

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 28 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26671030

研究課題名(和文)災害看護のモデリング・アンド・シミュレーションの研究

研究課題名(英文)Study of modeling and simulation for disaster nursing

研究代表者

神藤 猛 (SHINDO, Takeshi)

千葉大学・看護学研究科・特任教授

研究者番号：00450263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：大規模な地震災害から感染症等を含む多様なハザードに対する、被災者の救護、医療措置など、各種緊急事態における看護とその基盤となる災害看護システムを研究の対象とする。感染症防護のシナリオを想定し、救助、搬送、病院の治療、避難所での生活支援を含む総合的な災害看護にモデリング&シミュレーションを適用し(1) 災害看護分析ツールの構築と検証用のシナリオの開発、(2) 戦略的意思決定に基づく災害看護の計画策定の方法論と組織横断のリーダーシップモデルの開発 (3) エージェントアプローチによる多機関連携のモデルの評価を各々行い計画策定の資を得た。

研究成果の概要(英文)：Assuming a variety of hazards, including infectious diseases such as from a large-scale earthquake disaster, subject of study is a disaster nursing system that becomes a nursing foundation of victims in various emergency situations. Given a scenario to prevent infection, rescue, transport, treatment of the hospital, the overall disaster nursing, including the life support at the shelter, try the application of modeling and simulation methodology. (1) We have developed a verification scenario and disaster nursing analysis tool. (2) Based on the methodology of the strategic decision-making of the disaster nursing, development of leadership model across the cooperating organization. (3) Survey of the model of the multi-agency cooperation by the agent approach.

研究分野：危機管理

キーワード：危機管理 災害看護 IoT モデリング・アンド・シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

(1) ポスト冷戦秩序の変貌に伴い、弱体な国家群の武装集団やテロ組織が大きな力を持ち、内戦と紛争が頻発する地域において、多様な地政学的脅威を阻止し管理する制度的メカニズムが機能せず、国際社会の混乱と共に世界経済の停滞が続いている。国境を越えるテロリスト、感染症ウイルスの拡散、地球温暖化現象等、国際秩序を脅かすリスクは地球規模に拡大化し、世界的異常気象への対応、国際公共財の安全とアクセスの確保などグローバルガバナンスの改善に必要な国際的協調が困難となっている。今日の安全保障の理論的根拠は、主権国家を行動主体とする脅威から、国家の枠組みによらない国際ネットワーク化したテロやサイバー攻撃等の、非対称性脅威(攻撃抑止が困難)を含むものに拡大している。世界各地で伝統的な国民国家が期待された統治機能を果たすという前提が崩れ、グローバルガバナンスの破綻による地域の不安定化と公衆衛生能力の低下を引き起こし、感染症の温床となる国際社会の深刻な構造を生み出している。21世紀の新興・再興感染症の脅威に対処するためには、迅速・効果的な国内外の疫学的サーベイランスと組織横断の調整機構による円滑な国際連携に係っている。しかし多くの国でサーベイランスシステムは不完全であり、強い社会的緊張や紛争が伴う場合には特に著しい。国際社会の安全安心の強い要請と相俟って、大規模地震災害から感染症パンデミックに至る、多様なインシデントに有効に対処しうる災害看護が喫緊の課題となっている。

(2) 大震災から感染症、テロ、巨大山火事と都市火災、危険物質の流出、原子力災害、航空・陸海輸送の事故、極端気象による大雨、大雪、洪水、津波、竜巻、巨大台風など、今日の複雑化する災害は、広域の集団に破壊と被害がおよび、多正面の防災資源の動員と組織化が必要になる。この過酷な環境の実学として発達した災害看護は、限られた資源で最大効果の発揮を求められる。既に近代医学の黎明期にフローレンス・ナイチンゲールは、あらゆる疾患の経過は回復過程であり、治癒はそれ以前のプロセスによって決まり、苦痛の多くは傷病者の症状ではなく、新鮮な空気、光、静けさ、清潔、食事の欠落により生じる。従って、看護は傷病者の全ての環境を整え、生命力の消耗を最小にし、回復過程を助けるべきであり、回復するか否かでは、注意深い看護のアートが極めて重要であることを普遍的な経験であるとした。

本研究では、災害看護を「被災者の生命と健康の被害を最小限に止めるため、災害に関する看護独自のアートを適用し、他の専門分野の多くの人々と協働して行う被災者のケア」と広義に定義する。緊急時の災害看護の成否は、複雑な医療システムの迅速な運用にかかる点で、平常時と大きく異なる。被災地と周辺の自治体は自らの医療の現状と被

災状況を正確に把握し、入院患者や医療従事者の安全を確保し、様々な関連機関と協働して、大量に発生する被災者の生命と健康を守る災害看護を立ち上げなければならない。



## 2. 研究の目的

(1) 本研究では被災地の救援と復旧復興に貢献する組織横断型の災害看護の調整者を、単独の機関では解決出来ない計画を担い行政、警察、消防、医療の関連機関との連携を図る意思決定主体として捉え、感染症パンデミックを対象に、モデリング・アンド・シミュレーション(M&S)による意思決定支援ツールを構築し、救援・復旧活動の全般を捉えた災害看護の計画策定に資するモデルを開発する。

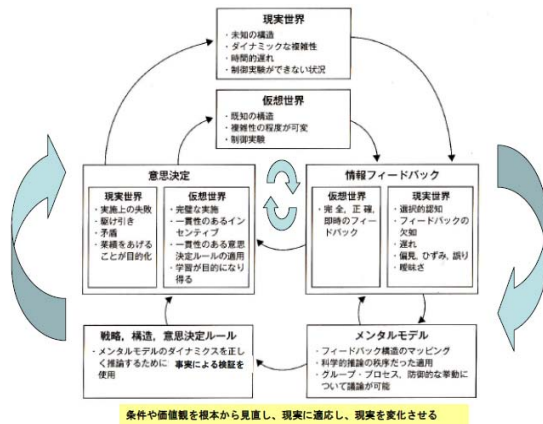
(2) 災害看護の成否は、災害の規模、傷病者の数と種類、被災地から拠点病院までの搬送、受け入れ先病院や現地避難所の看護能力に関して、可能な限り正確な情報を掴んで行う ①救援活動全般の状況判断 ②個々のプロセスの迅速な意思決定にかかっている。具体的には、システム思考に基づくシステムダイナミクスを応用した評価モデルを構築し、傷病者搬送計画を例に、災害看護が医療プロセスの内部構造や意思決定といかに結びつくかの理解を深め、組織横断のリーダーシップによる、効果的な計画作成に資する方法論を構築する。

## 3. 研究の方法

### (1) 前提と感染症流行モデルの構築

M&Sをシステム制御理論や非線形ダイナミクス等の理論と認知・社会心理学、経済学等の知見を活用したオペレーションズ・リサーチ(OR)に基づく経営の科学と定義する。人間の意思決定は、意思決定のルールや方針を前提に行われ、方針自体も制度、戦略、文化規範等の影響を受け社会の因果関係と経験に基づくメンタルモデル(世界観)により支配されると仮定する。その方法は、実世界の対象からメンタルモデルを引き出し、論理構造に基づき仮想世界でモデルを構築し、実際のデータを使用し様々な角度からシミュレーションによる検証を加えモデルを再構築する。シミュレーションとメンタルモデルの相互作用から、仮説の検証、再構築を繰り返し対象の構造の理解を深める論理的思考に基礎をおく。この方法により感染症の流行は、感染が自己増殖する個体群からなる部分

人口集団のダイナミクスの問題として推定することができる。ワクチン投与による免疫、感染者の隔離による制御、調査、サーベイランス等の感染症コントロールの評価を行う際に、数理モデルによる定量的な分析評価が有効になる。



Kermack-Mckendrick 感染症モデル (SEIR 型) によるエボラモデルの例を次に示す。モデルでは、年齢構造を識別しない宿主の人口を  $S(t)$  : 感受性人口、非感染性の潜伏期にある人口を  $E(t)$  : 潜伏期人口、発症した人口を  $I(t)$  : 感染性人口、回復期にある人口を  $R(t)$  : 回復人口の各 4 状態に分解する。宿主となる人口の出生率と自然死亡率をそれぞれ  $b$  : 出生率、 $\mu$  : 自然死亡率とし、潜伏期及び発症期の感染率をそれぞれ  $\beta_1$  : 潜伏期感染率、 $\beta_2$  : 発症期感染率とする。また潜伏期から発症期への遷移率を  $\epsilon$  : 発症率とし、感染からの回復は生涯免疫を誘導するものと仮定して、回復率を  $\gamma$  としている。

$$\frac{dS(t)}{dt} = b - \mu S(t) - (\beta_1 E(t) + \beta_2 I(t)) S(t),$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = -(\mu + \epsilon) E(t) + (\beta_1 E(t) + \beta_2 I(t)) S(t),$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = -(\mu + \gamma) I(t) + \epsilon E(t),$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = -\mu R(t) + \gamma I(t).$$

(2) 戦略的意思決定モデルの適用  
大規模な自然災害では、広範囲の破壊と多数の集団に被害が及ぶため、災害医療は地理的に広く分散した医療資源を、傷病者の数と種類、資源の配置に応じて動的に結合し、問題を迅速に解決する組織として立ち上げられる。この戦略的意思決定のモデル化と多様なインシデントに即応する災害医療プロセスの最適化に必要な組織横断の連携要領のポイントを解析する。またエボラ感染症のシナリオに基づき M&S を活用した最善の資源配分の問題の解決に役立つ計画立案のディシプリン (理論原則) を検証する。その際、関係組織の指揮系統を横断して異なる仕事

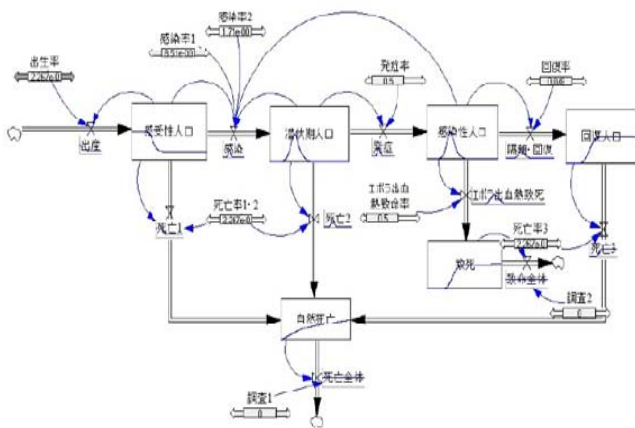
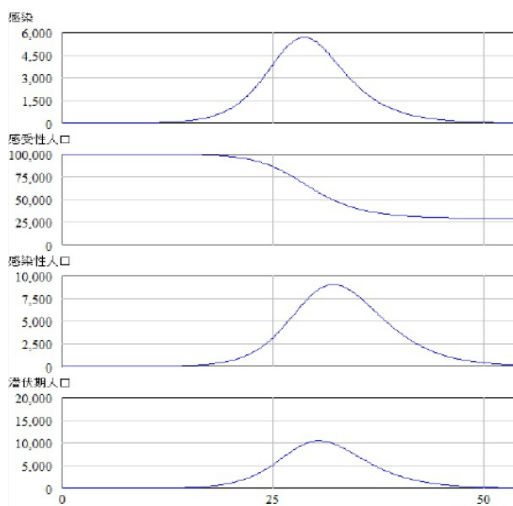
と部局に共通の行動指針と目的を与え、指導し、方向付け、全体業務を推進する組織横断型のリーダーに求められるリーダーシップモデルを論考する。

(3) 感染症脅威シナリオの前提事例  
2014 年、エボラ感染症のアウトブレイク発生時リベリアにいた医師は 250 名であり、人口 10 万人に対し医師は 2 名、人口 1 万に対して看護師は 3 名、病床数は 8 床で、医療施設も老朽化し、医療物資の補給も予算も少なかった。リベリアの社会制度は内戦期に崩壊し、人間の安全保障の指標である国連の開発指数は、世界で 175 位/185 ケ国、国民一人当たりの GDP はわずか 480 ドルであった (日本 36,222 ドル)。現地にはワクチンも治療法も、利用できる診断キットもなく、防護服は不足し、医療システムも訓練された医療関係者もいなかった。WHO は、12 月上旬の時点で、アフリカ 4 カ国を中心に感染者は 16933 名に達し、死者は 6002 名に達すると判断した。もはやエボラ出血熱のアウトブレイクを制御出来ない状況に陥っていた。既に 337 名を越える医療関係者がエボラウイルスに感染し、国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態となった。現地では 2 次感染を防止する家族からの隔離措置、感染防止のため火葬の徹底が必要であった。感染者を隔離し、遺族の接触を防ぐためには、火葬もしくは、遺骸を特定の場所に集め、地中深く埋葬し、感染を防止することが必要であったが、アフリカ現地では医療救援部隊が受け入れられず、感染の危険があり孤立し、住民が医療関係者に抱く不信感を取り除くための説得はうまくいかなかった。唯一、地域に影響のあるコミュニティの指導者を特定した上で、直接情報を提供し救援を行う方法があったが、多くの人々は伝統的な村落構造の外側で生活しており、指導者を探し出すのは容易ではなく危険を伴った。長期に及ぶ内戦により現地政府の統治と行政能力は弱く、政府と民衆の間には大きな溝があり人々は政府を信用せず、統治体制が弱体な地域では外からの介入を拒絶する傾向があり、問題を一層難しくした。治安を維持し、事態を管理するため軍が投入されたが住民の暴動を誘発し、適正な情報伝達を行うリスクコミュニケーションには複雑な問題が伴った。感染症対策を巡っては最適な国際的アプローチと言えるものは存在せず、国家レベルで最善の政策を追求することが求められた。

4. 研究成果  
(1) 災害看護分析ツールの構築  
シナリオを前提にマクロな数理モデルを構成し、模擬的な人口集団と仮想シナリオから感染症の流行と制御の問題を分析すると共に、実際の流行のパターンを解明するより粒度の高い実社会の構造に埋め込まれたミクロなエージェントからなる、大規模な人口の健康状態モデルとの比較対照を行った。



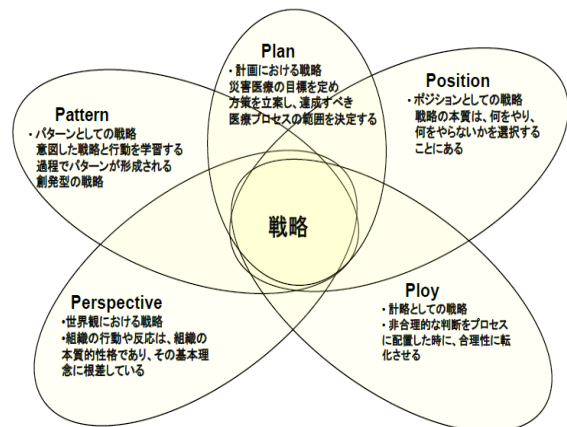
システムダイナミクスによるマクロなフローモデルを次に示す。特にエボラ出血熱は病原性が極めて高く、未発症期の感染率は  $\beta 1 \ll 1$  とされているが、米国では隔離措置を執っている。逆に HIV/AIDS の感染の殆どは、自覚症状のない潜伏期の感染と考えられている。本モデルは、感染からの回復は生涯免疫を誘導するものと仮定しているが、感染を克服したとされ、6ヶ月以上経過した患者からのエボラ感染が報告されている。感染症疫学による数理モデルの定式化により、感染症アウトブレイク、ワクチンの接種、個人の人間性と国家の防衛と生態系を考慮した封じ込め戦略、この3つの組み合わせを評価する目的で ①被災状況のスケールの特特定と評価 ②被災者の生命、安全に及ぼす影響、烈度、複雑度の判定 ③災害看護に必要な資源の特定 ④災害の規模と種類に応じた災害看護資源の投入、再配分の時期の決定を推定し予測が可能と考えられる。



## (2) 計画立案のディシプリン(原則)の開発

原則を、時と場所に左右されない根底にある真理と見なし、事例分析では、原則を特定の状況に適用し実践を検証した。具体的には西日本大震災やオリンピックのマスギャザーリング災害を想定し、大量に発生する傷病者の緊急度、重傷度を判断し、適切な医療機関に迅速に搬送し救命に最大効果を上げる

災害搬送プロセスのモデルによる検証を行った。災害医療の要諦は、多数の傷病者が発生し地域の医療資源が不足する状況で、最も緊急性の高い傷病者を最初に治療する平常時の救急医療から、最も緊急性が高くかつ救命の可能性のある重篤の傷病者に医療を集中する災害時の医療への戦略の転換にある。治療すべき傷病者が、地域の医療資源を大きく超えると予測される時には、救護、搬送、治療の優先順位と資源配分を決める多数傷病者の危機管理が求められる。その成否は、医療運用担当部署が傷病者の数と種類、搬送経路、受け入れ先の検査・手術能力や病床数に関する情報を把握し臨機にを行う ①災害医療プロセスの構築と ②戦略的意思決定による。前者①では災害看護の計画 (Plan)、パースペクティブ (Perspective)、計略 (Ploy)、ポジション (Position)、パターン (Pattern) の5Pの戦略概念のモデルによる検証とフィードバックからなる新たな意思決定ルールの評価を行った。後者②では、被災現場での「災害看護の価値は何か」を感じ取る感性に基づく、以下の理論原則の適用を考察した。原則1 無駄をなくす。災害看護における無駄とは、被災者が求める真の価値の提供を妨げる全てのものである。原則2 看護のケアの質を高める。発症後の看護から予防の看護へ 原則3 知識を創りだす。現場で有効な知識を生み出し、有効な知識を素早く広域に伝え、活用する。原則4 選択肢を持ち続ける。不確実性に直面した場合、選択肢はオープンにしておき、決定は控えめにする。原則5 素早くケアを提供する。災害看護は常に被災地で試され次々に改善されるべきケアである。原則6 人々を尊重する。被災地に自律的な管理能力を備えた組織を早期に構築する。原則7 全体を最適化する。被災地の人々が抱える多様な問題解決のため、様々な機関の境界を越えてバリューストリームの全体の最適化を図る。



## (3) 組織横断リーダーシップモデルの評価

迅速かつ有効な緊急事態で自律分散型の災害看護を立ち上げるには、政府関係機関とNGO等の組織を束ね、予想される緊急事態に備え、縦割り型組織の計画、調整、協働の諸

活動を組織横断的に調整することが求められる。横断型の災害看護のコーディネーターは、多数の機関と多くの管轄権、公私のセクターを横断する協働作用に影響を与え、目指す方向に向け任務を統合し遂行するリーダーとして定義され、発散しがちな個別機関の活動を結合し影響を与え、力をより上位の目標に集中する。この組織横断型のリーダーシップは、各組織相互の連携を動機付け意思疎通を向上させ、信頼感を醸成する以下のケーパビリティにより評価できる。① 合法的かつ効率的に、本来の個別の権威と責任の範囲を超えた連携の領域に到達することが可能であり、その過程で任務の目的と活動を繋ぎ合わせ、協働の成果と波及効果を拡大させる。② 各関係機関を横断して情報と資源を活用し、組織間の摩擦を抑制してシナジー効果を高め、各組織が単独で行うよりも効率よく成果を拡大する。③ 個人、組織、資源、情報のシームレスな結合を達成し、不測の事態を素早く捉え適切に対応し、速やかに正常な状態に戻す。リーダーは、相互補完的な任務を遂行する多数の機関、組織、個人を連携させる結合子の役割を果たす。④ 明確なマインドセットと技能、組織横断型の思考を伝播させる人的なネットワークを保持し、自らリスクを引き受け支援組織全体としての生産性を高める。⑤ 緊急時、組織横断の連携の前に立ち上る強力な縦割り組織を横断し、人々に職務記述書の範囲外に出て、単独の組織や機関のそれまでの経験、使命、任務の範囲を超えた連携を正しく行わせることが出来る。

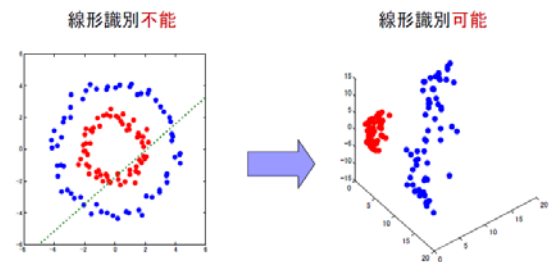


(4) エージェントアプローチによる災害看護と多機関連携のモデル化

従来の疫学の量的研究は、集団の粗視化統計分析を行い総合化することを重視していた。本研究ではエージェントアプローチによる AI 推論モデルのサーベイを行い、実際のソーシャルネットワークを通して、特定個人の社会的関係と相互作用が感染症の伝播に果たす役割を解析し、感染症の蔓延をきめ細かく粒度を上げたモデルにより解明する仕組みを論考した。具体的には公共 Twitter のデータに焦点を当て、エージェントの動きが複雑に影響する組織行動を解明するため、感染症防護のカギとなるサーバランスデータから、システム思考のマクロモデルを補う形

で、インシデントのケースに対応するシナリオとビッグデータから、災害看護の AI モデルのマイクロな推定が可能となる。

一般に感染症の原因とコントロール手法を発見するためには、詳細で系統的な疫学調査が必要となる。予備調査、症例の同定と報告、データの収集と解析、対策の実施、知見の普及と追跡調査を行い、流行対策では自治体、警察、消防、医療等の多機関協働による治療、流行の阻止、対策効果のモニタリング等、感染源への対処、感染拡大の防止、感染に曝露した人々の保護からなる全アプローチが求められる。モデルでは、1,000 以上の一般のメッセージの中から、当初わずかの健康関連のメッセージを見つけ出すサポートベクトルマシン (SVM) の学習が、データの分類管理支援を受けるカスケードベースの認知モデルによるアプローチにより構成される。SVM は、現在知られている手法の中で性能の優れた学習モデルであり、ツイートの本人が感染症か、そうではないツイートかを識別する 2 値分類を行う AI 学習モデルとして構成出来る。SVM は得られた学習用サンプルデータを使用し、カーネルトリックを用いて再生核ヒルベルト空間でデータを区分して識別する境界を学習する。



その結果得られる超平面は、境界に近くブルーリングな判然としない、グレーゾーンにあるツイッターデータと識別面との距離マージンを最大にするパーセプトロンとして定義される。すなわち、SVM は感染、非感染の 2 つのクラスに属しているメッセージを分離する複数の超平面の中で、最大のマージンで 2 つに分けられる集合の各点と距離を維持する超平面を探索するアルゴリズムとなる。災害看護で重要な位置を占めるサーバランスデータを用いて、組織横断のリーダーシップを発揮し対策の普及と有効性の継続的なモニターを行い、公衆衛生対策の立案、実施、評価に必要な健康データを系統的、継続的に収集・分析し解釈することが出来る。SNS サーベイランスは単にデータを集める活動ではなく、疾病の発生と広がりを絶えず監視し、完全な正確性よりも報告の有意な増加の迅速な把握が可能になる。健康のデータを共有し、分析して不足情報を補い感染症の予防と制御に素早く適用することを目標に、特定個人の社会的関係と相互作用が感染症の伝播に果たす仕組みを説明できる。

## (5) 結論

① 期待される新たな産業革命といわれるIoT型のビッグデータとAI解析モデルの開発には巨額の投資を伴い、モデルの成功と共にアルゴリズムの社会的権威が向上し、前提の変更が困難となり、意思決定がモデル内に閉じ込められる可能性を否定できない。その結果、前提に適合しない現実の変化を見失い、不測の事態に遭遇する危険性がある。研究者は想定シナリオと結びつくモデルが、いつ、どのようにして、どのような理由で前提を覆い隠し、思考の改善ではなく拘束に変わるかを絶えず自問し、仮説を修正しなければならない。実世界をモデル化したM&Sのアプローチは、人間の行動が創り出す結果と経験の内省から、モデルと実際との違いを正しく認識し、新たなパターンとトレンドの発見に向け、ものの真の見方を学ぶことを可能にする。

② 災害看護が一翼を担う、ユニバーサル・ヘルス・カバレッジは、国際社会の持続可能な発展を担保し、感染症の予防・検知・報告のサーベイランス能力の向上と公衆衛生の危機管理に大きく寄与する。M&Sの活用は、感染症の制御に特徴的な疫学の原則を確認するばかりではなく、危機管理の類型化された意思決定と組織行動のパターンの分析から、感染症防護における必要な看護のチーム数と有効性の定量的な評価を可能にする。

## 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4件)

①神藤猛、感染症防護とOR、日本オペレーションズ・リサーチ誌、査読無、61(4)、2016年、258-264、

②東原紘道、「2020年の東京」に向けた地震問題の点検とOR日本オペレーションズ・リサーチ誌、査読無、61(4)、2016年、218-225、

③神藤猛、多機関の協働連携に求められるリーダーシップモデル—国家緊急事態対応と危機管理—、日本オペレーションズ・リサーチ学会春季発表大会アブストラクト集、査読無、2016年、99-100、

④神藤猛、災害看護における傷病者の搬送順位に関する戦略的意思決定モデル、千葉大学大学院看護学研究科紀要(37)、査読有、2015年、11-16、

### [学会発表] (計5件)

①神藤猛、多機関の協働連携に求められるリーダーシップモデル 日本オペレーションズ・リサーチ学会・春季研究発表 2016年3月17日 慶應義塾大学 矢上キャンパス(神奈川県・横浜市)

②東原紘道、2020年に向けた首都の地震問題への対処とOR 日本オペレーションズ・リサーチ学会・春季研究発表 2016年3月17日 慶應義塾大学 矢上キャンパス(神奈川県・横浜市)

③神藤猛、災害時の多機関の協働連携—危機管理シナリオのあり方— 日本オペレーションズ・リサーチ学会「安全・安心・強靱な社会とOR」研究部会 2016年2月5日 政策研究大学院大学(東京都・港区六本木)

④東原紘道、地震・火山噴火災害への対処とOR 日本オペレーションズ・リサーチ学会「安全安心強靱な社会とOR」研究部会 2015年11月30日 政策研究大学院大学(東京都・港区六本木)

⑤神藤猛、感染症疫学モデルと危機管理—モデリング・アンド・シミュレーションの研究— 日本オペレーションズ・リサーチ学会「安全安心強靱な社会とOR」研究部会 2014年11月28日 政策研究大学院大学(東京都・港区六本木)

### [図書] (計1件)

①神藤猛、災害医療のネットワークセントリックなシステムデザイン—国の防災・強靱化の中核的システム構築戦略、学文社、地域デザイン学会編「安全・安心革新戦略:地域リスクとレジリエンス」、2015年9月、100-123

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

神藤 猛 (SHINDO, Takeshi)  
千葉大学・看護学研究科・特任教授  
研究者番号：00450263

### (2) 研究分担者

東原 紘道 (HIGASHIHAR, Hiromiti)  
東京大学・地震研究所・名誉教授  
研究者番号：10125891

駒形 朋子 (KOMAGATA, Tomoko)  
長崎大学・熱帯医学研究所・客員研究員  
研究者番号：70361368

望月 由紀 (MOCHIZUKI, Uki)  
千葉大学・看護学研究科・特任准教授  
研究者番号：70400819

臼井 いづみ (USUI, Izumi)  
千葉大学・看護学研究科・特任助教  
研究者番号：80595984