



RIETI Discussion Paper Series 13-J-020

3.11 後の東北地方における石油製品需給ギャップの推移 ～発生から解消まで

赤松 隆
東北大学

山口 裕通
東北大学

長江 剛志
東北大学

円山 琢也
熊本大学

稲村 肇
東北工業大学



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所
<http://www.rieti.go.jp/jp/>

3. 11 後の東北地方における石油製品 需給ギャップの推移～発生から解消まで

赤松隆¹・山口裕通²・長江剛志³・円山琢也⁴・稲村肇⁵

1 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 6-3-09)

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

2 東北大学大学院 工学研究科 博士前期課程 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻青葉 6-3-09)

E-mail: h-yngc@cneas.tohoku.ac.jp

3 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 6-3-09)

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

4 熊本大学准教授政策創造研究教育センター (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

E-mail: takumaru@kumamoto-u.ac.jp

5 東北工業大学教授 工学部都市マネジメント学科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻青葉 6-3-09)

E-mail: [hajime.inamura@gmail](mailto:hajime.inamura@gmail.com)

要 旨

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、東北地域に対する震災後一カ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) 震災後 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）が解消したのは震災後 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。(4) 需給ギャップの状況は、太平洋側と日本海側地域で大きく異なり、宮城県・岩手県・山形県では、非常に大きかった。

キーワード：東日本大震災，石油製品不足，需給ギャップ，ロジスティクス

JEL classification: C61, H84, L95, L98, Q41, R4

RIETI ディスカッション・ペーパーは、専門論文の形式でまとめられた研究成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、(独)経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

本稿は、(独)経済産業研究所におけるプロジェクト「東日本大震災に学ぶ頑健な地域経済の構築に関する研究」の成果の一部である。本稿を作成するに当たっては、経済産業研究所リサーチ・セミナー参加者の方々から多くの有益なコメントを頂いた。

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。多くのガソリンスタンド（以下、『GS』）が在庫切れ状態となり、営業しているGS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、震災～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systematic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・経済産業省が震災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、GS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、震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ロジスティクス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、震災後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) 震災後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) 震災後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。(7)3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。7章では、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。8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GS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GS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、GS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、積み込み港湾がわかるデー

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。つまり、発災後の東北地域は、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ヵ所の製油所が被災により稼働を停止した。ただし、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ヵ所で、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⁾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。

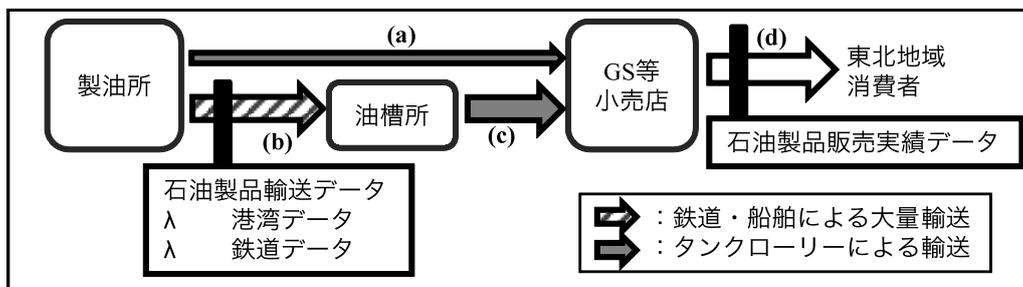


図-1: 石油製品の供給フローと収集データ

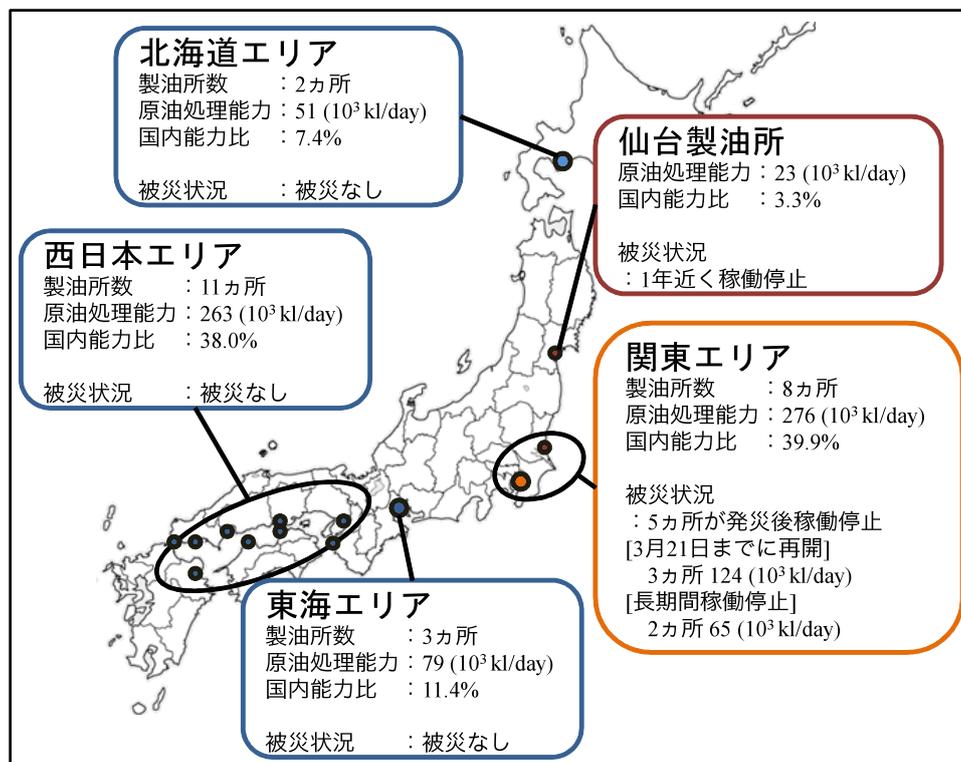


図-2: エリアごとの製油所数とその被災状況 (石油元売り各社の発表を元に作成)

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わかるように、東北地域ではほぼすべての油槽所が、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：

- 1st phase: 発災後3日間。全油槽所が利用不可能な状態
- 2nd phase: 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。
- 3rd phase: 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-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。



図-3: 東北地域の主要油槽所と入荷再開日 (石油元売り各社の発表を元に作成)

表-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
東北計	708	12,878	18

表-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

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-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）ことがわかる。一台当たりの容量は約 20 kl であり、船舶（一隻で 2000~5000 kl）や鉄道（一編成で約 1000 kl）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要に迫られたためである。そのため、2nd~3rd phase 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-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-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

表-3: 東北各県における震災前後の前年比販売量 (%)

	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: 東北各県における震災前後の販売実績の比較

	青森	岩手	宮城	山形	秋田	(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月震災後販売量 (10 ³ kl)	99	64	92	79	61	68	395	463
前年比 ([B]/[A]; %)	80	61	47	82	73	49	65	62

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、震災後の期間(3月11日～31日)のみを取り上げると表-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-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、震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、

$$\text{販売実績} = \text{供給量} < \text{本来の需要量}$$

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、この解釈を裏づけている。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⁹⁾は、一般的ドラム缶容量(200ℓ)を用いて換算すると僅か0.4(10³

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ヶ月比較

	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

kl)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わかる。第一に、

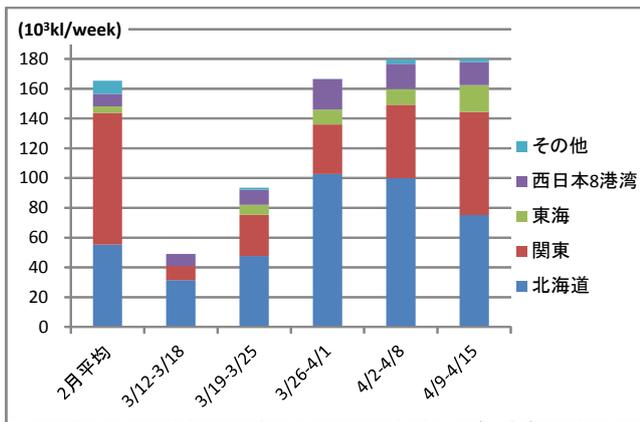


図-4: 発災後の東北地域向け石油製品移出量（週毎）の推移

発災前に過半数を占めていた関東地域からの移出量が、発災後には約 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発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、発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¹⁰⁾内容と比較すると、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 ヶ月間に約 600 (10³ kl) である (i. e., 東北地域に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-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わかる。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ると考えられる。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

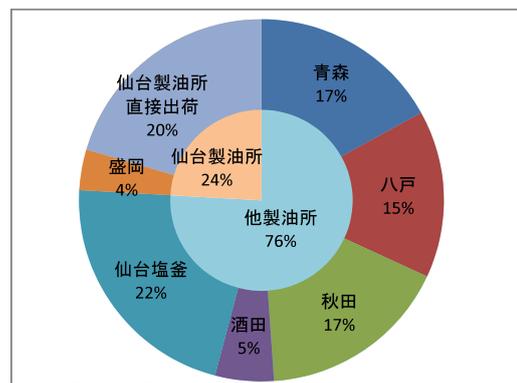


図-5: 2011年2月東北地域各油槽所の石油製品移入量シェア

表-6: 東北地域港湾における石油製品移入量の発災前後 1 ヶ月比較

	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	-78	-90	-168

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-5）を確認しておこう。ここで、図-5 の「仙台製油所直接出荷」は、仙台製油所から直接 GS 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。

次に、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-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、津波被害を受けた太平洋

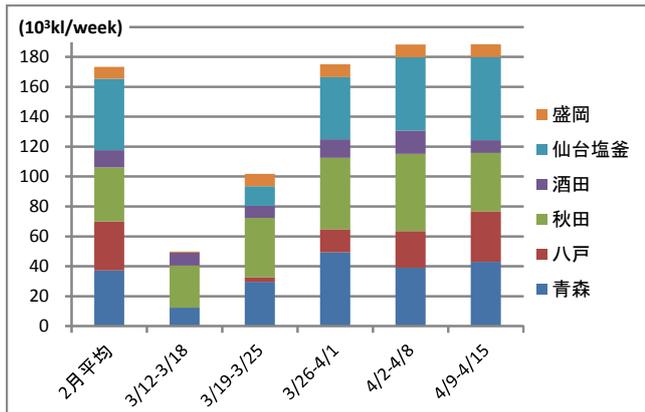


図-6: 発災後の東北地域港湾における石油製品移入量(週毎)の推移

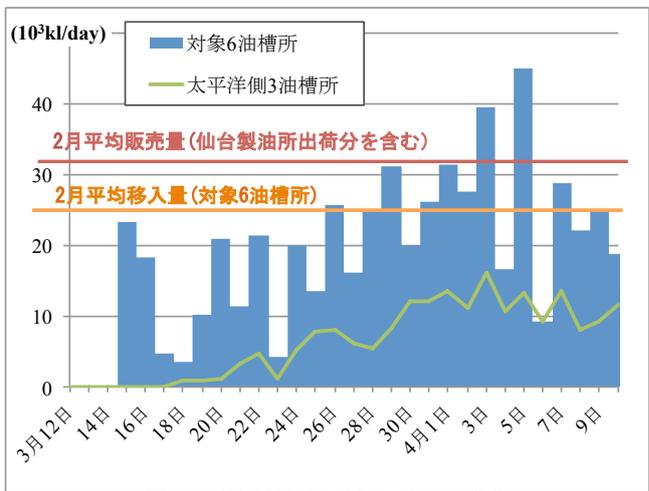


図-7: 石油製品移入量(日毎)の推移

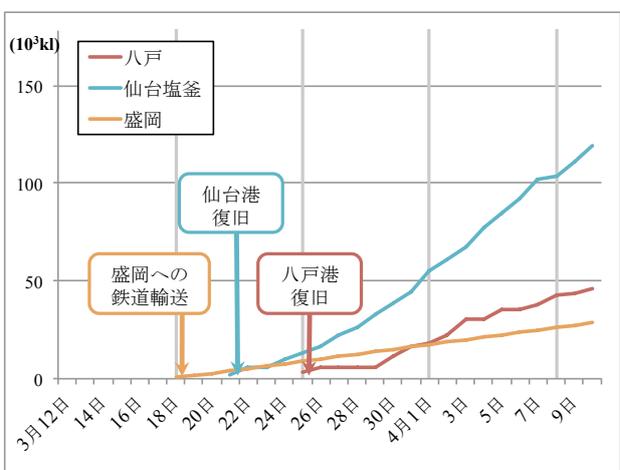
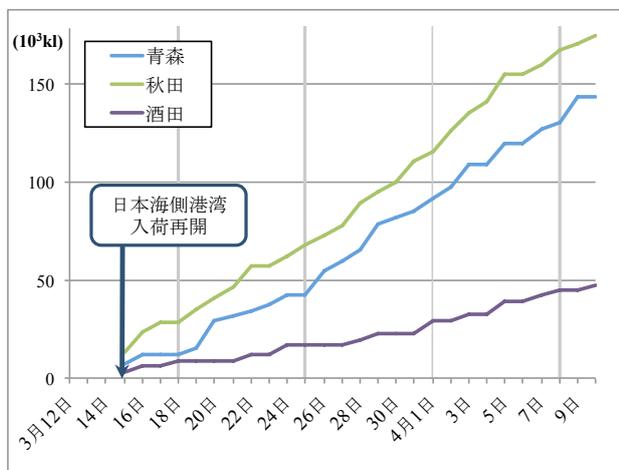


図-8: 東北地域各港湾(+盛岡貨物ターミナル)の累積移入量

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-6~図-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-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-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-6と図-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-6からわかるように、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-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-8左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-8右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わかる。

なお、図-6、図-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、図-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。

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GS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・GS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92,000kl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）。

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）一日当たり消費量と想定し、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（赤色の点線）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

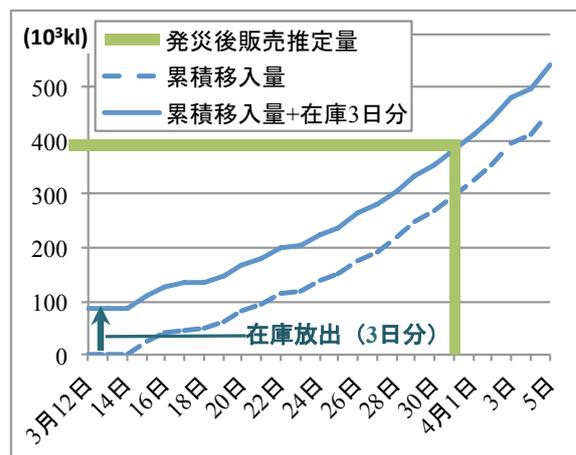


図-9: 販売実績と油槽所累積移入量の比較

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わかる。しかし、現実には遅くとも4月半ば頃にはGS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（赤色の直線）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（赤実線）と累積供給曲線（青実線）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“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。GS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/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

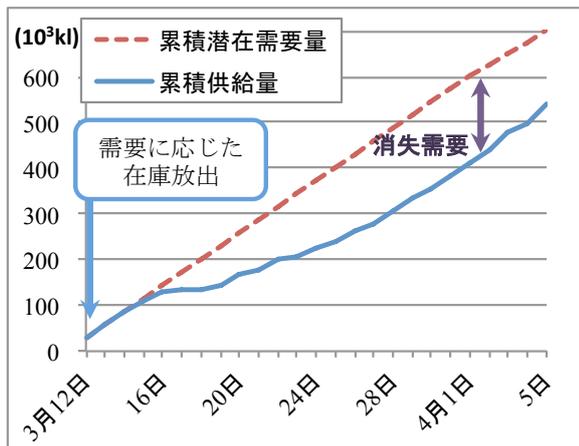


図-10: 在庫放出を考慮した累積供給量と累積潜在需要量の比較

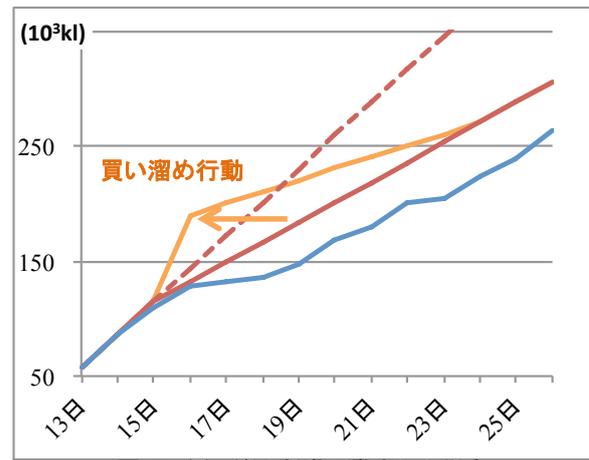


図-13: 買い溜め行動が発生した場合

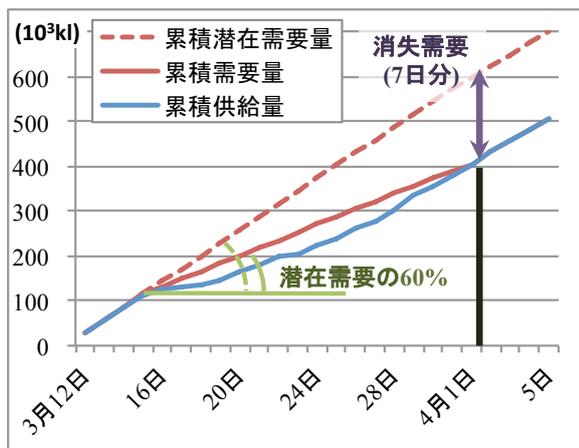


図-11: 累積需要と消失需要

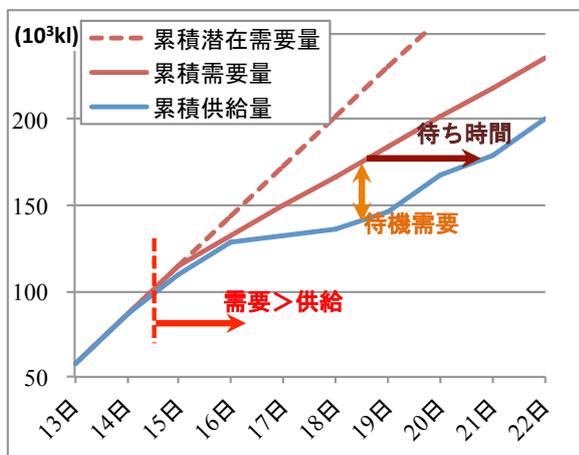


図-12: 待機需要(待ち行列)の推移
(図-11の一部を拡大)

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、総待ち時間を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。

7 市町村別需給推計モデル

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った。そのため、実際に供給不足が解消された時期は、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、本章では、油槽所から東北地方の各市町村への石油製品供給量を推定するモデルを構築し、続く8では、各市町村において需給ギャップがどのように進展したのかを分析する。

7.1 市町村別販売量推定モデル

市町村別販売量推定モデルは、震災発生翌日以降、時点内での各油槽所から各市町村への石油製品の輸送量を決定する石油製品配分モデルと、時点間での各油槽所における石油製品の供給可能量および各市町村における潜在需要量の進展を記述する需要・供給ストック動学モデルから構成される。

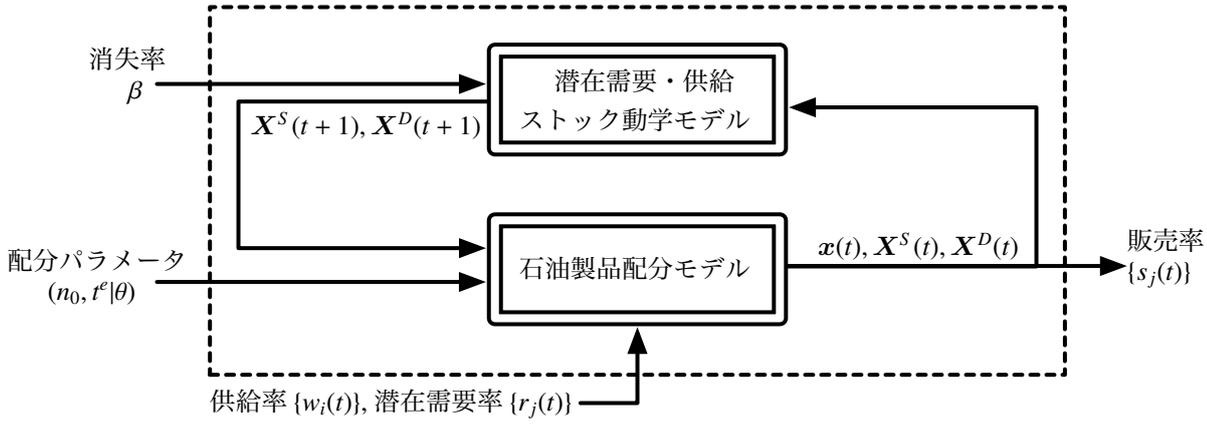


図-14: 市町村別販売量推定モデル

a) モデルの枠組

震災発生当日を $t=0$ とし、長さを1日とする離散時点集合 $t=0, 1, \dots$ を考え、 $t=1$ から適当な時点 $T > 1$ までのインデックス集合を $T := \{1, \dots, T\}$ とする。油槽所および市町村（石油製品配分の起点および終点）の集合を、それぞれ、 O および D で表す。時点 $t \in T$ において、油槽所 $i \in O$ で供給される1日あたりの石油製品の量（ie. 時点 t に油槽所 i へ移入される石油製品の量）を供給率と呼び、 $w_i(t)$ で表す。時点 $t \in T$ において、市町村 $j \in D$ で新たに発生する1日あたりの石油製品の需要量を潜在需要率と呼び、 $r_j(t)$ で表す。ここで、供給率 $\{w_i(t)\}$ および潜在需要率 $\{r_j(t)\}$ は市町村別販売量推定モデルにおいては与件であり、モデル入力と呼ぶ。これらのモデル入力の決定方法については8.1節で述べる。

b) 潜在需要・供給ストック動学モデル

任意の時点 $t \in T$ の期末において油槽所 $i \in O$ に在庫されている（ie. 供給可能な）石油製品の量を供給ストックと呼び、 $X_i^S(t)$ で表す。供給ストックの初期値は $X_i^S(0) = 0$ とする。時点 t の期初から期末の間の油槽所 $i \in O$ からの石油製品の供給量を、前期末の在庫に当該時点で発生する供給量を加えたもの：

$$p_i(t) := X_i^S(t-1) + w_i(t)\Delta t \quad (1)$$

とする。この供給可能な石油製品は可能な限り各市町村へ配分されるが、どのように配分しても余剰が生じる場合に限り、当該油槽所で在庫されるものとする。

時点 t の期初から期末までの間に、油槽所 $i \in O$ から市町村 $j \in D$ へ単位時間あたりに輸送される石油製品の量を輸送率と呼び、 $x_{i,j}(t)$ で表す。輸送率 $\mathbf{x}(t) := \{x_{i,j}(t) : (i, j) \in O \times D\}$ が与えられたとき、供給ストック

のダイナミクスは以下の式で表される：

$$\begin{aligned} X_i^S(t) &= X_i^S(t-1) + \left\{ w_i(t) - \sum_{j \in D} x_{i,j}(t) \right\} \Delta t \\ &= p_i(t) - \sum_{j \in D} x_{i,j}(t)\Delta t \end{aligned} \quad (2)$$

時点 $t \in T$ の期末において市町村 $j \in D$ に残っている（解消されていない）石油製品の需要量を潜在需要ストックと呼び、 $X_j^D(t)$ で表す。潜在需要ストックの初期値は $X_j^D = 0$ とする。震災後の3~4週間において、消費者は未解消需要の一部を余儀無く諦めさせられた（需要が消失した）。これを表現するため、時点 $t-1$ 期末の潜在需要ストックのうち、時点 t の期初には $(1 - \beta\Delta t)X_j^D(t-1)$ だけが残ると仮定する。ここで、 $\beta \in [0, 1/\Delta t]$ は所与の定数で、時点 $t-1$ の期末から t の期初までに消失する需要の比率を表す。以下では、 β を消失率と呼ぶ。時点 t の期初から期末までの間の市町村 $j \in D$ での石油製品の顕在需要量を、前期末から持越された潜在需要ストックと、当該時点で新たに発生した潜在需要量の和：

$$q_j(t) := (1 - \beta\Delta t)X_j^D(t-1) + r_j(t)\Delta t \quad (3)$$

とする。このとき、潜在需要ストックのダイナミクスは以下の式で表される：

$$\begin{aligned} X_j^D(t) &= (1 - \beta\Delta t)X_j^D(t-1) + \left\{ r_j(t) - \sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \right\} \Delta t \\ &= q_j(t) - \sum_{i \in O} x_{i,j}(t)\Delta t \end{aligned} \quad (4)$$

c) 石油製品配分モデル（基本モデル）

各時点 $t \in T$ において、石油製品の供給量 $\{p_i(t) : i \in O\}$ および顕在需要量 $\{q_j(t) : j \in D\}$ が与えられたとき、石油製品の配分 $\mathbf{y}(t) := (\mathbf{x}(t), \mathbf{X}^S(t), \mathbf{X}^D(t))$ を決定するモデル（石油製品配分モデル）を考える。ここで、 $\mathbf{x}(t) := \{x_{i,j}(t) : (i, j) \in O \times D\}$ 、 $\mathbf{X}^S(t) := \{X_i^S(t) : i \in O\}$ および $\mathbf{X}^D(t) := \{X_j^D(t) : j \in D\}$ は、それぞれ、時点 t の輸送率、時点 t の期初での供給ストックおよび潜在需要ス

トックをベクトル表現したものである。本節では、石油製品配分の基本モデルとして、輸送計画者が、総費用 (ie. 輸送費用と在庫費用の和) のみの最小化を目的とする問題を定式化する。このモデルは、後述する 7.2 節で、未解消需要 $\{X_j^D(t)\}$ が市町村間で極端に偏らないような (ie. 公平性を考慮した) 配分を行う枠組へと拡張される。

石油製品配分モデルにおいて、配分 $\mathbf{y}(t) := (\mathbf{x}(t), \mathbf{X}^S(t), \mathbf{X}^D(t))$ が以下の 3 つの条件を全て満足するとき、実行可能であるという：

- a) 各市町村へ運び込まれる石油製品の総量と期末の (未解消) 潜在需要ストックの和が、当該市町村の顕在需要量に一致する：

$$\sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \Delta t + X_j^D(t) = q_j(t), \quad \forall j \in D, \quad (5)$$

- b) 各油槽所から運び出される石油製品の総量と期末の供給ストックの和が、当該油槽所の供給量に一致する：

$$\sum_{j \in D} x_{i,j}(t) \Delta t + X_i^S(t) = p_i(t), \quad \forall i \in O, \quad (6)$$

- c) 各油槽所の供給ストック、各市町村の潜在需要ストック、および各リンクの輸送量が非負である。

$$X_i^S(t) \geq 0, \quad \forall i \in O, \quad (7)$$

$$X_j^D(t) \geq 0, \quad \forall j \in D, \quad (8)$$

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

輸送計画者は、各時点 $t \in T$ において、実行可能な石油製品配分 $\mathbf{y}(t)$ の中で総輸送費用を最小化するものを求める。これは以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{y}(t)} \quad & \sum_{i \in O} \sum_{j \in D} c_{i,j}(t) x_{i,j}(t) + \sum_{i \in O} C_i X_i^S(t), \\ \text{s.t.} \quad & (5), (6) \text{ and } (8) \end{aligned} \quad (P)$$

ここで、 $c_{i,j}$ は油槽所 $i \in O$ から市町村 $j \in D$ への所要時間である。 C_i は油槽所 $i \in O$ における余剰石油製品の在庫費用を表す所与の定数であり、 $C_i > \max_j \{c_{i,j}\}$ を満たすと仮定する。

- d) 市町村別の石油製品販売量

ここまでで示した潜在需要・供給ストック動学モデルと石油製品配分モデルを組み合わせれば、市町村別の石油製品販売量を推定できる。具体的には、供給率 $\{w_i(t)\}$ 、潜在需要率 $\{r_j(t)\}$ 、消失率 β を与えれば、輸送率 $\mathbf{x}(t)$ が決定できる。このとき、時点 t に各市町村 $j \in D$ へ運び込まれる単位時間あたりの石油製品の量 (= 単位時間あたりの販売量) を販売率と呼び、 $s_j(t) := \sum_{i \in O} x_{i,j}(t)$ で表す。

7.2 公平性を考慮した枠組への拡張

前節で述べた基本モデルは、平常時の石油製品の配分の表現としては妥当と思われる。しかし、震災発生後は、単純な費用最小化のみが目的とされたのではなく、日本海側の油槽所 (eg. 秋田, 青森) から (平常時の供給エリアには含まれない) 太平洋側の市町村への石油製品の転送といった、より多くの地域に満遍なく石油製品を供給するような (ie. 効率性のみでなく公平性をも考慮した) 配分が行なわれたと思われる。そこで、本節では、こうした公平性を考慮した枠組への基本モデルの拡張として、1) 目標需要モデルと 2) エントロピー・モデルの 2 種類を構築する。前者は、各市町村への配分量を一律に抑制することで、後者は目的関数に未解消需要 $\{X_j^D(t)\}$ の偏りを表現する項を加えることで、それぞれ、公平性を表現する。

- a) 目標需要モデル

目標需要モデルにおいては、輸送計画者は、時点 $t \in T$ における市町村 $j \in D$ への顕在需要 $q_j(t)$ そのものではなく、これに一定の係数 $n(t) \in (0, 1]$ を乗じた目標需要 $n(t)q_j(t)$ を満足させるように配分を行うと仮定する。この仮定は、(一部の地域への配分を抑制してでも) なるべく多くの地域へ石油製品を配分しようとする輸送計画者の意向を表現している。ここで、 $n(t)$ を目標需要係数と呼び、時点 t についての以下の区分線形関数で表されるとする：

$$n(t) = \min \left\{ n_0 + \frac{1 - n_0}{t^e} (t - 1), 1 \right\}, \quad (10)$$

ここで、 n_0 および t^e は、それぞれ、震災翌日 ($t = 1$) における初期目標需要係数、および、目標需要を用いた配分の調整を終了し、平常時と同様の配分を開始する時点 (配分正常化時点) を表すパラメータである。式 (10) は、震災発生直後には目標需要は小さく、時間の経過に従って目標需要は平常時の需要に近づく、という自然な状況を表現している。

目標需要モデルにおける許容領域は、基本モデルの許容領域を特徴づける a), b), c) の 3 つの条件のうち、a) のみを以下のように修正したものとして定義される：

- a') 各市町村へ運び込まれる石油製品の総量と期末の (未解消) 潜在需要ストックの和が、当該市町村の目標需要量に一致する：

$$\sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \Delta t + X_j^D(t) = n(t)q_j(t), \quad \forall j \in D. \quad (11)$$

目標需要モデルは、こうして修正された許容領域の中で、総費用が最小となる配分を求める以下の線形計画問題として定式化される：

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{y}(t)} \quad & \sum_{i \in O} \sum_{j \in D} c_{i,j}(t) x_{i,j}(t) + \sum_{i \in O} C_i X_i^S(t), \\ \text{s.t.} \quad & (11), (6) \text{ and } (8) \end{aligned} \quad (TD)$$

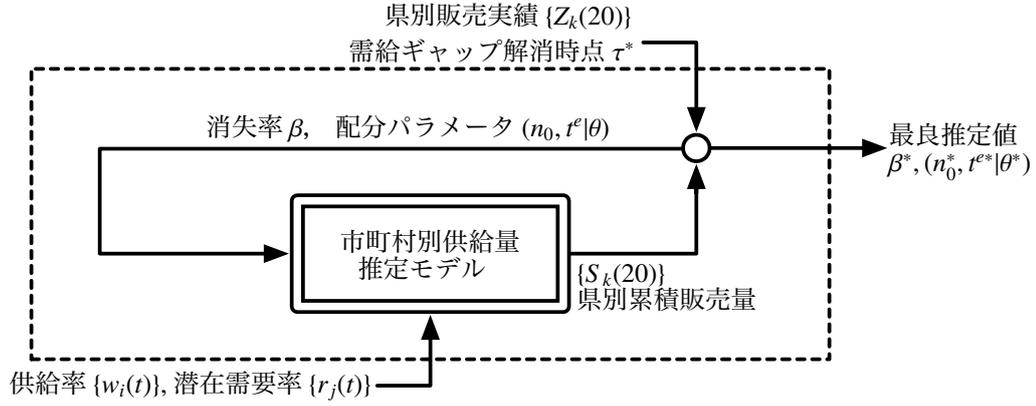


図-15: パラメータ推定モデル

以下では、初期目標需要係数と配分正常化時点の組 (n_0, t^e) を目標需要パラメータと呼ぶ。

- b) 消失率 β の推定
- c) エントロピー・モデル

エントロピー・モデルにおいては、輸送計画者は、時点 t における顕在需要のうち、期末で解消されない潜在需要ストックが占める比率 $\frac{X_j^D(t)}{q_j(t)}$ が一部の市町村のみに偏らないように配分を行うと仮定する。具体的には、潜在需要ストックの偏り(不公平性)を、顕在需要量で重みづけしたエントロピー：

$$\begin{aligned} \mathcal{H}(\mathbf{X}^D(t)) &:= - \sum_{j \in D} q_j(t) \left(\frac{X_j^D(t)}{q_j(t)} \right) \ln \left(\frac{X_j^D(t)}{q_j(t)} \right) \\ &= - \sum_{j \in D} X_j^D(t) \ln X_j^D(t) + \sum_{j \in D} X_j^D(t) \ln q_j(t) \end{aligned} \quad (12)$$

で表す。エントロピー $\mathcal{H}(\mathbf{X}^D(t))$ は、未解消需要の比率 $\frac{X_j^D(t)}{q_j(t)}$ が 0 以上 1 以下である限り非負であり、顕在需要が大きい市町村に未解消需要の比率が偏るほど小さな値を取る。

エントロピー・モデルでは、時点 $t \in T$ において、実行可能な石油製品配分 $\mathbf{y}(t)$ の中で総輸送費用とエントロピー(の符号を反転させたもの)の加重線形和を最小化するものを求める。これは以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{y}(t)} \sum_{i \in O} \sum_{j \in D} c_{i,j}(t) x_{i,j}(t) + \sum_{i \in O} C_i X_i^S(t) - \theta \mathcal{H}(\mathbf{X}^D(t)), \\ \text{s.t. (5), (6) and (8)} \end{aligned} \quad (\text{EP})$$

ここで、 $\theta > 0$ は総輸送費用に対する公平性の重みを表す所与の定数で、公平性係数と呼ぶ。

なお、上記の目標需要モデルは線形計画問題であり、エントロピー・モデルは凸計画問題である。どちらも変数の次元は高々 $O(|O \times D|)$ であり、既存のソルバーを用いて高速に解を求められる。

以下では、石油製品配分モデルとして目標需要モデルを採用する場合の目標需要パラメータ (n_0, t^e) およびエントロピー・モデルを採用する場合の公平性係数 θ を配分パラメータと呼び、 $(n_0, t^e | \theta)$ とまとめて表現する。

7.3 パラメータ推定方法

本節では、市町村別販売量推定モデルのパラメータである消失率 β および配分パラメータ $(n_0, t^e | \theta)$ の推定方法を述べる。具体的には、まず、東北地方全体での集計的潜在需要ストック $\sum_j X_j^D(t)$ に関する観測に基づいて消失率 β を(石油製品配分とは独立に)求める。次に、こうして得られた消失率 β を与件として、各県の石油製品販売実績に基づいて石油製品配分モデルのパラメータ(目標需要係数パラメータ (n_0, t^e) もしくは公平性係数 θ)を推定する。

本研究では、消失率 β の最良推定値として、東北地方全体で集計化された潜在需要ストックが最初に消失する時点が、実際に観測された需給ギャップ解消時点に最も近づく値を採用する。この推定は、石油製品配分モデルとは独立に行える。まず、任意の時点 $t \in T$ の期末における東北地方全体での総潜在需要ストックを $X^D(t) := \sum_{j \in D} X_j^D(t)$ とし、そのダイナミクスが以下の式に従うと仮定する：

$$X^D(t) = (1 - \beta \Delta t) X^D(t-1) + \sum_{j \in D} \{r_j(t) - w_j(t)\} \Delta t, \quad X^D(0) = 0. \quad (13)$$

以下では、消失率 β に対応する式(13)の解過程を $\{X^D(t; \beta)\}$ と表す。次に、実際に観測された東北地方全体での需給ギャップ解消時点(具体的な値は後述)を τ^* とする。そして、以下の条件を満足する値を消失率の最良推定値 β^* として採用する。

$$\beta^* = \arg \max_{\beta \in [0, 1]} \left\{ \beta \left| \begin{array}{l} X^D(t; \beta) > 0, \quad t = 1, \dots, \tau^* - 1, \\ X^D(t; \beta) = 0, \quad t = \tau^* \end{array} \right. \right\} \quad (14)$$

a) 初期目標需要係数 n_0 および公平性係数 θ の推定

前節で求められた消失率 β^* (ひいては、その下での潜在需要ストックのダイナミクス) を与件とすれば、モデルから推定される市町村別販売量 (を県別に集計したものと、実際の県別販売実績から、石油製品配分モデルのパラメータを推計できる。

いま、各県 $k \in K$ について、ある特定の時点 $t \in T$ までの販売実績 $Z_k(t)$ が観測されているとしよう。次に、市町村別販売量推定モデルから得られる販売率 $s_j(t) = \sum_{i \in O} x_{i,j}(t)$ を用いて、時点 $t = 1$ から任意の時点 $\tau \in T$ の期末までに市町村 $j \in D$ で販売される石油製品の量 (累積販売量) を、

$$S_j(\tau) = \sum_{t=1}^{\tau} s_j(t) \Delta t, \quad \forall k \in K \quad (15)$$

と表そう。次に、分析対象とする県の集合を K で表し、県 $k \in K$ に含まれる市町村の集合を D_k で表す。このとき、県 $k \in K$ における任意の時点 $\tau \in T$ の期末までの累積販売量は $S_k(\tau) := \sum_{j \in D_k} S_j(\tau)$ と表される。

本節の目的は、こうして得られる県別累積販売量 $\{S_k(t^c) : k \in K\}$ が、実際に観測された県別販売実績 $\{Z_k(t^c) : k \in K\}$ を最もよく説明するような配分パラメータ $(n_0, t^e | \theta)$ を求めることである。具体的には、石油製品配分モデルとして目標需要モデルを採用する場合、目標需要係数パラメータ (n_0, t^e) に対応する県別累積販売量を $\{S_k(t^c; n_0, t^e) : k \in K\}$ とする。そして、この累積販売量と同期間の販売実績を $Z_k(\tau)$ との残差二乗和が最小となる (n_0, t^e) の組を最良推定値として採用する。この問題は、以下のように定式化される。

$$(n_0^*, t^{e*}) = \arg \min_{(n_0, t^e) \in [0,1] \times T} \sum_{k \in K} \{S_k(t^c; n_0, t^e) - Z_k(t^c)\}^2, \quad (16)$$

石油製品配分モデルとしてエントロピー・モデルを採用する場合、公平性係数 θ の最良推定値を求める問題は、

$$\theta^* = \arg \min_{\theta \in [0, \infty)} \sum_{k \in K} \{S_k(t^c; \theta) - Z_k(t^c)\}^2, \quad (17)$$

と定式化される。

8 市町村別需給ギャップの推計

本章では、前節で述べた市町村別販売量推定モデルおよびパラメータ推定法を用いて、市町村別の需給ギャップを推計する。まず、8.1 において利用可能なデータからモデル入力 (eg. 石油製品の供給率や潜在需要率) を求める方法を述べ、これを用いて消失率 β および配分パラメータ $(n_0, t^e | \theta)$ を推計する。こうして推計されたパラメータに基づき、8.2 では市町村別の需給ギャップおよびこれを県別に集計化したものを分析する。

8.1 モデル入力とパラメータ推計結果

a) 利用可能なデータとモデル入力

分析対象期間を震災翌日の3月12日を $t = 1$ とし、分析終了時点 T を、東北地方全域で石油製品の需給ギャップが解消してから十分な時間が経過した4月15日 ($T = 35$) とした。油槽所集合 O として、青森、八戸、秋田、酒田、仙台塩釜、盛岡の6油槽所を採用した。このうち、最初の5つは臨海型 (タンカーによる移入) であり、盛岡油槽所のみが内陸型 (鉄道またはタンクローリーによる移入) である。市町村集合 D として分析対象とする5県 (青森、秋田、岩手、山形、宮城) に含まれる173の市町村 (ただし、仙台市は青葉区、宮城野区、若林区、太白区、泉区の5区に分割) から、置賜地方に含まれる8市 (米沢市、長井市、南陽市、高島町、川西町、小国町、白鷹町、飯豊町) を除いた165市町村を採用した。これは、置賜地方へは新潟・福島方面からの輸送が殆どである、との想定による。

本分析で利用できるデータ・セットは、a) 平成22年および平成23年についての3月および4月の石油販売実績 (県別、月次)、b) 平成24年3月12日から4月15日までの油槽所への石油製品移入量 (油槽所別、日次)、c) 各市町村の人口の3種類である。このうち、まず、a) について、県 $k \in K$ の平成22年3月および4月の石油販売実績を、それぞれ、 $Z_k^{H22,3}$ および $Z_k^{H22,4}$ で表す。同様に、平成23年3月および4月の石油販売実績を $Z_k^{H23,3}$ および $Z_k^{H23,4}$ でそれぞれ表す。次に、b) について、油槽所 $i \in O$ への3月12日 ($t = 1$) から4月15日 ($t = 35$) の各日に対応する1日あたりの移入量を $w_i^{H23}(t)$ で表す。最後に、c) について、市町村 $j \in D$ の人口を N_j で表し、これを県別に集計したものを $N_k := \sum_{j \in D_k} N_j$ で表す。

以下では、これらのデータから、消失率の推定に用いる1) 東北地方全体での需給ギャップ解消時点 τ^* 、配分パラメータの推定に用いる2) 各県の販売実績 $\{Z_k(t^c)\}$ 、市町村別販売量推定モデルの入力である3) 各油槽所の供給率 $\{w_i(t)\}$ および4) 各市町村の潜在需要率 $\{r_j(t)\}$ を決定する方法を述べる。

1) 東北地方全体での需給ギャップ解消時点 本分析では、東北地方全体での需給ギャップ解消時点として、平成23年4月4日 ($\tau^* = 25$) を採用する。これは、ガソリンスタンドでの待ち行列に関する報告¹²⁾から読み取れる以下の2点の観測に依拠している：

- 4月3日までは、連日待ち行列が発生していた；
- 津波被災を受けた一部地域以外では、4月4日の時点で待ち行列は一時解消していた。

2) 県別販売実績と対象期間 本分析では、県別販売実績と累積販売量を比較する対象期間として、震災翌日の3月12日 ($t = 1$) から3月31日 ($t^c = 20$) を採

用した。ここで、県 k の販売実績 $Z_k(t)$ の推定にあたり、以下の2つの仮定を置いた：a) 石油製品の日次販売実績は、同月の月次販売実績を同月の日数で割ったものに等しい；b) 平成23年3月1日から震災当日の3月11日までの11日間の石油販売実績は、平成22年の同期間の販売実績と等しい。これらの仮定に基づき、3月12日から3月31日までの県 k での販売実績 Z_k の最良推定値を：

$$Z_k(20) = Z_k^{H23,3} - \frac{11}{31} Z_k^{H22,3}, \quad \forall k \in K. \quad (18)$$

と求めた。

- 3) 各油槽所の供給率 時点 $t \in T$ における油槽所 $i \in O$ の供給率 $w_i(t)$ として、本分析では、港湾型の油槽所 (ie. 青森, 八戸, 秋田, 酒田, 仙台塩釜) については、当該時刻に当該油槽所へ移入する1日あたりの移入量 $w_i^{H22}(t)$ をそのまま採用する：

$$w_i(t) = w_i^{H23}(t), \quad \forall i \in O, \forall t \in T. \quad (19)$$

盛岡油槽所については、⁵⁾による平常時(平成22年度)の岩手県への年間鉄道輸送量、震災後の平成23年3月18日から4月19日までの盛岡への石油製品の鉄道輸送実績および迂回列車運行実績(日あたり編成長)から算出した。

以下では、油槽所 i における初期時点 $t = 1$ から任意の時点 $\tau \in T$ の期末までの累積供給量を

$$W_i(\tau) = \sum_{t=1}^{\tau} w_i(t), \quad \forall i \in O, \forall \tau \in T. \quad (20)$$

で表す。

- 4) 各市町村の潜在需要率 時点 t における市町村 j の潜在需要率 $r_j(t)$ は以下のように推定される。まず、各県 $k \in K$ について、震災の前年(平成22年)3月および4月の石油製品販売実績を日換算したもの(当該月の日数で按分したもの)を、 $z_k^{H22,3} = Z_k^{H22,3}/30$ および $z_k^{H22,4}$ とする。次に、当該県に含まれる各市町村 $j \in D_k$ について、これらを当該市町村の人口で按分したもの (ie. n_j/N_k を乗じたもの) を、それぞれ、当該月に対応する時点の粗潜在需要率として採用する：

$$\hat{r}_j(t) = \begin{cases} z_k^{H22,3} \frac{N_j}{N_k} & t = 1, \dots, 20, \\ z_k^{H22,4} \frac{N_j}{N_k} & t = 21, \dots, 35, \end{cases} \quad \forall j \in D_k, \forall k \in K. \quad (21)$$

次に、上述2)で推定された対象期間販売実績の総和 $\sum_{k \in K} Z_k(20)$ は、3)で求められた同期間 (ie. 3月12日～3月31日) 間の累積供給量の総和 $\sum_{i \in O} W_i(20)$ よりも大きい。この差 $\sum_{k \in K} Z_k(20) - \sum_{i \in O} W_i(20)$ は、震災が発生した3月11日の時点でGSや油槽所などに在庫されている石油製品の販売量であると考えられる。これらの在庫は震災発生後、当該GSが

立地する市町村で販売・消費されたと考えるのが自然であろう。個々の市町村でどれだけの在庫を保有していたかに関するデータが無いため、本分析では、総在庫量 δ を各市町村 $j \in J$ の人口で按分したもの：

$$\delta_j = \left(\sum_{k \in K} Z_k(20) - \sum_{i \in O} W_i(20) \right) \frac{N_j}{N}, \quad \forall j \in J. \quad (22)$$

を当該市町村における石油製品の初期在庫とする。各市町村 $j \in D$ においては、震災翌日 $t = 1$ の期初から、この(推定)初期在庫 δ_j を先に消費し、それが枯渇した後に油槽所から配分される石油製品を消費する (ie. 石油製品の在庫が残っている間は、その消費の分だけ石油製品の需要が相殺される) と仮定する。各市町村 $j \in D$ において、在庫が枯渇する時点 τ_j を $\{\tau_j : \delta_j \in (\hat{R}_j(\tau_j - 1), \hat{R}_j(\tau_j))\}$ とすれば、在庫消費分を相殺した(純)潜在需要率は

$$r_j(t) = \begin{cases} 0 & 1 \leq t \leq \tau_j^* \\ \hat{R}_j(\tau_j^*) - \delta_j & t = \tau_j^* \\ \hat{r}_j(t) & \tau_j^* < t \end{cases} \quad (23)$$

と求められる。

b) パラメータ推定結果

まず、消失率推定モデル(14)に、上記1)で与えた東北地方全体での需給ギャップ解消時点 $\tau^* = 25$ を代入することで、最良推定値は $\beta^* = 0.130$ と求められた。

次に、こうして得られた消失率 β^* と上記2)で与えた県別販売実績 $\{Z_k(20)\}$ を用いて、目標需要モデルおよびエントロピー・モデルのそれぞれについて配分パラメータ推定モデル(16)および(17)を解くことで、最良推定値は $(n_0^*, t^{e*}) = (0.16, 23)$ および $\theta^* = 44.0$ と求められた。このとき、各モデルの下で得られた県別の推定累積販売量および販売実績を表-7に示す。表-7の最後の行は、各県の推定累積販売量と販売実績の乖離率 $(\frac{\sum_k (S_k - Z_k)}{\sum_k Z_k})$ を表している。この表より、目標需要モデルの方がエントロピー・モデルよりも実際の販売実績への当てはまりが良いことがわかる。特に、エントロピー・モデルは宮城県・秋田県への販売量が過大となる一方で山形県の販売量が過少となっており、日本海側から太平洋側への石油製品の転送量を過剰に推定したものと考えられる。

次節以降の需給ギャップの時空間分析においては、(限られたデータのみに基づいた)推定販売量の当てはまりの度合いに捉われず、より適切と考えられる需給ギャップの時空間分布を推計するため、分析の目的ごとに目標需要モデルとエントロピー・モデルを使い分ける。具体的には、県単位で集計された需給ギャップの時系列分析には、販売実績との当てはまりがよい目標需要モデルを用いる。しかし、目標需要モデルには市町村間

の需給ギャップの格差が明示的に考慮されていないため、極端に偏った配分結果 (eg. 隣り合った2つの町において、一方では需給ギャップが完全に解消しているのに他方には一切石油製品が配分されない) が得られることがある。このような偏りのある配分は直感的でないだけでなく、gogo.gs¹¹⁾のようなクチコミサイト情報とも整合しない。そこで、市町村単位の需給ギャップの空間分布には、こうした市町村間の需給ギャップの偏りが小さいエントロピー・モデルの結果を用いることにする。

8.2 県単位の需給ギャップの系時的变化

本節では、需給ギャップの系時的变化を分析するため、各市町村について、潜在需要、顕在需要および販売量の累積図を用いる。まず、 $t = 1$ から任意の時点 $\tau \in T$ 期末までの間の市町村 $j \in D$ における累積潜在需要を、

$$R_j(\tau) = \sum_{t=1}^{\tau} r_j(t) \Delta t, \quad \forall \tau \in T, \forall j \in D \quad (24)$$

で表す。消失率 β が与えられたとき、時点 $t = 1$ から $\tau \in T$ 期末までに市町村 $j \in D$ で消失した需要 (累積消失需要) は、

$$E_j(\tau) := \beta \sum_{t=1}^{\tau} X_j^D(t-1) \Delta t, \quad \forall \tau \in T, \forall j \in D, \quad (25)$$

と表される。市町村 $j \in D$ における時点 $\tau \in T$ までの累積潜在需要 $R_j(\tau)$ と同時点との累積消失需要 $E_j(\tau)$ との差：

$$\begin{aligned} Q_j(\tau) &= R_j(\tau) - E_j(\tau) \\ &= \sum_{t=1}^{\tau} \{r_j(t) - \beta X_j^D(t-1)\} \Delta t \\ &= \sum_{t=1}^{\tau} \{q_j(t) - X_j^D(t-1)\} \end{aligned} \quad (26)$$

を、当該市町村の (時点 τ までの) 累積顕在需要と呼ぶ。このとき、時点 t における市町村 $j \in D$ での需給ギャップは、累積顕在需要と累積販売量の差 $Q_j(t) - S_j(t)$ で表される。

表-7: 県別の推定累積販売量および販売実績との乖離

	販売実績 Z_k	推定累積販売量 S_k	
		目標需要	エントロピー
青森県	80,666	77,816	80,676
岩手県	47,994	53,127	49,145
宮城県	62,877	61,241	63,215
秋田県	64,758	65,048	69,701
山形県	39,074	38,141	32,636
乖離率	-	3.65%	4.36%

こうして得られた市町村別の累積潜在需要、累積顕在需要および累積販売量を、各県 $k \in K$ ごとに集計したものを図-16に示す。ただし、販売量の推計には、待機需要の解消日を4月4日 ($\beta^* = 0.130$) としたエントロピー・モデルを用いた。各図において、点線、太い実線および細い実線は、それぞれ、潜在需要、顕在需要および販売量の累積量を表している。累積図を用いることで、各時点における各県での待機需要 (顕在需要と販売量の差) や、石油製品不足によって消失した需要 (潜在需要と顕在需要の差) を見通しよく表現できる。図-16より、以下の2点が読み取れる。第1に、需給ギャップが解消する時点で地域差が生じている——日本海側の青森・秋田では震災発生後2週間程度で解消しているのに対し、太平洋側の宮城・岩手や小規模な油槽所しか持たない山形では震災から3週間が経過した後も解消されない。第2に、需給ギャップが大きいほど、消失需要 (ie. 潜在需要と顕在需要の差) もまた大きい。特に、宮城県においては需要に対して販売量が圧倒的に不足しており、需要の消失 (ie. 経済活動の抑制) が深刻であったことを表している。最後に、待機需要が比較的早期に解消した秋田や青森においても、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。

8.3 市町村単位の需給ギャップの空間分布

次に、各市町村における需給ギャップの時間進展を図-17に示す。この図は、 $t = 7, 14, 21$ の3時点のそれぞれについて、各市町村を、当該時点での供給率 (累積顕在需要1単位あたりの累積販売量) $S_j(t)/Q_j(t)$ で塗り分けたものである。この図より、モデルによらず以下の2点が見てとれる：1) 太平洋沿岸部では需給ギャップがなかなか解消されず、特に、宮城や岩手の一部の沿岸部では、震災後3週間が経過しても石油製品が十分に行き渡っていないことが見てとれる。この結果は、筆者らの経験や、震災後にGSの経営者に対して行われたアンケート¹²⁾の結果とも整合する；2) 同一県内での市町村間の需給ギャップ解消が均一でない場合があることがわかる。具体的には、秋田ではほぼ全ての市町村で震災後3週間には石油製品不足が解消されているのに対し、岩手では盛岡油槽所付近と沿岸部との間で需給ギャップ解消過程が大きく乖離している。

9 おわりに

本論文では、通常時と東日本大震災発生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

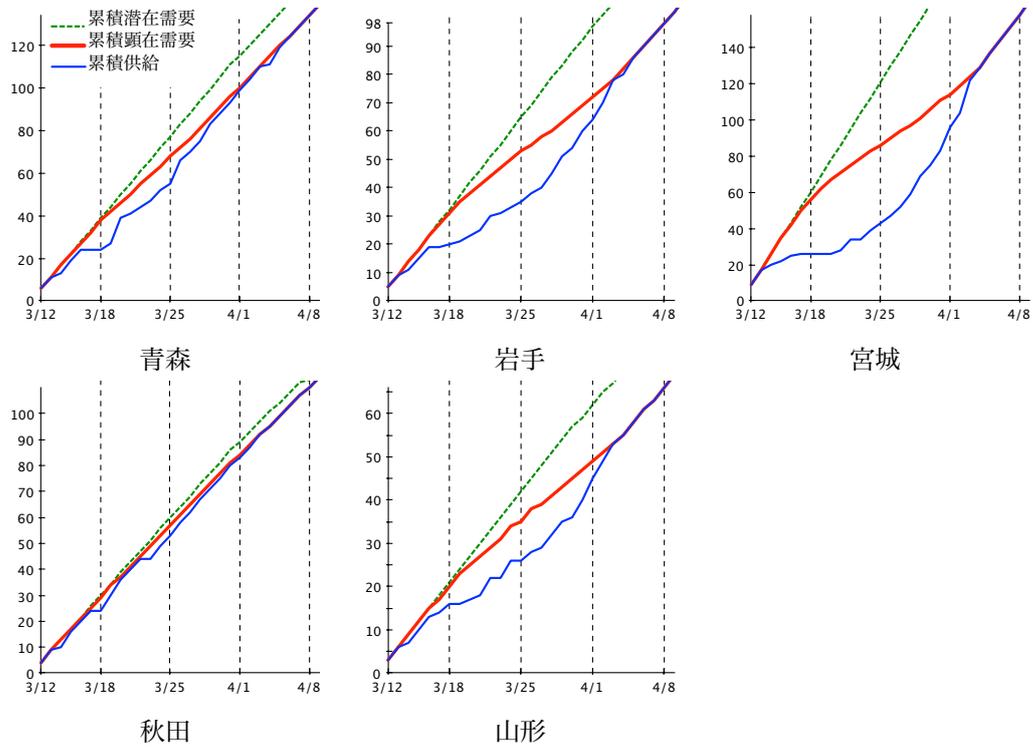


図-16: 県別の累積潜在需要，累積顕在需要および累積販売量（エントロピー・モデル，待機需要解消日:4/4）

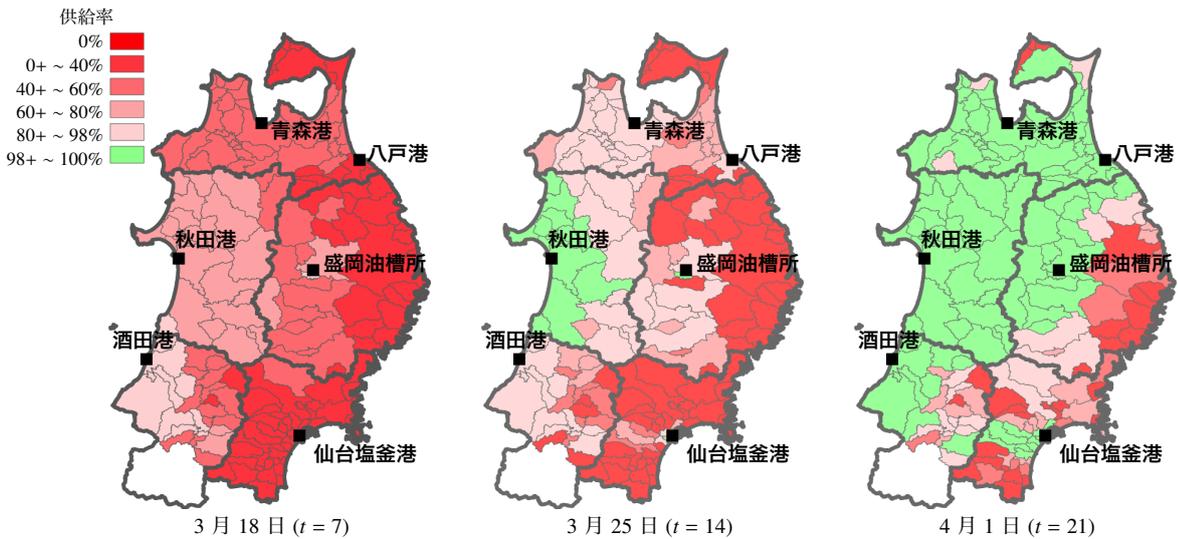


図-17: 市町村別の需給ギャップの空間分布の推移（エントロピー・モデル，待機需要解消日:4/4）

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，特に宮城県では震災後4週目まで石油不足が続いていたことを明らかにした。

今後の課題としては，まず，今回の震災時の供給施設制約を考慮した上で，より供給状況を改善できたであろうロジスティクス戦略を確認しておくことが挙げられる。その上で，将来の大規模災害への対策として，震災後輸送ロジスティクス戦略と（石油製品備蓄施設

を含む）施設補強計画との統合分析や，石油会社の震災時オペレーションに対する政府の補助スキームといった制度設計を検討しておくことも重要な課題である。

付録Ⅰ 発災前後1ヶ月間の東北地域向け石油製品の起終点間輸送量

発災前後1ヶ月間の東北地域向け石油製品 OD(起終点)間輸送量を，それぞれ，表-A1 および表-A2 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。

付録 II 待機需要解消日に対する感度分析

待機需要解消日を4月3日($\tau = 24$),4月4日($\tau = 25$)および4月6日($\tau = 27$)とした場合^{注6)}, a) 目標需要モデルおよび b) エントロピー・モデルのそれぞれを用いて推定された販売量と実績値との乖離を表-A3に, 需給ギャップの空間分布を, それぞれ, 図-18, 図-19 および 図-20 に示す。

なお, 待機需要解消日を4月3日とした場合の最良消失率は $\beta^* = 0.213$, 最良配分パラメータは $(n_0^*, t^{**}|\theta^*) = (0, 11|36.0)$ と推定された。待機需要解消日を4月6日とした場合の最良消失率および最良配分パラメータは $\beta^* = 0.090$, $(n_0^*, t^{**}|\theta^*) = (0.09, 25|46.0)$ と推定された。

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。この場を借り, 関係者の皆様に心より感謝いたします。

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) 戒能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, 震災後1か月間以上, 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-5と図-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, 震災後の小名浜港への入荷再開は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-4は小名浜港を考慮しても傾向に大差はない。

注6) 4月5日を待機需要解消日の候補としないのは, 東北地方全体への潜在需要に対して石油製品移入量が小さく, パラメータをどのように調整しても待機需要が発生することが分析より明らかになったため。

参考文献

- 1) 経済産業省. 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. 2011. http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment.html.
- 2) 戒能一成. 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—. 経済産業研究所 (RIETI) Special Report, 2011.
- 3) 経済産業省. 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. 2012. <http://www.meti.go.jp/press/2011/03/20120330003/20120330003.html>.
- 4) 経済産業省. 生産動態統計調査: 資源・エネルギー統計. 2011.
- 5) 佐々木康真. 被災地に向けた石油製品輸送について. 運輸と経済, Vol. 71, No. 8, 2011.
- 6) 石油連盟. 今日の石油産業 2012. 2012. <http://www.paj.gr.jp/statis/>.
- 7) JX日鉱日石エネルギー. 石油便覧. 2011. <http://www.noe.jx-group.co.jp/binran/>.
- 8) 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.
- 9) 石油連盟. 東日本大震災への石油業界の対応状況. 石油連盟 HP - トピックス 2011年4月18日, 2011. http://www.paj.gr.jp/paj_info/topics/2011/04/18-000482.html.
- 10) 経済産業省. 東北地方(被災地)及び関東圏でのガソリン・軽油等の供給確保. 2011. <http://www.meti.go.jp/earthquake/gasoline/oil10317.pdf>.
- 11) Gogo GS. 災害時ガソリン情報. 2011. <http://saigai.gogo.gs/>.
- 12) みずほ情報総研株式会社環境・資源エネルギー部. 平成23年度石油産業体制等調査研究(平成23年度東日本大震災石油製品流通調査事業). 調査報告書, 経済産業省, 2012. <http://www.meti.go.jp/press/2011/03/20120330003/20120330003-2.pdf>.
- 13) 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, 2012.

Time-space Analyses of the Oil Shortage in Tohoku Region after the 3.11 Great East Japan Earthquake

Takashi AKAMATSU, Hiromichi YAMAGUCHI, Takeshi NAGAE, Takuya MARUYAMA
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 “back-log of demand” ; (3) it took four weeks for the backlog to be cleared; the lost (suppressed) demand during the period was equivalent to the amount of normal demand for 7 days.

表-A1: 発災前 1 ヶ月間の東北地域向け石油製品 OD 輸送量 (10³ kl)

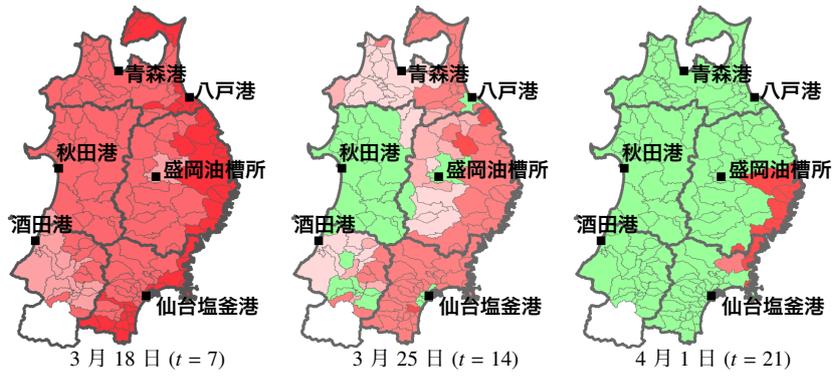
	青森	八戸	秋田	酒田	仙台 塩釜	(小名浜)	対象 5 港湾	シェア
北海道	63.7	50.5	81.2	32.2	9.2	0.0	236.7	32%
関東	66.4	95.8	66.2	3.0	158.0	122.0	389.5	53%
東海	2.8	0.0	0.0	0.0	17.4	0.0	20.2	3%
西日本	8.2	5.5	16.4	0.0	12.1	0.0	42.2	6%
その他	19.1	20.9	0.0	4.0	0.0	0.1	44.1	6%
計	160.1	172.8	163.8	39.2	196.7	122.1	732.6	100%

表-A2: 発災後 1 ヶ月間の東北地域向け石油製品 OD 輸送量 (10³ kl)

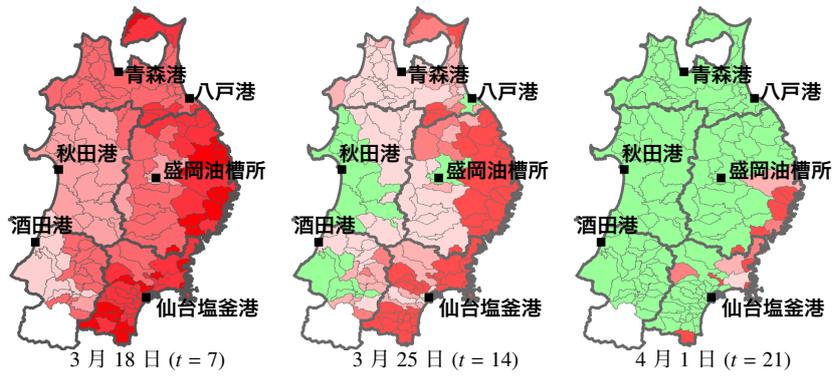
	青森	八戸	秋田	酒田	仙台 塩釜	(小名浜)	対象 5 港湾	シェア	発災前比
北海道	56.2	37.7	106.3	45.9	64.7	0.0	310.7	58%	131%
関東	65.8	7.6	24.9	0.0	35.7	20.9	134.0	25%	34%
東海	6.7	5.6	0.0	0.0	19.0	10.8	31.3	6%	155%
西日本	12.0	0.0	43.5	0.0	0.0	0.0	55.6	10%	132%
その他	2.0	3.0	0.0	1.5	0.0	0.0	6.5	1%	15%
計	142.8	53.9	174.7	47.4	119.3	31.6	538.0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

表-A3: 県別の推定累積販売量および販売実績との乖離

	販売実績 Z_k	推定累積販売量 S_k					
		待機需要消失日 (4/3)		待機需要消失日 (4/4)		待機需要消失日 (4/6)	
		目標需要	エントロピー	目標需要	エントロピー	目標需要	エントロピー
青森県	80,666	78,368	78,841	77,816	80,676	79,801	82,303
岩手県	47,994	50,406	49,411	53,127	49,145	54,495	48,277
宮城県	62,877	62,161	62,819	61,241	63,215	61,121	62,927
秋田県	64,758	67,235	69,033	65,048	69,701	66,311	70,663
山形県	39,074	37,201	35,207	38,141	32,636	33,643	31,203
乖離	-	2.13×10^7	3.86×10^7	3.81×10^7	6.73×10^7	7.80×10^7	9.96×10^7

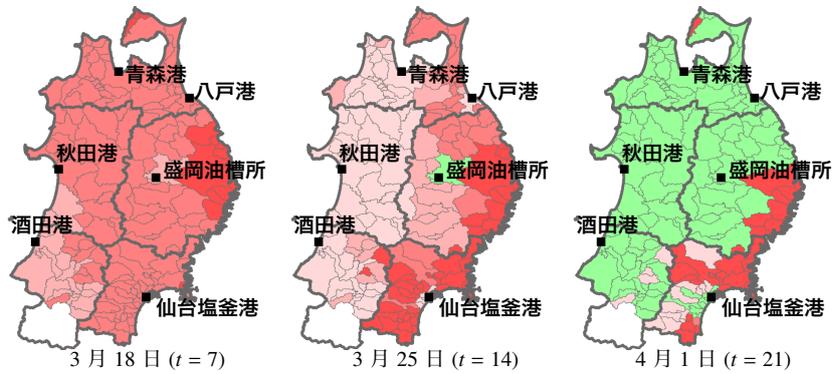


a) 目標需要モデル

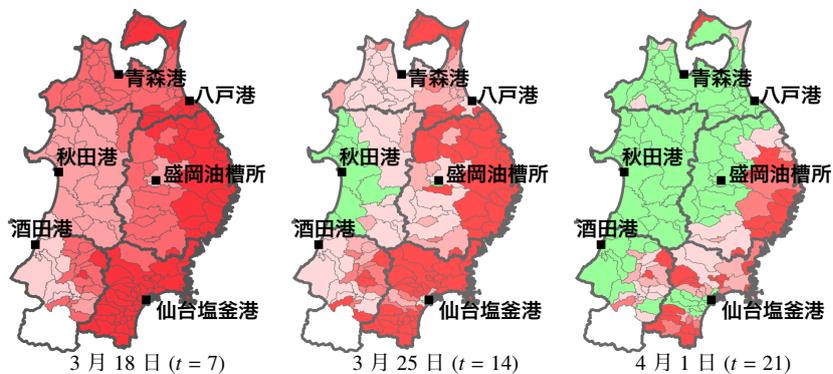


b) エントロピー・モデル

図-18: 市町村別の需給ギャップの空間分布の推移 (待機需要解消日: 4/3)



a) 目標需要モデル



b) エントロピー・モデル

図-19: 市町村別の需給ギャップの空間分布の推移 (待機需要解消日: 4/4)

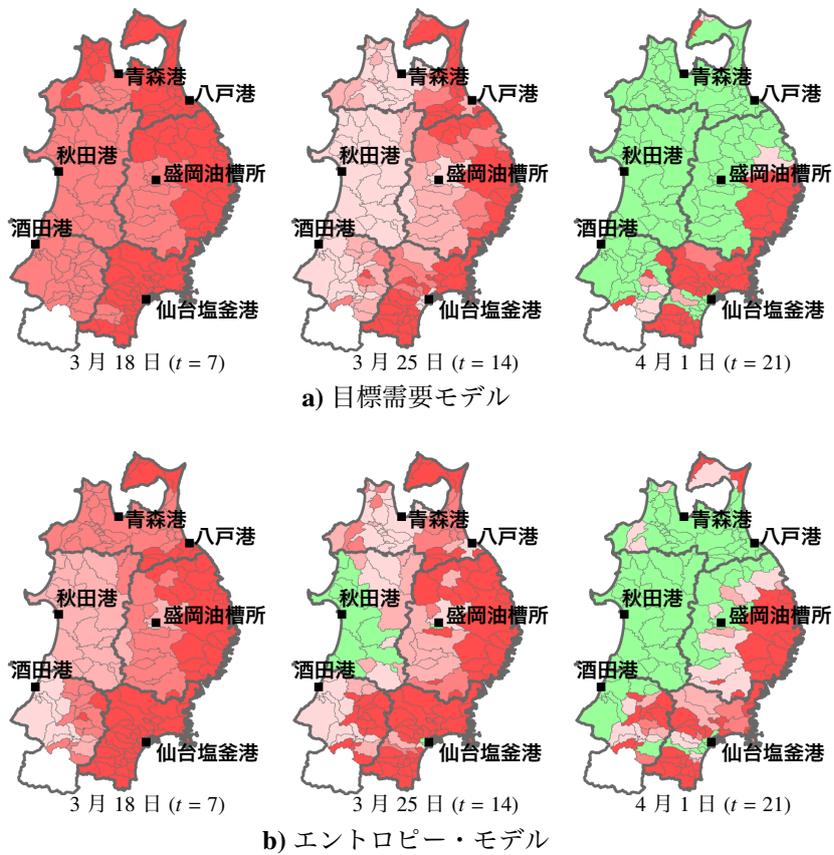


図-20: 市町村別の需給ギャップの空間分布の推移 (待機需要解消日: 4/6)