

論文審査の要旨及び担当者

No.1

報告番号	甲 乙 第	号	氏 名	Wahjoe Tjatur Sesulihatie
論文審査担当者	主 査	政策・メディア研究科委員長	環境情報学部・教授	清木 康
	副 査	政策・メディア研究科委員	環境情報学部・教授	武藤 佳恭
	副 査	政策・メディア研究科委員	環境情報学部・教授	巖 網林
	副 査	政策・メディア研究科委員	環境情報学部・教授	徳田英幸
学力確認担当者：				
<p>(論文審査の要旨)</p> <p>Wahjoe Tjatur Sesulihatie 君提出の学位請求論文は、「Surveillance System Architecture for Mitigating Contagious Disease with the Adaptive Area-based Risk Model」と題し、本編6章からなる。</p> <p>本論文は、人類の大きな脅威となっている世界規模の感染症拡大事象を対象とした「適応型エリアベース・リスクモデル (Adaptive Area-based Risk Model: ADDRESS) による監視・対策システム」を提案するものである。本研究の目的は、感染症拡大事象に対して迅速かつ効果的な対策を提示することにある。</p> <p>主な対象とするデング熱は、現代社会における人間の移動の速さと地球規模の気候変動を主要因として、毎年約128ヶ国において約300万人が感染する重大な感染症であるが、その感染動態や感染経路の複雑性、予測因子の不確定性により、対策を設計・実践することの難しさが指摘されている。</p> <p>本研究において提案しているリスク予測モデルおよび監視・対策システムは、この感染症事象分析の研究領域における新しい予測因子として「人の移動」という要素を加え、Sensing-Processing-Actuation (SPA)モデルをベースとした監視システムであり、(1) 予測因子のセンシング、(2) 環境的外因を含めた感染リスクの計算、(3) 近々流行するリスクの高い地域の時間的遷移に応じた予測、(4) 既に流行している地域に対する文脈に応じた拡散防止・被害最小化対策(行動戦略)の提示を行うものである。</p> <p>本研究の主要な特徴は、人間の行動要素を内包した感染症拡大のリスク予測モデルと監視・対策システムを設計している点、感染動態や感染経路に関するセンシング可能な要素を定義し分析している点、感染動態や人間行動の流動的な状況に対応した施策を判断するための計算を実現している点にある。</p> <p>本研究が示したモデル、および、それを実現するシステムの実装の内容は次のようにまとめられる。</p> <p>(1) 通常では測定不能とされる因子である宿主(人)・媒体(蚊)間の感染現象を分析する新しい方式として、学校・住宅地・ビジネスエリア等、宿主(人)と媒体(蚊)の双方が集まりやすい地区を“位置収縮地区 (Location-Contacting area)”として設定し、感染拡大のリスク計算の重みへと変換を行う“リスクマップ作成方式”を示した。</p> <p>(2) 流行拡大地域を予測する新しいモデルとして、1)人の移動、2)外的要因としての気象状況、3)感染地域の三要素から構成される“適応型エリアベース・リスクモデル (Adaptive Area-based Risk Model: ADDRESS)”を提案した。本モデルのアルゴリズムの概要は次の通りである：各個人はエージェントとして行動し、気象データは一時的な要因として設定される。各エージェントは“位置収縮地区 (Location-Contacting area)”に対応</p>				

した“一時的な行動 (temporary behavior)”をとる。エージェントは明確に定義されたネットワーク上で、出発地から目的地へと移動する。あるエージェントが“位置収縮地区”に到達した時、そのエージェントは「パーソナルリスク」を得る。エージェントは、次の場所へパーソナルリスクを伴って移動する。

本アルゴリズムにおいて、既感染者はトリガー（誘引因子）として、既感染者が存在する地域は既感染地域として見做される。既感染地域を訪れた全てのエージェントは感染の可能性を持ち、既感染地域を離れ移動をすると、目的地は既感染地域となる。既感染地域のリスクの重みは最大値が与えられているため、全ての既感染地域と接触した“位置収縮地区”のリスクの重みは最大となる。地域の感染リスク度 (Risk of Area: RoA) は、エージェントのパーソナルリスクと気象状況の重みの集積値として計算され、次の感染地域は、既感染者のいる地域といない地域間の地域リスク度の差により予測される。

本研究の主要な新規性および有用性は、感染症拡大事象に対して迅速かつ効果的な対策を提示するための近未来予測と、トリガーへの適応性を備えた監視・対策システムを設計、実現した点にあり、次の2点にまとめられる。

- (1) 宿主（人）- 媒体（蚊）間の感染現象を分析する新しいアプローチとして、“位置収縮地区 (Location-Contacting area)” のアプローチを提案し、実際のインドネシア・スラバヤ地域を対象とした、人口密度を因子とした既存のモデルとの比較実験により、高い精度を検証した。この方式は、新しいリスク予測・監視・対策環境の実現に向けての指針を与える新しい方式として位置づけられる。
- (2) 流行拡大地域を予測する新しいモデルとして、1) 人の移動、2) 外的要因としての気象状況、3) 感染地域の三要素から構成される ADRESS モデルを提案し、実際のインドネシア・スラバヤ地域を対象とした、住宅指標を用いた既存のモデルとの比較実験により、高い予測精度を検証した。このアルゴリズムは、リアルタイム感染症拡大事象分析技術として大変優れたものであり、今後のグローバル環境システム研究に新たな指針を与えるものとして有効性が高い。

本論文は次の6章から構成されている。

第1章では、「適応型エリアベース・リスクモデル ADRESS モデルによる感染症拡大事象を対象とした監視・対策システム」の概要、本研究の背景、および、既存の複数のモデル（天候・人口密度・土地利用・媒体（蚊）幼虫数・媒体（蚊）密度・免疫力等の因子を用いた）との比較における、本システムの学術的貢献を示している。

第2章では、デング熱を事例として、本研究の主要な提案モデル ADRESS における新しい予測因子について述べている。本モデルの特徴は、デング熱拡大における新しい予測因子として「人の空間的な移動」を設定し、これをリスクモデルに組み込んでいる点にある。すなわち、通常では測定不能とされる因子である宿主（人）- 媒体（蚊）間の感染現象を、感染地域のリスク計算の重みへと変換してリスクマップを作成することにより、デング熱拡大現象をより予測可能なものへと変換している点にある。本章における実験では、インドネシア・スラバヤ地域を対象として、人口密度を因子とした既存のモデルとの精度比較を行うことにより、提案モデルの精度の高さを検証している。

第3章では、本研究の主要な提案モデルである ADRESS の計算アルゴリズムについて示している。本計算アルゴリズムのメカニズムは、(1) 人の日常的な移動サイクル、(2) 定義されたネットワーク上での人の移動による感染拡大のアルゴリズム、

(3) 特定の地域へ移動する個人の感染リスクを地域人口の感染リスクへと変換する空間的リスク・アセスメント, (4) 出発地-目的地間の移動グラフを用いた感染流行地域予測の4つの要素から構成される. 本アルゴリズムの特徴は, 制御対象地域をグリッド化し, 人の移動ネットワークを明確に定義することで, 人の移動規模と社会的接触という曖昧な要素がリスク計算へ与える影響を低減している点にある. インドネシア・スラバヤ地域のデータを対象に提案方式と既存の方式の精度比較実験を行い, 本方式の精度を検証している.

第4章では, 媒体(蚊)の生態学的な特徴を用いた感染症対策における“意味的な行動戦略(semantic strategy)”の計算方式を示している. 本方式は, “意味の数学モデル(Mathematical Model of Meaning: MMM)”を適用し, 気象状況と媒体(蚊)のライフサイクル間の関連性を計算し, ヒルベルト変換により気象データと感染リスク間の関連性を計算する方式である. 実際に実施された行動戦略と, 本方式によって計算された, 異なる気象条件下におけるWHO標準予防策に照らした行動戦略とを比較することにより, 本方式の精度を検証している.

第5章では, 第2章において述べた“位置収縮地区(Location-Contacting area)”アプローチと第4章において述べた“意味的な行動戦略(semantic strategy)”の統合により, 似通った気象条件下にある複数の地域に共通して適用可能な行動戦略の計算・選択方式について述べている. 熱帯地域のアジア三都市(インドネシア・スラバヤ, マレーシア・クアラルンプール, タイ・バンコク)を対象として, 2012年Dengue Dayキャンペーン時に実際に実施された各国の行動戦略と, 本方式により計算・選択された行動戦略の比較分析を行うことにより, 本統合的計算方式の有効性を検証している.

第6章では, 本研究の総括および今後の展望を示している.

また, 付録では, サンゴの感染症を事例に, 水質センサー, 気象センサー, 照度センサーの“センサー融合”によってサンゴの生態から感染の兆候を感知する方法と, 画像データを用いた検証実験結果を示している.

本論文は, 今後, 世界規模の感染症拡大事象を対象とした研究分野において, 主要な対象の一つである Dengue 熱拡大事象を対象とし, 感染事象分析の中でも重要な“人の空間的な移動”に着目したリスク予測モデルを構築し, 新しい監視・対策システムを提案した. また, 本論文は, 地理情報システム(GIS), 公共衛生, エージェント・ベース・シミュレーション, モデリング・システムを包含する, 学際的かつ実用的な監視・対策システムを実装することにより, 提案方式の実現可能性, 有効性を示した.

これらの研究成果は, 著者が, 感染症拡大事象を対象としてリスク予測モデル設計および監視・対策システム構築を行った7年間にわたる研究活動によって生み出した成果の集大成であり, 環境情報データベース分野, 地理情報データマイニング分野, 環境シミュレーション分野における貴重な研究成果として位置付けることができる.

以上により, 本論文の著者は, 先端的研究を行うために必要な高度な研究能力, ならびに, その基礎となる豊かな学識を有することを示した. よって, 本学位審査委員会は Wahjoe Tjatur Sesulihatien 君が博士(学術)の学位を授与される資格があるものと認める.