

COVID-19 感染状況の推移について

Ver.3(2020年4月15日)

Ver.4(2020年4月19日、補遺3を追加)

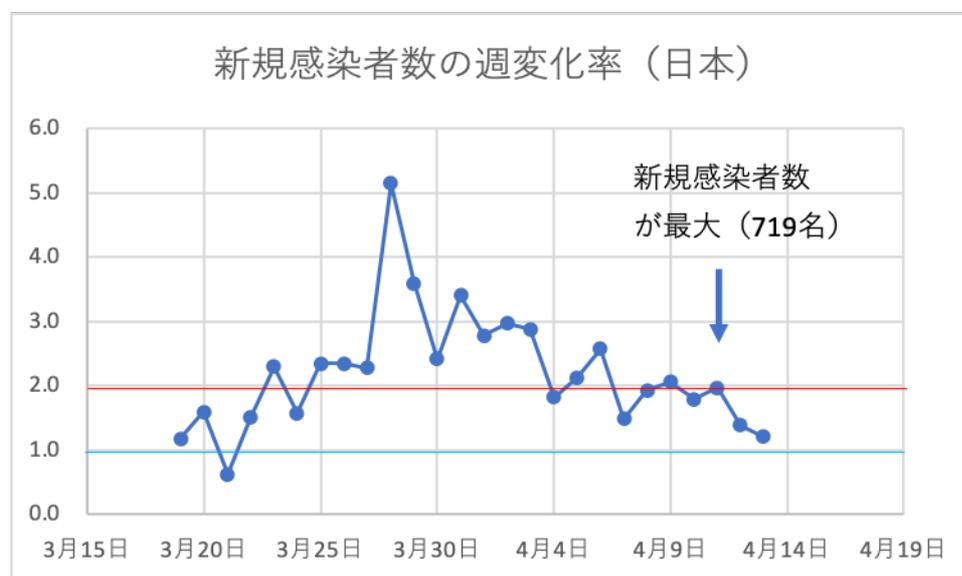
大阪大学核物理研究センター
中野 貴志

本ノートでは、Web上で公開されているデータを解析し、3月下旬から4月にかけての日本における新型コロナウイルス感染症 COVID-19 の感染状況の推移を求め、感染収束時期を予想する。

新規感染者数の週変化率から見た感染状況の推移

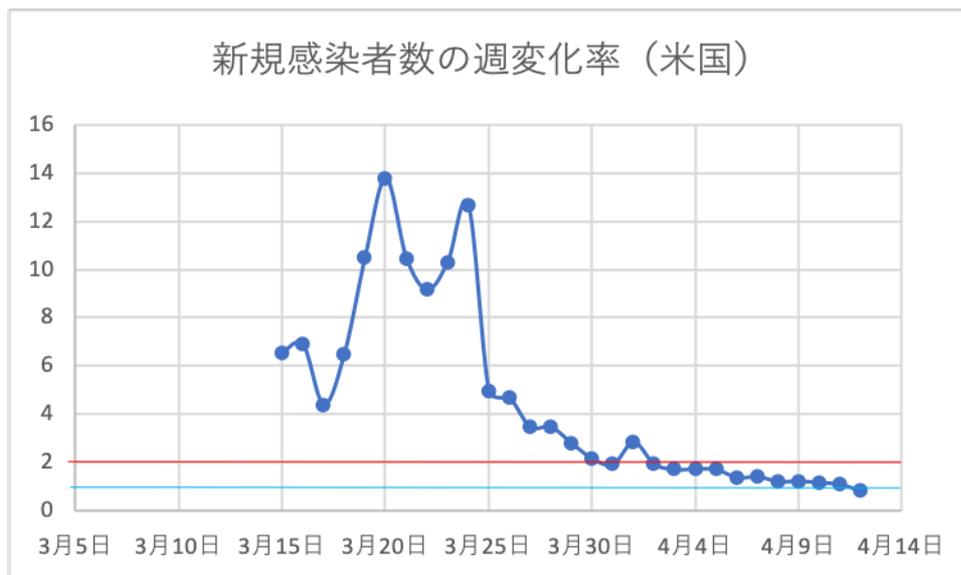
COVID-19 のような感染症は、集団免疫や隔離等による抑制がないと感染者が指数関数的に増加する。感染者数が指数関数的に変化している場合、一定期間の間に新規感染者数と総感染者数(累計)は共に 2,4,8,16,32... のように等比級数的に増加する。

感染拡大の大きさの指標として、1日あたりの新規感染者数を1週間前の新規感染者数で割った値(新規感染者数の週変化率)を採用する。例えば、この値が2の場合、新規感染者数と総感染者数は1週間毎に倍増する。毎日の新規感染者数は、その日の検査体制にも依存するため、曜日による変動が大きい(日本では月曜日の新規感染者数が少ない傾向があることが知られている)。1週間を期間の単位とすることにより、曜日依存性をある程度消すことができる。以下に3月19日から4月13日にかけての週変化率を示す。



図から明らかなように、週変化率のピークは、新規感染者数が最大になった4月11日の14日前の3月28日であり、その値(5.2)はこの期間の平均値(〜2)を大きく上回っている。週変化率は、3月28日以降ほぼ一様に減衰しており、閾値である1を間もなく切ろうとしている。(1を切ると前週の同じ曜日の値を超えなくなる。)

次に比較のため、米国における週変化率の推移を以下に示す。



米国では3月20日から24日かけて感染爆発と呼ぶに値する週変化率の突出があった後、5程度の値になったが、その後の減衰が日本と比べて遅い。週変化率のピークの高さが約2倍違うことと減衰スピードの差が、日米の総感染者数の大きな違いを生んでいる。特に緩やかな減衰は新規感染者数のピーク領域の長さ(4月5日〜11日)の原因になっている。

この後の両国の感染者の推移であるが、新たな感染爆発が起こらない限り、週変化率が減少し続けているので、感染収束に向かう。週変化率の現在(2020年4月14日)の値は両国でほぼ同じであるが、減衰率は日本の方がやや大きい。

新規感染者の週変化率の推移は、何が起きているかを直感的に把握するためには有効であるが、日々の新規感染者の統計的なばらつきの影響を大きく受けるため、今後の感染者数正確な推移や収束時期を予測することには向いていない。

K 値の変化から見た感染状況の推移

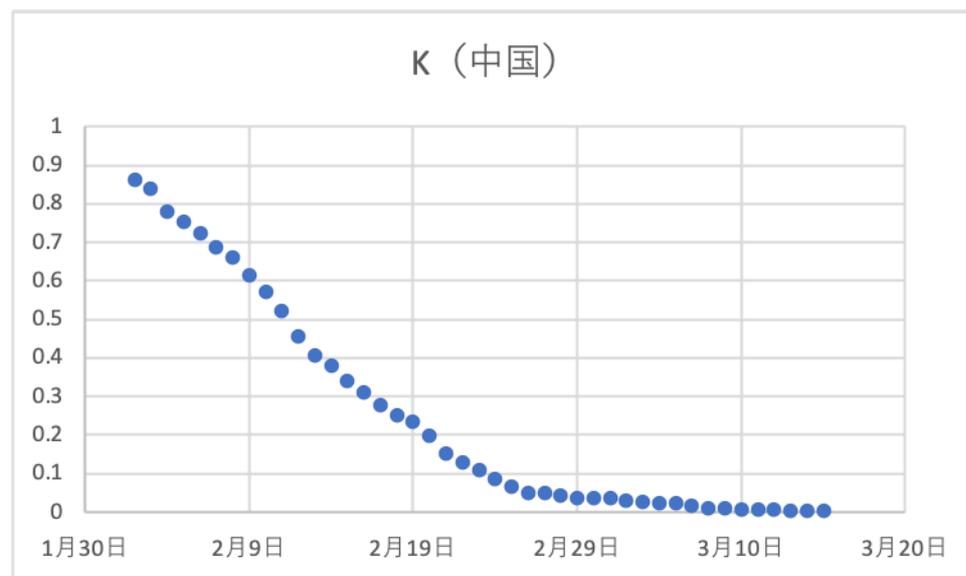
総感染者数(累計)を1週間前の総感染者で割った値(総感染者数の週変化率)も感染拡大の大きさの指標として採用可能であるが、ここではその逆数を1から引いた量(K)を指標とする。具体的に式で表すと、

$$K = 1 - \frac{\text{1週間前の総感染者数}}{\text{当日の総感染者数}}$$

となる。

感染が収束するまでは、1週間前の総感染者数は当日の総感染者数はよりも必ず少なく、またゼロでは無いので、 K の値は0より大きく1より小さい。総感染者数の週変化率と K は1対1で対応しており、 $K=0.5$ の時は週変化率が2、 $K=0.8$ の時は週変化率が5である。感染が収束すると K が0に近づく。

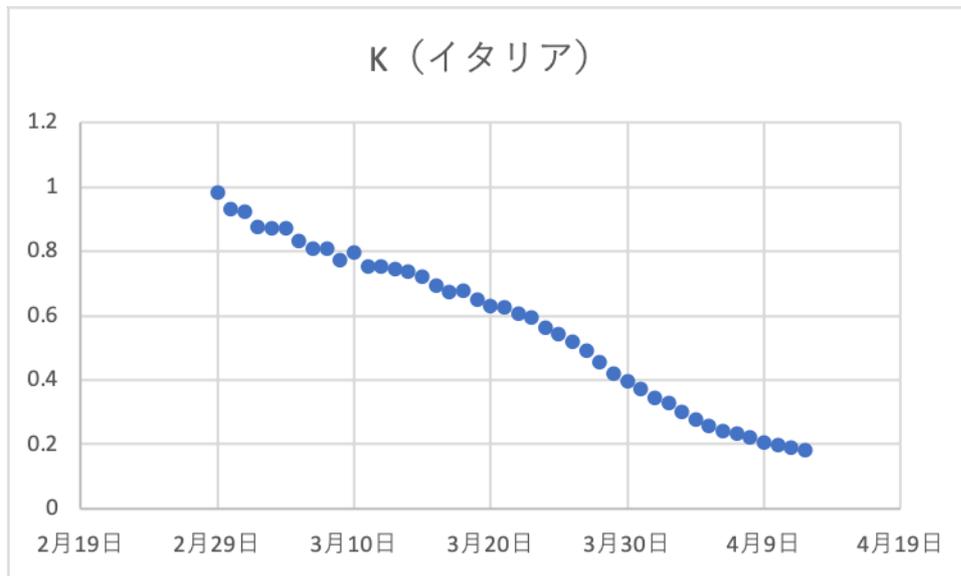
大きく値が変化する新規感染者数の週変化率に比べ、 K は値域が0と1の間に限定されている点が利点である。さらに大きな利点は、その値の変化が日数に対して、値域の大部分で、ほぼ線形(直線)で変化するという点である。このことを感染拡大が他国よりも早く起こり、他国での感染拡大の影響を受けにくい中国とイタリアで確認する。(本当のところは、 K が線形に変化することは自明ではなく、試行錯誤で線形に近い変化を示す量として K を見つけた。)中国の総感染者数については、感染者の定義の変更により、2月12日から13日にかけて不連続なジャンプがあるので、2月12日以前のデータを1.27倍して補正した。



値が大きく変化する領域では、 $\sim 0.04/\text{day}$ の変化率で K の値が線形に減少している。 K の変化が線形からずれる2月26日で K 値は0.05である。これは前週(2月19日)と比べて、総

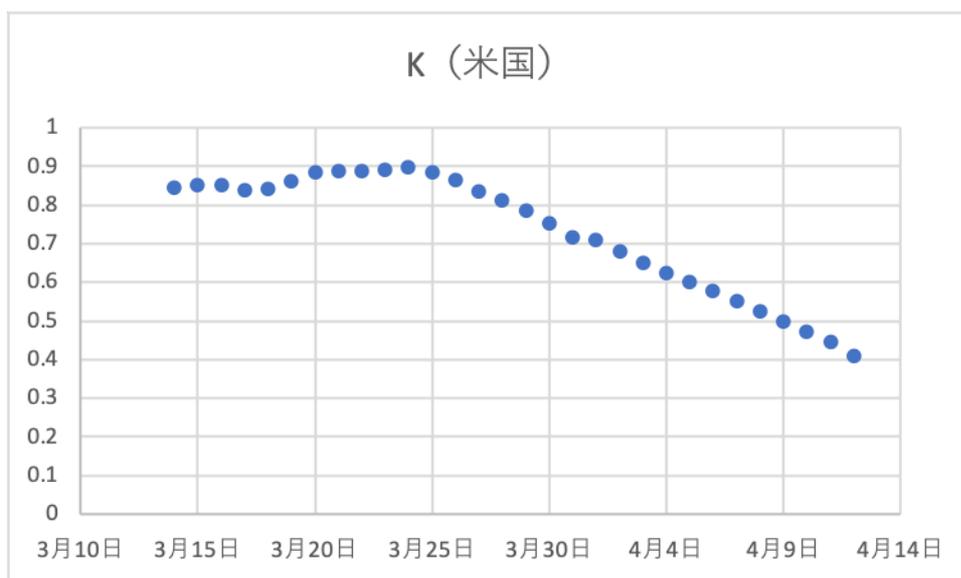
感染者数が 5%増加したことを示す。4 月 14 日の段階で中国の K 値はさらに一桁小さくなっている。

次に示すのがイタリアの例である。



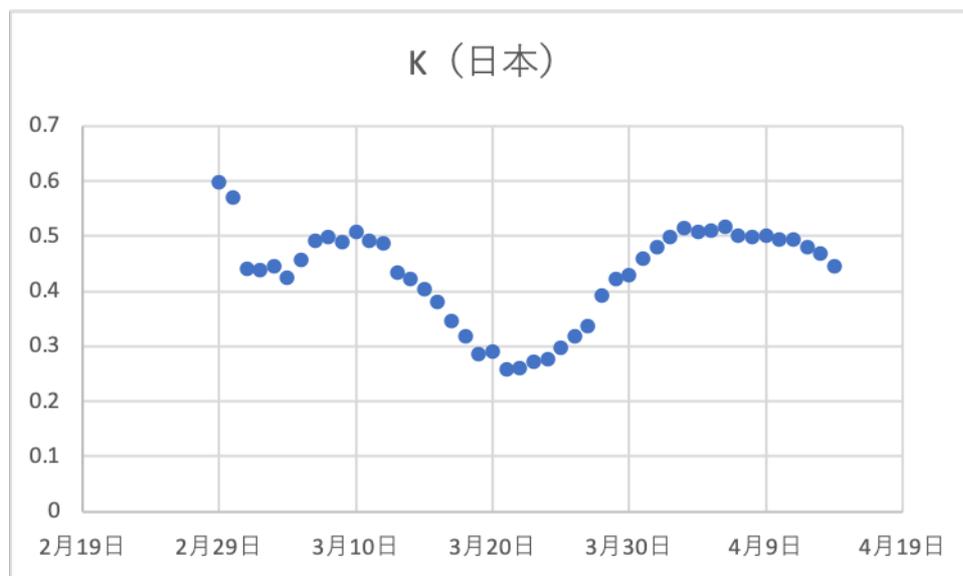
イタリアも中国同様、ほぼ線形に単調減少しているが傾きが緩やかで~0.02/day である。これはイタリアにおける感染収束のスピードが中国の約 1/2 であることを示す。この違いの原因として、1) 両国における感染封じ込め政策の効果の差、2) 両国民の自然免疫の差、3) イタリアにおける周辺国の影響(遅れて感染拡大した国からの人の流入)等が考えられるが現段階では主たる要因が何かは不明である。

次に 3 月下旬まで欧州と交流のあった米国における K の推移を見てみよう。



予想通り欧州と交流があった時期は K の値が高止まりしており、その後は $\sim 0.027/\text{day}$ で単調減少している。感染収束スピードはイタリアより若干早い、中国よりは遅い。イタリアとの差は、遅れて感染が拡大したため、収束期に他国より感染率が高く影響を受けにくいからと考えられる。感染収束の時期についてであるが、米国の K の推移がこのままの傾きで単調減少すると仮定すると0に近づくのは4月末日頃である。もちろん、値が0に近いところで K の線形性は保証されていないが、4月末日頃には十分コントロール可能な状況になっているであろう。

次いで日本での K の変化を示す。

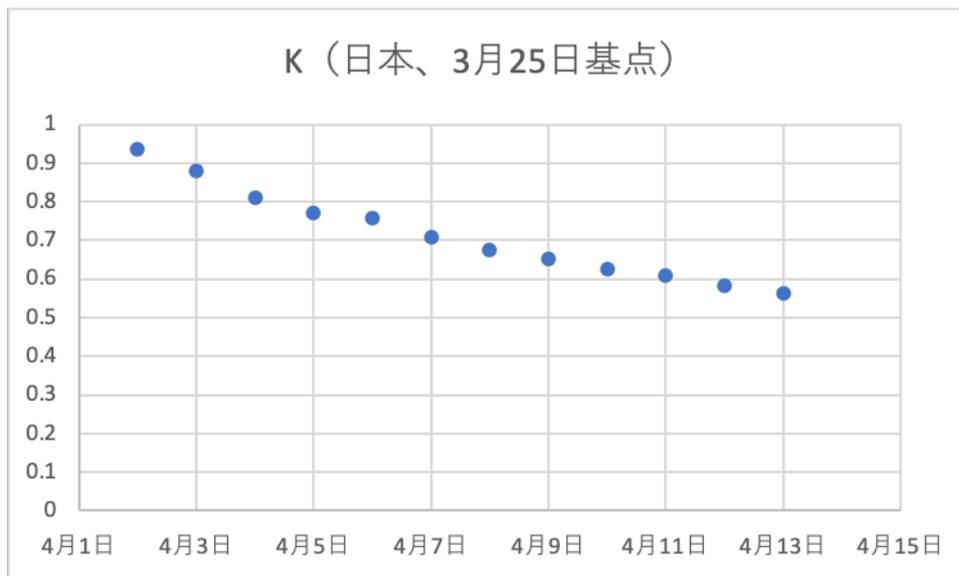


日本はふた山の非常に特徴的な構造を示す。最初の山は中国が起源の感染の拡大で、二つ目が欧米からの人の流入によりもたらされた感染拡大であろう。非常事態宣言が発令される前後の9日間に渡って連続して K の値が 0.5 を示している。これは週変化率が2に対応する。この頃、1週間で2倍のスピードで感染が拡大していると信じられていた。

もちろん上記の解析及び解釈は正しくない。総感染者数には中国が起源の第一波で感染した人が含まれているので、その影響を取り除いてから、比を取らなくては行けない。(差を取るのであれば、オフセットの部分は相殺されるが、比だとそうはならない。)

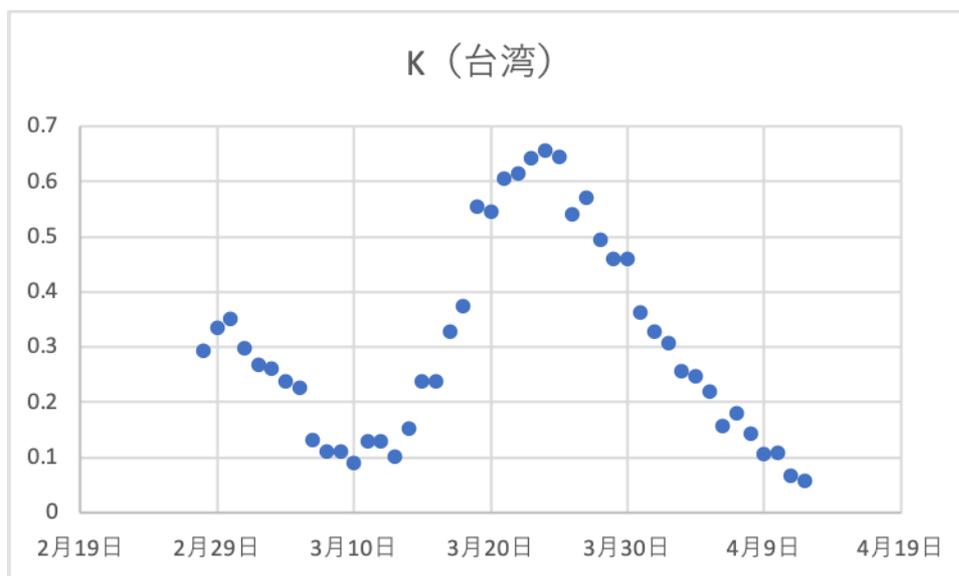
第一波を正確に取り除くためには、2成分によるスペクトル分解が必要であるが、日本でも K の値が $\sim 0.03/\text{day}$ で減少すると仮定すると、3月下旬には第一波の影響は極めて少なく、総感染者数のカウントを一旦0にリセットすることで、影響を取り除くことができる。

次に示す図ではリセットの日付を新規感染者数の週変化率でピークを示した3月28日の直前の3月25日に設定した。但し、その日付を22日や27日に変更しても結果は本質的に同じである。なお、リセット日を3月25日に設定することの妥当性は補遺に示した。



総感染者数を3月25日でリセットした結果、日本でもK値がほぼ線形に単調減少している。最後の7点を直線で外挿すると感染収束予想日として5月5日が得られる。(リセット日を3月27日にすると予想日は5月2日になる。)また、収束以前でもK値が予想できれば、その値の変化に基づいて、新規感染者数の推定も可能である。

最後に感染がほぼ収束した(少なくとも完全コントロール下にある)と考えられる台湾のK値の推移を示す。



台湾もふた山が見えるが、第一波をよく防いだので、その影響は限定的である。K値の傾きは $\sim 0.03/\text{day}$ だが、少ないながらも第1波の影響を受けているので推定精度を上げるためにはスペクトル分解が必要である。

まとめ

1. 新規感染者数の週変化率や K 値の変化を解析することにより、日本といくつかの国の感染状況の推移を求めた。
2. 日本の感染拡大には少なくとも大きな山が二つあり、4月の感染者数の急増は二つ目の山(第二波)の影響である。第二波の原因は欧米からの人(感染源)の流入によるものと想定される。(現在、収束に向かう日本でも高感染率地域から低感染率地域への人の移動を制限することが極めて重要だと思われる。)
3. 日本での第二波の発生(感染爆発)は3月下旬であり、その後、順調に収束しつつある。新規感染者の週変化率も間もなく閾値の1を切り、それが感染収束まで継続すると予想される。
4. K 値の変化率から概算した COVID-19 の感染収束時期は、米国が4月末頃、日本が5月上旬となった。

データ収集のために参考とした WEB ページ

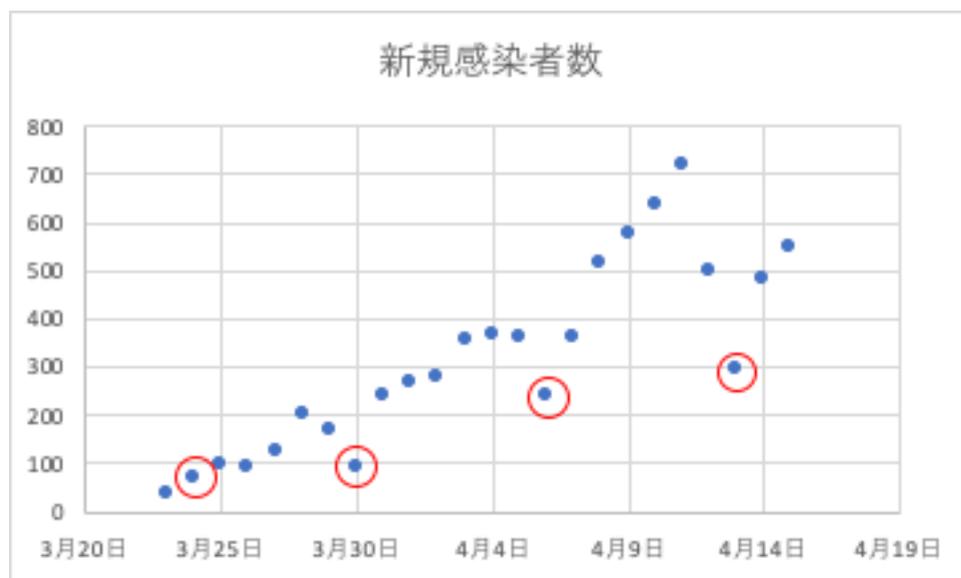
https://www.news24.jp/archives/corona_map/index2.html

<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data/>

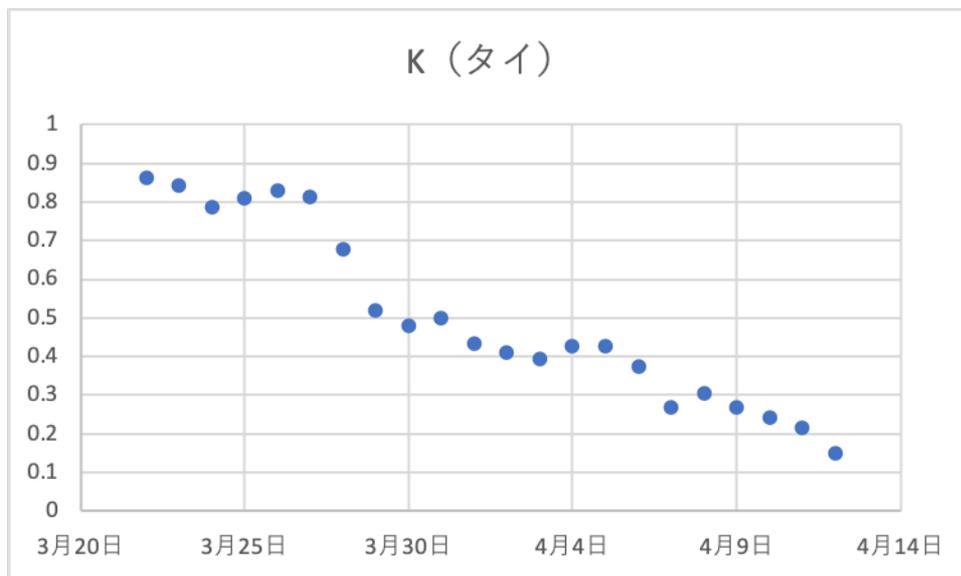
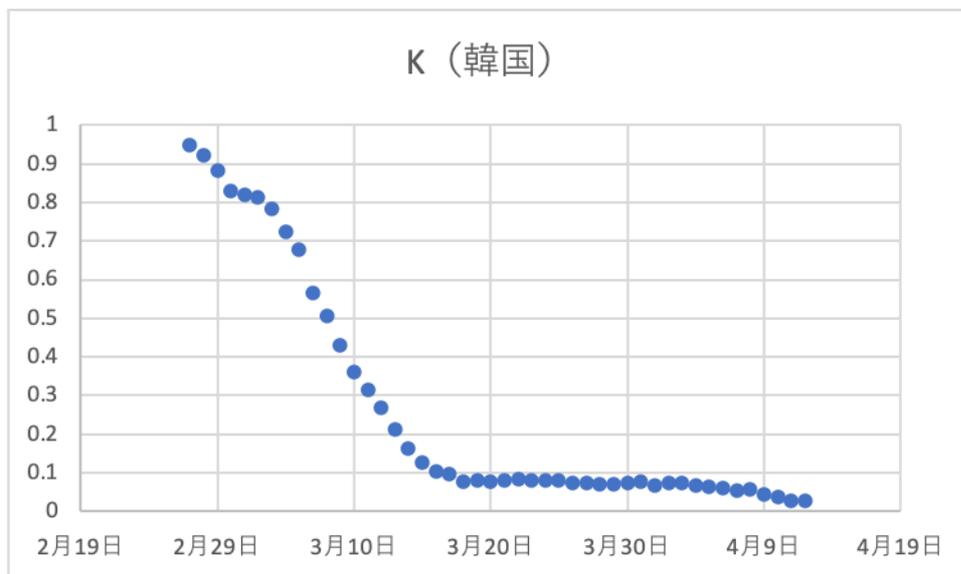
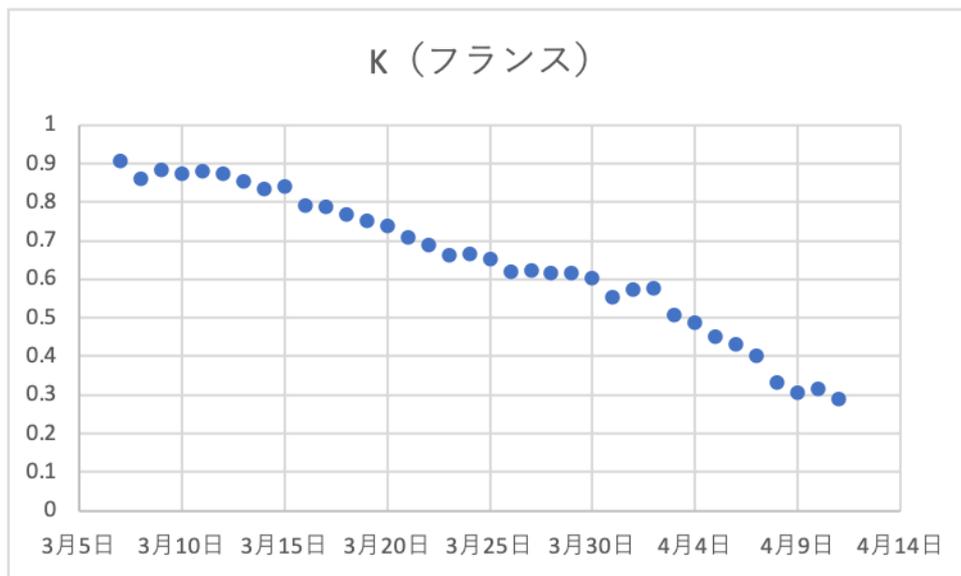
<https://web.sapmed.ac.jp/canmol/coronavirus/index.html>

補遺1 3月下旬からの新規感染者数の推移

新規感染者数を補正した値を3月下旬から4月14日までプロットしたものが下図である。円で囲んだ点が月曜日のデータである。他の曜日に比べ値が小さい傾向にあることが分かる。K値を求める際のリセット日を3月25日に設定することで生じる総感染者数算定の系統誤差が200以下であることがグラフから読み取れる。



補遺2 他の国の K 値の推移



補遺3 4月14日以降のK値と週変化率の推移

