



地震後のガソリンの供給停滞について

2015年7月11日 名古屋大学研究交流会

防災科学技術研究所 佐伯琢磨
京都大学 清野純史



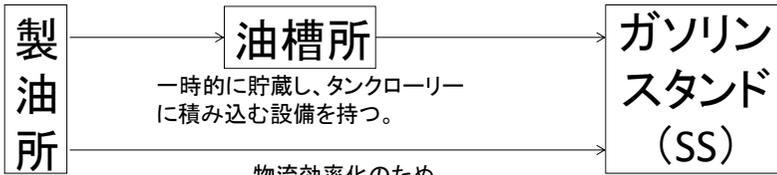
研究の目的

2011年3月に発生した東日本大震災は、かつてない広い範囲で甚大な被害をもたらした。その中で、注目すべき事象として、ガソリンなど災害からの復旧・復興に欠かせない物資の供給が停滞したことが挙げられる。

- (a)供給元の石油会社のタンク等が被害を受けたことはもちろん、
- (b)供給ルートである道路・鉄道などが寸断されたことも加わり、東北地方の被災地のみならず、首都圏においても、ガソリンなどの供給停滞が生じた。

本研究では、(a)(b)の両面について、システムダイナミクスの問題解決手法などを応用し、課題やボトルネックの所在を明らかにするためにモデル化を試みる。さらに今後発生が予想される南海トラフ巨大地震などの広域災害において、懸念される同種の問題発生軽減を目的とする。

ガソリン等の輸送について



ガソリンなどの石油製品を生産。

一時的に貯蔵し、タンクローリーに積み込む設備を持つ。

物流効率化のため、油槽所を経由しない場合も近年増えてきた。

製油所の所在地と原油処理能力(2011年1月現在)

常圧蒸留装置能力
合計451万6,424バレル/日
(製油所数:27カ所)



<出典> 石油連盟ホームページ

<http://www.paj.gr.jp/statis/statis/data/08/paj-8精製能力一覧201101up.xls>

製油所の被害



わが国の27製油所のうち、地震により6製油所が稼働停止した。

| | | |
|--------------|---|---------------------------------------------------------------------|
| 極東石油千葉製油所 | } | 2011年3月21日までに生産を再開 |
| 東燃ゼネラル石油川崎工場 | | |
| JXエネルギー根岸製油所 | | |
| 鹿島石油鹿島製油所 | → | 2011年6月上旬に生産を再開 |
| JXエネルギー仙台製油所 | → | 2012年3月の復旧を目標に作業中 |
| コスモ石油千葉製油所 | → | 震災時の火災事故について 事故調査委員会の報告結果等を踏まえ 再発防止策を作成するなど 復旧(時期未定)に向け作業中 |

資源エネルギー庁2011/8/24回答

油槽所の被害



太平洋側の油槽所(特に塩釜油槽所)の早期の機能回復が必要。

震災により停止した塩釜油槽所は、東北地方域内のガソリン等の主要拠点であり、早期の機能回復が必要。

(このほか気仙沼油槽所、八戸油槽所が被害を受けた。)

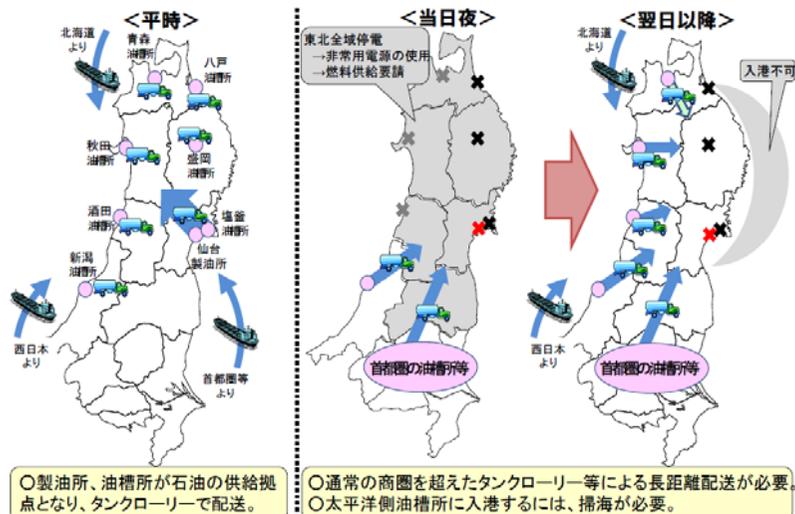
2011年3月16日、出光・塩釜油槽所が在庫出荷を開始。

今後、タンカーが着積可能となるよう、早期の近隣海域の掃海・海上保安庁による検査が必要。

資源エネルギー庁2011/3/16資料より

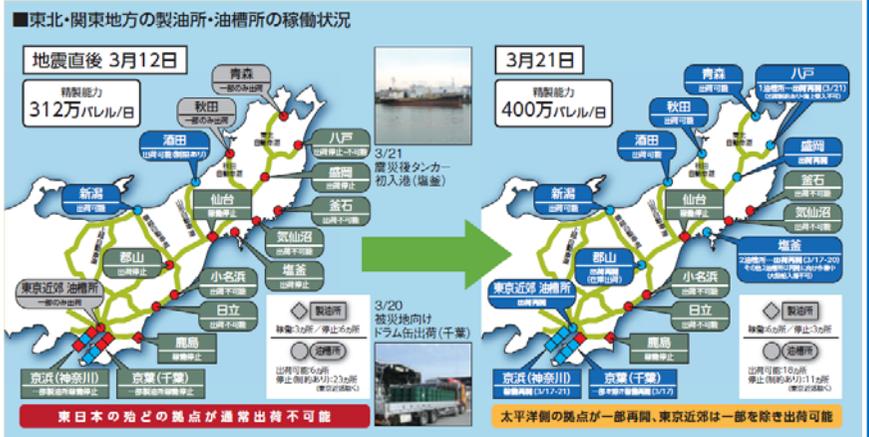
※ちなみに、塩釜油槽所は、東北地方の製油所がない出光興産、昭和シェル石油、エクソンモービル、コスモ石油(+東西オイルターミナル)の油槽所で構成されている。

東日本大震災発災前後の供給ルート



資源エネルギー庁: 2011/11/15資料より

地震直後(3月12日)と3月21日の稼働状況

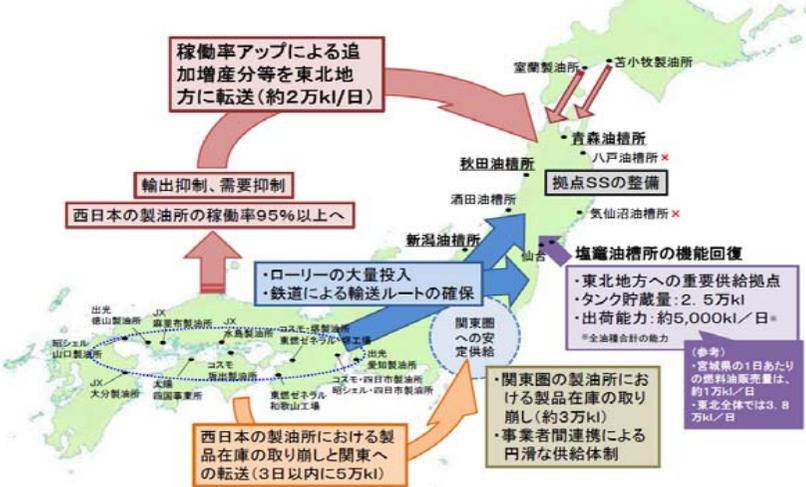


石油連盟: 今日の石油産業2012より

被災地におけるガソリン等の供給確保のルート図



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
—緊急の供給確保措置と拡大輸送ルートの設定—



供給確保に向けた施策(2011年3月17日時点)



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
—緊急の供給確保措置と拡大輸送ルートの設定—

東北地方(被災地)に向け着実な供給

| | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>タンクローリーを抜本的に追加投入(300台増)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○現在、東北地方でガソリン等の供給に携わるローリーは、約1,100台 ○このうち、油槽所からSSにガソリン等を供給するローリーは、約400台 ○域内供給の最大のボトルネックは、特にこの油槽所からSSにガソリン等を供給するローリーの不足 ○石油各社が新たに関西圏等の域外からローリーを大幅に追加投入(300台追加)するよう要請し、700台の供給体制を確保 <p>○鉄道による輸送ルートの確保</p> | <p>西日本の製油所からのガソリン等の東北地方への大量転送</p> <ul style="list-style-type: none"> ○西日本の製油所の稼働率アップ(各製油所とも95%以上の稼働率の達成を目標) ○輸出抑制・需要抑制 ○約2万kl/日のガソリン等を東北地方に転送 ○北海道の2製油所からの供給を加え、震災前の東北地方の需要量に相当する約3.8万kl/日のガソリン等の供給を確保 | <p>太平洋側の油槽所(塩竈油槽所)の早期の機能回復</p> <ul style="list-style-type: none"> ○震災により停止した塩竈油槽所は、東北地方域内へのガソリン等の主要拠点であり、早期の機能回復が必要 ○3月16日、出光・塩竈油槽所が在庫出荷を開始 ○今後、タンカーが着ock可能となるよう、早期の近隣海域の掃海・海上保安庁による検査が必要 <p>灯油供給対策 ドラム缶による大量陸送による供給 等</p> | <p>拠点SSの指定と重点供給</p> <ul style="list-style-type: none"> ○以下の観点から、被災地域において特に重要な拠点SSを指定し、重点的にガソリン等を供給。 ・消防、警察等の緊急車両の重要供給地点 ・救援物資等の物流維持のために重要な供給地点 ・避難者の生活・生活者支援のために特に重要な供給地点 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

関東圏に向けガソリン・軽油等の安定供給確保

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>○来週後半頃に、地震により停止中の3製油所が回復し、供給不足はほぼ解消するため、それ以前の今後、数日間が重要。</p> <p>○概ね3日以内に、西日本の製油所の製品在庫のうち、5万klを関東圏に転送し、市場に投入することを石油各社に指示</p> | <p>○稼働中の関東圏の製油所の在庫の取り崩し(約3万kl)</p> <p>○事業者間連携による円滑な供給体制(他社へのローリーの提供等)</p> <p>拠点SSの指定と重点供給(上記と同様)</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|

資源エネルギー庁: 2011/3/17資料より

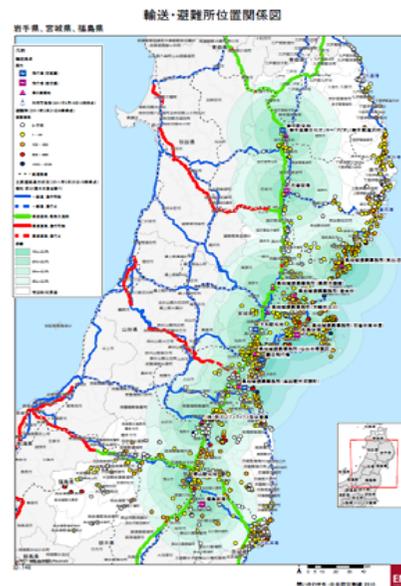
石油の民間備蓄義務日数の引き下げ



2011年3月21日には、石油事業者による石油製品の在庫の取り崩し、事業者間・地域間の相互融通を円滑化することにより、わが国全体としての石油の効率的な供給を確保するため、石油の民間備蓄水準の追加的な大幅引き下げがなされ、これまでの引き下げと合わせ、合計25日分を引き下げとなり、民間備蓄義務日数は、70日から45日となった。

資源エネルギー庁: 2011/3/21資料より

道路網の復旧状況



主要道路通行状況(2011年3月20日10時時点)

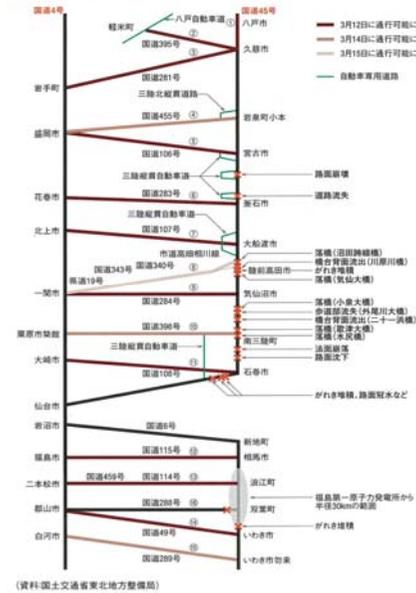
種別、区分(国土交通省調べ)

- 一般道、通行可能
- 一般道、通行止
- 高速道路、緊急交通路
- 高速道路、通行可能
- 高速道路、通行止

東北地方太平洋沖地震
緊急地図作成チーム(EMT)
2011/3/21資料より

道路の啓開(くしの歯作戦)

■「くしの歯作戦」の16ルート



東北地方の沿岸部を通る国道45号が津波で寸断されたため、国道4号から国道45号に至るルートを救援ルートとして確保する「啓開」が先決と判断。「くしの歯」にあたる部分は、3月12～15日に通行可能となった。

日経コンストラクション編
:東日本大震災の教訓、土木編
「インフラ被害の全貌」より



鉄道による輸送ルートの確保について

鉄道による輸送ルートの確保については、東北本線の復旧に伴い、4月18日以降郡山への出荷が約2600kl/日に増量、4月21日以降盛岡への出荷も約1600kl/日に増量予定となった。

(資源エネルギー庁2011/4/18資料より)



ある国会議員の発言

ガソリン等の供給が滞ったのは、道路の被害よりも、むしろ緊急輸送路でガソリン・物資が運べない状況がしばらく続いた政府対応のせい?

「一番初めに感じたのは物資が届かなかった。朝晩の対策会議に毎日出て困ったのは、物資で、特に軽油・重油・ガソリンが入ってこなかったこと。これは是非今後の反省点にして頂きたいが、翌日車が入った時にガソリンスタンドが全部しまっていて、オーナーに聞いたら『政府が緊急車両以外販売するなという指示が出ています』と。で、給油待ちの車の列が出来て救急車両が通れなかった。それから私は**高速道路で帰れたが、これも緊急車両以外は乗せないという事になりタンクローリーも物資輸送も乗れなくて、現場は重機の油がなかった。**」
「ただ実際へりで運べる量はごくわずかで、ガソリンも運べない。だから本来は動いていた東北自動車道を使って物資をドンドン送ってればこんな事にはならなかった。でも、それを何故か緊急車両だけで高速はほとんど車が走ってない状態を誰も気づいてないので、**官邸に申し入れてタンクローリーと物資輸送の車は出してほしいとお願いして、一週間経ってようやく走れるようになった。**」

自民・小野寺五典議員(宮城6区選出)の2011年4月9日放送のBS朝日「激論!クロスファイア」での発言より



タンクローリー等の通行について

警察庁の資料によると、緊急交通路である東北自動車道では、地震直後、物資輸送の標章の交付を受けた車両がガソリン不足の懸念から運行していないことが判明(3月16日)

→3月16日、タンクローリーには高速入口で標章交付同日以降、関係方面に被災地のガソリン確保を要請



ここまでのまとめ



東日本大震災によるガソリンの供給停滞問題について、(a)供給元の被害、(b)供給ルートの被害をまとめた。
2011年4月初旬以降には、問題は沈静化していったようである。

この後は、(a)(b)の両面について、システムダイナミクスの問題解決手法などを応用し、課題やボトルネックの所在をさらに明らかにするためモデル化を試みる。

モデル化に向けたポイントの整理



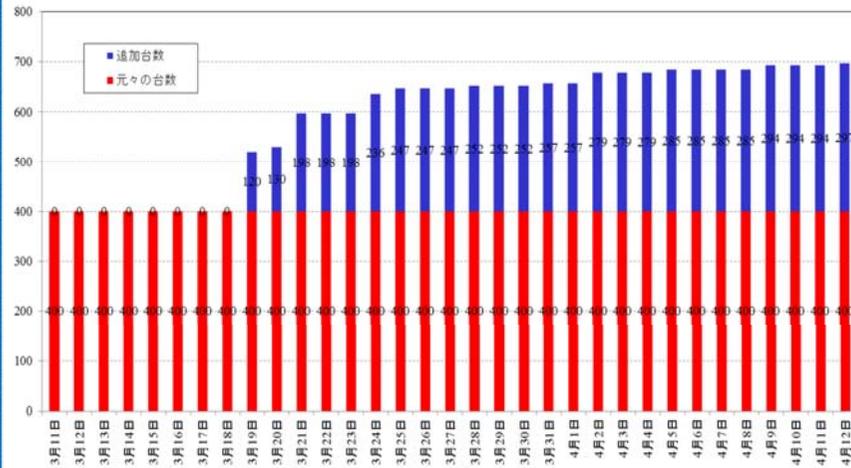
東北と関東に供給されたが、まず東北に焦点をあてる。

1. JXエネルギー仙台製油所のストップ(2012年3月復旧予定)。
2. 西日本から追加増産分(2万kl/日)を東北地方に転送。北海道2製油所からの供給分も合わせ、3月21日までに東北地方の需要量3.8万kl/日を確保。
3. 3月16日より塩竈油槽所の出荷開始、機能回復は21日。八戸油槽所も在庫などから出荷。
4. 油槽所からSSまでのタンクローリーが不足。
→これが最大のボトルネックだったといわれている。
→発災時400台だったのを300台追加して700台体制にする。

タンクローリー台数の推移



油槽所からSSまでのタンクローリーが不足。
→発災時400台だったのを300台追加して700台体制にする。



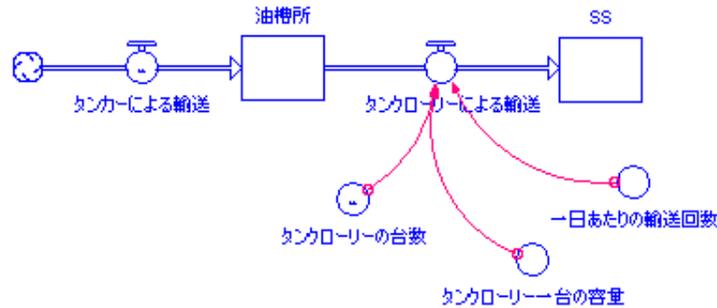
モデル化にあたっての仮定



1. 西日本と北海道からの供給分は、3月21日までに東北地方の需要量3.8万kl/日を確保したとして、3月11日にはその50%が供給され、その後直線的に推移し、3月21日に100%(3.8万kl/日)になったと仮定する。
2. 油槽所には、発災直後1日分の在庫があったものとする。
3. 油槽所からSSまでのタンクローリーの台数は、先のグラフに従う。
4. タンクローリーの容量は、1台20klとする。



STELLAによるモデル化



21

STELLAによる方程式の記述



```

STELLA 9.1.4 - test120326(2回).STM
File Edit View Equation Run ヘルプ(H)

[ ] SS(t) = SS(t - dt) + (タンクローリーによる輸送) * dt
INIT SS = 0
INFLOWS:
  [ ] タンクローリーによる輸送 = タンクローリー台の容量 * 一日あたりの輸送回数 * タンクローリーの台数
  [ ] 油槽所(t) = 油槽所(t - dt) + (タンカーによる輸送 - タンクローリーによる輸送) * dt
INIT 油槽所 = 38000
INFLOWS:
  [ ] タンカーによる輸送 = GRAPH(TIME)
    (0.00, 19000), (1.00, 20500), (2.00, 22000), (3.00, 24700), (4.00, 26600), (5.00, 28500), (6.00, 30400),
    (7.00, 32300), (8.00, 34200), (9.00, 36100), (10.0, 38000), (11.0, 38000), (12.0, 38000), (13.0, 38000),
    (14.0, 38000), (15.0, 38000), (16.0, 38000), (17.0, 38000), (18.0, 38000), (19.0, 38000), (20.0, 38000),
    (21.0, 38000), (22.0, 38000), (23.0, 38000), (24.0, 38000), (25.0, 38000), (26.0, 38000), (27.0, 38000),
    (28.0, 38000), (29.0, 38000), (30.0, 38000), (31.0, 38000), (32.0, 38000)
OUTFLOWS:
  [ ] タンクローリーによる輸送 = タンクローリー台の容量 * 一日あたりの輸送回数 * タンクローリーの台数
  [ ] タンクローリー台の容量 = 20
  [ ] 一日あたりの輸送回数 = 2
  [ ] タンクローリーの台数 = GRAPH(TIME)
    (0.00, 400), (1.00, 400), (2.00, 400), (3.00, 400), (4.00, 400), (5.00, 400), (6.00, 400), (7.00, 400), (8.00, 520),
    (9.00, 530), (10.0, 598), (11.0, 598), (12.0, 598), (13.0, 695), (14.0, 647), (15.0, 647), (16.0, 647), (17.0, 652),
    (18.0, 652), (19.0, 652), (20.0, 657), (21.0, 657), (22.0, 679), (23.0, 679), (24.0, 679), (25.0, 685), (26.0, 685),
    (27.0, 685), (28.0, 685), (29.0, 694), (30.0, 694), (31.0, 694), (32.0, 697)
  
```

→SSの初期値
:0
→油槽所の初期値
:38,000
→タンカーのデータ
:10日目で3.8万kl
まで回復

→タンクローリーの
1日あたりの輸送回数を
2回の場合と
3回の場合で計算した。

22

2012年7月5日 JX仙台製油所訪問



モデル化にあたり、不明点を解消する目的で、製油所にヒアリングを行った。

<主なヒアリング項目>

1. JX仙台製油所の復旧状況(2012年3月復旧を目標に作業中であった)。
2. 発災時に、製油所や油槽所にあった在庫量はどれくらいだったか。
3. 鉄道による石油の輸送について、全体像も含めて知りたい。
4. 外国から輸入されるのは、すべて原油か？
石油精製はすべて国内で行っているのか？
5. SSの改良化や防災拠点化について。(内閣府より)
6. 平時の業務と震災時における業務の違い(作業手順、稼働時間など)

23

JX仙台製油所の復旧状況 (2012年3月復旧を目標に作業中であった)



- ・4名死亡。構内2.5~3.5m冠水。3/13配管から出火。
- ・3/18からドラム缶出荷。(3/16朝、村井知事から要請あり)
- ・3/21から仮設足場ローリーラック出荷。
- ・東地区に仮設ローリー積場建設、5/3から出荷。
朝霞油槽所、松本油槽所から移設(9車同時積み可)
- ・5/8第3棧橋受入開始。(9/23第1棧橋、11/2第2,4,6,7棧橋順次受入開始)
→これ以降、首都圏からタンカーでガソリンを運び、仙台製油所が油槽所の
機能を果たして、ローリーに積み込んでSS等に配送していった。
- ・製油装置:2012/1/14試運転開始。

24

JX仙台製油所の復旧状況 〈東地区仮設ローリー積場建設:5/3から出荷開始〉



モデル化に向けて、得られた知見など

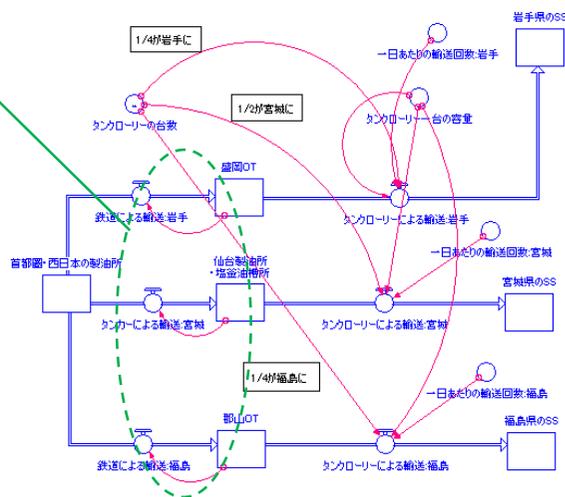


- ・宮城県内は、首都圏からタンカーで仙台製油所と塩釜油槽所に運び、そこからタンクローリー輸送
- ・岩手は、首都圏から鉄道で盛岡まで運び、そこからタンクローリー輸送
- ・福島は、首都圏から鉄道で郡山まで運び、そこからタンクローリー輸送という図式が成り立ちそう。
- ・通常時のタンクローリーの運送範囲は、製油所・油槽所から100~150km圏内で、3回転(往復)程度
- ・タンクローリーの回転数は、タンクローリーの台数よりむしろ、製油所・油槽所内のローリー積場の数が多いほど増える。
→JXでは2011年11月の本設積場使用開始から回転数が大きく増えた。
- ・油槽所を経由せず、製油所から直接SSに輸送する割合は？
→仙台製油所においては、約6割がローリーでSS直送。
- ・A重油は、軽油と成分がほとんど変わらないので、代用可能。
→そのことが知られていれば、発災直後のA重油不足は、ある程度解消できていたかもしれない。

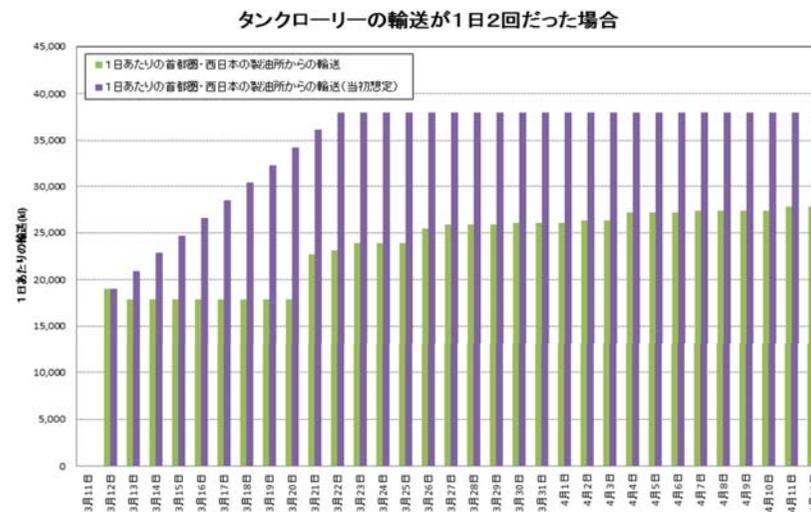
モデル最終版:フロー図



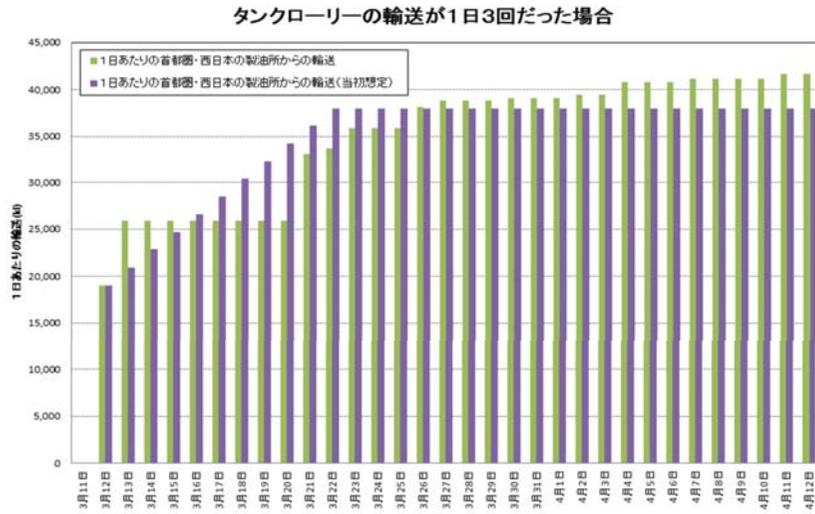
製油所・油槽所でガソリンの滞留が起きないように、入庫を調整するようフィードバックをかけた。



1日あたりのガソリン輸送量(1日2回の場合)



1日あたりのガソリン輸送量(1日3回の場合)



1日あたりのガソリン輸送量:まとめ



- 1日の輸送回数が2回だと、SSまでのタンクローリーの輸送力不足のため、仙台製油所・塩釜油槽所・盛岡OT・郡山OTでガソリンの入庫調整が行われ、首都圏・西日本からのガソリンは、当初設定していたものより少量しか輸送されないことが予想される。
- 一方、1日の輸送回数が3回だと、SSまでのタンクローリーの輸送力が確保されているため、仙台製油所・塩釜油槽所・盛岡OT・郡山OTでのガソリンの入庫調整は行われず、首都圏・西日本からのガソリンは、当初設定していたものとほぼ同量、輸送されることが予想される。
- JX仙台製油所へのヒアリングから、通常時は1日の輸送回数は3回が標準であり、この場合、ガソリンの入庫調整は行われずにSSまで順調に輸送されるシミュレーションの結果と整合している。
- タンクローリーにガソリンを積み込む製油所や油槽所のローリー積場機能が被害を受けると、タンクローリーが1日に運送できる回数が少なくなる。JX仙台製油所でもローリー積場機能が回復し始めたのは、2011年5月頃であることから、実際の1日の輸送回数は、しばらくは3回より少なかったものと考えられ、SSへの輸送に支障をきたしていたものと考えられる。

南海トラフ巨大地震への提言に向けて



<ボトルネックとなる要素>

- 製油所や油槽所からSSへとガソリンを運ぶタンクローリーの不足。
- タンクローリーにガソリンを積み込む製油所や油槽所のローリー積場機能が被害を受けると、タンクローリーが1日に運送できる回転数が少なくなる。
- 需要を増大させるパニック買いを防ぐような広報が必要。

<東北地方と西日本地方の相違点>

| | 東日本大震災における東北地方 | 南海トラフ巨大地震における西日本地方 |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 抽出したボトルネックと構築したモデルから主に供給元について言える点 | 地震や津波による被災のためタンクローリーが不足したこと、および東北地方には製油所がJX仙台的1ヶ所しかなく、ここがタンクローリーへの積場機能を含めて被害を受けたため、他地域からの長距離輸送に頼らざるを得なかった。 | 西日本地方には、瀬戸内海を中心に、製油所が多数存在し、内閣府の南海トラフ巨大地震の被害想定においても、瀬戸内海は太平洋沿岸に比べ、津波高は相対的に小さいと考えられるので、仮に1ヶ所が被災しても、他でバックアップできると考えられる。タンクローリーの確保と製油所・油槽所で積場機能が被災しないようにすることが望まれる。 |
| 供給ルートについて言える点 | 海岸沿いの国道45号と6号が被害を受けたが、内陸を通る4号と東北自動車道が無事だったため、そこから「くしの歯作戦」が展開できた。 | 東北地方のように道路が二重化されていない。特に、紀伊半島先端部や、四国東南部・西南部など高速道路が整備されていないところへの輸送が課題である。 |

論文の紹介と今後の方向性



今回の内容は、以下の論文にまとめられている。

- 佐伯琢磨, 清野純史: 東日本大震災におけるガソリン供給問題に関する検討とシステムダイナミクス・モデルの適用, 日本地震工学会論文集, 第14巻第1号, pp.34-43, 2014.
- Takuma SAEKI and Junji KIYONO: INVESTIGATION OF THE GASOLINE SUPPLY PROBLEM IN THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE BY USING SYSTEM DYNAMICS APPROACH, Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Vol.15, No.3, pp.49-60, 2015.

今後は、右のフローに基づいて、南海トラフ巨大地震の被災地域内の各地域のガソリン供給量の供給支障状況の予測を試みる予定である。

