

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

大規模災害時の社会インフラの相互依存と復旧力の向上

大規模災害時は、復旧対応で通常とは異なる運用や体制が求められるため、鉄道以外の分野との相互の連携がより必要となります。本記事では、被害の広がり大きい地震災害を通してインフラ事業者の相互依存に対する考え方を紹介します。また、相互依存関係を考慮した鉄道事業の震災復旧シミュレーションの試行結果を示すとともに、今後の鉄道に求められる研究項目を示します。



羽山 和紀
Kazunori Hayama
前 人間科学研究部
安全性解析研究室
副主任研究員
[専門分野]ヒューマン
ファクター



布川 修
Osamu Nunokawa
防災技術研究部
地盤防災研究室
主任研究員
[専門分野]斜面防災



武内 陽子
Yoko Takeuchi
信号・情報技術研究部
運転システム研究室
主任研究員
[専門分野]シミュレーション、
運行実績データ分析



飯田 浩平
Kohei Iida
前 企画室 戦略調査 主査
(現 鉄道力学研究部
車両力学研究室)
[専門分野]地震時走行安
全性、台車諸元同定技術



高垣 昌和
Masakazu Takagaki
鉄道力学研究部
計算力学研究室
室長
[専門分野]構造解析、損
傷評価、車両の強度評価

はじめに

大規模災害が起こると、鉄道事業者は、鉄道以外の様々な分野の事業者とも連携しながら復旧を図ります。そのため、大規模災害時の復旧力を高めるには、様々な分野の事業者相互の依存関係(「相互依存性」(☞参照))の中から社会、経済、物理的なハザードを把握し、事前に対処しておくことが重要です。

特に、現在は、多くの分野の事業者が複雑に影響し合いながら社会を構成しているため、災害による被害は、個々の事業者から他の事業者へと波及することがあります。例えば2011年の東日本大震災では、道路や水道の被災による電力の復旧遅延や、電力供給量の低下による首都圏での計画停電や鉄道の運行支障などがありました。このような事業者間での被害の連鎖は、社会・経済に大きな影響を与えられれます。

☞ 相互依存性：interdependency

2つの主体が双方向で影響し合うこと。システムA及びシステムBが互いに依存性を有する場合、システムAとBは相互に依存関係にある。

海外では、インフラの被害波及に関する検討が国家安全保障と学術研究の両面から行われています。しかし、日本では、分野横断的に取り組んでいる例や事業者が研究成果を活用している例はあまりみられません。今後のICT技術の進化と情報インフラの整備によってスマート社会が構築されると、分野を横断した依存関係は今以上に緊密になると予想されます。そのため、これまで以上に相互依存性を考慮した事前・事後の対応を検討しておくことが必要になります。

そこで本記事では、ライフラインを維持・管理する様々な事業者(インフラ事業者)の相互依存性に対する考え方や、鉄道に必要な研究項目などを紹介します。

相互依存性に対する考え方

相互依存性に対する考え方のうち鉄道に関係する知見を把握するため、インフラ事業者5社(「電力」「通信」「石油」「道路」「鉄道」)にヒアリング調査を行いました。調査は、危機管理を主業務とする実務管理者に対して、2013年9月から2014年1月にかけて行いま

表1 他インフラの被災により鉄道が受ける被害の例

事業分野 \ 災害フェーズ	被災直後 (状況把握から対応計画策定までの段階)	応急段階 (優先順位の高い作業に着手する段階)	復旧段階 (応急段階からさらに業務範囲を拡大する段階)
電力分野	・ 停電による運行停止、徐行運転 ・ 旅客整理、安全点検の効率低下 ・ 踏切への電力供給停止	・ 停電長期化による設備復旧の遅延、運行停止期間の延長	
水道分野	・ 駅トイレの使用不可、飲料水の減少	・ 断水による車両保守作業への支障	
通信分野	・ 通信回線途絶やふくそうによる安否確認、状況把握、安全確認の遅延 ・ 機器等の遠隔操作不能	・ 通信回線途絶やふくそうによる非常参集や災害応援の連絡遅延 ・ 携帯電話のバッテリー切れ ・ 機能支障長期化で、後方支援部隊に影響	
道路分野	・ 高架下の鉄道施設の崩壊・損傷 ・ 通行止めや混雑による状況把握、安全確認が困難・遅延	・ 要員や遠方からの応援の参集遅延や不足 ・ 不通や渋滞による資機材・燃料の運搬遅延	
石油分野		・ 自家用発電機用の燃料不足 ・ 現場移動用の車両の燃料不足	

※水道分野の情報は、水道分野以外から得られた知見です。

表2 鉄道の被災により他インフラが受ける被害の例

事業分野 \ 災害フェーズ	被災直後	応急段階	復旧段階
電力分野		・ 運行停止、徐行運転で要員・応援参集遅延 ・ 帰宅困難により、復旧活動要員の宿泊対応が増加	
通信分野	・ 線路に敷設している通信回線の損傷	・ 運行停止、徐行運転で要員・応援参集遅延 ・ 帰宅困難により、復旧活動要員の宿泊対応が増加	
道路分野	・ 鉄道高架橋の崩壊、損傷による道路の崩壊、損傷 ・ 駅滞留者が道路へあふれ道路交通 遮断	・ 運行停止、徐行運転で要員・応援参集遅延 ・ 運行停止、徐行運転で道路に交通が集中 ・ 帰宅困難	
石油分野		・ 鉄道寸断により、燃料の輸送が困難 ・ 運行停止、徐行運転で要員・応援参集遅延 ・ 帰宅困難により、復旧活動要員の宿泊対応が増加	

した。調査の内容を以下に示します。

- (1) 鉄道以外のインフラ事業者（他インフラ）の被災による鉄道被害
- (2) 鉄道の被災による他インフラ被害
- (3) 相互依存性研究に対する期待

なお、上記(1)(2)では、自分野の被災に限らず他分野が被災した場合も含め意見をいただきました。

(1) 他インフラ→鉄道

調査結果をもとに、他インフラの被災により「鉄道」が受ける被害を災害フェーズごとに整理しました(表1)。

その結果、例えば「水道」が被災すると、被災直後では、駅滞留者などへ配布する飲料水や駅トイレに必要な水が不足しますが、応急・復旧段階にな

ると、車両の保守に使用する際の水不足が想定されています。

「水道」以外の事業分野でも、災害フェーズの進展（特に、被災直後か否か）により被害が異なっています。このことから、時間の経過とともに被害状況が変化し、各インフラが果たすべき役割（初動対応や応急・復旧対策の方向性）も変化すると考えられます。

(2) 鉄道→他インフラ

「鉄道」の被災により他インフラが受ける被害を災害フェーズごとに整理しました(表2)。

その結果、被災直後では、崩壊した鉄道施設に付随して設置されている通信回線や道路、橋などが損傷・崩壊す

ることが想定されています。一方、応急・復旧段階では、どの事業分野も応援要員や資材の運搬などの遅延を想定しています。また、「道路」では、「首都機能の維持や復旧に鉄道が必要」との意見もありました。

これらのことから、他インフラは、応急・復旧段階での資材や要員の大量輸送を「鉄道」に依存していると考えられます。そのため、鉄道は、応急・復旧段階での輸送を実現するため、東日本大震災時にJR貨物が実施したう回輸送¹⁾のように、鉄道不通区間を別の交通機関でつなぐ、または別の交通機関を鉄道で代替するといった「交通網の多重化」を検討・整備しておくこ

とが必要だと考えられます。

なお、「石油」と「電力」では、被災直後に想定される被害が挙がりませんでした。しかし、他インフラにおいて鉄道の被災による被害が、まだ十分に整理されていない可能性も考えられます。

(3) 相互依存性研究に対する期待

相互依存性の研究に関係した意見として主なものを以下に示します。

- 鉄道、バス、タクシーなどを含めた輸送の最適化の観点から復旧の優先度を検討したい
- 電気の復旧時期や応援の駆けつける人員数と到着までの時間など、外部要因の情報が欲しい
- 円滑な意思決定のために、他インフラとの相互依存関係を把握したい

これらのことから、相互依存性の研究に対して、他分野の復旧過程を時系列的に把握し、その結果をもとに自社の復旧の優先順位付けに役立つ手法が求められていると考えられます。

鉄道分野に求められる研究項目

これらの調査結果をもとに、鉄道事業者が行う復旧の優先順位付けを支援するための研究項目を検討します。

(1) 相互依存性の把握

相互依存性の把握では、他インフラの被災が自社の復旧活動にどのような影響を及ぼすか、復旧にどれだけ遅れが生じるか、1つのインフラの被災により別のインフラへどのような被害波及があるのか、といったことを定性的に把握します。

その把握方法は、事業者や専門家によるブレインストーミングや過去の災害や障害事例を調査することなどが一般的です。また、ここで把握した情報は、後述する相互依存性の評価に用いる基礎的な情報となります。

他インフラから波及する被害の内容を把握することは、既存のシステムの

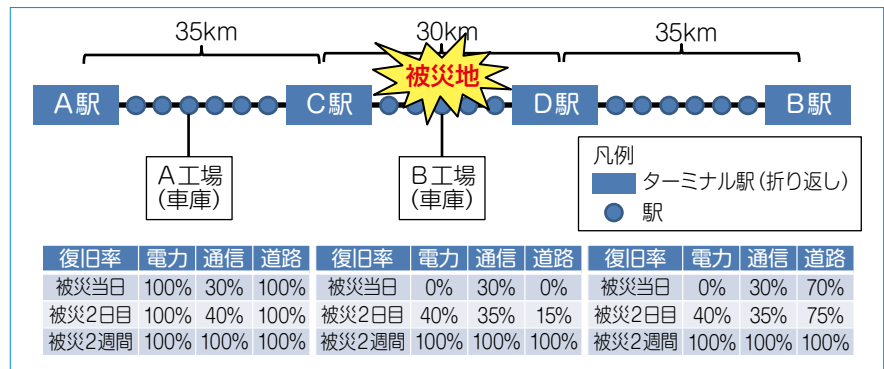


図1 想定したモデル線区と他インフラの復旧率

ぜい弱性の検討や災害対策の有効性の確認への活用が考えられます。

(2) 相互依存性の評価

相互依存性の評価は、被害の軽減策を検討するために、インフラ間やシステム間の依存関係の強さ（被害の程度や波及範囲など）を評価することが主目的となります。相互依存性の把握結果から得られたデータを基に数理モデルを構築し、導き出された結果から被害軽減策などを検討します。

そこで、各インフラ事業者が使用可能なリソース（ヒト・モノ・カネなど）や復旧作業に当たれる時間、交通事情、人の流動などを考慮し、復旧過程や被災者の避難行動をモデル化します。以下に、モデル化に必要な研究項目を検討した結果を示します。

①相互依存度を考慮した鉄道被害影響シミュレーションに関わる研究

- 復旧目安時間の予測に資する相互依存度の算出
- 災害支援要員等の到着時間予測に資する相互依存度の算出
- 人的資源の配置計画の策定に資する相互依存度の算出

②他インフラの復旧状況を考慮した災害時の避難行動モデル構築に関わる研究

- 輸送計画の策定に資する災害時の避難行動モデルの構築
- 避難誘導法の策定に資する災害時

の避難行動モデルの構築

①では、他インフラの復旧過程を知ること、自社の復旧の目安時間が予測できるほか、復旧遅延や資材量の増減に応じて人的資源の配置や作業工程の見直しが可能になります。

また、②では、例えば、他インフラの復旧状況と被災者の避難行動を組み合わせることで、その後の輸送計画の策定を支援します。これにより、鉄道、バス、タクシーなどを含めた輸送の最適化を図ることや適切な交通機関への被災者の誘導が期待されます。

鉄道旅客輸送の震災復旧シミュレーションの試行

他インフラの復旧状況を考慮した鉄道旅客輸送の機能復旧プロセスを検討し、復旧の目安時間の予測を試行しました。

(1) 方法

①他インフラとの相互依存関係

旅客輸送に必要な鉄道の機能を文献や知見を基に整理し、鉄道と他インフラとの相互依存関係を検討しました。その結果、鉄道の旅客輸送は「電力」「通信」「道路」との依存関係が特に強いことがわかったため、ここでは「電力」「通信」「道路」の3分野との依存関係を考慮することにしました。

②被災条件

首都直下地震の発生を想定し、郊外

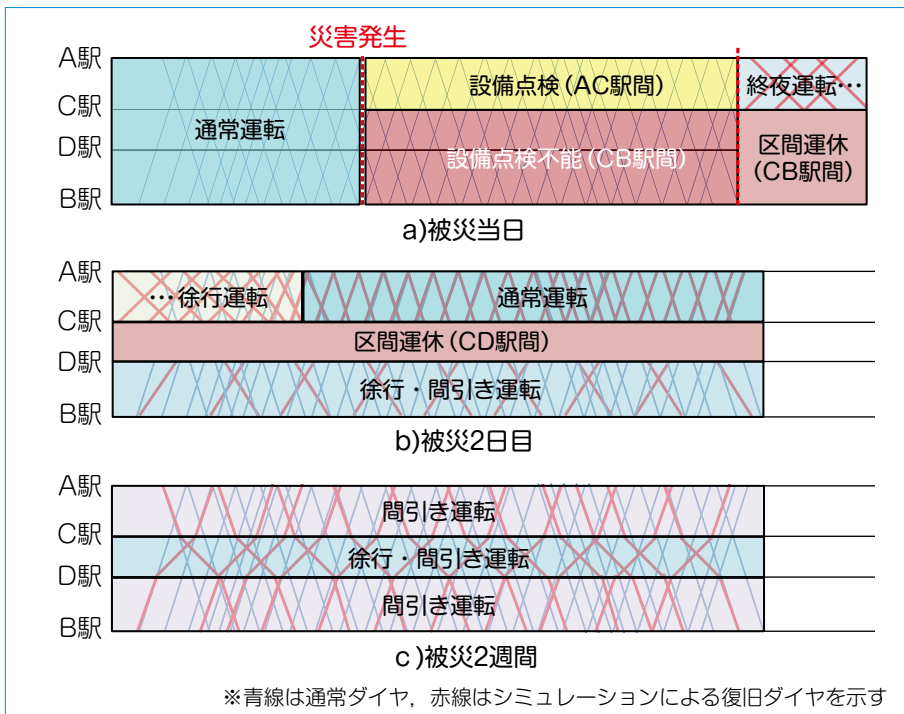


図2 相互依存性を考慮した運行ダイヤの復旧シミュレーション

と都心との間を移動するモデル線区を図1のように仮定しました。また、被害規模と他インフラの復旧率を以下のように仮定しました。

・地震の被害規模

AC 駅間：無被害

CD 駅間：中被害（応急対策に1週間程度、復旧対策に1ヶ月かかる）

DB 駅間：小被害（復旧対策に3日程度かかる）

B工場：車庫機能回復に2週間、車両検査機能にさらに1週間かかる

・他インフラの復旧率

「電力」と「通信」の復旧率は、東京都防災会議の公表データを用い、「道路」は、東日本大震災での復旧実績を基にしました(図1下部)。

③運行条件

(平常時) 区間ごとの必要車両数は、AC 駅間15編成、CD 駅間12編成、DB 駅間15編成、予備2編成を含め44編成が存在すると仮定して、運行ダイ

ヤを作成しました(図2青線)。

(被災当日) AC 駅間は、余震のため徐行運転(平常時の50%の輸送力)、また、帰宅困難者対策のため終夜運転としました。CB 駅間は、道路閉鎖などにより初日の被害把握が困難なため、運休としました(図2a)。

(2) 結果の例

鉄道旅客輸送機能の推移プロセスを試行した結果、運行ダイヤの復旧過程は下記ようになりました。

①被災2日目(図2b)

被害の無いAC 駅間は通常ダイヤへ移行しますが、応急対策中のCD 駅間は運休になります。復旧対策中のDB 駅間は、電力・通信回線使用量と使用可能車両が制限されるため間引き・徐行運転となり、朝夕のラッシュダイヤへの対応ができません。

②被災後2週間(図2c)

CD 駅間の応急復旧が終了し、不通区間が全通します。ただし、B工場での車両検査機能が回復していないため車両検査が追いつきません。そのため、

通常ダイヤで必要な車両数が確保できず、全駅間で間引き運転となります。また、CD 駅間は、復旧対策が終了しておらず徐行運転となります。

(3) 試行結果のまとめ

シミュレーションの試行結果、復旧の進展に応じて運行開始時期や運行本数などが把握可能なことを確認しました。これにより、事業者が策定する復旧計画の効果を運行ダイヤを通じて可視化できると考えられます。また、他インフラにとっても鉄道の復旧時期がわかるので、鉄道利用をふまえた事業継続を計画しやすくなります。

一方、今回の試行では、検討のしやすさを優先しモデル線区を用いました。しかし、精緻なモデル化を行うためには、関係する事業者から施設設備の諸元やリソースの情報など実態に即した新しいデータの入手が必要です。こうしたデータの入手には、平時から関係する事業者で、災害時における協力関係を構築することが近道だと思います。

おわりに

「相互依存性」に着目し、インフラ事業者の考え方や鉄道に必要な研究項目などを紹介しました。

大規模災害時では、インフラの機能不全で事業者単体での復旧が困難になります。災害時での復旧力向上のために、被災時の想定を行い事前に対処しておく必要があります。そのため、本記事で検討した研究項目に取り組んでいきたいと考えています。[RRR]

文献

1) JR貨物：環境・社会報告書2011