

コロナ感染レポート/主要都道府県（2020年11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 November, 2020
SEIRR model analysis

2020年11月8日 / November 8, 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都道府県の新型コロナ感染状況に関し、前回の10月初時点の分析結果は、北海道や東京で再生産数が1を超過しており、その後の感染者増が予想されるものであった。今回（11月初時点）の分析結果は、概ね前回の分析結果を支持するものであり、北海道や東京では予想通り感染者の増加が続いている。

但し仔細にみると、前回の分析結果と異なる結果も出ている。まず北海道の再生産数は、一カ月前の予測（約1.3）を上回る約1.4で推移した結果、感染者数が予想以上に急拡大することとなった。また前回再生産数上昇の予兆がみられなかった大阪で足許急上昇しており、足許の水準は北海道を上回る約1.5程度となっている。その一方で東京の再生産数は引き続き1を上回っているものの前回予測を僅かに下回る1.02程度で推移しており、新規感染者数は緩やかな増加に止まっている。また福岡は前回推計結果と同じく1を下回る再生産数が続いている。

なおこの間致死率については、感染者が急増している北海道や大阪を含めて変化はみられなかった。先週公表した主要国の感染状況に係る分析結果同様に、これは足許感染者数が多い国、地域で急増する中でも、新型コロナの強毒化（或いは弱毒化）の動きはみられないことを示している。

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）と比較すると、足許再生産数が大幅に上昇した北海道や大阪では、8月～9月にかけてみられた両指数間の乖離がほぼ解消されたことが確認できる。一方東京は乖離解消は半分程度に止まるほか、福岡ではまだ殆ど乖離が解消していない。また乖離がほぼ解消した北海道では、mobility indexの緩やかな上昇につれて、再生産数も切り上げているようにもみえる。因みにその他地域のmobility indexは、11月に入ってからまだ水準が大きく切り上げる傾向はみられていない（今後、go to travel や go to eatの影響でmobility indexが大きく上昇するようになれば、これが再生産数の一段の上昇を促す可能性には注意が必要）。

(Analysis output)

According to the results of the previous analysis at the beginning of October, the number of reproduction exceeded 1 in Hokkaido and Tokyo, and thus the number of cases was expected to increase thereafter. The results of the latest analysis (at the beginning of November) generally support the results of the previous analysis, leading to the continued increase in new cases in Hokkaido and Tokyo as expected.

However, there are some findings, which are different from the previous ones. First of all, the estimated number of reproduction in Hokkaido (around 1.4) exceeded the level which we obtained a month ago (around 1.3) and as this result, the number of new cases there expanded more rapidly than expected. In Osaka, where there was no sign of an increase in the number of reproduction last time, we found that this number has rapidly increased to the level of around 1.5, which is even higher than the one of Hokkaido. On the other hand, although the number of reproduction in Tokyo has continued to exceed 1, it has remained at around 1.02, which is slightly lower than the previous forecast, and this resulted in very moderate increase in new cases there. Lastly, as in the previous estimate, the number of reproducers in Fukuoka has been kept below 1.

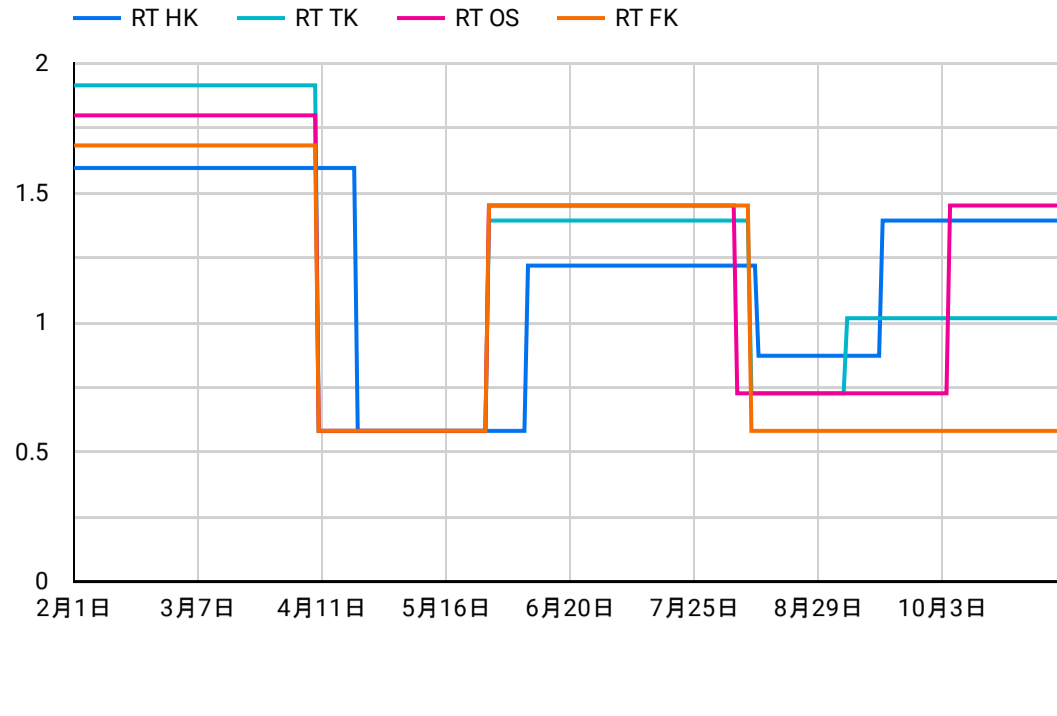
It is noteworthy that there was no change in the mortality rate in Hokkaido and Osaka, where the number of new cases has been increasing rapidly. Similar to the analysis of Covid-19 spread in major countries released last week, this indicates that there is no sign of Covid-19 becoming more virulent (or attenuated), despite the rapid increase in the number of new cases in many countries and regions.

Comparing the number of reproduction estimated by the model with the google community mobility index, we have confirmed that in Hokkaido and Osaka, where the number of reproduction recently increased significantly, the gap between the two indices observed between August and September was almost eliminated. In Tokyo, on the other hand, only about half of the gap has been erased, and in Fukuoka, the gap has yet to be erased. In Hokkaido, where the divergence has almost disappeared, the number of reproduction seems to be rising as the mobility index rises moderately. The level of mobility index in other regions has not yet been showing a tendency to rise significantly in November despite the government's campaign to stimulate travel and dining out.

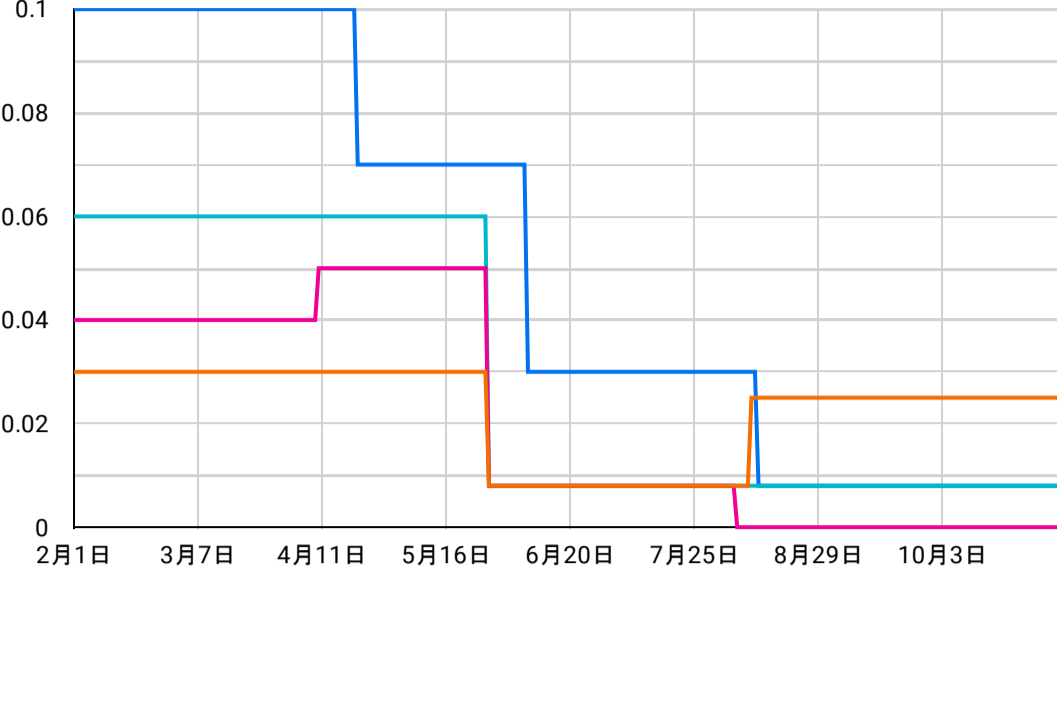
4都道府県比較/Comparison of 4 prefectures

2020/02/01 - 2020/11/05

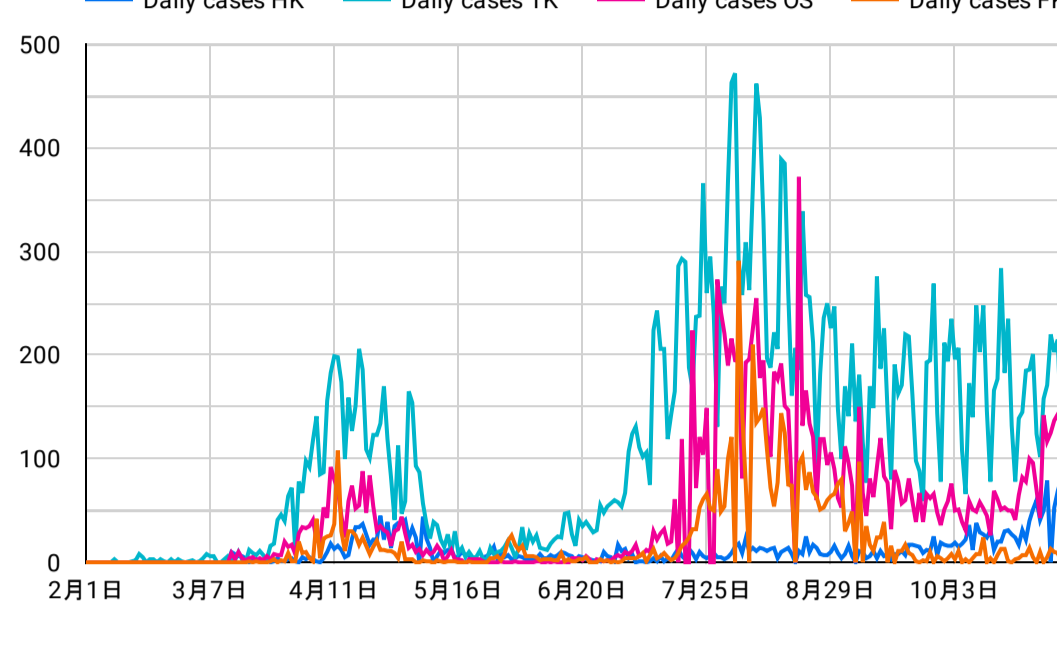
モデル推計再生産数/Model estimate RT



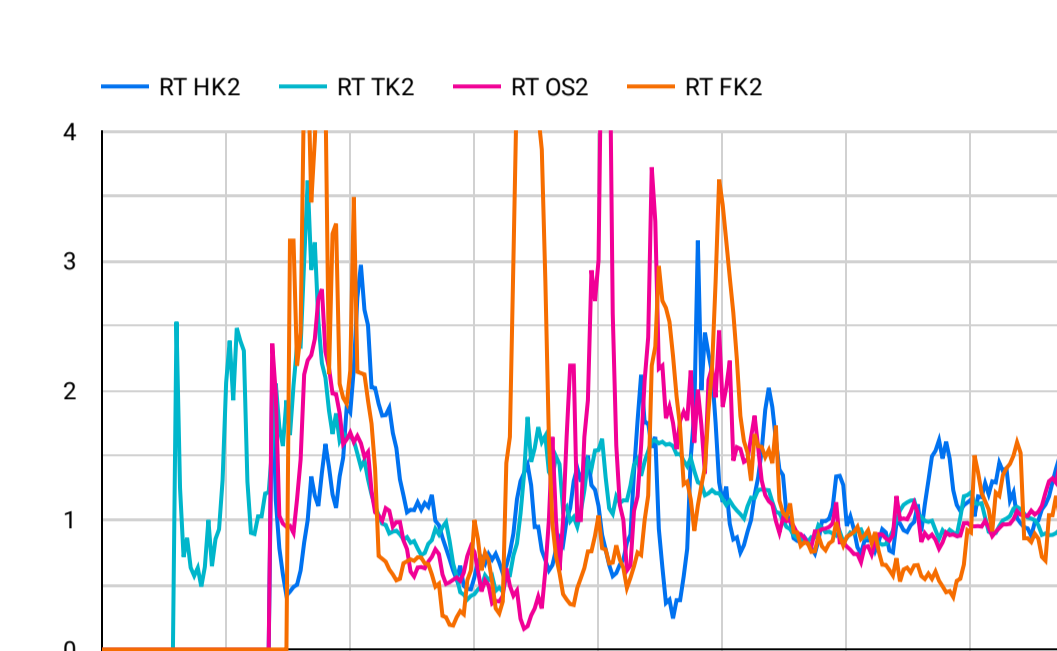
モデル推計致死率/Model estimate mortality rate



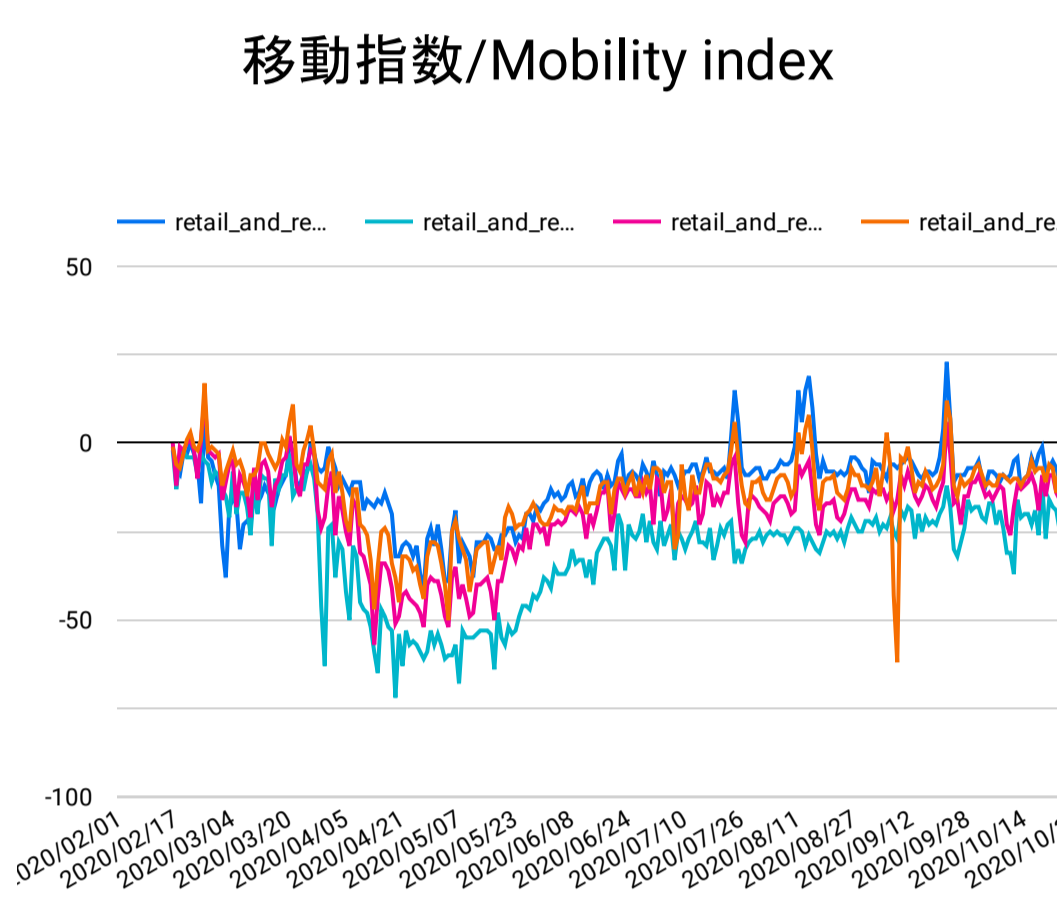
日次新規感染者数/Daily new cases



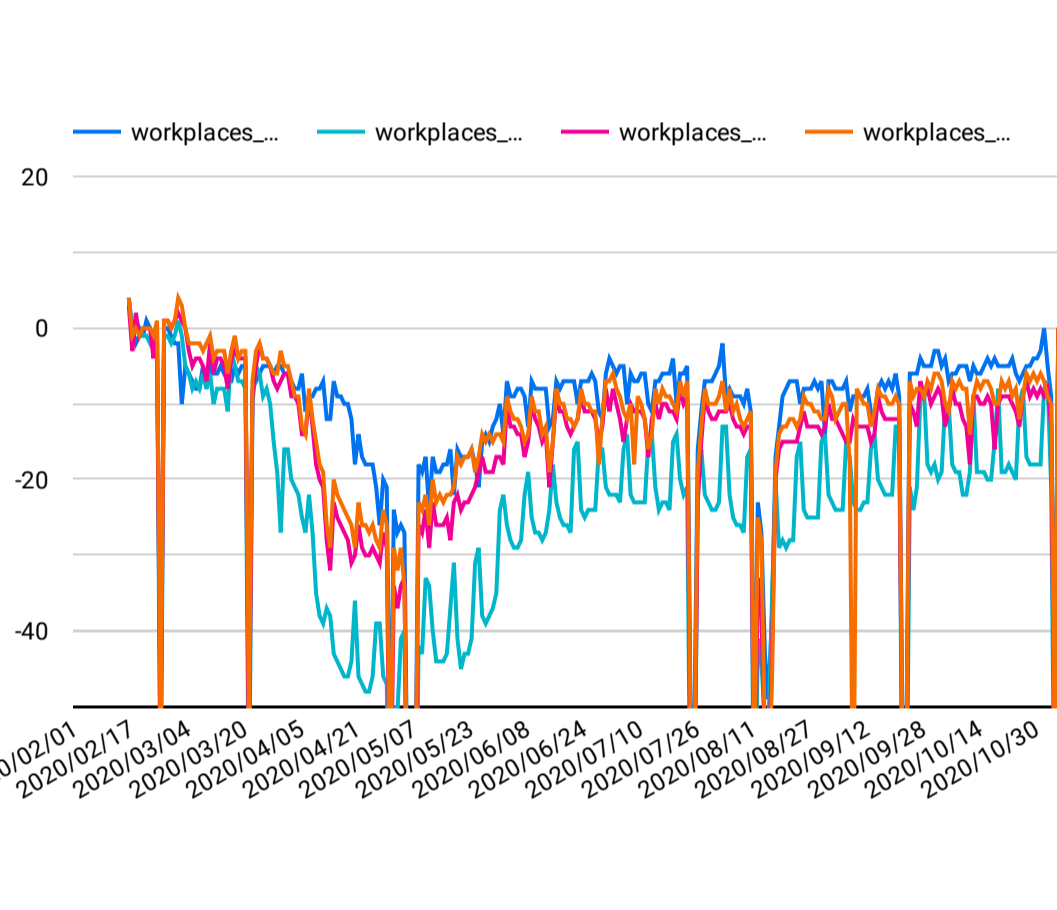
日次再生産数/Daily RT



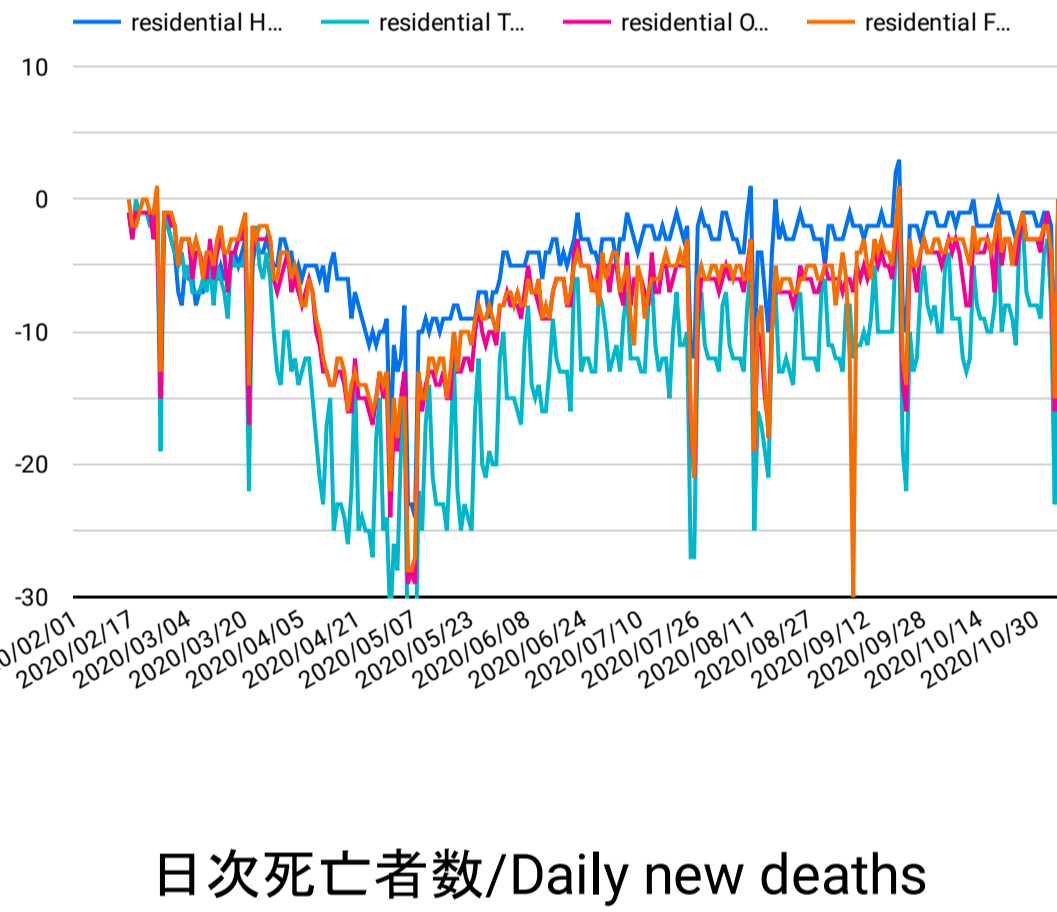
移動指数/Mobility index



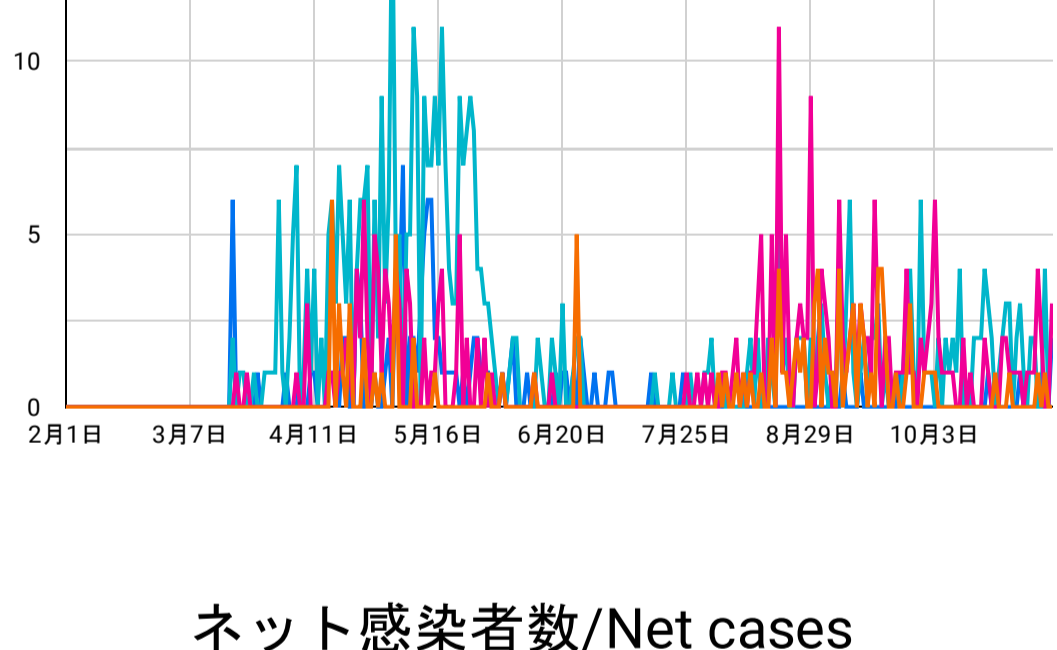
移動指数/Mobility index



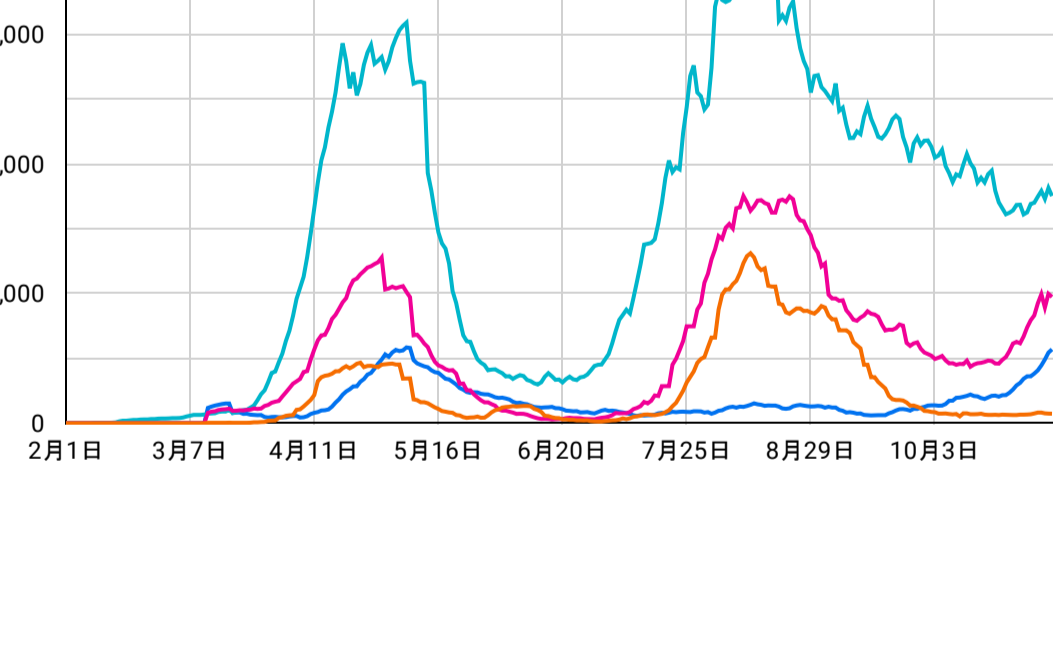
移動指数/Mobility index



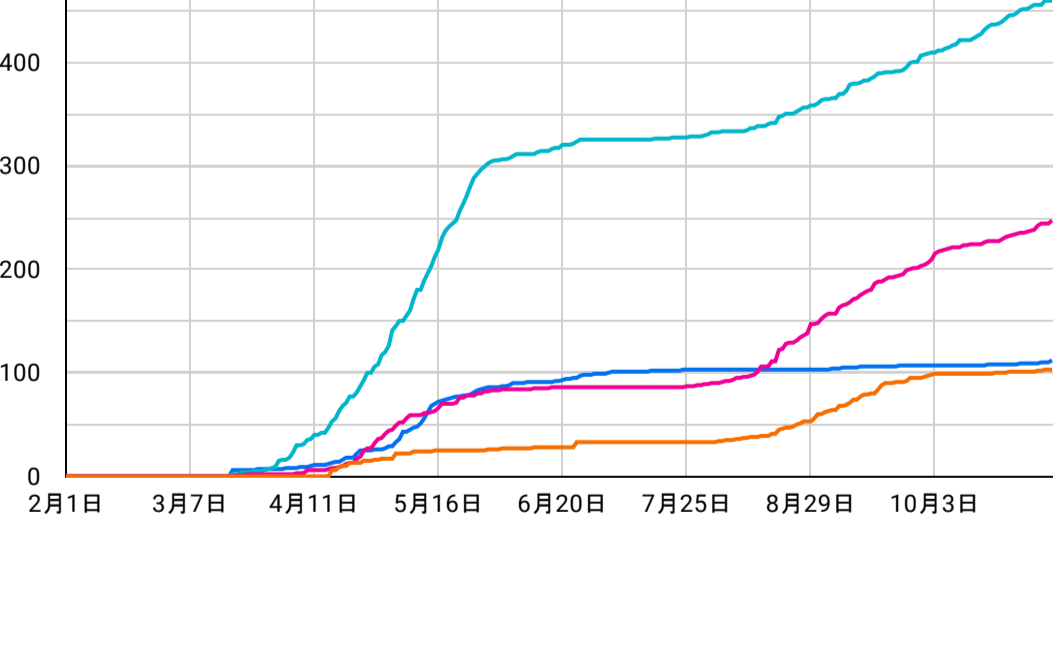
日次死者数/Daily new deaths



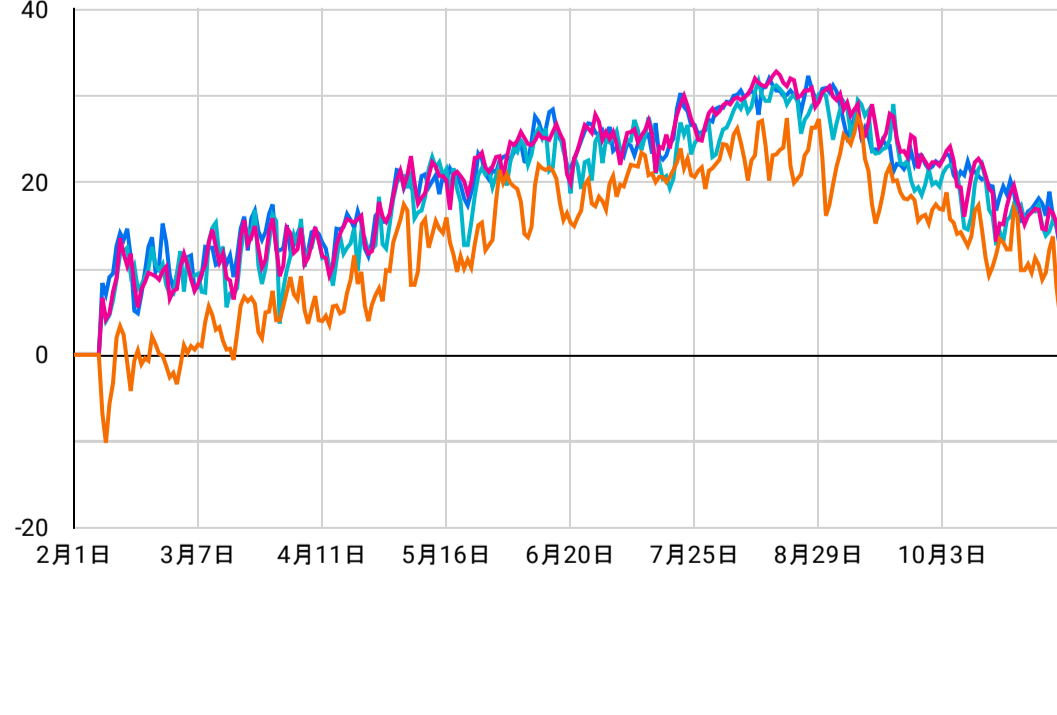
ネット感染者数/Net cases



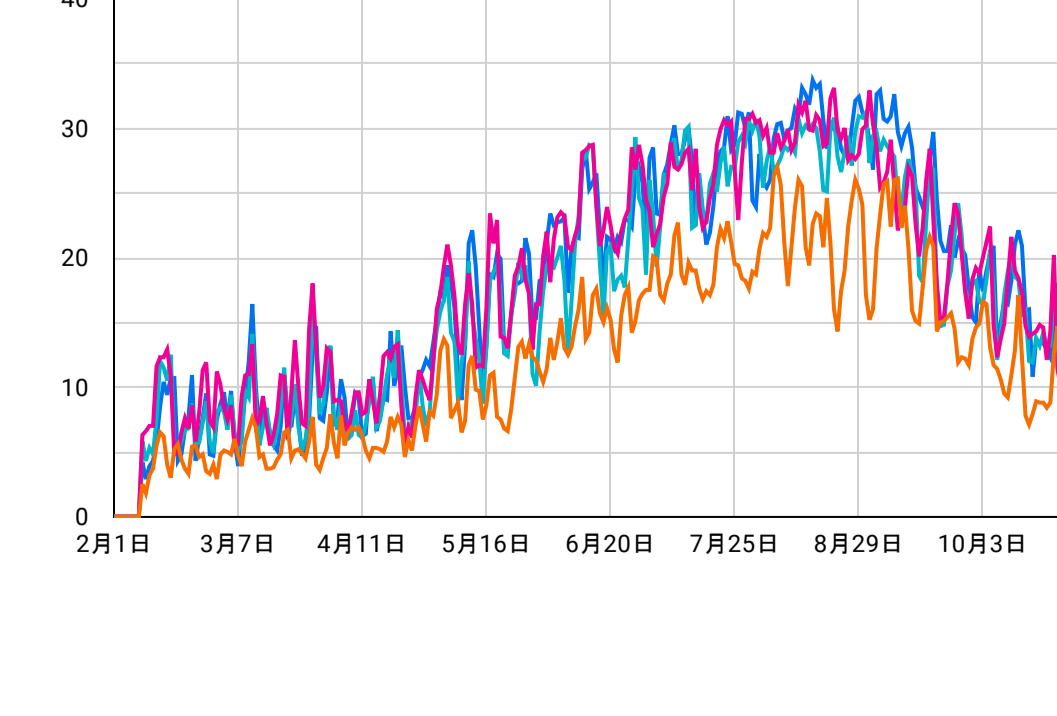
累積死者数/Total deaths



日次平均気温/Daily average temperature



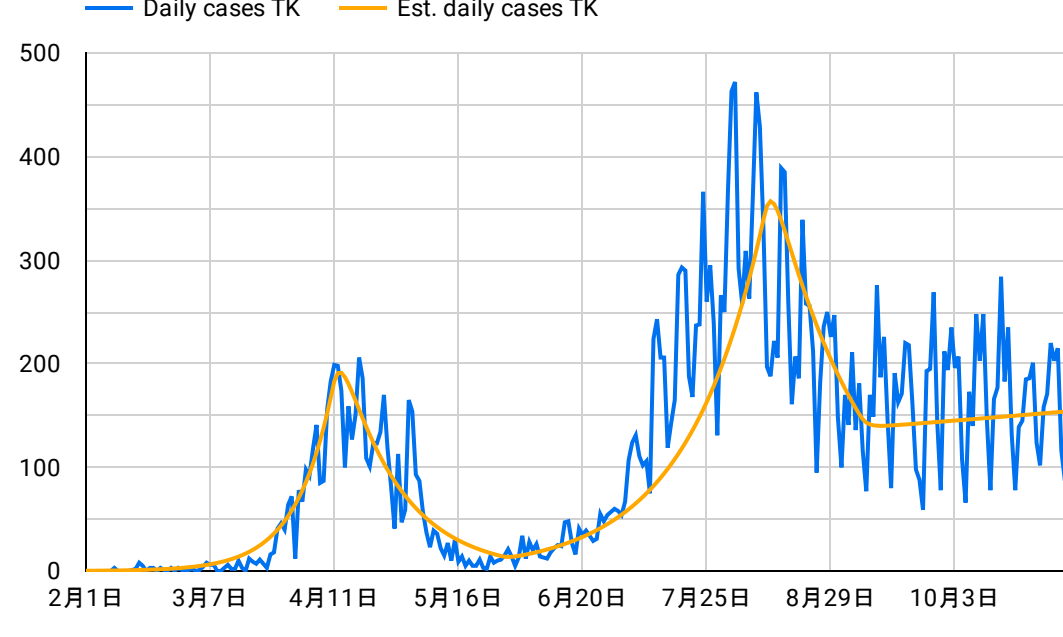
日次平均湿度/Daily average humidity



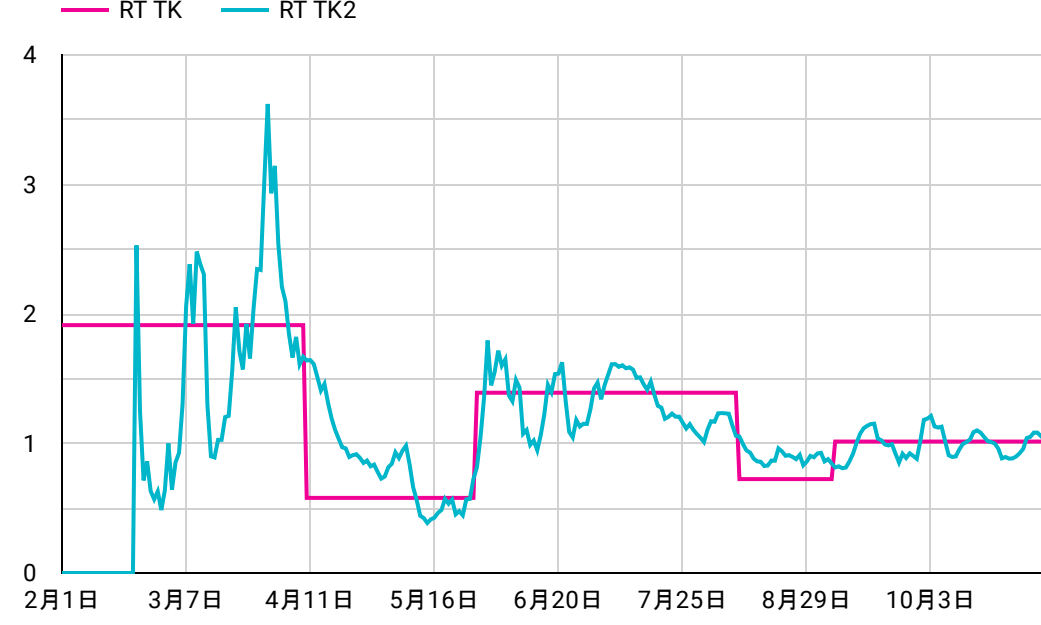
東京/Tokyo

2020/02/01 - 2020/11/05

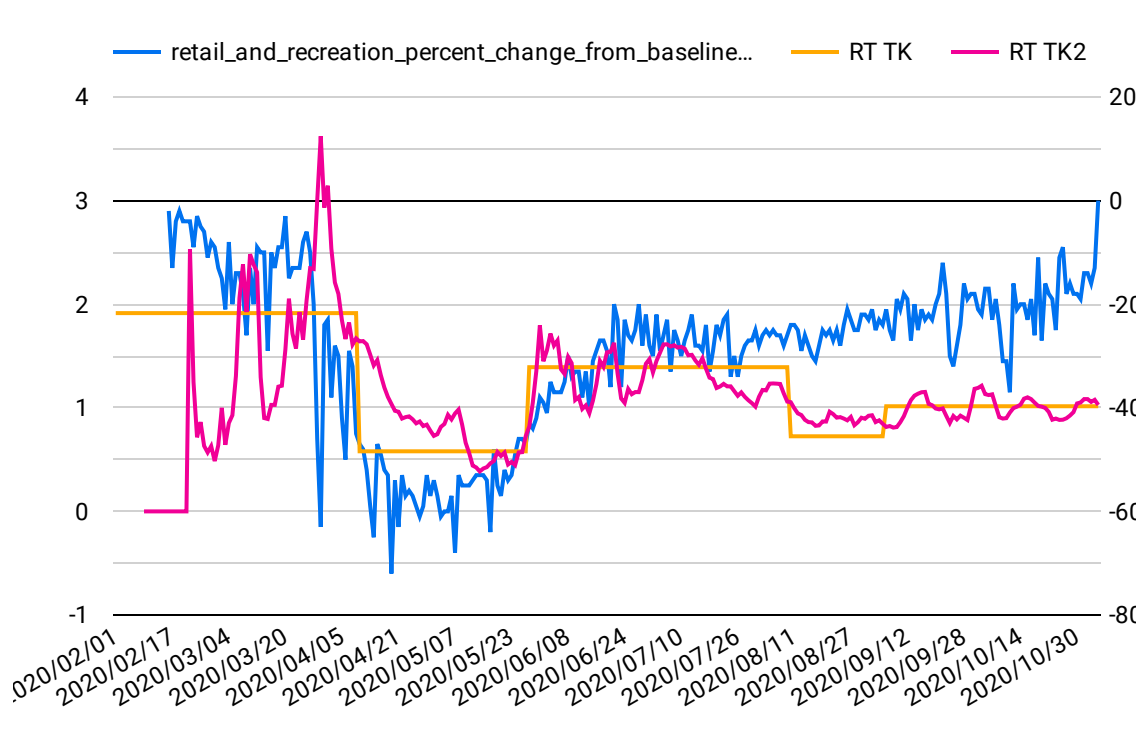
日次新規感染者数（東京）/Daily new cases (Tokyo)



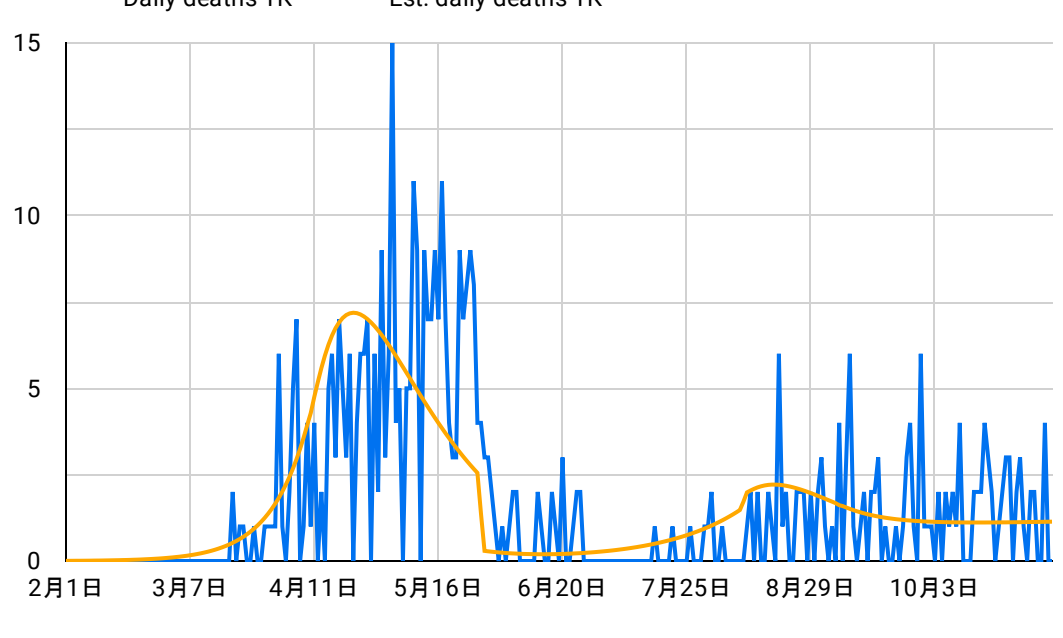
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（東京）/ Comparison between daily RT and model estimate RT (Tokyo)



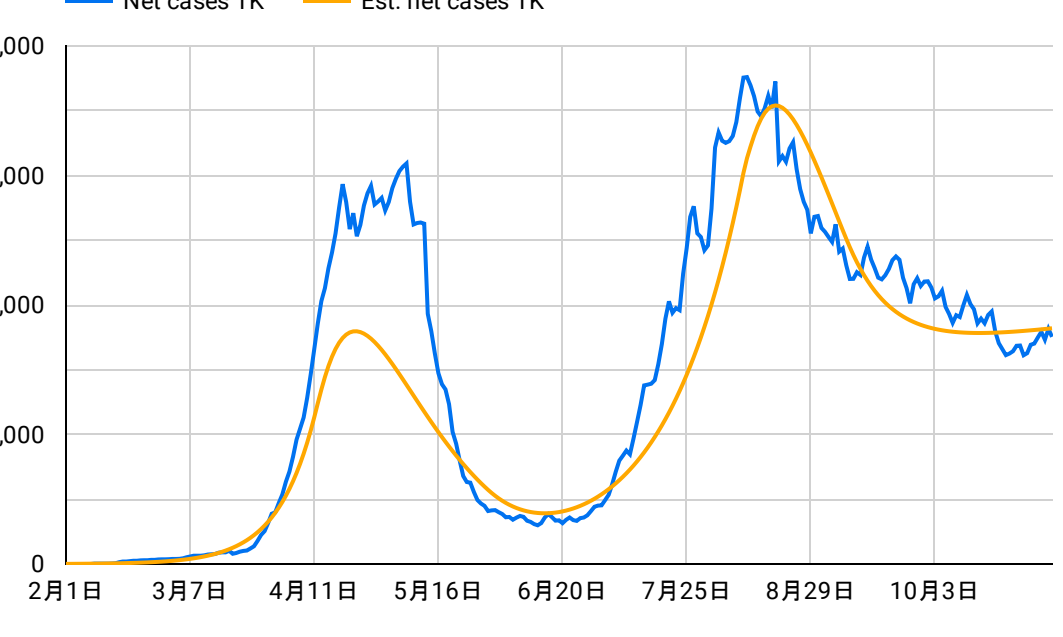
再生産数と移動指数の比較（東京）/ Comparison between RT and mobility index (Tokyo)



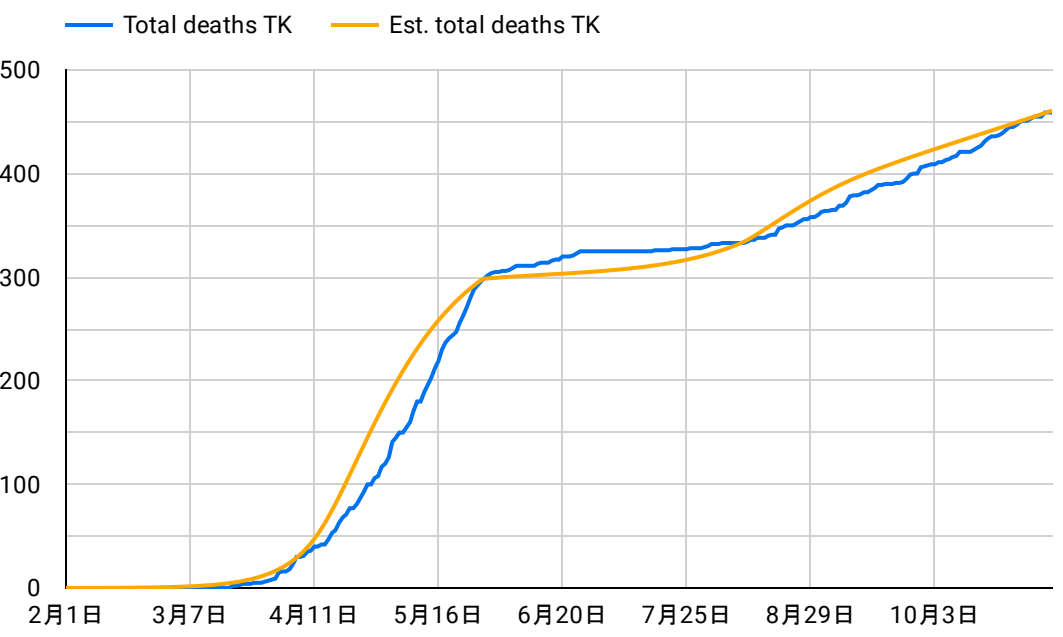
日次死者数（東京）/Daily new deaths (Tokyo)



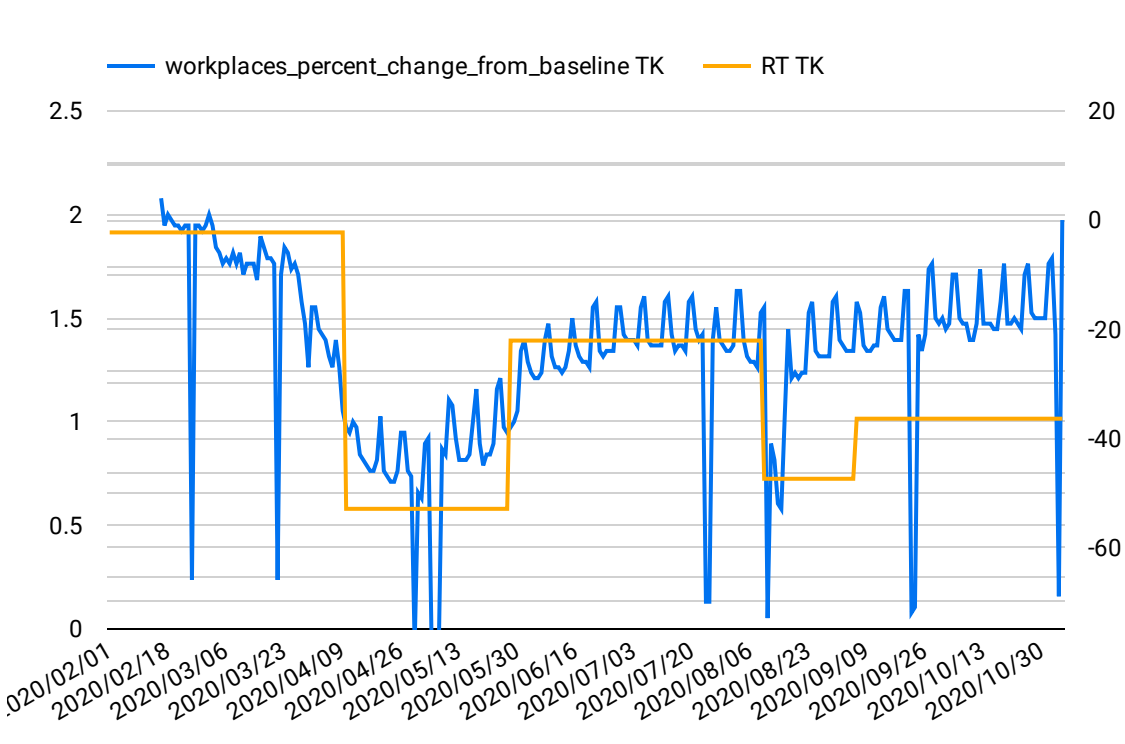
ネット感染者数（東京）/Net cases (Tokyo)



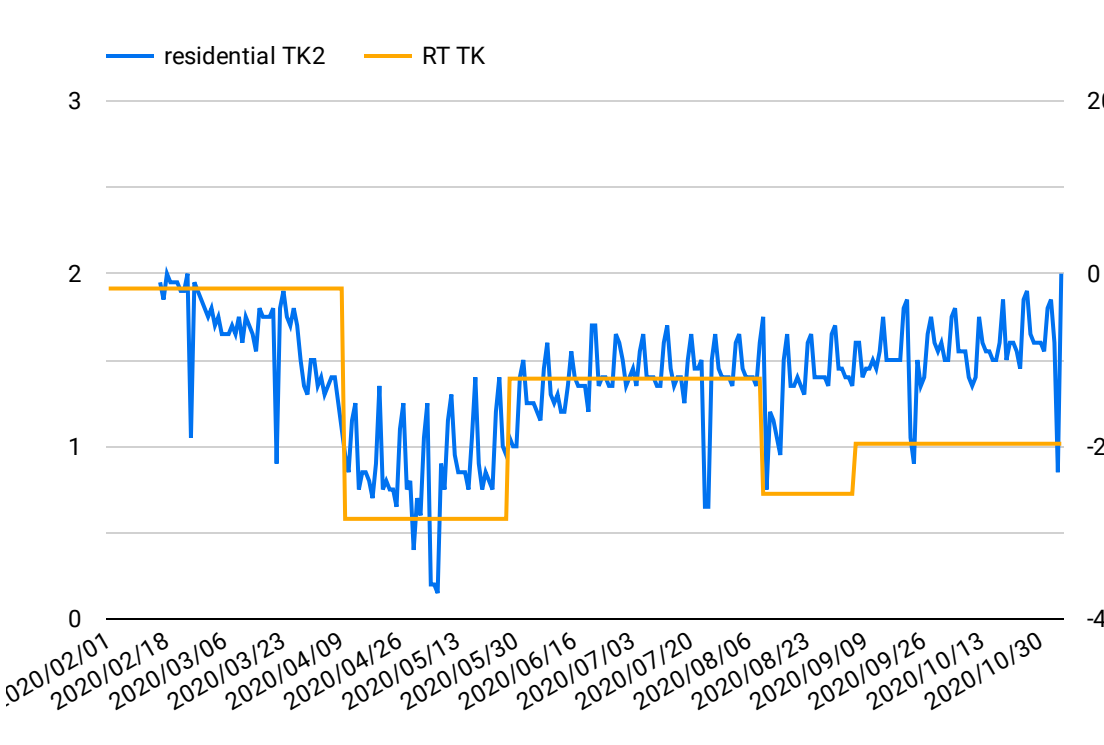
累積死者数（東京）/Total deaths (Tokyo)



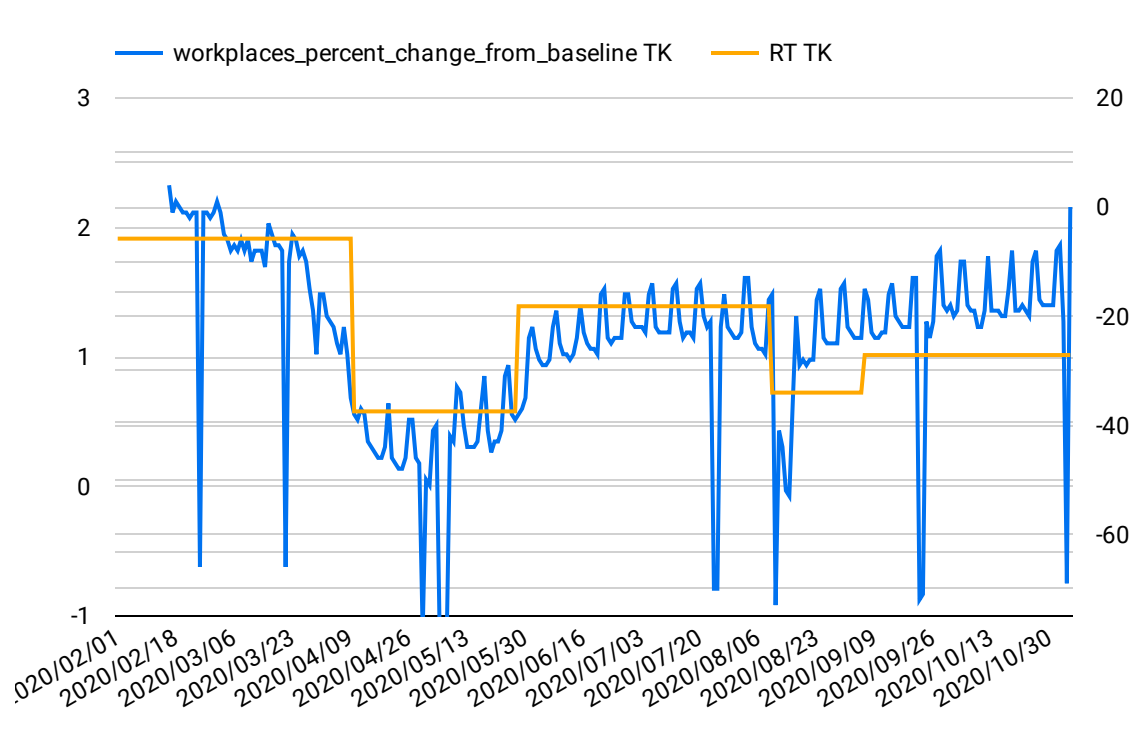
再生産数と移動指数の比較（東京）/ Comparison between RT and mobility index (Tokyo)



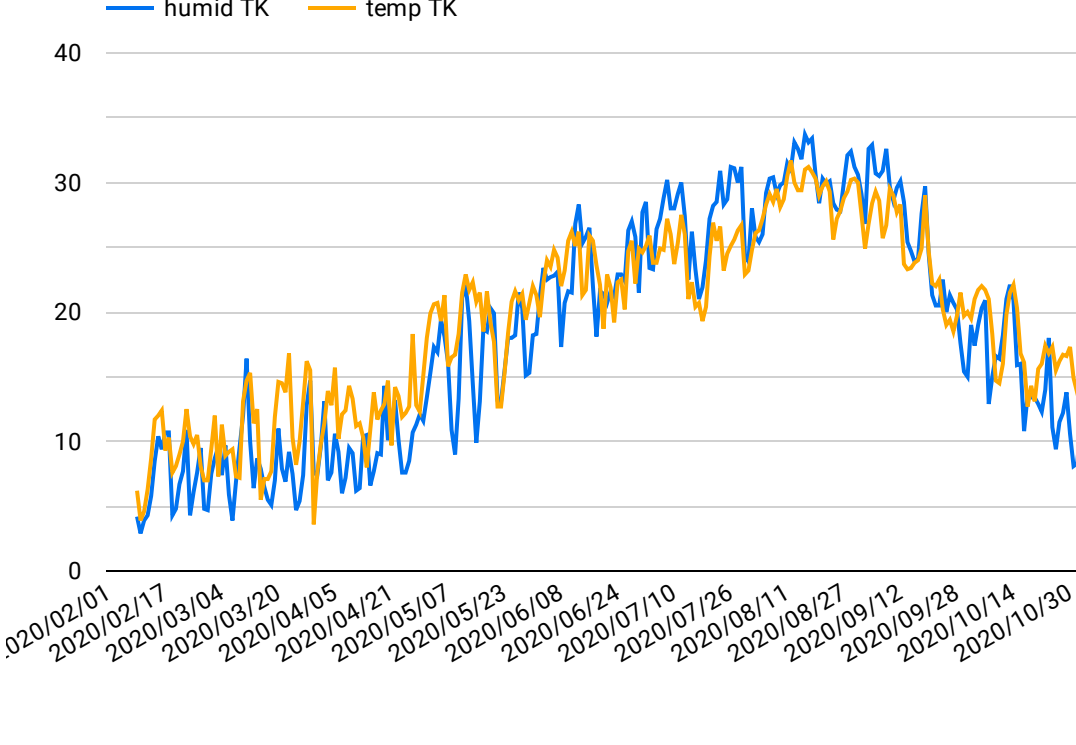
再生産数と移動指数の比較（東京）/ Comparison between RT and mobility index (Tokyo)



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



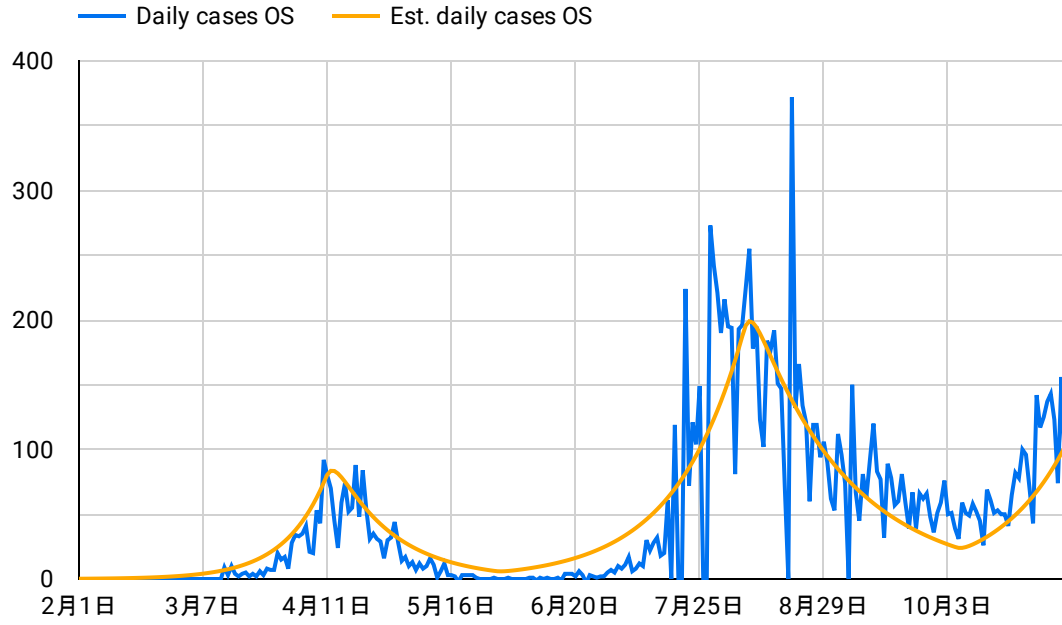
気温と湿度の推移（東京）/ Changes in the temperature and humidity (Tokyo)



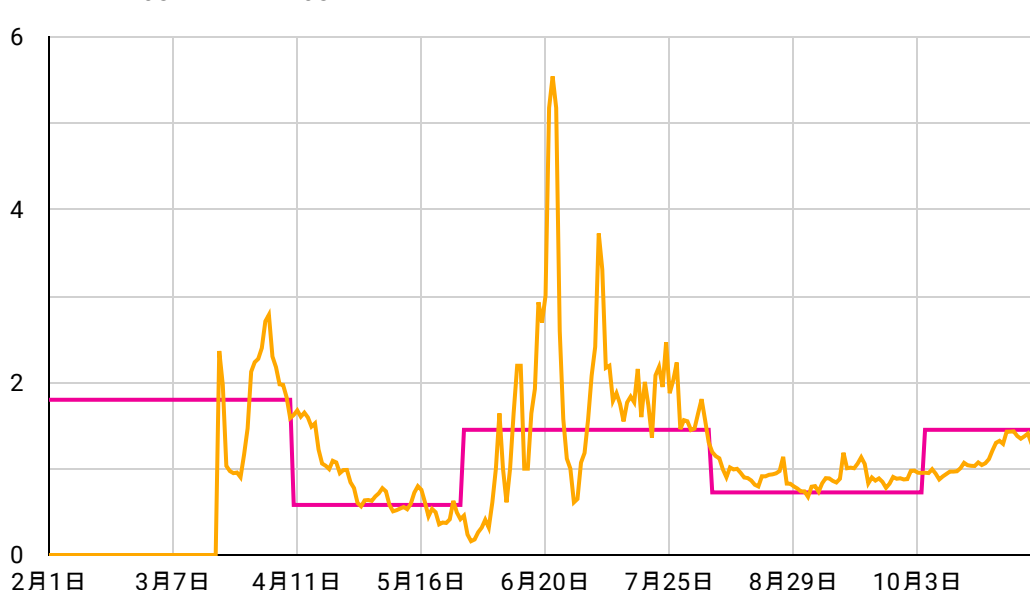
大阪/Osaka

2020/02/01 - 2020/11/05

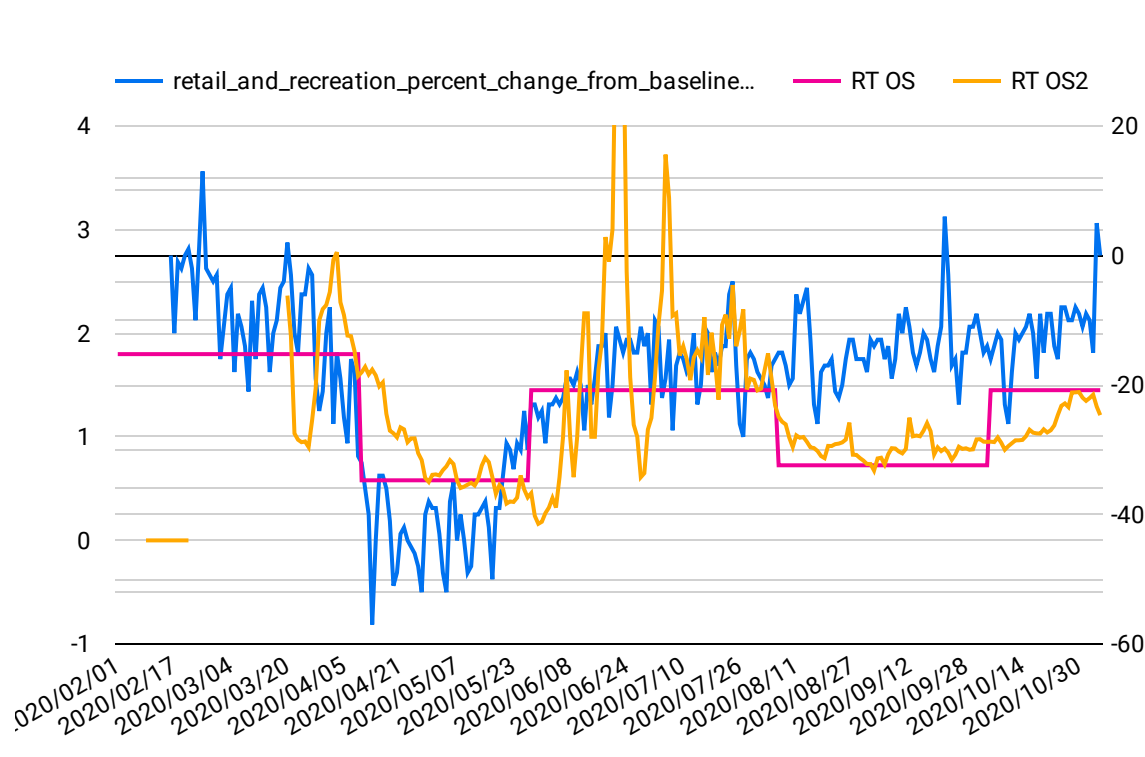
日次新規感染者数（大阪） / Daily new cases (Osaka)



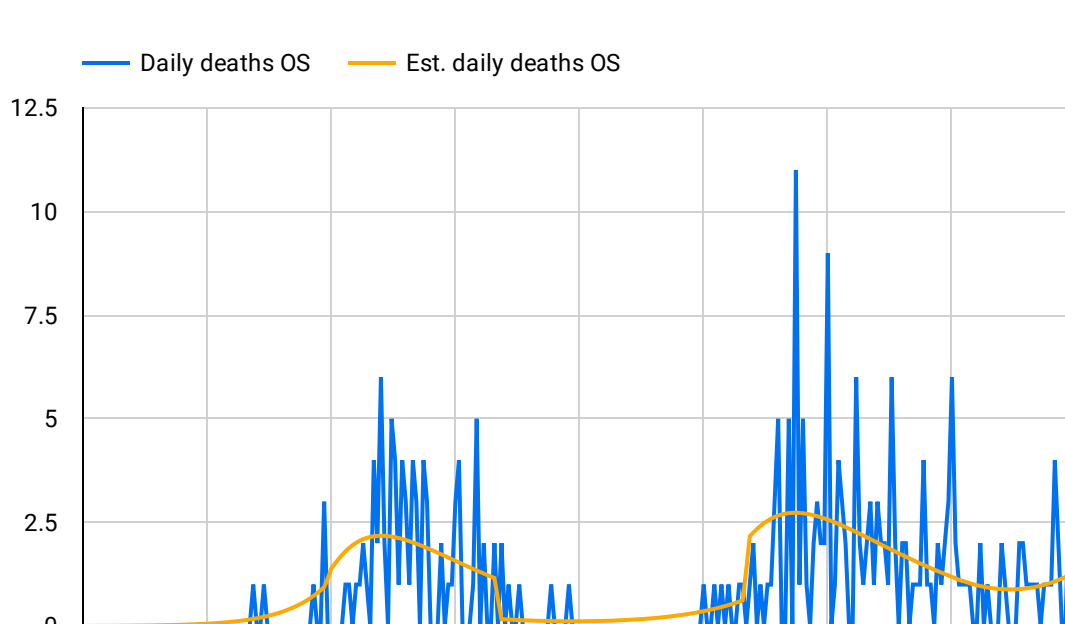
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（大阪） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Osaka)



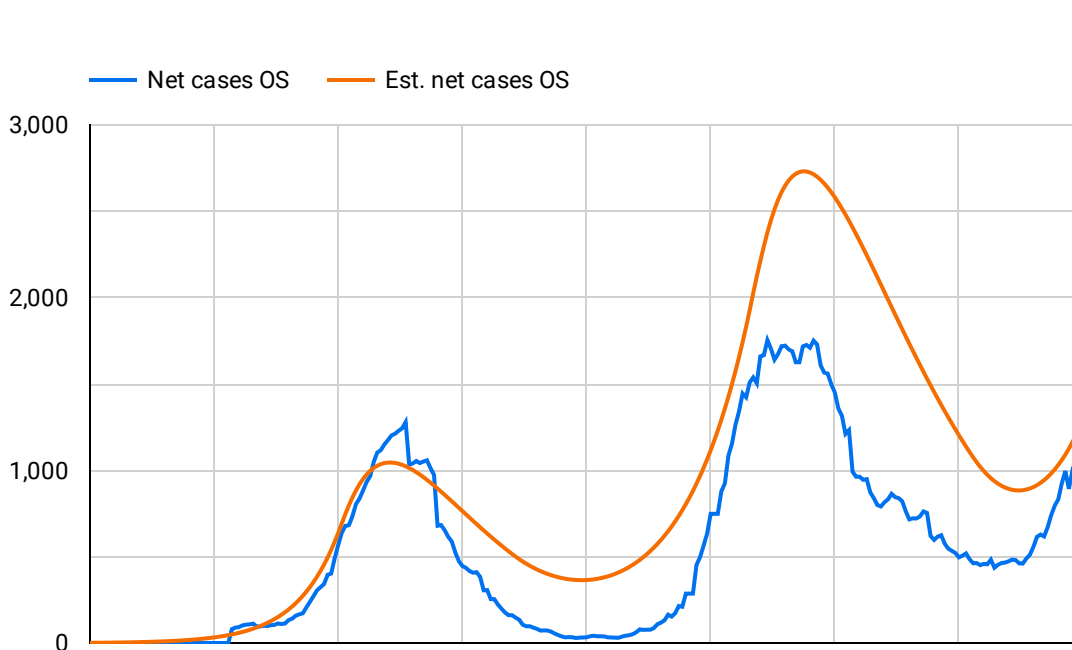
再生産数と移動指数の比較（大阪） / Comparison between RT and mobility index (Osaka)



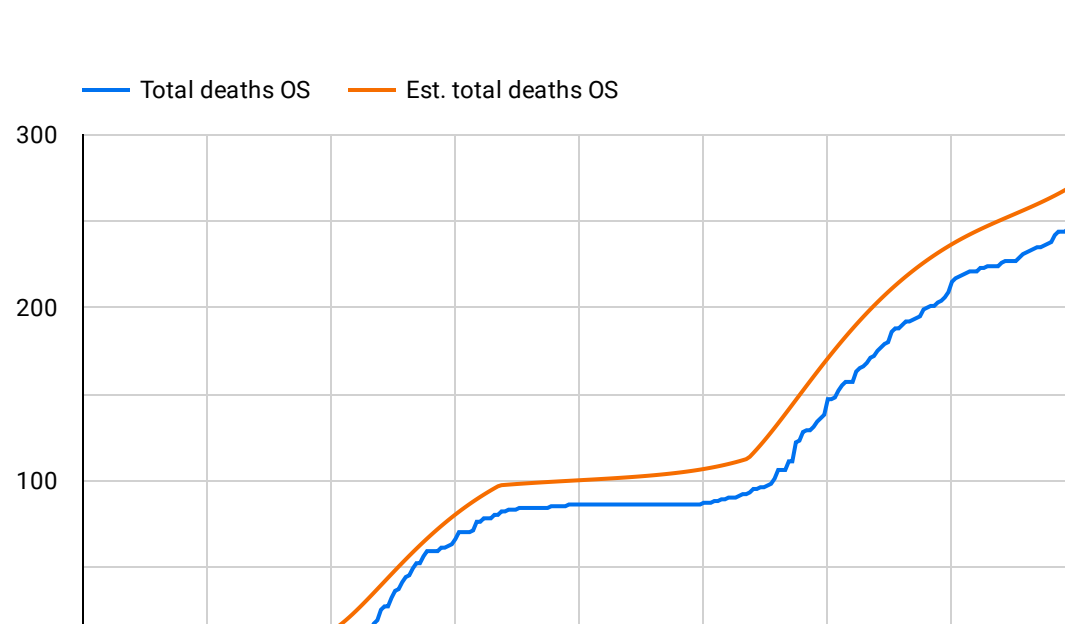
日次死者数（大阪） / Daily new deaths (Osaka)



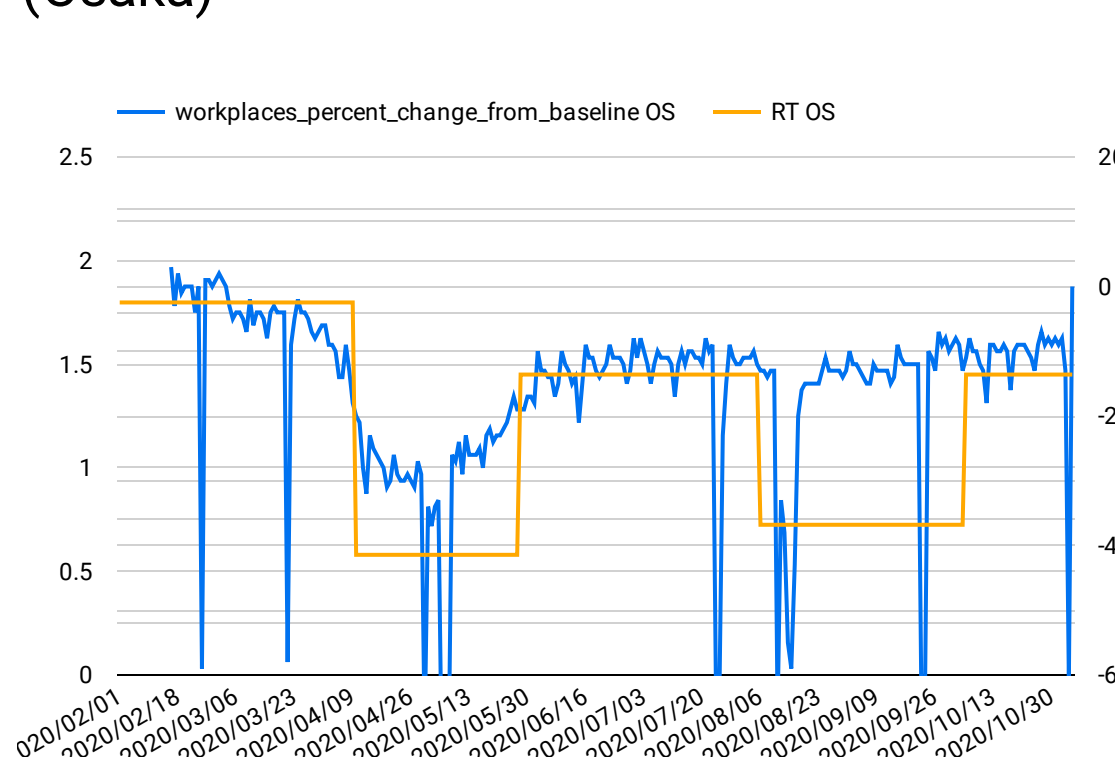
ネット感染者数（大阪） / Net cases (Osaka)



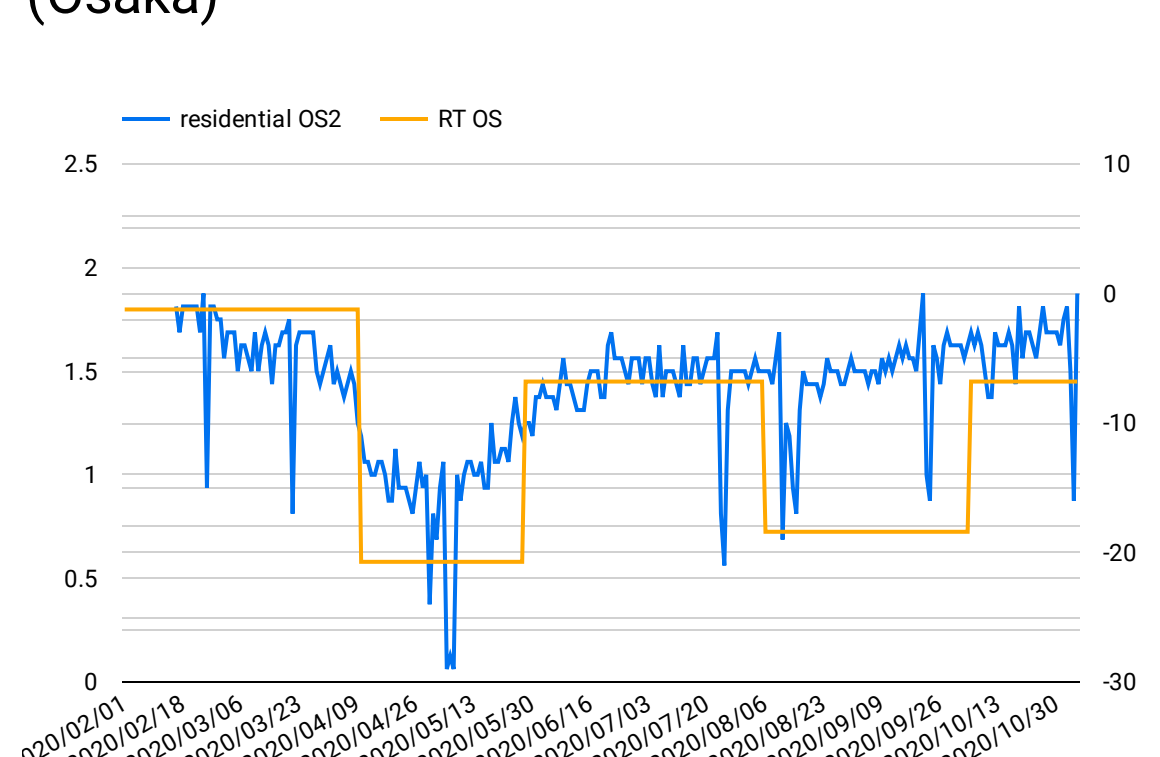
累積死者数（大阪） / Total deaths (Osaka)



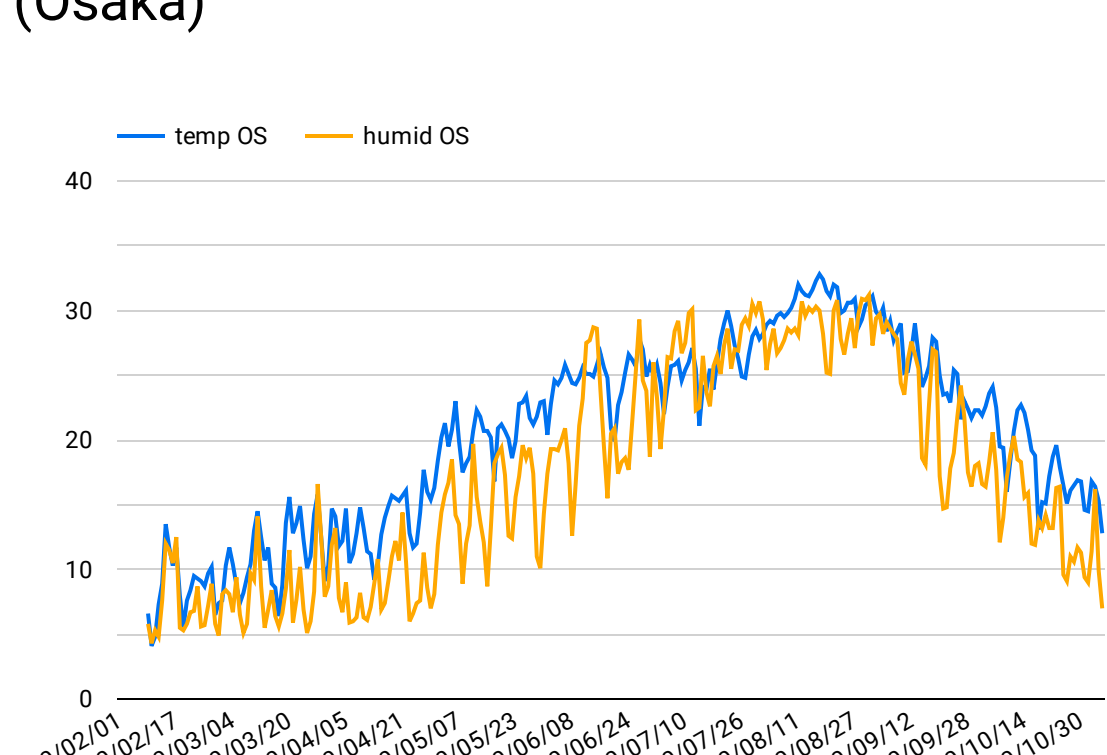
再生産数と移動指数の比較（大阪） / Comparison between RT and mobility index (Osaka)



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



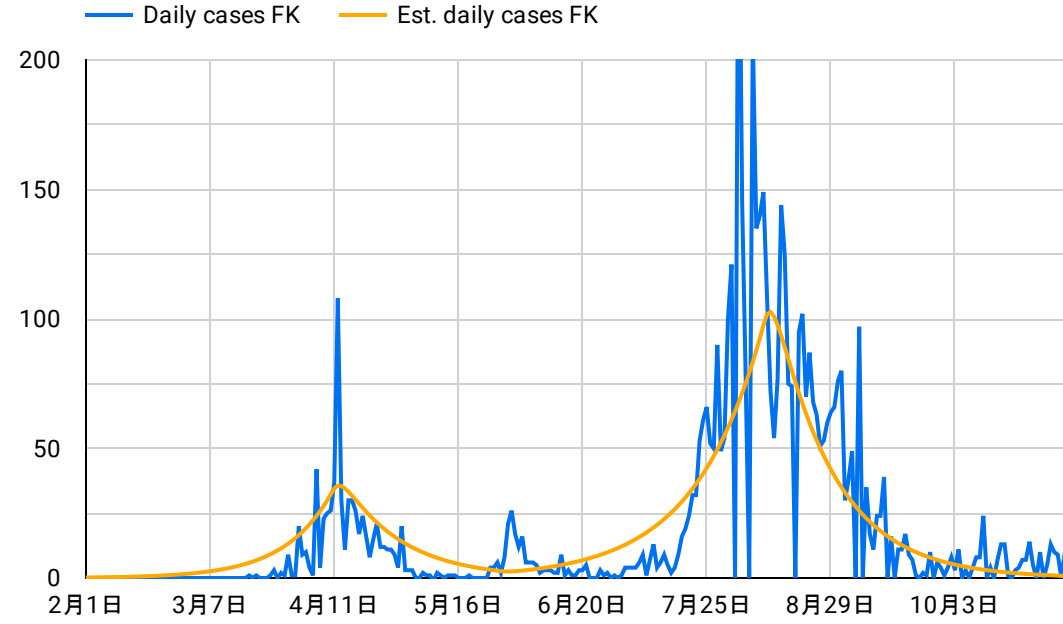
気温と湿度の推移（大阪） / Changes in the temperature and humidity (Osaka)



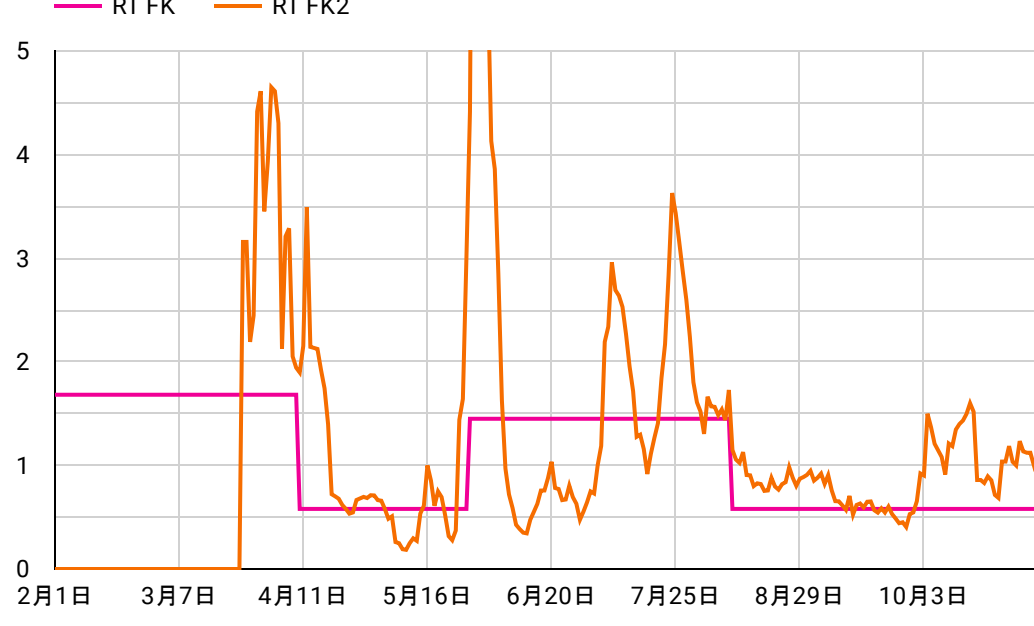
福岡/Fukuoka

2020/02/01 - 2020/11/05

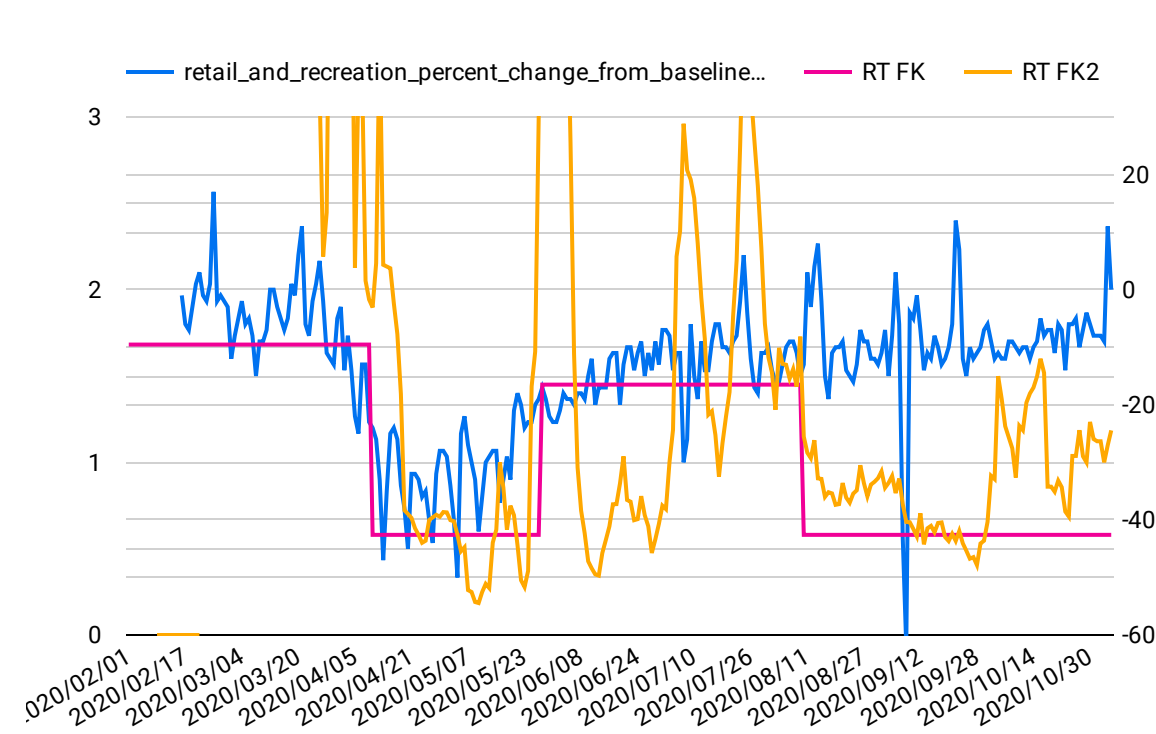
日次新規感染者数（福岡） / Daily new cases (Fukuoka)



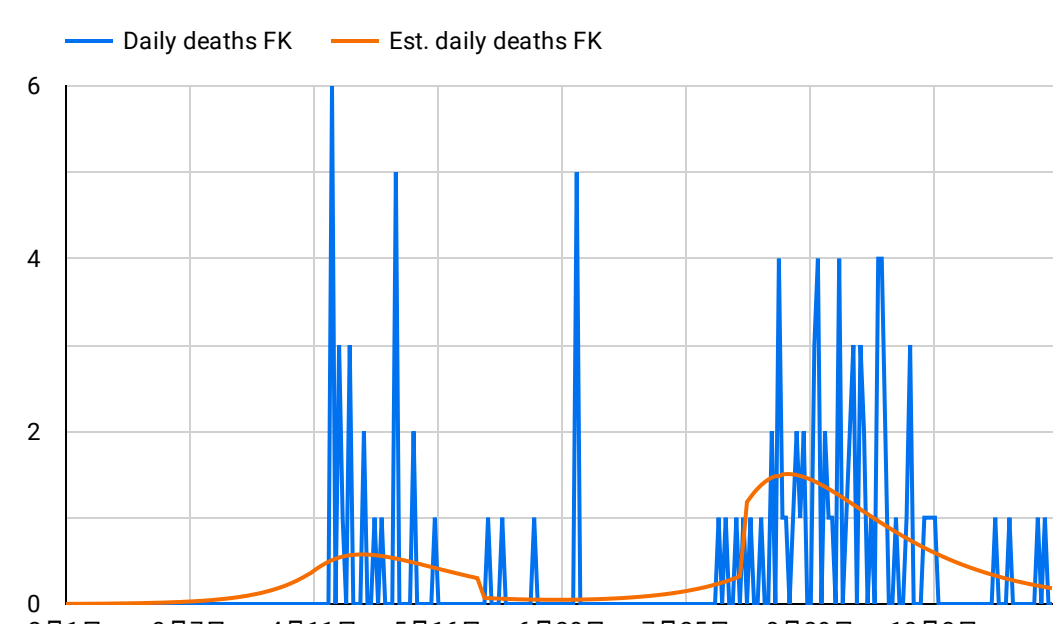
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（福岡） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Fukuoka)



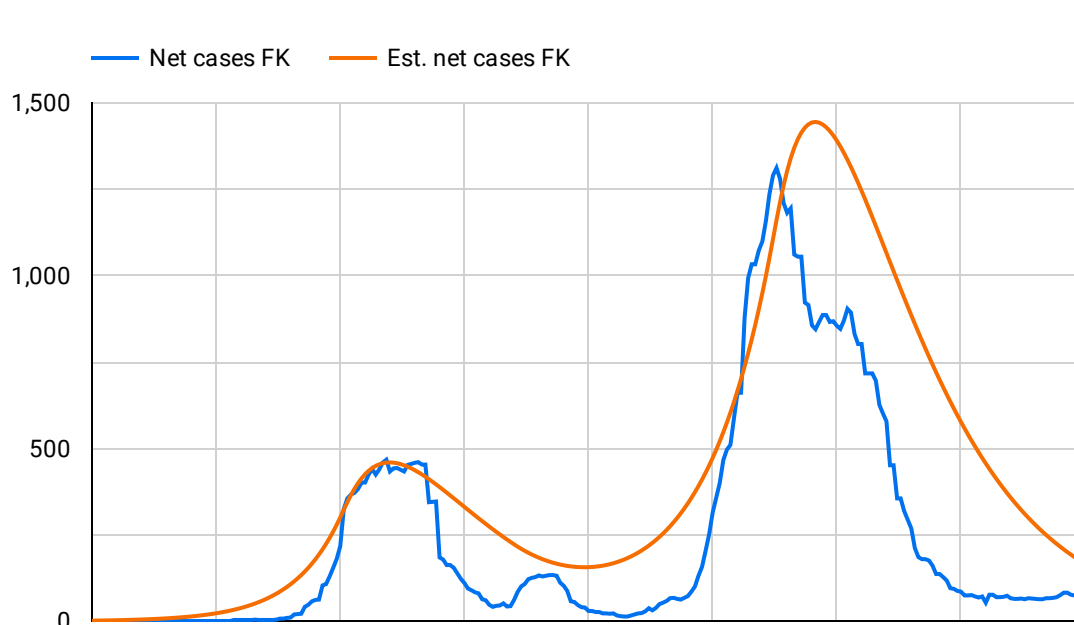
再生産数と移動指数の比較（福岡） / Comparison between RT and mobility index (Fukuoka)



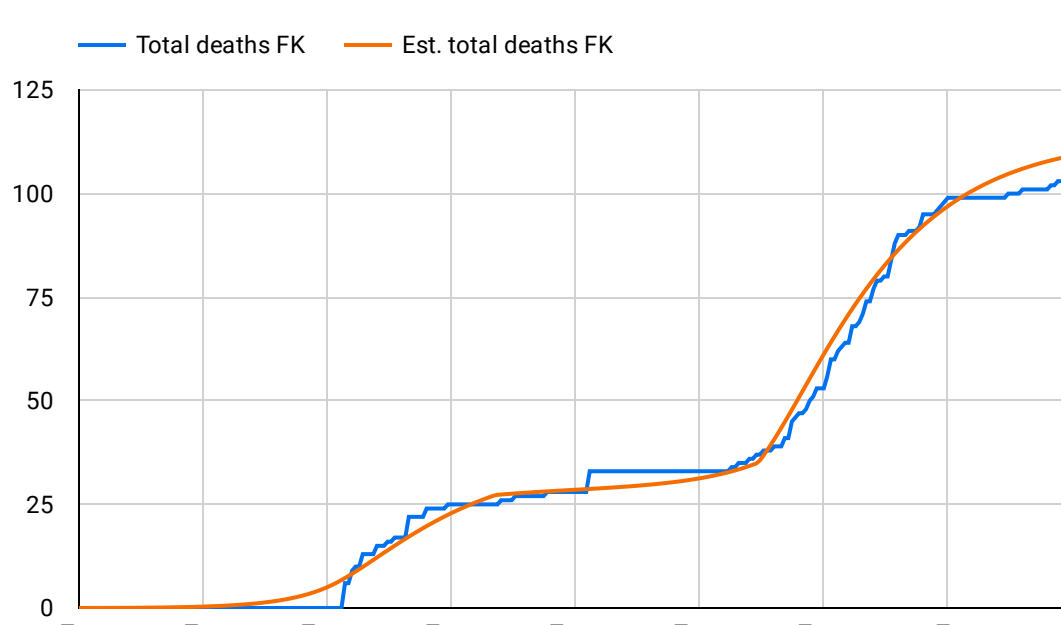
日次死亡者数（福岡） / Daily new deaths (Fukuoka)



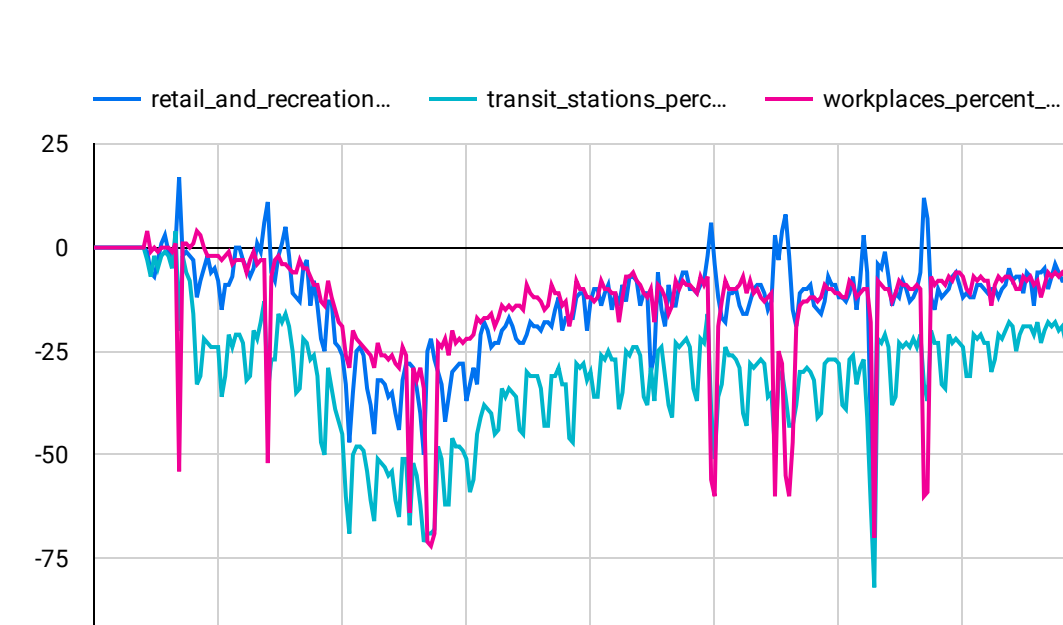
ネット感染者数（福岡） / Net cases (Fukuoka)



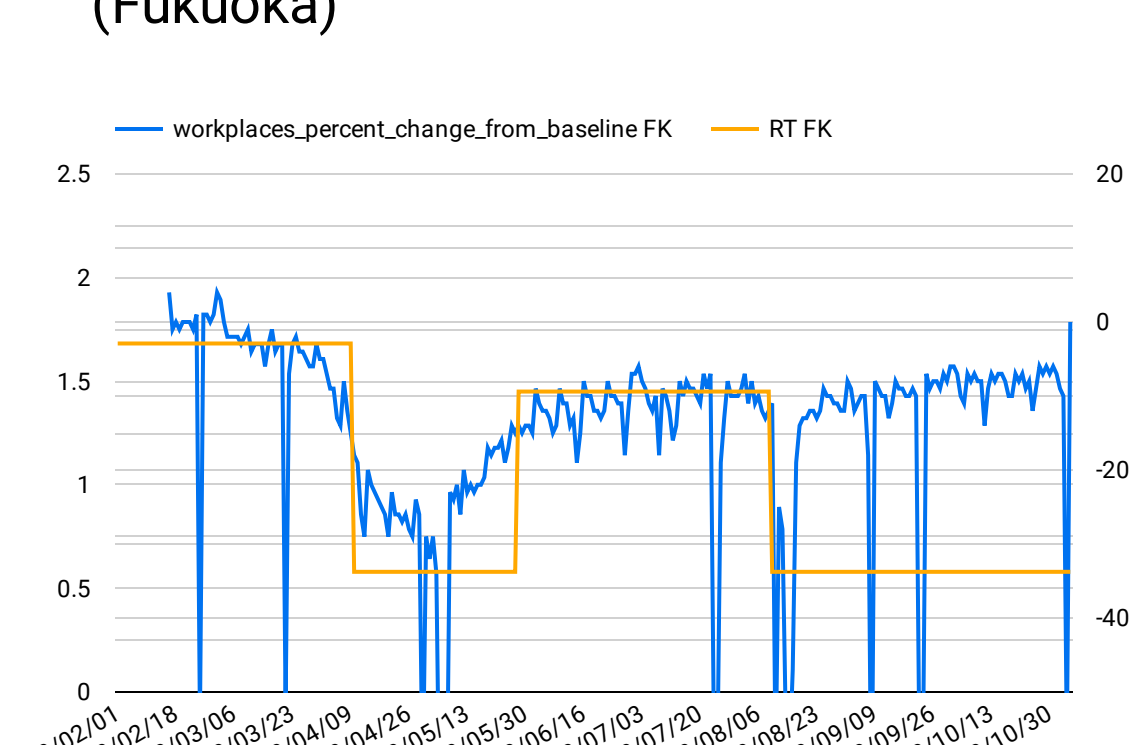
累積死亡者数（福岡） / Total deaths (Fukuoka)



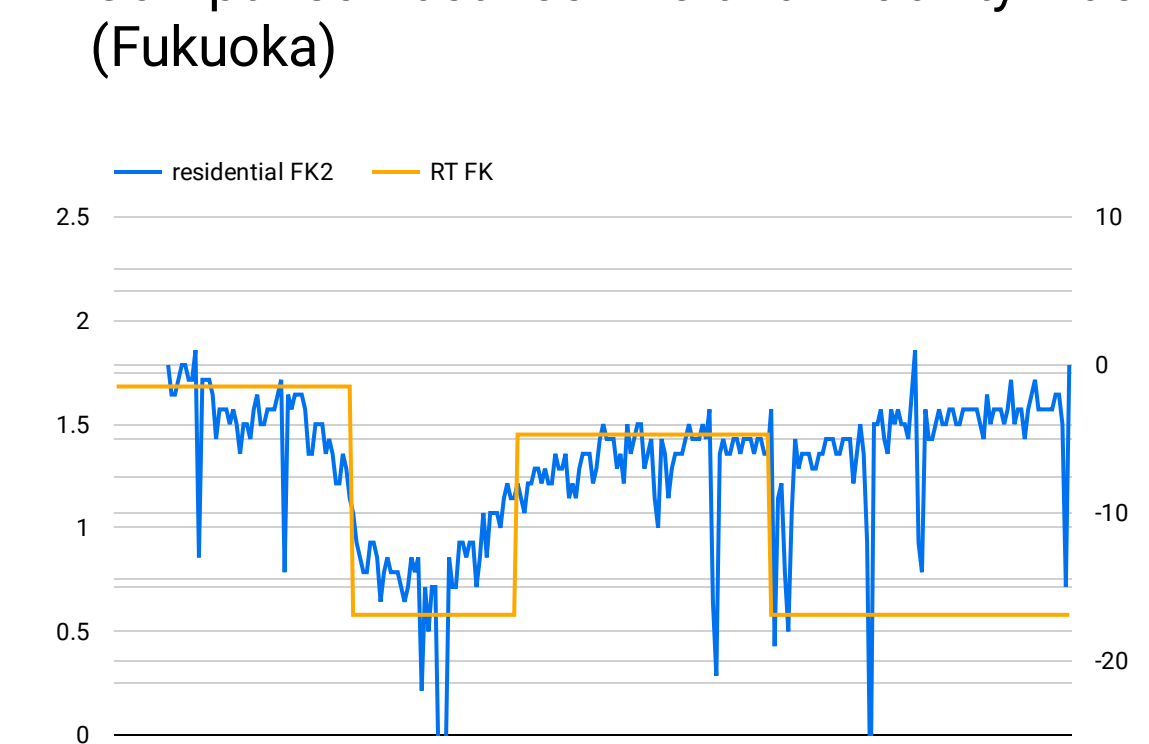
異なる移動指数の比較（福岡） / Comparison of various mobility indices (Fukuoka)



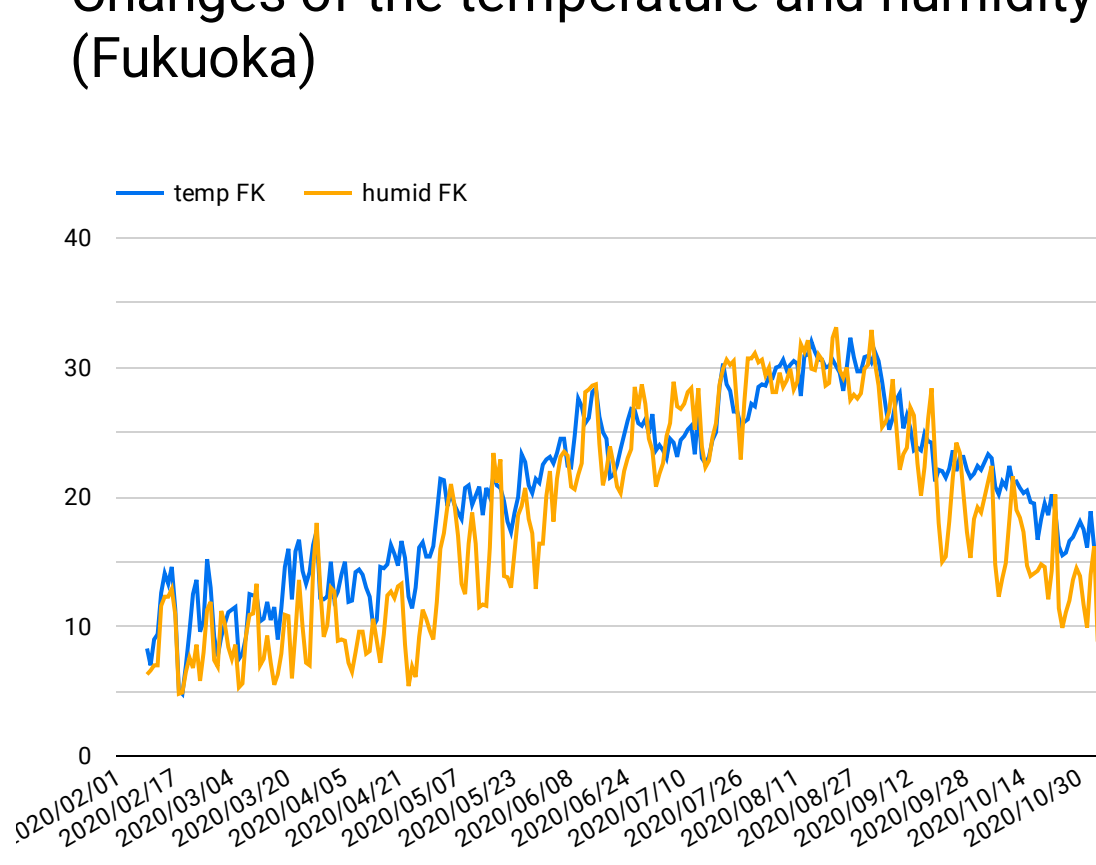
再生産数と移動指数の比較（福岡） / Comparison between RT and mobility index (Fukuoka)



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



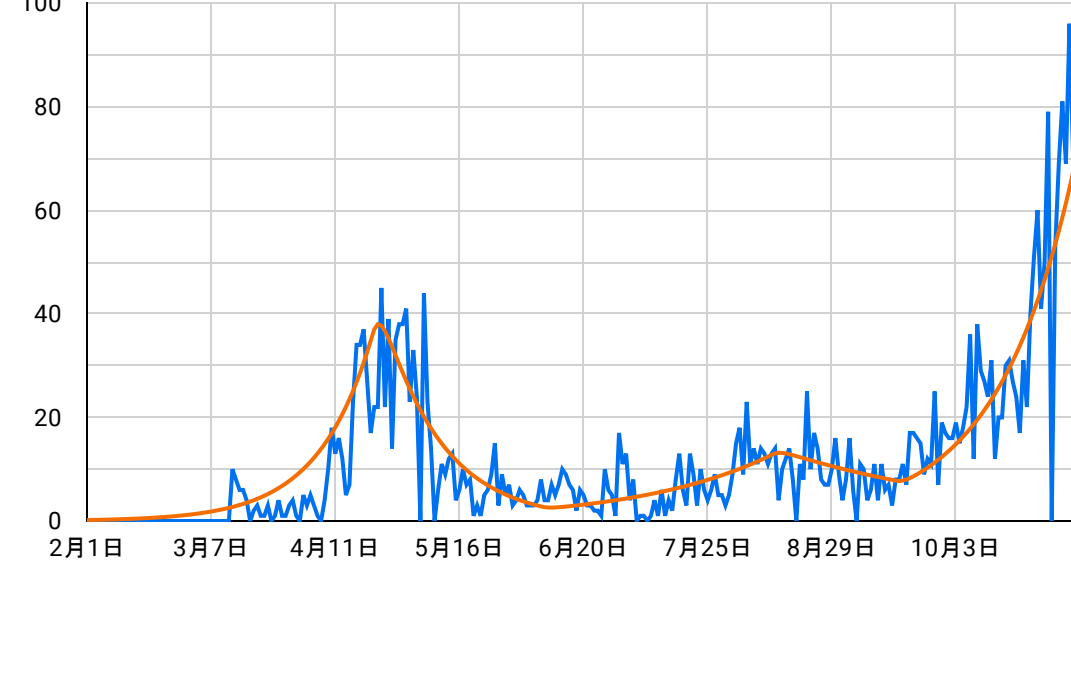
気温と湿度の推移（福岡） / Changes of the temperature and humidity (Fukuoka)



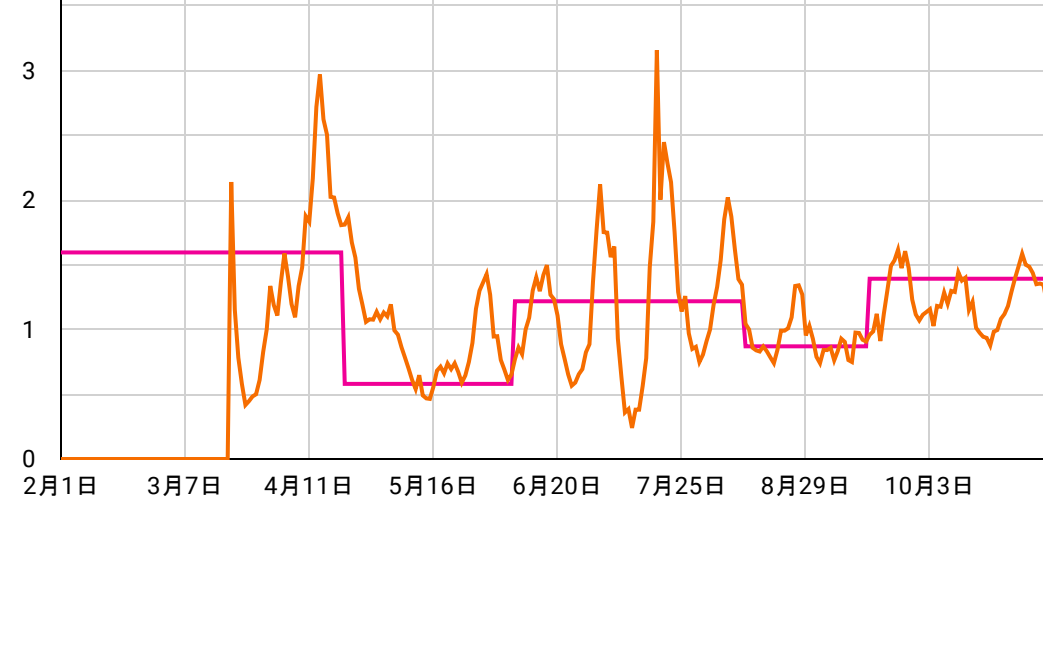
北海道/Hokkaido

2020/02/01 - 2020/11/05

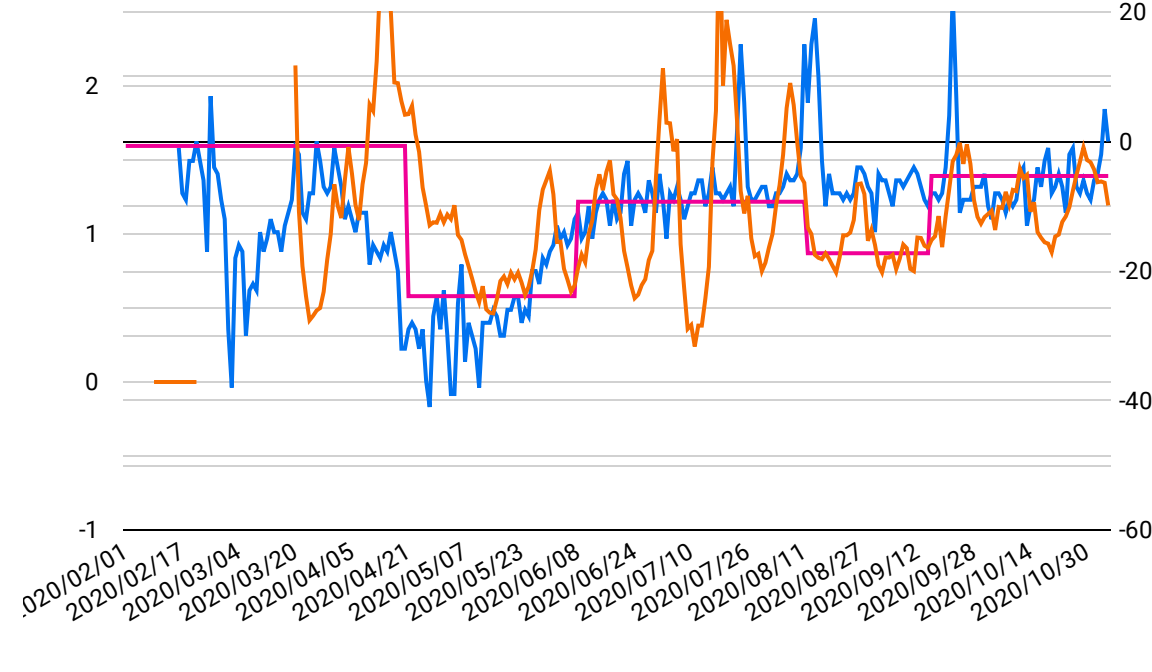
日次新規感染者数（北海道） / Daily new cases (Hokkaido)



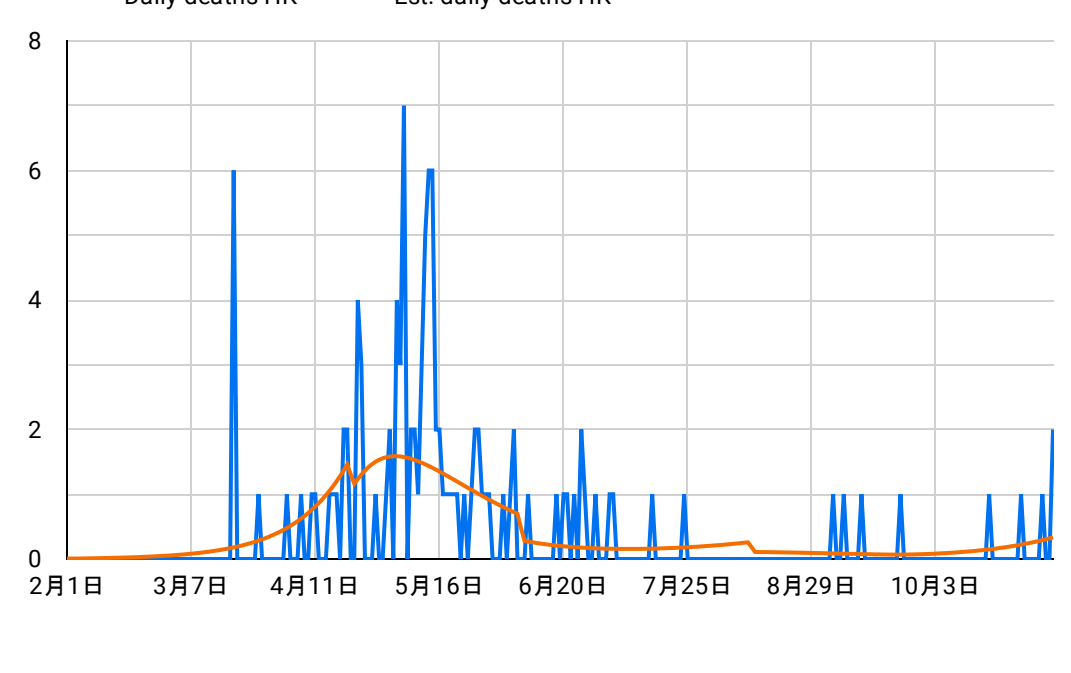
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（北海道） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Hokkaido)



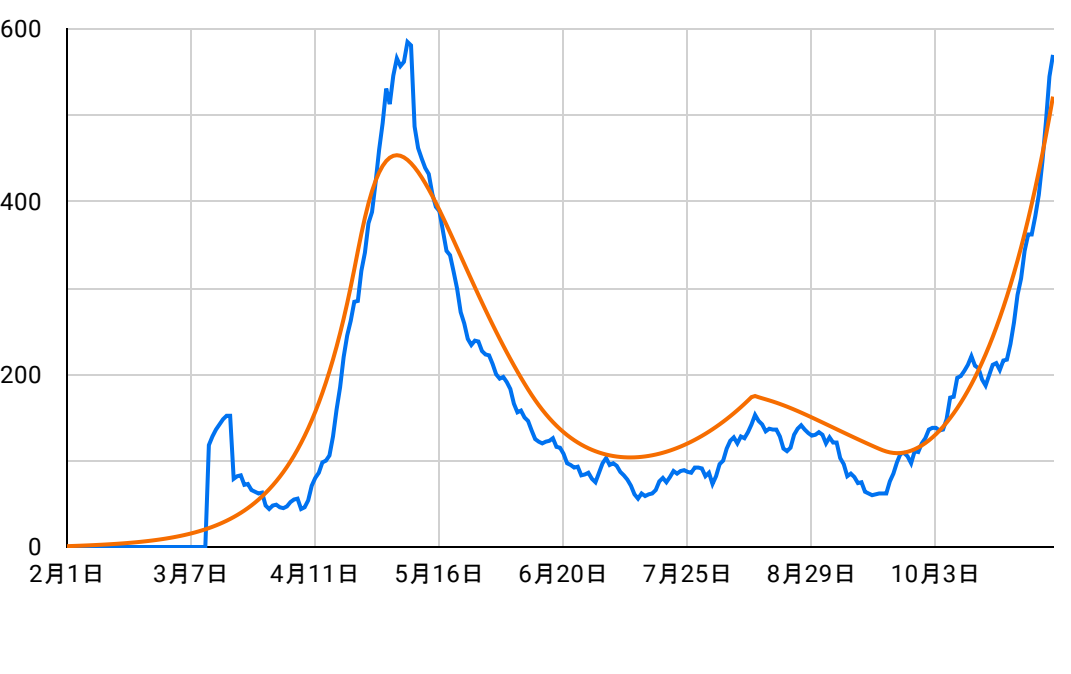
再生産数と移動指数の比較（北海道） / Comparison between RT and mobility index (Hokkaido)



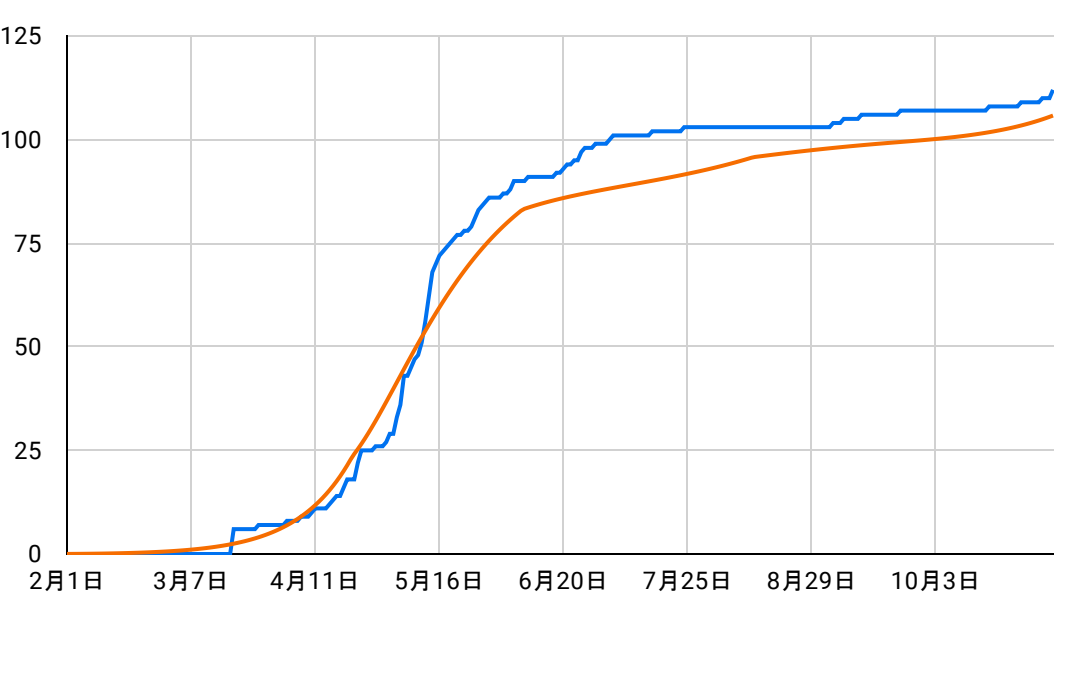
日次死亡者数（北海道） / Daily new deaths (Hokkaido)



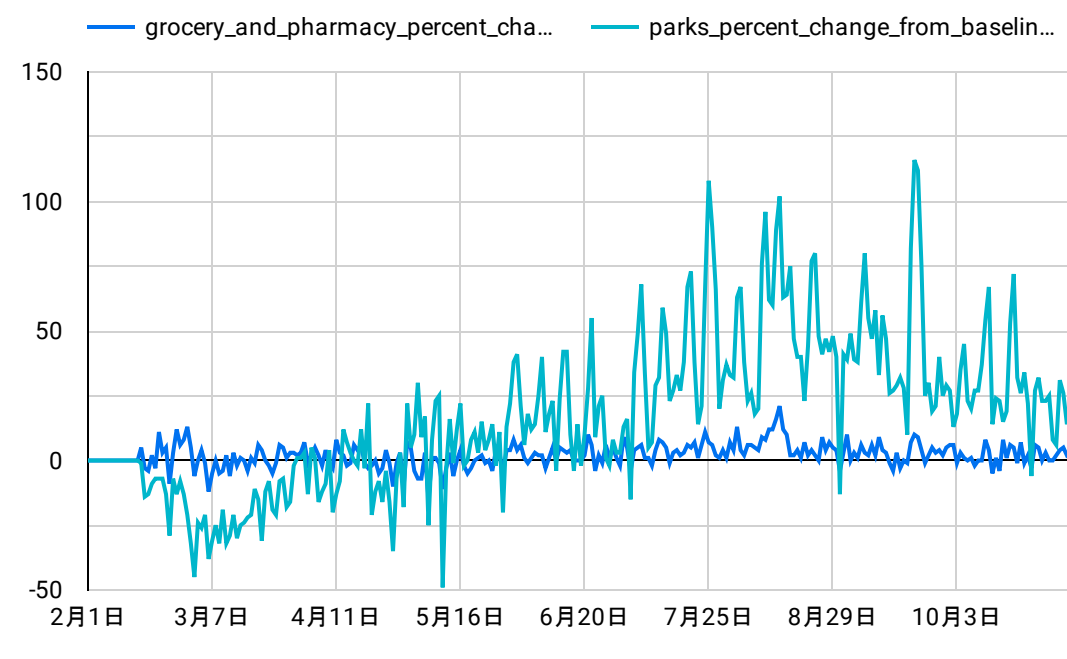
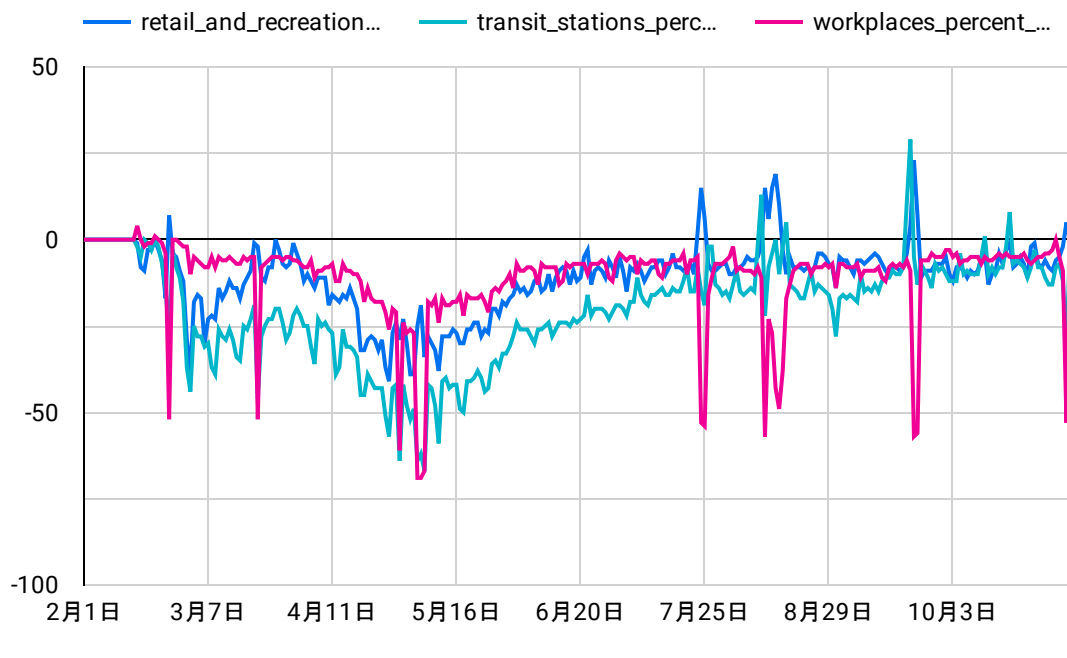
ネット感染者数（北海道） / Net cases (Hokkaido)



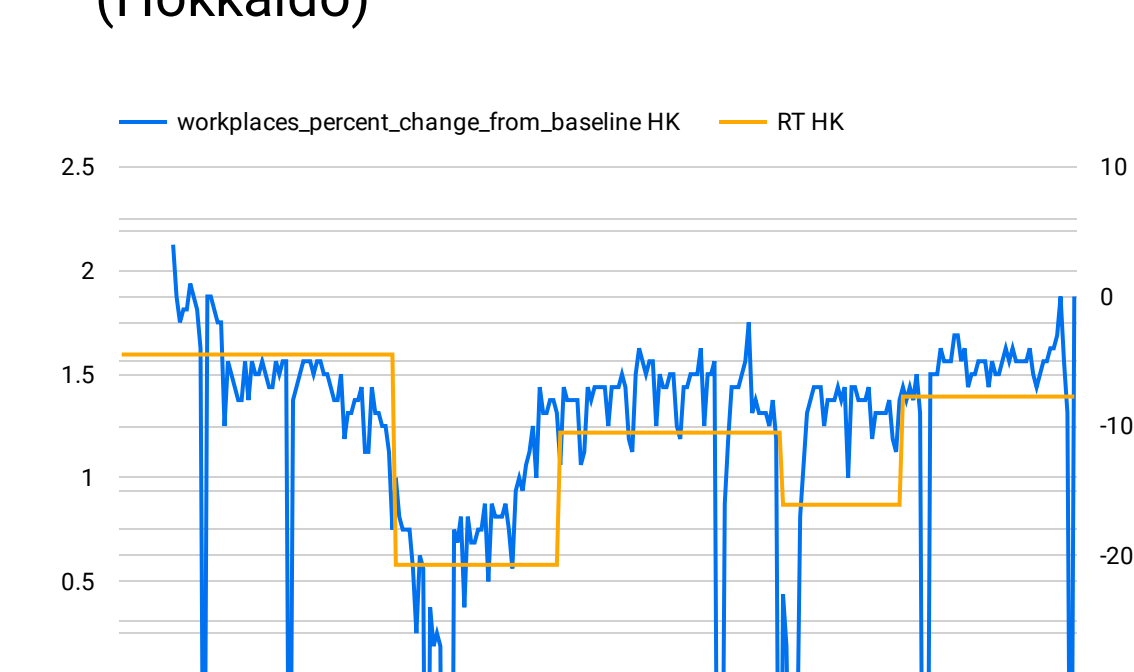
累積死亡者数（北海道） / Total deaths (Hokkaido)



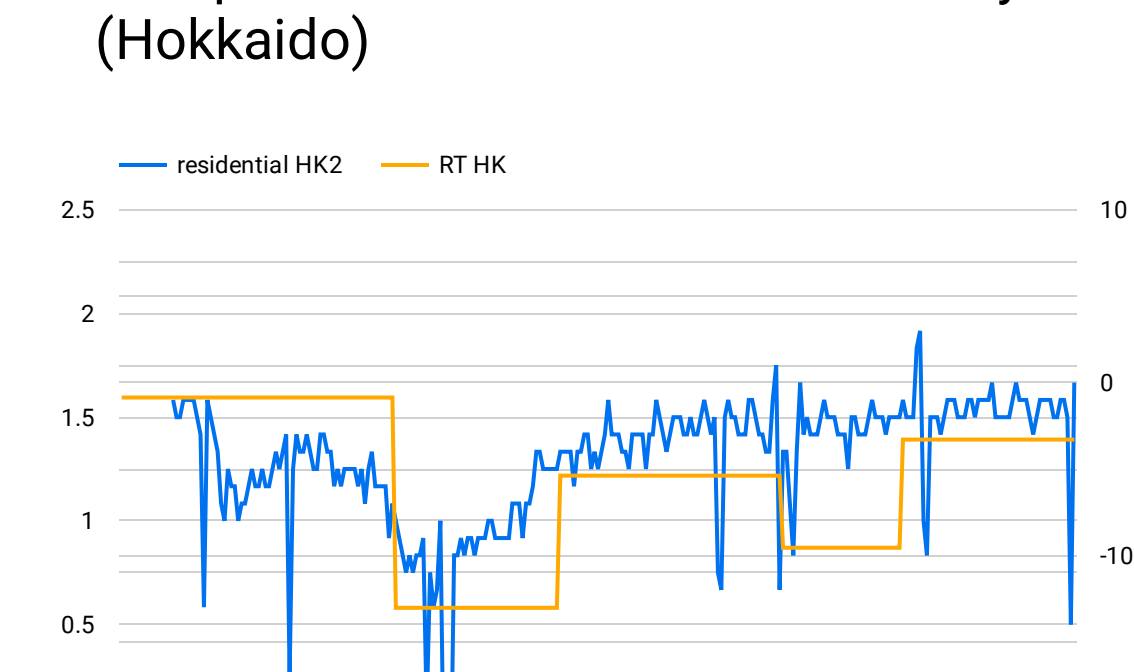
異なる移動指数の比較（北海道） / Comparison of various mobility indices (Hokkaido)



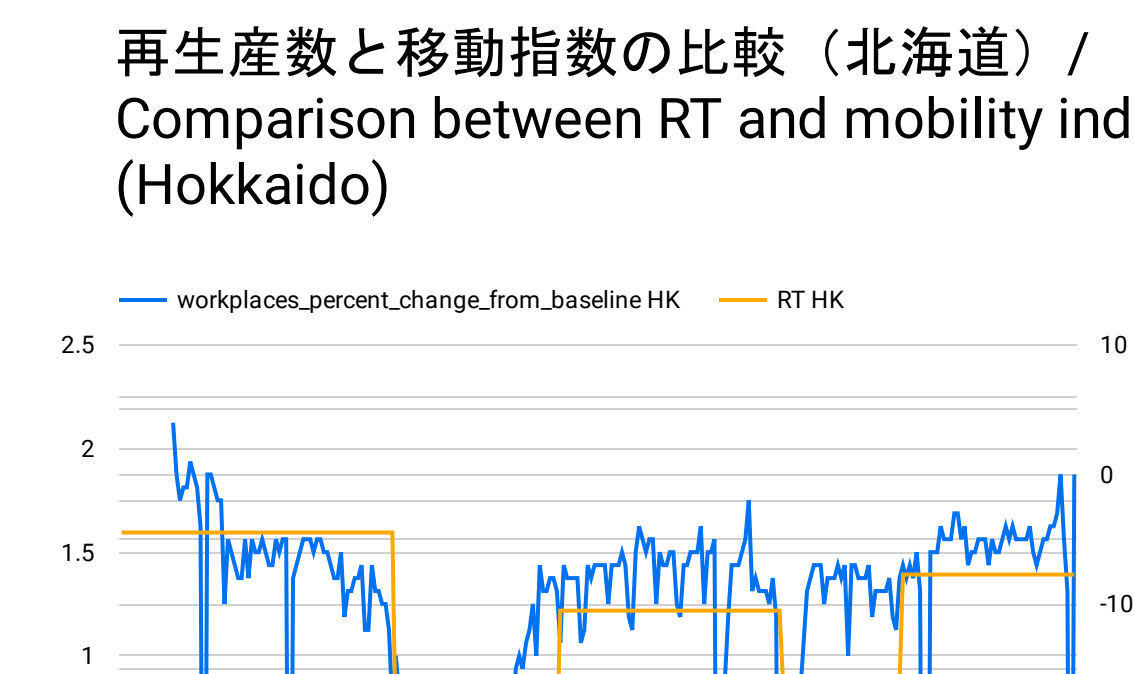
再生産数と移動指数の比較（北海道） / Comparison between RT and mobility index (Hokkaido)



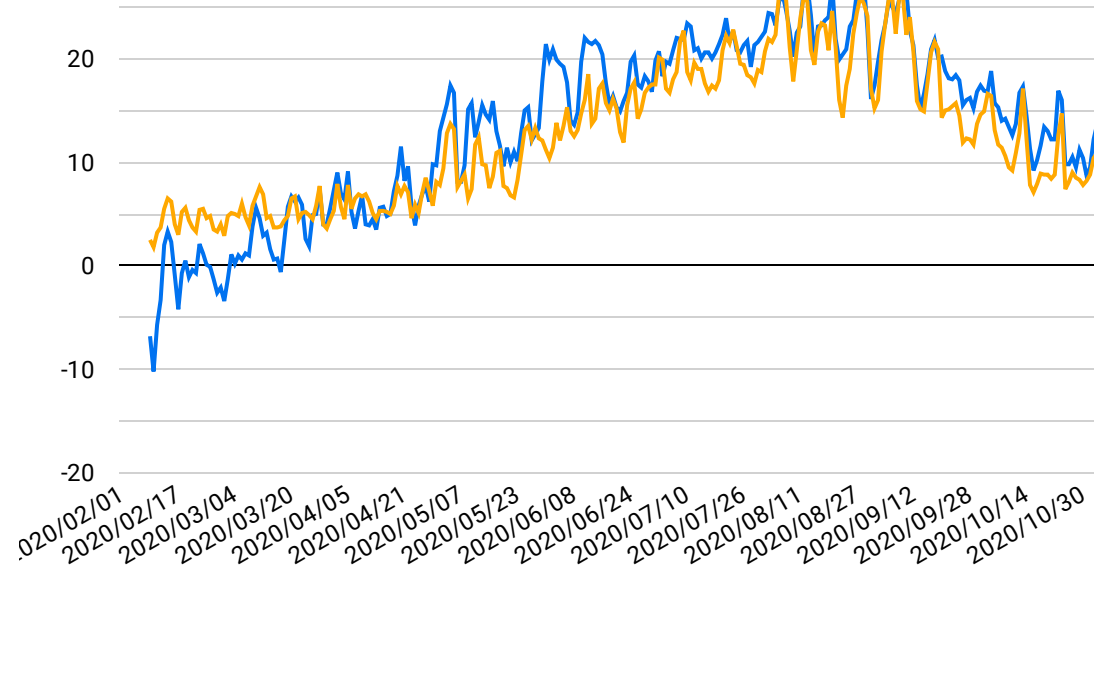
再生産数と移動指数の比較（北海道） / Comparison between RT and mobility index (Hokkaido)



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)



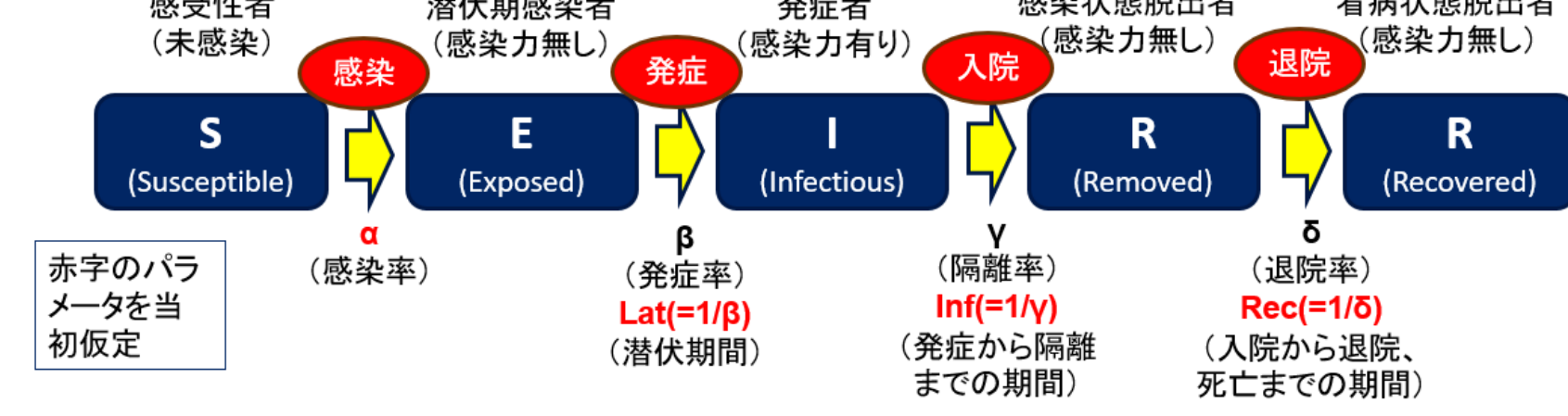
SEIRRモデル概要/SEIRR model overview

* 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つ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、市中感染が開始し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

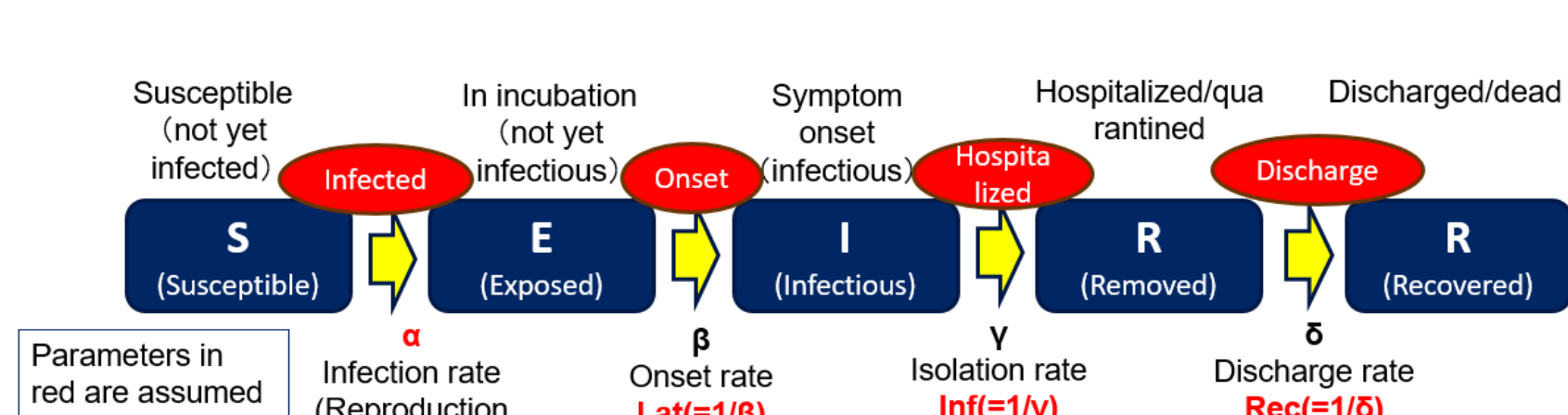
行動規制後の感染率: Infを乗じたR0が0.95となる値 (すなわちα=0.33) を初期値とした上で調整

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 estimated 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 (α x 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