

東日本大震災時の東北地域の ガソリン不足の軽減方策とその経済効果の推計

山口裕通¹・長江剛志²・赤松隆³・大澤実⁴

¹学生会員 東北大学大学院 工学研究科 博士後期課程 (〒 980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1)

E-mail: h-ymgc@plan.civil.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学大学院准教授 工学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻青葉 6-3-19)

E-mail: nagae@m.tohoku.ac.jp

³正会員 東北大学大学院教授 情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻青葉 6-6-11)

E-mail: akamatsu@plan.civil.tohoku.ac.jp

⁴学生会員 東北大学大学院 情報科学研究科 博士後期課程 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻青葉 6-6-11)

E-mail: osawa@plan.civil.tohoku.ac.jp

東日本大震災では、石油精製・輸送施設が広域で被災したために、東北地域は長期にわたって深刻なガソリン不足に直面した。これにより、救援・復旧活動が著しく妨げられただけでなく、東北地域全体の社会・経済活動が大きく低下した。本研究では、ガソリン販売統計と港湾間の移出入統計を用いて、東北地域における震災後一ヵ月間のガソリンの需給ギャップを分析し、ガソリン不足の主要因が供給サイド（特に西日本からの転送の失敗）にあったことを示す。その上で、日本海側港湾を活用してガソリンを早期に大量供給する戦略を提案し、その戦略によってガソリン不足がどのように軽減されるかを示す。結果として、早期・大量のガソリン転送戦略に必要な追加的陸上輸送費用は高々2〜3 億円程度なのに対して、経済効果（i.e., ガソリン不足による経済損失の減少量）は1500〜2500 億円に上ることを明らかにした。

Key Words: *the Great East Japan Earthquake, gasoline shortage, spatio-temporal analyses, demand-supply gap, gasoline logistics, post-disaster measures*

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の後、東北地域は長期に渡って深刻なガソリン不足に直面した。多くのガソリン小売店（以下、「SS」）は在庫を使い果たして営業を停止し、わずかに営業している SS には数 km もの待ち行列が発生した。このガソリン不足は、地震・津波による直接の被害を免れた日本海側にも波及した。こうした状況が1ヶ月に渡って継続し、その間、多くの消費者が十分なガソリンを獲得できなかった。これにより、救援・復旧活動が著しく妨げられただけでなく、東北地域全体の社会・経済活動が大きく低下した。特に、東北地域は通勤における乗用車の分担率が高く、このガソリン不足は労働機会損失の直接の原因となった。本論文で明らかになるように、これによって数千億円の経済損失が生じたと推測される。

筆者らは、既発表の論文¹⁾において、こうしたガソリン不足を定量的に把握し、入手可能なデータのみから観測される以下の事実から、ガソリン不足の主たる原因が、供給サイド、特に、ガソリン輸送戦略の失敗にあったことを明らかにした。(1) 3 月における東北地域のガソリン販売量が前年比で約 30%減少した。特に、太平洋側の宮城県では3 月のガソリン販売量が前年比

の半分にまで減少した。こうした大規模なガソリン不足を(局所的・一時的な)買いだめやパニック行動だけで説明するのは無理がある。(2) 地震およびそれに伴う津波によって、東北地域で唯一の製油所および太平洋側の油槽所が機能を停止し、長期に渡って利用できなくなった。これにより、東北地域でのガソリン供給は、被災していない他地域からの転送に頼らざるを得なくなった。(3) しかしながら、震災後の1ヶ月間に実現した転送が、生産能力および受入能力の観点からは充分とは言えなかった。東北地域でも日本海側の港湾設備は地震や津波による直接の被害を受けておらず、震災から数日で平常時と同程度の受入能力を回復していたと考えられる。それにも関わらず、他地域からこれらの日本海側港湾へのガソリン移入量を震災前後1ヶ月間で比較すると、 $27 \times 10^3 \text{kl}$ 程度しか増えていない¹。これは、被災していない地域における日次生産余力（i.e. 1 日あたりのガソリン生産能力のうち稼働していない量）で換算するとわずか1 日分でしかなく、日本海側港湾の1 日あたりの受入容量（i.e. 震災後に最も多く受け入れた1 日あたりのガソリンの量）で換算するとわずか3

¹ なお、陸路・鉄道輸送も緊急的に行なわれたが、筆者らが示したように²⁾、その輸送量は東北地域全体の需要量に比べると微々たるものだった

日分程度でしかない。これらの事実²は、ガソリン不足（ひいてはそれに伴う経済損失）が深刻化・長期化した原因が、他地域から東北地域への大量のガソリン転送が実現しなかったためであることを示唆している。

広域的なガソリン転送が実現しなかった原因は、震災後に取られた経済産業省の対策にあると考えるのが自然である。経済産業省が採用した対策は以下のように整理できる。第1に、経済産業省は、消費者に対して不要不急のガソリンの購入を控えるように呼びかけた。しかし、ガソリン不足の主たる原因は上述のように需要の増加ではなく供給の減少にあるため、これはガソリン不足の直接の解決策とはならない。第2に、経済産業省は、ガソリン不足への局所的な対応に終始した。具体的には、津波によって大打撃を受けた太平洋沿岸部の市町村については、それぞれの局所的なガソリン不足を解消すべく、個別の要請に基づいたきめ細かい対応を行っていた。その一方で、大域的な対応については「西日本をはじめとする他地域から東北地域へ1日あたり $20 \times 10^3 \text{kl}$ の石油製品を転送する」と発表した³のみで、その具体的な方法については明確にせず、私企業の voluntary な活動に任せていた。その結果、西日本から東北地域へ転送された石油製品は、1ヶ月でたった 5.6 万 kL しか転送されなかった。第3に、経済産業省は、解消されないガソリン需要を「フロー」と捉えており、1日あたりの移入量や販売量のみに着目していた。このことは、震災発生2週間後の3月25日付の政府発表の中で「ガソリンの1日あたり販売量が平常時の98%に達した」ことをもって「ガソリン不足が解消した」かのように報告している⁴ことから読み取れる。しかし、後述するように、これは重大な誤解であり、ガソリン不足の把握およびその解決方法の立案に支障をきたし得る。

総じて、経済産業省は、ボトムアップ型の対応に終始したと言える。しかし、直感的にも明らかのように、震災直後に国家的な規模の広域・大量のガソリン輸送を実現するには、下記のようなトップダウン型の対応が必要不可欠である。第1に、ガソリン需要を抑制するのではなく、供給の強化を優先すべきである。とりわけ、需要増加がガソリン不足の原因ではない場合、需要を抑制することは、家計に自動車を用いた経済活動（e.g. 乗用車による通勤）を控えさせ、機会損失を拡大させ得る。第2に、局所的な対策よりも大域的な対策を重視すべきである。具体的には、個々の市町村からの個別の要請に対応するのではなく、被災地域全体のマクロな供給体制を強化するための具体的な解決方法を立案する必要がある。第3に、未解消需要を「ストック

ク」として認識し、その特性を考慮した対策を行うべきである。ある日に解消されなかったガソリン需要は、（少なくともその一部が）翌日へと繰り越されるストックであり、夜が明けるたびにリセットされるフローではないからだ。こうしたトップダウン型の計画を策定・検討するためには、(1) 今回の東日本大震災で生じたガソリン不足の実態を把握し、(2) 実現可能な戦略の下でどの程度ガソリン不足が軽減し得たのか、を定量的に分析することが必要不可欠である。

そこで、本研究では、（他地域からの転送などによって）日本海側港湾へのガソリン移入量を早期に増加させた場合に、東北地域の各市町村のガソリン不足およびそれに伴う経済損失がどの程度緩和されるのかを推計する。具体的には、まず、震災前後の東北地域のガソリン流通データから、各市町村の潜在的なガソリン需要および各港湾の受け入れ能力を推計する。次に、未解消需要をストックとして表現する累積図アプローチを用いて、ガソリン需給ギャップを分析する方法を提案する。そして、未解消需要の時空間分布を推計するモデル¹⁾を用いて、日本海側港湾へのガソリン移入量の増加による需給ギャップの変化を定量的に評価する。最後に、この結果を用いて、(1) ガソリン不足の緩和による経済効果（i.e. 経済損失の減少額）および(2) 増加させたガソリンの陸上輸送に必要な追加的費用を推計する。これにより、早期・大量のガソリン転送に必要な追加的陸上費用は数億円程度でしかないのに対して、その経済効果は数千億円のオーダーに上ることが明らかにされる。

本稿は以下のように構成される：**2.**で東日本大震災によって、東北地域におけるガソリン供給体制がどのように損なわれたかを概観した上で、以降の分析に利用するデータについて解説する。このデータに基づいて、**3.**では、震災後の東北地域においてどの程度のガソリンの需給ギャップが生じたかを明らかにする。そして、**4.**で市町村ごとのガソリン需給ギャップの推移を推定するためのモデルを定式化する。以上までの内容は、既発表の論文¹⁾の一部を抜粋・要約したものである。続く2つの節において、適切な輸送戦略によってこのガソリン需給ギャップがどの程度改善されるか、ひいては、それによって経済損失がどの程度減少するかを推計する。まず、**5.**で輸送戦略の分析手法を述べる。そして、**6.**で各輸送戦略の効果とそれにかかる費用を推計する。**7.**で結論を示す。なお、本研究では、既存のインフラ（油槽所容量や道路ネットワーク）を最大限活用する立場を取る。これは、ガソリン備蓄施設の増強や基幹道路の耐震化といった長期的視野に立った「事前の対策」を効率的に行なうためには、事後に生じた状態に対して状況依存的に最適な運用が行なわれる必

² そもそも、こうした事実が日本政府から殆ど発表されなかったことが、我々の研究動機である。

要があるためである。

2. 背景

(1) 日本の石油製品輸送

日本における石油製品の供給フローを簡単に説明する。まず、石油製品は製油所と呼ばれる工場で原油から精製される。製油所からSS等小売店までの供給フローは、大きく2パターンに分けられる。第1のパターンでは、製油所からタンクローリーによって直接SS等小売店へ供給される。そして、第2のパターンでは、油槽所と呼ばれる輸送拠点を經由して供給される。このとき、製油所から油槽所までの輸送は主に船舶（タンカー）が用いられるが、内陸部に油槽所が立地している場合には鉄道（タンク車）が用いられる。そして、油槽所からSSへの輸送にはタンクローリーが用いられる。

(2) 東日本大震災による我が国全体の製油所の被災

日本の製油所の立地は、図-1 に示すように大きく5つのエリアに分けられる。中でも、西日本および関東に多くの製油所が集中していることがわかる。また、東北地域には仙台製油所1ヵ所しか存在しない。東日本大震災による製油所の被災状況を簡潔にまとめておこう。まず、東北地域では唯一の仙台製油所が被災し長期間稼働停止した。次に、日本全体では、仙台製油所以外に関東エリアで5ヵ所の製油所が被災により稼働を停止した。ただし、停止した5ヵ所のうち、被害が小さかった3ヵ所は発災後数日で再稼働している。結局、被災により長時間稼働停止に追い込まれた製油所は東北・関東エリアの計3ヵ所で、その原油処理能力は日本全体の約13%である。

以上の被災状況から、長期間失われた製油能力は限定的であり、製油所の被災は石油製品不足の根本的な原因でなかったことがわかる。震災前の日本では省エネルギー化や他エネルギーの転換等による石油製品の需要減少の中で、余剰の精製能力を抱えており、稼働率は近年では80%を下回る状態であった^{5),6)}。このことから、被災していない製油所の稼働率を高めることで、製油所の被災に対応して日本全体としての石油製品量を確保することができた。従って、東日本大震災時の石油不足は、被災による生産地域の空間的な変化に応じて輸送量・輸送パターンを変更できなかったことが最も根本的な原因であったと推測される。

(3) 東北地域の主要油槽所の被災

通常時、東北地域のSS等小売店に対しては、仙台製油所からのタンクローリーによる直接供給か、東北地域の油槽所を介した他地域からの供給が実施されてい

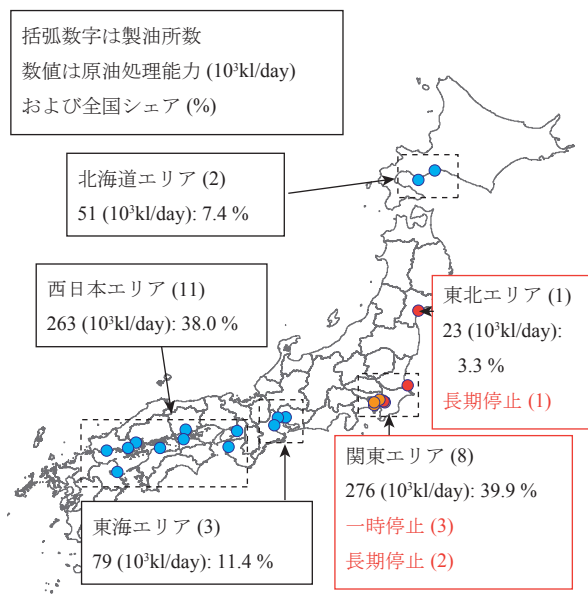


図-1 エリアごとの製油所数・製油能力とその被災状況

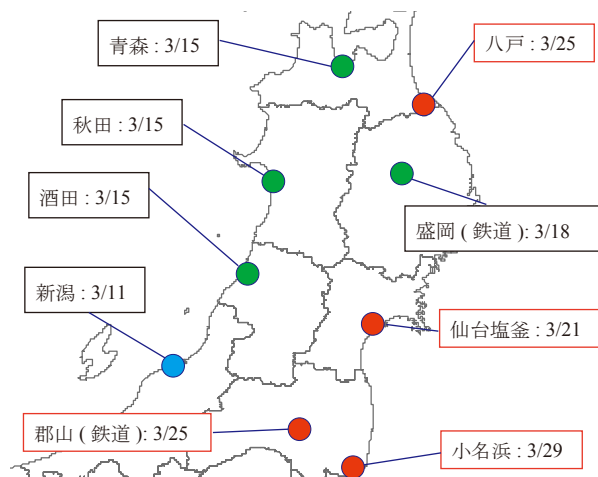


図-2 東北地域の主要油槽所と入荷再開日

た。東北地域の主要油槽所の立地を 図-2 に示す。油槽所の多くは、石油製品を製油所から船舶で入荷できる港湾に立地している。内陸にある盛岡・郡山油槽所に対しては、仙台あるいは他地域の製油所から鉄道を用いて輸送される。発災後の東北地域では、仙台製油所の被災により製油所からの直接供給が不可能となったため、必要な石油製品の全量を他地域の製油所から輸送せざるを得ない状況となっていた。

東日本大震災による、東北地域内の油槽所の被災状況を整理する。図-2 に示した入荷再開日からわかるように、東北地域では新潟油槽所を除くすべての油槽所が、発災後に一時入荷ができない状態となった。この期間は新潟や他の地域からタンクローリーで輸送するしかなかった。しかし、タンクローリーの容量・台数の制約から、輸送できた量はごく僅かであったと考

表-1 2010 年と 2011 年の 3 月都道府県別ガソリン販売実績 (10³ kl)

	青森県	岩手県	宮城県	山形県	秋田県	Total
〈A〉 2010	36	37	81	32	29	214
〈B〉 2011	33	27	39	28	23	150
〈B〉/〈A〉 %	90	72	48	87	82	70

えるのが自然である²⁾。発災後 3, 4 日後になると、日本海側の港湾に隣接する青森、秋田、酒田の油槽所が入荷を再開している。太平洋側の港湾に隣接する八戸、仙台・塩釜、小名浜といった油槽所は、津波被害により入荷再開までに早い箇所でも 10 日を要した。つまり、太平洋側に石油製品を供給するためには、日本海側の油槽所から転送するしかない時期が存在したことが分かる。

(4) 利用データ

3. では、石油製品の輸送状況と需給ギャップを把握するために、石油製品販売量データと石油製品輸送データを用いる。まず、石油製品販売量データは、SS 等小売店から消費者に販売された石油製品量が都道府県別月毎にわかるデータである。これは、経済産業省がまとめている資源・エネルギー統計¹⁾の一部である。次に、石油製品輸送データは、船舶による輸送データおよび鉄道による輸送データからなる。船舶による輸送データは、他地域製油所から東北地域の港湾へのオイルタンカーによる輸送について、その日時、量、石油品種がわかる、詳細な O-D データである。

本論文では、分析対象とする石油品種は、石油製品の中でも交通関係や一般家庭において燃料として利用されるガソリンとする。また、対象地域は福島県を除く東北 5 県（青森・岩手・宮城・秋田・山形）とする。福島県は、原発事故の影響で多くの人が移動し、震災時の地域毎の需要量の推計が困難なため、除外する。

3. 震災後の東北地域におけるガソリン需給ギャップ

(1) 東北地域のガソリン販売量

東日本大震災の影響を、2011 年度 3 月期の石油製品の品種別販売量と 2010 年度の同期間を比較することにより見てゆこう。3 月販売量のうち、発災後の期間（3 月 11 日～31 日）のみを取り上げると表-1 が得られる。ここで、〈B〉は 2011 年 3 月 11 日～31 日の推定販売量、〈A〉は 2010 年同期間の推定販売量である。

表-1 から、全ての県について震災発生後 3 月期の販売量が減少していることが観察できる。東北地域全体

のガソリン販売量は前年比 70% 台まで落ち込み、発災後の東北地域は非常に深刻な状況にあったことが窺える。特に、太平洋側の宮城県では前年比 50%未満に激減した。このように販売量が大きく減少した要因として、震災による自動車被害や心理的影響等によって消費者の需要量が減少した可能性もある程度は考えられる。しかし、それだけで、これほど大きな変化をもたらすとは考えにくい。むしろ、これらの地域では供給施設被災により供給量が不足し、その制約により本来の需要が実現できなかった、すなわち、販売量 = 供給量が本来の需要量を下回っていたと考えるのが自然である。表-1 から観測される、油槽所等の石油供給施設の被害が軽微であった秋田・青森県の販売量は減少率が少ないという事実も、この解釈を裏づけている。この点については、(2),(3) でより詳しく議論する。

(2) 東北地域へのガソリン輸送量

本節では、港湾移出データおよび港湾移入データを利用し、発災後、製油所から（福島県を除く）東北地域油槽所に輸送されたガソリンの輸送パターンとその時系列変化を把握する。(1) では他地域港湾（製油所）から東北地域へのガソリンの移出量を、(2) では東北地域港湾（油槽所）における移入量を分析する。

a) 他地域港湾からの移出量

まず、発災後、全国の製油所から東北地域の油槽所向けに移出されたガソリンの輸送パターンを示す。表-2 は、発災前 1 ヶ月間（2011 年 2 月 10 日～3 月 11 日）および発災後 1 ヶ月間（同 3 月 12 日～4 月 11 日）のそれぞれについて、各製油所港湾からの東北地域向け移出量を地域毎に集計したものである。

表-2 から、他地域からの東北地域向けガソリン移出量が発災前後で大きく変化したこと、および、その変化の地域別傾向がわかる。第 1 に、発災後の出荷量が大きく減少した。第 2 に、発災前は全体の半分以上を占めていた関東地方からの移出量が、約 1/3 に激減した。

これは、関東地域太平洋岸の製油所が大きな被害を受けたことにより、関東地域も石油不足の状況にあったことが原因となったと考えられる。第 3 に、北海道・東海・西日本地域からの移出量が発災後に増加した。関東地域からの移出減少に対して、これらの地域の移出増

表-2 発災前後1ヶ月の東北地域へのガソリン移出量比較
(10³ kl)

	北海道	関東	東海	西日本	その他	Total
発災前	84	145	7	9	12	257
発災後	132	53	15	19	1	219
増減量	48	-92	8	10	-11	-38

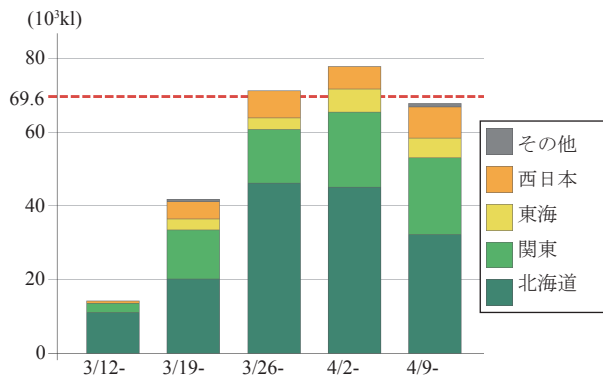


図-3 発災後の他地域港湾からの週別ガソリン移出量の推移

加によって対応したと考えられる。特に北海道地域からの増加が著しく、西日本地域からの増加は全体と比較すれば僅かである。この傾向は、石油製品全体においても同様であり¹⁾、2011年3月17日の経済産業大臣の会見³⁾およびそれ以降の経済産業省の発表⁴⁾と比較すると、驚くべき事実である：経済産業省は、西日本の製油所から一日あたり約2万klのガソリン等を東北地域に転送する、すなわち、東北地域で必要な量の大半を西日本から転送すると発表していた。しかし、実際には発災後1ヵ月間に西日本から輸送された量は、政府発表の3日分(6万kl)にも満たなかった。このことから、政府・経済産業省と実際に石油輸送計画を立案・実施した各石油会社の間での情報交換・対策方針の調整が十分ではなかったと推測される。

次に、他地域港湾からのガソリン移出量の時系列推移を確認する。図-3は、全国の製油所から東北地域の油槽所向けの週別ガソリン移出量を、発災後5週の間について示したものである。図-3から、第1に、発災後2週間は総移出量が平常時の東北地域におけるガソリン需要量と比較して極めて少ないことがわかる。具体的には、平常時週需要量(図中赤色の破線)に対して、1週目は約2割、2週目は約6割しか輸送されていない。第2に、発災後3、4週目の総移出量は、平常時需要を満たすまでに回復していることがわかる。この発災後3、4週目の移出量の回復は、主として北海道地域からの移出の伸びによることが観察できる。発災後2週目以降、西日本地域からも移出が見られるが、北海道地域の増加に比するとその寄与は小さい。第3に、関

表-3 発災前後1ヶ月の東北地域へのガソリン移入量比較
(10³ kl)

	青森	秋田	酒田	八戸	仙台塩釜	Total
発災前	52	45	18	54	89	257
発災後	51	72	19	16	62	219
増減量	-1	27	1	-38	-27	-38

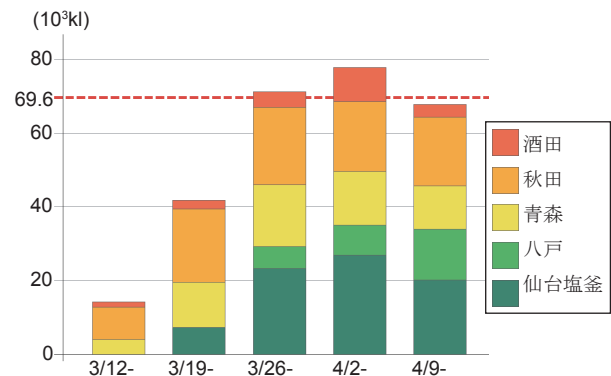


図-4 発災後の東北地域港湾の週別ガソリン移入量の推移

東地域からの移出量が継続的に増加していることがわかる。しかし、既に表-2に見たように、発災後1ヵ月間の移出量は総量としては発災前の水準から大幅に減少している。

b) 東北地域港湾への移入量

表-3では、各油槽所における発災後1ヵ月間の移入量と発災前1ヵ月間の移入量を比較している。この表から以下の3点が読み取れる。第1に、津波被害を受けた太平洋側港湾(八戸港・仙台塩釜港)の移入量が激減していることがわかる。太平洋側港湾は発災前1ヵ月間では東北地域における全石油製品移入量の約1/2を占めていたが、発災後1ヵ月間では全体の約1/5を占めるに過ぎない。第2に、日本海側港湾(秋田港)では、発災前より多くの石油製品量が移入されていることが確認できる。しかし、これらの増加は太平洋側港湾における減少を賄うには程遠い量であることもわかる。第3に、発災後約10日間移入が停止していた仙台塩釜港においては、ガソリンの移入量が大幅に減少した。

図-4は、東北地域各油槽所におけるガソリン週別移入量を発災後5週の間について示したものである。図-4から、発災後2週間は、太平洋側の八戸港と仙台塩釜港が殆ど利用できず、日本海側の秋田港・青森港・酒田港のみが機能していたことが見て取れる。特に秋田港は、発災後2週間の総移入量の約1/2を占めるなど、中心的な役割を果たしている。しかし、これら日本海側港湾における移入量の増加は、東北地域全体で見れば十分ではなく、明らかな供給量不足であった。2~4週目にかけて太平洋側の仙台塩釜港・八戸港が復旧す

るに従い、これらの港湾の移入量が徐々に伸び、平常時需要に見合うだけの入荷が可能となった。結局、太平洋側の仙台塩釜港および八戸港が機能を十分回復するまでは、東北地域全体への石油製品の供給は十分になされなかったといえる。

なお、図-3 や 図-4 から東北地域での石油不足が解消した時期を読み取る際には、注意が必要である。図-4 では、発災後3週目以降は移出量が増加し、一見、石油不足は解消しているように見える。しかし、この時点では1週～2週目に購入できなかった消費者の需要が持ち越されている（“待機需要”が残っている）ことに注意しよう。発災後3週目の供給量は、3週目に新たに発生したフローとしての需要には対応できても、ストック変数である待機需要まで解消しうる数量ではない。この点については、次の(3)で詳しく検討する。

(3) 東北地域における集計的需給ギャップ

本節では、石油製品の販売量と輸送量データを組み合わせ、東北地域全体でのガソリンの在庫放出量、需給ギャップ、消失需要を分析する。累積図を活用したこれらの分析により、発災後の石油不足が1ヵ月近くもの間続いた理由が明らかとなる。

この分析のために、まず、「需要量」および「供給量」を以下の様に定義し、推計した。「需要量」については、2010年3月の月間販売量を日販売量に換算したものを本来の一日当たり消費量（i.e., 十分な供給がなされた場合の消費量）と想定し、これを潜在日需要量と呼ぶ。そして、この累積量を累積潜在需要量と定義する。「供給量」は、油槽所における移入量に「在庫放出量」を加えたものと定義する。この「在庫放出量」は、個別の油槽所・SSについては不明であるが、東北地域全体であれば、対象期間内で成立すべき関係：累積販売量＝累積移入量＋在庫放出量を用いて求めることができる。すなわち、3月発災後の販売量から左辺の累積販売量（i.e., 表-1 に示した県別販売量の総和）を、石油製品輸送データから右辺の累積移入量を、それぞれ計算すれば、発災直後から3月31日までの在庫放出量を推計できる。その結果、東北地域全体での在庫放出量は約14(10³kl)と求められた。これは、平常時（2010年3月）の1日当たり実績販売量に換算すると、約1.4日分である。以降では、東北地域における「供給量」は、東北地域にある油槽所の移入量に、1.4日分の在庫放出分を加えたものとする。

上で推計した需要量および供給量の差（需給ギャップ）を分析しよう。図-5 に累積潜在需要量（赤色の破線）、累積移入量（青色の破線）、および累積供給量（青色の実線：累積移入量＋在庫1.4日分）を示す。この図では、発災直後2日間は潜在需要量に応じて在庫が供給

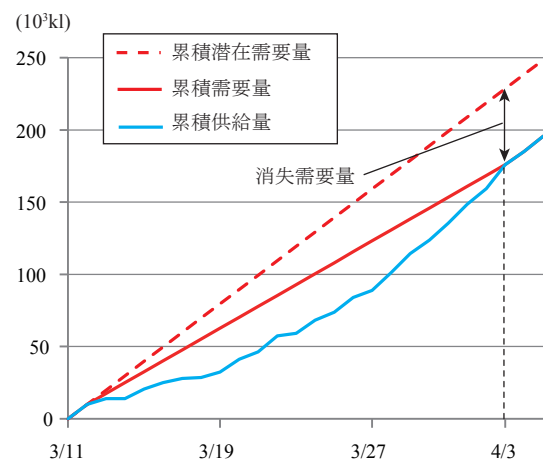


図-5 ガソリンの累積供給量、累積需要量と消失需要量

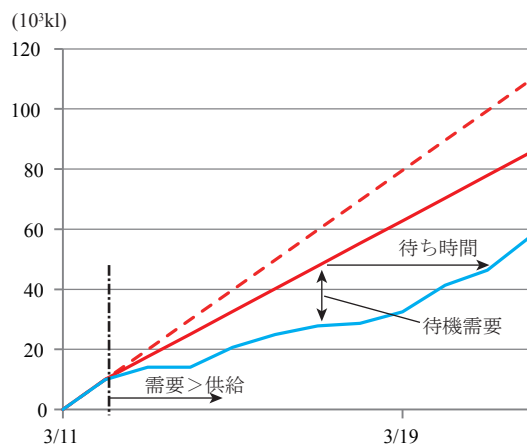


図-6 待機需要の推移 (図-5 の一部を拡大)

され、在庫がすべて放出された後は、移入量に等しい供給がなされると想定している。図-5 から、累積潜在需要曲線が常に累積供給曲線の上に位置することがわかる。これは、仮に潜在需要量が実現していたならば、供給量が不足し続けることを意味する。しかし、現実には遅くとも4月半ば頃にはSSの行列や在庫切れの状態は解消されている。このことから、消費者は潜在需要の一部については、入手を諦めたと考えられる。本論文では、この消費者が諦めた需要を「消失需要」と定義する。

消失需要量が存在したと考えると、実際に実現した消費者の需要量は、累積潜在需要量より少ない量となる。ここで、4月3日に供給不足が解消したと仮定し、日当たりの需要量は一定であったと想定した場合の累積需要量を図-5 に示す（赤色の実線）。この場合、供給不足が解消するまでの需要量は、潜在需要量の約66%となり、この累積需要量と累積潜在需要量の差が消失需要量である。供給不足が解消したと仮定した時点（4月

3日)での消失需要量は約54(10³kl)であり、潜在日需要量に換算すると約5.4日分である。これは、東日本大震災により、ガソリンに換算して約5.4日分のガソリン需要に対応する社会・経済活動が失われ、膨大な経済的損失が発生したことを意味する。

さて、図-5の一部期間(3月11日~20日)を拡大表示した図-6を用いて、累積需要量と累積供給量の“ギャップ”を見てゆこう。図に示される2本の累積曲線のギャップから、石油製品購入のための“待機需要”(待ち行列)の推移を読み取ることができる。より具体的には、図-6の累積需要曲線と累積供給曲線の間の垂直方向の距離は“待機需要量”を表し、水平軸方向の距離は石油製品を購入するために必要な“待ち時間”である。個別のSSに発生した行列は、この集計的な“待機需要”の一部が顕在化した現象といえる。ここで注意すべきは、フロー変数としての供給量が需要フローに追いつき、さらに上回ったとしても、ストック変数である“待機需要”は、すぐには消えないことである。実際、3.(2)でも見たように、3月26日頃には供給フローが需要フローに追いついているが、図-5から判るよう、それまでの供給不足で大きく溜まった待機需要の解消にはその後1週間を要している。これが、東北地域の各地で石油製品不足が長引いた基本的な理由である。

以上の分析から明らかなように、東北地域における石油製品不足を軽減するために本質的に必要とされた対策は、供給サイドの制約を少しでも緩和することであった。まず、発災当初より、可能な限り待機需要を発生させないよう、日本海側から太平洋側へ十分な陸上輸送を行うべきであった。次に、3月21日の仙台塩釜港の移入再開以降は、蓄積された待機需要を減少させるべく、より積極的な石油製品供給が必要であった。具体的には、平常時の需要量/日以上供給量/日を維持する必要があった。もしこのような方策が実施されていたならば、待機需要は早期に解消し、石油製品不足は長期化しなかったであろう。

しかし、実際には待機需要を考慮した供給サイドの能力強化は十分にはなされなかった。その代わりに、需要サイドに制約を課す対策がとられた。東北地域では、発災後1ヵ月間以上にわたって、政府および石油連盟から、消費者へ「石油製品の不要不急の購入」を控えるよう要請する広報活動が続けられた。だが、本節の分析で示されたように、東北地域で発災後に顕在化した需要は、本来の需要が供給制約によって大きく抑制されたものであった。つまり、東北地域における発災後の顕在需要の大半は、「不要不急の購入」などではなかった。従って、石油製品の買い控えを求める需要サイドへの広報活動は、本来必要な経済活動を抑制してしまう可能性の高いものであったといえる。つまり、東日本大

震災における本質的な問題 – 需要消失による社会・経済活動の抑制がもたらした膨大な経済的損失 – を助長する方策であったと言わざるを得ない。問題を根本的に解決するためには、初期の圧倒的な供給量不足を緩和するとともに、蓄積された待機需要を早期に解消するための、供給サイドの施策が必要不可欠であった。

4. 需給ギャップの時空間分布推定モデル

本節では、ある離散時点列上で、各市町村のガソリンの需給ギャップがどのように進展するかを記述するモデルを概観する。本モデルは2つのサブモデル – 需要・供給ストック動学モデルとガソリン配分モデル – で構成される。前者はある時点から次の時点にかけて、各市町村における未解消需要がどのように変化するかを記述する。後者は、ある時点内において、各油槽所に移入されたガソリンが各市町村にどのように配分されるか(i.e. 当該時点の各市町村での供給フロー)を記述する。

ここでは、震災発生日(3月11日)を $t = 0$ 、ガソリン需給が正常化した時点を T とし、長さが1日の離散時点集合 $T := \{1, 2, \dots, T\}$ を考える。分析対象地域内の油槽所(起点)および市町村(終点)の集合を、それぞれ、 O および D で表す。

上述の枠組の下で、時点間の未解消需要のダイナミクスは、以下のように記述される。市町村 $j \in D$ について、時点 $j \in D$ の期末における未解消需要ストックを $X_j(t)$ で表し、そのダイナミクスを以下の差分方程式で表す：

$$\begin{aligned} X_j(t) &= (1 - \beta \Delta t) X_j(t-1) + \{r_j(t) - s_j(t)\} \Delta t, \\ &t = 1, 2, \dots, T, \\ X_j(0) &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $r_j(t)$ は単位時間あたりに発生する潜在的なガソリン需要であり、 $s_j(t)$ は単位時間あたりのガソリン供給量である。 β は、ある時点から次の時点にかけて単位時間あたりに消失する未解消需要の比率を表す所与の定数であり、消失率と呼ぶ。 $\{r_j(t) : t \in T\}$ はモデル入力、 β はパラメータであり、それぞれ、次節に述べる方法によって推計される。一方、 $\{s_j(t) : t \in T\}$ は内生変数であり、後述するガソリン配分モデルによって決定される。

ガソリン配分モデルは、ある時点内において、東北地域の各油槽所に移入したガソリンが、各市町村にどのように配分されるか(i.e. 当該時点の各市町村での供給フロー)を記述するモデルである。時点 $t \in T$ において、単位時間あたりに油槽所 $i \in O$ に移入されたガソリンの量(i.e. 供給可能なガソリンの量)を $p_i(t)$ で

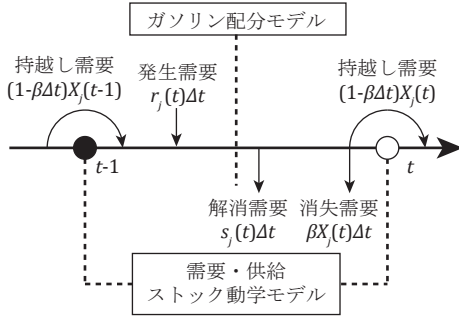


図-7 ガソリン配分モデルと
需要・供給ストック動学モデルの関係

表す。時点 t において市町村 $j \in D$ で顕在化する単位時間あたりのガソリン需要 (revealed demand) を $q_j(t)$ で表し、(a) 時点 t の「期初」における未解消需要 (i.e. 時点 $t-1$ の期末における未解消需要から消失分を差し引いたもの) をフロー換算したものと、(b) 当該時点で発生する潜在的な需要フローの和として定義する：

$$q_j(t) := \frac{1 - \beta\Delta t}{\Delta t} X_j(t-1) + r_j(t). \quad (2)$$

油槽所 $i \in O$ から市町村 $j \in D$ までガソリンを 1 単位輸送するのに必要な費用を所与の定数 $c_{i,j}$ で表し、この起終点ペアを時点 $t \in T$ に輸送されるガソリンの単位時間あたりの量を $x_{i,j}(t)$ で記述する。このガソリン輸送量 $\mathbf{x}(t) := \{x_{i,j}(t) : (i,j) \in O \times D\}$ および期末の未解消需要 $\mathbf{X}(t) := \{X_j(t) : j \in D\}$ は、総輸送費用を抑えつつ、需給ギャップの市町村間の格差を平滑化するように決定されると仮定する。これは、以下の凸計画問題として定式化される：

$$\min_{\mathbf{x}(t)} \sum_{i,j} c_{i,j} x_{i,j}(t) + \theta f[\mathbf{x}(t), \mathbf{X}(t)] \quad (3)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in D} x_{i,j}(t) = p_i(t) \quad \forall i \in O, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \leq q_j(t) \quad \forall j \in D, \quad (5)$$

$$x_{i,j}(t) \geq 0 \quad \forall (i,j) \in O \times D. \quad (6)$$

この問題の目的関数の第 1 項は総輸送費用を表す。第 2 項の、 $f[\mathbf{x}(t), \mathbf{X}(t)]$ は、時点 t における需給ギャップの平滑さを表す凸関数である。 θ は平滑さの重要度を表す所与の定数であり、平滑化パラメータと呼ぶ。第 1 の制約条件は、各油槽所から運び出されるガソリンの量が供給量に一致することを表しており、第 2 の制約条件は、各市町村へ運び込まれるガソリンの量が需要を超えないことを表している。時点 t におけるガソリン輸送フロー $\mathbf{x}$ を用いて、当該時点における市町村 j のガソリン供給フローは

$$s_j(t) := \sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \quad (7)$$

と表される。

以上 2 つのサブモデルの関係は図-7 のように整理される。この図は、市町村 $j \in D$ の未解消需要ストックが時点 $t-1$ から t の間にどのように決定されるかを表している。まず、時点 $t-1$ の期末における未解消需要 $X_j(t-1)$ を与件とする。このうち $(1 - \beta\Delta t)X_j(t-1)$ だけが時点 t の期初に繰り越される。これに時点 t で新たに発生する需要 $r_j(t)\Delta t$ を加えたものを、時点 t における顕在需要 (revealed demand) $q(t)\Delta t$ とする。この顕在需要フロー $\mathbf{q}(t) := \{q_j(t) : j \in J\}$ と各油槽所へのガソリン移入フロー $\mathbf{p}(t) := \{p_i(t) : i \in O\}$ を与件としたガソリン配分モデルにより、時点 t における各市町村へのガソリン供給 (販売) フロー $\mathbf{s}(t) := \{s_j(t) : j \in D\}$ が決まる。こうして得られた時点 t 中のガソリン供給量 $s_j(t)\Delta t$ を顕在需要から差し引いたものが、時点 t の期末の未解消需要 $\mathbf{X}(t)$ となる。

上述のモデルを用いて、各市町村におけるガソリンの顕在需要および供給フローの結果である $(\mathbf{q}(0), \mathbf{s}(0)), (\mathbf{q}(1), \mathbf{s}(1)), \dots, (\mathbf{q}(T), \mathbf{s}(T))$ を求めることで、各市町村についてガソリン需給の累積図を構築できる。これらの値は、以下の手続きによって求められる。

Step 0 : 全ての市町村 $j \in J$ において、震災発生日における未解消需要を $X_j(0) = 0$ とする。時点 $t := 1$ とする。

Step 1 : 時点 $t-1$ の期末の未解消需要 $X_j(t-1)$ および時点 t で発生する潜在需要 $r_j(t)$ を与件として、時点 t における顕在需要フローを

$$q_j(t) := \frac{1 - \beta\Delta t}{\Delta t} X_j(t-1) + r_j(t) \quad (8)$$

とする。

Step 2 : 各市町村の顕在需要 $\mathbf{q}(t)$ 、各油槽所の供給量 $\mathbf{p}(t)$ および輸送費用 $c_{i,j}$ を与件として問題 3 を解き、ガソリン輸送フロー $\mathbf{x}(t)$ を求める。

Step 3 : 時点 t における市町村 j のガソリン販売フローを

$$s_j(t) := \sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \quad (9)$$

t の期末の未解消需要を $\mathbf{X}_j(t) := q_j(t) - s_j(t)\Delta t$ とする。

Step 4 : $t = T$ ならば終了。そうでなければ $t := t+1$ として Step 1 に戻る。

市町村 $j \in D$ について、こうして得られた潜在需要フロー $r_j(t)$ 、顕在需要フロー $q_j(t)$ および供給フロー $s_j(t)$ を用いて、当該市町村の累積潜在需要 $\mathbf{R}_j(t)$ 、累積顕在需要 $\mathbf{Q}_j(t)$ および累積供給量 $\mathbf{S}_j(t)$ は、それぞれ、

$$R_j(t) := \sum_{\tau=0}^t r_j(\tau)\Delta t, \quad (10)$$

$$Q_j(t) := \sum_{\tau=0}^t q_j(\tau)\Delta t, \quad (11)$$

$$S_j(t) := \sum_{\tau=0}^t s_j(\tau)\Delta t, \quad (12)$$

と求められる。これらの累積需要量および累積供給量を用いて、時点 t での待機需要および消失需要を、それぞれ、

$$\mathbf{X}_j(t) := \mathbf{Q}_j(t) - \mathbf{S}_j(t), \quad (13)$$

$$\mathbf{U}_j(t) := \mathbf{R}_j(t) - \mathbf{Q}_j(t), \quad (14)$$

と表す。

5. 需給ギャップの空間分析と軽減方策の検討

本節では、前節のモデルを用いて、ある輸送戦略の下での各市町村の需給ギャップの変化を分析する手続きを述べる。

(1) Base Case

実際に行なわれた(と思われる)輸送戦略の下で実現したガソリン配分状態を Base Case とする。この Base Case は以下のように求められる：まず、上述のモデルを用いて、モデル入力として必要なデータセットおよびパラメータを推定する。この手続は以下のように書き下せる：(1) 地理情報システム (GIS: Geographical Information System) を用いて計測された各油槽所から各市町村への最短距離を用いて、ガソリン 1 単位あたりの輸送費用 c_{ij} を推定する；(2) 震災前の 2010 年 3 月～4 月の県別月次販売量から、各市町村における時点 t の需要フロー $r_j(t)$ を推定する；(3) 2011 年 3 月～4 月の各港湾への日次ガソリン移入量から、各油槽所の時点 t の供給量 $p_i(t)$ を推定する；(4) 東北地域全体でガソリン不足が解消したと思われる日 (4 月 3 日) を解析期間の最終時点 $T (= 26)$ とし、消失率を $\beta = 0.106$ と推計する；(5) 2011 年 3 月の県別月次販売量 Z_k および対応する期間 τ 中の各市町村の販売量 $\mathbf{S}_k := \sum_{t \in \tau} \sum_{j \in D_k} s_j(t)$ との乖離が最小となるような平滑化パラメータを $\theta = 20.56$ と推計する。

次に、こうして得られたモデル入力 $\{c_{ij}\}$, $\{r_j(t)\}$, $\{p_i(t)\}$ およびモデル・パラメータ β, θ を前節のモデルに代入し、各市町村の累積顕在需要量 $\{Q_j(t)\}$ および累積供給量 $\{S_j(t)\}$ を求める。これを用いて、各時点の市町村ごとの需給ギャップ、すなわち、各時点までの累積顕在需要量に対する累積供給量の比率 $\{S_j(t)/Q_j(t)\}$ を計算する。

(2) ガソリン転送戦略

上記の方法で推定された日次ガソリン移入量を日本海側の港湾 (青森, 秋田, 酒田) について集計したものを図-8 に示す。この図から、以下の 3 点が観測できる：(i) 日本海側港湾への移入量は日毎に大きく変動している；(ii) 震災から 4 日後の 3 月 15 日から移入が再開している (図中, Point A)；(iii) この移入再開から 1 週間

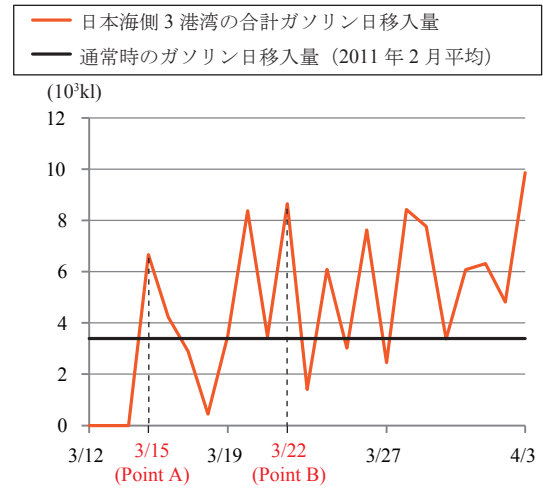


図-8 発災後の日本海側 3 港湾 (青森・秋田・酒田) へのガソリン移入量

後の 3 月 22 日に、平常時 (震災前月の平均) の 2.63 倍 (8,600kl) のガソリンが移入されている (図中, B). これらの事実に基づいて、我々の分析では以下を仮定する：日本海側の 3 港湾において、3 月 15 日 ($t = 7$) 以降、連続して合計 8,600 kl (3 月 22 日, $t = 14$ に日本海側の 3 港湾に移入されたのと同じ量) のガソリンを、これらの港湾に移入させ、かつ、東北地域の市町村に分配させられる。

この仮定の妥当性は、下記の 3 つの観測により支持される：第 1 に、これらの 3 港湾の 1 日あたり受入可能な能力は 3 月 22 日の移入量以上である³；第 2 に、油槽所における leading time は十分に短く、これらの 3 港湾で 3 月 22 日の移入量を連続して受け入れられる⁴；最後に、2. でも述べたように、西日本をはじめとする、震災による直接の影響を受けていない地域の製油能力は十分である。

上述の仮定に基づき、ガソリン不足の早期解消のための戦略として以下の 2 つを検証する。

戦略 S(short)：3 月 15 日 ($t = 4$) から 3 月 22 日 ($t = 11$) までの 7 日間 ($\varphi_S := \{3, 4, \dots, 11\}$)、日本海側の 3 港湾に 3 月 22 日 ($t = 11$) と同じだけのガソリンを毎日連続して移入させる。

戦略 L(long)：3 月 15 日 ($t = 4$) から 3 月 29 日 ($t = 18$) までの 14 日間 ($\varphi_L := \{3, 4, \dots, 18\}$)、日本海側の 3 港湾に 3 月 22 日 ($t = 11$) と同じだけのガ

³ これら日本海側の 3 港湾については、震災による大きな被害は受けておらず、移入が再開した 3 月 15 日にも平常時の 1.96 倍の量が移入されている。また、震災後は太平洋側の港湾機能復旧に重点がおかれており、3 月 22 日に日本海側港湾への移入量が急増した理由を、これらの港湾における設備・能力の急激な改善を求めることには無理がある。

⁴ 筆者らのインタビューによる情報では、比較的小きな製油所においても、5000kl のタンカーからタンクへの移し替えは 3～4 時間程度、タンクから 20kl ローリーへの移し替えは 20 分程度しか要さない。

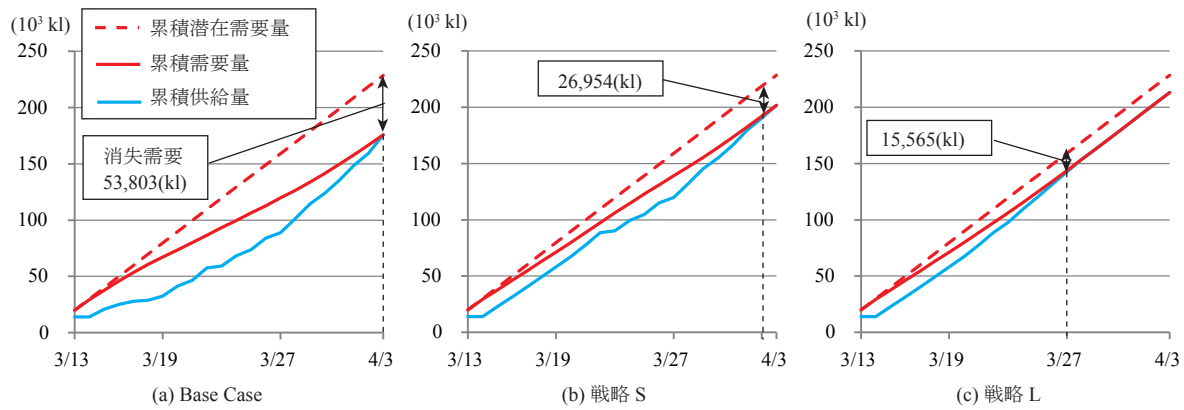


図-9 各戦略実施時の需要・供給の累積図

表-4 各戦略実施時の消失需要量と需給ギャップ解消日

	Base Case	戦略 S(short)	戦略 L(long)
消失需要量 (kl)	53,803 (kl)	26,954 (kl)	15,605 (kl)
(日数換算)	(5.4 days)	(2.7 days)	(1.6 days)
需給ギャップ解消日	4/3	4/2	3/27

ソリンを毎日連続して移入させる。

以下では、 φ_S および φ_L を運用期間 (operational period) と呼ぶ。戦略 S および L について、Base Case と同様の手続きによって需給ギャップを推計する。その際、消失率 β 、平滑化パラメータ θ および operational period 以外の各港湾への移入量 $\{p_j(t)\}$ については、Base Case と同じ値を用いる。日本海側 3 港湾 (青森、秋田、酒田) の operational period 中の移入量については、3 月 22 日の当該港湾の移入量 $p_j(t=11)$ をそれぞれ採用する。

6. ガソリン転送戦略による効果の推計

本節では、前節で述べた手順で、日本海側 3 港湾への移入量を増加させる 2 つの転送戦略 - 戦略 S および戦略 L - について、その経済効果 (i.e. Base Case と比べて減少させる経済損失) および追加的に必要となる輸送費用を推計する。まず、(1) では、東北地域全体の需給ギャップが各転送戦略によってどのように変化するかを分析する。次に、(2) では、それぞれの転送戦略による各市町村での需給ギャップの変化を明らかにし、それに必要となる総輸送時間を求める。これらの結果を用いて、最後に、各戦略がもたらす経済効果と、それに必要となる追加的輸送費用を推計する。これにより、前者が数千億円のオーダーであるのに対し、後者がわずか数十億円程度でしかないことを明らかにする。

(1) 東北地域を集計的需給ギャップから見た効果

第 5 章で述べた方法 (東北地域全体の集計的累積図分析) を用いて、転送戦略 S, L によって東北地域全体の需給ギャップが Base Case に対してどのように変化するかを分析する。図-9 は、Base Case および、転送戦略 S, L によって実現される東北地域全体のガソリン需給の累積図を示している。それぞれの図において、赤い点線は総累積潜在需要 $R(t) := \sum_{j \in D} R_j(t)$ 、赤い実線は総累積頭在需要 $Q(t) := \sum_{j \in D} Q_j(t)$ 、青い実線は総累積供給 $S(t) := \sum_{j \in D} S_j(t)$ を、それぞれ示している。以降では、図-9 を用いて、(1) 各時点における待機需要量の減少、(2) 需給ギャップの早期解消、(3) 消失需要量の減少、の 3 つの視点から戦略 S, L によるガソリン需給の改善効果を明らかにする。

まず、各戦略の下での待機需要量 $X(t) = R(t) - S(t)$ を、Base Case のそれと比較しよう。図-9 から、転送戦略によって、どの時点においても Base Case よりも待機需要を減らせることが判る。特に、戦略 S では operational period が終了する 3 月 22 日以降再び待機需要が増加しているのに対し、戦略 L では単調に減少していることが判る。この違いは、ガソリン不足の解消時点、すなわち $Q(\tau) = S(\tau)$ となる時点 τ に大きな影響を及ぼしている。具体的には、Base-case では 4 月 3 日まで、戦略 S では 4 月 2 日までガソリン不足が続くのに対し、戦略 L ではガソリン不足の解消時点を 3 月 27 日にまで短縮させることができる。最後に、こうした待機需要の減少およびガソリン不足の早期解消による経済効果を評価するため、解析対象期間の最終日までの

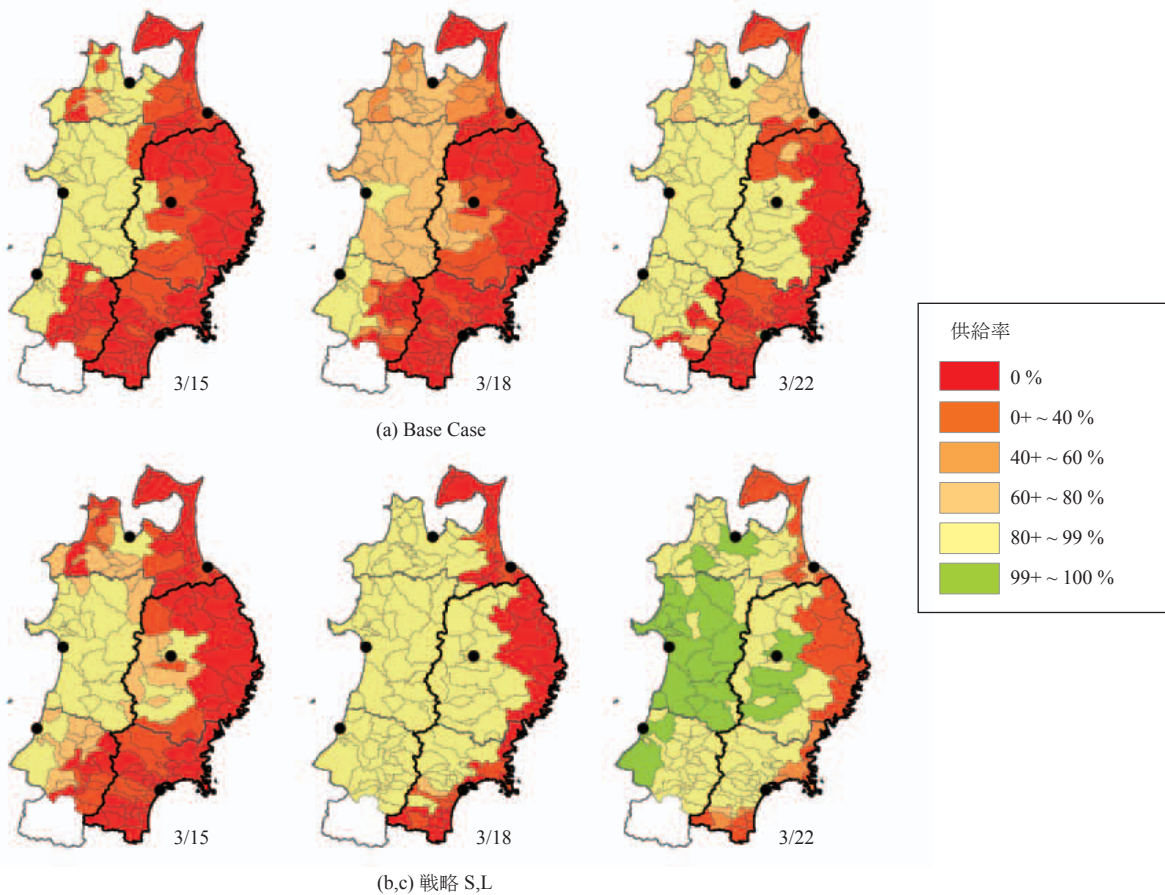


図-10 各戦略実施時の需給ギャップ時空間分布 (3/15, 3/18, 3/22)

消失需要 $U(T) = R(T) - Q(T)$ を比較しよう (表-4). Base Case では $53,803 \times 10^3$ kl のガソリン需要が消失している. それに対して, 戦略 S と戦略 L での消失需要は, それぞれ, $26,954 \times 10^3$ kl, $15,605 \times 10^3$ kl である. すなわち, 戦略 S, L の実施により, 消失需要を $1/2 \sim 1/3$ に減少させられることが判る.

(2) 需給ギャップの時空間分布

本節では, 転送戦略によって市町村別の需給ギャップがどのように変化するかを分析し, 転送を実施するためのコストである総輸送時間を求める.

まず, 図-10 と図-11 を用いて, 需給ギャップの時空間分布の進展を分析しよう. これらの図は, 各市町村を当該時点での供給率 $\frac{S_i(t)}{Q_j(t)}$ で塗り分けたものである. 供給率が大きいほど, 需給ギャップが小さいことを意味する. 図-10 は, 発災後 10 日間中の 3 時点 (3 月 15 日, 18 日, 22 日) における戦略 S および L の下での需給ギャップを, Base Case のそれと比較したものである. この期間中は, 戦略 S と L のガソリン移入量は同じであるので, 需給ギャップの分布も一致する. Base Case の結果を見ると, (1) 太平洋側の広範囲で非常に深刻なガソリン不足に陥っていたことと, (2) 日本海側もガソリン

不足状態にあったが, 太平洋側と比較すると深刻度は低かったことがわかる. そして, 転送戦略によって, 太平洋側と日本海側の両方で, 需給ギャップが大幅に軽減されることがわかる. 特に, 日本海側港湾へ運び込まれたガソリンが時間の経過と共に遠方まで輸送されることで, 西側から順に需給ギャップが解消されていくことが判る.

発災 10 日後以降の 3 時点 (3 月 25 日, 29 日, 4 月 1 日) の需給ギャップを図-11 に示す. Base Case の結果を見ると, 発災から 3 週間たった 4 月 1 日においても, 太平洋側の多くの市町村でガソリンが十分に行き渡っていない. これは戦略 S においても同様で, 4 月 1 日においてもガソリンが十分に行き渡っていない市町村が太平洋側沿岸の一部に残されている. これに対し, 戦略 L の下では, 全ての市町村で速やかにガソリンが供給され, 3 月 29 日で完全にガソリン不足が解消されることが判る.

次に, 大量転送による需給ギャップ解消の効果が日本海側と太平洋側でどの程度異なるかを, 図-12 の累積図を用いて検証する. Base Case においては, 太平洋側では発災後 1 週間の間ほとんどガソリンが供給されず莫大な待機需要が蓄積される. これに対し, 日本海

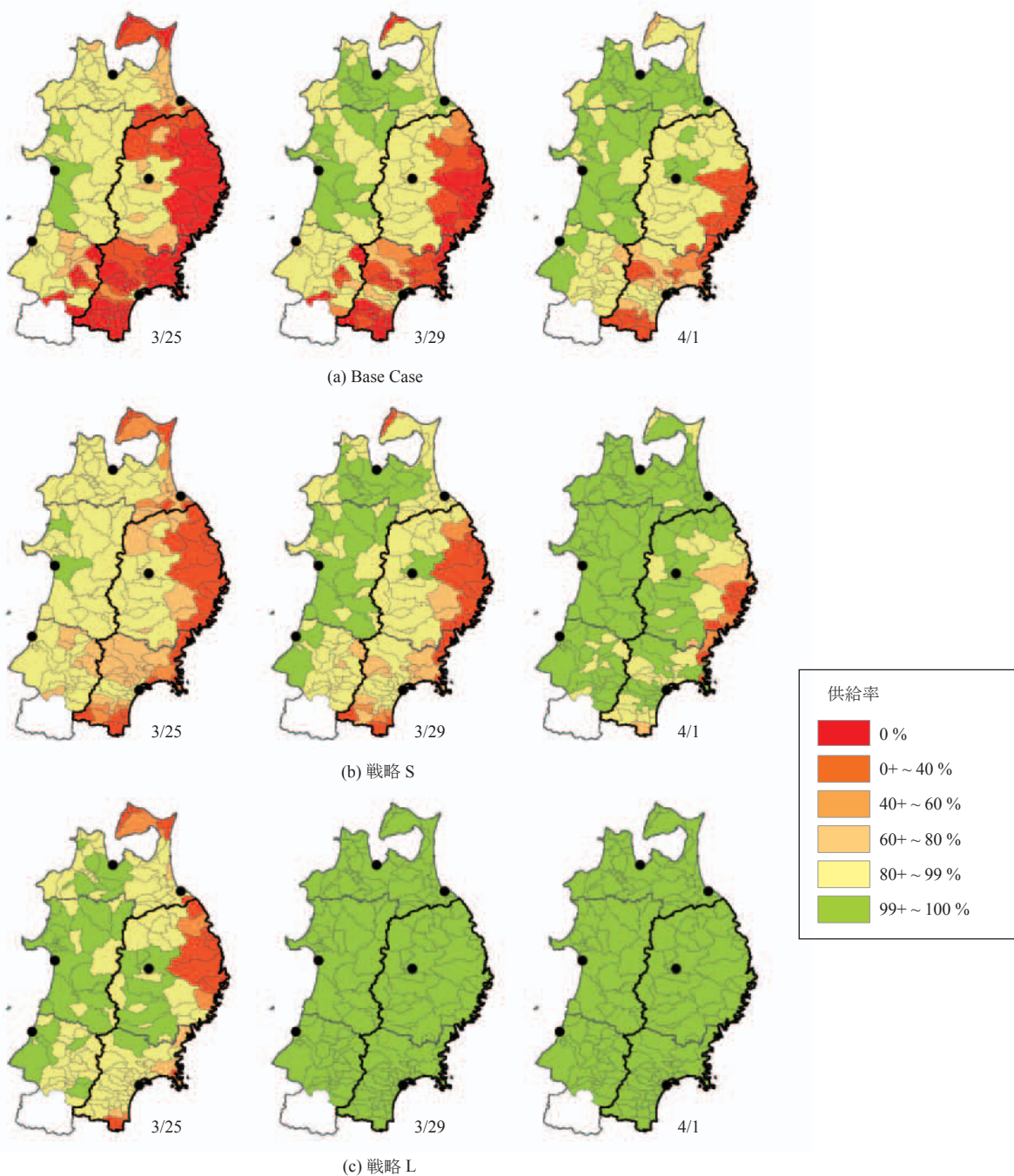


図-11 各戦略実施時の需給ギャップ時空間分布 (3/25, 3/29, 4/1)

側では一時的に待機需要が発生するものの、それほど大きな量は蓄積されない。これらの累積図を転送戦略が行なわれた場合と比較すると、(1)で述べた3つの効果 ((1) 待機需要量の縮小, (2) 需給ギャップの早期解消, (3) 消失需要量の縮小) が、太平洋側で顕著であることが判る。

このうち、経済損失と特に関係の深い消失需要量の空間分布を市町村単位で見たい。図-13は、市町村ごとの消失需要量を示したものである。太平洋側の市町村を太線で囲んでいる。Base Caseにおいては、消失

需要量は太平洋側で非常に大きく、東北地域の消失需要の81%を占めている。この太平洋側の消失需要量は、戦略Sで1/2、戦略Lで1/4にまで縮小させられる。

最後に、転送戦略の実施に必要な総輸送時間を求めよう。時点 $t \in T$ までの配分パターン $\{x_{ij}(\tau) : t \in [0, t]\}$ を実現する累積総輸送時間は、以下の式で定義される：

$$Z(t) = \sum_{t=0}^T \sum_{ij} c_{ij} x_{ij}(t). \quad (15)$$

base-case および各転送戦略の下での累積総輸送時間を

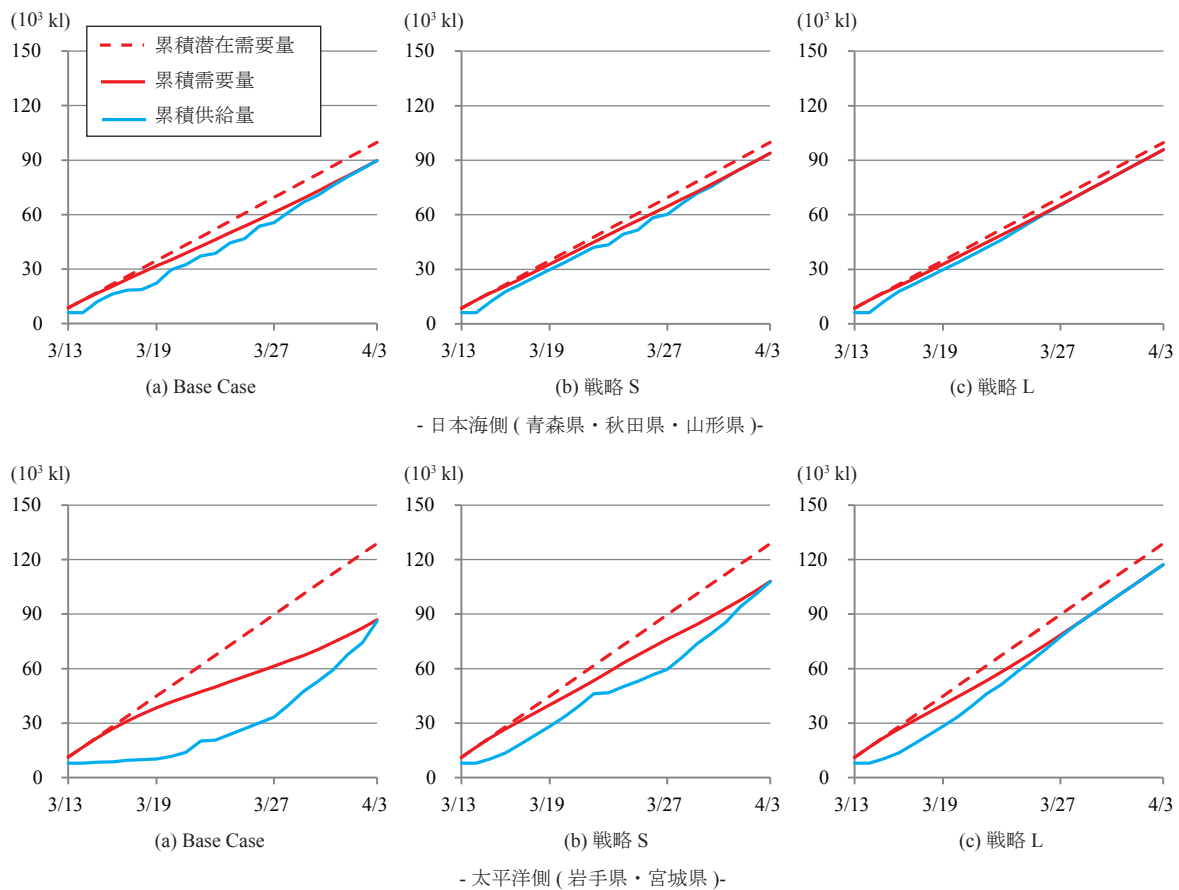


図-12 各戦略実施時の需要・供給の日本海側・太平洋側別累積図

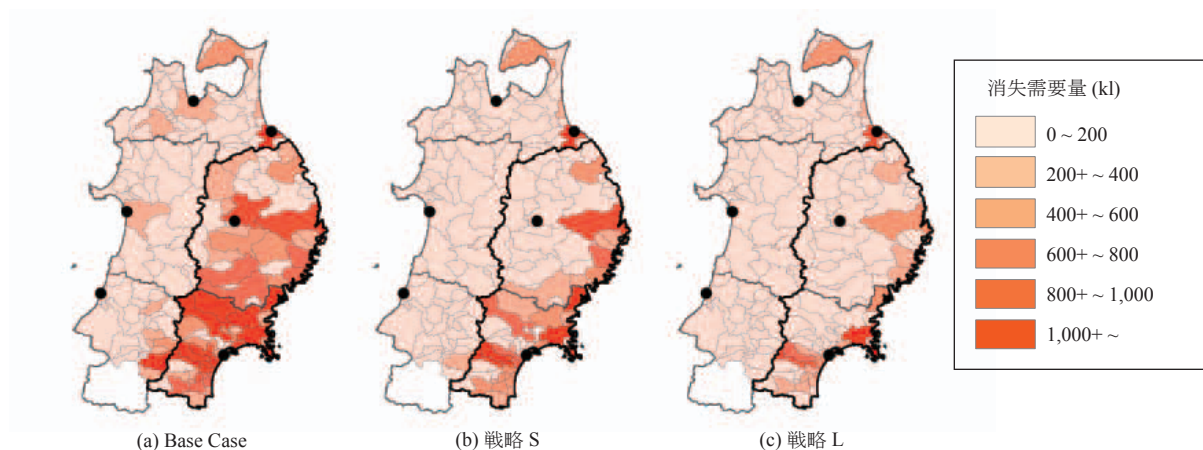


図-13 各戦略実施時の市町村別消失需要量

図-14に示す。直感的にも明らかのように、配分されるガソリンの量 (i.e. 港湾へ移入されるガソリンの量) と共に増加する。続く (3) 節では、上述の消失需要および総輸送時間を金銭換算することで、転送戦略の費用便益分析を行う。

(3) ガソリン転送戦略の費用便益分析

本節では、ガソリン転送戦略による経済効果 (i.e., 経済損失の減少額) とそれに必要な費用を推計し、転送戦略の費用便益分析を行う。なお本分析の目的は、入手可能な限られた情報のみから経済損失および輸送費用のオーダーを推計することであり、その推計精度や手法そのものの新規性・汎用性を論じることではない点に注意されたい。

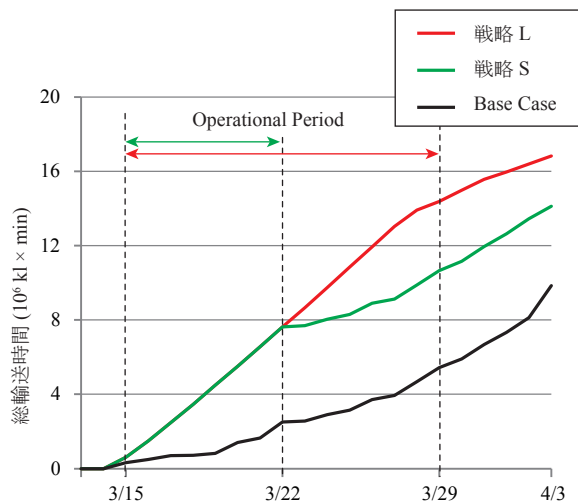


図-14 油槽所-需要地（市町村）間の累積輸送時間

まず、ガソリン不足がもたらす経済損失を、マクロ的視点およびミクロ的視点の2つの側面から推計する。本研究では、マクロ的視点に基づく経済損失を需要の消失による生産機会損失と定義し、前節で求めた消失需要量と東北地域のGRP (Gross Regional Product) を用いて推計する。いま、東北地域の生産関数がガソリン消費量に対して一次同次であると仮定しよう。このとき、消失需要に対応する生産額の低下は、以下の式で算出される：

$$\begin{aligned} & \text{マクロ的経済損失 (JPY)} \\ &= \frac{\text{東北地域の年間 GRP} \times \text{消失需要量}}{\text{東北地域の年間ガソリン消費}} \quad (16) \end{aligned}$$

経済活動の中にはガソリン消費を必要としないものもあるため、この推計量は実際の経済損失の上限値とみなすことができる。

次に、ミクロ的視点に基づく経済損失を、ガソリン購入までの待機時間中に失われた通勤・業務活動の価値と定義する。これは、前節で求めた待機需要量と典型的な消費者のガソリン購入量を用いて、次の式で推計できる：

$$\begin{aligned} & \text{ミクロ的経済損失 (JPY)} \\ &= \frac{\text{時間価値}^5 \times \text{総待機需要量}}{\text{1回あたりガソリン購入量}} \quad (17) \\ &= \text{時間価値} \times \text{総待ち時間} \end{aligned}$$

ここで、総待機需要量は、解析期間中の待機需要量の総和（図-9の累積需要曲線と累積供給曲線の間の面積）であり、以下の式で求められる：

$$\text{総待機需要量 (kl} \times \text{day)} = \sum_{t=0}^T X(t) \quad (18)$$

⁵ 時間価値は 3,573 (JPY/day × person) として計算した。これは、2010 年の東北地域 GRP (JPY/year) を 2010 年の雇用者数と平日の日数で除したものである。

これを 1 回あたりの購入量で除したものを、ガソリンを購入するまでの待機日数の総和と見なす。本研究では 1 回あたりのガソリン購入量を 50 (l) と仮定する。ガソリンを用いた通勤・業務活動は、経済活動の一部分にすぎないため、式 17 で定義される経済損失は、実際の経済損失の下限値とみなすことができる。従って、実際の経済損失は、ミクロ的推計値 (式 17) とマクロ的推計値 (式 16) の間にあると考えられる。

上述の方法で算出したミクロ的推計値とマクロ的推計値を表-5 に示す。Base-case および転送戦略下の各ケースについて、経済損失のミクロ的推計値はマクロ的推計値の 80% 程度であり、経済損失の推定区間としては妥当であると考えられる。Base Case においては、ガソリン不足によって、2900～3600 億円の経済損失が発生していたと推計できる。これと戦略 S、L の下での経済損失の差分を取ると、戦略 S の経済効果は 1450～1800 億円、戦略 L の経済効果は 2060～2560 億円と推計できる。

最後に、戦略実施に必要な追加的輸送費用を推計し、戦略による経済効果と比較する。追加的輸送費用は、図-14 から得られる追加的輸送時間を金銭換算することによって得られる。本稿では、我が国で平均的な 18kl タンクローリーを 1 日 (8 hour) チャーターするための費用を 200×10^3 (yen) と仮定して、輸送時間を金銭換算した。その結果を表-5 に示す。表-5 から、Strategies-S、L を実現するために必要なコストは、2～3 億円に過ぎないことが分かる。これは、表-6 に示す様に戦略による便益と比較すると極めて小さい値である。当然、B/C も、1 よりはるかに大きい値をとる。以上から、転送戦略 S、L は、いずれも、必要となる追加的費用に対して、極めて大きな経済効果をもたらすと言えよう。

7. おわりに

本研究では、東日本大震災後に生じた広域的・長期的なガソリン不足およびそれに伴う経済損失が、適切なガソリン転送戦略によって軽減され得たことを明らかにした。具体的には、第 1 に、ガソリン不足の時空間分布を推計するモデル¹⁾を用いて、東日本大震災後に起きたガソリン需要の損失（ひいてはそれによる経済活動の阻害）がもたらした経済損失が 3000 億円程度と推計されることを明らかにした。第 2 に、地震や津波による直接の被害を受けなかった日本海側の 3 港湾へのガソリン移入量を増加させた場合、この経済損失を大きく減少させられることを明らかにした。具体的には、これらの 3 港湾に対して、ガソリン受入が再開してから 1～2 週間以内にわたり、連続して平常時の 2.6 倍のガソリンを転送できたならば、経済損失を半分から 3 分

表-5 各戦略実施時の経済損失推計額と輸送費用

	Base Case	戦略 S(short)	戦略 L(long)
消失需要量 (10 ³ kl×day)	54	27	16
マクロ的経済損失額 (億円)	-3,600	-1,800	-1,040
戦略の経済効果の上限額 (億円)	-	+1,800	+2,560
総待機需要量 (10 ³ kl×day)	508	254	147
ミクロ的経済損失額 (億円)	-2,900	-1,450	-860
戦略の経済効果の下限額 (億円)	-	+1,450	+2,060
3/12-4/3 の油槽所-需要地間の輸送時間 (10 ⁶ kl×min)	9.84	14.12	16.82
3/12-4/3 の油槽所-需要地間の輸送コスト (億円)	-4.6	-6.5	-7.8
戦略実現に必要な追加的輸送コスト (億円)	-	-2.0	-3.2

表-6 各戦略の費用便益分析 (億円)

	戦略 S(short)	戦略 L(long)
経済効果	1,450 ~ 1,800	2,060 ~ 2,560
輸送費用	2.0	3.2

の1に減少させられることを明らかにした。そして、こうしたガソリン転送戦略の実現に必要な費用と経済効果を試算し、前者は高々2~3億円ではないのに対して、後者は1500~2500億円にのぼることを示した。

本研究の成果から、以下の政策的含意が導かれよう：長期に渡るガソリン不足が経済活動を妨げることによる損失は甚大であり、これを速やかに解消することは極めて重要である。従って、政府は、大規模災害が発生した際には、まず、広域的なガソリン不足が生じるか否かを速やかに予測する必要がある。そして、ガソリン不足が予測される場合には、可能な限り速やかに、利用可能な港湾に対し、一定期間 (e.g. 1~2週) 連続して受け入れ容量いっぱいガソリンを転送すべきである。

この転送を具体的に実現するためには、下記の方策が必要であると考えられる。第1に、政府は、大規模な災害時にマクロな状況を把握し、トップダウンで戦略を立案できる準備をするべきである。具体的には、(i) 平常時から市町村単位でのガソリン需要 (販売実績) の動向を収集・蓄積する；(ii) ひとたび災害が発生した場合、被災地域におけるガソリン供給能力を把握し、それと上述のガソリン需要と比較することで広域的なガソリン不足が生じるか否かを判断する；(iii) ガソリン不足が発生する (i.e. 供給能力が不足する) と判断された場合、システムティックに情報を収集・集約し、他地域から転送する具体的な戦略を立案することが求められる。そのためには、政府と石油連盟や個々の営利企業の間で情報伝達・調整を行う手段の整備が不可欠であろう。第2に、政府は、実際にガソリンの輸送を担う個々の民間企業が、災害時に迅速に戦略を実行できるための制度整備を行っておくべきである。戦略実施

に必要な追加的費用、つまり社会経済活動を継続させるために必要な費用は政府が負担するべきであり、そのための資金調達および輸送を担う民間企業への支払いスキームを、平常時から整えておく必要がある。

今回被災した東北地域のように、多くの地方都市においては、通勤における乗用車の分担率が高い。これらの地方都市にとって、ガソリンは、電気・ガス・水道と同様に、社会経済活動を支える社会基盤としての役割を備えている。そうした財を災害時においても適切に流通させるための事前・事後の具体的方策が社会経済活動継続計画 (SACP: socio-economic activity continuation plan) における重要項目であることが、本研究により、明らかとなった。

参考文献

- 1) 赤松隆, 大澤実, 長江剛志, 山口裕通: 3.11 震災時の東北地域で生じたガソリン需給ギャップの時空間分析, **土木学会論文集 D3**, Vol.69, No.2, pp.187-205, 2013.
- 2) 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石油製品輸送実態の把握, **季刊・運輸政策研究**, Vol.15, pp.31-41, 2013.
- 3) 経済産業省: 海江田経済産業大臣の臨時会見の概要: 2011, (http://www.meti.go.jp/speeches/data_ed/ed110317j.html).
- 4) 経済産業省: 東北地域 (被災地) 及び関東圏でのガソリン・経路等の供給確保, 2011, (http://www.meti.go.jp/speeches/data_ed/ed110325j.html).
- 5) JX 日鉱日石エネルギー: 石油便覧, (<http://www.noe.jx-group.co.jp/binran/>).
- 6) 石油連盟: 今日の石油産業 2012, **石油連盟**, 2012.
- 7) 経済産業省: 資源・エネルギー統計: **生産動態統計調査**, 2011.

(2014. 04. 25 受付)

Post-Disaster Gasoline Distribution Strategies to Reduce Social-Economic Losses: Lessons from the Great Eastern Japan Earthquake

Hiromichi YAMAGUCHI, Takeshi NAGAE, Minoru OSAWA and Takashi AKAMATSU

In the Great East Japan Earthquake on 11th March, 2011, the Tohoku region was faced with serious gasoline shortages for an extended period due to the severe damage on its only oil refinery and the major oil terminals on the Pacific coast by the earthquake and subsequent tsunami. Such gasoline shortages not only hampered relief and restoration efforts, but also dampened socioeconomic activities in the entire Tohoku region. In this study, using actual data, we first clarify that the fundamental reason for the gasoline shortage was the failure in adjusting the amount and shipping patterns of gasoline in response to the spatial changes in the production areas caused by the disaster. We then show that the gasoline shortage could have been reduced considerably by some post-disaster gasoline distribution strategies to redirect a certain amount of gasoline into the Tohoku region from other unaffected areas. Finally, we estimate the cost required to execute such a gasoline distribution strategy as well as its economic effect, demonstrating that although the cost is only 300 million yen, the benefit amounts to over 200 billion yen.