

## 1.2 アクティビティの評価手法

本節においては、1.2.1 でマクロ・ミクロ共通の評価すべき項目を示し、1.2.2 でマクロ評価方法を示す。1.2.3 以下は検討の詳細及び経緯である。なお、閉塞モデルなどの詳細はミクロの2.2節に示している。

### 1.2.1 アクティビティ評価の体系

#### (1)アクティビティ評価の目的

アクティビティ評価は、震災時に「幹線道路が機能しているという前提のもと、地区レベルで必要とされる活動の可能性が確保されること」を目的に、その程度を評価し、実施可能な改善策の提案を支援することにある。

改善策としては、幹線道路、二次避難場所、病院、消防署の強化等の広域的な施策も考えられるが、基本的にこれらは広域的なレベルでの整備検討内容と考え、この評価では地区レベルの施設整備について検討するものとする。具体的な改善策として意識されるものは、

- ①骨格的な施設整備として、地区の骨格的な道路の整備、避難場所、消防水利の整備など、
- ②街区レベルの整備改善として、路地の通り抜け化、区画道路・路地の拡幅、ポケットパークの整備、建築物の更新・セットバックなどであり、

これらは一体的な街区の計画のもとに改善されるものと想定する。なお、広域的な施設整備が併せて必要とされるような都市又は地区にあつては、これら広域的施設整備が別途検討し計画され、実施されることを前提として評価する。

#### (2)アクティビティ評価の構成

アクティビティ評価は、①行動可能性の評価を基本として行う。これに加え、その前提となる②行動の必要性の評価も行うが、これは可能性の評価の重要性が必要性に依存するためである（必要性のない行動についての行動可能性が確保される必要はない）。

このうち、①の行動可能性については、改善策の提案も目的とするが、②の必要性については、改善策の提案は目的としない。これは、検討の前提である。なお、行動必要性のうち、最も重要と考えられる延焼については別途検討がされており、その他の行動必要性は評価主体単位（家屋・住民など）の状態で決定されるものであり、一般論として「まちづくり」の観点によって改善できるものは少なく、個人レベルの問題である場合が多い。

また、地区レベルの検討であるので、幹線道路に囲まれた地区を対象に詳細な評価を行うことを基本とする（ミクロ評価）。しかしながら、地区レベルの検討開始の必要性を判断するという要請もあるので、対策検討必要地区抽出のための評価（マクロ評価）についても対象とした。双方の評価手法の関係についての基本的な考え方は、以下の通りとした。

- ①ミクロ評価は詳細な評価を目的とするものであり、そのためには詳細なデータを用いて評価することとする。評価単位は地区内の各点に対応するという観点から、建築物を基本とする。また、施策の実施が地域住民と密接であるため、その計画作りは住民参加型で行われることを前提に考え、既存のデータベース上に存在しなくても、住民の協力があれば取得できるデータも対象となりうると考える。
- ②マクロ評価は、この前段となるものであり、既存のデータなどを用いた概略の評価を目的とする。このため評価単位は地区である。また、マクロ評価の主目的はミクロ評価の必要な地区の抽出であり、評価主体（自治体など）が取得できるデータのみで評価できることを前提とする。

③マイクロ評価とマクロ評価の評価項目、評価手法は両評価の整合性確保の観点から、可能な限り、同様な方法を用いるものとする。

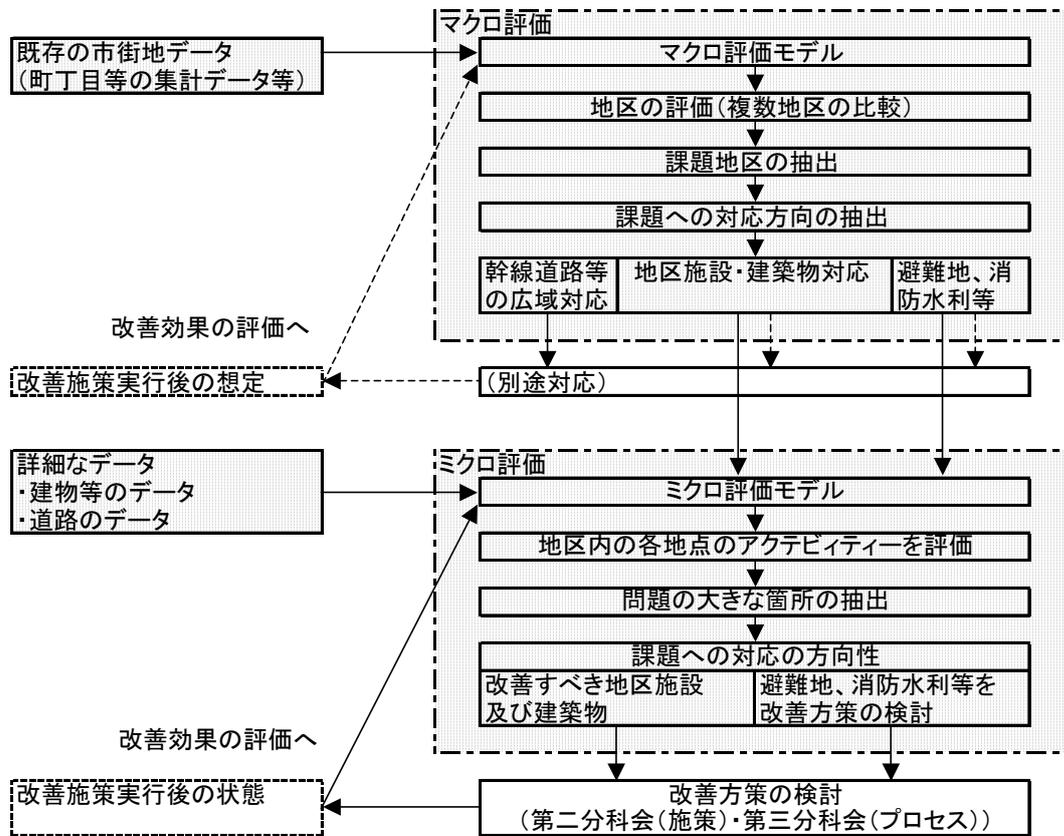


図 1.2.1 地区施設評価の体系

表 1.2.1 マクロ評価とマイクロ評価

	マクロレベル防災性評価手法	マイクロレベル防災性評価手法
評価範囲	自治体（市域等）全域	マクロレベルから抽出された地区（幹線道路で囲まれた1～数町丁目）
評価目的	市域等内での地区施設要整備地区の抽出（危険地区の抽出）	地区内での地区施設の要整備箇所抽出、及びその整備課題、整備効果の検討
評価単位	1～数町丁目程度の広さの地区	地区内道路に接している建物および建物前面街路
データ単位	町丁目	個別建物、地区内道路の交差点間部分（リンク）
評価値算定方法	入手容易な地区内の集計データを使用 簡易なグリッドモデル等	個別のリンク、建物データを使用 シミュレーション等

(2)評価の体系（評価の場面設定）

評価を行う場面は、震災直後の被害が最も大きい状況での重要な行動とする。これは、震災後の復旧・復興活動が開始される段階となれば、以下のような点が考えられるからである。

- ・地区の状況が好転すると考えられること
- ・この段階の行動は日常行動的な要素も含まれ必ずしも緊急行動のみではないこと
- ・以下に示す行動可能性の評価を行えばこの時点での行動の評価もほぼ同様であること

(a)避難行動

避難活動は住民が自らの生命を守るために行う重要な活動である。避難活動については、

- ・ 大地震後の余震、時間経過による建物倒壊の恐れから避難、(二次被害からの避難)
- ・ 倒壊した建物から一時的に生活を行なう場所への避難(罹災避難)
- ・ 震後火災からの避難(延焼避難)

の3つの場面が考えられる。

なお、避難可能場所については以下のように用語を整理している。

避難場所：災害から逃れて、一定の時間居られる場所

避難地：災害から逃れて、生活可能な場所(1次、2次などの避難地が該当)

#### ①二次被害からの避難(地震直後の避難)

##### i)行動の想定

避難を行う者は、倒壊建築物の住民(住む場所を失った人々)のみではなく、余震被害等を恐れる全ての建物の人々が対象である。移動先は地震から安全と考えられる広い場所であり、具体的には避難地(一次避難地又は近隣の二次避難地)又は(交通が流れない状態の)幹線道路である。その後、被害のない建築物の人々は自宅に戻り、自宅での生活が困難となった人々等は行政サービス等を受けやすく情報の集まる避難地へ移動する。

##### ii)行動必要性の評価の考え方

「各建物から避難場所(避難地又は幹線道路)への行動必要性(二次被害からの避難の必要性)」

行動を行う可能性のある対象は、地区内の全ての人々と想定する。従って必要性は全てにあるので、行動必要性の評価は不要である。

##### iii)行動可能性の評価の考え方

「建物から避難場所(避難地又は幹線道路)への到達困難性(二次被害からの避難の困難性)」

移動主体：人間

移動経路：経路情報のないまま(以下、閉塞についての情報を含んだネットワーク情報を経路情報と呼ぶ)、閉塞による迂回を強いられつつ移動

#### ②罹災避難(避難地への移動)

##### i)行動の想定

二次被害からの避難を行う者のうち、倒壊建築物の住民(住む場所を失い、自宅での生活が困難となった人々)は、行政サービス等を受けやすく情報の集まる避難地へ移動する。(二次被害からの避難で避難地に避難した人々はその場に留まり、幹線道路に避難した人々は避難地に移動する。)

なお、この場合の避難地は、生活資材の自宅からの搬入、倒壊した自宅の保全、地域コミュニティ等の観点から、自宅から最寄の避難地であり、避難地と自宅との往復移動が前提となる。

##### ii)行動必要性の評価の考え方

「幹線道路から避難場所への行動必要性(罹災避難の必要性)」

行動を行う対象は、家屋が全壊し居住できなくなった人々と想定する。なお、既に避難地に到達している人々は対象としない。

##### iii)行動可能性の評価の考え方

「幹線道路から避難場所への到達困難性(罹災避難の困難性)」

移動主体：人間

移動経路：経路情報があり、閉塞状況を認識した上での最良の経路で移動

#### ③震後火災からの避難(延焼避難)

##### i)行動の想定

地震後に火災が発生し、延焼の恐れのある家屋の人々が、まず、火の及ばないところに移動することが基本である。延焼が進むと幹線道路（延焼阻止の消火活動の中心となるとともに、避難の安全性が確保されるという観点）に進み、さらには二次避難地（延焼に対し安全な避難地）に移動する。火災鎮火後には自宅に戻る又は二次避難地（焼け出された人々など）へ移動する。（地区外の二次避難地へは幹線道路を介して到達すると想定している。以下、広域施設への、又は広域施設からの移動に関しては同様に幹線道路を介して行うと想定する。）

ii)行動必要性の評価の考え方

「火災延焼範囲外への避難の必要性」

行動を行う可能性のある対象は、延焼が起こる区域の人々（＝家屋）と想定する。なお、この中には区域内の一次避難地を含む。これについては、2 の消火で扱うので同様の評価を行うとして、この場面では取り上げない。

iii)行動可能性の評価の考え方

「延焼の恐れのある区域の各地点から、その区域外への到達困難性(火災延焼範囲外への避難の困難性)」

移動主体：人間

移動経路：地震後の火災は比較的直ぐに起こると想定し、経路情報のないまま、閉塞による迂回を強いられつつ移動（但し、火災の起こっている区域は認識できるので、火災による閉塞情報（火災現場付近は通行不能）は取得されているものとする。）

なお、マクロシミュレーションでは延焼の経過想定ができないため対象とせず、地震直後の避難をもって代用して評価する。また、ミクロ評価での延焼の恐れのある区域の設定は延焼シミュレーションの時間経過を持って設定し、延焼区域の拡大に応じ、延焼の恐れのある区域、その区域外も変化するものとして、時間間隔ごとに順次行う。

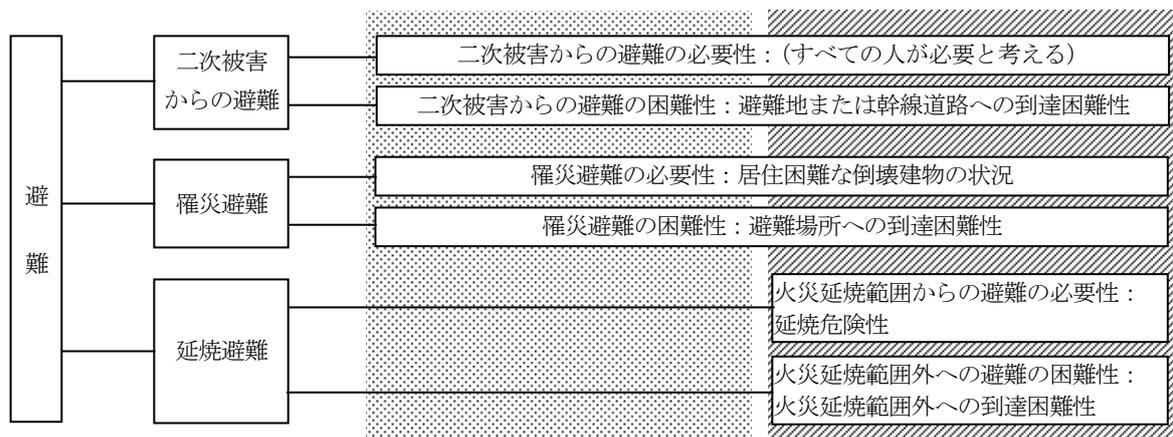


図 1.2.2 避難における評価の視点

(b)消火活動

消火活動は消防隊、消防団など（以下「消防」）が住民の生命・財産を守るために行う重要な活動である。消火活動については以下の2つの場面を想定する。

- ①火災が発生した時点での消火活動（消火活動）
- ②発生した火災を消火できずに大規模な火災となった状態での消火活動（延焼阻止活動）
- ①消火活動（発火時の消火活動）

### i)行動の想定

地震による建物の倒壊等に伴い火災が発生する。この時点で水道施設も罹災し断水状態になっており、消火栓は使えず耐震貯水槽等の消防水利のみ活用可能と想定する。

消防が通報等を受けて、消防署から（幹線道路を経由して）消防車（ポンプ車等）が消防水利まで到着して取水し、（消防水利から）消防士がホースを延ばし火災地点に到着して放水による消火活動を行う。

### ii)行動必要性の評価の考え方

行動の必要が生じるのは着火した家屋である。従って、建物の着火確率を評価対象とする。

### iii)行動可能性の評価の考え方

幹線道路から、着火の恐れのある建築物への、消防水利を経由しての、ホースの届く範囲での到達の困難性を対象とし、以下の複合によって評価する。

- ・外周道路から消防水利（火災発生地点近傍のもの）

移動主体：消防自動車（ポンプ車）

移動経路：経路情報があり、閉塞状況を認識した上での最良の経路で移動

- ・消防水利から火災発生地点

移動主体：人間（消防士）（消防ホース長による移動限界を設ける）

移動経路：経路情報があり、閉塞状況を認識した上での最良の経路で移動

移動については、実際はホースカーを用いるが、震災による道路閉塞が起こっている状況で、ホースカーが通れない状況でも、最悪、「消防士がホースをもって移動できれば消火活動ができる」という観点から消防士の移動可能性として評価することとしている。なお、この評価に関して、ミクロでは1つものとして計算するが、マクロでは3つの指標に分解して計算する。

## ②延焼阻止活動（延焼時の消火活動）

### i)行動の想定

地震による建物倒壊等に伴って出火し、火災発生現場で消火活動ができない場合（消防水利からホースが届かない場合等）は延焼が広がり、消火活動が可能な場所で延焼阻止および消火活動を行う。

### ii)行動必要性の評価の考え方

行動の必要が生じるのは延焼状態である。従って、建物の着火確率、消火活動の困難性、延焼シミュレーションの結果に基づいて延焼危険性を評価対象とする。

### iii)行動可能性の評価の考え方

これについては消火活動の困難性と同様に評価する。

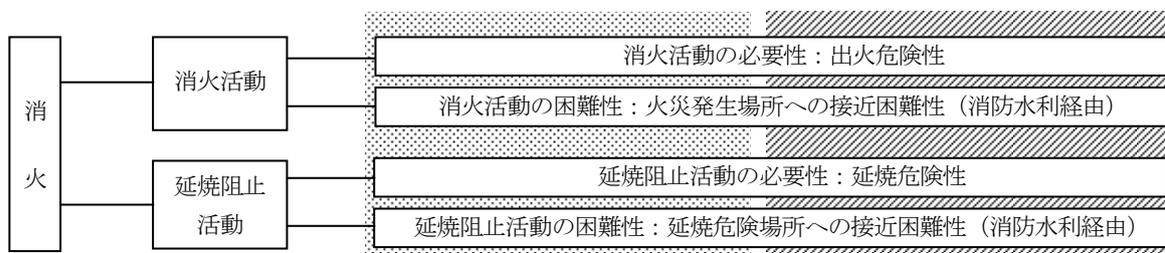


図 1.2.3 消火における評価の視点

## (c)救出活動

救出活動は、倒壊した建築物などの自力で脱出できない罹災者を救出する活動であり、近隣住民、レス

キュー隊などが住民の生命を守るために行う重要な活動である。

#### i)行動の想定

地震による建物倒壊等に伴い、死者、ケガ人、瓦礫の下敷きになる罹災者が発生する。このうち自力で脱出できない者を近隣住民、レスキュー隊などが助け出す。木造建築物については主として近隣住民が、その他の堅牢な建築物については装備を有するレスキュー隊などが救出するものと想定する。

#### ii)行動必要性の評価の考え方

行動が必要となる対象は、a)倒壊した建物である。近隣住民の活動は行動可能性の面では確保されるため（地域コミュニティの強さなどの点が重要であるが本評価の対象とはしない）、特にレスキュー隊などの助けが必要となる b)堅牢建築物のうちの倒壊した建物が重要である。a)については各建物の倒壊確率、b)このうちの堅牢建築物の倒壊確率に基づいて行動必要性を評価する。なお、a)についてもレスキュー隊などの助けが必要となる状況が存在する。

#### iii)行動可能性の評価の考え方

行動可能性の評価は幹線道路から罹災した建築物への到達困難性とし、装備を有するレスキュー隊などの行動確保の観点から、以下の場面について行う。

移動主体：レスキュー隊などの装備をつんだ車（大型車）

移動経路：経路情報があり、閉塞状況を認識した上での最良の経路で移動

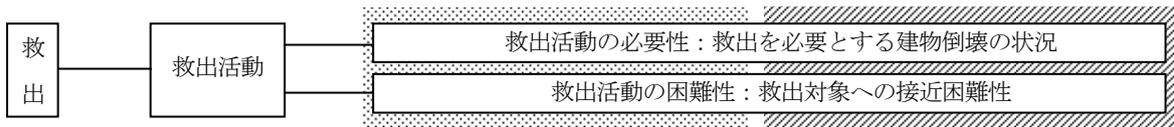


図 1.2.4 救出における評価の視点

#### (d)救護活動

救護活動は、罹災した建築物などで発生するケガ人への対応活動であり、家族、近隣住民、救急隊などが住民の生命を守るために行う重要な活動であり、以下の3つの場面を想定する。

①重傷者を救急車等で病院に移送する活動（重傷者移送）

②軽傷者が自力等で地区内の救護所に移動する活動（軽傷者対応）

③地区内の救護所が活動する上での補給等の兵站活動（救護所における活動）

##### ①重傷者移送

#### i)行動の想定

地震による建物の倒壊等に伴い死者、ケガ人、瓦礫の下敷きになる罹災者が発生する。

重傷者は、救急車又は（この時点では救急車は不足するため、）家族、近隣の住民などの自家用車、タクシー等で、（幹線道路を経由して）病院に搬送される。なお、建物から近距離については担架による移動がなされる。（車が建物まで乗りつける必要は必ずしもない。）

#### ii)行動必要性の評価の考え方

行動が必要となる対象は重傷者であり、建物の倒壊等によるものである。このため、建物の倒壊状況に基づいて重傷者移送の必要性を評価する。

#### iii)行動可能性の評価の考え方

重傷者移送の困難性（各建物から幹線道路（病院）への到達困難性）を評価する。

移動主体：小型車（けが人搬送）、建物近傍については「担架等」

移動経路：経路情報があり、閉塞状況を認識した上での最良の経路で移動

## ②軽傷者対応

### i)行動の想定

地震による建物の倒壊等に伴い死者、ケガ人、瓦礫の下敷きになる罹災者が発生する。

ケガ人のうち、軽傷者は歩いて、肩に寄りかかって、オンブされて、もしくは担架等で、地区内に設定される救護所に移動し手当てを受ける。

### ii)行動必要性の評価の考え方

行動が必要となる対象は軽傷者であり、建物の倒壊等によるものである。このため、建物の倒壊状況に基づいて軽傷者対応の必要性を評価する。

### iii)行動可能性の評価の考え方

軽傷者対応の困難性（各建物から救護所への到達困難性）を評価する。

移動主体：けが人（軽傷者）

移動経路：経路情報があり、閉塞状況を認識した上での最良の経路で移動

## ③救護所における活動

### i)行動の想定

地震による建物の倒壊等に伴いケガ人が発生し、地区内に救護所が設置され、ケガ人が救護所に到着する。（救護所の設営に関しては人員の確保等の課題もあるが評価対象とはしない）救護所では行政機関（災害対策本部の兵站部門）、NPO、病院等から（幹線道路を經由して）の物資の搬入が必要とされ、また、救護所に対応できない重傷者は救急車等によって（幹線道路を經由して）病院に移送する。

### ii)行動必要性の評価の考え方

行動が必要となる対象は軽傷者等のケガ人の発生であり、建物の倒壊等によるものである。このため、建物の倒壊状況に基づいて救護所における救護活動の必要性を評価する。

### iii)行動可能性の評価の考え方

救護所における救護活動の困難性（幹線道路から救護所への到達困難性）を評価する。

移動主体：小型車（物資搬入、重傷者移送）

移動経路：経路情報があり、閉塞状況を認識した上での最良の経路で移動

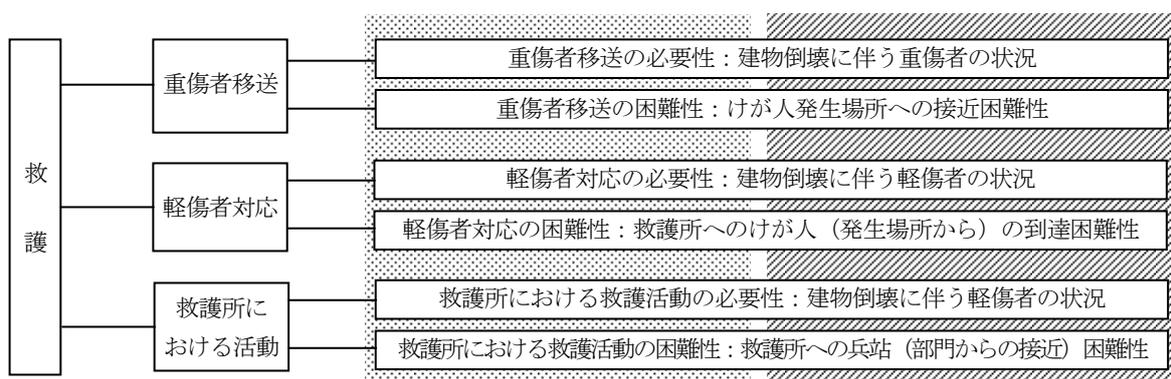


図 1.2.5 救護における評価の視点

## (4)評価の視点の整理

マクロレベル、ミクロレベルの評価方法について、以上のようにアクティビティー別の評価方法の枠組みを整理し、図 1.2.6 のように防災性評価方法設定した。なお、救出と救護は必要性の評価が重複するため、1つのアクティビティーにまとめた。

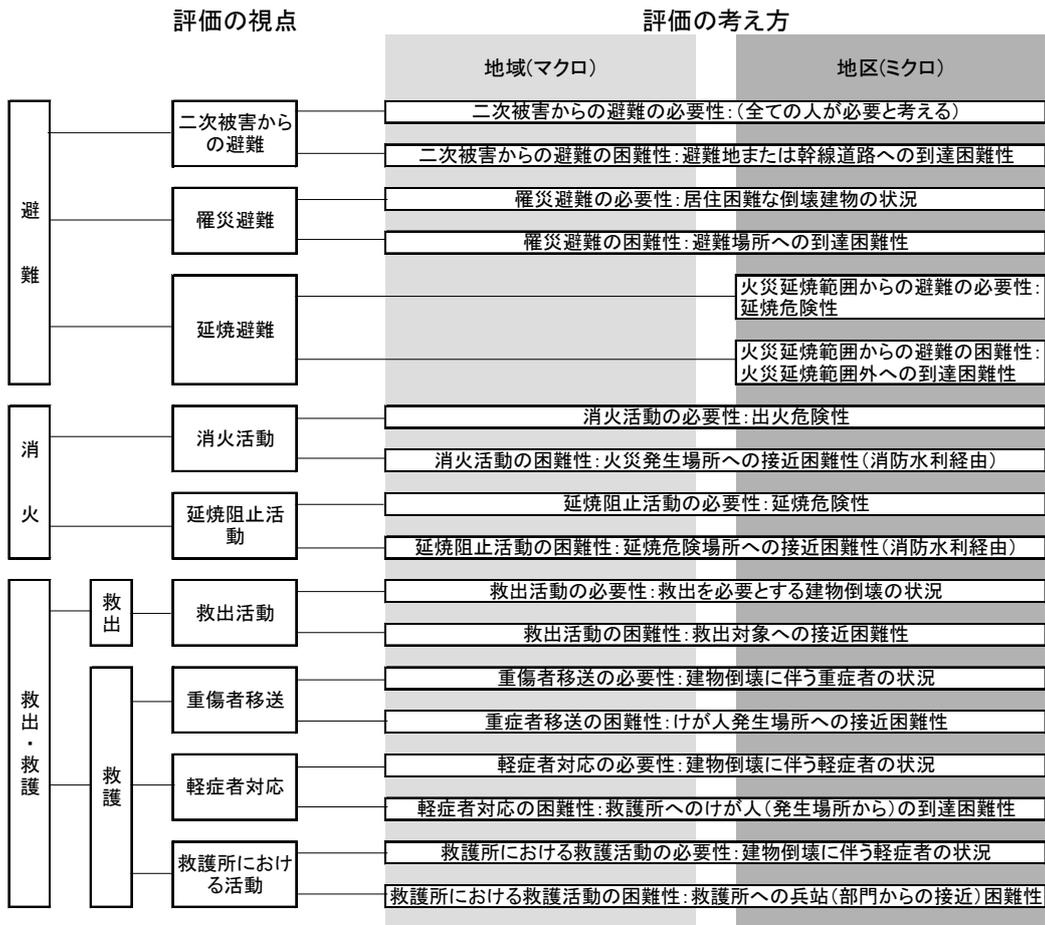


図 1.2.6 評価の視点

(a)地域(マクロ)評価の概要

地域(マクロ)評価におけるデータ、評価結果等の概要は図 1.2.7、評価要素は表 1.2.2 の通りである。

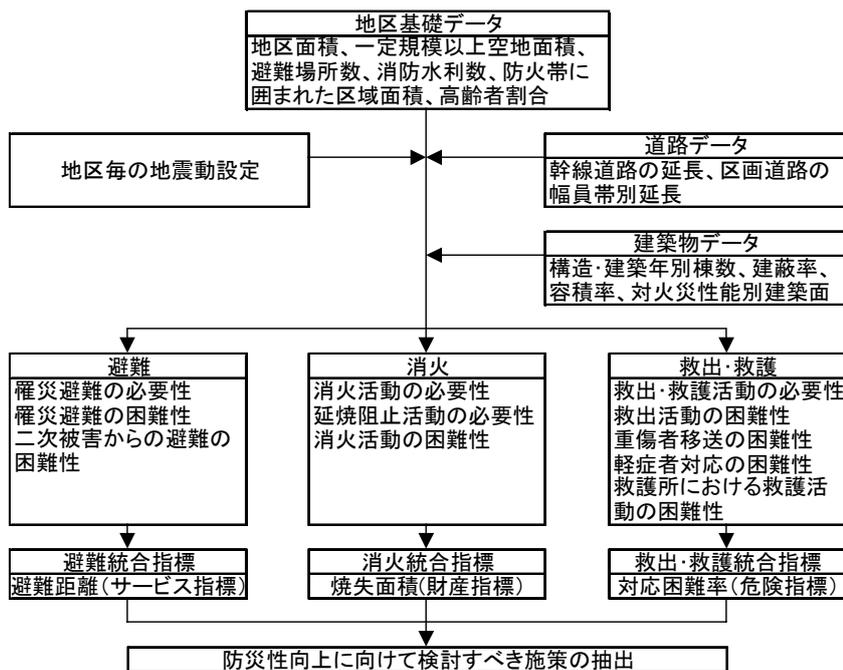


図 1.2.7 マクロ評価の概要

表 1.2.2 マクロレベル評価の各アクティビティ別評価方針及び評価方法等整理表

	行動の場面設定	評価の視点	評価の考え方 (マクロ/ミクロ 共通)	グラフ表示 要素指標	指標の内容・意味	行動 主体	備考		
避難	(1)二次被害を避けるため、(各家から)全ての人が一時的な避難場所(地区内の避難地または幹線道路)に移動し、様子を見る。	二次被害からの避難の必要性	(全ての人が必要と考える)	なし	なし	健全者			
		二次被害からの避難の困難性	避難地または(幹線道路)への到達困難性	避難地到達(距離) 避難地到達(困難率) 幹線道路到達(距離) 幹線道路到達(困難率)	避難者の避難地への到達困難性(距離) 避難者の避難地への到達困難性(非最短到達率) 避難者の幹線道路への到達困難性(距離) 避難者の幹線道路への到達困難性(非最短到達率)	健全者			
		罹災避難	罹災避難の必要性 罹災避難の困難性	居住困難な倒壊建物の状況 避難場所への到達困難性	建物罹災(密度) 避難地到達(距離) 避難地到達(困難率)	罹災証明による居住困難となった倒壊建物の状況(倒壊密度) 罹災者の避難地までの到達困難性(距離) 罹災者の避難地までの到達困難性(非最短到達率)	健全者	二次被害からの避難と同一要素指標	
消火	(2)火災が発生し、延焼範囲が拡大していく。延焼範囲の近くの人が、延焼範囲を通過しない経路で幹線道路へと避難する。	延焼避難	火災延焼範囲からの避難の必要性 火災延焼範囲外への避難の困難性	延焼危険性 なし	ミクロで評価 ミクロで評価	—			
		消火活動	消火活動の必要性 消火活動の困難性	出火危険性 出火(密度) 火災発生場所への接近困難性(消防水利経由) ホース到着(困難率)	出火(密度) 消防水利圏外(率) 消防車取水(困難率) 消防自動車への到達困難性(非最短到達率) 消防士の火災地点への到達困難性(非最短到達率)	— — — — —	— — — — —		
救出・救護	(1)建物全壊し、中でも堅牢な建物が全壊すると機材を用いた救出活動が必要となり、消防本部等から(幹線道路を経由して)レスキュー用の機材を積んだ大型車が、救出活動が必要となった地点まで到着し救出活動を行う。	救出活動	救出活動の必要性 救出活動の困難性	救出を必要とする建物倒壊の状況 堅牢建物全壊(密度) 救出対象への接近困難性	全壊(密度) 堅牢建物全壊(密度) 救出車到着(困難率)	全壊する建物の密度 — レスキュー車の全壊建物への到達困難性(非最短到達率)	— — —	— — —	
		重傷者移送	重傷者移送の必要性 重傷者移送の困難性	建物倒壊に伴う重傷者の状況 けが人発生場所への接近困難性	全壊(密度) 救急車到着(困難率)	全壊する建物の密度 救急車等の救出対象への到達困難性(非最短到達率)	— —	— —	救出活動と同一要素指標
救出・救護	(2)建物が全壊して負傷者が発生し、(各家から)軽傷者が自力で救護所まで移動し救護を受ける。	軽傷者対応	軽傷者対応の必要性 軽傷者対応の困難性	建物倒壊に伴う軽傷者の状況 救護所へのけが人(発生場所からの)到達困難性	全壊(密度) 救護所到達(困難率)	全壊する建物の密度 負傷者の救護所への到達困難性(非最短到達率)	— —	— —	救出活動と同一要素指標
		救護所における活動	救護所における活動の必要性 救護所における救護活動の困難性	建物倒壊に伴う軽傷者の状況 救護所への兵站(部門からの)接近困難性	全壊(密度) 救護所兵站(困難率)	全壊する建物の密度 小型車の救護所への到達困難性(非最短到達率)	— —	— —	救出活動と同一要素指標

(b)地区(ミクロ)評価の概要

地区(ミクロ)評価におけるデータ、評価結果等の概要は図 1.2.8、評価要素は表 1.2.3 の通りである。なお、ミクロ評価については第 2 章の 2 節において詳しく記述する。

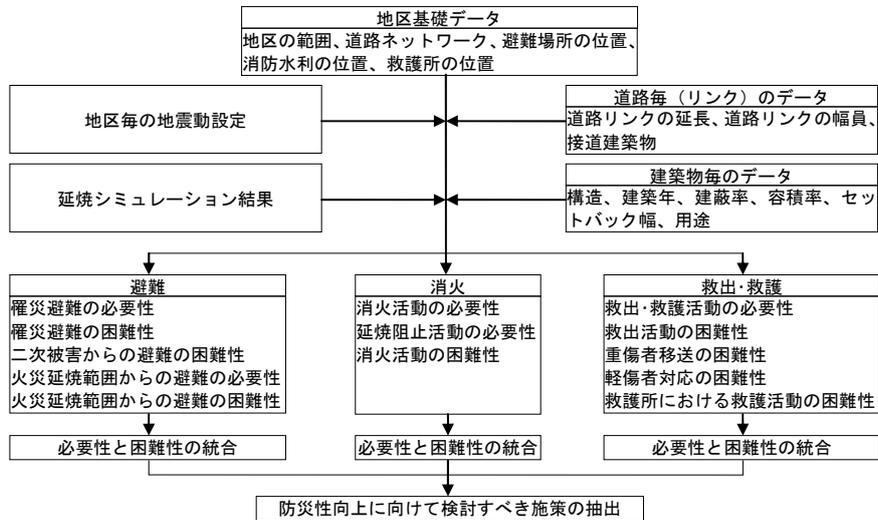


図 1.2.8 ミクロ評価の概要

表 1.2.3 ミクロレベル評価の各アクティビティ別評価方針及び評価方法等整理表

	行動の場面設定	評価の視点	評価の考え方 (マクロミクロ共通)	グラフ表示 要素指標	指標の内容・意味	行動 主体	備考
避難	(1)二次被害を避けるため、(各家から)全ての人が一時的な避難場所(地区内の避難地または幹線道路)に避難し、様子を見る。	二次被害からの避難の必要性	(全ての人が必要と考える)	なし	なし	—	—
	(2) (1)のうち、建物が倒壊し家で生活することが出来なくなった人が避難地へと移動する。	二次被害からの避難の困難性	避難地または幹線道路への到達困難性	一時避難(距離分布と非到達率)	避難者の避難地又は幹線道路への到達困難性(距離分布と非到達率)	健全者	—
	(3)火災が発生し、延焼範囲が拡大していく。延焼範囲の近くの人、延焼範囲を通過しない経路で幹線道路へと避難する。	罹災避難の必要性 罹災避難の困難性	居住困難な倒壊建物の状況 避難場所への到達困難性	建物罹災(棟別確率)	建物罹災(棟別確率)	各建物が倒壊等によって居住困難となる可能性(棟別全壊確率)	健全者
消火	(1)出火した場合、消火活動のために消防署から(幹線道路を経由して)消防車が消防水利まで到着して取水し、(消防水利から)消防士がホースを延ばし火災地点に到着して放水する。	消火活動の必要性	出火危険性	出火(棟別確率)	各建物の出火確率(出火危険性算定手法による)	—	—
	(2)消火できず放任火災となった場合に延焼し、延焼防止のために消防署から(幹線道路を経由して)消防車が消防水利まで到着して取水し、(消防水利から)消防士がホースを延ばし火災地点に到着して放水する。	延焼阻止活動の必要性	延焼危険性	延焼(棟別確率)	各建物に類焼が及ぶ確率	—	延焼避難と同一評価指標
	(3)建物全壊し、中でも堅牢な建物が全壊すると機材を用いた救出活動が必要となり、消防本部から(幹線道路を経由して)レスキュー用の機材を積んだ大型車が、救出活動が必要となった地点まで到着し救出活動を行う。	救出活動の必要性	建物倒壊に伴う重傷者の状況	全壊(棟別確率)	棟別の全壊確率(および構造)	—	—
救出・救護	(1)建物全壊し、中でも堅牢な建物が全壊すると機材を用いた救出活動が必要となり、消防本部から(幹線道路を経由して)レスキュー用の機材を積んだ大型車が、救出活動が必要となった地点まで到着し救出活動を行う。	救出活動の困難性	救出対象への接近困難性	救出車到着距離分布と非到達率	レスキュー車の全壊建物への到達困難性(距離分布と非到達率)	大型車	—
	(2)建物全壊し、中でも堅牢な建物が全壊すると機材を用いた救出活動が必要となり、消防本部から(幹線道路を経由して)レスキュー用の機材を積んだ大型車が、救出活動が必要となった地点まで到着し救出活動を行う。	重傷者移送の必要性	建物倒壊に伴う重傷者の状況	全壊(棟別確率)	棟別の全壊確率	—	救出活動と同一評価指標
	(3)建物全壊し、中でも堅牢な建物が全壊すると機材を用いた救出活動が必要となり、消防本部から(幹線道路を経由して)レスキュー用の機材を積んだ大型車が、救出活動が必要となった地点まで到着し救出活動を行う。	軽傷者対応の必要性	建物倒壊に伴う軽傷者の状況	全壊(棟別確率)	棟別の全壊確率	—	救出活動と同一評価指標

1.2.2 マクロ評価の理論

前項のマクロレベル評価のアクティビティ別評価方針表により、マクロ評価として評価すべき各要素指標については、表 1.2.4 の通りであり、以下にその考え方を説明する。

表 1.2.4 マクロレベル評価の各アクティビティ別評価方針及び評価方法等整理表

	評価の視点	評価の考え方(マクロミクロ共通)	グラフ表示 要素指標	指標の種類		説明箇所
				必要性	困難性	
避難	二次被害からの避難	二次被害からの避難の必要性	(全ての人が必要と考える)	なし		
		二次被害からの避難の困難性	避難地または幹線道路への到達困難性	避難地到達(距離)		(3-3)
		二次被害からの避難の困難性	避難地または幹線道路への到達困難性	避難地到達(困難率)	○	(3-2)
		二次被害からの避難の困難性	避難地または幹線道路への到達困難性	幹線道路到達(距離)	○	(3-3)
	罹災避難	罹災避難の必要性	居住困難な倒壊建物の状況	建物罹災(密度)	○	(2)(a)
		罹災避難の困難性	避難場所への到達困難性	避難地到達(距離)	○	(3-3)
消火	延焼避難	火災延焼範囲からの避難の必要性	延焼危険性	延焼過程が表現できないためマクロ評価では対象としない		
		火災延焼範囲からの避難の困難性	火災延焼範囲外への到達困難性	延焼(面積)	○	(2)(c)
		火災延焼範囲外への避難の困難性	火災延焼範囲外への到達困難性	延焼(面積)	○	(2)(c)
	消火活動	消火活動の必要性	出火危険性	出火(密度)	○	(2)(b)
		消火活動の困難性	火災発生場所への接近困難性(消防水利経由)	水利圏外(率)	○	(3-4)
		消火活動の困難性	火災発生場所への接近困難性(消防水利経由)	消防車取水(困難率)	○	(3-2)
延焼阻止活動	延焼阻止活動の必要性	延焼危険性	延焼(面積)	○	(2)(c)	
	延焼阻止活動の困難性	延焼危険場所への接近困難性(消防水利経由)	水利圏外(率)	○	(3-4)	
	延焼阻止活動の困難性	延焼危険場所への接近困難性(消防水利経由)	消防車取水(困難率)	○	(3-2)	
救出・救護	救出活動	救出活動の必要性	救出を必要とする建物倒壊の状況	全壊(密度)	○	(2)(d)
		救出活動の困難性	救出対象への接近困難性	堅牢建物全壊(密度)	○	(2)(e)
		救出活動の困難性	救出対象への接近困難性	救出車到着(困難率)	○	(3-2)
	重傷者移送	重傷者移送の必要性	建物倒壊に伴う重傷者の状況	全壊(密度)	○	(2)(d)
		重傷者移送の困難性	けが人発生場所への接近困難性	救急車到着(困難率)	○	(3-5)
		重傷者移送の困難性	けが人発生場所への接近困難性	救急車到着(困難率)	○	(3-5)
	軽傷者対応	軽傷者対応の必要性	建物倒壊に伴う軽傷者の状況	全壊(密度)	○	(2)(d)
		軽傷者対応の困難性	救護所へのけが人(発生場所から)の到達困難性	救護所到達(困難率)	○	(3-2)
		軽傷者対応の困難性	救護所へのけが人(発生場所から)の到達困難性	救護所到達(困難率)	○	(3-2)
救護所における活動	救護所における救出活動の必要性	建物倒壊に伴う軽傷者の状況	全壊(密度)	○	(2)(d)	
	救護所における救出活動の困難性	救護所への兵站(部門からの)接近困難性	救護所兵站(困難率)	○	(3-2)	

### (1)評価の目的から求められる評価指標の仕様

地区の概略評価（問題地区の抽出）と都市レベルの防災施策を評価するマクロ評価システムについては以下のような仕様を持っていることが適当である

#### ①容易に取得できるデータから評価できること

マクロ評価においては、都市部の全ての地区を対象に概略の評価を行うものであり、評価に用いるデータの取得に手間を要するようでは実用的といえない。このため、既存の統計・調査等で取得しているデータ、既存のデータベースから容易に加工できるデータ、新たな取得を要するデータについては簡易に計測できるものであることが適当である。この観点から、都市計画基礎調査、建築統計等の既存調査、都市の防災計画等で定める事項などとの関連についても配慮して手法を決めることが必要である。このため、評価の範囲もデータ取得容易範囲である町丁目（又はその併合）を基本とし、データの再取得を必要とする範囲の加工（加算以外）は避けることとした。

#### ②地区の標準的場所を評価するものであること

地区の評価にあたっては、地区の標準的場所を評価する方法と最悪の場所を評価する方法の2つが考えられる。防災性能評価では「最悪の場所から改善していく」という観点から、最悪の場所の評価が適当と考えられる。しかしながら最悪の場所とは地形的な条件で決まったり、袋小路であったりといった点から決まるものであり、地区の詳細な状況の読み込みを前提にしないと抽出できない。このため、最悪の評価はマイクロ評価の役割として整理し、マクロの評価にあたっては、容易に取得できるデータを前提し、複数地区間の比較を行うという目的からして、標準的状态を評価するものとした。なお、一般的データからモデル的に最悪を想定することは可能であるが、その最悪は詳細データから求まる最悪と明らかに異なるので、「最悪」として表示することは適当ではない。

一般的データから求める標準的場所の評価と最悪の場所の評価の詳細な関係は、今後の評価を待つ必要があるが、一般論として標準的場所が悪い地区ほど、最悪の場所は悪いと考えられる。その関係は、「標準偏差＝平均値×定数」、もしくは、「最悪＝中央値＋レンジ（一定値）」といった関係の複合的な関係であると想定される。

標準的な場所の決定は、評価範囲がデータ取得範囲により決まるという点から、区域の形状特性をもとに単純に決定できない。このため、区域形状のモデル化を行い決めることとなるが、モデル化の程度を少なくすることを優先し、中央値、平均値、（最頻値）の中から、抽出しやすい指標を用いた。

#### ③計算式が単純であること

マクロの評価は、多くの地区の評価を並行的に行うものであり、実施容易性が確保される必要がある。このため、表計算ソフトでの計算を前提に検討することとした。単純にモデル化しても理論解が単純にならなければ、アルゴリズムによる繰り返し計算が必要になる。この点に関しては標準的な場所の評価というシンプルさと、手法の複雑さのバランスも考慮し、汎用性の観点から採らないものとした。また、データテーブルに基づく計算については、データが単純であるものに限定した。さらに表計算ソフトにおいてはΣ計算等は複雑になるので、可能な範囲で避けることとした。

#### ④評価単位の分割等が可能で評価値が地区面積に依存しないこと

データ取得可能性の観点から、既存データの単位である町丁目等を評価単位とすることが基本になるが、この中に性質の異なる地域が存在する場合（例えば商店街と寺町が同一の町丁目の場合など）については、この平均的な状況で評価することになる。このため、必要に応じて、区域を分割すること（又は同種の地域を併合すること）が可能となるようにすることが適当である。また、町丁目の大きさは一定ではないので評価単位の大きさは統一できないと考えられる。このため、評価値は地区面積との関係がないように設

定することが必要である。

なお、避難地、幹線道路などの目的地が地区内にない場合についての評価は、基本的には目的地と評価地区との間の地区の情報が必要になる。しかし、多様な状況を前提とするモデル設定は困難であること、どこを評価しているのか不明確になること、データ取得及びデータ構造が煩雑になること、からこの方法をとらず、その場所まで、地区内と同様な市街地の状況が広がっていると仮定して計算することとした。このため、地区外の状況については十分には評価結果には反映されない。

#### ⑤対策必要性の観点から地区抽出ができること

マイクロ評価では、基本的に各建築物に対応した評価を行うが、地区抽出は、一般論として被害量が大きく想定される地区が抽出される必要がある。このためには、マクロ評価の必要性指標は建築物レベルに着目した指標ではなく、地区面積あたりの指標とすることとした。即ちマイクロ評価の必要性指標は、問題建築物の存在に着目しているのに対し、マクロ評価の必要性指標では問題建築物の量に着目することとする。なお、地区面積当たりとしているのは、評価単位の大きさに依存しない指標とするためである。

#### ⑥マイクロ評価との整合性があること

マクロ評価はマイクロ評価の前段として行うことが基本であり、マイクロ評価手法との整合性が確保される必要がある。このため、評価する行動、評価手法については可能な限り同一のものとした。

### (2)行動必要性の評価について

行動必要性は、行動可能性指標の仕様に対応して、地区としての評価値を設定するものとする。行動可能性評価は代表建築物に対応しているが、必要性指標は課題地区の抽出という観点から代表建築物ではなく地区全体としての状況を代表する評価値としている。評価上必要となる行動必要性指標は重複するものを除いて以下の5指標である。

#### (a)罹災避難の必要性：建物罹災率（避難）

【評価指標】 建物罹災率（村尾らの研究\*（自治体式）の全壊棟数の ha あたりの値）

建物罹災率（密度）＝ $\Sigma$ （建物分類別棟数×建物分類別全壊率）÷地区面積(ha 単位)

【評価単位】 地区代表値(h a あたりの値)

二次被害の恐れからの避難の後、自宅等が居住困難であるため避難場所に行く必要のある率については、人単位を建築物単位に置き換えて考えると、利用困難な全壊建築物が全建築物に占める割合に相当する。一方、評価値としては、罹災避難が必要となる全壊建物の発生密度が問題となるので、一定面積あたりの全壊建築物数を評価値とした。

建物の被害状況の仮定については、建築物の耐震診断に応じて確率として設定することも考えられる。しかし、建築物全ての建築診断を行うことは実際的でないので、地震に伴う建築物の全壊率データ等に基づき、設定することとする。具体的には、建築構造・建築年代別全壊率の計算式（値）を用い、地区の建築物の建築構造・建築年代別存在割合に応じて集計するものとする。値については、村尾らの研究\*で構造別、建築年代別に地震動指標（PGV）と全壊率の関係が関数形で示されているので、これを用いて計算する。なお、全壊は居住の可否なので、自治体調査の定義に対応したものをを用いる。

※村尾修,山崎文雄:震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数,日本建築学会構造系論文集,第 555 号,pp185-192,2002

#### (b)消火活動の必要性：出火危険性：出火率（消火）

【評価指標】 出火率（出火棟数の ha あたりの値）

出火率(密度)=全壊確率（全壊率自治体式の読み替え）×0.1923%×地区棟数/地区面積(ha)

$$= \Sigma (\text{建物分類別棟数} \times \text{建物分類別全壊率}) \div \text{地区面積(ha)} \times 0.1923\%$$

【評価単位】 地区代表値(h a あたりの値)

火災危険性は、個々の建築物の被害状況に応じた出火確率を集計すること(地区の合計値)によって算定する。建物の被害状況については、全壊率を読み替えた全壊確率を用いることとする。この評価値も建物罹災率と同様に発生密度が問題となるので、一定面積あたりの出火棟数を評価値とした。

兵庫県南部地震の出火率については、「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 H9.3 東京都火災予防審議会、東京消防庁」において示されており、出火件数の合計としては183件が数えられ、これを全壊及び半壊以下に区分し、全壊分を49.3(不明分を割り振っているため小数点がある。)と推計し、全壊建物1棟当りの出火率を0.0518%と計算(全出火要因合計)している。

しかしながら、全壊分は全体の26.9%に過ぎず、過小に算出される恐れがある。このため、出火は地震被害との関係で発生すると考え、全壊率を全壊確率と読み替えることで全ての建物に出火確率が割り振られることを前提とすれば、一律に拡大係数をかけても大きな偏差はないと考えられる。(なお、半壊以下を無視するより合理的な発生確率が得られる。)

このため、以下のような考え方で、棟当りの出火確率を計算する。

- i)全壊1棟当りの出火率0.0518%を全壊建物の出火確率と読み替え、各建物の全壊率を全壊確率と読み替えて、この2つの積をとる。この確率は、各建物が全壊して出火する確率である。
- ii)全壊を含めた全体の出火確率は、全壊からの出火確率の3.712倍(1/26.9%)であるから、各建物の全壊して出火する確率に均等に拡大係数として割り振る。この結果、各建物の全壊確率に対する出火確率の比は0.1923%となる。(この数値は全壊して出火する確率ではない。)

なお、全壊確率と読み替える全壊率については、村尾らの研究<sup>\*</sup>による建築構造・建築年代別全壊率の計算式(値)を用いることとするが、前記の消防庁の調査が自治体調査の全壊率に対応したものであるためである。このような全壊率は、建築構造・建築年代の各種建物の全壊確率の集計値に相当するので、平均的な全壊確率の期待値として採用できると考えられる。従って、出火率(haあたりの値)は、(1)の値×0.1923%に相当する。

### (c)焼阻止活動の必要性：延焼危険性：延焼面積(消火)

【評価指標】 延焼面積＝セミグロス平均焼失建築面積割合×防火帯に囲まれた区域面積(ネット)  
但し、

$$\text{セミグロス平均焼失建築面積割合} = 1 - \exp\left(-\frac{0.00566}{(1 - CVF)^{2.59}}\right)$$

$$\text{セミグロス CVF} = 3.170 \times a + 2.090 \times b + 1.398 \times c$$

【評価単位】 地区代表値(延焼した場合の面積)

延焼危険性については、前節の検討結果であるセミグロス平均焼失建築面積割合を受けて設定するものとした。延焼は発生した火災が、初期消火ができなかった場合に発生し、放任火災となった場合の面積を与える指標がセミグロス平均焼失建築面積割合である。

延焼の危険性は、(想定している地区代表値の建築物と)延焼になった場合に一連托生となる区域のいずれかの場所で発火した火災が、消火できなかった場合に(想定している地区代表値の建築物に)被害が及ぶという考え方で評価する。この一連托生となる区域の建築面積は「延焼面積＝セミグロス平均焼失建築面積割合×防火帯に囲まれた区域面積」によって計算できる。

必要性指標としては、本来、困難性指標と掛け合わせることで状況を記述することができる指標が適当である。このためには、延焼可能性として延焼面積内の各建築物について出火確率、消火確率等を勘案す

る必要があるが、これらを加味すると指標としての算定が困難になるとともに、意味付けが判りにくくなるため、延焼面積をそのまま用いることとした。なお、消火確率等との関係は、消火に関する総合指標の算定で関係付けることとした。また、延焼面積は出火確率一定、消火確率一定との仮定のもとでは、相対評価を行う上では延焼防止必要性の指標性が確保できる。

この延焼面積の設定は以下の各数字の積で計算できる。

i) セミグロス平均焼失建築面積割合

セミグロス平均焼失建築面積割合は、前節での検討結果であるセミグロス CVF を用いた推計式を用いる。

ii) 防火帯に囲まれた区域面積の設定について

セミグロス平均焼失建築面積割合のみでは、一蓮托生となる面積が定まらず、地区面積による偏りが生ずるので評価値としては不適切である。このため、平均焼失建築面積割合に対して適切な分母となる数値をかける必要がある。

今回の総プロ調査は地区の防災性の向上を目的とするものであり、その前提として都市レベルでの防災性確保がなされていることである。このため、延焼に関しては、都市が防火帯となる施設等によって十分に分節がなされることが前提に評価をしている。セミグロス平均焼失建築面積割合の算出に当っては、町丁目ごとの図上計測を行っており、このことは町丁目の周囲からの延焼区域の連続がないことに相当する。即ち、町丁目毎に防火帯で分節されているという前提での算出であり、防火帯に囲まれた区域で適用できる式といえる。

しかし、現時点では実際に町丁目毎に防火帯で分節されているという状態にはないと考えられる。また、マクロ評価を行う地区の区域設定に関し、必ず防火帯に囲まれているという状態を前提とすることは、地区面積がいたずらに広がる可能性、多くのデータ加工の必要性が生じる可能性もあることから、不適切である。このため、防火帯に囲われた区域面積を別途入力して、これを母数として算定することとした。

(なお、この値も一定規模以上の空地面積の控除(ネット面積とすること)が必要であるので、地区内と同様の空地率があるとして算定することとした。)

防火帯となる施設としては、まず幹線道路想定している。これは、CVF のもとであるバッファー距離が最も大きいのが裸木造同士であり、このバッファー長は標準サイズである 10m 角で各々 6m である。このため、離隔距離(無風時での防火帯に相当)は 12m を越えることとなるが、便宜上、12m 以上幅員としている幹線道路が防火帯となるものとして想定した。

幹線道路に囲まれた区域の面積に関しては、幹線道路がグリッドで構成されていると仮定し、計算で用いる幹線道路との距離が、この範囲での代表地(平均値)となる面積を逆算して求めることができる。即ち、幹線道路との直線距離の 6 倍がグリッド間隔となるので、この自乗が面積になる。しかし、この面積は、①地区内に幹線道路が多く配置されている場合的中度は高いが、これが低い場合もしくは地区内がない場合の誤差が大きいと考えられること、②幹線道路以外の防火帯となる施設は勘案されないことから、必ずしも適当ではない。

このため、この防火帯に囲まれた区域の面積は入力データとして扱うこととした。幹線道路以外の延焼遮断機能を有するものとしては、河川や自然の緑地、公園(幹線道路と同様の考え方で周辺も含め空地幅が 12m 以上であるもの)、耐火建築物による防火帯(同様に 12m 以上)などを想定している。

なお、1つの地区が複数の防火帯に囲まれた区域に分割されている、もしくは、関係している場合には、安全側(最も危険な評価結果となること)の仮定として最も大きいものを選択することを推奨する。なお、地区のうち、最も大きなものに関係する部分が小さく、他のものの面積を選ぶことが適当に見える場合はこの限りではない。

**(d)救出・救護を必要とする建物倒壊の状況：全壊率（救出・救護）**

【評価指標】 全壊率（全壊棟数（震特委式）の ha あたりの値）

全壊率(密度) =  $\Sigma$ （建物分類別棟数 × 建物分類別全壊率） ÷ 地区面積(ha 単位)

【評価単位】 地区代表値(ha あたりの値)

ここで算定対象となるものは、「救出を必要とする建物倒壊の状況（「救出活動の必要性」に対応するもの）」「建物倒壊に伴う重傷者の状況（「重傷者移送の必要性」に対応するもの）」「建物倒壊に伴う軽傷者の状況（「軽傷者対応の必要性」に対応するもの）」「建物倒壊に伴う軽傷者の状況（「救護所における救護活動の必要性」に対応するもの）」の4つの観点である。これらはいずれも建築物の倒壊状況に対応している。

この観点から、救出・救護を必要とする倒壊建物の状況は、建物の全壊・半壊などの被害状況の応じて算定すべきである。しかし、全壊と半壊の評価の差異については十分に解析できていないので、全壊のみで代表させ「各建築物の全壊率」を用いる。なお、評価値としては、発生密度が問題となるので、一定面積あたりの全壊建築物数とした。全壊率は、村尾らの研究\*によることとするが、建物の倒壊状況に対応するものなので、震災復興都市づくり特別委員会の調査の全壊に対応する全壊率を用いる。

なお、アクティビティ指標を計算する上では、人ベースに置き換えることが適当な指標として、救出が必要な人数、救護が必要な人数を計算している。この場合は、高齢者がこれらの被害を受けやすいという観点から 65 歳以上人口率を指標に組み込むこととし、全壊建物数からの総合指標の算定にあたり、以下の計算式によることとした。

重傷者数等の救出・救護の指標値：全壊建物数 × (1 + 高齢化率)

**(e)救出を必要とする建物倒壊の状況：堅牢建物全壊率（救出）**

【評価指標】 非木造建築物の全壊率（非木造の全壊棟数（震特委式）の ha あたりの値）

非木造建築物の全壊率(密度)

=  $\Sigma$ （建物分類別棟数（非木造） × 建物分類別全壊率（非木造）） ÷ 地区面積(ha 単位)

【評価単位】 地区代表値(ha あたりの値)

救出困難な非木造倒壊建築物の状況は、非木造建築物の全壊状況の応じて算定する（半壊は救出が必要にならない程度の被害である）。評価値としては「各非木造建築物の全壊率」を用い、評価値としては、発生密度が問題となるので一定面積あたりの値とした。全壊率（地区建築物に対する非木造建築物の全壊建築物数）については、村尾らの研究\*によることとするが、建物の倒壊状況に対応するものなので、震災復興都市づくり特別委員会の調査の全壊に対応する全壊率（非木造部分のみ）を用いる。

非木造建物には、RC 造及び S 造が該当する。これは、堅牢建物の倒壊による救出が、木造建物と比較して困難であるという実態調査データに基づいて想定した。

この指標に関しても、高齢者がこれらの被害を受けやすいという観点から 65 歳以上人口率を指標に組み込むこととし、全壊建物数からの総合指標の算定にあたり、以下の計算式によることとした。

非木造建築物に係る救出の指標値：非木造全壊建物数 × (1 + 高齢化率)

なお、阪神淡路大震災時の消防職員の手記を整理して、建物構造別の救出時間をグラフ化したものが下図である。木造・非木造とも 1～3 時間が最頻値となっているが、救出時間が延びる程非木造建物の経験数が多くなっていることがわかる。すなわち、非木造建物の救出活動が木造建物より長く掛かっている。

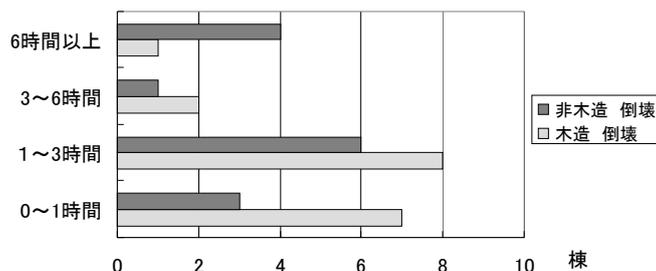


図 1.2.9 建物構造別の救出時間の比較

地震時の人命危険要因の解明と地域活動のあり方に関する調査評価、平成 10 年 3 月 (株)三菱総合評価所

### (3)行動可能性の評価について

マクロ評価は、基本的にミクロ評価と同様な場面設定に対応した評価値の計算により行う。但し、ネットワークは標準的リンクにより構成される単純ネットワークモデルとし、評価値は計算容易性の観点から「後戻りすることなく到達する確率」とする。また、1つのモデルとして計算困難な場面については、要素指標及び構成要素に分割して計算する。

#### (3-1)行動可能性評価の各対象及び条件

評価対象とする行動可能性は表の通りである。

表 1.2.5 行動可能性の評価対象

評価項目	評価の視点	評価の考え方	要素指標	構成要素など	起終点		移動主体	制約条件	要素指標の求め方（一般的なものを以外）
					起点	終点			
避難	二次災害からの避難	避難地または幹線道路への到達困難性	避難地到達(距離)	(距離指標)	地区内各所	避難場所	健常者		距離指標は(2-3)参照
			避難地到達(困難率)		地区内各所	避難場所	健常者		
			幹線道路到達(距離)	(距離指標)	幹線道路	避難場所	健常者		
			幹線道路到達(困難率)		幹線道路	避難場所	健常者		
	罹災避難	避難場所への到達困難性	避難地到達(距離)	(距離指標)	地区内各所	避難場所	健常者		
			避難地到達(困難率)		地区内各所	避難場所	健常者		
	火災延焼範囲からの避難	火災延焼範囲外への到達困難性	延焼過程が表現できないためマクロ評価では対象としない						
消火活動(延焼阻止活動)		火災発生場所への接近困難性(消防水利経由)	水利圏外(率)	(消防ホースが届かない範囲の面積率)					(2-4)参照
			消防車取水(困難率)		幹線道路	消防水利	消防車(大型車)		
			ホース到着(困難率)		消防水利	地区内各所	消防士(健常者)	消防ホース長を限度	
救出・救護	救出活動	救出対象への接近困難性	救出車到着(困難率)		幹線道路	地区内各所	救出車(大型車)		
	重傷者移送	けが人発生場所への接近困難性	救急車到着(困難率)	近傍まで	幹線道路	近傍	小型車	2リンクの範囲	(2-5)参照
				近傍から	近傍	地区内各所	担架		
	軽傷者対応	救護所へのけが人の到達困難性	救護所到達(困難率)		地区内各所	救護所	担架(けが人)		
救護所における活動	救護所への兵站困難性	救護所兵站(困難率)		幹線道路	救護所	小型車		*2	

\*1 距離指標、消火活動、重傷者移送については、基本的な部分の計算方法は他の要素指標値の計算方法(3-2)と同様であるが、追加的な指標、制約条件、特別な計算方法等があるため、別途それらを記載している。

\*2 「救護所への兵站困難性」は救護所の立地位置の問題であり、モデルに基づくマクロ評価には適さないが参考的に評価することとした。

#### (3-2)行動可能性評価の手法

地区内道路網に関わる行動可能性評価は、ミクロ評価では、現実の区画道路ネットに関し、各リンクが閉塞する確率を求め、その閉塞確率に応じて乱数により閉塞状況を設定し、この閉塞状態でのネットワークに関して起終点間の最短経路検索を行う。これを数多くの設定で行うこと(モンテカルロシミュレーション)

ョン) によって、評価値を計算する。

マクロ評価は、地区を評価するため、地区の集計データをもとに、地区の代表値な場所についての、この考え方に近い評価値を得るため、以下のような簡略化した手法を用いている。

- i) 基本道路ネットワークとしての起終点を一般的な想定として設定する。
- ii) 起終点間の直線距離の代表値を各種データからモデル的に設定する。
- iii) 起終点間の道路ネットワークをモデル的に道路線密度から設定する。
- iv) リンク閉塞確率の式はマイクロ評価と同様なものを用いる。
- v) 道路ネットワークモデルでの平均的1リンクでの閉塞確率を計算する。
- vi) モデル道路網、平均リンク閉塞確率に基づく通過困難確率を評価値として計算する。

(単純モデルであるのでモンテカルロシミュレーションは用いない。)

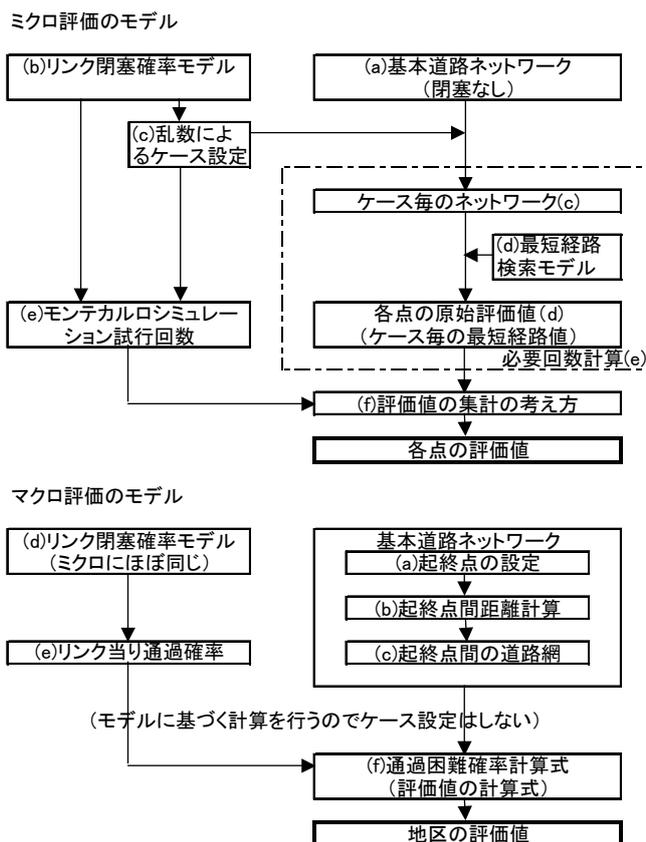


図 1.2.10 ミクロとマクロの評価モデルの比較

### (a)起終点の設定

前提となる起終点は、以下のように想定し設定した。

#### ①一時避難地、救護所(点施設)

震災時に一時的に避難する避難地として、公園、小学校などが自治体の防災計画で定められており、また、実際上も中規模な空閑地を有する公的空間が避難場所となると考えられる。また、この避難地にケガの手当てなどの対応を行う救護所が設けられる想定される。

地区の評価を行う上では、②の消防水利とともに、地区内に1箇所以上存在するような地区設定が適当である。しかし、地区は基本的に同質の「まち」の範囲であることが適当であり、地区の大きさを無制限に広げることは好ましくないため、避難地が存在しない場合もありうる。したがって、個所数は0以上である。

評価に用いる起終点間の直線距離は、全ての一時避難地が地区内に適切に配置されていることを前提に、地区面積を単純に個所数で割って1箇所あたりの受け持ち区域を設定し、計算することとした。

#### ②消防水利(点施設)

震災時に水道が途絶して消火栓が利用できなくなった場合、利用できる消防水利が消火活動にとって重要である。地区の消火上の評価はこれを重要な要素として行う。これについては、(ア)消防水利まで消防車(ポンプ車等)が到達できて活用できるか、(イ)消防水利から火災地点まで消防士がホースを伸ばせるか、の2つの点で評価する。

(イ)に関しては、ホースの届く範囲であり基本を20mホース10本、200m(道則)として評価する。但

し、複数個の消防水利があり、ホースの届く範囲が重複すると考えられる場合は、消防水利1箇所辺りの受け持ち区域の大きさからこの道則を200mより短く設定して評価する。

### ③幹線道路

地区の評価に関しては、一般的に地区内にない施設（消防署、大病院、2次避難場所等）については、幹線道路に到達できればそこまで移動可能と評価することとしている。このため幹線道路は、(i)他の幹線道路とネットワークを形成している道路で、(ii)閉塞確率が極めて小さい幅員12m以上（沿道に家屋の少ない郊外部にあっては8m以上）の道路、という定義を行なった。

### ④地区内一般的場所（地区内各点）

避難の出発点、救急、消防の到達点としては地区内の各所が起終点となる。この地区内の各点については、その中の標準的な場所を評価対象とする。

## (b)起終点間の距離の設定

### ①幹線道路と地区内各点

幹線道路と地区の関係は一般的ではない。このため、ア)地区内に幹線道路がない場合、イ)地区内の幹線道路密度が高い場合、ウ)地区内の幹線道路密度が低い場合、に分けて以下の通り設定した。

#### ア)地区内に幹線道路がない場合

地区内に幹線道路がない場合は、地区中心から最寄の幹線道路までの距離を用いる。これは、最寄の幹線道路が1本である場合の中央値にあたる。（平均値は地区形状の仮定が必要であり、複数の幹線道路が近接する場合の計算は式が複雑化するとともにデータ取得方法も工夫を要するため、採用しない。）

#### イ)地区内の幹線道路密度が高い場合

幹線道路は、配置理論では模式的に正方形等間隔グリッドパターンで示される。幹線道路密度が高い場合には、このパターンにしたがって計算し、平均値として、距離＝グリッド間隔×(1/6)を用いる。

グリッド間隔は{地区面積/幹線道路延長}×2である。

#### ウ)地区内の幹線道路密度が低い場合

幹線道路密度が低い場合には、ア)の計算方法では急速に距離が長くなり、イ)のような図上距離をも上回ることで不適当である。密度が低い場合とは、地区の角を幹線道路がかすめる場合などが考えられ、この場合は幹線道路の地区内にある部分の前後の区間も含めて計算することが適当である。

このため、地区を正方形と仮定し、幹線道路は直線で1本のみであり、正方形の角に45度で交わるものとして距離の平均値を計算した以下の式を用いることとした。

$$\text{距離} = 1/2 \times [\text{SQRT}(\text{地区面積} \times 2) - \text{幹線道路延長} + 1/6 \times (\text{幹線道路延長})^3 / \text{地区面積}]$$

この計算式は、幹線道路延長が仮定した正方形の対角線延長となったとき（{SQRT(地区面積)}×√2）にイ)と一致するので、この幹線道路延長以下の場合に用いることとする。

なお、45度以外の他の角度での交差との関係は、45度が距離の最大値を与えるものである。また、中間値の計算は幹線道路延長>正方形の1辺×(1/√2)を超えた部分で式が複雑となるため採用していない。

### ②幹線道路と点施設

点施設が1箇所以上の場合、その点の位置は地区内のどの場所でもありうるので、その標準値は①と同じ方法で求められる。また、複数の場合についても、標準値としては①の方法で求めればよい。

点施設が存在しない場合、地区内各所から直接幹線道路に至ることで代用すべきもの（2次避難地への移動）は①の方法を用いることとし、代用できないもの（消防水利への消防車の到着：ホース延長以内ないと意味がない）については、便宜上到達確率0が出るようにした。

### ③点施設と地区内各点

#### ア) 点施設が1以上の場合

各点施設の受け持ち区域（地区面積／点施設数）の標準的な場所と点施設との直線距離については、受け持ち区域面積の半分の面積となる円の半径を計算する以下の式を用いる。

$$(\text{距離}) = \text{SQRT} [ \{ (\text{地区面積} / \text{点施設数}) / 2 \} / \pi ]$$

これは、受け持ち区域が細長くなく、対象施設が中央近くにあるとしたモデルにおいて、距離の中央値を与える式である。なお、平均値の計算には地区形状、対象施設位置の仮定が必要であるので中央値を用いた。

なお、消防水利から地区内各点については、最大値的な距離とはなるが、ホース到達距離（＝ホース延長／ $\sqrt{2}$ ：後述）ないし、消防水利1箇所辺りの受け持ち区域の面積となる円の半径（ホースの届く範囲が重複すると考えられる場合）とした。これは消防水利の受け持ち区域が重複した場合の複数水利の利用可能性を勘案した評価を行うためである。

#### イ) 点施設が0の場合

消防水利についてはb)同様、代用できないので、便宜上到達確率0が出るようにした。

一方で、一時避難地、救護所については、隣接地区等の施設を利用することとなると考えられる。また、一般的には地区の面積が概ね等しく、正方形ないし長方形であると考えられる。このため、各地区が同面積の正方形である場合のモデルに基づき、その存在場所に応じてインプットデータを細工することとした。

隣接地に一時避難地がある場合については、一時避難地がある地区を囲む8地区（中心地区を含めて地区数は $3 \times 3 = 9$ である）のいずれかが当該地区である。この8地区から、中心地区の中央までの距離の中間値は、「 $\{1$ （中心地区相当） $+4$ （8地区の半分） $\}$  倍の地区の面積となる円の半径」に等しい。ア)の式でこの距離を与える点施設数は0.1に相当する。したがって、地区数を0.1と設定するものとする。

さらにその隣の地区の場合は、同様に距離は17倍の地区の面積となる円の半径となるので、地区数を0.03と設定するものとする。さらにその外側の場合は0.01強であるが、これ以上の場合は便宜上0.01を代入することとした。

### (c)起終点間の道路ネットワークの設定

幹線道路と点の間、および点と点の間の直線距離に基づいて、その間の道路網モデルを設定し、地震による閉塞を勘案した通過確率を計算することとする。

#### ①道路網モデルの設定と道則

道路網モデルについては、検討結果に基づき、ア) 直線と点、点と点のいずれに対しても判りやすいモデル化ができること、イ) 各ノードでの選択経路数2の標準的通過確率を与えると考えられること、ウ) 各種モデル網設定の中での中位の通過確率を与えること、エ) 道則が基本的に1つの代表距離で示せること、から正方形グリッドパターン（45度斜め型）を用いることとする。この場合最短道則は直線距離 $\times \sqrt{2}$ で示せる。

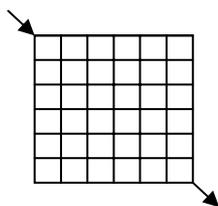


図 1.2.11 点から点への正方形グリッドパターン

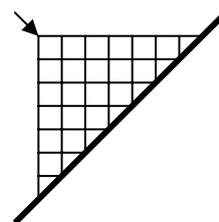


図 1.2.12 点から外周道路への正方形グリッドパターン

## ②正方形グリッドパターン（45度斜め型）の意味

正方形グリッドパターン（45度斜め型）については、点側を出発点と考えれば、点と幹線道路、点と点のいずれも目的地方向±45度の範囲の道路網をグリッドパターンで代表させていることに相当する。このことは、「目的地の方向に進む道路を選択して、閉塞にあつて後戻りすることなく目的地にたどり着ける確率」をグリッドでモデル化して計算することとしたと言える。なお、後戻りや迂回を考慮する場合にあつては、通過可能性を勘案すべき道路網は地区全体におよび定式化は困難である。

幹線道路から点という逆転については、出発点の選択肢のある「点と点」と考えることが妥当とも考えられるが、出発点選択モデルの追加など複雑となるため、モデルの簡略化の観点から、点から幹線道路の場合と同様のモデルとする。

## ③グリッドの基本リンク長の設定

グリッドの基本リンク長は、正方形等間隔グリッドという条件から地区内道路密度によって以下の通り定まる。

$$\text{基本リンク長} = \{ \text{地区面積} / (\text{道路総延長} / 2) \}$$

なお、ここで道路延長は幹線道路延長+区画道路総延長であり、地区境界の道路については延長の半分として計算するものである。

## ④モデル計算上のリンク延長とリンク数

閉塞計算のモデル計算においては、リンク数は自然数である必要がある（点から線は数式上、実数であれば計算可能であるが、モデルの直感的意味付けの観点から、こちらを自然数にする）。このため、以下の通り計算するものとする。

$$\text{モデル上のリンク数} = \text{int} \{ (\text{直線距離} \times \sqrt{2}) / \text{基本リンク長} \}$$

※ただし0の場合は1にする

$$\text{モデル上のリンク長} = (\text{直線距離} \times \sqrt{2}) / \text{モデル上のリンク数}$$

## (d)リンク閉塞確率

この基本ネットに対し、地震による閉塞確率を平均リンクとして設定し、到達困難性を評価値として計算する。道路幅員別、移動主体別の閉塞確率は、マイクロ評価同様の定式化を基本とする。閉塞確率は、人や自動車等の通行主体によって必要な通行可能幅員が異なるため異なる（表 1.2.6 参照）。

表 1.2.6 通行主体別の通行可能幅員

種別	主体	想定される対象	通行可能幅員
徒歩	健常者	避難住民、消防士	1.0 m 瓦礫の乗り越えを考慮
	ケガ人	担架に乗せられたケガ人	0.75 m 道路構造令の解説の歩行者の幅
自動車	小型車	救急車、けが人輸送自家用車	2.0 m 小型車の幅員+側方余裕
	大型車	消防車、レスキュー隊用車両	3.0 m 自動車の幅員+側方余裕

(建物倒壊に伴い、道路に瓦礫が流出した状態で、有効幅員が通行可能幅員以上であれば、そのリンクは通行可能とする。)

マイクロ評価における閉塞確率は、兵庫県南部地震の道路の閉塞は大部分が建物の倒壊に伴うものであつ

たことから、建物の倒壊を原因とする閉塞モデルを用い、施策検討、施策評価と対応させるため、その原因を建物レベルに遡ってモデル化している。マクロ評価では、これらを平均的建築物に対して適用する。

### ①建物レベル

各沿道建物の倒壊可能性及びこれに伴う瓦礫流出幅を確率として計算する。

#### ア) 建物の倒壊可能性

倒壊可能性は fragility curve (地震規模に応じた構造別、建築年別全壊率の計算式) を全壊確率と読み替え、建物 1 棟ごとに適用して計算し、全建築物で平均する。

$$P_R(x) = \Phi((\ln x - \lambda) / \zeta)$$

ここで、 $P_R(x)$ : ある地震動  $x$  のときに、被災ランク  $R$  以上の被害の発生する確率

$x$ : 地表面最大速度(PGV)

$\lambda, \zeta$ :  $\ln x$  の平均値および標準偏差

・「村尾、山崎：震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数、日本建築学会構造系論文集第 555 号、2002 年」の考え方を適用

従って、用いる全壊率は  $\sum \sum \{Pr(x) / (\text{構造別、建築年別棟数})\}$  である。(  $\sum \sum$  は各々構造別、建築年別の集計)

#### イ) 道路側瓦礫流出確率

倒壊した建物のうち道路側にガレキを発生させるガレキ流出確率  $P_F$  は、建蔽率との関係を検討した結果に基づき、下式を用いる。なお、用いる建蔽率はネット建蔽率 ( $\sum$  建築面積 /  $\sum$  当該建築に係る敷地面積:  $\sum$  の範囲は地区内建築物) である。

$$P_F = \min \{ 1, 1.1753 \cdot (\text{建蔽率}) - 0.0514 \}$$

#### ウ) 瓦礫流出幅の確率計算

道路側に瓦礫が流出する条件のもとでの、各建物前の道路閉塞確率 ( $P_B$ ) を次式で計算する。

$$P_B = \exp(-(Wr - Wt) / a)$$

ここで、 $Wr$ : 道路幅員

$Wt$ : ある移動主体が移動するのに必要な通行可能幅員

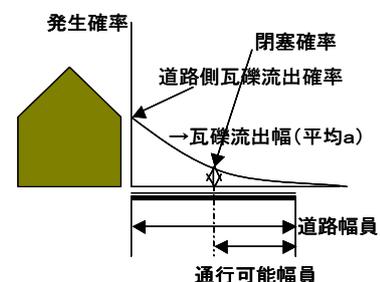


図 1.2.13 瓦礫幅のイメージ

なお、 $a$  は平均瓦礫長で、次式で示される。

$$a = 2.44 \times (\text{地区の全壊率})^{0.379} + 0.199 \times (\text{容積率/建蔽率})^{2.23} + 4.64 \times (\text{建蔽率})^{12.0}$$

・「家田・望月・上西：街路閉塞現象による機能的障害と地区の危険度評価法、土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集」のうち、瓦礫流出幅部分の考え方を適用

※平均瓦礫長  $a$  はマイクロ評価と異なり、セットバックをパラメータに織り込まないため、

上記論文のリンク長効果補正值 0.95 (マイクロは 0.90) に相当する値を用いている。

なお、用いる地区の全壊率は(1)(a)の全壊確率と同じ数字 (全壊率と読み替える)、建蔽率はネット建蔽率、容積率はネット容積率 ( $\sum$  延床面積 /  $\sum$  建築面積:  $\sum$  の範囲は地区内建築物) である。

### ②リンクレベル

リンク毎の沿道建物の全てに関して、建物レベルの確率を掛け合わせ、リンクとしての閉塞確率を計算する。

この確率は次式で与えられる。

$$(\text{リンク閉塞確率}) = 1 - \prod_{i \in \text{沿道建物}} (1 - P_i)$$

即ち、沿道の建物全てに関して通過確率を計算し、その積がリンク全体の通過確率になるという計算を行なう。

マクロ評価においては、平均的建築物の計算のため、 $P_i$  は全て同一なので、以下の通り。

$$(\text{リンク閉塞確率}) = 1 - (1 - \text{全壊確率} * \text{PF} * \text{PB}) ^ {(\text{リンク当り棟数})}$$

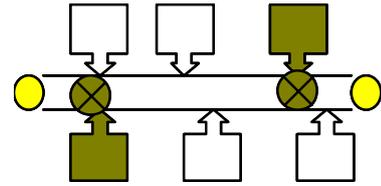


図 1.2.14 リンク閉塞のイメージ

### (e)平均的 1 リンクあたりの通過確率

このリンク閉塞確率式の適用のためには、本来はリンク毎に接道建築物を決める必要があるが、マクロ評価ではデータ取得の観点から全て平均値を用いることとしている。このため、リンク毎の（平均）沿道建築物数を設定し、計算することとする。

#### ①平均的リンクの沿道建築物数の設定

地区内の全ての家屋が、同一の間口で道路に面しているとしてモデル化すれば、リンク毎の家屋数は以下の通りになる。

$$\text{モデル上のリンクに存在する建築物数} = \text{総建築物数} \times (\text{モデル上のリンク長} / \text{道路総延長}) + 2$$

なお、道路両端の角地の建築物は 2 つの道路に面することになり、単純な計算に  $1/2 \times 4 = 2$  を加える必要があるので +2 をしている。但し、旗竿宅地の家屋等の道路閉塞に寄与しないと考えられる建築物についても、道路に面しているというモデルであるので、閉塞確率は若干大きめな見積もりとなると考えられる。

#### ②道路幅員

道路の閉塞確率は道路幅員によって異なるが、取得可能な地区の区画道路データとして、幅員帯別 4 区分（4m 未満、4-6m、6-8m、8m 以上）の各総延長があるものと考え、それぞれに代表幅員をあてはめ計算することとした。なお、それぞれの代表幅員としては以下を用いることとした。

表 1.2.7 適用幅員の考え方

幅員帯	適用幅員	幅員適用の考え方
4m未満	3.5m	下記 2 つの間隔をそのまま引き伸ばした値 3m に対し、建築基準法第 42 条第 2 項のセットバックを考慮した。
4-6m	5m	幅員帯の中間の値とした。
6-8m	7m	幅員帯の中間の値とした。
8m以上	9m	上記 2 つの間隔をそのまま引き伸ばした。

#### ③道路閉塞による主体別通過不能確率

道路網の通過不能確率の計算では、主体毎の 1 リンク通過不能確率を求める必要がある。この通過不能確率は道路幅員毎の出現確率に幅員毎の閉塞確率を掛けて合計することで計算できる。なお、点と点、点から幹線道路いずれについても幹線道路の通行は想定していないので、確率に含めない。従って、主体別通過確率は以下の式で求められる。

主体別通過不能確率

$$= \sum \{ (\text{区画道路幅員帯毎の延長} / \text{区画道路総延長}) \times \text{区画道路幅員帯毎の主体別通過不能確率} \}$$

#### (f)モデルに基づく通過困難確率の計算

mをリンク数、PLを1リンクあたりの閉塞確率として、正方形グリッドパターンモデル道路網の容易に通過できない確率は以下の式で計算できる。

##### a)幹線道路と点

$$\text{非通過確率} = 1 - (1 - PL^2)^m$$

##### b)点と点

$$\text{非通過確率} = 1 - (1 - PL)^m \times \left( 1 + \sum_{i=1}^{\text{int}(m/2)} (mC_i - mC_i - 1) PL^i \right)$$

#### (3-3)避難指標における距離の評価手法（避難地到達距離、幹線道路到達距離）

避難については、到達困難率に加え、到達距離についても要素指標としている。グリッドパターンモデル（斜め型）における到達距離は以下の式で求める。

$$\text{到達距離} = \sqrt{2} \times \text{起終点間の直線距離}$$

#### (3-4)火災発生場所への接近困難性（消防水利経由）の評価手法

##### (a)火災発生場所への接近困難性（消防水利経由）の各要素指標の関係について

火災発生場所への接近困難性（消防水利経由）の評価については、消防水利からのホース到達可能性が、ホース延長の制約を受ける。このため、消防水利の配置等の計算条件についての想定（モデル化）が必要であり、これらの指標は以下の考え方によって算出することとした。

- a) 消防水利は、本来は計画的に配置されるものであるが、ランダム配置を前提として消防水利相互の重複があること（重複があることによって消防水利圏外の範囲が出てくること）は考慮する。
- b) 地区外に消防水利圏がはみ出すことの面積減少については、反対に隣接地区からののはみ出しの面積増加によって相殺されるとして考慮しない。
- c) 消防水利圏が重複することによって、消防水利から各家屋への距離が縮小する、消防水利圏においては複数水利が使える、という2つの積極的効果を評価に織り込む（a）の重複効果の良くなる面の評価）。

##### (b)消防水利からのホース到達困難面積率

以下の考え方で算出する。

- a) 1つ目の消防水利：消防水利と目的地（各家屋）の間は、両点を対角線とするグリッドパターンであるというアクティビティ-評価のモデルにおいては、消防ホース延長（一般的には200mとした。これは通常、ホースカーには、20mのホースが10本分蒔かれた状態で収納されており、それを引いて消火に当たるといふ消防担当者へのヒアリング結果を採用したものである。）の $1/\sqrt{2}$ を半径とする円の面積（以下「ホース円面積」と書く）が消防水利圏の面積になる。
- b) 2つ目の消防水利：1つ目でホース円面積/地区面積が「1つめの消防水利圏率」であるのと同様、2つ目のみに着目すれば同様にホース円面積/地区面積が「2つめの消防水利圏率」に相当する。形状などを考慮せず（円はモデルの仮定である）に、完全にランダムに分布していると仮定とすれば、両方の重複部分率の期待値は（ホース円面積/地区面積）<sup>2</sup>で示される。従って、消防水利圏の期待率は以下の通りである。

$$1 - (1 - (\text{ホース円面積} / \text{地区面積}))^2$$

c) nカ所の消防水利の場合：同様に考え、その期待値は以下のようにかける。

$$1 - (1 - (\text{ホース円面積} / \text{地区面積}))^N$$

従って、消防水利圏外の面積率（ランダムな場合の期待値）は以下の式で与えられる。

$\text{消防水利圏外の面積率} = (1 - (\text{ホース円面積} / \text{地区面積}))^N$
---

なお、ランダムでないこと（計画的であること）の効果は、重複の積極的効果を評価することによってある程度相殺されると考えられる。また、実際の配置は計画的な理想と地元事情の調整の中で行われるため定式化が困難である。このため、重複して整備することも考える必要があるという観点（単に全地区を覆うことで完全になるのではないという観点）も含めて、この方法で定量化することとした。

### (c) 火災発生場所への接近困難性（消防水利経由）の計算について

「火災発生場所への接近困難性（消防水利経由）」は「(消防)水利圏外率」「消防車取水困難性」「ホース到達困難率」の3つの要素指標から構成されている。（ミクロ評価ではこれら3つを合わせて1回で計算することとしている）その全体としての計算方法は以下の考え方による。

#### a) 消防水利から各家屋への距離の縮小

重複がないとした場合：消防水利から各家屋への到達可能性評価の移動距離の限界は、ホース延長である。

重複を考慮する場合：この場合は消防水利圏に2つ以上の消防水利が存在する。従って、この面積を消防水利数で割った面積が1つの消防水利の平均受け持ち区域であり、モデル的にこの面積を円とした場合の半径が移動距離の最大値（の平均）となる。従って、限界値に対応する直線距離としてこの距離（道則は $\sqrt{2}$ 倍）を用いる。（これも、平均値であるこの距離の2/3を用いることも考えられるが、b）との整合性の観点からこれを用いる。）

#### b) (消防) 水利圏における複数水利利用可能性

(消防) 水利圏面積率は、 $1 - (1 - (\text{ホース円面積} / \text{地区面積}))^N$  で与えられるが、重複をカウントした面積は  $(\text{ホース円面積} / \text{地区面積}) \times N$  で与えられるので、地区内の各点から利用可能な消防水利の数（以下「重複数」という）は以下の式で与えられる。

$$\text{重複数} = \{(\text{ホース円面積} / \text{地区面積}) \times N\} / \{1 - (1 - (\text{ホース円面積} / \text{地区面積}))^N\}$$

一方で、1箇所の消防水利が消火に有効に活用できる確率は次の式で与えられる。

$$\begin{aligned} \text{1箇所の利用可能率} &= \text{幹線道路から消防水利への到達率（消防車）} \\ &\quad \times \text{消防水利から火災位置までの到達率（消防士）} \\ &= (1 - \text{消防車取水困難性}) \times (1 - \text{ホース到達困難率}) \end{aligned}$$

重複利用の可能性は、利用できない場合に他の消防水利が利用できることの勘案であり、指数として計算すれば良いので以下の式で、複数のいずれかの消防水利利用可能率（以下「消火活動可能率」と書く）は示せる。

$$\text{消火活動可能率} = 1 - (1 - \text{1箇所の利用可能率})^{\text{重複数}}$$

### (3-5)けが人発生場所への接近困難性の評価手法

地震後に地区内で発生する重傷者に関しては、車両（救急車又は自家用車）で病院まで移送するものとして到達困難率を計算する。（軽傷者については、本人若しくは介護者とともに徒歩で救護所に移動するものとして計算する。即ち、車両による移送を必要とする程度の怪我等をしている人を、このモデルでは「重傷者」と定義して扱う。）

重傷者の移送に関しては、家屋直近に車両が到達できる場合であっても家屋内から車両まで担架等による移送を伴う。この点を勘案して、必ずしも対象家屋の直近に車両が到達することを条件とせず、担架輸送の可能な距離に車両が到達できれば移送が可能として扱うこととする。

この距離については、重傷者の程度（この点は自家用車は無理で救急車が必要といった観点とも関係）、運搬車の能力等に関係するが、中程度の距離として2リンク（地区の道路線密度によって異なるが、100m程度と想定される）とした。

なお、車両は可能な限り直近まで接近させるべきであるが、道路閉塞確率の計算では「車両（小型車）」より「徒歩（けが人等）」に対する閉塞確率が小さくなるため、「到達困難率計算」は、2リンク分の到達確率を区分して計算する。（救急車等がさらに接近できる確率は計算した確率の内数になる。）

以上の考え方を、モデル的に示すと以下の通りとなる。

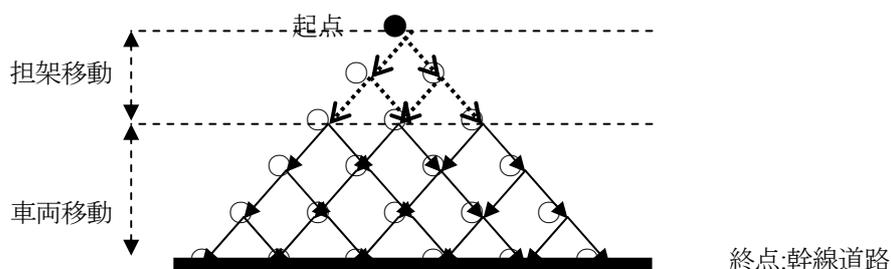


図 1.2.15 けが人発生場所への接近の考え方

#### (a)担架移動部分

- ・起終点 地点内各点～2リンク道路側に移動した3乗車地点  
(但し、移動距離が合計で1リンクの場合は1リンク、2乗車地点)
- ・移動主体 担架に乗せられたけが人 必要幅員 0.75m
- ・モデル 3つの終点を区分し、それぞれ単純2リンク通過モデル  
2リンク通過確率 = (1リンク通過確率)<sup>2</sup>

#### (b)車両（小型車）移動部分

- ・起終点 地点内各点より2リンク接近した3地点～幹線道路
- ・移動主体 救急車又は自家用車:小型車 必要幅員 2.0m
- ・モデル 3つの起点を区分し、それぞれ直角二等辺三角形グリッドモデルを用いる。

#### (c)到達容易確率の計算

到達容易確率 =  $1 - (1 - \text{各乗り換え地点毎の到達容易確率})^{\text{乗り換え地点数}}$

で計算する。各乗り換え地点利用経路相互には、閉塞条件の相互関係が存在するが、その点を勘案するとモデル的に計算困難になるため勘案しない（迂回なしに容易に到達できるというモデルにおいては大きな偏りは生じないと考えられる。）。

#### (4)評価結果について

##### (a)各指標の関係

各指標の関係、用いるデータ等の関係は図 1.2.16 の通りである。

なお、マクロ評価は地区の集計データを用いて簡易に計算するという手法上、代表値としての地区評価が容易に行なえると言う利点がある反面、利用に当っては以下の点に注意が必要である。

i)地区内の施設の情報によるため基本的には次の点は勘案されない。

- ・地区周辺の状況（周辺も均一として評価）
- ・地域コミュニティによる防火活動、消火器の整備などの条件

ii)ラフなデータで簡易なモデル計算を行うため次のような評価になっている。

- ・標準的な場所の評価であり、もっとも危険な場所の評価にならない
- ・まちづくりの細かい工夫などが十分に評価されない

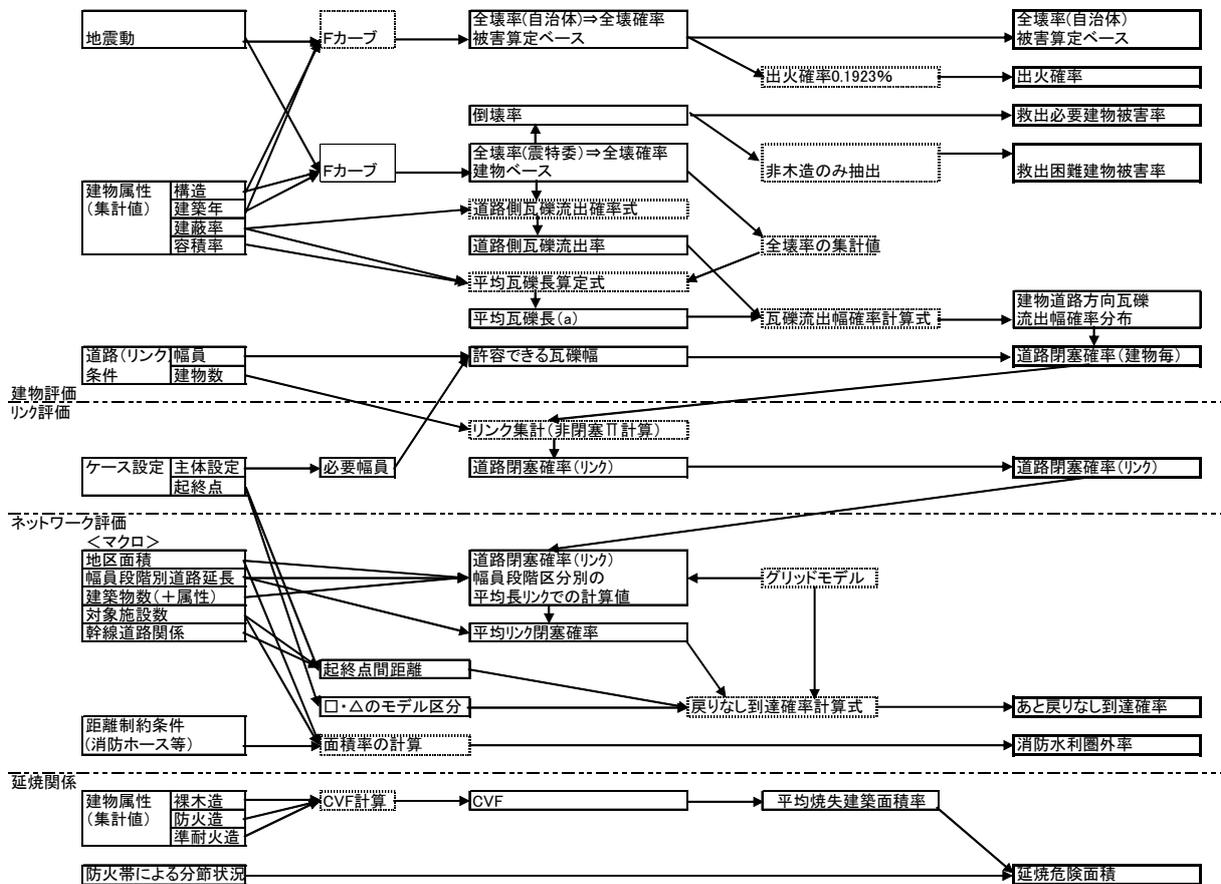


図 1.2.16 各指標の関係

特に、ii)の対応のためには、詳細な評価手法であるマイクロ評価が活用できる。

##### (b)評価結果の総合化

###### ①評価結果の総合化の観点

これらの要素指標は、それぞれの観点で意味のあるものではあり、これら必要性や行動を個別に評価する上では有効である。しかし、地区を評価して改善すべき地区を抽出するという観点では、各指標をあわせて総合的に判断することが必要である。

しかしながら、全ての指標は同等なものではないので、合計や平均といった統計手法によって評価することは不適切である。また、やみくもに統合することは、指標そのものの意味が不明確となり、それらが適切であるかでき判断できない可能性もある。

このため、評価の総合化は論理性をもって行う必要があり、また、避難、消火、救出・救護は別の側面であるので、原則として個々のアクティビティー毎に行うことが適当である。以下にその考え方を示す。

#### a) 指標間の関係

各アクティビティーの要素指標は、震災後に必要となる重要な行動（住民が一般的に必要とし、その行動が不可欠と考えられるもの）について、行動を起こす必要性、その行動の実施可能性（又は容易性）について、リストアップしたものである。このリストアップ段階では、各要素指標は並列に示されている。

しかし、この各種指標相互に関しては以下のような関係のものがある。

ア) 必要性指標に関し、「火災発生と延焼」のように最初の事象が起きなければ次の事象が発生しないものがある。（いずれかの指標値の大小が、他の指標値の大小の評価の前提となる。）

イ) また、必要性指標に関し、これが行動の前提であるため、「重傷者の発生（⇒病院移送の必要性）」「軽傷者の発生（⇒救護所への移動可能性）」のように基本的に優先関係にあるもの（どちらが重要かが明白なもの）がある。

ウ) 行動指標に関し、「消防車取水困難率（消防車）」と「ホース到達困難率（消防ホース）」のように、本来、両方が到達できてはじめて有効な行動（消火活動）となるものがある。これは計算、もしくは、理解のしやすさの観点から区分している。（行動可能性は2つの（1－指標値）の積の関係にある。）

エ) また、「（消防）水利圏外率」のように、行動の前提（「（消防）水利圏外率」はウ）で例示した消防活動ができない範囲の割合である。）として整理されるべき指標がある。（他の指標値の有効性を計算するための指標値である。）

オ) 行動指標に関しては、行動の実施可能性（又は容易性）として示されているが、例えば消火活動と火災の関係（早く開始できれば被害が軽減できるといった関係）のように、多くのものが本来は時間要素を勘案する必要がある。（指標値は、相関性のある行動の代表地である。）

カ) 必要性指標と行動指標の関係は、もともと必要性があるから行動するものであり、例えば「火災発生」と「消防活動」は、「火災が全く起きなければ消防活動はできなくとも問題はない」という関係があり、独立した関係ではない。（いずれかの指標値の大小が、他の指標値の大小の評価の前提となる。）

従って、これらの点を整理して評価することとする。

#### b) 評価の観点

各行動の必要性、行動の確保に関しては、その効果には以下のような差異がある。

ア) 人命にかかわる評価：その行動が取れないことによって、人命にかかわる影響がある場合がある。また、これに準ずるものとしては、怪我や病状の悪化等が考えられる。なお、この評価は地区の行動性の評価で、時系列的には地震直後からのものであり、「地震時の建物の倒壊等による死亡」については評価対象とはしていない。

イ) 財産にかかわる評価：消防活動の可能性については、財産にかかわる評価である。なお、ア)と同様、「地震時の建物の倒壊等の財産の被害」については評価対象とはしていない。

ウ) サービス水準の評価：必要性に対応する行動は確保できる場合は、その行動がどれだけ行いやす

いかを評価することになる。例えば避難地までの移動が5分で容易にできる場合と2時間も瓦礫を乗り越えながら移動しなければならぬ場合は同等ではないが、行動ができることによってア)イ)の被害が生じないなら問題がないという考え方もできる。但し、行動中に二次災害に遭う可能性、行動ができる主体が限定される可能性を勘案すれば、ア)イ)の観点が皆無であるとは言えない。

この点を勘案し、ア)イ)ウ)の順番で、(格差をもって)重要であるという観点で整理して評価することとする。(例えばア)の問題が発生する場合はイ)ウ)の評価値は重視せず、基本的に無視する。)

#### c)指標の統合化の手法

要素評価値は各種の事象の発生確率や発生数、その被害の程度などであり、これらの関係を整理し評価する手法としては、各事象の発生するストーリーを整理した上で、イベントツリーによって評価が可能である。このため、この手法を用いることとした。

但し、要素指標が限定されていることから、ストーリーは簡単なものにした。

また、事象の関連、発生程度などは必ずしも本評価の対象とする「ハードなまちづくり」にかかる指標のみでなく、消防能力、地域コミュニティの状況などに関連する。これらについては、値の設定が困難であるが、指標の統合という目的のためのものであり、同一の値を置けば評価自体に大きく影響しないので、便宜上の数値を大胆に仮定している。

#### ②避難アクティビティ指標

指標の統合は、ストーリーに基づき、イベントツリーを作成し、その中の重要事象について評価をするという考え方で行う。

##### a)前提とするストーリー：避難行動の人の動きに関するストーリー(仮説)

###### 【地震】

###### (1) 地震直後

(1-1) 居住困難な罹災建築物の人々が一時的にいる場所を求めて一時避難地へ

(1-2) 半壊その他地震の影響を受けた(もしくは受けない)家屋の人々が余震による被害を恐れて避難場所(一時避難地、二次避難地、幹線道路のいずれかで最も近いもの)へ

###### (2) 移動

余震を恐れつつ移動(避難地等に到達するまでに強い余震が発生すれば移動中に罹災する恐れがある)

###### (3) その後

(3-1) 居住困難な罹災建築物から避難した人々は、居住環境として優れ、行政等サービスを受けやすい避難地(一時避難地又は二次避難地)に残留し、必要なものを取りに行くため罹災した自宅との間を往復。(一部親戚に身を寄せる等の行動あり)

(3-2) その他の人々は余震がおさまった後、自宅に戻る

###### 【震後火災】

###### (1) 火災発生後

延焼の恐れのある家屋の人々が、火の及ばないところに避難する

###### (2) 火災鎮火後

(2-1) 焼け出された人、自宅に戻ることを恐れる人々が、居住環境として優れ、行政サービスを受けやすい避難地(一時避難地(延焼区域外のもの)又は二次避難地)へ移動。(一部親戚に身を寄せる等の行動あり)

(2-2) その他の人々は火災鎮火後、自宅に戻る

b) イベントツリー

a) の内容をイベントツリーにすると図 1.2.17 のようになる。

c) 避難の総合評価指標

このうち影響が大きく重要なのは、「到着せず」、「移動中罹災」、「火災範囲から出られないで死亡」及び「避難できずに死亡」である。

「到着せず」及び「火災範囲から出られないで死亡」については、歩行者の移動性指標である避難地到達困難性、幹線道路到達困難性と相関がある発生確率であるとは考えられるが、

- ・外に向う全ての経路が歩行者に閉ざされるようなケースは実際上ほとんどない（避難にかかる移動はサービス指標であり、想定より高い瓦礫の乗越え、庭などへの迂回が可能である）、
- ・発生するにしてもミクロレベルの局所的状況によって起こるものでマクロ評価では対応できない、ことから、総合評価指標には織込めない（必要な場合には行動要素指標で勘案すれば良い）。

「避難できずに死亡」については、救護指標と消防総合指標の積となるが、双方の指標が別途あるため避難指標に重複して加える必要はない。

したがって、マクロ評価可能な範囲では、「移動中罹災」する可能性を除いて、基本的に避難がまず行くことで、大きな被害を発生させない。

このため、避難の指標は、避難所に行きやすいかどうか（避難所への到達しやすさ）を評価指標（サービス水準指標）として設定する。

この構成としては、「全壊罹災家屋(の人々)を対象とした避難地までの移動距離」「その他(の人々)を対象とした避難場所(幹線道路を含む)への移動距離」との合計とする。なお、これは、「移動距離＝危険な場所を通過する時間×歩行速度」と考えれば、移動中罹災に係る「リスク指標」と相関の高い指標となる。これは、全壊に対しては避難地までの距離、その他に対しては避難地等までの距離として計算すれば良い。

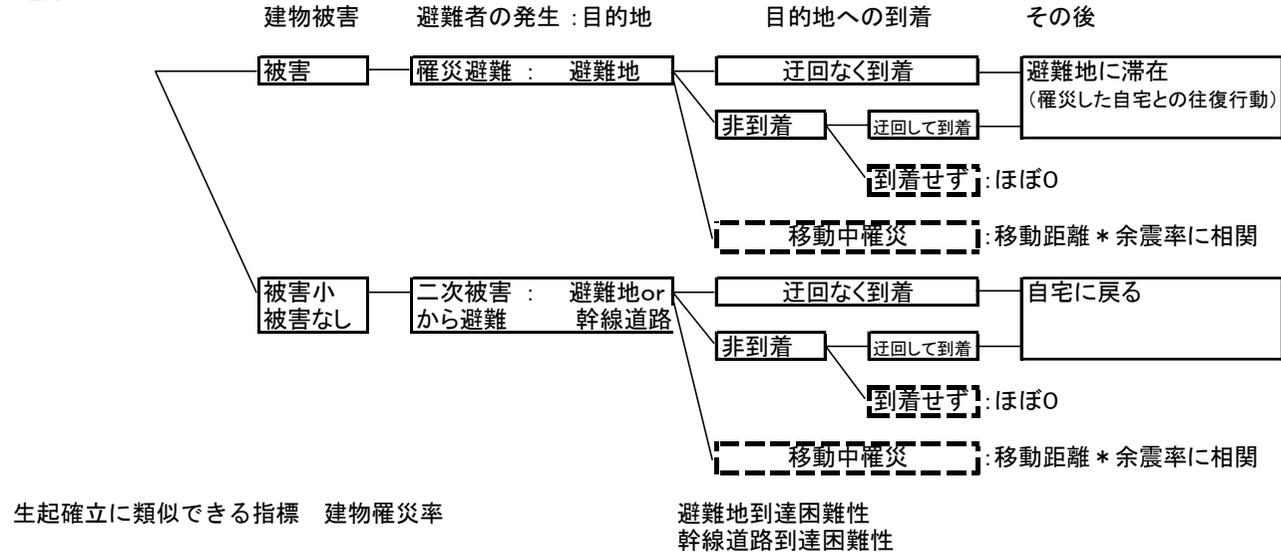
d) 指標の計算方法

$$\begin{aligned} \text{避難総合指標} &= \text{避難距離にかかるサービス水準指標} \\ &= (\text{自治体式の全壊率}) * (\text{避難地までの迂回を含めた距離}) \\ &\quad + (1 - \text{自治体式の全壊率}) * (\text{避難場所(避難地・幹線道路のいずれか)までの迂回を含めた距離}) \\ &= (\text{自治体式の全壊率}) * (\text{避難地までの距離} = \text{避難地到達距離}) * (\text{遠回り可能性指標} = 1 / (1 - \text{避難地到達困難性}) \text{で代用}) \\ &\quad + (1 - \text{自治体式の全壊率}) * \min\{(\text{避難地までの迂回を含めた距離}), (\text{幹線道路までの迂回を含めた距離})\} \\ &= (\text{自治体式の全壊率}) * (\text{避難地到達距離}) / (1 - \text{避難地到達困難性}) \\ &\quad + (1 - \text{自治体式の全壊率}) * \min\{(\text{避難地到達距離}) / (1 - \text{避難地到達困難性}), (\text{幹線道路到達距離}) / (1 - \text{幹線道路到達困難性})\} \end{aligned}$$

この指標の単位は m である。これは、遠回り可能性指標が、迂回率に相関する指標であるためである。また、この総合化指標はサービス水準指標として設定したため、必要性指標で勘案した被害の発生密度（施策対応の必要性の判断要因）は考慮されていない。（対象人数は少なくとも、全ての人に対して確保するという観点からのサービス水準として計算される。なお必要であれば地区の人口密度を乗ずるなどの勘案方法を用いればよい。）

なお、遠回り可能性指標として  $1 / (1 - \text{到達困難性})$  を代用しているが、これは、「遠回りしない確率 + 遠回りする確率 \* (1 + (1 / (遠回りしない確率)))」に相当する。即ち遠回りした場合の仮想距離は当初の 2 倍以上で算定しているものとなっている。

<避難のイベントツリー>



<延焼避難のイベントツリー>

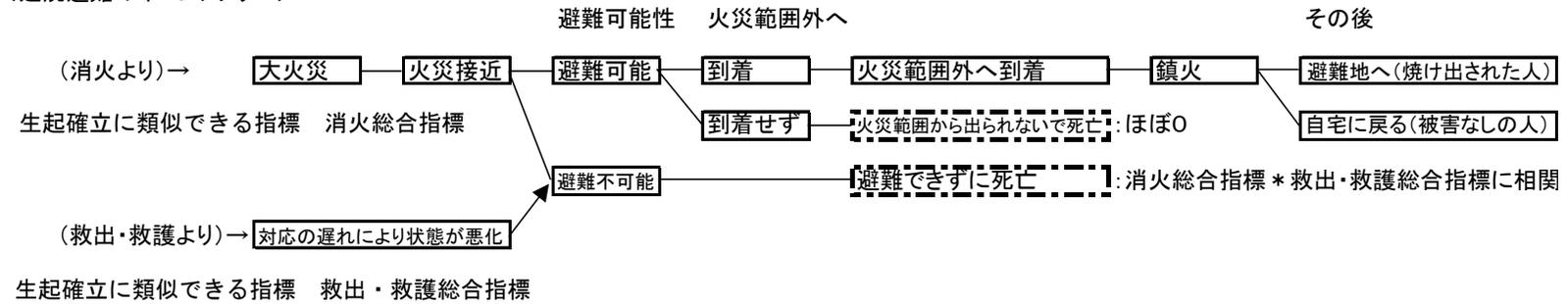


図 1.2.17 避難アクティビティのイベントツリー

### ③消火アクティビティ指標

指標の統合は、ストーリーに基づき、イベントツリーを作成し、その中の重要事象について評価をするという考え方で行う。

#### a)前提とするストーリー：大震災時の消火に関するストーリー(仮説)

##### (1) 出火

地震による建物の倒壊等に伴い火災が発生

##### (2) 初期消火活動：通報等を受けて、消火活動を開始

(2-1) 消防水利圏内について、消防水利位置に消防車が早期に到着でき、火災現場までホース車又は消防士が早期にホースを伸ばせれば消防活動ができる。

(2-2) 消防水利圏外及び消防水利・火災現場に早期に到着できない場合は、初期段階での消防活動はできない。

##### (3) 初期延焼段階

初期消火活動で鎮火しない場合および初期消火活動ができない場合、火災範囲は拡大する

##### (4) 消火活動継続

消防水利圏外、消防水利・火災現場に早期に到達できなかった場合、消火できなかった場合は、延焼段階で消火活動を開始又は継続。(この場合、既に延焼被害が出ている。)

(4-1) 消防水利圏外のうち、ホース距離の2倍までの範囲内(圏内と同様に計算)については、ホースの延長、中継ポンプなどで対応でき、消防水利・火災現場に到着できる場合は消防活動を開始。(消防水利への到着は迂回などにより遅れての到着を勘案。また、消防ホースの到着可能性は瓦礫乗り越え・迂回などを勘案。)

(4-2) 消防水利圏内で、早期に到達できなかった場合、消火できなかった場合も同様。(他の消防水利からの応援、迂回による到着等を勘案)

(4-3) その他消防水利の2倍圏外については消防活動はできない。

##### (5) 火災拡大段階

2倍延長の消防水利圏外、消防水利に到着できない場合、消火活動で鎮火しなかった場合、大火災に発展。

##### (6) 火災終結

火災は継続する消火活動および焼けどまりによって終結。

#### b)イベントツリー

a)の内容をイベントツリーにすると図1.2.18のようになる。

#### c)消火の総合指標

消火の総合指標としては、火災被害の面積の期待値を対象として設定する。時間の概念を勘案すれば、その被害は各々異なる。このため、仮定的に被害量を、直ぐに消防が到着できる場合は1棟、遅れて到着する場合は数棟、到着できない場合は大火と想定している。

この各段階での被害面積の期待値の合計から計算される被害面積率を総合指標とする。これは地区内から出火した場合の地区面積に対する延焼建築面積の割合にあたる。(大火の可能性が高く地区が分節されていない場合は、地区外も含めて延焼するので1を超える可能性もある。)

#### d)指標の計算方法

指標として「被害状況に対応する生起確率  $P_i$ 」と「被害状況  $S_i$ 」の2つを用い、一本化する。



- P1: 「1棟被害の発生確率」 $=$ (地区面積) $\times$ 出火率密度 $\times$ (1-水利圏外率) $\times$ {圏内の消火活動可能率} $\times$ 消火確率  
 $=$ (地区面積) $\times$ 出火率密度 $\times$ (1-水利圏外率) $\times$ {圏内の消火活動可能率}
- P2: 「数棟被害の発生確率」 $=$ [(地区面積) $\times$ 出火率密度 $\times$ (1-2倍水利圏外率) $\times$ {2倍圏内の消火活動可能率}-P1] $\times$ 消火確率  
 $=$ (地区面積) $\times$ 出火率密度 $\times$ (1-2倍水利圏外率) $\times$ {2倍圏内の消火活動可能率}-P1
- P3: 「大火災の発生確率」 $=$ (地区面積) $\times$ 出火率密度-P1-P2

なお、

{圏内の消火活動可能率} $=$ 1- {1- (消防車の消防水利到達確率) $\times$ (火災現場への消防士到達確率)}<sup>^</sup>(利用可能消防水利数)  
 {2倍圏内の消火活動可能率} $=$ 1- {1- (消防車の3肢モデル到達確率) $\times$ 1}<sup>^</sup>(2倍圏利用可能消防水利数)

これら確率については、P1の計算では早期到達という意味で要素指標そのものを、P2については消防車分については3肢モデル(非到達モデル)による確率を、消防士分については1(民地の中の通過、瓦礫排除や大きな乗り越えを想定して必ず到着)としている。

S1: 「1棟被害の面積」 $=$ 総建築面積/建築棟数

S2: 「数棟被害の面積」 $=$ 着火家屋から定数(r)m内の家屋面積 $=$  $\pi r^2$  $\times$ 建築面積割合

定数rとしては約1.5m(面積700)を用いる。 $\Rightarrow$ 700 $\times$ (建築面積/地区面積)

S3: 「延焼での被害面積」 $=$ 延焼面積

消火総合指標 $=$  $\sum$ Pi $\times$ Si/地区面積

(地区面積で割ることによって地区設定の大きさの影響をなくする)

この計算には「2倍圏内の消火活動可能率」などの要素指標としていない、地区評価値を用いて計算している。なお、定数rのほか以下の仮定を置いている。

- ・火災発生確率(出火率)は、兵庫県南部地震のデータをもとに設定しており、消防活動が必要な火災の発生件数である。この件数は、街角の消火器の利用による消し止め、地域コミュニティによる消火活動等、消防署による地域啓発や施設整備などによって、減少すると考えられる。これについては地域で消し止めることができない火災の比率(神戸市の場合との比較)で設定することが可能であるが、1としている。
- ・消火確率 $\alpha$ は、消防水利から消防ホースの筒先が火災現場に到着した場合の消火確率である。これに関しては、消防水利の規模(又は耐震性)が小さく十分な消防活動ができないと考えられる場合、消防署における消防車の台数等の要因で、対応が困難と考えられる場合などもあり、個々に設定することもできると考えられるが、共通に1(全て消火)としている。

#### ④救出・救護アクティビティ指標

指標の統合は、ストーリーに基づき、イベントツリーを作成し、その中の重要事象について評価をするという考え方で行う。

a)前提とするストーリー:大震災時の救護に関するストーリー(仮説)

##### (1)ケガ人等発生

地震による建物の倒壊等に伴い死者、ケガ人、瓦礫の下敷きになる要救助者が発生

##### (2)要救助者対応

瓦礫等の下敷きになった人については、近隣の人々等が助け出す。

(2-1)大部分の木造建築物等については、近隣の人々の救助で対応(地域互助が期待できない場合はレスキュー隊等が対応)→ケガ人

(2-2) 倒壊したS造、その他大規模建築物の被害者（の大部分）は、レスキュー隊、自衛隊等の手で救助が必要（車両（工事機械を含む）の到着可能性が重要）

(3) ケガ人対応

ケガ人は軽傷者は救護所、重傷者は病院に移送する。

(3-1) 軽傷者は自力又は介護されつつ、一時避難場所に設置される救護所に徒歩で移動

(3-2) 重傷者は救急車(または自家用車)によって病院へ移送

b) イベントツリー

a)の内容をイベントツリーにすると図 1.2.19 のようになる。

c) 救護の総合評価指標

このうち影響が大きく重要なのは、「対応の遅れにより状態が悪化」及び「孤立し手当てが受けられない」である。

「孤立し手当てが受けられない」については、救護所到達困難率（歩行者）と相関がある発生確率であるとは考えられるが、

- ・外に向う全ての経路が歩行者に閉ざされるようなケースは実際上ほとんどない、
  - ・発生するにしてもミクロレベルの局所的状況によって起こるものでマクロ評価では対応できない、
- ことから、総合評価指標には織込まない。（必要な場合には行動要素指標で勘案すれば良い。）

このため、「対応の遅れにより状態が悪化（と相関の高い指標値）」の単位面積あたりの発生密度を総合評価指標とする。なお、地震による死者の発生は重要な問題であるが、アクティビティの改善によって対応できる対象ではないので、総合化指標の計算においては考えない。

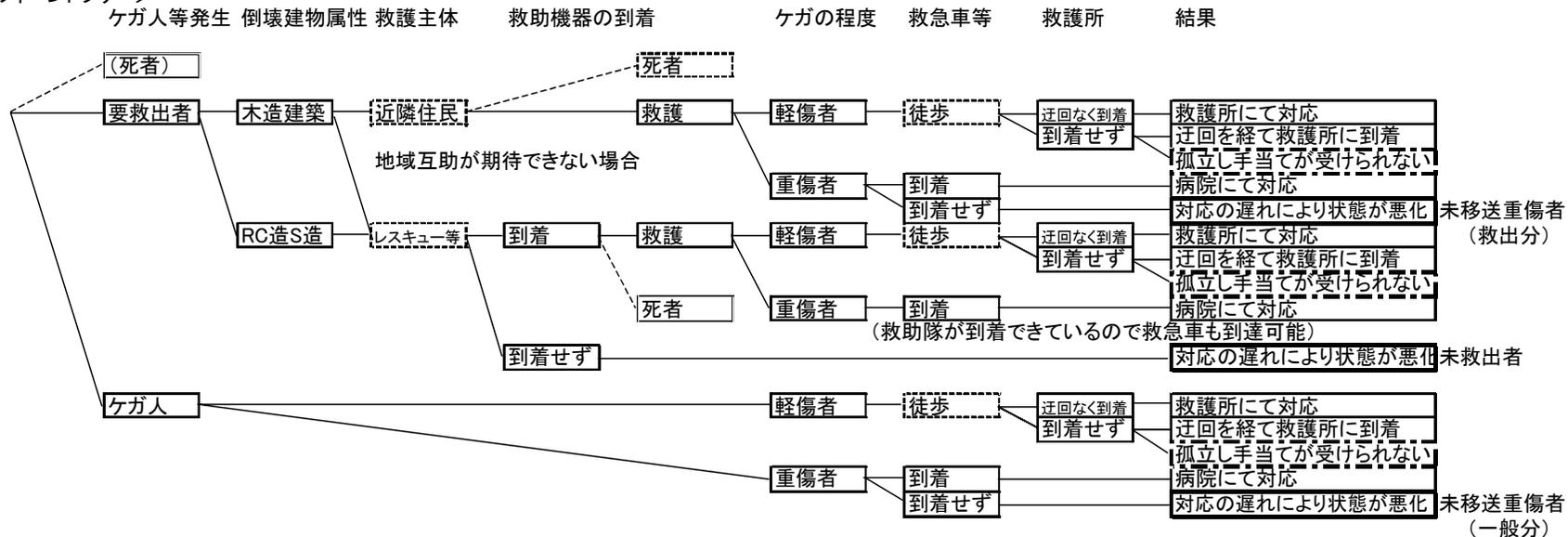
d) 指標の計算方法

$$\begin{aligned} \text{救出・救護総合指標} &= \text{救出・救護の遅れに係る被害人数密度指標} \\ &= (\text{未救出者割合} + \text{未移送重症者割合 (救出分)}) + (\text{未移送重症者割合 (一般分)}) \\ &= [ ( (\text{RC造S造全壊建物数} + (\text{木造全壊建物数}) * (1 - \text{地域互助期待率})) * \text{救助必要建物率} * (1 + (\text{高齢者補正率} - 1) * \text{高齢者割合}) * (\text{救出者到着困難率}) \\ &\quad + ((\text{木造全壊建物数}) * \text{地域互助期待率}) * \text{救助必要建物率} * (1 + (\text{高齢者補正率} - 1) * \text{高齢者割合}) * (\text{要救出者の重傷者割合}) * (\text{救急車到着困難率}) \\ &\quad + (\text{全壊建物数}) * (\text{けが人発生率}) * (1 + (\text{高齢者補正率} - 1) * \text{高齢者割合}) * (\text{その他けが人の重傷者割合}) * (\text{救急車到着困難率}) ] \\ &\quad / \text{地区面積} \\ &= ( (\text{堅牢建物全壊率密度}) + (\text{全壊率密度} - \text{堅牢建物全壊率密度}) * 0.1) * 0.1 * (1 + \text{高齢者割合}) * (\text{救出者到着困難率}) \\ &\quad + (\text{全壊率密度} - \text{堅牢建物全壊率密度}) * 0.9 * 0.1 * (1 + \text{高齢者割合}) * 0.5 * (\text{救急車到着困難率}) \\ &\quad + (\text{全壊率密度}) * 0.9 * (1 + \text{高齢者割合}) * 0.1 * (\text{救急車到着困難率}) \end{aligned}$$

なお、計算上の以下の仮定を置いている。（イベントツリーにも示した）

- ・木造倒壊建物からの救助は基本的に周辺住民の互助による救助と仮定しているが、このうち、レスキュー隊などの助力を必要とする割合を仮定している。これらは、地域のコミュニティーの強さ・希薄さ（地域の互助精神の欠如等）も関係し、地域コミュニティーの希薄な新興住宅地などで地域互助による救出が期待できない場合、古くからの住宅地など地域コミュニティーがしっかりしておりまた救出困難と思われる木造建築が少ない場合など地域ごとに設定できる可能性もあるが、全て統一して0.9と仮定した。（木造倒壊建物の90%（大部分）は地域互助によって救助がなされると仮定した。）
- ・高齢化による要移送けが人の増加要因に関しての「(高齢者の要移送けが人割合) / (非高齢者の要移送けが人割合)」を仮定している。これは、非高齢者に対し、高齢者がどの程度の割合で、要移送けが人（車で病院まで移送するけが人）になりやすいかを示す値であり、2と仮定している。（高齢者は、高齢者以外の2倍の割合で、自力で救護所の移動できない人がおり、救急車等での対応が必要になると仮定。）

<救出・救護のイベントツリー>



生起確立に類似できる指標 全壊率

以下を仮定  
 高齢化補正: (1+高齢者率)  
 救助必要建物率: 0.1  
 ケガ人発生率: 0.9

翌年建物全壊率

以下を仮定  
 地域互助期待率: 0.9

救出車到着困難率 想定せず

以下を仮定  
 救急車到着困難率  
 要救出者の重傷割合: 0.5  
 その他ケガ人の重傷割合: 0.1

救護所到達困難率

ほぼ0  
 救護所兵站困難率

図 1.2.19 救出・救護アクティビティのイベントツリー

・要救助建物の発生割合、けが人の発生割合、そのうちの要移送けが人（重傷者）の発生割合に関して仮定を置いている。これら未知の変数は地震の程度、建築状況等による所が多いと思われ、設定困難であり次の通り仮定した。

要救助必要建物率（倒壊建物中のレスキューもしくは近隣住民による救助の必要な割合）：0.1

けが人発生建物率（倒壊建物中のけが人の発生する建物の割合（要救助必要建物を除く））：0.9

要救助必要建物中の重傷者発生割合（建物→人数ベース：高齢者補正前）：0.5

けが人発生建物（要救助必要建物を除く）中の重傷者発生割合（建物→人数ベース：高齢者補正前）：0.1

#### ⑤全ての指標の統合とその問題

避難総合指標はサービス水準指標であり、消火、救出・救護総合指標はリスク指標（消火は財産、救出・救護は生命）である。このため、全体の総合指標を設定するならば消火指標と救護指標の積が適当（最も重要）と考えられる。

これは、避難のイベントツリーに示すように市街地条件によって救出・救護ができない状況で、火災が起り火災で死亡する確率の指標化にあたる。

総合指標＝消火アクティビティ指標×救出・救護アクティビティ指標

なお、指標の総合化をここまで行うと、特別なケースの人命の危険のみを対象としての評価となる。即ち「なんでこんなに避難地が遠いの？」「死者が出なければ家は燃えてもかまわないのか？」といった観点には対応できておらず、少なくともアクティビティの3総合指標程度は見る必要がある。また、実際の地区の震災施策を行う場合は、必要に応じ各要素指標もその意味を勘案し、バランスをとった対応を行うべきと考えられる。

#### (c)指標の相対化

各要素指標、アクティビティ指標の計算は、仮定や指標値を用いて計算しているものであり、出てきている数字そのものが必ずしも評価に直結できる数字であるとは言えない。（例えば到達困難性指標は、後戻りすることなく容易に到達する確率を求めており、どのような経路も閉ざされるといった状態の孤立確率ではないが、孤立確率的な側面も含め地区比較の観点（相対評価）では実用的であると考え用いている。）

また、危険度指標という数値そのものの性質からすると、全ての数字を例えば0にするとといったことを目指すべきであるが、現実的には数字の性質上、ある程度以下にすることは段々と困難となってくる。このため、劣っている地区を改善するための指標値と考え、相対評価を行うことが適当である。

即ち、相対評価を行うという趣旨は、実際に評価を行う自治体において、防災施策の必要な地区を抽出することなどを目的に評価値を計算するということである。

このためは、基準値を設けて、その値との関係で評価付けを行うことが適当である。評価値は、実際の評価を行った上で、中央値や平均値などを参考に設定することが考えられる。

なお、入力情報に一定の偏差(例えば建築物の面積データが得られないため、棟数に平均面積を乗じて計算し入力する場合など)があっても、相対的には評価は可能（詳細情報に基づくものとの比較で、地区間の順位の変動がほとんどない）と思われる。

#### (d)評価結果の改善施策

評価結果に基づき、防災性向上を検討するにあたっては、マクロ評価のプロセスから、表 1.2.8 のように整理される。

表 1.2.8 評価結果の改善施策

評価の視点	グラフ表示 要素指標	指標の内容・意味	対策の方向性				データの関連図
			広域対策 幹線道路の整備	施設整備 防火帯となる街並み、緑的公園等の整備	まちづくり 避難場所の追加	良好な建築物の整備、老朽建築物の更新 除却	
避難	罹災避難の必要性	建物罹災(率)	罹災証明による居住困難となった倒壊建築物の状況(倒壊率)				幹線道路までの距離 防火帯となる施設(幹線道路等)で囲まれた面積 避難場所数 消防水利数 区画道路・沿道建築物の良好性 建築物の構造・建築年代 堅牢建築物率・建築年代 疎不造・耐火・連防火面
	二次被害からの避難の困難性/罹災避難の困難性	避難地到達(距離)	避難者の避難地への到達困難性(距離)				
	二次被害からの避難の困難性	避難地到達(困難率)	避難者の避難地への到達困難性(非最短到達率)				
	二次被害からの避難の困難性	幹線道路到達(距離)	避難者の幹線道路への到達困難性(距離)				
消火	消火活動の必要性	出火(率)	損壊による出火撲滅割合				避難場所数 消防水利数 区画道路・沿道建築物の良好性 建築物の構造・建築年代 堅牢建築物率・建築年代 疎不造・耐火・連防火面
	延焼阻止活動の必要性	延焼(面積)	大火が発生した場合に燃え広がる恐れのある建物面積				
	消火活動の困難性/延焼阻止活動の困難性	水利用外(率)	消防水利用外面積の割合				
	消火活動の困難性/延焼阻止活動の困難性	消防車取水(困難率)	消防自動車への到達困難性(非最短到達率)				
救出・救護	救出活動の必要性/重傷者移送の必要性/救護者対応の困難性/救護所における救護活動の必要性	ホース到着(困難率)	消防士の火災地点への到達困難性(非最短到達率)				避難場所数 消防水利数 区画道路・沿道建築物の良好性 建築物の構造・建築年代 堅牢建築物率・建築年代 疎不造・耐火・連防火面
	救出活動の必要性	堅牢建物全壊(率)	堅牢(非木造)全壊棟数の割合				
	救出活動の困難性	救出車到着(困難率)	レスキュー車の全壊建物への到達困難性(非最短到達率)				
	重傷者移送の困難性	救急車到着(困難率)	救急車等の救出対象への到達困難性(非最短到達率)				
救護所における救護活動の困難性	救護所到着(困難率)	負傷者の救護所への到達困難性(非最短到達率)					
	救護所における救護活動の困難性	救護所兵站(困難率)	小型車の救護所への到達困難性(非最短到達率)				

これらの対策の効果については、対策に関するデータを入力することによって、マクロ評価で確認することができる。但し、施設整備の位置の検討、区画道路の整備や建築物の更新等を必要とすると考えられる場合にあっては、これらに係る評価は地区全体で均一ではなく、代表値で評価するだけでは不十分なので、ミクロ評価を行なうことが適当である。このミクロ評価の結果、指標値の悪い場所から改善していくことが適当であり、指標値の改善に効果的な整備位置の把握などに関してもミクロ評価が効果的である。

なお、物的防災力の向上(まちの整備)における都市施設整備項目の内、マクロ評価手法により評価可能であるか、また可能であるとすればどのようにするかについてとりまとめたものが表 1.2.9 である。

表 1.2.9 防災性向上整備内容と評価方法(マクロ評価の活用)

空間スケール	整備種類	整備内容	評価すべき内容	マクロ評価		備考	
				変更項目	評価結果への反映		
まちのスケール	家づくり	建物の耐震化	個別建物の強度	建築物全体の内の建築年代、構造データに反映	行動必要性指標は全壊率が小さくなり、行動可能性指標は地区全体の道路の通過率が上がり、各指標に反映		
	道づくり	ブロック塀の撤去・安全化	個別建物のブロック塀等の倒壊率	×インフラデータ外		ミクロ評価においても現時点ではモデルの精度を超える。またデータ取得も困難。	
	みどりづくり	緑地の整備(通り接け4m)	道路の追加	地区全体の道路延長データに反映	地区全体の移動関係の各指標が若干向上		
	みどりづくり	防災緑地の整備(二方向避難化)	道路の追加	地区全体の道路延長データに反映	地区全体の移動関係の各指標が若干向上		
街区のスケール	みどりづくり	生垣の保全育成	個別建物のブロック塀等の倒壊率	×インフラデータ外		ミクロ評価においても現時点ではモデルの精度を超える。またデータ取得も困難。	
	みどりづくり	井戸の健全	消防水利	地区全体の消防水利数としてカウント	消防水利圏外率などに反映		
	家づくり	建物の共同化	個別建物の強度	個別建物の強度	建築物全体の内の建築年代、構造データに反映	行動必要性指標は全壊率が小さくなり、行動可能性指標は地区全体の道路の通過率が上がり、各指標に反映	
		施設建替え	個別建物の強度	個別建物の強度	建築物全体の内の建築年代、構造データに反映	行動必要性指標は全壊率が小さくなり、行動可能性指標は地区全体の道路の通過率が上がり、各指標に反映	
		空き地の解消	道路の追加	道路の追加	地区全体の道路延長データに反映	地区全体の移動関係の各指標が若干向上	
		木造アパートの更新	個別建物の強度	個別建物の強度	建築物全体の内の建築年代、構造データに反映	行動必要性指標は全壊率が小さくなり、行動可能性指標は地区全体の道路の通過率が上がり、各指標に反映	
	道づくり	マンションの建設・建替え	個別建物の強度	個別建物の強度	建築物全体の内の建築年代、構造データに反映	行動必要性指標は全壊率が小さくなり、行動可能性指標は地区全体の道路の通過率が上がり、各指標に反映	
		公開空地の創出・セットバック	専有公開空地	道路から建物の離れの確保	地区全体の道路延長データで幅員別に反映	地区全体の移動関係の各指標が若干向上	ミクロ評価で評価可能。
		区画道路の整備(標準6m幅員)	区画道路の整備(標準6m幅員)	区画道路の整備(標準6m幅員)	地区全体の道路延長データで幅員別に反映	地区全体の移動関係の各指標が若干向上	ミクロ評価での詳細設定で評価可能。セットバックはミクロ評価で評価可能。
	広場づくり	歩道確保(セットバック・電柱後退)	歩道確保	歩道確保	×インフラデータ外		
みどりづくり	生垣の普及	建物のブロック塀等の倒壊率	建物のブロック塀等の倒壊率	×インフラデータ外		ミクロ評価においても現時点ではモデルの精度を超える。またデータ取得も困難。	
まちのスケール	防災設備づくり	ミニ防火貯水槽	消防水利	地区全体の消防水利数としてカウント	消防水利圏外率などに反映		
	家づくり	建物の更新(地域への公開)	道路の追加	道路の追加	地区全体の道路延長データに反映	地区全体の移動関係の各指標が若干向上	
		商店街の整備(協賛、共同建替え)	建物の強度	建物の強度	建築物全体の内の建築年代、構造データに反映	行動必要性指標は全壊率が小さくなり、行動可能性指標は地区全体の道路の通過率が上がり、各指標に反映	
		幹線道路の整備	幹線道路の追加	幹線道路の追加	地区内または最接近の幹線道路のデータに反映	幹線道路からのアクセス確保、延焼区域確保に反映	
		地区全体の道路延長	地区全体の道路延長	地区全体の道路延長	地区全体の道路延長データで幅員別または幹線道路延長に反映	地区全体の移動関係の各指標が若干向上	
	道づくり	歩道の整備拡張、バリアフリー化	街路幅員	街路幅員	×インフラデータ外		震災時の効用は通常の区画道路と同等と考えられる
		電線地中化	街路幅員	街路幅員	×インフラデータ外		ミクロ評価においても現時点ではモデルの精度を超える。またデータ取得も困難。最初から道路幅員を減じて表示するなどの工夫は可能。
		遊歩道の整備(標準8m幅員)	街路幅員	街路幅員	地区全体の道路延長・幅員データに反映	地区全体の移動関係の各指標が若干向上	震災時の効用は通常の区画道路と同等と考えられる
		ショッピングモールの整備、歩車共進道路	たまりのスペース	たまりのスペース	×インフラデータ外		ミクロ評価においても現時点ではモデルの精度を超える。またデータ取得も困難。最初から道路幅員を減じて表示するなどの工夫は可能。
	施設づくり	路上駐車・駐輪規制	街路幅員	街路幅員	×インフラデータ外		
広場づくり	公共施設の不燃化・耐震化・バリアフリー化	建物の強度	建物の強度	建築物全体の内の建築年代、構造データに反映	地区全体の道路の通過率が各指標に反映		
みどりづくり	防災活動広場	一時避難場所、救護所候補	一時避難場所、救護所候補	地区全体の一時避難場所、救護所数としてカウント	地区全体の避難、救護容易性が向上		
防災設備づくり	貯水設備(40㎡以上)	消防水利としての側面	消防水利としての側面	地区全体の消防水利数としてカウント	消防水利圏外率などに反映		

凡例 ○: 施策の効果が直接的に評価に反映する □: 施策の効果は地区全体データの向上として評価に反映されるので感度は鈍い(ミクロ施策のマクロ効果)  
△: 施策の効果の部分的に評価に反映する ×: 施策の効果は評価に反映されない

### 1.2.3 各アクティビティに係る場面・対象施設の設定等について

#### (1) 地震強度の考え方（マクロレベル評価、ミクロレベル評価共通）

既存モデルを活用し、地表最大速度等の地震強度別に評価値を算定する。

これにより地震強度により発生する影響を評価でき一般化できる。ただし、地震強度別に整理されたデータは少なく、適用したい係数等が存在しない場合もあり、状況により阪神・淡路大震災などの実際のデータを引用することも考慮する。

#### (2) 避難

避難は発災時の被災者の基本的行動と考えられる。

また、発災直近での避難は、比較的近傍であることが多いことが知られている（阪神淡路大地震での調査結果）。具体的には、近傍の公園や近傍の路上での待機となっていた。

- ①そこで、本研究での発災直近での二次被害からの避難は、避難開始場所から近傍の公園もしくは幹線道路までとする。
- ②罹災者の避難は、倒壊した家屋との近接性を考慮して行なわれたということから、近傍の公園等とする。
- ③避難地となる近傍の公園等としては、最小の規模として、以下の「1次避難場所」を想定する。（なお、地区内または近傍に、より大規模な公園（避難地としての指定があるもの等）などがある場合も、当然これを避難地と想定する。）

#### <1次避難場所について>

##### (a) 1次避難場所のイメージ：公園等としてのイメージ

東京都でいう1次避難場所を含むやや広い範囲のイメージを想定する。

いわゆるポケットパークから街区公園程度までを想定する。

機能としては、小規模ポケットパーク（例えば東池袋地区のポケットパークの中で小規模のもの）における情報交換や小休止といった機能から、街区公園のある程度の規模のものにおける、テント設営や救護所設置、車両持ちこみ等の範囲まで考えられる。

1次避難場所としては徹夜での待機・避難を行える程度の広さの公園、空地等を想定する。

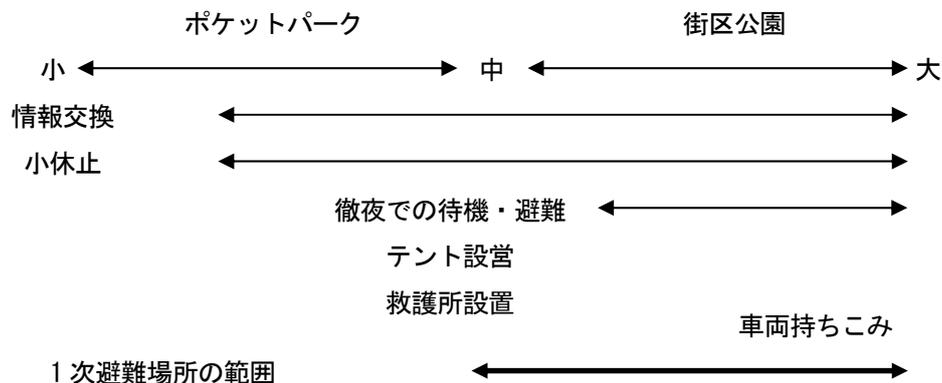


図 1.2.20 1次避難のイメージ

##### (b) その他の1次避難場所としての想定

公園以外にも、阪神淡路大地震では、近隣の学校、大規模な広場を有する公営住宅団地、（耐震性のある）公共的な建物等が避難場所として用いられた。このため、これらについても必要に応じて避難地と想

定して評価を行なうこととする。

### (c)避難場所へのアクセス性について

東京、大阪の密集市街地での状況では小規模の空地は公園も含めてフェンスで囲われていたり、施錠されていたりしてアクセス性が非常に悪くなっている。このアクセス性の悪さを評価するかどうかも1つの問題である。

評価の精度とも係わってどこまで表現するかが、問題となるが、当面は、ネットワークの避難場所を表すノードを入り口などに限定し（例えば、何本かの道に面していても1箇所だけにする等）、場合によっては回り込まないとアクセスできないことでアクセスの悪さを評価している。もちろんカギかけは（今回評価対象となっているタイムスパンに含まれる活動については）評価対象外となる。

### (d)避難場所としての安全性

罹災からの避難としては、兵庫県南部地震では「倒壊した自宅に近い場所での避難がなされた」という実績に基づき、一次避難場所と考えられる街区公園等を避難場所として評価することとしたが、これら一次避難場所は、火災に対する安全性は確保されていない。

このため、避難場所からも、「延焼からの避難についての評価を行なう」として、この安全性を評価することし、これら一次避難場所を防災上の避難場所と考えないという現実的でない評価はしないこととした。

火災安全性の重要性は、関東大震災で、多くの人が避難した本所被服工廠跡が火炎に巻かれ、三万数千人が死亡したという教訓があるからである。なお、これは複数箇所の発火により、四方から火炎が迫り、避難することができなかったためである。現在の防災対策では地区の分節等によって、四方から火災が迫ると言う状況は発生しにくくなっていると考えられるが、延焼からの避難可能性で安全性確認する必要がある。

なお、安全性が確保できない場合は、新たな出入り口の設置や避難経路の改善などの対策を検討することが求められる。

## (3)消火

発災後、組織的活動として最も重要な活動の1つが消火活動である。

出火点が多数あり、そのため消防活動が間に合わず、消防車等が出火点に到達できない事態は十分想定される。

しかし、そうでなければ、幹線系が完全に閉塞し、到達できないことはほとんど考えられず（阪神淡路大地震でも幹線系の閉塞は少なかった）、出火点近傍までは到達可能と考えられる。

このため、消火活動についても消火活動の開始は周辺幹線から始まると想定し、評価することとする。

なお、ここで、評価する対象は都市施設関連のものであり、地域コミュニティの組織化とか、消防隊員の携行する一般的ではない装備等と言った要素は評価しない。

## (4)救出・救護

消火と同様に、周辺幹線から救出活動、救護活動は始まると想定し、評価することとする。

### <救護所について>

オフィシャルな救護所については各地域の地域防災計画で設定されているが、多くは学校、病院等で地区レベルというより地域レベルの施設となっている。しかし、ここで想定しているのはそのような大規模なものではなく、神戸市の地域防災計画などで、それ（指定された救護所）以外に設置される臨時的救護所程度を想定している。機能としては、簡単な応急処置、トリアージ、搬送指示等を想定する。

『救護所への接近性』には地区外からの接近性と地区内からの接近性の2つが考えられる。地区外からは物資の搬入や地区外の病院等への搬送等の重要なアクセスがあり、地区内からは救護の必要な被災者のアクセスが想定される。

このため、救護所の設置場所自体が、ある程度の幅員の道路に隣接する公園、学校等とすると、地区外からの接近性は前提となる。

なお、このような観点からマクロ評価においては、避難所が救護所の役割を併せ持つものという考え方で設定することとした。

#### 1.2.4 区画道路網モデル

区画道路網モデルは、地区データとして取得できると想定した道路線密度（地区内道路総延長／地区面積）から置き換えた、グリッドパターン（斜め45度型）モデルを用いている。ここでは、このモデルについての説明として、(1)グリッドパターン（斜め45度型）モデルの意味（妥当性）、(2)グリッドパターン（斜め45度型）モデルの最短距離での通過確率の計算方法、(3)グリッドパターン（斜め45度型）モデルの迂回型到達確率を示し、(4)各種モデルの完全孤立確率の類似性、(5)各モデルの相対的な関係を示す。

##### (1)区画道路網モデルについて

###### ①基本的考え方

マクロ評価については比較的容易に取得できるデータをもとに行う必要があるが、地区面積及び地区内の区画道路の幅員帯別道路延長がこれに該当すると想定した。評価は、別途道路幅員帯に応じて1リンク（単位長さ）当りの（地震による）街路閉塞確率を求め、これをもとに

$$\text{通過確率} = \Sigma \{ (\text{幅員帯毎の延長} / \text{総延長}) \times \text{幅員帯毎のリンク通過確率} \}$$

によって、平均リンク1本当りの通過確率を計算し、これをモデルネットワークに適用し計算する。

ここでは、ネットワーク状態を代表する指標としての道路線密度（＝道路総延長／地区面積）に基づき、ネットワークを仮定し移動に伴う到達容易性を評価する考え方を示すものである。

リンク閉塞確率に関しては、マクロ評価で用いている平均的建物立地状況を仮定する方法であれば、地震による建物倒壊等に伴うリンク（区画道路）の非閉塞確率に関し、距離はべき乗で効いてくる（距離が2倍になれば非閉塞確率は自乗になる）という条件を置く事ができる。

ここでは、道路線密度から設定できる各種区画道路網モデルについて、この前提のもとでの地震閉塞時到達確率の振る舞いを検討し、地区の概略防災評価に用いることが適当な、区画道路網モデル・計算式を構築している。

なお、評価の対象する移動の場面は、以下に示すように出発点から幹線道路、2地点間の2種類である。

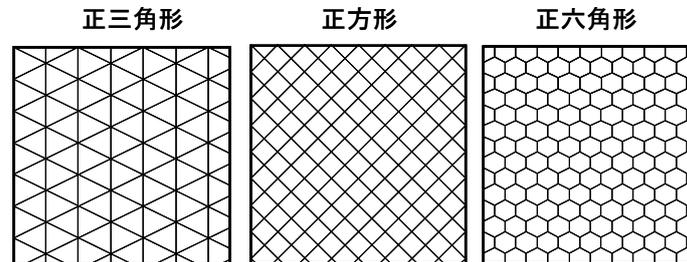
表 1.2.10 移動に関する評価項目の設定

	評価項目	要素指標	構成要素 など	起終点		移動主体	制約条件	移動のタイプ
	評価の考え方			起点	終点			
避難	避難地または幹線道路への到達困難性	避難地到達 (困難率)		地区内各所	避難地	健常者		2地点間
		幹線道路到達 (困難率)		地区内各所	幹線道路	健常者		幹線道路～点
消火	火災発生場所への接近困難性	消防車取水 (困難率)		幹線道路	消防水利	消防車 (大型車)		幹線道路～点
		ホース到着 (困難率)		消防水利	地区内各所	消防士 (健常者)	消防ホース長 を限度	2地点間
救出・ 救護	救出対象への接近 困難性	救出車到着 (困難率)		幹線道路	地区内各所	救出車 (大型車)		幹線道路～点
	けが人発生場所への 接近困難性	救急車到着 (困難率)	近傍まで	幹線道路	近傍	小型車		幹線道路～点
			近傍から	近傍	地区内各所	担架	2リンクの範囲	2地点間
	救護所へのけが人の 到達困難性	救護所到達 (困難率)		地区内各所	救護所	担架 (けが人)		2地点間
救護所への兵站困 難性	救護所兵站 (困難率)		幹線道路	救護所	小型車		幹線道路～点	

②模式区画道路網モデルの設定

道路線密度データから区画道路網をモデル的に想定するものとする。全体が特殊な方向性を持たず平均的であるという条件（モデル計算可能性）を容易に満たす方法は、同一の正多角形によって平面を埋めることである。その条件を満たすものは、正三角形、正方形、正六角形である。これら正多角形の1辺の長さLは、模式的に考えれば区画道路線密度D (m/m<sup>2</sup>) によって容易に求めることができる。

これらにおいて、地区内の特定箇所から幹線道路に後戻りすることなく達する経路を考えることとして道路網モデルの比較を行った。



同一の線密度Dの場合、リンク長Lは

$$L=2\sqrt{3}/D$$

$$L=2/D$$

$$L=2/\sqrt{3}D$$

図 1.2.21 区画道路のモデル図

仮定（行動モデル）としては、

- i) ノード位置で次のノードまでの区画道路までの閉塞・非閉塞が確認でき、
- ii) 可能な限り最短で到達することを目指し経路選択を行う、
- iii) 許容できるのは距離が長くない方向（幹線道路と並行）まで、
- iv) 距離が長くなる後戻りが生じた場合、到達困難性が生じたとする。

この到達困難性を生ずることなく幹線道路に達する確率を検討した。

なお、行動モデルの考え方は色々ありうるが、容易に計算できる行動モデルを想定した。これは、例えば後戻りを考えると途端に理論式の設定が難しくなり、数値計算しかできなくなるため、比較計算が非常に困難になるが、行動モデルとしての妥当性がこのモデルに比較して向上するものではないと考えられるた

め、計算容易なこのモデルを用いたものである。

各正多角形に関し、出発点と幹線道路の直線距離を X とした場合、その移動距離（最短道則等）は正多角形と幹線道路の関係に応じて異なるので、これらの代表的なものをモデル化した。その最短道則、及び、その最短道則に対応したリンク数（最短道則／リンク長 L）は容易に計算できる（表 1.2.11）。なお、各リンク数は必ずしも整数とならないので、以下は実数まで拡大して扱うこととし、最短道則は式からずれる場合もあるが、単純な形を用いている。

各モデルの通過確率はやや複雑である。それぞれ最短道則の 1 リンク等（三角直交では 1/2 リンク、六角直交では 2 リンク）を進めれば、条件は同一となる。従って、これらの「単位を進める確率」の「リンク数等」乗が「全体の通過確率」となる。

1 リンク等進める確率は、リンク 1 本当たり通過確率を a として、簡単なものから以下の通りの考え方で求まる。（結果は図 1.2.22 にまとめて示す）

i) 正方形・45 度

経路は単純な 2 本のみのなので、 $1-(1-a)^2=a(2-a)$

ii) 正六角形・直交

2 リンクが 1 セットで、いずれかの経路が 2 リンク同時に通過できる必要があるが、確認できるのは 1 リンクのみなので、 $a^2+(1-a)a^2=(2-a)a^2$

なお、2 リンク見通せたとした場合は①と同じ考え方で、 $a^2(2-a^2)$

iii) 正六角形・並行

最短道則の 1 リンクがだめなら、2 リンクを要するので、 $a+(1-a)a^2=a(1+a-a^2)$

iv) 正方形・直交

1 段進めるのは、直下 1 段+左右に動いてからの行動である。1 回左右に動いた後は、下に動くか、そのまた延長方向に動くかなので、左右に動いた後の 1 段下れる確率は  $P=a+(1-a)aP$  と書け  $P=a/(1-a+a^2)$

1 段下れる確率= $a+(1-a)aP+(1-a)(1-a)aP$

$$=a(1+a(1-a)(2-a)/(1-a+a^2))$$

v) 正三角形・並行

同様に、左右に動いた後の 1 段下れる確率は、 $P=a(2-a)+(1-a)^2 \cdot aP \Rightarrow P=a(2-a)/(1-a+2 \cdot a^2-a^3)$

1 段下れる確率= $a(2-a)+(1-a)^2 a(2-a)P$

$$=a(2-a)(1+a(1-a)^2(2-a)/(1-a+2 \cdot a^2-a^3))$$

vi) 正三角形・直交

あるノードからは、1 段下るリンク 1 本と 0.5 段下るリンク 2 本があり、1 段が優先され、各々 1 段下る確率= $a$ 、0.5 段下る確率= $(1-a) a(2-a)$ と書ける。

ここで  $n \times 0.5$  段目から到達できる確率を  $G(n)$  とかけば、 $i \times 0.5$  段目から到達できる確率は、

$$G(i)=a \cdot G(i-2)+ a(1-a)(2-a) \cdot G(i-1)$$

と書け、これは隣接 3 項漸化式である。従って、特性方程式の解を  $A, X$  とすれば式は、

$$G(n)=\{(A^n) \cdot (G(1)-X \cdot G(0))-(X^n) \cdot (G(1)-A \cdot G(0))\} / (A-X)$$

である。ここで、 $A$  を正の解、 $X$  を負の解とした場合、 $(A^n)$  が距離効果部分、 $(X^n)$  が変動部分にあたるが、モデルとしては距離効果部分のみを用いても変動部分は僅少なので  $A$  が 0.5 段進める確率に対応するとして十分である。

$$A=(a(1-a)(2-a)+ \{a^2(1-a)^2(2-a)^2+4a\} ^{.5})/2$$

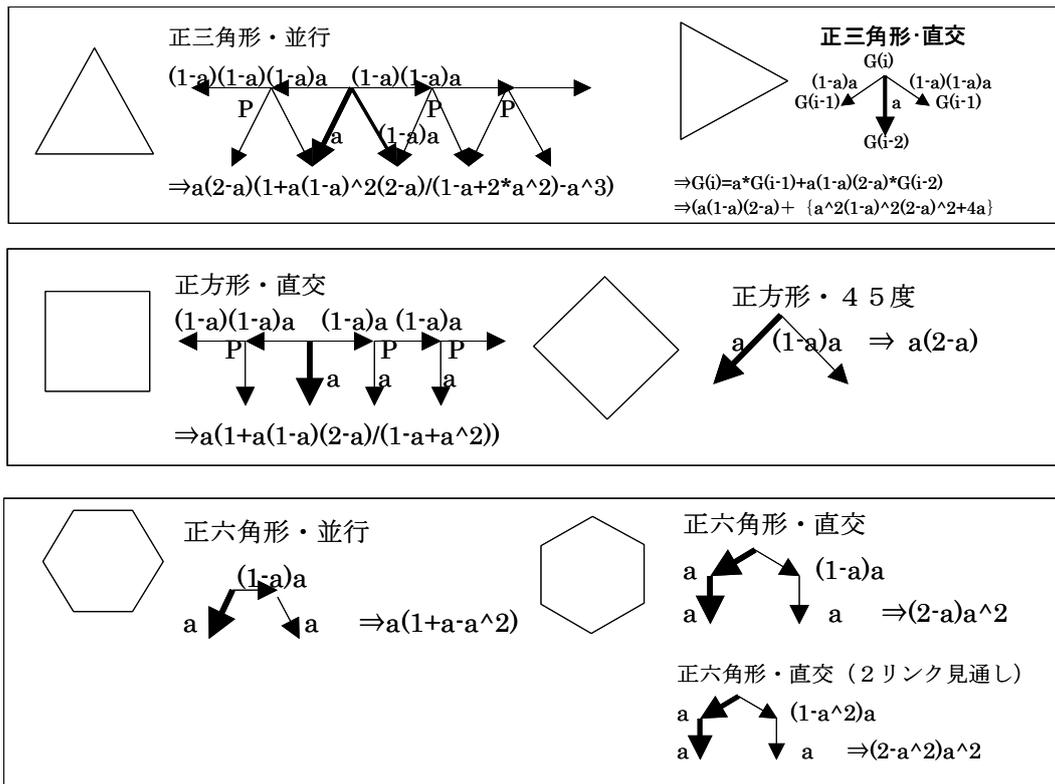


図 1.2.22 各モデルの移動確率の計算の考え方

表 1.2.11 区画道路のモデル毎の比較

区画道路網のモデル化		1辺の長さ L	経路延長(道則) 最短道則M1 最長道則M2	最短道則の リンク数 M1/L	通過確率 単位距離(リンク等)通過確率 $\alpha$ 通過確率
正三角形 	1辺が平行 	$L=2\sqrt{3}/D$	$2X/\sqrt{3}$	$XD/3$	$\alpha = a(2-a)(1+a(1-a)^2(2-a))/(1-a+2a^2-a^3)$
	1辺が直交 	$L=2\sqrt{3}/D$	$\infty$	$XD/2\sqrt{3}$	通過確率 $= \alpha \wedge (XD/3)$ $\alpha = (a(1-a)(2-a) + \{a^2(1-a)^2(2-a)^2 + 4a\} \wedge .5)/2$ (0.5段分、概数) 通過確率 $= \alpha \wedge (XD/\sqrt{3})$
正方形 	幹線道路と直交 	$L=2/D$	$X$	$XD/2$	$\alpha = a(1+a(1-a)(2-a))/(1-a+a^2)$
	幹線道路と45度 	$L=2/D$	$\infty$	$XD/\sqrt{2}$	通過確率 $= \alpha \wedge (XD/2)$ $\alpha = a(2-a)$
正六角形 	1辺が平行 	$L=2/\sqrt{3}D$	$\sqrt{2}X$	$XD$	通過確率 $= \alpha \wedge (XD/\sqrt{2})$ $\alpha = a(1+a \cdot a^2)$
	1辺が直交 	$L=2/\sqrt{3}D$	$2X/\sqrt{3}$	$XD/(\sqrt{3}/2)$	通過確率 $= \alpha \wedge (XD)$ $\alpha = (2-a)a^2$ (2段分) (2リンク先まで見通した場合 $\alpha = a^2(2-a^2)$ ) 通過確率 $= \alpha \wedge (XD/\sqrt{3})$

③各模式区画道路網モデルの通過確率

模式区画道路網モデルを仮定すれば、ある地区の道路線密度が決まった場合、リンク長は一意的に定まり、各リンクの距離別非閉塞確率に応じて、ある点から幹線道路まで迂回することなく到達できる確率を計算することが可能である。

距離別非閉塞確率に関しては、道路幅員が一定、沿道建築物が一様である仮定すれば、距離に応じて 非閉塞確率 = 単位延長あたり非閉塞確率  $\wedge$  (距離) の関係が成り立っていると考えられる。(単位延長あたり非閉塞確率を 1 軒が道路を閉塞しない確率と考えれば常識的な仮定である。) <sup>2)</sup>

この考え方に基づいた計算の 1 例として、道路線密度  $0.03\text{m}/\text{m}^2$ 、50mあたり非閉塞確率 80%の場合の、

幹線道路からの距離に応じて迂回なく幹線道路に達する確率を計算したグラフを図 1.2.23 に示す。なお、比較として、六角形直交の2リンク先まで見通せる場合、及び、単純に1本のリンクでつながっている場合も示している。

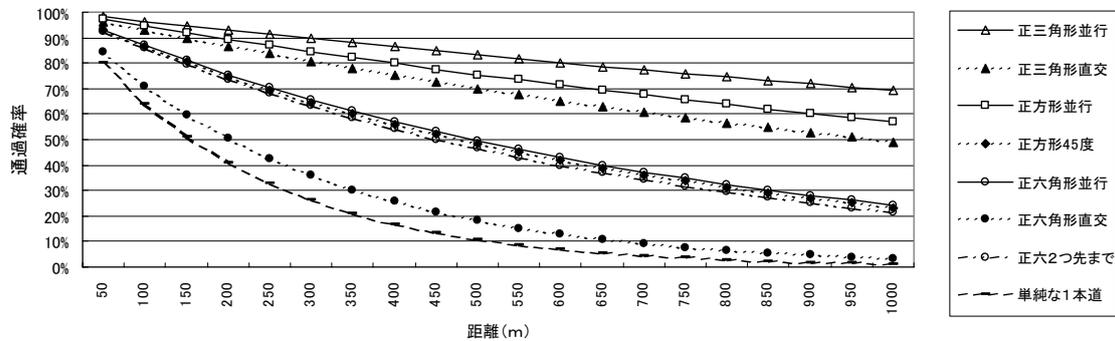


図 1.2.23 モデル別通過確率 (道路線密度 0.03m/m<sup>2</sup>, 50m 通過確率 80%)

これら通過確率の式はいずれも指数関数であり、大小関係、纏まり具合は区画道路線密度及び通過確率の値を変えても不変である。各線の纏まり具合を見ると、1リンク進む毎に選択できる経路数によって、類似の確率が与えるものと考えられる。なお、図 1.2.25 では正方形 45 度は単純一本道の 3 乗根に近いが、通過確率等の変更に対しては、このような関係は維持されない。

図 1.2.23 からは、モデル化によって評価のバラツキが生ずることが伺えるが、一方で、図 1.2.24 に示す、あるノードが近傍リンクの閉塞で孤立化する確率を計算した図 1.2.25 では、モデル化の影響 (値のバラツキ) は小さい。

パターン	正三角形	正方形	正六角形
到達ノード数	6	8	9
リンク長	$L3=2\sqrt{3}/D$ $=L4*\sqrt{3}$	$L4=2/D$	$L6=2/\sqrt{3}D$ $=L4/\sqrt{3}$
リンク閉塞確率	$P3=1-(1-b)^{\sqrt{3}}$	$P4=b$ ※2	$P6=1-(1-b)^{(1/\sqrt{3})}$
孤立確率※1	$P3^6$	$(P4+(1-P4)*P4^3)^4$	$[P6+(1-P6)*\{P6+(1-P6)*P6*(P6+(1-P6)*P6)\}^2]^3$ ※3

※1 概ね「正三角形の1リンクに相当する距離」に到達できない確率 (表示している円付近のノード(矢印の先)のいずれにも到達できない確率)  
 ※2 正方形のリンク長(2/D)での閉塞確率をbとし、これを基準に計算  
 ※3 正六角形は場合分けを若干省略しているので概数

図 1.2.24 近傍への到達可能性計算の対象範囲

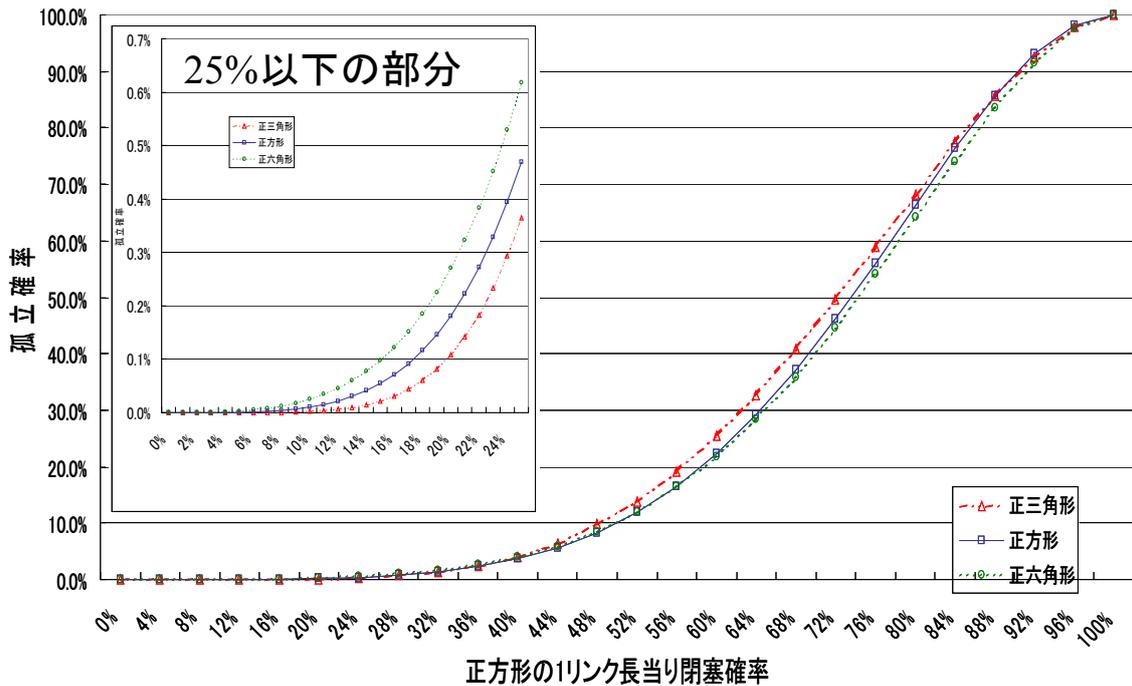


図 1.2.25 近傍のリンクが閉塞して孤立する確率

現実の区画道路網の防災評価も道路線密度のみでは十分でなく、ネットワーク形状の影響も大きいと考えられるが、現実と比較的近いモデルを用いれば、概略の評価を行う上では実用性があると判断し、以下の観点から正方形 45 度を現実評価のためのモデルとして採用した。

- i) 目的方向から±45度方向は一般的な経路選択性向と合致すると思われ、また、選択経路数2は一般的な市街地に近いと考えられること。
- ii) 現実の市街地は三角形や六角形より四角形近い形状であると思われること。
- iii) 確率が各モデルの中位にあり、中間的なモデル設定と考えられること。
- iv) 距離が単一で明示的に示せること。
- v) 2点間の移動に関するモデル化が容易であること。

#### ④点間の通過確率

評価対象として、地区内各点から一時避難場所への移動など、点と点の間の移動に関しても、通過確率をモデルに基づき計算する必要がある。このため、点と幹線道路の場合と同様な正方形 45 度モデルを用いて通過確率を求めた。このことは、「目的地に方向に進む道路を選択して、閉塞にあって後戻りすることなく目的地にたどり着ける確率」をグリッドでモデル化して計算することに相当する。

点間の移動経路選択モデルとして、目的地の方向に近い経路を選択し、これが閉塞している場合は迂回後、もとの経路に近い方向の経路を選択するとして、図 1.2.26 のような経路選択を行うものとする。(太矢印が主要経路となるリンク、細矢印が迂回した場合に戻るため選択する経路のリンク、破線矢印がこれら経路が取れない場合の迂回経路のリンク。)

目的地に到着する経路は、メインリンク（主要リンク＋

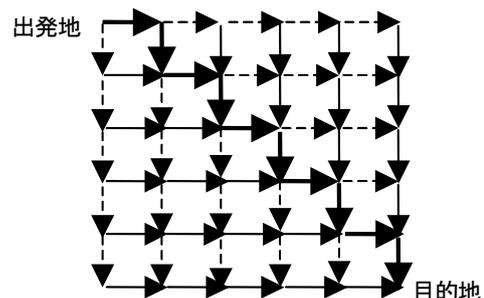


図 1.2.26 点と点の間の経路選択モデル

戻りリンク)と迂回リンクにより構成され、メイン経路(主要リンクのみ)を通過できる確率はリンク数をm、通過確率をaとして $a^m$ であり、迂回を強いられた各経路を通過する確率は迂回数をiとして、 $(1-a)^i \times a^m$ である(1-a部分は希望路線が通れない確率)。

ここで、メイン経路は一本であり、迂回数iの経路数を $R_i$ とすれば、迂回が $m/2$ 以上生ずると戻って来れないことから、

$$\text{通過確率} = a^m \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^{\text{int}(m/2)} R_i \cdot (1-a)^i\right)$$

と書ける。

この迂回経路については、mリンクの中でi箇所迂回を含める経路数になるが、例えば最終リンクが迂回であれば目的地にもどれないので、可能となる経路は図1.2.27で示す点線部分の角部分のないグリッドの経路数に等しい。(図1.2.26の迂回リンクを横、メインリンクを縦に並べ替えて表現。)

この角部分のないグリッドの経路数は全体の経路数から角部分を通過する経路数を引いて、

$$\text{経路数} = mC_i - mC_{i-1}$$

となる。

従って、通過確率は次の式で与えられる。

$$\text{通過確率} = a^m \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^{\text{int}(m/2)} (mC_i - mC_{i-1}) \cdot (1-a)^i\right)$$

### ⑤まとめ

本論においては道路密度のみを用いたモデル化が可能であり、正方形45度がモデルとして扱いやすく、現実にも近いと考えられることを示した。また、このモデルの点から幹線道路、点と点の間の到達確率が、リンクの切断確率及びリンク数の関数として表せることを示した。

なお、このモデルを全体の研究成果である地区道路網の防災性概略評価に組み込んでいる。

### 参考文献

- 1) 新階寛恭,家田仁,長瀬龍彦,篠恭彦,近藤慶太:都市内地区施設等の震災時における防災効果のマクロな評価手法,土木計画学研究論文集,Vol18, pp691-697,2001
- 2) 江橋英治,高柳百合子:地震時の棟別閉塞確率に基づく街路閉塞確率について,土木計画学研究講演集,Vol27

### (2)グリッドパターン(斜め45度型)モデルの最短距離での通過確率

ここでは、グリッドパターン(斜め45度型)モデルの最短距離での通過確率について、その意味と、理論式の設定(逐次情報)、式の係数の数値計算(完全情報)の結果を示している。なお、マクロ評価手法においては、エクセルファイルにおける計算という制約から、理論化ができる逐次情報型のみを計算方法として採用している。

#### ①マンハッタンパターン(グリッドパターン)を用いることについて

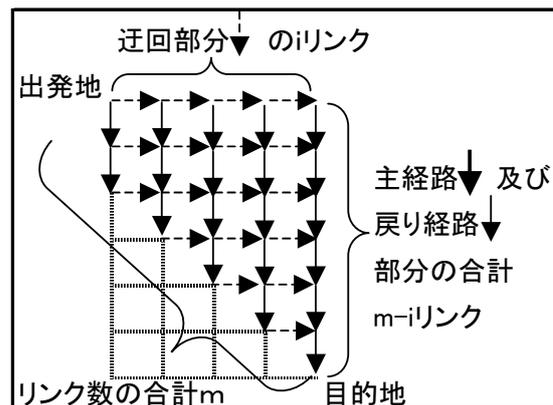


図 1.2.27 迂回数の経路モデル

アクセス性の評価にあたっては、道路ネットに関しても評価し勘案する必要がある。一般に相当程度の迂回を前提とすれば、到達できない可能性は少ないと考えられるが、これ自体はより詳細なデータでのネットワーク評価が前提となるため、マイクロで実施することとしている。

マクロで用いるネットワークの評価においては、容易に取得可能なデータという点から、地区内の道路延長からモデル的に求めたマンハッタンパターン（グリッドパターン）に関して、複数の最短経路に関しての到達可能性を用いる。

グリッドパターンの設定にあたっては、出発地と目的地を対角線とする方向で設定する。このことによって、グリッドパターンの複数の最短経路は出発地と目的地を対角線とする正方形の各部分を通過する事となる。これは、避難地方向に向う±45度方向の道のいずれかを選択して避難地に向うことが可能かどうかを判断していることに類似していると考えられる。従って現実のネットとの対応においては最短経路のみを想定しているのではなく、大きな迂回なく到達する確率をモデルによって計算しているといえる。

なお、目的地が外周道路である場合にあっては、正方形ではなく、外周道路を底辺とし出発地を頂点とする直角二等辺三角形型で類似させる。このことは、同様に外周道路方向に向う最短距離の±45度方向の道のいずれかを選択して外周道路に向うことが可能かどうかを判断していることに類似していると考えられる。

### ②経路探索時の経路情報取得

震災による閉塞を前提としたネットワーク評価にあたっては、行動する者が、i)被災状況を知らずに、移動しながら進行先の被災情報を獲得する「逐次更新」、ii)全ての罹災状況を予め把握している「完全情報」の二つのケースを勘案する必要がある。i)の場合は罹災直後の周りの倒壊状況などわからない状況で生じる行動に対応するものであり、ii)の場合は震災に伴う被害情報が取得できてからの行動に対応する。

このため、マイクロモデルの行動パターンでは、避難場所への移動等については「逐次更新」、消防水利、消火対象、救出対象、救護所等への移動については、「完全情報」として評価している。これと同様な情報取得の考え方で計算方法（ネットワーク特性関数）を以下に示す。

### ③ネットワーク特性関数

#### i)経路情報が逐次更新の場合

##### a)逐次・△型（出発点から幹線道路に向う場合）通過確率

$$F_{\text{逐}\Delta}(m, PL) = (1-PL)^m$$

（式を導く考え方）

下の図で、■を出発点とする。出発点では一つ下のリンクまでの情報を持っている（逐次情報）ので、経路選択は二通りしかない。閉塞がない場合、左側の経路に進むとして図を書くと、左の経路に進める確率は $1-PL$ （当該経路に閉塞なし）である。また、右に進む確率は $PL$ （左側経路閉塞あり） $\times 1-PL$ （当該経路に閉塞なし）となる。

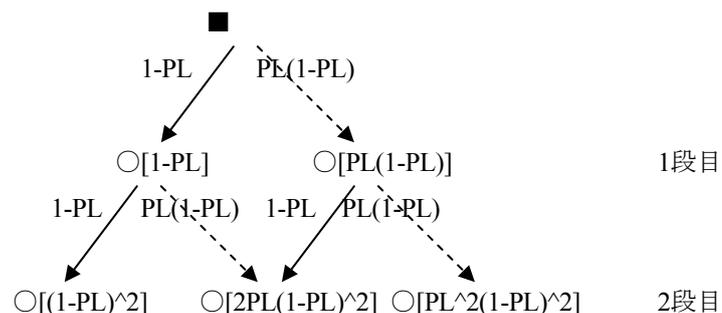


図 1.2.28 逐次△型の通過確率

第二段目以降もこの考え方で書けば、図のようになり、例えば三段目の真中に達する確率は、2経路あってその合計であるから $2PL(1-PL)^2$ となる。

この図は、 $(1-PL)^2 * (1+PL)^2$ の $(1+PL)^2$ 部分を二項展開をした場合に等しく、以下の段も同様にm段目については、 $(1-PL)^m * (1+PL)^m$ の後半の二項展開の図となる。ここで、△型でm段目に達することは出発地からmリンク先にある幹線道路に達する場合と等しいから、二項展開した各項の合計数が求める確率が到達可能確率である。従って、

$$F_{\text{逐}\Delta}(m, PL) = (1-PL)^m \cdot (1+PL)^m \\ = (1-PL^2)^m$$

b) 逐次・◇型 (出発点から点に向う場合) 通過確率

$$F_{\text{逐}\diamond}(m, PL) = (1-PL)^m \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^{\text{int}(m/2)} (mC_i - mC_{i-1}) PL^i\right)$$

(式を導く考え方)

■を出発点として、メインの経路を目的地に向う方向に設定し、リンクが閉塞され迂回する場合にあっても、メイン経路方向に戻るよう進むものとする(できるだけ目的地の方向に向って進むことに相当)。下の図で、◎が各段での目的地、二重線矢印がメインの経路、実線矢印が主経路(両方通行可能な場合にとる経路:メイン経路も含め、出発地への到着確率\* $(1-PL)$ で選択)、点線矢印が予備経路(メイン経路、実線の主経路が通行不能な場合にとる経路:出発地への到着確率\* $PL(1-PL)$ で選択)として示している。

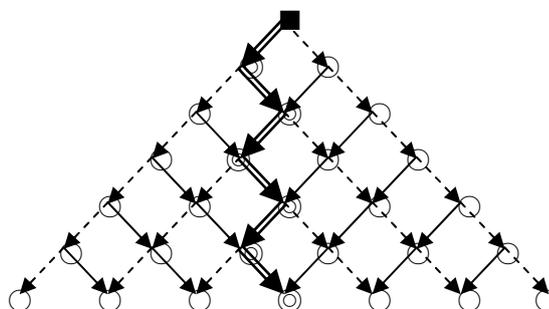


図 1.2.29 逐次◇型の移動パターン

この目的地◎に到着する経路は、メイン経路及び迂回を強いられた経路により構成され、メイン経路を通過できる確率は $(1-PL)^m$ であり、迂回を強いられた各経路を通過する確率は迂回数を*i*として、 $PL^i \cdot (1-PL)^m$ である(PL部分は希望路線が通れない確率)。

ここで、メイン経路は一本であり、迂回数*i*の経路数を $R_i$ とすれば、迂回が $m/2$ 以上生ずると戻って来れないことから、

$$F_{\text{逐}\diamond}(m, PL) = (1-PL)^m \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^{\text{int}(m/2)} R_i \cdot PL^i\right)$$

と書ける。

この迂回経路については、*m*リンクの中で*i*箇所迂回を含める経路数になるが、例えば最終リンクが迂回

であれば目的地にもどれないので、可能となる経路は下図で示す点線部分の角部分のないグリッドの経路数に等しい。（右に進むことを迂回、下に進むことをメイン又は主経路として表現）

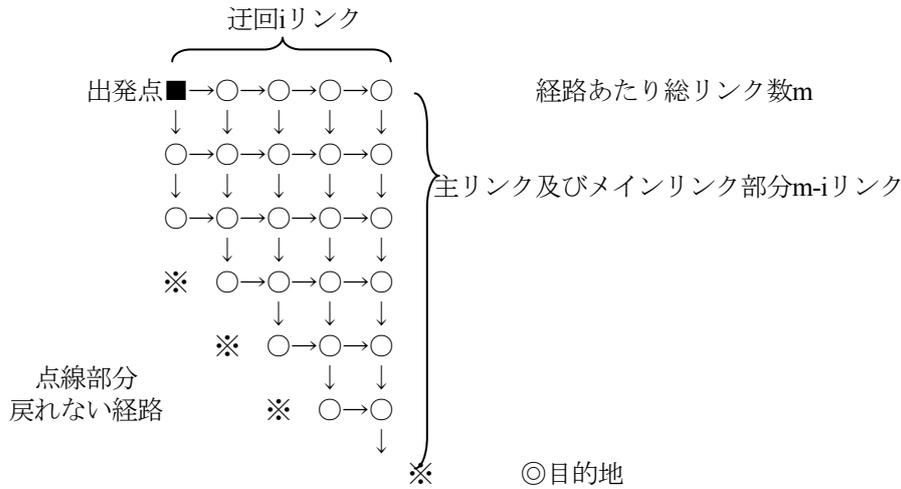


図 1.2.30 逐次◇型の経路数の考え方

この経路数は戻れない部分を含めれば、 $mC_i$ である。

ここで総経路数から差し引くべき戻れない経路について、※部分に着目すれば、いずれの経路も、どこかの※から左の○に戻る経路となるので、最後に通過する※ごとに場合分けを行う。その場合1つの※の場合の経路についての経路は下の絵左のように書ける。この経路数は、一点鎖線で※より下を折り返した右の絵と経路数は当然等しい。

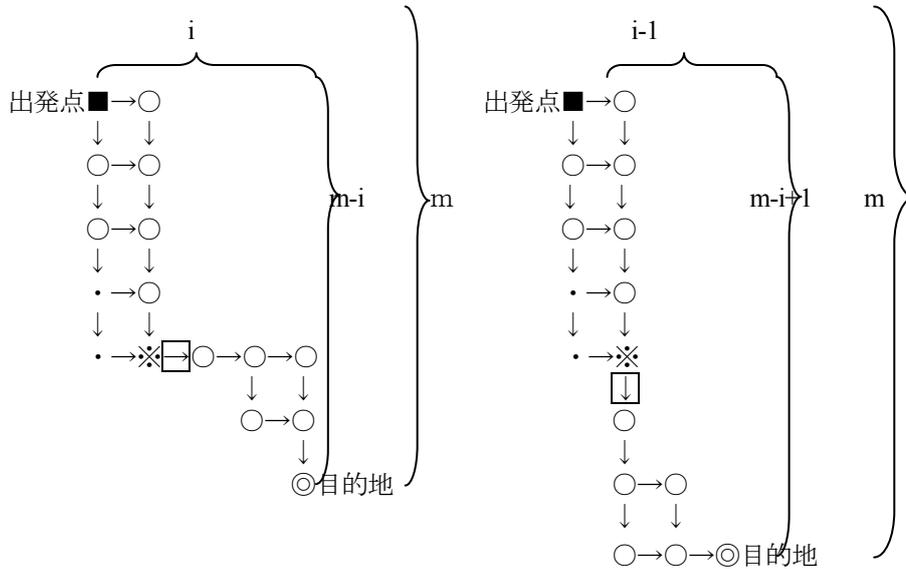


図 1.2.31 逐次◇型の経路数計算の考え方

この関係は全ての※について成り立ち、それらで示せる右図を重ね合わせると、 $i-1 \times m-i+1$  となり、その長方形の経路と、もとの経路の関係は重複もなければ欠損もないので経路数は等しく、その経路数は長方形の経路数から  $mC_{i-1}$  である。

従って

$$F \text{ 逐} \diamond (m, PL) = (1-PL)^m \cdot (1 + \sum_{i=1}^{\text{int}(m/2)} (mC_i - mC_{i-1}) PL^i)$$

を得る。

ii)経路情報が完全情報の場合

完全情報の場合は現在の研究情報として一般式としての解を示すには至っていない。

しかしながら、全リンクの断線状況に応じて示されるため、確率は、全リンク数を  $x$ 、最短経路のリンク数を  $n$  として  $a_i$  を整数の係数として、

$$F_{\text{完}}(x, PL) = \sum_{i=0}^{x-2} a_i \cdot PL^{x-i} \cdot (1-PL)^i$$

と書ける。

このため、現時点では、実用的に必要と考えられる範囲  $m$  に関し  $a_i$  を数値計算し、示すものとした。なお、数値が示されていない範囲については、示されている最大の  $m$  の確率をもって代用するなどの方法が考えられる。

a)完全・△型（出発点から幹線道路に向う場合）通過確率

$$F_{\text{完}\triangle}(m, PL) = \sum_{i=0}^{m(m+1)-2} a_i \cdot PL^{m(m+1)-i} \cdot (1-PL)^i$$

$$\triangle m=1 \quad a_i=1$$

$$\triangle m=2 \quad a_i=1, 6, 11, 6, 1$$

$$\triangle m=3 \quad a_i=1, 12, 66, 212, 427, 546, 437, 218, 67, 12, 1$$

$$\triangle m=4 \quad a_i=1, 20, 190, 1140, 4829, 15256, 36984, 69744, 102772, 118196, 105673, 73140, 39051, 16012, 4995, 1160, 191, 20, 1$$

$$\triangle m=5 \quad a_i=1, 30, 435, 4060, 27405, 142474, 592991, 2026640, 5785049, 13949318, 28618107, 50160476, 75248471, 96624066, 106083058, 99403480, 79334671, 53821930, 30978731, 15096776, 6211389, 2147476, 618754, 146494, 27842, 4090, 436, 30, 1$$

$$\triangle m=6 \quad a_i=1, 42, 861, 11480, 111930, 850668, 5245722, 26976056, 117991113, 445458290, 1467955809, 4258898126, 10950002252, 25073556980, 51318889016, 94122011102, 154934141170, 229085644700, 304313302702, 363058219620, 388742562912, 373222998446, 320941683238, 246915186864, 169767279412, 104202713352, 57036042313, 27805333134, 12053679384, 4635866384, 1576477185, 471637490, 123235524, 27836682, 5359013, 862232, 112793, 11522, 862, 42, 1$$

b)完全・◇型（出発点から点に向う場合）通過確率

$$F_{\text{完}\diamond}(m, PL) = \sum_{i=0}^{x-2} a_i \cdot PL^{x-i} \cdot (1-PL)^i$$

$$\text{但し、} x = ((m+1)^2 / 2) - 1 \quad m \text{ が } 1 \text{ 以外の奇数の場合}$$

$$x = ((m^2) / 2) + m \quad m \text{ が偶数の場合}$$

$$\square m=1 \quad a_i=1$$

$$\square m=2 \quad a_i=1, 4, 4$$

$$\square m=3 \quad a_i=1, 7, 21, 32, 23, 5,$$

$$\square m=4 \quad a_i=1, 12, 66, 220, 489, 744, 762, 496, 183, 32, 2$$

$$\square m=5 \quad a_i=1, 17, 136, 680, 2380, 6178, 12256, 18800, 22239, 19977, 13252, 6233, 1973, 393, 44, 2$$

$$\square m=6 \quad a_i=1, 24, 276, 2024, 10626, 42504, 134576, 345744, 732441, 1291688, 1904004, 2343912, 2396967, 2016908, 1377728, 751148, 320503, 104776, 25674, 4604, 583, 48, 2$$

$$\square m=7 \quad a_i=1, 31, 465, 4495, 31465, 169911, 736281, 2629540, 7887885, 20150475, 44282695, 84315287, 139735166, 202041125, 254905273, 280092398, 267018820, 219608897, 154691049, 92515651, 46519609, 19457888, 6693629, 1870682, 418713, 73660, 9896, 966, 62, 2$$

□m=8 ai= 1, 40, 780, 9880, 91390, 658008, 3838380, 18643560, 76904615, 273436640, 847625948, 2311458560, 5584400580, 12019741272, 23147736684, 40012211936, 62211031550, 87099856840, 109825631864, 124616525052, 127024244861, 116015579576, 94623981730, 68639617068, 44077665617, 24930091772, 12352772130, 5333002476, 1995253799, 643477436, 177916122, 41911884, 8341031, 1383912, 187258, 19912, 1561, 80, 2

□m=9 ai= 1, 49, 1176, 18424, 211876, 1906884, 13983816, 85900584, 450978066, 2054455508, 8217817496, 29135818264, 92262500841, 262585474344, 675168481723, 1575119507928, 3345915064843, 6490446572728, 11523816551841, 18760595356638, 28039091420985, 38500252743448, 48578041169212, 56307876711517, 59911834884234, 58441966969701, 52175200549810, 42541049284215, 31599018620551, 21322556459183, 13030868151349, 7188890624604, 3568102271974, 1587825137498, 631313976699, 223475992178, 70171797951, 19466632970, 4748400613, 1012233581, 187008702, 29587881, 3939825, 430222, 37023, 2353, 98, 2

c)ネットワーク関数完全情報型の計算プログラム (参考: BASIC)

<帰納法によるグリッド計算プログラム>

手順

- 3角形をまず計算する
- 三角形のm行目の断面の生起確率をパターン毎に記述することを基本
- 初期値は三角形一段
- 生起確率は $PL^{(n-i)} \cdot (1-PL)^i$ の場合の数でAに記載
- A(①, ②) の①は接続状態を二進数で表現したものを整数化、②は上のiに相当
- 三角を帰納的に計算 (答えをBに入れる)
- E (Aに相当) ,F(n段目のリンクに相当)は二進表現を表した関数。
- T1は右斜め上からの接続状況、T2は左斜め上からの接続状況、T3はT1 or T2 。
- 四角は△の生起確率同士 (AとB) をかけ合わせてCに計算 (三角同士は独立計算可能)
- 奇数四角は、三角の計算途上(半分)で最後の肢を除外して計算

```

10 OPTION BASE 0
20 DIM
A(4096, 200), B(4096, 200), C(400), E(8192, 20), F(40), EI
(8192), T1(200), T2(200), T3(200)
110 REM 初期設定
120 m=1
125 mm=2
130 A(0, 0)=1
140 A(0, 1)=0
150 A(0, 2)=0
160 A(0, 3)=0
170 A(1, 0)=0
180 A(1, 1)=1
190 A(1, 2)=0
200 A(1, 3)=0
210 A(2, 0)=0
220 A(2, 1)=1
230 A(2, 2)=0
240 A(2, 3)=0
250 A(3, 0)=0
260 A(3, 1)=0
270 A(3, 2)=1
280 A(3, 3)=0
500 REM 初期化
510 n=m+1
515 nn=mm+2*n
520 for i=0 to (2^(n+1))-1
530 for j=0 to nn+1
540 B(i, j)=0
550 next j
560 next i
700 REM
710 REM aiに対応するiの2進化
720 for i=0 to (2^(m+1))-1
730 EZ=0
740 EI(i)=0
750 for j=0 to m
760 E(i, j)=int((i-EZ)/2^(m-j))
770 EZ=EZ+E(i, j)*2^(m-j)
780 EI(i)=EI(i)+E(i, j)
790 next j
800 next i
810 REM
1000 REM メイン
1010 for k=0 to (2^(2*n))-1
1020 REM kの2進化
1030 FZ=0
1040 FI=0

```

```

1050   for j=0 to 2*n-1
1060   F(j)=int((k-FZ)/2^(2*n-j-1))
1070   FZ=FZ+F(j)*(2^(2*n-j-1))
1080   FI=FI+F(j)
1090   next j
1200   REM mein
1210   for i=0 to (2^(m+1))-1
1220   T1(m+1)=0
1230   T2(0)=0
1240   for j=0 to m
1250     T1(j)=E(i,j)*(f(2*j))
1260     T2(j+1)=E(i,j)*(f(2*j+1))
1270   next j
1280   IND=0
1290   for j=0 to m+1
1300     T3(j)=T1(j)+T2(j)-(T1(j)*T2(j))
1310     IND=IND+T3(j)*(2^(m+1-j))
1320   next j
1330   REM
1500   REM 答えの代入
1510     for j=0 to mm+1
1520       B(IND, j+FI)=B(IND, j+FI)+A(i, j)
1530     next j
1540   next i
1600   REM 奇数四角形の計算
1610   if k<>(2^(2*n-1))-1 then 1910
1620   REM メモリのクリア
1630   for i1=0 to (nn+1)*2
1640     C(i1)=0
1650   next i1
1660   REM 四角の突合せ計算
1670   for i1=0 to (2^(m+1))-1
1680     for i2=0 to (2^(m+1))-1
1690       TX=0
1700       for i3=0 to m
1710         TX=TX+E(i1, i3)*E(i2, i3)
1720       next i3
1730       IF TX>0 then 1780
1740         for i3=0 to nn+1
1745           for i4=0 to nn+1
1750             C(i3+i4)=C(i3+i4)+A(i1, i3)*B(i2, i4)
1755           next i4
1760         next i3
1780       next i2
1790     next i1
1800   REM 結果表示
1810   PRINT "□m=";m*2+1
1820   print "ai=";
1830     for i1=0 to (nn+1)*2
1840       print C(i1);", ";
1850     next i1
1860   print
1910 next k
2000   REM 初期値の変更 (結果の初期値化)
2010   m=n
2015   mm=nn
2020   for i=0 to (2^(n+1))-1
2030   for j=0 to nn+1
2040     A(i, j)=B(i, j)
2050   next j
2060 next i
2400   REM 偶数四角形の計算
2410   REM aiに対応するiの2進化 (□用)
2420   for i=0 to (2^(m+1))-1
2430     EZ=0
2440     EI(i)=0
2450     for j=0 to m
2460       E(i, j)=int((i-EZ)/2^(m-j))
2470       EZ=EZ+E(i, j)*(2^(m-j))
2480       EI(i)=EI(i)+E(i, j)
2490     next j
2500   next i
2510   REM
2620   REM メモリのクリア
2630   for i1=0 to (mm+1)*2
2640     C(i1)=0
2650   next i1
2660   REM 四角の突合せ計算
2670   for i1=0 to (2^(m+1))-1
2680     for i2=0 to (2^(m+1))-1
2690       TX=0
2700       for i3=0 to m
2710         TX=TX+E(i1, i3)*E(i2, i3)
2720       next i3
2730       IF TX>0 then 2780
2740         for i3=0 to mm+1
2745           for i4=0 to mm+1
2750             C(i3+i4)=C(i3+i4)+A(i1, i3)*B(i2, i4)
2755           next i4
2760         next i3
2780       next i2
2790     next i1
2800   REM 結果表示
2810   PRINT "△m=";m
2820   print "ai=";
2830     for i1=0 to (mm+1)*2
2840       print C(i1);", ";
2850     next i1
2860   print
2970   REM
3000   REM 結果表示
3010   PRINT "△m=";m
3020   print "ai=";
3030     for i=0 to mm+1
3040       print a(0, i);", ";
3050     next i
3060   print
4000   REM 繰り返し計算(10まで)
4010   if m<10 then 500
END

```

### (3)グリッドパターン（斜め 45 度型）での迂回型到達確率

この節では、点から幹線道路に至る到達確率として、最短距離といった制約条件を設けない場合の到達確率の近似値（ $1 - \text{孤立確率}$ ）の近似値に相当）を擬似行動モデルに基づいて計算する方法を示す。なお、この計算式に基づく確率については消火困難性指標の中で用いている。

#### ①基本的考え方

マクロ評価では、起終点間を斜めのグリッドパターンが存在するとして、経路選択を繰り返したときに、後戻りすることなく終点に到着する確率を求める方法を主要な計算手法として用いている。これは、現実ネットと近いと考えられる確率を理論的に確定的な計算ができるためである。しかしながら、最短距離で到達できることはサービス水準指標としては適当であっても、危険性の評価においては、到達できない確率を求めることが必要な場合がある。

この確率計算は、大きな迂回や後戻り等を想定する必要があり、起終点間のグリッドネットでは不十分であり、現実ネットでないモデル計算においては無限ネットを想定することが適当である。

しかし、この確率を理論的に求めることは困難であるので、擬似的に移動パターン（経路選択）モデルを想定し、確定ネットでないという仮定（移動ごとにネットが変わるという仮定。この仮定を置かないと全経路の数え上げが必要となると考えられ理論計算は困難になる。）のもとに帰納的に計算する方法を用いて、点（起点）から直線（終点）の到達確率（非孤立確率）を計算することとした。

なお、モデルは(a)の基本モデルが、各ノードでの選択行動を幹線道路に接近する 2 選択肢に限定したものであるのに対し、本モデルは到着リンクを除いた 3 選択肢モデルである。なお、到着リンクを含めた 4 選択肢モデルも考えられるが、行動としての往復やループ（いずれも非到達）を多く許容することとなり計算可能なモデル化は困難である。

#### ②モデルの形式（点（起点）から直線（終点））

点から直線への斜め 45 度型のグリッドモデルを想定する。

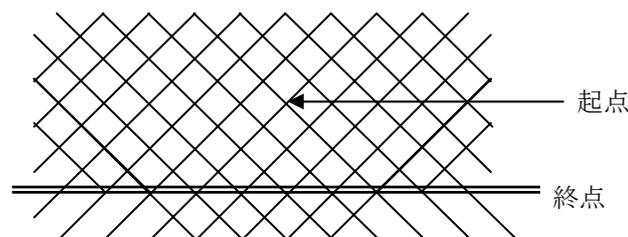


図 1.2.32 斜め 45 度グリッドモデルのイメージ

ある点から、終点の直線に 1 リンク近づく（以下「下の段に行く」といった表現をする。）確率を計算する。

行動モデルは、以下のことを想定する。

- i) (上から降りてきた) ある地点から、下に降りる 2 本のリンクのいずれかが通過できれば、1 段進む。
- ii) 両方閉塞している場合、上向きのリンクが通過できれば上に進む。但し、降りてきたリンクは選択できないものとする。（後退が困難な車両のモデルに相当すると考える。なお、これを可能とすると、往復行動を排除できない。）

iii)従って、降りてきたリンク以外の3本が閉塞していると通過不能となる。

iv) ii)で上向きリンクに登った場合、もう1本の下に降りるリンクが通過できれば、1段進む。なお、同様に登って来たリンクは選択できないものとする。

v)この1本の下向きリンクが閉塞している場合、上向きの2本のリンクのいずれかが通過できれば、上向きに進む。

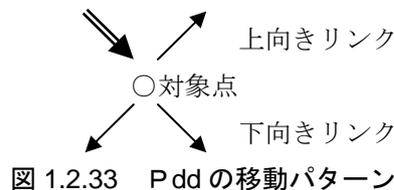
vi)従って、この場合も登ってきたリンク以外の3本が閉塞していると通過不能となる。

なお、このモデルにおいては、ループ（通過できないまま同一経路を回り続けること）を完全には排除していない。（なお、後退を許容して別経路を探して通過できる確率も本来は加味すべきだが、これを加味すると、多くのループ確率を通過可能と評価する恐れがある。その点を勘案すると、後退による通過確率と、後退を許容しないループ確率はある程度相殺し、通過確率に近い数値が計算できることが期待できる。）

この計算にあたって、上の段から降りてきて下の段にいける確率を  $P_{dd}$  と書き、下の段から上に戻った場合で下の段に降りられる確率（戻れる確率）を  $P_{ud}$  と書く。

各リンクの閉塞確率を  $b$  として、それぞれを記述するとそれぞれ以下ようになる。

### ③ $P_{dd}$ の記述

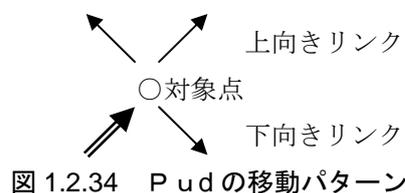


- ・ 下向きのいずれかのリンクを進める確率は  $(1 - b^2)$  であり、進めない確率は  $b^2$  である。
- ・ 下に進めなくて上には進める確率は、上への経路は1本なので  $b^2 * (1 - b)$  となる。
- ・ なお、従ってその場所で動けない確率（孤立確率）は  $b^3$ （もとの道に戻るという選択肢はないという想定で、残り3本全ての経路が閉塞）である。
- ・ 上に進んだ後、2段下がる（もとの段に戻り、さらに1段下がる）確率は、定義から  $P_{ud} * P_{dd}$  である。

従って

$$P_{dd} = (1 - b^2) + b^2 * (1 - b) * P_{ud} * P_{dd}$$

### ④ $P_{ud}$ の記述



- ・ 下れずに上に戻ってきた状況の記述であり、同じリンクを戻っても先に進める見込みはない。
- ・ このため、下向きのリンクを進める確率は、もう1本の下向きリンクが下れる確率に相当するから、 $(1 - b)$  であり、下に進めない確率は  $b$  である。
- ・ 下に進めなくて上には進める確率は、上向き経路が2本あるから  $b * (1 - b^2)$  である。
- ・ なお、従ってその場所で動けない確率（孤立確率）は  $b^3$ （もとの道に戻るという選択肢はないという想定で、残り3本全ての経路が閉塞）である。
- ・ 上に進んだ後、2段下がる（戻り、さらに1段下がる）確率は、定義から  $P_{ud} * P_{dd}$  である。

従って

$$P_{ud} = (1 - b) + b * (1 - b^2) * P_{ud} * P_{dd}$$

#### ⑤ P<sub>dd</sub> の計算

P<sub>dd</sub>、P<sub>ud</sub> の関係を解く。

$$P_{ud} * P_{dd} = (P_{dd} - (1 - b^2)) / b^2 * (1 - b) = (P_{ud} - (1 - b)) / b * (1 - b^2)$$

$$P_{ud} = ((1 + b) / b) * P_{dd} - (1 - b^3) / b$$

$$P_{dd} = (1 - b^2) + b^2 * (1 - b) * P_{dd} * ((1 + b) / b) * P_{dd} - (1 - b^3) / b$$

この2次方程式を解いて、P<sub>dd</sub> < 1 となる方の解が P<sub>dd</sub>

$$P_{dd} = ((b(1-b)(1-b^3)+1) - (((b(1-b)(1-b^3)+1))^2 - 4b(1-b^2)^2)^{0.5}) / 2b(1-b^2)$$

#### ⑥ ストーリーに基づく擬似到達確率

幹線道路から n リンク離れた場所からの「ストーリーに基づく擬似到達確率」を P<sub>n</sub> と書けば、以下のように示される。

##### i) 初項 P<sub>1</sub> の記述

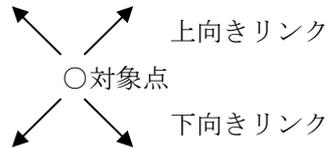


図 1.2.35 P<sub>1</sub> の移動パターン

- ・ 下向きのいずれかのリンクを進める確率は (1 - b<sup>2</sup>) であり、進めない確率は b<sup>2</sup> である。
- ・ 下に進めなくて上には進める確率は、上への経路は 2 本あるので b<sup>2</sup> \* (1 - b<sup>2</sup>) となる。  
(起点のみ 4 選択肢を考慮)
- ・ なお、従ってその場所で動けない確率 (孤立確率) は b<sup>4</sup> (全ての経路が閉塞) である。
- ・ 上に進んだ後、2 段下がる (もとの段に戻り、さらに 1 段下がる) 確率は、定義から P<sub>ud</sub> \* P<sub>dd</sub> である。

従って

$$P_1 = (1 - b^2) + b^2 * (1 - b^2) * P_{ud} * P_{dd} = (1 + b) * P_{dd} - b * (1 - b^2)$$

##### ii) P<sub>n</sub> の記述

モデルの考え方より P<sub>n</sub> = P<sub>n-1</sub> \* P<sub>dd</sub> である。従って、

$$P_n = P_1 * P_{dd}^{(n-1)} = \{ (1 + b) * P_{dd} - b * (1 - b^2) \} * P_{dd}^{(n-1)}$$

この確率は、完全に閉塞する確率ではなく、概ね「幹線道路に向かうにあたって、U ターンによって引き返すことなく経路を模索して、行き止まりになったらあきらめる」といった行動での到着できる確率に相当する。

なお、この確率は数値計算を試したところ、(a)の正三角形並行モデル (あともどりなし一方通行の 4 選択肢モデル) とほぼ同じ到達確率となっている。

#### (4) 各種モデルの完全孤立確率の概数について

ここでは、完全孤立確率が各種モデルによって比較的類似の値を持つと考えられることを示す。

(1)の③において、各種モデルについて、あるノードが近傍リンク (概ね正三角形の 1 リンク長に相当する距離) の閉塞で孤立化する確率を計算し、モデル化の影響 (値のバラツキ) が小さいことが確認している (図 1.2.24 参照)。

また、到達リンクから外側に向うリンク数も、正三角形で 18、正方形で 20、正六角形で 18 と類似

した数となっている。

ここで、極めてラフなイメージでのモデルによって距離別孤立確率を考える。到達確率について、下の図のように単純化した比率的なモデル的に考えると、

- ・初項は概ね一致（先ほどのグラフ）しており、
- ・距離が伸びたときの接続確率は各モデルで概ね一致する筈であるから、

模式モデルによらず、このような形での孤立確率は距離帯別にほぼ同じ値になると考えられる。この関係が成り立っているなら、道路線密度は代表値として適当ということが示されたことになる。

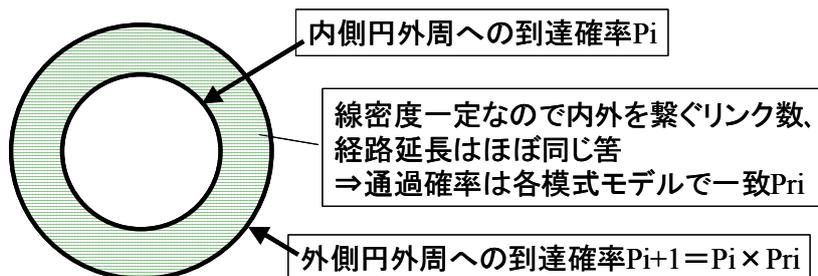


図 1.2.36 距離帯別孤立確率の考え方

但し、このモデルは、内週円、外週円の到達確率という数字で代表できるという仮定のもとに単純化しているが、本来は各リンクの切断部についての到達状況パターンごとに生起確率を計算し、外側円との接続関係に基づき、外側円での到達状況パターンごとに生起確率を計算するという繰り返しが必要である。（これらの確率のうち、1本でも接続している確率が通過確率となる。(b)②iii) のような計算が必要。）

しかし、このような計算は非常に複雑であり、計算困難なため、検証は行なっていない。

### (5)各モデルの関係

本節では、(2)グリッドパターン（斜め 45 度型）最短距離到達確率の△及び□での逐次情報（不完全情報）及び完全情報、(3)グリッドパターン（斜め 45 度型）での迂回型到達確率（△三肢）を示した。これらの数値上の関係を以下のグラフに示す。（完全情報は数値計算容易な範囲のみ示す）

グラフから読み取れるように完全情報モデルは比較的高い通過確率を与えるが、計算可能性の問題、現実のネットワークでの経路選択行動との対応関係などの課題があるため採用していない。

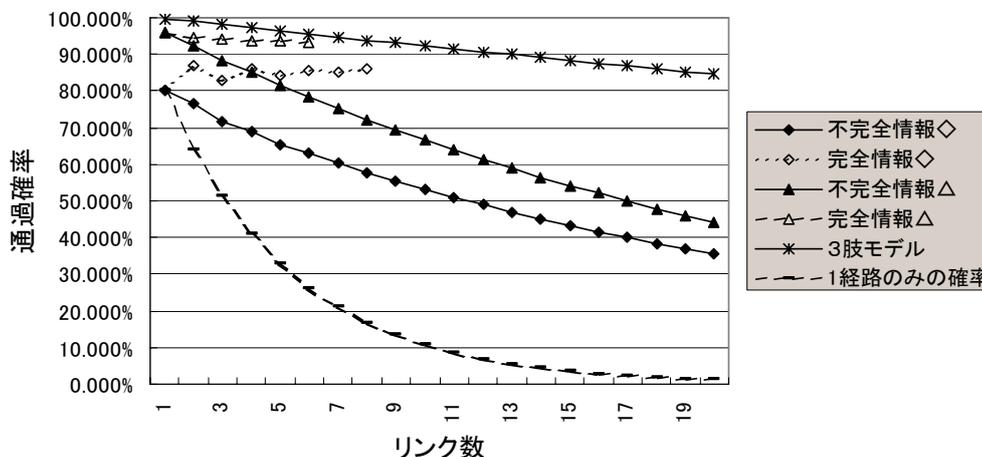


図 1.2.37 各モデルの通過確率比較（1リンク通過確率 80%の場合）

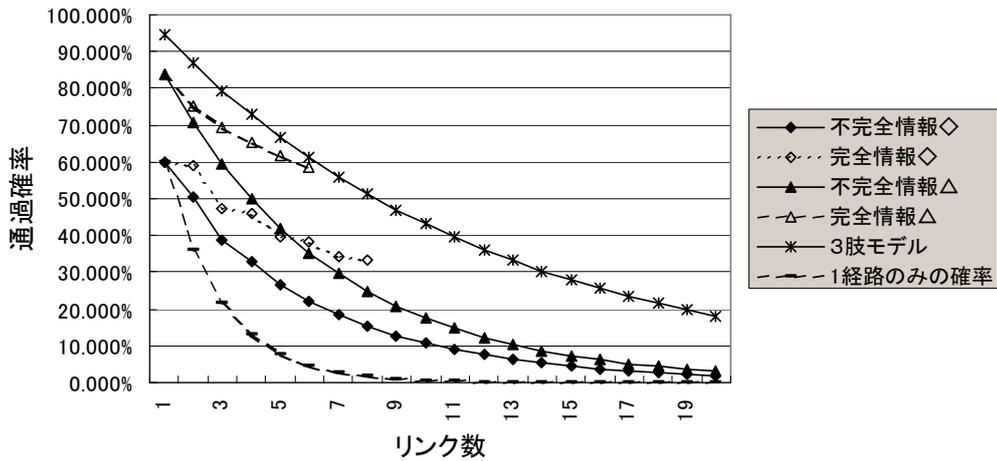


図 1.2.38 各モデルの通過確率比較（1リンク通過確率 60%の場合）

### 1.2.5 マクロ評価における道路幅員帯区分の設定について

道路幅員帯別の道路閉塞状況については、平成 10 年度調査において阪神淡路大震災時の閉塞状態を被災翌日に撮影した航空写真から判読し、幅員帯別に以下のような結果を得た。

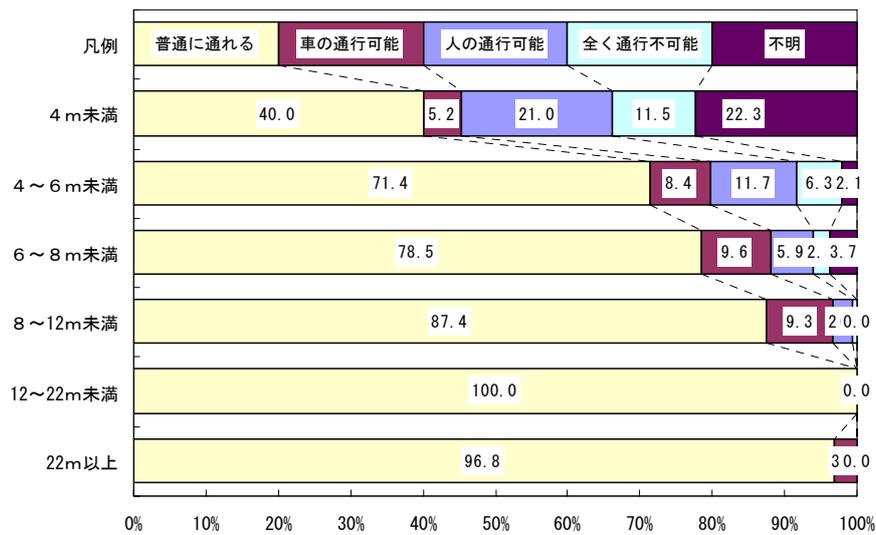


図 1.2.39 阪神淡路大震災における道路幅員別通行可能性（幅員別、魚崎地区）

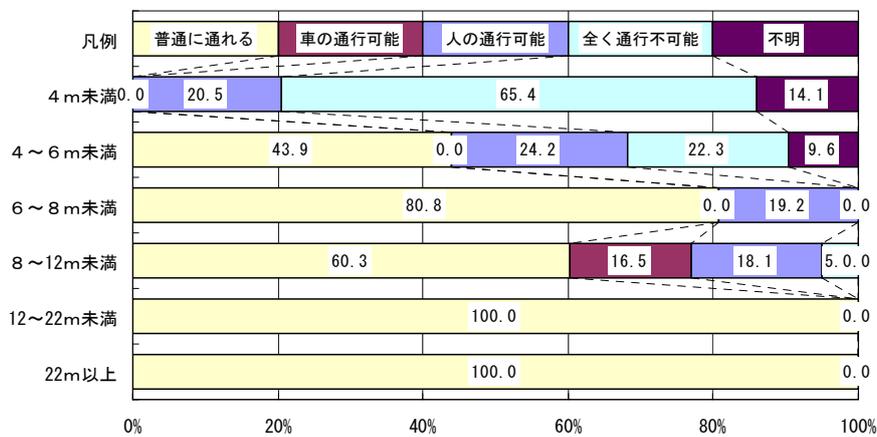


図 1.2.40 阪神淡路大震災における道路幅員別通行可能性（幅員別、長田地区）

幅員区分ごとに閉塞確率が異なるという図 1.2.39～40 の結果を適切に反映させるにはモデルにおいても区画道路全体の平均値などを用いるのではなく幅員帯の区分を行うことが適当であり、図 1.2.39～40 の幅員区分でのデータ取得が可能と考えて以下の4段階区分にした。

これらの区分において、代表させる幅員については、平均的な値と考えられる以下の値を用いることとした。

表 1.2.12 幅員帯毎の代表幅員

	代表幅員	幅員決定の考え方
4m 未満	3	下記 2 つの間隔をそのまま引き伸ばした。(幅 1.8m 未満の道路は建築基準法第 42 条第 6 項の建築審査会同意が必要なので、一般的な地域では殆どないと考えられる。)
4-6m	5	幅員帯の中間の値
6-8m	7	幅員帯の中間の値
8m 以上	9	上記 2 つの間隔をそのまま引き伸ばした。(幹線道路は別途記載のため、12m 以上の広い幅員の道路は殆ど想定されない)

また、適用する道路閉塞モデル式に対応する道路幅員は幅員帯ごとに以下の値を用いることとした。

表 1.2.13 幅員帯毎の道路閉塞モデルに用いる幅員

	適用幅員	幅員適用の考え方
4m 未満	3.5	建築基準法第 42 条第 2 項のセットバックを前提とした
4-6m	5	代表幅員の値をそのまま用いた
6-8m	7	代表幅員の値をそのまま用いた
8m 以上	9	代表幅員の値をそのまま用いた

ここで、4m 未満の「建築基準法第 42 条第 2 項のセットバックを前提とした」とは、建築基準法 42 条第 2 項の規定に従って、家屋間の間隔が 4m 確保されているとして、下図のような関係が成り立っており、家屋端から反対側の道路端までは 3.5m の幅があるものと考え評価することとした。

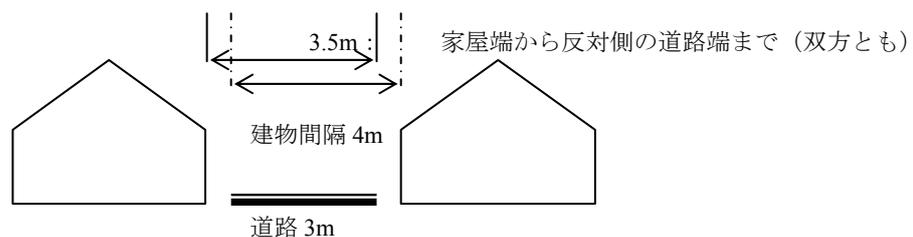


図 1.2.41 適用幅員 3.5m の考え方

なお、敷地規模又は奥行きが狭く、建築基準法に従った建築物の更新がなされていない密集市街地の地区においては、別途数値（たとえば 2m）を設定した上で評価することが必要である。

## 1.2.6 評価体系に至る経緯

地区施設等の防災性を評価するアプローチとして幾つかの方向性が考えられる。

そこに存在する施設系から発想するものとそこで発生する事態から発想するものである。

(1)地区施設等に関する概念整理から防災性を評価するアプローチ

本検討では、対象を市街地、とりわけ市街地中心に近い木造密集市街地においている。このような地域に存在する地区施設等をみたものが図 1.2.42 であり、地区施設等を市街地構成要素と考えれば、ライフライン系からオープンスペースまで市街地内の全ての施設に及ぶ。これらの各施設について、地震防災上の役割を整理し、これから地区施設の整備による防災性向上効果を検討するのが施設系から発想する方向性である。

市街地構成要素（地区施設等）と防災機能の関係を考えたものが表 1.2.14 である。本来、個々の施設の役割・機能や防災機能そのものが時系列で変化することも考えあわせなければならないが、ここでは前節で述べたように、発災直近の状況を対象とするため、発災当日の表を示す。

表 1.2.14 発災当日の市街地構成要素と防災機能の関係

市街地構成要素		防災機能											
		避難路機能	救出路機能	救護路機能	物資搬送路機能	街路閉塞機能	延焼抑止機能	延焼助長機能	避難所機能	救護所機能	物資集配所機能	情報収集伝達所機能	瓦礫置場機能
道路	公道	○	○	○	△		○		△	△	△	△	△
構造物	私道	○	○	△	△		△		△	△	△	△	△
	付属・占用物					▲							
建築物	居住系					▲	▲	▲					
	産業系					▲	▲	▲					
	公共公益系						△	△	△	○	△	△	
	病院						△		○	○	○	○	
	学校等						△		○	○	○	○	
オープンスペース	専用オープンスペース						○		△	△	△	△	
	共用オープンスペース						○		○	○	△	△	
	公開オープンスペース						○		○	○	○	○	
	公共オープンスペース						○		○	○	○	○	
	その他オープンスペース						○		△	△	△		

- 市街地構成要素が有するプラスの機能
- △ 市街地構成要素が有するややプラスの機能
- ▲ 市街地構成要素が有するややマイナスの機能
- △救出路 緊急性が高く、担架等が持ち込めれば機能を果たせる街路
- △救護路 救急車等が入れることを想定した街路

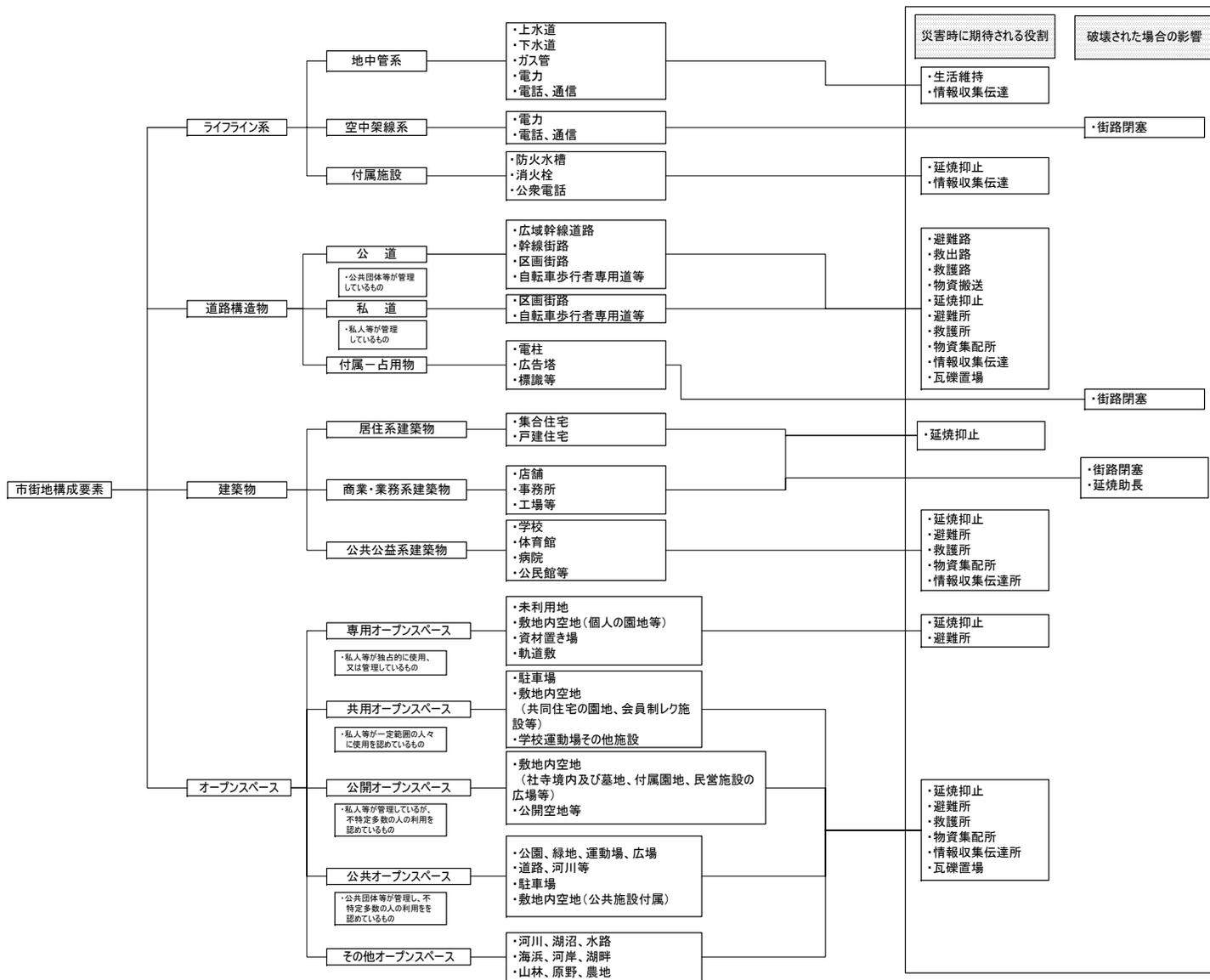


図 1.2.42 市街地構成要素 (地区施設等) の概念

(2)被災地での事態に着目し、それに関与する地区施設等から防災性を評価するアプローチ

一方、被災地での事態に着目して発想する考え方としては、以下のようなものがある。

図 1.2.10 のように被災者の行動を図式化し、各行動ステージで求められる事項、また、地区施設の影響等を整理し、評価の枠組みを作成することが考えられる。

また、各ステップに対応して、都市施設等に求められる内容を表 1.2.15 にまとめた。

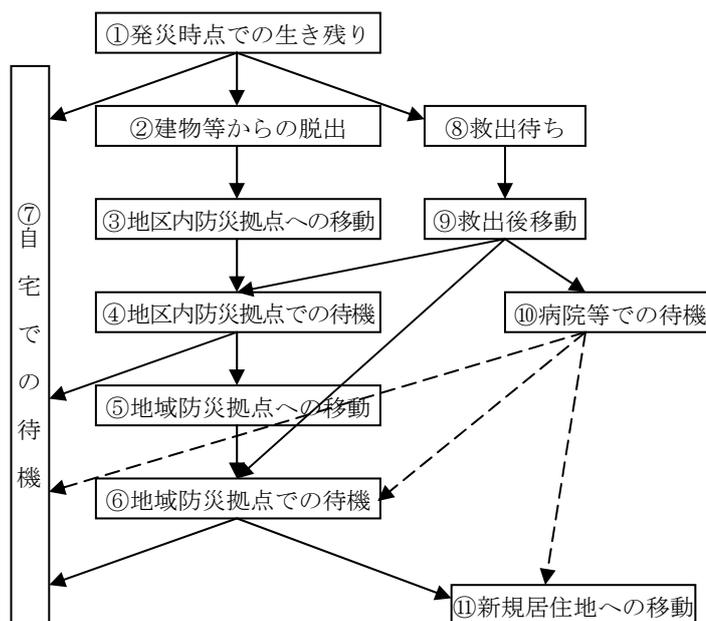


図 1.2.43 発災からの被災者等の行動（例示）

表 1.2.15 発災からの被災者等の行動ステップ別の都市施設等に求められる内容

【状 況】	【施設系への要求項目】
①発災時点での生き残り（所在個所の安全性）	建物の構造（潰れにくさ）、建物内部状況（倒れにくさ） （内部構造、インテリア等）、隣接建物状況（共倒れ可能性）
②建物等からの脱出（建物→外）	建物の構造（潰れ状況）、建物内部状況（建物脱出経路状況）、 隣接建物状況（脱出経路状況）
③地区内防災拠点への移動 （通行困難度）街路閉塞、（避難のわかりやすさ） （経路の長さ）（火災からの安全性）	個別建物状況、地区構造、街路状況、空中架線状況 避難経路案内、街路密度、網構造、個別建物状況（燃え難さ）、 地区構造（延焼のし難さ）、街路閉塞（延焼のし難さ）
④地区内防災拠点での待機 （情報の入手し易さ）（自宅の状況確認のし易さ） （水、食料、医療品、その他の入手し易さ）	街路閉塞（物資の搬出入のしやすさ）
⑤地域防災拠点への移動 （移動のし易さ）（移動のわかりやすさ） 避難経路案内	街路閉塞
⑥地域防災拠点での待機 （情報の入手し易さ）（物資の入手し易さ）	街路閉塞（物資の搬出入のしやすさ）
⑦自宅での待機 （情報の入手し易さ）（物資の入手し易さ） 防災拠点へのアクセス性、ライフラインの復旧	街路閉塞（通行し易さ）
⑧救出待ち （救助し易さ）（火災からの安全性）	建物構造、建物内部状況、街路閉塞（閉塞状況、機械の持込み）、 街路幅員
⑨ 救出後移動 （移動のし易さ）	街路閉塞、街路幅員（自動車の移動が可能）
⑩病院等での待機（地区外への移動） （移動のし易さ）	街路閉塞、街路幅員（自動車の移動が可能）
⑪新規住居への移動（地区外への移動） （移動のし易さ）（やや大量の荷物積み出し可能）	街路閉塞、街路幅員

### (3)本研究でのアプローチの仕方

上記2つのアプローチは有効な検討対象が異なっていると考えられる。

- ・施設系に着目して防災性を検討する場合

被害には、人的被害と物的被害があるが、施設系からのアプローチは物的被害の検討には効果的である。

しかし、人的被害の検討には、個別の施設系が機能不全にいたる可能性（破壊等）を検討し、さらに、その機能不全が人的被害を引き起こす可能性を検討する必要があり、仮定や手続きを多く持ち込む必要があり必ずしも効果的・効率的ではない。

- ・行動に着目して防災性を検討する場合

施設に着目する場合とは逆に、人的被害には有効だが、物的被害の検討は困難である。

本研究では、前節でみたように人的被害を中心に防災性を検討対象とした。

また、人的被害に着目したため、発災直近の時点における状況を主要対象とした。

従って、本研究では被災地で起こる行動に焦点をあて、その行動の実施しやすさを評価基準とした。

- ・評価の視点は被災者等に置く。
- ・発災後これらの人々が地区の中で行う活動に対する地区施設の影響から、地区施設の評価を行う。

このため、本検討においては、市街地の構成要素全てを検討対象とするものではない。街路や公園等の震災時における各種活動に密接に関わる市街地構成要素を主な対象とした。

また、一般的にライフライン等に関して何らかの検討を行う場合、例えば空中架線の垂れ下がりによる街路閉塞の発生等は重要な課題である。しかし本研究では、生活維持に向けた復旧活動には関係するにしても被災直後の避難や救出・救護活動等に直接は関係しないとみなし、これら空中架線や地中管路等のライフライン系のインフラは今回研究の対象とはしていない。