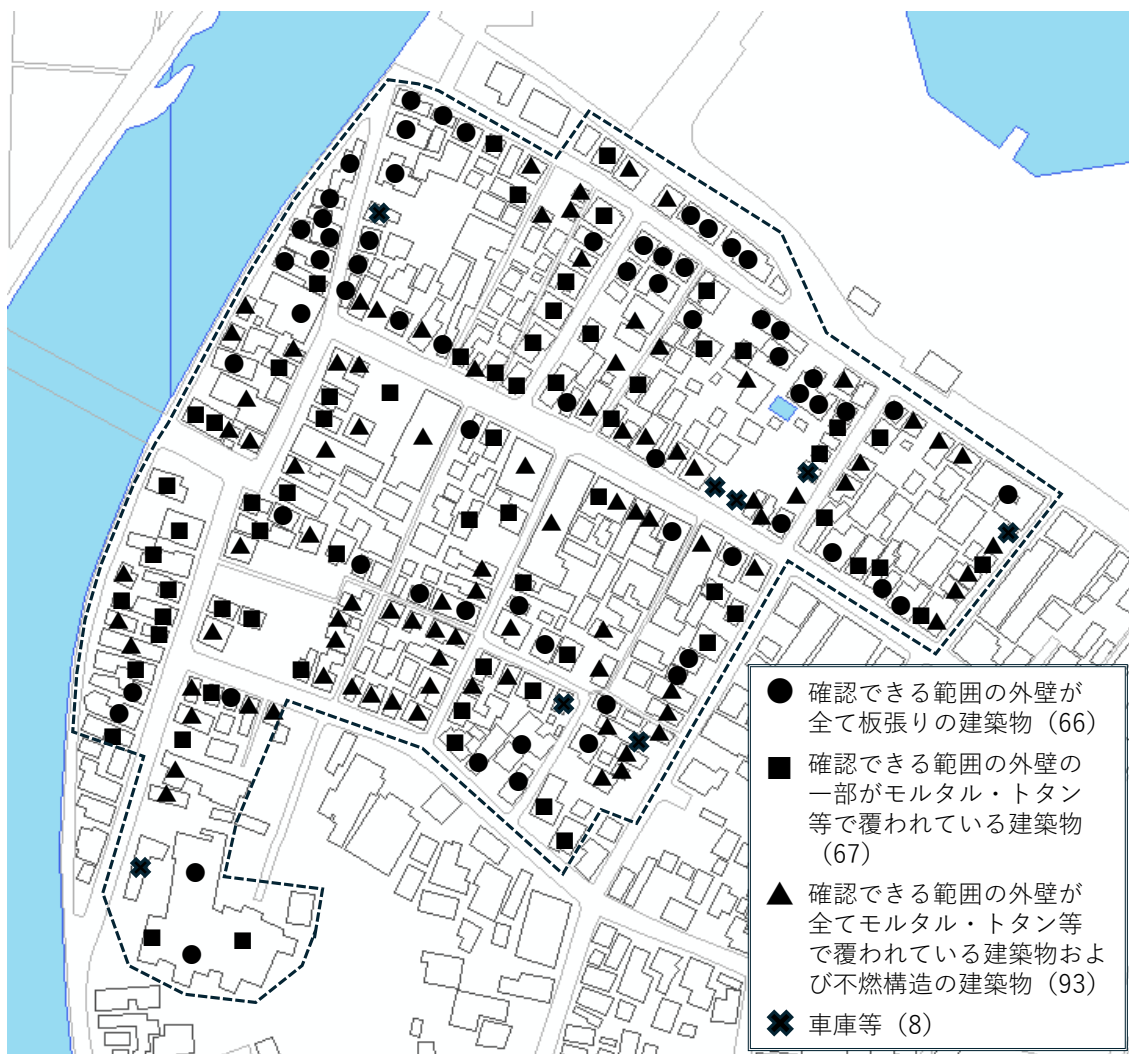


図4 Google ストリートビューに基づく焼失範囲内建築物の外壁分類結果

なお、都市データから延焼計算に用いる延焼経路データを作成する際には、延焼経路の作成に用いているソフトウェアが裸木造の延焼速度に対応していないことから、防火木造の延焼速度を利用した。

また、消防研究センターの実施した焼け止まり調査や入手した映像記録等に基づいて図5に示す条件を設定するとともに、気象条件として当日の輪島市の天気予報データを参考に南南西の風3m/sを設定したほか、燃え落ち時間として60分を設定した。

## 5. シミュレーション結果と映像記録との比較

基盤地図情報を一部修正して作成した都市データと実際の市街地に差があるため実際の火災の数値と単純に比較することはできないが、シミュレーションの結果、焼損棟数は298棟、焼損した建築物の建築面積の合計は約19,958㎡となった。また、延焼範囲において最後に延焼した建築物が火災盛期を越えたのは約10時間20分後だった。

図6に7つの時点（1月1日19時00分、20時30分、22時00分、23時30分、1月2日1時00分、2時30分、4時00分）におけるシミュレーション結果と映像記録によって把握できている各時点に

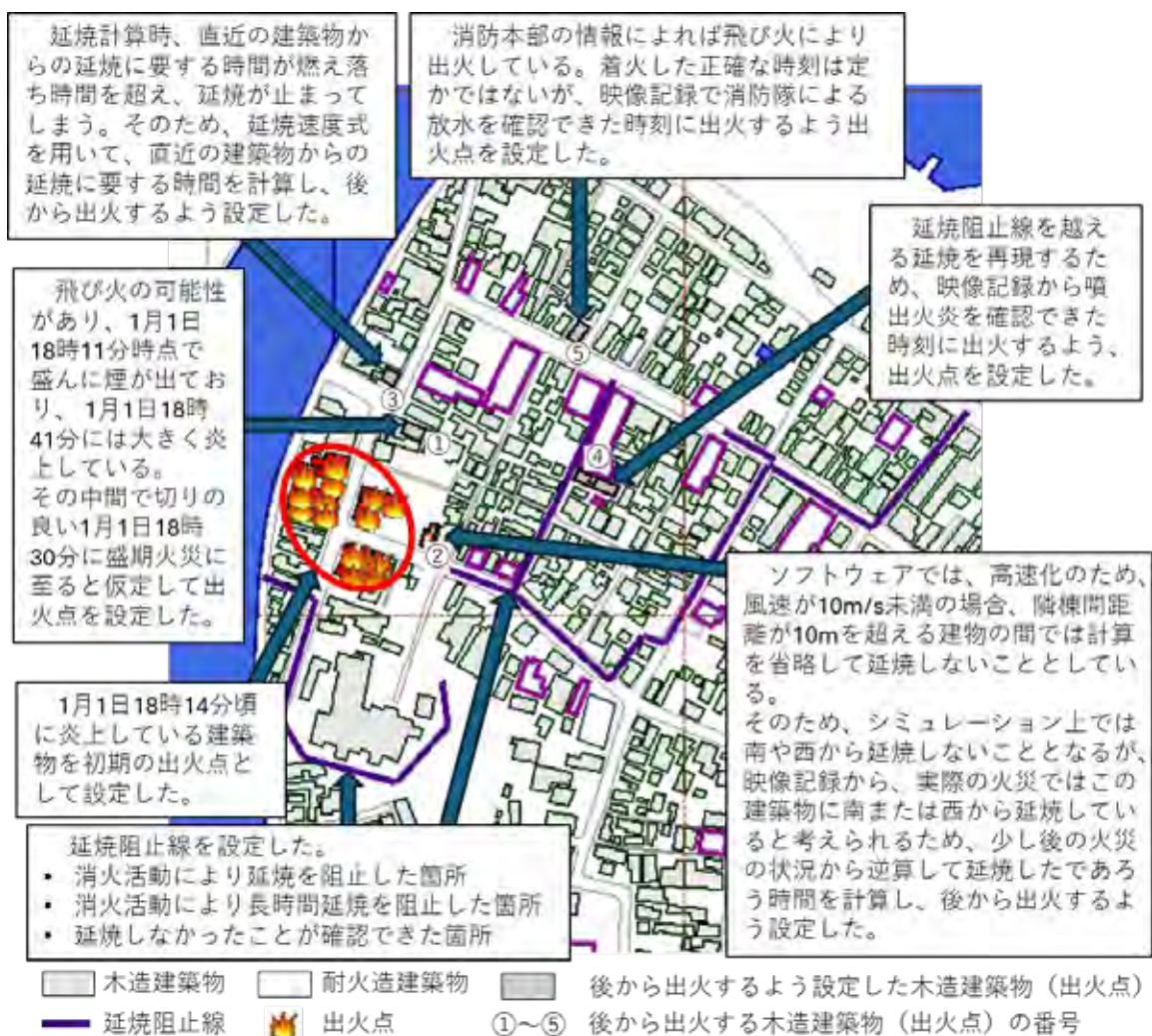


図5 市街地火災延焼シミュレーションの設定条件

近い時間帯での延焼状況を示す。

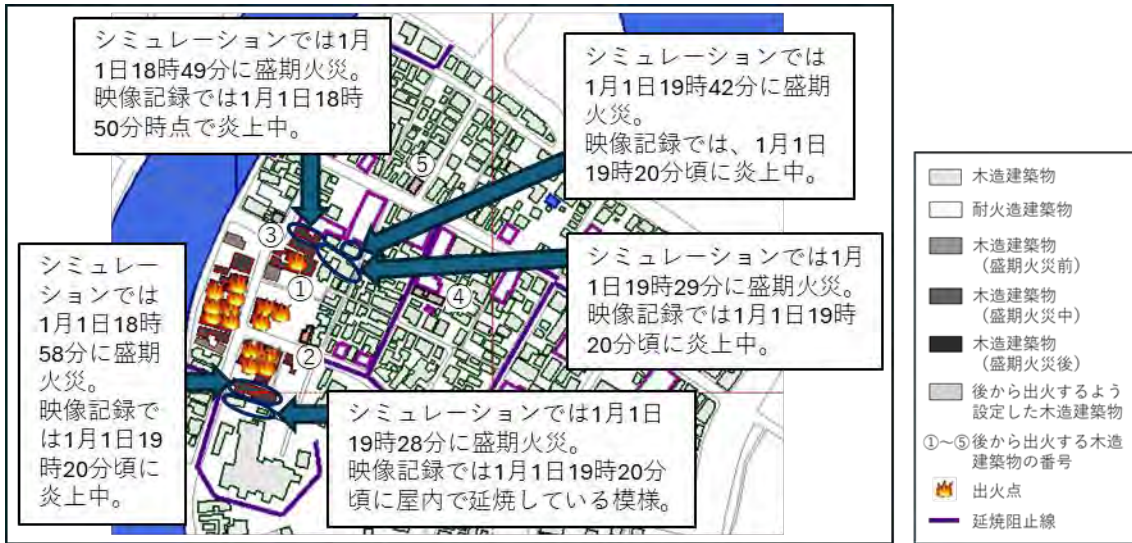
実際の延焼状況とシミュレーション結果を比較すると概ね30分程度の差にとどまっております、映像記録に近い状況を再現することができたが、延焼範囲南東側の区画や朝市通りと2棟の鉄筋コンクリート造の建築物で囲まれた区画（図6(f)中の四角で囲んだ区画）などで実際と大きく異なる結果となった。

まず、焼失範囲の南東側の区画では、区画の北側や南側でシミュレーションの結果が実際の延焼に比べて遅くなった。区画の北側では図6(c)中の左上の枠内に記したように、シミュレーション結果のほうが30分以上遅くなって延焼している。この枠から伸ばした矢印で示した建築物の西隣の鉄骨造の建築物において、西側の壁が剥がれ落ちて20:57の時点で内部に延焼するとともに、東側の壁も剥がれ落ちて、この鉄骨造の建築物の東側に隣接する建築物と思われる板張りの外壁が見えている映像記録が残されていることから、この鉄骨造建築物の内部を通過して延焼したことで、円内の建築物まで延焼する時間が短くなった可能性が考えられる。また、この区画の南側では、図6(c)の右下の枠内や図6(d)の左下の枠内に示すように大きな遅延がみられる。シミュレーションでは焼失範囲の中央部を北北東から南南西に貫く街路で行われた延焼阻止活動を再現するために延焼阻止線を設定しており、この延焼阻止線の東側に延焼阻止活動終了後の延焼を再現するための出火点④（図5）を設定しているため、この出火点からの延焼が南へ進むという結果になる。映像記録から判明している延焼箇所は出火点④のみであるが、試みの一つとして延焼阻止線を設定した街路に沿って出火点④の南側3棟に出火点④と同時刻に出火するよう設定を施してシミュレーションを行うと、図6(c)の右下の枠から矢印を伸ばした建築物が盛期火災になる時間は1月1日22時24分、図6(d)の左下の枠から矢印を伸ばした建築物が盛期火災になる時間は1月1日23時25分に早まり、

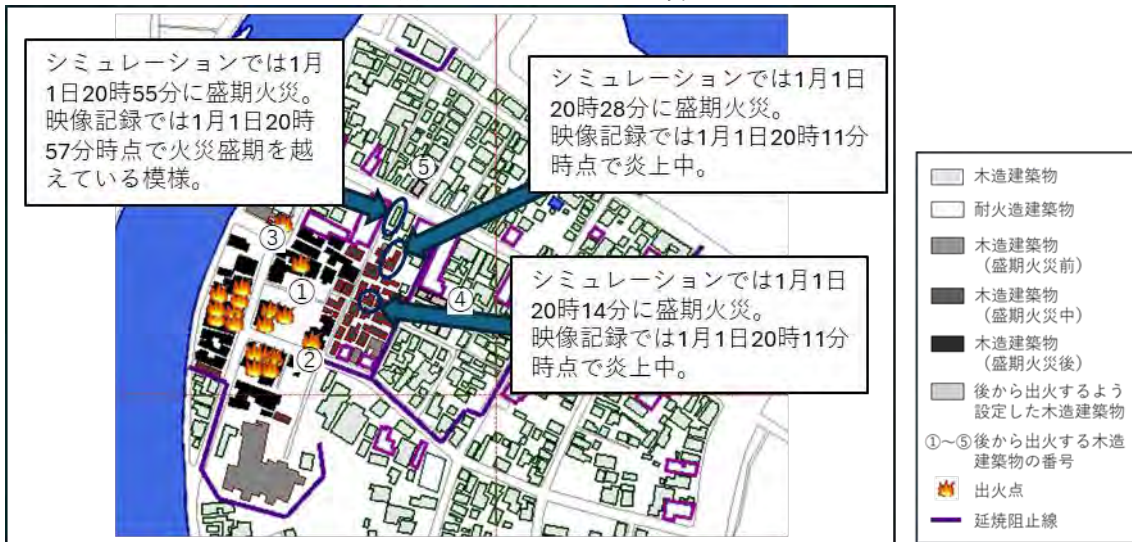
かなり実際の延焼状況に近づく。このことから、実際の火災では出火点④より南の街路沿いでも西側から東側へ延焼し、シミュレーションよりも早く街区南側への延焼が進んだ可能性があると考えられる。

また、朝市通りと2つの鉄筋コンクリート造の建築物で囲まれた区画（図6(f)中の四角で囲んだ区画）では、シミュレーションでは1月2日1時34分に北西側から延焼する結果となっているのに対して、映像記録では1月1日21時20分すぎの映像でこの区画には延焼していないことが確認できている一方、1月2日1時9分すぎの映像では区画全体が火災盛期を越えているように見える。この間、この区画に火災がどのように延焼したのかは本稿執筆時点で不明だが、区画南西側の道路沿いにある建築物2棟のうち南側1棟の1階が北側に座屈して瓦が崩れたり板が露出したりしている写真が残っていることから、これらの部分に火の粉が溜まって着火した可能性や、隣接する耐火建築物の内部に火災が延焼するとともに窓等の脱落も発生しており、耐火造建築物の換気口や窓からの噴出火炎により延焼した可能性など、いくつかの可能性が考えられる。

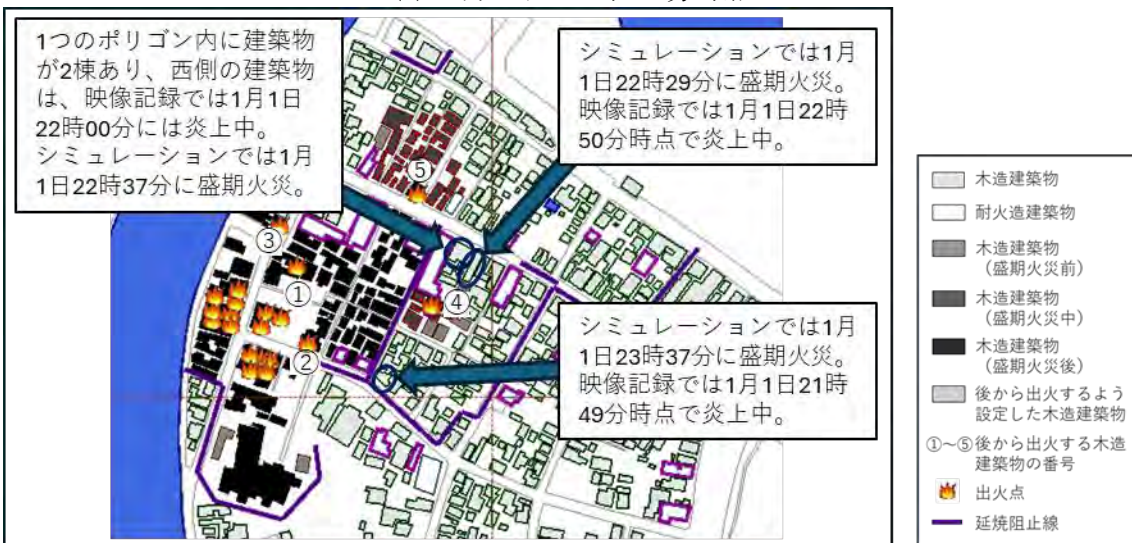
さらに、シミュレーションでは東側の建築物から延焼するものと仮定して出火点③（図2）を設定したが、この付近でもシミュレーションの結果と実際の火災の状況が異なっている。シミュレーションでは直近の建築物からの延焼に要する時間をあらかじめ計算して1月1日19時56分に出火させており、図6(b)の段階で既に西側の建築物へ延焼していることとなっているのに対し、実際の火災では1月1日21時20分すぎの時点では出火点③の建築物の北に隣接する耐火建築物の南側に炎は見えないものの、1月2日1時9分すぎの映像では火災盛期を越えており、この間の延焼状況は本稿執筆時点で把握できていない。なお、出火点③の建築物の1階軒先や南側にある電柱の看板が高熱にさらされていないように見える状況を考慮



(a) 1月1日19時00分時点

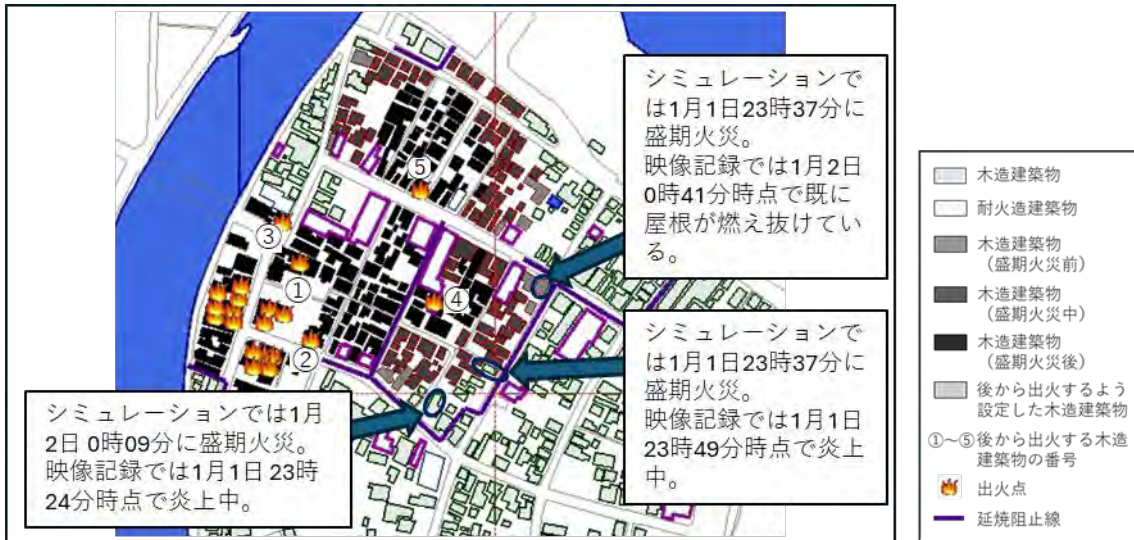


(b) 1月1日20時30分時点



(c) 1月1日22時00分時点

図6 シミュレーション結果と実際の延焼状況の比較



(d) 1月1日23時30分時点



(e) 1月2日1時00分時点



(f) 1月2日2時30分時点

図6 シミュレーション結果と実際の延焼状況の比較



(g) 1月2日4時00分時点

図6 シミュレーション結果と実際の延焼状況の比較

すると、出火点③の建築物の延焼は東側や南側からの延焼によるものではない可能性がある。また、1月2日1時9分すぎの映像では出火点③の建築物の北に隣接する耐火建築物の北側よりも南側のほうが早期に炎上したように見えることから、この耐火建築物の北側の火災が耐火建築物内部を延焼して南側まで至ったのではない可能性がある。これらの事を考え合わせると、出火点③を設定した建築物やその西側の建築物への延焼は飛び火によるものだった可能性も考えられる。

## 6. 放任火災だった場合のシミュレーション結果

試みとして、消防活動が行われていなかった場合について計算を行った結果を図7に示す。気象条件は南南西の風3m/s、燃え落ち時間は60分とした。図中の矢印は、1時間に延焼するおおよその方向と距離を示している。焼損棟数584棟、焼損した建築物の建築面積の合計約39,647㎡、国道249号線より北、錦川通りの西にある街区の木造建築物がほぼ全て焼失するという結果が得られた。この場合の焼損範囲は約11万㎡となり、実際の火

災の焼損範囲の2倍以上となった。また、最後に延焼した建築物が火災盛期を越えるまでの時間は約20時間だった。

## 7. おわりに

令和6年能登半島地震による輪島市河井町で発生した火災について、Googleストリートビューに基づいて延焼範囲における建築物の外壁について調査を行うとともに、ヒアリング調査や写真記録等に基づいて設定条件を検討して市街地火災延焼シミュレーションを行い、火災の検証を試みた。

出火点及び延焼阻止線を設定するとともに、木造建築物の延焼速度式として裸木造の延焼速度式を用いて計算した結果、映像記録に近い状況を再現することができた。

また、放任火災だった場合についてシミュレーションを実施したところ、消防活動が行われていなかった場合には焼損範囲が実際の火災の2倍以上になっていた可能性があることが判った。

今後の課題としては、建築物が倒壊した場合の影響に関する検討などが考えられる。



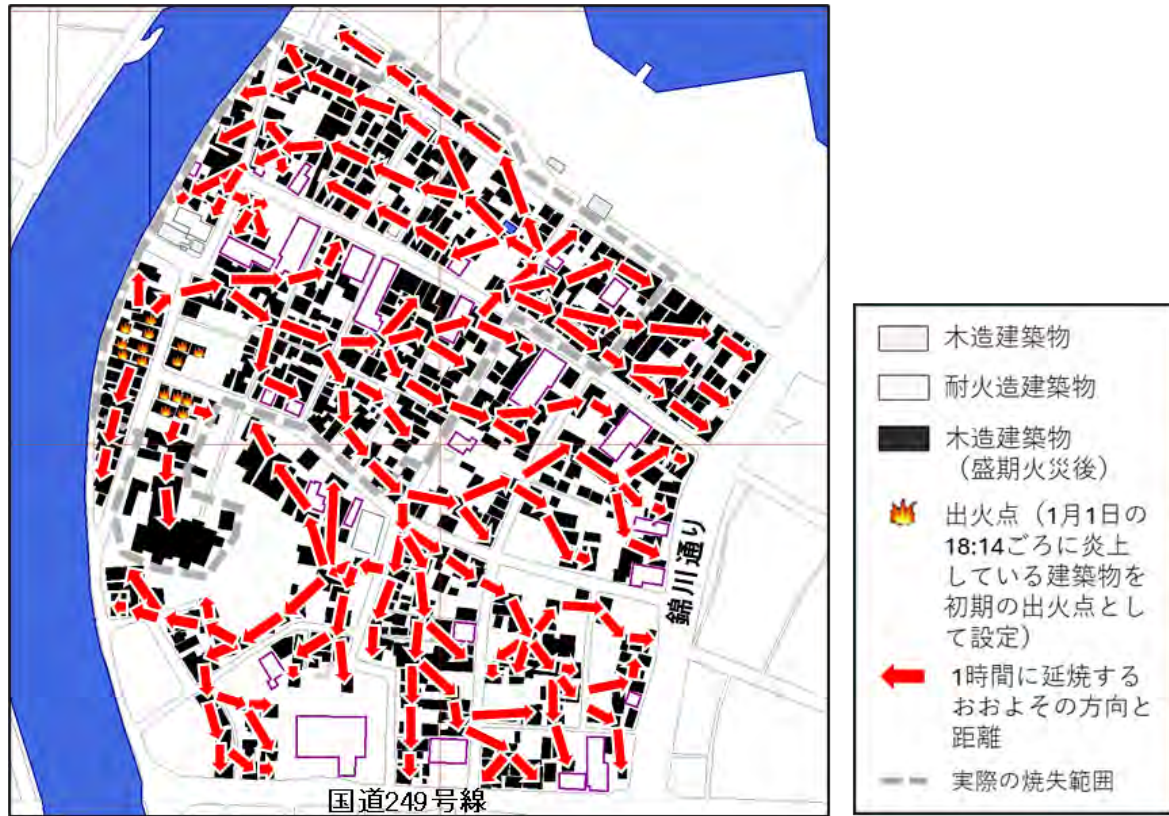


図7 放任火災だった場合の計算結果

#### 謝辞

奥能登広域圏事務組合消防本部輪島消防署には被災後の大変な時期にもかかわらず現地調査およびヒアリング調査にご協力いただいた。心から感謝申し上げます。

#### 【参考文献】

- 1) 総務省消防庁消防研究センター：令和6年能登半島地震において発生した輪島市大規模火災における消防庁長官の火災原因調査<速報>，[https://nrifd.fdma.go.jp/research/saigai\\_chousa-shien/notohantou\\_jishin/files/20240215\\_1.pdf](https://nrifd.fdma.go.jp/research/saigai_chousa-shien/notohantou_jishin/files/20240215_1.pdf) (2024年3月31日アクセス)
- 2) 東京消防庁：地震時の延焼シミュレーションシステムに関する調査研究，1989.
- 3) 日本火災学会：火災便覧（第4版）、p.526,2018