

「南海トラフ巨大地震」を想定した 石油製品輸送シナリオの構築と評価

山崎 雅人¹・倉田 和己²・曾根 好徳³

¹正会員 名古屋大学助教 減災連携研究センター (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)
E-mail: yamazaki.masato@nagoya-u.jp

²正会員 名古屋大学助教 減災連携研究センター (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)
E-mail: kurata@nagoya-u.jp

³正会員 名古屋大学教授 減災連携研究センター (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)
E-mail: sone@nagoya-u.jp

本研究は「南海トラフ巨大地震」の発生を想定し、被災地域へ石油製品を陸路輸送するシナリオに関する試行的研究である。具体的には、愛知県におけるガソリン不足を北陸地方および関東地方からの陸路輸送により解消するシナリオを配送計画問題の枠組みで分析を行った。本研究により、1)「南海トラフ巨大地震」に伴う土砂災害対策を東名・新東名高速道路に対して確実に実施することにより、愛知県のガソリン不足を関東地方からの陸路移送により効率的に解消できること、2)東名・新東名高速道路沿いの土砂災害リスクを考慮した場合、北陸地方主要港の港湾機能拡充と、北陸地方主要港と愛知県を結ぶ高速道路の耐震化と維持管理の重要性が示された。今後は分析範囲を全国に広げ、「南海トラフ巨大地震」に備えるための包括的な災害時物流シナリオの構築を行う。

Key Words : logistics, earthquake, landslide, vehicle routing problem, geographic information system

1. はじめに

(1) 東日本大震災における石油製品不足

本研究の背景として、東日本大震災時に被災地域で発生したガソリン等石油製品不足の問題がある。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に端を発する東日本大震災では、東北地方と関東地方においてガソリン等の石油製品の深刻な不足が生じた。特に東北地方では唯一の製油所である仙台製油所が被災し、生産停止に追い込まれた。同時に太平洋側の油槽所やタンクローリーも津波により被災したため、日本海側の港湾に隣接する油槽所を経由し、ガソリン等石油製品は太平洋側に陸路輸送された。赤松ら¹⁾の研究によれば、東北地方では発災後3日間は全油槽所が利用不可能な状態であった。4日目から10日後まで太平洋側の油槽所は依然として利用不可能であったが、日本海側の油槽所を経由して太平洋側に石油製品が陸路輸送された。10日後以降となると太平洋側の油槽所も一部利用可能となり、太平洋側からの石油製品の受け入れも開始された。同研究は、発災後に東北地方へ石油製品を移出したのは主として北海道であり、同じく石油製品不足となっていた関東地方からの移入量は減少し、西日本からの移入量は必ずしも多くないこと

を明らかにしている。また東北地方における石油不足の原因は絶対的な供給量不足にあり、買占め等の需要側要因に基づくものではないとしている。その上で、災害時における石油製品の輸送戦略を事前に準備することの重要性を主張している。東日本大震災発生当時、西日本における石油製品の生産余力は充分にあったと考えられ、事前に輸送戦略が策定されていたならば、東北地方及び関東地方における深刻な石油製品不足は回避できた可能性が高い。

(2) 「南海トラフ巨大地震」に向けた輸送戦略研究

東日本大震災で発生したような石油製品等の不足は広域災害に特有の現象であると考えられる。局所的な災害であれば近隣の地域から被災地に迅速な供給が行われ、不足は直ちに解消されるであろう。しかし、被災地域あるいは石油製品等の不足地域が極めて広域に渡る場合、どこから調達し、いかなる手段で、どこに優先的に届けるかが極めて困難な問題となる。まさに被害想定に基づき輸送戦略を事前に策定する必要がある。内閣府中央防災会議が想定する「南海トラフ巨大地震」も広域に渡る災害であり、石油製品等の不足が広範囲の地域で発生す

るものと懸念される。そのため東日本大震災の教訓を活かし、被害想定に基づく事前の石油製品の輸送戦略研究が重要となる。言い換えれば、非被災地域から被災地域への石油製品の輸送シナリオの構築と評価の研究が求められている。そこで本研究では「南海トラフ巨大地震」を想定し、石油製品輸送シナリオの構築とその評価を行う。ただし今回は試行的研究の結果を示す。具体的には、愛知県におけるガソリン不足を北陸地方および関東地方からの陸路輸送により解消するシナリオを配送計画問題の枠組みにおいて検討する。その上で、愛知県におけるガソリン不足を早期に解消するために必要な対策を提示する。

2. 災害時物流体制構築に向けた動き

(1) 「道路啓開」と「バックアップ」

「南海トラフ巨大地震」における災害時物流のあり方に対して、東日本大震災の教訓を活かし、国・自治体レベルで具体的な対策が検討されている。

代表的事例の1つは「中部版くしの歯作戦」に基づく道路啓開オペレーションの策定である。長野県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、静岡市、浜松市、名古屋市、愛知県道路公社、名古屋高速道路公社、中日本高速道路株式会社、関東地方整備局、中部地方整備局からなる中部地方幹線道路協議会「道路管理防災・震災対策検討分科会」は、「南海トラフ巨大地震」発生における津波被害地域で迅速な救援活動・物資供給を行うため、道路啓開オペレーションである「中部版くしの歯作戦」を策定している²⁾。「中部版くしの歯作戦」では、道路管理者および災害協定業者との協力のもと、道路啓開の順序としてSTEP1からSTEP3が設定されている。STEP1では、被害が小さいと想定される高速道路を1日以内で通行可能とし、広域支援ルートを確認し、STEP2では、1日から2日で被災地につながるルートに対して選択的に道路啓開を実施する。STEP3は、被害が甚大なエリアについて、3日以内に人命救助支援のための道路啓開を実施する。緊急救援物の資輸送支援に関わる道路啓開は7日以内に実施するとしている。事前の道路啓開計画の策定は災害時物流を迅速に立ち上げる上で欠かすことができない重要な要素である。

道路啓開が実施されたとしても物資がなければ道路啓開の意義も薄れる。その意味で北陸地方の「バックアップ」機能拡充に向けた動きは重要である。北陸地方整備局は「北陸地域国際物流戦略チーム」を中心とする「広域バックアップ専門部会」を2013年に立ち上げている³⁾。同専門部会は「首都直下地震」と「南海トラフ巨大地震」の2つの想定地震が発生した場合、北陸地域が物資供給等において被災地域の機能代替を果たすための方策

を検討しており、防災・物流・経済に関わる有識者や物流業者、行政機関で構成されている。

以上の国・自治体・関係民間企業等による「南海トラフ巨大地震」への対応では、迅速な道路啓開と北陸地方の港湾の役割が重視されている。これらの動きは本研究の方向性に手がかりを与えるものとなっており、本研究はこれら諸対策の定量評価に対応すると考えられる。

(2) 北陸地方の石油製品の需給状況

具体的に北陸地方からの石油製品の輸送を考えるにあたり、北陸地方におけるガソリン等石油製品の需要と供給の構造を把握する必要がある。

表1は2012年における北陸主要港の石油製品移入量を示している。国土交通省「港湾統計（年報）平成24年」では「石油製品」より細かい分類でデータが公表されていないが、石油連名の「石油販売統計」から作成した表2の石油製品販売実績と対応させることで、概ね北陸地方における石油製品移入量と販売実績が対応することがわかる。つまり北陸地方で消費されている石油製品はそのほとんどが港湾を通じた移入に依存している。そのため、北陸地方から東海地方へのガソリン輸送を考える場合には、港湾の受け入れ能力が大幅に上がらない限り、北陸地方への供給量を減らし、その分を東海地方に輸送しなければならない可能性がある。そのためシミュレーションでは、後に説明する通り、北陸地方への石油製品供給量を一定割合減らし、その分を愛知県へ輸送すると仮定している。

表-1 2012年における北陸主要港の石油製品移入量

	石油製品(t)	重油(kl)
新潟港	2,335,262	374
柏崎港	16,771	16
直江津港	645	16
伏木富山港	1,023	422
七尾港	42	10
金沢港	1,556	208
福井港	860	131
敦賀港	0	64

国土交通省「港湾統計（年報）平成24年」より筆者作成

表-2 2012年における北陸4県石油製品販売実績

	揮発油(kl)	灯油(kl)	軽油(kl)	重油(kl)
新潟県	1,218,655	676,059	769,819	471,107
富山県	508,873	287,309	310,877	588,110
石川港	620,513	297,486	349,334	211,149
福井港	386,072	156,364	236,920	375,852

石油連盟「都道府県別販売実績」より筆者作成

(3) 東海地方の石油製品の需給状況

北陸地方に同じく、東海地方においてもガソリンの需要と供給の構造を把握する必要がある。表3は石油連名の「石油販売統計」から作成した2012年の東海4県のガソリン販売実績である。一方ガソリンの供給能力については、石油連盟「製油所装置能力」等の資料から独自に推計を行っている（表4参照）。供給能力については、各県に存在する製油所の原油処理能力の情報と原油からのガソリン生成比率を20%と仮定することで算出している。表3と表4を比べると近い値をとっており、愛知県と三重県で生産されるガソリンは東海4県内で消費されていると考えることができる。これより、東海地方は平時においてはガソリンが一定程度自給自足できていると考えられる。「南海トラフ巨大地震」において製油所が被災し生産が停止する可能性は内閣府中央防災会議の被害想定においてもなされている。その場合には、他の地域から災害時に対応した供給ルートを構築しなければならないことを意味している。

表-3 2012年における東海4県揮発油販売実績

	揮発油(kl)
静岡	1,671,737
愛知	3,614,777
三重	1,345,446
岐阜	973,819

石油連盟「都道府県別販売実績」より筆者作成

表-4 愛知県・三重県の年間ガソリン供給能力

	揮発油(kl)
愛知県	1,857,120
三重県	4,468,695

石油連盟「製油所装置能力」等の資料から筆者作成

2. シミュレーション分析

(1) シミュレーション分析の設定

本研究では「南海トラフ巨大地震」の発生を想定し、以下の条件の基にシミュレーション分析を実施した。

- 地震動、液状化、津波等により、愛知県および三重県に立地する製油所が被災し、ガソリンの供給は一切不可能となる。
- 名古屋港等伊勢湾岸の港湾への大型タンカー接岸は地震に伴う影響により不可能となる。
- 愛知県内のガソリンスタンド等におけるガソリンの備蓄は無いものとする。
- 愛知県の全市区町村は平時のガソリン需要の1/3を北陸地方（新潟県、富山県、石川県、福井県）および関東地方からの陸路輸送で解消すると想定する。西日本においてもガソリン不足が生じる可能

性は高く、西日本からの陸路輸送は想定しない。

- 新潟県、富山県、石川県、福井県への石油製品の供給量は平時の3/4とし、残りの1/4は愛知県に供給されるものとする。
- 関東地方からのガソリン供給量に制限は設けない。
- 以下の2つのシミュレーションシナリオを想定する。
 - 「南海トラフ巨大地震」の「基本ケース」が発生しても全国の道路に被害は無く、平時の陸路輸送が可能である。
 - 「南海トラフ巨大地震」の「基本ケース」において、震度6弱以上の地震動に暴露される「土砂災害危険箇所」の存在するエリアと重なる道路は通行不可能である。

1)のケースは、道路の耐震化と土砂災害対策が十分に実施されており、「南海トラフ巨大地震」の発生による道路の機能損傷はないか、迅速な復旧が達成された場合を意味している。2)のケースは、地震動に伴う土砂災害が原因で道路が通行不可能となる場合である。なお、ここで「土砂災害危険箇所」とは都道府県が指定する土砂災害危険箇所（土石流危険渓流、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所）及び雪崩危険箇所の全てを含んでいる。GISで利用するデータは国土交通省が提供する「国土数値情報ダウンロードサービス」を利用した。道路ネットワークデータは「ArcGISデータコレクション 道路網 全国版」を利用した。

(2) GISの利用と配送計画問題

上記の条件とデータから配送経路問題（Vehicle Routing Problem：VRP）を構成し、ESRI社のArcGISのNetwork Analystツールを利用し解析した。

愛知県内のガソリン需要量および各港湾のガソリン供給能力は以下の仮定に基づき設定している。

- 愛知県内の各市区町村毎に1日のガソリン需要量が設定されている。各市区町村毎のガソリン需要量は、愛知県公表の「市郡別保有車両数」に1日当たり平均走行距離（20km/日）を掛け合わせ、それを平均燃費（10km/l）で除すことで求めている。平均走行距離は国土交通省「道路交通センサス」の値を参考としたが、平均燃費と同様に仮定の値である。
- 各港湾にはガソリンを載せるタンクローリーが用意されている。ただしタンクローリーは港湾毎に1台であり、その積載上限は各港湾の1日あたり石油製品移入量の1/4に等しい。本来であれば各港湾に複数のタンクローリーが存在すると仮定すべきであるが、分析の簡便化のため1台としている。しかし、1つの港湾から数台のタンク



図1 「土砂災害なし」ケースにおけるガソリン供給ルート

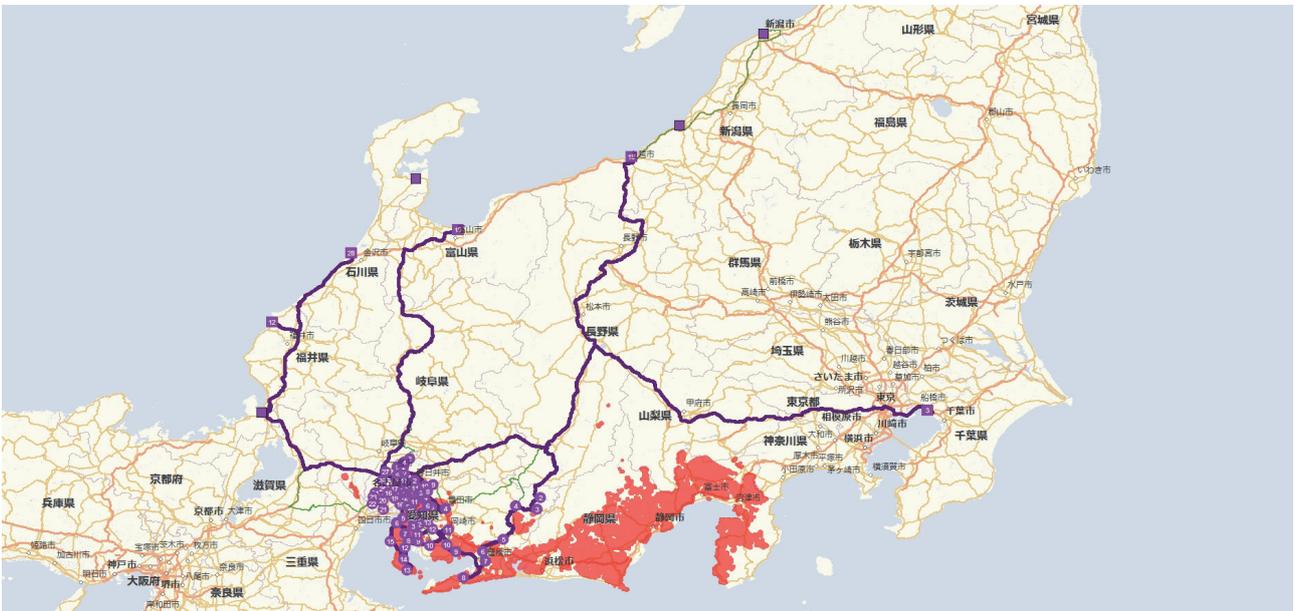


図2 「土砂災害あり」ケースにおけるガソリン供給ルート

ローリーが出発し、ある地点から分散し各市町村にガソリンを供給する方が、より短時間でガソリン供給を達成することに注意が必要である。

- c) 各港湾から出発するタンクローリーは、愛知県内の各市町村を回りガソリンを供給するが、タンクローリーは出発した港湾に1日以内に戻らなければならない。
- d) それぞれのルートは、各タンクローリーに課された制約（積載上限および1日以内での往復）のもと、全体でのガソリン配送時間が最短となるルートとなっている。

3. シミュレーション結果

(1) 各ケースにおけるガソリン供給ルート

以下ではシミュレーション結果を説明する。図1は全ての高速道路等が「南海トラフ巨大地震」に耐えうる耐震化がなされ、かつ道路沿いで土砂災害対策がなされている場合のタンクローリーのガソリン供給ルートを示している。一方、図2は地震に伴う土砂災害リスクを考慮した場合のタンクローリーのガソリン供給ルートを示している。「南海トラフ巨大地震」の被害想定「基本ケース」では、静岡県多くの箇所で震度6弱の地震動が想定されている⁹⁾。震度6弱と国土数値情報に基づく「土砂災害危険箇所」が重なるエリアは図2において赤色で

示されたエリアであり、そこに含まれる道路は通過できないとしている。

図1のルートを見ると、愛知県内のガソリン不足を解消するための効率的な供給ルートは、関東地方の製油所から東名高速道路を利用し供給するルートと、金沢港から北陸自動車道と名神高速道路を迂回し供給するルートであり、この2地域からの同時供給により愛知県内のガソリン不足は全て解消される。図2の供給ルートを見ると、静岡県を横切る東名高速道路が利用できなくなり、関東からの輸送ルートは中央自動車道を通り愛知県内に入ることとなっている。このルート変更により関東からの輸送時間は増加し、これに対応するため北陸主要港から高速道路を利用して愛知県内にガソリンを陸路輸送することが有効となる。具体的には、直江津港からは上信越自動車道と中東自動車道等を通り愛知県内に入っている。伏木富山港からは東海北陸自動車道を通り愛知県内に入っている。金沢港と福井港からは北陸自動車道と名神高速道路を利用して愛知県内に入っている。

(2) 供給先市区町村数と供給量

図3は土砂災害の発生がない場合とある場合での各港湾発のタンクローリーがどれだけの市区町村を回ったのかを示している。既に述べたとおり、土砂災害が発生しない場合、関東地方と金沢港からガソリンが陸路輸送されるが、関東地方から出発したタンクローリーは1日以内に愛知県内45市区町村を回り再び関東地方に戻っている。その際に供給したガソリンの量を図4は示しているが、約1865klとなっている。金沢港から出発したタンクローリーは愛知県内24市区町村を回り、約1020klのガソリンを供給している。一方、土砂災害の発生がある場合、東名高速道路が使えなくなることにより、関東地方の供給先は愛知県内1つの市区町村となり大きく減少する。その代わりに北陸主要港からの供給が大幅に増加する。最も供給量が大きい港湾は金沢港であり、26の市区町村に1057klのガソリンを1日に供給する。続いて伏木富山港および直江津港、福井港が続く。なお、敦賀港および七尾港はシミュレーション時における石油製品移入量が2012年のデータにおいてゼロないしは低い値であったため利用されていない。新潟県の柏崎港と新潟港については愛知県から距離があるため、関東地方からの陸路輸送が優先され利用されていない。

4. シミュレーション結果の含意

(1) 太平洋沿岸の高速道路の重要性

「土砂災害なし」のケースと「土砂災害あり」のケースのシミュレーション結果から、静岡県の太平洋沿岸部を通過する東名高速道路が利用不可能となると、関東

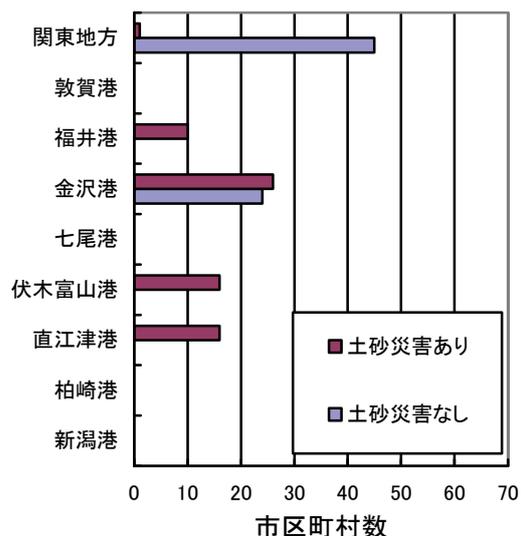


図3 供給先市区町村数 (港湾・エリア別)

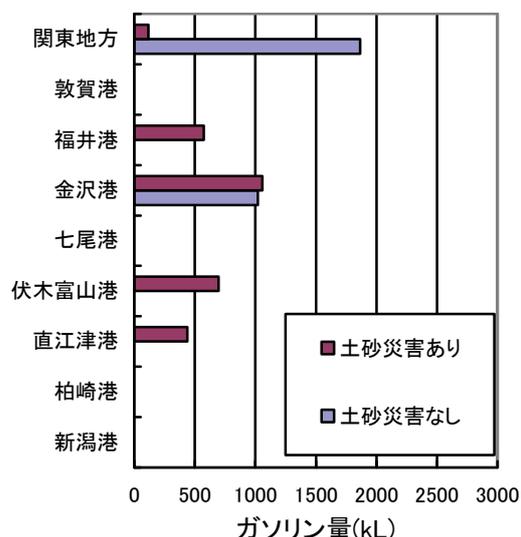


図4 ガソリン供給量 (港湾・エリア別)

地方からのガソリン陸路輸送が大幅に減少し、代わりに複数の北陸主要港からの陸路輸送が増加した。土砂災害による通行不可能区間が存在する分、「土砂災害あり」ケースにおける供給ルートは「土砂災害なし」ケースにおけるルートよりも非効率的である。また北陸主要港からの陸路輸送の増加の程度は東名高速道路の重要性を示している。今回は「南海トラフ巨大地震」の基本ケースにおいて震度6弱以上の地震動があり、かつ「土砂災害危険箇所」に指定されているエリアを横切る道路は通行不可能と設定している。つまり地震動に伴う土砂災害対策を徹底し、「南海トラフ巨大地震」が発生しても東名高速道路が利用できれば愛知県のガソリン不足を効率的に解消することができることを意味している。以上より

東名高速道路の土砂災害対策は災害時物流を考えた場合重要となる。また今回のシミュレーション分析では取り扱わなかったが、東名高速道路に近い新東名高速道路の耐震化および土砂災害対策の重要性もシミュレーション結果から読み取ることができる。

(2) 北陸主要港の移入能力の重要性

前節において静岡県沿岸部の高速道路の土砂災害対策について述べたが、「南海トラフ巨大地震」の被害想定では静岡県は広い範囲で震度6強以上の揺れが想定されている。そのため安全点検等のため一定期間において通行不可能となる可能性がある。その場合、シミュレーション結果で示されたように北陸地方の主要港およびそれらと愛知県を結ぶ高速道路が石油製品輸送にあたり重要な役割を果たす。北陸地方整備局等により、北陸地方が「首都直下地震」や「南海トラフ巨大地震」のバックアップ機能を担う体制構築が進められている。シミュレーション結果より北陸地方は災害時物流の拠点となりうることを示されている。今後はそれを担うことができる港湾機能の更なる拡充と、東海地方および関東地方とを結ぶ高速道路の耐震化や維持管理が、災害時物流においては重要性を持つと考えることができる。

(3) タンクローリーの確保に関わる問題

本研究で明示的に考慮していないが、ガソリン等石油製品を運搬するタンクローリーをいかに迅速に災害時対応のために確保するかという問題がある。実際に東日本大震災では多くのタンクローリーも津波被害を受けたため、日本海側からのガソリン等の陸路輸送を制限した。図5は都道府県別のタンクローリー数であるが、愛知県や三重県にあるタンクローリーを、発災後に石油製品が供給

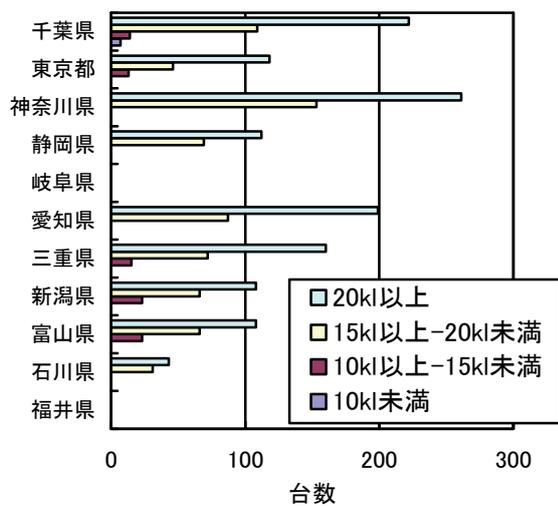


図5 平成24年都道府県別タンクローリー数

可能な場所に再配置できる工夫が石油製品の陸路輸送を実現させる重要な要素となることに注意が必要である。

4. おわりに

本研究は「南海トラフ巨大地震」が発生した場合を想定した、被災地域への石油製品の陸路輸送に関する試行的研究である。特に愛知県におけるガソリン不足を北陸地方および関東地方からの陸路輸送により解消するシナリオに絞り、配送計画問題の枠組みにおいて分析を行った。本研究結果から得られた含意は以下の通りである。

- 1) 「南海トラフ巨大地震」に伴う土砂災害対策を東名・新東名高速道路に対して確実に実施することにより、愛知県のガソリン不足を関東地方からの陸路移送により効率的に解消できる可能性がある。
- 2) 東名・新東名高速道路沿いの土砂災害リスクを考慮した場合、北陸地方の主要港と愛知県を結ぶ高速道路が愛知県へのガソリン輸送にとって重要となる。そのためこれら高速道路の耐震化の促進と維持管理が重要であるとともに、北陸主要港の港湾機能拡充も重要となってくる。今回の研究は愛知県のガソリン不足だけを取り扱ったが、今後は分析対象を全国に広げ解析を行い、より包括的なガソリン等石油製品の災害時輸送シナリオの構築と評価を行う予定である。

謝辞：本研究は、平成25年度「NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金」の助成を受け実施したものである。

参考文献

- 1) 赤松隆・山口裕通・長江剛志・稲村肇：「東日本大震災後の東北地域における石油製品不足と輸送実態の把握」, 運輸政策研究, pp.31-41, 2013.
- 2) 中部地方幹線道路協議会「道路管理防災・震災対策検討分科会」:平成24年度「中部版くしの歯作戦を策定」, 2013.
- 3) 齋藤輝彦・阿部武・伴孝宏・中村昂雅：「太平洋側地域が被災した際に北陸地域が担う広域バックアップ体制の構築に向けて」, 平成25年度北陸地方整備局 事業研究発表会, pp.1-6, 2013.
- 4) 内閣府中央防災会議：「南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）～施設等の被害～【被害の様相】」, 2013.
- 5) 内閣府中央防災会議：「南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）」, 2013.