

ISSN 1346-7328

国総研資料 第 510 号

平成 21 年 2 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 510

February 2009

重要インフラ間の相互依存構造のモデル化と 地震被害波及シミュレーション

片岡正次郎・鶴田舞・小路泰広

Model development of interdependency among critical infrastructures
and simulation of earthquake damage spreading

Shojiro KATAOKA, Mai TSURUTA and Yasuhiro SHOJI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

重要インフラ間の相互依存構造のモデル化と地震被害波及シミュレーション

片岡正次郎*, 鶴田舞**, 小路泰広***

Model development of interdependency among critical infrastructures
and simulation of earthquake damage spreading

Shojiro KATAOKA*, Mai TSURUTA** and Yasuhiro SHOJI***

概要

地震等の災害によりインフラに被害が発生すると、被害がインフラ相互に、さらには社会・経済活動にも波及し、社会的損失が拡大する場合がある。本資料は、過去の震災時に見られたインフラ間の被害波及事例を調査してその構造を分析・整理し、それぞれマトリクス方程式とシステムダイナミクスに基づいて相互依存構造を表現する2つのモデルを構築した上で、首都直下地震を対象とするケーススタディを実施した結果を示したものである。

キーワード：重要インフラ、相互依存性、インフルエンス・ダイアグラム、システムダイナミクス

Synopsis

Interdependency among critical infrastructures is investigated from past disasters and organized as tables and influence diagrams. Two analytical models, one is based on matrix equation and the other system dynamics, that represent interdependency structure are developed and employed for simulation of earthquake damage spreading in the Tokyo metropolitan area.

Key Words: critical infrastructures, interdependency, influence diagram, system dynamics

* 危機管理技術研究センター地震防災研究室主任研究官 Senior Researcher, Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management

** 国土計画局広域地方計画課主査（元地震防災研究室研究官） Section Chief, Regional and Metropolitan Planning Division, National and Regional Planning Bureau

*** 危機管理技術研究センター地震防災研究室長 Head, Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management

目次

1. はじめに	1
2. インフラ被害波及事例の調査	2
2.1 対象とする事例	2
2.2 既存文献による調査	2
2.3 ヒアリングによる調査	37
3. 被害波及構造の整理	58
3.1 インフラ被害関連マトリクスの作成	58
3.2 被害波及構造モデルのインフルエンス・ダイアグラム表現	62
4. 相互依存構造マトリクスによる被害波及のケーススタディ	75
4.1 ケーススタディの対象と方法	75
4.2 重み付けの実施	76
4.3 入力ベクトルの作成	82
4.4 相互依存構造マトリクスの作成	87
4.5 インフラ被害波及のケーススタディ	95
4.6 デマテル分析	121
5. インフラ相互依存解析モデルの構築とケーススタディ	123
5.1 モデル構築の基本方針	123
5.2 インフラ機能構成要素の整理	126
5.3 インフラ一般モデルの構築	136
5.4 地域区分モデルの構築	142
5.5 シミュレーション結果	157
6. まとめ	163
謝辞	164
参考文献	165

1. はじめに

今日の我が国の生活・産業基盤は、道路、鉄道、電力、ガス、上下水道、情報通信等、様々なインフラに支えられており、とくに都市圏では、多種多様なインフラが高度・複合的に整備されている。都市圏に地震等による大規模災害が発生した場合、各インフラに被害が生じるばかりでなく、例えば電力施設の被害から引き起こされた停電により情報通信機能に障害が発生するなど、インフラ相互に被害が波及する。さらには、都市機能を支える社会経済活動にも影響が及び、きわめて大きな社会的損失が発生するおそれがある。

1995年兵庫県南部地震では、信号機の滅灯による交通渋滞や、道路・鉄道橋梁の被災による添架ライプライン管の破損のほか、病院機能や行政サービス機能の低下などがみられた¹⁾。このような事実は、災害による被害を最小限に抑えるためには、各インフラ管理者がそれぞれの分担の範囲内で個別に対策を実施するだけでなく、大局的に最も影響の大きい箇所から最適な手順で対処していくことが必要であることを表している。したがって、近い将来の発生可能性が予測されている首都直下地震等、都市圏をおそう大規模地震に対しては、被害波及構造をよく理解した対策が必要となる。

このようなインフラ相互の被害の波及に関する研究としては、電力・都市ガス・上水道を対象とした震災影響波及の構造化²⁾、電力・上水道を対象としたシステムダイナミクスによる復旧過程のモデル化³⁾、ISM(Interpretive Structural Modeling)、FTA(Fault Tree Analysis)、ETA(Event Tree Analysis)による被害波及のモデル化と分析⁴⁾、台風による大規模停電の都市機能への被害波及の実態と構造の分析⁵⁾、ブレーンストーミングやFSM(Fuzzy Structural Modeling)による震災波及構造のモデル化^{6),7)}、システム間の機能的被害波及を考慮したリスク分析手法を上水道と電力システムに適用した研究⁸⁾などが行われている。

本研究は、インフラ管理者による適切な防災戦略・復旧戦略の立案、対策効果の評価を支援することを目的として、インフラ被害の影響が時間的・空間的・事象的に波及する構造を表現することが可能なモデルを提案するものである。まず過去に発生した、または将来の大規模災害時に発生する可能性のある主要インフラ間の被害波及事例を調査し、その結果をもとに、被害波及の様相を表現する解析モデルを構築した。解析モデルとしては、相互依存構造マトリクスとシステムダイナミクスに基づく2種類を検討した。また、これらのモデルを用いて相互依存性解析のケーススタディを実施し、モデルの適用性と改良の方向性を整理した。

2. インフラ被害波及事例の調査

2.1 対象とする事例

主要な既往地震において、各地震における重要インフラ被害波及の実態を調査し、それぞれのインフラを軸にとりまとめた。ここで、重要インフラとは道路、鉄道、上下水道、電気、ガス、情報通信を主とした。

調査対象地震は、近年のわが国における災害で、インフラ間の相互被害波及事例が集まった、1995年兵庫県南部地震と2004年新潟県中越地震とした。また、調査にあたっては、インフラ事業者の公表資料および民間研究所等の各調査機関が公表している調査結果等を参照した。新潟県中越地震については、道路の寸断が住民生活および産業や経済活動へ波及した事例の補足調査（ヒアリング調査）を実施した。

2.2 既存文献による調査

2.2.1 調査の方針

兵庫県南部地震と新潟県中越地震を対象に、次節に挙げる文献から、地震災害時の重要インフラの相互連関と波及、ならびに事前調整の欠如等により発生した復旧工事の相互干渉について整理した。整理は、以下の5項目について行った。

- ①影響を与えたインフラ：自らの被害により、他のインフラに何らかの影響を与えたインフラの種類
- ②影響を受けたインフラ：他のインフラの被害により、何らかの影響を受けたインフラの種類
- ③影響の種別：阪神・淡路大震災におけるライフラインの相互関連構造⁹⁾で挙げられている「物理的被害波及」、「機能的被害波及」、「復旧遅延」、「代替（としての影響波及）」、「複合災害（の波及）」の5種類に、「住民サービスへの波及」を加えた6種類とした。
- ④詳細：被害波及事例の詳細について、文献の記述を引用した。
- ⑤出典：被害波及事例が収録されている文献名を記載した。

2.2.2 収集・参照した文献と事例の整理

収集した文献一覧を以下に示す。兵庫県南部地震に関する資料を表-2.2.1に、新潟県中越地震に関する資料を表-2.2.2に示す。また、これらの資料から抽出した、地震災害時の重要インフラの相互連関と波及、ならびに事前調整の欠如等により発生した復旧工事の相互干渉について整理した結果を表-2.2.3、表-2.2.4に示す。

表－2.2.1 兵庫県南部地震の事例について収集・参照した文献

No.	文献名 / 著者 / 年次	本調査での参照の有無
1	ライフライン地震防災シンポジウム 阪神・淡路大震災に学ぶ / 関西ライフライン研究会 / 1997	—
2	阪神・淡路大震災調査報告 ライフライン施設の被害と復旧 / 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会 / 1997	○
3	阪神・淡路大震災誌 / 財団法人日本消防協会 / 1996	—
4	阪神・淡路大震災と都市ガス / 社団法人日本ガス協会 / 1997	○
5	阪神・淡路大震災 水道復旧の記録 / 神戸市水道局 / 1996	—
6	マルチメディアと危機管理システム / 吉川英一 / 1996	—
7	災害時における情報通信のあり方に関する研究 / 兵庫ニューメディア推進協議会 / 1995	—
8	オレがやらなきゃ誰がやる 大震災・通信復旧の現場 / 中野明 / 2005	—
9	阪神・淡路大震災に学ぶ銀行の事務対応 / さくら銀行 / 1996	—
10	阪神高速神戸線復旧への軌跡 / 阪神高速道路公団[他] / 1997	○
11	よみがえる鉄路 阪神・淡路大震災鉄道復興の記録 / 阪神・淡路大震災鉄道復興記録編纂委員会 / 1996	○
12	神戸港震災復興誌 / 運輸省第三港湾建設局 神戸港湾工事事務所 / 1998	—
13	神戸港復興記録 / 神戸市港湾整備局 / 1997	—
14	震災等発生時の旅客交通に関する調査研究報告書 / 財団法人関西交通経済研究センター / 1995	—
15	大規模地震災害等における貨物緊急輸送及び代替輸送対策に関する調査 報告書 / 財団法人運輸経済研究センター / 1995	—
16	阪神・淡路大震災の実態調査に基づいた震災時の道路交通マネジメントの研究 / (財)国際交通安全学会 / 1998	—
17	大規模地震災害等における貨物緊急輸送及び代替輸送対策に関する調査 報告書 / 財団法人運輸経済研究センター / 1995	—
18	災害医療 阪神・淡路大震災の記録 / 株式会社薬業時報社 / 1995	○
19	地震と都市ライフライン / 都市防災と環境に関する研究会 / 1998	○
20	電話はなぜつながるのか / 米田正明 / 2006	○
21	鉄道を巨大地震から守る / 仁杉巖 / 2000	○
22	阪神・淡路大震災 救護活動の記録 / 日本赤十字社 / 1996	○
23	語り継ぐ電気設備の震災対策:阪神・淡路大震災に学ぶ / 1999	○
24	阪神・淡路大震災 被害・復旧記録 / 大阪ガス株式会社 / 1995	○
25	1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析 / (社)日本水道協会	○
26	阪神・淡路大震災 下水道はどう対応したか / (社)日本下水道協会 / 1995	○
62	阪神・淡路大震災 一兵庫県の1ヵ月の記録/阪神・淡路大震災兵庫県災害対策本部 / 1995	○
63	阪神・淡路大震災誌「平成7年(1995年)兵庫県南部地震」－土木施設の地震災害記録－/兵庫県/1997	○
64	阪神・淡路大震災調査報告書 ー平成7年兵庫県南部地震東京都調査団ー/東京都 / 1995	○
65	阪神・淡路大震災におけるアクセス系設備調査報告書/NTTアクセス網研究所/1996	○

表－2.2.2 新潟県中越地震の事例について収集・参照した文献

No.	文献名 / 著者 / 年次	本調査での参照の有無
27	「新潟県中越大震災」における薬剤師の活動記録 / 新潟県薬剤師会 / 2005	○
28	新潟県中越大震災記録誌 / 財団法人新潟県下水道公社 / 2006	—
29	新潟中越地震災害復旧の記録 / NTT東日本新潟支店 / 2005	—
30	ライフライン下水道の復旧を急げ!! / 日本下水道協会 / 2005	○
31	新潟県中越大震災被害そして復旧へ / 日本郵政公社信越支社 / 2005	○
32	新潟県中越地震ガス地震対策調査検討会報告書/経済産業省 / 原子力安全・保安院 / 2005	○
33	新潟県中越地震における災害救護に関する実態調査報告書 / 日本赤十字社 / 2006	—
34	新潟県中越地震の復旧奮闘記 / 「新潟県中越地震の復旧奮闘記」編集委員会 第一建設工業 / 2005	○
35	新潟県中越地震震災復旧記録誌 / 東日本旅客鉄道株式会社 / 2005	—
36	新潟県中越地震水道被害調査報告書 / 厚生労働省健康局 / 2005	○
37	大震災における情報通信のあり方に関する検討会報告書 / 総務省信越総合通信局 / 2005	○
38	中越大震災 / 長岡市災害対策本部 / 2005	—
39	中越大震災(前編) / 新潟県中越大震災記録誌編集委員会 / 2006	○
40	平成16年新潟県中越地震に伴う高速道路の被災状況及び復旧概要【第3報】 / 日本道路公団北陸支社 / 2005	—
41	平成16年新潟県中越地震被害調査報告書 / 社団法人土木学会 / 2006	—
42	新潟県中越地震によるライフライン途絶地域産業への影響調査 / 電力中央研究所報告 / 2005	○
43	新潟県中越地震復興支援活動の記録 / JR 東日本労働組合 / 2005	○
44	新潟県中越地震に係る緊急輸送対応の取りまとめ報告書 / 社団法人全日本トラック協会 / 2005	○
45	新潟県中越地震応援活動記録 / 名古屋市上下水道局 / 2005	○
46	新潟県中越地震発生直後の地域衛星通信調査報告書 / 自治体衛星通信機構 / 2005	○
47	新潟県中越地震からの企業活動面における復興状況について / 日本銀行新潟支店 / 2005	○
48	新潟県中越地震～被害の影響と教訓 / 財団法人新潟経済社会リサーチセンター / 2004	○
49	新潟県中越地震被災地の声 / 新潟県消費者協会 / 2005	○
50	奇跡の復旧 / 日刊建設工業新聞社編集局特別取材班 日刊建設工業新聞社 / 2005	○
51	新潟県中越地震災害調査報告書 / 長岡技術大学中越地震調査団	○
52	新潟県中越地震 災害報告書 <高速道路の被災から復旧までの奇跡>/東日本高速道路株式会社新潟支社/2006	○

表-2.2.3 兵庫県南部地震における被害波及事例一覧

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
1	上水道	—	医療	各病院	住民サービス波及	給水車等により1月21日から47日間、55医療機関に延べ8,850㎡(人工透析、手術)	資料 2,p.29
2	上水道	—	生活、消防	—	住民サービス波及	散水車等により1月22日から47日間、54箇所に延べ8,168㎡	資料 2,p.29
3	電気	関西電力	上水道	—	機能的波及	停電、事故及び施設の機能停止による断水	資料 2,p.70
4	庁舎	神戸市	上水道	神戸市	復旧遅延	状況把握、被害分析、対策立案が困難を極めた	資料 2,p.76
5	道路	—	上水道	—	機能的波及	タンク車の給水に際し、道路渋滞や建物倒壊による道路閉塞が障害	資料 2,p.77
6	上水道	—	消防	—	複合災害	火災の発生状況、対応状況のデータ有り	資料 2,p.101
7	上水道	—	医療	各病院	住民サービス波及	病院の73.6%が「診療機能を低下させた主要因」と回答(トイレや手洗い、空調、人工透析、X線撮影現像、オートクレーブ、内視鏡洗浄、生化学分析、手術)	資料 2,p.103
8	通信	—	医療	各病院	住民サービス波及	病院の60.1%が「診療機能を低下させた主要因」と回答	資料 2,p.103
9	ガス	—	医療	各病院	住民サービス波及	病院の54.0%が「診療機能を低下させた主要因」と回答	資料 2,p.103
10	道路・交通	—	医療	各病院	住民サービス波及	医療従事者の参集困難。病院の44.2%が「診療機能を低下させた主要因」と回答	資料 2,p.103
11	電気	関西電力	医療	各病院	住民サービス波及	病院の33.1%が「診療機能を低下させた主要因」と回答	資料 2,p.103
12	電気	関西電力	上水道	—	機能的波及	浄水場やポンプの運転に必要	資料 2, p.106-109
13	通信	—	上水道	阪神水道企業団	復旧遅延	被害状況の概要が分かったのは地震発生後6-7時間経過後	資料 2,p.111
14	通信	—	上水道	神戸市	復旧遅延	情報収集、伝達に支障	資料 2,p.111
15	電気	関西電力	道路・交通	—	機能的波及	電車や信号等の停止が交通渋滞の激化を引き起こした	資料 2,p.112
16	道路・交通	—	上水道	神戸市	復旧遅延	交通渋滞の激化が職員の参集に影響を与えた。地震発生当日における出勤者率は、本庁公署で24.4%、本庁他部署で27.9%、事務所勤務公署で62.0%、事務所他部署で7.9%、全体で66.5%。	資料 2,p.113
17	電気	関西電力	下水道	—	機能的波及	停電によるポンプ停止	資料 2,p.149
18	電気	関西電力	廃棄物処理	—	機能的波及	個別の処理施設等の直接的な破壊は著しくは無く、停電や給水不能等の震災被害が間接的に波及した	資料 2,p.267
19	道路・交通	—	電気	関西電力	復旧遅延	従業員の出社困難。所属事業所に出社できない者が約半数。	資料 2,p.374
20	道路・交通	—	電気	関西電力	復旧遅延	復旧資機材、要員の移動、また復旧要員のための生活物資の移動が困難。海路も活用して対応。事業所間の復旧要員の移動時間に関するデータ有り。	資料 2, p.385-386

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
21	道路・交通	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	従業員の出社困難。兵庫地区における当日17時段階における出社率は、約4割。	資料 2,p.431
22	電気	関西電力	道路・交通	—	機能的波及	信号機の麻痺。神戸・阪神地区では約3000箇所余りの殆どの信号が麻痺したが、物理的被害によるものはわずかに282箇所、残りは停電が原因であった。	資料 2, p.512-513
23	電気(→通信)	関西電力	行政機能	—	住民サービス波及	行政機関相互の緊急連絡が大きく阻害された。	資料 2,p.513
24	下水処理	—	廃棄物処理	東部スラッジセンター(六甲アイランド)	機能的波及	東灘処理場の下水処理水を冷却水として利用していたため	資料 2,p.513
25	下水処理	—	廃棄物処理	環境処理センター(芦屋市)	機能的波及	下水処理水を排ガス冷却に利用していたため	資料 2,p.513
26	ガス	—	廃棄物処理	—	機能的波及	ガス断による熱源喪失	資料 2,p.513
27	上水道	—	ガス	—	復旧遅延	漏水等のガス修理箇所への浸水やガス管への差し水。復旧作業効率の極端な低下。	資料 2,p.515
28	ゴミ処理(→道路)	—	下水道	—	復旧遅延	瓦礫が路上に山積したため、弁の操作やマンホール蓋の開閉ができなくなり、復旧作業に支障をきたした。	資料 2,p.517
29	建築物	—	道路(車両)	—	物理的波及	マイカーは塀が倒れて使用不能だった。	資料 18,p.16
30	上水道	神戸協同病院	道路	—	代替	病院の機能維持のために水の確保が最大の課題となった。透析には1日5-6トンの水が、日常診療には30トンの水が必要だった。そこで、17日から20kgポリ容器を車に積み込み、約7km離れた水源地を往復する作業を始めた。	資料 18,p.20
31	電気	甲南病院	道路	—	代替	患者の不安解消や暖房に対応するため職員が六甲トンネルを2往復して自家発電用の軽油10缶を調達。	資料 18,p.21
32	電気	神戸市中央市民病院	医療	神戸市中央市民病院	住民サービス波及	人工呼吸器の故障が患者16人の生命を脅かした。医師、看護婦、家族が協力してアンビューバックを繰り返し揉んで、患者に空気を送り続けた。	資料 18,p.23
33	道路	神戸大橋	医療	神戸市中央市民病院	住民サービス波及	神戸大橋の不通で震災直後は殆ど機能しなかった。	資料 18,p.23
34	海路	—	医療	六甲アイランド病院	代替	1月19日からクルーザーを調達し、六甲アイランドから大阪港に、外傷性急性腎不全患者約20名を家族とともに海路で搬送した。	資料 18,p.27
35	通信	—	医療	—	住民サービス波及	情報・通信の寸断は、病院間の負傷者受け入れにも大きな較差を生んだ。	資料 18,p.57
36	上水道	—	通信	兵庫医大	物理的波及	高架水槽の破損や水道栓の破裂で救命救急センターの院内は水浸しになり、医局のファクシミリも使用不能になった。	資料 18,p.57
37	ガス	—	建物	白鷺病院	機能的波及	地震の影響でガス漏れを起こし、診療所の患者を病院に避難させた。	資料 18,p.62

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
38	上水	—	井戸・海水	—	代替	六甲アイランド病院では、海水の淡水化プラント搭載自動車を利用して、1日100トンの水を確保した。また、神戸市内には各所に井戸があり、この水を精製し、手洗い水や臨床検査、透析などにも利用したケースがあった。	資料 18,p.154
39	上水	—	ガス	—	機能的波及	水がないのでボイラーを焚くことができず、暖房などの各種熱源としての機能を発揮できなかった。	資料 18,p.171
40	電気	関西電力	電気	—	機能的波及	停電により地下水排水ポンプが停止し電気室浸水により停電	資料 23(抜粋編),p.2
41	上水道	—	電気(自家発電)	—	機能的波及	断水等による冷却水途絶	資料 23(抜粋編),p.3
42	電気	関西電力	電気	—	機能的波及	停電により地下水排水ポンプ停止し地階設置の動力制御盤浸水	資料 23(抜粋編),p.4
43	鉄道	JR 西日本, 阪急, 阪神他 電鉄各社	社会・経済活動	通勤・通学	住民サービス波及	大阪～神戸間の JR、阪急、阪神各鉄道の交通量は1日約45万人、ピーク時1時間約12万人であるが、震災後には全て麻痺した。	資料 11,p.30
44	鉄道	JR 西日本, 阪急, 阪神他 電鉄各社	企業経営	鉄道各社	住民サービス波及	JR 西日本の被害額:1,540 億(復旧:1,020 億, 減収:520 億), 阪急:459 億(復旧:440 億, 減収:21 億), 阪神:474 億(復旧:457 億, 減収:17 億)。特に特徴的なのは、JR 東海も400 億(復旧:50 億, 減収:350 億)の被害を受けている点。自社の運休はほとんど無かったにも関わらず、山陽新幹線の運休による収入減が極めて大きかったことを示している。	資料 11,p.447
						JR 西日本の当期利益:299 億(5 年度)→76 億(6 年度), 阪急:61 億→△66 億, 阪神:31 億→△36 億。各社において、給与カット、配当の見送りなどが行なわれた。	資料 11,p.448
45	道路	—	下水道	—	復旧遅延	各種交通機関の寸断により地域防災計画等に定める職員の参集が困難であった	資料 26, p.24
46	通信	—	下水道	—	復旧遅延	電話が広範囲にわたって不通となり情報の伝達が極めて制限された	資料 26, p.24
47	下水道	—	上水道	—	住民サービス波及	溢水などによる苦情の約四十二%は水道の復旧に伴う排水設備の被害に由来するものと考えられる	資料 26, p.60
48	道路	—	下水道	—	復旧遅延	管きょ施設を担当している市内四箇所の現場事務所の内、被災の大きい東灘区、灘区、中央区、兵庫区を担当している事務所がポートアイランド処理場内にあり震災でポートアイランドと市内を結ぶ神戸大橋が被災し通行が難しく交通渋滞によって機能を果たせなくなっていた	資料 26, p.80
49	道路	阪神高速道路	下水道	—	物理的波及	阪神高速道路の橋脚の変位による汚水幹線の閉塞	資料 26, p.82
50	上水道	—	下水道	—	複合災害	上水道の復旧が進み、下水道の緊急復旧工事が遅れたら下水道によるパニックが発生し、市民に二次災害をもたらすであろう	資料 26, p.83

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
51	通信	—	下水道	—	復旧遅延	携帯電話は八台集まったが回線が錯綜し、ほとんど役に立たない。事務所の電話二回線も同様である。	資料 26, p.89
52	通信	—	下水道	—	復旧遅延	電話は殆ど通じない状況であり、兵庫県との連絡は不可能であり、大阪府下の防災無線も混雑して、府下の下水道事務所と連絡を取るのも難しく、府下の被害の状況さえ把握できない状況であった	資料 26, p.158
53	道路	—	下水道	—	復旧遅延	集積基地の大阪市から神戸市へ向かう国道は救急車、消防車、自衛隊、警察などあらゆる緊急車両がサイレンを響かせて走っており、神戸市内の渋滞は特に激しく、現地へ到着するまで大変な時間を要する	資料 26, p.233
54	下水道	—	放送	—	代替	管渠被害調査に欠かせない TV カメラ車も、その多くが民間の協力によるものであり、神戸市を含め被災都市が一斉に管渠被害調査を行ったことから、TV カメラ車の争奪戦となった	資料 26, p.235
55	下水道	—	通信	—	機能的波及	都市部に張り巡らされた管渠内に光ファイバーによる情報網を構築し、公共施設等と接続することにより、震災時における双方向の情報提供に役立てる	資料 26, p.248
56	下水道	—	交通	—	代替	処理場用地のヘリポート利用	資料 26, p.249
57	下水道	—	上水道	—	代替	高度処理水を避難生活の雑排水として利用する	資料 26, p.249
58	下水道	—	消防	—	代替	修景用水として供給している再生水の消火用水利用	資料 26, p.249
59	通信	—	医療・救護	—	住民サービス波及	発災当初は、電話等通信系統が全て不通となり、情報が殆ど入手できなかった。	資料 22, p.20
60	上水道	—	医療・救護	神戸赤十字病院	住民サービス波及	タンク車で4～5回各2トン程度を地下受水槽に給水、高架水槽にポンプアップして一時的に通水し、水洗トイレの一斉洗浄、給食の食器洗浄など限られた用途に使用	資料 22, p.22
61	電気	—	医療・救護	—	住民サービス波及	夜間は発電機、懐中電灯などを用いて活動を行った	資料 22, p.29
62	上水道	—	医療・救護	—	住民サービス波及	CT 装置が、地震による機械の損傷や水がないために撮影したフィルムが現像できなくなった	資料 22, p.38
63	ガス	—	医療・救護	神戸赤十字病院	住民サービス波及	3月10日から復旧し平常となった。そのため、病院給食は2月1日まで姫路赤十字病院と中町赤十字病院から調達した。2月2日からはプロパンガスにて病院給食を再開した。	資料 22, p.45
64	電気	—	医療・救護	神戸赤十字病院	住民サービス波及	エレベーターは5日間使用できず、病院への搬送に支障をきたした。	資料 22, p.46
65	道路・交通	—	医療・救護	神戸赤十字病院	住民サービス波及	公共の交通機関が回復していないため帰る足もない患者が少数であるが、入院となった。	資料 22, p.53

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
66	上水道	—	医療・救護	須磨赤十字病院	住民サービス波及	断水に伴う医療用水の枯渇から、検査、レントゲン、手術、滅菌等の分野で、当初1週間程度は対応不能であった	資料 22, p.58
67	上水道	—	医療・救護	須磨赤十字病院	住民サービス波及	入院患者への給食については、断水、ガス供給不能、食料納入業者の被災による納入不能により対応困難	資料 22, p.58
	ガス						資料 22, p.58
68	上水道	—	医療・救護	須磨赤十字病院	住民サービス波及	患者の生活用水については、当初2~3日は給水が調理用水のみであったため、便器洗浄水、手洗水等がなく不潔、不浄な生活となった	資料 22, p.58
69	道路	—	医療・救護	須磨赤十字病院	住民サービス波及	通院道路が1本でかつ狭小でのため震災時、大渋滞を来し、救急車を除き、車の通行が殆ど不可能であったことから、外来患者は救急搬送患者及び周辺住民がほとんどであった。	資料 22, p.59
	上水道	—	医療・救護	須磨赤十字病院	住民サービス波及	震災時、病院としての医療を継続する上で必要な資材は、食料とともに「水」であった。…以下略	資料 22, p.59
70	道路・鉄道	—	医療・救護	大阪ガス赤十字病院	住民サービス波及	鉄道の不通、道路は大渋滞等で職員の出勤の足にも影響し、あちこちの職場で欠員が続出	資料 22, p.70
71	上水道	—	医療・救護	兵庫センター	住民サービス波及	発電装置が水冷式のため、貯水タンクの水がなくなった同日午前 10:15 には停止	資料 22, p.79
	電気	—	医療・救護	兵庫センター	住民サービス波及	停止したフリーザー・保冷庫の温度維持は、電力復旧までの間、応急的にドライアイス・氷を用いて行われた。	資料 22, p.79
72	通信	—	医療・救護	兵庫センター	住民サービス波及	困難ながらも通話可能であった電話が、通常回線に引き続き午後 2:20 頃には非常回線も不通となり、完全に使用できなくなった。	資料 22, p.80
73	ガス	—	医療・救護	兵庫センター	住民サービス波及	ガスの復旧が長引いたため、空調設備と一部の検査機器はしばらく機能しなかった	資料 22, p.82
74	通信	—	医療・救護	日赤兵庫県支部	住民サービス波及	震災後電話回線などの被害によって救護活動の立ち上がりが困難であった	資料 22, p.137
75	水道	—	ガス	大阪ガス他	復旧遅延	復旧作業を最も困難にしたのが、水の流入である。当初は釧路沖地震の実績などから1セクターを4~5日間で復旧できると想定していたが、ガス管内に大量に流入した水や土砂の排出に手間取り、1セクターの復旧に1週間以上かかることもあった。阪神間では六甲山と海にはさまれた坂の多い街並みが続き、高台で入った水がガス管内を流れ低いところにたまる。このため、顧客のガスメーターを外すと水が勢いよく出てくる現場や1t以上の水を抜いてもまだ水が出続ける現場もあった。水の流入があまりにも多いため、急遽、吸引式の水抜き機を導入し、現場で利用した。	資料 4, p.78
76	道路	—	ガス	大阪ガス他	復旧遅延	倒壊した家屋が道路を塞ぎ、復旧作業に着手できない道路では、修繕隊は次のセクターの復旧に進まなければならないため、道路に埋設されているガスの本支管や顧客への引き込み管を切断し、調査継続路線として修繕隊から復旧フォロー隊に復旧業務を引き継いだ。	資料 4, p.79

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
77	ガス	大阪ガス他	医療等	医療機関等 重要な施設	代替	病院の消毒用熱源を確保するため、まずカセットコンロを配布するとともに、代替燃料としてLPGなどを供給した。また、学校、幼稚園、老人福祉施設にも、LPGの他、LNG、CNG(圧縮天然ガス)を利用した代替燃料を提供した。社会的に重要な施設への代替燃料の提供は合計200件余りにものぼった。	資料4, p.80 詳細は p.204
78	ガス	大阪ガス他	生活	被災者(住 民)	代替	ガスの復旧が遅れている地域では、避難所へ車載式のシャワーを巡回させるとともに、大阪ガス施設等の用地に仮設風呂を設置した。最終的に準備した風呂、シャワーの利用者は延べ9万人に達した。また、復旧作業の終盤にはがれきの堆積が障害となり、作業に着手できない顧客に対して、LPG業界の全面的な理解・支援を得て風呂・厨房用の提供並びに仮設住宅へのLPGガス供給を行なった。	資料4, p.80 詳細は p.197
79	交通	—	ガス	日本ガス協会 地方部会(各 地のガス会 社)	復旧遅延	現地までの交通手段が限られているため、フェリーと陸路で現地に入った	資料4, p.87-
80	通信	NTT 西日本	ガス	大阪ガス他	復旧遅延	地震発生当時からNTTの電話回線がパンク状態でほとんどつながらなくなった。輻輳対策として効果的だったのは、(1)TV会議システム、(2)社内電話回線の増設、(3)NTT回線の増設、(4)その他として社内電話ネットワークを利用した内線電話 復旧作業期には、現地対策本部-前進基地の間、前進基地-復旧隊等の間などでの情報連絡が必要になり、NTT回線、携帯電話、携帯無線、衛星通信などの無線通信の確保が必要になった。	資料4, p.130-131
81	道路	—	ガス	大阪ガス他	復旧遅延	神戸の基地へ向かう際、交通渋滞に巻き込まれるのを避けるため、大阪、京都、東部の各供給部を午前0時過ぎに出発。現地基地に到着した各隊は車両の中で仮眠、早朝から復旧作業に着手した。	資料4, p.134
82	道路	—	ガス	大阪ガス他	復旧遅延	道路上に崩壊した家屋のがれきが多くあるため、漏洩調査作業がはかどらない路線があった。	資料4, p.163
83	ガス	大阪ガス他	生活	火葬場	住民サービス波及	西宮市満池谷火葬場から「震災で亡くなられた方々も含め、葬儀に滞りが始めているので早急にガスを開通してほしい」との強い要望があった。	資料4, p.164
84	ガス	大阪ガス他	生活・ゴミ	ゴミ焼却場	機能的波及	西区と苅藻島クリーンセンターから「ゴミが山のようにたまっているので早くガスを通してほしい」との強い要望があった。	資料4, p.164
85	ガス	大阪ガス他	水道	各自治体水 道局	復旧遅延	修繕隊で水道管を破損した場合にスムーズな対応を行なうため、水道局への連絡先をまとめて周知すると同時に、水道工事資格をもつ水道修繕専門班を編成して活用した。	資料4, p.168

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
86	ガス	大阪ガス他	企業経営	大規模産業顧客	住民サービス波及	震災の影響が最も大きかった湾岸エリアには、重工業関係の産業用顧客が集中しており、ガスの復旧時期が工場の操業開始に大きな影響を与えるケースも見られた。構内の導管延長の長い産業用顧客では、復旧工事が長期にわたるため、特別班を編成して復旧を進めた。	資料 4, p.187
87	道路	—	ガス	大阪ガス他	復旧遅延	初期活動においては、交通渋滞により、客先になかなか到着できなかった(朝9時にハーバーランド基地を出発して、尼崎基地に到着したのが深夜の2時になったこともあった)	資料 4, p.188
88	道路・交通	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	倒壊家屋による道路の閉鎖、ガス管への大量の水の流入、慢性的な交通渋滞等によりガス復旧作業環境は誠に厳しいものであった。	資料 24, 発刊にあたって
89	港湾	—	企業経営	—	住民サービス波及	港湾施設や荷役施設、倉庫の損傷により、神戸港の大部分の岸壁では荷役作業を停止せざるをえない状態に追い込まれた。	資料 24, p.14
90	道路・交通	—	—	—	復旧遅延	道路、鉄道に大きな被害が発生し、被災地に入ることのできるルートが限られ、通行できる道路に多くの車両が集中した。そのため大渋滞が発生し、被災地に入るのに非常に時間がかかり、救援・復旧活動にも大きな支障がでた。	資料 24, p.19
91	道路・交通	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	16:15 大阪北7ブロック供給停止決定(10.3万戸)→当該時点での修繕能力では対応困難と判断。供給を継続するとした場合、当ブロックは当社拠点からの距離が大きく、また道路状況も悪く修繕の遂行が困難。	資料 24, p.30
92	道路・交通	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	21:00 神戸4ブロック(一部)供給停止決定(12.4万戸)→神戸市中心部で東西の交通が事実上途絶されている状況から修繕能力の西域への移動が極めて困難であると判断されること。	資料 24, p.30
93	道路・交通、電気、水道	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	神戸供給部はポートアイランドの中にあつたが、島全体で液状化や側方流動現象が発生しており、島と陸側を結ぶ神戸大橋も通行止めとなった。停電・断水は続き、かつ道路の閉鎖により要員の召集・増強は困難と考えられたため、兵庫地区対策本部を社有施設が整い大阪方面から交通アクセスが可能な西宮の今津事務所に移すことになった。	資料 24, p.33
94	道路・交通	—	企業経営	—	住民サービス波及	(大阪地区の漏洩通報への対応)震災による交通規制の影響で、対策本部のある岩崎地区から淀川方面への道路では大渋滞が発生し、現場へ到着するのに時間がかかるため、大阪供給部の十三保安基地に前線基地を設置し、移動時間の短縮を図った。	資料 24, p.35
95	水	—	ガス	大阪ガス	物理的波及	地震によりガス管内に水が流入し供給支障が発生したため供給を停止(12,463戸)	資料 24, p.36
96	道路・交通	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	地震発生当日、出社できなかった社員(18%)のうち、「交通機関の途絶」によるものの割合は66%	資料 24, p.39
97	通信	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	電話などの通信手段がなかったため、多数の社員の安否が確認できなかった。	資料 24, p.39

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
98	道路	—	ガス	大阪ガス	物理的波及	道路が陥没した区間に埋設されているガス管や一部の橋梁に添加しているガス管で露出、変形などが発生した。	資料 24, p.40
99	港湾	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	泉北・姫路では当日に予定されていた LPG 受け入れは延期されたが、受け入れ設備に被害はなく、通常通り荷役を実施した。	資料 24, p.45
100	道路・交通	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	泉北製造所第一工場および姫路製造所からの当日の LNG ローリー出荷は、輸送ルートを確認後開始し、通行規制部分については代替ルートによって対応したが、交通事情により到着時間の遅延がみられた。	資料 24, p.45
101	道路・交通	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	高圧幹線設備の巡視・点検作業は、交通の混雑していた一部の区間を除きスムーズに行えた。	資料 24, p.46
102	水	—	ガス	大阪ガス	物理的波及	熱供給設備の被害[地域導管・洞道]オーキッドコート 住棟間の接続部、地中埋設管部で漏水が発生した。	資料 24, p.60
103	水	—	ガス	大阪ガス	物理的波及	熱供給設備の被害[地域導管・洞道]六甲アイランド集合住宅 地中埋設導管で漏水が発生するとともに、液状化により土砂が管内に流入した場所もあった。	資料 24, p.60
104	通信	NTT	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	コンピュータセンターと兵庫支社を結ぶ幹線系ケーブル 2 回線のうち、1 回線(オンライン用 NTT 回線)が切断され、それによる不通が発生した。	資料 24, p.61
105	電気	関西電力	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	兵庫支社～六甲営業センターおよび兵庫供給部のポートアイランド事務所～今津事務所を結ぶ支線系ケーブル切断による不通や、停電やコンセント抜けで多重化装置などの通信機器への電力供給の停止による不通も発生した。	資料 24, p.61
106	水	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	ガス管内に大量に流入した水や土砂の排出に手間取った。	資料 24, p.81
107	道路	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	倒壊した家屋が道路を塞ぎ、復旧作業に着手できない現場が増えてきた。このような路線では、修繕隊は次のセクターの復旧に進まなければならないため、道路に埋設されているガスの本支管や顧客への引込み管を切断し、調査継続路線として修繕隊から復旧フォロー隊に復旧業務を引き継いだ。	資料 24, p.81
108	—	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	倒壊家屋の解体・整地を行っている場合には、ダンプカーなどの出入りが多く復旧作業に着手できないため、工期の調整や臨時供給の手配などを行った。	資料 24, p.82
109	ガス	大阪ガス	医療・福祉	病院、学校、老人福祉施設など	代替	病院など特に社会的に重要な施設へは直ちに代替エネルギーを提供した。病院の消毒用熱源を確保するため、まずカセットコンロを配布するとともに、代替燃料として LPG などを供給した。また、学校、保育所、幼稚園、老人福祉施設にも、LPG の他、LNG、CNG(圧縮天然ガス)を利用した代替燃料を提供した。	資料 24, p.83
110	水	—	ガス	大阪ガス	物理的波及	供給停止地区の宝塚市北部地区で損傷した低圧導管への差水による章圧トラブルが発生したため、水取器の溜り水を抽水後に、ガスを放散し圧力を降下させた。後日、開栓に伴う溜り水の移動による広域出不良防止のため特定範囲についてセクターバルブの閉止を実施した。	資料 24, p.119

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
111	道路	—	ガス	大阪ガス	物理的波及	道路陥没や土砂崩壊などにより、中圧路線が影響を受けた。	資料 24, p.119
112	道路	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	道路上に崩壊した家屋の瓦礫が約 500m 程残っており、漏洩調査ができない路線があり、両側を低圧に減圧したセクター導管にしたうえで、両端のバルブを閉止して自動圧力計をセットしエア一圧で 24 時間の気密試験を行った。	資料 24, p.120
113	道路	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	道路上に崩壊した家屋の瓦礫が多く、分岐バルブも崩壊家屋の瓦礫の下敷きになっていたため、家屋解体が終了するまで漏洩調査ができず、バルブ閉止のままとせざるを得ない路線があった。	資料 24, p.120
114	ガス	大阪ガス	企業経営	満池谷火葬場(西宮市)	住民サービス波及	西宮市満池谷火葬場から「震災で亡くなられた方々も含め、葬儀に滞りが始めているので、早急にガスを開通して欲しい」との強い要望があった。	資料 24, p.121
115	ガス	大阪ガス	廃棄物処理	苅藻島クリーンセンター(西区)	機能的波及	西区と苅藻島クリーンセンターから「ゴミが山のようにたまっているので早くガスを通して欲しい」との強い要望があった。	資料 24, p.122
116	道路・交通	—	ガス	大阪ガス	物理的波及	地下鉄大開駅の駅舎がつぶれ、道路が陥没した。陥没部分に埋設されていた北神幹線中圧 A400m が座屈変形した。	資料 24, p.122
117	ガス	大阪ガス	—	—	住民サービス波及	膨大な材料・道工具を短期間で調達しなければならなかったため、材料メーカーなどに 24 時間の連続操業を依頼する一方、今津グラウンドなどの各基地の資機材置場に担当者を配置した。	資料 24, p.124
118	水	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	差し水の流入個所としては、地中埋設されたガス管の損傷個所が一般的であるが、この他に内管からの水の流入もみられた。家屋が倒壊し水道管とガス管が損傷した場合、通水により敷地内に水たまりができるとメーター立管から本支管内にまで水が流入する。通常の差し水個所の調査は、埋設導管を中心に行うため、このような差し水は調査上の盲点となった。	資料 24, p.134
119	ガス	大阪ガス	企業経営	—	住民サービス波及	震災の影響がもっとも大きかった湾岸エリアには、重工業関係の産業用顧客が集中しており、ガスの復旧時期が工場の操業開始に大きな影響を与えるケースも見られた。構内の導管延長の長い産業用顧客では、復旧工事が長期にわたるため、特別班を編成して復旧を進めた。	資料 24, p.144
120	道路・交通	—	ガス	大阪ガス	住民サービス波及	初期活動においては、交通渋滞により、客先になかなか到着できなかった。	資料 24, p.145
121	水	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	開栓が予定されていたセクターであっても、差し水などにより導管復旧が遅れ、開栓が遅れたり中止になることもあった。	資料 24, p.145
122	ガス	大阪ガス	企業経営	—	住民サービス波及	ガスの開栓時期が企業活動再開に直接影響するケースも多くあったが、復旧はセクター単位で進められるため、顧客の理解を得るのに苦労した。また、臨時供給燃料が準備できた頃に、ガス供給が再開されたケースもあった。	資料 24, p.145

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
123	水	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	復旧完了した地区が広がるにつれ、セクターとしては供給再開しているが家屋倒壊などでガスを使用できない顧客が加速的に増加し、復旧フォロー隊への供給再開要請オーダーが山積みとなった。顧客コールで現場へ赴いても、差し水などで本支管にガスが通じていないというケースや、単に開栓するだけ、あるいはすでに開栓済だったというケースもあり、修繕班が交通渋滞の中を数時間かけて現場へ着いても工事の必要がない、あるいは当日工事できないというような非効率なことが相当数あった。	資料 24, p.148
124	道路・交通	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	広報・顧客支援活動の中で特に苦労したことは、建物の倒壊・復旧工事車両による交通渋滞のため現場への交通手段はほとんど自転車に限られたこと。	資料 24, p.163
125	—	—	—	—	住民サービス波及	(後方支援活動など)JGA 応援隊の 4t 以上の車両は、道路幅員が狭い市街地において通行困難な場合が多かった。	資料 24, p.171
126	電気、通信、水	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	(後方支援活動など)電気・電話工事が非常にひっばくしており、また公共施設・他社施設の借用のため、発電機や無線で対応せざるを得ない基地もあった。給水については水道施設が使用できなかったため工水上水をローリー車で運搬したが、使用量が多く、運送管理が困難であった。	資料 24, p.172
127	道路・交通	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	(後方支援活動など)配送に関して、交通混雑のため輸送ルートの確保に苦労した。	資料 24, p.175
128	企業経営	大阪ガス	船舶	—	代替	地震発生後、交通渋滞などにより、陸上輸送が困難であるとの判断から海上輸送を計画し、貨物船(フェリータイプ含む)および通船を乗務員付きで手配し、弁当をはじめとする生活物資を海上輸送した。	資料 24, p.179
129	企業経営	大阪ガス	船舶	—	代替	兵庫支社受付の応援者の通勤時間の短縮を図ることを目的に、通船を乗務員付きで手配し、要員輸送を行った。	資料 24, p.180
130	企業経営	大阪ガス	航空	—	代替	緊急の人員・物資輸送が必要な場合を想定して、ヘリコプターによる航空輸送の運航を開始した。	資料 24, p.180
131	道路・交通	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	通行規制に対しては、「緊急輸送車両確認証明書」、「復興物資輸送車両に係わる標章」の交付を受けることにより、規制区域における通行ルートを確保することができた。	資料 24, p.180
132	道路・交通	—	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	自宅居住困難者および通勤困難者のうち希望者に対して社宅・寮を提供した。	資料 24, p.183
133	通信	NTT	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	兵庫地区における通信回線の被害に対して、NTT などの通信事業者による優先処理が行われた。	資料 24, p.185
134	通信	NTT	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	今津事務所などでは行政や工事会社など社外との情報連絡が頻繁に必要になり、NTT との折衝により早期に電話回線を増設し、つながりにくい状況を改善した。	資料 24, p.186

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
135	通信	NTT など	企業経営	大阪ガス	住民サービス波及	前進基地の電話回線を確保するために、NTT にケーブル引き込み工事や臨時加入電話の申し込みを行うとともに、携帯電話を 667 台確保した。さらに、衛星通信用可搬局 5 台が緊急に手配でき、非常に有効な通信手段となった。また、保安用移動無線機および臨時の周波数を手配した。	資料 24, p.186
136	通信	NTT	電気	関西電力	機能的波及	商用電源の停止や予備電源の損壊等により、約 28 万 5 千回線の交換機能が停止するとともに、アクセス系設備の損傷により、約 19 万 3 千回線がサービス停止した。交換機能については、移動電源車等により半日から 1 日半かけて復旧を行った。	資料 65, p.1
137	道路	—	通信	NTT	物理的波及	橋梁添架管路で橋梁自体の落橋により被災を受けた事例が 2 件発生している。	資料 65, p.32
138	道路・交通	—	通信	NTT	復旧遅延	管路被災調査は、家屋倒壊等道路交通事情によって点検が実施できていないところも少なくない。	資料 65, p.54
139	通信	—	行政機能	兵庫県	住民サービス波及	通信回線の輻輳、通信設備の故障等のため、関係機関との連絡が極めて困難であった。 ・一般加入電話は発信がほとんどできず、県庁大代表の着信が極めて困難と成った(NTT では 17 日は終日全国から神戸への通話が通常ピーク時の 50 倍程度集中していた) ・消防庁行政無線は 19 時まで、兵庫衛星通信ネットワークシステムは 12 時 5 分まで停止した。	資料 62, p.9
140	水道	—	電力	兵庫県	機能的波及	地震発生と同時に関西電力からの供給がストップし、自家発電に切り替えたが、断水等による冷却水の供給が途絶え発電機が停止したため、7 時 50 分～11 時 50 分の間、災害対策本部のある 2 号館及び 1 号館が停電した。	資料 62, p.9
141	交通	—	行政機能	兵庫県	住民サービス波及	職員地震の被災及び道路・鉄道等交通網の途絶のため、当日 14 時頃までの本庁への出勤率は職員全体の 2 割程度であった。また、災害対策本部事務局となる消防交通安全課では、6 時 45 分に災害担当の防災係長が本庁に到着したが、8 時 30 分の第 1 回本部会議開催時までには本庁舎に出勤できたのは数人であった。	資料 62, p.9
142	道路	—	食料	兵庫県	住民サービス波及	食料の東播磨地域からの搬送や阪神間からの受取は自動車を用いたが、道路の遮断、車の渋滞等により深夜まで混乱状態が続いたため、西播磨地域からは自動車輸送を断念し、自衛隊のヘリコプターの協力を得て、姫路競馬場の臨時ヘリポートから千僧駐屯地(伊丹市)への空輸を 18 日早朝行なうこととした。	資料 62, p.15
143	交通	—	行政機能	兵庫県	住民サービス波及	県職員の出勤状況は、当初自らの被災及び公共交通機関の途絶等により困難を極めたが、20 日には本庁職員のうち 7 割が出勤し、翌週以降 9 割以上の出勤が確保された。	資料 62, p.29

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
144	道路・交通	—	交通・救急患者、物資、飲料水輸送	—	住民サービス波及	18日未明、県立淡路病院から県立姫路循環器病センターまでの輸送要請に基づき巡視艇により輸送を行ったのをはじめとして、患者7人、医師11人の輸送を行った。17日に毛布1,000枚を神戸港から洲本港まで巡視艇により輸送したほか、各府県等からの毛布11,926枚、飲料水78,910lをはじめ、多数の食料品、医薬品、生活用品等の救援物資を輸送した。また、関西国際空港に到着する海外からの医薬品等の救援物資を巡視舟艇・航空機により輸送した。17日西宮市鳴尾浜で給水活動を開始したほか、同地区及び六甲アイランド及び深紅浜において、巡視船により清水5,658トンの給水を行なった。	資料 62, p.38
145	ガス、水道	—	食料	—	住民サービス波及	食料については、食糧庁や自衛隊、他府県・食品関連企業等の協力も得て、ガス、水道が遮断された被災地に対し、学校給食センターからのおにぎりの提供やボランティア団体等による炊き出し、生鮮野菜の提供等を行なうとともに、淡路からの野菜・牛乳等の円滑な輸送体制の確立にも努めた。	資料 62, p.61
146	交通	—	ガソリン	ガソリン事業者	住民サービス波及	1月19日の営業状況は、被災地域内の全ガソリンスタンドの28%であったが、休業店舗109件中、49件が輸送の悪化に伴う在庫不足であった。	資料 62
147	水道	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	雨水、水道管の破損等による導管への予想以上の水の流入により復旧作業が遅れた。	資料 62, p.74
148	道路	—	ガス	大阪ガス	復旧遅延	多数の路上駐車による道路の掘削の遅れ、交通渋滞により復旧作業が遅れた。	資料 62, p.74
149	交通	—	企業経営	地場産業	住民サービス波及	播州織業界では神戸港の機能停止により原材料の調達、製品輸出に支障が生じた。被災地周辺の山地では道路網の寸断等により原材料調達や納品に支障が生じ、流通コストの上昇や納期遅れ等の影響が出た。	資料 62, p.95
150	交通・ガス・水道等	—	企業経営	観光業・温泉	住民サービス波及	有馬温泉等の主要観光地においては可能な範囲で営業を再開する施設がみられる一方で、施設の損壊以外にガス・水道等のライフライン停止のため休業を余儀なくされている施設も多い(1月28日現在:調査した神戸・阪神間の主要宿泊施設42のうち、営業再開12、休業30)1月末になると交通網の寸断、観光自粛ムード等によりキャンセルが相次ぎ、観光客が激減する等の間接的な影響が深刻化していることが判明した。	資料 62, p.96、p.97
151	交通	—	企業経営	県内産業・アパレル	住民サービス波及	交通網が遮断され、本社機能が麻痺する等により売上面への影響は大きかった。	資料 62, p.96
152	ガス・水道	—	企業経営	県内産業・電気機械	住民サービス波及	点検は終わったものの、再開にはガスと水道の供給待ちのところが多かった。	資料 62, p.97
153	道路	(県道管理者)	鉄道	JR西日本	物理的波及	県道伊丹豊中線天津陸橋のJR福知山線跨線部の応急対策についてJR西日本と協議し、本体の崩壊防止とJR運行の安全性確保のため、応急工事に着手、21日には工事を完了させ、翌22日にJR福知山線が開通した。	資料 62, p.114

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
154	電気・水道	—	交通(港湾)	港湾・海岸施設	機能的波及	尼崎西宮芦屋港にある尼崎第一閘門が地震直後に前扉開放用ロープ2本及び後扉閉鎖用ロープが1本切断し、開放状態で被害を受けた。地震発生後20分で自家発電機を起動させ後扉を閉鎖し通常の満潮位に対する防潮機能を回復させたが、港内水位がこの後扉閉鎖までに約20cm上昇したため、地震発生56分後より、緊急排水するためポンプを自家発電で動かしていたが、冷却水不足で停止寸前の状態になった。関西電力の送電が回復したため運転を継続。	資料 62, p.117
155	電気・水道	—	下水道	(県が事業主体の)流域下水道	機能的波及	6処理区のうち4箇所処理場、ポンプ場において水処理、汚泥処理施設及び施設の損傷、並びに場内道路の陥没等の被害が判明したが、水道の断水によりポンプ等の冷却水を井戸水で代用したり、汚泥の処理過程をバイパス化することで処理場の処理機能を保持した。	資料 62, p.119
156	道路・ガス	—	下水道	公共下水道	復旧遅延	1月28日には(下水道)復旧工事に際し必要となる道路管理者との占用調整協議、他占用事業者との調整を行なった。特に、ガスについては下水道管渠に滞留して2次災害の恐れがあるため、調査にあたっては事前に大阪ガスと連携を取りながら実施した。	資料 62, p.121
157	水道	工業用水道	企業経営	県内各事業所	住民サービス波及	神戸市内82事業所、西宮市53事業所、尼崎市内76事業所、伊丹市内40事業所の工業用水が送水停止に追い込まれた。工業用水道の事業所である県、各市では復旧作業に取組み、被災後1ヶ月で尼崎市、伊丹市、西宮市の一部事業所において送水が可能となった。	資料 62, p.121
158	交通	—	医療	医療機関、県	住民サービス波及	交通渋滞等のため救急車での患者搬送が困難を窮めたことから、消防庁や自衛隊等に応援協力を求め、ヘリコプター等の活用を図った。	資料 62, p.124
159	通信	—	医療	医療機関、県	住民サービス波及	震災当日は災害のため情報網が寸断し、指令機関が機能せず、救急医療と救急搬送の連絡がとれなかった。	資料 62, p.125
160	水道	—	医療	医療機関、県	住民サービス波及	一部の医療機関に対して、給水車の派遣や食料の提供を行なった。	資料 62, p.125
161	ガス	—	医療	医療機関、県	住民サービス波及	患者給食の確保に資するため、医療機関に対し、プロパンガス供給窓口の周知を図った。	資料 62, p.125
162	水道	関係市の水道事業主管課及び給配水事業所	医療	医療機関、県	住民サービス波及	関係市の水道事業主管課及び給配水事業所に対し、人工透析の円滑な実施のため、水の供給について要請した。	資料 62, p.125
163	通信	NTT	医療	医療機関、県	住民サービス波及	県救急医療情報システムは(震災発生翌日の)18日の午前1時から12時の間NTTのホストコンピューターの故障により情報システムを休止したが、震災当日においてもこのシステムの参加医療機関のうち半数以上において通信が確保された(320カ所のうち141カ所)	資料 62, p.128

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
164	水道	—	医療	県立病院(尼崎病院)	住民サービス波及	17日は一時断水し受水槽内の水で対応したが、節水に努めるため、人工透析を優先し内視鏡及び検体検査を停止した。給食のため、尼崎市水道局から特別給水を受けて対応したが、震災当日から3日間是有色の食器を使い捨てのものとした。	資料 62, p.129
165	交通	—	医療	県立病院(尼崎病院)	住民サービス波及	17日夜から当直医師に加えて各科医師が待機することとし、内科で3名、外科については全医師が院内に常時待機した。薬剤師、放射線技師、検査技師等の医療技術者も交通機関途絶と道路渋滞の関係で数日間院内に宿泊した。	資料 62, p.129
166	ガス・水道	—	医療	県立病院(西宮病院)	機能的波及	病院自体が被災し主要な医療機器の大半が故障するとともに、水道やガスの供給停止に伴い手術が不可能になり、その他の医療機器及び暖房・衛生設備も使用できなくなった。	資料 62, p.130
167	通信・交通	—	医療	県立病院(西宮病院)	住民サービス波及	救急医療システムの両輪である通信と搬送が遮断されたため、病院は孤立無援の状態に陥り、救急病院として求められている本来の機能を喪失した中で、多くの死傷者が次々と搬送され、病院のスタッフを総動員して、24時間の緊急診療体制で対処した。	資料 62, p.130
168	通信・交通	—	医療	県立病院(西宮病院)	住民サービス波及	地震発生直後から徒歩や自動車戸板等で多数の患者が運ばれ、救急センターと新館の外来に殺到したためパニック状態になった。急遽2号棟のリハビリ室を指令所兼死体安置所としたが、たちまち死者で埋まってしまった。しかし、他の病院への電話も全く通じず、自力で診療を続けるしかなかった。	資料 62, p.130
169	水道	西宮市水道局他	医療	県立病院(西宮病院)	住民サービス波及	深夜に西宮市の給水車で2トンの水が届けられた。	資料 62, p.130
170	ガス・水道・交通	—	医療	県立病院(西宮病院)	住民サービス波及	ガスは26日に復旧し、27日から本格的に給食業務が再開された。水については21日から小型給水車(5t)でピストン給水を行なったが、交通事情が悪く、1回の給水を行なうのに6~7時間を要旨、飲料水及び治療処置用水の確保がやっとであり、この状態が水道が復旧する2月14日まで続いた。	資料 62, p.131
171	電気	—	医療	県立病院(加古川病院)	住民サービス波及	17日は傷の手当てを行なうピンセットなども全く足りず、ローソクと懐中電灯の明かりを頼りに救援活動を行なった。	資料 62, p.132
172	水道	—	医療	県立病院(光風病院)	住民サービス波及	受水槽1基の破損の上に水道局からの給水圧が低下したため22日からは院内給水がほとんど不可能となった。このため水道局から給水車で水の補給を受けるとともに、小型トラックで水道局来たセンターから水を運んだ。病棟の入浴中止、暖房中止、トイレはバケツで流すなどの節水を1月末まで実施した。	資料 62, p.134
173	電気	—	医療	県立病院(こども病院)	住民サービス波及	地震発生後は停電となったが、スムーズに自家発電に移行した。(中略)14時頃、自家発電の燃料が乏しくなり、自家発電用タンクまで手で本館ボイラーの重油の補充にあたった。また、燃料切れによる自家発電停止が懸念された18日早朝にはパトカー先導により自家発電用燃料が輸送された。	資料 62, p.134

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
174	鉄道	—	交通・バス	—	代替	(鉄道網は)高架橋の倒壊等致命的な損害が発生しており、神戸市街地を中心に鉄道網の寸断状態が継続することが判明した。このため、23日から阪神間の代替バスの運行を開始し(JR、阪急及び阪神の3社合同、JR:甲子園～三宮間、阪急:西宮北口～三宮間、阪神:甲子園～三宮間、いずれも国道2号+山手幹線ルート)、以後、鉄道の再開区間に合わせたルートの変更を行なうとともに、28日には、交通渋滞を回避するため、国道43号に専用レーンを設ける等により輸送の円滑化に努めた。	資料 62 , p.146,152
175	鉄道	—	交通・海路	—	代替	23日に姫路港(飾磨)～神戸港間、24日に尼崎西宮芦屋港(今津)～神戸港間の臨時旅客船航路を開設した。	資料 62, p.146
176	鉄道	—	交通・トラック、船舶(輸送)	—	代替	鉄道貨物輸送も大きな影響を受け、トラックや船舶による代替輸送や迂回運転が行われた。	資料 62, p.146
177	通信	—	行政機関	神戸市消防局	住民サービス波及	通信システムは、平成6年3月に完成したものであるが、122回線の199番回線のうち、12回線が不通となった。地震発生とほぼ同時に119番回線の全てが受信状態となり、19台の受信台で対処したが処理しきれなかった。	資料 64, p.70
178	通信	—	行政機関	尼崎市消防局	住民サービス波及	地震発生直後、119番回線は32回線の全てが受信状態となり、当日の指令室勤務員9名で対応した。地震発生後から24時までの119番受信件数は、1995件であり、通常時の約16倍であった。	資料 64, p.71
179	通信	—	行政機関	大阪市消防局	住民サービス波及	地震動が収まると同時に243回線のうち、およそ200回線から入電し、常時160本程度が滞留していた。当日の指令室勤務員は21名おり、同時処理は最大20回線である。震災計画に基づき、各消防署への119番分散受信体制(各消防署約2回線)をNTTに依頼した。その結果、7時過ぎには、一部分移行が整い、さらに順次NTT営業所ごとを実施し対応した。各消防署への分散受信の切替えは、人力で行っており、最後の切替えが完了したのは、14時過ぎとなった。	資料 64, p.71
180	通信	—	行政機関	神戸市周辺の消防局等	住民サービス波及	神戸市周辺の消防局等においても119番回線は、地震発生直後から回線の全てが受信状態となり、119番通報の受信は数名の職員により対応し、地震発生当日は通常時の約15倍から20倍を記録している。	資料 64, p.71
181	交通機関、道路	—	行政機関	神戸市消防局	住民サービス波及	職員は、地震発生と同時に参集を開始したが、交通機関の途絶、道路等の通行不能、また、職員地震も被災しているため、参集には困難を要し、発生後2週間以内の参集率は、全職員の50%程度であり、90%以上参集するのに5時間を要した。	資料 64, p.71
182	道路	—	電気	関西電力	物理的波及	地中送電線路は、(中略)、被害はほぼ全て、地盤の液状化、道路の陥没、地割れなどの地盤変状に起因している。	資料 64, p.121
183	電気、水道	—	企業経営	三菱電機	住民サービス波及	伊丹製作所、北伊丹製作所など5工場で、建屋内の製造設備損壊、停電や断水などのため操業を一時停止。	資料 64, p.159

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
184	電気、水道	—	企業経営	ホシデン	住民サービス波及	西神工場でクリーンルームが非常停止。生産中の液晶装置用ガラス基板破損。停電と断水のため、その後も完全に操業停止。	資料 64, p.159
185	交通機関、道路	—	企業経営	アシックス	住民サービス波及	ポートアイランド内の神戸本社に社員が出勤できず、(略)	資料 64, p.159
186	電気、水道	—	企業経営	小松リフト	住民サービス波及	神戸工場では外壁にひびが入ったが、生産設備は無事であった。しかし、停電、断水で操業不能。	資料 64, p.160
187	電気、水道	—	企業経営	—	住民サービス波及	直接被害や、停電・断水による影響で、(中略)、操業停止に追い込まれている企業も多いと推定される。特に神戸市や西宮市では、工業用水の供給停止が長期化したことによる間接被害が大きい。	資料 64, p.161
188	水道	—	市場	中央卸売市場	機能的波及	断水のため本場では氷が確保できず、市場内の滞貨を腐らせてしまい、西部市場では食肉の解体が不可能となった。	資料 64, p.163
189	企業経営	—	道路	—	機能的波及	ガソリンスタンドに重大な火災被害が及んだ事例はないが、地震発生日、ほとんどは休業を余儀なくされた。そのため、消防車両等の緊急自動車の燃料補給に支障が生じたばかりではなく、疎開や物資輸送の自動車の燃料が欠乏し、路上に放置されたため、交通渋滞に拍車をかけた。	資料 64, p.165
190	交通機関	—	社会福祉施設	—	住民サービス波及	交通麻痺のため、自家用車利用者のみが昼頃職場に着くという職員の出勤状況であった。	資料 64, p.169
191	電気、水道、ガス	—	社会福祉施設	—	住民サービス波及	人的・物的被害が相対的に小さかったが、在宅被災者に対する支援の対応は遅れた憾みがある。その原因の一つには、ライフラインの切断により、震災後1週間は施設本来の機能の維持に人員を割かねばならなかったという状況があったようである。	資料 64, p.171
192	通信	—	行政機関	兵庫県消防防災課	住民サービス波及	庁舎 12 階の消防防災課に設置してある通信機器類が散乱していて使いものにならず、臨時電話と県警とのホットライン以外ない状況であった。衛星を利用した無線は、昨年(平成 6 年)6 月に設置した。多目的利用をしており、防災専用ではないが、庁舎 12 階の消防防災課に端末があった。停電とともに非常用バッテリーが作動しており、電源の問題はなかったが、内部の冷却装置が破損して、そのために通信衛星を使った防災行政無線の使用が不可能になった。10 時 30 分頃に消防防災課にいた職員 2~3 名は、市・県民からの電話受付で缶詰状態であった。それも、電話を受けるのみで、何らかの対応をとることはできなかった。防災行政無線の故障と電話の輻輳のため、防災関連機関からの連絡はほとんどなく、研から連絡をしてもほとんど用をなさなかった。そのため、実際に活動を起こすのに必要な「決め手」情報がなく、対応のとりにくい状況であった。各市とファックスによる連絡が取れたのは夕刻であり、各市の災害対策本部設置などの情報を含めて、各市の状況が把握できたのは、地震発生後から 2~3 日後であった。県内 10 市 10 町村との間にホットラインができたのは、2 月 12 日頃である。	資料 64, p.179-180

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
193	交通機関、道路	—	行政機関	兵庫県消防防災課	住民サービス波及	県職員 3000 人くらいのうち、被災した職員は約 100 名である。地震当日に参集したのは、消防防災課では 10 時 30 分頃で 2～3 名であり、15 時頃に約半数であった。ちなみに、県全体では約 40%が参集した。消防防災課の職員は 23 名であるが、3 名が被災しており、また市内居住者が少なく、多くは姫路・明石方面に居住していた。交通手段が途絶し、道路も渋滞したため、参集は極めて困難であった。	資料 64, p.180
194	通信	—	行政機関	神戸市	住民サービス波及	市と県の間は、衛星を使った県の防災行政無線が故障したため、一般電話回線のみであった。そのため、地震当日の 7 時頃より電話をかけ続けたが、県と連絡がとれたのは 9 時頃であった。市と区の間は、防災行政無線、一般加入電話、ファックスが使用できた。業者より、携帯電話の無償供与があり、区役所と各避難所との間の連絡手段として極めて有効であった。市災害対策本部へ市民からの安否確認電話が殺到し、電話は使えなくなった。市民からの電話のほとんどは、安否確認であったが、その他にも「指定避難所はどこか」という問い合わせも多かった。1 月 17 日 9 時 20 分頃より消防ヘリにより被害情報の収集を行った。9 時 40 分頃にこのヘリからの情報を受理し、ある程度被害状況を把握した。また、防災行政無線により各区より被害情報を収集した。しかし、各区職員も全職員の 50%程度登庁していれば良い方で、避難所開設と安否確認で手一杯であり、被害情報の把握にまで至っていなかったため、被害情報を市役所本庁にあげる状況ではなかった。火災監視用テレビが市内に何か所があったが、倒壊して役に立たなかった。	資料 64, p.184
195	交通機関、道路	—	行政機関	神戸市	住民サービス波及	職員の 79%が市内居住である。市役所まで徒歩 60 分の圏内は、西は兵庫区、東は灘区であるが、職員の多くは徒歩で 3～4 時間程度かかる西須磨のニュータウンに住んでいる。交通機関の途絶や道路渋滞で参集は困難であり、数時間かけて徒歩や自転車で登庁してきた者が多かった。したがって災害対策本部においても、地震当日の午後には 100 人規模になっていた。	資料 64, p.184
196	通信	NTT	行政機関	宝塚市	住民サービス波及	発災直後の情報については、ほとんど収集できなかった。NTT の非常用回線指定の電話も繋がりにくい状態が続いた。災害時には、総務課長宅に緊急連絡の電話が入ることになっているが、これもかかってこなかった。	資料 64, p.188-189
197	交通機関、道路	—	行政機関	宝塚市	住民サービス波及	職員の参集状況は、発災約 3 時間後の 9 時頃、2000 名の職員のうち 45%程度が参集、17 時で 70%、そのまま 22 時まで全員勤務し、このうち半分は職場で徹夜となった。	資料 64, p.189
198	通信	NTT	行政機関	尼崎市	住民サービス波及	発災直後の情報については、ほとんど収集できなかった。NTT 回線は 2～3 日使用が困難であった。	資料 64, p.191

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
199	交通機関	—	行政機関	尼崎市	住民サービス波及	職員の参集状況は、発災から約3時間後の9時頃、5400名の職員のうち20%程が参集、10時で40%、13時で46%が参集できたにとどまった。市の西方向に居住する職員はほとんど参集できず、東方向の職員も電車がストップしていたため、参集が遅れた。	資料 64, p.191
200	通信	NTT	行政機関	伊丹市	住民サービス波及	発災直後の情報については、ほとんど収集できなかった。NTTは1週間程度使用が困難であった。したがって、被災状況などは職員を市内に派遣して見てきたことを報告させる方法と、119番通報・消防無線での出勤先からの情報を報告させる方法により把握した。派遣する職員には、無線機や携帯電話を持たせた。衛星回線は2回線あるが、市内の連絡では使えず、被災情報の収集としては利用できなかった。	資料 64, p.192
201	交通機関、道路	—	行政機関	伊丹市	住民サービス波及	職員の参集状況は、発災約2時間後の8時頃、2300名の職員のうち40%程が参集、12時で80%が参集した。昨年(平成6年)9月の集中豪雨被害の教訓で、職員の参集体制を明確にしたことにより、他の市よりは参集していたと考える。	資料 64, p.192
202	交通機関	—	行政機関	大阪市	住民サービス波及	職員の参集状況は、発災約6時間後の12時頃で、管理職でも50%程度であった。被災地の区役所では、交通機関が途絶えており、尚更であった。	資料 64, p.194
203	廃棄物	—	交通機関、道路	—	復旧遅延	街中に溢れ返ったガレキは、都市の交通を妨げ、復旧・復興作業に大いなる支障を来した。	資料 64, p.266
204	道路	—	各ライフライン	—	復旧遅延	パイプラインの多くは道路を占用して埋設されているため、その被害復旧は道路の開削・埋め戻しを必要とし、完全復旧までに数日～数十日の期間を要する。また一般的に電力・水道・ガスの順に復旧が早い傾向にあることが知られている。	資料 19, p.23
205	各ライフライン	—	各ライフライン	—	復旧遅延	ライフライン系の復旧は、他のライフライン系の復旧と相互に影響を及ぼしあう。これがシステム相互関連性の問題である。たとえば、上水道の電動ポンプは、それ自体被害を受けなくとも、電力が供給されなければ、機能を喪失する。さらに個々の施設の復旧過程は道路交通も復旧と密接に関連する。このように、各ライフライン施設は相互に影響しあっており、それらの関係はきわめて複雑である。	資料 19, p.199
206	電気	—	下水道	—	機能的波及	<停電> ・ポンプ場、処理場施設の機能停止 ・照明・通信に支障 ・庁舎における復旧活動の低下	資料 19, p.335 表 11-1-1
207	ガス	—	下水道	—	物理的波及	<ガス管破損> ・管路施設内へのガス漏洩	資料 19, p.335 表 11-1-1

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
208	水道	—	下水道	—	機能的波及	<p><断水></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ポンプおよび原動機の冷却水の不足による揚水不能 ・トイレ使用不可 ・職員の飲料水の不足 <p><水道管破損></p> <ul style="list-style-type: none"> ・水道水と土砂が下水管きよに流入し管きよが閉塞 	資料 19, p.335 表 11-1-1
209	通信	—	下水道	—	復旧遅延	<p><回線断線></p> <ul style="list-style-type: none"> ・遠方監視遠方制御システムの機能停止 ・復旧活動の混乱・遅れ 	資料 19, p.335 表 11-1-1
210	交通	—	下水道	—	復旧遅延	<p><橋梁、河川堤、道路の破損></p> <ul style="list-style-type: none"> ・施設の被害状況調査が困難 ・復旧資機材、要員の到着の遅れ ・道路の復旧時期と管きよの復旧時期とのずれ ・職員召集の送れ ・道路の破損に伴う管きよの破損 <p><車両事故></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガソリンなどの下水管への流入 	資料 19, p.335 表 11-1-1
211	他のライフライン	—	通信	—	機能的波及	<p>ライフライン相互には図のように通信に対して電力、水道、道路は災害前後に渡って相互関係にあり、ガス、放送については支援の関係にある。通信の機能を維持するために電力が不可欠である。地震による停電時に移動電源車を配備するにあたっては、電力会社の停電回復状況を踏まえて、効率的に運用することが望まれる。地震時の道路には、不通箇所や交通渋滞箇所が多発することが予想され、これにより、応援部隊の到着が遅れる可能性は大きい。また、前述の移動電源車の配備にあたっては交通状況の把握が不可欠である。そのためには、ラジオなどからの道路交通情報だけでなく、警察や道路管理者から迅速に情報が収集できるような体制を整えておくべきであろう。</p>	資料 19, p.358 図 12-1-4 通信と他ライフラインの相互関係
212	電気	—	交通・地下鉄	各地下鉄事業者(神戸市営地下鉄等)	機能的波及	<p>自家発電装置自体には大きな被害はなかったものの、水冷式(ディーゼル式)の場合、貯水タンクが設置されていても、断水で補水ができず長時間の運転が不可能になったケースが報告されている(朝日新聞 1995年2月28日夕刊)なお、神戸市営地下鉄では、地震直後に停電したが、約1時間で電炉の点検を終了し、自家発電装置を稼働した。その後、地震発生より3時間後には関西電力よりの給電が再開されたので、同装置の稼働を中止している。</p>	資料 19, p.432

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
213	上下水道、道路	—	ガス	—	復旧遅延	復旧の長引く原因として、①一度供給停止してしまうと回復に時間を要するというガス供給システムの性格、②水や土砂が低圧導管へ流入し、除去に時間がかかること。③家屋損壊などによる地表の障害物や悪化している交通事情が復旧作業の能率を低下させていることなどの事項が挙げられる。	資料 19, p.463
214	各ライフライン	—	各ライフライン	—	復旧遅延	ライフライン施設相互の依存性や同じ道路下に埋設されている施設としての復旧の相互影響の課題がある。すでに述べたように、ガス管路の復旧には周辺の上下水道管からの流入水・砂が大きな問題となり、また通信の復旧には電力応急復旧用の仮配柱が助けとなった。尼崎東発電所では水道配管の損傷により発電用水の受入が停止した。今回、地震後3日以内に神戸市など7市で発生した179件の火災のうち原因がおよそ判明した79件の内22件がガス関係、41件が電力関係のいわゆる通電火災(11件は電気とガスの複合)であるとされている(室崎益輝) 日常より同じ道路下にあるライフライン施設の情報を一元管理し、地震時には被災箇所や復旧状況に関する情報を事業者同士が交換できる場を提供するシステムを準備しておくことも重要である。アメリカでは電気の復旧にガス会社が立ち会うというシステムもある。そこで神戸市では事業者間の連携を目的として建設部にライフライン復旧部会を設けることを決定した。	資料 19, p.476
215	他のライフライン	—	上水道、電力	—	復旧遅延	システムダイナミクス法を用いた復旧予測シミュレーションモデル:電力システムと上水道システムの2つのライフラインシステムを対象とする。これらのシステムの復旧過程におけるシステム間の相互影響の考慮、ネットワークの連結性、復旧戦略などをこのモデルに組み込み、より実証的な供給機能の評価のためのシミュレーションモデルである。とくにシステム間の被害影響では、ISM、FSMによるライフライン機能の定性的被害波及構造モデルを利用してライフライン間の被害影響波及の関係をモデル内に反映させている。(モデル構造の図、シミュレーション結果のグラフあり)	資料 19, p.213-218 図 6-3-1 ライフラインの機能評価モデルの基本構造 図 6-3-4 上水道システムの機能評価曲線 図 6-3-5 電力システムの機能評価曲線

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
216	鉄道	鉄道事業者	交通・バス	バス会社	代替	(県では)鉄道については、19日、三宮～西宮間の鉄道代替バスの運行について、近畿運輸局へ要請するとともに、運航経路や停留所確保に向けた地元調整を開始し、22日、近畿運輸局、建設省兵庫国道工事事務所、兵庫県警、神戸市等と最終調整を行なった。	資料 63, p.78 詳細は p.135 表-Ⅲ.3.3 主な 鉄道復旧と代 替バスの運行 状況(1月)
217	交通	—	行政機能	神戸土木事務所	住民サービス波及	本事務所は震災による被害が大きく、通常の交通手段である JR、神戸電鉄、神戸市営地下鉄などが不通となったため、当日出勤できた職員は約 30%であった。出勤の際にはほとんどの職員が単車や、職員同士乗り合わせの上、自家用車を利用した。道路混雑がひどく、通勤時間は 4～5 時間になる職員もいた。	資料 63, p.86
218	電気	—	行政機能	神戸土木事務所	住民サービス波及	本所は電気、ガス、水道のライフラインもすべて停止した。電気については、当日は自家発電装置で照明 3 基とテレビ 1 台に使用した。商用電力が回復したのは、翌週 23 日であった。	資料 63, p.86
219	水道	—	行政機能	神戸土木事務所	住民サービス波及	水道は 2 月上旬まで止まったままとなり、飲料水の確保が大変であった。	資料 63, p.86
220	通信	—	行政機能	神戸土木事務所	住民サービス波及	通信機器についても NTT 回線が制約されていたうえ、衛星通信回線も停止し、本庁等との連絡はほとんどとれない状況であった。	資料 63, p.86
221	交通	—	行政機能	西宮土木事務所	住民サービス波及	交通の寸断された神戸市以西からの通勤者が全職員の半数以上を占めていたこと、また、管内に居住していた職員もその多くが自ら被災していたため、当日の出勤はきわめて困難であり、出勤できた職員は全体の 35%で、ほとんどの職員は自家用車で職員同士乗り合わせて出勤した。道路混雑により通勤時間は 6～7 時間にも及ぶ職員もいた。	資料 63, p.89
222	通信	—	行政機能	西宮土木事務所	住民サービス波及	NTT 回線が制約されたうえ、衛星通信回線も停止していたため、県庁等との連絡もほとんどとれない状態にあった。	資料 63, p.89
223	電気、ガス、水道	—	行政機能	西宮土木事務所	住民サービス波及	電気、ガス、水道がすべて停止し、電気は当日夕方には回復したが、水道の回復は 2 月中旬までかかり、この間の飲料水、トイレの水の確保が大変であった。	資料 63, p.89
224	通信	—	行政機能	社土木事務所三木出張所	住民サービス波及	NTT 回線が制約されたうえ、衛星通信回線も停止していたため外部との連絡もほとんどとれなかった。	資料 63, p.94
225	交通	—	行政機能	加古川土木事務所	住民サービス波及	職員の出勤は交通渋滞により大変であった。また、本書は西播地区から通勤している本庁職員の集合場所となり、本庁までの足の確保に苦労した。借り上げ車は確保できたが、県庁まで到着しないこともあった。	資料 63, p.95

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
226	ガス、水道	—	行政機能	加古川土木事務所	代替	ガス、水道が停止したため、ガスについては携帯ガスコンロで、トイレの水は海水を薬剤散布用タンクに汲み上げて対応した。その散布用タンクは後に神戸土木事務所への給水タンクとして役立った。飲料水については、明石市の給水車や自家用車で出勤している職員が持参するなどにより対応した。	資料 63, p.96
227	通信	—	行政機能	加古川土木事務所	住民サービス波及	NTT 回線が制約されたうえ、衛星通信回線が停止していた。	資料 63, p.96
228	ライフライン、通信	—	行政機能	洲本土木事務所	住民サービス波及	ライフライン及び通信回線も本所・ダム建設室は機能したが、防災無線が故障し、電話も掛かりにくく、現場と事務所との連絡は困難であった。縦貫道・国際公園都市推進室では水道が1月22日まで、ガスは約2週間停止した。	資料 63, p.98
229	交通	—	行政機能	阪神都市整備局	住民サービス波及	通常の交通手段である JR、阪神電鉄、阪急電鉄が不通となった中、当日は約25%の職員が出勤した。翌日以降、出勤者は増え1週間後の25日には、ほぼ全員が顔をそろえた。(中略)自家用車での出勤は、道路混雑により、片道の通勤時間が6-7時間に及ぶ職員もいた。	資料 63, p.100
230	電気、ガス、水道	—	行政機能	阪神都市整備局	住民サービス波及	電気、ガス、水道のライフラインはすべて停止した。電気はすぐに復旧したが、水道は2月中旬、ガスは3月中旬まで止まったままで、飲料水、トイレの水の確保が大変であった。	資料 63, p.100
231	電気	関西電力	交通・港湾	尼崎港管理事務所	機能的波及	尼崎港管理事務所では、尼崎西宮芦屋港の尼崎第一閘門が地震直後に前扉開放用ロープ2本及び後扉閉鎖用ロープ1本が破断し、開放状態となった。関西電力からの電力供給が停止していたため、自家発電機を起動させ、後扉を閉鎖し通常の満潮位(OP+2.1m)に対する防潮機能を回復させたが、港内水位がこの間に約20cm上昇したため、6時50分より東浜第一ポンプ(排水量7m ³ /s×4台)を運転し緊急排水を開始した。この運転開始直後に自家発電機は、冷却水タンク破損により停止したが、停止直前に関西電力の電力供給が復帰したため運転を継続できた。	資料 63, p.101
232	通信	—	行政機能	兵庫県道路公社	住民サービス波及	電話、ファックスが17,18日の2日間通信不能となったため、土地開発公社の電話等を使用させてもらった。	資料 63, p.102
233	交通	鉄道事業者	交通	バス事業者	代替	1月23日以降の鉄道の復旧と代替バスの運行状況は表に示す。1月23日の代替バスの運行開始から6月26日の運行終了までの運行実績は、JR、阪急、阪神の3社合計で約1,450万人、約26万輛であり、1日あたりの最大は3月19日の3社合計約23万人、約4千輛であった。	資料 63, p.134-138 表-Ⅲ.3.3 主な鉄道復旧と代替バスの運行状況(1月-3月)

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
234	交通	—	交通・物資輸送	自衛隊	代替	1月18日には、陸上交通の途絶、渋滞によって被災地への緊急物資輸送が遅延する事態を避けるために、自衛隊ヘリコプターによる輸送を行うこととなり、運輸省大阪航空局や輸送拠点となる関西国際空港、大阪国際空港と調整を行った。19日には自衛隊に対し、航空機・ヘリコプターによる輸送力の増強を要請するとともに、地域防災計画に基づくヘリコプターの着陸適地の使用状況を把握し、新たな臨時ヘリポート用地確保のため、関係機関と調整を進めた。	資料 63, p.140
235	交通	—	交通・海上交通	海上交通事業者	代替	神戸～西宮間の生活交通対策を講じることが急務であることから、臨時航路を開設することとし、神戸海運監理部と調整のうえ、旅客船の運航事業者(徳島高速船株)に対して協力要請を行い、1月24日から尼崎西宮芦屋港(甲子園地区今津浜岸壁)と神戸港(メリケンパーク)の間に1日6便(うち1便は徳島～西宮～神戸)臨時航路を開設した。 その他震災により遮断された鉄道・道路等の陸上交通機関の代替となる海上交通機関として、神戸海運監理部及び書く事業者が開設した臨時航路について係留施設の確保を行なう等の協力を行った。	資料 63 , p.147-148 表-Ⅲ.3.8 開設された臨時航路
236	鉄道	JR、阪急、阪神	交通	バス	代替	震災直後から行われた代替バスでは JR、阪急、阪神の三社で鉄道の復旧に合わせルート変更し、最盛期には三社合計で一日約 4,000 便、約 23 万人を運び、震災復興の大きな原動力となった。	資料 21, p.87
237	鉄道	JR	鉄道	JR	代替	JR ではネットワークを活用し、大阪と姫路地区を結ぶ鉄道迂回輸送を①福知山線・山陰線・播但線経由、②福知山線・加古川線経由の 2 ルートで 1/23 から実施し、特急・急行を山陰線和田山駅、加古川線谷川駅で臨時停車させ接続(無料扱い)させた。連日輸送形態が刻々と変化するなかダイヤ改正のノウハウを活かし、社内全域から車両を配置換えし、順次編成組み替え、運行車両を確保した。	資料 21, p.89
238	鉄道	JR、阪急、阪神	交通	JR、バス	代替	これらの代替バスや鉄道迂回輸送は累計で 1,453 万人にのぼり、震災復旧、市民生活の維持に大きな役割を果たした。	資料 21, p.89
239	鉄道	JR	—	—	代替	大規模な復旧作業を行う空間と、復旧資機材や作業員の輸送路、輸送手段を確保することが重要な課題であるが、平常時からの関係機関との協議ネットワークを活用して、道路の占用・規制、運搬車の優先措置、河川敷の占用などバス路線の変更について、道路管理者、河川管理者、警察署、バス路線事業者や地元の全面的な協力を直ちに得ることができ、工期短縮につながった。	資料 21, p.96
240	—	—	—	—	—	復旧工事の実施に際しては、新幹線、JR 神戸線とも 24 時間作業体制(ただし新幹線の西宮地区では水道、ガス等が戻った 2/11 以降は 15 時間)をとることができた。	資料 21 , p.96-97

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
241		—		—	代替	廃棄物処理(鉄道の場合ほとんどは鉄筋コンクリートのガラ)に関しては、直後は工事で協議中の神戸市に持ち込み、道路渋滞がひどくなった2/1以降は近畿2府4県の産業廃棄物の処理施設である大阪府広域臨海処理センター(尼崎沖埋立処分場)に持ち込むことができた。その後、道路規制の強化に伴う搬入困難に際しても、一時仮置き場として吹田信号場および竜華操車場の一部を国鉄清算事業団、JR貨物から速やかに借用し、復旧工事を中断なく進めることができた。	資料 21, p.98
242	鉄道	—	交通	JR、バス	代替	ライフラインである鉄道の復旧までの間にも、生活の足として代替機能が求められた。そのための鉄道迂回輸送に、既設鉄道ネットワークの活用と臨時ダイヤ策定のノウハウが発揮され、代替バスや連絡運輸に、総合運輸事業者としての系列バス会社の活用や事業者間の振り替え輸送のノウハウが活かされた。	資料 21, p.101
243		—		—	代替	JR東海の東海道新幹線京都～新大阪間の高槻付近高架橋の応急復旧工事で、最も苦勞したのは無収縮モルタルの調達であった。八方手を尽くしたが、京阪神地区では在庫がなく、品薄な名古屋地区からはヘリコプターで輸送を行ったが輸送量には限界があり、自動車輸送についても到着の見込みが立たなかった。このため、万々に備えて東京地区で調達をすることとしたが、迅速な輸送手段がなく、非常手段として新幹線営業列車のデッキを利用することも考えたが、最終的には、ドクターイエローにモルタルを一杯詰め込んで運ぶという、新幹線史上初の新幹線車両による復旧資材輸送を行うこととなった。	資料 21, p.219
244	企業	JR東海	病院	日本赤十字	代替	JR東海では自社専用の防災ヘリコプターを所有しており、被災状況の情報の収集、復旧要員の派遣ならびに復旧資機材の空輸に大いに活躍した。鉄道に限らず、日本赤十字にも貸し出し、病人の輸送にも活躍した。	資料 21, p.223

表-2.2.4 新潟県中越地震における被害波及事例一覧

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
1	道路	—	食料	—	住民サービス波及	被災地周辺の道路網が寸断され、食糧供給の大きな障害となった。	資料 39,p.62
2	鉄道	JR東日本	道路	JR東日本	代替	運休区間に代行バスを運行	資料 39,p.169
3	鉄道	JR東日本	航空	日本航空/全日空空輸	代替	上越新幹線不通による新潟-羽田/大阪臨時便の運航	資料 39,p.170
		新潟空港		利用者倍増による手荷物検査装置の増設や待合室の拡充		資料 39,p.170	
			道路	—		新潟空港行きリムジンバスの増発	資料 39,p.170

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
4	道路	関越自動車道・北陸自動車道	航空	自衛隊/日本航空/全日空空輸/大韓航空	代替	関越自動車道・北陸自動車道が一部不通となったことから、新潟空港が初動期の救援物資輸送に活用された。	資料 39,p.170
5	道路	関越自動車道	道路	磐越自動車道・上信越自動車道	代替	関越自動車道不通の間、磐越自動車道・上信越自動車道の交通量が増加。高速道路間での代替機能の発揮。	資料 39,p.172
6	鉄道	上越新幹線	道路	—	代替	新潟—東京間の運行(磐越自動車道及び東北自動車道経由)	資料 39,p.172
7	鉄道	新幹線	企業経営	織物・ニット製造	住民サービス波及	都内アパレル企業等への納期に遅れが生じた。	資料 39,p.201
8	電気	—	企業経営	日本精機	住民サービス波及	生産管理等のシステムが数日停止。その間生産計画や在庫管理を人手で実施。	資料 39,p.201
9	道路	—	食料等支援	—	住民サービス波及	市町村災害対策本部から点在する各避難所までの道路状況が悪く、支援物資が行渡らない	資料 39,p.224
	通信	—				電話回線の不通等により各避難所までの支援物資が行渡らない	資料 39,p.224
10	道路	山古志村	航空	—	代替	道路寸断による山古志村孤立のため、ヘリコプターを用いた村民避難を実施	資料 39,p.243
11	道路	—	ガス	石油資源開発(株)	物理的波及	震源に極めて近接した小千谷市南部木津地内において道路崩壊により片貝～川口送ガスパイプラインが変形・亀裂損傷	資料 32,p.13
12	水道	—	ガス	—	復旧遅延	見附市ではガス設備には大きな損傷は認められなかったものの、水道復旧に要員を投入する必要性等からガス供給を停止。(公営・小規模事業者では、少人数でガス・水道事業を一緒に管理する事業者が多い)	資料 32,p.15
13	道路	—	ガス	(社)日本ガス協会	復旧遅延	山間部における土砂崩壊等による交通遮断により、先遣隊が川口町及び堀之内町に入れたのは10月26日となった。(地震発生は23日)	資料 32,p.17
14	道路	—	ガス	ガス事業者	復旧遅延	土砂崩壊等による交通遮断、避難勧告等により、迅速に復旧に取り掛かれないう地域が発生した。(復旧完了まで1ヶ月を要する地域があった)	資料 32,p.18
15	上水道	—	ガス	—	復旧遅延	水道水が掘削溝や損傷したガス導管内に流入したため、ガス導管内の水を抜くための道路掘削及び採水作業に時間を要した。	資料 32,p.19
16	通信	石油資源開発(株)	ガス	石油資源開発(株)	復旧遅延	長岡監視センターへのSCADAデータ送信が途絶、川口ラインのガス漏洩見地まで2時間弱を要した。	資料 32 参考資料,p.127
17	道路	—	ガス	石油資源開発(株)	復旧遅延	現場周辺の大型車両の通行が制限され、工事施工時間帯の制約を受けた。	資料 32 参考資料,p.129
18	電気	—	上水道	小千谷市ガス水道局	機能的波及	停電、自家用発電設備も冠水により稼働できなかったため浄水施設が停止。地震直後から5日間は全戸断水。	資料 36, p.10

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
19	道路	—	上水道	小千谷市ガス水道局	復旧遅延	11月17日現在においても、道路崩壊により復旧が遅れている地区で応急給水をしている状況。	資料 36, p.13
20	下水道	—	上水道	—	複合災害	下水道施設も大きな被害を受けたため、復旧までの間、下水を未処理のまま又は簡易な処理をただけで河川に放流せざるを得ない状況が続いた。この表流水を取水している水道側では、状況に応じて浄水方法の変更、消毒の強化等の緊急措置が必要となる。	資料 36, p.65
21	下水道	—	上水道	—	復旧遅延	「上水道の復旧スピードに合わせないと、下水道のせいで水道も使えない」	資料 30, p.108
22	下水道	—	道路	—	復旧遅延	復旧工事が重複しないよう調整する必要がある	資料 30, p.156
23	道路	—	下水道	—	復旧遅延	職員の参集が困難	資料 30, p.115
24	道路	—	通信	携帯電話基地局	復旧遅延	道路寸断により基地局への発動発電機の持込が遅れ、携帯電話の基地局が機能を停止。	資料 37, p.19
	電気	—					資料 37, p.19
25	通信	—	(特に)救急	孤立集落	住民サービス波及	翌日のヘリコプターによる確認まで被災地の状況把握が遅延する結果となった	資料 37, p.19
26	電気	—	放送	地上波	機能的波及	山間地にある小規模中継局は非常用電源をもたないものが多く、停電に伴い停波した	資料 37, p.20
27	通信	電話	通信	防災行政無線	代替	被災市町村における情報流通メディアの中心は、輻輳のない自営型の防災行政無線だった	資料 37, p.26
28	道路	—	企業経営	運輸, 小売, 観光等	住民サービス波及	一時的に売上が落ち込み	資料 47, 別表 1
29	電気	東北電力	郵便	七日町郵便局	住民サービス波及	停電の中、ロウソクでの作業。端末機が必要な仕事は何度も山を越えて隣の柏崎市北条局まで行って行った。	資料 31, p.22
30	道路	—	郵便	川口町郵便局	住民サービス波及	主要道路は通行できないため、バイクでしか動けず配達には困難を極めた。	資料 31, p.20
31	交通	—	企業経営	新潟県内企業	住民サービス波及	具体的な被害内容で最も割合が高かったのは、「人の移動の困難による出張の中止等」が22.0%、以下「建物の倒壊、損傷」が20.2%、「物流の停滞・混乱による仕入れ・出荷の遅延」が17.4%などとなった。 震源地のある中越では「建物の倒壊、損傷」が41.3%、以下「生産設備、販売用器具の損傷」が30.7%、「人の移動の困難による出張の中止等」が26.7%となった。下越では「人の移動の困難による出張の中止等」が、上越では「仕入れ、出荷先被災による売上・生産の低下」が最も高かった。中越では建物や生産設備など自社の施設等に関する直接的な被害が大きいほか、全般にわたって高い割合を示した。下越、上越では鉄道や道路などの公共インフラが寸断されたことによる間接的な影響の割合が高くなった。	資料 48, p.3 図 5 被害の内容(全体) 表 1 被害の内容(地域別)

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
32	電気	東北電力	企業経営	新潟県内企業(製造業・金属製品)	複合災害	長岡市内では停電により電炉が使用できなくなり、鉄が固まり電炉の修繕が必要となるほど大きな被害を被った企業もみられた。	資料 48, p.11
33	交通	—	企業経営	新潟県内企業(非製造業・運輸)	住民サービス波及	迂回を余儀なくされたことによるコスト増や運送時間の長期化などの影響も生じた。	資料 48, p.12
34	電気	東北電力	企業経営	新潟県内企業(製造業・食料品)	住民サービス波及	停電により生地などの仕掛品が廃棄処分	資料 48, p.14 震源に近い地域 被害内容
35	交通	—	企業経営	新潟県内企業(製造業・金属機械)	住民サービス波及	配送に半日程度の遅れ、出張などの人の往来に支障	資料 48, p.14 震源に近い地域 被害内容
36	電気・電話	東北電力 NTT 東日本	企業経営	新潟県内企業(製造業・電子部品・デバイス)	復旧遅延	停電や電話の不通により復旧が遅延	資料 48, p.14 震源に近い地域 被害内容
37	交通	—	企業経営	新潟県内企業(運輸業)	住民サービス波及	輸送時間の増加、高速道路の迂回などで、全体的にコスト増	資料 48, p.15 震源に近い地域 被害内容
38	—	—	企業経営	新潟県内企業(サービス業・警備)	住民サービス波及	ライフラインが停止したことにより人海戦術で営業	資料 48, p.15 震源から比較的 離れた地域被害 内容

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
39	交通	JR 東日本	企業経営	新潟県内企業(サービス業・旅行)	住民サービス波及	新幹線を利用する関東方面のツアーに取消し多い	資料 48, p.15 震源から比較的離れた地域被害内容
40	鉄道	JR 東日本	交通・バス	バス会社	代替	JR の不通区間では代替バスが運行	資料 48, p.16
41	鉄道	JR 東日本	交通・航空	日本航空、全日空	代替	新潟～東京間は臨時便が年明けの 1 月 4 日まで毎日 8 往復した。	資料 48, p.16
42	通信	NTT 東日本	医療	新潟県薬剤師会	住民サービス波及	現地本部への指示は、当初長岡市薬剤師会や現地本部員個人の携帯電話を利用していた。(その後連絡がスムーズになったのは 27 日夜、県薬剤師会のホームページに専用掲示板(中越地震災害対策ニュース)を立ち上げ、28 日に臨時電話とファックス回線を設置)	資料 27, p.11
43	交通	—	医療	新潟県薬剤師会	住民サービス波及	医薬品の配布は各避難所にボランティアの薬剤師が持参するという形をとったが、交通網の寸断、中山間地という状況下で現地本部と避難所との往復は多くのロスが生じた。	資料 27, p.13
44	通信	—	医療	新潟県薬剤師会長岡支部(長岡市薬剤師会)	住民サービス波及	大きな余震が来る度に携帯電話が不通になるという事態が生じるため、いつでも連絡が取れるよう、市中及び近郊の活動に限定したいことを申し出て本部の了解を得た。	資料 27, p.18
45	電気	—	医療	薬局(内科医院に隣接)	住民サービス波及	電気が止まったため、医院・薬局ともレセコンや電子薬歴が使えませんでした。(来院した人が持参したお薬手帳や薬剤情報提供書が役に立った)	資料 27, p.23
46	道路	—	医療	薬剤師ボランティア	住民サービス波及	(避難所への医薬品配布のために)波のようにうねった関越道を緊急車両を提示して走りぬけた地区、幹線道路が使えず崩れかけた山奥の迂回路を慎重に走行した地区もあった。(中略)道路の寸断により長時間かけて徒歩で山越えをした薬剤師もいた。	資料 27, p.25
47	上水道	—	医療	避難所等	住民サービス波及	水不足により、手洗いができないため、ウェルパス 100 本を持っていったら大変感謝された。	資料 27, p.82 他にもウェルパス不足の記述あり
48	電気	東北電力	上水道	—	機能的波及	停電による取水および送水の停止	資料 45, p.3
49	鉄道	JR 東日本	企業経営	JR 貨物会社	住民サービス波及	JR 黒井駅について、上・信越線が不通となり、JR 貨物会社の輸送の総配に支障するため、駅等の外壁の補修・塗装を行った。	資料 34, p.10

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
50	—	—	—	—	復旧遅延	(新幹線の軌道整備)土木、軌道、電力と一斉に工事を開始したため、保守用車、軌陸車が線路上を走り回り絶対線形の把握が遅れ、これが後で大きな禍根を残すこととなった。	資料 34, p.20
51	道路	—	企業経営	第一建設工業(株)	住民サービス波及	応急作業の応援があり、通勤することにしたが道路事情が悪く通勤には非常に多くの時間を費やした。これは高速道路が使用できなかったからであるが、高速道路の使用が可能で方法がある旨情報が入った。直ちに、最寄りの警察署に出向き「緊急通行車両確認証明書」の発行手続を行い有効に活用することができた。	資料 34, p.26
52	—	—	—	—	復旧遅延	レール面整正は、電力関係の保守用車と競合したため日中から夜間、夜間から日中と工程調整をしながら施工した。	資料 34, p.35
53	—	—	—	—	復旧遅延	レール交換は、電力関係の保守用車と競合したためすべて夜間作業で実施した。	資料 34, p.35
54	通信	電話	企業経営	新潟県消費者協会	住民サービス波及	中越地区にある9つの支部とは、地震発生当初、なかなか電話もつながらず、状況の把握もままならない状況でした。	資料 49, はじめに
55	通信	—	食料等支援	—	住民サービス波及	行政の災害対策本部と地域避難所との連絡体制、情報の伝達方法(連絡が取れない所は、救援物資も情報も行き届かなかった)。	資料 49, p.3
56	道路・交通	—	企業経営	—	住民サービス波及	通勤道路が土砂崩れのために通行できなくなり、遠回りをした。渋滞で時間がかかった。(小千谷市)	資料 49, p.20
57	道路・交通	—	企業経営	—	住民サービス波及	12日目から会社(長岡市)へ出社したが、交通機関が不便で、(小出町から)片道3時間くらいかかり、へとへとだった。	資料 49, p.26
58	道路・交通	—	医療	各病院	住民サービス波及	県立十日町病院、厚生連中条第2病院が被災患者の移送などに大変困った。	資料 49, p.58
59	交通	—	企業経営	運送業界	住民サービス波及	地震発生直後より、交通網は寸断されたため陸上輸送はストップしたものの、被災者支援やライフライン復旧のための緊急輸送が開始され、新潟県トラック協会をはじめ運送業界では行政と連携を図りながら緊急輸送への対応を進めていった。	資料 44, p.1
60	道路	—	航空	—	代替	自衛隊ヘリコプターが周辺の道路が寸断された山古志村から高齢者らを長岡市へ輸送した。	資料 44, p.1
61	—	—	—	—	住民サービス波及	高速道路等が不通の状況において、また強い余震が繰返し発生する中において、災害対策基本法に基づく指定公共機関であるトラック運送事業者を中心とした各トラック業者による緊急輸送は被災者の生命線として機能したと思われる。	資料 44, p.1
62	道路	—	企業経営	—	住民サービス波及	トラック輸送に不可欠な道路も、地すべりや陥没・隆起等により新潟県内 6,062箇所被害が発生した。	資料 44, p.7
63	鉄道	JR	航空	—	代替	新幹線が運転開始するまでの間、東京・羽田～新潟間に飛行機の臨時便が就航し、日本航空と全日空併せて1日8～10往復が運航された。	資料 44, p.9

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
64	—	—	—	—	物理的波及	多くのガソリンスタンドも被害を受け、地震発生直後(10/27)に状況が確認できたスタンドのうち、1割以上の事業所が「営業していない」または「連絡とれず」の状態であった。	資料 44, p.10
65	—	—	—	—	住民サービス波及	緊急輸送への対応:「中小企業における製造品等運搬車両の確保について(要請)」(新潟県産業労働部) 全ト協あて要請(10/29)	資料 44, p.13
66	—	—	—	—	住民サービス波及	緊急輸送への対応:「緊急援助物資輸送の円滑化について」(北陸信越運輸局) 新たな物流集積所(デポ)の確保、新潟県ト協・日本通運(株)新潟支店の協力体制整備 等(10/30)	資料 44, p.13
67	—	—	—	—	住民サービス波及	緊急輸送への対応:「緊急物資の緊急輸送に伴う費用負担について」(国土交通省貨物課) 地方自治体等からの費用の収受が困難な場合の交付金会計からの支出の取扱いを認めるもの(12/2)	資料 44, p.14
68	道路	—	企業経営	—	住民サービス波及	高速道路の不通により、被災地への救援物資輸送や、関越道を経由する通常貨物の輸送ルートは変更せざるを得ず、各社によって対応策がとられた。新潟県内の混乱を見越して、関西～東北が東京経由のルートを使用していた模様である。	資料 44, p.46
69	道路 (高速道路)	—	通信	—	物理的波及	施設構造物についても、切盛土境や構造物取付部等の道路本体の段差や沈下に伴い、通信ケーブルおよび管路の切断、休憩施設の建物等の損傷が発生。 (p.28,51 は写真のみ) 光ケーブルが複数箇所ですべて切断されるなど、通信回線が大きな被害を受けるとともに、情報データの伝達が途絶されたことによる二次的被害も発生した。	資料 52 , p.25,28,50-51
70	道路 (高速道路)	—	下水道	—	物理的波及	高速道路と交差する横断道路ボックスや横断排水パイプなどの道路付属物についても、施工目地部の開きや破壊などの損傷が発生。	資料 52, p.25,28
71	通信	NTT ほか	行政機能	震源付近の市町村(小千谷市、越路町、山古志村、他 10 ヲ所)	住民サービス波及	<ul style="list-style-type: none"> ・県への連絡には NTT 電話を使用。当初はつながりにくい時もあったが、回線の途絶はなかった。県の防災行政無線には被害はなかった。 ・県の防災行政無線は、ファクシミリについては良好に発着信できていたが、電話が不通になっていた。 ・当初、NTT 電話(災害優先設定有も含む)も携帯電話も使えなかった。NTT 電話は約 1 時間後に通じた。他 ●県災害対策本部への連絡手段まとめ(複数回答) ①NTT 固定電話利用:12 団体、②携帯電話利用:1 団体、③新潟県防災行政無線(衛星):1 団体、④その他・NTT 衛星携帯電話:5 団体、・可搬型無線機(150MHz):1 団体、・可搬型衛星地球局:1 団体、・MCA 無線機:2 団体 	資料 46, p.5-6

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
72	電気	—	行政機能	震源付近の市町村(小千谷市、越路町、山古志村、他 10 ヲ所)	代替	<p>・発生直後から翌朝まで停電が続いた。自動起動の発動発電機を所有しており、停電で起動した。</p> <p>・発災直後から停電があったが、手動起動式の発電機を起動し対応した。</p> <p>……他</p> <p>●発動発電機の整備状況まとめ</p> <p>①震災直後に停電した団体:13 団体、②発動発電機の有無、・発電機なし:なし</p> <p>・自動起動式:4 団体</p>	資料 46, p.7-8
73	各ライフライン	—	企業経営	新潟県中越地域に立地する製造業、非製造業事業者(あわせて 6000 件の事業所を対象に調査)	機能的被害波及	<p>ライフライン途絶抵抗係数はその値が小さいほどライフライン途絶による影響が大きく、操業率が低くなる。全産業では新潟県中越地域の係数は電力が最も小さく、途絶による影響が最も大きくなっている。その次に製造業では、水、非製造業では通信の途絶の影響が大きくなっており、ガス途絶の影響が最も小さくなった。下水道の停止や交通時間の倍増についても影響が大きく、各産業の操業率は 30-40%ほどに低下する結果となった。</p>	<p>資料 42, p.4-6</p> <p>表 7:非製造業のライフライン途絶抵抗係数</p> <p>表 8:製造業のライフライン途絶係数</p>
74	各ライフライン	—	企業経営	新潟県中越地域に立地する製造業、非製造業事業者(あわせて 6000 件の事業所を対象に調査)	機能的被害波及	<p>操業の復旧過程における各要因(設備、従業員、交通、道路以外のライフライン)の影響の大きさが震災後どのように推移したかをみると、非製造業については交通の影響が最も大きい、震災後 3 週間経過した時点で設備の復旧の遅れによる影響の方が大きくなっていることが分かる。一方製造業については震災後 2 ヶ月間を通して、設備被災の影響が最も大きく、次いで道路以外のライフライン途絶の影響が大きくなっている。道路以外のライフラインについて何らかの影響があったと回答した企業のうち、非製造業では約半数程度、製造業では 6-8 割程度の企業が操業上最も影響を及ぼした要因として道路以外のライフラインの影響を挙げている。</p>	<p>資料 42, p.9</p> <p>図 11:非製造業の操業復旧過程における各要因の影響の大きさ</p> <p>図 12:製造業の生産の復旧過程における各要因の影響の大きさ</p> <p>図 13:道路以外のライフラインが最も大きな影響を及ぼした事業所の推移(非製造業)</p> <p>図 14:道路以外のライフラインが最も大きな影響を及ぼした事業所の推移(製造業)</p>

No.	影響を与えたインフラ		影響を受けたインフラ		種別	詳細	出典
75	電気	—	企業経営	新潟県中越地域に立地する製造業、非製造業事業者(あわせて6000件の事業所を対象に調査)	機能的被害波及	停電によって在庫被害が発生したと回答した事業所をまとめると、特に食料品製造産業において停電による在庫被害が発生していることがわかる。農林水産業、医療に関してはサンプル数が限られているが、停電の影響が大きいものと考えられる。また、本調査では回答が得られていないが、スーパーや飲食店などにおいても電力停止の影響が大きいものと考えられる。	資料 42, p.10 表 10: 停電による在庫の被害
76	各ライフライン	—	企業経営	新潟県中越地域に立地する製造業、非製造業事業者(あわせて6000件の事業所を対象に調査)	代替	ライフライン途絶時においても自家発電や地下水を汲み上げることによって被害を軽減した企業も存在する。 ・自家発電による対応(燃料の種類) 非製造業: ガソリン、軽油、天然ガス、党輸、プロパンガス、太陽光 製造業: 軽油、灯油、重油、発電機をレンタルした ・ライフライン途絶への対応(自由回答例) 非製造業: 井戸水、プロパンガス、携帯電話で通信を代替、電気によるポンプアップができず手動で営業(ガソリンスタンド) 他 製造業: 他の町から水を運んできた、融雪装置の水を汲み上げ利用した 他	資料 42, p.11 表 11: 自家発電による対応 表 12: 地下水、井戸水によって対応を行なった企業 表 13: ライフライン途絶への対応(自由回答)
77	交通	—	企業経営	新潟県中越地域に立地する製造業、非製造業事業者(あわせて6000件の事業所を対象に調査)	機能的被害波及	交通の影響については、様々な迂回ルートを利用していることがわかる。今回の中越地震で特徴的であったのは、道路網の寸断であり、そのことが各ライフラインの復旧にも大きく影響を及ぼす結果となった。	資料 42, p.11 表 14: 災害時に利用した経路に関する自由回答

2.3 ヒアリングによる調査

2.3.1 ヒアリング実施要領

新潟県中越地震については、インフラが相互に影響した事例に加え、道路の寸断が住民生活および産業や経済活動へ波及した事例の補足調査（ヒアリング調査）を実施した。ヒアリング先は以下の通りである。

- ・ 新潟県庁（県民生活・環境部防災局危機管理防災課）
- ・ 国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所
- ・ 東日本高速道路株式会社新潟支社

ヒアリング調査では、道路の寸断が住民生活および産業や経済活動へ波及した事例を聴き取ることを目的とし、以下の要領に従って実施した。

1. ヒアリングの目的

- ・ インフルエンス・ダイアグラムの作成に資する下記事項の収集。
- ・ 地震時に露呈した、道路と他インフラとの間の、相互依存関係（影響波及）の事例。
- ・ 地震の経験を通じて想定される、道路と他インフラとの相互依存関係（影響波及）事項。
- ・ 上記に対する軽減対策の有無。

2. ヒアリング項目

(1)地震対策や、新潟県中越地震時の被害に関する資料提供

(2)災害直後に生じたサービス支障について

- ・ 地震発生直後に、他のライフラインのサービス支障によって受けた影響について（想定され得る支障についても）
- ・ 道路の損壊による他のライフラインの損壊状況。（想定され得るものについても）
- ・ 地震発生直後に他のインフラからの影響によるサービス支障を防ぐために、中越地震後に行われた対策。あるいは、中越地震の際に有効だった対策。
- ・ 地震発生直後のサービス支障の防止あるいは低減のために、今後、他のライフライン管理主体に期待、あるいは協力して行いたい取り組み。

(3)災害後の臨時の応急サービス提供について

- ・ 地震後に生じたサービス支障を補うための臨時的な応急活動の有無。（例：給水車の派遣）
- ・ 車通勤の職員の参集、資機材運搬、復旧班移動、後方支援の状況。（把握されている限り）
- ・ 応急活動のうち、他のライフラインの障害（例：停電、通信障害、道路被害など）によって、

活動に支障をうけたもの。(想定され得る支障についても)

- ・ こうした応急活動を円滑に行うために、中越地震後に行われた対策。あるいは中越地震の際に有効だった対策。
- ・ 応急活動を円滑に行うために、今後、他のライフライン管理主体に期待・要望すること。(情報の提供や、機材の融通など)

(4)災害後の復旧活動について

- ・ 地震後に生じたサービス支障を復旧するための活動。
- ・ 復旧活動のなかで、他のライフラインの障害(例:停電、通信障害、道路被害など)によって、活動に支障を受けたもの。
- ・ 復旧工事の際、他のライフラインの復旧工事との重複状況。
- ・ 復旧活動を円滑に行うために、中越地震の前から実施していた対策で、実際に有効だった対策。また、中越地震後に行われた対策。
- ・ 復旧活動を円滑に行うために、今後、他のライフライン管理主体に期待・要望すること。(情報の提供や、機材の融通など)

(5)特に顕著だった住民サービスへの波及内容(把握している限り)

- ・ 消防、食料、医療・衛生、企業経営、行政サービス(特にゴミ処理)、放送(マスコミ)、金融、他

(6)地域の防災力向上のため、地域のライフライン企業が協力して行うと良いと思う対策

2.3.2 ヒアリング結果

(1) 新潟県

新潟県中越地震時の道路崩壊、途絶の影響等について、以下に記すお話を伺った。下線部はインフラ間の影響《起点→終点》、もしくはインフラ被害による住民サービスへの影響に関連する箇所であることを示す。

1) 実施概要

- ・ 日時：2006年11月30日(木)10:00~11:30
- ・ 場所：新潟県庁会議室
- ・ 対応者：新潟県土木部監理課、県民生活・環境部防災局危機管理防災課、土木部道路管理課 他

2) 被災直後

- ・ 震度4で参集することになっている。通勤の足は無かった《道路→道路》が夜までに

半分は参集できた。

- 各々が自分の登庁経路の情報を収集、それに住民からの情報、業者からの情報を総合して、次の夜明けまでに大体道路被害の全貌はつかめた。管理区間の約4割は通行不能だった。山古志だけは道路および通信手段が寸断されていて情報が全く無かった《通信→道路》。
- 固定電話は、NTTに優先回線を回してもらったと聞いている《通信→道路》。連絡は現場間がほとんどで、そのあたりのことはあまり分からない。
- (電力・通信、道路との関係について、) そんなに高度な管理はしていない。情報表示板や信号が止まった《電力→道路》程度である。なお、表示板や信号が止まっても事故等は発生しなかった。

3) 復旧段階

- 61集落が孤立《道路→住民生活》したが、1週間でアクセス可能になった。
- 351号線で電柱がずいぶん倒れたので、仮復旧ができなかった《電力→道路》ということはある。東北電力にずいぶん無理を聞いてもらった。
- マンホールの浮上《下水道→道路》は市町村道で多く見られた。県では関知していない。飛び出たところを切ったとは聞いている。
- 仮復旧に関しては、雪の降る前に済ませる必要があり、まずは優先順位を決めた。(国道、孤立箇所)
- 埋設管など道路占有物の復旧は、ゼネコンにひとまず任せ、修復等したところについては事後連絡してもらおうようにとした。
- その他のインフラが道路の復旧に支障を及ぼしたという話はあまり聞かない《各インフラ→道路》。緊急輸送路はあるし、占有物も片方の車線側に寄っている(全面通行止めする必要が無かった)。但し、本復旧時の手戻りはあった。また、埋設が図面どおりになっていない箇所などもあった。
- 水関連は、まず下水から直す《下水道→上水道》必要がある。上流で汚水があふれる可能性のあるところはバキュームで吸った。圧送のガスと違い、下水は自然流下であるためである。
- 復旧において、下水道が受け持つ場所、道路で受け持つ場所を分担した《下水道←→道路》のが良かったのかもしれない。(インフラ間における復旧の重複に関する対応)
- 下水道は、管だけでなく、処理場の機能停止があった。被災していない地域から下水がどんどん流入してきた。簡易沈殿池で処理し、塩素消毒を施した上で川に放流した《下水道→河川》。
- 結局、仮復旧は約970の被害箇所中約780箇所について実施した。除雪車が行き交うことができるようにと優先順位を決めて実施した。本復旧は雪解け、国の災害査定後(春)、橋梁などを中心に行った。

4) インフラ間の連携に関する希望等

- ・ 情報交換をきちんとしたい。混乱はないとは言ったが、平常時に比べればもちろん大変なことだった。今後は宿日直職員の活用を想定している。新潟県には、いわゆる防災センターはない。
- ・ 情報交換といっても、緊急時にインフラ企業側の足を引っ張ってはいけない。そこが難しいところである。
- ・ 東北電力が電源車を出してくれるときに、どこに何台持っていけばいいかということについて、調整して欲しいという要望はあった。また、電力の復旧部隊に対して、どの道が確実に通れるかという迂回情報を教えた《電力→道路》。
- ・ 各インフラは、被災直後はバラバラに復旧にあたっていたが、地震後の11月8日に、災害対策本部の下に復旧復興本部、その下にインフラ復旧班を作り、連携を取るようにはした《各インフラ←→各インフラ》。ただ、県庁の中の組織なので、待っていても情報はこない。自ら情報を取りにいった。(インフラ間における復旧の重複に関する対応)

5) 住民サービスへの波及等

- ・ 物資は、集積地までは何とか行っていた。住民が自主的に作った小さい避難場がたくさんできてしまったため、集積地からの配送が問題であった。
- ・ “ごった煮”形式の物資の集積方法自体にも問題がある。
- ・ コンビニなどの配送業者からの問い合わせ《道路→物流》が多かった。粗方の通れる道を教えれば、あとは無線等でトラック間で連絡を取り合い、何とかしていたようだ。最初の3日を凌げば、物流は何とかなっていた。

6) その他

- ・ 中越地震の特徴は、地盤災害、知事の任期の狭間における発生、余震の規模の大きさ、地方型災害(都市ガスではなくLPG、簡易水道、集落排水等)、といった点である。
- ・ 他県からの応援は、土木が3,400人、下水が3,000人、危険度判定が5,000人、保健師が5,200人である。
- ・ 防災行政無線は、山中では使えなかった。そもそも損壊した建物の中にあったり、普段使わなかったり、新潟では雲が低い等の問題があった。反省を踏まえ、地域振興局に70台衛星携帯を買った。

(2) 国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所

新潟県中越地震時の道路崩壊、途絶の影響等について、国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所より以下のお話を伺った。(下線部はインフラ間の影響《起点→終点》、もしくはインフラ被害による住民サービスへの影響に関連する箇所)

1) 実施概要

- ・ 日時：2006年11月30日(木) 15:00~16:30

- ・ 場所：国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所 副所長室
- ・ 対応者：副所長

2) 被災直後

- ・ 夜9時ごろに登庁したが、116号線は殆ど車が走っていなかった。地震直後は、皆むしろ家でじっとしているようだった。
- ・ 事務所は、電気、水、ガスが全然使えなかった《電気、水、ガス→道路》。
- ・ 発電機があったので電気は大丈夫だった。ガスは半月復旧しなかった。庁舎内は書棚の倒壊、壁面ひび割れ、漏水などの被害があった。倒壊はしなかったが、屋根に雪が積もっていたら分からなかった。積雪2mの荷重にも大丈夫な設計になっているので、それが幸いしたのかもしれない。
- ・ 国交省内の連絡はマイクロ回線を使っており問題はなかった。職員の安否確認は電話を使うしかなく、中々つながらなくて困っていた《電話→道路》ようだった。
- ・ 参集困難は、人によりけりである。通行規制がかかる前に、波打つ道を通して登庁した職員もいる。
- ・ 電気のダウンにより、配信施設が落ち、CCTVカメラが映らなかった《電力→通信→道路》（光ケーブルが切れたわけではない）。Ku-SATは被災程度の大きい箇所を持っていき映像配信を行った。
- ・ 契約していたCATVが被災したため、テレビ報道が見られなかった。当初は、カーナビのTVを見ていた。翌日、地整本局から光回線経由でテレビ配信をしてもらった。

3) 復旧段階

- ・ 川口町天納の被災箇所では、傾斜面上に、JR線（下）、国道17号（上）が併走している。道路（上）の復旧を先に着手してしまうと、下が崩れてしまうので、鉄道（下）の盛土を固めてから、上の道路を復旧させた《鉄道↔道路》。調整は長岡国道事務所とJR新潟支社で行なった。（インフラ間における復旧の重複に関する対応）
- ・ 同じ現場において、迂回路を応急的に通した際、もとの道路の占有物件のうちNTT回線の一部も同時に（仮に）迂回路の下に通した《道路↔各インフラ》。（インフラ間における復旧の重複に関する対応）
- ・ 同じ現場において、占有物件（NTT回線、下水道管、ガス管）の復旧について調整を行った。もともと占有物が収められていた側の歩道は、盛土を復旧すると掘り返し等ができなくなることから、反対車線の歩道下に収納することで調整した。また、復旧工事日程についても合わせた。（インフラ間における復旧の重複に関する対応）
- ・ マンホールが浮上した《下水道→道路》という話は、国道ではあまり聞いていない。
- ・ 表示板が制御不能になった《電力→道路》。通電した後も地震前に表示されていた「この先異常無し」などの表示を取り消すことが出来なくなった。
- ・ 鉄道はほぼストップし、同時期に道路渋滞もあったが、鉄道による影響波及というより、通れる道路に交通が集中したためであろう。交通の目的は、当初は外部からの支援、落

ち着いてくると通勤のようだった。

- ・ 港湾、航空との被害連関は思いつかない。
- ・ 不通であった天納～川口間（一時川口町が孤立状態に）に作られた緊急迂回路を使ってまず運び出されたのは、お年寄り、病人の方だったらしい《道路→医療・福祉》。
- ・ 雪国ならではの被害として、消雪パイプの被害がある。応急復旧では地上に出して、道路の脇に仮設した（後に埋設）。井戸水を利用しているため、上水の被害の影響は受けていない。
- ・ 「年内に片側通行は解消したい」、「地域内で除雪の支障が出ないように」、といったところが応急復旧の優先度決定の基準であった。

4) インフラ間の連携に関する希望等

- ・ 実際には、特に発災直後は、協力等調整をしている余裕はない。
- ・ 関係者間の調整は必要。国道 17 号の例だと、震災後二、三日の内に JR 新潟支社へ連絡は行った。JR の営業開始後に上の道路の工事をするのは制約が大きくなるため、JR の復旧前に道路を直そうという気持ちはあった。

5) 実施した対策等

- ・ 下り車線を通行止めにしての応急復旧箇所（新組跨線橋）で、上り・下りの車線を確保するため、上り二車線の中央分離帯を切り、対面交通の措置をとった所がある。切らずに交差点での交通誘導を行うことも出来たが、二十四時間職員等を付ける必要があり、困難と判断した。復旧後に元に戻した。
- ・ 橋の架け替えの時に、迂回路に市道を使わせてもらった所がある《国道←→市道》（国道 291 号）。その市道も切れていたが、一般的に見れば優先度の高い市道ではなかった。しかし、工事用車両が通れないと橋梁の復旧も遅れるので、市にお願いして当該市道の復旧を優先してもらった。
- ・ トンパック（大型土嚢）が抑え盛土として役立った。（平成 16 年 7 月豪雨の際に購入してあったものが適用できた）
- ・ トンネルの支保工はゼネコンや鉄工所の判断で市場に流通しているものを優先的に融通してもらったようだ（事務所で調整はしていない）。また、セントル（コンクリート型枠）を二十四時間体制で作ってもらったりもした。
- ・ トンネルの復旧時も、余震が続いていたが、トンネル内にいると余震になかなか気づかない。サイレンを鳴らしてもトンネル内はうるさくて聞こえないので、パトライトで知らせるようにしていた。

6) 住民サービスへの波及等

- ・ 和南津トンネルが通行止めの間はむしろ渋滞が少なかった。
- ・ 片側で開通した途端、「いつまで（通行止めを）やっているのか」などの声が寄せられた。（電車が止まっていたこともあり、朝晩を中心に交通が集中。渋滞が発生した）
- ・ 携帯サイトなど、情報提供は充実させていたが、実態と情報のタイムラグなどもあり、

その点でも苦情が寄せられた。

- ・ 製造業等への影響も特に無かったと聞いている。高速が通れたというのが大きかったのではないか。

7) その他

- ・ JR 線と工程上の連携をして復旧を行なった国道 17 号（川口町天納）の復旧工程表を頂いた。
- ・ 照明車は、所有している事務所から各所に融通したのではないか。（避難所の照明および電源提供のために利用された）
- ・ 災害申請に必要な本復旧用の測量を、応急復旧時に同時に行った。

（3）東日本高速道路株式会社新潟支社

1) 実施概要

- ・ 日時：2006 年 12 月 7 日 13：00～14：30
- ・ 場所：東日本高速道路株式会社新潟支社 管制塔 会議室
- ・ 対応者：道路事業部保全グループリーダー

2) 被災直後

- ・ 当時新潟駅前の北陸支社に参集した。地震発生時は車に乗っており、そのまま直行した。（当時は民営化前）
- ・ 1 時間で 10～20 名が参集した（初動対応は可能）。夜中 12 時までには全体の職員の半分が参集した。
- ・ 新潟なのであまり揺れなかった。震度 5 で自動参集だが、中越は震度 4.5 くらいだったと思う。支社は全く被害がなかった。
- ・ 高速道路では首都圏を初め約 580km の通行止めとなった。
- ・ 高速道路の提供サービスは道路交通と SA・PA の大きく 2 つある。電気の利用は料金所と照明が主である。電気は、普段は外から引いている。料金所とトンネル照明については、緊急時は自家発電がある。トンネル以外の道路、SA・PA の照明には自家発電はない 《電力→道路》。
- ・ 水は SA・PA のトイレへの影響が大きい 《上下水道→道路（SA）》。
- ・ SA に集まった人たちの体験記が、学会で発表されている。電気も無い中、滞留してしまったドライバーと職員が助け合ったようだ。（「17:56 分の恐怖」→コピー受領）
- ・ 通信網（光・メタル／社内連絡、施設制御、交通監視用）については、地震直後に一時繋がらない状態となったものの、バックアップルートを確認していたことでその後解消した。職員間同士の連絡について、地震発生から 10～15 分以降、携帯が繋がらなくなった 《通信→道路》。
- ・ 湯沢、長岡の事務所には、20～30 名の職員と、100～200 名の維持会社や料金所の作業員がかかわっている。彼らは、自らも被害を受けながら、長年の経験で自主参集してく

れた。

- ・ 道路上の滞留客をどう発見するのかが問題だった。基本的には職員が道路上を歩いて見つけた。長岡と湯沢の事務所の者が、両方から挟み撃ちで点検していった。管理区間を越えることもあったが、そこは災害時ということで柔軟に対応した。
- ・ 越後川口 SA には、約 200 台が滞留していた。本線上には、意外にも 20 台しか滞留していなかった（但し点検が終了した明朝 4:00（地震発生から約 10 時間後）時点）。

3) 復旧段階

- ・ 19 時間後に第 1 ステップの通行を確保（緊急車両の通行確保）できたのは、現場の作業員レベルにおける判断と作業によるところが大きい。段差のところ、わだち分だけ土嚢を積むなどした。
- ・ 土嚢は普段から事務所に置いている。足りなくなると、作りながらピストン輸送した。
- ・ 維持関連の会社とは、非常事態における協定を結んでいる。
- ・ 現場の作業員の宿泊施設が被災地近くになくて困った。遠い所（上越等）から通うしかなかった。作業員の仮設トイレ、食料なども困った《各インフラ→道路》。
- ・ 被災場所では、資機材がなかったり、アスファルト等が作れなかったりする。遠いところから運ぶ必要がある。SA・PA は資材置場として活用した。搬入は高速を使ったので、国道等が途絶したことによる被害波及はなかった。
- ・ 他のインフラの影響を受けた印象はないが、本格的な復旧作業となると、作業員が多くなり、宿泊場所の確保に困った《各インフラ→道路》。
- ・ 余震が多く、一度復旧した箇所がまた壊れたりしたことで復旧には手間取った。
- ・ 鉄道の代替バスの調整は、陸運局から協議の申し入れがあった。バスが何度か試走してもらい、OK ということだったので受け入れた《鉄道→道路 [代替]》。バスが通れる状況というのは、50km/h で通れる状況である（緊急車両が通れる状況というのは、のろのろでも OK な（路面が波打っているような）状況）。
- ・ 大和 PA の傍に工業団地があり、そこからの通勤、通学者は普段新幹線を使っている。唯一の足である新幹線がストップしたので、彼らの要望等もあり、臨時に PA にバス停を作ったところ、多くの利用があった《鉄道→道路 [代替]》。

4) インフラ間の連携に関する希望等

- ・ 道路管理者間の情報交換については、記者発表を多く行う等、情報発信を積極的に行った。

5) 実施した対策等

- ・ 通信管が橋梁取付部の段差等で遮断されてしまったので、継ぎ手をフレキシブルなものにした。
- ・ SA のお客様用の仮設トイレの手配。散水車（事務所に清掃用のものが 1 台ずつくらいある）の手配。
- ・ 被災範囲が広いため、交通規制の資機材が不足したことで全国の事務所から調達した。

- ・ 破壊された情報板は移動式のものを代替して使った。（情報板が折れたのは初めての出来事）
- ・ トンパックは準備してなかったが、業者が手配したのではないか。基本的に、資材と市場にあるものは業者が手配していた。標識車、ラバーコーンなど、公団独自のものは公団側で融通した（名古屋・大阪や東北からも運ばれてきた）。
- ・ 工事のときに不可欠なものは、対策本部から本社に依頼し、本社から各支社に調達をお願いした。
- ・ 仮設の料金所ブースを設置した。ETC 対応のため交換したブースが残っていた。ただし、今後もこのような被害を想定してブースを保持しておくことはしないと思われる。（今後何十年に 1 度のことであるため）盆正月でひどい渋滞が発生する料金所では、もともと所有しているが。
- ・ 舗装材、特に砕石の調達は難しく九州からも調達している。

6) 住民サービスへの波及等

- ・ 救急車や消防車等の緊急車両が多い日で 2,000 台/日、災害支援車両が 5,000 台/日計 7,000 台/日もの車両が首都圏等から数珠繋ぎでやってきた《道路→各住民サービス [ポジティブな影響波及]》。高規格道路ネットワークの強みが活かせたと思う。
- ・ 広域ネットワークの管理者として、とにかく早く開けることができてよかった。コンビニなど、物流、食料が途絶しなかった《道路→各住民サービス [ポジティブな影響波及]》のは、住民の安心感の上で大きかったのではないか。

7) その他

- ・ アクセス道路（インターとつながる道路）を丈夫にしてほしいというニーズは地震後に出てきた。（橋梁耐震補強 3 箇年プログラムの協議会において）
- ・ ウェブ上で情報提供しているが、いつ頃完成するかという問い合わせは多かった。
- ・ 緊急車両の許可を取るのにどうすればよいかという問い合わせが公団に来てしまった。
- ・ 4 車線全て壊れたところが 1 ヶ所だけというのは、片側でもすぐに緊急車両を通すことが出来るという意味で大きかった。
- ・ 防災業務要領を受領。
- ・ 高速道路上にも消雪管がある。（湯沢の方）。谷水をポンプアップ（電力）し、少し暖め、塩を混ぜて利用している。（上下水の利用はない）

2.3.3 既往地震における重要インフラ被害波及事例のまとめ

上述の文献調査とヒアリング調査に加え、（独）防災科学技術研究所川崎ラボラトリーによる調査の 3 点を取りまとめることにより、既往地震における重要インフラ被害波及事例を表-2.3.1、表-2.3.2 のように整理した¹⁰⁾。なお、事例の番号は表-2.2.3、表-2.2.4 とは対応していない。

表-2.3.1 兵庫県南部地震における相互関連事例

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
電力	1	断水による発電所工業用水の不足	2	電話不通による遅延	7	都市ガス情報システムの停止	22	上水道復旧活動の遅延
	3	道路損壊による送電施設の破壊	4	道路被害・渋滞による遅延	20	上水道供給システムの停止	29	下水道復旧活動の遅延
			5	鉄道運行停止による復旧要員の出社遅延	21	配水地制御の不能	47	情報通信復旧活動の遅延
			6	鉄道運行停止による要員宿泊の増加	28	下水道ポンプ等の停止	60	金融機関復旧活動の遅延
					44	カード式公衆電話の使用不能	102	医療機関復旧活動の遅延
					45	電話回線の停止	119	交通信号機停止による交通整理需要の増大
					46	パソコン通信の停止		
					48	携帯電話基地局の停止		
					59	銀行オンラインの停止		
					70	交通信号機の停止		
					77	鉄道の停止		
					103	血液センター血液保冷库の停止		
					104	病院エレベーターの停止		
					117	火災監視カメラの停止		
				118	消防局の自家発電への移行			
都市ガス	7	停電による情報システムの稼働不可	8	差水による遅延	30	下水道の水質検査への支障		
	11	情報回線の切断による制御の支障	9	断水による遅延	105	病院給食の供給停止		
	12	道路損壊による管路の損傷	10	電話不通による遅延				
	15	道路被害・渋滞による LNG 輸送遅延	13	道路被害・渋滞による遅延				

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
	19	地下鉄駅損壊による管路の損傷	14	道路上への家屋崩壊による遅延				
			16	道路被害・渋滞による対策本部の移転				
			17	鉄道運行停止による復旧要員の出勤遅延				
			18	鉄道運行停止による要員宿泊の増加				
上水道	20	停電による水供給システムの停止	22	通信システムの使用可能台数減少	1	発電所工業用水の停止	8	差水による都市ガス復旧活動の遅延
	21	停電による配水地制御の不能	24	電話不通による遅延	31	下水処理場等での用水の停止	9	断水による都市ガス復旧活動の遅延
	23	下水道停止による中水道の停止	25	道路被害・渋滞による復旧・給水の遅延	78	駅便所の使用不能	32	下水復旧活動の遅延
			26	交通事故の多発による遅延	85	船舶給水施設の停止	49	情報通信自家発電冷却水の不足
			27	鉄道運行停止による遅延	106	医療用水の枯渇	110	病院内の自家発電装置の停止
					107	人工呼吸器の停止	121 122	県庁、消防局の自家発電装置の停止
					108	人工透析の停止		
					109	病院内のボイラーの停止		
下水道	28	停電によるポンプ等の停止	29	停電による夜間照明の停止	23	中水道の停止		
	30	都市ガス停止による水質検査への支障	32	断水により管渠調査・清掃用水が不足				
	31	断水による処理場等の用水の不足	34	電話不通による遅延				
	33	通信回線麻痺による遠隔制御の不能	36	道路被害・渋滞による遅延				
	35	道路損壊による管路の損傷	38	高架道路落下による遅延				

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
情報通信	37	道路被害・渋滞による脱水汚泥輸送遅延	39	渋滞による仮設トイレ設置等の遅延				
	41	鉄道施設損壊による管路の損壊	40	道路上への家屋崩壊による遅延				
			42	鉄道運行停止による遅延				
			43	鉄道高架落下による遅延				
	44	停電によるカード式公衆電話の使用不能	47	停電により照明等が使用不能	11	情報回線の切断による都市ガス制御の支障	2	電力復旧活動の遅延
	45	停電による電話回線の不通	49	断水により自家発電用冷却水が不足	33	下水道ポンプ場遠隔制御の不能	10	都市ガス復旧活動の遅延
	46	停電によるパソコン通信の停止	53	道路被害・渋滞による遅延	50	電話回線損傷による携帯電話基地局の停止	24	上水道復旧活動の遅延
	48	停電による携帯電話基地局の停止	54	渋滞による移動電源車等の到着遅延	51	コール数の増加による電話の輻輳	34	下水道復旧活動の遅延
	50	電話回線損傷による携帯電話基地局の停止	56	鉄道運行停止による遅延	123	消防無線波の輻輳による消防活動の遅延	61	銀行オンラインのバックアップ回線切替不能
	51	コール数の増加による電話の輻輳	58	港湾損壊による遅延	124	電話伝送装置の障害による119番通報への支障	62 63	金融機関復旧活動の遅延
	52 55	道路損壊による回線の損傷					79	鉄道復旧活動の遅延
	57	鉄道施設損壊による回線の損傷					86	港湾復旧活動の遅延
						89	運輸・物流復旧活動の遅延	
						111	電話不通による医療機関復旧活動の遅延	
						112	災害用無線電話の不通による医療機関復旧活動の遅延	
金融	59	停電による銀行オンラインの停止	60	停電による電話連絡等の不能				
	65	道路寸断による現金等搬送の遅延	61	着信規制によるバックアップ回線切替不能				

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
	67	鉄道運行停止による現金等搬送の遅延	62 63	電話不通による遅延				
	68	通行規制の形骸化による搬送の遅延	64	渋滞による復旧要員の出社遅延				
	69	輸送優先順位の低下による現金等搬送の遅延	66	鉄道運行停止による復旧要員の出社遅延				
道路	70	停電による交通信号機の停止	72	高架道路倒壊による高架下道路復旧遅延	3	送電施設の破壊	4	電力復旧活動の遅延
	71	高架道路倒壊による高架下道路の破壊	74	残置車両撤去による復旧遅延	12	都市ガス管路の損傷	13	渋滞による都市ガス復旧活動の遅延
	73	迂回道路における渋滞発生			15	都市ガス輸送活動の遅延	14	家屋崩壊による都市ガス復旧活動の遅延
	75	鉄道高架倒壊による道路の破壊			35	下水道管路の損傷	16	橋梁損壊による都市ガス対策本部の移転
	76	鉄道地下駅の損壊による道路の破壊			37	下水道汚泥輸送活動の遅延	25	上水道復旧活動、給水活動の遅延
					52 55	情報通信回線等の損傷	26	交通事故による上水道復旧活動の遅延
					65	金融機関の現金等搬送の遅延	36	渋滞による下水道復旧活動の遅延
					71	高架道路倒壊による高架下道路の破壊	38	高架道路落下による下水道復旧活動の遅延
					73	迂回道路における渋滞発生	39	渋滞による仮設トイレ設置等の遅延
					80	落橋による鉄道の不通	40	家屋崩壊による下水道復旧活動の遅延
					90	運輸・物流の輸送遅延・コストアップ	53	渋滞による情報通信復旧活動の遅延
					93	宅配便サービス停止	54	渋滞による移動電源車等の到着遅延

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
				98	路線バスの遅延	64	渋滞による金融機関復旧要員の出勤遅延	
						72	高架道路倒壊による高架下道路復旧遅延	
						74	残置車両撤去による復旧遅延	
						84	鉄道復旧活動の遅延	
						87	港湾復旧活動の遅延	
						91	陸上輸送のフェリー、内航船、飛行機等へのシフト	
						92	救援物資輸送の遅延	
						113	訪問看護サービスの遅延	
						114	病院への血液供給の遅延	
						125	道路被害・渋滞による消防活動の遅延	
						126	消防車両故障多発による消防活動の遅延	
						127	消防車両燃料切れ多発による消防活動の遅延	
鉄道	77	供給電力停止による停電の発生	79	電話不通による遅延	19	都市ガス管渠の損傷	5	電力復旧活動の遅延
	78	断水による駅便所の使用不能	82	鉄道運行停止による復旧要員の出勤遅延	41	鉄道施設損壊による下水道管路の損壊	6	電力復旧要員宿泊の増加
	80	道路橋落橋による鉄道の不通	83	鉄道不通による新幹線車両運用の支障	57	情報通信回線等の損傷	17	都市ガス復旧活動の遅延
	81	鉄道橋落橋による鉄道の不通	84	道路被害・渋滞による遅延	67	金融機関の現金等搬送の遅延	18	都市ガス復旧要員宿泊の増加
					75	高架倒壊による道路の破壊	27	上水道復旧活動の遅延
					76	地下駅の損壊による道路の破壊	42	下水道復旧活動の遅延
					81	鉄道橋落橋による鉄道の不通	43	鉄道高架落下による下水道復旧活動の遅延

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
				94	鉄道貨物輸送の遅延	56	情報通信復旧活動の遅延	
				99	鉄道迂回ルートのキャパシティ不足	66	金融機関復旧要員の出社遅延	
						82	鉄道復旧要員の出社遅延	
						83	新幹線車両運用の支障	
						100	バス輸送需要の増加	
						115	医療機関復旧要員の出社遅延	
港湾	85	断水による船舶給水施設の停止	86	電話不通による遅延		58	情報通信復旧活動の遅延	
			87	道路被害・渋滞による遅延		88	代替港における需要の増大	
						95	海運輸送の代替港へのシフト	
			88	代替港における需要の増大		101	旅客船輸送の代替港へのシフト	
運輸・物流	90	道路被害・渋滞による輸送遅延・コストアップ	89	電話不通による遅延		96	鉄道貨物輸送の不足によるトラックでの代行輸送実施	
	93	道路被害・渋滞による宅配便サービス停止	91	道路被害・渋滞によるフェリー、内航船、飛行機等へのシフト				
	94	鉄道不通による鉄道貨物輸送の遅延	92	道路被害・渋滞による救援物資輸送の遅延				
	97	交通情報の不足による輸送遅延	95	港湾の被災による代替港へのシフト				
			96	鉄道貨物輸送の不足によるトラックでの代行輸送実施				
旅客	98	道路被害・渋滞による路線バスの遅延	100	鉄道不通によるバス輸送需要の増加				
	99	鉄道迂回ルートのキャパシティ不足	101	港湾被災による代替港へのシフト				
医療	103	停電による血液保冷庫の停止	102	停電による無線連絡等の不能				

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
	104	停電によるエレベーターの停止	110	断水による自家発電装置の停止				
	105	都市ガス停止による病院給食の供給停止	111	電話不通による遅延				
	106	断水による医療用水の枯渇	112	災害用無線電話の不通による遅延				
	107	断水による人工呼吸器の停止	113	道路被害・渋滞による訪問看護サービスの遅延				
	108	断水による人工透析の停止	114	道路被害・渋滞による血液供給の遅延				
	109	断水によるボイラーの停止	115	鉄道運行停止による復旧要員の出社遅延				
			116	消防局の混乱による遅延				
行政	117	停電による火災監視カメラの停止	119	交通信号機停止による交通整理需要の増大	68	通行規制の形骸化による金融機関の現金等搬送の遅延	116	消防局の混乱による医療機関復旧活動の遅延
	118	停電による自家発電への移行	121 122	断水による自家発電装置の停止	69	輸送優先順位の低下による金融機関の現金等搬送の遅延		
	120	断水による消火栓の停止	125	道路被害・渋滞による消防活動の遅延	97	交通情報の提供不足による輸送遅延		
	123	消防無線波の輻輳による消防活動の遅延	126	消防車両故障多発による消防活動の遅延				
	124	電話伝送装置の障害による119番通報への支障	127	消防車両燃料切れ多発による消防活動の遅延				

表-2.3.2 新潟県中越地震における相互関連事例

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
電力	2	道路崩壊による電柱傾斜、沈下	1	下水道マンホールの浮上による通行障害	10	断水の発生	5	情報把握の遅延
			3	道路寸断による遅延	11	取水堰の制御不能	16	下水道自家発電用燃料確保の不能
			4	道路規制等の情報不足による遅延	12	水道情報システムの使用不能	35	鉄道復旧活動の遅延
					15	下水処理場ポンプ等の停止	62	下水道ポンプ場への復電の連絡齟齬による復旧の遅延
					61	下水道被災情報把握の遅延		
					17	マンホールポンプの停止		
					21	防災行政無線の使用不能		
					22	電話交換装置等の自家発電への移行		
					23	携帯電話基地局の停止		
					24	長時間の停電による電話交換所内電力蓄電池の損壊		
					29	交通信号機の停止		
					30	高速道路サービスの自家発電への移行		
					34	信号・駅サービス等の停止		
					49	病院における自家発電への移行		
					50	病院エレベーターの停止		
				55	行政間での被災情報把握の遅延			
都市ガス	8	道路崩壊による管路の損傷	5	停電による情報把握の遅延	51	病院給食のガスボンベ利用への移行		
			6	差水による遅延				

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
			7	電話不通による遅延				
			9	道路寸断による遅延				
上水道	10	停電による断水の発生	60	下水道の復旧遅延による復旧の遅延	31	高速道路サービスの給水車への移行	6	差水による都市ガス復旧活動の遅延
	11	停電による取水堰の制御不能			52	断水による病院の水供給の給水車への移行	63	断水による下水道ポンプ場のシール水不足
	12	停電による情報システムの使用不能					64	上水道の復旧作業過誤による下水道復旧作業への支障
	13	マンホールの浮上による上水道管の損傷					65	上水道の早期復旧による下水道破損箇所からの汚水流出
	14	道路崩壊による上水道管損傷						
下水道	15	停電による処理場ポンプ等の停止	16	停電による自家発電用燃料の確保不能	13	マンホールの浮上による上水道管損傷	1	マンホールの浮上による通行障害
	17	停電によるマンホールポンプの停止	61	停電による被災情報把握の遅延	32	マンホールの浮上による道路の損傷	60	下水道の復旧遅延による上水道の復旧遅延
	19	道路崩壊による下水道管路の損傷	62	復電の連絡齟齬による復旧の遅延				
			63	断水によるポンプ場シール水の不足				
			64	上水道の復旧作業過誤による支障				
			65	上水道の早期復旧による汚水流出				
			18	電話不通による遅延				
			66	携帯電話・メールの不通による遅延				
		20	道路寸断による遅延					
情報通信	21	停電による防災行政無線の使用不能	27	道路寸断による遅延	25	固定電話伝送路切断による携帯電話基地局の停止	7	電話不通による都市ガス復旧活動の遅延
	22	停電による交換装置等の自家発電への移行			56	電話不通による行政の復旧活動の遅延	18	電話不通による下水道復旧活動の遅延

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
	23	停電による携帯電話基地局の停止			57	消防無線波の輻輳による消防活動の遅延	66	携帯電話・メールの不通による下水道復旧活動の遅延
	24	長時間の停電による蓄電池の損壊			58	電話不通による消防活動の遅延	36	通信ケーブル切断による列車無線の使用不能
	25	固定電話伝送路切断による携帯電話基地局の停止					37	電話不通による鉄道復旧活動の遅延
	26	道路崩壊による通信ケーブルの損傷					38	携帯電話バッテリー切れによる鉄道復旧活動の遅延
	28	鉄道崩壊による通信ケーブルの損傷					53	電話不通による薬剤師会での被災情報把握の遅延
金融								
道路	29	停電による交通信号機の停止	207	電柱の倒壊による復旧の支障	8	ガス管路の損傷	2	電柱沈下、傾斜
	30	停電による高速道路サービスの自家発電への移行	208	鉄道等併設のインフラ施設との工事の重複	14	上水道管路の損傷	3	道路寸断による電力復旧活動の遅延
	31	断水による高速道路サービスの給水車への移行			19	下水道管路の損傷	9	道路寸断による都市ガス復旧活動の遅延
	32	マンホールの浮上による道路の損傷			26	通信ケーブルの損傷	20	道路寸断による下水道復旧活動の遅延
	33	迂回道路の交通量増加			33	迂回道路の交通量増加	27	道路寸断による電話復旧活動の遅延
	200	情報通信の途絶や輻輳による職員の安否確認の困難			41	救援物資輸送の遅延	39	道路寸断による鉄道復旧活動の遅延
	201	停電による CCTV の機能不全(被害箇所の把握困難)			42	迂回輸送による輸送コスト・時間の増加	43	空輸の増加
	202	停電による表示板の制御不能			44	郵便配達遅延	67	道路寸断による医療ガスの輸送遅延
	203	停電による照明の停止			46	鉄道代行バスの遅延	210	鉄道の復旧作業との重複
	204	断水による高速道路 SA のトイレ使用不可			54	医薬品供給の遅延	211	広域的な道路ネットワークによる緊急医療体制の確保[ポジティブな影響]

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
	205	下水道破損による高速道路SAのトイレ使用不可			59	道路寸断による消防活動の遅延	212	広域的な道路ネットワークによるガス等生活インフラ供給体制の確保[ポジティブな影響]
	206	携帯電話の不通・輻輳による現場職員間の連絡不通			209	道路寸断による運輸物流の遅延		
鉄道	34	停電による信号・駅サービス等の停止	35	停電による遅延	28	通信ケーブルの損傷	47	代行バスや高速バスの新設・増発
			36	通信ケーブル切断による列車無線の使用不能	45	鉄道貨物輸送の遅延	48	新幹線寸断による臨時航路の設定
			37	電話不通による遅延				
			38	携帯電話バッテリー切れによる遅延				
			39	道路寸断による遅延				
			40	道路規制情報等の不足による遅延				
運輸・物流	41	道路寸断による救援物資輸送の遅延	43	道路寸断による空輸の増加				
	42	道路寸断での迂回輸送による輸送コスト・時間の増加						
	44	郵便配達遅延						
	45	鉄道寸断による鉄道貨物輸送の遅延						
旅客	46	道路寸断による鉄道代行バスの遅延	47	鉄道寸断による代行バスや高速バスの新設・増発				
			48	新幹線寸断による臨時航路の設定				
医療	49	停電による自家発電への移行	53	電話不通による被災情報把握の遅延				
	50	停電によるエレベーターの停止	54	道路寸断による医薬品供給の遅延				
	51	病院給食のガスボンベ利用への移行	67	道路寸断による医療ガスの輸送遅延				

	他のインフラから受ける影響				他のインフラへ与える影響			
	1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響		1) 災害直後の直接的影響		2) 復旧活動等への影響	
	52	断水による水供給の給水車への移行						
行政	55	停電による被災情報把握の遅延					4	道路規制等の情報提供不足による遅延
	56	電話不通による遅延					40	道路規制等の情報提供不足による遅延
	57	消防無線波の輻輳による消防活動の遅延						
	58	電話不通による消防活動の遅延						
	59	道路寸断による消防活動の遅延						

※斜体はヒアリングによって得られた項目

3. 被害波及構造の整理

前章の結果を受けて、既往の研究で提案されている被害波及モデルの構造を参考に、インフラ被害関連マトリクスおよびインフルエンス・ダイアグラムなどの形で整理した。

また、洪水・豪雪災害（国内）に関する調査結果¹⁰⁾を参考に、インフラ被害関連マトリクス等での整理に追加し、災害全般に共通して生じる事象、災害種別によって波及形態が異なる事象等を整理した。

3.1 インフラ被害関連マトリクスの作成

電力、ガス、上水道、下水道、情報通信、鉄道等各インフラ事業者の実務担当者に学識者を加えた「重要インフラ間の被害波及軽減のための調査検討会」（座長：千葉大学山崎教授）でブレインストーミングを実施し、計4回に及ぶ検討会を経て、インフラ被害関連マトリクスを作成した^{10),11),12)}。検討会の事務局は独立行政法人防災科学技術研究所川崎ラボラトリーと国土交通省国土技術政策総合研究所地震防災研究室が担当した。

インフラ被害関連マトリクスの作成に当たっては、前章の結果を、次ページ以降に示す表頭・表側にしたがって「災害直後」、「臨時的な応急活動」、「復旧工事」の3つのフェーズに分けて再整理したものを1次案とし、それをもとにグループ討論を行い、1次案に漏れている事項を指摘・追加、不要な項目を削除するという方式で作成した。最終的に得られたインフラ被害関連マトリクスを表-3.1.1~3に示す。

表-3.1.2 インフラ被害連関マトリクス（臨時的な応急活動への被害波及）

検討会での追加項目

凡例
 黒字：兵庫県南部地震、新潟県中越地震の両方で見られた事例
 赤字：兵庫県南部地震での事例
 緑字：新潟県中越地震での事例
 青字：洪水・豪雪での事例

原因	結果													
	A 電力	B ガス	C 上水道	D 下水道	E 情報通信	F 道路	G 鉄道	H 港湾	I 航空	J 運輸・物流、旅客	K 金融	L 医療	M 行政 (警察、消防等含む)	N 大都市での波及
① 電力		・電話利用不可による被害把握遅延	・電話利用不可による被害把握遅延	・自家発電用燃料供給不能(ガソリン等の給油が停電で機能しない) ・長時間停電した場合電気通信設備が停止(通信サービスの停止)	・電柱の倒壊による復旧の支障	・電力会社との臨時電力受電契約の取り決めの苦労	・貨物の積み下ろしへの支障			・管理システム(受発注、出荷管理等)の停止	・電話利用不可による被害把握遅延	・電話利用不可による被害把握遅延	・信号機の停止による交通整理必要箇所増大	・避難所・待機所の機能(明かり、冷暖房等)低下(帰宅困難者、参集要員への支援不能) ・停電による排水ポンプ等の停止による施設の排水困難
② ガス	・(ガス漏れの場合)電力応急活動不可能									・施設環境(空調、飲料水、トイレ等)の低下	・施設環境(空調、飲料水、トイレ等)の低下	・施設環境(空調、飲料水、トイレ等)の低下	・医療用機械の消毒に用いるガスの停止 ・病院給食の停止	・地下街など閉鎖空間へのガス漏れの可能性 ・避難所・待機所の機能(炊き出し、お風呂等)低下(帰宅困難者、参集要員への支援不能)
③ 上水道		・差し水によってガス応急活動が遅延		・ポンプ場の操作に必要なシール水の不足	・自家発電機の始動用冷却水の不足					・施設環境(空調、飲料水、トイレ等)の低下	・施設環境(空調、飲料水、トイレ等)の低下	・施設環境(空調、飲料水、トイレ等)の低下	・自家発電装置の冷却水の不足	・自家発電装置冷却水の不足、情報システムの停止による情報収集の遅延
④ 下水道	・マンホール浮上による通行障害					・マンホール浮上による通行障害				・トイレが使用不可になり職員の活動が阻害	・トイレが使用不可になり職員の活動が阻害	・トイレが使用不可になり職員の活動が阻害	・トイレが使用不可になり職員の活動が阻害	
⑤ 情報通信	・電話不通による事務所間の被災連絡遅延	・電話不通による被災連絡遅延	・各水道局、警察、消防と電話不通による被害把握遅延	・電話不通による事務所間の連絡断	・応急活動支援などの支援体制の確保が困難	・電話、携帯電話の輻輳による支障の遅延	・電話不通による非常参集場所との連絡断	・電話不通による関係機関との連絡断	・電話不通による非常参集場所との連絡断	・電話不通による非常参集場所との連絡断	・電話不通による非常参集場所との連絡断	・電話不通による非常参集場所との連絡断	・電話不通による非常参集場所との連絡断	・電話不通による非常参集場所との連絡断
⑥ 道路	・渋滞による移動電源車への燃料供給遅延	・橋梁損壊による対策本部移転	・渋滞による応急給水遅延	・渋滞による被害調査遅延	・渋滞による移動電源車、衛星無線車の遅延による電気通信設備の停止	・被災地付近で、荷物ができず、遠方からの往復を余儀なくされたが、道路寸断等により、時間ロスが生じた	・道路寸断による空路、海路等への輸送シフト	・高速道路一部不通による、自衛隊ヘリを使った空路輸送へのシフト	・道路損壊・渋滞による救援物資輸送の遅延、空路輸送へのシフト	・道路損壊・渋滞による救援物資輸送の遅延、空路輸送へのシフト	・道路損壊・渋滞による救援物資輸送の遅延、空路輸送へのシフト	・道路損壊・渋滞による救援物資輸送の遅延、空路輸送へのシフト	・道路損壊・渋滞による救援物資輸送の遅延、空路輸送へのシフト	・道路損壊・渋滞による消防、救急活動遅延
⑦ 鉄道	・交通事情の悪化による要員参集の遅延	・鉄道運行停止による要員参集の遅延	・交通機関の麻痺による初期体制(要員参集等)の遅延	・鉄道の運行停止に伴う職員通勤の遅延	・鉄道の運行停止に伴う職員通勤の遅延	・鉄道の運行停止により、道路に交通が集中。 ・災害対策要員の出社に支障	・災害対策要員の出社に支障	・災害対策要員の出社に支障	・災害対策要員の出社に支障	・災害対策要員の出社に支障	・災害対策要員の出社に支障	・災害対策要員の出社に支障	・災害対策要員の出社に支障	・災害対策要員の出社に支障
⑧ 港湾			・船舶による応急給水の確保が困難(船の停泊が困難となるため)	・船舶による応急給水の確保が困難(船の停泊が困難となるため)			・代替港へのシフト							
⑨ 航空										・迂回ルートに利用客が集中し、輸送能力のキャパシティ不足				
⑩ 運輸・物流、旅客										・迂回ルートに利用客が集中し、輸送能力のキャパシティ不足				
⑪ 金融														
⑫ 医療														
⑬ 行政 (警察、消防等含む)						・瓦礫・ゴミの路上集積による路面閉塞							・消防局内の混乱による専用電話の適切な利用ができないことによる情報把握遅延	・救助活動の多発による消防車・救急車の不足
⑭ 大都市での波及	・復旧拠点となる基地スペース確保が困難		・火災多発による応急給水の遅延			・豪雪の場合、都会の方が対策が少なく影響が大きい ・豪雪の場合、内陸の道路の方が影響が大きい ・建物・ビルの倒壊による道路空間の閉鎖による通行不能								・復旧スペースの不足

表-3.1.3 インフラ被害関連マトリクス（復旧工事への被害波及）

凡例
 黒字: 兵庫県南部地震、新潟県中越地震の両方で見られた事例
 赤字: 兵庫県南部地震での事例
 緑字: 新潟県中越地震での事例
 青字: 洪水・豪雪での事例

結果 原因	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空	運輸・物流 旅客	金融	医療	行政 (警察、消防等 含む)	大都市での波及
① 電力		・倒壊設備等が撤去されないことによる復旧活動の不全		・復旧現場での夜間照明の停止	・水中ポンプ用電源、照明用電源の停止	・電柱の倒壊による復旧の遅延	・施設点検の際の夜間照明の停止	・電力が回復しないことによる貨物の積み下ろし支障		・管理システム(受発注、出荷管理等)の停止	・冷庫庫の停止	・会計システムの停止	・避難所活動の長期化	・ガソリンスタンド停止による交通機能の麻痺
② ガス						・道路工事による渋滞				・ガス供給停止の長期化による地上設備の復旧遅延			・ごみ焼却不能	・排水ポンプ等の停止による施設の排水困難
③ 上水道	・道路掘削の際の調整による遅延	・管路への差し水による復旧遅延	・道路掘削の際の調整による遅延	・管渠調査用水、清掃用水の不足		・他事業者との道路工事の調整				・断水の長期化による地上設備の復旧遅延	・施設環境(空調、飲料水、トイレ等)の低下		・避難所活動の長期化	・工業用水の停止に伴う復旧用品の製造停止
④ 下水道	・マンホール浮上による復旧作業車の通行障害	・差し水で吸引した水の処理への影響	・下水道復旧の遅延による上水道復旧の遅延	・上下水道と下水道のバルブ取扱い誤りによる遅延		・他事業者との道路工事の調整				・使用停止の長期化による地上設備の復旧遅延	・施設環境(空調、飲料水、トイレ等)の低下			
⑤ 情報通信	・通信の停止による関係者との相互連絡の支障	・通信の停止による関係者との相互連絡の支障	・通信の停止による関係者との相互連絡の支障	・通信の停止による関係者との相互連絡の支障	・一般電話回線の復旧遅延による携帯電話基地局復旧の遅延	・道路工事による渋滞	・携帯電話バッテリー切れによる支障	・通信の停止による関係者との相互連絡の支障	・通信の停止による関係者との相互連絡の支障	・通信の停止による関係者との相互連絡の支障	・通信の停止による関係者との相互連絡の支障	・銀行オンライン回線切り替えの遅延	・通信の停止による関係者との相互連絡の支障	・通信の停止による関係者との相互連絡の支障
⑥ 道路	・渋滞による復旧遅延	・渋滞による復旧資機材到着の遅延	・渋滞による復旧工事の遅れ	・渋滞による復旧遅延	・渋滞による車輦移動の困難	・高架道路落下による復旧遅延	・被災地付近で、荷物ができず、遠方からの往復を余儀なくされたが、道路寸断等により、時間ロスが生じた	・道路渋滞による、物流、人員搬送等の遅延	・復旧資材、人員の搬送が困難	・修理技術者の到着遅延				・道路調整会議による対策
⑦ 鉄道	・鉄道停止により、復旧活動委員の宿泊増加	・鉄道停止による、復旧活動委員の宿泊対応	・他都市からの応援人員、資材の搬送に支障	・高架鉄道落下による調査、復旧の遅延	・復旧委員、復旧支援委員の参加に支障	・線路用地の一部が、道路用地と一緒に崩落	・一部不通区間の復旧遅延によるダイヤ全体の平常化への支障							・修理技術者の到着遅延
⑧ 港湾	・復旧資機材の運搬に支障	・復旧資機材の運搬に支障	・復旧資機材の運搬に支障	・復旧資機材の運搬に支障	・港湾施設破損による復旧支援船の停泊への支障	・復旧資機材の運搬に支障	・復旧資機材の運搬に支障	・復旧資機材の運搬に支障	・復旧資機材の運搬に支障	・復旧資機材の運搬に支障	・復旧資機材の運搬に支障			
⑨ 航空		・着船、荷揚げの不能の長期化による、船積みへの支障	・復旧人員アクセスの支障	・復旧人員アクセスの支障										
⑩ 運輸・物流、旅客														
⑪ 金融														
⑫ 医療														
⑬ 行政(警察、消防等含む)	・道路情報の不足による復旧遅延													・復旧スペースの不足 ・帰宅困難者が多数の場合、稼働可能職員数の減少に伴う活動力の低下
⑭ 大都市での波及	・建物被害、路面閉塞による作業困難	・建物被害、路面閉塞による作業困難	・建物被害、路面閉塞による作業困難	・建物被害、路面閉塞による作業困難	・建物被害、路面閉塞による復旧の支障	・豪雪の場合、都会の方が対策が少なく影響が大きい ・豪雪の場合、内陸の道路の方が影響が大きい ・建物・ビルの倒壊による道路空間の閉鎖による通行不能								・仮設住宅により学校グラウンド使用不可

3.2 被害波及構造モデルのインフルエンス・ダイアグラム表現

被害波及構造モデルの可視化を目的として、インフラ被害関連マトリクスに基づき、インフルエンス・ダイアグラムを用いた整理を行った。その結果を以下に示す。

3.2.1 相互依存関係の分類

(1) 相互依存関係の種類

能島らは、被害波及に関わるインフラ間の相互依存関係について、物理的被害波及、機能的被害波及、復旧遅延、代替機能、複合災害の5とおりに分類している⁹⁾。

- a) 物理的被害波及：あるインフラが物理的に損傷、損壊することにより、他のインフラを物理的に損傷、損壊させるような被害波及をいう。例えば、道路が損壊することにより、道路に埋設されている水道管（上水道）が損傷するという被害波及ある場合には、道路から上水道に対して物理的被害波及がある、という。物理的被害波及は、基本的に発災直後に発生し、かつ当該インフラ間の直接的な被害波及である。
- b) 機能的被害波及：あるインフラが機能を喪失する、あるいは機能レベルが低下した結果、他のインフラの機能レベルを喪失あるいは低下させるような場合には、インフラ間に機能的被害波及があるという。例えば、インフラとしての電力が、電気の供給という機能のレベルを低下させる（停電となる）ことにより、信号機が機能せず、結果として道路の主たる機能である輸送（量）が低下した場合には、インフラたる電力から道路に対して機能的被害波及がある、という。機能的被害波及には、被害波及の影響が空間的にも時間的にも拡大しやすいという特徴がある。
- c) 復旧遅延：あるインフラの機能が回復しないことにより、他のインフラの機能の回復（復旧）が遅延するという影響関係がある場合には、当該インフラ間に復旧遅延の相互依存関係がある、という。道路が人員、物資等の輸送という機能が回復しないことにより、復旧に必要な人員、機材を輸送することができず、各インフラの復旧が遅れるような例の道路と各インフラとの関係は、復旧遅延という相互依存関係の代表的なものである。
- d) 代替機能：あるインフラが保有する機能を、他のインフラの機能により代替する場合には、代替機能の関係にあるという。例えば、鉄道による人員の輸送を船舶で代替する場合には、鉄道の代替機能が船舶である、という関係が鉄道、船舶の両インフラ間には存在することになる。
- e) 複合災害：複数のインフラの被害の発生が相互作用を産み、複合災害に発展するような場合をいう。

これらのうち相互依存関係の被害波及として特に注目すべきものは、影響の時間的、空間的な拡がりを持つ機能的被害波及である。また、発災直後の直接的な被害波及である物理的被害波及、および復旧に要する時間に影響を与える復旧遅延についても、インフルエンス・ダイアグラムを用いて整理する。

(2) 相互依存関係を持つインフラの特徴

各インフラが有する相互依存関係、および相互依存関係における起点、終点の別に注目すると、インフラごとに特徴がある。また、その特徴がインフラ間の被害波及も特徴づけていると見ることができる。

各相互依存関係の起点、あるいは終点となっているインフラの特徴について整理した結果を表-3.2.1にまとめる。

表-3.2.1 各相互依存関係の起点/終点となっているインフラの特徴

	多くの起点になっている	多くの終点になっている
物理的被害波及	当該インフラの損傷が他のインフラに物理的被害を与える	他インフラの損壊、損傷が自己に物理的被害を与えやすい
機能的被害波及	他インフラへの物理的被害を最小限とするために、計画・設計段階で十分に考慮する必要がある	自己のみの対策では不十分なので、他インフラとの調整が必要である
復旧遅延	【代表例】「道路」：ケーブルや各種管を埋設しているため、道路の寸断が同時に他インフラに影響を与える	起点インフラの機能が回復されるか、十分な代替機能を保有しない場合、当該インフラの機能が復旧しない。
代替機能	当該インフラの機能喪失が他のインフラの機能に被害を与える	自己の機能復旧は、他インフラの機能復旧の有無に影響を受ける（他インフラ依存である）。一般に、機能復旧に時間を要する。

(3) インフルエンス・ダイアグラム

インフルエンス・ダイアグラム（影響図）とは、要素間の影響関係を図により表現したものである。図中では、要素がノードとして、影響関係が有向アークとして表現される。ここではインフラをノードとして、相互依存関係を有向アークとしてインフルエンス・ダイアグラムを表現した。また、有向アークに付与されている番号は、表-2.3.1、表-2.3.2の相互連関事例番号に対応している。

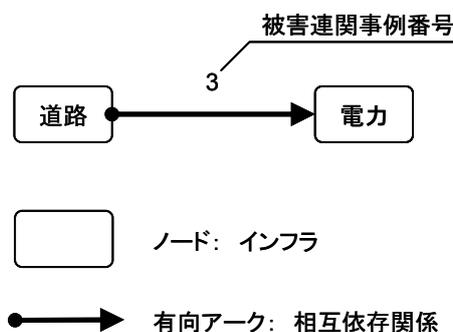


図-3.2.1 インフルエンス・ダイアグラムによるインフラ間相互依存関係の表現

3.2.2 依存関係別インフルエンス・ダイアグラム

インフラ間の相互依存関係について理解するため、まず依存関係別の相互依存関係についてインフルエンス・ダイアグラムを用いて整理した。

ここでは、主に各依存関係について、多くの起点、あるいは終点となっているインフラについて把握することを目的としている。インフラ間の相互依存関係のうち、特に注目する物理的被害波及、機能的被害波及、復旧遅延の3つについて示す。また、インフルエンス・ダイアグラムは、兵庫県南部地震、新潟県中越地震それぞれについて描画した。また、考慮したインフラは次のものである。

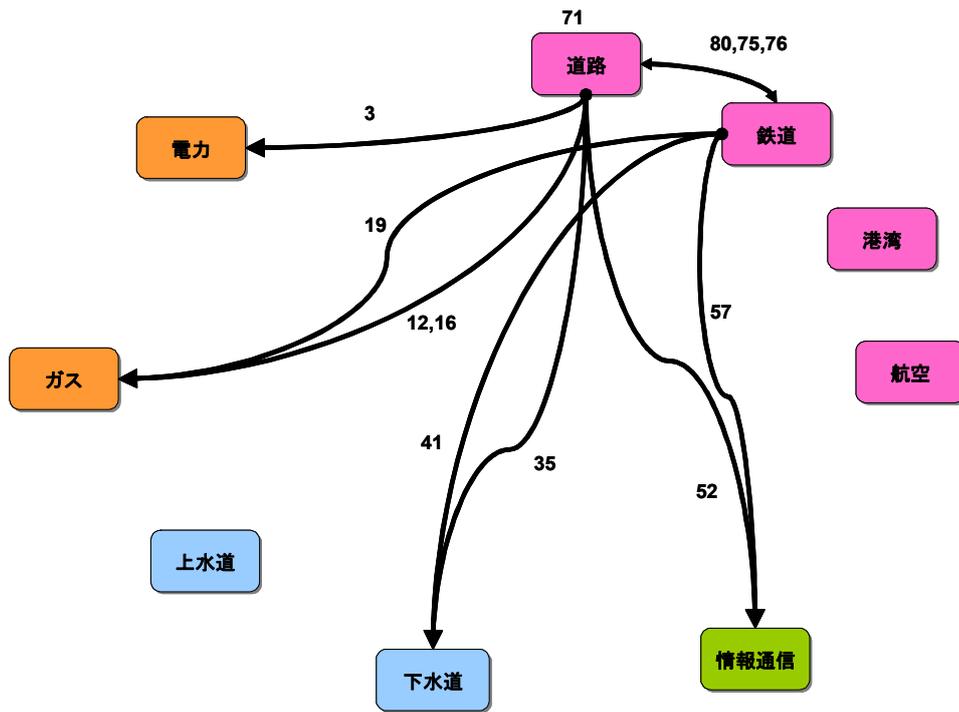
- ・エネルギー（電力、ガス）
- ・上下水道（上水道、下水道）
- ・情報通信（情報通信）
- ・交通（道路、鉄道、港湾、空港）

（1）物理的被害波及

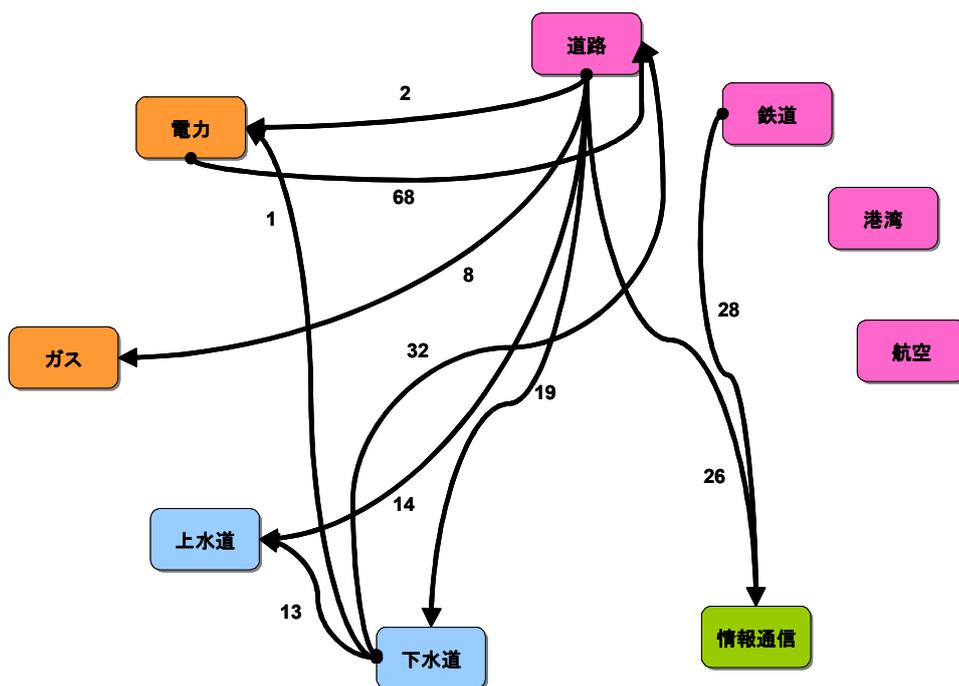
兵庫県南部地震と新潟県中越地震の物理的被害波及事例をインフルエンス・ダイアグラムで整理したものを図-3.2.2に示す。

兵庫県南部地震の事例では、道路と鉄道が非常に多くの起点となっており、その他のインフラに影響を与えていることがわかる。道路を起点とする物理的被害波及の多くは、道路の物理的損傷、損壊により他インフラの供給網（送電線、導管など）に影響を与えたものである。また、鉄道も同様である。

新潟県中越地震の事例では、兵庫県南部地震と比較すると、道路を起点とした被害波及が中心となっていることが特徴である。また、下水道を起点とする被害波及が複数のインフラへと伸びていることも特徴の1つとしてあげられる。



(a) 兵庫県南部地震



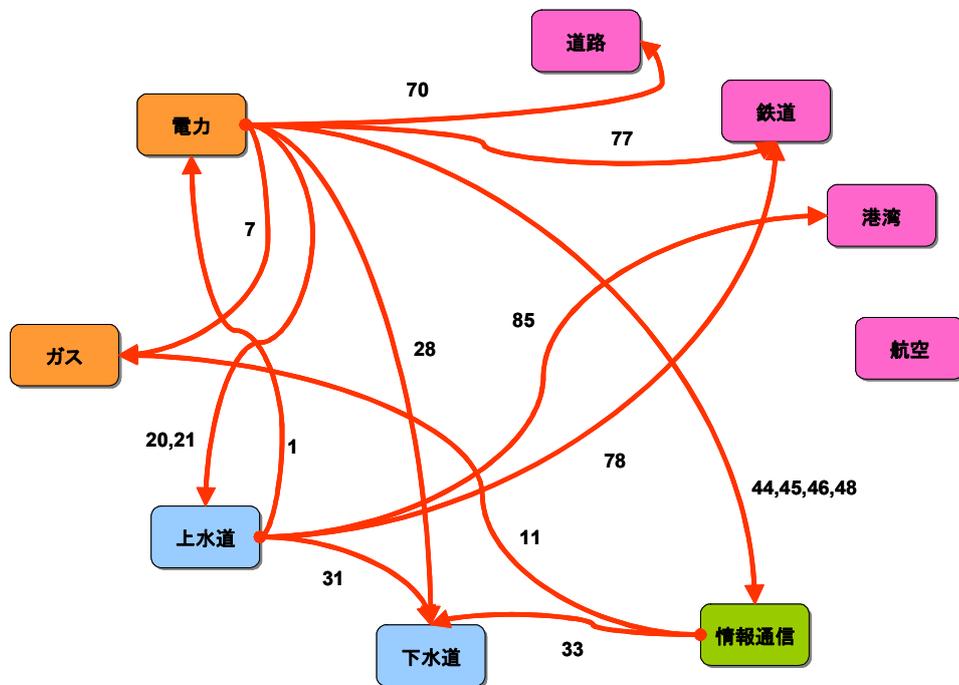
(b) 新潟県中越地震

図-3.2.2 物理的被害波及のインフルエンス・ダイアグラム

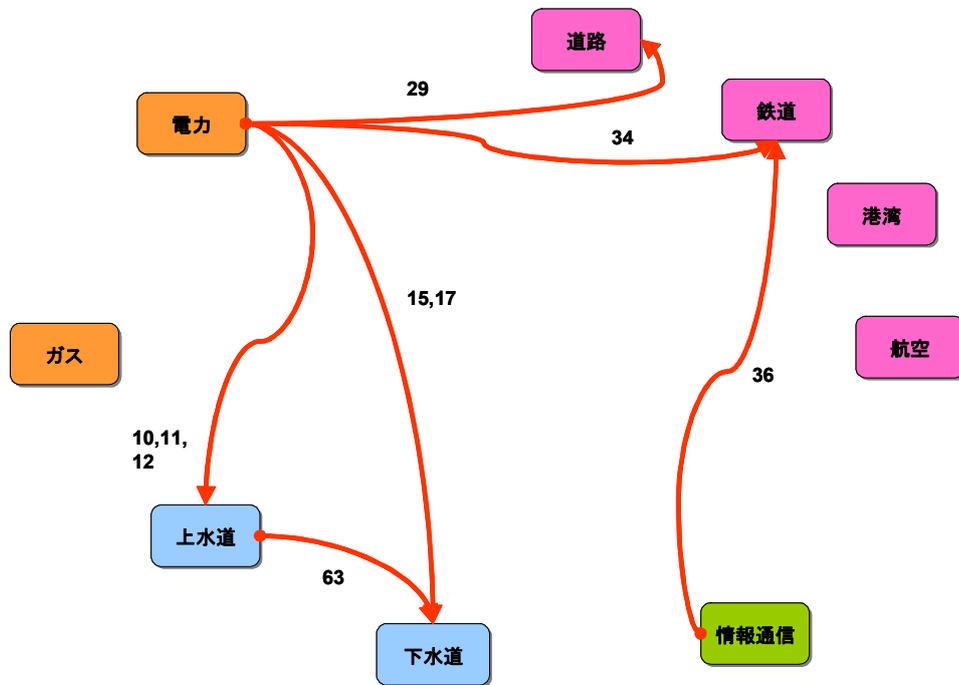
(2) 機能的被害波及

機能的被害波及のインフルエンス・ダイアグラムを図-3.2.3 に示す。物理的被害波及の場合には、道路と鉄道が起点の中心であったのに対して、機能的被害波及では、電力が中心となっていることが読み取れる。また、情報通信等も起点となっている。

新潟県中越地震の事例では、兵庫県南部地震と比較すると、機能的被害波及に関する依存関係が少ないことがわかる。これは、都市部である兵庫県南部と地方である新潟県中越の地域の特徴を表していると考えられる。一方、電力と情報通信が機能的被害波及の起点の主なものである点については共通している。



(a) 兵庫県南部地震



(b) 新潟県中越地震

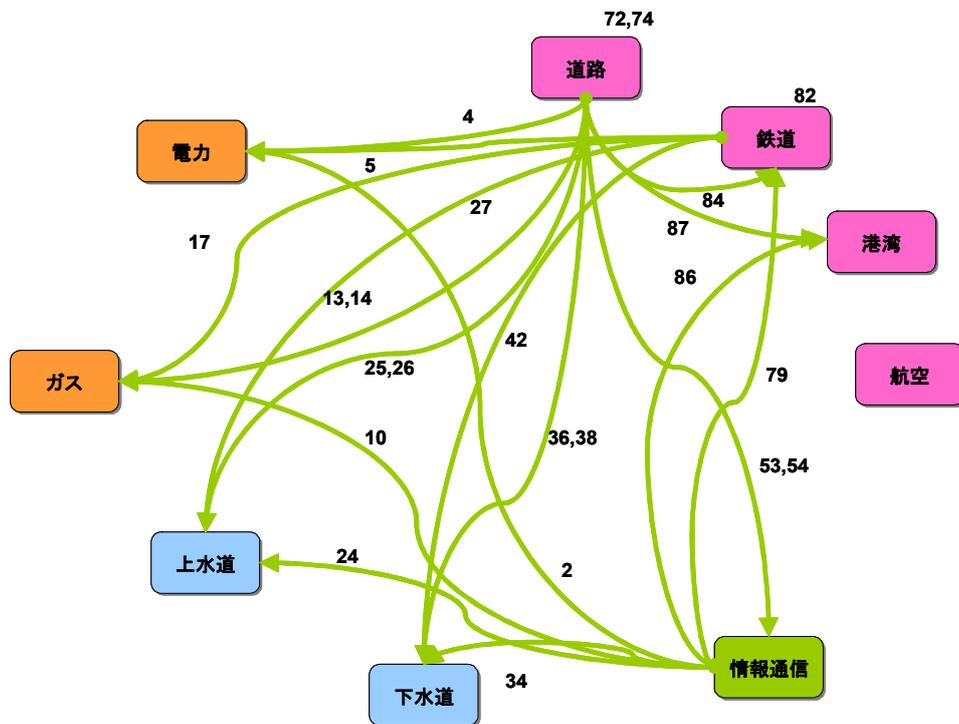
図-3.2.3 機能的被害波及のインフルエンス・ダイアグラム

(3) 復旧遅延（兵庫県南部地震）

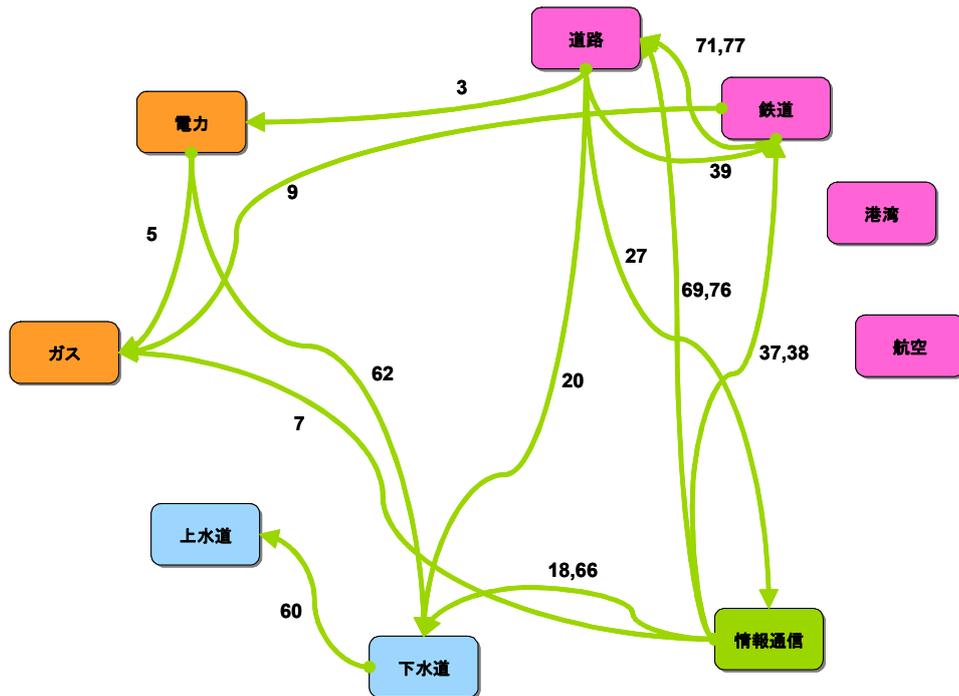
復旧遅延の相互依存関係をインフルエンス・ダイアグラムで表現したもの図-3.2.4に示す。

兵庫県南部地震の事例では、道路と情報通信を起点とする復旧遅延の依存関係が多く存在することがわかる。道路からはほぼ全てのインフラに復旧遅延の依存関係が存在する。これは、主に復旧のための人員や機材を含む物資の輸送に関わるものである。また、情報通信を起点とする依存関係は、情報通信ができないことで、状況の確認、情報の共有、指示が遅れる等の影響によるものである。

新潟県中越地震の事例は、多くの依存関係が道路と情報通信を起点としている点については、兵庫県南部地震と共通している。一方、電力を起点とする依存関係が複数存在している。電力の供給の遅れが、全体の復旧に影響を与えたという印象が反映されていると考えられる。



(a) 兵庫県南部地震



(b) 新潟県中越地震

図-3.2.4 復旧遅延のインフルエンス・ダイアグラム

3.2.3 インフラ別インフルエンス・ダイアグラム

各インフラに関わる依存関係について注目するため、インフラ別のインフルエンス・ダイアグラムを描画した。ここでは、特に道路に関する結果を示す。

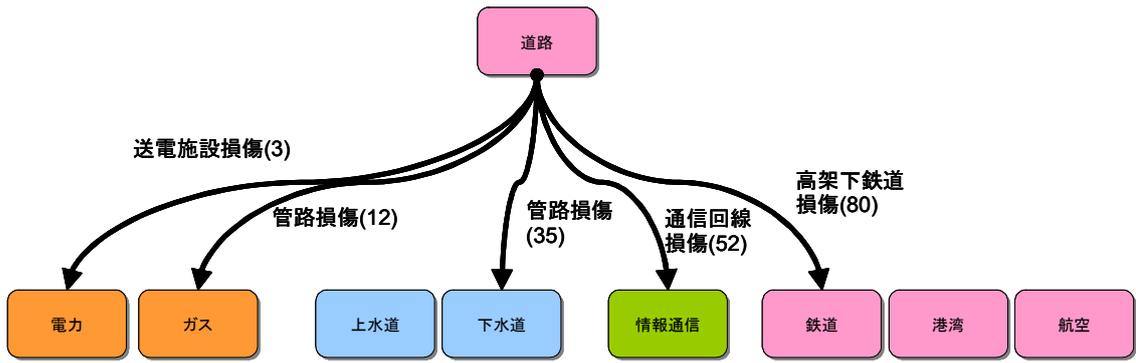
(1) 道路を起点とする相互依存関係

道路が機能的被害波及の起点となっている事例がないため、物理的被害波及と復旧遅延について、道路を起点とした相互依存関係をインフルエンス・ダイアグラムで表現した結果を図-3.2.5と図-3.2.6に示す。物理的被害波及と復旧遅延に関しては、多くのインフラとの相互依存関係の起点となっている。特に復旧遅延は全てのインフラに影響があり、道路の機能回復が復旧の進捗に大きく影響を与えることがわかる。

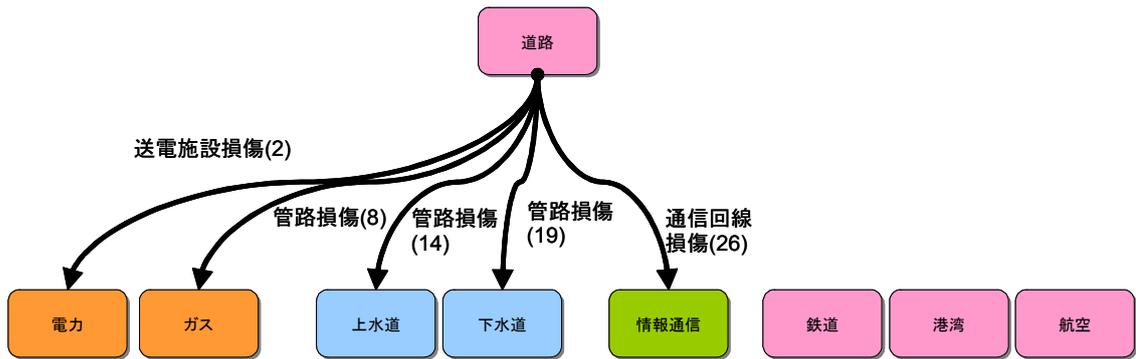
(2) 道路を終点とする相互依存関係

道路が復旧遅延の終点となっている事例がないため、物理的被害波及と機能的被害波及について、道路を終点とした相互依存関係をインフルエンス・ダイアグラムで表現した結果を図-3.2.7と図-3.2.8に示す。

道路を起点とするものに比べると、終点とする、すなわち被害波及を受ける依存関係は少ないことがわかる。道路は物理的被害波及と復旧遅延が主たる相互依存関係であることから、物理的被害波及が発生しないような計画が求められるとともに、被災した場合には集中的に資源を投入し、道路の機能を回復することが早期復旧につながる事がわかる。

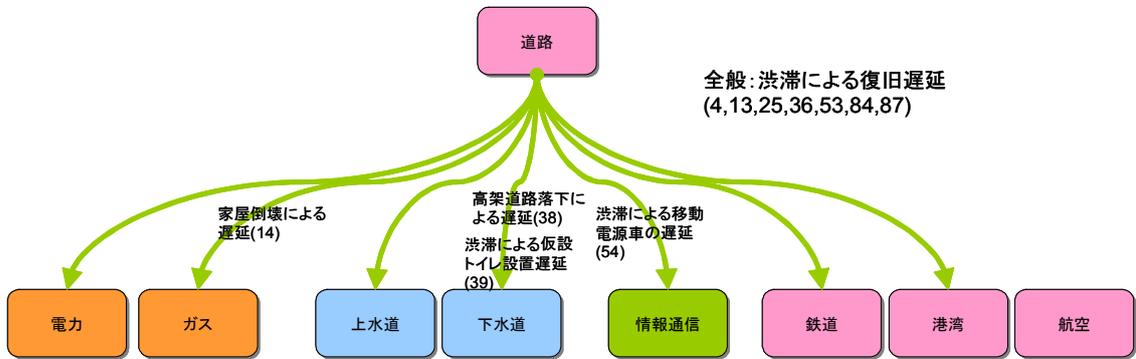


(a) 兵庫県南部地震

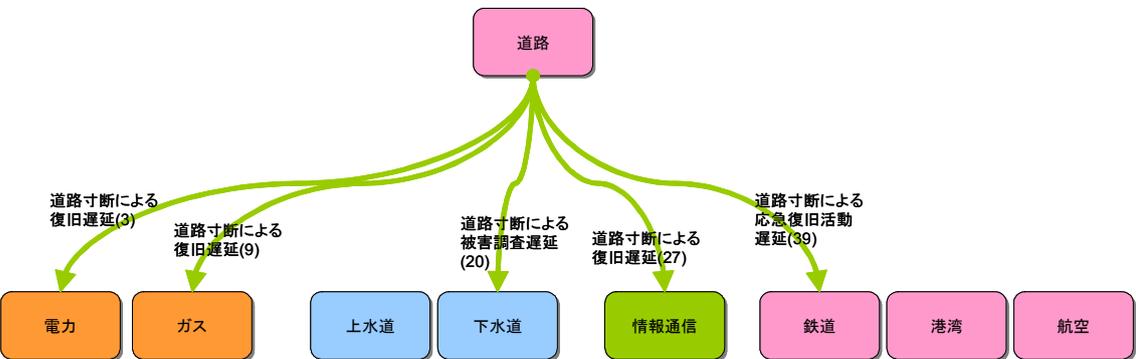


(b) 新潟県中越地震

図-3.2.5 道路を起点とする物理的被害波及のインフルエンス・ダイアグラム



(a) 兵庫県南部地震



(b) 新潟県中越地震

図-3.2.6 道路を起点とする復旧遅延のインフルエンス・ダイアグラム

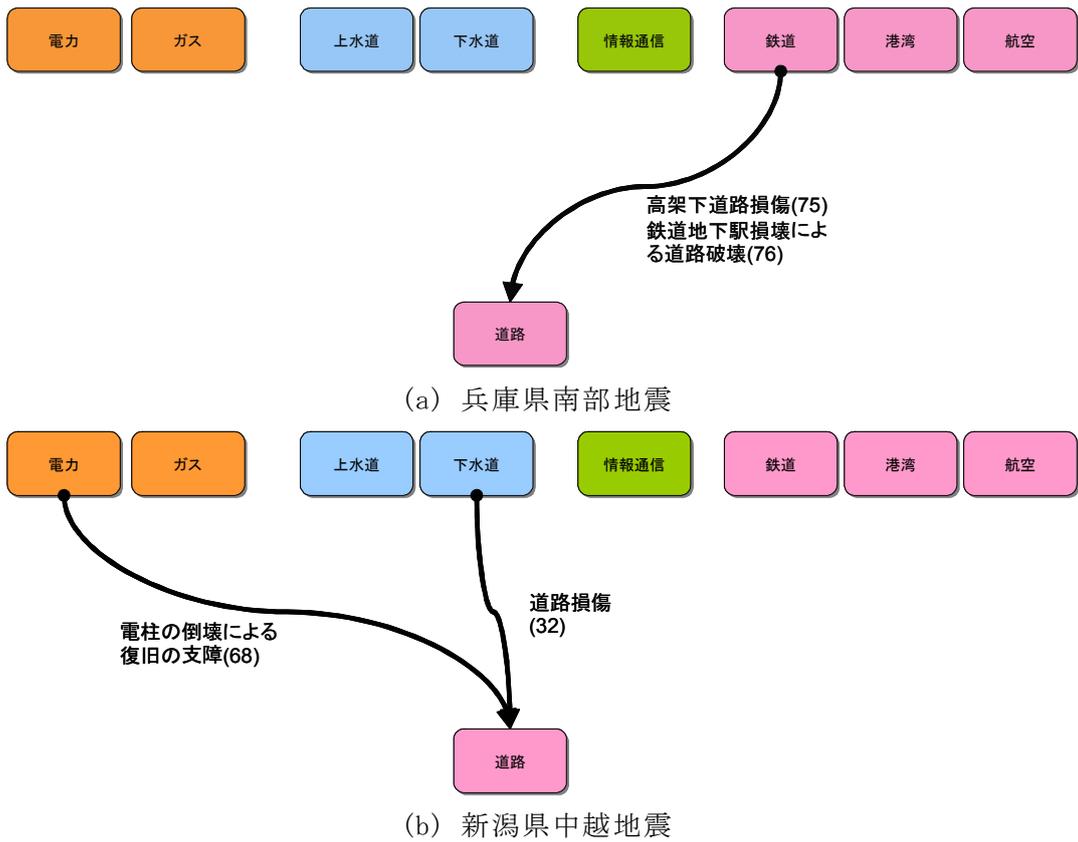


図-3.2.7 道路を終点とする物理的被害波及のインフルエンス・ダイアグラム

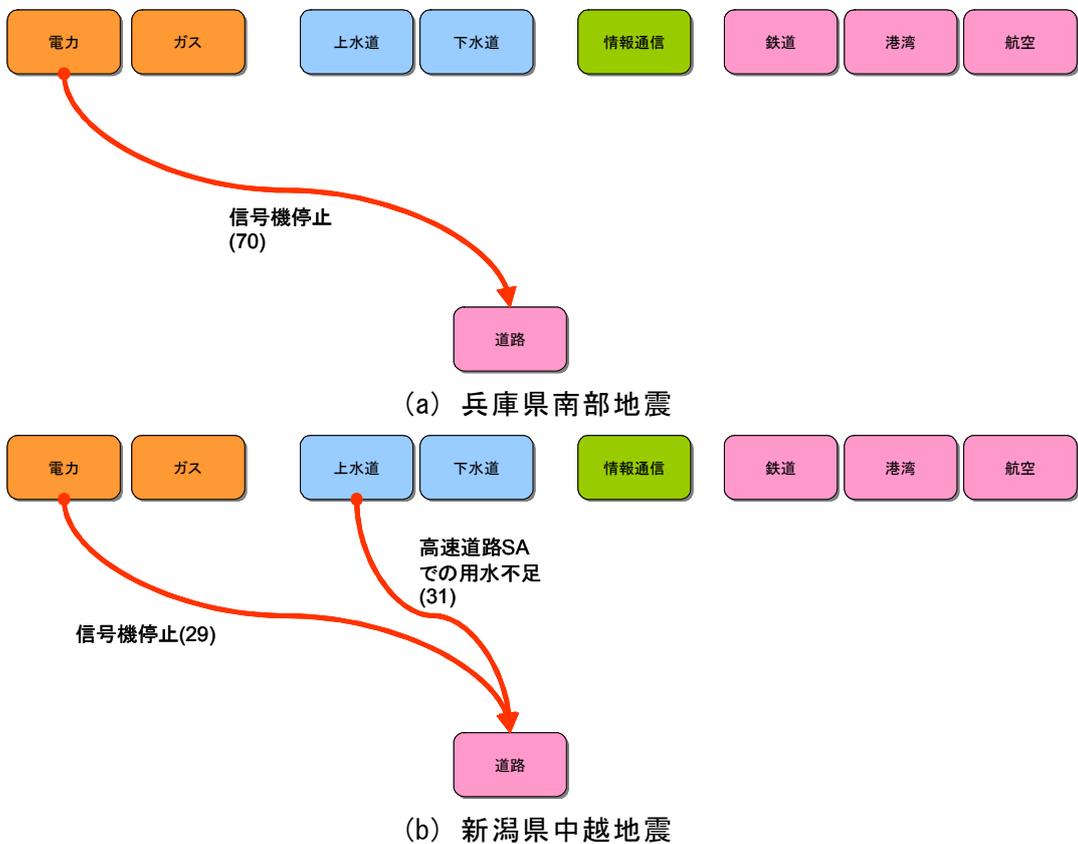


図-3.2.8 道路を終点とする機能的被害波及のインフルエンス・ダイアグラム

(3) 道路に関わる機能的被害波及

兵庫県南部地震、新潟県中越地震の事例について、道路に関わる機能的被害波及をインフルエンス・ダイアグラムとして整理したものをそれぞれ図-3.2.9、図-3.2.10に示す。ここでは、医療、消防などサービスに関わるインフラも整理に盛り込んでいる。

これまでに確認したとおり、道路は他のインフラから機能的被害影響をほとんど受けない。過去の事例からは、電力の供給停止による信号機停止のみである。また、道路を起点とする機能的被害影響についても、サービス以外のインフラに対するものは過去の事例ではない。一方、人員や物資の輸送には大きな影響を与えることから、多くのサービスに関するインフラに対して影響を与える。特に、医療や消防など発災直後から機能すべきインフラにも影響を与えることがわかる。

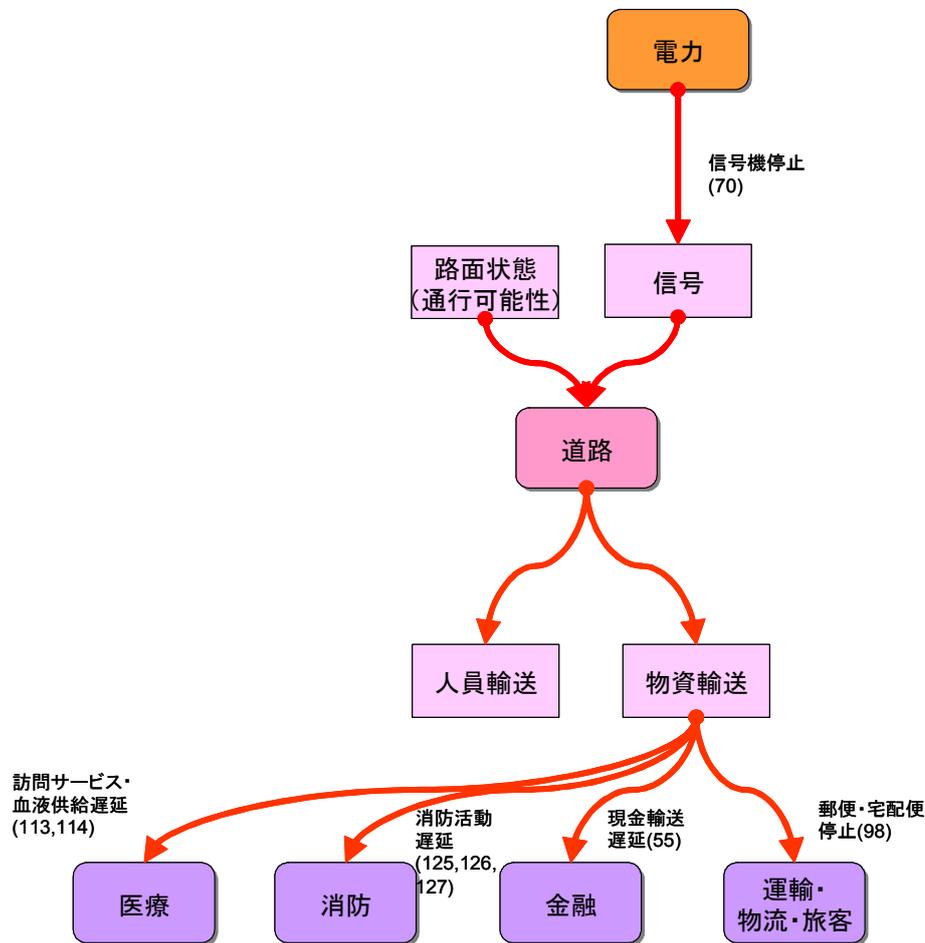


図-3.2.9 道路に関わる機能的被害波及（兵庫県南部地震）

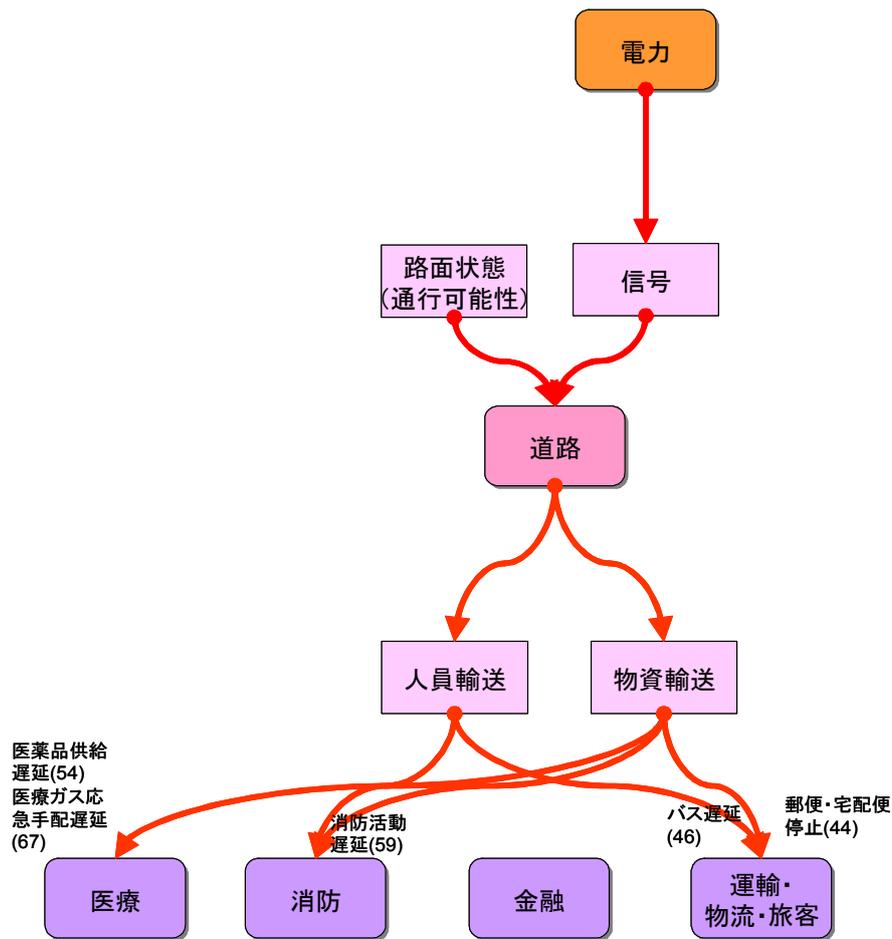


図-3.2.10 道路に関する機能的被害波及（新潟県中越地震）

（４）電力に関わる機能的被害波及

電力に関わる機能的被害波及を同様にインフルエンス・ダイアグラムとして表現したものを、兵庫県南部地震の事例を図-3.2.11に、新潟県中越地震の事例を図-3.2.12に示す。

電力の特徴は、電力が終点となる、すなわち電力に機能的被害波及を受けるインフラが存在しないことである。一方、電力が起点となり他に機能的被害波及を与えるものは非常に多く、ほぼ全てのインフラに影響を与える。無停電装置の設置等の対策が行われているが、電力供給の回復に要する期間が他インフラの機能回復の主要因となることを十分に理解した対策と発災時の復旧計画が必要である。

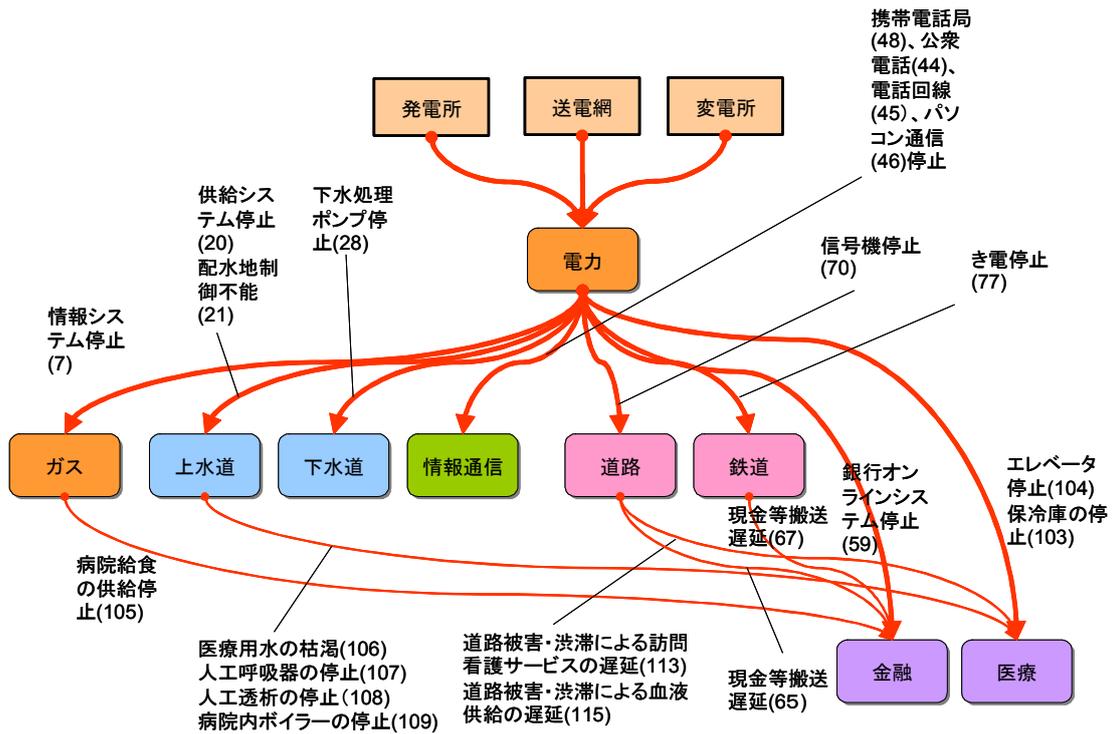


図-3.2.11 電力に関わる機能的被害波及（兵庫県南部地震）

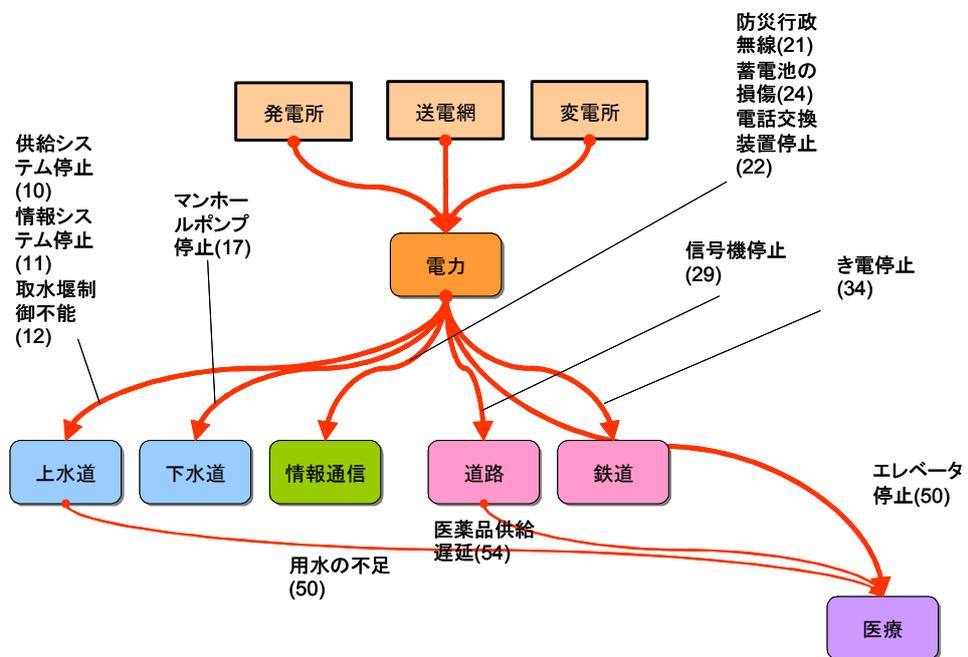


図-3.2.12 電力に関わる機能的被害波及（新潟県中越地震）

3.2.4 まとめ

本節では、インフラ被害連関マトリクスで整理されたインフラ間の相互依存関係を可視化しその内容を把握するため、インフルエンス・ダイアグラムを用いて整理した。

依存関係別のインフルエンス・ダイアグラムを描画することにより、依存関係ごとに、起点となるインフラ、あるいは終点となるインフラに特徴があることがわかった。例えば、機能的被害波及では、電力が多くの相互依存関係の起点となっている。

次に、インフラ別、特に今回は道路に関するインフルエンス・ダイアグラムを描画した。その結果、道路は機能的被害波及を有しない一方で、復旧遅延に関しては非常に多くの影響の起点となっていることが把握できた。

さらに、医療などサービス関連のインフラも加え、道路と電力に関連するインフルエンス・ダイアグラムを描画した。結果、道路は多くのサービス関連のインフラに影響を与えること、電力はほぼ全てのインフラに対して影響を与えることが確認された。

このように整理や解析の結果をインフルエンス・ダイアグラム等で可視化することにより、個人レベルでの状況の再確認と組織レベルでの認識の共有が可能となる。

4. 相互依存構造マトリクスによる被害波及のケーススタディ

前章で整理した被害波及構造に基づいて、インフラ間の相互影響についての定量評価手法を検討し、首都直下地震を想定したケーススタディを実施した。ケーススタディの結果から、手法の実用化に向けた方向性、課題等について整理した。

4.1 ケーススタディの対象と方法

社会インフラが相互に密接に依存していることにより、災害時には相乗的なインフラ被害の拡大や、復旧・復興の遅れが発生する。ここではこういった問題が現れやすい首都圏を対象とし、首都直下地震を想定した場合にインフラ相互依存影響によってインフラ被害と復旧遅延がどの程度拡大するかを推計した（図-4.1.1）。

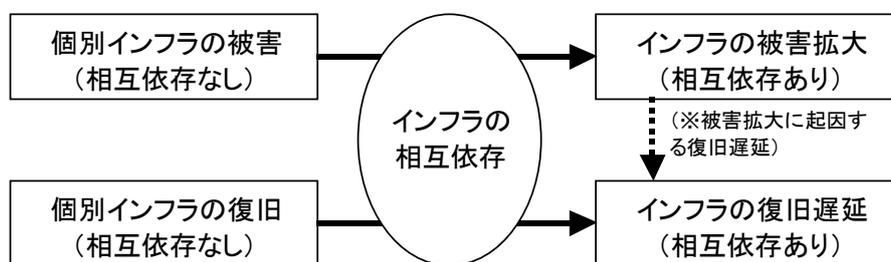


図-4.1.1 インフラの相互依存に起因する影響拡大の概念図

4.1.1 推計対象とする時点

地震被害は発災時に集中して発生するが、インフラの相互依存による被害拡大は、必ずしも発災の瞬間だけでなく、数日から場合によっては数週間に及ぶ（例えば、備蓄燃料が無くなることによる自家発電装置の停止等）。

一方、こうした被害からの各インフラの復旧は、被災直後に開始されるが、そのあらゆる過程においてインフラの相互依存に起因する復旧遅延が発生しうる。

こうした被害拡大、復旧遅延が合わさって、インフラ相互依存による影響となる。こうした影響は時間経過と共に累積する。

本章では、被害発生から1日後、1週間後、1ヶ月後などの時点で、スナップショット的にインフラの相互依存に起因する被害の拡大を推計した。

なお、推計の手法上、図-4.1.2 での復旧遅延による累積的な影響増加については検討の対象としていない。累積的な影響増加の推計には、システムダイナミクスモデルのような、時間概念の入ったモデルの構築が必要である。

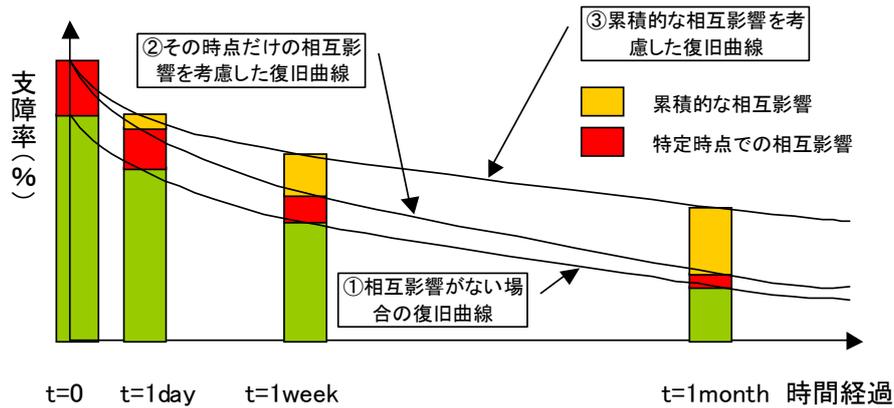


図-4.1.2 スナップショット的な相互影響把握のイメージ

4.1.2 各時点における相互依存影響の推計方法

推計に当たっては、次の行列方程式を用いた相互依存による被害拡大モデルを構築した。それぞれの時点において下記の一次の波及影響、高次の波及影響を推計した。

$$\{y_1\} = \{x\}[C] \quad (4.1.1)$$

$$\{y_k\} = \sum_{j=1}^k \{x\}[C]^j \quad (4.1.2)$$

ここで、 $\{x\}$ は n 種のインフラの初期被害を要素とする行ベクトル（入力ベクトル）、 $[C]$ は $n \times n$ の相互依存構造マトリクス、 $\{y_k\}$ は k 次までの相互影響を含む n 種のインフラ被害を要素とする行ベクトル（出力ベクトル）、 $[I]$ は $n \times n$ の単位行列である。

なお、上記出力ベクトル $\{y_k\}$ に社会機能（物流、インフラ、医療、行政）への影響係数マトリクスを乗じることにより、社会機能への被害を算定することができる。

4.2 重み付けの実施

個々のインフラ間の直接的な相互影響について記述した相互依存構造マトリクス $[C]$ を決定するために、原因となるインフラが被災した場合の、影響を受けるインフラの“影響の深刻度合い”を評価した。「重要インフラ間の被害波及軽減のための調査検討会」委員を中心とした専門家、関係者にアンケートを行い、その評価結果に基づいて重み付けを実施した^{10), 11), 12)}。アンケートに用いた評価表を図-4.2.1に、アンケート記入方法と記入例をそれぞれ図-4.2.2、図-4.2.3に示す。

以下に、重み付けの条件と評価方法を示す。

(1) 前提条件

- ・首都圏におけるインフラ施設を想定した。
- ・原因側のインフラがどの程度被災するかは想定せず、最大限に被災した場合にどの程度影響を受けるかを評価した（原因側インフラの被災状況設定は4.3参照）。
- ・影響を受けるインフラについては機能支障の観点から評価した（その機能支障が社会

的にどのような影響を及ぼすかは評価の対象外)。

(2) 担当箇所

- ・検討会各委員並びに防災科学技術研究所職員、国土技術政策総合研究所職員が、被害連関マトリクス(表-3.1.1~3)のA~M列のいずれかを担当し、①~⑨行のインフラを原因側とした場合の影響の重み付けを行った。評価担当一覧を図-4.2.4に示す。

(3) 重み付けの方法

○災害直後

- ・影響を受けるインフラに発生する機能支障を評価した(その機能支障が社会的にどのような影響を及ぼすかは評価の対象外)。
- ・被害連関マトリクス(表-3.1.1)に記載されている影響波及事象を参照し、a)要素の受ける影響(インフラ個々の施設、機能に着目し、どの程度の影響を受けるか)を4~0の5段階(4:致命的な影響~0:影響なし)で評価した。
- ・首都圏におけるインフラシステムの性質や、影響の軽減に有効となるシステム形態(施設密度、多重化、冗長性等)を勘案し、b)システム形態(影響波及の軽減にどの程度有効か)を5~1の5段階(5:システム全体に甚大な影響が広がる~1:システム全体にはほとんど影響しない)で評価した。
- ・原因となるインフラの“物理的損傷に起因する影響波及”(例:電柱が道路上に倒壊する)、“機能支障に起因する影響波及”(例:電力供給停止により信号が停止する)に分けて評価を行った。ここで、被害連関マトリクスに両者が混在して記載されている場合には、評価者が分類した。

○仮復旧時

- ・被害連関マトリクス(表-3.1.2、表-3.1.3)に記載されている影響波及事象を参照し、原因となるインフラの被災が、影響を受ける側の“仮復旧の速度”にどの程度影響を及ぼすかを4~0の5段階(4:致命的な影響~0:影響なし)で評価した。

(4) 評価結果の記入

- ・図-4.2.1に示す評価表を用い、評価者が評価段階および評価理由を記入した。

(5) 評価結果のチェック

- ・計算結果で大きな問題が合った場合には、評価結果に戻って修正することとした。
- ・インフラ被害による同一インフラ内への影響については、記述のあった回答と記述の無かった回答があった。記述のあった回答は、道路閉鎖による通行可能な道路の渋滞悪化、広域的運用による鉄道の連鎖的被害、通信の輻輳による影響である。ここでは、記入者の意見を尊重し同一インフラ内への影響を入れたケース、評価の統一性の観点から影響を抜いたケースの双方を計算した。

御記入者名 ()

影響を受ける インフラ	影響を受けるインフラ ()					
	a) 要素の受ける影響		b) システム形態		a) × b) 影響の 深刻度合い	
	評価 段階	評価理由	評価 段階	評価理由		
原因となる インフラ	① 災害直後	①-1 原因となるインフラの物理的損傷に起因する影響波及	4 ～ 0		5 ～ 1	20～0の2 1段階で評価
		①-2 原因となるインフラの機能支障に起因する影響波及	4 ～ 0		5 ～ 1	
	② 仮復旧の速度に及ぼす影響	0 ～ 4			—	4～0の 5段階で 評価

○被害関連マトリクスに記入されていなかった事象の追加、あるいは事象の削除

①災害直後

()

②仮復旧時

()

図-4.2.1 アンケートに用いた評価表

(記入方法) ※グレーのハッチ部分をご記入いただく箇所です

原因、影響インフラ：被害関連マトリクス（別添1※）に記載されたインフラ名または番号・アルファベットをご記入ください。

※本資料の表-3.1.1~3

a) 要素の受ける影響の評価：

①災害直後について、別添1の被害関連マトリクス1枚目に書かれている影響波及事象を参照し、波及元のインフラが被災した場合にインフラ要素が影響を受ける程度を4~0の5段階（4：致命的な影響~0：影響なし）で評価し、評価段階欄に記入して下さい。また、評価の理由についても記入して下さい。

②仮復旧時について、別添1の被害関連マトリクス2, 3枚目に書かれている影響波及事象を参照し、波及元インフラの被災が仮復旧の速度に影響を及ぼす程度を4~0の5段階（4：致命的な影響~0：影響なし）で評価し、評価段階欄に記入して下さい。

※評価は、原因となるインフラの“物理的損傷に起因する影響波及” “機能支障に起因する影響波及”に分けて行って下さい

b) システム形態の評価：①災害直後について、首都圏におけるインフラシステム全般に対し、施設密度、多重化、冗長性等が影響波及の軽減にどの程度有効かを5~1の5段階（5：システム全体に甚大な影響が広がる~1：システム全体にはほとんど影響しない）で評価し、評価段階欄に記入して下さい。

評価理由：上記評価の理由を箇条書きでご記入ください。b)については、想定したシステム形態等についてもご記入ください。

その他：・被害関連マトリクスに書いていない事象の追加、あるいは記入されている事象の削除については、欄外に記入して下さい。

・被害関連マトリクスの記載内容で、追加、削除以外に表現または語句等の間違い、変更がございましたら、被害関連マトリクスの当該セルにご記入ください。その際、変更箇所がわかるよう、変更箇所は斜体にして頂きますようお願いいたします。

・①~⑨のインフラそれぞれについて評価表を1枚作成して下さい。

図-4.2.2 評価者に配布したアンケート記入方法

【記入例：原因となるインフラ（電気）→影響を受けるインフラ（道路）】

a) 被害連関マトリクス（①電力→F 道路の箇所を抜粋）

1. 災害直後の被害波及 2. 臨時的な応急活動への被害波及 3. 復旧工事への被害波及

・信号機停止(70, 29)
 ・停電による CCTV の機能不全(被害箇所の把握困難)(70)
 ・停電による表示板の制御不能(72)
 ・停電による照明(トンネル、SA 等)の停止(73)

・電柱の倒壊による復旧の支障(68)

・電柱の倒壊による復旧の遅延(78)

・道路工事による渋滞
 ・他事業者との道路工事の調整

b) 評価表

原因となるインフラ		影響を受けるインフラ						
		影響を受けるインフラ（道路）						
		a) 要素の受ける影響		b) システム形態		a) × b) 影響の深刻度合い		
評価段階	評価理由	評価段階	評価理由					
原因となるインフラ（電力）	① 災害直後	理由① 物理的損傷に起因する影響波及	①原因となるインフラ	4 5 0	・電柱が道路上に倒壊すると車の通行が困難となる場合がある。	5 5 1	・道路ネットワーク網は密であり、迂回ルートが多数想定される。	20～0 の21段階で評価
		理由② インフラの機能支障に起因する影響波及	②原因となるインフラ	2		1		2
	② 仮復旧の速度に及ぼす影響	理由③ 仮復旧の速度に及ぼす影響	③原因となるインフラ	0 4 5	・信号停止が停止しても通行は可能であるが交通の流れに支障が生じ通行速度は大幅に減少する。 ・トンネル、表示板が停止しても通行は可能であり、影響は軽微。	1 5 5	・バックアップ電源付信号は全体の約1割。 ・警察による交通規制はほぼ自動で行われる。 ・トンネル、表示板は非常電源により作動。	20～0 の21段階で評価
				3		3		9
	② 仮復旧の速度に及ぼす影響	理由④ 仮復旧の速度に及ぼす影響	④原因となるインフラ	0 4 5	・電柱倒壊は重機による除去が必要な場合がある。 ・電力の復旧工事で道路上が一時占有されると、復旧が遅れる場合がある。		—	4～0 の5段階で評価
				1				1

○被害連関マトリクスに記入されていなかった事象の追加、あるいは事象の削除

① 災害直後

(電柱の倒壊による通行支障)

② 仮復旧時

()

図-4.2.3 評価者に配布したアンケート記入例

影響先 インフラ	A 電力	B ガス	C 上水道	D 下水道	E 情報通信	F 道路	G 鉄道	H 港湾	I 航空	J 運輸・物流、 旅客	K 金融	L 医療	M 行政
影響元 インフラ													
① 電力	委員 (電力会社)	委員 (ガス会社)	委員 (水道メーカー)	国総研	委員 (情報通信会社)	委員 (高速道路事業者)	委員 (鉄道事業者)	国総研	国総研	防災科研	防災科研	防災科研	委員 (地方自治体)
② ガス													
③ 上水道													
④ 下水道													
⑤ 情報通信													
⑥ 道路													
⑦ 鉄道													
⑧ 港湾													
⑨ 航空													

※ 上図は、各評価者が相互依存構造マトリクスのどの部分を埋めるかを模式的に示す。

※ 評価者には個人的意見の記入を依頼した。

図-4.2.4 評価者と相互依存構造マトリクスの対応関係

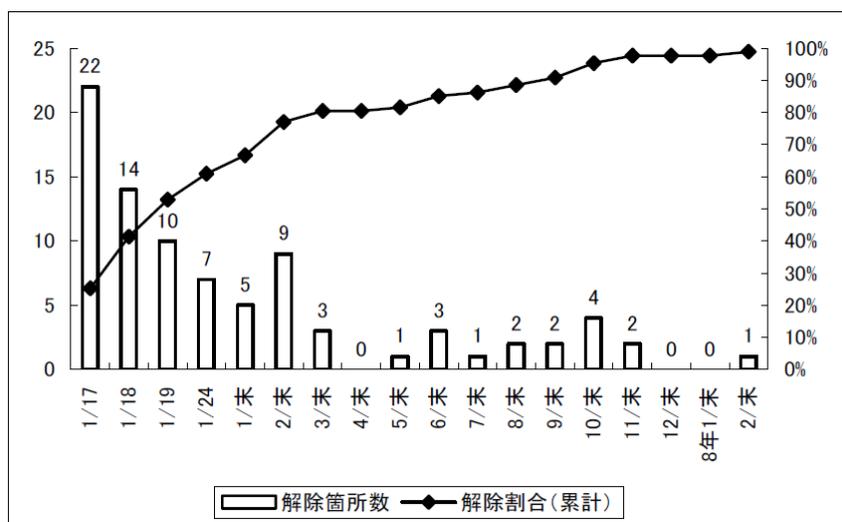
4.3 入力ベクトルの作成

重み付け評価理由の記入内容も参考に、首都直下地震を想定した入力ベクトル（式（4.1.1～2）の{x}）を作成した。入力ベクトルの各項目は基本的に、各分野の主たる機能の支障率（= 1 - 供給率）とした。

また、今回の試算では、中央防災会議による首都直下地震の被害想定¹³⁾で中心的に被害が発生するとされる東京23区内を試算対象とし、東京湾北部地震(M7.3)発生時の域内での支障率を想定した。以下では、各インフラの支障率をどのように想定したかを述べる。

(1) 道路

中央防災会議の被害想定には施設被害に関する記述はあるが、機能被害に関する定量的な記述はない。幹線道路については緊急輸送道路として発災後しばらくは一般の輸送に利用できないことなどから、当初5割程度の道路が利用不能として、中央防災会議の被害想定資料にある、兵庫県南部地震の兵庫県の県管理道路の規制解除状況（構造被害による通行支障と緊急道路による規制を含む、図-4.3.1）を参考に、発災後1日で40%（初期被害率50%の8割）、1週間後で25%、1ヶ月後で10%の機能支障率を想定した。



出所) 阪神・淡路大震災調査報告 (同調査報告編集委員会)

図-4.3.1 兵庫県の県管理道路の通行規制解除状況（兵庫県南部地震）¹³⁾

(2) 鉄道

中央防災会議の被害想定には施設被害に関する記述はあるが、機能被害に関する定量的な記述はないため、施設被害状況、兵庫県南部地震の事例等を元に設定した。

中央防災会議の被害想定によれば、首都直下地震による鉄道構造物の大被害発生箇所は30箇所となっており、また、1日後の震度7の区域の鉄道不通率は100%、震度6強は80%、震度6弱で15%となっている。そこで、東京湾北部地震(M7.3)の推定震度分布（図-

4.3.2: 山手線の東半分から千葉にかけて震度6強、山手線の西半分からかなり広域に震度6弱)を考慮し、50%の路線が停止(西側に向かう路線はほとんど運行可能)と想定した。

また、1週間後、1ヶ月後については代替輸送等も考慮し、兵庫県南部地震の事例(表-4.3.1、図-4.3.3)も参考に、機能支障率はそれぞれ3割、1割と想定した。

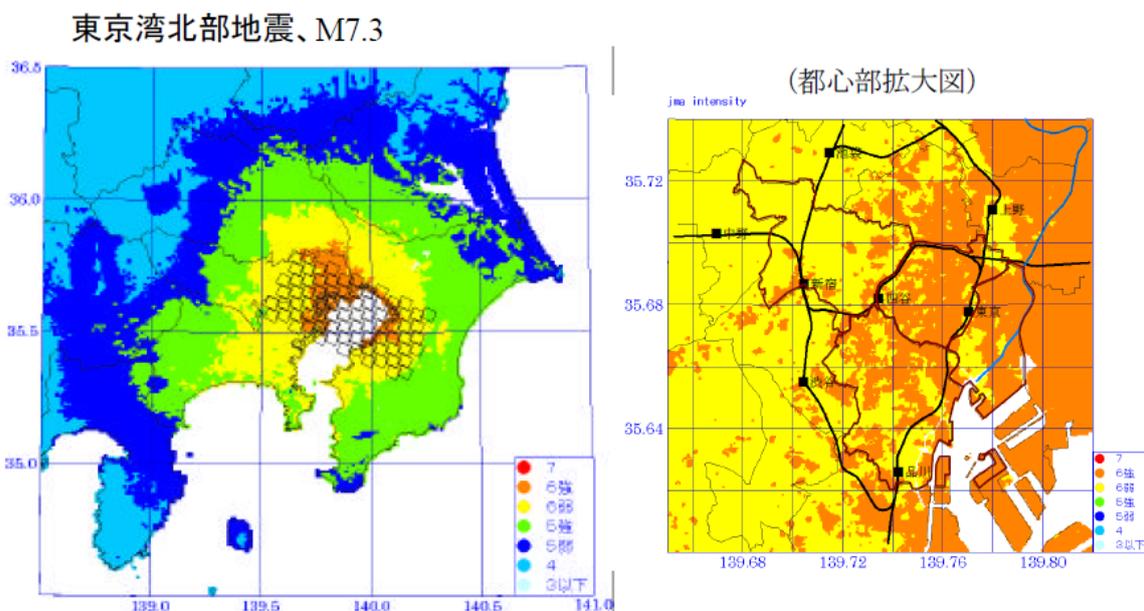


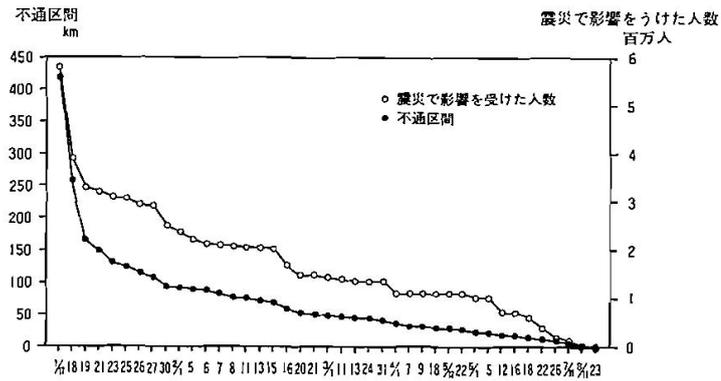
図-4.3.2 東京湾北部地震の推定震度分布¹³⁾

表-4.3.1 兵庫県南部地震後の鉄道復旧の状況¹⁴⁾

通勤・通学の重要な交通機関である鉄道については、地震発生と同時に広範囲にわたる運転見合せに入り、17日は阪神間及びその周辺地域の鉄道網はほぼ完全にストップした状態であった。18日には一部運転が再開されたが、被害状況が明らかになるにつれ、高架橋の倒壊等致命的な損害が発生しており、神戸市街地を中心に鉄道網の寸断状態が継続することが判明した。このため、23日から阪神間の代替バスの運行を開始し、以後、鉄道の再開区間に合わせたルートの変更を行うとともに、28日には輸送の円滑化を図るため、国道43号にバス専用レーンを設置した。

また、地震発生以降不通となった新幹線新大阪～姫路間の通過交通対策としては、運転再開区間を乗り継ぐ経路が活用され、臨時列車の増発や臨時ダイヤでの運行が行われた。

1-1-6 図 震災により影響を受けた人数と復旧延長キロの推移



注 (1) 震災により影響を受けた人数は、不通区間における平時の一日あたりの輸送量であると仮定
 (2) JR在来線及び民鉄の数値である。
 (3) 運輸省資料により作成

図-4.3.3 兵庫県南部地震による不通区間の復旧曲線¹⁵⁾

(3) 空港、港湾

港湾は本来であれば被災施設と被災しない施設双方の取扱可能量を考慮することが望ましいが、推計の詳細データが公表されていないため、施設被害の比率を機能被害の比率とした。すなわち、被害想定 of 被災バース数 480 と全バース数 1071 の比率 44.8% を発災時の機能支障率とし、その後2年間かけて復旧すると想定した。空港は滑走路に液状化現象発生の可能性もあるが、被害想定において主要施設には被害無しとなっているため、機能支障無しとした。

なお、港湾は広域的に利用されるため、支障率算定の対象とするバースは特に東京港に限定しないで設定した。

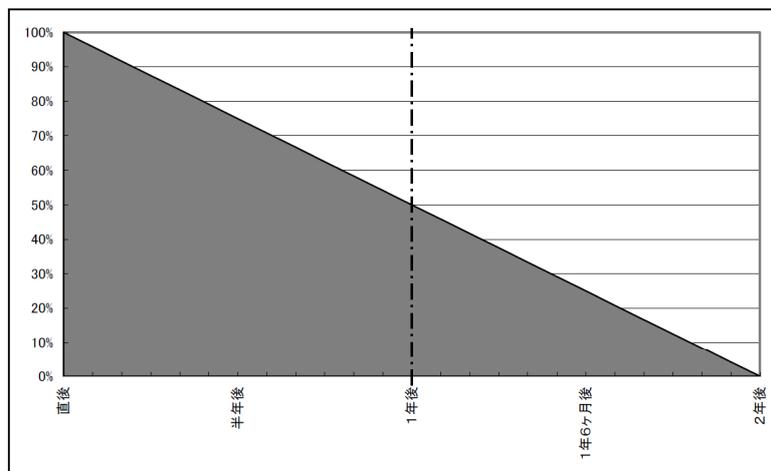


図-4.3.4 被害想定における港湾機能の復旧曲線¹³⁾

(4) 電力、ガス、上下水道、通信

これらのインフラについては、中央防災会議による東京湾北部地震(M7.3)の東京都における1日後の支障率推計値(図-4.3.5)と、試算対象地域全体に対する復旧曲線(図-4.3.6)に基づき支障率を設定した。なお、東京都単独での復旧曲線は公表されていない。具体的には、図-4.3.6から1日目、7日目、30日目のグラフの高さを読み取り、これを図-4.3.5の東京都の1日目の支障率に乗じて、1週間後、1月後の支障率を算定した。

※ 東京湾北部地震(M7.3)[被害最大ケース]

・直後の断水人口が合計1100万人(450万軒)、下水道が45万人、停電軒数が160万軒、固定電話の不通回線数が110万回線、ガスが120万軒と予想される。

※断水軒数は各都県における世帯あたり人口(総人口/総世帯数)を用いて換算

ライフラインの機能支障予測結果

(18時発生、風速15m/sの場合)

	都道府県	1日目		2日目		4日目		各事業者からの聞取りによる復旧目標日数(※1)	阪神・淡路大震災時の復旧日数に基づく復旧人員数(※2)
		支障数	支障率	支障数	支障率	支障数	支障率		
上水道被害 (断水人口) (※3)	茨城県	約140,000	4.7%	約110,000	3.6%	約42,000	1.4%	日数:30日 人員数: 約12,000人/日	日数:42日 人員数: 約8,600人/日
	栃木県	-	-	-	-	-	-		
	群馬県	約600	-	約500	-	約200	-		
	埼玉県	約1,800,000	26.9%	約1,400,000	20.6%	約550,000	8.1%		
	千葉県	約2,400,000	41.4%	約1,800,000	31.8%	約720,000	12.4%		
	東京都	約3,900,000	33.3%	約2,900,000	24.4%	約780,000	6.7%		
	神奈川県	約3,100,000	37.3%	約2,400,000	28.6%	約920,000	11.2%		
	山梨県	約1,900	0.2%	約1,400	0.2%	約600	0.1%		
	静岡県	約1,300	-	約1,000	-	約400	-		
	合計	約11,000,000	25.7%	約8,600,000	19.4%	約3,000,000	6.8%		
下水道被害 (機能支障人口)	茨城県	約14,000	0.5%	約13,000	0.4%	約11,000	0.4%	-	-
	栃木県	-	-	-	-	-	-		
	群馬県	約1,300	0.1%	約1,200	0.1%	約1,000	-		
	埼玉県	約64,000	0.9%	約58,000	0.9%	約47,000	0.7%		
	千葉県	約110,000	1.8%	約95,000	1.6%	約77,000	1.3%		
	東京都	約130,000	1.1%	約120,000	1.0%	約97,000	0.8%		
	神奈川県	約130,000	1.5%	約110,000	1.4%	約93,000	1.1%		
	山梨県	約1,400	0.2%	約1,200	0.1%	約1,000	0.1%		
	静岡県	約4,400	0.1%	約3,900	0.1%	約3,200	0.1%		
	合計	約450,000	1.0%	約410,000	0.9%	約330,000	0.7%		
電力被害 (停電軒数) (※4)	茨城県	約21,000	1.2%	約17,000	1.0%	約9,000	0.5%	日数:6日 人員数: 約12,000人/日	日数:6日 (※5) 人員数: 約12,000人/日
	栃木県	-	-	-	-	-	-		
	群馬県	-	-	-	-	-	-		
	埼玉県	約160,000	4.1%	約130,000	3.3%	約69,000	1.8%		
	千葉県	約190,000	5.3%	約150,000	4.3%	約80,000	2.3%		
	東京都	約1,100,000	12.9%	約870,000	10.5%	約460,000	5.6%		
	神奈川県	約150,000	3.0%	約120,000	2.4%	約65,000	1.3%		
	山梨県	-	-	-	-	-	-		
	静岡県	-	-	-	-	-	-		
	合計	約1,600,000	6.1%	約1,300,000	4.9%	約680,000	2.6%		
通信被害 (不通回線数)	茨城県	-	-	-	-	-	-	日数:14日 人員数: 約3,800人/日	日数:14日 人員数: 約3,800人/日
	栃木県	-	-	-	-	-	-		
	群馬県	-	-	-	-	-	-		
	埼玉県	約110,000	3.5%	約100,000	3.3%	約89,000	2.9%		
	千葉県	約140,000	5.1%	約130,000	4.8%	約120,000	4.3%		
	東京都	約740,000	9.3%	約700,000	8.8%	約620,000	7.8%		
	神奈川県	約120,000	2.8%	約110,000	2.7%	約100,000	2.4%		
	山梨県	-	-	-	-	-	-		
	静岡県	-	-	-	-	-	-		
	合計	約1,100,000	4.8%	約1,000,000	4.5%	約930,000	4.0%		
ガス被害 (供給停止軒数)	茨城県	-	-	-	-	-	-	日数:55日 人員数: 約4,800人/日	日数:85日 人員数: 約3,100人/日
	栃木県	-	-	-	-	-	-		
	群馬県	-	-	-	-	-	-		
	埼玉県	-	-	-	-	-	-		
	千葉県	約120,000	9.9%	約120,000	9.8%	約120,000	9.5%		
	東京都	約1,100,000	19.0%	約1,100,000	18.8%	約1,100,000	18.3%		
	神奈川県	-	-	-	-	-	-		
	山梨県	-	-	-	-	-	-		
	静岡県	-	-	-	-	-	-		
	合計	約1,200,000	12.3%	約1,200,000	12.2%	約1,200,000	11.9%		

(注) 数値は四捨五入により表示しているため、各数値の合計値は、合計の欄の値と一致しない場合がある。

(注) 「-」は値がゼロまたはわずかであることを示す。

※1 95%復旧の目標日数(ガスのみ80%)。

※2 実際に要した95%復旧の日数(ガスのみ80%)。

※3 上水道の復旧については、4日目までの配水系統切り替えによる効果を加味している。

※4 変電所3ヶ所の被災により、地震発生直後は200万軒の停電が一時的に発生するが、電力系統切り替えにより、1日後までに160万軒に回復する。

※5 変電所系統切替による復旧後の停電50万件から95%応急復旧までの日数。

図-4.3.5 首都直下地震の被害想定におけるライフラインの都県別支障率¹³⁾

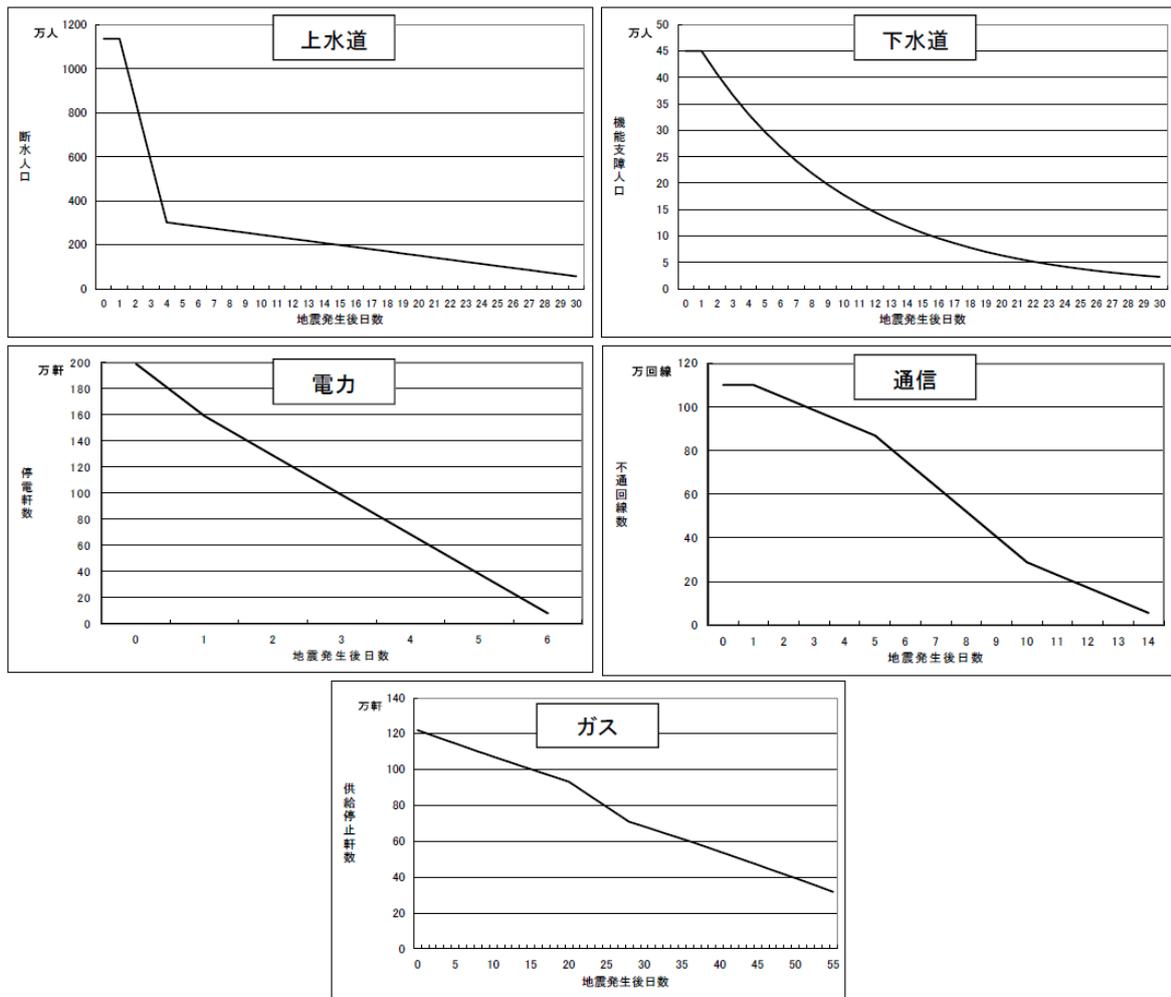


図-4.3.6 首都直下地震の被害想定に用いたライフラインの復旧曲線¹³⁾

上記(1)～(4)による支障率の設定結果は表-4.3.2のようになった。これらは基本的に中央防災会議の被害想定に基づいているが、純粹に想定される施設被害から機能被害を評価したものだけでなく、兵庫県南部地震の事例を参考にしたものなど、機能被害に施設間の相互依存影響がある程度含まれている場合もあると考えられる。厳密に施設間の被害連関のない状態の被害を想定することは難しいため、ここで設定した入力ベクトルは、すでに相互依存影響をある程度含んでいることに留意する必要がある。

表-4.3.2 支障率の設定結果

	1day	1week	1month
電力	0.129	0.000	0.000
ガス	0.190	0.175	0.104
上水道	0.333	0.064	0.012
下水道	0.011	0.006	0.001
情報通信	0.093	0.052	0.000
道路	0.400	0.250	0.100
鉄道	0.500	0.300	0.100
港湾	0.448	0.445	0.411
航空	0.000	0.000	0.000

4.4 相互依存構造マトリクスの作成

4.2 で述べた重み付けをまとめた相互依存構造マトリクスを図-4.4.1~3に、またこれをインフルエンス・ダイアグラムで表現した結果を図-4.4.4~3に示す。これらを参考に、ケーススタディに用いる相互依存構造マトリクス(式(4.1.1~2)の[C])を作成した。以下ではその作成において設定した条件等を記述する。

		終点(インフラ)								
		電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空
起点	電力		1	0	0	0	2	9	0	0
	ガス	1		0	0	0	1	6	0	3
	上水道	0	0		0	0	1	0	0	0
	下水道	0	1	1		0	1	0	0	0
	情報通信	0	0	0	0		0	0	0	0
	道路	1	6	2	12	6	(4)	9	0	0
	鉄道	3	0	0	1	0	4	(6)	1	1
	港湾	0	3	0	2	0	0	0		0
	航空	0	0	0	0	0	0	0	0	0

凡例

評価値	セル色
1~2	レベル1
3~4	レベル2
5~6	レベル3
7~10	レベル4
11~20	レベル5

※インフラ間の物理的損傷の連鎖のみを対象とするため、社会的機能への影響については省略

図-4.4.1 相互依存構造マトリクス(物理的損傷に起因する影響波及)

		終点(インフラ)									終点(社会的機能)			
		電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空	運輸・物流/旅客	金融	医療	行政
起点	電力		1	3	8	4	9	16	12	8	12	8	12	16
	ガス	1		1	2	1	0	4	1	3	1	1	6	2
	上水道	2	1		4	0	0	4	3	3	4	1	16	8
	下水道	0	0	1		0	0	4	1	1	1	1	4	1
	情報通信	0	8	2	1	(3)	4	16	4	8	12	20	6	20
	道路	0	4	2	0	12	(12)	1	8	4	16	6	12	2
	鉄道	0	1	0	0	0	6	(3)	3	4	4	2	0	2
	港湾	0	3	0	0	0	0	0		0	1	0	0	12
	航空	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0

凡例

評価値	セル色
1~2	レベル1
3~4	レベル2
5~6	レベル3
7~10	レベル4
11~20	レベル5

図-4.4.2 相互依存構造マトリクス(機能支障に起因する影響波及)

		終点(インフラ)									終点(社会的機能)			
		電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空	運輸・物流/旅客	金融	医療	行政
起点	電力		2	1	1	1	1	4	1	1	3	4	4	2
	ガス	3		0	1	0	2	2	1	1	1	1	2	2
	上水道	3	4		1	0	2	2	0	0	1	1	4	3
	下水道	2	2	1		0	2	2	0	0	1	1	1	3
	情報通信	1	1	1	1	(2)	1	4	1	1	3	4	3	2
	道路	3	4	1	2	4	(3)	4	4	2	4	2	3	0
	鉄道	2	2	1	1	4	1	(1)	1	1	1	1	0	0
	港湾	1	3	1	1	1	1	2		0	1	0	0	3
	航空	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0

凡例

評価値	セル色
1	レベル1
2	レベル2
3	レベル3
4	レベル4

図-4.4.3 相互依存構造マトリクス(仮復旧の速度に及ぼす影響)

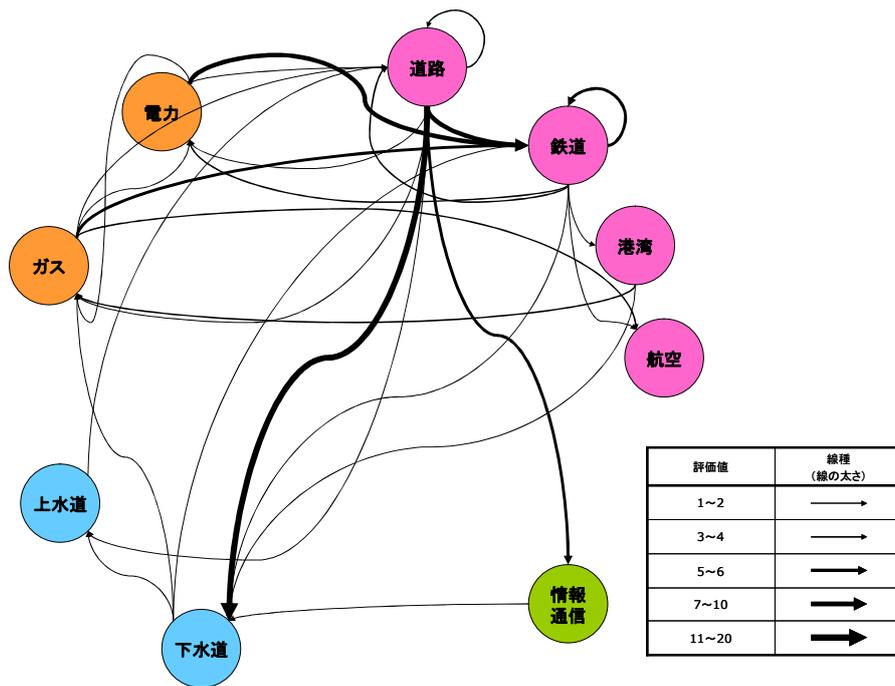


図-4.4.4 相互依存構造のインフルエンス・ダイアグラム
(物理的損傷に起因する影響波及)

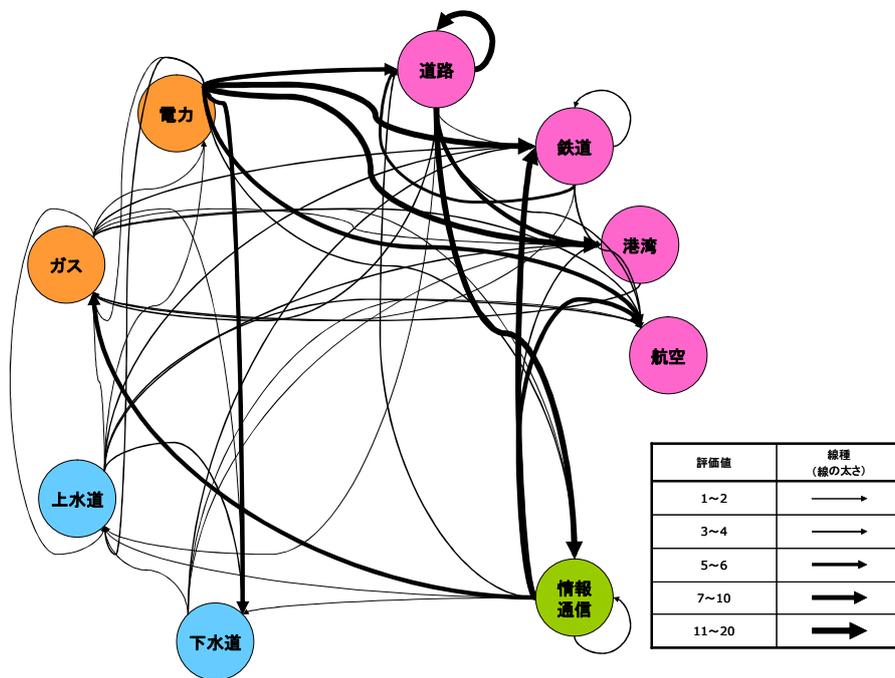


図-4.4.5 相互依存構造のインフルエンス・ダイアグラム
(機能支障に起因する影響波及)

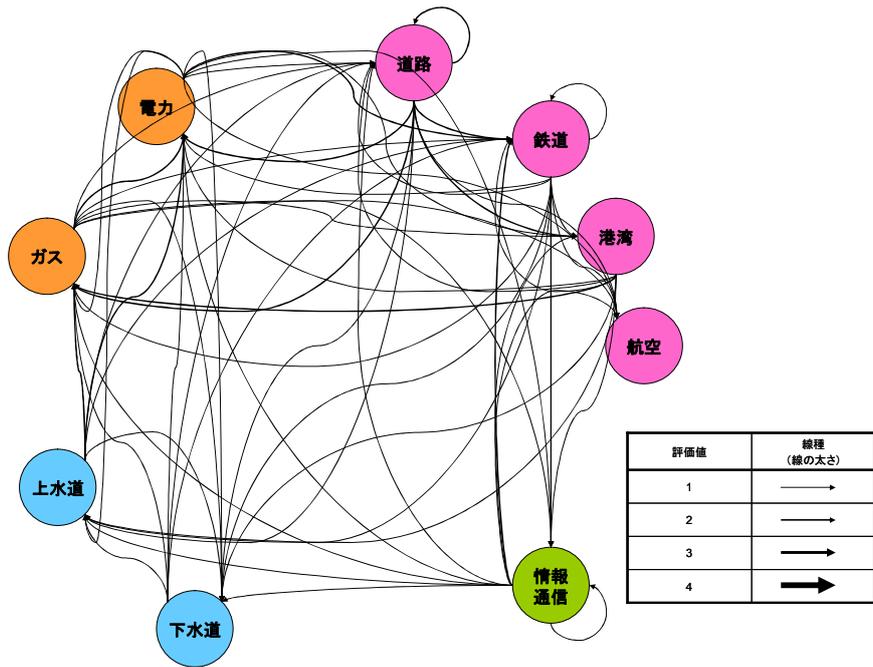


図-4.4.6 相互依存構造のインフルエンス・ダイアグラム
(仮復旧の速度に及ぼす影響)

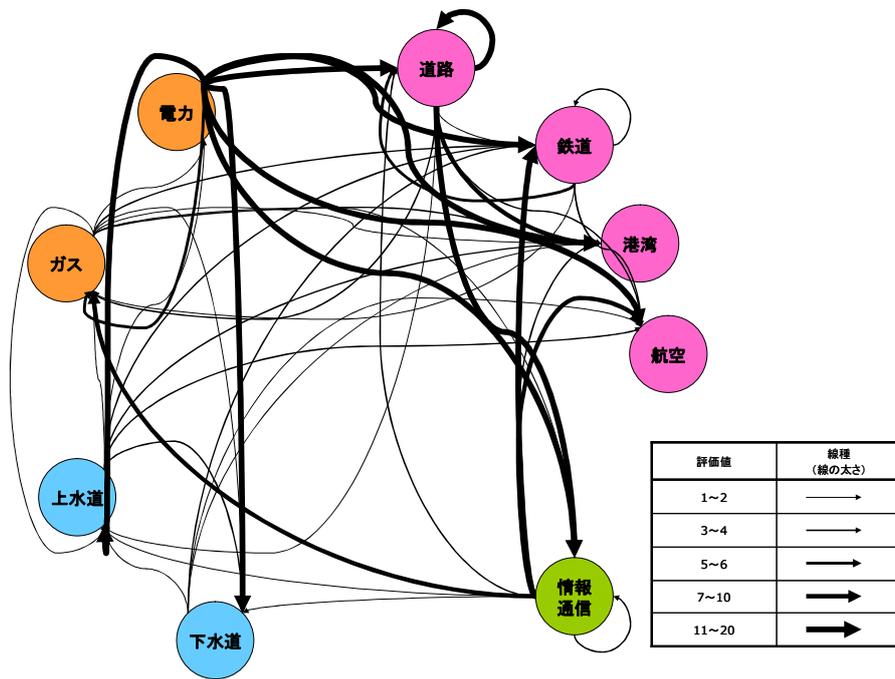


図-4.4.7 相互依存構造のインフルエンス・ダイアグラム
(機能支障に起因する影響波及：非常電源のバッテリー切れのケース、4.4.1(3)参照)

4.4.1 相互依存構造マトリクスの作成条件

(1) 物理的損傷の影響の取扱い

評価表の「災害直後」の「物理的損傷」欄に書かれた影響は、基本的に災害直後のみの影響であり、他の機能支障と異なり、反復的に影響を与える可能性は少ない。そのため、相互依存構造マトリクスの要素として物理的損傷の影響を考慮するのではなく、被害想定に含まれるものとして入力ベクトル{x}に反映させることができる。

そこで、物理的損傷の影響については、中央防災会議の被害想定における各インフラの物理的被害も参照した上で、大きな影響が想定されるものを入力ベクトル{x}の値に反映することとした。

しかしながら、評価結果からは、中央防災会議の被害想定において明確に想定外であるような相互依存影響は見いだせなかったため、結果として入力ベクトルは変更しなかった。なお、被害想定時に考慮されておらず、入力ベクトルに影響を与える可能性のある評価結果として、鉄道への電柱倒壊影響、道路・鉄橋交差部の落橋、道路の損傷による添架下水道管の損傷等がある。

(2) 機能支障の影響の取扱い

上記構造モデルで、連鎖的・反復的に波及していくのは機能支障の影響であると考えられる。このため、今回のケーススタディでは、機能支障の評価値をもとに相互依存構造マトリクスを作成し、インフラ間の相互影響と、それが社会的機能に与える影響を試算した。

(3) 試算ケース設定

委員の重み付け点をもとに、マトリクスの要素を設定した。今回は以下の6種類の設定を試みた。設定1～6それぞれの相互依存構造マトリクスを表4.4.1と表4.4.2に示す。

なお、発災直後、1週間後、1ヶ月後についてマトリクスが明確に変化する記述内容が確認できなかったため、マトリクスは全て共通のものを用いている。

○設定1) 評価値を14段階としてその最大値(=13)で正規化

a)要素の受ける影響と b)システム形態の積で計算される0～20の a)×b)影響の深刻度合いを、計算上存在しない評価値7, 11, 13, 14, 17, 18, 19を圧縮して0～13の14段階の評価値とする。14段階の最大評価値13の時に影響先インフラが100%被害を受けると想定する(正規化の基準値=13)。

複数のインフラの影響を受けると各インフラの支障率が容易に100%を超えることになるので、支障率の最大は100%に固定する。

○設定2) 評価値を21段階としてその最大値(=20)で正規化

上記の14段階の圧縮を行わず、評価値は0～20の21段階とする。最大評価値20の時に影響先インフラが100%被害を受けると想定する(正規化の基準値=20)。

○設定3) 評価値を21段階としてその最大値の1.5倍(=30)で正規化

設定2同様、評価値は0～20のまま、基準値を最大評価値20の1.5倍の30とする。

○設定4) 評価値を21段階としてマトリクスの行和の最大値(=61)で正規化

設定2で、評価値は0~20のまま、基準値をマトリクスの行和の最大値61とする。

○設定5) 設定3で非常電源の燃料切れを想定

「道路支障でバックアップ電源の燃料補給が行われない場合、機能停止する」との記述をしているが評価値には考慮していないケース、燃料補給について考慮していないケースが見られるので、バックアップ電源を利用しているとの記述のあるマトリクスに対して、その影響評価値を最大5まで上げて、感度分析を実施した。具体的には、設定3で、非常電源があることを理由にb)システム形態の評価値を低く設定している場合、非常電源のみがその理由である場合には最大評価である5まで、他のバックアップ要素が考慮されている場合には3ないし4まで、b)の評価値を上げる(正規化の基準値=30)。

○設定6) 設定3で同一インフラ内での影響を考慮

今回、評価者による重み付け時には、基本的に同一インフラ内での影響は評価しない様に依頼したが、実際には、情報通信、道路、鉄道の3インフラで、同一インフラ内での相互影響の回答が見られた。

設定5までの計算では、回答の均一性を確保するため、同一インフラ間の影響に対する評価が記入されていてもこれをゼロと想定したが、これらのインフラでは、情報の輻輳によるあらたな通信麻痺の発生、道路閉鎖による他の道路の渋滞等、実際に同一インフラ内での相互影響が発生する可能性が高い。

このため、設定6では、同一インフラ影響の回答のあった上記3インフラについて、回答評価値をそのまま入れて計算を行った。

(4) 仮復旧の速度に及ぼす影響の取扱い

復旧影響は、本来時間概念の入ったモデルを用いなければ把握は困難であり、今回は計算していない。

なお、簡易的な方法の例としては、発災1か月後といった時点を対象に、(当該インフラの復旧率) = $1 - (\text{当該インフラにおける発災1か月後の支障率}) / (\text{発災直後の支障率})$ が、上記マトリクスによって変化すると考えて、その時点での復旧状況を想定することが考えられる。

表-4.4.1 相互依存構造マトリクス（設定1～3）

設定1) a) 14段階の評価値に置き換えたマトリクス

	電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空
電力	0	1	3	7	4	8	12	10	7
ガス	1		1	2	1	0	4	1	3
上水道	2	1		4	0	0	4	3	3
下水道	0	0	1		0		4	1	1
情報通信	0	7	2	1		4	12	4	7
道路	0	4	2	0	10		1	7	4
鉄道	0	1	0	0		6		3	4
港湾	0	3	0	0	0	0	0		0
航空	0	0	0	0	0	0	0	0	

b) 評価値の最大値 13 により正規化したマトリクス

	電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空
電力	0	0.077	0.231	0.538	0.308	0.615	0.923	0.769	0.538
ガス	0.077	0	0.077	0.154	0.077	0	0.308	0.077	0.231
上水道	0.154	0.077	0	0.308	0	0	0.308	0.231	0.231
下水道	0	0	0.077	0	0	0	0.308	0.077	0.077
情報通信	0	0.538	0.154	0.077	0	0.308	0.923	0.308	0.538
道路	0	0.308	0.154	0	0.769	0	0.077	0.538	0.308
鉄道	0	0.077	0	0	0	0.462	0	0.231	0.308
港湾	0	0.231	0	0	0	0	0	0	0
航空	0	0	0	0	0	0	0	0	0

設定2) 評価値の最大値 20 により正規化したマトリクス

	電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空
電力	0	0.05	0.15	0.4	0.2	0.45	0.8	0.6	0.4
ガス	0.05	0	0.05	0.1	0.05	0	0.2	0.05	0.15
上水道	0.1	0.05	0	0.2	0	0	0.2	0.15	0.15
下水道	0	0	0.05	0	0	0	0.2	0.05	0.05
情報通信	0	0.4	0.1	0.05	0	0.2	0.8	0.2	0.4
道路	0	0.2	0.1	0	0.6	0	0.05	0.4	0.2
鉄道	0	0.05	0	0	0	0.3	0	0.15	0.2
港湾	0	0.15	0	0	0	0	0	0	0
航空	0	0	0	0	0	0	0	0	0

設定3) 評価値の最大値 20 の 1.5 倍の 30 で正規化したマトリクス

	電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空
電力	0	0.033	0.1	0.267	0.133	0.3	0.533	0.4	0.267
ガス	0.033	0	0.033	0.067	0.033	0	0.133	0.033	0.1
上水道	0.067	0.033	0	0.133	0	0	0.133	0.1	0.1
下水道	0	0	0.033	0	0	0	0.133	0.033	0.033
情報通信	0	0.267	0.067	0.033	0	0.133	0.533	0.133	0.267
道路	0	0.133	0.067	0	0.4	0	0.033	0.267	0.133
鉄道	0	0.033	0	0	0	0.2	0	0.1	0.133
港湾	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0
航空	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表-4.4.2 相互依存構造マトリクス（設定4～6）

設定4) マトリクスの行和の最大値 61 で正規化したマトリクス

	電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空
電力	0	0.016	0.049	0.131	0.066	0.148	0.262	0.197	0.131
ガス	0.016	0	0.016	0.033	0.016	0	0.066	0.016	0.049
上水道	0.033	0.016	0	0.066	0	0	0.066	0.049	0.049
下水道	0	0	0.016	0	0	0	0.066	0.016	0.016
情報通信	0	0.131	0.033	0.016	0	0.066	0.262	0.066	0.131
道路	0	0.066	0.033	0	0.197	0	0.016	0.131	0.066
鉄道	0	0.016	0	0	0	0.098	0	0.049	0.066
港湾	0	0.049	0	0	0	0	0	0	0
航空	0	0	0	0	0	0	0	0	0

設定5) a) 非常電源の燃料切れを想定した評価マトリクス

	電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空
電力	0	5	15	20	20	12	20	20	20
ガス	1		1	2	1	0	4	1	3
上水道	2	1		4	0	0	4	3	3
下水道	0	0	1		0	0	4	1	1
情報通信	0	8	2	1		4	16	4	8
道路	0	4	2	0	12		1	8	4
鉄道	0	1	0	0	0	6		3	4
港湾	0	3	0	0	0	0	0		0
航空	0	0	0	0	0	0	0	0	

b) 設定3と同じ30で正規化したマトリクス

	電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空
電力	0	0.167	0.5	0.667	0.667	0.4	0.667	0.667	0.667
ガス	0.033	0	0.033	0.067	0.033	0	0.133	0.033	0.1
上水道	0.067	0.033	0	0.133	0	0	0.133	0.1	0.1
下水道	0	0	0.033	0	0	0	0.133	0.033	0.033
情報通信	0	0.267	0.067	0.033	0	0.133	0.533	0.133	0.267
道路	0	0.133	0.067	0	0.4	0	0.033	0.267	0.133
鉄道	0	0.033	0	0	0	0.2	0	0.1	0.133
港湾	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0
航空	0	0	0	0	0	0	0	0	0

設定6) 設定3で同一インフラ内影響を入れたマトリクス

	電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空
電力	0	0.033	0.1	0.267	0.133	0.3	0.533	0.4	0.267
ガス	0.033	0	0.033	0.067	0.033	0	0.133	0.033	0.1
上水道	0.067	0.033	0	0.133	0	0	0.133	0.1	0.1
下水道	0	0	0.033	0	0	0	0.133	0.033	0.033
情報通信	0	0.267	0.067	0.033	0.1	0.133	0.533	0.133	0.267
道路	0	0.133	0.067	0	0.4	0.4	0.033	0.267	0.133
鉄道	0	0.033	0	0	0	0.2	0.1	0.1	0.133
港湾	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0
航空	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.4.2 相互依存構造マトリクスの固有値、固有ベクトルによる考察

相互依存構造マトリクスの固有値、固有ベクトルを求めることにより、相互依存構造マトリクスによる支障率の変化をある程度予測することができる。

上記の設定1、2の相互依存構造マトリクスを例にとり、正規化したマトリクスの固有値、固有ベクトルを算出した。

設定1では、最も大きな固有値が1以上であることから、この相互依存構造マトリクスが発散方向であること、固有ベクトルの各成分の大きさから、最も大きな影響があるのが第1成分の電力であり、第5成分の情報通信、第6成分の道路等がこれに次いで大きな影響を持っていることが予測される。

設定2では、最も大きな固有値が1以下であり、この相互依存構造マトリクスが収束方向となっていることが予測される。

表-4.4.3 相互依存構造マトリクスの固有値、固有ベクトルの計算結果（設定1）

	1	2	3	4
固有値 λ	13.7808	$-4.1090 + 5.8296i$	$-4.1090 - 5.8296i$	$-1.7659 + 3.3448i$
固有ベクトル x (固有値1に対応する固有ベクトルの欄に、各成分が表すインフラ名を示す。)	0.6944 (電力) 0.1736 (ガス) 0.2061 (上水道) 0.0792 (下水道) 0.4469 (情報通信) 0.4391 (道路) 0.2120 (鉄道) 0.0378 (港湾) 0 (空港)	$-0.1459 - 0.2498i$ $-0.2452 + 0.0684i$ $-0.2334 + 0.0920i$ $-0.2335 - 0.0918i$ $-0.2732 - 0.2933i$ $-0.0045 + 0.5501i$ $0.4113 - 0.2859i$ $0.0829 + 0.0677i$ 0	$-0.1459 + 0.2498i$ $-0.2452 - 0.0684i$ $-0.2334 - 0.0920i$ $-0.2335 + 0.0918i$ $-0.2732 + 0.2933i$ $-0.0045 - 0.5501i$ $0.4113 + 0.2859i$ $0.0829 - 0.0677i$ 0	$0.4550 - 0.4758i$ $-0.1262 - 0.3009i$ $-0.2512 - 0.3513i$ $0.1841 - 0.1497i$ $0.2303 + 0.0044i$ $-0.0841 - 0.0433i$ $0.1478 + 0.2579i$ $-0.1643 + 0.1999i$ 0
5	6	7	8	9
$-1.7659 - 3.3448i$	0.8320	$-1.4315 + 0.4261i$	$-1.4315 - 0.4261i$	-
$0.4550 + 0.4758i$ $-0.1262 + 0.3009i$ $-0.2512 + 0.3513i$ $0.1841 + 0.1497i$ $0.2303 - 0.0044i$ $-0.0841 + 0.0433i$ $0.1478 - 0.2579i$ $-0.1643 - 0.1999i$ 0	0.1281 0.0798 0.7976 0.1138 -0.3840 -0.1915 -0.2476 0.2877 0	$0.2949 + 0.3367i$ $-0.0762 - 0.1062i$ $0.3432 - 0.6635i$ $-0.2483 - 0.2045i$ $-0.0865 + 0.0050i$ $-0.0417 - 0.1421i$ $0.0034 + 0.1506i$ $0.0858 + 0.2482i$ 0	$0.2949 - 0.3367i$ $-0.0762 + 0.1062i$ $0.3432 + 0.6635i$ $-0.2483 + 0.2045i$ $-0.0865 - 0.0050i$ $-0.0417 + 0.1421i$ $0.0034 - 0.1506i$ $0.0858 - 0.2482i$ 0	- - - - - - - - -

表-4.4.4 相互依存構造マトリクスの固有値、固有ベクトルの計算結果（設定2）

	1	2	3	4
固有値 λ	0.7506	$-0.2591 + 0.3572i$	$-0.2591 - 0.3572i$	$-0.0783 + 0.1755i$
固有ベクトル x	-0.7049（電力） -0.1520（ガス） -0.1802（上水道） -0.0664（下水道） -0.4472（情報通信） -0.4512（道路） -0.1965（鉄道） -0.0304（港湾） 0（空港）	0.0633 - 0.3260 <i>i</i> -0.1834 - 0.0570 <i>i</i> -0.1885 - 0.0531 <i>i</i> -0.1002 - 0.1490 <i>i</i> -0.0886 - 0.4473 <i>i</i> -0.3722 + 0.4895 <i>i</i> 0.4378 + 0.0120 <i>i</i> 0.0209 + 0.0619 <i>i</i> 0	0.0633 + 0.3260 <i>i</i> -0.1834 + 0.0570 <i>i</i> -0.1885 + 0.0531 <i>i</i> -0.1002 + 0.1490 <i>i</i> -0.0886 + 0.4473 <i>i</i> -0.3722 - 0.4895 <i>i</i> 0.4378 - 0.0120 <i>i</i> 0.0209 - 0.0619 <i>i</i> 0	-0.5154 - 0.5609 <i>i</i> -0.2461 + 0.1618 <i>i</i> -0.3310 + 0.2606 <i>i</i> -0.0933 - 0.1110 <i>i</i> -0.0162 - 0.1807 <i>i</i> -0.0210 + 0.0447 <i>i</i> 0.1683 - 0.1345 <i>i</i> 0.1935 + 0.1239 <i>i</i> 0
5	6	7	8	9
$-0.0783 - 0.1755i$	0.0637	$-0.0697 + 0.0311i$	$-0.0697 - 0.0311i$	0
$-0.5154 + 0.5609i$	0.1063	$0.0196 - 0.5590i$	$0.0196 + 0.5590i$	-0.7743
$-0.2461 - 0.1618i$	0.1370	$0.0199 + 0.1273i$	$0.0199 - 0.1273i$	-0.0000
$-0.3310 - 0.2606i$	0.7650	$-0.6405 + 0.0595i$	$-0.6405 - 0.0595i$	0.1361
$-0.0933 + 0.1110i$	0.1412	$0.1005 + 0.3818i$	$0.1005 - 0.3818i$	0.1522
$-0.0162 + 0.1807i$	-0.3940	$0.0502 + 0.1001i$	$0.0502 - 0.1001i$	-0.2477
$-0.0210 - 0.0447i$	-0.2323	$-0.0405 + 0.1226i$	$-0.0405 - 0.1226i$	-0.3288
$0.1683 + 0.1345i$	-0.2269	$0.0491 - 0.0713i$	$0.0491 + 0.0713i$	-0.1685
$0.1935 - 0.1239i$	0.3226	$0.0662 - 0.2443i$	$0.0662 + 0.2443i$	0.1792
0	0	0	0	0.3588

4.5 インフラ被害波及のケーススタディ

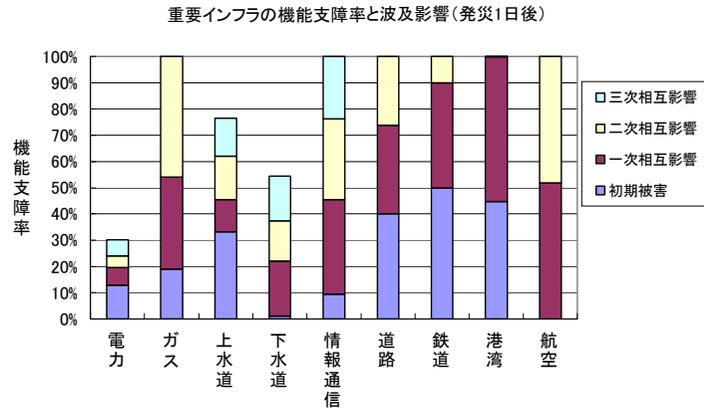
上記をもとにインフラ被害波及のケーススタディを行い、発災1日後、1週間後、1ヶ月後の時点を対象に相互影響の寄与分を算定した。具体的には、中央防災会議の被害想定に基づく各時点でのインフラ毎の機能支障率と、これにインフラ相互影響を加えた機能支障率の差分が、相互影響の寄与分となる。

各時点での推計結果を以下に示す。なお、今回の試算では、三次の相互影響まで試算した。すなわち、式(4.1.2)の $k=3$ として出力ベクトル $\{y_3\}$ を計算した。

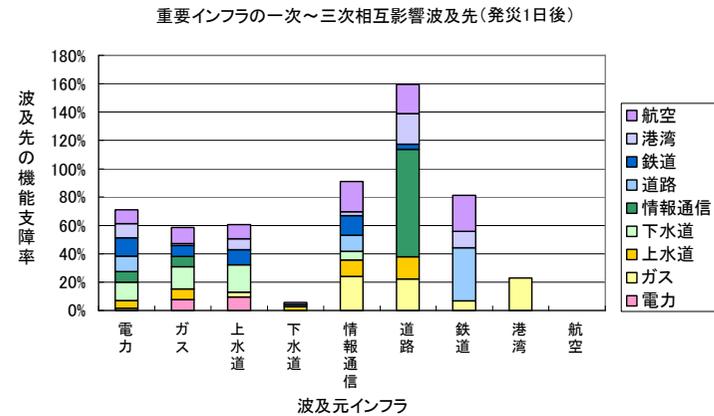
(1) 設定1：評価値を14段階としてその最大値(=13)で正規化

1) 1日後の影響

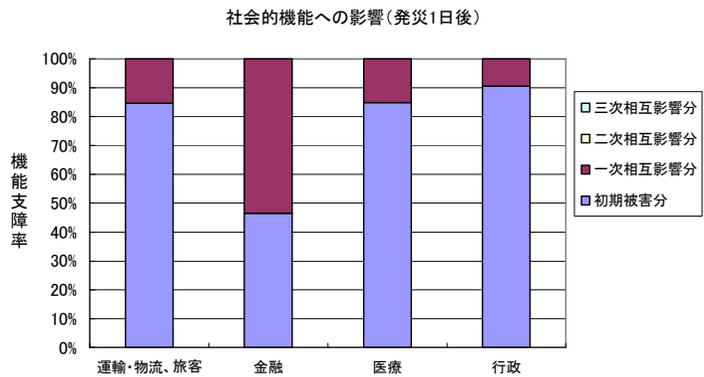
①重要インフラの機能支障率と波及影響



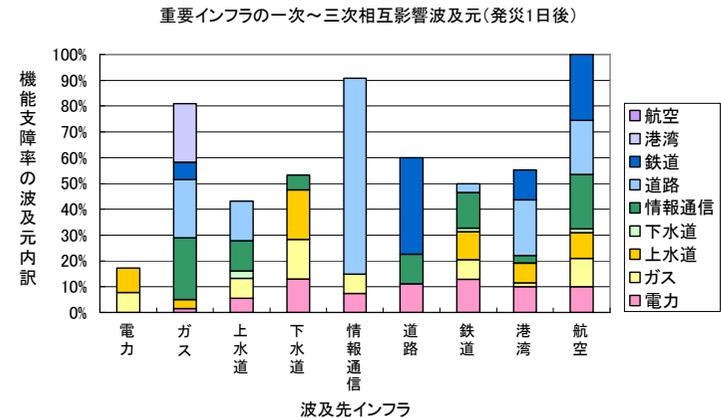
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



②社会的機能への影響

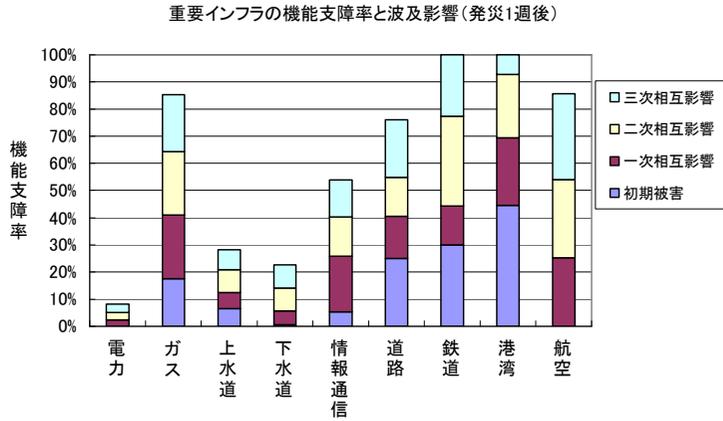


④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

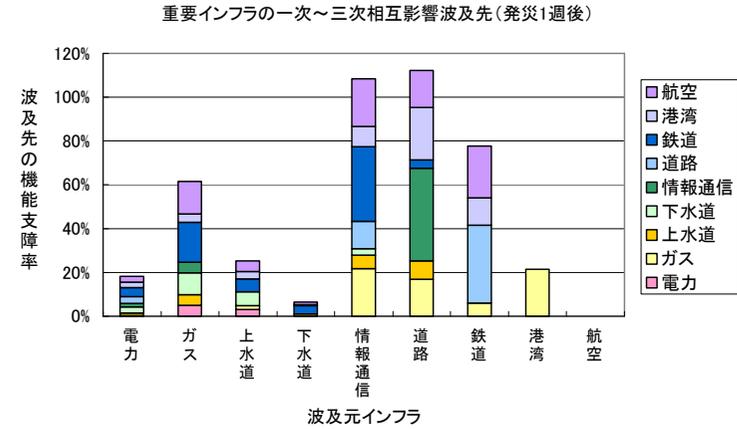


2) 1週間後の影響

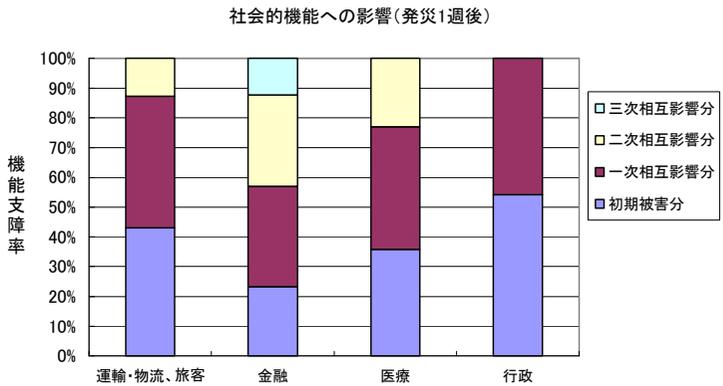
①重要インフラの機能支障率と波及影響



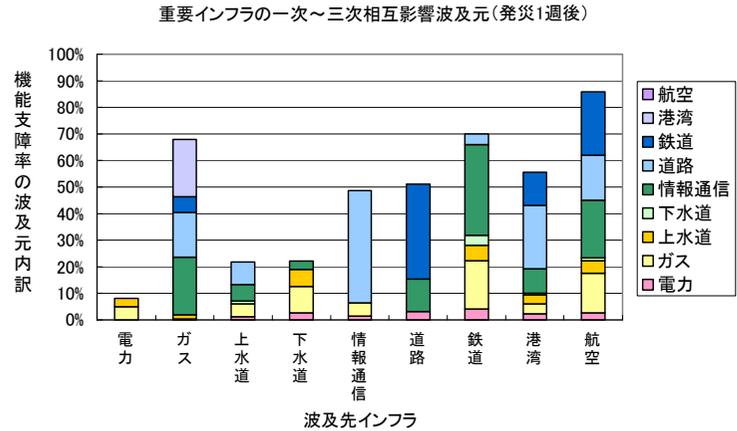
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



②社会的機能への影響

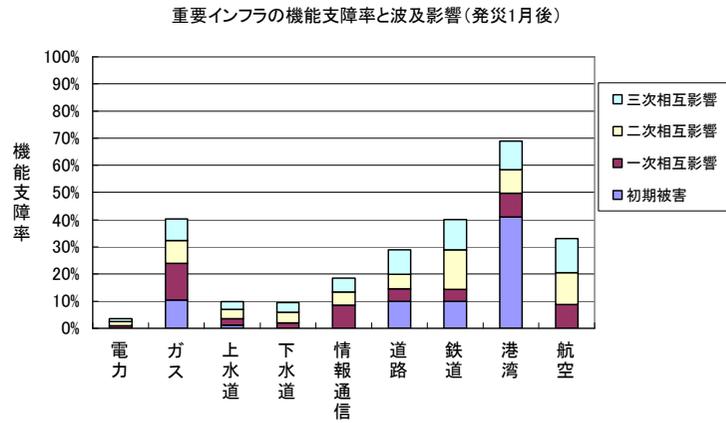


④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

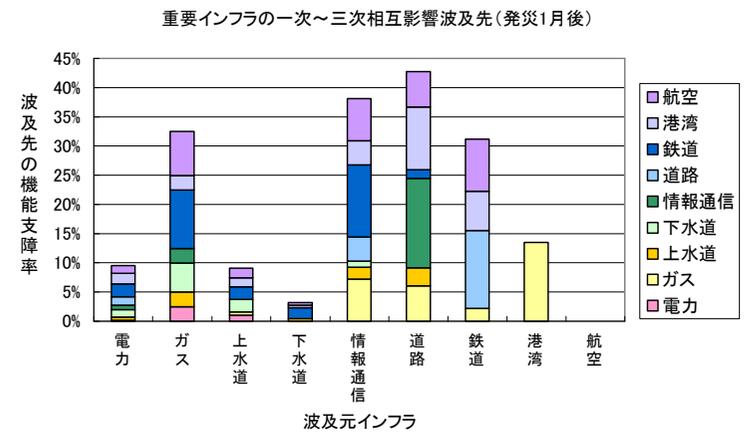


3) 1ヶ月後の影響

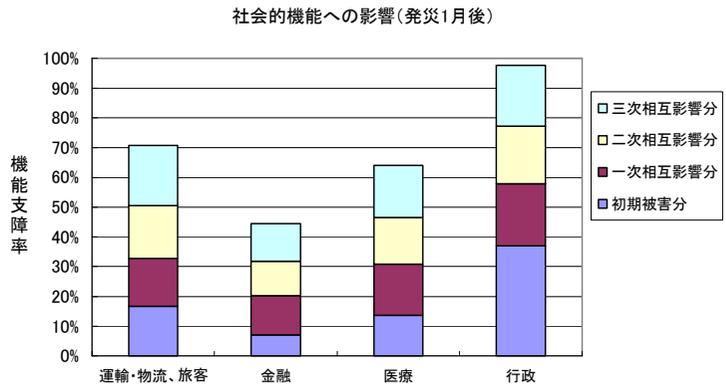
①重要インフラの機能支障率と波及影響



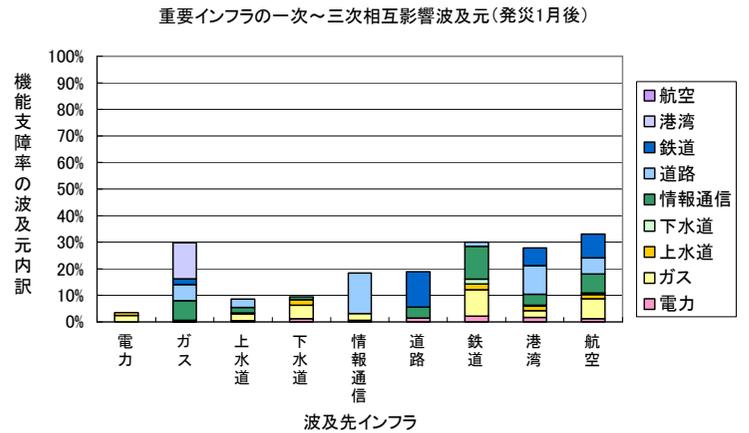
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



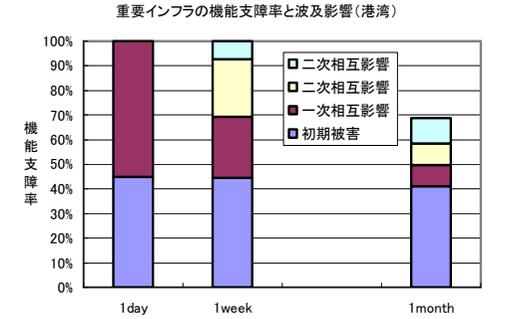
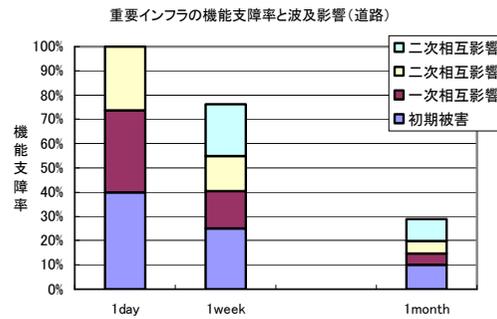
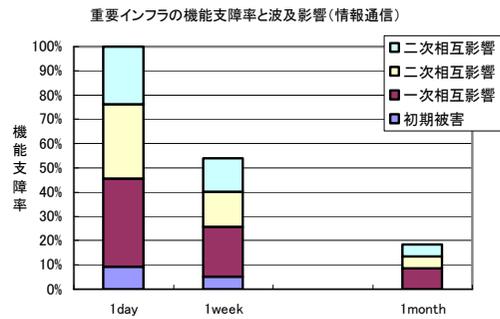
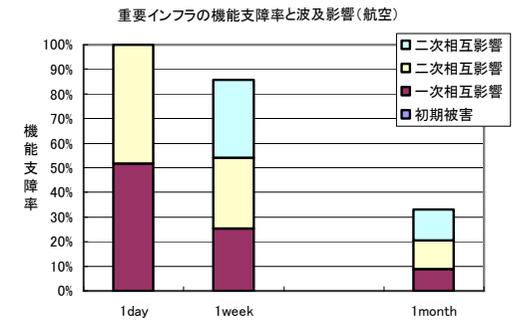
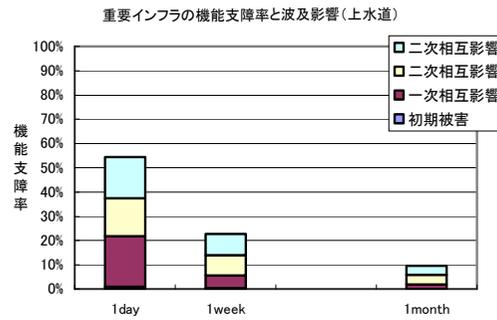
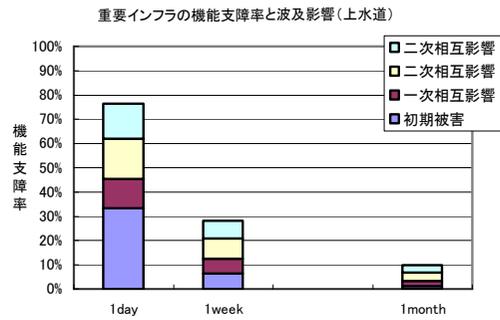
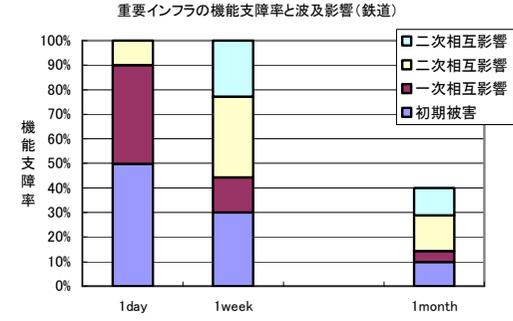
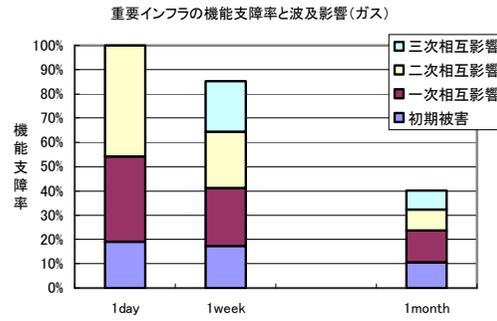
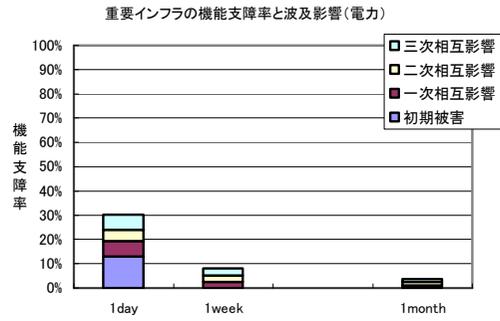
②社会的機能への影響



④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)



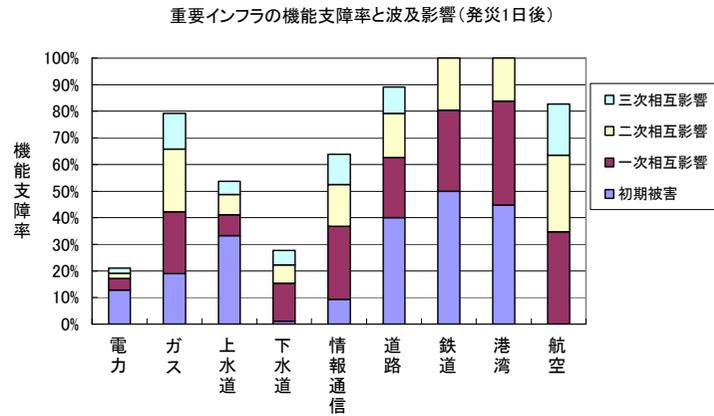
4) インフラ毎の復旧状況



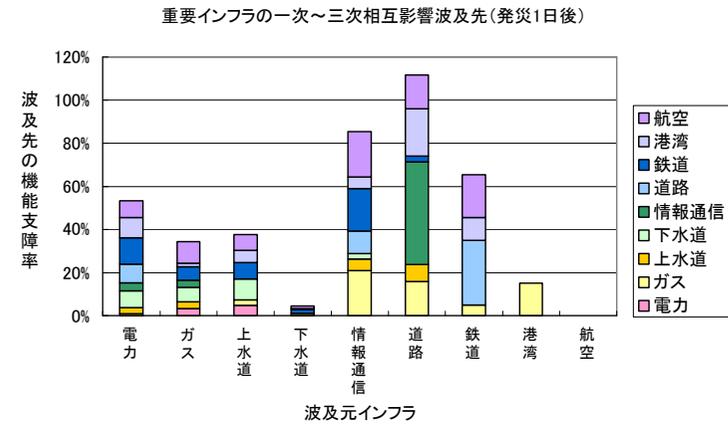
(2) 設定2：評価値を21段階としてその最大値(=20)で正規化

1) 1日後の影響

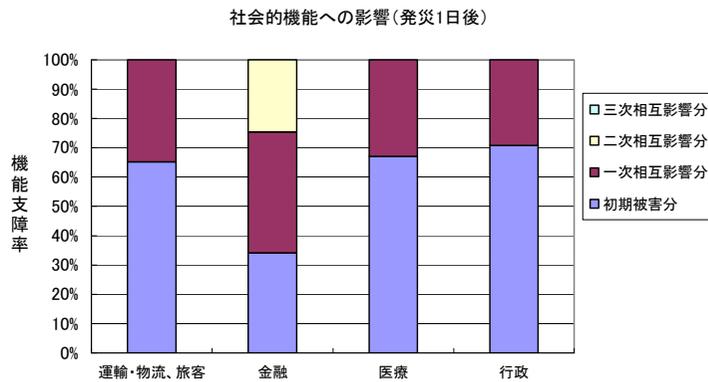
①重要インフラの機能支障率と波及影響



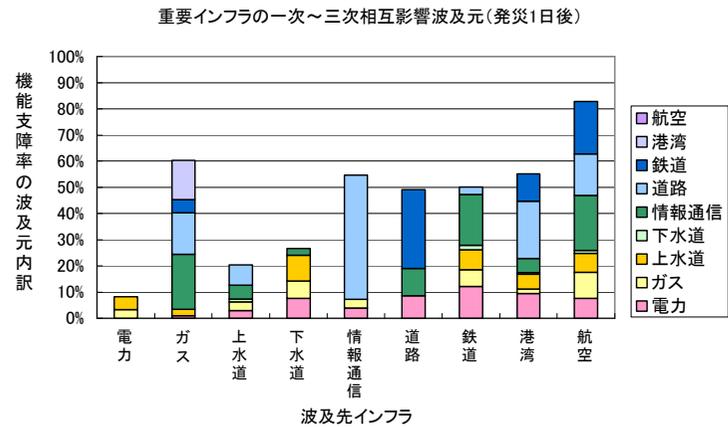
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



②社会的機能への影響

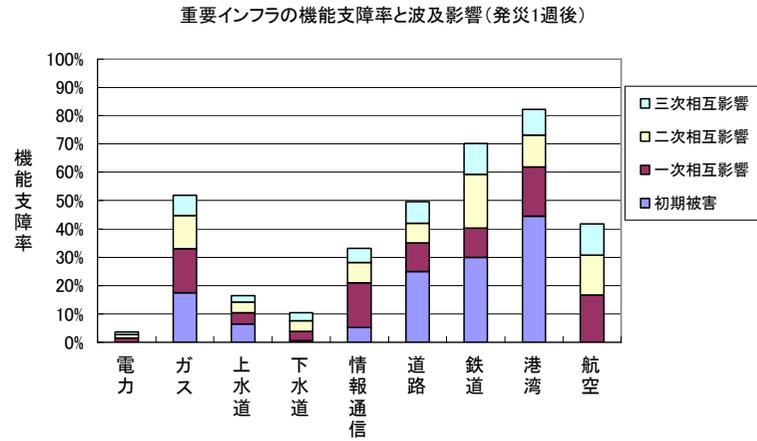


④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

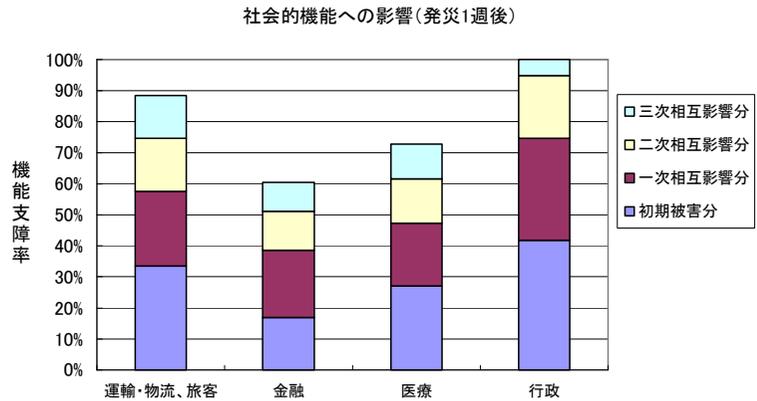


2) 1週間後の影響

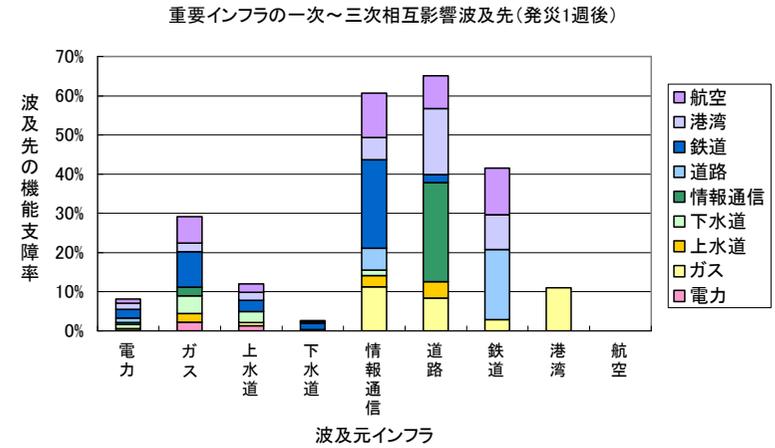
①重要インフラの機能支障率と波及影響



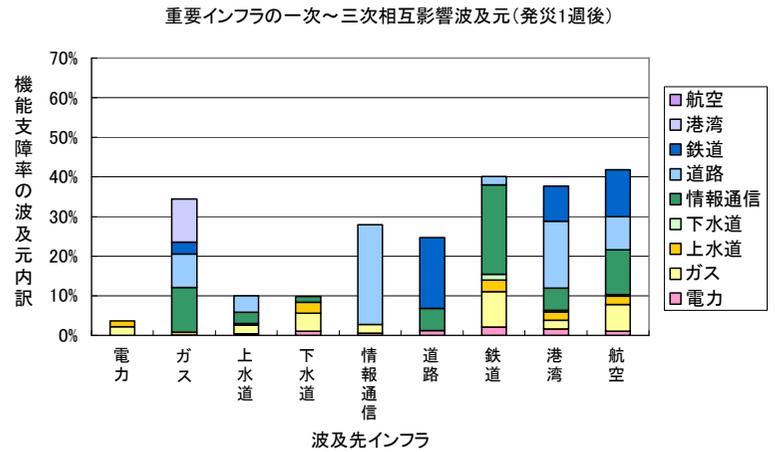
②社会的機能への影響



③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)

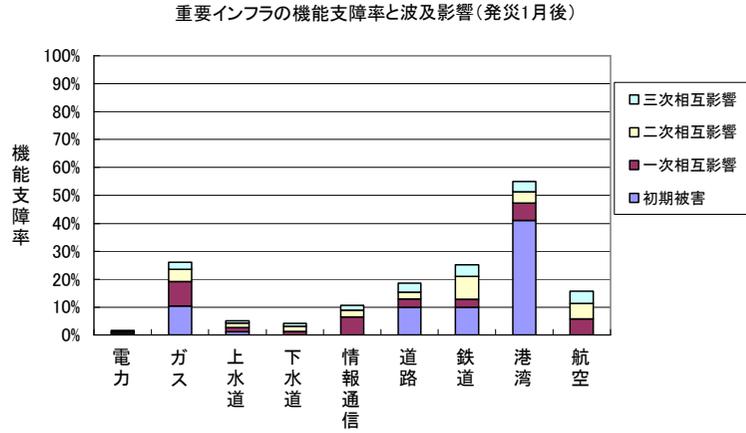


④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

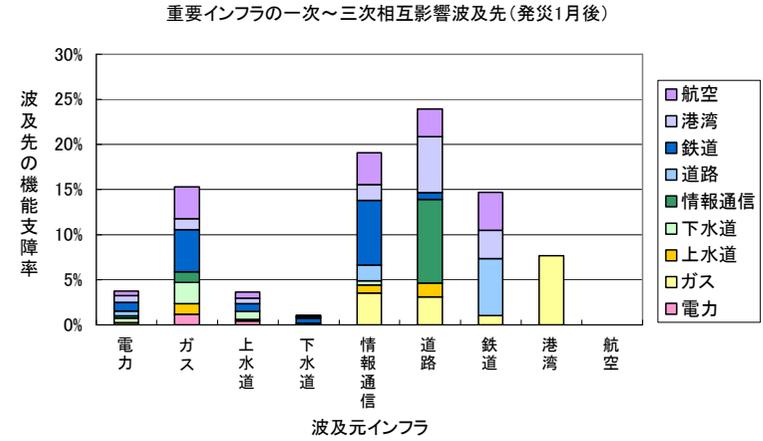


3) 1ヶ月後の影響

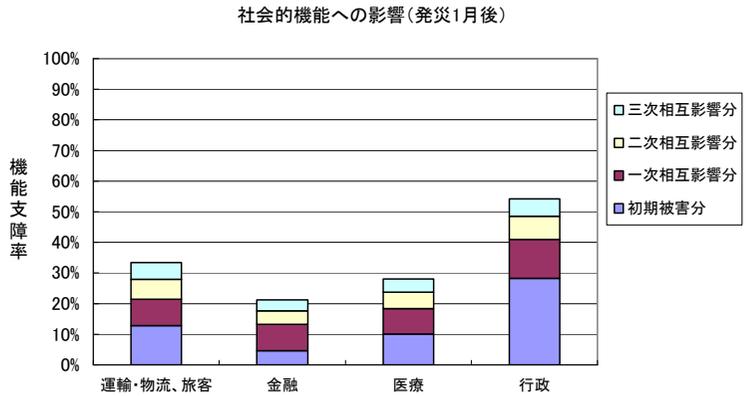
①重要インフラの機能支障率と波及影響(発災1月後)



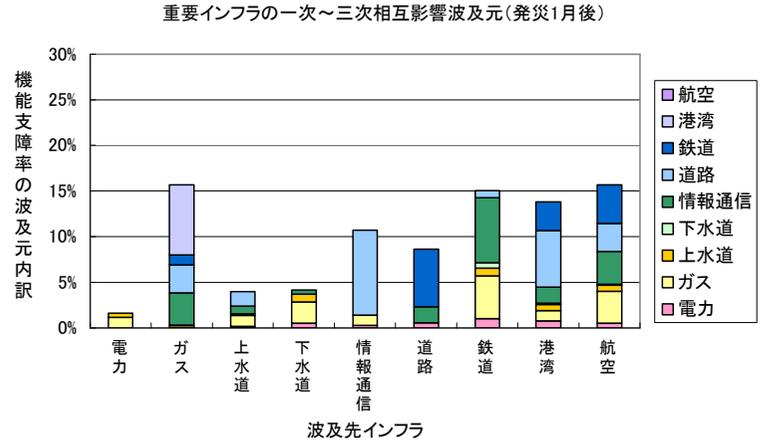
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



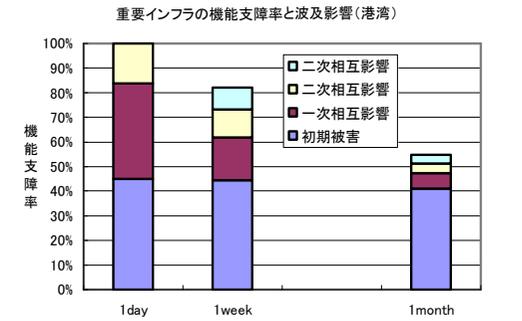
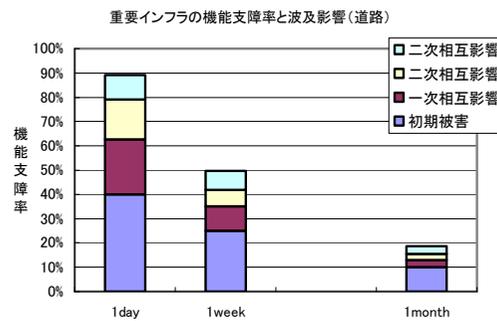
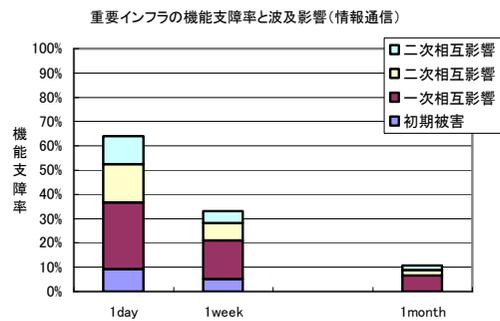
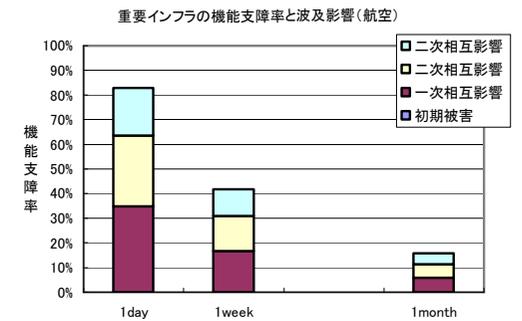
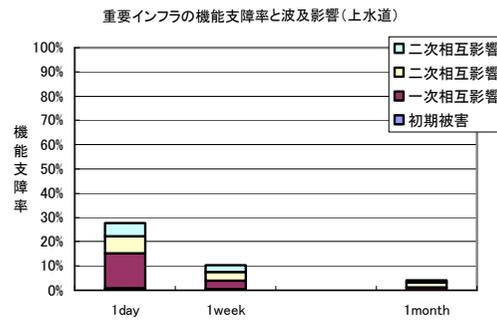
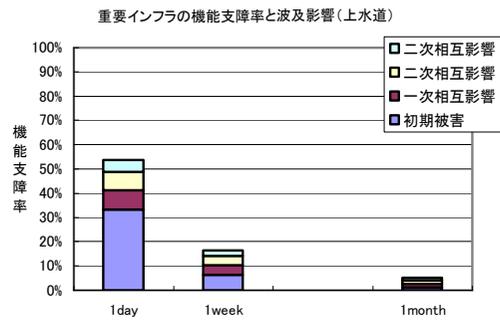
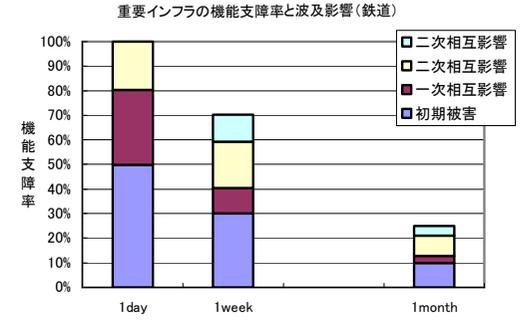
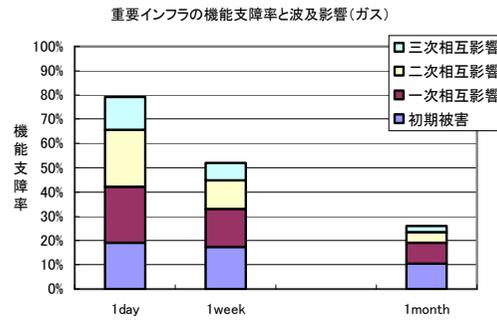
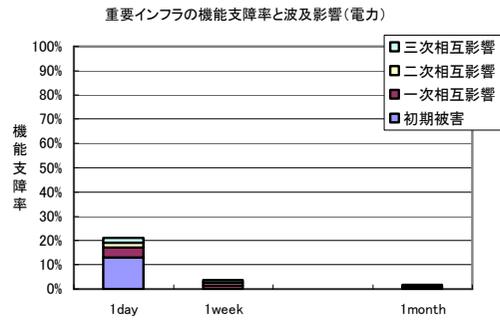
②社会的機能への影響



④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)



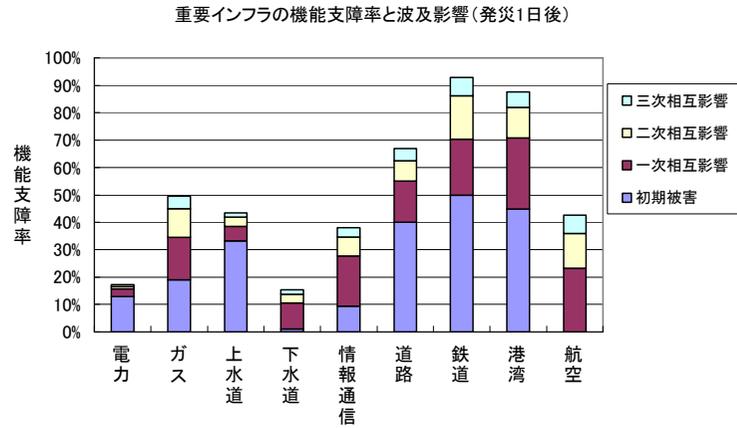
4) インフラ毎の復旧状況



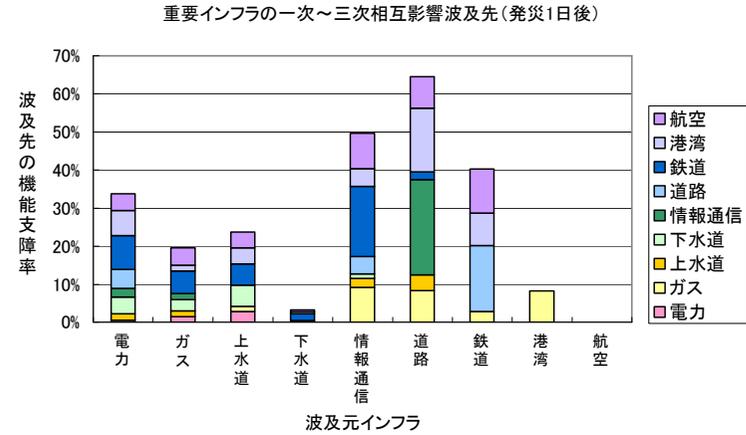
(3) 設定3：評価値を21段階としてその最大値の1.5倍 (=30) で正規化

1) 1日後の影響

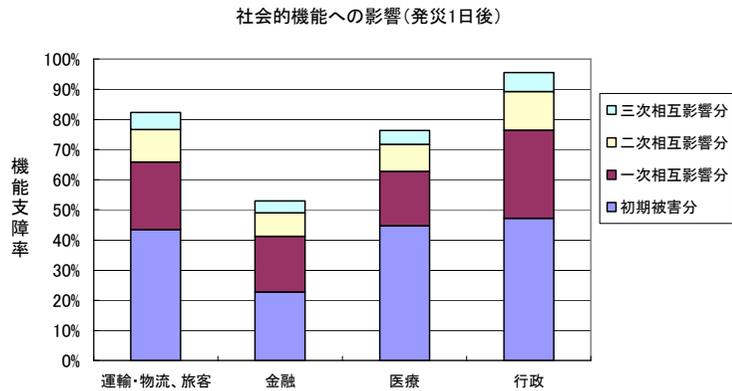
①重要インフラの機能支障率と波及影響



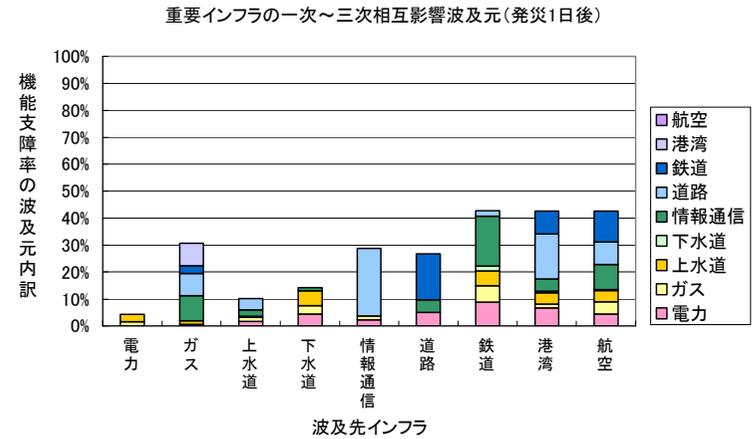
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



②社会的機能への影響

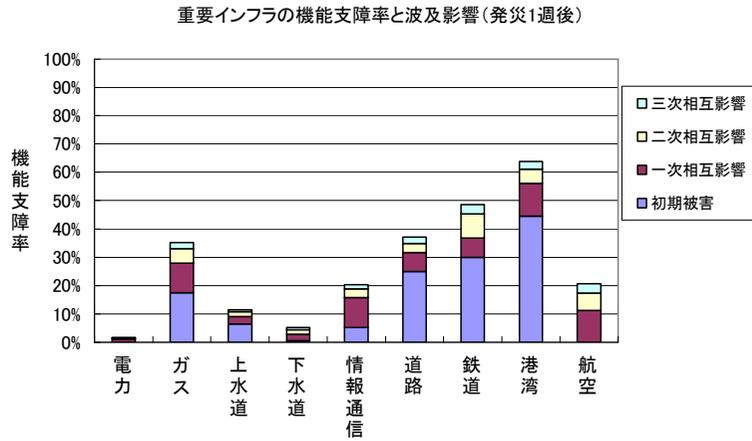


④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

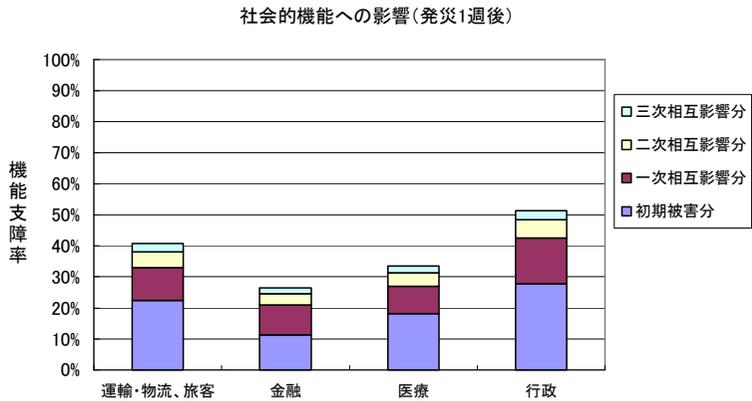


2) 1週間後の影響

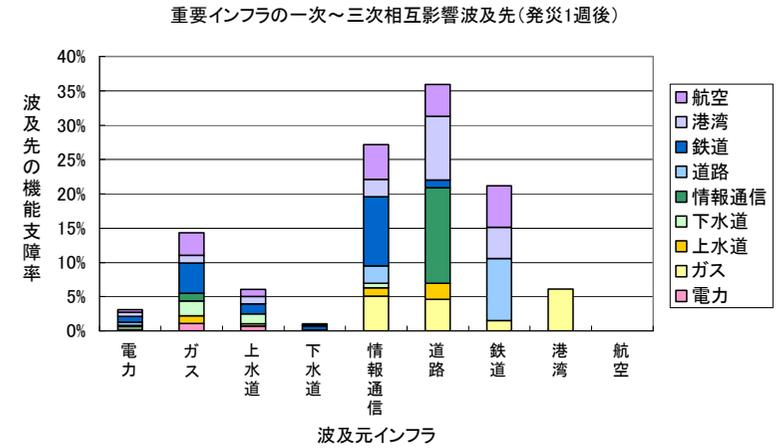
①重要インフラの機能支障率と波及影響



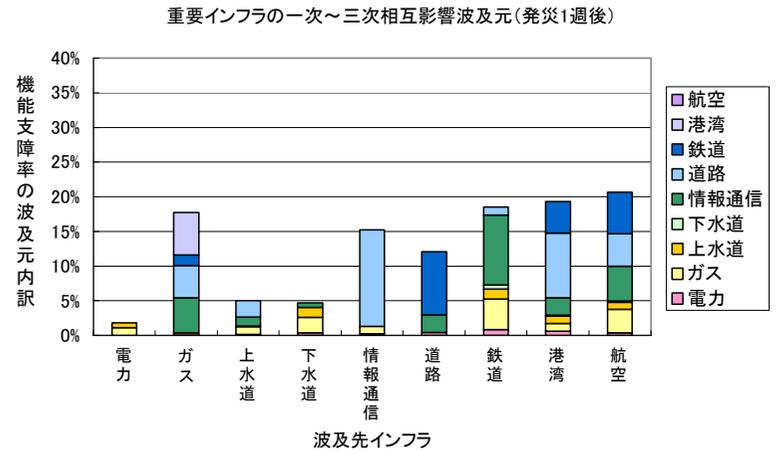
②社会的機能への影響



③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



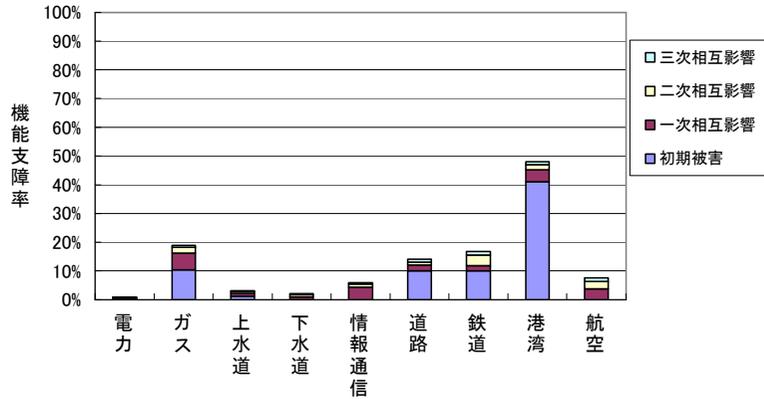
④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)



3) 1ヶ月後の影響

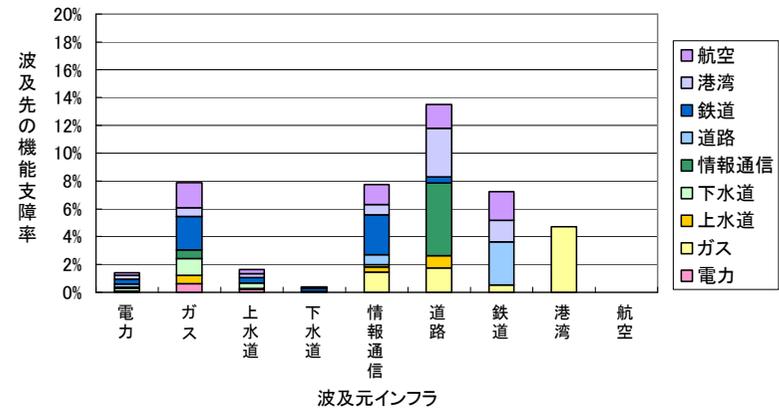
①重要インフラの機能支障率と波及影響

重要インフラの機能支障率と波及影響(発災1月後)



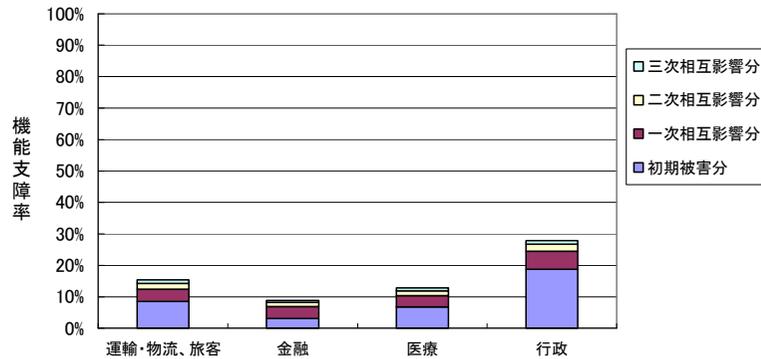
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)

重要インフラの一次～三次相互影響波及先(発災1月後)



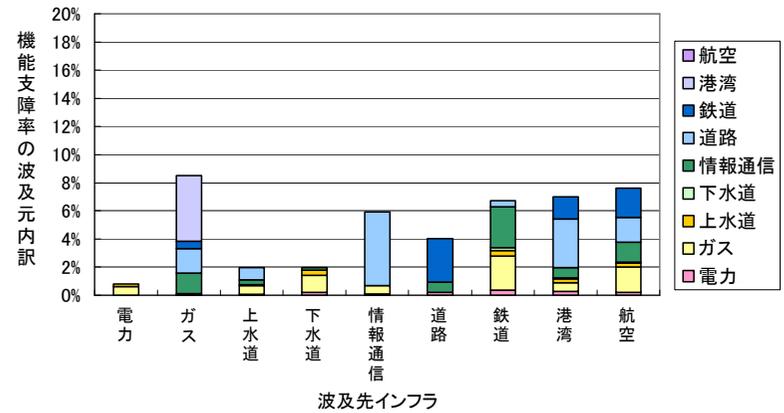
②社会的機能への影響

社会的機能への影響(発災1月後)

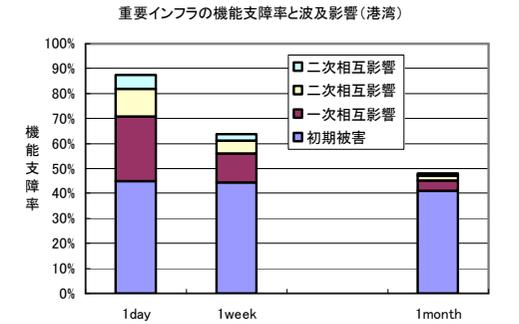
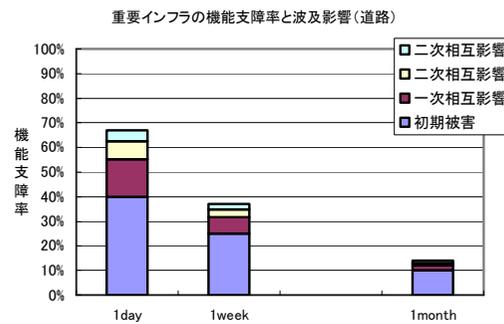
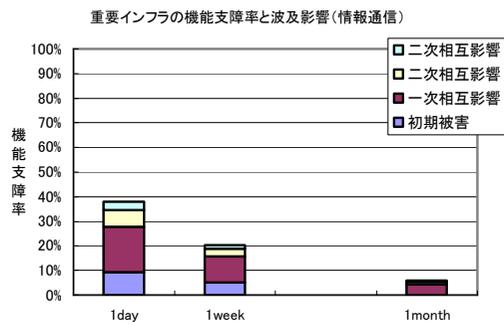
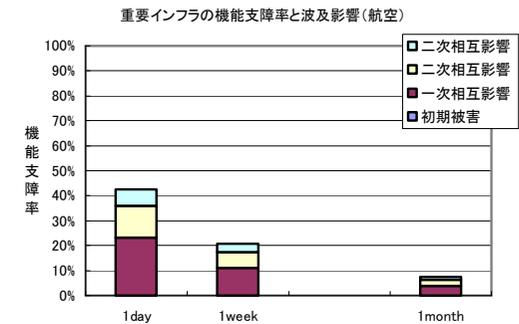
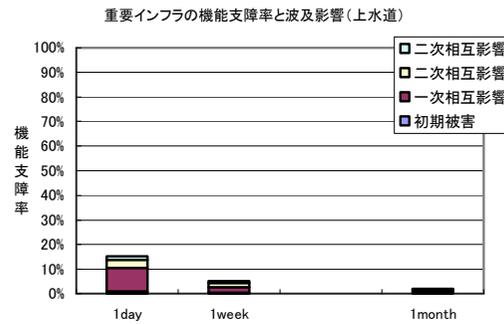
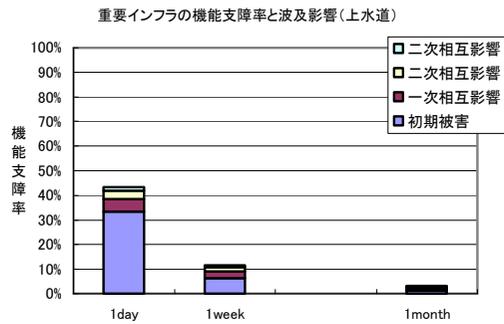
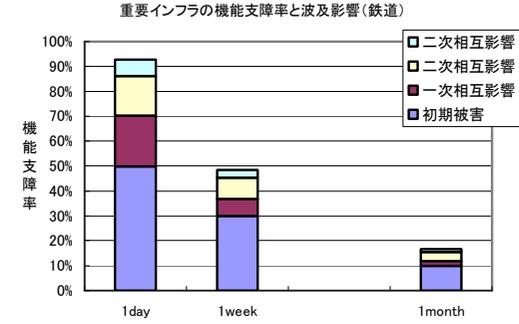
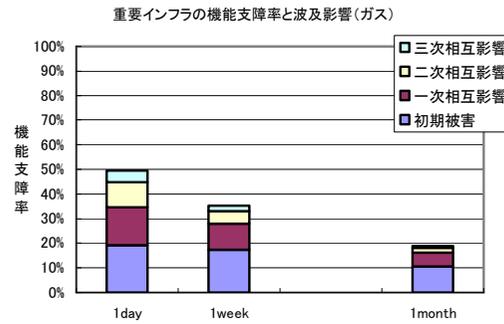
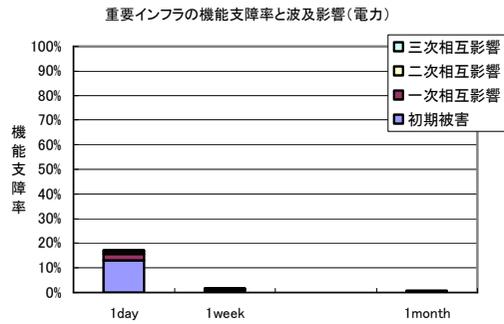


④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

重要インフラの一次～三次相互影響波及元(発災1月後)



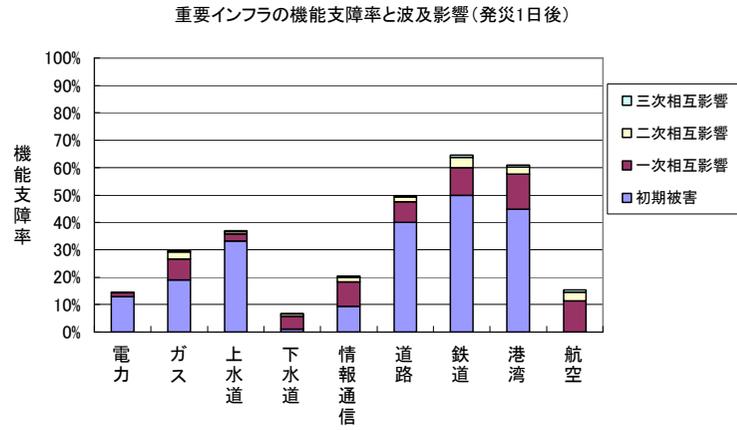
4) インフラ毎の復旧状況



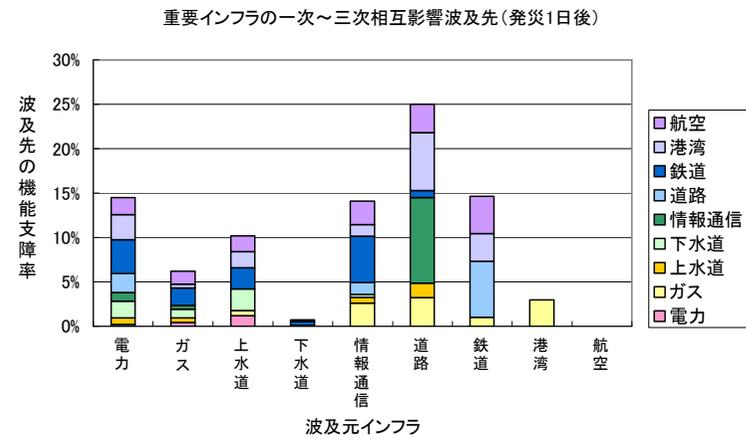
(4) 設定4：評価値を21段階としてマトリクスの行和の最大値 (=61) で正規化

1) 1日後の影響

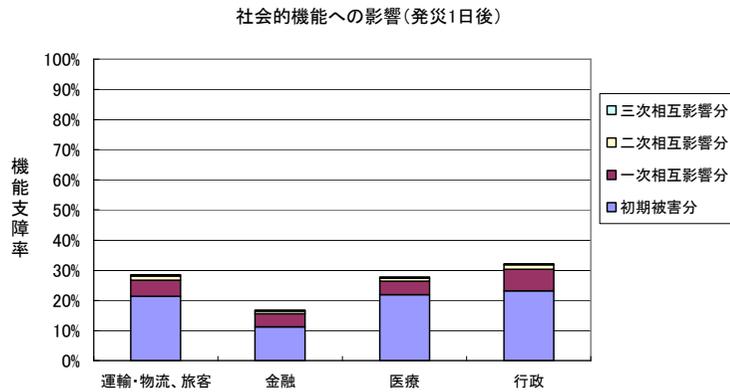
①重要インフラの機能支障率と波及影響



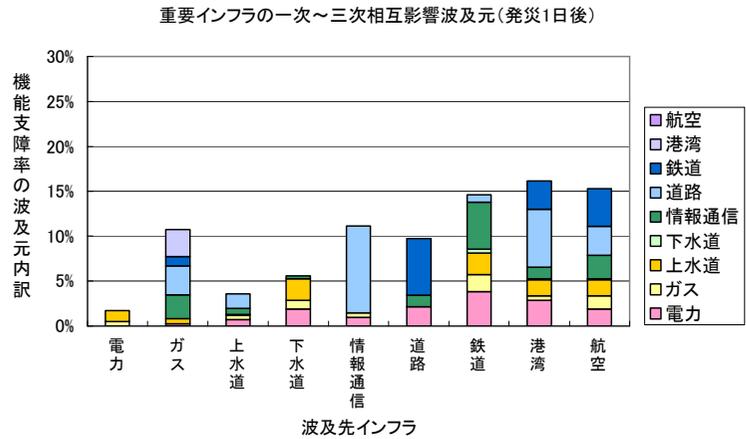
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



②社会的機能への影響

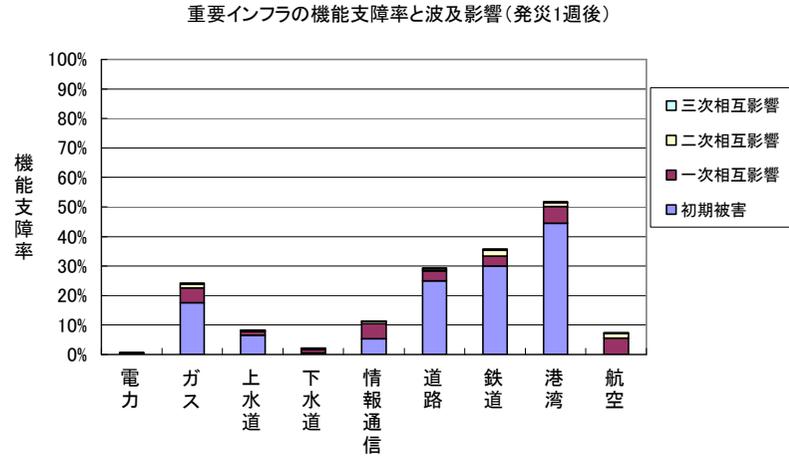


④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

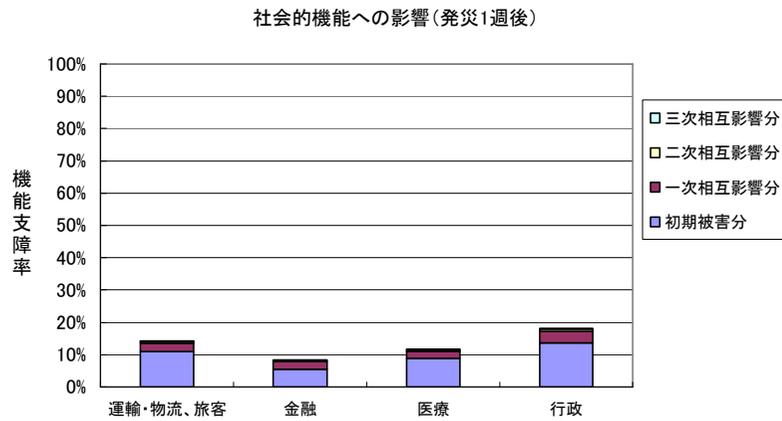


2) 1週間後の影響

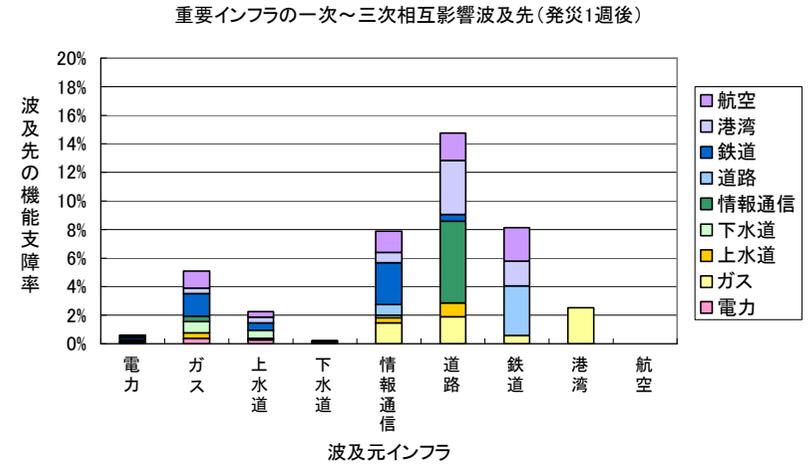
①重要インフラの機能支障率と波及影響



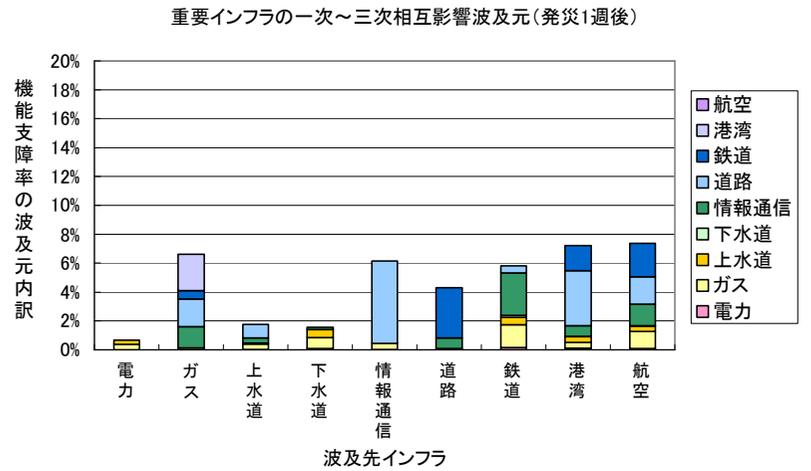
②社会的機能への影響



③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



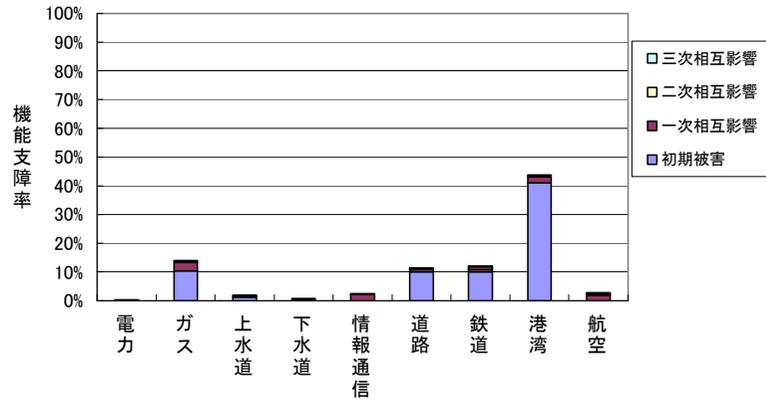
④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)



3) 1ヶ月後の影響

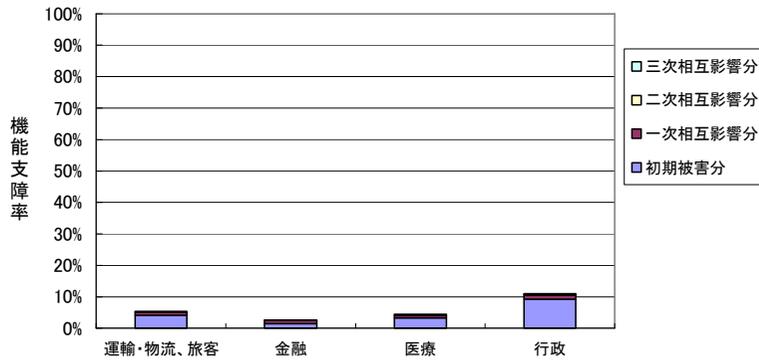
①重要インフラの機能支障率と波及影響

重要インフラの機能支障率と波及影響(発災1月後)



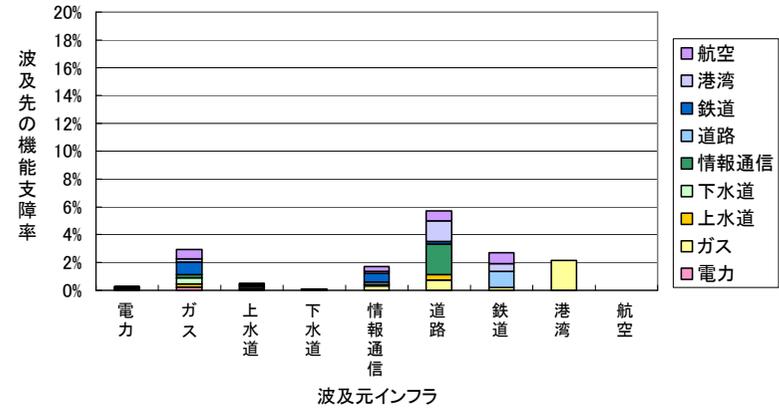
②社会的機能への影響

社会的機能への影響(発災1月後)



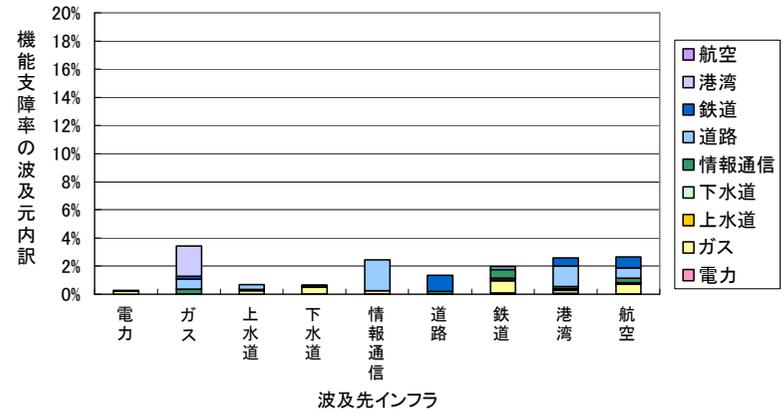
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)

重要インフラの一次～三次相互影響波及先(発災1月後)

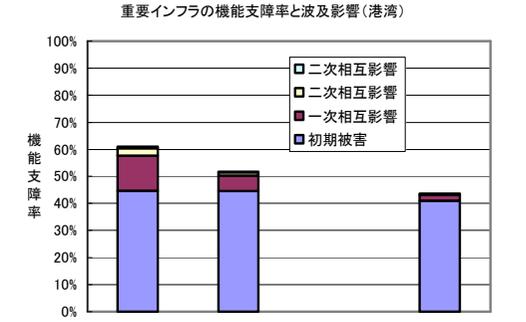
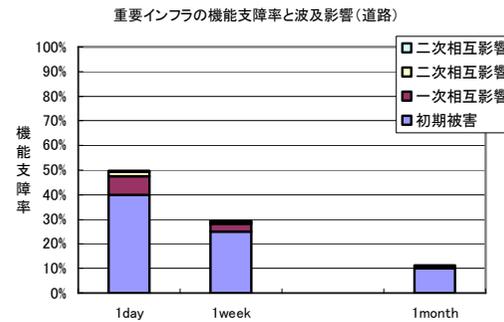
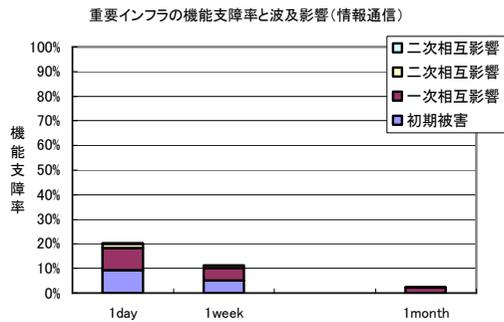
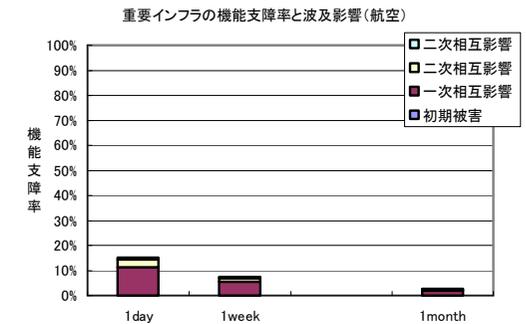
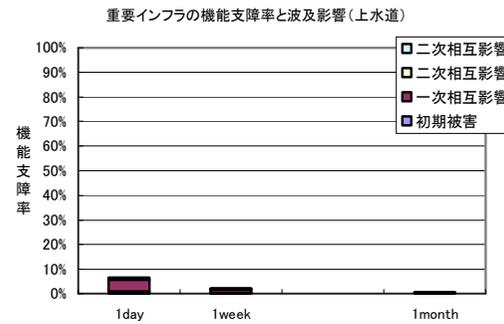
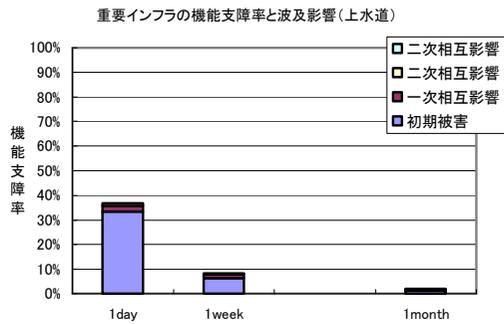
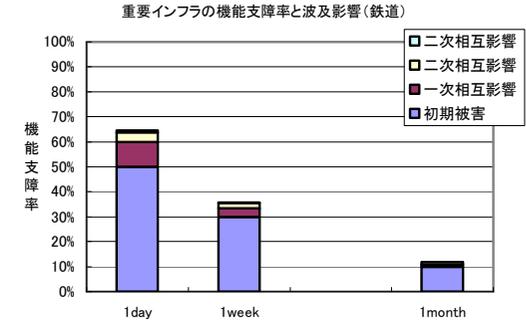
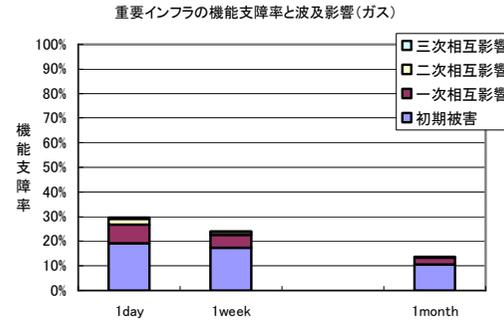
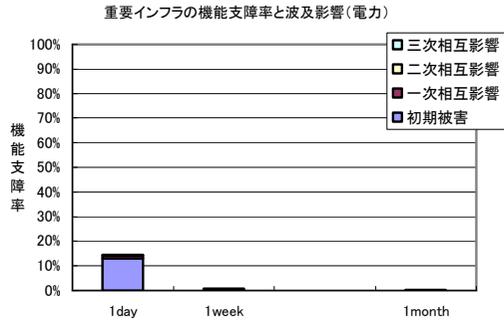


④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

重要インフラの一次～三次相互影響波及元(発災1月後)



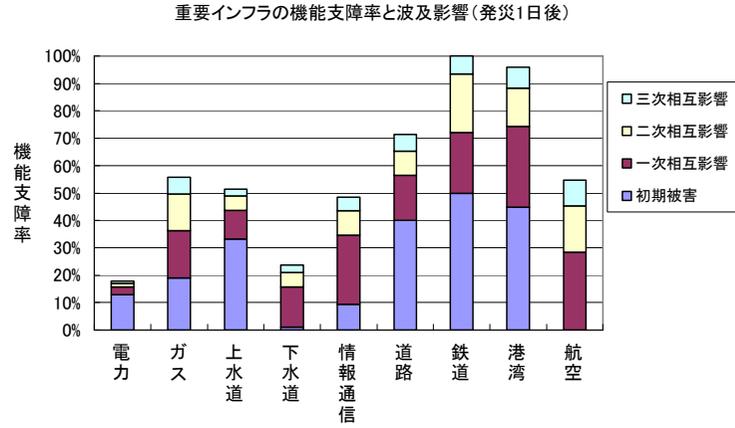
4) インフラ毎の復旧状況



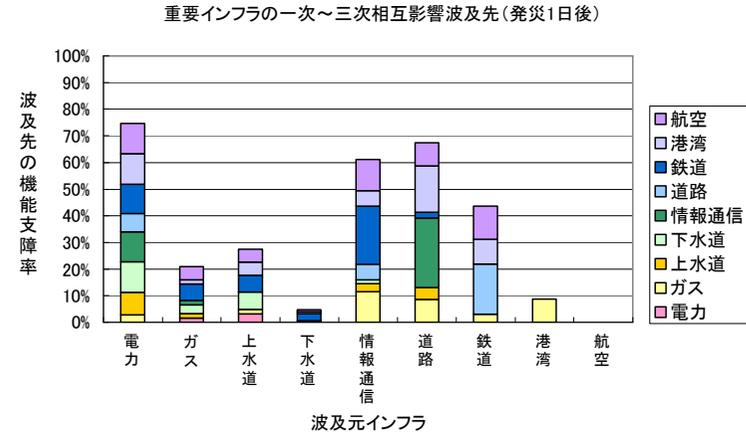
(5) 設定5：設定3で非常電源の燃料切れを想定

1) 1日後の影響

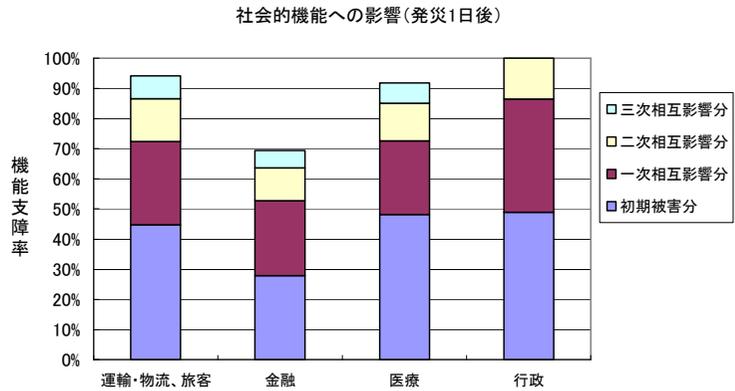
①重要インフラの機能支障率と波及影響



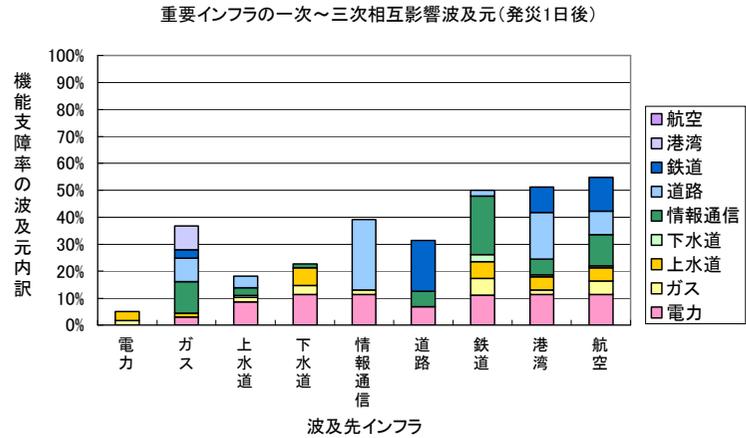
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



②社会的機能への影響



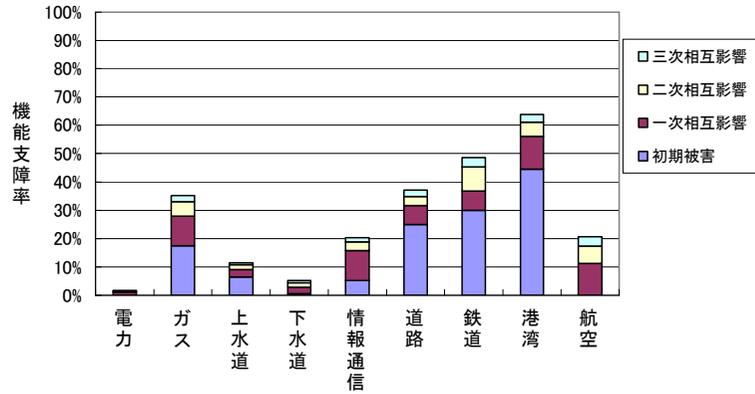
④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)



2) 1週間後の影響

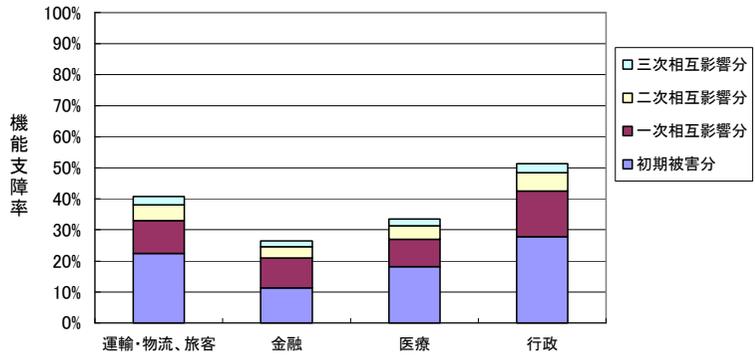
①重要インフラの機能支障率と波及影響

重要インフラの機能支障率と波及影響(発災1週後)



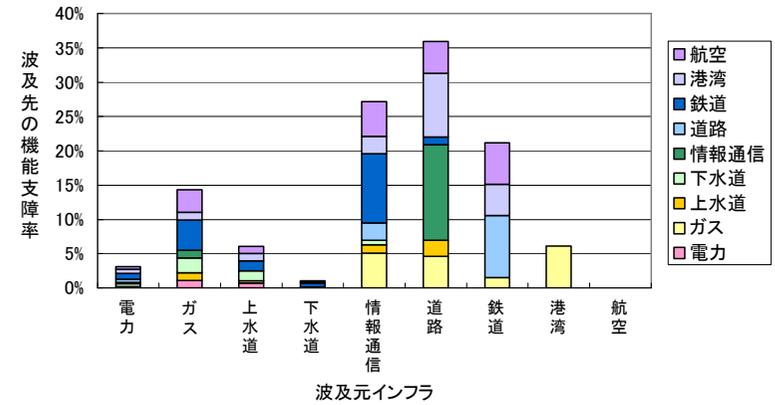
②社会的機能への影響

社会的機能への影響(発災1週後)



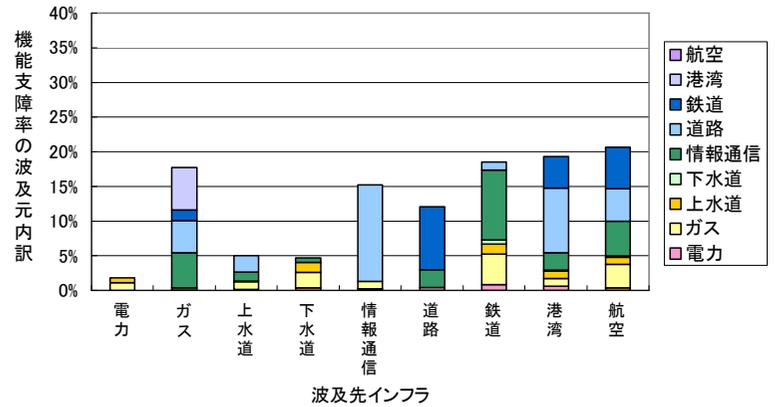
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)

重要インフラの一次～三次相互影響波及先(発災1週後)



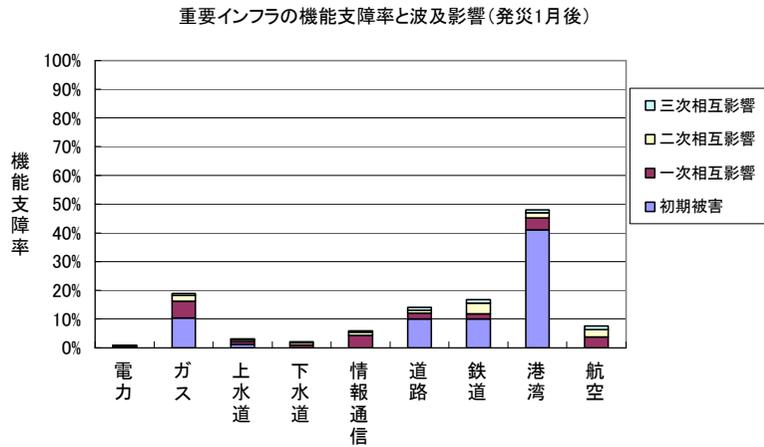
④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

重要インフラの一次～三次相互影響波及元(発災1週後)

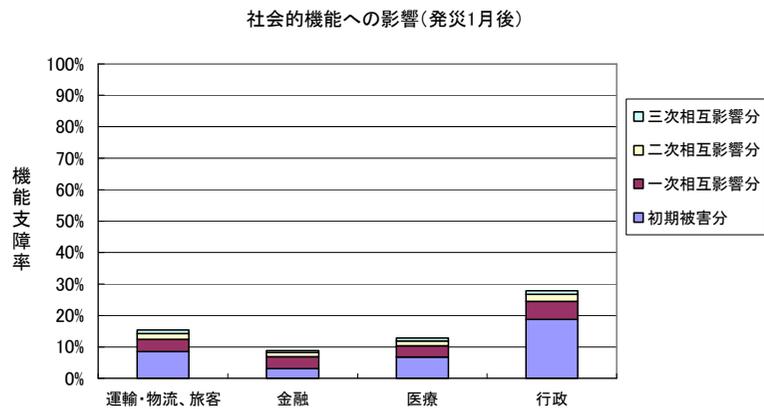


3) 1ヶ月後の影響

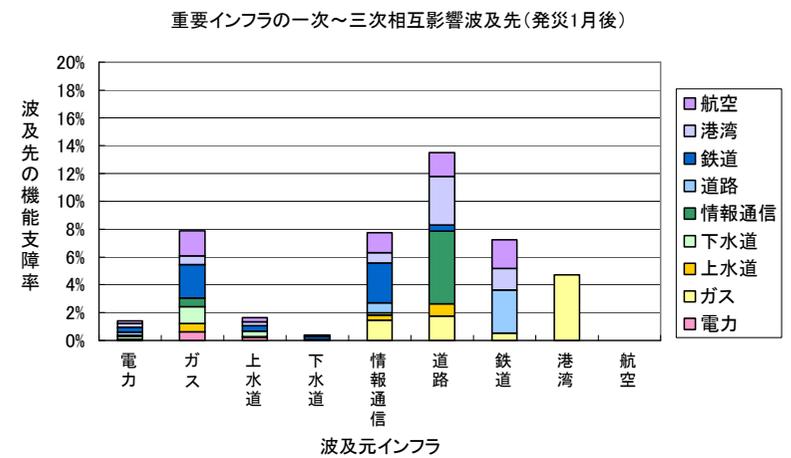
①重要インフラの機能支障率と波及影響



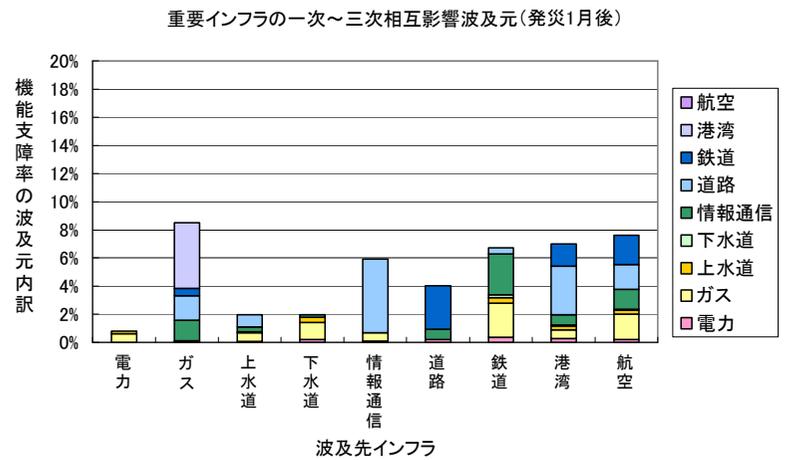
②社会的機能への影響



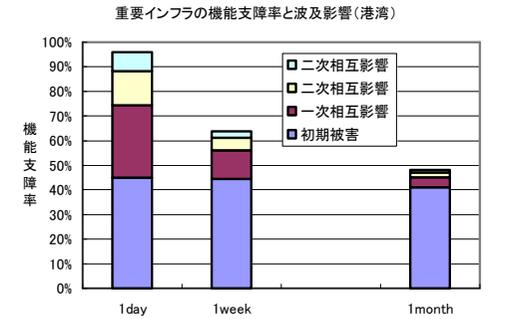
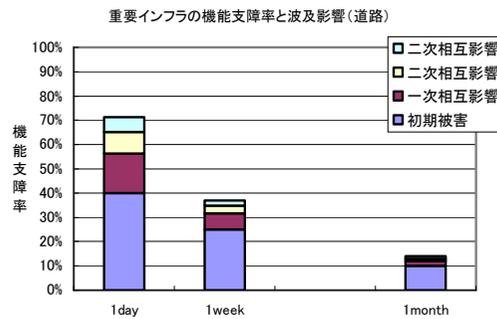
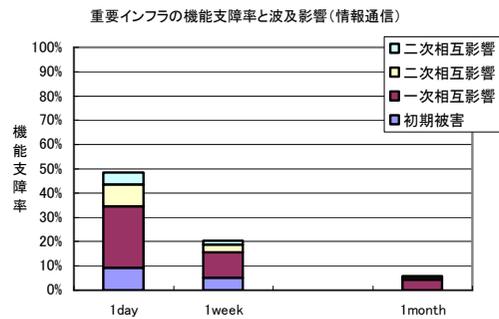
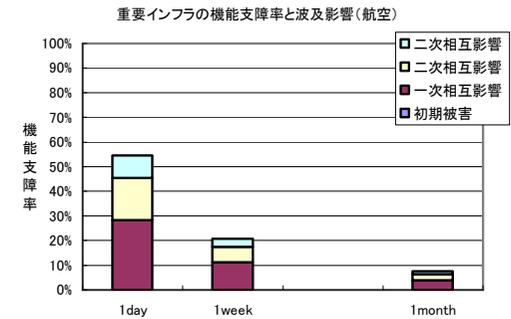
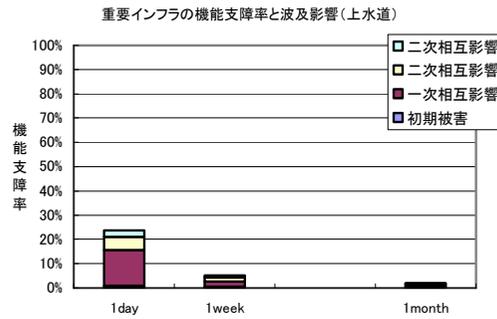
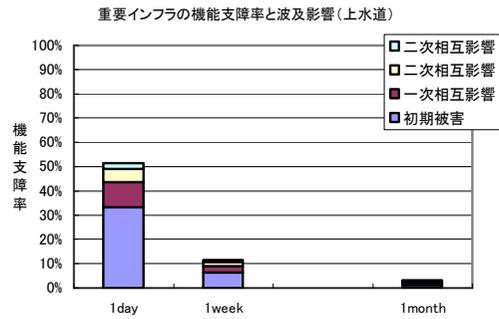
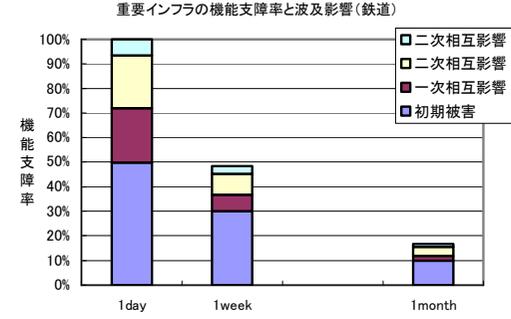
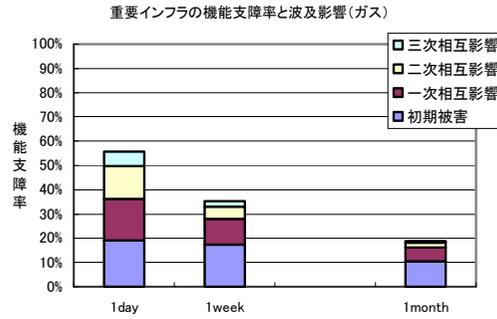
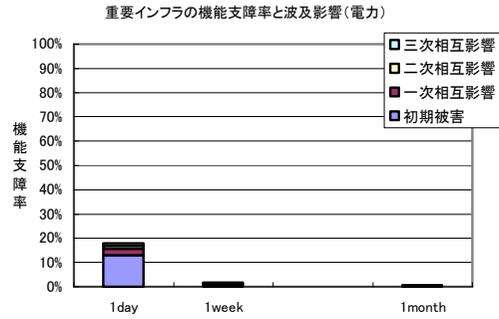
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)



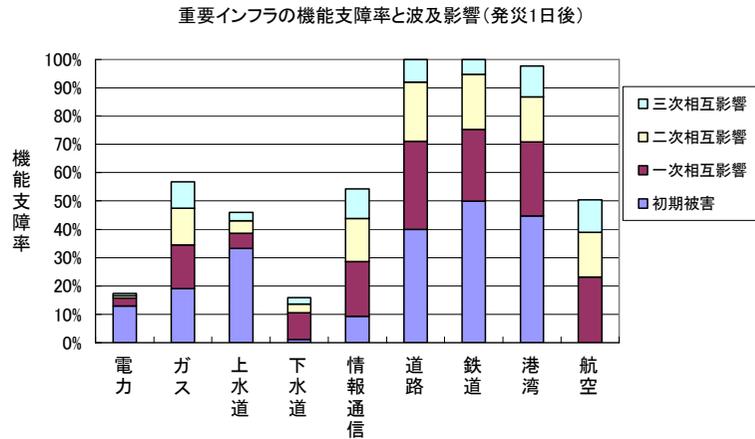
4) インフラ毎の復旧状況



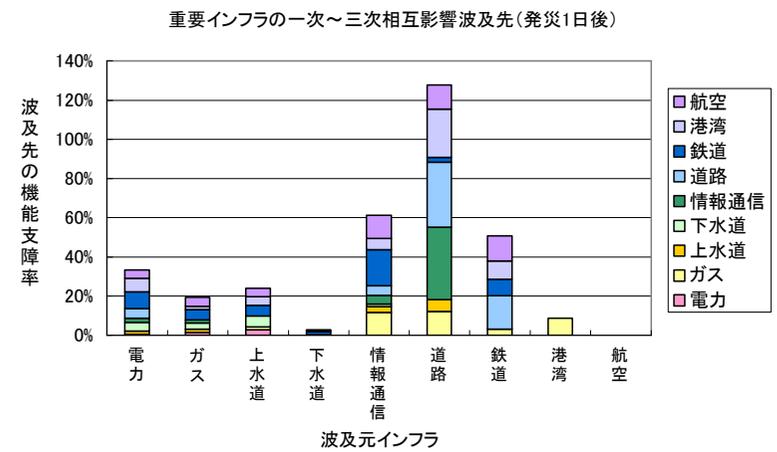
(6) 設定6：設定3で同一インフラ内での影響を考慮

1) 1日後の影響

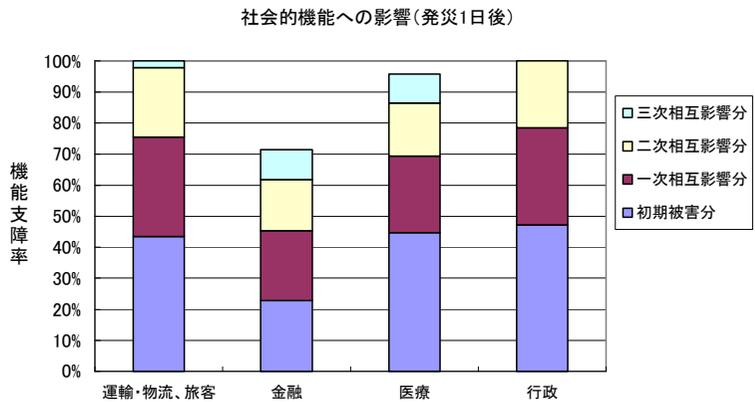
①重要インフラの機能支障率と波及影響



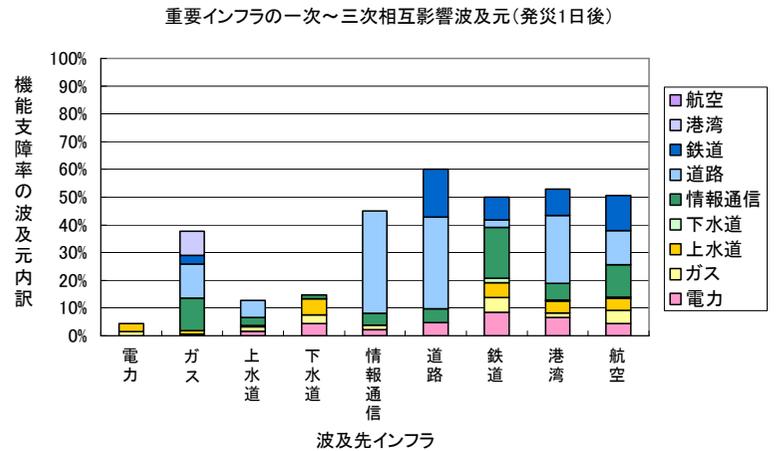
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



②社会的機能への影響

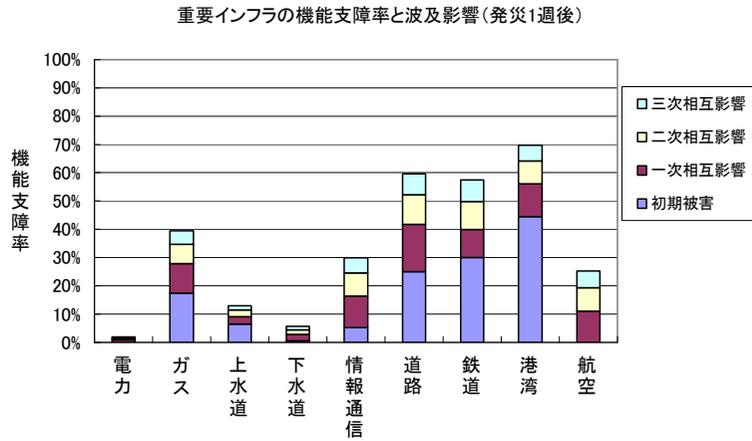


④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

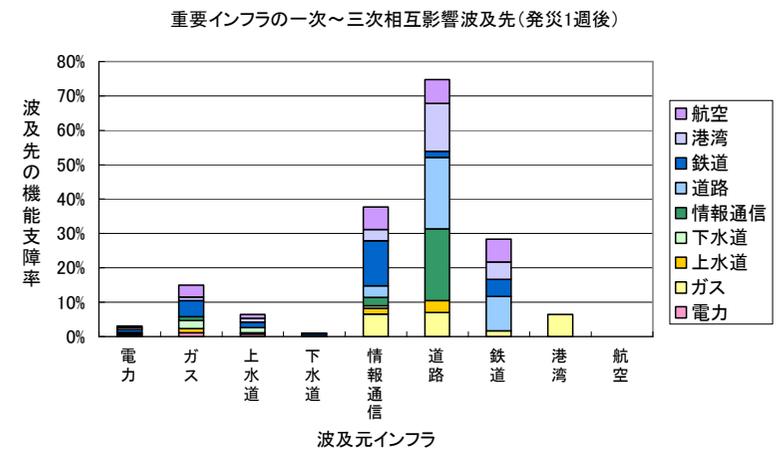


2) 1週間後の影響

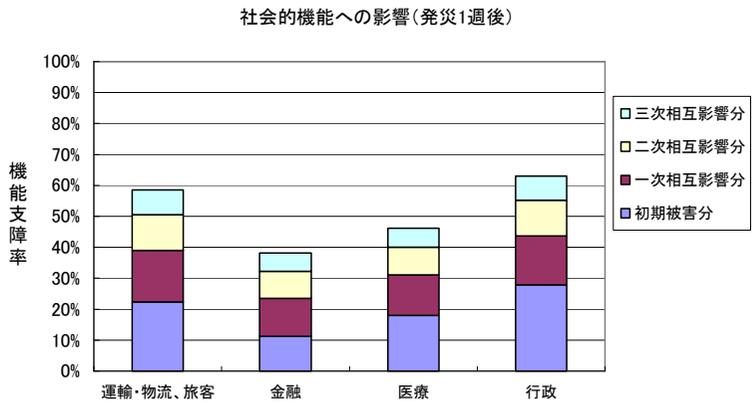
①重要インフラの機能支障率と波及影響



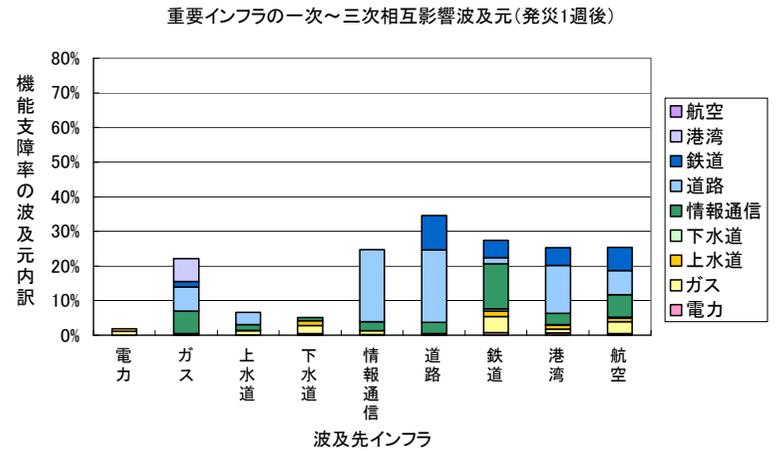
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



②社会的機能への影響

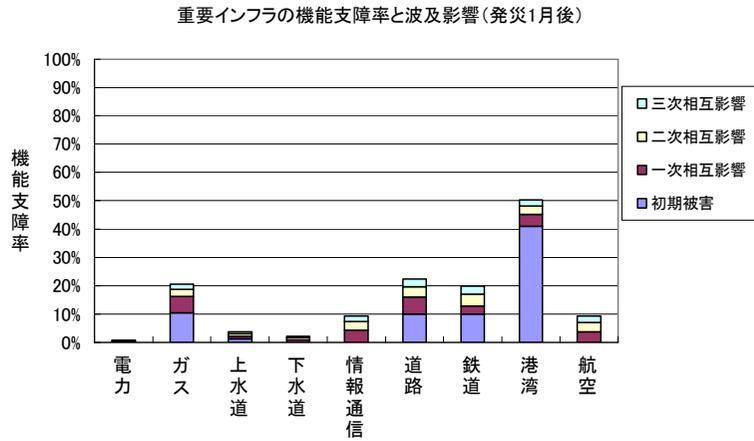


④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)

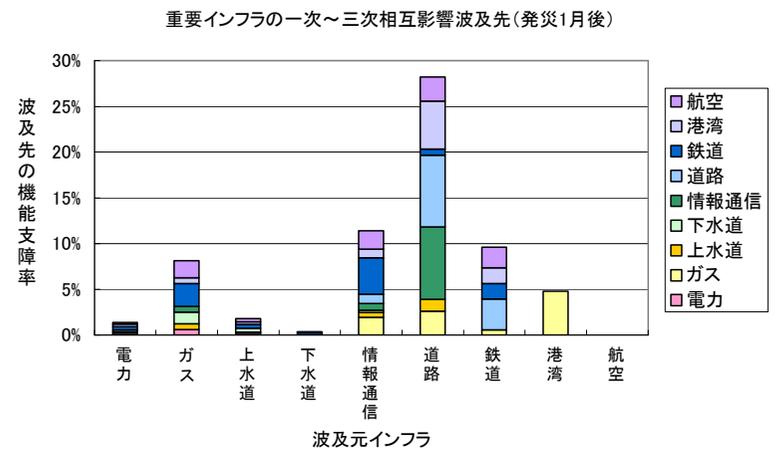


3) 1ヶ月後の影響

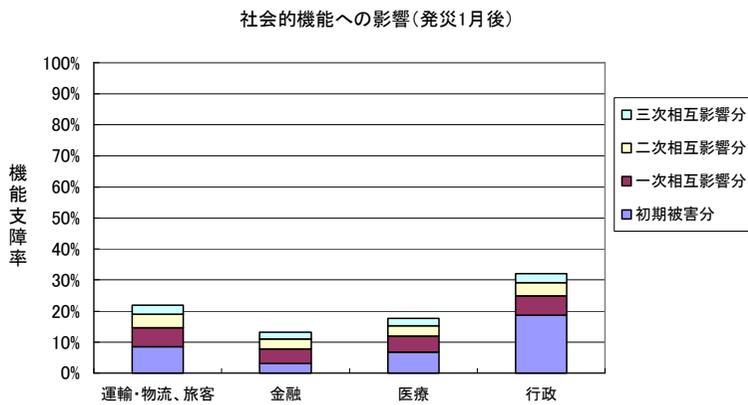
①重要インフラの機能支障率と波及影響



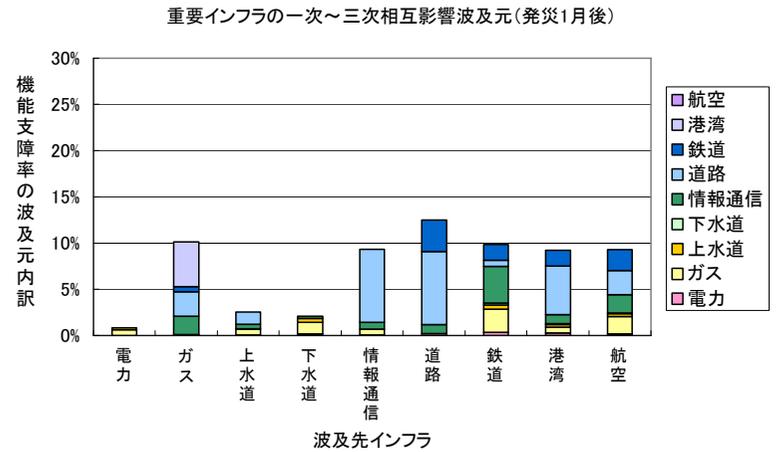
③波及先インフラの内訳(一～三次相互影響)



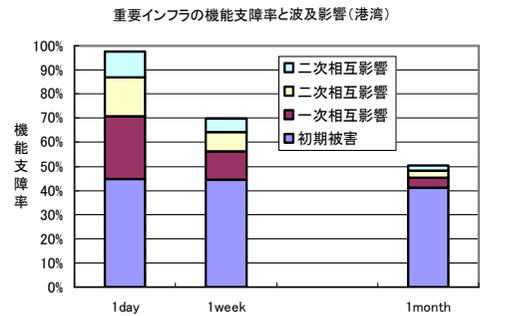
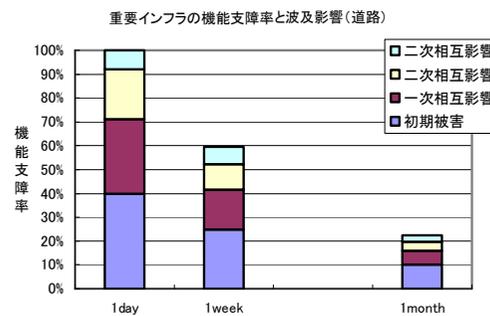
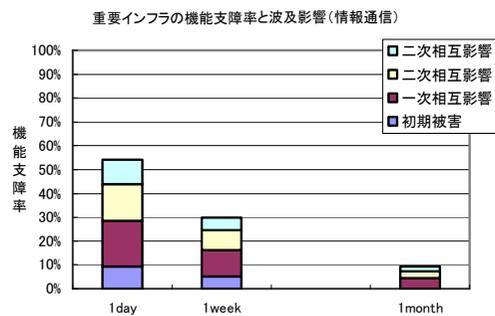
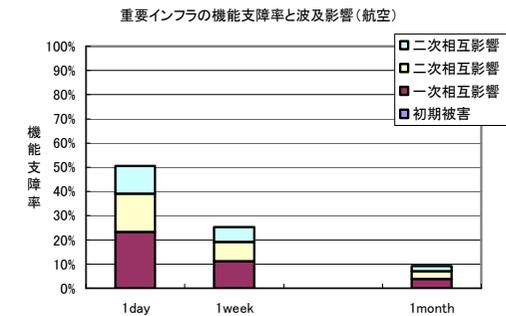
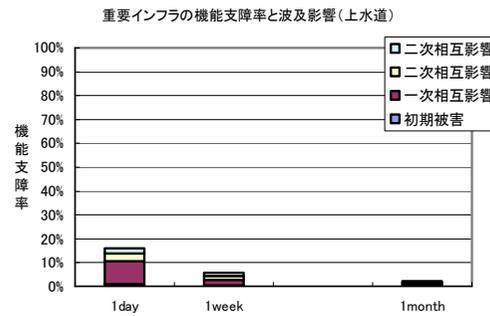
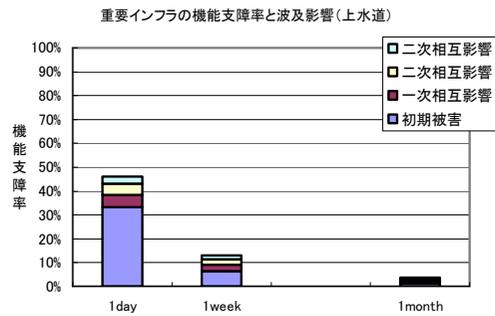
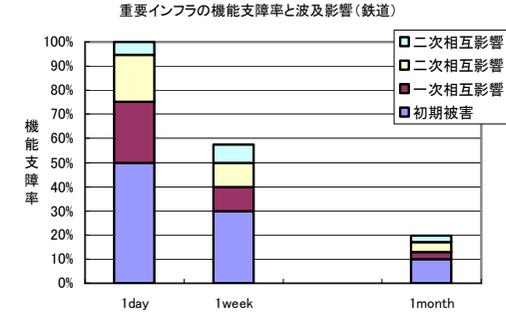
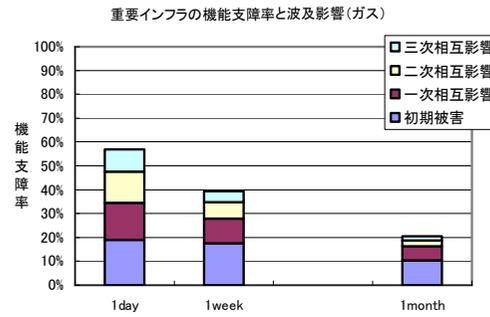
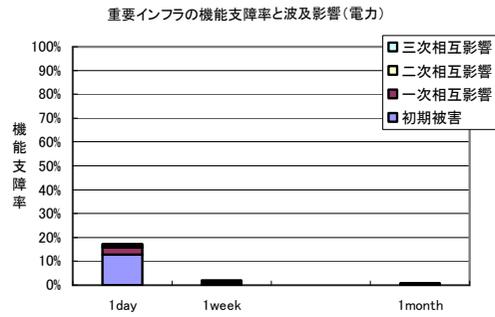
②社会的機能への影響



④波及元インフラの内訳(一～三次相互影響)



4) インフラ毎の復旧状況



以上に示した設定1～6の結果より、次のようなことが分かる。

- ①インフラ相互影響により、全てのインフラ、社会機能に対して、設定した初期影響以外の影響が現れる。たとえば、空港は初期影響を想定していないが、他のインフラの機能支障の影響を受けて、一定の支障が発生する。
- ②相互影響の大きさは、マトリクス[C]の正規化に用いる基準値によって大きく異なる。
- ③インフラ毎の比較では、道路、鉄道に次いで、情報システム、上水道、電力が、他のインフラに与える影響が大きい。
- ④非常用電源が全て燃料切れでアウトになると想定した感度分析では、若干の相互影響の拡大がみられた。

また、課題として以下の事項が指摘できる。

- ⑤重み付けの均質化：今回評価された重み付け結果については、想定する条件の相違などにより、同じような被害に対しても評価値の付け方にかなりのばらつきがあるものと思われる。今後、重み付けの際の前提条件の明確化、異なる立場の複数の回答者からの評価付け等により、重み付け結果の均質化を図る必要がある。
- ⑥多様な機能構造：今回は道路、情報通信等のインフラをひとくくりに重み付けを行ったが、実際には道路の場合、広域的な役割を果たしている高速道路、幹線道路、配送などの近隣交通のための細街路等、多様な機能構造がある。情報通信についても、固定系・移動系、一般通話・企業向け通信など、多様な機能構造があり、場合によってはそれらが関連をもって機能している。今後は、こうしたインフラの多様な機能構造の相互依存関係や、機能ごとの他インフラへの影響を検討していく必要がある。
- ⑦適切な正規化：ケーススタディより、個々のインフラ相互影響の評価値がとりうる最大値をマトリクスの基準化に用いることは、相互影響の過大評価につながる可能性が高いと考えられる。しかしながら行和を最大値とする方法も理論的な根拠には乏しい。重み付け評価の評価基準の明確化と併せて、適切な正規化を検討する必要がある。
- ⑧時間的・空間的変化の導入：インフラ相互影響による初期被害の拡大に起因する復旧遅延や、地域による初期被害や復旧体制の相違を評価するために、時間的・空間的変化を導入したモデルを構築する必要がある。
- ⑨低確率でも影響大の事象：可能性は極めて低いですが、発生すれば大きな影響がある事象（例えば電力ネットワークの連鎖的停止等）に関する評価ができていない。こうした事象については改めてそのリスクを評価する必要がある。

なお、前記のように、推計がスナップショット的であり、累積的影響を含んでいないことや、中央防災会議の被害想定自体にインフラ相互影響が含まれている可能性があることにも注意しなければならない。

4.6 デマテル分析

デマテル分析の手法を用いて、相互依存構造マトリクスの分析を行った。具体的には、21段階のマトリクスを対象に、波及が無限に続いたと想定した場合の直接+間接の全影響についての分析を行った。

デマテル法では、正規化の基準値に行和の最大値を用いるため、以下の分析は今回の設定4に相当している。

(1) 全影響マトリクスの算定

インフラ間の直接的な、すなわち一次の相互影響を表す相互依存構造マトリクスを $[C]$ とすると、その影響が無限回繰り返された場合の全影響（直接+間接）を表すマトリクスは $[F]=[C][I-C]^{-1}$ で表される（マトリクス $[C]$ のスペクトル半径、すなわち固有値の絶対値が最大でも1より小さい場合）。設定4のマトリクス $[C]$ と、それをもとに算定した $[F]$ を表-4.6.1に示す。

表-4.6.1 直接影響の相互依存構造マトリクス $[C]$ と全影響マトリクス $[F]$

		(a) $[C]$										
		電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空		
電力		0	0.016393	0.04918	0.131148	0.065574	0.147541	0.262295	0.196721	0.131148		
ガス		0.016393	0	0.016393	0.032787	0.016393	0	0.065574	0.016393	0.04918		
上水道		0.032787	0.016393	0	0.065574	0	0	0.065574	0.04918	0.04918		
下水道		0	0	0.016393	0	0	0	0.065574	0.016393	0.016393		
情報通信		0	0.131148	0.032787	0.016393	0	0.065574	0.262295	0.065574	0.131148		
道路		0	0.065574	0.032787	0	0.196721	0	0.016393	0.131148	0.065574		
鉄道		0	0.016393	0	0	0	0.098361	0	0.04918	0.065574		
港湾		0	0.04918	0	0	0	0	0	0	0		
航空		0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		(b) $[F]$										
		電力	ガス	上水道	下水道	情報通信	道路	鉄道	港湾	航空	行和	
電力		0.003027	0.060529	0.062064	0.139291	0.103214	0.185284	0.310372	0.249977	0.185895	1.299652	
ガス		0.017125	0.006658	0.018984	0.036822	0.019919	0.01166	0.079578	0.028158	0.061886	0.28079	
上水道		0.033289	0.023033	0.003787	0.071028	0.005186	0.013347	0.082301	0.063595	0.062982	0.358547	
下水道		0.0006	0.003098	0.016766	0.001303	0.001434	0.006833	0.067607	0.021723	0.02254	0.141905	
情報通信		0.003768	0.150483	0.039683	0.024776	0.021507	0.095532	0.284585	0.099075	0.169147	0.888555	
道路		0.003076	0.103339	0.042159	0.009882	0.020289	0.021722	0.080962	0.155817	0.106637	0.726484	
鉄道		0.000625	0.029102	0.004504	0.001665	0.020331	0.100717	0.009461	0.065036	0.077227	0.308667	
港湾		0.000842	0.049508	0.000934	0.001811	0.00098	0.000573	0.003914	0.001385	0.003044	0.06299	
航空		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0.062353	0.425749	0.188879	0.286579	0.375462	0.435667	0.918779	0.684766	0.689357	max= 1.299652	
												sum= 4.06759

(2) 影響係数 $[D]$ 、被影響係数 $[R]$ 、影響度 $[D-R]$ 、関連度 $[D+R]$ の算定

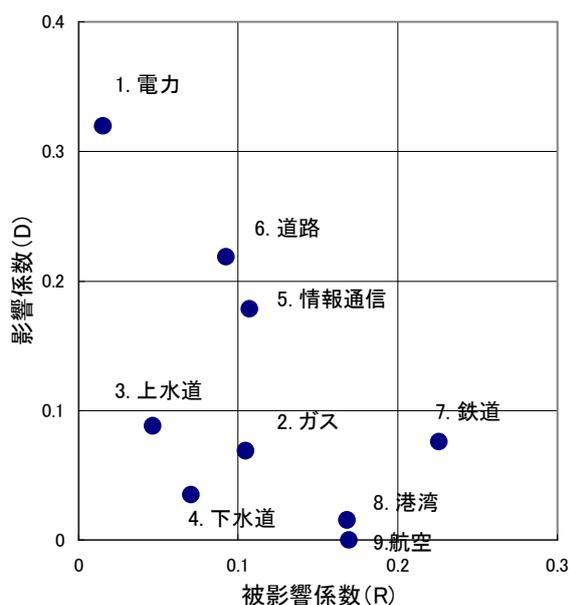
全影響行列 $[F]$ の行和（電力の場合約 1.41）は、対象とするインフラが他のインフラに与える影響の大きさの度合いを表し、列和（電力の場合約 0.06）は他のインフラから受ける影響の大きさの度合いを表す。行列 $[F]$ の各インフラに対する行和を、行和の合計値（全行列要素の総和 4.07）で正規化したものを影響係数 $[D]$ 、列和を同様に正規化したものを被影響係数 $[R]$ と定義する。

上記[D]を横軸に、[R]を縦軸に、各インフラをプロットしたものが図-4.6.1(a)であるが、左上には他のインフラに与える影響が大きく、他のインフラからは影響を受けにくいインフラ（電力等）、右下には他のインフラに与える影響が少なく、他のインフラから受ける影響が大きいインフラ（空港、港湾等）が分布する。

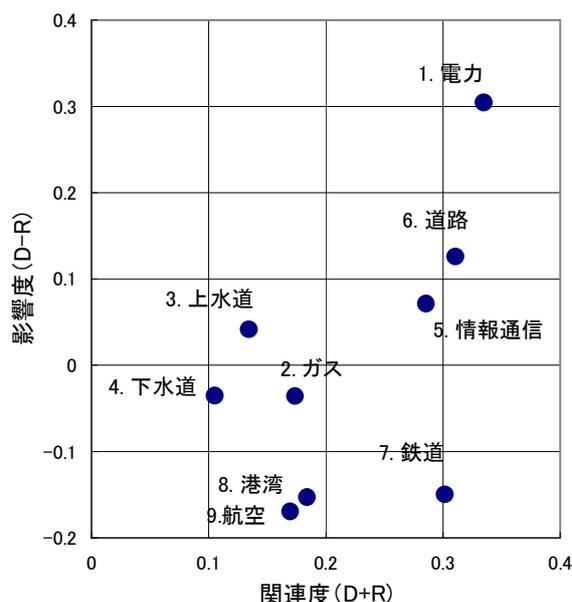
道路は9つのインフラの中で比較的右上にあり、他のインフラからの影響、他のインフラへの影響ともに強いインフラとなっている。

上記の影響係数[D]と被影響係数[R]について、両者の和は影響を与えることと受けることを合計した、それぞれのインフラの関連の強さを示している。また、両者の差は、両方のインフラ間の影響の偏りを示している。前者をインフラ間の関連度[$D+R$]、後者をインフラ間の影響度[$D-R$]と定義し、前者を横軸に、後者を縦軸に各インフラをプロットしたものが図-4.6.1(b)である。

電力は他のインフラに強い関連度を持っているとともに、影響度も強く、最も他のインフラに影響を与えるインフラであることがわかる。道路は、電力に次いで関連度、影響度が高く、やはり他インフラと密接な関連を持ったインフラであることがわかる。



(a) 影響係数・被影響係数



(b) 影響度・関連度

図-4.6.1 各インフラの影響係数と被影響係数および影響度と関連度の関係

5. インフラ相互依存解析モデルの構築とケーススタディ

前章で検討した相互依存構造マトリクスによる分析では、相互依存関係の空間的な特徴（地理的特性）や時間的な変化を考慮することが困難であった。この点を解消するために、主要インフラ間の相互依存関係を、地域性を考慮した上で動的に解析することが可能な、インフラ相互依存解析モデルを構築し、前章と同様にケーススタディを行う。

ここではモデルの全体像の明確化と、モデルが全体として機能することの確認を目的とし、ケーススタディを通して得られた課題をまとめることとした。

5.1 モデル構築の基本方針

5.1.1 モデル化の対象

前章で採り上げたインフラのうち、本章でのモデル化の対象は、特に早期の復旧・復興に関係の深い①情報通信（固定電話、携帯電話）②鉄道③電力④上水道⑤下水道⑥ガス⑦道路の7種とする。これらは多くの一般市民の生活に直接的に関係する基本的なインフラであり、相互依存関係が存在する。なお、前章の検討から、長期的復興等への影響が大きい港湾・空港や金融等のサービスに関するインフラは除外している。

5.1.2 モデル構築手順

インフラ相互依存解析モデル構築の検討手順を図-5.1.1に示す。

まず、一般的なインフラ間の相互依存関係を表現したインフラネットワークを整理し、インフラネットワークモデル（一般モデル）を構築する。この段階では地理的な関係性等の情報は加味しない。

次に、この一般モデルを元に地理的特性を加味した各地域区分でのモデル（地域区分モデル）を構築する。これらの地域区分モデルについて相互に関連する部分をつなぎ合わせて統合することで、モデル化対象地域全体でのネットワークモデルが構築できる。ここまでは、3章でも用いたインフルエンス・ダイアグラムによって整理する。3章では兵庫県南部地震と新潟県中越地震で実際に発生したインフラ間の相互依存性により被害が波及した事例を整理したのに対して、本章は各インフラ、インフラ間そのものが潜在的に有する相互依存性そのものをモデル化する点が異なる。

最後に、インフルエンス・ダイアグラムで表現されたモデルについて時間的推移を明示的に考慮したシステムダイナミクスモデルに変換し、システムダイナミクスの汎用モデル上でシミュレーション環境を構築する。

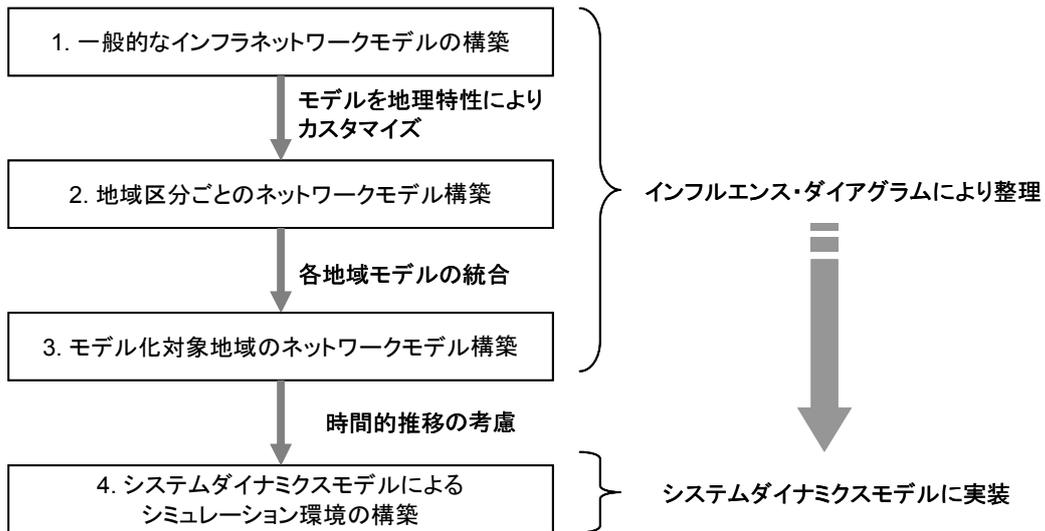


図-5.1.1 インフラ相互依存解析モデル検討手順

(1) 一般モデル

一般的なインフラネットワークモデル（一般モデル）とは、特定の地域を想定せずに各インフラ、および各インフラ間の相互依存関係を整理したモデルである。図-5.1.2 はそのイメージを示したものであるが、一般モデルは図の右下のようなインフルエンス・ダイアグラムにより表現される。

インフラネットワークモデルの構築は、インフラ間のネットワーク構造を明らかにすることが目的であるが、インフラ間の関係を整理する上では、リソースレベルをさらに分解して考える必要がある。図-5.1.2 の例では、道路と電力間の双方向の矢印をリソースレベルで分解している。道路の機能回復には信号用の電力が関係し、電力の復旧に必要な人員の参集、機材・資材の運搬には道路の機能回復が関係することを表している。

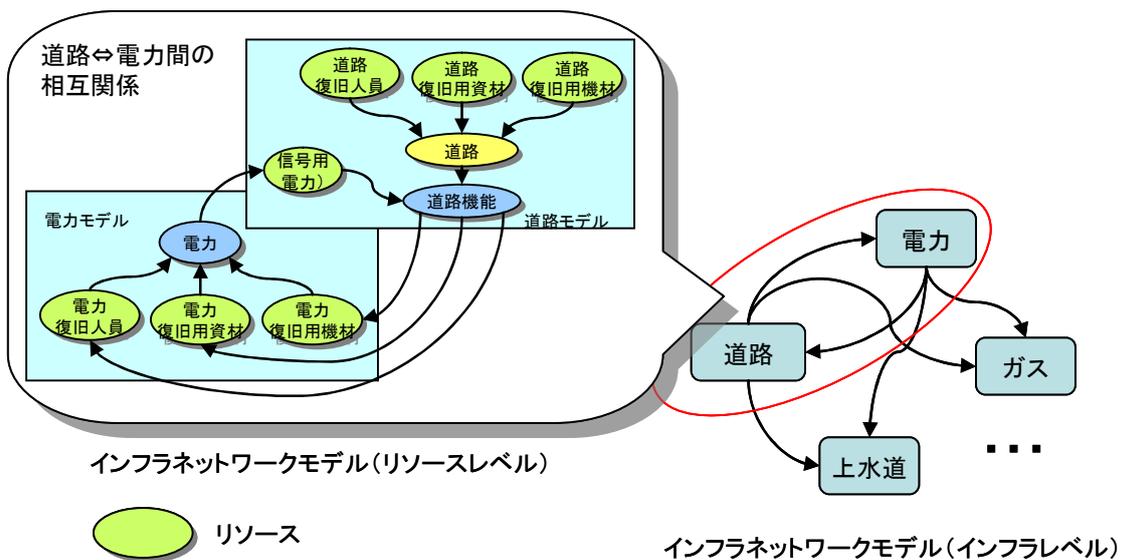


図-5.1.2 一般的なインフラネットワークモデル（一般モデル）のイメージ

(2) 地域区分モデル

上記(1)の一般モデルをもとに、各地域の地理的特性および隣接地域等との地理的関係の情報を加味した、地域ごとのネットワークモデル(地域区分モデル)を作成する。

例として、ある地域Aにおけるインフラネットワークモデル(地域区分モデル)のイメージを図-5.1.3に示す。地域内部のインフラ間の関係は一般モデルと同様であるが、これに加え、A地域の隣接地域や広域的なインフラなど、A地域外のインフラとのネットワークが考慮される。これらは地域間の地理的關係により決定される。

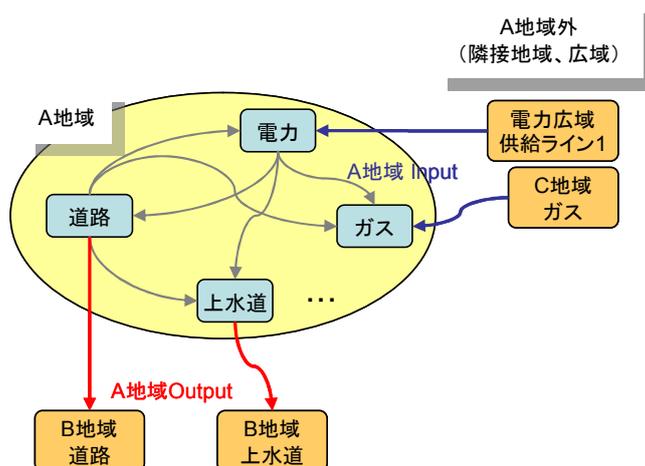


図-5.1.3 地域インフラネットワークモデル(地域区分モデル)のイメージ

(3) 対象地域のネットワークモデル

各地域について作成された地域区分モデルを接続し、モデル化対象地域全体でのネットワークモデルを作成する。このインフラネットワークモデルのイメージを図-5.1.4に示す。ただし、今回の検討ではインフラネットワークモデルの構築には至っていない。

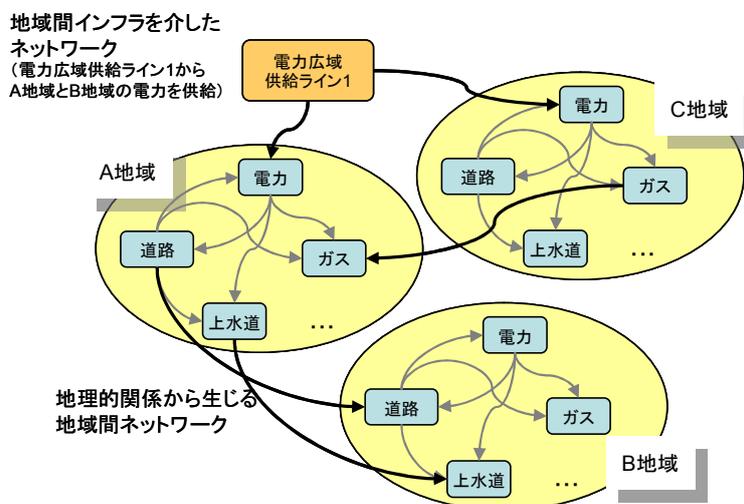


図-5.1.4 対象地域のインフラネットワークモデルのイメージ

5.2 インフラ機能構成要素の整理

一般モデルを構築する前に、個々のモデル化対象インフラの機能を構成している要素を整理する。インフラ機能の構成要素には全体の機能をブレイクダウンした下位レベルの「機能」と、これらを実現するための設備や施設、情報、他のインフラにより供給されるユーティリティ等の「リソース」が含まれる。

上記「機能」及び「リソース」を、それぞれインフルエンス・ダイアグラムのノードで表現し、その関係をアークで接続して表現した。

5.2.1 情報通信

(1) 固定電話

固定電話機能を整理する際に用いた電話の仕組みを示す模式図を図-5.2.1に示す。このほか、災害への対策状況を確認するためにNTT東日本、西日本のホームページ^aを参考とした。

これらをもとに固定電話機能の構成要素を整理したインフルエンス・ダイアグラムを図-5.2.2に示す。機能維持のためのリソースのうち、特に、他のインフラにより供給されるユーティリティ（電力等）を黒い太線で囲んだ。さらに、震災時に大きな被害が予想され、物理的な復旧が必要となるリソースを赤い太線で囲んだ。

固定電話での通話には、電話機、電話機を作動させるための電力、加入者交換機からの電話線、および音声情報が必要となる。音声情報が届くためには、加入者交換機が機能する必要がある、このためには加入者交換機設備、交換機間を結ぶ幹線、交換機動作に必要な電力、および中継音声が必要となる。さらに、加入交換機に中継音声を提供されるためには、中継交換機の設備、交換機間の幹線、交換機動作に必要な電力の供給が必要となる。

なお、交換機間の幹線は多重化が進んでおり、寸断されるとは考えにくい。また、交換機用の電力供給停止時は、NTT内ではバックアップ電源が用意されている。

上記以外では、災害時の発信規制や輻輳の有無について留意する必要がある。図-5.2.2に示した固定電話の構成要素が全て維持されていたとしても、発信規制や輻輳が生じることで固定電話の機能が阻害されるためである。

^a NTT東日本：NTT東日本の災害対策，<http://www.ntt-east.co.jp/saigai/taisaku/index.html>
NTT西日本：もしも!?!の時あなたの電話は？，<http://www.ntt-west.co.jp/info/saigai/>

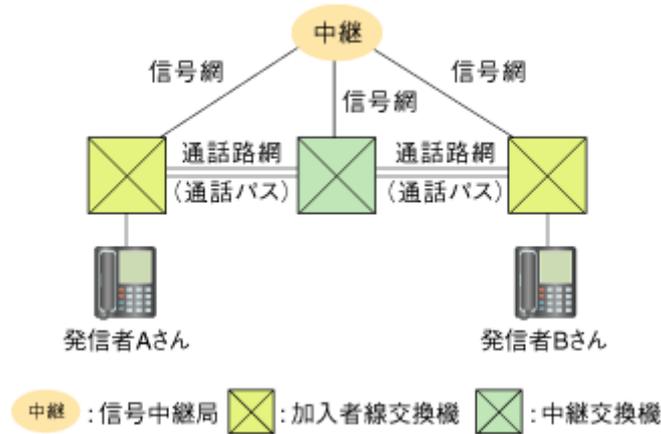


図-5.2.1 固定電話の仕組み^b

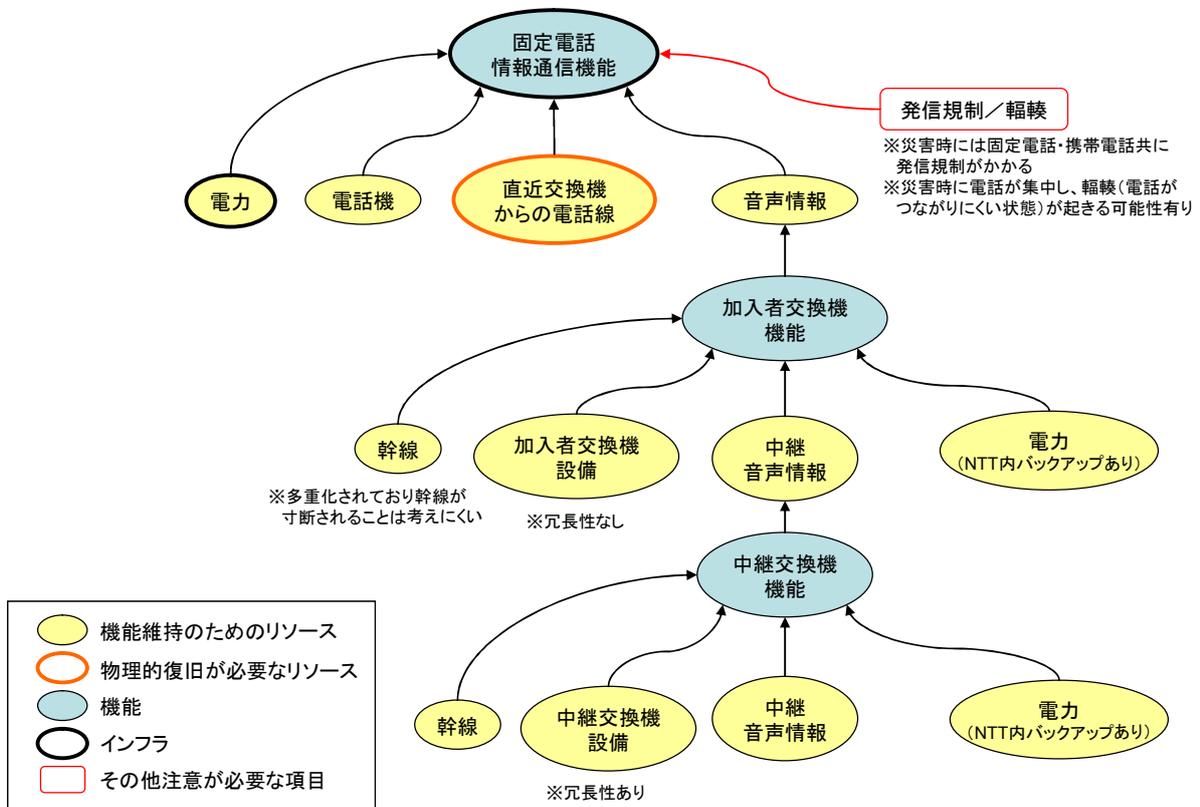


図-5.2.2 情報通信（固定電話）機能の構成要素

(2) 携帯電話

携帯電話機能の構成要素を整理したインフルエンス・ダイアグラムを図-5.2.3に示す。ここでは電子通信情報学会ケータイ研究所ホームページ^cを参照した。

^b 日経 BP 社 IT PRO : 電話の仕組み (4), <http://itpro.nikkeibp.co.jp/free/NCC/denwa/20040107/1/?ST=denwa>

^c 電子通信情報学会 : ケータイ研究所, <http://www.ieice.or.jp/jpn/kodomo/keitai/index.html>

前述した固定電話と携帯電話で大きく異なる点は、個々の端末からの音声情報が無線で送られるために、電話線が存在しない点にある。したがって、携帯電話機能の構成要素は、携帯電話機、電話機の動作に必要な電力、音声情報となる。音声情報は基地局から交換機に送られ、受信側の交換機から基地局、端末へ送られる。したがって、基地局機能を維持するために基地局設備、基地局への供給電力も必要となる。交換機機能を維持するための交換機設備、電力、交換機間の幹線も必要となるが、これらは通信事業者により災害時の対策が十分にとられており、今回の検討では大きな影響は受けないとした^d。

また、携帯電話機能は固定電話機能と同様に、災害時の発信規制や輻輳の有無についても考慮しなくてはならない。

なお、より詳細なネットワークモデルを構築するためには、基地局1つがカバーしているエリアの広さ、基地局におけるバックアップ電源の有無を確認する必要がある。

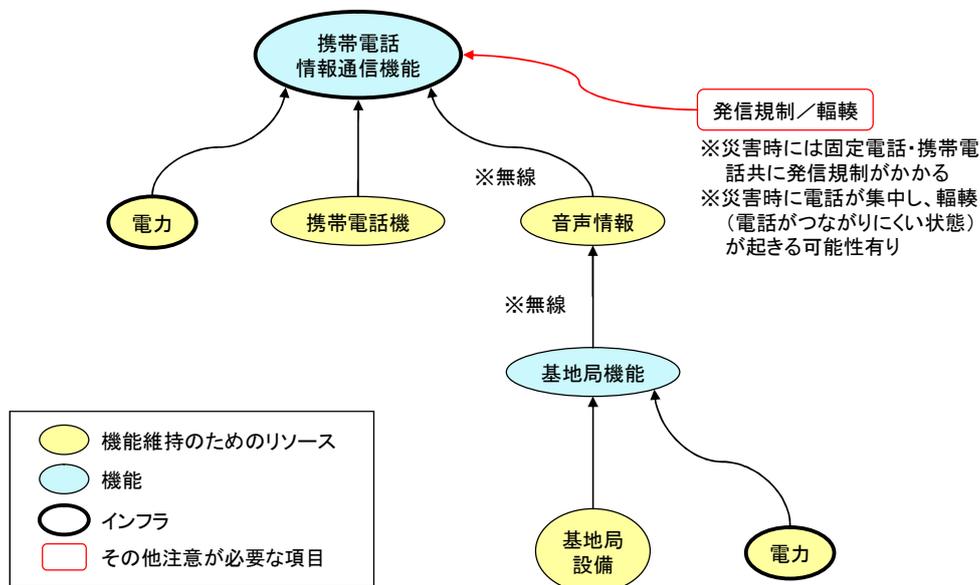


図-5.2.3 情報通信（携帯電話）機能の構成要素

5.2.2 鉄道

鉄道運行機能の構成要素を整理したインフルエンス・ダイアグラムを図-5.2.4に示す。鉄道のモデル化にあたっては、旧運輸省令普通鉄道構造規則^eを参考にした。この省令には、鉄道施設や車両の技術的な仕様基準が定められており、施設の概要を把握する際の参考とすることができる。

鉄道が運行するためには、鉄道車両、線路、駅施設、保安設備といった設備の他に、運

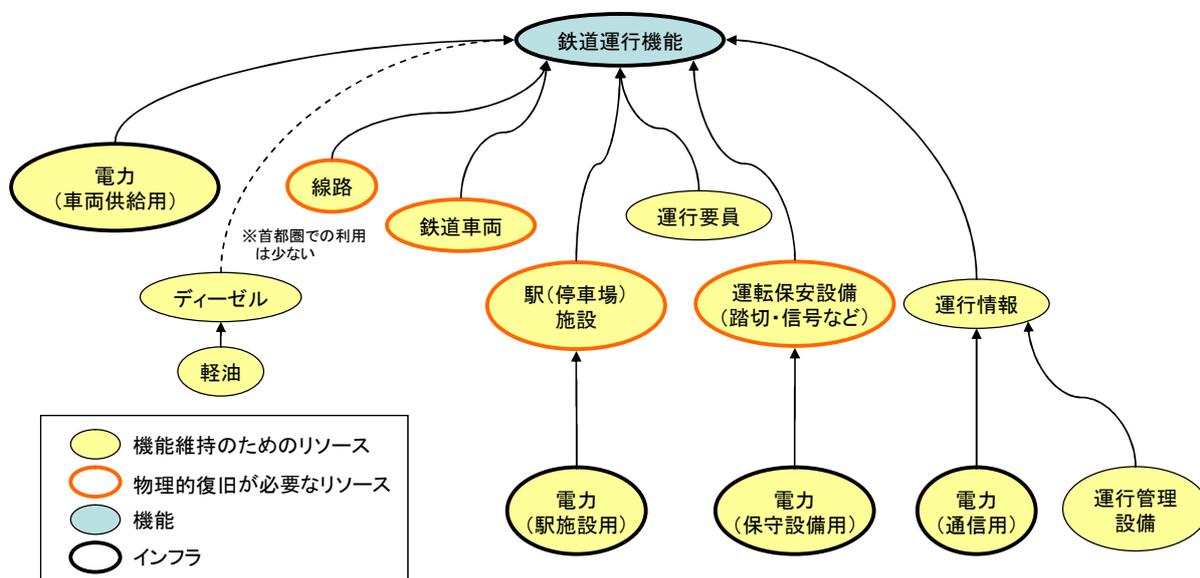
^d NTTドコモ：災害対策への取組み，<http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/csr/disaster/index.html>

^e 法令データ提供システム：普通鉄道構造規則，<http://law.e-gov.go.jp/haishi/S62F03901000014.html>

行要員および運行情報が必要となる。特に運行要員の確保が必須である点は、他のインフラとは異なる特徴である。

また、他インフラとの依存関係では電力への依存度が高い。したがって、災害時の鉄道運行機能のモデルを構築するためには電力供給会社との依存関係を把握しなくてはならない。そのために、電力供給会社との取決め、バックアップ電源の有無、等を確認する必要がある。さらに、鉄道の運行には運行情報が欠かせず、運行情報を提供するために必要なインフラを含めたリソースを整理する必要がある。

さらに、各鉄道事業者は災害時には一旦運行を停止し、安全確認実施後に運行を再開するためのルールを有している。この内容を加味することでさらに現実に則したモデルを構築することができる。



図－5.2.4 鉄道運行機能の構成要素

5.2.3 電力

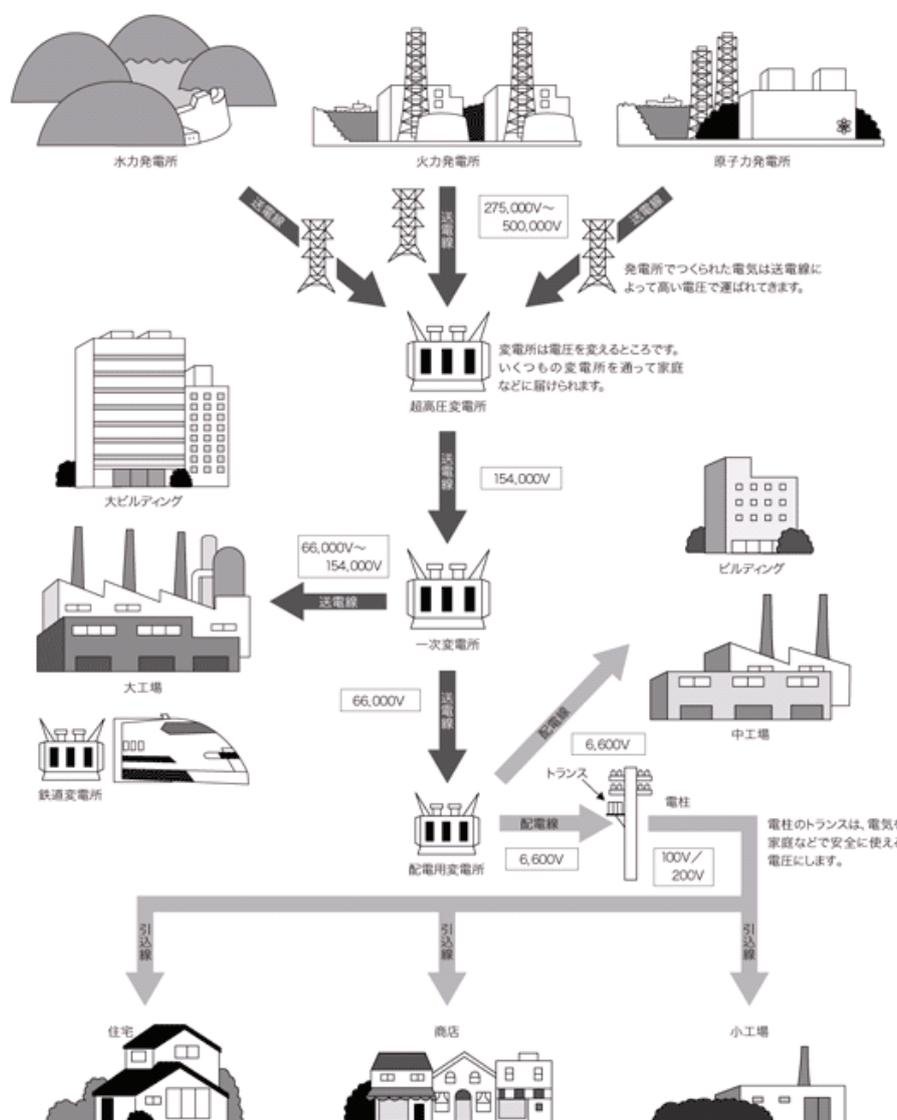
電力供給機能のモデル化に際しては、東京電力^f、中部電力^g等のホームページの情報を参考にした。主に参考とした発電所から家庭までの電力供給経路の模式図が図－5.2.5である。これらをもとに電力供給機能の構成要素を整理したインフルエンス・ダイアグラムを図－5.2.6に示す。

電力は供給電圧によって供給経路が多少異なっており、大口供給先となる鉄道や大工場

^f 東京電力：インターネット電力講座，
<http://www.tepco.co.jp/kouza/gaiyou/gaiyou-j.html>
 同：環境学習ブック やってみよう！考えよう！ 資源・エネルギー 教師用，
<http://www.tepco.co.jp/custom/LapLearn/teacher/index-j.html>
^g 中部電力：電気の旅～発電所からご家庭まで，
<http://www.chuden.co.jp/manabu/shikumi/travel/index.html>

に対しては一次変電所から直接送電線を経由して供給されているが、中工場程度の供給量の場合は配電用変電所から配電線を経由して電力が供給される。そして、一般家庭等に供給する最も電圧の低い電力は経路も最も長く、配電用変電所、配電線、トランスを経て、引込み線を経由して供給される。また、発電設備としては火力、水力、原子力等がある。更に、電力系統の切替え等を行う集中管理機能があり、この情報を下に電力が供給される。万一、集中管理機能が停止した際の電力供給への影響には、留意する必要がある。

電力は他インフラからの依存度が高く、供給停止時の影響範囲が広い。特に変電所からの大口供給先に他インフラが含まれていると思われるため、万が一変電所の機能が停止した際の影響範囲を把握することが必要となる。



図－5. 2.5 電力供給経路（発電所から家庭まで）^h

^h 東京電力：電気エネルギーをつくる(4)発電所から家庭まで，環境学習ブック別冊教師用資料集，http://www.tepco.co.jp/custom/LapLearn/teacher/document/chapter_2/31-32-j.html



図-5.2.7 上水道の供給経路（取水地から消費地まで）^j

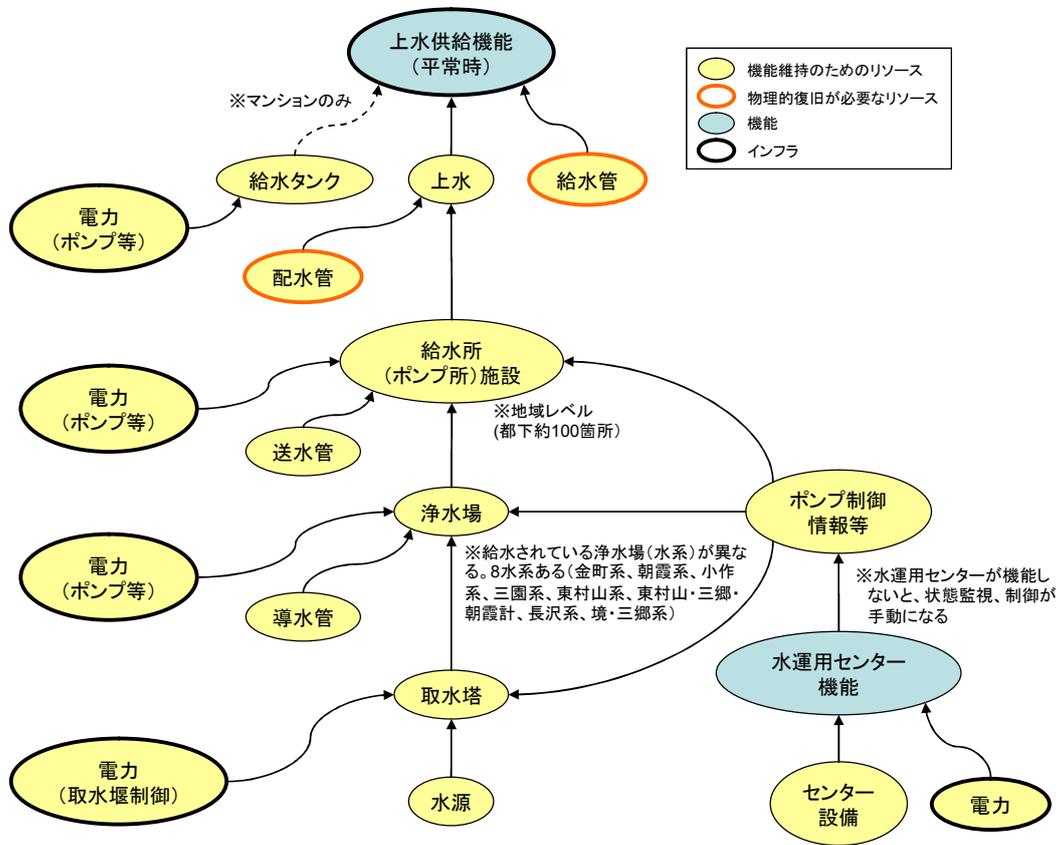


図-5.2.8 上水道機能の構成要素

5.2.5 下水道

下水道機能をモデル化するには、東京都下水道局等のホームページ^kを参考にした。主

^j 東京都水道局：水・新発見，<http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/pp/hakken/h05.htm>

^k 東京都下水道局：東京都の下水道 2007，
http://www.gesui.metro.tokyo.jp/kanko/kankou/2007_of_tokyo/2007_top.html

に参考とした下水道の処理流れの模式図を図-5.2.9に示す。これをもとに下水道機能の構成要素を整理したインフレンス・ダイアグラムを図-5.2.10に示す。

下水道は水道、ガス、電気のように供給されるインフラではなく、各工場や家庭からの排水が最上流に位置する。したがって、下水機能のみに注目した場合は基本的に下水道管（管きょ）が破損していなければ機能が維持されると考えられる。下水処理機能の構成要素としては、下水道管（管きょ）に加えて、ポンプ所、ポンプ汲み上げに利用する電力、下水処理施設（東京都下水道局における名称は水再生センター）の設備、設備に必要なとなる電力が挙げられる。詳細なモデルを構築する際には、下水処理施設の機能がどの程度低下すると各家庭や工場の下水機能に支障が生じるのかを確認しておく必要がある。

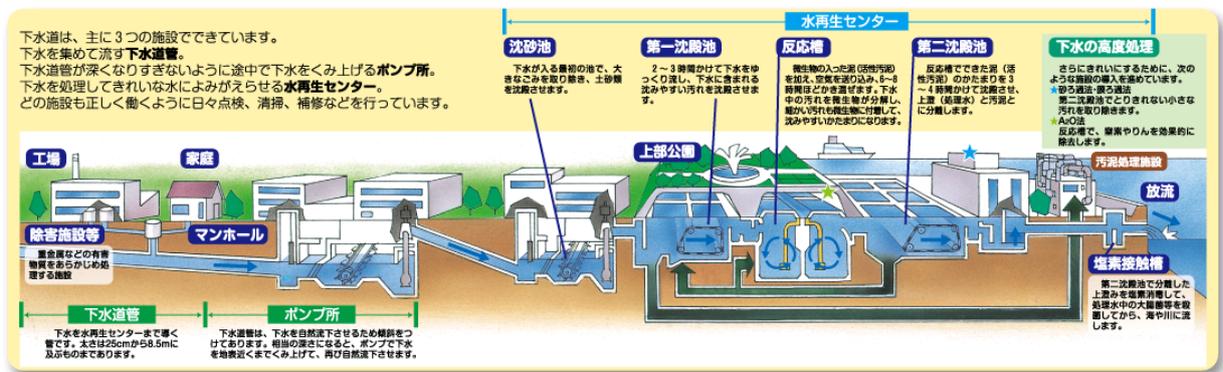


図-5.2.9 下水道の処理流れ^k

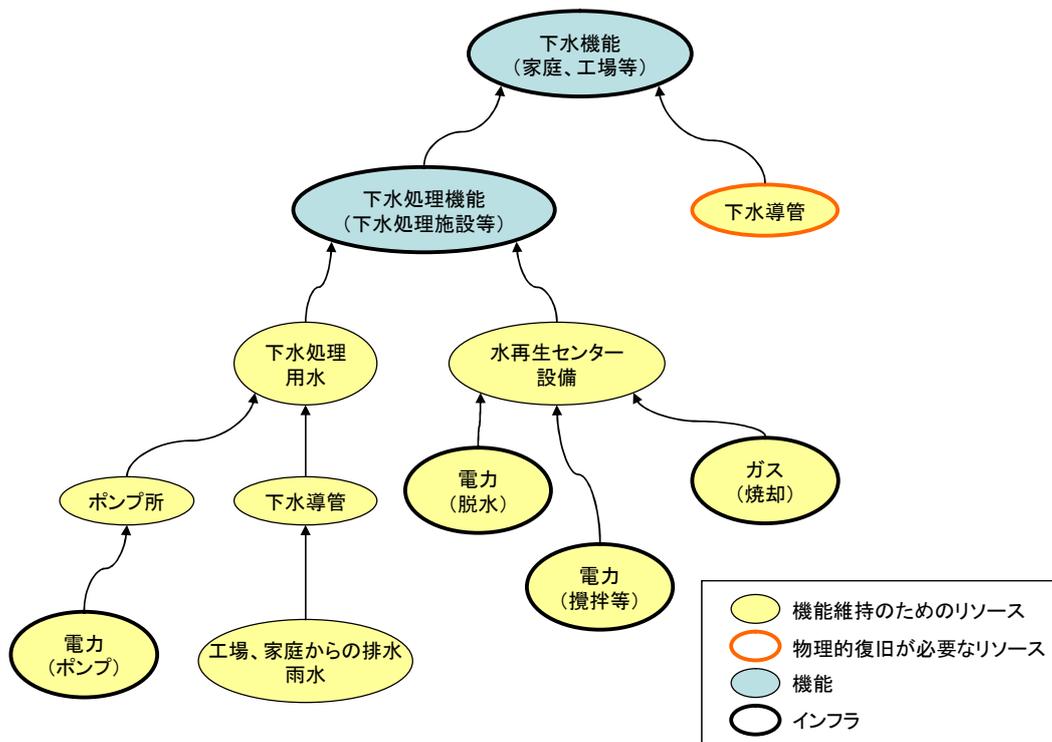


図-5.2.10 下水道機能の構成要素

5.2.6 ガス

ガス供給機能のモデル化にあたっては、東京ガス等のホームページ¹を参考にした。ガス供給機能をモデル化する際に参考としたガスの供給経路の模式図を図-5.2.11に示す。

これをもとにガス供給機能の構成要素を整理したインフルエンス・ダイアグラムを図-5.2.12に示す。ガス供給はその供給量によって供給経路が異なる。ガス製造工場からは高圧ガスが高圧導管を經由して供給され、ガバナステーションで圧力が中圧に落とされる。大口供給先については、この中圧の状態の中圧導管を經由してガスが供給される。一般の供給先については、中圧ガスがさらに地区ガバナにおいて低圧ガスとなり、低圧導管を經由して供給される。

各ガバナ（ガバナステーション、地区ガバナ）の圧力制御は中央で集中的に管理されており、この中央制御機能を維持するためには中央制御設備と電力供給が維持される必要がある。より詳細なモデルを構築する際には、中央制御機能が停止した場合のガス供給機能への影響度合い、人手による代替可能性の確認が必要である。

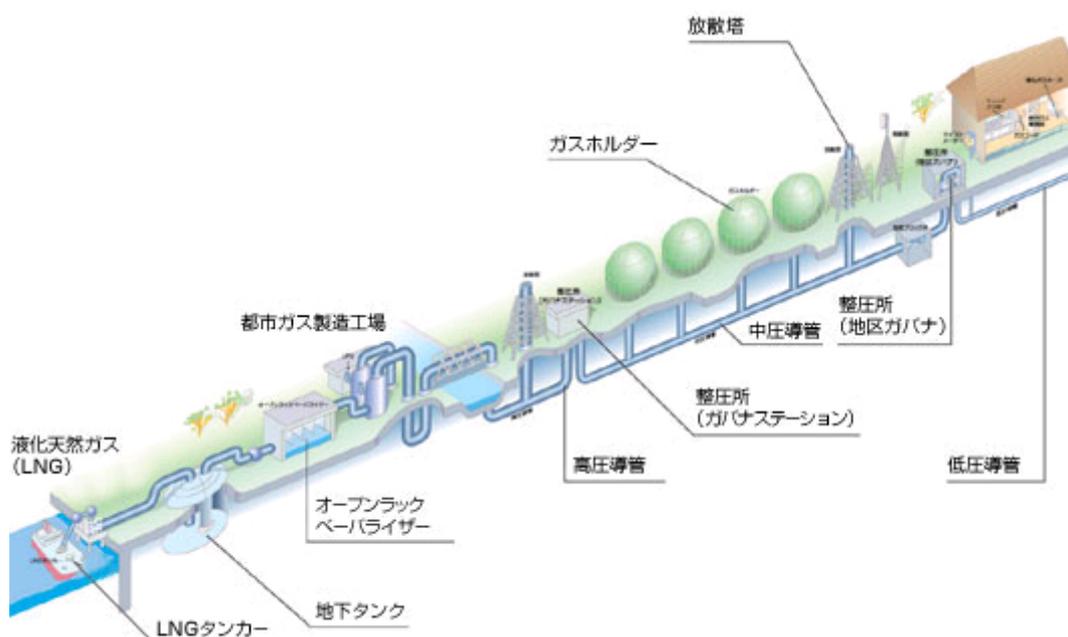


図-5.2.11 ガスの供給経路¹

¹ 東京ガス：防災対策，<http://www.tokyo-gas.co.jp/safety/antidisaster/index.html>

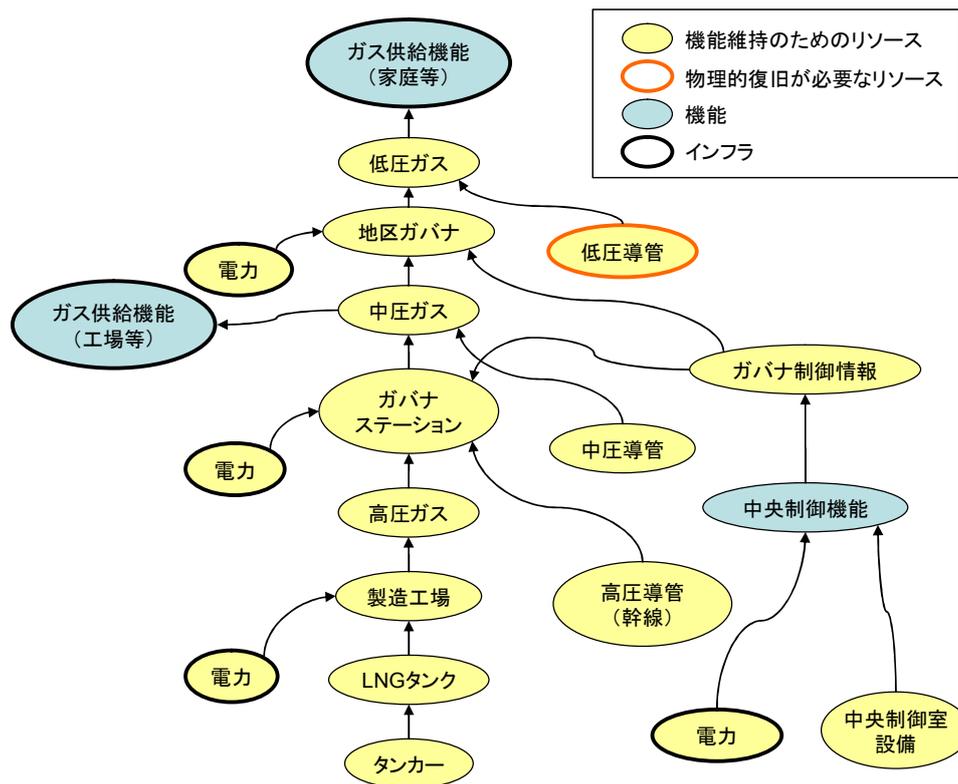


図-5.2.12 ガス供給機能の構成要素

5.2.7 道路

道路輸送機能の構成要素を整理したインフルエンス・ダイアグラムを図-5.2.13に示す。道路輸送機能のうち特に交通管制機能関連のモデル化にあたっては、安達ら¹⁶⁾に紹介されている基本イメージを参考にした。

道路輸送機能は道路自体が物理的に破壊されない限り、完全に停止することはない。しかし、通常の車両交通量を維持するだけの機能を保つためには、高速道路以外では信号機能が必要となる。信号は装置自体に加え、動作するための電力、信号を変えるタイミングを決定する制御情報（単独制御情報、交通管制情報）が必要である。交通管制情報は道路のモニタリング情報を元に提供されるため、モニタリングのための情報収集端末および動作させるための電力も必要となる。また、交通管制情報は信号機能だけではなく、道路状況の情報提供にも用いられる。さらに、高速道ではETC機能が必要であり、ETC設備や動作のための電力が必要となる。

なお、警察庁によれば全国に約19万基（平成17年度末時点）、東京都には約1万5千基の交通信号が設置されている¹⁷⁾が、平成8～14年度の交通安全施設等整備事業では全国で約1.9万基の信号が集中制御化（車両感知器等によって収集した渋滞情報等を元に、都市

¹⁷⁾ 警察庁交通規制課：都道府県別交通信号機等整備数，
<http://www.npa.go.jp/koutsuu/kisei/institut/kazu.pdf>

内道路、幹線道路の信号機を交通管制センターのコンピュータ等により面的に制御する) されており¹⁾、都市部では相当数の信号機が集中制御化されていると考えられる。ただし、集中制御情報が途絶した場合の運用については今後確認する必要がある。

前述した通り、これらの構成要素は通常車両交通量を維持するために必要とされるものであり、災害時の復旧という点で必要となる要素は異なっている可能性がある。モデル化に当たっては留意が必要である。

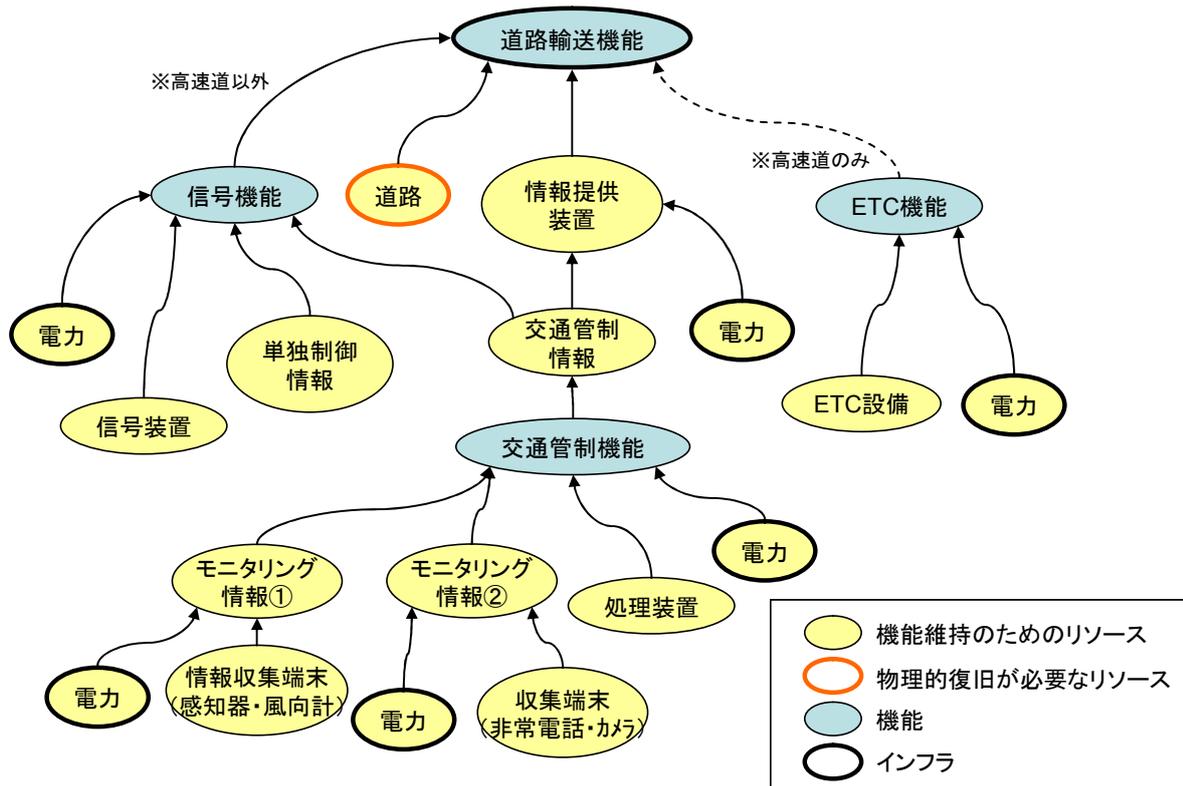


図-5.2.13 道路輸送機能の構成要素

5.3 インフラ一般モデルの構築

5.2 で整理した各インフラ機能の構成要素をもとに、地震発生時を想定したインフラの復旧を記述する一般モデルを構築する。前項での構成要素に、復旧要員の確保やバックアップ電源等の非常時の代替手段の有無が加わることになるため、一般モデルは基本的に次の要素により構成される。

①設備の物理的復旧

インフラの関連設備の物理的復旧には要員の確保が必要となるため、緊急車両の道路輸送機能や通信機能の復旧が必要とされる場合がある。このような状況を表現するために、他インフラに支障がないと仮定した場合の復旧曲線を入力変数として与えて

¹⁾ 国家公安委員会・警察庁：実績評価書，http://www.npa.go.jp/seisaku_hyoka/soumu2/koutsuu.pdf

おき、これに道路や通信の復旧レベルに応じた影響度を乗じる。

各インフラは様々な設備を有しているが、上記のような復旧作業が生じるのは災害時に損傷すると想定される設備のみである。ここでは、5.2 に示した各インフラの構成要素において「物理的復旧が必要なリソース」とされているリソースを対象とする。一般モデルにおいて物理的復旧を詳細に記述する設備を整理すると表-5.3.1 のようになる。5.2 に示した各インフラの構成要素での名称と次ページ以降に示す一般モデル内での記載が異なるものがあるため、名称の対応も併せて整理している。

②ユーティリティ（主に電力）供給

当該インフラに直接的に関連するユーティリティが復旧しなければ機能を回復することはできない。主には電力が該当する。

③情報等のその他のリソース

物理的な要素、ユーティリティ以外のリソースについても復旧が必要となる。具体的には、鉄道の運行情報、電力、ガス、上下水道の供給設備制御情報、等が該当する。

表-5.3.1 物理的復旧を記述する設備の構成要素と一般モデル内での名称対応

インフラ	構成要素（5.2） におけるリソースの名称	一般モデル（5.3） における名称
固定電話	直近交換機からの電話線	電話線
携帯電話	--	--
鉄道	線路、鉄道車両、 駅（停車場）施設、運転保安設備	左記の設備を総称して「鉄道」
電力	引込み線、配電線	左記をまとめて「配電線」
上水道	給水管、配水管	左記をまとめて「配管」
下水道	下水道管	管きよ
ガス	低圧導管	低圧導管
道路	道路	道路

以上①～③の要素が全て整備されていれば、当該インフラの機能が維持されることとなる。したがって、各要素は AND 関係となり、1つの要素の復旧が遅延すると、その要素がボトルネックとなって機能の回復が遅延する。

以下、図-5.3.1～図-5.3.9に各インフラの一般モデルを示す。一般モデルを記述するにあたり、道路輸送機能については、緊急車両と一般車両では交通規制の影響が大きく異なることから区別してモデル化することとした。なお、緊急車両にはインフラ復旧のための車両も含まれる。また、情報通信機能に関しても、固定電話と携帯電話の他に災害時用

通信機能を追加している。これは、災害時に通信規制の影響を受けない通信手段であり、インフラ事業者における復旧指示等の連絡手段として用いられていると考えられる。

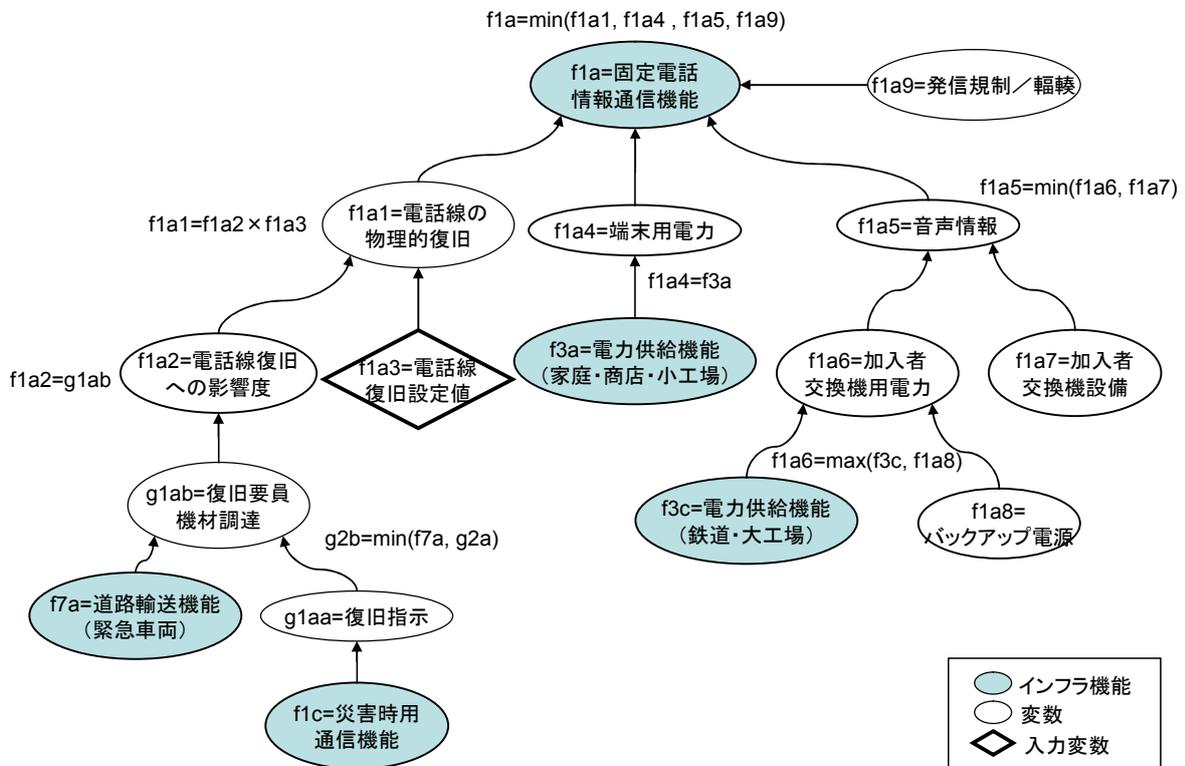


図-5.3.1 情報通信（固定電話）機能の一般モデル

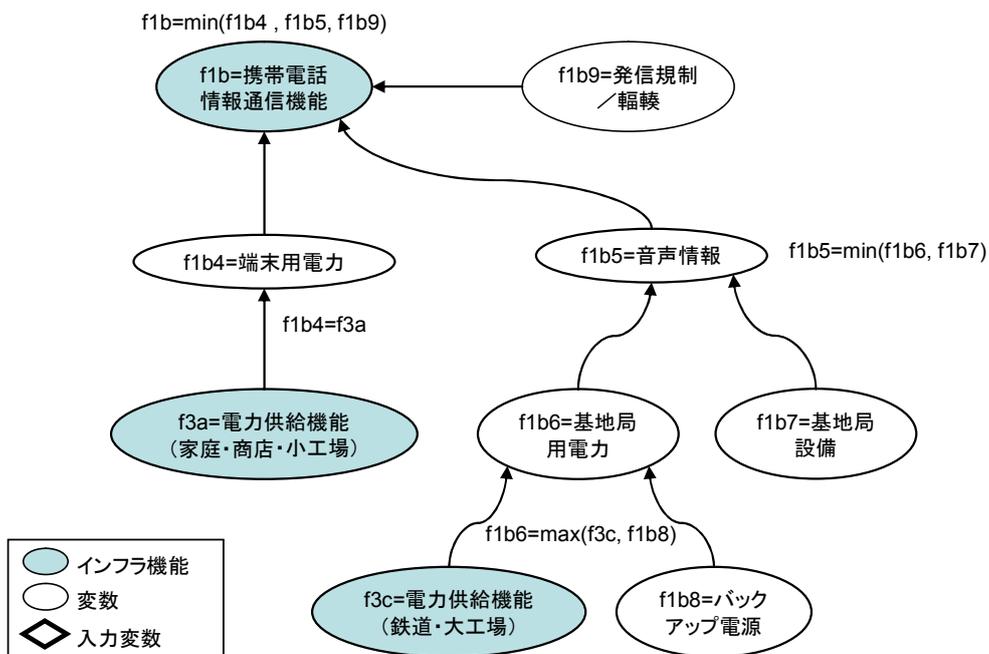


図-5.3.2 情報通信（携帯電話）機能の一般モデル

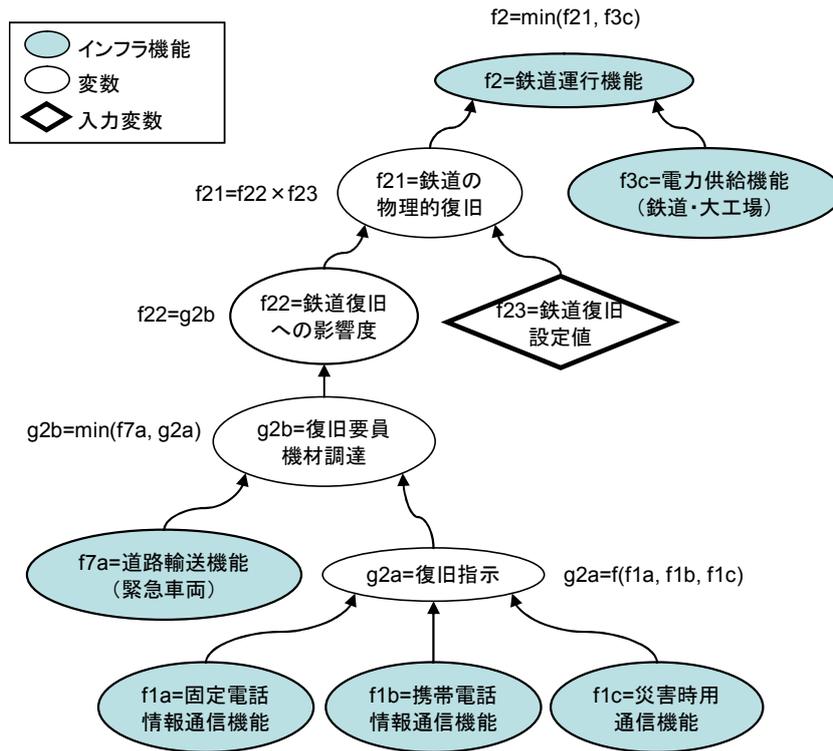


図-5.3.3 鉄道運行機能の一般モデル

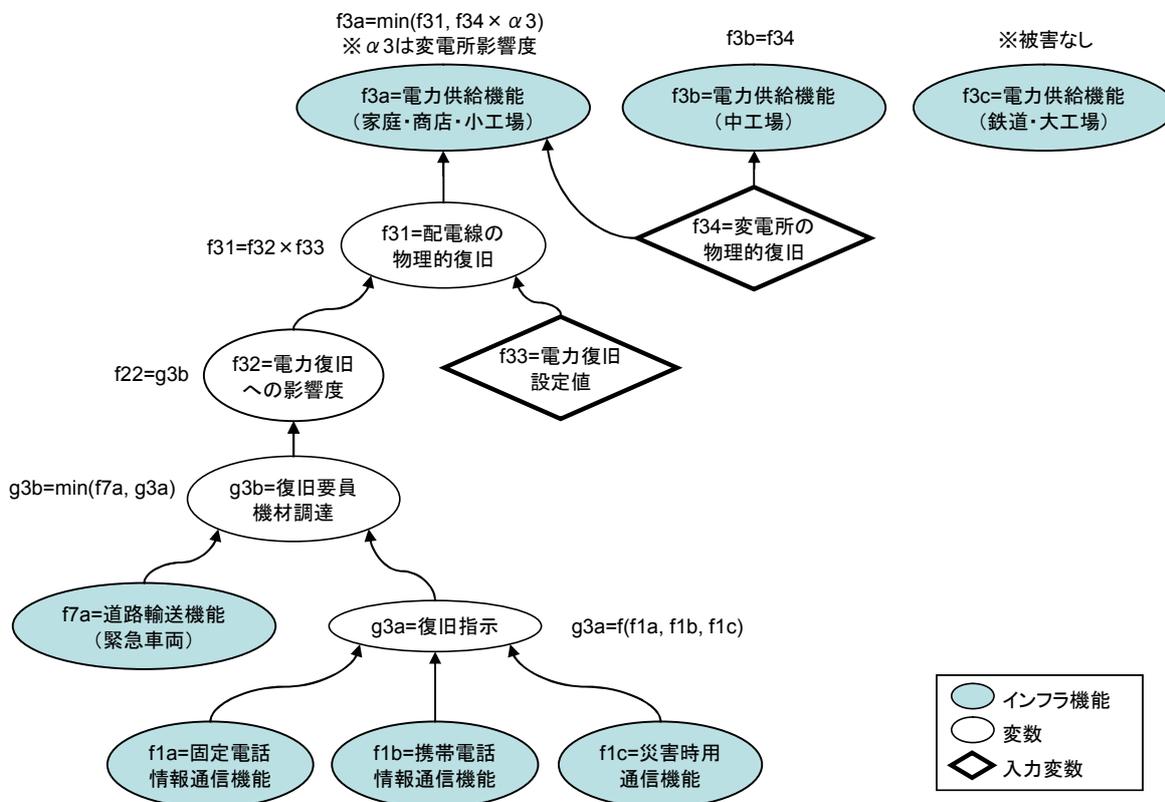


図-5.3.4 電力供給機能の一般モデル

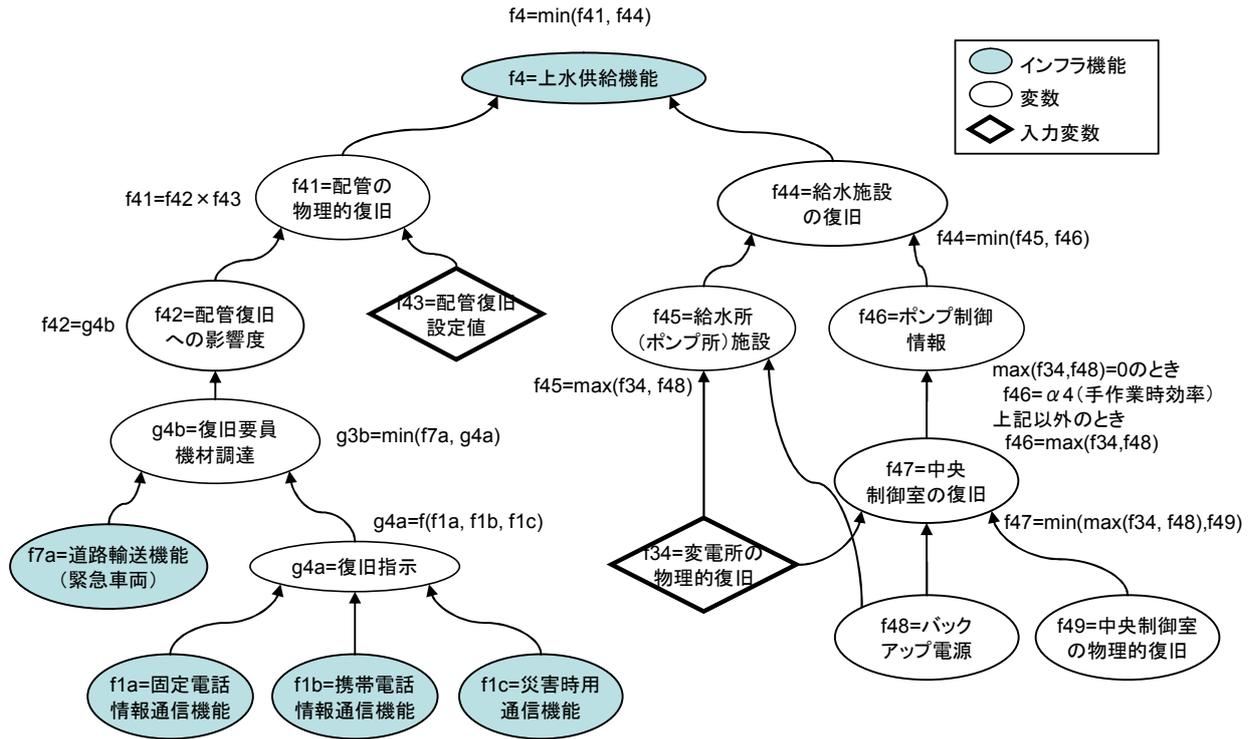


図-5.3.5 上水道機能の一般モデル

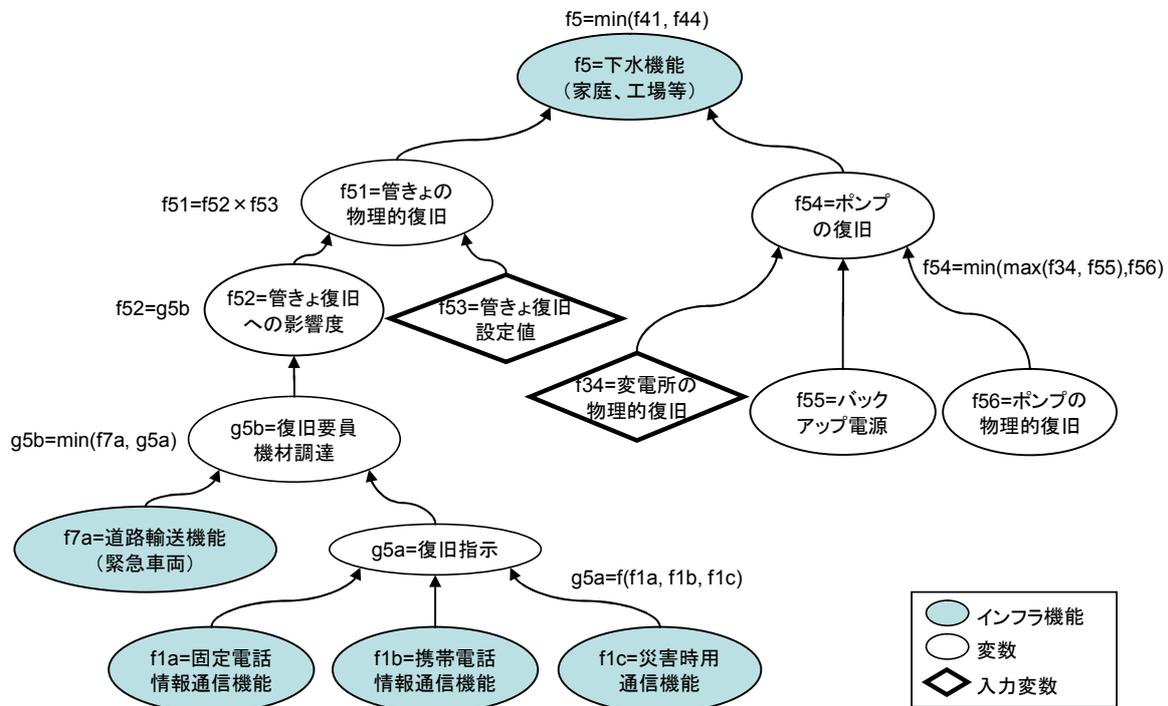


図-5.3.6 下水道機能の一般モデル

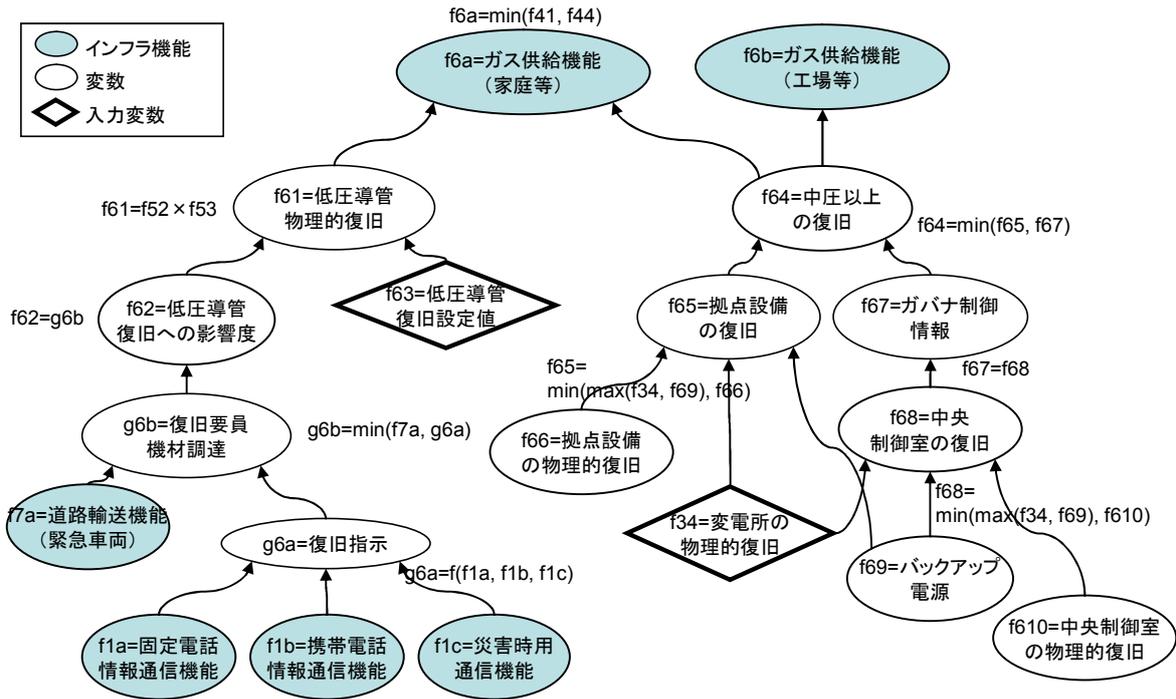


図-5.3.7 ガス供給機能の一般モデル

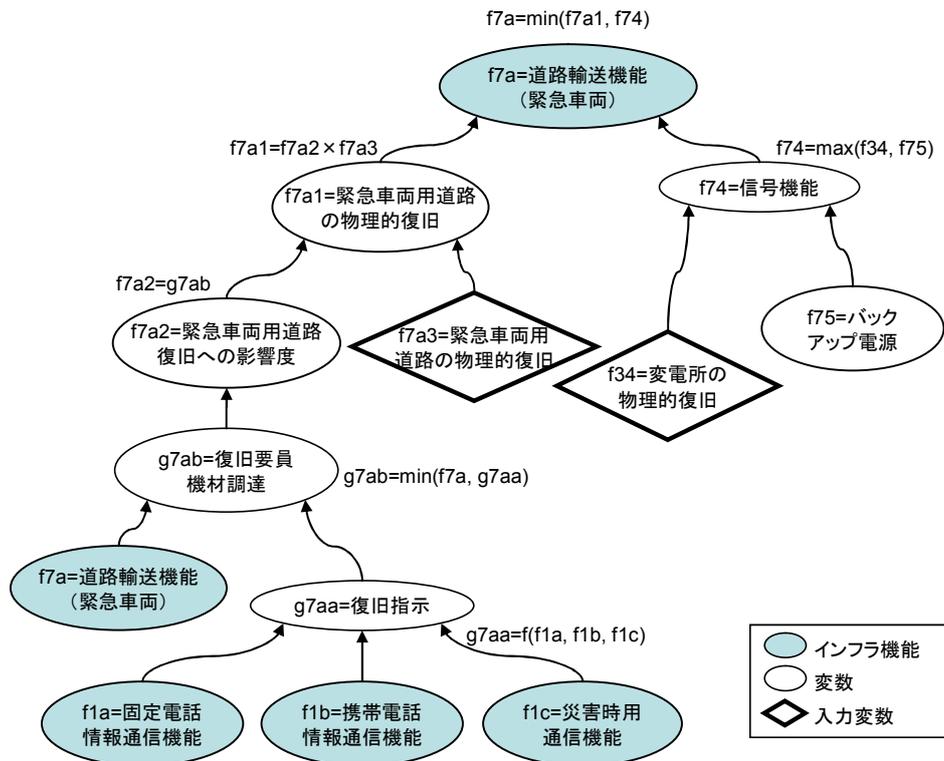


図-5.3.8 道路（緊急車両通行）機能の一般モデル

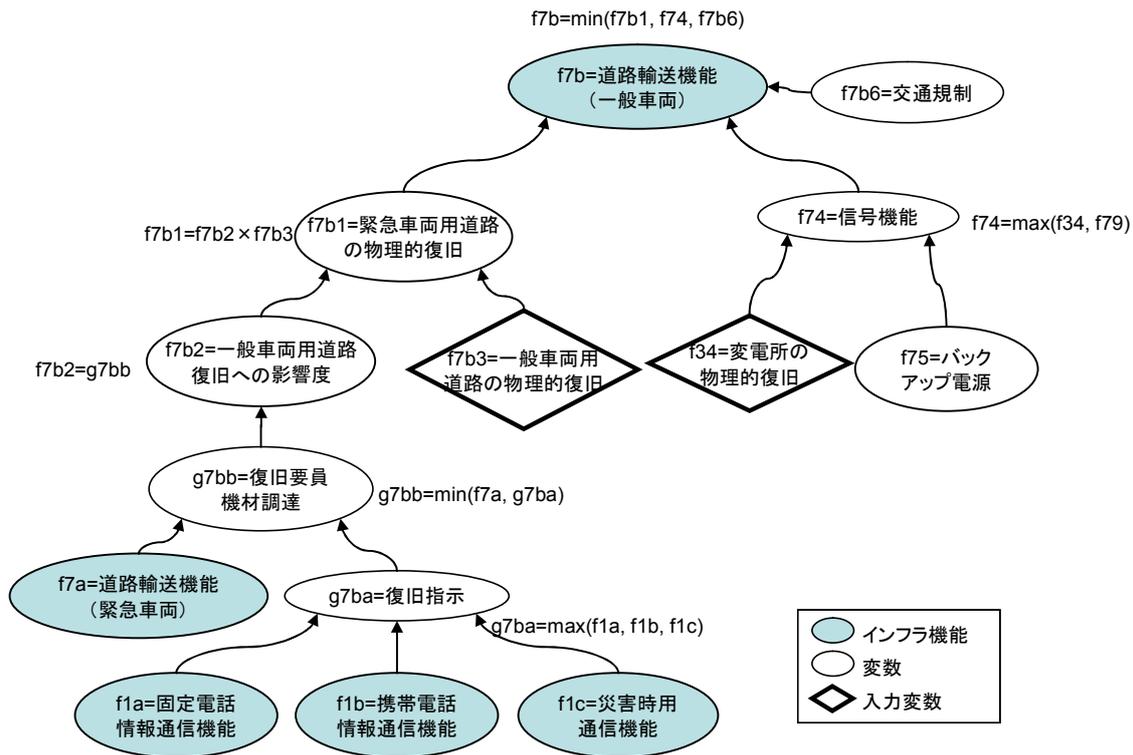


図-5.3.9 道路（一般車両通行）機能の一般モデル

5.4 地域区分モデルの構築

一般モデルをもとに、特定の地域を想定し、地域特性を加えた地域区分モデルを構築するためには、以下のとおり、①地域区分の決定、②区分に沿った地域固有の情報の整理、を行う必要がある。

①地域区分の決定

モデル対象地域に対して、同一地域と見なす区分を設定する。区分の設定は都道府県や市区町村等の行政区分、インフラ事業者の定める供給エリア、等を用いることが考えられる。どのような区分を用いるかは、シミュレーションの目的や入手可能なデータに応じて決定する。

②区分に沿った地域固有の情報の整理

特定の地域が設定されると、当該地域固有の情報を収集することができる。本検討では地震発生時のインフラ供給機能の状況を扱うことから、特定地域の情報として以下の情報を収集し、モデルに組み込むことが望ましい。

- ・当該地域における主要インフラ事業者
- ・当該地域内の供給ボリューム
- ・インフラ供給における主要施設（変電所、交換機、基地局、ガバナステーション等）の所在地

- ・設定区分を超えるような広域へ影響が波及する施設、設備の特定（変電所、幹線、中圧導管、給水施設等）
- ・上記に該当する施設、設備でのトラブル発生時の影響範囲の特定
- ・当該地域の地震被害想定（震度分布、各インフラ供給支障の発生率）
- ・当該地域の各インフラ事業者の地震対策状況（バックアップ電源の有無等）
- ・当該地域における各インフラ事業者の復旧計画
- ・その他、当該地域固有の規制、復旧優先施設の有無等

以下では、特定の地域を想定し、上記①②を考慮して一般モデルから地域区分モデルを構築する。

5.4.1 解析対象事例

ここで解析対象とする事例は以下の通りである。

- ・解析対象地域：東京都 23 区
- ・想定地震：東京湾北部地震（M6.9/M7.3）

東京湾北部地震は発生の蓋然性が高く、中央防災会議¹³⁾や東京都¹⁷⁾による被害想定が行われており、インフラ地域区分モデル構築のための地域固有の情報が収集できることから、上記事例を採用した。地震規模は M6.9 と M7.3 の 2 種類を想定し、結果を比較できるようにした。モデル構築の前提条件等を以下に示す。

（1）前提条件

各インフラの地震発生時の被害としては、東京都による被害想定¹⁷⁾の値を用いた。東京湾北部地震発生時に東京 23 区で想定されている被害を表-5.4.1 に示す。表(a)は地震規模が M6.9、(b)は M7.3 の場合を示したものである。なお、車両通行禁止区域については、各区の面積に占める割合を地図上での概算により設定した。

ここで被害率が提示されている電力、通信（固定電話、携帯電話共に適用）、ガス、上水道、下水道については、表中の値をそのまま各インフラ供給率のシミュレーション初期値として用いる。

被害率が提示されていない鉄道と道路については、次のように被害率を想定した。

- ①鉄道：東京湾北部地震発生時には、一旦全ての路線で運行停止（鉄道運行レベル 0%）。
- ②道路：車両通行禁止区域内では一般車両は通行不可（当該エリアでの一般車両輸送レベル 0%）、緊急車両は通行可能（緊急車両輸送レベル 100%）。その他の区域では一般車両輸送レベルは震度 6 強エリアで 50%に低下。

上記②に関して、幹線道路は半日から 1 日程度で上下 1 車線は確保されるとしている事例¹⁸⁾を参考に、通常時の通行車線を 2 車線と仮定し、被害率を 50%と設定している。

表-5.4.1 東京湾北部地震発生時に東京23区で想定される被害¹⁷⁾

(a) 地震規模 M6.9 の場合

(単位:%)

区名	電力 (停電率)	通信 (不通率)	ガス (供給停止率)	上水道 (断水率)	下水道 (下水道 管きよ被害率)	震度別面積率				車両通行 禁止区域
						5弱以下	5強	6弱	6強	
千代田区	2.0	0.3	0.0	25.0	19.6	0.0	0.0	93.2	6.8	100.0
中央区	5.2	0.6	0.0	53.9	24.2	0.0	0.0	79.2	20.8	100.0
港区	3.2	0.3	0.0	24.8	19.8	0.0	0.0	92.9	7.1	100.0
新宿区	6.6	6.1	0.0	17.8	19.8	0.0	0.7	99.3	0.0	100.0
文京区	5.4	1.9	0.0	22.0	19.9	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0
台東区	14.5	3.4	0.0	54.1	27.0	0.0	0.0	72.0	28.0	100.0
墨田区	35.9	11.9	100.0	74.1	31.7	0.0	0.0	4.8	95.2	100.0
江東区	26.2	12.0	30.3	70.6	29.9	0.0	0.0	17.8	82.2	100.0
品川区	9.1	6.3	0.0	22.2	21.2	0.0	0.0	90.4	9.6	100.0
目黒区	12.1	10.5	0.0	17.3	21.7	0.0	0.4	99.6	0.0	100.0
大田区	13.7	14.1	0.0	33.1	24.0	0.0	0.1	91.7	8.2	100.0
世田谷区	8.8	7.9	0.0	15.7	19.6	0.0	8.9	91.1	0.0	30.0
渋谷区	6.9	2.9	0.0	20.4	21.8	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0
中野区	12.8	15.7	0.0	14.0	22.0	0.0	1.3	98.7	0.0	70.0
杉並区	10.0	11.2	0.0	12.3	20.4	0.0	13.4	86.6	0.0	15.0
豊島区	4.6	3.2	0.0	18.7	20.1	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0
北区	7.4	4.9	0.0	29.2	21.6	0.0	0.0	98.1	1.9	60.0
荒川区	26.8	18.5	0.0	59.4	27.2	0.0	0.0	31.4	68.6	100.0
板橋区	3.2	1.7	0.0	18.5	20.5	0.0	5.9	94.1	0.0	20.0
練馬区	6.0	5.8	0.0	15.5	17.1	0.0	34.7	65.3	0.0	5.0
足立区	17.2	7.6	0.0	60.1	27.6	0.0	0.0	56.7	43.3	50.0
葛飾区	30.3	26.2	15.8	63.2	28.9	0.0	0.0	58.2	41.8	60.0
江戸川区	28.1	22.2	71.1	64.2	29.0	0.0	0.0	32.7	67.3	50.0
23区トータル	12.9	8.2	8.2	34.1	23.6	0.0	4.6	72.3	23.1	75.0

(b) 地震規模 M7.3 の場合

(単位:%)

区名	電力 (停電率)	通信 (不通率)	ガス (供給停止率)	上水道 (断水率)	下水道 (下水道 管きよ被害率)	震度別面積率				車両通行 禁止区域
						5弱以下	5強	6弱	6強	
千代田区	6.1	0.9	59.4	37.4	23.3	0.0	0.0	26.0	74.0	100.0
中央区	11.2	1.6	100.0	68.7	28.8	0.0	0.0	23.9	76.1	100.0
港区	8.6	1.8	20.4	35.1	23.1	0.0	0.0	46.0	54.0	100.0
新宿区	13.2	7.7	0.0	30.4	19.8	0.0	0.0	86.0	14.0	100.0
文京区	15.9	3.8	0.0	35.2	22.5	0.0	0.0	44.6	55.4	100.0
台東区	27.6	4.8	0.0	65.2	29.5	0.0	0.0	24.7	75.3	100.0
墨田区	48.6	17.6	100.0	79.5	31.8	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0
江東区	38.2	13.2	100.0	78.8	30.4	0.0	0.0	0.4	99.6	100.0
品川区	20.5	9.9	0.0	36.1	23.1	0.0	0.0	48.4	51.6	100.0
目黒区	25.1	20.2	0.0	28.1	21.7	0.0	0.0	97.3	2.7	100.0
大田区	27.3	23.4	48.9	52.5	27.3	0.0	0.0	36.8	63.2	100.0
世田谷区	16.9	15.1	0.0	25.5	19.9	0.0	0.0	99.1	0.9	30.0
渋谷区	15.0	8.3	0.0	31.4	22.1	0.0	0.0	90.0	10.0	100.0
中野区	24.5	28.0	0.0	25.3	22.0	0.0	0.0	100.0	0.0	70.0
杉並区	18.5	18.2	0.0	22.1	20.7	0.0	0.0	100.0	0.0	15.0
豊島区	13.1	4.9	0.0	31.4	20.1	0.0	0.0	98.5	1.5	100.0
北区	27.0	21.8	0.0	46.5	24.5	0.0	0.0	57.5	42.5	60.0
荒川区	43.3	30.6	0.0	69.8	29.1	0.0	0.0	9.6	90.4	100.0
板橋区	8.2	2.6	0.0	33.7	22.6	0.0	0.0	84.6	15.4	20.0
練馬区	11.1	9.3	0.0	28.4	18.1	0.0	0.0	100.0	0.0	5.0
足立区	28.6	9.7	21.8	73.2	31.2	0.0	0.0	5.0	95.0	50.0
葛飾区	44.9	38.4	71.5	73.7	32.7	0.0	0.0	11.4	88.6	60.0
江戸川区	37.1	27.7	71.1	73.3	30.5	0.0	0.0	13.8	86.2	50.0
23区トータル	22.9	13.2	22.9	46.3	25.4	0.0	0.0	51.3	48.7	75.0

(2) インフラの復旧曲線の設定

東京湾北部地震(M7.3)発生時を想定したライフラインの機能復旧推移(図-4.3.6)をもとに、初期被害に対する日ごとの復旧割合を算出した。ライフラインの機能復旧推移は機能支障人口や供給停止軒数で与えられていることから、全体を地震発生当日の支障人口や停止軒数で除して最大値が1となるよう正規化した上で、1日ごとの復旧割合の差分を算出し、1日当りのインフラ復旧割合を求めた。得られた復旧曲線を図-5.4.1に示す。

これらのインフラ(情報通信、電力、上水道、下水道、ガス)については、全23区で図-5.4.1の復旧曲線を用い、この曲線に(1)で示した各区の被害率を乗じることで、1日当りの復旧割合を区ごとに算出する。

したがって、本モデルでは被害の大小に係わらず、全ての区で同時に復旧作業を開始し、同時に目標回復レベルまで機能が回復することになる。つまり、被害の大きい地域ほどリソースを多く投入して復旧作業を行うことで、地域によるインフラ供給復旧率の偏りが生じないことを目指した復旧計画に従う場合のモデルとなっている。

また、復旧曲線は東京湾北部地震(M7.3)発生時を想定して作成されたものであるが、これを地震規模がM6.9の場合にも適用している。

機能復旧推移が示されていない鉄道と道路については、過去の大地震発生時における実績等から以下のように復旧ルールを定め、表-5.4.1の震度別面積率に応じた復旧レベルを算出する。

①鉄道：震度5強エリア→1日後には100%運転再開

震度6弱エリア→1日後には90%運転再開、以後1%/dayで復旧

震度6強エリア→1日後には80%運転再開、以後1%/dayで復旧

②道路：震度6弱以下のエリア→被害無し

震度6強エリア →発災直後から復旧開始、以後2.5%/dayで復旧

上記②に関して、震度6弱エリアでの高速道路の復旧を20日と想定した事例¹⁸⁾があるが、阪神・淡路大震災後の耐震設計基準の見直しや補強工事の実施により耐震性が向上していることをふまえ、ここでは震度6強エリアでの復旧が20日程度となるように設定した。

なお、図-5.4.1の復旧曲線が、復旧レベル95%(ガスは80%)を目指した目標復旧日数であるため、復旧レベルはガスのみ80%、その他のインフラでは95%を目指すこととする。

ここではこれまで述べたように、割合ベースでの復旧曲線を算出し、これをモデルに組み込んでいるが、区ごとや被害状況に応じた復旧計画(復旧リソースの配分)が定められている場合には、この計画に沿った復旧曲線や復旧ルールをモデルに組み込むことで、具体的な計画に沿ったシミュレーションを実施することができる。

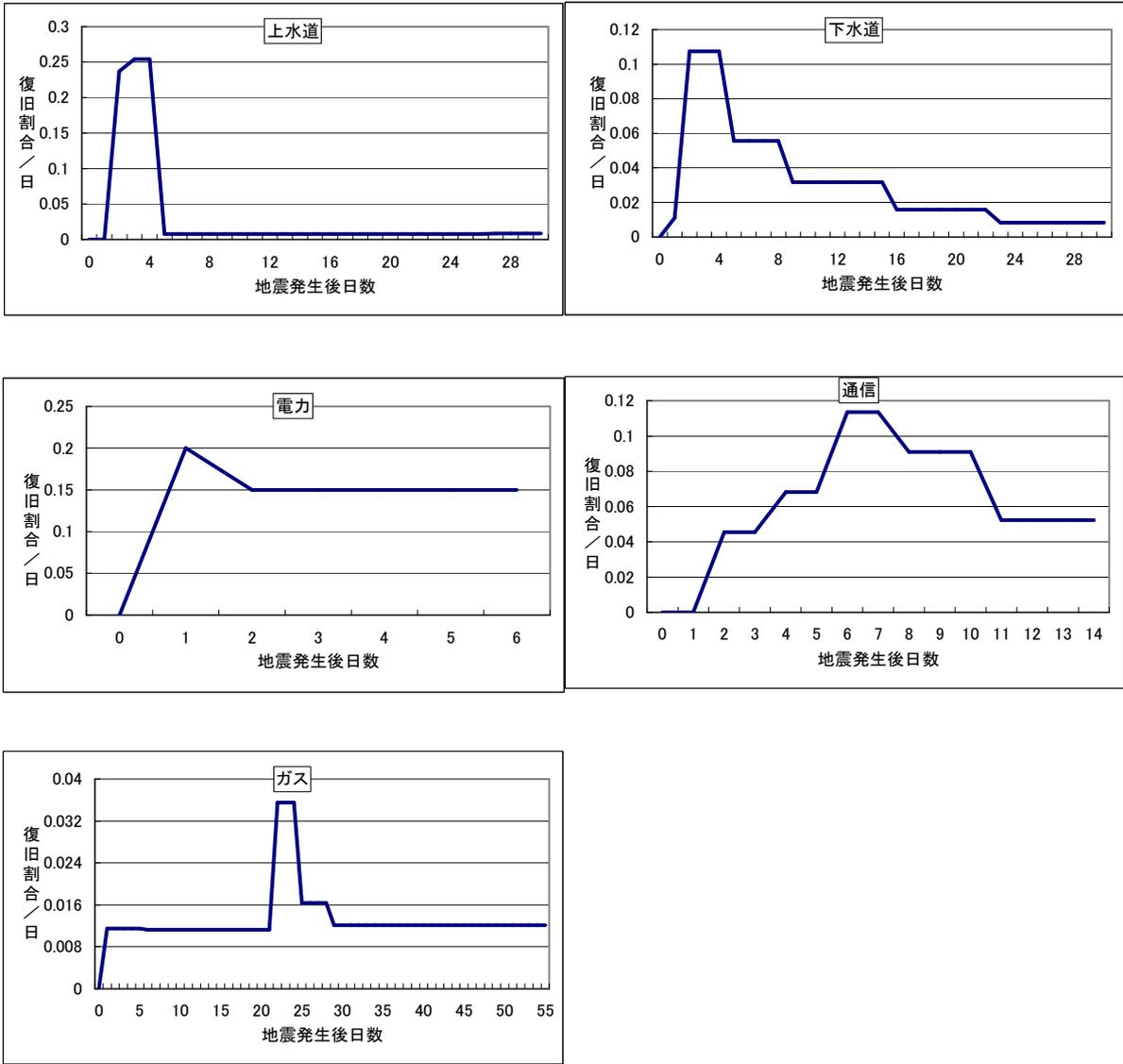


図-5.4.1 東京湾北部地震 M7.3 発生時の 1 日当りのインフラ復旧割合

(3) その他の前提条件

上記に加えて、中央防災会議の被害想定¹³⁾を参考に各インフラについて設定した他の条件を表-5.4.2 に示す。

表-5.4.2 インフラ復旧に関するその他の前提条件

インフラ	想定される被害状況	設定条件
固定電話	加入者交換機損傷のみ機能停止につながる。ただし、交換機の設備被害は想定しにくく、停電時のみ機能停止	中継交換機損傷による影響なし 加入者交換機の設備被害無し 交換機への外部電力供給は変電所機能レベルに応じて決定
	輻輳の発生状況は予測困難	阪神大震災の実績に基づき、1/17が1週間継続と設定
携帯電話	基地局損傷のみ機能停止につながる。ただし、基地局設備の被害は想定しにくく、停電時のみ機能停止	基地局の設備被害無し 基地局への外部電力供給は変電所機能レベルに応じて決定
	輻輳の発生状況は予測困難	固定電話と同様に、1/17が1週間継続と設定
電力	変電所の設備被害はほとんどない。変電所被害発生時も1日後には復旧できる見通し	変電所の設備被害なし 地震発生当日のみ変電所機能停止
上水道	拠点施設の設備被害は想定しにくく、変電所被災時のみ停電の影響があるが、系統切替えにより回避可能	拠点施設の設備被害なし 拠点施設への外部電力供給は変電所機能レベルに応じて決定
下水道	拠点設備の設備被害は想定しにくい。	拠点施設の設備被害なし ポンプ動作については、外部電力供給の影響があると設定
ガス	拠点設備に関しては、耐震性は十分であり被害は想定しにくい。	拠点施設の設備被害なし ガバナ制御については、外部電力供給の影響があると設定
一般車両用道路	発電機付信号機は、電力の供給停止の影響は受けない。	調査時点において23区内の信号機9,711台のうち、発電機設置台数は583台であることから、発電機付の信号機の割合を6.0%と設定
全インフラ共通	電力以外のインフラではバックアップ電源を準備しており、バックアップ容量内は電力の供給停止の影響は受けない。	インフラ事業者には3日分のバックアップ電源の確保が推奨されていることから、いずれのインフラにおいても3日分のバックアップ電源をもつと設定

5.4.2 インフラ相互依存解析モデルの構築

(1) システムダイナミクスモデル^{19), 20)}

システムダイナミクスとは、時間とともに変化するシステムをモデル化し、シミュレーションすることでそのシステムの動特性を明らかにするための手法である。フィードバック

グループが表現可能で、非線形式の扱いが容易という特徴を有していることから、社会現象のモデル化手法として用いられることが多い。システムダイナミクスモデルを適用した例としては、MITのグループにより開発された世界モデルが有名であり、この成果は「成長の限界」として出版されている。他にも企業内の業務プロセス（サプライチェーンや業務フロー等）モデルや都市政策の評価に利用するための地域のモデルが開発されている。

システムダイナミクスでは、フロー・ダイアグラムによって対象システムをモデル化する。フロー・ダイアグラムとはシステムを構成する要素間の関連性を図式化するものである。図-5.4.2にフロー・ダイアグラムの例を示す。

フロー・ダイアグラムは主に「レベル」と「レート」という要素から構成される。レベルとはシステムを構成する個々の要素（人や組織など）に蓄積される量であり、レートとは各レベル間（要素間）における単位期間内の流量のことである。つまり、レベルとレートにより微分方程式を表現されており、レベルが積分器の役割を果たしている。したがって、このモデルを時間方向に解くことで、システムの挙動を時刻歴で解析することができる。また、レベルやレートから出ている実線の矢印は、その要素間に関連があることを示している。図-5.4.2では、レート1に向かって定数1およびレベルから矢印が出ていることから、レート1がレベルと定数1に影響されることがわかる。モデル化の際には、この影響を数式で与える。すなわち、図のモデルでは、レート1の値が定数1とレベルの関数で与えられることになる。

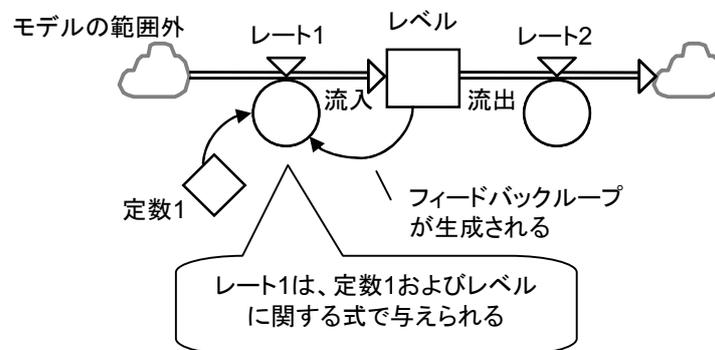


図-5.4.2 フロー・ダイアグラム

(2) モデルの概要

モデルは以下の条件で構築した。

- ・地域区分：23区ごとに23のモデルを作成
- ・シミュレーション期間：発災から60日間（ツール上では2008年1月1日～3月1日として設定）
- ・シミュレーション間隔：1日/1ステップ
- ・モデル開発環境：PowerSim Studio 7（システムダイナミクスツール）

確保が必要となる。これをモデル中では「復旧指示」と「復旧影響度 1」で表現している。

復旧指示の値は携帯、固定、災害時用電話の復旧率に応じた次式で与える。

$$\text{復旧指示 (\%)} = \text{携帯割合} \times \text{携帯電話 (\%)} + \text{固定割合} \times \text{固定電話 (\%)} + \text{緊急割合} \times \text{災害時用電話 (\%)}$$

なお、災害時用電話は常に稼働する（復旧率 100%）ものとする。

携帯、固定、緊急用電話の利用割合については各事業者の状況に応じて設定する必要があるが、ここでは仮に次のように設定した。

$$\text{携帯割合} : \text{固定割合} : \text{緊急割合} = 0.1 : 0.2 : 0.7$$

ただし通信事業者については、連絡手段が常に確保されると考え、復旧指示は常に 100%とする。

復旧影響度 1 については、移動手段として道路を想定することから、一般車両用道路の復旧率を与える「一般・道路」および緊急車両用道路の復旧率を与える「緊急・道路」から以下の式により値を算出する。

$$\text{復旧影響度 1} = \text{一般通行割合} \times \text{一般・道路} + (1 - \text{一般通行割合}) \times \text{緊急・道路}$$

ここで一般通行割合とは、各インフラ事業者の復旧作業に用いられる車両全体に占める一般車両の割合であり、その値は事業者ごとに異なる。しかし、本ケーススタディではいずれの事業者においても一般通行割合は 0.1（10%）と仮定した。

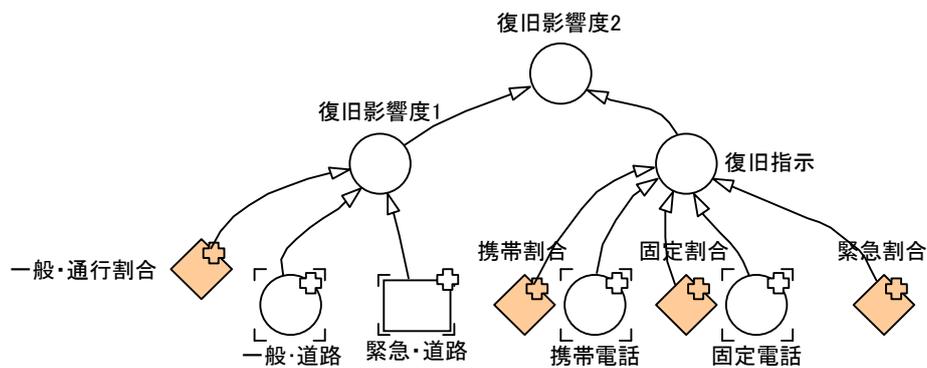


図-5.4.4 復旧影響度算出モデル

③ 低圧導管の物理的復旧率に関するフロー

低圧導管の物理的復旧率をレベルとするフローである。平常時のレベルは 100%で一定であるが、地震が発生するとレベル右の「被災・ガス低」レートによりガス供給レベルが流出し、レベルの値が低下する。逆に復旧が進むとレベル左の「復旧・ガス低」レートから数値が流入し、復旧率が上昇する。本モデルでは、導管の物理的破損が生じるのは地震発生時のみと仮定しているため、「被災・ガス低」レートによるレベル

の流出は地震発生時の初期被害のみである。

④ガス設備用電力の復旧レベルの算出

ガス設備である各種ガバナの制御用電力や制御情報を集中管理するために必要な電力供給率を算出する部分である。ここで、電力とガスの相互依存関係が記述される。ただし、ガス設備に用いる電力についてはガス事業者内でもバックアップ電源を準備していることを想定し、外部からの電力供給が停止または低減してもバックアップ電源のある限りは電力利用を可能とする。また、ガス設備に用いる電力は一般家庭への電力供給経路ではなく、中工場程度、つまり変電所からトランスを通過せずに供給される（モデル内では「電力中」レベルと定義）と仮定する。したがって、「ガス設備電力」変数は次式で計算される。

$$\text{ガス設備電力 (\%)} = \text{IF}(\text{電力中}=100\%, \text{電力中}, \text{MIN}(100\%, \text{BU ガス}+\text{電力中}))$$

ここで、本モデルでは対象としているインフラ事業者は全て3日分のバックアップ電源が準備されていると想定しているが、実際の状況に応じて適宜設定を変更する必要がある。

⑤ガス供給率の算出

最終アウトプットとなるガス供給率（低圧ガスの復旧レベル）を算出する部分である。ガスの供給が継続するためには、「低圧導管」「ガス制御情報」「拠点設備」の全ての復旧が必要であるため、これら3つの変数の最小値が「ガス・低圧」の値となる。

$$\text{ガス・低圧 (\%)} = \text{MIN}(\text{ガス制御情報}, \text{拠点設備}, \text{低圧導管})$$

他のインフラについても、同様に 5.3 で整理した一般モデルに基づきシステムダイナミクスモデルを構築した。ある区におけるインフラ供給のシステムダイナミクスモデルの全体像を図-5.4.5に、モデル内で設定した変数の定義を整理したもの表-5.4.3に示す。同様のモデルを23区ごと、および23区全体を1つの区域としたモデルの計24個を作成し、統合することで、ここで解析対象とする事例のモデルを構築した。

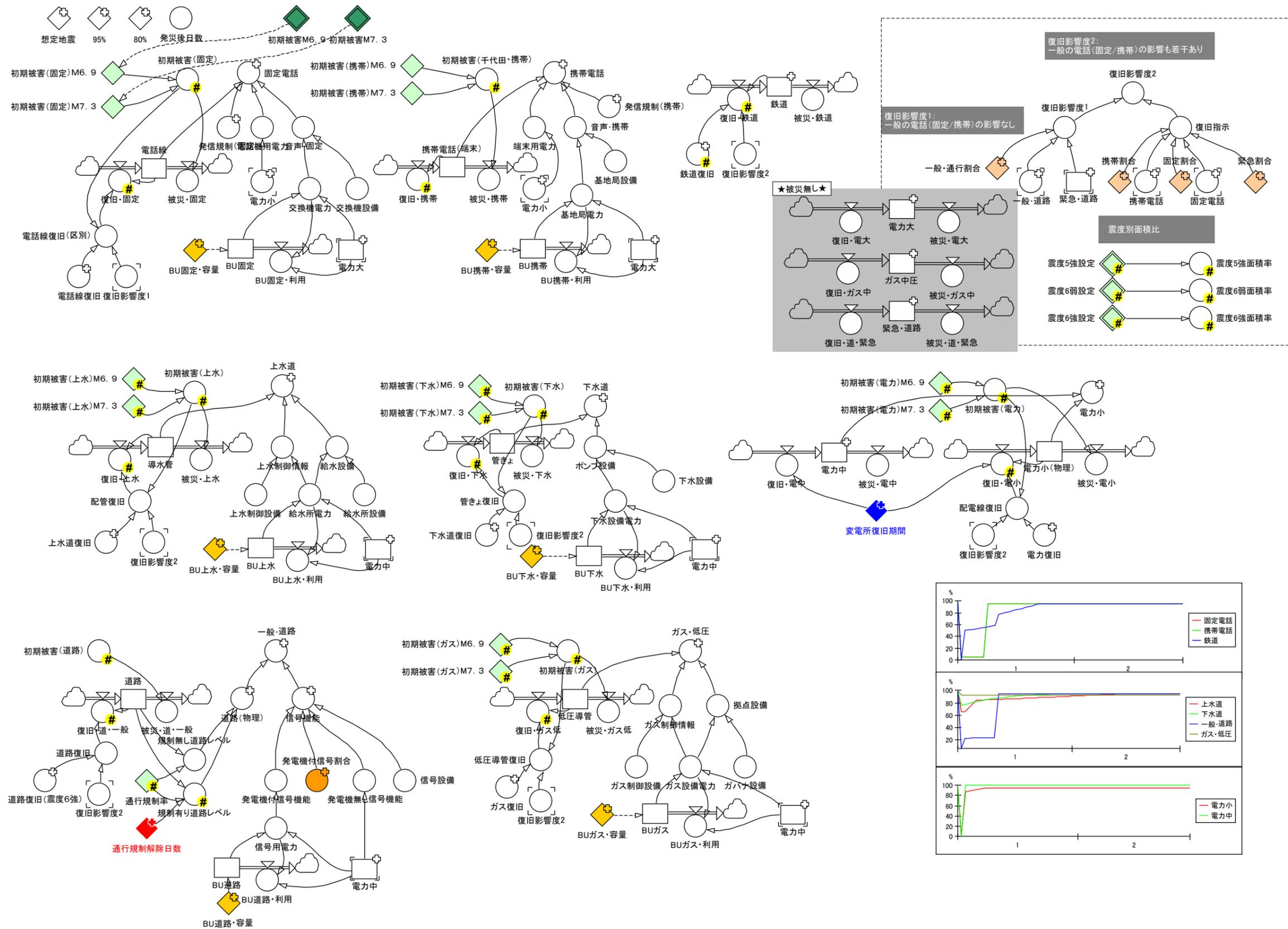


図-5.4.5 システムダイナミクスに基づくインフラ供給の相互依存解析モデル

表-5.4.3 相互依存解析モデルの変数一覧

(a) モデル全般に係る変数

<<入力変数>>

変数名	種類	概要
想定地震	定数	首都直下地震のマグニチュード (M6.9/M7.3)
電話機復旧 (M7.3)	変数	M7.3 での 1 日辺りの不通世帯に対する固定電話の復旧割合 (中央防災会議の被害想定に基づき設定、ファイルから読み込み)
鉄道復旧 (震度 5 強)	変数	震度 5 強地域における 1 日辺りの鉄道復旧割合 (ファイルから読み込み)
鉄道復旧 (震度 6 弱)	変数	震度 6 弱地域における 1 日辺りの鉄道復旧割合 (ファイルから読み込み)
鉄道復旧 (震度 6 強)	変数	震度 6 強地域における 1 日辺りの鉄道復旧割合 (ファイルから読み込み)
電力復旧 (M7.3)	変数	M7.3 での 1 日辺りの停電軒数に対する電力の復旧割合 (内閣府被害想定に基づき設定、ファイルから読み込み)
上水道復旧 (M7.3)	変数	M7.3 での 1 日辺りの断水人口に対する上水道の復旧割合 (内閣府被害想定に基づき設定、ファイルから読み込み)
下水道復旧 (M7.3)	変数	M7.3 での 1 日辺りの機能支障人口に対する下水道の復旧割合 (内閣府被害想定に基づき設定、ファイルから読み込み)
ガス復旧 (M7.3)	変数	M7.3 の場合の 1 日辺りの供給停止軒数の復旧割合 (内閣府被害想定に基づき設定、ファイルから読み込み)
道路復旧 (震度 6 強)	変数	震度 6 強地域における 1 日辺りの道路の物理的復旧割合 (ファイルから読み込み)
BU 固定・容量	定数	交換機へ供給するバックアップ電源 (3 日間分として設定)
BU 携帯・容量	定数	基地局へ供給するバックアップ電源 (3 日間分として設定)
BU 上水・容量	定数	給水所設備へ供給するバックアップ電源 (3 日間分として設定)
BU 下水・容量	定数	下水処理設備へ供給するバックアップ電源 (3 日間分として設定)
BU ガス・容量	定数	ガス拠点設備へ供給するバックアップ電源 (3 日間分として設定)
BU 道路・容量	定数	信号機へ供給するバックアップ電源 (3 日間分として設定)
発電機付信号割合	定数	23 区内の信号機 (9,711 台) のうち、発電機が設置されている (583 台) 割合 (6.00%)
通行規制解除日数	定数	地震発生から車両通行禁止区域の設定が解除されるまでの日数 (10 日間として設定)
変電所復旧期間	定数	変電所が停電復旧に要する日数 (内閣府の被害想定に基づき、1 日停電の後完全復旧として設定)
一般通行割合	定数	インフラ復旧車両が一般車両用道路を通行する割合 (10%として設定)
固定割合	定数	各インフラの復旧要員参集に用いられる連絡手段のうち固定電話の占める割合 (20%として設定)
携帯割合	定数	各インフラの復旧要員参集に用いられる連絡手段のうち携帯電話の占める割合 (10%として設定)
緊急割合	定数	各インフラの復旧要員参集に用いられる連絡手段のうち災害時緊急連絡用電話の占める割合 (70%として設定)
95%	定数	ガス以外のインフラにおける目標復旧レベル (95%)
80%	定数	ガスの目標復旧レベル (80%)
発信規制 (固定)	変数	当該区における固定電話の輻輳や発信規制下での機能維持率 (阪神大震災の実績に基づき、1/17 が 7 日間継続と設定)
発信規制 (携帯)	変数	当該区における携帯電話の輻輳や発信規制下での機能維持率 (固定電話と同様の値を設定)

(b) 区別モデル内変数

<<入力変数>>

変数名	種類	概要
初期被害（固定） M6.9	定数	当該区における M6.9 での固定電話の不通率（東京都被害想定に基づき設定）
初期被害（固定） M7.3	定数	当該区における M7.3 での固定電話の不通率（東京都被害想定に基づき設定）
初期被害（携帯） M6.9	定数	当該区における M6.9 での携帯電話の不通率（東京都被害想定に基づき設定）
初期被害（携帯） M7.3	定数	当該区における M7.3 での携帯電話の不通率（東京都被害想定に基づき設定）
初期被害（上水） M6.9	定数	当該区における M6.9 での上水道の断水率（東京都被害想定に基づき設定）
初期被害（上水） M7.3	定数	当該区における M7.3 での上水道の断水率（東京都被害想定に基づき設定）
初期被害（下水） M6.9	定数	当該区における M6.9 での下水道の管きよ被害率（東京と被害想定に基づき設定）
初期被害（下水） M7.3	定数	当該区における M7.3 での下水道の管きよ被害率（東京都被害想定に基づき設定）
初期被害（ガス） M6.9	定数	当該区における M6.9 でのガス供給停止率（東京都被害想定に基づき設定）
初期被害（ガス） M7.3	定数	当該区における M7.3 でのガス供給停止率（東京都被害想定に基づき設定）
初期被害（電力） M6.9	定数	当該区における M6.9 での停電率（東京都被害想定に基づき設定）
初期被害（電力） M7.3	定数	当該区における M7.3 での停電率（東京都被害想定に基づき設定）
震度 5 強設定	定数	当該区における M7.3/M6.9 の地震発生時の震度 5 強が観測される面積率（東京都被害想定に基づき設定）
震度 6 弱設定	定数	当該区における M7.3/M6.9 の地震発生時の震度 6 弱が観測される面積率（東京都被害想定に基づき設定）
震度 6 強設定	定数	当該区における M7.3/M6.9 の地震発生時の震度 6 強が観測される面積率（東京都被害想定に基づき設定）
通行規制率	定数	当該区における車両通行禁止区域面積率（地図上で換算）

<<モデル内変数>>

★の変数はファイルへの出力変数

変数名	種類	概要
★固定電話	変数	固定電話機能の復旧レベル (=MIN(電話線, 発信規制(固定), 電話機用電力, 音声・固定))
電話線	レベル	電話線の物理的機能レベル
復旧・固定	レート	電話線の 1 日当りの物理的復旧レベル (=電話線復旧(区別))
被災・固定	レート	電話線の 1 日当りの物理的被災レベル
電話線復旧(区別)	変数	当該区における復旧影響度を考慮した電話線の 1 日当りの物理的復旧レベル
電話機用電力	変数	電話機に用いる電力供給レベル (=電力小)
音声・固定	変数	固定電話の音声情報の伝達レベル (=MIN(交換機電力, 交換機設備))
交換機電力	変数	交換機用電力供給レベル (=MIN(100%, BU 固定+電力大))

変数名	種類	概要
交換機設備	変数	交換機設備の物理的機能レベル、本モデルでは被害無し（100%で固定）と仮定
BU 固定	レベル	固定電話の交換機用のバックアップ電源の容量
BU 固定・利用	レート	固定電話の交換機用バックアップ電源の1日あたりの利用容量
★携帯電話	変数	携帯電話機能の復旧レベル（=MIN(携帯電話(端末), 発信規制(携帯), 音声・携帯, 端末用電力)）
携帯電話（端末）	レベル	携帯電話端末の利用可能レベル
復旧・携帯	レート	携帯電話端末の1日当りの復旧レベル
被災・携帯	レート	携帯電話端末の1日当りの被災レベル
端末用電力	変数	端末用電力供給レベル（=電力小）
音声・携帯	変数	携帯電話の音声情報の伝達レベル （=min(基地局電力、基地局設備)）
基地局電力	変数	基地局用電力供給レベル（=MIN(100%, BU 携帯+電力大)）
基地局設備	変数	基地局設備の物理的機能レベル、本モデルでは被害無し（100%で固定）と仮定
BU 携帯	レベル	携帯電話の基地局用のバックアップ電源の容量
BU 携帯・利用	レート	携帯電話の基地局用バックアップ電源の1日あたりの利用容量
★鉄道	レベル	鉄道運行機能の復旧レベル、
復旧・鉄道	レート	鉄道運行機能の1日当りの復旧レベル
被災・鉄道	レート	鉄道運行機能の1日当りの被災レベル
★上水道	変数	上水道機能の復旧レベル （=MIN(給水設備, 上水制御情報, 導水管)）
導水管	レベル	導水管の物理的機能レベル
復旧・上水	レート	導水管の物理的機能の1日当りの復旧レベル（=配管復旧）
被災・上水	レート	導水管の物理的機能の1日当りの被災レベル
配管復旧	変数	当該区における復旧影響度を考慮した導水管の1日当りの物理的復旧レベル
上水制御情報	変数	上水制御情報提供機能レベル（= MIN(給水所電力, 上水制御設備)）
給水設備	変数	給水設備機能レベル（= MIN(給水所設備, 給水所電力)）
上水制御設備	変数	上水制御設備の物理的機能レベル、本モデルでは被害無し（100%で固定）と仮定
給水所設備	変数	給水所設備の物理的機能レベル、本モデルでは被害無し（100%で固定）と仮定
給水所電力	変数	給水所、および上水制御用電力供給レベル（=MIN(100%, BU 上水+電力中)）
BU 上水	レベル	給水所、および上水制御用のバックアップ電源の容量
BU 上水・利用	レート	給水所、および上水制御用バックアップ電源の1日あたりの利用容量
★下水道	変数	下水道機能の復旧レベル（=MIN(ポンプ設備, 管きょ)）
管きょ	レベル	管きょの物理的機能レベル
復旧・下水	レート	管きょの物理的機能の1日当りの復旧レベル（=管きょ復旧）
被災・下水	レート	管きょの物理的機能の1日当りの被災レベル
管きょ復旧	変数	当該区における復旧影響度を考慮した管きょの1日当りの物理的復旧レベル
ポンプ設備	変数	ポンプ設備の機能レベル（=MIN(下水設備, 下水設備電力)）
下水設備	変数	下水設備の物理的機能レベル、本モデルでは被害無し（100%で固定）と仮定
下水設備電力	変数	下水設備用電力供給レベル（=MIN(100%, BU 下水+電力中)）

変数名	種類	概要
BU 下水	レベル	下水設備用のバックアップ電源の容量
BU 下水・利用	レート	下水設備用バックアップ電源の1日あたりの利用容量
★電力小	変数	電力の一般家庭、商店等への供給機能復旧レベル (=MIN('電力小(物理)', 電力中))
電力小(物理)	レベル	配電線の物理的機能レベル
復旧・電小	レート	配電線の1日当りの復旧レベル(=配電線復旧)
被災・電小	レート	配電線の1日当りの被災レベル
配電線復旧	変数	当該区における復旧影響度を考慮した配電線の1日当りの物理的復旧レベル
★電力中	レベル	電力の中規模工場程度への供給機能復旧レベル
復旧・電中	レート	変電所の1日当りの復旧レベル(「変電所復旧期間」経過後に100%復旧)
被災・電中	レート	変電所の1日当りの被災レベル(地震発生時に100%被災)
電力大	レベル	電力の大口供給先(鉄道、大工場等)への供給機能復旧レベル(被災無しとしてシミュレーション期間中100%で変化無し)
復旧・電大	レート	電力の大口供給先における1日当りの復旧レベル(被災無しのため0%)
被災・電大	レート	電力の大口供給先における1日当りの被災レベル(被災無しのため0%)
★ガス低圧	変数	低圧導管提供のガスの供給機能復旧レベル (=MIN(ガス制御情報, 拠点設備, 低圧導管))
低圧導管	レベル	低圧導管の物理的機能レベル
復旧・ガス低	レート	低圧導管の物理的機能の1日当りの復旧レベル(=低圧導管復旧)
被災・ガス低	レート	低圧導管の物理的機能の1日当りの被災レベル
低圧導管復旧	変数	当該区における復旧影響度を考慮した低圧導管の1日当りの物理的復旧レベル
ガス制御情報	変数	ガス制御情報提供機能レベル(=MIN(ガス設備電力, ガス制御設備))
拠点設備	変数	拠点設備機能レベル(=MIN(拠点設備, ガス設備電力))
ガス制御設備	変数	ガス制御設備の物理的機能レベル、本モデルでは被害無し(100%で固定)と仮定
ガバナ設備	変数	ガバナ設備の物理的機能レベル、本モデルでは被害無し(100%で固定)と仮定
ガス設備電力	変数	拠点設備、およびガス制御用電力供給レベル(=MIN(100%, BUガス+電力中))
BUガス	レベル	拠点設備、およびガス制御用のバックアップ電源の容量
BUガス・利用	レート	拠点設備、およびガス制御用バックアップ電源の1日あたりの利用容量
ガス中圧	レベル	中圧導管提供のガスの供給機能復旧レベル(被災無しとしてシミュレーション期間中100%で変化無し)
復旧・ガス中	レート	中圧導管提供のガス供給機能の復旧レベル(被災無しのため0%)
被災・ガス中	レート	中圧導管提供のガス供給機能の被災レベル(被災無しのため0%)
初期被害(道路)	変数	「震度6強面積率」に被災レベル50%を乗じて与えられる一般車両用道路輸送機能の被災レベル
★道路(物理)	変数	当該区内の一般車両通行用道路の輸送機能レベル (=規制無し道路レベル+規制有り道路レベル)
規制無し道路レベル	変数	車両通行禁止区域外の一般車両通行用道路の復旧レベル (=道路×(100%-通行規制率))

変数名	種類	概要
規制有り道路レベル	変数	車両通行禁止区域内の一般車通行用道路の復旧レベル (=道路×通行規制率)
道路	レベル	一般車両通行用道路の物理的復旧レベル(通行規制を考慮しない場合の復旧レベル)
復旧・道・一般	レート	一般車両通行用道路の通行規制を考慮しない場合の1日当りの復旧レベル (=道路復旧)
被災・道・一般	レート	一般車両通行用道路の通行規制を考慮しない場合の1日当りの被災レベル
道路復旧	変数	当該区における復旧影響度を考慮した道路の1日当りの物理的復旧レベル
★信号機能	変数	当該区内の信号機能レベル (= MIN(信号設備, 発電機付信号割合×発電機付信号機能+(100%-発電機付信号割合)×発電機無し信号機能))
信号設備	変数	信号設備の物理的機能レベル、本モデルでは被害無し(100%で固定)と仮定
発電機無し信号機能	変数	発電機のない信号への電力供給レベル (=電力中)
発電機付信号機能	変数	発電機付信号への電力供給レベル (=信号用電力)
信号用電力	変数	信号用電力供給レベル (=MIN(100%, BU道路+電力中))
BU道路	レベル	発電機の燃料残存量
BU道路・利用	レート	発電機用燃料の1日あたりの利用量
★一般・道路	変数	信号機能の有無を考慮した一般車通行用道路の輸送機能復旧レベル (=MIN(信号機能, 道路(物理)))
緊急・道路	レベル	緊急車通行用道路の輸送機能復旧レベル(被災無しとしてシミュレーション期間中100%で変化無し)
復旧・道・緊急	レート	緊急車通行用道路の輸送機能の復旧レベル(被災無しのため0%)
被災・道・緊急	レート	緊急車通行用道路の輸送機能の被災レベル(被災無しのため0%)
復旧影響度1	変数	「一般・道路」「緊急・道路」の機能レベルに応じて算出される復旧要員参集レベル(固定電話、携帯電話の復旧に適用)
復旧指示	変数	「固定電話」「携帯電話」の値に応じて算出される要員への復旧指示伝達レベル
復旧影響度2	変数	「一般・道路」「緊急・道路」のレベルに応じて算出される要員参集性と、「復旧指示」に応じて決まる復旧要員参集レベル(固定電話、携帯電話以外のインフラ復旧に適用)

5.5 シミュレーション結果

5.4 で構築した相互依存解析モデルを用いたシミュレーションを行い、モデルの適用性、課題、改良の方向性を整理する。

相互依存解析モデルを用いて、東京湾北部地震(M6.9 および M7.3)が発生した際の各区におけるインフラの復旧レベルを算出した。代表例として千代田区、比較的被害が大きいと予想される墨田区、および比較のために23区全体を加えた3地区における各インフラの復旧曲線を図-5.5.1、図-5.5.2に示す。平常時(横軸0日目)から地震発生日(横軸1日目)を経て60日目までの復旧曲線となっており、平常時には100%であった復旧レベルが地震発生日に大きく低下し、復旧作業により回復していく様子が描かれている。

また、計算結果から各区における各インフラの復旧期間を抽出した結果を表-5.5.1、表-5.5.2に示す。表の最終行には、中央防災会議の被害想定で用いられている、インフラ相互影響がない場合の復旧期間¹³⁾を記し、これを目標復旧期間とした。

これらの表に示した日数は復旧レベルが目標レベルに到達するまでの日数であり、ガスは80%、それ以外のインフラでは95%を目標レベルとしている。また、表中黄色で網掛けしたセルは、当該インフラの復旧期間が最も長い、すなわち復旧が最も遅い区を示している。

固定電話、携帯電話については輻輳や発信規制が解除されると仮定した8日後には機能レベルが大幅回復し、目標復旧期間の14日までに大半が回復している。次いで比較的復旧が早いのは電力であり、10日以内に復旧している。復旧に時間を要しているのはガス、上水道となった。また、一般車両用道路は車両通行禁止区域が解除されると仮定した11日後に大幅に機能が回復するが、全ての区で95%までレベルが回復するためには20日強を要している。目標復旧期間と比較すると、通信はほぼ期間内で復旧、電力と下水道は若干遅れがあり、上水道とガスは長期化していることが確認できる。

本シミュレーションでは、復旧曲線は他インフラの影響がない場合のものであると仮定し、本モデル内において復旧作業や機能維持における他インフラとの関連を組み込んでいく。つまり目標復旧期間を超える期間を要しているのは他インフラに発生している被害の影響によるものである。したがって、本モデルにおいてインフラ間の依存関係を考慮したシミュレーションが実行できることが示された。

さらに、23区トータルでの結果と区別での結果を比較すると、ガスの復旧期間が大幅に異なることが確認された。これは区別の供給量や管の延長が異なるためと考えられる。このようにモデルの区分の仕方により、得られる結果は大きく異なることから、モデル化の際にはシミュレーションの利用目的に応じた区分を設定することが重要である。

また、ケーススタディから得られた今後の課題は以下の通りである。

①区を超えたインフラ依存関係の記述

今回のケーススタディでは、区を超えて各インフラに影響が波及する現象は記述できていない。実際には同一区内に影響がとどまらず、ある区でのインフラ停止が他の区でのインフラ復旧に影響を与えることも考えられる。よって、今後は区を超えて広域に影響が波及する施設や地理的な位置関係により復旧の進度に影響を与えるインフラを特定し、その影響範囲を明らかにした上でモデルに組み込んでいく必要がある。

また、今回は全てのリソースを区単位でモデル化したが、リソースによってはより大きい区分や、小さい区分でモデル化した方が良い場合もあるため、目的に応じた適切な区分を用いることが望ましい。

②各インフラ事業者の復旧計画の反映

ケーススタディによって、他インフラの影響により復旧期間が長期化することが確認

された。特にガスや下水道に関してはかなりの長期化が見込まれている。しかしながら、実際には復旧の進捗状況を見ながら適切なリソース配分を行うことにより、今回の結果ほどの復旧遅延は生じないと考えられる。各事業者の持つ復旧計画（リソース配分の方針等）をモデルに反映することで、より現実に即したシミュレーションが可能となる。

③設定パラメータの充実

今回構築したモデル内の各パラメータについては、参照すべき情報の不足により仮定した値も含まれている。今後必要な情報を収集し、より精度の高いモデルを構築していく必要がある。

④モデル構成要素の拡大

本章の検討では、比較的短期の相互影響に検討範囲を限定した結果、港湾、空港等は検討範囲から除外されている。また、相互依存構造マトリクスと比較すると、モデルの再現可能範囲が、災害による①インフラ機能提供プロセスに対する直接的な機能影響（主として電力→各インフラ）と、②主要施設の復旧プロセスに対する直接的な機能影響（主として情報通信、道路機能→各インフラ）に限られている。

これについては、今回対象としたような基幹的なインフラは、極力他のインフラへの依存を小さくするよう常に努力しており、例えば、電力以外のインフラは極力自前で確保し、電力についても非常用電源が稼働している範囲では機能提供が停止しないようにシステムが構成されていることも影響している。しかしながら、こうした想定内の対応だけでは不十分となる事象を予測することもモデル構築の目的であるため、今後、より多様な相互影響を再現できるよう、モデルの構成要素を拡大していく必要がある。

特に、道路に着目すると、道路・橋梁と一体に設置されているガス管等のインフラに対する物理的相互影響の再現や、道路機能による復旧リソース確保に対する長期的な影響等についても、モデル化を検討することが望ましい。

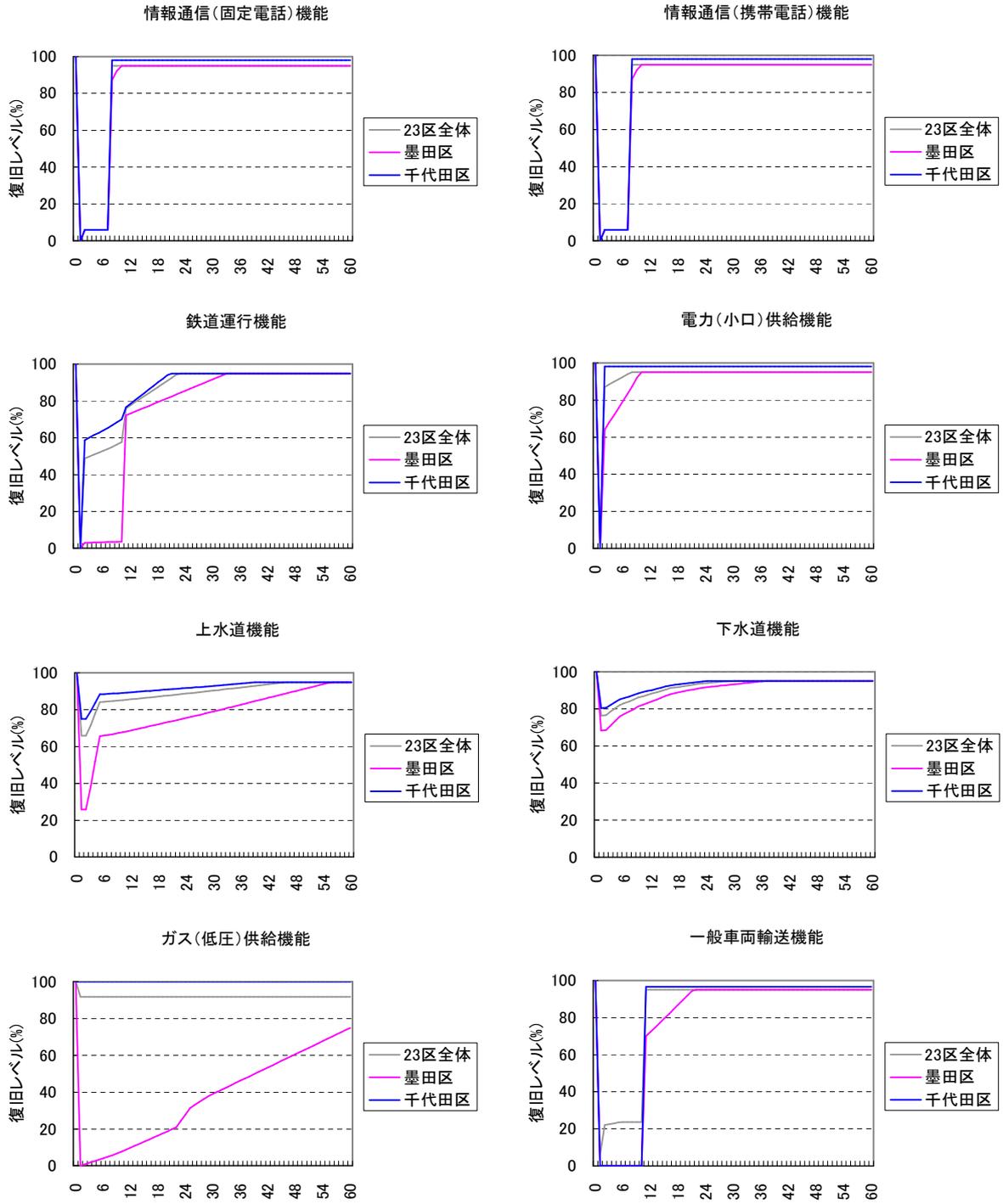


図-5.5.1 東京湾北部地震(M6.9)発生時のシミュレーション結果

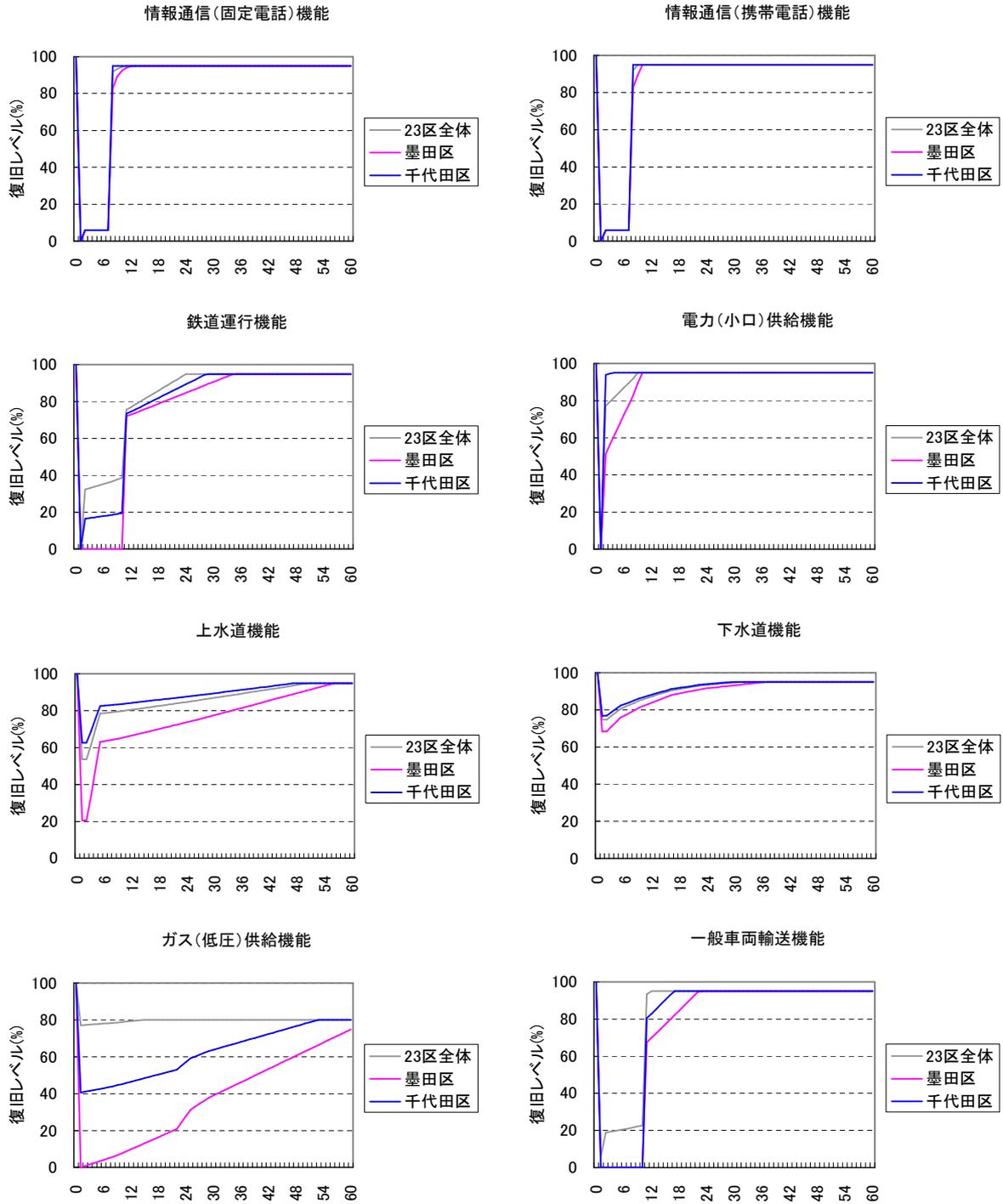


図-5.5.2 東京湾北部地震(M7.3)発生時のシミュレーション結果

表-5.5.1 東京湾北部地震(M6.9)発生時の復旧期間シミュレーション結果(単位:日)

区名	固定電話	携帯電話	鉄道	電力(小)	上水道	下水道	ガス(低圧)	一般車両用道路
千代田区	8	8	21	2	40	25	被害無し	11
中央区	8	8	22	3	53	31	被害無し	11
港区	8	8	21	2	40	25	被害無し	11
新宿区	8	8	21	5	31	25	被害無し	11
文京区	8	8	21	3	37	26	被害無し	11
台東区	9	9	23	9	53	34	被害無し	11
墨田区	11	10	34	10	56	37	期間内未了	22
江東区	11	10	31	10	56	36	27	19
品川区	8	8	21	7	37	27	被害無し	11
目黒区	10	8	21	8	30	28	被害無し	11
大田区	11	8	21	8	46	31	被害無し	11
世田谷区	8	8	22	7	26	24	被害無し	11
渋谷区	8	8	21	5	35	28	被害無し	11
中野区	12	8	21	8	21	28	被害無し	11
杉並区	10	8	22	7	14	25	被害無し	11
豊島区	8	8	21	2	32	26	被害無し	11
北区	8	8	21	6	44	27	被害無し	11
荒川区	13	10	28	10	54	34	被害無し	16
板橋区	8	8	21	2	31	25	被害無し	11
練馬区	8	8	27	4	25	21	被害無し	2
足立区	9	9	23	9	54	33	被害無し	11
葛飾区	14	10	24	10	55	35	1	11
江戸川区	13	10	26	10	55	35	58	16
23区トータル	8	8	23	8	47	30	1	11
目標復旧期間	14	14	--	6	30	30	55	--

表-5.5.2 東京湾北部地震(M7.3)発生時の復旧期間シミュレーション結果(単位:日)

区名	固定電話	携帯電話	鉄道	電力(小)	上水道	下水道	ガス(低圧)	一般車両用道路
千代田区	8	8	29	4	48	30	53	17
中央区	8	8	29	8	55	35	期間内未了	18
港区	8	8	26	6	47	30	4	13
新宿区	8	8	22	8	44	25	被害無し	11
文京区	9	9	26	9	47	29	被害無し	14
台東区	10	10	29	10	55	36	被害無し	18
墨田区	13	10	35	10	57	37	期間内未了	23
江東区	11	10	35	10	57	36	期間内未了	23
品川区	10	9	26	9	48	30	被害無し	13
目黒区	13	10	21	10	43	28	被害無し	11
大田区	14	10	27	10	53	34	48	15
世田谷区	11	9	20	9	40	25	被害無し	11
渋谷区	9	9	21	9	45	29	被害無し	11
中野区	14	10	21	10	40	28	被害無し	11
杉並区	12	10	21	10	43	27	被害無し	11
豊島区	8	8	21	8	45	26	被害無し	11
北区	13	10	24	10	51	31	被害無し	11
荒川区	15	10	32	10	56	35	被害無し	21
板橋区	8	8	21	6	46	28	被害無し	11
練馬区	9	8	20	8	43	22	被害無し	2
足立区	10	10	31	10	56	36	11	22
葛飾区	15	10	30	10	56	37	58	20
江戸川区	14	10	29	10	56	36	58	20
23区トータル	11	9	25	9	51	32	15	12
目標復旧期間	14	14	--	6	30	30	55	--

6. まとめ

本研究では、インフラ被害の影響が時間的・空間的・事象的に波及する構造が表現可能なモデルを構築し、首都直下地震を想定した地震被害波及シミュレーションを行った。

まず1995年兵庫県南部地震と2004年新潟県中越地震で見られた重要インフラ間の被害波及事例を調査した。既存文献の調査に加え、新潟県中越地震についてはヒアリング調査を実施し、インフラ間の相互影響だけでなく、道路の寸断が住民生活および産業や経済活動に波及した事例についても収集・整理した。その結果、インフラが複雑に相互依存していること、またそれによって、物理的損傷、機能の停止や遅延、復旧活動の遅延といった様々な影響が震災時に現れていることが確認された。

これらの事例や専門家の評価をもとに、インフラ被害関連マトリクスとインフルエンス・ダイアグラムにより、インフラ間の被害波及構造を可視化して、インフラ間の相互依存関係を定性的に整理した。その結果、物理的被害波及では道路と鉄道、機能的被害波及では電力、復旧遅延では道路と情報通信を起点とする被害波及が中心であることが分かった。

次に、インフラ間の相互依存構造を表現するマトリクスを構築し、首都直下地震を想定した被害波及のケーススタディを実施した。相互依存構造マトリクスの要素は評価者による重み付け結果を正規化して決定し、地震発生の日、1週間、1ヶ月後における各インフラの機能支障率とその内訳を算出した。ケーススタディでは、被害波及によって全てのインフラに初期被害以上の機能支障が現れ、特に道路、情報通信、鉄道を起点とする被害波及が大きい傾向が見られた。また、初期被害や正規化の際の基準値によって計算結果が大きく変動することが分かった。

上記の分析では、相互依存関係の空間的な特徴（地理的特性）や時間的な変化を考慮することが困難であったため、システムダイナミクスに基づくインフラ相互依存解析モデルを構築し、同様にケーススタディを実施した。まず地理的な特性を考慮しない一般モデルを作成し、それに地理的特性を加味して地域区分モデルを構築した。首都直下地震を想定した被害波及シミュレーションから、被害波及による復旧の長期化を定量的に評価することが可能なモデルとなっていることが確認できた。

今後は、各種データの充実や複数の地域区分モデルが相互に関連する部分をつなぎ合わせ統合したネットワークモデルの構築を進める必要がある。ネットワークモデル全体を単一のモデル化手法で構築する必要はなく、一部をエージェントシミュレーション等、より精緻なシミュレーションが実行できるモデル化手法によることも可能である。ここで構築したインフラ相互依存解析モデルに関しても、復旧要員の参集や道路の渋滞状況等を他のモデルにより算出し、この結果を入力することでモデルを高度化することができる。

謝辞

2～4章の一部は、平成18年度内閣府災害対策総合推進調整費により実施されたものであり、検討にあたっては「重要インフラ間の被害波及軽減のための調査検討会」の下で、座長の千葉大学山崎文雄教授をはじめ、神戸学院大学佐藤忠信教授、岐阜大学能島暢呂教授、ならびにライフライン企業等の委員の方々より数々の有益なご意見を賜った。本検討会は（独）防災科学技術研究所川崎ラボラトリー（当時）の後藤洋三博士（現：富士常葉大学）、鈴木猛康博士（現：山梨大学）、末富岩雄博士（現：日本技術開発株式会社）のご尽力により開催されたものであり、種々のご指導、ご助言を賜った。（財）電力中央研究所の朱牟田善治博士には被害波及のモデル化に関してご教示いただいた。また、新潟県中越地震を経験されたインフラ関係機関には、ヒアリングにご対応いただくとともに、貴重なご経験をお話しいただいた。深く謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 亀田弘行, 能島暢呂: 第8章相互連関, ライフライン施設の被害と復旧, 阪神・淡路大震災調査報告, 土木学会阪神・淡路大震災調査報告編集委員会, pp. 511-520, 1997.
- 2) 星谷勝, 大野春雄, 山本欣弥: あいまい理論によるライフライン機能の震災影響波及の構造化, 土木学会論文集, 第344号/I-1, pp. 323-331, 1984.
- 3) 星谷勝, 大野春雄: 震災時ライフラインの相互影響を考慮した復旧過程の機能評価法, 土木学会論文集, 第386号/I-8, pp. 387-396, 1987.
- 4) 能島暢呂, 亀田弘行, 岩井哲, 北原昭男: 都市侵害のシステム分析モデルに関する基礎的研究, 都市耐震センター研究報告, 別冊第1号, 京都大学防災研究所都市施設耐震システム研究センター, 1988.
- 5) 片山恒雄, 山崎文雄, 原田隆典, 永田茂, 目黒公郎, 横山秀史, 立川貴重, 中里弘幸, 桑ヶ谷大二, 副島紀代: 台風9119による大規模停電の都市機能への被害波及, 東京大学生産技術研究所国際災害軽減工学研究センター耐震防災工学研究室, Report No. 92-1(16), 1992.
- 6) 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, 第3199号, 1993.
- 7) 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, 第3206号, 1993.
- 8) 能島暢呂, 亀田弘行: 地震時のシステム間相互連関を考慮したライフライン系のリスク評価法, 土木学会論文集, 第507号/I-30, pp. 231-241, 1995.
- 9) 能島暢呂, 亀田弘行: ライフラインの相互連関, 阪神・淡路大震災一防災研究への取組み, 京都大学防災研究所, 1996.
- 10) 文部科学省研究開発局地震・防災研究課防災科学技術推進室, 独立行政法人防災科学技術研究所川崎ラボラトリー, 国土交通省国土技術政策総合研究所地震防災研究室: 重要インフラ間の被害波及軽減のための調査報告書, 2007.
- 11) 後藤洋三, 鈴木猛康, 末富岩雄, 小路泰広, 鶴田舞, 片岡正次郎, 鈴木光: 重要インフラ間の被害波及軽減のための調査, 第29回土木学会地震工学研究発表会報告集, pp. 1344-1354, 2007.
- 12) Tsuruta, M., Goto, Y., Shoji, Y. and Kataoka, S.: Damage propagation caused by interdependency among critical infrastructures, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 2008.
- 13) 中央防災会議: 首都直下地震対策専門調査会第15回資料, 2005.
- 14) 総務省消防庁: 阪神淡路大震災関連情報データベース

http://sinsai.fdma.go.jp/search/abstract.php?TOSHO_ID=L0026602&DATA_ID=0018&LEGAL_ON=1

-
- 15) 運輸省：平成7年度運輸白書（運輸経済年次報告），1995.
 - 16) 安達俊朗，渡辺泰男，川見篤史：高速道路交通管制システムの現状とこれから，東芝レビュー，Vol. 57, No. 12, pp. 15-18, 2002.
 - 17) 東京都防災会議地震部会：首都直下地震による東京の被害想定，2006.
 - 18) 東京都：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書，1997.
 - 19) 島田俊郎：システムダイナミクス入門，日科技連出版社，1994.
 - 20) Barry M. Richmond：システム思考入門 I・II，カットシステム，2004.

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 510 February 2009

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒 305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675