

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	准教授	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・ど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緻な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成績技術の検討を行う。エレベータ障害、復旧過程を模擬する手法の検討を行う。

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う。モデル地域でのエレベータ障害、復旧の試算の検討を行う。

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う。

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2年度業務目的

都市機能の維持について、災害復旧オペレーションの検討に考慮すべき要因を整理する。そのため具体的には、これまでの研究で構築した災害事象因果データベースを拡充する。また、長周期地震動とエレベータ障害の関係およびその復旧過程について事例を調査する。

(2) 令和2年度の成果

本報告書では、前半の「災害事象因果データベース」を①、後半の「長周期地震動とエレベータ障害の関係およびその復旧過程について事例を調査」を②として成果を記述する。

①災害事象因果データベースの拡充

(a) 業務の要約

本業務では、機械学習を用いた災害事象因果データベースの拡充について、朝日新聞データをもとに、東日本大震災と阪神・淡路大震災について学習モデルを作り、それぞれ発災から6か月の因果データベースを作成、ネットワークとして可視化した。

(b) 業務の実施方法

本業務は、災害シナリオをバックキャストから作成する方法のひとつとして、自然言語処理を用いて新聞記事から災害事象とその因果関係を機械的に抽出し、災害連関図(cascading disaster network)の作成を試みるものである。今年度は、その具体的事例として、過去の大きな地震災害である阪神淡路大震災と東日本大震災のそれぞれ発災後6か月間の災害事象を対象として学習モデルをつくり、発災から6か月の因果データベースを作成するとともに、災害間の比較を行った。

(c) 業務の成果

ここでは、阪神・淡路大震災、東日本大震災の発災当日から半年後の新聞記事を災害因果抽出の対象とした。つまり、阪神淡路大震災については1995年1月17日から7月16日まで、東日本大震災については2011年3月11日から9月10日までである。これらの期間に関して「朝日新聞記事データ(学術・研究用)」1995年版及び2011年版のデータフ

フォーマットにおいて、「本誌・地域誌：本誌，面名：1面から4面（スポーツ面以外）及び特設ニュース，記事分類：災害または原子力事故」のすべてに該当する記事のなかから、記事本文に阪神淡路大震災の場合は「兵庫県南部地震」または「大震災」、東日本大震災の場合は「東北地方太平洋沖地震」または「大震災」が含まれるものを対象とした。なお、これらの条件を満たしていても、被害情報の数値の羅列のような明らかに因果関係文を含まない記事は除外している。

一方で方法は、筆者が過去に構築した技術を用いる。ここでは Sakahira and Hiroi (2021)¹⁾に準拠し、手がかり表現と継起因果表現の2種類の表現方法を用いて抽出された因果関係文の候補に対して、機械学習による判別モデルを作成する。そのうえで、判別された因果関係文に対して、それら文の原因部分と結果文をノードとリンクとして災害因果ネットワークを作成する。

手がかり表現とは、例えば、「を背景に」「のために」のような直接的に因果関係を表す表現のことである。はじめに日本語の新聞記事から、坂地ら(2011)²⁾を参考として、35種類の手がかり表現を用いて因果文の候補を抽出した。しかしながら、日本語の新聞記事は複雑であるため、この段階で抽出された文の中には因果知識が含まれていないものがある可能性がある。そこで、上記の既存研究を参考に、構文的特徴と意味的特徴を説明変数とする機械学習モデルを作成した。各地震災害に関して、それぞれ発生後1カ月間の記事で抽出された因果文の候補のうち約3分の1にあたる量の文に対して因果関係の有無についてアノテーションを付けた。このうち70%を学習用、残り30%をテスト用とした。これら因果関係の有無を目的変数として、サポートベクターマシン(SVM)を用いた機械学習モデルを構築した。説明変数としては、1)主節と基底節にぶら下がっている助詞の対、2)主節と基底節にぶら下がっている節の名詞の上位概念、3)手がかり文節の前の形態素解析における品詞、4)35種類の手がかり文節、5)形態素ユニグラム、6)形態素ビッググラムを採用した。

継起因果表現とは、時間的な前後関係を表す継起関係に因果関係も含まれるものである。例えば、「高速道路やビルが倒壊して、道路をふさぎ消防車も入れなかった」という記事の文章のなかには、前述の手がかり表現は見られないが、「高速道路やビルが倒壊して」が原因、「道路をふさぎ消防車も入れなかった」が結果という関係が含まれている。ここでは廣井ら(2019)³⁾にあるように、日本語の新聞記事から8種類の継起因果表現を用いて因果文の候補を抽出した。こちらも、この段階で抽出された文の中には因果知識が含まれていないものがある可能性がある。そこで、各地震災害に関して、それぞれ発生後1カ月間の記事で抽出された因果文の候補のうち約3分の1にあたる量の文に対して因果関係の有無についてアノテーションを付けた。このうち70%を学習用、残り30%をテスト用とした。これら因果関係の有無を目的変数として、SVMを用いた機械学習モデルを構築した。

災害連関図の作成については、各判別モデルで抽出された因果関係文について原因部と効果部に分けられた因果データベースを用いて因果ネットワークを作成した。因果ネットワークは、開始ノードを原因、終了ノードを結果とした有向グラフから構成されている。そして、この終点ノードを原因として因果データベースから結果を検索して、終点ノードに新しい終点ノードを追加することで因果ネットワークを更新した。具体的には、終点ノードの文と類似性が高い(コサイン類似度0.7以上)原因部を持つ因果関係文を因果デー

データベースから検索した。そして、それら因果関係文の結果部を終点ノードの候補とした。終点ノード候補の中から内容を踏まえ人手で選択して、終点ノードを決定した。そして、今度はこの終点ノードを起点とし、その先の終点ノード候補を探索した。この処理を何度でも繰り返すことで因果ネットワークを構築した。なお、類似度の算出には、文に含まれる名詞と動詞の分散ベクトルの平均値を用いてコサイン類似度を算出した。分散ベクトルとコサイン類似度の算出は日本語の自然言語処理ライブラリである Ginza を用いた。

本業務ではこれら因果ネットワークから、新聞記事に含まれる個人的な被災体験などに関わる部を除外し、重要インフラや社会的事象を中心に再構成して災害連関図とした。以降では、各地震災害について1カ月間の記事の30%を用いた各判別をモデルのテスト結果と、これら各モデルを用いて6カ月間の記事に適用して作成した災害連関図を示す。

結果として作成された災害連関図は図2-6-①-1、図2-6-①-2のようになる(ただし図が煩雑になるため、4階層まで表示)。

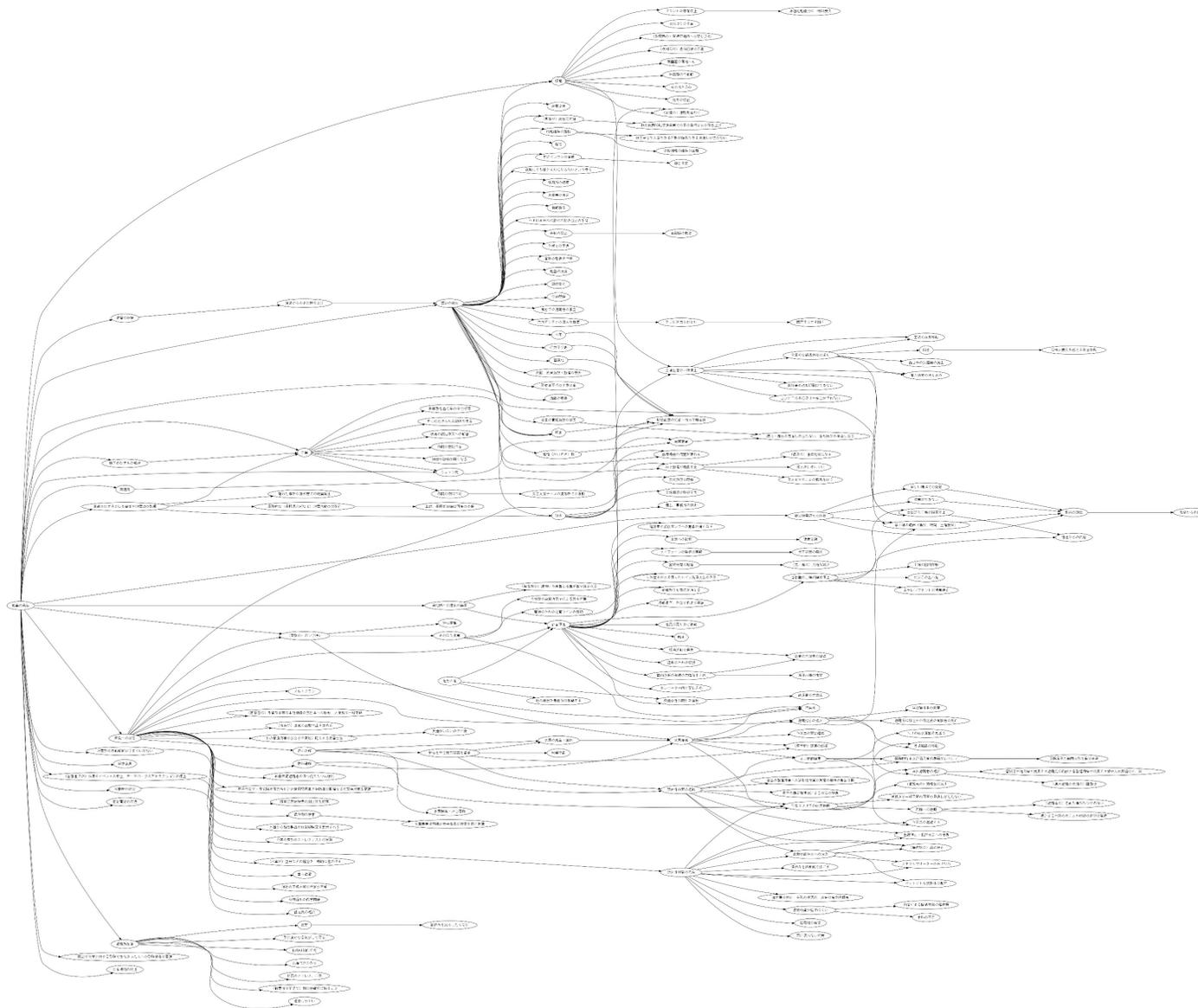


図 2-6-①-2 機械学習によって得られた東日本大震災時の災害関連図

(d) 結論ならびに今後の課題

ここでは、阪神淡路大震災と東日本大震災の日本語新聞記事から、自然言語処理を用いて災害事象の因果関係を機械的に抽出し、因果データベースを拡充した。これを図2-6-①-1, 図2-6-①-2のように図示した結果、両災害とも複雑な連鎖関係を示し、阪神淡路大震災では「被災地の工場生産の停止」、東日本大震災では「被災地外での計画停電」というエスカレーションポイントを抽出した。

一方で、長期的・グローバルな影響に関する事象は抽出されたが、その数は少なかった。この原因として、本論文では、便宜上、分析の対象としたデータは発生後6カ月の日本国内向けの新聞記事に限定していたからであると考えられる。今後、分析データの期間や地域を拡大することでより長期的、よりグローバルな影響を抽出することができると考える。

(e) 引用文献

- 1) F. Sakahira, U. Hiroi, Creating Disaster Chain Diagram from Japanese Newspaper Articles Using Mechanical Methods, Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics (2021) .(impress)
- 2) 坂地 泰紀, 増山 繁:新聞記事からの因果関係を含む文の抽出手法(自然言語処理), 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム 94(8) 1496 - 1506 2011年8月.
- 3) 廣井悠, 坂平文博:機械学習を用いた災害連関図の自動作成手法の検討, 日本災害情報学会第22回大会予稿集, 2020.

(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
機械学習を用いた災害連関図の自動作成手法の検討（口頭）	廣井悠、坂平文博	日本災害情報学会第22回大会	2020年11月	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

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

本業務では、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、文献調査やヒアリング調査を実施して、過去の地震災害におけるエレベータ障害の状況や復旧過程、エレベータの耐震性能、首都圏の超高層建物やエレベータのおおよその数量を把握した。また、これらの調査結果を踏まえ、地震が発災した後に生ずるさまざまな物的被害やサービスの停止などを反映して、エレベータ障害の発生から復旧過程をシミュレーションするためのモデルで考慮すべき項目を整理した。

(b) 業務の実施方法

震災時におけるエレベータの復旧過程の現状等に関する調査については、長周期地震動の発生が報告された地震を中心に、ア) 関連する学協会が実施した災害調査の報告書などの文献を収集して、エレベータ障害事例や、エレベータ障害と都市機能障害の関係に関する記述内容を調査した。また、イ) エレベータに関連するセンサ設置状況やエレベータの障害復旧過程の現状と課題を把握するために、エレベータの設計、設置にかかる基・規準類を確認したほか、エレベータの管理や災害対応に携わる実務者にヒアリングを行った。あわせて、ウ) 建築統計などの資料を収集し、首都圏における長周期地震動を考慮すべき超高層建物の数やエレベータの設置状況、利用者数等、次年度以後に構築するシミュレーションモデルの規模を検討するために必要な数量を整理した。

ア)～ウ)の調査結果に基づき、地震発災後に都市で生ずる各種のイベントを時系列で記述した災害シナリオを境界条件として考慮して、エレベータ障害の発生から復旧過程を模擬できるシミュレーションモデルに含まれるべき要素を整理し、5つの項目として定義した。また、各項目を評価できる数値モデルを構築するために、検討すべき課題を抽出、整理するとともに、必要なデータとその収集方法を検討した。

(c) 業務の成果

1) 震災時におけるエレベータ障害の復旧過程の現状等に関する調査

国内で最初に広範囲にわたる建物にエレベータ障害が生じたことが報告されたのは1978年宮城県沖地震である。そこで、(b)項ア)のエレベータ障害事例調査として、日本エレベーター協会の機関誌や日本建築学会による災害調査報告等から、この地震以後、2018年大阪府北部の地震までの、表2-6-②-1に示す20の地震についてエレベータ障害に関する記述を収集した。

エレベータ障害、すなわちエレベータを運行できない状態は、エレベータや建物になんらかの物的被害が生じた場合のほか、停電により運行が停止している場合、およびセンサが揺れを感知して管制停止後、専門技術者による安全確認が終わらずに再稼働していない場合に分けられる。また、被災地に甚大な被害を及ぼした1995年兵庫県南部地震や2011年東北地方太平洋沖地震ではエレベータにも多くの損傷・故障が見ら

れた一方で、マグニチュード6程度の2005年千葉県北西部の地震、2018年大阪府北部の地震では、エレベータの損傷・故障件数は少ないながらも6万台以上の運転が休止した。シミュレーションモデルには、揺れや地域の特性に応じて異なるエレベータ障害の様相を反映できるようにすべきと考える。

この調査では、表2-6-②-1で*を付した12の地震で長周期地震動による超高層建物への影響が報告されていることを確認したが、2004年新潟県中越地震と2011年東北地方太平洋沖地震を除き、地震時の建物の揺れや被害状況、復旧に至る記録は非常に限られたものであった。2011年東北地方太平洋沖地震では、日本建築学会(2013)¹⁾が、揺れを受けた超高層建物や設備機器の挙動や被害の状況、図2-6-②-1に示す事務所・商業ビルのエレベータ復旧タイムラインを報告している。また、医療施設²⁾、集合住宅³⁾における災害状況に関する文献も収集し、エレベータ障害がこれらの用途の建物の機能に与える影響や、復旧状況を整理した。

表2-6-②-1 エレベータ障害に関する記述を収集した地震の一覧

発生年月日	地震名 (マグニチュード)	発生年月日	地震名 (マグニチュード)
1978/6/12	1978年宮城県沖地震(M7.4)	2004/9/5	2004年東海道沖の地震(M7.4)*
1983/5/26	1983年日本海中部地震(M7.7)*	2004/10/23	2004年新潟県中越地震(M6.8)*
1984/9/14	1984年長野県西部地震(M6.8)*	2005/3/20	2005年福岡県西方沖地震(M7.0)
1992/2/2	1992年東京湾南部の地震(M5.7)*	2005/7/23	2005年千葉県北西部の地震(M6.0)
1993/1/15	1993年釧路沖地震(M7.5)	2007/7/23	2007年新潟県中越沖地震(M6.8)*
1995/1/15	1995年兵庫県南部地震(M7.3)	2011/3/11	2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)*
2000/10/6	2000年鳥取県西部地震(M7.3)*	2016/4/1	2016年紀伊半島沖の地震(M6.5)*
2001/3/24	2001年芸予地震(M6.7)	2016/4/14	2016年熊本地震(M7.3 ^註)
2003/5/26	2003年宮城県沖の地震(M7.1)*	2016/10/21	2016年鳥取県中部の地震(M6.6)*
2003/9/26	2003年十勝沖地震(M8.0)*	2018/6/18	2018年大阪府北部の地震(M6.1)

注：マグニチュードが最大のもの(4/16に発生)

*：長周期地震動による超高層建物への影響が報告されたことを確認した地震

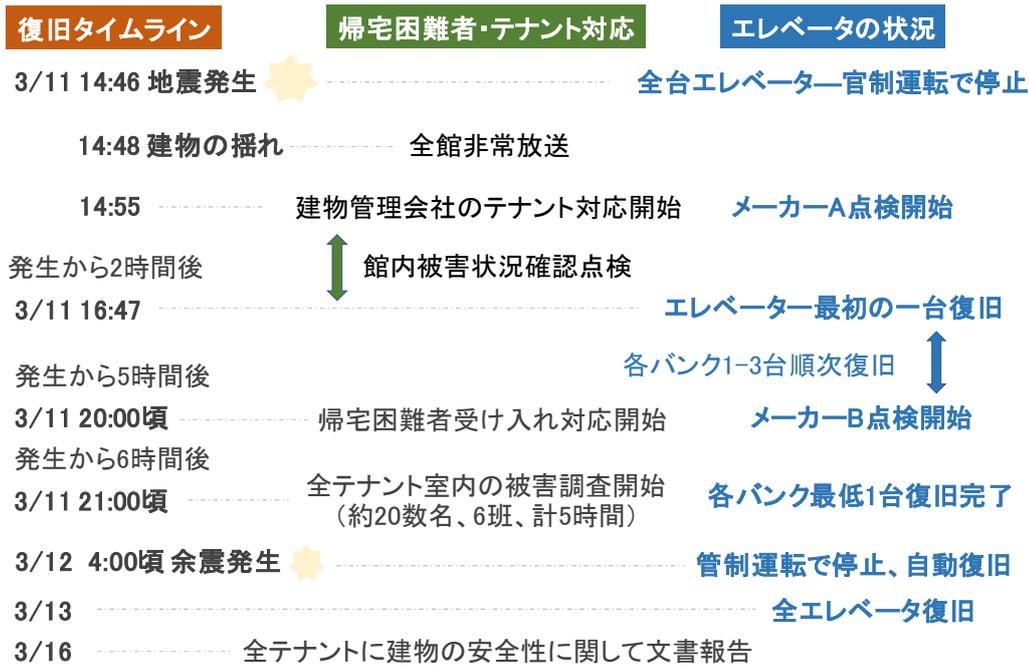


図2-6-②-1 2011年東北地方太平洋沖地震発生時の東京都内超高層ビル内のエレベータ復旧タイムライン ¹⁾の記載内容をもとに作成

(b)項イ)の調査では、エレベータの耐震性能の現状を把握するため、建築基準法をはじめとした関連法令や技術指針などを調査した。日本建築設備・昇降機センター(2016)⁴⁾よれば、これらの基・規準類は、地震によるエレベータ障害などを契機に改正が重ねられており、制定・改正の年を用いて、古い年代のものから、81耐震指針前、81耐震指針(1981年)、98耐震指針(1998年)、09耐震指針(2009年)、14耐震指針(2014年、現行)と呼ばれている。エレベータは、基本的には設置された当時の指針に基づいて設計・施工されていることから、シミュレーションモデルには、各建物の竣工年代を反映させる必要がある。本業務では、これらの指針に記載されたエレベータの耐震設計の基本的な考え方や各種の基準値、また、地震感知器の設定値や地震時の管制運転の考え方を整理した。エレベータには建物の高さや性能目的に応じて各種地震感知器が設置されており、表2-6-②-2に示す閾値を超える地震動を検知した場合、それぞれ運転措置と復旧方法が異なる。自動診断仮復旧装置が備わっている場合を除き、S波感知器の[低]以上、建物高さ120mを超える場合は加えて長尺物揺れ感知器[高]以上を検知した場合、専門技術者による点検が必要であることが調査により明らかになった。

また、エレベータの地震災害対策・復旧活動の現状を把握するため、復旧・点検作業にあたるメーカー系エレベータ保守会社の技術者にヒアリングを行った。このヒアリング調査で得られた知見は以下のとおりである。現状のエレベータ復旧は、各エレベータ保守会社が、日本エレベーター協会(2015)⁵⁾に示される大規模地震発生時の復旧に関する優先順位に基づき実施している。この優先順位では、まずは閉じ込めが発生している建物における人命救出、続いて表2-6-②-3に示す優先順位の高い建築物から、停止したエレベータを復旧する。また、巨大地震時においては全体の早

期復旧の観点から、一般建物では複数台のエレベータが設置されていても1棟につき1台を復旧させた後、他の建物の復旧に回る「1ビル1台復旧」の原則に基づき対応がなされる。基本的な考え方は、容量よりも導線をできるだけ多く繋げることを第一に、非常用（一部建物では乗用と兼用）エレベータの復旧が最優先され、続いて乗用、人荷用、荷物用の順に作業に取り掛かるのが一般的である。復旧にかかる時間や作業に必要な労力は被害項目に依存する。地震管制運転により最寄階停止したエレベータは、保守点検者が昇降路内の安全を確認してから再稼働させるが、エレベータ自体の物的被害はなく点検のみで運転可能となる場合が、復旧活動全体においてに多くの割合を占める。このような状況で止まったエレベータを早期復旧するために地震時自動診断・仮復旧システムが導入されているエレベータも存在するが、仮復旧した場合でも、後日実際に保守点検員が確認している。また、部品の取り換えが必要な場合や技術的に高度な修理を要する場合には、後日別チームが修理にあたっている。

表 2-6-②-2 地震時管制運転に関する各感知器の設定値⁴⁾をもとに作成

*1: 建物の地盤、構造に応じて適切な値に設定可能

地震感知器		P波 [gal]	S波（頂部設置/底部設置）[gal]			長尺物揺れ	
			[特低]	[低]	[高]	[低]	[高]
目的		閉じ 込め 低減	長周期 被害 低減	機能維持	人命 保護	長周期被害低減	
建物 高さ	-60m	2.5・10 ^{*1}	-/-	200/80	300/120	-	-
	60+・90m		40/-	(100, 120) ^{*2} /-	(120, 150) ^{*2} /-	-	-
	90+・120m		20/-			-	-
	120+m		-/-	(40, 60, 80, 100) ^{*2} /-	(60, 80, 100, 120) ^{*2} /-	^{*3}	^{*4}
検知後 運転措置		最寄階運転 一時停止	最寄階停止後 運転停止/非常停止	非常停止	最寄階停止後、運転停止		
復旧方法		地震後運行再開	点検/自動診断仮復旧運転後 平常運転			一定時間 経過後 平常運転	点検/自動 診断仮復 旧運転後、 平常運転

*2: 昇降路頂部の応答の応答倍率に応じて設定

*3: 長尺物揺れ[高]の 50-70%程度の揺れ

*4: 長尺物が昇降路内機器と強く接触し昇降路内機器が変形する危険のある揺れ状態

表 2-6-②-3 大規模地震発生時のエレベータ復旧に関する優先順位

優先順位	対応内容	建物種別	理由等
1	閉じ込め救出	閉じ込めが発生している建物	閉じ込め救出を最優先
2	停止したエレベータの復旧	病院等、弱者が利用する建物	けが人等の対応が急増する建物
3		公共性の高い建物	各行政から災害対策本部棟に指定される建物
4		高層住宅（地上高さ概ね 60m 以上）	一般の建物と比較し、生活に大きな支障の起こる可能性が高い建物
5		一般の建物	

(b)項ウ)の調査では、首都圏において長周期地震動による超高層建物被害およびエレベータ障害が起こりうる地域や建物属性を推定するため、特に超高層建物が集中している東京都内を対象に、高さ 60m を超える超高層建物の、名称や位置、規模、構造種別、用途、竣工時期などの基本的な属性情報を東京都 (2019) ⁶⁾などの統計資料から収集し、延床面積と用途からおおよそのエレベータ設置台数を推定して整理した。また、シミュレーションモデル構築計画において考慮すべき要件を特定するため、選択した都内の超高層密集地域における建物周辺環境（主たる検討対象である超高層建物以外の建物、復旧ルート道路・鉄道網等）や利用人口等に関する統計 GIS データを収集・整理した。とくに超高層建物の棟数が多い上位 4 区（多い順から港区、千代田区、中央区、新宿区）については、各建物の構造種別、竣工年代、建物高さの分布を、図 2-6-②-2 に示すように国土数値情報 ⁷⁾のデータとあわせて地図上に図化して各区の特徴を確認した。

これら 4 区の特徴を以下にまとめる。まず竣工年代について、千代田区と新宿区では、1960 年代後半から我が国初期の超高層建物が集中的に竣工されたため 1990 年以前に竣工された比較的古い超高層建物の割合が、それぞれ 23%、27%と 2 割以上を占め、同じく 14%の他区と比べて大きい。逆に、港区や中央区では臨海地域における再開発事業が増加した 2000 年以降に竣工した超高層建物が全体の約 70%を占めている。

構造種別は建物用途とも密接に関係があり、例えば、図 2-6-②-2 (a) に示す港区は、都心界限（六本木・赤坂、品川駅周辺）に S 造に多い事務所ビルが集中し、湾岸エリアには RC 造に多い超高層集合住宅が分布しているものの、顕著な空間的偏りはなく、新旧がバランスよく混合している。同図 (b) に示す千代田区は、鉄骨造（以下、S 造）が 77%、鉄筋コンクリート造（同、RC 造）が 8%、鉄骨鉄筋コンクリート造（同、SRC 造）が 15%と、事務所ビルに多い S 造が集中し、他の 3 区に比べてその地域性が顕著に表れている。また、中心で大きな面積を占める皇居を取り囲むように建物が分布し、東京駅周辺には事務所ビルが群集している。同図 (c) 中央区では、東京駅南東側には S 造の事務所ビルが多く、湾岸よりの地域では、埋立地を中心に河川や街区に沿って RC 造の超高層住宅がほぼ平行に分布する傾向が見られた。同図 (d) 新宿区では、新宿駅に一極集中していることが特徴的である。また、上述の通り、竣工年代の古い建物が比較的多く、高い建物が多い。

このような地域性による建物用途や属性分布の偏りや地理的条件による拘束は、エレベータの復旧戦略にも影響を及ぼすと考えられ、シミュレーションモデルに反映する必要がある。

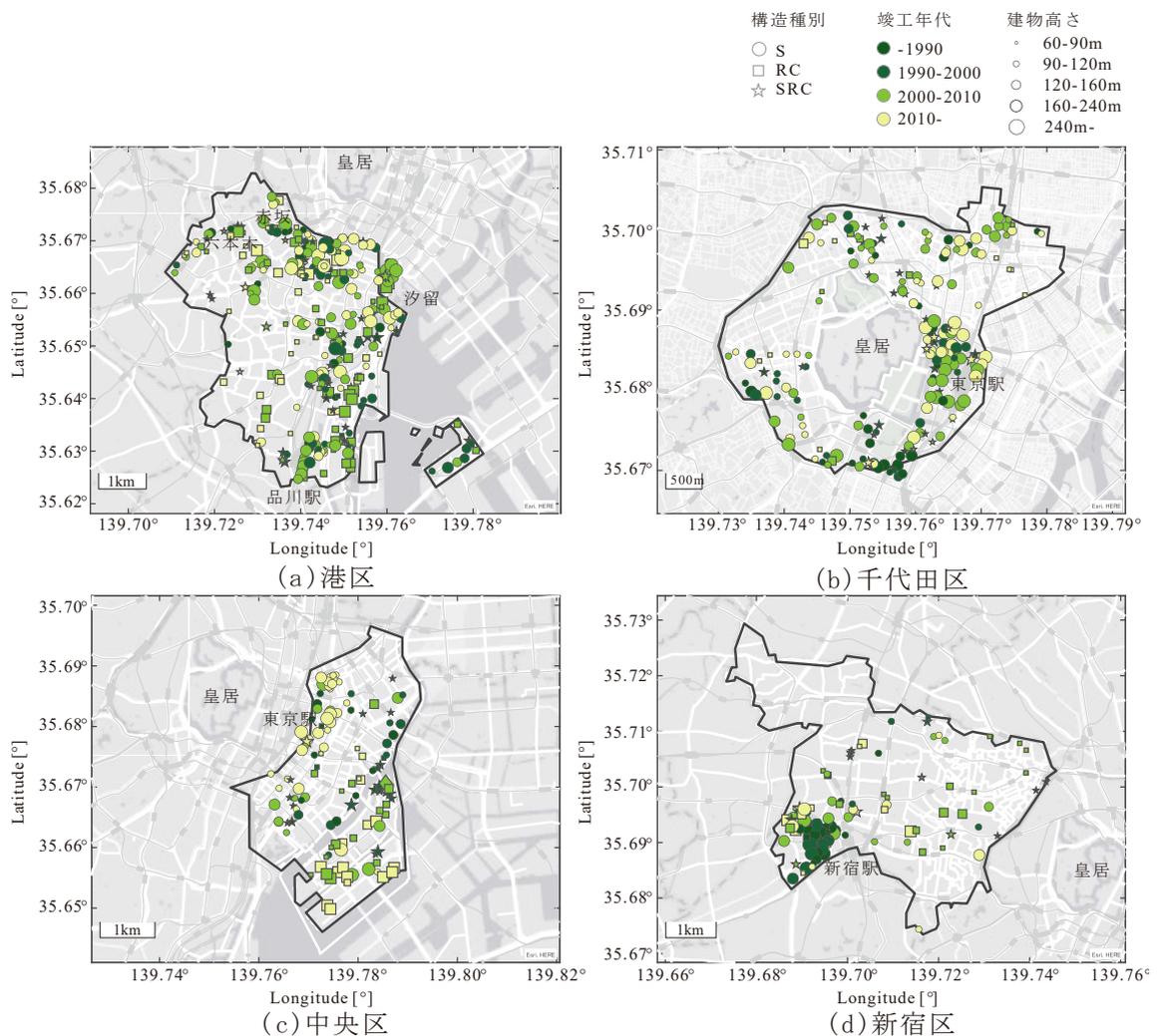


図 2-6-②-2 超高層建物棟数上位4区の超高層建物の分布

2) 首都圏を対象とした長周期地震動によるエレベータ障害とその復旧過程を模擬する評価モデルの検討

1) に述べた文献調査・ヒアリング調査の内容を踏まえ、首都圏を対象とした長周期地震動によるエレベータ障害とその復旧過程を模擬し復旧戦略を評価できるシミュレーションモデルの構成を検討した。評価モデルに含まれるべき要素とフローを図 2-6-②-3 に示す。

シミュレーションモデルに含まれるべき要素については、大半のエレベータ復旧は専門技術者を擁するエレベータ保守会社によって行われることから、ヒアリングや文献調査に基づき、図 2-6-②-3 右側に示すように整理したエレベータ保守会社の復旧体制を参考に検討した。つまり、大きく「運転・被害状況の把握」と「専門技術者による復旧活動」の段階に分かれていること、また社内情報ネットワークを通じた

管制センター、対策本部、サービス拠点（営業所）、専門技術者間の情報共有により、被害状況・規模を迅速に把握し、被災地における閉じ込め救出や停止したエレベータの復旧がなされることである。そこで、構築すべきシミュレーションモデルの要素を、これらの情報および人的・物的資源の流れを再現できるように、エレベータの状況を模擬するためのア）対象地域・建物群・周辺環境の特定・モデル化、イ）想定シナリオ地震下での入力地震動評価、ウ）建物被害および設置エレベータ障害評価と、普及活動を評価するためのエ）エレベータ復旧ネットワークパフォーマンス評価、オ）エレベータ復旧戦略評価の大きく2段階、5つに分けて整理した。

その内容は、ア）では、エレベータ復旧評価の対象とする地域を選択し、対象地域内の超高層建物のほかに被害が想定される中低層建物等の構造物、エレベータ復旧に影響のある道路網、鉄道網等の周辺環境を特定し、モデル化を行う。イ）では特定した各建物サイトに対し、想定するシナリオ地震下での入力地震動を、ウ）は推定される建物応答から建物被害およびエレベータ障害発生の有無を、それぞれ評価する。ここまでの、評価対象とする地域内で復旧すべきエレベータと当該建物の諸条件を模擬する Phase 1 である。

次に、復旧活動を模擬・評価する段階の Phase 2 として、エ）では、例えば道路封鎖や鉄道運行停止、混雑等、震災時に想定される条件を考慮して、建物間を車・自転車等の手段により移動するときの所要時間を表現できる復旧ネットワークモデルを構築する。最後に、オ）の復旧戦略評価では、2-6-①の災害シナリオとして設定された条件を、利用可能な人的資源（復旧作業にあたる専門技術者数）および物的資源（車・自転車等の移動手段や携帯電話等の連絡通信手段等）に関する拘束条件としてエ）で構築したモデルに与えて各建物のエレベータが復旧するまでの時間を計算し、目的に応じて最適復旧戦略の良否を評価する。目的として想定される項目としては、人命保護、地域全体の社会機能の早期復旧といったものがあげられ、復旧戦略の例としては、復旧所要時間の最短化（efficiency の最大化）、現行の「1ビル1台復旧」の原則に共通する地域全体の平等的早期復旧（connectivity の最大化）、エレベータ利用可能人数の確保（accessibility の最大化）などが考えられる。

また、これらのモデルの実装には、ア）に関連して、指定した行政区や街区毎に収集データを整理したデータベース、イ）およびウ）に関連して、地震動強さと建物被害やエレベータ障害の関係を整備する必要がある。

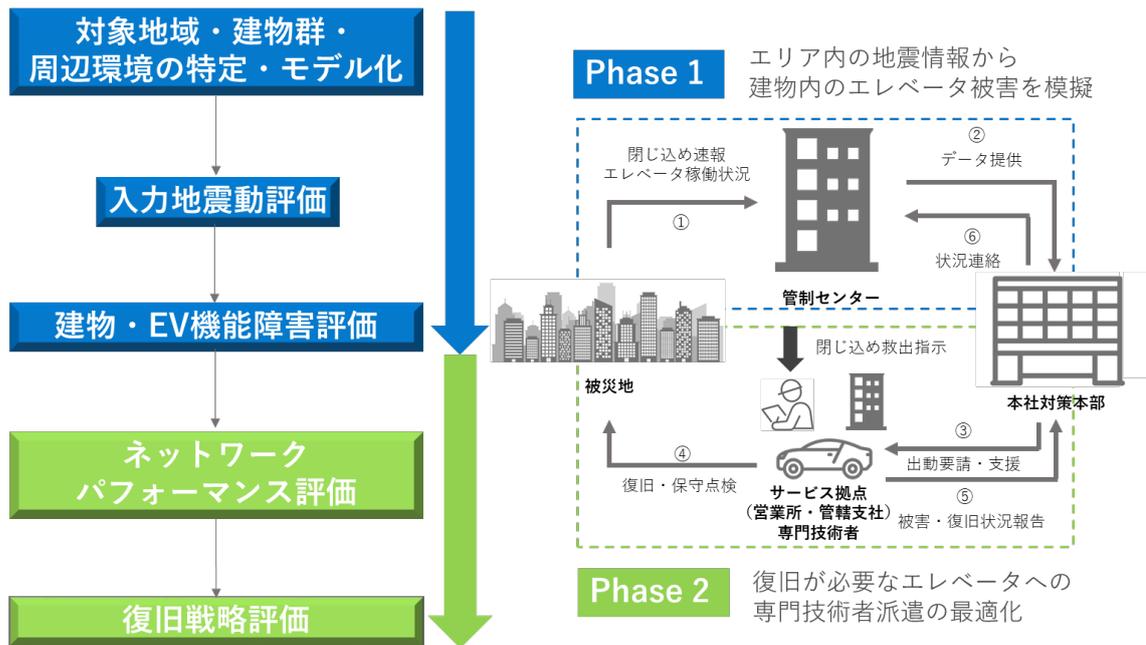


図 2-6-②-3 震災時のエレベータ復旧戦略の評価シミュレーションモデルの概要

(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) 震災時におけるエレベータの復旧過程の現状等に関する調査

エレベータ障害が報告された過去の地震災害について、文献調査を実施し、地震によるエレベータの被害形態および程度、地震動および建物の振動特性、エレベータの耐震性能や管制機能の有無等、現時点で考えうる要因を抽出・整理した。2011年東北地方太平洋沖地震では、医療福祉・事務所・住宅の建物機能にエレベータ障害を与えた記録が残されており、今後の検討に有用であることがわかった。また、現状調査として、エレベータの技術資料を調査し、設置年代別の耐震性能に関する基準を整理したほか、エレベータ保守会社の技術者等にヒアリングを行い、実際の復旧過程や課題を抽出・整理した。さらに、超高層建物が集中する東京都内における超高層建物やエレベータの統計情報を収集・整理し、長周期地震動による超高層建物被害およびエレベータ障害が起こりうる地域や数量を推定した。また、都内の超高層密集地域における建物周辺環境（中低層建物、復旧ルート道路・鉄道網等）や利用人口等に関する統計 GIS データを収集・整理した。

2) エレベータ障害とその復旧過程を模擬する評価モデルの検討では、1)の調査結果から明らかになったエレベータ保守会社の復旧体制と復旧下における情報および人的・物的資源の流れを再現するための、対象地域・建物群・周辺環境、入力地震動、建物被害およびエレベータ障害、復旧ネットワークパフォーマンスの4つに加え、復旧戦略の良否の判断を加えた5つを、今後構築する首都圏を対象にエレベータ復旧過程のシミュレーションモデルに含まれるべき要素として特定

した。あわせてモデル構築に必要なデータ整備計画を立案した。今後はこれら
を評価できる理論的な枠組みを検討し、着実にデータを整備する。

(e) 引用文献

- 1) 日本建築学会：長周期地震動と超高層建物の対応策—専門家として知っておきたいこと—，日本建築学会，2013.
- 2) 中川敦寛，古川宗，工藤大介，阿部喜子，松村隆志，丹野寛大，富永悌二：災害拠点病院の事業継続の見地からみたエレベーターの現状と課題—東日本大震災宮城県災害拠点病院調査，日本集団災害医学会誌，18，pp.9-17，2013.
- 3) 江川紀美子，定行まり子，浅沼由紀，小池孝子，曾根里子：東日本大震災時の高層住宅居住者の行動からみた防災対策について，都市住宅学，83，pp.138-143，2013.
- 4) 日本建築設備・昇降機センター：建築基準法及び関連法令 昇降機技術基準の解説 2016年版，2016.
- 5) 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
のお願い，
https://www.n-elekyo.or.jp/about/pdf/20150225_elesoukifukkyu.pdf，2015.
- 6) 東京都：平成30年「建築統計年報 2019年版」，2019.
- 7) 国土交通省：GIS ホームページ，<https://nlftp.mlit.go.jp>，2021.3 閲覧.

(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