

首都圏に位置する電力・都市ガス・通信システムの地震時応急復旧活動に関する広域応援と道路交通支障の関係

豊田安由美¹・庄司学²

¹筑波大学大学院システム情報工学研究科リスク工学専攻
(〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:toyota@risk.tsukuba.ac.jp

²筑波大学大学院システム情報工学研究科構造エネルギー工学専攻
(〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

本研究では、ライフライン機能の寸断による影響が顕在化する巨大都市型災害の代表例として首都直下地震災害を念頭に置き、首都圏における電力・都市ガス・通信システムの被災を想定して、広域応援の際の道路交通支障の影響を定量的に検討した。交通支障の指標として震度曝露距離、混雑度重み付距離及び混雑時平均所要時間を用い、東京都に隣接する8県から都内の応急復旧活動時における拠点への広域応援に関する効率性を定量的に評価した。

Key Words : *Seismic disaster, lifeline restoration process, local assistance, emergency road networks*

1. はじめに

現在の行政・経済・社会活動は電力やガス、上下水道、通信等のライフライン機能に強く依存している。そのため、地震等の災害によりその機能が寸断された際には、2次的被害の拡大防止及び住民の生活支障の防止の観点から、ライフライン事業者による早急な応急復旧が望まれる。特に近年発生が懸念されている首都直下地震や東海・東南海・南海地震等の広域災害に際しては、被災地域のライフライン事業者が所有する資源を効率的に配分するだけでなく、外部からの応援を戦略的に活用することが必要となるが、そのためには発災時における道路交通網を介した復旧資源の効率的な運用が必要である。

ライフラインの復旧活動モデルにおいて、復旧資源の運用に道路機能の影響を考慮したものとしては、Noda¹⁾、佐賀井・朱牟田^{2), 3)}、高橋ら⁴⁾の研究が挙げられる。Nodaは平常時のOD交通量、旅行速度及び道路被害の発生状況を重みとしてWarshall-Floyd法による最短経路探索を行い、復旧作業者の移動時間を推定している。また佐賀井・朱牟田は各街区の建物高さの属性からがれきの発生量及び発生方向を予測し、道路閉塞の値を推定した上で復旧作業者の移動速度に反映させている。さらに高橋らは、緊急車両や被災地域への復旧支援部隊・救援物資流通のた

めの最適ルート探索を行っており、道路機能の評価のために建物倒壊や火災等の影響を反映させた遅延係数を提案している。

しかし、Nodaの研究は交換局1機がカバーする範囲を、佐賀井・朱牟田は電力事業者の1営業所範囲を、また高橋らの研究はケーススタディとして神奈川県の一部のみを対象として扱っており、ライフライン事業者の立場から広域応援をテーマにした戦略に関する検討がなされたものは少ない。

一方、震後の道路ネットワークの機能評価に関しては、主にネットワークの形状特性を表す指標による評価と確率論的な連結信頼性や到達時間の信頼性に基づく評価の2つの観点から議論されており、前者の例としては岡田ら⁵⁾、後者の例としては川上⁶⁾、飯田ら⁷⁾、朝倉ら⁸⁾、能島・山中⁹⁾等が挙げられる。また地震によるリスクをより一般的に評価するための簡便な指標として、能島ら¹⁰⁾、鈴木・林¹¹⁾は震度曝露指標を提案している。本研究ではこれらの既往研究の考え方を、広域応援における道路交通支障の評価に即した形で援用する。

以上より、本研究では、ライフライン機能の寸断による影響が顕在化する巨大都市型災害の代表例として首都直下地震災害を念頭におき、首都圏におけるライフラインシステムの被災を想定して、広域応援の際の道路交通支障の影響を定量的に検討した。

表-1 広域応援実施施設の内訳

ライフライン	応援先 東京都指定拠点	広域応援実施拠点				
		分類	対象地域内 全数	応援派遣可 能震度階内 施設数	うち供給支 障無発生施 設数	対象施設数
電力	18	支店	11	4	4	74
		支社	46	16	13	
		営業センター	75	69	25	
		グループ会社施設 (設備の運営保守・資機材の供給輸送)	78	40	32	
		小計	210	129	74	
ガス	12	支社	5	0	-	11
		支店	11	0	-	
		広域圏支社	6	0	-	
		導管NWセンター	11	0	-	
		ガスライト24	26	0	-	
		主要工事会社関連施設	50	1	1	
		日本ガス協会関東中央部会正会員企業	63	10	10	
		小計	172	11	11	
通信	13	支店	7	3	3	15
		県域会社	7	3	3	
		グループ会社関連施設	19	9	9	
		小計	33	15	15	

表-2 人員参集と震度階との関係

ライフライン	防災業務計画等における人員参集と震度階との関係	応援派遣が可能な震度階
電力	供給区域内で震度6弱以上の地震が発生した場合は、本店並びに当該地震が発生した店所及び第一線機関等は自動的に第3非常態勢に入り、速やかに本(支)部を設置する(東京電力：防災業務計画(2006))	震度5強以下
ガス	震度5弱以上の地震が発生した場合には自動出動とする(東京ガス：防災業務計画(2009))	震度4以下
通信	首都圏4支店エリアにおいて震度6弱以上の地震が発生した場合、災害対策本部員は自動参集する(NTT東日本災害対策室(2009))	震度5強以下

対象ライフラインとしては、災害発生直後からおおよそ24時間以内の対応が重要となる電力、都市ガス、通信事業者を扱う。

2. ライフラインの復旧活動における広域応援

(1) 広域応援の対象となる復旧拠点の設定

本研究では、次章で詳述する緊急道路ネットワークを介して、東京都において緊急輸送ネットワークの指定拠点(以下、指定拠点)¹²⁾に挙げられるライフラインの各施設へ広域応援を行うものとする。これらの指定拠点は、主に各事業者の支社や資材置場であり、応急復旧活動上、重要な拠点になると考えられる。対象とする電力、都市ガス、通信事業者は、それぞれ東京電力株式会社、東京ガス株式会社、東日本電信電話株式会社(以下、NTT東日本)である。図-1～図-3には、各ライフライン事業者の指定拠点及び次節で説明する広域応援実施拠点と想定首都直下地震の震度分布を示す。東京電力施設の内、指定拠点となる施設は18ヶ所、東京ガスに関しては12ヶ所、NTT東日本に関しては13ヶ所あり、本研究ではこれらに対して応援がなされりとする。

(2) 広域応援実施拠点の設定

各ライフライン事業者の防災業務計画^{13)～15)}によると、広域応援の担い手としては、1)各ライフライン事業者の中でも管轄地域の被害が見られない拠点、

2)グループ会社等の業務上特に関係の強い事業者、3)協会等の同業者組織を想定している。本研究では、電力及び通信に関しては1)と2)の分類の事業者、ガスに関しては1)、2)に加え3)の組織として社団法人日本ガス協会「地震・洪水等非常事態における救援措置要綱」に加盟する事業者を想定した。本研究では対象地域を東京都に隣接する8県(神奈川県、埼玉県、千葉県、山梨県、群馬県、栃木県、茨城県、静岡県)とし、表-1にこれらの広域応援実施拠点の詳細を示す。拠点の地理的分布に関しては前述した図-1～図-3に示す。

次に広域応援の実施要件を設定する。発災後24時間程度のライフライン事業者の動きとしては、初期段階では管轄地域の震度に応じた人員参集がなされ、その後、被害状況に応じた体制づくりと復旧活動が実施される。そのため、応援派遣の条件としては、1)管轄地域の震度が初動期における参集基準より小さいこと、及び2)管轄地域で機能支障が発生していないこと、とした。1)に関しては各ライフライン事業者の防災業務計画等を参考に、表-2に示す応援派遣が可能な震度階を推定した上で、図-1～図-3に示すように東京湾北部地震M7.3の震度分布¹⁶⁾と重ね合わせ、応援派遣が可能な施設を抽出した。その結果、電力及び通信の場合は震度5強以下、ガスの場合は震度4以下の場合、広域応援の派遣が可能となった。さらに2)に関しては、中央防災会議によるライフライン機能支障分布¹⁶⁾を参考に、上記で抽出した事業所の中から管轄地域内に機能支障が生じない事業所

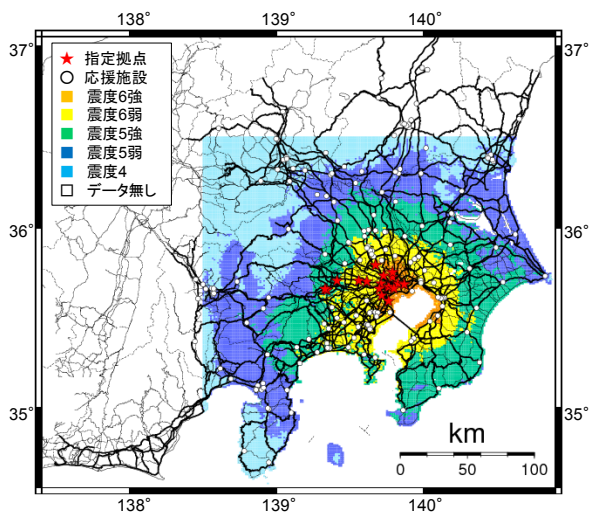


図-1 電力関連の指定拠点、広域応援実施拠点及び首都直下地震震度分布

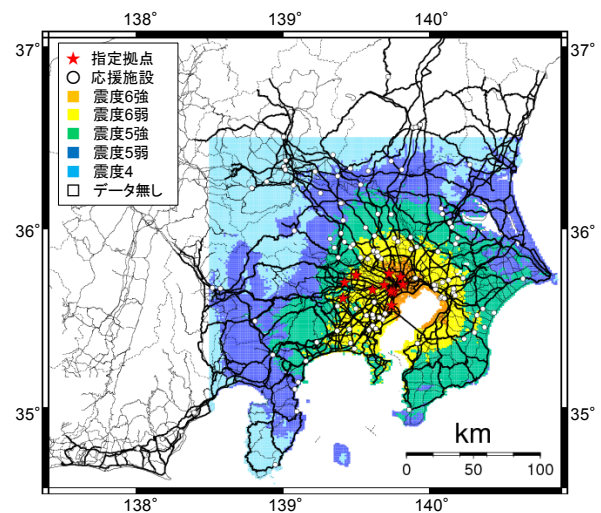


図-2 都市ガス関連の指定拠点、広域応援実施拠点及び首都直下地震震度分布

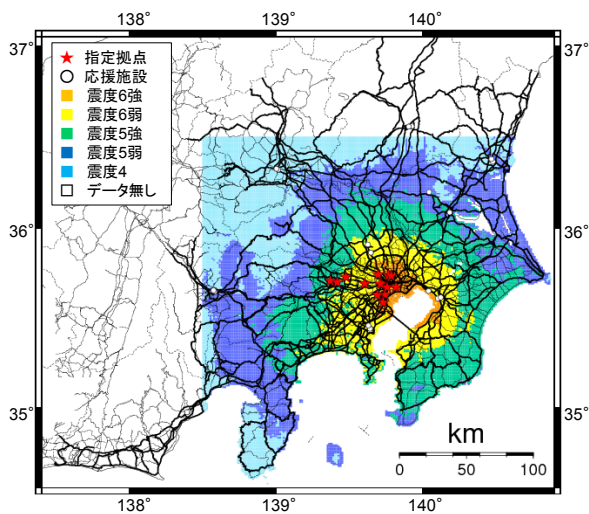


図-3 通信関連の指定拠点、広域応援実施拠点及び首都直下地震震度分布

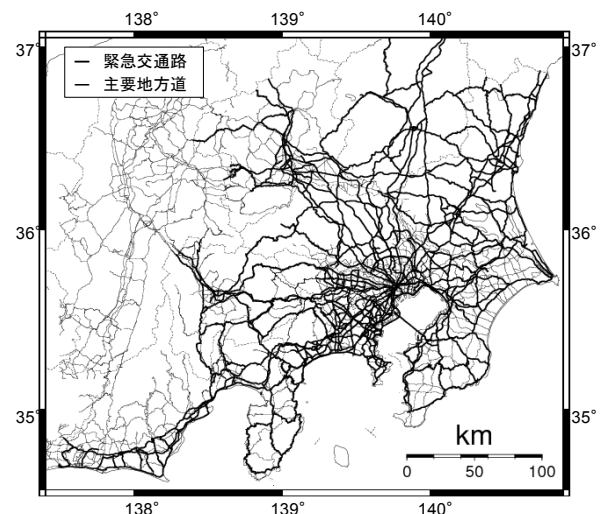


図-4 緊急道路ネットワーク

を抽出した。その結果を表-1に示す。なお文献16)に示される機能支障は、電力の場合は停電軒数、ガスの場合は供給停止軒数、通信の場合は不通回線数を表している。最終的な広域応援実施拠点は、電力の場合は74ヶ所、通信の場合は15ヶ所、ガスの場合は11ヶ所となった。なお、上記事業所の一部は同一ビル又は隣接する建物内に入居している場合もある。

3. 広域応援に関わる緊急道路ネットワーク

(1) 対象とする緊急交通路・輸送路

地震等の災害発生直後は、物資等の緊急輸送を確保するために、各自治体で緊急交通路及び輸送路が指定されており、ライフライン復旧活動に関する広域応援の際にもこれらの路線が使用される。そこで本研究では、東京都及び近接する8県(神奈川県、埼玉県、千葉県、山梨県、群馬県、栃木県、茨城県、静岡県)の地域防災計画^{12), 17)-31)}に記載されている緊急交通路又は輸送路を緊急道路ネットワークと定義し、図-4及び表-3に示すように分析対象とした。な

お、表-3の路線数と延長距離は自治体の地域防災計画における記載値と異なる場合がある。この理由としては、1)自治体により、入手資料からは指定区間の始終点情報が正確でないこと、2)一部の市道の路線名が特定できないため、緊急交通路・輸送路に指定される市道の一部がカウントされていないこと、が考えられる。

(2) 緊急道路ネットワークのモデル化

上記の緊急道路ネットワークをノードとリンクからなるネットワークとしてモデル化した。ここで道路データは国土数値情報³²⁾をベースとしており、ノードとは緊急道路ネットワークの端点及び、緊急道路ネットワーク間の交点の内、交差点やIC等、路線変更が可能な箇所及び後述する道路交通センサスの調査区間の節点とした。またリンクとはノード間の道路のことを指す。なお本研究では、ノードにおける右左折条件やリンクの車線数は考慮していない。以上の手順を図-5に、各都県毎のノード及びリンク数を表-3に示す。本研究では、このリンクを道路を構成する最小単位とみなし、以降で定義する道路機能に関する指標はリンク単位ごとに算出する。

表-3 緊急道路ネットワークの概要

都県	各自治体における 地域防災計画上の呼称	路線数 (参考資料)	路線数 (本研究)	延長距離 (参考資料)	延長距離 (本研究)	ノード数 (本研究)	リンク数 (本研究)
東京都	緊急交通路	37路線 ＋高速道	37路線 ＋高速道	記載なし	737.4km	299	345
神奈川県	緊急交通路指定想定路	54路線	54路線	記載なし	1,227.2km	326	430
千葉県	緊急輸送道路1次路線 (交通規制対象道路)	43路線	43路線	1,335.0km	1342.4km	252	315
埼玉県	第1次特定緊急輸送道路	27路線	26路線	892.7km	863.0km	200	246
茨城県	第1次緊急輸送道路	110路線	66路線	記載なし	1,463.6km	246	319
栃木県	1次緊急輸送道路	34路線	34路線	753.3km	753.7km	153	172
群馬県	第1次緊急輸送道路指定路線	38路線	38路線	725.1km	747.4km	161	184
山梨県	第1次緊急輸送道路	20路線	18路線	654.3km	622.1km	110	121
静岡県	1次緊急輸送路	78路線	57路線	1,110.0km	1,083.1km	256	288

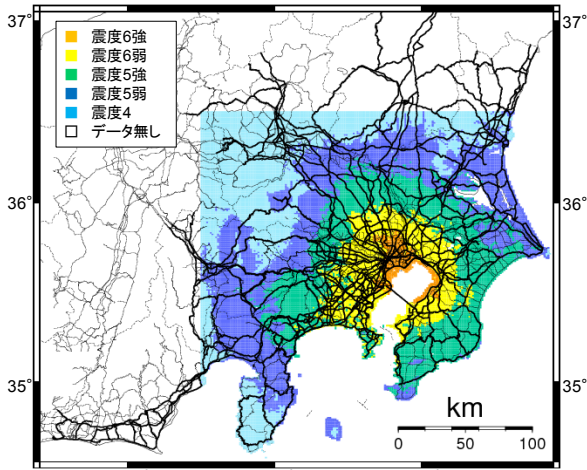
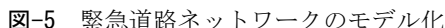


図-6 震度分布(東京湾北部地震M7.3)¹⁶⁾

(3) 道路機能を評価する指標

発災後の道路機能を評価する際には、物理的被害に伴う道路機能の低下及び渋滞等に伴う通行支障(併せて道路交通支障と定義)を考慮する必要がある。本研究では、物理的被害に伴う道路機能の低下を測る指標として震度で曝露された道路延長距離を用いる。図-6のように、想定する震度分布と上記(1)で定義した緊急道路ネットワークを重ね合わせ、リンク毎に震度に対する曝露延長距離を算出した。具体的には、次式のように各リンクごとに震度階 i に該当する道路延長 l_i を算出し、震度階 i における計測震度の中央値 s_i で重みづけした上で積算した。具体的に、震度4の場合は3.95、震度5弱の場合は4.7、震度5強の場合は5.2、震度6弱の場合は5.7、震度6強の場合は6.2を重みとした。

$$d_S = \sum S_i \cdot l_i \quad (1)$$

本研究ではこの値をリンクの震度曝露距離 d_s として定義する．その際には中央防災会議¹⁶⁾や東京都³³⁾において最も被害甚大であると想定される東京湾北部地震M7.3を対象とし，その震度分布を用いている．なお，図-6において震度データが未入手の地域に関しては一律で震度4であると仮定している．また通常，物理的被害を推定するためには，対象とする道路構造物の耐震性能を考慮する必要があるが，本研究で対象とする緊急交通路及び輸送路はこれら

表-4 混雑度と道路交通状況の関係³⁷⁾

混雑度	交通状況の推定
1.0未満	昼間12時間を通して道路が混雑することなく、円滑に走行できる。渋滞やそれに伴う極端な遅れはほとんどない。
1.0～1.25	昼間12時間のうち道路が混雑する可能性がある時間帯が1～2時間ある。何時間か混雑が連続するという可能性は非常に小さい。
1.25～1.75	ピーク時間はもとより、ピーク時間を中心として混雑する時間帯が加率的に増加する可能性の高い状態。ピーク時のみの混雑から日中の連続的混雑への過渡状態と考えられる。
1.75以上	慢性的混雑状態を呈する。

の対策が優先的に進められているため³⁴⁾，今回は路線間の耐震性能の差は扱わないこととした。

また、通行支障を測る指標としては国土交通省の実施する道路交通センサス(平成17年度実施)の「平日混雑度」及び「混雑時平均旅行速度」^{35),36)}を用いた。混雑度とは、道路の交通容量に対する実際の交通量の割合であり、この値が1を超えた場合、実際の交通量が計画容量を超えたことを意味する。混雑度と道路交通状況の関係を表-4に示す。なお、道路交通センサスにおいては、交通量を12時間単位で測定している区間と24時間単位で測定している区間がある。また、混雑時平均旅行速度とは、各路線のピーク時間帯における混雑方向への実走行により所要時間を算出し、その距離で除したものである。

道路交通センサスでは交通量や道路条件に著しい変化のない区間を目安として路線を調査区間に分割し、それぞれの区間に1つの観測地点を設けてデータの収集を行っている。そのため、本データは図-7に示すように点データとなっている。道路交通セン

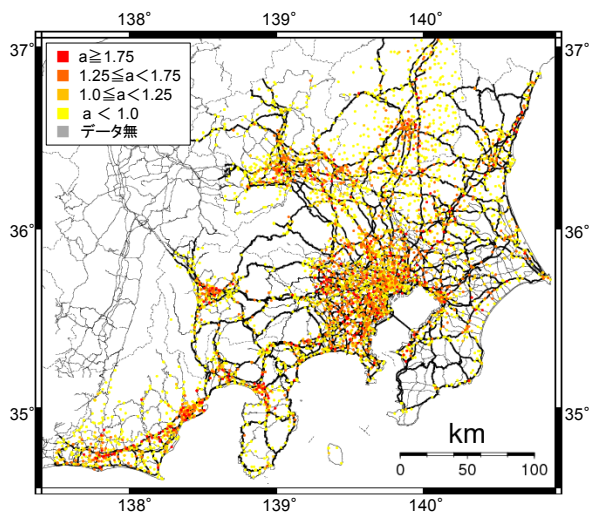


図-7 道路交通センサスのデータ分布(混雑度)

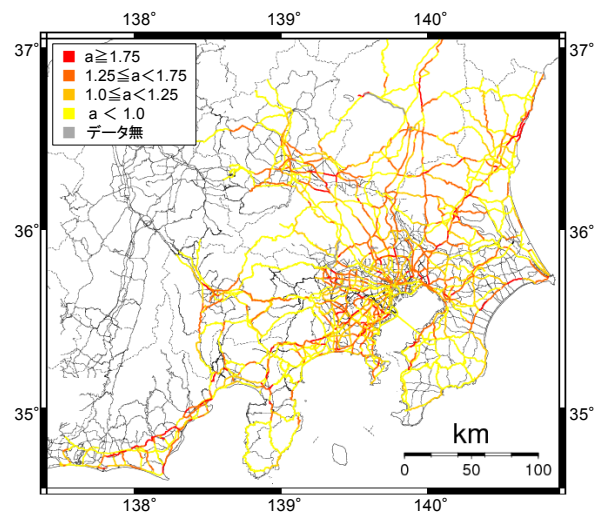


図-8 混雑度分布

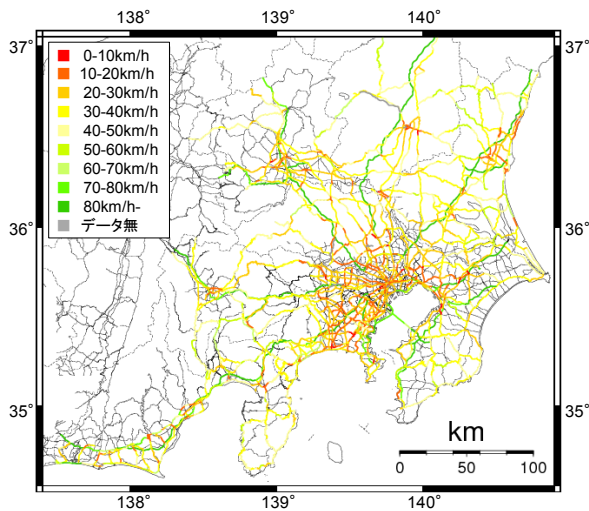


図-9 混雑時平均旅行速度分布

サスでは調査区間の始終点は明確になっているが、本研究では、「交通量や道路条件に著しい変化のない区間」という目安から主要交差点間が調査区間となり得ると仮定し、文献(35),(36)に記載されている各調査区間における観測地点の住所及び調査区間長から独自に調査区間を設定した上で、図-8及び図-9のようにラインデータへ変換した。なお、災害発生後における交通状況は時間の経過とともに変化するが、直後においてはこれらの値は平均的には図-8、図-9に示す状態であると仮定した。

次に、混雑度を用いてリンクごとに混雑度 a_i 及び区間長 l_i を求め、次式のように l_i に a_i を掛けたものを混雑度重み付距離 d_c と定義し、各リンクにおける混雑の程度とした。

$$d_c = a_i \cdot l_i \quad (2)$$

また、リンクごとに混雑時平均旅行速度 v_i 及び区間長 l_i を求め、次式のように l_i を v_i で割ったものを、各リンクにおける混雑時平均所要時間 t_c とした。

$$t_c = l_i / v_i \quad (3)$$

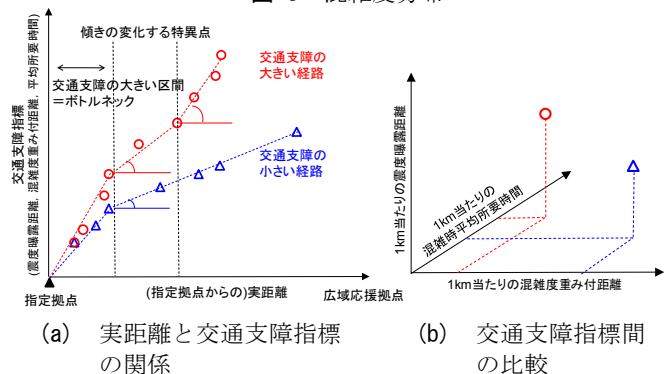


図-10 交通支障を表す指標の概念図

以上により定義した震度曝露距離、混雑度重み付距離及び混雑時平均所要時間を用いて、2章で述べた広域応援実施拠点から応援先である指定拠点までの経路を比較することで、物理的被害発生の可能性の高い経路や交通量の高い経路を相対的に評価することができる。その際には、図-10(a)に示すように、実距離との関係で各指標の傾きやその推移を検討することで、経路ごとの特徴やボトルネックとなる部分の特定につながると考えられる。また図-10(b)に示すように、経路ごとに各指標の積算値を実距離で除し、各指標の重みを1km単位の平均とすることで、複数の指標を考慮した経路間の比較が可能となる。

4. 各ライフラインの広域応援における交通支障の検討

(1) 電力

2章で設定した広域応援実施要件を踏まえて選定した広域応援実施拠点(全74ヶ所)と指定拠点(全18ヶ所)の分布及び想定される移動経路を図-11に示す。これらの施設は、指定拠点から近い順に山梨方面で50～120km、群馬方面で40～165km、栃木方面で70～160km、静岡方面では100～260kmの位置に分布する。図-11における主な移動経路を表-5にまとめた。またこれらの経路における実距離と震度曝露距離、混雑度重み付距離及び混雑時平均所要時間との関係

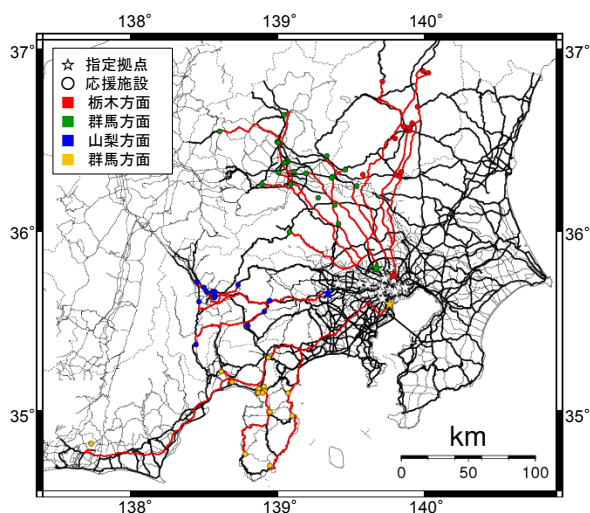


図-11 電力の復旧に関する指定拠点、広域応援実施拠点及び想定移動経路

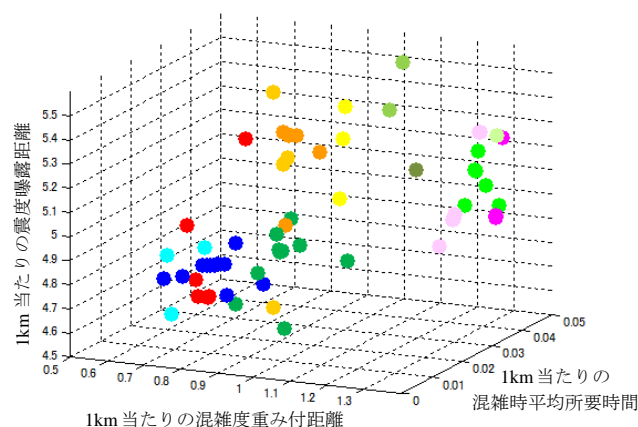


図-13 1km当たりの各指標値の分布

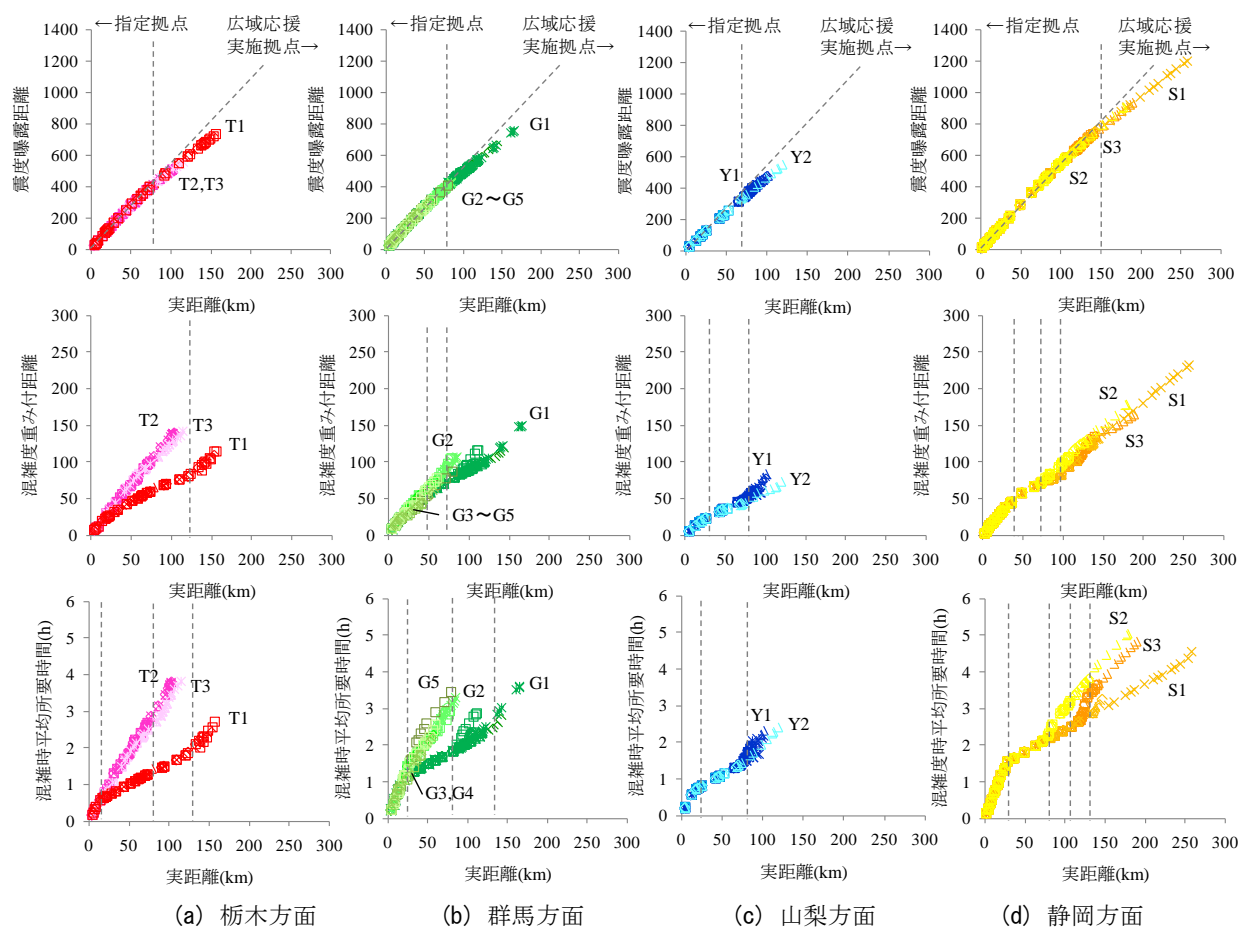


図-12 電力システムの広域応援に関する交通支障の計量化

(上段：震度曝露距離，中段：混雑度重み付距離：下段：混雑時平均所要時間)

表-5 電力システムの広域応援に関わる経路

方面	ルート名	経路 (指定拠点→広域応援拠点)	凡例
栃木方面	T1	東北自動車道	■
	T2	国道4号	■
	T3	国道4号バイパス	■
群馬方面	G1	関越自動車道	■
	G2	国道17号	■
	G3	国道17号→122号	■
	G4	国道17号→国道463号→国道254号	■
	G5	国道17号→国道463号→国道299号	■
山梨方面	Y1	国道20号→中央道→国道20号	■
	Y2	国道20号→中央道→国道139号→国道300号	■
静岡方面	S1	東名高速道路	■
	S2	東名高速道路→国道255号→国道135号	■
	S3	東名高速道路→国道136号	■

を図-12に、各指標を実距離で除し、1km当たりの各指標の値としたものを図-13に示す。

まず、図-12及び図-13より実距離と震度曝露距離の関係を見ると、1km当たりの震度曝露距離は山梨方面(Y2, Y1の順)、栃木方面のT1、群馬方面のG1、栃木方面のT2, T3、群馬方面のG5, G2、静岡方面のS1, S2、群馬方面のG3、静岡方面のS3、群馬方面のG4の順に値が大きくなっていることがわかる。また実距離に対する震度曝露距離の推移をみると、

震度6強、6弱の強い揺れに曝されている路線はグラフの傾きが大きくなり、5弱、4程度の震度に曝されている地域では傾きが緩やかになっている。具体的に、山梨、栃木、群馬方面では指定拠点より70km～80km付近まで、静岡方面では指定拠点から150km付近までの傾きが比較的大きい。

次に実距離と混雑度重み付距離との関係をみると、1km当たりの混雑度重み付距離は、山梨方面(Y2, Y1の順)、栃木方面のT1、静岡方面のS1、群馬方面のG1、静岡方面のS3、S2、群馬方面のG4、G5、栃木方面のT3、群馬方面のG2、G3、栃木方面のT2の順に大きくなっている。実距離との関係で見ると、山梨方面では指定拠点より30km付近で傾きが緩やかになり、80km付近で再び傾きが急になっている。30km以降は中央自動車道で山梨県内を走行する部分であり、80km以降は一般国道走行部を表している。栃木方面については、T2及びT3の傾きがほぼ一様であるのに対し、T1の傾きは指定拠点から120km辺りの一般道走行部で大きくなっている。また群馬方面では、G3～G5経路においては、傾きがほぼ一定であるが、G1では80km以降の関越自動車道走行部の傾きが緩やかに、G2では50km以降の国道17号走行部で傾きが大きくなっている。さらに静岡方面では、指定拠点から50km付近で傾きが緩やかになり、S2では80km付近で、S1では100km付近で再び傾きが大きくなっている。具体的に、50km以降はS1、S2共に東名高速道走行部であり、S2において80km以降は一般国道走行部、S1における100km以降は東名高速道静岡県内走行部である。

さらに実距離と混雑時平均所要時間の関係を見ると、1km当たりの混雑時平均所要時間は、栃木方面のT1、山梨方面(Y2, Y1)、群馬方面のG1、静岡方面(S1, S3, S2の順)、栃木方面のT3, T2、群馬方面のG2, G4, G3, G5の順で大きくなっている。実距離との関係において、1km当たりの値が小さい経路に着目すると、栃木方面のT1では30km～130km、山梨方面では20km～80km、群馬方面のG1では30km～80kmまたは130km、静岡方面では30km～150kmの高速自動車道走行部の傾きが小さくなっており、逆に一般道走行部は傾きが大きくなっている。反対に1km当たりの値が大きい経路に着目すると、栃木方面のT2及びT3においては指定拠点から80km以降において、群馬方面のG2～G5は指定拠点から30kmまでの傾きが特に大きくなっている。

以上より、指定拠点までの実距離、震度曝露の程度、混雑度及び所要時間の面で最も効率的な経路は山梨方面であることが推測される。一方で栃木方面のT2及びT3、群馬方面のG2～G5に関しては、指定拠点までの実距離は近いものの、震度曝露の程度や混雑度において大きな値を示しており、相対的に非効率であると言える。

(2) ガス

広域応援実施拠点(全11ヶ所)と指定拠点(全12ヶ所)の分布及び想定される移動経路を図-14に示す。これらの施設は指定拠点から近い順に、群馬方面で

110～135km、栃木方面で160km、そして静岡方面で180～240kmの位置に分布している。図-14における各方面の主な移動経路を表-6にまとめた。またこれらの経路における実距離と震度曝露距離、混雑度重み付距離及び混雑時平均所要時間との関係を図-15に、1km当たりの各指標値を経路間で比較したものを図-16に示す。

まず、図-15及び図-16より実距離と震度曝露距離の関係をみると、1km当たりの震度曝露距離は栃木方面(T1)、群馬方面(G1, G2の順)、静岡方面(S1, S2の順)の順に値が大きくなっていることがわかる。また実距離との関係で見ると、栃木・群馬方面では指定拠点より80km付近まで、静岡方面では指定拠点から150km付近までの傾きが比較的大きい。

次に実距離と混雑度重み付距離との関係をみると、1km当たりの混雑度重み付距離は、栃木方面(T1)、群馬方面のG1、静岡方面(S1, S2の順)、群馬方面のG2の順に大きくなっている。実距離との関係で見ると、栃木方面(T1)では指定拠点から120km付近から傾きが急になっている。また群馬方面では指定拠点から80km付近から傾きに変化し、G1経路では緩やかに、G2経路では急になっている。80km以降は、G1においては関越自動車道走行部であり、G2経路では国道254号走行部であり、この違いが反映されていると考えられる。さらに静岡方面では、指定拠点から50km付近でS1、S2共に傾きが緩やかになり、S2では80km付近で、S1では100km付近で再び傾きが大きくなっている。具体的に、50km以降はS1、S2共に東名高速道走行部であり、S2において80km以降は一般国道走行部、S1における100km以降は東名高速道静岡県内走行部である。

さらに実距離と混雑時所要時間の関係を見ると、1km当たりの混雑時平均所要時間は、栃木方面(T1)、群馬方面のG1、静岡方面のS1、群馬方面のG2、静岡方面のS2の順で小さくなっている。実距離との関係でみると、全方面に共通して指定拠点から20km～30km前後の一般道路走行部の傾き及び、栃木方面(T1)では120km以降、群馬方面のG2及び静岡方面のS2では80km以降の一般道路走行部の傾きが大きくなっている。

以上より、指定拠点までの実距離、震度曝露の程度、混雑度及び所要時間の面で最も効率的な経路は栃木方面であることが推測される。一方でいずれの指標とも大きな値を示したのは静岡方面のS2であり、相対的に非効率な経路であると言える。また、群馬方面に関しては、混雑度及び所要時間に関してはG1経路の方が数値が低く効率が良いが、震度曝露の程度はG2経路の数値がわずかに低く、効率が良いと言える。

(3) 通信

広域応援実施拠点(全15ヶ所)と指定拠点(全11ヶ所)の分布及び想定される移動経路を図-17に示す。これらの施設は指定拠点から近い順に、山梨方面で90km、群馬及び栃木方面で100km、そして静岡方面で175kmの位置に分布している。図-17における各

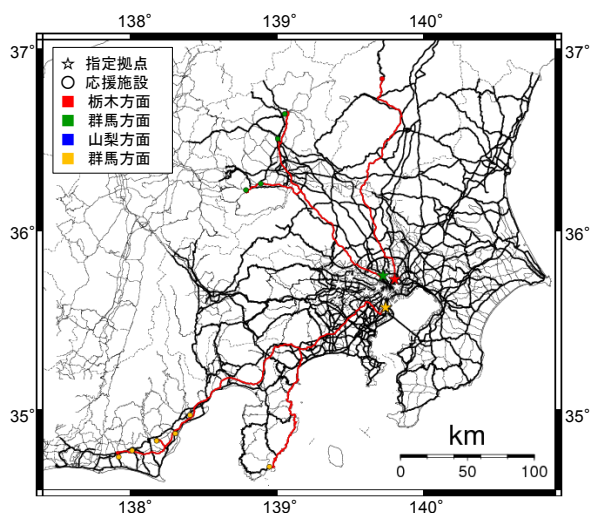


図-14 ガスの復旧に関する指定拠点，広域応援実施拠点及び想定移動経路

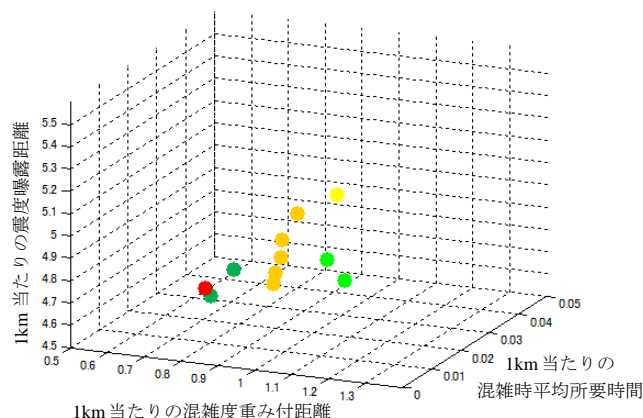


図-16 1kmあたりの各指標値の分布

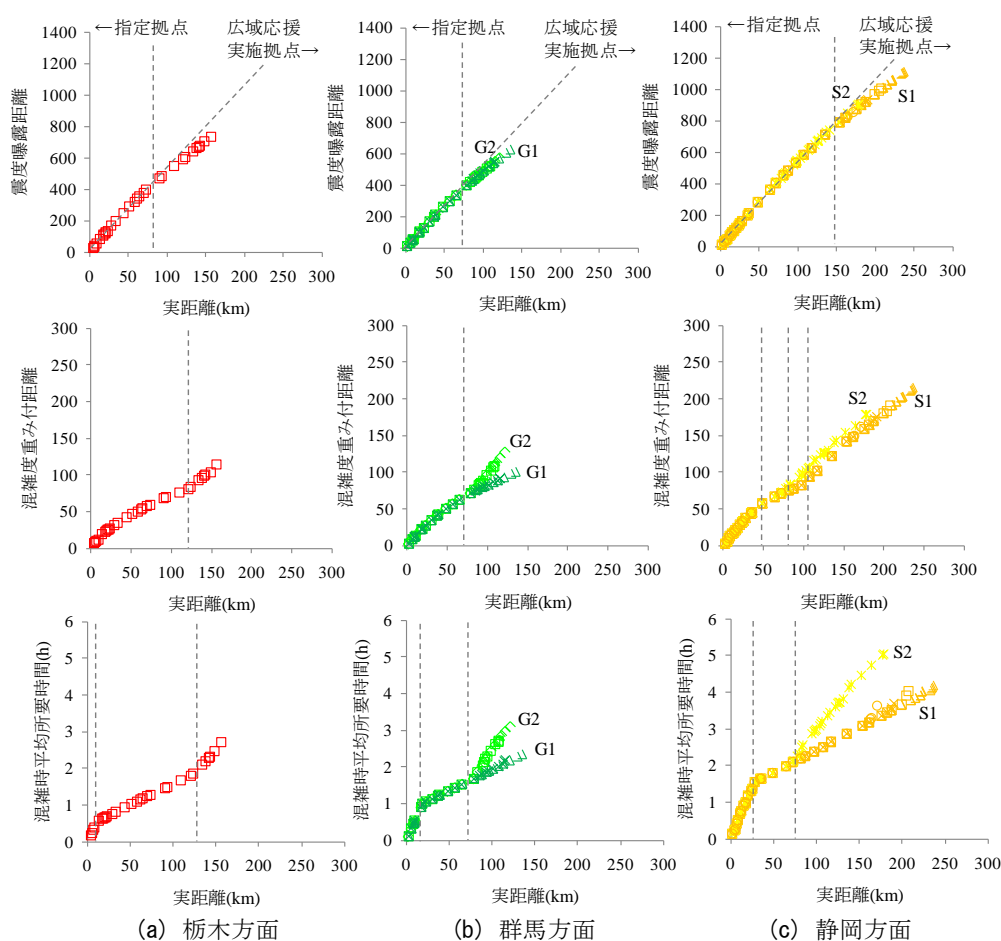


図-15 ガスシステムの広域応援に関する交通支障の計量化
(上段：震度曝露距離，中段：混雑度重み付距離：下段：混雑時平均所要時間)

表-6 ガスシステムの広域応援に関わる経路

方面	ルート名	経路(指定拠点←広域応援実施拠点)	凡例
栃木方面	T1	国道4号←東北自動車道←国道119号	■
	G1	国道254号←関越自動車道←国道17号	■
群馬方面	G2	国道254号←関越自動車道←国道254号	■
	S1	東名自動車道	■
静岡方面	S2	東名自動車道←国道135号	■

方面の主な移動経路を表-7にまとめた。またこれらの経路における実距離と震度曝露距離，混雑度重み付距離及び混雑時平均所要時間との関係を図-18に，1kmあたりの各指標値を経路間で比較したものを図-19に示す。

まず，図-18及び図-19より実距離と震度曝露距離の関係をみると，1kmあたりの震度曝露距離は山梨方面，栃木方面，群馬方面，そして静岡方面の順に

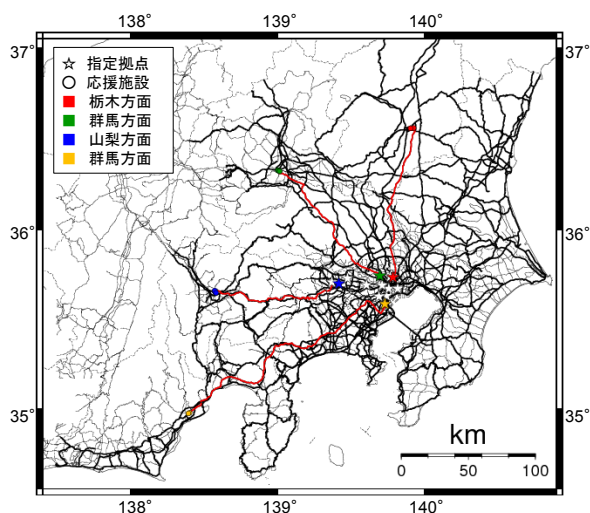


図-17 通信の復旧に関する指定拠点，広域応援実施拠点及び想定移動経路

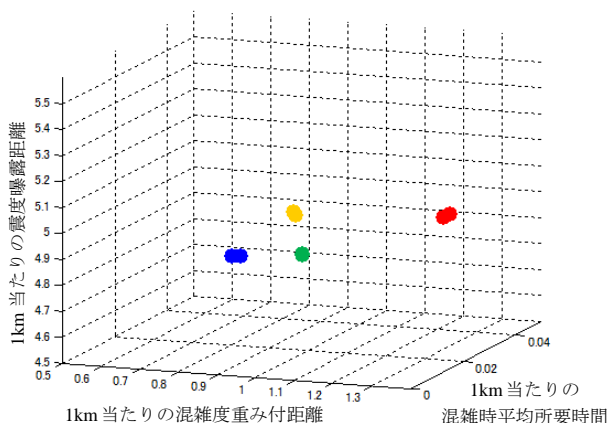


図-19 1km当りの各指標値の分布

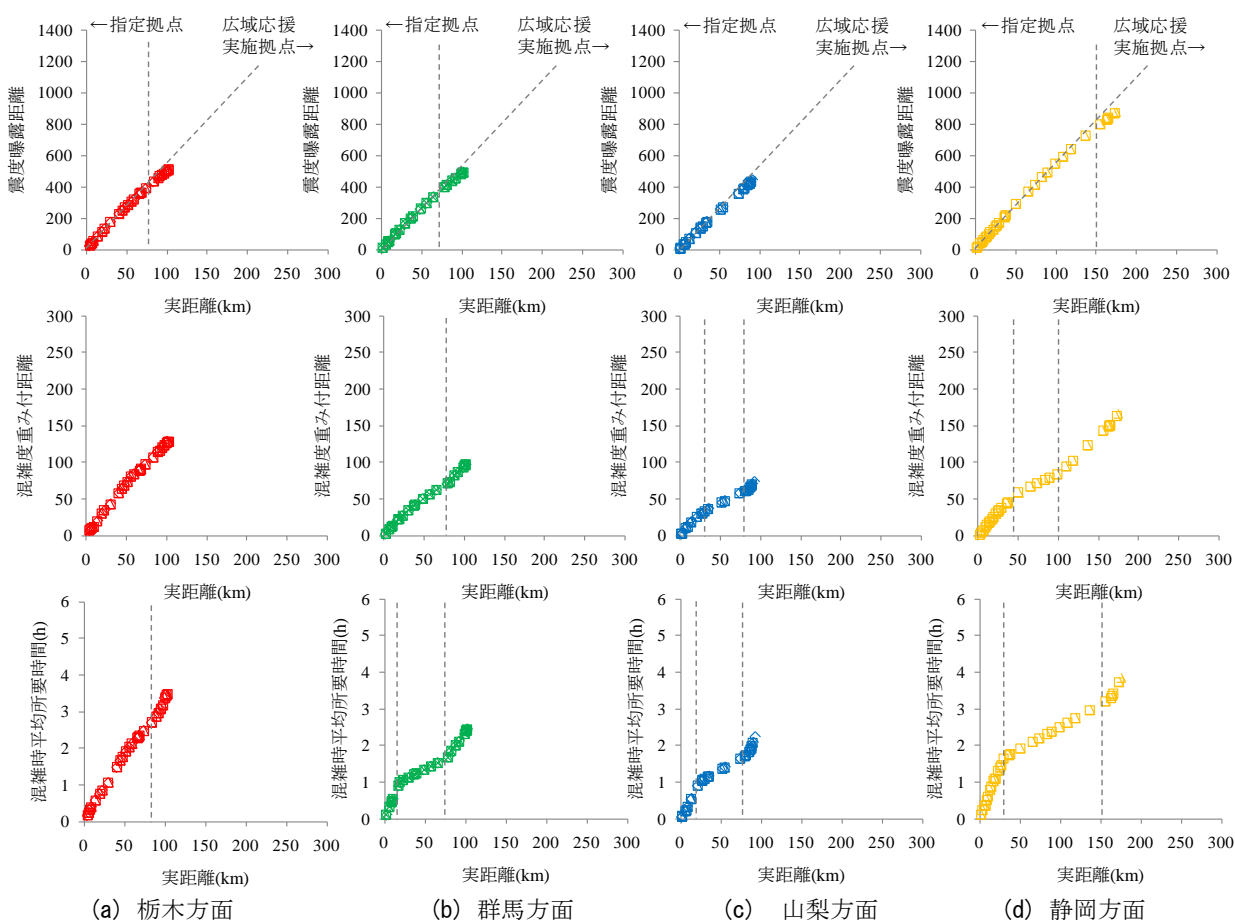


図-18 通信システムの広域応援に関する交通支障の計量化

(上段：震度曝露距離，中段：混雑度重み付距離：下段：混雑時平均所要時間)

表-7 通信システムの広域応援に関わる経路

方面	ルート名	経路(指定拠点←広域応援拠点)	凡例
栃木方面	T1	国道4号	■
群馬方面	G1	国道254号←関越自動車道←国道17号	■
山梨方面	Y1	国道20号←中央自動車道←国道411号	■
静岡方面	S1	東名自動車道	■

値が大きくなっていることがわかる。また実距離との関係で見ると、山梨方面の傾きがほぼ一様である一方、栃木・群馬方面では指定拠点より80km付近まで、静岡方面では指定拠点から150km付近までの傾きが比較的大きい。

次に実距離と混雑度重み付距離との関係を見ると、1km当りの混雑度重み付距離は、山梨方面，群馬方面，静岡方面，栃木方面の順に大きくなっている。実距離との関係で見ると、山梨方面では指定拠点よ

り30km付近及び80km付近から傾きが急になっている。30km以降は中央自動車道で山梨県内を走行する部分であり、80km以降は、一般国道走行部である。また群馬方面では指定拠点から80km付近で傾きが急になっている。80km以降は、国道17号走行部を表している。さらに静岡方面では、指定拠点から50km付近で傾きが緩やかになり、100km付近で再び傾きが大きくなっている。具体的に、50km以降は東名高速道走行部であり、以降は東名高速道の静岡県内走行部である。

さらに実距離と混雑時平均所要時間の関係を見ると、1km当たりの混雑時平均所要時間は、静岡方面、山梨方面、群馬方面、栃木方面の順で大きくなっている。実距離との関係でみると、山梨及び群馬方面では20km～30km、静岡方面では30km～150kmの高速自動車道走行部の傾きが小さくなっており、逆に一般道走行部は傾きが大きくなっている。また栃木方面は相対的に傾きが大きくなっているが、特に指定拠点から80km以降の傾きが大きくなっている。

以上より、指定拠点までの実距離、震度曝露の程度、混雑度及び所要時間の各面で効率の良い経路は山梨方面である。一方、静岡方面は実距離、震度曝露の程度、混雑度とも大きな値を示したが、混雑時における1km当たりの所要時間では最も効率が良かった。栃木方面は、実距離及び震度曝露の程度では効率が良いが、混雑度と所要時間の面で非効率である。また群馬方面は、震度曝露の程度が比較的大きく、その点に関しては非効率であると言える。

5. 結論

本研究では、ライフライン機能の寸断による影響が顕在化する巨大都市型災害の代表例として首都直下地震災害を念頭におき、首都圏におけるライフラインシステムの被災を想定して、広域応援の際の道路交通支障の影響を定量的に検討した。その際には、東京都及び隣接する8県の緊急交通路及び輸送路を対象に、交通支障の指標として震度曝露距離、混雑度重み付距離、混雑時平均所要時間を用い、都内の指定拠点への応援経路を定量的に評価した。その結果、ライフラインごとに経路間の特徴が以下のように明らかとなった。

- 電力システムに関する広域応援実施拠点から指定拠点までの広域応援に関しては、実距離、震度曝露の程度、混雑度及び所要時間の面で最も効率的な経路は山梨方面である。一方、栃木方面及び群馬方面に関しては指定拠点までの実距離は相対的に近いものの、具体的に使用する路線によって震度曝露及び混雑の程度が大きくなり、相対的に非効率である経路も見られた。
- ガスシステムに関する広域応援実施拠点から指定拠点までの広域応援に関しては、実距離、震度曝露の程度、混雑度及び所要時間の面で

最も効率的な経路は栃木方面である。一方で静岡方面の経路において、国道135号を利用する経路は、いずれの指標においても非効率であった。群馬方面に関しては、混雑度及び所要時間に関して効率が良いが、震度曝露の面から見て非効率な経路と、震度曝露の程度から見て効率が良いが、混雑度及び所要時間の面で非効率な経路が存在した。

- 通信システムに関する広域応援実施拠点から指定拠点までの広域応援に関しては、指定拠点までの実距離、震度曝露の程度、混雑度及び所要時間の各面で効率の良い経路は山梨方面である。一方、静岡方面は実距離、震度曝露の程度、混雑度の面から最も効率的な経路であると言える。

謝辞：本研究は、首都直下地震防災・減災特別プロジェクト「広域的危機管理・減災体制の構築に関する研究」（研究代表者、京都大学・林春男教授）の助成を得て実施されました。その際には、本プロジェクトにおけるライフライン研究グループ（リーダー、千葉大学・山崎文雄教授）のメンバーの方々からは貴重な御助言等を頂戴しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Noda, S. : Optimum Post-Earthquake Restoration of A Telephone System Using Neural Networks, Journal of Natural Disaster Science, Vol.15, No.1, pp.91-111, 1993
- 2) 佐賀井重雄, 朱牟田善治: 災害時の配電設備の応急復旧過程シミュレータの開発(その1)—シミュレータの設計およびプロトタイプシミュレータの開発—, 電力中央研究所報告, R07004, 2008.2
- 3) 佐賀井重雄, 朱牟田善治: 災害時の配電設備の応急復旧過程シミュレータの開発 (その2)—営業所大への拡張と応急復旧方式の拡充—, 電力中央研究所報告, R08031, 2009.6
- 4) 高橋誠, 栗田哲史, 福島誠一郎, 嶋田昌義, 高橋聡: 緊急車両ルート及び救援物資流通経路の探索, 第26回地震工学研究発表会 講演論文集, Vol.2, 2001.8, pp.1461-1464
- 5) 岡田憲夫, 梶谷義雄, 榊原弘之, 多々納裕一: 直下型地震の発生を想定した都市圏道路網の分散・集中特性の性能評価モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.632, 1999.10, pp.93-104
- 6) 川上英二: 道路交通システムの機能上の耐震性の一評価方法, 土木学会論文報告集, No.327, 1982.11, pp.1-11
- 7) 飯田恭敬, 若林拓史, 福島博: 道路網信頼性の近似解析方法の比較研究: 土木学会論文集, No.407/IV-11, 1989.7, pp.107-116
- 8) 朝倉康夫, 柏谷増男, 藤原健一郎: 道路網の機能的階層性と災害時の時間信頼性との関連, 土木学会論文集, No.583/IV-38, 1998.1, pp.51-60

- 9) 能島暢呂, 山中敏裕: 道路ネットワークの地震時機能信頼性解析に基づく施設改善の重要度評価, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, 1998.11, pp.3205-3210
- 10) 能島暢呂, 久世益充, 杉戸真太, 鈴木康夫: 震度曝露人口による震災ポテンシャル評価の試み, 自然災害科学, Vol.23, No.3, 2004, pp.363-380
- 11) 鈴木進吾, 林春男: 首都直下地震災害の曝露指標の算出とその地域的特性に関する研究, 地域安全学会論文集, No.10, 2008, pp.97-104
- 12) 東京都防災会議: 東京都地域防災計画震災編, 平成19年修正
- 13) 東京電力株式会社: 防災業務計画, 平成18年7月修正
- 14) 東京ガス株式会社: 防災業務計画, 平成21年4月
- 15) 日本電信電話株式会社: 防災業務計画, 平成20年7月
- 16) 中央防災会議: 首都直下地震対策専門調査会報告, 平成17年7月
- 17) 警視庁HP: 震災時の交通規制,
<http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kotu/kamae/sinsai2.htm>
- 18) 神奈川県: 神奈川県地域防災計画ー地震災害対策計画ー, 平成17年3月
- 19) 神奈川県: 神奈川県地域防災計画ーマニュアル・資料ー, 平成21年12月
- 20) 神奈川県警察HP: 緊急交通路指定想定路(54路線),
<http://www.police.pref.kanagawa.jp/mes/mesf3046.htm>
- 21) 埼玉県防災会議: 埼玉県地域防災計画震災対策編, 平成21年1月
- 22) 埼玉県HP: 埼玉県緊急輸送道路網図, 平成19年3月改訂,
<http://www.pref.saitama.lg.jp/uploaded/attachment/398986.pdf>
- 23) 千葉県: 千葉県地域防災計画震災編, 平成19年3月
- 24) 山梨県防災会議: 山梨県地域防災計画, 平成20年12月
- 25) 群馬県防災会議: 群馬県地域防災計画震災対策編, 平成21年6月
- 26) 群馬県防災会議: 群馬県地域防災計画資料編, 平成19年11月
- 27) 栃木県: 栃木県地域防災計画震災編, 平成17年3月
- 28) 茨城県防災会議: 茨城県地域防災計画震災対策計画編, 平成21年2月
- 29) 茨城県防災会議: 茨城県地域防災計画資料編, 平成21年2月
- 30) 静岡県: 静岡県地域防災計画地震対策編, 平成21年8月
- 31) 静岡県内の緊急輸送道路図,
http://www.cbr.mlit.go.jp/kikaku/daikibo_saigai/pdf/01.pdf
- 32) 国土交通省国土計画局: 国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 33) 東京都防災会議地震部会: 首都直下地震による東京の被害想定(最終報告), 平成18年3月
- 34) 国土交通省道路局: 緊急輸送道路の橋梁耐震補強マップ」の公表について, 2006.3.2,
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/06/060302_.html
- 35) 国土交通省関東地方整備局: 平成17年度道路交通センサス,
http://www.ktr.mlit.go.jp/kyoku/road/ir/census_h17/index.htm
- 36) 静岡県土木部道路企画室: 平成17年度道路交通センサス報告書一般交通量調査,
<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-210/sen.html>
- 37) 社団法人日本道路協会: 道路の交通容量, 1984

(原稿受理2010年7月23日)

THE RELATION BETWEEN THE FUNCTION ON EMERGENCY ROAD NETWORKS AND THE EFFICIENCY OF LOCAL ASSISTANCE DURING THE POST-EARTHQUAKE RESTORATION PROCESS OF LIFELINE SYSTEMS

Ayumi TOYOTA and Gaku SHOJI

This paper aims to show the function of emergency road networks after an earthquake in perspective of local assistance for the restoration process of lifeline systems such as electric power supply systems, gas supply systems and telecommunication networks. For the analysis, the earthquake in Tokyo metropolitan area and the following assistance from related facilities with above lifeline systems in the Kanto area are assumed. We employ three indexes to quantify physical and functional state of the road networks to be used during post-earthquake restoration process: distance exposure for seismic intensity, congestion level and predicted traveling time based on the traffic census.