



道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成果報告レポート
No. 25-1

研究テーマ

広域道路ネットワークの耐災害信頼性から観たリンクの
脆弱性及び改良優先度の実用的評価手法の開発と適用

研究代表者：東京大学	教授	家田 仁 (現 政策研究大学院大学)
共同研究者：東京大学	教授	羽藤 英二
東京大学	特任教授	島村 誠 (現 防災科学技術研究所)
東京大学	講師	鳩山 紀一郎
東京大学	特任助教	柳沼 秀樹 (現 東京理科大学)
北海道大学	教授	田村 亨
東京工業大学	教授	朝倉 康夫
埼玉大学	教授	久保田 尚
慶應義塾大学	准教授	田邊 勝巳
長岡科学技術大学	教授	佐野 可寸志
名古屋工業大学	教授	秀島 栄三
京都大学	教授	宇野 伸宏
愛媛大学	教授	岡村 未対
高知工科大学	教授	那須 清吾
高知工科大学	准教授	大内 雅博
徳島大学	教授	山中 英生
広島大学	教授	藤原 章正
熊本大学	教授	溝上 章志

平成28年7月

新道路技術会議

目 次

研究概要	1
第1章 はじめに	3
1. 1 背景と目的	3
1. 2 研究目標	4
1. 3 研究体制	4
1. 4 実施概要	4
1. 5 本論の構成	5
第2章 暫定手法の基本特性の把握ならびに国内外の方法論的な研究レビューの整理	6
2. 1 はじめに	6
2. 2 暫定手法の整理と課題点の抽出	6
2. 3 暫定手法の計算特性および挙動の確認	10
2. 4 国内外の既往研究レビュー	13
2. 5 本研究に応用可能な知見の整理	17
第3章 暫定手法の実務的ニーズの把握と改善に向けたフレームワークの検討	18
3. 1 はじめに	18
3. 2 全体ミーティングによる改善意見の抽出	18
3. 3 地方別意見交換会による実態把握	18
3. 4 これまでの検討を踏まえた改善点の整理	23
3. 5 改善に向けたフレームワークの構築	24
第4章 経路の多重性を考慮したわかりやすい数値ベース評価指標の構築	27
4. 1 はじめに	27
4. 2 基本概念	27
4. 3 改善手法：拠点ペアベース評価	28
4. 4 改善手法：改善プロジェクトベース評価	30
4. 5 改善手法：数値指標からのランク導出	31
4. 6 仮想ネットワークを用いた性能評価	32
4. 7 テスト適用と実務的経験との整合性検証	34
4. 8 まとめ	35

第5章 地域の実情に応じた複数の災害シナリオを加味した計算設定の検討.....	37
5. 1 はじめに.....	37
5. 2 計算条件に関する基本方針の検討.....	37
5. 3 耐災害信頼性評価システムの構築.....	42
5. 4 実務者との協議によるブラッシュアップ.....	44
5. 5 まとめ.....	45
第6章 新たな防災機能評価手法の全国レベルでの実務への適用可能性検証.....	46
6. 1 はじめに.....	46
6. 2 暫定適用と手法のブラッシュアップ.....	46
6. 3 全国レベルでの適用可能性検証.....	50
6. 4 提案手法の実務における運用方法.....	53
6. 5 まとめ.....	53
第7章 新たな防災機能評価手法の全国レベルでの実務への適用可能性検証.....	54
6. 1 本論のまとめ.....	54
6. 2 今後の課題.....	54
6. 3 今後の展望.....	55
参考文献.....	55

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成25年度採択)
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No. 25-1	広域道路ネットワークの耐災害信頼性から観たリンクの脆弱度及び改良優先度の実用的評価手法の開発と適用性評価	東京大学大学院 教授 家田仁

東日本大震災を踏まえて提案された「道路の防災機能評価手法(暫定案)」の実用性向上を念頭に、実務者の感覚と合致したより改善評価手法の開発および適用可能性の検証を行った。具体的には、(1)実務者との意見交換から抽出した実務ニーズを踏まえて、暫定手法をベースに地域の実情を踏まえた新たな評価手法を構築し、(2)新たな評価手法の実務への適用可能性の検証ならびに評価手法の改訂に向けた試みに関する研究を行った。

1. 研究の背景・目的 (研究開始当初の背景・動機、目標等)

本研究は、東日本大震災を踏まえて導入された「道路の防災機能評価手法(暫定案)」の大幅な実用性向上を目標に、実務者の感覚と合致したより現実的な耐災害信頼性評価手法の開発および適用可能性の検証を目的とした。本研究を遂行するにあたっては、(1)道路分科会・事業評価部会によって作成された暫定手法を性能検証し、さらに改良する。(2)全国各広域圏で実務的な実用性を検証し、地域に応じたファイン・チューニングを行う。(3)全国各広域圏で適用結果を算出し、速やかに整備事業に反映する、の3点を具体的な研究目標として設定した。

2. 研究内容 (研究の方法・項目等)

【平成25年度】

- 1) 東北地方をケーススタディ地域とした暫定手法の基本特性に関するレビュー
- 2) 実務者との意見交換会による暫定手法に関する実務的なニーズの把握
- 3) 手法の改良に向けた実務的・学術的な国内外における方法論的な研究レビュー
- 4) 上記の検討を踏まえた暫定手法の改善に向けた方向性の検討と全体フレームの構築
- 5) 暫定手法をベースに改良したプロトタイプ評価手法の構築と性能検証(平成26・27年度継続)

【平成26年度】

- 6) 提案手法の実務的感覚との整合性検証とプロトタイプの改良
- 7) 実務者と連携した提案手法のケーススタディ地域(四国地方)への適用と挙動確認
- 8) 自動処理を念頭においた地図ベースのGUIを備えた評価計算システムの構築(平成27年度継続)

【平成27年度】

- 9) 地域の多様な災害を想定した実適用に向けた提案手法のブラッシュアップ
- 10) 事業採択を念頭に置いた全国各地域への適用と実務者との協議を通じたファイン・チューニング
- 11) 新たな評価手法の確立およびマニュアル化、さらに実適用。

3. 研究成果 (図表・写真等を活用し分かりやすく記述)

(1) 新たな道路の防災機能評価手法の構築：既往研究や実務ニーズの調査から図1に示す全体フレームを検討し、実務面・研究面の課題を踏まえて、地域の実情に応じた複数の災害シナリオを加味した設定の検討、経路の多重性を考慮したわかりやすい数値ベース評価手法の構築した。

(2) 新たな評価手法の実務への適用可能性検証と評価手法改訂に向けた試み：提案した改善評価手法を東北地方と四国地方をケーススタディ地域として適用し、挙動の確認を行った。また、実際の事業採択を念頭に全国10地域での実適用を実務者と共同で実施した。その結果、概ね実務感覚と整合しているとの意見を頂き、本手法が実務でも有効に機能することを確認した。本研究の最終目的である暫定手法から提案手法への改訂に向けて、適用と実務者との協議を重ね、2015年12月および2016年3月に実施された国土交通省社会資本整備審議会道路分科会にて提案手法が採択され、今後の実務への本格運用が決定された。

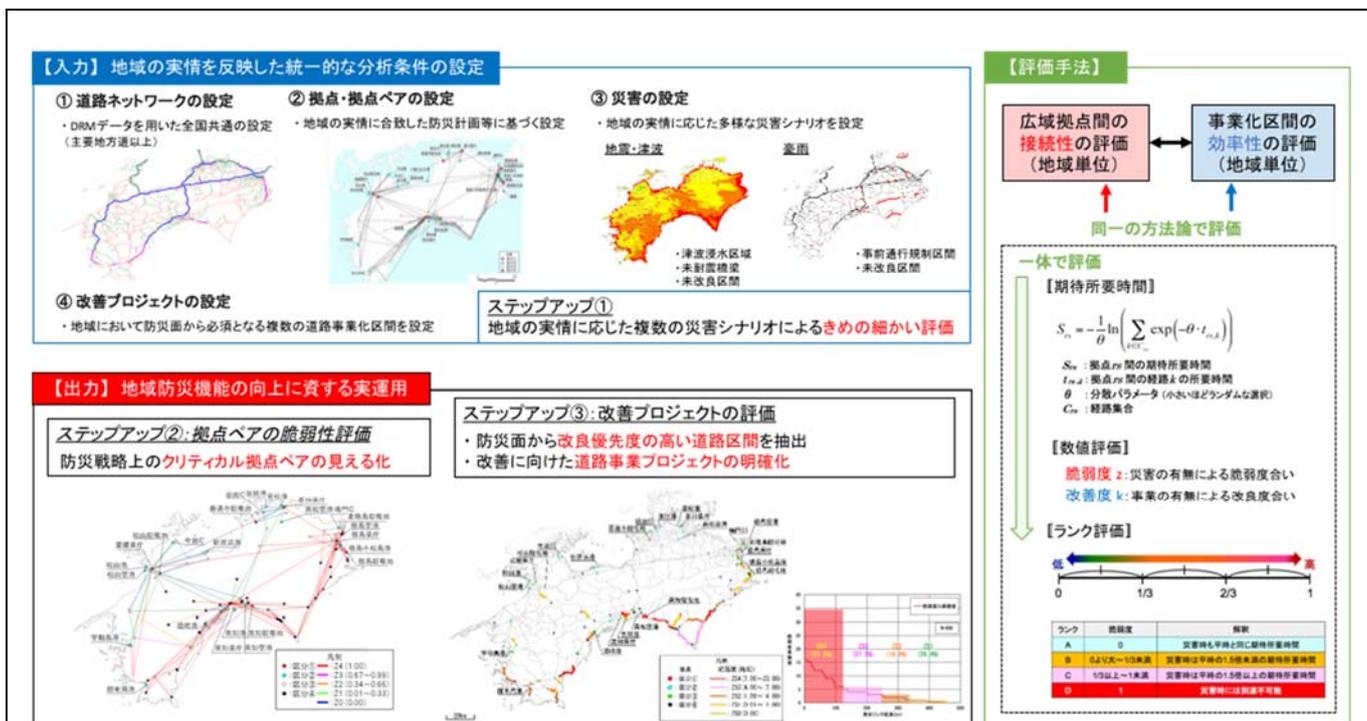


図1 改善手法の全体フレームの概念図

4. 主な発表論文 (研究代表者はゴシック、研究分担者は下線)

- 1) 矢野慎一, 柳沼秀樹, 家田仁: 災害時における多重性を考慮した道路防災機能評価手法の構築, 土木計画学・講演集, Vol.49, 東北工業大学, 2014.6.
- 2) 矢野慎一, 柳沼秀樹, 家田仁: 経路の多重性を考慮した道路防災機能評価の改良, 交通工学研究発表会・論文集, Vol.34, 2014.
- 3) H. Yaginuma, S. Yano, H. Ieda: Improvement of Road Project Evaluation Method for Disaster Mitigation and Application to Multiple-Disaster Case in Japan, In the XXVth World Road Congress, Seoul Korea, 2015.

5. 今後の展望 (研究成果の活用や発展性、今後の課題等)

本研究が提案した新たな道路の防災機能評価手法については、理論面・実務面から概ね必須要件を満たす成果となっているが、幾つかの改善の余地がある。たとえば、災害時における航空機や船舶などとの代替性を明示的に考慮したマルチモード型の耐災害信頼性評価手法の構築と実ネットワークへの適用、ETC2.0プローブデータを用いた平時・災害時におけるログサムパラメータの推計と防災機能評価における評価指標値の感度分析、評価計算の時間短縮に向けた計算アルゴリズムの改良とより高度な並列処理の実装、評価計算結果の全国的な統一フォーマットの作成とPDFファイル等への出力機能、などが挙げられる。

6. 道路政策の質の向上への寄与 (研究成果の実務への反映見込み等)

本研究は、当初より実務的な利用を想定した検討を行っており、理論面と実務面の双方から実務者と共同で取り組んできた。その結果、2015年12月21日の国土交通省社会資本整備審議会道路分科会にて、新たな道路防災機能評価手法として採択されており、2016年3月10日の同道路分科会においては、新規事業採択の評価に本手法が用いられている。また、本研究が開発した評価計算システム (RAIJIN: Reliability Assessment Index for Japanese Integrated Networks) 及びその利用マニュアルも既に実務に用いられている。

7. ホームページ等 (関連ウェブサイト等)

http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s203_jigyouchyouka01.html

第1章 はじめに

1.1 背景と目的

道路ネットワークの整備効果は、3便益（走行時間短縮，走行経費減少，交通事故減少）による費用便益比（B/C）が重視されており，平均的な一日を想定した便益計算に基づいて評価が行われてきた。

2011年3月11日に発生した東日本大震災では，発災時に東北地方の地域間道路ネットワークが津波により寸断された。その際に，健在であった内陸部の東北自動車道を軸として沿岸部の被災地との間の移動を確保する「櫛の歯作戦」が展開された（図-1）。その結果，道路が早期に啓開・復旧されたことで，救助・救援活動・広域的な緊急物資の輸送を可能とするなど，道路が様々な役割を果たした。このような道路の防

災機能，すなわち災害時の被災地域への到達可能性を意味するネットワークの連結信頼性を担保・維持することは，従前の費用便益分析では考慮されておらず，地方部において高い防災機能をもつ道路事業がB/Cでは低い評価となり，その重要性が看過されることが懸念される。

被害を受けた東北地方と同様，道路ネットワークが発災により寸断されるリスクのある地域は日本全国各地に存在する。その中には「櫛の歯作戦」を可能としたような，被災地域内外間を連絡するネットワークが確立されていない「ミッシングリンク」を有する地域も散見される。防災の観点からもミッシングリンクの解消が重要な意味を持つことは明らかであろう。

道路の防災機能を適切に評価するため，国土交通省社会資本整備審議会道路分科会の事業評価部会により「防災機能の暫定評価手法」と称する手法が2011年8月に策定された。この暫定手法は，同年に震災復興の1つとして計画された三陸海岸道路の新規事業化に実適用されており，以降は沖縄を除く地域で新規事業採択の評価手法として適用されている。

しかしながら，全国各地において地震・津波にくわえて，様々な自然災害が発生する我が国の状況や，災害発生後の道路の果たす役割の変化（救助・救援～緊急物資輸送～被災地復旧・復興支援など），道路の老朽化に伴う重大事故などを考慮すると，非常時のネットワークの評価に際して，暫定手法をさらに改善する余地は大きい。具体的には，非常時のネットワークの信頼性評価を行う上では，地域ごとの災害の種類や発生規模・頻度に基づいて，災害強度特性や維持管理レベルの影響に応じた評価手法が求められている。

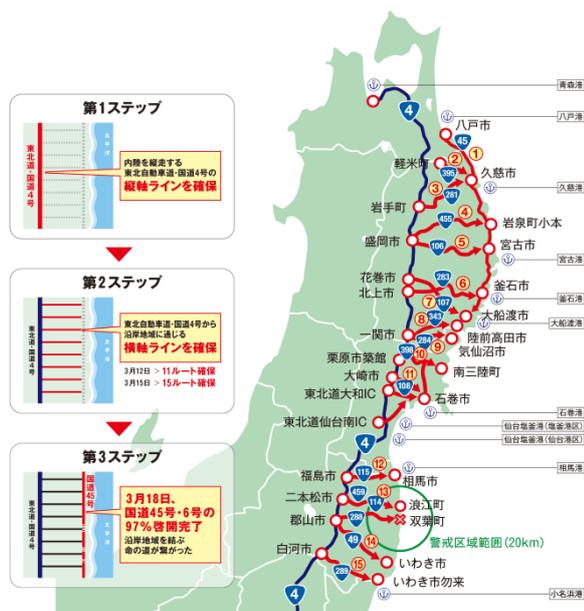


図-1 櫛の歯作戦の概要

以上の背景を踏まえて、本研究の目的は、東日本大震災を踏まえて提案された「道路の防災機能評価手法（暫定案）」の実用性向上を念頭に、実務者の感覚と合致したより現実的な耐災害信頼性評価手法の開発および適用可能性の検証である。より具体的には、現実の道路整備と維持管理プロセスにおける道路ネットワークの評価手法として実用的なリンク脆弱度と改良優先度指標を開発提案するとともに、提案手法を用いた各地域における信頼性評価の適用性評価と実務における利用可能な水準までの精度向上を図る。

1.2 研究目標

前節にて設定した目的を踏まえて、本研究を遂行するにあたっては、以下の3点を具体的な目標を設定した。

- 1) 2011年の東日本大震災以降に作成された「道路の防災機能評価手法（暫定案）」を性能検証し、さらに改良する。
- 2) 全国各広域圏での実務的適用性の検証と地域に応じたファイン・チューニングを行う。
- 3) 全国各広域圏で適用結果を出し、速やかな事業整備評価への反映する。

本研究は、防災機能評価の理論的な改善に留まらず、実務的改善ニーズを踏まえながら、速やかな整備事業への反映を念頭に新たな評価手法（以降、改善手法）を構築する。なお、以下の5点を必須要件として研究に取り組む。

- 1) 理論的整合性と体系性の確保
- 2) 技術的課題の克服
- 3) 実務的操作性（手法の簡便性）の確保
- 4) 各地の地域特性や災害実態との適合
- 5) 結果の実務的経験との整合

ここで、2点目は評価に用いる道路ネットワークの設定や拠点とそのペアの取り方、被害想定のお考え方などを意味する。また、3点目にある実務的操作性は「有効な範囲で可能な限り簡便であること」とし、理論面と実務面を勘案しながら検討を行う。

1.3 研究体制

本研究では、各地域の実情を十分に踏まえた評価手法を開発するために、ヒアリングや意見交換を通じて、各地域の関係行政機関および研究者との連携を十分に図ることが必須であり、表-1ならびに図-2に示すような全国的な研究体制を構築して研究を遂行した。主に手法の開

発や各種設定の検討、評価計算を東京大学が実施し、地方別のデータ構築や結果の検証を各地の研究者と実務者が共同で実施した。なお、提案手法の検証用データ・セットの構築ならびに評価計算システムのユーザーインターフェース部分については、道路業務に精通しておりシステム構築の経験を有する建設コンサルタントに外注をした。

表-1 研究分担者の一覧

研究者氏名	分担研究内容	所属・役職	経歴・主な研究分野
家田 仁	研究総括	東京大学・教授	社会基盤計画学
羽藤英二	研究のレビュー	東京大学・教授	都市計画
鳩山紀一郎	手法の評価	東京大学・講師	交通工学
島村 誠	評価手法構築	東京大学・教授	リスク工学
柳沼秀樹	評価手法構築	東京大学・助教	交通工学
田村 亨	地域災害評価	北海道大学・教授	交通計画
奥村 誠	地域災害評価	東北大学・教授	都市計画
朝倉康夫	地域災害評価	東京工業大学・教授	交通工学
久保田尚	地域災害評価	埼玉大学・教授	交通計画
田邊勝巳	地域災害評価	慶應義塾大学・准教授	経済学
佐野可寸志	地域災害評価	長岡技術大・教授	交通計画
秀島栄三	地域災害評価	名古屋工大・教授	交通工学
宇野伸宏	地域災害評価	京都大学・准教授	交通工学
岡村未対	地域災害評価	愛媛大学・教授	地盤工学
那須清吾	地域災害評価	高知工科大学・教授	行政経営
大内雅博	地域災害評価	高知工科大学・准教授	コンクリート工学
山中英生	地域災害評価	徳島大学・教授	都市計画
藤原章正	地域災害評価	広島大学・教授	交通計画
溝上章志	地域災害評価	熊本大学・教授	土木計画

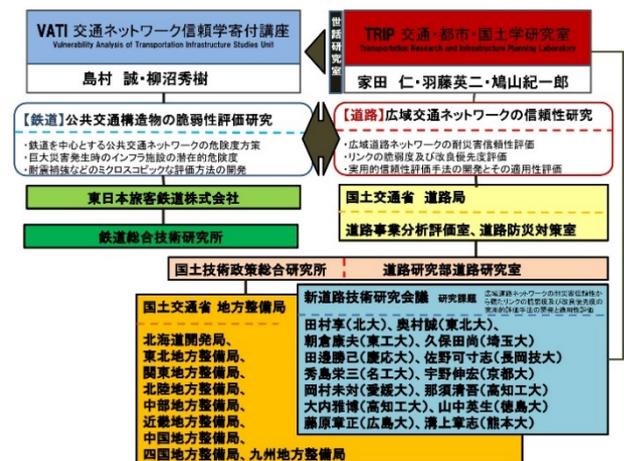


図-2 本研究の研究体制

1.4 実施概要

本研究の目的である新たな防災機能評価手法を検討する上で、本研究が3ヶ年で実施した研究内容を年度別に以下にまとめる。

【平成25年度】

- 1) 暫定手法の基本特性に関するレビュー：既存の暫定手法の設定や計算の特性を把握するために、東北地方をケーススタディ地域として実際に適用計算を行い、課題点を把握・整理した。
- 2) 暫定手法に関する実務的なニーズの把握：国土交通省道路局ならびに暫定手法の運用

実績を有する北海道開発局と8ヶ所の地方整備局を対象に意見交換会を行い、これまでの運用を踏まえた問題点や技術的課題点、手法の改良点について整理した。また、実作業を担うコンサルタントからもニーズを抽出した。

- 3) **国内外における方法論的な研究レビュー**：道路ネットワークの信頼性や災害時の道路遮断に関する国内外の研究動向について包括的なレビューを行い、手法の改良に向けた実務的・学術的な知見を整理した。
- 4) **暫定手法の改善に向けた方向性の検討**：上記の検討を踏まえて、暫定手法の具体的な改善方針として、分析条件の設定や手法の改良方針、システム化による作業効率の向上などの6点を提示した。
- 5) **提案手法の試案構築と性能検証**：理論面・実務面の課題点を踏まえて、暫定手法をベースに改良したプロトタイプ評価手法を構築し、東北地方を対象に適用して性能を検証した。（平成26・27年度継続）

【平成26年度】

- 6) **提案手法の実務的感覚との整合性検証とプロトタイプの改良**：前年度に引き続き、東北地方での適用結果から明らかになった課題を反映した試案の改良と再適用を実施した。また、前年度と同様に各地方で意見交換会を行い、実務的感覚との整合性や改良点などに関する意見を抽出した。
- 7) **提案手法のケーススタディ地域への適用と挙動確認**：南海トラフ地震が懸念される四国地方を対象に、道路啓開や防災計画を反映した拠点・拠点ペアの設定方法や地域特性に応じた様々なハザード設定が評価指標に与える影響を実務者と連携して行い、修正点を検討した。
- 8) **自動処理を念頭においた評価計算システムの構築**：実務者の負担を軽減し、全国共通の評価精度を確保するために、地図ベースのGUI（グラフィカル・ユーザーインターフェース）を備えた自動で計算と評価が可能な操作性の高い数値処理システムを設計・実装した。（平成27年度継続）

【平成27年度】

- 9) **実適用に向けた提案手法のブラッシュアップ**：実際の適用時に必須となる災害時の地域特性を考慮した拠点および拠点ペアの選定方法、拠点の浸水設定方法、多様なハザ

ードを想定した道路リンクの遮断状況の設定方法などの詳細な設定項目を実務者と共同で検討した。

- 10) **各地域への適用と実務者との協議によるファイン・チューニング**：事業採択を念頭に全国10ヶ所（北海道開発局、全国8ヶ所の地方整備局、沖縄総合事務局）での実適用を実務者と共同で実施し、提案手法の指標値や設定項目について実務的感覚との整合性を確認し、必要に応じて修正した。また、評価計算には開発したシステムを投入しており、操作性の確認や必要な機能の追加実装、将来的に導入すべき項目を整理した。
- 11) **評価手法の確立およびマニュアル化**：既存の暫定手法を提案手法に抜本的に改訂すべく、評価手法の最終的な調整を実施し、公表用マニュアル、実務者向けの手引書、評価システムのリリースを行った。その結果、2015年12月21日の国土交通省社会資本整備審議会道路分科会にて提案手法が採択され、次年度より本格運用が決定された。さらに、2016年3月10日の道路分科会においては、本手法をベースとして15路線区間が新規事業採択候補として選定された。

1.5 本論の構成

本論の構成は以下のとおりである。はじめに第1章では本研究の背景と目的、具体的な目標を示した。第2章では暫定手法の計算論的な特性の把握と既往研究レビューを行った。第3章では実務者の暫定手法に関するニーズを意見交換会から抽出し、これまでの整理を踏まえて手法の改善フレームワークを構築した。これらを踏まえて、第4章では評価指標、第5章では設定条件を検討した。前者では、既往の評価手法を統合する形で、多重性を考慮した期待所要時間に基づく脆弱度と改善度を定義した。後者では、地域の実情に応じた設定項目の精緻化を図り、評価手法のリアリティと精度の確保に務めた。また、評価計算システムの実装し、実務的な負担の経験に務めた。これらを実務者との協力で全国10地域での適用を行い、提案手法が実務的感覚と整合することを示した。最後に第7章では、本研究のまとめと今後の課題・展望を整理した。

第2章 暫定手法の基本特性の把握ならびに国内外の方法論的な研究レビューの整理

2.1 はじめに

東日本大震災を契機として運用が開始された「道路の防災機能評価手法(暫定案)」(以降、暫定手法)を改良するに当って、暫定手法の設定や計算特性を把握する必要がある。そこで、東北地方をケーススタディ地域として実際に計算を行い、課題点を把握・整理した。また、道路ネットワークの信頼性や災害時の道路遮断に関する国内外の研究動向について包括的なレビューを行い、手法の改良に向けた学術的・実務的な知見を整理した。

2.2 暫定手法の整理と課題点の抽出

(1) 暫定手法の概要

暫定手法は、「主要都市・拠点間等の防災機能向上に関する計測マニュアル(暫定案)」および「ネットワーク全体の防災機能向上に関する計測マニュアル(暫定案)」(いずれもH25.4国土交通省道路局)によって実施されている。下記の図2.1に示すように、主として「広域拠点間の接続性の評価(地域単位)」と「事業化区間の効率性の評価(事業単位)」の2つの評価手法を用いて事業評価が実施されてきた。前者は、災害時の拠点間の接続をABCDのランク指標で評価

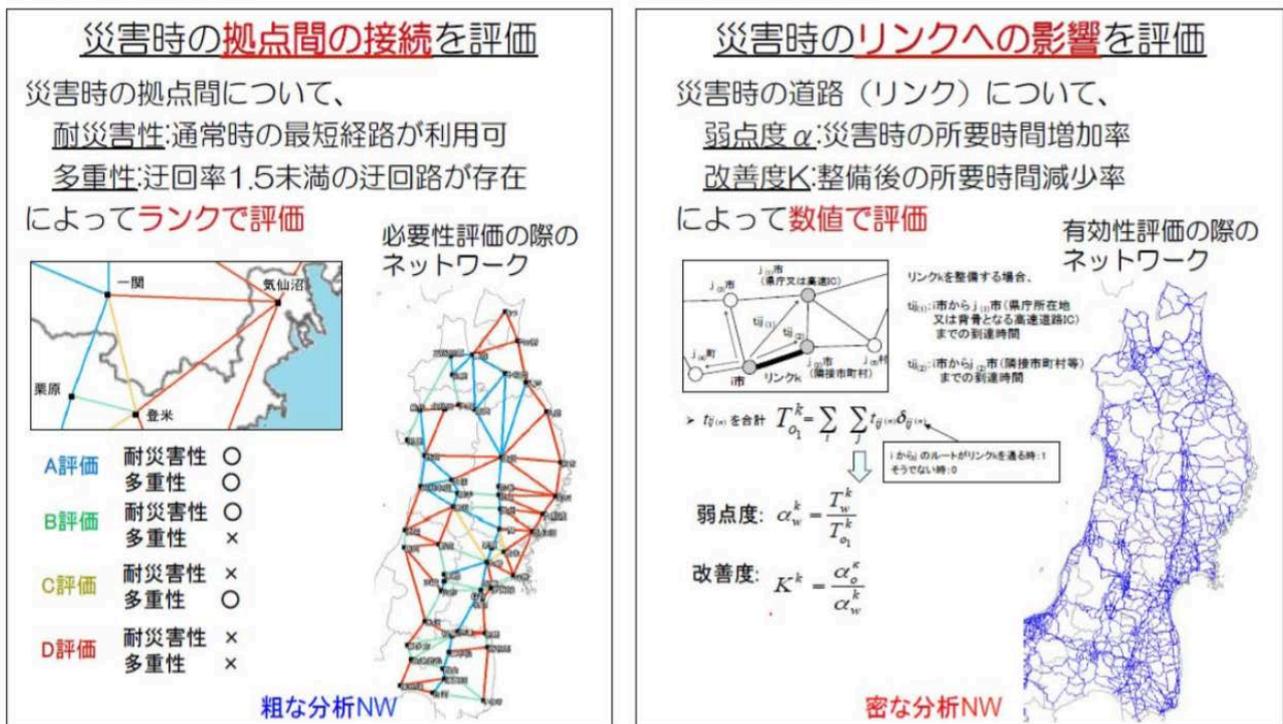


図 2.1 暫定手法における評価手法の概要

している。一方、後者は災害時の道路リンクへの影響を弱点度（災害時の所要時間の増加率）と改善度（整備後の所要時間の減少率）の数値指標で評価している。

(2) 広域拠点間の接続性の評価

広域拠点間の接続性の評価（以下「必要性評価」と称する）の特徴を表2.1に示す。

必要性評価は、対象となる道路ネットワークを「迂回解消モデル」に基づき評価を実施するものである。ここで「迂回解消モデル」とは、「主要な都市間等において、災害時に地域の孤立や大きな迂回を余儀なくされた場合、救助・救援活動、広域的な緊急物資の輸送に困難をきたすことから、連絡する拠点の重要度に応じ、耐災害性、多重性を変数として、地域の孤立や迂回の解消の度合いを等級分けするためのモデル」としてマニュアルに定義されている。

評価の対象範囲は、評価実施者である地方整備局管内全域および隣接都府県である。直接の評価対象となる拠点は、都市や港湾をはじめとする行政・交通・物流の要所が設定される。経路は、主要地方道以上でかつ第一次緊急輸送道路に指定されている道路から構成され、「効率

的・効果的に連絡できるよう設定」することが求められている。なお、後述する「多重性評価」のために、平常時における最短経路(主経路)とともに、災害時に道路遮断(ハザード)が生じず、かつ主経路との重複がない経路(迂回路)をあわせて設定する。

必要性評価では、各拠点間を対象に「耐災害性(災害危険性)」および「多重性(脆弱性)」を評価する。「耐災害性」とは、主経路に関して、経路上に災害時に通行不能になる(ハザードが発生する)と想定される箇所が存在しない場合は「耐災害性がある」という評価を与える。なお、災害時に通行不能になると想定される箇所として、地震による被害が想定される「津波浸水地域内区間」、「未耐震橋梁架橋箇所」、「車道幅員5.5m以上未改良区間」、「事前通行規制区間」の計4種類が指定されている。

表2.2に多重性の評価に用いる各データの定義を示す。「多重性」とは、耐災害性評価の際に設定された災害時に通行不能になると想定される箇所を含まず、かつ主経路との重複のない経路のうち最短であるもの(迂回路)を指定し、主経路に対する時間または延長に関する「迂回率」を求めた時、どちらかが1.5未満である場合

表 2.1 必要性評価の特徴

項目	内容
対象範囲	地整管内全域+隣接都府県
ノード(拠点)	都市・港湾・空港・貨物ターミナル駅、その他の物流・交通拠点
リンク(経路)	主要地方道以上で、第一次緊急輸送道路に指定されている道路を用い「効率的・効果的に連絡できるよう設定」したもの。平常時における最短経路(主経路)と、災害時に通行可能な最短経路(迂回路)の2通りを設定する。
評価事項	1)耐災害性(災害危険性) 主経路の災害による寸断(ハザード)可能性の有無を評価。 2)多重性(脆弱性) 主経路に対する迂回路の所要時間または延長の増大率を評価。
評価の表現方法	カテゴリ評価(A/B/C/D)、重要性評価

表 2.2 多重性評価の迂回率計算データ

名称	内容
延長 L_1^i, L_2^i	L_1^i : リンク i の主経路の延長 L_2^i : リンク i の迂回路の延長
所要時間 T_1^i, T_2^i	T_1^i : リンク i の主経路の所要時間 T_2^i : リンク i の迂回路の所要時間
距離迂回率 Al^i	$Al^i = L_1^i / L_2^i$
時間迂回率 At^i	$At^i = T_1^i / T_2^i$
迂回率	$\min\{Al^i, At^i\}$

表 2.3 カテゴリ評価における防災機能の評価区分

リンクの防災機能 評価等級	耐災害性 (災害危険性)	多重性 (脆弱性)
A	○	○
B	○	—
C	×	○
D	×	×

○: 評価あり
×: 評価なし
—: 評価不要

にその拠点間に「多重性がある」という評価を与えることである。なお、迂回率は主経路に対する迂回路の所要時間または延長の増加率で定義され、両者のうち小さい方の値とする。「耐災害性」と「多重性」により、リンクの有する防災機能にA～Dまでの等級を設定し、表2.3に示すカテゴリ評価を行う。

また、上記カテゴリ評価の実行結果は、リンクの重要度（3区分）に応じた要求基準への適合可否について確認し、重要性評価を行う。なお、要求基準は以下のとおりである。

- i. **要求基準A**：都道府県庁所在都市またはそれと同等の規模の都市、国際拠点 港湾等の大規模交通拠点を相互に連絡するリンクまたは同様の交通経路の一部を構成するリンク
- ii. **要求基準A～B**：上記拠点と、上記拠点以外の地域生活の中心となる都市、重要 港湾および定期便の就航している地方管理空港等の交通拠点を 連絡するリンクまたは主要拠点相互を連絡するリンクで、上記 に含まれないもの
- iii. **要求基準A～C**：上記に含まれないもの

(3) 事業化区間の効率性の評価

事業化区間の効率性の評価（以下「有効性評価」と称する）の特徴を表2.4に示す。

有効性評価は、対象となる道路ネットワークを「連結性向上モデル」に基づいてデータ化し、評価を実施するものである。ここで「連結性向上モデル」とは、「対象地域内の各市町村から最寄りの都道府県庁所在都市又は高速道路の最寄りICおよび周辺市町村までの到達時間が災害時にどの程度長くなるか、また、抑えられるかについて、その短縮の度合いを数値化するモデル」としてマニュアルに定義されている。評価の対象範囲は、評価実施者である地方整備局管内全域および隣接都府県である。

前述の必要性評価では、評価対象となるノードは主要拠点間のみであったが、有効性評価では、任意の市町村代表点（役場の所在地近傍）を出発地とし都道府県庁所在都市や「背骨となる高速道路」の最寄りICおよびその周辺市町村を到着地とした接続性を総合的に評価対象とする。なお、実務的な適用事例では、事業評価の対象である新規整備道路から半径50km圏内

表 2.4 有効性評価の特徴

項目	内容
対象範囲	地整管内全域+隣接都府県
ノード(拠点)	出発地：各市町村 到着地：都道府県庁所在地都市又は背骨となる高速道路 ^(*) の最寄りICおよび周辺市町村
リンク(経路)	隣接ノード間を主要地方道以上の道路を用い「効率的、効果的に連絡できるよう設定」したもの
評価事項	1)弱点度 災害時における通過交通の所要時間増大率を評価 2)改善度 事業化による弱点度の減少率を評価
評価の表現方法	数値による定量比較可能な表現

*「背骨となる高速道路」：対象範囲内にある高規格幹線道路の中で、災害時にも早期に通行確保が想定され、広域的な物資の輸送路として機能する路線

表 2.5 指標の計算データ

名称	内容
リンク k 到達時間 $T_{o_1}^k, T_{o_2}^k, T_w^k$	事業化なしの場合に平常時、災害時ともにリンク k を通過する経路をもつ拠点間交通の所要時間の合計 $T_{o_1}^k$ ：平常時・事業化なし $T_{o_2}^k$ ：災害時・事業化なし T_w^k ：災害時・事業化あり
弱点度 α_o^k, α_w^k	$\alpha_o^k = T_{o_2}^k / T_{o_1}^k$ ：事業化前の到達時間増大率 $\alpha_w^k = T_w^k / T_{o_1}^k$ ：事業化後の到達時間増大率
改善度 K	$K = \alpha_o^k / \alpha_w^k$ ：弱点度の改善率(減少率の逆数)

に所在する各市町村および各高速道路ICを起終点とした連絡を対象としている。リンクは主要地方道以上を対象に必要性評価よりも密に配置しており、実務では道路交通センサスやデジタル道路地図(DRM)を用いて構築している。その他の基本的な設定については、必要性評価における場合と同様である。

有効性評価においては、リンクに関して「到達時間」、「弱点度」および「改善度」の評価を与える。各評価指標の定義を表2.5に示す。

「到達時間」とは、各リンク k に対し、 k を通過する経路を、事業化なしの場合に平常時、災害時とも有する拠点間交通の所要時間を合計したものである。これを平常時・事業なし、災害時・事業なし、災害時・事業ありの3通りのネットワークにおいて計算する。

「弱点度」とは、災害時の各リンク k における到達時間の、平常時到達時間に対する増加率のことである。この弱点度を「平常時・事業化なし」に対する「災害時・事業化なし」または「災害時・事業化あり」の2種類計算する。

また、「改善度」とは上記のように求められた2つの弱点度を用いて到達時間の減少率、すなわち改善率を表現するものである。

(4) 既存指標の課題整理

前述した暫定手法の整理ならびに昨年度実施した実務者との意見交換会から様々な課題が存在することも明らかとなった。課題は大きく以下の3種類に区分される。各課題の詳細については、以降に詳述した。

- 1) 評価指標の解釈に起因する課題：必要性・有効性の両評価には、結果を適切に統合する方法が定義されていない。また、必要性評価は定量比較ができず、有効性評価は多重性を考慮できないなど、両評価それぞれに課題が存在する。
- 2) 評価対象に起因する課題：評価対象となるネットワークやその上に設定するハザードは、地震のみならず地域の実情に合った選択・設定を可能とする必要がある。
- 3) データに起因する課題：評価に使用するデータの形式は地方整備局間で統一されておらず、データの互換性がない。また、ネットワークやハザードの設定に手間を要する。

a) 評価指標の解釈に起因する課題

必要性および有効性評価におけるメリット・デメリットを表2.6に示す。

暫定手法における必要性・有効性の両評価は、

表 2.6 評価手法の相違点

項目	手法	
	必要性評価手法	有効性評価手法
評価対象	拠点間	任意のリンク
出力評価	定性的(ABCDランク)	定量的(数値)
分析ネットワーク	疎なネットワーク	△ 密なネットワーク ○
データ作成の手間	拠点間毎に経路を抽出	× 既存データが利用可能 ○
順位付け	同順位内では不可	× 評価可能 ○
時間短縮効果	明示的には不可	× 評価可能 ○
評価項目	耐災害性、多重性	○ 耐災害性 ×
実務での利用状況	利用実績多数	○ 参考地扱い ×
わかりやすさ	わかりやすい	○ わかりにくい ×

○：メリット
×：デメリット
△：どちらともいえない

災害によって所要時間が変化することに基づく指標であり、本質的には同じ評価手法であるが、両者を合わせてひとつの評価を得るための統合はなされていない。

実際の適用においては、解釈が比較的容易な必要性評価が用いられ、有効性評価は参考値扱いとすることが多い。有効性評価は定量的比較を行うことが可能であるものの、結果の解釈が難しく多重性を考慮することが出来ないという課題を有している。一方、必要性評価は定量的な比較が不可能で、例えば同一カテゴリに属するリンク同士の防災機能を比較することができない。

b) 評価対象に起因する課題

暫定評価において考慮している災害とは、東日本大震災や南海トラフ地震のような激甚災害に類する大規模災害である。しかし、実務上の関心としては、高頻度に発生し、復旧までの日数も数日程度である小規模災害(日常災害)による交通遮断も重視される傾向にある。また、これらの災害内容は地域の実情によって異なる。重視されるべき拠点や拠点間交通も地域事情により異なり、一定人口や法令による指定の有無を一律に基準とするのは適切ではない

c) 評価対象に起因する課題

暫定手法では、道路ネットワークの整備やハザードの設定について、具体的な様式を定めておらず、適切な評価を実行するための設定手順も確定していない。そのため、大量の道路および災害データのコード化を手作業によって行う必要がある。また、整備されたデータベースは、各地整が独自に選択した下地となるネットワークの上に、独自に考案した様式により構成されているため、地整間で互換性がなく、設定内容の検証や、隣接地整管内に跨る事業評価に際して大きな支障となりうる。

2.3 暫定手法の計算特性および挙動の確認

(1) 検討概要

前述した広域拠点間の接続性の評価ならびに事業化区間の効率性評価の計算プロセスの確認、東北地方をケーススタディとした再現性検証、設定条件の変更による感度分析を行った。

(2) 東北地方を対象とした再現性検証

a) 検討対象と計算条件

本研究では、東日本大震災の経験を通して災害時の実経験を有し、かつ暫定手法を適用した事業採択実績のある東北地方を検討対象とした。また、東北地方における暫定手法の適用において実際にセットされた拠点ノード、リンクの条件設定に基づいて、暫定手法のうち有効性評価手法について再現性検証を行った。なお、暫定手法のうちもう一方の必要性評価手法は、ネットワーク条件が第一次緊急輸送道路を中心に構成されるため、東北地方ではほぼ全ての行程において手作業による評価が行われている。また、必要に応じて第二次・第三次緊急輸送道路をネットワークに組み込まれているという情報であったが、実際の適用で用いられたネットワークを入手できていない。以上の理由から、以降の分析では有効性評価手法を対象とした。計算条件は以下のとおり設定した。

【計算ネットワーク】

東北地方整備局において実際の計算に用いているネットワーク条件を設定した。拠点ノード、リンクはいずれも有効性評価手法の条件に基づき、それぞれ主要地方道以上の道路、市役所・町村役場・背骨高速 IC としている。また、リンクデータはデジタル道路地図データベース (DRM) を用いた。その他、計算条件に関する設定内容を以下に示す。

【市町村ノードの近似的割り当て】

有効性評価手法では、拠点ノードとして市役所・町村役場を設定するが、庁舎が主要地方道に直接アクセスしていない場合は、庁舎と連絡する道路との交点を市町村ノードと設定するとされている。本研究では便宜上、庁舎から最も近い DRM 上のノードを庁舎の代表地点として設定したが、これによる所要時間の変化は無視できるほど小さいと考えられる。

【災害時を考慮した市町村ノードの変更】

上記の処理を行った上で割り当てた拠点ノードについて、災害時のリンク遮断状況との対応関係を GIS 上で確認したところ、庁舎の代表地点として設定した拠点ノードの直近のリン

クが遮断されているケースが散見された。その典型的な例として大仙市役所の例を図 2.2 に示す。洪水の発生時において、大仙市役所周辺では広範囲にわたって被害を受け、市役所周辺のリンクが広く遮断されることが想定されている。つまり、洪水想定の下では遮断リンクそのものが被災地内にあり、災害時における利用経路にはなり得ないということになる。

したがって、このようなケースにおける拠点ノード近辺のリンク遮断の対応としては、仮に代替経路がないとしても現実的な範囲で通行可能な地点を代表地点として設定する、もしくは数本のリンクの遮断をしないよう変更した。これにより所要時間の変化が発生するが、計算結果に及ぼす影響は小さいと考えられる。



濃青：災害時利用可能 水色：災害時利用不可能

図 2.2 災害時における大仙市役所周辺の浸水状況

【一方通行道路の有向性の無視】

DRM によるネットワークでは高規格幹線道路等で中央分離帯が存在する道路については、上下車線の 2 本のリンクが並列に存在することになっている。しかし、道路の進行方向に関する属性は定義されていない。また、現実において有向性を持たせることが必要であるとも考えられる一方で、災害救援時には超法規的非常時運用により有向性のある程度は無視できるものと考え、いわゆる逆走を許して連結が可能であるとした。さらに、中央分離帯を有する道路は総じて耐災害性がある区間であると考えられることから、並列する 2 本のリンクには通行方向に関する情報は持たせていない。そのため、厳密には高速道路などで逆走と解釈できる非現実的な最短経路が求められることがあるが、あくまで併走している車線を通行すればよいものと解釈して設定している。

b) 再現計算結果と既存適用結果の比較考察

東北地域全域における再現性検証に先立ち、パイロットスタディとして三陸沿岸道路（侍浜～階上）を例に、各市町村ペアの所要時間について再現計算結果と既存適用結果を比較検証した。これらの市町村中心ペアのうち、評価対象リンクを利用するペアについて所要時間を計算し、東北地方での適用結果における所要時間と比較した。その結果、整備前通常時ネットワークの所要時間は再現性が高い一方で、整備前後災害時ネットワークの所要時間には大きな乖離が生じていることが確認された。ここで、整備前通常時ネットワークにおける若干の差は、市町村中心拠点ノードの近似的な割り当てによる計算条件の違いによるものであると考えられる。従って、ベースネットワークの設定と計算方法についてはほぼ再現できているものと判断した。一方、災害時所要時間の乖離については、現地状況に応じて遮断リンクの設定に対して適宜修正が加えられた結果、もしくは遮断設定が反映されていないかであると考えられる。実務者との意見交換の場でも実情に応じて適宜ネットワークを修正することもあることが確認されている。

c) 再現計算結果と既存適用結果の比較考察

上記の乖離原因に関して、東北地方における適用計算の担当者と細部の条件設定に関して議論した結果、災害時において拠点ノード近辺で遮断が発生する場合は、ネットワークに接続できるようリンクの接続関係を適宜見直していること、接続先が複数考えられる場合は、高速道路へのアクセス等も加味しながら接続方法を検討している実態を把握した。特に三陸沿岸道路沿いでは高速道路 IC に近い道路を優先的につなぎなおしていることによる影響が大きいことがわかった。

三陸沿岸道路のうち、岩泉町を通る岩泉道路（供用中）と田老岩泉道路（建設中）の接続点である岩泉龍泉洞 IC は津波浸水想定区域の端部に位置しており、田老岩泉道路の供用後においても、接続リンクとしては機能しないことになる。そこで、津波浸水想定区域の端部に位置し、かつ当該リンクを接続しないと事業を評価できない場合は、これを接続して計算しているのが実情である。なお、浸水想定高も 50cm～100cm であり、仮に浸水により瓦礫等が散乱しても、内陸からの救援隊により早急に啓開されることが予想されることから、リンクを接続することが実情とかけ離れているということは考えにくい。ため、妥当な判断であると考えられる。

将来整備後における弱点度計算の際、暫定評価マニュアルでは整備前通常時の所要時間を分母にとることになっている。しかし、東北地方では隣接するリンクや付近のリンクを接続して計算しなければ評価できない。よって、整備後通常時のネットワークから当該評価対象リンクのみを除いたネットワークにより所要時間を計算し、分母として利用していることも乖離原因のひとつになっている。

d) 乖離の原因究明

以上のように、暫定手法の計算プロセスにおいて、あるいは地域のネットワーク状況を勘案して暫定手法の計算がうまく適用できないケースが存在する。よって、上記のような調整箇所について可能な限り対応して条件設定を見直した上で、東北地方全域の平成 23 年度事業化リンクを対象とした弱点度・改善度の再現性を試みたが、再現計算結果と適用事例の結果が一致することはなかった。

この乖離原因を解決するためには、所要時間計算と弱点度・改善度計算の際のリンク遮断等条件設定の改善が考えられる。本節において得られた有効性評価手法に対する課題を以下に整理した。

- 1) 地域性を考慮した遮断リンク設定方法をマニュアルに反映：上記のほか、地方整備局によっては短い未改良部分や、主要地方道より格下の道路の組込など現地の実情に即した対応が多く、この点においては何よりも現場感覚を要するため再現が難しいことがわかった。今後はこれらローカルルールの透明性を確保するための基準化と合わせて、設定事例などをマニュアルに反映することが必要であると考えられる。
- 2) 曖昧な評価対象リンク通過判定基準をマニュアルに反映：本研究では評価対象リンクの通過判定について、その一部を利用すればリンクを通過したと判定した。一方既存適用結果では評価対象リンクの全区間を通過することでリンクを通過したと判定したと考えられる結果であった。通過の判定については現状のマニュアルでは定義されていないことから、通過判定を基準化してマニュアルへ反映することが必要である。
- 3) 評価値への影響が少ない県庁所在地または IC への到達時間の扱い：平成 23 年度事業化区間について計算を行った結果から、県庁所在地や IC へのアクセスは評価の際あまり重視できていないと考えられる。

(3) 設定条件変更による感度分析

上有効性評価手法の設定条件変更による感度分析にあたっては、実務ニーズで指摘されている多くの課題のうち、1) 評価エリアの判定距離(50km 圏)の設定方法、2) 拠点ノードの設定方法、および3) 不通時所要時間(48時間)の設定方法に着目することとし、暫定手法のマニュアルに沿った設定値による既存適用事例との比較考察を行うこととした。

a) 評価エリアの判定距離の設定方法

暫定手法の適用事例において、評価エリアの判定距離は事業評価リンクの中央から半径50km 以内の市町村中心とされている。半径50km 圏内という基準がどの程度妥当であるかが不明である。また、半径50km を直線距離として設定することは、時に大きく迂回する道路しかないケース(たとえば湾の反対側に位置する地域等)の評価に適切ではない。そこで、判定距離が弱点度と改善度に及ぼす影響をみるため、平成23年度に事業化が決定された各区間を対象に判定距離を10km から100km まで2km 刻みで設定し、算出される弱点度と改善度の変動を考察した。ここで、判定距離の最大値を100km としたのは、東北地方の東西方向距離は約200km であることから判定距離100km の場合で海岸線付近の評価リンクに対して内陸の都市まで十分に評価対象とできること、その逆も評価対象とできることによるものである。

分析の結果、東北地方においては判定距離が増加するにしたがって弱点度・改善度の評価値が漸減する傾向にあること、判定距離が50km 付近を超えると、評価値の変動が相対的に小さくなることが確認された。すなわち、計算に利用する市町村の選択基準である評価対象リンクの中心から半径50km という有効性評価手法の適用例の多くで利用されている設定は概ね妥当性があると考えられるものの、東北地方においては70km 程度が望ましいという結果となった。その理由としては東北地方における拠点間距離が大きいことが挙げられ、宮古ー盛岡間のような中間地点に市町村が存在しない場合、評価が不可能である可能性が存在することが具体例としてあげられた。なお、拠点として市役所の分庁や支所を置くことで評価を可能にすることは可能であるが、重要な拠点同士のペアが合まらない計算を行うことになるため、その結果を用いて事業評価をすることは説得力を欠くと判断できる。また、以上の特徴は出発地、到着地の設定を変更したときも概ね同様の傾向であった。

したがって、判定距離による拠点選択はリンクを利用するペアを十分に評価できないことが予測され、異なる形式の選択基準の検討が必要であると考ええる。

b) 拠点ノードの設定方法

暫定手法では出発地ノードとして市町村を設定し、到着地ノードとして市町村と県庁所在地または背骨高速のIC を設定することになっている。ここで、各市町村については平成の大合併以降、広大な面積を有する市が増えたことや、大都市圏への人口集中により、1つの市に1拠点という設定が適当かどうかは検討の余地がある。東北地方をはじめとして広大な面積を有する市では1つの市に複数の生活中心地が存在し得る一方で、首都圏に代表されるような、市区町村の面積もさほど広くない人口密集地域においては、日常生活圏域が複数の市区町村で1つとすることも考えられる。また、到着地ノードとして設定される県庁所在地や背骨高速のIC については、災害時に重要拠点と連結されていることを評価するためのものである。しかし、県庁所在地や背骨高速のIC 以外にも、広域防災拠点や自衛隊基地等と連結していることは救助・救援に有効であることから、これらとの連結も評価対象の選択肢として考えられる。

その結果、現在の有効性評価手法の計算の枠組みでは出発地・到着地のペアに対して影響を受けにくいことがわかった。特に、到着地の設定では、再現計算と感度分析の両方から拠点設定に対する感度が低いことがわかり、現在の有効性評価手法では重要度を評価できないという知見を確認した。また、出発地については評価値の変化が見られたものの、この設定に関しては評価手法の実用性向上という意味合いよりは、むしろ評価手法の説得力の向上という意味合いが強いと考えられる。全国一律のネットワーク設定にあたっては、各市町村の面積や都市間距離といった地域特性を考慮した拠点ノードの設定方法を検討することが重要であると考ええる。

c) 不通時所要時間の設定方法

暫定手法の改訂版において、災害時に遮断されるリンクの不通時所要時間の最大値は、過去の実績をもとに48時間と設定されているが、リンク遮断の原因や災害規模に応じて大きく異なることが予想される。つまり、リンク遮断の原因や災害規模に応じて一律ではない値を設定することが望ましいと考えられる。平成23年度の各事業化区間の弱点度・改善度の計算結

果が比較的大きい値となっていることから、遮断リンクを含む場合に計算される不通時所要時間の最大値（48時間）が計算結果に対して支配的となる。これを確認するために、不通時所要時間の最大値を12時間、24時間、48時間と変化させた場合の弱点度・改善度の感度を考察した。

その結果、不通時の所要時間設定と評価値が線形の関係を持ち、ほぼ比例関係にあることがわかった。すなわち、リンク遮断の要因や範囲に関係なく48時間と設定することで評価値を実用的でないものにしてしまうと考えられるが、現行の計算の枠組みの中で評価値を算出する場合は、不通時所要時間設定についてリンクの遮断要因や遮断範囲等の諸条件を加味した上で慎重な決定が望まれる。

以上の結果より、拠点の選択基準による評価値への影響度は小さいことが示された。一方、不通時所用時間の設定は大きな影響を及ぼすことが確認された。

2.4 国内外の既往研究に関するレビュー

(1) 道路プロジェクトにおける災害評価

道路プロジェクトにおける災害評価の現状を把握するために、国内外における道路プロジェクトを対象とした整備効果の計測項目を整理した結果を表2.7に示す⁵⁶⁾。各国の評価項目は、基本的には道路3便益(走行時間短縮便益、走行経費減少便益、交通事故減少便益)を中心に評価を実施しているが補助的に各種の評価項目を導入している。災害評価に着目すると、イギリスでは安全の観点から災害・事故に対する防御性の定性的な評価を実施している。具体的には、事故・災害減少に関する複数の項目について3段階評価を行い、最終的に5段階の全体評価を実施している。また、ニュージーランドではリスク減少として自然的要因や人為的要因による交通の混乱やインフラ被害のリスクを計量して評価に反映をすることでしている。しかしながら、具体的な計測方法に関する記載が見られず、何らかの定性的評価もしくは評価推奨項目にとどまる。すなわち、海外の道路プロジェクト評価において、災害を考慮した評価は十分に実施されているとは言い難く、また計測手法も確立されていない状況にある。以上から、我が国の暫定手法は、災害評価を念頭に置いた唯一の体系的評価手法であり、暫定案ながらも道路の必要性和有効性の観点から定性的・定量的な効果計測が行われている。なお、暫定

手法は、通常のコスト便益評価とは異なるスキームでの運用がなされていることに注意したい。

表 2.7 各国における道路プロジェクト評価の整理

国名	評価分類	評価項目	災害評価
日本	道路3便益による費用便益分析	・走行時間短縮便益 ・走行経費減少効果 ・交通事故減少効果	耐災害評価手法(暫定案) ・必要性評価 ・有効性評価
アメリカ		・道路3便益(上記) ・大気汚染等	-
イギリス	総合的かつ多様な評価分析	・道路3便益 ・オプション価値 ・料金収入 ・経済効果 ・環境効果等	事故・災害への防御性
フランス		・道路3便益 ・料金収入の変化 ・環境改善効果 ・安全性向上等	-
ドイツ		・道路3便益 ・誘発交通量 ・環境改善 ・雇用効果 ・更新維持管理費用	-
ニュージーランド	多項目による費用便益分析	・道路3便益 ・混雑緩和 ・走行時の不快感 ・環境改善 ・国家戦略的要因	リスク減少

(2) 道路の信頼性評価に関する研究の整理

a) 道路の信頼性評価の現状

道路ネットワークの信頼性とは、広義には交通現象の変動に対して道路ネットワークに求められる機能を安定的に果たす能力と位置づけられており、所要時間の安定性や移動可能性などの着目する性能によって様々な指標が存在する¹⁾。

近年では、道路ネットワークの所要時間信頼性^{2), 3)}を対象とした研究が活発化しており、出発時刻選択行動や便益評価指標との理論的整合性に関する研究が進められている^{8), 9)}。また、様々な信頼性評価指標が提案されており、実務的観点からも整理がなされている。我が国では、高速道路における所要時間信頼性情報の提供が開始されており、世界に先んじて実務への適用が急速に進んでいる⁵⁷⁾⁻⁶⁰⁾。

一方、東日本大震災を契機として、道路ネットワークの防災機能に着目した評価手法の必要性が叫ばれる。国土交通省道路分科会事業評価部会は、道路の耐災害信頼性の観点から「道路防災機能の暫定評価手法」^{4), 5)}を提案した。この暫定手法は、被災地である東北地方を始め、各地方において暫定手法を用いた事業評価が実施されている。

b) 信頼性評価手法の体系的整理

飯田¹⁾は交通計画における新パラダイムとして「交通ネットワークの信頼性」を挙げており、体系的な整理を行っている。具体的には、信頼性指標として連結信頼性、所要時間信頼性、遭遇信頼性、ネットワーク容量信頼性、交通量減少信頼性、および脆弱性の6つに整理しており、特に実用性が高い連結信頼性と所要時間信頼

性を中心に解説を行っている。また、最新の研究動向を踏まえた整理として、中山^{2),3)}は道路ネットワーク信頼性を随意性(可達性)、速達性、安心・快適性の3つの観点からそれぞれ連結信頼性、所要時間信頼性、走行信頼性を位置づけて詳細なレビューを行っている。本研究が対象とする暫定手法⁴⁾⁷⁾は、経路選択を考慮した連結信頼性、より具体的には遭遇信頼性に位置づけられる。以降では災害時における連結信頼性を中心に既往文献の整理を行う。なお、災害時における所要時間変動については、所要時間信頼性の知見が有用であり、若干の整理を行う。

(3) 連結信頼性に基づく評価手法

a) 信頼性工学に基づくアプローチ

若林ら¹⁰⁾は、道路ネットワークの信頼度を信頼性グラフ解析分野で用いられてきたミニマルパス法およびミニマルカット法により行った。システムの信頼度を求めるためには、構造関数を用いられている。構造関数の構成法には、直列・並列システムの組み合わせによる方法、分解法による方法、ミニマルパス・カットによる方法等があり、システムの等価変換が不要であり、かつオリジナルのシステム構造をそのまま利用できる点ではミニマルパス・カットによる方法が適切であると言及している。また、継続研究¹¹⁾では、従来のミニマルパス・カット法の代替手段として、信頼度の計算にモンテカルロ法の適用可能性を検討している。具体的には、直接的なサンプリングにより信頼度を算出する直接モンテカルロ法と、サンプリング領域を限定することで推定信頼度の分散を減少させることが可能な分散減少モンテカルロ法の2つの方法を試行している。その結果、両手法ともに良好な精度で信頼度を求めることが可能であるが、大規模ネットワークに適用する際には作業時間が膨大化するという欠点を持っている。

高山ら¹²⁾は、従来の連結信頼性評価手法の大きな課題である計算時間の軽減を目的に、道路ネットワークの連結性能から見た信頼性評価手法(トポロジー変換法)を提案し、奥能登地域への適用計算を行っている。ここで、トポロジー変換法とは、ノード集約やリンクの短縮によりネットワークをいくつかのサブネットワークに分割して端点間の連結信頼度を計算し、その結果を集約してネットワーク全体の連結度を評価するものである。これにより計算時間と計算機記憶容量の大幅な節約を実現したところに特徴がある。適用分析において、リンク

の通行可能確率は、過去10年間のアメダスデータを用いて連続雨量が規制基準を超えた回数より設定している。異常気象時における2点間連結信頼度を道路整備前後で比較し、道路整備が異常気象時の連結信頼性向上に資する効果を計測している。

関谷ら¹³⁾は、道路ネットワークの連結信頼性を評価する指標として「OD間連結確率(OD間が1本以上の経路で連結されている確率)」、「OD間交通容量(機能しているOD間経路の交通容量の和)」、「OD間最短経路旅行時間」、「OD間最短経路距離」の4つの指標を提案している。適用分析では、モンテカルロシミュレーションによりランダムにリンクカットを行い、上記4指標を用いて補修優先度の高いリンクを抽出する活用例を示した。

原田ら¹⁴⁾は、本研究が対象としている暫定手法は道路ネットワークの「耐災害性(連結信頼性)」と「多重性(代替路の有無・迂回率)」に基づく評価手法であり、拠点間の評価は可能であるが、面的ハザードの評価には対応できない点を課題点として指摘している。著者らは、従来から用いられてきたミニマルパス集合・ミニマルカット集合の組み合わせによるOD間の連結信頼性の算出を基本としているが、既往モデルの課題である多大な計算コストと非現実的な迂回経路の設定を回避する必要がある。そこで、ネットワークの信頼度向上に資するリンクを限定したブール演算を行うことで連結信頼性を算出する方法を提案している。また、岩手県と高知市の実道路ネットワークに対して提案手法を適用し、実務への適用性について考察している。

従来手法ではネットワークの構造的な連結性に着目して連結信頼性を評価してきた。これに対して、朝倉ら¹⁵⁾はトポロジカルな連結性だけではなく、部分的に機能が低下したネットワークの交通処理能力を表現できる評価モデル、すなわち、道路網の一部のリンクが通行規制された状況を想定したネットワーク交通流の変化を記述できる交通量配分手法を提案した。具体的には、Burrell¹⁶⁾の確率配分法をベースに、通行規制されたリンクの規制時間の長さを組み込むことで表現しており、迂回の表現だけでなく、迂回の上限を設定することで規制によるトリップの中止や一時待機も表現すること可能となる。提案モデルを四国道路ネットワークに適用して、災害時の通行規制によるトリップ中止量の推定や相対的に信頼度の低いODペアの抽出を試みている。同じく、朝倉ら¹⁷⁾は、従

来の連結度評価では OD 間に経路が存在していればその経路の長さは問題にされてこなかった点(迂回距離が現実的でない点)を問題視し、OD ペア間の連結度を平常時ネットワークでの最短距離に対して許容可能な迂回の範囲で OD 間のトリップ可能である確率と定義し、Li and Silvester¹⁸⁾が開発した連結度の近似計算法に基づき、指標の算出方法を開発した。

若林¹⁹⁾は、ブール演算法に基づくノード間信頼度(ノード間においてあるサービスレベル以上での走行が保障される確率)およびリンクの相対的重要度を示す確率重要度の 2 つの指標に基づいて被災想定シナリオ別の計算を行い、ネットワークにおいて連結信頼性を確保する上で重要となる区間を評価した。ここで、確立重要度とはノード間信頼度をリンク信頼度で偏微分した値により定義している。信頼度・重要度ともリンクの平均交通量と交通容量から簡便に推定できる構造となっており、交通量推定手法に組み込んでネットワークの信頼性解析を簡便に行うことができる特徴を持つ。

山城ら²⁰⁾は、ネットワーク全体およびノード間における連結信頼性の定量化を行うため、仮想ネットワーク条件下で全パターンの被災シナリオを設定し、各シナリオにおける全点連結信頼性(前ノード間の移動時間の総和)、防災拠点からの連結信頼性(特定のノードへの移動時間)、防災拠点からのアクセス時間別ノード接続率(特定のノードまでの閾値以内の移動時間で到達できるノードの割合)の 3 つの指標を用いて評価した。また、同手法を大規模ネットワークに展開する際の計算時間の軽減を目的とし、被災パターンをランダムサンプリングして同様の計算を行う方法も提案している。

b) アクセシビリティに基づくアプローチ

Chang et.al.²¹⁾は、リンク距離およびリンク距離に基づくアクセシビリティ指標をもちいて道路をはじめとするライフラインの連結信頼性を評価し、阪神淡路大震災後のライフラインの復旧状況を時系列で整理している。

Taylor et.al.²²⁾は、従来のトポロジカルな連結性指標に基づくネットワーク信頼性では表現できなかったネットワークの Vulnerability (脆弱性) 評価の重要性を指摘している。特に、発生確率は低いが、ネットワークの遮断により深刻なアクセシビリティの低下により重大な社会的・経済的に甚大な影響が生じる場合、クリティカルリンクがどこに存在するかが問題になる。筆者らは、オーストラリアの道路ネットワークを対象に、都市間のクリティカルリンク

が欠損することによるアクセシビリティ (ARIA Index, Hansen のアクセシビリティ指標で評価) の変化により脆弱性を評価している。

原田ら²³⁾は、数理最適化モデルを用いて道路ネットワークを持続性と脆弱性の観点から評価している。持続性は OD ペアごとの非重複経路数(接続強度の評価)とアクセシビリティ指標(接続の質の評価)により評価している。また、脆弱性についてはリンク途絶時のアクセシビリティ減少率により評価し、アクセシビリティ減少率に閾値を求めることでクリティカルリンクの抽出を行っている。

Jenelius et.al.²⁴⁾は、道路ネットワークの脆弱性評価にあたって、Link importance と Site exposure という 2 指標の活用を提案した。ここで、Importance はリンクが破断した場合の影響の大きさを意味し、ノード間の交通需要とリンク破断による交通費用の増大に伴う未充足需要の比によって算出される。一方で、Importance がリンク単位での評価なのに対し、Exposure は市町村単位の面的な交通費用の増大に伴う影響を評価できる。

c) 連結信頼性とアクセシビリティ指標の統合的アプローチ

近藤ら^{25), 26)}は、リンクの途絶確率に基づいて付与するリンク信頼度指標と、ノードにおいて享受できるサービス機会とノード間の交通抵抗値を用いて算出されるアクセシビリティ指標を組み合わせることにより、病院等の公共サービス施設の位置を考慮した連結信頼性の評価モデルを構築した。

d) 連結信頼性・時間信頼性の統合モデルに基づく評価手法

中山³⁾は、これまでの連結信頼性や時間信頼性に関する体系的な研究のレビューを行い、時間信頼性・連結信頼性を統合した道路整備等の便益評価方法を提案している。具体的には、連結信頼性向上便益を、ロジットモデルと最小旅行時間経路探索の組み合わせから算出し、時間信頼性向上便益を、旅行時間の 85% タイル値に時間価値を乗ずることで算出している。また、両モデルを統合した連結・時間統合信頼性評価モデルの適用も試みている。

土井ら³⁴⁾は、中山が開発した連結信頼性・時間信頼性の統合モデルをマイナーチェンジし、連結信頼性・時間信頼性を含めた期待総旅行コストを定義した上で両信頼性を統合した便益評価方法を提案した。また、提案モデルを金沢市道路ネットワークに適用し、実務的な適用性についても考察している。

e) その他のアプローチ

土屋ら^{35)・37)}は、空間的応用一般均衡モデル(SCGE)を用いて災害時の道路ネットワークへの影響を費用便益分析の枠組みで定量的に分析している。SCGEモデルは経済理論に基づく均衡概念に立脚した手法であるため理論性は非常に高いが、道路ネットワークに関する設定や均衡計算が煩雑であり、実務的観点から使いやすいとは言いがたい。

岡田ら³⁸⁾は、都市圏道路網ネットワーク念頭に道路切断によるリダンダンシー効果を評価している。ネットワークトポロジーに基づく評価手法であるため直感的な理解に乏しく、くわえてネットワークが複雑化することにより計算が煩雑となる。

渡辺ら³⁹⁾は、岡田らと同様に道路のリダンダンシー効果をより詳細に評価している。具体的には、各リンクが持つ「効率指標(移動時間の高低)」、「頻度指標(復旧の必要性)」、「順序指標(復旧の優先順位)」を算出し、ランダムな道路閉塞パターン設定したシミュレーションを実施している。

AASHTO⁴⁰⁾は、テロ攻撃を念頭に道路ネットワークが機能不全に陥った場合の事前対策の優先度を定性的に評価している。施設の重要度(Criticality)と施設の脆弱性(Vulnerability)に関する評価項目を点数化して評価を行っており非常に簡便であるが、分析者の主観に依存するため恣意性は高い。

f) 既往研究と暫定手法の関係性

暫定手法について上記で整理した既往研究との関係性を整理した。

【主要都市拠点間の防災機能向上】

- ・ 対災害性(災害危険性): 拠点間最短経路上に災害時危険箇所があるか⇒連結信頼度
- ・ 多重性(脆弱性): 拠点間で迂回率 1.5 未満の経路が確保できるか⇒冗長性

【ネットワーク全体の防災機能向上】

- ・ 弱点度:対象となる OD 間での平常時・異常時の所要時間の比率⇒アクセシビリティ

(4) ハザードとリンク脆弱性の設定方法に関する既往研究の整理

a) 道路構造物のLCAを考慮した総合的ネットワーク評価手法

藤原ら⁴¹⁾および長江ら⁴²⁾は、道路リンク上に存在する橋梁の耐震化の便益評価手法を構築している。具体的には、地震により損傷したネットワークデータを生成し、需要変動利用者均衡配分を適用してネットワーク損傷時の社会

的不便益の計測を行っている。損傷ネットワークは、地震発生時にリンク上に存在する橋梁が被災状況をフラジリティ曲線から求めて、通行不能リンクを決定している。なお、フラジリティ曲線は、シナリオ地震の強度を引数として、被災なし、被災度 B(発災後 120 間は通行不能)、被災度 A(発災後 310 日は通行不能)のいずれかの状態を出力する。また、需要変動型利用者均衡配分を用いることで、ネットワーク損傷時の混雑コスト、旅行時間の増大、リンク遮断によってトリップを中止した際の機会費用の 3 点を計測可能にしている。

長江ら⁴³⁾は、自身が構築した耐震化の便益評価手法を最適な耐震化戦略を求める問題に拡張している。具体的には、各橋梁への耐震化有無を上位問題、利用者均衡配分を下位問題とした均衡制約条件付き 0-1 整数計画問題を定式化している。また、無数に存在するリンク被災パターンに対して、複数の想定シナリオの下で最も発生する確率の高いリンク被災パターンを割り当てる最尤リンク被災パターンを提案している。

船瀬⁴⁴⁾は耐震補強計画の策定時にリンクの優先順位付けを行うために、リンクの経済的な重要性の計量化を試みている。ここで、リンクの重要度は発災前後でのリンクコストの差分により定義される。なお、分析では(1)当該リンクの被災のみを考慮、(2)モンテカルロシミュレーションによる複数リンクの被災を考慮、(3)シナリオに基づく最尤リンク被災パターンの 3 つの手法を用いて検証を行っている。

地震工学委員会耐震基準小委員会⁴⁵⁾は、経済性照査に基づく新しい耐震設計法の実施に向けた検討を行っている。特に、(1)災害シナリオ(入力地震動)の評価方法、(2)構造物の損傷評価、(3)構造物耐震化によるコスト分析手法の 3 点について検討している。なお、(3)では長江らの耐震化の便益評価手法が用いられている。

b) 地震工学・リスク工学における設定方法

ハザードの設定方法としては、地震工学分野にて用いられている確率的手法⁴⁶⁾が考えられるが、過去の大規模災害に関する記録⁴⁷⁾や災害履歴データを踏まえた設定⁴⁸⁾が現実的かつリーズナブルである。また、ハザードの同時発生を考慮した手法として、組谷^{49)・50)}は地震、風、雪の被害強度と継続時間を確率過程の枠組みで同時に考慮したモデルを構築している。神田・西嶋⁵¹⁾は多変量極地分布に空間的な相関を考慮したモデルを構築している。

発災時における道路構造物の脆弱性は、主に

フラジリティ曲線と構造物の応答解析に基づく設定が見られる。フラジリティ曲線は、過去のデータや応答解析結果を用いた統計モデルであり、比較的容易に構築することが可能である。例えば、加賀山ら⁵²⁾は地震災害を対象にRC橋梁の応答解析結果から曲線を求めている。また、村尾・山崎⁵³⁾は地震による建築物のフラジリティ曲線を実測データから推定している。なお、地震以外にも津波⁵⁴⁾、豪雨、豪雨、強風に対応した適用事例が見られる。一方、構造物の応答解析は物理モデルを用いた数値シミュレーション手法であり、構造物単位での詳細な解析が可能である。伊藤・和田⁵⁵⁾は地震における道路構造物の脆弱性を地震応答解析により評価している

(5) 本研究に適用可能な知見の整理

既往研究の整理を踏まえて、本研究に適用可能な主な知見を下記に示す。

a) 評価指標の設定

- ・災害を明示的に取り扱った実務的な便益評価手法は既往研究からは確認できなかった。現状では暫定手法をベースに改良を進めることが望ましい。
- ・評価指標を検討する上では、連結信頼性を念頭にアクセシビリティや離散選択モデルにおけるログサム変数を用いた多重性の考慮が考えられる。これらにより交通行動理論に立脚した指標化が可能となる。

b) ハザードの設定

- ・地震評価では地域における過去の災害履歴から設定している。また、シナリオに基づく震度予測分布を作成することは技術的に可能である。
- ・降雪、豪雨等の面的なハザードに対して、観測地点のカバー領域をボロノイ分割によって算出し、領域内は同一の雨量を仮定する。

c) リンク脆弱性の設定

- ・フラジリティ曲線を用いた設定が主流であり、各種ハザードに対応した研究蓄積が存在する。また、過去の災害履歴から比較的容易に推定が可能である。
- ・ハザードの同時発生を加味したフラジリティ曲線の構築も可能であるが、モデルが複雑かつ推定が困難となる。

b) 被害ネットワークの設定

- ・最尤リンク被災パターンは複数のハザード設定とフラジリティ曲線と組み合わせることにより、尤もらしい被害ネットワークを作成可能である。

第3章 暫定手法の実務的ニーズの把握と改善に向けたフレームワークの検討

3.1 はじめに

本章では、暫定手法の基本特性に関するレビューならびに国内外における方法論的な研究レビューの結果を踏まえて、暫定手法に関する実務ニーズの把握を行った。具体的には、国土交通省道路局ならびに暫定手法の運用実績を有する北海道開発局と8ヶ所の地方整備局を対象に意見交換会を行い、これまでの運用を踏まえた問題点や技術的課題点、手法の改良点について整理した。また、実作業を担うコンサルタントからもニーズを抽出した。上記の検討を踏まえて、暫定手法の具体的な改善方針として、分析条件の設定や手法の改良方針、システム化による作業効率の向上などの6点を提示した。

3.2 全体ミーティングによる改善意見の抽出

(1) 実施概要

本研究では、各地域における連携・分担研究者と実務代表者を交えて全体ミーティングを研究初年度(平成25年)に開催した。参加者は、本研究の分担者、国土交通省道路局、国土総合技術研究所、各地方の開発局ならびに整備局の実務者が参加した。第1回では暫定手法の現状と実務者ニーズを把握するためのポイントを議論した。

(2) 議論要旨

- ・現場の直感と計算の結果が合わないケースが見られる。災害体験や現場感覚に即した評価手法を構築することが重要であるとの認識が大学と実務者の間で共有された。
- ・暫定手法を用いて事業を採択した地方整備局からは、ABCD評価におけるリンクのバツ

の付け方(災害危険性が高い道路の決め方)、港湾等のノードの重要度、分析リンクと実際の事業単位との不整合などの課題が挙げられた。

- ・ハザード設定およびリンクの脆弱性に関連する意見が多くみられ、今後検討すべき課題であるとの認識が確認された。なお、ハード系研究者からは、コンクリート構造物や地質・地盤のバラツキを地域に合わせて考慮すること、実施の評価ではどの程度のオーダーが適性であるかを検討が必要であることなどの意見が得られた。

(3) 主な抽出意見の整理

a) 評価手法の基本的な考え方

- ・現場の直感と計算の結果が合わないケースが見られる。災害体験や現場感覚に即した評価手法を構築することが重要である。また、理解しやすい「ブレない指標」を目指す必要がある。
- ・指標を考えるに当たって「OD設定」「リンクの切断箇所」「ネットワークの使われ方」の3つを考える必要がある。その上で、指標を検討することが望ましい。

b) 評価手法の基本的な考え方

- ・ABCD評価のバツの基準は評価指標にかなりの影響を与えるため、適切な基準の検討は重要である。例えば、要対策箇所、氾濫危険箇所等が考えられる。
- ・ノードとリンクの設定が重要となる。自衛隊基地や港、医療施設、想定されている災害計画、救援計画を参考にしながら配置すべきである。また、ノードの重要度(重み付け)やノード自身の脆弱性も検討する必要がある。
- ・ α 値は比率で表されているため、距離の長さ

が加味されず違和感がある。絶対値による評価を考える必要がある。

- ・算出される評価値が 1 以上必要であることは理解できるが、それ以上の数値はどのような意味を持つのか説明が難しい。
- ・評価しているリンクと実際の事業区間が先業していない。
- ・リンク内の一部が事業化されたとしても、リンクの改善度が上がらないケースがあった。実務者が説明しやすい指標化が必要である。

c) 評価手法の改良点に関する指摘

【リンクの脆弱性】

- ・構造物の供用年数や劣化を加味したリンク脆弱度の設定が必要である。
- ・リンクの脆弱性の精度向上のためには、コンクリート構造物や地質・地盤のバラツキを考慮する必要がある。しかし、どのようなオーダーで実施するか検討が必要である。
- ・交通側から橋梁に「松竹梅」をつけて評価したことがある。その時は外力を数値化して設定した。

【ハザードの設定】

- ・ハザード発生による道路パフォーマンスの低下をどのように反映するのか。例えば、中越地震発生時では 4 車線道路であったために早期に復旧した。
- ・雪などで高速道路や鉄道が止まった場合、国道を止めないことで優位性が高まる。この価値は指標に反映できるのか。

【事業費用】

- ・検討するハザードによってはコストを考慮しないケースがあっても良いのではないか。低頻度大災害では人命が損なわれるためコストを考えず、高頻度小災害ではコストを考える。コストを考える境界を検討する必要がある。
- ・人命の金銭換算は難しい。人命を考慮することとコストを考えないことは分けて考える必要がある。

【事業費用】

- ・ α 値の算出において、整備後の通常時間を用いた比較も考えられる。
- ・暫定手法の問題点は実際に計算を実施したコンサルタントがよく知っていると思う。ヒアリングをしてはどうだろうか。

2.3 地方別意見交換会による実態把握

(1) 実施概要

前述の全体ミーティングを踏まえて北海道

開発局から九州地方整備局に至る全国 9 整備局において、暫定手法の実用性向上に向けた意見交換を実施した。実施スケジュールは以下の通りである。

- ・北海道開発局 (H25 年 11 月 8 日)
- ・東北地方整備局 (H25 年 10 月 29 日)
- ・関東地方整備局 (H25 年 9 月 13 日)
- ・北陸地方整備局 (H25 年 10 月 24 日)
- ・中部地方整備局 (H25 年 11 月 13 日)
- ・近畿地方整備局 (H25 年 11 月 21 日)
- ・中国地方整備局 (H25 年 11 月 20 日)
- ・四国地方整備局 (H25 年 10 月 2 日)
- ・九州地方整備局 (H25 年 12 月 9 日)

(2) 意見交換会における質問事項

意見交換会の実施にあたって、前述の第 1 回全体ミーティングの議論を下敷きとした暫定手法に関する以下の 4 項目の質問を準備して実務者に対してあらかじめ提示し、これらの質問に対する回答と関連する意見収集を行った。

- 1) 地域におけるハザード (地震・豪雨など) の特徴
- 2) ハザードに対するリンクの脆弱性の実情 (対象構造物, 対象範囲など)
- 3) 事業評価の視点や重要点, 事業費用に対する意識
- 4) 暫定手法に関する評価 (使いやすさ・実務視点での妥当性等)

(3) 質問事項の整理と実務ニーズの把握

a) 地域におけるハザードの特徴

地域におけるハザードの特徴に関する回答の要点をまとめて表 3.1 に示す。

対象ハザードは主に地震とこれに伴う津波のほか、大雨(台風)による水害・土砂災害を想定した事前通行規制であるが、実務者は地域の実情に応じて対象ハザードの拡充を望んでいる。具体的には雪害や火山災害などであるが、特に雪寒地域において大雪・豪雪の設定を望む声が多い。

b) ハザードに対するリンクの脆弱性の実情

ハザードに対するリンクの脆弱性の実情 (対象構造物, 対象範囲など) に関する回答の要点をまとめて表 3.2 に示す。

現在、防災機能評価におけるマニュアル暫定案では、主要地方道以上の緊急輸送道路のうち①特殊規制区間 (津波浸水想定区域)、②事前通行規制区間 (道路法 46 条) ③未耐震橋梁 (S55 耐震設計基準を満たさない橋梁)、④物資輸送大型車通行困難箇所 (幅員 5.5m 以上の改良済

み箇所)の4つの要因の有無により脆弱性を評価しているが、総じて通行止め要因の拡大を求める意見が多い。

表 3.1 地域におけるハザードの特徴

地方整備局	主なハザード					特記事項
	地震災害(津波等)	水害(土砂災害等)	雪害(雪崩等)	火山災害	その他	
北海道	○	○	○	○	○	・国道の通行止め回数・時間は、雪害と土砂災害で約8割。 ・国道の通行止め規模(通行止め時間/回数)は噴火と地震が大きい。 ・災害別の最大通行止め時間は次のとおり。 (火山災害>土砂災害>津波・高波>地震)
東北	○	○	○			・地震時には津波被害も想定。 ・太平洋側の大雨、日本海側の大雪、地域間で対象とすべきハザードが異なる。 ・地震と大雨や大雪によるマルチハザードを考慮。
関東	○	○	○			・国道の通行止め要因は主に地震、大雨(台風)、大雪。
北陸	○	○	○			・国道の通行規制は主に法面崩壊と土砂災害。 ・次いで、地震災害、道路決壊、事前通行規制、雨量規制。
中部	○	○	○			・主な通行止め要因は、大雨(台風)、大雪等。
近畿	○	○				・これまでの大規模災害：兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)、 ・台風による被害：H23.9の台風12号、H25.9の台風18号等。 ・今後想定されている大規模災害：東南海・南海地震。 ・通行止めの実績は、大雨による土砂災害が圧倒的に多い。
中国	○	○	○			・台風や集中豪雨等に起因する河川氾濫、土砂災害が多い。 ・山間部、一部日本海側を中心とした雪害。 ・東南海地震による瀬戸内海側沿岸部の津波被害。 ・災害に伴う孤立地域が課題。
四国	○	○				・南海トラフ地震による被害予測 沿岸部：津波 山間部：山腹崩落による土砂災害
九州	○	○	○			・地震による津波の他、火山、特殊土壌、風水害(豪雨、台風、土砂災害)。 ・災害に伴う孤立地域が課題。

表 3.2 ハザードに対するリンク脆弱性の実情

地方整備局	通行止め要因										特記事項	
	津波越波	橋梁落下	ジョイント損傷	法面崩壊	土砂崩落	土砂流出	地滑り	液状化	路面冠水	雪崩・除排雪		その他
北海道	○	○	○	○	○	○				○	○	・風害による倒木は全域で発生。予測困難。
東北	○	○	○	○	○	○			○	○	○	・トンネルは過去崩落等の問題はないが、要注意。 ・大雪時に国道に交通が集中することが課題(高速道路が先に止まる)。
関東	○	○	○	○	○	○			○	○	○	・路面段差
北陸	○	○	○	○	○	○			○	○	○	・耐震化が十分でないスノーシェッド。 ・液状化区域の取扱い。
中部	○	○	○	○	○	○				○		
近畿	○	○	○	○	○	○				○	○	
中国	○	○	○	○	○	○				○	○	
四国	○	○	○	○	○	○				○	○	
九州	○	○	○	○	○	○				○	○	・噴火に伴う通行止めエリアの扱い。

※上記は資料に掲載されていたもの、あるいは意見交換で指摘されたもの等を表示。よって、○印のない局においても対象となる可能性がある(要確認)。

c) 事業評価の視点・重要度の意識

事業評価の視点や重要点、事業費に対する意識に関する回答の要点をまとめて表 3.3 に示す。

暫定手法を用いた評価では、ABCD ランク評価を基本として、αとKによる評価を参考として運用している。また、地方部においては、費用便益分析と併用した多軸評価での運用が求められている。

表 3.3 事業評価の視点や重要度の意識

地方整備局	特記事項
北海道	・広域かつ道路密度の低いエリアでは、ひとつの拠点・リンクが被災した場合の国土に対する影響度を考慮してもよいのではないかと。 ・現道を改良する事業についても防災機能は向上し、かつ、ネットワークの構築にも資するものとして、防災機能評価において考慮できるよう検討すべきではないかと。
東北	・代替ルートを充実させてネットワーク密度を高めること、大雪による大きな迂回の解消することが課題。 ・事業費が大きくなる傾向にある県境や峠道では、B/C のような経済効率性の観点のみではなく、道路の重要性や必要性、防災性の観点から検討すべき。
関東	・現状では新規事業化手続きにおいて、ABCD 評価を参考として活用。
北陸	・防災面の効果が大きい事業についても、3 便益+防災面の効果を示し、総合的に事業継続の可否を判断。 ・山間部の道路は、平地部よりもトンネルや橋梁等のコストがかかるので B/C は低くなるため、防災面でのネットワークの評価が重要。
中部	・新規事業化手続きにおいて、地域の状況に応じて、主要都市・拠点間の防災機能評価、ネットワーク全体の防災機能評価を活用。 ・ネットワーク全体の防災機能評価については、これまでは、隣接都市間の弱点度・改善度のみ活用。
近畿	・通常の B/C による投資効率の評価では、交通需要量は少なくとも自動車依存度の高い地域の事業が適切に評価できないため、投資効率だけでないネットワーク接続性の観点からの評価が必要。 ・現在の防災機能評価(主要都市・拠点を評価)では、各ランクの中での重要区間が明示されていないのが現状のため、事業の重要度を評価できる指標の設定が必要。
中国	・山陰側や山陰・山陽を連絡するネットワークや、中山間地域と周辺都市を連絡する基幹ネットワークなど、基盤整備強化のための事業を推進。 ・当該事業の整備効果だけでなく、広域的なネットワークの整備効果(例えば、山陰道全線)で評価すべき、あるいは「防災面の効果が特に大きい事業」の評価のように3便益以外の効果を定量的・定性的に表現することに肯定(事業評価監視委員会指摘事項)。
四国	・経済だけでなく防災も含めて色々の要素が絡んでいることは直感的に分かっているはずで、多軸により評価することが重要。 ・地域特性や被災シナリオを厳密に定義し、現実の便益をみる。画一的にやることも大切だと思うが、各地域にバリエーションを持たせることも重要。
九州	・中央地域に代表されるように、非常時の支援軸が無く、支援時等には大きな迂回となるような課題の解消を図るため、代替ルートを充実させてネットワーク強度を高めることが課題。 ・B/C のような経済効率性の観点のみではなく、道路の重要性や必要性、防災性の観点から検討すべき。 ・防災対策等標準 3 便益以外の整備効果について評価する手法を検討してほしい(事業評価監視委員会指摘事項)。

d) 暫定手法に関する評価

暫定手法に関する評価(使いやすさ・実務視点での妥当性等)に関する回答の要点をまとめて表 3.4 に示し、概要を以下にまとめた。

【使いやすさ】

実作業は手作業による部分が多く、評価のための基礎データ(構造物、道路種別・民プロ速度等)の作成や更新に多くの労力を要するため効率化が必要との考えは全局の総意である。データ整備に関して、県際(他地整間・県管理道路との調整が必要な)リンクにおいて、やりとりデータの規格統一の必要性が求められている。

【評価手法の妥当性】

被害シナリオに関して、全遮断リンク一斉遮断のシナリオは想定しにくいいため、具体的な災害の発生を前提とした説明が求められている。

対象ネットワークに関して、地域の防災を考える上では1次緊急輸送道路だけではカバーできないことがあることから、第2次・第3次の緊急輸送道路、一般県道や広域農道など十分利用可能な路線について地域実情に応じての設定が望まれる。

対象とするハザードは、地域の実情に応じて拡充すべきというのが全局の総意である。また、考慮するハザードの種類、ハザードの発生パタ

ーン、ハザードの重み付け等の設定方法の検討が望まれる。

リンクの脆弱性に関して、構造物以外の土砂崩落、防災点検要対策箇所の対象となる法面等など、実際の被災状況も考慮した遮断リンクの設定が望まれる。なお、事前通行規制について、実状と一致していない状況について確認を急ぐ必要がある。

ノードの設定に関して、拠点ノードの設定方法を明確にマニュアル化することが必要であるが、その際は考慮すべきハザードによってノードの選択や重要度ランクの設定もあわせて検討することが望まれる。

迂回に関して、迂回路の設定方法や迂回率の算定方法、ノード間での重みづけ等を検討する必要がある。

【その他】

遮断リンクそのものの改良事業等、当該リンクの防災機能向上対策評価の必要性を求める声もあるが、今回の評価手法の枠外であり、今後の課題と考えられる。

e) その他の意見

その他の意見として主だったものを以下に列挙する。

- ・ 北海道の評価を考える時、最短時間に対する比率で議論されていることがあるが、その最短時間の質にも大きな差があり、多分何の影響がなくても離れている時点でそもそも厳しいのではないかと感じている。そもそも広大でかつネットワーク密度が薄いというようなことが表現できると直感に合うようになるのではないかと。(北海道)
- ・ 本州のように 8 割近い高規格幹線道路が出来ている所とまだ 5 割台の北海道では考え方が違うかもしれない。本州で既存ネットワークの強化ポイントを抽出するといった点ではこの手法が妥当かもしれないが、そもそも無い所に何が必要かという点も導けるようにして頂きたい。(北海道)
- ・ B/C は日常的な信頼性向上のための評価であり、その場合は渋滞による遅延が主になる。雪国等はむしろ雪による非日常的な大渋滞が問題であり、それは日常とは別に扱うべきだと思う。(東北)
- ・ 災害時の自衛隊派遣について、駐屯地から直接行く場合と、県庁所在地に一旦幹部を全員集めてから現場部隊を派遣する場合があるので、駐屯地から県庁所在地、駐屯地から直接被災地といった経路を考えることになる。(東北)

表 3.4 暫定手法に関する評価

区分	テーマ	特記事項
使いやすさ	作業効率	・ 実作業は手作業による部分が多く、評価のための基礎データ(構造物、道路種別等)の作成や更新に多くの労力を要するため効率化が必要。(全局総意)
	データの更新等	・ 遮断リンク情報更新の効率化が必要。(近畿) ・ DRM のバージョン変更による速度、遮断情報の反映作業の負担増が課題。(中部, 中部, 近畿) ・ 民間ブロープデータが毎年更新されるため、データ更新のため民間ブロープデータの再集計が必要となり膨大な作業が発生。データ更新に伴い経路が変更され、評価ランクが変化することも課題。(北海道, 中部, 近畿, 中国) ・ 県際(他地整間・県管理道路との調整が必要な)リンクにおいては、やりとりするデータの規格統一が必要。(北陸, 中部) ・ 交通量推計のようにデータの書式等をそろえることで、今後の整理がしやすくなるのではないかと。(北海道)
手法の妥当性	被害のシナリオ	・ 全遮断リンク一斉遮断のシナリオは想定しにくい。具体的な災害の発生を前提とした説明が必要。また、全遮断時間(最大 48 時間)は道路種別、路線の重要度により異なるかと考えられる。(近畿, 中部, 中国) ・ 復旧に長期間を要する橋梁部、比較的早期の復旧が行われる土工部の復旧時間を分けることで、課題が明確に理解されやすい評価が必要。(近畿) ・ 被災範囲、被害規模、構造物の損傷程度にかかる評価のための情報が不足しているのが現状(評価を行うためのデータベースの蓄積が当面の課題)。(近畿)
	対象ネットワーク	・ 地域の防災を考える上では 1 次緊急輸送道路だけではカバーできないため、第 2 次、第 3 次の緊急輸送道路も部分的には加味する必要あり。(関東, 中部) ・ 主要地方道以上で評価するため、迂回路として一般県道や広域農道など十分利用可能な路線がある場合など地域の実態に沿わない箇所が存在する可能性あり。(中国)
	ハザードの設定	・ 地域の実情に応じて対象とするハザードの拡充が必要。(全局総意) ・ 考慮するハザードの種類、ハザードの発生パターン、ハザードの重み付け等の設定方法が必要。(東北)
	遮断リンクの設定	・ 『効率的、効果的に連絡できるように設定する』とあり、独自の判断が必要。適宜対応。(北海道, 中国) ・ 事前通行規制について、実状と一致していない状況がある(近畿) ・ 構造物以外の土砂崩落、防災点検要対策箇所の対象となる法面等など、実際の被災状況も考慮した遮断リンクの設定が必要。(中部, 近畿, 中国, 九州) ・ 高速道路も通行止めにはなるが、点検後は緊急車両などの走行を優先的に解放するため、マニュアルで想定する一般道路の通行止めの状況は復旧期を想定した評価とする説明が必要。(近畿) ・ 未事業区間を評価する場合、災害時通行不能箇所が多い事業や、事業延長の長い事業が有利になる傾向。(北海道)

区分	テーマ	特記事項
手法の妥当性	ノードの設定	・ 『ノードの代表地点が津波浸水想定区域内にある場合を除く』とあり、独自の判断が必要。適宜対応。(北海道) ・ 拠点ノードの設定方法を明確にマニュアル化することが必要。広大な面積をもつ市では分割の必要性あり(東北) ・ 県防災計画の拠点や道の駅等の施設もノードとして考えることができ、分析者によって解が異なる可能性有。(東北, 中部) ・ 考慮すべきハザードによってノードの設定も変更。(東北) ・ 大規模震災を想定した場合、ノードの設定に市庁舎以外の防災施設(県の計画に位置付けられている箇所等)など複数箇所が考えられるので、それらに応じた重み付けが重要。(中国)
	迂回路の設定	・ 『主経路以外の経路』とあるため、IC 位置によっては高規格幹線道路が一般道路と並行に整備されていても、主経路との重複が一部区間で発生し迂回可能経路を設定不可。(北海道)
	迂回率の算定	・ 迂回率について、ノード間の距離による重みづけが必要ではないかと。(北海道) ・ 迂回率が 1.0 を下回るリンクが出現。(北海道)
	評価の視点	・ 『速達性の評価については、今後検討することとしており、当面は評価を要しない』とあり、マニュアル上 A 評価は出現しないはずであるが、現時点では A 評価が出現。(北海道) ・ ABCD で評価は踏襲するが、その根拠をもたせるような仕組みとする(a や K の値を ABCD にリンク付け)。(東北) ・ ある一部の浸水で D ランクになるリンクと、広範囲の浸水で D ランクによるリンクの違いを考慮してどうか。(北海道) ・ 落橋のおそれのある箇所とない箇所で啓開速度の違い等の考えを盛り込む等、同ランクでも優劣をつけることが必要。(北海道) ・ 既存の B/C と暫定評価の 2 つの評価手法の運用方法について明確にすることが必要。(東北, 四国) ・ 路線全体としては防災上の必要性が浮き出されるものの、残された(遮断リンクが存在しない)短区間では路線全体の課題が表現されないことが課題。(近畿) ・ 事業化される順番によって、同じ区間の有効性の評価が変わる可能性あり。(中国)
その他	わかりやすい表現	・ 防災機能評価(NW 全体評価)は有効な手法であるが、理解しにくいいため、わかりやすい表現にすることが必要。(近畿) ・ マニュアルに条件設定例や算定結果例などを示すことで、理解がさらに深まると思われる。(北海道) ・ 直感的表現について、リンク数が多数なため経路図作成に多大な時間と労力を要す。(中部)
	様式について	・ 主経路が 1 経路に対して、迂回可能経路が 1 経路のケース(最短時間経路=最短距離経路)と 2 経路のケース(最短時間経路≠最短距離経路)を算出。しかし、様式では迂回可能経路が 1 経路のように勘違いする恐れあり。(北海道)
	その他	・ 地域性等を考慮し弾力的にて運用しているため、おおむね「地域の声」を反映した評価と考えている。(関東, 中部) ・ 遮断リンクそのものを改築するなど、当該リンクの防災機能向上対策の評価をどうすべきか。(東北, 九州)

- 山間部で雪崩の恐れがある場合は、発破を使って雪崩の可能性のある雪を落とすことをやっており、この場合は事前規制と処理に係る規制が入る。(北陸)
- 自然災害で壊れてしまうだけではなく、危険物を運べないリンクという性能の違いも加味する、たとえば見掛け上は災害時には脆弱なリンクと扱うことも考えていく必要がある(例えば、恵那山 TN と危険物車両)(中部)
- 南海トラフを対象に被害想定と優先順位を考える方法論を検討している。着眼点は、3日間で人命救助という目標を立てた時にその確実性を上げるためにはどのような事前対策をしておけば良いのかという点である。(中部)
- 暫定マニュアルの使用で気をつけるべき点は、地方部では B/C が出ないからこれを採用しているというようにならないことである。その意味では都市部でも B/C も評価するし、防災評価するといったことが大切である。(近畿)
- ハザード設定に役立てるための災害時の観測体制の強化が必要ではないか。(中国)
- 防災の観点から道路ネットワークの信頼性の議論は重要であるが、その他道路の付帯設備、たとえば、情報板、照明、標識、ITS などドライバーにとっては価値があると思うので、これらも含めて議論できるとよい。(四国)
- 火山に対して具体的な道路防災事業については、直轄国道が周辺に存在しないため、ネットワークの観点からの具体的な事業は実施していない。そもそも火山のような事象は評価に組み込んで意味があるのかを考える必要がある。(九州)

(4) 暫定手法に関する実務ニーズの整理

a) 地域におけるハザードの特徴

- 現在、対象ハザードは主に地震とこれに伴う津波のほか、大雨(台風)による河川氾濫や土砂災害を想定した事前通行規制であるが、実務者は地域の実情に応じて対象ハザードの拡充を望んでいる。
- 具体的には、地震や台風のような低頻度大災害のみでなく、雪寒地域における雪害(大雪・豪雪)のような高頻度低災害の設定を望む声が多い。

分析上の課題としては、地震と津波のような連動して発生するハザードおよび地震と大雪

のような同時に発生するハザードをどの程度まで災害シナリオに反映させるのかを明確にする必要がある。例えば、既往データを用いて発生確率を算出して検討すべきハザードを抽出することが考えられる。

発生確率が異なる低頻度災害と高頻度災害を統合して考える場合、ほとんどのリンクが通行不能となり評価ができなくなる可能性がある。そのため、確率的なリンク途絶を検討することが望ましい。

時間的・空間的に影響を与えるハザードをどのように扱うのかを検討する必要がある。例えば、既存の災害シミュレーション結果を GIS 上で統合してリンク途絶の有無を設定することが考えられる。

b) ハザードに対するリンクの脆弱性の実情

- 防災機能評価におけるマニュアル暫定案では、主要地方道以上の緊急輸送道路のうち、4つの遮断要因の有無により脆弱性を評価しているが、総じて通行止め要因の拡充を求める意見が多い。
- 通行止め要因としては、津波(高波)、橋梁落下、ジョイント損傷、法面崩壊、土砂崩落、土砂流出、地すべり、路面段差、液状化、除排雪などが挙げられており、それぞれの通行止め理由と通行止め時間の関係は図 3.1 のように整理される。

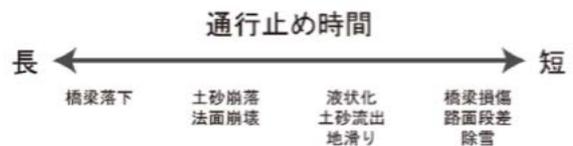


図 3.1 通行止め理由と通行止め時間の関係

図 3.1 のように、通行止めには様々な理由が挙げられるが、通行止め理由によって復旧に要する時間が大きく異なる。特に橋梁落下では、長期に渡ってリンクの切断が生じるため、最も考慮すべき脆弱性である。

通行止め理由は多岐に渡り、それらの復旧速度(通行止め時間)も異なるため、リンクの脆弱性を考える上で、発災後どの時点(例えば、発生直後、3日後、1週間後...)を評価対象とするのかが重要となる。

事象と理由の関係性について何らかの前提条件を設定する必要がある。そのためには、データ有無の確認、リンクの脆弱性への反映方法、複数ハザード発生時の検討が求められる。しかしながら、検討項目の増加はデータ作成や更新のコストが増加するため、検討が必要である。

大雪等により先に高速道路や県道が通行止めとなり、国道に交通量が集中するケースが存在するため、代替経路の設定方法に反映できないか。

c) 事業評価の視点・重要度の意識

- ・事業評価に防災機能評価を加味することに肯定なのは全局の総意である。しかし、新規事業の手続きにおいて現在 ABCD 評価により必要性を提示した事例はあるが、 $\alpha \cdot K$ 値は参考程度に用いられているようである。
- ・通常の B/C による投資効率の評価では、交通需要量は少なくとも自動車依存度の高い地域の事業が適切に評価できないため、投資効率だけでないネットワーク接続性の観点、すなわち防災機能評価を併用することが重要となってくる。そのため、どのように併用をすべきかに関する指針が必要とされている。
- ・山間部や広域かつ道路密度の低いエリアでは代替経路を持たない路線や大きな迂回が必要な路線が多く、多重性の評価が重要である。

d) 暫定手法に関する評価

【使いやすさ】

- ・作業効率に関して、実作業は手作業による部分が多く、評価のための基礎データ(構造物、道路種別、民プロ等)の作成や更新に多くの労力を要するため効率化が必要との考えは全局の総意である。
- ・県際(他地整間・県管理道路との調整が必要な)リンクにおいては、やりとりするデータの規格統一が必要とされている。
- ・評価手法の妥当性：ハザードの設定
- ・考慮するハザードの種類、ハザードの発生パターン(災害シナリオ)、ハザードの重み付け等の設定方法の検討が必要とされている。
- ・リンクの脆弱性に関して、構造物以外の土砂崩落、防災点検要対策箇所の対象となる法面等など、実際の被災状況も考慮した遮断リンクの設定が必要である。
- ・なお、事前通行規制について、実状と一致していない状況について確認を必須である。

【評価手法の妥当性：入力データの設定】

- ・対象ネットワークに関して、地域の防災を考える上では1次緊急輸送道路だけではカバーできないため、地域の実情に応じて一般県道や広域農道など十分利用可能な路線への迂回可能性について検討の余地が残る。
- ・ノードの設定に関して、拠点ノードの設定方法を明確にマニュアル化することが必要であるが、その際は考慮すべきハザードによってノードの選択や重要度ランクの設定もあ

わせて検討する必要がある。

【評価の視点】

- ・被害シナリオに関して、全遮断リンク一斉遮断のシナリオは想定しにくいいため、具体的な災害の発生を前提とした説明が必要となる。
- ・復旧に長期間を要する橋梁部、比較的早期の復旧が行われる土工部の復旧時間を分けることで、課題が明確に理解されやすい前提条件が必要である。
- ・ABCD で評価は踏襲するが、その根拠をもたせるような仕組みとする(α や K の値をABCDにランク付け)。
- ・高速道路 IC を拠点とする説明として、一般道路の通行止めは復旧期を想定した評価とする説明が必要である。
- ・落橋のおそれのある箇所とない箇所で啓開速度の違い等の考えを盛り込む等、同ランクでも優劣をつけることが必要。
- ・既存の B/C と暫定評価の2つの評価手法の運用方法について明確にすることが必要とされる。
- ・迂回に関して、迂回路の設定方法や、迂回率の算定方法、ノード間での重みづけ等を検討する必要がある。

【上記以外の実施すべき事項】

- ・防災機能評価(NW全体評価)は有効な手法であるが、理解しにくいいため、わかりやすい表現にすることが必要である。
- ・マニュアルに条件設定例や算定結果例などを例示することで、理解がさらに深まると思われる。
- ・視覚的表現について、リンク数が多数なため経路図作成に多大な時間と労力を要するため、自動化の検討が必要である。

3.4 これまでの検討を踏まえた改善点の整理

前章にて暫定手法の基本特性に関するレビューならびに国内外における方法論的な研究レビューを行い、本章にて全体ミーティングならびに地方別意見交換会より実務的なニーズの把握を行った。ここでは、それらを取りまとめて、改善点の整理を行った。特に、暫定手法における改善検討箇所の類型は、大きく「実務的改善」と「使い勝手向上」の2点に区分された。

(1) 実務的改善

暫定手法への「実務的改善」として、下記5点の改善要求が挙げられた。

- 1) 「必要性評価」と「有効性評価」の統合：
「必要性評価」と「有効性評価」は、意味するところが本質的に同じものであると考えられることから、両評価の統合が必要とされた。また、暫定手法においては必要性評価に基づく評価が中心であり、有効性評価は参考値扱いとされていたため、統合により有効性評価の意義を明確とすることが求められた。
- 2) 地域の実情に応じた多様なハザードの取り扱い：
暫定手法においては、想定されていたハザードが地震および津波に起因するもののみであり、また対象地域全域に災害が発生した場合のみを評価時の条件としたことから、降雨・雪害・土砂など地域の実情に応じた多様なハザードを取り扱えることが求められるとともに、局地的な被災を取り扱えることがより好ましいとされた。
- 3) 地域の実情に合わせた「評価拠点」の柔軟な設定：
暫定手法において想定されていた拠点は、概ね「人口5万人以上の都市」、「都道府県庁」、「IC」に限定されていた。都道府県庁や大都市の市役所と並び、広域の支援活動の拠点になると考えられる自衛隊基地や、地域外からの支援の中継点として重要な港湾・空港、その他災害拠点病院や人口にかかわらず地域の中心となり得る市町村役場等も拠点として設定可能であることが求められた。
- 4) 「経路多重性」による効果の評価への取り入れ：
暫定評価手法では、拠点間の最短経路に対して所要時間または延長が1.5倍を下回る迂回路の有無のみで評価を二分していたことから、迂回路の存在効果への定量的評価が求められた。
- 5) ハザードに対する道路リンクの物理的脆弱度への配慮：
暫定手法では、津波浸水以外のハザードがすべて道路の構造および通行規制のみに基づいて設定されていたことから、道路に沿った地域の地形を考慮し、斜面崩壊や土石流といった集団移動災害を原因とするハザードの有無を判定する手法の検討が求められた。

(2) 使い勝手向上

暫定手法への「使い勝手向上」のための改善事項として、下記3点の要求が挙げられた。

- 6) 数値による客観的評価の確立および数値をもとにしたカテゴリー評価の定義：
評価結果を横並びに比較するための1つの評

価軸上に並べられる数値としての表現と、評価結果の良否を容易に区分可能とするための適切な境界値による ABCD 等のランク付けの基準が求められた。

- 7) 評価実施におけるデータ設定・管理・更新の省力化：
暫定手法では、評価地域ごとに担当者が各々の手法・データを用いてネットワークを作成したため、データベースが互換性を有していなかった。結果として、地域間の結果比較を困難とした。データ作成・利用の手法を統一することが求められた。
- 8) 視覚的な理解が容易な操作・表示機能を有するシステム化：
手作業による多量のデータ入力・コーディングを必要としたため、評価実施に大きな労力を費すこととなった。評価データ編集の作業性を向上させ、また評価結果を視覚的に把握することを可能とするシステムの導入が求められた。

3.5 改善に向けたフレームワークの構築

(1) 改善フレームワークの検討

前述の暫定評価手法への改善要求をもとに、評価手法改善の方向性を検討した。方向性検討の概要を図3.2に示す。また、前述した改善要求との対応関係を表3.5に示す。6つの改善点を挙げており、詳細は以下のとおりである。

- 1) 分析ネットワークの統一：
評価改善の方向性として、まず分析ネットワークの統一を図ることとした。これまでの暫定評価手法では、地域によってDRMを利用したり配分ネットワークを利用したりしており、ネットワーク密度や時点が異なっていたことから、共通のネットワークをベースとした評価を可能とするものである。
- 2) 地域の実情に応じたハザードと災害シナリオの設定：
ハザードに関しては、地域の実情に応じ、暫定評価手法で想定した地震と津波以外の災害要因も扱えるものとした。また、被災地域を域内の一部地区に限定する、また個別のリンク遮断要因を災害の種類に応じて任意に組み合わせるなど、様々な災害発生パターンの想定に基づくハザード設定を「災害シナリオ」として扱い、評価の実施基準とした。
- 3) 評価拠点のペアの設定
評価拠点の設定に関しては、地域の実情に応じ、暫定手法で対象とした都道府県庁や市町村役場以外の拠

点を追加できるものとした。特に、救助・支援や物資の輸送計画を考慮した拠点を選定しつつ、ペア設定においては、単なる隣接拠点同士ではなく、これら災害時に想定される移動に応じ、支援する拠点と、支援される被災地の拠点とでペアを組むものとした。また、必要に応じ、拠点や拠点ペアに重要度を付すことも可能とした。

- 4) 客観的数値をもとにした「わかりやすいカテゴリー評価手法」への改善：評価指標の算出と解釈については、客観的数値を基準に必要性評価と有効性評価の両指標を算出するとともに、指標に基づいてカテゴリーランクを導出するものとした。これにより、両評価それぞれで算出された評価結果の比較を可能とすることを図った。また、互いにネットワークが異なる各地域の評価結果について、横並びでの比較を容易とすることを目的とした。なお、評価に用いる数値は、計算において「期待所要時間」を用いることで、ルートの多重性評価を考慮できるものとした。
- 5) リンク脆弱性(遮断リンク)の設定：リンクの物理的脆弱性に関しては、暫定手法と同様、区間や被災地区レベルでのマクロな設定方法を基本としつつも、土砂災害に対するリンクの物理的脆弱性評価手法を検討し、リンクないしは地点レベルでの脆弱性を判別し設定することを模索した。

- 6) システム化による作業効率の向上：これら改善点を反映した評価実施においても、暫定手法と同様大きな工数を要するとともに、使用データは多量かつ複雑な構成になると考えられた。作業効率を向上させ、改善評価手法の実務的有用性を高めるため、データ作成から結果出力まで一貫した作業を可能とする専用の評価計算システムを導入することとした。システムを利用した評価実施により、データベースの統一性・互換性の確保を実現することを企図した。また、速度データ更新の簡略化、計算から作図・作表、マッピングまでを自動化し、一連の作業工程を通じた効率向上および作業内容の簡明化を目指した。

表 3.5 改善要求と検討項目の対応関係

区分	改善要求	対応する改善の方向性
実務的改善	a) 「必要性評価」と「有効性評価」の統合	(1) 分析ネットワークの統一 (4) 客観的数値をもとにした「わかりやすいカテゴリー評価手法」への改善
	b) 地域の実情に応じた多様なハザードの取り扱いは	(2) 地域の実情に応じたハザードと災害シナリオの設定
	c) 地域の実情に合わせた「評価拠点」の柔軟な設定	(3) 評価拠点とペアの設定
	d) 「経路多重性」による効果の評価への取り入れ	(4) 客観的数値をもとにした「わかりやすいカテゴリー評価手法」への改善
	e) ハザードに対する道路リンクの物理的脆弱度への配慮	(5) リンク脆弱性(遮断リンク)の設定
使い勝手の向上	f) 数値による客観的評価の確立および数値をもとにしたカテゴリー評価の定義	(4) 客観的数値をもとにした「わかりやすいカテゴリー評価手法」への改善
	g) 評価実施におけるデータ設定・管理・更新の省力化	(6) システム化による作業効率の向上
	h) 視覚的な理解が容易な操作・表示機能を有するシステム化	(6) システム化による作業効率の向上

(1) 分析ネットワークの統一



(2) 地域の実情に応じたハザードと災害シナリオの設定



(3) 評価拠点とペアの設定



(4) 客観的数値をもとにした「わかりやすいカテゴリー評価手法」への改善



(5) リンク脆弱性(遮断リンク)の設定



(6) システム化による作業効率の向上



図 3.2 改善の方向性

(2) 全体ミーティングによる確認

a) 議論要旨

- ・実務ニーズと総合レビューを踏まえた暫定手法改善の方向性にて提示し、有識者および実務者と認識を共有した。特に、ネットワークデータやリンク速度等の分析の根幹となる仕様について実務的観点から意見が得られた。また、東北地方での試算結果について、実務者との確認作業を早急に進め、地域特性を考慮した設定方法を確認することが提案された。
- ・北海道開発局におけるハザードの実情ついて情報を共有した。多様なハザードの実態について、近年の事例や通行止め実績データを通じて把握するとともに、降雪時における対策や高速道路と比較を踏まえた国道が持つ価値について議論された。
- ・中部地方整備局における南海トラフ地震を想定した被害想定手法について情報を共有した。提案手法は先進的でユニークな手法であり、本研究の課題であるリンク脆弱性の設定方法を検討する上で重要な知見となることが確認された。

b) 主要な意見の整理

【試算結果と既往結果の比較】

- ・完全に再現できない理由は、遮断リンクや拠点へのアクセスリンク設定が影響していると考えられる。
- ・既に各地で運用されているマニュアル(暫定)と不整合が生じる原因を実際に再現することで、改良指針を検討している。
- ・現在は遮断リンクをアプリアリとしているが、将来的には脆弱性の確率的意味を加味することを考えている。

【分析ネットワークの基準化】

- ・各地方整備局でネットワークの違いには、データ元(DRM, センサス等)の違いと、評価対象道路の違いの2つの意味がある。後者については、必要に応じて主要地方道より下位の道路も追加する。
- ・アウトプットの整合性に配慮して、配分のネットワークを利用するという意見もあるが、リンク脆弱性との対応や将来性を勘案すると DRM のほうが好ましい。
- ・一般道クラスを勘案とあるが、どの程度の道路まで対象とするか方針が必要である。
- ・県道・市道・農道でも条件の良い道路もある。説明時に利用実態との不整合を問われないようにすることが重要である。

【システム化による作業効率の向上】

- ・ DRM とリンク速度の更新が大きな負担になっている。ネットワークが変更されていないにも関わらず機械的に毎年更新することには検討の余地がある。
- ・ センサス速度を設定することで更新頻度が押さえられるが、新規供用路線の速度を合理的に設定する方法が必要となる。
- ・ 災害時における迂回路の速度は、そもそも現状とは異なることから、速度の更新に労力をかけるのはあまり意味がない。
- ・ DRM はセンサス区間より細かいため、リンク脆弱性の設定を、例えば耐震補強していない橋梁ごとに個別に入力するほどに精緻に実施するならば有利だと思うが、ある区間に耐震補強していない橋梁が何個あるからこの程度と設定するくらいならセンサス区間で十分でないかとも感じる。
- ・ 精緻さを追い求めて膨大な作業が生じるよりは、一定の精度が確保されることを前提に、作業性を考慮した方法であることが望ましい。

【その他】

- ・ 指標のわかりやすさ、使いやすさについて、対象となるステークホルダーを明確化した上で、研究を進める必要がある。
- ・ この指標は地域間比較に用いることについて、基本的には地域で共通の手法とするが、地域間の重要性を比較することはしない。
- ・ 数値ベースの評価指標の目指すところは、最終的に ABCD ランクのわかりやすい表現とするが、その根拠として $\alpha \cdot K$ のような数値ベース指標を用いる。その際、ランク付けの閾値設定が課題となる。
- ・ 関門海峡が切れると九州地方は完全に孤立するが、関門海峡のような問題は、別途検討を進めるべきだと思われる。今回の手法は B/C での説明が困難となる交通量の少ない地域を対象としており、重交通区間は B/C で十分対応可能と考える。
- ・ どの程度のリンク途絶規模(時間の長短、空間の大小)が対象となるのか。途絶規模よりも途絶による拠点の孤立が問題ではないか。
- ・ 北海道の吹雪のように予見できるハザードと、地震のように予見できないハザードを考える場合、本手法は後者への適用を考えるべきではないか。

第4章 経路の多重性を考慮したわかりやすい 数値ベース評価指標の構築

4.1 はじめに

評価指標改善の要求項目および検討方針をもとに「新たな改善評価手法」を提案するため、評価指標算出の方法を構築した。具体的には、「拠点ペアベース評価」と「改善プロジェクトベース評価」に関する評価指標を構築した。ここで、拠点ペアベース評価は重要な起終点間（拠点間）に関するネットワーク連結信頼性の評価である。一方、改善プロジェクトベース評価は特定リンクの遮断がネットワーク連結信頼性に与える影響の評価である。両評価指標は「期待所要時間」を用いて算出される。期待所要時間は、拠点間における経路の多重性と経路選択が確率的であることを考慮して複数経路の所要時間から算出される変数である。また、評価の土台となるネットワークは2つの評価で共通のものを用いる。このネットワークにおいて、事業または改善による開通のあり・なし、災害による不通のあり・なしの差違によって4パターンの状態を設定し「脆弱度」および「改善度」と呼ばれる評価指標を算出する。

4.2 基本概念

(1) 対象ネットワークの設定

a) ネットワークの構成要素

ネットワークはノード、リンクおよび拠点によって構成される。ノードは、リンクとリンクを結節する点のデータであり、識別のための一意な名称および位置の情報からなる。リンクは、道路の通行機能を表現する線分のデータであり、ノードをその両端とする。識別のための一意な名称、連絡する両端のノード名称に加え、通過所要時間および通行可能方向の情報を必

須とする。また、ネットワークの機能を確保すべき起終点を指定する必要があることから、拠点を設定する。ノードの一部は拠点と接続し、評価においては、拠点が接続されたノードからノードまでの間に成立する経路を「拠点間」の経路と見做す。

b) ネットワークの状態

ネットワークには2つの条件を組合せることによる4通りの状態が設定される。1つ目の条件は新規事業計画として検討されたリンク開通の有無である。このようなリンクを「事業化リンク」という。2つ目の条件は特定の災害 j により遮断されると考えられるリンク不通の有無である。このようなリンクを「ハザードリンク」という。以降においてはネットワークを W で表し、4つの状態を表4.1のように記すものとする。

表 4.1 ネットワークの4つの状態（拠点評価）

ネットワーク W		災害 j に係るハザードリンク	
		災害なし (Normal)	災害 j あり (Hazardous)
事業化 リンク	未通 (withOut)	W^{O+N}	W^{O+H_j}
	開通 (With)	W^{W+N}	W^{W+H_j}

(2) 期待所要時間の定義

改善評価手法では、共通の評価指標である「期待所要時間」を基礎として各評価指標を算出する。期待所要時間は、多重性を考慮した複数経路の所要時間を、ランダム効用理論に基づき、「ログサム変数」として算出したものである。

拠点間には通常幾つもの経路を考えることが出来る。複数の経路を考慮することは、拠点

間交通の多重性を評価する上で不可欠である。基本的には所要時間最短の経路が選択される傾向にあるとはいえ、これら経路のそれぞれがどの程度の割合で用いられるかは確率的な事象である。

また、この確率分布は通常時か災害時かといったネットワークが置かれる状況によって異なると考えられるため、これに対応する「分散パラメータ」を導入することで、状況に適したログサム変数を算出できるものとした。

a) 期待所要時間

ネットワーク上の異なる2点のノードが拠点 rs として指定されているものとする。このとき、拠点 rs 間の期待所要時間 S_{rs} は、式(1)により定義される。

$$S_{rs} = -\frac{1}{\theta} \ln \sum_{k \in C_{rs}} \exp\{-\theta \cdot t_{rs,k}\} \quad (1)$$

ここで、

- S_{rs} : 拠点 rs 間の期待所要時間
- θ : 分散パラメータ
- C_{rs} : 拠点 rs 間の重複のない経路集合
- $t_{rs,k}$: 拠点 rs 間に存在する経路 k の所要時間

期待所要時間の算出に際しては、算出対象の拠点 rs 間における最短経路 ($k0$ とおく) をネットワークより探索する。次に、ネットワークから $k0$ に含まれるリンクを除去し、残りのネットワークより最短経路 $k1$ を求める。以降同様に経路リンクの除外、除外後ネットワークからの最短経路の導出を、指定した本数の経路が得られるか、経路が存在しなくなるまで繰り返す。導出する経路数の上限は、地域の実情に応じて設定するものとする。

b) 分散パラメータの定義

実際の通行においては、リンクに設定された通りの所要時間ではなく、通行時の状況に依存して所要時間は上下するものと考えられる。この分布はガンベル分布に従う。上下する所要時間の幅は分布によって与えられる「誤差」と考えることができる。通行者は、この誤差の幅、即ち分布中の値のいずれかを、自身が通行する際の所要時間であると認知する。

特に災害時においては、様々な不安要因が想定されるため、誤差は大きくなる。もし、ある拠点 rs 間の最短経路 $k0$ および次善経路 $k1$ において、経路 $k0$ の所要時間分布と経路 $k1$ の分布が大きく重なるならば、拠点 rs 間の旅行者は、 $k1$ を $k0$ よりも小さい所要時間で通行できると認知する可能性が生じる。

期待所要時間の算出においては、この所要時間に表われる誤差の広がり分散パラメータ θ により設定する。分散パラメータ θ は、経路選択において各経路間の所要時間の差がどの程度考慮されるかを指定するパラメータであるともいえる。 θ が小さい値のとき、所要時間の差が重視されず、複数の経路が利用される状況が再現される。反対に θ が大きい値のときは、所要時間の差に敏感で、最短経路のみが利用される状況が再現される。

実際には、移動距離に比例して分散が大きく、経路選択が非確定的になるため、起終点毎の分散パラメータを、最短所要時間および補助パラメータ λ を用いて設定する。拠点 rs 間の分散パラメータは、式(2)により求められる。

$$\theta_{rs} = \frac{\pi}{\sqrt{6\lambda t_{rs}}} \quad (2)$$

ここで、

- θ_{rs} : 拠点 rs 間の分散パラメータ
- λ : 補助パラメータ
- t_{rs} : 拠点 rs 間の最短所要時間

なお、ハザードなしの場合は $\lambda=0.034$ 、ハザードありの場合は $\lambda=3.4$ に設定する。これは、ハザードによるリンク遮断が生ずる災害時には、前述のように、所要時間または所要時間差に対する感度が下がることを仮定した設定である。

4.3 改善手法：拠点ペアベース評価

拠点ペアベース評価指標は、ネットワークの通行機能が災害や新規供用により変化するとき、拠点間の交通にどのような影響を及ぼすかを評価するものであり、脆弱度および改善度の2つの指標から構成される。

脆弱度とは、事業化リンクの開通有無別にみる、ハザードリンク遮断による連結信頼性低下の評価である。

改善度とは、ハザードリンク遮断の有無別にみる、事業化リンクの開通による連結信頼性向上の評価である。

(1) ネットワーク設定

先に示した4つのネットワーク (表4.1) の各ケースにおいて事業化リンクおよびハザードリンクに設定される通行可否の扱いを表4.2に示す。この時、ケース毎に拠点 rs 間の期待所要時間が求められる。以降、表4.3の通りに表記するものとする。

表4.2 リンクの通過可否

ネットワーク状態	W^{O+N}	W^{W+N}	W^{O+H_j}	W^{W+H_j}
事業化リンク	×	○	×	○
災害 j に係るハザードリンク	○	○	×	×
災害 j 以外に係るハザードリンク	○	○	○	○

表4.3 状態別の期待所要時間

期待所要時間 S_{rs}		災害 j に係るハザードリンク	
		災害なし (Normal)	災害 j あり (Hazardous)
事業化 リンク	未通 (withOut)	S_{rs}^{O+N}	$S_{rs}^{O+H_j}$
	開通 (With)	S_{rs}^{W+N}	$S_{rs}^{W+H_j}$

(2) 拠点ペアの脆弱度

拠点 rs 間の脆弱度は、ネットワーク W の事業なし・あり別に式(3)および式(4)により定義される。

$$z_{rs}^O = 1 - \frac{S_{rs}^{O+N}}{S_{rs}^{O+H_j}} \quad (3)$$

$$z_{rs}^W = 1 - \frac{S_{rs}^{W+N}}{S_{rs}^{W+H_j}} \quad (4)$$

ここで、

z_{rs}^O : 拠点 rs 間における事業なしの場合の脆弱度 ($0 \leq z_{rs}^O \leq 1$)

z_{rs}^W : 拠点 rs 間における事業ありの場合の脆弱度 ($0 \leq z_{rs}^W \leq 1$)

$S_{rs}^{(*)}$: ネットワーク W の各状態 $*$ における拠点 rs 間の期待所要時間

$* = O+N$: W^{O+N}

(事業化リンク未通・ハザードリンク無遮断)

$* = W+N$: W^{W+N}

(事業化リンク開通・ハザードリンク無遮断)

$* = O+H_j$: W^{O+H_j}

(事業化リンク未通・災害 j に係るハザードリンク遮断)

$* = W+H_j$: W^{W+H_j}

(事業化リンク開通・災害 j に係るハザードリンク遮断)

脆弱度 z_{rs}^O , z_{rs}^W は、ハザードリンクの遮断による S_{rs} の増加度合に伴う値をとる。すなわち、 z_{rs}^O , z_{rs}^W の値が小さいほど拠点 rs 間についてのネットワーク連結信頼性は高い。

(3) 拠点ペアの改善度

拠点 rs 間の改善度は、式(5)および式(6)により定義される。

$$k_{rs}^N = 1 - \frac{S_{rs}^{W+N}}{S_{rs}^{O+N}} \quad (5)$$

$$k_{rs}^{H_j} = 1 - \frac{S_{rs}^{W+H_j}}{S_{rs}^{O+H_j}} \quad (6)$$

ここで、

k_{rs}^N : 拠点 rs 間における通常時の改善度 ($0 \leq k_{rs}^N \leq 1$)

$k_{rs}^{H_j}$: 拠点 rs 間における災害 j 発生時の改善度 ($0 \leq k_{rs}^{H_j} \leq 1$)

改善度 k_{rs}^N , $k_{rs}^{H_j}$ は、事業化リンクの開通による S_{rs} の減少度合に伴う値をとる。したがって、 k_{rs}^N , $k_{rs}^{H_j}$ の値が大きいほど拠点 rs 間についてのネットワーク連結信頼性は高い。なお、脆弱度・改善度が負の数となる場合は 0 と見なし、1 を超える場合には 1 と見なす。

d) 累積脆弱度

ネットワーク上で複数の起終点ペアについて評価を行ったとき、脆弱度の高い拠点ペアにおいて経路となるリンク、あるいは、脆弱度を有する拠点ペアが多く経路として利用するリンクを明らかにするため、累積脆弱度を求める。累積脆弱度の図解を図 4.1 に示す。

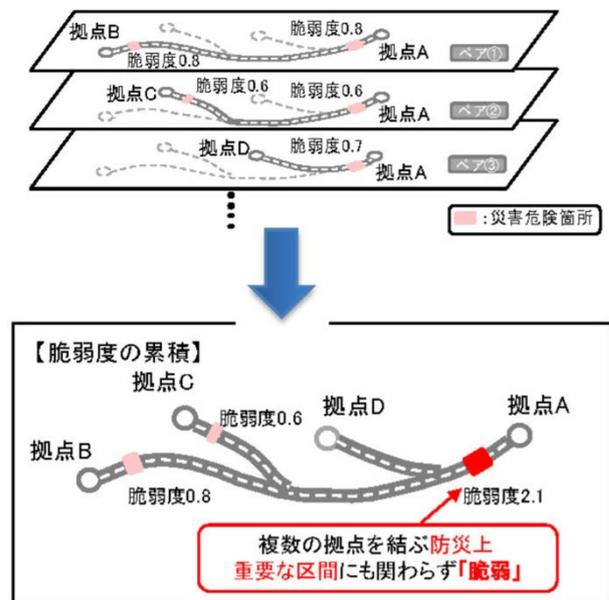


図4.1 累積脆弱度の図解

リンク l における累積脆弱度は、通常時にリンク l を経路に含む拠点ペアの脆弱度の総和として定義される。具体的には式(7)および式(8)の通りである。

$$z_l^O = \sum_r \sum_s w_r w_s \delta_{rs}^O z_{rs}^O \quad (7)$$

$$z_l^W = \sum_r \sum_s w_r w_s \delta_{rs}^W z_{rs}^W \quad (8)$$

ここで、

- z_l^O : リンク l における事業なしの場合の累積脆弱度
- z_l^W : リンク l における事業ありの場合の累積脆弱度
- z_{rs}^O : 拠点 rs 間における事業なしの場合の脆弱度 ($0 \leq z_{rs}^O \leq 1$)
- z_{rs}^W : 拠点 rs 間における事業ありの場合の脆弱度 ($0 \leq z_{rs}^W \leq 1$)
- w_r : 拠点 r および s の重み (原則として $w_r = w_s = 1.0$)
- δ_{rs}^O : 事業なしの場合に拠点 rs 間がリンク l を通過すれば 1, その他は 0
- δ_{rs}^W : 事業ありの場合に拠点 rs 間がリンク l を通過すれば 1, その他は 0

また、拠点ペア数で除算した基準化 (平均化) 脆弱度は式(7)および式(8)の通りである。

$$\overline{z_l^O} = \frac{z_l^O}{n_l} \quad (7')$$

$$\overline{z_l^W} = \frac{z_l^W}{n_l} \quad (8')$$

ここで、

- $\overline{z_l^O}$: リンク l における事業なしの場合の基準化(平均化)脆弱度 ($0 \leq \overline{z_l^O} \leq 1$)
- $\overline{z_l^W}$: リンク l における事業ありの場合の基準化(平均化)脆弱度 ($0 \leq \overline{z_l^W} \leq 1$)
- z_l^O : リンク l における事業なしの場合の累積脆弱度
- z_l^W : リンク l における事業ありの場合の累積脆弱度
- n_l : リンク l を通過する拠点ペアの数

4.4 改善手法：改善プロジェクトベース評価

(1) ネットワーク設定

先に示した4つのネットワーク (表4.1) の各ケースにおいて事業化リンクおよびハザードリンクのうち、特に指定を与えたリンク開通の有無である。この指定を「改善プロジェクト」といい、記号では、例えば「 i 番目の改善プロジェクト」という意味で P_i と表記する。以降、4つ

の状態を表4.4のように記すものとする。

改善プロジェクトベース評価では、拠点ペアベース評価とは異なる通行可否設定となる。各ケースにおける扱いは表4.5の通りとする。なお、改善プロジェクトに指定されたリンク(改善プロジェクトリンク)のうち、ハザードリンクを「構想リンク」、事業化リンクを「計画リンク」という。

表4.4 ネットワークの4つの状態 (改善評価)

ネットワーク W		災害 j に係るハザードリンク	
		災害なし (Normal)	災害 j あり (Hazardous)
改善プロジェクト P_i	未通 (withOut)	W^{O+N}	W^{O+H_j}
	開通 (With)	$W^{W_{P_i}+N}$	$W^{W_{P_i}+H_j}$

表4.5 特定リンクの通行可否

ネットワーク状態	W^{O+N}	$W^{W_{P_i}+N}$	W^{O+H_j}	$W^{W_{P_i}+H_j}$
P_i 計画リンク	×	○	×	○
P_i 災害 j 構想リンク	○	○	×	○
P_i 災害 j 以外構想リンク	○	○	○	○
P_i 非指定：事業化リンク	×	×	×	×
P_i 非指定：災害 j ハザードリンク	○	○	×	×
P_i 非指定：災害 j 以外ハザードリンク	○	○	○	○

表4.6 状態別の期待所要時間

期待所要時間 S_{rs}		災害 j に係るハザードリンク	
		災害なし (Normal)	災害 j あり (Hazardous)
改善プロジェクト P_i	未通 (withOut)	S_{rs}^{O+N}	$S_{rs}^{O+H_j}$
	開通 (With)	$S_{rs}^{W_{P_i}+N}$	$S_{rs}^{W_{P_i}+H_j}$

前述のように、ケース毎に拠点 rs 間の期待所要時間が求められ、表4.6の通りに表記される。これらより、拠点ペアベース評価と同様に脆弱度 z_{rs} 、改善度 k_{rs} を求める

(2) 改善プロジェクトの脆弱度

改善プロジェクト P_i の脆弱度は、ネットワークの P_i あり・なし別に式(9)および式(10)により定義される。

$$z_{P_i}^O = \sum_r \sum_s w_r w_s \delta_{rs}^O z_{rs}^O \quad (9)$$

$$z_{P_i}^W = \sum_r \sum_s w_r w_s \delta_{rs}^W z_{rs}^W \quad (10)$$

ここで、

- $z_{P_i}^O$: 評価対象事業 P_i を行わない場合の P_i の脆弱度
- $z_{P_i}^W$: 評価対象事業 P_i を行う場合の P_i の脆弱度

z_{rs}^O : 拠点 rs 間における P_i を行わない場合の脆弱度 ($0 \leq z_{rs}^O \leq 1$)
 z_{rs}^W : 拠点 rs 間における P_i を行う場合の脆弱度 ($0 \leq z_{rs}^W \leq 1$)
 δ_{rs}^O : P_i を行わない場合に拠点 rs 間が P_i を通過すれば 1, その他は 0
 δ_{rs}^W : P_i を行う場合に拠点 rs 間が P_i を通過すれば 1, その他は 0

また、拠点ペア数で除算した基準化 (平均化) 脆弱度は式(9')および式(10')の通りである。

$$\overline{z_{P_i}^O} = \frac{z_{P_i}^O}{n_{P_i}} \quad (9')$$

$$\overline{z_{P_i}^W} = \frac{z_{P_i}^W}{n_{P_i}} \quad (10')$$

ここで、

$\overline{z_{P_i}^O}$: 評価対象事業 P_i を行わない場合の基準化(平均化)脆弱度 ($0 \leq \overline{z_{P_i}^O} \leq 1$)
 $\overline{z_{P_i}^W}$: 評価対象事業 P_i を行う場合の基準化(平均化)脆弱度 ($0 \leq \overline{z_{P_i}^W} \leq 1$)
 $z_{P_i}^O$: 評価対象事業 P_i を行わない場合の P_i の脆弱度
 $z_{P_i}^W$: 評価対象事業 P_i を行う場合の P_i の脆弱度
 n_{P_i} : P_i を通過する拠点ペアの数

脆弱度 $z_{P_i}^O$, $z_{P_i}^W$ はハザードリンクの遮断による拠点ペア脆弱度の増減に伴う改善プロジェクトリンク上の累積脆弱度である。したがって $z_{P_i}^O$, $z_{P_i}^W$ の値が小さいほど区間 P_i についてのネットワーク連結信頼性は高い。

(3) 改善プロジェクトの改善度

P_i の改善度は、災害のなし・あり別に式(11)および式(12)により定義される。

$$k_{P_i}^N = \sum_r \sum_s w_r w_s \delta_{rs}^N k_{rs}^N \quad (11)$$

$$k_{P_i}^{H_j} = \sum_r \sum_s w_r w_s \delta_{rs}^{H_j} k_{rs}^{H_j} \quad (12)$$

ここで、

$k_{P_i}^N$: 評価対象事業 P_i の通常時の改善度
 $k_{P_i}^{H_j}$: 評価対象事業 P_i の災害 j 発生時の改善度
 k_{rs}^N : 拠点 rs 間における通常時の改善度

($0 \leq k_{rs}^N \leq 1$)

$k_{rs}^{H_j}$: 拠点 rs 間における災害 j 発生時の改善度 ($0 \leq k_{rs}^{H_j} \leq 1$)
 δ_{rs}^N : 通常時に拠点 rs 間が P_i を通過すれば 1, その他は 0
 $\delta_{rs}^{H_j}$: 災害 j 発生時に拠点 rs 間が P_i を通過すれば 1, その他は 0

また、拠点ペア数で除算した基準化 (平均化) 改善度は式(11')および式(12')の通りである。

$$\overline{k_{P_i}^N} = \frac{k_{P_i}^N}{n_{P_i}} \quad (11')$$

$$\overline{k_{P_i}^{H_j}} = \frac{k_{P_i}^{H_j}}{n_{P_i}} \quad (12')$$

ここで、

$\overline{k_{P_i}^N}$: 評価対象事業 P_i の通常時の基準化(平均化)改善度 ($0 \leq \overline{k_{P_i}^N} \leq 1$)
 $\overline{k_{P_i}^{H_j}}$: 評価対象事業 P_i の災害 j 発生時の基準化(平均化)改善度 ($0 \leq \overline{k_{P_i}^{H_j}} \leq 1$)
 $k_{P_i}^N$: 評価対象事業 P_i の通常時の改善度
 $k_{P_i}^{H_j}$: 評価対象事業 P_i の災害 j 発生時の改善度

改善度 $k_{P_i}^N$, $k_{P_i}^{H_j}$ は、改善プロジェクト P_i の実施による脆弱度低下が大きいほど大きな値をとる、改善プロジェクトリンク上の累積改善度である。改善度が大きいほど P_i の実施によるネットワーク連結信頼性改善効果は高い。

4.5 改善手法：数値指標からのランク導出

脆弱度ランクおよび改善度ランクの定義を図 4.2 に示す。

ネットワーク W の連結信頼性の評価において、数値として得られた評価指標を解釈するため、脆弱度・改善度それぞれの数値に応じた「脆弱度ランク」および「改善度ランク」が与えられる。

境界値とした 1/3, 2/3 はそれぞれ期待所要時間、またはその総和の増加率に相当しており、1/3 では 1.5 倍、2/3 では 3.0 倍に当たる。

ABCD 4段階のランク付けは、従前の暫定評価手法における「必要性評価」に概ね準拠している。ただし、道路ネットワークとして好ましい評価の順に A, B, C, D としたため、脆弱度

と改善度ではランクの並びが正反対となっている。

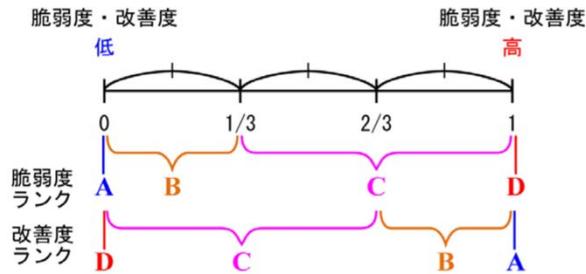


図4.2 評価指標とランクの関係

4.6 仮想ネットワークを用いた性能評価

(1) 数値実験ネットワークの概要

提案手法の計算可能性や設定値による解の挙動等の基本的な性質を把握するために、簡易な数値実験ネットワークを用いて感度分析的な性能評価を行った。数値実験ネットワークは学術研究のベンチマークテストに広く用いられている米国 Sioux Falls 市の簡易道路ネットワークを利用した(図4.3)。

分析対象拠点は1, 7, 9, 19, 20の5ヶ所とした(図中のオレンジハッチのノード)。リンク遮断箇所は5ヶ所(図中の赤×のリンク)、新規リンクは2ヶ所(図中の青リンク)として数値実験を行った。

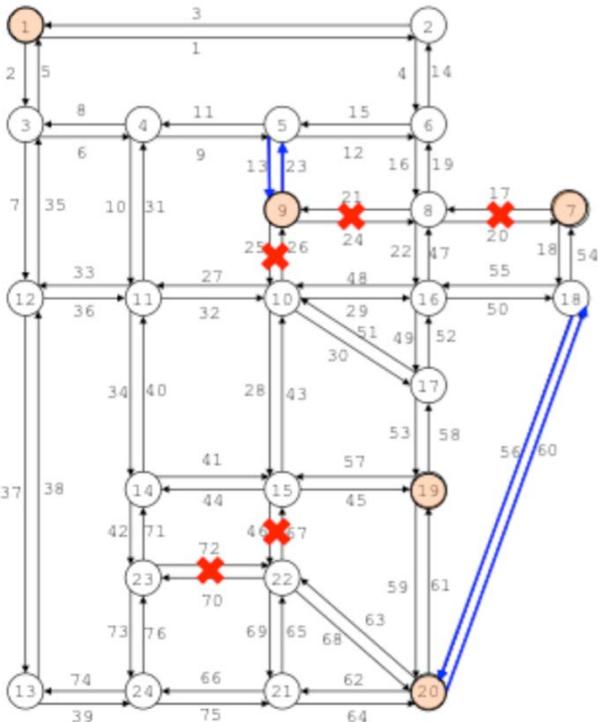


図4.3 テストネットワーク

(2) 拠点間評価と暫定手法との整合性検証

数値実験ネットワークを用いて提案した拠点間評価指標の試算ならびに既往の必要性評価手法とのランク評価値の整合性を検証した。具体的な計算手順は下記の通りである。なお、本分析では経路数を制限しない脆弱性に基づくランク導出方法を用いて検証した。

【基本設定】

- 経路探索方法: Dijkstra 法により時間最短経路を探索し、経路所要時間を算出した。
- 経路数: 利用可能な全ての代替経路を対象とする。原則として重複なしとするが、実情に応じて拠点付近の一部のリンクについては重複を許す。
- 分散パラメータ: 既往研究を参考に θ を 1.0 とした。

【計算手順】

- 1) 計算対象となる拠点を設定し、最短経路探索を実行
- 2) 最短経路が存在する場合には、代替経路を探索
- 3) ログサム変数に基づく拠点間期待所要時間を算出
- 4) 上記 2 と 3 を 4 種類のネットワーク(災害有無, 事業有無)に対して実行
- 5) 拠点間脆弱性および拠点間改善度を算出
- 6) 上記 5 で得られた評価指標値を用いてランクを導出

数値実験の結果を表 4.7 ならびに表 4.8 に示す。拠点間評価の試算結果から改良により通行不可能となる拠点間が無くなるため、脆弱度が低下し、改善度が上昇することが確認できる。これは従前の必要性評価と同等の結果を得ることが可能であることを示唆している。また、改良により迂回時間が減少する効果についても多重性を考慮した期待所要時間指標を用いることで定量的に把握することが可能となり、従前手法よりも改善効果をより詳細に把握することが可能となった。

一方、必要性評価のランクと提案手法を用いたランクの整合性を見ると、全ての拠点間について想定した割当と一致していることが確認できる。しかしながら、分散パラメータの設定に依存するため、実適用の際には十分なキャリブレーションを行う必要がある。以降では、分散パラメータについて感度分析を行い、適切な設定方法を感度分析から明らかにする。

表 4.7 拠点間評価指標の試算

発拠点	着拠点	期待所要時間				拠点間脆弱度				改善度	
		整備なし		整備あり		整備なし		整備あり		数値	ランク
		災害なし	災害あり	災害なし	災害あり	数値	ランク	数値	ランク		
1	7	16.000	23.000	16.000	23.000	0.304	L1	0.304	L1	0.000	L0
1	9	15.000	-	15.000	15.000	1.000	L4	0.000	L0	1.000	L4
1	19	21.982	21.982	21.982	21.982	0.000	L0	0.000	L0	0.000	L0
1	23	17.000	17.000	17.000	17.000	0.000	L0	0.000	L0	0.000	L0
7	9	11.687	-	11.687	21.000	1.000	L4	0.443	L2	0.386	L2
7	19	9.000	9.000	9.000	9.000	0.000	L0	0.000	L0	0.000	L0
7	23	15.000	22.000	15.000	17.000	0.002	L1	0.118	L1	0.000	L0
9	19	11.000	-	11.000	20.000	1.000	L4	0.450	L2	0.379	L2
9	23	16.000	-	16.000	21.000	1.000	L4	0.238	L1	0.616	L2
19	23	9.993	14.998	9.993	11.951	0.133	L1	0.164	L1	0.000	L0

表4.8 必要性評価と本手法のランクの比較

発拠点	着拠点	整備なし		整備あり	
		必要性評価	拠点間評価	必要性評価	拠点間評価
		ランク	ランク	ランク	ランク
1	7	B	L1	B	L1
1	9	D	L4	A	L0
1	19	A	L0	A	L0
1	23	A	L0	A	L0
7	9	D	L4	C	L2
7	19	A	L0	A	L0
7	23	B	L1	B	L1
9	19	D	L4	C	L2
9	23	D	L4	B	L1
19	23	B	L1	B	L1

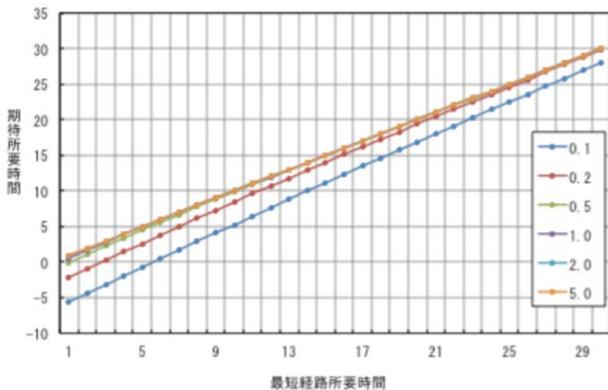


図4.3 最短経路商用時間に関するパラメータ感度

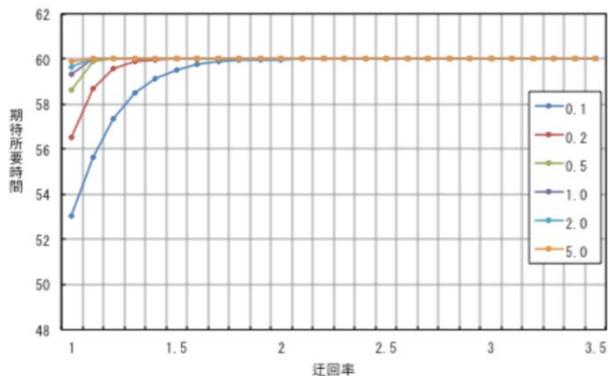


図4.4 迂回率に関するパラメータ感度

(3) 分散パラメータ設定による挙動確認

期待所要時間指標(ログサム変数)における分散パラメータは、ドライバーの経路認知を表現するパラメータであり、理論的には値がゼロに近いほどランダム、すなわち全ての経路が等しい所要時間を持つ状況表現し、値が大きいくほど最短経路所要時間に収束することが理論的に確認されている。

一方、学術的・実務的な研究事例において、分散パラメータは 0.2 から 1.0 の間で設定されることが多い。しかしながら、経路所要時間の長短によって負の期待所要時間が算出される等の不適切な結果となるケースが報告されている。そこで、1OD2 リンクの仮想ネットワークを対象に、最短経路所要時間および迂回率を変化させた感度分析を行い、期待所要時間の挙動と適用範囲を確認する。

ログサム変数の最短経路所要時間に基づく感度分析結果を図 4.3 に示す。

迂回率を 1.5 に固定した上で最短経路所要時間を 1分から60分に変化させた場合での期待所要時間の感度を見ると、短い所要時間では負の値や最短経路よりも極端に短い期待所要時間が算出され、明らかに不適切な設定であることが確認できる。また、分散パラメータの値が小さいほどその傾向は顕著に現れている。従って、拠点が密に配置されており、かつ最短経路所要時間が短い箇所では十分な配慮が必要である。

ログサム変数の迂回率に基づく感度分析結果を図 4.4 に示す。

最短経路所要時間 60 分に固定した上で迂回率を 1.0 から 3.0 に変化させた場合での期待所要時間の感度を見ると、迂回率が低い場合には期待所要時間が最短経路所要時間よりも低く算出されるが、迂回率が高くなるにつれ最短経路所要時間に収束していることが確認できる。

なお、分散パラメータの値が小さいほど収束が緩慢であり、分散パラメータの性質を適切に表現している。災害時においては、接続ならびに所要時間の信頼性が低下することから、分散パラメータを小さく設定することが望ましい。

以上の感度分析結果から、経路所要時間の長短が不適切な挙動を誘発する可能性があり、十分に注意が必要である。一方、迂回率については問題が生じないが、災害時の多重性の効果を適切に表現するためには、通常時よりも低い値を設定することが現実的であると示唆される。

4.7 テスト適用と実務的経験との整合性検証

(1) 分析概要

本研究では暫定手法の適用実績がある東北地方整備局管内（青森県，岩手県，秋田県，宮城県，山形県，および福島県の東北6県）をテスト地域として設定した。テスト地域は関東地方整備局ならびに北陸地方整備局管内と隣接しているが、本分析では隣接拠点を考慮せずに東北地方整備局管内のみを分析範囲とした。

分析は平成25年度に実施された必要評価分析を比較対象として、提案手法の妥当性を検証した。分析ネットワークならびにハザード設定は従前手法(リンク内に「津波浸水地域内区間」，「未耐震橋梁架橋箇所」，「車道幅員5.5m以上未改良区間」，「事前通行規制区間」が存在する場合は発災時に遮断とする)を踏襲するが、利用データに若干の差異が存在するため、同一のデータセットによる比較とならないことに注意したい。

(2) 地域特性を考慮した計算条件の設定

a) ネットワーク条件の設定

東北地方整備局において実分析に用いられているネットワーク条件を設定した。拠点ノード、リンクはいずれも有効性評価手法の条件に基づき、それぞれ主要地方道以上の道路、市役所・町村役場・背骨高速ICとしている。また、道路ネットワークデータはデジタル道路地図データベース(DRM)を用いた。対象拠点数は54ヶ所、対象リンク数は62671本であった。テスト地域の特性を考慮した計算条件の詳細は以下の通りである。

市町村ノードの近似的割当：有効性評価手法では、拠点ノードとして市役所・町村役場を設定するが、庁舎が主要地方道に直接アクセスしていない場合は、庁舎と連絡する道路との交点を市町村ノードとして設定した。本研

究では便宜上、庁舎から最も近い DRM 上のノードを庁舎の代表地点として設定したが、これによる所要時間の変化は無視できるほど小さいと考えられる。

災害時を考慮した市町村ノードの変更：上記の処理を行った上で割り当てた拠点ノードについて、災害時のリンク遮断状況との対応関係を GIS 上で確認したところ、庁舎の代表地点として設定した拠点ノードの直近のリンクが遮断されているケースが散見された。このようなケースでの拠点ノード近辺のリンク遮断の対応としては、仮に代替経路がないとしても現実的な範囲で通行可能な地点を代表地点として設定する、もしくは数本のリンクの遮断をしないよう変更した。これにより所要時間の変化が発生するが、計算結果に及ぼす影響は小さいと考えられる。

b) 計算手順

本研究で提案した期待所要時間に基づく数値評価指標ならびに耐災害性と迂回率に基づくランク導出手法を暫定適用する。具体的な計算手順は下記の通りである。なお、必要性評価との比較を行うため、拠点間評価についてのみ分析を行う。

【基本設定】

- ・ 経路探索方法：Dijkstra 法により時間最短経路を探索し、経路所要時間を算出した。
- ・ 経路数：主経路と代替経路の2本を対象とする。原則として重複なしとするが、実情に応じて拠点付近の一部のリンクについては重複を許す。
- ・ 分散パラメータ：既往研究を参考に θ を 1.0 とした。
- ・ 迂回率：従前と同様に 1.5 とした。

【計算手順】

- 1) 計算対象となる拠点を設定し、最短経路探索を実行
- 2) 最短経路が存在する場合には、代替経路を探索
- 3) ログサム変数に基づく拠点間期待所要時間を算出
- 4) 上記2と3を4種類のネットワーク(災害有無，事業有無)に対して実行
- 5) 拠点間脆弱性および拠点間改善度を算出
- 6) 上記5で得られた評価指標値を用いてランクを導出

(3) テスト地域への適用と暫定手法との比較

a) 改善指標と暫定手法との比較結果

脆弱度評価指標値 α の算出結果について、4段階評価(ABCD)判定に展開した結果を図 4.5 と表 4.9 に示す。

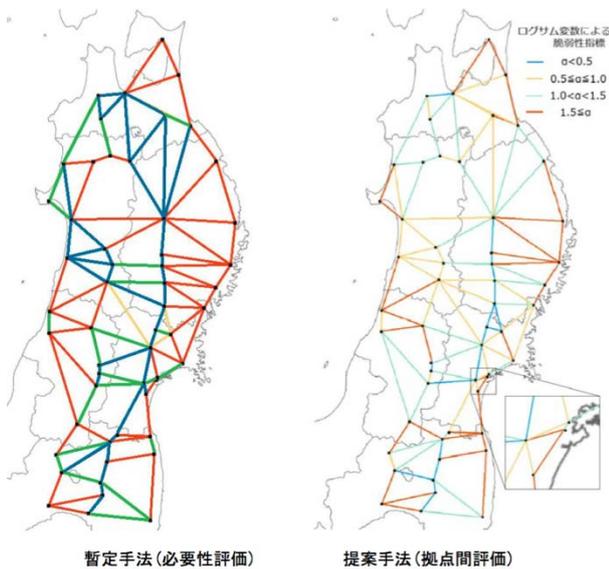


図4.5 東北地方での試算結果

表4.9 ランク集計結果 (事業なしケース)

必要性評価値	暫定手法	提案手法
A	29	28
B	33	24
C	15	19
D	39	43

暫定手法(必要性評価)と比較して評価が高くなっているケースと評価が低くなっているケースが混在すること確認できるが、概ね一致していると判断できる。提案手法による評価と、暫定手法(必要性評価)による評価に差が生じる原因は、設定したネットワークの違いに起因するものであると考えられる。本研究で設定したネットワークは、暫定手法(必要性評価)と比較して密な設定となっていることから、拠点ペアに対して通過可能な経路数が増加し、その結果として特に多重性の観点から評価が向上するものが多くなったものと考えられる。また、密なネットワークによる高規格道路へのアクセス・イグレスの向上により最短経路自体が変化しているケース、かつ耐災害性があるために評価値の変更されたものも存在した。

b) 適用結果の考察

テスト地域において、既存の高速道路が存在する区間では脆弱性評価は低い(すなわち防災

機能が高い)という結果が得られた。一方、太平洋沿岸での脆弱性評価値は高く、地震および津波に備えた高規格道路の整備が必要であると言えよう。三陸沿岸部における整備の妥当性が提案手法からも確認できる。

期待所要時間に基づく指標では迂回率と所要時間の長短によって評価値が変化する性質を有している。具体的には、盛岡-八戸、いわき-白河は代替経路の迂回率が小さいにも関わらず、所要時間が長いため低く評価されている。一方、天童-東根、栗原-大崎では代替経路の迂回率が大きいにも関わらず、所要時間が短いため高く評価されている。このような感覚的な齟齬は分散パラメータが原因であり、可変型分散パラメータを適用することが望ましいことを示唆している

(4) 実務的経験との整合性検証

東北地方を対象に、検討した新評価指標の挙動確認や既存指標との比較を行った。平成 27 年 1 月 15 日(木)に東北地方整備局へのヒアリングの機会を得たことから、実務的経験に基づき意見をいただいた。主な意見を以下に示す。

- ・ 暫定手法における必要性評価と有効性評価は、両方を考慮した総合評価ができない。改良手法では統一的な取り扱いが可能であり、望ましい方向である。
- ・ 暫定手法の必要性評価における ABCD カテゴリ表現は、説明を行う上での利便性が高いが、数値では僅かな差でも異なるカテゴリ評価となった場合、両者に大きな差があるような印象を与える。改良手法はそれを解決しており、この方向で検討することは問題がない。
- ・ 暫定手法による評価は現場感覚と一致しないことが稀にあるが、テストケースであるものの改良手法は概ね一致している。しかしながら、一部の結果については、再度検証が必要である。

4.8 まとめ

前章で明らかとなった実務的な課題点を解決するために新たな評価手法を開発した。改善評価手法は下記の特徴を有する。

- 1) データや条件設定を統一して地域間の不整合を防止した。
- 2) 既存の評価手法を理論的に統合した。具体的には、評価指標算出に際して、基礎的数値となる期待所要時間を、経路の多重性が考慮されているログサム変数を用いて表現

した。また、暫定手法を踏襲し、「脆弱度」と「改善度」という2つの数値指標を求めるとしつつ、期待所要時間を用いて再定義した。その際、数値は0～1の分かりやすい範囲とした。

- 3) 評価指標の解釈を容易にするため、数値指標からカテゴリ指標を導出可能とした。導出されるカテゴリ指標は、暫定手法の評価カテゴリと概ね整合するものとした。
- 4) これら改善事項を踏まえ、データ設定から評価結果出力までを一貫して実施可能な評価計算システムを実装して実務的負担の軽減を図った。

また、感度分析およびテスト地域への暫定適用を通して、統合評価指標が現在の必要性評価指標と同等の性能を有しており、かつより詳細な多重性の効果を表現可能であることが確認された。また、分散パラメータの設定により不適切な結果が生じることを感度分析から明らかとし、実適用における重要な示唆が得られた。

第5章 地域の実情に応じた複数の災害シナリオを加味した計算設定の検討

5.1 はじめに

前章にて構築した多重性を考慮したわかりやすい数値ベースの評価手法「新たな改善評価手法」は「拠点ペアベース評価」と「改善プロジェクトベース評価」により構成されるが、実際の計算においては、その入力条件について改善ニーズを踏まえた上で検討する必要がある。本章では、入力となるデータや設定の共通化を行うことで、既存手法の問題や提案手法の精緻化を図る。また、四国地方をケーススタディ地域として適用をおこない、実務者と協力して手法のチューニングを行った

5.2 計算条件に関する基本方針の検討

(1) 検討方針

改善評価手法において適切な評価計算を実施するために必要なデータ設定の条件を検討した。主として検討項目は、1)ネットワークデータ、2)拠点および拠点ペア、3)ハザード、4)事業化リンク、5)改善プロジェクト、6)シナリオの6項目として細分化される。

(2) ネットワークデータの設定

a) 利用データ

改善評価手法におけるネットワークは、道路網を表現するための前述の条件を満足する構成であるとともに、各地域を通じ統一的な基準で整備されたデータであることが要求される。これは、評価結果の比較を容易とするほか、各地域で共通的なデータを使用することで評価実施における地域間の相互補完を可能とすることを意図してのことである。

データが統一的に整備されていること、通行

機能に関する情報を有していることから、ノードおよびリンクの設定には極力DRMデータ(デジタル道路地図)を使用することとする。

DRMは、一般都道府県道以上および幅員5.5m以上の道路(基本道路)を収めた「基本道路リンク」と、基本道路および基本道路に含まれない幅員3.0m以上の道路を収めた「全道路リンク」の2種類のネットワークデータから構成されるが、以下の2つの理由から、本評価においては基本道路リンクデータの利用が適切である(図5.1)。

- 1) 本評価が対象とする道路が収録されている。
- 2) リンクの通行機能に関するデータが全て揃っている。

DRM基本道路リンクのデータは、道路種別、延長(リンク長)、規制速度、通行可否に関するデータを有する。表示にはないが、一方通行規制のデータもあり、リンクの通行機能設定に必要なデータは全て収録されている。



図5.1 DRM基本道路リンクデータの例

DRMの利用で注意すべき点は、自動車の通行が不可能とされる道路区間も含まれていることである。これらは実情に応じ適宜ネットワークから除外しなければならない。

また、DRMには未供用の道路を表すリンクデータも含まれている。これらは計画が決定した

ものであるため、過去に遡った評価を実施する場合は別として、本手法により効果を評価すべき「事業化リンク」には相当しない。ただし、実際に供用が予定されている道路区間と構成が異なる場合がある。

DRM に収録されていない、または、実際と構成が異なるため除外された区間を供用されたとみなすべき場合には、DRM の構成方法に準じてデータを追加する。

b) 対象道路種別

ネットワークは主要地方道以上の道路を対象とすることを基本とし、一般都道府県道や市町村道は考慮しない。ただし、緊急輸送路指定など地域の防災計画において重要な道路と位置付けられている、通行機能が十分に高くかつ拠点へのアクセスとして最適である、ネットワークとしてミッシングリンクが形成される等の理由により適宜対象としてよい。

なお、主要地方道以上であっても、自動車が通行不可である区間（例えば、階段国道として有名な歩行者のみ通行可能な国道 339 号の一部区間）はネットワークに含めない。

(3) 拠点の設定

ネットワークの耐災害信頼性評価は、実際には、ネットワーク上の必要な地点から地点への移動がどのように実現可能かによって決定される。その移動の起終点となるのが拠点である。

a) 拠点の選定

本評価手法は、被災後 3 日～1 週間以内のネットワークを対象としているため、比較的早期の支援対応に関連する拠点を選定する。具体的には、拠点を支援主体となる「支援拠点」と、支援を受ける「被災拠点」に区分する。さらに支援拠点を、1) 広域拠点、2) 交通拠点、3) 地域拠点に細分し、4) 被災拠点とあわせ、評価対象とする拠点ペアを決定する。

- 1) **広域拠点**：災害時の支援における意思決定・実行の中心機関で、総合的に機能すると考えられる拠点として広域拠点を設定する。
例：都道府県庁、政令市役所、陸上自衛隊駐屯地
- 2) **交通拠点**：他の地方から対象地域に支援を輸送する際における交通上の経由地(通過点)として、交通拠点を設定する。
例：地域境界の最寄り IC 等、空港、重要港湾以上の港湾
- 3) **地域拠点**：総合的または特定の防災機能に中心的な役割を果たし、地域の中心となる地域

拠点を設定する。

例：圏域中心都市、広域物資輸送拠点、災害拠点病院、道の駅、サービスエリア/パーキングエリア、建設・交通当局の事務所

- 4) **被災拠点**：災害時において、大きな被害を受けると想定される市町村役場は支援されるべき対象の代表であり、被災拠点として設定する。

例：地震・津波被災市町村、豪雨災害被災市町村、その他の市町村

b) 拠点のネットワークへの接続

拠点は空間上に広がりをもつ施設である。また、拠点周辺の移動は拠点間連絡の全行程と比較して十分に短い。そのため、拠点は所在位置周辺の 1 個以上のノードに接続する(対応付ける)ことが可能である。具体的には、拠点到近接する複数ノードにダミーリンクで接続することを推奨するが、拠点と接続ノードの間に河川等の明らかな隔りがある場合などは、適宜実際のアクセス経路等をもとに相応なノードに接続するものとする。修正例を図 5.2 に示す。なお、本研究において開発したシステムでは、5 個のノードへの接続をデフォルトとした。

また、後述するハザードの設定において、沿岸部の拠点近傍が津波浸水域となってしまうとき、拠点近傍に浸水しないノード・リンクがあり、当該地点への到達が十分に現実的であると判断される場合には、これら拠点に接続してよい。これにより本評価が意図している地域間連絡の分析を円滑に行うことが可能となる。判断基準の一例として、東日本大震災当時の被災拠点周辺の啓開実績が挙げられる。同例は「4 ケーススタディ地域への適用と改良手法のブラッシュアップ」にて詳述した。

評価においては、これら接続したノードのいずれかを、当該拠点の起終点として扱うものとする。

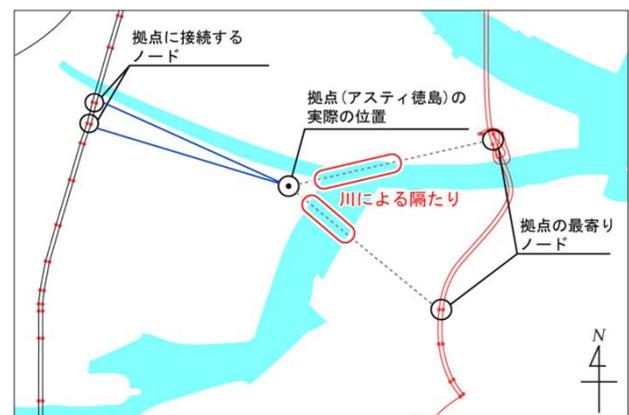
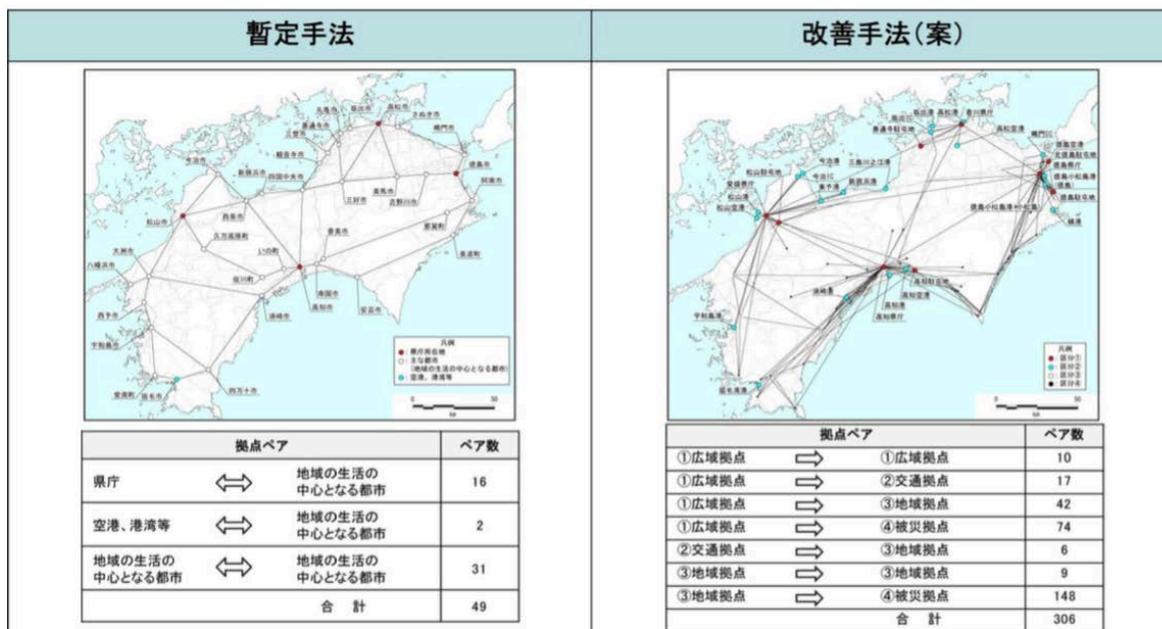


図 5.2 接続条件の修正例 (徳島県庁付近)



※道路事業評価部会(2015.12/21) 資料より抜粋

図 5.3 四国地方を対象とした拠点および拠点ペアの設定

c) 拠点ペアの設定

災害支援時の救助・被救助の関係や、道路啓開計画を念頭において拠点ペアを設定し、耐災害信頼性の評価を行う。四国におけるペア設定の暫定手法との比較を図 5.3 に示す。

(4) ハザードの設定

a) ハザードの種類

災害時におけるネットワーク連結信頼性評価は、ネットワークのうち災害に対応するハザードを有するリンクを通行不能とみなして評価を行うものである。

ハザードは、東日本大震災における道路被災事例等から、大規模災害の被災を想定した「津波浸水」、「未耐震橋梁」、「未改良区間」、「事前通行規制」の4つを基本とする。基本4ハザードと災害の関係を表 5.1 に示す。

ただし、地域の実情を考慮し、他のハザードを追加することが評価上重要である場合には、当該ハザードを追加する。地域の実情を考慮したハザードと災害の関係を表 5.2 に示す。

ハザードの選定においては、リンク遮断の意味を明確にする必要がある。消防や自衛隊などは、ある程度であれば被災した道路でも啓開しつつ慎重に前進することが可能であるが、一般車両は十分な安全が確保された道路でなければ通行出来ない。どのような交通(移動)を評価するかにより、リンク遮断に相応なハザードの種類は制約を受ける。

また、視程障害等は継続時のみ通行不能となり、終息後は啓開を行わずとも通行が可能となる。このような災害は、長期間持続した実績の有無等をもとに、ハザードとしての設定可否を検討すべきである。

表 5.1 考慮すべき大規模災害とハザード

No.	ハザード名称	災害
1	津波浸水	地震
2	未耐震橋梁	地震
3	未改良区間	地震・豪雨・豪雪
4	事前通行規制	豪雨・豪雪・土砂災害

表 5.2 地域の実情を考慮したハザードの例

No.	ハザード名称	災害
1	冬期規制	降雪
2	河川氾濫	豪雨
3	降灰	火山噴火
4	火砕流	火山噴火
5	視程障害	吹雪・濃霧
6	倒木	強風
7	木造建造物密集地域	地震・火災
8	建物倒壊による閉塞	地震
9	土砂災害危険区域	豪雨・土砂災害

b) 基本ハザードの設定方法

改善評価手法における基本ハザードの設定方法を示す。なお、本評価においては高速道路および新規供用道路は基本ハザードを有しないものとしている。そのため、これらリンクには基本ハザードを設定しない。

【津波浸水】

津波浸水とは、津波により道路が水没、または道路に瓦礫が堆積し通行不能となることである。

津波浸水のデータは、例えば内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討データ」のように津波浸水深として公表されているものがあるため、これを利用する。

ただし、これらデータは地表からの津波浸水深であるため、地表から十分高い位置を通る高架道路はハザード設定対象からは除外すべきである。また、浸水による閉塞の大半は道路上に流入堆積した瓦礫や土砂が原因であるため、これらを運搬する程の水量(浸水深)でない場合、水が引いた後の通行に支障はないと考えることが適切である。

これらを考慮し、リンクにおける津波浸水をより精確に設定するため、リンクが位置する地表からの路面高を求め、地表からの津波浸水深との差をリンクの真の浸水深とする。その上で、例えば軽微な浸水深(30cm 未満)のリンクは除外するなどしてハザード設定を行うことが望ましい。津波浸水設定の判断基準を図 5.4 および図 5.5 に示す。

DRM にはリンクの標高データが存在するため、これらを用いれば上記の方法による津波浸水深の設定が可能である。

このほか、沿岸部の拠点近傍が浸水域になってしまう場合には、浸水後の道路通行が依然として可能である、または十分短い時間・コストで迂回または啓開が可能である何らかの仮定を設け、ハザード設定から除外してもよい。これにより本評価が意図している地域間連絡の分析を円滑に行うことが可能となる。

【未耐震橋梁】

未耐震橋梁とは、昭和 55 年に改定された橋梁設計基準を満たさない橋梁のことである。未耐震橋梁は、地方整備局や自治体が整備したデータを参照し、リンクに設定する。

【未改良区間】

未改良区間とは、車道幅員が 5.5m に満たな

い道路区間のことである。

DRM においては、道路の幅員は「幅員区分」および「車道幅員」の 2 種類のデータとして収録されている。未改良区間は、幅員区分が「3m 未満」または「3m 以上 5.5m 未満」であるリンク、もしくは車道幅員が「0m より広く 5.5m 未満」であるリンクが概ね該当する。これらのうち、すれ違いを考慮しなくてよい上下線分離や一方通行のリンク(DRM では判別可能)を除外すれば、ハザード設定への利用が可能である。

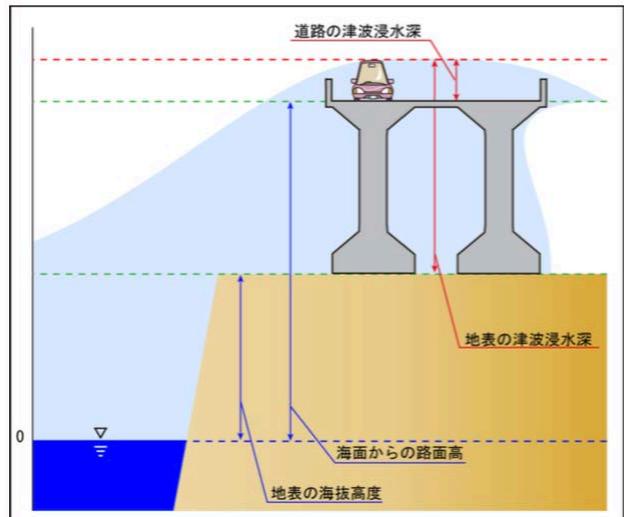


図 5.4 道路路面高を考慮した浸水深設定イメージ



図 5.5 高松市における路面高を考慮した浸水深設定 (上: 全浸水深での遮断, 下: 浸水深 0.3m での遮断)

【事前通行規制】

事前通行規制とは、降雨や降雪の時間量が一定量を超えた場合、または現場の状況により通行上危険と判断された場合、実際の道路閉塞・崩壊の有無にかかわらず通行止めとする措置のことである。

DRMには、その道路リンク毎に、異常気象時通行規制の種別と規制実施時の降水・降雪量のデータが設定されており、ハザード設定への利用が可能である。

なお、実際の道路閉塞可能性に基づき設定を行う場合には、法面や急傾斜地のうち、対策済みでない箇所を判別するとともに、対策を上回る崩壊発生リスクを過去の崩壊実績により見積る必要がある。

(5) 事業化リンクの設定

新規の道路建設(整備)計画において、建設事業の実施が未決定である計画区間や調査区間を、ネットワークのリンクとして表現したものが「事業化リンク」である。

なお、本手法において、既に事業化された道路は未供用であっても現況(供用済の道路)と同様に扱うものとする。

事業化リンクは既供用のリンクと同様に設定するが、現況評価において通行不可とする。

付与するデータは通過所要時間(延長と通過速度)および一方通行規制有無とし、設定する所要時間(速度)は設計速度を基本とする。

(6) 改善プロジェクトの設定

改善プロジェクトには、事業化リンクのうち、特定のもののみの効果や、特定のハザードリンクのみについて、ハザードが解消された効果を評価したい場合に、それらリンクを「改善プロジェクトリンク」として設定する。

複数の改善方針が想定される場合には、想定の数だけ改善プロジェクトを作成し、想定に応じたプロジェクトリンクを設定する。

(7) シナリオの設定

前述の設定においては、ハザードリンクおよび事業化リンクとして想定されるものを全て対象とし設定した。しかし、災害は地域全体に同時に影響を与えるのではなく、北部や南部といった一部地域に、地震のみ、豪雨のみ、といった特定の災害が発生するのが通常である。また、災害に対する評価をより適切に実施するため、災害の種類や被災地域に応じた拠点を選定することが求められる。

そこで、評価実施においては、設定の一部を利用して様々な災害および救援のパターンを

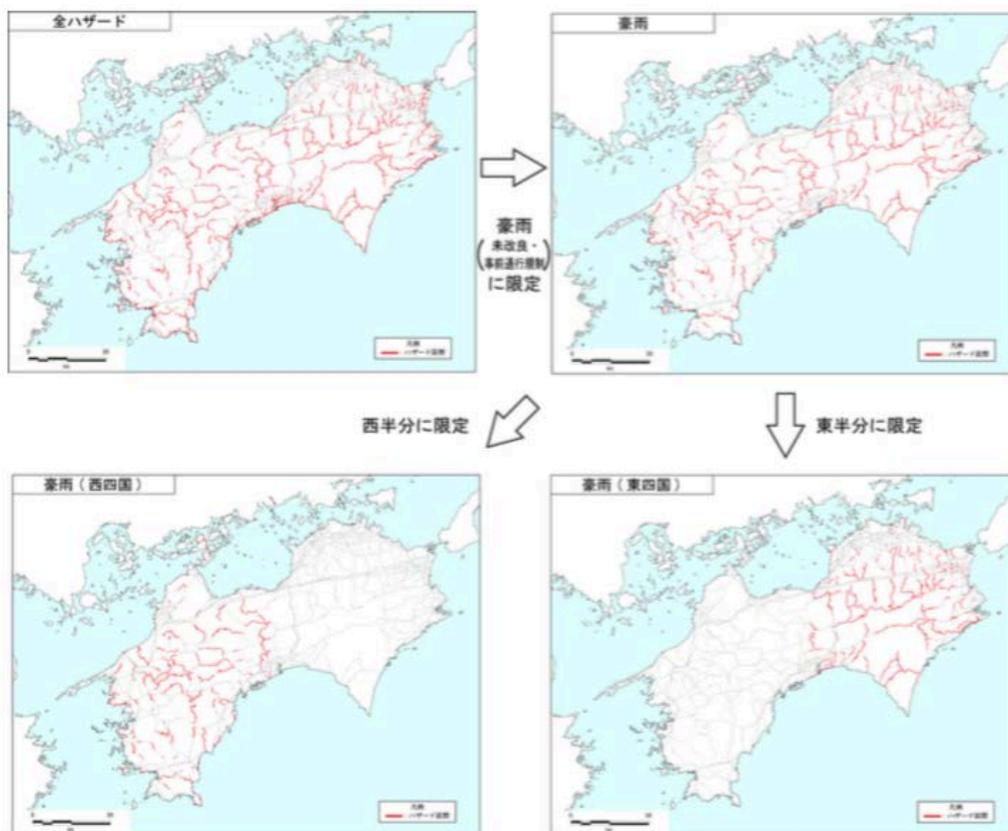


図 5.6 四国におけるハザードの組合せの例

想定し、特定の被災に特化した道路整備の効果検証を併せて行うものとする。また、既存道路の改良も含めた事業の効果を検討するために、事業化リンク・既存リンクについても対応するパターンを作成する。この組合せをネットワークにおける「シナリオ」という。

a) ハザードの組合せ

図 5.6 に、四国におけるハザードの組合せ例を示す。

前述のように、リンクには複数種類のハザードが設定されるが、それぞれのハザードを引き起こす災害が同時に発生する可能性は通常高くない。また、一種類の災害であっても、評価対象である地方の一部地域でのみ生じる場合が多い。そのため、特定災害・特定地域に関連するハザードリンクのみを遮断したネットワークで評価を実施することも考えられる。

b) 拠点の設定

災害の発生パターンに応じて救援に重要な役割を果たすと思われる拠点を選定し、起終点の組とする。

5.3 耐災害信頼性評価システムの構築

従前の暫定手法に基づく評価では、分析データベースの整備に多大な労力を要し、さらに地整間でデータベースが統一されていないことによる境界区域の評価のしにくさなど、様々な実務的課題が存在した。

全国の事業評価に耐災害信頼性を反映するためには、これら課題を解決するとともに、システムパラメータの設定やデータ構築、評価結果の演算・表示までの一連の動作機能を具備した評価システムが必要である。

そこで、これら課題を整理した上でデータ整備・選定方法を検討するとともに、使いやすいユーザインタフェースを備えた耐災害信頼性評価システムを構築した。

(1) システムの設計方針

従前の耐災害信頼性評価では、各地方整備局において独自の設定が行われていた。具体的には、ネットワークデータが統一した仕様でないこと、ハザード等の設定に関してその方法や参照データが統一されていないこと等である。これにより地域間でデータの相互参照ができないことや、評価結果に影響を及ぼすという問題が生じていた。また、基礎データの作成や更新には、各地整管内の比較的規模の大きい道路ネットワークを対象とすることから、多大の労力

を必要とした。

このような問題を解決するためには、ネットワークを構成するデータベースを共通化し、利便性の高いデータ作成・編集機能を備えた評価システムを構築することが必要である。

本研究における評価システムの設計方針として、以下の3点を特に重視した。

a) 使いやすく便利なユーザインタフェース

データのロード、ネットワークデータ等の生成・追加・修正、評価指標の計算、データの保存までの、一連のデータ処理全般が行えることをシステムが達成すべき基本要件とした。その上で、課題の一つである「作業に多くの労力を要する」ことに対処するため、インターネットにおける地図閲覧サービスと類似した視覚的・直観的な操作の導入と、定型的な設定操作の自動化や一括実行を検討した。

b) 地理情報データの活用

ハザードを設定する際に参考とするデータベースは、統一的であることが望ましい。また、全国規模で網羅的に整理されており、権利問題等が生じないことも求められる。

この要求に応えるため、国土交通省 HP でダウンロードサービスが行われている「国土数値情報」の利用を検討した。具体的には、海岸線・道路・港湾・空港等の拠点設定に有用なデータと、土砂災害危険箇所・豪雪地帯等のハザード設定に有用なデータは活用可能と考えられたため、このようなデータをシステムから参照できるようにした。

c) 適切なデータベース構築の検討

統一的なデータベースを構築するにあたっては、リンクやノードの表現方法が十分に合理的であるとともに、地域毎に異なる考慮すべきハザードの設定に対応可能であることが求められる。

(一財)日本デジタル道路地図協会発行のデジタル道路地図(DRM)は、上記の条件を満足し、評価計算用のネットワーク生成も比較的容易に実現できるデータ構成になっている。そこで、本システムでは DRM データを基本ネットワークとして使用することを決定した。

(2) システムの概要

評価システムにおける作業とデータ入出力の流れを図 5.7 に示す。

共通の基本データとして分析データベースを構成する DRM データがあり、各々の地域で災害実態に応じて独自に定義されるデータとして複数の災害シナリオ、拠点重要度、ハザ-

ドリンク、拠点ノード、事業化リンクデータがある。これらは、災害シナリオに応じて、国土数値情報を活用するなどして設定・修正される。データ追加・修正をはじめとしたデータ処理は地図ベースのグラフィカル・インタフェース(GUI)上で実行でき、評価結果も地図上で表現される。

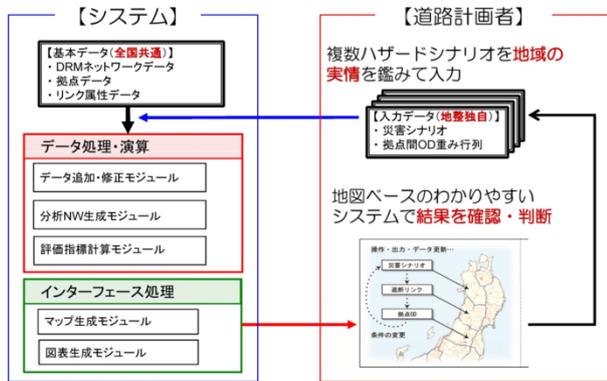


図 5.6 システムにおける作業とデータ入力のフロー

(3) システムの構築

正式版の耐災害信頼性評価システム(RAIJIN)を図 5.7 に示す。

本研究において H26 年度に開発した評価計算システムのプロトタイプを基礎として、事業評価計算の機能を装備したシステムを構築した。同システムは、事前に全国の実務作業者に配布し、評価実施に際して表面化した改善点や要望等を改修した上で、正式版(Ver.1.00)とした。なお、RAIJIN とは「Reliability Assessment Index for Japanese Integrated Network」の略称である。システムにて実行可能な処理は以下のとおりである。

- 1) 設定データファイルの入出力
- 2) 地図ベースでの操作
 - ・リンク表示設定
 - ・リンク情報参照
- 3) ハザードリンク設定
 - ・ハザード表示と自動設定
 - ・個別リンクへのハザード設定
 - ・一括選択による設定
 - ・インポート設定
- 4) 拠点ノード設定
 - ・拠点ノード追加
 - ・拠点ノード接続設定
- 5) 事業化リンク設定
- 6) 改善プロジェクト設定
- 7) シナリオ設定
- 8) 評価指標の自動計算と結果出力
- 9) 外部出力

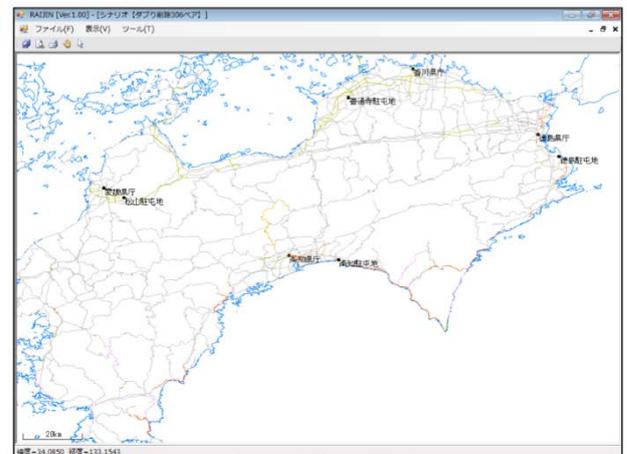
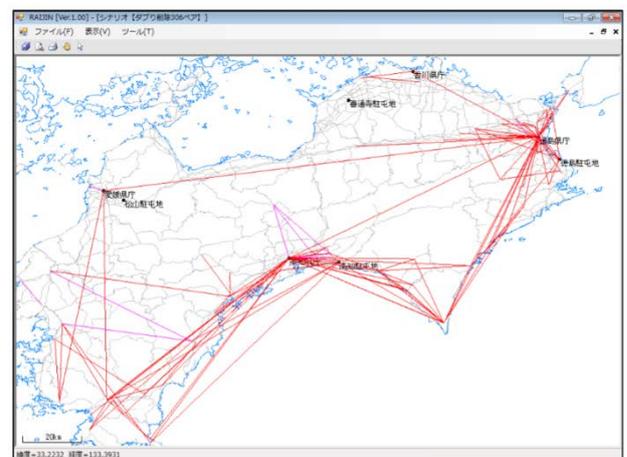
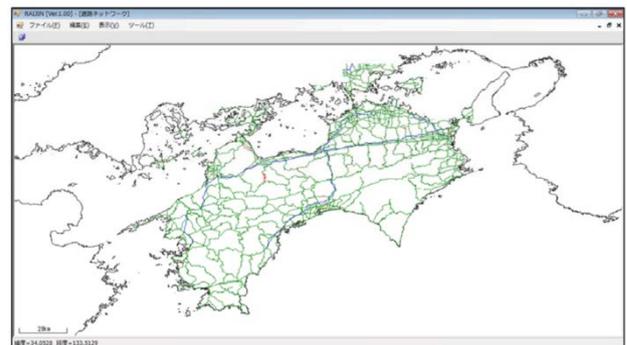


図 5.7 システム実行画面の抜粋

5.4 実務者との協議によるブラッシュアップ

耐災害信頼性評価システムの実用性向上に向けた意見交換を目的として、地方整備局等および実務に携ったコンサルタントを対象にヒアリングを実施し、評価指標および新システムの実用性向上に向けた改良のための課題抽出を行った。

ケーススタディ対象地域を中心に、東北、四国、関東および北海道の3整備局1開発局の協力により、平成27年1月にヒアリングを実施した。また、暫定手法による既存評価の実務に携ったコンサルタント5社6地域11名の協力による合同ヒアリングを、2月に実施した。

(1) 評価指標に関する課題の抽出

評価指標に関する意見と抽出された課題を表5.3に示す。

(2) 評価手法に関する課題の抽出

評価手法に関する意見と、そこから抽出された課題を表5.4に示す。

本節では、実務における設定時の難点などを整理した。コンサルタントによる実務に即した意見提出が特に顕著であった。

(3) 評価システムに関する課題の抽出

評価システムに関する意見と、そこから抽出された課題を表5.5に示す。

表 5.3 評価指標に関する主な意見

分類	意見・抽出された課題	提出者
計算方法 (全般)	ネットワークが疎である拠点間における迂回路や迂回率の把握は、手作業で容易に行えることが多く、新システムおよび統合評価指標の意義が明確でない。 ⇒新システムを用いて統合評価指標を計算することで作業負担の軽減を図るとともに、統一した設定方法とすることができる。これら意義を、より明確で詳細な説明によって共有する。	東北
計算方法 (必要性評価)	迂回路の選択が主経路との重複を一切許さないという条件は合理性を欠くため、実際の作業では起終点の前後数km圏内において重複を許容する等の柔軟な対応が必要である。 ⇒多重性の評価では、手動作業による確定的かつ排他的な経路の選定を避ける必要があるため、確率的な経路選択モデルを導入している(対応済み)。	コンサルタント
	迂回率の閾値が一律であるため主経路の延長が短い拠点間では、絶対量が多くない迂回であっても閾値を容易に超えてしまい、必要性評価(多重性)が過少に評価される傾向にある。 ⇒多重性の評価では、確率的な経路選択モデルを導入するとともに、最短所要時間・距離に応じて変化するパラメータを設定し、移動コストに応じた評価を可能としている(対応済み)。	コンサルタント
解釈・表現	ABCDカテゴリ表現は説明が容易であるが、数値評価の差がかなものも大きな差があるように見えてしまう。 ABCDカテゴリ表現は、同一カテゴリ内の比較評価ができないため、定量的評価指標およびそれに対応した表現方法が必要である。	東北 四国
	⇒評価指標の改良において、定量的な結果を得る計算方法および定量的な表現を検討している(対応済み)。 暫定手法との違いを印象付けるために、必要性評価におけるABCDカテゴリとは異なる表現を工夫する必要がある。	コンサルタント
	数値による評価結果の表現は、その大小が優先度の軽重と誤解を受ける可能性があるため、表現を工夫する必要がある。	コンサルタント

表 5.4 評価手法に関する主な意見

分類	意見・抽出された課題	提出者
ネットワーク (DRMなど)	拠点の選定は、単純に人口5万人を下限とするのではなく、地域の実情および災害シナリオが想定するハザードの種類によって適切に選択する必要がある。 ⇒より柔軟な拠点の設定が行えるよう、基準を検討する。	東北・四国
	DRMは版により内容が異なり不整合の生じる原因となるため、道路交通センサスの更新時期に合わせて5年おきに一齐更新などの合意が必要である。 DRMの更新を一定の期間毎に実施する場合、更新までの間に新規供用によってネットワークが変化することがある。適切に設定データを編集しネットワークデータを更新する必要がある。	コンサルタント
設定速度	災害時における規制速度の実効性には疑問の余地がある。 ⇒より適切で安定したデータや確率・効用の視点での変数導入を検討する。	東北・コンサルタント
	民間プロンプデータは対象年次によって不安定に変化し、評価結果に影響を与えるため、使用すべきではない。	コンサルタント
ハザード全般	ハザードの発生確率や被害規模・通行止め時間などの定量的取り扱いを行い、リンク遮断の評価を精緻化する必要がある。 ⇒確率や規模を導入したハザードの設定は容易ではなく、継続的な検討が必要である。	北海道・東北・関東
	地域の実情を反映したハザード項目を導入するためには、ハザードの程度評価を行う論理的に一貫した指針が必要である。 ⇒公表されたハザード関連データの活用方法について、指針を示す。	北海道・関東
	リンクの遮断としてどの程度の被害を扱うべきかが明確ではない。一般車両の通行は困難でも、緊急車両なら啓開しつつ前進出来る状況もある。 ⇒遮断の基準について指針を示す。	北海道・関東
	直接のリンク遮断要因となるハザードを単に設定することは難しく、それらを引き起こす災害を考慮し、設定した災害に連動して適切なハザードだけがリンクを遮断する、という仕組みを検討すべきである。 ハザードの設定方法について、従来は実務者の感覚に依存し過大設定とならないようにしていたが、条件や理由付けを明文化し、設定方法の統一化を図る必要がある。	コンサルタント

分類	意見・抽出された課題	提出者
ハザード各論	【津波浸水想定区域】 沿岸部では、マニュアル通りの設定を行うと、拠点周辺が全て水没する場合が多い。拠点を含むDID地域内の道路や、近傍の高架・盛土の高速道路などを一定のルールのもとで「復活」させることで、評価実施のための到達性を確保する必要がある。 【未耐震橋梁】 未耐震橋梁のデータ整備状況は自治体により様々であり、全容を把握することは困難である。国または自治体に統一したデータ整備を求めたい。 【未改良区間】 DRMの幅員データは完全に整備されていないと考えられる。また、その根拠であるセンサスの幅員データも、当該区間のごく一部に過ぎない部分を以て未改良区間としていることが多く、ハザードが過大設定されている可能性がある。	コンサルタント
	【事前通行規制】 実効的な設定を行うためには、法面や急傾斜地のうち、対策済みの箇所を適切に除外しつつ、対策を上回るリスクの有無を判別する必要がある。 【積雪】 積雪に関しては、現実の感覚とは異なるが、高速道路の通行は可能と見做すことが適切である。	コンサルタント
評価対象	新システムを個別事業の評価に用いることは可能と考えられるが、適切なデータセットを各々に設定する必要があることを再確認すべきである。	コンサルタント
事業化の扱い	検討されている道路が全て供用された場合を「事業化」として評価している。 ⇒個々の事業化リンクの扱い方について手順を明確にする。	東北

表 5.5 評価システムに関する主な意見

分類	意見・抽出された課題	提出者
入出力	実務者間でデータを円滑に共有するための、設定内容のインポート・エクスポート機能が必要である。 文書資料の作成を容易とするために、凡例やスケールを付与しての画像出力機能が必要である。	東北 四国
	実務者交代時の引継ぎを円滑に行うため、作業履歴を記録する機能が必要である。	四国
バックデータ	評価結果やデータ集計等における多様なアウトプットの作成・表現を可能とする機能が必要である。 国土数値情報や地図データなどを読み込み、表示するだけでなく、ハザードを自動的に設定する機能があることが望ましい。	コンサルタント 北海道・関東
設定操作	国土数値情報にはやや古いデータもあることに留意する必要がある。	四国
運用	ハザードの一括指定は、矩形指定の他にも、路線名や区間を指定して行えることが必要である。 新システムの操作マニュアル作成にあたっては、「解説と運用」を中心として編集する必要がある。 ⇒本ヒアリングにて提出された意見をもとに事例を整理する。	四国 コンサルタント

(4) 抽出意見のまとめ

a) 評価手法に関する意見

新たな評価指標は、既存評価と整合していることに加え、理論的背景をもとに、定量的な評価を与えることが可能であることを確認した。より適切な評価を行うためには、評価対象データと設定方法に関する検討と指針が重要であり、新システムの整備によりその実現が図られることが必要である。

a) システムに関する意見

整備局・開発局における新システムに対する関心は、事業評価を如何に有効に、説得力のある形で行うかという点を中心であった。評価に用いる設定根拠が明確で、実務感覚に照らして妥当な評価結果が得られるかが課題である。

一方、評価の実務に携わるコンサルタントにおいては、ハザードや計算条件の設定に関する課題が明確になった。暫定評価手法のマニュアルに従うと、必ずしも適切な評価が得られないため、独自の工夫を凝らしているが、これについて一貫性のある方法で対処できることを望んでいた。実務者の作業負担を軽減するため、新システムに改良を加えるとともに、諸々の設定に関する基準を明確にすることが課題である。

5.5 まとめ

(1) まとめ

評価手法の改善方針に従い、データ整備およびハザード等条件設定の方法を検討し立案した。また、評価計算システムを改善方針および実務的要望に従い改修した。

ネットワークのデータベースとして DRM(日本デジタル道路地図)を導入し、地整間を通じてネットワークの整備水準を一定に保つとともに、互換性を持たせた。

ハザードは、基本4ハザード(津波浸水、未耐震橋梁、5.5m未改良区間、事前通行規制)の設定基準を客観的に妥当なものとして具体化した。また、基本4ハザード以外にも、地域の事情に応じたハザードの追加設定を可能とした。

拠点については、支援を行うか、受けるかにより「支援拠点」と「被災拠点」に区分し、さらに支援拠点を広域・交通・地域の各拠点に細分した。また、拠点の選定において、自衛隊基地や、法令等の規定により一定の機能要件を満たすことが明らかとなっている空港・港湾等の交通施設など、選定対象の基準を明確化した。また、拠点の配置は一旦ネットワークから独立

したものとし、ネットワークへの接続を所在地の実態に応じて設定するものとした。拠点ペアに関しては、拠点区分を基に支援する・されるの関係に注意し設定するものとした。

災害の発生パターンに応じてハザードや拠点・拠点ペアを選定した「シナリオ」を作成し評価計算の単位とした。

以上の事柄を踏まえ、評価作業をデータから結果出力まで一貫して実施可能とするよう評価計算システムを改修した。システムにおいては、膨大な量のデータを処理する必要があることから、並列計算の導入や詳細なデータ表示設定機能の実装により、システム動作速度の向上を図った。

(2) 課題

改善評価手法および評価計算システムが現在抱えている課題は「実務において表出する課題」、「ネットワーク地理データベースに関する課題」、「条件設定に関する課題」の3つに区分される。

【実務において表出する課題】

今後の事業評価においてシステムの使用が継続される過程で、これまで見出されなかった未知の課題や、評価実施時の使い勝手向上に関する実務的改善点などが表面化することが考えられる。これらの課題への対処方針を具体化し、必要に応じてシステムを改修することが望まれる。

【データに関する課題】

システムで使用する DRM は、道路交通センサスの実施時期に合わせ5年おきに更新することを前提にしているが、DRM や国土数値情報等の地理データベースのファイルフォーマットは今後変更される可能性がある。評価計算システムを用いた事業評価を継続するには、フォーマット変更に対応してシステムの更新作業を実施することが不可欠であり、具体的な対応方針の検討が必要である。

【設定条件に関する課題】

ネットワークへの条件設定のうち津波浸水ハザードにおいては、津波浸水想定域の地理情報データと道路リンクデータの大規模なマッチング処理が必要であるが、今年度の研究においてはこれらのデータは評価計算システムとは無関係に別途処理し準備した。今後、被災想定が見直された場合には条件設定更新が必要であるが基準に従った条件設定を実施するためのデータ整備方針検討が不可欠である。

第6章 新たな防災機能評価手法の全国レベルでの実務への適用可能性検証

6.1 はじめに

これまでに提案した手法を関東地方を対象とした暫定適用を行い手法のブラッシュアップを行う。その上で、実務での適用可能性を検証するために、全国レベルでの評価計算を実務者と協力して実施した。この結果を踏まえて、実務感覚との整合性確認を行い、本研究が提案する手法の実務での有効性を確認した。

6.2 暫定適用と手法のブラッシュアップ

改善評価手法および同手法の実施を担う評価計算システムの実地適用をケーススタディとして行い、手法の有効性および更なる改善点を確認した。ケーススタディの対象地域としては関東地方を選定し、特に高密度のネットワーク・拠点分布における手法の適用性を検討した。

東日本大震災直前のネットワーク(平成 22 年度)を事前、評価実施時の現況(平成 27 年度)を事後として、5 年間に事業化された区間の整備効果を検証した。

(1) 分析用データベースの整備

前述の「計算条件に関する基本方針」に従い分析用データベースを整備した。整備は、全国各地での評価適用を念頭に置き、手順を検討しつつ、ケーススタディ対象の関東地方について実施した。

a) 分析ネットワーク

ベースとなるネットワークとして、DRM 平成 25 年 3 月版(DRM2503)を使用した。ただし、事前とするネットワークは平成 22 年度であったため、当時の未事業化道路をネットワークより除外した。

b) 拠点および拠点ペア

各地域の拠点を、位置の緯度経度データとして整理した。

拠点選定においては、関東地方では、各都県の地域防災計画のほか、「首都直下地震道路啓開計画(初版)」、「関東 1 都 9 県震災時等の相互応援に関する協定」などを参照した。しかし、これらに位置づけられた拠点の総数は 791 箇所に達し、評価計算の迅速な実施に支障が生じるおそれがあったため、政令市の区役所を市役所で代表するなどの絞り込みにより、382 箇所に厳選した。

隣接地域の拠点については、もともとは隣接地域のネットワークの一部を組み込んで、その中のノードに接続することを想定していた。しかし、ハザードや事業化リンク等の条件設定を整合させることが難しいと考えられたため、仮の拠点、接続ノードおよびリンクを設定して代替とした。具体的には、境界近傍の、地域内のネットワーク形成に寄与しないと考えられる単路上のノードに仮の拠点を接続し、同ノードに接続し、地域内ネットワークに向かう道路リンクの延長および設定速度を、大まかに、実際の隣接地域内拠点までの道のりに合うよう再設定した。

拠点のノードへの接続にあたっては、前述のように、沿岸部の拠点近傍が津波浸水域となってしまうとき、拠点近傍に浸水しないノードがあり、当該地点への到達が十分に現実的であると判断される場合には、拠点をこれらノードに接続した。判断基準としては、発災後 48 時間以内に道路啓開を完了できる範囲が、東日本大震災における実績で拠点周囲の半径 400m 圏内であったことに従った。接続方法の概要を図 6.1 に示す。

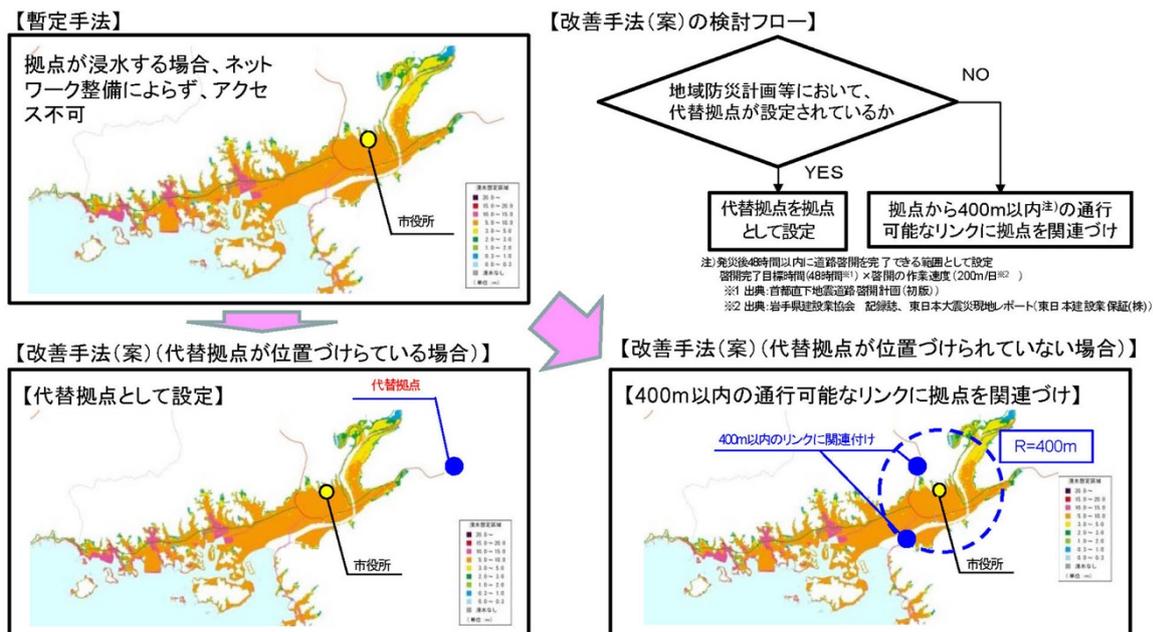


図 6.1 津波浸水時における拠点の設定

なお、複数の拠点が近接しているときに、同一のノードへ幾つもの拠点を重複して接続した場合、これら拠点同士を起終点として評価を行うと正常に指標を算出できないため、1ノードに接続できる拠点は1つのみとした。

ペア設定にあたっては、拠点選定に用いた支援計画を参照し最適なペアを厳選した。また、都県庁等の広域拠点到発する支援は、広域拠点と地域拠点(圏域中心都市)でペアを一旦組み、さらに当該地域拠点と周辺の被災拠点をペアを設定するなど、階層的なペア構成を導入することにより、ペア数を632組とした。

c) ハザード設定

首都直下地震を想定した「地震・津波」を災害シナリオとして、基本4ハザードのうち、事前通行規制を除く3ハザード(津波浸水, 未耐震橋梁, 5.5m未改良区間)を使用した。

津波浸水に関しては、各都道府県において作成された5~1000mメッシュの津波浸水想定データを、国土地理院が整備する基盤地図情報(数値標高モデル)および DRM リンク構成点データとマッチングし、「基本方針」の条件に合致する DRM リンクに津波浸水ハザードを設定した。ただし、北陸地方および京都府のみはこの方法によらず個別に設定した。

未耐震橋梁は「基本方針」に従い設定した。

5.5m未改良区間は、DRM2503収録の車道幅員データを利用し、評価計算システムにて自動設定を行った。

d) 事業化リンクの設定

平成22年度から平成27年度までの期間の事業化路線を事業化リンクとして設定し評価対象とした。前述のように、DRM2503においてリンクとして存在している区間については評価対象から除外し、その上で、事業化リンクを並行して設置することで対処した。

(2) 拠点ペア評価(脆弱度)の結果

関東地方における拠点ペア評価結果(平成27年度NW)を図6.2に示す。

ネットワークの密度が高い都市部ではA評価が多かった。また、津波の影響がない内陸部では、ネットワークがやや疎であり未改良区間もあることからB評価が中心であるものの比較的高評価となった。

一方で、千葉県房総地域をはじめとする沿岸部では多くがD評価となった。

(3) 拠点ペア評価(累積脆弱度・改善度)の結果

拠点ペア間の改善度評価結果を図6.3に示す。また、累積脆弱度評価結果を図6.4に示す。

ケーススタディにおいては事業の整備効果はごく僅かしか見出されなかった。これは、前述の通り、関東地方においてはもともと道路ネットワーク密度が高く、また平野部が内陸に広がっており、拠点そのものが津波浸水を被らない限り迂回路を容易に確保できるからであると考えられる。

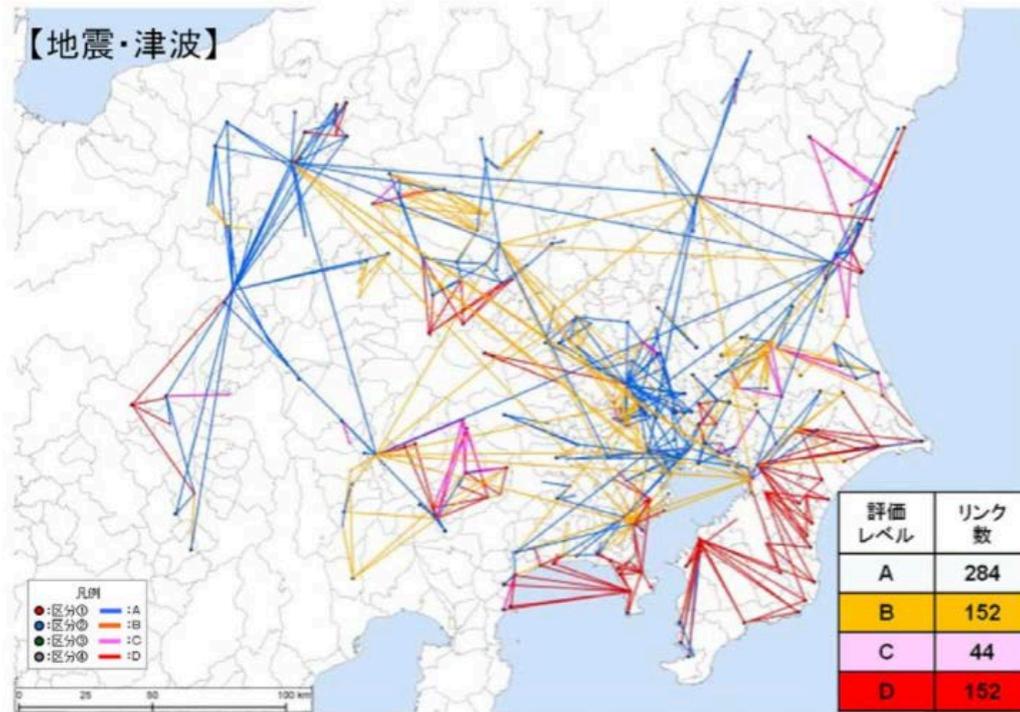


図 6.2 拠点ペア間脆弱度評価の結果

【改善度（災害時）】

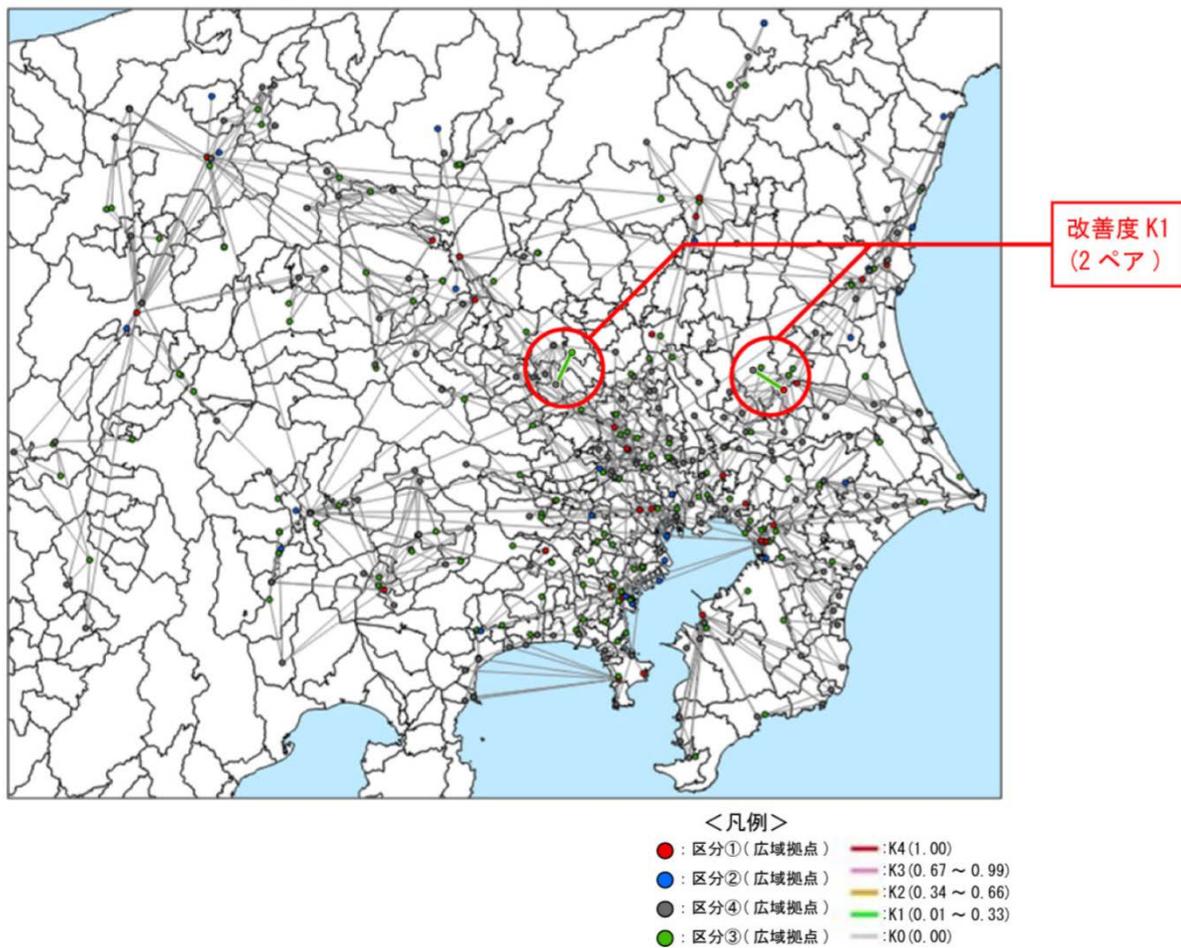


図 6.3 拠点ペア間改善度評価の結果

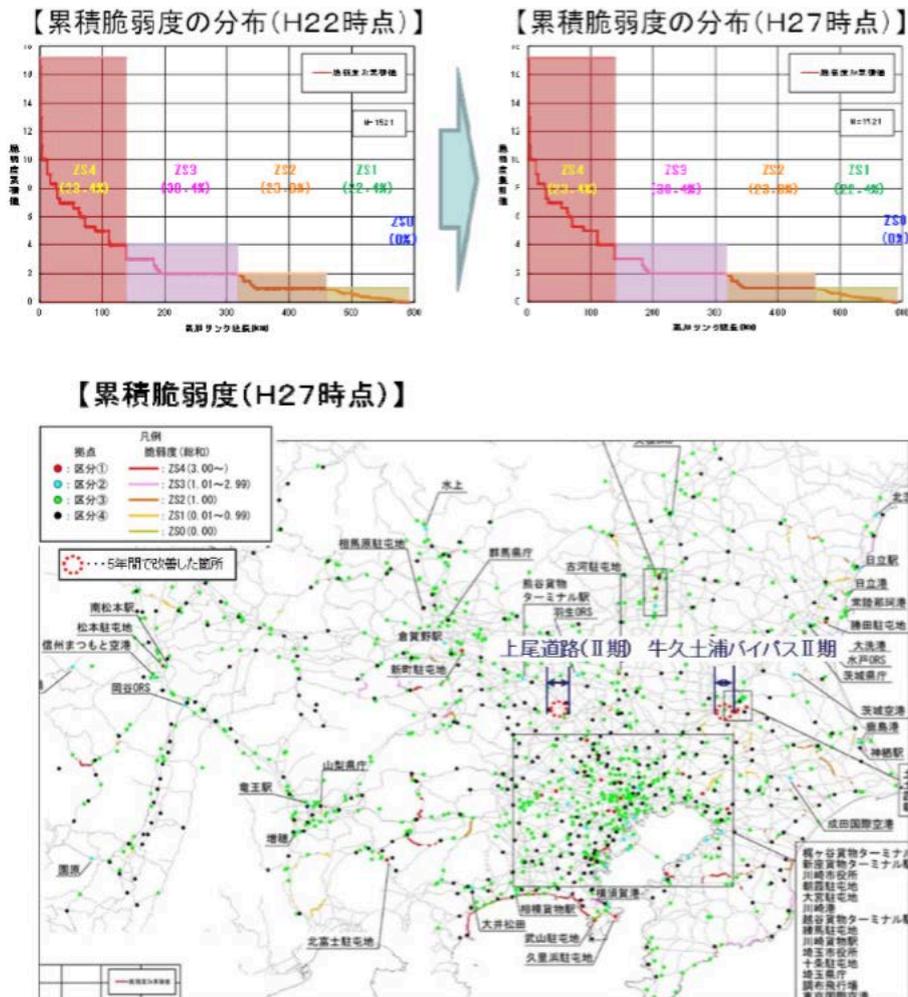


図 6.4 累積脆弱度の結果

改善度評価、累積脆弱度評価ともども見出された改善箇所は国道 17 号バイパスの「上尾道路(II期)」および国道 6 号の「牛久土浦バイパス II 期」であった。両区間は都市と郊外とを結ぶ主要な国道のバイパスであるが、一方で圏央道のアクセス道路としての側面も有し、首都圏近郊の環状ネットワーク形成がこれまで十分でなかった区間の連結信頼性が、圏央道の利用を容易としたことにより向上したと考えられる。

(4) 修正点の抽出

評価は概ねネットワークの状況を反映し、妥当な結果が算出されていた。評価手法やシステムにおいて大きな修正点はないといえる。

評価実施において注意すべき点として、事業化リンクの前後に解消されないハザード区間がある場合、災害時の所要時間が変化しないまま通常時の所要時間が短縮される分、脆弱度が増大してしまうことが挙げられる。この場合、

事業のあり方を再検討するか、検討範囲を拡げハザード区間を解消すべきであると考えられる。

また、ここでは「3 耐災害信頼性システムの改善」で前述したように、拠点の接続を考えるにあたり東日本大震災での啓開実績である、「2 日間あたり 400m」を参考に、接続対象を拠点範囲 400m までのノードとした。また、拠点および拠点ペアを、支援する拠点と、被災して支援を受ける拠点とに区分して考えた。

拠点ペアの絞り込みは、計算時間短縮および評価結果の解釈において寄与するところが大きいと考えられた。拠点のノードへの対応については、当初、同一ノードに複数の拠点が接続してエラーが多数生じたが、拠点ペア絞り込みの過程で、近接拠点間のペアの多くは評価対象外となった。評価が必要な拠点に関しては慎重に接続ノードを設定する必要があった。これらの方法は概ね適切であったと考えられたため、全国適用でも踏襲するものとした。

6.3 全国レベルでの適用可能性検証

ケーススタディにて妥当性が確認された改善評価手法を他地域にも適用した。全国レベルでの適用はデータ規模が非常に大きくなり合理的ではないため、全国の各地域において、隣接地域の拠点との連絡を考慮しつつ個別に評価を適用した。適用作業は、各地方の実務担当者との連携したデータ設定および調整のもとに実施した。なお、紙面の制約上、結果の一部を紹介するに留める。

(1) データベースの整理

ケーススタディ時の検討過程を参考に、地域毎に整備された災害対策・支援計画や被災想定を用いたより具体的なデータ整理を実施した。なお、DRM2503を使用し、事前を平成22年度、事後を平成27年度とした。

a) 災害リスクの設定

東日本大震災以降も、会津、南紀、九州東部等における豪雨や、御嶽山・霧島山系における火山活動をはじめ、数多くの災害が発生し、防災対策の指針を定める制度が創設または改訂された。それらを踏まえ、豪雨・豪雪および火山を新たに評価において考慮すべき災害として追加し、ネットワークへの設計方針を定めた。

b) 拠点・拠点ペアの設定

拠点区分および設定対象の選定方針を表6.1に示す。4つの拠点区分のうち、被災拠点以外の3区分は「支援拠点」という1つの大きな区分を設け、その下位の細分とした。これにより各区分の拠点が担う役割が明確になったと考えられる。設定条件として追加された豪雨・豪雪および火山を考慮したため、選定対象の範囲が広がられた。

表 6.1 地域の実情を考慮した拠点設定

支援拠点		被災拠点	
広域	○都道府県庁、政令市役所所在地 ○陸上自衛隊駐屯地	地震	○震度7以上の市町村
交通	○地域境界の最寄りIC ○空港 ○港湾（重要港湾以上） ○貨物ターミナル駅	津波	○浸水する市町村
地域	○圏域中心都市 ・新地方生活圏計画等の中心都市 ・人口5万人以上の都市 ○広域物資輸送拠点 ・南トラ応急対策活動計画 ・首都直下応急対策計画 ・各地域防災計画 ・各地域の啓開計画 等	豪雨・豪雪	○落石・土砂災害・雪崩等により孤立するおそれのある市町村 ○土砂災害警戒域が存在する市町村
		火山	○火山災害警戒地域に指定される市町村
	○災害拠点病院 ・各地域防災計画 等 ○道の駅、SA/PA ○建設・交通当局の事務所 ・地方整備局（本局、事務所、出張所） ・各県の土木事務所		

拠点および拠点ペアは、選定方針そのままに選定した場合非常に多くの評価が必要になるため、対象拠点の絞り込みを行った。

拠点設定においては各地で主に次の計画等が参照された。

- ・地域防災計画(全国)
- ・南海トラフ地震対策(四国，九州)
- ・緊急輸送道路 NW 計画(北海道)
- ・医療計画(北海道，中部)
- ・震災道路啓開計画(関東，中部，四国)
- ・都道府県間の相互応援協定(関東，中部)
- ・防災・減災プラン(近畿)

拠点および拠点ペアの絞り込みは、主に次の考え方に従い実行された。

- ・近接した拠点は市町村役場で代表(北海道，東北，北陸，中部)
- ・地域拠点は圏域中心都市で代表(東北，関東)
- ・類似機能をもつ根拠は上位のものに統合
区役所→市役所(関東)
政令市役所(県庁所在地)→県庁(中国，九州)
- ・密集拠点は2次生活圏で集約し代表拠点を選定(近畿)
- ・人員、物資等の連携ルートに関係する拠点のみを抽出(中国)

ペア設定時の工夫としては主に次のものがあつた。

- ・支援の流れを想定したペア設定
⇒物流(中部)
⇒物資・人員派遣の流れと救急搬送の流れ(中国)
⇒人流(人員派遣・救急搬送)と物流(九州)
- ・地域外支援等想定における工夫
⇒地域外拠点と被災地域を直接支援する地域拠点で設定(関東)
⇒地域境界のICと県庁で設定(北陸)
⇒被災拠点と最寄りICで設定(近畿)
- ・被災拠点を兼ねる支援拠点と隣接生活圏の中心都市とで互助的に設定

ペア設定時の苦慮としては以下のものがあつた。

- ・地方特性である雪(害)における孤立などを配慮し、除雪および資材調達基地(広域物流拠点)などの配置に苦慮(東北)
- ・拠点数が非常に多い上密集しているため、諸々の支援計画を参照し最適なペアのみに限定する必要があつた(関東)
- ・地域防災計画では具体の施設名称の記載がなく、設定拠点の位置を勘案したペア設定に苦慮(四国)

(2) 暫定手法との比較

代表的事業化区間の改善評価手法適用結果の、同区間の暫定手法による評価結果との比較検証結果を表6.2に、東北地方における比較例を図4.6に示す。

両評価手法それぞれで算出した結果は概ね一致しており、両手法の整合性は良好であった。

ただし、拠点と道路ネットワークの接続設定、ランク境界値の設定変更等により、評価の一致しない区間が存在した。その原因として、提案手法では期待所要時間に基づく評価指標を三算出しているため、既存の所要時間とは厳密には一致しないことが考えられる。なお、境界値の値は論拠に基づいており妥当であると考えられる。

表 6.2 代表的な事業区間における暫定手法と改善手法のランク比較

No	事業名	評価年度	事業主体	都道府県	暫定手法		改善手法(案)				備考				
					評価ランク		評価ランク ^{※5} (脆弱度)		路線単位						
					整備前	整備後	整備前	整備後	整備前	整備後					
1	一般国道45号 三陸沿岸道路 (歌津～本宮)	H23	東北地方整備局	宮城県	D	B	C	C	(0.56)	(0.58)		災害時の改善度 K'=0.03			
2	一般国道45号 三陸沿岸道路 (気仙沼～唐桑南、唐桑北～陸前高田)	H23	東北地方整備局	宮城県～ 岩手県	D	B	C	B	(0.71)	(0.22)		-			
3	一般国道45号 三陸沿岸道路 (吉浜～釜石)	H23	東北地方整備局	岩手県	D	B	D	D	(1.0)	(1.0)	C	C	(0.86)	(0.60)	被災拠点(釜石市)の最寄IC(釜石中央IC)を 中間拠点として評価する場合 D(1.0)→A(0.0)
4	一般国道45号 三陸沿岸道路 (釜石～宮古)	H23	東北地方整備局	岩手県	D	B	D	C	(1.0)	(0.92)		-			
5	一般国道45号 三陸沿岸道路 (宮古中央～田老、田老～岩泉、田野畑南～尾肝栗、 尾肝栗～曹代、曹代～久慈)	H23	東北地方整備局	岩手県	D	B	D	C	(1.0)	(0.54)		-			
6	一般国道45号 三陸沿岸道路 (待浜～雫石)	H23	東北地方整備局	岩手県～ 青森県	D	B	D	D	(1.0)	(1.0)		被災拠点(久慈市)の最寄IC(久慈IC)を 中間拠点として評価する場合 D(1.0)→B(0.16)			
7	一般国道283号 釜石花巻自動車道 (釜石～釜石西、遠野住田～遠野)	H23	東北地方整備局	岩手県	D	B	D	D	(1.0)	(1.0)	D	D	(1.0)	(1.0)	被災拠点(釜石市)の最寄IC(釜石中央IC)を 中間拠点として評価する場合 D(1.0)→B(0.04)
8	一般国道108号 宮古盛岡横断道路 (宮古～稲石、平津渡～岩井～松原、区界～栗川)	H23	東北地方整備局	岩手県	D	B	D	C	(1.0)	(0.37)	D	C	(1.0)	(0.37)	-
9	一般国道115号 相馬福島道路 (相馬～相馬西、阿武隈東～阿武隈)	H23	東北地方整備局	福島県	D	B	C	C	(0.81)	(0.81)		-			
10	一般国道115号 相馬福島道路 (雲山～福島)	H24	東北地方整備局	福島県	D	B	C	C	(0.39)	(0.39)	C	C	(0.55)	(0.55)	災害時の改善度 K'=0.02
11	一般国道121号(会津縦貫自動車道) 瀧野上バイパス	H23	東北地方整備局	福島県	D	B	D	A	(1.0)	(0.0)	D	A	(1.0)	(0.0)	-

- ※1 ネットワーク設定の変更により、災害危険箇所を回避する経路を選択するためレベルが向上
- ※2 当該事業が災害危険箇所の回避(迂回解消)に直接寄与しない一方、道路整備により所要時間自体は短縮するため、整備後の脆弱度は増加
- ※3 ネットワーク設定の変更により、暫定手法では評価されなかった災害危険箇所を評価するためレベルが低下(本要因を除いた区間では、暫定案と同程度のレベルとして評価)
- ※4 30cm未満の津波浸水を通行可能として評価したため、レベルが向上
- ※5 防災戦略に合致した拠点ペア間について試算した結果

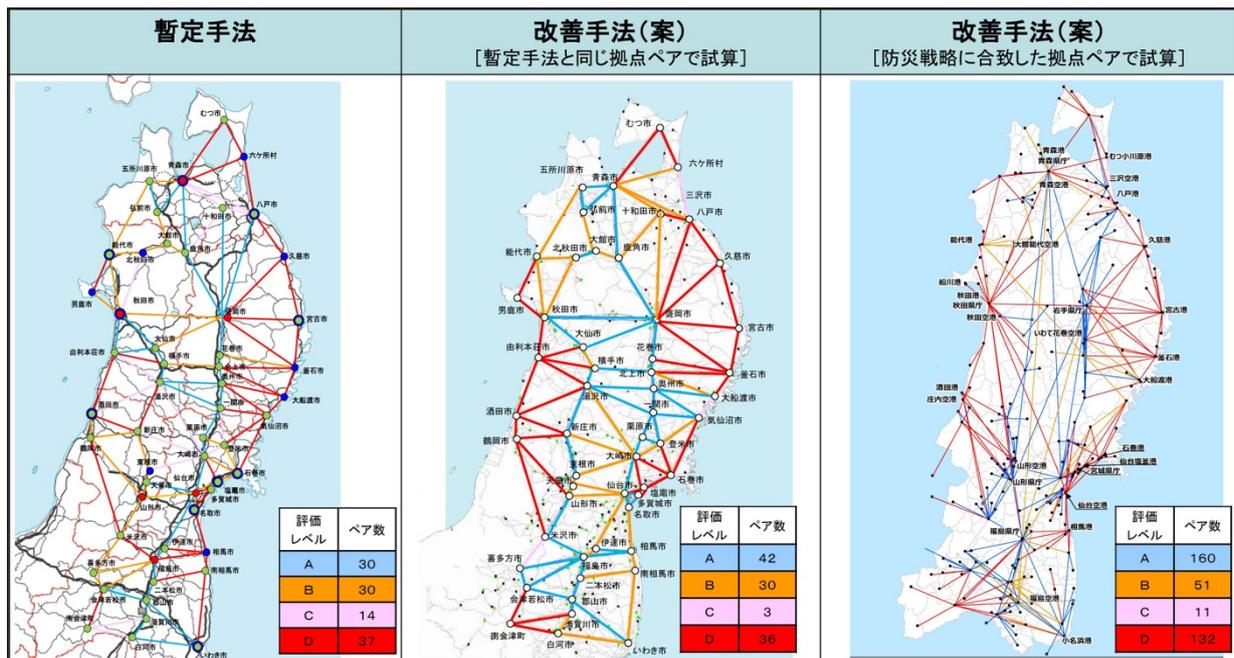


表-3 東北地方における結果の比較

(3) 近畿地方への適用結果

近畿地方における適用結果を図 6.6 に示す。近畿自動車道紀勢線(すさみ串本道路)の事業実施により、5 年間で拠点間の接続性が改善した。累積脆弱度分布の前後比較では、値の大きい区間が減少していることから優先度の高い区間で対策の効果が発現していることが示されていた。

(4) 九州地方への適用結果

九州地方における、3 種類の災害シナリオによる評価結果を図 6.7 に示す。

複数の災害シナリオで評価することにより、地域の災害特性を踏まえた防災機能を評価することが可能であることを確認した。九州においては、脆弱性の試算で、熊本・大分間で複数の災害リスクが存在することが明確となった。

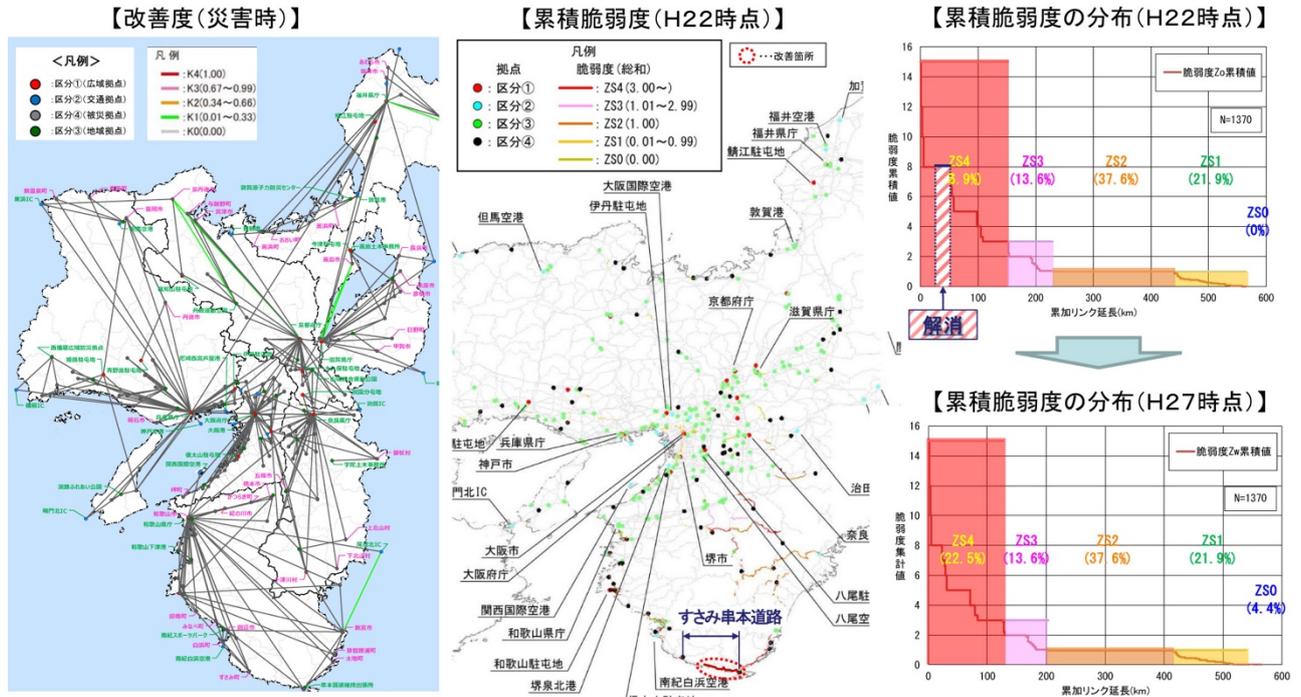


図 6.6 近畿地方への適用結果

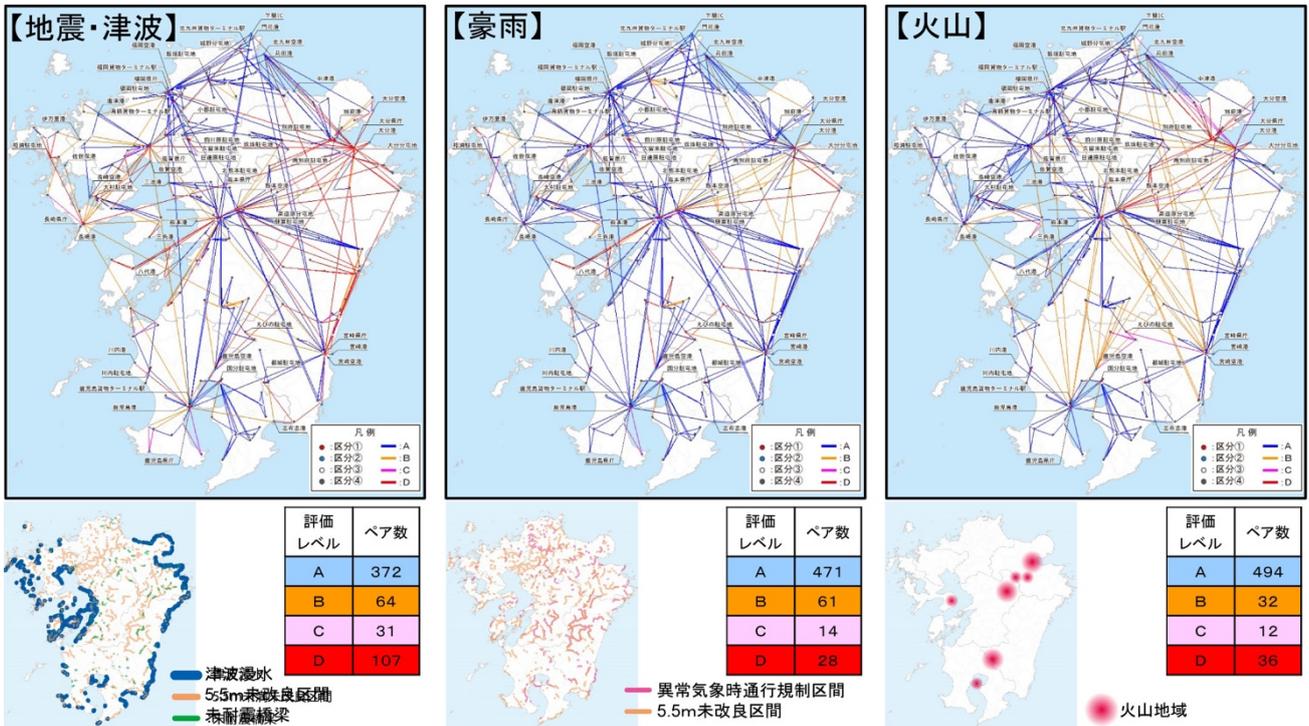


図 6.7 九州地方への適用結果

6.4 提案手法の実務における運用方法

これまでの検討を踏まえた提案手法の最終的な全体フレームを図 6.8 に示す。

本研究では暫定手法を下敷きとして、全体的な整合性に配慮した上で「入力（分析データや各種設定）」、「評価手法」、「出力（分析結果の可視化やその運用）」の各フェーズを改善した。具体的な評価手法の改善ポイントは、暫定手法における「広域拠点間の接続性の評価（地域単位）」と「事業化区間の効率性の評価（事業単位）」の2つの評価を一体で評価可能な枠組みに再構築した点にある。

その結果、これまで実施されてきた暫定手法による評価結果との整合性を担保して、①地域の実情に応じた複数の災害シナリオによるきめの細かい評価、②防災戦略上のクリティカル拠点ペアの見える化、③道路ネットワークの優先度の高い区間の抽出と改善プロジェクトの明確化、の3つのステップアップを実現した。

6.5 まとめ

改善評価手法の妥当性並びに評価計算システムの有用性を検証するために、関東地方における首都直下型地震を想定した「地震・津波シナリオ」を設定条件としてケーススタディを実施した。実施に際しては、ネットワークデータとして DRM2503 を使用しつつも、事前 NW を平成 22 年度(東日本大震災直前)、事後 NW を

平成 27 年度とし、この間の事業化路線を評価対象とした。また、拠点・拠点ペアは、各都県の地域防災計画等を参照し 382 箇所、632 組に厳選した。

評価結果は概ね妥当であり、全国への適用にも支障がないと判断された。ただし、関東地方はネットワークが密であることから事業の結果が強く評価されないことがわかった。また、事業に連結信頼性向上効果がない場合、通常時の所要時間が短縮されるために事後 NW で脆弱度が却って増大するという課題点も見出された。ただし、これらは事業区間選定に検討の余地があることを示すものであり、評価手法はむしろ妥当な結果を与えていると考えることができる。

ケーススタディ結果を踏まえつつ、全国の各地方に改善評価手法を適用した。適用に際しては、地域の事情に応じつつも客観的に妥当な条件設定を行えるよう、基本方針をもとにより具体的な基準を設け拠点およびハザードを設定した。全国各地における適用結果は、選定手法における結果と比較し概ね妥当であることが確認されたが、改善評価手法における更なる課題の存在が明らかとなった。

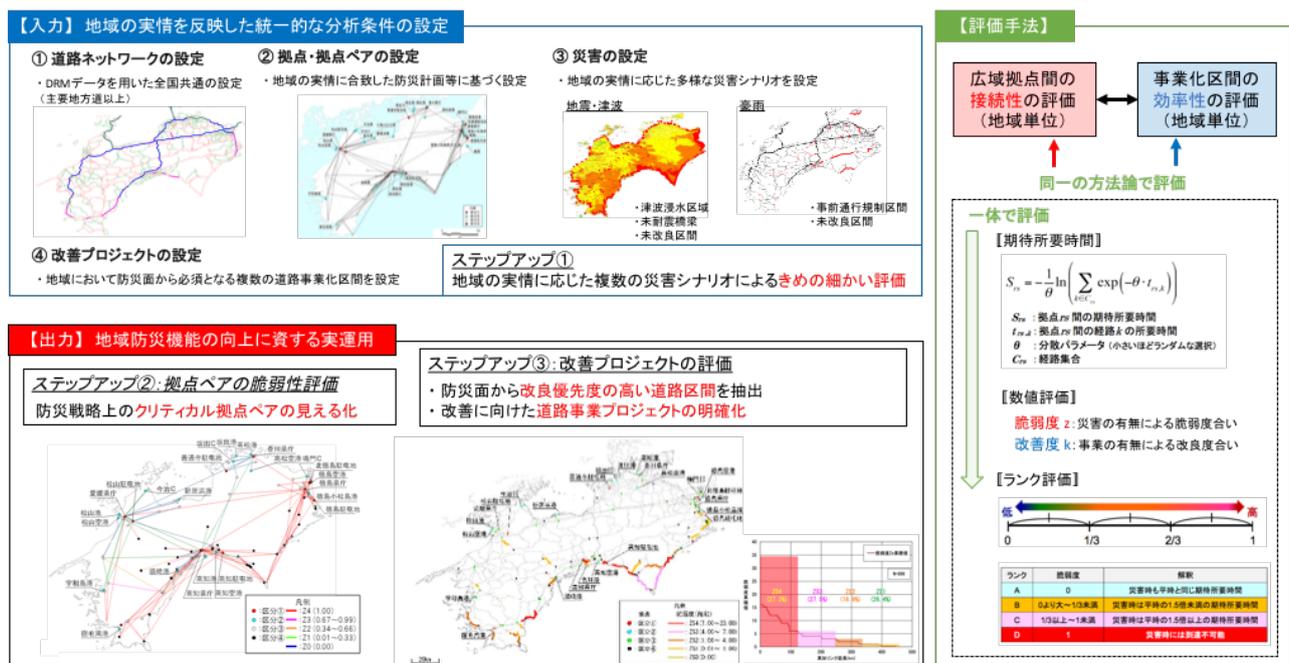


図 6.8 本研究の最終的な全体フレームワーク

第7章 まとめと今後の課題

6.1 本論のまとめ

道路ネットワークの耐災害信頼性を評価するために「暫定手法」が策定されたが、実適用を進める過程で、統一的なデータ整備の指針がない、評価結果の定量的比較が難しい、地域の実情に応じた条件の設定が難しい等の実務的な課題も明らかになった。そのため、これらの課題点を解決する「改善評価手法」を開発した。改善評価手法では、期待所要時間を基礎とする定量的な評価指標の算出手順を定義するとともに、データ整備の条件を確定的で統一的なものとし、ハザード項目を追加可能とするなど地域の実情に応じた設定も可能とした。

暫定手法の適用においてデータ整備・設定に多大な労力を必要としたことから、改善評価手法適用のための、データ設定から評価計算実行、結果出力までを一貫して実施可能な評価計算システムを開発して実務上の負担軽減を図った。

改善評価手法を、関東地方への適用をケーススタディとして検証し、大きな問題等が発生することなく、妥当な評価を算出できることを確認した。同ケーススタディにおいては拠点・拠点ペアの設定に考慮を加えたことが効果的であったことも踏まえ、全国各地方でも評価を適用し、暫定手法と同等以上に事業整備の耐災害信頼性向上効果への寄与を示せることを確認した。

あわせて、道路の信頼性評価一般に関する知見を収集するために道路ネットワークに関連する学会に参加するとともに、周辺研究事例を収集・整理した。改善評価手法の主として運用に関する課題に対し、示唆を与える知見を得ることが出来た。

6.2 今後の課題

改善評価手法により定義される評価指標は概ね妥当であることが本研究で確認されたものの、運用においてまだ若干検討・調整する余地が残っている。

指標そのものに関する課題として、本研究で確定的な値を与えた幾つかのパラメータについて、適用対象のネットワークに応じたより適切な値を精緻化・選定できるようにすることが挙げられる。拠点の重み付け、考慮する代替経路の本数、分散パラメータ値が該当する。また、経路多重性として、一部分の経路重複を許す方法の合理的なパラメータ化も検討が望ましい。

指標を評価として解釈するに際しても、地域を横並びに比較するための正規化や、カテゴリ評価のランク閾値の設け方に検討の余地が認められる。

評価システムに関する課題は、今後の評価適用過程で発生しうる未知の課題や、更なる実務的改善点への対処である。また、ベースとなるネットワークデータの更新は、道路交通センサスの実施にあわせ5年おきとすることを前提とするが、この間にDRMのデータ定義・フォーマットが変更される可能性がある。これら事態への対処方針を具体化することが必要である。

データ整備、条件設定に関しては、津波浸水をはじめとする、面的ではあるが地形的・地理的条件に被害程度が左右される災害設定の過程では大規模なデータマッチング処理が必要となる。適切なデータ整備・設定を実施するための方針検討が課題である。そのほか、地域の実情に応じたデータ設定であることの確認が評価適用の際には常に要求される。

改善評価手法は、新手法として完成の域にあ

るものの、実適用を通じ、上記事項も含めた運用上の注意点・課題点が具体的に明らかになりつつあるため、当分の間は試行のための期間を設ける必要がある。

評価結果は概ね妥当であり、全国への適用にも支障がないと判断された。ただし、関東地方はネットワークが密であることから事業の結果が強く評価されないことがわかった。また、事業に連結信頼性向上効果がない場合、通常時の所要時間が短縮されるために事後 NW で脆弱度が却って増大するという課題点も見出された。ただし、これらは事業区間選定に検討の余地があることを示すものであり、評価手法はむしろ妥当な結果を与えていると考えることができる。

ケーススタディ結果を踏まえつつ、全国の各地方に改善評価手法を適用した。適用に際しては、地域の事情に応じつつも客観的に妥当な条件設定を行えるよう、基本方針をもとにより具体的な基準を設け拠点およびハザードを設定した。全国各地における適用結果は、選定手法における結果と比較し概ね妥当であることが確認されたが、改善評価手法における更なる課題の存在が明らかとなった。

6.3 今後の展望

本研究が提案した新たな道路の防災機能評価手法については、理論面・実務面から概ね必須要件を満たす成果となっているが、以下に示す改良や手法の拡張が考えられる。

- 1) 対象地域の地理的条件ならびに既往災害における通行止め実績を反映した道路リンクの遮断設定方法の構築とその確率的な表現の可能性
- 2) ETC2.0 プローブデータ等を用いた平時・災害時におけるログサムパラメータの推計と防災機能評価における評価指標値の感度分析
- 3) 災害時における航空機や船舶、公共交通機関との代替性を明示的に反映したマルチモード型の耐災害信頼性評価手法の構築と実ネットワークへの適用分析

また、評価計算システムについては、課題として残されている実務的な改善点が幾つか存在する。今後の実務への広範囲な展開を想定すると早期に解決することが必須となる。

- 1) 評価計算の計算時間の短縮に向けた計算アルゴリズムの改良とより高度な並列処理の実装
- 2) 内部データの圧縮による道路ネットワークデータ (DRM) の表示速度の改善
- 3) 評価計算結果の全国的な統一フォーマットの作成と PDF ファイル等への出力機能

より一層の道路施策の質の向上に向けては、全国的に適用事例を蓄積することにより現状では確認されていない問題点に関する知見を速やかに手法に反映することが望まれる。また、本研究の検討範囲であった全国 10 ブロックでの広域から県や市町村レベルでの狭域での適用可能性を確認することで、異なる行政単位でも共通した手法で統一的に合理的な意思決定が可能になると考えられる。

参考文献

- (1) 飯田恭敬: 交通計画のための新パラダイム - 交通ネットワーク信頼性と OD 交通量逆推定-, 技術書院, 2008.
- (2) 中山晶一郎: 道路の時間信頼性に関する研究レビュー, 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.1, pp.95-114, 2011.
- (3) 中山晶一郎: ネットワークレベルでの道路交通の信頼性研究の諸相・展望と便益評価の一考察, 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.2, pp.147-166, 2011.
- (4) 国土交通省道路局: 主要都市・拠点間等の防災機能向上に関する計測マニュアル (暫定案) 平成 25 年 4 月版, URL: https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-hyouka/pdf/toshi_manual.pdf
- (5) 国土交通省道路局: ネットワーク全体の防災機能向上に関する計測マニュアル (暫定案) 平成 25 年 4 月版, URL: http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-hyouka/pdf/nw_manual.pdf
- (6) 家田仁, 田村亨: 防災機能を考慮した新しい道路事業評価, 交通工学, Vol.48, No.2, pp.63-67, 2013.
- (7) Hitoshi IEDA, Tetsuya YAMADA, Tohru TAMURA, Kiyoshi TAKAHASHI: A New Scheme for Evaluating Road Projects by Considering Their Effects after Disasters - Challenges Faced by Japan since the Great East Japan Earthquake of March 2011-, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Taipei China, 2013.

- (8) 牧浩太郎, 土谷和之, 伊藤智彦, 由利昌平: 諸外国における道路の所要時間信頼性向上に関する評価手法のレビュー, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-R, 2009.
- (9) Lomax, T., Schrank, D., Turner, S., Margiotta, R.: Selecting Travel Reliability Measures, Texas Transportation Institute monograph, 2003.
- (10) 若林拓史, 飯田恭敬: 交通ネットワーク信頼性解析への信頼性グラフ理論適用の考え方, 土木計画学研究・講演集, No.10, pp.125-132, 1987.
- (11) 若林拓史, 飯田恭敬, 福島博: 道路網の信頼性解析に対するモンテカルロ法の適用, 土木計画学研究・講演集, No.11, pp.259-266, 1988.
- (12) 高山純一: 異常気象時における道路網の連結性能評価法, 土木計画学研究・講演集, No.12, pp.559-565, 1989.
- (13) 関谷浩孝, 上坂克巳, 小林正憲: 道路ネットワークの連結信頼性を考慮した道路構造物の補修優先順位付け, 第28回日本道路会議, CD-R, 2009.
- (14) 原田慎也, 栄徳洋平, 戸根智弘, 三木智, 若林拓史: 道路の連結信頼性の実用的な評価方法の提案, 土木計画学研究・講演集, Vol.46, CD-R, 2012.
- (15) 朝倉康夫, 柏谷増男, 為広哲也: 災害時における交通処理能力の低下を考慮した道路網の信頼性評価モデル, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.475-484, 1995.
- (16) Burrell J.E.: Multiple route assignment and its application to capacity restraint. 4th International Symposium on the Theory of Traffic Flow, Karlsruhe, 1968.
- (17) 朝倉康夫, 柏谷増男, 藤原健一郎: 交通ネットワークにおける迂回の限度を考慮したODペア間信頼度の指標, 土木学会論文集, No.555/IV-34, pp.41-49, 1997.
- (18) Li, V.O. and Silvester, A.: Performance analysis of networks with unreliable components Communications, IEEE Transactionson, Vol.32, No.10, pp.1105-1110, 1984.
- (19) 若林拓史: 地震災害時における道路網連結信頼性と確率重要度による耐震強化重要区間の決定法, 土木計画学研究委員会阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp.237-276, 1997.
- (20) 山城孝哉, 阿部翔太, 有村幹治, 田村亨: 大規模道路ネットワークを対象とした連結信頼性指標の解法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, CD-R, 2013.
- (21) Chang, S.E. and Nojima, N.: Measuring Post-Disaster Transportation System Performance: The 1995 Kobe Earthquake in Comparative Perspective, Transportation Research, Vol.35A, pp.475-494, 2001.
- (22) Taylor, M.A.P., Sekhar, S.V.C. and D'Este G.M.: Application of Accessibility Based Methods for Vulnerability Analysis of Strategic Road Network, Networks and Spatial Economics, Vol.6, pp.267-291, 2006.
- (23) 原田剛志, 倉内文隆, 高木朗義: 道路ネットワークの持続脆弱性評価に基づくリダンダンシーの経済価値の軽量化手法の検討, 土木計画学研究・講演集, Vol.45, CD-R, 2012.
- (24) Jenelius, E., Peterson, T. and Mattsson, L.G.: Importance and Exposure in Road Network Vulnerability Analysis, Transportation Research Part A, Vol.40, pp.537-560, 2006.
- (25) 近藤隆平, 塩見康博, 宇野伸宏: アクセシビリティと連結信頼性を考慮した道路網・医療施設計画モデル, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, No.3, pp.579-588, 2010.
- (26) Kondo, R., Shiomi, Y., Uno, N.: Network Evaluation Based on Connectivity Reliability and Accessibility, Network Reliability in Practice, Transportation Research, Economics and Policy, pp. 131-149, 2012.
- (27) 加藤文教, 門田博知, 浜田信二: 道路の信頼性評価の簡便法, 土木計画学研究・論文集, Vol.4, pp.181-188, 1986.
- (28) Watling, D.P.: User Equilibrium Traffic Network Assignment with Stochastic Travel Times and Late Arrival Penalty, European Journal of Operational Research, Vol.175, No.3, pp.1539-1556, 2006.
- (29) 長尾一輝, 中山晶一朗, 高山純一: 旅行時間の不確実性を考慮した確率ネットワーク均衡モデルによる時間信頼性評価手法-金沢道路ネットワークを例に-, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, No.3, pp.807-814, 2008.
- (30) 内田堅悦: 移動時間信頼性を考慮した需要変動型均衡配分モデル, 土木学会論文集 D3, Vol.67, No.1, pp.60-69, 2011.
- (31) 内田堅悦: 道路ネットワークにおける移動時間信頼性を考慮した便益評価の実用化に向けた課題と展望, 土木計画学研究・講演集(招待講演), Vol.46, CD-R, 2012.
- (32) 山崎浩気, 宇野伸宏, 倉内文孝, 嶋本寛, 小笹浩司, 成田博: ETC データを用いた都市間高速道路の旅行時間信頼性評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, No.4, pp.935-945, 2008.

- (33) 坪田隆宏, 菊地春海, 梶原一夫, 坂爪誠, 割田博, 倉内文孝: 首都高速道路における所要時間信頼性向上便益の試算, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-R, 2009.
- (34) 土倉悟, 中山晶一郎, 高山純一: 道路ネットワークの信頼性を取り入れた道路評価法の開発-金沢市道路ネットワークへの適用-, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, CD-R, 2013.
- (35) 土屋哲, 多々納裕一: SCGE モデルを用いた機関交通網に関する地震リスクのパブリックマネジメント, 社会技術研究論文集, 2004.
- (36) 土屋哲, 多々納裕一, 岡田憲夫: 空間応用一般均衡アプローチによる東海地震の警戒宣言次の交通規制に伴う経済損失の評価, 地域安全学会論文集, 2003.
- (37) 土屋哲, 多々納裕一, 岡田憲夫: 交通ネットワークを考慮した SCGE モデルによる地震災害の被害軽量化の枠組み, 土木学会論文集, 2004.
- (38) 岡田憲夫, 梶谷義雄, 榊原弘之, 多々納裕一: 直下型地震の発生を想定した都市圏道路網の分散・集中特性の性能評価モデルに関する研究, 土木学会論文集, 1999.
- (39) 渡辺泰弘, 鈴木勉: 復旧優先度指標による震後復旧優先道路形状に関する数値的研究, 都市計画論文集. 2009.
- (40) AASHTO: A Guide to Highway Vulnerability Assessment for Critical Asset Identification and Protection, 2002.
- (41) 藤原友, 長江剛志, 朝倉康夫: GIS と需要変動型利用者均衡配分を用いた道路ネットワーク耐震化の便益評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.34, Paper No.188, 2006.
- (42) 長江剛志, 藤原友, 朝倉康夫: GIS と需要変動型利用者均衡配分を用いた道路ネットワーク耐震化の便益評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, No.2, pp.233-242, 2007.
- (43) 長江剛志, 藤原友, 朝倉康夫: 利用者均衡配分を内生化した都市圏道路ネットワークの耐震化問題, 土木計画学研究・講演集 CD-ROM, Vol.37, Paper No.94, 2008.
- (44) 船瀬悠太: 交通ネットワークの耐震性能設計のためのリンク経済重要度の計量化に関する研究, 京都大学, 2007.
- (45) 地震工学委員会耐震基準小委員会: 経済性照査に基づく新しい耐震設計法の実施に向けての検討 - 経済性照査ワーキング活動報告書 -, 土木学会, 2008.
- (46) 柴田明德: 確率的手法による構造安全性の解析, 森北出版, 2005.
- (47) 日本写真測量学会[編]: 空間情報による災害の記録 伊勢湾台風から東日本大震災まで, 鹿島出版, 2012.
- (48) 山中浩明[編], 時松孝次, 大町達夫, 盛川仁, 翠川三郎,[著]: 地震・津波ハザードの評価, 朝倉書店, 2010.
- (49) 組谷彰太郎, 高田毅士: 異種災害の重合を表す確率過程モデルの構築に関する基礎的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 5-6, 2007.
- (50) 組谷彰太郎, 高田毅士: 余震発生を考慮した確率論建物被害評価, 日本建築学会構造系論文集, No.637, pp.459-465, 2009.
- (51) 加賀山泰一, 奥西史伸, 鈴木直人, 澤田吉孝: 阪神高速における地震防災システムの開発, 第 25 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1033-1036, 1999.
- (52) 村尾修, 山崎文雄: 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, No.527, pp.189-196, 2000.
- (53) 佐藤一郎, 矢代晴美, 林孝幸, 大峰秀人: 津波損傷度曲線の作成 (その 2) モンテカルロ法によるフラジリティ評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 641-642, 2007.
- (54) 伊藤義人, 和田光永: イベントを考慮した交通基盤施設のライフサイクル評価手法に関する研究, 土木学会論文集, No.745/I-65, pp.131-142, 2003.
- (55) 神田順, 西島一欽: 多変量極地分布を用い多地点強風および地震危険度解析, 数理統計, Vol.52, No.1, pp.151-173, 2004.
- (56) 国土技術政策総合研究所: 道路事業の多様な効果の算定方法の検証等に関する業務報告書, 2011
- (57) 北澤俊彦, 岩里泰幸, 石橋照久: 阪神高速道路における所要時間信頼性評価, 交通工学, Vol.45, No.2, pp.28-35, 2010.
- (58) 宗像恵子, 割田博: 首都高速道路における所要時間信頼性を考慮した情報提供, 交通工学, Vol.45, No.2, pp.28-35, 2010.
- (59) 足立智之, 藤川謙, 朝倉康夫: 代替経路を持つ高速道路区間の 所要時間信頼性に関する実証分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.38, No.294, 2008.
- (60) Adachi, T., Fujikawa, K. and Asakura, Y.: Empirical Analysis for Improvement of Travel Time Reliability Due to Opening of New Expressway, Proceedings of the 15th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, Hong Kong, China, 2010.