

# IV-24 都市震災危険度に関する研究

——— 札幌市を例として ———

北海道大学大学院環境科学研究科 学生員 平 野 陽 彦

北海道大学大学院環境科学研究科 正 員 加賀屋 誠 一

北海道大学大学院環境科学研究科 正 員 山 村 悦 夫

## 1. は じ め に

### (1) 都市機能の連関

日本は地震多発国である。最近10年間の大型地震 ( $M = 7.0$ 程度) の例を挙げても、1984年の長野県西部地震を初め、83年日本海中部地震、82年浦河沖地震、78年宮城県沖地震、同年伊豆大島近海地震、74年伊豆半島沖地震などと起きており、狭い国土に密集する人口や地形条件などを媒介要因として、多くの被害を引き起こしてきた。各地震事例における被害状況に考察すると、個々の事例の特徴、共通点、相違点とその中に含まれる時系列な傾向が浮かび上がってくる。本研究において対象とするのは、主にこの時系列な傾向についてであり、これは、地震の発生した地域の違い、被災都市の規模、時代の進展 (現在と過去の地震の比較) 等によって生じる。特に、後者二点についていうと、同一の都市・地域であっても、時間的な都市の変化に従って被害の生じ方が異なっており、過去の地震においては問題とならなかった、あるいは、考慮の外にあったような被害が現れてきている。例えば過去の被災事例では、人的被害及び施設被害 (図-1) が主な地震被害であって、施設被害は、その施設が果していた機能に対する障害を引き起こすにとどまっていたのだが、現在の被災事例では、施設的には軽度の被害でしかないにも関わらず、様々な都市機能の動きが障害されるといった形での被害が増加している。この様な被害の変化は、現代都市の特質により説明される。

現代の都市における生活は、様々な都市システムの複合体によって支えられており、これらのシステムは、都市変化の進行につれて、ますます細分化・専門化・複合化の度合を強めていく。その結果、都市機能は、互いに他の、より多くの都市機能を前提として成立するようになる。このような状況を、都市機能の連関と呼び、この連関の模様を、供給系の都市機能とそれを支える施設を中心として表現したものが図-2である。

このような都市機能の中でも、地震被害と関係が深いものとして、電力供給、上水道供給、都市ガス供給、道路交通、電話、報道、医療、生活関連サービス (下水処理、食料供給等) といった機能がある。これらの機能が、都市の変化にともなうてどう変化しているのを整理してみると、

- ① 機能を支える施設そのものの変化  
(構造物の耐震化、材質の変化)
- ② 機能・施設の空間的変化  
(施設の広域化)
- ③ 機能間の依存関係の変化  
(施設の電力依存、情報化)

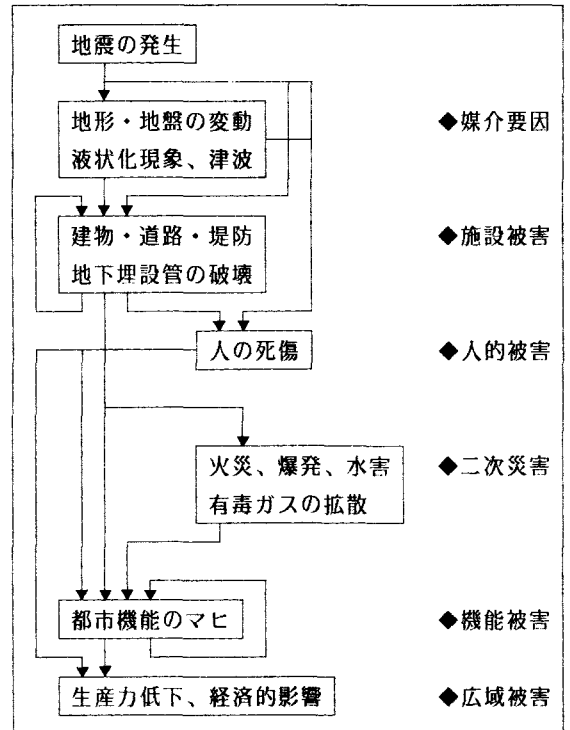


図-1 被害の波及

#### ④ 機能の集中化

(一部地域への集積)

#### ⑤ これらの変化に伴う人々の生活 や意識の変化

となる。地震災害と対照してみると、  
②～⑤が地震被害の変化要因であり、  
①は主に被害の悪化を抑制する。以上  
のような点から、現在必要とされてい  
るのは、図－１における機能被害に対  
する研究であるといえよう。

#### (2) 研究の目的

地震対策の一貫として、各自治体で  
は被害想定を行っているが、この被害  
想定においては、地域別の危険度算定  
が防災対策の運用上不可欠であること  
(注 1)、都市の危険性に対しての科  
学的認識が必要であること(注 2)、  
と危険度算定の必要性が述べられてい  
る。以上の点から、本研究の目的を次  
のように設定する。

- ① 地震被害の危険度を都市機能の機  
能的被害量で予測する。
- ② 危険度は、都市機能の連関による  
影響を内包したものであり、その  
時系列な変化を予測する。
- ③ 被害想定に対する位置づけから、  
施設被害も含めた各危険度の時系  
列な変化を予測する、総合的モデ  
ルの構築を図る。

#### 2. 研究の手順と方法

##### (1) 対象地域と研究の枠組み

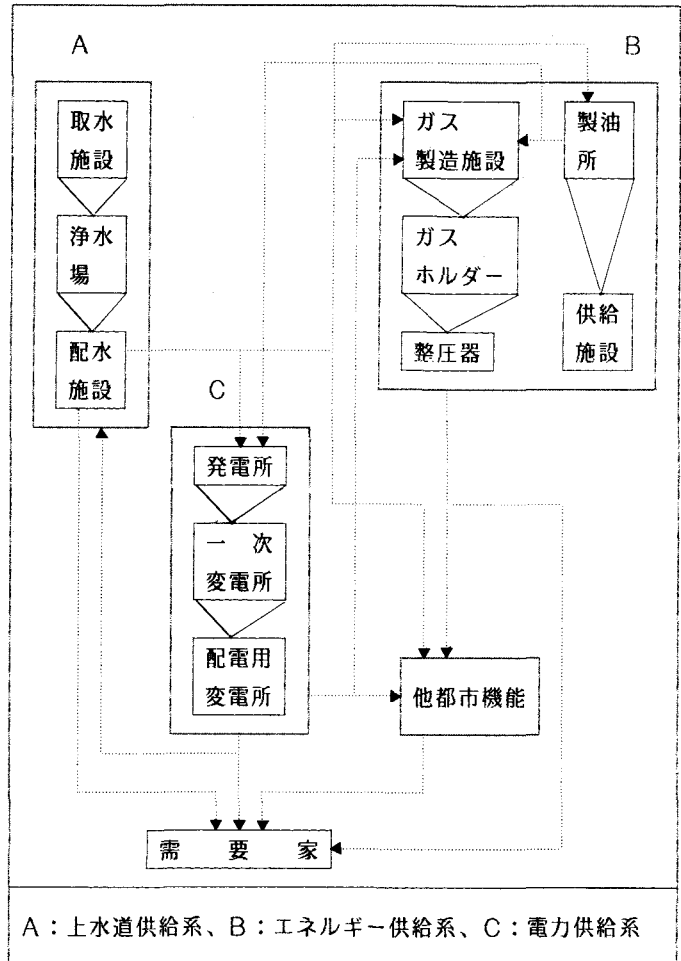
対象地域は札幌市とし、地盤及び地震動の資料は「札幌市地震対策基礎調査報告書：昭和56年」より引用  
しており、想定地震として、十勝沖(M=8程度)または石狩湾(M=7程度)を考え、危険度の算出は統  
計区ごとに行うものとする。シミュレーションの対象としたのは、統計区番号1、5、51、96、161  
の各統計区とした。また、都市機能の連関関係に対する分析は、他の機能に対する影響が最も大きい電力供  
給機能を含めて、上水道供給機能、都市ガス供給機能を対象とした。災害の時間的局面としては、災害の衝  
撃直後ないし、数時間後以内であり、復旧に対する評価は含まないものとする。

##### (2) 研究の手順とモデルの概要

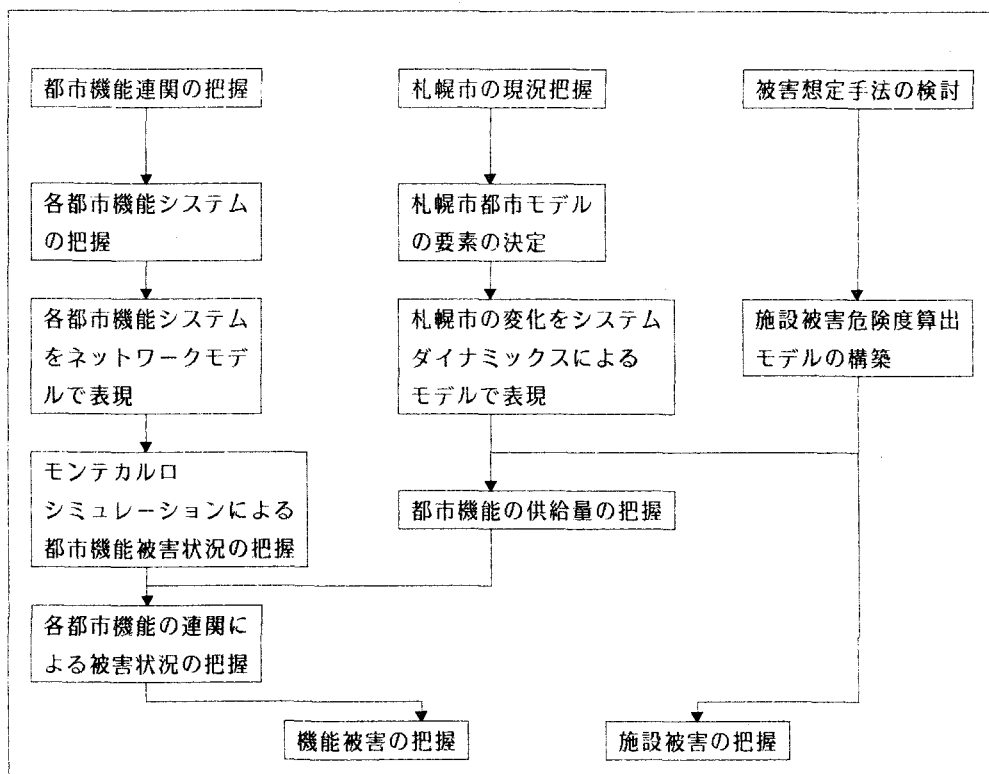
研究の手順は、そのフローを図－3に示す。

##### a. 都市モデル

このモデルは、都市の変化を予測するため、システム・ダイナミックス手法により構築された札幌市の  
動きを表すモデルであって、人口、財政、産業、交通、施設及び統計区の各セクターからなり、施設被害



図－2 都市機能と施設の連関



図－3 研究のフロー

の危険度算出モデルに対しては施設の量を、都市機能の被害モデルに対しては施設の量及びその機能の供給量を、時系列に出力する。

#### b. 都市機能システムモデル

各都市機能システムは、ネットワークとして把握する。電力供給機能を例にとると、発電所、一次変電所、配電用変電所、開閉所、分岐点をノード、送電線をリンクとして表現し、配電用変電所以下需要家までをブロックとして把握する。このノード・リンクに対して、その被害率（注 3、注 4）を確率分布として扱い、各々 100回のモンテカルロシミュレーションを行い、それによって定まる被害確率を元にして、ノードとリンクを同時にモンテカルロシミュレーションして被害パターンを得る。各都市機能システムを組合せることにより、連関被害の発生状況が把握される。さらに都市モデルからの出力によって、機能被害を時系列に予測する。

#### c. 施設被害危険度算出モデル

検討した被害想定式に従って、出火危険度、延焼危険度、建物危険度、道路被害危険度、地下埋設管危険度、液状化危険度などを、都市モデルからの出力によって統計区ごとに時系列予測する。

### 3. 結果

ここでは、電力供給システムに対するシミュレーションの結果について述べる。

札幌市では、震度Ⅴ以上の被害事例がほとんどないため、78年宮城県沖地震における仙台市周辺の電力供給システムの被害例を元にして、ノード・リンクの被害率を定める（注 3、注 4、注 5）。

電力系統図等（注 6）によって、図－4に示すように、札幌市周辺における電力供給機能のシステムをネットワーク上に表現した。発電所として、滝川、奈井江、江別、苫東厚真、苫小牧共同、伊達の6ヶ所の火

力発電所、及び札幌市内に存在する豊平峡、砥山、藻岩の3ヶ所の水力発電所を考慮し、それ以外からの電力の送電は無いものと仮定する。なお、発電所に対する燃料・水供給施設の被害の影響は無視し、開閉所及び水力発電所の被害率は配電用変電所に準ずるものとした。また、他の都市機能供給システムに対する影響を見るために、北ガスのガス製造施設、藻岩及び白川の各浄水場に対する送電をシステムに組込んだ。ただし、北ガスのガス製造所、藻岩浄水場、白川浄水場の施設自体の被害率は、ここでは考慮していない。図-4において、破線表示されたノード・リンクは、昭和50年時点においては存在していない施設であることを示している。北ガスのガス製造所は、昭和58年時点では、南九条変電所と江別発電所から供給を受けており、昭和50年時点では南九条変電所ではなく、大通変電所から供給を受けているが、シミュレーションにおいても、それを考慮している。

シミュレーション年度は、昭和58年と昭和59年の2時点とし、以下の各Caseごとに100回のモンテカルロシミュレーションをノード・リンク別に行い、それによって被害確率を定め、ノードとリンクを同時にモンテカルロシミュレーションして、50個の被害パターンを得た。

- CaseⅠ システムの全体に震度Ⅴの地震が生じた場合
- CaseⅡ 1968年の十勝沖地震の震度分布（注7）から、滝川、奈井江、伊達の各火力発電所とその送電線の被害率を1/3に低減した場合
- CaseⅢ 滝川、奈井江、苫東厚真、苫小牧共同、伊達の各火力発電所及びその送電線の被害率を0とした場合

シミュレーションの結果は図-5に示すとおりで、これは、年度別、Case別（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）、統計区及び

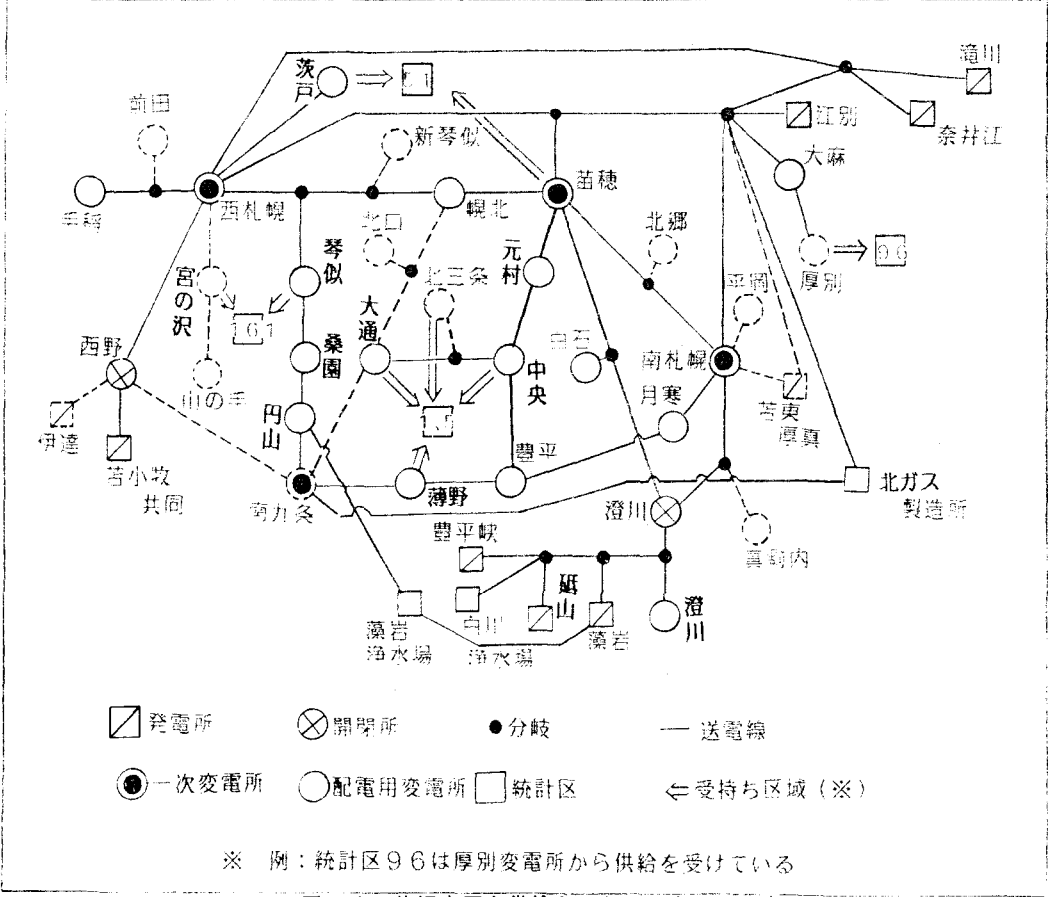


図-4 札幌市電力供給ネットワークシステム

施設別の50個の被害パターンで、各Caseごとに、その統計区及び施設への電力の供給が停止する回数を表したものであり、停止回数中には、水力発電所のみが送電可能な場合も含まれている。ただし、浄水場の場合は、水力発電所のみが送電可能となるパターンでも、電力の供給は停止しないものとして扱っている。水力発電所の出力は小さく、市内への電力供給にたいする影響は無視しうるものと考えられるからである。

まずシステム自体の変化を見ると、南九条変電所の完成などにより市内への送電経路が増加し、システムのループ化が進んでいることが分る。また、図-5から、各Case間の比較をしてみると、CaseⅠに比べてCaseⅡの値は小さく出るが、CaseⅡとCaseⅢでは、昭和50年では全く変化がなく、昭和58年ではCaseⅢの値が小さく出ている。これは、システム自体の耐震化（上記；送電経路の増加）が進んだために、昭和50年では札幌市外の電力施設の被害よりも、札幌市内（江別を含む）の電力施設の被害の方が電力供給の停止に対して支配的であったものが、昭和58年では、市外の電力施設被害の影響が市内の電力施設被害の影響に比べ、相対的に高まったことによる。

電力供給の停止に対する影響の大きさを、市外と市

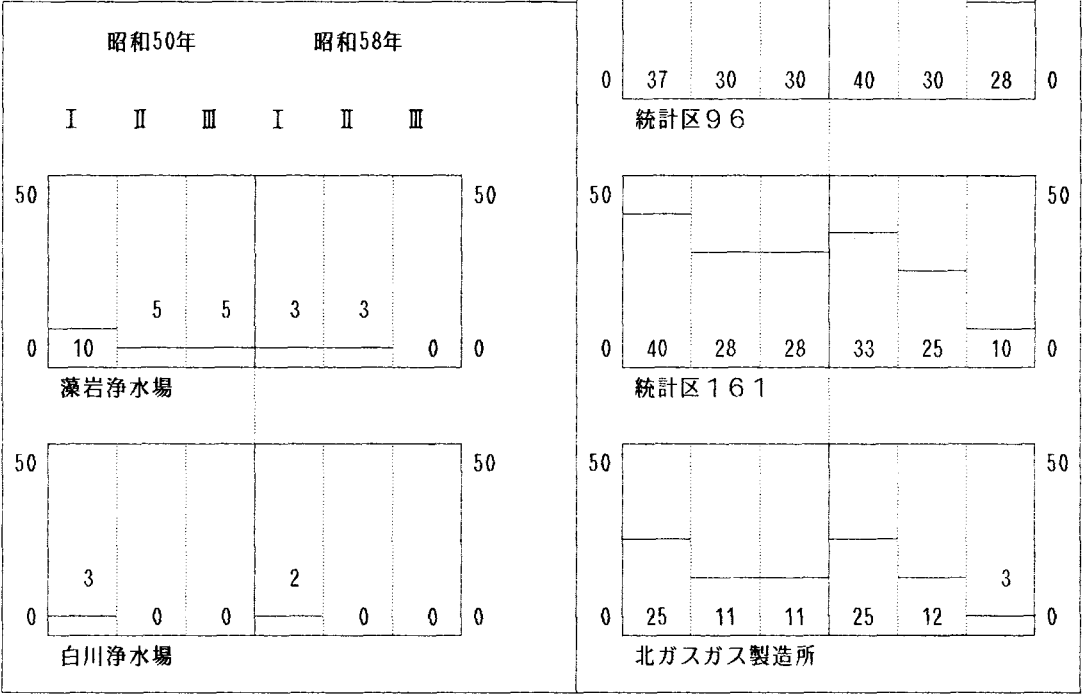


図-5 統計区別の電力供給停止状況

内の電力施設被害において比較してみる。外部施設被害の影響の大きさを外部影響力比率（RO）とすると、ROはCaseⅠとCaseⅢの値を用いて、

$$RO = \text{CaseⅠ} - \text{CaseⅢ} / \text{CaseⅠ}$$

で表される。全ての統計区及び施設についてROの値を求めると、いずれも昭和58年の値が昭和50年の値を上回っており、電力供給の停止に対する外部施設被害の影響力の増大が認められる。

図－5の傾向から、統計区及び施設を次の3グループに分類できる。

Aグループ：統計区1・5、統計区161、北ガスガス製造所

Bグループ：統計区51、統計区96

Cグループ：藻岩浄水場、白川浄水場

Aグループは、昭和50年に比べ昭和58年の値が全Caseで減少しており、特に、CaseⅢの場合の減少が著しく、電力供給システムの中心部に位置することから、システムの耐震化の影響を強く受けていることが推察され、図－4に示されるように、多数の供給経路を持つ。

Bグループは、昭和50年と昭和58年の比較において、CaseⅠ、CaseⅡでは全く減少傾向が見られず、CaseⅢでも僅かな減少にとどまっている。どちらの統計区も電力供給システムのループの外にあって、供給経路が少なく、外部施設の影響よりも、市内電力施設の影響が大きいことを示している。

Cグループは、被害率の小さい水力発電所に連絡していて、その支配力が大きいため電力供給の停止は非常に少なく、二つの上水場が同時に被害を受ける回数は、CaseⅠの昭和50年、昭和58年に1回ずつである。

#### 4. 結 論

札幌市の電力供給システムは、時系列的にシステムとしての耐震化が進み、市内中心地域では供給停止回数が減少しているが、外部被害の影響力はさほど減少せず、被害の内容からみると相対的に広域的影響の割合が増している。一方、市の周辺地域では、耐震化による影響は小さく、供給停止回数の減少は市内中心地域に比べて小さい。都市機能の連関による被害は、ある程度認められるものの電力供給システムの向上により減少傾向にあり、自家発電など代替施設の評価によって変わってくる。その他の結果については発表時において報告する予定である。

#### 参 考 文 献

（注1）兵 庫 県『震災対策調査報告書』昭和57年

（注2）藤 井 陽一郎「地震と都市の安全性」『都市問題』Vol.69-1 昭和53年

（注3）未来工学研究所『都市機能の複合化と防災性に関する研究』昭和57年

（注4）山 田 秀 之『地震時のライフラインの機能低下に対する諸復旧施策の評価に関する一考察』「筑波大学修士論文」昭和58年

（注5）仙 台 市『‘78宮城県沖地震』昭和54年

（注6）（株）北海道電力『北海道電力送電系統図』昭和59年

（注7）札 幌 市『札幌市地震被害想定基礎調査報告書』昭和56年