

倍加日数を用いたCOVID-19感染者数の推定の試み(第1報:緊急事態宣言による影響)

はくほう会セントラル病院 古賀 正史

はじめに

2019年12月、中華人民共和国の湖北省武漢市で肺炎患者の集団発生が報告された。武漢市の封鎖などの強力な対策にも関わらず、この新型コロナウイルス(COVID-19)感染症は世界に拡大し、世界保健機関(WHO)は2020年1月30日に公衆衛生上の緊急事態を宣言した。日本国内では1月16日に初めてCOVID-19感染の患者が報告され、2月1日に指定感染症に指定された。また、今後の患者の増加に備えて、水際対策から感染拡大防止策に重点を置いた政府の基本方針が2月25日に示された。しかしながら、3月以降COVID-19感染者数は全国的に増加した。4月には入院患者の増加に伴い、医療崩壊をきたす地域も出現したため、4月7日に政府は緊急事態宣言を発出した。その後、徐々に新規の感染者数は減少し、5月には段階的に緊急事態宣言の解除が行われ、5月27日には全国的な宣言解除が行われたのは皆様のご存知の通りである。

COVID-19感染者数の増加に伴い、私はCOVID-19感染症に関する色々な情報を集積した。その中に、感染症の数理統計学の研究の存在を知った。これは、感染者数の推移に関して数学的手法を用いて解析する手法である。感染者数は対数的に増加することが知られ、感染者数が倍に増える日数を倍加日数と呼ぶことが知られている。しかし、倍加日数を用いた解析結果は調べた限りほとんど報告されていなかった。新聞やネットで毎日の感染者数が載っており、日々の感染者数を基に倍加日数の計算ができるので、まず倍加日数の推移を見ることにした。最初は倍加日数の経過を見るだけであったが、倍加日数が規則的に推移することが判明し、この規則性を用いることにより今後の感染者数の推測が可能になるのではないかと考えた。

私は感染症学に関してあまり造詣が深くないが、私の解析結果を医師会員の先生方に読んでいただき、先生方から忌憚のないご意見を頂戴できればと思い、尼医ニュースに私が解析した結果を執筆することにした。今回は4月に発出された緊急事態宣言がその後の2ヶ月間にCOVID-19感染者数に与える影響について解析した結果を紹介する。

対象と方法

日本のCOVID-19感染者数はNHKのホームページの特設サイト「新型コロナ感染症」の日本国内の感染者数を用いた¹⁾。日々の感染者数は曜日によるばらつきがあり、その推移は鋸型を示したために、新規感染者数は該日の前後3日間(計1週間)の平均値を用いた(図1A)。平均値を用いることにより新規感染者の推移はなだらかなカーブとなった。次に、新規感染者数を基に累積患者数を算出した(図1B)。感染者が徐々に増加する状態では、対数表示の累積患者数は直線的に増加するので、対数表示した累積患者数は直線的な増加が観察される(図1B)。倍加日数(doubling day)は累積患者数が2倍に増加する期間であるために、対数表示した累積患者数が $\log_2(0.3)$ 増加する期間として倍加日数を求めることができる。例えば、4月上旬の倍加日数は約7日間であったので、1週間で累積患者数は倍増することが図1Bに示されている。したがって、倍加日数は下記に示す式を用いて求めた。

$$\text{倍加日数}(\text{doubling day}) = \log_2 \times 7 / [\log(t+3) - \log(t-4)]$$

なお、tは基準日を指す。

結果

2020年3月上旬より4月下旬の期間の新規発症者数と新規発症者数より累積感染者数を求め、累積感染者数より求めた倍加日数を求めた(図2)。なお、倍加日数は対数表示している。3月下旬より4月上旬に新規発症者数は急激な増加を観察した。4月7日に緊急事態宣言の発出後には数日間のタイムラグの後に4月中旬より新規発症

者数の減少を観察した。倍加日数は3月中旬に上昇した後、3月下旬には約1週間程度に減少した。その後、緊急事態宣言の発出後に倍加日数は上昇に転じた。

4月以降に倍加日数の上昇に伴い、新規発症者数は減少した(図2)。4月19日から25日の1週間の対数表示した倍加日数の推移は直線的に上昇していることが判明した(図3)。今後も対数表示した倍加日数が直線的に増加すると仮定することにより、新規発症者数の推定が可能ではないかと考えた。そこで、対数表示した倍加日数が直線的に推移すると仮定して、新規発症者数の推定を試みた。4月29日までの倍加日数と新規感染者数の推移を実線で示し、4月20日以降の推定した倍加日数および新規発症者数を点線で示した(図4)。

図3

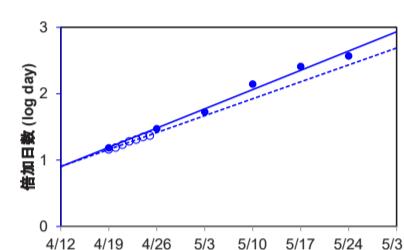
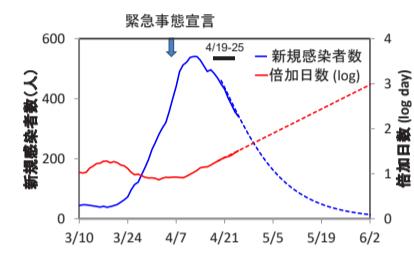
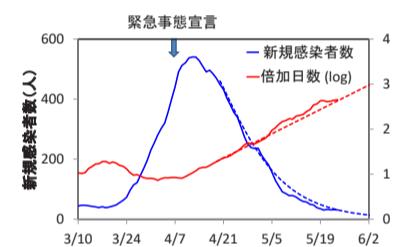


図4



4月下旬の1週間で見た倍加日数の推移と5月の1ヶ月間の推移はほぼ同様の直線的な推移が観察された(図3)。さらに、5月の新規発症者数の推移は推定値と実測値がほぼ重なっていた(図5)。以上の結果より、自粛の程度がほぼ一定の状態下では対数表示した倍加日数は直線的に推移し、倍加日数の推移を基に新規発症者数の推測の可能性が示唆された。

図5



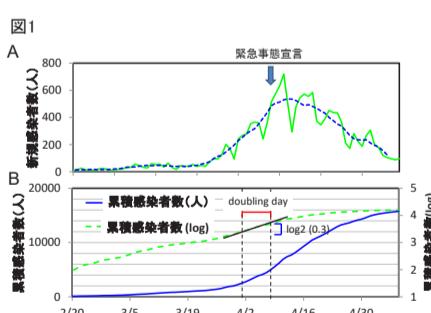
考察

今回の検討で4月下旬の対数表示した倍加日数の推移を基に5月以降の新規発症者数の推測をした結果、推定値は実測値とほぼ同等の値を示し、新規発症者数の推定が可能であることが示された。4月～5月の期間は緊急事態宣言後はほぼ同程度の自粛の程度が継続された状態と考えられ、この状況下では新規感染者数の推測が可能であることが示された。逆に、新規感染者数が推定値と乖離した際は自粛の程度が変化した可能性が示唆される。

感染者数の推定は従来、実効再生産数(Rt)を用いる方法が知られている²⁾。実効再生産数は一定の対策下で1名の感染者が感染期間に新たに感染させる人数の平均を示している。実効再生産数が1より大きいと感染者数は増加し、1を下回ると感染者数は減少する、というコンセプトのものである。計算式はいくつかあるが、いずれも複雑な計算式を用いるために、簡単には求めることができない問題点が指摘されている。

今回、我々は新規感染者数を基にして求めることができる倍加日数に着目して検討を行ったところ、新規感染者数が減少時期に対数表示した倍加日数は直線的に増加している現象を認めた。そこで、倍加日数と実効再生産数との関係について考察した。「倍加日数 = 累積患者数 / 1日平均患者数」および「新規患者数 = 再生産数 × 現時点での患者数 / 患者が人を感染させる日数」の関係がある。現時点での患者数が累積患者数にほぼ等しい(治癒したり、死亡した患者があまりいない)とすると、「再生産数 = 患者が人を感染させる日数 / 倍加時間」となり、患者が人を感染させる日数はあまり変わらないので、再生産数と倍加時間は反比例の関係が得られる。これらの結果より対数表示した倍加日数が直線的に増加する現象は、対数表示した再生産数が直線的に低下することを意味していると考えられた。

いずれにしても、対数表示した倍加日数が直線的に推移するのは、自粛の程度(人との接触の機会)が一定になることが前提になる。わが国では5月末より緊急事態宣言が解除され、徐々に自粛の程度が緩められている。6月以降、一旦収束したCOVID-19感染者数が徐々に増加に転じている所である。6月以降の倍加日数の推移は興味があるところである。次回に6月以降の対数表示した倍加日数と新規感染者の関係についての解析結果を第2報として示すことを予定している。



(7面からの続き)

謝辞

今回の報告にあたり、種々のご助言をいただきました東京都健康長寿医療センター放射線診断科の亀山征史医師に深謝します。

文献

1. NHK. 特設サイト 新型コロナウイルス
<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data/>
2. 西浦博、稻葉寿. 感染症流行の予測：感染症数理モデルにおける定量的課題. 統計数理 54:461-480, 2006

図の説明**図1. 全国のCOVID-19新規感染者数および累積数の推移**

A. 日々の発症者数の推移を緑色実線で示した。新規感染者数を当日および前後3日間(計1週間)の平均値の推移を青色点線で示した。

B. 新規感染者より累積感染者数を算出し、その推移を青色実線で示した。対数表示した累積感染者数を緑色点線で示した。累積感染者数(対数表示)が2000人から4000人に該当する時期を黒色実線で示した。両者の対数表示した差は $\log 2$ (0.3)となり、両者の期間が倍加日数となる。

したがって、倍加日数は $\log 2 \times 7 / [\log(t+3) - \log(t-4)]$ で求めた。

図2. 全国の新規感染者数および倍加日数の推移

2020年3月中旬より4月下旬の全国の新規感染者数および対数表示した倍加日数の推移を示した。これらの結果を基に5月以降の新規感染者数が可能かについて検討した。なお、両者の値はいずれも1週間の平均値で求めた。

図3. 全国の倍加日数(対数表示)の推移

4月19日～4月25日の日々の対数表示した倍加日数の推移を示した(○)。これらの結果より求めた回帰直線を点線で示した。4月19日～5月24日までの1週間毎の対数表示した倍加日数の推移を示した(●)。これらの結果より求めた回帰直線を青色実線で示した。

図4. 全国の4月下旬以降の新規感染者数および倍加日数の推定値

4月19日～4月25日の対数表示した倍加日数の直線的な推移を基に4月19日以降の倍加日数の推定値を赤色点線----で示した。得られた対数表示した倍加日数の推定値を基に新規感染者数を推定し、青色点線----で示した。

図5. 全国の4月下旬以降の新規感染者数および倍加日数の実測値と推測値の比較

5月の対数表示した倍加日数および新規感染者数の実測値(実線)で示したが、両者の推移は推定値(点線)と概ね一致していた。

9月の講演会予定**【日生教】尼崎市医師会 予防接種研修会**

1. 日時 9月5日(土) 午後1時30分
 2. 場所 ハーティ21 1階ハーティホール 又は【WEB講習会】
 3. 演題 「10月からの改正事項
～ロタウイルスワクチン定期化と接種間隔の規制緩和～」
 4. 講師 川崎医科大学小児科学教授 中野 貴司
- 【事前申込要】尼崎市医師会 植田
電話: 06-6426-6333
E-mail: ueda.junya@amagasaki-med.or.jp
・人数制限あり: web100名、会場30名

*カリキュラムコード: ⑧・⑪／1単位

【日生教】患者さんにとってより良い循環器医療を考える会

1. 日時 9月5日(土) 午後5時
2. 場所 関西労災病院 循環器内科内 WEB講習会
3. 演題 特別講演「積極的脂質低下療法の意義とPCSK9阻害薬への期待」
一般講演①「冠動脈治療 Update 2020」
一般講演②「コロナ時代の心臓血管外科領域の緊急手術」
4. 講師 熊本大学大学院生命科学部 循環器内科学 教授 辻田 賢一
関西労災病院 循環器内科 冠血管治療チーム主任 石原 隆行
関西労災病院 心臓血管外科部長 福井 伸哉

【事前申込要】アムジェン(株) 仲谷

電話: 080-1092-6570

E-mail: ynakatan@amgen.com

*カリキュラムコード: ⑩・⑯・⑰／2単位

【日生教】整形外科症例検討会

1. 日時 9月8日(火) 午後8時
2. 場所 ハーティ21 2階視聴覚室
3. 演題 整形外科関連症例検討
講演「腰椎後方椎体間固定術の注意点～椎間板の形状に着目して～」
4. 講師 兵庫県立尼崎総合医療センター 整形外科 木村 浩明

*カリキュラムコード: ⑪・⑰／2単位

【日生教】内科医会学術講演会

1. 日時 9月29日(火) 午後7時30分
2. 場所 あべのハルカス 貸し会議室A 【WEB講習会】
3. 演題 特別講演「喘息吸入治療の新たな選択肢
～LABA/LAMA/ICS製剤への期待～」
4. 講師 大阪市立大学大学院医学研究科 呼吸器内科学 准教授 浅井 一久
【事前申込要】ノバルティスファーマ(株) 戸谷 友洋
電話: 080-6842-1158
E-mail: tomohiro.toya@novartis.com

*カリキュラムコード: ⑰／0.5単位

尼崎市耳鼻咽喉科医会臨時総会

9・8 尼崎市耳鼻咽喉科医会 会長 鈴木 克司

本紙第605号で報告したように4月22日の総会時に新型コロナウイルス感染拡大による受診抑制のため多くの会員医療機関が経営困難に陥っていることに対し、医会財源から経営責任を負っている会員を金銭的に支援するため医会財源を執行する提案があった。高齢会員の閉院予定も伝えられる中、7月29日に役員会を開催、この支援事業を実施する方向性が概ね承認されたため7月31日に全会員に意見を求めたところ、1名反対意見が寄せられた。これを受け8月19日に再度役員会を開催し財産処分に関わる案件である以上、臨時総会をもって決すべきとの結論となり9月8日(火)午後8時よりZOOMを用いたWEB会議形式での臨時総会が開催された。

医師会館に杉田俊明副会長(園田地区)・町塚博文幹事長(園田地区)・ZOOMホスト役を務める北中幸一郎会計幹事(難波地区)と鈴木が参集し、尼崎市医師会の小城英樹事務局員のサポートを得て開催、ZOOM出席者を含め11名の出席と13名の委任状により会員総数の過半数となり総会は成立した。

開会時に、鈴木より会長挨拶としてコロナウイルス感染を避けて今回の開催形式をとっているが、活発な意見交換・効率的な議論進捗を期待したい旨とのを伝えた。議長には杉田副会長が指名され、まずこの事業の趣旨を鈴木が改めて伝えた。次いで反対意見を表明していた瀬尾律会員(竹谷地区)が①先輩から

引き継いだ貴重な資産であり、その処分を唐突におこなうことは過去に例が見当たらない②勤務医会員も会費負担をしていた時期があると聞いているので経営者の会員だけに給付するのは疑問③4月総会は緊急事態宣言下での外出自粛時に開催されたもので欠席会員の意見が反映されず決定されたことは不適切、との3点をあげた。②に対してはそのような事実があったかは現会員にはわからないので確認の要がある、③に関しては鈴木より、総会では提案があつただけで現在も賛否を問う段階であることが改めて確認された。ここで野澤真司監事(潮江地区)が会則には事業に会員互助が明記されていないことを指摘、ほかにも現状に合わない記載があるため本事業実施を目指すならこの機会に会則改正が必要と発言した。瀬尾律会員も会員互助については決して否定的姿勢ではなく、ほかに瀬尾達会員(南立水地区)から未曾有の事態であるので迅速に会員支援が必要との発言もあったが、議長より出席者に対し互助事業があるべきか否かについて確認され反対意見はなかった。そこで鈴木より会長方針として速やかに会則改正検討機関を設置し改正を行い、再度会員に賛否を確認して承認されれば実施するとの方針が伝えられ、併せて会則改正検討機関の人選に関しては会長一任とすることも承認され臨時総会を終えた。