

平成22年 5月24日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19710149
 研究課題名 (和文) 社会基盤施設の機能障害を対象とした多次元リスク許容基準評価手法の開発
 研究課題名 (英文) Development of multi-dimensional acceptable risk criteria for functional failures of infrastructures

研究代表者
 梶谷 義雄 (KAJITANI YOSHIO)
 (財) 電力中央研究所・地球工学研究所・主任研究員
 研究者番号：80371441

研究成果の概要 (和文)：社会基盤の機能障害発生時における企業の事業継続や人命損失回避の観点から、リスク許容基準設定にかかわる調査・分析方法を開発した。より具体的には、地震災害後の現地企業の調査結果をもとに、社会基盤の機能支障発生時における各企業の事業継続可能性ならびに操業レベルを推計するための統計モデルを作成したほか、各種災害統計データとアンケート調査結果をもとに、生命損失に対する個人のリスク許容基準を設定する方法を提案し、有効に機能し得ることを実際の調査を通して確認した。

研究成果の概要 (英文) : Survey and analysis models for determining risk acceptance criteria are developed from the aspect of business continuity and life loss prevention during infrastructure failures. Statistical model for determining business operation level is developed based on the surveys to the firms damaged by recent earthquake disasters. In addition, survey methodology to determine the life risk acceptance criteria is designed based on the past disaster and accident records is designed and its effectiveness is confirmed through the actual pilot surveys.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,200,000	630,000	3,830,000

研究分野：防災計画, 経済分析

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全工学

キーワード：社会基盤施設, リスク許容基準, 経済影響評価

1. 研究開始当初の背景

自然災害、大規模事故などに伴って発生する公共交通機関の麻痺や停電などのインフラ障害リスクの評価とその対策水準の検討が大きな課題となっている。2006年においても、東京圏における停電やJR京葉線の停止、広島県呉市における水道ライフラインの供

給停止など、比較的大規模なインフラ施設障害が発生し、社会経済面において甚大な被害影響を及ぼした。こうしたインフラ障害リスクに対応するためには、施設管理者側の事前・事後対応のあり方を議論するだけでなく、突発災害に対する社会全体の被害吸収能力についても検討し、施設管理者側と利用者側

双方の事情を勘案したリスク許容基準(Risk Acceptance Criteria)を設定することが肝要となる。

リスク許容基準については、原子力やダム分野において、主に人的被害を対象に検討が行われており、許容リスク(Acceptable risk)に影響を及ぼす様々な要因について整理が行われてきている(例えば、Slovic et al., 1984¹⁾、大ダム、2004²⁾)。また、原子力やダムを除くその他インフラ施設のリスク許容基準については、スイスを本拠とする国際リスクガバナンス審議会(International Risk Governance Council)や米国の国土安全保障省(Department of Homeland Security)においてその必要性が議論されつつある³⁾。さらに、米国のASCEにおいてライフライン施設を対象とした許容リスクの検討事例⁴⁾も存在するが、比較的単純なフレームワークであり、実証的な検討には踏み込んでいない状況にある。一方、わが国において許容リスクの考え方が本格的に議論されはじめたのは、都市防災分野では阪神淡路大震災以降(性能規定型耐震設計など)、原子力分野においてはPSA(確率論的安全性評価など)が検討され始めたごく近年であり、各種インフラリスク管理における許容リスクについての実証的検討は今後の重要な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、年齢、性別、災害経験などの様々な要因をパラメーターとした社会の各ステークホルダーのリスク許容基準について実証的な検討を行うことを目的とする。ステークホルダーとしては、設備利用者(企業(業種別)、住民(個人、地域コミュニティ))を想定する。リスク許容基準の調査設計モデルについては、リスク許容基準に関するこれまでの研究成果(各国の原子力に関するガイドライン、安全工学やリスクマネジメント分野における心理学的、マイクロ経済学的、政策工学的アプローチの研究)をレビューし、考え得る多様な要因(多次元リスク許容基準)を考慮する。

想定するインフラ障害リスクとしては、主に都市圏における道路、鉄道、電力、水道、ガス、下水道、通信網等を考慮する。インフラ障害発生確率の評価法としては、過去数年の間に実際に発生したデータを公表資料に基づいて整理する(例えば、鉄道事故統計や電気事故統計などの各種事故統計)。一方で、災害影響の大きさを評価するために、既往の研究成果を基に、各種インフラ障害に対する社会経済影響のイラストレーションツールを試作する。障害発生時間に応じた個人、個別企業および地域全体の被害影響(人的、経済的被害)を算出することで、インフラ障害

リスクの大きさを設定する。設定した経済的被害や人的被害に対するリスクを対象に、直接ヒアリング、アンケート手法を用いてリスク許容基準に関するデータベースを構築する。

3. 研究の方法

(1)平成19年度の計画・方法

①インフラ障害に関するリスク許容基準評価モデルの作成

リスク許容基準に関するこれまでの研究成果(各国の原子力に関するガイドライン、安全工学やリスクマネジメント分野における心理学的、マイクロ経済学的、政策工学的アプローチに関する理論的・実証的研究)をレビューし、考えうる多様な要因を考慮したリスク許容基準評価モデルを作成する。

②既往の事例に基づくインフラ障害発生確率の調査

想定するインフラ障害リスクとしては、主に都市圏における道路、鉄道、電力、水道、ガス、下水道、通信網等を考慮する。インフラ障害発生確率の評価法としては、過去数年の間に実際に発生したデータを公表資料に基づいて整理する(例えば、鉄道事故統計や電機事故統計などの各種事故統計)。このような試みはある程度行われているものと考えられるため、既往の論文調査を中心に行い、近年発生したものを追加するアプローチを取る。

③インフラ障害シミュレーションモデルの整理

災害影響の大きさを客観的に評価するために、既往の研究成果を基に、各種インフラ障害に対する社会経済影響のイラストレーションツールを試作する。障害発生時間に応じた個人、個別企業および地域全体の被害影響を定性的および定量的に算出することで、対象地域においてインフラ障害リスクの大きさを評価するための準備を行う。

(2)平成20年度の計画・方法

①社会インフラ障害のシミュレーション地域の設定

自然災害ハザード、近年における災害・事故事例を考慮し、インフラ障害影響の評価および許容リスク評価の対象地域を選定する(新潟県)。地域全体の社会経済影響を評価するために、対象地域における人口や事業所などの統計データ(小地域統計)を整備する。

②調査票の設計

各ステークホルダー(住民、企業(産業別))のインフラ障害時間に応じた被害影響と許容リスクを推計するための調査票を作成し、パイロット調査を実施する。調査票の作成にあたっては、インフラ障害影響評価マップや前年度作成した災害統計指標を活用する。

(3)平成 21 年度の計画・方法

①社会インフラ障害のシミュレーションの実施

個別企業の調査結果をもとに、昨年度試作したモデルの改良を行う。改良したモデルをもとに、2004 年の新潟中越地震時における各種インフラの途絶時間を設定したインフラ途絶影響評価を実施する。

②調査の実施とリスク許容基準の分析

インフラ障害の発生した地域における企業行動の調査データや人命リスクに対するアンケート調査を通じて得られたデータを基に企業と個人のリスク許容基準を分析する。企業については、企業間取引の変更、交通トリップのキャンセル、従業員の解雇などの様々な観点から影響を生じる可能性のある社会基盤の機能障害時間を特定することで、許容可能と考えられる機能障害の水準について分析する。人命損失に対する個人のリスク許容基準については、個人の災害経験の有無などの各種属性を考慮したリスク許容基準に関する統計分析を実施する。

③結果のとりまとめ

①、②の分析結果を統合し、リスク許容基準に影響を及ぼす各要因、インフラ障害影響評価モデルの果たす役割について考察を加え、結果のとりまとめを行う。

4. 研究成果

企業、住民を対象とした、各種社会基盤の機能障害に対するリスク許容基準について実証的な研究を行った。得られた成果は社会基盤機能支障下における事業所の事業継続問題や経済的影響を対象としたケースと住民（個人）の人命リスクに対する許容基準を対象としたケースの二つに分かれ、以下にその具体的な内容を記載する。

(1)社会基盤機能支障下における事業所の事業継続性ならびに経済的影響に関する分析

2007 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越地震後による個別企業への経済影響調査の結果をとりまとめ、電力、上下水道、ガス、通信、交通被害等の各種インフラの被害影響の大きさとその継続時間を明らかにした。特に、企業の所有する建物や設備などの被害と各社会基盤被害の影響を分離して推計していることが本調査の特徴であり、自社の施設に要求される対策水準と社会基盤に要求される対策水準とのバランスや優先順位を検討するための重要なデータベースを作成した。また、各企業が実施した被害軽減対策についても整理を行い、これら被害対策の事前準備

の状況、実際の実施状況と被害軽減効果の関係について検討を行った。プロパンガスへの変更、井戸水の利用など社会基盤機能障害に対する様々な対応が行われているほか、従業員の労働時間の増加によって被害軽減を行っている様子が明らかとなった。得られた分析結果は、各社会基盤の機能支障による個別企業への影響を計測し、各対策導入の効果を検討する上で有用な情報となる（図 1）。

次いで、大規模な地震災害を経験した新潟中越地域における企業の調査結果に基づき、社会基盤（電力、水道、ガス、道路）の機能支障発生時における各企業の事業継続可能性ならびに操業レベルを推計するための統計モデルを作成した（図 2）。各企業が事業継続を停止せざるを得ない限界の社会基盤の機能被害状態を推計モデルに含めることで、災害時の企業の操業状態をより精度よく把握できることが示された。本統計モデルは、社会基盤機能支障の状態だけでなく、建物被災度、従業員規模と災害時の参集人数などの複数の要因と対応付けられており、その他地域における災害影響評価に適用する際に活用可能である。

以上の事業所調査データを基に推計された統計モデルと、これまでに検討されてきた地域経済モデルを組み合わせることで、よりマクロな経済的影響を把握することができる。その点を考慮し、マクロ地域経済モデルについても検討を行った。最初の分析モデルとして、イリノイ大学を中心に開発が進められている地域間産業連関モデルと交通量均衡配分モデルをベースとした地域経済モデルに着目し、推計プログラムを作成した。対象地域として、近年において大規模災害が発生した地域であり、シミュレーション結果の検証が比較的行きやすい兵庫県を設定した。兵庫県の企業や人口分布に関する小地域統計や企業間取引を分析するのに重要となる交通ネットワークデータの整備を行ったのち、分析モデルのパラメーターの推計を行った。その結果、事業者以外の交通を十分に考慮していないこともあり、混雑が十分に発生しなかったが、舞鶴自動車道を除く、主要なう回路の使用について再現性を確認することができた（図 3、図 4）。本モデルと前述の調査結果から得られた事業継続性や操業回復過程に関する統計モデルを統合することで、社会基盤の機能支障の継続時間に応じた被害影響評価のマップを作成することができる。

しかし、従来の地域経済モデルは分析の空間スケールが大きく、局所的な社会基盤被害

の影響を十分に反映することが困難となっていた。そこで比較的空間スケールの小さな1kmメッシュ単位の事業所・企業統計調査データならびに国勢調査データを活用し、新潟県中越地震の実際の被害状況を対象とした社会基盤被害の経済的影響を評価するマップを試作した(図5)。本モデルでは、被災地内241か所のローカルな道路被害を反映しており、またより詳細空間スケールにおける電力、水道、ガスの供給状況も考慮しているため、経済的影響を可能な限り小さくする復旧戦略等に反映させるための基礎資料となる。

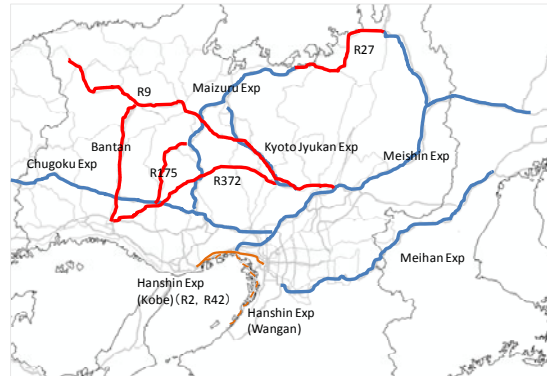


図3：兵庫県南部地震時の主要な迂回道路(災害調査報告書等より推定。赤線：国道，青線：高速道路)

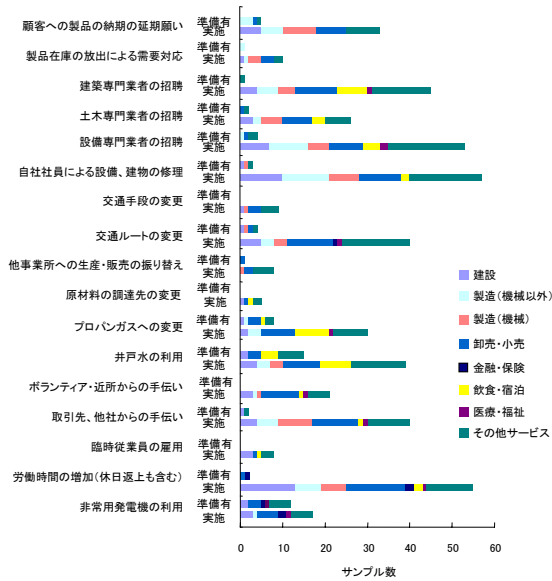


図1：2007年新潟中越沖地震時における各産業の被害対応結果(サンプル総数：274社)

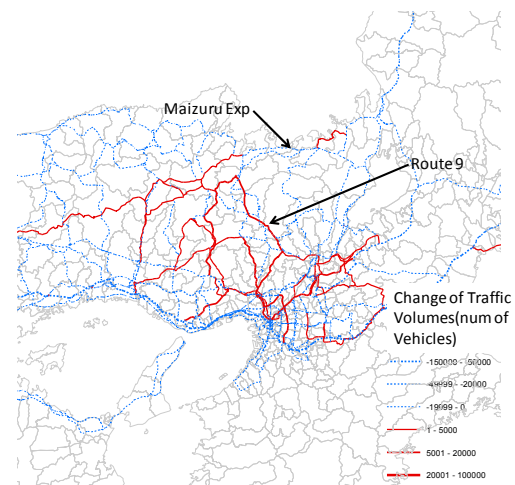


図4：モデルによる災害時交通量の推計結果(赤線が交通量の増加している道路。主要な迂回路の通行を確認)

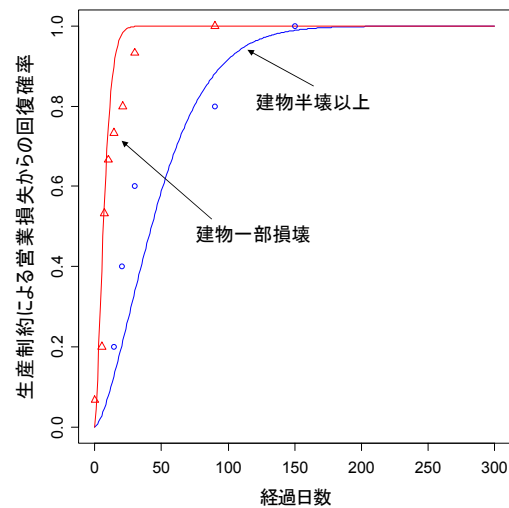


図2：社会基盤の機能障害(電力、水道、ガス、道路被害)の影響を含めた操業復旧モデル(コックスハザード関数によって推定)

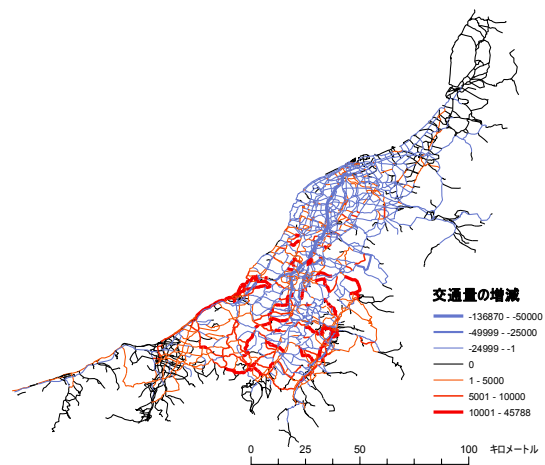


図5：社会インフラ障害シミュレーションモデルによる経済影響評価マップ(赤線が交通量の増加している道路。)

(2) 社会基盤機能障害に伴う人命損失リスクの許容基準評価法の開発

リスク許容基準に関する既往の研究成果（各国の原子力に関するガイドライン，安全工学やリスクマネジメント分野における心理学的，マイクロ経済学的，政策工学的アプローチに関する理論的・実証的研究）をレビューし，リスク許容基準に影響を及ぼす要因の抽出を行った．これにより，各種リスクに関わる技術の未知性や個人の経験など複数の要因が抽出された．

また，人々の許容リスクに影響を及ぼす大きな要因である社会基盤の機能障害発生確率（道路，鉄道，電力，水道，ガス，下水道，通信網等）を評価するために，公表資料に基づいて過去数年の間に実際に発生した社会基盤の機能障害事例の整理を行った．併せて，その他のリスク（自然災害，技術災害等にかかわる17種別）の人的被害や発生頻度の実績値について，複数のソースから統計データを収集し，整理を行った（図6）．この整理した統計データを本研究における客観リスクの評価値として定義し，主観的に決定された主観リスクの評価値と区別することで，リスク許容基準に影響を及ぼす認知バイアスの傾向を把握することとした．

以上の準備に基づき，個人のリスク許容基準を判定するための調査票を作成した．この調査票は，リスク許容基準に影響を及ぼす上記の各種要因にかかわる内容への回答と，最終的に各種リスクへの対策の必要性や不安の有無の回答結果から許容率を推計する設計としている．本調査は全て選択形式で構成され，予備知識のない方でも回答可能であるという特徴を有する．そこで，本調査結果が有効に機能し得るかどうかを分析するために大学生57人を対象としたパイロット調査を実施した．認知バイアスの発生状況を分析した結果，発生頻度に関しては，統計的に頻度の大きなリスク種を主観的に小さく推計し，頻度の小さなリスク種についてはその逆となった（図7）．これは，既往の著名研究(Slovic, 1987)と整合的な結果であった．

次いで，要因に対する回答値を説明変数とした調査結果の集計分析（図8）ならびに非集計分析（表1）を通じて，発生頻度などのリスクを規定する基本的な要因のほか，災害経験の有無やリスクの科学的説明状況に関する知識などが有意に影響を及ぼしていることが示された．本調査モデルは，リスク許容基準の決定だけでなく，より精度の高いリスク情報の提供がもたらす個人のリスク許容基準形成への影響評価にも活用できると

考えられる．

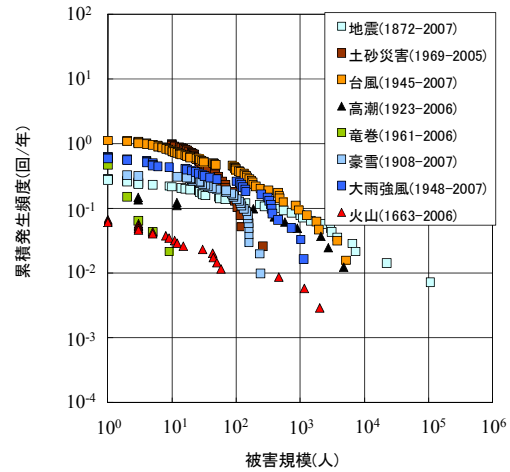


図6：災害発生頻度と被害規模（死者数）の関係（自然災害を対象）

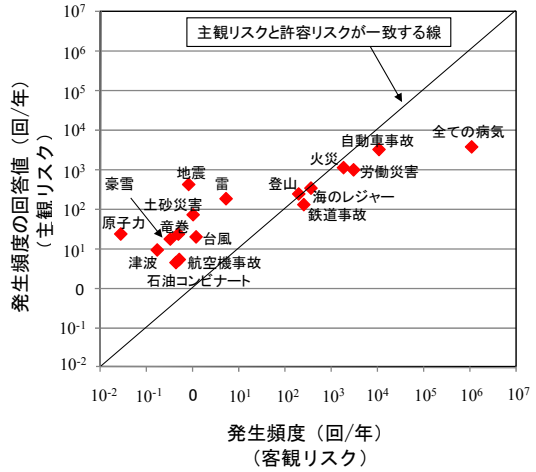


図7：認知バイアスの評価例

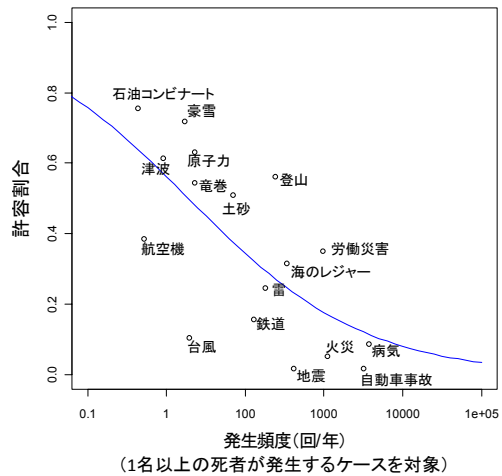


図8：発生頻度に対するリスク許容確率の推計結果（集計データ，平均値を使用）

表1：ロジットモデルによる許容確率モデルのパラメーター値推計結果（非集計分析）

変数 (有意になった変数)	パラメーター値
定数項	0.276
Log(発生頻度)	-0.334
Log(死者数)	-0.254
(遭遇の) 経験	-1.477
関連行為の有無	-0.607
交通事故ダミー	-0.561
技術災害・事故ダミー	0.727
レジャー事故ダミー	0.577

(関連行為は、日常的な車の運転や趣味などよりダミー変数を設定。モデル全体の尤度比は0.182)

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8件)

(1) 梶谷義雄, 地震災害時におけるライフライン被害の産業部門への影響評価—小地域メッシュ統計を活用した2004年新潟県中越地震時の交通分析, 日本地震工学会論文集, Vol.10, No.2, pp.57-72, 2010 (査読有)。

(2) Kajitani Yoshio, Tatano Hirokazu, Estimation of Lifeline Resilience Factors Based on Surveys of Japanese Industries, Earthquake Spectra, Vol. 25, pp. 755-776, 2009 (査読有)。

(3) 梶谷義雄, 細村洋介, 吉田郁政, 災害時における相互依存性を考慮したライフラインの機能回復予測手法の基礎的検討, 土木計画学研究・講演集, Vol. 39, 2009 (CD-ROM, 3page, 査読無)。

(4) 梶谷義雄, 中野一慶, 多々納裕一, 朱佳慶, 2007年新潟県中越沖地震による産業部門への経済的影響—企業の被害実態と災害対応効果, 地域安全学会論文集, Vol. 10, pp. 161-168, 2008 (査読有)。

(5) 梶谷義雄, 多々納裕一, 中野一慶, 被災企業の復旧過程に関する実証的研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 37, 2008 (CD-ROM 2page, 査読無)。

(6) 梶谷義雄, 多々納裕一, 災害時の複数供給系ライフライン途絶による住民への経済影響の調査, 土木計画学研究・論文集 Vol. 24, pp. 243-250, 2007 (査読有)。

(7) 梶谷義雄, 多々納裕一, 中野一慶, 災害時における企業の減災行動のモデル化に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 35, 2007 (CD-ROM, 2page, 査読無)。

(8) 中野一慶, 多々納裕一, 藤見俊夫, 梶谷義雄, 土屋哲, 2004年新潟県中越地震に

おける産業部門の経済被害推計に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 24, pp. 289-298, 2007 (査読有)。

[学会発表] (計5件)

(1) 梶谷義雄, 細村洋介, 吉田郁政, 災害時における相互依存性を考慮したライフラインの機能回復予測手法の基礎的検討, 土木計画学研究・発表会, 2009年6月13日, 徳島大学 (徳島県)。

(2) Kajitani Yoshio, Kroeger Wolfgang, Dependency Issues of Critical Infrastructures during a Recovery Period after a Large-scale Disaster; Agent-based Modeling Approach for Utility Services, Society for Risk Analysis Annual Meeting, 2009年12月8日, 米国 Baltimore 市インナーハーバーホテル。

(3) Kajitani Yoshio, Economic Impacts Caused by Building and Transportation Infrastructure Damages: Application of Interregional Commodity Flow Model to the 1995 Hanshin-Awaji Earthquake Disaster, 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering, 2010年3月5日, 東京工業大学(大岡山キャンパス) (東京都)。

(4) 梶谷義雄, 被災企業の復旧過程に関する実証的研究, 第35回土木計画学研究発表会, 2008年6月6日, 北海道大学 (北海道)。

(5) 梶谷義雄, 2007年新潟県中越沖地震による産業部門への経済的影響—企業の被害実態と災害対応効果, 第23回地域安全学会研究発表会, 2008年11月13日, 静岡県地震防災センター (静岡県)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶谷 義雄 (KAJITANI YOSHIO)

(財) 電力中央研究所・地球工学研究所・主任研究員

研究者番号: 80371441