

兵庫県南部地震後の各種ライフラインの 復旧活動と復旧阻害要因の影響について

秦 康範¹・目黒 公郎²

¹学生会員 工修 東京大学大学院 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

²正会員 工博 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

阪神・淡路大震災では、防災に関する組織や機関が相互にうまく協調して、最適に対応したとは思えない状況が多く見られた。個々の会社や組織が「独自の最善」に向けて全力で対応したことは認められるが、それが「全体としての最善」に近い形になっていたかどうかという疑問であり、「全体としての最善」に向けた相互協力体制が整備されていると言い難い。本研究では、最適復旧・復興に向けた基礎的研究として、社会的影響の大きいライフラインを取りあげ、復旧・復興活動の時間・空間的な分析を行った。また復旧を妨げたいくつかの要因について、その影響を実データをもとに示し、単独のライフライン事業者だけでは対処が困難な復旧阻害要因の影響を明らかにした。

Key Words : lifeline systems, earthquake damage, restoration strategy, interactions, Kobe earthquake

1. はじめに

1948年の福井地震以降、我が国では1995年の兵庫県南部地震が発生するまで、全壊・半壊家屋が25万棟に上り、復旧・復興活動が数年に及ぶような大きな地震被害を受けなかった。このため大規模で広域にわたる地震被害からの復旧・復興活動を適切に進めるための研究はあまり行われてこなかった。福井地震以降に地震被害を受けた地域が、いずれも阪神エリアに比べて都市の規模として小さく、また被害の規模や影響が局所的であったことも影響し、阪神・淡路大震災のような震災のイメージを描ける人間が非常に少なかったことも一因であろう。そのために最適復旧・復興活動に関する従来の研究は、限られた資源を境界条件として、ネットワークの復旧順位を決定するような数理問題として取り扱うものが多い、またその多くは、対象とする事業者（サービス主体）を1つに絞り、その中で最適復旧戦略を定義している^{1)~3)}。しかし地震被害は、社会システムとして相互連関する都市機能に影響を及ぼすものであり、対象とするシステム間の相互連関を無視した復旧・復興は現実的ではない。復旧・復興活動においても、都市活動に関係する様々な主体が相互に影響し合う。兵庫県南部地震において、各ライフライン事業者は自らの復旧率を高めるために全力を上げて復旧活動を行った。しかしこれらの活動が各種ライフラインの総合的な最適復旧・復興になっていたかと言えば、疑問の余地があろう。それは、ライフラインの物理的な被害の波及、機能障害としての影響の波及、復旧活動における業者間の相互影響など、ライフラインの持つ様々な相互連関（インタラクション）のためである。従って最適復旧・復興活

動は、システム全体の中で個々の活動を見直し、相互関係を考慮した上で、戦略的に決定されるべき事柄であると考えられる。

本研究では、最適復旧・復興に向けた基礎的研究として、ライフラインの復旧・復興活動を時間・空間的に調査し、分析を行った。また復旧を妨げたいくつかの要因について、その影響分析を実データをもとに試みた。

2. 調査概要

(1) 利用したデータ

上水道については、神戸市水道局から提供いただいた町丁目ごとの配水管の復旧開始日及び復旧完了日のデータを使用した。ガスは、大阪ガス(株)から提供いただいたセクターごとの本・支管の復旧開始日、内管の復旧開始日、復旧完了日のデータを使用した。ここでいうセクターとは、大阪ガス(株)が顧客3,000~4,000戸ごとに復旧エリアを分割したものである。GISに展開する際のベースマップとしては、建設省建築研究所が数値地図10000を元に複製したCD-ROMデータを利用した。また補足情報として様々な機関から数多く出版されている報告書^{例えば4)~7)}も可能な限り活用した。

ガスの復旧単位であるセクターは町丁目エリアの集合とは若干異なるが、大きな差がないことから町丁目単位に情報を落として分析を行った。なお山間部の一部においてはセクターと町丁目のギャップが大きいため、この地域は「復旧データなし」として扱った。

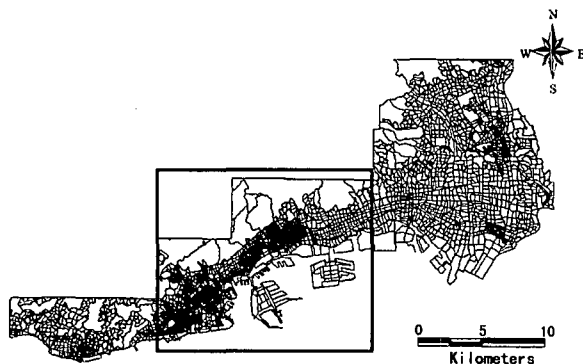


図-1 対象とするエリア
神戸市（長田，兵庫，中央，灘，東灘区）

(2) 対象地域

阪神地域の中でも被害の特に甚大であった震度7の地域を含む，神戸市（長田，兵庫，中央，灘，東灘区）を対象とした（図-1）．この地域には町丁目が1,606個，セクターが119個含まれる．

3. 調査結果と分析

(1) 復旧活動

本研究では復旧活動を時間・空間的に把握するため，上水道およびガスについて，地震発生から復旧が完了するまでをGIS上にて分析した．例として，地震発生から4週間後（1995年2月14日）の対象地域における上水道の復旧状況とライフラインの状況について示したものが図-2である．対象地域の上水道の復旧率は67%（神戸市全域で79%），ガスが3%（全域

で33%）であり，被害が甚大のため復旧が遅れていることがわかる．また既に，電気，通信の仮復旧（応急送電・緊急対応）は完了していることがわかる．上水道の復旧は中央区の行政施設，オフィスの集中している地域と東灘の内陸東部から開始され，その後は山間部から復旧を行ったことがわかる．またこの時点において電力及び通信の復旧活動のフェーズは，仮復旧から応急復旧，本格復旧に推移しており，全国から相当数の応援が駆け付けていることがわかる．地震後には上水道及びガスの復旧の遅れが取り上げられることが多く，電気，通信については概ね早期復旧が可能だとされている．しかしながら，図-2からもわかるように応急送電や緊急対応が完了した後も，応急・本格復旧活動は続いているし，同じように道路を利用（架空施設及び埋設管として供給されている）して実施されることから，他のライフラインの復旧活動に与える影響は重要な問題であると筆者らは考えている．

(2) 復旧活動を阻害した要因

ライフラインの復旧活動を妨げた要因としては，まず第1に施設や設備の物理的被害が考えられる．しかし兵庫県南部地震においては，物理的な被害の大きさ以外にも，他の要因がいくつか報告されている．阪神地域のライフライン事業者に対するインタビュー調査からは，復旧の妨げとなった大きな要因として，道路渋滞，道路閉塞，倒壊家屋などが明らかになっている．またガスの復旧に際しては，ガスパ管に流入した「差し水」が復旧の大きな妨げとなった．そこで本研究では，道路渋滞，道路閉塞，倒壊家屋および差し水の影響について分析を行った．なお紙面の都合上，ここでは道路閉塞と倒壊家屋およ

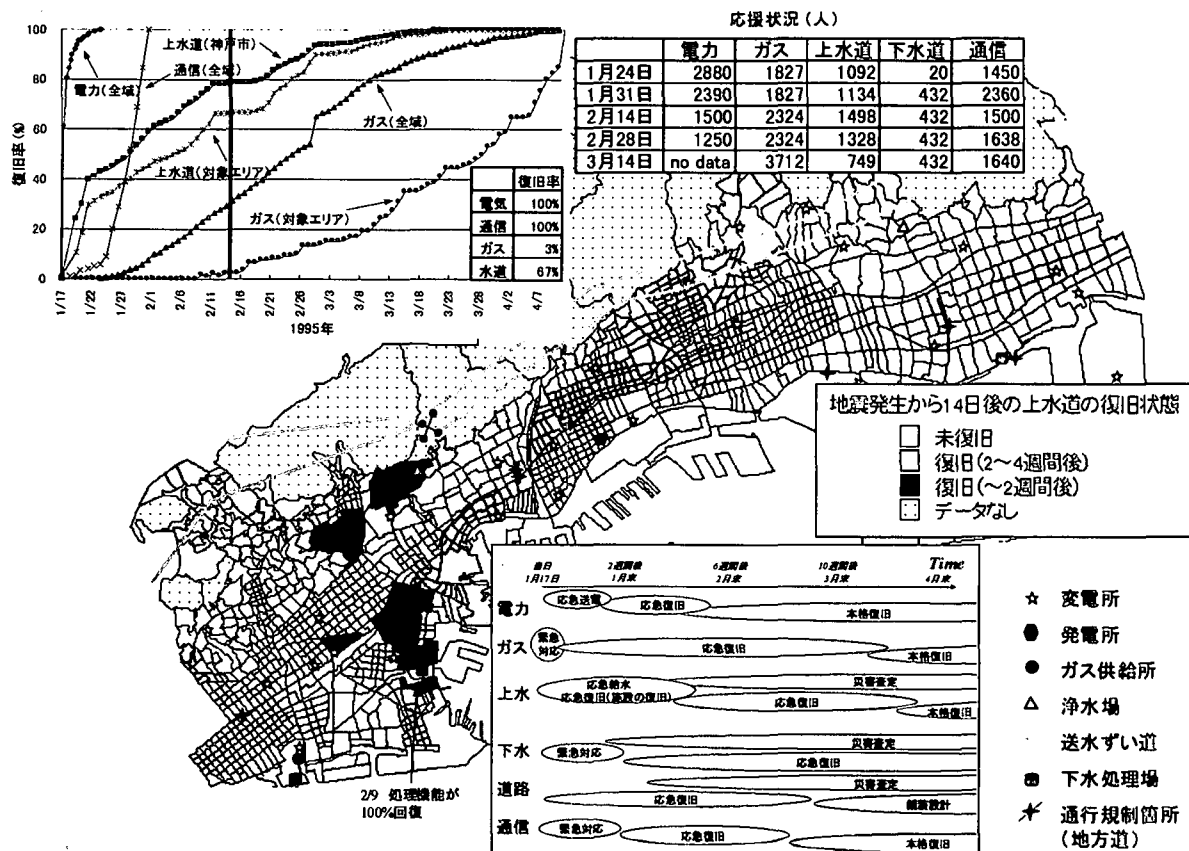


図-2 上水道復旧状態をベースとしたライフラインの状況について（地震発生から4週間後 1995年2月14日）

表-1 上水道の復旧活動と道路閉塞箇所（内陸部のみ）

道路閉塞箇所数 ①	町丁目数 ②	2月9日(23日後)までに復旧が開始された町丁目数 ③	2月9日(23日後)までに復旧の完了した町丁目数 ④	復旧を始めた割合 ⑤=③/②	復旧の完了した割合 ⑥=④/③
0	461	263	156	57%	59%
1	87	57	36	66%	63%
2	53	24	11	45%	46%
3	28	14	3	50%	21%
4	23	11	3	48%	27%
5,6	22	12	4	55%	33%
7以上	20	14	4	70%	29%

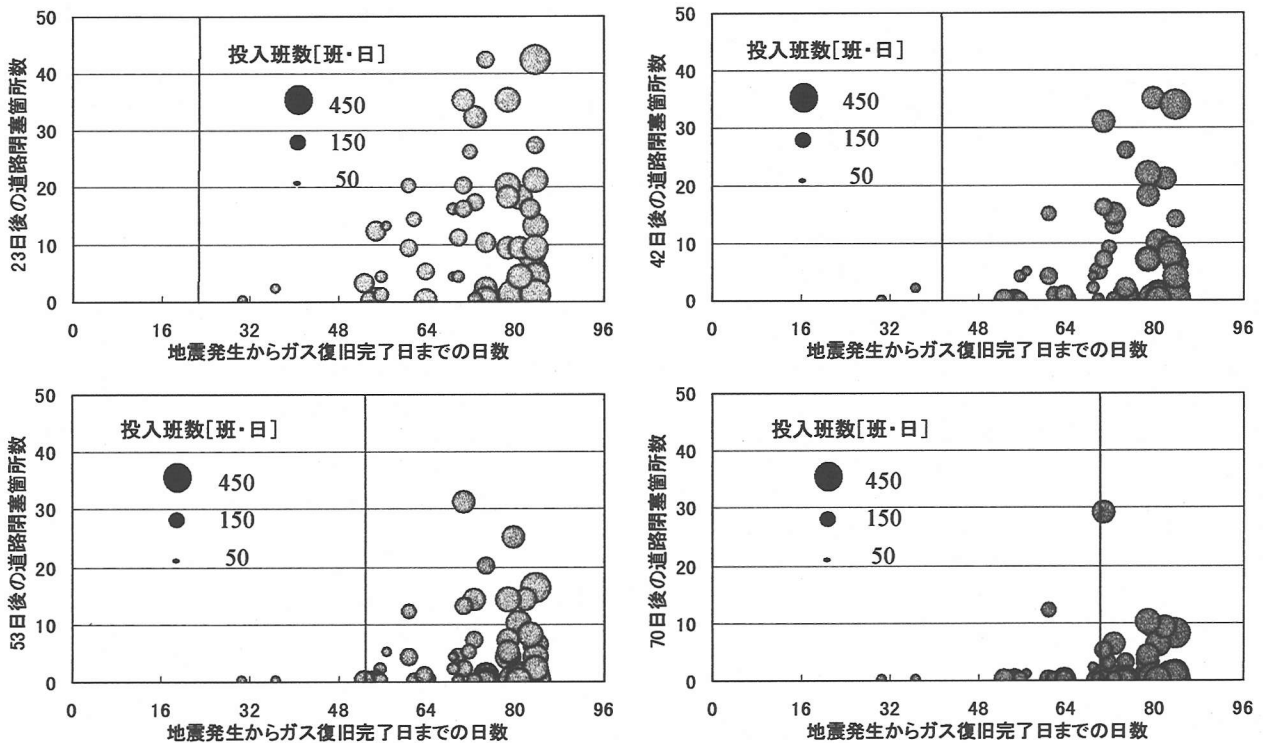


図-3 ガスの復旧完了日と道路閉塞箇所数（内陸部のみ）

び差し水の影響についてのみ紹介する。

(a) 道路閉塞の影響

道路閉塞に関するデータは、奈良大学碓井助教授より提供いただいたもの⁹⁾であり、1995年の2月9日、2月28日、3月11日、3月28日の計4回行われた観測データに基づく。このデータを用いるに際しては、まず町丁目当たりの道路閉塞箇所数をカウントし、上水道については町丁目単位で、ガスについてはセクター単位で道路閉塞箇所数との関係を分析した。

表-1は、2月9日の観測結果と上水道の復旧活動について見たものである。地域としては、道路閉塞箇所の多かった内陸部のみ（国道43号線以北、山手幹線以南）を取り上げている。道路閉塞箇所が2箇所以上ある町丁目を見ると、道路閉塞箇所が0又は1箇所であった地域に比べると復旧の完了した割合が小さくなっていることがわかる（表-1の⑥）。これは道路閉塞箇所が復旧の妨げとなったことを示している。

図-3は同様にガス復旧完了日を取り上げて、道路閉塞箇所との関係を見たものである。図中の縦線は、道路閉塞の観測が行われた時期を示しており、丸の大きさはセクターに投入された班数を示している。

る。道路閉塞箇所の多い地域で早期に復旧が完了した地域がほとんどないことがわかる。これは道路閉塞箇所がガス復旧活動の妨げとなったことを示すものと考えられる。なおセクターごとに投入された班数の推定にあたっては、ガスの復旧活動におけるトータルの班数⁹⁾を利用し、同時期に復旧作業を行っているセクターに対しては、均一に班が投入されていると仮定し、時期ごとの1セクター当たりの投入班数を推定した。

(b) 建物倒壊の影響

図-4はガスの復旧活動とセクターに含まれる建物全壊数との関係を示したものである。丸の大きさはセクターに投入された班数を示している。これを見ると、建物被害の大きな地域ほど復旧の開始時期が遅いことがわかる。

次にガスの復旧開始日と低層建物の全壊数との関係の中で、多くのセクターが位置するところから離れたセクター（Group1及びGroup2）の特徴を個別に調べた。Group1は、早い段階で復旧を始めたものの建物倒壊が激しく、復旧が容易に進まなかった地域である。またGroup2は、建物被害はそれほど小さくなく、復旧作業を始めたのも早い段階ではないにもか

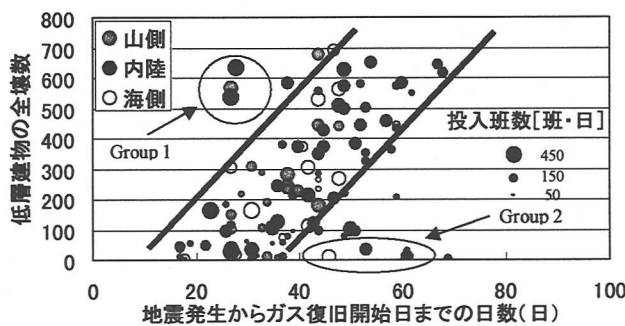


図-4 ガス復旧活動と建物倒壊

表-2 Group1の復旧に関する情報

Group 1	道路閉塞箇所数 (23日後)	水道の復旧完了日からガス 復旧開始日までの日数	投入した班数 [班・日]	内管の修繕に要 した班数[班・日]
A	42	-8	531	154
B	1	-6	467	5
C	22	-17	341	38

かわらず、復旧に時間を要した地域である。調べてみると、Group1のセクターを上からA,B,Cとすると、表-2のような復旧状況であった。セクターA、Cともに道路閉塞箇所が多い。また上水道の復旧活動時期と重なっていることから、復旧活動におけるインタラクションも要因として考えられる。またセクターAにいたっては、内管の修繕に大きく歩掛かりを費やしている。これは差し水の影響が極めて大きかったことを示すものである。またGroup2の中の海側のセクターは、液状化により復旧が遅れた可能性が高く、もともと低層の建物の少ないエリアと考えられる。内陸の2箇所は三宮繁華街にあるセクターであり、復旧活動は日中の商業活動を妨げないように慎重に行われたためと考えられる。

(C) 差し水の影響

差し水の影響を見るため、横軸に上水道の復旧完了日とガスの復旧開始日の差をとり、縦軸には復旧の妨げとなった建物倒壊数をとったのが図-5である。丸で囲んだところは建物被害が小さいセクターにおいても復旧歩掛かりの悪い地域があることがわかる。これらの地域は差し水の影響が大きい地域であった。

(3) 最適復旧・復興に向けて

ライフラインの早期復旧に際しては、どこから修繕するのが効率がいいのかという視点と、他とのインタラクションを考慮して全体として最適な方向性を考えること、この両方が共に重要であると考えられる。そしてそのためには、何よりも地震発生後に時々刻々と変化する周囲の状況や、ライフライン自身の被災箇所の把握等、情報収集とその共有化が極めて大切であり、そのような仕組みを整備することが肝要であろう。ライフラインの復旧・復興には様々な影響が考えられ、それらの状況が時間と共に推移していく点が重要なポイントである。ライフラインの物理的な被災箇所の発見、道路状況のリアルタイムな把握、建物倒壊状況の把握は極めて困難であった。先の分析でも見られたように、これらはライフラインの復旧歩掛かりに大きな影響を与えているものであり、このような情報をいかに共有化し、

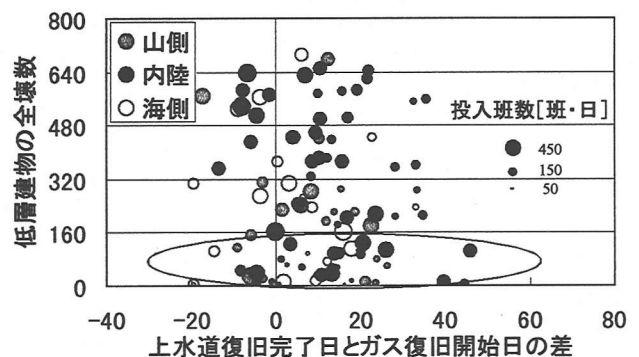


図-5 上水道の復旧開始時期と復旧に要した日数

アップデートしていくかが重要になると考えられる。また他のライフラインの復旧状況を時間・空間的に互いに把握することも重要である。

4. まとめ

本研究では、ライフラインの復旧・復興の障害となった道路閉塞、建物倒壊、差し水の影響について、復旧・復興活動の実データをもとに示した。復旧・復興活動は相互に影響しており、単独のライフライン事業者の努力だけでは解決できない問題があることがわかった。このことは相互協力体制づくり、情報の共有化が重要であることを示唆するものといえる。

今後の課題としては、システム相互の関係の定量的な記述、電力・通信といった今回取りあげなかった他のライフラインの復旧活動とのインタラクション、復旧戦略としてコンセンサスの得られる目的関数の設定などが挙げられる。

謝辞：本研究に当たって、データの提供ならびにインタビュー調査に快く応じていただいた神戸市水道局、大阪ガス(株)をはじめ、関西のライフライン事業者の関係各位、また貴重な研究成果を提供いただいた奈良大学碓井照子助教授に、厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 能島暢呂・亀田弘行：幹線支線の階層性を考慮したライフライン系の最適復旧震後アルゴリズム，土木学会論文集，No.450/I-20，pp.171-180，1992. 7.
- 2) 藤田章弘・野田茂：時空間的重要度を考慮したライフラインの最適復旧戦略，土木学会論文集，450/I-20，pp.171-180，1994.
- 3) 杉本博之・田村亨，有村幹治：復旧班の協力を考慮した被災ネットワーク復旧モデル，第3回都市直下地震災害総合シンポジウム，pp.521-524，1998.
- 4) 神戸市水道局：阪神・淡路大震災 水道復旧の記録，1996. 2.
- 5) (社)日本ガス協会：阪神・淡路大震災と都市ガス，1997. 1.
- 6) 土木・建築・地盤・機械・地震学会：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，1996.
- 7) 関西ライフライン研究会：阪神・淡路大震災に学ぶ，ライフライン地震防災シンポジウム，1997. 6.
- 8) 碓井照子：阪神・淡路大震災の災害データベース作成と防災GIS，地理情報システム学会講演論文集，pp.33-37，1995.