

コロナ感染レポート/主要都道府県（2020年10月5日現在）
SEIRRモデルによる分析結果

Covid-19 Developments Report of Japanese prefectures
as of 5th October, 2020
SEIRR model analysis

2020年10月5日/ October 5, 2020
Promontory Financial Japan
An IBM company

目次/Agenda

1. 分析結果/Analysis results
2. 4都道府県比較/Comparison of 4 prefectures
3. 東京/Tokyo
4. 大阪/Osaka
5. 福岡/Fukuoka
6. 北海道/Hokkaido
7. SEIRRモデルの概要/SEIRR model overview
8. 連絡先/Contact

分析結果/Analysis results

* English follows Japanese.

(分析結果)

東京、大阪、福岡、北海道の4都道府県に関し、これまで主要国における新型コロナ感染状況を分析してきた手法（P8参照）と同じもので分析したところ、基本的には日本全体でみられた傾向と同じものが観察できたものの、同時に都道府県毎の特徴もみられた。

東京に関しては、全国の新規感染者に占める比率が圧倒的に高いこともあり、新規感染者数や1日当たり死者数の動きのみならず、そこから導出される再生産数や致死率も全国とほぼ同様のものとなっている。またモデルが推計した再生産数を人々の移動指数（ここでは、人々の移動の程度を指標化した指数として、googleが公表しているcommunity mobility reportを使用）と比較しても、全国同様に8月上旬までは両者がほぼ同様の動きをみせる一方で、それ以降は再生産数のみが低下する形で乖離が続いていた。

もっとも、9月初以降は全国の動向からやや乖離する動きもみられる。新規感染者数が、全国でみればまだ横ばい圏内の動きである一方東京では微かながらも増加に転じたようにみられ、モデルが推計する再生産数も9月初からやや上昇している。この結果、再生産数と人々の移動指標間の乖離はやや縮小している。

大阪に関しては、東京とほぼ同様の動きを示しているものの、大きな違いとしては、当初の第1波の感染者数が少なかった一方で、7月初から始まった第2波の感染者が多いこと（2番目の山が1番目の山対比で遥かに高い）ことと、モデルが推計する致死率が7月初からやや上昇している点だといえる。また足許の再生産数の動きに関しては、東京のように再び上昇する兆しはまだみられない。

福岡に関しては、東京よりもむしろ大阪に近い動きとなっている。すなわち、大阪同様に、当初の第1波の感染者数が少なかった一方で、7月初から始まった第2波の感染者が多くなっている（2番目の山が1番目の山対比で遥かに高い）。またモデルが推計する致死率が7月初からやや上昇していることや、足許のモデル推計の再生産数の動きが落ち着いているのも大阪同様である。但し、新規感染者数をベースに計算した日次再生産数は足許上昇しており、これが一過性のものか否かが注目される。

北海道に関しては、今回分析対象とした他の都府県との違いが目立つ。相違点の一つは、4月から始まった第1波の感染者数が第2波に比べ圧倒的に多いこと。また北海道は行動制限で一時大きく落ち込んだ人々の移動指標の戻りが他の都府県よりも早かったにも関わらず、7月以降の感染第2波が生じていない。また再生産数と移動指標間の乖離は既に6月頃から発生し、他の都府県で乖離が発生し始めた8月中旬頃からさらに拡大した形となっている。なお、これも北海道の特徴となるが、足許9月半ば頃以降に関してはモデルが推計する再生産数が急速に高まっており、この結果、足許に関しては再生産数と移動指標間の乖離が急速に縮小する傾向にある。

最後に4都道府県比較で分かったことは、移動指標をみる限り、東京の削減幅が一番大きい一方、大阪や福岡はこれに次ぐ削減幅で、北海道の削減幅が最も小さい点。さらに足許に関しては、何れの都道府県でも移動指標が急速に高まる兆しが出てきた点。また4都道府県で観察された8月初以降のモデル推計再生産数と移動指標間の乖離は、日本で最も日中気温（さらには湿度）が高い時期をほぼ重なっており、9月中旬以降気温の低下が顕著な北海道において再生産数が再び高まり両者の差が縮小してきたことも注目される。

(Analysis output)

We have analyzed the situation of Covid-19 spread in 4 prefectures in Japan, including Tokyo, Osaka, Fukuoka and Hokkaido, using the same methodology that had been used for major countries (see page 8). Basically, the same trend as that observed in Japan as a whole was observed also in the cases of 4 prefectures, but at the same time there were some uniqueness in each prefecture.

In Tokyo, due to its high population proportion in Japan, not only the trend of number of new cases and deaths per day, but also its reproduction number and fatality rate are almost the same as in Japan. In addition, as is the case of Japan, the reproduction number estimated by the model had moved very similarly with the mobility index (we here used the numbers in the community mobility report published by Google as an index to measure the degree of movement of people) until the early August but after that only the reproduction number declined and hence the expansion of distance between them.

However, since the beginning of September, there has been a slight divergence from the nationwide trend. While the number of new cases remained more or less flat across the country, it appears that the number of new cases in Tokyo has turned slightly upward, and the number of reproduction estimated by the model has increased slightly since the beginning of September. As a result, the divergence between the reproduction number and the mobility index has narrowed somewhat.

In Osaka, the trend is almost the same as in Tokyo, but the major differences are that the second peak in terms of new cases, which started in early July is much larger than the first peak, and that the fatality rate estimated by the model rose slightly from the beginning of July. As for the recent trend in the number of reproduction, there is no sign of a rise again, as in Tokyo.

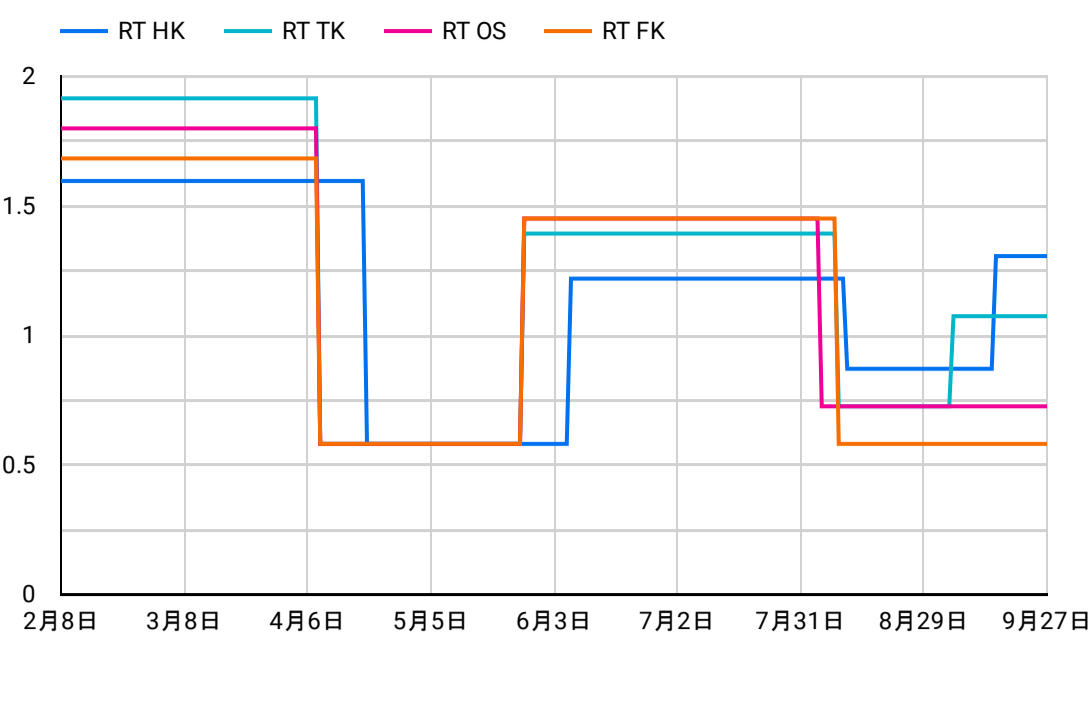
Fukuoka is closer to Osaka than Tokyo. As in Osaka, the number of new cases with the second wave, which started in early July, was much larger than the one of the first wave. Also, as in Osaka, the mortality rate estimated by the model has slightly increased since the beginning of July, and the trend of the reproduction number estimated by the model has been stable recently. However, the daily reproduction number calculated on the basis of the number of new cases has recently increased, implying the possibility of trend change.

Hokkaido is clearly different from other prefectures in this analysis. One difference is that the number of new cases with the first wave, which started in April, is much larger than that of the second wave. In Hokkaido, the mobility index, which once dropped greatly by the socio-economic restriction returned earlier than other prefectures, but the big second wave of infection has not occurred since July. In addition, the divergence between the number of reproduction and the mobility index already started around June, and has expanded since mid-August when the divergence started in other prefectures. This is also characteristic of Hokkaido, but the reproduction number estimated by the model has been rapidly increasing since around mid-September, and as this result, the divergence between the reproduction number and the mobility index has recently tended to narrow down rapidly.

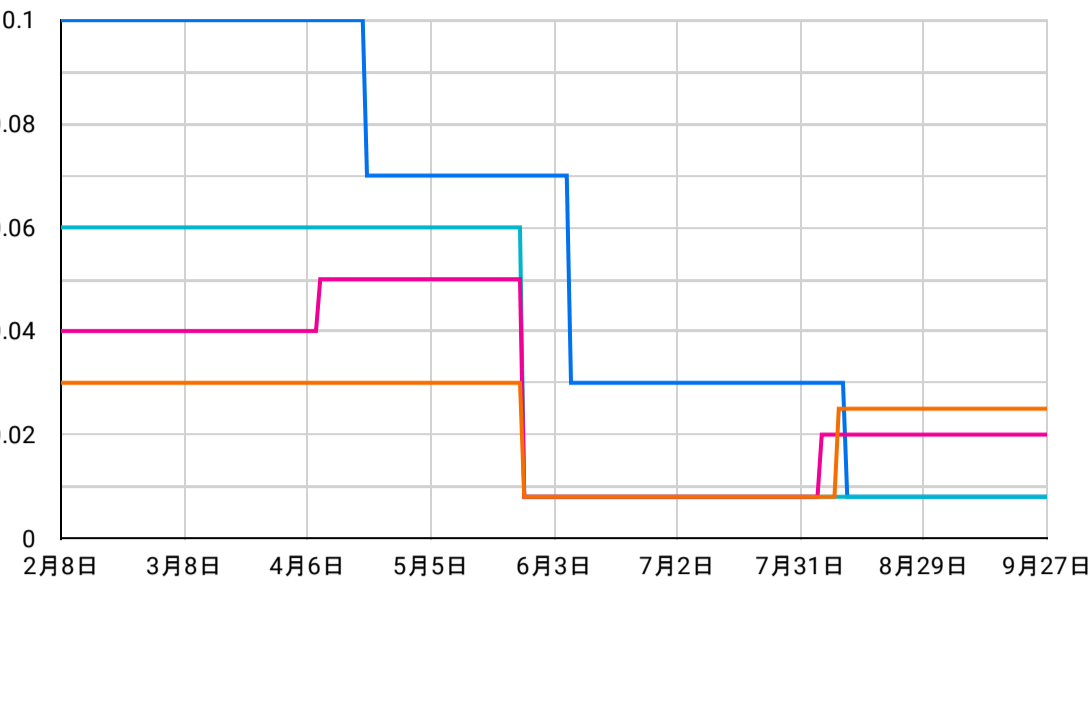
Last but not least, a comparison of the four prefectures shows that while Tokyo has the largest reduction in the mobility index, Osaka and Fukuoka have the second largest and Hokkaido has the smallest reduction. In addition, there are signs that the mobility index is rising rapidly in all prefectures recently. Moreover, the divergence observed in the four prefectures between the model-estimated reproduction number and the mobility index from the beginning of August almost coincided with the period when daytime temperatures and humidity are the highest in Japan. It is also noteworthy that in Hokkaido, where the decline in temperature was significant from mid-September onward, the reproduction number rose again and the gap between the the reproduction number and mobility index narrowed.

4 都道府県比較/Comparison of 4 prefectures

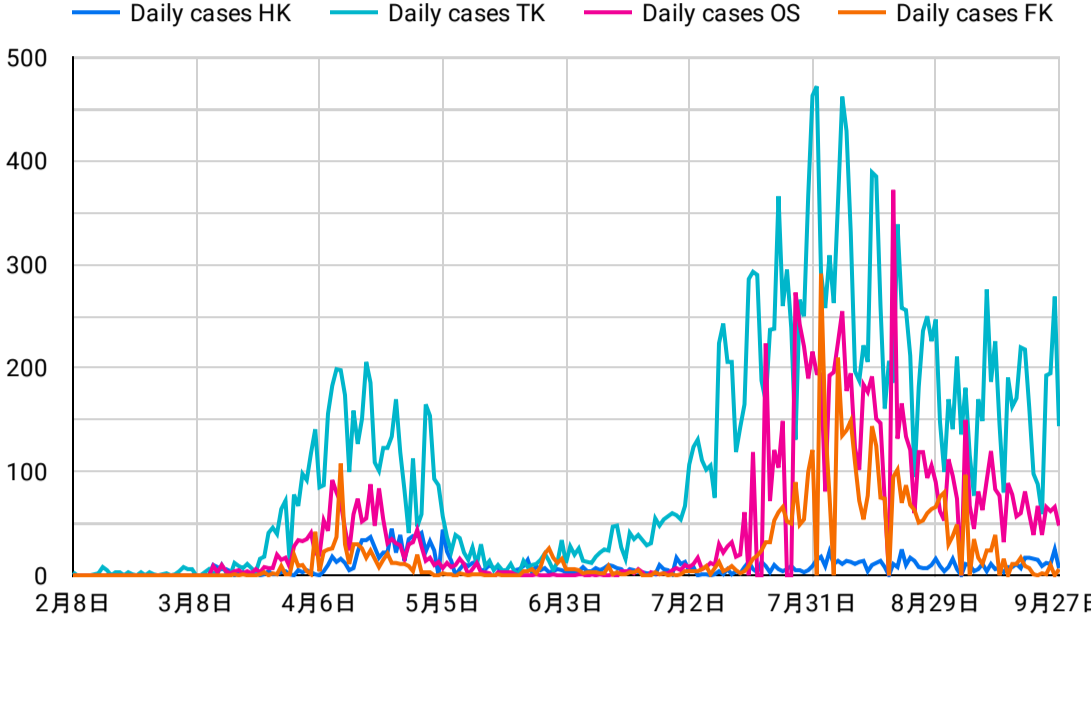
モデル推計再生産数/Model estimate RT



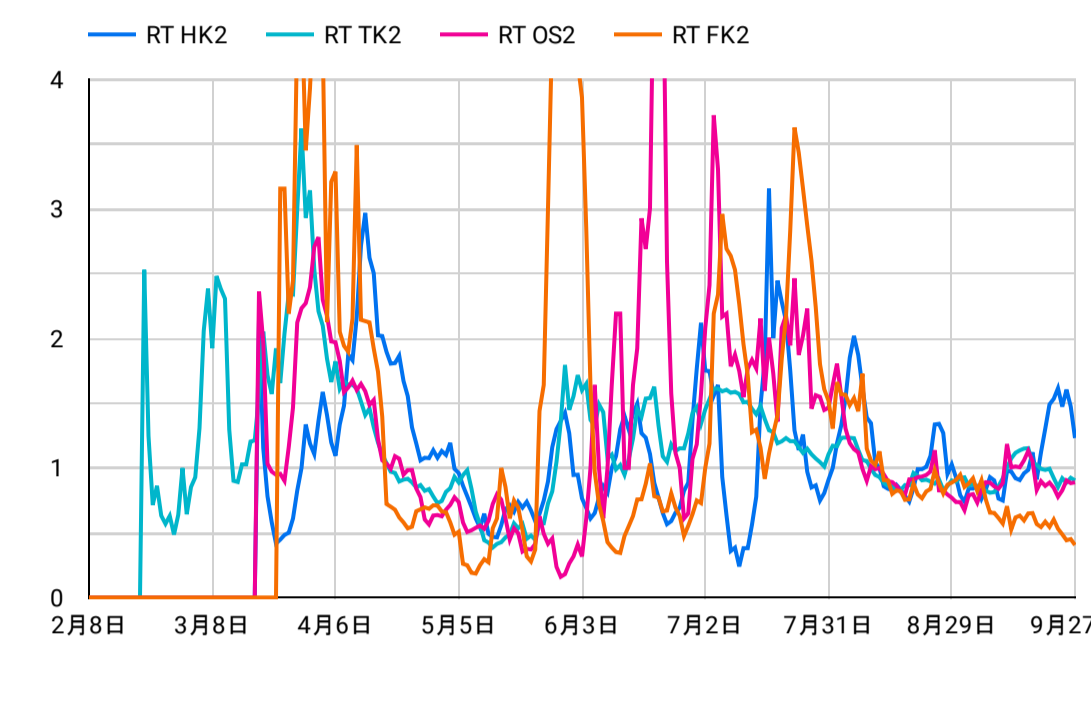
モデル推計致死率/Model estimate mortality rate



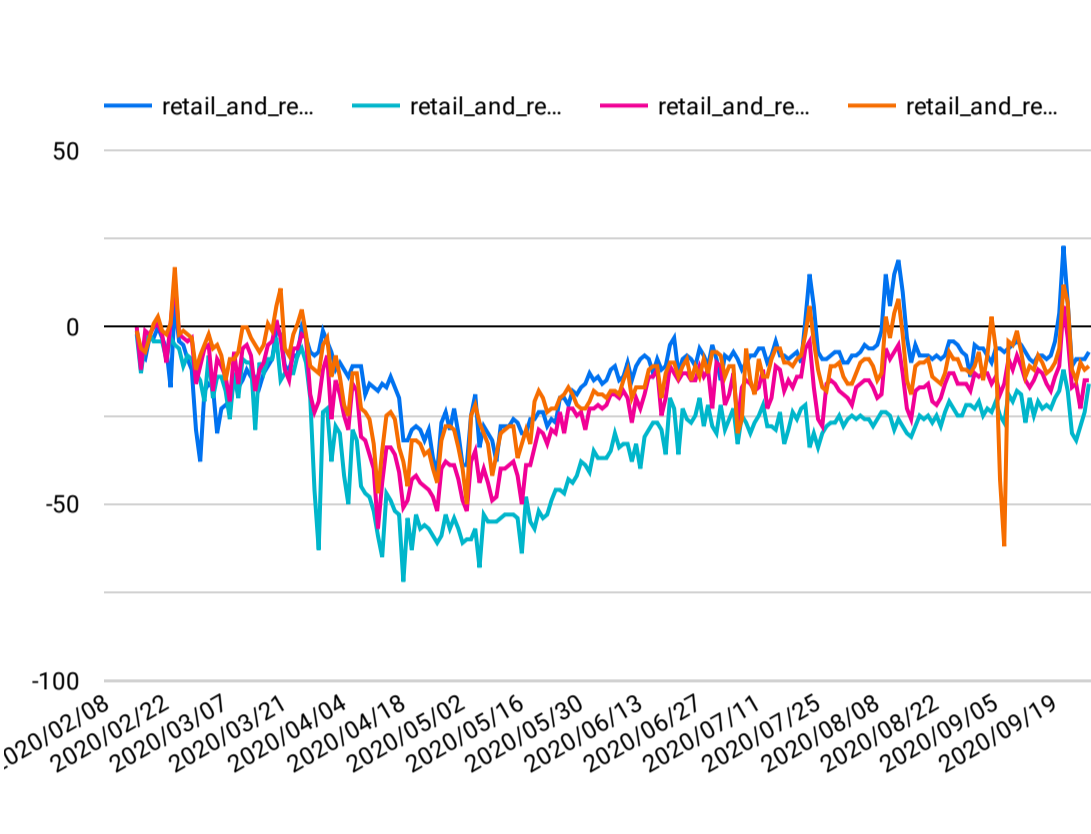
日次新規感染者数/Daily new cases



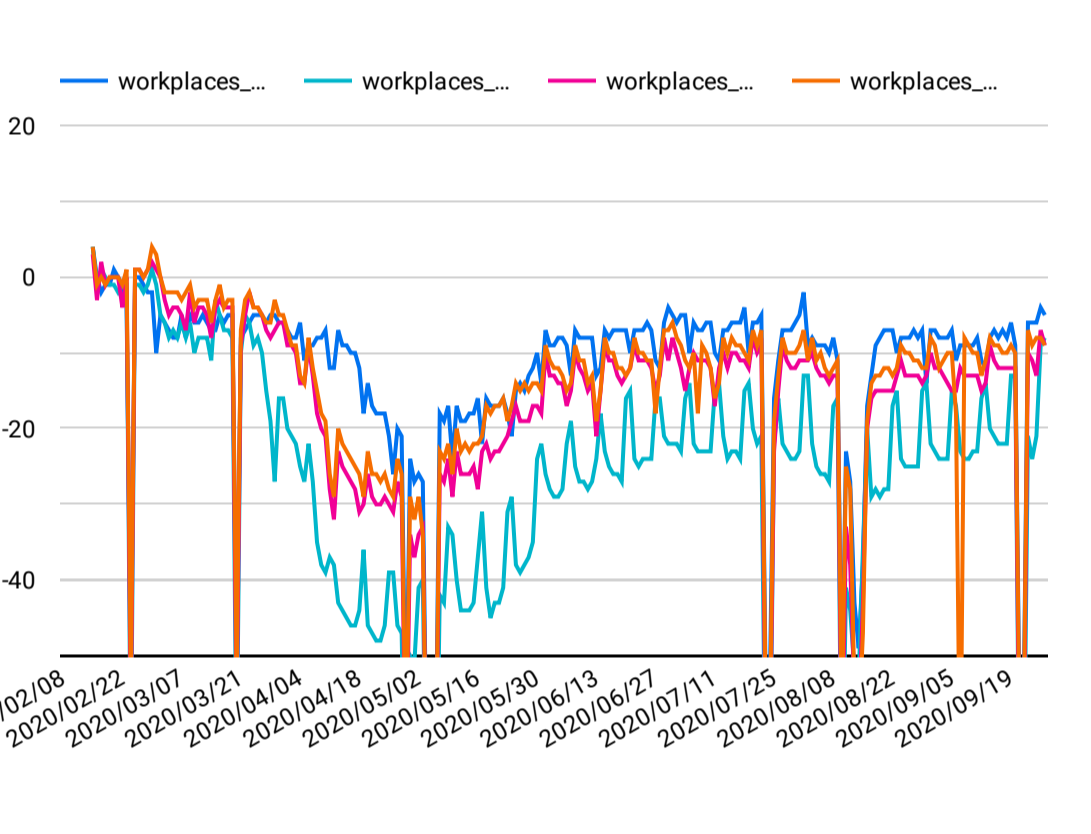
日次再生産数/Daily RT



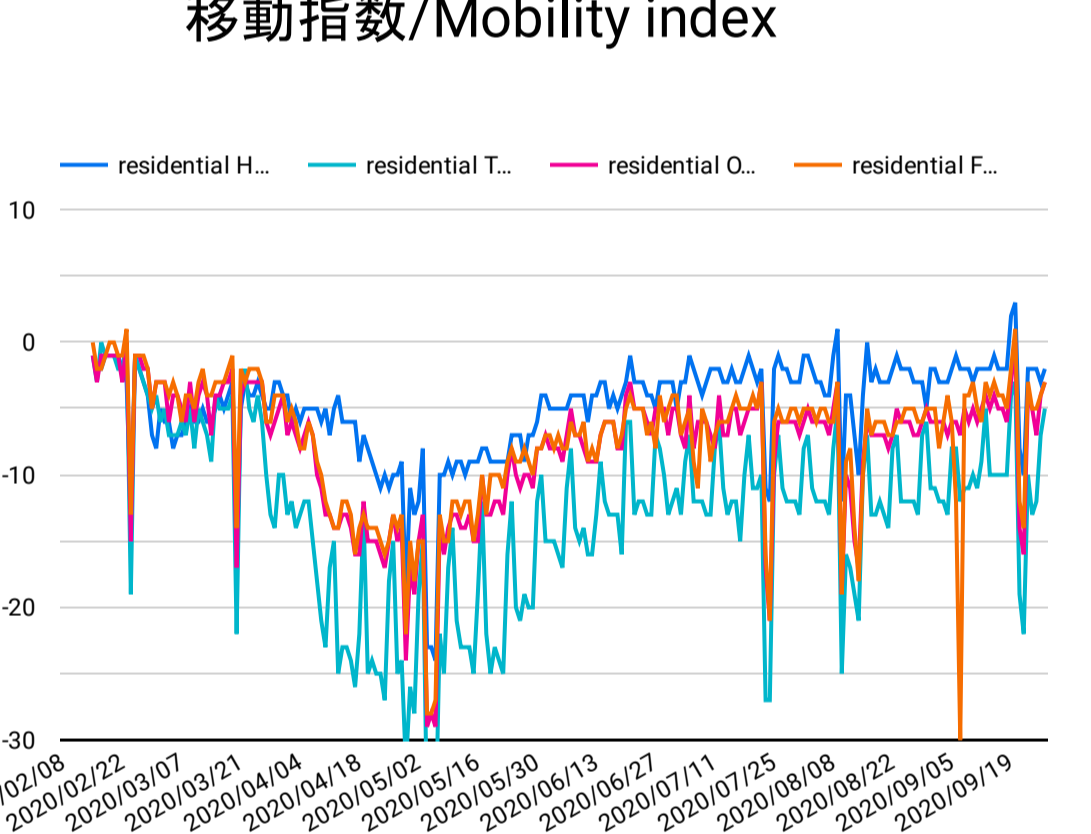
移動指数/Mobility index



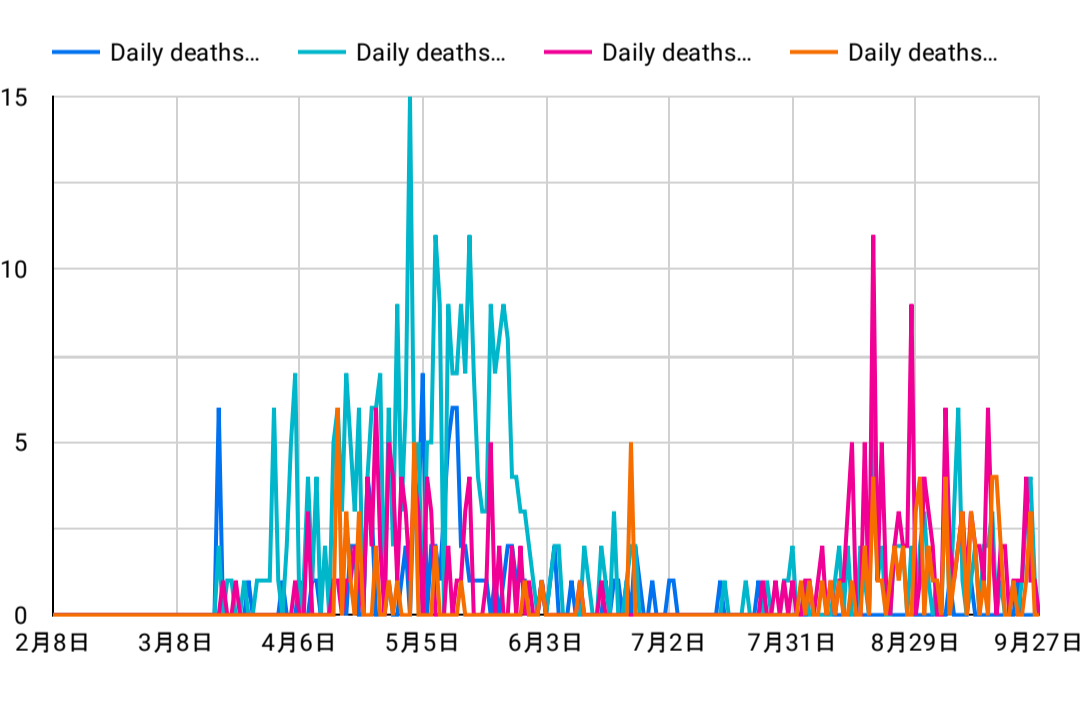
移動指数/Mobility index



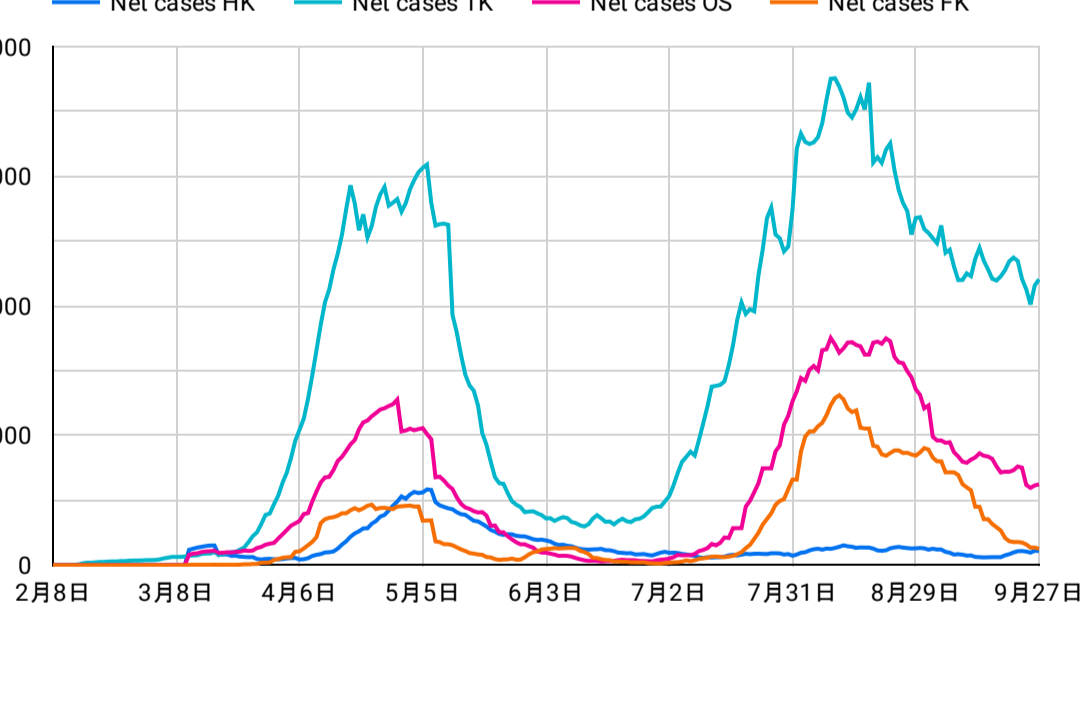
移動指数/Mobility index



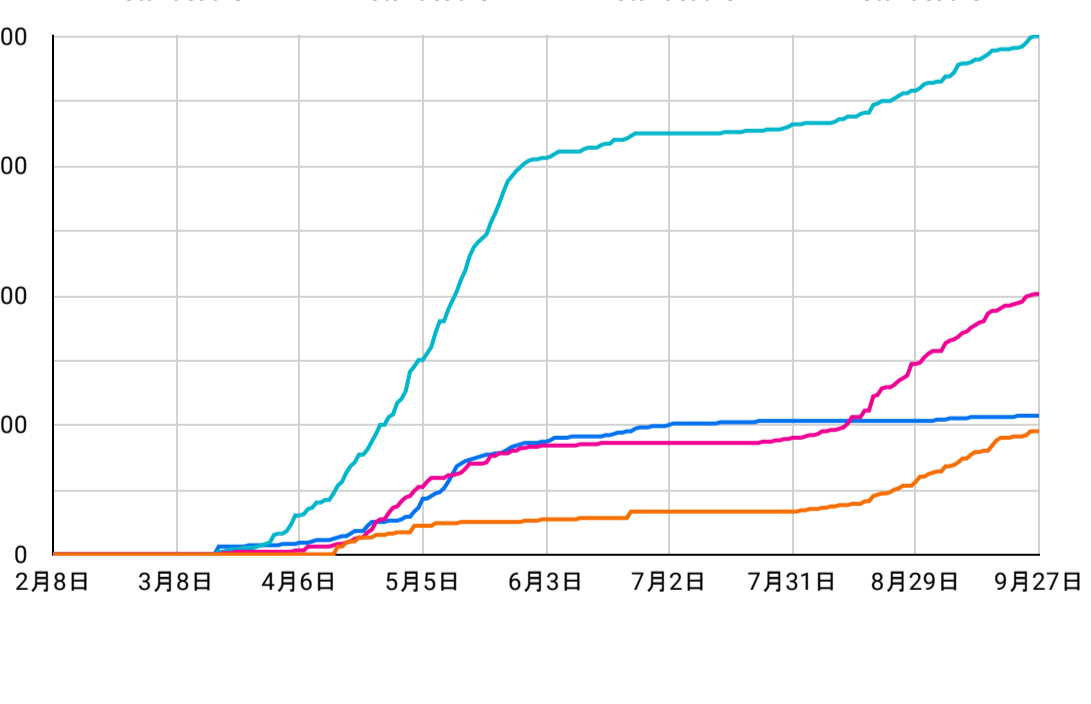
日次死亡者数/Daily new deaths



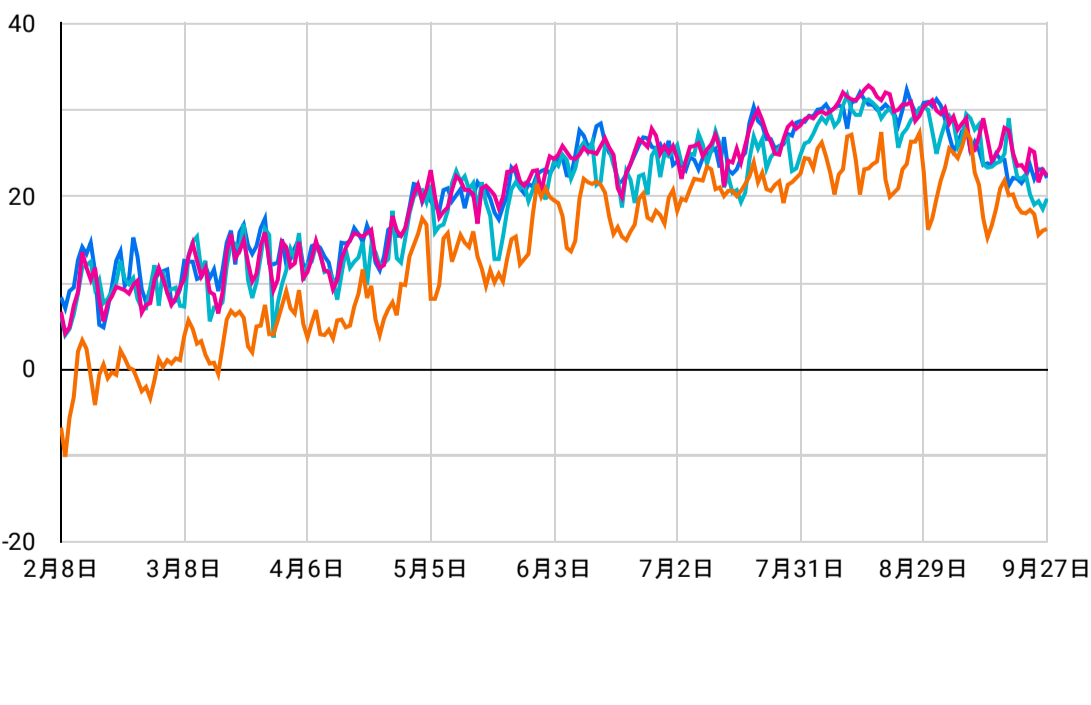
ネット感染者数/Net cases



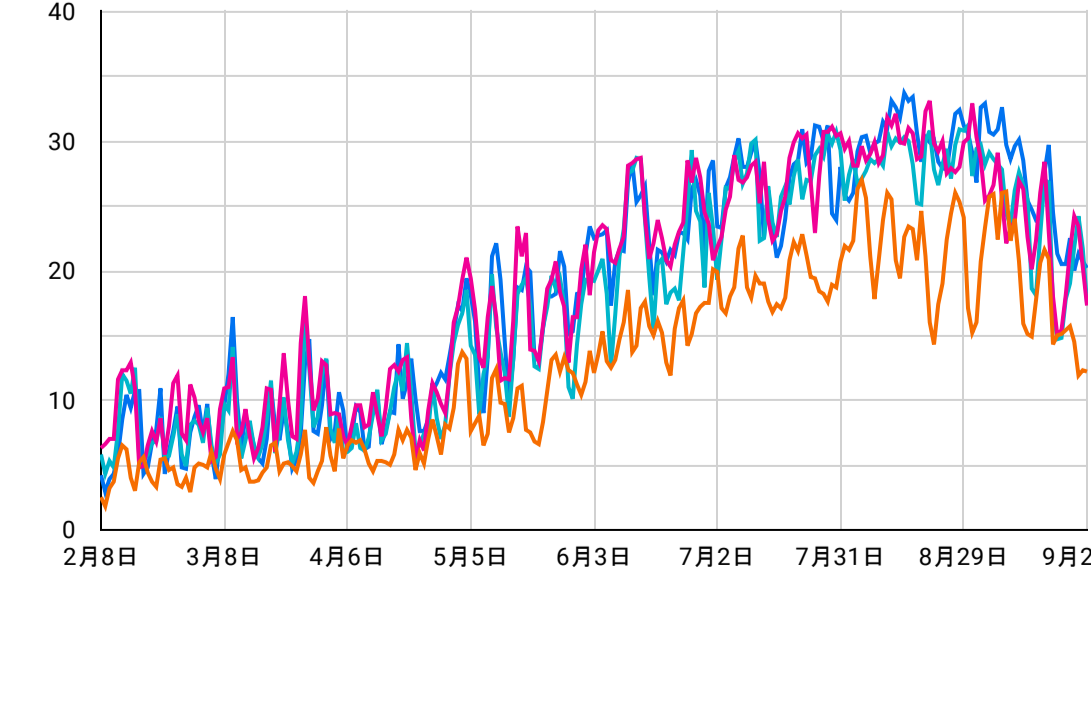
累積死亡者数/Total deaths



日次平均気温/Daily average temperature



日次平均湿度/Daily average humidity

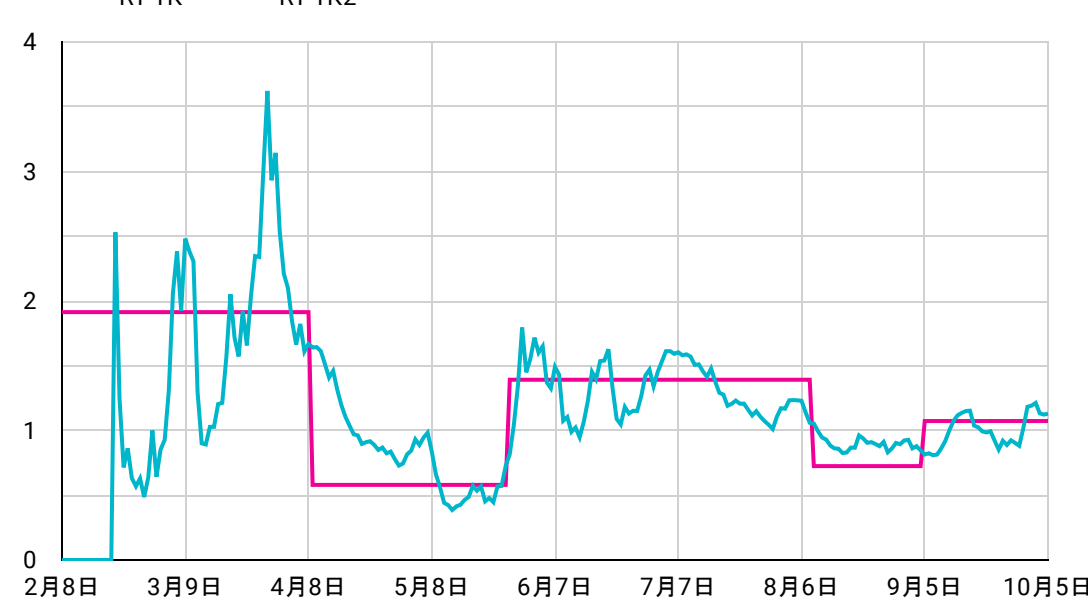


東京/Tokyo

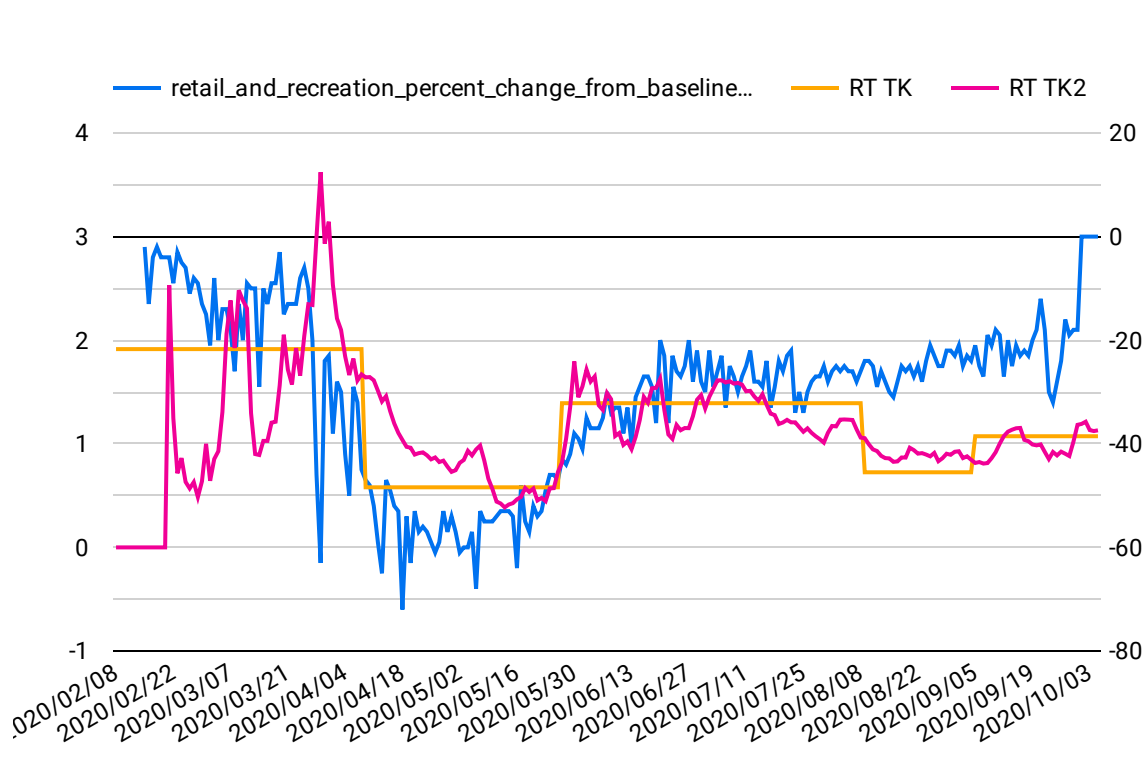
日次新規感染者数（東京） /Daily new cases (Tokyo)



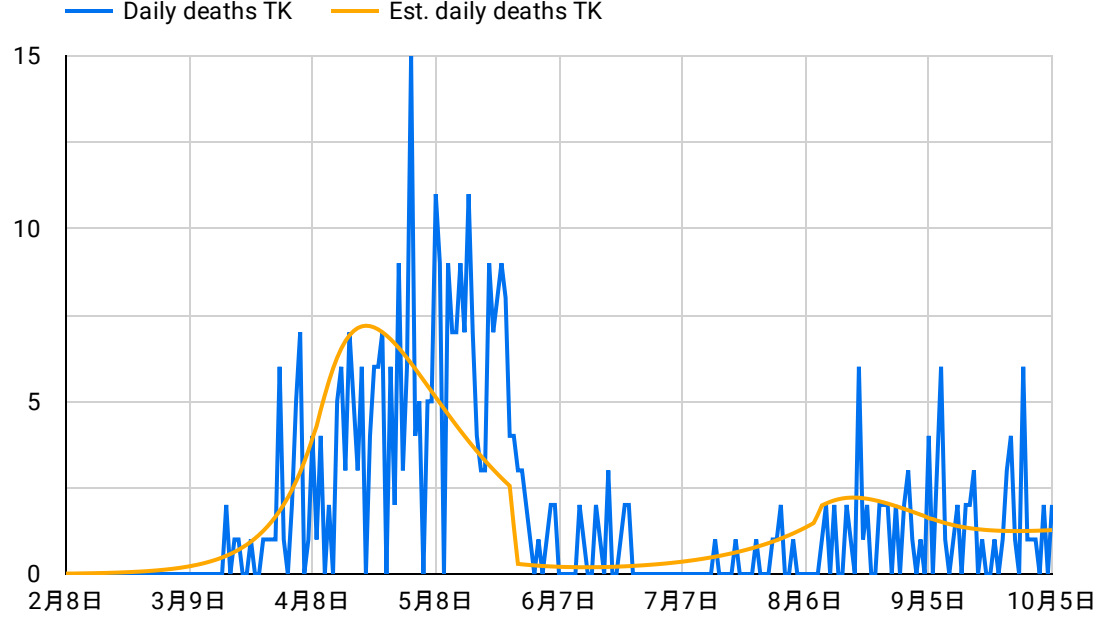
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（東京） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Tokyo)



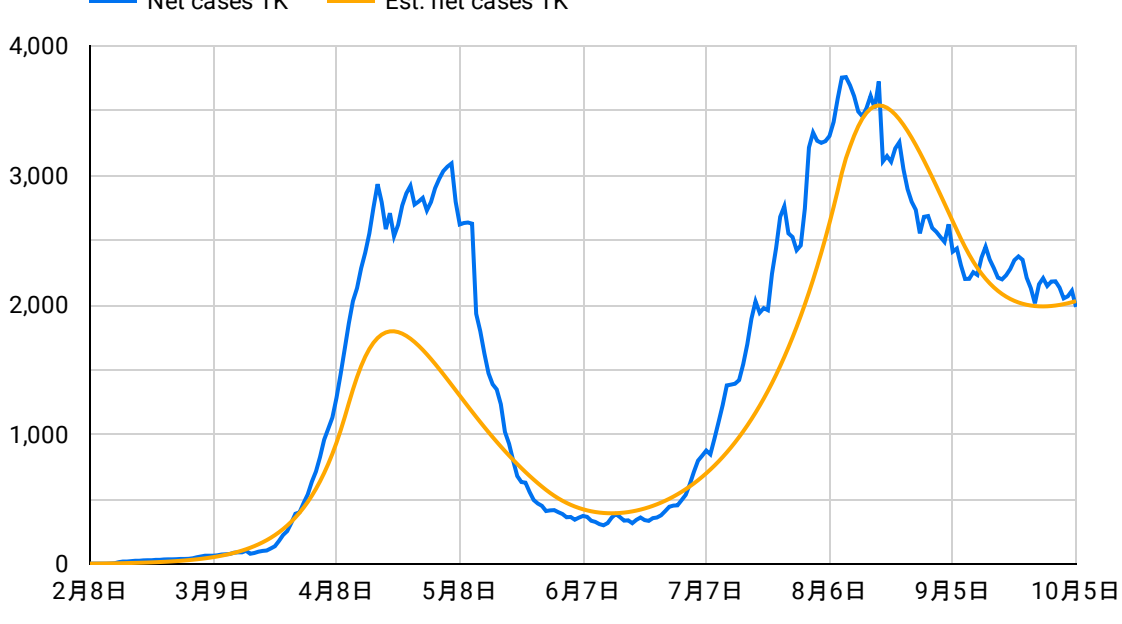
再生産数と移動指数の比較（東京） / Comparison between RT and mobility index (Tokyo)



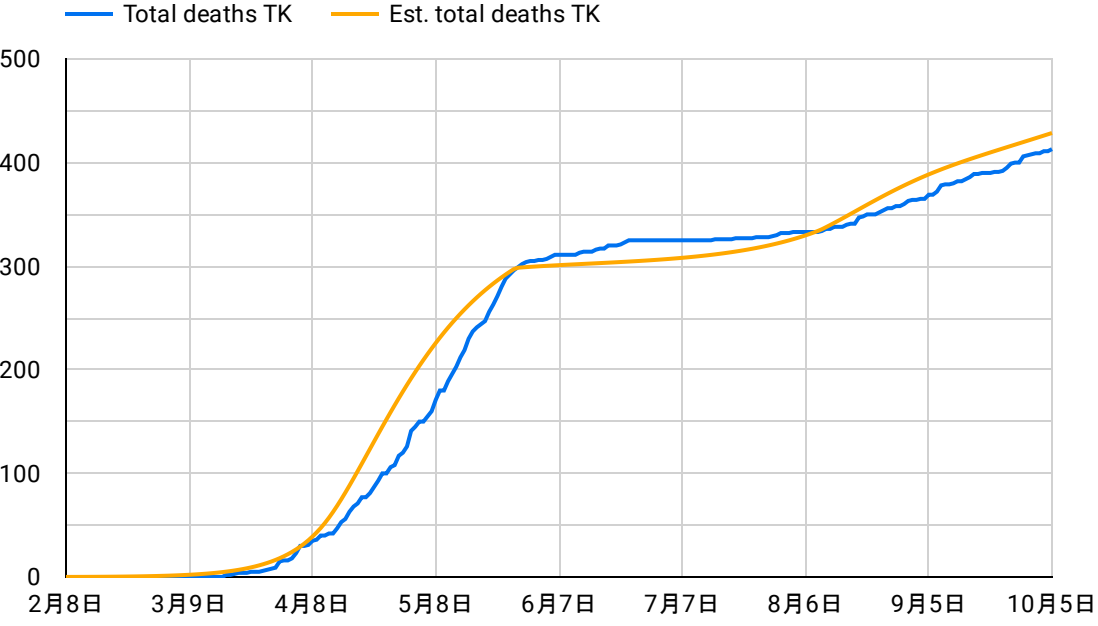
日次死者数（東京） /Daily new deaths (Tokyo)



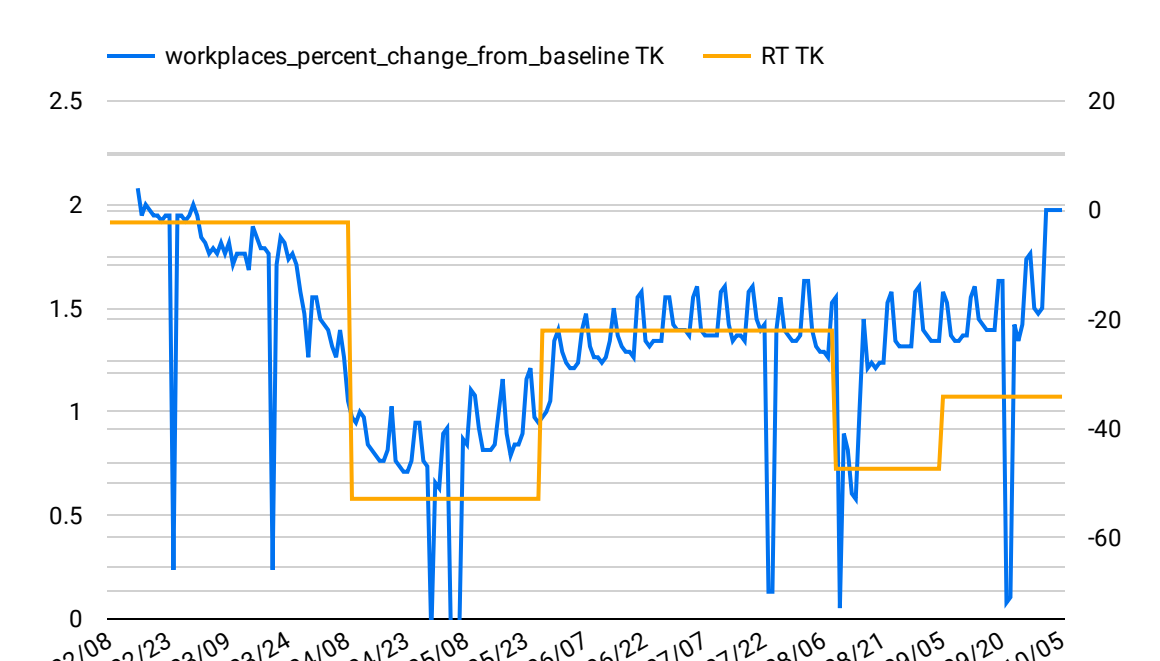
ネット感染者数（東京） /Net cases (Tokyo)



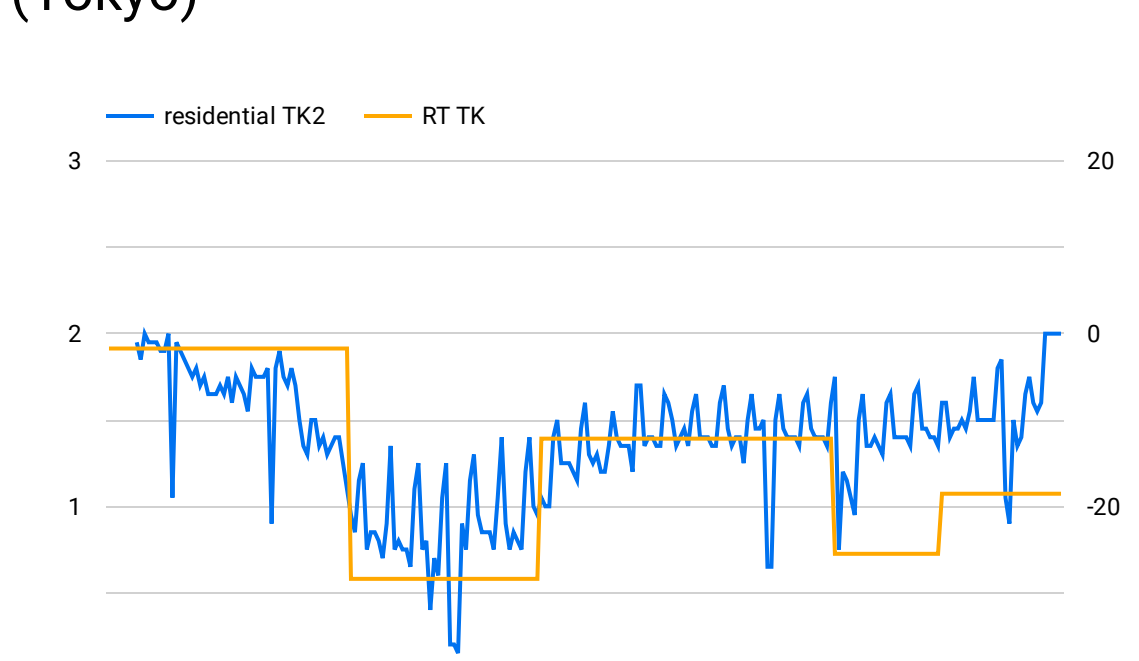
累積死者数（東京） /Total deaths (Tokyo)



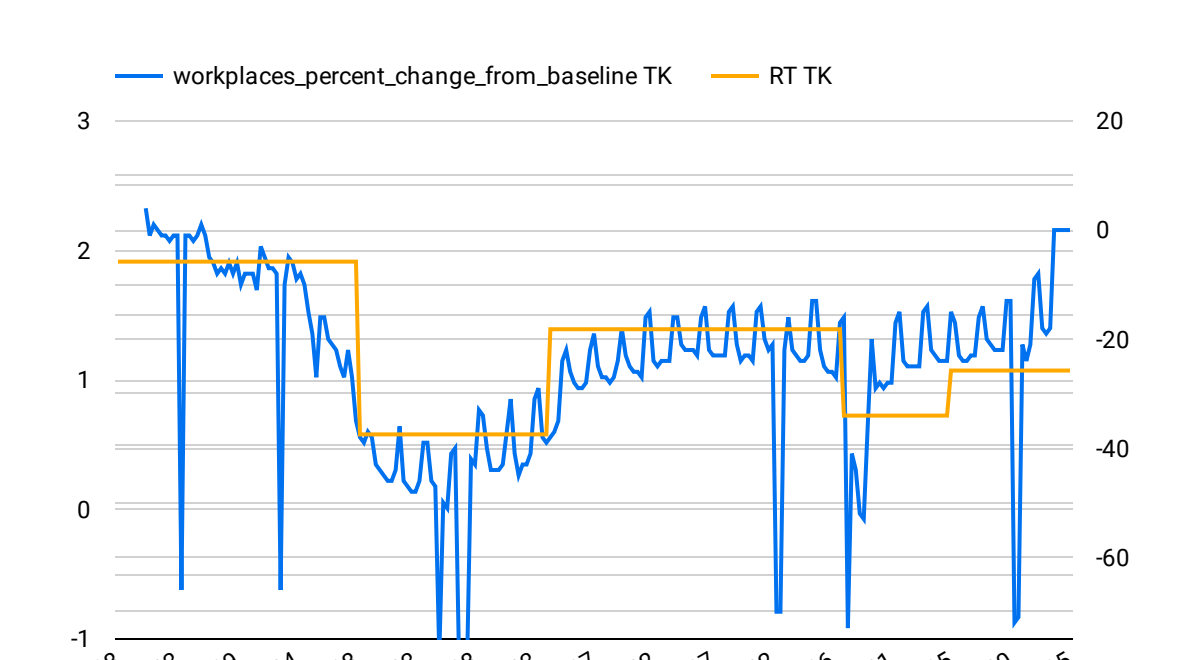
再生産数と移動指数の比較（東京） / Comparison between RT and mobility index (Tokyo)



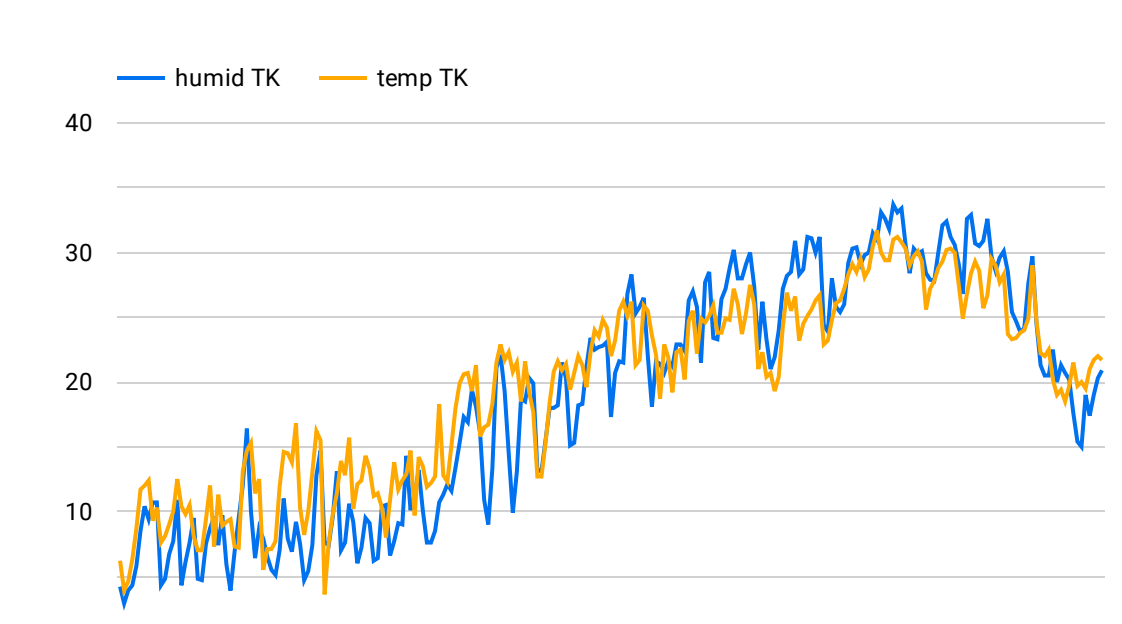
再生産数と移動指数の比較（東京） / Comparison between RT and mobility index (Tokyo)



再生産数と移動指数の比較（東京） / Comparison between RT and mobility index (Tokyo)

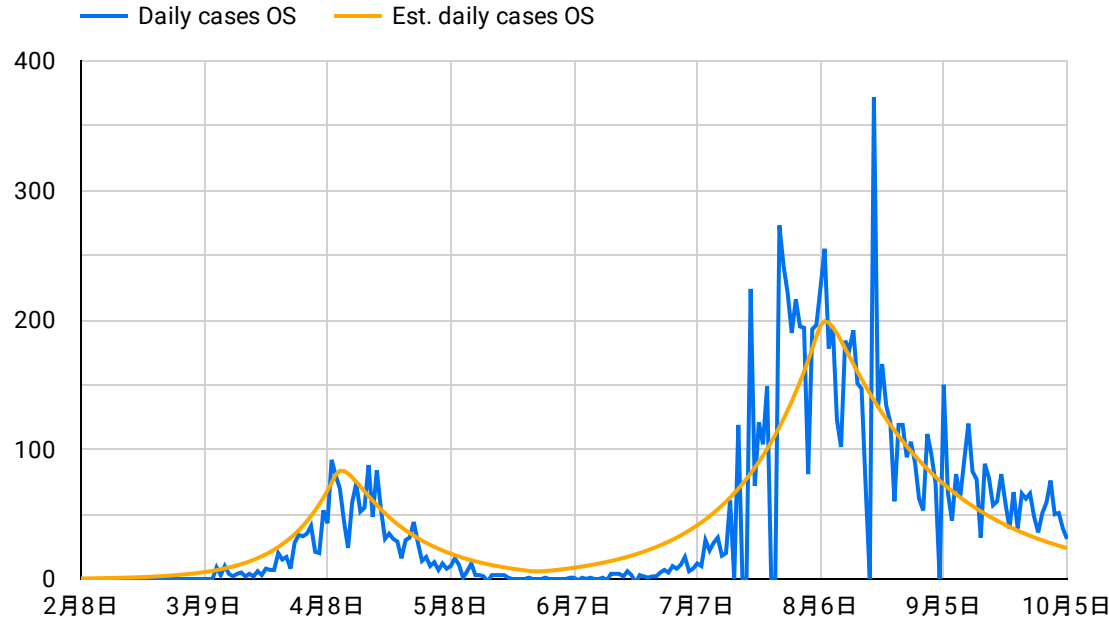


気温と湿度の推移（東京） / Changes in the temperature and humidity (Tokyo)

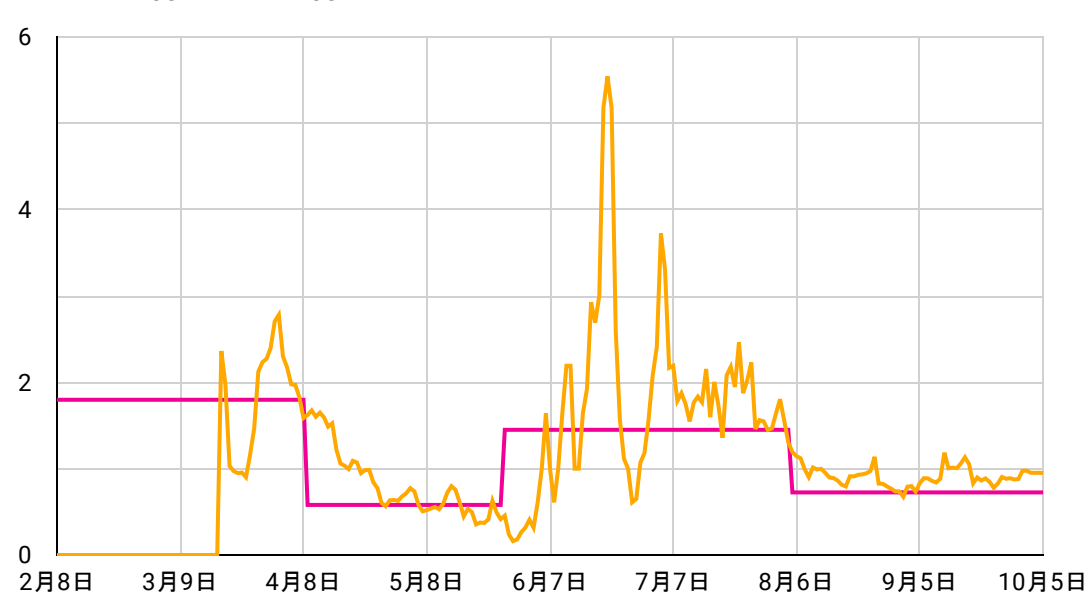


大阪/Osaka

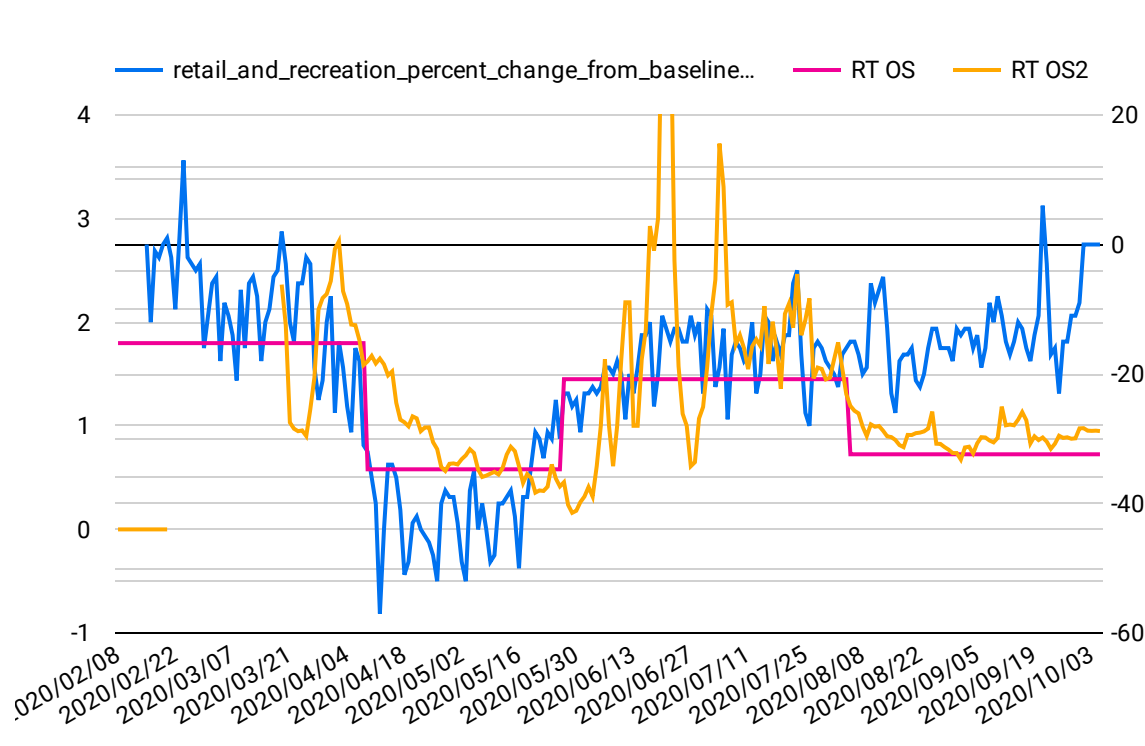
日次新規感染者数（大阪） /Daily new cases (Osaka)



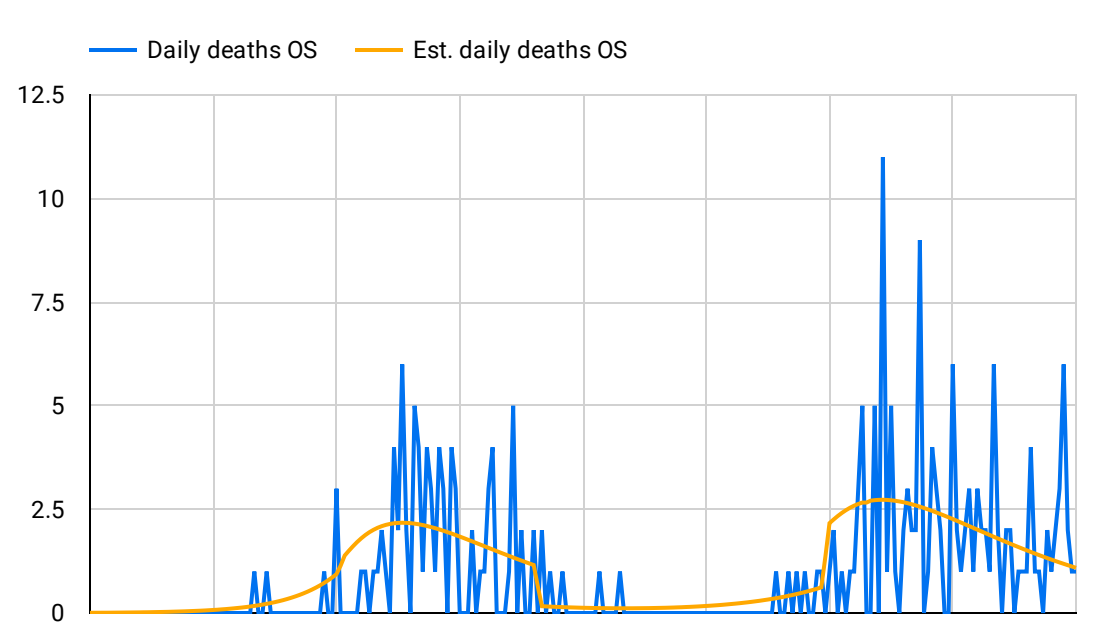
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（大阪） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Osaka)



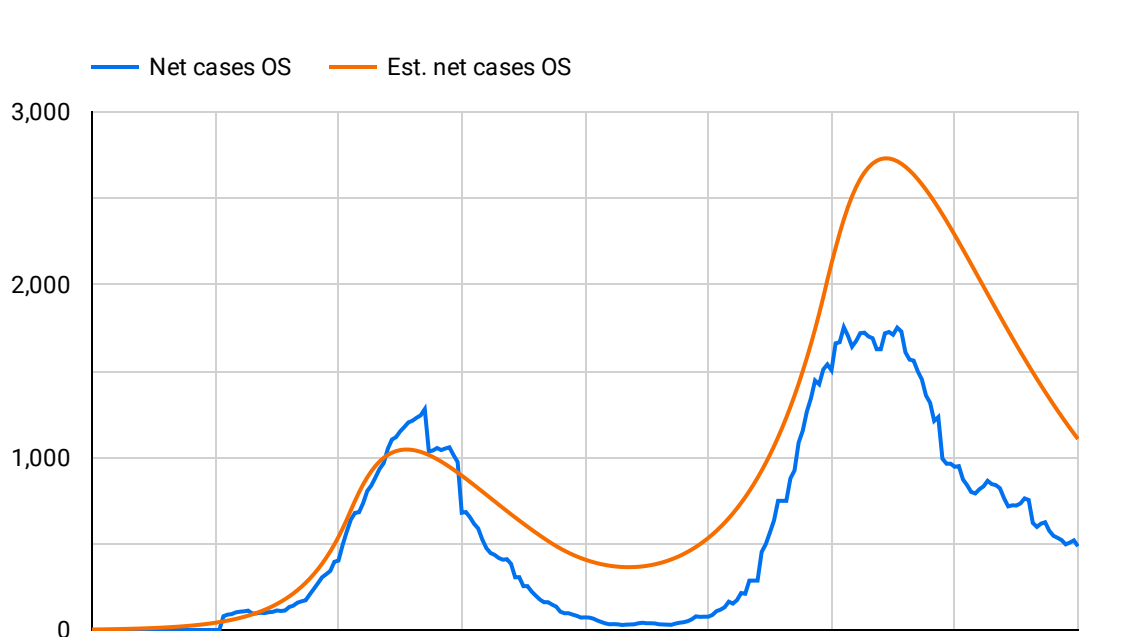
再生産数と移動指数の比較（大阪） / Comparison between RT and mobility index (Osaka)



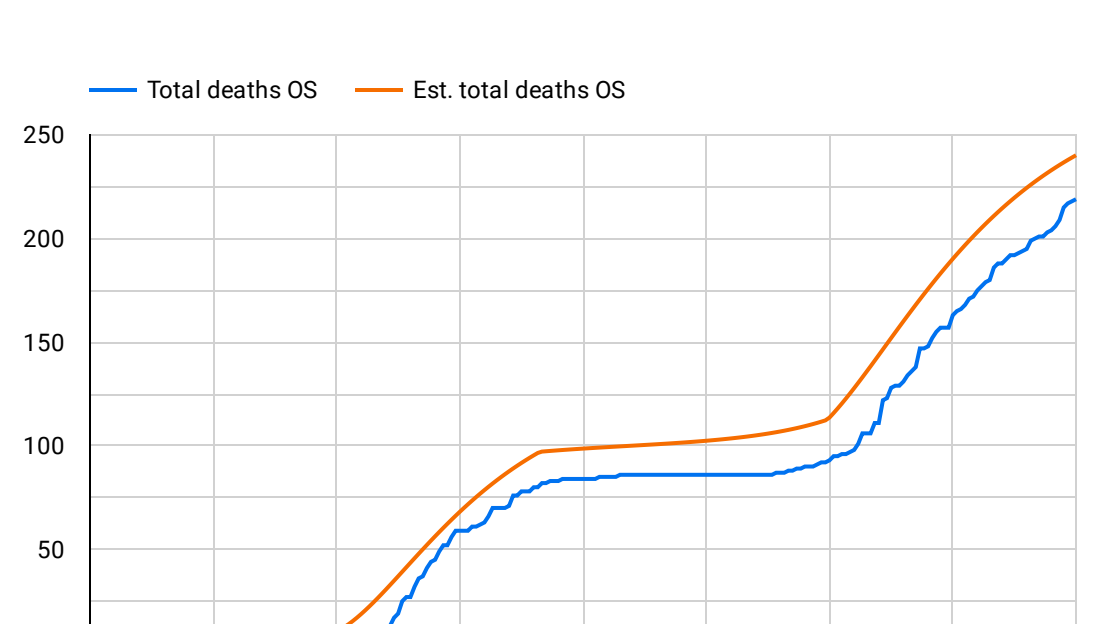
日次死者数（大阪） /Daily new deaths (Osaka)



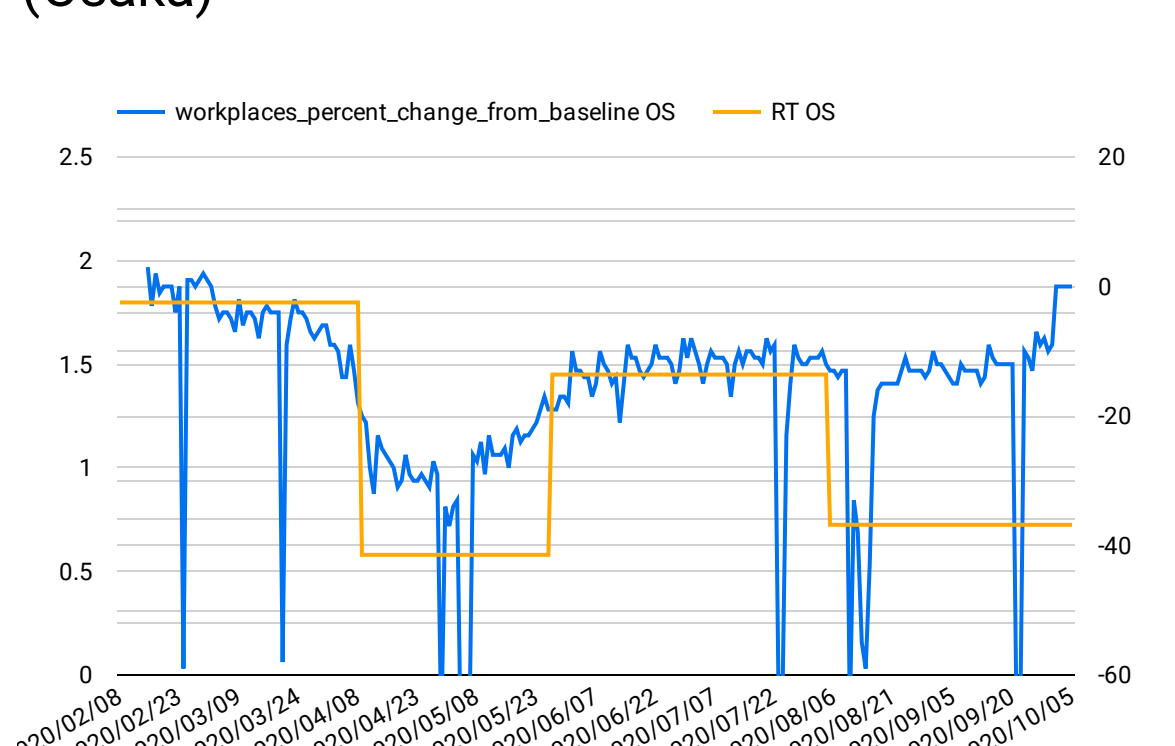
ネット感染者数（大阪） /Net cases (Osaka)



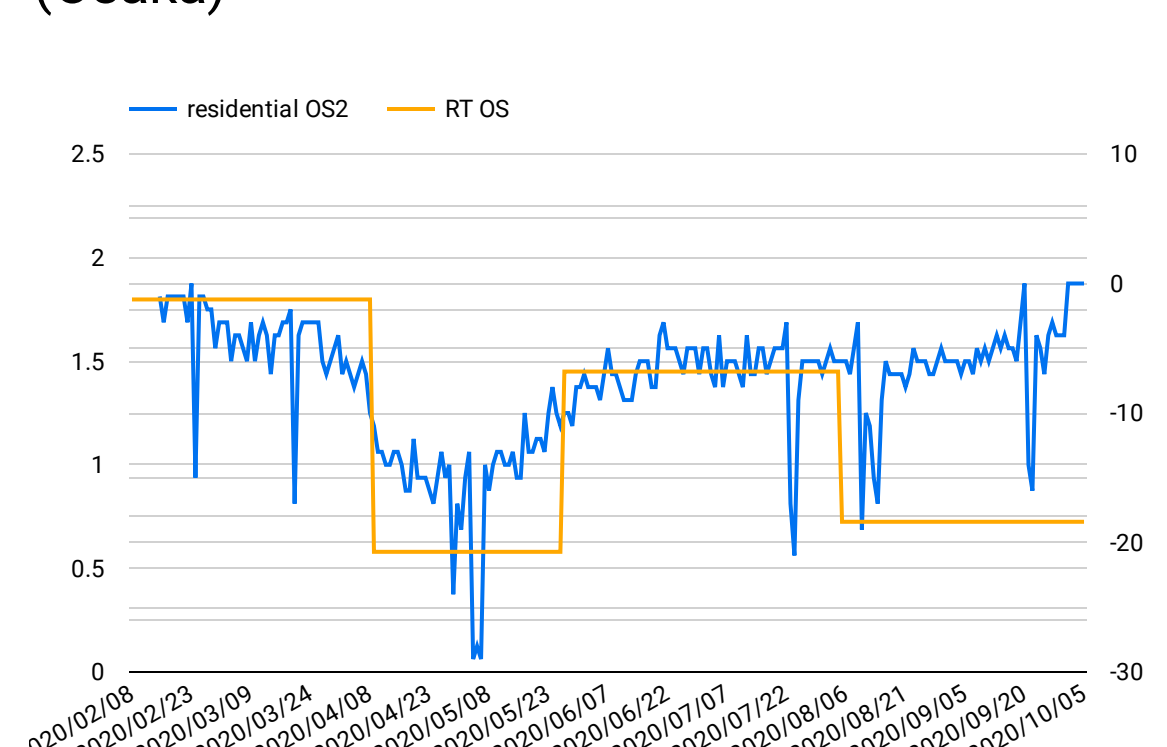
累積死者数（大阪） /Total deaths (Osaka)



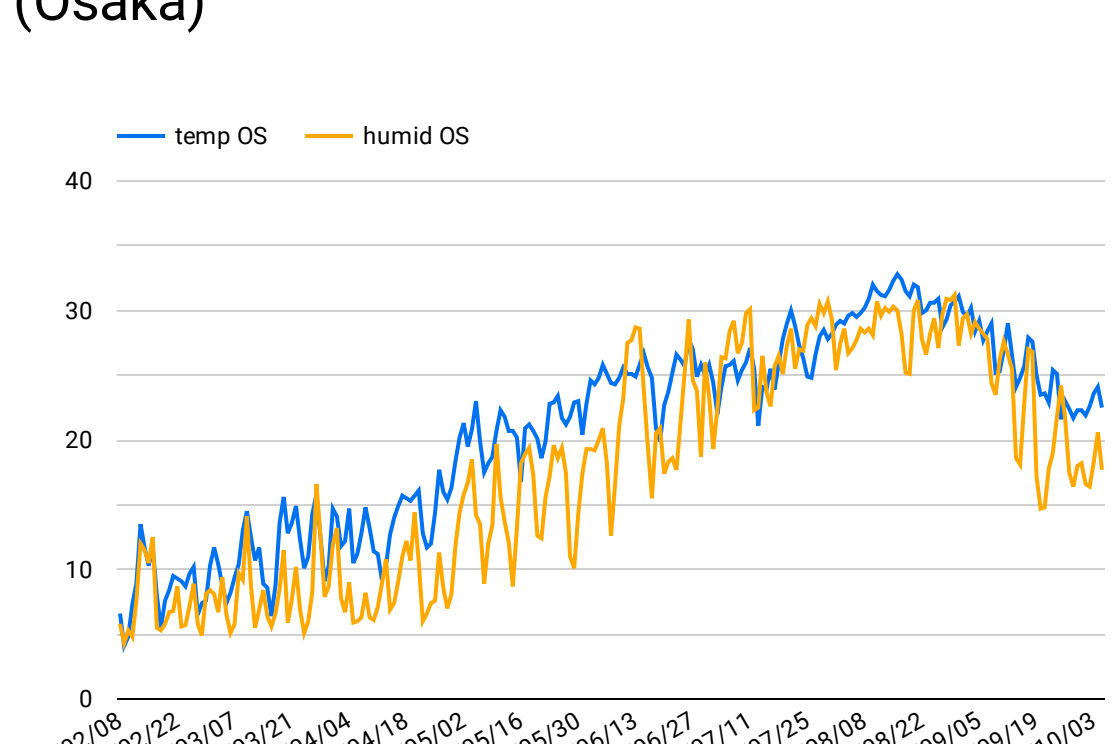
再生産数と移動指数の比較（大阪） / Comparison between RT and mobility index (Osaka)



再生産数と移動指数の比較（大阪） / Comparison between RT and mobility index (Osaka)

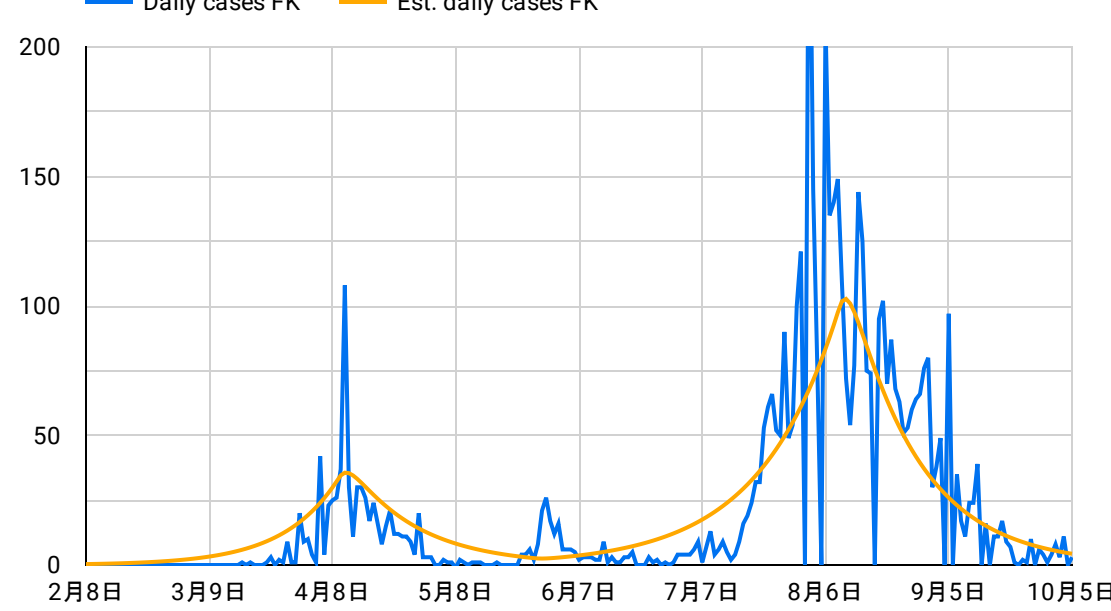


気温と湿度の推移（大阪） / Changes in the temperature and humidity (Osaka)

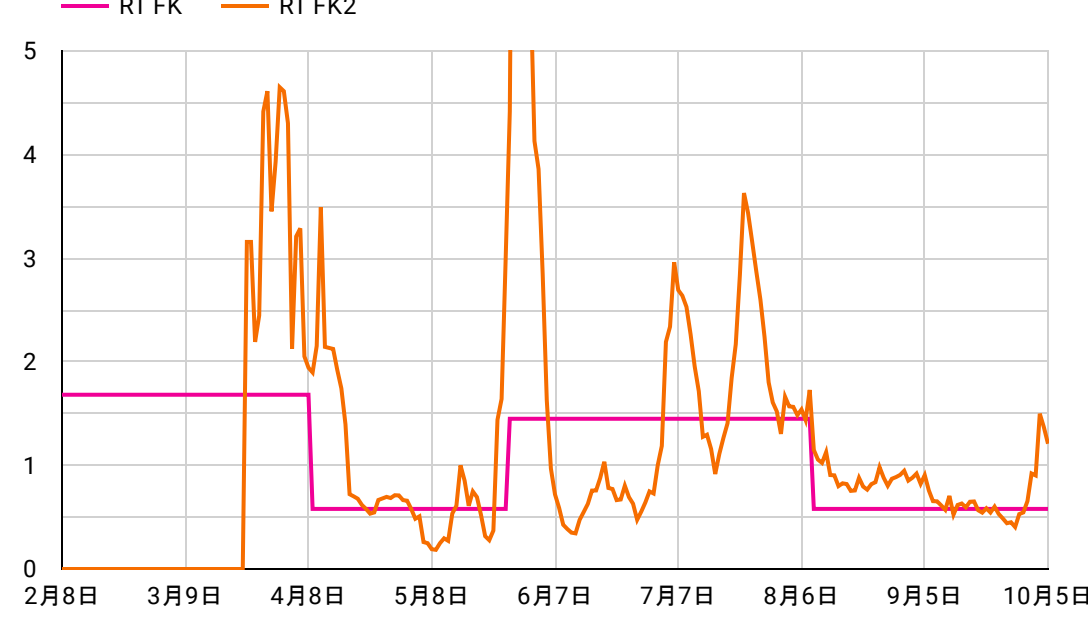


福岡/Fukuoka

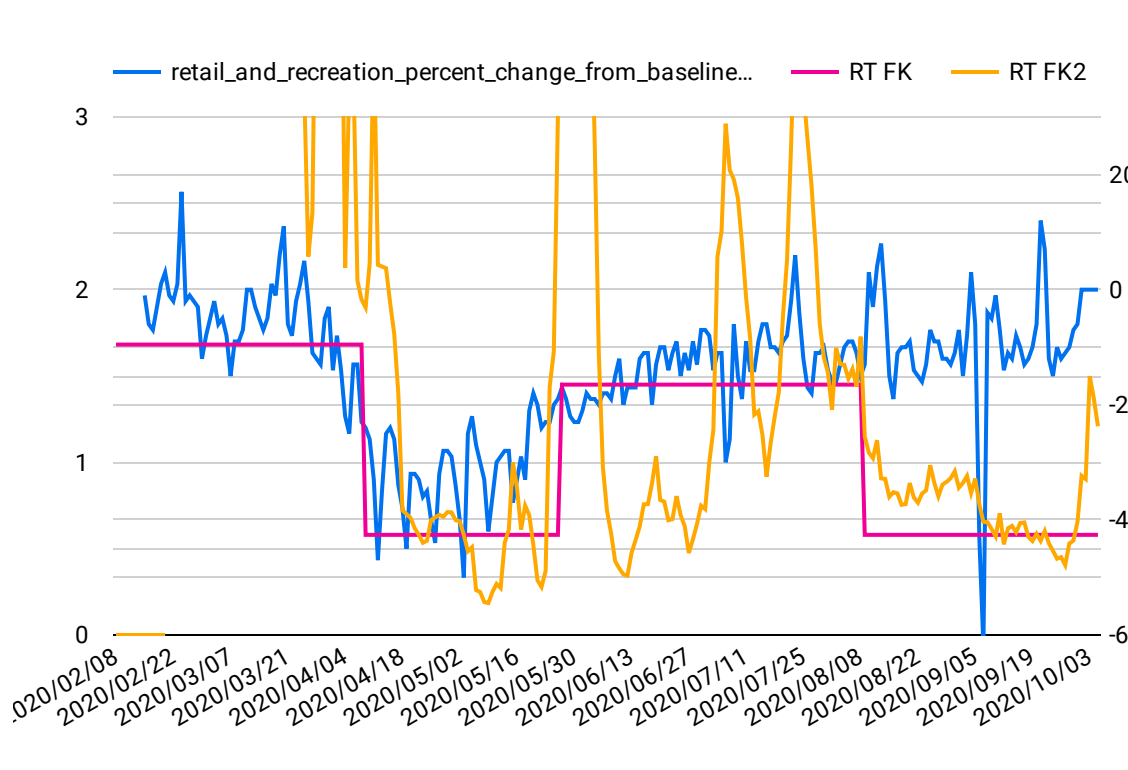
日次新規感染者数（福岡） / Daily new cases (Fukuoka)



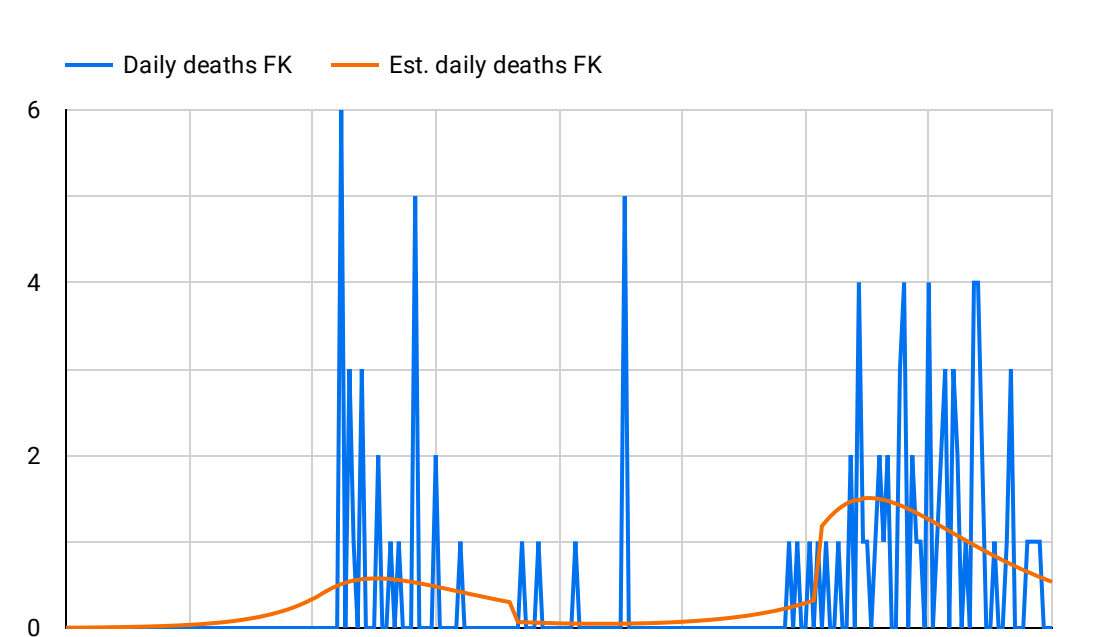
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（福岡） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Fukuoka)



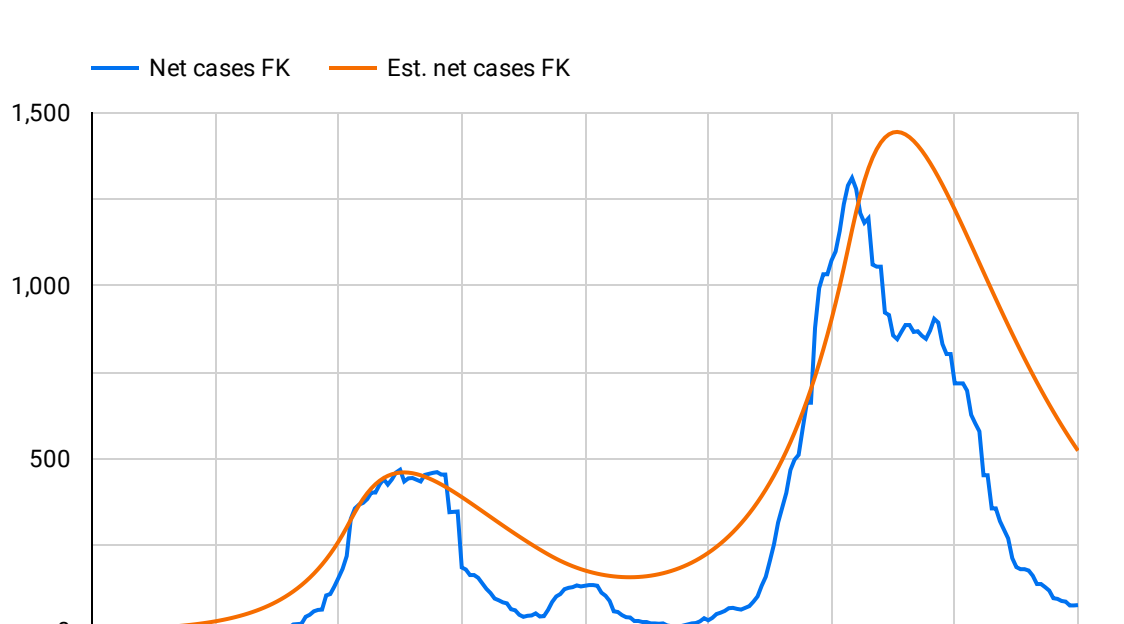
再生産数と移動指数の比較（福岡） / Comparison between RT and mobility index (Fukuoka)



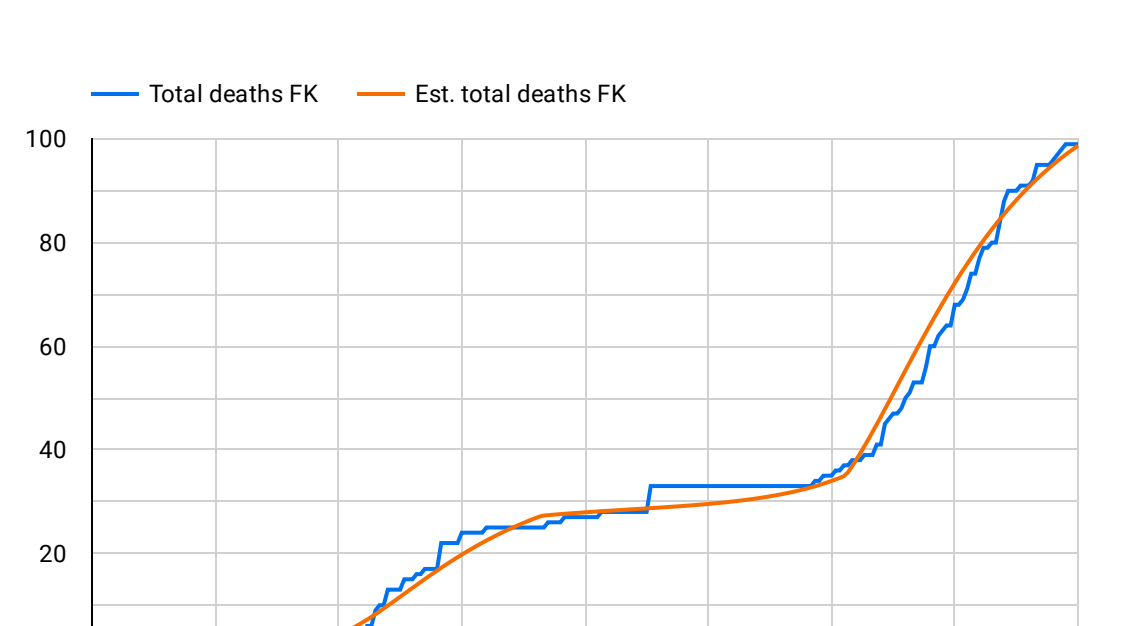
日次死亡者数（福岡） / Daily new deaths (Fukuoka)



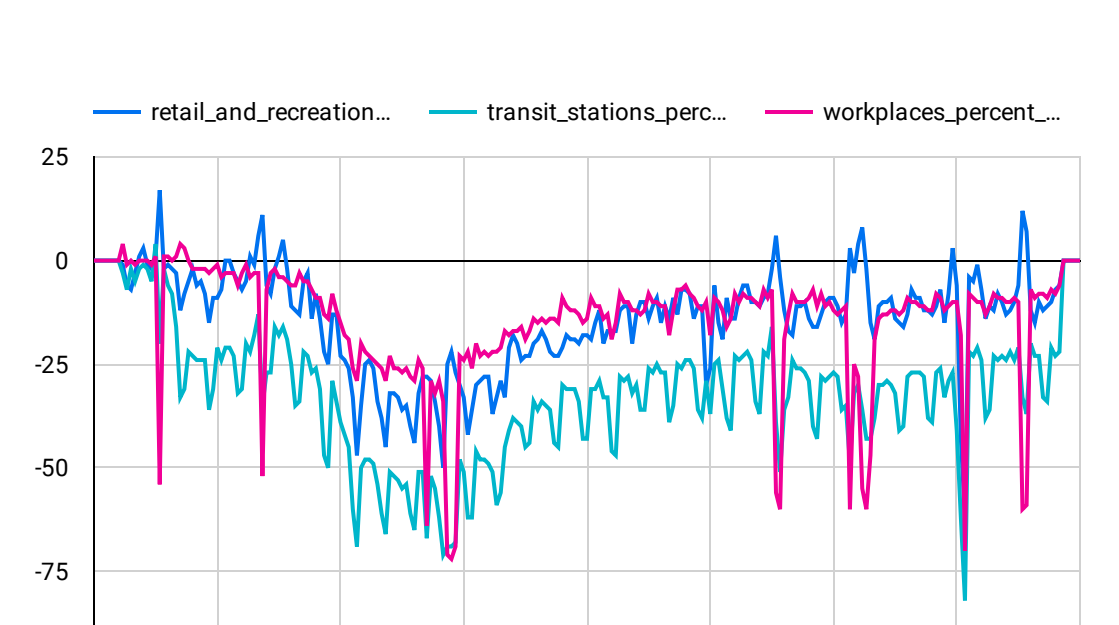
ネット感染者数（福岡） / Net cases (Fukuoka)



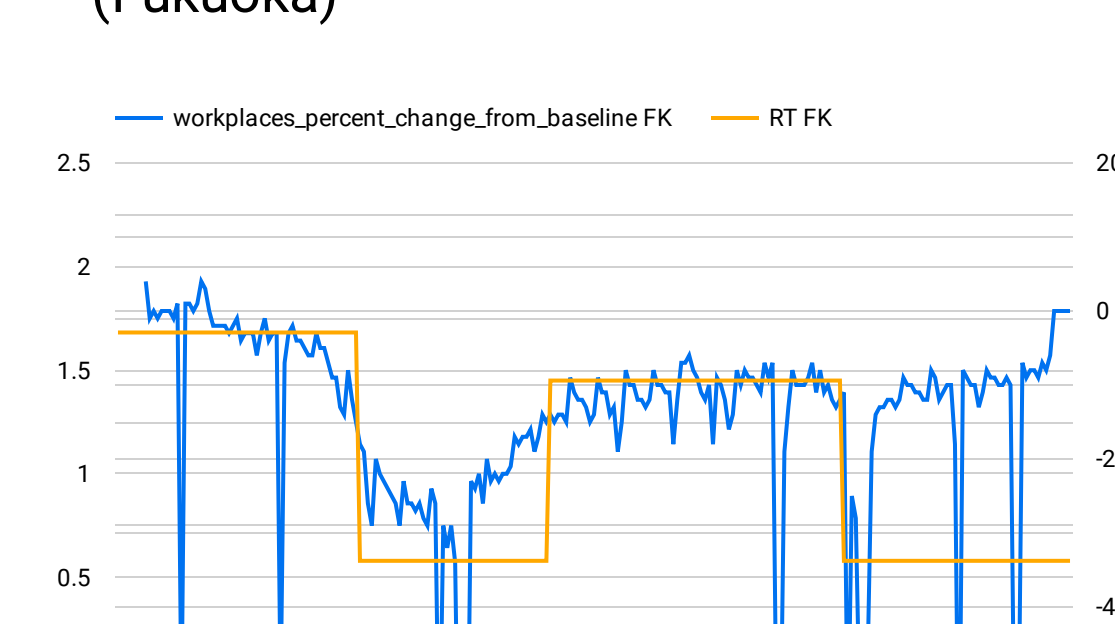
累積死亡者数（福岡） / Total deaths (Fukuoka)



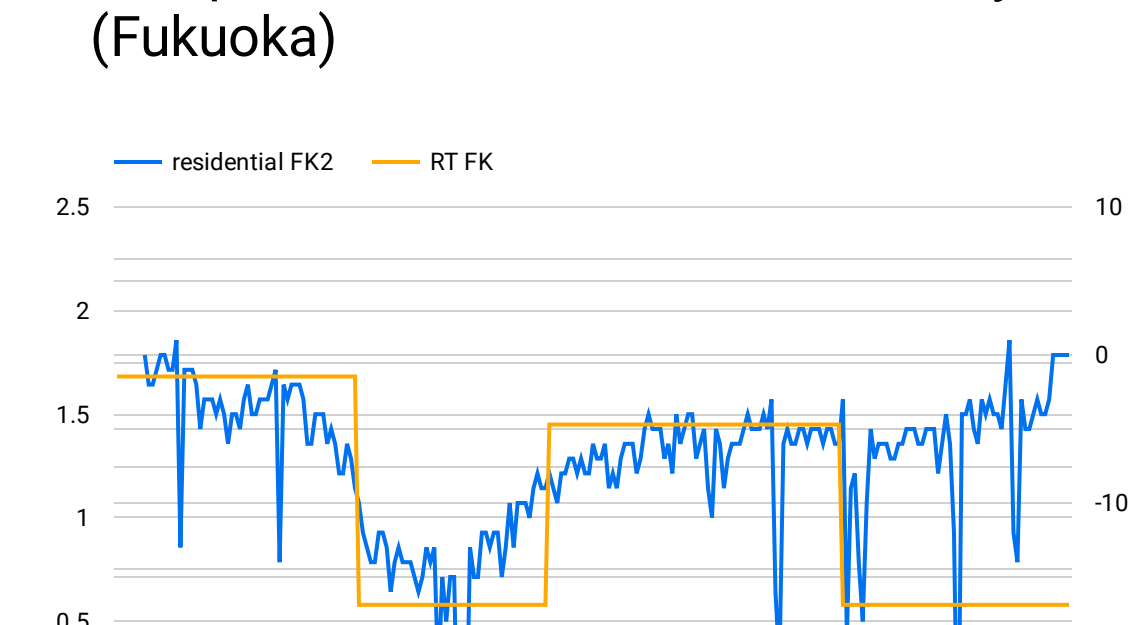
異なる移動指数の比較（福岡） / Compariosn of various mobility indices (Fukuoka)



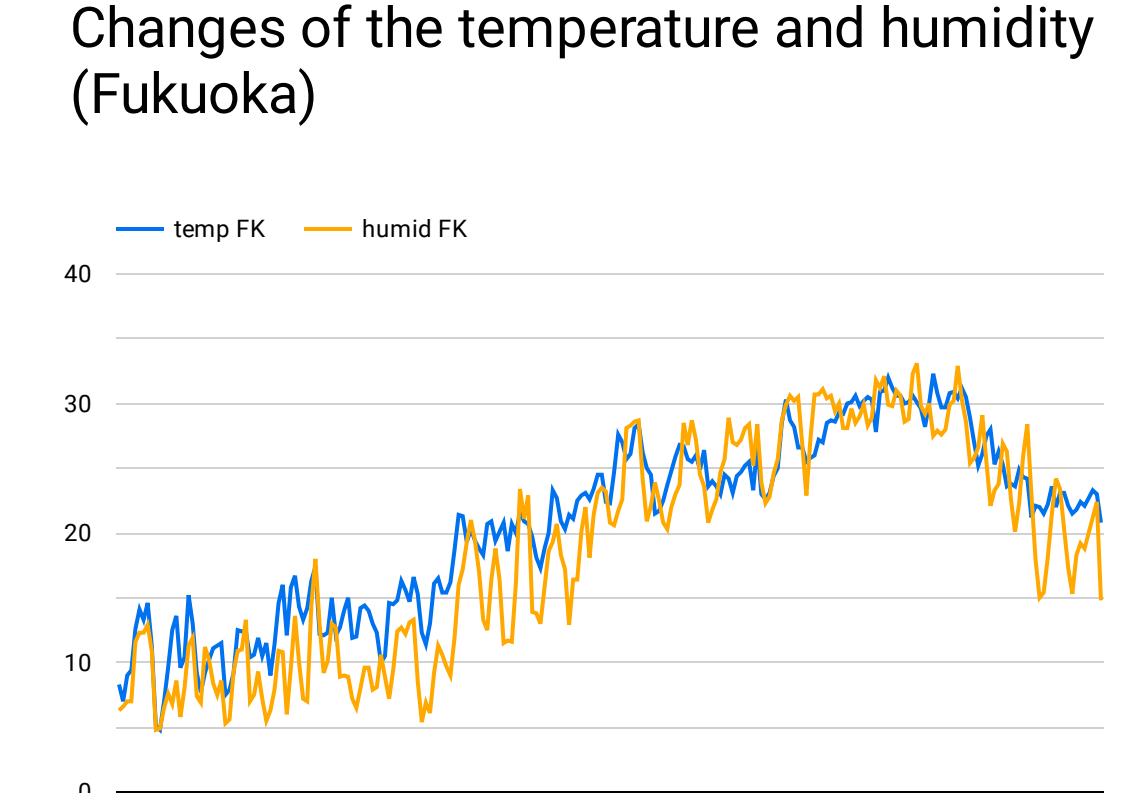
再生産数と移動指数の比較（福岡） / Comparison between RT and mobility index (Fukuoka)



再生産数と移動指数の比較（福岡） / Comparison between R0 and mobility index (Fukuoka)

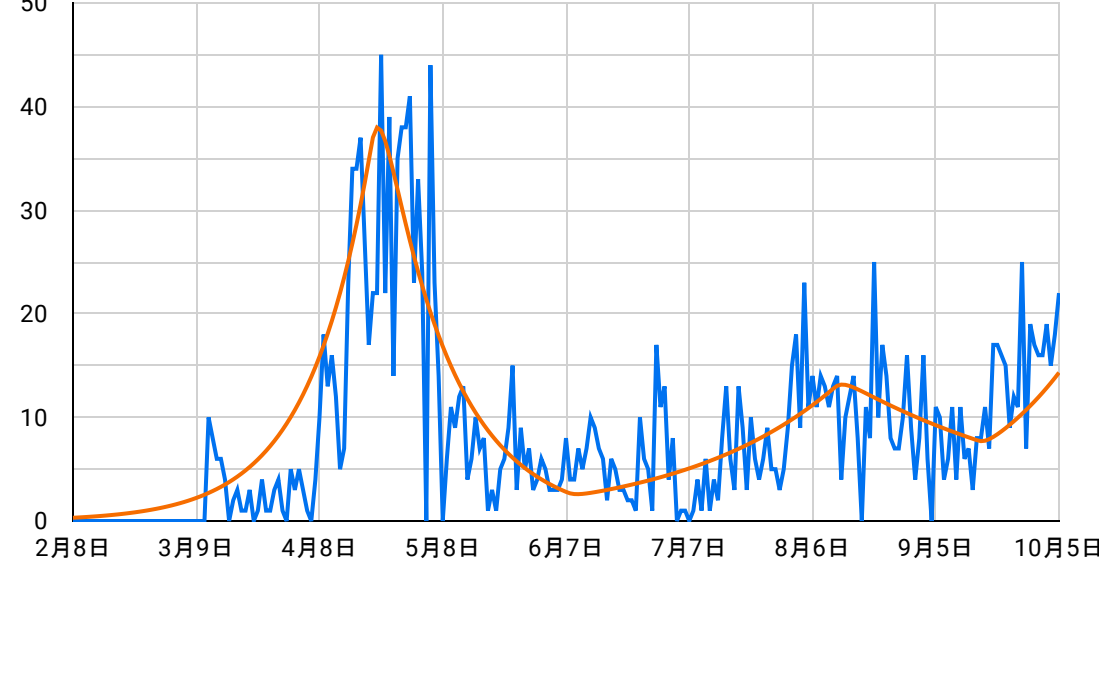


気温と湿度の推移（福岡） / Changes of the temperature and humidity (Fukuoka)

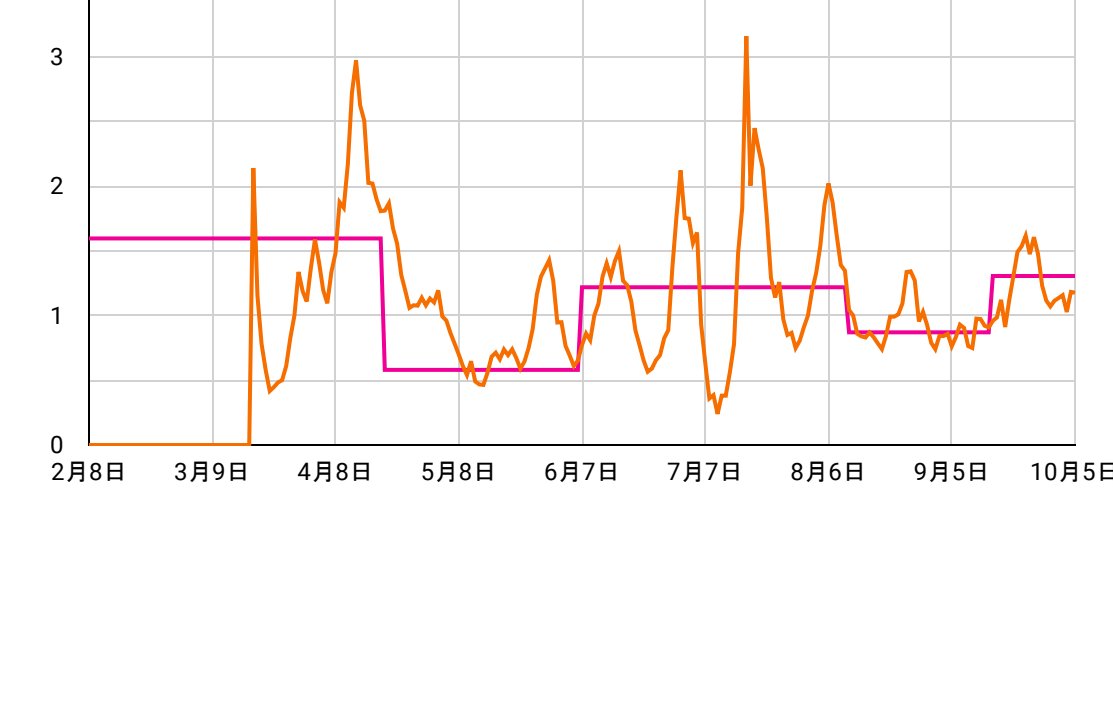


北海道/Hokkaido

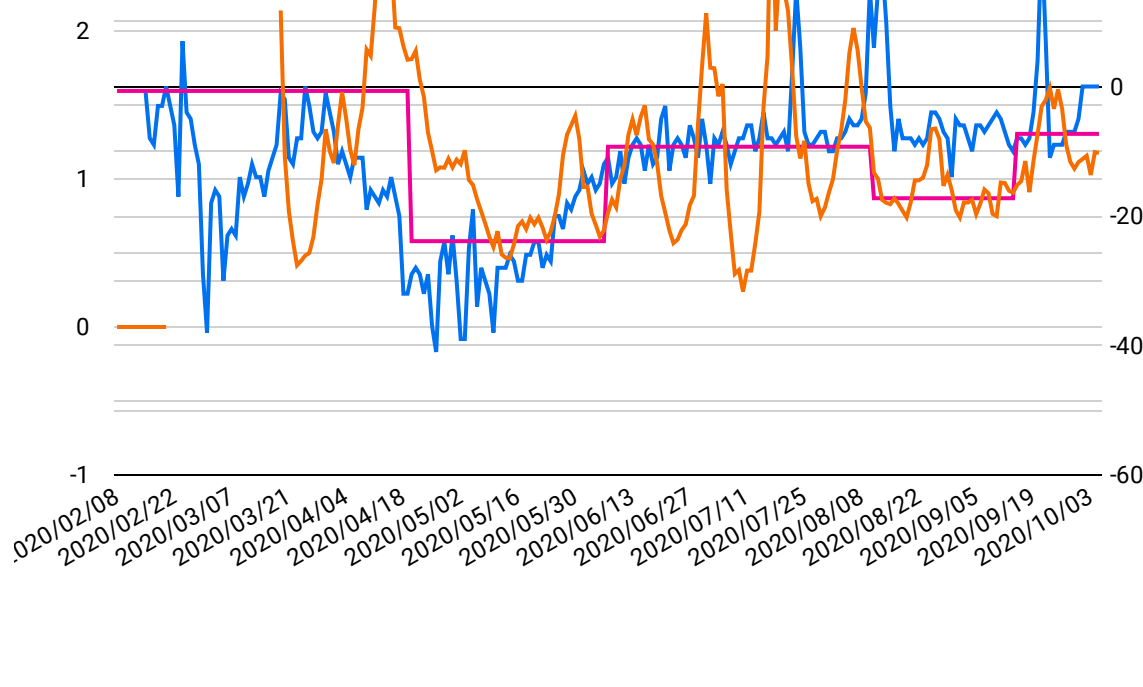
日次新規感染者数（北海道） / Daily new cases (Hokkaido)



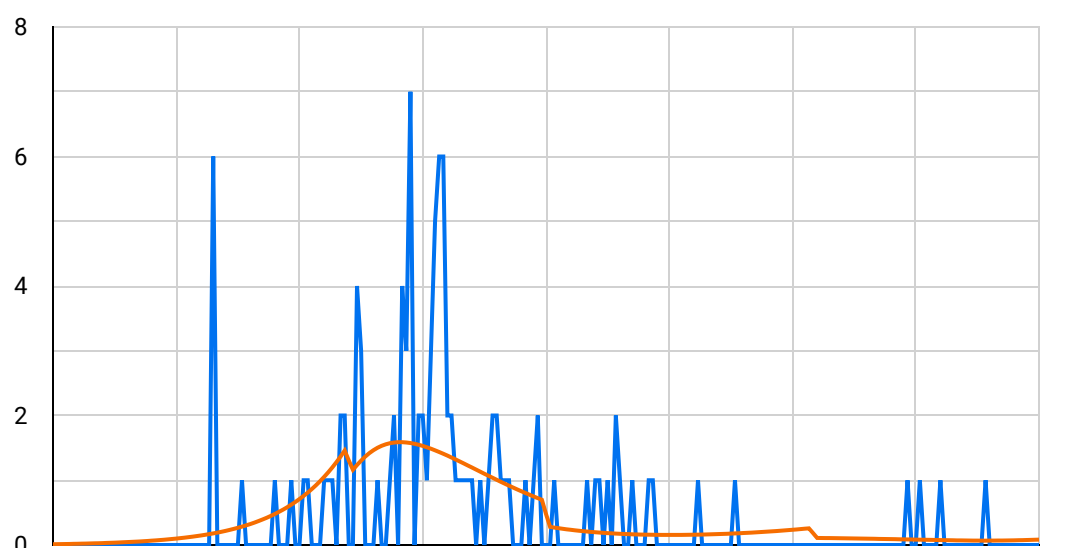
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（北海道） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Hokkaido)



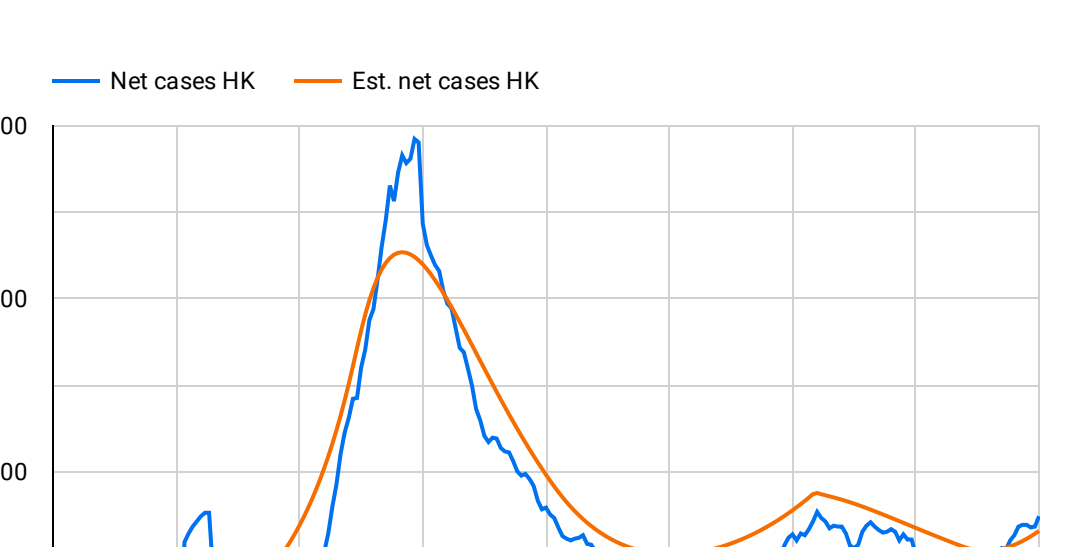
再生産数と移動指数の比較（北海道） / Comparison between RT and mobility index (Hokkaido)



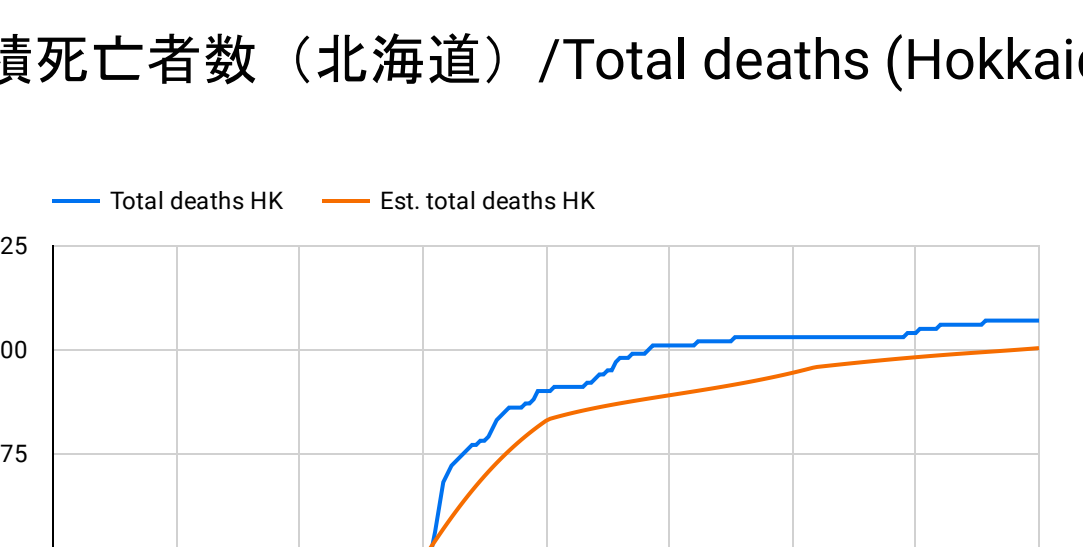
日次死亡者数（北海道） / Daily new deaths (Hokkaido)



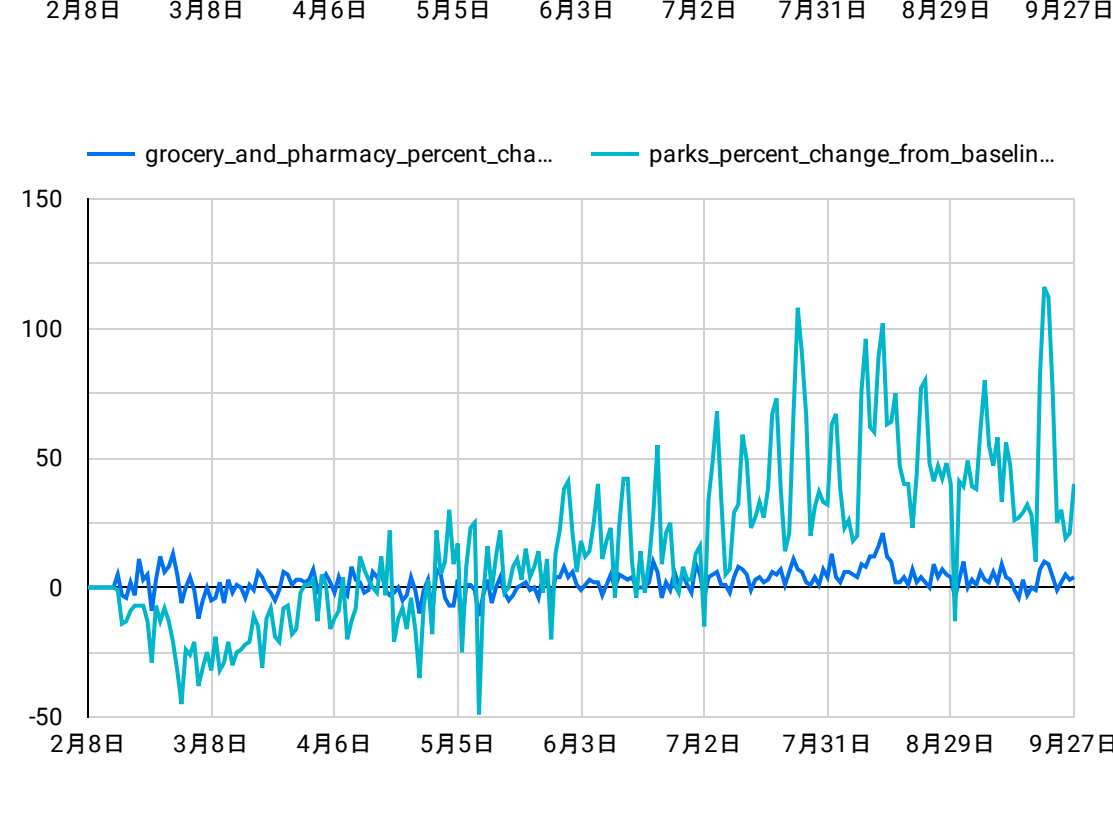
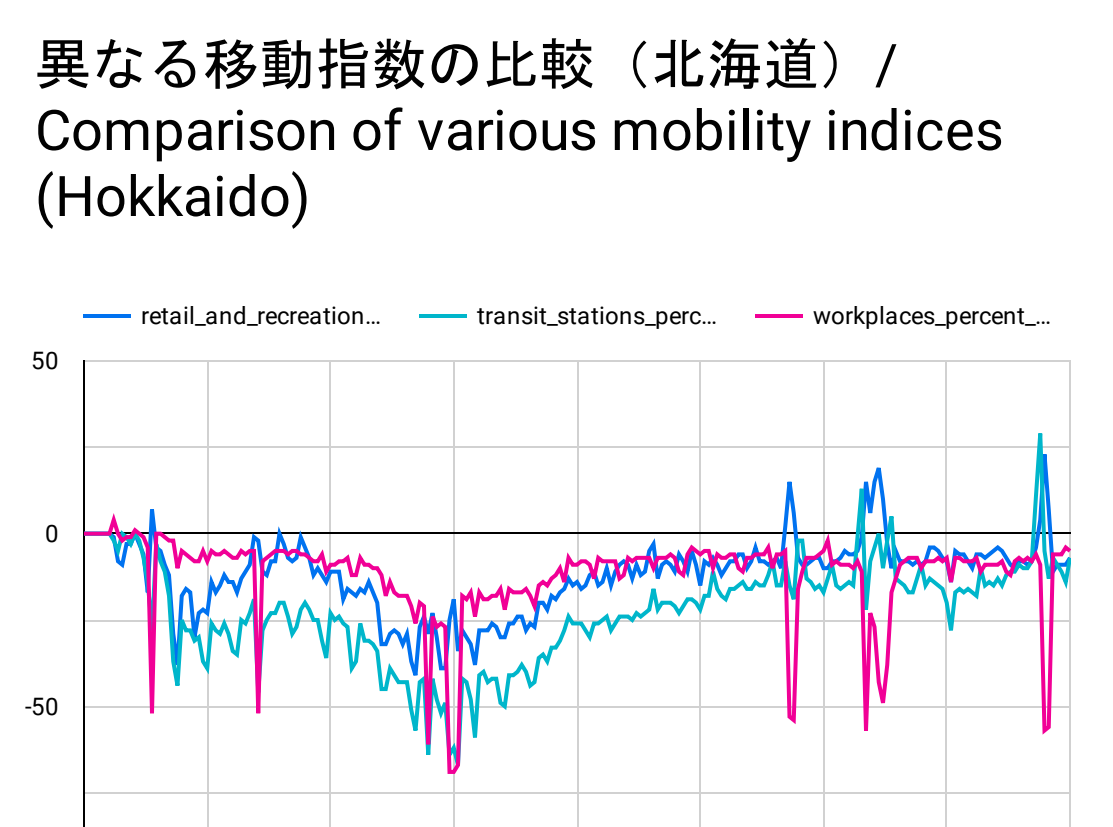
ネット感染者数（北海道） / Net cases (Hokkaido)



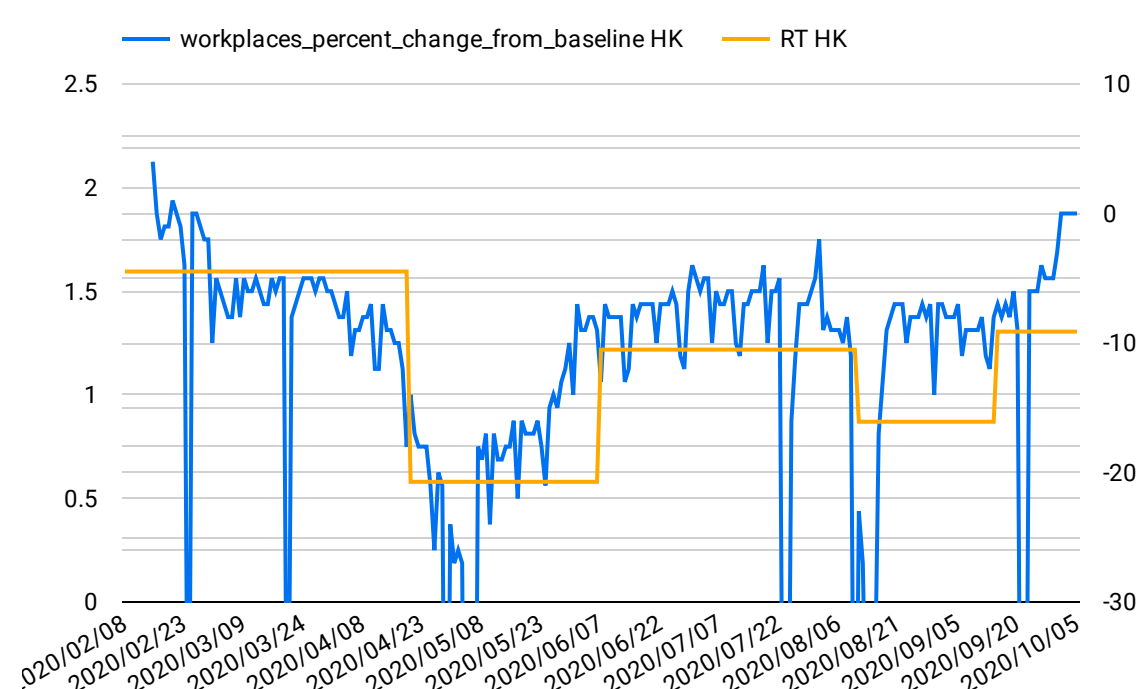
累積死亡者数（北海道） / Total deaths (Hokkaido)



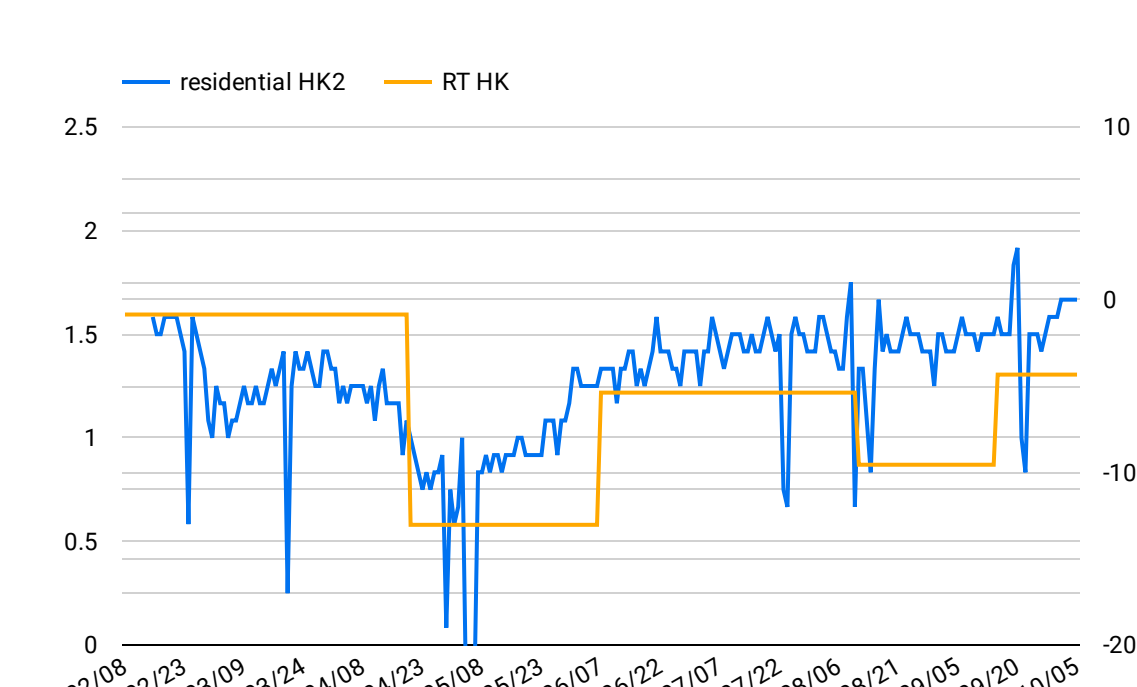
異なる移動指数の比較（北海道） / Comparison of various mobility indices (Hokkaido)



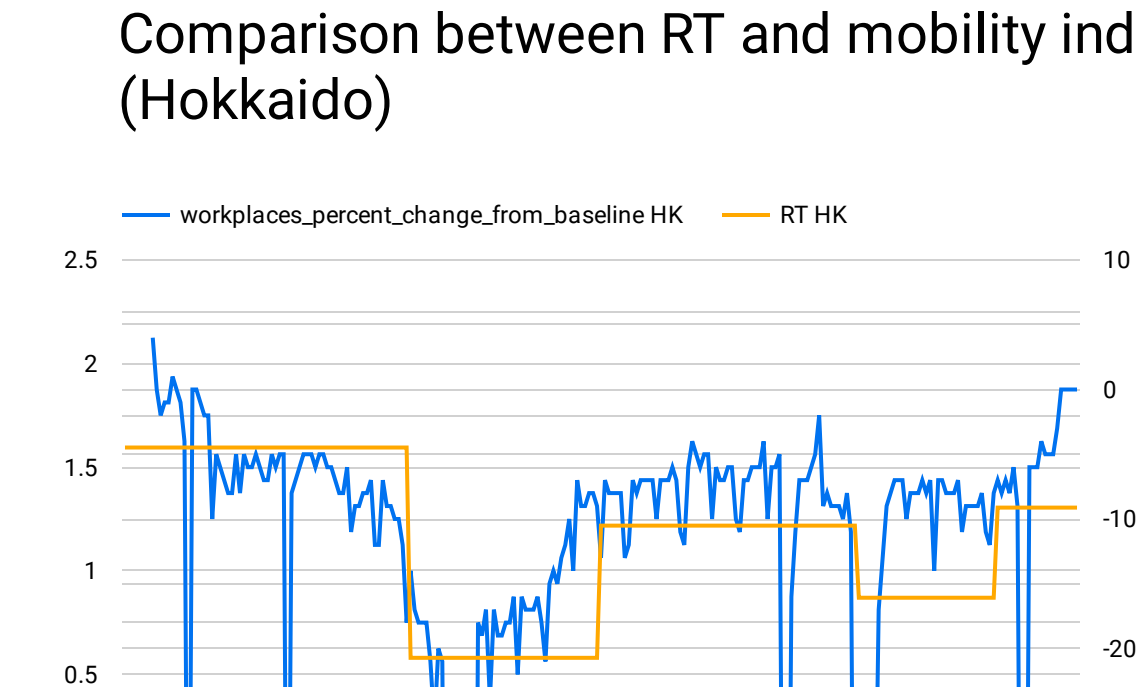
再生産数と移動指数の比較（北海道） / Comparison between RT and mobility index (Hokkaido)



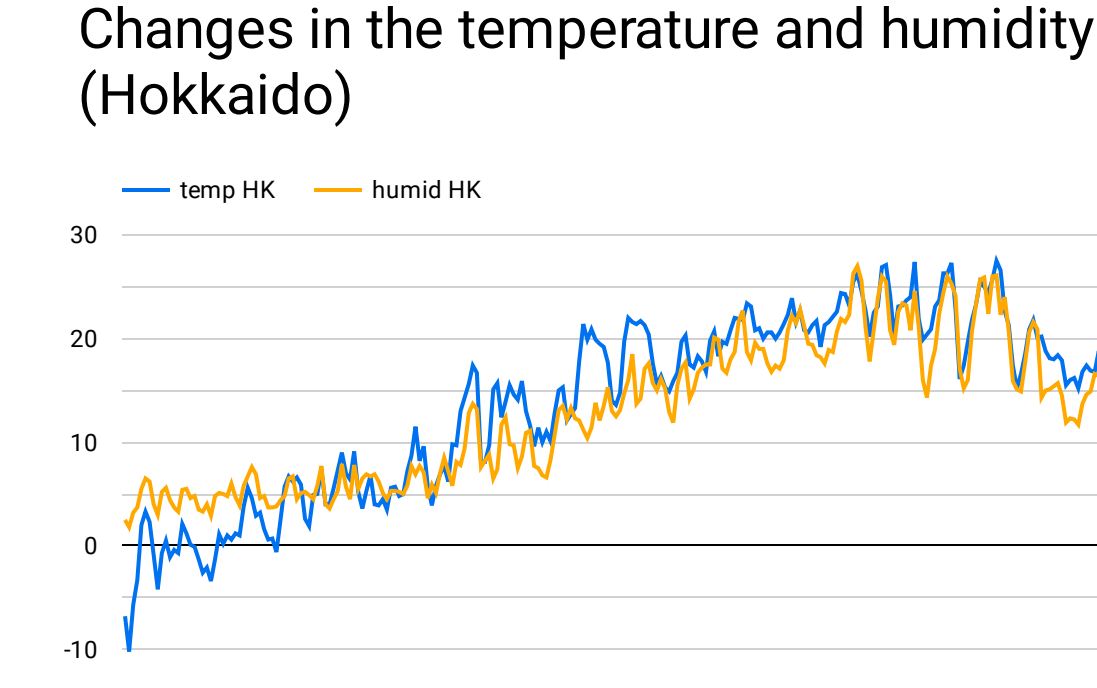
再生産数と移動指数の比較（北海道） / Comparison between RT and mobility index (Hokkaido)



再生産数と移動指数の比較（北海道） / Comparison between RT and mobility index (Hokkaido)



気温と湿度の推移（北海道） / Changes in the temperature and humidity (Hokkaido)



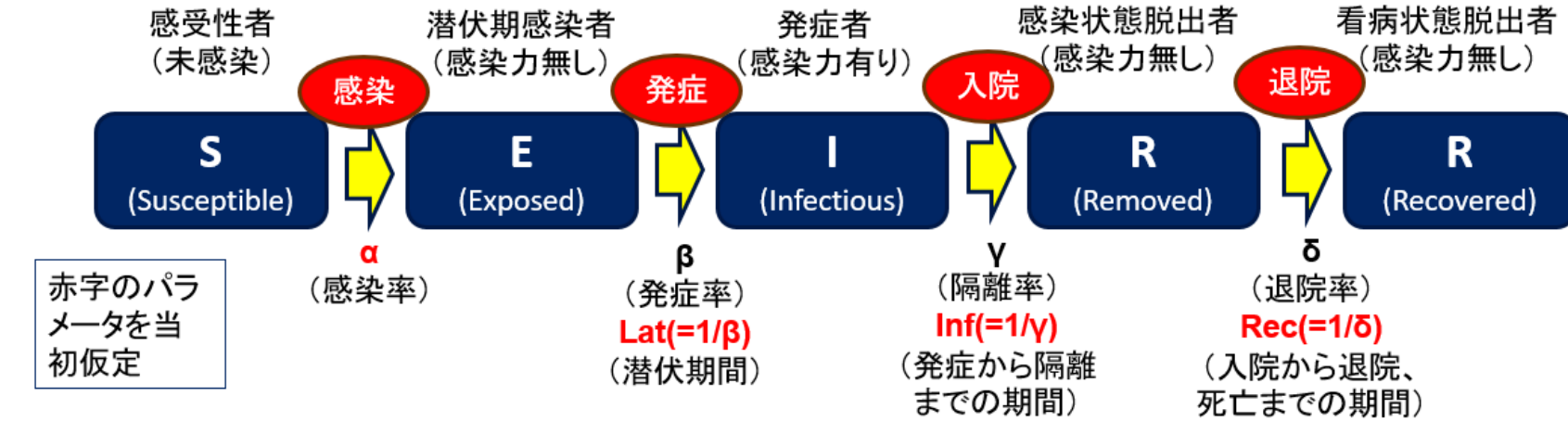
SEIRRモデル概要/SEIRR model overview

* English follows Japanese.

新型コロナ感染モデル (SEIRR) の概要

(モデルの概要)

SEIRモデルとは、感染症の感染者群が一定の時間を置きながら辿る各状態 (susceptible ⇒ exposed ⇒ infectious ⇒ removed) を遷移するパターンを、一定の感染率や遷移確率等を仮定しながら捉えることで、一定時間経過後の各状態の感染者数が何人いるかを予想するモデル。
今回構築したSEIRRモデルは、SEIRモデルにさらに、最後の状態としてrecoveredを加え (これにより状態の遷移はsusceptible ⇒ exposed ⇒ infectious ⇒ removed ⇒ recoveredとなる)、removed (隔離、或いは抗体を持つことで、他者への感染が止まる状態、本モデルでは全ての者が一度入院すると仮定) からrecovered (隔離状態からの回復<退院>、或いは死亡する状態) への遷移状況を特定化することで、感染者数や死者数も併せて予想するもの。



具体的には、以下に示した連立常微分方程式を解くことで、変数 (各S、E、I、R、R2状態にある人口) の推移が得られる。

$$\begin{aligned}dS(t)/dt &= -S(t) \cdot \alpha \cdot I(t) / n \\dE(t)/dt &= S(t) \cdot \alpha \cdot I(t) / n - \beta \cdot E(t) \\dI(t)/dt &= \beta \cdot E(t) - \gamma \cdot I(t) \\dR(t)/dt &= \gamma \cdot I(t) - \delta \cdot R(t) \\dR2(t)/dt &= \delta \cdot R(t)\end{aligned}$$

(変数)

- S: 感染する可能性がある人口
- E: 感染した者のうち未発症者の人口 (感染力無し)
- I: 発症者のうち隔離されていない人口 (感染力有り)
- R: 発症者のうち病院等に隔離された人口 (感染力無し)
- R2: 病院等に隔離された者のうち回復、或いは死亡した人口
- n: 全人口

(参考文献) Iwata K, Miyakoshi C. (2020) A Simulation on Potential Secondary Spread of Novel Coronavirus in an Exported Country Using a Stochastic Epidemic SEIR Model. J Clin Med <https://www.preprints.org/manuscript/202002.0179/v1>

(パラメータの設定方法)

推計に際し設定したパラメータは以下のとおり。基本的には、以下のサイトで示された数値等を参考としてつづ初期値を設定した上で、実際の3つの変数 (累計死者数、1日当り新規感染者数、1日当り死者数) の推移に出来るだけフィットするようパラメータ値を選択。
通常は、以下のような順序でパラメータを推計。

1. 1日当り新規感染者数の推計値が実数に合致するようにR0水準やその変化/変化タイミングを設定
2. その上で、1日当り死者数の推計値が実数に合致するように致死率水準やその変化/変化タイミングを設定
3. 必要に応じて、累計死者数やネット感染者数の推計値が実数にフィットするようにR0水準や致死率を再調整

比較対象の実績値のうち、1日当り新規感染者数、及び1日当り死者数に関しては、異常値 (統計の期中の改訂により発生) を除いた上で、3日間の移動平均とする。

パラメータの初期値設定に際し参考とした情報が収められたサイトは以下のとおり。

<https://gabgoh.github.io/COVID/index.html>
基本的なデータは以下のサイトから入手。

(主要国データ)

<https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>

(都道府県データ)

<https://github.com/kaz-ogiwara/covid19>

(各パラメータ設定の具体的な考え方)

スタート日: 最初の感染者が発生したと想定する日で、デフォルトは1月22日 (WHOからの各国毎の感染者数が入手可能となる日で武漢閉鎖前の武漢からの春節旅行者が各国に拡散した頃の日) ながら、新規感染者数の動きが推計値とフィットしないケースでは、適宜フィットするようならず。既存推計国中、1月22日からずらしたケースは、中国 (42日前倒し、12月11日)、ドイツ (20日後倒し、2月11日)、英国 (25日後倒し、2月16日)。ドイツや英国では既に想定スタート日以前に感染者は発生しているが、市中感染が始めたのがこの頃と想定。

感染率 (α): この値と以下のInfを乗じたものがR0 (1人の感染者が発症期間中に何人に感染させるか) となることから、R0の初期値を2.2 (したがって α は0.76) とした上で調整

潜伏期間 (Lat): 5.2日で固定

発症から隔離までの期間 (Inf): 2.9日で固定

入院から退院、死亡までの期間 (Rec): 初期値を30日とした上で調整

致死率: 初期値を2%とした上で調整

行動規制を導入するまで日数: ロックダウンや非常事態宣言等で α が大きく変化したと考えられる日で、最初の感染者が発生したと想定する日からの経過日で表示

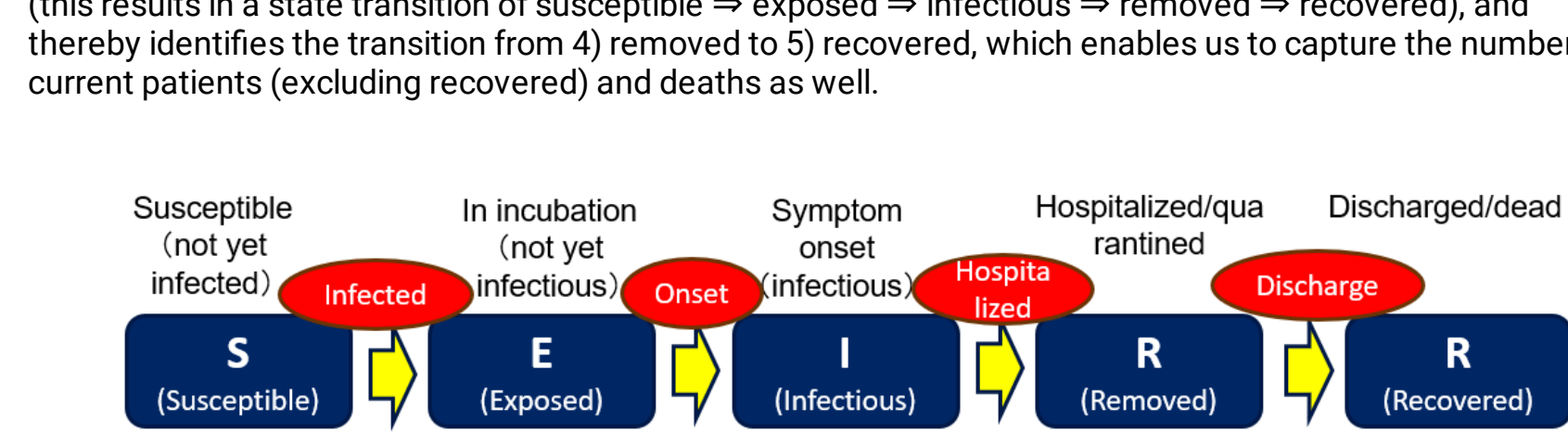
行動規制後の感染率: Infを乗じたR0が0.95となる値 (すなわち $\alpha=0.33$) を初期値とした上で調整

SEIRR model overview

(Model Overview)

The SEIR model is a widely-used model that predicts the number of people who belongs to the four different transitional states vis-à-vis certain epidemic such as Covid-19, that is 1) susceptible, 2) exposed, 3) infectious and 4) removed, assuming a certain infection rate, transition probability, etc.

The SEIRR model that we developed adds one more state, 5) recovered, as the last one to the SEIR model (this results in a state transition of susceptible ⇒ exposed ⇒ infectious ⇒ removed ⇒ recovered), and thereby identifies the transition from 4) removed to 5) recovered, which enables us to capture the number of current patients (excluding recovered) and deaths as well.



The following simultaneous ordinary differential equations are solved to obtain the transition of variables (Population in each S, E, I, R, R2 state).

$$\begin{aligned}dS(t)/dt &= -S(t) \cdot \alpha \cdot I(t) / n \\dE(t)/dt &= S(t) \cdot \alpha \cdot I(t) / n - \beta \cdot E(t) \\dI(t)/dt &= \beta \cdot E(t) - \gamma \cdot I(t) \\dR(t)/dt &= \gamma \cdot I(t) - \delta \cdot R(t) \\dR2(t)/dt &= \delta \cdot R(t)\end{aligned}$$

(Variables)

- S: Population susceptible to infection
- E: Population infected but not yet facing onset (not yet infectious)
- I: Population onset but not yet isolated (infectious)
- R: Population isolated (not infectious)
- R2: Population discharged from hospitals (not infectious)
- n: Total population

Reference: Iwata K, Miyakoshi C. (2020) A Simulation on Potential Secondary Spread of Novel Coronavirus in an Exported Country Using a Stochastic Epidemic SEIR Model. J Clin Med <https://www.preprints.org/manuscript/202002.0179/v1>

(The methodology to set parameters for SEIRR model)

The parameters set for the estimation are as follows. Basically, an initial value is set referring to the values shown in the following site, and then a parameter value is adjusted so that the estimates of three variables (Cumulative number of deaths, new cases per day, and deaths per day) fits well with their actuals as much as possible.

Parameters are usually adjusted in the following order:

1. Set R0 level and its change/change timing so that the estimated number of new cases per day matches its actual.
2. We then set the mortality rate level and its change/change timing so that the estimated number of deaths per day matches its actual.
3. R0 levels and mortality rates are readjusted as needed to fit actual estimates of cumulative deaths and net cases.

The actual number of new cases per day and of deaths per day shall be calculated as a 3-day moving average so as to exclude outliers often owing to the revision of statistics.

The following sites contain information that was used as a reference when setting the initial values of the parameters.

<https://gabgoh.github.io/COVID/index.html>

All the data used for this analysis is available from:

- Major countries' data

<https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>

- Japanese prefectures data

<https://github.com/kaz-ogiwara/covid19>

(The initial values set for parameters)

Start date: The date on which the first patient is assumed to have occurred. The default date is set at January 22 (The date when the number of patients from each country become available from WHO, and the date when the number of new year tourists from Wuhan spread to each country before the closure of Wuhan). If the movement of the number of new cases does not fit the estimated value, the start date should be shifted to the appropriate fit. Of the existing countries, those shifted from January 22 are China (42 days earlier, December 11), Germany (After 20 days, February 11) and the United Kingdom (After 25 days, February 16). In Germany and the United Kingdom, cases had already occurred before the assumed start date, but it was assumed that community acquired infection began around this time.

Infection rate (α): Since R0 (How many people are infected during the period of its onset before isolation) is obtained by multiplying this value by the following (Inf), the initial value of R0 and α are set at 2.2 and 0.76 simultaneously.

Incubation period (Lat): fixed at 5.2 days

Time from onset to isolation (Inf): fixed at 2.9 days

Time from hospitalization to admission to discharge, or to death (Rec): adjusted with an initial value of 30 days

Mortality rate: adjusted with initial value of 2%

Number of days until the government containment measures are introduced: The day on which α is reduced significantly due to lockdown, state of emergency, etc., and is indicated as the elapsed day from the day on which the first patient is assumed to have occurred (start date).

Post-intervention infection rate: adjusted with an initial value of 0.33, or 0.95 of R0 ($\alpha \times Inf$ -fixed at 2.9 => R0)

連絡先/Contact



大山 剛/ Tsuyoshi Oyama
プロモントリー・フィナンシャル・ジャパン（日本アイ・
ビー・エム プロモントリー事業部）
CEO/マネージング・ディレクター

Tsuyoshi Oyama
CEO/Managing Director
Promontory Financial Japan (Promontory department of IBM
Japan)

Email: toyama@promontory.com