

2. 6 発災時の大都市機能の維持

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 「発災時の大都市機能の維持」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京大学大学院	教授	廣井 悠
国立研究開発法人防災科学技術研究所	副部門長	中村洋光

(c) 業務の目的

南海トラフ巨大地震は国難ともいえるべき災害であり、このような状況下で東京・名古屋・大阪などの大都市機能を維持することはとりわけ重要である。特に長周期地震動の影響がある首都圏は、政治・経済・報道などを代表とする中枢管理機能が集中しており、例えば高層ビルなどの被害は首都機能維持や国全体としての災害対応そのものに少なくない影響を及ぼすと考えられる。しかしながら、平時に極めて高度かつ複合的に設計されている大都市は、一たび突発的な災害が発生した際、どの程度・こういった形で都市機能が喪失するかは詳らかにされていない。他方で、今後はあらゆるものにセンサが埋め込まれ、モニタリングが可能なスマートシティ時代を迎えることから、即時的予測は技術的に可能となりつつあり、これを災害対応に運用するための社会技術が求められる。具体的には、大規模災害時に都市機能の喪失に至らないための復旧オペレーションを、その災害の特徴を踏まえた形で発災直後に示すことも可能になるものと考えられる。

本研究では、このようなスマートシティ時代における新しい防災対応手法の確立もにらんで、「都市機能の維持」に必要な対策をリアルタイムで抽出するための研究を、首都圏を対象として行う。研究の手順としては、①大都市における災害シナリオをダイナミックに自動生成する仕組みを構築し、②これを基に都市機能を維持するための対応タイムライン作成手法を確立する。このうち災害シナリオの自動生成技術は、分担者責任者が開発している、定性的被害予測技術を用いる。この技術は、これまでの災害教訓から得られる膨大な災害事象の網羅的な因果データベースを機械学習を用いて構築し、それを利用して近い将来に起こりうる災害事象をリアルタイムで抽出するものであり（イベントツリー・タイムラインの形）、本研究プロジェクトではこれを援用して「大都市機能の維持」に焦点を絞った検討を行う。研究の後半では社会への実装を図るが、ここでは2 (g)で開発する地震防災基盤シミュレータによる長周期地震動対策を対象とし、長周期地震動が大きく影響を与える都市機能として、超高層ビル等の被害（エレベータ障害等）に着目して、モデル地域における復旧状況をシミュレーションする手法を開発し、都市機能を守るための大都市圏ならではの復旧オペレーションの検討を実施する。

(d) 5か年の年次実施計画

1) 令和2年度：

『災害シナリオ自動生成』に関する事象因果データベースを拡充した。長周期地震動とエレベータ障害・復旧過程の事例を調べた。

2) 令和3年度：

災害シナリオのダイナミック自動生成技術の検討を行った。エレベータ障害、復旧過程を模擬する手法の検討を行った。

3) 令和4年度：

実災害を対象としたWSに基づく改良シナリオの検討を行った。モデル地域でのエレベータ障害、復旧の試算の検討を行った。

4) 令和5年度：

高層建築物エレベータの詳細復旧オペレーション手法の検討を行った。

5) 令和6年度：

高層建築物エレベータについて、大都市復旧マニュアルの検討を行う。

(e) 令和5年度業務目的

令和4年度に開発した定性的将来予測システムを用いて、いくつかの想定されたハザードをもとにして被災様相を予測した。また、都市機能の復旧に影響を与える各種要因を整理し、エレベータ障害復旧過程の試算を利用して建物およびエレベータの被害に起因する都市機能被害とその復旧過程をシミュレーションする手法を開発し、60の代表的ケースでの試算結果を用いて、地震動分布、地域性、復旧方針、災害状況が都市機能被害と復旧過程に与えるその影響の程度を評価した。

(2) 令和5年度の成果

① 災害シナリオ自動生成技術の確立とこれによる災害因果の具体的導出

(a) 業務の要約

本業務では、令和4年度に開発した、定性的に災害現象を将来予測できる予測システムのプラットフォームの因果データベースを拡充する目的で、災害シナリオのダイナミック自動生成技術を高度化し、これに基づいていくつかの想定されたハザードをもとにした被災様相予測を行った。具体的には、新聞記事から災害事象の因果知識及び付随情報を抽出・整理する汎用的なプログラムを作成し、過去12災害を対象にデータベースとして整理した。

(b) 業務の実施方法

本業務は、複数のハザードをもとにした災害シナリオ構築は多くの労力がかかることから、はじめに新聞記事から災害事象の因果知識及び付随情報を抽出・整理する汎用的なプログラムを作成し、システムの高度化をはかった。具体的には、下記の項目を実施した。

1. 自然言語処理・人工知能技術を活用した新聞記事からの因果判定・因果抽出の実装
2. 場所・時間などの副次的な情報抽出の実装
3. 上記手法の精度検証・分析
4. 因果ネットワーク作成を含めた二次利用に向けたデータベースの整備
5. データベース作成の再現が可能なプログラムの整備

(c) 業務の成果

今回、高度化をはかったプログラムの全体像は下図のように示される。黄土色のボックスが手作業を必要とする部分であり、これまでのプログラムに比べて大幅な自動化が可能となった。

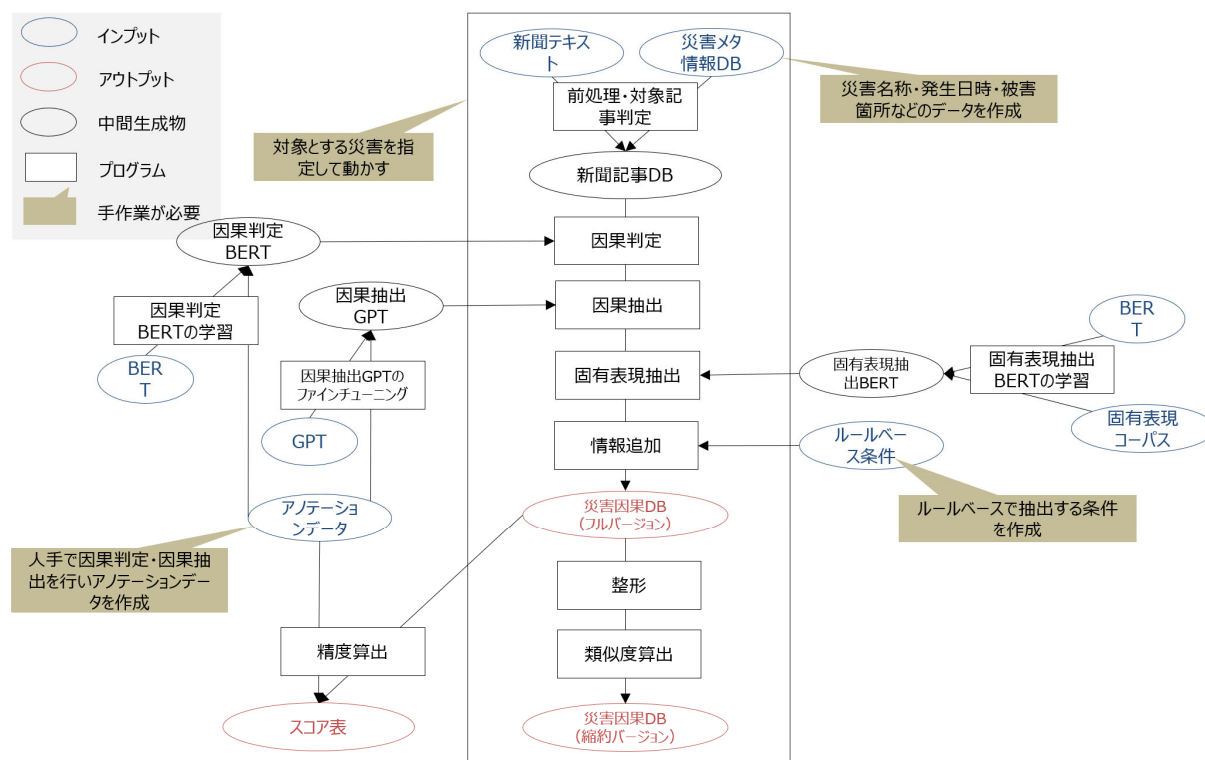


図 2-6-①-1 改善したプログラムの全体像

ここで対象としたハザードの新聞記事は、阪神・淡路大震災および東日本大震災が発災から 2 年後までの新聞記事、熊本地震ほか 9 災害が発災から 1 年後までである。なお、阪神・淡路大震災および東日本大震災は地方記事も参考になっている。また、因果判定はこれまで SVM を用いていたが、学習データ数、パラメータ数、計算速度のバランスが優れている東北大学グループの BERT を利用した。ここでは、アノテーションデータをもとに文書分類タスクとして BERT を学習し、学習パターンごとに BERT を作成しており、学習パターンはアノテーションデータ、ベースモデル、因果なし文の除外割合の 3 つを変更し、計 24 パターンとしている。他方で、一文の中に複数の因果が含まれている場合でも一つしか抽出できない点もこれまでの手法の問題点であった。このため、GPT を用いてプロンプトにより原因・結果を抽出することとした。ベースモデルは、GPT4 に比べると精度が劣るが、コストパフォーマンスが高い GPT-3.5-turbo-0125 を選択し、下図のように複数の因果抽出が可能となった。

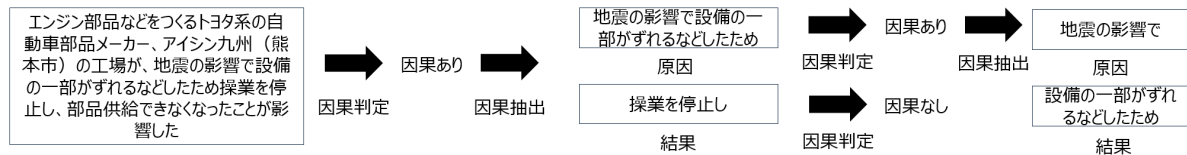


図 2－6－①－2 ひとつの文章から複数の因果抽出を可能とする一例

さらに本研究をリアルタイム予測に生かすには、全ての文章から文内容が記している事象の日時・場所を抽出する必要がある。これについても、これまでのプログラムでは課題となっており、また、本プロジェクトの外部評価委員会時にも指摘された点であった。本年度は、この点においても下記の方針で、下図のような時間・場所のタグ付けを行った。

- ① ルールベース手法（正規表現）により日付表現・時間表現を抽出し、リストとして属性付与
- ② 固有表現コーパスをもとに固有表現抽出 BERT を学習
- ③ ②の固有表現抽出 BERT により場所表現・施設表現を抽出し、リストとして属性付与
- ④ ルールベースにより不適切な抽出は削除した上で、前文からの情報継承を行い、最終的に用いる属性を付与
 - （ア） 「地震 10 時間後」など、発災をキーとして経過表現は、発災時刻をもとに時間を算出
 - （イ） 「同市～町」などは前の文から「同市」にあたる部分を補完するなど、前文の情報も活用
 - （ウ） 災害以前や記事翌々日以降の日付は削除

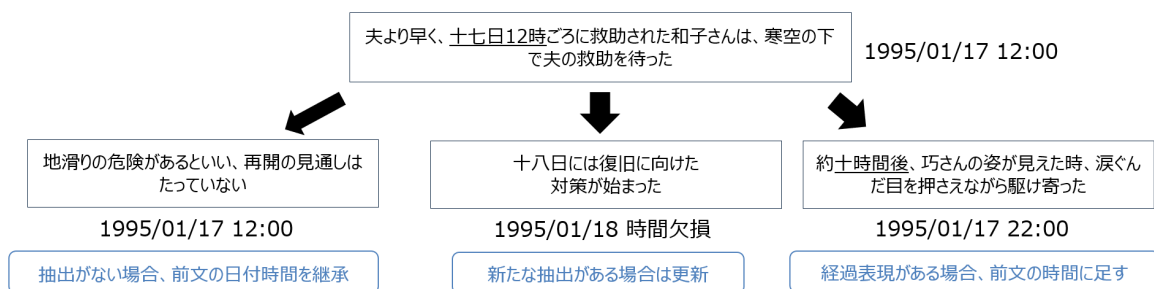


図 2－6－①－3 日時・場所を抽出する方法

結果として、これらの改良を加えたことにより、これまでと比べて大幅な精度の向上が可能となった。下図は熊本地震時（2016/04/14-20）の記事で自動作成した因果ネットワークである。今後の課題として、座標算出の精度改善への住所補完、類似度算出方法の精度改善、因果ネットワークの自動作成などが挙げられる。

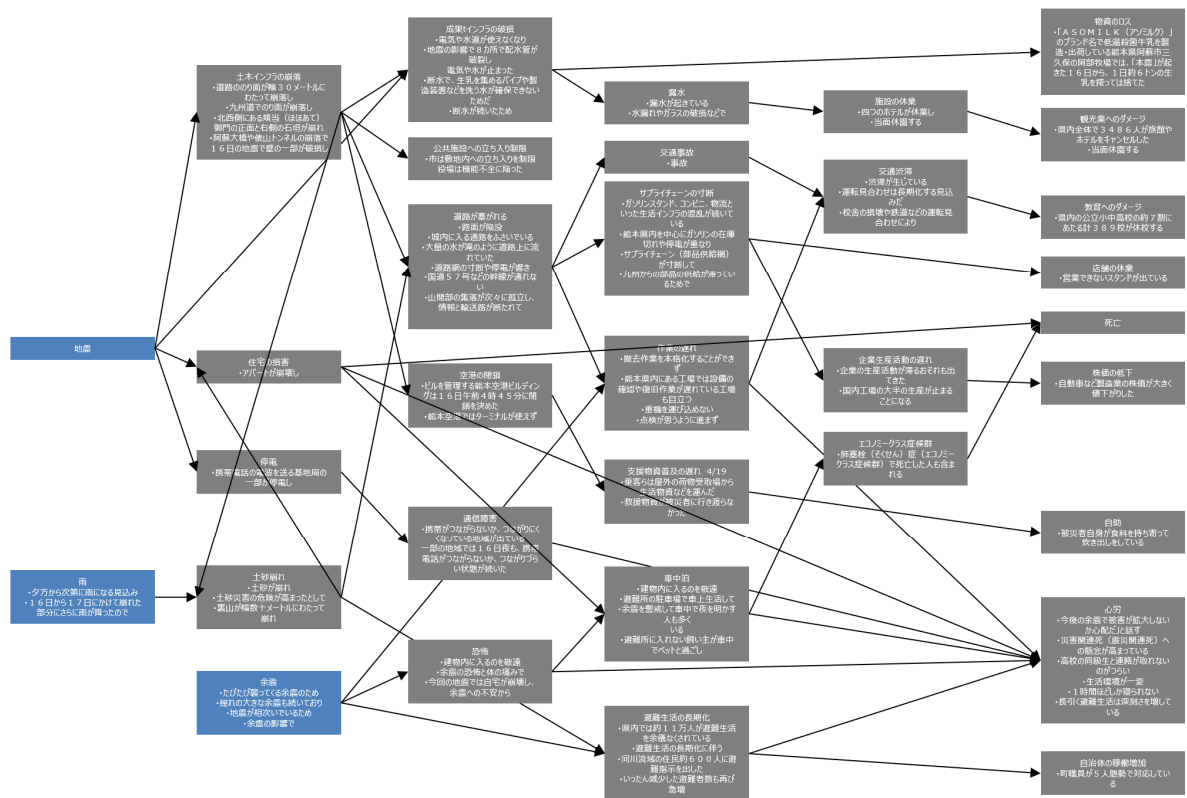


図 2-6-①-4 熊本地震時の因果ネットワーク

(d) 結論ならびに今後の課題

上記のように、本年度はこれまで因果ネットワーク作成時に労力がかかっていた因果連鎖を抽出する作業の大部分の改善を行い、また場所や時間を紐づける技術の確立を行った。この改善を施すことで、令和4年度に作成したワークショップなどを用いて因果連鎖に新たな因果を加えるシステムの円滑な実施が可能となる。

(e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

なし

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

②高層建築物のエレベータ復旧オペレーション

(a) 業務の要約

本課題では、特に長周期地震動による被害を受けやすい超高層ビル等のエレベータ障害に着目し、都市機能を守るために望ましいエレベータ復旧オペレーション方針を検討することを最終目標としている。今年度は、災害状況が都市機能に与える要因を整理した上で、建物およびエレベータの被害により建物利用が困難になる人口である都市機能喪失人口を用いて、都市機能被害を定量的に評価する手法を開発し、前年度までに構築したシミュレーションモデルに都市機能の被害量とエレベータ復旧に伴う復旧過程（以下、都市機能復旧過程）を評価する機能を組み込んだ。また、サブ課題 2 (g) と連携して、南海トラフ地震の多様な震源断層モデルから代表的な 4 つの地震動分布を選択し、4 つの地域、4 つの復旧方針と 3 つの災害状況を組み合わせた 192 ケースの中から代表的な 60 のケースを選定してエレベータ障害の復旧に伴う都市機能の復旧過程を評価した。併せて、震源断層モデルの異なる 83 の地震動分布による、4 つの地域の都市機能の被害量を評価した。実施項目・方法は以下の通りである。

(b) 業務の実施方法

1) 災害状況を反映するためにエレベータ障害と復旧過程のシミュレーション分析に考慮すべき要因の整理として、都市機能復旧過程を評価する上で考慮すべき要因である災害状況について整理し、その代表例としてテレワーク等の代替的手段による影響をモデルに組み込んだ (1-a)。また、平時に建物内を利用していた人口のうち建物被害やエレベータ障害により活動することができなくなった人口である都市機能喪失人口を指標として、都市機能被害を定量的に評価する手法を開発した (1-b)。併せて、これらのモデル化の根拠資料として、2011 年東北地方太平洋沖地震以降の論文集や被害調査報告などの文献調査を行い、知見を整理した (1-c)。

2) 災害状況を反映したエレベータ復旧シミュレーションの実施については、今年度が開発した都市機能復旧過程の評価手法を用い、試験的例題として代表的な 60 ケースにおける都市機能復旧過程の評価を行い、地域性や地震動分布との関係について考察した (2-a)。また、災害状況とエレベータ復旧方針が都市機能復旧過程に与える影響について考察するとともに、都市機能被害の多様性を確認する観点から、4 つの地域における 83 の震源断層モデルによる都市機能被害量の試算を行った (2-b)。

(c) 業務の成果

1) 災害状況を反映するためにエレベータ障害と復旧過程のシミュレーション分析に考慮すべき要因の整理

前年度までに、東京都 23 区から選択した特定の区において、南海トラフ地震の広域強震動シミュレーション手法により得られた地震動を用いて、エレベータ障害と建物被害の発生を評価し、選択したエレベータ復旧方針に基づいてエレベータ保守会社によるエレベータ復旧過程を模擬するシミュレーションモデルを構築した。本年度は、同シミュレーションモデルに災害状況を反映した都市機能復旧過程の評価機能を組み込むため、そのモデル化方法の開発と根拠となる文献の収集・整理を行った。以下にそれぞれの成果の概要を示す。

(1-a) 災害状況に応じて変更すべき復旧条件の抽出

(1-c) で実施した文献調査で整理した、2011 年東北地方太平洋沖地震による首都圏の被害状況や関連する先行研究を参照し、エレベータ復旧の供給側、需要側それぞれの観点から前年度開発したシミュレーションモデルで変更すべき復旧条件について抽出した。エレベータ復旧の供給側であるエレベータ保守会社に関する条件設定は、南海トラフ地震による首都圏の地震動レベルを考慮すると、前年度の設定を踏襲することが妥当と判断した。本年度は新たに、エレベータ復旧の需要側である利用者側の条件設定を検討した。

利用者側の需要が変動する要因の一例として、本課題ではテレワーク等の代替手段の普及による社会活動の継続可能性を取り上げ、災害時の社会的機能の維持と復旧にもたらす影響を考察する方針とした。ここでは、代替手段の利用率を文献¹⁾、文献²⁾に基づいてモデル化し、図 2-6-②-1 に示す Case0~Case2 の 3 通りの災害状況を設定した。Case0 は基準となるケースであり、代替手段を考慮せず建物被害とエレベータ障害の影響を受けた全人口が都市機能を喪失すると仮定する。Case1 は 2023 年 3 月ごろのテレワーク利用率を、Case2 はテレワーク利用率が最大であった第 1 回緊急事態宣言中の状況を想定し、事務所系、商業系の用途で建物被害やエレベータ障害が発生しても一定割合で都市機能が維持されるものとした。また、Case1、Case2 では、住宅にエレベータ障害があっても多くの住人は避難せず、機能を維持すると仮定した。

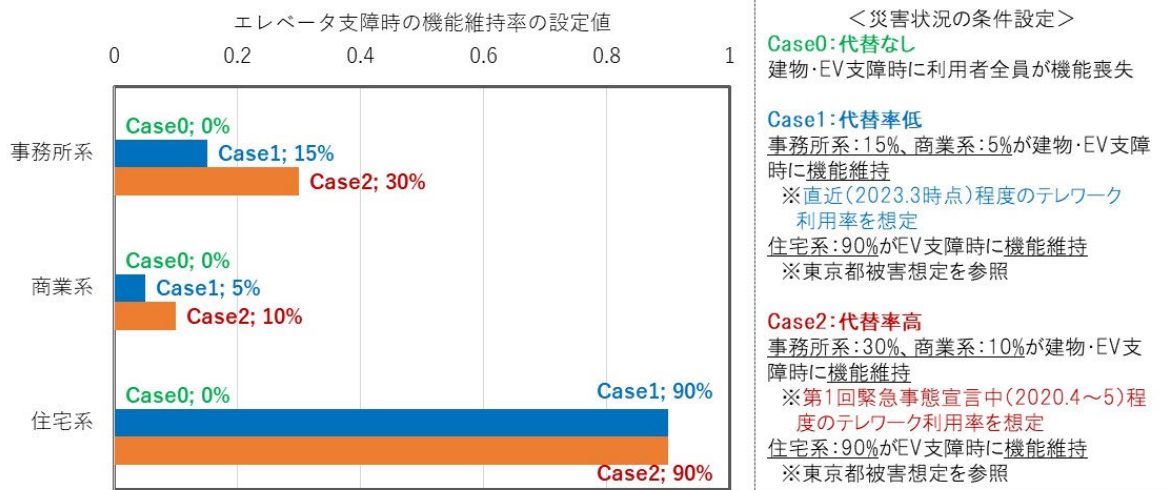


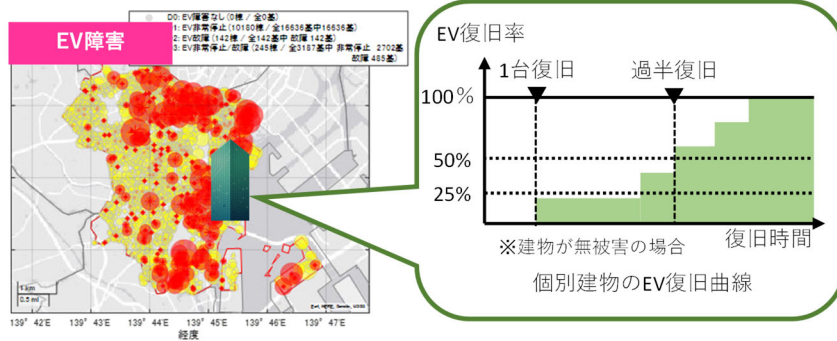
図 2-6-②-1 災害状況（代替的手段の利用率）の設定（文献 1）2）を参考に作成）

(1-b) 建物用途や災害状況を踏まえた「都市機能被害」の計量方法の検討

本課題では、平時に建物内を利用していた人口のうち建物被害やエレベータ障害により活動することができなくなった人口である都市機能喪失人口を指標として、都市機能被害を定量的に評価する手法を開発した。都市機能喪失人口の評価フローを図 2-6-②-2 に示す。まず、前年度までに開発したエレベータ復旧シミュレーションモデルにより、評価対象地域内における各建物の建物被害およびエレベータ障害・復旧過程を求める（図中①）。併せて、復旧の各時点におけるエレベータの復旧台数と建物の階・用途ごとの機能支障の関係、建物の機能支障と機能喪失の関係をそれぞれモデル化する（図中②）①と②の結果を用いることで、エレベータ復旧の各時点における建物ごとの機能喪失人口を評価する（図中③）。最後に、評価対象地域内の全建物の機能喪失人口の総和として、地域内の都市機能喪失人口を推計する（図中④）。なお、エレベータ障害による建物利用者の機能支障率は、文献³⁾を参考に建物内の過半のエレベータが停止している場合に、住宅系用途では 6 階以上、非住宅（事務所系用途、商業系用途）では 3 階以上の利用者が機能に支障をきたすとモデル化した。

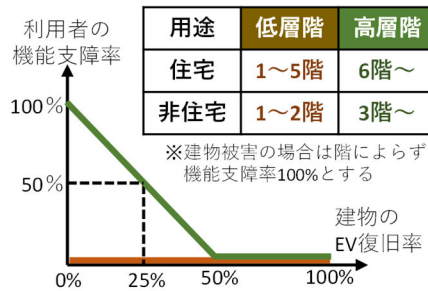
①個別建物のエレベータ復旧過程

R4シミュレーションモデルを用い、個別建物のエレベータ復旧過程を算出する。



②機能喪失のモデル化

建物被害、EV障害による機能喪失を利用人口を指標としてモデル化する。



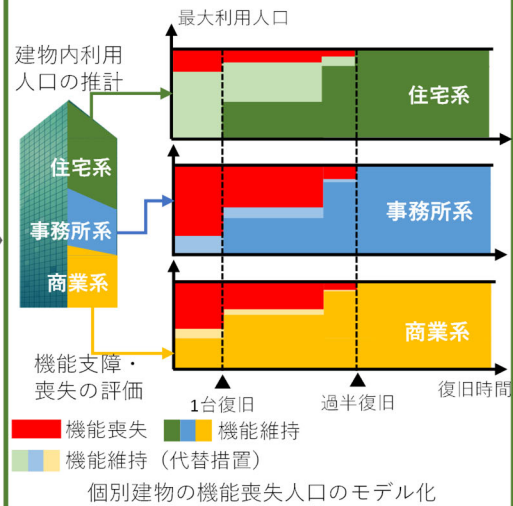
EV障害による機能支障率のモデル化

機能支障時の機能喪失率のモデル化
(災害状況: Case1 代替率低)

用途	建物被害	EV障害
事務所系	85%	85%
商業系	95%	95%
住宅系	100%	10%

③個別建物の機能喪失評価

個々の建物の機能喪失人口を推計する。



④都市の機能喪失評価

全建物の機能喪失人口を合算することで都市の機能喪失 (= 都市機能喪失人口) を推計する。

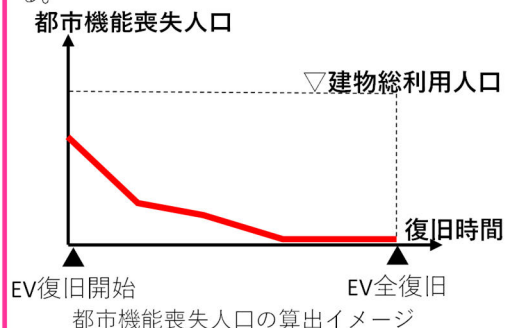


図 2 - 6 - ② - 2 都市機能喪失人口の評価フロー

(1-c) 復旧条件、都市機能被害のモデル化に係る資料の収集と整理

南海トラフ地震時の災害状況を考慮した復旧条件の設定および都市機能被害のモデル化に資する資料の収集と整理を行った。南海トラフ地震における首都圏の被害を想定する上で、2011 年東北地方太平洋沖地震における首都圏の被害状況や、当時顕在化した課題に関する研究報告等が参考になると考え、表 2-6-②-1 の範囲の文献を網羅的に調査した。併せて、(1-a)、(1-b)の検討を進めるうえで、関連すると考えられる資料を追加的に収集した。

表 2-6-②-1 復旧条件、都市機能被害のモデル化に係る文献調査範囲

書籍名・学会誌名		巻号
東日本大震災合同調査報告編集委員会： 東日本大震災合同調査報告		建築編 6 非構造部材、建築編 8 建築設備・建築環境、 建築編 9 社会システム、機械編
日本建築学会論文集	計画系論文集	第 76 巻、第 661 号 (2011/3) ～第 88 巻、第 807 号 (2023/5)
	構造系論文集	第 76 巻、第 661 号 (2011/3) ～第 88 巻、第 807 号 (2023/5)
	環境系論文集	第 76 巻、第 661 号 (2011/3) ～第 88 巻、第 807 号 (2023/5)
日本建築学会技術報告集		第 17 巻、第 36 号 (2011/6) ～第 29 巻、第 71 号 (2023/2)
地域安全学会論文集		第 14 巻 (2011/3) ～第 41 巻 (2022/11)
地震工学会論文集		第 11 巻、第 2 号 (2011/5) ～第 23 巻、第 2 号 (2023/5)

2) 災害状況を反映したエレベータ復旧シミュレーションの実施

1) で抽出した要因を考慮し、エレベータ復旧シミュレーションを実施することで、様々な災害シナリオの設定条件と都市機能復旧過程の関係を評価した。成果の概要を図 2-6-②-3 に示す。(2-a) 災害状況に応じたパラメータ設定と復旧シミュレーションでは、都市機能復旧過程の評価条件を設定し、代表的に選択した 60 ケースで都市機能復旧過程を評価した。図中の上段・中段に例示するように、各検討ケースで発生する都市機能喪失人口が、エレベータ復旧に伴って減少していく様子をシミュレーションモデルにより評価し、地域性や地震動分布との関係について考察した。(2-b) 災害状況に応じたエレベータ復旧方針による都市機能復旧への影響の考察では、エレベータ復旧方針や災害状況が都市機能復旧過程に及ぼす影響の観点から整理、考察するとともに、図中の下段で示すように 83 ケースの多様な震源断層モデルによる都市機能被害を評価することで、南海トラフ地震の多様性と都市機能被害の関係について検討した。以下に、それぞれの成果の概要を示す。

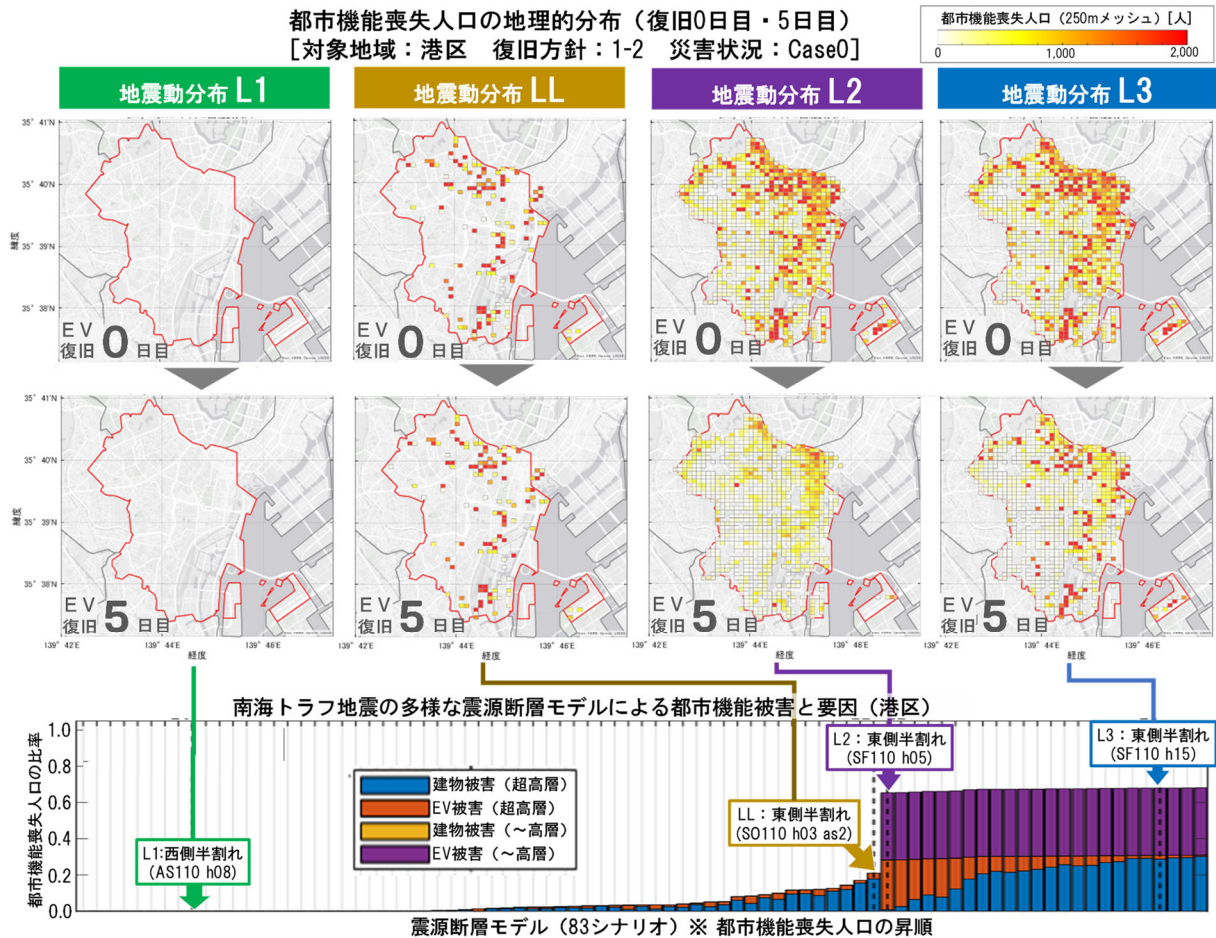


図 2-6-②-3 代表シナリオによる都市機能の復旧過程と多様な震源断層モデルによる都市機能喪失被害

(2-a) 災害状況に応じたパラメータ設定と復旧シミュレーション

都市機能復旧過程を評価する上で、評価条件（対象地域、地震動分布、エレベータ復旧方針、災害状況）の設定を行った。図 2-6-②-4 に設定した各評価条件と、検討ケースとして選択した評価条件の組み合わせを示す。

建物被害およびエレベータ障害の評価にかかわる条件としては、対象地域と地震動分布を設定する。対象地域としては、東京都 23 区内のうち超高層建物棟数が多い行政区 4 区（港区、千代田区、中央区、新宿区）を選択した。地震動分布としては、南海トラフ地震の多様性を踏まえた震源断層モデルによる地震動評価結果から、建物被害とエレベータ障害の様相が特徴的な 4 ケース（L1、L2、L3、LL と称する）を選択した。L1 は全震源断層モデルの中でも都心部の影響が小さい西側半割れのケース、L2 は短周期・長周期成分ともに 2011 年東北地方太平洋沖地震時の都心部の揺れと同程度である東側半割れのケース、L3 は全震源断層モデルの中でもっとも都心部の影響が大きい東側半割れのケース、LL は短周期成分が小さく主として長周期成分の影響を都心部が受ける東側半割れのケースである。以上の対象地域と地震動分布の組み合わせにより、計 16 パターンの建物被害・エレベータ障害のデータを作成した。対象地域内のエ

エレベータ設置建物として、前年度と同様の手法で、ゼンリン建物ポイントデータ（2020年版）⁴⁾と、超高層建物については2019年度版東京都建築統計年報⁵⁾を参照し、階数4以上の建物を個別にモデル化した。今年度は新たに、階数3以下のエレベータ非設置建物について、対象地域内の総利用人口と建物被害率をマクロに評価することで、都市機能被害の評価に反映させた。復旧方針としては、（一社）日本エレベーター協会が提唱する⁶⁾、1ビルにつき1台のエレベータを復旧させたら次のビルの復旧に移るという復旧方法（以下、1ビル1台ルール）の有無と、建物の優先順位を示す2つの指標（建物延床面積（広い建物ほど優先度高）、営業所からの距離（営業所から近い建物ほど優先度高））の組み合わせによる4ケースを設定した。災害状況としては、（1-a）で設定したテレワーク等の代替手段の普及率の異なる3ケースを設定した。以上の評価条件の組み合わせから定まる192ケースの検討ケースのうち、本年度は図2-6-②-4に示す60ケース（対象地域4ケースごとに15ケース）の評価条件で都市機能復旧過程を評価した。

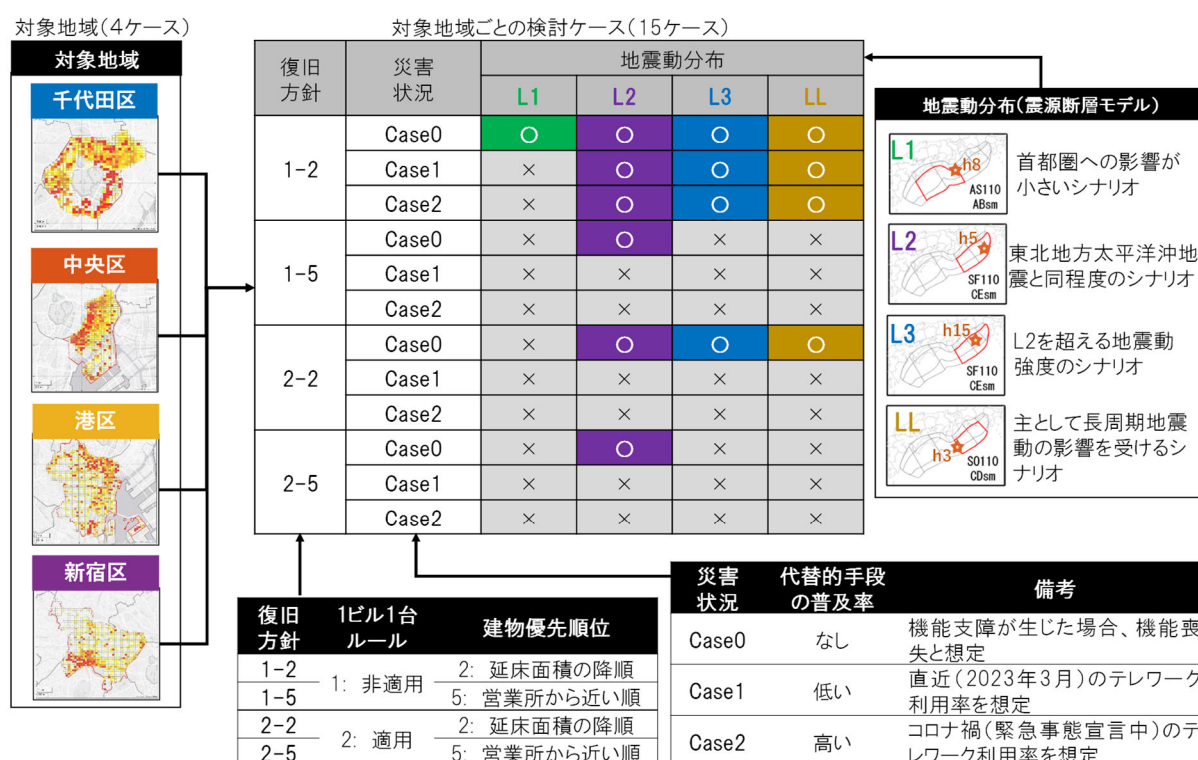


図2-6-②-4 都市機能被害評価の検討ケースの概要

都市機能復旧過程と、地域性および地震動分布の関係を評価した例として、図2-6-②-5に、復旧方針を1-2(1ビル1台ルールなし、延床面積順)、災害状況をCase0(代替手段なし)とした場合の、対象地域4ケースの都市機能復旧過程を示す。地震動分布はL2およびL3とし、対象地域4区の結果をグラフ上に並べて示した。グラフの横軸はエレベータ復旧開始からの日数、縦軸は対象地域内の総利用人口に占める都市機能喪失人口の比率である。また、港区における0日目、15日目時点の都市機能喪失人口の地理的分布を同図下段に示した。

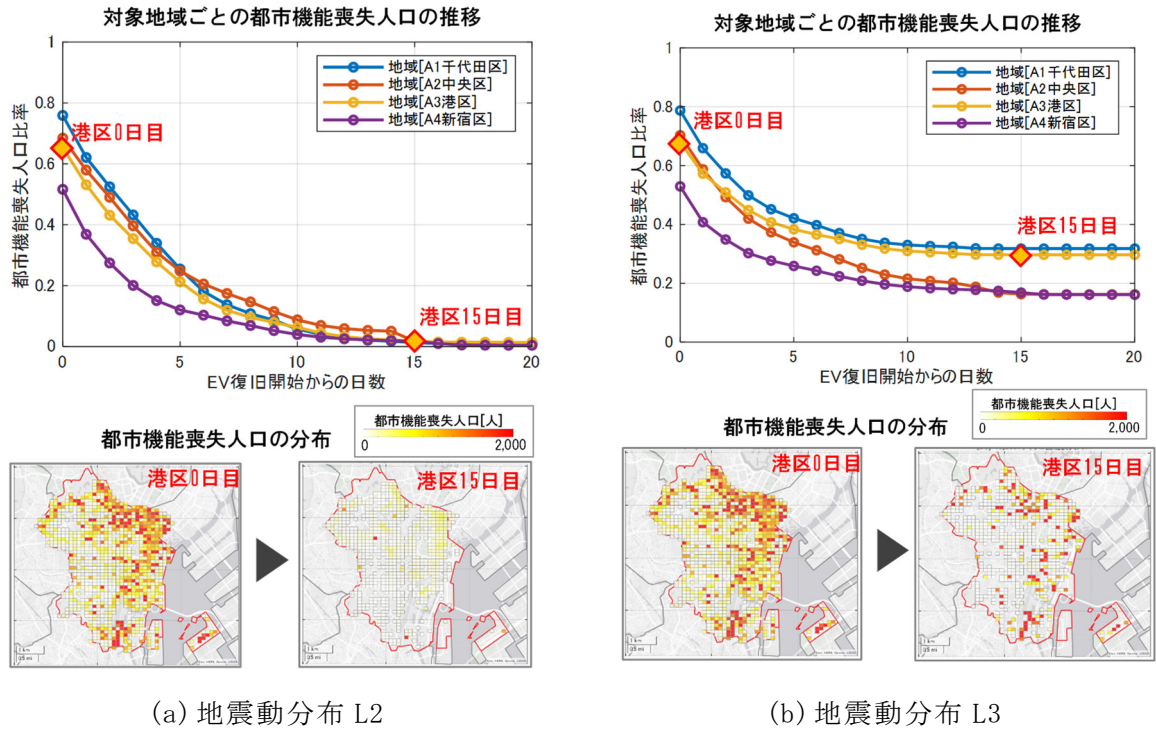


図 2-6-②-5 都市機能復旧過程と地震動分布および地域性の関係
(復旧方針：1-2、災害状況：Case0)

地震動分布の影響について比較すると、L2 と L3 は共に全てのエレベータが緊急停止するため、同等の都市機能喪失人口が発生する。一方、その後の復旧過程は地震動分布によって異なる。L2 では都市機能被害のほとんどがエレベータ障害に起因しており、エレベータ復旧により被害の大半が復旧される。一方 L3 の場合は、超高層建物の建物被害が多く発生しているため、エレベータ復旧が進んでも利用人口の 2～3 割程度が復旧されず、都市機能を喪失したままとなる。15 日目の都市機能喪失人口分布から、L3 の場合には超高層建物の多い地域で都市機能喪失人口が残存していることが確認できる。地域性の影響としては、エレベータ非設置建物の利用人口が多い新宿区で都市機能被害が少ないこと、超高層建物の比率が相対的に高い千代田区と港区で、L3 の場合にエレベータ復旧後も残存する都市機能被害が多いことが確認できる。

(2-b) 災害状況に応じたエレベータ復旧方針による都市機能復旧への影響の考察

(2-a)の結果を用い、都市機能復旧過程にエレベータ復旧方針や災害状況が及ぼす影響を考察した。エレベータ復旧方針による影響の例として、対象地域を港区、地震動分布を L2、災害状況を Case0 とした場合の評価結果を図 2-6-②-6 に示す。図中には復旧方針ごとの都市機能復旧過程のグラフと、復旧開始 5 日目時点の都市機能喪失人口の地理的分布をそれぞれ示した。1 ビル 1 台ルールを適用する場合、超高層建物などの利用人口の多い建物で機能復旧が遅れるため、都市機能の復旧は遅くなる。これは、1 ビル 1 台ルールが建物内の縦動線を最低限確保することを優先する方針であり、平時の都市機能を早期に復旧するためには最適化されていないためである。建

物の優先順位としては、都心部は建物が高密に立地するためエレベータ復旧に占める移動時間の比率は小さい。そのため、延床面積順に復旧する方が、利用人口の多い建物の都市機能が早期に復旧するため、効率的な方針となった。

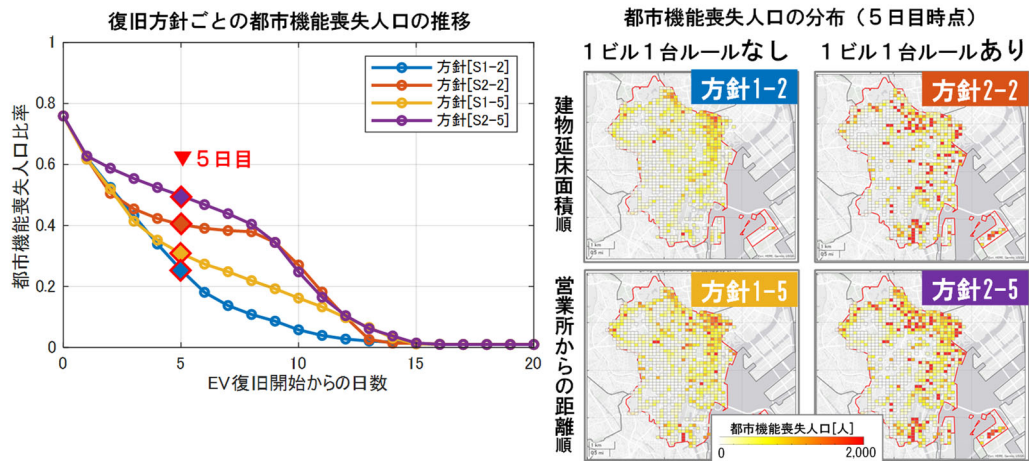


図 2-6-②-6 都市機能復旧とエレベータ復旧方針の関係
(対象地域：港区、地震動分布：L2、災害状況：Case0)

災害状況による影響の例として、対象地域を港区、復旧方針を 1-2 とした場合の評価結果を図 2-6-②-7 に示す。テレワーク等の代替手段の普及率が高い Case2 では、代替的手段を考慮しない Case0 と比べ、同等の都市機能に復旧されるまで 2 日分程度の短縮効果が得られることが確認された。また復旧が長期化する建物被害に対して都市機能を維持するためにも、代替的手段が有効であることが確認できた。

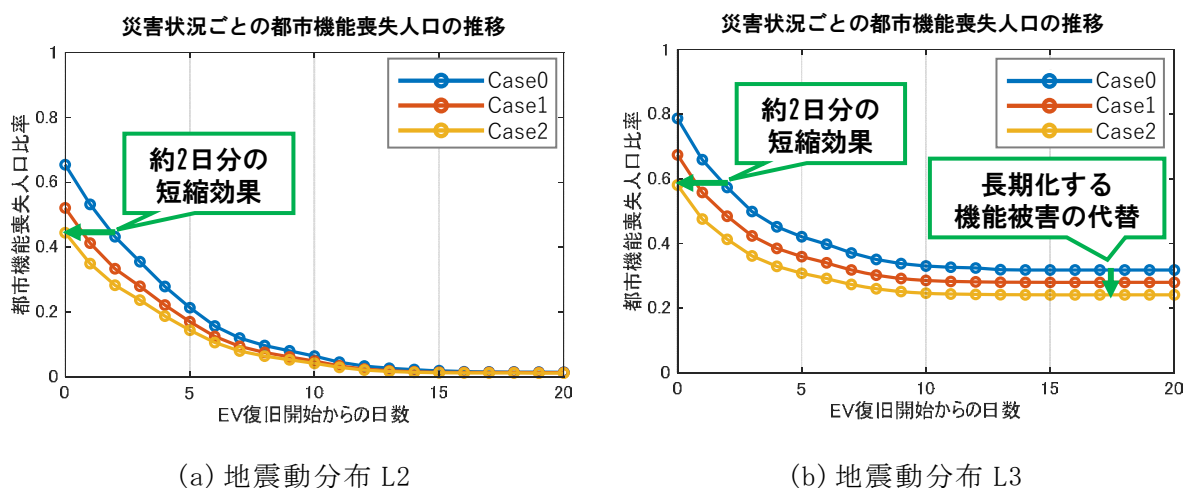


図 2-6-②-7 都市機能復旧と災害状況の関係（対象地域：港区、復旧方針：1-2）

南海トラフ地震の多様性を踏まえた 83 の震源断層モデルによる地震動評価結果を用い、都市機能被害を評価し、その類型や要因の分析を行った。港区の検討結果を図 2-6-②-8 に示す。震源域が東側に広く首都圏の短周期レベルが強い、右側の 24

シナリオでは、エレベータの緊急停止による都市機能被害が多く発生する。この中には、L2 と L3 として選択したシナリオが含まれ、長周期地震動による建物被害の多寡でその後の復旧過程が影響されることが確認されている。左側の 59 シナリオでは、主として超高層建物の建物被害に起因して都市機能被害が発生する。超高層建物特有のエレベータ障害は、各建物で数台程度の障害を発生させる場合はあるが、過半のエレベータを同時に停止させることは稀であり、建物被害に比べて都市機能に与える影響が相対的に少ないことが確認された。

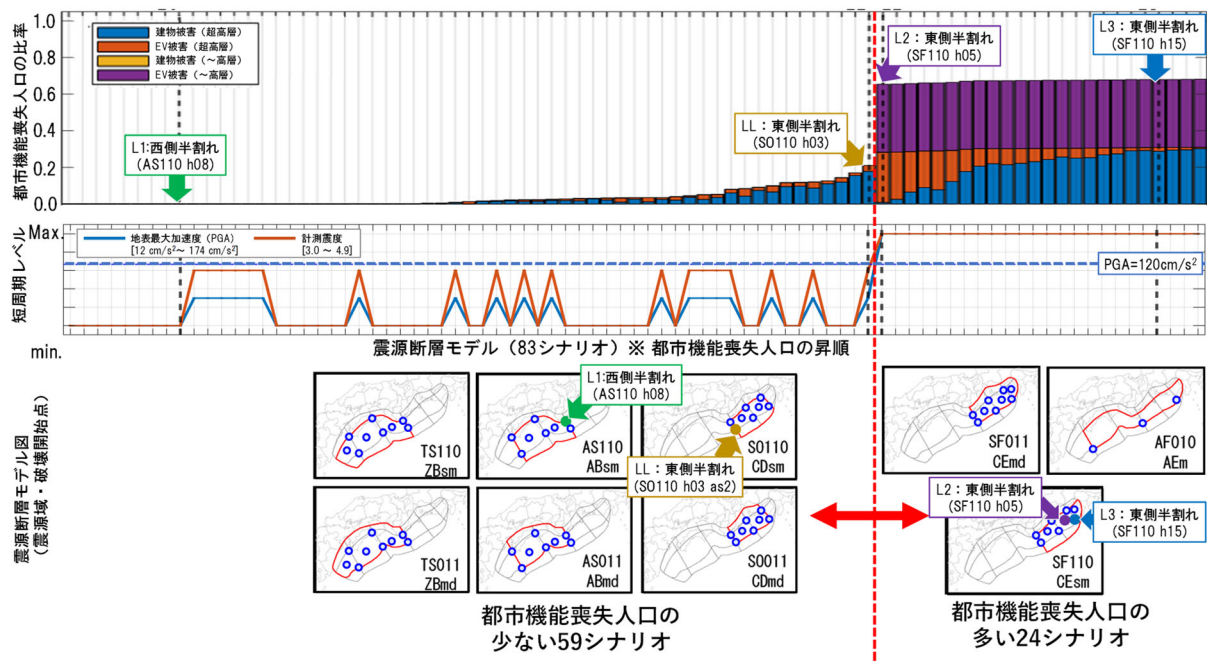


図 2-6-②-8 多様な南海トラフ地震シナリオによる都市機能被害
(対象地域：港区、災害状況：Case0)

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務のまとめと今後の課題を以下に示す。

- 1) 文献調査の結果を踏まえ、シミュレーションに考慮すべき災害状況の代表例としてテレワーク等の代替的手段による影響をモデル化した。また、平時に建物内を利用していた人口のうち建物被害やエレベータ障害により活動することができなくなった人口である都市機能喪失人口を指標として、都市機能被害を定量的に評価する手法を開発した。これらのモデルを前年度までに構築したエレベータ復旧シミュレーションモデルに組み込むことで、都市機能被害と復旧過程のシミュレーションを可能とした。
- 2) 1) のシミュレーションモデルを用いて、サブ課題 2 (g) から提供された南海トラフの多様性を考慮した 83 の震源断層モデルに対する都市機能被害の評価と、代表的な 4 つの震源断層モデルに対する 60 ケースの都市機能復旧過程の評価を行い、以下の知見を得た。

- ・都市機能復旧過程は、地震動分布や地域性の影響を受ける。特にエレベータ設置建物の多い地域では、強い短周期レベルの揺れを受けると、エレベータが全面的に緊急停止し、一時的に都市機能の大半が影響を受ける。また、超高層建物が多い地域では、長周期地震動による建物被害の影響で長期的に都市機能被害が継続することになる。
- ・都市機能復旧の観点からは、利用人口の集中する大規模建物を優先してエレベータを復旧させることが有効であった。最低限の縦動線の確保を目的とする「1ビル1台ルール」を機械的に順守すると、大規模建物の機能回復が遅れるため、都市機能の復旧の観点では最適な戦略とは言えないと考えられる。
- ・テレワーク等の代替的手段を使える状況を維持することは、発災後の都市機能の維持の観点でも有効な対策と考えられる。

今年度は、南海トラフ地震の多様性を考慮した上で都市機能被害と復旧過程の評価を行い、都市機能被害の様相もまた多様性を持つことが確認された。しかし、本成果を具体的な防災対策につなげるには、首都圏で起こりうる都市機能被害を評価した上で、南海トラフ地震の位置づけや特徴を把握する必要がある。今後、首都直下地震に代表される他の地震シナリオによる都市機能被害を比較対象として、改めて南海トラフ地震による都市機能被害の特徴を明らかにしていくための検討を進める。

(e) 引用文献

- 1) 大久保敏弘・NIRA 総合研究開発機構：第 9 回テレワークに関する就業者実態調査(速報)、2023, <https://nira.or.jp/paper/research-report/2023/032304.html> (2024.3 現在)
- 2) 東京都：首都直下地震等による東京の被害想定（令和 4 年 5 月 25 日公表）、<https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000902/1021571.html> (2024.3 現在)
- 3) Applied technology Council：Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 8 - Methodology for Assessment of Functional Recovery Time, Preliminary Report、ATC-138-3、2021、<https://femap58.atcouncil.org/fr-methodology> (2024.3 現在)
- 4) ゼンリン：<https://www.zenrin.co.jp/> (2024.3 現在)。
- 5) 東京都：平成 30 年「建築統計年報 2019 年版」, 2019.12.
- 6) 日本エレベーター協会：大規模地震発生時のエレベーター早期復旧等に関するご協力をお願い、https://www.n-elekyo.or.jp/docs/20150408_elesoukifukkyu_hp.pdf (2024.3 現在)。

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題目、 口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表した場所 (学会等名)	発表した 時期	国内・外 の別
南海トラフ地震の多様性を 考慮したエレベータ障 害復旧シミュレーション (口頭)	日下彰宏 鈴木明子 前田宜浩 中村洋光 秋山伸一 時実良典 廣井悠	第16回 日本地震工 学シンポジウム	2023. 11	国内

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし