

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

東日本大震災では、石油精製・輸送施設が広域で被災し、東北・関東地方で石油不足問題が発生した。本研究では、石油製品販売実績と港湾・鉄道移入量統計を用いて、東北地域に対する発災後一ヵ月間の石油製品輸送実態を定量的に分析した。その結果、以下の事実が明らかになった：(1)発災後2週間の東北地域への石油製品移入量は、平常時需要量の約1/3に過ぎなかった、(2)2週間の供給不足により累積需要量が累積供給量を大幅に上回り、両者の差である待機需要が溜まった、(3)この待機需要(石油不足)が解消したのは発災後4週目となり、その結果、東北地域全体で約7日分(平常時の日需要量換算)の石油製品需要が消失した。

キーワード | 東日本大震災, 石油製品不足, ロジスティクス

赤松 隆
AKAMATSU, Takashi

博(工) 東北大学大学院情報科学研究科教授

山口裕通
YAMAGUCHI, Hiromichi

東北大学大学院工学研究科博士前期課程

長江剛志
NAGAE, Takeshi

博(情報科学) 東北大学大学院工学研究科准教授

稲村 肇
INAMURA, Hajime

工博 東北工業大学工学部都市マネジメント学科教授

1—はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、関東・東北地域を中心とする広い範囲で石油不足問題が発生した。多くのガソリン小売店(以下、『SS』)が在庫切れ状態となり、営業しているSSにも長蛇の列が発生するなど、石油製品が入手困難となった。この現象は、東北地域では震災発生から1ヶ月前後続き、様々な活動に深刻な影響を与えた。まず、自動車の燃料不足が、沿岸被災地への緊急救援物資の配送や救援活動を妨げる大きな制約となった。実際、これについては、被災地や物流企業の現場から多数の報告がなされている。次に、震災による物的被害は軽微であった内陸部においても、燃料不足によって通勤交通や復旧活動が大きく制限を受けた。特に、東北地域の最大経済拠点である仙台都市圏では、発災～4月初旬まで交通量が激減したことが観測されており、社会・経済活動が著しく低下したと推測できる。さらに、燃料不足による物流機能低下や企業での石油製品不足は、震災後生じた製造業のサプライ・チェーン問題においても、その発生要因の一つとなった。

このように、今回の石油不足は被災後の東北地域社会に大きな混乱と打撃を与えた現象である。にも関わらず、その全貌を俯瞰的に把握しうる十分な情報は、震災後1年を経た現時点でも、社会的に公開・共有されているとは言い難い。石油不足発生の最初の原因については、政

府および石油業界から公表された：千葉・鹿島・仙台の石油精製施設および東北地域・太平洋沿岸の港湾施設が被災し、東北地域への石油製品の供給機能が停止したことが、石油不足の発端である。しかし、その後、①どの様な対策が実施されたのか？ ②その結果、どの様な状況となったのか？ ③なぜ1か月近くも石油不足が続いたのか？といった基本的な疑問に系統的に答え得る情報は、ほとんど公表されてこなかった。実際、政府・経済産業省が発災1週間後から始めたInternet上の発表も、全体的な対策の概略方針、あるいは断片的な個別オペレーションに関わる情報が大半である。また、石油不足の解消後も、経済産業省や石油連盟からは、石油不足期間に生じた状況を俯瞰的かつ定量的に把握し得る情報や分析結果は公開されなかった^{注1)}。さらに、第三者機関からは、石油不足の主原因を消費サイドの「買いだめ行動」に帰する論文²⁾等、事実誤認と思われる情報が発信されている^{注2)}。震災後1年以上を経た2012年3月末に、ようやく経済産業省による報告書³⁾が公開されたが、その内容は、SSおよび需要サイドに対するアンケート調査の集計結果と定性的対策に関する記述が大半である。すなわち、供給サイド(石油製品のロジスティクス)に関する定量的記述・分析がほとんどないため、上記の疑問への解答は、いまだ曖昧なままである。

将来、東海・東南海・南海連動型地震といった広域災害発生時に、同様の事態を繰り返さないためには、合理

的な対策の実施が求められる。このような広域的な石油不足の発生は、(70年代の石油危機を除けば) 我国では初めての経験であり、対策の立案に際しては、今回の経験・知見を十分に活用すべきである。対策としては、事前の方策(e.g., 石油供給施設補強や石油製品備蓄の計画、政府による震災時支援制度の設計等)および事後的な方策(e.g., 災害状況に対応した石油製品のロジスティクス戦略)が考えられよう。何れの方策にせよ、その合理的な立案・検討には、今回の石油不足に際して「事態がどの様に発生し、どの様な対策が実施され、その結果、どの様な状態が広域的な対象空間において時系列的に進展したのか」といった事実関係を俯瞰的かつ定量的に把握しておくことが必要である。特に、発災後のロジスティクス戦略を検討するためには、他地域から東北地域への石油製品の移入量、東北地域内での配分輸送量、および各地域での需給ギャップの実態等に関する定量的情報は、必須かつ貴重な材料である。

上記の問題意識に基づき、本論文は、震災発生後1ヶ月間の東北地域における石油製品輸送の実態および石油不足の俯瞰的状況を定量的に把握することを目的とする。その分析に利用する主なデータは、県別の石油製品販売実績統計(月毎)と港湾間移入・移出量統計(日毎)である。本論文では、まず、後者のデータを基に、発災後1ヶ月間の東北地域油槽所への石油製品移入量の推移を整理する。次に、このデータと平常時需要データを基に、東北地域全体での需給関係(需給ギャップ)の推移を分析する。さらに、石油不足の空間的な進展状況を把握するために、販売実績統計も併用し、県別の需給ギャップを推計する。

本論文の分析の結果、今回の石油不足問題では、東北地域への石油製品供給量が圧倒的に不足していたことが明らかにされる。より具体的には、①発災後2週間の東北地域全体への石油製品移入量は、平常時の(同一期間)需要量の約1/3に過ぎなかった。②この移入量不足は、港湾施設が被災した宮城県・福島県・岩手県で、特に顕著であった。③日本海側油槽所から移入された石油製品の太平洋側地域への転送量も十分ではなかった。④この2週間の供給不足により、累積潜在需要量が累積供給量を大幅に上回り、両者の差である待機需要(“需要の待ち行列”)が溜まった。⑤発災後3週目からの供給量/日は、フローとしての需要量/日と同程度までは回復したものの、ストック変数である待機需要をすみやかに解消しうる水準ではなかった。⑥その結果、“待ち行列”が捌け終わったのは、発災後4週目となった。⑦3週間にわたる“待ち行列”発生の結果、実現需要は大幅に抑制され、東北地域全体で約7日分相当量(平常時の日需要量換算)の

石油製品需要が消失した(i.e., その消失需要量に対応する社会・経済的活動が実行不可能となり、莫大な経済的損失^{注3)}が発生した)。これらの事実から、東北地域での石油不足問題への対策としては、供給サイドの検討が不可欠であり、消費サイドは二義的な問題^{注4)}であることが示される。

本論文の構成は以下の通りである。2章では利用データと本論文での分析対象を説明する。3章では東日本大震災による石油製品供給施設の被災状況を整理する。4章では、石油製品販売実績統計に基づいて、東日本大震災の影響を概観する。5章では、船舶と鉄道の輸送量データに基づいて、発災前後の東北地域に対する石油製品の輸送状況を分析する。6章では、販売実績統計と輸送量データに基づいて、発災後の東北地域全体での集計的需給ギャップを分析する。また、油槽所-市町村間の配送モデルを作成し、発災後の県別需給ギャップを推計する。7章は結論である。

2—収集データと分析対象

本章では、石油製品の供給フローを簡単に説明する。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。そして、精製された石油製品は、図-1に示すような流れで製油所から各地へ供給される。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には、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。

本論文では、石油製品の輸送状況と需給ギャップを把握するために、石油製品販売実績データと石油製品輸送データを用いる。まず、石油製品販売実績データは、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分かるデータである。これは、経済産業省がまとめている資源・エネルギー統計⁴⁾の一部である。なお、このデータは図-1に示す供給フローの中では(d)の量に該当する。次に、石油製品輸送データは、東北地域の



■図-1 石油製品の供給フローと収集データ

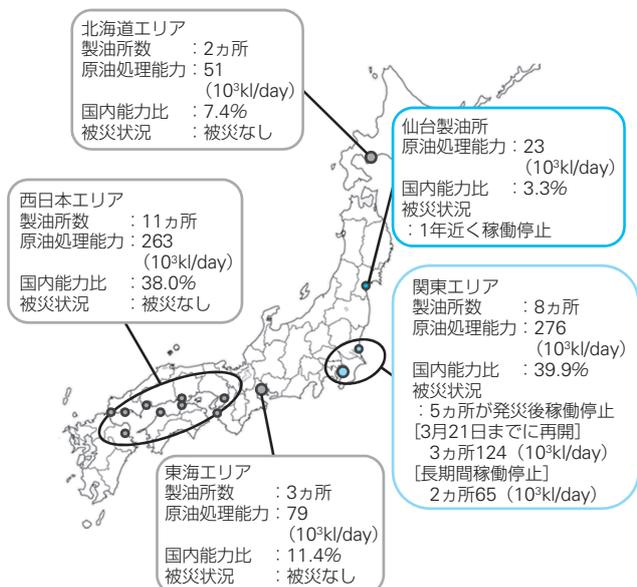
港湾における移出入データ(以下、『港湾データ』)と、東北地域向けの鉄道輸送量(以下、『鉄道データ』)の2種類からなる。港湾データは、東北地域各港湾で行われた移入の日時と量、積み込み港湾が分かるデータである。これは、国土交通省東北地方整備局から提供いただいた。鉄道データは、東北地域への鉄道による石油製品輸送実績が日毎に把握できるデータである。これは、既存の分析で佐々木⁵⁾が示した数値を用いた。なお、これらの石油製品輸送データは図-1に示す供給フローの中では(b)の量に該当する。

本論文での分析対象油種および、対象地域は以下に示すとおりである。石油製品の中でも分析対象とする油種は、交通関係や一般家庭において燃料として利用される揮発油・軽油・灯油の3油種とする。ただし、本論文では3油種の合計量についての分析結果のみを報告する。油種毎の分析は追って報告する予定である。そして、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。福島県については、原発事故の影響で多くの人が移動した。そのため、震災時地域毎の需要量の推計が困難であり、本分析では除外した。本論文で示す結果は明記がない限り福島県を除いたものである。

3—石油製品供給施設

3.1 日本の製油所とその被災状況

日本の製油所の立地は、図-2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、瀬戸内海(西日本エリア)と東京湾(関東エリア)に多くの製油所が集中していることが分かる。また、東北地域には仙台製油所1カ所しか存在しない。



出典：石油元売り各社の発表を元に作成

■図-2 エリアごとの製油所数とその被災状況

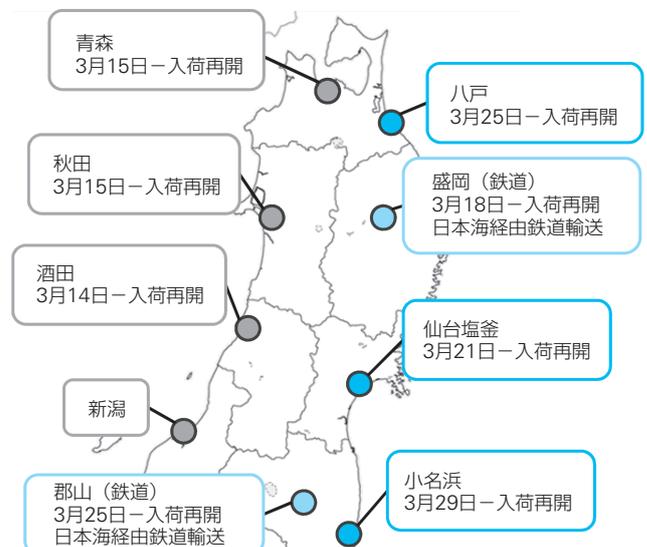
東日本大震災による製油所の被災状況を簡潔にまとめておこう。まず、東北地域では唯一の仙台製油所が被災し長期間稼働停止した。つまり、震災後の東北地域は、石油製品全量を他地域から輸送せざるを得ない状況となった。次に、日本全体では、仙台製油所以外に関東エリアで5カ所の製油所が被災により稼働を停止した。ただし、5カ所のうち、被害が小さかった3カ所は震災後数日で再稼働している。結局、被災により長期間稼働停止に追い込まれた製油所は東北・関東エリアの3カ所で、その原油処理能力は日本全体の約13%である。

製油所の被災状況から、日本全体でみると石油製品量は不足していなかったと考えられる。その理由として2点挙げられる：1点目は日本の製油所は余剰能力を抱えていた^{6), 7)}こと、2点目は石油製品備蓄の一部が放出された^{8), 9)}ことである。このことから、日本全体でみると石油製品量と生産能力は十分であった。そして、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基本的な原因であったといえる。

3.2 東北地域の主要油槽所とその被災状況

通常時、製油所が1カ所しかない東北地方では、地域内の油槽所を介して、他地域で精製された石油製品を供給していた。東北地域の主要油槽所の立地を図-3に示す。盛岡と郡山にある油槽所以外は、石油製品を製油所から船舶で輸送できる港湾に立地している。内陸にある盛岡と郡山の油槽所に対しては、製油所から鉄道を用いて輸送されている。

次に、東日本大震災による油槽所の被災状況を整理する。図-3に示す入荷再開日からもわかるように、東北地域ではほぼすべての油槽所が、震災後に一時入荷ができ



出典：石油元売り各社の発表を元に作成

■図-3 東北地域の主要油槽所と入荷再開日

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られる。発災後3、4日たつと、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。以上をまとめると、震災時の東北地域の石油製品供給施設の状況は以下の3つのphaseに分けられる：

- 1stphase：発災後3日間。全油槽所が利用不可能な状態。
- 2ndphase：発災から4日～10日後まで。太平洋側の油槽所は津波被災により利用できないが、日本海側の油槽所は利用可能な状態。
- 3rdphase：発災から10日後以降。仙台製油所の被災により依然生産はできないが、太平洋側の各油槽所も順次機能を回復しつつある状態。

なお、図一3に記載した油槽所以外に、気仙沼市と釜石市にも油槽所は存在するが、それぞれの取扱量は主要な油槽所と比較して非常に少なく、さらに被災により長期間利用されていない。そのため、本論文の分析対象から除外した。

3.3 東北地域のタンクローリー台数と発災後の対応

平常時に東北地域で運用されているタンクローリーの台数と容量を表一1に示す。東北地域全体では、タンクローリーの総数は約700台であり、日本海側(青森・秋田・山形)のタンクローリー台数は少ない(東北全体の1/3～1/4)ことが分かる。一台当たりの容量は約20klであり、船舶(一隻で2,000～5,000kl)や鉄道(一編成で約1,000kl)の容量と比較すると1/100のオーダーである。

発災後、東北地域ではこのタンクローリー車両数が不足した。これは、太平洋側の油槽所が被災し、約150台が消失した上に、(平常時には想定されていない)日本海側油槽所から太平洋側地域へタンクローリーで供給する必

■表一1 東北各県のタンクローリー台数平成22年3月末時点(資源エネルギー庁調査)

	車両台数 [台]	容量合計 [kl]	平均容量 [kl/台]
青 森	156	2,868	18
岩 手	35	591	17
宮 城	294	5,303	18
秋 田	86	1,583	18
山 形	25	454	18
福 島	112	2,079	19
計	708	12,878	18

■表一2 発災後のタンクローリー追加台数

発表日	phase	発災後のタンクローリー 累積追加投入台数 [台]
3月19日	2 nd phase	120
3月21日		198
3月25日	3 rd phase	247
3月31日		257
4月14日		303

要に迫られたためである。そのため、2nd～3rdphaseの期間に、西日本から約300台のタンクローリーが東北地域に転送された(表一2参照)。ただし、その詳細な情報は公表されておらず、各油槽所/地域別のタンクローリー配備台数(i.e., 配給容量)は不明である。

4——東北地域の石油製品販売実績

4.1 通常時の石油製品販売の特徴

東北地方における石油製品販売量は、冬季に量が多く夏季は少ない。これは、暖房として利用される灯油の販売量について季節変動が大きいことが原因である。そのため、東北地方では11月から4月にかけて石油製品の販売量が多い時期が続く。つまり、東日本大震災が発災した3月は石油製品需要が大きい時期であったといえる。

本論文では、東日本大震災の発災直前の2月と直後の3月のデータを比較しつつ分析を進める。このことについて、数年分の販売実績データをみると、対象3油種合計の販売量は2月と3月で大差はない。よって、本論文で示す発災直前と直後で比較した差は震災による影響であるといえる。

4.2 販売実績から見る東日本大震災の影響

東日本大震災の影響を販売実績から見てゆこう。表一3は、東北各県での2011年2月～4月の月間販売実績を前年同期比(%)で比較している。この表から、2月には前年同期比で増加していた販売実績が、3月～4月には大きく減少したことがわかる。特に減少の大きい3月販売実績のうち、発災後の期間(3月11日～31日)のみを取り上げると表一4が得られる。ここで、

$$[A] = (21/31) \times [2010年3月販売実績]$$

$$[B] = [2011年3月販売実績]$$

$$- (10/31) \times [2010年3月販売実績]$$

である。

表一4から、東北地域全体の販売実績は前年比60%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、太平洋側の宮城県と福島県では前年比の50%未満、岩手県でも約60%に激減している。また、震災被害は軽微であった内陸部の山形県でも約70%と大きく減少している。このように販売量が大き

■表—3 東北各県における販売実績の前年比(%)

	青森	岩手	宮城	秋田	山形	(福島)	対象5県計	6県計
2011年2月	118	101	104	102	110	107	107	107
2011年3月	86	74	64	88	82	65	77	74
2011年4月	84	90	82	96	94	81	88	86

■表—4 東北各県における3月発災後販売実績量の前年比較

	青森	岩手	宮城	秋田	山形	(福島)	対象5県計	6県計
[A]前年同期間販売量(10 ³ kl)	125	104	195	97	83	139	604	743
[B]3月発災後販売量(10 ³ kl)	99	64	92	79	61	68	395	463
前年比(%)	80	61	47	82	73	49	65	62

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、

販売実績 = 供給量 < 本来の需要量

と考えるのが自然である。実際、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(前年比80%以上)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、5、6章でより詳しく議論する。

なお、表—3と表—4の販売実績データには、震災後に実施された各種組織からの無償供与分は加えていない。その理由は、本論文で扱う統計データの数値オーダーと比較すれば、無償供与の数量は、統計データに含まれる誤差と同程度とみなせるからである。例えば、石油連盟によるドラム缶2000本の無償供与¹⁰⁾は、一般的ドラム缶容量(200ℓ)を用いて換算すると僅か0.4(10³kl)である(これは、東北地域での1日の石油製品需要量の1/100オーダーの数値である)。このことから、本論文では無償供与分の影響は無視しうるものとして分析する。

5—東北地域への石油製品輸送

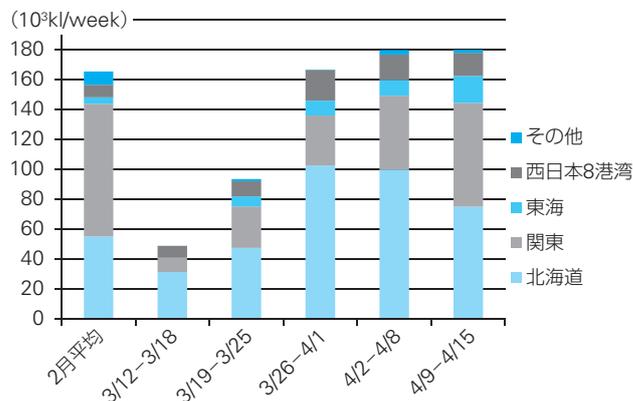
本章では、東北地域港湾の港湾データと鉄道データを利用し、震災後、製油所から東北地域油槽所に輸送された石油製品の輸送パターンとその時系列変化を把握する。

5.1 他地域製油所からの移出量

本節では、震災後、全国の製油所から東北地域の油槽所向けに移出された石油製品の輸送パターン及び移出量の時系列推移を示す。表—5は、震災前と後の各1ヵ月間について、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。図—4は、震災時の各地域における東北地域向け移出量(週別)の推移を示してい

■表—5 製油所港湾からの東北地域向け石油製品移出量の震災前後1ヵ月比較

	北海道	関東	東海	西日本8港湾	その他	計
震災前(10 ³ kl)	235	362	20	42	39	698
震災後(10 ³ kl)	303	134	31	56	6	530
増加量(10 ³ kl)	68	-228	11	13	-32	-168



■図—4 震災後の東北地域向け石油製品移出量(週毎)の推移

る。なお、これらの集計値には福島県の小名浜港向けの移出量は含んでいない^{注5)}。また、製油所(起点)から油槽所(終点)への石油製品輸送のOD(起・終点)輸送量パターンについては、付録を参照されたい。

表—5から、各地域からの東北地域向け石油製品移出量が震災前後で大きく変化したことが分かる。第一に、震災前に過半数を占めていた関東地域からの移出量が、震災後には約1/3に激減した。これは、関東地域も石油不足の状況にあり、東北地域に転送する余裕がなかったことが原因であると考えられる。第二に、北海道地域からの移出量が震災後に大幅に増加した。つまり、関東地域からの移出減少に対して、北海道地域からの移出増加によって対応したと考えられる。第三に、西日本地域や東海地域からの移出量については、震災後に増加したものの、その増加量は(全体と比較すれば)僅かである。これは、2011年3月17日の経済産業大臣の会見⁸⁾、及び、それ以降の経済産業省の発表⁹⁾内容が、実態と著しくかけ離れたものであったことを意味している: 経済産業省は、西日本の製油所から約2万kl/dayのガソリン等を東北地方に転送すると発表していた。この量は、表—5の表記に合わせると1ヵ月間に約600(10³kl)である(i.e., 東北地域で必要な量の大半を西日本から転送することを意味する)。しかし、実際には、北海道からの輸送が中心であり、西日本からの輸送量は、経済産業省発表の1/10未満に過ぎなかったことを表—5は示している。このことから、政府・経済産業省と石油業界(実際に石油輸送計画を立案・実施

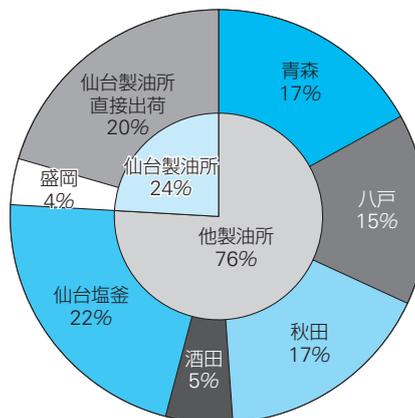
した各石油会社)の間での情報交換・対策方針の調整が十分ではなかったと推測される。

発災後の東北地域向け移出量の時系列推移を、図一4を用いて、詳しく見てゆこう。まず、発災後2週間は、総移出量が非常に少ないことが分かる。より具体的には、平常時輸送量(2月の平均移出量/週)との比較で、1週目は約1/4、2週目は約1/2しか輸送されていない。移出量が少ない原因の一つは、油槽所の被災により、東北地域内で受け入れ態勢が整っていなかったことにあったと考えられる。次に、発災後3、4週目の総移出量は、ほぼ平常時の移出量に回復している。ただし、平常時の仙台製油所からの直接出荷分(5.2節参照)まで賄うことのできる水準ではない。その内訳をみると、北海道地域からの移出量が占める割合が特に大きい。このことから、発災後3、4週目は関東地域からの転送が困難で、その不足分を北海道からの転送で補ったと考えられる。関東地域からの移出量は5週目まで徐々に回復し続け、それに応じて北海道からの移出量が減っている。発災後5週目には、関東からの移出量は発災前の9割近い水準まで回復している。

5.2 東北地域油槽所への移入量

本節では、東北地域の各油槽所における石油製品移入量とその時系列推移を示す。発災後の様子を見る前に、まず、発災前(2011年2月)時点での東北地域油槽所の移入量シェア(図一5)を確認しておこう。ここで、図一5の「仙台製油所直接出荷」は、仙台製油所から直接SS等に出荷された量である(正確な出荷量は公表されていないため、販売実績総量と移入総量の差とした)。また、盛岡の移入量は、仙台から鉄道で輸送されているため、仙台製油所の出荷として扱った。この図から読み取れる東北地域の石油製品供給体制の特徴は、仙台エリアが東北地域への石油製品供給の一大拠点として機能していたことである。仙台塩釜港の移入量と仙台製油所の出荷量を合わせると、全体の46%に達する。そして、残りのシェアを青森・八戸・秋田港の各油槽所で、ほぼ3等分している。また、酒田港への移入量は、他港湾の1/3以下と少ない。これは、山形県の多くの地域が物流網(石油製品を含む)を仙台経済圏に依存しているためである。

発災前後での東北地域港湾の石油製品移入量の変化を見てゆこう。表一6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、まず、津波被害をうけた太平洋側港湾の移入量が激減していることがわかる。すなわち、八戸港や仙台塩釜港では、発災後の移入量が、各々、発災前の約1/3と1/2に激減している。それに対して、日本海側の秋田港や酒田港では、発災前よりわずかに(1~2割程度)多くの量



■図一5 2011年2月東北地域各油槽所の石油製品移入量シェア

■表一6 東北地域港湾における石油製品移入量の発災前後1ヵ月比較

	青森	八戸	秋田	酒田	仙台塩釜	(小名浜)	対象5港湾
発災前 (10 ³ kl)	160	143	159	39	197	122	698
発災後 (10 ³ kl)	143	46	175	47	119	32	530
増加量 (10 ³ kl)	-17	-97	16	8	-77	-90	-168

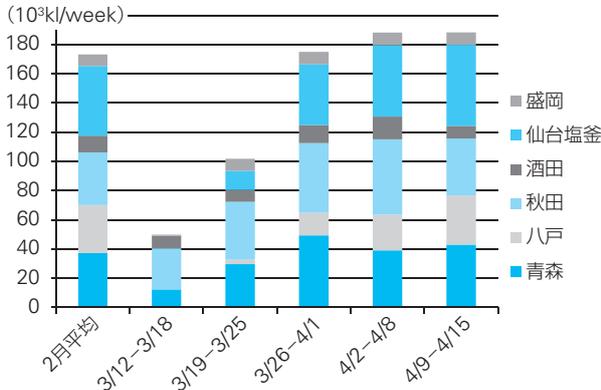
が移入されている。そして、東北地域全体での発災後1ヶ月間の移入量は、発災前に比べ、仙台製油所直接出荷に相当する量(約1/4)が減少している。

発災後の移入量の時系列推移を、図一6~8を用いて、詳しく見てゆこう。まず、発災後2週間の総移入量は、図一6の週毎移入量からわかるように、非常に少なく、平常時の同一期間需要量の約1/3に過ぎない。図一7に示す東北地域全体での日毎移入量で見ても、2万kl/day以上の移入量があったのは、1週目は1日、2週目は3日しかない。この期間は、太平洋側の八戸港と仙台塩釜港がほとんど利用できず、日本海側の秋田港・青森港・酒田港のみが機能していた。しかし、これら日本海側港湾の移入量の増加は(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となっていたことがわかる。また、2週目以降、盛岡油槽所への鉄道による迂回輸送が開始されたが、図一6と図一8に示す累積移入量からも明らかな様に、その供給量は港湾機能を代替しうる水準ではない。次に、3週目以降の総移入量は、図一6から判るように、平常時とほぼ同一の水準に回復している(ただし、5.1節で見た総移出量の場合と同様、仙台製油所出荷分の不足をまかなえる水準ではない)。図一7の日毎移入量で見ても、2万kl/day以上の日が増加している。この変化は、太平洋側港湾が2週目末までに(仙台塩釜港が3/21に、八戸港が3/25に)復旧し、3週目以降、その移入量が増加した効果である。このことは、日本海側港湾では、移入量(図一8a)の累積移入曲線の傾き)がほぼ一定である一方、太平洋側港湾の移入量(図一8b)の累積移入曲線の傾き)は増加し続け

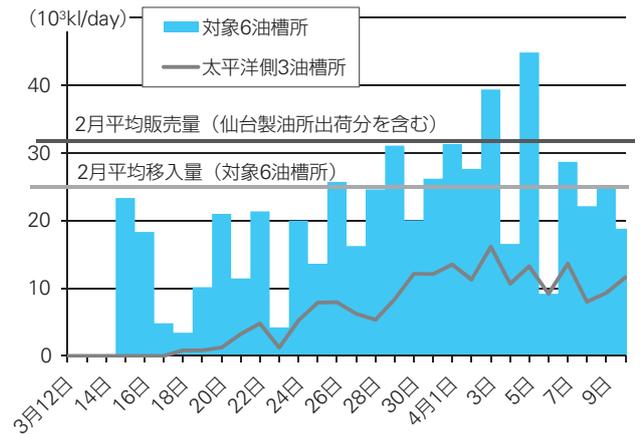
ていることから明らかである。結局、発災3週目に太平洋側の八戸・仙台塩釜港が機能を十分回復するまでは、東北地域全体への石油製品の供給は十分になされなかったことが判る。

なお、図—6, 7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—6, 7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。すなわち、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6章で詳しく検討する。

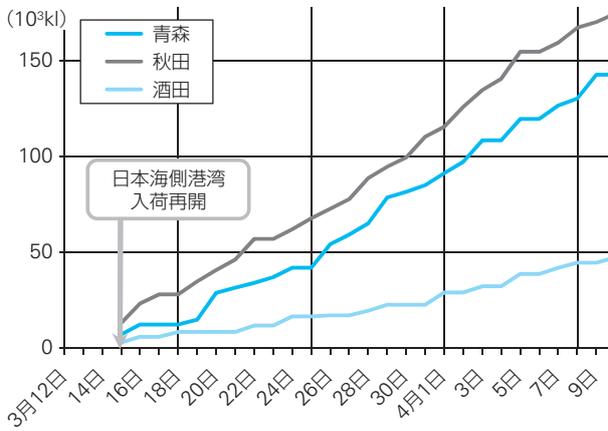


■図—6 発災後の東北地域港湾における石油製品移入量(週毎)の推移

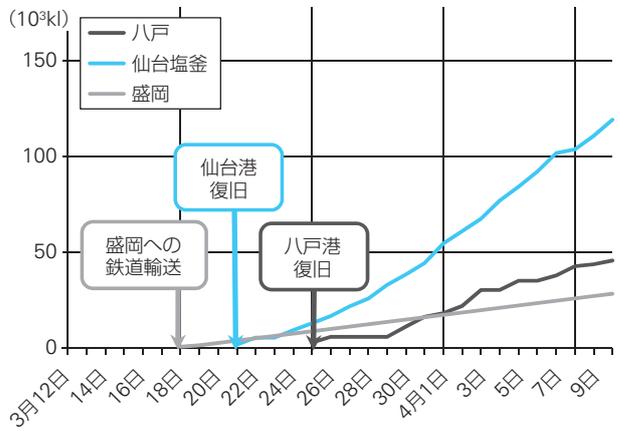


注：「太平洋側3油槽所」は八戸・仙台塩釜・盛岡、「対象6油槽所」は青森・秋田・酒田および上記3油槽所である。

■図—7 石油製品移入量(日毎)の推移



a) 日本海側港湾(青森, 秋田, 酒田)



b) 太平洋側港湾(八戸, 仙台塩釜)および盛岡油槽所

出典：図a), b)ともに、横軸は発災後4週間の月日、縦軸は石油製品の累積移入量(単位は 10^3kl)を表す。

両図に描かれた港湾(油槽所)ごとの累積曲線は、発災後最初の入荷から計測した累積移入量を1日ごとにプロットしたものである(この曲線の傾きは移入率(移入量/日)を意味する)。

■図—8 東北地域各油槽所の累積移入量

6——東北地域における集計的需給ギャップ

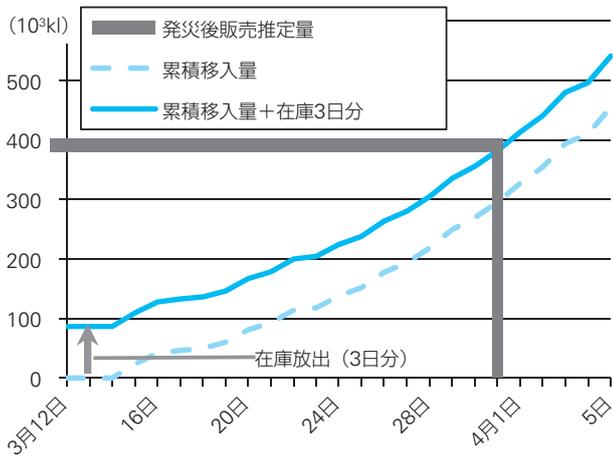
本章では、石油製品の販売実績と輸送量データを組み合わせ、東北地域全体での石油製品の在庫放出量、需給ギャップ、消失需要を分析する。累積図を活用したこれらの分析により、今回の石油不足が1ヶ月近くも続いた理由が明らかとなる。

6.1 東北地域全体での在庫放出量

東日本大震災の発災後、東北地域のSSや油槽所では、他地域からの移入による供給の不足をまかなうために、在庫を放出したと考えられる。その在庫放出量は、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恒等式：

$$\text{累積販売量} = \text{累積移入量} + \text{在庫放出量}$$

を用いて求めることができる。すなわち、3月発災後の販売実績から左辺の累積販売量(*i.e.*, 表—4に示した県別販売実績の総和)を、石油製品輸送データから右辺の累積移入量(*i.e.*, 図—8に示した各油槽所の累積移入量の総和)を計算すれば、発災直後から3月31日までの在庫放出量を導出できる。その結果、東北地域全体での在庫放出量は $92(10^3\text{kl})$ 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3日分である(図—9参照)。



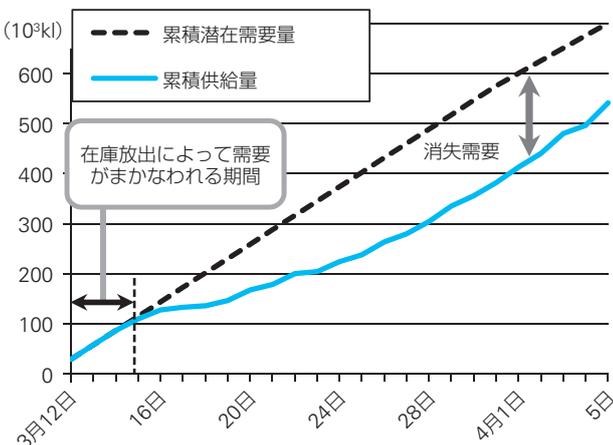
■図—9 販売実績と油槽所累積移入量の比較

6.2 東北地域全体での集計的需給ギャップ

東北地域全体で、発災後の供給量が需要量をどの程度満たしていたかを分析してみよう。ここで、「供給量」は、東北地域にある油槽所の移入量に、3日分の在庫放出分を加えたものとする。一方、「需要量」については、昨年同月の日販売実績量を本来の*(i.e., 十分な供給がなされた場合)*の一日当り消費量と想定し、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。

図—10に累積潜在需要量(黒色の点線)と累積供給量(青色の実線:累積移入量+在庫3日分)を示す。この図では、発災直後3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。この図から、仮に潜在需要量が実現していたなら、累積需要曲線が常に累積供給曲線の上に位置する、すなわち、供給量は不足し続けることが分かる。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¹¹⁾。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。

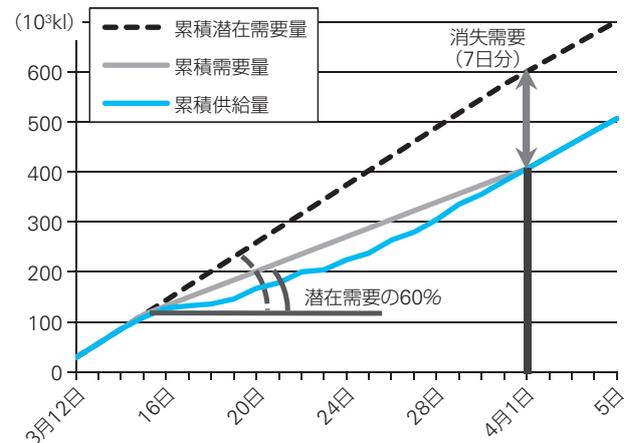
消失需要量が存在したと考えると、実際に実現した消



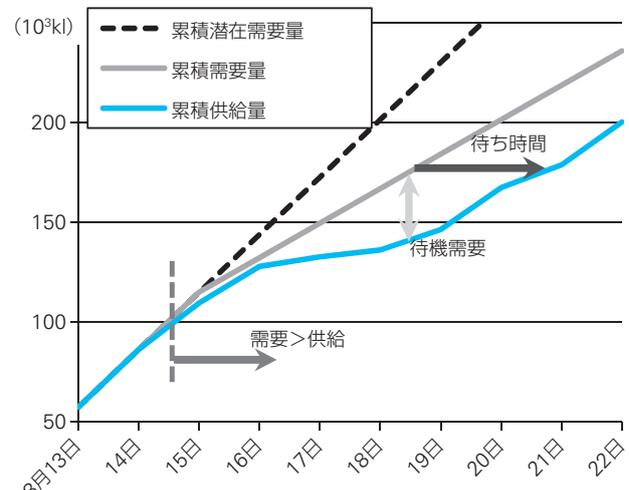
■図—10 在庫放出を考慮した累積供給量と累積潜在需要量の比較

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、仮に4月1日に供給不足が解消したと仮定し、一日当たりの需要量は一定と想定した場合の累積需要量(黒色の直線)を図—11に示す。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60%となる。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り、供給不足が解消したと仮定した時点(4月1日)での消失需要量は、潜在日需要量に換算すると、約7日分である。なお、この量は、表—4で示した発災後販売量と前年販売量の差に等しいことが確認できる。

さらに、図—11の一部期間(3/13~22)を拡大表示した図—12を用いて、累積需要曲線(黒実線)と累積供給曲線(青色実線)の“ギャップ”を見てゆこう。ここで示される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—12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、東北地域全体での“待機需要量”を表す。水平軸方向の距離は、石油製品を購入希望した時点から実際に入手できるまでに必要な(東北地域全体での平均的)“待ち時間”である。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



■図—11 累積需要と消失需要



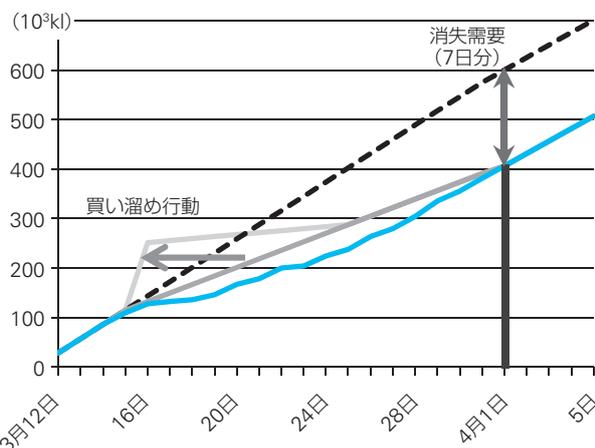
■図—12 待機需要(待ち行列)の推移(図—11の一部を拡大)

いえる。ここで注意すべきは、フロー変数としての供給量/日が需要量/日に追いついた/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、この図の例でも、3/24頃には供給量/日が需要量/日に追いついているが、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、東北地方の各地で石油製品不足が長引いた基本的な理由である。

なお、これらの累積図から、消費者の買い溜め行動は東北地域での石油不足問題の本質には関係ないことも容易に理解できる。仮に、通常より早めに給油行動をとる消費者が大幅に増加したとすれば、図—13に示す様に累積需要曲線が変化し、待機需要が増える。しかし、この待機需要の増加は一時的であり、結局、このような行動がなかった時の累積需要曲線と同じ水準に(今回観測された石油不足解消時点までに)戻るであろう(図—13参照)。そのため、累積供給曲線と累積需要曲線の交点で決まる最終的な消失需要量は、累積供給曲線が変化しない限り、買い溜め行動があったとしても、ほとんど変化しない。すなわち、買い溜め行動の有無は、消失需要量が意味する社会・経済的活動の消滅による膨大な経済的損失(これが今回の石油不足の本質的問題である)と無関係である。従って、消費者に対する需要抑制策は、総待ち時間がある程度短縮する効果はあっても、石油不足に起因する社会・経済活動の停止とそれに伴う経済的損失を最小限に抑えるという観点からは、あまり意味がない。問題を根本的に解消するためには、初期の圧倒的な供給量不足を緩和する供給サイドの施策が必要不可欠であったことが判る。

6.3 各県での集計的需給ギャップ

前章までで見たように、震災後、日本海側の油槽所は早く復旧したが、太平洋側の油槽所は津波被災により長期間利用できなかつた。そのため、実際に供給不足が解

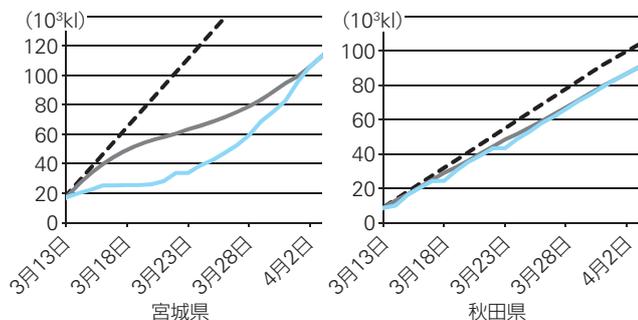


■図—13 買い溜め行動が発生した場合

消された時期は、東北地域内でも日本海側と太平洋側では大きく異なると考えられる。そこで、本研究では、油槽所から東北地域内各市町村への石油製品供給量を推定する石油製品配分モデルを構築し、市町村ごとの需給ギャップを推計した。

本分析で利用可能なデータ・セットは、a)平成22年・23年の3月・4月の石油販売実績(県別、月次)、b)平成24年3月12日～4月15日の油槽所への石油製品移入量(油槽所別、日次)、c)各市町村の人口統計、の3種類のみである。これらの限られたデータを用いて、各油槽所から東北地域内市町村への石油製品輸送量の推計を試みた。このために、2つのサブモデル—あるパラメータを与件として各市町村における石油製品の販売量を推計する「販売量推計モデル」と、このモデルに含まれるパラメータを実際の販売量から推計する「パラメータ推計モデル」—を構築した。まず、販売量推計モデルを構築するために、震災後の石油製品の需要および配分について以下の3つの自然な仮定を採用した：①図—11に示すように、日々発生する(潜在的な)石油製品需要フローの一部は時間の経過とともに消失し、残った部分のみが需要の待ち行列として顕在化した：②こうして顕在化した需要を上回らない範囲で、なるべく輸送にかかる費用(所要時間)の総和を最小化するような配分が行なわれた：③ただし、こうした効率性追求のみならず、より多くの地域に偏りなく石油製品を供給するような配分が行なわれた。そして、①を考慮した石油製品の需要推移および②、③を考慮した石油製品配分を求めるモデルを構築した。次に、この販売量推計モデルをサブモデルとして、上記a)、b)、c)のデータ・セットから推定された販売量が実際の販売実績に尤もよく当てはまる様にモデル・パラメータを推定するモデルを構築した(紙面の制約により、モデルの定式化等は割愛する。より詳しいモデルの説明については、参考文献12)、13)を参照されたい)。

その市町村別の供給量・需要量の推計値を集計し、県別の累積需要量と累積供給量を描いたのが、図—14である。図—14左に示す宮城県では、2週末までの供給量の圧倒的な不足から、需給ギャップが非常に大きく、発災後4週目まで深刻な石油不足に陥っていたことが分かる。一方、図—14右に示す秋田県の需給ギャップは小さく、待機需要の蓄積も非常に小さい(*i.e.*、石油不足は、宮城県ほどに深刻ではなく、比較的早期に解消していたと思われる)。ただし、その供給量は前年同期と同一の需要をまかない得る水準ではなく、消失需要が発生している。これは、秋田港・青森港から移入した石油製品の一部を、混乱が発生しない範囲で、岩手・宮城・山形県へ転送していた結果と思われる。



■図—14 震災時県別需給累積図

7—おわりに

本論文では、通常時と東日本大震災発災直後の石油製品供給施設の状況について整理した上で、石油製品販売実績データと輸送データから、震災時の東北地域への供給体制を定量的に把握した。その結果、東日本大震災時の東北地方では、圧倒的な供給量不足による石油不足が発生していたことが確認された。また、石油製品配分モデルを用いた分析から、東北地域内でも空間的に不足に偏りがあり、特に宮城県では発災後4週目まで石油不足が続いていたことを明らかにした。

今後起こり得る大規模災害への対策として、本論文の分析結果から確実に言えることは、初動体制の重要性である。東日本大震災では、政府・経済産業省・石油連盟による対策の公表は発災から1週間後と大きく出遅れ、その対策（東北全域への石油製品供給量）も十分ではなかった。そのため、待機需要が累積的に積上がり、石油不足が解消するまでに1ヶ月近く要することとなった。その結果、実現需要が大幅に抑制され、東北地域全体で7日分相当もの需要とそれに対応する社会・経済活動が消失し、莫大な経済的損失が生じた。今後このような事態を繰り返さないためには、発災直後から被災地域全域で待機需要が大幅に累積しない水準の供給を保証しうる体制を準備する必要がある^{注6)}。

そのような体制を実現するためには、以下の2つの視点からの対策が必要であろう。まず、第一は、想定被災地域全体での石油製品ロジスティクス上の物理的制約の総点検および、それを踏まえた発災後の輸送戦略の事前準備である。これには、石油製品備蓄施設を含む施設補強計画との統合分析も含まれよう。第二は、発災後、石油製品流通企業が社会的に望ましい輸送パターンを実施しうるための政府の補助スキームの準備である。東日本大震災では、太平洋側港湾の機能が回復するまで、深刻な石油不足に喘ぐ地域への本格的な供給増はなされなかった（5章参照）。その要因は、ロジスティクス上の物理的制約のみならず、民間企業としての石油会社の費用制約（*i.e.*, 日本海側港湾から太平洋側地域へ大量輸送するための

費用負担)にもあったと推測される。しかし、石油製品の供給制約による社会全体での莫大な経済的損失を考慮すれば（*i.e.*, 社会的費用便益分析の観点からは）、発災後、社会的に望ましい輸送実施に必要な費用を政策的に補助しうる制度を準備すべきである。

以上の方策に関するより具体的な議論は重要な課題であるが、本論文の目的の範囲を超えている。これらについては、別の機会に改めて報告したい。

謝辞: 本論文で用いた東北地域港湾の移出入データは、国土交通省東北地方整備局よりご提供いただいた。関係者の皆様に、この場を借り、心より感謝いたします。

付録

発災前後1ヵ月間の東北地域向け石油製品OD（起終点）間輸送量を、各々、付表—1と付表—2に示す。ここで、起点は、製油所港湾の地域（北海道、関東、東海、西日本、その他、で集約的に表現）し、終点は油槽所のある港湾（青森、八戸、秋田、酒田、仙台塩釜、小名浜）とした。

■付表—1 発災前1ヵ月間の東北地域向け石油製品OD輸送量(10³kl)

	青森	八戸	秋田	酒田	仙台塩釜	(小名浜)	対象5港湾	シェア
北海道	63.7	50.5	81.2	32.2	9.2	0.0	236.7	32%
関東	66.4	95.8	66.2	3.0	158.0	122.0	389.5	53%
東海	2.8	0.0	0.0	0.0	17.4	0.0	20.2	3%
西日本	8.2	5.5	16.4	0.0	12.1	0.0	42.2	6%
その他	19.1	20.9	0.0	4.0	0.0	0.1	44.1	6%
計	160.1	172.8	163.8	39.2	196.7	122.1	732.6	100%

■付表—2 発災後1ヵ月間の東北地域向け石油製品OD輸送量(10³kl)

	青森	八戸	秋田	酒田	仙台塩釜	(小名浜)	対象5港湾	シェア	発災前比
北海道	56.2	37.7	106.3	45.9	64.7	0.0	310.7	58%	131%
関東	65.8	7.6	24.9	0.0	35.7	20.9	134.0	25%	34%
東海	6.7	5.6	0.0	0.0	19.0	10.8	31.3	6%	155%
西日本	12.0	0.0	43.5	0.0	0.0	0.0	55.6	10%	132%
その他	2.0	3.0	0.0	1.5	0.0	0.0	6.5	1%	15%
計	142.8	53.9	174.7	47.4	119.3	31.6	538.0	100%	73%

注

注1) 経済産業省は、今後の対策として石油製品備蓄施設の増強案を審議会資料とともに発表している¹⁾。しかし、その資料等には、今回の石油不足問題に対する定量的かつ俯瞰的な情報や論理的な分析は、ほとんど見られない。

注2) 参考文献2)は、総務省家計調査報告データから「東北地方では2011年3月の石油製品需要が顕著に増加した」と結論し、その理由を「消費者の買い溜め行動の影響」と述べている。しかし、その根拠とするデータは、震災後の混乱下での少数サンプル調査によるものであり、信頼性に乏しい。実際、この「消費者行動説」が誤りであることは、本論文で用いた（東北地域のマクロな需要・供給量を把握できる）より信頼性の高い観測データに基づく定量的分析によって明らかにされる。

注3) 東北地域全体で、数千億円オーダーの経済損失が生じたと推計される。

注4) 東北地域では、発災後1ヵ月間以上、政府及び石油連盟から消費者に「石油製品の不要不急の購入」を控えるよう要請する広報が続けられた。このような施策は、関東地域での石油不足の様に、買い溜め行動によって本来の需要量以上の需要が発生した場合には、待ち時間損失を減らす意義がある。し

かし、本論文で示されるように、東北地域で実際に生じた需要は、本来の需要が供給制約により大きく抑制されたものであった(*i.e.*, 東北地域での震災後の需要の大半は「不要不急の購入」などではなく、供給制約を少しでも緩和することが最も必要とされた対策であった)。従って、このような広報活動は、本来必要とされる石油需要を委縮させることを通じて、正常な経済状態への早期復旧に必要な活動を減少させ、かえって社会経済的損失を発生させる可能性の高い対策であったと言える。

注5)表一5と図一4では、本論文の対象地域外である福島県の小名浜港向けの移出量は除外している。小名浜港への移出は、震災前後に関わらず関東からがほとんどであり、東北6県で見ると震災前の関東からのシェアはより大きくなる。また、震災後は小名浜港の入荷再開は3/29であり、3週目まではほとんど移入されていない。よって、図一4は小名浜港を考慮しても傾向に大差はない。

注6)待機需要が累積してしまった場合には、需要量と供給量の水準を一致させるのみでは問題(石油不足状態)は解決せず、需要量を大幅に上回る水準の供給を続ける必要がある(6章の議論を参照)。

参考文献

- 1) 経済産業省[2011], “資源・燃料政策に関する有識者との意見交換会—災害時における石油・ガスの安定供給”, (オンライン), http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment.html
- 2) 戒能一成[2011], “東日本大震災の国内エネルギー需給への短期的影響—2011年3月のエネルギー需給変化の観察・分析—”, [RIETI Special Report], (オンライン), http://www.rieti.go.jp/jp/special/special_report/047.html
- 3) 経済産業省[2012], “平成23年度石油産業体制等調査研究(東日本大震災石

油製品流通調査事業)報告書”, (オンライン), <http://www.meti.go.jp/press/2011/03/20120330003/20120330003.html>

- 4) 経済産業省[2011], 「生産動態統計調査:資源・エネルギー統計」, 経済産業省.
- 5) 佐々木康真[2011], “被災地に向けた石油製品輸送について”, 「運輸と経済」, 第71巻, 第8号, pp. 109-112.
- 6) 石油連盟[2012], “今日の石油産業2012”, (オンライン), <http://www.paj.gr.jp/status/>
- 7) JX日鉱日石エネルギー[2011], “石油便覧”, (オンライン), <http://www.noie.jx-group.co.jp/binran/>
- 8) 経済産業省[2011], “海江田経済産業大臣の臨時会見の概要”, (オンライン), http://www.meti.go.jp/speeches/data_ed/ed110317.html
- 9) 経済産業省[2011], “東北地方(被災地)および関東圏でのガソリン・軽油等の供給確保”, (オンライン), <http://www.meti.go.jp/earthquake/oil2.pdf>
- 10) 石油連盟[2011], “東日本大震災への石油業界の対応状況, トピックス2011年4月18日”, (オンライン), http://www.paj.gr.jp/paj_info/
- 11) GogoGS[2011], “災害時ガソリン情報”, (オンライン), <http://saigai.gogo.gs/>
- 12) 赤松隆・山口裕通・長江剛志・稲村肇・円山琢也・金進英・大澤実[2012], “震災後のガソリン輸送に関する調査研究”, 「東北大学ロジスティクス調査団中間報告書」.
- 13) 赤松隆, 山口裕通, 長江剛志, 円山琢也, 稲村肇[2012], “東日本大震災時の東北地域に対する石油製品輸送実態の把握”, [Discussion Paper], 経済産業研究所(RIETI).

(原稿受付 2012年7月19日)

A Quantitative Analysis of the Oil Shortage in Tohoku Region during the First Month after the Great East Japan Earthquake

By Takashi AKAMATSU, Hiromichi YAMAGUCHI, Takeshi NAGAE and Hajime INAMURA

In this study, we analyzed the actual amount of oil products transported into Tohoku region during the first month after the Great East Japan Earthquake. We found that (1) the amount of oil products supplied in the Tohoku region during the first two weeks was only 1/3 of the normal demand; (2) the shortage of supply in the first two weeks led to a huge “backlog of demand”; (3) it took four weeks for the backlog to be cleared, and the lost (suppressed) demand during the period was equivalent to the amount of normal demand for seven days.

Key Words : *Great East Japan Earthquake, Tohoku, oil shortage, demand backlog, logistics*
