

コロナ感染レポート/主要都道府県（2020年12月22日現在）
SEIRRモデルによる分析結果

Covid-19 Developments Report of Japanese prefectures
as of 22nd December, 2020
SEIRR model analysis

2020年12月24日/ December 24, 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)

前回分析時点（11月上旬）では新規患者数が急増しオーバーシュートの様相を見せていた北海道と大阪では、その後11月下旬頃から急速な減少に転じた。一時は1.5程度に達していた再生産数も現時点では1を大きく下回る水準（北海道は0.8程度、大阪は0.9程度）にまで低下している。この二つの地域に共通している点は、やはり11月下旬頃から、人の移動指標（google community mobility index）のうち小売・レジャーの指標が明らかに減少傾向に転じた点である。

一方前回分析時点で既に新規感染者数が増加傾向に転じていた東京は、大阪や北海道とは異なり、現時点に至っても増加傾向が続いている。再生産数も10月下旬に1.2程度に上昇し以来、同じ水準を維持している。この間の人々の移動指標（google community mobility index）をみると、小売・レジャーの指標等を含め全ての指標がほぼ横ばいで推移しており、大阪や北海道のように低下には転じていない。

前回分析時点では新規感染者の増加には至っていなかった福岡県では現在、新規感染者が急増している。再生産数も10月に入り1を超えた後、11月中旬には一気に1.5程度まで高まっている。福岡も東京同様に、人の移動指標（google community mobility index）に関しては、小売・レジャーの指標等を含め全ての指標がほぼ横ばいの推移に止まっている。

この他今回の分析で分かったことは、日本でも一部の地域で欧州同様に、致死率がここに来て急上昇していることである。例えば、大阪では10月に入り致死率がそれまでの2%から3%に上昇したほか、北海道では11月に入りそれまでの1%から一気に5%にまで高まっている。

この他、新規感染者の動きをみると、3つのコブを持つ3地域と異なり北海道のみは2つのコブとなっているが、その形状やタイミングが欧州諸国のそれと酷似していることも分かった。要因は定かではないものの、気候の類似性が影響しているのかもしれない。

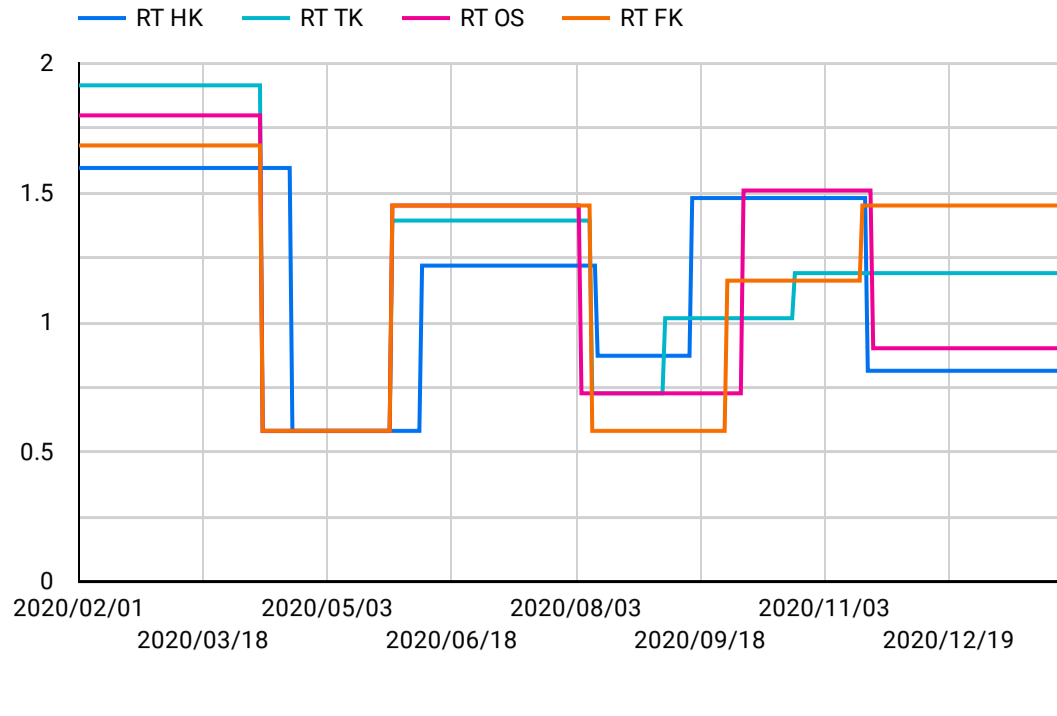
(Analysis output)

To be translated soon.

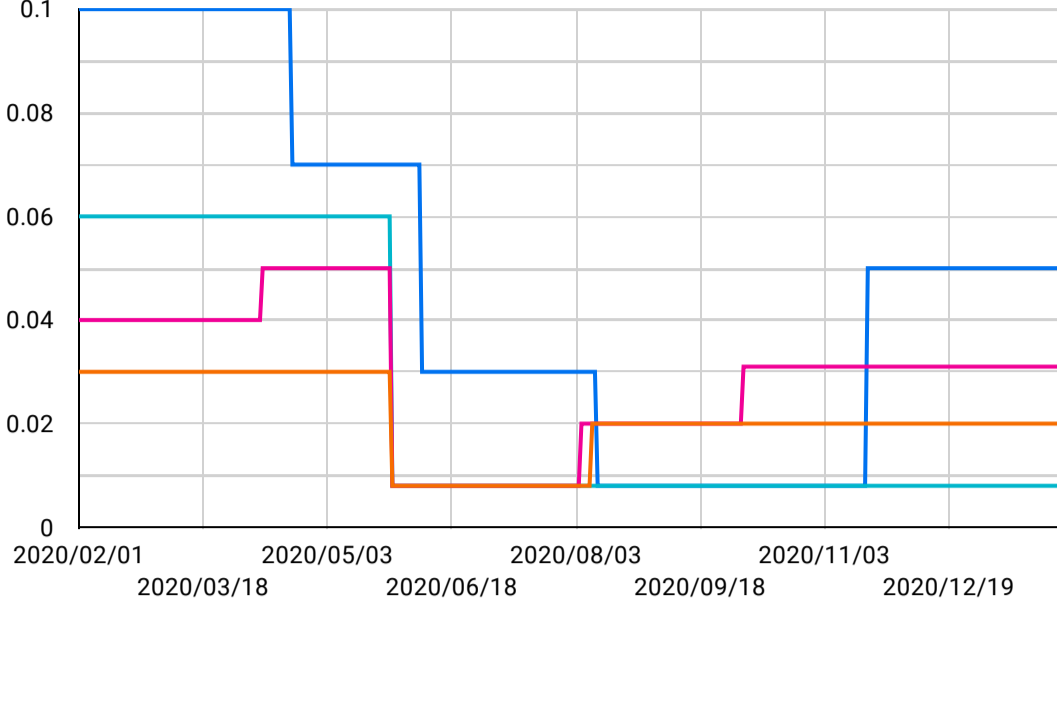
4都道府県比較/Comparison of 4 prefectures

2020/02/01 - 2021/01/31

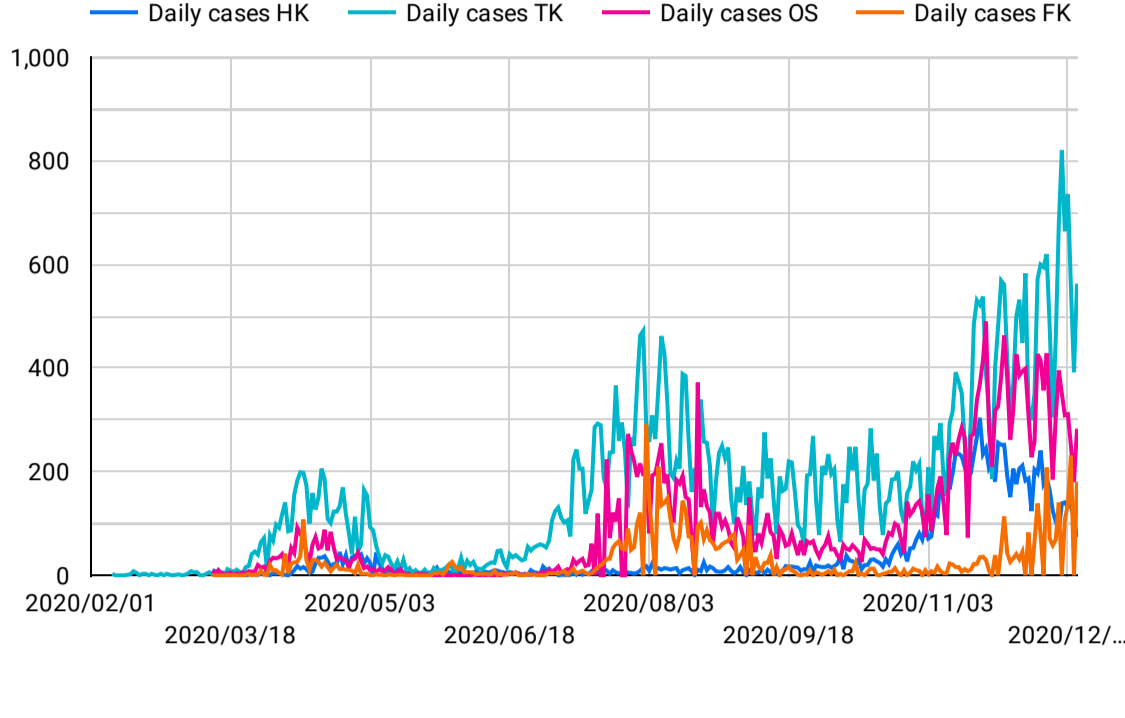
モデル推計再生産数/Model estimate RT



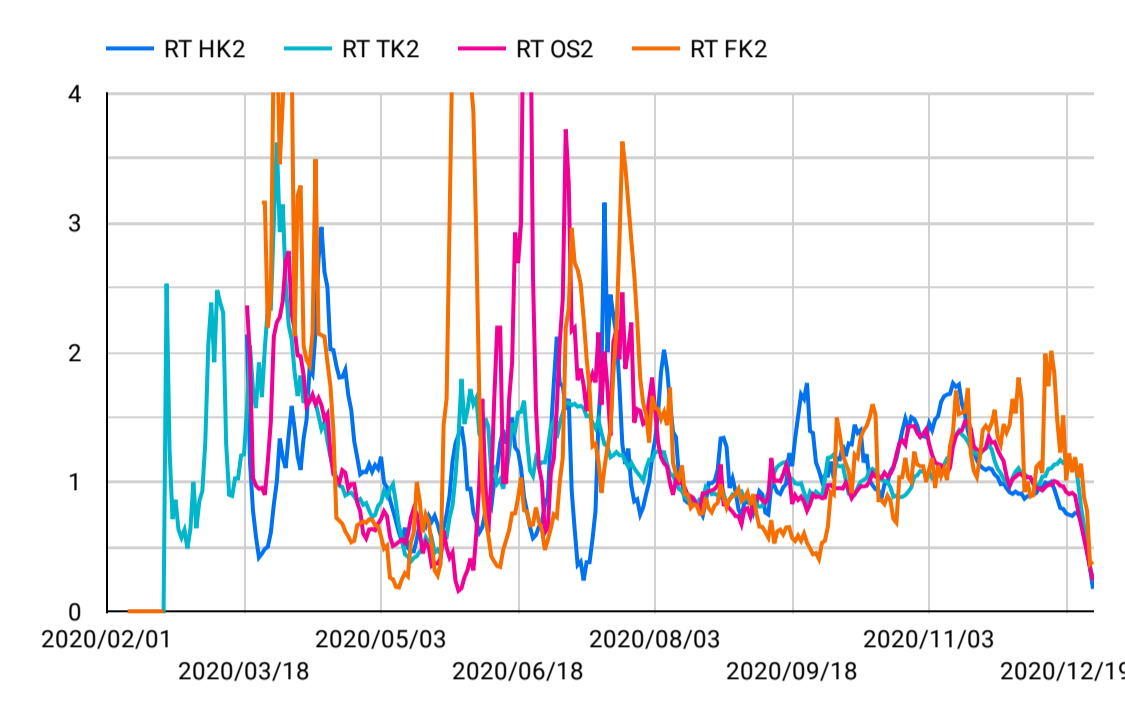
モデル推計致死率/Model estimate mortality rate



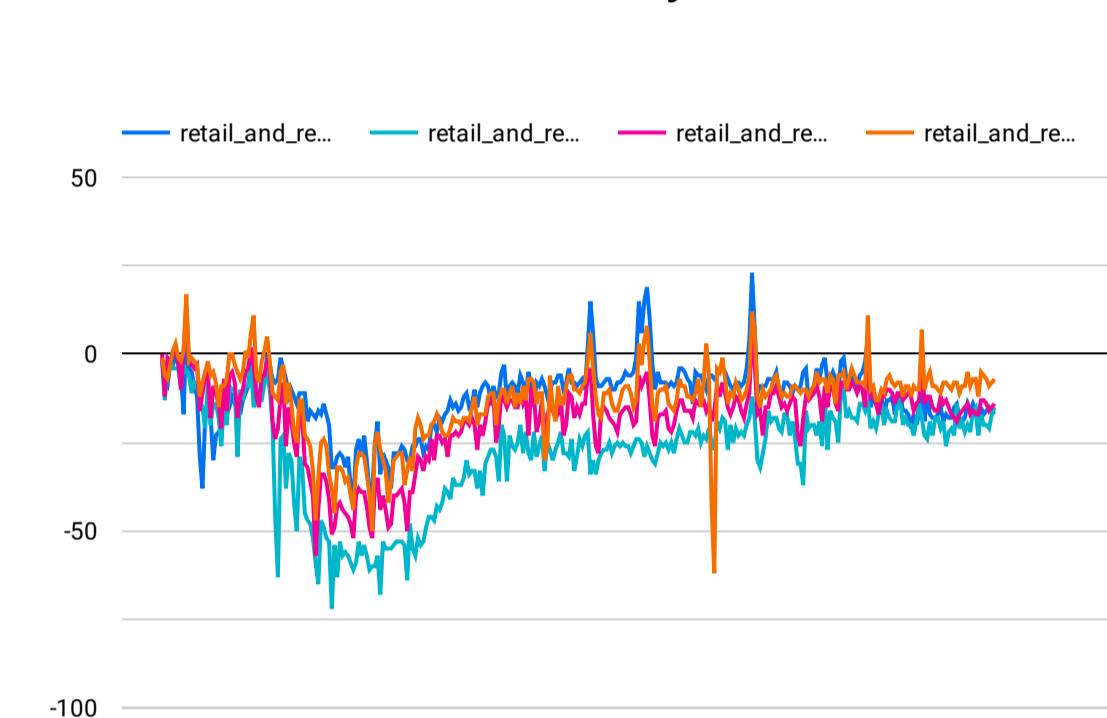
日次新規感染者数/Daily new cases



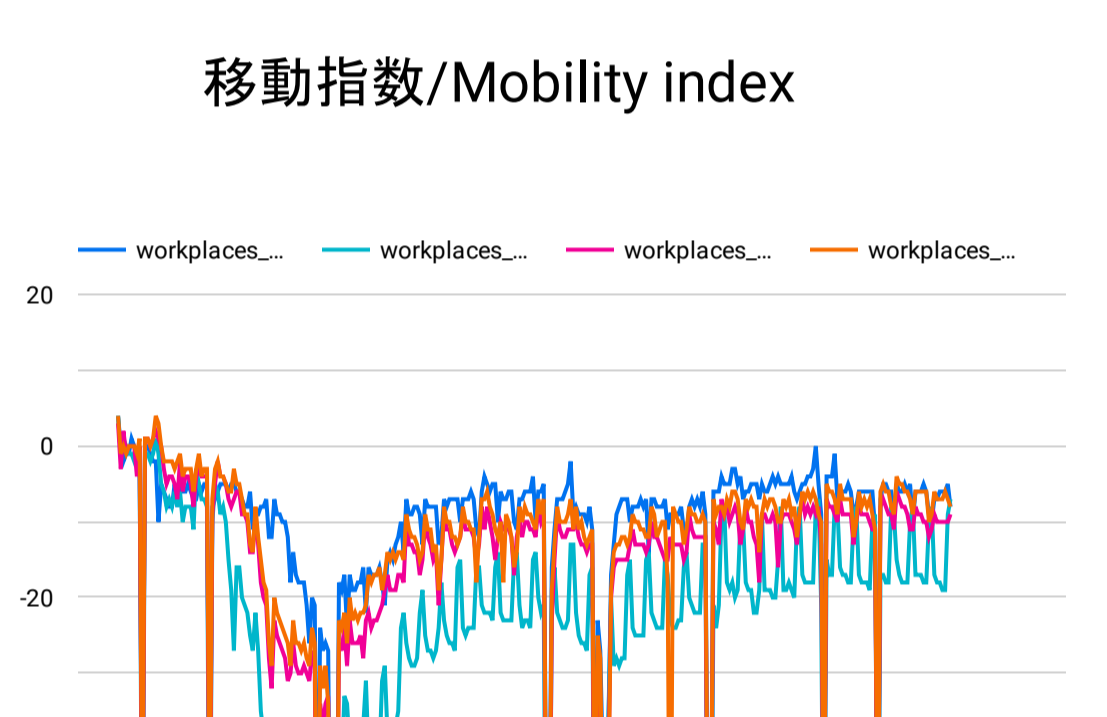
日次再生産数/Daily RT



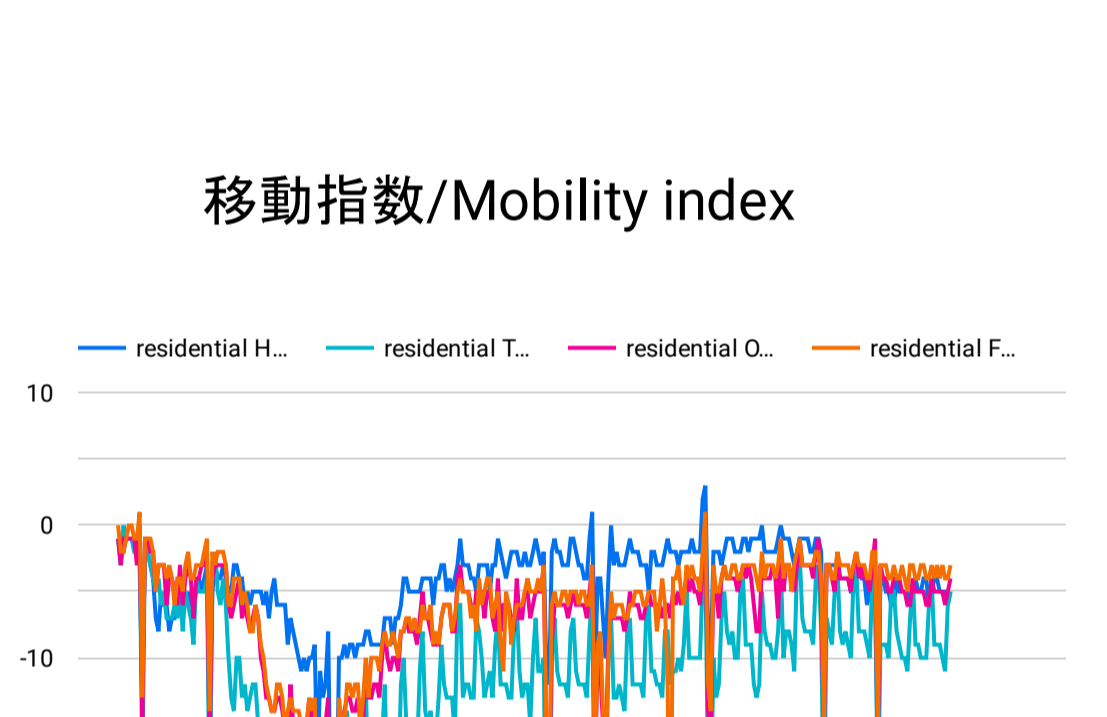
移動指数/Mobility index



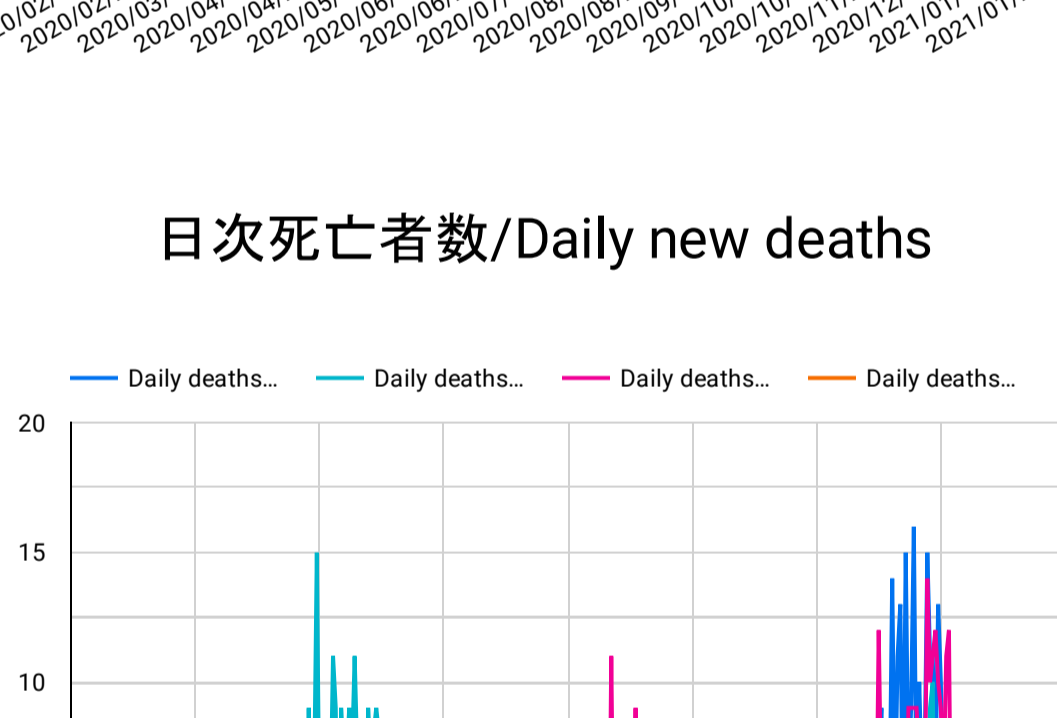
移動指数/Mobility index



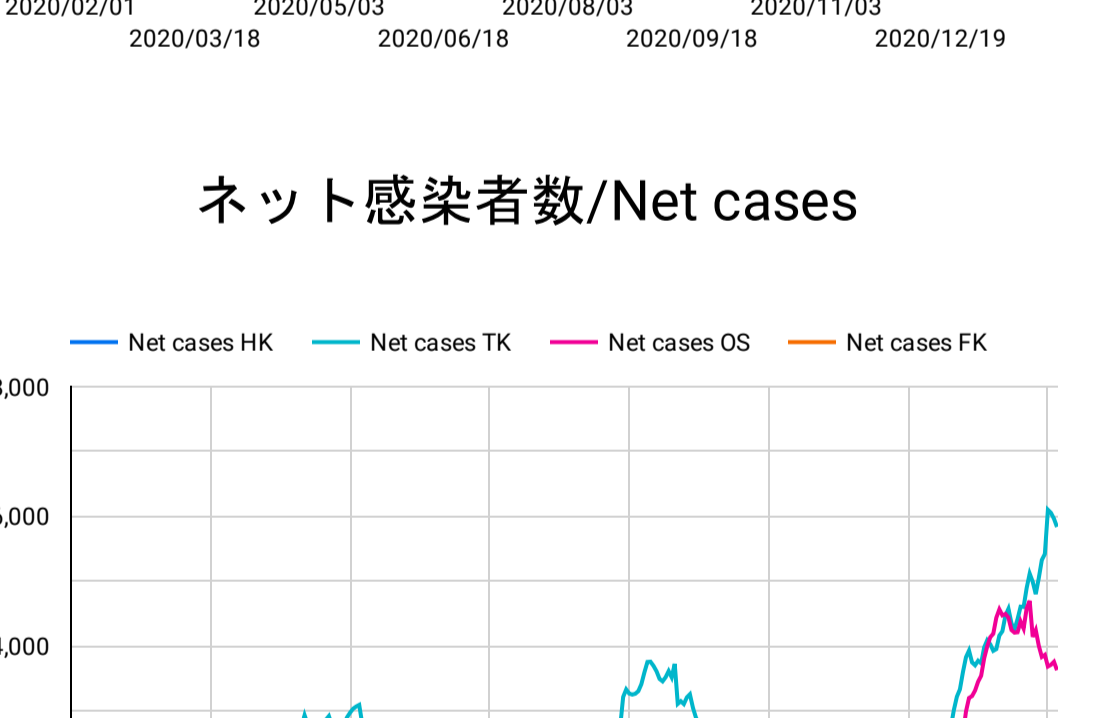
移動指数/Mobility index



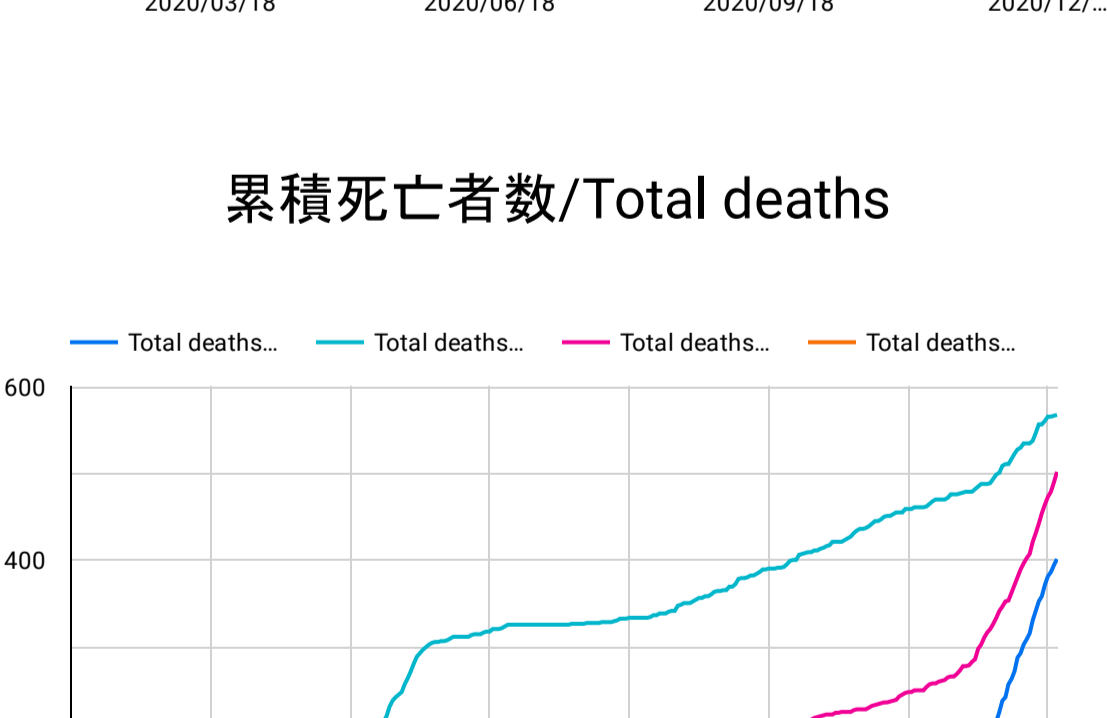
日次死亡者数/Daily new deaths



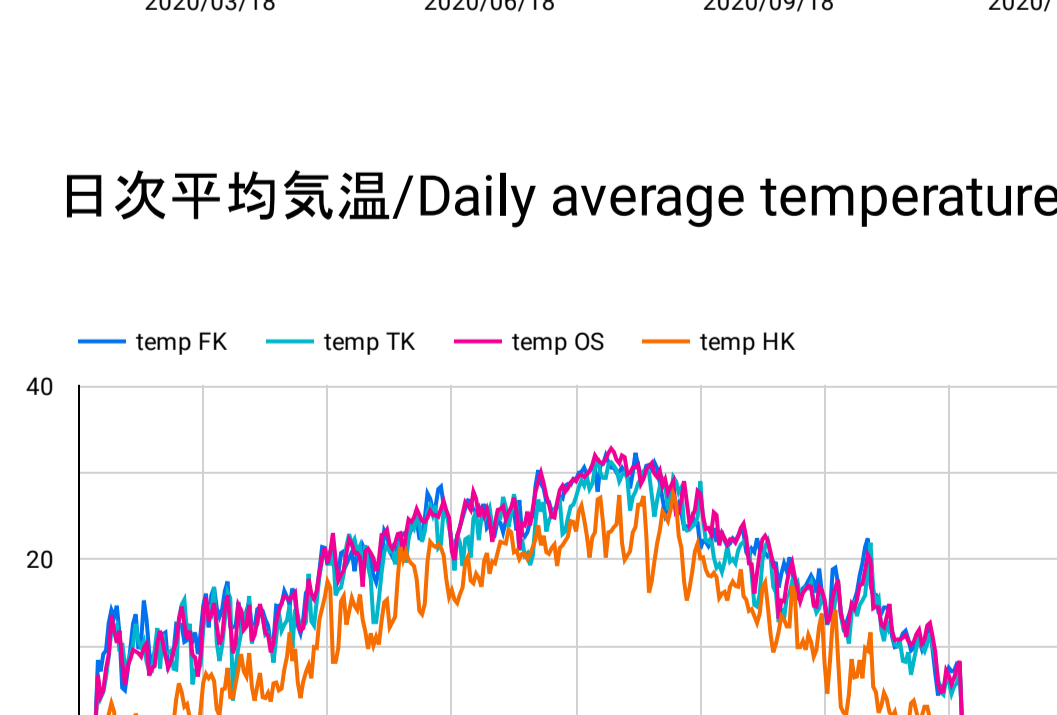
ネット感染者数/Net cases



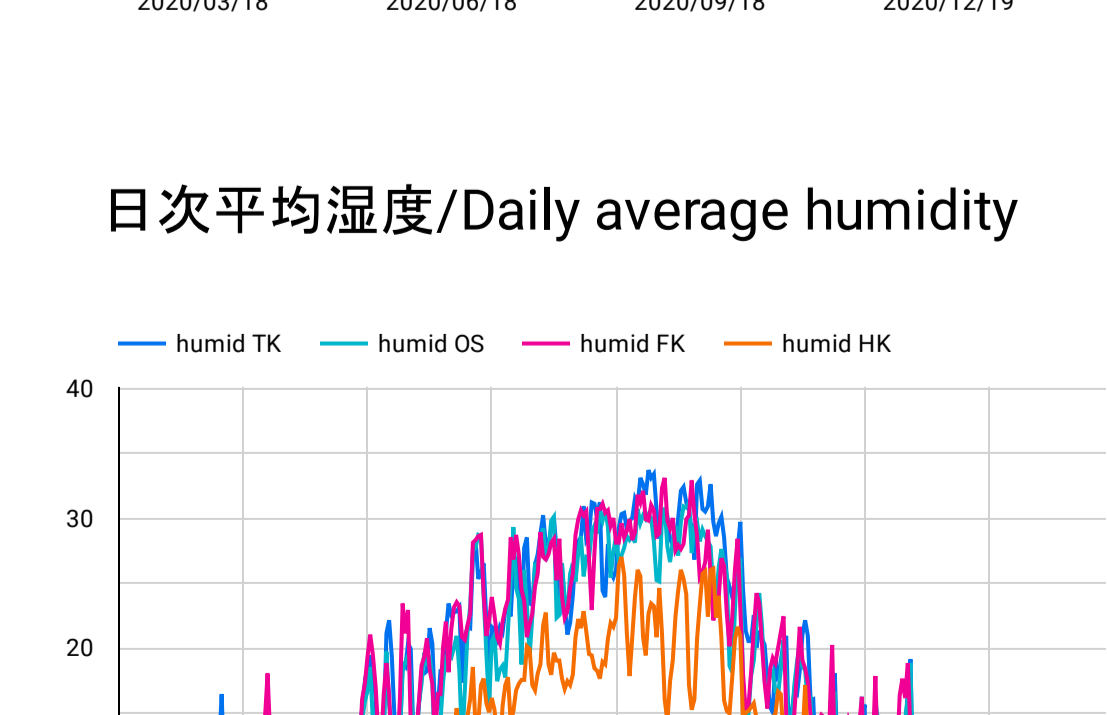
累積死亡者数/Total deaths



日次平均気温/Daily average temperature



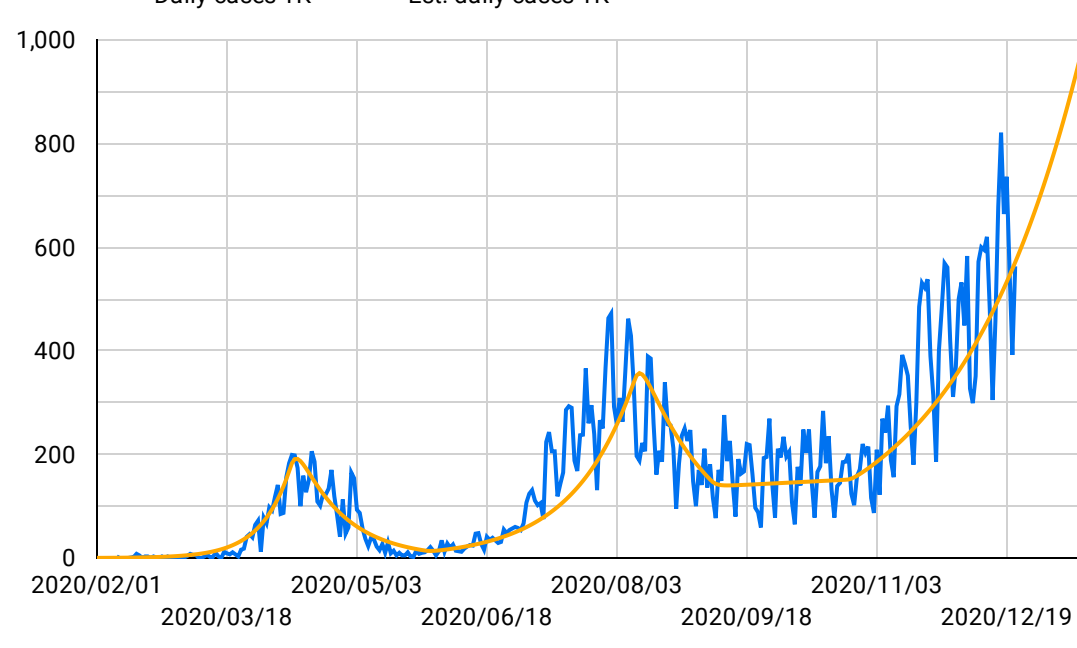
日次平均湿度/Daily average humidity



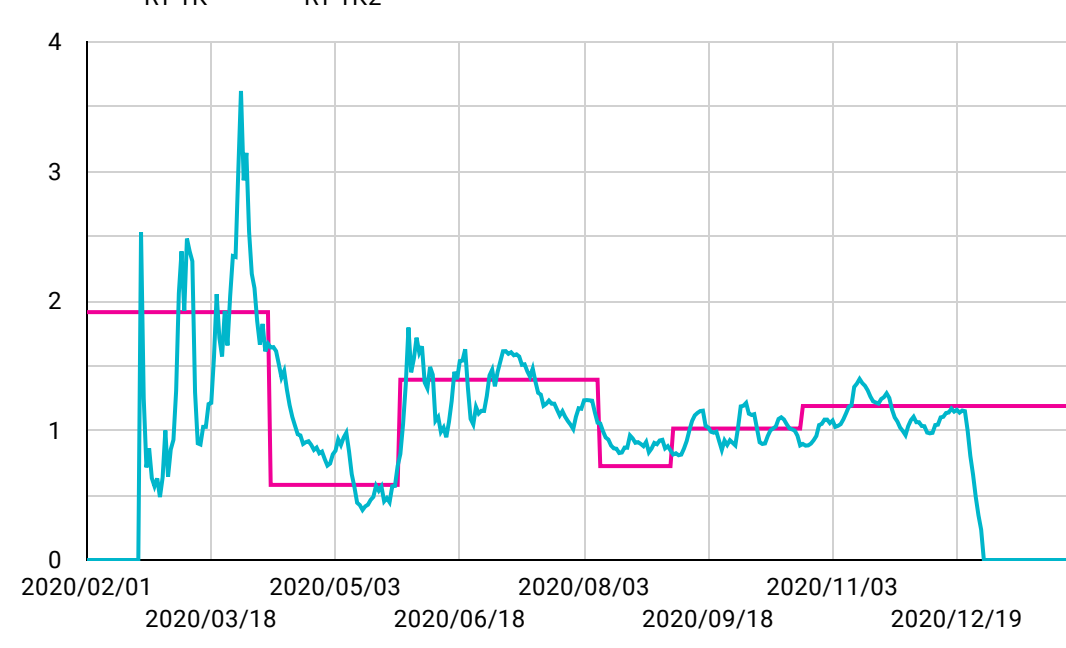
東京/Tokyo

2020/02/01 - 2021/01/31

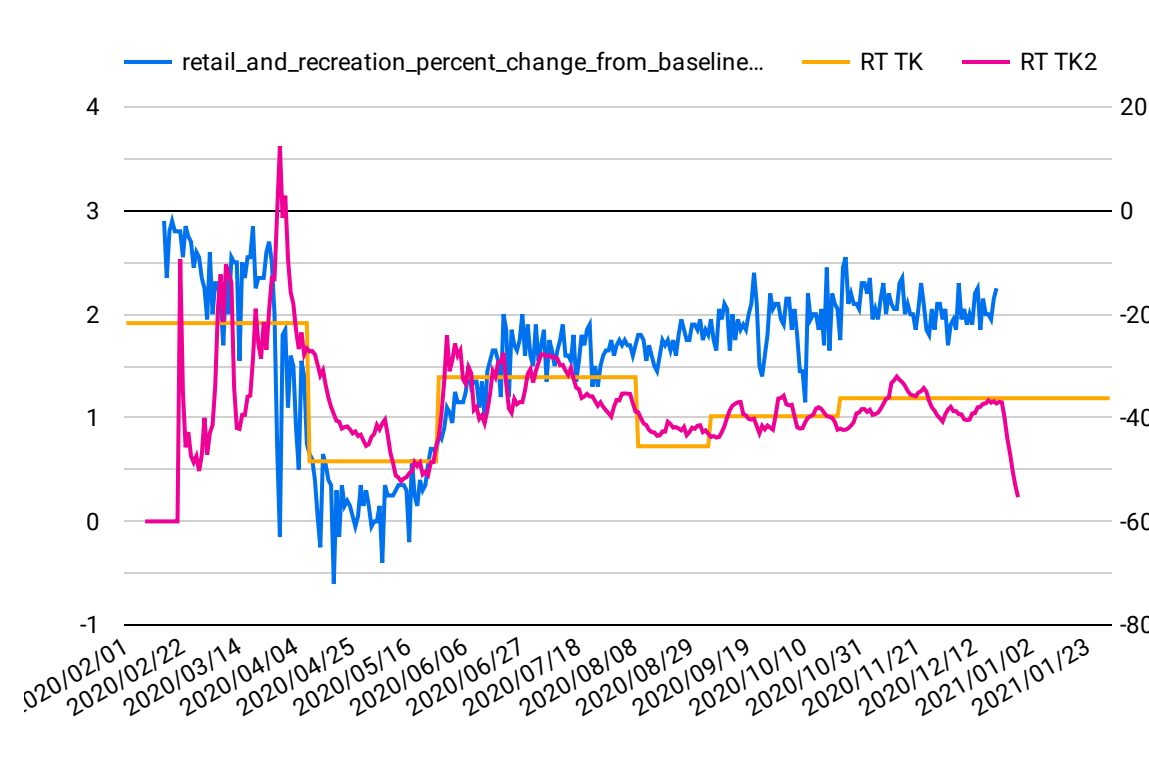
日次新規感染者数（東京） /Daily new cases (Tokyo)



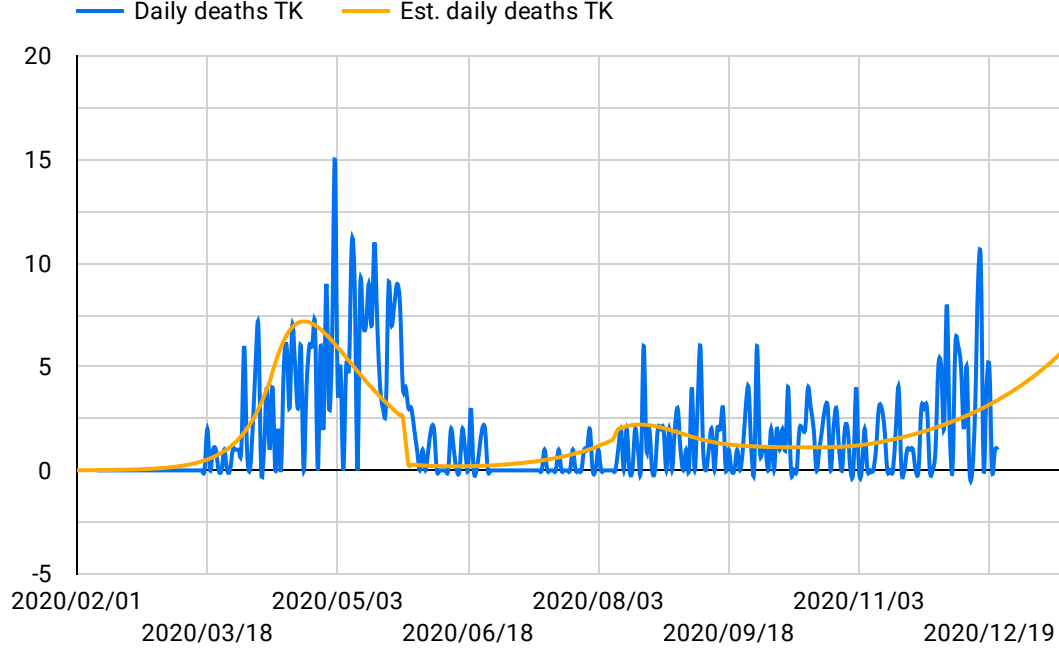
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（東京） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Tokyo)



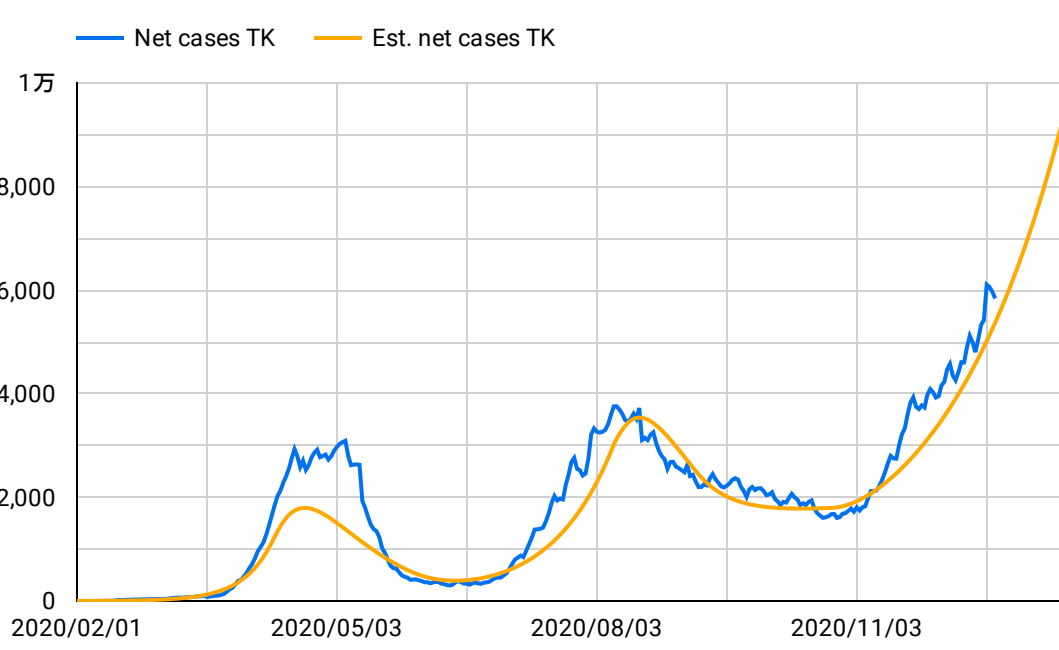
再生産数と移動指数の比較（東京） / Comparison between RT and mobility index (Tokyo)



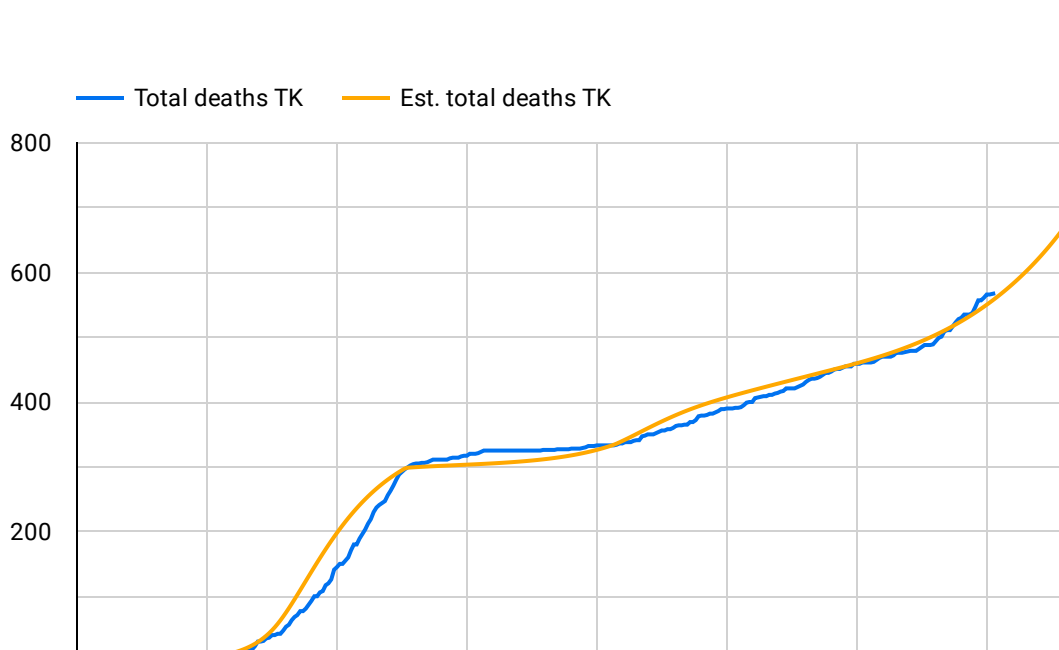
日次死者数（東京） /Daily new deaths (Tokyo)



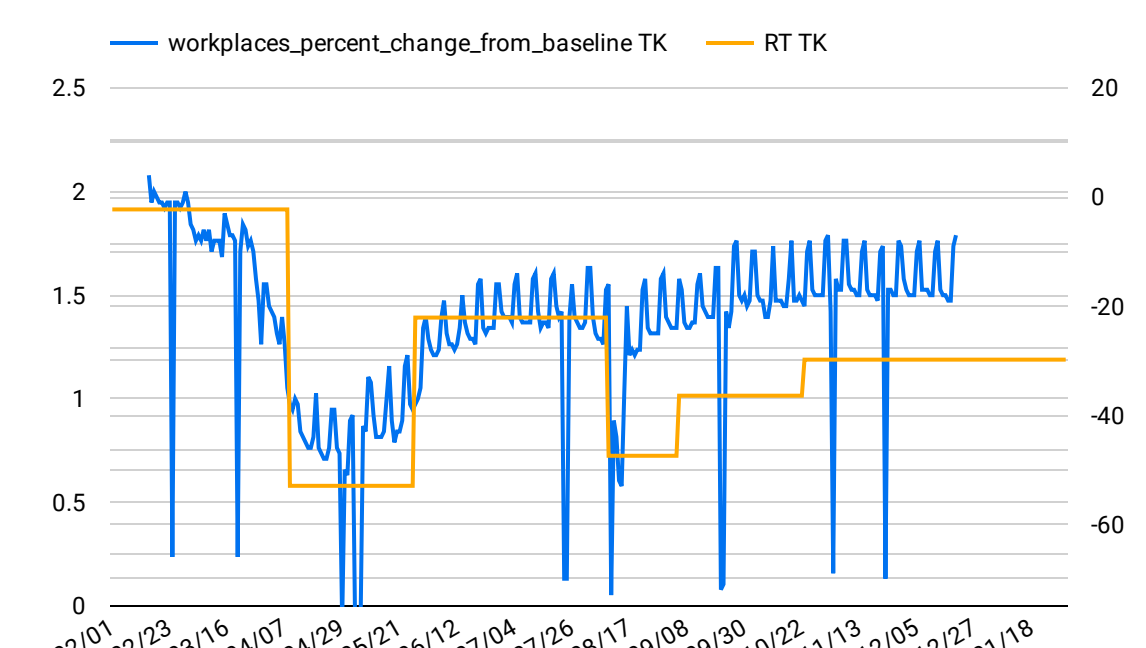
ネット感染者数（東京） /Net cases (Tokyo)



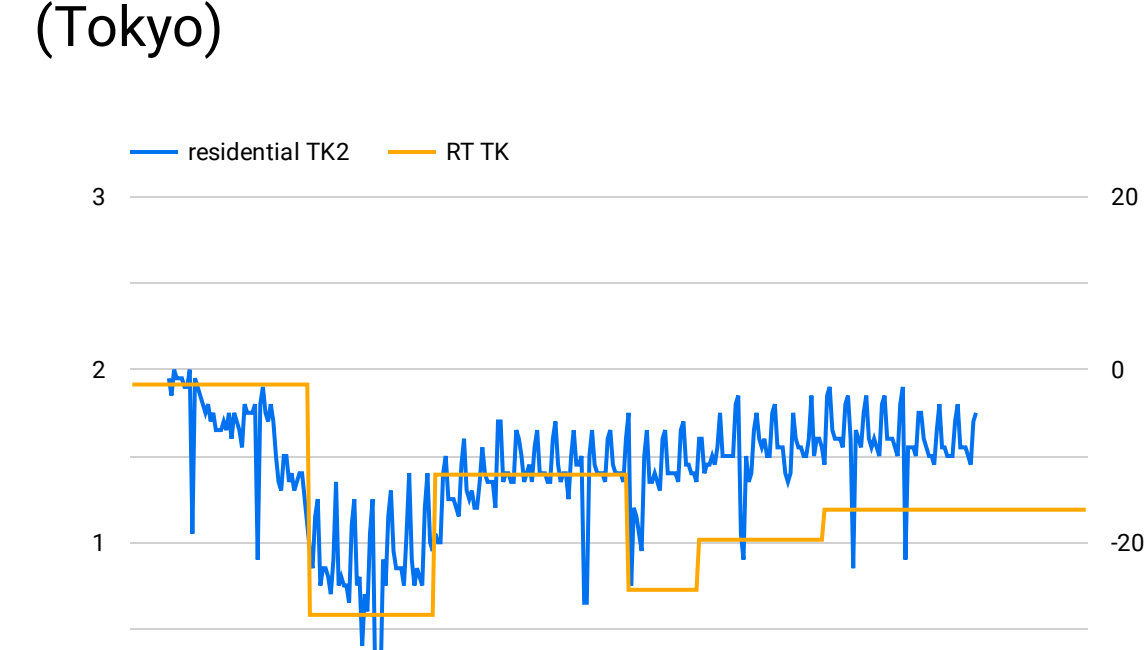
累積死者数（東京） /Total deaths (Tokyo)



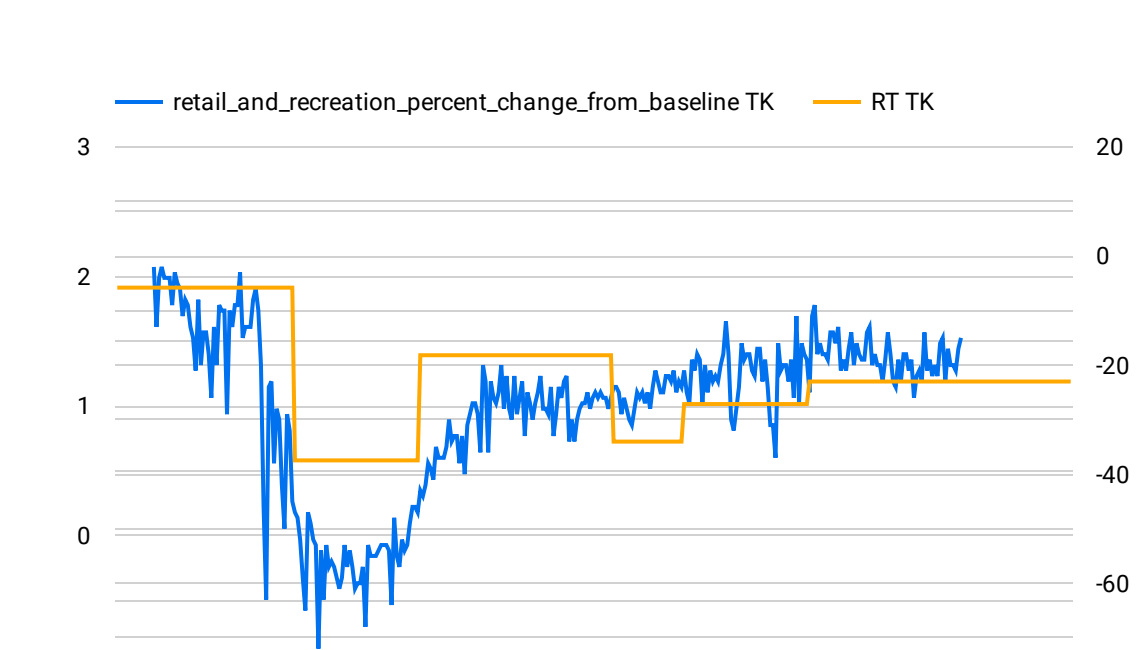
再生産数と移動指数の比較（東京） / Comparison between RT and mobility index (Tokyo)



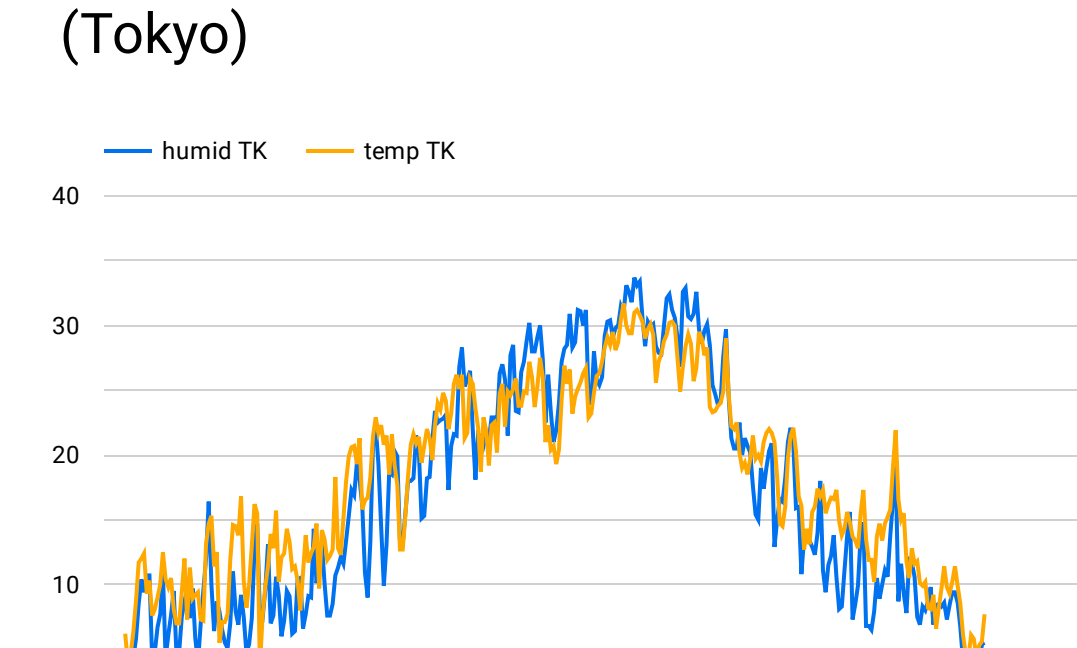
再生産数と移動指数の比較（東京） / Comparison between RT and mobility index (Tokyo)



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



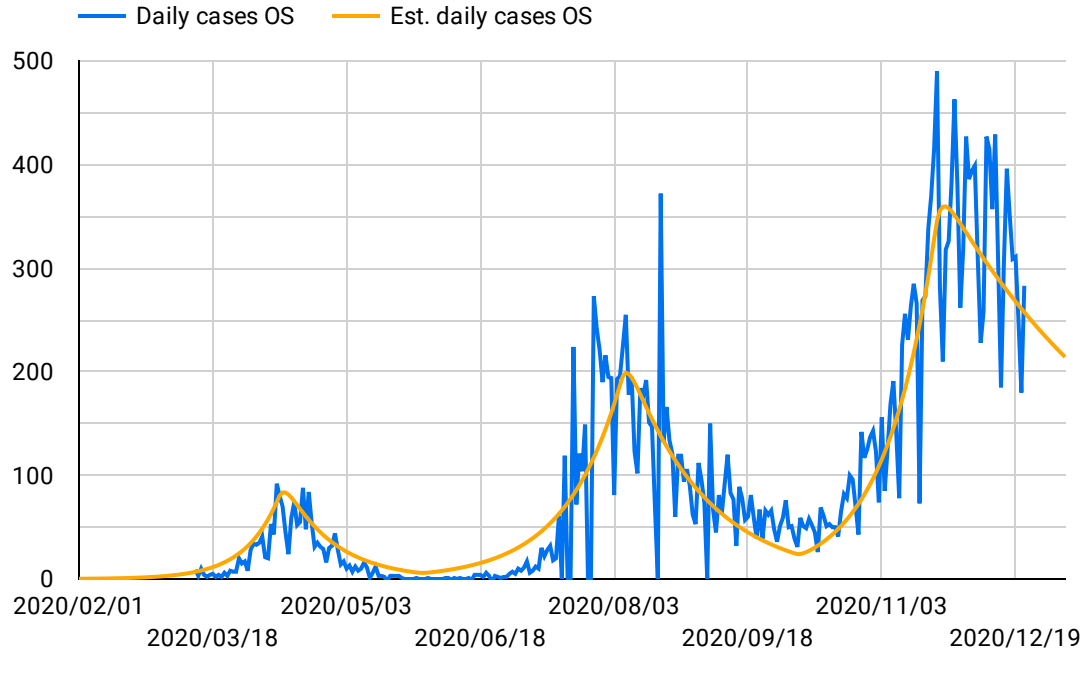
気温と湿度の推移（東京） / Changes in the temperature and humidity (Tokyo)



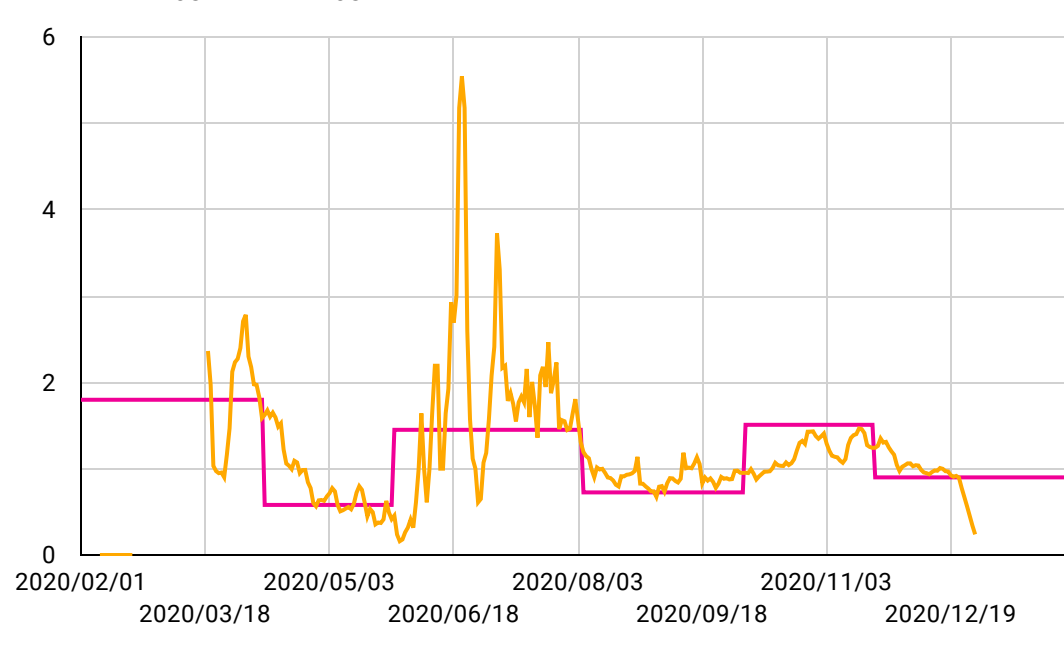
大阪/Osaka

2020/02/01 - 2021/01/31

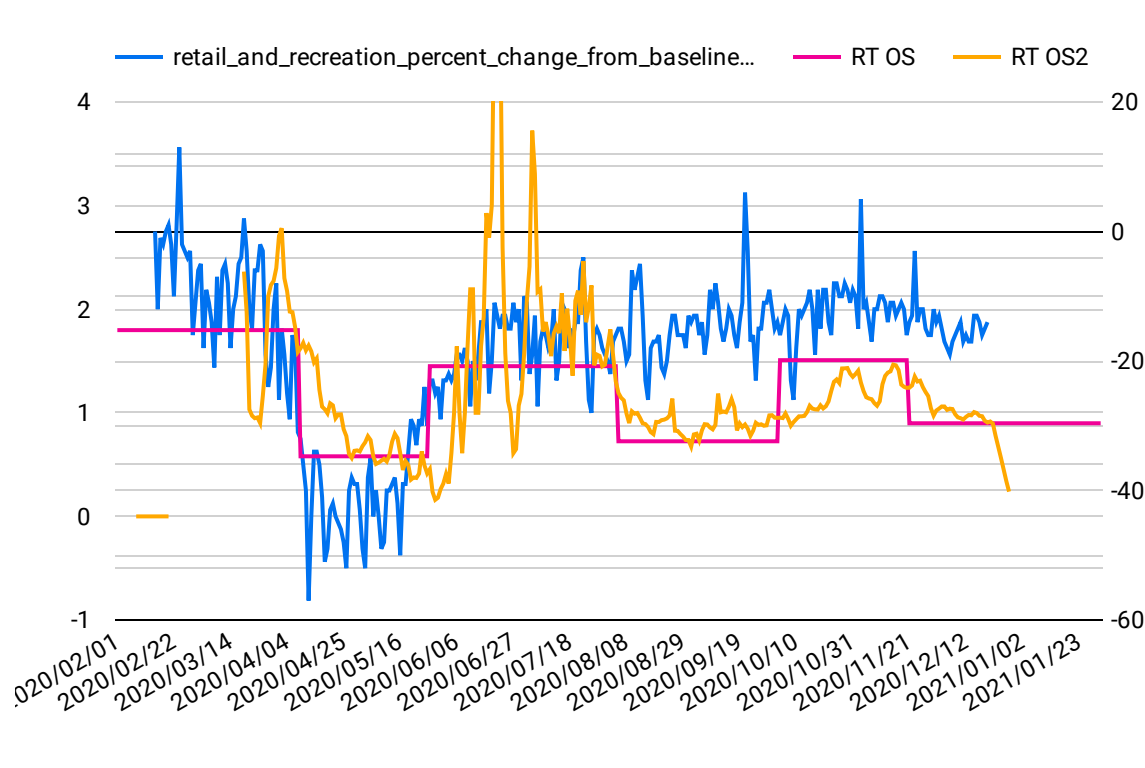
日次新規感染者数（大阪） / Daily new cases (Osaka)



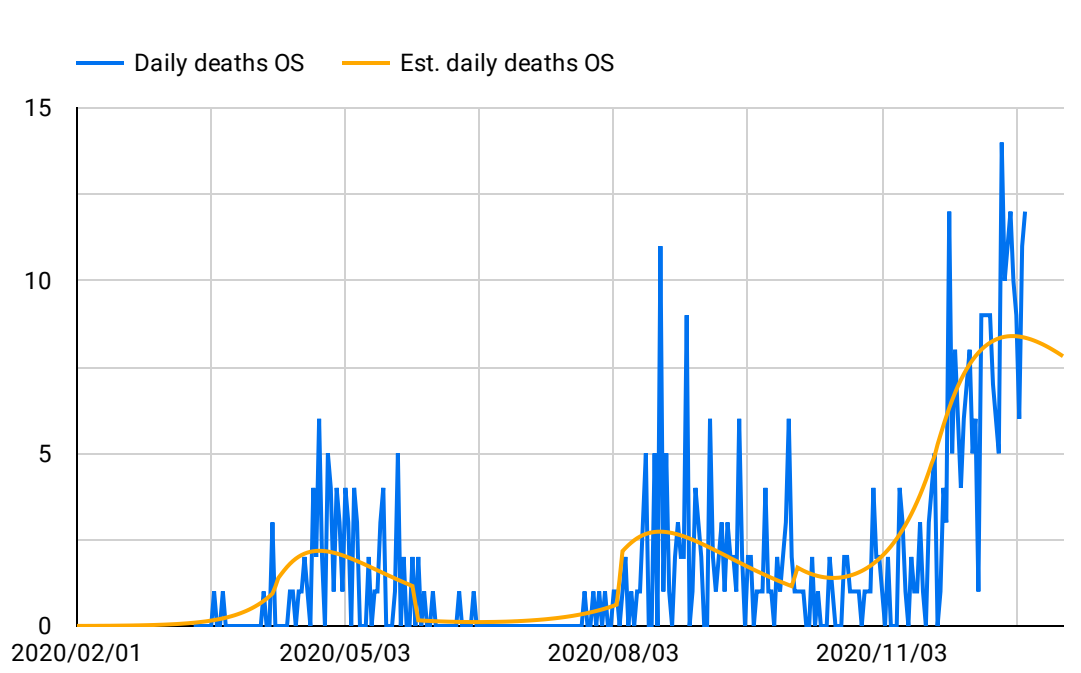
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（大阪） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Osaka)



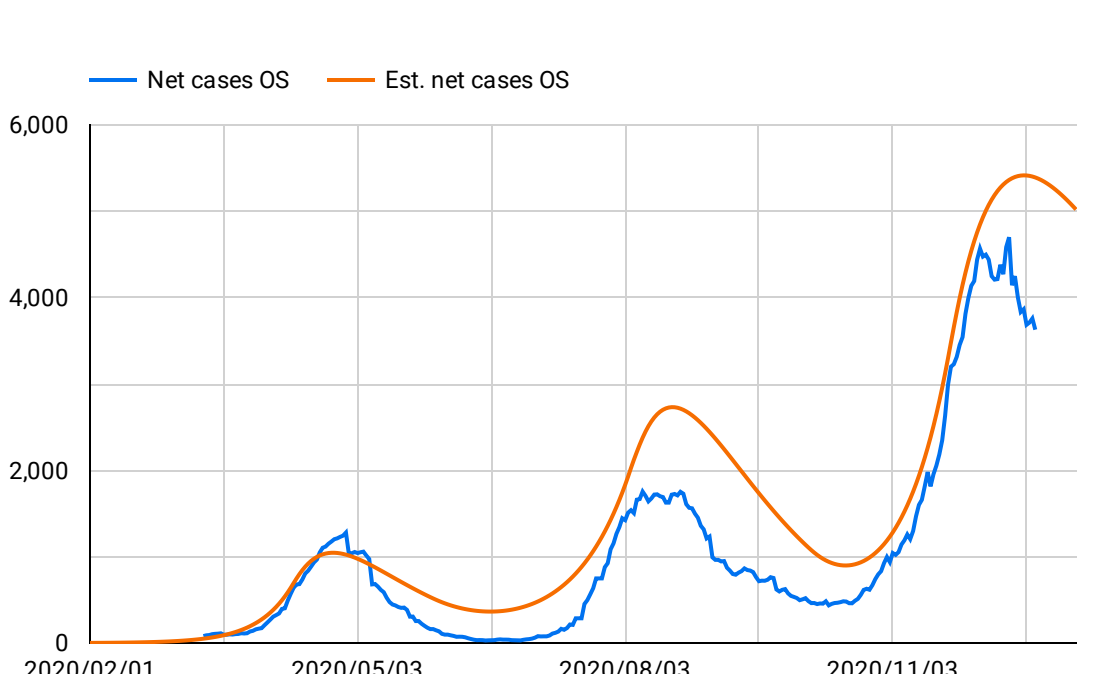
再生産数と移動指数の比較（大阪） / Comparison between RT and mobility index (Osaka)



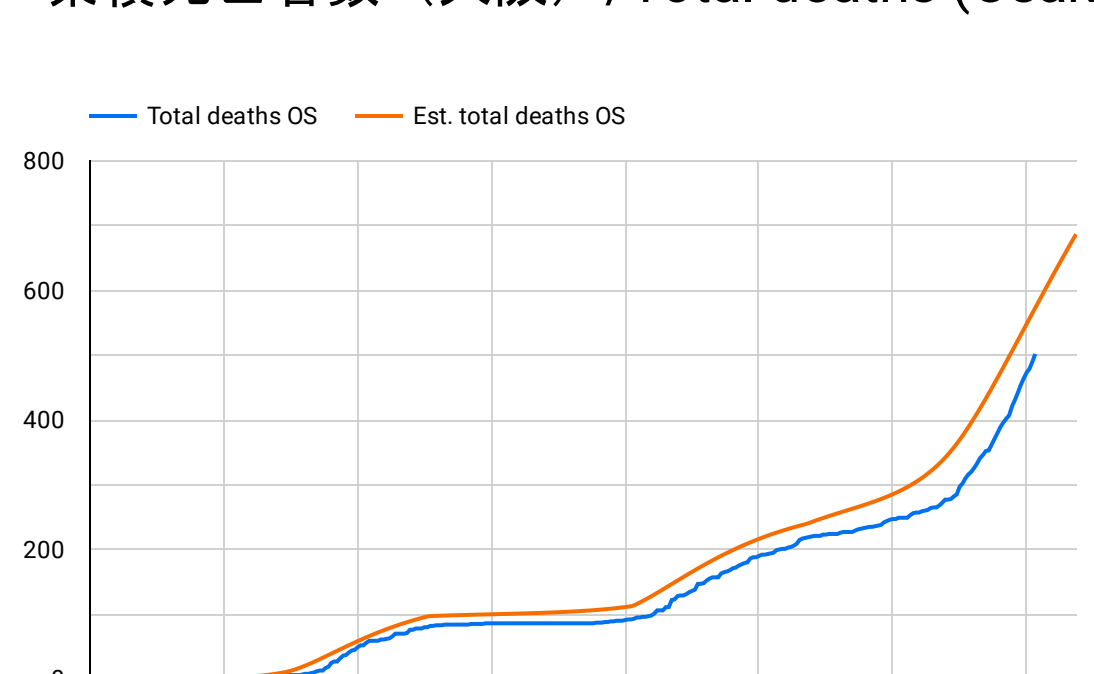
日次死者数（大阪） / Daily new deaths (Osaka)



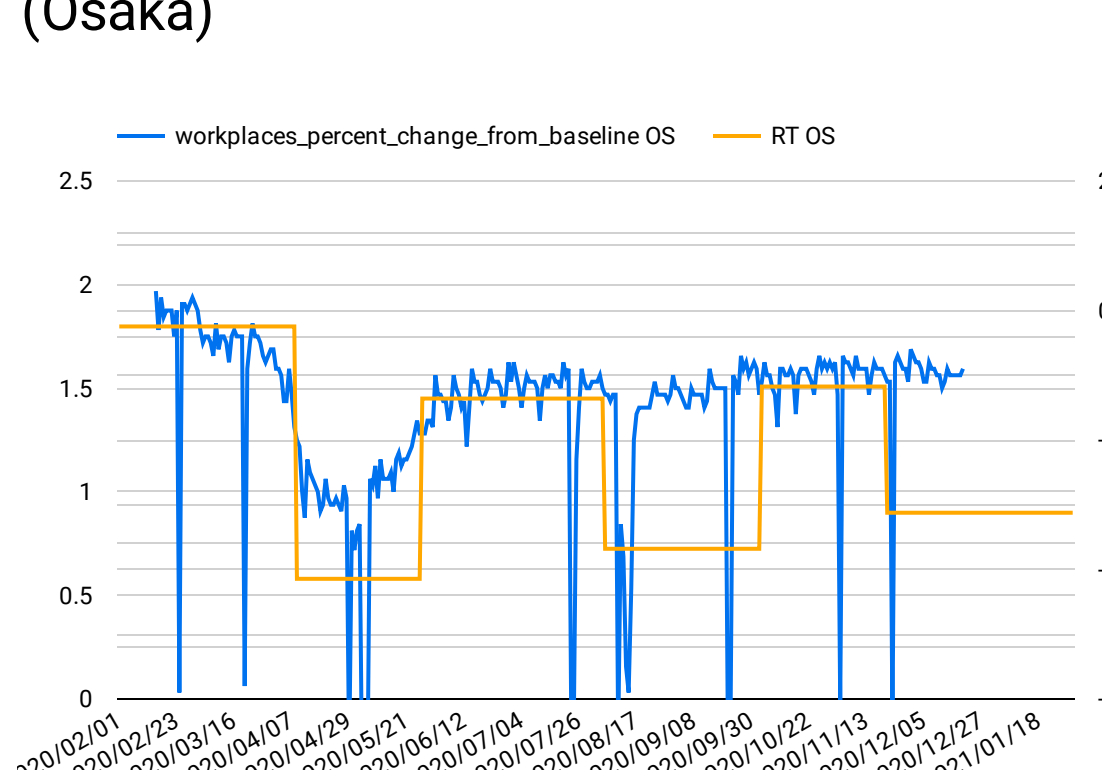
ネット感染者数（大阪） / Net cases (Osaka)



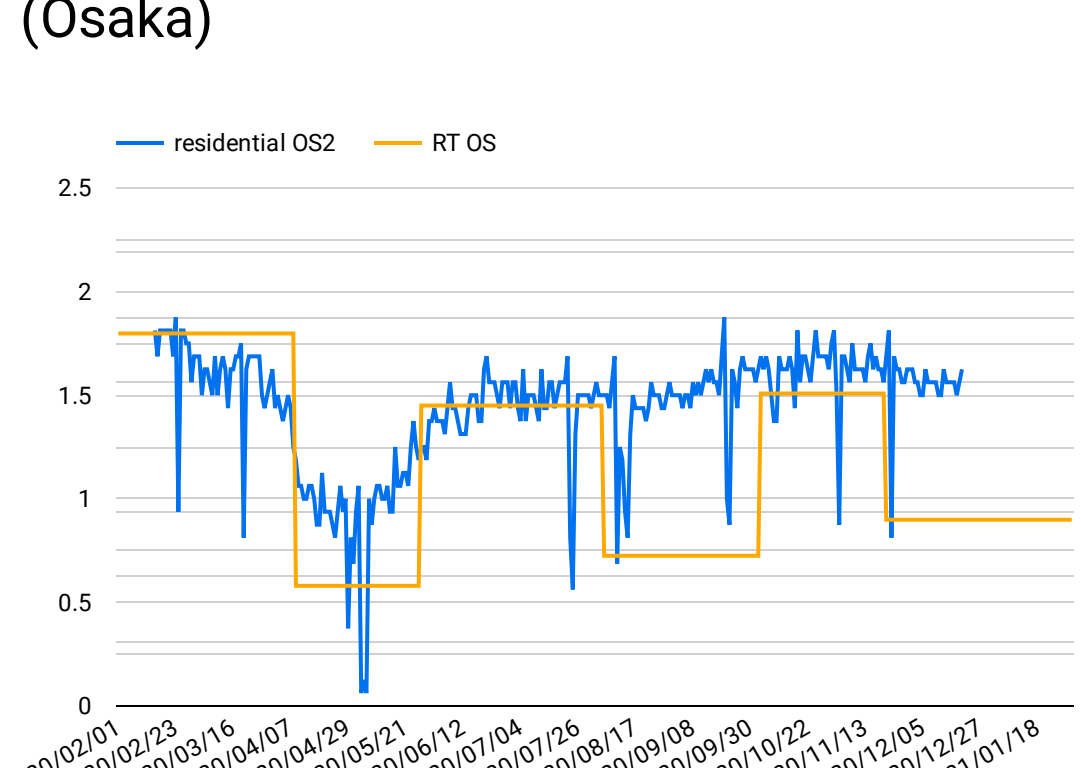
累積死者数（大阪） / Total deaths (Osaka)



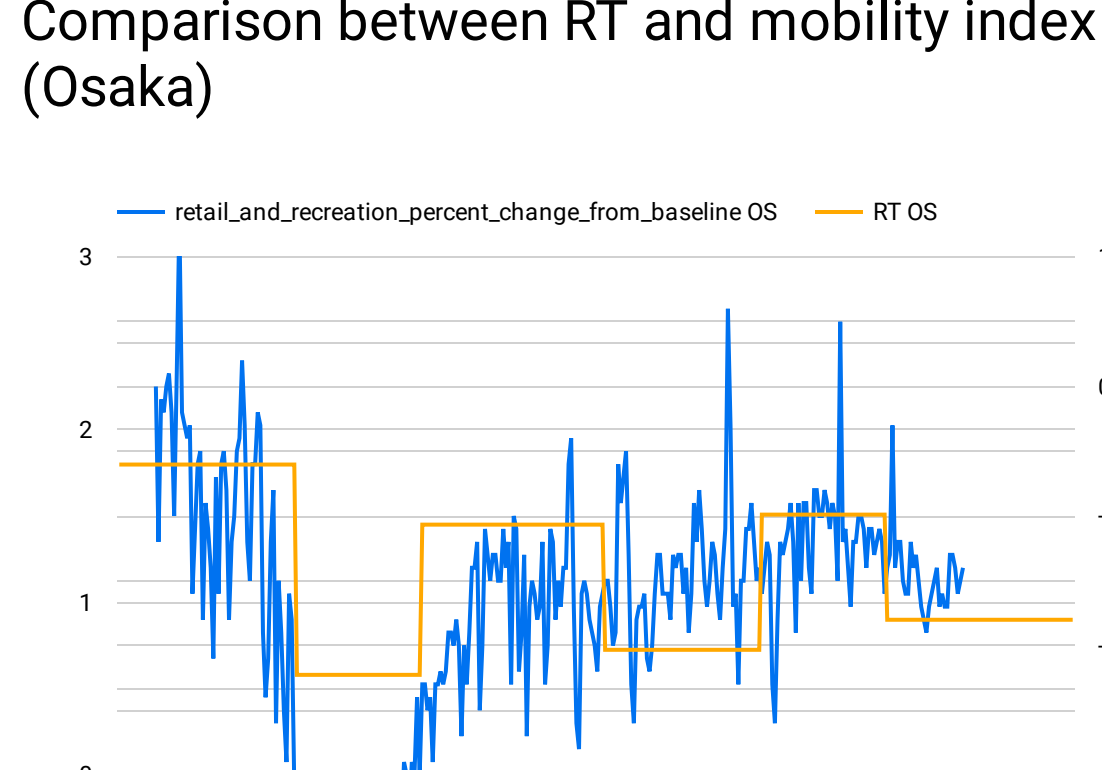
再生産数と移動指数の比較（大阪） / Comparison between RT and mobility index (Osaka)



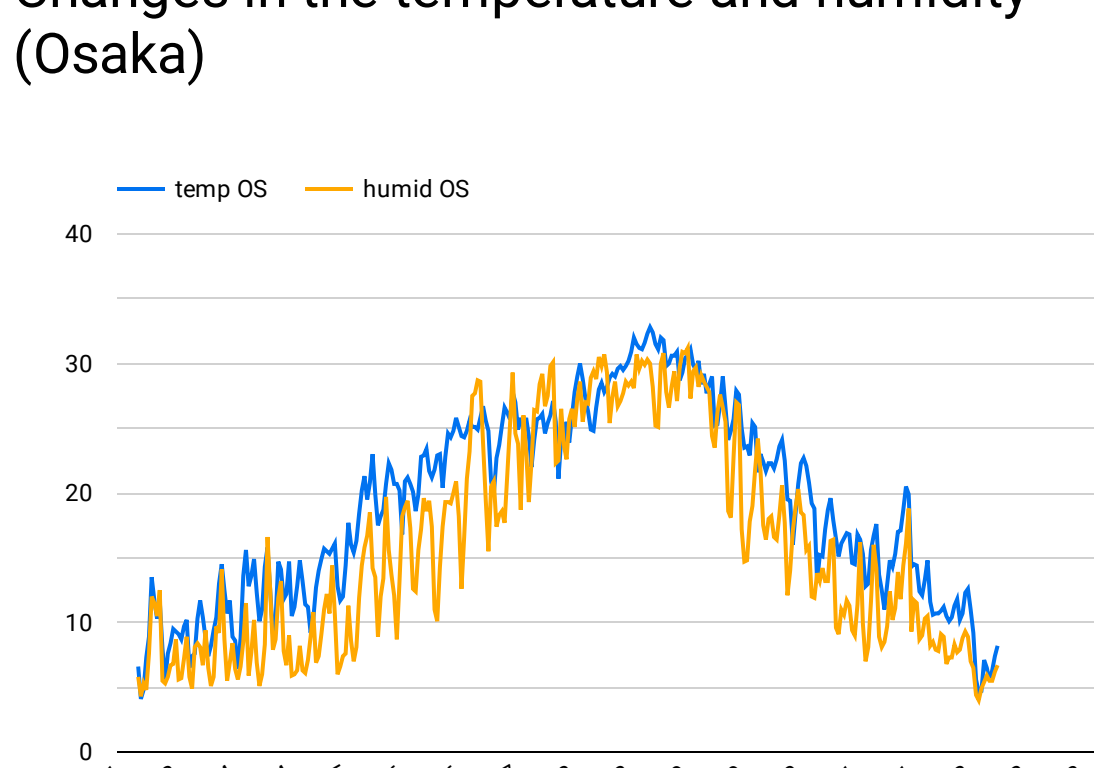
再生産数と移動指数の比較（大阪） / Comparison between RT and mobility index (Osaka)



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



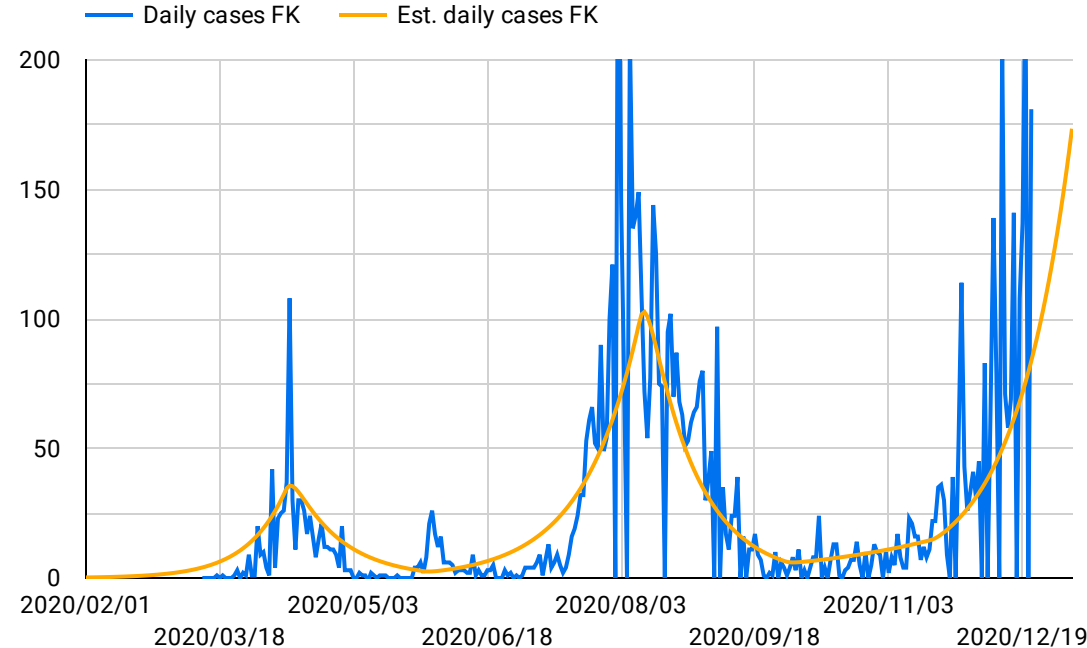
気温と湿度の推移（大阪） / Changes in the temperature and humidity (Osaka)



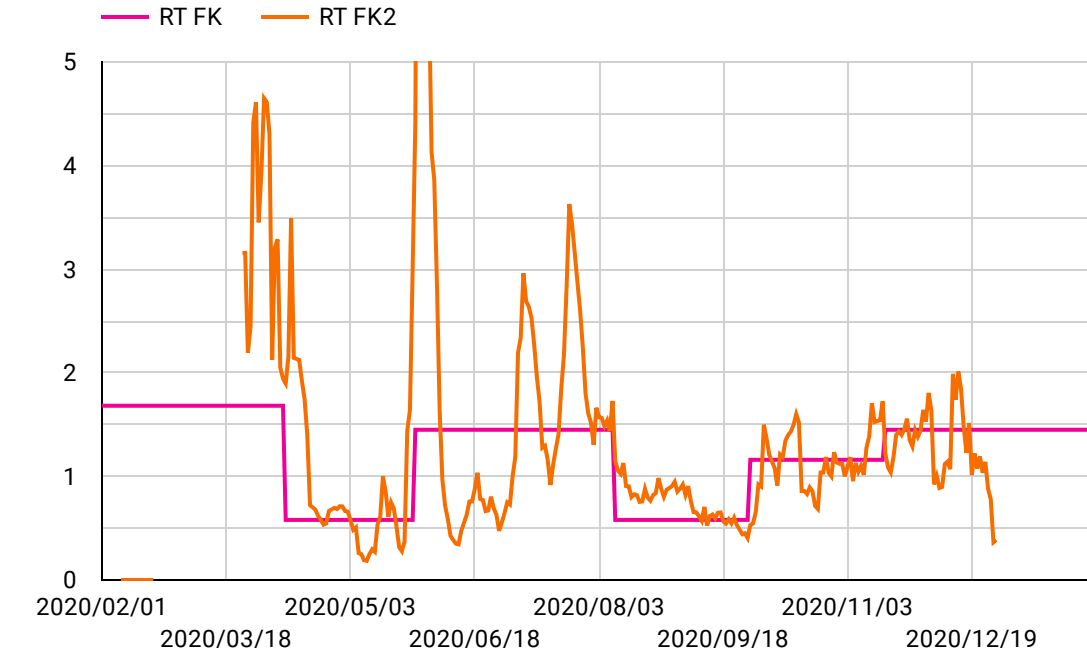
福岡/Fukuoka

2020/02/01 - 2021/01/31

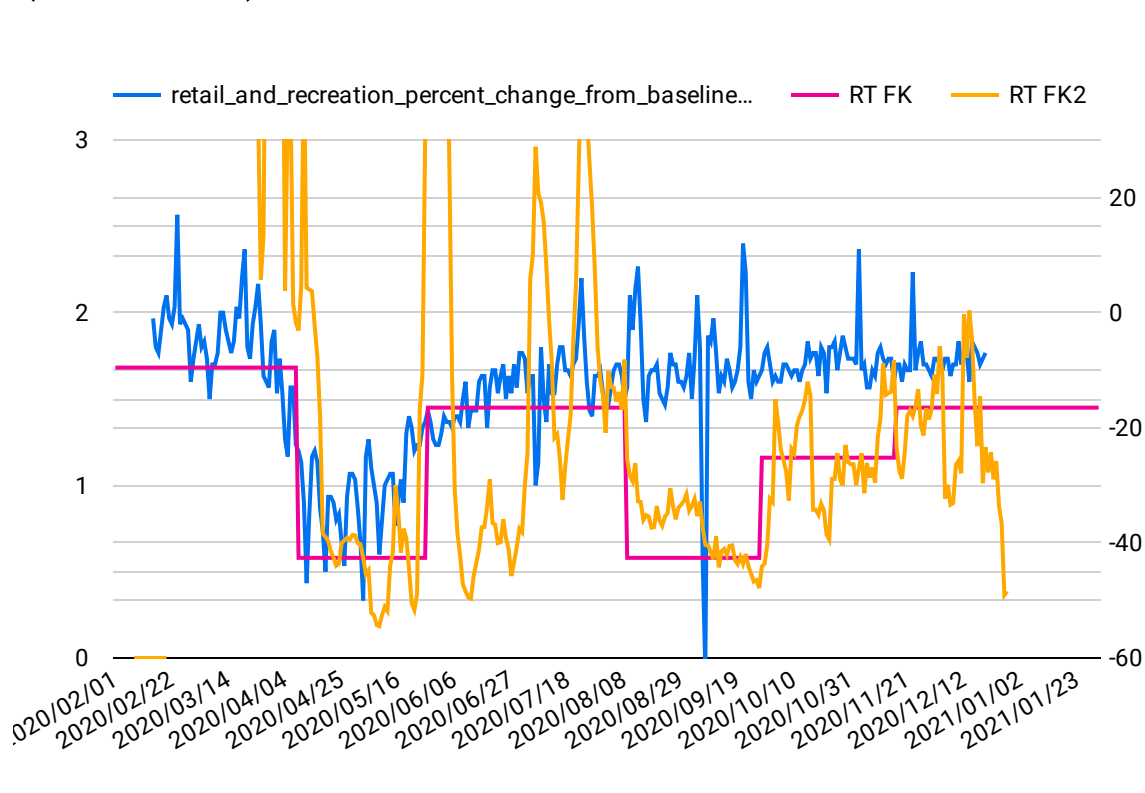
日々新規感染者数（福岡） / Daily new cases (Fukuoka)



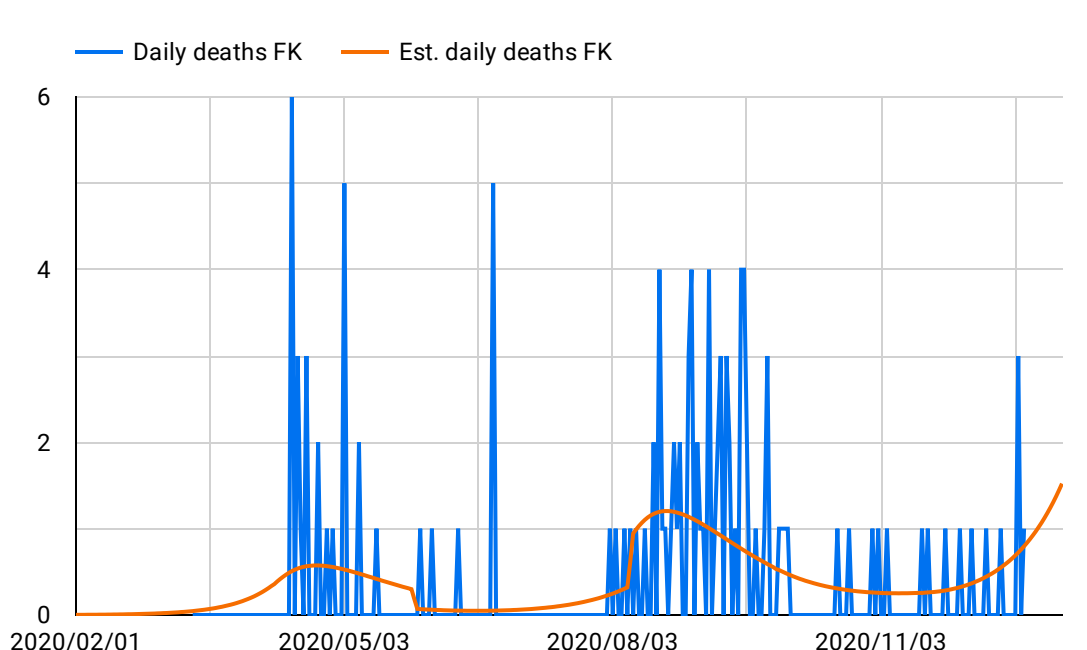
日々再生産数とモデル推計再生産数の比較（福岡） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Fukuoka)



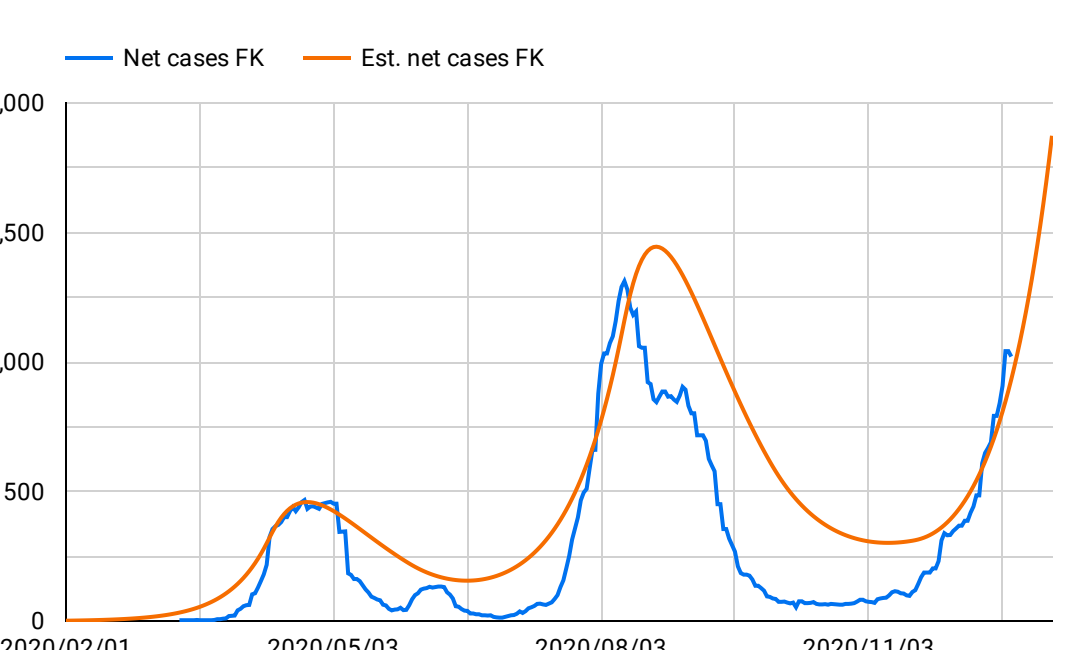
再生産数と移動指数の比較（福岡） / Comparison between RT and mobility index (Fukuoka)



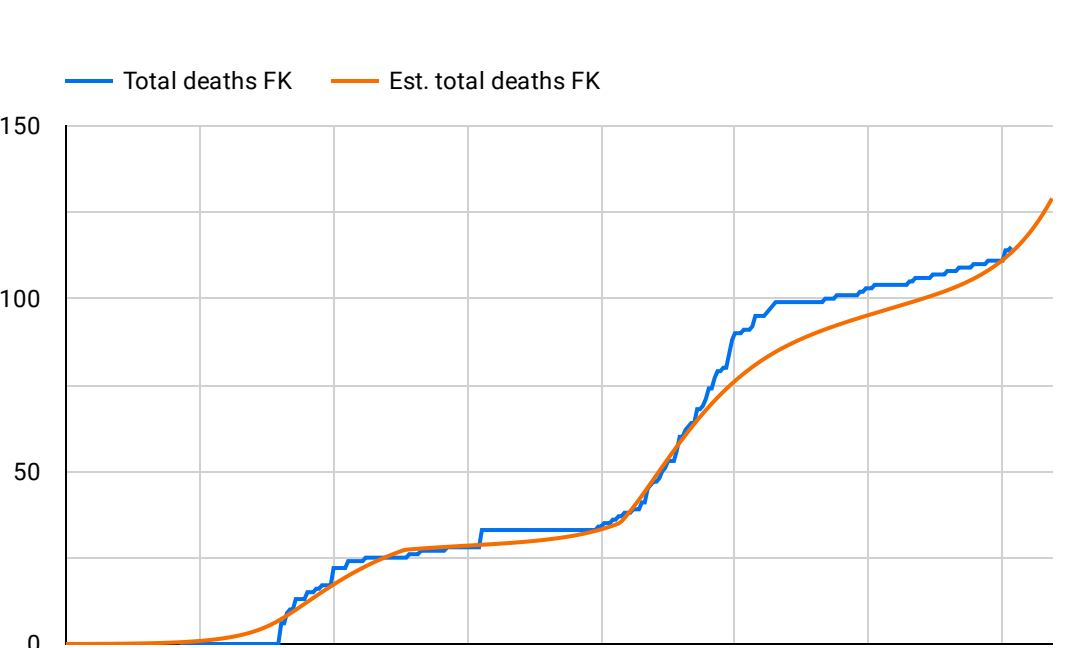
日々死亡者数（福岡） / Daily new deaths (Fukuoka)



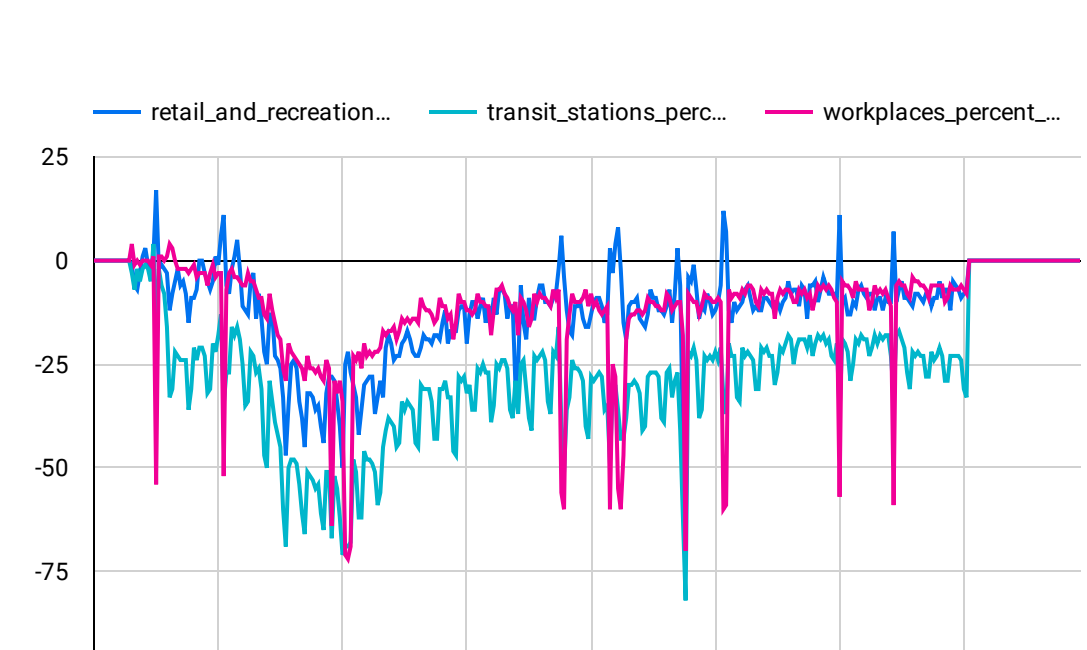
ネット感染者数（福岡） / Net cases (Fukuoka)



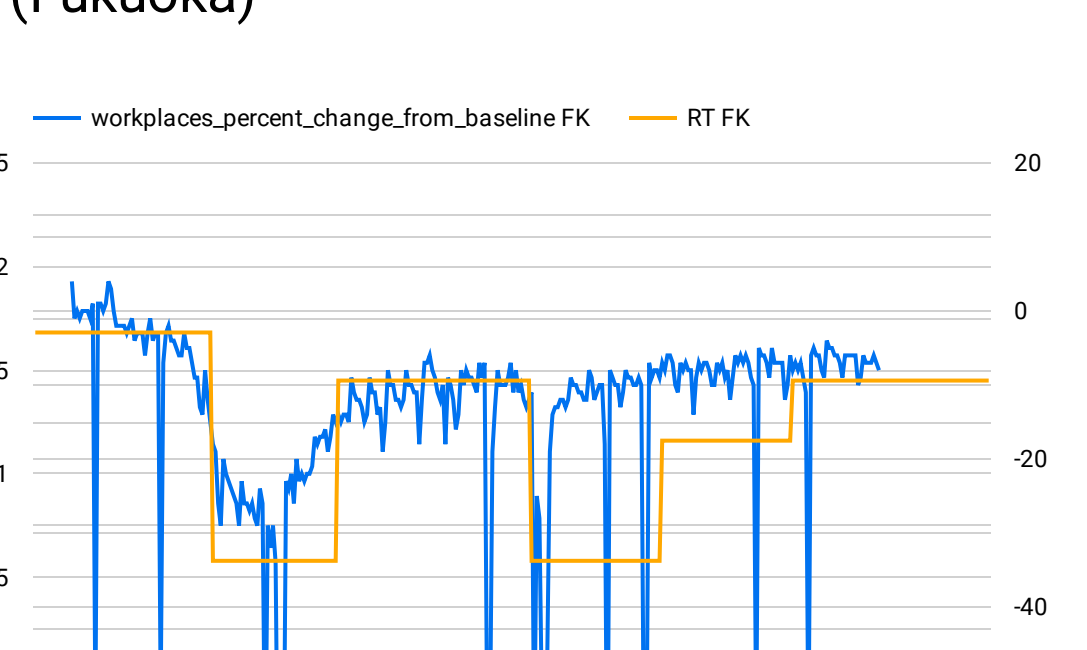
累積死亡者数（福岡） / Total deaths (Fukuoka)



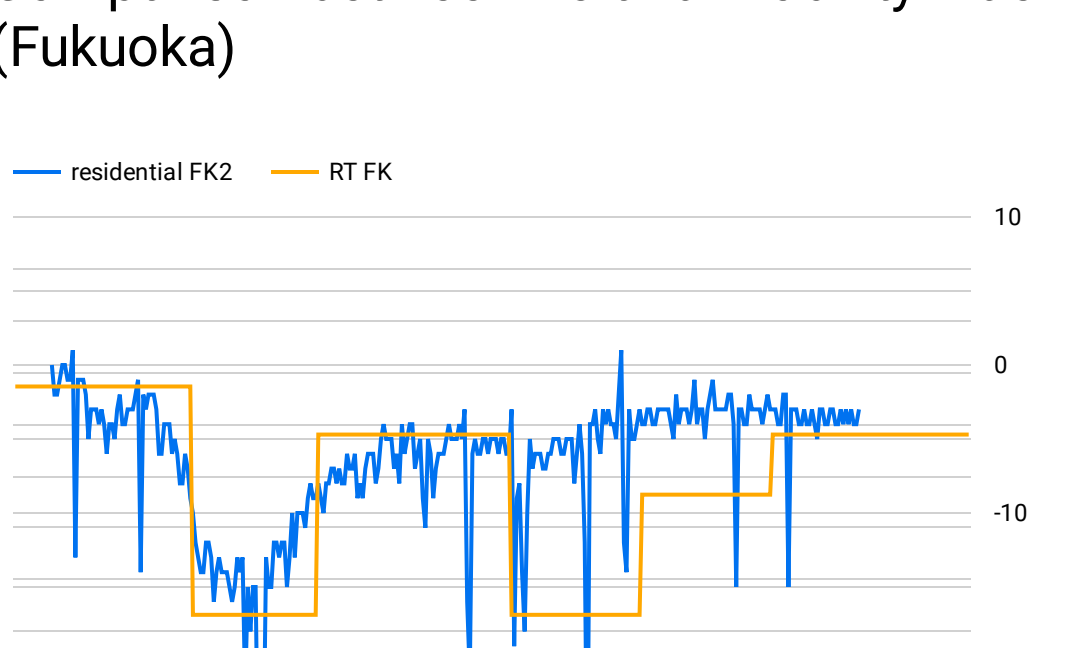
異なる移動指数の比較（福岡） / Comparison of various mobility indices (Fukuoka)



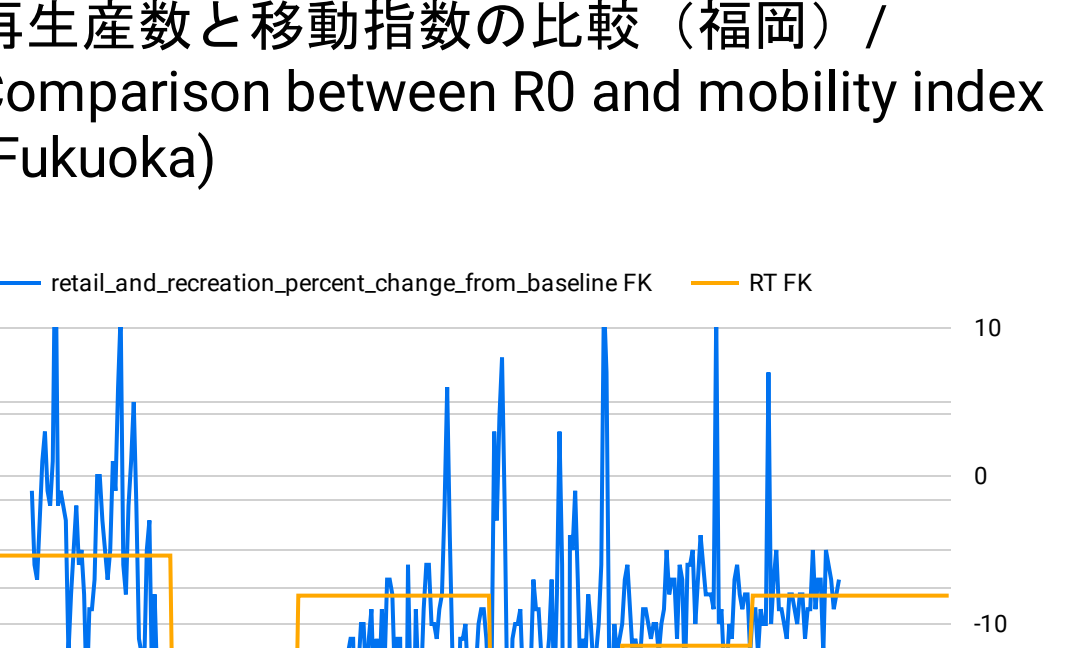
再生産数と移動指数の比較（福岡） / Comparison between RT and mobility index (Fukuoka)



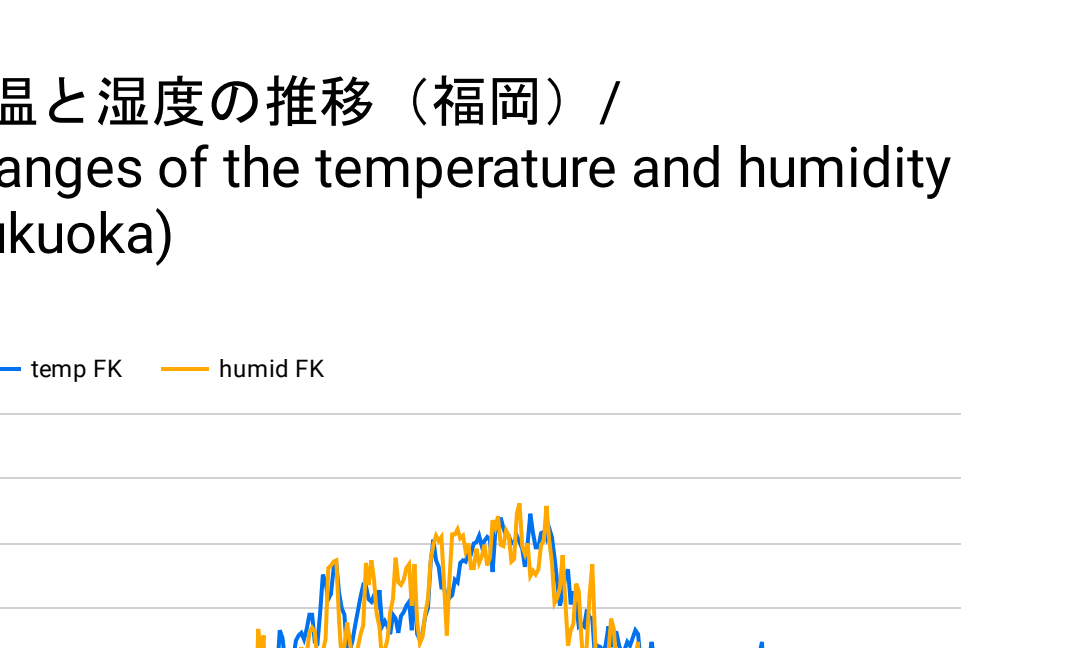
再生産数と移動指数の比較（福岡） / Comparison between R0 and mobility index (Fukuoka)



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



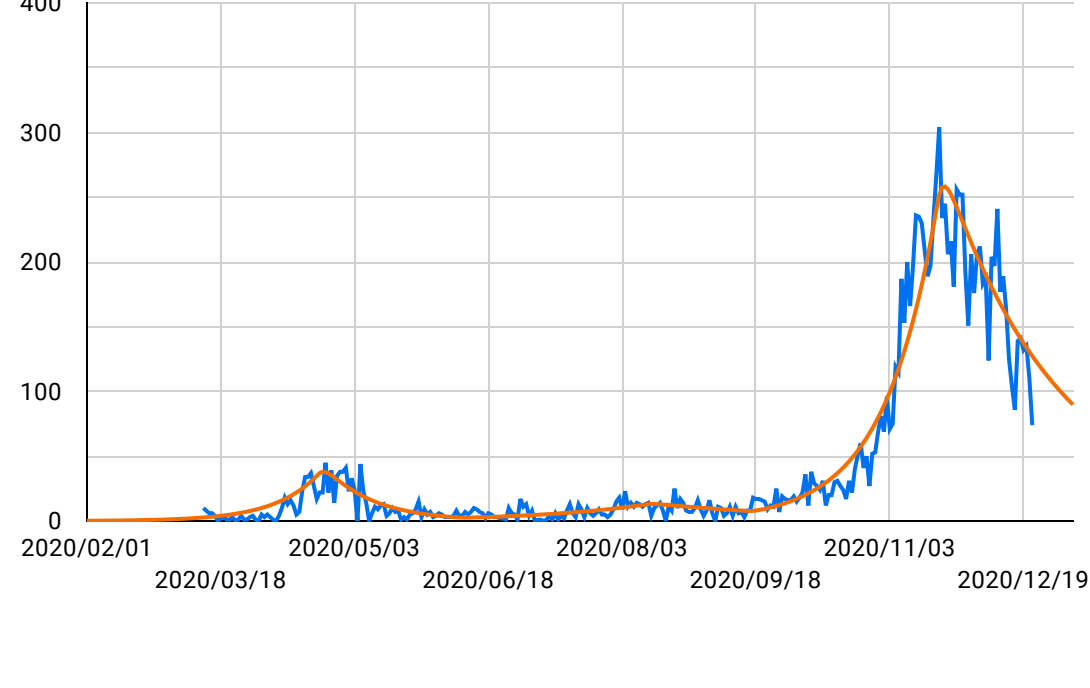
気温と湿度の推移（福岡） / Changes of the temperature and humidity (Fukuoka)



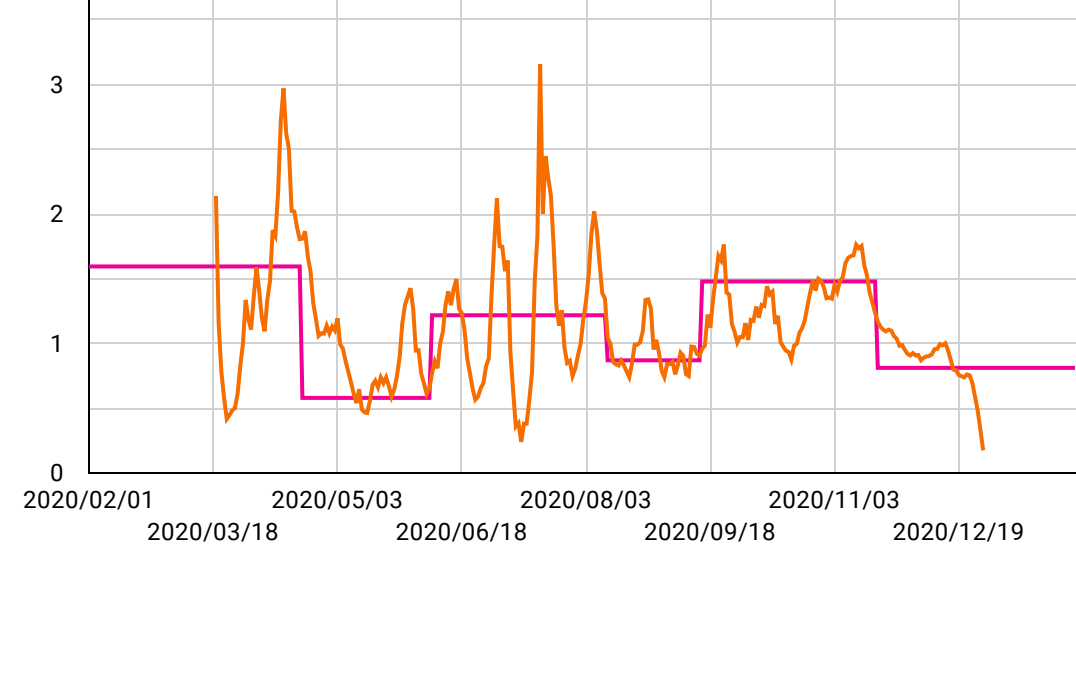
北海道/Hokkaido

2020/02/01 - 2021/01/31

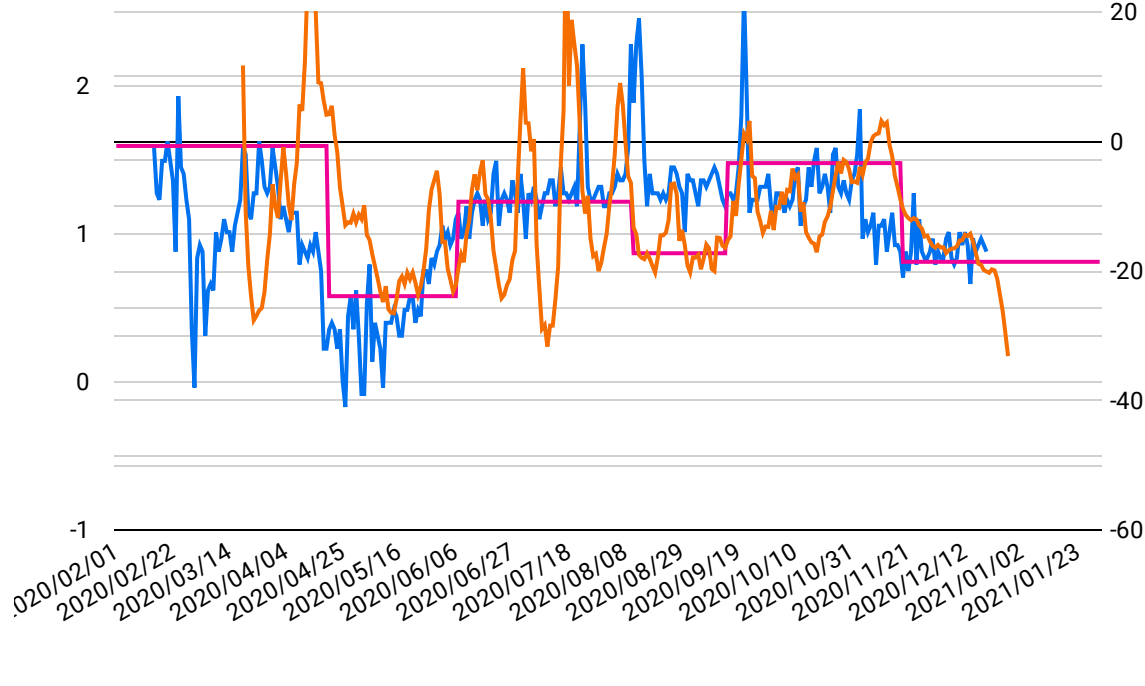
日次新規感染者数（北海道） / Daily new cases (Hokkaido)



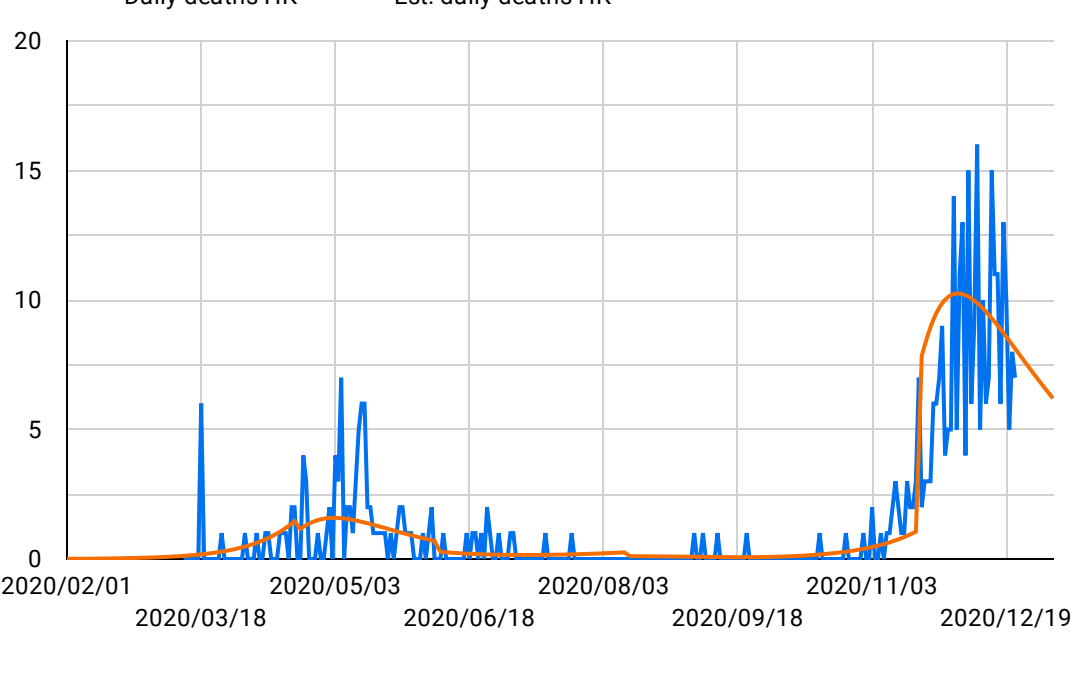
日次再生産数とモデル推計再生産数の比較（北海道） / Comparison between daily RT and model estimate RT (Hokkaido)



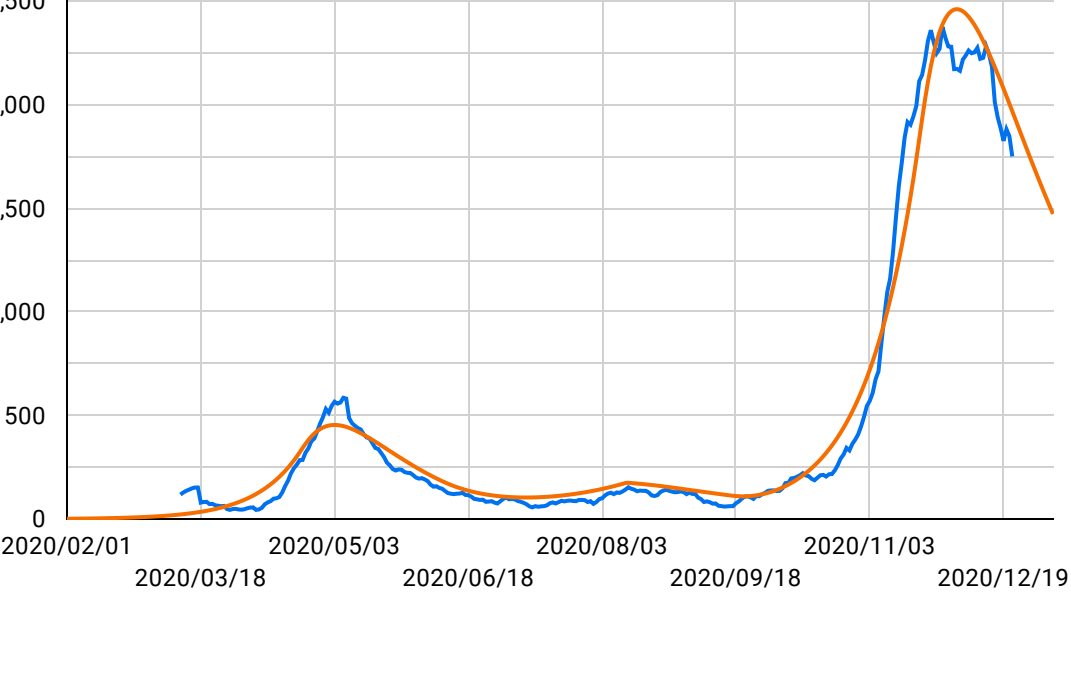
再生産数と移動指数の比較（北海道） / Comparison between RT and mobility index (Hokkaido)



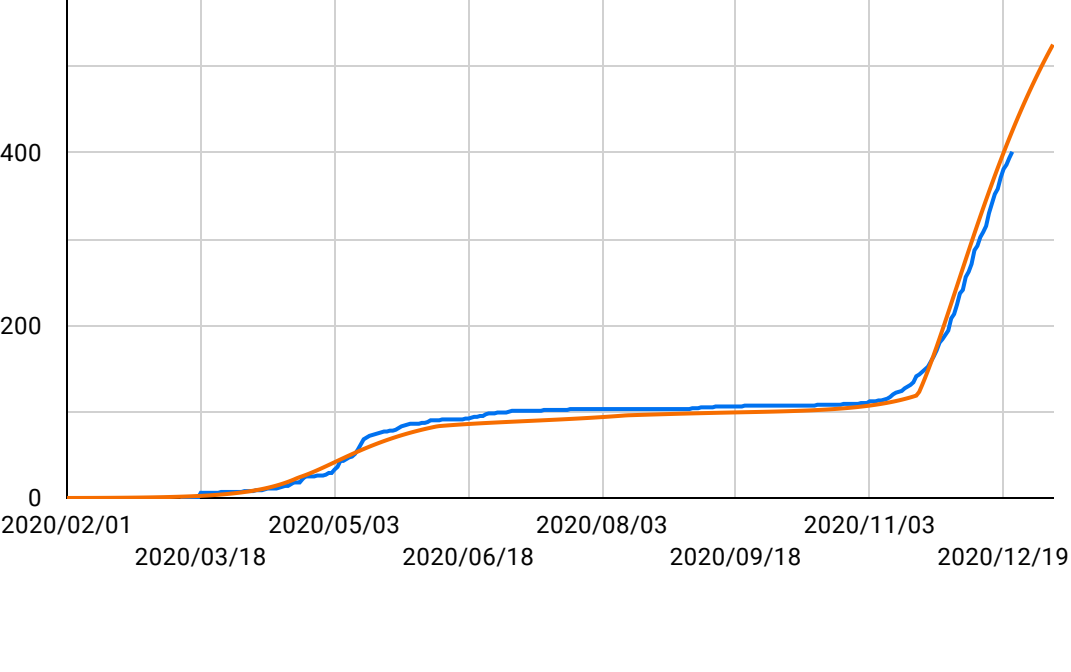
日次死亡者数（北海道） / Daily new deaths (Hokkaido)



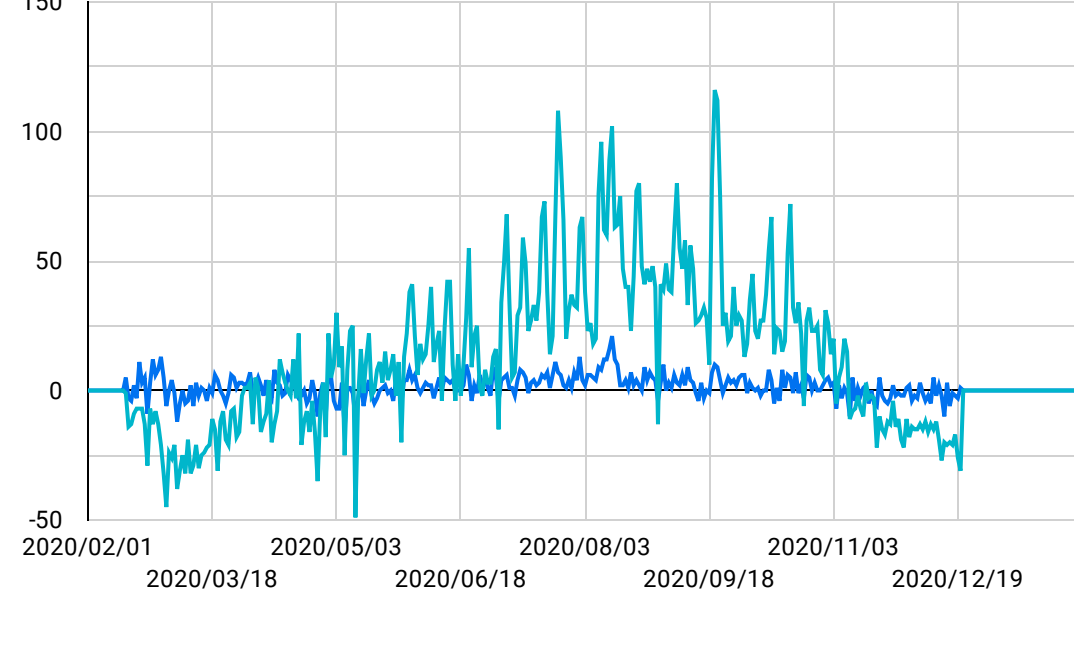
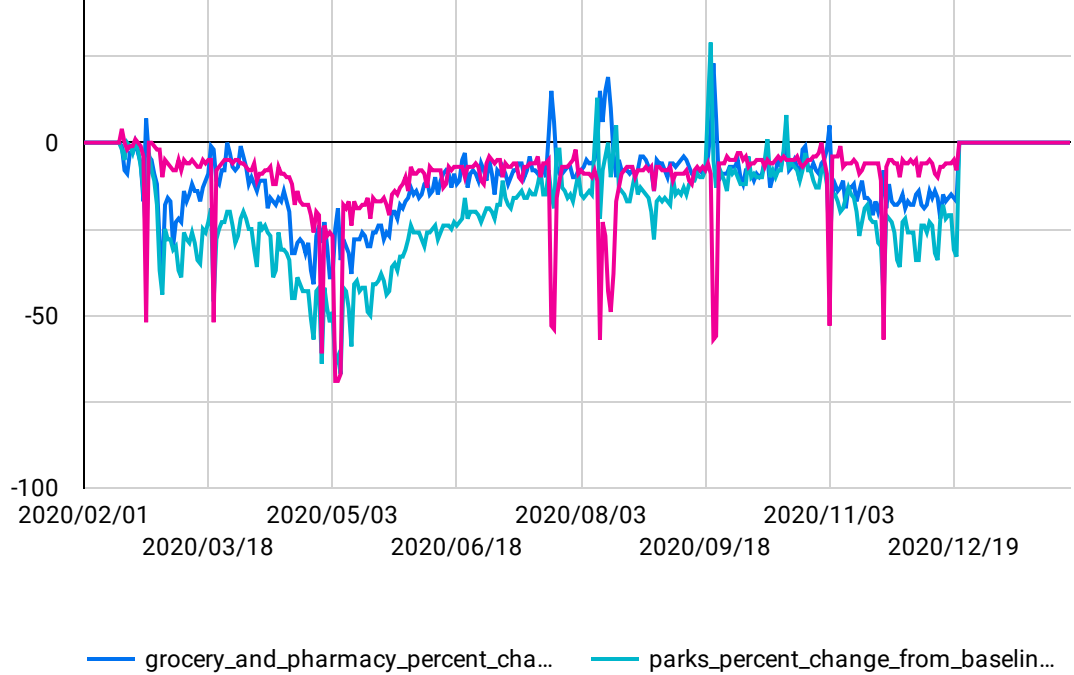
ネット感染者数（北海道） / Net cases (Hokkaido)



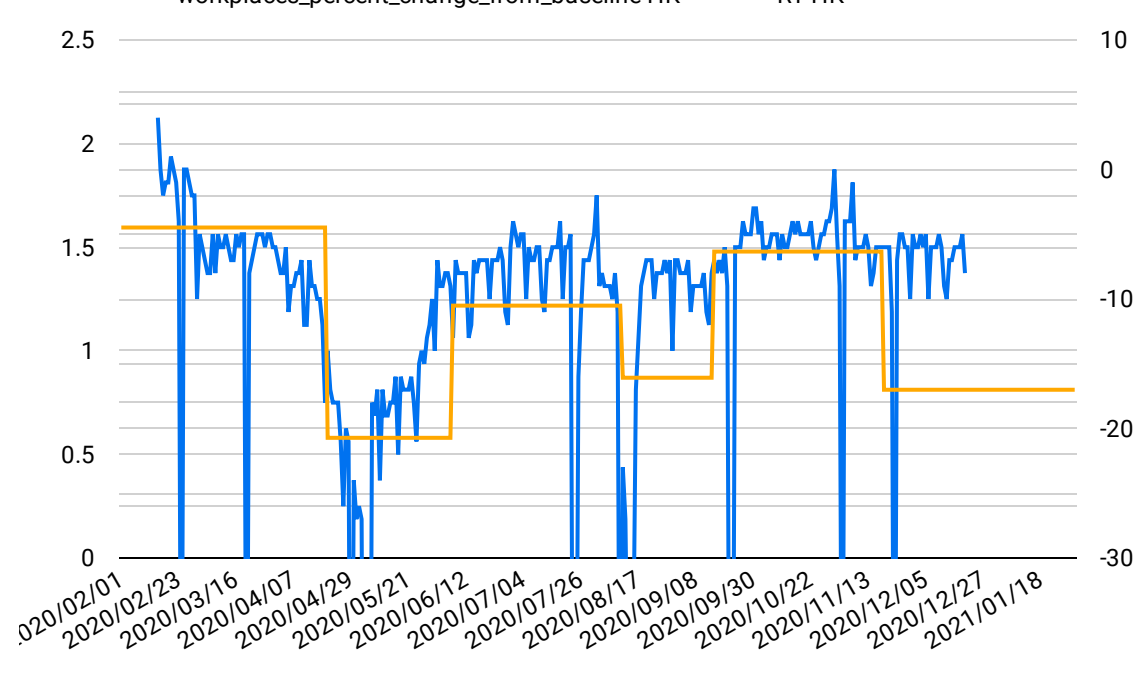
累積死亡者数（北海道） / Total deaths (Hokkaido)



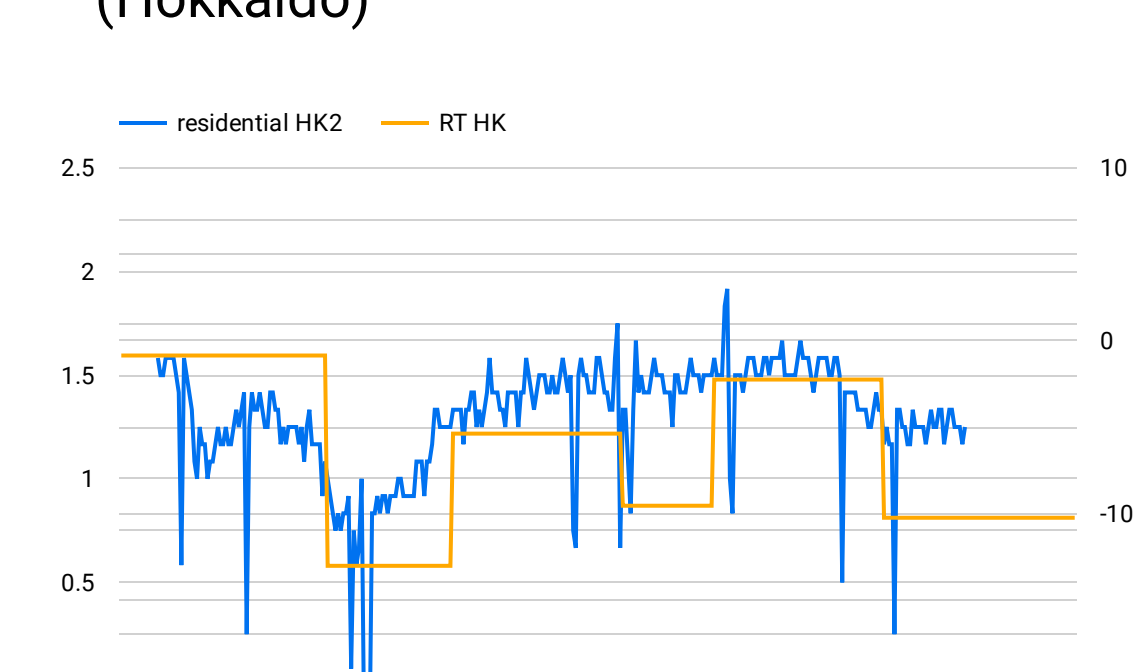
異なる移動指数の比較（北海道） / Comparison of various mobility indices (Hokkaido)



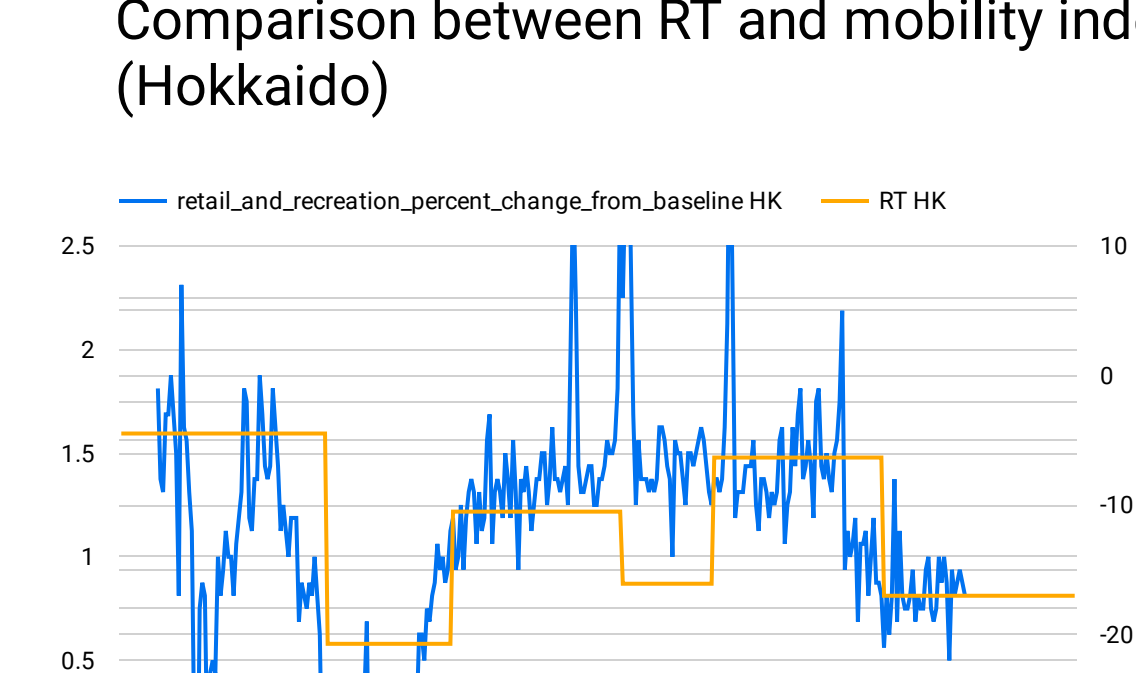
再生産数と移動指数の比較（北海道） / Comparison between RT and mobility index (Hokkaido)



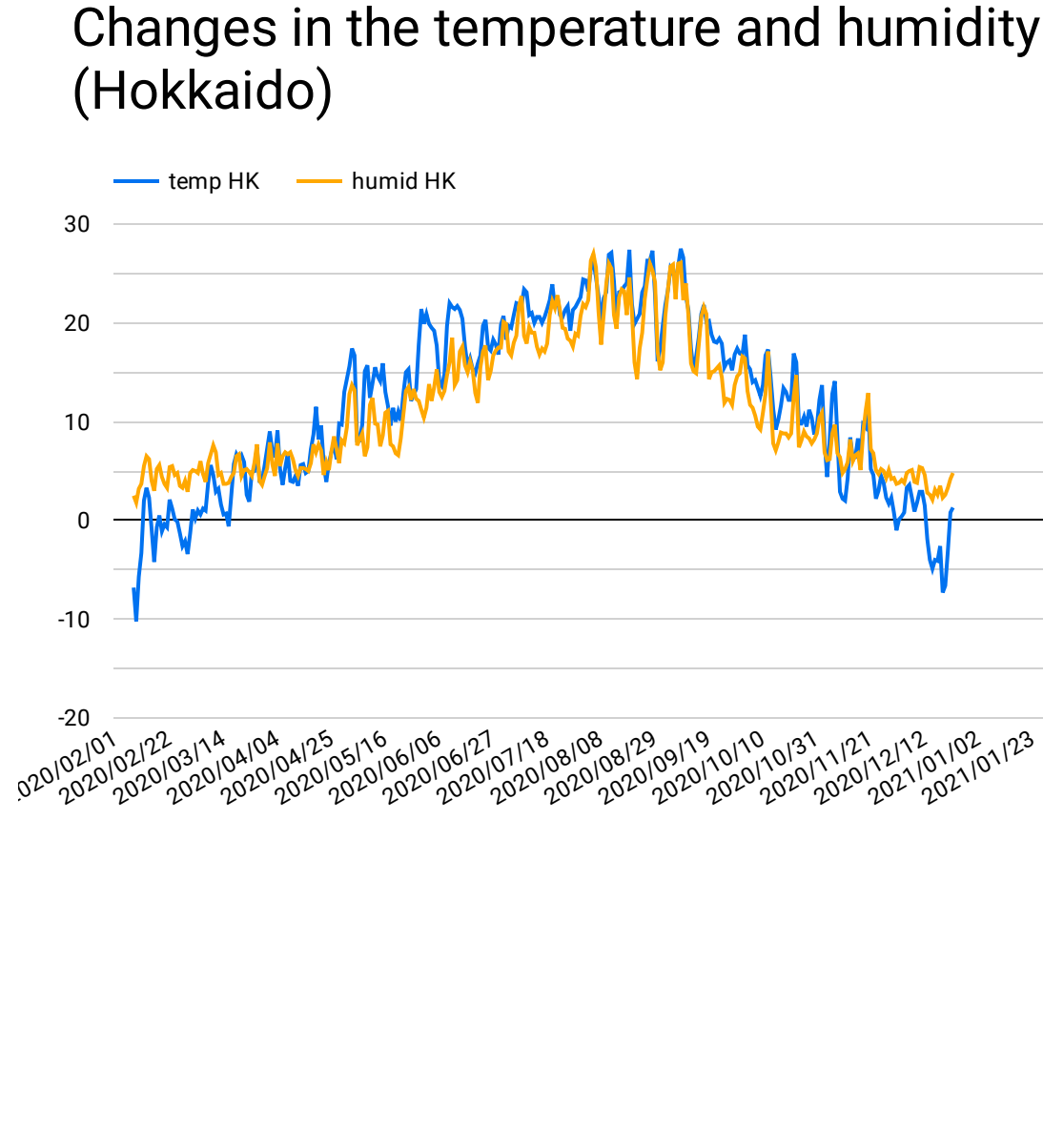
再生産数と移動指数の比較（北海道） / Comparison between RT and mobility index (Hokkaido)



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)



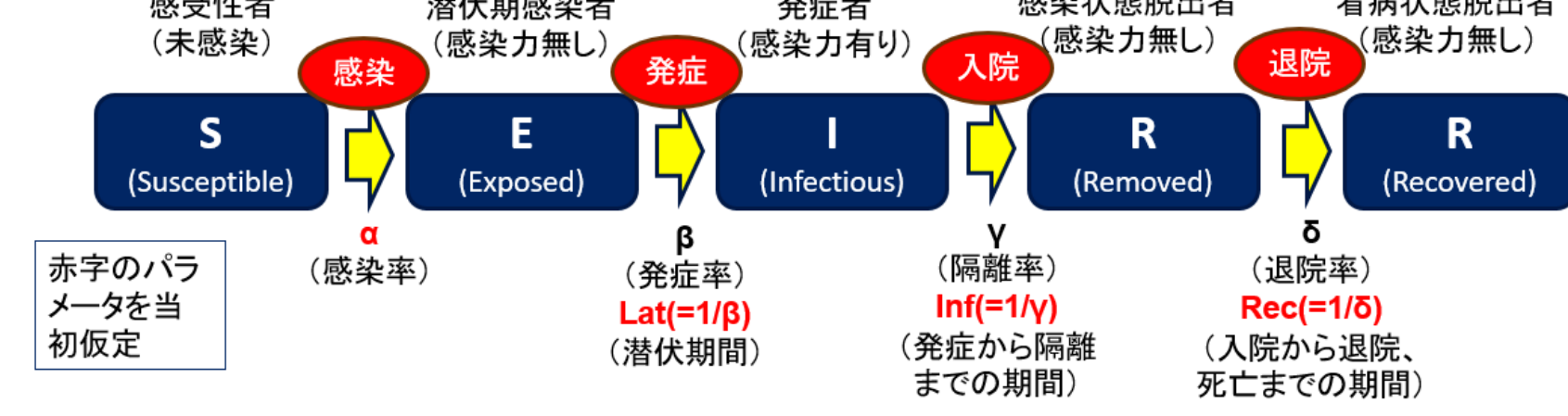
SEIRRモデル概要/SEIRR model overview

* English follows Japanese.

新型コロナウイルス感染モデル (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。

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

(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

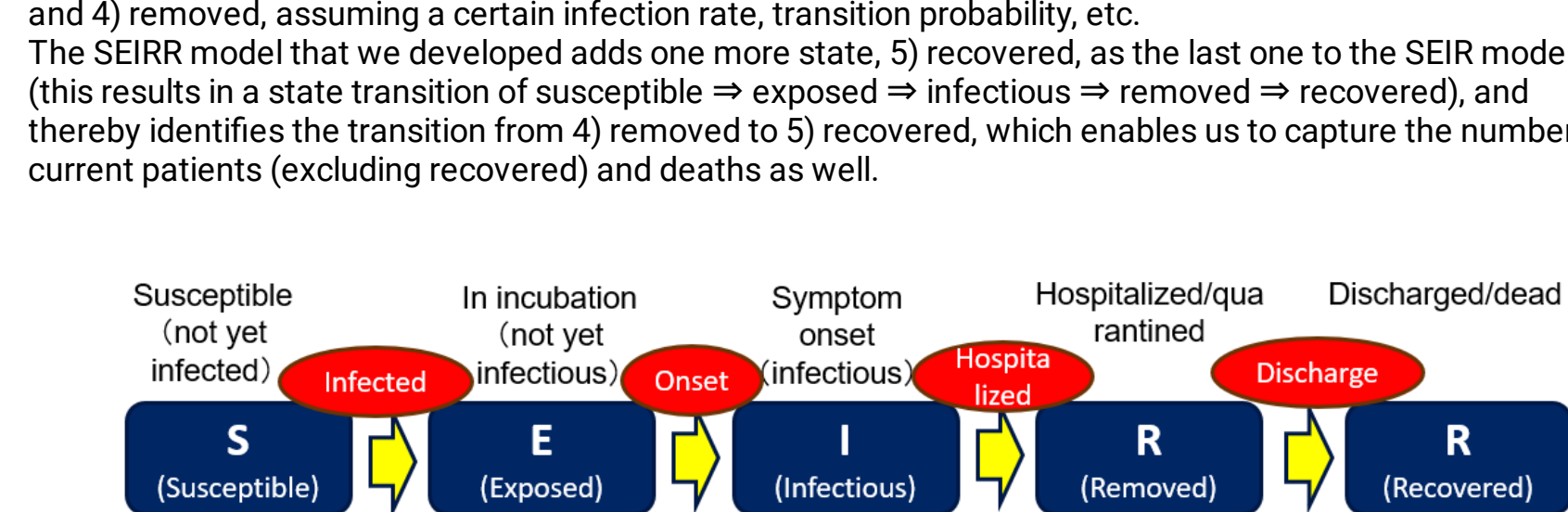
行動規制後の感染率: Infを乗じたR0が0.95となる値 (すなわち $\alpha=0.33$) を初期値とした上で調整

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).

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

(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