

平成 21 年 4 月 1 日現在

研究種目： 基盤研究（C）  
 研究期間： 2006 ～ 2008  
 課題番号： 18510161  
 研究課題名（和文） 複雑ネットワーク解析に基づく社会基盤施設の相互依存性と被害連鎖モデルの開発  
 研究課題名（英文） Modeling interdependencies and disaster spread among infrastructures on the basis of complex network analysis  
 研究代表者  
 能島 暢呂（NOJIMA NOBUOTO）  
 岐阜大学・工学部・教授  
 研究者番号： 20222200

研究成果の概要： 相互依存性が高い社会では、災害や事故の影響が連鎖的に波及し、広域化・長期化する。本研究は複雑ネットワーク解析の概念をもとに、単発的・局所的・散発的・破局的な被害パターンに対するネットワークの脆弱性評価を行い、影響の連鎖的波及構造を明らかにするとともに、単独事故や、内陸活断層による都市直下型地震、中山間部の地震被害、海溝型巨大地震の広域被害等に対する影響波及防止方策について、経験的・実証的・数値実験的に有用な知見を得た。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,700,000	0	1,700,000
2007 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,600,000	570,000	4,170,000

研究分野：地震工学，地震防災工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード： 複雑ネットワーク，相互依存性，地震災害，ライフライン，重要インフラ防護，スケールフリー性，耐攻撃性，耐障害性

## 1. 研究開始当初の背景

今日の社会基盤施設や社会機能は、各種のシステムが相互に連結され依存し合った複雑な体系のもとに成り立っている。現代社会の高い利便性は、種々のライフライン施設と社会機能が織り成す高度な相互依存性と表裏一体の関係にあるともいえる。ところが災害や事故によって一部にひとたび障害が生じると、それが連鎖的に拡大して広域的・長期的な影響を及ぼす可能性がある。実際に近年、国内外で発生している自然災害・事故・

テロなどによる被害の影響が、想像をはるかに超えた範囲まで及ぶことが多くなってきている。一方、1998 年頃からサイエンス分野では、「複雑ネットワーク解析」が急速に進展を遂げており、社会の諸現象をネットワーク的な観点から捉えなおし、その基本構造を解明しようとする動きがある。最近では、異常発生に伴うネットワーク特性の評価や、ネットワーク上を伝播する種々の現象のモデル化、挙動解明、問題発見、解決策の探索、などに応用範囲が広がっている。こうした手

法やものの見方を応用・拡張することによって、社会構造の相互依存性に起因する脆弱性や被害影響波及のメカニズムが解明される可能性が見出されたことが、研究の背景である。

## 2. 研究の目的

本研究ではまず、地震時にも安全・安心な社会構築に向けて、複雑ネットワーク解析の概念を応用し、ライフライン施設と社会機能の相互依存構造とそれに起因する被害連鎖構造を解明することを目的とする。さらに、複雑化したライフラインネットワーク構造と災害・事故・テロなどによる様々な被害パターンが被害連鎖に与える影響について明らかにしたうえで、施設の脆弱性低減、バックアップ設備の設置、ネットワークのトポロジカルな構造に関する対策など、影響波及防止方策を含めた検討を行う。以上により、社会機能の効果的な防護につながる課題を抽出することを目標としている。

## 3. 研究の方法

相互依存性を持つライフラインおよび社会機能の被害連鎖は、施設のネットワーク構造と、災害・事故によるネットワーク上の被害パターンにより規定される。被害パターンは、その原因となる被害要因によって強く支配される。従って、両者を関連付けた考察が必須であることから、本研究では研究を進めるにあたって、以下の(i)~(iv)の4分類を設け、これら手がかりにして、下記の(1)~(4)の4項目について検討を行うこととした。

- (i) 単発的被害：全体系において単発的に生じる被害（小規模事故など）
- (ii) 局所的被害：同時多発的な被害の局所的発生（内陸活断層の都市直下地震など）
- (iii) 散発的被害：同時多発的な被害の広域的・散発的発生（中山間部の地震被害など）
- (iv) 破局的被害：同時多発的な被害の広域的・破局的発生（海溝型巨大地震の広域被害など）
- (1) ネットワーク構造と被害パターンが連鎖的波及に与える影響の考察  
複雑ネットワークにおける被害波及に関する基礎的知見を得るため、「複雑ネットワーク解析」の応用の可能性について検討することとした。ネットワーク特性（階層構造・スモールワールド性・スケールフリー性）を考慮してネットワークモデルを構築し、そのネットワーク構造と被害パターン(i)~(iv)の組み合わせによって規定されるネットワーク脆弱性について検討する。
- (2) ライフライン施設の地震時脆弱性および被害関数に関する検討

被害パターン(ii)~(iv)の発生形態の検討に必要な基礎資料を得るため、複雑ネットワークの物理的脆弱性と被害関数について、施設統計データ（上水道配水管、ガス導管）や実被害データ（電力システムの停電）に基づいて、実証的に検討を行うこととした。

## (3) 相互依存するライフライン機能の被害連鎖に関する検討

被害パターン(i)の典型例としては、首都圏大停電の事例に基づいた実証的検討を進めることとした。被害パターン(ii)~(iv)の状況下における複合的な被害連鎖を扱うには、ライフライン系と社会経済活動の各内部での相互依存性に加えて、両者の間にも複雑な相互依存性があることに注意が必要である。そこで、1)ライフライン全体系に複合的に依存している社会経済活動に及ぼす影響、2)相互依存的に機能する社会システムにおいて拡大波及するライフライン被害の影響、3)ライフライン間の相互依存性に起因する被害波及の影響、に分類したうえで、それぞれの側面について考察することとした。

## (4) ライフライン施設における被害の同時多発に関する確率論的検討

同時多発的被害を扱う被害パターン(ii)~(iv)では、近接して設置されたライフライン施設において近距離内で同時被害が発生することがあり、物理的被害波及や復旧現場での復旧支障を引き起こし、被害拡大の原因となる。そこで、複数ライフラインにおける同時多発被害発生の可能性とその分布について、確率論的考察を行うこととした。

## 4. 研究成果

### (1) ネットワーク構造と被害パターンが連鎖的波及に与える影響の考察

複雑ネットワーク解析の分野で用いられている基礎的概念を応用して、ネットワーク構造と被害パターンが被害連鎖に与える影響について考察を行った。まず、スケールフリーネットワークの代表例としてBAモデルをとりあげ、数値シミュレーションにより耐障害性（error tolerance）および耐攻撃性（attack tolerance）についての考察を行った。パフォーマンス評価指標としては、ノード間到達可能率、平均ノード間距離、クラスター数、最大クラスターサイズ、孤立ノード数といった機能評価指標を定義した。その結果、スケールフリー性を持つBAモデルにおいては、標的を定めたハブ被害はランダム被害より著しく機能を悪化させることがわかり、スケールフリーネットワークの脆弱性の特徴が明らかとなった。複雑ネットワーク解析という新興分野の視点を取り入れることによって、被害波及の防止軽減を考える上で有用な知見を得ることができた。

次に、平常時における社会インフラの相互

依存体系を記述するため、ネットワークの階層構造（上位に位置するノードが、下位に位置するノードに支配的な影響力を持つような階層ネットワークを構成）・スモールワールド性（一部のノードが位置的にかけ離れたノードとのリンクを持ちショートカットとして機能）・スケールフリー性（一部のノードが非常に多くのリンクを持ちハブあるいはコネクターとして機能）といった特性に注意しながら、分析対象として、わが国における国内線の航空路線網と、被災事例のあるネットワークとして新潟県中越地震における被災道路網を選出し、それらのネットワークモデルを構築した。これを用いたシミュレーションにより自然災害・事故・テロなどの事象による被害パターン（ランダム被害と狙いを定めた標的被害）を生成し、耐障害性と耐攻撃性という観点から、被害連鎖に与える影響を考察した。新潟県中越地震による被災道路網については、被害と復旧の実パターンとの比較考察を行った。その結果、スケールフリー性を持つネットワークは次数の高いハブへの攻撃に対する脆弱性が極めて高いこと、グリッド型のネットワークでは被害パターンの影響をあまり強く受けにくいこと、などが明らかにされた。

#### (2) ライフライン施設の地震時脆弱性および被害関数に関する検討

地震被害量は一般的に、「ハザード」「脆弱性」「施設量」の組み合わせ効果として表現され、地震被害想定におけるライフライン施設の地震被害予測も、大枠ではこの概念に基づいて行われている。本研究では、「ハザード」「脆弱性」「施設量」の三要素のうち、特に「脆弱性」に注目して、埋設管路網の地震時脆弱性を平均的な意味で指数化した「脆弱性指数」の評価法を提案した。平成 17 年度の「水道統計（施設・業務編）」の統計データに基づいて、全国 1602 の上水道事業者の脆弱性指数を簡易評価した結果、配水管の 0.3~1.9 程度（平均 0.795）となった。事業者規模との弱い負相関が見られたことから、「脆弱性」と「施設量」が連関することがわかった。また、平成 6~17 年度水道統計に基づいて、脆弱性指数の経年推移を分析したところ、阪神・淡路大震災以降の 10 年間で、配水管の脆弱性指数は全国平均で 20~25%程度低減されたことがわかった。一方、配水管耐震化率は同期間中に全国平均で 2~3 倍に向上したものの、平成 17 年度でも 6%にとどまっている。「耐震化率」は耐震性の一面を表す指標に過ぎないが、「脆弱性指数」は、加えて平常時の施設更新による被害軽減効果をも反映している。従って、広域を対象としたマクロの評価を行う場合や、ライフライン地震対策の進捗状況を定量的かつ簡便に示す指標として有効と考えられる。

さらに同様の観点から、本研究では、広域地震災害が発生した場合のガス供給停止の影響評価を目的として、平成 17 年度の「ガス事業年報」に記載された全国 212 の一般ガス事業者（私営 176、公営 36）を対象として、ガス導管の敷設状況に関する経年変化および全国の現状（圧力別・管径別・管種別の敷設延長距離）について比較・考察した。敷設延長距離は平成 17 年度末には約 23.2 万 km に達しており、管種は「鋳鉄管」「鋼管」「その他」に分類されている。近年では可とう性に優れたポリエチレン管（「その他」に分類）の導入が推進され、過去 15 年間にける年平均 3400km 程度の増加分のほとんどを占めることがわかった。

次に、「ハザード」「脆弱性」「施設量」の三要素のうちの「ハザード」と「脆弱性」によって規定される被害関数を扱った。これまでに開発した「地震時ライフライン機能の簡易推定モデル」で用いられたモデル手法を海外の事例に適用した。原モデルは、震度情報に基づいて、電気・水道・都市ガスの地震時機能を予測・推定するための二段階評価モデルである。これは、1995 年兵庫県南部地震の被災事例に基づいて、ライフライン機能停止の有無と停止期間の関係から構築されたものであり、機能停止の有無を確率で評価する機能的脆弱性関数と、機能停止期間を確率評価する統計的モデルよりなっている。ここでは、ライフライン機能停止の有無を確率的に予測する前段部分について、電力供給システムを対象とした被害関数を構築した。対象とした地震は、2001 年 2 月 28 日に米国ワシントン州シアトル市の南西約 58km を震源として発生した Nisqually 地震（ $M=6.8$ ）である。シアトル市周辺における停電マップと、地震動強度分布（修正メルカリ震度階（MMI）、PGA、PGV）のマップを重ね合わせ、ロジスティック回帰を適用して、地震動強度に基づいて停電確率を予測するモデルを構築した。

#### (3) 相互依存するライフライン機能の被害連鎖に関する検討

ライフラインの同時被災下での被害連鎖の様相は非常に複雑である。本研究では、(i) ライフライン全体系に複合的に依存している社会経済活動に及ぼす影響、(ii) 相互依存的に機能する社会システムにおいて拡大波及するライフライン被害の影響、(iii) ライフライン間の相互依存性に起因する被害波及の影響、に分類したうえで、それぞれの側面について考察を進めた。

まず、供給系ライフラインの地震時機能停止が社会経済活動に与える影響の評価モデルを開発し、供給系ライフラインの機能停止が及ぼす広域的な影響評価のケーススタディを行った。定量化の手段としては、社会経

済活動水準を 0~1 で基準化した「機能充足度」という指標を導入して、その時間的変化を推定するという方法をとっており、(i)特定のライフライン停止パターンに対する機能充足度のモデル、(ii)特定地点における震度依存のライフライン復旧パターンに対する機能充足度のモデル、(iii)想定地震による震度分布を考慮した広域機能充足度のモデル、さらには、(iv)経済的被害評価のために出荷額ベースで貨幣換算したモデル、といったようにモデルを順次拡張した。

具体的な手順は以下のとおりである。まず米国の ATC-25 により規定された業種別のライフライン重要度係数(Lifeline Importance Factor)を利用して、製造業における供給系ライフライン停止パターン(電気・水道・都市ガスの供給停止の有無により構成される $2^3=8$ 通り)ごとの機能充足度を定量化した。次に、震度情報に基づく供給系ライフラインの復旧予測モデルを応用して、停止パターンの確率分布の時系列予測モデルに拡張し、震度をパラメータとして各業種の機能充足度の時間的推移を推定するモデルを構築した。これに対象地域の震度分布と、「事業所・企業統計調査」による従業者数のメッシュデータを組み合わせ、このモデルへの入力とすることによって、製造業の機能的充足度の時間的推移を簡易的に推定する。これを貨幣価値に換算するため、「工業統計調査」による製造品出荷額のデータを考慮して、核業種が地震により受ける経済的影響をマクロ的に推計するというものである。ケーススタディでは製造業を対象としたが、提案手法の基本的概念は、それ限らず非製造業やその他の社会経済活動全般に適用可能で汎用的なものである。これにより、各業種が受ける経済的影響の規模を捉えることが可能となった。

一方、実際の生産活動においては、地震被災要因は非常に多様であり、設備や従業員の被災の影響、原料調達不能や需要減といったサプライチェーンの影響、産業連鎖構造による長期的影響などを考慮しなければならない。相互依存的な企業間ネットワークの破綻に起因する被害連鎖構造をミクロに表現する試みとして、製造業における企業間のサプライチェーンが、ライフライン機能停止におよぼす影響を評価するモデルを構築した。サプライチェーンで連結された、サプライヤ、メーカー、カスタマーを考え、製品受注から、原料発注、製品製造、製品輸送に至るプロセスや、各プロセスで発生するリードタイム、原料・製品の在庫量などの関係を、システム・ダイナミクスでモデル化した。サプライチェーンに影響を与える要因として、地震により発生する工場設備損壊、ライフライン機能停止、輸送能力低下などを組み込んで、パラメトリックに条件を変えて、サプライチェ

ーンの機能水準をシミュレートできるツールを開発した。これにより、サプライチェーンへのライフライン機能停止の影響を中心として、広域的な地震災害連鎖構造をミクロ的に捉えることが可能となった。

さらに、被害波及の現実的な場面に目を向けてみると、バックアップ機能など被害波及を阻止する手段の存在によって、ライフライン停止の影響を短期的には回避可能であるケースが多い。2006年8月14日に首都圏で発生した大規模な停電(首都圏大規模停電)は、首都機能に致命的な打撃を与える事態には至らなかったものの、今後の複雑ネットワークにおける地震災害における機能的被害波及やその被害防止軽減対策を考える上で、貴重な教訓を残すと考えられる。そこで本研究では、2006年首都圏大規模停電の事例を対象として、新聞報道などの文献調査とヒアリング調査を実施し、被害の全体像とその時系列的展開を系統的にとりまとめ、バックアップ施設など影響波及の関連要因を分析して、複雑ネットワークにおける被害波及の防御手段の効果とその限界について基礎的考察を行った。原因事象は、クレーン船と送電線の接触事故という単発の事象であったため停電時間が短く都市機能への影響は最小限で済んだともいえるが、停電の影響は広範囲に及び、現代社会の脆弱性を浮き彫りした。例えば2系統の送電線の同時損傷そのものが想定外であった。「同時被災」は可能性が低いため、防災投資の対象にはなりにくいのが実情であるが、地震時には桁違いに膨大な数の被害が広域に同時多発する。停電が長期化すると予備電源装置の容量を超過し影響波及がさらに広範囲に及ぶと考えられる。地震動によるバックアップ施設損傷の可能性や、道路機能マヒによる自家発電装置の燃料調達不能などの影響も懸念される。2006年首都圏大停電で露呈した問題は、大規模地震災害における被害の様相のごく一端を示したに過ぎないが、現実の被害波及事例として今回の停電の教訓を十分に活かすことが重要である。例えば、「システム内の機能的被害波及」「影響顕在化までの余裕時間」「システム間での機能的被害波及」「バックアップ施設」などの要素を組み込んだ機能的被害波及シミュレーションを通じて、未知の被害波及についての予見力を高めておくことが重要である。

#### (4) ライフライン施設における被害の同時多発に関する確率論的検討

ライフラインの地震時相互連関の問題は、地震発生後の時間スケールにおいては、「物理的被害波及」「機能的被害波及」「復旧支障」の順でとらえることができる。いずれの側面においても、災害規模が大きくなるほど相互影響の度合いも大きくなる。これは、(i)物

理的被害が膨大になりシステム間の物理的影響波及の機会が増すこと，(ii)ライフライン機能停止が長期化して機能的被害波及が顕在化すること，(iii)復旧必要量の絶対量が増えるため復旧作業の錯綜などの復旧支障が随所で発生すること，等によって悪循環に陥るためである。

本研究では，ライフライン相互連関の根本的問題として，近接して設置されたライフライン施設の同時被害発生に焦点を絞り，確率論的考察を行った。物理的被害波及や復旧現場での復旧支障は，物理的な距離が近接しているために生じる問題である。つまり局所的で空間制約が強い事象であるから，複数ライフラインにおける同時多発被害発生の可能性とその分布の分析が必要である。その発生要因としては，ランダム被害が重複して生じる「偶発的同時被害」と，複数ライフラインが地震時に一体となって挙動して被災することに起因する「共通モード被害」に大別される。このうち前者の「偶発的同時被害」を考察対象として，まず，2つのライフラインシステムを対象として，被害が各システムの全長にわたって一様・独立・ランダムに発生し，システム間でも独立であるという仮定のもとで，微小距離の近傍(セグメントと呼ぶ)における同時被害発生率および同時発生数について確率論的に考察した。その結果，同時被害発生率は，2つのシステムの被害発生率と，セグメント長の積で求められることを示した。さらに，任意のセグメント長(微小ではない場合も含む)において発生する同時被害について検討するため，全長が任意の個数のセグメントに分割されたシステムを対象として論を展開し，セグメントごとの同時被害発生確率を定式化した。これらに基づいて，システム全体における同時被害発生数の推定式を提案した。さらに，地震動強度，地盤条件，施設の脆弱性などの要因により被害率が空間的に変動する現実的状况を想定した場合，非定常ポアソン過程を導入することによって，定常ポアソンモデルを拡張的に適用可能であることを示した。

一方，複数のライフライン施設が同一箇所に取りまとめられて設置されているような状況では，いわば必然的に同時被害が発生することがある。例えば，ライフライン添架橋梁の落橋，大規模液状化，盛土の大規模崩壊などである。こうした場合には，システム間の被害発生が独立とは見なせないため，複数システムに被害を及ぼす「共通モード」として別途モデル化する必要があるが，これについては今後の課題とした。

##### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文](計10件)

能島暢呂・袴田健太：ライフライン施設の地震時同時被害発生に関する確率論的モデル，東濃地震科学研究所報告，No.24，2009.3，pp.27-37．査読無．

能島暢呂：脆弱性指数を用いたライフライン網の地震時脆弱性評価～上水道配水管網への適用～，地域安全学会論文集No.10，2008.11，pp.137-146．査読有．

馬場美智子・吉田禎雄・能島暢呂・奥寺敬：広域災害に対応した救急医療搬送システム評価のためのシミュレーションモデルの開発 - 東海地震を想定した静岡市の人的被害予測を用いた検証 - ，土木計画学研究・論文集，Vol.25，No.1，2008.9，pp.129-140．査読有．

能島暢呂・久世益充・杉戸真太：2000～2005年の主な地震による震度曝露人口と住家・人的被害との相関に関する考察，自然災害科学，Vol.25，No.2，2006，pp.165-182．査読有．

Park, J., Nojima, N. and Reed, D. A.: "Nisqually Earthquake Utility Analysis," Earthquake Spectra, EERI, Vol.22, No.2, pp.491-509, May 2006. 査読有．

朴亨斌・能島暢呂・杉戸真太・佐藤慶昇：重要インフラ防護(CIP)のための複雑ネットワークの耐障害性・耐攻撃性の評価について，第12回日本地震工学シンポジウム論文集，2006.11，paper No.282，pp.1234-1237 (on CD-ROM)．査読有．

白谷啓行・能島暢呂・杉戸真太・佐藤慶昇：供給系ライフラインの地震時機能停止が製造業に与える影響の評価モデル，第12回日本地震工学シンポジウム論文集，2006.11，paper No.283，pp.1238-1241 (on CD-ROM)．査読有．

久世益充・杉戸真太・能島暢呂・榎本祐樹：中部地域を対象とした広域・詳細震度分布即時推定システムに関する検討，第12回日本地震工学シンポジウム論文集，2006.11，paper No.308，pp.1338-1341 (on CD-ROM)．査読有．

能島暢呂・上野幸代・杉戸真太：サプライチェーンのシステムダイナミクス・モデルによる事業継続計画(BCP)の策定支援，東濃地震科学研究所報告，No.19，2006.11，pp.73-88．査読無．

能島暢呂・朴亨斌・佐藤慶昇・杉戸真太：重要インフラ防護のための複雑ネットワークの耐障害性と耐攻撃性の評価，東濃地震科学研究所報告，No.19，2006.11，pp.55-72．査読無．

##### [学会発表](計17件)

袴田健太・能島暢呂：復旧支障の原因となるライフラインの近接被害発生に関する確率論的考察，土木学会中部支部平成20年度研究発表会講演概要集，2009.3，1-18，pp.35-36，名城大学。

岡田知樹・能島暢呂：主要98断層帯の地震リスク比較，土木学会中部支部平成20年度研究発表会講演概要集，2009.3，1-14，pp.27-28，名城大学。

Nojima, N.: "Seismic Vulnerability Index for Lifeline Facilities," Proc. of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17, 2008, Paper No.06-0130. (on CD-ROM)

Kuse, M., Sugito, M. and Nojima, N.: "Prompt Estimation of Strong Ground Motion Near Focal Region Based on Fault Inversion from Acceleration Records," Proc. of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 12-17, 2008, Paper No.03-01-0052. (on CD-ROM)

能島暢呂：2006年首都圏大規模停電の影響波及に関する考察，地域安全学会梗概集，No.22，2008.5，pp.61-66，洞爺湖町。

能島暢呂：震度曝露人口と住家・人的被害との相関に関する検証 - 2007年能登半島地震と新潟県中越沖地震に基づく - ，第27回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，2008.9，pp.59-60，九州大学。

安藤騰志・能島暢呂・袴田健太：脆弱性指数を用いた上水道管路の地震時脆弱性評価，土木学会中部支部平成19年度研究発表会講演概要集，2008.3，1-48，金沢大学。

袴田健太・能島暢呂・安藤騰志：脆弱性評価のためのガス導管敷設状況に関する考察，土木学会中部支部平成19年度研究発表会講演概要集，2008.3，1-52，金沢大学。

神谷篤・能島暢呂：緊急地震速報の不確定性が地震動強度の推定精度に及ぼす影響，土木学会中部支部平成19年度研究発表会講演概要集，2008.3，1-45，金沢大学。

廣瀬正憲・能島暢呂・杉戸真太：地震マグニチュードと震度曝露面積の関係について，土木学会中部支部平成19年度研究発表会講演概要集，2008.3，1-41，金沢大学。

Nojima, N., Shiratani, H. and Sugito, M.: "Modeling Impact Lifeline Disruption on the Industrial Sector in Earthquake Disaster," Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering, Ottawa, Ontario, Canada, June 2007,

Paper No.1254 (on CD-ROM).

酒井陽・能島暢呂・杉戸真太・久世益充：シナリオ型地震動推定における不確定性に関する基礎的検討，土木学会中部支部平成18年度研究発表会講演概要集，2007.3，1-19，pp.37-38，名古屋大学。

Nojima, N.: "Evaluation of Functional Performance of Complex Networks for Critical Infrastructure Protection," First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, Sept. 2006, Paper No.413.

Kuse, M., Sugito, M., Nojima, N. and Enomoto, Y.: "Rapid Estimation of Seismic Intensity Distribution on the Basis of Inversion for Huge Earthquake," First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, Sept. 2006, Paper No.914.

能島暢呂：相互依存性を考慮した被害波及分析と被害防止軽減策について，平成18年度土木学会全国大会研究討論会，研-21「地震工学のフロンティア - 統合シミュレーションの可能性 - 」資料，2006.9，4p，立命館大学。

佐藤慶昇・朴亨斌・能島暢呂・杉戸真太：重要インフラ防護のための複雑ネットワークの耐障害性と耐攻撃性に関する考察，第61回土木学会年次学術講演会 2006.9，1-309，pp.617-618，立命館大学。

白谷啓行・佐藤慶昇・能島暢呂・杉戸真太：地震時ライフライン機能停止が製造業に及ぼす影響評価第61回土木学会年次学術講演会，2006.9，1-291，pp.581-582，立命館大学。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

能島 暢呂 (NOJIMA NOBUOTO)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：20222200

### (2) 研究分担者

杉戸 真太 (SUGITO MASATA)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授

研究者番号：60115863

久世 益充 (KUSE MASUMITSU)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・助教

研究者番号：30397319

### (3) 連携研究者

該当なし