

ライフラインの途絶が製造拠点に与えた影響評価に関する一考察

Study on Evaluation of Influence by the Lifeline Stopped According to the Earthquake Having Given Business Continuity of the Manufacturing Industry

○望月 智也¹, 若林 亮¹, 広中 良和¹
Tomoya MOCHIZUKI¹, Ryo WAKABAYASHI¹ and Yoshikazu HIRONAKA¹

¹(株)イー・アール・エス
Engineering & Risk Services Corporation

This paper discusses the influence of the stop of electric power, water service, and gas having given corporate activity based on the damage example of the manufacturing industry which the enterprise interrupted according to the 2011 off the pacific coast of Tohoku earthquake.

The damage example used for examination is the Investor Relations information released by the homepage of the company, etc. after an earthquake. And the consequence of having given business continuity of the manufacturing industry is evaluating and examining the exceedance probability of business interruption days, and the probability of occurrence of business interruption based on a regression analysis.

Keywords : *The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Investor Relations Information, Manufacturing Industry, Business Continuity, Regression Analysis*

1. はじめに

地震によるライフラインの途絶は、被災地等の住民生活に支障を及ぼすだけでなく、企業活動に対しても多大な影響を与える。企業活動は我々の社会や経済を支える要であり、今後、よりライフラインの耐震性や供給信頼性を高めていくためには、企業の震災後の復旧や事業継続を念頭に置いた検討も必要不可欠と考える。それには過去の大地震において、ライフラインの途絶が企業活動にどのような影響を与えたかを把握することが重要であるが、その研究事例は市民・住民の生活に視点を置いた研究に比べると少ない。この背景には、性質上守秘すべき事柄の多い企業情報は公開・収集し難いこと、さらに近年は、企業の被害がサプライチェーンや風評被害、震災後の国内外の需要の変化といった間接的な要因に起因する 경우가多く、極めて多面的な調査や検討を要すること等が障害になっていると思われる。しかしながら、2004年10月23日に発生した新潟県中越地震は、半導体工場やサプライチェーンの被害が大きく注目された。その結果、BCM (Business Continuity Management : 事業継続マネジメント) の考え方が急速に浸透し始めたこともあり、地震被害の企業活動への影響に関する調査や研究が増え始めている。それらの調査・研究事例における主な調査アプローチは、アンケート調査と公開情報 (企業の IR 情報や新聞記事等) の収集調査の2つが多く、研究内容としては、被害による操業度の低下率の評価^{1)~3)}、事業中断の実態調査と要因や復旧日数の調査^{4)~9)}、事業中断日数の推定式の提案⁹⁾¹⁰⁾、被災後の企業の回復状況や対応・取組みに関する調査^{11)~15)}、BCP (Business Continuity Plan : 事業継続計画) の策定効果に関する検討¹⁶⁾等と様々である。これらの研究の中で、特にライフラインの途絶が企業に与えた影響を定量的に評価した研究事例としては、梶谷らの研究^{1)~3)}や永田らの研究⁹⁾¹⁰⁾等があるが、これらは2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震以前の研究である。なお、永田⁹⁾は、東北地方太平洋沖地震での企業の被災状況に関する公開情報を収集し、クロス集計表を用いて多面的に事業中断の要因や影響 (企業に対する影響発生率や事業影響日数等) を整理している。また、仲条ら⁹⁾は、東北地方太平洋沖地震での製造

業の被害の実態調査とともに、生産回復までの日数及びサプライチェーンや交通インフラの被害の影響を分析している。

以上のように先行して行われている研究事例があるが、多くは様々な種類の被害全般を扱ったものであり、ライフラインに特化した検討は少ない。そこで本報では、東北地方太平洋沖地震において、ライフラインの途絶で事業中断が発生した被害事例に着目し、このような事例から回帰分析を用いて、ライフライン (電力・上水道・都市ガス) の途絶が企業活動に与えた影響の定量化を試みる。なお、被害事例は幾つかの先行事例にならない、企業のホームページ等で公表されている IR 情報 (IR 情報、お知らせ、トピック、プレスリリース等) から入手することとした。

2. 検討情報

(1) 検討情報の収集条件

検討で対象とした企業の IR 情報は、著者らが収集した 91 拠点と、仲条らの研究⁹⁾で収集された 1,375 拠点のうちライフラインの途絶が事業中断に繋がった 450 拠点の合計 541 拠点の情報 (以降、検討対象データ) である。これらのデータは、事業中断要因がライフラインの途絶であり、かつ、事業の再開日が明記されている製造拠点のものとしている。したがって、データには建物や設備に被害が発生した拠点も含まれているが、それが事業中断の主要因とはなっていない。また、仲条らの研究⁹⁾で収集されたデータには、津波、原子力発電所の被害、計画停電及び原料の調達困難等が原因で事業中断が発生したデータが含まれているが、これらは対象外とした。

なお、IR 情報は基本的には書面であるため、検討対象データは、その書面にある文章から、電力、上水道、都市ガスのどのライフラインが途絶したかを読み取って整理している。また、大括りに「ライフライン」としか説明がない場合については、電力、上水道、都市ガスの全てのライフラインが途絶していたものと判断した。

検討対象データの位置図を図-1に示す。ここで、検討では拠点位置での地震動強度指標が必要になるため、図-1には、国土

技術総合政策研究所が 250m メッシュ単位で推定した計測震度の¹⁾を用いて作成した分布図を重ねている。

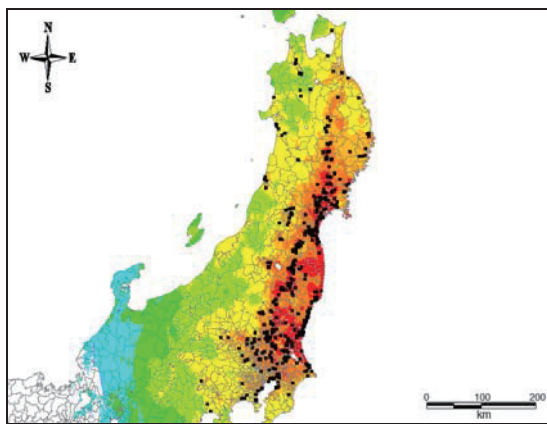


図-1 東北地方太平洋沖地震による震度と
と検討対象データ (図中の■) の分布図

(2) 検討対象データの内訳

検討対象データの内訳として、県別及び産業別の拠点の集計表を表-1 に示す。また、震度別の拠点数とライフライン別の事業中断日数に関するヒストグラムを図-2、図-3 に示す。

表-1 より、検討対象データは宮城県、福島県及び茨城県に集中している。一方、産業別にみると、化学製品、電子部品及び飲食料品の拠点数が上位にある。

表-1 県別及び産業別の拠点数

県	拠点数	産 業	拠点数
青森県	9	石油・石炭製品	4
岩手県	54	化学製品	70
秋田県	16	鉄鋼	10
山形県	23	非鉄金属	24
宮城県	91	金属製品	50
福島県	109	窯業・土石製品	26
茨城県	129	パルプ・紙・木製品	32
千葉県	27	一般機械	29
群馬県	5	精密機械	13
栃木県	52	輸送機械	50
埼玉県	13	電気機械	27
神奈川県	10	電子部品	71
山梨県	1	情報・通信機器	29
静岡県	2	飲食料品	62
		繊維製品	8
		その他の製造工業製品	36
拠点の合計	541	拠点の合計	541

次に、図-2 をみると、事業中断が発生した拠点は、震度 6 弱や震度 5 強の揺れが生じた地域に集中している。この理由として、地震動の大きな震度 7 あるいは震度 6 強の地域では、ライフラインの被害よりも建物や設備の被害が事業中断の主な要因であったこと、東北地方太平洋沖地震では、震度 6 弱や震度 5 強の揺れが広範囲に生じたこと等が考えられる。

また、図-3 より、拠点数の割合の大きさ (相対頻度) を事業中断日数で比較すると、どのライフラインについても、9 日～12 日、17 日～20 日の 2 つの階級で大きくなっている。

また、相対頻度分布の形状を比較すると、電力による影響の分布は、他のライフラインの分布に比べ、事業中断日数が短い方にピークがあると読み取れる。これは、途絶したライフラインの中で、電力の復旧が最も早く、その結果、企業の事業再開も早期に行われた状況が表れた結果と推察される。

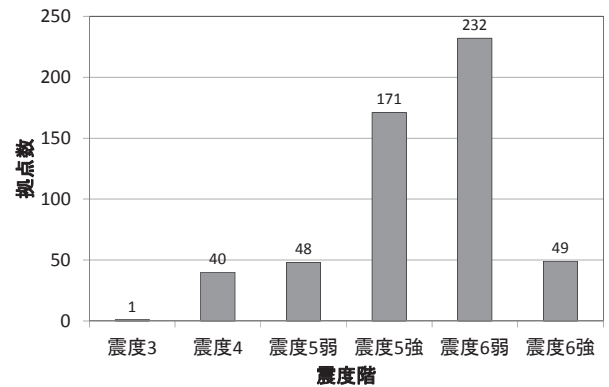


図-2 震度別の拠点数に関するヒストグラム

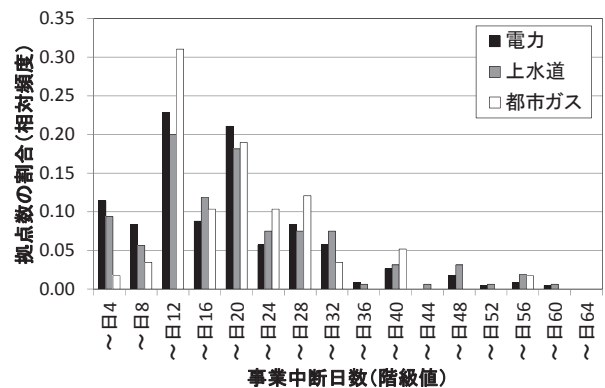


図-3 ライフライン別の事業中断日数
に関するヒストグラム

3. 回帰分析による検討

(1) 回帰分析に用いる標本の定義

検討対象データで構成される標本空間において、電力 E 、上水道 W 及び都市ガス G が途絶しているそれぞれの事象を A_E, A_W, A_G とする。各事象は、同じ拠点で複数のライフラインが途絶している状況もあることから各事象は互いに非排反で、3 つの事象の和事象とその余事象はすべての場合をつくしている。

ここで、あるライフラインが途絶した状態を 1、途絶していない状態を 0 とすると、ライフラインが途絶している状態の集合は $\{x|x=1\}$ と表される。したがって、 A_E, A_W, A_G の各事象において、ライフラインが途絶している集合は、それぞれ $\{x|x \in A_E\}, \{x|x \in A_W\}$ 及び $\{x|x \in A_G\}$ となる。

各集合の具体的な要素を表-2 に示す。表-2 より、 A_E は他のライフラインの途絶状況に関係なく電力が必ず途絶している事象、 A_W は他のライフラインの途絶状況に関係なく上水道が必ず途絶している事象、 A_G は他のライフラインの途絶状況に関係なく都市ガスが必ず途絶している事象を意味することが分かる。

検討対象データを各集合の各要素に分類すると、各要素に属する拠点数は表-3 のようになる。表-3 から明らかなように、都市ガスに関する集合 $\{x|x \in A_G\}$ に該当する拠点数は、電力と上水道に比べると少ない。また、都市ガスに関して要素別にみても、約 9 割以上の拠点が、全てのライフラインが途絶している場合 (EIWIGI) であり、都市ガスが単独で途絶している場合や電力もしくは上水道と同時に途絶している情報が極めて少ない結果となっている。

表-2 ライフラインが途絶している状態の集合

集 合	集合の要素
$\{x x \in A_E\}$	(EIWOGI), (EIWIGI), (EIWOGI), (EIWIGI)
$\{x x \in A_W\}$	(EOWIGI), (EIWIGI), (EOWIGI), (EIWIGI)
$\{x x \in A_G\}$	(EOWGI), (EIWGI), (EOWGI), (EIWGI)

表3 各集合の各要素に属する拠点数

ライフラインの 途絶状況	各集合の各要素に属する拠点数		
	$\{x x \in A_E\}$	$\{x x \in A_W\}$	$\{x x \in A_G\}$
EIW0G0	106	—	—
EIW1G0	68	68	—
EIW0G1	0	—	0
EOW1G0	—	35	—
EOW1G1	—	3	3
EOW0G1	—	—	1
EIW1G1	54	54	54
合計	228	160	58

(2) 回帰分析の手法と分析データの作成方法

回帰分析では、3つの集合 $\{x|x \in A_E\}$ 、 $\{x|x \in A_W\}$ 、 $\{x|x \in A_G\}$ を対象とし、最小二乗法により①事業中断日数に対する超過確率の回帰分析と②計測震度を条件とした事業中断の発生確率（非超過確率）の回帰分析の2ケースを行う。

回帰分析用のデータの作成手順は、まず事業中断日数と計測震度に階級を設け、各階級に対してライフラインの途絶状態の相対頻度分布を求める。次に相対頻度の累積値を各階級の大きさ順に算出し、回帰分析ではこのデータを用いる。

なお、事業中断日数に関する回帰分析では、対数正規分布の超過確率関数を回帰式とするため、累積計算は各階級の中央値（階級値）の降順で行う。一方、計測震度に関する回帰分析では、対数正規分布の累積分布関数を回帰式とするため、累積計算は階級値の昇順で行う。

4. 回帰分析と検討結果

(1) 事業中断日数の超過確率関数

事業中断日数の超過確率関数に関する回帰分析の結果を図4、表4に示す。図4では、相対頻度の累積値をプロット点で、また、回帰式を連続線で示している。

各回帰式より、事業中断日数が約15日までの超過確率は、都市ガスの途絶事象 $\{x|x \in A_G\}$ 、電力の途絶事象 $\{x|x \in A_E\}$ 、上水道の途絶事象 $\{x|x \in A_W\}$ の順に高く、事業中断日数が15日～20日より長くなると都市ガスの回帰式が徐々に他の回帰式の下側に位置するようになる。超過確率は事業中断の発生し易さを表すため、電力が途絶する場合は、事業中断が発生してもその期間が短く、上水道が途絶すると事業中断が長期化する傾向が読み取れる。一方、都市ガスについては、データ数が少なく、また、多くが全てのライフラインが途絶している場合のデータであるため、都市ガス固有の顕著な傾向が読み取れない。

ここで、経済産業省の資料¹⁸⁾によれば、都市ガスは「過去の震災時の被害率と比べると、今回の震災（東日本大震災）は、相当程度被害率が低くなっている。これは、ポリエチレン管等耐震性の高いガス導管への取替え促進等設備対策の効果が寄与したことによるものと言える。」とある。これは低圧ガスに対しての見解であるが、中圧ガス導管についても、東北地方太平洋沖地震では被害がほとんど生じていない。したがって、データの少ない理由としては、都市ガスを担う施設の耐震性は電力や上水道に比べて相対的に高く、都市ガスのみが供給停止した地域は少なかったのではないかと推察される（普及率が異なるが、実際に東北地方太平洋沖地震でのライフラインの停止戸数¹⁹⁾は、電力が891万戸、上水道が220万戸以上、都市ガス（低圧ガス）が46万戸と、都市ガスが最も少なかった）。

また、製造拠点では、都市ガスに比べて電力や上水道が途絶することの方が事業継続のボトルネックになる場合が多く、その結果、都市ガスについての状況がIR情報に記載されなかったということも考えられる。例えば、IR情報には「電力や水等が停止した影響により事業が中断した」という表現が多くみ

られたが、これには都市ガスが途絶したことも含まれている可能性がある。このようなことから、本報で収集することができた情報においては、都市ガスに関するデータが少なかつたため、電力と上水道と同じレベルでの比較は、現状では難しいかもしれない。今後は、より都市ガスに関するデータを収集する必要がある。

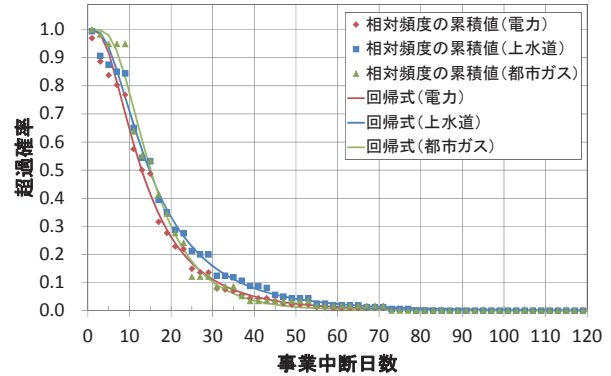


図4 回帰分析の結果（ライフラインの途絶状態に対応した事業中断日数の超過確率関数）

表4 図4の回帰式（対数正規分布）のパラメータ

回帰式の パラメータ	$\{x x \in A_E\}$	$\{x x \in A_W\}$	$\{x x \in A_G\}$
中央値（日）	129	148	15.1
対数標準偏差	0.69	0.71	0.54

(2) 計測震度を条件とした事業中断の発生確率

計測震度を条件とした事業中断の発生確率に関する回帰分析の結果を図5、表5に示す。図4と同様に、プロット点は相対頻度の累積値、連続線は回帰式であり、回帰式の縦軸の値は各計測震度における事業中断の発生し易さを表すことになる。

各回帰式より、計測震度が約6.0未満（震度6弱以下）では、電力が途絶して事業中断が発生する確率が高く、計測震度6.0を超えると（震度6強以上になると）、電力に比べて上水道の途絶により事業中断が発生し易い傾向が読み取れる。

また、その殆どが全てのライフラインが途絶している状態のデータしかないものの、都市ガスについても計測震度6.2程度を境に電力や上水道との大小関係が逆転する傾向が認められる。

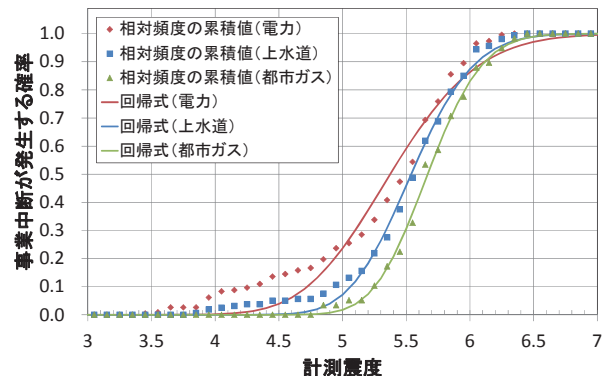


図5 回帰分析の結果（計測震度を条件としたライフラインの途絶状態に対応した事業中断の発生確率）

表5 図5の回帰式（対数正規分布）のパラメータ

回帰式の パラメータ	$\{x x \in A_E\}$	$\{x x \in A_W\}$	$\{x x \in A_G\}$
中央値（日）	5.4	5.5	5.7
対数標準偏差	0.10	0.07	0.06

5. まとめ

本報では、東北地方太平洋沖地震により事業が中断した製造業の被害事例の調査を通じて、電力、水道及びガスの停止が企業活動に与えた影響について検討した。

検討に用いた被害情報は、地震後に企業のホームページ等で公開された IR 情報である。各種ライフラインが途絶した場合の影響について、回帰分析により検討を行い、以下の結果が得られた。

- (1) ライフラインの途絶が企業に与える影響を、①事業中断日数の超過確率、②計測震度を条件とした事業中断の発生確率の2つの指標で定量化できることが示された。
- (2) ①の結果により、電力に比べて上水道が途絶する方が、事業中断期間が長期化する傾向があり、電力が途絶した場合はその逆の傾向がみられることが分かった。また、②の結果より、震度 6 弱以下では事業中断は電力の途絶により発生し易く、震度 6 強以上になると、電力に比べて上水道の途絶に起因する事業中断が発生し易くなる傾向がみられる。
- (3) 都市ガスについては、①、②のアプローチは試みたものの、電力や上水道と同レベルで比較するだけの情報がなく、評価結果から都市ガス固有の傾向を掴むまでには至らなかった。

本報は、ライフラインの途絶が製造拠点に与える影響を評価するための検討の第一歩であるが、次のステップでは、各被災地のライフラインの復旧日数を調査し、今回の検討結果の妥当性を検証することが重要である。

また、都市ガスについては、東北地方太平洋沖地震以外の被害地震も視野に入れ、今後より多くの情報を収集することが今後の課題である。しかしながら、特に製造業の場合は、事業の都市ガスへの依存度が、その拠点の施設構成により大きく異なるため（例えば、ガス系燃料のコージェネレーションを設置していた場合は、停電時の都市ガスへの依存度は高い）、IR 情報を収集するよりもむしろ企業へのアンケートやヒアリングといったより詳細な調査が必要とも考える。このような調査を実施することを今後は検討したい。

謝辞：

本報の検討で用いた企業の被災データの一部については、仲条らの研究⁶⁾で収集された情報を提供して頂いた。関係各位の深甚なる感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 梶谷義雄, 多々納裕一, 山野紀彦, 朱牟田善治ら: 製造業を対象としたライフラインの途絶係数の推計, 自然災害科学 JISNDS 23-4, pp.553-564, 2005.
- 2) 梶谷義雄, 多々納裕一, 山野紀彦, 朱牟田善治: 非製造業を対象としたライフラインの途絶係数の推計, 自然災害科学 JISNDS 24-3, pp.247-255, 2005.
- 3) 梶谷義雄: 新潟県中越地震によるライフライン途絶の地域産業への影響調査, 電力中央研究所研究報告, 研究報告: N05036, 2006.8.
- 4) 永田茂: 近年の被害地震における企業・事業所の事業中断に関する実態調査, 安全工学シンポジウム 2009 講演予稿集, pp.340-349, 2009.
- 5) 永田茂: 東日本大震災における企業公開情報を用いた施設被害及び事業影響に関する分析, 第4回相互連関を考慮したライフラインの減災対策に関するシンポジウム講演集, pp.21-29, 2012.12.
- 6) 仲条仁, 藤井琢哉, 長澤瑞子, 石川良文: 東日本大震災における被災企業(製造業)の実態把握と交通インフラ被災の影響分析, 第45回土木計画学研究発表会, 2012.6.2-3.
- 7) 奈良岡浩二, 高橋郁夫: 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震における生産施設の被災状況分析, 清水建設研究報告第 89 号, 2012.1.

- 8) 中野一慶, 梶谷義雄, 田頭直人, 人見和美, 多々納裕一: 東日本大震災の経済影響と復旧状況に関する実態調査 - 岩手県・宮城県に立地する企業を対象として -, 電力中央研究所報告書, 調査報告: Y11022, 2012.5.
- 9) 永田茂・望月智也: 近年の被害地震における企業・事業所の事業中断期間のモデル化, 安全工学シンポジウム 2009 講演予稿集, pp.346-349, 2009.
- 10) 永田茂: 地震時のライフライン機能支障による企業の事業影響の簡易手法について, 第2回相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム, pp.54-59, 2010.12.
- 11) 経済産業省: 東日本大震災後の産業実態調査 サプライチェーンの影響調査, 2011.4.26, <http://www.meti.go.jp/press/2011/04/20110426005/20110426005.html>
- 12) 経済産業省: 東日本大震災後の産業実態調査 2, 2011.8.1, <http://www.meti.go.jp/press/2011/08/20110801012/20110801012.html>
- 13) 仙台市経済局: 震災復興支援に向けた市内企業に対するアンケート調査, 2011.11.1, http://www.city.sendai.jp/report/2011/1200776_1413.html
- 14) 仙台市経済局: 震災復興支援に向けた市内事業所に対するアンケート調査(第2回), 2012.2.16, http://www.city.sendai.jp/report/2011/1202249_1413.html
- 15) 仙台市経済局: 震災復興支援に向けたアンケート調査(第3回), 2012.9.5, http://www.city.sendai.jp/report/2012/1205138_1414.html
- 16) 松下哲明, 秀島栄三: 東日本大震災における上場企業の被害特性とBCP による事業の復旧対策効果, 土木学会論文集 F6 (安全問題) Vol.68, No.1, pp.25-34, 2012.
- 17) 国土技術総合政策研究所: 地震動分布デジタル値 (2012.12.03 Version 2.0), 国総研地震防災研究室ウェブサイト: <http://www.nilim.go.jp/lab/rdg/index.htm>
- 18) 総合資源エネルギー調査会 都市熱エネルギー部会 ガス安全小委員会 災害対策ワーキンググループ: 東日本大震災における都市ガス供給の災害対策検討報告書(案), 総合資源エネルギー調査会都市熱エネルギー部会ガス安全小委員会災害対策ワーキンググループ (第3回) 配布資料資料 1, 経済産業省ホームページ, http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/toshinetsu/saigai_taisaku_wg/003_haifu.html
- 19) 能島暢呂, 佐土原聡, 稲垣景子: 東日本大震災におけるライフライン被害と今後の課題, 首都直下地震 防災・減災特別プロジェクトー広域的危機管理・現在体制の構築に関する研究ー平成 23 年度 第4回成果発表会資料, 2012.2.24.