

## 毎日更新する新型コロナウイルス感染症の感染予測

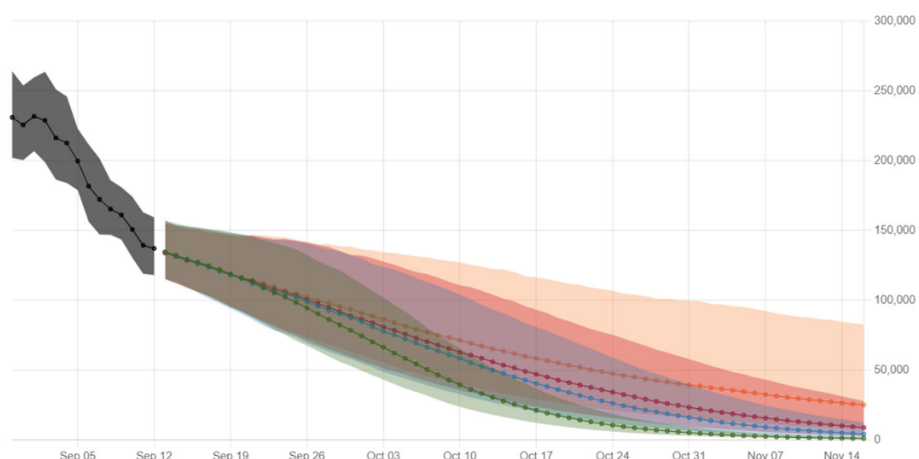
### —天気予報のデータ同化手法を応用—

名古屋大学大学院多元数理科学研究科のセルジュ・リシャル特任教授と理化学研究所（理研）計算科学研究センターデータ同化研究チームの三好建正チームリーダー、キウエン・ソン大学院生リサーチ・アソシエイトらの共同研究グループ※は、毎日得られる最新のデータを生かした新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の感染予測を開始しました。

本研究は、COVID-19 感染拡大の兆候を早期に捉えることで、感染拡大の防止に役立て、予測される感染拡大に事前に備えるための対応計画の策定などに貢献すると期待できます。

共同研究グループは、コンピュータを使った天気予報の要となるデータ同化<sup>[1]</sup>の方法を COVID-19 感染予測に応用しました。予測に重要となる、1 人の感染者が何人に感染させたかを表す「実効再生産数」は直接知ることができませんが、データ同化によって、これまでのその推移を推定しました。その結果、過去 3 回の緊急事態宣言等による感染抑制効果を確認しました。また、これらに対応する予測シナリオ（1 回目：A1、2 回目：A2、3 回目：A3）、および感染抑制がなされない場合の予測シナリオ（A4）について、それぞれ今後の感染の推移を予測します。

全国と東京都の最新のデータに基づくこれまでの推定および将来予測のデータは、9 月 14 日から理研データ同化研究チームの COVID-19 感染予測 Web ページ（<http://www.data-assimilation.riken.jp/covid-19/realtime/>）で公開します。随時システムの改良を行い、予測対象領域を拡大していきます。



全国を対象とした 2021/9/12 までのデータを用いて予測される、入院治療などを要する人の数の推移（信頼区間 68%）。黒はデータ同化解析値、緑、青、赤、橙はそれぞれ A1、A2、A3、A4 の予測シナリオを示す。

## ※共同研究グループ

名古屋大学

大学院 多元数理科学研究科

特任教授

修士 2 年生

理学部 物理学科

4 年生

4 年生

理化学研究所

計算科学研究センター データ同化研究チーム

チームリーダー

大学院生リサーチ・アソシエイト

テクニカルスタッフ I

セルジュ・リシャル (Serge Richard)

津々 直大 (つづ なおひろ)

チャン・スン (Chang Sun)

リョクヨウ・チョウ (Liyang Zhang)

三好 建正 (みよし たけまさ)

キウエン・ソン (Qiwon Sun)

坂本 英之 (さかもと ひでゆき)

## 研究支援

本研究は、理研の新型コロナウイルスに関する研究開発「COVID-19 感染予測モデルのデータ同化研究（研究代表者：三好建正）」および大学院生リサーチ・アソシエイト制度による助成を受けて行われました。

## 1. 背景

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の感染拡大が続いています。2021 年夏頃からは、いわゆる「第 5 波」と呼ばれる流行が始まり、東京都では 7 月 12 日から 4 回目の緊急事態宣言が発令されています。こうした中、COVID-19 の感染拡大が今後どのように推移するかを予測することで、早期に感染拡大の兆候

を捉えて未然に防止し、あるいは予測される感染拡大に備えて事前に先手を打つ対応が重要です。

これまで感染症の予測には、数理モデルが用いられてきました。感染症モデルとしては、SIR モデル<sup>[2]</sup>がよく知られており、COVID-19 だけでなく、過去のさまざまな感染症に応用され、その有効性が確認されています。感染拡大には、1 人の感染者が何人に感染させたかを示す「実効再生産数」が良い指標となり、これが 1 より大きいと感染拡大、小さいと感染縮小に対応します。しかし、実効再生産数は直接知ることができないため、主に実測データを使って推定し、この推定値に基づいて SIR モデルによる予測が行われてきました。この際、実測データに含まれるノイズの影響を受けやすいなどの問題がありました。

数理モデルを使った予測では、これまで、スーパーコンピュータを使った天気予報が高度に発展してきました。実測データと数理モデルを結び付けるデータ同化が要となり、予測の精度が向上してきました。データ同化は、統計数理と力学系理論に基づいた高度な方法で、データに含まれるノイズの影響を緩和するなど、数理モデルと実測データを使った感染症予測にも有効であると期待されますが、これまで感染症の予測での応用例は限られていました。

## 2. 研究手法と成果

共同研究グループは、データ同化の方法を COVID-19 の感染予測に応用し、数理モデルと実測データを最適に結び付けた予測を実現しました。今回、実測データには、毎日得られる三つのデータ（①入院治療などを要する人の数、②退院または療養解除となった人の数、③死亡者数）を使用します。また数理モデルには、SIR モデルを COVID-19 の特徴に合わせて独自に拡張した「拡張 SIR モデル」を新たに構築しました。これらに、天気予報で使われるアンサンブルカルマンフィルタという高度なデータ同化手法を適用し、融合しました。アンサンブルカルマンフィルタを使うことで、推定誤差<sup>[3]</sup>を含めた幅を持った推定を行います。

以上のデータ同化により、まず実効再生産数（信頼区間<sup>[4]</sup>68%）を推定しました（図 1）。全国のデータを使った結果では、過去 3 回東京都に出された緊急事態宣言の期間（1 回目：2020/4/7～5/25、2 回目：2021/1/8～3/21、3 回目：2021/4/25～6/20）に対応して、実効再生産数が減少し、感染抑制効果が確認されました。また、緊急事態宣言の回数を重ねるにつれ、その効果が小さくなっていくことも分かりました。さらに現在東京都で発令中の緊急事態宣言期間（2021/7/12 から継続中）においては、8 月 8 日をピークに実効再生産数が減少し始め、感染抑制効果を確認しました。

次に、過去 3 回の東京都における緊急事態宣言期間での実効再生産数の減少率に対応した将来予測シナリオ（1 回目：A1、2 回目：A2、3 回目：A3）を計算しました（図 1 緑線、青線、赤線）。また、感染抑制効果がない場合として、実効再生産数が最新の推定値のまま変化せずに推移する予測シナリオ（A4）も考慮しました（図 1 橙線）。

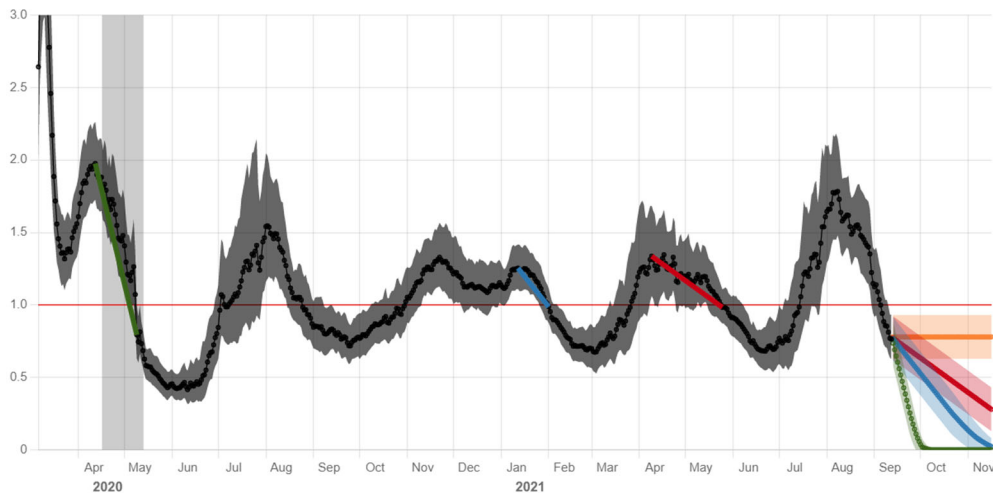


図 1 全国の 2021/9/12 までのデータを用いた、2020/3/6 以降の日ごとの実効再生産数（信頼区間 68%）

2021 年 9 月 13 日以降の A1 予測シナリオ（緑）、A2 予測シナリオ（青）、A3 予測シナリオ（赤）は、それぞれ 1 回目、2 回目、3 回目の東京都における緊急事態宣言期間に当たる緑線、青線、赤線で示した抑制効果に対応する。A4 予測シナリオ（橙）は抑制効果がない場合に対応する。今回（4 回目）の東京都における緊急事態宣言期間の感染抑制効果は、日を経るにつれ効果が大きくなる様子が確認された。灰色区間は対象地域（全国）の緊急事態宣言期間に対応。

以上の四つの予測シナリオに基づき、拡張 SIR モデルにより入院治療などを要する者の数の将来の推移を予測しました（図 2）。過去の緊急事態宣言期間の感染抑制効果に対応した予測データを相互比較することで、感染抑制効果が今後の推移に与える影響をイメージしやすくなります。

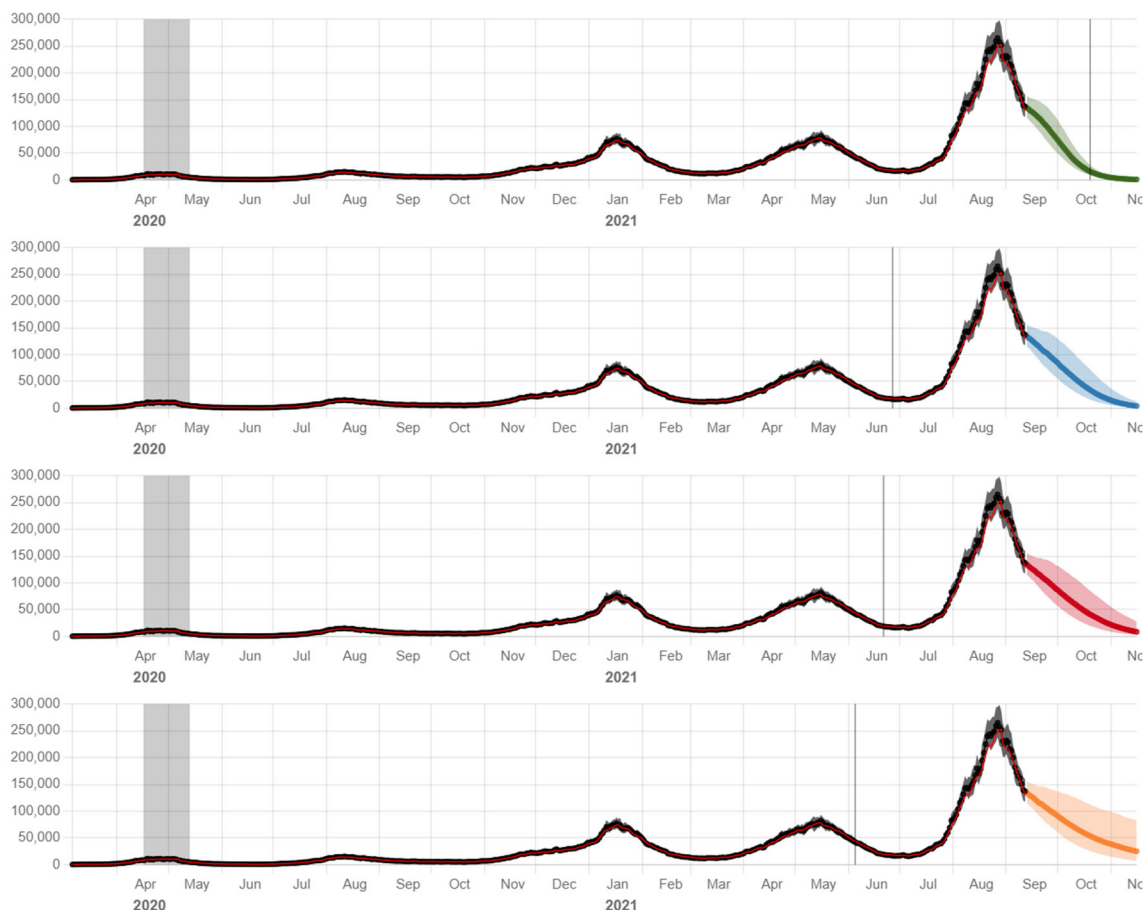


図 2 全国の 2021/9/12 までのデータを用いた、2020/3/6 以降の日ごとの全国で入院治療などを要する人の数の推移（信頼区間 68%）

実測値（赤細線）、データ同化解析値（黒）、A1 予測値（緑）、A2 予測値（青）、A3 予測値（赤）、A4 予測値（橙）。灰色区間は対象地域（全国）の緊急事態宣言期間に対応。

### 3. 今後の期待

天気予報の要となるデータ同化を応用することで、天気予報と同様の仕組みで数理モデルと実測データを最適に結び付け、ウイルス感染の高精度予測を行うことができます。今後、現在の拡張 SIR モデルでは考慮されていないワクチン接種の効果や、複数の地域間の人の往來の効果、人流・気温といった感染のしやすさに影響を与える要因などを取り入れたより精緻な数理モデルを考慮し、これと実測データを最適に結び付けるデータ同化によって、感染抑制効果の原因解明や、状況に応じた効果的な感染抑制策の提案など、実際の新型コロナウイルスの感染対策に役立てられることが期待されます。

## 4. 補足説明

### [1] データ同化

シミュレーションと現実世界とを結び付ける統計数理や力学系理論に基づいた学際的  
科学、またはその技術一般の総称。

### [2] SIR モデル

代表的な感染症数理モデルで、SIR はそれぞれ Susceptible（今後感染する可能性があ  
る人）、Infected（感染者）、Recovered（回復して免疫を獲得した人）の頭文字。こ  
れら三つのカテゴリーの人の数の推移を予測する。

### [3] 推定誤差

ピッタリと正確に推定できない量を推定した際の、推定値に対する不確実性の大きさ。

### [4] 信頼区間

推定誤差を表す幅。例えば「信頼区間 68%」と言った場合、真の値がこの幅の中に  
含まれる確率が 68%となる。

## 5. 発表者

<発表者>

名古屋大学 大学院多元数理科学研究科  
特任教授

セルジュ・リシャール (Serge Richard)

理化学研究所 計算科学研究センター データ同化研究チーム

チームリーダー

三好 建正 (みよし たけまさ)

大学院生リサーチ・アソシエイト

キウエン・ソン (Qiwen Sun)



三好 建正



セルジュ・リシャール