

貨物鉄道ネットワークに対する災害対策の実施効果の評価手法（その1）

－ 災害時の貨物鉄道ネットワークの貨物輸送量と事業者負担の定量化手法 －

（公財）鉄道総合技術研究所 正会員 ○奥田 大樹 中川 伸吾 渡邊 拓也 鈴木 崇正 深澤 紀子

1. はじめに

自然災害が激甚化・多頻度化するなか、鉄道貨物輸送の災害レジリエンスの向上が重要性を増している。しかし、多大なコストを要する災害対策の実施には、その効果を定量的に評価したうえで、十分な検討が必要である。

災害対策の実施効果の評価手法に関する研究は、これまでもいくつか報告されているが、これらは主に道路ネットワークに着目している。また、これら手法の評価基準は、災害時の利用者便益や災害発生直後の孤立エリアの発生防止といった社会的便益が中心であり、輸送を担う事業者の負担に関する考慮が不十分である。

そこで本研究では、災害対策に関する貨物鉄道事業者の意思決定支援を目的として、鉄道ネットワークに対する災害対策の実施効果を、災害による不通発生期間中の鉄道ネットワークの貨物輸送量（以後、不通時輸送量）と、事業者が災害時に負担するコスト（以後、災害時コスト）に基づき評価する手法を構築した。災害時コストは、被災箇所の復旧コストや、通常時と比較して増加した災害時の輸送関連コストの和である。このうち本稿では、不通時輸送量と災害時コストの定量化手法と、その推計精度の検証結果について述べる。評価手法の概要やこれを用いたケーススタディ等については、別稿²⁾で述べる。

2. 不通時輸送量と災害時コストの定量化手法

2.1 鉄道ネットワークに関する定義

本研究における鉄道ネットワークは、図1で示すとおり、駅や信号所をノード、各ノードを結ぶ鉄道線区をリンクで表す。また、一部ノード間には道路リンクも存在する。ただし、各ノード間を結ぶ鉄道リンクと道路リンクは、それぞれ1本以下とする。

ノードと鉄道リンクに投入可能な復旧作業人工はそれぞれ独立したものとし、被災したノードや鉄道リンクは、投入された累積復旧作業人工量（人・日）が、それらの復旧に必要な総人工量を超えたら復旧するものとする。被災したノードや鉄道リンクそれぞれの復旧に必要な総人工量、ノードおよび鉄道リンクに投入可能な1日あた

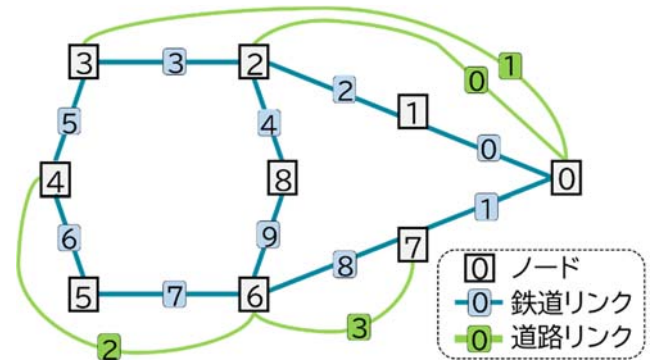


図1 鉄道ネットワークの例

りの復旧作業人工量（人）の上限は所与とする。なお、道路リンクは、災害によって不通が発生することは無いとする。復旧コストは、投入した復旧作業人工量に作業人工単価（円/人・日）を乗じて算出する。

各貨物駅を発着可能な1日あたりの貨物量や保管可能な1日当たりの貨物量の上限、各鉄道線区を通過可能な1日当たりの方向別貨物量の上限等は所与とする。また、被災したノードや鉄道リンクは、復旧するまで貨物の輸送に関する機能を失うとする。

2.2 貨物輸送に関する定義

鉄道ネットワーク内では、被災状況に関わらず、各OD間で日々一定量の貨物需要が発生するものとする。そして復旧期間中に発生する貨物需要は、①通常輸送：通常時と同じ経路での鉄道輸送、②迂回輸送：通常時とは異なる経路での鉄道輸送、③代行輸送：輸送経路の一部または全部をトラック輸送で代替する輸送、④保管：発ノードで保管し翌日以降に輸送、⑤未輸送：荷主へ返却（輸送や保管が不能）のいずれかで処理されるものとする。また、貨物量は12ftコンテナ個数換算値とする。

各OD間の輸送コストは、貨物量（コンテナ個数）、輸送距離（km）、および鉄道輸送単価もしくは道路輸送単価（円/コンテナ・km）を乗じて算出する。また、貨物の保管や未輸送のコストについても、同様に貨物量に保管単価や未輸送単価（ペナルティ）を乗じて算出する。

2.3 不通時輸送量と災害時コストの計算アルゴリズム

鉄道ネットワークの復旧期間中の貨物輸送は、迂回輸

キーワード 自然災害、貨物鉄道ネットワーク、鉄道貨物輸送、災害対策、災害レジリエンス

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 （公財）鉄道総合技術研究所 交通計画研究室 TEL042-573-7309

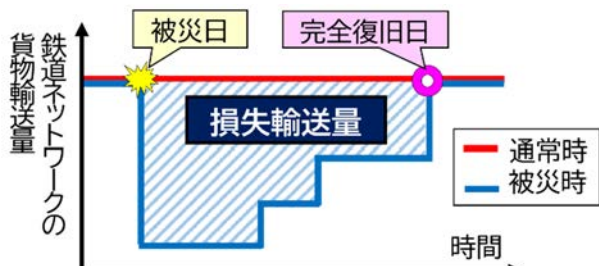


図2 損失輸送量

送が実施されるなど、通常時とは異なる輸送パターンとなる。また、復旧作業が終了した箇所から順次輸送が再開されるため、輸送パターンも日々変化する。そのため、不通時輸送量や災害時コストを定量化するには、被災した鉄道ネットワークの復旧過程と、その復旧過程下における各日の輸送パターンを定量的に把握する必要がある。そこで、被災条件やノード・リンクの輸送能力等を所与として、鉄道ネットワークの復旧過程と復旧期間中の輸送パターンを、以下の手順で推計する。

- ① 鉄道リンクの復旧最適化：図2で示す損失輸送量が最小となるように、投入可能な復旧作業人工の上限等の制約の下で、鉄道リンクの復旧過程を推計する。この時、全てのノードは通常時の機能を維持しているとする。
- ② ノードの復旧最適化：①と同じ要領でノードの復旧過程を算出する。この時、鉄道リンクの復旧状況は、①の推計結果に従うものとする。
- ③ 迂回輸送パターンの最適化：鉄道ネットワークの復旧過程が①と②に従うとして、通常輸送ができない貨物を最大限迂回輸送しつつ、通常時より増加する輸送コストが最小となるように、復旧期間中の各日の迂回輸送パターンを算出する。なお、迂回輸送は、通常輸送実施後の余剰輸送能力を使用する。
- ④ 代行輸送パターンの最適化：迂回輸送もできない貨物を最大限代行輸送しつつ、通常時より増加する輸送コストが最小となるように、復旧期間中の各日の代行輸送パターンを算出する。なお、トラック輸送と鉄道輸送を組み合わせる場合の鉄道部分の輸送は、迂回輸送実施後の余剰輸送能力を使用する。トラック代行輸送もできない貨物は、その貨物の発ノードで保管して翌日の同ODの貨物需要に加える。ただし、発ノードの保管容量を超える貨物は未輸送とし、翌日の貨物需要にも加えない。

被災したノードと鉄道リンクについては、それぞれの復旧日を指定する復旧シナリオを与えることもでき、これを与えた場合には①と②は省略される。

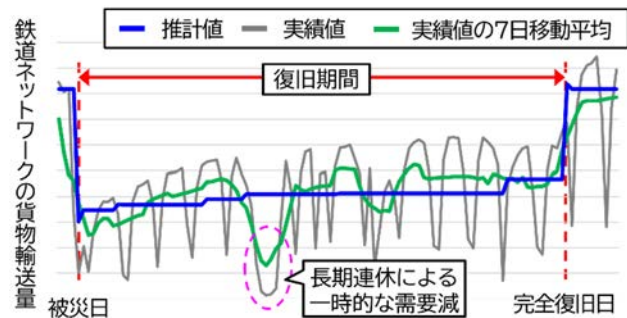


図3 再現シミュレーションの結果

3. 定量化手法の推計精度の検証

定量化手法の推計精度を検証するため、自然災害によって鉄道ネットワークに不通（約3ヶ月間）が発生した際の実績データを用いた、貨物輸送量の再現シミュレーションを実施した。復旧期間中の各日に発生する各ODの貨物需要は、不通が発生する前2週間の平均貨物需要の実績値を充てた。そのため、実際には曜日によって不通時輸送量は変動するが、推計される不通時輸送量は平均的な1日の値となる。また、各被災箇所には、実際の復旧過程に沿った復旧シナリオを与えた。

図3は、貨物輸送量の推計値、実績値、および輸送量の曜日変動を平滑化した実績値の7日移動平均（当該日+前後3日間）を示すものである。推計値と実績値の7日移動平均を比較すると、貨物需要が低下する長期連休期間を除いて良好な精度で再現できている。また、別の事例を用いた同様のシミュレーションでも、同じく良好な精度で再現できていることが確認できた。よって、構築した定量化手法は、様々な被災条件下における不通時輸送量や災害時コストを精度良く算出可能と考えられる。

4. おわりに

本研究では、災害対策に関する鉄道貨物事業者の意思決定支援を目的として、鉄道ネットワークに対する災害対策の実施効果の評価手法を構築した。そして本稿では、本評価手法の指標である不通時輸送量と災害時コストの定量化手法と、その推計精度の検証結果について述べた。

今後は、本定量化手法の更なる精度検証を進めるとともに、適用可能な被災条件の更なる拡大を図る。

参考文献

- 1) 例えば、村木康行 他：利用者便益から見た全国幹線交通ネットワークの耐震信頼性評価と耐震性向上による影響分析、土木計画学研究・論文集、No. 16, 1999
- 2) 渡邊拓也 他：鉄道ネットワークに対する災害対策の実施効果の評価手法（その2）—評価手法の概要とケーススタディ—、令和4年度土木学会年次学術講演会講演概要集、2022