

研究概要書

研究課題：大規模災害の重傷者輸送における高速道路の役割と耐震投資の最適化

研究代表者： 東北大学東北アジア研究センター 教授 奥村 誠
共同研究者： 東北大学大学院医学系研究科 教授 篠澤洋太郎
東北大学大学院医学系研究科 講師 山内 聡
東北大学大学院情報科学研究科 准教授 織田澤利守
広島大学大学院工学研究科 准教授 塚井 誠人

はじめに

島嶼部や地方部においては、高速道路の整備による移動時間の短縮を通して、事故や急な疾病の悪化、及び自然災害時における円滑で迅速な医療施設への搬送により、生命の安全・安心の水準を向上させることに大きな期待が寄せられている。本研究は、道路網の耐震化と医療施設の耐震化を統合的に比較して大規模地震直後の被災者搬送中の死亡リスクを最小化するような数理計画モデルの提案を行った。さらに、近い将来に大規模地震の発生が予想されている宮城県にモデルを適用して、重傷者の最適搬送と、道路・救急医療施設の効果的な耐震化方策を求めた。あわせて、高速道路の利用可能性が耐震化施策に与える影響を明らかにした。

1. 研究の目的

わが国は大規模地震の発生リスクが大きな地域を多数抱えている。大規模地震によって広域で同時多発的に重傷者が発生すると考えられ、重傷者をいかに早く病院へ搬送して治療を行うかが重要となる。近年の財政の緊迫化の中で、医療機関の選別と耐震化、および道路の整備の効果的な組み合わせを検討することは、喫緊の課題となっている。生命の安全・安心の向上という効果を期待して整備された高速道路の運営者としても、高速道路がこのような被災者の搬送に果たす役割を明らかにしたうえで、その期待に応えるような体制の構築が求められる。

本研究は、道路網の耐震化と医療施設の耐震化を統合的に比較して大規模地震直後の被災者搬送中の死亡リスクを最小化するような数理計画モデルの提案を行う¹⁾。さらに宮城県に計画モデルの適用を行い、提案した数理計画モデルの解の性質を具体的に検討し、モデルの実用性を確認する。また地震発生直後、高速道路が利用できないケースについての計算結果との比較を行い、高速道路の利用可能性が一般道や医療施設の耐震化にもたらす影響を定量的に分析する。

2. 計画モデルの考え方

対象地域において複数の地震が想定されており、各ゾーンで発生する重傷者をできるだけ早く、救急医療機関に搬送する。地震により道路の所要時間は長くなり一部の区間は途絶する。医療機関も受入能力が低下するが、事前の耐震化投資により、道路の途絶と救急医療施設の入能力の低下を防止できると仮定する。以下の2つの考え方をとる場合について、「耐震化のための総費用が予算額を超えないという制約のもとで、重傷者搬送中の死亡リスクを最小化するように、耐震化すべき道路リンクと救急医療施設の組合せを求める」という問題を考える。

- それぞれの被災パターンの発生確率が与えられているものとし、死亡リスクの期待値を最小化する問題を解く。
- 最も大きな死亡リスクを与えるような最悪の被災パターンを想定し、その死亡リスクを最小化する問題を解く。

ネットワーク表現等を工夫すれば、2ケースとも、実用的な解法が確立している数理問題として定式化できる。

以下では、宮城県の想定に従い、宮城県沖地震(連動型)と長町利府断層地震が同程度の確率で発生すると仮定する。平成合併前の66市区町村ごとの重傷者を、12の災害拠点病院に搬送する。救命率は70分で0になると仮定する。

3. 現在の施設における最適搬送と高速道路

2. のモデルで耐震化の総予算を0とし、地震ごとに発生確率を1と設定して解き、現在の施設における最適搬送パターンを求めた。

図-1には重傷者数、搬送後の死亡リスクがより大きい地震である長町利府断層地震時の計算結果を示す。実線の閉曲線は各病院の受持ち地域を、分数値は搬送重傷者数/受入可能数を示す。実線矢印は病院への搬送を、点線矢印はその地域の死者数を示す。この地震では、仙台市各区の多量の重傷者を市内と遠方の医療施設に分けて搬送している。その際、刈田総合病院や大崎市民病院や栗原中央病院へは東北道が、石巻赤十字病院へは三陸道が有効的に使われているが、高速道路がない登米市立佐沼病院には搬送が行われない。

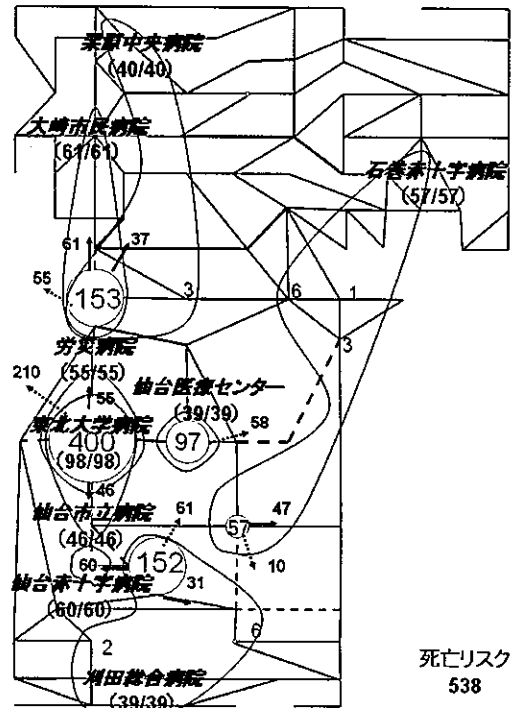


図-1 長町利府断層地震時の最適搬送

4. 耐震化投資に対する高速道路の利用可能性の影響

予算額を変化させて、2つの問題を解いて耐震化の組み合わせを求めると、図-2の下側のグラフのように予算の増加と死亡リスクの低下の関係が得られる。解の詳細は紙面の制約上省略するが、予算額が医療施設の耐震化費用を上回るたびに投資対象の施設が変化し、残りの予算で道路の耐震化が行われるという傾向がある。またどの医療施設が耐震化されるかにより、その施設の接続する道路が優先されるというように、耐震化される道路区間は異なってくる。

地震発生直後、高速道路は亀裂や落橋の有無を確認するまで通行が制限されることがある。今後、検査方法の改善等により通行制限時間を短縮する必要がある。その効果を定量的に示すため、すべての高速道路は救命効果がある70分間は使用不可能であるという条件を加えて2. のモデルを解いた。その結果を図-2の上側のグラフに示し、上記の計算結果と比較する。期待死亡リスク最小化では、死亡リスクが320人から140人の間の値を実現するように耐震化を行う場合、目標の死亡リスクが低いほど、Case1とCase2の投資額の差は大きくなり、削減額は15~65億円である。最悪死亡リスク最小化問題も同様の差異が見られる。

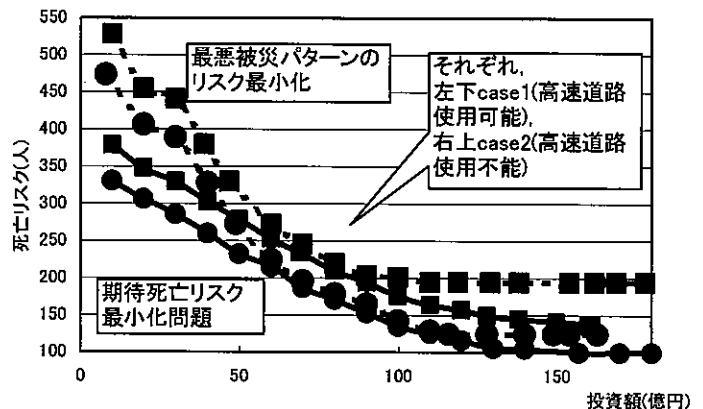


図-2 予算額と目的関数値の関係

まとめ

本研究では、最適耐震化計画モデルを提案し、近い将来高い確率で発生が予測されている宮城県沖地震をかかえる宮城県においてモデルの計算を行った。その結果、長町利府断層地震時には、仙台市で発生する重傷者を大崎市や栗原市の医療施設に搬送するために、高速道路が使用されることが確認できた。また、医療施設の耐震化の如何によってどの道路区間の耐震化を行うべきかは変化することが確認できた。さらに、地震発生直後に高速道路が使用できると、一般道や医療施設の耐震化に投資する金額を削減できることが確認できた。モデルから出力される耐震化案の現実性と妥当性を高めるためには、今後関係機関の協力を得ながら仮想値をより現実的なデータに置き換えていくことが必要である。