

「感染症対策における数理モデルを 活用した政策形成プロセスの実現」

理路整然とした感染症対策デザイン

西浦 博

北海道大学 教授

感染症数理モデルによる政策実装

数理モデルの常在化による政策判断の客観化

西浦 博

Hiroshi NISHIURA
北海道大学 教授

稲葉 寿

Hisashi INABA
東京大学 教授

岩見 真吾

Shingo IWAMI
九州大学 准教授

《要旨》本研究の目的は、従来まで科学的根拠に乏しかった感染症対策の政策形成過程において日常的に数理モデルを用い、政策判断を客観化し、同時に理論的に最良と考えられる方法を取ることで科学的妥当性を最大限に担保した判断過程を適用することである。対象とする研究課題を (i) 感染症の発生動向, (ii) 予防接種, (iii) 新興感染症に絞って段階的にモデル化研究に取り組み、政府機関・行政機関での日常的使用に取り組み、数理モデル研究成果の参照体制の創出に取り組み、実務者に数理モデルの研究成果をルーチン化した上で紹介することで、常在化するまでの関わりを形成すべく取り組んだ。HIV 感染者数の推定では研究紹介に加えて専門家会議への参画を達成し、中東呼吸器症候群 (MERS) の流行リスク推定では専門家意見聴取など研究フィードバックを提供した。また、行政機関との人材交流を活発化し、若手研究者育成のための短期コースを開催した。保健医療政策の策定側が直視したくない結果の参照体制の構築に時間をかける努力が必要である。

1. はじめに

感染症の流行は人類全体に大きな影響を与えてきた。有史以来その制御は人間社会全体に共通する課題であり続け、とくに現代社会では効果的な医療技術の開発・改善とともに、感染症対策を政策レベルで立案して社会実装することによって対峙している。これら感染症対策には限られた資金と社会資源の効率的使用が求められ、政策策定の過程で対策内容の有効性や理論的妥当性が必ず議論される。また、策定や社会実装の経緯には透明性も求められ、社会的な合意形成が得られた上で根拠に基づく公衆衛生政策 (evidence-based public health policy) として実装されることが望まれている。

一方、日本における保健医療政策の政策判断は未だ (先端的な) 科学技術を活用したエビデンスに十分に基づくとは言い難い。疫学そのものの重要性は徐々に認識が広がりつつあり、臨床医学のベッドサイド現場で患者の治療・予後改善に直接的に結びつく臨床研究を中心に研究手法やインフラが拡大傾向にある。一方で、感染症の国境検疫・隔離や接触者追跡調査および予防接種政策などの集団レベルの政策は十分な疫学的エビデンスに基づいて議論され難い傾向もある。フィールド調査や従来から知られる疫学的手法に基づ

く因果推論では明らかにできない政策案件が多いため、(仕方がないので) 公衆衛生を中心とする専門家を招くことによって審議会で意見聴取をする形式を取り、恣意性を覚悟の上で様々な政策の細部取り決めが行なわれているのが実状であった。

本プロジェクトは、この現状に対して感染症数理モデルを日常的に用いることにより、政策判断を客観化すると同時に理論的に最良と考えられる方法をとることで「理路整然とした感染症対策デザイン」を提供することを目的とする。これにより、科学的妥当性を最大限に担保した判断課程の適用を可能にすることで、政策立案の段階に根拠を与える。本プロジェクトで対象とする具体的な感染症課題は大きく 3 つに分かれており、(i) 予防接種政策, (ii) HIV/AIDS や梅毒などの感染症発生動向の分析, (iii) 新型インフルエンザ対策や新興感染症対策、に絞って政策研究と実装を実施した。これら大項目については、その細目まで含めると非常に多様な項目を含んでおり、包括的な研究開発計画を展開することができた。また一方で、政策実装への課題も浮彫りになった。本稿ではこれら研究開発項目とその成果について紹介する。

公開資料

2. プロジェクトの目標とリサーチクエスチョン

本プロジェクトの目的は、これまでに科学的根拠に乏しかった感染症対策の政策形成過程において日常的に数理モデルを用い、政策判断を客観化し、同時に理論的かつ定量的に最良と考えられる方法を取ることによって、科学的な妥当性を最大限に担保した判断過程を適用することである。

感染症の政策判断に数理モデルを利用する革新的政策形成プロセスの構築を意図した以下の具体的な項目を目的とする。

①感染症対策に関する政策判断において、数理モデルによる研究成果が常に参照可能な革新的体制を築くこと。特に、HIV/AIDS を中心とする感染症の発生動向の把握において、感染者数の推定と予測値が常に参照される状態を築く。

②実装すべき政策研究内容が容易に国に受け入れられない場合を含め、数理モデルを利用して得られた客観的政策判断を実装するための具体的手段を系統立てて整理しながら、戦略として確立すること。例えば、国連機関への働きかけや海外における先行研究とのコラボレーション、メディアの有効活用などの個々の方法論を組み合わせ、政策実装のための最も効果的な戦略的達成手法そのものを確立すること。

③上記の目標を達成するための若手研究者を育成する。博士研究員レベル以上の実装研究の実践的教育はもちろんのこと、大学院課程における政策研究のための数理モデル専門家の育成に着手する。

研究期間全体を通じて、研究開発目標の大幅な変更や修正を実施することは多くはなかった。他方、感染症の流行状況などに応じて余裕のある範囲で研究の細目課題を増やし、それに対応して最終目標をより幅の広いものにするよう努力した。

3. 課題と分析手法/アプローチ

2で挙げた本プロジェクトの目的を到達するために、本研究では、数理モデルの適用が最もわかりやすく、かつ、それが国内の政策に反映されてこなかった具体的な対象事例として、(i) 予防接種政策、(ii) HIV/AIDS や梅毒などの感染症発生動向の分析、(iii) 新型インフルエンザ対策や新興・再興感染症対策

を選出した。

(i) 本研究では特に、麻疹と風疹に注目し、予防接種政策の再検討を行った。日本では 2012-13 年にかけて大規模な風疹流行を認めた。これは日本国内で集団免疫度達成が不十分であるためと考えられ、その実態を把握すべく患者情報および年齢別の風疹抗体保有状況を検討した。麻疹の一般人口における感受性についても同様に、いまだ集団免疫は十分に達成されておらず接触者追跡調査が継続的に必要である。本研究では、麻疹と風疹の予防接種の集団免疫割合の算出と予防接種ターゲットを特定するべく、確率過程を用いた数理モデルを構築し、様々なシナリオ下での数値実験を行った。

(ii) 本研究期間中、中東呼吸器症候群 (MERS)、ジカ熱、コレラ、肺ペストなどの世界規模の大流行が起きた。ジカ熱流行の国際的な拡大では、これまでに地理情報システム上で媒介蚊の分布を気象データなどから予測して、その情報からジカウイルス伝播のリスクを予測する研究がなされてきた。一方で、実際の輸入リスクや国内伝播リスクはヒトの移動やウイルスの定着のしやすさに依存するため、輸入・国内伝播やヒトの移動の実測値を加味したアプローチによる国単位でのリスク予測も不可欠である。本研究では、航空ネットワークデータにより算出される、飛行機の便数や空港から空港へのヒトの流れ、密度を考慮した距離である実効距離と、デングウイルスとチクングニアウイルスの疫学データを用いた、新しい統計モデルを構築し、国固有のジカ熱の輸入リスクと国内伝播確率を推定した。

コレラはコレラ菌によって汚染された水や環境を介してヒトの小腸に感染し、様々なタイプの下痢と嘔吐、脱水を引き起こす致死的な感染症であり、中東イエメンでは、2016 年からかつてないコレラの大流行が起きた。2010 年のハイチでのコレラ流行を中心に、これまでもコレラ伝播に関する数理モデルを利用した疫学研究が多数実施されてきたが、その多くは流行対策を検討・評価するものであり、限られた資源をどこへどれくらい配分するかを決定した、最適配分に関する研究が中心だった。一方で、2016 年のような史上最大規模の流行が生じた際、その観察データをリアルタイムで分析して、その予測を逐次ア

アップデートしてフィードバックするような実践的研究はほとんどなく、流行現場における現状認識に役立つようなモデリング研究はあまり実施されてこなかった。そのため、WHO が収集した感染疑い患者数と死亡者数に関する週報データを分析し、流行のリアルタイム予測を行った。流行の分析においては、週ごとにアップデートされる流行曲線全体を毎週分析することによって、発病から報告までの時間の遅れをモデル内で捉える方法を開発した。さらに、流行初期よりも、患者数が多くなってからの方が患者が診断・報告されやすいという診断バイアスを、毎週の致死率を利用して調整する方法を考案した。

2014 年の代々木公園でデング熱の国内感染事例が観察された。デング熱流行対策への貢献を目指し、日本の気象変数を加味した数理モデルを構築した。これにより、気候変動の進行を加味した日本国内のデング熱リスクマップの作成が可能となった。

国では長年に渡って新型インフルエンザの被害想定を米国の旧式モデルに従って単一シナリオのみ提示してきたが、それを最新の知見に基づいて客観化し、複数提示することは少なかった。研究代表者は、新型インフルエンザの被害想定について国の審議会等に所属するインフルエンザ専門家の Delphi 調査を実施し、被害想定を客観化に向けたパンデミックシナリオ構築のためのパラメータ抽出を行った。

(iii)日本では HIV 感染者数に関する国レベルでの公式の推定値はこれまで提示されてこなかった。HIV 感染者は必ずしも医療機関を受診するとは限らず、また、HIV 感染者の診断率・報告率は時刻と共に変動する。そのため、時系列で報告される HIV 感染者数と AIDS 患者数の観察情報を駆使することによって、新規感染者数と診断率を結合推定しつつ HIV 感染者数の推定値を得ることが求められる。本研究では、多状態モデルのような統計モデルを活用、さらに常微分方程式を利用した流行動態モデルを構築した。AIDS 患者数の観察情報を基に、新規感染者数推定に加え HIV 感染者の診断率・報告率の同時推定を行った。

4. 分析の結果（どのような知見が得られたか）

4-1 風疹および麻疹に関する予防接種政策の再検討

患者情報および年齢別の風疹抗体保有状況の検討では、30–50 歳代の成人男性の一部で免疫が保持する者が少ないことを特定し、また、2013 年の流行後も同年齢群などの抗体保有率に上昇を認めないことを報告した。現時点での研究成果は、BMJ Open 誌および International Journal of Infectious Diseases 誌にて英文原著論文の形で発表し、ウェブ上から第三者にも利用可能である¹。この分析のほか、日本人口においてどの性別・年齢群を対象にワクチン接種を実施すれば良いのか、数理モデルを利用した研究成果を国立感染症研究所とともに共同で研究に取り組んだ。研究代表者（西浦）は大石和徳感染症研究所疫学センター長が研究開発代表者を務める AMED 研究班の研究協力者として数理モデル研究成果を発表させていただく機会を得て、風疹予防接種政策に関する知見を研究レベルで共有する体制を築いた。

同様に、麻疹の一般人口における感受性についても数理モデルを用いて検討を行った^{2,3}。未だ集団免疫は十分に達成されておらず接触者追跡調査が継続的に必要であり、また、外国からの輸入が続く見込みのために麻疹の散発的な集団発生が今後 10 年以上継続する見込みであることを実証した。得られた結果は世界保健機関（WHO）の麻疹排除認定が既に行われた下で、日本が麻疹に対してどの程度の流行リスクを有するのかを客観的に示すことに繋がる重要な知見であり、国立感染症研究所はもちろん、研究成果を Vaccine 誌にて英文原著論文の形で発表することでウェブ上から第三者にも利用可能にした。

我が国における麻疹・風疹の流行に関しては国際的に批判を浴びることも多い。現状の集団免疫度とこれまでの予防接種政策の評価が可能な数理モデルの実装が進められたことは、今後の予防接種政策を中長期的に考えた場合も意義深い成果と考えられる。

4-2 新興・再興感染症のリアルタイム研究成果の政策還元

新興・再興感染症の数理モデル研究においては、2015 年に韓国で大規模な流行を認めた中東呼吸器症候群（MERS）研究に集中的に取り組んだ^{4,7}。その過程で、未来の継続的な共同研究を見据えて国立国際医療研究センターを含む感染症専門家らと

MERS に関する共同研究成果を出版し、今後の数理モデルを活用した研究実装についての障壁や考えについて自由に討論する機会を得た。これを通じて、新興・再興感染症の発生時における必須データ情報シートとの共有を現実的に目指すこととし、現に収集データに基づく分析の事前コード化に着手している。また、ジカ熱の大規模流行が続いたため、国際的な流行拡大予測の実装に取り組んだ（図 1）。MERS の国内流行リスクの分析結果発表においては厚生労働省で参考人として意見聴取に応じ、また、ジカ熱研究発表においてはマスメディアに広く本プロジェクトの数理モデルの社会実装を含む取り組みについて紹介する機会を得た。

最終年度はイエメンのコレラ流行に関して、リアルタイム予測の実装研究を実施した⁸。患者数の報告の遅れを加味した数理モデルを用いることによって、分析した時点までに流行がピークに達していたことを実証した。今後の流行規模の予測に関しては、日本国内のメディアに取り上げていただいた。

今後のデング熱流行対策への貢献を目指して、日本の気象変数の詳細な分析に取り組んだ。特に、気候変動の進行により 2014 年の代々木公園で発生した例と同様のデング熱の国内感染の発生が懸念されるため、日本国内のデング熱リスクマップの作製と公表を実施した（図 2）。本プロジェクトの研究成果を用いれば、どの地域およびどの時期においてデング熱の国内感染が発生しやすいかを公衆衛生の政策意思決定者は容易に把握できるため、蚊の駆除などの対策を効率的に行える可能性がある。研究成果の主要部分は、特定の地理的範囲の拡大や、現在と将来のリスク分布比較などインタラクティブな機能も実装した上で現在インターネットで公開されている。

このほかコレラ、肺ペストなどのリアルタイム推定に積極的に取り組み、成果発表前の時点から保健医療行政の担当者へ必ずリアルタイムで研究成果を伝達し、その内部参照を促すことのできる研究体制を構築した。関連する機会を通じて、国の感染症制御に関係する行政担当者とは数理モデル研究成果のフィードバックを円滑に行うための意見交換会を開催した。新興・再興感染症に限らず、常に研究対象課題とその成果の概要に関する情報を交換する仕組みを

研究室レベルで構築させていただくことを提案し、感染症流行発生時に行政担当者と速やかに研究成果を共有することをこれまでに実現している。

デング熱流行対策への貢献は、気候変動対策への貢献と外来生物の侵入対策への貢献の 2 点である。気候変動対策への貢献：今後の気候変動がデング熱流行リスクを上昇させることを示している。これは、想定される気候変動、特に温暖化の抑制に努めるべき根拠を示す成果と考えることも可能である。ただし、地球温暖化のようなグローバルな気候変動の対策ばかりでなく、大都市部の中心部に流行に好適な環境が成立している状況を踏まえると、ヒートアイランド現象の緩和といった都市気候レベルでの対策も重要である（図 3）。すなわち、本課題の成果は、環境政策に関する政策的意思決定者に向けた情報と想定することも可能となる。

現在のインタラクティブマップには感度分析的な機能は備えていないが、将来の温暖化に関する多様な気候変動シナリオ別に予測のマップを作成することも可能である。あるいは、目標値とされる気候値の変化に従って流行リスク上昇がどの程度抑えられるのかを、集計する機能を付加することも今後の展開として考慮に値する。

外来生物の侵入対策への貢献：本課題では、外来生物となりうるネッタイシマカの侵入・定着によって、日本でのデング熱流行リスクが大幅に増大することを定量的に示している。すなわち、ヒトスジシマカと比べ、ネッタイシマカの方が、より高い流行リスクを日本全体で成立させるため、ネッタイシマカの日本における侵入・定着を防ぐ政策的意義は大きい。近年にはヒアリなどの海外の昆虫の侵入が問題となるケースがあったが、ネッタイシマカが日本に侵入し、かつ定着する条件が日本においても整いつつあるという懸念もあるため、その対策のための包括的な取り組みが必要である。

これらの成果は、そうした警告を促す情報提供に現段階では限られる。そのため、それ以上の具体的な政策オプションを提示するものではない。今後は、侵入した外来生物の空間的な拡散過程の推定や、流行が成立した際の流行規模を含めた理論疫学モデルの推定範囲の拡大などが、本課題の成果を発展させる

ものと期待できる。

新型インフルエンザの被害想定について、国の審議会の構成メンバーから招聘した専門家チームとの協働により Delphi 調査を実施し、被害想定を客観化に向けたパンデミックシナリオ構築のためのパラメータ抽出を行った。その結果、数理モデルを利用したシナリオ分析に基づいた複数の被害想定が可能となった。我が国における感染症政策においては、長年にわたり、新型インフルエンザの被害想定を米国の旧式モデルに従って単一シナリオのみで提示してきた経緯がある。研究代表者は、数理モデルを活用し、最新の知見に基づいた複数のシナリオ分析により被害想定にバリエーションを持たせることで、より実践的な政策への意思決定をサポートすることを可能とした。本研究結果で得られた知見は、抗インフルエンザウイルス薬の備蓄や医療体制の充実を図る上で、有用性が高い。

4-3. HIV 感染者推定モデルの実装

暫定成果のアップデートを実現し、HIV 感染者数の時刻にともなって変動する推定値を得た。これに留まらず、平成 28 年度には全 HIV 感染者中の診断者数の割合の推定にも取り組んだ。診断率は具体的な数値として得られ、診断率は HIV/AIDS の test-and-treat 戦略を日本で実施する上で問題になり得ることを明らかにした⁹。全感染者に占める診断者の割合の推定値は UNAIDS の 90-90-90 戦略、すなわち診断に基づく治療による HIV 感染症の制御の指標として用いられる予定である。

5. 考察（成果の妥当性と有用性）

各研究項目で得られた推定値を用いることで、本研究の目的である「理路整然とした感染症対策デザイン」の構築を実現するための定量的指標を提供することができた。数理モデル自体は感染症発症者数のデータ生成過程に基づいて、理論的妥当性をもって構築されている。そのため、多くの成果は peer review journal での出版プロセス（査読）を耐えることができ、一定の妥当性が担保されたものであった。先に紹介した研究成果のとおり、当研究で得られた成果はどれも政策判断の客観化と政策実装への有用

性を提示した。

本研究プロジェクトは人材育成やネットワーク拡大においても有用性がある。若手研究者の育成に関しては、2015 年から毎年、統計数理研究所（東京都立川市）に会場を借りて、研究代表者（西浦）が感染症数理モデルを利用したデータ分析や政策実装に関する短期入門コース（連続 10 日間）を開催している。参加者は毎年 80-90 名であり、2016 年、2017 年は英語で開催し、日本国内だけでなく、アジアやヨーロッパからも多くの研究者が参加した。人材育成に係る具体的な目標として感染症数理モデルの実装に必要なブループリント（必須学習項目）の作成も行い、それを講師内で共有している。さらに、2017 年 2 月にはより政策実装のために必要とされる統計学的推定や政策へのフィードバックを念頭に置いた数理モデラーの養成講座、実装のための感染症数理モデルアドバンスドコース「リスクマップの社会実装」を開講した。

保健医療行政との間の人材交流も活発に進められた。2015 年以降、研究代表者の指導を受けている博士課程大学院生の医師 2 名が保健医療行政における医系技官として勤務する機会を得た。また、感染症行政で課長補佐として勤務後に、研究代表者が教授を務める北海道大学の助教に就任する医師が生まれ、真の意味で双方向の人材の交流が開始されつつあり、今後の専門研究の行政での浸透が期待される。

6. 政策的含意と提言

感染症の発生動向に関する研究成果は、例えば HIV の推定患者数が必ずしも増加傾向にないこと、麻疹の排除認定を受けた現在でもなお定期的に同疾患の流行が発生しうることなど、感染症対策に携わる人々にとって喜ばしくない結果を提示することもある。また予防接種政策においても、風疹の研究で明らかになったように現行の推奨が必ずしも適切でないことを示す契機ともなる。

これらの結果は、客観的な疫学研究成果が政策決定者によって顧みられなくなる可能性がままあることを示唆している。数理モデルを用いた疫学研究成果を実際の保険医療政策に反映させるためには、政策策定者との情報共有が欠かせないが、こうした

望ましくない成果に対しても十分な参照体制を築く努力が求められる。

新興・再興感染症の疫学研究では、随時更新されていく不完全な疫学データをもとにリアルタイム分析を迅速に行うことが求められる¹⁰⁻²⁷。これは数理モデルを専門とする疫学研究チームが、有事の際にそのような分析を行うだけのマンパワーと専門性を常に保持している必要があることを示唆している。それは換言すれば人材育成の重要性を示すものであり、本プロジェクトで継続的に行われていた人材育成活動は、プロジェクト終了後も不断に行われるべき類のものであろう。

またリアルタイム分析を通じて、患者の発生から報告までのタイムラグなど、今まさに進行している流行ならではの要素を考慮しなければ信頼に足る結果が得られないことも明確にされた。このような研究では常に対策を行っている行政関係者・医療従事者の存在が無視できないため、彼らに時宜に沿った情報を提供するためにもより正確な推定を可能にする手法を研鑽していく必要がある。

さらにエボラウイルス病やMERSのように国際的なアウトブレイクが見られた場合は、流行の終息が宣言されなければ国内の警戒態勢や他国からの支援を終結させることが難しいが、本プロジェクトの研究を通じて適切な終息宣言のタイミングも定量的に示しうることが示唆された。これは数理モデルを用いた疫学研究が国際機関や各国の政府に有益な提言を行えることを含意しており、今後も政策策定者に対して速やかに情報を提供できる体制を維持していくことが望ましいと考える。

7. おわりに

研究成果の予防接種政策への応用については、今後国立感染症研究所疫学センターとの連携をより深めていき、対象を他の **vaccine preventable diseases** へと拡張することで、他の先進国との **vaccine gap** 解消に対するさらなる貢献が期待できる。

新型インフルエンザの発生動向分析については、流行規模に関する季節性インフルエンザとの相互作用を検証することで、より説得力のある結果を提示することが可能であり、政策実装可能性を高めるこ

とができる分野である。さらにインフルエンザウイルスのサブタイプ間の相互作用を確認することはインフルエンザの長期的な疫学動態の推定に有益であり、学術的にもさらなる発展が期待できる。

また既に述べたように、人材育成は研究体制の充実に資するという意味においても行政分野との情報共有を密にするという意味においても大きな意味を持つ。既に中央政府での勤務経験者を数理モデル専門家として育成する試みは始まっているが、この活動を推し進めることによってさらに行政と研究の連携を深めることが可能となる。

参考文献

1. Kinoshita R, Nishiura H. Assessing herd immunity against rubella in Japan: a retrospective seroepidemiological analysis of age-dependent transmission dynamics. *BMJ Open*. 2016;6(1): e009928. doi: 10.1136/bmjopen-2015-009928.
2. Kinoshita R, Nishiura H. Assessing age-dependent susceptibility to measles in Japan. *Vaccine*. 2017;35(25):3309-3317. doi: 10.1016/j.vaccine.2017.05.011
3. Nishiura H, Mizumoto K, Asai Y. Assessing the transmission dynamics of measles in Japan, 2016. *Epidemics*. 2017; 20:67-72. doi: 10.1016/j.epidem.2017.03.005.
4. Nishiura H, Miyamatsu Y, Chowell G, Saitoh M. Assessing the risk of observing multiple generations of Middle East respiratory syndrome (MERS) cases given an imported case. *Eurosurveillance* 2015;20(27): pii=21181.
5. Nishiura H, Miyamatsu Y, Mizumoto K. Objective Determination of End of MERS Outbreak, South Korea, 2015. *Emerging Infectious Diseases*. 2016;22(1):146-8. doi: 10.3201/eid2201.151383.
6. Nah K, Otsuki S, Chowell G, Nishiura H. Predicting the international spread of Middle East respiratory syndrome (MERS). *BMC Infect Dis*. 2016 Jul 22; 16: 356. doi: 10.1186/s12879-016-1675-z.
7. Nah K, Mizumoto K, Miyamatsu Y, Yasuda Y, Kinoshita R, Nishiura H. Estimating risks of importation and local transmission of Zika virus infection. *PeerJ*. 2016;4: e1904. doi: 10.7717/peerj.1904.
8. Nishiura H, Tsuzuki S, Yuan B, Yamaguchi T, Asai Y. Transmission dynamics of cholera in Yemen, 2017: a real time forecasting. *Theor Biol Med Model*. 2017;14(1):14. doi: 10.1186/s12976-017-0061-x
9. Nah K, Nishiura H, Tsuchiya N, Asai Y, Imamura A. Test-and-treat approach to HIV/AIDS: A primer for mathematical modeling. *Theoretical*

Biology and Medical Modelling 2017;14(1):16

10. Matsuyama R, Nishiura H, Kutsuna S, Hayakawa K, Ohmagari N. Clinical determinants of the severity of Middle East respiratory syndrome (MERS): a systematic review and meta-analysis. BMC Public Health. 2016 Nov 29;16(1):1203.

11. Dinh L, Chowell G, Mizumoto K, Nishiura H. Estimating the subcritical transmissibility of the Zika outbreak in the State of Florida, USA, 2016. Theor Biol Med Model. 2016 Nov 9;13(1):20.

12. Nah K, Otsuki S, Chowell G, Nishiura H. Predicting the international spread of Middle East respiratory syndrome (MERS). BMC Infect Dis. 2016 Jul 22;16:356. doi: 10.1186/s12879-016-1675-z.

13. Otsuki S, Nishiura H. Reduced Risk of Importing Ebola Virus Disease because of Travel Restrictions in 2014: A Retrospective Epidemiological Modeling Study. PLoS One. 2016 Sep 22;11(9):e0163418. doi: 10.1371/journal.pone.0163418.

14. Nishiura H, Mizumoto K, Rock KS, Yasuda Y, Kinoshita R, Miyamatsu Y. A theoretical estimate of the risk of microcephaly during pregnancy with Zika virus infection. Epidemics 2016; 15: 66-70 (doi: 10.1016/j.epidem.2016.03.001)

15. Nishiura H, Mizumoto K, Villamil-Gomez WE, Rodriguez-Morales AJ. Preliminary estimation of the basic reproduction number of Zika virus infection during Colombia epidemic, 2015-2016. Travel Medicine and Infectious Diseases. 2016; 14(3):274-6 (doi: 10.1016/j.tmaid.2016.03.016)

16. Nah K, Mizumoto K, Miyamatsu Y, Yasuda Y, Kinoshita R, Nishiura H. Estimating risks of importation and local transmission of Zika virus infection. PeerJ. 2016;4:e1904. doi: 10.7717/peerj.1904.

17. Nishiura H, Kinoshita R, Mizumoto K, Yasuda Y, Nah K. Transmission potential of Zika virus infection in the South Pacific. International Journal of Infectious Diseases. 2016;45:95-7. doi: 10.1016/j.ijid.2016.02.017.

18. Nishiura H, Endo A, Saitoh M, Kinoshita R, Ueno R, Nakaoka S, Miyamatsu Y, Dong Y, Chowell G, Mizumoto K. Identifying determinants of heterogeneous transmission dynamics of the Middle East respiratory syndrome (MERS) outbreak in the Republic of Korea, 2015: a retrospective epidemiological analysis. BMJ Open. 2016;6(2):e009936. doi: 10.1136/bmjopen-2015-009936.

19. Nishiura H, Miyamatsu Y, Mizumoto K. Objective Determination of

End of MERS Outbreak, South Korea, 2015. Emerging Infectious Diseases. 2016;22(1):146-8. doi: 10.3201/eid2201.151383. [Journal][doi].

20. Asai Y, Nishiura H. Joint estimation of the transmissibility and severity of Ebola virus disease in real time. Journal of Biological Systems 2017; in press.

21. Matsuyama R, Miura F, Nishiura H. The transmissibility of noroviruses: Statistical modeling of outbreak events with known route of transmission in Japan. PLoS ONE. 2017 Mar 15; 12(3): e0173996. (doi: 10.1371/journal.pone.0173996)

22. Yoshii K, Kojima R, Nishiura H. Unrecognized Subclinical Infection with Tick-Borne Encephalitis Virus, Japan. Emerging Infectious Diseases 2017;23(10):1753-1754. doi: 10.3201/eid2310.170918.

23. Miura F, Matsuyama R, Nishiura H. Estimating the asymptomatic ratio of norovirus infection during foodborne outbreaks with laboratory testing in Japan. Journal of Epidemiology 2017; in press.

24. Lee H, Nishiura H. Recrudescence of Ebola virus disease outbreak in West Africa, 2014-2016. International Journal of Infectious Diseases 2017; 64:90-92. doi: 10.1016/j.ijid.2017.09.013.

25. Nishiura H, Tsuzuki S, Asai Y. Forecasting the size and peak of cholera epidemic in Yemen, 2017. Future Microbiology 2017; in press.

26. Nishiura H, Lee H, Yuan B, Endo A, Akhmetzhanov AR, Chowell G. Infectious disease risks among refugees from North Korea. International Journal of Infectious Diseases 2017; in press.

27. Tsuzuki S, Lee H, Miura F, Chan YH, Jung SM, Akhmetzhanov AR, Nishiura H. Epidemiological dynamics of pneumonic plague epidemic in Madagascar, 2017. Eurosurveillance 2017; in prss.

キーワード

数理モデル, 政策判断, 感染症, 流行, 人材育成

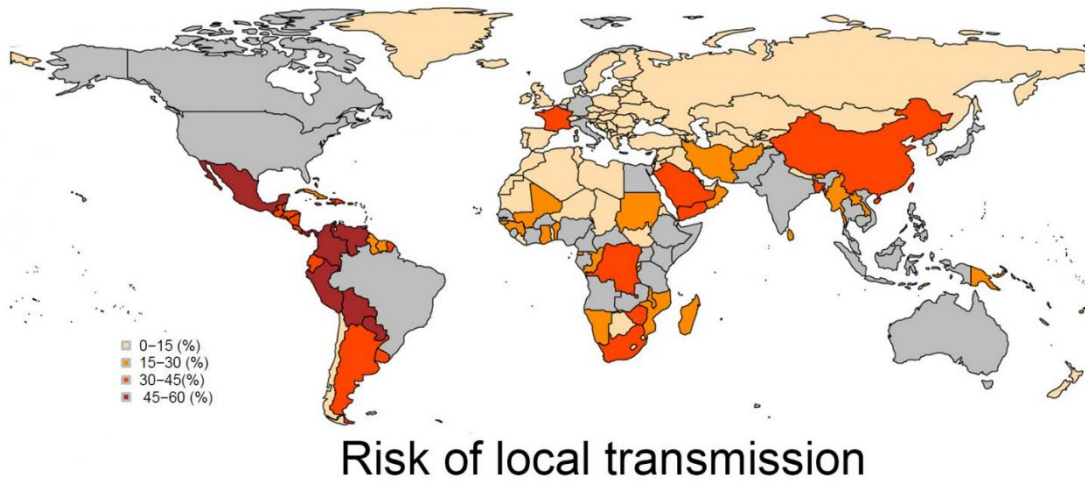


図1. ジカウイルス感染症の国際的な流行拡大リスクの予測マップ（西浦博による）

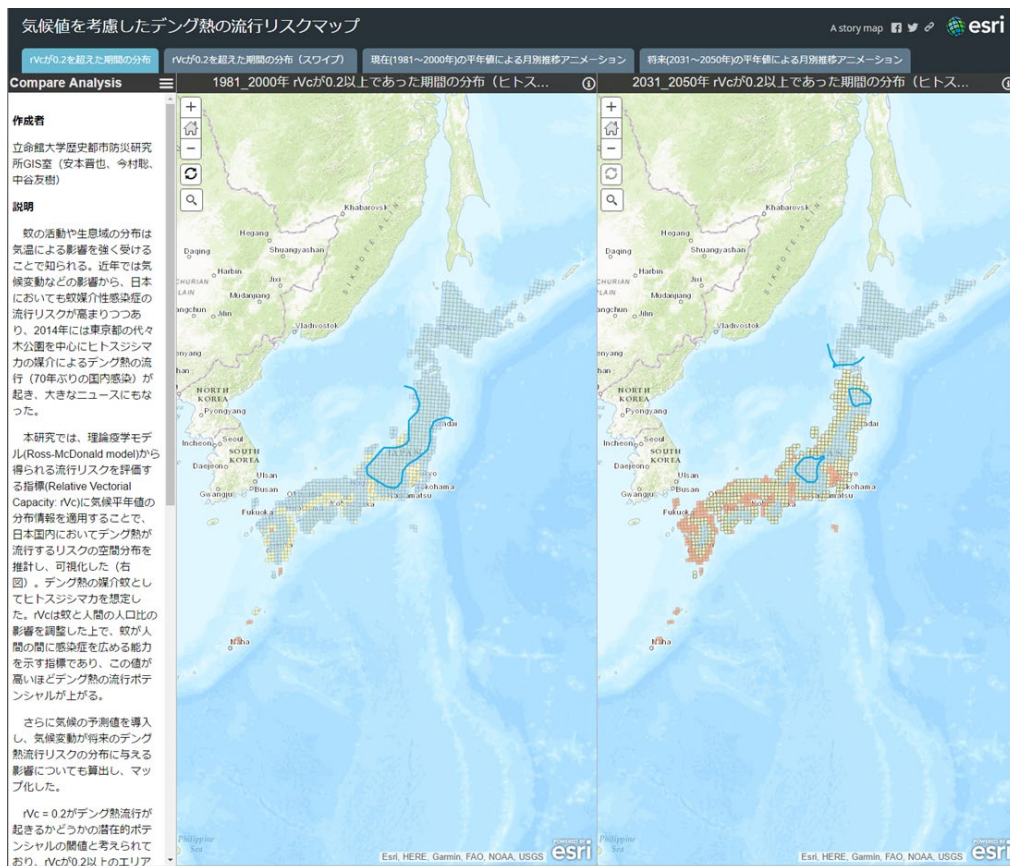


図2. デング熱流行リスクのインタラクティブマップ（中谷友樹氏による）

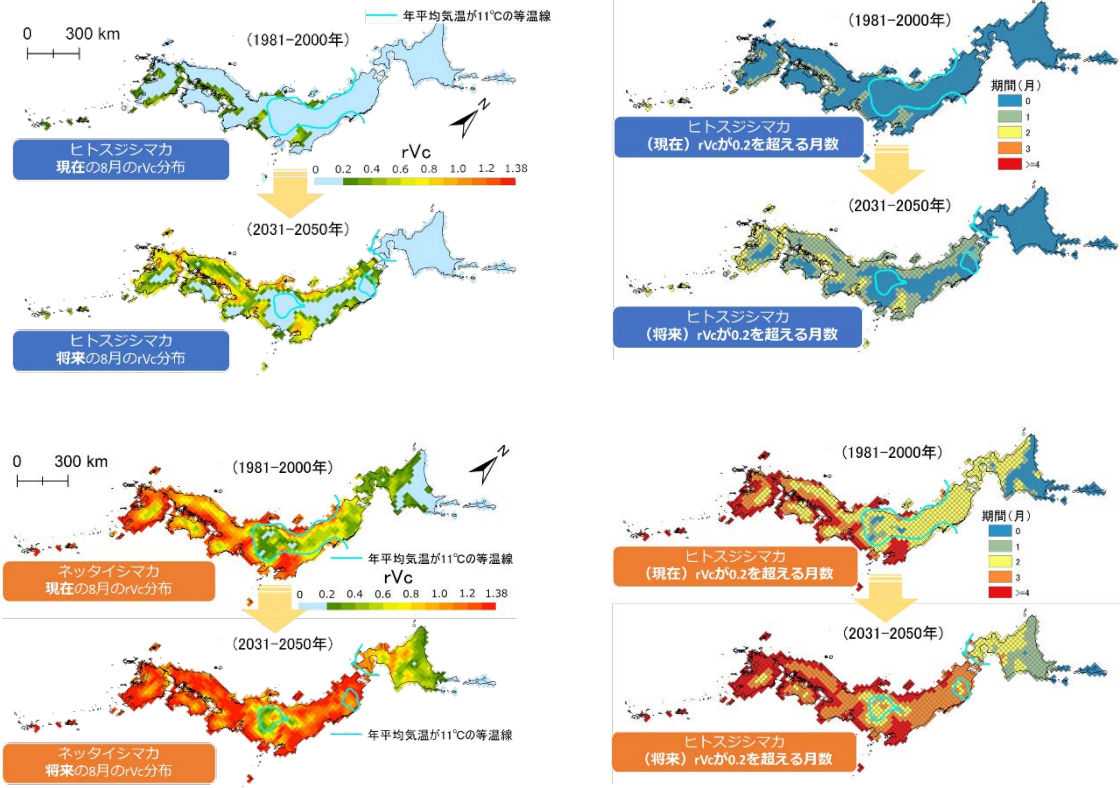


図3. rVc による日本でのデング熱流行リスクマップと気候変動による影響

(上段2つはヒトスジシマカ, 下段2つはネッタイシマカ)

(中谷友樹氏による)