

東日本大震災報告書の用語検索による ライフライン相互連関分析

鋤田 泰子

¹正会員 神戸大学准教授 大学院工学研究科市民工学専攻（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1）
E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp

地震時のライフライン相互連関に関する先行研究は多々あるが、実際の震災時のライフライン間の関係を定量的に事後評価した事例は少ない。本研究では、震災報告書における他のライフラインの関連用語の使用は、他のライフラインによって何らかの影響を受けた事象であるとして、報告書内の関連用語の使用数を計算し、ライフライン間の影響度合いを可視化させた。本研究の結果、ライフラインの多くは、原発事故の影響を考慮せずとも電力に強く依存していることが明らかになった。また、電力の次に、交通系ライフラインがライフラインの施設被害や復旧活動に影響していることが明らかになった。また、ライフラインの影響度合いは同じ震災であれば報告書によらず類似した結果が得られることも確認した。

Key Words : *lineline, interrelation, Great East Japan earthquake disaster, text mining*

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では多くのライフラインが被害を受けた。一般的に、地震時におけるライフライン系の被害は、相互依存系の破壊によって物理的・機能的障害がシステム間で波及する。本地震においても、災害が複合的に発生したために、ライフライン被害が連鎖拡大し、時空間的に波及した。

災害時の都市のライフライン施設の相互連関に関する問題は、兵庫県南部地震以前より亀田・能島らを中心に精力的に取り組まれ、ライフラインの相互連関構造が体系的に整理されてきた¹⁾。さらに、兵庫県南部地震による被害事例に基づいて、定性的に相互連関構造が分析されている²⁾。災害時には様々な事象があるので関係を体系化することは重要であるが、ライフライン相互間の影響程度を定量化するまでには至っていない。

また、システム・ダイナミクスを用いて地震後のライフラインの相互連関事象のモデル化を行い、一つのライフラインの供給停止による他のライフラインへの影響を定量的に評価しようとした研究もある^{例えば3)}。部分的な復旧過程を把握することはできるが、都市のライフライン全体を俯瞰したような相互連関を説明するにはモデルがさらに複雑になる。一方、モデルが複雑になれば個々のパラメータも複数となり設定には多くの仮定を設けることになる。

一方、地震時の被害波及を予測するためにライフラインの相互連関による影響を定量化したものとして、米国で発案されたATC-13⁴⁾のインポータンスファクタやその改良版であるATC-25⁵⁾のレジリエンスファクタ、また梶谷ら^{6,7)}によってATC-25を日本版に改良を行ったライフライン途絶抵抗係数などがある。ATC-13のインポータンスファクタとは1985年に米国の地震災害影響評価に関する専門家13人によってアンケート形式で調査されたもので、35部門の産業別に対して、各ライフラインの供給停止による各産業の生産量の低下を0から1までの間で評価したものである。基本的には、被災事例に基づくものではなく、アンケート等の調査結果によるため、実際の事象がどの程度反映されているか定かではない。産業形態は異なるがスマトラ地震津波の被災地で検証したときには乖離がみられた⁸⁾。

このように地震時のライフラインの相互連関に関する調査研究は進んでいるものの、実災害に基づいたライフライン相互の影響を定量的に事後評価した研究は非常に少ない。そこで、本研究は東日本大震災におけるライフライン被害と復旧に関する報告書を用いて、それらの報告書内に含まれる他のライフラインの関連用語を検索し、その使用頻度からライフラインの影響を定量的に可視化させる。このようなテキスト内の用語の使用頻度から、地震災害に関わる学協会の中心的な研究分野を明らかにした研究もある⁹⁾。

2. ライフラインの被害報告書による用語検索

(1) 対象とする報告書

本地震におけるライフライン施設の被害範囲は広大で被災形態も様々であるため、個々のライフライン事業者や省庁の報告書を用いるのではなく、報告の形式や分量がほぼ整っている東日本大震災合同調査報告書の土木編3、ライフライン施設の被害と復旧¹⁰⁾を用いた。本報告書は8学会の合同調査編集委員会によって編集されたもので、表-1に示す通り、各章が1つのライフラインとなっている。章構成は、阪神・淡路大震災の後に作成された合同調査報告書と同じである。土木編3の報告書には、道路や鉄道、空港、港湾などの土木施設の被害や交通系としての機能損傷に関する内容は含まれておらず、他の編に含まれている。頁数では都市ガスは少ない。本地震の被災地の多くではプロパンガスが普及しており、本地震の都市ガスの供給停止戸数は阪神・淡路大震災ときの半分程度である。このために、地震に曝される施設や供給地域も少なかったと考えられる。また、執筆者も水道・下水道は市町、県の事業者が執筆しているために被災事業体数に応じて多くなるが、電力や都市ガス、通信は事業者数が少ないために執筆者も少ない。なお、報告書の1頁における文字数は2,250字である。

(2) ハザード用語の検出割合

本地震における地震、津波等のハザードの影響を明らかにするために、報告書内のハザード用語の数を検索した。ハザード用語には表-2に示す用語とした。地震の用語には震動も検討したが、地震動として用いられるため、地震と重複検索することになるために省いた。また、

表-1 東日本大震災合同調査報告書 土木編3 ライフライン施設の被害と復旧の章構成¹⁰⁾

章	タイトル	ページ数	執筆者数
1章	水道施設	86	20
2章	下水道施設	75	10
3章	廃棄物管理	59	14
4章	電力施設	63	6
5章	都市ガス施設	22	4
6章	通信施設	32	10

表-2 ハザードの分類とその用語

分類	地震	津波	地盤	液状化
ハザード用語数	4語	4語	3語	2語
用語	地震揺れ 振動 震度	津波浸水 冠水 洗掘	地盤沈下 地盤/路面陥没 斜面/法面/地山/ 護岸崩落	液状化 噴砂

地盤の陥没や崩落は地盤に関連する用語と合わせて用いられる、または文節中に地盤の被害を表しているもののみを用い、ライフライン施設の被害として用いられているものは省いた。液状化も一種の地盤災害ではあるが、本地震で液状化が顕著であったために地盤とは分別した。

表-3は各ライフライン報告書内のハザード用語の検出数を整理したものである（以降の分析では、各ライフラインを表-1の報告書の章タイトルではなく、表-3中の表記をする）。また、図-1には検出されたハザード用語の構成比を示している。廃棄物では、1頁あたりのハザード用語の検出数が少なく、都市ガスや電力、通信では1頁あたり10語を超える用語が使用されている。この理由として、廃棄物管理の章では、地震・津波後の廃棄物の管理や処理方法などに焦点を当てられているために、外力の大きさや被害の程度などに関連した記述が少なかった。一方で、都市ガスの章では被害の総括だけでなく、地震動を踏まえた被害分析が含まれており、電力の章では施設ごとに被害と合わせて震度が記載されたことが理由として挙げられる。ハザード用語の構成比からも、下水道、廃棄物は他のライフラインと比べて、地震関連の用語よりも津波関連の用語が多く、全体の6割以上を占めている。他のライフラインは地震動による被害が主であったのに対して、下水道は処理施設の多くが沿岸に存在し、津波の浸水被害を受けていることから他のライフラインと異なる傾向を示したといえる。また、廃棄物は、津波堆積物などの処理物として用語が多く用いられた。さらに、地震や津波の一次的な外力は別に、地震に伴う二次的なライフラインへの外力となる液状化の用語が占める割合が比較的多かったことが顕著である。

表-3 ライフライン報告書のハザード用語検出数

	水道	下水道	廃棄物	電力	都市ガス	通信
地震	256	88	47	404	206	122
津波	208	266	163	256	107	135
地盤	27	23	6	14	0	7
液状化	78	42	0	63	19	55
総数N	569	419	216	737	332	319
N/pages	6.6	5.6	3.7	11.7	15.1	10.0

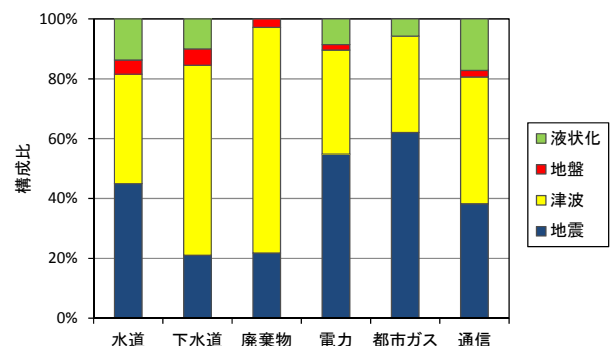


図-1 ライフライン報告書のハザード用語構成比

(3) 用語検索による相互関連分析

上記の報告書を用いて用語検索によるライフライン相互関連の影響分析を行う。分析方法として、まず、各ライフラインの電力やガスなどの用語の他に、そのライフラインを連想する用語を抽出し、まとめてライフラインの関連用語として設定した。次に、あるライフラインの報告書にある他のライフラインの関連用語は、他のライフラインにより影響を受けたものと仮定し、関連用語の検出数を数値化した。報告書は基本的に単独ライフラインについての被害や機能損傷、復旧などについて記述されており、意図的に他のライフラインに触れて記述されていない。そのため、他のライフラインの関連用語の使用は、自身のライフライン供給に他のライフラインが何からの影響を与えていると考えることが自然である。

本研究で設定したライフラインの関連用語を表-4に示す。本震災の特徴も踏まえ、電力ライフラインについては、一般的な電力関連用語と原発事故に関連した用語を分けて設定している。前述したように本報告書には、交通系の施設被害、機能損傷の章は含まれていないが、交通系ライフラインを含めた広義のライフラインでの相互関連を検討することが重要である。そこで、交通系ラ

イフラインについては、道路や橋梁などの物理的な土木施設に関する用語と交通機能に関連した用語に分類した。

当初、複数の関連用語を準備していたが、報告書内を検索すると検出されなかった用語や検出数がわずかの用語があった。ライフライン間で関連用語数を揃える目的からも、全ての報告書の検出数を合わせても5件以下の関連用語については関連用語から省いた。参考までに、表-4の下段に示す。また、用語によっては著者らが意図しないライフラインに関連する場合（表-4の補足参照）は、検出数に含めなかった。

表-5に各ライフラインの報告書内で検出されたライフライン関連用語数を整理した。全章で7,518語が検出された。都市ガス、通信は他のライフラインと比較すると、448語と少なめであるが、頁あたりの検出数で見ればさほど差異はないものと考えられる。

検出された関連用語の中で、自ライフラインの関連用語の占める比率を図-2に示す。関連用語の6～8割は、

表-5 ライフライン関連用語検出数

	水道	下水道	廃棄物	電力	都市ガス	通信
総数N	2002	1629	2009	900	448	530
N/頁	23.3	21.7	34.1	14.3	20.4	16.6

表-4 ライフライン関連用語

	水道	下水道	廃棄物	電力		都市ガス	通信	交通系	
				一般	原発関連			物理	機能
語数	8	7	7	11	9	6	10	9	7
ライフライン関連用語	上水/上水道/ 水道 断水 通水 配水 浄水 使用制限 冷却水 受水	下水道/下水 ^{*1} 処理場 処理施設 雨水 汚水 トイレ 汚泥	ゴミ 廃棄物 がれき(瓦礫) し尿 処理施設 ^{*2} 処分場 クリーンセンター	電力 電気 発電 送電 配電 電柱 通電 停電 復電 電源 受電	原発 原子力 放射能 セシウム 放射線 放射性物質 汚染 警戒区域 除染	ガス 漏洩 火災 LNG LPG 焼却	通信 NTT 輻輳 メール 無線 電話 インターネット ホームページ 基地局 受信	道路 橋梁 国道 橋脚 添架 ^{*3} 鉄道 駅 空港 港湾	通行 交通 車両 船舶 渋滞 ガソリン 燃料
検索したが、該当数が5件以下で分析から省いた用語		下水処理施設 雨水排水 マンホール ^{*4}		信号 東電	被爆	プロパン ガス 給湯 暖房 爆発	モバイル 通話規制 送信	橋桁 陸路 空路 航路 国道 県道 自動車道 新幹線 JR 地下鉄 ターミナル	バス 電車 ^{*5} 通勤 通学 除雪

*1: 地下水は省く

*2: 下水処理施設は省く

*3: 添架管は省く

*4: 電力、通信のマンホールは省く

*5: 発電車は省く

自ライフライン関連用語を用いていることから、大部分は自ライフラインに関しての被害や復旧に関する記述があると考えられる。ライフラインの種類に関わらず、また、執筆者の文章の書き方にもよらず、ほぼ7割程度は自身のライフラインを残りは他のライフラインについて記述する傾向がライフラインの報告書にはあることがわかった。また、電力については、原発やその後の放射性物質の拡散に関する事象について全体の1割程度で触れられている。

次に、ライフライン関連用語を検出されたものの中で、自ライフラインの関連用語を除いた用語をライフライン別に集計した。図-3はライフライン各章の関連用語構成比を表している。図-3の一番左の水道の図を例にとると、水道の章の中で水道の関連用語を除いた関連用語の構成比となっている。各ライフラインの一般の用語と電力の原発関連、交通系の機能に関する関連用語を合わせると100%になる。また、各ライフラインの関連用語検出数であるが、都市ガスは元々頁数が少なかったためにN=78であるが、他のライフラインはN=198~757で、統計的にも十分な関連用語が検出されたといえる。

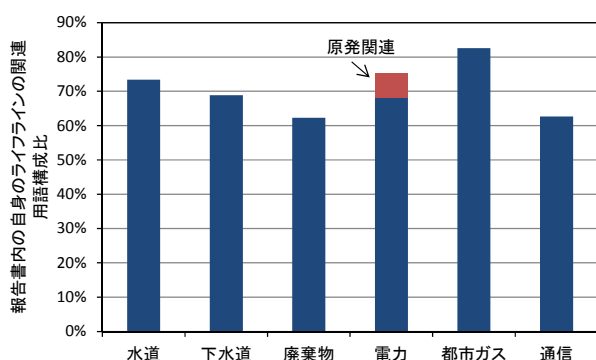


図-2 報告書内の自ライフラインの関連用語構成率

図中の「電力（一般+原発）」の構成比は、一般的な電力関連用語と原発事故に関連する用語（例えば、放射線、汚染など）を合わせた比率である。全てのライフラインで電力が39%を超えており、他のライフラインに最も影響力が大きいことがわかる。電力の関連用語が多く検出された要因として、地震や津波により直後に各ライフライン施設が管理している電気系統設備が直接被害を受けたことと、停電による機器等の作動停止などが挙げられる。具体的には、「電気」の用語の他に、「停電」の用語が多く検出された。また、停電による対応として、自家用発電機の「発電」や電源確保、電源喪失の「電源」が多用されている。

また、原発関連については、廃棄物処理において多くの対応がなされていたことが図からわかる。廃棄物管理の章では、関連用語間で著しい差はなく設定した用語がそれぞれ多く検出された。また、水道、下水道では、「放射性物質」の用語が多く検出され、浄水処理や汚泥処理の対応が多かったと考えられる。過去の研究においても、電力ライフラインは他のライフラインに対して依存関係が強いといわれてきたが、本研究でも同じことが確認された。ただし、原発事故がなければ廃棄物処理はそれほど電力依存は大きくなかったと考えられる。

次に、全体的に電力と同様に影響の大きいライフラインとして交通系ライフラインが挙げられる。具体的には、物理的な関連用語として「道路」や「橋梁」の用語が、機能的な関連用語として「燃料」や「車両」の用語が多かった。道路の陥没・橋梁の破損より敷設・添架管の損傷や、沿岸部、河川周辺の道路等の損壊による管路被害などが挙げられる。とくに、電力や通信、都市ガス、水道など、供給再開までの期間が短いライフラインは、被害確認や早期復旧に関わる物資の調達等で、道路施設の被害だけでなく、道路等を利用して燃料の調達が災害支

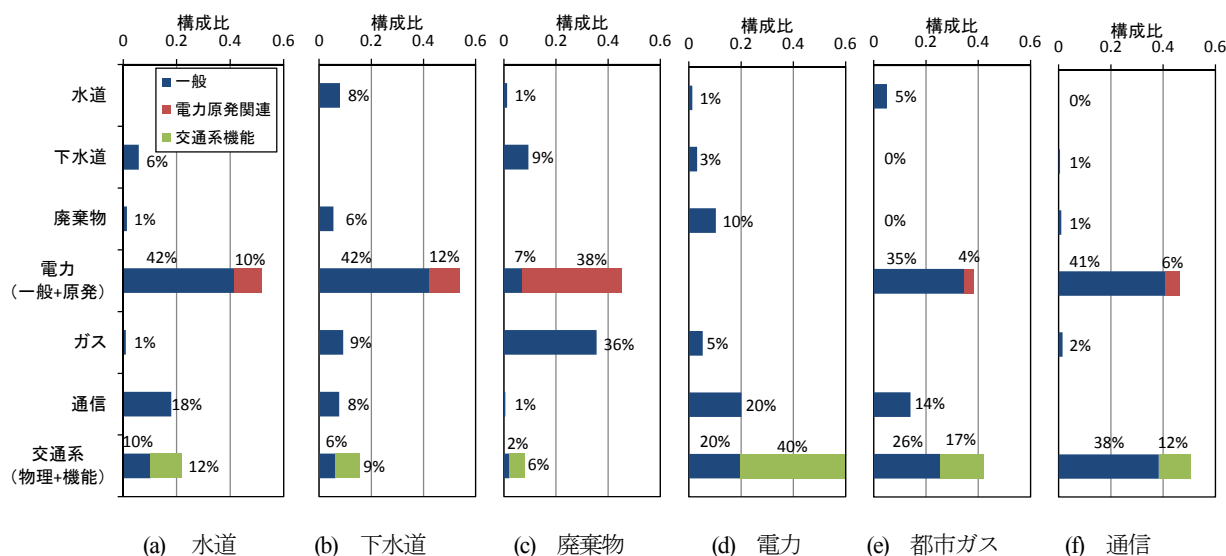


図-3 学会報告書内の他のライフラインの関連用語構成比

援の派遣などの対応が必要になる。復旧活動においても道路通行止め・道路規制・被災車両により現場への向出が困難になることが記述されていた。このように、物理的な用語とともに機能的な用語が多く検出されている。また、通信においては「電柱」も多く検出された。

さらに、電力や交通系に引き続いて関連用語が多かったライフラインとして通信が挙げられる。「通信」, 「電話」, 「無線」の用語が多用されていた。通信回線が通じず連携困難・電話不通であったが衛星電話は使用可能であった, 通信回線が通じず連携困難に陥ったなどの記述もあった。廃棄物管理の章で都市ガスの比率が高いのは, 「焼却」の用語が多く引用されたためである。

5. 他の報告書における相互関連

図-3で得られたライフライン間の影響の程度は, 災害の規模や形態が変われば異なる傾向を示すであろう。しかし, 同じ震災であれば報告書に限らず同じ傾向を示すのであれば, 今後も同様な分析をする場合に本分析結果が貴重なものになる。そこで, 本章では他の報告書でも同様な相互関連の傾向が得られるのかを確認をする。

本研究では, 検証用の報告書として表-6に示す報告書を用いた。これらの報告書は, 基本的に各ライフラインの管轄省庁等が俯瞰的に地震・津波被害とその後の対応をとりまとめた報告書(以下, 省庁報告書と呼ぶ)である。そのため, 報告書のそれぞれ形式は異なり, 頁の分量も前掲の学会の報告書(以下, 学会報告書と呼ぶ)と

は増減する。

表-7に省庁報告書内の表-4で設定したライフライン関連用語の検出数を示す。下水道と廃棄物の省庁報告書は, 学会報告書よりも検出数は少ない。しかし, 500語以上あることと, 自ライフラインの関連用語検出率が低いため, 他のライフライン関連用語数を分析するには十分な用語数であるといえる。

自ライフラインの関連用語を除いたライフライン関連用語をライフライン別に図-4に示す。電力については, 東北電力, 東京電力を別々に示し, 学会報告書には分析対象としなかった交通系の分析も含めた。水道, 下水道の報告書では, とともに最も高い構成比をもつライフラインは電力で, 原発関連用語を含めてそれぞれ55%, 54%と高く学会報告書の構成比とも類似している。廃棄物の報告書では, 省庁報告書は学会報告書よりもガスの比率が高くなっているが, 電力とガスで構成比が独占されていることは類似している。電力の報告書については, 東北電力と東京電力の分布は非常に類似しており, 交通系ライフラインと通信で関連用語の7, 8割を示している。また, 学会報告書では, 交通系ライフラインが独占していたが, 省庁報告書では通信がやや高くなっている。都市ガスの報告書では, 学会報告書と同様に電力と交通系ライフラインが優位であり, その構成比も類似した値を示している。通信の報告書では, 省庁報告書の電力関連用語が75%と非常に高かった。しかし, 電力と交通系ライフラインが優位であることは類似している。交通系ライフラインでは, これまで学会報告書で扱わなかったが, 電力の構成比が52%と独占し, それ以外を下水道や廃棄物, 通信で分配する形となった。

学会報告書と省庁報告書間で関連用語の構成比に差異が認められるのか, 危険率5%で検定を行った。その結果, 水道において $8.83 < \chi_{3,0.05}^2 = 11.07$, 下水道において $6.52 < \chi_{3,0.05}^2 = 7.81$, 都市ガスにおいて $0.67 < \chi_{2,0.05}^2 = 5.99$ でいずれもこれらのライフラインでは構成比に差異がないとの仮説を棄却できなかった。すなわち, これらのライフラインについてはライフライン間の影響の程度に差異が認められないことが示された。その他の廃棄物, 電力, 通信については危険率5%では, 差異が認められた。つまり, 同じ災害でも報告書によりライフライン間の影響の程度が変わらないライフラインがあることは分かった。また, 影響の程度は変わるライフラインであっても, 優位なライフラインについては報告書に関わらず類似していた。

本研究により東日本大震災におけるライフライン間の影響を客観的に定量評価することができた。各ライフライン事業者では, 影響の程度が大きい他のライフラインについて災害時の供給停止に備えてバックアップ対策を講じるなどの準備を講じることが重要である。また, 本研究では東日本大震災を対象としたが, 地震のみの災害

表-6 省庁等の東日本大震災の報告書¹¹⁾¹⁸⁾

ライフライン	報告書名
上水道	厚生労働省：東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書, 2013
下水道	国土交通省：東日本大震災における下水道施設被害の総括, 2012
廃棄物	環境省：災害廃棄物の広域管理, 2014
電力	東北電力：東日本大震災復旧記録, 2012 東京電力：東北地方太平洋沖地震に伴う電力設備の復旧記録, 2013
都市ガス	経済産業省：東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策検討報告会, 2012
通信	総務省：情報通信白書, 2011
交通系	国土交通省：東日本大震災の記録, 2012

表-7 省庁報告書内のライフライン関連用語検出数

	水道	下水道	廃棄物	東北電力	東京電力	都市ガス	通信	交通系
総数N	4067	508	782	3398	2790	1441	2621	4955
N/Ni	78%	42%	35%	60%	66%	34%	74%	91%
N-Ni	897	244	569	1027	694	552	687	426

注) Ni：自ライフラインの関連用語数

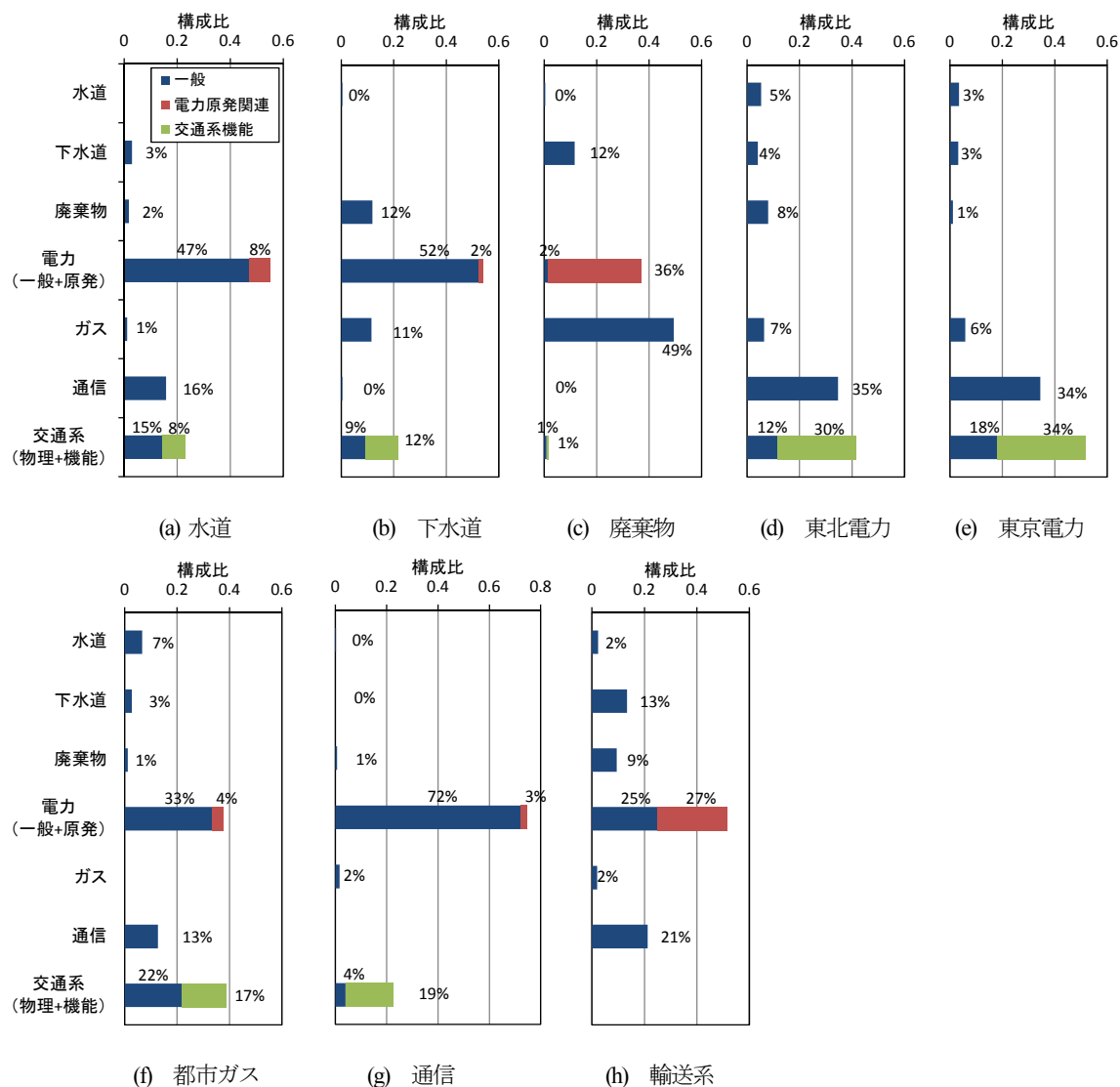


図-4 省庁報告書内の他のライフラインの関連用語構成比

や津波に類似するような水害におけるライフラインの報告書で、本研究の結果と比較することも今後の課題といえる。

6. 結論

本研究は東日本大震災におけるライフライン被害と復旧に関する報告書を用いて、それらの報告書内に含まれる他のライフラインの関連用語を検索し、その使用頻度からライフライン間の影響を定量的に可視化させた。本研究の結論は、以下にまとめられる。

- 全てのライフラインで電力の関連用語の構成比が39%を超えており、災害時に他のライフラインに最も影響力が大きいことが示された。
- 原子力発電所関連の用語は各ライフラインにも影

響があることは明らかになったが、とりわけ廃棄物管理で高く、放射性物質の対応で水道と下水道にも影響が出ていることが明らかになった。

- ライフライン全体をみて、電力の次に、通信よりも交通系ライフラインの方が他のライフラインへの影響が強いことが明らかになった。今回の被災地は、応援事業者にとって遠地であり、東北一帯が燃料不足に陥ったことが影響しているといえる。
- 水道、下水道、都市ガスについては、同一災害であれば報告書によらずライフライン関連用語の構成比に差異は認められなかった。一方、電力や通信、廃棄物では報告書によって構成比に差異があるが、優位なライフラインについては類似していることが示された。

謝辞：本研究のデータ整理に神戸大学元大学院生の加藤想氏に手伝っていただいた。ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) 能島暢呂, 亀田弘行: 地震時のシステム間相互連関を考慮したライフライン系のリスク評価法, 土木学会論文集 I, 507/I-30, pp.231-241, 1995.
- 2) 能島暢呂, 亀田弘行: ライフラインの相互連関, 阪神・淡路大震災, 一防災研究への取り組み, 京都大学防災研究所, pp. 360-369, 1996
- 3) 星谷勝, 大野春雄: 震災時ライフラインの相互影響を考慮した復旧過程の機能評価法, 土木学会論文集 I, 386/I-8, pp.387-396, 1984
- 4) Applied Technology Council: Earthquake damage evaluation data for California, ATC-13, Redwood City, California, 1985.
- 5) Applied Technology Council: Seismic vulnerability and impact of disruption of lifelines in the conterminous United States, ATC-25, Redwood City, California, 1991.
- 6) 梶谷義雄, 多々納裕一, 山野紀彦, 朱牟田善治: 製造業を対象としたライフライン途絶抵抗係数の推計, 自然災害科学, 23 巻, 4 号, pp.553-564, 2005.
- 7) 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途絶抵抗係数の推計, 自然災害科学, 24 巻, 3 号, pp.247-255, 2005.
- 8) 鯨田泰子, 高田至郎, Parapayalage, C.D.K: 津波被害による事業ベースの復旧と事業継続への影響, 第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集 Paper No.365, pp.1566-1569, 2006
- 9) 近藤伸也, 目黒公郎: 防災関連学会における研究分野の動向分析に関する基礎的研究, 地域安全学会論文集, No.19, pp.61-71, 2013.
- 10) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会: 東日本大震災合同調査報告 土木編 3 ライフライン施設の被害と復旧, 丸善出版, 2015
- 11) 厚生労働省: 東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書, 震災対応の状況, 2013
- 12) 国土交通省: 東日本大震災における下水道施設被害の総括, 2012
- 13) 環境省: 災害廃棄物の広域処理, 2014
- 14) 東北電力(株): 東日本大震災復旧記録, 2012
- 15) 東京電力(株): 東北地方太平洋沖地震に伴う電力設備の復旧記録, 2013
- 16) 経済産業省: ガス東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策検討報告会, 2012
- 17) 総務省: 情報通信白書, 2011
- 18) 国土交通省: 東日本大震災の記録 2012

(2015. 9. 11 受付)

LIFELINE INTERRELATION ANALYSIS BASED ON WORD MINING OF REPORTS OF THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE DISASTER

Yasuko KUWATA

The quantitative case study on lifeline interrelation at actual earthquakes is few though there are several previous studies concerning the lifeline interrelation at an earthquake. This study attempts visualizing the relation between lifelines during the Great East Japan earthquake disaster, by counting the number of other lifeline-related words from the disaster reports on lifeline. As the result, the electric power supply strongly affected other lifelines, even if the accident at nuclear power plant is not considered. Next to the electric power supply, the traffic lifeline influenced much to the other lifelines in terms of facility damage and restoration activity. Moreover, the influence degree of the lifeline is not dependent on the report if it is on the same earthquake.