

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3463号

土 木 研 究 所 資 料

大都市圏における震災波及構造に関する研究 ～(その3)経済的影響評価手法の開発～

Interaction of Functional Damage Due to An Earthquake in Urban Area
～(Part 3) Development of Economic Effect Evaluation Method～

平成8年10月

建 設 省 土 木 研 究 所
耐震技術研究センター・耐震研究室

Copyright © (1996) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

大都市圏における震災波及構造に関する研究 ～(その3)経済的影響評価手法の開発～

耐震研究室 前 室 長 大 塚 久 哲¹⁾
前主任研究員 鈴 木 基 行²⁾
佐 藤 貴 志

要 旨

大都市圏に大規模な地震が発生した場合には、都市の機能が高度・複合化して構造的な損傷よりも機能的な損傷の重要性が増した結果、従来の地震とは大きく異なる都市型震災が生じると考えられる。本文は、地震により都市機能全般にわたって発生しうる様々な機能被害相互の波及経路を把握することにより、それぞれの被害と経済的な影響を定量化する手法を検討した結果を報告するものである。

キーワード：都市型震災、波及構造、震災波及、波及率、機能損傷、兵庫県南部地震
復旧曲線、地震対策

1) 現九州大学工学部教授

2) 現東北大学工学部助教授

目 次

第1章 研究の概要	1
1.1 研究の目的	1
1.2 これまでの研究経緯	2
1.2.1 被害項目の抽出	2
1.2.2 アンケート調査	9
1.2.3 震災波及の構造化	13
1.2.4 波及構造の解析	14
1.2.5 波及率計算手法の検討	32
第2章 手法の構築	36
2.1 震災波及図の総合化	36
2.2 対象とする物的個体被害	39
2.3 波及率の調整	40
2.3.1 ライフラインおよび道路の機能低下の設定	40
2.3.2 火災延焼および死亡重体者の設定	45
2.3.3 波及率の調整結果	45
2.4 産業連関表との接続による社会経済的影響評価	53
2.4.1 産業連関表の概要	53
2.4.2 地震被害の産業間への影響	54
2.5 復旧の影響	56
2.5.1 復旧曲線の設定	56
2.5.2 被害と復旧所用日数の関係	60
2.5.3 復旧の影響の設定	69
2.5.4 震災波及過程モデルへの適用	72
第3章 手法の検証	73
3.1 被害量の設定	73
3.2 GDP低下率の推定	75
3.3 調査機関の推定との比較	79
第4章 道路、河川及びライフライン施設の地震対策と地震被害の関係分析	80
4.1 分析対象とする物的個体被害	80
4.2 道路地震対策と経済的影響の関係	81
4.3 ライフライン地震対策と経済的影響の関係	82
4.4 建物地震対策と経済的影響の関係	83
4.5 各被害の経済的影響の相対評価	84
4.6 波及ルートの地震対策と経済的影響の関係	86
4.7 主要な波及ルート	87
第5章 地震対策の方向性の検討	88
5.1 事前対策の方向性	88
5.2 復旧対策の方向性	88
第6章 まとめ	89
6.1 開発した手法について	89
6.2 研究の成果	89
6.3 問題点と今後の方向性	90
参考文献	92

第1章 研究の概要

1. 1 研究の目的

地震による被害として国や自治体等により発表されるのは、主として施設や構造物の被害額である。これは地震被害の一面を表現しているものの、都市機能全般にわたる被害を表現しているわけではない。地震被害による社会への影響は、これらの物的被害にとどまるものではないことは、これまでの地震により示されてきた。すなわち、都市機能は相互に関連し、被害相互間も複雑に影響しており、ある物的被害は、都市機能に少なからず影響を及ぼすものである。

これまでに、地震被害による経済的な影響を評価する研究は大学などにより行われてきており、開発されたモデルにより地震被害の経済的影響を、生産額の低下等の形式で求めようとしてきた。しかし、これらの解析は、詳細な被害の波及過程や個々の具体的な物的個体被害まで考慮しているものではない。このため、例えば、道路関連の被害の中で橋梁被害であっても、路面の陥没であっても、被害金額が等しければ、その影響は等しいという結論になりがちである。実際には、同じ道路被害でも、被害の波及経路や波及の確率により、物的被害の被害額は小さくても、地震後の社会に与える影響が大きいということがあり得よう。

このような観点から、土木研究所耐震研究室においては、平成3年度から平成5年度にわたり、被害想定項目の抽出・整理が行われ、アンケート調査を実施して、震災波及の構造化に成功している。さらに、波及構造の解析と波及率計算手法の検討が行われ、その成果は“土木研究所資料第3199号大都市域における震災波及構造に関する研究～(その1)震災波及構造モデルの解析～”および“土木研究所資料第3206号大都市域における震災波及構造に関する研究～(その2)FSM法による都市機能損傷の動的相互作用の解析～”に発表されている。

これを受けて本研究では、まず波及構造の構造化に取り組み、産業連関表との接続による社会経済的影響評価手法を確立した。そして本手法を用いて、道路、河川及びライフライン施設の地震対策と地震被害の関係を分析し、今後の地震対策の方向性を提案した。

1. 2 これまでの研究経緯

1. 2. 1 被害項目の抽出

(1) 被害項目の抽出の考え方

1) 地震の規模

被害項目の抽出においては、関東大震災級の地震が発生したという想定のもとにブレインストーミングを実施し、被害項目の抽出を行った。

2) ブレインストーミングのメンバー

ブレインストーミングの際には、

- ・道路、河川、ライフライン施設の専門家
- ・建築物等の専門家
- ・耐震工学等の専門家
- ・防災等の専門家

をメンバーとして検討した。

3) 基幹施設の分類

19の基幹施設を考え、それらを表1. 2-1示すように5項目の施設に分類した。被害内容は、以下の被害区分に基づいて整理した。

- ・物的個体被害：地震により物そのものが壊れる被害
- ・物的機能被害：物が壊れることにより物そのものが持つ機能が損なわれる被害（直接被害）
- ・第一次波及被害：物的機能被害に起因して直ちに生じる被害（二次的被害）
- ・第二次波及被害：第一次波及被害に起因して生じる被害（三次的被害）

以上のように、被害内容は多岐にわたり、全施設について一括して調査することは不可能である。したがって、都市における19の基幹施設に関し、

- ・基幹施設ごとにみた被害内容相互の関連
 - ・基幹施設間における被害内容相互の関連
- に分けて調査を行う。

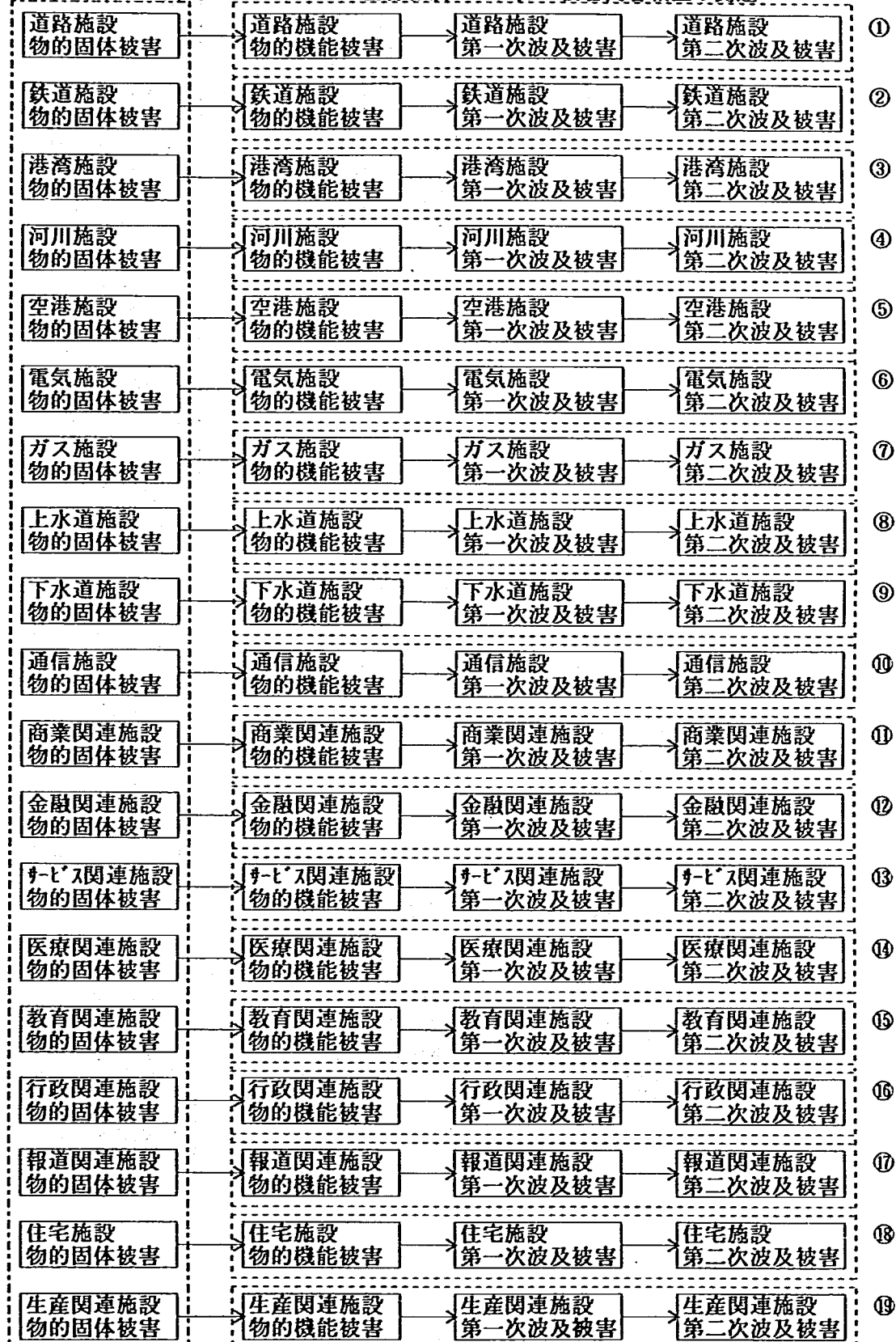
表1. 2-1 基幹施設の分類

交通運輸施設	道路施設・鉄道施設・港湾施設・河川施設・空港施設
供給処理施設	電気施設・ガス施設・上水道施設・下水道施設・通信施設
卸売・金融施設	商業関連施設・金融関連施設
サービス・公共施設	サービス関連施設・医療関連施設・教育関連施設・行政関連施設・報道関連施設
その他の施設	住宅施設・生産関連施設

具体的には、19施設それぞれの被害として表1. 2-2～1. 2-20の項目を考えた上で、被害波及が図1. 2-1に示した形になると考え、20の区分に分けて調査を行う。20の区分は大きく分けると、以下の2つのタイプの調査となる。

- ・基幹施設ごとにみた被害内容（機能損傷）相互の関連度合いの調査。それぞれの基幹施設の被害により生じる機能損傷相互（各施設ごとの物的機能被害、第一次波及被害、第二次波及被害の被害内容相互）の関連度合いを調査する。（①～⑨）
- ・基幹施設間における被害内容（施設被害）相互の関連度合いの調査。19個の基幹施設について、施設被害相互（各施設間の物的個体被害の被害内容相互）の関連度合いを調査する。（⑩）

基幹施設間における
被害内容相互の関連



⑳

図1. 2-1 全体の被害波及

表 1. 2-2 道路施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
道路路面陥没 斜面(切土・盛土)崩壊 橋梁損壊 道路信号機損壊	道路の通行不能・制約 延焼遮断機能障害 交通制御機能障害 雨水流下機能障害 事故防止機能障害 駐停車機能障害 歩行路機能障害 休憩機能(トイレ等)障害 集金機能(ETC等)障害	消防車の通行障害 救急車の通行障害 バトカーの通行障害 トラックの通行障害 自家用車の通行障害 バスの通行障害 タクシーの通行障害 バイクの通行障害 自転車の通行障害 災害復旧作業車両通行障害 報道関係車両通行障害 行政車両通行障害 避難障害 帰宅歩行者通行障害 通勤・通学者通行障害 レジャー帰宅者通行障害 乗り降り・積み下ろし障害	火災延焼 死亡者・重体者増加 食料品不足 生活必需品日用品不足 救援物資不足 帰宅所要時間増加 通勤・通学所要時間増加 路上放置車両増加 工業製品生産流通機能障害 (電気・機械・鉄鋼・石油化学等) 加工食品生産流通機能障害 農産物生産流通機能障害 銀行窓口取引機能障害 銀行オンライン取引機能障害 証券取引機能障害 株価の大幅変動 保険取引機能障害 サービス機能障害 (旅館ほか映画娯楽・情報サービス等) 救急医療活動遅延 学校授業不能・制約 行政機能障害 行政組織間の情報伝達不足 災害復旧活動遅延 消防活動不能・制約 救急搬送活動不能・制約 治安の悪化 情報伝達所要時間増加 テレビ・ラジオ放送機能障害 新聞・郵便配達遅延

表 1. 2-3 鉄道施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
鉄道軌道の損壊 鉄道送電・変電設備損壊 列車制御装置損壊 踏切信号機損壊 駅施設損壊	軌道の通行不能・制約(旅客・貨物) 列車制御・停止機能障害 鉄道無線通信機能障害 変電・送電機能障害 駅機能障害 踏切機能障害 列車整備機能障害	旅客列車通行障害 貨物列車通行障害 保線作業列車通行障害 自動改札機・券売機使用障害 マルス(予約システム)使用障害	食料品不足 救援物資不足 帰宅所要時間増加 通勤・通学所要時間増加 工業製品生産・流通機能障害 (電気・機械・鉄鋼・石油化学等) 加工食品生産・流通機能障害 農産物生産・流通機能障害 サービス機能障害 (旅館ほか映画娯楽・情報サービス等)

表 1. 2-4 港湾施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
港湾防波堤損壊 港湾護岸損壊 港湾船舶係留・積み下ろし施設損壊	防波機能障害 護岸機能障害 船舶係留機能障害 旅客ターミナル機能障害 荷さばき・保管機能障害 航路標示機能障害	船舶安全航行障害 客船出入港障害 フェリー出入港障害 貨物船出入港障害 出入国・税関・検疫障害 貨物輸送(輸出入)障害 水産資源水揚げ障害	出入国者数減少 工業製品(大型機器等)輸出入減少 農産物・水産物輸出入減少 工業製品生産・流通機能障害 (電気・機械・鉄鋼・石油化学等) 加工食品生産・流通機能障害 農産物生産・流通機能障害 サービス機能障害 (旅館ほか映画娯楽・情報サービス等)

表 1. 2-5 河川施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
河川堤体式堤防損壊 河川護岸式堤防損壊 河川船舶係留・ナ・シハ施設損壊	堤防機能障害 交通機能障害 流量(水位)制御機能障害 水流制御機能障害 取水機能障害 排水機能障害 流下促進機能障害 船舶係留機能障害 親水機能障害	住宅地の冠水 (床上・床下浸水) 農地の冠水 商業施設冠水 工業施設冠水 道路冠水 鉄道冠水 水道水供給障害 工業用水供給障害 農業用水供給障害 下水道処理水排水障害 雨水・生活排水排水障害 船舶による輸送(人員・貨物)障害 河川敷(野球場等)での活動障害	外出阻害 帰宅所要時間増加 通勤・通学所要時間増加 食料品不足 生活必需品日用品不足 救援物資不足 衛生状態の悪化(伝染病・害虫等) 下水道からの溢水 工業製品生産・流通機能障害 (電気・機械・鉄鋼・石油化学等) 加工食品生産・流通機能障害 農産物生産・流通機能障害 サービス機能障害 (旅館・映画娯楽・情報サービス等)

表 1. 2-6 空港施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
空港滑走路損壊 空港管制塔損壊 空港計器着陸装置(I L S)損壊 空港ナ・シハ施設損壊	航空機離着陸不能・制約 航空機管制機能障害 旅客ターミナル機能障害 貨物ターミナル機能障害 駐機機能障害 航空機整備機能障害 燃料給油機能障害 ヘリコプター離着陸不能・制約	航空機(旅客)運行障害 航空機(貨物)運行障害 搭乗手続き障害 出入国・税関・検疫障害 社会心理学的混乱	出入国者数減少 工業製品(精密機器等)輸出入減少 農産物・水産物輸入減少 工業製品生産・流通機能障害 (電気・機械・鉄鋼・石油化学等) 加工食品生産・流通機能障害 農産物生産・流通機能障害 サービス機能障害 (旅館・映画娯楽・情報サービス等)

表 1. 2-7 電気施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
電力基幹送電設備損壊 電力配電(電柱等)設備損壊 発電所損壊	電力供給機能障害 配電機能障害	交通制御機能障害 列車運行障害 工業製品生産流通機能障害 (電気・機械・鉄鋼・石油化学等) 加工食品生産流通機能障害 サービス機能障害 (旅館・映画娯楽・情報サービス等) 銀行窓口取引機能障害 銀行オンライン取引機能障害 証券窓口取引機能障害 証券オンライン取引機能障害 保険取引機能障害 救急医療活動遅延 行政機能障害 行政組織間の情報伝達不足 災害復旧活動遅延 消防活動不能・制約 治安の悪化 情報伝達所要時間増加 テレビ・ラジオ放送機能障害	

表 1. 2-8 ガス施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
中高圧ガス導管損壊 低圧ガス導管損壊 ガス製造工場損壊	都市ガス製造機能障害 都市ガス供給機能障害 プロパンガス封入機能障害	爆発・火災発生 ガスコンロ使用不能 ガス使用商業施設営業不能 ガスによる冷暖房機器使用不能 居住不能・制約 食料品不足 衛生状態の悪化(伝染病・害虫等) 工業製品生産流通機能障害 (電気・機械・鉄鋼・石油化学等) 加工食品生産流通機能障害 農産物生産流通機能障害 サービス機能障害 (旅館・映画娯楽・情報サービス等)	

表 1. 2-9 上水道施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
上水道送水管（拠点間）損壊 上水道配水管（各利用者へ）損壊 浄水場損壊	浄水機能障害 上水道供給機能障害	飲料水供給不能 断水 消防活動不能・制約 工業用水減少	日常生活用水の供給不足 （飲料水・トイレ・風呂・洗濯等） 外食産業の営業障害 火災延焼 居住不能・制約 食料品不足 衛生状態の悪化（伝染病・害虫等） 工業製品生産流通機能障害 （電気・機械・鉄鋼・石油化学等） 加工食品生産流通機能障害 農産物生産流通機能障害 サービス機能障害 （旅館・映画娯楽・情報サービス等） 行政機能障害 災害復旧活動遅延 経済の停滞

表 1. 2-10 下水道施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
下水道管損壊 下水処理場損壊	下水流下機能障害 下水処理機能障害	家庭・一般排水の停滞 工業排水処理障害 商業排水処理障害 汚水の河川への流出	トイレ使用障害 河川水質汚染 悪臭 居住不能・制約 衛生状態の悪化（伝染病・害虫等） 工業製品生産流通機能障害 （電気・機械・鉄鋼・石油化学等） 加工食品生産流通機能障害 農産物生産流通機能障害 サービス機能障害 （旅館・映画娯楽・情報サービス等） 行政機能障害 災害復旧活動遅延 経済の停滞

表 1. 2-11 通信施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
基幹通信回線（電話局間）損壊 通信回線（各利用者へ）損壊 電話局損壊	電話（通信）機能障害 電話交換機能障害 設備回線数減 電話施設支持物機能障害 公衆電話機能障害 FAX・テレックスの通信障害	通話輻輳	安否確認不能 報道機能制約 パソコン通信不能 情報通信（ファイン）機能障害 銀行取引不能・制約 証券取引不能・制約 保険取引不能・制約 国際通信不能・制約 工業製品生産流通機能障害 （電気・機械・鉄鋼・石油化学等） 加工食品生産流通機能障害 農産物生産流通機能障害 サービス機能障害 （旅館・映画娯楽・情報サービス等） 救急医療活動遅延 行政機能障害 行政組織間の情報伝達不足 災害復旧活動遅延 消防活動不能・制約 救急搬送活動不能・制約 治安の悪化 情報伝達所要時間増加

表 1. 2-12 商業関連施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
一般建築施設損壊 (事務所、銀行、公共等) 民間オンラインシステム損壊	小売機能障害 商品機能障害 市場機能(青果・魚等)障害 情報通信(オンライン)機能障害	商品価値低下・目販売不能・制限 食料品不足 生活必需品日用品不足 在庫・入荷数管理不能 顧客・仕入れ先との通話不能	加工食品生産流通機能障害 農産物生産流通機能障害 水産物流通機能障害 食料品価格高騰 農産物価格高騰 水産物価格高騰 サービス機能障害 (旅館ほか・映画娯楽・情報サービス等)

表 1. 2-13 金融関連施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
一般建築施設損壊 (事務所、銀行、公共等) 民間オンラインシステム損壊	銀行窓口取引機能障害 銀行オンライン取引機能障害 証券窓口取引機能障害 証券オンライン取引機能障害 保険取引機能障害	預金引き出し不能・制約 引き出しに関わる社会的混乱 預金支払制限令発令 証券取引情報不足 株価の大幅変動 保険料払い出し増加	手形決済不能等による連鎖倒産 顧客との通話不能 食料品不足 生活必需品日用品不足 工業製品生産流通機能障害 (電気・機械・鉄鋼・石油化学等) 加工食品生産流通機能障害 農産物生産流通機能障害 サービス機能障害 (旅館ほか・映画娯楽・情報サービス等) 経済の停滞

表 1. 2-14 サービス関連施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
一般建築施設損壊 (事務所、銀行、公共等) 民間オンラインシステム損壊	宿泊不能・制約 映画娯楽等の不能・制約 情報サービス機能障害 (JAL開発・調査・広告等) 事業サービス機能障害 (警備保障・ビルメンテナンス等) 専門サービス機能障害 (特許事務所・建築事務所等) 研究開発機能障害	工業製品生産流通機能障害 (電気・機械・鉄鋼・石油化学等) 加工食品生産流通機能障害 農産物生産流通機能障害 銀行取引機能障害 証券取引機能障害 保険取引機能障害 食料品不足 生活必需品日用品不足	経済の停滞

表 1. 2-15 医療関連施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
一般建築施設損壊 (事務所、銀行、公共等) 民間オンラインシステム損壊	診療・治療機能障害 情報通信(ネットワーク等)機能障害	医療機関と患者の通話不能 地震被害による急患の増加	死亡者・重体者増加 予約業務の混乱 救急医療活動遅延

表 1. 2-16 教育関連施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
火災発生 一般建築施設損壊 (事務所、銀行、公共等) 民間オンラインシステム損壊	学校授業不能・制約 専門教育不能・制約	避難所の不足 学力の低下 専門技能の低下 死亡者・重体者増加	経済の停滞

表1. 2-17 行政関連施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
一般建築施設損壊 (事務所、銀行、公共等) 行政ネットワークシステム損壊	行政(防災、土木等)機能障害 行政(防災、消防、警察) 通信機能障害 公衆通信機能障害 消防署(消防車出動等)機能障害 警察署機能障害	災害情報の把握不能 役所・出張所間の連絡不能 災害情報伝達不足 消防署間連絡不能 出火情報伝達不能 警察署間連絡不能 交通管制機能障害	災害復旧活動遅延 消防車の不足 救急車の不足 消防活動不能・制約 救急搬送活動不能・制約 火災延焼 死亡者・重体者増加 治安の悪化 避難障害

表1. 2-18 報道関連施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
一般建築施設損壊 (事務所、銀行、公共等) 民間オンラインシステム損壊 放送局(テレビ、ラジオ等)損壊	テレビ放送機能障害 ケーブルテレビ放送機能障害 衛星放送機能障害 ラジオ放送機能障害 新聞発行機能障害 出版物発行機能障害	工業製品生産流通機能障害 (電気・機械・鉄鋼・石油化学等) 加工食品生産流通機能障害 農産物生産流通機能障害 銀行取引機能障害 証券取引機能障害 保険取引機能障害 サービス機能障害 (旅館・映画娯楽・情報サービス等)	災害情報提供不能 (火災延焼状況・交通状況等) 心理的不安 災害復旧活動遅延 治安の悪化 株価の大幅変動 経済の停滞

表1. 2-19 住宅施設の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
火災延焼 火災発生 一般住宅損壊・焼失・浸水	居住不能・制約 マンション等からの避難不能	仮設(集合)住宅によるストレス 衛生環境の悪化 労働力の低下 学力の低下 死亡者・重体者増加	経済の停滞

表1. 2-20 生産関連の被害波及

物的固体被害	物的機能被害	第一次波及被害	第二次波及被害
生産工場(工業、食品等)損壊 農地損壊・浸水 一般建築施設損壊 (事務所、銀行、公共等) 民間オンラインシステム損壊	研究開発機能障害 半導体生産機能障害 電気製品生産流通機能障害 化学製品生産流通機能障害 石油化学製品生産流通機能障害 加工食品生産流通機能障害 農産物生産流通機能障害 水産物水揚げ流通機能障害 金融(銀行・証券・保険)機能障害 サービス機能障害 (旅館・映画娯楽・情報サービス等) 食料品不足 生活必需品日用品不足 危険物爆発・流出阻止機能障害	爆発・火災発生 火災延焼 土壌・地下水汚染 大気・海洋汚染	死亡者・重体者増加 呼吸器系疾患・中毒症状の増加 経済の停滞

1. 2. 2 アンケート調査

1. 2. 1 までにおいて、都市機能損傷の波及に関する概略的な把握を行ったが、個々の都市機能損傷の関連度合いを詳細に把握することを目的としてアンケートを実施した。

(1) 調査票の作成

1) 調査票の調査項目

調査票の質問内容は、前節で検討した施設ごとの被害波及を基本として、これを整理したものを用いる。アンケート調査の対象とする被害波及を各施設ごとに示す。

調査票は大きく分けて以下の2通りの作成方法により作成する。

- ・基幹施設ごとにみた被害内容相互の関連度合いを総当たりで質問する。
- ・基幹施設間における被害内容相互の関連度合いを、総当たりで質問する。

ただし、道路施設においては、被害内容が多く、総当たりの質問を行うと、質問数が2,000を越えてしまうので、道路施設では以下の条件(①～④)をもとに質問数の削減を図り、質問数を2,000以下にした。

- ①物的機能被害の被害項目に関しては、物的機能被害の他の被害項目、第一次波及被害の被害項目及び第二次波及被害の被害項目への波及度合いを質問する。
- ②第一次波及被害の被害項目に関しては、第一次波及被害の他の被害項目及び第二次波及被害の被害項目への波及度合いを質問する。
- ③第二次波及被害の被害項目に関しては、第二次波及被害の他の被害項目への波及度合いを質問する。
- ④被害の波及の範囲が自明であるような項目(休憩機能障害、集金機能障害、消防車の通行障害、救急車の通行障害、パトカーの通行障害等)に関しては質問項目を削減した。

2) 調査票の様式

基幹施設ごとにみた被害内容相互の関連の調査については、施設ごとに1種類、合計19種類の調査票を作成した。また、基幹施設間における被害内容相互の関連の調査については、1種類の調査票を作成した。

調査票の書式(ここでは道路施設)を表1. 2-21に示す。

3) 調査票の配布・回収

調査票は図1. 2-1に示した20区分に対し作成し、基幹施設ごとにみた被害内容相互の関連についての調査票は各々3通を配布し、基幹施設間における被害内容相互の関連についての調査票は5通を配布した。

配付先は当該施設・産業に係わる専門家を選定した。アンケート配付先リストを表1. 2-22に示す。

全配布数は62通(19区分×3通+1区分×5通)であり、回収数は53通(回収率85%)である。回収したアンケートのうち、アンケートの内容が主旨に適合していないアンケートが3通あり、実効回収数は50通(実効回収率81%)である。

【アンケート回答要領】

アンケート回答の際に以下のことに注意して回答して頂ければと思います。

1. 質問の前提

本アンケートは、東京等の大都市域に大正12年関東地震クラスの大規模地震が発生した状況を想定してご記入下さい。地震の強さと被害程度はおおむね震度6（下表参照）位を想定して頂ければと考えております。但し、震度6にあまりこだわらず、「もし（万が一）・・・の機能が損なわれたら・・・の機能被害が発生するか」といったような考え方で回答頂ければと考えております。

震度6の地震の強さと被害程度

人への影響	・まわりの景色がぐるぐるまわるように見える。 ・足もとがさらわれ、立っていることができない。 ・床が波打ったようになり、這ってしか動けない。
建築物など	・戸、障子が吹き飛ぶ。 ・かなり多くの天井等が破損する。 ・屋根の重い家などかなり多くが破損する。 ・鉄筋の少ないブロック塀等は、ほとんど倒れる。
部屋の中など	・ほとんどの物が倒れたり、大きくずれ動く。 ・吊下げ物は、ほとんど落下する。 ・石油ストーブは、ほとんどのものが移動し、倒れる。
その他	・停止している自動車が踊り出す。 ・広範囲に停電する場合がある。 ・広範囲に断水や、ガスの供給停止を生ずる。 ・地面に無数の亀裂を生ずる。

（「地震に備えて」東京都杉並区より）

2. 記入要領

質問、例えば「道路が通行不能・制約となった時、以下の機能障害が生じると思いますか。」に対し、

「全くそうは思わない」と思われる場合に 0.0

「半分くらいそう思う」 ” 0.5

「絶対そう思う」 ” 1.0

というのを目安にして、表内の機能被害が生じると思われる度合の所に○を記入を願います（下表参照）。ちなみに、アンケートの表中の用語に対しては次頁の用語の説明を参照願います。

0.0:全くそうは思わない 0.5:半分くらい思う 1.0:絶対そう思う	0.0	0.5	1.0
延焼遮断機能障害			
交通制御機能被害			
：			

表1. 2-21(1) アンケート表(回答要領)

1. 道路が通行不能・制約となった時、以下の機能障害が生じると考えますか。

0.0: 全くそうは思わない 0.5: 半分くらい思う 1.0: 絶対そう思う	0.0	0.5	1.0
延焼遮断機能障害			
交通制御機能障害			
雨水流下機能障害			
事故防止機能障害			
駐停車機能障害			
歩行路機能障害			
休憩機能（サビ・シェリ等）障害			
集金機能（パ・キソメーター等）障害			
消防車の通行障害			
救急車の通行障害			
バトカーの通行障害			
トラックの通行障害			
自家用車の通行障害			
バスの通行障害			
タクシーの通行障害			
バイクの通行障害			
自転車の通行障害			
災害復旧作業車両通行障害			
報道関係車両通行障害			
行政車両通行障害			

表1. 2-21 (2)

0.0: 全くそうは思わない 0.5: 半分くらい思う 1.0: 絶対そう思う	0.0	0.5	1.0
避難障害			
帰宅歩行者通行障害			
通勤・通学者通行障害			
レジャー帰宅者通行障害			
乗り降り・積み下ろし障害			
火災延焼			
死亡者・重体者増加			
食料品不足			
生活必需日用品不足			
救援物資不足			
帰宅所要時間増加			
通勤・通学所要時間増加			
路上放置車両増加			
工業製品生産流通機能障害 （電気・機械・鉄鋼・石油化学等）			
加工食品生産流通機能障害			
農産物生産流通機能障害			
銀行窓口取引機能障害			
銀行オンライン取引機能障害			
証券取引機能障害			
株価の大幅変動			

アンケート表（道路施設）

表1. 2-22 アンケート配布先リスト

アンケートの種類		調査対象	調査人数	回答数
基盤施設ごとの震災波及を解析するためのアンケート	道路施設	建設省関東地方建設局、首都高速道路公団 日本道路公団	3	3
	鉄道施設	(財)鉄道総合研究所	3	3
	港湾施設	運輸省港湾技術研究所、同港湾局	3	3
	河川施設	建設省関東地方建設局、同中部地方建設局 同近畿地方建設局	3	3
	空港施設	新東京国際空港公団、日本空港ビルディング㈱ 関西国際空港ビルディング㈱	3	2
	電力施設	東京電力㈱、(財)電力中央研究所	3	3
	ガス施設	東京ガス㈱	3	3
	上水道施設	東京都水道局、日本水道協会、横浜市水道局	3	2
	下水道施設	東京都下水道局、千葉県、神奈川県	3	2
	通信施設	NTT㈱	3	3
	商業関連施設	東京魚市場卸共同組合、日本出版販売㈱ ㈱ファミリーマート	3	3
	金融関連施設	(社)証券広報センター、三菱信託銀行㈱ (社)日本損害保険協会	3	3
	サービス関連施設	三菱電機ビルテクノサービス㈱、㈱帝国ホテル 三菱総合研究所	3	2
	医療関連施設	JR東京総合病院、同愛会記念病院、東京共済病院	3	3
	教育関連施設	お茶の水スクールオブビジネス、東京工科専門学校 明大付属中野高校	3	3
	行政関連施設	横浜市、自治省消防庁、警視庁	3	3
	報道関連施設	NHK広報室、文化放送、日本経済新聞社	3	2
	住宅関連施設	東芝㈱、石油化学工業協会、日本化学工業協会	3	2
	生産関連施設	清水建設㈱、木下工務店、ミサワホーム	3	2
基盤施設相互の震災波及を解析するためのアンケート		建設省土木研究所、京都大学防災研究所、(財)道路新 産業開発機構、武蔵工業大学、東京都都市計画局	5	4
合 計			62	53

1. 2. 3 震災波及の構造化

アンケート結果の構造化に社会工学の分野で用いられるISM法及びFSM法を用いた。以下にこれらの手法の概要を示す。

(1) ISM (Interpretive Structural Modeling) 法

ISM法は、対象の中に存在する項目の連鎖構造を道出するための数学的手法である。この手法では、対象における項目抽出、項目間のペア比較、比較結果に基づいた計算の3段階を経て、最終的なアウトプットとなるグラフを得る。以下、「意志決定論入門、木下栄蔵」（啓学出版）より、例を抜粋しつつ説明する。

1) 項目抽出について

対象となる問題設定を行い、提起された問題に対して考えつく事柄をあげてゆく。今回の検討でいえば、被害項目をあげたことに相当する。

一例として、プロ野球におけるドラフト選択の要因分析を例に行う。

表1. 2-23 項目抽出

項目	項目の内容
1	ドラフトの選択
2	学校における環境
3	交友関係
4	スター性
5	性格
6	アマ時代の成績
7	将来性

2) 項目間のペア比較について

ペア比較においては、ここにあげられた各項目について、項目iが項目jに直接影響を与えているかどうかを0、1の2段階で評価し、関係行列をつくる。ただし、影響を与えていない場合を0、与えている場合を1とする。ここでは表1. 2-24のようになったとする。

この表で、例えば行列の(2, 1)に1と記入されているのは、判定者が、項目2が項目1に影響を及ぼしていると判断したからである。

表1. 2-24 項目間のペア比較

項目	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0
3	1	0	0	0	1	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0

3) 構造化

以上のような関係行列から、行列計算により、階層構造のレベルと項目間の波及関係を決定する。上記の関係行列から得られる構造化行列は次の通り。

この行列より、関連する要素を線で結ぶことで、構造を図示することができる。

表1. 2-25 項目間の波及関係

項目	1	4	5	6	7	2	3
1	1	0	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	0
5	1	0	1	0	0	0	0
6	1	0	0	1	0	0	0
7	1	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	1	0	1	0
3	0	0	1	0	0	0	1

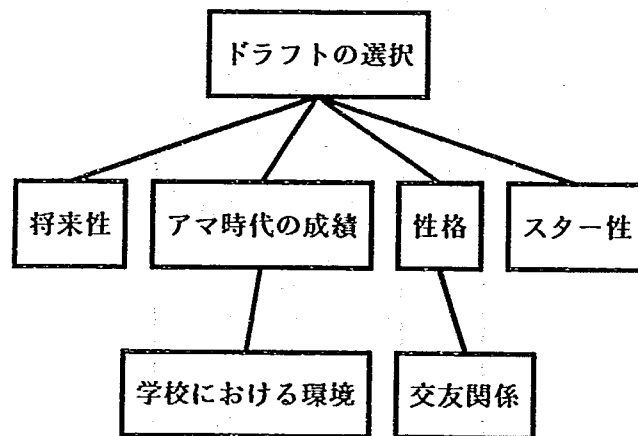


図1. 2-2 項目の構造化

(2) FSM (Fuzzy Structural Modeling) 法

FSM法は、ISM法を、拡張した形式のものであり、具体的には、2項目間の関係を0、1でなく、任意の強度で与えることにより、関連の度合いも含めて評価できることが大きなメリットとなっている。

また、閾値 p 及びパラメータ λ の2種類の数値の組み合わせにより、項目間のつながり具合を変えられるため、適当な複雑さを持った構造化を行うことが出来る。

1. 2. 4 波及構造の解析

(1) 施設ごとの波及図の解析

1) 道路施設

回収したサンプルの平均データを作成すると図1. 2-3に示す結果となる。

①人に関する波及

人間の生活に及ぼす影響として、

- ・「事故防止機能障害」→「道路通行不能・制約」→「道路通行に係わる生活障害」
- ・「事故防止機能障害」→「道路通行不能・制約」→「通勤時間・帰宅時間の増加」

があり、人的被害に及ぼす影響として、

- ・「事故防止機能障害」→「道路通行不能・制約」→「自家用車通行障害」→「避難障害」→「死亡重体増」
- がある。

②産業への波及

産業等に及ぼす影響として、

- ・「事故防止機能障害」→「道路通行不能・制約」→「トラック通行障害」→「工業製品生産流通機能障害」
 - ・「事故防止機能障害」→「道路通行不能・制約」→「トラック通行障害」→「農産物、食料品、救援物不足、生活必需品不足」→「加工食品生産流通機能障害、治安の悪化、株価の大幅変動」
- がある。

③行政への波及

行政に及ぼす影響として、

- ・「事故防止機能障害」→「道路通行不能・制約」→「トラック通行障害」→「農産物、食料品、救援物不足、生活必需品不足」→「医療活動遅延」→「救急医療活動遅延」→「災害復旧活動遅延」
- ・「延焼遮断機能障害」→「行政情報伝達不足」→「行政機能障害」

がある。

2) 鉄道施設

回収したサンプルの平均データを作成すると図1. 2-4に示す結果となる。

①人に関する波及

人の生活に及ぼす影響として、

- ・「無線通信・送電障害」→「旅客列車通行障害」→「駅機能障害」→「通勤時間・帰宅時間の増加」
- がある。

②物に関する波及

物流等に及ぼす影響として、

- ・「軌道通行不能」→「貨物・保線列車通行障害」
- ・「農産物、各種製品（生産）流通障害」→「食料品・救援物不足」

がある。

3) 港湾施設

回収したサンプルの平均データを作成すると図1. 2-5に示す結果となる。

①物に関する波及

物流等に及ぼす影響として、

- ・「安全に対する障害」→「各種船舶の出入港障害」→「出入荷の障害」→「大型工業製品輸出入」→「工業製品の生産・流通障害」
 - ・「安全航行障害」→「航路表示機能障害」→「各種船舶出入港障害」
 - ・「護岸機能障害」→「船舶係留機能障害」→「貨物輸出入障害」+「旅客ターミナル機能障害」
 - ・「出入国。税関・検疫障害」→「貨物輸出入障害・出入国者数減少」+「水産資源水揚げ障害」
- がある。

4) 河川施設

回収したサンプルの平均データを作成すると図1. 2-6に示す結果となる。

①人に関する波及

人間の生活に及ぼす影響として、

- ・「堤防機能障害」→「農地冠水」→「食料品不足」
 - ・「河川機能障害」→「住宅地冠水」→「生活必需品日用品不足・救援物資不足・食料品不足・衛生の悪化等」
 - ・「河川機能障害」→「住宅地冠水」→「鉄道冠水」→「通勤時間・帰宅時間増加・外出阻害」
- がある。

②物に及ぼす影響

物流等に及ぼす影響として、

・「河川機能障害」→「住宅地冠水」→「道路冠水」→「各種製品生産・流通機能障害」

がある。また、産業に及ぼす影響として、

・「河川機能障害」→「各種水供給障害」→「各種用水供給機能障害」

がある。

5) 空港施設

回収した2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-7に示す結果となる。

①人に関する波及

人間に及ぼす影響として、

・「空港の主機能（離着陸・管制・駐機）障害」→「空港サービス等（税関・搭乗）障害」→「心理的混乱」

・「旅客ターミナル機能障害」→「入国・税関・検疫障害」→「搭乗手続き障害」→「旅客機運行障害」

がある。

②物に関する波及

物流等に及ぼす影響として、

・「空港の主機能」→「農産物の生産流通障害」→「農産物輸出入関連障害」

がある。

6) 電気施設

回収した3サンプルのうち、アンケートの主旨に適合していない1サンプルを除く2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-8に示す結果となる。

①電力供給障害

電力供給障害は、交通制御、サービス業、工業製品生産、銀行業務等には波及しているが、行政機能又は行政組織間の情報伝達不足に波及していない。また放送機能障害は電力供給障害の影響は受けていない。

②金融関係の波及

銀行→証券→保険の順で、電力供給障害の影響を受けている。

③行政活動の波及

行政組織間の情報伝達がうまくいかないことが、医療活動、消防、災害復旧などの応急復旧活動障害に波及している。

7) ガス施設

回収した3サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると、図1. 2-9に示す結果となる。

①人に関する波及

人間の生活に及ぼす影響として、

・「爆発・火災発生」→「衛生の悪化、食料品不足、農産物生産流通機能障害」→「居住不能・制約」→「ガスコンロ使用不能」

がある。

②物に関する波及

産業等に及ぼす影響として、

・「爆発・火災発生」→「衛生の悪化、食料品不足、農産物生産流通機能障害」→「工業製品生産流通機能障害」→「都市ガス製造機能障害」→「都市ガス供給機能障害」→「冷暖房機器使用不能」→「ガスによる商業施設影響不能」

・「爆発・火災発生」→「衛生の悪化、食料品不足、農産物生産流通機能障害」→「工業製品生産流通機能障害」→「加工食品生産流通機能障害」

がある。

8) 上水道施設

回収した2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-10に示す結果となる。

①産業への波及

産業等に及ぼす影響として、

- ・「浄水機能障害」→「水供給障害」→「消防活動不能・制約」→「復旧活動遅れ」+「火災延焼」
- ・「浄水機能障害」→「水供給障害」→「日常生活用水減少」→「復旧活動遅れ」+「外食産業の営業障害」

がある。

9) 下水道施設

回収した2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-11に示す結果となる。

①人に関する波及

人間の生活に及ぼす影響として、

- ・「下水処理機能障害」→「汚水流出」→「下水流下機能障害」→「生活機能障害」

がある。

②産業への波及

産業等に及ぼす影響として、

- ・「下水処理機能障害」→「汚水流出」→「農産物・加工食品生産機能障害」→「経済の停滞」

がある。

10) 通信施設

回収した3サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-12に示した結果となる。

①機能障害の波及の範囲

各々の機能障害が波及する範囲をまとめると、

- ・電話交換機能障害は生活・産業・行政全般に障害を及ぼす。
- ・電話通信機能障害・通話輻輳は生活・産業に障害を及ぼす。
- ・公衆電話機能障害や電話施設支持物機能障害は、他の機能にさほど影響を及ぼさない。

②主な波及構造

主な波及構造としては、

- ・「通信物的機能被害」→「通話輻輳」→「各種通信障害、伝達時間の増加」→「金融機能障害」→「流通サービス機能障害」
- ・「通信物的機能被害」→「行政機能障害」→「災害復旧活動遅延、治安悪化」

11) 商業関連施設

回収した2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-13に示す結果となる。

①人に関する波及

人間の生活に及ぼす影響として、

- ・「在庫・流通・小売など機能障害」→「食料品・日用品の高騰・不足」

がある。

②物に関する波及

物流等に及ぼす影響として、

- ・「商品機能・価値減・仕入連絡障害」→「在庫・流通・小売など機能障害」

がある。

12) 金融関連施設

回収した3サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-14に示す結果となる。

①金融に関する波及

金融機能被害の影響として、

・「預金引き出し不能・制約」+「銀行オンライン取引機能障害」→「支払制限令発令」→「銀行窓口取引機能障害」→「株価の大幅変動」がある。

13) サービス関連施設

回収した2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-15に示す結果となる。

①サービス機能に関する波及

サービス機能に関しては、波及図の中に入っていない結果となっている。

14) 医療関連施設

回収した2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-16に示す結果となる。

①医療に関する波及

医療機能被害の影響として、

・「診療・治療機能障害」→「地震被害による急患の増加」→「救急医療活動遅延」がある。

②医療機能障害と死傷者増加の悪循環

波及先となっている医療機能障害と死傷者増加がお互いに波及し合う形になっているが、ケースによっては悪循環を引き起こすとも読みとれる。

15) 教育関連施設

回収した3サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-17に示す結果となる。

①教育に関する波及

教育機能障害の影響として、

・「教育施設被害」→「授業・教育の制約」→「学力・技能の低下」がある。

16) 行政関連施設

回収した2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-18に示す結果となる。

①行政に関する波及

行政機能被害の影響として、

・「消防車の不足」→「消防活動不能・制約」→「消防署機能障害」→「火災延焼」→「死亡者・重体者の増加」

・「警察に関わる情報伝達障害」→「警察機能の障害」→「復旧活動遅延」

がある。

17) 報道関連施設

回収した2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-19に示す結果となる。

①報道に関する波及

報道機能被害影響として、

・「TV・ラジオ放送機能障害」→「災害情報・復旧活動などへの障害」→「経済・治安・心理不安」がある。

②その他の波及

・「治安の悪化」→「株価の大幅変動」→「心理的不安」+「経済の停滞」
といった波及構造が見られる。

18) 住宅関連施設

回収した2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-20に示す結果となる。

住宅機能被害の影響として、

・「火災発生・延焼」→「居住不能」→「仮設住宅によるストレス」→「衛生環境悪化」→「経済の停滞」がある。

19) 生産関連施設

回収した2サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-21に示す結果となる。

①人に関する波及

人間の生活に及ぼす影響として、

・「生産設備の火災・爆発」→「大気海洋汚染」→「呼吸器疾患」
・「生産設備の火災・爆発」→「環境汚染」→「食品の生産流通機能障害」→「食料品不足」→「死亡重体増」
がある。

②モノに関する波及

生産に及ぼす影響として、

・「生産設備の火災・爆発」→「各種工業製品の生産流通機能障害」
がある。

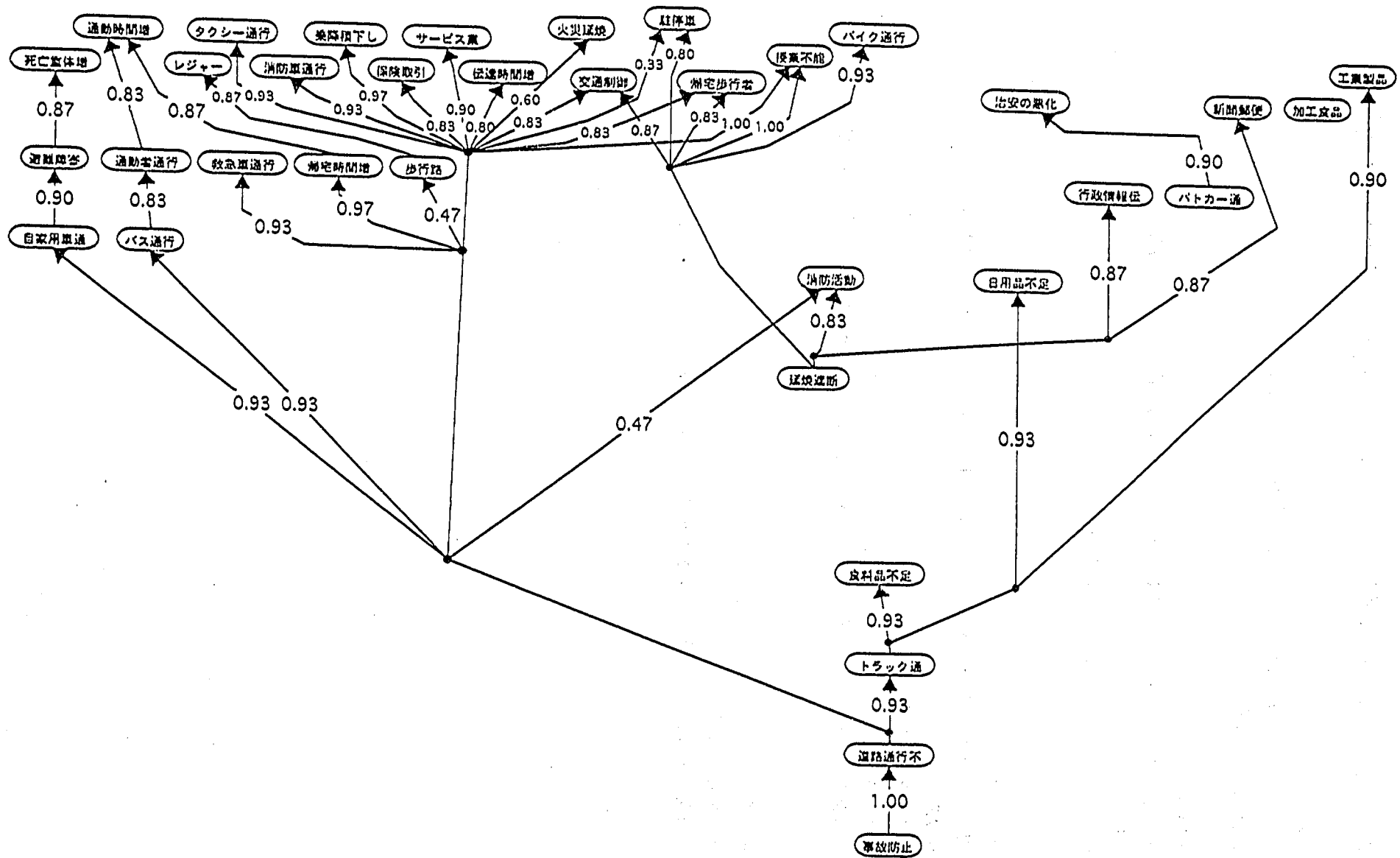


図 1. 2-3 FSM法による道路機能損傷の波及図 閾値 0.78

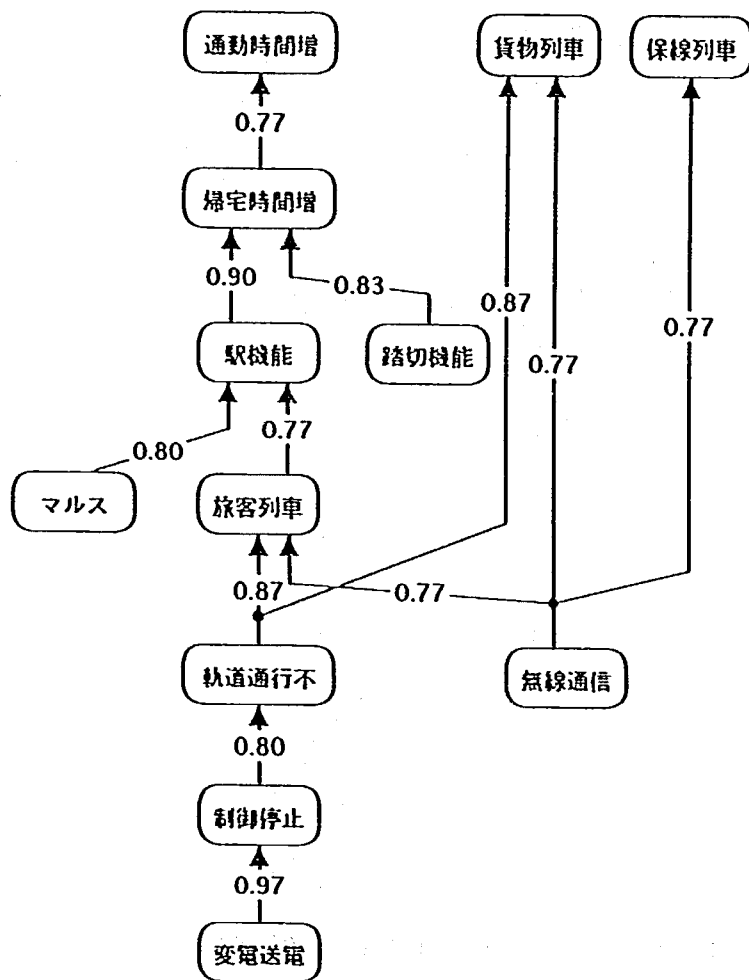


図1. 2-4 FSM法による鉄道機能損傷の波及図 閾値 0.75

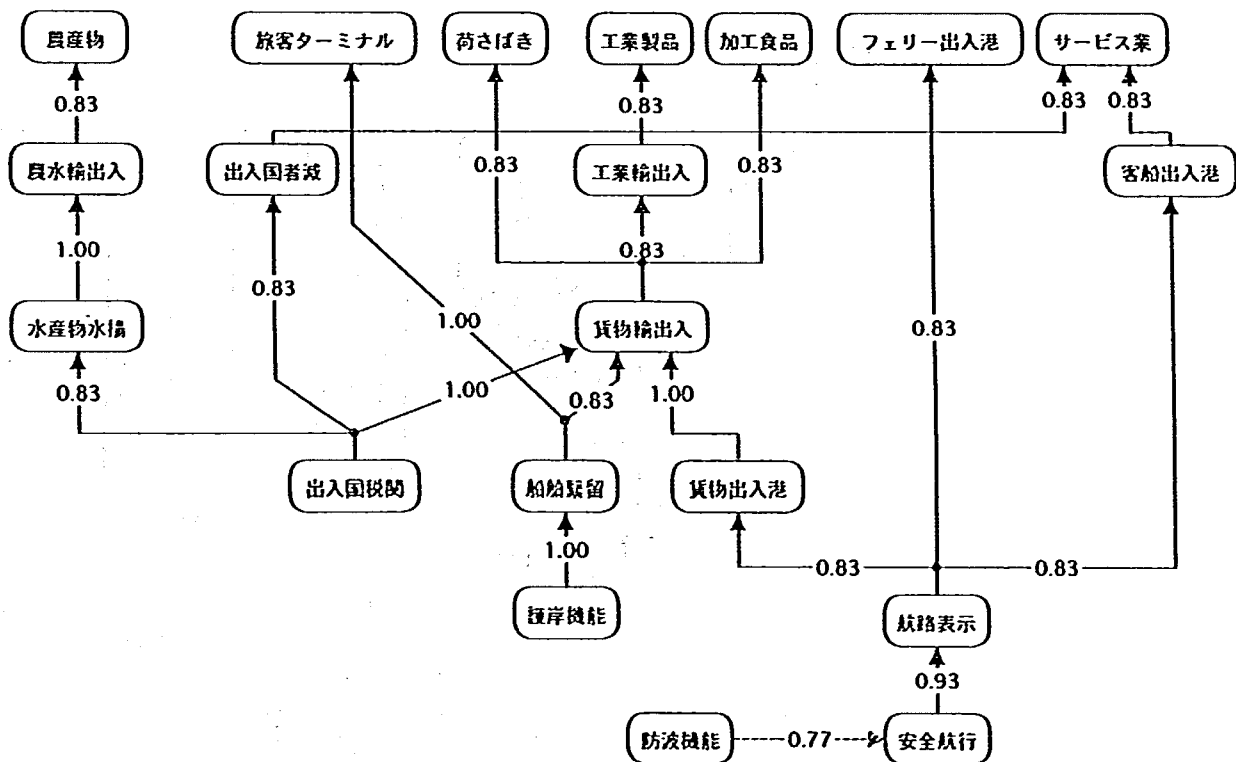


図1. 2-5 FSM法による港湾機能損傷の波及図 閾値 0.80

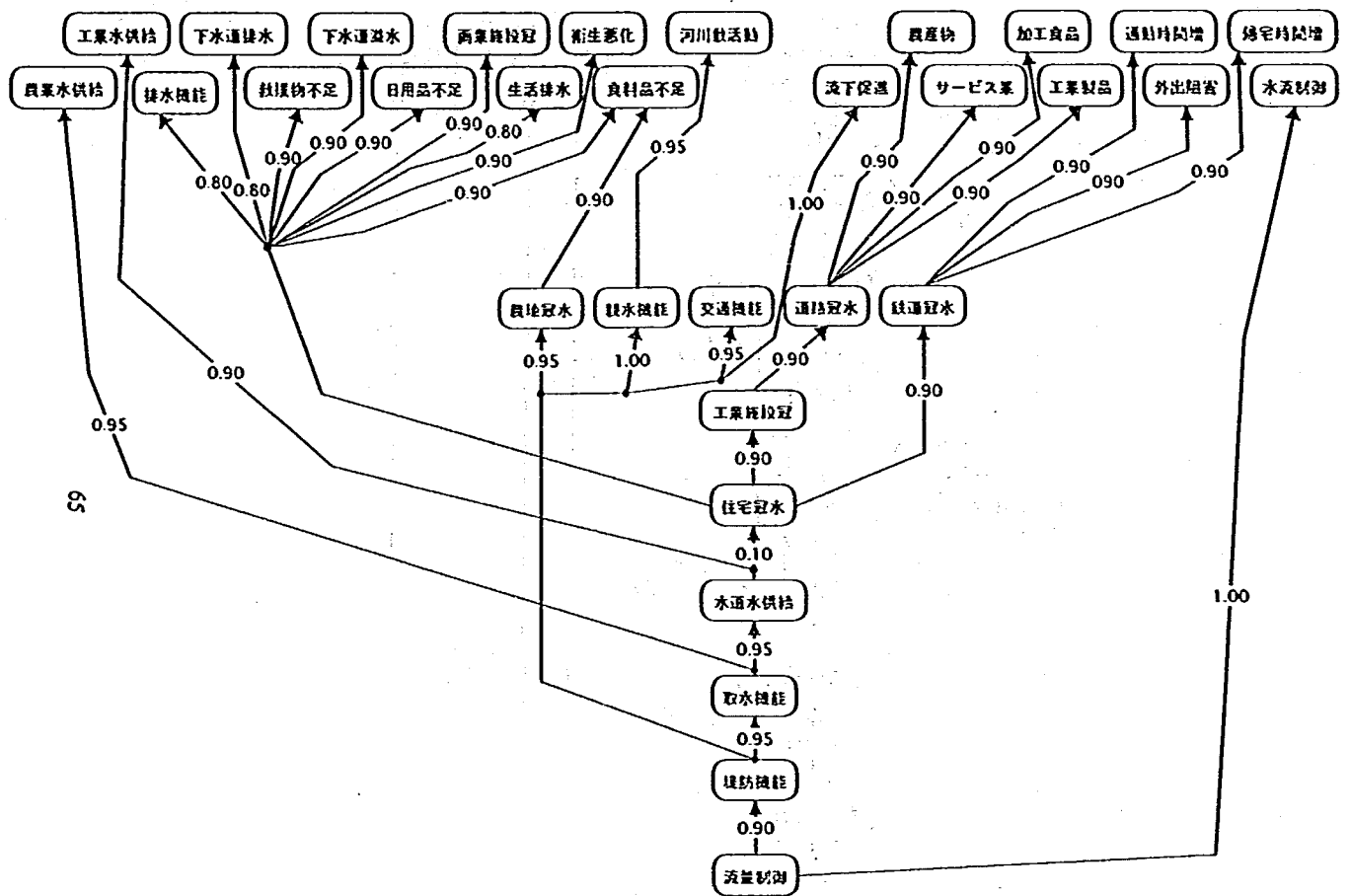


図1. 2-6 FSM法による河川機能損傷の波及図 閾値 0.88

サービス業 加工食品 工業製品 整備機能 工業輸出入

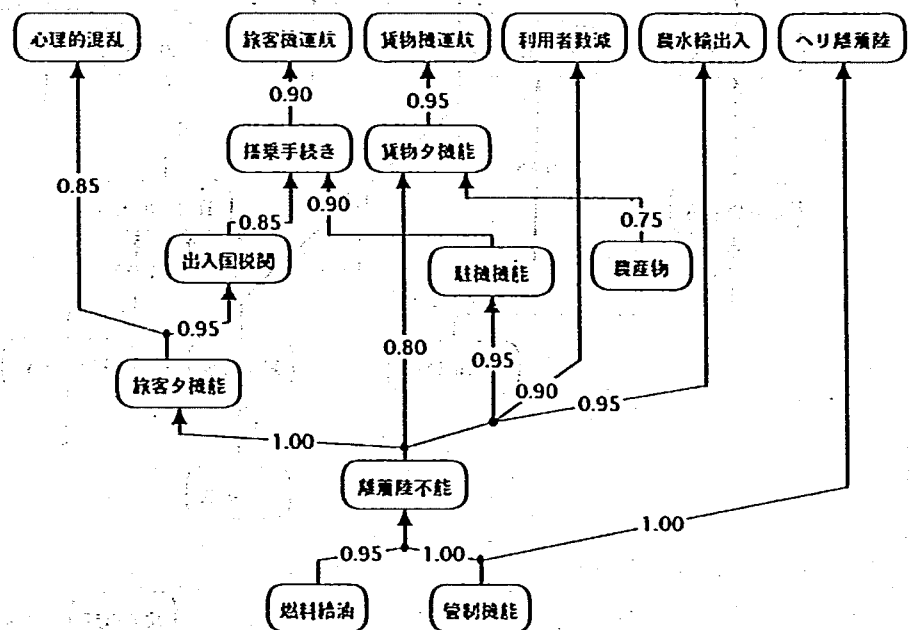


図1. 2-7 FSM法による空港機能損傷の波及図 閾値 0.72

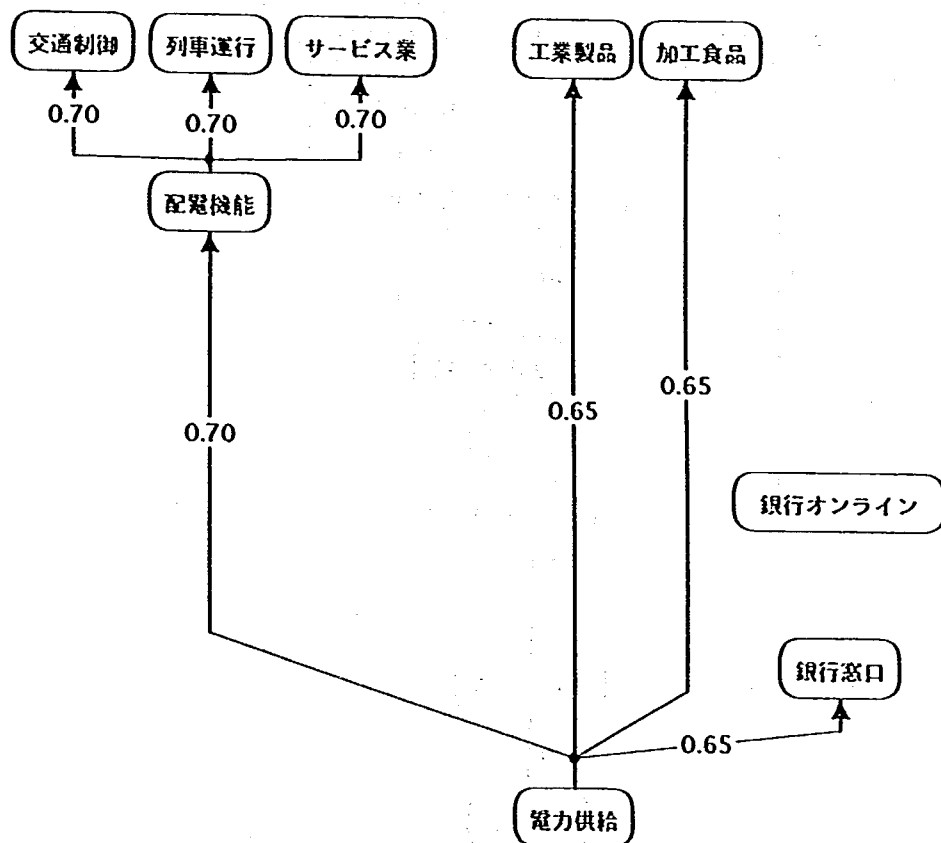


図1. 2-8 FSM法による電気機能損傷の波及図 閾値 0.51

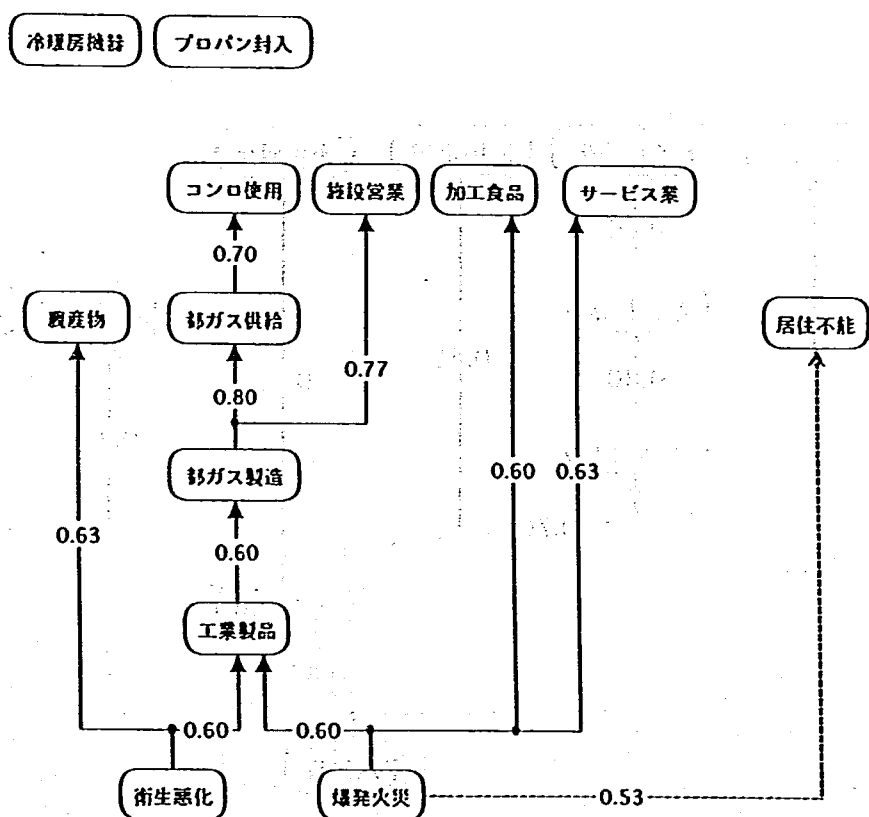


図1. 2-9 FSM法によるガス機能損傷の波及図 閾値 0.58

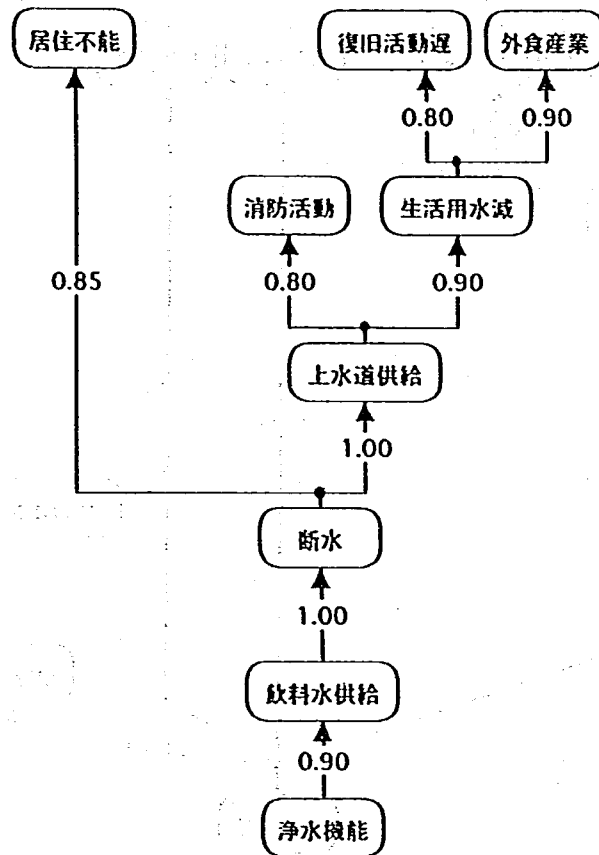


図1. 2-10 FSM法による上水道機能損傷の波及図 閾値 0.77

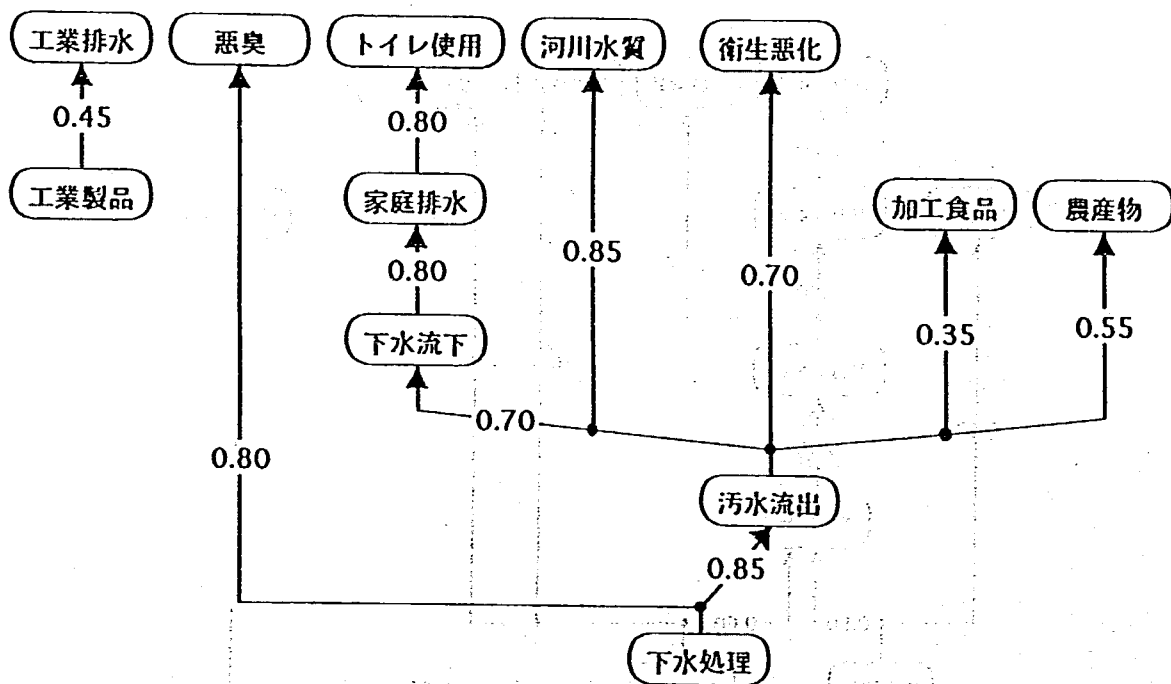


図1. 2-11 FSM法による下水道機能損傷の波及図 閾値 0.72

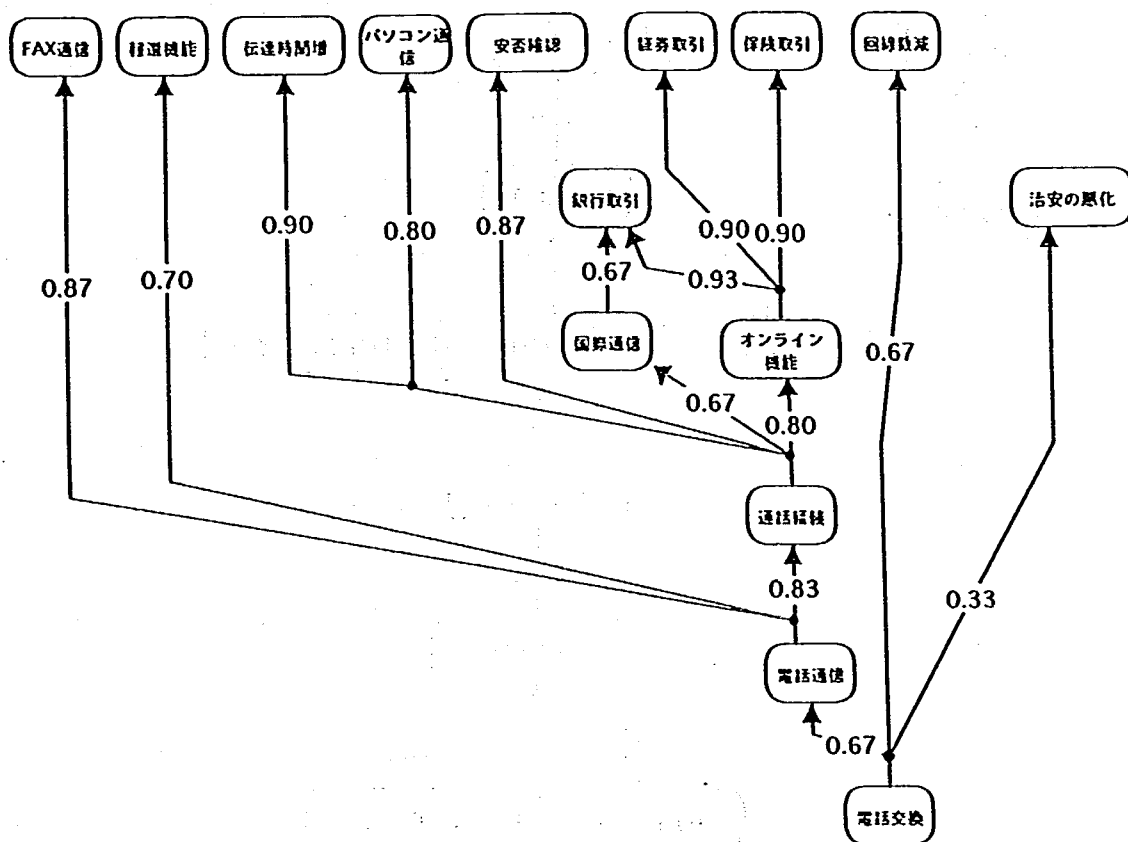


図1.2-1.2 FSM法による通信機能損傷の波及図 閾値 0.65

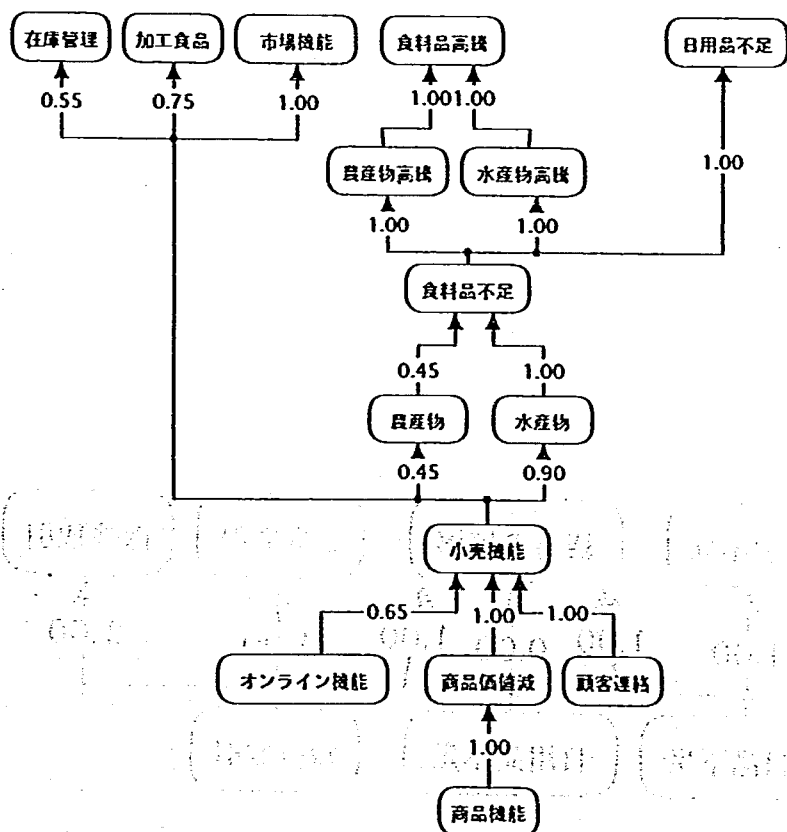


図1.2-1.3 FSM法による商業機能損傷の波及図 閾値 0.95

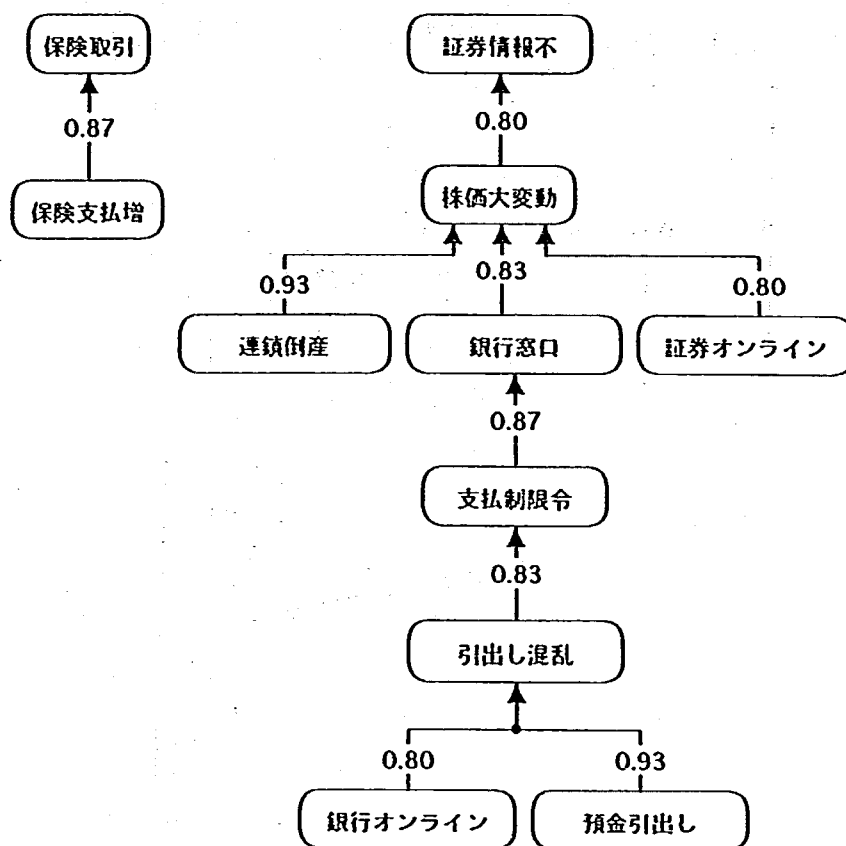


図1. 2-14 FSM法による金融機能損傷の波及図 閾値 0.78

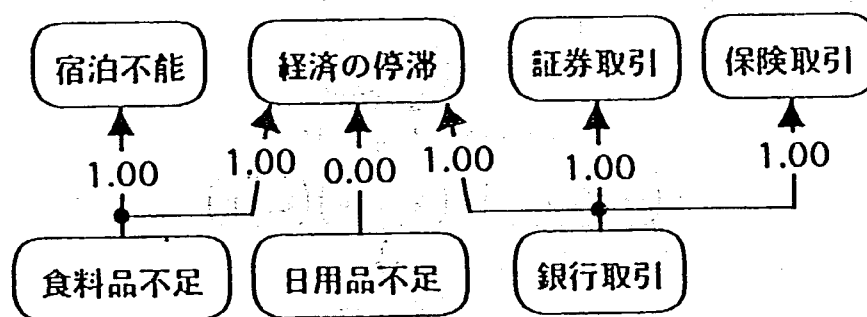


図1. 2-15 FSM法によるサービス機能損傷の波及図 閾値 0.80

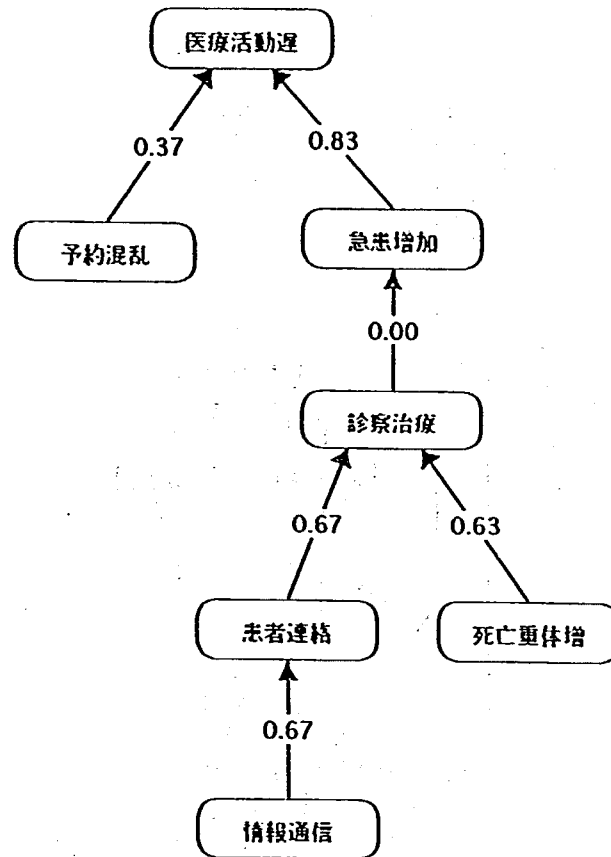


図1. 2-16 FSM法による医療機能損傷の波及図 閾値 0.61

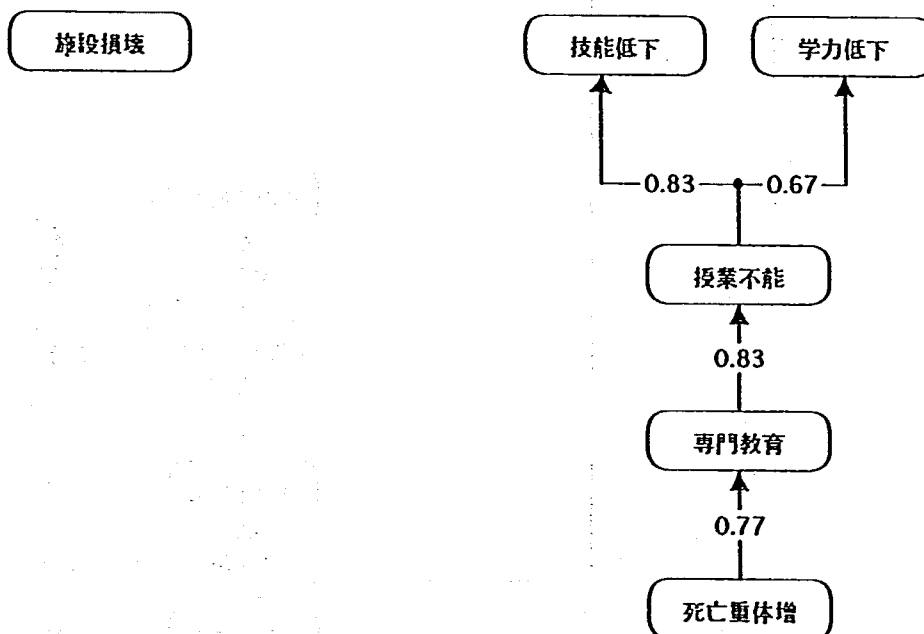


図1. 2-17 FSM法による教育機能損傷の波及図 閾値 0.71

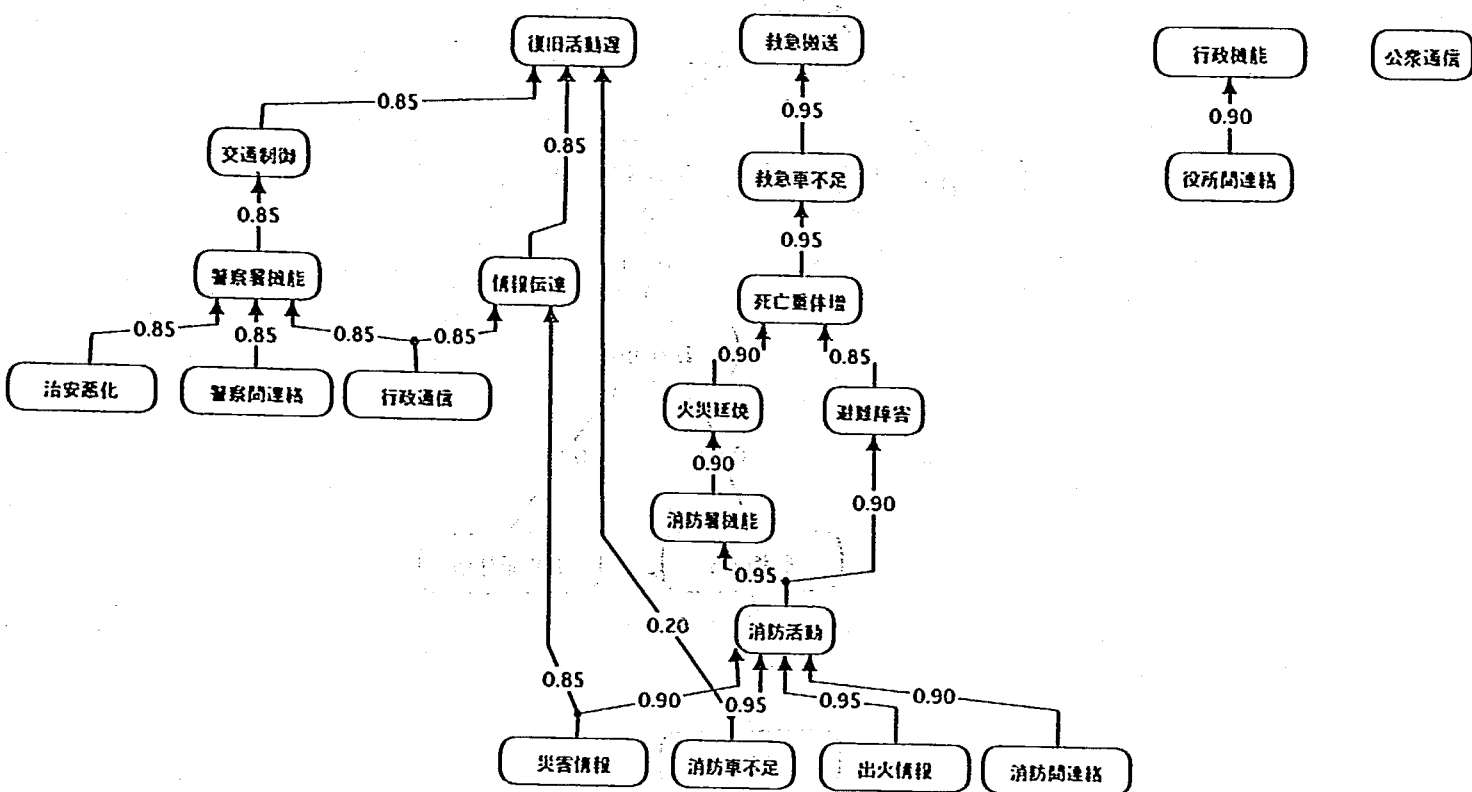


図1. 2-18 FSM法による行政機能損傷の波及図 閾値 0.83

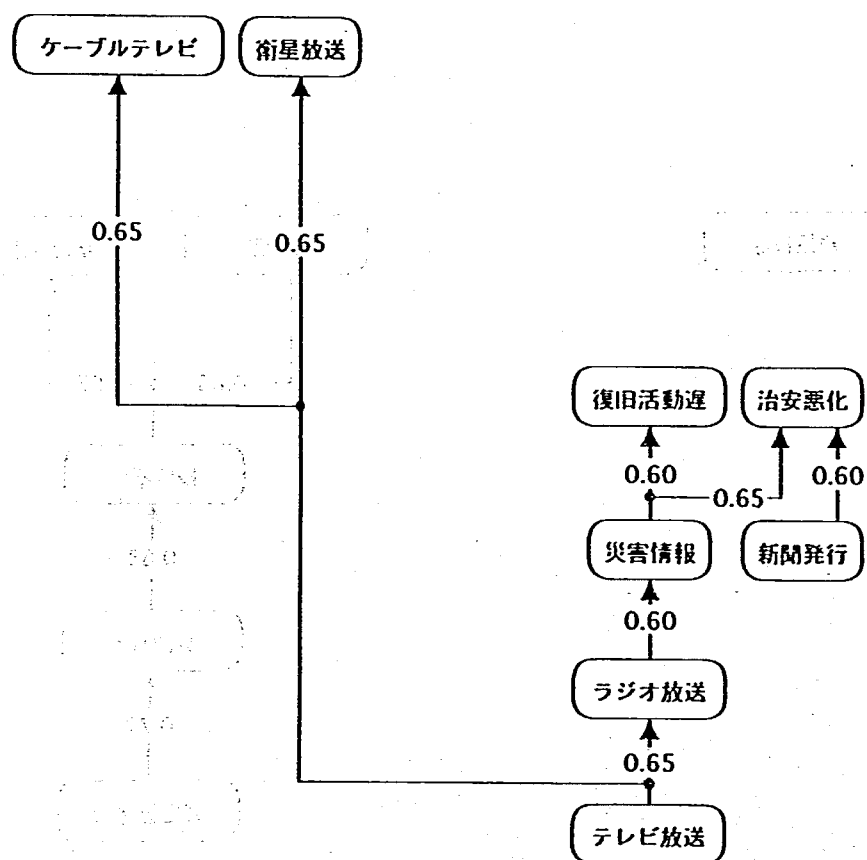


図1. 2-19 FSM法による報道機能損傷の波及図 閾値 0.55

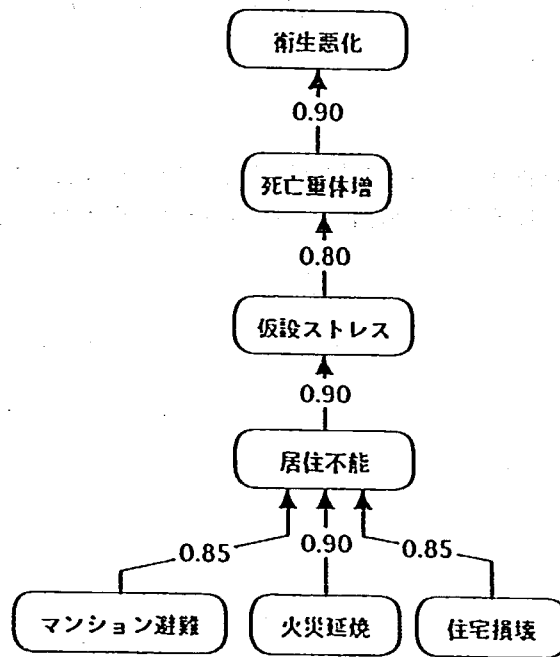


図1. 2-20 FSM法による住宅機能損傷の波及図 閾値 0.72

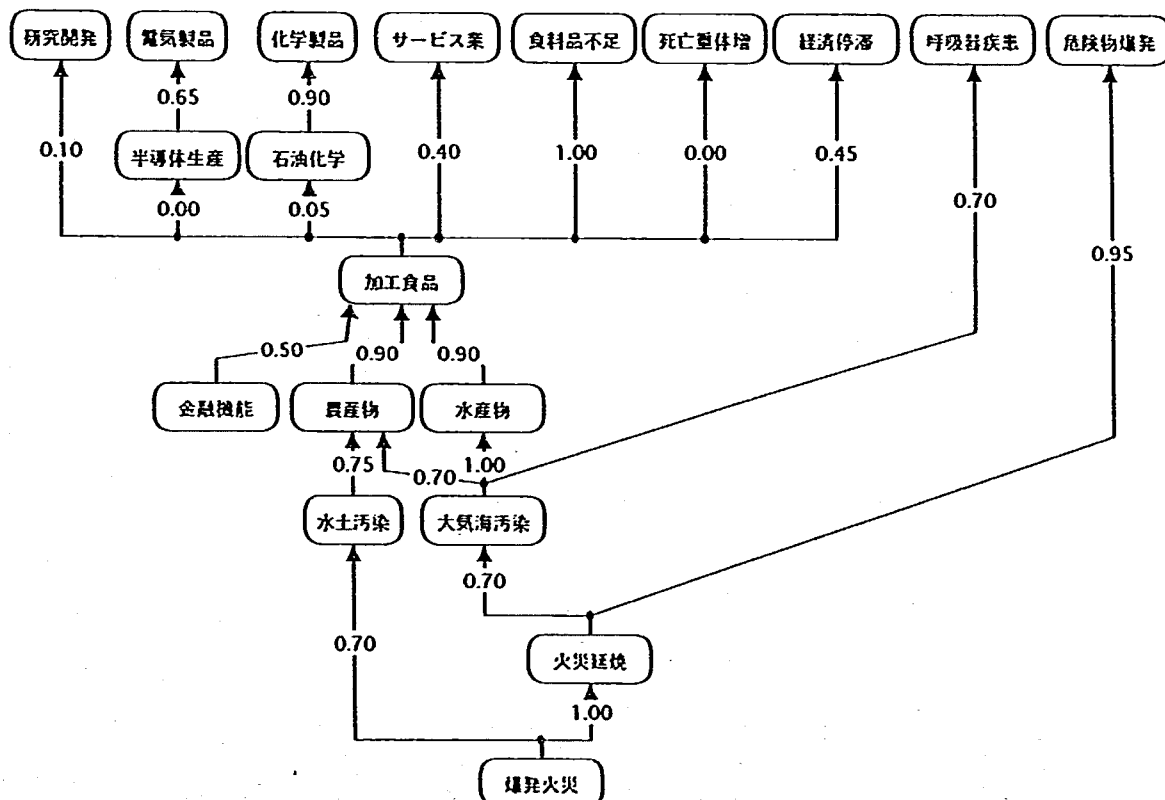


図1. 2-21 FSM法による生産機能損傷の波及図 閾値 0.65

(2) 施設間の波及図の解析

回収した4サンプルの平均データをもとに波及図を作成すると図1. 2-21に示す結果となる。

①電気機能障害の波及

電気機能障害の直接の波及として、

・「電気機能障害」→「ガス・上水道・下水道・通信の核ライフライン機能障害」+「鉄道・道路・港湾の各交通機能障害」+「放送機能障害」

がある。

②ライフライン機能障害の波及

ガス・上水道・下水道・通信の各ライフライン機能障害の直接の波及として

・「ライフライン機能障害」→「各種建築物の損壊」+「各種オンライン機能障害」+「鉄道・道路・空港の各交通機能障害」

がある。

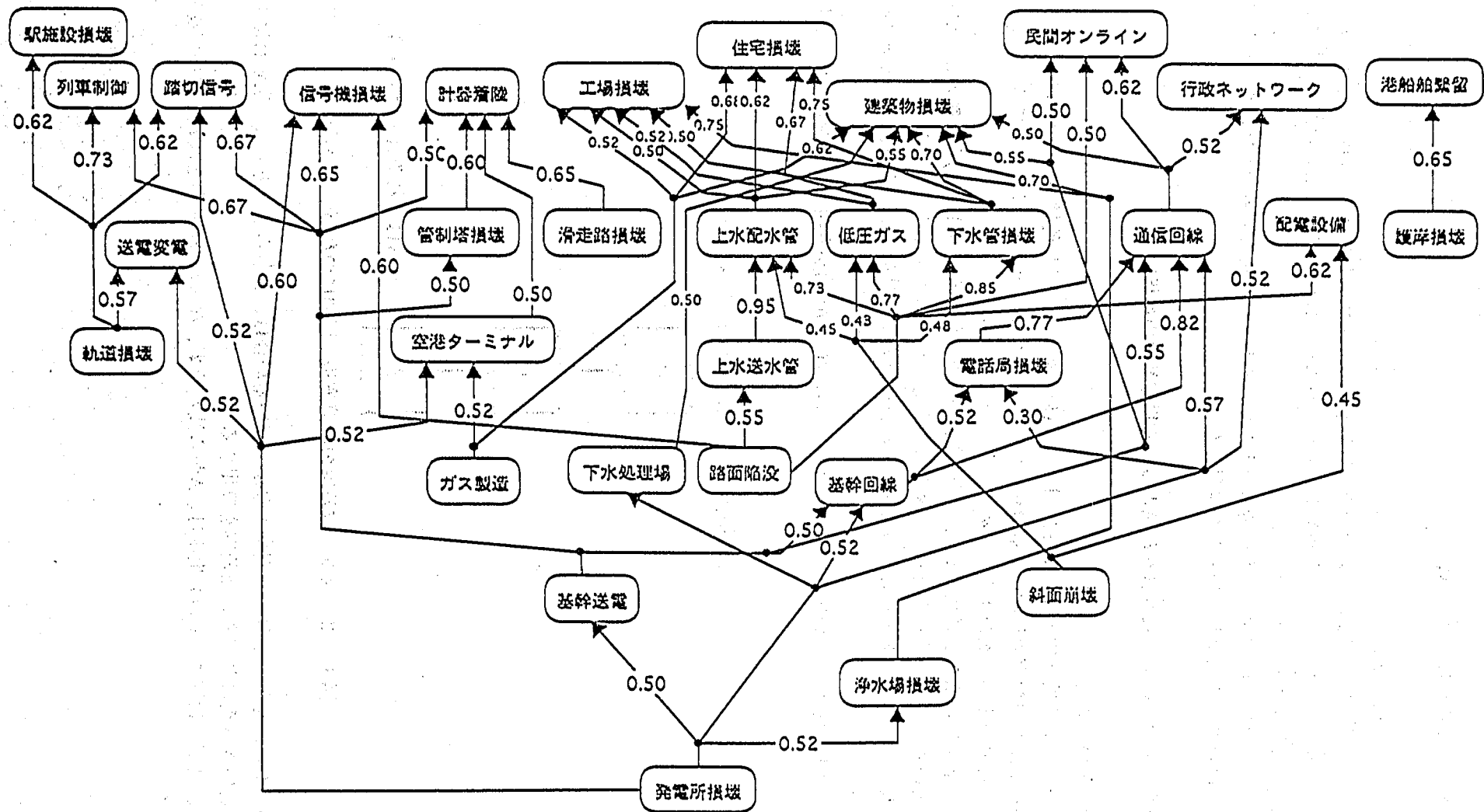


図1. 2-21 FSM法による施設間機能損傷の波及図 閾値 0.41

1. 2. 5 波及率計算手法の検討

(1) 震災波及率の考え方

FSM法により得られた波及図から波及率の計算を行うことで、基幹施設の被害がもたらす都市の広範な震災波及の広がりや面的なイメージが得られ、どのような機能損傷に対する耐震対策を重点におくべきかの指針となる基礎資料を得ることができる。

ここでは、基幹施設の物的被害を解析対象として、それぞれの被害のみが初期に発生した場合、どのような確率で都市の機能に波及していくかを検討した。

(2) 道路・河川・港湾施設被害を起点とした震災波及率の解析方法

1) 波及率の計算方法

①解析対象とする物的被害の発生率を1とし、これ以外のすべての物的被害の発生率を0とした場合に都市の諸機能の損傷が0～1のどの程度になるのかについて、全体的な一つの震災波及図に基づいて、解析を行う。

②各被害項目の発生率は次のように求める。

アンケート結果により、被害項目間の関連度合い（ある被害が発生した場合に次の被害が起きる可能性）が得られている。これを波及率として考えることとし、以下のような計算を行う。

震災波及図において、下層から上層に複数の項目が直列につながっている場合は、各項目間の波及率をかけあわせる。

例えば、下図の状況で、Cの発生率は、Aが発生し、なおかつBが発生し、なおかつCが発生する割合と考える。

$$\text{Cの発生確率} = (\text{Aの発生確率}) \times x \times y$$

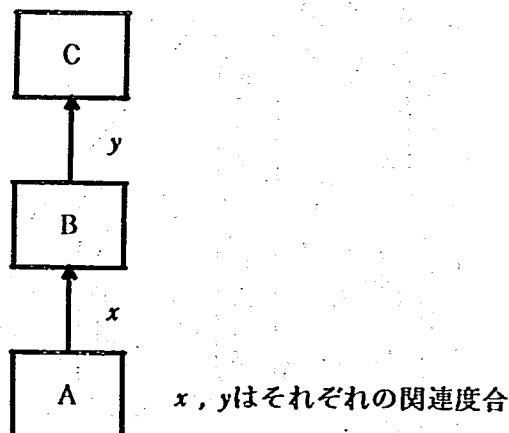


図1. 2-23 波及率の計算方法（直列につながっている場合）

下層から上層に複数の項目が並列につながっている場合は、どちらか一方でも発生すれば上層の被害も発生するという考えに基づき、波及率を算出する。

例えば、以下の状況で、Cの発生率は、Aから波及せず、なおかつBからも波及しない率を1から減じたものとする。

$$C\text{の発生率}=1-(1-(A\text{の発生率})\times x)\times(1-(B\text{の発生率})\times y)$$

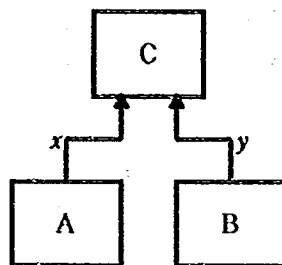


図1. 2-24 波及率の計算方法（並列につながっている場合）

2) 震災波及図のまとめあげの方針

①波及率の算出は、20種類の震災波及図相互の接続を考慮した上で、一つの全体的な震災波及図を作成して実施する。

なお、20種類の震災波及図を、便宜的に以下のような3種類にまとめた。このうち、都市基盤施設モデルの機能損傷が最終的な波及先の対象となる。

表1. 2-25 震災波及図の分類

分 類	施 設
社会基盤施設モデル	道路、鉄道、港湾、河川、空港、電気、ガス、上水道、下水道、通信
都市基盤施設モデル	商業、金融、サービス、医療、教育、行政、報道、住宅、生産
施設間モデル	施設間

②全体的な一つの震災波及図（以下、全体モデルという）作成の際、組み込む機能損傷を以下の通りとする。

施設ごとの震災波及図において、それぞれの施設の範疇に含まれる機能損傷及びその一つ上層の（波及の進んだ）機能損傷までは、全体モデル作成の対象とするが、さらに上層の（波及の進んだ）機能損傷については、専門家としての判断ではないと考えられるため、全体モデルには組み込まない。

例えば、道路施設に関わる震災波及図から一部抜き出した下図のような状況では、「トラック通行支障」から「食料品不足」までは、全体モデルを作成する際の対象として考慮するものの、食料品不足と農産物供給支障の関係については、より専門と考えられる商業及び生産施設に関わる震災波及図において関連が示されているので、ここでは考慮しないものとする。



図1. 2-25 全体モデルに組み込む機能損傷

③20種類の震災波及率モデル間相互の接続は以下の基準によるものとする。

社会基盤施設ごとの震災波及図（以下基盤施設モデル）間、及び社会基盤施設モデルから都市基盤施設への震災波及図（以下都市施設モデル）の間については、同一項目が存在する場合には、それらを接続する。

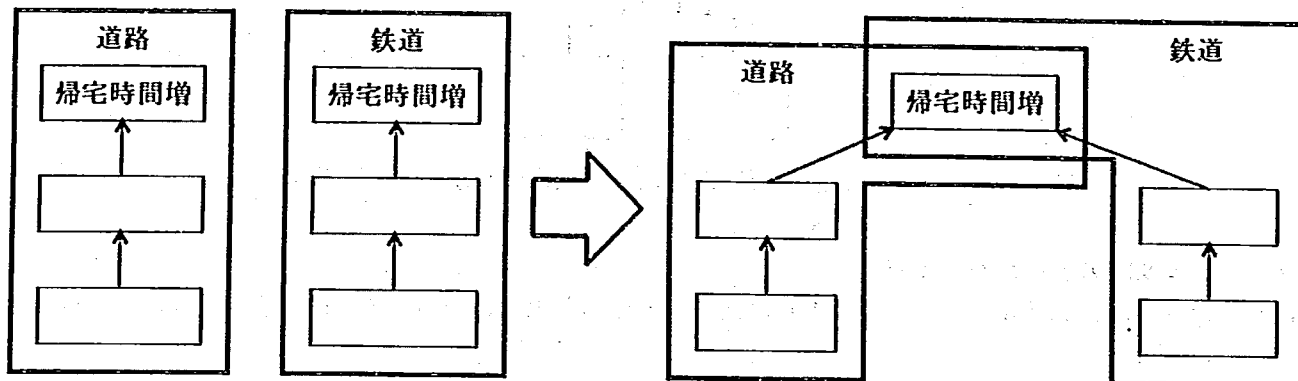


図1. 2-26 社会基盤施設ごとの震災波及図の接続例

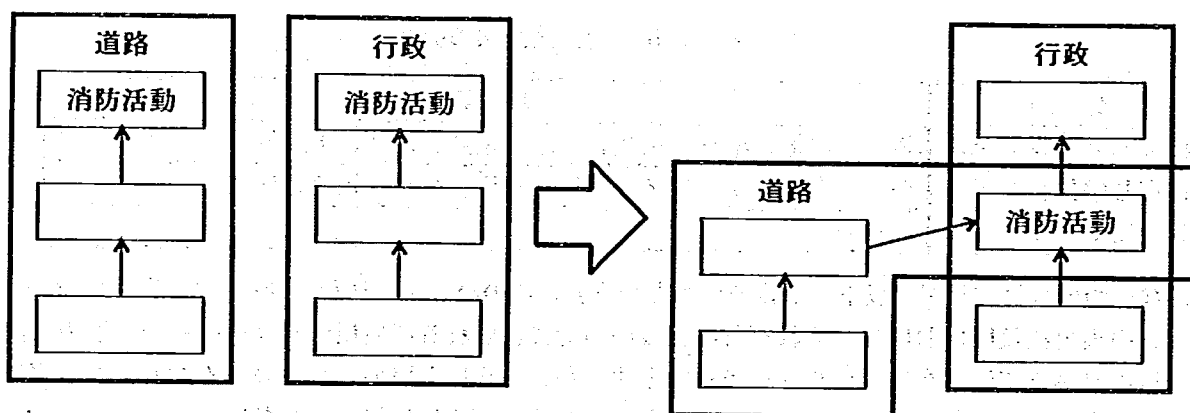


図1. 2-27 社会基盤施設モデルから都市基盤施設への震災波及図の接続例

また、施設間の震災波及図（以下施設間モデル）における各被害内容とそれに対応すると考えられる社会基盤施設及び都市基盤施設モデルの機能損傷項目を接続する。（例えば、施設間モデルの配電設備被害と電気施設モデルの配電機能被害を接続する。）

都市基盤施設モデル間については、将来的に産業連関により相互の関連を捉えることが考えられることから、同一項目が存在する場合でも、接続しない。ただし、行政については、火災延焼や死亡者の増加といった、非産業的項目があるため、これらの機能損傷項目は他の都市基盤施設モデルに同一の項目が存在する場合、接続するものとする。

以上の接続方針を図1. 2-28に示す。×印のある矢印間については、同一の機能損傷が双方の施設の震災波及図にあっても接続しない。

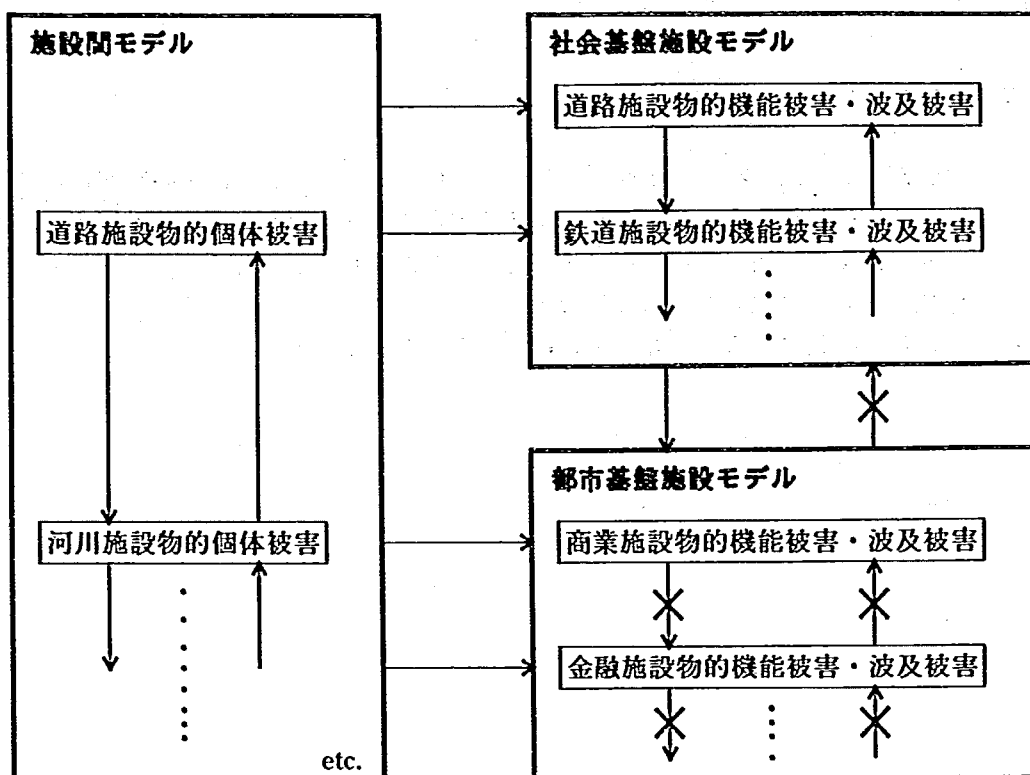


図1. 2 - 2 8 波及確率モデルの接続方法

第2章 手法の構築

2. 1 震災波及図の総合化

平成5年度までの研究では、1. 2. 5に述べたように、道路・河川・港湾施設の物的個体被害からの波及のみを考えたが、ここでは、19種類の施設の物的個体被害全てを起点とした震災波及図を作成する。作成の方針は、1. 2. 5で道路・河川・港湾施設被害を起点とした波及構造を作成したのと同じであり、19種類の施設の物的個体被害全てを考慮する点のみ異なる。

震災波及図を総合化した結果を総合モデルと名付け、図2. 1-1に示す。

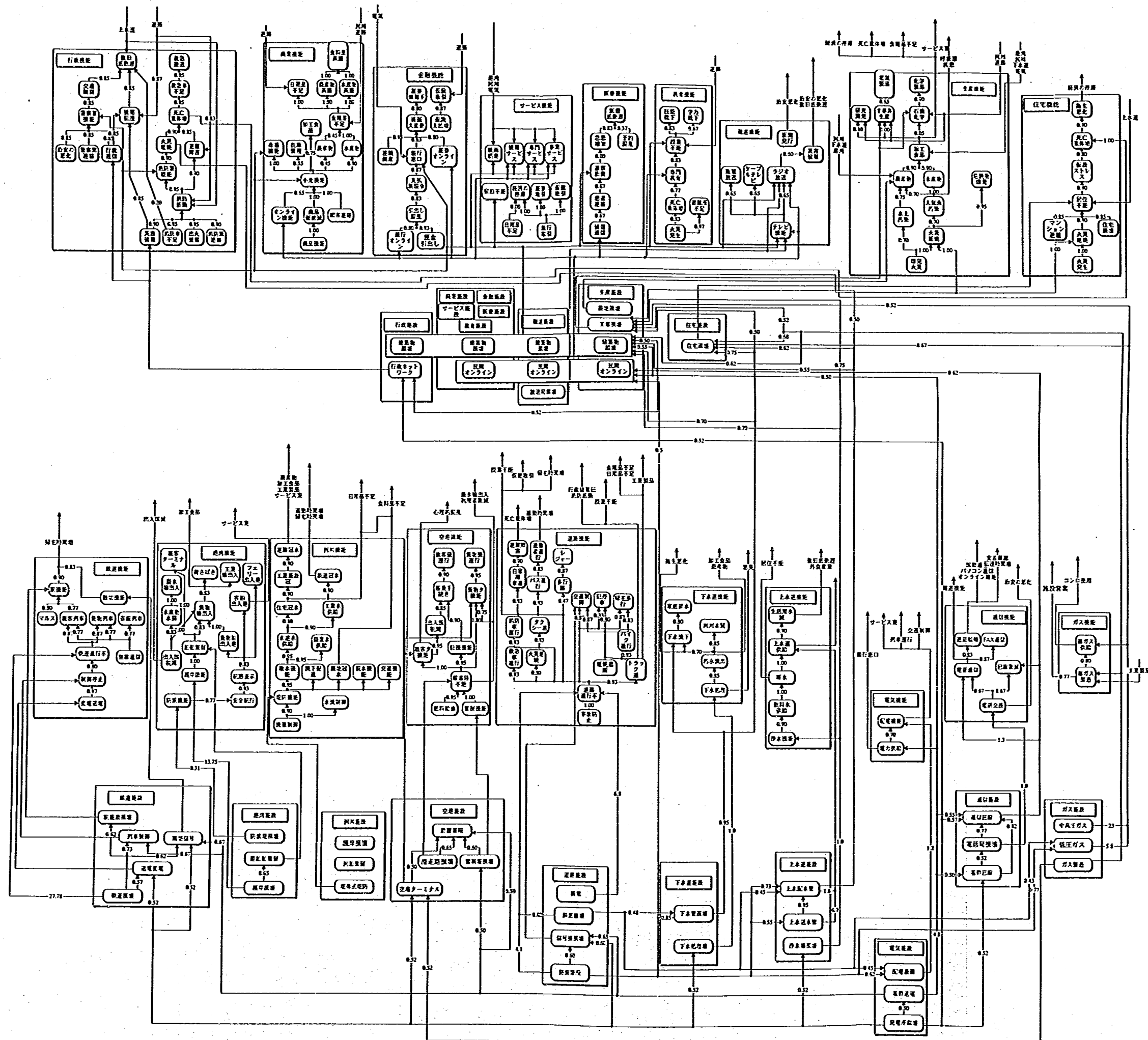


図2. 1-1 総合モデル

2. 2 対象とする物的個体被害

構造化解析手法の考え方では、物的個体被害を全ての被害の波及源と考え、これを与えれば都市機能の低下が求められるとしている。

構造化解析手法を東京都被害想定に即して構築するため、ここでは総合モデルにおける物的個体被害の規模を東京都被害想定に基づき設定する。ただし、施設内での波及関係があるものについては、上層の物的個体被害は下層の物的個体被害によって発生するものと考え、上層の物的個体被害自体の設定は行わないこととする。（例えば、路面陥没等が信号機損壊に波及しているので、信号機損壊は路面陥没等によって発生するものと考え、信号機損壊自体の物的個体被害の規模は設定しない。）

このような考えをとると、物的個体被害の設定を行う必要のある項目は次の通りとなる。（ただし、一般建築物等の損壊については、下層の物的個体被害からの波及を受けているものの、地震によるそれ自体の直接的な被害があり、またこの影響が大きいと考えられるため、数値設定の対象として残した）

表 2. 2 - 1 物的個体被害の設定を行う項目

道路施設	道路路面陥没 斜面崩壊 橋梁損壊
鉄道施設	鉄道軌道の損壊
港湾施設	港湾防波堤損壊 港湾護岸損壊
河川施設	河川堤体式堤防損壊 河川護岸式堤防損壊 河川船舶係留・ターミナル施設損壊
空港施設	空港ターミナル施設損壊
電気施設	電力基幹送電設備損壊 電力配電設備損壊 発電所損壊
ガス施設	中高圧ガス導管損壊 低圧ガス導管損壊 ガス製造工場損壊
上水道施設	上水道送水管損壊 上水道配水管損壊 浄水場損壊
下水道施設	下水道管損壊 浄水場損壊
通信施設	通信回線損壊 電話局損壊
商業関連施設	一般建築施設損壊
金融関連施設	一般建築施設損壊
サービス関連施設	一般建築施設損壊
医療関連施設	一般建築施設損壊
教育関連施設	一般建築施設損壊 火災発生
行政関連施設	一般建築施設損壊
報道関連施設	放送局損壊
住宅関連施設	火災延焼 住宅損壊
生産関連施設	生産工場損壊 農地損壊・浸水

2. 3 波及率の調整

都市機能の低下は、物的個体被害規模からの波及率（アンケート結果により得られた関係度合いの大きさ）の計算により行うことを基本とするが、この場合、上層の項目は下層のものに波及率をかけあわせるかたちになるため、上層の項目が下層の項目より大きな被害率になることはない。

しかし、ライフラインや道路といった線的な施設の場合、1%の物的個体被害により10%の世帯で機能に被害を受けるといったことが考えられる。

したがって、これらの施設については東京都被害想定の結果に基づき、物的個体被害率と機能損傷率の間の波及率を調整しておくこととする。

また、物的機能被害としてあげられている項目の中に、波及のみでなく、地震の直接的な被害として数値を設定しておくべきと思われる項目がある。このような項目として、ここでは「火災延焼」及び「死亡重体者増加」を考慮する。

以下、2. 3. 1、2. 3. 2でこれらに関わる東京都被害想定上の設定を示し、2. 3. 3で波及率の調整結果を示す。

2. 3. 1 ライフラインおよび道路の機能低下の設定

以下では、ライフライン系の機能損傷について対応する被害想定の数値を示した。これを機能損傷の低下として設定することとする。

（1）電力施設

東京都被害想定において、電力施設の物的個体被害率は次の通りとなっている。

①電力基幹送電設備損壊（本調査の項目）→地中送電線（被害想定上の対応項目：以下同じ）

延長 (km)	被害延長 (km)	被害率 (%)
都計 1692.20	7.03	0.42

②電力配電設備損壊→架空線

延長 (km)	被害延長 (km)	被害率 (%)
都計 101449	24958	24.6

また、東京都被害想定において機能支障率（被害を受ける需要家の割合）は次の通りとなっている。

機能支障率 (%)
都計 32.8

これらの比率をもって波及率を設定する。

（2）ガス施設

東京都被害想定において、ガス施設の物的個体被害率は次の通りとなっている。

①中高圧ガス導管損壊→中圧導管

総延長 (km)	被害箇所数	被害率 (箇所/km)
都計 122.41	8102	0.04

②低圧ガス導管損壊

総延長 (km)	被害箇所数	被害率 (箇所/km)
都計 21759	8102	1.31

東京都被害想定において機能支障率（被害を受ける需要家の割合）は次の通りとなっている。

機能支障率 (%)	
都計	86.6

これらの比率をもって波及率を設定する。

（３）上水道施設

東京都被害想定において、上水道施設の物的個体被害率は次の通りとなっている。

①上水道送水管損壊→送水管

延長 (km)	被害箇所数	被害率 (箇所/km)
都計 375.74	12.29	0.03

②上水道配水管損壊→配水管

延長 (km)	被害箇所数	被害率 (箇所/km)
都計 20881	7593	0.36

東京都被害想定において機能支障率（被害を受ける需要家の割合）は次の通りとなっている。

機能支障率 (%)	
都計	7.8

これらの比率をもって波及率を設定する。

（４）下水道施設

東京都被害想定において、下水道施設の物的個体被害率は次の通りとなっている。

①下水道管損壊→枝線管きよ

延長 (km)	被害延長 (km)	被害率 (%)
都計 15694	636	4.05

東京都被害想定において機能支障率（被害を受ける需要家の割合）は次の通りとなっている。

機能支障率 (%)	
都計	3.9

これらの比率をもって波及率を設定する。

（５）通信施設

東京都被害想定において、通信施設の物的個体被害率は次の通りとなっている。

①通信回線損壊→架空線

延長 (km)	被害延長 (km)	被害率 (%)
都計 27587	6137	22.2

東京都被害想定において電話の機能支障率（被害を受ける加入者の割合）は次の通りとなっている。

機能支障率 (%)	
都計	7.1

これらの比率をもって波及率を設定する。

(6) 道路施設

東京都被害想定において、道路施設の物的個体被害率は次の通りとなっている。

①道路路面陥没→対応なし

宮城県沖地震の際、仙台工事事務所管内指定区間延長452.5km中、道路の被災が計37箇所、その延長が3676mであった。この数値は、 $3676/452500 \approx 0.8\%$ である。ここでは震度Ⅵ級を考えていることから、これより被害が大きいものと考えられる。「東京における地震被害の想定に関する調査研究 道路港湾等分科会 報告書、三菱総合研究所、平成3年3月」では、道路橋や盛土、切土等について、震度Ⅵ弱の場合、震度Ⅴの場合の1.25倍の被害率になると仮定している。ここでもこの数値を用いて、1.25倍することとし、1.0%とする。

②斜面崩壊→切土・斜面

実数	被害数	被害率 (%)
都計 1069	67.88	6.35

③橋梁損壊→橋梁

実数	被害数	被害率 (%)
都計 1069	20.90	1.3

道路被害については一部の主要道路しか東京都被害想定では導通確率が求められていない。道路機能の低下を考える場合、その他の道路の交通量への影響も考慮する必要があると考えられるため、次のように設定することとした。

道路の物的個体被害は主に、道路上の被害（盛土、切土等）、橋梁の被害に分けられる。これに伴う道路交通量への影響は、どのような道路が被害を受けるか（交通量、迂回路の有無等）により異なる。このため、東京都被害想定での具体的な被災区間を考慮に入れる方が望ましいと思われる。

ただし、過去の地震事例を見ると、道路不通の影響が深刻になるのは橋梁の被害であり、そのほか非被災地域と通じる高速道路、国道等の主要幹線道路の被害である。

したがって、以下のA、B2種類の影響を考えることとした。

(A) 主要幹線道路以外の道路被害

主要幹線道路以外の道路については、橋梁が損傷する区間について、その区間の交通量が低下するものとし、その全体に占める割合分だけ低下するとする。なお、ここでは「東京における地震被害の想定に関する調査研究 道路港湾等分科会 報告書、三菱総合研究所、平成3年3月」に使用されたデータを用いて、被害を受ける可能性が高い橋梁を具体的に選択し、橋梁の存在する道路区間を道路交通センサスよりピックアップして、その道路区間での交通量低下を求めることとした。

この具体的な方法は次のB) ①に示す。

(B) 高速道路、主要国道の被害

東京都被害想定において、高速道路、国道の他県との導通確率が求められている。これを用いて他県からの流出入量が（通常時の他県からの流出入量×導通確率）に減少するとする。

以上の2通りの交通量の減少を考慮することで、都内における交通量の減少量を以下のように設定する。
①、②は、上記の(A)、(B)に対応している。

①橋梁の被害による交通支障

東京都被害想定においては建設省、都、運輸省管理の橋梁について橋梁耐震性調査法（昭和61年日本道路協会）に基づき、A、B、Cの3ランクに分けて設定している。これらのランクは、橋梁の上部工、下部工の変形、主鉄筋段落とし部の強度、下部工の強度・変状等の点検項目に基づき設定されており、次のような意味を持つ。

A:施設の被災の程度又は確率が高いと予想される範囲

B:施設の被災の程度又は確率がやや高いと予想される範囲

C:施設について局部的に被災するが被災の程度又は確率がやや低いと予測される範囲

また、これらのランクは新潟地震、宮城県沖地震、伊豆大島近海地震の被害事例との比較から、通行支障率と表2. 3-1のように結びつけられている。（震度Ⅵ弱程度の場合）

表2. 3-1 橋梁耐震ランクと予想される被害

ランク	不通	通行制限	被害なし	合計
A	0.26	0.26	0.48	1.00
B	0.06	0.26	0.68	1.00
C	0.01	0.03	0.96	1.00

ここでは、ランクA及びBに対応する橋梁について、交通量の低下を求めた。

また、道路区間の交通量の調査データとして建設省による道路交通センサスがある。道路交通センサスでは、一般都道以上の全ての道路及び一部の区市町村道について、道路区間ごとに交通量を測定している。

これらをもとに橋梁被害による交通量低下への影響を求める。

低下の求め方は次の通り。

(1)ランクA及びBとされた橋梁36橋について、橋梁の通過している道路区間を道路交通センサス（平成2年度）よりピックアップする。

(2)対応する道路区間の12時間交通量が次の割合で低下するとする。ここで、通行制限は、不通ではないものの、平常通りの通行が出来ない状態であるが、ここでは、通行制限の場合には、半分の車線が通行できないものとして、計算を行った。

ランクAの場合： $0.26+0.26 \times 1/2=0.39$

ランクBの場合： $0.06+0.26 \times 1/2=0.19$

したがって、通行可能性は次の通りとする。

ランクAの場合：0.61

ランクBの場合：0.81

(3)上記より、橋梁の12時間交通量に通行可能性を掛け合わせて道路交通量を求める。

(4)道路交通センサスの対象となっている全ての道路区間の12時間延べ交通量の和と、橋梁の被害による通行支障を考慮した場合の全ての道路区間の12時間延べ交通量の和の比をとることで、交通量の低下率を求める。

以上の方法で求めた結果は次の通りである。

表2. 3-2 関東地震クラスの橋梁被害による都内交通量の低下率

	橋梁の損傷する道路区間 (主要幹線道路を除く)	その他の道路区間 (主要幹線道路を除く)	都合計 (主要幹線道路を除く)
平常時の12時間交通量	426409	3521292	3947701
交通量の低下率	22%	0%	2%
地震後の12時間交通量	332132	3521292	3853424

②高速道路、主要国道の被害による交通支障

高速道路、主要国道の被害による非被災地域からの通行支障について、東京都被害想定においては他県との導通確率の形で求められている。

これは次の通り。

表 2. 3 - 3 主要国道の導通確率

路線名	方面	導通確率 (%)
東海方面	都県境↔静岡	14.0
山梨方面	都県境↔甲府	45.9
上越方面	都県境↔高崎	86.9
東北方面	都県境↔宇都宮	78.1
常磐方面	都県境↔水戸	79.4
千葉・茨城方面	都県境↔鹿島	35.1

表 2. 3 - 4 道路公団管理道路の導通確率

路線名	方面	導通確率 (%)
東名高速道路	用賀↔沼津	29.1
中央自動車道	高井戸↔甲府昭和	36.4
関越自動車道	練馬↔前橋	65.8
東北自動車道	川口↔宇都宮	72.3
上盤自動車道	三郷↔水戸	78.0
東関東自動車道	市川↔成田	74.0

一方、交通年鑑（警視庁交通部編集、平成5年）では、地点別都県境交通量が示されている。

これは例えば次の通り。

表 2. 3 - 5 都県境交通量の例

方面	路線名	調査地点	交通量 (24時間)
埼玉県境	国道16号	駒形富士山	25361
	関越自動車道	練馬インター	58108
	国道254号	東埼玉橋	54929
	大宮バイパス	笹目橋	100027
	国道17号	戸田橋	56400
	⋮	⋮	⋮

これらに基づき次の通り設定した。

(1)主要国道（高速道路）について、被害想定における方面（路線名）に対応する交通年鑑の路線をピックアップする。（ただし、高速道路のうち、東北、常磐、東関東については、求められている導通確率が、都外を開始点としているため対象外とする。）

(2)対応する路線の交通量が導通確率を掛け合わせたものに低下するとする。

(3)上記より、主要国道（高速道路）の交通量に導通確率を掛け合わせて道路交通量を求める。

(4)主要国道（高速道路）の24時間交通量の和と、導通確率を考慮した場合の主要国道（高速道路）の24時間交通量の和の比をとることで、交通量の低下率を求める。

上の方法で求めた結果は次の通り。

表2. 3-7 関東地震クラスの路面被害による都内交通量の低下率

	主要国道	高速道路	合計
平常時の24時間交通量	928792	248895	1177687
交通量の低下率	48%	61%	51%
地震後の24時間交通量	480060	96828	576887

以上の①、②を足し合わせて平常時の道路交通量に対する地震時の交通量の低下を求めた。ただし、主要国道、高速道路については24時間交通量が求められているため、これを2で割ることにより12時間交通量とした。

この結果は次の通り。

表2. 3-7 関東地震クラスによる都内交通量の低下率

	主要幹線道路 以外の道路	主要国道	高速道路	合計
平常時の12時間交通量	3947701(77%)	928792(18%)	248895(5%)	5125388
交通量の低下率	2%	48%	61%	14%
地震後の12時間交通量	3853424	480060	96828	4430311

合計としては14%交通量が低下するとする。

この結果と、先の物的個体被害率の関係より、波及率を設定する。

2. 3. 2 火災延焼・死亡重体者の設定

総合モデル中の機能損傷のうち、火災延焼、死亡重体者増加はそれぞれ他の物的個体被害の影響というよりも、それ自身が地震により直接的な被害というかたちで影響を受ける方が大きいと考えられる。

よって、ここでは火災延焼及び死亡重体者については、東京都被害想定における物的個体被害の設定からの波及計算によって与えられる数値と、東京都被害想定での実際の数値とを比較することにより波及率を調整する。

(1) 火災延焼

東京都被害想定での焼失率は、28%である。これをもって、「火災延焼」の被害率（焼失率）とする。

(2) 死亡重体者

東京都被害想定での死傷率（死者＋重傷者）は0.22%である。これをもって、「死亡重体者」率（死傷率）とする。

2. 3. 3 波及率の調整結果

途中段階の都市機能低下規模（被害率）を与えた項目については、下層からの波及計算によって得られる被害率とは異なる可能性が高い。これはもともとアンケートによって波及率を設定しているため、このような主観的な判断が、より客観的なデータと一致するとは必ずしもいえないためである。さらにアンケート時に質問意図が十分に把握されなかった面もあり、現状での波及率の信頼度は十分とはいえない面がある。

ここでは、下層からの波及計算によって得られる被害率が、あらかじめ与えた途中段階の被害率と異なる場合、都市機能低下規模を与えた項目につながる波及率を変更することで、下層からの波及計算により得られる値が、あらかじめ設定した値に等しくなるよう調整した。このイメージは次の通りである。

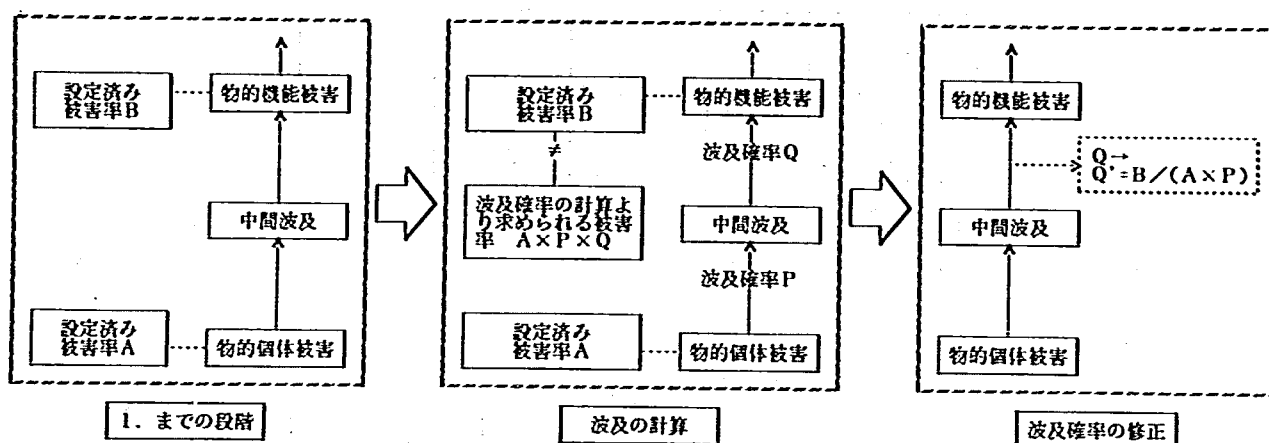


図2. 3-1 波及率調整方法のイメージ

(1) ライフライン及び道路施設の波及率の調整

①道路施設

道路施設に係わる物的個体被害と物的機能被害の関係は次の通り。

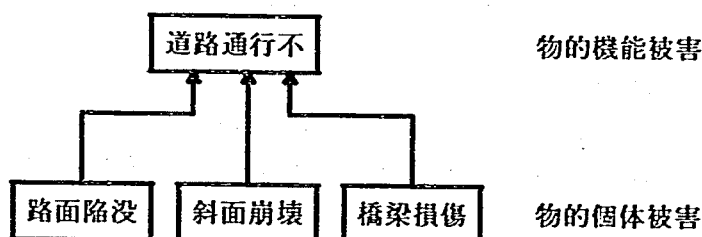


図2. 3-2 道路施設の被害波及

したがって、路面陥没、斜面崩壊及び橋梁損傷個々の被害がどれだけ道路通行不能に影響を与えるか、求める必要がある。

東京都被害想定状況における通行量の低下を表2. 3-7の通りとした。ここで、これらの道路における交通量の低下率と路面陥没、斜面崩壊、橋梁損傷の各被害を次のように結びつける。

橋梁損傷→主要幹線道路以外の道路、主要国道、高速道路
路面陥没、斜面崩壊→主要国道

主要幹線道路以外については、比較的迂回路が多いと考えられるため、橋梁被害を除けば大きな影響はないものとみた。また主要国道については、全ての被害を対象とし、高速道路については、首都高を中心として高架橋からなる部分が多いため、主な影響は橋梁損傷によってもたらされるものと見た。

よって、主要幹線道路以外の道路及び高速道路の交通量低下は全て橋梁損傷によって与えられるものとし、主要国道については交通量低下の一部は橋梁損傷の影響であるとする。主要国道の交通量低下のうち橋梁損傷が要因となる割合を求めるのが困難なため、ここでは5割とする。

すると、橋梁の損傷により、交通量は次の通り減少する。

$$77\% \times 2\% + 5\% \times 61\% + 18\% \times 48\% \times 0.5 = 8.8\%$$

また、路面陥没及び斜面崩壊により、交通量は次の通り減少する。

$$18\% \times 48\% \times 0.5 = 4.2\%$$

東京都被害想定での橋梁の被害率は13%であったから、橋梁の物的個体被害13に対し、機能被害（通行

支障) 8.8%が対応するとする。すなわち、橋梁損傷率の $(8.8/1.3=)$ 6.8倍の機能被害率が生じることとする。

一方、東京都被害想定での道路の陥没(盛土被害)は0%、斜面の崩壊(切土・斜面被害)は6.4%であった。しかし過去の地震事例を見ると道路通行支障をもたらすような路面陥没被害は発生しうると思われる。宮城県沖地震の際に、仙台工事事務所管内指定区間延長452.5km中路面被害3.7kmであり、被害率が0.8%であった。ここでは、震度Ⅵ級の地震を考えていることから、これより被害が大きいものとして1.25倍することとし、被害率を1.0%とする。

よって、路面陥没1.0%及び斜面崩壊6.4%により4.2%の通行低下をもたらすものとする。

このうち、斜面崩壊の影響はほぼ山梨方面の国道について出るものである。国道の交通量のうち、山梨方面の割合は1%程度であるため、斜面崩壊による通行低下は0.1%以下となる。

ここでは、斜面崩壊率6.3%に対し、物的機能被害0.1%が対応するとする。すると斜面崩壊率の $(0.1/6.3=)$ 0.02倍の機能被害率が生じることになる。

路面陥没1.0%に対する交通量低下は、 $(4.2-0.1=)$ 4.1%であり、したがって、路面陥没率の $(4.1/1.0=)$ 4.1倍の機能被害率が生じることになる。

以上より、物的個体被害と物的機能被害の対応は次の通りとなる。なお、このように、以下では物的個体被害から物的機能被害への波及が1を超える場合が多い。これらの数値は波及の可能性を示しているというよりも、物的個体被害の何倍の機能被害が生じるかを示しているものと考えられる。

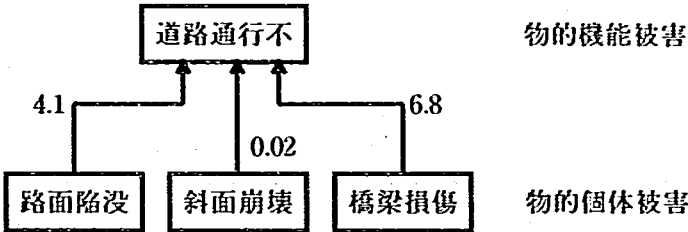


図2. 3-3 道路施設の波及率

②電気施設

電気施設に係わる物的個体被害と物的機能被害の関係は次の通り。

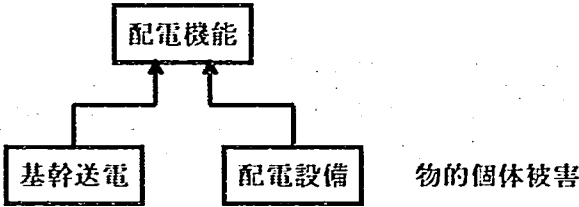


図2. 3-4 電気施設の被害波及

したがって、基幹送電、配電設備個々の被害がどれだけ配電機能(停電)に影響を与えるか、求める必要がある。

東京都被害想定における被害数値を読み替えて次のように設定した。

表2. 3-8 関東地震クラスによる電気施設被害率

基幹送電被害率	配電設備被害率	配電機能被害率(停電)
0.42%	24.6%	32.8%

また、東京都被害想定では、基幹送電レベルでの機能支障率も求められているが、この値は2.0%である。

よって、基幹送電被害率に対して、 $(2.0/0.42=)$ 4.8倍の機能支障が生じ、配電設備については、 $(32.8-2.0=)$ 30.8%の被害が生じることから、配電設備被害率の $(30.8/24.6=)$ 1.3倍の機能支障を生じることとする。

以上より、物的個体被害と物的機能被害の対応は次の通りとなる。

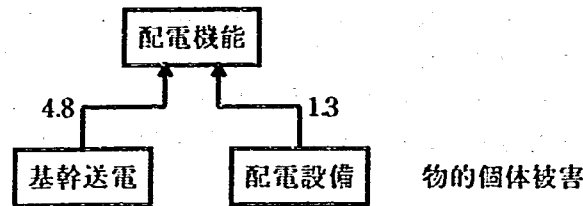


図2. 3-5 電気施設の波及率

③ガス施設

ガス施設に係わる物的個体被害と物的機能被害の関係は次の通り。

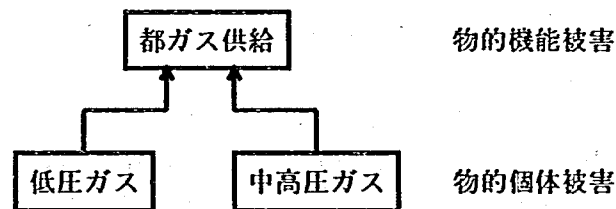


図2. 3-6 ガス施設の被害波及

したがって、低圧ガス、中高压ガス個々の被害がどれだけ都ガス供給に影響を与えるか、求める必要がある。

東京都被害想定における被害数値を読み替えて次のように設定した。

表2. 3-9 関東地震クラスによるガス施設被害率（箇所/km）

低圧ガス被害率	中高压ガス被害率	機能支障率（供給停止）
13箇所 / km	0.04箇所 / km	86.6%

箇所 / kmで表現されているものについて、他の統一の必要上、被害率に直す必要がある。

震災波及構造モデルでは、ガス管の被害は路面陥没、斜面崩壊等による影響を受けている。

これらの被害数量との兼ね合いから、ここでは1箇所あたりの被害長さを100mとし、次のように被害率を設定する。

表2. 3-10 関東地震クラスによるガス施設被害率（%換算）

低圧ガス被害率	中高压ガス被害率	機能支障率（供給停止）
13%	0.4%	86.6%

東京都被害想定において中高压ガスレベルでの機能支障率が求められていないため、低圧ガス、中高压ガス個々の影響を振り分けるのは困難である。したがって、ここでは、電気施設の基幹送電が中高压ガスに、配電設備が低圧ガスに相当するとして、基幹送電と配電設備の与える影響の比を用いる。

基幹送電の影響は配電設備の与える影響の（4.8/1.2=）4.0倍となっている。

これを用いると、低圧ガス被害による機能支障の波及の大きさを x とした場合、

$$13 \times x + 0.4 \times x \times 4 = 86.6$$

であるため、 $x=5.8$ となる。

よって、中高压ガス被害による機能支障の大きさは（5.8×4=）23となる。

以上より、物的個体被害と物的機能被害の対応は次の通りとなる。

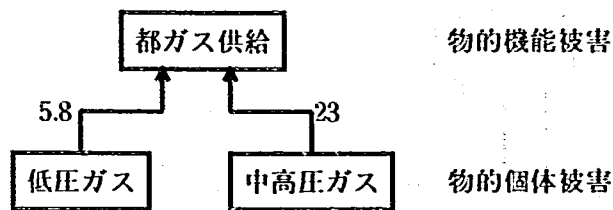


図2. 3-7 ガス施設の波及率

④上水道施設

上水道施設に係わる物的个体被害と物的機能被害の関係は次の通り。

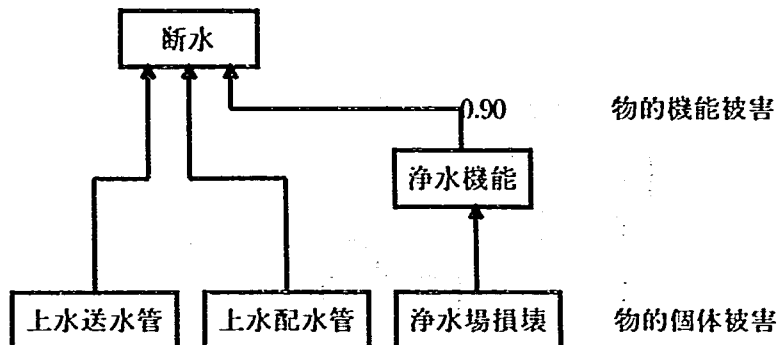


図2. 3-8 上水道施設の被害波及

したがって、上水配水管、浄水場損壊個々の被害がどれだけ浄水機能、断水に影響を与えるか、求める必要がある。

東京都被害想定における被害数値を読み替えて次のように設定した。

表2. 3-11 上水道施設の被害率（箇所/km）

上水送水管被害率	上水配水管被害率	機能支障率（断水）
0.03箇所 / km	0.36箇所 / km	7.8%

ガス管と同様に、1箇所当たりの被害長さを100mとし、次の通り被害率を設定した。

表2. 3-12 上水道施設の被害率（%換算）

上水送水管被害率	上水配水管被害率	機能支障率（断水）
0.3%	3.6%	7.8%

東京都被害想定において送水管レベルでの機能支障率は2.0%とされている。

よって、上水送水管被害率0.3%に対し、機能支障が2.0%であるので、影響の大きさは $(2.0/0.3) = 6.7$ である。

また配水管の影響は、 $(7.8-2.0) = 5.8\%$ であるため、影響の大きさは $(5.8/3.6) = 1.6$ である。

また浄水場被害は東京都被害想定では考慮されていないが、浄水場は点的な施設であるため、ライフライン的な考え方はしなくてよいと考えられるため、浄水場損壊率と浄水機能（給水）の被害率は波及倍率1で結ばれているものとする。

以上より、物的个体被害と物的機能被害の対応は次の通りとなる。

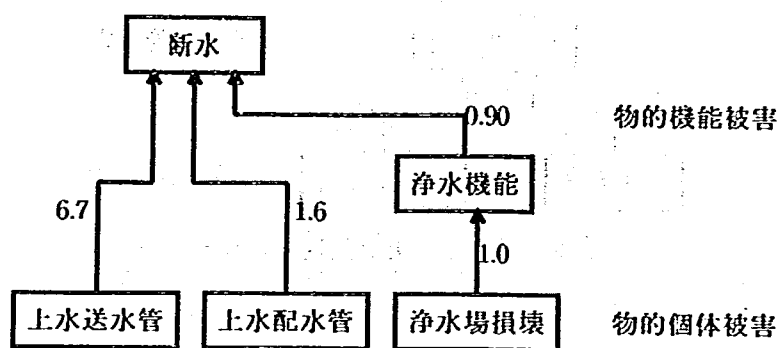


図 2. 3 - 9 上水道施設の波及率

⑤下水道施設

下水道施設に係わる物的個体被害と物的機能被害の関係は次の通り。

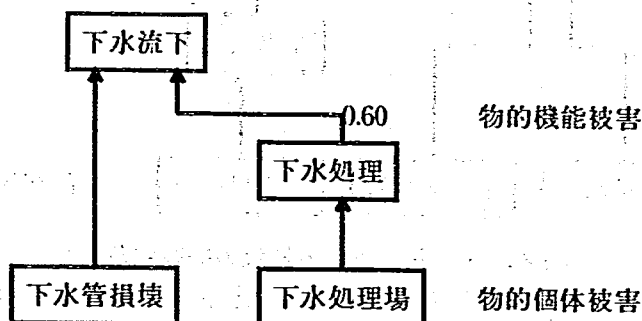


図 2. 3 - 10 下水道施設の被害波及

したがって、下水管損壊、下水処理場損壊個々の被害がどれだけ下水流下、下水処理に影響を与えるか、求める必要がある。

東京都被害想定における被害数値を読み替えて次のように設定した。

表 2. 3 - 13 下水道被害率

下水管損壊率	機能支障率（下水流下）
4.1%	3.9%

よって、下水管損壊率4.1%に対し、機能支障が3.9%であるので、影響の大きさは $(3.9/4.1=)$ 0.95倍である。

また下水処理場被害は東京都被害想定では考慮されていないが、下水処理場は点的な施設であるため、ライフライン的な考え方はしなくてよいと考えられるため、下水処理場損壊率と下水処理機能の被害率は波及倍率1で結ばれているものとする。

以上より、物的個体被害と物的機能被害の対応は次の通りとなる。

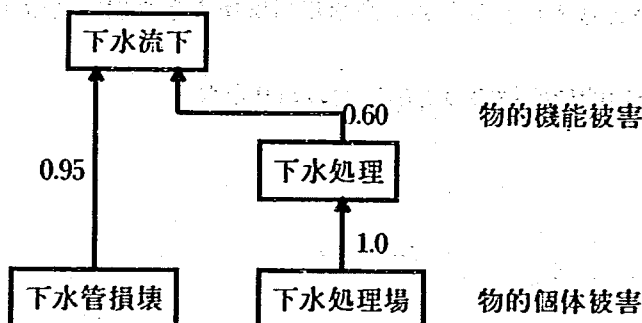


図 2. 3 - 11 下水道施設の波及率

⑥通信施設

通信施設に係わる物的個体被害と物的機能被害の関係は次の通り。

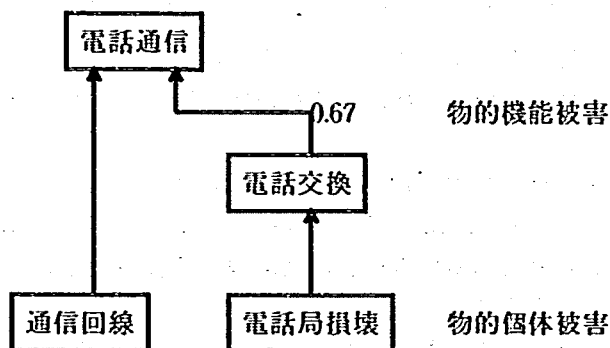


図 2. 3-1-1 通信施設の波及率

したがって、通信回線、電話局損壊個々の被害がどれだけ電話通信、電話交換に影響を与えるか、求める必要がある。

東京都被害想定における被害数値を読み替えて次のように設定した。

表 2. 3-1-4 関東地震クラスによる通信施設被害率

通信回線被害率	機能支障率（不通）
22%	28%

よって、通信回線被害率22に対し、機能支障が28であるので、影響の大きさは $(28/22=)$ 1.3倍である。

また電話局損壊は東京都被害想定では考慮されていないが、電話局は点的な施設であるため、ライフライン的な考え方はしなくてよいと考えられるため、電話局損壊と電話交換機能の被害率は波及倍率1で結ばれているものとする。

以上より、物的個体被害と物的機能被害の対応は次の通りとなる。

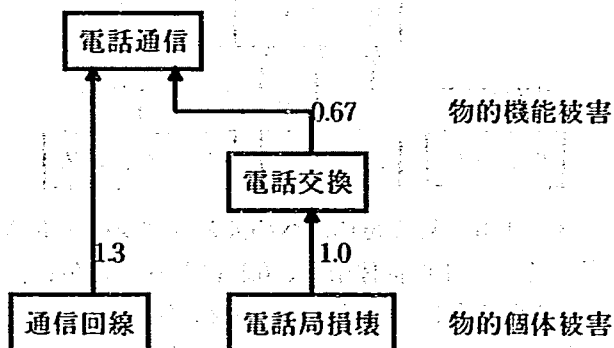


図 2. 3-1-3 通信施設の波及率

（2）火災延焼と死亡重体増の波及倍率の調整

①火災延焼への波及倍率の調整

火災延焼への波及は次の通りとなっている。

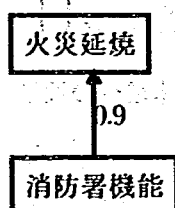


図 2. 3-1-4 火災延焼への波及（アンケート結果）

物的個体被害からの波及倍率では消防署機能の被害率は0.31であるため、火災延焼は0.28となる。これは被害想定での都内の焼失率20%に比較的近い値となっている。

しかし、火災延焼は消防署機能が万全であっても発生するものであり、消防署の機能被害が決定的な要因とはいえない。むしろ、物的個体被害と同様に、それ自体の地震による影響の大きさもあらかじめ設定しておくべきものであるといえる。

東京消防庁の延焼危険度測定では、都内約1万メッシュについて、消防力がある場合とない場合の1時間後の延焼面積を予測しているが、平均的には消防力がない場合の延焼面積はある場合の約2倍となっている。

したがって、消防署機能被害が0である場合に、消防署機能被害が1である場合に比べて火災延焼（焼失率）が半減するように設定することとする。

さらに、消防署機能被害が0.31であるとき、火災延焼が0.20となることを条件としてつげると、これらを満たす設定は次の通りとなる。

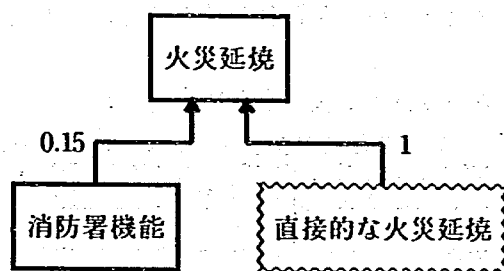


図2. 3-15 火災延焼への波及（波及計算上の設定）

②死亡重体者への波及倍率の調整

死亡重体者への波及は次の通りとなっている。

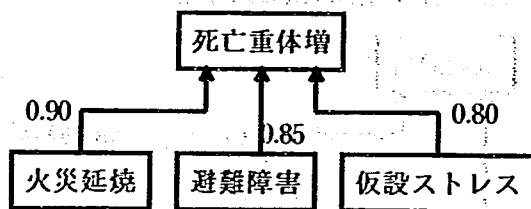


図2. 3-16 死亡重体増への波及（アンケート結果）

物的個体被害からの波及に基づく、死亡重体増は、0.58になる。しかし、この項目を、地震による死傷者（死者+重傷者）の発生率ととらえると、この数値は0.0022である。

したがって、3項目からの波及倍率にそれぞれ、0.0022/0.58を掛け合わせて調整することとする。

この結果、次の通りとする。

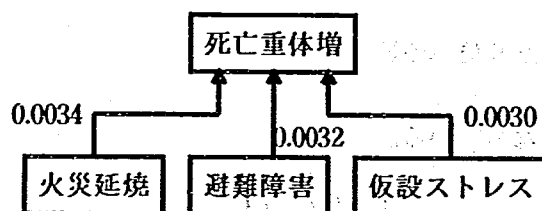


図2. 3-17 死亡重体増への波及（波及計算上の設定）

2. 4 産業連関表との接続による社会経済的影響評価

2. 3までで求められる被害は、物的個体被害から各産業に直接的に波及するものであるが、一旦ある産業に被害が及ぶと、直接地震による被害を受けなかった産業でも、その影響を受けることになる。

この影響を産業連関表を用いることで考慮することとした。

2. 4. 1 産業連関表の概要

産業連関表は、国民経済をいくつかの部門ないしは産業に分割し、それら部門間を循環する財貨・サービスの流れを表形式に示したものである。

産業連関表は次のような形式を持つ。(単位は全て金額(円))

表 2. 4-1 産業連関表の形式

買った部門 売った部門	1	2	.....	j	.....	n	最終需要	総産出額
1	x_{11}	x_{12}	.....	x_{1j}	.....	x_{1n}	F_1	X_1
2	x_{21}	x_{22}	.....	x_{2j}		x_{2n}	F_2	X_2
⋮	⋮	⋮					⋮	⋮
i	x_{i1}	x_{i2}	.....	x_{ij}		x_{in}	F_i	X_i
⋮	⋮	⋮					⋮	⋮
n	x_{n1}	x_{n2}	.....	x_{nj}		x_{nn}	F_n	X_n
付加価値額	V_1	V_2	.....	V_j		V_n	0	$\sum V_j$
総投入額	X_1	X_2	.....	X_j		X_n	$\sum F_i$	S

ここで、次の関係式が成り立つ。

$$\sum_j x_{ij} + F_i = X_i$$

$$\sum_i x_{ij} + V_j = X_j$$

$$S = \sum_i X_i + \sum_j V_j = \sum_j X_j + \sum_i F_i$$

ただし、 x_{ij} : 産業iから産業jへの生産物の投入量

F_i : 産業iの生産物の最終需要

X_i : 産業iの生産物の総産出額

V_j : 産業jの生産物の付加価値額

S : 全産業の(総産出額+付加価値額)

ここで、産業連関を用いた一般的な解析手段として、 x_{ij} 、 V_j と産出量 X_j の間には、次のような線形の関係があるとして、投入係数 a_{ij} 、付加価値率 v_j を定義している。

$$a_{ij} \equiv x_{ij}/X_j, v_j \equiv V_j/X_j$$

このような線形関係は、各産業が生産活動を行う際に、投入される生産物及び付加価値の割合は、生産量に係わらず一定であることを意味する大きな仮定であるが、これにより産業連関分析に基づく実証分析が促進され、その有用性が確認されている。

これを用いて上記の表の各列を V で割ると、次のようになる。

表2. 4-2 投入行列の形式

買った部門 売った部門	1	2	.....	j	.....	n
1	a_{11}	a_{12}	.....	a_{1j}	.....	a_{1n}
2	a_{21}	a_{22}	.....	a_{2j}	.....	a_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
i	a_{i1}	a_{i2}	.....	a_{ij}	.....	a_{in}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n	a_{n1}	a_{n2}	.....	a_{nj}	.....	a_{nn}
付加価値額	v_1	v_2	.....	v_j	.....	v_n
総投入額	1	1	.....	1	.....	1

この行列を投入行列と呼び、本検討での分析にも用いられるものである。

2. 4. 2 地震被害の産業間への影響

地震被害による産業への影響の考え方として2通り考えられる。

一つは、被災地での産業活動の低下分だけ、国内の産出額が減少するという考え方であり、もう一つは、被災地での産業活動の低下分だけ、国内の需要が減少するという考え方である。

このうち、第一の考え方は、国内の全産業の稼働率が100%であって、被災地の産業活動の低下を他の地域で補うことができないため、国内の供給能力が限界に達して、国内の産出額の低下に結びつくという考え方である。

これに対し、第二の考え方は、被災地域での産業による産出額は減少するが、他の地域の産業の稼働率があがってカバーするため、国内全体でみた場合供給能力の限界には達せず、産出額の減少は被災地域での産業活動の低下による需要額の減少によってもたらされるものとする。

一般に稼働率を上げることで供給能力の低減を考える必要のない産業が多いと考えられるため、第二の考え方をとることとする。

産業の需要を縦方向のベクトルとして並べこれを F とした場合、需要によって誘発される生産量を表すベクトル X は、単位行列を I 、投入行列を A とした場合、次の式で表される。

$$X = (I - A)^{-1} F$$

これを行列でかくと次の通り。

$$\begin{array}{c} X \\ \text{産業1} \\ \vdots \\ \text{産業}n \end{array} \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & \vdots & 0 \\ 0 & \ddots & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a_{11} & \vdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \vdots & a_{nn} \end{pmatrix} \right\}^{-1} \begin{pmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_n \end{pmatrix}$$

地震時の影響を調べるためには、平常時の F を入力した場合の X と、地震時の影響による需要の減少を考慮した F を入力した場合の X を求めて、その比をとれば、地震の影響による産出額の低下率を求めることができる。

2. 5 復旧の影響

震災による経済的影響を評価する上では、復旧の影響を考慮していく必要がある。

第一に、地震後の被害の時間と復旧率の関係である復旧曲線を考慮して、年間ベースでの平均的な被害率を導く。

第二に、上記の場合、復旧期間を被害量とは別に入力する必要があるが、両者の間には本来ある程度の相関があると考えられる。このため、この関係を設定し、最終的には地震直後の物的個体被害率のみを入力条件とするよう修正することとする。

なお、道路、鉄道等の交通施設については、過去の事例において、被災地域全体レベルでの具体的な交通量の減少等のデータが得にくいため、復旧曲線を設定するほどの精度は得られない。またライフライン施設のように各世帯に供給するといった性質のものではないため、被災地域全体で見た復旧率といったものも定義しにくく、本来個別のネットワークを考慮して検討するべきものと考えられる。したがって、交通施設については、簡便に、復旧曲線は線形とし、被害の大きさと完全復旧に要する日は比例するものとする。

また、その他の産業や住宅施設においても、具体的な復旧状況等は判明しにくいため、交通施設と同様に簡便に扱うこととする。

2. 5. 1 復旧曲線の設定

本調査では大都市域における震災を対象として検討している。このような大都市域における震災として平成7年1月に阪神大震災が発生した。以下に、この震災の事例をもとに、各ライフラインにおける地震後の時間経過と復旧率の関係を設定することとする。

① 上水道

阪神大震災時の、神戸市と西宮市の上水道復旧率は次の通り。

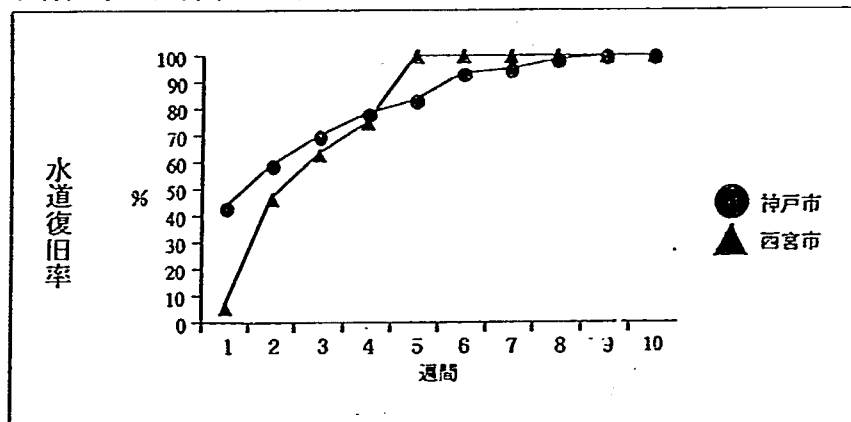


図2. 5-1 神戸市、西宮市の上水道復旧曲線

復旧日数は、概ね神戸市で8週間、西宮市で6週間である。

復旧曲線は、全般的に上に凸の曲線をもって初期の断水率から100%の復旧率に推移する。この曲線に多少の形状の違いはあると思われるが、一概にどの曲線が今後発生する地震の際の復旧曲線に近いのか、論理的に検討するのは困難である。今回の検討は大都市域であることから、神戸市の復旧状況を例に、復旧日数の変数として復旧曲線を求めることとした。

このため、復旧日（10週間）を1時間単位とした場合の、0.1時間単位ごとの地震後の日数と、復旧率の関係を次の式で表し、パラメータを求めることとした。

$$y=100/(1+a \times \exp(-b \times x))$$

近似の結果は次の通り。

$$a=2.8, b=0.60, \text{決定係数}0.98$$

また復旧日を1として正規化すると、 $b=6.0$

このグラフは、次の通り。

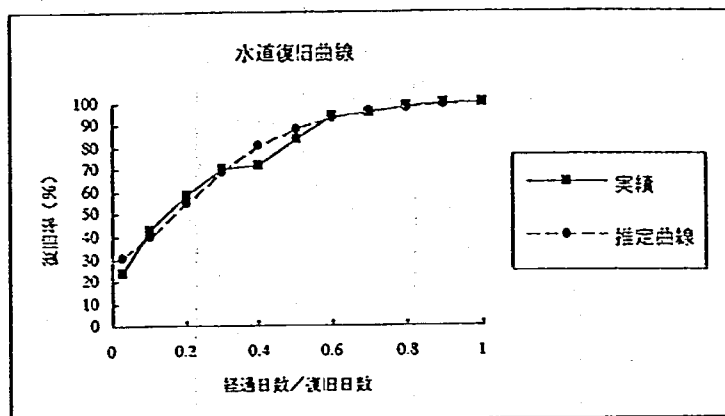


図2. 5-2 上水道復旧曲線のあてはめ

以上のように、復旧日を指標として、地震発生後の日数と復旧率の関係を設定することとする。なお、上記の式で計算すると、地震後の日数0での復旧率が27%になってしまう点が実状に合わないが、長期的に見た場合の地域の生産額の低下を求めるという意味では、初期の誤差はほとんど影響がないので、この点については特別な配慮は行わないこととする。

② 電気

阪神大震災時の停電地域における経過日数と電気復旧率の関係は次の通り。

表2. 5-1 阪神大震災時の電気復旧率の経過

日数(日)	復旧率(%)
1	50
2	80
3	89
4	94
5	97
6	99
7	99

この関係を次の数式で近似する。

$$y=100/(1+a \times \exp(-b \times x))$$

近似の結果は次の通り。

$$a=2.8, b=1.1, \text{ 決定係数}0.99$$

また復旧日を1として規格化すると、 $b=7.7$

このグラフは、次の通り。

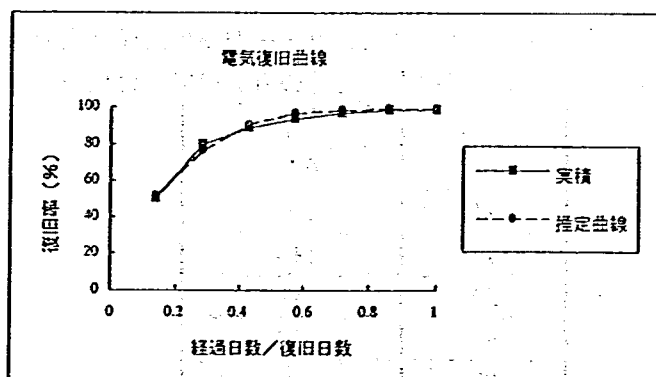


図2. 5-3 電気復旧曲線のあてはめ

③ 電話

阪神大震災時の電話不通地域における経過日数と電話復旧率の関係は次の通り。

表 2. 5 - 2 阪神大震災時の電話復旧率の経過

日数 (日)	復旧率 (%)
6	3.2
8	9
10	20
11	29
12	40
13	53
14	70
15	86
16	100
17	100
18	100

この関係を次の数式で近似する。

$$y=100/(1+a \times \exp(-b \times x))$$

近似の結果は次の通り。

$$a=3.9 \times 10^3, b=0.66, \text{ 決定係数 } 0.99$$

また復旧日を1として規格化すると、 $b=11$

このグラフは、次の通り。

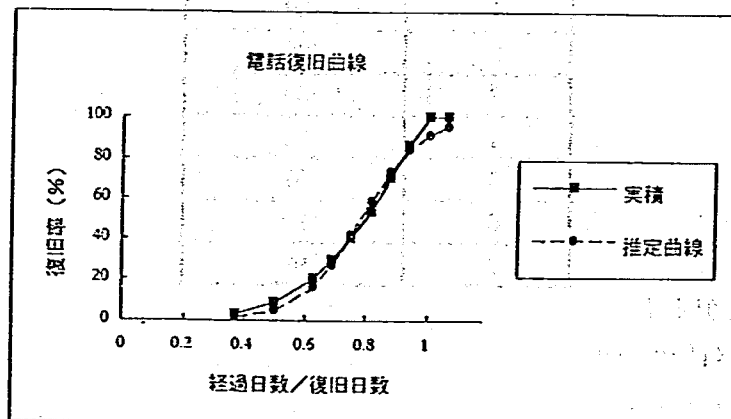


図 2. 5 - 4 電話復旧曲線のあてはめ

④ ガス

阪神大震災時のガス供給停止地域における経過日数とガス復旧率の関係は次の通り。

表 2. 5 - 4 阪神大震災時のガス復旧率の経過

日数 (日)	復旧率 (%)
8	0.1
14	4.5
19	12.7
30	41
58	87
85	100

この関係を次の数式で近似する。

$$y=100/(1+a \times \exp(-b \times x))$$

近似の結果は次の通り。

$a=53$, $b=0.11$, 決定係数0.99

また復旧日を1として規格化すると、 $b=9.4$

このグラフは、次の通り。

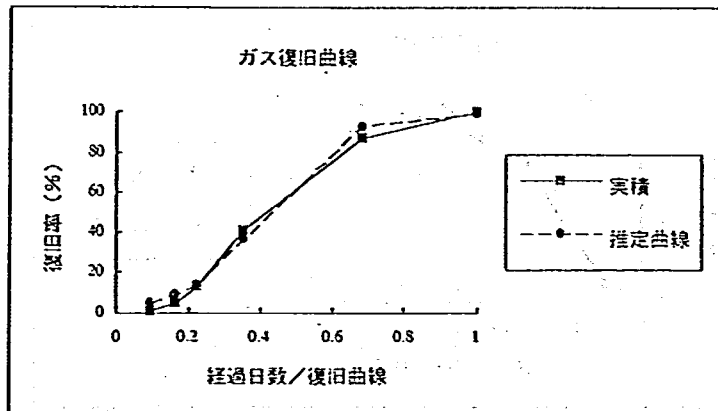


図2. 5-5 ガス復旧曲線のあてはめ

⑤ 下水道

下水道については、明確な復旧世帯数のデータが得られないため、排水設備の修理受付件数より、推定する。神戸市における各月の修理受付件数は次の通り。

表2. 5-5 阪神大震災後の排水設備修理受付件数

	修理受付件数
1月	1392
2月	7293
3月	3347
4月	1426
5月	1006
6月	671
7-8月	1463
9月	671

2月から6月にかけては減少傾向が見られるが、6月以降は、修理受付件数が6~700件台で推移しており、このような減少傾向は見られないため、通常時でも発生する程度の修理件数（6月以降の平均修理件数は約700件）と考えることとし、5月末にほぼ復旧したとみなすこととする。

すると、1月から5月の修理件数データより、通常時の平均修理件数を引いたものを震災に対する修理件数とした場合、地震直後の機能支障数は、11600世帯であり、地震後の日数と復旧率の関係は次の通りとなる。

表2. 5-6 阪神大震災時の下水道復旧率の経過（推定）

日数（日）	復旧率（%）
14	9
42	67
73	90
103	97
134	100

この関係を次の数式で近似する。

$$y=100/(1+a \times \exp(-b \times x))$$

近似の結果は次の通り。

$$a=31, b=0.096, \text{決定係数}0.99$$

また復旧日を1として規格化すると、 $b=13$ 。

このグラフは、次の通り。

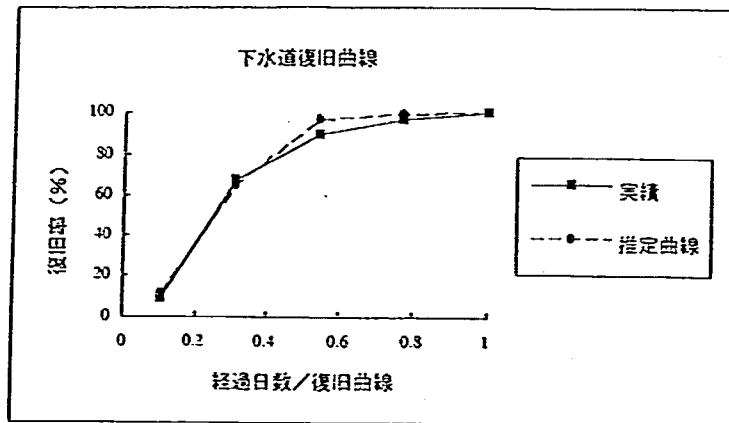


図2. 5-6 下水道復旧曲線のあてはめ

⑥ 他の施設

他の施設については、復旧曲線は線形とする。

したがって、復旧日を正規化して1とした場合、

$$y=100x$$

により、復旧率を表現することとする。

ただし、 y ：復旧率

x ：基準化された経過日数

2. 5. 2 被害と復旧所用日数の関係

物的個体被害を考える場合、物的個体被害率または物的個体被害数の2通りの指標が考えられる。ただし、各ライフライン等の施設の被害は多岐にわたるため、そのうちいずれの被害を復旧期間と対応させるかの決定が多少困難である。その点、機能支障（電気の場合、停電率や停電戸数）の場合、メインとなる機能被害は1種類であるので困難は生じない。また個体被害については、水道以外では、復旧日数との相関をとるほど統一的なデータが過去の事例から得られなかった。このため、水道については、個体被害、機能支障の両方について相関を見ることとするが、他の施設については、機能支障との関係のみを見ることとする。

過去事例としてとりあげたのは、以下の地震である。

兵庫県南部地震
北海道南西沖地震
釧路沖地震
浦河沖地震
日本海中部地震
宮城県沖地震

① 上水道

水道の機能支障である断水と復旧の関係は次の表の通り。

なお、対象地域がはっきりしないものについては、「被災地域」としている。他の施設についても同様。

表 2. 5-7 過去の地震時の上水道被害と復旧日数の関係

		断水世帯数(世帯)	断水世帯率(%)	復旧日数(日)
兵庫県南部地震	神戸市	495000	76	56
	西宮市	154000	94	42
三陸はるか沖地震	八戸市	30000	-	6
北海道東方沖地震	根室市	8600	-	8
北海道南西沖地震	被災地域	18000	-	16
釧路沖地震	被災地域	1060	12	5
浦河沖地震	浦河町	4300	97	8
日本海中部地震	能代市	22000	-	23
宮城県沖地震	仙台市	7000	3.5	11

上記の表における各被害量と復旧日数の関係をグラフにすると次の通りとなる。

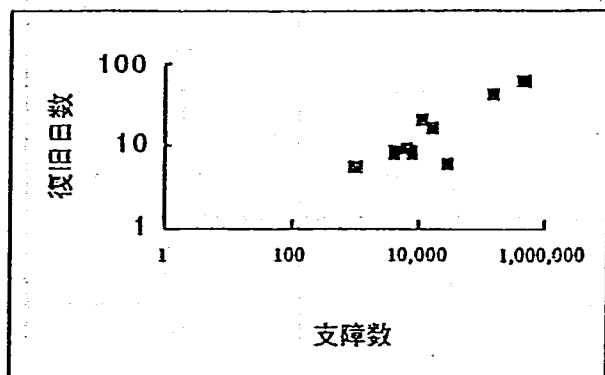


図 2. 5-7 上水道支障数と復旧日数の関係

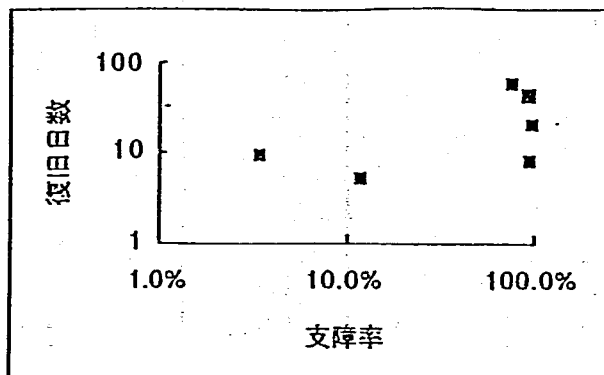


図 2. 5-8 上水道支障率と復旧日数の関係

支障率に相関が見られないのに対して、支障数とは高い相関が見られる。

支障数と復旧日数の関係について、次の曲線によるあてはめを試みる。

$$T=a \times \log (b x+c)$$

ただし、 T : 復旧日数

x : 機能支障数

a, b, c : パラメータ

あてはめた結果は次の通り。

$$a=33, b=0.000088, c=13, \text{決定係数} 0.90$$

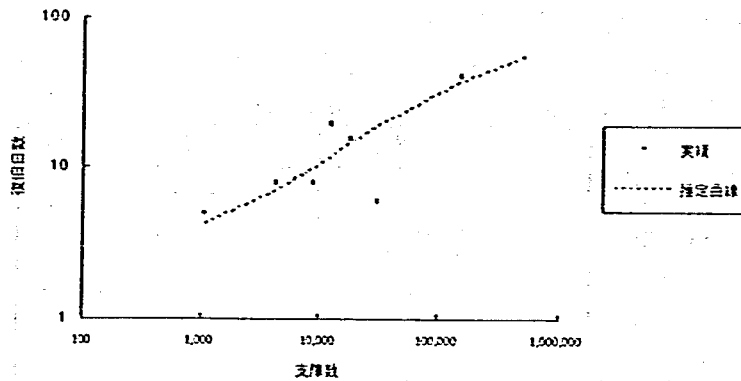


図2. 5-9 上水道支障数と復旧日数の関係あてはめ

② 電気

電気について、機能支障との関係を見ることとする。停電世帯数、停電率と復旧日数の関係は次の通り。

表2. 5-8 過去の地震時の電気被害と復旧日数の関係

		停電世帯数(世帯)	停電世帯率(%)	復旧日数(日)
兵庫県南部地震	被災地域	1000000	76	6
三陸はるか沖地震	八戸市	12000	—	2
北海道東方沖地震	被災地域	46000	—	1.5
北海道南西沖地震	被災地域	20000	—	1
釧路沖地震	被災地域	58000	6.5	1
浦河沖地震	被災地域	10000	—	1
日本海中部地震	被災地域	23000	6.5	0.5
宮城県沖地震	仙台市	230000	100	1.5

これらをグラフにすると次の通りとなる。

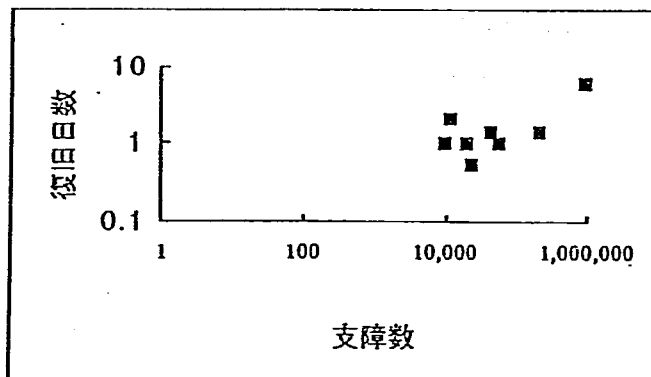


図2. 5-10 電気支障数と復旧日数の関係

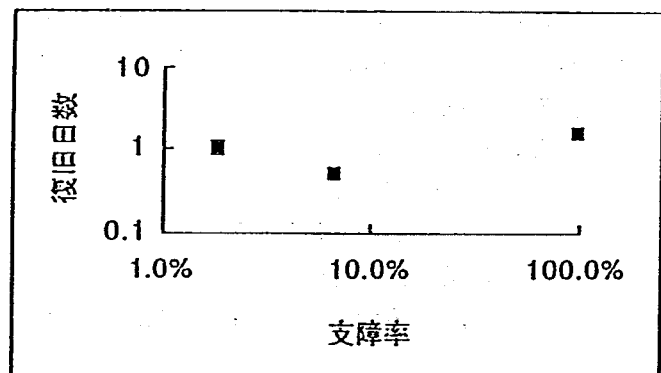


図2. 5-11 電気支障率と復旧日数の関係

停電については、復旧日数がほとんど1日前後の場合が多く、またデータが少ないという問題があるため、相関が強く出るわけではないが、水道の場合と同様に、支障数との関係では右上がりの傾向が見られるのに対し、支障率では相関が見られない。

支障数と復旧日数との関係を上水道と同様に次の曲線で近似した。

$$T = a \times \log(bx + c)$$

ただし、 T : 復旧日数

x : 機能支障数

a, b, c : パラメータ

あてはめた結果は次の通り。

$a=2.3$ 、 $b=0.000038$ 、 $c=1.5$ 、決定係数0.61

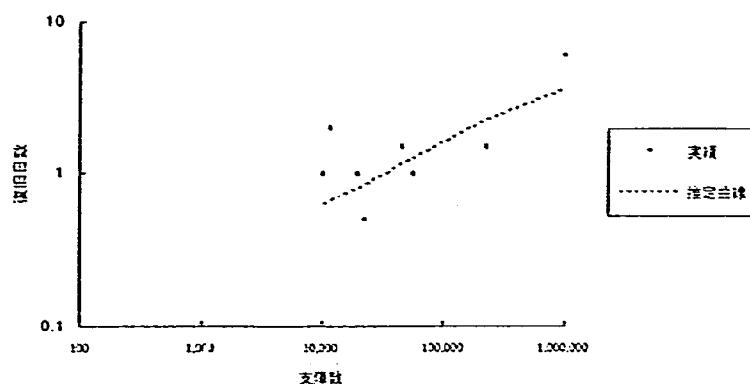


図2. 5-12 電気支障数と復旧日数の関係あてはめ

③ 電話

不通世帯数、不通率と復旧日数の関係は次の通り。

表2. 5-9 過去の地震時の電話被害と復旧日数の関係

		不通世帯数(世帯)	不通世帯率(%)	復旧日数(日)
兵庫県南部地震	被災地域	285000	—	15
三陸はるか沖地震	被災地域	22400	—	11
北海道東方沖地震	被災地域	4500	—	6
北海道南西沖地震	被災地域	4000	—	7
釧路沖地震	被災地域	1350	—	4
浦河沖地震	被災地域	680	—	2
日本海中部地震	被災地域	800	—	2
宮城県沖地震	仙台市	2800	—	7

これをグラフにすると次の通りとなる。

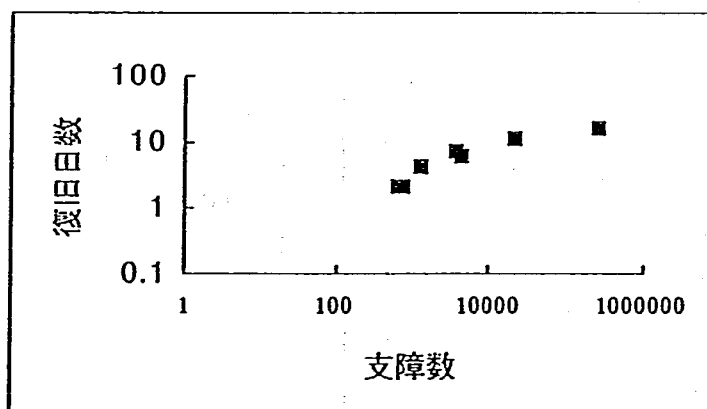


図2. 5-13 電話支障数と復旧日数の関係

支障数と復旧日数の間には、高い相関が見られる。

支障数と復旧日数との関係を上水道と同様に次の曲線で近似した。

$$T = a \times \log(bx + c)$$

ただし、 T : 復旧日数

x : 機能支障数

a, b, c : パラメータ

あてはめた結果は次の通り。

$a=4.6$ 、 $b=0.0073$ 、 $c=-2.6$ 、決定係数0.99

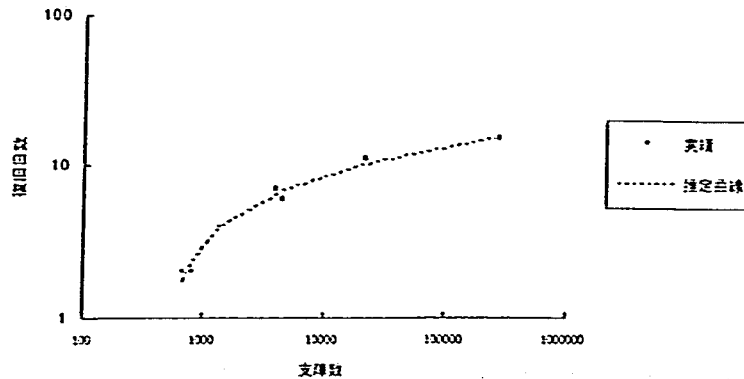


図2. 5-14 電話支障数と復旧日数の関係あてはめ

④ ガス

ガスについても機能支障との関係のみを見ることとする。供給停止世帯数、供給停止率と復旧日数の関係は次の通り。

表2. 5-10 過去の地震時のガス被害と復旧日数の関係

		供給停止世帯数 (世帯)	供給停止世帯率 (%)	復旧日数 (日)
兵庫県南部地震	被災地域	857000	—	85
三陸はるか沖地震	八戸市	300	—	4
北海道南西沖地震	被災地域	1400	100	14
釧路沖地震	被災地域	9300	13	22
日本海中部地震	被災地域	15000	16	30
宮城県沖地震	仙台市	135000	100	27

これらをグラフにすると次の通りとなる。

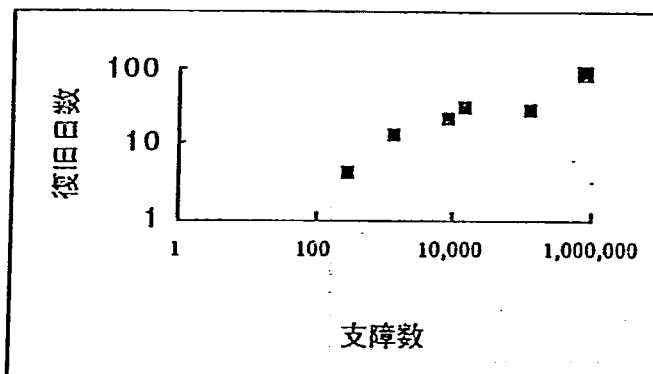


図2. 5-15 ガス支障数と復旧日数の関係

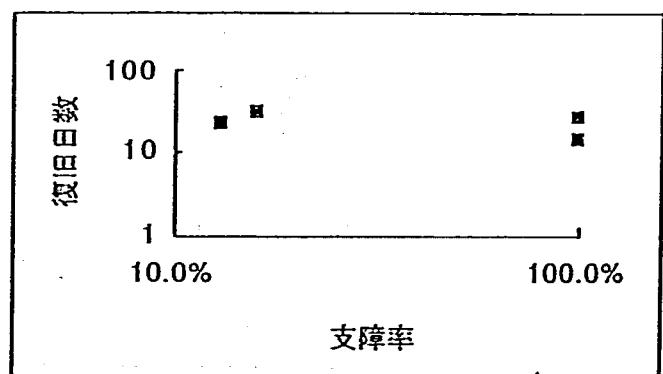


図2. 5-16 ガス支障率と復旧日数の関係

グラフを見ると、上水道等と同様に支障数の方が支障率よりも相関が高い傾向にある。

支障数と復旧日数との関係を上水道と同様に次の曲線で近似した。

$$T = a \times \log(bx + c)$$

ただし、 T : 復旧日数

x : 機能支障数

a, b, c : パラメータ

あてはめた結果は次の通り。

$a=34$ 、 $b=0.00014$ 、 $c=1.8$ 、決定係数0.83

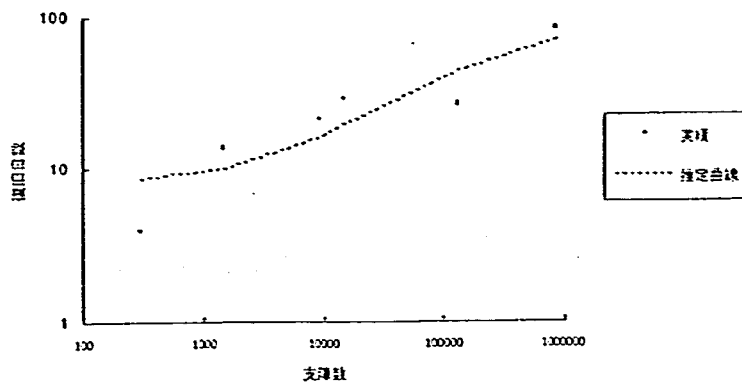


図2. 5-17 ガス支障数と復旧日数の関係あてはめ

⑤ 下水道

下水道については、一般家庭レベルでの機能支障についてのデータを得ることができなかった。兵庫県南部地震後の神戸市では、下水道工事業者が当初水道の復旧作業に手をとられたとされている。このような事例を参考に、下水道の復旧所用日数は、上水道の復旧所用日数と同じ曲線の形状をもつものと考えることとする。

上水道の復旧所用日数は、次の通りとした。

$$T=a \times \log(bx+c)$$

ただし、 T : 復旧日数

x : 機能支障数

a, b, c : パラメータ

$a=33$ 、 $b=0.000088$ 、 $c=1.3$ 、決定係数0.90

神戸市の場合、上水道の機能支障数が495000であるときに、復旧日数が56日であった。これに対して、下水道の機能支障数は11600であり、復旧日数は134日（5月末で完全復旧とした）であった。

下水道の復旧所用日数を上水道と同様に、次の通りとする。

$$T=a' \times \log(b'x'+c')$$

上水道の復旧日数と下水道の復旧日数が、同じ曲線を持つものとするれば、次の関係が成り立つ。

$$T/a=T'/a'$$

$$bx=b'x'$$

$$c=c'$$

これに神戸市のデータを代入すると、下水道の場合のパラメータが得られる。これは次の通り。

$a'=79$ 、 $b'=0.0038$ 、 $c'=1.3$

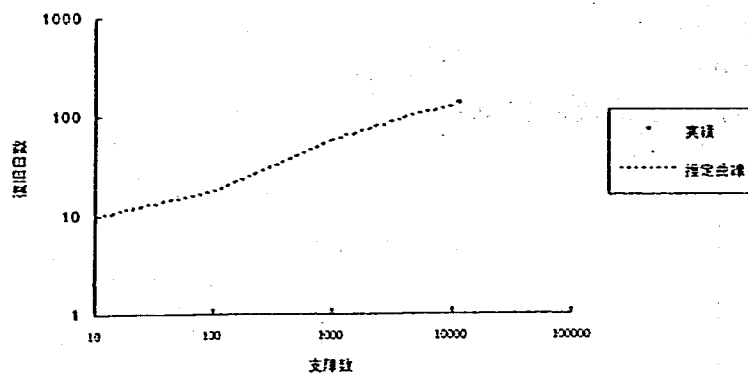


図2. 5-18 下水道支障数と復旧日数の関係推定

⑥ 他の施設

他の施設のうち、交通施設については、被害箇所数と復旧（機能支障の影響が見られなくなる）日数が比例するものとみなして、兵庫県南部地震の事例をもとに、この関係を設定することとする。また交通施設以外の産業施設については、復旧作業を行う主体が個々に異なるので、被害箇所数によらず復旧日数は変化しないこととする。

兵庫県南部地震時の施設の被害と復旧日数の関係を表2. 5-11の通りとする。ただし、物的個体被害の数値が分からないものについては、次章の兵庫県南部地震による検証において用いるための機能支障の数値を示した。なお、各種のデータは、とられている地域が一律でないという問題があるが、ここでは、被災の状況を定量的に把握するため、さしあたり神戸市、芦屋市、西宮市、尼崎市、宝塚市、明石市、及び淡路島の北部地域を含む7市6町を中心被害地域とし、各種データがこれらの地域について得られているものとして、インプットを設定した。ただし、上記中心被害地は人口約300万人、約120万世帯である。

表 2. 5 - 1 1 阪神大地震時の被害と復旧日数の関係

	地震直後の被害量及び被害率	復旧期間	年間ベースでの支障率
道路施設	道路主要被害→支障率（交通量減少率）10%	3年	8.5%
鉄道施設	鉄道主要被害→支障率（輸送量減少率）100%	8カ月	33%
港湾施設	港湾護岸損壊→使用可能なのは5/170支障率97%	3年	80%
河川施設	住宅冠水等→0	—	0%
空港施設	空港滑走路損壊→被害はほとんどなし	—	0%
電力施設	電力供給→支障率（停電率）83%	1週間	0.13%
ガス施設	ガス供給→支障率（停止率）71%	3カ月	5.8%
上水道施設	断水→支障率（断水率）79%	2カ月	3.0%
下水道施設	下水流下→支障率（排水支障率）2.2%	3カ月	0.25%
通信施設	電話通信支障→25%	2週間	0.64%
商業関連施設	一般建築施設損壊→被害率16%	1年	8.0%
金融関連施設	一般建築施設損壊→被害率12%	1カ月	0.50%
サービス関連施設	一般建築施設損壊→支障率12%	1年	6.0%
医療関連施設	一般建築施設損壊→支障率6%	1年	3.0%
教育関連施設	一般建築施設損壊→支障率4%	1カ月	0.16%
行政関連施設	一般建築施設損壊→被害率11%	1カ月	0.46%
報道関連施設	一般建築施設損壊→被害率12%	1カ月	0.50%
住宅関連施設	一般建築施設損壊→被害率10% 火災延焼→焼失率0.6%	3年	8.8%
生産関連施設	生産工場損壊→被害率31% 農地損壊・浸水→0	1年	15% 0%

（注）年間ベースの支障率の計算方法については、2. 5. 3に述べる。

以下に同表のライフライン以外の施設の被害率と復旧期間の根拠について述べる。まず、一般建築物被害については、用途によって被害率に違いがあると考えられることから、日本建築学会の用途別被災度集計結果のうち、「倒壊又は崩壊」+「大破」率を用いている。また、復旧日数も施設によって異なることを考慮した。建築物被害設定の考え方は次の通りである。

現状で、参考になるのは建築研究所の「平成7年兵庫県南部地震被害調査中間報告書」での被災度ランクと用途のクロス集計結果である。

集計結果のうち、「倒壊又は崩壊」、「大破」を活動を続けるのに支障がある被害と考え、用途別の被害率は次の通りとなる。

表 2. 5 - 1 2 阪神大震災時の用途別被害率

	ホテル	事務所	住宅	店舗	工場	倉庫	学校	病院	庁舎	駐車場	会館	その他	複合
被害率	0.12	0.12	0.10	0.16	0.31	0.15	0.04	0.06	0.11	0.13	0.17	0.13	0.17

本調査の対象施設をこれらの用途（及びその被害率）との間には、次の対応が考えられる。

表 2. 5 - 1 3 本調査の施設分類別の被害率対応

施設	商業	金融	サービス	医療	教育	行政	報道	住宅	生産
用途	店舗	店舗	事務所	病院	学校等	庁舎	事務所	住宅	工場
被害率	0.16	0.16	0.12	0.06	0.04	0.11	0.12	0.10	0.31

また復旧については、一般には公共性の強いものほど、また機器損傷の影響を受けにくいものほど活動再開は早いと考えられる。

このようなものとして、教育、行政、報道、金融が考えられる。例えば行政、報道などでは不十分ながらも地震当日でも活動が行われている。ただし、活動再開が早いとしても、本来の機能が十分に発揮できるとはいえない。

このほかの産業については、大規模な企業ほど復旧が早いという傾向があると思われるが、生産額的にみてどのくらいでほぼ復旧しているかのデータはまだ得られていない。「兵庫県南部地震（阪神大震災）被害、影響と復興対策について」（財団法人関西産業活性化センター、1995.2）では、損失額の推計にあたって、被災地の生産停滞期間を“おおむね半年以内に生産活動が復旧する場合”と“産業によってはさらに復旧が遅れ最大1年程度かかる場合”の両ケースを検討している。ここでは、後者のケースを参考に、各産業がおおむね復旧に1年を要すると見ることとする。

以上のような点を考慮し、次のように復旧日数を設定することとする。

表2. 5-14 施設別の復旧所用日数

施設	完全復旧所用日数
教育、行政、報道、金融	1ヶ月
商業、サービス、医療、生産	1年
住宅	3年

ここでは上記の設定に基づき、交通施設については、被害量と復旧日の関係を $y=ax$ のかたちで、線形近似することとする。ただし、 y が復旧日で、 x が支障率であるとする。またその他の施設については、兵庫県南部地震における復旧日数で一定であるとし、以下の通り復旧日数を設定する。

表2. 5-15 施設別の被害率と復旧日数の関係

道路施設	$y=(3\text{年} / 10\%) \times x$
鉄道施設	$y=(8\text{ヶ月} / 100\%) \times x$
港湾施設	$y=(3\text{年} / 97\%) \times x$
河川施設	—
空港施設	—
商業関連施設	$y=1\text{年}$
金融関連施設	$y=1\text{ヶ月}$
サービス関連施設	$y=1\text{年}$
医療関連施設	$y=1\text{年}$
教育関連施設	$y=1\text{ヶ月}$
行政関連施設	$y=1\text{ヶ月}$
報道関連施設	$y=1\text{ヶ月}$
住宅関連施設	$y=3\text{年}$
生産関連施設	$y=1\text{年}$

上記の設定の意味について簡単に説明する。

例：道路

道路の場合、兵庫県南部地震の地震後の機能支障率（通行量）が約10%減少しているものとし、道路の機能支障が完全に消えるまでに3年を要するものとした。ここで道路被害の影響について、次の仮定をおく。

- ・機能支障率と物的個体被害の規模の間には比例関係がある。
- ・物的個体被害の規模と復旧日数の間には比例関係がある。

すると、一般の地震について、機能支障率と復旧日数の間に比例関係があることになる。つまり、機能支障率を x 、復旧日数を y とした場合に、 $y=ax$ の関係が成り立つ。このうち、パラメータ a を兵庫県南部地震の

データより求める。 $a=y/x$ であるが、兵庫県南部地震で $y=3$ 年、 $x=10\%$ であるので、 $=3\text{年}/10\%$ である。したがって、 $y=3\text{年}/10\% \times x$ の関係が成り立つことになる。

なお、道路等については、特定の事業者が、全ての道路を直すことになるので、このように物的個体被害と復旧日数の間に比例関係があるものとしたが、一般建築物については、基本的に壊れた建築物を個々の所有者が直すことになるため、物的個体被害率によらず、復旧日数は一定とした。

2. 5. 3 復旧の影響の設定

2. 5. 2 までで復旧の影響を考慮する方法を決定した。震災波及過程モデルに組み込む上では次のように設定する。

まず、復旧曲線の考慮は次の通りとする。

地震直後の機能支障率を k とし、地震発生からの経過時間 t における復旧率を示す曲線を $f(t)$ とした場合、地域の機能支障率は

$$k\{1-f(t)\}$$

である。したがって、復旧日を T とした場合、年間ベースでの平均的な被害率は、1年間を T_0 とした場合、

$$\frac{1}{T_0} \int_0^T k\{1-f(t)\} dt \quad : T_0 > T \text{ の場合}$$

$$\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} k\{1-f(t)\} dt \quad : T_0 < T \text{ の場合}$$

である。

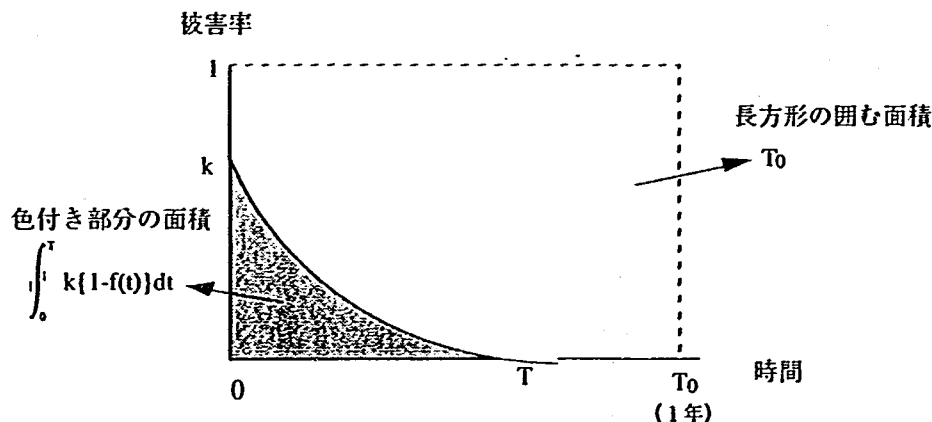


図2. 5-19 年間ベースでの被害率計算イメージ ($T_0 > T$ の場合)

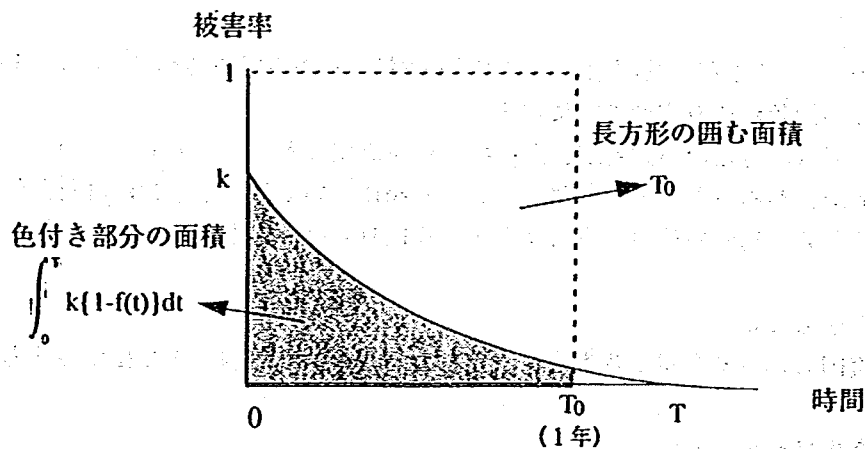


図2. 5-20 年間ベースでの被害率計算イメージ ($T_0 < T$ の場合)

一方、先に求めたように復旧日を1に基準化する場合には、上式において、 $T \rightarrow 1$ の置き換えをすることになるので、 $t \rightarrow t/T$ 、 $T_0 \rightarrow T_0/T$ を同時に行う必要がある。ここで、改めて $t/T \rightarrow t$ とおけば、上式は次の通りとなる。

$$\text{年間ベースでの機能支障率} : \frac{T}{T_0} \int_0^1 k\{1-f(t)\}dt$$

この式に、先に得た、復旧曲線の式及び、機能支障数と復旧日の関係式を代入すれば、年間ベースでの機能支障率が機能支障数から求められることになる。

上水道、電気、電話、ガス、下水道についての復旧曲線の式及び機能支障数と復旧日数の関係式はそれぞれ、2. 5. 1および2. 5. 2において次の通りとした。

表2. 5-16 復旧に関して導出した式

	復旧曲線の式 $f(t) = 1/(1+a \times \exp(-bt))$	機能支障数 x と復旧日数 T の関係式 $T = a \times \log_{10}(bx+c)$
上水道	$a=2.8, b=6.0$	$a=33, b=0.000088, c=1.3$
電気	$a=2.8, b=7.7$	$a=2.3, b=0.000038, c=1.5$
電話	$a=3.9 \times 10^3, b=11$	$a=4.6, b=0.0073, c=-2.6$
ガス	$a=53, b=9.4$	$a=34, b=0.00014, c=1.8$
下水道	$a=31, b=13$	$a=79, b=0.0038, c=1.3$

上式のうち、積分の部分については、復旧曲線の式を代入することで数値化できる。この値は、地震直後の被害率と、地震直後から復旧日までの平均被害率の比率を表すものであり、それぞれ次の通りである。

表2. 5-17 積分値の値 (地震直後の被害率と、地震直後から復旧日までの平均被害率の比率)

	$\int_0^1 \{1-f(t)\}dt$ の値
上水道	0.22
電気	0.17
電話	0.75
ガス	0.42
下水道	0.27

直線的に復旧が進むと考えた場合、上記に相当する値は0.5である。ロジスティック曲線を考えたことにより、0.5という値からばらつきが生じ、より実態に近くなったものと考えられる。電話は直線的に復旧が進む場合よりも、復旧の進みが遅く、その他は直線的に復旧が進む場合よりも、復旧の進みが速く経済的な影響はより小さくなる。例えば電気の場合は、0.17という数値であるため、直線的な復旧を考える場合よりも、実際には経済的な影響は約 $1/3(=0.17/0.5)$ になると考えられる。

上記の結果に機能支障数と復旧日数の関係式を代入すれば、最終的な結果が得られる。地震直後の機能支障率 k と年間ベースでの機能支障率の関係は、 $T_0=365$ 、地域の世帯数を s として、次の通りとなる。

表2. 5-18 年間ベースでの機能支障率（ライフライン）

	年間ベースでの機能支障率
上水道	$0.020 \times k \times \log_{10}(0.000088ks + 1.3)$
電気	$0.0010 \times k \times \log_{10}(0.000038ks + 1.5)$
電話	$0.0095 \times k \times \log_{10}(0.0017ks - 0.21)$
ガス	$0.039 \times k \times \log_{10}(0.00014ks + 1.8)$
下水道	$0.058 \times k \times \log_{10}(0.0038ks + 1.3)$

ライフライン以外の施設については、兵庫県南部地震の事例を用いた被害量と復旧日数の関係を用いることとした。この結果、地震直後の支障率 k と年間ベースでの支障率との関係は次の通りとなる。（ただし、住宅については復旧に3年を要するとしたので、最初の1年間の年間ベースでの支障率を示した。）

表2. 5-19 年間ベースでの機能支障率（ライフライン以外の施設）

道路施設	$k \times 5/6$ （復旧>1年）
鉄道施設	$k \times 1/3$
港湾施設	$k \times 5/6$ （復旧>1年）
河川施設	—
空港施設	—
商業関連施設	$k \times 1/2$
金融関連施設	$k \times 1/24$
サービス関連施設	$k \times 1/2$
医療関連施設	$k \times 1/2$
教育関連施設	$k \times 1/24$
行政関連施設	$k \times 1/24$
報道関連施設	$k \times 1/24$
住宅関連施設	$k \times 5/6$
生産関連施設	$k \times 1/2$

表2. 5-18および表2. 5-19を用いて、与えられた地震直後の被害率 k と世帯数 s を与えれば、表2. 5-11の右欄に示した年間ベースでの機能支障率が計算される。

ここに、表2. 5-11中の機能支障率は、上水道、下水道については表2. 5-7、電気、電話、ガスについては表2. 5-8～表2. 5-10の兵庫県南部地震の値を用いている。

2. 5. 4 震災波及過程モデルへの適用

震災波及過程モデルにおける波及計算により年間ベースでの被害率を出す上では、波及計算が物的個体被害を入力として始まることを踏まえて、検討する必要がある。

第一に、物的個体被害からの直接的な波及がある機能支障は次の通りである

表 2. 5-20 物的個体被害から直接波及する機能支障

道路施設	道路通行不能制約 交通制御機能低下
鉄道施設	変電送電機能低下 制御停止機能低下 軌道通行不能制約
港湾施設	防波機能低下 護岸機能低下 船舶係留機能低下
河川施設	堤防機能低下 水流制御機能低下
空港施設	管制機能低下 離着陸不能制約
電気施設	電力供給機能低下 配電機能低下
ガス施設	都ガス製造機能低下 都ガス供給機能低下
上水道施設	浄水機能低下 上水道供給低下
下水道施設	下水処理機能低下 下水流下機能低下
通信施設	電話交換機能低下 回線数減少 電話通信機能低下
商業関連施設	小売機能低下 市場機能低下 オンライン機能低下
金融関連施設	銀行窓口機能低下 銀行オンライン機能低下 証券オンライン機能低下
サービス関連施設	サービス機能低下 映画娯楽低下 宿泊不能制約
医療関連施設	診察治療機能低下 情報通信機能低下
教育関連施設	専門教育機能低下 授業不能制約
行政関連施設	消防署機能低下 警察署機能低下 災害情報低下 情報伝達機能低下
報道関連施設	テレビ機能低下 ラジオ機能低下 ケーブルテレビ機能低下 衛星放送機能低下
住宅関連施設	居住不能 マンション避難
生産関連施設	半導体生産機能低下 石油化学機能低下

上記の機能支障は、物的個体被害及び下層の機能支障からの波及により求められることになる。

このうち、特に各施設の機能支障の中心であり、上層への波及の通過点となる部分について、アンダーラインを引いた。

地震直後の被害率の設定をもとにした波及計算を行った場合、得られる各項目の被害率も全て地震直後の被害率に相当することになる。年間ベースでの被害率を出す場合、年間ベースの被害率をもとに波及計算を行うべきである。”地震直後”、”年間ベース”といった意味での違いが出てくるのは、復旧の影響が入る機能支障以降である。このため、物的個体被害からの波及が機能支障に進んだ段階で、被害率を”地震直後”から”年間ベース”に置き換える必要がある。

ここでは、アンダーラインを引いた各機能支障に対して、物的個体被害からの波及計算により一旦、”地震直後”に相当する被害率を出した後、この結果を、先に求めた地震直後の被害率から年間ベースの被害率を求める関係を用いて、換算し直した上で、以後の波及計算を進めることとする。

例えば、世帯数10万の地域において、物的個体被害からの波及計算の結果、”上水道供給低下”率が0.10(10%)と求められた場合、上水道の場合の関係式、

$$0.020 \times k \times \log_{10}(0.000088ks + 1.3)$$

において、 $k=0.10$ 、 $s=100000$ を代入することにより、年間ベースの”上水道供給低下”率が0.06%と求められる。”上水道供給低下”より上層への波及計算は、”上水道供給低下”率を0.06%とおくことで、年間ベースでの被害率が求められる。

第3章 手法の検証

ここでは、兵庫県南部地震の事例を用いて、震災波及構造モデルを用いた分析手法の検証を行う。

3. 1. 被害量の設定

手法における入力として必要となるのは、物的個体被害の数値である。

兵庫県南部地震の事例を検証対象とする場合、物的個体被害のデータとして得られなかったものも多い。従って、そういった点については、震災波及構造のうち、最下層の物的個体被害ではなく、データの得られる、より上層の機能被害を設定値として与えることとする。

例えば、電気施設関係の被害は、「電力基幹送電設備損壊」、「電力配電設備損壊」、「発電所損壊」の被害率をもとに、影響を評価することになるが、これらの被害の影響が震災波及構造モデル上で一旦「電力供給支障」に集まるため、個々の物的個体被害ではなく、停電世帯の割合を求めることで、上層への波及の大きさを検証することが可能となる。

各種のデータは、とられている地域が一律でないという問題があるが、ここでは、被災の状況を定量的に把握するため、さしあたり神戸市、芦屋市、西宮市、尼崎市、宝塚市、明石市、及び淡路島の北部地域を含む7市6町を中心被害地域とし、各種データがこれらの地域について得られているものとして、インプットを設定した。ただし、上記中心被害地は人口約300万人、約120万世帯である。

表3. 1-1に地震直後の被害率を示す。

表3. 1-1 被害率

	地震直後の被害量及び被害率
道路施設	道路主要被害→支障率（交通量減少率）10%
鉄道施設	鉄道主要被害→支障率（輸送量減少率）100%
港湾施設	港湾護岸損壊→使用可能なのは5/170支障率97%
河川施設	住宅冠水等→0
空港施設	空港滑走路損壊→被害はほとんどなし
電力施設	電力供給→支障率（停電率）83%
ガス施設	ガス供給→支障率（停止率）71%
上水道施設	断水→支障率（断水率）79%
下水道施設	下水流下→支障率（排水支障率）2.2%
通信施設	電話通信支障→25%
商業関連施設	一般建築施設損壊→被害率16%
金融関連施設	一般建築施設損壊→被害率12%
サービス関連施設	一般建築施設損壊→支障率12%
医療関連施設	一般建築施設損壊→支障率6%
教育関連施設	一般建築施設損壊→支障率4%
行政関連施設	一般建築施設損壊→被害率11%
報道関連施設	一般建築施設損壊→被害率12%
住宅関連施設	一般建築施設損壊→被害率10% 火災延焼→焼失率0.6%
生産関連施設	生産工場損壊→被害率31% 農地損壊・浸水→0 一般建築施設損壊→被害率11%

兵庫県南部地震による被害の影響は大きく、港湾や高速道路など、復旧に数年を要すると見られるものもある。都市生活の要となるライフラインについては、数日から数ヶ月で復旧見込となっている。

復旧期間が長引けば、それだけ社会経済的な影響は大きくなる。したがって、被害の影響を考える上では、被害率のみならず、それらの被害の復旧に要する期間を考慮することが必要である。

表3. 1-2に、上記の各被害の復旧に要した日数又は復旧日数の見込みを新聞記事に基づき示す。(なお、建築物についてははっきりした見込みを示した記事が見つからず、「数年を要する」等の記述であるため、ここでは3年とした。)

表3. 1-2 各被害の復旧に要した日数又は復旧日数の見込み

	復旧期間
道路施設	3年
鉄道施設	8カ月
港湾施設	3年
河川施設	—
空港施設	—
電力施設	1週間
ガス施設	3カ月
上水道施設	2カ月
下水道施設	3カ月
通信施設	2週間
商業関連施設	1年
金融関連施設	1カ月
サービス関連施設	1年
医療関連施設	1年
教育関連施設	1カ月
行政関連施設	1カ月
報道関連施設	1カ月
住宅関連施設	3年
生産関連施設	1年

地震発生直後の支障率を年間ベースでの機能支障率に置き換えると、表3. 1-3を得る。

以上述べた3つの表は、表2. 5-11と同じ内容である。

表3. 1-3 阪神大震災による年間ベースでの機能支障率

施設名	支障率
道路施設	道路交通→支障率8.5%
鉄道施設	鉄道輸送→支障率33%
港湾施設	護岸機能→損傷率80%
河川施設	住宅冠水→0%
空港施設	空港滑走路損壊→0%
電気施設	電力供給→支障率0.13%
ガス施設	ガス供給→支障率5.8%
上水道施設	断水率→3.0%
下水道施設	下水流下→支障率0.25%
通信施設	電話通信→支障率0.64%
商業関連施設	一般建築施設→損壊率8.0%
金融関連施設	一般建築施設→損壊率0.50%
サービス関連施設	一般建築施設→損壊率6.0%
医療関連施設	一般建築施設→損壊率3.0%
教育関連施設	一般建築施設→損壊率0.16%
行政関連施設	一般建築施設→損壊率0.46%
報道関連施設	放送局→損壊率0.50%
住宅関連施設	住宅→損壊率8.8%
生産関連施設	生産工場→損壊率15% 農地損壊・浸水→0%

3. 2 GDP低下率の推定

前節で述べた、復旧作業を考慮した年間ベースでの平均的な被害規模を代入して、地震被害の被災地域内都市機能への直接的な影響を評価した結果は次の通りである。

表3. 2-1 波及計算により得られた被害率

産業連関表の分類	対応する項目	被害率	平均値
商業	市場機能支障	0.18	0.11
	在庫管理機能支障	0.05	
金融・保険	証券情報不能制約	0.02	0.02
	証券オンライン支障	0.01	
	保険取引不能制約	0.07	
サービス	宿泊不能	0.07	0.08
	映画娯楽	0.09	
	情報サービス	0.09	
	専門サービス	0.09	
	事業サービス	0.09	
教育・研究	研究開発不能制約	0.06	0.05
医療・保険	診療治療不能制約	0.04	
公務	復旧活動遅延	0.05	0.05
電気・機械	工業製品生産機能制約(電気)	0.14	0.14
化学製品	工業製品生産機能制約(化学)	0.22	0.22
食料品	食料品供給不足	0.17	0.12
	加工食品供給不足	0.07	

上記のように年間レベルで見て、被災地での都市機能は、主な産業について1割ほど低下するとの結果が得られた。

この結果を用いて、GDP（国内総生産）への影響を求める。

1991年度の数値を持って比較すると、GDPが約450兆円であるのに対し、兵庫県の県内総生産は約17兆円であった。兵庫県の生産額が上記表の分だけ、減少するとすると、国内全体のレベルで見た場合の需要の減少率は、 $17/450=0.038$ をかけて、表3：2-2ようになる。

表3. 2-2 都市機能への直接的な影響及び国内全体レベルでの需要の減少率

産業連関上の分類	対応する項目	年間ベースでの支障率	平均値	国内レベルでの需要減少率
商業	市場機能	18%	11%	0.42%
	在庫管理	5%		
金融・保険	証券情報不	2%	2%	0.076%
	証券オンライン	1%		
	保険取引	7%		
サービス	宿泊不能	7%	8%	0.30%
	映画娯楽	9%		
	情報サービス	9%		
	専門サービス	9%		
	事業サービス	9%		
教育・研究	研究開発	6%	5%	0.19%
医療・保険	診察治療	4%		
公務	復旧活動遅	5%	5%	0.19%
電気・機械	電気製品	14%	14%	0.63%
化学製品	化学製品	22%	22%	1.0%
食料品	食料品不足	17%	12%	0.45%
	加工食品	7%		

昭和60年度産業連関表における最終需要及び上記の被害率を考慮した場合の最終需要は表3. 2-2のようになる。

(産業連関表において、全産業の最終需要を足し合わせた場合を1として)

表3. 2-2 地震を考慮した産業分類別の最終需要

産業連関表の分類	最終需要計	最終需要計 (地震を考慮)
農林水産業	0.01252	0.01252
鉱業	0.00021	0.00021
食料品	0.07228	0.07195
繊維製品	0.02185	0.02185
パルプ・紙・木製品	0.00577	0.00577
化学製品	0.01239	0.01229
石油・石炭製品	0.00858	0.00858
窯業・土石製品	0.00277	0.00277
鉄鋼	0.00816	0.00816
非鉄金属	0.00247	0.00247
金属製品	0.00481	0.00481
一般機械	0.04542	0.04542
電気機械	0.06482	0.06447
輸送機械	0.05703	0.05703
精密機械	0.00858	0.00858
その他の製造工業製品	0.01891	0.01891
建設	0.13784	0.13784
電気・ガス・熱供給	0.01176	0.01176
水道・廃棄物処理	0.00648	0.00648
商業	0.10921	0.10874
金融・保険	0.01729	0.01728
不動産	0.07513	0.07513
運輸	0.03535	0.03535
通信・放送	0.00787	0.00787
公務	0.04545	0.04537
教育・研究・医療・保健	0.10596	0.10575
サービス業	0.09850	0.09819
事務用品	0.00000	0.00000
分類不明	0.00260	0.00260
合計	1.00000	0.99814

*印は、表3. 2-2によって需要の減少のあった産業を示す。

この需要を入力として、双方の産出額を求め、これを比較することで、通常時に比べた結果は表3. 2-4の通りである。

表3. 2-4 地震を考慮した産業分類別の産出額

産業連関表の分類	産出額	地震を考慮した場合の産出額	産出額の低下率 (%)
農林水産業	0.05258	0.05245	0.26
鉱業	1.01192	1.01192	0.00
食料品	0.11336	0.11292	0.39
繊維製品	0.04549	0.04548	0.03
パルプ・紙・木製品	0.05951	0.05945	0.09
化学製品	0.08732	0.08709	0.26
石油・石炭製品	0.10917	0.10911	0.05
窯業・土石製品	0.02686	0.02685	0.07
鉄鋼	0.10944	0.10939	0.04
非鉄金属	0.02249	0.02246	0.12
金属製品	0.05489	0.05487	0.05
一般機械	0.09444	0.09442	0.03
電気機械	0.12349	0.12300	0.39
輸送機械	0.15224	0.15221	0.02
精密機械	0.01264	0.01263	0.04
その他の製造工業製品	0.09631	0.09622	0.09
建設	0.16398	0.16396	0.01
電力・ガス・熱供給	0.09074	0.09068	0.06
水道・廃棄物処理	0.02025	0.02024	0.07
商業	0.21105	0.21047	0.28
金融・保健	0.15239	0.15228	0.07
不動産	0.11982	0.11977	0.05
運輸	0.39075	0.39064	0.03
通信・放送	0.03481	0.03478	0.10
公務	0.04801	0.04792	0.17
教育・研究・医療・保健	0.13438	0.13414	0.18
サービス業	0.19780	0.19736	0.22
事務用品	0.00846	0.00845	0.11
分類不明	0.04487	0.04484	0.06
合計	3.78947	3.78600	0.09

このように、地震後1年間での震災によるGDPの落ち込みは0.09%という結果が得られた。

さらに2年目、3年目についても各施設の復旧状況を考慮して計算したところ、GDPの落ち込みはそれぞれ、-0.02%、0.00%という結果が得られた。

3. 3 調査機関の推定との比較

兵庫県南部地震による経済的影響については、多くの調査機関が推定を行っている。

主なものは次の通りである。なお、ここで示している被害総額は物的個体被害の合計であると考えられる。

<調査機関>	<被害総額>	<GDPへの影響>	
		94年度	95年度
三菱総合研究所	9兆4千8百億円	▼0.14%	0.57%
		(成長率)	(成長率)
第一勧銀総合研究所	8兆9千億円	▼0.30%	0.57%
住友信託銀行調査部	7兆3千7百億円	▼0.10%	0.67%
		(第4四半期)	(成長率)
東海総合研究所	7兆5千億円	▼0.10%	2.00%
コスモ証券経済研究所	7兆7千億円	▼0.10%	0.50%
		(▼はマイナス)	

GDPへの影響は、復興需要を含むものであるが、94年度については、地震発生が1月中旬であり復興需要が含まれていないものと思われる。

三菱総合研究所の経済予測では、復興需要を除いた、震災によるGDPの落ち込みを次の通りとしている。

94年度 ▼0.14%

95年度 ▼0.23%

このうち94年度については、第4半期分だけで0.14%の落ち込みであることから、年換算では0.56%である。94年度の3ヶ月分と95年度の9ヶ月分の重み平均をとると、地震発生後1年目までのGDPの落ち込みは、0.31%となる。一方、東海総合研究所やコスモ証券経済研究所では、第4半期分の落ち込みが0.1%であることから、地震発生後1年目までの換算では0.1%を下回るものと思われる。

本解析手法の検証結果である▼0.09%という数値は、これらの予測とオーダーとしてはあっている。この手法の本来の目的が道路、河川の耐震対策の重点を探ることにあり、予測の絶対値の精度を求めるものではないため、現状では十分であると思われる。

第4章 道路、河川及びライフライン施設の地震対策と地震被害の関係分析

前章で求めた兵庫県南部地震におけるGDPの低下について、あらかじめ耐震措置がとられていることにより、どれだけGDPの低下を軽減できるか、検討を行うこととする。

ここでは物的個体被害の大きさとして、前章で設定した兵庫県南部地震の数値をとり、その上で橋梁損壊等、特定の被害についてのみ、被害の大きさを現状から変えて見た場合の影響を見ることで、耐震措置の効果を計ることとする。

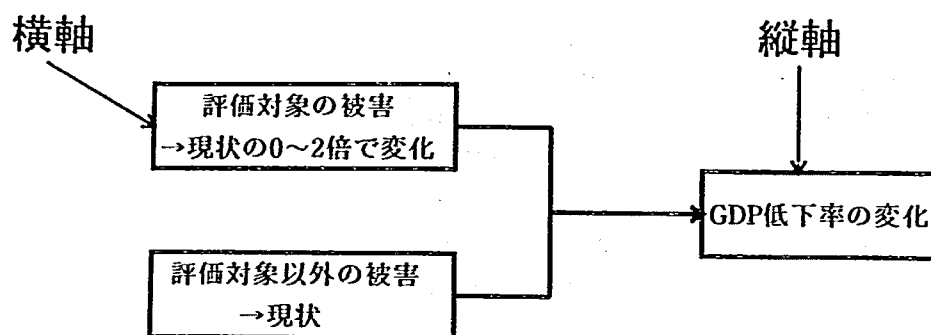


図4. 1-1 地震対策効果の評価グラフィイメージ

手順は、構築した手法に従い、物的個体被害の設定に対し、波及構造における波及計算を行い、この結果得られた産業活動の低下率を産業連関表に組み込み、GDPの低下率を求めるという順序であり、特定の被害について、被害量を順次変化させてGDP低下率との関係を見るものである。

4. 1 分析対象とする物的個体被害

分析の対象として、道路及びライフライン被害のうち被害率の高い次の物的個体被害を考えることとする。また参考として建築物被害の影響についても見てみる。

表4. 1-1 分析対象とする物的個体被害

道路施設	河川施設
道路路面陥没 斜面崩壊 橋梁損壊 道路信号機損壊	河川提体式堤防損壊 河川護岸式堤防損壊 河川船舶係留・ターミナル施設損壊 施設損害

電気施設	ガス施設	上水道施設	下水道施設	通信施設
電力配電設備損壊	低圧ガス導管損壊	上水道配水管損壊	下水道管損壊	通信回線損壊

ただし、河川施設被害の影響はGDP低下に現れていない。河川施設被害の影響を考えるとすれば、洪水期の状況を考える必要があると思われる。

このほかの被害について、前章の兵庫県南部地震の事例をもとに設定した各物的個体被害量を1とした場合に、他のものは固定し、それぞれの物的個体被害量のみを0~2で変化させた場合の、GDP低下の減少量を求めた。このうち、0~1が耐震対策が現状より取られていた場合であり、0の場合は、兵庫県南部地震級の地震が襲っても対象の物的個体被害が発生しないケースである。また1~2が耐震対策が現状より取られていなかった場合であり、2の場合は、兵庫県南部地震級の地震が襲った場合に対象の被害率が2倍となるケースである。

4. 2 道路地震対策と経済的影響の関係

最初に道路に関わる耐震化の影響を見るため、道路に関わる各被害をそれぞれ0～2の間で変化させた場合について見る。

対象とした道路被害は次の通りである。

道路路面陥没
斜面崩壊
橋梁損壊
道路信号機損壊

この結果は次の通りである。ただし、横軸の「道路被害比率」とは、兵庫県南部地震での被害率を1とした場合の、被害の比率を意味する。

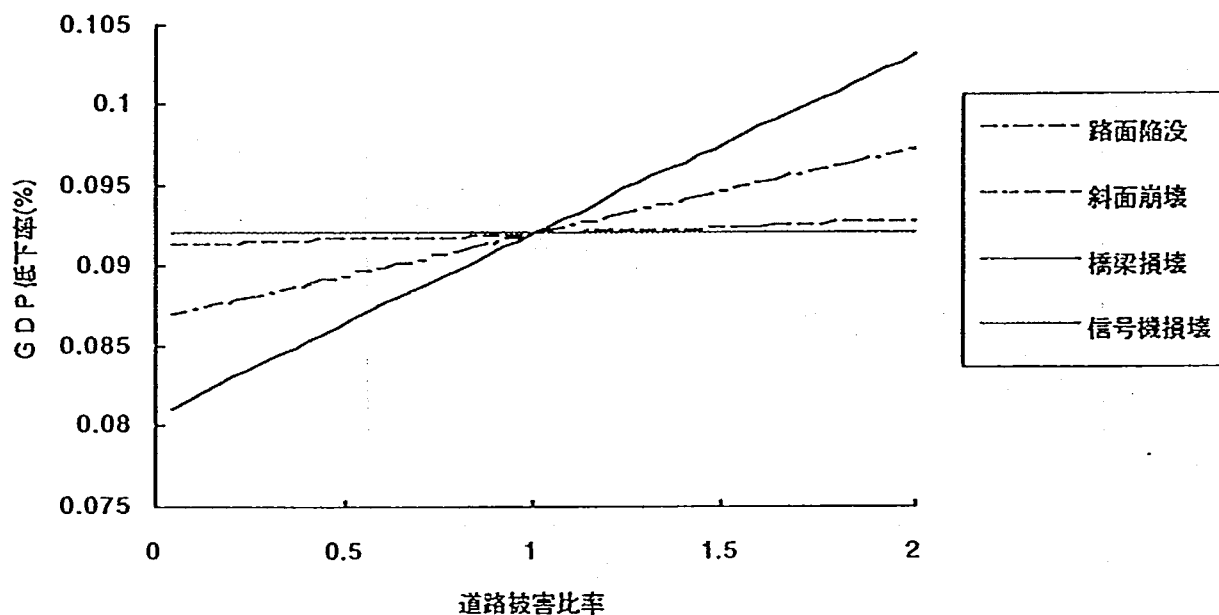


図4. 2-1 道路被害比率とGDP低下率の関係

このように、橋梁被害の影響が最も大きく、次に路面陥没の影響が大きいとの結果が得られた。斜面崩壊及び信号機損壊の影響はほとんど見られなかった。

橋梁被害の被害率を変化させた場合の影響が最も大きいのは、兵庫県南部地震に基づく設定で橋梁被害による影響が道路被害の中で最も大きいためであり、耐震措置を講じておいたことにより橋梁被害が全く発生していなければ、GDPの低下率を0.01%ほど減少させたとの結果が得られた。これは、地震後に予想されるGDP低下のうち約10%を占め、金額換算では400～500億円程度の効果である。

4. 3 ライフライン地震対策と経済的影響の関係

次にライフラインの被害との関係を見ることとする。震災波及構造モデル中においては、電気、ガス、上水道、下水道、通信の各ライフラインを考慮しており、各々のライフラインについて2~3種類の物的個体被害を考慮している。ここでは、各ライフライン被害のうち、最も被害率の高く、復旧作業の主な対象となる以下の被害を対象として、地震対策とGDP低下率の関係を見ることとした。

表4. 3-1 復旧作業の主な対象となる被害

電気施設	ガス施設	上水道施設	下水道施設	通信施設
電力配電設備損壊	低圧ガス導管損壊	上水道配水管損壊	下水道管損壊	通信回線損壊

この結果は次の通りである。

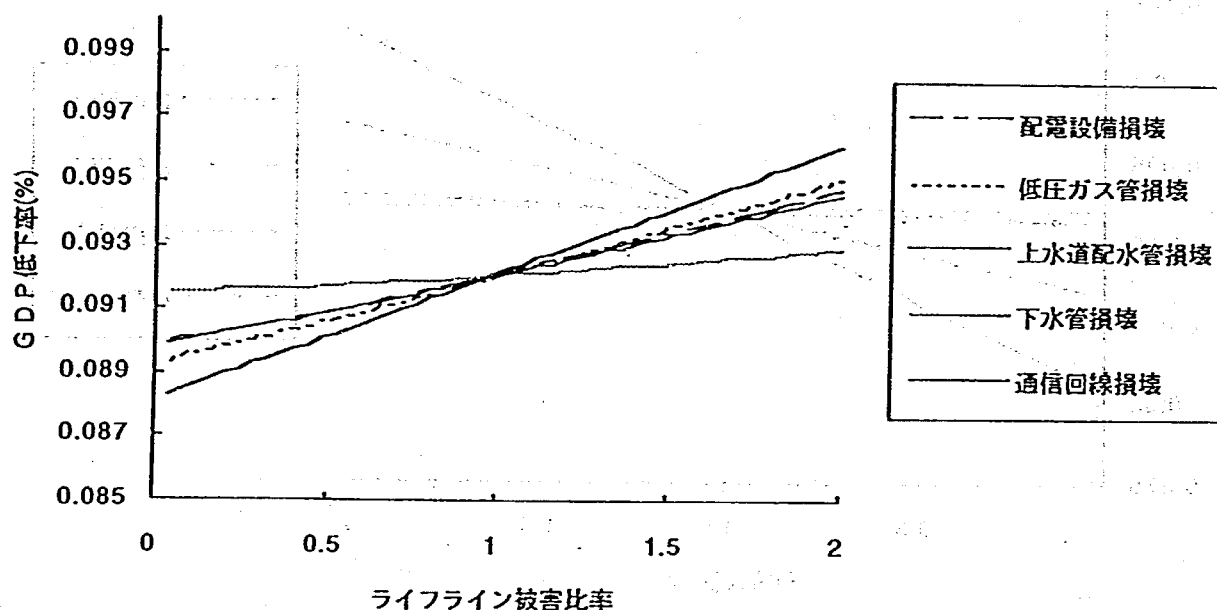


図4. 3-1 ライフライン被害比率とGDP低下率の関係

ライフライン被害のうち、上水道被害が最も大きく出た。次にガスが大きく、電気、電話は同レベルの影響となっている。上水道やガスが大きいのは、復旧に比較的長時間が要するためである。電気や電話は、重要度は高いものの、応急復旧が早期に終了するため、経済的に及ぼす悪影響は小さめとなっている。下水道については、被害を受けた世帯がそれほど多くないことから、影響は小さなものとなっている。

4. 4 建物地震対策と経済的影響の関係

最も影響の大きいと考えられる建築物被害とGDP低下率の関係は次の通りとなった。

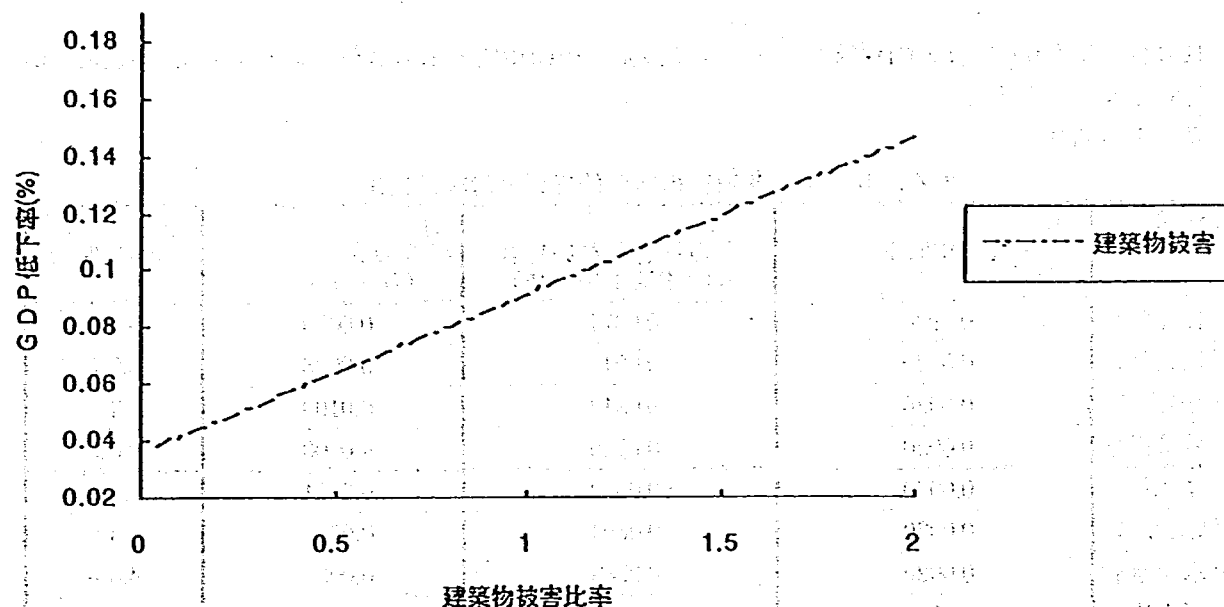


図 4. 4 - 1 建築物被害比率と GDP 低下率の関係

予想通り、建築物被害の与える影響は他の被害に比べて極めて高く出ている。

これは、地震後にGDPの低下を招く主要な要因は、被災地域内の建物被害に伴う産業の生産力の低下に起因していることを示すものである。

道路やライフラインの被害の影響は建物自体の被害の影響に比べると、比較的小さいといえる。

4. 5 各被害の経済的影響の相対評価

次に、4. 2～4. 4であげた各被害が、GDP低下に与える相対的な影響の大きさを定量的に評価することとした。

それぞれの被害率が0の場合のGDP低下率と、現状設定でのGDP低下率の数値の差をもって、被害による影響の相対的な大きさとする。

この結果は次の通り。

表4. 5-1 各被害の経済的影響相対評価結果

被害の種類		① 現状のGDP低下率 (%)	② 左の被害がない場合 のGDP低下率 (%)	③ 影響の大きさ (%) (①-②)	④ 影響の割合
道 路	路面陥没	0.0920	0.0871	0.0050	6.1%
	斜面崩壊	0.0920	0.0914	0.0006	0.7%
	橋梁損壊	0.0920	0.0812	0.0109	13.3%
	信号機損壊	0.0920	0.0920	0.0000	0.0%
ライ フ ライン	配電	0.0920	0.0899	0.0021	2.6%
	低圧ガス	0.0920	0.0894	0.0027	3.3%
	上水配水管	0.0920	0.0883	0.0038	4.6%
	下水管	0.0920	0.0915	0.0005	0.6%
	通信回線	0.0920	0.0900	0.0021	2.5%
建築物被害		0.0920	0.0382	0.0538	66.1%

表の意味について以下に示す。

①は全ての物的個体被害を兵庫県南部地震の設定にした場合のGDP低下率であり、これは全て0.0920%である。

②は、それぞれ左側の被害のみ0の場合のGDP低下率であり、例えば他の被害は全て兵庫県南部地震に基づく現象設定のままで、路面陥没のみ発生しなかった場合のGDP低下率は0.0871%であることを示している。

③は、①-②であり、それぞれ左側の被害のみ0にすることにより、低減するGDP低下率の値である。この値が大きいほど、その被害を0にした場合の経済的影響が大きく、したがってその被害の与える影響が大きいといえる。

④は、③で計算した各被害のGDP低下率の低減値の合計を100とした場合の、各低減値の割合を示したものであり、経済的な影響の大きさの被害間での相対的な評価結果であるといえる。

④について、以下に円グラフで示した。

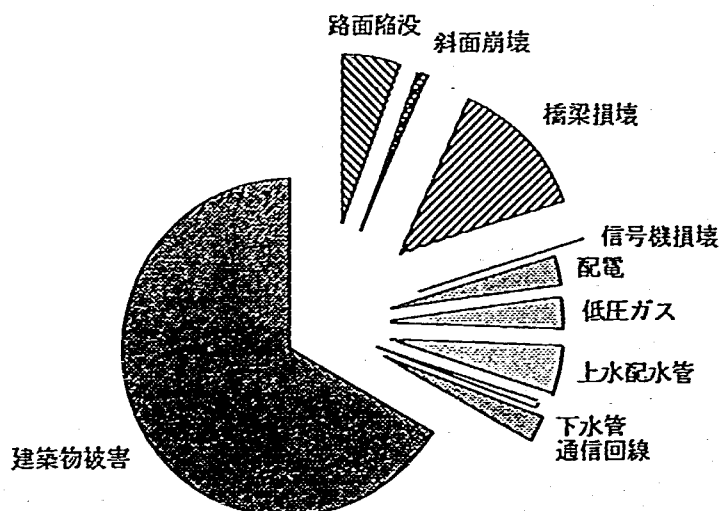


図4. 5-1 各被害の経済的影響相対評価結果グラフ

このように、建築物被害の影響が最も大きいのが、これは建築物被害が、被災地における産業活動低下に関わる最も直接的で、かつ長期間にわたる被害であるからであると考えられる。行政や教育等の機能的な復旧は比較的早いのが、経済的な影響の大きい商業や生産業の復旧に要する時間が長いと考えられることが効いている。

このほかの被害について見ると、道路被害のうち橋梁損壊の影響が比較的大きいとの結果となった。

これは橋梁損壊は被災地域と非被災地域を結ぶ主要道路の交通に大きな支障を与えるためであり、このほか路面陥没も、被災地域内の道路交通支障のほか、埋設されたライフラインへの被害等を通じて多少の影響を与える結果となっている。

斜面崩壊や信号機損壊は、交通量の低下に与える影響が小さいため、経済的にはほとんど影響しないとの結果となっている。

4. 6 波及ルート of 地震対策と経済的影響関係

以上までは、特定の物的個体被害の大きさを変化させた場合の影響について見たが、次に物的個体被害の大きさは兵庫県南部地震の設定通りとし、中途段階での波及率を変化させた場合について見てみることにする。

以下に、主な道路物的個体被害である橋梁損壊及び路面陥没の直接の波及先を示す。

表 4. 6 - 1 道路物的個体被害の直接波及先

主な道路物的個体被害	波及被害
橋梁損壊	道路通行不能制約
路面陥没	道路通行不能制約 配電設備損傷 上水送水管損傷 上水配水管損傷 下水管損傷 低圧ガス管損傷

これをみると、道路被害の影響は大きく分けて、道路通行支障への影響と路面陥没によるライフライン被害への影響として現れることが分かる。

よって、以下の通り、これらの物的個体被害から波及先への波及率を変化させて、影響を見ることとした。

表 4. 6 - 2 波及率の変化のさせ方

主な道路物的個体被害	波及被害	波及率の変化
橋梁損壊	道路通行不能制約	現状 6.8→6.8×0~2
路面陥没	道路通行不能制約	現状 4.1→4.1×0~2
	配電設備損傷	.62 .62×0~2
	上水送水管損傷	.55 .55×0~2
	上水配水管損傷	現状 .45→.45×0~2
	下水管損傷	.48 .48×0~2
	低圧ガス管損傷	.77 .77×0~2

以下に、道路通行支障への影響と路面陥没によるライフライン被害への波及率を変化させた場合の経済的影響を評価した場合のグラフを示す。

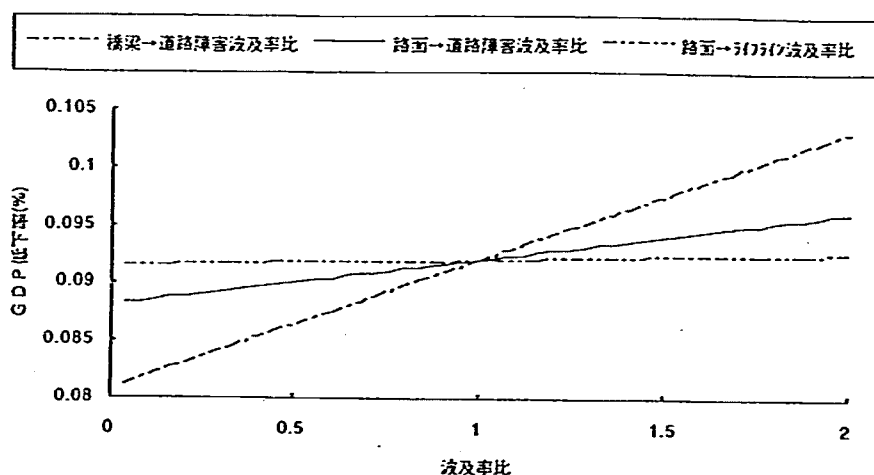


図 4. 6 - 1 波及率の変更と GDP 低下率の関係

この結果から見ると、道路被害のうち、特に橋梁損壊による交通障害の影響が大きいため、橋梁通行の代替ルートを確認しておくことが、道路物的個体被害の影響を減少させる上で最も重要との結論が得られる。

路面被害により埋設されたライフラインが被害を受けることについては、それほど大きな影響は与えないとの結果が得られた。ライフラインは、このような路面陥没による影響以前に、それら自体が地震動により直接的に受ける被害の割合が高いためである。

4. 7 主要な波及ルート

道路被害の影響は直接的には道路通行障害によるものとして現れる。

この先の波及については多岐に渡るため、個々の波及率の感度分析を行っていくのは困難であるが、波及率の数値を追いかけていくことにより、主要な波及ルートは推定できる。

波及構造において、道路通行不能制約から派生する被害を見ると、自家用車、タクシー、バス、トラック等の各車両の通行支障として影響が現れているが、それからさらに派生する被害を見ると、トラックの場合は工業製品や食料品、日用品の流通不足として現れるため、生産活動、商業活動に影響を与える。経済的には、このルートが最も大きな影響を与えるものと推定できる。

道路についてのこれまでの考察をまとめると、道路被害のうち最も経済的影響の大きいルートは次の通りである。

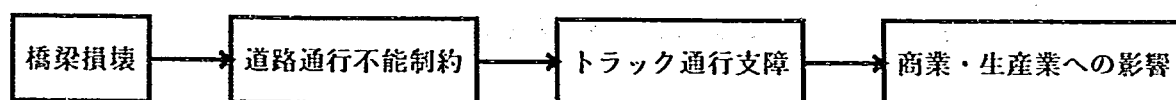


図4. 7-1 経済的影響の大きい震災波及ルート（道路）

したがって、地震時に道路に起因する経済的影響を回避する上では、被災地、非被災地域間の交通ルートを確保することで、物資の輸送力の低下を抑えることが最も重要であると考えられる。

また、ライフラインは、ネットワークの末端となる上水配水管や低圧ガス管といったレベルの被害が、各々直接的に建物被害を通じて影響を及ぼす。これは、ライフライン被害により建物が使用できなくなること表現するものと考えられる。

建物被害による影響は直接的に各産業に現れるため、あらゆる産業に影響を与えることになる。特に影響の大きいものは、2章にあげた直接的な被害率の高い産業であり、上から3つをあげると、商業、生産業、サービス業への影響が大きいと考えられる。

したがって、ライフライン被害の主要な波及ルートは次の通りであると考えられる。

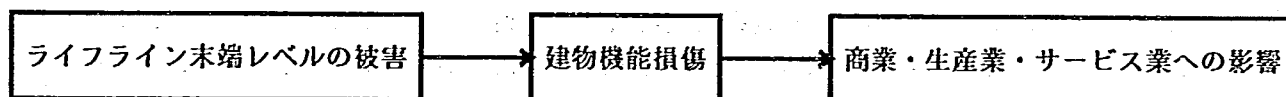


図4. 7-2 経済的影響の大きい震災波及ルート（ライフライン）

第5章 地震対策の方向性の検討

ここでは、道路、河川およびライフライン施設についてとるべき対策の方向性を事前、事後に分けて検討する。

5. 1 事前対策の方向性

道路のうち、特に重要なのは橋梁の耐震対策である。橋梁が損傷を受けた場合、手近な代替ルートがない場合が多く、このため、影響は大きなものとなる。兵庫県南部地震の解析結果でも、道路被害のうち橋梁損傷が最も間接被害額増大への影響が大きい結果となった。特に問題となるのは、被災地と非被災地とをつなぐ主要道路上の橋梁であり、これらの主要道路上の橋梁の耐震対策が道路の事前対策のうち最も重要であるといえる。

特に阪神高速では被災地の橋脚1170本のうち半数が被害を受け、1割は修復不能であったとされており、費用対効果を考えても、事前対策が重要であったと考えられる。

このほか、道路の間接被害としては、路面陥没、斜面崩壊の順に影響が大きい結果となった。このうち斜面崩壊については、都市を対象とした評価モデルとなっているため、実質的な影響は小さい結果となっている。また、路面陥没については、間接被害が比較的大きいため、事前対策の効果があるが、事前対策を行う際に、路面陥没箇所を十分に限定することが出来ないために、被害を生じさせなくするためには広範囲にわたっての改修が必要になると思われる。

また、道路被害の影響を小さくするという点では、道路ネットワークの冗長性を高めることが重要である。道路ネットワークを多重化することにより、道路が被害を受けた場合の通行支障への波及を軽減できる。

一方、河川の被害については、間接的な影響は小さかったと考えられる。モデル上でいえば、河川堤防が損傷したとしても、付近が冠水する確率は小さいとされているためであり、現実に兵庫県南部地震でも、増水時ではなかったために、堤防損傷による冠水は見られなかった。

5. 2 復旧対策の方向性

復旧対策が事前対策と大きく異なる点は、第一に補修すべき場所が明らかになっているという点であり、第二に費用対効果といったことよりも、早期の補修が優先される点である。

復旧対策においては、基本的に間接被害の影響を小さくする効果の大きい順に補修を行っていくことが最適な手順といえる。具体的には復旧をどれだけ迅速に行えるかによるが、例えば道路の場合、交通量の多い道路の被害のうち復旧の比較的早い路面陥没から作業を進めていくのが効率的であろうし、橋梁についても、ある一つの橋梁被害が交通を遮断していて、しかも復旧が早期に可能であれば、このような被害について、優先的に復旧作業を進めていくべきと考えられる。しかし、どの場所から復旧していけば間接被害の影響をより小さくできるかについては、ここでの評価モデルがマクロ的なものであるために、明確にはできない。この点について考慮していく場合には具体的なネットワークの設定が必要となろう。

第6章 まとめ

本研究では、都市域における震災波及の様相をつかむことを目的として、対象とする都市施設を最終的に19種類にまとめ、それぞれの施設について考慮すべき被害項目を抽出した。

そのうえで、それぞれの施設に係わる専門家に対するアンケート結果をもとにFSM法により構築した、震災波及図を使用して、分析を行った。

6. 1 開発した手法について

本研究のため開発した手法は、アンケートにより求められた震災波及図をベースとした、震災波及のモデルである。

震災波及過程を考慮することにより、従来の間接被害の推計モデルでは困難な推計を行うことが可能となった。例えば、物的個体被害の種類ごとの影響を個々に評価できる点があり、道路については、橋梁損壊、路面陥没といった、他の調査で行われるよりも具体的な物的個体被害の分類ごとに影響を評価することが可能となった。このような特徴を生かして、どの物的個体被害の影響が最も大きいのか、相対的に評価を行うことが可能となった。さらに、波及先についても、トラック通行支障等、個々の事象ごとの被害の大きさを求めることも可能なモデルとなっている。

また、震災波及の過程を考慮したことで、個々の事象間の波及関係の強さ（波及率）が変化することによる経済的影響を評価することが可能となったことも従来の調査にはない、大きな特徴であるといえる。

全般的に、震災波及過程を考えることにより、従来ブラックボックス的であった、物的個体被害と経済的影響の関係を、より具体的に示すことが可能となる点が、このような研究を発展させていく上で、大きな意義を持つものと考えられる。

6. 2 研究の成果

(1) 都市機能の震災波及率

震災波及図を一つの全体的なモデルに統合し、表2. 2-1に示す、道路、河川及び港湾の物的被害を波及源とした場合の都市機能の低下をもたらす確率を導いた。

以上の波及源の中では道路被害により影響の出る確率が最も高く、特に路面陥没の影響が大きかった。河川施設、港湾施設の被害の影響はあまり顕著なものとして現れなかった。

路面陥没や斜面崩壊といった道路被害により最も影響を受ける可能性が高いのは、行動機能及び物資機能の低下であった。このほか応急復旧を行う役割を担う行政機能にも消防活動等、影響を与える可能性が高いとの結果が得られた。

また路面陥没が最も広範囲に都市機能の低下をもたらす可能性が高いとの結果が出たのは、路面陥没にともないライフラインも損傷を受ける可能性があると考えられたためである。

道路の耐震化の際には、ライフラインの耐震化についても同時に配慮することで、大きく被害を軽減できると考えられる。

河川施設については、確率は低いものの広い都市機能にわたって波及する可能性がある。これは冠水の影響であり、理想的には洪水時の地震発生を考慮した堤体の強化が望ましいと考えられる。

また、港湾施設については、護岸損傷により物資の流通に影響が及ぶため工場生産機能の低下をもたらす可能性があるとの結果が得られた。護岸の復旧は数カ月以上の時間を要するケースも多く、護岸の液状化等に対する対策が重要であると考えられる。

(2) 間接的経済影響評価

物的個体被害のうち、間接的経済影響が最も大きいのは、建築物被害である。このことは、建築物被害が

・最も直接的に産業活動のストップを余儀なくさせるものであり、また復旧に比較的長期を要するためとらえられる。

建築物被害の次に道路被害の影響が大きく出た。特に影響の大きいのが橋梁損壊であり、次に路面陥没の影響が大きく出た。これら道路被害の影響は、通行支障を通じて、生産、商業等の物資輸送への影響を及ぼすことが分かった。路面陥没よりも橋梁被害の影響が大きいのは、橋梁被害があった場合に代替ルートを確保するのが困難なことを示していると考えられる。

このほか、道路被害として、斜面崩壊及び信号機損壊を対象としたが、斜面崩壊については、発生場所がそれほど多くなく、しかも交通量が少ないと見られること、また信号機損壊については、影響が短期的なものであることなどから、間接被害に与える影響は小さいと思われる。

ライフライン被害のうち、特に電気や水道は、都市活動に欠かせないものであり、地震直後の影響は、非常に大きいと考えられるが、これらは建築物や道路の被害に比べると復旧が早いために、年間ベースで見た場合の影響としてはそれほど大きなものとはならない。

道路物的個体被害の波及先としては、道路通行支障によるもののほか、路面陥没によるライフライン被害に伴う波及もあるが、このような事象がライフライン被害全体に占める割合が小さいため、道路通行支障による影響に比べるとかなり小さいと思われる。

経済的影響を最小限に抑える意味では、道路の耐震対策のうち、特に主要道路の橋梁の耐震対策が重要であるが、費用対効果の面で考えると、今回評価した間接被害額だけでなく、直接的な被害額も考慮する必要があると考えられる。例えば橋梁損壊の場合でも、橋梁損壊による通行支障に伴う経済的影響だけでなく、橋梁損壊自体の被害額も考慮した上で、耐震対策をとる必要がある。

一方、復旧対策においては、基本的に間接被害の影響を小さくする効果の大きい順、つまり道路通行量が多くかつ被害の復旧の早い道路から順に補修を行っていくことが最も適切な手順といえる。

6. 3 問題点と今後の方向性

ここで開発したモデルは、広範囲に渡る都市災害の影響を個々に定量的に評価できる点が最大の特徴であり、この意味ではモデルの目標は達成したといえるが、より詳細に評価を進めるにあたってはいくつか問題点が残る。特に2章から4章中の、それぞれのまとめにおいて、問題点・課題を示したが、これらをまとめると、次のように問題点と今後の方向性が考えられる。

①震災波及過程

本調査ではもとなる震災波及過程をアンケートにより設定したが、波及の前後関係に論理的に不自然な点も見られる。経済的な影響を定量評価する場合には、以降に示すように震災波及過程で考慮する項目を絞り込んで、あらかじめ論理的に矛盾のない、震災波及過程を設定しておく方が有効であると思われる。

原則的には、交通、ライフライン施設及び各産業施設の物的個体被害を最下層におき、最上層には各産業連関施設の生産機能をおく形式がよいと思われる。全体的なイメージを以後に示す。

②震災波及過程で考慮する項目

震災波及過程の中で考慮している項目は、定量的に扱いにくいものや、経済的な間接被害額を求める趣旨にそぐわないものがあるといった問題がある。

この問題を解消するように、各施設で考慮する被害項目を設定し直す必要がある。

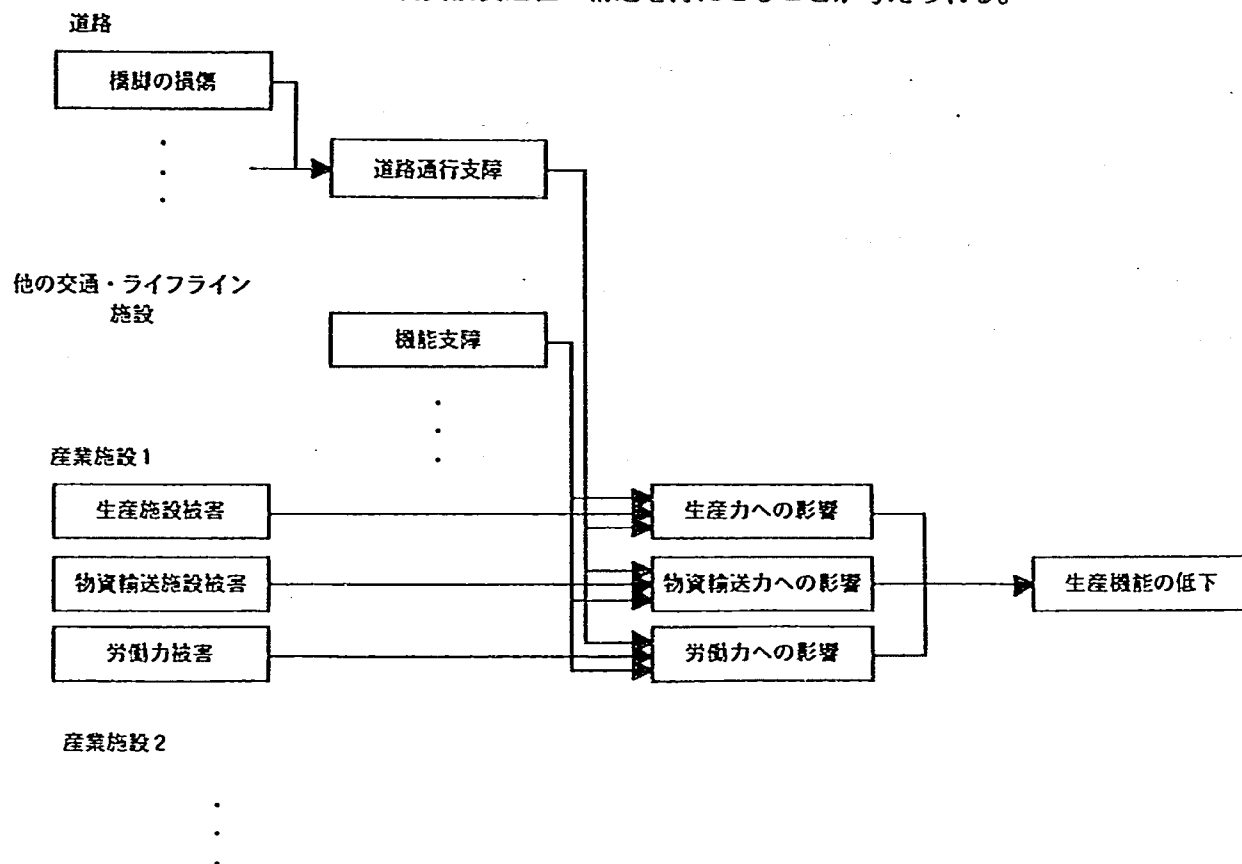
産業施設に関わる機能支障項目については、現在のように、施設ごとに考えられる項目を網羅的にあげるのではなく、ある程度統一的に、各産業の生産施設への影響、物資輸送への影響、労働力への影響といった簡便な分け方を行い、波及過程の最上層には、産業連関分類にしたがった、分類ごとの生産力の低下が項目として存在するべきであると考えられる。

また産業施設に関わる物的個体被害項目も同様に、生産施設の被害、物資輸送施設の被害、労働力の被害

といった簡便で統一的な分け方をとるべきと思われる。

一方、交通・ライフラインについては、耐震対策の対象として考える道路については、より詳細に物的個体被害の種類や規模を設定し、その他の施設については、被害量の設定が困難な個別の物的個体被害には、特に言及せずに、物的個体被害からもたらされる直接的な機能被害を簡便な分類にするべきであると考えられる。

全体としては、次のイメージの震災波及過程の構造を持たせることが考えられる。



③波及率の設定

現状では、アンケートにより波及率を設定しているが、質問のイメージが抽象的であるため、回答の信頼性に問題があると思われる。②にあげたような波及過程を設定する場合、事象間の波及率は、アンケートによらずに、ある程度論理的に設定が可能と思われる。またアンケートによらねばならない場合でも、具体的なイメージがつかみやすければ、信頼性は向上すると思われる。

④産業連関の組み込み

震災波及過程の波及計算の結果、得られる被害率を産業連関表に組みこんだが、本調査では、極めて簡便な方法で、計算を行った。地震時の影響を厳密に考慮する場合、FEMAの間接被害予測システムで用いられている方法等、より詳細な方法を用いるべきである。

⑤ミクロなレベルでの被害の考慮

ここで開発したモデルは、地域全体にわたるマクロ的なものであるため、個々の橋梁や道路区間といったレベルでの被害の影響を詳細に分析することはできない。このため、費用対効果等の具体的な検討が難しい。

ミクロなレベルでの被害の影響を考慮していくためには、例えば具体的に道路ネットワークを考慮し、個々の道路区間の交通量の変化等を考慮していく方向が考えられる。

参考文献

- 1)川島一彦、杉田秀樹、中島燈：地震による間接的な経済被害に関する研究、土木研究所所報、Vol.186-1、1992.12
- 2)川島一彦、杉田秀樹、中島燈：大都市圏における震災波及構造に関する研究～(その1)震災波及構造モデルの解析～、土木研究所資料、No.3199、1993.7
- 3)川島一彦、杉田秀樹、中島燈：大都市圏における震災波及構造に関する研究～(その2)FSM法による都市機能損傷の動的相互作用の解析～、土木研究所資料、No.3206、1993.7
- 4)川島一彦、杉田秀樹、中島燈：都市型震災の波及構造モデルに基づく公共土木施設の震災対策の重要性、土木技術資料、Vol.36、No.4、1994.4
- 5)川島一彦、杉田秀樹、中島燈：震災波及メンタルモデルによる道路震災対策の重要性評価、第48回土木学会年次学術講演会概要集第1部、1993.9
- 6)川島一彦、杉田秀樹、中島燈：都市型震災の波及構造モデルに基づく道路震災対策の重要性、第20回日本道路会議一般論文集、1993.10
- 7)川島一彦、杉田秀樹、中島燈、佐藤貴志：震災波及構造モデルによる震災対策の重要度評価、第49回土木学会年次学術講演会概要集第1部、1994.9
- 8)川島一彦、杉田秀樹、中島燈、佐藤貴志：都市型震災の波及構造モデルに基づく道路震災対策の重要性、第9回日本地震工学シンポジウム論文集、Vol.2、1994.12