



2023年10月5日

新型コロナウイルス感染によるクラスター発生確率の計算に成功 ～数理モデルに基づく効果的な感染症対策の確立へ重要な一歩～

【本研究のポイント】

- ・新型コロナウイルス感染によるクラスター^{注1)}の発生確率の計算に成功した
- ・抗原検査^{注2)}による感染者スクリーニングは、クラスターの発生確率を大幅に下げられる
- ・抗原検査による感染者スクリーニングのみでは、クラスターの発生確率を0%にできない

【研究概要】

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院理学研究科の岩見 真吾 教授らの研究グループは、オックスフォード大学(イギリス)との共同研究で、新型コロナウイルス感染によるクラスターの発生確率の計算に世界ではじめて成功しました。この画期的な方法により、感染者ごとに異なるウイルス量の時間変化を分析し、抗原検査や抗ウイルス薬剤による治療の個別介入を行うことで、クラスターの発生確率に及ぼす影響を評価することが可能になりました。この手法によれば、抗原検査による感染者スクリーニングは、クラスターの発生確率を大幅に低減する効果がありますが、感染力の強い変異株(例: オミクロン株)によるクラスターを完全に防ぐことは難しいことが明らかになりました。

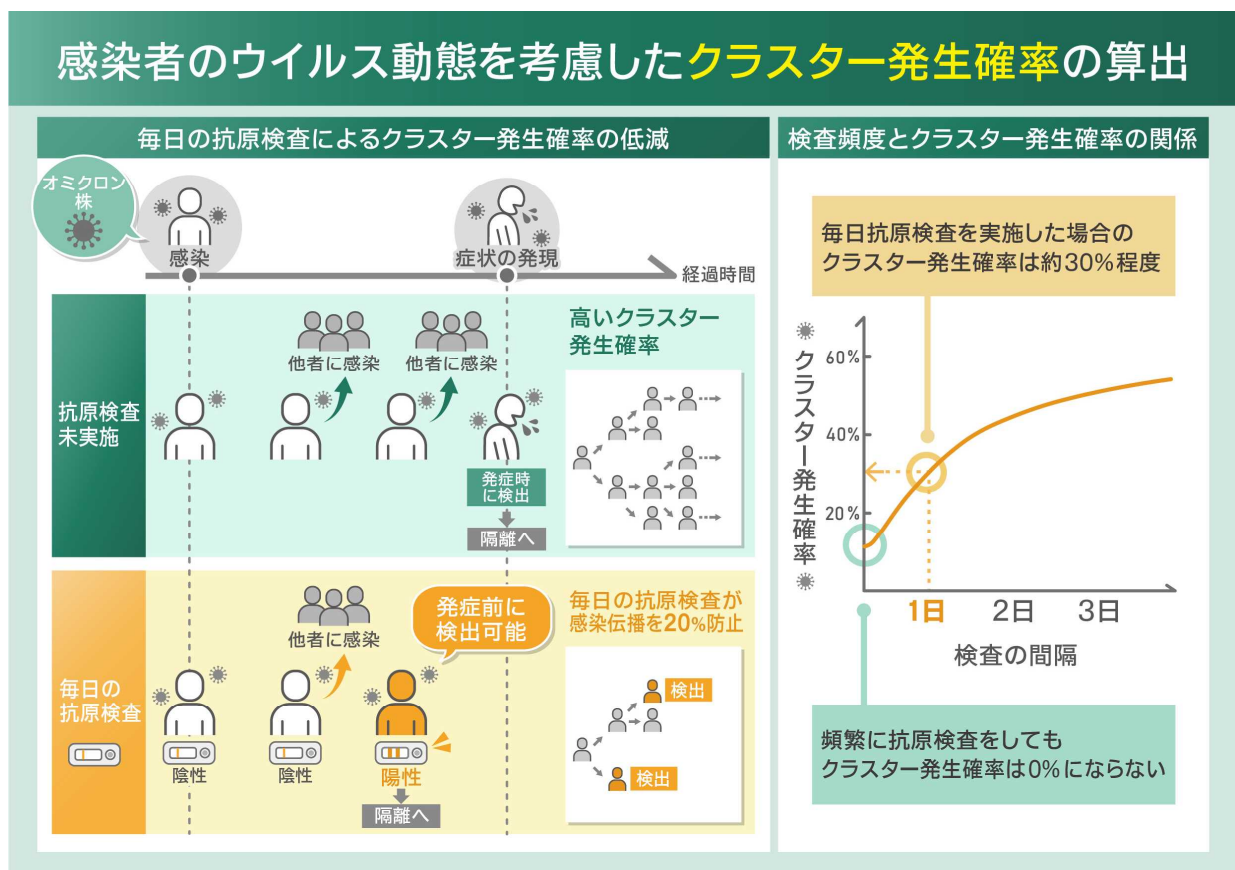
国内外での感染者数の再増加や新たな変異株の出現が懸念される中、今後の社会活動と感染症対策を両立させるためには、予防的な手段としての定期的な抗原検査やワクチンの追加接種キャンペーンなどの必要性が科学的に示唆されました。クラスター発生リスクを最小限に抑える必要がある状況下で、本研究の成果は、数理モデルに基づく効果的な感染症対策の確立に向けた重要な一歩となることが期待されます。

本研究成果は、2023年10月2日付国際学術雑誌「Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America」に掲載されました。

【研究背景と内容】

COVID-19 ワクチンの広がりを背景に、世界各国は感染拡大の防止に努めつつ、社会活動の再開・維持を模索する新たな時代「ウィズコロナ」が到来しています。典型的な例として、日本は2023年5月に新型コロナウイルス感染症を5類感染症に分類し、新たな対策指針を導入しました。しかしながら、新型コロナウイルスの感染流行は、免疫力の低下や、ウイルスの継続的な進化といった要因によって引き続き影響を与えており、現在、国内外で新規感染者数が再び増加の兆しを見せています。特に、学校や職場などの特定の集団内での局所的な感染拡大は、教員や職員の不在などによる混乱を引き起こし続けています。たとえば、高齢者施設などに定期的な抗原検査による感染者スクリーニングを導入して、できるだけ早期の段階で感染者を特定・隔離できれば“クラスター”の発生リスクを下げられるかもしれません。ただし、このようなスクリーニングがクラスターの発生確率にどのように影響を与えるかは、その計算方法が確立されていなかったため不明でした。

本研究では、分岐過程^{注3)}と呼ばれる数学理論を拡張することで、感染者ごとに異なるウイルス量の時間変化を考慮した上で、クラスターの発生確率を計算する公式を導き出しました。その結果、抗原検査のタイミングやそれに伴う偽陰性割合^{注4)}を踏まえて評価しても、感染者スクリーニングによりクラスターの発生確率を大幅に軽減できることが明らかになりました。また、抗原検査の導入は、学校や職場など、発症前の感染者が主な感染源である場合や、無症候感染者が増えた場合に、特に効果的であることが示唆されました。しかし、一方で、感染者スクリーニングのみでは、クラスターの発生確率を0%にできないことも分かりました。(図参照)



抗原検査による感染者スクリーニングは、感染者が発症する前の状態(未病状態)を検出できる重要な手段であることより、本研究で開発したクラスターの発生確率を計算する公式と合わせれば未病状態を踏まえた感染症対策の効果を最大限発揮することが可能になります。なお、本研究で開発したクラスターの発生確率の公式は、新型コロナウイルス感染症に限定されずに、あらゆる感染症に適用可能です。未知の感染症によるパンデミックを想定した感染症対策にも極めて有効な手段となることが期待されています。

【成果の意義】

公衆衛生政策アドバイザーにとって重要な課題は、ある集団に侵入した感染症が、地域でクラスターやアウトブレイク^{注 5)}を引き起こすリスクを推定することです。異なる特徴を持つ集団におけるクラスターの発生確率を計算できれば、限られた感染症対策の資源を効果的に投入することが可能になります。

例えば、感染者による平均的な2次感染者数(基本/実行再生産数)が 1.5 人程度と仮定して、オミクロン株の臨床データを用いた場合、毎日の抗原検査による感染者スクリーニングは、クラスターの発生確率は 32%となり、抗原検査を導入しない場合と比較して、20%程度の感染伝播を防ぎました。また、2 日に 1 回の抗原検査を実施した場合のクラスターの発生確率は 43%となり、13%程度の感染伝播の軽減効果しかないことが分かりました。さらに、平均的な2次感染者数が 1.25 人以上の場合(新型コロナウイルス感染症では 2-6 人程度)、高頻度な抗原検査(例えば1時間に1回の抗原検査)を導入したとしてもクラスターの発生確率は 0%にはならないことも明らかになりました。つまり、ワクチンの追加接種キャンペーンや他の感染症対策により、実行再生産数を可能な限り低くすることも引き続き重要になります。

新型コロナウイルス感染症の流行が完全には収まらない中、感染予防対策を徹底しつつ社会活動を再開・維持する方法(ウィズコロナ)が議論されています。特に感染症に対して脆弱な人々がいる、病院や高齢者施設などでのクラスター発生のリスクを最小限に抑える方法が、日本のみならず世界的に求められており、本研究はそのような要望に応えるものです。

本研究は、2021 年度から始まった JST ムーンショット型研究開発事業(目標 2)の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注 1)クラスター:

小規模な集団感染、あるいはそれらによって形成された感染者の集団。

注 2)抗原検査:

ウイルスが持つ特有のタンパク質(抗原)を検出する方法。短時間で結果が出て、特別な検査機器を使わなくてもできる。

注 3)分岐過程:

互いに、他の個体とは独立に、消滅および増殖をしていく個体集団の個体数の時間的变化をモデルとして導入した確率過程の一種。

注 4)偽陰性割合:

感染症の診断をするために検査を行うと、感染しているのに検査が陰性になる、偽りの陰性の割合。

注 5)アウトブレイク:

感染症の流行が始まる初期の段階で感染者が一気に発病すること。

【論文情報】

雑誌名: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

論文タイトル: Analysis of the risk and pre-emptive control of viral outbreaks accounting for within-host dynamics: SARS-CoV-2 as a case study

著者:

- ・William S Hart Mathematical Institute, University of Oxford
Post-doctoral fellow
- ・Hyeongki Park 名古屋大学大学院理学研究科理学専攻 特任助教
- ・Yong Dam Jeong 名古屋大学大学院理学研究科理学専攻 特任助教
- ・Kwang Su Kim Department of Scientific computing, Pukyong National University
Assistant Professor
- ・吉村雷輝 名古屋大学大学院理学研究科生命理学専攻 博士後期課程
- ・Robin N Thompson Mathematical Institute, University of Oxford
Associate Professor
- ・岩見真吾 名古屋大学大学院理学研究科 教授
兼: 京都大学高等研究院 ヒト生物学高等研究拠点(WPI-ASHBi)
連携研究者、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 客員教授、
理化学研究所数理創造プログラム 客員研究員

DOI: doi.org/10.1073/pnas.2305451120

URL: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2305451120>

【研究者連絡先】

東海国立大学機構 名古屋大学大学院理学研究科

兼： 京都大学高等研究院 ヒト生物学高等研究拠点(WPI-ASHBi)連携研究者

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 客員教授

理化学研究所数理創造プログラム 客員研究員

東京大学国際高等研究所 ニューロインテリジェンス国際研究機構 連携研究者

教授 岩見 真吾(いわみ しんご)

TEL:052-789-2992 FAX:052-789-3054

E-mail:iwami.iblab[at]bio.nagoya-u.ac.jp

【報道連絡先】

東海国立大学機構 名古屋大学広報課

TEL:052-558-9735 FAX:052-788-6272

E-mail:nu_research[at]t.mail.nagoya-u.ac.jp

九州大学 広報課

TEL:092-802-2130 FAX:092-802-2139

E-mail:koho[at]jimu.kyushu-u.ac.jp

京都大学高等研究院 ヒト生物学高等研究拠点 リサーチ・アクセラレーション・ユニット

TEL:075-753-9881

E-mail:ASHBi-pr[at]mail2.adm.kyoto-u.ac.jp

理化学研究所 広報室 報道担当

E-mail:ex-press[at]ml.riken.jp

科学技術振興機構 広報課

TEL:03-5214-8404 FAX:03-5214-8432

E-mail:jstkoho[at]jst.go.jp

【JST 事業に関すること】

科学技術振興機構 ムーンショット型研究開発事業部

犬飼 孔(いぬかい こう)

TEL:03-5214-8419 FAX:03-5214-8427

E-mail:moonshot-info[at]jst.go.jp