

東日本大震災後のロジスティクスに 関する記録と解析

－ 東北大学ロジスティクス調査団 中間報告書 －

平成 24 年 8 月

[最終更新日：平成 24 年 11 月 1 日]

東北大学ロジスティクス調査団

まえがき

2011年3月11日の東日本大震災は、我が国の自然災害の中でも例を見ない甚大な被害をもたらした。被災地に位置する東北大学では、情報科学研究科の計画系の現役およびOB教員と学生の有志から成る「ロジスティクス調査団」を結成し、2011年3月末から「もの」の流れに関する調査研究を開始した。本稿は、その中間報告である。

津波やインフラ倒壊などについては詳細な記録が残されているものの、緊急支援物資、ガソリン、商業物流などの「もの」の流れについては、流れの跡が残らないため、これまでの災害においても定量的な記録はほとんど残されてこなかった。そのためロジスティクス調査団は、以下の目的をもって、「もの」の流れの記録をしっかりと残すこと、さらにそれを解析して次の災害時への提言を行う活動を開始した。

1. 1,000年に一度と言われるこの大震災でいったい何が起こったのかを、後世に正しく伝えることが必要です。その中で国民の命に直結する支援物資のロジスティクスは最も貴重な資料になるものと考えられます。
2. 莫大な金額にのぼる義捐金を例に挙げるまでもなく、この未曾有の大災害に対して全国各地の自治体、多くの企業、個人のみならず、130を超える外国や地域からの支援が集まっています。こうした事実はできる限り正確にとらえ公表し、支援者に感謝するとともに、後世に残すべき情報であると考えています。
3. わが国では東海沖、南海沖の連動型巨大地震が予測されています。そうした地域の有事に際しての、緊急支援のロジスティクスの在り方を検討する資料として活用します。

本中間報告では、緊急支援物資の流れに関する調査研究を3編、ガソリンに代表される石油製品の流れに関するものを1編、コンビニやスーパーの商品の流れに関する商業物流の調査研究を1編、ものを運搬する大型車の流れに関する調査研究を1編という構成になっている。これらの調査研究は継続されており、今後も適宜報告を行っていく予定であるが、本稿が今後の災害対応の一助になれば幸いである。

本調査研究においては、被災地の地方自治体の方々、地元コンサルタントの方々、そして全国の多くの大学の方々に、あまりあるご協力をいただいた。最後に、本調査研究に対してとくにご協力いただいた次の皆様に感謝して、はじめの言葉とさせていただきます。

- 岩手県 環境生活部 県民くらしの安全課，総務部 総合防災室，保健福祉部 地域福祉課，農林水産部 流通課
- 宮城県 総務部 危機対策課，東部地方振興事務所 登米地域事務所
- 福島県 出納局 出納総務課・審査課，生活環境部 災害対策本部 消防保安課，農林水産部 農業経済課

- 階上町 総務課
- 八戸市 防災安全部 防災危機管理課
- 一関市 企画振興部
- 岩泉町 保健福祉課，総務課
- 大槌町 災害復興室，町民課
- 大船渡市 保健福祉課，総務部 防災管理室，生活福祉部
- 釜石市 市民生活部 地域づくり推進課，復興推進本部
- 久慈市 社会福祉課
- 田野畑村 生活環境課，教育委員会
- 遠野市 沿岸被災地後方支援室
- 野田村 議会事務局 農業委員会，総務課
- 洋野町 総務課
- 普代村 総務課，震災復興室 建設推進課
- 宮古市 市民生活部 生活課・総合窓口課，危機管理監 危機管理課
- 盛岡市 災害対策本部 復興推進部事務局，環境部 資源循環推進課
- 山田町 総務課，復興推進課
- 陸前高田市 災害対策本部
- 石巻市 産業部 産業復興課，総務部 防災対策課，牡鹿総合支所
- 岩沼市 総務部 防災課
- 女川町 商工観光課，教育委員会 生涯観光課
- 気仙沼市 災害対策本部 危機管理課
- 塩竈市 健康福祉部 社会福祉課
- 七ヶ浜町 地域福祉課，防災対策室
- 仙台市 経済局 産業政策部 経済企画課
- 太白区 区民部 区民生活課
- 多賀城市 総務部 総務課・交通防災課
- 登米市 産業経済部 農林政策課
- 名取市 総務部 防災安全課
- 東松島市 生涯学習課

-
- 松島町 総務課
 - 南三陸町 危機対策課, 南三陸町教育委員会
 - 山元町 総務課
 - 亘理町 町立図書館 館長
 - 新地町 企画振興課, 総務課
-
- 国土交通省 東北地方整備局, 自動車局貨物課
 - 全国知事会 調査第二部
 - 全国市長会 企画調整室
 - 岩手市長会 事務局
 - 陸上自衛隊 東北方面総監部装備部後方運用課
-
- (社) 全日本トラック協会 交通・環境部
 - (社) 岩手県トラック協会 総務課
 - (社) 宮城県トラック協会 業務課
 - (社) 宮城県倉庫協会
 - (社) 福島県トラック協会 事務局長兼適正化事業部
-
- 株式会社 オリエンタルコンサルタンツ 東北支社
 - 首都高速道路 株式会社 交通調査グループ
 - 東邦運輸倉庫 株式会社
 - 株式会社 野村総合研究所 コンサルティング事業本部
 - パシフィックコンサルタンツ 株式会社 東北支社
 - 東日本高速道路 株式会社 東北支社
-
- 秋田大学 土木環境工学科 浜岡研
 - 愛媛大学 工学部 環境建設工学科 吉井・二神・倉内・高山研, 羽鳥研
 - 熊本大学 工学部 社会環境工学科 円山研
 - 高知工科大学 地域連携機構 連携研究センター 熊谷研
 - 神戸大学大学院 工学研究科 市民工学専攻 井料研
 - 首都大学東京 都市環境学部 都市環境学科 小根山研
 - 千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科 佐藤研
 - 東京大学 生産技術研究所 大口・田中研
 - 東北工業大学 都市マネジメント学科 稲村研
 - 名古屋大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 中村・浅野研

- 日本大学 理工学部 社会交通工学科 轟, 福田, 小早川, 西内研
- 広島大学 工学部第 4 類 社会基盤環境工学プログラム 塚井研

平成 24 年 8 月 東北大学ロジスティクス調査団

赤松隆, 稲村肇, 井上亮, 大窪和明, 奥村誠, 金進英, 桑原雅夫,
河野達仁, 長江剛志, 平野勝也, 福本潤也, 宮城俊彦, 森杉壽芳,
東北大学計画系学生

目次

まえがき	i
第1章 東日本大震災における支援物資の流動実態の解明	1
1.1 はじめに	2
1.2 支援物資管理の概要	3
1.3 地方公共団体の支援物資管理実態	6
1.4 流動実態の定量的把握	8
1.5 おわりに	13
第2章 東日本大震災における緊急支援物資ロジスティクスの定量的評価	17
2.1 はじめに	18
2.2 東日本大震災における緊急支援物資供給体制	19
2.3 一次集積所における緊急支援物資輸送体制	20
2.4 一次集積所における搬入/搬出記録の分析	22
2.5 データ解析の考察と今後の緊急支援物資ロジスティクス構築に向けた課題	32
2.6 おわりに	34
第3章 東日本大震災における避難所要望書に基づく救援物資ニーズの順序付けに関する研究	37
3.1 はじめに	38
3.2 仙台市の避難所要望書について	39
3.3 要望書の物資登場順に基づく物資ニーズの順序付け	45
3.4 物資ニーズの順序付けに基づく物資リストの作成とその解釈	48
3.5 おわりに	53
第4章 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	57
4.1 はじめに	58

4.2	収集データと分析対象	60
4.3	石油製品供給施設	61
4.4	東北地域の石油製品販売実績	64
4.5	東北地域への石油製品輸送	66
4.6	東北地域における集計的需給ギャップ	71
4.7	市町村別需給推計モデル	75
4.8	市町村別需給ギャップの推計	82
4.9	おわりに	88
第5章	東日本大震災後における商業物流について	95
5.1	はじめに	96
5.2	調査の内容	96
5.3	分析結果（マクロ分析）	99
5.4	分析結果（ミクロ分析）	102
5.5	おわりに（今後の分析方針）	114
第6章	東日本大震災に伴う首都圏高速道路における大型車交通流変化	115
6.1	序論	116
6.2	研究手法	117
6.3	首都圏高速道路の大型車交通流変化	119
6.4	大型車交通流変化の原因分析と考察	125
6.5	結論	130

第 1 章

東日本大震災における支援物資の流動実態の解明

宮下侑子^{*1}, 福本潤也^{*2}

未曾有の大災害となった東日本大震災では支援物資が被害者に届けられるまでに様々な問題が発生したとされる。本研究では、今後の災害時の支援物資体制の見直しや地域防災計画の改定に対する有益な知見を得ることを目的とし、本震災での支援物資体制の実態と課題を明らかにすることを試みた。支援物資の調達・輸送・保管に関係した多くの団体からできる限りの物資記録を収集・整理し、組み合わせることで、個別の記録からは明らかにできない物資流動実態を定量的に把握できる新たな資料を作成した。

^{*1} 東北大学大学院 情報科学研究科 博士前期課程 1 年

^{*2} 東北大学大学院 情報科学研究科 准教授

1.1 はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波や福島第一原子力発電所の事故によって引き起こされた東日本大震災は、東北地方から関東地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらした。2012年3月時点での死者・行方不明者は約1万9千人、全半壊した家屋は約38万3千棟に及ぶ。ピーク時の避難者数は40万人以上であり、地震発生から1年が経過しても避難所生活を余儀なくされている人達がいる。

東日本大震災では多種大量の支援物資が全国各地から被災地へと届けられた。これらの支援物資が被災者の生命を守る上、生活を支える上で重要な役割を果たしたことは疑う余地はない。ただし、支援物資の調達・輸送・保管・配布（以下、支援物資管理と総称）の各段階で多様な問題が生じたのも事実である。

今回生じた問題のうち、役所・自治体職員の被災による自治体の機能低下や長期にわたる情報途絶、燃料油不足に起因する問題はこれまで十分検討されてこなかった問題と言える。これらについては、今回の事例検証を行い、検証結果を今後の対策に活かしていく必要がある。一方、物資保管における自治体職員の過重負担や大量の余剰物資の問題、混載された義援物資の仕分けといった問題は、阪神淡路大震災や新潟中越地震でも繰り返し報告されてきた問題である。政府機関等による検証が行われ、何らかの対策が講じられてきたにも関わらず、今回も過去の経験が十分活かされず同様の問題が生じてしまった。原因としては、事前の対策が十分でなかった可能性に加えて、東日本大震災の被害規模が大きかったために事前の対策が有効に機能しなかった可能性や、全国的な燃料油不足や福島第一原子力発電所事故といった事前に予見困難な要因により事前の対策が有効に機能しなかった可能性が考えられるが、事前の対策が十分でなかった点は否めないであろう。過去の経験を活かせなかった点を反省した上で、二度と同様の問題が生じることがないように対策を見直していく必要がある。

今後の災害時の支援物資管理体制や地域防災計画等を見直す上で、本震災における支援物資管理の実態と課題を明らかにする必要がある。しかし、以下に挙げる理由から実態と課題の解明は容易ではない。第一に、支援物資管理には多様な組織や人間が携わっており、支援物資が提供主体から被災者に届けられるパターンも複数種類存在する。支援物資管理の全体像を把握することは極めて難しい。第二に、支援物資管理を取り巻く状況が地域毎に異なり、時間の経過に伴って変化する点も全体像の把握を困難にしている。第三に、発災後の混乱した状況で支援物資管理が行われたため、支援物資管理に関する記録が十分に残されていない。また、残されていた記録についても既に一部は散逸している。そもそも支援物資管理には多様な組織や人間が携わっているため、個別の記録を整理するだけでは支援物資管理の全体像を把握することは困難であり、複数の記録を組み合わせな

れば有益な知見を得ることは難しい。第四に、支援物資管理に携わった組織や人間は現在も震災により生じた特別業務や通常業務に追われており、支援物資管理の検証は十分に行われていない。支援物資管理に携わった人間の記憶が時間の経過とともに風化していくことも避けられない。第五に、支援物資管理を巡る問題には被災地域全体に共通した課題もあれば、特定の地域に固有の課題もある。また、支援物資管理の仕組みに起因する課題もあれば、特定の組織・地域・時期の個別事情に起因する課題もある。今後の対策に活かすには事実を観察するだけでなく、観察された事実の背後にある要因を読み解いていく必要がある。

わが国では今後も大きな自然災害が起こることは避けられない。特に東海地震や首都直下型地震は30年以内の発生確率がそれぞれ87%、70%と推測されている。それらの大規模地震が発生した場合、本震災を上回る大量の支援物資を被災地に速やかに届ける必要があると考えられる。東日本大震災における支援物資管理の実態と課題を整理した上で、支援物資管理体制や地域防災計画を見直していく必要がある。以上の問題意識のもと、本研究では本震災での支援物資管理の実態の把握と検証を通じて適切な支援物資管理体制のあり方に関する知見を得ることを目的とする。具体的には、次の二つの課題に取り組む。第一に、支援物資管理の実態と課題を関係主体へのヒアリング調査等を通じて整理する。第二に、実際に授受された支援物資の数量・内容を定量的に把握する。ヒアリング調査で明らかになった支援物資管理の実態と課題を定量的なデータで裏付けることを試みる。

論文の構成は次の通りである。1.2では本震災における支援物資の基本的な流れを説明する。1.3では被災3県の支援物資管理体制について解説する。1.4では支援物資の流動実態を定量的に分析する。1.5では研究成果を総括する。

1.2 支援物資管理の概要

1.2.1 用語の定義

本研究では、「支援物資」を「災害発生時において被災者に対して供給される食料・生活用品」と定義する。さらに、支援物資を緊急物資と義援物資に分ける。各種支援物資の定義を表1.1に示す。

支援物資の調達から被災地への輸送、集積所での荷受・仕分け・保管、集積所等からの出荷、避難所への配送までに一連の工程を「支援物資管理」と総称する。

1.2.2 支援物資の調達・輸送パターン

本震災における支援物資管理の概要を図1.1に示す。在宅避難者や越境避難者、物資提供者と避難所の情報のやり取りなどは単純化のため割愛している。

表 1.1 用語の定義（総務省消防庁 [1] に加筆修正）

用語	定義
① 支援物資	災害発生時において被災者に対して供給される食料・生活用品
② 緊急物資	災害発生時に、自ら日常生活に必要な物資を調達できない被災者に対して地方公共団体が供給する備蓄物資または調達物資
③ 備蓄物資	災害に備えて住民や地方公共団体等が備蓄する食料・飲料水・毛布等の生活必需品
④ 調達物資	災害時に被災した地方公共団体が国・他地方公共団体・民間企業等に対して自ら要請して調達する物資。物資調達に関してあらかじめ協定を結んでいるケースと結んでいないケースの両方を含む。また、有償で調達するケースと無償で調達するケースの両方を含む。
⑤ 義援物資	災害時に被災した地方公共団体からの要請なしに被災地内外の住民・民間企業・団体等から善意で寄せられる物資。調達費用等の対価は生じない。ホームページ等により不特定多数に物資の無償提供を呼びかける場合を含む。
⑥ 公的備蓄	地方公共団体が、災害時に備えて自らが主体的に行う物資等の備蓄
⑦ 流通在庫備蓄	地方公共団体が、災害時に備えて民間企業等とあらかじめ協定を結び、災害時に必要量の物資を調達する仕組み

図 1.1 の赤点線は避難者のニーズ調査や物資の発注・要請などの物資の調達に関わる情報の流れを表す。避難所のニーズが市町村に汲みあげられ、市町村から直接もしくは県や国を經由して、非被災地方公共団体・民間企業・団体・個人等の物資提供者に対して物資の発注や提供の要請がなされる。物資提供者に最終的に発注・要請する主体は市町村・県・国のいずれかである。また、市町村・県・国のいずれからの要請なしに自発的に義援物資を提供する場合がある。これより、物資調達は 1) 市町村による調達、2) 県による調達、3) 国による調達、4) 義援物資、の 4 種類に大別される。

一方、図 1.1 の青実線は支援物資の輸送を表す。支援物資は、1) 県集積所と市町村集積所の両方を經由して避難所に届けられる場合、2) 市町村集積所のみを經由して避難所に届けられる場合、3) 県集積所・市町村集積所を經由せずに直接避難所に届けられる場合の

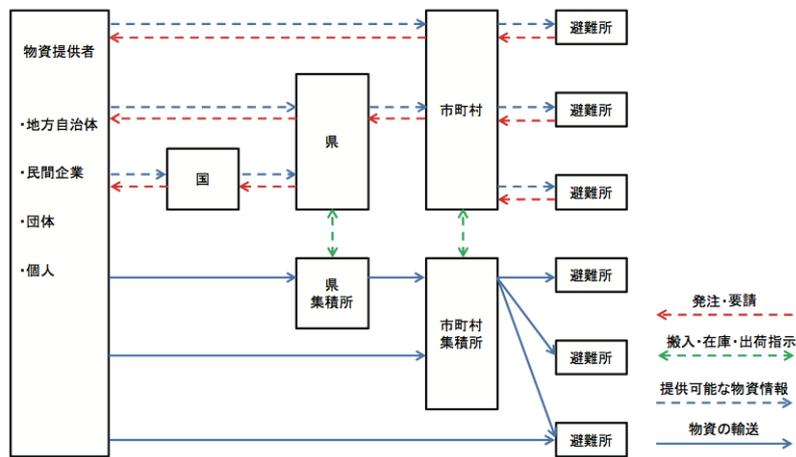


図 1.1 支援物資管理の概要

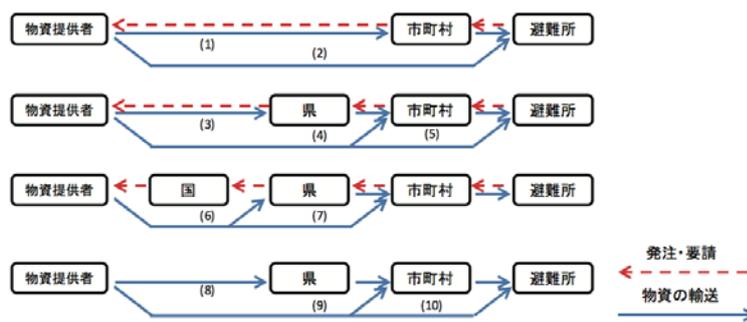


図 1.2 支援物資の調達・輸送パターン

3つの輸送経路パターンがある。物資調達の4パターンと輸送の3パターンの組み合わせとして計12パターンが考えうる。実在しないパターン（例えば、国が調達して避難所に直接届けられるパターン）を除くと、図1.2に示される計10個の支援物資の調達・輸送パターンを考えることができる。賞味期限や消費期限がある食料等は、市町村が調達する場合には市町村集積所を経由せずに避難所に届けられたり（パターン2）、県が調達する場合には県集積所を経由せずに市町村集積所や避難所に届けられる（パターン4や5）。また、地震発生から時間が経過して避難所数が減少した場合も同様である。

物資の輸送手段は物資提供者が調達するのが原則である。県や市町村が物資を調達する場合、物資提供者が県集積所・市町村集積所・避難所等への輸送手段を手配する。一方、国が調達する物資や国が調整して被災地に届ける義援物資については、後述する通り、東日本大震災では国が調達したトラックや自衛隊の航空機・船舶などが大量の物資を輸送した。県集積所から市町村集積所へ物資を輸送する場合は各県トラック協会がほぼ全ての物資の輸送を行っている。市町村集積所から避難所への輸送は市町村や時期によって状況が

異なっており、1) 市町村職員が公用車や自家用車を利用して運んだケース、2) 自衛隊が車両で輸送したケース、3) 市町村の委託を受けた民間物流業者が輸送したケースの大きく三つのパターンに大別される。

図 1.1 の青点線は提供可能な物資の情報の流れを表す。義援物資を提供する意思がある主体は国・県・市町村に対して提供可能な物資のリストを提示して受入の意思を事前に確認することが多い。また、国・県・市町村はそれぞれ県・市町村・避難所に対して提供可能な物資のリストを提示して輸送・配送の希望を確認する。青点線は被災者や被災自治体の物資受入の希望を確認するための提供可能な物資情報を意味する。緑点線は県や市町村の災害対策本部内に設置された物資担当班と集積所担当班の間の情報の流れを表す。物資担当班から集積所担当班への入庫の連絡、在庫の確認、出荷指示等の該当する。

1.3 地方公共団体の支援物資管理実態

地方公共団体における支援物資管理体制は地域防災計画で主に定められている。事前の想定においても団体毎に対応部署等が異なっている。また、想定を大きく上回った本震災では、地域防災計画で定められているのとは異なる弾力的な対応が各団体でとられた。以下に被災3県の対応を整理する。

1.3.1 岩手県の管理体制

岩手県で支援物資管理を行ったのは、県民くらしの安全課・地域福祉課・流通課・経営支援課・経済交流課等である。県民くらしの安全課は、市町村のニーズ情報の集約、他地方公共団体からの義援物資の受け付け、県集積所である岩手県産業文化センター「アピオ」の在庫管理と出荷指示を担当した。地域福祉課は民間企業等からの義援物資の受け付けを担当した。流通課は食料の調達を、経営支援課は生活用品の調達と国への要請を担当した。経済交流課は県民くらしの安全課と共に県集積所であるアピオに職員を常駐させてアピオの管理を行った。

岩手県では事前に県集積所を定めていなかったが、地震発生直後に県集積所として東北自動車道盛岡南 IC 周辺にある全農の倉庫を震災翌日の 12 日から使用することを決定した。しかし、震災翌日には岩手県トラック協会との協議の結果、滝沢村にあるアピオを県集積所として使用することに計画を変更した。計画変更した理由は、全農の倉庫ではスペースが不足することが予想され、その場合には複数の倉庫を使用せざるを得ず、支援物資管理を効率的に実施できないと予想されたからである。アピオでは住宅展示フェアが開催されていたため、同フェアの資機材を直ちに撤去して 3 月 14 日から部分的に県集積所として利用開始して 16 日には 24 時間体制で本格稼働することになった。アピオは建物内

部 3,600 平米・付属展示場 2,800 平米に加えて、広大な駐車場も利用可能であった。建物内部の床の耐荷重が 5 トン/平米で大型トラックが直接乗り入れ可能であることに加えて、東北自動車道の滝沢 IC にも近いという利便性もあった。支援物資管理のためのフォークリフトやパレットも持込み、多種大量の支援物資を一ヶ所に集中して管理する体制をとった。最盛期には 24 時間体制・2 交代制で常時 60 名の作業員が支援物資の荷受・仕分け・出荷等の集積所における物資管理に当たった。また、花巻空港にも空輸されてくる物資を受け入れる県集積所を設けており、花巻空港の県集積所では最盛期で 24 時間体制、2 交代、常時 15 名が作業にあたった。

1.3.2 宮城県の実管理体制

宮城県では地域防災計画では災害対策本部の対策グループが支援物資についても担当することになっていた。しかし、対策グループは物資以外にも対応する必要があり、東日本大震災では流通調整と調達調整を担う物資担当グループが新たに立ち上げられた。物資担当グループの総勢は 3 月 16～22 日のピーク時に約 30 名であった。主要な役割は、市町村からニーズ情報の集約、物資の調達、国への要請（現地対策本部経由）、義援物資の受け付け、県集積所の在庫確認、市町村への輸送指示、等である。

宮城県では県集積所として使用することを事前に想定していた施設が津波で被災したり、遺体安置所として使用してしまった。そこで、地震発生直後から県合同庁舎内のスペースや地方振興事務所内の車庫を使用したが、保管スペースが直ぐに埋まってしまった。そこで、3 月 17 日に宮城県倉庫協会と協議して、翌 18 日から同協会会員の民間倉庫を集積所として使用することを決定した。営業用の貨物が保管されており、いずれも地震動により荷崩れ等を起こしていたことから、当初確保できたのは 4 社の計 1300 平米余りの面積に過ぎなかった。その後、五月雨式に使用スペースを広げ、最大で 21 社 25 倉庫を使用することになった。当初は物資の種類毎に倉庫を活用する方針であったが、事前の連絡なしに各倉庫に支援物資が届けられた結果、種類別に倉庫を使い分ける当初の方針を貫くことはできなかった。3 月末には 24 社から計 2 万 5 千平米以上の面積を県集積所として使用しており、ピーク時である 8 月 11 20 日には計 3 万平米弱の倉庫の面積を県集積所として使用した。集積所の管理は宮城県倉庫協会の会員企業に一任しており、宮城県職員は集積所に常駐しなかった。また、4 月 11 日には支援物資の新規受入を停止して、4 月中旬には一度県外に混載物資を送り、そこで仕分け作業を行っている。

1.3.3 福島県の管理体制

福島県では、事前の想定では農林水産部と商工労働部の18名で物資班を編成する予定だったが、東日本大震災では農林水産部と商工労働部の約半数に対応する100名超の職員が支援物資管理を担当した。物資班の役割は、市町村のニーズ調査、物資の調達、義援物資の受け付け、県集積所の在庫管理、県集積所への出荷指示等である。毎年シミュレーションを行っていたため、担当部署は各自把握していたという。

県集積所は当初は災害対策本部を設置した県庁舎に隣接する自治会館内のスペースに一時的に保管したり、市町村に直送させていた。3月13日から本格的に支援物資が届くようになり、福島県倉庫協会から紹介された倉庫を県集積所として使用することになった。倉庫業者8社と契約して約20の倉庫を使用した。メインとして使用したのは日通喜久田ターミナル(約4000平米)、帝北ロジスティクス笹谷倉庫(約8000平米)、会津通運倉庫の三箇所(拠点倉庫)である。拠点倉庫は地理的な位置関係によって機能分けがされており、基本的には全種類の物資を保管している。集積所の在庫管理は県職員及び福島県トラック協会会員が行った。拠点倉庫以外には、大善の喜多方倉庫を衣類専用倉庫として、日通の福島西中央倉庫を食料専用倉庫として利用した。その他の倉庫は拠点倉庫等にはいりきらない物資を一時的に保管するための倉庫という位置付けである。各拠点倉庫には県職員が常時10人程度張り付いており、ピーク時には20人程度の職員で対応していた。物資の荷受や仕分けは倉庫業者と県職員で管理しており、荷物の積み下ろしなどについては自衛隊の協力も一部得ていた。

義援物資の申し出は必ず県の物資班に連絡して、物資を運びこむ倉庫を確認してから届けるよう指示を徹底していたという。事前の連絡なしに物資を倉庫に持ってくる場合もあったが、全体からみれば量はそれほど多くないという。

1.4 流動実態の定量的把握

本震災において、誰が何をどれだけ提供したのか、政府や県が調達した物資は全体のどの程度の割合を占めたのか、等々は今後の災害時支援物資管理体制を考える上で重要な情報である。しかし、1.2で述べた通り、支援物資は複数の主体を経由して届けられるため、例えば、被災市町村の搬入記録だけ見ても物資の調達主体や提供主体の割合等を把握することは不可能である。加えて、被災市町村の記録は、搬入日・物資名・物資量・提供主体名等の情報が欠損している場合が多い。そこで、本研究では、被災市町村の支援物資搬入記録と県や政府の記録を組み合わせることで、支援物資の流動実態を定量的に把握することを試みる。

表 1.2 使用した記録

データ名	内容
政府物資調達記録	政府が被災3県から受けた物資の要請内容と、要請に基づいて提供した支援物資名、調達先、調達量、輸送手段、物資到着日の記録
岩手県搬入記録	企業・自治体・海外から岩手県に対して届けられた支援物資の記録。
岩手県搬送記録	アピオ（岩手県の一次集積所）と花巻空港から搬送した支援物資名、搬送先、物資量の記録。
宮城県搬入記録	企業・自治体・海外から宮城県に対して届けられた支援物資の記録。
宮城県搬送記録	宮城県が県内市町村や地方振興事務局へ搬送手配を行った支援物資の記録。
被災市町村搬入記録 (多賀城市・松島町・ 田野畑村)	市町村の二次集積所や役所に届けられた支援物資の記録。

本研究では、政府組織・被災県・被災市町村・県トラック協会・県倉庫協会・自衛隊等から支援物資に関する残された記録を収集した。収集した記録のうち、今回の分析に使用した記録は表 1.2 の通りである。

1.4.1 対象地域・物資・機関

今回の分析では、被災市町村物資搬入記録のうち、物資名や物資量についての欠損値が比較的少ない宮城県多賀城市・宮城県松島町・岩手県田野畑村の3つの市町村の記録を用いる。他の市町村については現在欠損値を補間する作業を行っており、補間処理が終了次第、今回と同様の分析を実施する予定である。

被災市町村物資搬入記録において最も扱いが難しいのは物資量の単位である。同一物資であっても複数の単位で総量が表現されていることが多く（「飲料水1箱」「紙パック飲料24本」「ペットボトル20リットル分」のような表現）、それらを一つの単位に統一することは極めて困難である。そこで今回は元々単位のばらつきが少ないカップ麺（大半の単位が「食数」あるいは「箱」と毛布（大半の単位が「枚」あるいは「箱」）に着目する。カップ麺は1箱12食入り、毛布は1箱10枚入りとし、それぞれ食数・枚数ベースでシェアを把握する。

分析の対象期間は発災直後から12週間後である6月2日までとする。被災市町村物資搬入記録から把握できた「この期間内に市町村に届けられた支援物資量」と、政府物資調達記録及び県搬送記録から把握できた「この期間内に搬送手続きを行った支援物資量」の総和から、どの主体がどれほど支援物資に関わったかを割り出す。

1.4.2 支援物資調達・提供主体シェアの算出

以下では、被災市町村の搬入記録からは明らかに出来ない「ある市町村に提供された支援物資のうち、政府や県が調達した物資が全体に占める比率（物資調達主体シェア）」と「ある市町村に提供された支援物資のうち、企業・自治体・団体・海外自治体・個人の支援物資量の比率（物資提供主体シェア）」を算出する。シェアの算出は市町村毎・物資毎に行う。

算出手順は次の通りである。

1. 政府物資調達記録を用いて、政府調達物資における物資提供主体シェアを算出
2. 被災県搬入記録を用いて、県調達物資における提供主体シェアを算出。
3. 被災市町村搬入記録は欠損値や記入漏れがあるため、政府及び県が調達した物資については市町村の記録ではなく、政府調達物資記録と被災県搬送記録から該当市町村に届けられたとされる物資量を抜き出し、市町村の記録を補正する。
4. 補正済の市町村搬入記録を用いて、届けられた物資の提供主体シェアを算出。
5. 4. で求めた提供主体シェアに、1. 及び2. の情報を組み合わせることで、実際の提供主体と調達主体シェアを導出。

以上の流れを多賀城市の毛布を例に詳しく説明する。図1.3の左側のグラフは、政府調達物資記録より算出した、政府が宮城県への要請を受けて調達した毛布における提供主体のシェアである。右側のグラフは、宮城県搬入記録より算出した、宮城県へ届けられた毛布における提供主体シェアである。中央のグラフは、多賀城市搬入記録より算出した、多賀城市に届けられた毛布の提供主体シェアである。これらの3つのグラフのシェアを基にして資調達主体・提供主体シェアを算出する。

調達主体シェアの算出方法は次の通りである。多賀城市に届けられた毛布のうち、政府

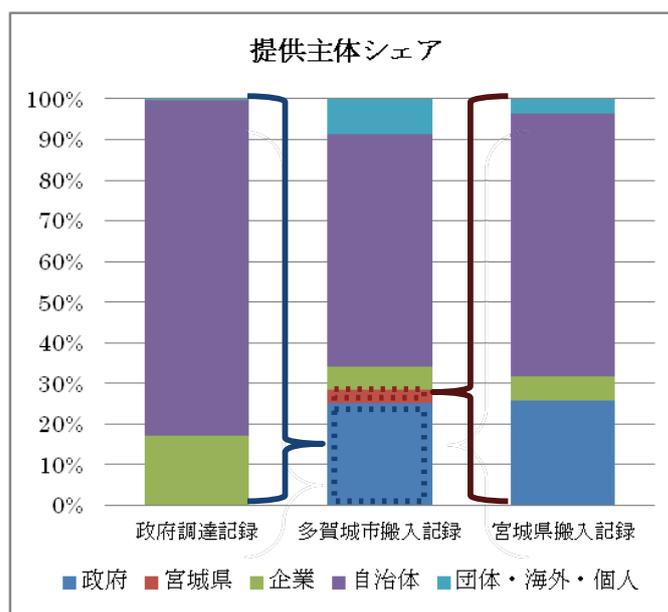


図 1.3 多賀城市への毛布提供主体シェア

及び県が調達した物資の割合は次式から得られる。

(多賀城市に届いた政府調達毛布)

$$= (\text{政府調達から直接届けられた毛布}) \\ + (\text{宮城県からの毛布}) \times (\text{県調達毛布のうち政府調達の割合})$$

(多賀城市に届いた県調達毛布)

$$= (\text{宮城県からの毛布}) \times (\text{県調達毛布のうち政府調達以外の割合})$$

政府及び県以外が調達した物資は市町村が独自に調達した物資あるいは義援物資とみなせる。これより3つの主体による調達量シェアを算出できる。

一方、提供主体シェアの算出方法は以下の通りである。多賀城市に届けられた毛布のうち、企業が提供した物資の割合は次の式から得られる。

(多賀城市に届いた企業提供毛布)

$$= (\text{企業からの毛布}) \\ + (\text{政府からの毛布}) \times (\text{政府調達毛布における企業提供分の割合}) \\ + (\text{県からの毛布}) \times (\text{県調達毛布における企業提供分の割合})$$

式中の「企業」を「自治体」、「団体・個人・海外」に置き換えることで、それぞれの提供

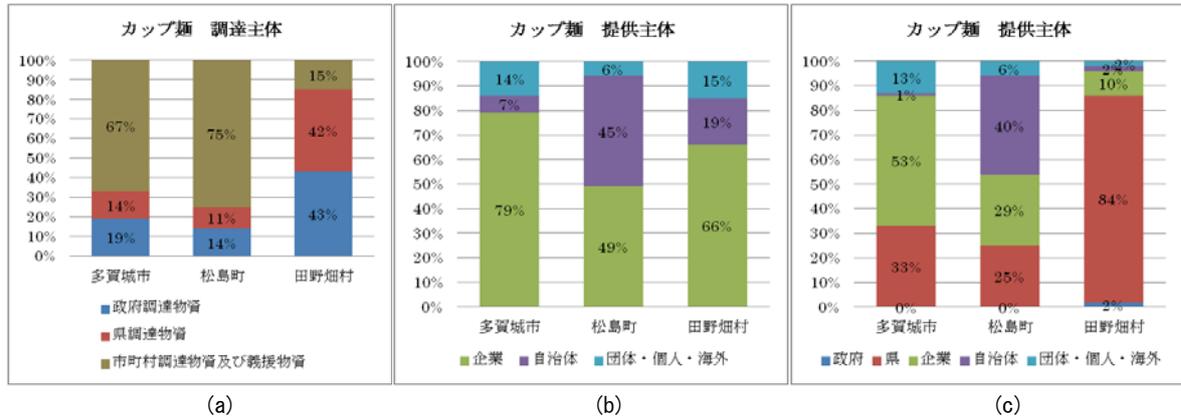


図 1.4 カップ麺の調達・提供主体シェア

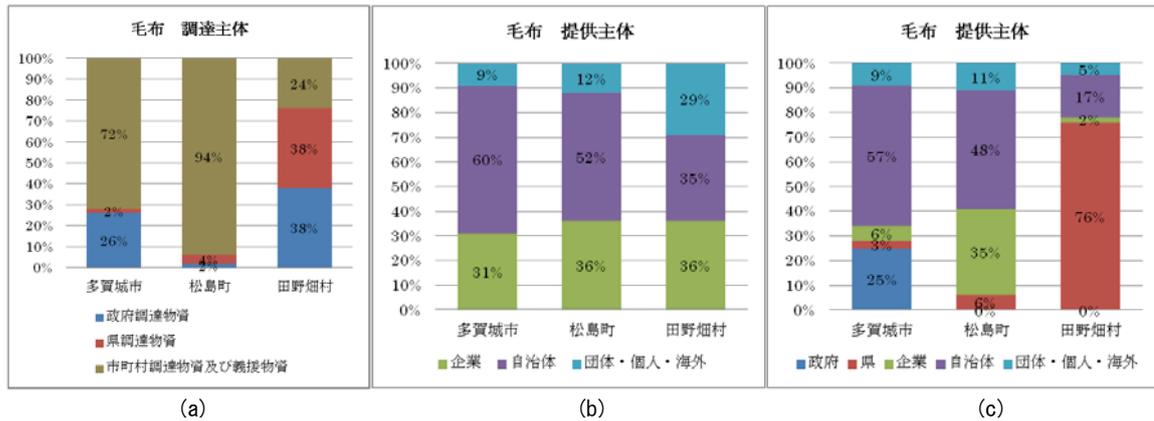


図 1.5 毛布の調達・提供主体シェア

量のシェアが求められる。これより提供主体3つの主体の提供量シェアを算出できる。

以上の手順に従って、3市町村の2物資について調達主体シェアと提供主体シェアを算出した結果を図1.4と図1.5に示す。各図は3つのグラフ(a), (b), (c)で構成される。(a)は調達主体シェア、(b)は提供主体シェア、(c)は被災市町村搬入記録のみに基づいた調達・提供主体シェアである。

1.4.3 考察

まずカップ麺について見る。図1.4の(a)では、多賀城市と松島町については、政府及び県の寄与度が3割程度と低いことが分かる。一方、田野畑村では政府及び県の寄与度が85%にも上っている。また(b)を見ると、3市町村全てにおいて企業からの物資が中心となっていること、松島町は企業や自治体から受け入れたカップ麺が少ないことが分かる。

さらに (a) と (c) を比較すると、全ての市町村において、県調達物資の半分以上が政府が調達した物資であることが読み取れる。

次に毛布について見る。図 1.5 の (a) から、カップ麺と同様に毛布についても、多賀城市と松島町では政府及び県の寄与度が 3 割以下と低く、田野畑村では 76% と高いことが分かる。また、図 1.5 の (b) からは、毛布の提供主体の中心は自治体であったこと、田野畑村では企業や自治体以外の提供主体が比較的多かったことが読み取れる。さらに (a) と (c) を比較すると、宮城県と松島町では県調達毛布に含まれる政府調達毛布の割合が低いが、田野畑村では県調達毛布の半分以上が政府調達毛布であったことが分かる。これらの事実に加え、各市町村にヒアリングをしたところ、3 市町村全てで「他自治体や企業等に積極的に提供を呼びかけることは無かった」という回答を得られた。よって 2 つの図の (a) の茶色で表わされている支援物資は、ほぼ全て義援物資であると言える。

以上の分析結果は次のように要約できる。1) 多賀城市・松島町の義援物資のシェアは田野畑村の 4 倍以上である。2) カップ麺は企業、毛布は自治体が提供主体の中心となった。

1.5 おわりに

本研究では断片的な情報しか残されていない東日本大震災における支援物資実態を、複数の記録を適切に組み合わせることにより定量的に把握することを試みた。現時点では全ての分析結果が出揃っていないが、作業を継続することで、単体の情報では不明瞭だった支援物資の流動実態を明らかにすることができると期待される。本研究の成果は災害時の支援物資体制や地域防災計画の見直しの議論における有益な基礎資料になるとも考えられる。

参考文献

- [1] 総務省消防庁：緊急物資調達の調整合制・方法に関する調査検討報告書，2007.
- [2] 国土交通省：「『支援物資物流システムの基本的な考え方』に関するアドバイザリー会議」報告書，2011.

第 2 章

東日本大震災における緊急支援物資 ロジスティクスの定量的評価 一次集積所における搬入/搬出記録の分析

桑原雅夫^{*1}, 和田健太郎^{*2}

未曾有の被害をもたらした東日本大震災では、震災直後から多くの主体 (e.g., 自治体, 民間企業) が懸命な緊急支援物資供給を行った。しかし、構造物の損壊状況や津波については詳細な調査が行われている一方で、支援物資の流れに関する定量的な記録は残されていない (あるいは、散在している)。本研究は、支援物資に関する定量的な記録の収集と分析を行うことを目的とする。具体的には、一次集積所 (i.e., 県) における主要物資の搬入/搬出記録を対象として、各物資の搬入/搬出傾向の違い、物資間の傾向の比較等を行う。また、分析結果およびヒヤリングを踏まえ、今後の緊急支援物資ロジスティクス構築に向けた課題を示す。

^{*1} 東北大学大学院 情報科学研究科 教授

^{*2} 東北大学大学院 情報科学研究科 博士後期課程 3 年

2.1 はじめに

2011年3月11日午後2時46分に宮城県沖で発生した東北地方太平洋沖地震は、日本における観測史上最大のM9.0を記録し、地震および津波により東北地方の太平洋沿岸部を中心に広範囲に渡ってかつてないほどの甚大な被害をもたらした。東日本大震災における避難所数は約2000箇所、避難者数は約40万人にのぼり、阪神・淡路大震災や中越地震を大きく上回っている[1]。

このような大災害に対して、震災直後から国、地方自治体、民間企業、NPO団体等の多くの主体が懸命な緊急支援物資供給を行った。しかし、被災自治体は、壊滅的な被害を受けているところも少なくなく、限られた人員による大規模かつ広範囲に渡る緊急支援物資輸送は困難を極めた。そのため、多くの民間物流事業者がそのノウハウや人員を提供し、緊急支援物資ロジスティクスを支えた。また、今回の震災では、地方自治体に加えて、初めて国による物資の調達・輸送が実施されている。

今後もこのような大災害が起こることが予想される我が国では、以上のような震災の体験をきちんと記録・把握し、その記録を基に今後の災害へ備える必要がある。しかし、構造物の損壊状況や津波については詳細な調査が行われているものの、緊急支援物資の“流れ”に関する定量的な記録はほとんど残されていない（あるいは、散在している）。

東北大学計画系グループでは、「ロジスティクス調査団」を結成し、緊急支援物資、ガソリン、商業物流について、それらの流れに関する調査解析を開始した。本稿は、その中の緊急支援物資について、これまでの調査解析結果を報告する。

本研究はその中でも、緊急支援物資に関する定量的な記録の収集と分析を行うことを目的とする。具体的には、一次集積所（i.e., 県）における主要物資の搬入/搬出記録を対象として、各物資の搬入/搬出傾向の違い、物資間への傾向の比較等を行う。特に、本研究では、岩手県と宮城県を対象とし、両県の物資供給体制の違いについても考察する。また、分析結果およびヒヤリングを踏まえ、今後の緊急支援物資ロジスティクス構築に向けた課題を示す。

なお、東日本大震災における緊急支援物資ロジスティクスについては、既にいくつかの報告・提言がなされている[2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]。これらは、それぞれ異なる観点から、今回の震災における緊急支援物資ロジスティクスの課題、今後のあり方のポイントを挙げている。本稿の定量分析とは補完的な関係にあると考えられるため、併せて参照されたい。

本稿の構成は、以下の通りである。まず、2.2では、東日本大震災における緊急支援物資輸送体制を概説する。2.3では、本稿で対象とする岩手県、宮城県の緊急支援物資輸送体制について詳述し、その違いを整理する。2.4では、岩手県、宮城県における緊急支援物資の搬入/搬出記録を分析し、その考察を行う。2.5では、2.4で示した分析およびヒヤ

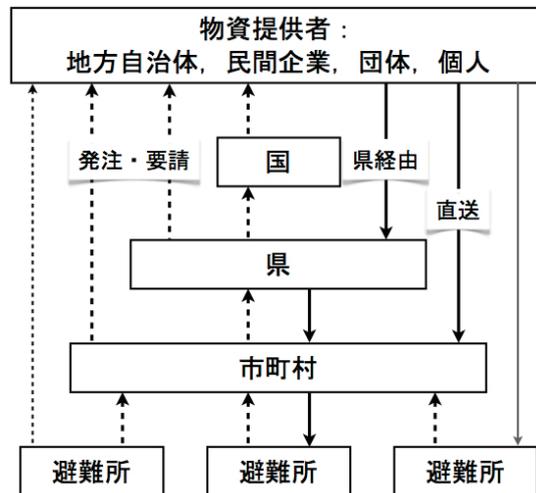


図 2.1 緊急支援物資供給体制の概要

リングを踏まえ、今後の緊急支援物資ロジスティクス構築に向けた課題について述べる。2.6 では、本研究のまとめと今後の課題を述べる。

2.2 東日本大震災における緊急支援物資供給体制

東日本大震災における緊急支援物資供給体制について概説する。災害時に主に緊急支援物資の調達を行うのは県および市町村である。ただし、先にも述べたように、今回の震災では、被災規模が大きく広範囲に渡っていたため国が初めて物資の調達を行った。従って、図-2.1 の点線で示すように、3 段階の体制が基本となり緊急支援物資が発注・要請された。具体的には、(1) 市町村は備蓄物資や調達した物資を被災者に配布する。対応できない部分は県に調達を要請；(2) 県は市町村からの要請を受け、物資を調達する。対応できない部分は国に調達を要請；(3) 国は県からの要請を受け物資を調達する、という流れである。また、公的な調達に加え、被災地外の自治体や民間企業からの多くの義援物資が提供された。このような義援物資は、主に被災自治体が受け付け、その自治体の集積所、または、より被災地に近い集積所（県が受け付けた場合は市町村の集積所）へ運ばれた。

物資の輸送については、図-2.1 の実線部分で表されている。被災地における緊急支援物資の輸送体制についても、県の一次集積所、市町村の二次集積所、そして、避難所という段階的な構造になっている。そして、この集積所を経由するか否かで次の 3 種類の輸送ルートがある：1) 県の一次集積所を経由するルート（県経由）；2) 直接市町村の二次集積所に輸送されるルート（直送）；3) 避難所に直接輸送されるルート、である。

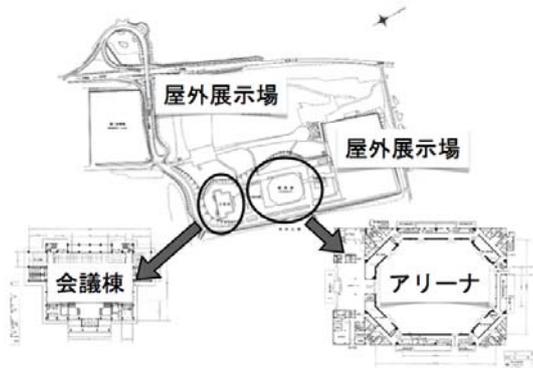


図2.2 岩手県文化センター「アピオ」の見取り図

2.3 一次集積所における緊急支援物資輸送体制

2.3.1 岩手県における体制

岩手県では、岩手県産業文化センター「アピオ」を県の一次集積所として3月14日から利用し、16日には正式に県の拠点として24時間体制で稼働した^{*3}。そこで、支援物資を受け入れ、在庫管理、仕分け、荷積みを行って、市町村の二次集積所に輸送していた。アピオ（図-2.2）では、11500m²のアリーナのほか、4300m²の会議棟および2800m²の付属展示場も物資の集積場所として利用していた。また、アリーナ内には大型のトラックも中に入ることができ、その中でフォークリフトなどを利用した支援物資の荷下ろし、荷積みが行われていた。

一方、人員体制であるが、岩手県では、県民くらしの安全課がアピオの管理、市町村のニーズの把握、出荷指示等を行った。この中のアピオの管理は、震災直後の早い段階から岩手県トラック協会の協力を得ていた。具体的には、3月14日の夜くらいからトラック協会約80人、県職員約20人の24時間体制（2交代制）で、物資の搬入・搬出にあっていた。また、義援物資の受付、緊急支援物資の調達、国への支援の要請は、地域福祉課・流通課・経営支援課・経済交流課等が担当した。

一次集積所（花巻空港も含む）から市町村への二次集積所への物資輸送は、そのほとんどが県トラック協会が担当していた。3月11日から31日までの20日間に、約700台のトラック輸送を行っており、仮に支援物資をトラックに満載していたとすると、約4500トンの物資が市町村に輸送されたことになる（図-2.3）。物流の専門家によれば、4500ト

^{*3} アピオが利用される以前は、流通センター内の精米センターと全農の倉庫を利用していた。また、花巻空港もアピオと同様の一次集積所として利用されていた [9]。

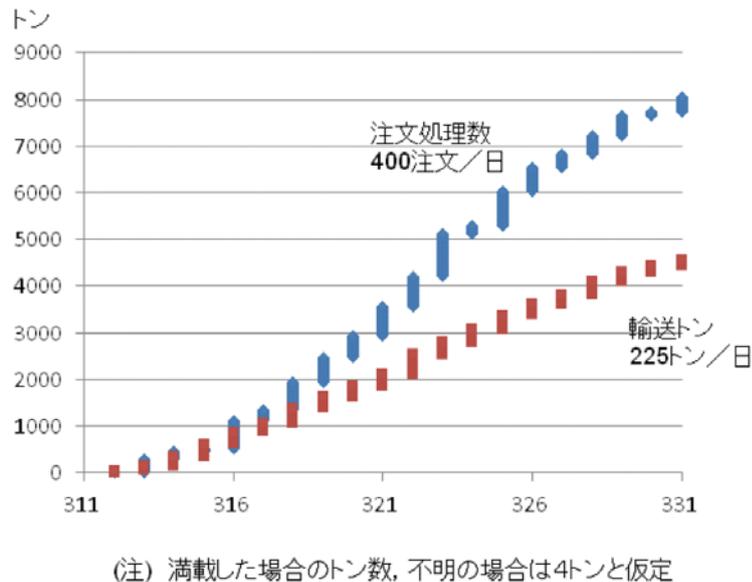


図 2.3 岩手県の一次集積所における累積注文処理数と累積輸送量の推移

ンの物流量は、10 トントラック 625 台分に相当するということなので、輸送にあたった 700 台のトラックも物資をほぼ満載にして、市町村の二次集積所に輸送したものと思われる。さらに、4500 トン = 30 万ケース ⇒ 1 日当たり 1.5 万ケースという量は、一般的な物流センターの 3 倍程度の取扱量である。

2.3.2 宮城県における体制

宮城県では、一次集積所として使用することを事前に想定していた施設（夢メッセ、アクセル）が津波で被災し、また、遺体安置所（グランディ 21）として使用してしまった。そのため、3 月 18 日以降から宮城県倉庫協会に所属する民間倉庫（最大）25 箇所を一次集積所群として使用した^{*4}。しかし、いずれの倉庫も、既に荷物が保管されており、各々の面積も限られたものであった（当初は 4 箇所約 1300m²）。また、大量の物資や混載物資、事前連絡のない物資が多く届いた結果、3 月末には約 23000m² の面積を一次集積所群として使用することになった。さらには、4 月 7 日の余震で保管していた支援物資が荷崩れし、破損などの被害を被ったため、一時、集積所としての機能を維持できなくなった [7]。そのため、4 月 11 日には、新規の支援物資の受入を停止し、4 月中旬には一度県外に混載物資を送り、そこで仕分け作業を行っている [10]。

人員体制は、宮城県の物資グループ・物資調達グループ・物資調整グループが、市町村

^{*4} 震災発生直後は、県合同庁舎や地方振興事務所内の車庫を使用したが、直ちにその容量を超えてしまった。



図 2.4 搬入・搬出・要望の伝票の例（岩手県）

のニーズの把握・緊急支援物資提供の受付・調達・配送指示などを行った。一方、倉庫の管理は民間企業に一任した（宮城県職員は集積所に常駐しなかった）。人数については、県の職員が約 20～30 人で情報のやり取りを行い、各倉庫の管理は民間企業の社員 4～5 人が対応した [10]。

2.4 一次集積所における搬入/搬出記録の分析

まず、2.4.1 では、東北大学ロジスティクス調査団で行った、緊急支援物資記録の収集とデータ整理の概要を述べる。そして、以降の 2.4.2, 2.4.3 で、岩手県および宮城県の一次集積所の搬入/搬出分析を行う。

2.4.1 記録の収集とデータ整理

緊急支援物資の流れの調査にあたっては、県の一次集積所と市町村の二次集積所の搬入搬出記録を閲覧させて頂き、それをデジタル化するところから始めた。具体的には、岩手県、宮城県、南三陸町、石巻市、仙台市などの協力を得て、記録の閲覧をさせて頂いた。図-2.4 は、アピオにおける搬入・搬出・要望の伝票の一部である。

以上で得られた伝票の数は膨大な量にのぼり、例えば、岩手県の搬入伝票、搬出伝票、被災地からの要望書の枚数は、5月中旬時点で約 6000 枚であった。それを本学だけでな

く、全国各地の大学、コンサルタントの方々のご支援を得て、デジタル化をした。デジタル化した主な項目は次のようになっている：各品目毎に、受注・出発・到着日時、発地・着地、品目名、数量、輸送モード。

ただし、震災直後の混乱期にあっては、物資の記録が完全に残されていないことも多い。たとえ手書きの記録が残されていたとしても、搬入・搬出日、数量などが完全に記録されていないこともままある。従って、本研究では、欠損データの補完するための推計を行った。輸送日の補完推計については、(紙の)元伝票がファイリングされていた順番に従って、前後の分かっている輸送日から内挿を行った。また、数量の欠損については、1回の輸送で運ばれる品目別の数量の平均的な値を割り出し、それを用いて数量補完を行った。

さらに、たとえば内閣府の被災者生活支援チームが行った政府調達の実物資のデータなど、別システムの緊急支援物資データと突合せを行い、数量が大きく不整合にならないように調整を行った。

2.4.2 岩手県の搬入/搬出分析

岩手県の搬入/搬出分析では、震災後の初動段階（3月いっぱい）を対象とした。また、初動段階において必要となる主な緊急支援物資である、飲料水、毛布、ご飯類（パックご飯、おにぎり、精米）を分析対象とした。これらの物資を分析するために用いたデータは次のようになっている：

- 3/12～3/31までの岩手県への搬入データ（一次集積所に入った物資）
- 3/12～3/31までの岩手県から市町村への搬出データ（一次集積所から搬出したもの）
- 3/12～3/31までに県が調達した食品のデータ（一次集積所を経由しなかったもの（直送）も含む）。

以下2.4.2.1では、まず、緊急支援物資の搬入量の推移と搬入量の推移を比較し、その傾向の違いを見る。続く2.4.2.2では、より信頼性の高い、県からの搬出データを用いて物資間の傾向の違いを市町村別に考察する。最後に2.4.2.3では、県が取り扱った緊急支援物資の輸送経路についての定量的なデータを示す。

2.4.2.1 搬入量と搬入量の傾向比較

図-2.5は、アピオにおける飲料水の搬入と搬出の累積量を表したものである。データ整理を細心の注意を払いながら行ったにもかかわらず、搬出累積量（OUT）が搬入累積量（IN）を上回ってしまう時期もある。県の担当者によれば、搬出記録の方が、搬入記録よりも信頼性が高いとのことであった。

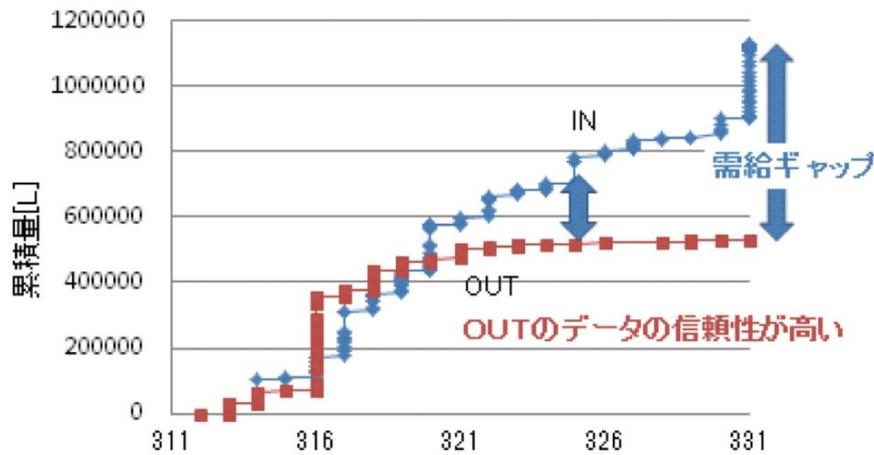


図 2.5 アピオにおける飲料水の搬入・搬出累積量の推移

この図で興味深い点は、搬入量と搬出量の推移が異なった特徴を持つことである。具体的には、飲料水の搬出量が震災 10 日後から急激に少なくなっている。この理由は、市町村の二次集積所における飲料水の在庫が多くなったために、その時期には県から市町村に送る必要がなかったとのことであった。このようなニーズの変化にもかかわらず、飲料水の搬入の方は依然として続き、しかも一時に大量の飲料水が搬入されることがあったことも見てとれる。これらの特徴の違いから、アピオにおいて需給のミスマッチが生じていたと考えられる。

2.4.2.2 県からの搬出量を用いた物資間の傾向比較

ここからは、県からの搬出量データを用いて、市町村別の物資間の傾向比較を行う。図-2.6 は、岩手県から釜石市の拠点に輸送された飲料水、毛布、ご飯類（パックご飯、おにぎり、精米）の累積量を表している。興味深いことに、飲料水と毛布については、震災 10 日後から輸送がほとんどなくなっているが、ご飯類については、継続的に市町村への輸送が行われている。飲料水については先述の理由がここでも当てはまるが、毛布については避難所の一人あたりのスペースがあまり多くない（毛布を何枚も使うスペースがない）ことが理由とのことであった。6 月からは仮設住宅への移動が始まったため、県の拠点の毛布は最終的にはすべて市町村に輸送されている。一方、ご飯類については、毎日消費するものであるため、継続的な供給が必要であった。

図-2.7、図-2.8、図-2.9 は、それぞれ飲料水、毛布、ご飯類について、都市規模の異なる宮古市、釜石市、大船渡市、陸前高田市、山田町、大槌町でも同様の分析を行い、市町村によって違いがあるかどうかを見たものである。上段は各市町村へ輸送された累積総量を

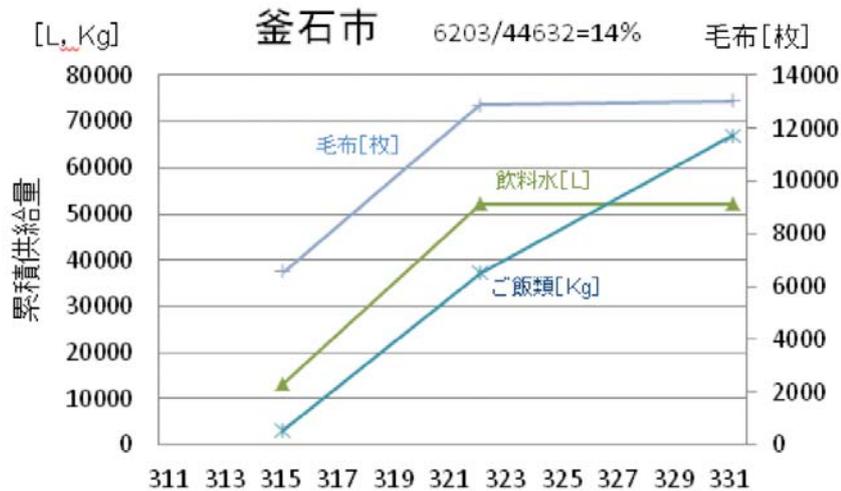


図 2.6 岩手県から釜石市へ輸送された品目毎の累積量

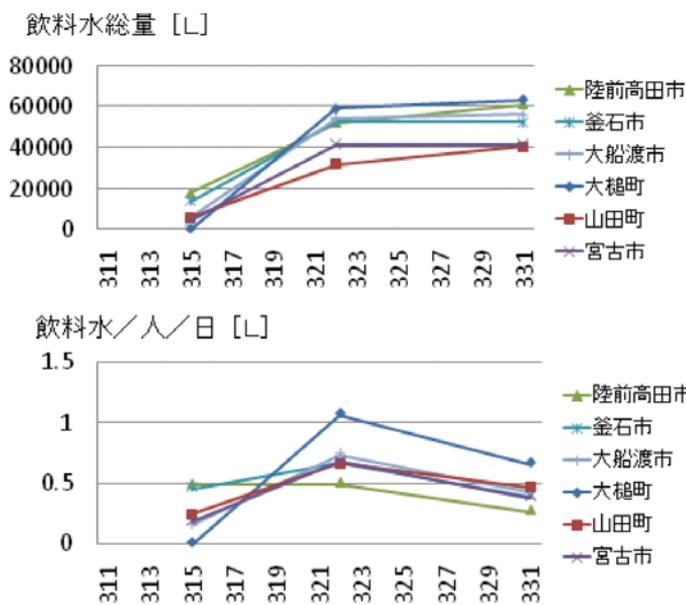


図 2.7 岩手県から各市町村へ輸送された飲料水の累積量と1人当りの1日の供給量

表しており、下段は一人当りの1日の供給量を表している。また、表-2.1 はこれらの市町村の人口と被災者数（3月末時点）を示している。

これら見ると、市町村には人口規模、被災者数には差があるものの、飲料水と毛布の供給は震災10日後から少なくなるがご飯類は継続供給されている傾向は、どの市町村も同様である。また、一人あたりの供給量にも、それほど大きな差は見られず、県が公平性を考慮して市町村に物資を供給していたことがうかがえる。

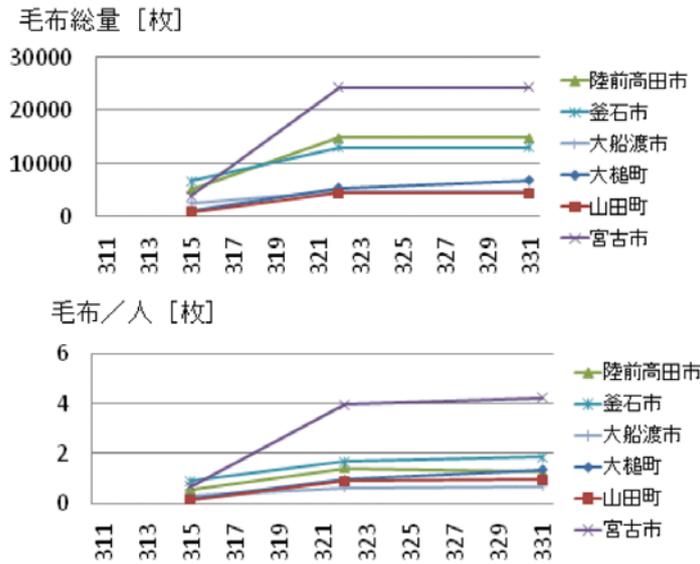


図 2.8 岩手県から各市町村へ輸送された毛布の累積量と 1 人当りの 1 日の供給量

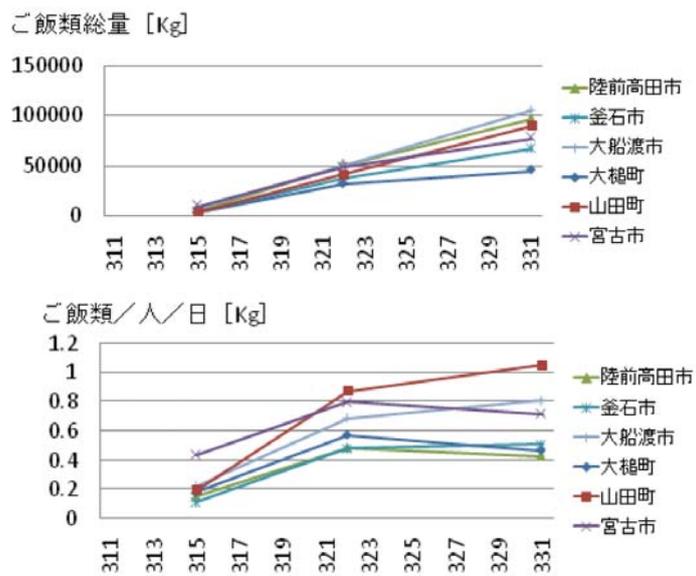


図 2.9 岩手県から各市町村へ輸送されたご飯類の累積量と 1 人当りの 1 日の供給量

表 2.1 市町村の人口と被災者数（3月末時点）

	被災者(人)	人口(人)	割合(%)
宮古市	5301	65682	8
釜石市	6203	44632	14
大船渡市	6290	43847	14
陸前高田市	13474	26018	52
山田町	4347	21180	21
大槌町	4533	17468	26

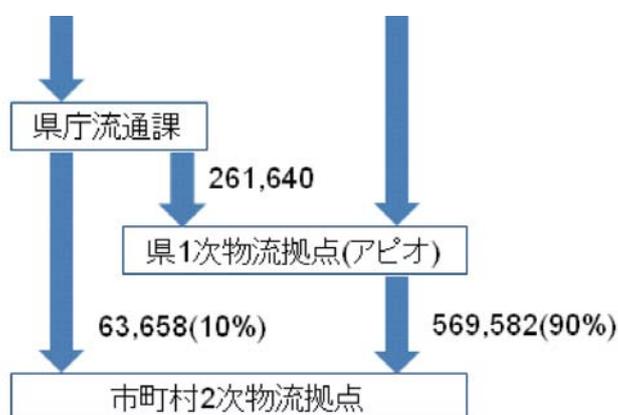


図 2.10 岩手県におけるご飯類の供給経路の内訳（3/31 時点，単位 [kg]）

2.4.2.3 県が取り扱った物資の供給経路

岩手県は、主に2つの経路で物資を供給していた。1つは、一次集積所であるアピオを経由したものである（一次集積所経由と呼ぶ）。もう1つは、県が物資を調達し、アピオを経由せずに市町村へ直送されたものである（直送と呼ぶ）。前者は、県庁のくらしの安全課が担当し、後者は流通課が担当であった。

図-2.10は、それぞれの課へのヒヤリングおよび提供データに基づいて、ご飯類の一次集積所経由と直送の割合を図示したものである。ご飯類については、一次集積所経由の割合が約90%に達しており、岩手県の一次集積所が物資の供給拠点として大きな役割を果たしていたことが分かる（残念ながら、ご飯類以外の物資についてはデータの欠損が多く、県経由と直送の割合が定かではない）。なお、以上で扱った物資供給量は、岩手県を経由（または県が手配）して市町村に送られた量であり、県を経由しない物資も多数あることから、市町村への全供給量とは異なる。

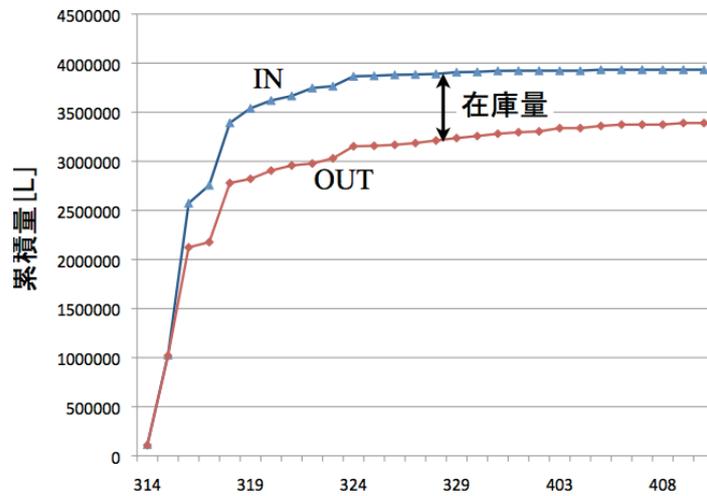


図 2.11 宮城県における飲料水の搬入・搬出累積量の推移

2.4.3 宮城県の搬入/搬出分析

宮城県の搬入/搬出分析においても、対象物資は岩手県と同様である。ただし、対象期間は震災後1ヶ月とする。分析に用いるデータは次のようになっている：

- 3/12～4/10までの宮城県への搬入データ（一次集積所へ入ったものおよび直送）
- 3/19～4/10までの宮城県から市町村への搬出データ（一次集積所から搬出したもの）。

以下、2.4.3.1、2.4.3.2、2.4.3.3は、岩手県と同様である。

2.4.3.1 搬入量と搬入量の傾向比較

図-2.11、図-2.12、図-2.13は、それぞれ、宮城県が取り扱った飲料水、毛布、ご飯類の搬入と搬出の累積量を表したものである。それぞれの物資は、必ずしも一次集積所（県が指定した倉庫群）に入ったものではなく、直送（搬入＝搬出）も含んでいる。

いずれの図でも、共通するのは、搬入量（純搬入＋直送）と搬出量（純搬出＋直送）の推移に大きな傾向の違いが見られないという点である。これは、後述するように、宮城県では直送の割合が非常に多かったためであろう。すなわち、県が取り扱った物資の大部分が一次集積所には留まらずに市町村へ直接運ばれたため（このような物資の搬入量と搬出量は一致するため）、県における搬入と搬出の傾向がほぼ同様になっていると考えられる。

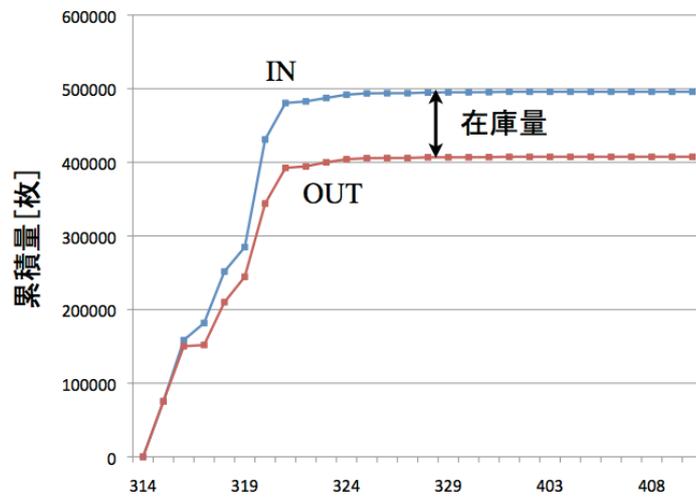


図 2.12 宮城県における毛布の搬入・搬出累積量の推移

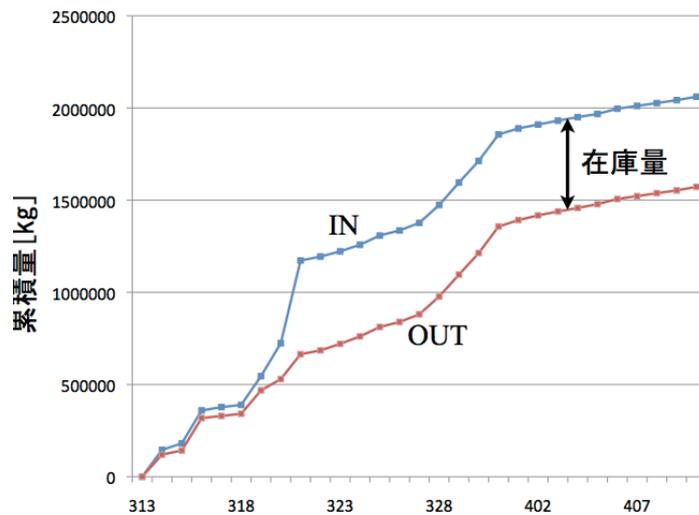


図 2.13 宮城県におけるご飯類の搬入・搬出累積量の推移

また、震災後1週間から10日あたりから、在庫が発生しているという点も共通の傾向である。この時期は、2.3.2で述べた宮城県の一次集積所が設定された時期(3月18日)に一致する。つまり、初動期には一次集積所が確保できていないために在庫はわずかであったが、集積所が確保されると直ちに在庫が増加している。このことから、宮城県においても需給のミスマッチが生じていたことが推察される。

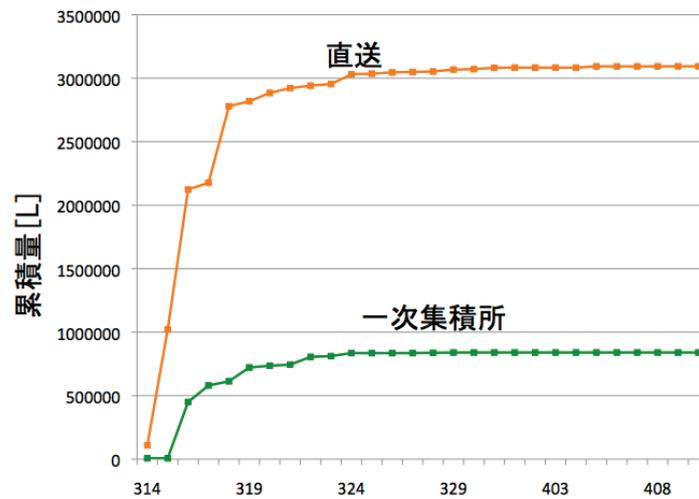


図 2.14 宮城県における飲料水の累積搬入量の内訳

2.4.3.2 物資間の傾向比較

続いて、図-2.11-図-2.13 を用いて、物資間の傾向の違いを考察する。飲料水、毛布の累積搬入/搬出量は震災後 10 日ごろから増加が見られないが、ご飯類は累積搬入/搬出量ともに継続的に増加している。これらの傾向の違いは、岩手県とも同様であり、その理由も同様のものであると考えられる。

飲料水、毛布とご飯類のもう 1 つの傾向の違いは、初動段階における累積搬入量の増加度である。飲料水や毛布は、震災後 10 日の時点で 1 ヶ月間に搬出される以上の量（100%～110%）が搬入されているが、ご飯類は約 75% に留まる。これは、飲料水や毛布が保存しておけるのに対して、ご飯類は保存できないという理由によるものと思われる。

2.4.3.3 県が取り扱った物資の供給経路

最後に、搬入量全体における直送の割合を調べることで、各物資の供給経路を見ていこう。図-2.14, 図-2.15, 図-2.16 は、それぞれ、飲料水、毛布、ご飯類の直送と一次集積所経由の累積量の推移を図示したものである。また、表-2.2 は、3 月末時点でのその割合を示している。宮城県においては、岩手県と対照的に、直送が大部分を占めており、一次集積所に運ばれた物資は割合としては少ない。これは、分散して配置された一次集積所群に物資を搬入し、搬出するのに手間がかかったためであると考えられる。

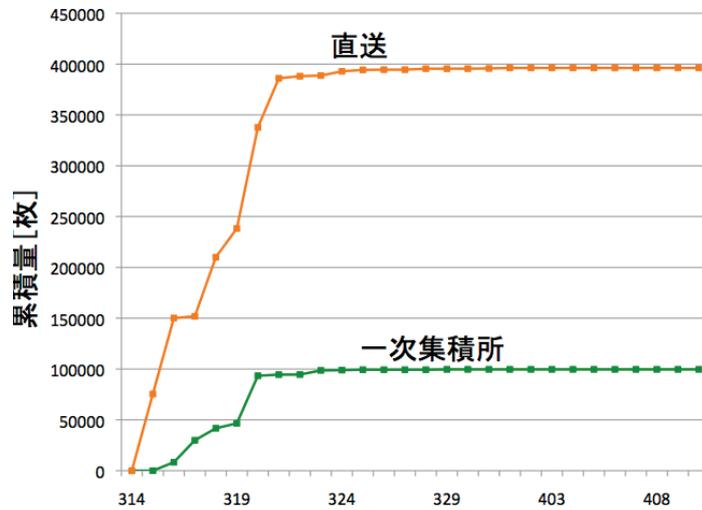


図 2.15 宮城県における毛布の累積搬入量の内訳

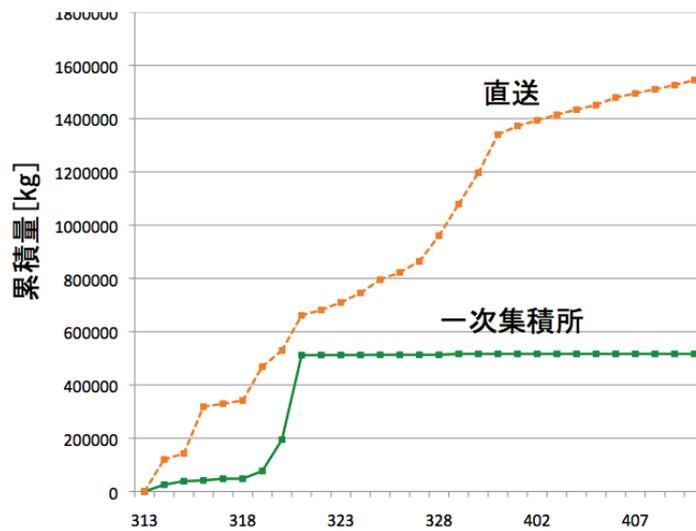


図 2.16 宮城県におけるご飯類の累積搬入量の内訳

表 2.2 宮城県における各物資の供給経路の内訳 (3 月末時点)

	直送	一次集積所
飲料水 [L]	3081635 (79%)	839653 (21%)
毛布 [枚]	395707 (80%)	99640 (20%)
ご飯類 [kg]	1339751 (72%)	516660 (28%)

2.5 データ解析の考察と今後の緊急支援物資ロジスティクス構築に向けた課題

2.5.1 岩手県と宮城県の搬入/搬出分析結果の比較

前章で示した岩手県および宮城県の搬入/搬出分析結果の違いを考察する。2.3でも示したように、岩手県と宮城県では一次集積所の体制が大きく異なっていた。そのため、分析結果も、その体制の違いを如実に表すものとなった。特に大きな違いが表れたのは、県が取り扱った支援物資の直送と一次集積所経由の比率である。岩手県（ただしご飯類のみ）では、一次集積所経由が90%に達したのに対して、宮城県では20%～30%程度であった。

ただし、ここで注意したいのが、宮城県の一次集積所に入った物資の絶対量が岩手県と同程度であったという点である。具体的には、岩手県の飲料の累積搬入量（図-2.5）と宮城県の飲料の累積搬入量（図-2.14）に大きな違いはない。すなわち、宮城県において直送の割合が多かったのは、一次集積所としてまとまったスペースがとれなかっただけではなく、取り扱う物資の絶対量が膨大であったこともその要因であると考えられる。

その他の項目については、以下のように、岩手県も宮城県も同様の結果が示された：

- 両県ともに需給のミスマッチが生じていた
- 飲料水、毛布、ご飯類の搬入/搬出傾向は両県で同じ。

2.5.2 今後の緊急支援物資ロジスティクス構築に向けた課題

以上の分析結果およびヒヤリングを踏まえ、今後の緊急支援物資ロジスティクス構築に向けた課題を挙げる。

2.5.2.1 物資供給方法：プッシュ・セット型から被災地のニーズに応じた物資供給へ

震災直後の通信手段がまったく途絶された状況においては、これまでも指摘されているように被災地の状況を予想して、飲料水、毛布、食糧などの生活必須物資のセットをプッシュ型で供給することが必要であることは言うまでもない。

ただし、震災後数日を経過した段階以後は、被災地のニーズに合わせた物資供給に早期に切り替えるべきである。図-2.5、図-2.11-図-2.13にもあるように、岩手県でも宮城県でも一次集積所への供給はニーズとミスマッチしていたことがわかる。震災数日後の依然として混乱をきわめる被災地を考えると、できるだけ被災地の外で物資量をニーズに合わせて

て調整して搬入し、被災地の作業軽減と効率化をできるだけ支援することが望まれる。

2.5.2.2 情報通信手段の早期の確保

情報伝達の重要性は、被災手でもヒアリングにおいても最重要課題として挙げられていた。入荷、出荷、要請に関する発地、拠点、被災地間で情報伝達。災害直後、数日経過後、10日程度経過後といったフェーズごとに、どのような情報通信を順次確保していけるのかについてグランドデザインが必要である。

特に、震災直後においては、固定電話網や携帯電話の基地局も津波で流されるなどして、まったく通信手段がない状態があった。この時期は緊急支援物資だけでなく、人命救助のためにも情報の伝達が極めて重要であり、衛星電話やポータブルで太陽光などを電源として利用できる基地局機能を備えた設備などを避難所に配備することは考えられないだろうか（今回の震災でも活躍した移動基地局の充実などについては、各キャリアーが検討していると聞いているが、より迅速に対応できるシステムの配備が求められる）。

2.5.2.3 一次集積所の体制：スペース、人員、トラックの確保

先の課題でも述べたように、大災害時には、なるべく被災地の外でニーズに応じて物資量を調整することが望ましい。ただし、それでも生じてしまう需給のミスマッチについては、県の一次集積所、市町村の二次集積所で（在庫を持つことにより）調整を行うしかない。特に、市町村そのものが大きな被害を受けるような場合、需給の調整において一次集積所が果たす役割は大きい。

今回の定量的分析により、一次集積所の取扱物資の量と、そのために必要な集積所のスペース、人員、トラック台数などが次第に明らかになってきた。従って、この結果も参考にしつつ、今後予想される大震災時の一次集積所の在り方について具体的に検討を行っていく必要がある。

2.5.2.4 伝票の標準化、供給物資の標準化（混載・非定型物資の回避）

岩手県についても宮城県についても、震災後に試行錯誤を重ねながら、搬入搬出、要請の伝票を作成・改良してきた経緯がある。次期に備えて、最低限フォーマットの統一を図るべきであろう。

また、混載された物資や否定形物資の取り扱いには、多大な労力が割かれたと聞いており、混載を避けること、提携の箱やパレットの利用、そこに張られるラベルの標準化などの改善が必要と思われる。

2.6 おわりに

本稿では、岩手県と宮城県を対象として、一次集積所における定量的な搬入/搬出分析を行った。具体的には、主要物資について、(1) 搬入量と搬出量の傾向比較、(2) 物資間の搬入/搬出量の傾向比較、(3) 県が取り扱った物資の供給経路の内訳の分析を行った。また、岩手県と宮城県の分析結果を比較することで、一次集積所の体制についても考察を行った。そして、以上とヒヤリングを踏まえた上で、今後の緊急支援物資ロジスティクス構築に向けた課題を示した。

本研究は、震災後1ヶ月程度の短期間の分析を行ったが、今回の大震災のように長期的な支援が必要となる場合、被災者のニーズの変化に伴い、中心となる緊急支援物資も変化する。従って、今回扱った初動期に必要な物資だけでなく、その他の物資も含めた長期の分析を行う必要であると考えられる。

また、本研究では、最初のステップとして、一次集積所に焦点を当て分析を行ったが、その結果の評価をするためにも市区町村レベルの分析が必要になる。従って、市区町村レベルの分析についても今後行っていく予定である。その調査結果については、改めて別の機会に報告したい。

謝辞：岩手県、宮城県、仙台市、石巻市、南三陸町の関係者には、貴重なデータをご提供頂き、感謝申し上げます。また、データ処理をお手伝い頂いた全国の大学の皆様、コンサルタントの皆様、そして、東北大学計画系の学生諸君に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 内閣府被災者支援チーム: 避難所生活者・避難所の推移 (東日本大震災、阪神・淡路大震災及び中越地震の比較), [<http://www.cao.go.jp/shien/1-hisaisha/pdf/5-hikaku.pdf>], 2011.
- [2] 苦瀬博仁, 矢野裕児: 市民を兵糧攻めから守る「災害のロジスティクス計画」, 日本都市計画学会誌, Vol. 291, pp. 87-90, 2011.
- [3] 礎司郎: 全日本トラック協会における緊急物資輸送について, 物流問題研究, Vol. 56, pp. 2-6, 2011.
- [4] 矢野裕児: 東日本大震災での緊急救援物資供給の問題点と課題, 物流問題研究, Vol. 56, pp. 11-15, 2011.
- [5] 峯猛: 東日本大震災における救援物資供給停滞の発生とその要因, 物流問題研究, Vol. 56, pp. 16-21, 2011.
- [6] 国土交通省: 支援物資物流システムの基本的な考え方, 『支援物資物流システムの基本的な考え方』に関するアドバイザリー会議報告書, [<http://www.mlit.go.jp/common/000184634.pdf>], 2011.
- [7] 馬場崎靖: 東日本大震災を踏まえた支援物資物流システムのあり方について, 運輸と経済, Vol. 72, No. 3, pp. 31-40, 2012.
- [8] 早乙女貴行: 物流事業者の広域災害対策, 運輸と経済, Vol. 72, No. 3, pp. 41-47, 2012.
- [9] 佐藤耕造: 東日本大震災緊急物資輸送概況 (岩手方式) と課題, 運輸と経済, Vol. 72, No. 3, pp. 48-57, 2012.
- [10] 福本潤也, 井上亮, 大窪和明: 東日本大震災における緊急支援物資の流動実態の定量的把握, 平成 23 年度国土政策関係研究支援事業 研究報告書, [<http://www.mlit.go.jp/common/000207696.pdf>], 2012.

第3章

東日本大震災における避難所要望書に基づく救援物資ニーズの順序付けに関する研究

奥村誠^{*1}, ブンポン健人^{*2}

東日本大震災では被災地の通信手段の途絶により被災地のニーズ情報が被災地外の物資提供者へ正しく伝わらなかった結果、時々刻々と変化する被災地ニーズと被災地に送られる救援物資の間に不一致が生まれ、避難所で本当に必要なものが届かなかったことに加えて、被災自治体では不要な物資の仕分け作業が必要になるなどの問題が発生した。そこで本研究では避難所から出された救援物資の要望書を用いて被災地ニーズの移り変わりを分析する。そして物資間の前後関係を反映する物資リストの形を作成し、次回以降の震災時に物資提供者が発送する物資の適切な決定に役立てる。

^{*1} 東北大学大学院 工学研究科 教授

^{*2} 東北大学大学院 工学研究科 博士前期課程1年

3.1 はじめに

ここではまず東日本大震災での救援物資輸送における問題点として救援物資と被災地ニーズの不一致が生じていたことを示す。そしてその対策として次回以降の震災で取るべき物資供給体制と、そのために本研究で行う救援物資ニーズの順序づけが果たす役割について概説する。

3.1.1 救援物資と被災地ニーズの不一致

東日本大震災では宮城・岩手・福島の東北3県を中心に甚大な被害を受けたため、これらの被災地に対して主に[被災地外(物資供給者)]→[一次集積拠点(県)]→[二次集積拠点(市町村)]→[避難所]といった流れで多くの救援物資が届けられた。この際、被災地外の物資調達は、被災県や市町村からの発注によるものではなく、政府や物資供給者自身が被災地でのニーズを想像して行うことになった。その際、被災地の通信手段の途絶等により被災地のニーズ情報が被災地外の物資提供者へ正しく伝わらなかった結果、時々刻々と変化する被災地ニーズと実際に被災地に送られてくる救援物資の間に不一致が生じることとなった。例えば、宮城県では2011年3月27日時点で在庫として水、茶などの飲み物6万箱、毛布8万枚が余る一方で、長期化した避難所生活に伴い生じた衣類や靴、食器、シャンプー、掃除用具などの要望に応えきれていなかった(河北新報2011年3月28日)。

このように救援物資と被災地ニーズの不一致が生じた結果、避難所に本当に必要なものが届かないだけでなく、被災自治体では不要な物資の仕分け作業が必要になるなどの問題が発生した。

3.1.2 被災地支援のために求められる救援物資の供給体制

今後発生する震災においても、被災地からの情報が十分に伝わらない危険性が大きいいため、被災地からの情報を待つのではなく、自発的に発送すべき物資を選ぶ「プッシュ型の」供給体制をとることが必要である。救援物資を送る際には、多くの物資候補の中から被災地で必要とされている物資を適切に選択しなければならない。この際「A→B→Cの順で物資が必要になる」といった物資ニーズの順序に関する情報を社会の認識として共有しておけば、被災地外で発送すべき物資を決める手助けとなり、また被災地との通信手段が部分的に確保できたときには「被災地ではBの物資が不足しているがCの物資はまだ不要である」というような形で簡潔にニーズを伝えるためのコミュニケーションツールとして活用できる。

そこで本研究では後述する「宮城県仙台市の各避難所から出された必要物資に関する要望書」（以下、仙台市の避難所要望書）を用いて、被災地ニーズの時間による推移を分析して、それにうまく適合するような救援物資への順序付けを抽出する。そのためにまず考えられるのは、「各物資が平均して発災後何日目から要望されるか」といった日数の平均値を物資間で比較して物資に順序を付けることである。しかし、物資が要望される日数は{被災程度、年齢構成}といった各避難所の状況に大きく依存し、各避難所で物資が要望される順序も要望される日数の平均値を使って付けた順序とは異なる可能性がある(3.2.4節)。そこで本研究では多くの避難所で共通して現れる物資ニーズの前後関係を要望書から抜き出して、救援物資ニーズの順序付けをすることを考える(3.3章)。

3.2 仙台市の避難所要望書について

まず3.2.1節では本研究で使用する要望書の内容について述べ、続く3.2.2節では要望書の分析を行うための前処理として、自由記述で要望書に記載されている要望物資を一定のルールに従って分類分けする。3.2.3節では仙台市の各区での物資の要望され方を見て、今後分析で使用する2つの地域を選定する。そして3.2.4節では実際に物資が要望される日数の平均値を用いた物資ニーズの順序付けを行いその問題点について述べる。

3.2.1 宮城県仙台市での救援物資供給体制と仙台市の避難所要望書

被災地における物資供給の仕組みに関しては、参考文献[1]の「『支援物資物流システムの基本的な考え方』に関するアドバイザー会議」報告書が詳しい。宮城県仙台市では発災後数日が経過して自治体の機能が回復してくると、宮城県消防学校に物資を収集し始めここを物資拠点(二次集積拠点)として各避難所へ物資の配送を行うようになった。その際の二次集積拠点と各避難所の間で行われたやりとりを図3.1に示す。この中で③の避難所が仙台市に翌日の配送希望物資を伝える際に使われたシートが避難所要望書である。当初はありあわせの紙に手書きで要望が書かれていたが、3月16日ごろには市側で避難所名、避難人数、要望書の記入日のほか、必要な物資と数量を記入する枠を印刷した用紙が作られ、②の物資配送時に翌日分を回収するようになった。日が経つにつれ、多くの避難所からの要望に共通する物資をあらかじめ印刷した用紙が使われるようになり、その物資名も途中で見直しがなされた。

要望書には、「記載日」「避難所名」ごとに「要望物資名」とその「量」等の情報が記載されており、今回は仙台市から提供していただいた2011年3月16日～4月23日の要望書を用いる。3月16日以前は仙台市の自治体としての機能が停止していたため要望書が存在しないと考えられる。ここで「量」のデータについては、未記入が多いことや、単位

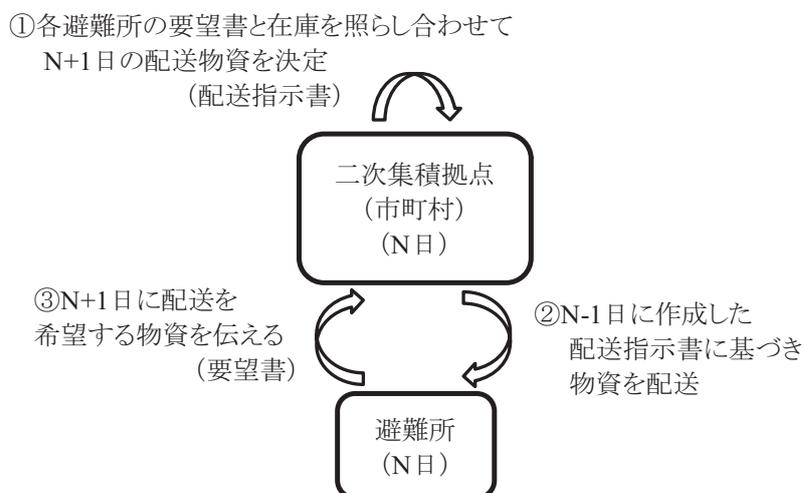


図 3.1 物資拠点と避難所のやり取り

の統一が困難なことから、本研究では要望「量」については扱わない。

つまり本研究では、 N 日の S 避難所の要望書情報とは、 $N + 1$ 日の配送希望物資（以下、要望物資と呼ぶ）として S 避難所が希望した物資の集合を意味する。

市の物資配送の担当者は各避難所から得た要望書（図 3.1 ③）の要望を最大限満たすように、各避難所への翌日の配送物資を在庫物資から決定する（図 3.1 ①）とともに、一次集積所（県）に対して必要物資の要望（発注）を行っていた。

3.2.2 要望書の分析のためのデータの前処理

3.2.1 節で述べたように、発災当初は各々の避難所が手書きで要望書を記入していたため統一的なルールに従って記述されていない。例えば要望物資の記述の中には『「バナナ」が欲しい』と具体的な物資名を挙げているものもあれば、『「果物」が欲しい』と果物全般に言及している場合もある。これらの記述を別の物資の要望として扱うことは適切でないため、一定のルールに従ってこれらの物資を分類分けする必要がある。そこで本研究では、以下の①②の条件を最低限満たすように要望物資の分類分けを行った後、③の条件も加味してデータの前処理を行う。その結果として得られた分類を表 2.1 に示す。なお仙台市において要望書を提出したことのある避難所は 188 か所存在し、表 3.1 では要望した避難所数（要望避難所数）が 31 以上の物資分類（以後、分類分けした分類名のことを要望物資と呼ぶ）について示している。

条件① 使用目的が一致している物資は同一分類とする

例. 「バナナ」と「ミカン」の場合

震災時には「果実」として互いにそれほど区別なく需要（要望）されていたと考え、同分類「果物」に属する物資として扱うことにする。

条件② 使用条件が一致している物資は同一分類とする

例. 「包装米飯；パックごはん」と「アルファ米」の場合

調理に際して「パックごはん」は電子レンジや湯煎によって加熱する必要があるが、「アルファ米」は水を加えて柔らかくするだけで食することができる。震災直後は多くの地域が停電などで、電子レンジや湯煎による加熱が困難であったため、「パックごはん」と「アルファ米」は別物資として要望されたと考えられ、これらの物資は別分類とする。

条件③ 記載された物資が複数の分類にまたがる場合、全ての分類に属するように拡大

例. 電池は「単一電池」「単二電池」「単三電池」「単四電池」でそれぞれ用途が異なるため別分類としたい。

そのため「電池」と記載されている場合は、「単一電池」「単二電池」「単三電池」「単四電池」のそれぞれが1回ずつ要望されたとカウントすることにする。

3.2.3 仙台市避難所における分析地域の選定

ここでは地域による要望物資の違いをみるために、表 3.1 で挙げた分類のうち要望避難所数が 60 以上の物資について、これらの物資の仙台市の各区における要望避難所数と順位を調べた。その結果を表 3.2(a) にまとめる。各区毎に存在した避難所数は大きく異なり、要望避難所数での比較が難しいため、順位を用いて各区相互の比較を行う。ここで表 3.2(a) の枠内に色がついている部分は、区内における順位が仙台市全体における順位よりも 5 番以上上位である物資を表しており、各区における「特徴的な物資」であるといえる。表 3.2(a) において異なる区で共通して「特徴的な物資」となっている物資の数を表 3.2(b) に示す。これをみると {若林区・宮城野区} {太白区・泉区} でそれぞれ共通する物資の数が多くなっている。前者の 2 区は共に仙台市沿岸部を含む地域で、津波被害の影響が要望に表れていると考えられる。なお青葉区の要望には目立った特徴が見られない。そこで、以下では、若林区・宮城野区を「沿岸部」、太白区・泉区を「内陸部」と定義して、これらの 2 つの地域に分けて分析を行う。

表 3.1 物資の分類と凡例

要望避難所数	分類名	物資例	備考：分類理由など
143	水		
140	カップ麺	カップラーメン, カップ焼きそば, 「カップメン」	
128	おむつ	大人用おむつ, 子供用おむつ	子供用, 大人用の判断不可が多いので同分類
125	果物	バナナ, ミカン, 「果物」	
123	パン (主食)	食パン, 「パン」	
122	米		
122	カセットボンベ		
117	菓子	「菓子」	
111	消毒液	アルコール消毒液	
110	アルファ米		
105	トイレトペーパー		
100	生理用品	ナプキン, 「生理用品」	
98	カンパン	カンパン, 備蓄用パン	
98	寝具	毛布, シーツ, 枕	
97	マスク		
92	ジュース	{トマト, りんご, キャロット}ジュース	
92	カセットコンロ		
91	単一電池		
88	サランラップ		
83	カイロ		
79	粉ミルク		「アレルギー対応ミルク」など
78	肌着 (女)	下着, シャツ, パンツ, ブラジャー	
78	ゴム手袋		
76	肌着 (男)	下着, シャツ, パンツ	
72	使い捨て食器	紙食器, 発砲スチロール食器	
70	おかず	「おかずになる缶詰」「おかず」	
66	灯油		
63	ウェットシート	ウェットティッシュ, おしりふき	
61	レトルト食品	レトルトカレー, レトルト牛丼	
60	ガムテープ		
59	スープ	カップみそ汁, わかめスープ, 卵スープ	
58	上着	ジャージ, スウェット, トレーナー, セーター, ズボン	
57	靴下		
56	紙パック茶	お茶 (ペット), お茶 (2L)	
54	使い捨て手袋	ビニール手袋, プラスチック手袋	
54	使い捨て袋	ごみ袋, ビニール袋	
50	食器		使い捨てではないもの
48	箸など	はし, スプーン, フォーク	使い捨てか否かは不問
44	単三電池		
43	ふりかけ類	ふりかけ, 梅干し, 漬物	
43	パックご飯		
42	肉 (おかず)	ハム, ソーセージ, ベーコン	
38	単二電池		
38	ティッシュペーパー		
37	みそ		
36	牛乳	牛乳, ロングライフミルク	ロングライフミルク：未開封で長期保存可能
36	石鹸	ボディソープ, ハンドソープ	洗濯用でないせっけん
35	食器洗剤		
34	野菜	「野菜」	
33	タオル	フェイスタオル, ハンドタオル, バスタオル	
32	しょうゆ		
31	ガソリン		

表 3.2 地域毎の要望書比較

(a) 各区での物資の要望避難所数と順位

順位	分類名	仙台市			青葉区			泉区			太白区			宮城野区			若林区		
		避難所数	避難所数	順位	避難所数	順位	避難所数	順位											
1	水	143	33	3	33	1	37	1	23	9	17	6							
2	カップ麺	140	40	1	22	10	30	7	28	3	20	1							
3	おむつ	128	32	6	25	7	32	6	24	7	15	13							
4	果物	125	33	3	20	14	27	13	26	5	19	2							
5	パン(主食)	123	35	2	19	16	21	17	29	1	19	2							
6	米	122	31	9	29	3	35	2	17	22	10	36							
6	カセットボンベ	122	33	3	26	6	28	11	18	19	17	6							
8	菓子	117	32	6	30	2	35	2	14	30	6	69							
9	消毒液	111	24	16	22	10	30	7	24	7	11	30							
9	アルファ米	110	29	11	15	18	19	18	29	1	18	4							
10	トイレットペーパー	105	30	10	13	19	19	18	27	4	16	11							
12	生理用品	100	26	13	23	9	29	9	12	34	10	36							
13	カンパン	98	22	20	28	5	34	4	10	42	4	93							
13	寝具	98	22	20	29	3	33	5	5	74	9	45							
15	マスク	97	26	13	24	8	29	9	11	37	7	58							
16	ジュース	92	28	12	16	17	26	16	12	34	10	36							
16	カセットコンロ	92	25	15	21	12	27	13	10	42	9	45							
18	単一電池	91	23	18	13	19	18	20	23	9	14	20							
19	サランラップ	88	32	6	12	21	18	20	17	22	9	45							
20	カイロ	83	23	18	21	12	28	11	7	56	4	93							
21	粉ミルク	79	20	23	20	14	27	13	7	56	5	81							
22	肌着(女)	78	16	25	9	23	13	24	23	9	17	6							
22	ゴム手袋	78	22	20	10	22	15	23	17	22	14	20							
24	肌着(男)	76	14	26	8	24	13	24	23	9	18	4							
25	使い捨て食器	72	17	24	8	24	11	31	21	13	15	13							
26	おかず	70	12	27	7	27	13	24	21	13	17	6							
27	灯油	66	24	16	8	24	16	22	8	53	10	36							
28	ウェットシート	63	7	42	7	27	11	31	26	5	12	24							
29	レトルト食品	61	12	27	6	30	8	39	20	17	15	13							
30	ガムテープ	60	8	38	5	32	9	34	21	13	17	6							

(b) 各区間の要望の類似度

	青葉区	泉区	太白区	宮城野区	若林区
青葉区		0	1	0	1
泉区			4	0	0
太白区				0	1
宮城野区					6
若林区					

3.2.4 要望日数の平均値を用いた物資ニーズの順序付けとその問題点

この節では「内陸部」「沿岸部」のそれぞれで、要望日数の平均値を用いて物資ニーズの順序付けを行って、その問題点について考察する。東北地方太平洋沖地震が発生した2011年3月11日を0日目として「内陸部」「沿岸部」のそれぞれで表3.2に示した30物資の各物資の「平均何日目から要望されはじめたか： \overline{FD}_i 」, 「平均何日目まで要望されていたか： \overline{LD}_i 」, 「平均要望回数」を表3.3に示す。また表3.3においては \overline{FD}_i の昇順、つまり早い日数から要望され始める順に物資を並べている。

表3.3中の平均要望回数を「沿岸部」と「内陸部」で比較すると、多くの物資で「沿岸

表 3.3 物資毎の要望日数の違い

(a) 内陸部：太白区・泉区

要望 避難所数	分類名 (g)	初要望時		最終要望時		平均要望回数 (回)
		平均日数	標準偏差	平均日数	標準偏差	
		\bar{FD}_i		\bar{LD}_i		
47	粉ミルク	5.7	2.5	6.3	3.1	1.2
62	寝具	5.7	2.6	6.2	3.0	1.2
52	生理用品	5.8	3.1	7.0	3.7	1.6
65	菓子	6.1	3.5	8.1	5.8	1.8
53	マスク	6.2	3.1	7.3	4.0	1.7
64	米	6.3	4.8	7.6	6.9	1.7
49	カイロ	6.3	4.1	8.0	5.0	1.7
48	カセットコンロ	6.3	4.0	7.4	4.3	1.5
62	カンパン	6.5	4.2	6.8	4.6	1.1
54	カセットボンベ	6.5	3.7	9.6	6.2	2.3
70	水	6.5	4.2	8.7	6.6	2.0
52	消毒液	6.8	4.5	7.7	4.7	1.5
57	おむつ	6.9	5.6	9.3	7.1	2.2
24	灯油	6.9	1.4	8.4	1.9	2.0
31	単一電池	7.1	4.1	9.1	4.9	1.8
42	ジュース	7.3	5.4	9.8	8.8	1.5
47	果物	7.6	4.9	10.3	6.5	2.2
52	カップ麺	7.6	4.7	11.4	8.5	2.6
40	パン (主食)	7.8	4.2	11.7	6.1	2.8
30	サランラップ	8.3	5.5	10.3	7.8	1.9
18	ウェットシート	8.4	4.7	12.1	9.0	1.9
32	トイレットペーパー	8.4	5.2	10.1	7.5	1.8
25	ゴム手袋	8.7	5.9	11.0	7.5	1.6
34	アルファ米	8.9	5.9	12.6	8.1	2.6
21	肌着 (男)	10.3	6.4	14.5	10.4	2.5
19	使い捨て食器	10.4	4.9	15.2	10.3	2.2
22	肌着 (女)	10.5	6.3	14.0	9.1	2.4
14	ガムテープ	11.8	6.7	13.1	6.5	1.6
20	おかず	12.6	6.0	19.0	9.9	3.1
14	レトルト食品	14.7	6.5	19.0	9.6	2.1

(b) 沿岸部：若林区・宮城野区

要望 避難所数	分類名 (g)	初要望時		最終要望時		平均要望回数 (回)
		平均日数	標準偏差	平均日数	標準偏差	
		\bar{FD}_i		\bar{LD}_i		
35	消毒液	7.6	3.9	10.0	4.9	1.9
39	おむつ	7.6	2.8	10.6	4.7	1.9
48	パン (主食)	7.7	3.5	18.3	7.5	5.7
31	ゴム手袋	8.2	3.9	10.7	5.2	1.7
26	サランラップ	8.3	5.3	11.7	6.5	1.8
35	カセットボンベ	8.3	4.6	12.9	5.6	2.5
47	アルファ米	8.4	6.2	13.4	7.3	3.3
19	カセットコンロ	8.5	4.7	11.3	5.9	1.5
18	マスク	8.6	5.6	9.7	5.3	1.4
37	単一電池	8.6	6.1	11.7	7.1	2.0
43	トイレットペーパー	8.8	6.3	14.0	6.8	2.4
48	カップ麺	8.8	5.9	16.0	7.7	3.7
12	粉ミルク	9.1	5.0	10.2	4.7	1.7
14	寝具	9.3	5.7	14.2	10.0	1.6
45	果物	9.3	6.6	17.5	8.7	3.6
38	ウェットシート	9.7	5.2	11.4	6.3	1.4
38	ガムテープ	9.8	3.9	14.8	6.6	2.8
40	肌着 (女)	10.0	5.4	15.6	6.6	2.8
18	灯油	10.3	9.0	13.3	9.2	1.6
41	肌着 (男)	10.5	5.5	15.6	5.8	2.6
14	カンパン	10.6	5.3	12.8	6.1	1.6
22	生理用品	10.8	7.0	11.4	6.9	1.2
40	水	10.9	9.6	13.6	10.3	1.6
20	菓子	11.2	6.8	12.2	7.0	1.4
36	使い捨て食器	11.5	8.7	20.8	9.3	3.3
11	カイロ	11.7	9.7	14.8	10.6	1.5
27	米	11.8	7.9	13.6	8.2	1.7
38	おかず	12.5	5.8	18.6	8.1	2.7
22	ジュース	13.1	8.6	18.9	9.3	2.4
35	レトルト食品	15.0	6.5	18.5	6.3	1.9

部」のほうが多く要望されており、津波の影響で物資が不足していたことがわかる。

ここで表 3.3(b) を見ると、「沿岸部」において消毒液は平均 7.6 日目、トイレットペーパーは 8.8 日目から要望されることがわかるが、この結果から果たして消毒液はトイレットペーパーより早く要望されるといえるだろうか。実際、消毒液とトイレットペーパーの \overline{FD}_i の標準偏差はそれぞれ 3.9 日、6.3 日であり、各避難所の細かな被災状況などによりこれらの物資が要望される日数は \overline{FD}_i から標準偏差分の日数程度は前後する可能性があることを示している。つまり、表 3.3 で示した要望日数の平均値による物資ニーズの順序付けは、実際の被災地ニーズの推移を正しく表せているとはいえない。

3.3 要望書の物資登場順に基づく物資ニーズの順序付け

本章では避難所毎に要望書に登場する物資の前後関係に着目し、そのなかで多くの避難所で共通するものを「ニーズの前後関係」として抜き出す。そうすることで 3.2.4 節の表 3.3 で見たような避難所の違いによる要望日数のずれの影響を排除して、より安定的に物資ニーズの順序付けを行うことができる。

3.3.1 単一避難所での二物資間のニーズの前後関係の定義

2 物資 g_i, g_j 間でのニーズの前後関係として、「避難所 s_k で物資 g_i のニーズが物資 g_j のニーズに先行する」ことを ${}_iR_j^{s_k}$ とし、 ${}_iR_j^{s_k}$ であることを以下のように定義する。

$$LD_i^{s_k} < FD_j^{s_k} \rightarrow {}_iR_j^{s_k} \quad (3.1)$$

$FD_j^{s_k}$: 避難所 s_k で物資 g_j が初めて要望されたときの発災日からの日数

$LD_j^{s_k}$: 避難所 s_k で物資 g_j が最後に要望されたときの発災日からの日数

(ただし発災日である 2011/3/11 を 0 日とする)

(3.1) 式はつまり「避難所 s_k で物資 g_i が不必要となってから初めて物資 g_j が必要となる」場合を ${}_iR_j^{s_k}$ とみなすことを表現している。

ここで定義したニーズの前後関係 ${}_iR_j^{s_k}$ をノード i とノード j を結ぶリンクとみなせば、有向グラフのネットワークを用いて多物資間のニーズの前後関係を表現できる。例えば 6 つの物資 A, B, C, D, E, F で順序関係 ${}_AR_D, {}_BR_C, {}_CR_D, {}_FR_E, {}_ER_D$ が成り立つ場合には、図 3.2(a) のようなネットワークを考えることができる。

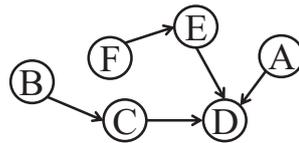
3.3.2 複数避難所からなる地域に拡張した場合のニーズの前後関係

ここまで単一の避難所 k で考えていたものを、複数の避難所からなる地域 S に拡張した場合の前後関係 ${}_iR_j^S$ を以下の式 (3.2) で得られる行列 A の成分を用いて式 (3.3) の条件により定義する。

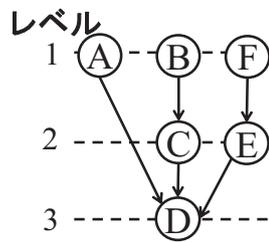
$$\begin{aligned}
 A &= \{a_{ij}\} \\
 a_{ij} &= \sum_{k=1}^S a_{ij}^{s_k} && \forall g_i, g_j \in G, \forall s_k \in S \\
 {}_iR_j^{s_k} &\rightarrow a_{ij}^{s_k} = 1 && \forall g_i, g_j \in G, \forall s_k \in S \quad (3.2) \\
 G &= \{g_1, g_2, \dots, g_G\} : G \text{ は対象物資の集合} \\
 S &= \{s_1, s_2, \dots, s_S\} : S \text{ は対象地域の避難所集合}
 \end{aligned}$$

すなわち行列 A の ij 成分 a_{ij} は、 ${}_iR_j^{s_k}$ が成立する避難所数を表している。そして行列 A の成分の差 (a_{ij} 対 a_{ji}) や比 (a_{ij}/a_{ji}) の値が小さい場合は物資 g_i と物資 g_j の間にニーズの前後関係はないと判断し、式 (3.3) のように ${}_iR_j^S$ の有無を決定する。

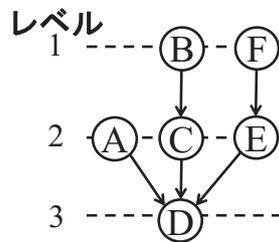
$$\begin{aligned}
 a_{ij}/a_{ji} \geq U_A \quad \text{and} \quad a_{ij}/a_{ji} \geq U_B &\rightarrow {}_iR_j^S && (3.3) \\
 U_A, U_B &\text{は任意に定める下限値}
 \end{aligned}$$



(a) ランダムな配置



(b) 小レベルから決定



(c) 大レベルから決定

図 3.2 多物資間のニーズの順序関係の表現

3.3.3 有向グラフを用いた物資ニーズの順序付け

ここでは前節で決定した前後関係 iR_j^S に基づいた有向グラフのネットワークを用いて、物資ニーズの順序付けをすることを考える。図 3.2(a) のようにランダムに配置されたネットワークを図 3.2(b), (c) のように全てのリンクが同一方向（紙面の上から下）を向くように並び替えることで、物資のネットワーク上の配置（高さ）を用いて物資ニーズの順序付けを考えることができる。このとき各物資につけられたニーズの順番をレベルと呼ぶことにする。

なお各物資のレベルはレベル付けの方法により若干異なり、レベルの小さい（先行する）物資から逐次的にレベルを決める方法（図 3.2(b)）と、レベルの大きい（従属する）物資から逐次的にレベルを決める方法（図 3.2(c)）の 2 種類があり、両者では物資 A のレベルが異なっていることが分かる。

以下にレベルの小さい（先行する）物資から逐次的にレベルを決めるプロセスを示す。

(手順 0) 初期化

対象物資を $G_0 = g_1, g_2, \dots, g_G$ 、初期対象物資を $G = G_0$ とし、レベルの初期値を $L_0 = 1$ 、全ての物資のレベルを $L_i = 0$ とする。

(手順 1) 対象物資中で最も先行する物資の判定

g_i に対して先行する物資集合： $E_i = \{g_j \in G \mid jR_i^S\} \forall g_i \in G$

最も先行する物資のレベル決定： $E_i = \emptyset \rightarrow L_i = L_0$

(手順 2) 対象物資の更新

レベル決定済み物資集合： $P = \{g_i \in G_0 \mid L_i \neq 0\}$

レベル未決定物資集合： $G = \{g_i \in G_0 - P\}$

レベル値の更新： $L_0 = L_0 + 1$

(手順 3) 終了判定

$G_0 = P$ なら終了。 $G_0 \neq P$ なら (手順 1) へ戻る。

ここで、(手順 1) で集合 E を g_i に対して従属する物資集合 $E_i = \{g_j \in G \mid iR_j^S\}$ に置き換えてレベルを決定し、つけたされたレベルを逆順につけ直すことで、レベルの大きい（従属する）物資から逐次的にレベルを決める方法（図 3.2(b)）でレベルを決定できる。

表 3.4 下限値 U_A の変化による物資のレベルづけ結果の違い

内陸部：太白・泉区の避難所			沿岸部：若林・宮城野区の避難所				
U_A	ノード数	リンク数	レベル数	U_A	ノード数	リンク数	レベル数
1				1			
2	30	255	10	2	30	128	11
3	30	226	6	3	30	92	6
4	30	202	4	4	29	77	5
5	30	176	4	5	27	61	3
6	29	134	4	6	24	46	3
7	26	102	3	7	21	33	3
8	24	69	3	8	18	22	3
9	23	51	3	9	16	17	2
10	19	37	2	10	14	13	2
11	16	31	2	11	8	6	2
12	14	27	2	12	7	5	2
13	12	20	2	13	2	1	2
14	9	16	2	14			
15	8	12	2	15			
16	8	11	2	16			
17	8	11	2	17			
18	7	8	2	18			
19	7	7	2	19			
20	6	5	2	20			
21	5	4	2	21			
22	5	4	2	22			
23	2	1	2	23			
24	2	1	2	24			
25	2	1	2	25			

3.4 物資ニーズの順序付けに基づく物資リストの作成とその解釈

この章では 3.3 章で述べた方法を使い実際に各物資のレベルを決定して、レベル毎に物資を分けたリストを作成し、このリストについての考察を行う。

3.4.1 分析条件の設定（下限値 U_A , U_B の設定）

対象地域：(A) 内陸部の避難所（避難所数 77）、(B) 沿岸部の避難所（避難所数 64）

対象物資：内陸部と沿岸部で物資の要望されるタイミングの違いを見るために、内陸部と沿岸部で共通の 30 物資（仙台市における要望数上位 30 物資（表 3.2 参照））を用いることにする。

ここで 3.3.3 節で述べた 2 種類の方法で物資にレベル付けを行うが、この際に重要となるのが ${}_iR_j^S$ の有無を決定するための下限値 U_A , U_B の設定である。下限値を小さく設定すると、少数の避難所でのみ ${}_iR_j^{S_k}$ が成立していて本来前後関係が成立するといえない物資間の前後関係を認めてしまうが、下限値を大きく設定しすぎると成立するはずの前後関係も打ち消す恐れがある。ここで $U_B = 5$ で固定して下限値 U_A を変化させたときの結果の違いを表 3.4 示す。表 3.4 中の「リンク数」は全物資で成立した ${}_iR_j^S$ の総数、「ノード数」

は他物資との前後関係 ${}_iR_j^S$ が少なくとも 1 つは成立した物資の数をそれぞれ表す。この表 3.4 で最も重要となるのが物資ニーズの順序付けに直結する「レベル数」である。ここでレベル数が 4 より大きな状況になると、下限値 U_A の変化に対してレベル数が大きく変化しており、「頑健な結果」とはいえない。そこで今回は内陸部、沿岸部ともにレベル数が 3 となる結果のうち下限値 U_A が最小となるもの、つまり内陸部では $U_A = 7$ 、沿岸部では $U_A = 5$ をそれぞれ採用してレベル付けを行うことにする。

3.4.2 物資ニーズの順序付け（レベル付け）の解釈

3.4.1 節で決定した条件に基づいて、各物資についてのレベルと各物資に成立した前後関係の数を表 3.5(a), (b) に示す。ここで表中の「順位」は各地域での各物資の要望避難所数の順位である。なお 2 つの方法で異なるレベルとなった物資については、両結果のレベルを記載した。ここで表 3.5 中の「 ${}_iR_j$ 」は表中の物資 g_i に対して ${}_iR_j$ が成立した（従属する）物資数、「 ${}_jR_i$ 」は表中の物資 g_i に対して ${}_jR_i$ が成立する（先行する）物資数をそれぞれ表している。表 3.5 で枠内に色が付いている部分は「 ${}_iR_j$ 」「 ${}_jR_i$ 」の値が 6 以上の場合と「順位」が 30 位未満の場合を表す。

ここで物資につけられるレベルが表す意味について考える。

レベル 1

成立した前後関係の中で自身が従属物資となることはなく、早い段階から要望され始める物資である。同時に早い段階で要望されなくなる可能性のある物資であり、発災直後に速やかに発送すべき物資といえる。言い換えれば、発災直後から必要になるため常時から備蓄として置いておくべき物資といえる。

レベル 2, 3

レベル 1 の物資より遅れて要望される物資であり、発災後の被災地の状況の変化などに伴い要望されるようになる。被災地の状況の変化に素早く対応するために、まだ必要でなくともすぐに発送できる体制を整えておく必要がある物資である。

レベルが見つからない

式 (3.1) でみたように、物資ニーズの順序関係 ${}_iR_j^{Sk}$ は「先行物資が要望されなくなつてから、従属物資が要望されなくなる」ことを想定しているため、本分析において長期間要望され続ける物資には順序関係があまりつかない傾向にある。

表 3.5 レベル付け結果

(a) 内陸部：太白区・泉区

要望 避難 所数	順位	分類名 (g)	レ ベル	R _i	R _i	初要望時		最終要望時		平均要望回数 (回)
						平均日数	標準 偏差	平均日数	標準 偏差	
						FD _i	LD _i	LD _i	LD _i	
64	3	米	1	9		6.3	4.8	7.6	6.9	1.7
62	4	寝具	1	15		5.7	2.6	6.2	3.0	1.2
62	4	カンパン	1	14		6.5	4.2	6.8	4.6	1.1
52	9	生理用品	1	10		5.8	3.1	7.0	3.7	1.6
52	9	消毒液	1	10		6.8	4.5	7.7	4.7	1.5
48	13	カセットコンロ	1	6		6.3	4.0	7.4	4.3	1.5
47	14	粉ミルク	1	13		5.7	2.5	6.3	3.1	1.2
70	1	水	1,2	3		6.5	4.2	8.7	6.6	2.0
65	2	菓子	1,2	4		6.1	3.5	8.1	5.8	1.8
53	8	マスク	1,2	7		6.2	3.1	7.3	4.0	1.7
49	12	カイロ	1,2	5		6.3	4.1	8.0	5.0	1.7
47	14	果物	2	1	5	7.6	4.9	10.3	6.5	2.2
42	16	ジュース	2	4	5	7.3	5.4	9.8	8.8	1.5
24	23	灯油	2	1	7	6.9	1.4	8.4	1.9	2.0
52	9	カップ麺	2,3	8		7.6	4.7	11.4	8.5	2.6
40	17	パン (主食)	2,3	10		7.8	4.2	11.7	6.1	2.8
32	19	トイレットペーパー	2,3	5		8.4	5.2	10.1	7.5	1.8
31	20	単一電池	2,3	8		7.1	4.1	9.1	4.9	1.8
30	21	サランラップ	2,3	3		8.3	5.5	10.3	7.8	1.9
25	22	ゴム手袋	2,3	5		8.7	5.9	11.0	7.5	1.6
20	26	おかず	2,3	4		12.6	6.0	19.0	9.9	3.1
34	18	アルファ米	3	10		8.9	5.9	12.6	8.1	2.6
22	24	肌着 (女)	3	11		10.5	6.3	14.0	9.1	2.4
21	25	肌着 (男)	3	9		10.3	6.4	14.5	10.4	2.5
19	27	使い捨て食器	3	8		10.4	4.9	15.2	10.3	2.2
14	34	レトルト食品	3	4		14.7	6.5	19.0	9.6	2.1
57	6	おむつ	-			6.9	5.6	9.3	7.1	2.2
54	7	カセットボンベ	-			6.5	3.7	9.6	6.2	2.3
18	29	ウェットシート	-			8.4	4.7	12.1	9.0	1.9
14	34	ガムテープ	-			11.8	6.7	13.1	6.5	1.6

(b) 沿岸部：若林区・宮城野区

要望 避難 所数	順位	分類名 (g)	レ ベル	R _i	R _i	初要望時		最終要望時		平均要望回数 (回)
						平均日数	標準 偏差	平均日数	標準 偏差	
						FD _i	LD _i	LD _i	LD _i	
43	5	トイレットペーパー	1	3		8.8	6.3	14.0	6.8	2.4
39	9	おむつ	1	8		7.6	2.8	10.6	4.7	1.9
35	15	消毒液	1	6		7.6	3.9	10.0	4.9	1.9
35	15	カセットボンベ	1	6		8.3	4.6	12.9	5.6	2.5
31	21	ゴム手袋	1	7		8.2	3.9	10.7	5.2	1.7
26	29	サランラップ	1	8		8.3	5.3	11.7	6.5	1.8
22	34	生理用品	1	3		10.8	7.0	11.4	6.9	1.2
20	45	菓子	1	1		11.2	6.8	12.2	7.0	1.4
19	47	カセットコンロ	1	3		8.5	4.7	11.3	5.9	1.5
18	50	マスク	1	3		8.6	5.6	9.7	5.3	1.4
18	50	灯油	1	3		10.3	9.0	13.3	9.2	1.6
40	7	水	1,2	2		10.9	9.6	13.6	10.3	1.6
38	10	ウェットシート	1,2	2		9.7	5.2	11.4	6.3	1.4
37	13	単一電池	1,2	2		8.6	6.1	11.7	7.1	2.0
14	59	寝具	1,2	2		9.3	5.7	14.2	10.0	1.6
12	66	粉ミルク	1,2	1		9.1	5.0	10.2	4.7	1.7
48	1	カップ麺	2	1	4	8.8	5.9	16.0	7.7	3.7
47	3	アルファ米	2	1	1	8.4	6.2	13.4	7.3	3.3
41	6	肌着 (男)	2	1	7	10.5	5.5	15.6	5.8	2.6
40	7	肌着 (女)	2	1	8	10.0	5.4	15.6	6.6	2.8
38	10	ガムテープ	2	1	4	9.8	3.9	14.8	6.6	2.8
36	14	使い捨て食器	2	1	4	11.5	8.7	20.8	9.3	3.3
45	4	果物	2,3	2		9.3	6.6	17.5	8.7	3.6
27	27	米	2,3	1		11.8	7.9	13.6	8.2	1.7
22	34	ジュース	2,3	5		13.1	8.6	18.9	9.3	2.4
38	10	おかず	3	10		12.5	5.8	18.6	8.1	2.7
35	15	レトルト食品	3	20		15.0	6.5	18.5	6.3	1.9
48	1	パン (主食)	-			7.7	3.5	18.3	7.5	5.7
14	59	カンパン	-			10.6	5.3	12.8	6.1	1.6
11	70	カイロ	-			11.7	9.7	14.8	10.6	1.5

3.4.3 レベル毎に物資をまとめたリストの作成とその考察

表 3.5 の結果から物資をレベル毎にまとめたリストを図 3.3 に示す。なお表 3.5 でレベルのつかなかった物資はレベル 1 ~ 3 の時期に並行して長期間要望される物資とみなして、図では並べて示すものとする。またこのリストを用いて次回以降の震災で配送すべき物資を決定するにあたっては、重要性の高い（要望される機会の多い）物資のみが記載されているべきである。そこで、表 3.5 中の各物資のうち各対象地域での要望避難所数の順位が 30 位未満の物資は図 3.3 のリストから省略することにする。

表 3.5 のレベル付け結果および図 3.3 のリストについて、以下のような考察ができる。

・「米」

内陸部ではレベル 1 に属し「米」に対して従属する物資数 (iR_j) も多く、初要望時の平均日数も早いため、早い時期から必要になる物資であるといえる。一方、沿岸部ではレベル 2, 3 であることから早い段階での重要性は低いといえる。沿岸部では電気などのインフラ復旧が遅れたため、カセットボンベや電化製品などによる調理ができない状況では「米」は不必要であったと考えられる。

・「カンパン」「パン」

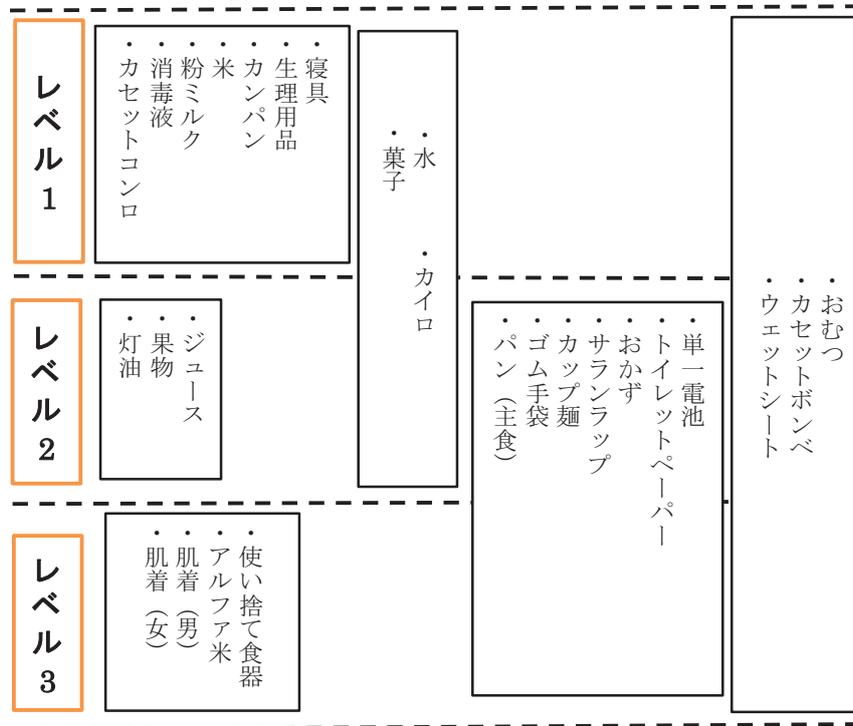
「カンパン」は内陸部ではレベル 1 でありこれに対して従属している物資数も 14 と多い。これは先に要望される物資であることを表すが、同時に早い時期に要望されなくなる物資であることも表している。この背景としては「カンパン」は救援物資として広く知られる物資であるため要望しなくとも被災地外から送られてくること、時間が経過するにつれ風味の勝る「パン」に要望が推移したことなどが挙げられる。

・「肌着 (女)」「肌着 (男)」

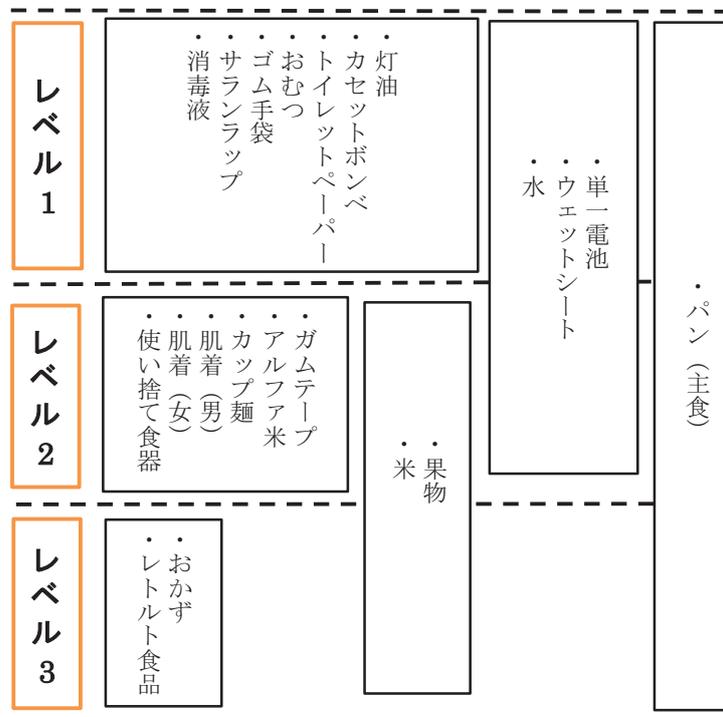
内陸部ではレベル 3、沿岸部ではレベル 2 にそれぞれ属し、多くの物資に対して従属している。これは最低限必要な食糧などが被災者に行き渡るようになったことに加え、避難生活の長期化に伴い震災前からのストックが底をつく段階で要望され始めるためと考えられる。このようにいずれ必要になる物資については、すぐに発送ができるような体制を被災地外で整えておく必要がある。

・「サランラップ」「ゴム手袋」

共に沿岸部においてレベル 1 で、早い段階から必要な物資となっている。サランラップは震災時において包帯や食器、ひも、割れた窓ガラスなどの代用品として用いることがで



(a) 内陸部：太白区・泉区



(b) 沿岸部：若林区・宮城野区

図 3.3 レベル毎に物資をまとめたリスト

き、ゴム手袋は震災後の劣悪な環境で作業する際に必須であり、これらの物資は被害の大きかった地域で要望が多かったと考えられる。

3.5 おわりに

本研究では、救援物資が要望書に書かれる順番に着目して物資ニーズの順序付けを行い、その順序に基づいて物資リストを作成した。実際には、各避難所の被災程度や避難者の年齢構成なども物資ニーズに影響を与えるため、今回のようにおおまかに分析地域を分けるのではなく避難所の状況を考慮して分析対象の避難所を選定する必要がある。本研究の成果はまだ、被災地のニーズを正確に表現しているとはいえない。しかしおおまかな被災地ニーズの推移は表現しており、震災時の混乱した状況下で発送する物資を決める際には参考にできる情報であると考えられる。

また、実際の被災地ニーズをより正しく把握するためには、避難所へ直送された物資や避難者が自宅から持ち込んだ物資、自宅避難者のニーズなど要望書に顕在化しないニーズの影響も考える必要がある。

謝辞：本研究で使用した「宮城県仙台市の避難所要望書」は、仙台市における緊急支援物資輸送の担当である仙台市経済局の了解を得てその内容を複製したものであります。またこの要望書のデータ化にあたっては東北大学ロジスティクス調査団を中心に他大学等の協力を得ました。ここに記して感謝をいたします。

参考文献

- [1] 国土交通省：「『支援物資物流システムの基本的な考え方』に関するアドバイザリー会議」報告書，2011.12.2.
- [2] 苦瀬博仁：ロジスティクスからみた被災地への緊急支援物資供給と産業復興計画の課題，運輸と経済，第72巻第3号，pp.15-21，2012.
- [3] 河北新報：「毛布より衣類を 宮城県，希望の救援物資品目公表へ」，2011.3.28.
- [4] 榎木義一，河村和彦：参加型システムズアプローチ，日刊工業新聞社，1981

第4章

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

赤松隆^{*1}, 山口裕通^{*2}, 長江剛志^{*3}, 稲村肇^{*4}, 金進英^{*5}, 大澤実^{*6}

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) 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。

^{*1} 東北大学大学院 情報科学研究科 教授

^{*2} 東北大学大学院 工学研究科 博士前期課程2年

^{*3} 東北大学大学院 工学研究科 准教授

^{*4} 東北工業大学 工学研究科 教授

^{*5} 東北大学大学院 情報科学研究科 特任助教

^{*6} 東北大学大学院 情報科学研究科 博士前期課程1年

4.1 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^{*7}。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^{*8}。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

^{*7} 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。

^{*8} その様な「消費者行動説」が正しくないことは、本論文の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。

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ロジスティクスの実態および石油不足の俯瞰的状况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。(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

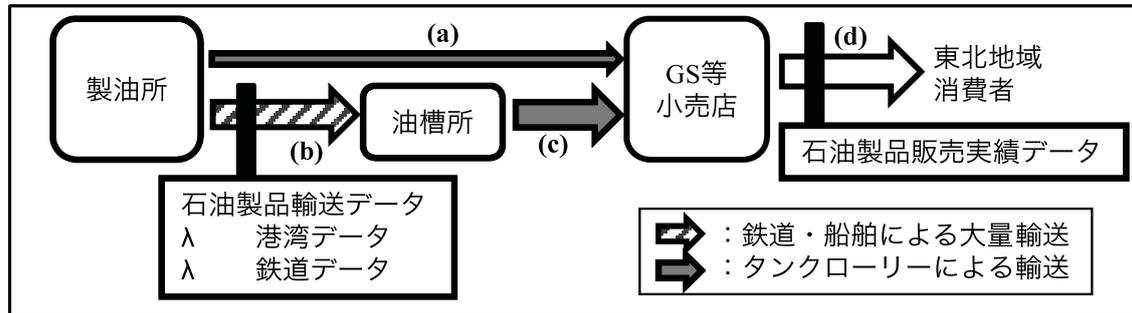


図 4.1 石油製品の供給フローと収集データ

な経済的損失^{*9}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^{*10}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。4.2 では利用データと本論文での分析対象を説明する。4.3 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。4.4 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。4.5 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。4.6 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。4.7 では、油槽所-市町村間の配送モデルを作成し、続く4.8 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。4.9 は結論である。

4.2 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4.1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は主に船舶（タンカー）を、油槽所が内陸に存在する場合に限り、鉄道（タンク車）を用いて大量輸送が行われ、油槽所からGS等小売店へはタンクローリーによって供給される。

^{*9} 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。

^{*10} 東北地域では、発災後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。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., 東北地域での発災後の需要の大半は「不要不急の購入」などではなかった）。従って、このような広報活動は、正常な経済活動状態への早期復旧・回復を妨げる（見当外れの）対策であったと言える。

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 4.1 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 4.1 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。

4.3 石油製品供給施設

4.3.1 日本の製油所とその被災状況

日本の製油所の立地は、図 4.2 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。

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 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 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

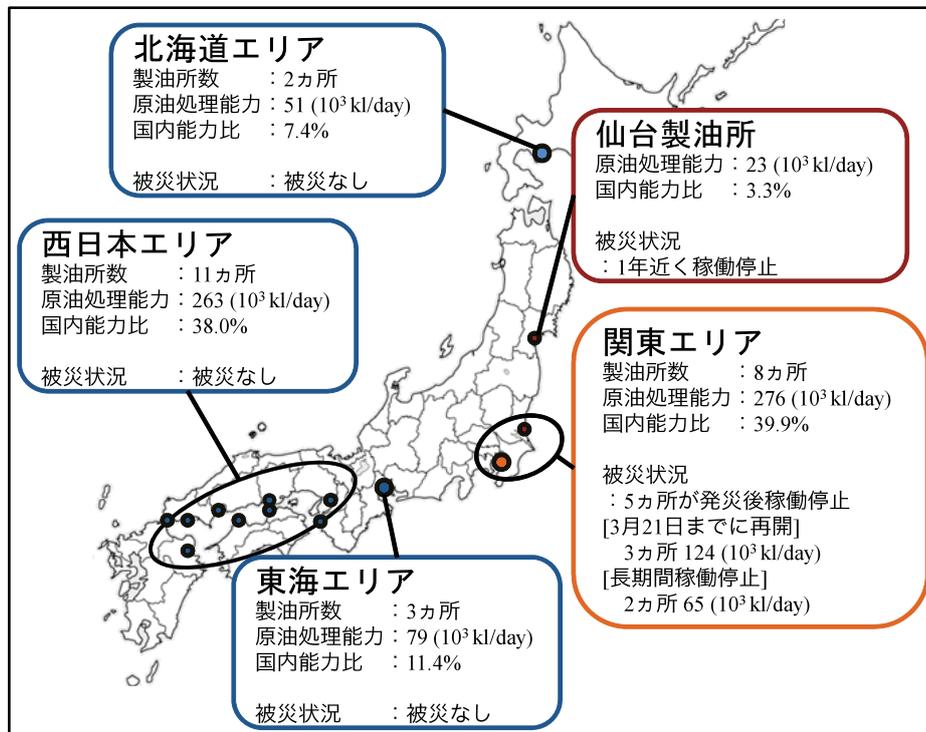


図 4.2 エリアごとの製油所数とその被災状況（石油元売り各社の発表を元に作成）

[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。

4.3.2 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 4.3 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 4.3 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、震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。震災後 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、

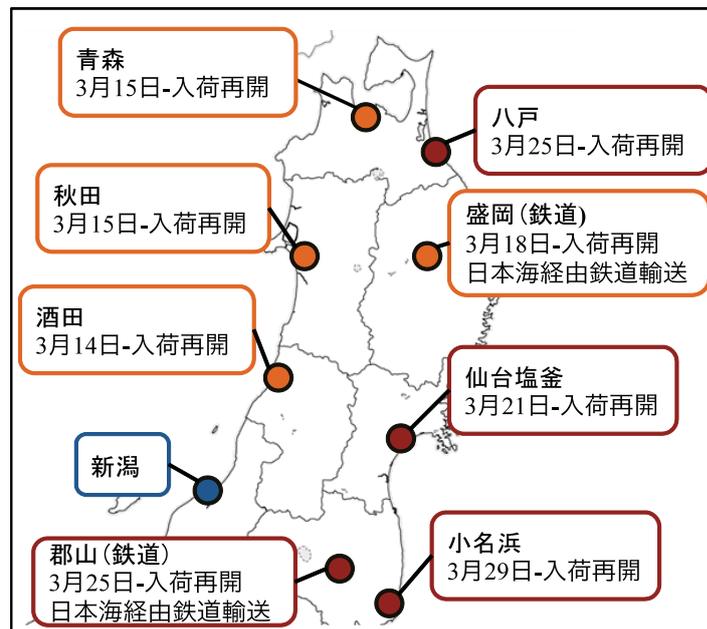


図 4.3 東北地域の主要油槽所と入荷再開日（石油元売り各社の発表を元に作成）

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 4.3 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。

4.3.3 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 4.1 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 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

表 4.1 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 4.2 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

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 4.2 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。

4.4 東北地域の石油製品販売実績

4.4.1 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

表 4.3 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 4.4 東北各県における発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 月発災後 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

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。

4.4.2 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 4.3 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 4.4 が得られる。ここで、

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

$$[B] = [2011 \text{ 年 } 3 \text{ 月販売実績}] - (10/31) \times [2010 \text{ 年 } 3 \text{ 月販売実績}]$$

である。

表 4.4 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、4.5, 4.6 でより詳しく議論する。

なお、表 4.3 と表 4.4 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 (200 ℓ) を用いて換算すると僅か 0.4 (10³ 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するものとして分析する。

4.5 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。

4.5.1 他地域製油所から東北地域への移出量

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 4.5 は、震災前と後の各 1 ヶ月間について、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 4.4 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^{*11}。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。

^{*11} 表 4.5 と図 4.4 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 県でみ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 4.4 は小名浜港を考慮しても傾向に大差はない。

表 4.5 製油所港湾からの東北地域向け石油製品移出量の発災前後 1 ヶ月比較

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

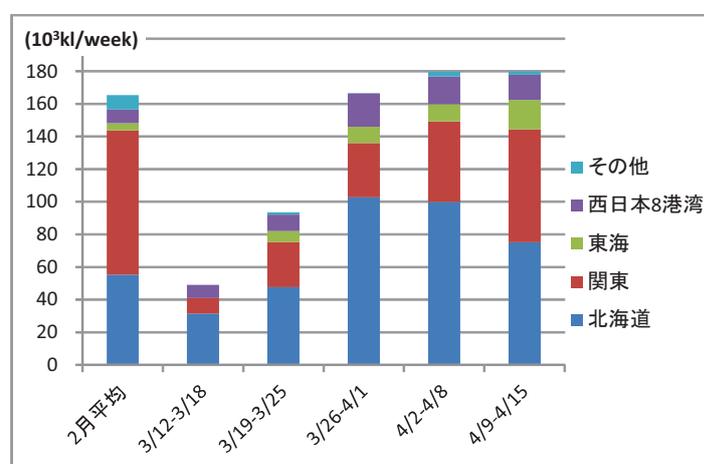


図 4.4 発災後の東北地域向け石油製品移出量（週毎）の推移

表 4.5 から、各地域からの東北地域向け石油製品移出量が発災前後で大きく変化したことが分かる。第一に、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 4.5 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 4.5 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

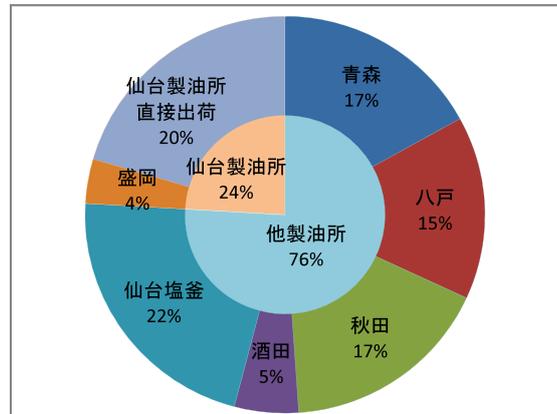


図 4.5 2011 年 2 月東北地域各油槽所の石油製品移入量シェア

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 4.4 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（4.5.2 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。

4.5.2 東北地域油槽所への石油製品移入量

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 4.5）を確認しておこう。ここで、図 4.5 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、

表 4.6 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

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 4.6 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 4.6～図 4.8 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 4.6 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 4.7 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 4.6 と図 4.8 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 4.6 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、4.5.1 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 4.7 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 4.8 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 4.8 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判る。

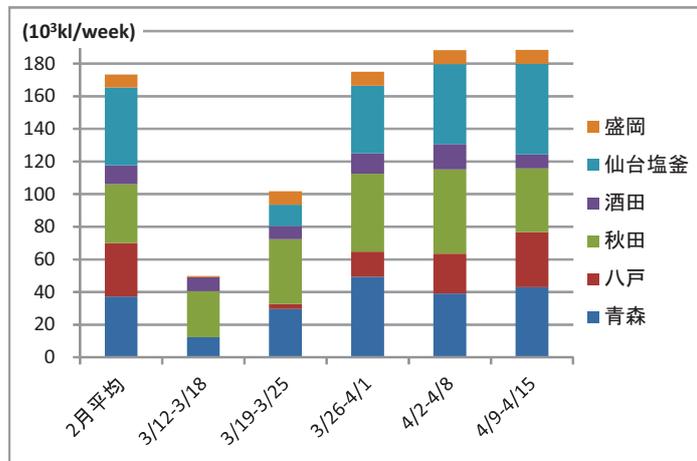


図 4.6 発災後の東北地域港湾における石油製品移入量 (週毎) の推移

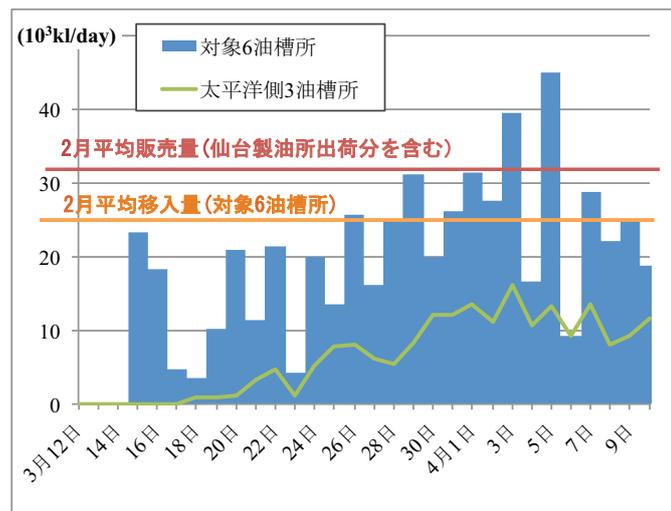


図 4.7 石油製品移入量 (日毎) の推移

なお、図 4.6, 図 4.7 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 4.6, 図 4.7 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。

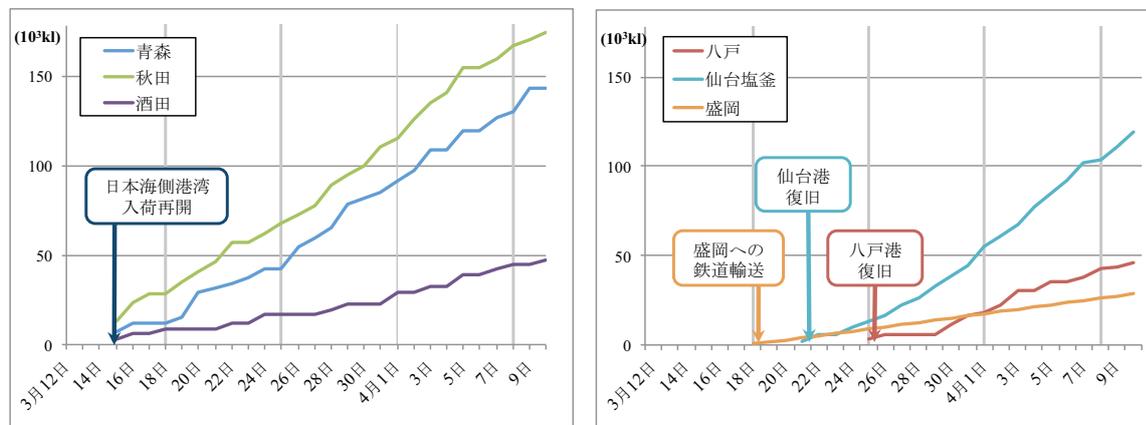


図 4.8 東北地域各港湾 (+ 盛岡貨物ターミナル) の累積移入量

4.6 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。

4.6.1 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 4.4 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 4.8 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92,000 klと求められた。これは、平常時（2010年3月）の1日あたり実績販売量に換算すると、約3日分である（図 4.9 参照）。

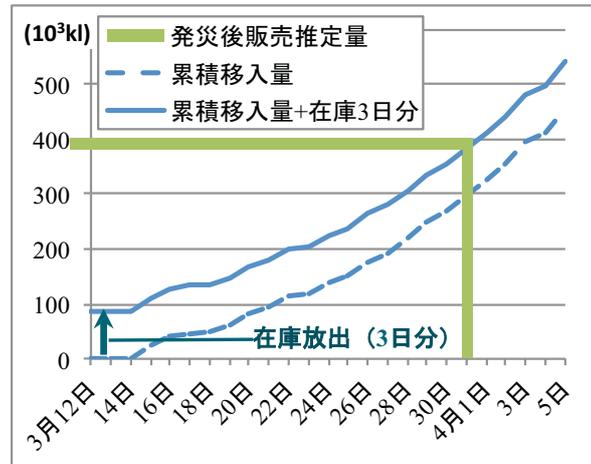


図 4.9 販売実績と油槽所累積移入量の比較

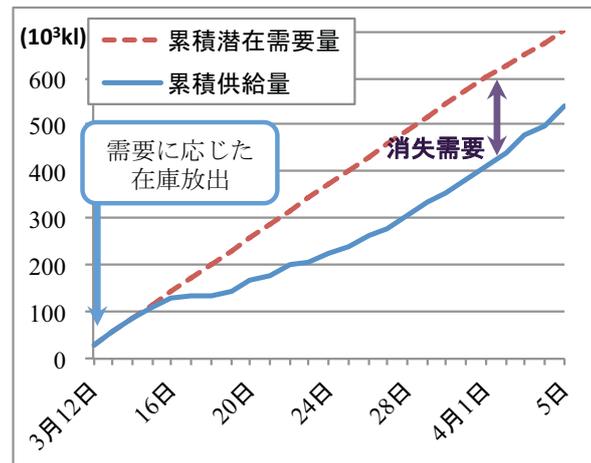


図 4.10 在庫放出を考慮した累積供給量と累積潜在需要量の比較

4.6.2 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 4.10 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

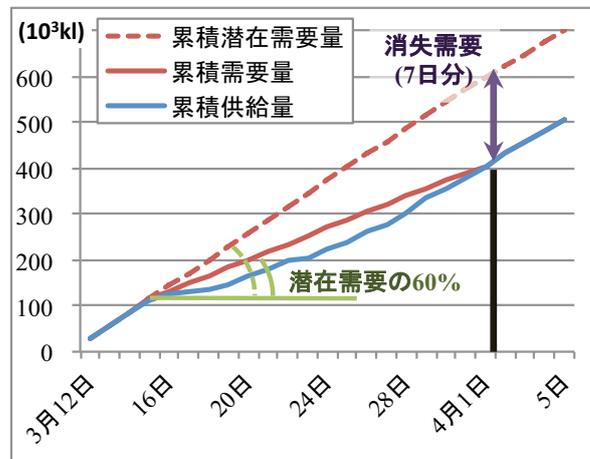


図 4.11 累積需要と消失需要

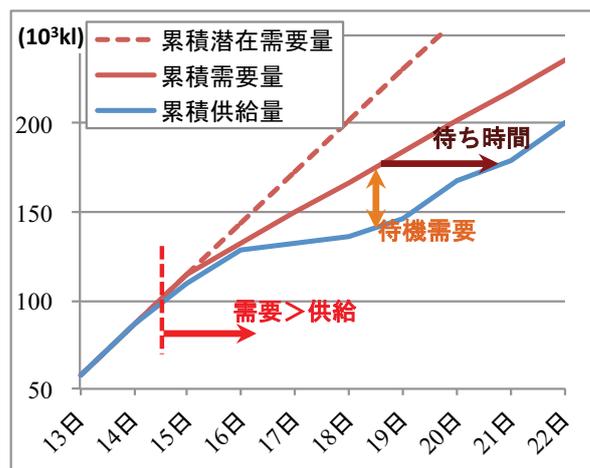


図 4.12 待機需要 (待ち行列) の推移 (図 4.11 の一部を拡大)

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 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．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，図 4.4 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 4.11 の一部期間 (3/13 ~ 22) を拡大表示した図 4.12 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

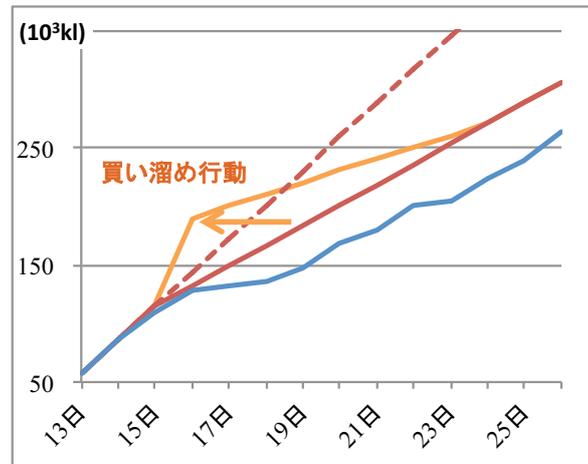


図 4.13 買い溜め行動が発生した場合

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 4.12 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。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 4.13 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。何故なら、圧倒的な供給不足状況下で待機需要が増加すれば“待ち時間”が増加し、その後の需要が抑制されるからである。従って、買い溜め行動の有無に関わらず、最終的な消失需要量は変化しない。つまり、消費者行動に訴えかける施策は、今回の石油不足問題ではあまり意味がなく、問題を根本的に解消するためには、供給サイドの施策が必要不可欠であったことが判る。

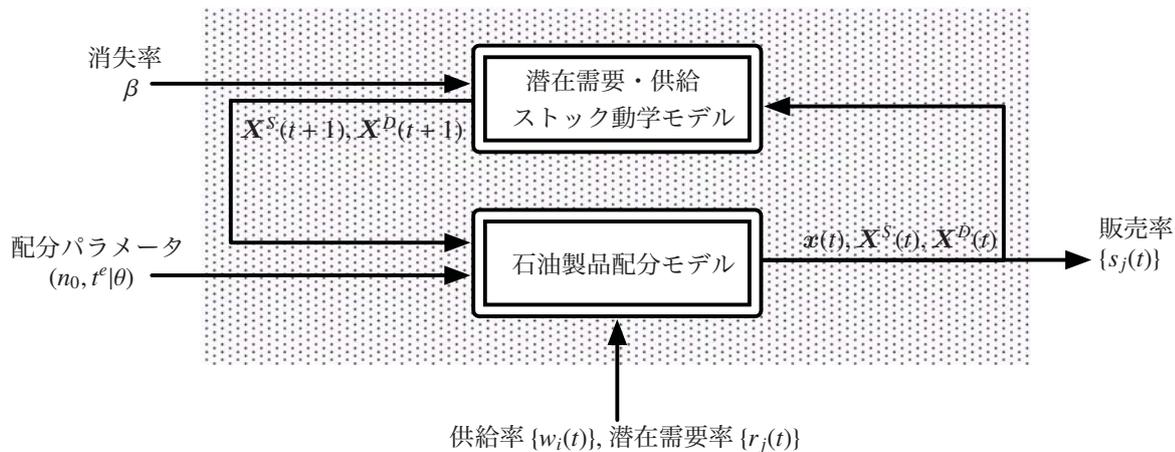


図 4.14 市町村別販売量推定モデル

4.7 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 4.8 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。

4.7.1 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。

4.7.1.1 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4.8.1節で述べる．

4.7.1.2 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：

$$p_i(t) := X_i^S(t-1) + w_i(t)\Delta t \quad (4.1)$$

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：

$$\begin{aligned} X_i^S(t) &= X_i^S(t-1) + \left\{ w_i(t) - \sum_{j \in D} x_{i,j}(t) \right\} \Delta t \\ &= p_i(t) - \sum_{j \in D} x_{i,j}(t) \Delta t \end{aligned} \quad (4.2)$$

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：

$$q_j(t) := (1 - \beta\Delta t)X_j^D(t-1) + r_j(t)\Delta t \quad (4.3)$$

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：

$$\begin{aligned} X_j^D(t) &= (1 - \beta\Delta t)X_j^D(t-1) + \left\{ r_j(t) - \sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \right\} \Delta t \\ &= q_j(t) - \sum_{i \in O} x_{i,j}(t) \Delta t \end{aligned} \quad (4.4)$$

4.7.1.3 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 4.7.2 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：

$$\sum_{i \in O} x_{i,j}(t) + X_j^D(t) = q_j(t), \quad \forall j \in D, \quad (4.5)$$

- 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：

$$\sum_{j \in D} x_{i,j}(t) + X_i^S(t) = p_i(t), \quad \forall i \in O, \quad (4.6)$$

- 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。

$$X_i^S(t) \geq 0, \quad \forall i \in O, \quad (4.7)$$

$$X_j^D(t) \geq 0, \quad \forall j \in D, \quad (4.8)$$

$$x_{i,j}(t) \geq 0, \quad \forall (i, j) \in O \times D, \forall t \in T. \quad (4.9)$$

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。

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{y}(t)} \quad & \sum_{i \in O} \sum_{j \in D} c_{i,j}(t) x_{i,j}(t) + \sum_{i \in O} C_i X_i^S(t), \\ \text{s.t.} \quad & (4.5), (4.6) \text{ and } (4.8) \end{aligned} \quad (\text{P})$$

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。

4.7.1.4 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。

4.7.2 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。

4.7.2.1 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性向を表現している。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：

$$n(t) = \min \left\{ n_0 + \frac{1 - n_0}{t^e} (t - 1), 1 \right\}, \quad (4.10)$$

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 (4.10) 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：

$$\sum_{i \in O} x_{i,j}(t) + X_j^D(t) = n(t)q_j(t), \quad \forall j \in D, \quad (4.11)$$

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：

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{y}(t)} \quad & \sum_{i \in O} \sum_{j \in D} c_{i,j}(t)x_{i,j}(t) + \sum_{i \in O} C_i X_i^S(t), \\ \text{s.t.} \quad & (4.11), (4.6) \text{ and } (4.8) \end{aligned} \quad (\text{TD})$$

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。

4.7.2.2 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：

$$\begin{aligned} \mathcal{H}(\mathbf{X}^D(t)) &:= - \sum_{j \in D} q_j(t) \left(\frac{X_j^D(t)}{q_j(t)} \right) \ln \left(\frac{X_j^D(t)}{q_j(t)} \right) \\ &= - \sum_{j \in D} X_j^D(t) \ln X_j^D(t) + \sum_{j \in D} X_j^D(t) \ln q_j(t) \end{aligned} \quad (4.12)$$

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。

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{y}(t)} \quad & \sum_{i \in O} \sum_{j \in D} c_{i,j}(t) x_{i,j}(t) + \sum_{i \in O} C_i X_i^S(t) - \theta \mathcal{H}(\mathbf{X}^D(t)), \\ \text{s.t.} \quad & (4.5), (4.6) \text{ and } (4.8) \end{aligned} \quad (\text{EP})$$

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。

4.7.3 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。

4.7.3.1 消失率 β の推定

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 $t \in T1$ 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：

$$X^D(t) = (1 - \beta \Delta t) X^D(t-1) + \sum_{j \in D} \{r_j(t) - w_j(t)\} \Delta t, \quad X^D(0) = 0. \quad (4.13)$$

以下では、消失率 β に対応する式 (4.13) 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

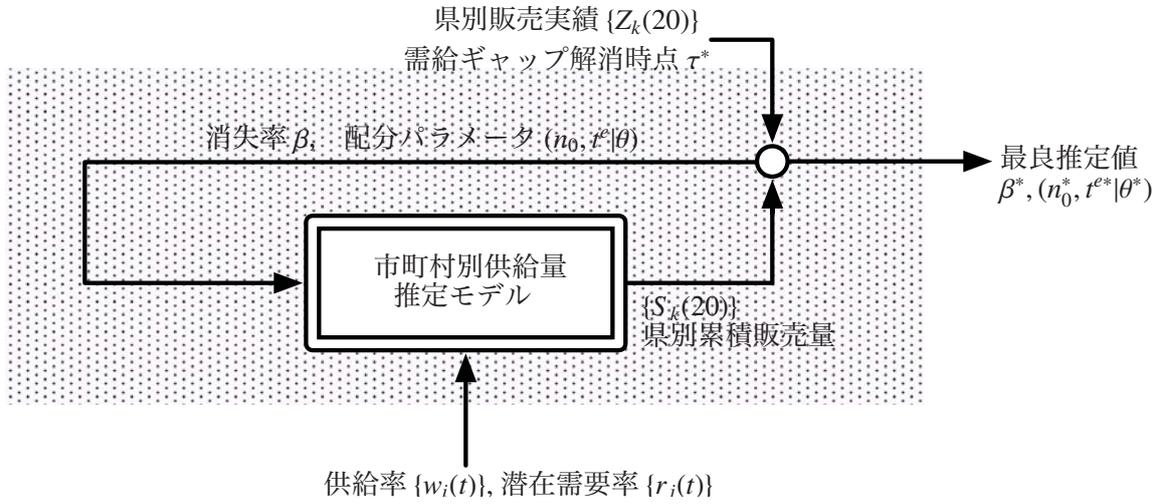


図 4.15 パラメータ推定モデル

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。

$$\beta^* = \arg \max_{\beta \in [0,1]} \left\{ \beta \left| \begin{array}{l} X^D(t; \beta) > 0, \quad t = 1, \dots, \tau^* - 1, \\ X^D(t; \beta) = 0, \quad t = \tau^* \end{array} \right. \right\} \quad (4.14)$$

4.7.3.2 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 $t^e \in T$ までの販売実績 $Z_k(\tau)$ 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、

$$S_j(\tau) = \sum_{t=1}^{\tau} s_j(t) \Delta t, \quad \forall k \in K \quad (4.15)$$

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 $\{S_k(t^e) : k \in K\}$ が、実際に観測された県別販売実績 $\{Z_k(t^e) : k \in K\}$ 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 $\{S_k(t^e; n_0, t^e) : k \in K\}$ 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。

$$(n_0^*, t^{e*}) = \arg \min_{(n_0, t^e) \in [0,1] \times T} \sum_{k \in K} \{S_k(t^z; n_0, t^e) - Z_k(t^z)\}^2, \quad (4.16)$$

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、

$$\theta^* = \arg \min_{\theta \in [0, \infty)} \sum_{k \in K} \{S_k(t^z; \theta) - Z_k(t^z)\}^2, \quad (4.17)$$

と定式化される。

4.8 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、4.8.1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、4.8.2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。

4.8.1 モデル入力とパラメータ推計結果

4.8.1.1 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、高畠町、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 $Z_k^{H22,3}$ 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 $\{Z_k(t^*)\}$, 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 ($t^* = 20$) 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:

$$Z_k(20) = Z_k^{H23,3} - \frac{11}{31} Z_k^{H22,3}, \quad \forall k \in K. \quad (4.18)$$

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:

$$w_i(t) = w_i^{H22}(t), \quad \forall i \in O, \forall t \in T. \quad (4.19)$$

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 (日あたり車両長) 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

$$W_i(\tau) = \sum_{t=1}^{\tau} w_i(t), \quad \forall i \in O, \forall \tau \in T. \quad (4.20)$$

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, 震災時には石油製品需要量は 7% 減少した, との報告 [12] に基づき, これに 0.93 を乗じたものを, 当該県に含まれる各市町村 $j \in D_k$ について, 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 租潜在需要率 として採用する:

$$\hat{r}_j(t) = \begin{cases} 0.93 z_k^{H22,3} \frac{N_j}{N_k} & t = 1, \dots, 20, \\ 0.93 z_k^{H22,4} \frac{N_j}{N_k} & t = 21, \dots, 35, \end{cases} \quad \forall j \in D_k, \forall k \in K. \quad (4.21)$$

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ので, 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を:

$$\delta_j = \left(\sum_{k \in K} Z_k(20) - \sum_{i \in O} W_i(20) \right) \frac{N_j}{N}, \quad \forall j \in J. \quad (4.22)$$

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をと $\{\tau_j^* : \delta_j \in (\hat{R}_j(\tau_j^* - 1), \hat{R}_j(\tau_j^*)]\}$ とすれば, 在庫消費分を相殺した (純) 潜在需要率は

$$r_j(t) = \begin{cases} 0 & 1 \leq t \leq \tau_j^* \\ \hat{R}_j(\tau_j^*) - \delta_j & t = \tau_j^* \\ \hat{r}_j(t) & \tau_j^* < t \end{cases} \quad (4.23)$$

と求められる.

表 4.7 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	-	3.81×10^7	6.73×10^7

4.8.1.2 パラメータ推定結果

まず、消失率推定モデル (4.14) 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 (4.16) および (4.17) 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図 4.7 に示す。図 4.7 の最後の行は、各県の推定累積販売量と販売実績の乖離 $(\sum_k \{Z_k - S_k\}^2)$ 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判る。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。なお、以降の需給ギャップの時空間分析に関しては、エントロピー・モデルを採用する。これは、(限られたデータのみを用いた) 推定販売量の当てはまりの度合いに捉われず、より現実に近い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である。

4.8.2 需給ギャップの推計結果

市町村別の需給ギャップを分析するには、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と便利である。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、

$$R_j(\tau) = \sum_{t=1}^{\tau} r_j(t) \Delta t, \quad \forall \tau \in T, \forall j \in D \quad (4.24)$$

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、

$$E_j(\tau) := \beta \sum_{t=1}^{\tau} X_j^D(t-1)\Delta t, \quad \forall \tau \in T, \forall j \in D, \quad (4.25)$$

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：

$$\begin{aligned} Q_j(\tau) &= R_j(\tau) - E_j(\tau) \\ &= \sum_{t=1}^{\tau} \{r_j(t) - \beta X_j^D(t-1)\} \Delta t \\ &= \sum_{t=1}^{\tau} \{q_j(t) - X_j^D(t-1)\} \end{aligned} \quad (4.26)$$

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。

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 4.16 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 4.16 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第 3 週まで解消されない。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。

次に、各市町村における需給ギャップの時間進展を図 4.19 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

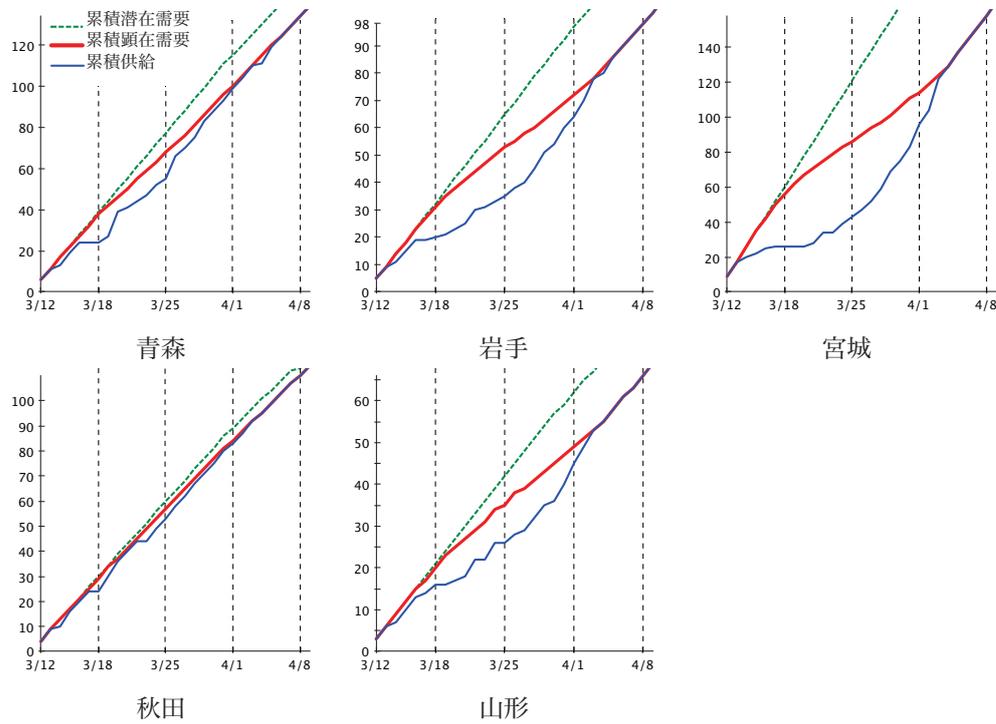


図 4.16 県別の累積潜在需要，累積顕在需要および累積販売量 (エントロピー・モデル，待機需要解消日:4/4)

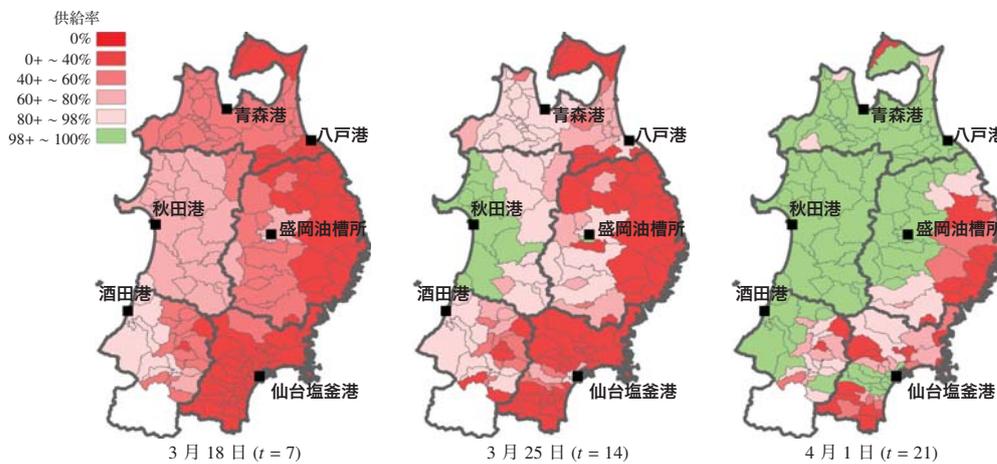


図 4.17 市町村別の需給ギャップの空間分布の推移 (エントロピー・モデル，待機需要解消日:4/4)

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なわれたアンケート [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判る．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。

4.9 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、発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。

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。

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4.8および表4.9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。

表 4.8 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 4.9 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 4.10 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

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^{*12}, 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4.9に, 需給ギャップの空間分布を, それぞれ, 図4.18, 図4.19 および図4.20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.

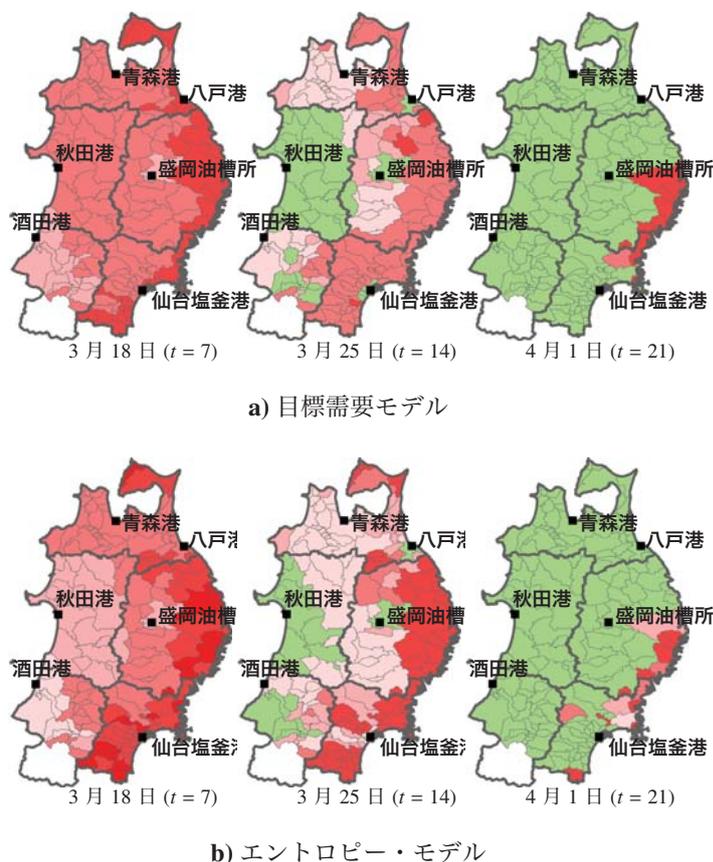


図 4.18 市町村別の需給ギャップの空間分布の推移(待機需要解消日:4/3)

^{*12} 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.

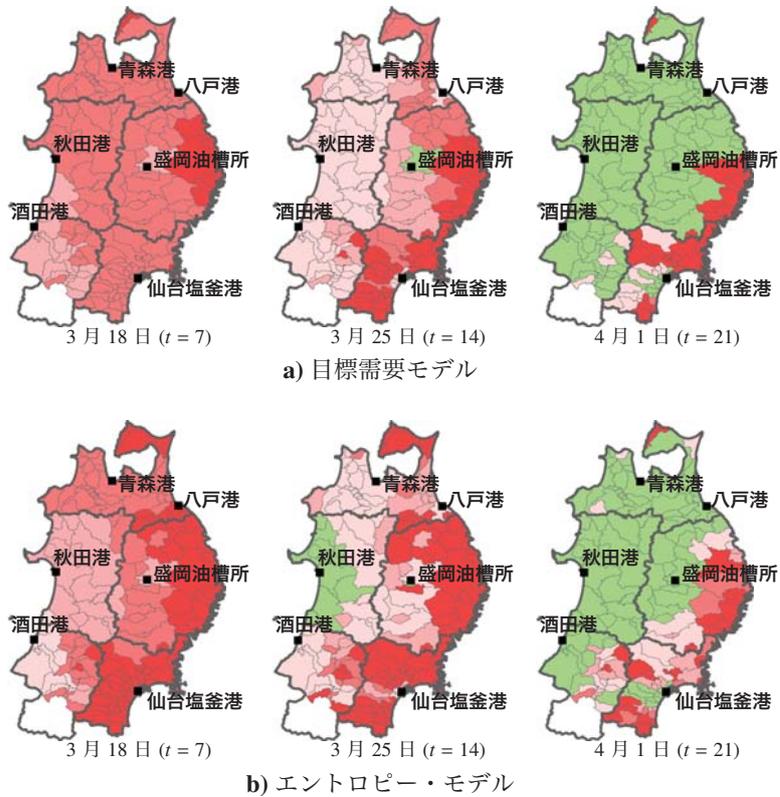


図 4.19 市町村別の需給ギャップの空間分布の推移 (待機需要解消日：4/4)

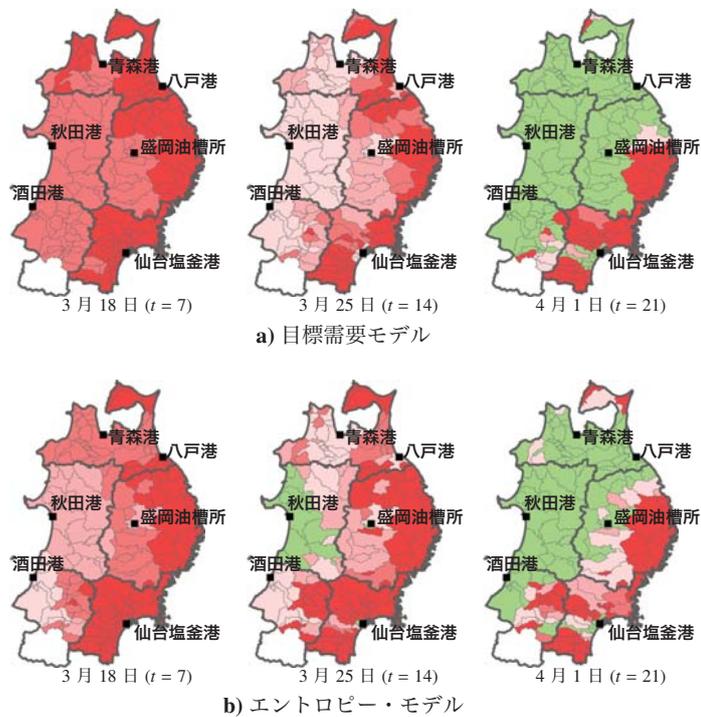


図 4.20 市町村別の需給ギャップの空間分布の推移 (待機需要解消日：4/6)

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, [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment.html], 2011.
- [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, [http://www.rieti.go.jp/jp/special/special_report/047.html], 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, [<http://www.meti.go.jp/press/2011/03/20120330003/20120330003.html>], 2012.
- [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, [<http://www.paj.gr.jp/statis/>], 2012.
- [7] JX日鉱日石エネルギー: 石油便覧, [<http://www.noe.jx-group.co.jp/binran/>], 2011.
- [8] 経済産業省: 海江田経済産業大臣の臨時会見の概要, [http://www.meti.go.jp/speeches/data_ed/ed110317j.html], 2011.
- [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, [http://www.paj.gr.jp/paj_info/], 2011.
- [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, [http://www.meti.go.jp/speeches/data_ed/ed110317j.html], 2011.
- [11] Gogo GS: 災害時ガソリン情報, [<http://saigai.gogo.gs/>], 2011.
- [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, [<http://www.meti.go.jp/press/2011/03/20120330003/20120330003-2.pdf>], 2012.

第5章

東日本大震災後における商業物流について

株式会社オリエンタルコンサルタンツ 東北支店

1,000年に一度と言われる未曾有の被害をもたらした東日本大震災では、震災直後から多くの主体が懸命な緊急支援物資輸送を行った。また、一般の商業物流も自身が大きな被害を受けながらも懸命な復旧活動を行い、商業物流の回復に努めた。しかしながら、構造物の損壊状況や津波については詳細な調査が行われている一方で、商業物流の流れや復旧状況に関する定量的な記録は残されていない。本研究は、商業物流の回復状況に関する定量的な記録の収集と分析を行うことを目的とする。

5.1 はじめに

本稿では，東日本大震災による商業物流への影響，復旧過程を把握するため，商業物流量の回復動向（マクロ分析）や，小売店舗・サプライチェーンの復旧実績の事例把握（ミクロ分析）について調査分析の中間報告を行うものである。

5.2 調査の内容

震災による商業物流への影響，復旧過程の分析にあたっては，商業物流量全体の回復度の推定及び，経済損失を把握するための「マクロ的な視点による分析」と，小売店舗，サプライチェーンの復旧状況，震災発災前後の物流ルートの変化，商品の仕入れ状況の変化や回復度及び，震災を経験しての教訓課題，改善要望など事業者の生の声を把握するための「ミクロ的な視点による分析」の両面から分析を試みた。

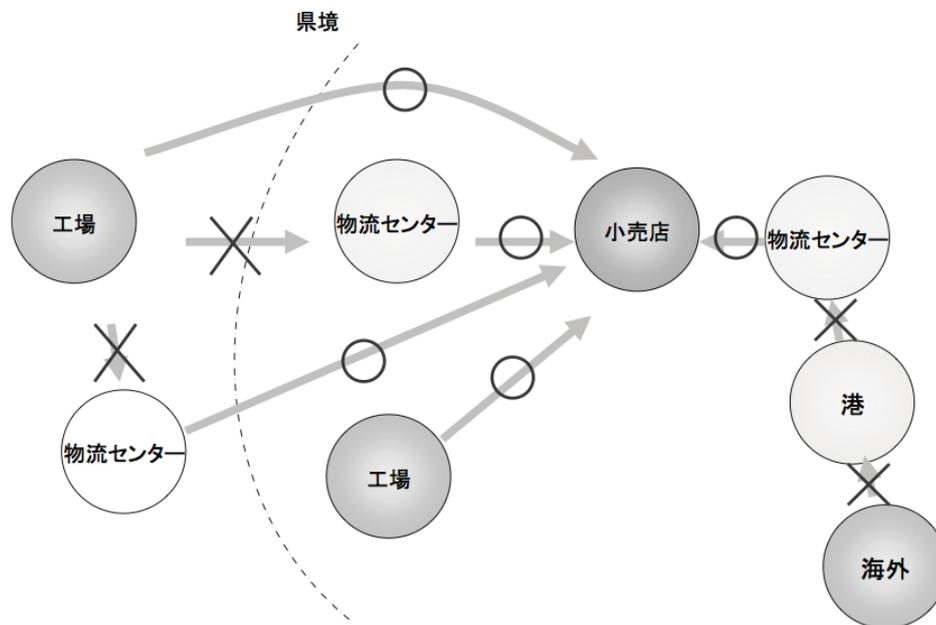


図 5.1 商業物流の定義

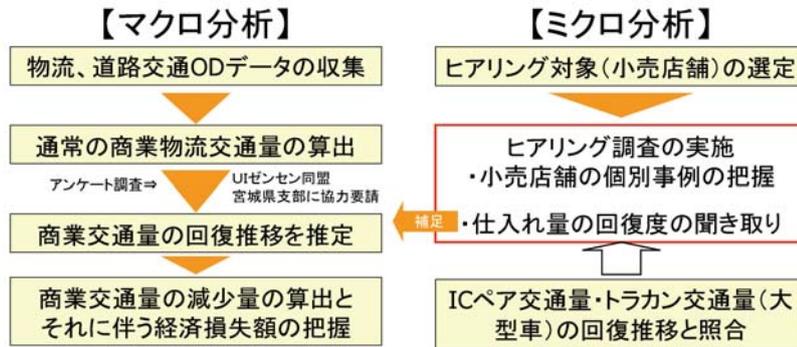


図 5.2 調査の全体フロー

5.2.1 マクロ分析

マクロ分析の実施にあたっては、物流センサスODによる通常時の商業物流量と商品仕入れの回復動向（ミクロ分析にて把握する商品回復量の推移（%））から、商業物流量の回復の推移を推定する。

次いで、通常時に見込まれた物流量と比較した落ち込み量（凹）を算出し、その落ち込み度合いを経済損失額として算出するものとした。

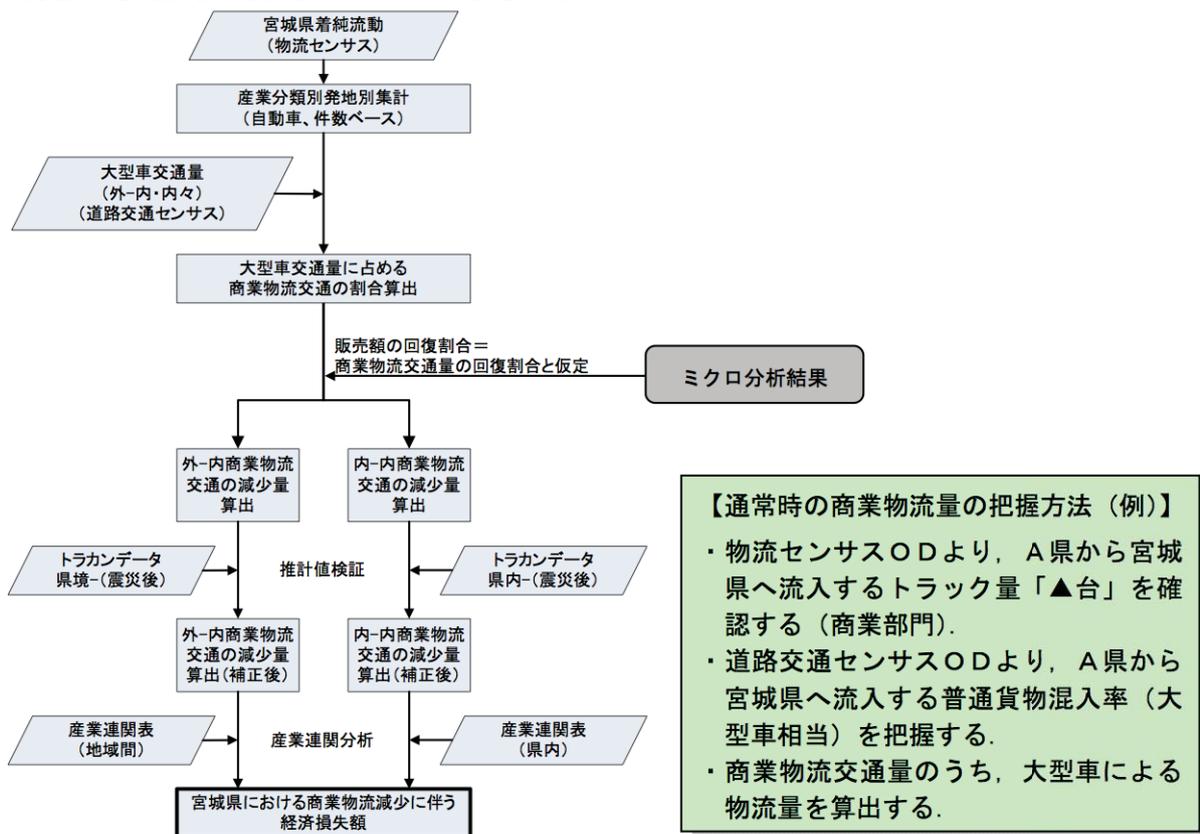


図 5.3 マクロ分析の分析フロー

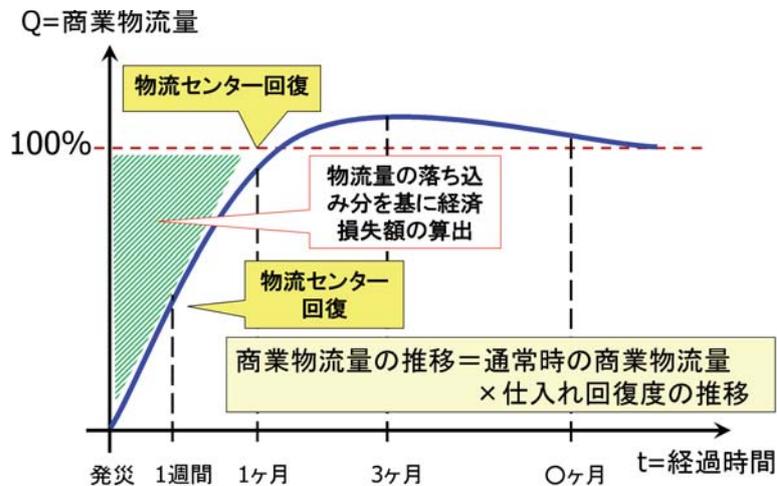


図 5.4 マクロ分析のアウトプットイメージ

5.2.2 ミクロ分析

ミクロ分析の実施にあたっては、小売店舗、サプライチェーンの復旧状況、震災発災前後の物流ルートの変化、商品の仕入れ状況の変化や回復度及び、震災を経験しての教訓課題、改善要望など、背景にあるサプライチェーン上の課題を含め、実態やそれぞれ個別の事情を把握するためのアンケート、ヒアリング調査を実施した。

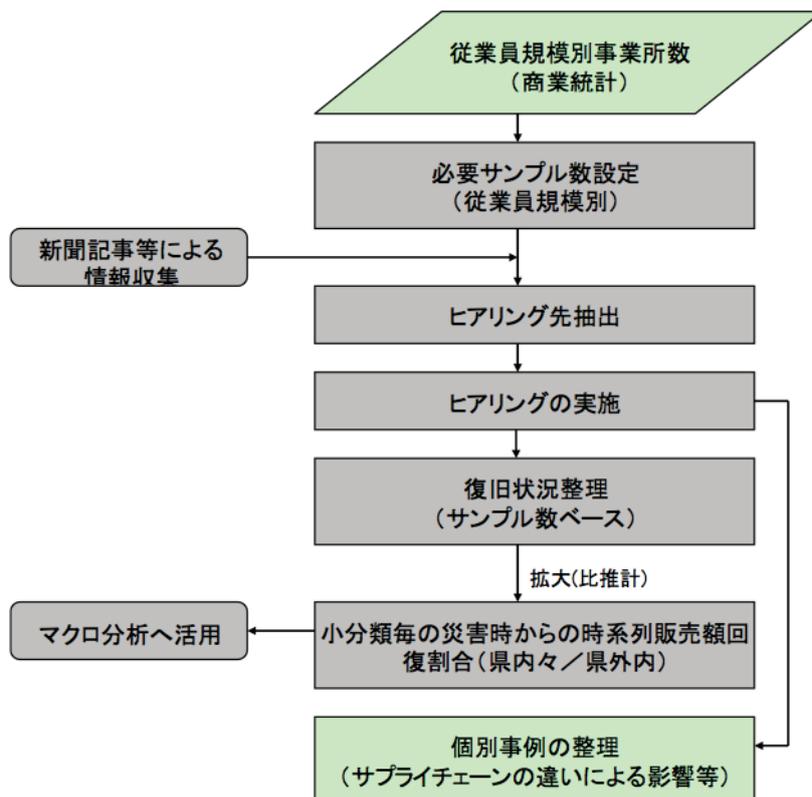


図 5.5 ミクロ分析の分析フロー

表 5.1 物資の分類と凡例

商品分類	問2 取扱の有無	問3 仕入量の回復度、問4 仕入方法							
		震災前		震災当日(地震発生時間以降)		震災3日後(3/13頃)		震災1週間後(3/18頃)	
		仕入量	仕入方法	仕入量の回復度	仕入方法	仕入量の回復度	仕入方法	仕入量の回復度	仕入方法
服地・寝具・靴など		%		%		%		%	
宝飾品		%		%		%		%	
酒		%		%		%		%	
食肉		%		%		%		%	
鮮魚		%		%		%		%	
野菜・くだもの		%		%		%		%	

5.3 分析結果（マクロ分析）

5.3.1 アンケート調査結果による商品分類別の仕入れ回復割合

被災県内の主要な小売店舗に対しアンケート調査を実施し、商品分類別に仕入れ（販売）の回復度合いを把握した。アンケート調査の実施にあたっては、小売店舗の労働組合団体であるUIゼンセン同盟に協力を要請し調査を実施した。

アンケート調査については、現在実施中であり、十分な回答数が得られていないため、本報告では、アンケート結果を用いた分析イメージを示す。

上記、表 5.1 に示したデータを各小売店舗より収集し、以下の手法により、商品分類別の回復割合を統合することで被災地域全体の回復割合を推定する。

【商品分類別の回復割合の算出方法】

商品分類別の店舗数により、仕入れ量（%）を震災後の時系列別に按分し、全体の回復割合を推定する。

（算出例）

$$\begin{aligned}
 \text{全体回復割合} &= \text{服地・寝具・靴（回復 50\%）} \times 20 \text{ 店舗} + \text{酒（回復 30\%）} \times 20 \text{ 店舗} \\
 &= (1,000 + 600) \div 40 \text{ 店舗} \\
 &= 40\%
 \end{aligned}$$

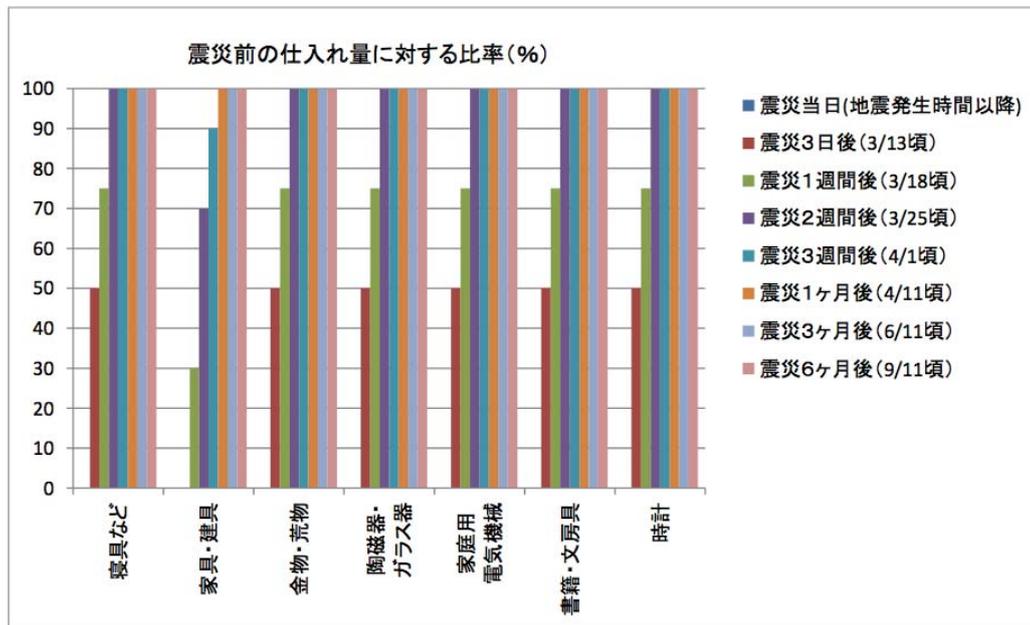


図 5.6 アンケートによる仕入れ回復割合 ((株) インテリア販売 N: 家具, DIY 商店)

5.3.2 大型車交通量から見た仕入れ回復度合いの推定

震災発災日以降の被災県内を通行する大型車交通量の推移、変遷から、小売業全体の仕入れ回復度を推定した。

使用したデータは連続的に交通量がカウントできる「車両感知器」データとし、高速道、一般道別に以下のデータを収集した。

高速道：IC ペア交通量（東日本高速道路（株）より貸与）

一般道：交通量常時観測データ（国土交通省東北地方整備局より貸与）

上記データを用いた推定結果の例として宮城県における回復割合の推定結果は以下に示すとおりであり、同分析結果より以下の傾向が見られた。

- 宮城県内全体として、震災前と同程度まで商品の仕入れが回復した時期は、概ね一ヶ月後である。
- 内-外交通（宮城県外からの物流）は、震災翌日から若干ずつではあるが回復しているのに対し、内-内交通（宮城県内の物流）は、発災後1ヶ月近く停滞している状況が見られる。
- 上記より、宮城県外からの物流は緊急輸送物資を含め、発災直後から徐々に回復しているものの、宮城県内の物流の回復が遅れていることから、県内の物流センター等の物流拠点が被災していることにより、末端の小売店舗までの物流が停滞したものと考えられる。

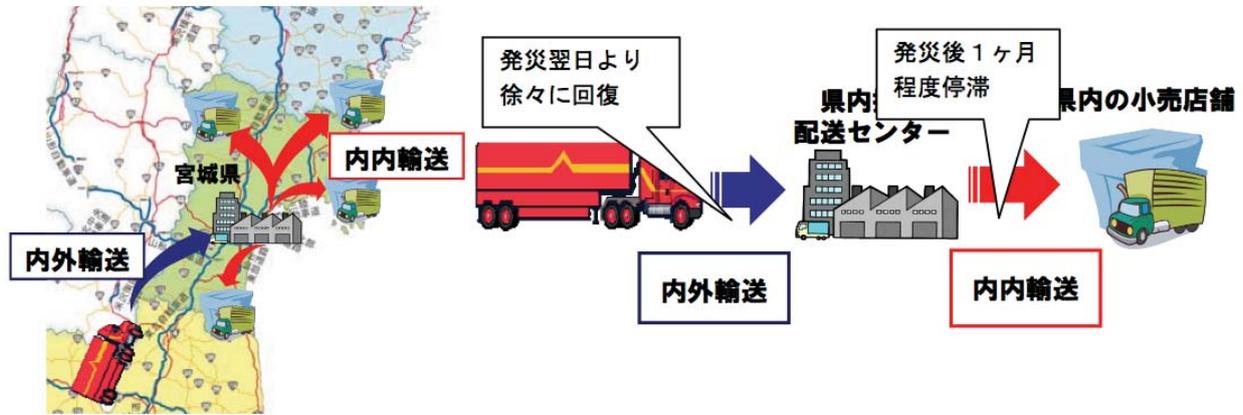


図 5.7 被災県への物流配送の流れ（宮城県）

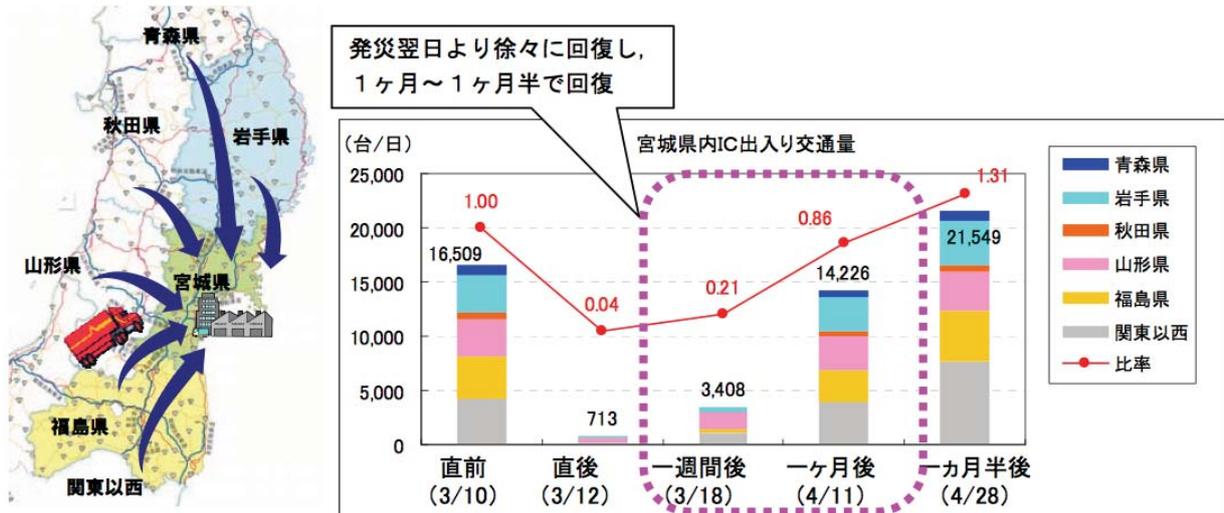


図 5.8 内-外交通の回復度合い（宮城県 高速道）

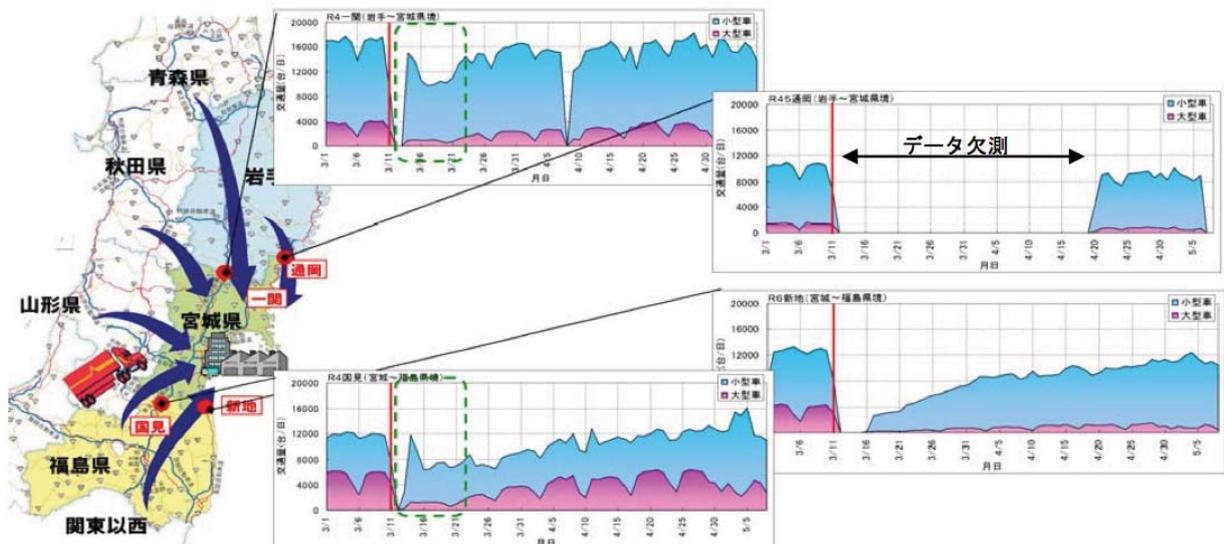


図 5.9 内-外交通の回復度合い（宮城県 一般道）

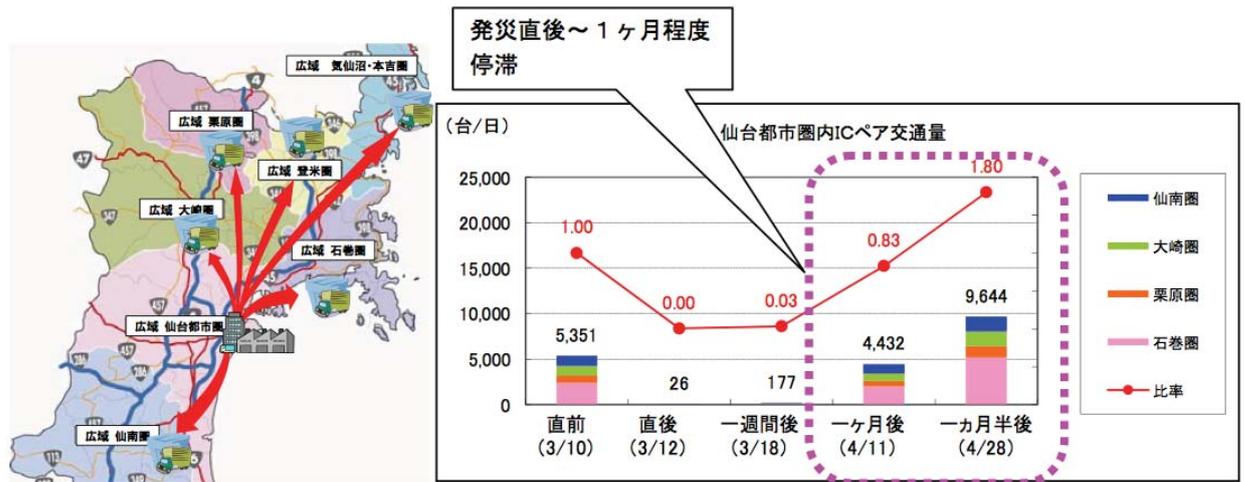


図 5.10 内-外交通の回復度合い（宮城県 一般道）

5.4 分析結果（ミクロ分析）

被災県内の主要な小売店舗に対しアンケート、ヒアリング調査を実施し、各店舗におけるサプライチェーン上の課題を含め、復旧実績、復旧事例、残存する課題及び、今後教訓とする必要のある事項などについて取りまとめた。

5.4.1 調査対象とする小売店舗の抽出

被災各県における商業統計をもとに、小売業の規模別（従業員数ベース）に「大規模店舗（従業員数 50 人以上）」、「中規模店舗（従業員数 20～50 人）」、「小規模店舗（従業員数 20 人未満）」の 3 クラスに分類した上で、その総小売店舗数を比例配分し、必要サンプル数を設定した。

小売業の分類については、商業統計による小売業の分類（6 分類「各種小売業」、「織物・衣服・身の回り品小売業」、「飲食料品小売業」、「自動車・自転車小売業」、「家具・じゅう器・機械器具小売業」、「その他小売業」）をもとに対象者を抽出した。

小売業の具体的な店舗名称については、地方新聞の生活情報、開店情報や N T T タウンページ及び、東北在住の当社社員、家族からの口コミ情報をもとに抽出した。抽出した結果の例として宮城県の状況を以下に示す。

表 5.2 対象事業所数の設定（宮城県）

第3表 従業者規模別の事業所数, 従業者数, 年間商品販売額, 売場面積					
従業者規模	事業所数				
	19年 (2007)	16年 (2004)	対前回 増減率	構成比	
				19年 (2007)	16年 (2004)
総数	29,498	31,706	△7.0	100.0	100.0
2人以下	10,922	11,990	△8.9	37.0	37.8
3～4人	6,632	7,493	△11.5	22.5	23.6
5～9人	6,273	6,575	△4.6	21.3	20.7
10～19人	3,595	3,661	△1.8	12.2	11.5
20～29人	930	933	△0.3	3.2	2.9
30～49人	624	561	11.2	2.1	1.8
50～99人	345	360	△4.2	1.2	1.1
100人以上	177	133	33.1	0.6	0.4
卸売業計	7,442	8,213	△9.4	100.0	100.0
2人以下	1,479	1,616	△8.5	19.9	19.7
3～4人	1,723	1,983	△13.1	23.2	24.1
5～9人	2,160	2,407	△10.3	29.0	29.3
10～19人	1,273	1,386	△8.2	17.1	16.9
20～29人	377	397	△5.0	5.1	4.8
30～49人	269	257	4.7	3.6	3.1
50～99人	119	125	△4.8	1.6	1.5
100人以上	42	42	0.0	0.6	0.5
小売業計	22,056	23,493	△6.1	100.0	100.0
2人以下	9,443	10,374	△9.0	42.8	44.2
3～4人	4,909	5,510	△10.9	22.3	23.5
5～9人	4,113	4,168	△1.3	18.6	17.7
10～19人	2,322	2,275	2.1	10.5	9.7
20～29人	553	536	3.2	2.5	2.3
30～49人	355	304	16.8	1.6	1.3
50～99人	226	235	△3.8	1.0	1.0
100人以上	135	91	48.4	0.6	0.4
小売業					
20人未満	20,787	22,327	-19	94	95
20～49人	908	840	20	4	4
50人以上	361	326	45	2	1

表 5.3 アンケート, ヒアリング対象事業所の例（宮城県）

No.	商業統計分類	商業内容	規模	調査対象に選定した店舗
1	各種商品	百貨店、スーパー、コンビニ	小型	ローソン、セブンイレブン、ウジエスーパー
2	飲食料品	酒、鮮魚、肉など	小型	(株)ヤマザワ(スーパー)
3			中型	(株)ヨークベニマル
4			大型	(株)イトーヨーカ堂
5			大型	(株)イオンスーパーセンター
6	織物・衣服等	服・寝具など	中型	(株)ニトリ
7	家具・機械器具	家具・建具・電気機械	中型	ケーズデンキ(株)
8			中型	ホームック(株)
9	自動車等	自動車販売店	小型	ネットトヨタ仙台
10	その他	医薬品	小型	ツルハドラッグ(株)

5.4.2 ヒヤリング調査結果

上記の調査対象箇所におけるアンケート，ヒヤリング結果を整理すると以下に示すとおりである。

5.4.2.1 コンビニエンスストアL社

1) 事業者概要

店舗数：9,761 店舗（内，東北地方 828 店舗）；2010 年 2 月末現在

事業内容：コンビニエンスストアのフランチャイズチェーン展開

2) 通常のサプライチェーン

コンビニエンスストアL社の震災時のサプライチェーンの変化を把握するため，まず通常のサプライチェーンの形態を把握した。通常のサプライチェーンを大まかに示すと，「ベンダー工場（商品製造工場）⇒配送センター⇒各店舗」となっているが，ベンダー工場から直接店舗に入れる場合もあるとのことである。

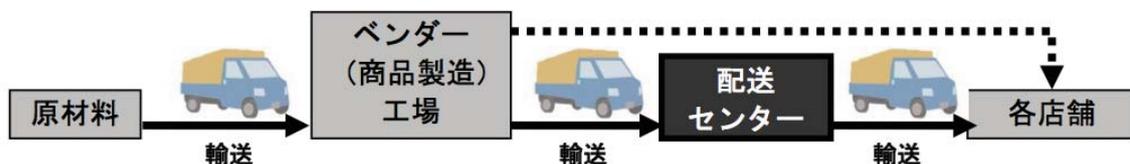


図 5.11 L社における商品（食品）のサプライチェーン

ベンダー工場での原材料の仕入れは，各工場に任されており，また，比較的小規模の工場で周辺のリソースを使って運営しているところが多いとのことである。特に「おにぎり」は手作業で作っており，通常時も非常時もストックはないとのことであった。

配送センターは，チルド商品・常温商品・冷凍商品の3種類があり，チルドは3回/日，その他は1回/日各店舗へ配送を行っている。配送センターで，店舗別の仕分けを行うが，ここが物流の肝となっており，いかに効率化を図るか，配送のムダを省くかが利益創出の鍵となるとのことである。1センターがカバーするエリアが適度な広さで店舗数が多いほど，スケールメリットで効率化を図ることができる。店舗別の仕分けなど，配送センターは高度にオートメーション化されており，その分，電力供給がストップすると機能不全に陥るとのことである。

大都市圏は1センターがカバーする店舗数も多く採算ベースに乗りやすい。一方，面積の広い県や細長い県は，配送コストがかかり効率が悪い。こうした県には出店しないコンビニエンスストアチェーンもある。

L社のチルドセンターは全国に50箇所（概ね1箇所/県）設置されている。L社の店舗数が全国で9,761店舗なので、1センターあたり平均200店舗をカバーしている計算となる。センターは、基本的には人口集積地の道路沿いに立地している。

L社では、物流全般を、外部の運送会社に委託している。混載の配送センターもあれば、L社単独の配送センターもある。

3) 救援物資の搬送について

次に、救援物資の搬送形態についてヒアリングした。

救援物資の搬送は、通常時とまったく異なるサプライチェーンを利用する。L社は、京都府、沖縄県を除く44の都道府県と防災に関する包括協定を結んでおり、発災後可能な範囲の支援物資（食料・日用品）をあらゆる手段（自衛隊機など）を使って搬送する（東京都は、帰宅困難者の支援の協定を結んでいる）。

救援物資の搬送元は配送センター、ベンダーであり、本来、その周辺地域の店舗に配送する在庫または製品を、被災地に送ることになる。救援物資を送る対応は、災害の規模にもよるが、通常発災後24～72hである。

今回の東日本大震災では、青森や秋田を含めた広域（本来であれば、今回の被災地に救援物資の搬送を行う搬送元）で被災しており、救援物資の搬送と自らの復旧を同時に行わなければならなかった。

4) 東日本大震災による被災と復旧状況

L社のサプライチェーンに関連する施設の復旧状況は、L社のホームページにて公開されており、ヒアリング時点（2011年6月）までの3ヶ月間の復旧状況は、以下のとおりであった。

表5.4

	所在地	発災当日 3/11	3日後 ~3/14	一週間後 ~3/18	二週間後 ~3/25	1ヵ月後 ~4/11	2ヵ月後 ~5/11	3ヵ月後 ~6/11
【ベンダー工場】								
ベンダー工場	青森	×	○	○	○	○	○	○
	秋田	×	○	○	○	○	○	○
	岩手	×	×	○	○	○	○	○
	宮城	×	×	×	×	×	○	○
	福島	×	×	×	○	○	○	○
	千葉	×	×	×	×	○	○	○
	他5箇所(関東)	○	○	○	○	○	○	○
【物流】								
配送センター(チルド)	青森	×	○	○	○	○	○	○
	秋田	×	○	○	○	○	○	○
	岩手	×	×	○	○	○	○	○
	宮城	×	×	○	○	○	○	○
	山形	×	×	○	○	○	○	○
	福島	×	×	○	○	○	○	○
	他10箇所(関東)	○	○	○	○	○	○	○
配送センター(常温)	岩手	×	×	×	○	○	○	○
	宮城	×	×	×	×	×	○	○
	野田	×	○	○	○	○	○	○
	船橋	×	○	○	○	○	○	○
	他4箇所(関東)	○	○	○	○	○	○	○
配送センター(冷凍)	青森	×	○	○	○	○	○	○
	岩手	×	×	○	○	○	○	○
	宮城	×	×	○	○	○	○	○
	他6箇所(関東)	○	○	○	○	○	○	○
【品目別】								
	パン	×	○	○	○	○	○	○
	おにぎり	×	○	○	○	○	○	○
	弁当	×	×	×	×	○	○	○
	サンドイッチ	×	×	×	×	○	○	○

以下、震災直後に東北地方や関東地方で店頭の商品が品薄となった要因について、ヒアリングにより得られたコメントを列挙する。

- 店舗への商品納入が滞ったのは、広範なエリアでベンダー工場の被災、配送センターが機能不全に陥ったことが主な原因である（主として停電、その他機械の損壊（部品が入ってこず復旧が遅れる））。
- 東北では、ベンダー工場が被災したことも大きかった。配送センターも、特に岩手・宮城の常温商品センターの復旧遅れの影響が大きかった。
- 首都圏でも、複数のベンダー、センターが被災し、そのことが首都圏での品薄の原因となった。
- 通常時の効率化が進んでいた分、かえって非常時には機能しなかった。
- ガソリンは拠点間の移動については、給油を担保してから移動したが、被災地の拠点から各店舗までのガソリンの調達が困難であった。
- 配送センターから店舗への搬送は、ガソリンが不足する中でも、搬送回数を減らしたり、提携している宅急便会社（自前で燃料をストック）と連携したりするなどしてルートは確保した。

- 災害時であっても、高速道路か国道が利用可能な状況であれば、緊急車両の許可などをとることで物流経路を確保する事ができる。
- ベンダー⇒センター⇒店舗のサプライチェーンが、比較的小さい範囲であれば、そこだけのサプライチェーンで商品搬入を確保することが可能である。

5) 今回見えてきた課題と今後の展望など

ヒアリングの中で、大規模災害時の対応に関する今後の課題として、以下のような課題と展望が得られた。

- 非常に広域、大規模な災害では通常時の効率化を図りすぎると非常時に機能不全に陥ることが判ったが、効率を犠牲にしてまでも具体的な対策（BCP）が立案できるか。
- 関東、東北のベンダー、センターがダメージを受け、物資を関西から運んだわけであるが、これほど広域な非常事態を包含したシステムを通常時を含めて構築可能か。
- 配送センターのプログラムを非常時には別プログラムに切り替えられる、業界全体で配送センターを共同化、ベンダー側に仕分け機能を持たせるなどの対策は考えられるが、今のところ非現実的な対応であるといえる。

5.4.2.2 コンビニエンスストア S 社

1) 事業者概要

店舗数，東北での主な商圈：1,482 店舗（東北6県に加え茨城県を含む.）

販売品目：コンビニエンスストア

2) 物流形態

コンビニエンスストア S 社における取扱商品は，一般メーカーの製品についてはそれぞれ問屋を介して，商社が運営する専用の物流センターを通じて各店舗に配送している。ただし，たばこの通常物流は，他小売も混載する専用便 (JT グループ企業：TS ネットワーク) を利用している。

【通常商品の流通経路】

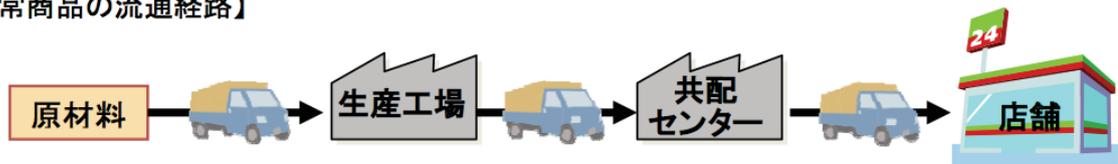


図 5.12

※商品ごとに共配センターが分かれており，東北では14センターからなる。

商品によっては，問屋を介すものとそうでないものがある。

※通常時の頻度は，1日3回，週6回から7回と商品種類によって異なる。

3) 震災後，物流の回復に至るまでの課題や工夫点

震災後仕入れ量が減少し，約6ヶ月後までにそれぞれの商品の仕入れ量は100%回復するに至っている。仕入れに支障が生じた原因としては，商品によって異なるものの全般的に，原材料の調達ができなかったり，生産工場の機械が損傷し供給が停止したことにある。また，共配センターにおいては，停電の影響で冷温施設の機能がストップしたこと，商品ラックが倒壊し商品仕分けに支障をきたした。さらには，西日本から商品を配送しようとしても，ガソリンの供給が安定しておらず，需要に即した商品供給が充分にできなかった。

緊急通行車両認定についても，個々の車両に対する紐付けではなく，今後は供給協定を結んでいる事業者ごとに一括認定できる仕組みをお願いしたい。

震災発災後，東北の各センター，工場の機能が停止する中で，全国ネットワークの強みを生かし，関東方面から商品を仕入れた。太平洋側地域には，首都圏方面から北上させ，日本海側地域へは新潟や山梨から商品を仕入れた。

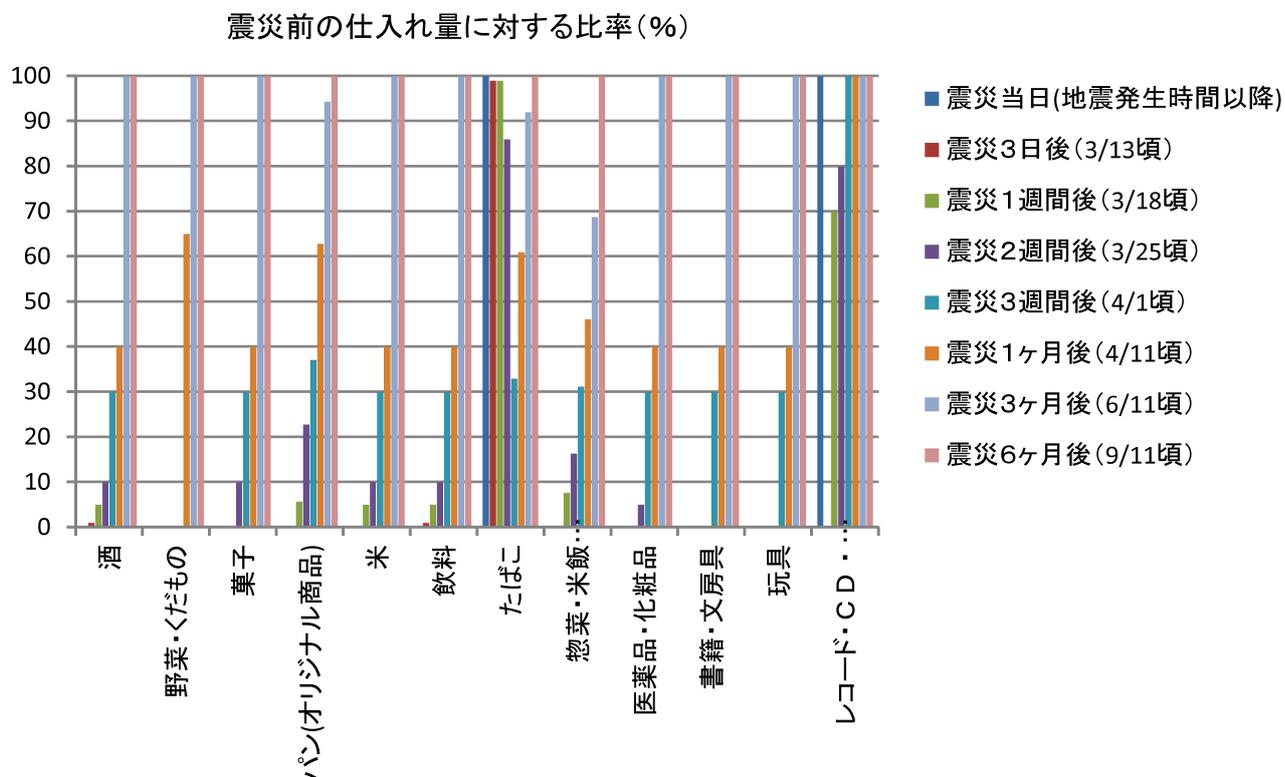


図 5.13 仕入れ量の回復度合い（S社）

中でも、震災直後は POS システムが機能しない中、被災地にどれほどの需要があるか不明ではあったが、人海戦術で商品を仕分け見込みで東北に運び込んだ。現地では、営業担当がそれぞれの担当店舗を回って確認し、電話と FAX のみで発注仕入れを行い対応した。今後の備えとしては、被災地域での実情（被災度合い・道路情報等）の把握方法や、関連工場・センター等と緊急時の取り決めや連絡体制等を事前に構築しておくこと、燃料備蓄などの必要がある。

また、在庫管理としては、今回のような大規模災害時における供給不足に対応していくためには、ただ単に日常的な在庫量を増やすということは効率化の観点などからも負担が大きい。よって、リスク分散の考えを踏まえて、供給元を複数もつなどのリスクマネジメントが重要となってくると考えている。

被災地での食料需要は準公的側面があるなか、行政主導の下で、供給能力のある小売業者に対しては配慮をいただく対応が望まれる。

5.4.2.3 スーパーU社

1) 事業者概要

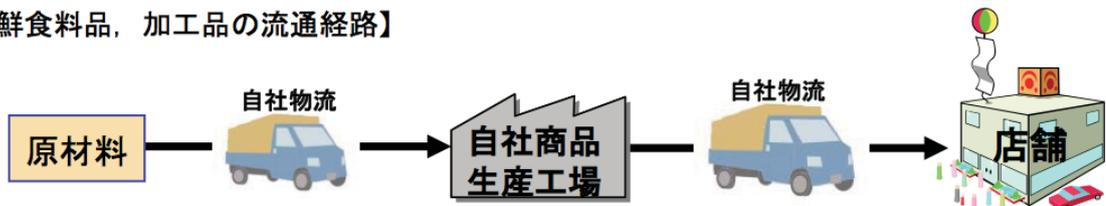
店舗数，東北での主な商圈：31 店舗，全店舗が宮城県内

販売品目：飲食料品小売業，総合スーパー

2) 物流形態

スーパーU社における主な販売品目である生鮮食料品については，原材料の調達から生産加工，各店舗までの配送まで全て，自社物流で賄っている。生鮮品以外の飲料，雑貨などについては，卸問屋を通じて自社物流により仕入れを行っている。

【生鮮食料品，加工品の流通経路】



【雑貨などの流通経路】

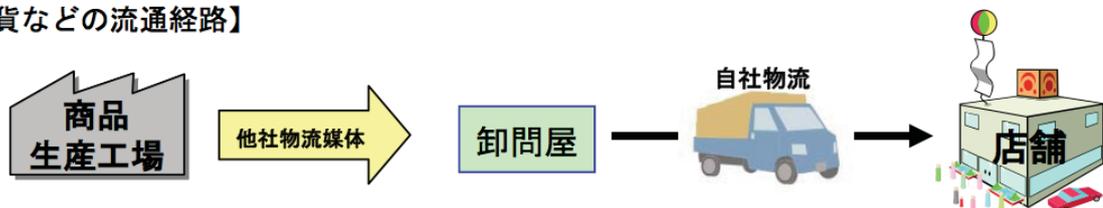


図 5.14

3) 震災後，物流の回復に至るまでの課題や工夫点

今回の震災時は，生鮮食料品は自社物流を駆使して人手による仕分けを行い，商品調達を行った。雑貨などについては，震災により卸問屋の機能が麻痺し，商品の仕入れが出来なくなったことから，他企業との連携（CGCグループ（株）シージーシージャパン：中堅，中小スーパーマーケットが加盟する企業団体）により，商品の調達に努めた。

今回の震災を通じて，当社（スーパーU）は中小企業のため，大手スーパー等に比べて必要以上にシステム化（POS化）していなかったため，停電時にも人手で仕訳作業を行い，商品を店舗へ出荷することが可能であったことや，中小スーパーとの連携（CGCグループ）により，雑貨などの商品についても比較的スムーズに対応できたと考えている。

ただし，停電に備えた非常用電源（自家発電）が不備であったことや，ガソリンの備蓄など，今後の改善点や課題が明らかとなった。

【震災時における雑貨などの流通経路の変更】

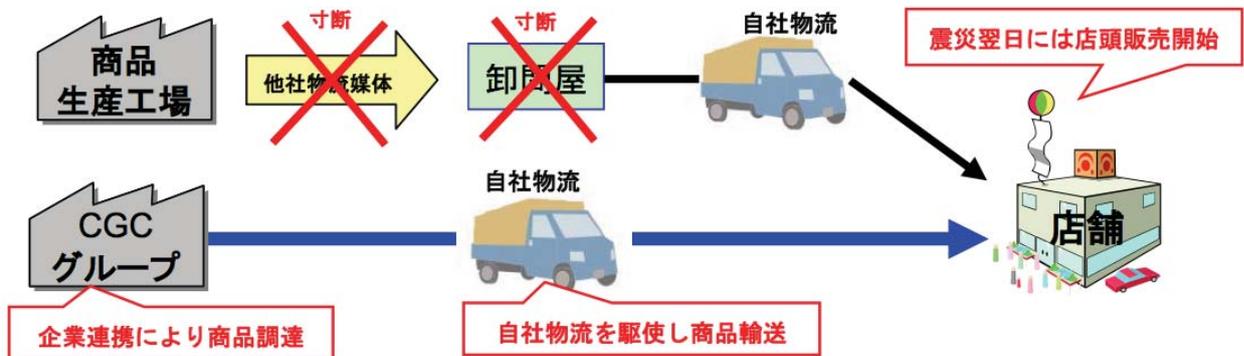


図 5.15

企業情報 事業内容

シジシージャパンが推進する協業活動は4つの柱から成り立っています。

全国の中堅・中小スーパーマーケット220社、3700店舗が加盟するCGCグループの本部機能を担っているのがシジシージャパンです。CGCグループはコーペラティブ・チェーンと呼ばれる小売業主宰の組織で、加盟各社はそれぞれが地域に根ざした独立資本の企業です。

シジシージャパンは、CGC加盟店が大手チェーンストアに対抗するため、加盟企業が単独で取り組むよりも全国規模でまとまることでよりメリットを発揮できる分野で協業活動を推進しています。その内容は多岐にわたりますが、柱となるのは(1)商品、(2)物流、(3)情報システム、(4)営業支援の4つです。

CGCグループの活動を支える第4の柱 営業支援

POINT 4 営業支援

加盟企業向けに様々な営業支援ツールを提供

CGC加盟店がお客様の生活により密着し、毎日のお買い物にご満足いただくために、加盟企業向けに様々な営業支援ツールを提供しています。

CGC加盟店だけで入手できる生活情報冊子『ふれ愛交差点』をはじめ、「銀行ATM」「クレジットカード」「商品券」など、商品以外にも様々なサービスを提供しています。ほかにも、快適な買い物に不可欠な店舗の衛生管理システム、お客様をおもてなす店舗スタッフの教育研修なども実施しています。社会貢献活動としては、国内最大規模の「全国児童画コンクール」の開催、加盟企業・お取引企業と協働で開催する食育企画などに取り組んでいます。

図 5.16 中小スーパーマーケット企業団体との連携（CGCグループ）

出典：(株) シージーシージャパン HP

5.4.2.4 インテリア販売N社

1) 事業者概要

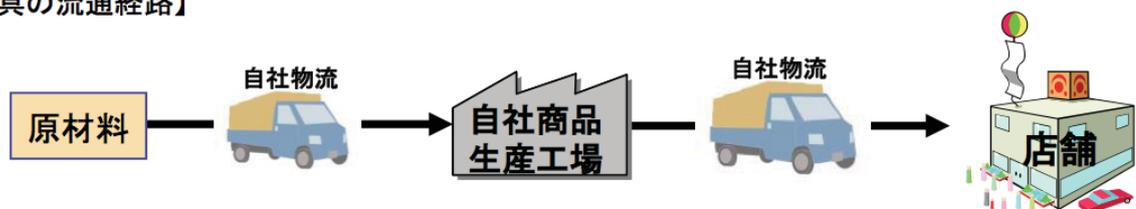
店舗数，東北での主な商圈：23 店舗，東北 6 県の主要都市で営業

販売品目：家具・じゅう器・機械器具小売業

2) 物流形態

インテリア販売N社における主な販売品目である家具については，全て自社製品であるため，自社製品向上から直接自社物流により各店舗に流通させている．家具以外のインテリア用品については，自社配送センターで一括管理の後，各店舗へ流通させている．

【家具の流通経路】



【家具以外のインテリア用品の流通経路】



図 5.17

3) 震災後，物流の回復に至るまでの課題や工夫点

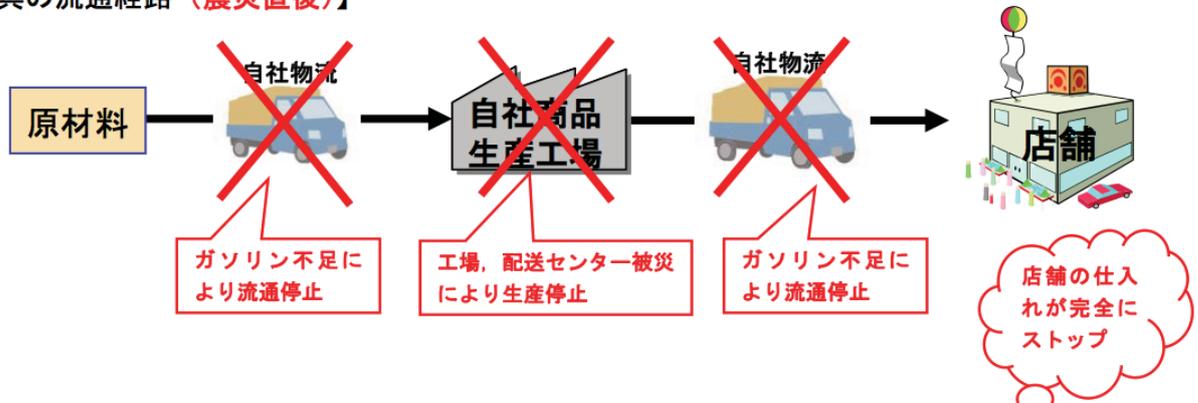
今回の震災時は，東北管内の配送センターが被災し，全ての商品に発送遅れが生じた．ただし，当社の取り扱う製品の場合，生鮮食品等と異なり，ユーザーの緊急性が低いためか，お客様への影響は最小限と考えられる．

特に，被災直後はガソリン不足のため，自社流通品，他社流通品の双方ともに，人，モノの動きが全て止まったことが影響している．

結果として，家具以外のインテリア製品（他社製品，他社物流）は被災 2 週間後に回復したものの，自社製品である家具は，物流センター，生産工場等の復旧が遅れたため，通常レベルの回復まで約 1 ヶ月を要した．

震災によりガソリンの調達が困難となることはこれまで予測していなかったため，燃油の確保は今後の課題，教訓と考える．

【家具の流通経路（震災直後）】



【家具以外のインテリア用品の流通経路（震災直後）】

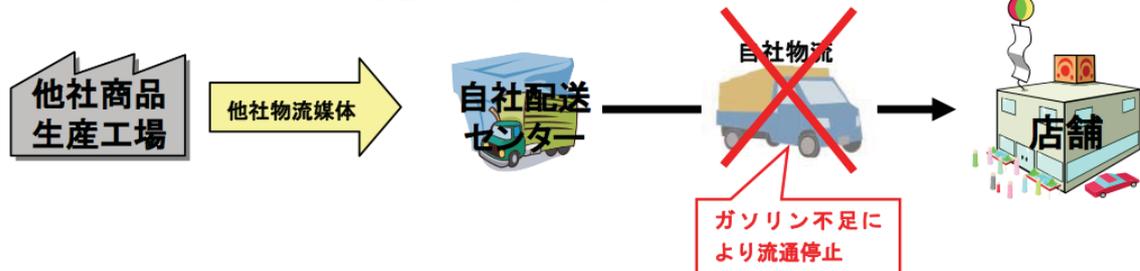


図 5.18

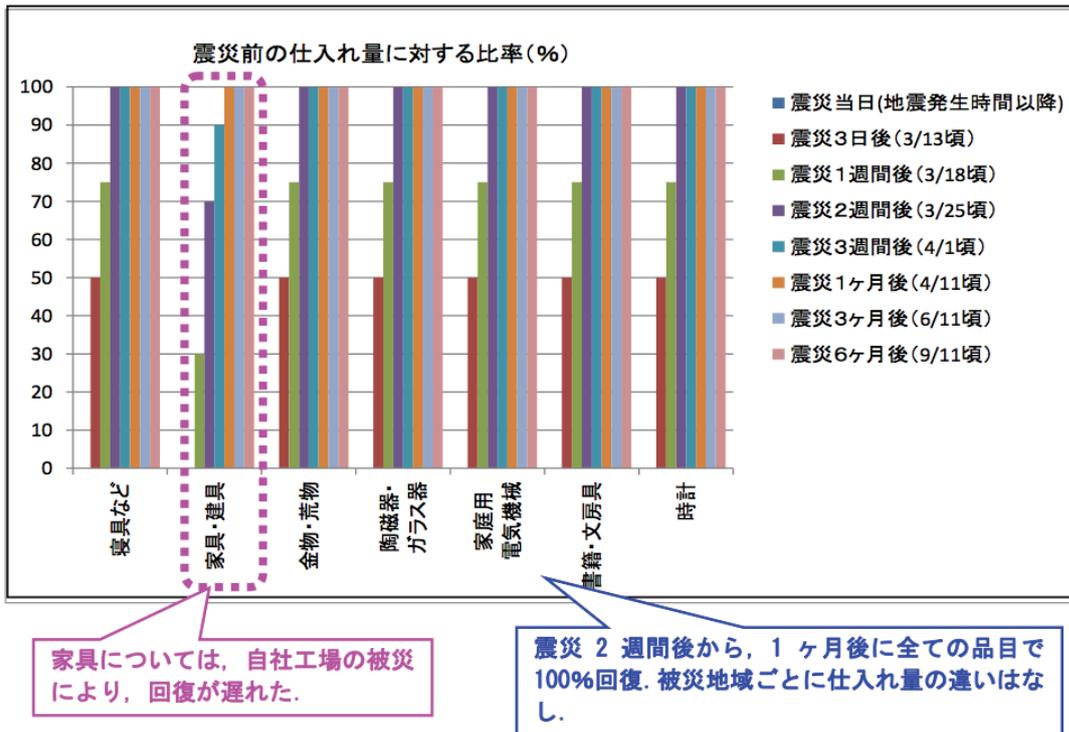


図 5.19 仕入れ量の回復度合い（N社）

5.4.3 ヒアリング調査結果のまとめ

上記のヒアリング調査結果をまとめると以下のとおりである。

- コンビニエンスストアにおいては、通常時の効率化を図りすぎたことで、発災時に機能不全に陥った。
- コンビニエンスストアでは、今後、配送センターの運用プログラムを非常には、あらかじめ用意した非常時用のプログラムに変更する機能や、業界全体で配送センターを共同化、ベンダー側に仕分け機能を持たせるなどの対策は考えられるが、今のところ非現実的である。
- 一方で、コンビニエンスストアほど集約化が進んでいなかったスーパーUでは、震災直後から自社物流を駆使した商品調達を行い、また、停電の際にも人手による仕分け作業などができ、震災翌日より店頭販売を行っていた。
- インテリア販売N社（家具、インテリア用品販売）では、物流センター等は被災していなかったが、ガソリンの調達が困難な期間は、仕入れや販売をストップさせざるを得ない状況であった。

5.5 おわりに（今後の分析方針）

本稿では、東日本大震災による商業物流への影響、復旧過程を把握するため、商業物流量の回復動向（マクロ分析）や、小売店舗・サプライチェーンの復旧実績の事例把握（ミクロ分析）について、調査手法及び、調査分析の中間報告を行った。今後は、以下の事項について更なる分析を進めていく予定である。

(1) マクロ分析について

- 物流センサスOD、道路交通センサスODのマスターデータを収集し、東北地方における通常時の物流動向を詳細に把握する。
- 上記データより、通常時の商業物流交通量を算出し、ヒアリング調査結果の仕入れ量の回復度合いと合わせて、商業物流の回復度を算出する。

(2) ミクロ分析について

- 各小売店舗へのアンケート調査、ヒアリング調査を継続的に実施し、調査データの蓄積、整理を行う。
- 上記の調査データを用いて、商品品目別、時系列別の仕入れ回復度合いの整理、分析を行う。

第 6 章

東日本大震災に伴う首都圏高速道路 における大型車交通流変化

和田新^{*1}，稲村肇^{*2}，森地茂^{*3}，大口敬^{*4}

本研究では東日本大震災による大型車交通流の変化を震災発生日から 3 ヶ月間集計し，その特徴を把握する．加えて，変化の要因を関連統計データを加え分析する．本研究により以下のことが分かった．当初の 1 週間に関越道による大量の迂回交通が観測された．3 週間以降 3 ヶ月後まで，東北自動車道では常時 20% 以上平均交通量が増加した．大きな原因の一つが被災地の港湾の代替として東京湾が使われたことである．また，首都高速道路への影響は軽微であった．

*1 政策研究大学院大学 大学院政策研究科

*2 東北工業大学 工学研究科 教授

*3 政策研究大学院大学 大学院政策研究科 特別教授

*4 東京大学生産研究所 先進モビリティ研究センター 教授

6.1 序論

6.1.1 本研究の背景と目的

2011年3月11日に発生した三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の地震は、東北地方の太平洋側を中心とした地域のインフラ施設に大きな被害をもたらした。この東日本大震災後、人命救助や支援物資の輸送のため、各インフラ管理者による必死の復旧作業が実施された。

道路の復旧に着目すると、東北地方の国道などの一般道については、国土交通省東北地方整備局による「くしの歯作戦」による道路啓開作業により、震災から1週間で97%の区間で通行可能となり、4月10日までに迂回路利用区間を含めた被災地区全区間の通行が確保された[1]。また、東日本高速道路(株)が所管する高速道路の被害は、22路線、約1,200km区間において、約5,800カ所の損傷が確認されたが、迅速な復旧作業の結果、震災から20時間後には東北自動車道など、被災地域の高速道路が緊急交通路として指定されて、緊急車両が通行出来る状態であった[2]。このように、道路は被災後、各道路管理者による適切な対応の結果、早期に通行可能になったことで、被災地の復興に貢献したといえる。

ここで東京を含む首都圏高速道路の東日本大震災による影響を鑑みると、長期の通行止めや大規模な渋滞などの目立った課題、問題は認識されていないのが現状である。このため、震災後における首都圏交通の変化を分析、考察している事例は、ほとんど無いのが現状である。

東日本大震災のような稀有な大規模災害では、今後の政策立案や、研究に有用な事象が多く発生している。しかし、被災後の復興に向けて精力的に進むプロセスの中では、通常業務の範疇ではないデータ分析は、優先順位の高い作業となり得ないことから、折角の貴重なデータが逸散したり、残っていても放置されたりと、後々有効に活用されない状況が想定される。

このため、本研究では東日本大震災後に、首都圏高速道路において「何が起こったのか」というデータを理解し易い形態にて、確実に後世に残すことを第一の目的とする。加えて、把握された交通流変化の原因についても考察する。

6.1.2 既往研究の整理と本研究の位置づけ

6.1.2.1 阪神・淡路大震災時に伴う交通流変化の研究

阪神・淡路大震災後の交通流変化については中川ら[3]によると、実測されたデータを用いた研究は、いずれも高速道路、有料道路のものであり、実際の高速道路のデータを使

表 6.1 首都圏高速道路の研究対象エリア一覧表

高速自動車道名	略称	放射・環状	区分	区間	備考
東北自動車道	東北道	放射	一部分	川口JCT～郡山JCT	磐越自動車道内側を考慮
常磐自動車道	常磐道	放射	一部分	三郷JCT～いわきJCT	磐越自動車道の内側を考慮
関越自動車道	関越道	放射	全線	練馬IC～長岡JCT	
北陸自動車道	北陸道	放射	一部分	長岡JCT～新潟中央JCT	
日本海東北自動車道	日本海東北道	放射	全線	新潟中央JCT～荒川胎内IC	有料部分のみ
磐越自動車道	磐越道	環状	全線	いわきJCT～新潟中央JCT	
北関東自動車道(1)	北関東道	環状	一部分	高崎JCT～岩舟JCT	
北関東自動車道(2)	北関東道	環状	一部分	栃木都賀JCT～水戸南IC	
東水戸道路	東水戸道	環状	全線	水戸南IC～ひたちなかIC	
首都圏中央連絡自動車道	圏央道	環状	一部分	稲敷IC～つくば中央IC	
首都圏中央連絡自動車道	圏央道	環状	一部分	八王子JCT～桶川北本IC	
東京外環自動車道	外環道	環状	全線	大泉JCT～三郷南IC	
首都高速道路	首都高	—	全線	全線	

表 6.2 使用データ一覧表

データ名	データ種類	内容
首都圏高速断面交通量	車両感知器データ	車両感知器による断面交通量
首都高速断面交通量	車両感知器データ	車両感知器による断面交通量
首都高速ODデータ	ETC-ODデータ	ETCにより無線通行している車両に関して、料金種別や利用した出入口が確認可能なデータ

6.2.2 対象期間、使用データ

対象期間は、地震発生日の2011年3月11日から、東北地方における高速道路の無料化措置が開始される6月20日の前日（6月19日）までの平日を、1週間単位で平均化して時系列の変化を把握することを基本とする。また、使用するデータを表6.2に示す。

6.2.3 対象車種

本研究では物流との相関を主に分析するため、大型車の交通量に着目する。なお、車両感知器が検出する大型車を基本に考えるため、首都圏高速道路については料金区分でいう中型車以上の車（中型車、大型車、特大車）を対象とする。また、無料通行している緊急車両なども考慮する。



図 6.2 首都圏エリア全域における加重平均交通量

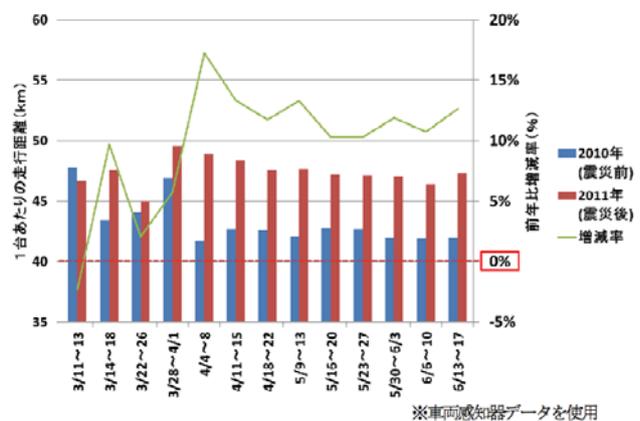


図 6.3 首都圏エリア全域における平均トリップ長

6.2.4 データ取り扱い方法

前年の同月同曜日比較を基本とする。これは震災による交通に対する影響を、通常時（前年）の交通量との差分を用いることにより評価することを目的として、前年との差について、量、割合で算出することにより、交通動態の変化を把握する。なお、日本海東北自動車道など 2010 年度に無料化社会実験を開始した区間については、2010 年、2011 年の 2 月交通量を用いて、無料化の影響を控除した。

6.3 首都圏高速道路の大型車交通流変化

6.3.1 大型車交通量変化

6.3.1.1 首都圏高速道路全体の大型車交通量変化

首都圏エリア全体における大型車の加重平均交通量と、平均トリップ長を図 6.2, 6.3 に示す。交通量については、3 月 22 日の週より増加し始め、4 月以降は前年水準から 2 割以上増加している。また、平均トリップ長については、3 月 14 日の週より前年水準から 1 割以上増加している。

また、区間毎の交通量の変化について、3 月 14 日の週、3 月 22 日から 4 月 1 日の平均、4 月 18 日から 6 月 17 日の平均の状況を図 6.4, 6.5, 6.6 に示す。

3 月 14 日の週は関越道、日本海東北道などの日本海側の放射道路を中心として、関連する路線に交通が集中している。3 月 22 日からは、上記に加え、東北道と北関東道などが連動して増加しており、特に東北地方に近い区間の増加が多い。4 月 18 日からは、全域で交通量の増がみられるが、東北道を中心に常磐道や関越道の首都圏に近い区間の交通量が増加している。

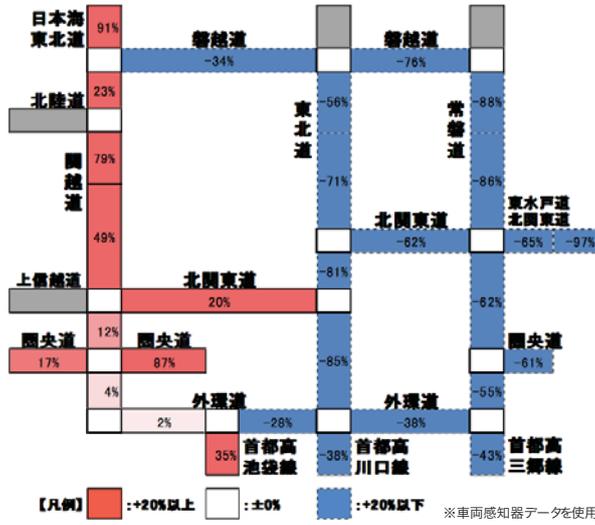


図 6.4 首都圏エリアの交通量増減 (3/14 ~ 18)

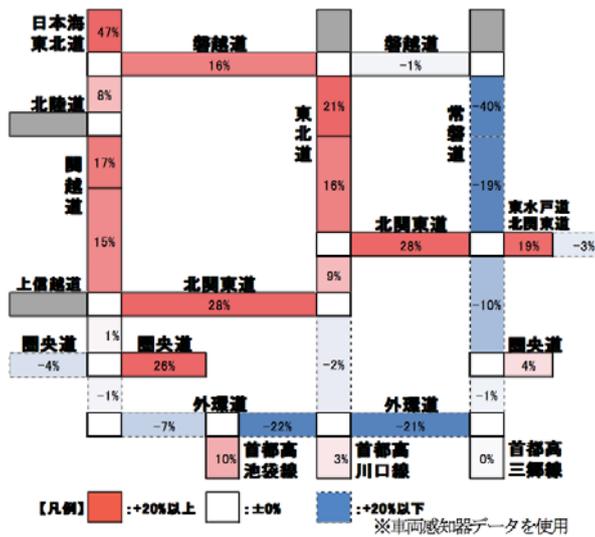


図 6.5 首都圏エリアの交通量増減 (3/22 ~ 4/1)

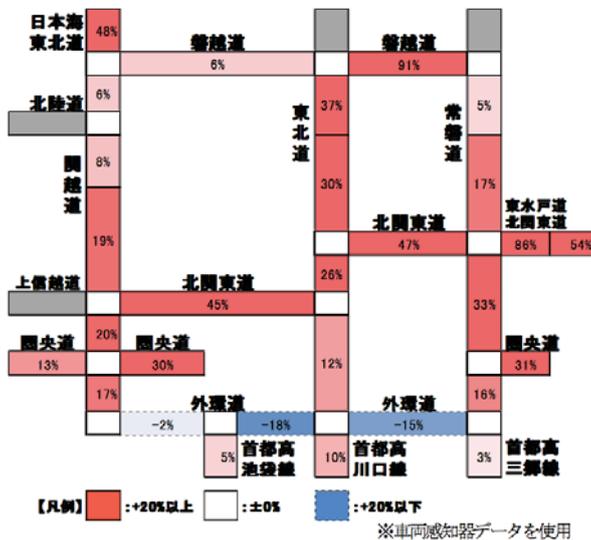


図 6.6 首都圏エリアの交通量増減 (4/18 ~ 6/17)

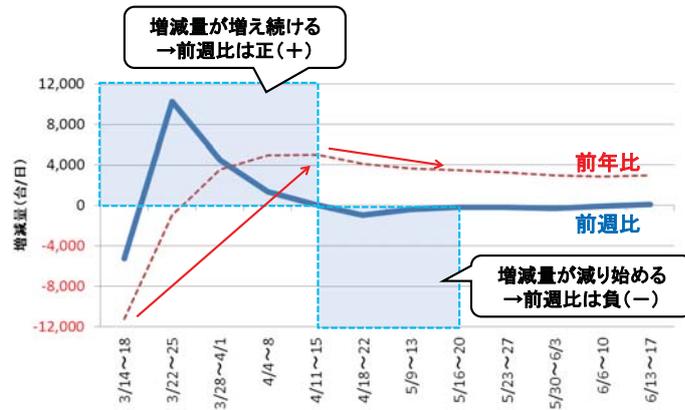


図 6.7 増減量の前年比と前週比（東北道の事例）

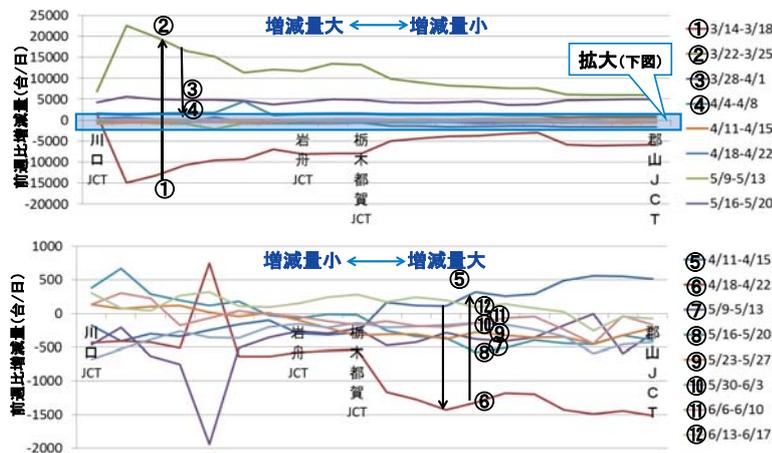


図 6.8 東北道における前週比増減量の変化

6.3.1.2 首都圏高速道路における各路線の大型車交通量変化

各路線の時系列における交通流変化のタイミングを把握するため、増減量を前週と比較する。増減量の前週比較では、増減量が増え続ける期間は正、増減量が減り始める期間は負と表現される。この概念を図 6.7 に示す。

東北道における前週比増減量（図 6.8）を、横軸に空間（左が首都圏側、右が東北側）、縦軸に時間の変化で表す。この図から東北道では、震災直後（3月14日の週）に全線で減、3月22日の週に全線（首都圏側が大）で増加、以降増加量が減じていき、4月18日の週に全線（東北側が大）で減少に転じる。以降は増減量が小さい範囲で安定するという傾向であった。

全線平均の前週比増減量を各路線についてまとめた結果を表 6.3 に示す。この表から3月14日の週に関越道のみ増加、3月22日の週では、他の全路線が増加することがわかる。また、4月18日の週に交通量が減少し、以降増減量が安定する。なお、常磐道は他

表 6.3 各路線の前週比増減量

道路名 \\ 期間	3/14 ~18	3/22 ~25	3/28 ~4/1	4/4 ~8	4/11 ~15	4/18 ~22	5/9 ~13	5/16 ~20	5/23 ~27	5/30 ~6/3	6/6 ~10	6/13 ~17
東北道	-8,272	10,318	4,529	1,406	92	-990	-422	-199	-216	-279	-93	114
通行止												
北関東道	-112	1,144	898	272	149	-270	-46	175	-31	-101	52	22
通行止												
磐越道	44	870	987	151	-501	-52	361	-19	-8	-104	-40	-55
通行止												
関越道	2,295	-2,303	824	514	-17	-127	21	21	22	-102	48	57
常磐道	-2,249	3,957	3,513	531	-843	562	770	16	438	-346	244	585
通行止												

【凡例】 ■ : 増加(+2,000台/日以上) ■ : 増減なし ■ : 減少(-1,000台/日以上)

※車両感知器データを使用

路線と増減のタイミングなどの傾向が異なる。

この結果から、放射（縦断）道路である東北道と、環状（横断）道路である北関東道の交通量変化のタイミングは同調しており、交通ネットワークとして機能していることがわかる。また、震災影響による交通流の大きな変動は4月中に終わり、5月以降は増減量の変動がほとんど無いことから、交通が安定していると評価できる。

6.3.1.3 首都高速道路における大型車交通量変化

首都高における大型車の交通量の変化について、3月14日からの1週間と、首都圏高速道路の交通流が安定した4月18日から6月17日の平均の状況を図6.9、6.10に示す。3月14日の週においては全線において影響が出ていたが、4月18日以降を見ると、増減区間が減り、増減している箇所も大部分が震災と関連が少ないと考えられる路線のため、首都高の震災による影響は期間的、空間的に限定されたものである。ただし、東北道と接続している川口線など一部首都圏高速と連動が見られる区間や期間も存在している。

6.3.2 大型車の OD 交通量

6.3.2.1 首都圏高速道路における大型車の OD 変化

首都圏エリアに起点、終点がある大型車について、前年と比較した総台数の変化量を、図6.11に示す。大型車の総台数は4月中旬まで前年より低い水準であったが、無料通行している緊急車両等（救援物資輸送車両や維持管理車両を含む車両を呼称）は、震災直後から前年水準を上回っている。また4月18日の週に緊急車両等は減少したが、大型車

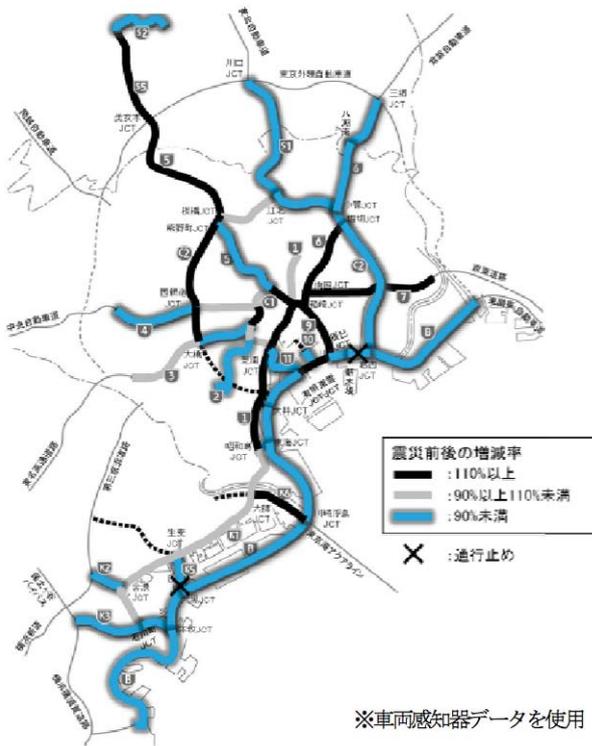


図 6.9 首都高の交通量増減 (3/14 ~ 18)

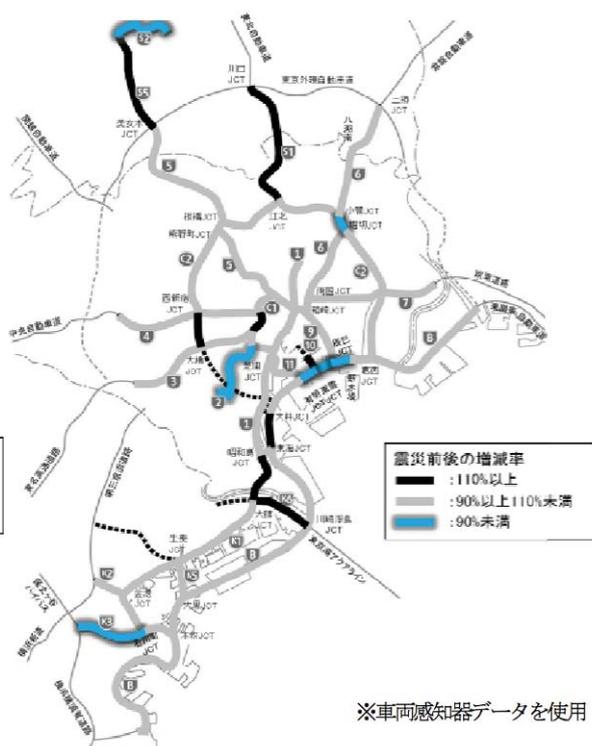


図 6.10 首都高の交通量増減 (4/18 ~ 6/17)

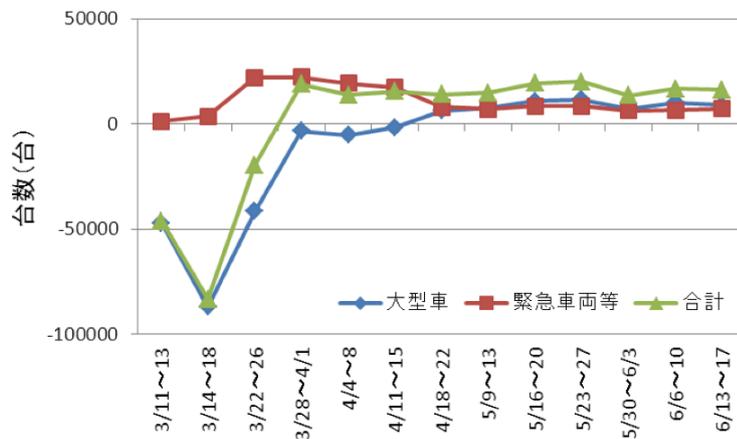


図 6.11 首都圏エリアにおける総台数の変化量

が増加したことで、結果的に両者の和である総台数はあまり変化しなかった。

なお、増加量が多かったエリアは、本研究で対象とした首都圏エリア外を起終点としたものが多く、特に東北地方に起終点を持つ台数が増加する。また、各路線に関しても、東北地方に近い地域での増加量が多い傾向がみられた。

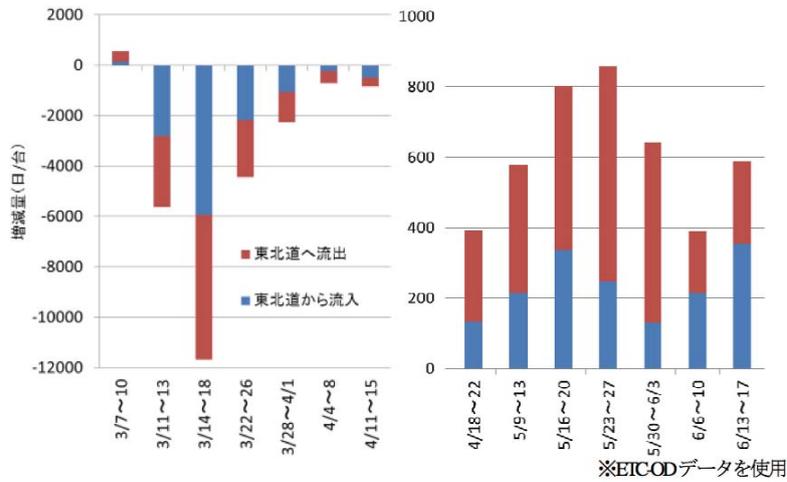


図 6.12 首都高における東北道の出入り交通量

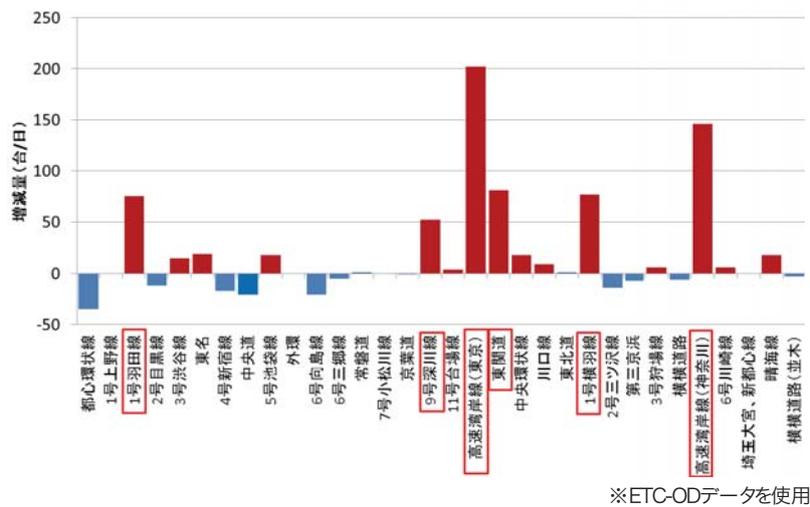


図 6.13 首都高における東北道出入り交通量の目的地別増減量

6.3.2.2 首都高速道路における大型車の OD 変化

首都高の大型車について、首都圏高速道路と連動していた東北道に着目して OD 変化をまとめた結果を図 6.12 に示す。東北道出入り交通量は、震災直後から大幅に減少しており、3月22日の週から増加傾向に転じ、4月18日の週から前年水準を上回った。ここで、4月18日から6月17日までの7週間を平均した目的地別の増減量を図 6.13 に示す。これより、首都高における東北道の出入り交通量について、震災前より大きく増加した目的地は、高速湾岸線など、全て湾岸地域の路線であった。

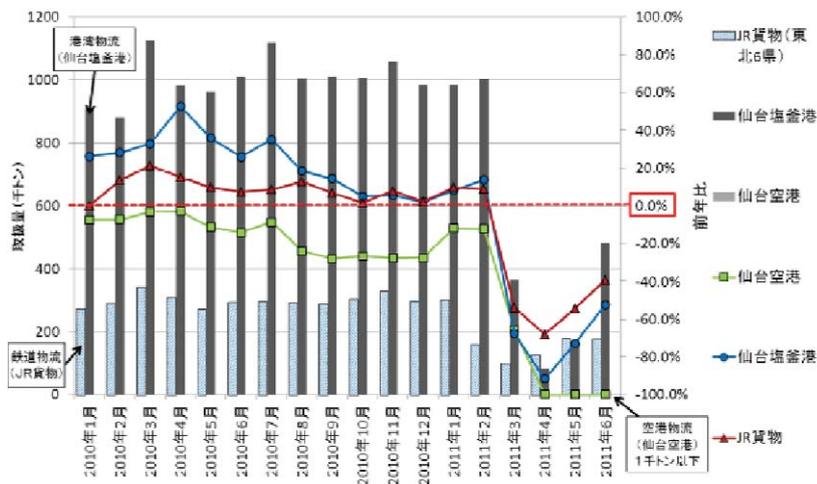


図 6.14 東北地方における貨物量 [7]

6.3.3 本章のまとめ

震災後、首都圏高速道路の大型車は、4月以降、平均交通量で約2割、平均トリップ長で約1割増加している。また、各路線の交通流変化のタイミングは、震災後1週間（3月14日の週）で、関越道が増加し、他路線は大幅減少、震災後2週間（3月22日の週）では、関越道以外の全ての路線で増加、以降増加し続けて4月初旬に増加量（率）が最大となり、震災後6週間（4月18日の週）に減少し始めるが、以降は安定して増加する傾向であった。

なお首都高速道路については、東北道接続部や、港湾と関連する湾岸地域など限定的な部分で影響がみられた。

6.4 大型車交通流変化の原因分析と考察

6.4.1 他交通機関における物流への震災影響

6.4.1.1 震災の東北地方、関東の物流への影響

東北地方における他交通機関の貨物量に対する震災影響を、図 6.14 に示す。全ての交通機関で震災による影響があるが、貨物量は、港湾、鉄道、航空の順に大きく、特に、港湾物流の影響が大きい。

6.4.1.2 港湾物流

東北地方における太平洋側の港湾施設が被災したことに伴い、被災地を起終点とする物資、特に緊急支援物資ではない通常貨物については、周辺の港湾へ迂回した。

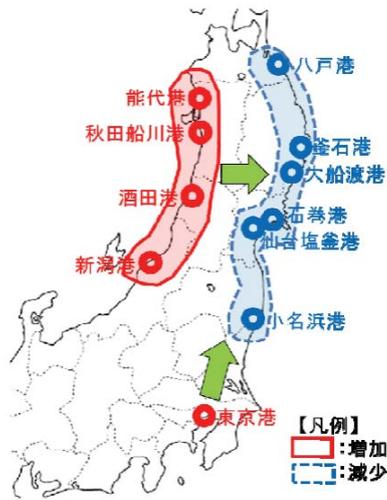


図 6.15 被災港湾と代替港湾の位置関係

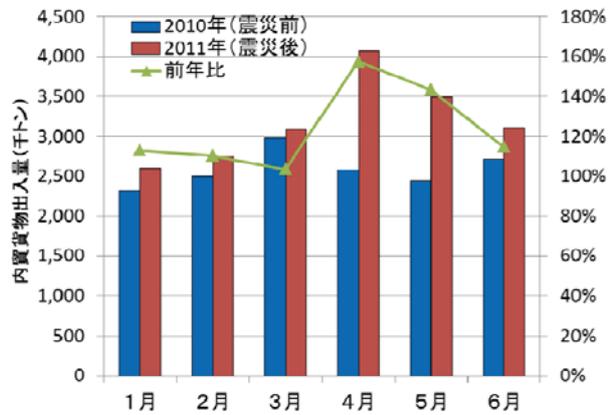


図 6.16 東京港における貨物量（内貿） [8]

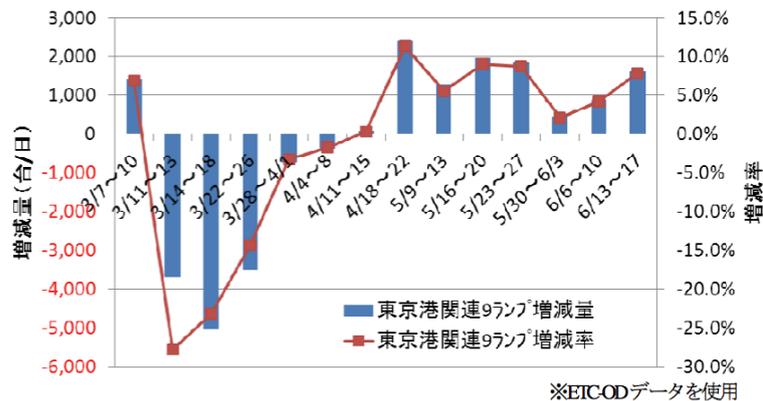


図 6.17 東京港関連9ランプの大型車増減量

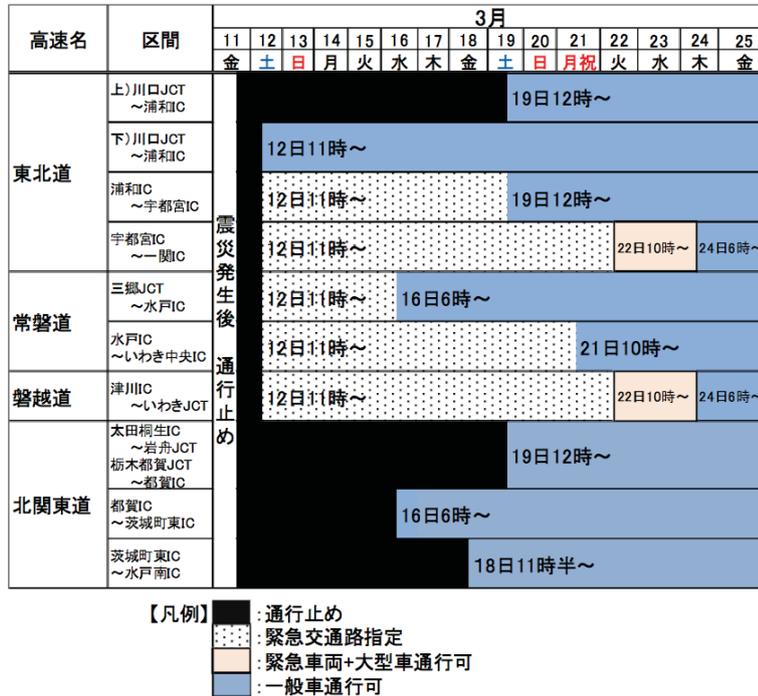
その結果、東北地方の日本海側や新潟、東京の港湾などが代替となり、代替港湾での貨物量が増加した。なお、被災港湾、代替港湾の位置を図 6.15、本研究の対象範囲で震災影響の大きかった東京港の貨物量を図 6.16 に示す。東京港の貨物量は、震災 1 か月後の 4 月に大幅に増加し、5、6 月も前年水準より増加している。

代替港湾の貨物量は、被災地に近い東北地方日本海側などは、3 月中という早い段階で増加していたが、今回の震災時における東京港のように、被災地から遠い港湾に関しては、4 月に入ってからと、一定期間遅延して増加する傾向がみられた。

6.4.1.3 港湾物流の大型車交通流に対する影響

東京港における貨物量の増加分が高速道路の大型車交通量にどのような影響があるか、首都高における東京港関連の対象 9 ランプ（高速湾岸線の有明、臨海副都心、大井、大井

表 6.4 首都圏エリアにおける高速道路規制状況



南, 1号羽田線の芝浦, 勝島, 鈴ヶ森, 平和島, 11号台場線の台場) について, ETC 使用の「大型車」の増減量を図 6.17 に示す. 増減量は, 東京港の貨物量が増加する 4~6 月にかけて増加しており, 4 月後半に最大で約 2,000 台/日 (約 10%) の増加がみられた. これらは本来東北地方が起終点の貨物であるため, 代替港湾から東北地方 (遠距離) へ陸送することにより, 首都圏エリアの交通量, トリップ長が増加すると考えられる.

なお, ここで示した「大型車」は, 車両感知器上の大型車とは異なり, 首都高料金上の大型車を表している.

また, 6.3.2.2 で述べた東北道出入り交通量が湾岸地域のみ増加しているのも, 東北地方における港湾の被災に伴う首都圏港湾の代替を裏付けると考えられる.

6.4.2 高速道路の交通規制状況

主要な高速道路の交通規制を時系列で表 6.4 に示す. 今回の震災後に実施された交通規制では, 被災直後の通行止めから, 緊急車両のみ通行可能な緊急交通路指定, 東北道などはそれに加えて大型車のみ通行可能な期間を経て, 全車種通行可能となった.

なお, 3月22日に首都圏エリア全域で大型車は通行可能となったことから, 3月22日以降, 全域で交通量が増加したと考えられる.

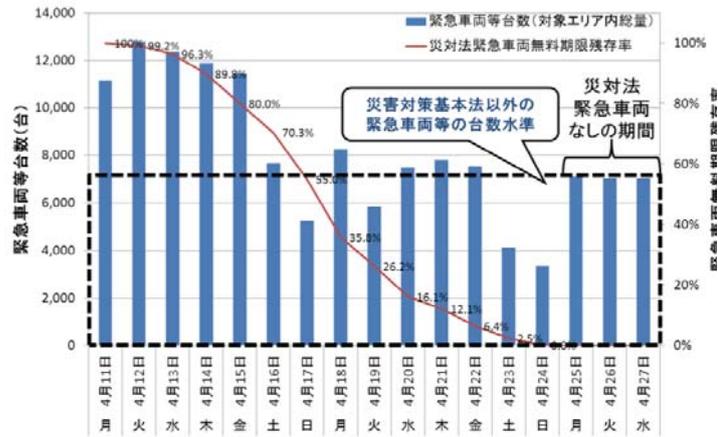


図 6.18 緊急車両無料期限と対象エリア内緊急車両等総数 [9]

6.4.3 緊急車両の無料化措置

東日本大震災後、6.4.2 で述べたように東北道などで災害応急対策の的確かつ円滑な実施を目的として、災害対策基本法（以下、災害対策基本法）に基づき緊急交通路指定がなされた。この期間中は、緊急車両は緊急車両確認標章（以下、標章）が無いと通行不可であり、標章は配布終了した4月24日までに16万3,208枚が配布された。災害対策基本法の緊急車両は緊急輸送、施設等復旧などを目的とした車両で、発行日から1か月間の無料通行が可能であるため、標章配布を開始した3月12日から、4月24日に有効期限が切れるまでの間、緊急車両等が増加する状況であった。

災害対策基本法の緊急車両について、標章の交付実績から算出した無料期限残存率と対象エリア内における緊急車両等の総数を図6.18に示す。緊急車両等の総数の減少と残存率は同様の傾向であり、4月18日以降は、災害対策基本法の緊急車両が存在しない期間である4月25日以降と同水準となっていることから、災害対策基本法の緊急車両がほとんど存在しないと考えられる。よって、災害対策基本法の緊急車両が通行していた区間においては、4月18日以降に交通量が減少すると考えられる。

6.4.4 燃料供給状況

東日本大震災後に東北地方や関東地方で燃料不足が発生した。これは東日本地域に立地する製油所や油槽所が被災したことに伴う問題だが、公表されている定量的なデータは、内閣府が発表した東北地方の石油製品出荷量、ガソリンスタンドの稼働状況程度である。石油製品出荷量は、3月下旬に前年水準の出荷量まで増加しているが、この時期に燃料不足は解消しなかった。震災後の需要が前年需要の7割程度、供給量のデータが無い期間（3月12～17日）を3月18日と同等と仮定すると、需要が供給を上回る期間は不足量が

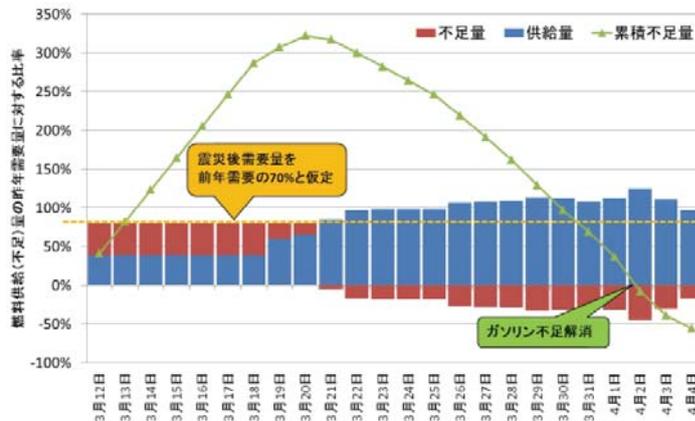


図 6.19 緊急車両無料期限と対象エリア内緊急車両等総数 [10]



図 6.20 首都圏エリアの交通流変化

累積，供給が需要を上回ると不足量の累積が減っていき，燃料不足解消に至る状況であったと考えられる．これを図 6.19 にイメージとして示す．

6.4.5 本章のまとめ

東北地方における他交通機関の被災に伴い，自動車による代替輸送が実施された結果，首都圏エリア全体の大型車交通量，平均トリップ長が増加したと考えられる．その中でも貨物量が多い港湾の被災の影響は，大型車交通流に与える影響が大きい．

また，大型車交通流の時系列変化の原因としては，3月22日に高速道路の交通規制が全域で解除されたことにより交通量が増加し，同時期から4月初旬にかけて関東，東北地方の燃料不足が解消することにより，交通量は増加し続け，4月18日に災対法の緊急車両無料化措置が期限切れとなることに伴い減少し始め，以後安定したと考えられる．

表 6.5 震災後の期間の定義

日付	道路開通状況	燃料供給	緊急車両	緊急車両確保標準	定義した期間	期間区分の考え方
3月 11日 (金)					衝撃期	人命救助の境界点(3日)
12日 (土)	緊急交通路指定開始			交付開始		
13日 (日)	指定中(東北道等)	燃料不足期間				
3月 14日 (月) ~	東北道開通(24日全線)			交付終了(24日)	過渡期	過渡期1 東北道全線開通まで
22日 (火) ~	常磐道開通(4月1日全線)					過渡期2 燃料不足解消まで
28日 (月) ~						過渡期3 緊急車両無料期間終了まで
4月 4日 (月) ~				期間終了(~24日)	復興期	以降、交通流変化が安定
11日 (月) ~						
18日 (月) ~						
5月						
6月 20日 (月) ~	東北地方高速無料化開始				(対象期間外)	

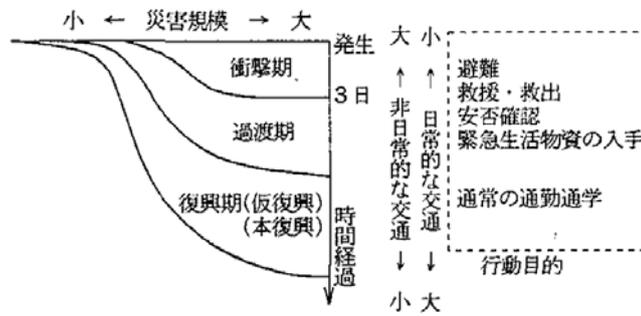


図 6.21 時系列的な交通行動の位置づけ

6.5 結論

本研究では、震災後の大型車交通流について、交通流変化の場所、量、タイミングを把握した。その結果を図 6.20 に時系列でまとめる。震災直後に日本海側へ迂回していた交通は、交通規制の解除により主要経路が東北道に移行する。交通流が安定する時期についても、東北道を中心に交通量が増加しており、首都圏中心部に近い地域では、主要な放射道路である常磐道、東北道、関越道、全ての交通量が増加している。

なお、東北道における大型車の増加は他路線と比べて顕著（4月以降は常時平均 20% 以上増）であった。また、他の高速道路と交通量変化が連動していたことから、高速道路がネットワークとして機能していた。

また、首都高については、震災直後には全線的な震災の影響があったものの、交通流が安定する時期でも、東北道接続部や港湾に関連する湾岸地域など特定の場所でのみ影響があった。

本研究の対象期間について、その特徴で分類してみると、表 6.5 のように分類出来る。これは、阪神・淡路大震災時に本間ら [11] によって、大規模災害時の時系列的な交通行動を、3段階（衝撃期、過渡期、復興期）に分けた定義（図 6.21）と、本研究における大型

車交通流変化の時系列変化の状況に加え、避難者数、支援物資到着実績、学校再開状況などを考慮して分類したものである。これより、東日本大震災では4月下旬に復興段階に移行したと考えられる。

なお、今後の課題としては、交通流変化の原因の考察について、他の関連指標との比較や、単純に量の増減で比較しない方法での考察を深めるほか、以降の震災に有意義な知見と成り得る他データについても検討を進めていきたい。

謝辞：情報提供やご助言を頂いた東北大学桑原教授、(株)高速道路総合技術研究所西川氏、東日本高速道路(株)本間氏、首都高速道路(株)交通調査グループ各位に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 国土交通省東北地方整備局道路部道路計画第一課：「道路被害と復旧」(くしの歯作戦), 交通工学, Vol.46, No.5, 2011, 11, pp.29-32.
- [2] 板倉義尚：東日本大震災による高速道路の被災状況と復旧について, 交通工学, Vol.46, No.5, 2011, 11, pp.46-50.
- [3] 中川大, 小林寛：大都市における震災時の交通対応策に関する研究阪神淡路大震災の教訓と現状の課題, 土木学会論文集 D, Vol.62, No.1, 2006.3, pp.187-206.
- [4] 金鐘旻, 飯田克弘, 森康男：阪神・淡路大震災後の交通量変化の分析と高速道路網の整備計画, 土木計画学研究委員会, 阪神・淡路大震災調査研究論文, 1997, pp.223-230.
- [5] 田中真一郎, 米川英雄：高速道路の交通量にみる震災復旧状況, 土木計画学研究委員会, 阪神・淡路大震災調査研究論文, 1997, pp.255-258.
- [6] 清水将之：東日本大震災後の広域的な迂回交通について, 交通工学, Vol.46, No.5, 2011.11, pp37-41.
- [7] 国土交通量東北運輸局HP：東北地方における運輸の動き.
- [8] 東京都港湾局HP：港湾調査月報,2011.1月～6月分.
- [9] 警察庁HP：東日本大震災に伴う交通規制,2011.9.29.
- [10] 内閣府被災者支援チームHP：燃料の供給状況.
- [11] 本間正勝, 木戸伴雄, 齋藤威：大規模災害時に特有な交通行動実態に関する基礎的研究 阪神・淡路大震災を例として, 土木計画学研究・論文集, No.20 (2), 1996.11.