

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究状況報告書（1年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職	
	中山 晶一郎 (なかやま しょういちろう)		金沢大学・環境デザイン学系		教授	
②研究テーマ	名称	災害・日常時の道路の信頼性とその総合・長期的評価の研究開発：幹線道路ネットワークデザインと維持管理計画				
	政策領域	[主領域] 領域2 道路ネットワークの形成と有効活用 [副領域]	公募タイプ	タイプII		
③研究経費（単位：万円）	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計		
	5088万円 ※H28は受託額、H29以降は計画額を記入。端数切捨。	1371万円	2205万円	1512万円	5088万円	
④研究者氏名（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）						
氏名		所属・役職				
高山 純一		金沢大学・環境デザイン学系・教授				
近田 康夫		金沢大学・環境デザイン学系・教授				
小林 俊一		金沢大学・環境デザイン学系・准教授				
久保 善司		金沢大学・環境デザイン学系・准教授				
菅沼 直樹		金沢大学・新学術創成研究機構・准教授				
藤生 慎		金沢大学・環境デザイン学系・助教				
⑤研究の目的・目標（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）						
<p>災害・日常時の両方で信頼性の高い道路ネットワークの整備を目指して、連結・時間信頼性を考慮した総合的な便益評価法を実用化し、それを用いた道路ネットワークデザイン手法を提案する。そのために、道路施設の脆弱性評価や通常時旅行時間変動の推定などの要素技術を開発する。また、長期にわたり信頼性を確保するためにその維持管理計画策定法も提案する。</p>						

## ⑥これまでの研究経過

(研究の進捗状況について、これまでの研究目標の達成状況とその根拠（データ等）を必要に応じて図表等を用いながら具体的に記入。また、研究の目的・目標からみた研究計画、実施方法、体制の妥当性についても記入。)

### 1. 研究計画

所要時間のばらつきが大きいと遅刻しないために早めに出発することによる時間損失である遅刻回避時間損失が大きくなる。これを用いて時間信頼性（所要時間の信頼性）を評価することができる。また、災害や事故等で道路が閉塞し、目的地へ行くことができず、移動を取りやめざるを得ないことによる損失が到達不可損失であり、これを用いて連結信頼性を考慮することができる。

図1の通り、これまでの費用便益評価で用いられてきた（平均）所要時間に遅刻回避時間と到達不可損失を時間換算したものを積み上げることによって、連結・時間信頼性を考慮した総合的な便益評価が可能となる。遅刻回避時間を算定するためには、各道路の所要時間の分布が必要となる。所要時間分布を出すためには多数の所要時間データが必要となる。ETC2.0やその他システムによって時々刻々の車両移動軌跡データ（プローブデータ）などが得られるが、この場合、データが十分にあり区間や時間帯のみしか所要時間分布を出すことができない。

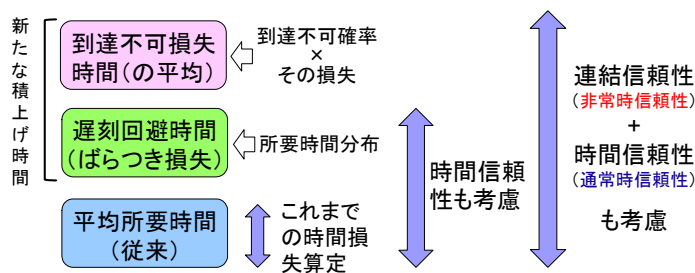


図1 本研究で目指す総合的な便益評価

対象の全ての道路の全ての時間帯での所要時間分布を算出するために、研究代表者らがこれまでに開発した確率均衡配分モデルへ本研究開発で技術化・実用化する 1) 時間帯別モジュール と 2) 非観測道路推定モジュール を付加して、そのモデルを拡張させる。これによってプローブデータなどの所要時間データをもとに、データがないもしくは十分にはない区間や時間帯での所要時間分布も算出することができ、時間信頼性を評価できるようになる。

連結信頼性を考慮するために到達不可損失を用いるが、それは図1に表示した通り、到達不可確率とその場合の損失から算出する。到達できず、移動を取りやめることの損失は既存研究の値を用いるなどして、本研究開発では、道路閉塞の起こりやすさを算定し、それから到達不可確率を計算する方法を検討する。このような連結信頼性の評価は時間信頼性よりも格段に難しい上に、災害時などで連結しないことによる損失は人命にかかわることもあり、便益という指標だけで検討することでは十分でない場合もある。よって、a) 連結信頼性の便益評価 だけでなく、それよりも b) 簡便な道路ネットワークの連結性評価 も行い、道路ネットワークの連結性の低い部分を集中的に分析することも行う。

自然災害などによって道路が通行できなくなるのは、地震動を受けたり、浸水を受けるリスクと道路施設自体の劣化や強度が関わる。本研究開発では、地理情報システム（GIS）を用いて算定し

た道路路施設への外的力のリスク及び道路台帳、橋梁・トンネル・斜面等の管理・点検データに基づいた各道路施設の劣化や強度から災害等に対する各道路施設の脆弱性のレベル分けを行う。

道路施設の劣化や強度は長期的には減衰・変化する。既存研究の劣化曲線などを用いて、本研究開発では、道路ネットワーク上の多数の道路施設の劣化や強度を予測し、それぞれの脆弱性を考慮して道路ネットワークの連結性を担保する維持管理計画や便益が最大となる道路整備計画の策定方法を検討する。

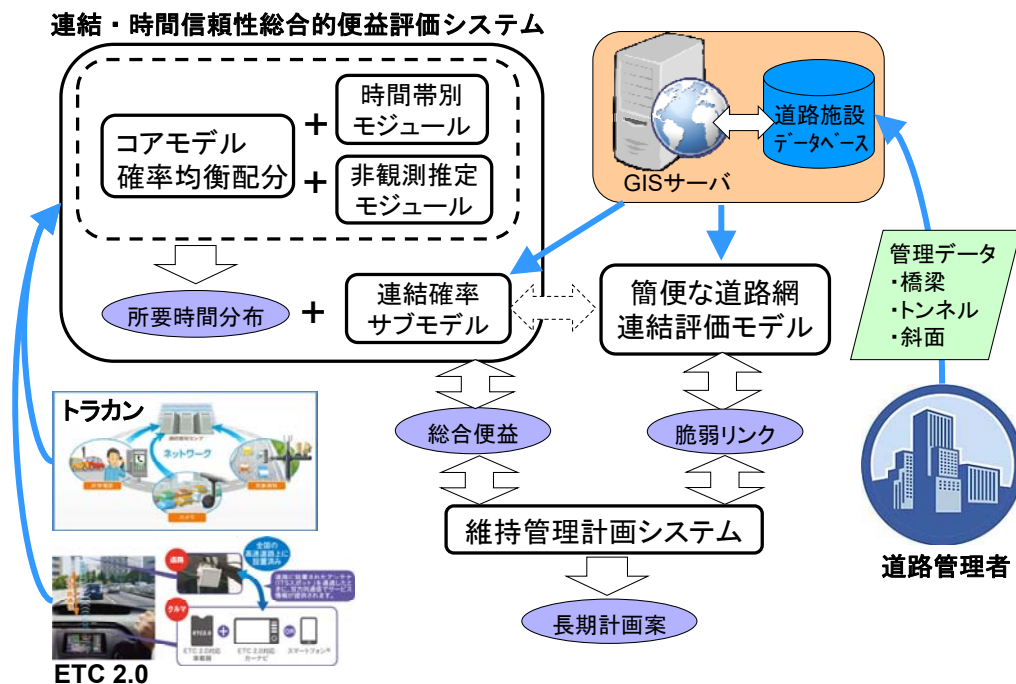


図2 連結・時間信頼性総合的便益評価システムと他システムとの連携

## 2. 研究経過状況

### (1) 災害等に対する脆弱性算定のための道路施設データベース

昨年度（FS期間）に連結確率を計算するサブモデル（図2の連結確率サブモデル）を開発し、各道路リンクの途絶確率を与えると防災拠点等の地点間の連結確率を計算することができるようになったが、妥当な道路リンクの途絶確率の算定が課題となっている。本採用期間1年目の今年度は、その算定のために、まず、道路施設データベースシステム（図2参照）の構築に取り組み、次年度にそのデータを用いて各道路施設の脆弱性の評価方法を検討し、最終年度には妥当な途絶確率を用いた連結確率計算を行えるように進めたい。

このために、今年度は金沢河川国道事務所より道路台帳及び橋梁とトンネルの諸元・点検データ・防災点検カルテ、そして、石川県土木部から道路台帳及び橋梁の諸元・点検データ・防災点検カルテを提供いただき、そのうち橋梁を先行してGISに反映させるとともに（図3参照）、管理データ

から橋梁の災害リスクを数値化するための手法について検討を開始した。

図 3 の黒線で示したものが金沢河川国道事務所の直轄国道であり、赤で示されるのが橋梁である。これにより、GIS 上で国道に関する施設を一元的に管理できるようになり、例えば他のデータソースである土砂災害の被災予測の基礎データと連携し、道路施設の脆弱性の算定法の基礎データとして活用が可能となった。また、諸元や台帳だけでなく、点検・補修履歴といった、構造物に付随するデータも統合的に管理できる。

本研究開発では、一つの橋梁の脆弱性を詳細に評価するのではなく、災害時でも道路ネットワークの連結性が保てるのかに焦点を当てており、道路ネットワーク上の多数の橋梁を可能な限り均一で簡便に評価する必要がある。既存研究の文献調査や阪神淡路大震災・東日本大震災・熊本地震の事例の分析を行った結果、落橋等大きな被害を引き起こす（外的力以外の）リスク要因として、落橋防止や免振・耐震装置など設置があるのか、（耐震等の設計基準にかかわる）仮設年次、劣化程度、隣接土構造物や地盤状況の4つの要因を抽出した。また、水災害では、増水時の橋脚・下部工の洗堀や堤防の決壊などが主な落橋および通行止めとなる原因であることが分かった。上記のデータベースシステム（図3参照）によって各橋梁のこれらの4つの数値等を体系的に扱い、橋梁の脆弱性のレベルを分けることとした。

橋梁データウインドウ			
ver 2.07.002 様式-3-2			
橋梁概要			
フリガナ	カワチバシ		
橋梁名称	河内橋		
路線名	一般国道 8 号	所在	自 石川県河北郡
	現道	地	至 石川県河北郡
橋梁番号	8450008002		
【橋梁諸元】			
橋梁区分	本線橋	橋梁形式	5 径間
橋梁種別	橋	橋長(m)	160.0
分割区分	上下線一体	橋面積(m <sup>2</sup> )	1920
事業区分	一般道路	総径間数	5
架橋状況	その他、道路の上にある	平面形状	曲線
交差物名称	水路、町道	平面線形(m)	500.0
塩害地域区分	D	縦断勾配(%)	1.300

図3 橋梁位置と土砂災害の被災予測を GIS 上に反映した例(黒線が直轄国道、赤で示される部分が橋梁、緑で示されるのが被災予測域)

## (2) 時間信頼性評価のためのプローブデータの活用

既に開発した確率均衡配分モデル（図2参照）によって所要時間分布を計算することができるが、より精度の高い所要時間分布を算定するために、プローブデータ（車両移動軌跡プローブデータ）を活用する。今年度は、プローブデータとして金沢河川国道事務所から石川県内の ETC2.0 データ

と、それにあわせてトラカンデータの提供を受け、図4に示すように基礎的分析を行った。なお、プローブデータだけでも、所要時間分布を作成することができるが、その場合データが採取できた箇所に限られる。しかし、図2に示したように拡張した確率均衡配分モデルと組み合わせることでデータが得られていない道路についても旅行時間のばらつきや分布を計算することが可能であり、それが本研究開発の特長である。

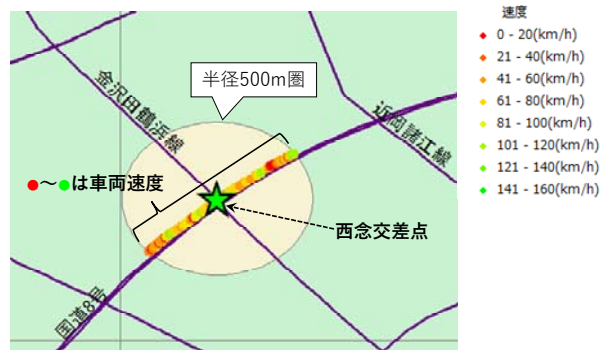


図4 金沢市西念交差点半径500m内の国道8号線上の走行車両の速度

### (3) 道路ネットワークの連結性評価手法の開発

昨年度（FS期間）に開発した連結確率計算による連結性の評価は、防災拠点等の連結すべき地点を列挙できる都道府県程度の規模の道路ネットワークでの詳細な評価には優れているが、大震災時などの広域・大規模道路ネットワークの連結性の評価には向かない。今年度は、連結すべき地点の想定・列挙が難しい場合や広域道路ネットワークの評価のために、上記の図2及び『1. 研究計画』の4段落目に記載した『b) 簡便な道路ネットワークの連結性評価』として、代数的グラフ理論を適用し、道路ネットワークグラフのラプラシアン行列のスペクトル解析によって道路ネットワークの連結性の評価手法を開発した。これによって、連結性が低い部分を抽出し、その部分は特に道路施設の災害リスク等を重点的に行うことができる。

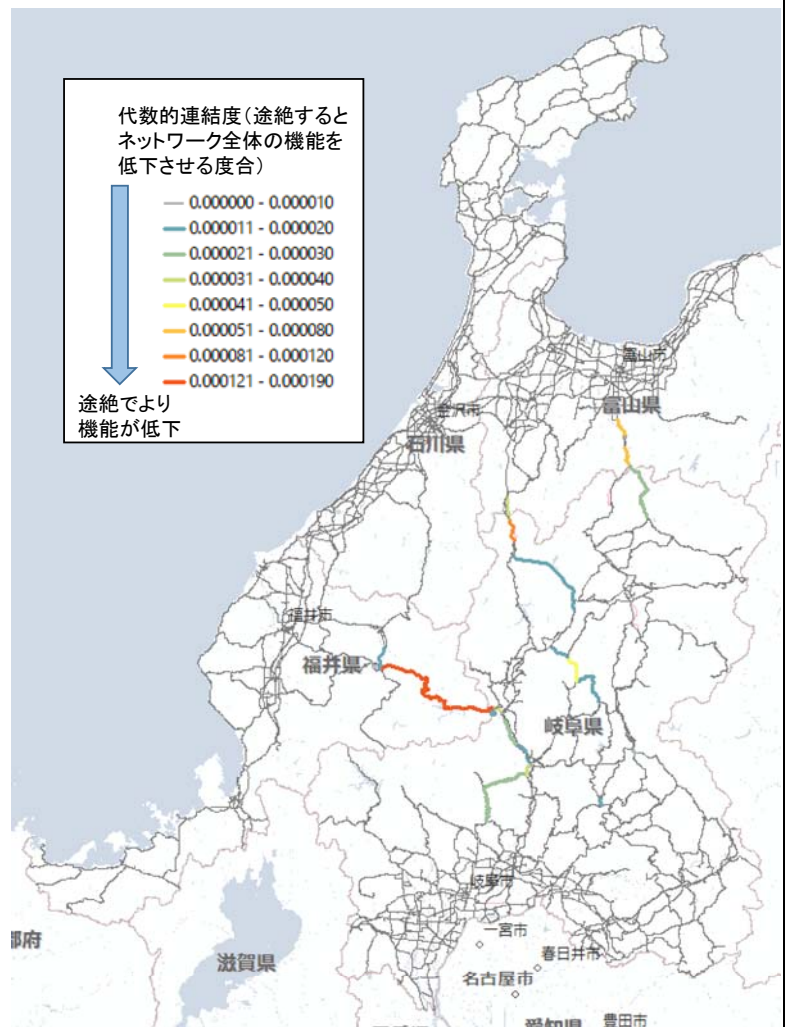


図5 リンク途絶による代数連結度の低下と連結性を低下させるリンク

図5は石川・富山・福井・岐阜県の緊急輸送道路ネットワークへの適用結果である。このネット

ワークでは明らかに岐阜県境の道路リンクが疎であり、開発手法ではその部分が抽出されており、開発した手法の妥当性を確認することができた。これにより、連結性を高める方策の確立の端緒に就くことが可能となった。具体的には、連結性が低い部分を抽出し、その部分は特に道路施設の災害リスク等を重点的に行うことができる。

#### (4) 緊急輸送道路の維持管理計画策定法の検討

上記の『(1) 災害等に対する脆弱性算定のための道路施設データベース』で記述したように橋梁の災害時のリスク評価として、落橋防止や免振・耐震装置など設置があるのか、（耐震等の設計基準にかかわる）仮設年次、劣化程度、隣接土構造物や地盤状況の4つの要因を考慮するが、このうち劣化は経年的に変化する。今年度は、典型的な劣化曲線に加えてGIS上の土砂災害や地震の被害リスクを併せた補修・補強計画の統合化手法が可能であるのかを検討した。上記の『(3) 道路ネットワークの連結性評価手法の開発』で述べた今年度に開発した手法等を用いて、もし途絶すると道路ネットワークの連結性を著しく低下する道路リンクを抽出することができるが、このような道路リンクは、特に災害が発生しても途絶しないように維持管理や補修・補強の実施が望ましい。今年度は、道路上の道路施設として橋梁について先行的に検討を行ったが、これをモデルケースとして、次年度以降、トンネルや土構造物にも同様にリスク評価および維持管理計画などについて検討する。

既に述べた通り、今年度は、金沢河川国道事務所および石川県から道路施設として、橋梁・トンネル・斜面の点検データ等を提供して研究を行ったが、研究成果など提供いただいた道路管理者へもフィードバックも必要と思われる。図6に示すように、ネットワークを介して双方向の情報交換を積極的に行うプラットフォームを次年度以降に構築することを目指し、各道路管理者と密に連携・協議しながら、緊急輸送道路を中心とした道路の維持管理計画策定について研究を遂行

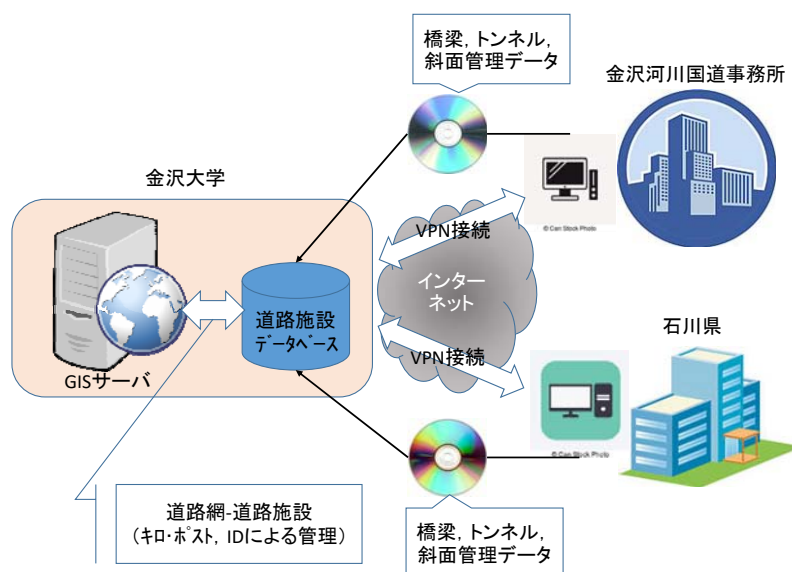


図6 各道路管理者との連携及びネットワークによる情報プラットフォーム

する。ネットワークに関しては、比較的安価なインターネット網を経由し、仮想プライベートネットワーク（Virtual Private Network; VPN）技術を使用することで、安全性の高い閉域網を利用することができる。

道路の維持管理の中では、路面舗装は予算面でも大きな比重を占め、維持管理計画を考える上では、予算の効率的な執行の観点から路面舗装の劣化も考慮することが重要である。路面舗装に関しては、DRIMS コンソーシアム(<http://vims.sakura.ne.jp>)に参画することにより、走行車両からの鉛直加速度により路面性状を計測し舗装の劣化を評価することが可能となった。これにより、舗装の劣化度の GIS への連携が可能になり、橋梁、トンネル、土構造物に加えて舗装も基礎資料として加えることができる。このような計測データおよび道路交通情報通信システム（VICS）データ、プローブデータ（トラカン、ETC2.0 データ）をビッグデータとしたディープラーニングによる特徴量の抽出を試験的に行う試みを実施した。これにより、旅行速度などと、道路施設情報として車線数や幅員・信号・橋梁・トンネルの有無なども学習データとして加え、速度低下の要因の分析に資する結果が示唆された。これに関しては、次年度以降、適用データの増加と特徴量の解釈に注力しながら解析を継続し、新たな知見を得る手法を検討し、旅行速度を向上させ、便益をより増やすことができる道路補修・補強や整備の計画の立案が可能となるように研究を進める。

## ⑦特記事項

（研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の見通しや進捗についての自己評価も記入。）

研究開発は順調に進んでおり、計画通りの成果が得られると考えている。

FS評価の指摘を受け、3次元マッピングは研究対象から外し、上記の図2の通り、研究開発の事項間の関連性を整理し、研究代表者のこれまでの研究成果である確率均衡配分をコアとして独自性が発揮できる研究計画に再構築した。また、北陸地方整備局・金沢河川国道事務所・石川県土木部と密に連携をとっており、今年度は金沢河川国道事務所・石川県土木部から各道路施設の管理・点検データの提供を受けた。さらなる連携を目指し、研究成果のフィードバックを行う中で、各道路管理者と協議を進め、上記の図6のプラットフォームの構築を目指す。