

巨大災害時のガソリン不足に対する戦略とその社会経済評価：東日本大震災における実証分析

赤松隆¹・大澤実²・長江剛志³・山口裕通⁴

¹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

²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

³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

⁴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

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ヶ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。その際、ガソリン価格を操作することで経済損失の軽減を図る戦略は、大規模災害時には不相当であることも示される。結果として、早期・大量のガソリン輸送戦略に必要となる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、 27×10^3 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

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

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 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、発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 20×10^3 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、私企業の自発的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 56×10^3 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、発災 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、発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」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。

読者のうちには、「国家規模のガソリン転送をせずつとも、価格調整によってこうした供給不足を解消できるのではないか」と考える向きもあるかもしれない。1 人分しかないガソリンを 100 人が欲しがっているのなら、支払意志額が低い 99 人が諦めるまでガソリン価格を上昇させればよい、というごく自然な発想である。こうした価格政策は、長期に渡って安定的に市場へのガソリン供給が不足するような状況に対しては有効かもしれない。しかし、価格調整は、発災直後に発生したガソリンの需給ギャップを解消するための方策としては、以下の 3 つの理由から不適切である。第 1 に、価格調整は限られたガソリンの配分を効率化するための方策である。従って、本論文で提案するような総供給量を増加させる施策と比較した場合にはその効果は限定的である⁵。第 2 に、発災直後の混乱した状況においては、市場がもつ自律分散的な価格調整機能は期待できない。また、需給を均衡させるような適切な価格を中央集権的に決定することも極めて困難である。第 3 に、仮に適切な価格が決められとしても、それがもたらす社会的便益の殆どは生産者 (ガソリン供給会社) に帰着するため、適切な還元スキームが存在しない状況下では、公平性の観点からとても容認できるものではない。

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東北地域に供給を図る戦略を提案するとともに、提案戦略によって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、発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、未解消ガソリン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

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、我々の当初の研究動機である。

³ 価格政策の限界については、5. で詳細に論ずる。

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となる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となる追加的陸上費用は数億円程度にとどまるのに対して、その経済効果は数千億円のオーダーに上が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、発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. で累積図分析を通じて、「なぜガソリン不足が長期化したのか？」という疑問に答えを与える。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3つの章において、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. では考えうる対応策(価格調整を含む)を挙げ、それらの効果について議論する。結論として、最も必要であった方策は、ガソリンの追加的供給であったことを示し、ガソリン輸送戦略を複数提案する。6. では5. で提案したガソリン輸送戦略の効果を推計する方法を述べる。7. では、各輸送戦略の効果とそれにかかる費用を具体的に推計し、その結果から提案する輸送戦略が必要な追加的費用に比して十分大きな経済効果があることを示す。8. は本論文の結論である。

なお、5.~7. のガソリン輸送戦略の提案・評価においては、既存の輸送インフラ(タンカー/タンクローリーなどの輸送機材・乗務員や港湾・油槽所・道路などの輸送設備)が最大限活用できたという状況を想定する。これは、震災後の各インフラの容量を定量化するのに十分なデータが入手できなかったためにやむを得ずそうしたただけのことであり、実際の輸送現場で生じた困難や、その克服のために尽くされた努力を軽視するものでは決してない。むしろ、そうした現場の状況を体系的に整理・定量化することこそが、迅速かつ確な「事後の対応」の実施や長期的視野に立った「事前の対策」の立案に必要不可欠である、というのが本研究の立場である。

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

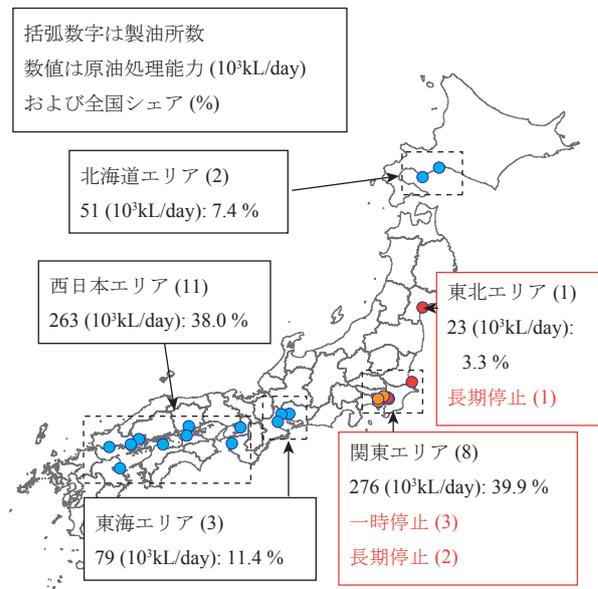


図-1 エリアごとの製油所数・製油能力とその被災状況

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。その中でも、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カ所しか存在しない。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カ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カ所のうち、被害が小さかった3カ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カ所で、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。発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

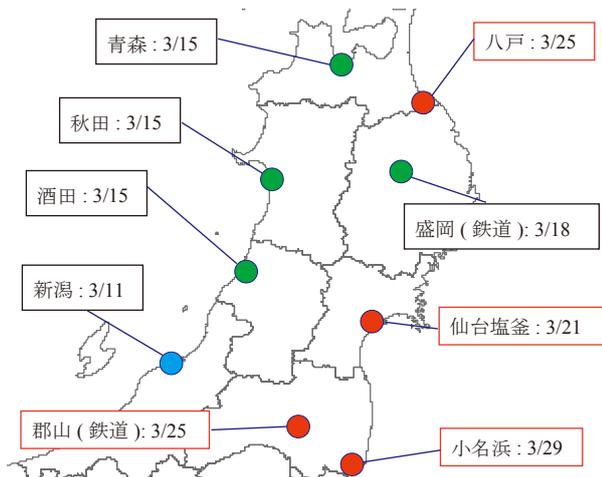


図-2 東北地域の主要油槽所と入荷再開日

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もわかるように、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、一週間ほど存在したことが分かる。

表-1 2010、2011 年 3 月の県別ガソリン販売実績 (10³ kL)

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

(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⁷⁾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々が移動し、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. 震災時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、全ての県において震災発生後 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青森・秋田・山形県では販売量の減少率が小さいという事実も, この解釈を裏付けている。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。a) 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, b) 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。これは, 関東地域からの移出減少への対応であったと考えられる。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 $20 \times 10^3 \text{kL}$ 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 ヶ月間に西日本から輸送された量は, 政府発表の 3 日分 ($60 \times 10^3 \text{kL}$) 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

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 (10^3kL)

	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

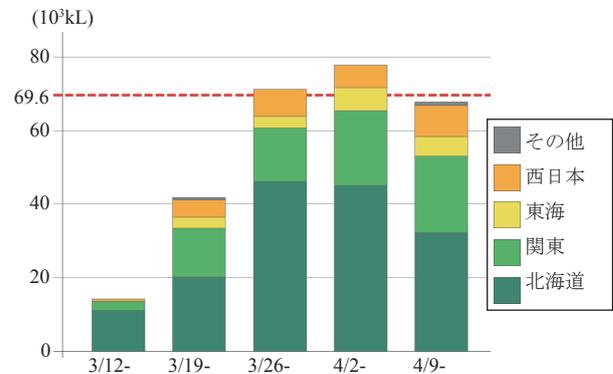


図-3 発災後の他地域港湾からの週別ガソリン移出量の推移

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 ヶ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 ヶ月間の移入量と発災前 1 ヶ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 ヶ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 ヶ月間では全体の約 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。

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

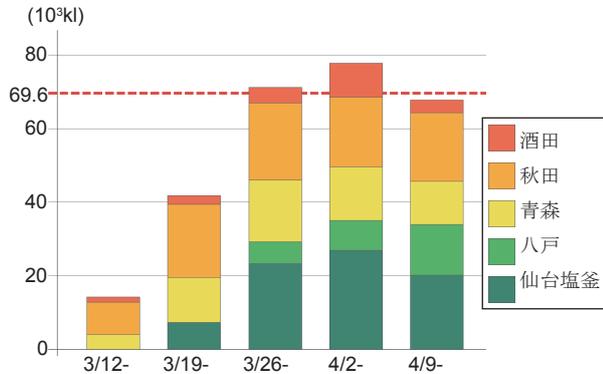


図-4 発災後の東北地域港湾の週別ガソリン移入量の推移

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、明らかに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、次の節において累積図分析を通じて詳しく検討する。

4. ガソリン不足長期化の原因 – 累積図分析

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 ヶ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 $14 \times 10^3 \text{ kL}$ 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。

それでは、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

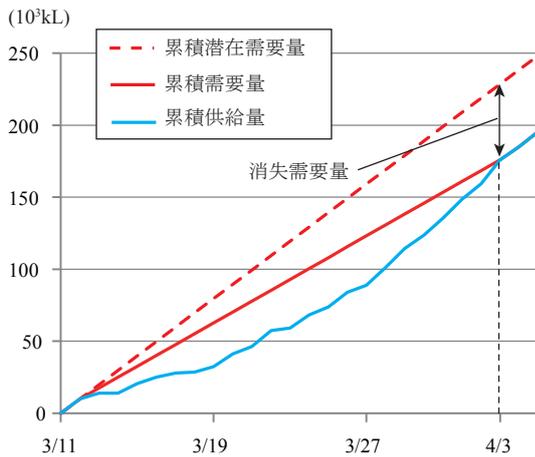


図-5 ガソリンの累積供給量，累積需要量と消失需要量

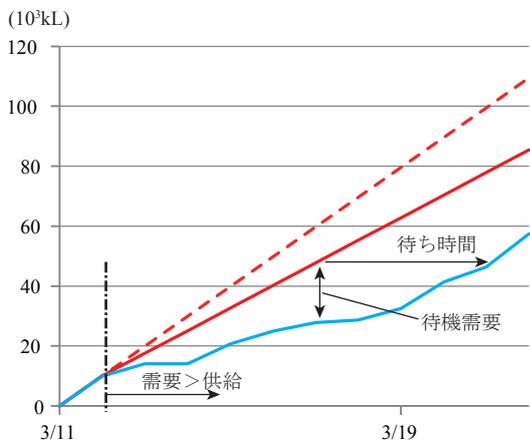


図-6 待機需要の推移 (図-5 の一部を拡大)

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 $54 \times 10^3 \text{kL}$ 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。

5. ガソリン不足問題軽減方策の提案

東日本大震災時の東北地方では，被災によるガソリン供給不足が原因で，膨大な経済損失（消失需要）が発生した。さらに“待機需要”が積みあがってしまったためにガソリン不足問題が長期化することとなった。それでは，この経済損失や問題の長期化を軽減するためには，どのような対策が必要だったのであろうか？本節では，まず，(1) では実際に東日本大震災時に行われた対策を，続く (2) では供給不足への対応として第一に考えうる価格調整方策を取り上げる。これらの節を通じて，供給量を増やす施策が必要不可欠であったことが明らかにされる。その上で，(3) では，経済損失を軽減する方策として，東日本大震災発災当時において実施し得たガソリン供給戦略を提案する。

(1) 実施されたガソリン不足対策

ガソリン不足（需給ギャップ）の対策は，「供給量を増やす」あるいは「需要量を減らす」の二種類に大きく分類される。まず，3. で明らかにしたよう，東日本大震災当時，東北地域全体では需要に見合うだけの十分なガソリン供給を確保することができず，供給量を増やすことに失敗した。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 ヶ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。しかし，結果としては，深刻なガソリン不足が発生・長期化することとなった。

そもそも，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，供給不足に起因するガソリン不足の対策としては不適當である。4. で示したように，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，通常時の経済活動に戻るために“必要な”ものであり，「不要不急の購入」などではなかった。従って，この対策は，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。これは，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。

(2) 価格調整政策の限界

経済学的視点に立てば、市場メカニズムを通じた価格調整によって、ガソリンの需給のミスマッチ、ひいてはそれがもたらす経済損失を軽減し得るように思われる。本節では、市場メカニズムを通じたガソリンの価格調整では、ガソリン不足による経済損失を根本的に解決できず、何らかの供給増加戦略が必要であることを示そう。

ここでは、ガソリン不足が引き起こす社会経済影響を特徴づけるものとして、震災が発生してから需給が正常化するまでの間の「総消失需要」と「総待ち時間」に着目する。まず「総消失需要」は、それ自身「累積潜在需要」と「累積顕在需要 (=需給正常化時の累積供給量)」の差に等しいことから、ガソリン供給量を増加させない限り軽減できないことが明らかである。次に、「総待ち時間」は、価格調整のみでも軽減し得るが、それを実現すること自体が極めて困難な上、そのままでは価格調整がもたらす便益の殆どが(被災地の消費者ではなく)生産者に帰着するため、社会的に容認されるための仕組みづくりが極めて難しい。以下、これらの点についてより詳細に説明する。

第 1 に、震災後の状況下でガソリン市場に平常時と同様の「自律的」価格調整機能を求めるのは非現実的である。その上、各消費者は、ガソリンの需給や価格情報に関して局所的な知識しか持っておらず、合理的な行動を期待できる状況には無かった。具体的には、震災時、交通・通信は各地で途絶されており、消費者は、毎日、どの SS が営業しているか、それぞれの SS でどれだけガソリンが供給されるのかを大域的な情報として知ることはできなかった。さらに、普段利用しない SS については、それがどこにどれだけあるのかすらも把握しておらず、自宅から数十キロ離れた SS にまで給油しに行くことは不可能であった。このような状況下において—政府等による中央集権的なものであれ、各 SS による自律分散的なものであれ—適切な価格決定およびその下での効率的な配分が実現できたとは考えづらい。実際、東日本大震災においては、震災直後から、各元売り会社が被災地でのガソリン販売価格を据え置いたことが報告されており、その理由として「現地のマーケット状況を把握できなかった」ことが挙げられている。

第 2 に、たとえ(情報技術を駆使するなどして)各利用者が大域的情報の下で合理的に行動でき、(何らかの方法で)適切な価格がつけられたとしても、その便益の殆どは被災した消費者ではなく生産者に帰着するため、

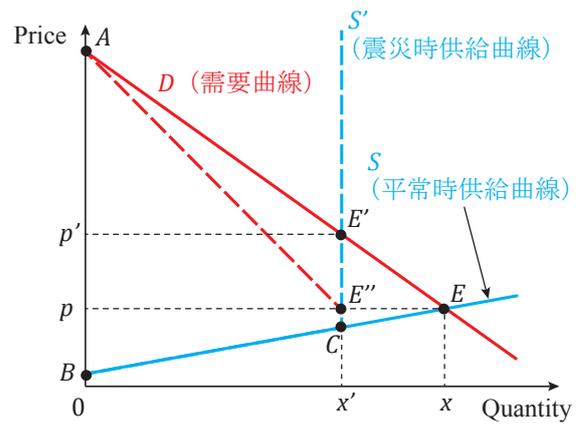


図-7 価格調整あり/なし時の社会的余剰

それが正当化されるための仕組みが必要不可欠となる。仮に、各 SS ごとに、日々、ガソリンの需給がバランスするような価格(例えば、平常時の5倍)をつけられたとしよう。このとき「待機需要」は完全に消滅し、供給再開からガソリン不足解消までの「遅れ」も一切発生しない。一見すると、非常に望ましい状況である。

しかし、こうした価格調整がもたらす社会的便益の殆どは生産者に帰着し、被災地の消費者の余剰を著しく損なう。これを図-7を用いて説明しよう。完全競争市場的な状況においては、ガソリン需要の動的なストックとしての側面は無視してよい。以下では、ガソリン市場の静的なフローとしての社会便益の変化分のみ注目する。需要曲線、平常時の供給曲線および均衡状態を、それぞれ、 D 、 S および E で表し、対応する均衡価格および均衡販売量を、それぞれ、 p および x で表す。震災によって供給量の上限が x' まで減少し、供給曲線が S' に変化したとしよう。まず、競争市場における価格調整を行った場合、均衡状態は E から E' へと変化し、それに伴って均衡価格は p から p' へと変化する。このとき、社会的余剰は ABE から $ABCE'$ へと減少する。変化後の社会的余剰は、消費者余剰 $Ap'E'$ と生産者余剰 $BCE'p'$ で構成される。次に、価格を p のまま据え置いた場合の便益を求めよう。価格 p の下では潜在的な需要(留保価格が正となる利用者数)が x であるのに対して、供給可能な量は $x' (< x)$ である。財の配分の方法には色々考えられるがここでは、 x 人の消費者の中から、 x' 人を一様にランダムで選んで配分する。このとき、消費者余剰は ApE'' の面積であらわされる。生産者余剰は $BCE''p$ であるから、社会的余剰は $ABCE''$ となる。

ここで、価格を調整した場合と価格を据え置いた場合とで社会的余剰、消費者余剰および生産者余剰を比

べると、

$$\text{社会的余剰} \quad ABCE' \geq ABCE'' \quad (1)$$

$$\text{消費者余剰} \quad AqE' \leq AqE'' \quad (2)$$

$$\text{生産者余剰} \quad BCE'p' \geq BCE''p \quad (3)$$

という関係が、既存研究で算出されている短期価格弾力性の範囲で成り立つ。(付録 I 参照) つまり、価格調整した方が価格を据え置くよりも大きな社会的余剰が実現できるが、その理由は、消費者余剰の減少分 ($AE''E'$) よりも生産者余剰の増加分 ($p'E''E'$) が大きいことによる。しかし、こうしたスキームを震災時の混乱した状況下で確保することは極めて困難であったと考えられる。さらに、消費者余剰の殆どは被災地に定住する家計に帰着するのに対して、生産者余剰の大半は(被災地以外にもマーケットを展開する)石油元売り会社に帰着することに注意されたい。このことは、ガソリン価格を据え置くことは、(全国展開する石油会社の利得を多少犠牲にする代わりに)被災地の消費者余剰を保護するという人道的観点からも妥当であることを示唆している。結局のところ、震災時のガソリン不足による経済的損失は市場の価格調整メカニズムを活用するだけでは軽減することはできない。

(3) 日本海側経由のガソリン輸送戦略の提案

以上の議論から、需要量を減少させる方策はガソリン不足を解消するために不適切であったことがわかる。東北地域におけるガソリン不足を軽減するために本質的に必要とされた対策は、何らかの大規模なガソリン輸送戦略によって、供給量の制約を少しでも緩和することであった。待機需要を発生させないためには、震災当初より日本海側港湾へ大量のガソリンを供給するとともに、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も、蓄積された待機需要を減少させるべく、より積極的なガソリン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、ガソリン不足は長期化しなかったであろう。

本論文では、ガソリン不足問題を軽減させるための戦略として、日本海側港湾への積極的なガソリン供給戦略を考える。具体的には、以下の2つの戦略 S, L:

戦略 S(short) : $\varphi_S := \{3月15日 \sim 3月22日\}$ の7日間、日本海側の3港湾が受け入れ可能な最大量のガソリンを毎日連続して移入させる。

戦略 L(long) : $\varphi_L := \{3月15日 \sim 3月29日\}$ の7日間、日本海側の3港湾が受け入れ可能な最大量のガソリンを毎日連続して移入させる。

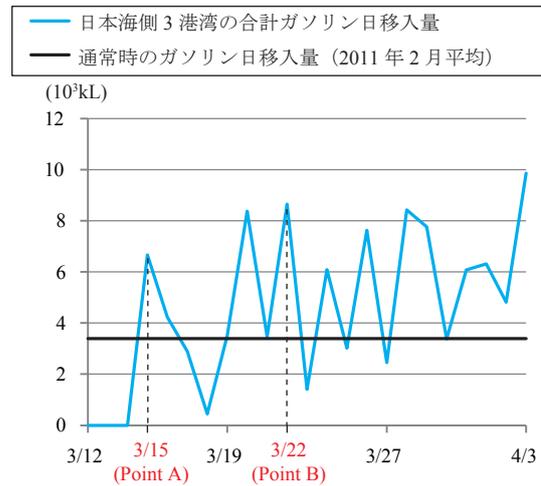


図-8 震災後の日本海側3港湾(青森・秋田・酒田)へのガソリン移入量

を考え、これらの戦略が実行された場合の経済損失軽減効果を明らかにする。なおこの際、次の基本ケースと比較する:

Base Case : 全ての港湾で、東日本震災当時と全く同一のガソリン移入が実施された場合。

戦略 S, L の差は、3月21日の仙台塩釜港の移入再開以降に日本海経由の積極的な転送を更に継続するか否かに相当する。基本的には、供給が継続する戦略 L の方が蓄積された待機需要を減少する効果が高い戦略であると言える。以下では、 φ_S および φ_L の、日本海側港湾を最大限活用した転送を実施する期間を、運用期間 (operational period) と呼ぶ。

それでは、日本海側の3港湾は、最大でどれだけのガソリン移入を受け入れることが可能だったのだろうか? 図-8は、日本海側の3港湾(青森, 秋田, 酒田)集計の日次ガソリン移入量である。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毎日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週間後の3月22日に、平常時(震災前月の平均)の約2.6倍 ($8.6 \times 10^3 \text{ kL}$) のガソリンが移入されている(図中, Point B)。そこで、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日以降、連続して合計 $8.6 \times 10^3 \text{ kL}$ (3月22日に日本海側の3港湾に移入されたのと同じ量) のガソリンを、これらの港湾が受け入れることができる。また、受け入れたガソリンを適切に東北地域の市町村に分配することができる。即ち、期間 φ_L の間に観測された最大の受け入れ量を有効に活用可能であると仮定する。

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⁴; 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⁵; 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.

6. ガソリン不足問題軽減効果の推計方法

以降では, 提案した戦略を評価するために, 次の 2 点を推計・概算する. 1 点目は, 4. で確認したような, 需要・供給のダイナミクス (累積図) を推計し, ガソリン不足問題の軽減効果を確認する. そして, 2 点目に, 日本海側港湾を経由することによって発生する追加的費用 (陸上輸送のためのタンクローリー追加投入費用) を概算し, 費用対効果を検討する. 本節では, その推計に用いる需給ギャップの時空間分布推定モデルと, それを用いた累積図の作成方法を説明する.

(1) 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:

$$\begin{aligned} X_j(t) &= (1 - \beta\Delta t)X_j(t-1) + \{r_j(t) - s_j(t)\}\Delta t, \\ t &= 1, 2, \dots, T, \\ X_j(0) &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

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:

$$q_j(t) := \frac{1 - \beta\Delta t}{\Delta t} X_j(t-1) + r_j(t). \quad (5)$$

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:

$$\min_{\mathbf{x}(t)} \sum_{i,j} c_{i,j} x_{i,j}(t) + \theta f[\mathbf{x}(t), \mathbf{X}(t)] \quad (6)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in D} x_{i,j}(t) = p_i(t) \quad \forall i \in O, \quad (7)$$

$$\sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \leq q_j(t) \quad \forall j \in D, \quad (8)$$

$$x_{i,j}(t) \geq 0 \quad \forall (i,j) \in O \times D. \quad (9)$$

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

⁴ 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, 発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・能力の急激な改善に求めることには無理がある.

⁵ 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, 5000 kL 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 20 kL ローリーへの移し替えは 20 分程度しか要さない.

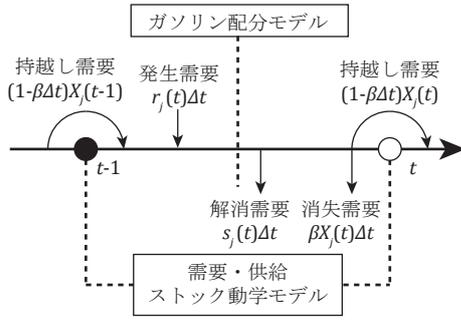


図-9 ガソリン配分モデルと
需要・供給ストック動学モデルの関係

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

$$s_j(t) := \sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \quad (10)$$

と表される。

以上 2 つのサブモデルの関係は図-9 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。

(2) パラメータの設定方法

上述のモデルの入力として必要なデータセットやパラメータは、以下のように設定した: (i) 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; (ii) 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; (iii) 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; (iv) 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 β を推計する; (v) 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 θ を推計する。なお、結果としては、 $\beta = 0.106, \theta = 20.56$ なる推計値を得た。

(3) 累積図の作成方法

上述のモデルから、期間中の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 $\{\mathbf{q}(t), \mathbf{s}(t) \mid t \in T\}$ が推計され、これを用いることで各市町村についてガソリン需給の累積図を作成できる。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

$$q_j(t) := \frac{1-\beta\Delta t}{\Delta t} X_j(t-1) + r_j(t) \quad (11)$$

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_{ij} を与件として問題 (6)-(9) 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

$$s_j(t) := \sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \quad (12)$$

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、

$$\mathbf{R}_j(t) := \sum_{\tau=0}^t r_j(\tau)\Delta t, \quad (13)$$

$$\mathbf{Q}_j(t) := \sum_{\tau=0}^t q_j(\tau)\Delta t, \quad (14)$$

$$\mathbf{S}_j(t) := \sum_{\tau=0}^t s_j(\tau)\Delta t, \quad (15)$$

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、それぞれ以下のように表す:

$$\mathbf{X}_j(t) := \mathbf{Q}_j(t) - \mathbf{S}_j(t), \quad (16)$$

$$\mathbf{U}_j(t) := \mathbf{R}_j(t) - \mathbf{Q}_j(t), \quad (17)$$

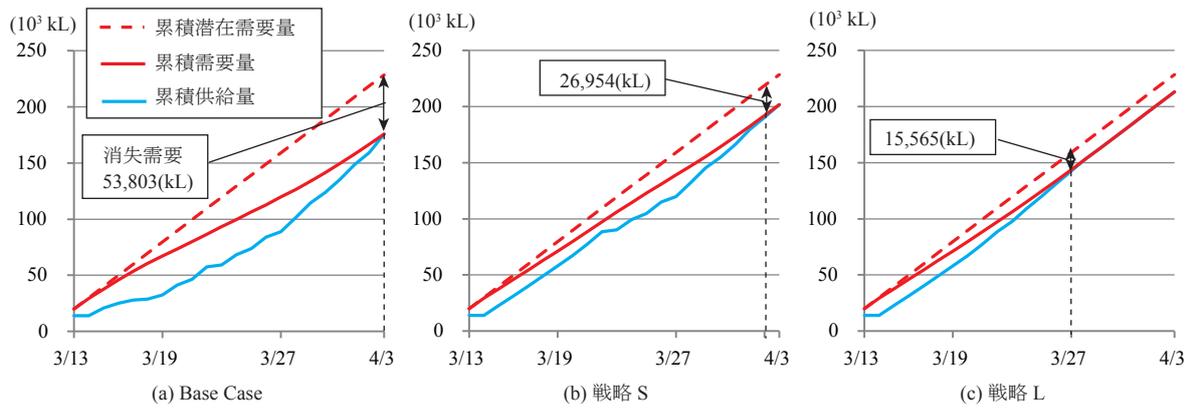


図-10 各戦略実施時の需要・供給の累積図

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

各時点の市町村ごとの需給ギャップは、各時点までの累積潜在需要量に対する累積供給量の比率 $\{\frac{S_j(t)}{Q_j(t)}\}$ と定義する。ガソリン輸送戦略 S, L は、各時点・各油槽所 $i \in O$ に対する移入量 $\{p_i(t)\}$ の境界条件を Base Case と比較して如何に変更するかに対応する。また、既に定義した時間インデックスを用いれば、戦略 S の operational period は $\varphi_S := \{3, 4, \dots, 11\} \subset T$ であり、戦略 L に対するそれは $\varphi_L := \{3, 4, \dots, 18\} \subset T$ である。

7. ガソリン輸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 つの輸送戦略—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輸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、それぞれの輸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) 東北地域の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、輸送戦略 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-10 は、Base Case および、輸送戦略 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 $R(t) := \sum_{j \in D} R_j(t)$ 、赤い実線は総累積潜在需要 $Q(t) := \sum_{j \in D} Q_j(t)$ 、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-10 を用いて、(i) 各時点における待機需要量の減少、(ii) 需給ギャップの早期解消、(iii) 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-10 から、輸送戦略によって、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

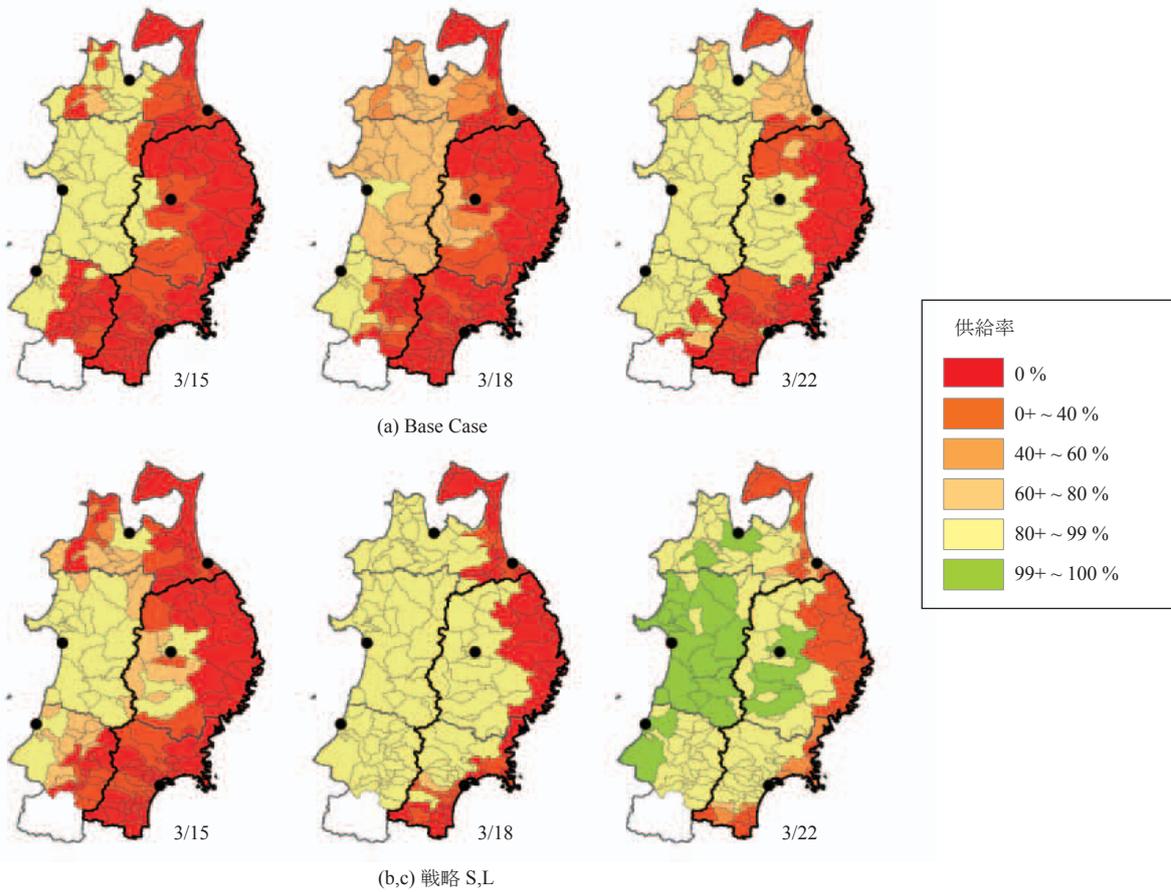


図-11 各戦略実施時の需給ギャップ時空間分布 (3/15, 3/18, 3/22)

である。すなわち、戦略 S, L の実施により、消失需要を 1/2~1/3 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、輸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、そのうえで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-11 と図-12 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 $\frac{S_j(t)}{Q_j(t)}$ 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-11 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、(i) 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、(ii) 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、輸送戦略によって、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-12 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-13 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。これらの累積図を輸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 (i) 待機需要量の縮小、(ii) 需給ギャップの早期解

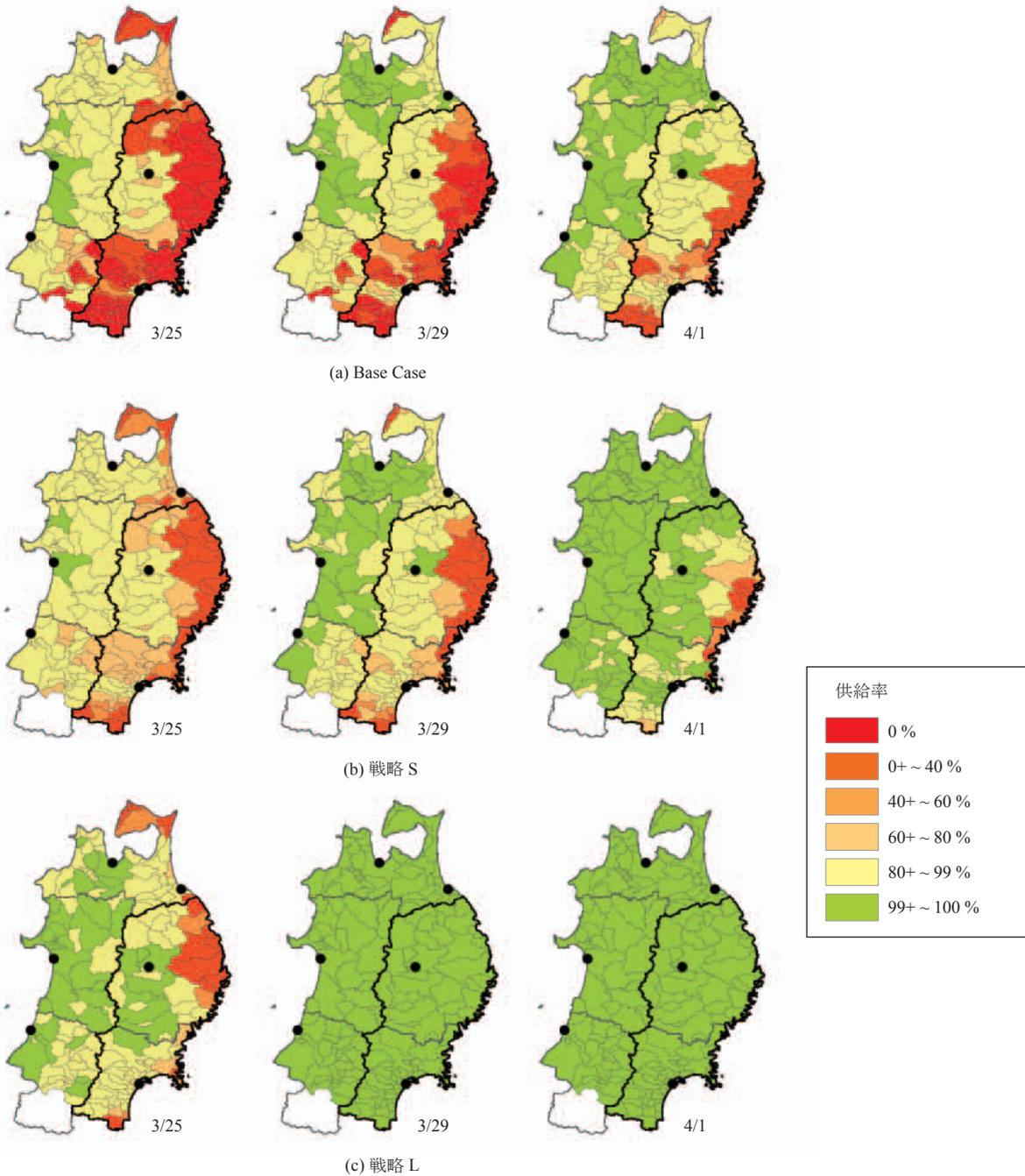


図-12 各戦略実施時の需給ギャップ時空間分布 (3/25, 3/29, 4/1)

消, (iii) 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-14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, 輸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:

$$Z(t) = \sum_{t=0}^T \sum_{ij} c_{ij} x_{ij}(t). \quad (18)$$

Base Case および各輸送戦略の下での累積総輸送時間を図-15に示す。直感的にも明らかなように, 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, 輸送戦略の費用

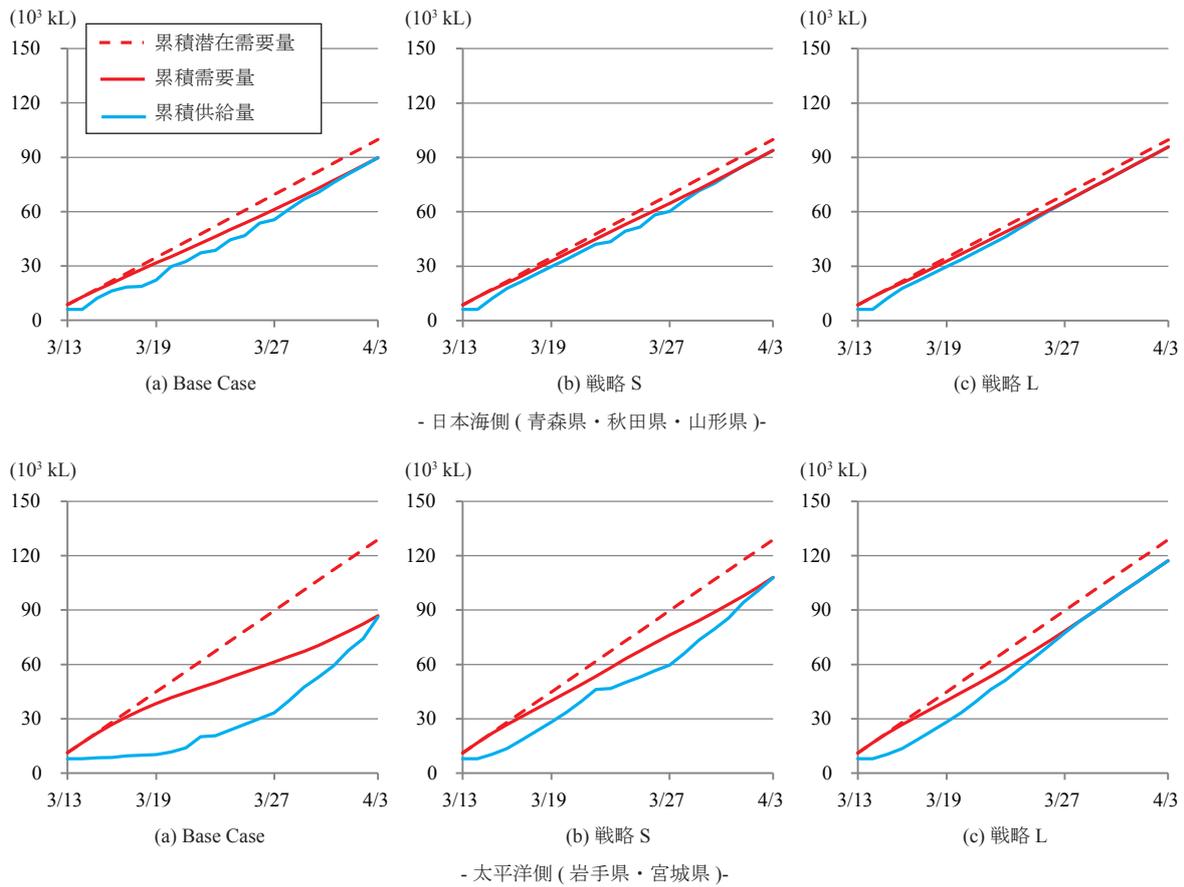


図-13 各戦略実施時の需要・供給の日本海側・太平洋側別累積図

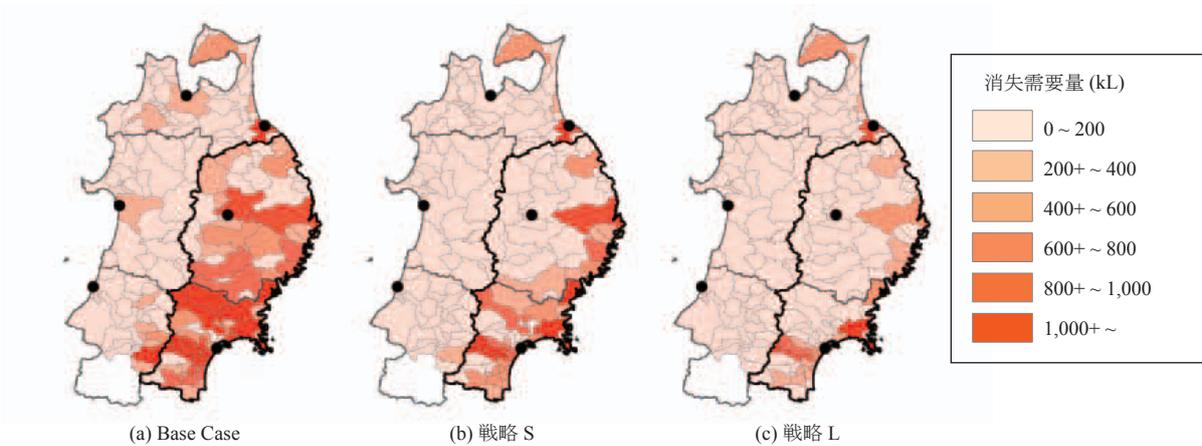


図-14 各戦略実施時の市町村別消失需要量

便益分析を行う。

(3) ガソリン輸送戦略の費用便益分析

本節では、ガソリン輸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、輸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

手法そのもの新規性・汎用性を論じることではない点に注意されたい。

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

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

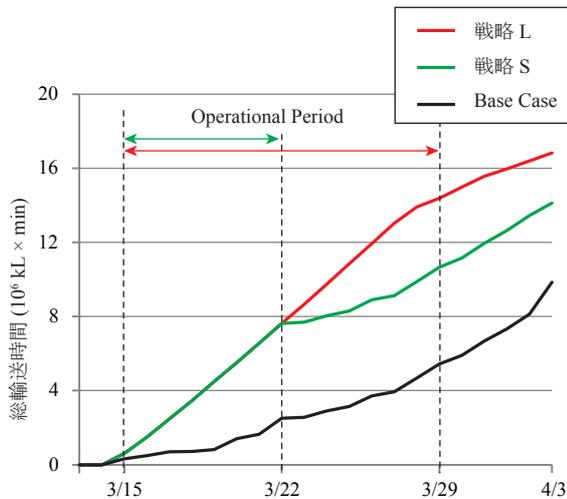


図-15 油槽所-需要地 (市町村) 間の累積輸送時間

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：

$$\begin{aligned} & \text{マクロ的経済損失 (JPY)} \\ &= \frac{\text{東北地域の年間 GRP} \times \text{消失需要量}}{\text{東北地域の年間ガソリン消費}} \quad (19) \end{aligned}$$

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：

$$\begin{aligned} & \text{ミクロ的経済損失 (JPY)} \\ &= \frac{\text{時間価値}^6 \times \text{総待機需要量}}{\text{1回あたりガソリン購入量}} \quad (20) \\ &= \text{時間価値} \times \text{総待ち時間} \end{aligned}$$

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-10 の累積需要曲線と累積供給曲線との面積) であり、以下の式で求められる：

$$\text{総待機需要量 (kL} \times \text{day)} = \sum_{t=0}^T X(t) \quad (21)$$

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 (20) 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 (20)) とマクロ的推計値 (式 (19)) 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 および輸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。結果として、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-15 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 18 kL 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 × 10³ (円) 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、戦略 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

⁶ 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。

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

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、輸送戦略 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る。

8. 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、適切なガソリン輸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 週間ににわたり、連続して平常時の 2.6 倍のガソリンを輸送できたならば、経済損失を半分から 3 分の 1 に減少させられることを明らかにした。そして、こうしたガソリン輸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 億円でしかないのに対して、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のガソリンを輸送すべきである。もちろん、こうした大量転送が、物理的な制約(例えば、手配可能なタンクローリーやタンカーなどの輸送機材およびその乗務員の上限、航路・港湾・油槽所・道路などの輸送施設・設備の輸送容量・受入上限など)により実行できない可能性も十分にあり得る。重要なのは「だから不可能だ」と思考停止するのではなく「ではどうするか」を合理的・建設的に立案することである。特に、今回被災した東北地域のように、通

勤における乗用車の分担率が高い多くの地方都市においては、ガソリンの流通は、電気・ガス・水道と同様、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。本研究の成果からは、災害時においてもこうした財を流通させるための(事前・事後の)具体的方策を予め計画しておくことで、社会経済活動の阻害により発生する甚大な社会経済損失を大幅に軽減できることが示唆される。換言すれば、各自治体には、民間企業に求められる BCP(*Business Continuity Plan*, 事業継続計画)の「自治体版」である SACP (*Socio-economic Activity Continuation Plan*, 社会経済活動継続計画)を予め策定しておくことが求められ、その中でガソリン流通の確保は欠かすことのできない最重要項目の一つである。

そして、こうした大規模なガソリン転送を震災後速やかに実行するためには、計画立案およびソフト/ハード両面の対策といった事前の準備に加え、災害発生時の迅速かつ的確な対応が必要不可欠である。具体的には、まず、事前の計画立案としては、

- (i) 平常時から市町村単位でのガソリン需要(販売実績)を収集・蓄積しておく；
 - (ii) 様々なシナリオを想定したロジスティクスのプランを策定しておく。その際にボトルネックとなる要素(上述した輸送機材・乗務員の上限や輸送施設の容量など)を明らかにしておく
- ことが必要である。そして、ハード/ソフト両面の対策としては、
- (iii) 計画立案時に明らかになった物理的ボトルネックに対しては、円滑な輸送に必要な容量を算出し、優先順位をつけて順次整備しておく；
 - (iv) 実際のガソリン輸送を担う個々の民間企業が迅速に戦略を実行できるような資金融通制度を整備しておく；

が挙げられる。特に、後者については、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、震災後速やかに資金を調達するための計画および輸送を担う民間企業への支払いスキームを前もって確立させておくことが必要不可欠である。

最後に、ひとたび災害が発生した場合、事後の対応としては、

- (v) 被災地域におけるガソリン供給能力を把握し、それと前述のガソリン需要を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；

(vi) 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、情報をシステマティックに収集・集約して具体的な輸送戦略を立案し、迅速かつ的確に運営を行う

ことが必要であり、そのためには、トップダウン型の指令系統の下、内閣府、経済産業省、国土交通省などの各省庁や石油連盟などが連動する必要がある。

謝辞： 本論文で用いた東北地域港湾の移入データは、国土交通省東北地方整備局、および青森港、八戸港、秋田港、酒田港、仙台塩釜港の港湾管理担当者を通してご提供いただいた。また、他地域製油所港湾からの移出データは、国土交通省北海道開発局、関東地方整備局、中部地方整備局、近畿地方整備局、中国地方整備局、四国地方整備局、および室蘭港、苫小牧港、千葉港、川崎港、横浜港、名古屋港、四日市港、和歌山下津港、堺泉北港、今治港、坂出港、水島港、岩国港、徳山下松港、宇部港の港湾管理担当者、並びに JX 日鉱日石エネルギー、出光興産、極東石油、コスモ石油、西部石油、太陽石油、東亜石油、東燃ゼネラル石油、富士石油の各担当者を通してご提供いただいた。これらのデータの適正な使用に関しては、国土交通省総合政策局情報政策課交通統計室からアドバイスを頂いた。また、復興庁統括官付参事官水谷誠氏、東北工業大学稲村肇教授からは、データ収集にあたり多大な協力を得た。熊本大学円山琢也准教授、東北大学井上亮准教授からは、GIS によるデータ処理に関連して協力を得た。この場を借り、関係者の皆様に心より感謝いたします。

付録 I 価格調整の社会的余剰分析

ここでは、ガソリンの価格調整による、余剰を概算・推計した結果を示す。具体的には、図-7 における供給曲線と需要曲線を各種データから作成し、3 種類の余剰を概算する。その結果から、式 (1)-(3) の関係が成立することを示す。なお、ここでは東北地域の発災後 3 週間のガソリン需給を対象とする、静的な枠組みで分析を行う。

まず、平常時の需給均衡点 (x, p) を、震災前年同月 (2010 年 3 月) のデータを用いて設定する。均衡価格 p は、資源エネルギー庁石油価格調査⁷⁾ における 2010 年 3 月 23 日の東北局・レギュラー小売価格から、130.2 (JPY/L) と設定した。均衡販売量 x は、2010 年の東北 5 県・3 月販売実績を 3 週間分に換算した、208,838 (kL) とする。次に、発災後 3 週間 (3/12~4/1) の間に東北地域に供給されたガソリン量は、図-5 から、148,460 (kL) であった。以上の情報から、平常時・震災時の供給曲線と平常時の需給均衡点を図示すると、図-16 のよう

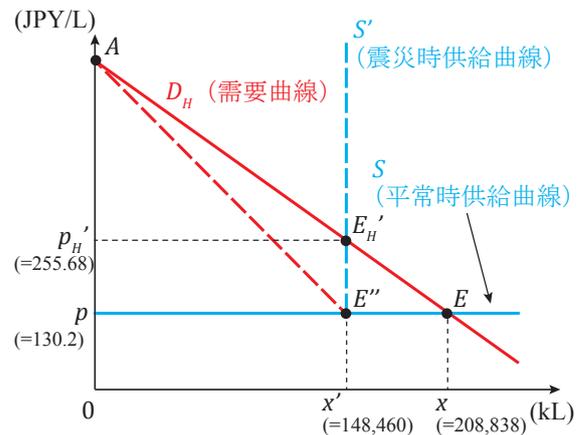


図-16 平常時需給均衡点と供給曲線の設定

表-7 震災時均衡ガソリン価格の概算結果 (JPY/L)

前年同月	130.2
$e_H = 0.30$	255.68
$e_L = 0.014$	2639.72

に書ける⁷⁾。

次に、需要曲線を設定する。ここでは、線形の需要曲線を仮定し、既存研究で算出されたガソリンの価格弾力性からその傾きを設定する。まず、メタアナリシス^{8),9)} から導出された、ガソリンの短期価格弾力性は、0.27 ~ 0.34 程度である。次に、日本のデータを用いた研究¹⁰⁾ を見てみると、都市部では 0.14 ~ 0.30 であるが、地方部を含む場合はより弾力性が低く 0.014 ~ 0.039 と算出されている。そこで、以降では一般的なガソリンの短期価格弾力性として $e_H = 0.30$ と、価格弾力性が最小のケースとして $e_L = 0.014$ の 2 パターンを適用して震災時均衡価格と、余剰を概算する。

2 パターンの価格弾力性と、震災時のガソリン供給量 x' から、震災時均衡ガソリン価格は表-7 のように概算される。結果から、一般的な弾力性のケース (e_H) では 2 倍、最小のケース (e_L) では 20 倍と、需給を均衡させるには非常に高額なガソリン価格を設定する必要があることが分かる。また、この分析では超短期⁸⁾ の需給均衡を対象としている点、震災時の混乱の影響を

⁷⁾ 本分析では、平常時の供給曲線は、販売量に関わらず価格一定であると仮定する。この仮定は、非現実的なものではあるが、震災時の需給均衡点と、余剰の価格調整あり/なしの比較には影響を及ぼさない。まず、発災後の需給均衡点は、震災時の供給量 (x') (価格調整ありでは、それと需要曲線) から決定される。次に、余剰分析では、この仮定によって「価格調整なし」時の生産者余剰がゼロとなる。しかし、この分の生産者余剰 (図-7 の $BCE''p$) は、価格調整あり/なし双方で同じ値をとる。つまり、たとえ平常時の供給曲線の傾きが変わっても、余剰分析における大小関係には影響を及ぼさない。

⁸⁾ 引用している既存研究における「短期」は、いずれも 1 年単位で算出されたものであるが、この分析では数週間オーダーの議論を行っている。

表-8 価格調整あり/なし 震災時余剰の概算結果 (億円)

弾力性設定 価格調整	$e_H = 0.30$		$e_L = 0.014$	
	あり	なし	あり	なし
社会的余剰	415	322	8,306	6,443
消費者余剰	229	322	4,580	6,443
生産者余剰	186	0	3,726	0

加味すると、実際の値上げによるガソリン購入行動変化は、より固定的である(弾力性が低い)可能性が高い。つまり、実際にはこの概算より高額な価格を設定しなくては需給が均衡しないかもしれない。このように、災害時の正確な価格弾力性を想定することは非常に困難である上に、表-7の通常時の弾力性の範囲においても適正な均衡価格は大きく異なるため、中央集権的に適当な価格を決定することはほぼ不可能であったといえよう。

次に、各余剰の計算結果を表-8に示す。この結果から、2パターンの価格弾力性の双方において、以下の関係が成り立つことが確認できる。

社会的余剰 価格調整あり > 価格調整なし (I.1)

消費者余剰 価格調整あり < 価格調整なし (I.2)

生産者余剰 価格調整あり > 価格調整なし (I.3)

よって、ここで設定した価格弾力性では、式(1)-(3)の関係が成り立つことがわかる。

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・経由等の供給確保, 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.noex-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.
- 8) P.B. Goodwin: A review of new demand elasticities with special reference to short and long run effects of price changes, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.26, No.2, pp.155-169, 1992.
- 9) M. Brons, P. Nijkamp, E. Pels and P. Rietveld: A meta-analysis of price elasticity of gasoline demand. A SUR approach, *Energy Economics*, Vol.30, pp.2105-2122, 2009.
- 10) Masayoshi Tanishita: Change in price and income elasticity of gasoline demand in Japanese cities, 1980's-1990's, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.6, pp.3250-3263, 2005.

(2015. 09. 18 受付)

POST-MEGADISASTER GASOLINE DISTRIBUTION STRATEGIES TO REDUCE SOCIAL-ECONOMIC LOSSES: LESSONS FROM THE GREAT EASTERN JAPAN EARTHQUAKE

Takashi AKAMATSU, Minoru OSAWA, Takeshi NAGAE and Hiromichi YAMAGUCHI

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 socio-economic activities in the entire Tohoku region. In this study, using actual data, we first clarify that the fundamental reason for the gasoline shortages was a 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 shortages 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. It is also discussed that a traditional price adjustment policy is not suitable for mitigating socio-economic losses due to such large-scale disaster. 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.