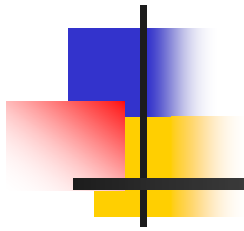


新型コロナウイルス感染症と統計数理



土谷 隆
(政策研究大学院大学)



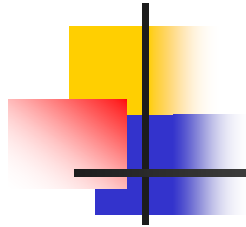
土谷 隆

■ 経歴

- 東京大学計数工学科数理工学コース卒業(1983年)
- 同研究生(1983年)
- 計数工学専攻修士修了(1986年)
- 統計数理研究所(1986年から2010年)
- 政策研究大学院大学(2010年から)

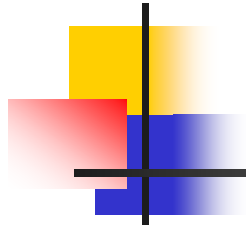
■ 研究分野

- 統計数理・数理工学(最適化や数値計算を中心として現実と向き合う数理)



統計数理・数理工学

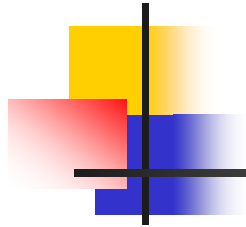
モデリング・数理・アルゴリズム



統計数理・数理工学

モデリング・数理・アルゴリズム

物理学・数学・計算機科学

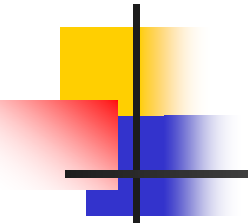


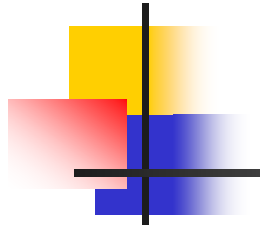
統計数理・数理工学

モデリング・数理・アルゴリズム

物理学・数学・計算機科学

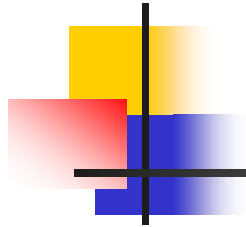
統計科学の研究者は人の**3**倍勉強しなくてはならない(赤池弘次先生)

- 
- 数理・アルゴリズム
 - 凸最適化アルゴリズムの設計・解析
 - 凸最適化の数理
 - 内点法アルゴリズムの情報幾何
 - 信号処理・統計科学のアルゴリズムの開発



■ モデリング

- リニアモーターカー磁気シールド設計
- 海洋データ同化(エルニーニョ解析)
- メソポタミア粘土板データ解析(古代都市人口推定)
- マウス動画画像解析
- 年金運用
- 震災後の電力需要の解析
- 新型コロナウイルス感染症の流行の解析



統計数理・数理工学

データ解析 と システム最適化

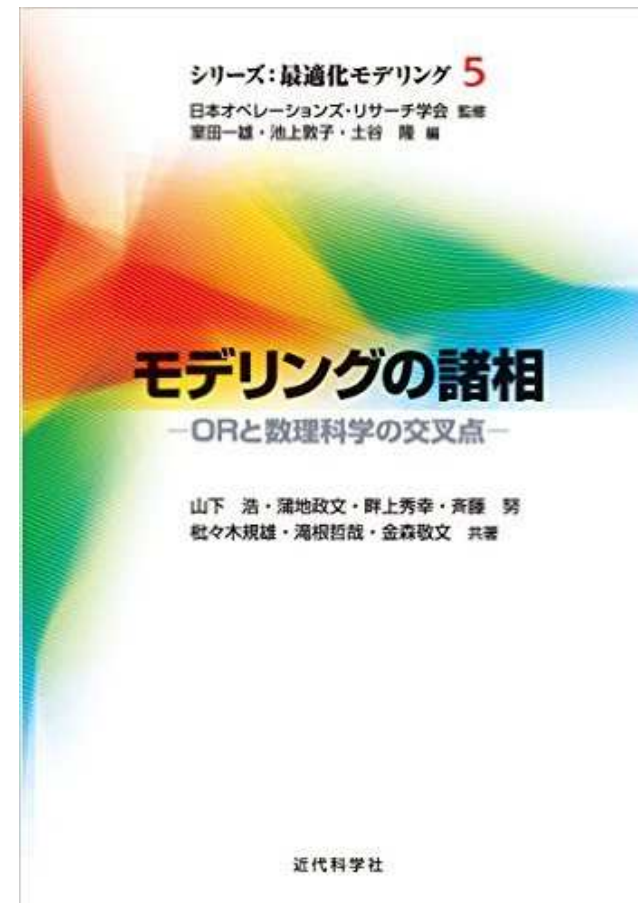
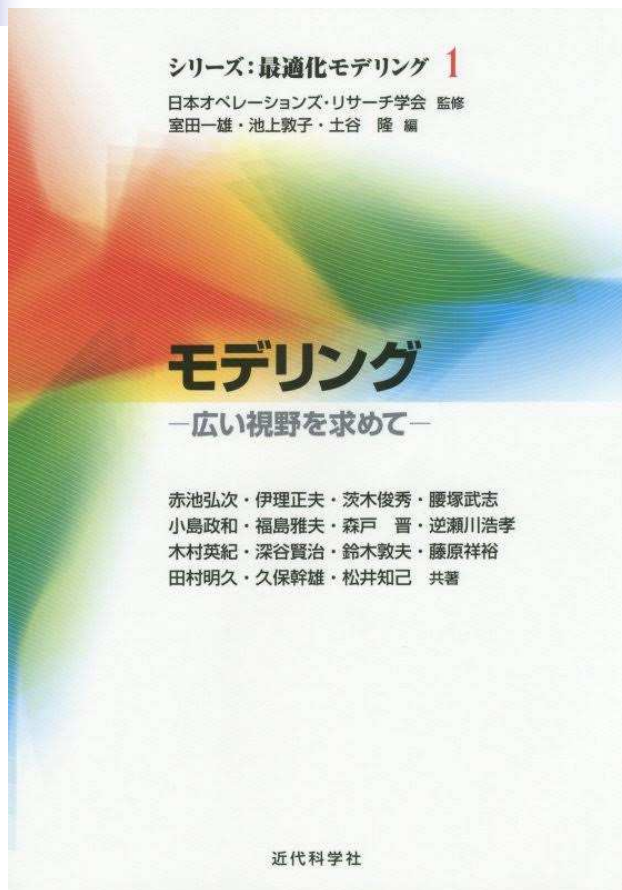
モデリング と デザイン

予測と制御

現実合うモデルとモデルに合う現実と ...



シリーズ:最適化モデリング(近代科学社)



2021/7/31

数学月間の会講演会

9

解ける・役立つ・モデリング力大

凸最適化問題

球や卵、正多面体
など凹みのない図
形

凸集合
(許容集合)

(目的関数
が小さくなる方向)

(目的関数(線形)の等高線)

最適解(線形目
的関数最小化)

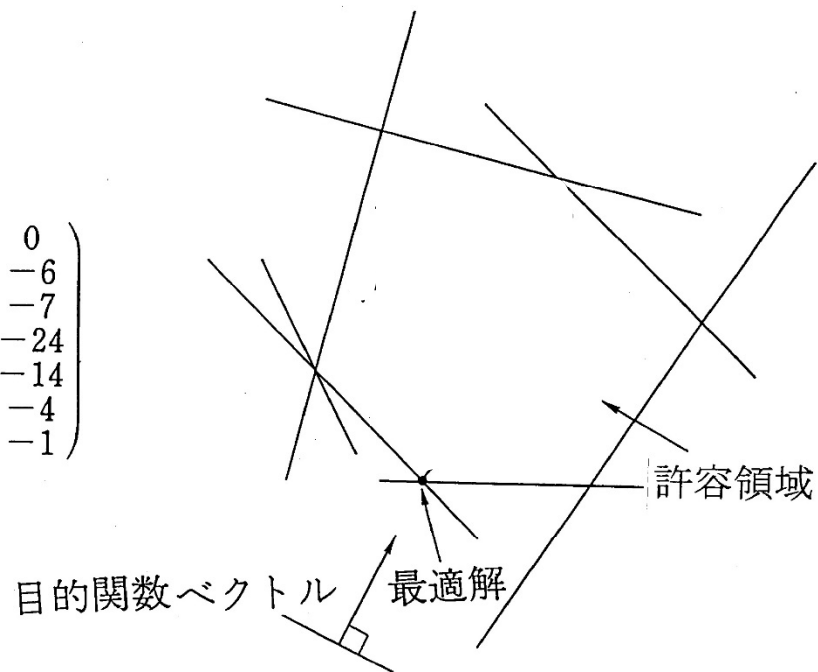
一般には線形とは限らない
が線形な場合が重要

許容解集合の次元: 数千から数十万次
元

線形計画問題

$$\min (0.5 \ 1.0) \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix},$$

$$\text{subject to} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -3 & 2 \\ -1 & -1 \\ -1 & -4 \\ 4 & -1 \\ 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix} 0 \\ -6 \\ -7 \\ -24 \\ -14 \\ -4 \\ -1 \end{pmatrix}$$



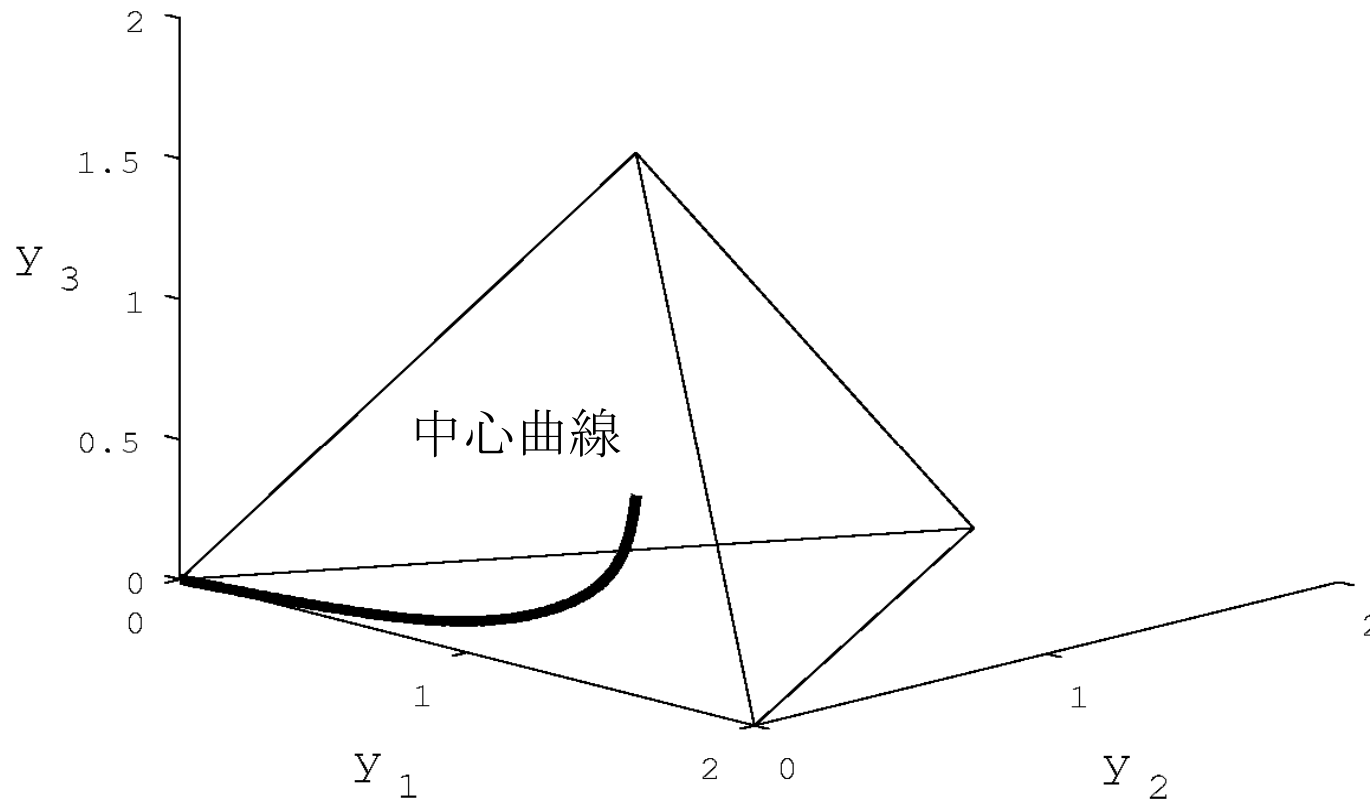


(多項式時間)内点法

- 凸計画問題を、中心曲線と呼ばれる曲線を離散的に辿りながら解く。
- Karmarkar (1984) が発見, 最適化分野に一大変革をもたらす。
- 主双対内点法(小島・水野・吉瀬、田邊(1987)): 日本で発明され世界で使われているアルゴリズム



Example



半正定値計画問題（線形計画の 行列版）

$$\max \sum b^T y$$

$$\text{s.t. } Z = C - \sum_{i=1}^m A_i y_i,$$

$$Z \succeq 0,$$

↑
Z は半正定値対称行列



線形計画・2次錐計画・半正定値計画

- アフィンスケーリング法の大域的収束性
- 半正定値計画・2次錐計画の多項式時間内点法
- 計算複雑度が係数行列にしか依存しない線形計画問題に対する多項式時間内点法
- 特異な半正定値計画問題に対する双対理論と非実行可能点列主双対内点法の収束解析

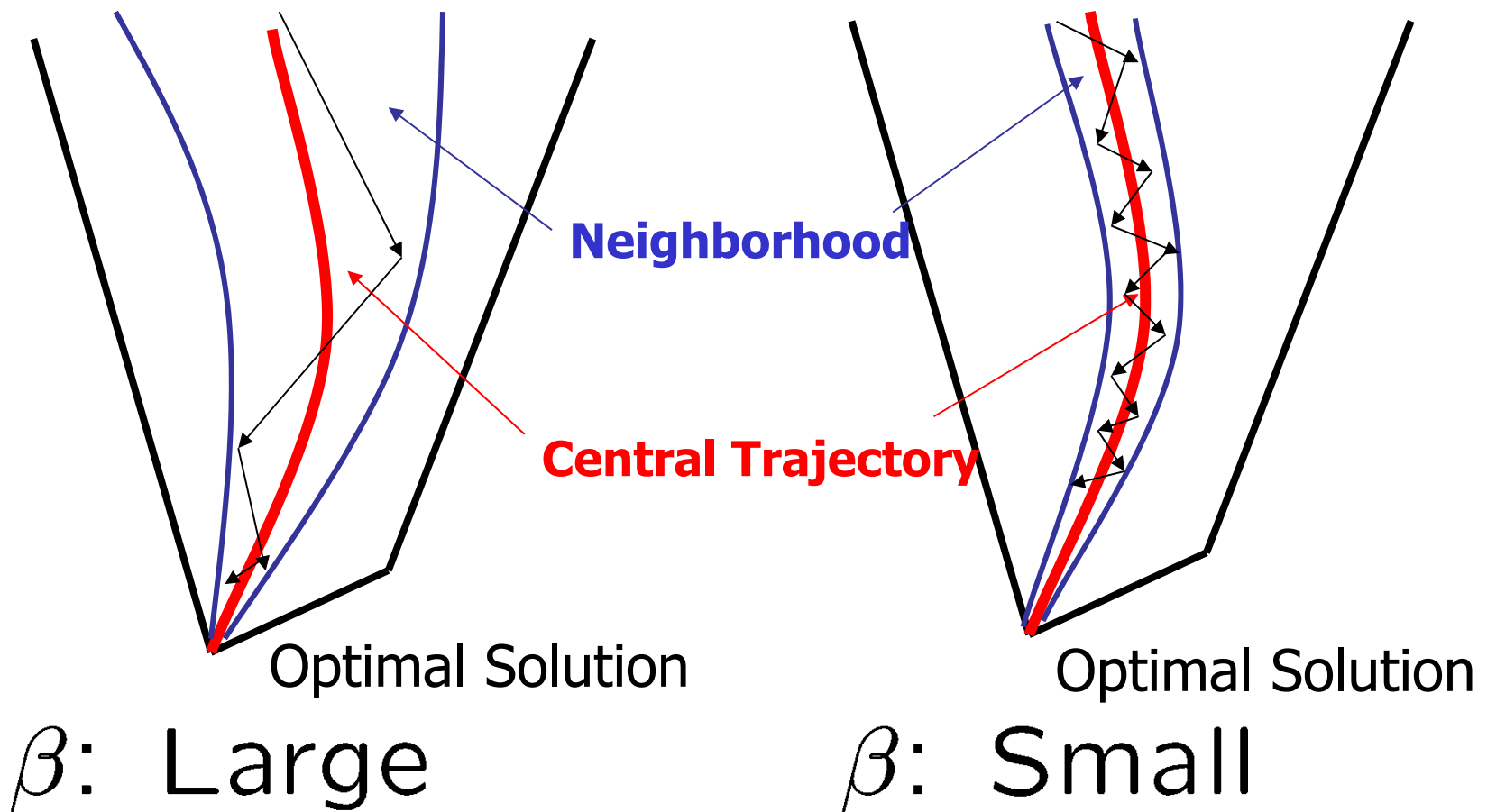
(京大数理解析研究所で8/6に話をします)



情報幾何

- 情報幾何学
 - 情報を取り扱うための微分幾何学 (e.g. Amari and Nagaoka (2000))
 - 適用分野
 - 統計学
 - 機械学習
 - Neural Networks
 - 信号処理
 - 制御 etc.,etc.

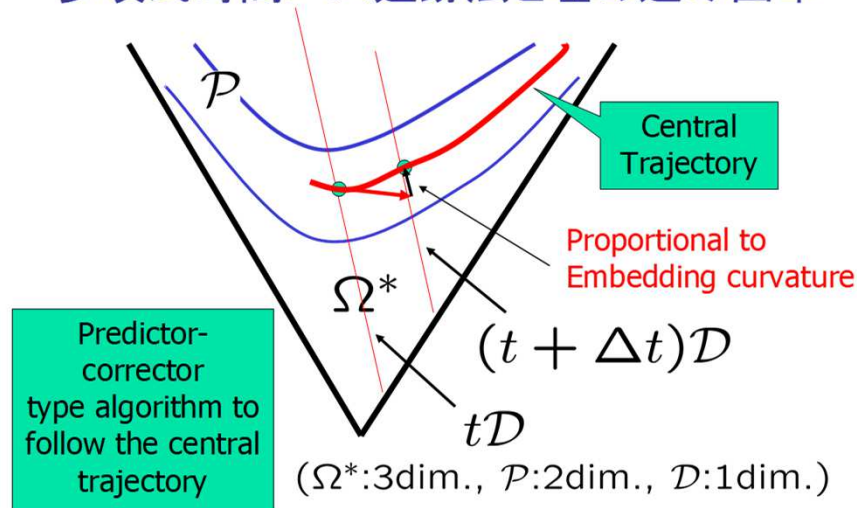
パス追跡法



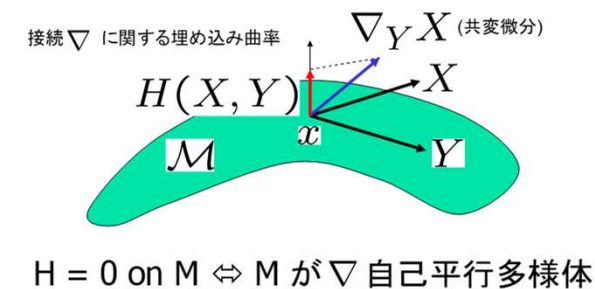
計算複雑度を多様体の埋め込み曲率で表現する

- 凸最適化の求解に要する計算量を厳密に微分幾何学的量(中心曲線上の曲率積分)で表現することができる。

多項式時間パス追跡法と埋め込み曲率



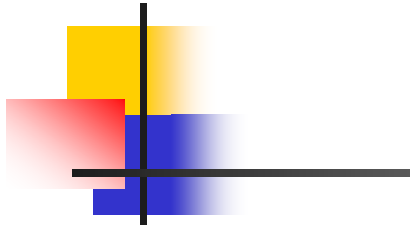
埋め込み曲率





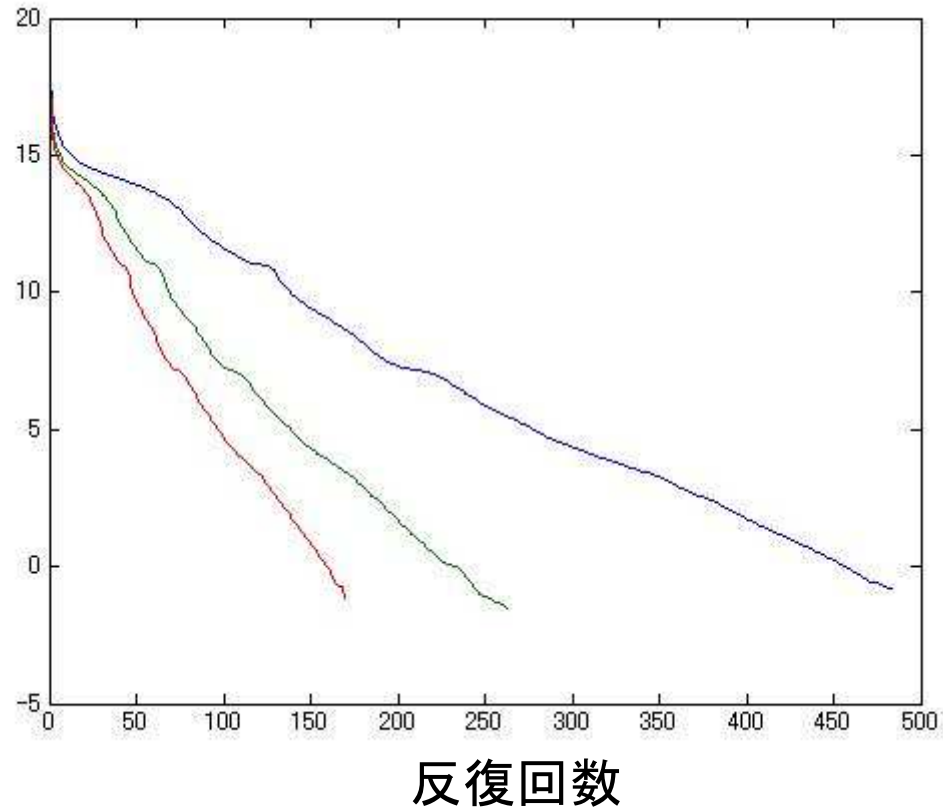
DFL001 (線形計画問題)

- Netlib 問題集の中でも、難しい問題として知られている。(大規模問題の入口位の問題)
(行列の大きさ: $6072 * 12230$)
- DFL001, says Marc Meketon, "is a 'real-world' airline schedule planning (fleet assignment) problem."

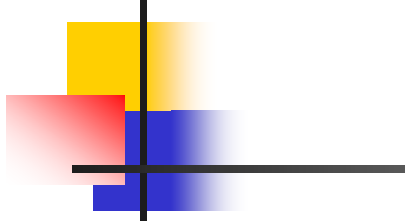


目的関数
の最適解
への近さ

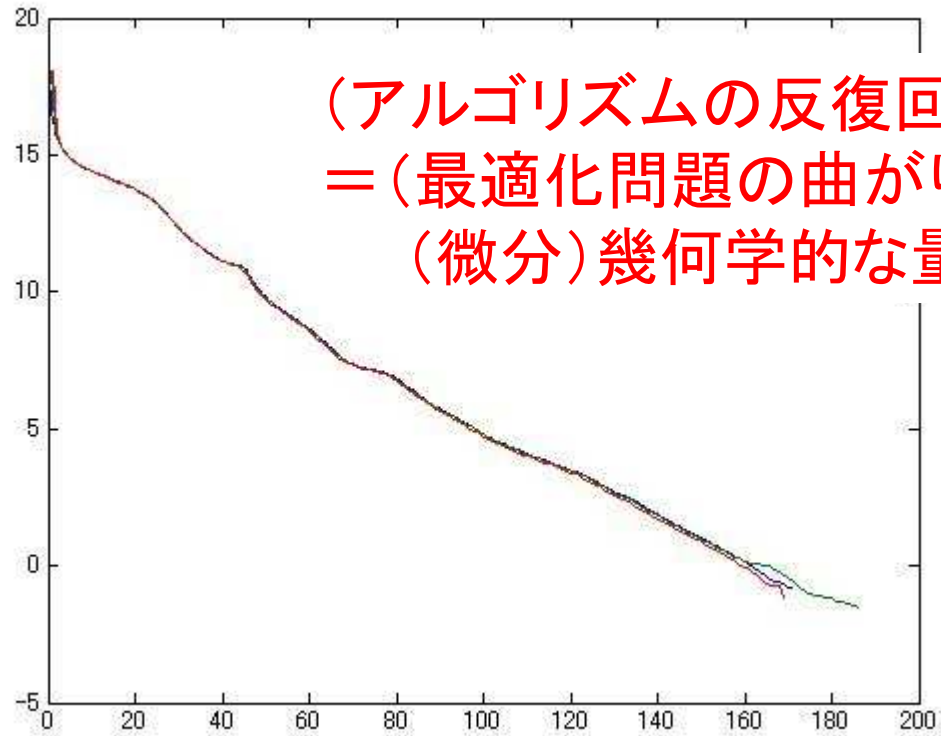
→
 $\log_{10}(\text{双対ギャップ})$



グラフ左から $\beta = 1, 1/2, 1/4$ の場合



log10(双対ギャップ)



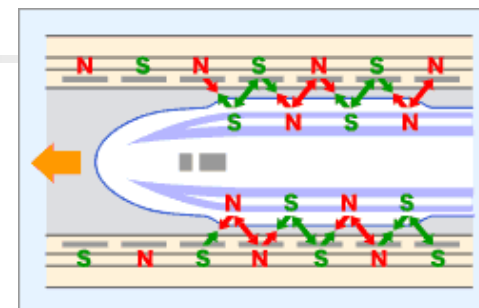
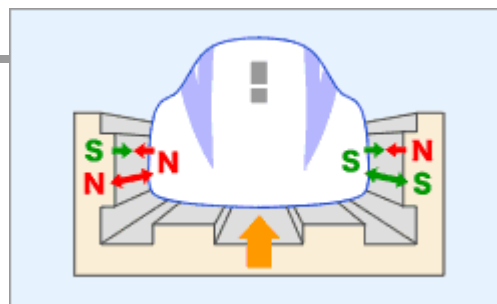
(アルゴリズムの反復回数)
=(最適化問題の曲がり方を反映した
(微分)幾何学的な量である。)

反復回数*(beta)^1/2 ~ 曲率積分
(3本がほとんど重なっている)

凸最適化(2次錐計画法)によるリニア モーターカー磁気シールド最適設計



山梨リニア実験線



リニアモーターカー : 超伝導磁石で浮上, 推進
強力な磁場を発生

車体内部をシールドして, 内部に磁場がもれないようにする. 一方, シールドはできるだけ軽くしたい.

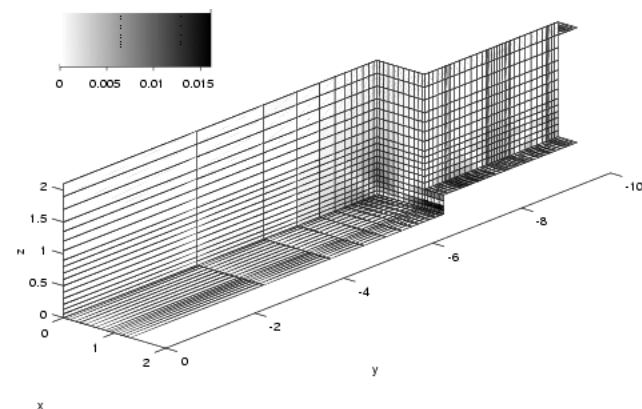
→最適設計問題(2次錐計画という凸最適化問題に定式化) (左の図 <http://www.rtri.or.jp>; 右2つの図 <http://www.pref.yamanashi.jp/> より)

6

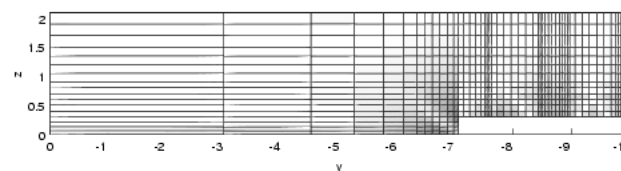
提案・解析した多項式時間
内点法で解いた

- 問題の大きさ
主双対変数の数:5007
自由度(yの次元):1669
- 計算時間 : 1.8秒
(反復回数:21)
PentiumIII 700MHz

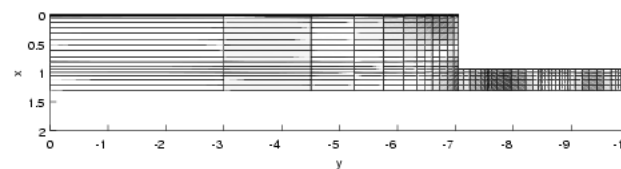
解法の利点:高速で安定しているため、
異なる想定で一萬回解いてロバストな
シールドを設計できた。



(a)

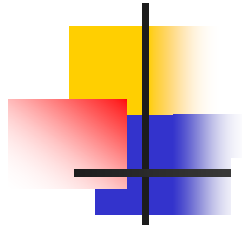


(b)



最適化されたシールドの形

メソポタミア遺跡から発掘された粘土板 からの古代都市ヌジ社会の解析



Physica A 421 (2015) 223–232

Contents lists available at ScienceDirect
Physica A
journal homepage: www.elsevier.com/locate/physa

Logistic growth for the Nuzi cuneiform tablets: Analyzing family networks in ancient Mesopotamia

Sumie Ueda^a, Kumi Makino^b, Yoshiaki Itoh^{a,*}, Takashi Tsuchiya^c

^a Institute of Statistical Mathematics, 10-3 Midori-cho, Tachikawa, Tokyo 190-8562, Japan
^b Kamakura Women's University, 6-1-3 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8512, Japan
^c National Graduate Institute for Policy Studies, 7-22-1, Hongo, Minato-ku, Tokyo 106-8677, Japan

HIGHLIGHTS

- We reconstruct family trees and social networks from “Nuzi Personal Names”.
- We formulate the least squares problems with constraints of the trees and networks.
- We estimate the published years of cuneiform tablets for “Nuzi Personal Names”.
- It seems the published tablets increased by the logistic growth for about 60 years.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 17 October 2013
Received in revised form 1 November 2014
Available online 20 November 2014

Keywords:
Family tree
Social network
Published year
Least square method

ABSTRACT

We reconstruct the published year of each cuneiform tablet of the Nuzi society in ancient Mesopotamia. The tablets are on land transaction, marriage, loan, slavery contracts, etc. The number of tablets seems to increase by logistic growth. It may show the dynamics of concentration of lands or other properties into few powerful families in a period of about sixty years and most of them are in about thirty years. We reconstruct family trees and social networks of Nuzi and estimate the published years of cuneiform tablets consistently with the trees and networks, formulating least squares problems with linear inequality constraints.

© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

We go back to ancient Mesopotamia, making an electronic version of the book Nuzi Personal Names (NPN) [1] as a database. NPN is an index of about ten thousands of individuals who appear in cuneiform tablets excavated from the site of Nuzi. By using NPN we reconstruct family trees and social networks of Nuzi, and estimate the published years of cuneiform tablets (contracts, documents) consistently with the trees and the networks. Making use of the kinships we make linear inequalities for example a father is at least 15 years older than his son, contractors were living at the time of the contract, etc. and formulate the least squares problems to estimate the published year of each document and the birth year and death year of each person in NPN, as shown in Sections 3, 4, and 5.

As in Ref. [2], “Ancient Nuzi, buried beneath modern Yorghana Tepe in northern Iraq, is a Late Bronze Age town belonging to the kingdom of Arrapa that has yielded between 6500 and 7000 legal, economic and administrative tablets, all belonging to a period of some five generations (1475–1350 B.C.E.) and almost all from known archeological contexts”, see also Refs. [3,4].

^{*} Corresponding author.
E-mail addresses: ueda@ism.ac.jp (S. Ueda), kumi@kamakura-u.ac.jp (K. Makino), ito@ism.ac.jp (Y. Itoh), tsuchiya@grps.ac.jp (T. Tsuchiya).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2014.11.025>
0378-4371/© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

Logistic growth for the Nuzi cuneiform tablets: Analyzing family networks in ancient Mesopotamia

Sumie Ueda, Kumi Makino, Yoshiaki Itoh, and Takashi Tsuchiya

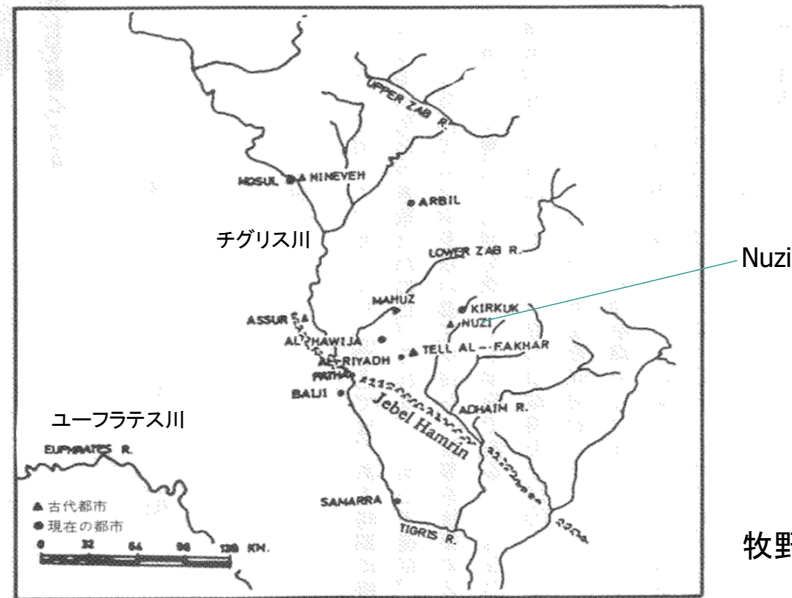
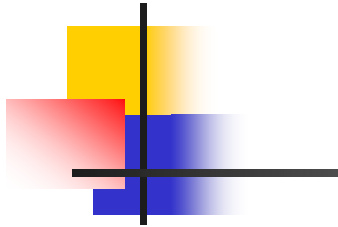
Physica A, Vol.421 (2015), pp. 223-232

(上田澄江氏(統数研)、牧野久実氏(鎌倉女子大)、伊藤栄明氏(統数研)との共同研究)



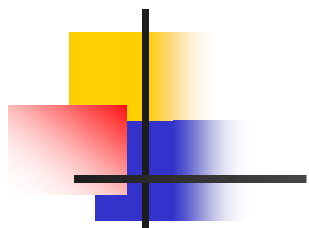
メソポタミア遺跡から発掘された粘土板 からの古代都市ヌジ社会の解析

- ヌジ:紀元前15世紀ごろイラクに存在した古代都市
- 種々の契約を記した6500-7000枚の粘土板が出土
- 各契約に登場する人物のデータを矛盾なく時間軸上に配置して人口を推定
- 約2万から3万変数程度の凸2次計画問題に定式化

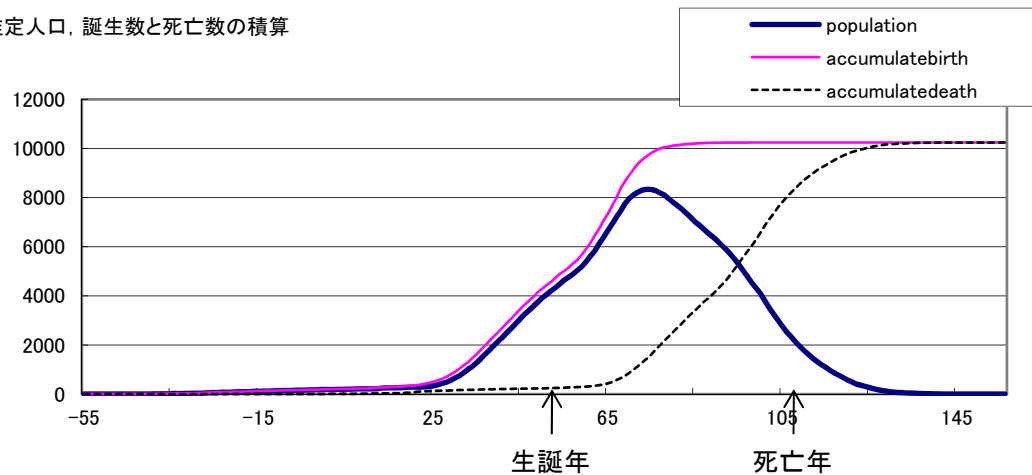


寿命を [20,60) の一様乱数で与えた場合

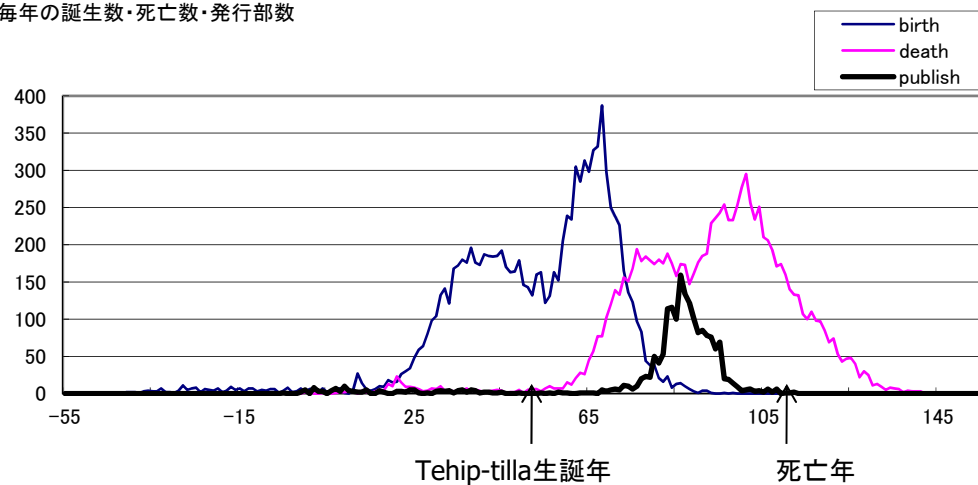
Tehip-tilla
 生誕年...52.91
 死亡年...107.91



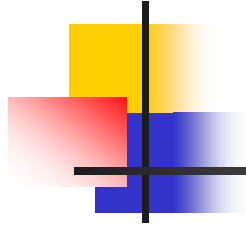
推定人口, 誕生数と死亡数の積算



毎年の誕生数・死亡数・発行部数







統計数理・数理工学

データ解析 と 最適化

モデリング と デザイン

予測制御



新型コロナウイルス感染症＝正に社会にと
つての重大な問題！

統計数理の出番である.

予測制御
モデリングとデザイン



目的

- 新型コロナウイルス感染症は社会にとって大きな脅威となっている。
- 本発表では、公開されているデータと簡単な数理モデルを用いてこの感染症の様態について検討し、今後社会がどのように対応するべきであるか、検討する。
- 元論文
土谷隆: 新型コロナウイルス感染症の広がりに関する一考察 (GRIPS ディスカッション・ペーパー 20-4, 2020年5月). 日本OR学会機関誌2月号に掲載.
11074 view, 6232 download (5/17時点)



新型コロナウイルス感染症

- 行政が把握した国内感染者約687704名(都内152239名)
，死亡者11620名(都内1951名)(2021/5/17現在)
- 世界に大きな広がりを見せる. 特に欧米では流行が激しく,
より多くの人命が失われる. 社会にとっての大きな脅威.
- 国や地域による感染態様の違いが大きい.
- ワクチンが急速に普及しつつあるが効力はまだ定かではない
- 特效薬がない.
- いろいろと謎が多い.



新型コロナウイルス感染症

- 行政が把握した国内感染者約687704名(都内152239名)
，死亡者11620名(都内1951名)(2021/5/17現在)
- 世界に大きな広がりを見せる. 特に欧米では流行が激しく,
より多くの人命が失われる. 社会にとっての大きな脅威.
- 国や地域による感染態様の違いが大きい.
- ワクチンが急速に普及しつつあるが効力はまだ定かではない
- 特効薬がない.
- いろいろと謎が多い.



新型コロナウイルス感染症

- 行政が把握した国内感染者約903324名(都内210610名)
、死亡者15175名(都内2288名)(2021/7/30現在)
- 世界に大きな広がりを見せる. 特に欧米では流行が激しく、
より多くの人命が失われる. 社会にとっての大きな脅威.
- 国や地域による感染態様の違いが大きい.
- ワクチンが急速に普及しつつあるが効力はまだ定かではない
- 特効薬がない.
- いろいろと謎が多い.

欧米・韓国との比較(2/27まで)

	累積陽性者数 (10万人当たり)	比率	累積死亡者数 (10万人あたり)	比率
アメリカ	8542.7	25.2	151.1	24.8
イギリス	6219.7	18.3	182.7	30.0
フランス	5410.1	15.9	127	20.8
イタリア	4757.1	14.0	160.8	26.4
ドイツ	2919.5	8.6	83.4	13.7
韓国	172	0.5	3.07	0.5
日本	339.6	1	6.1	1.0

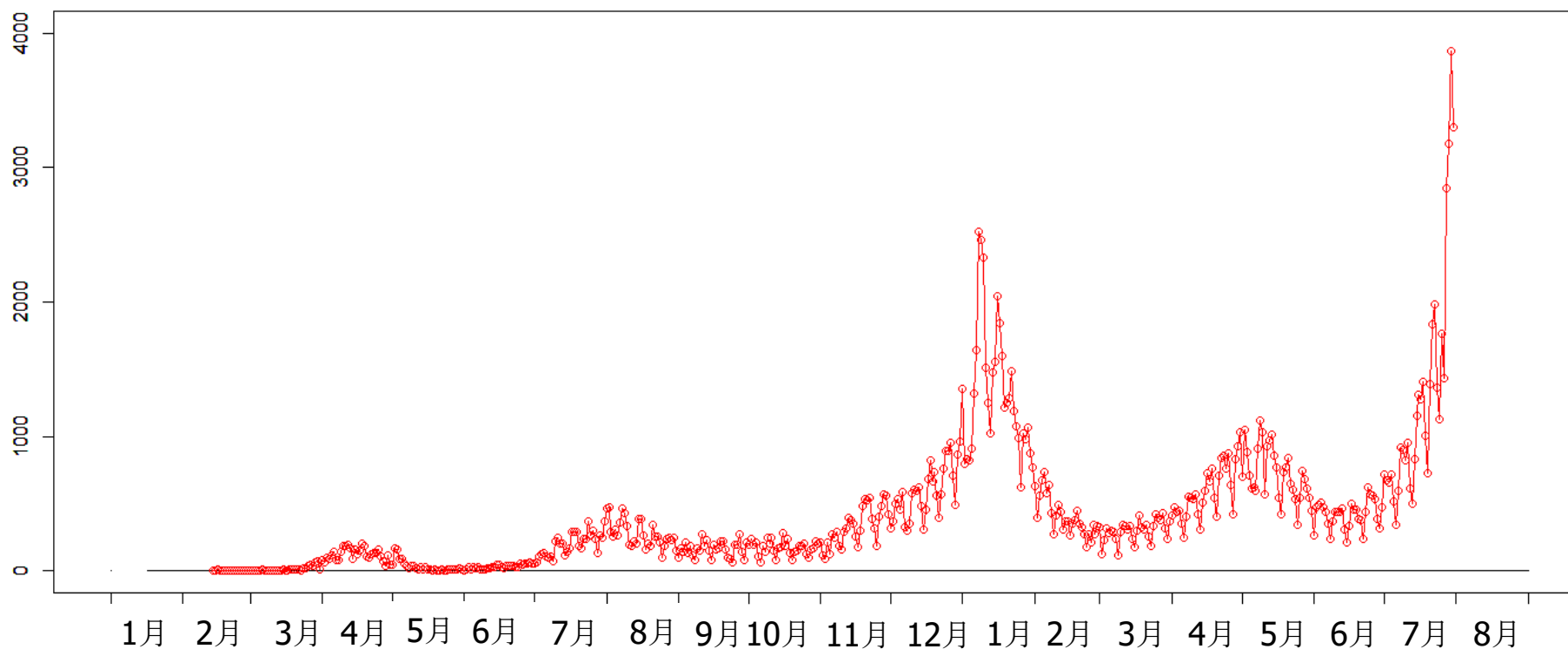
国ごとの大きな差が大きな謎



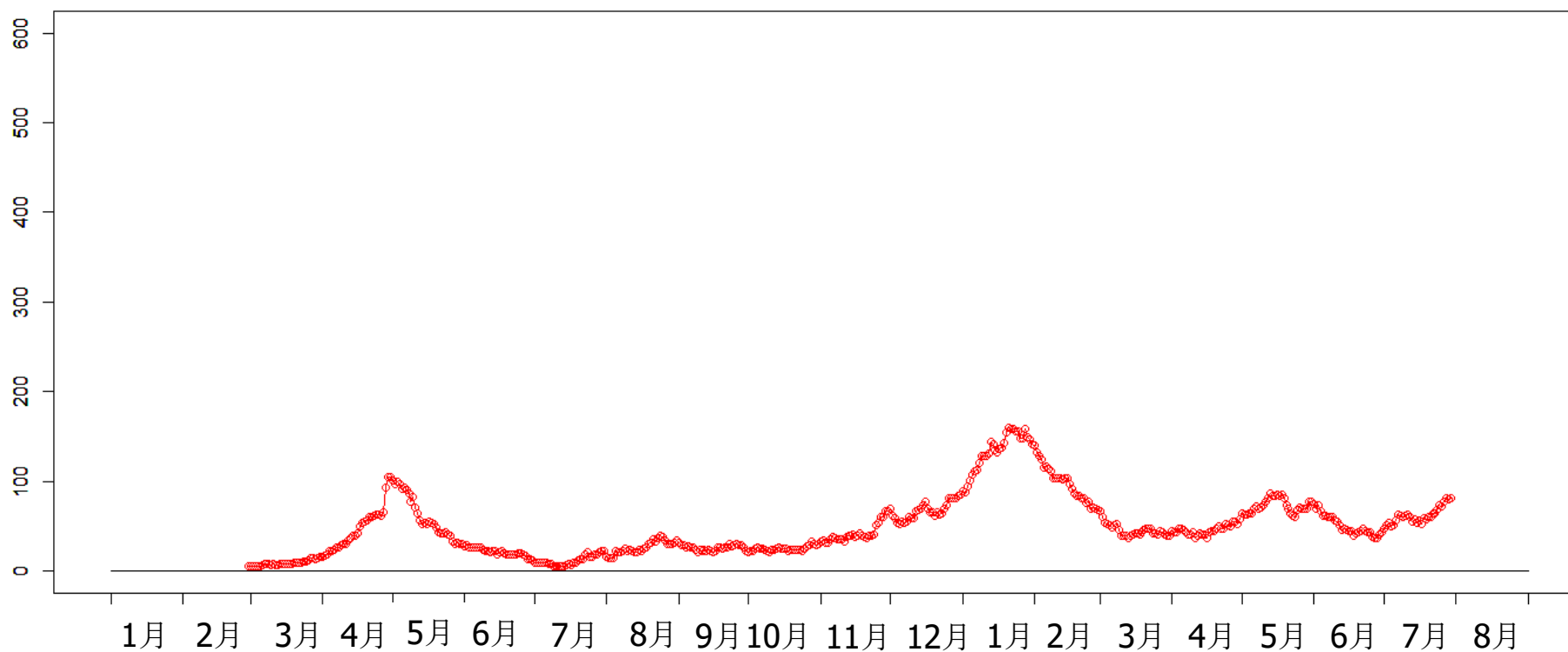
データ

- 行政が発表する陽性者(感染者)数の時系列
- 発症者の時系列
- 社会的モニタリング検査
- 抗体検査(いろいろあるが、最初は東京大学の先端科学技術研究所の見玉先生たちのグループの結果を使用.)
500検体中3検体が陽性であった(2020年5月)
- 重症者数時系列

東京都新規陽性者数の推移



東京都重症者数の推移





モデル

- まず、感染者や回復者が少なく、ほとんどが未感染者である状況を考える。(これは非線形モデルの近似である。あとで大流行まで考慮したモデルを紹介する。)
- 集団の人数を N とする。
- $S(t)$: t 日目の未感染者数
- $I(t)$: t 日目の感染者数
- $R(t)$: t 日目の回復者数(+死亡者数; 回復者は再感染しない)
- $S(t) + I(t) + R(t) = N$



モデル

- 感染力を現すパラメータ $\beta(t)$ (時間で変わる)
感染者一人が一日に何人に感染させるかを表す。
この推定が重要.
- 感染者数の増加だけを考えた式
$$I(t+1) = (1 + \beta(t))I(t) = I(t) + \beta(t)I(t)$$
- 治って回復者となる人を引き算する必要有. 簡単のため、
D日間だけ感染しているとすると、t日目に治る人はt-D 日
前に新たに感染した人なので、 $\beta(t-D)I(t-D)$



モデル

- したがって、感染者の変動について、以下の式が得られる.

$$I(t+1) = (1 + \beta(t))I(t) - \beta(t-D)I(t-D)$$

- 未感染者数の変動は

$$S(t+1) = S(t) - \beta(t)I(t)$$

- 回復者の変動は

$$R(t+1) = R(t) + \beta(t-D)I(t-D)$$



モデル

- いわば, 変動金利で, 借金が増えていくシステム. ある日に借りてもD日たったら自動的に元金分だけは返してしまう.
- 医療システムでの対応能力もみながら金利を調整する必要がある.
- 金利の調整手段が社会的距離の調整や自粛・行動変容など

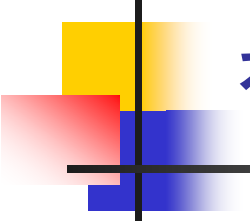


感染者が未感染者に比べて無視できない位多い場合

- 未感染者(獲物)がたくさんいれば移しやすいが, 未感染者が集団の中で少なくなってくると, 感染力は弱くなる(獲物がいない!)
- そこで, 感染力は, 未感染者の割合にも比例する, と考える. つまり, 感染力として $\beta(t)$ の代わりに,

$$\beta(t) \frac{S(t)}{N}$$

を考える.



これまでのモデルの $\beta(t)I(t)$ を $\beta(t)I(t)S(t)/N$ で置き換える

これまでのモデル

- 感染者の変動

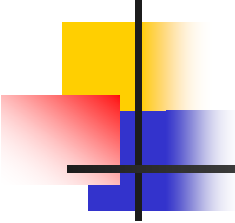
$$I(t+1) = (1 + \beta(t))I(t) - \beta(t-D)I(t-D)$$

- 未感染者数の変動

$$S(t+1) = S(t) - \beta(t)I(t)$$

- 免疫保持者の変動は

$$R(t+1) = R(t) + \beta(t-D)I(t-D)$$



より厳密なモデル(何も介入しない時の 大流行を記述可能)

$$I(t+1) = I(t) + \frac{\beta(t)I(t)S(t)}{N} - \frac{\beta(t-D)I(t-D)S(t-D)}{N}$$

$$S(t+1) = S(t) - \frac{\beta(t)I(t)S(t)}{N}$$

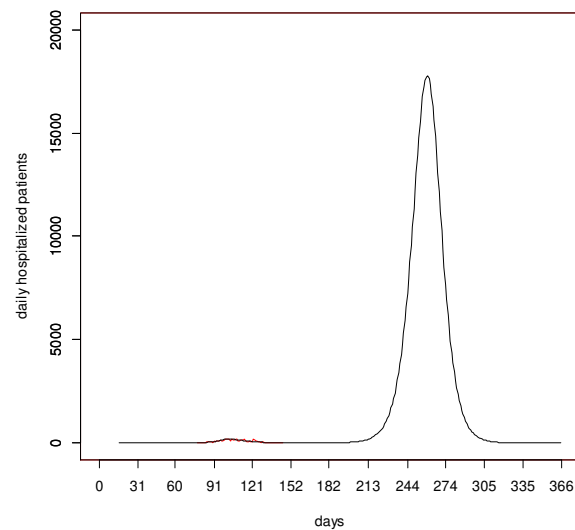
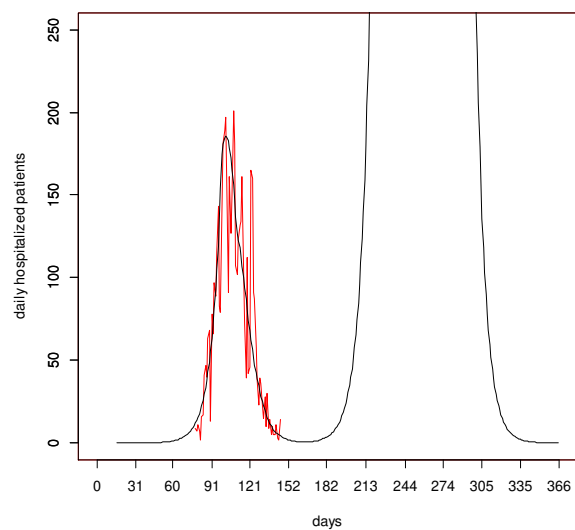
$$R(t+1) = R(t) + \frac{\beta(t-D)I(t-D)S(t-D)}{N}$$



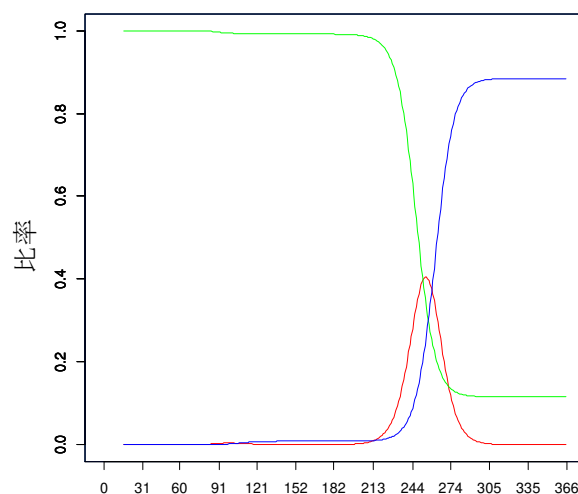
SIRモデルとの違い

- SIRモデルでは、感染者の感染期間は指数分布になると仮定している.
- 本モデルでは、感染期間は一律にD日として単純化している.
- また、微分方程式を用いずに差分化している点も異なる.
- 大流行した時の振る舞いは概ねSIRモデルと同じ
- 高校レベルの数学で理解できるはず
- ロジックがSIRモデルより簡単！

介入しない場合の大流行の起こる様子(西浦予測とほぼ一致)



介入しない場合の大流行の起こる様子(集団免疫)



年初よりの日数(1月1日が1日目, 目盛は各月末)

(d)未感染者(緑), 感染者(赤), 免疫保持者(青)の推移

昨年5月の推計

単純にモデルの通りに事態が進行すれば, 都民1400万の88%が罹患, 36万人が発症, 7万2千人が重症化, 2万7千人が亡くなる.



モデルの役割

- 真実の模写 ⇒ 予測の基礎
- もう一つの役割: イメージの共有
モデルはイメージの通貨である (赤池先生)
- わかりやすいモデルは大事
意思決定者、責任者と専門家のイメージの共有
国民一人一人の信頼と納得感

観測モデル(行政で発表される陽性者とは何か?)

- 感染者は, 感染してから W_1 日で発症し, それから W_2 日後に行政によって発表される. また, 行政は, **全感染者の内 $1/C$ だけ把握しているものとする**. 第 t 日に行政が発表する感染者数を $P(t)$ とすると,

$$P(t + (W_1 + W_2)) = \frac{\beta(t-1)I(t-1)}{C}$$

$P(t)$ を**行政的感染者**と呼ぶことにする.

t日目の
新規感染者

観測モデル(行政で発表される 陽性者とは何か?)

- 行政的感染者の内, 一定の割合 r_0 が発症するものとする. 第 t 日の発症者数を $H(t)$ とする.

$$H(t + W_1) = r_0 \frac{\beta(t-1)I(t-1)}{C}$$

と書ける. t 日の新規感染者は $t+W_1$ 日に発症する.



実効再生産数 R_t

- 一人の感染者が他人への感染力を持つ期間中に何人に移すか？
- β が一定とすると, D 日間感染しているので, $D\beta$ が実効再生産数 R_t . (より正確には, $DS\beta/N$)



推定結果

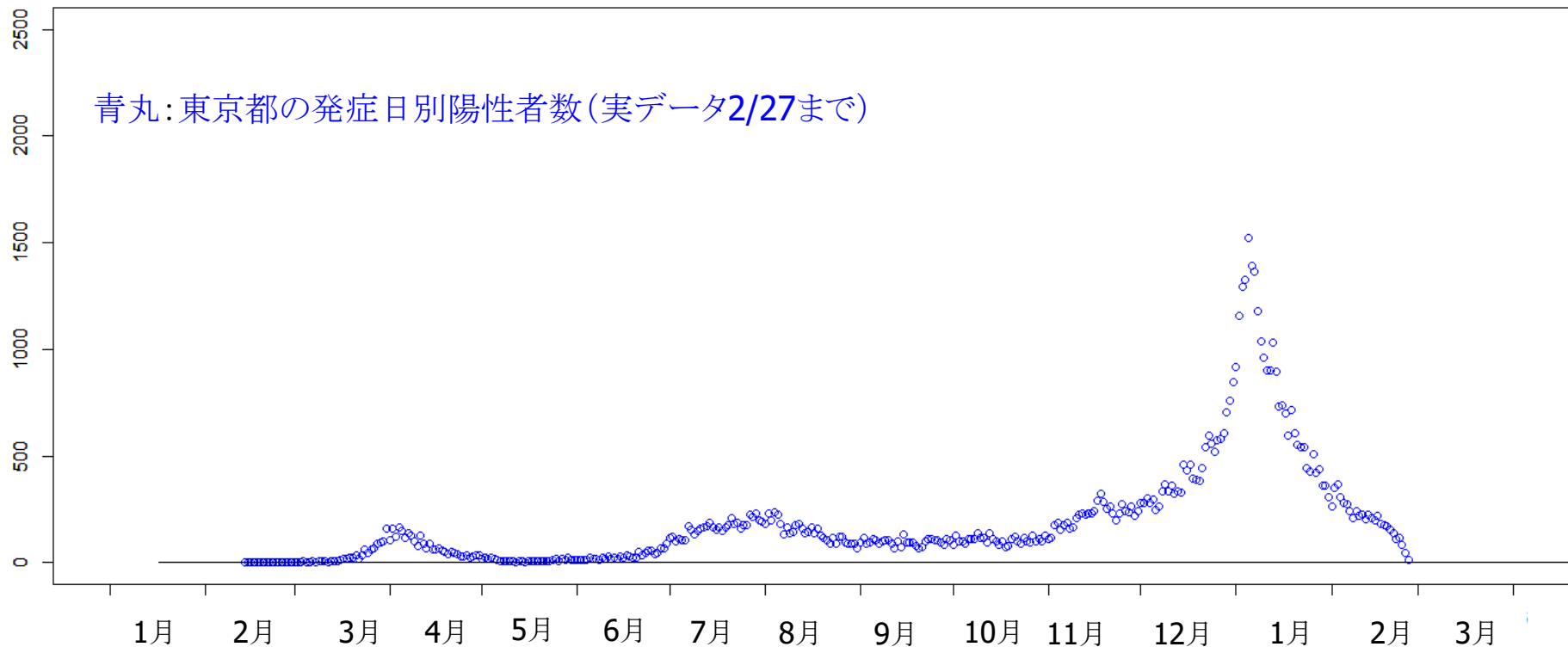
- $D=15$ 日(感染して人に伝染させる期間)
- $C=23$ (行政が把握している感染者の何倍くらい実際に感染者がいるか?)[2020年6月当時]
- $W1+W2=9$ 日(最近の東京) [$W1=5$ 日(発症まで), $W2=4$ 日(発症から発表まで)]
- $r_0=0.6$
- C の値は最近の推計だと10位, しかし, 今日これからの推計にはほぼ影響しない.
- 2021/7/22版より $C=8$ として予測.
- これらに基づいて β を実際に会うように推計する.

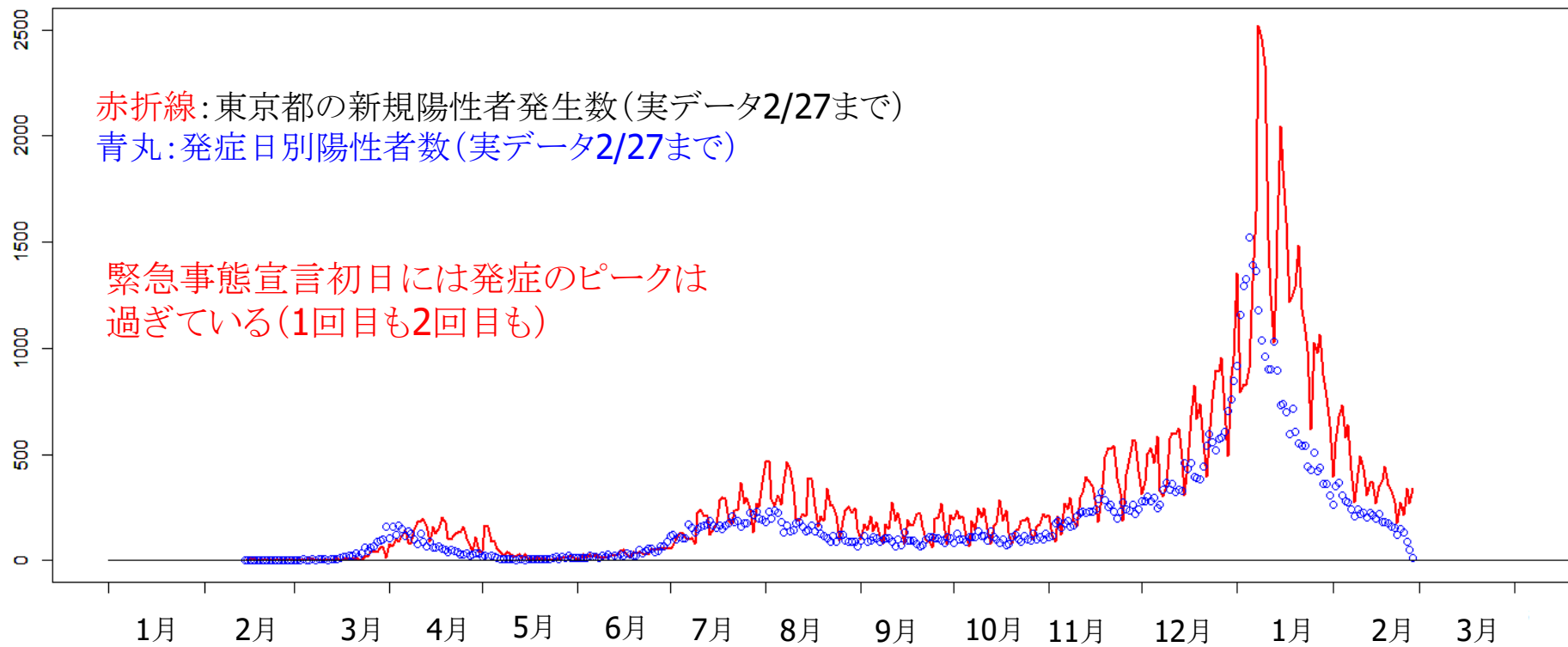


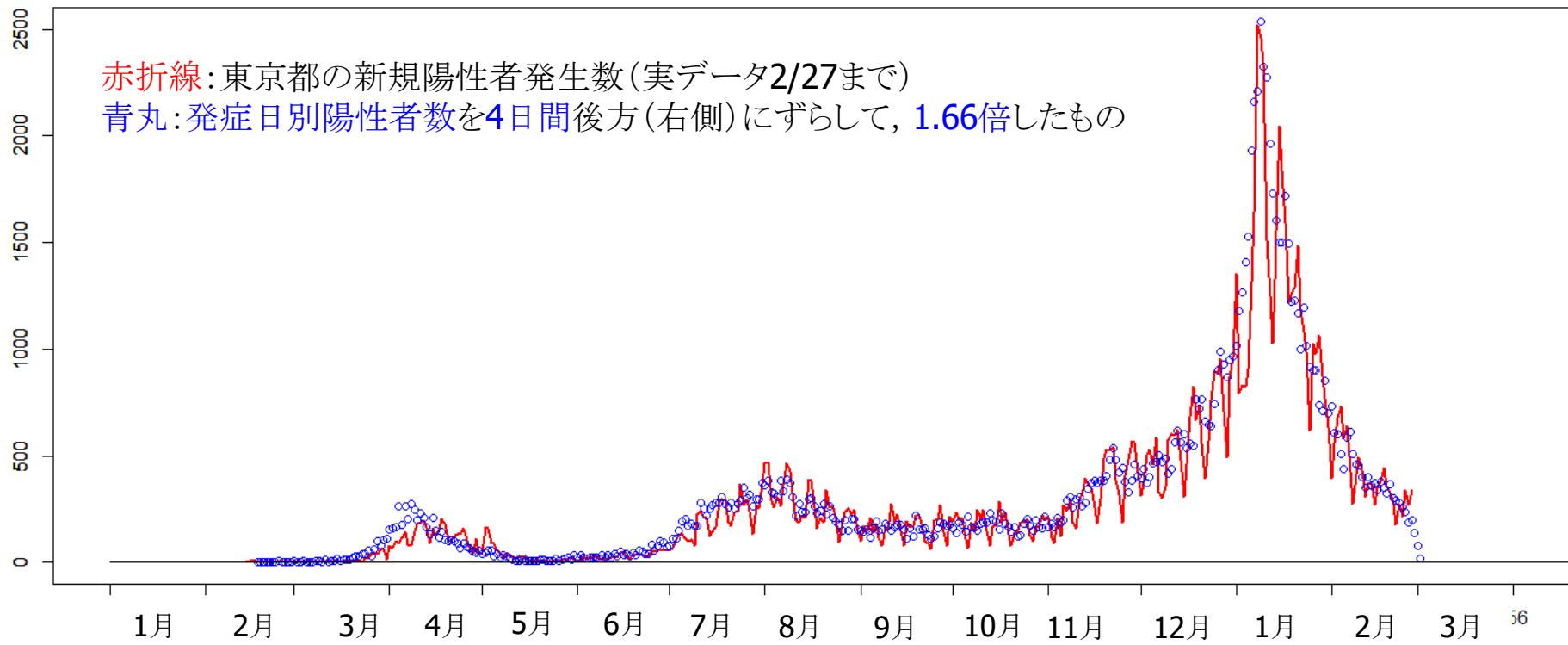
$\beta(t)$ の振る舞い

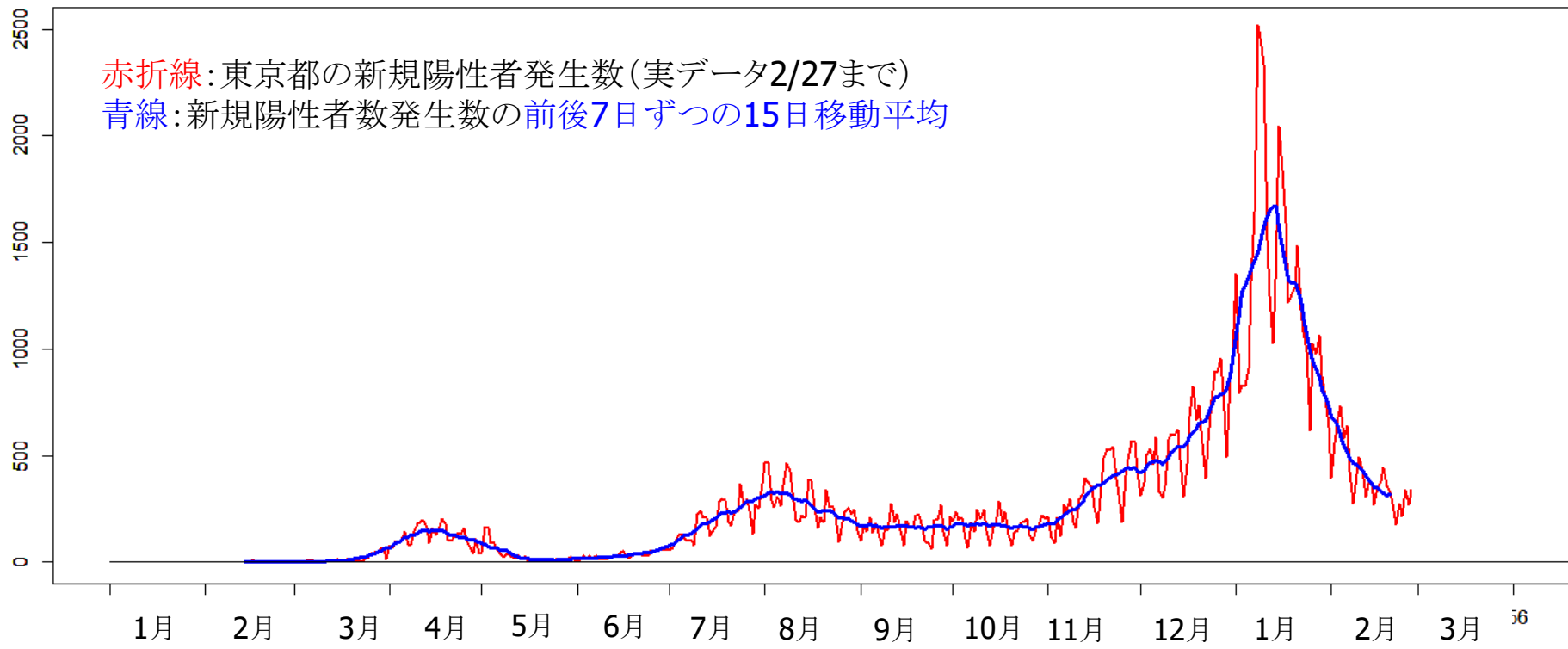
- $\beta(t) > (\text{しきい値})$ で感染拡大.
- しばらく続くと縮小期に入る(行動変容や自粛が起こる).
 β は指数関数的に減少(一日ごとに定数(典型的には0.95から1の間)倍される).
- $\beta(t) < (\text{しきい値})$ まで減少すると β はまた指数関数的に増加しだす. (1日に1から1.03倍くらい)
- 中野らのK値もこのような振る舞いをとらえている.
- 指数的ではなく、**二重指数関数的な振る舞い**となる.
- ワクチンの影響は推計された β の減少となって表れるが今のところ顕著ではない.



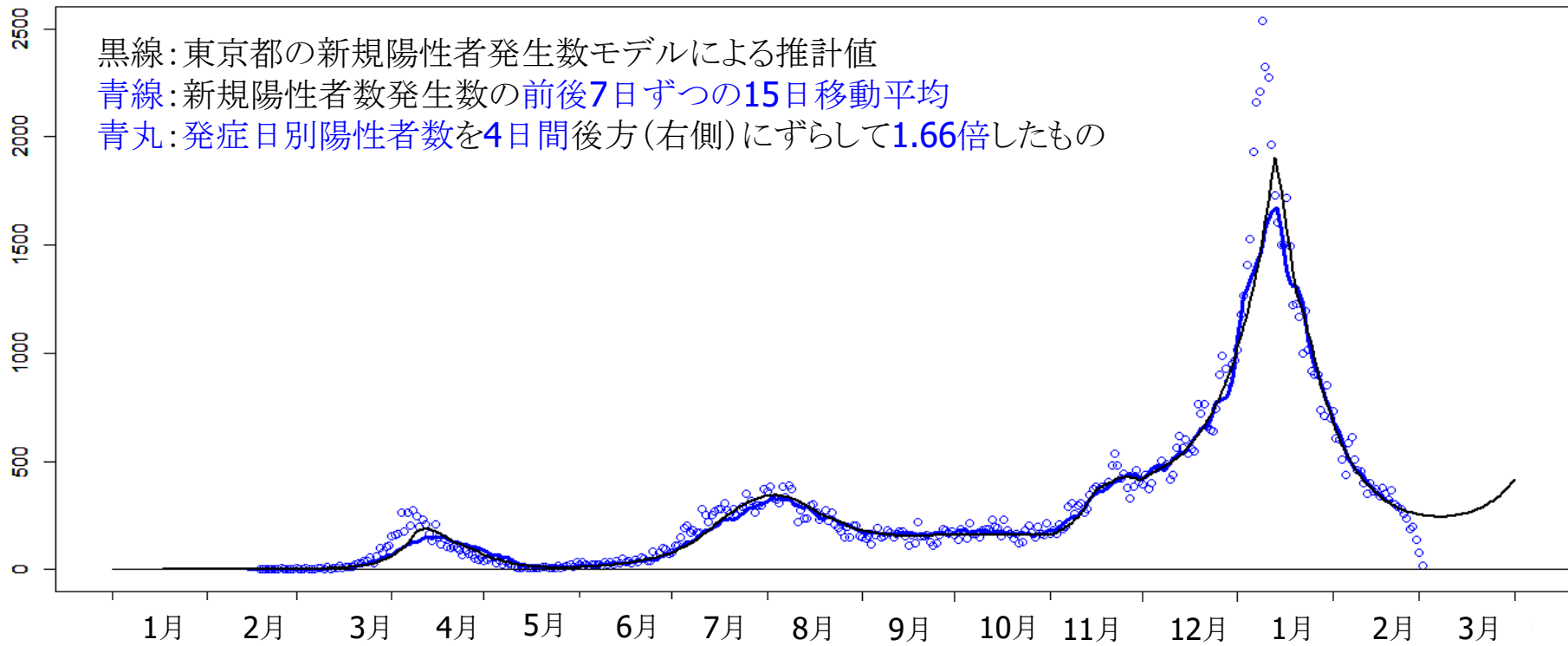


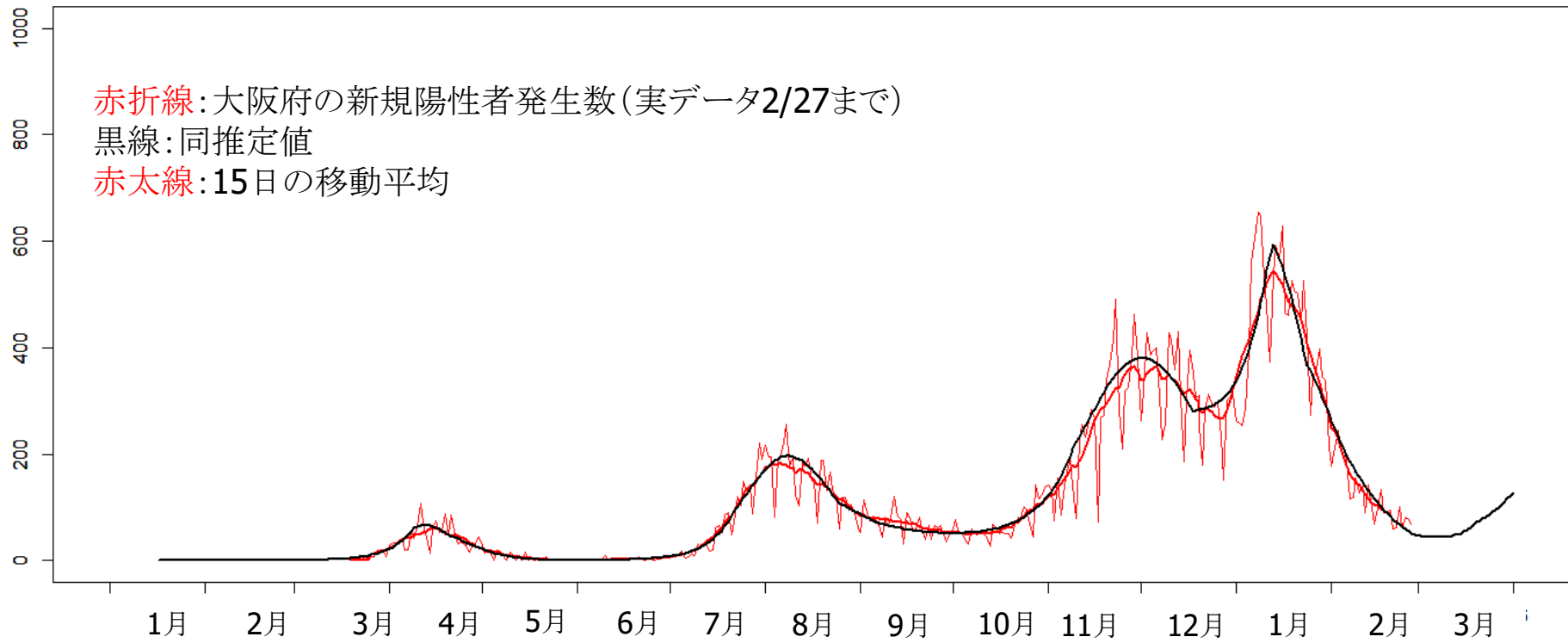


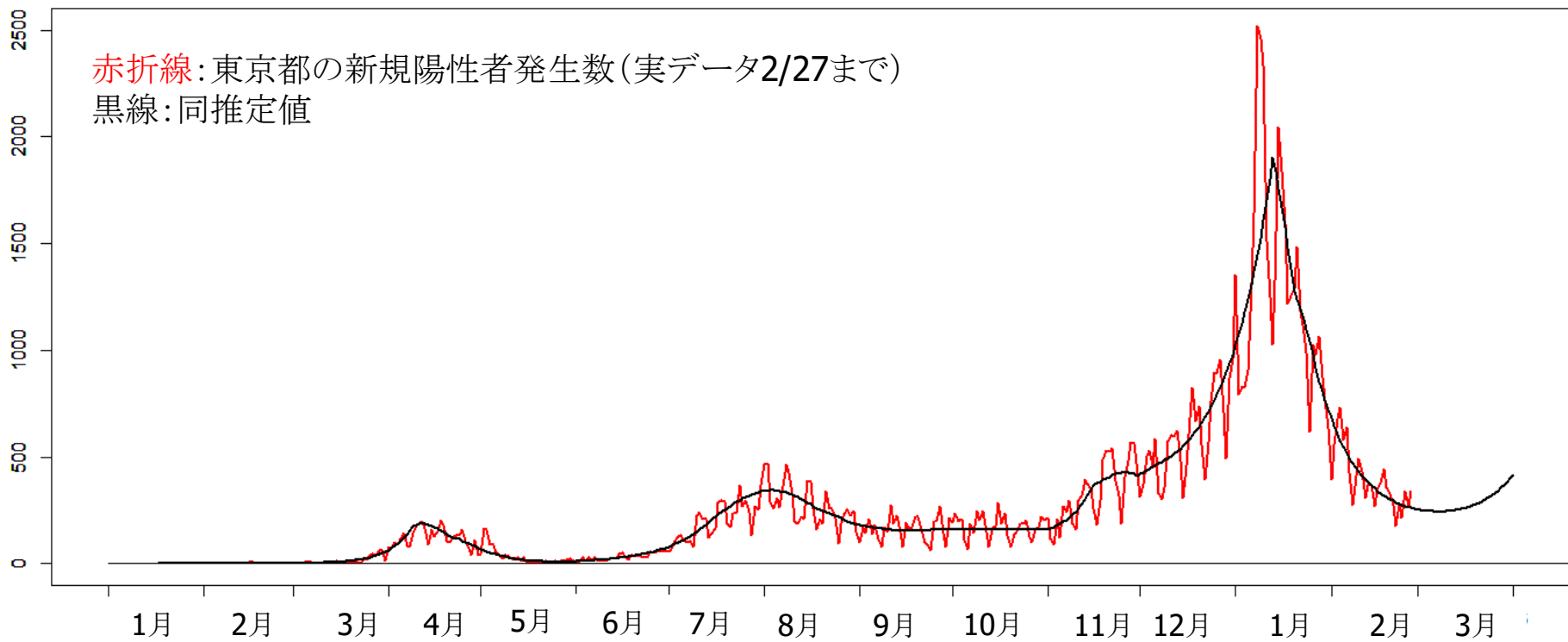
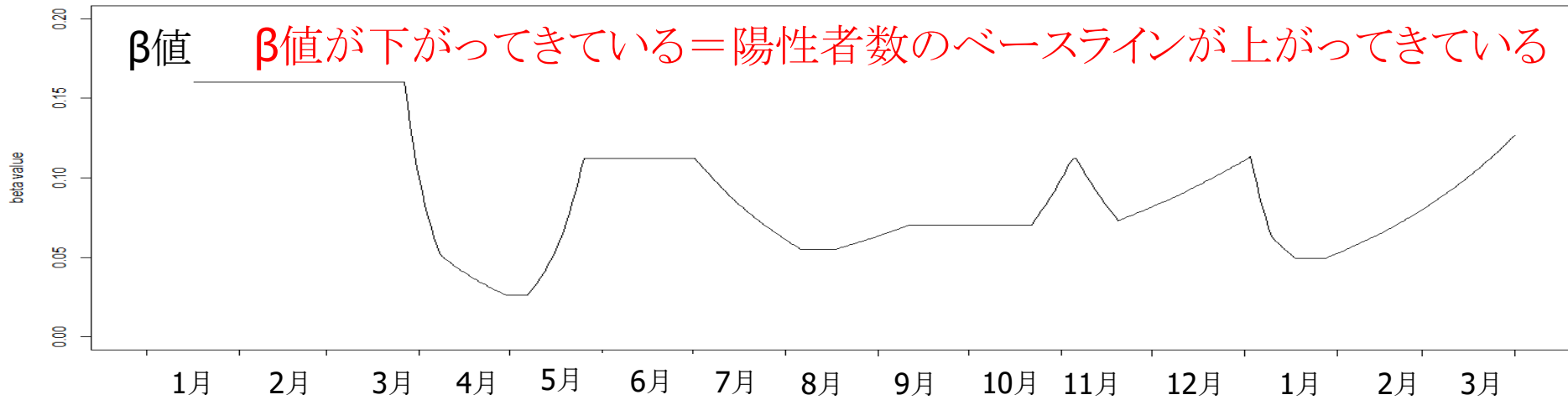




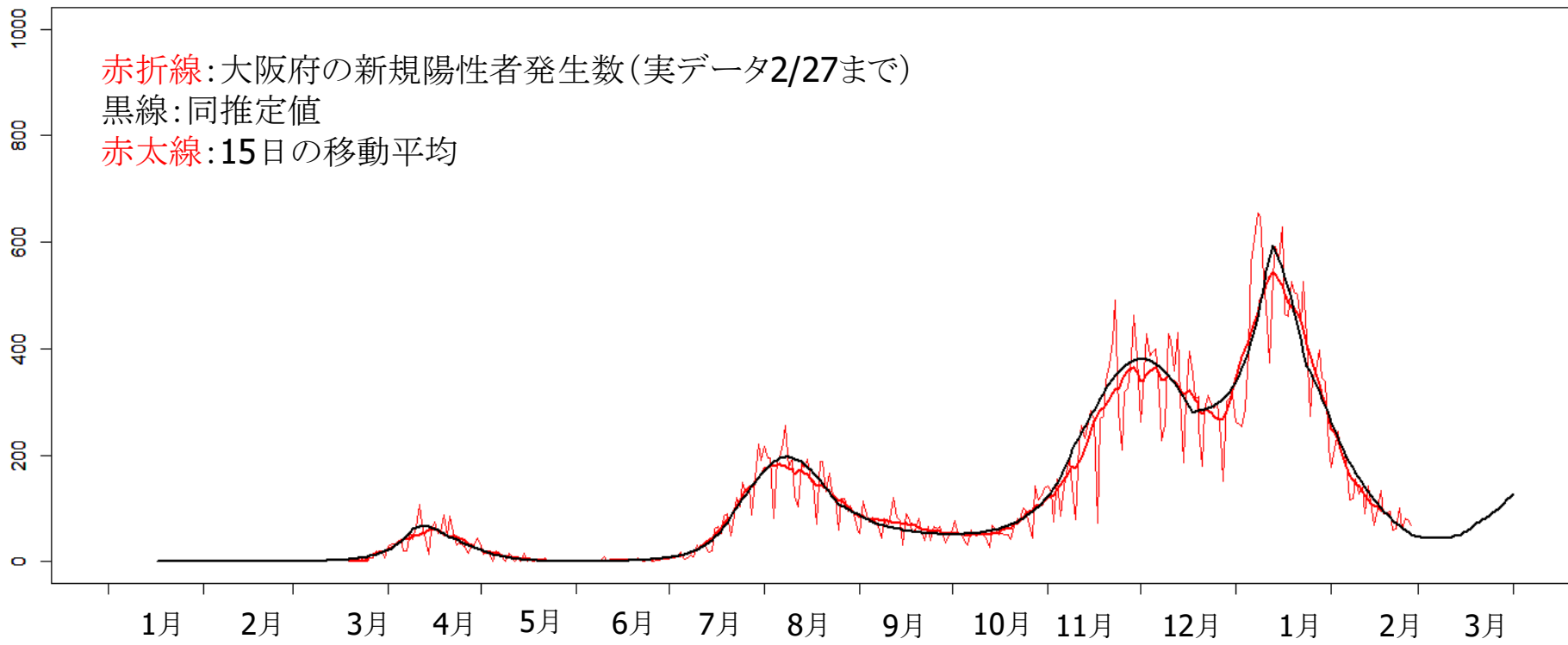
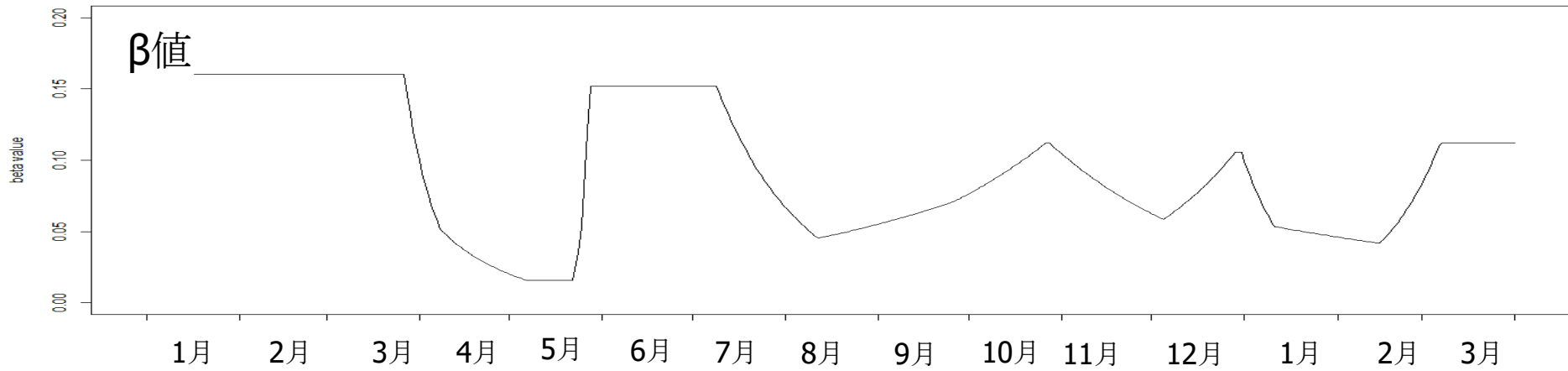




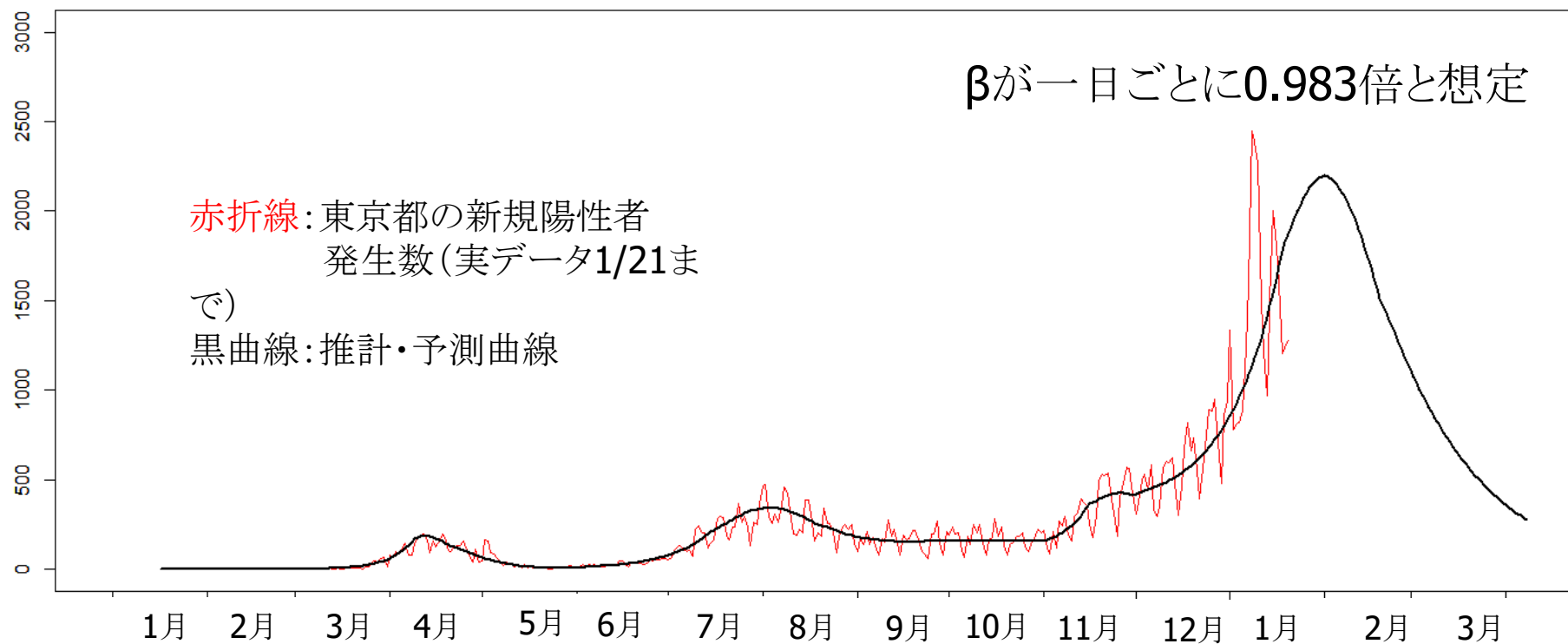




2021/7/31

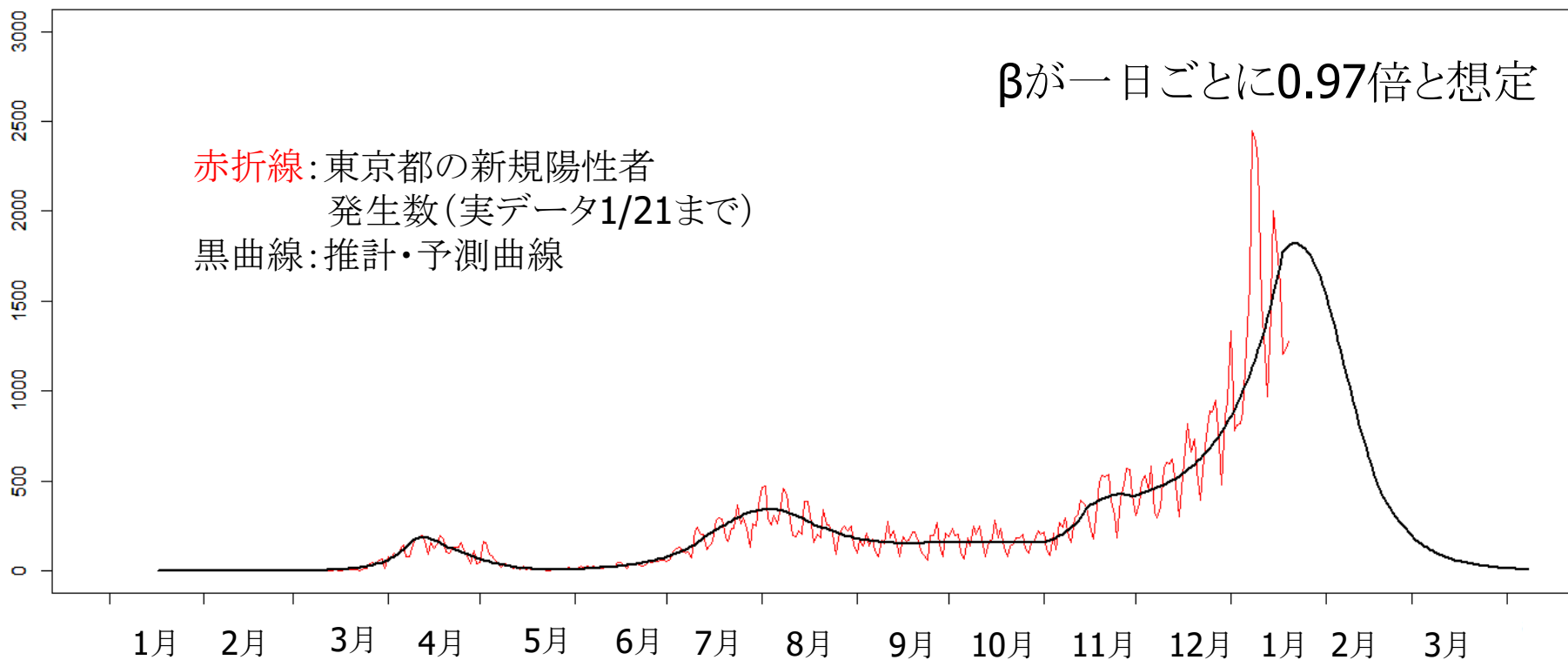


緊急事態宣言下での東京都の新型コロナウイルス感染症新規陽性者数予測
(2021年1月21日現在)
(推計・予測曲線作成日:1月21日)



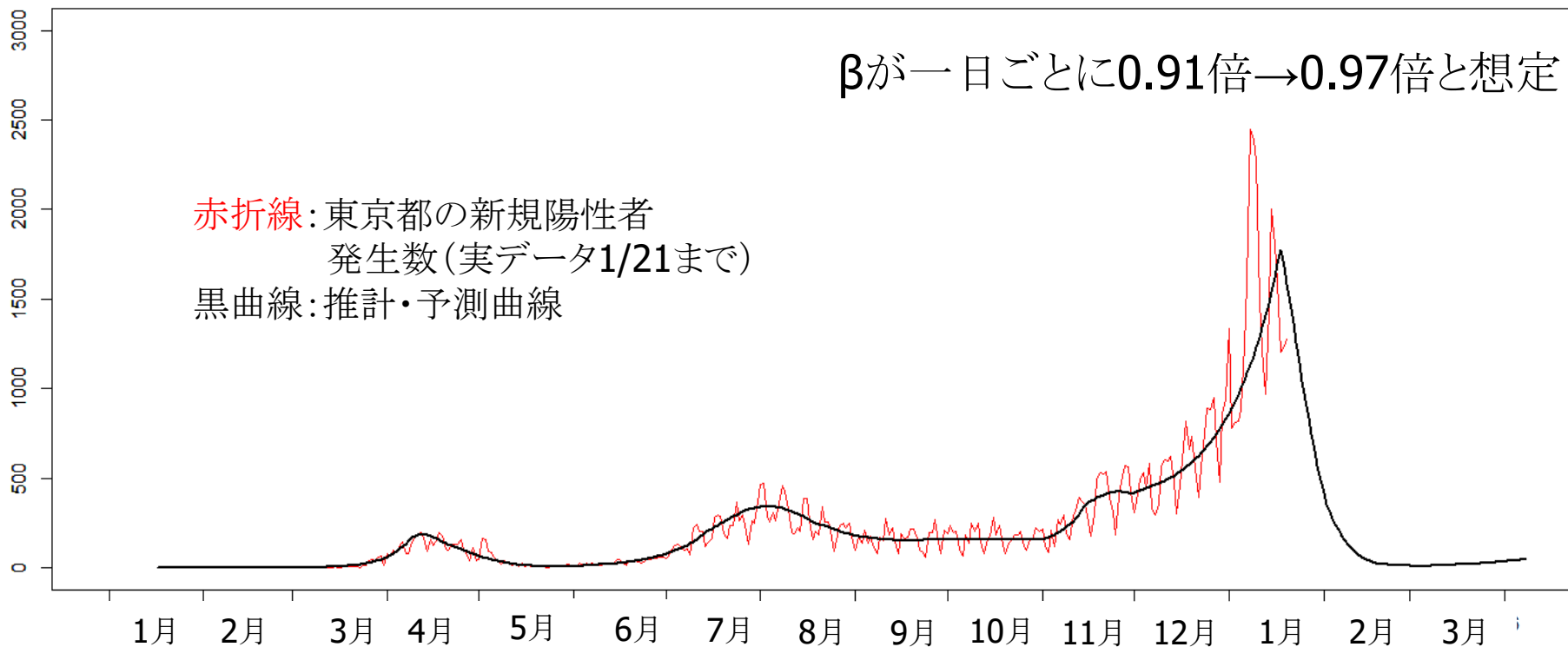
2月7日以降も延長して緊急事態宣言を継続

昨年4月の緊急事態宣言と同レベルの緊急事態宣言を実施した場合の
東京都の新型コロナウイルス感染症新規陽性者数予測
(2021年1月21日現在)
(推計・予測曲線作成日:1月21日)



2月7日以降も延長して緊急事態宣言を継続

1月7日から2週間、学校を全面休校、公共交通機関を多数運休するなどの厳しい行動制限を実施し、その後、2月7日までは、昨年4月実施した緊急事態宣言と同レベルのものを実施した場合（但し小中高は開校する）の東京都の新型コロナウイルス感染症新規陽性者数予測（2021年1月21日現在）
 （推計・予測曲線作成日：1月21日）

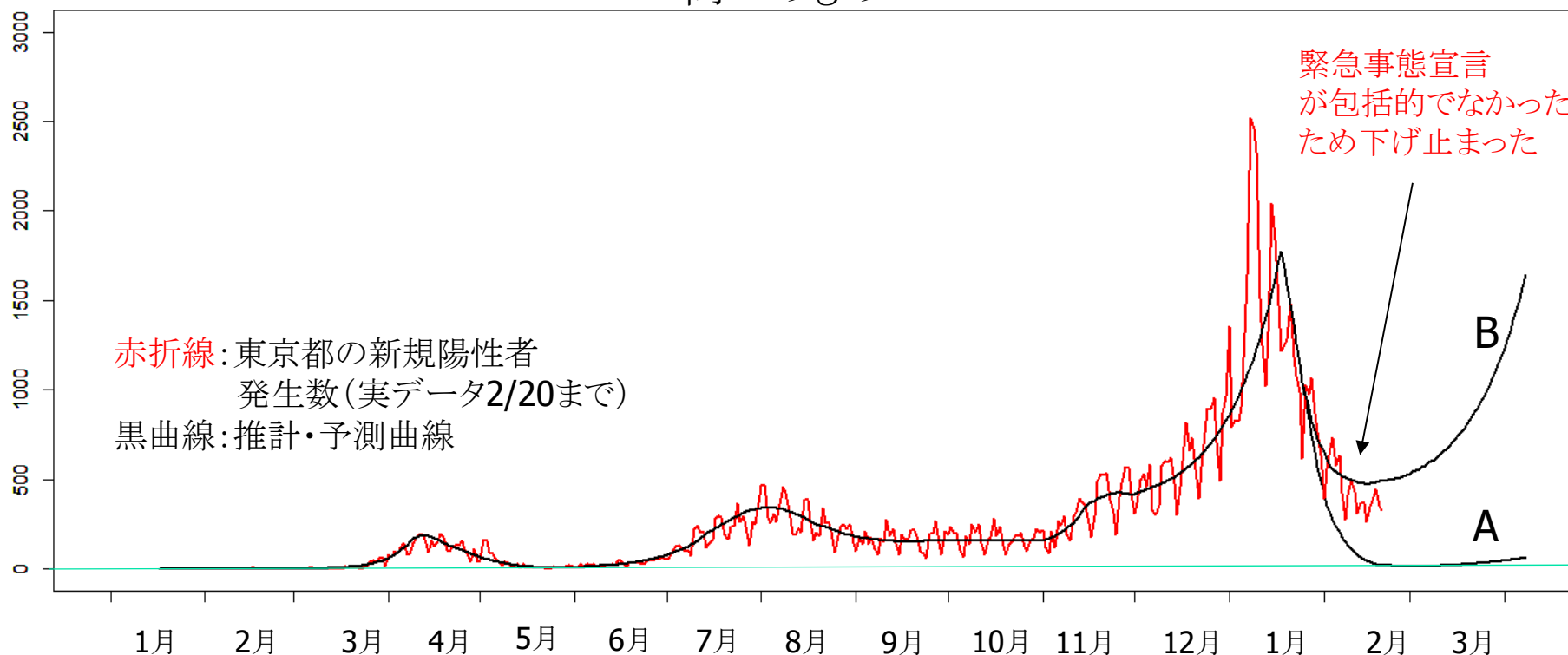


2月7日で緊急事態宣言解除

東京都の新型コロナウイルス感染症新規陽性者数予測 (参考:1月26日付け)
(2021年2月20日現在)

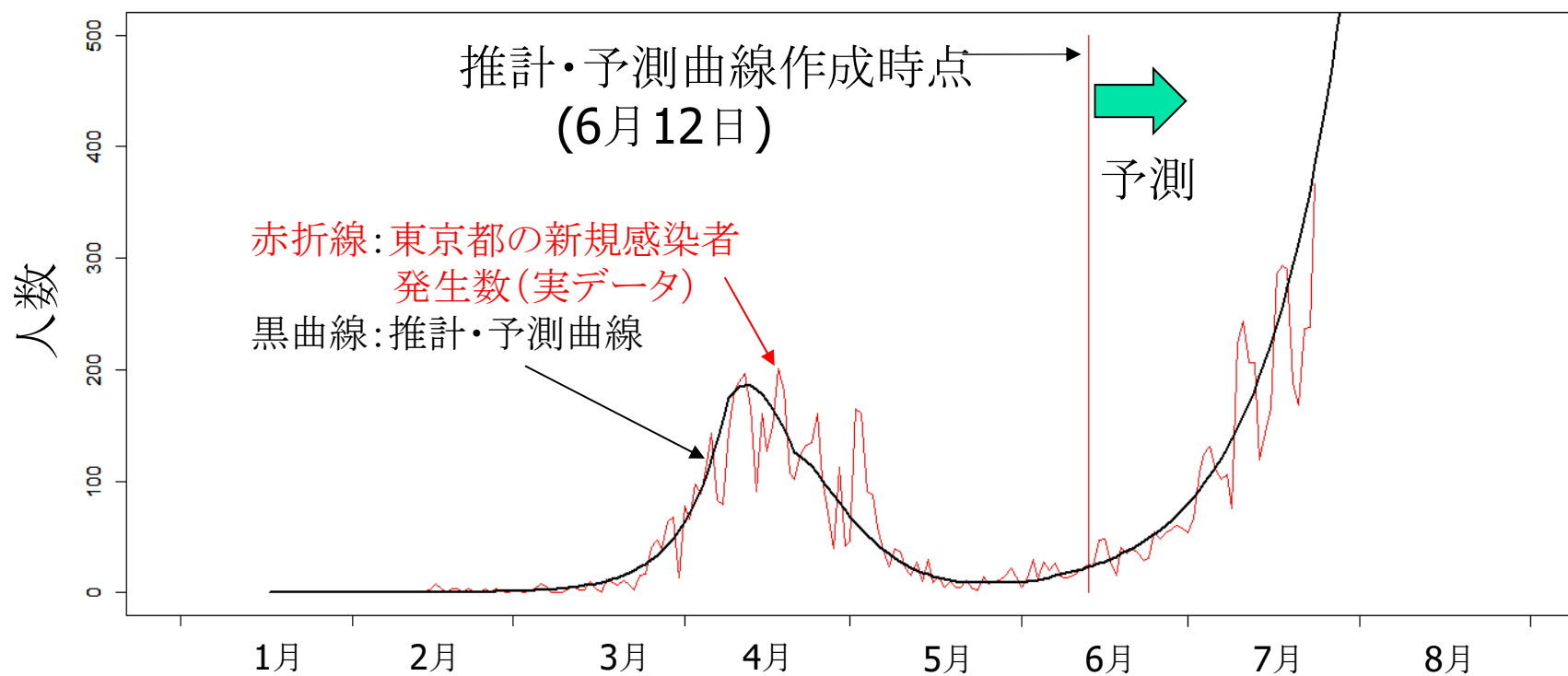
(推計・予測曲線作成日:A:1月21日, B:1月26日)

Aは1月21日付け予測で「非常に厳しい緊急事態宣言を実施した場合」の推計・予測曲線と同一のもの



- A: 2月7日まで我々が緊張感を持って緩まずに現状の減少ペースを続けることができた場合 (2月7日で154人) **これを指すんだという政府のしっかりした目標設定とリーダーシップが必要**
- B: 途中で緩んでしまった場合 (2月7日で509人でその後上昇する)

モデルに基づいた2020年6月から7月にかけての 東京都発生感染者数予測





テレビ等のメディアに出演

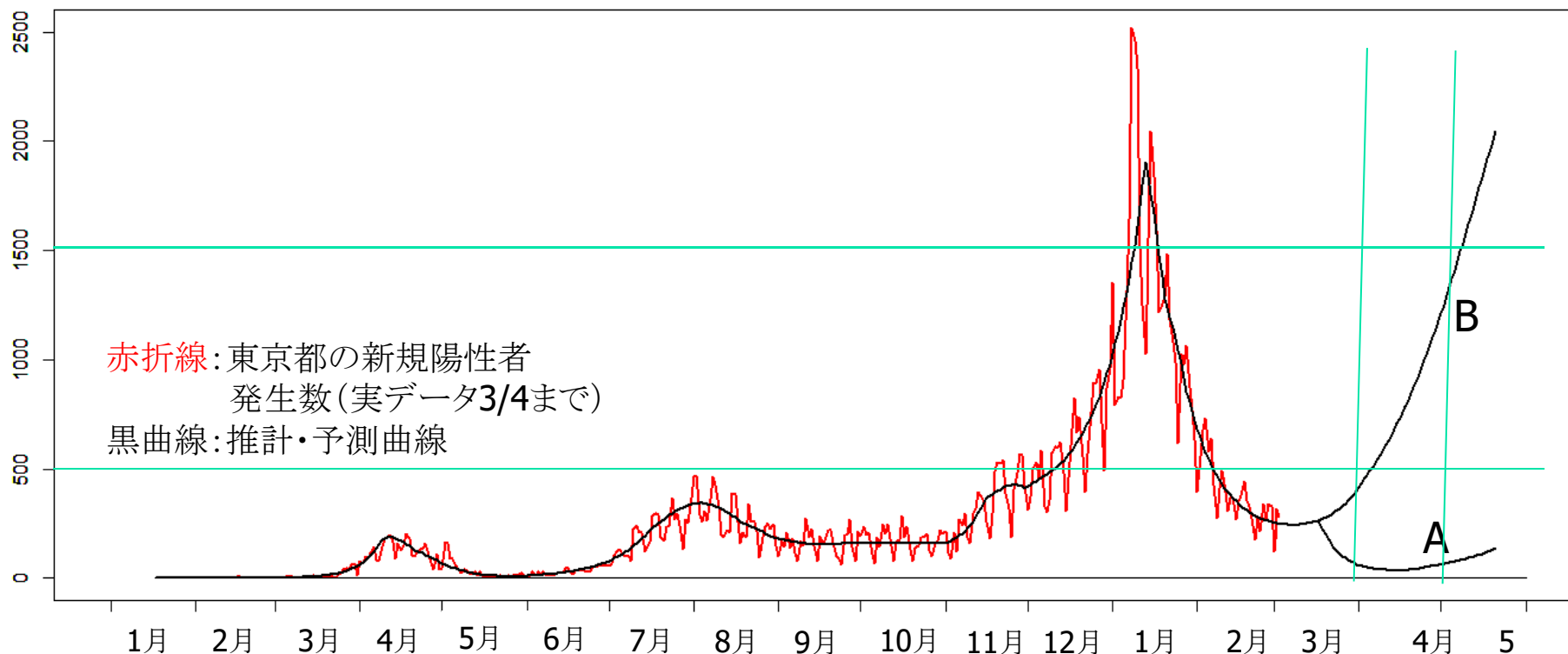
- HPで公開していた予測が6,7月の時点でそれなりに合っていたこと
- いろいろな(先輩方の)人脈
- 政府が何もしないことへの(マスコミの)危機意識
 - 6月4日BS日テレ深層NEWS
 - TBS:あさチャン(7/21)、ひるおび(7/25)、ニュースキャスター(7/26)
 - フジ:グッデイ(7/23)
 - テレビ朝日:グッドモーニング(7/22,8/10)、TVタックル(8/9)
 - TOKYO FM (7/29)



テレビ等のメディアに出演

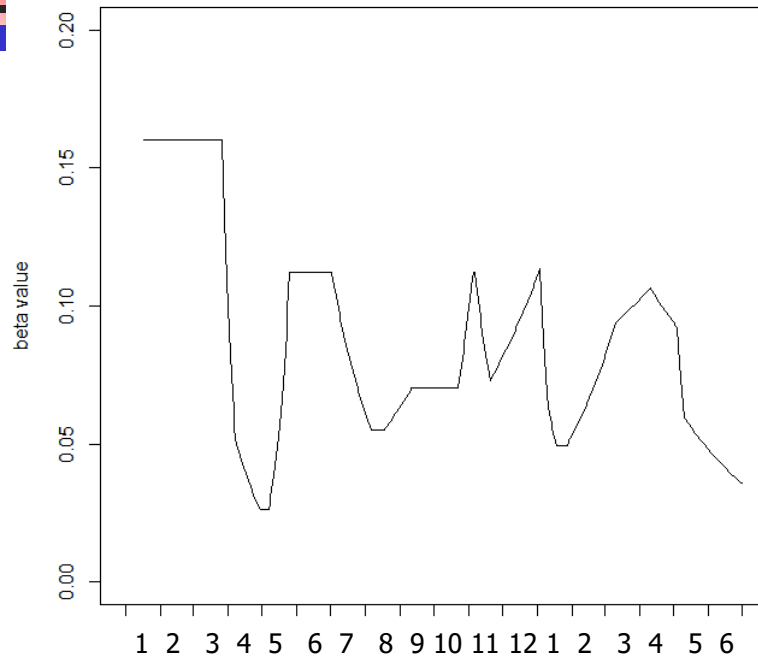
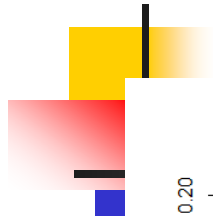
- 第3波
 - TBS:ぐっとラック, あさチャン (1/4)
 - テレビ朝日:モーニングショー (1/29), TVタックル(2/11)
 - 読売テレビ:ミヤネ屋(2/1)
 - 毎日新聞 web (1/24)
 - AERA 3月14日号 等々
- 世の中に情報を発信する機会をいただいで感謝しています.

東京都の新型コロナウイルス感染症新規陽性者数予測(2021年3月04日現在)
 (推計・予測曲線作成日:A, Bともに2月28日)AERA掲載予測

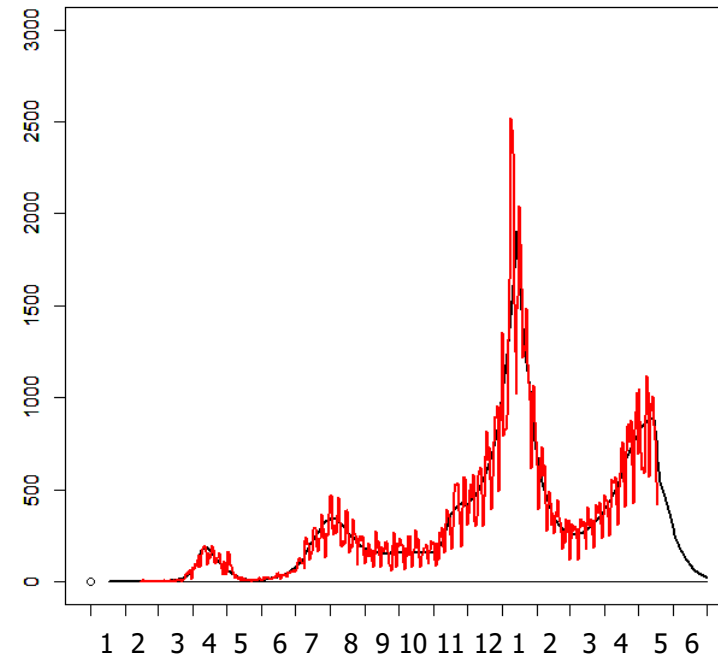


- A:** 3月7日より3月21日まで, 最低限昨年4月と同様のレベルの踏み込んだ緊急事態宣言を行い政府と国民が一体となって感染対策に努めた場合.
 (3/7:243人, 3/21:157人, 3/31:56人, 最小 4/14: 35人)
- B:** これまでと同様(緊急事態宣言を延長するにせよ), 政府や東京都が現行以上踏み込んだ対策を行わず, なりゆきにまかせた場合(3/7:243人, 3/21:297人, 3/31:417人, 4/30:1213人)

東京の β と新規感染者数

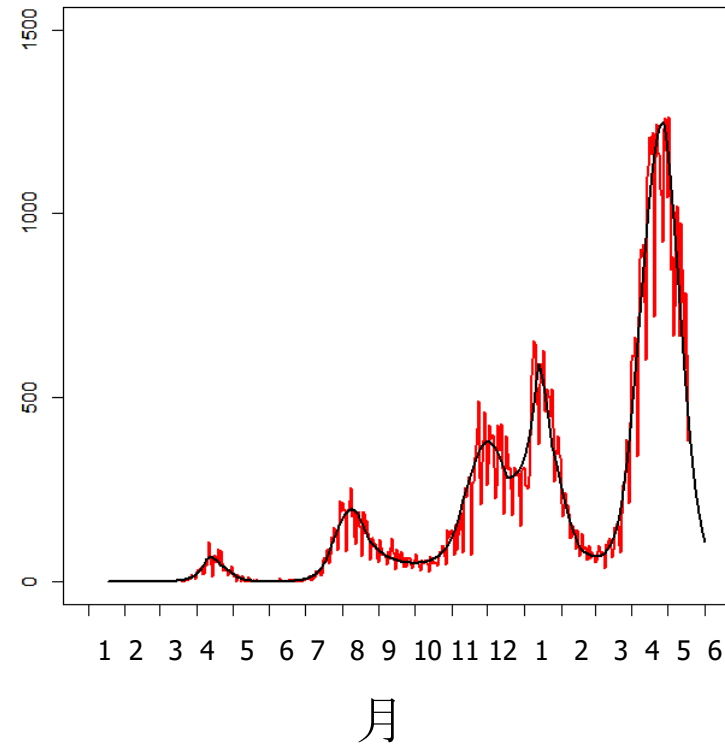
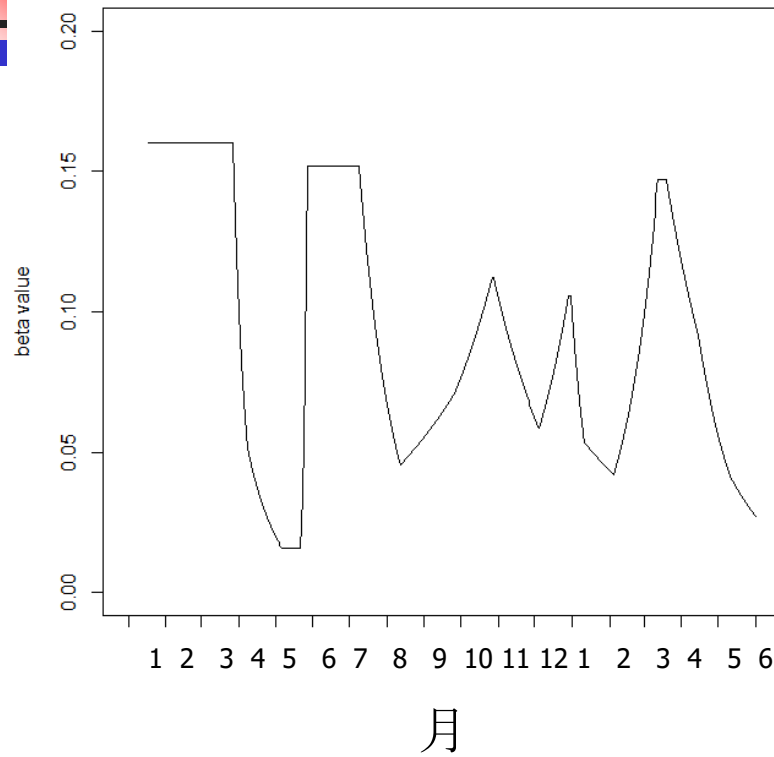


月

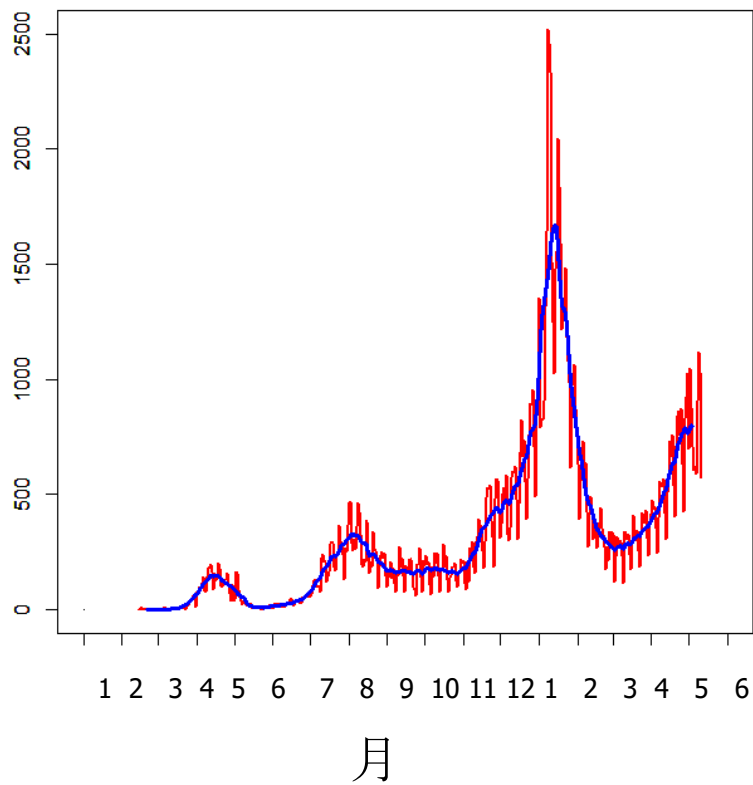


月

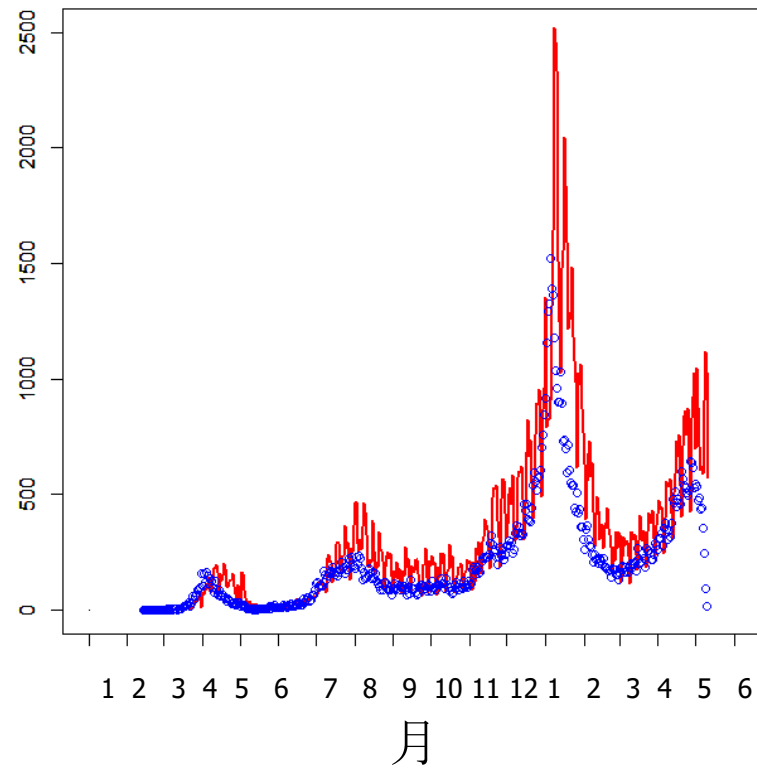
大阪の β と新規感染者数



東京(青線移動平均、青丸発症者)

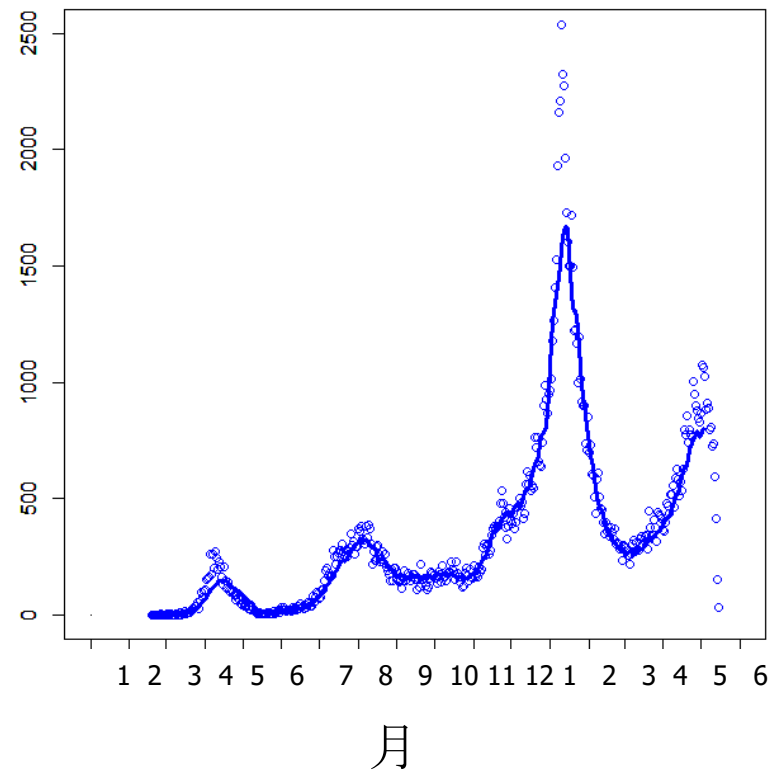
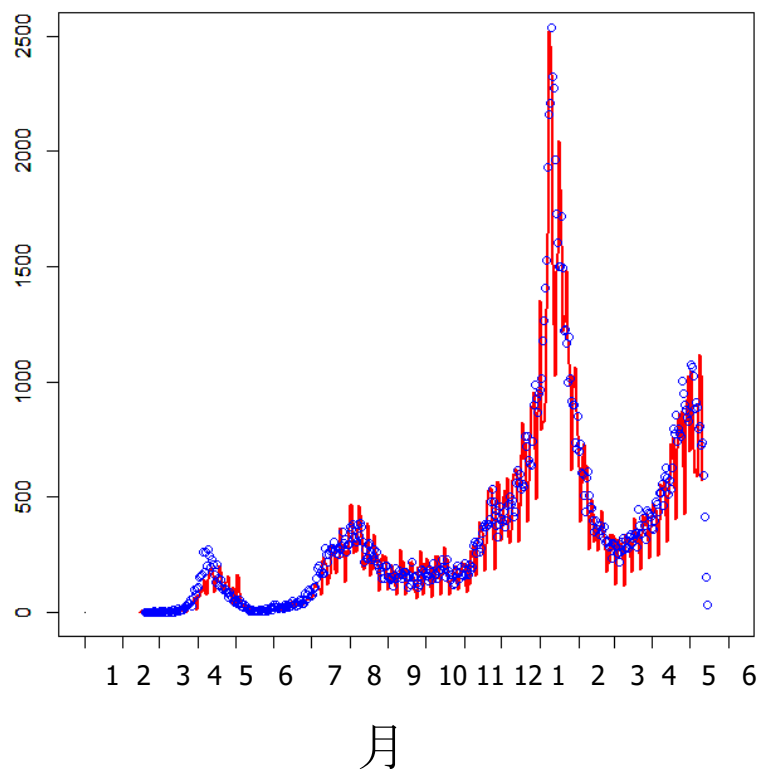


2021/7/31

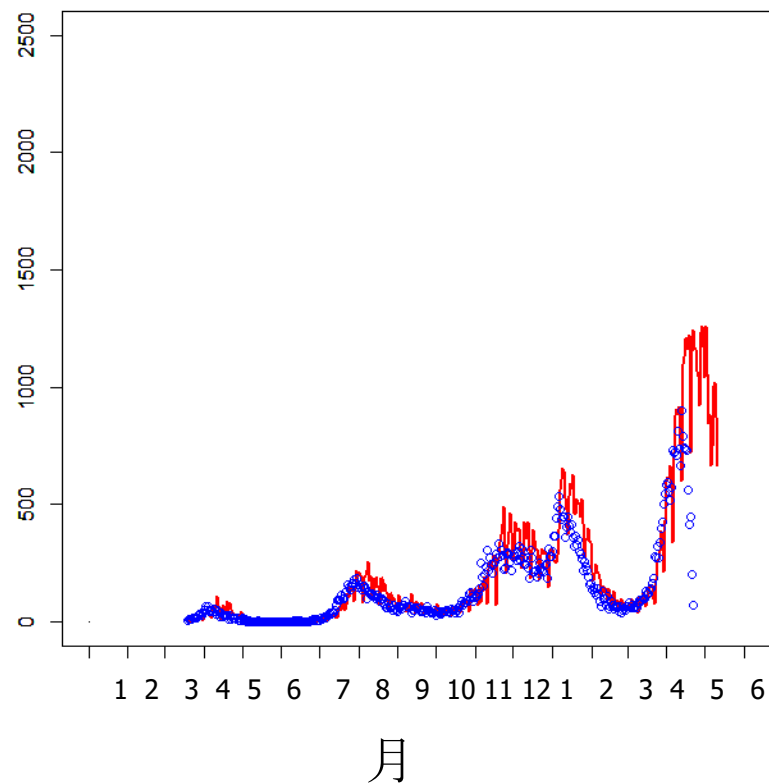
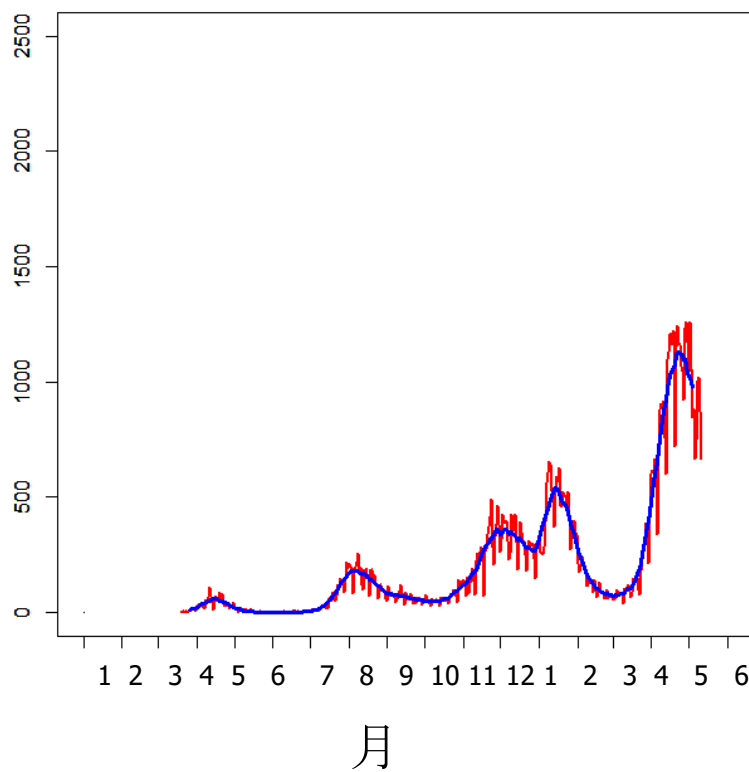


数学月間の会講演会

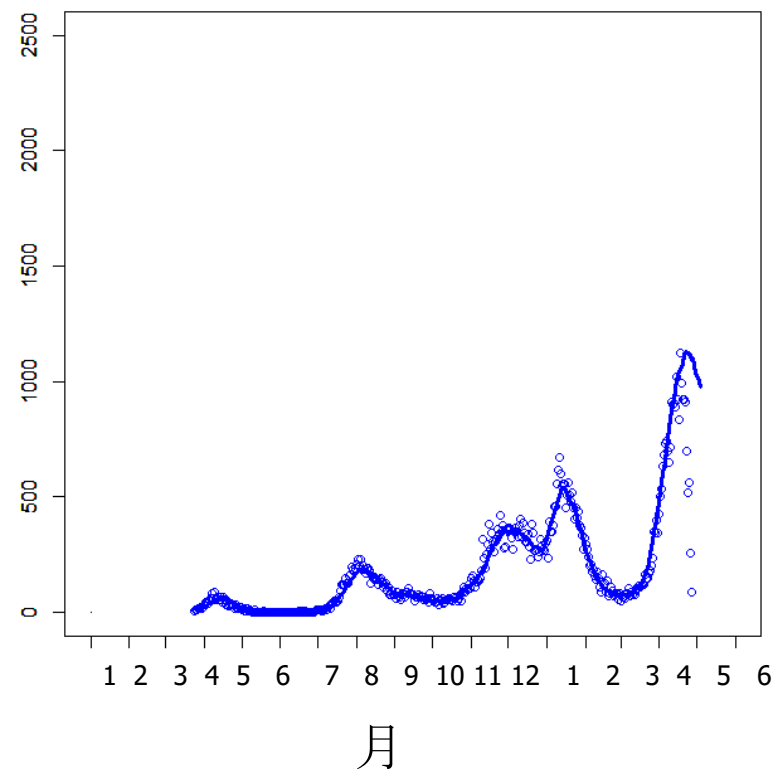
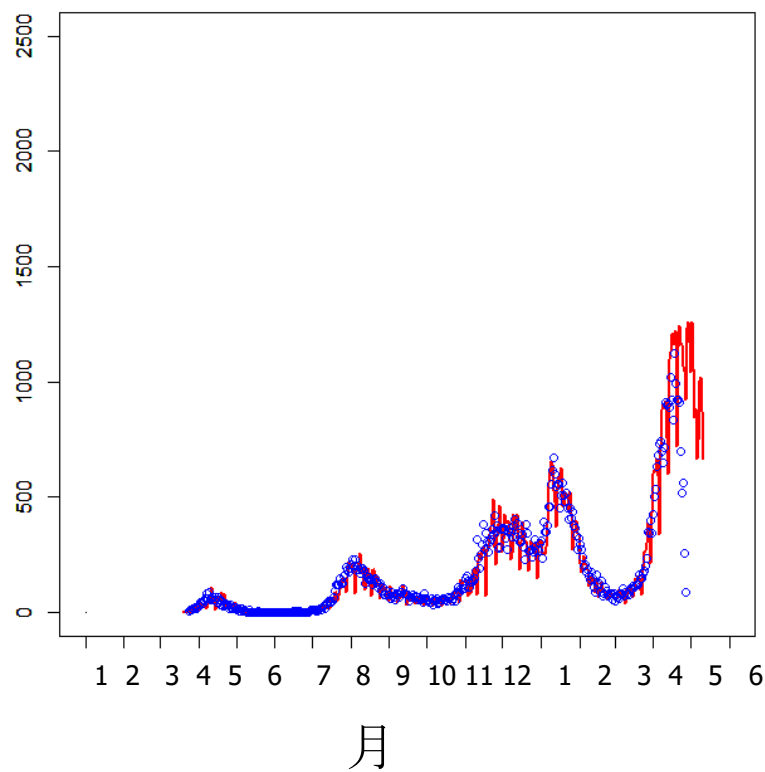
東京(陽性者 = 発症者 / 0.6 + 5日遅れ)



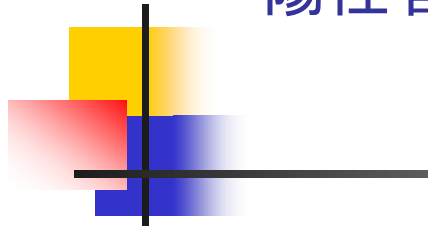
大阪(青線移動平均、青丸発症者)



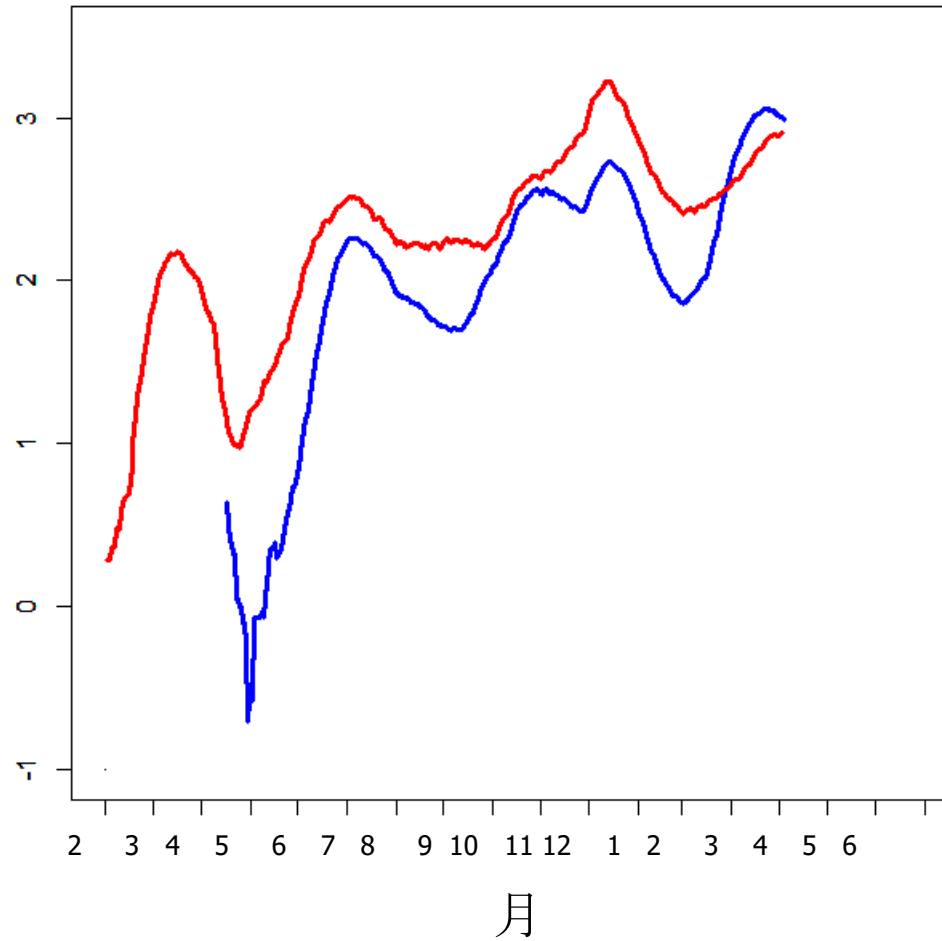
大阪(陽性者 = 発症者 / 0.8 + 5日遅れ)



陽性者数の前後一週間移動平均の変化(赤東京、青大阪)



log10(陽性者数)





東京と大阪の違い

- 東京よりも大阪の方が熱しやすく冷めやすい。
- 東京の方がより人と会わないで社会活動をしている？
- 地方都市の方が感染拡大のスピードが速いことの説明



$\beta(t)$ の振る舞い

- $\beta(t) > (\text{しきい値})$ で感染拡大.
- しばらく続くと縮小期に入る(行動変容や自粛が起こる).
 β は指数関数的に減少(一日ごとに定数(典型的には0.95から1の間)倍される).
- $\beta(t) < (\text{しきい値})$ まで減少すると β はまた指数関数的に増加しだす. (1日に1から1.03倍くらい)
- 中野らのK値もこのような振る舞いをとらえている.
- 二重指数関数的な振る舞いとなる.

$\beta(t)$ は何故指数関数的に振舞うか？

- 簡単のため、個人が自粛や行動変容する前の感染力を β_0 , 行動変容後を β_1 とする
- 一日に一定比率 r の人が自粛をするとすると、感染縮小期に入って t 日後には、平均感染力は、

$$\beta_0(1-r)^t + \beta_1(1-(1-r)^t)$$

となる. これは β_1 が十分0に近いとすると、

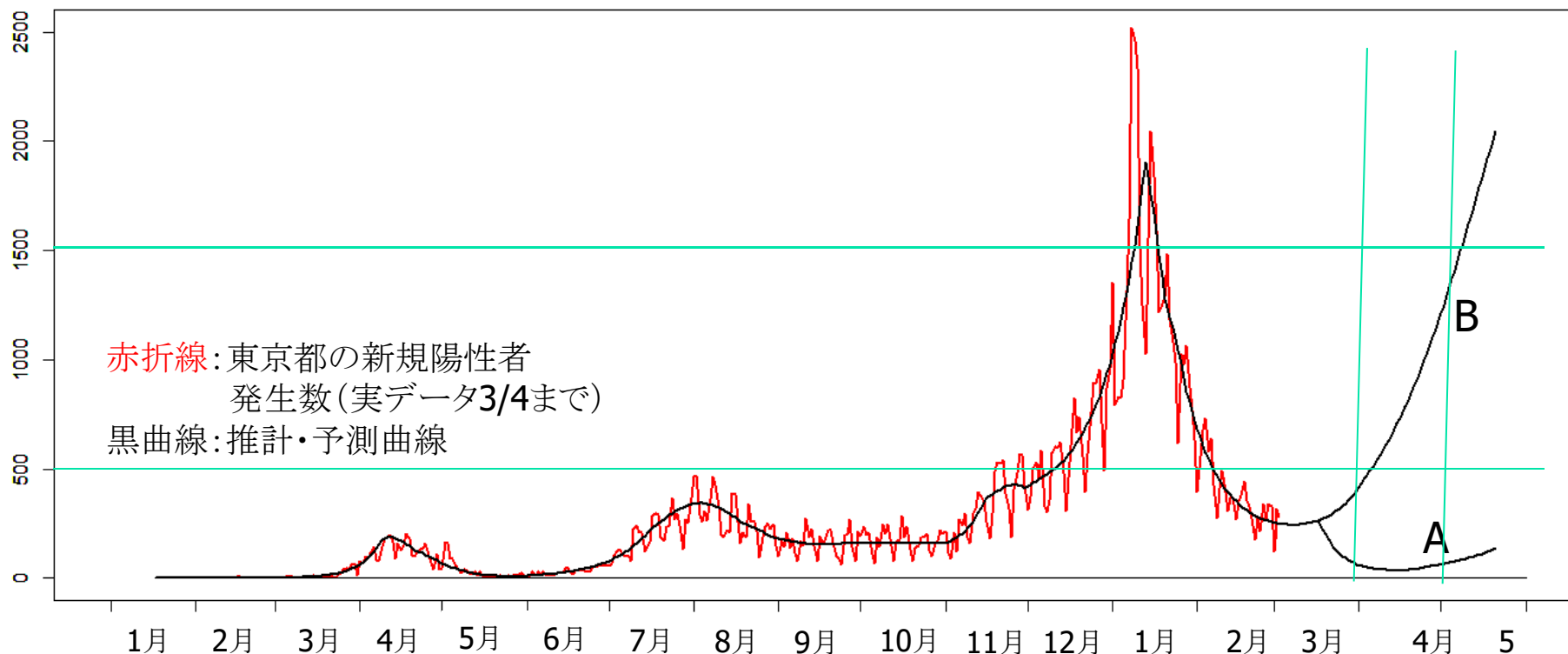
$\beta_0(1-r)^t$ で近似できる.



下げ止まりの解析

- 簡単のため、感染拡大に2つの原因1,2があるとする。2つのグループは感染者の別々のグループに対応しているとする。ただし、両グループ間には相互作用があるとする。
- グループ1に制約をかけるとグループ1の方は、一日に一定比率 r の人が自粛をするので段々と0に近づいていく。
- グループ2はそのままなのでグループ2の感染者数は減らず、やがてそれが見えるようになる。
- これが第3波が下げ止まってしまっただ後の第4波を防ぎきれなかった理由ではないか？
- こういうことを防いでベースラインを下げるには包括的な行動制限が必要。

東京都の新型コロナウイルス感染症新規陽性者数予測(2021年3月04日現在)
 (推計・予測曲線作成日:A, Bともに2月28日)AERA掲載予測

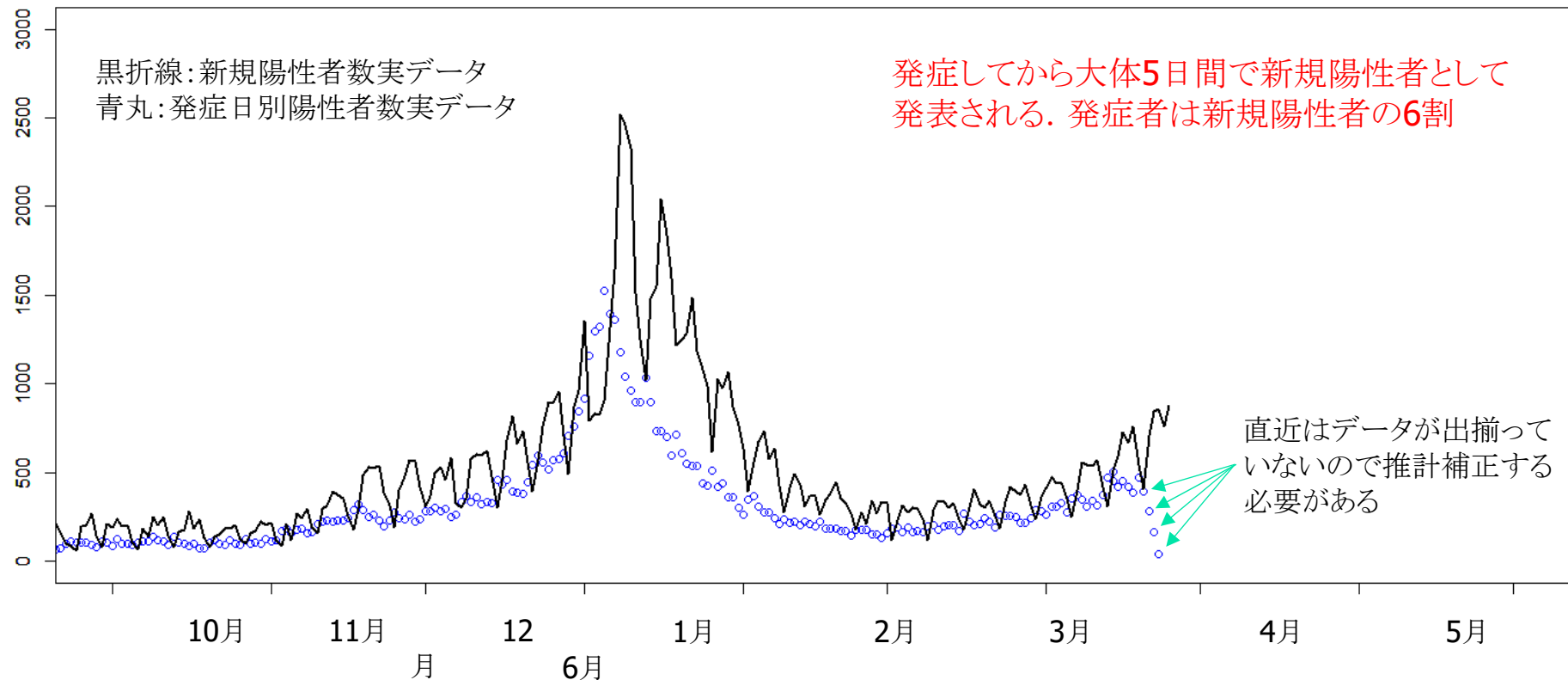


A: 3月7日より3月21日まで, 最低限昨年4月と同様のレベルの踏み込んだ緊急事態宣言を行い政府と国民が一体となって感染対策に努めた場合.

(3/7:243人, 3/21:157人, 3/31:56人, 最小 4/14: 35人)

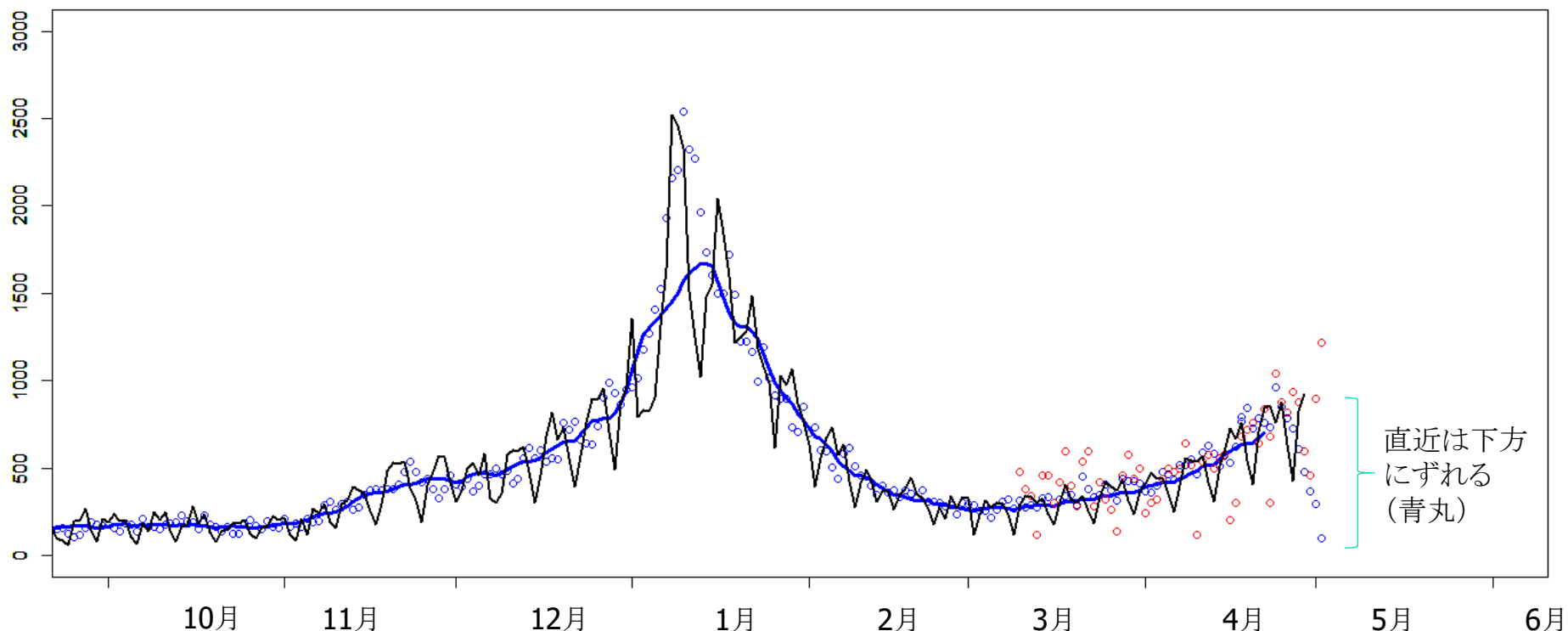
B: これまでと同様(緊急事態宣言を延長するにせよ), 政府や東京都が現行以上踏み込んだ対策を行わず, なりゆきにまかせた場合(3/7:243人, 3/21:297人, 3/31:417人, 4/30:1213人)

東京都の新型コロナウイルス感染症新規陽性者数データ(2021年4月24日現在) (参考)



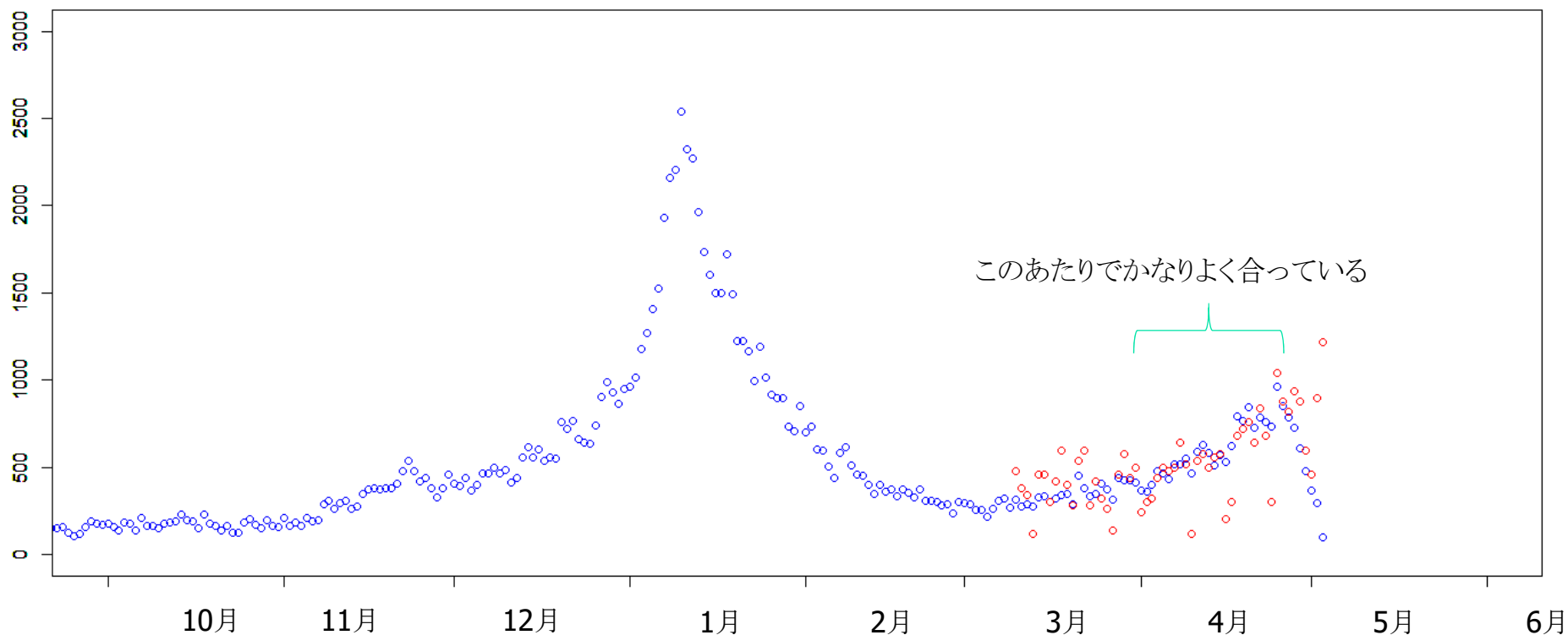
発症日別陽性者数データを**5日後**方にずらして**5/3倍**すると新規陽性者数がほぼ推定できる. ただし, 肝心の直近の部分一週間程度については, データが出揃うのに時間がかかるために補正が必要. (補正方法については**4ページ目**を参照のこと.)

新規陽性者数(黒折れ線), 発症日別陽性者数を5日後方にずらして5/3倍したもの(青丸)と各日の前後一週間の移動平均(青線), そして発症日の翌日に判明した発症者人数による発症日別陽性者数の推計(赤丸)



この図より, 直近の発症日別陽性者数を推計できれば, 新規陽性者数は予測できることがわかる. ところが, 発症日別陽性者数は発症日から日数が経つにつれて判明してくるため予測のために知りたい直近の新規陽性者数は過小評価になるため, そのままでは利用できない. そのため, **発症日の翌日に判明した発症者人数のみを用いた発症日別陽性者数の推計(赤丸)**を行った(次ページ).

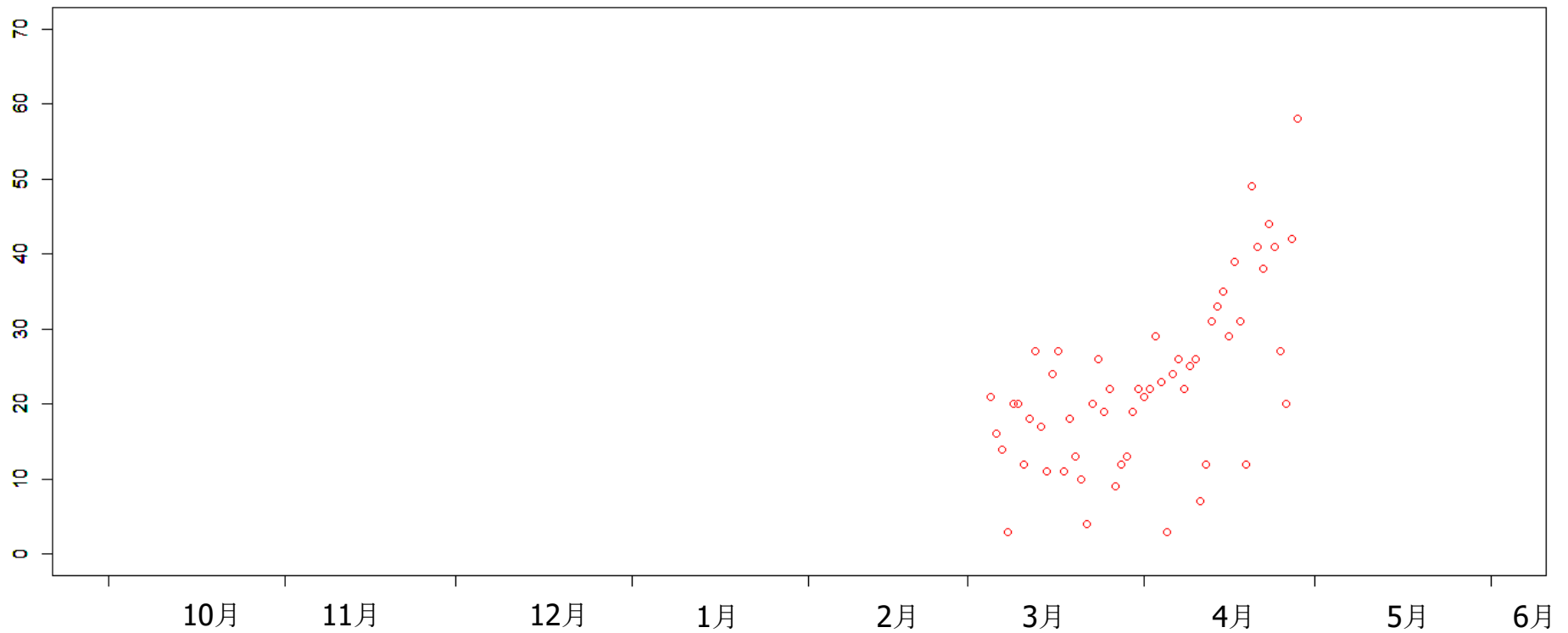
発症日の翌日に報告された(その日の)発症者人数のみを用いた新規陽性者数の推計
(赤丸)

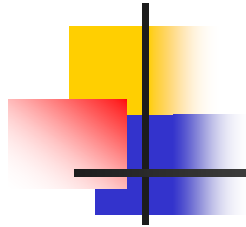


発症日 x の最終的発症者数 = (x の翌日に報告された発症日 x の発症者数) $\times 11.96 + 37.04$
次ページ参照

と推計して、これを5日分後方にずらして5/3倍して新規陽性者数を予測(赤丸)
 (青丸は発症日別発生者数データより推定した新規陽性者数; 青丸は直近では下方にずれているが、赤丸の方は、直近でも傾向を捉えている。)

発症日 x の翌日に報告された x 日の発症者人数(4月29日現在)
■ ((発症日 x の最終的な発症者数)を求めるための回帰モデル(前ページ)の説明変数)

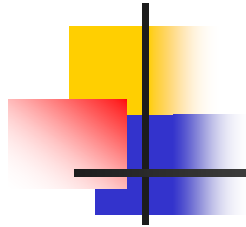




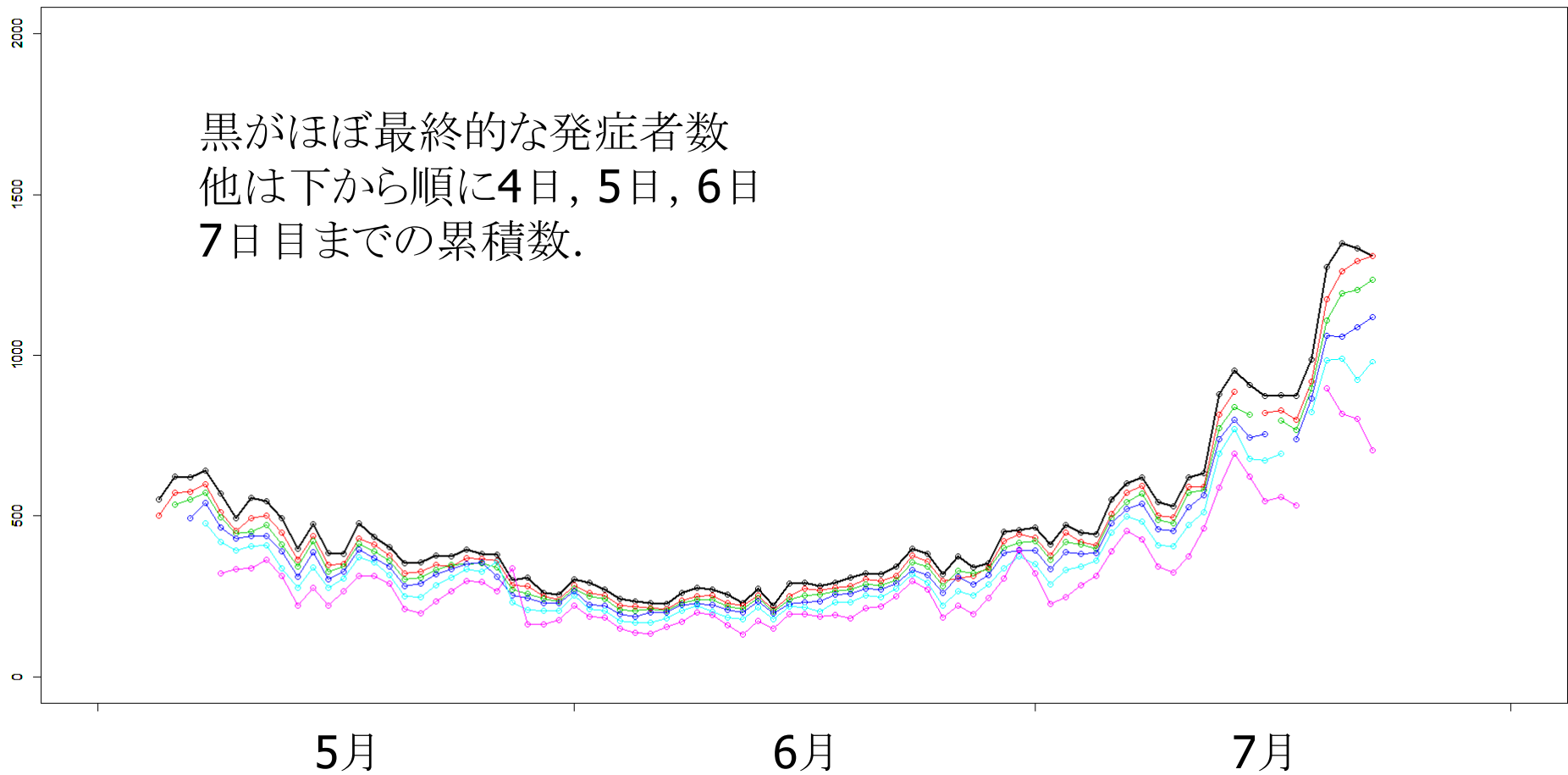
発症日 x の最終的発症者数 = (x の翌日に報告された発症日 x の発症者数) $\times 11.96 + 37.04$
(4日後の予測に対応; 図の黒四角)

発症日 x の最終的発症者数 = (x の4日後までに報告された発症日 x の発症者数) $\times 1.41 + 14.31$
(1日後の予測に対応; 図の赤丸)

発症日 x の最終的発症者数 = (x の8日後までに報告された発症日 x の発症者数) $\times 1.03 - 0.88$
(3日前の推計に対応; 図の赤丸)

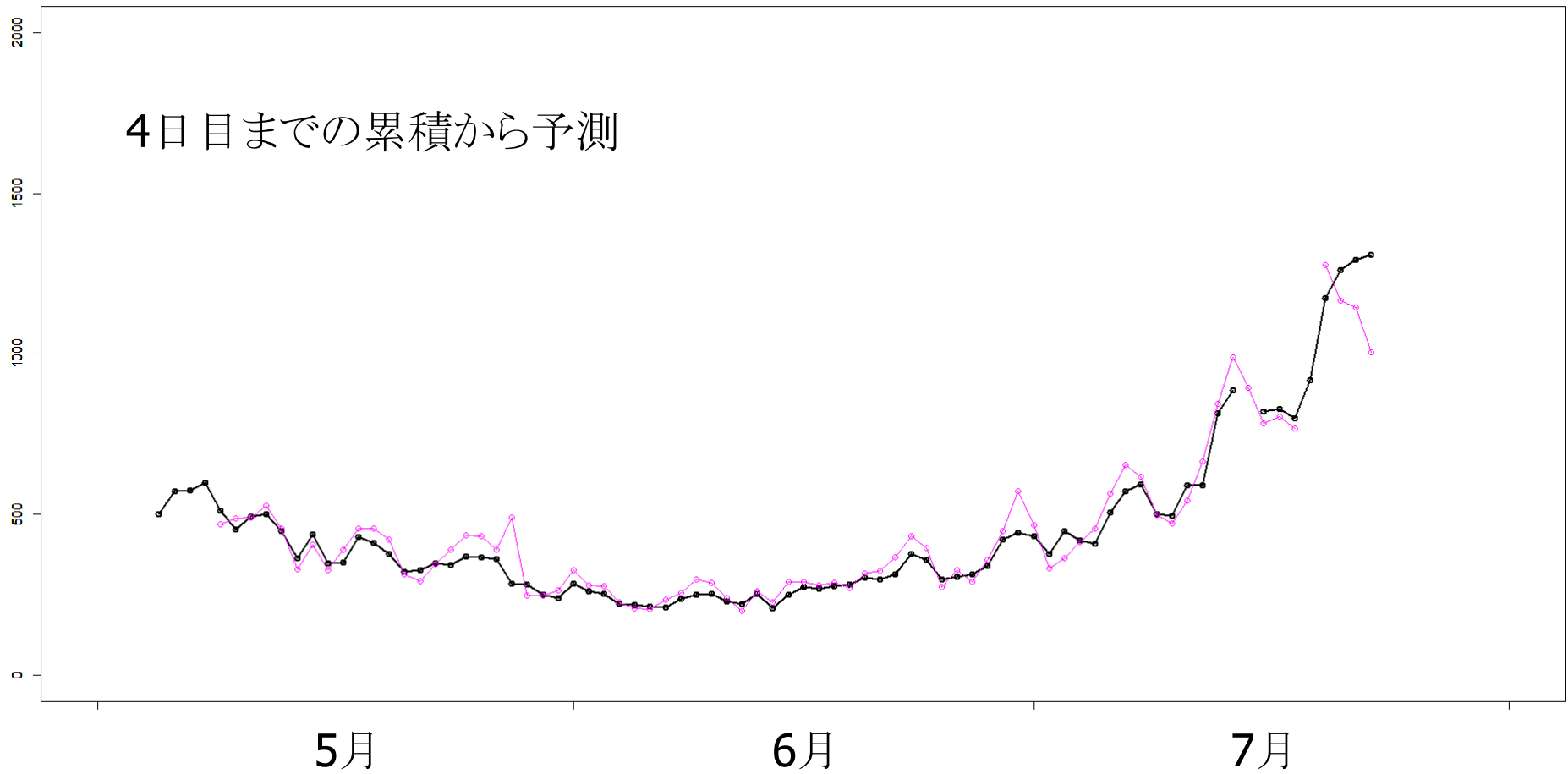


	1次の係数	定数	対応する予測・推計
翌日データのみ	11.96	37.04	4日後
4日目まで累積	1.41	14.31	1日後
5日目まで累積	1.29	-5.222	当日
6日目まで累積	1.16	-3.98	前の日
7日目まで累積	1.09	-2.83	2日前
8日目まで累積	1.03	-0.882	3日前

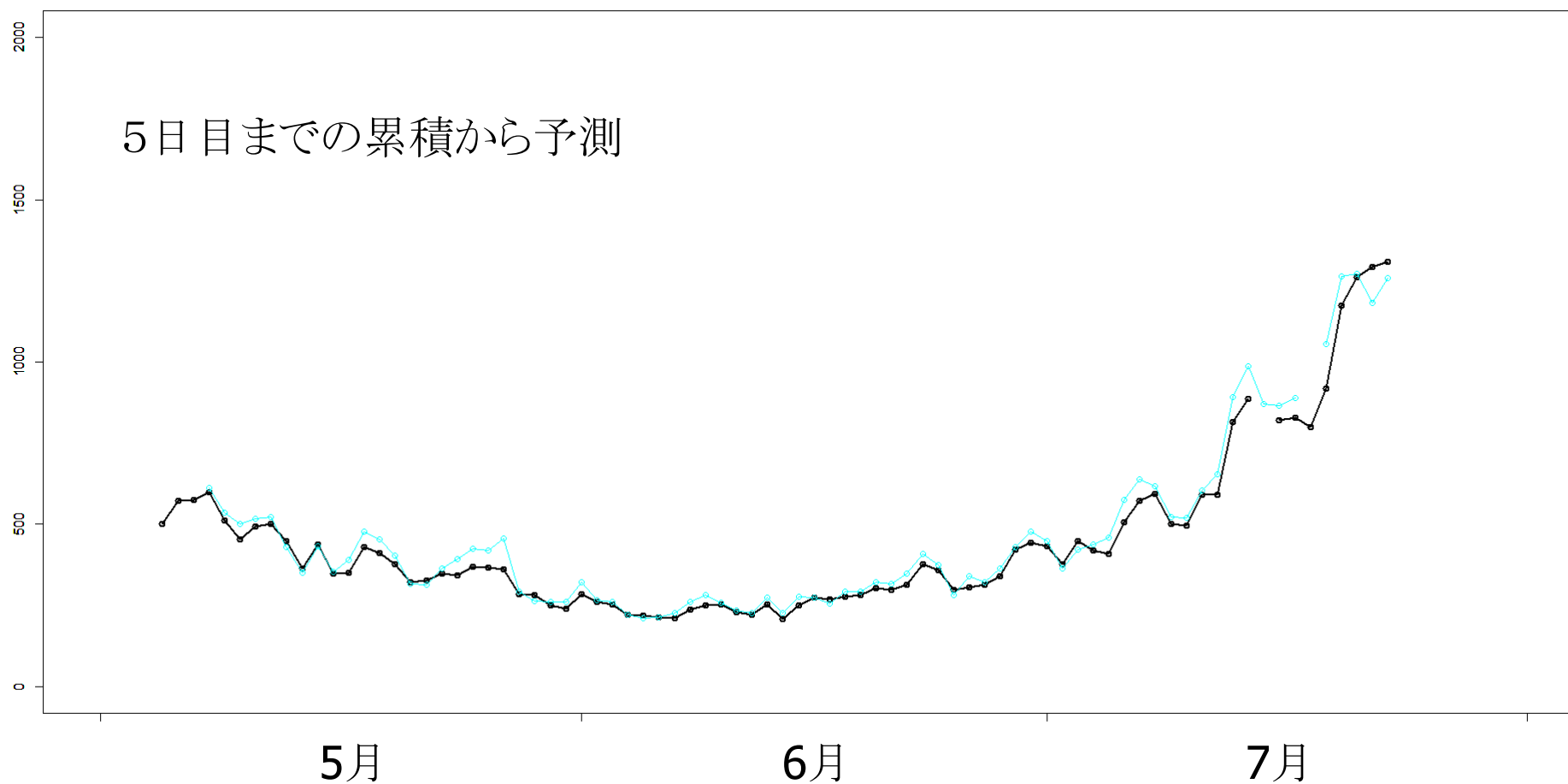


発症者数 = $0.65 \times$ 新規陽性者数なので発症者数をできるだけ早く予測したい

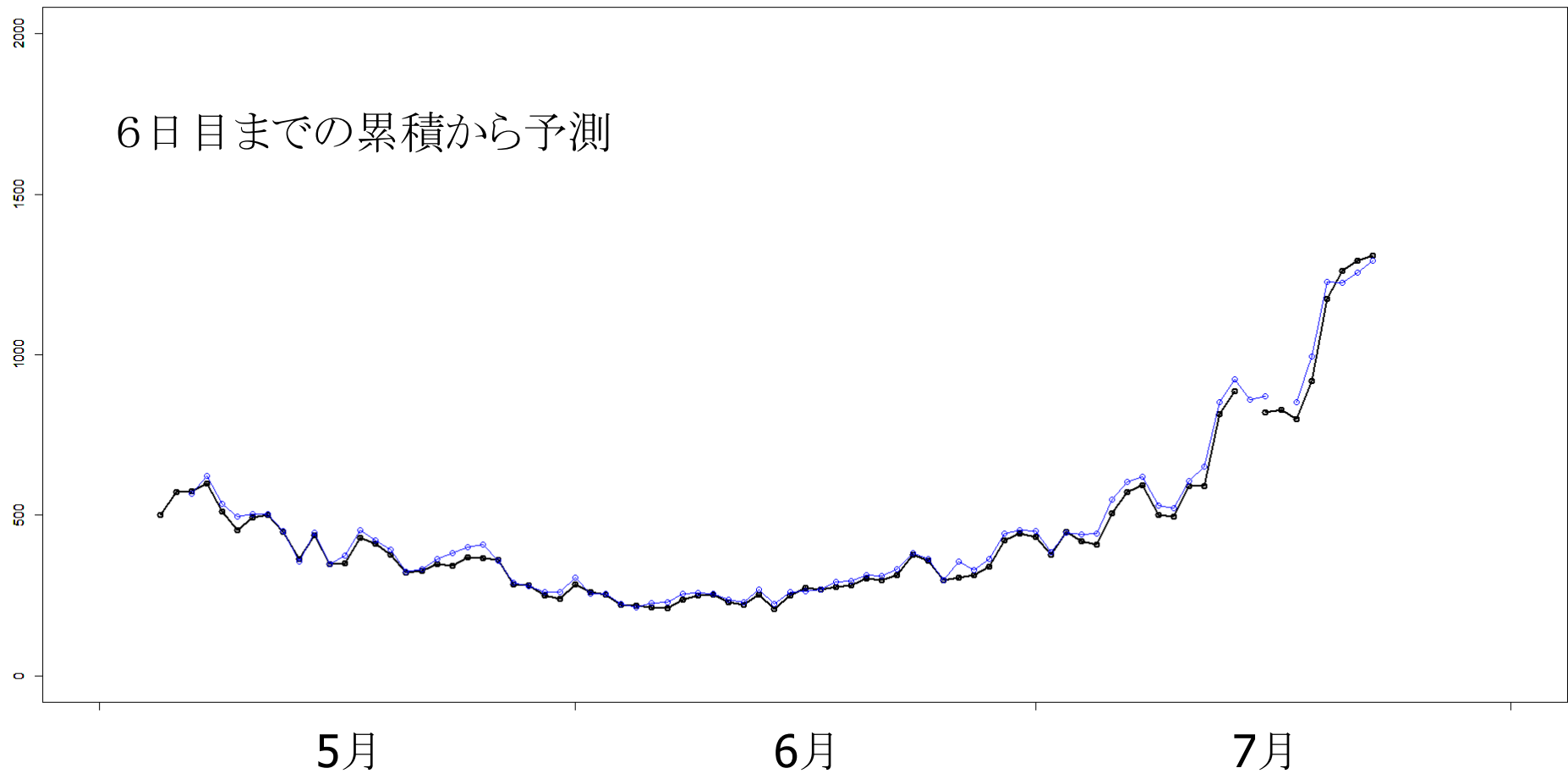
4日目までの累積から予測



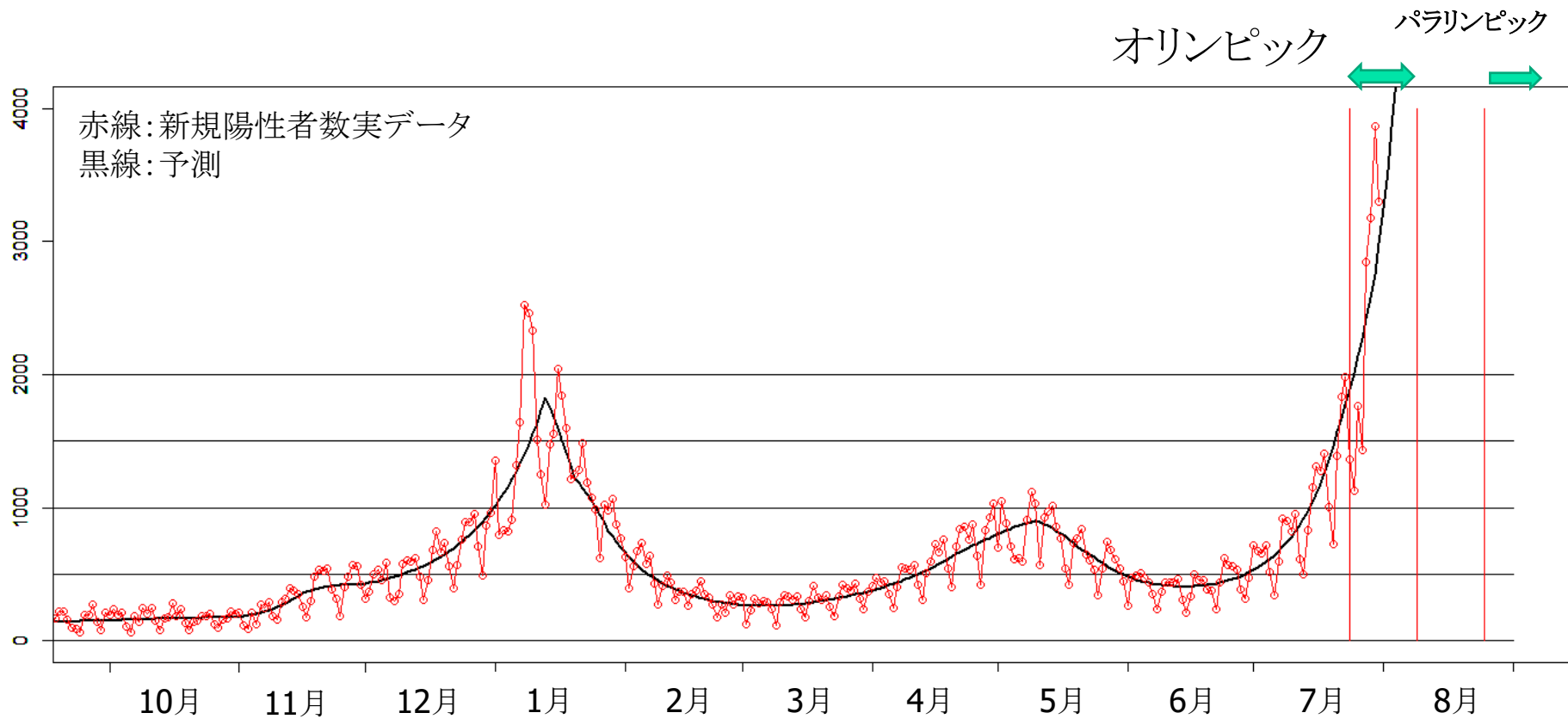
5日目までの累積から予測



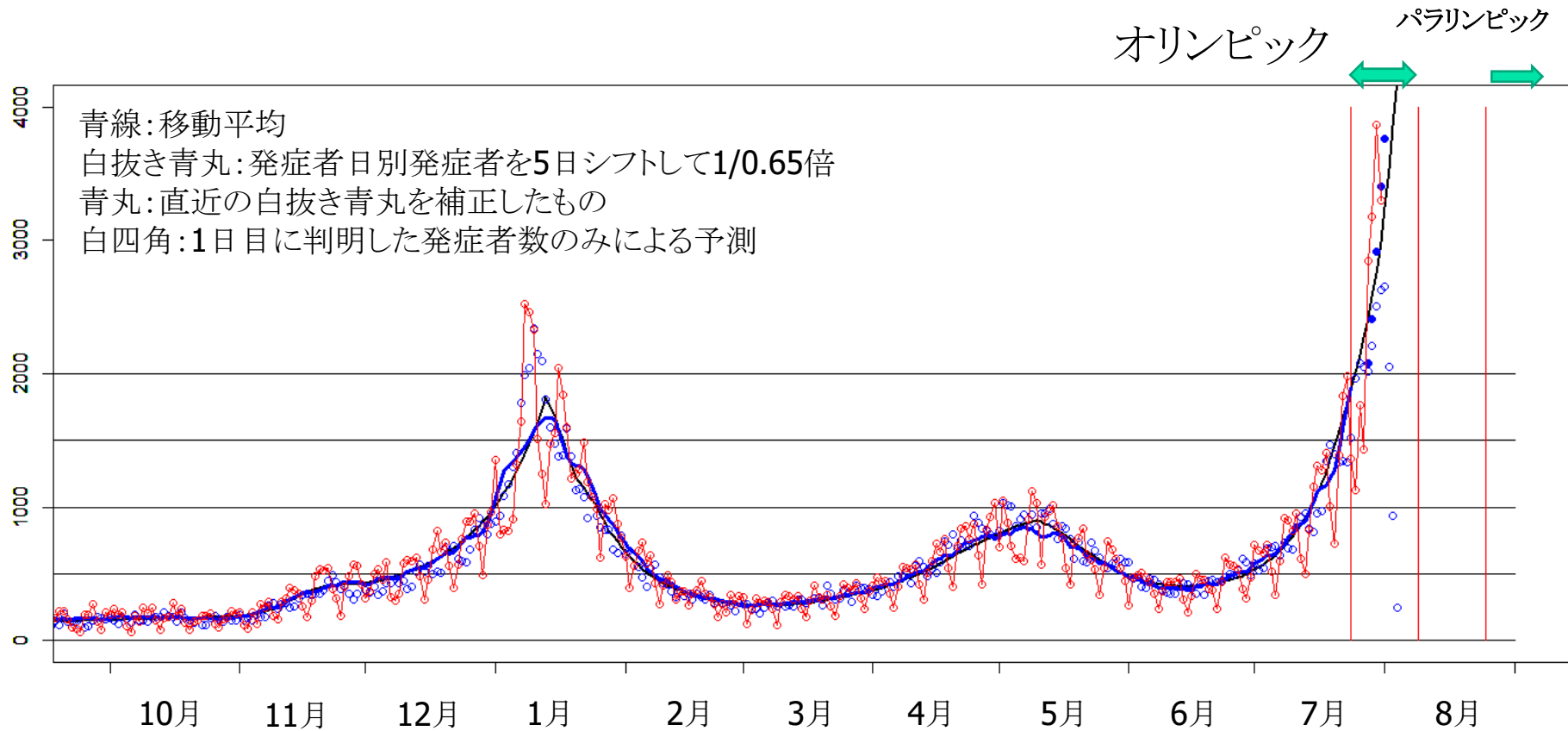
■

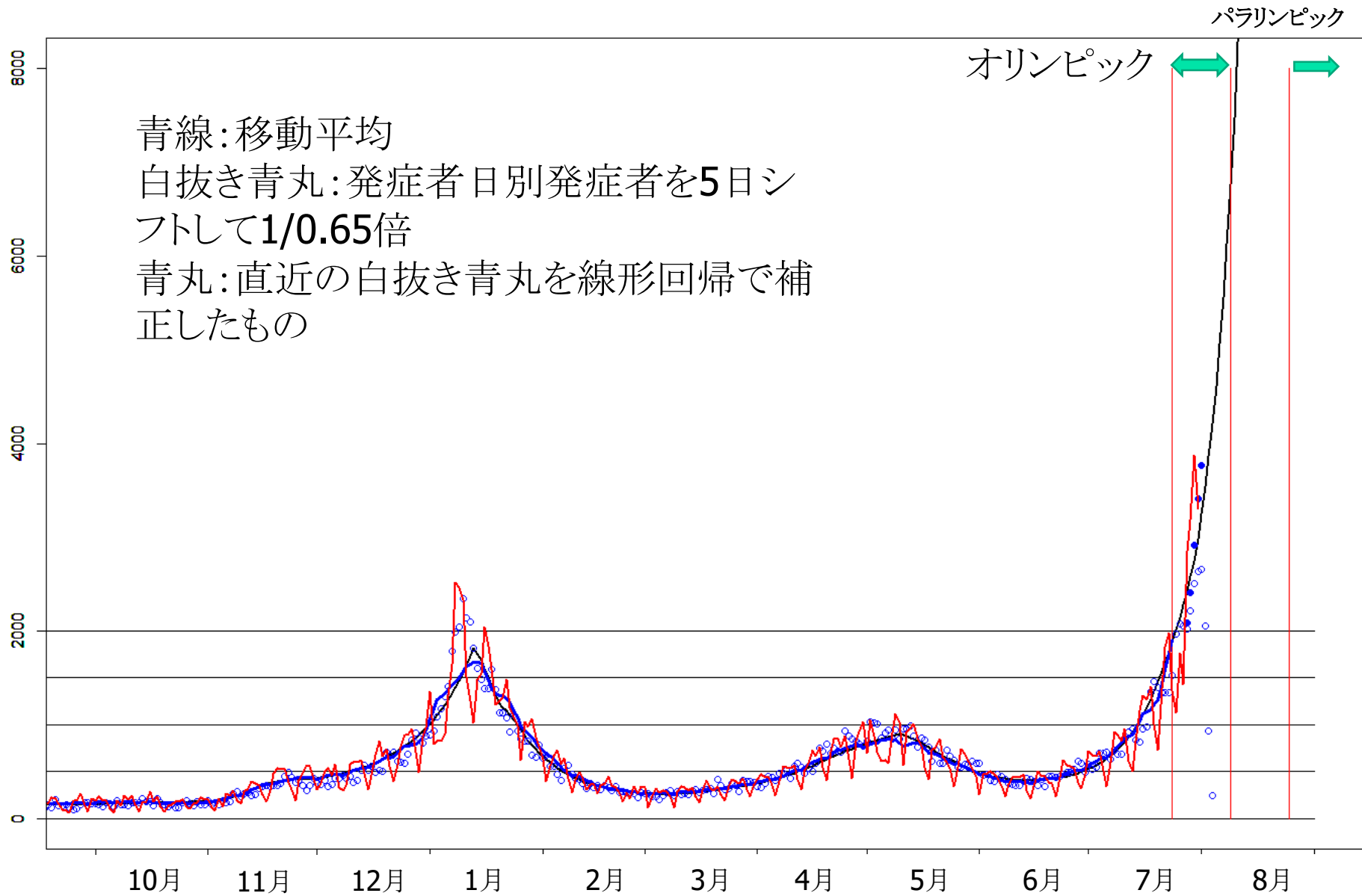


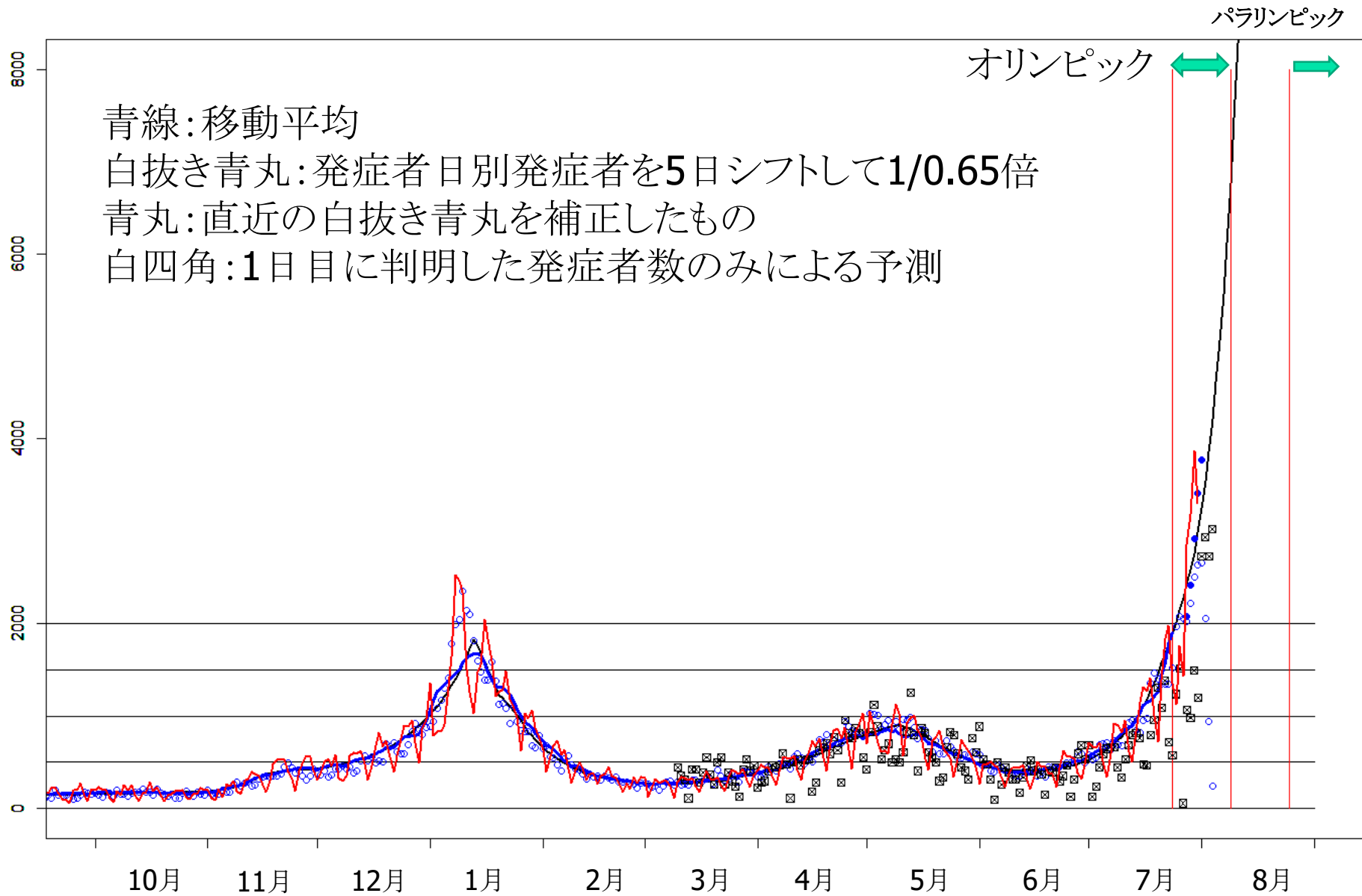
東京都最新感染拡大予測(7/29)



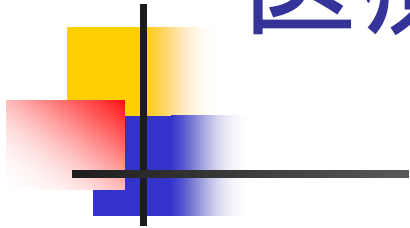
東京都最新感染拡大予測(7/29)





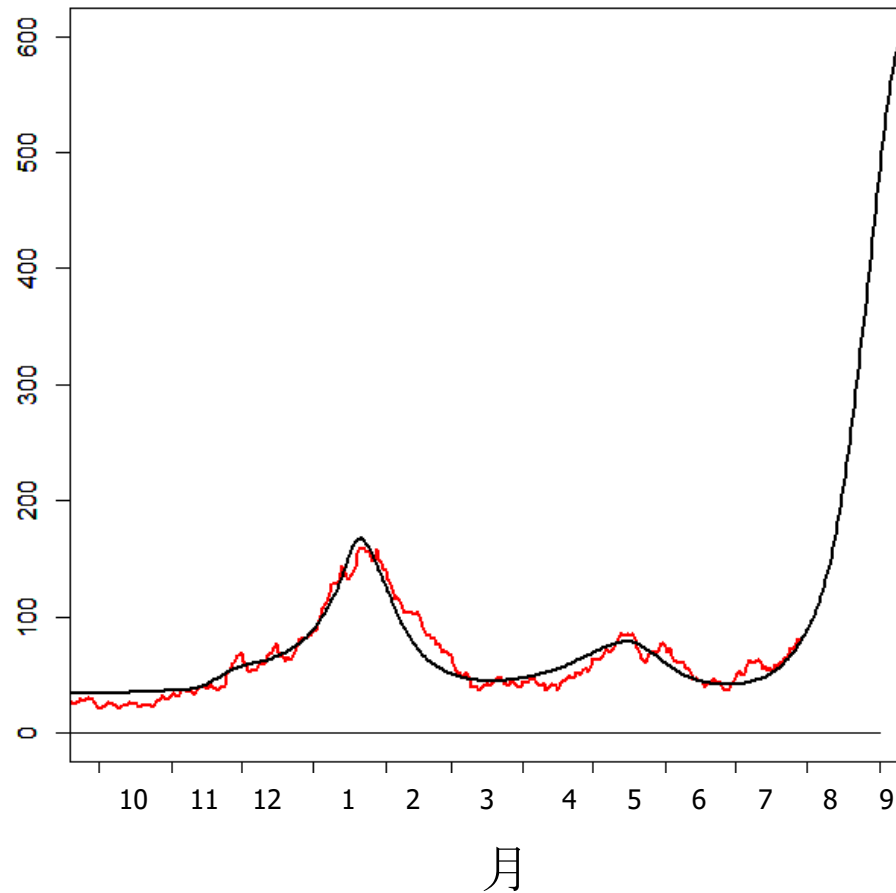


医療は？

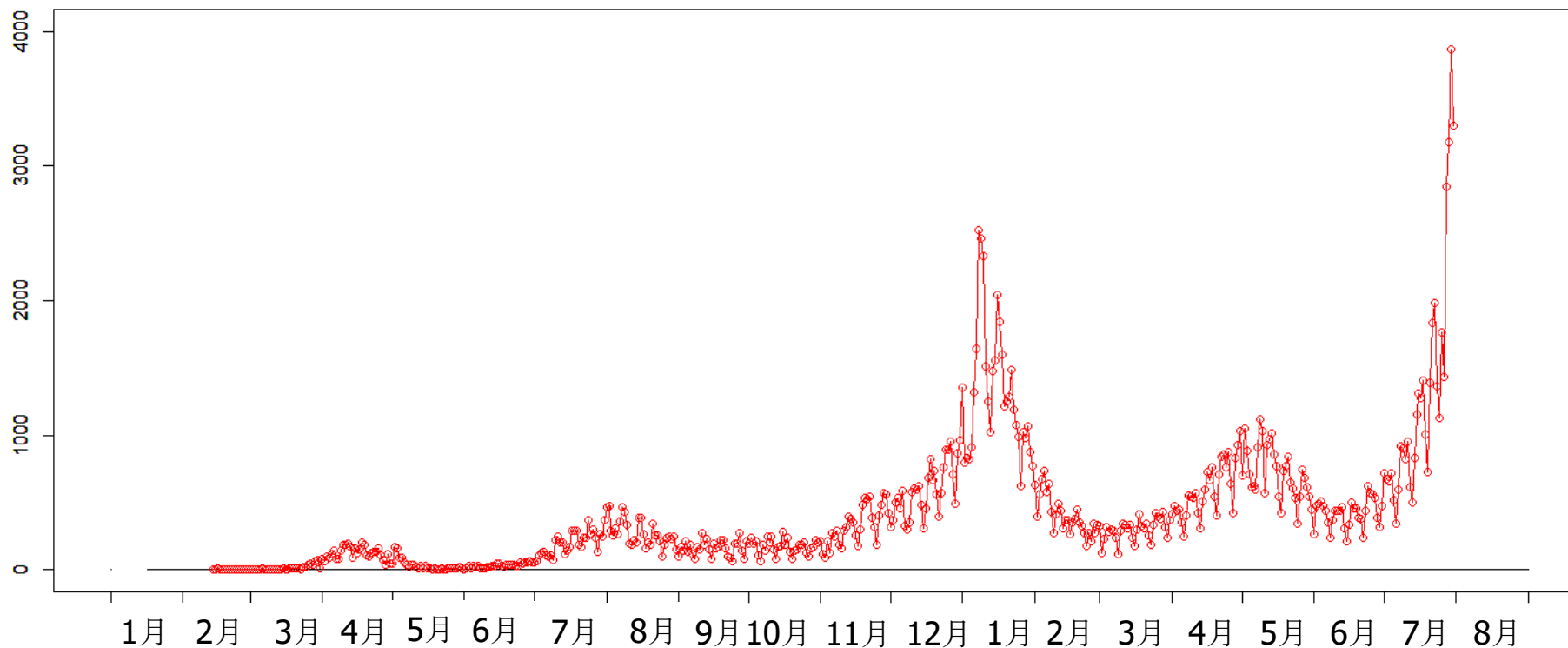


東京の重症者数予測(7/29)

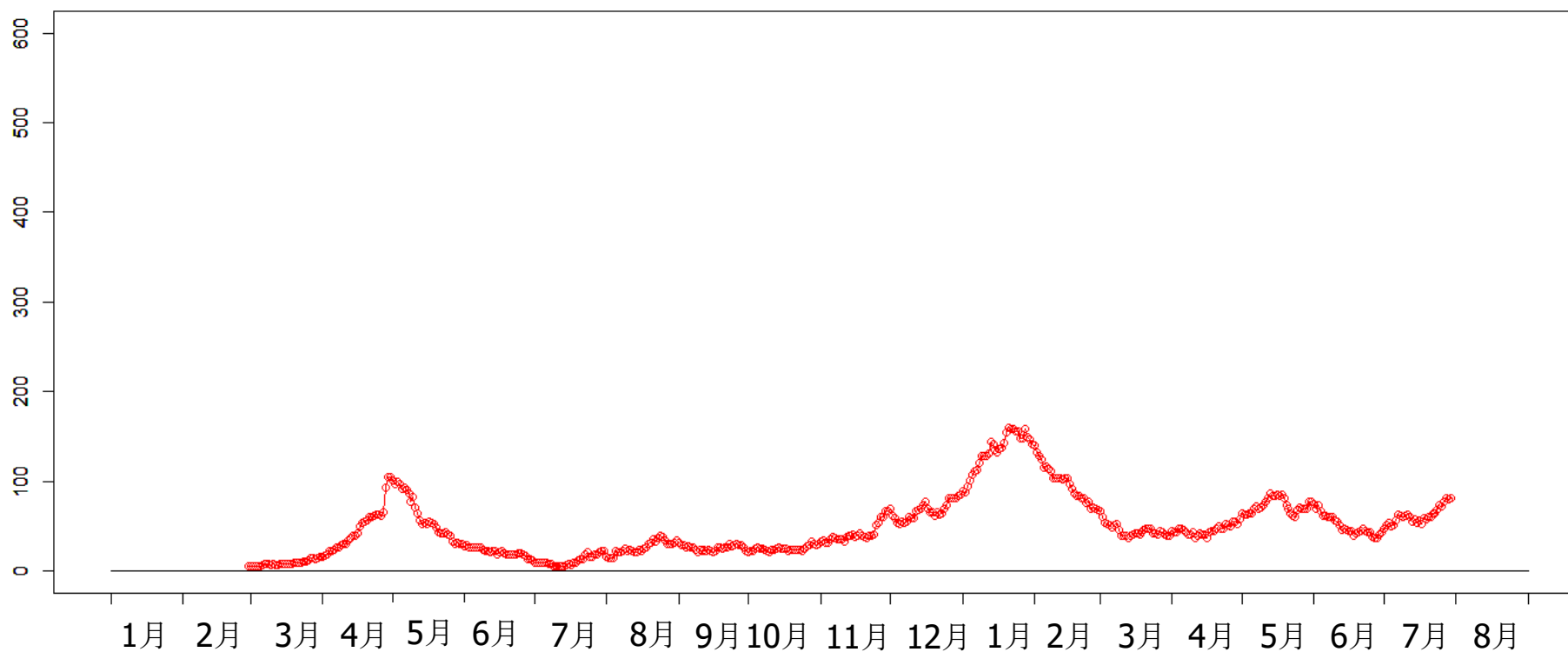
陽性者が感染後**14日**で重症化して、重症化した人の**8割が10日間**、**2割が30日間**、重症状態であると想定すると黒線のグラフがかける。
重症化率は3月初旬**0.8%**から8月**21日**まで**1月0.1%**ずつ下げている。(感染から陽性発表までは**9日間**を想定。)



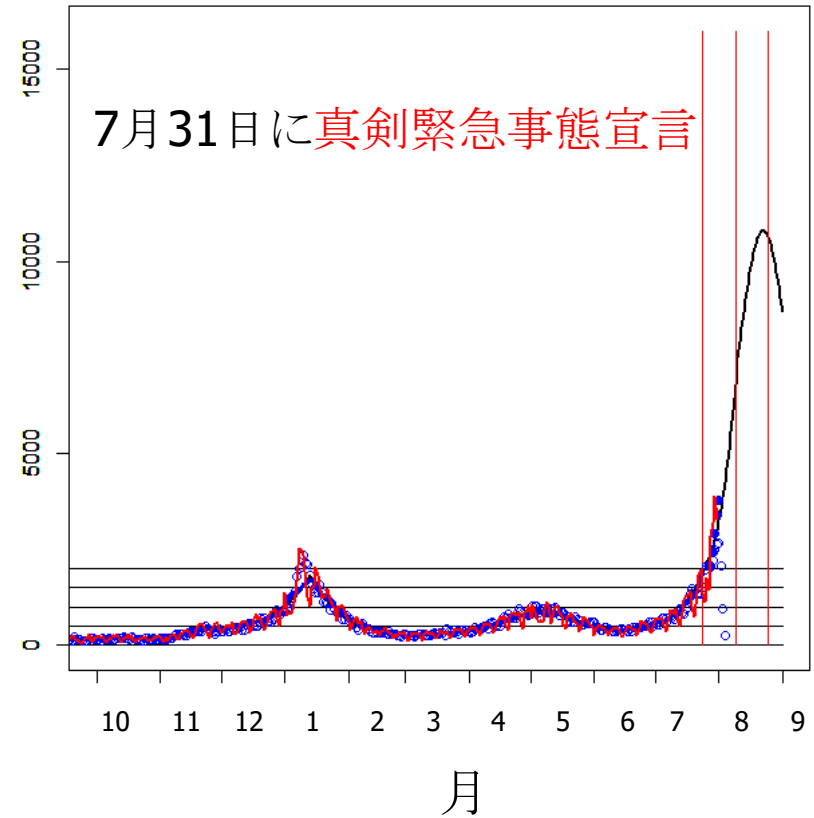
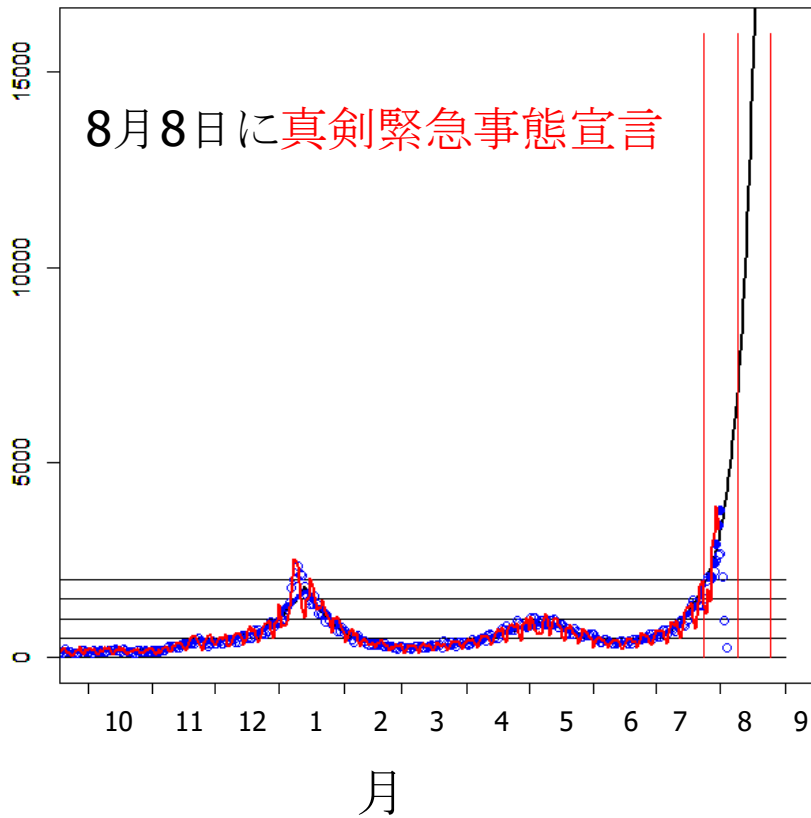
東京都新規陽性者数の推移



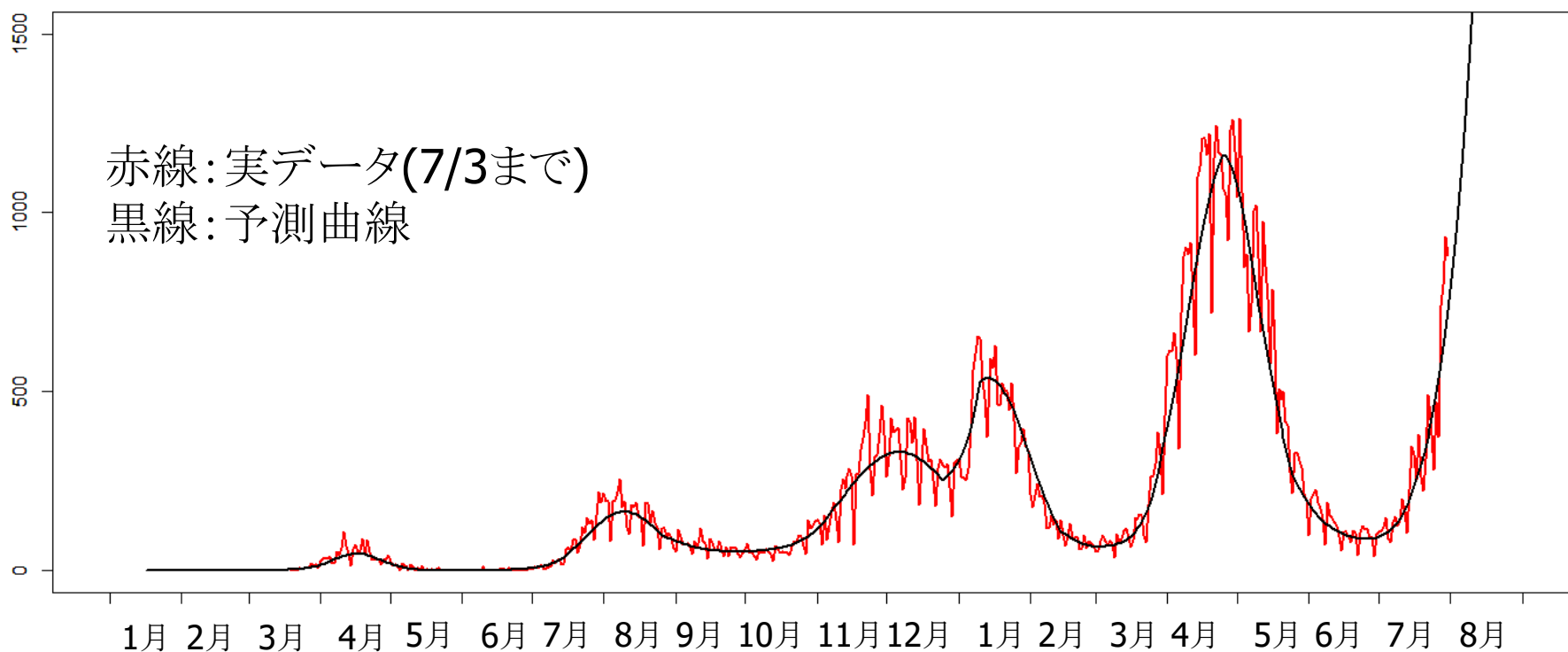
東京都重症者数の推移



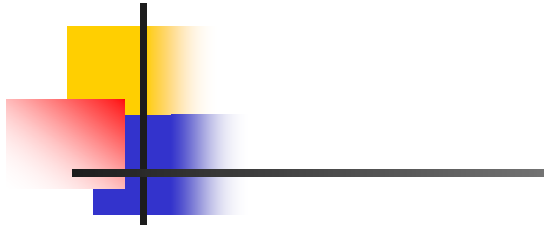
東京崖っぷち



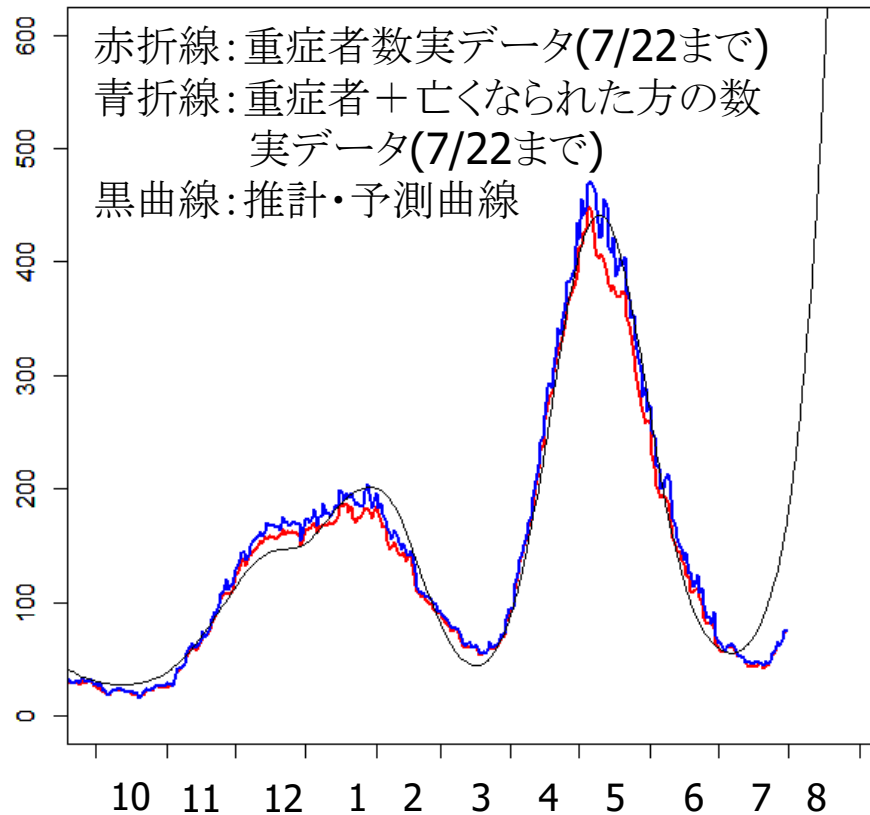
大阪府の新型コロナウイルス感染症新規陽性者数予測(2021年7月30日現在)
(推計・予測曲線作成日: 7月22日)



大阪府の重症者数予測(2021年7月30日現在)
(予測・推計曲線作成日:7月22日)



陽性者の**6.1%**が感染後
7日で重症化して、重症
化した人の**8割**が**20日間**、
2割が**40日間**、重症状態
であると想定すると黒線
のグラフがかける。
(感染から陽性発表まで
は**12日間**を想定.)





Cの値の推定

- 世田谷区介護施設等への社会的調査を実施. これを無作為抽出と見なす.
- 2020年10月2日から7月25日まで297日間で24051人にPCR実施, 129人が陽性. 陽性率:0.53%(平均)
- 15日感染していると考えると, 感染期間中にPCRを受けていないといけないので, $0.53*(297/15)=0.10494$
- 世田谷区民92万人でこの期間にかかっている可能性があるのは, $920000*0.10494=96544$ 人
- 同時期の行政的陽性者は13166人
- $C=96544/13166=7.33$



厚生科学省抗体検査

- 2020/12/14-12/25 東京都
3399名に2種類の抗体検査両方とも陽性者:1.35%(東京都1400万人では 189000名)
- 累積感染者数:44018名(12/7)
- $C=4.29$



内閣官房モニタリング検査

- 東京:陽性率 0.05% (6月14日から7月18日の5週間で各週ごとに安定している)
- 感染期間を15日として補正すると, 1日ごとの感染率は0.025%.
- $14000000 \times 0.00025 = 3500$ 名
- 6/14から7/18の間の平均新規感染者数は649名/日
- $C = 3500 / 650 = 5.38$



Cの値の推定

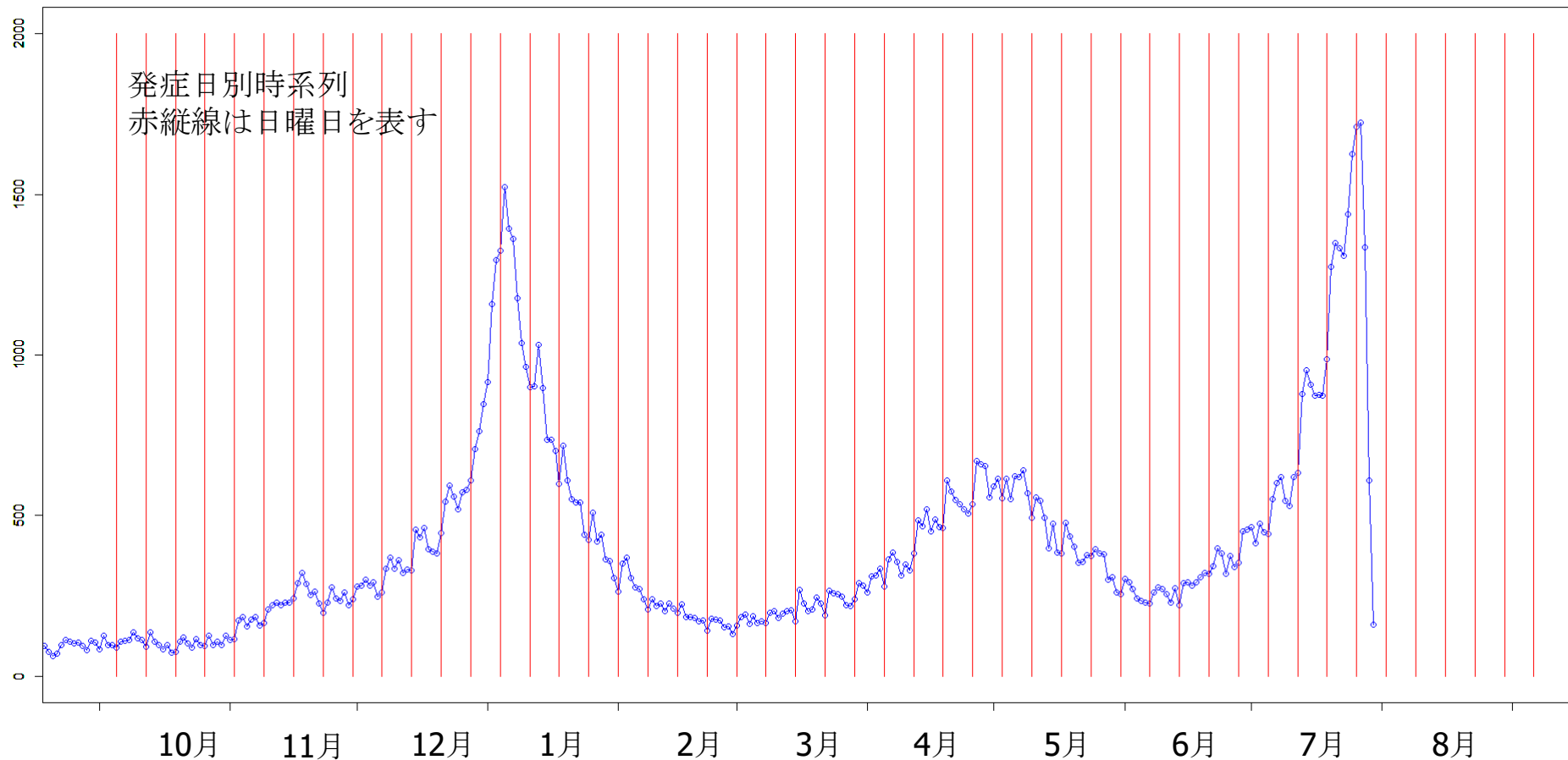
- Cは検査数が増えると小さくなる, 検査数に影響するパラメータではないか?という質問をよく受けるが, 検査数には依存しないものであると考えている. 以下に根拠を示す.
- $1/C = \text{行政的感染者数} / \text{真の感染者数}$
- 有症状感染者数/真の感染者数は有症状率なので、検査数などに依存しない.
- 有症状感染者数/行政的感染者数=0.6程度で極めて安定している. (東京では)
- $1/C = (5/3) \times \text{有症状率}$

さらなるパラメータ推定の手がかり



2021年1月: 年末年始の激増の余韻で
7日周期のピークが見られる. これは発
症者間の世代間隔が7日位を意味する?

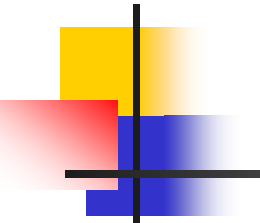
2021年7月: 火曜日にピークが見られる.
これは週末の感染者が表れている?
すると感染から発症まで4-5日となる.

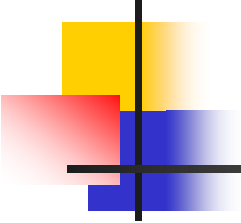




ハンマーアンドダンスかグレートリセットか？

- ハンマーアンドダンス: 感染が収まっているときはダンス拡大したらハンマーでたたく！ただし, 比較的緩やかな感じ.
- グレートリセット: 感染拡大したらハードロックダウンで短期間で徹底的に減らす.
- 結局は グレートリセット の方がいいのではないか？

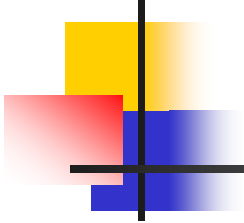
- 
- そう考える理由: 増える方は高々指数オーダーだが, 減らせるスピードの方が早い.
 - 極端に言えば, 一億人感染していても, 16日間一人一人が誰とも接触しなければ, ウイルスは体の中から消えていく=日本国内から消滅する. (定数時間アルゴリズム!)
 - 3週間のハードロックダウン+3ヶ月程度の対面ありの比較的自由的な活動期間, を繰り返して計画的に社会・経済をまわしていく.
 - 追い込まれての緊急事態宣言ではなく, 入念に準備した上での徹底的な短いロックダウンをすべき.

- 
- 適当な効用関数を設定して, ハードロックダウンがベストであることを証明することは興味深い大事な問題と考える.
 - 経済的にも緊急事態宣言期間は短い方がよい.



数理モデルからわかること

- コロナを増やさないという前提でできる社会・経済活動のレベルはコロナが何人発生しているかには関係ない。(医療を拡充するという議論は多いが、増加は指数関数的で早々に限界が来るのでコストに見合わない。結局高いところで踊らざるを得ず、高いところで踊るのは社会的負担が大きい。変異株ができやすくなる。)
- 行政が強くコントロールしないと、一旦減少しても、常に社会・経済活動を再開しようという志向が働くので、波が来るたびにベースラインが上がってしまう。
- 数日の介入の違いが思った以上の大きな差となって出てくる。



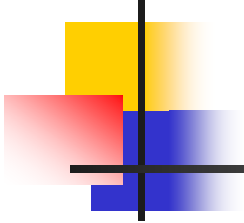
行政のスタンスについての疑問？ —いったい何がやりたいのか—

感染を増やさないレベルでしか活動しない！

オリンピックなんかやったら感染拡大
しちゃうじゃないですか

200

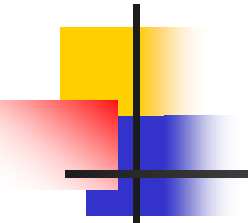




行政のスタンスについての疑問？ —いったい何がやりたいのか—

感染が増えなければ良い？大丈夫？

1000



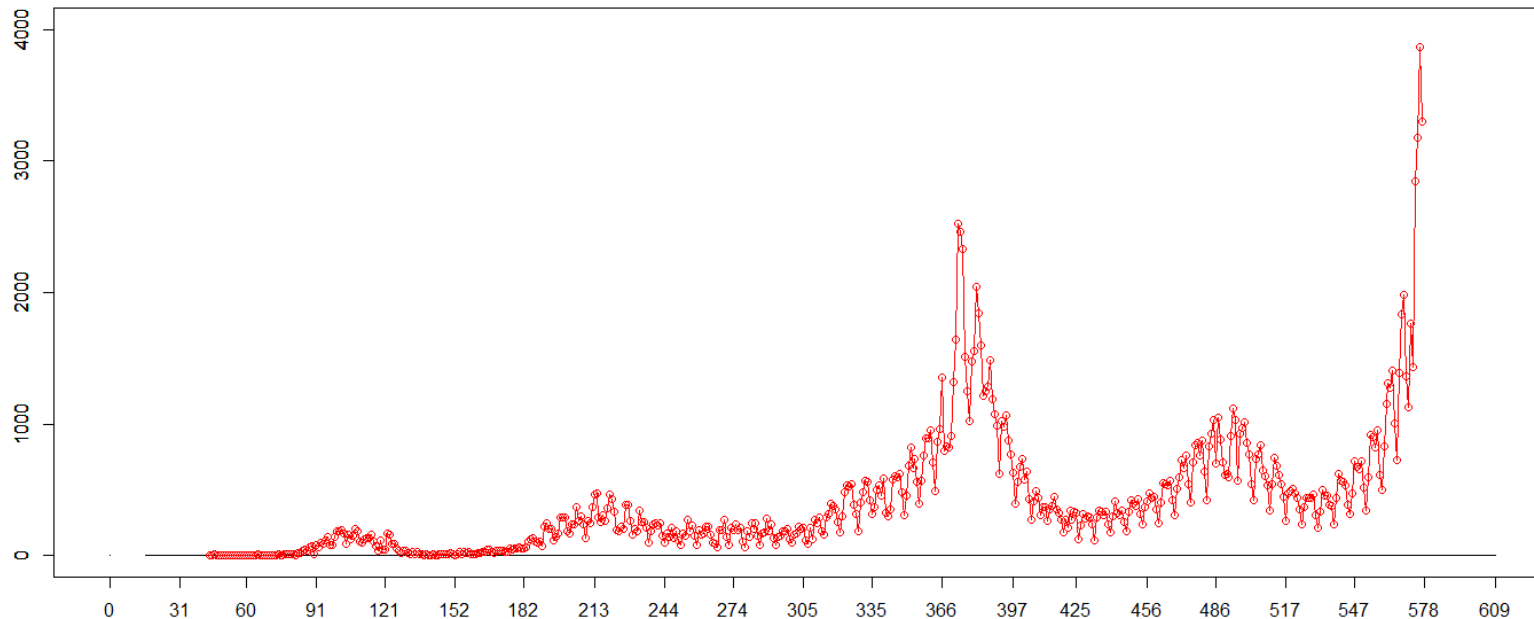
行政のスタンスについての疑問？ —いったい何がやりたいのか—

Zero corona! (素晴らしい!)



行政のスタンスについての疑問？ —いったい何がやりたいのか—

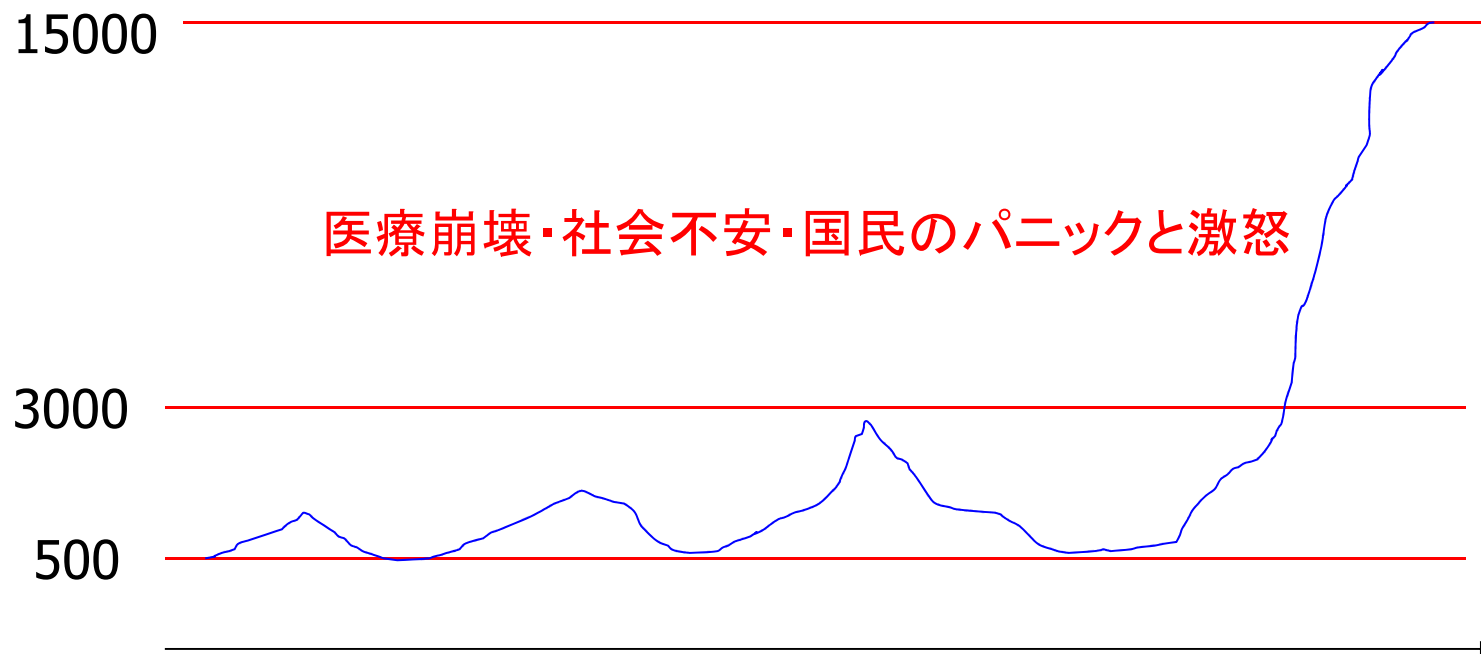
現状とこれから起こりうること



行政のスタンスについての疑問？

—いったい何がやりたいのか—

現状とこれから起こりうること



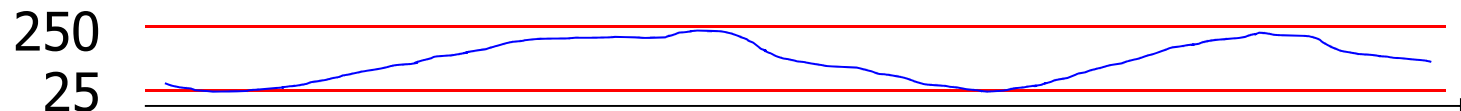
行政のスタンスについての疑問？

—いったい何がやりたいのか—

ベースラインを下げるのが非常に重要

25—250でコントロールする方がずっとメリットが多い

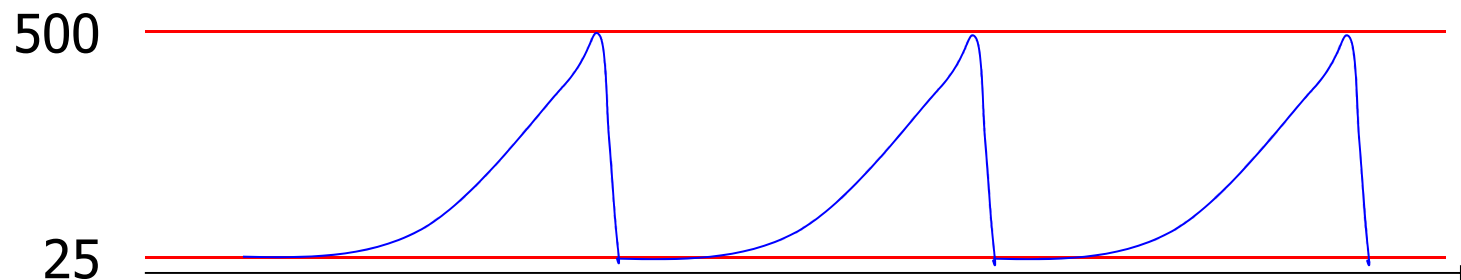
できる社会・経済活動のレベルは変わらない
(むしろこちらの方が安心できるだけ良い)



行政のスタンスについての疑問？

—いったい何がやりたいのか—

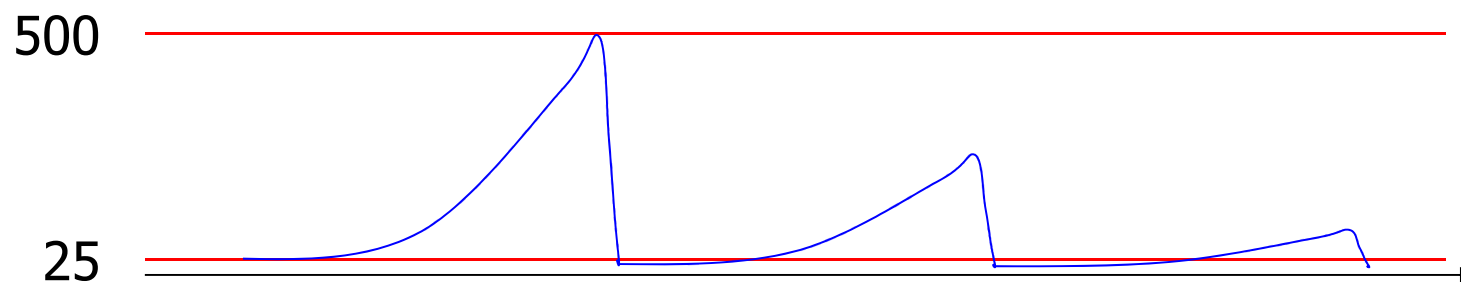
さらに良いかも



行政のスタンスについての疑問？

— いったい何がやりたいのか —

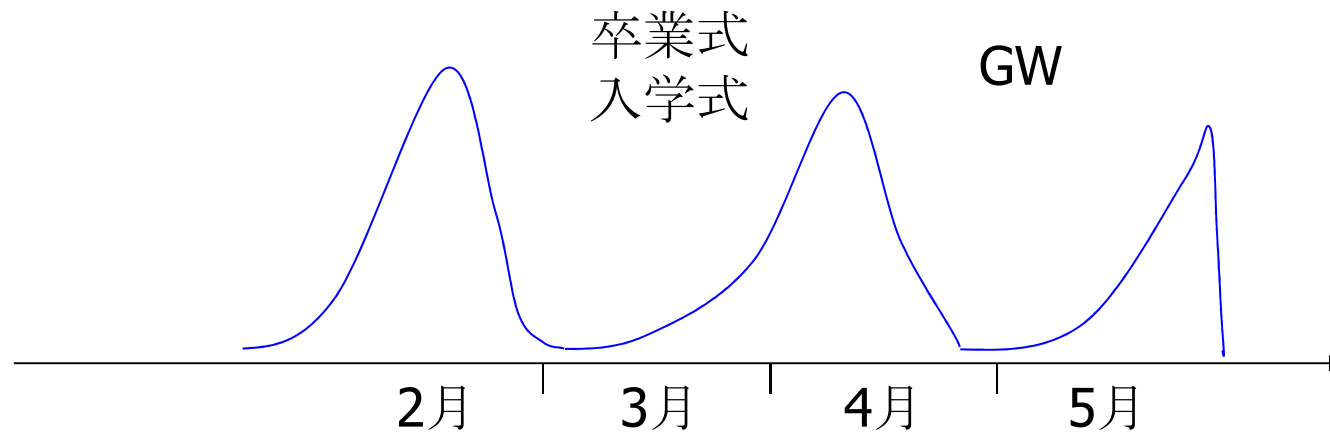
目指せゼロコロナ！



行政のスタンスについての疑問？

—いったい何がやりたいのか—

メリハリが大事では？

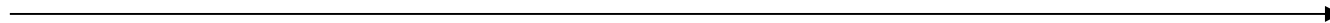




行政のスタンスについての疑問？

—いったい何がやりたいのか—

いったい何がやりたいのでしょうか？





現時点で重要なポイント

- ベースラインを下げる.
- 一年間の国民の生活リズムを考慮して適切なメリハリの利いた感染コントロールを行う. (楽しい生活をすれば増えることは当たり前という発想の転換が必要?)
- ゼロコロナに向けた戦略を立てる.
- ワクチンの効果を見極める.



ベースラインを下げる

- 感染レベルを東京で最低1日20－30人までは下げていくべき。(できれば数人に.)
- 経済が重要といっても「30人から300人まで増えることを許容してできる経済活動」と「300人から3000人まで増えることを許容してできる経済活動」は同レベルで、ベースレベルを高くすると、医療に負荷がかかるだけ損である。



ゼロコロナに向けての戦略は？

- グレートリセットを2-3回繰り返して経験をつみながらベースラインを0に近づけていく。
- **ゼロがどの位続けば大丈夫か？**（未発症感染者から未発症感染者への感染はどうなる？）
- **「久しぶりに」陽性者が出た時にどうするか？**

ワクチンの効果？

- 感染者数・死亡者数共に欧米の1/10から1/20
- 欧米でワクチンの効果95%
- 感染者数の違いを考えると欧米でワクチンを打って日本並み？
- 欧米人に対するほどの効果が日本人にもあれば、非常に効果が高く、日常が取り戻せる可能性が十分にありそう。
- 一方、日本人が「免疫のようなもの」を既に持っているために欧米との感染者数・死者数の差が生じているのであれば、ワクチンの効果は残念ながら、欧米ほどではないかもしれない。この点に対する検討が一切なされていないのは不思議としかいいようがない。



ワクチンの効果？

- ワクチンの効果をきちんと見極める必要がある.
- これはかなり困難な作業である.
- 今から統計的にきちんとデザインをしておくべき.
- ワクチンがあまり効かなかった場合のプランBをきちんと持っておくべき. (少なくともワクチンの効果が50-60%とインフル並であった時のことを考えておく. 個人的にはどういうモデルになるのか, 現在検討中.)
- ワクチンの集団免疫のご利益は罹患者数が1/3位になる, という程度である可能性がある(インフルなみ). その程度の効き方で社会がコロナ以前に戻れるか？



オリンピック？パラリンピック？

- 政府は感染対策をやりたくないように見える.
- 常に感染促進策とのペアで感染対策を行う.
- オリンピックをやりながら国民に我慢して下さいはまったく説得力がないので無理.
- 社会的にインパクトのある感染抑制策はおそらく

オリンピック中止

であろうと思う.



統計数理の果たせた役割は？

- 本当は分科会のようなところに入ってきちんと数理的な立場から意見を述べて戦略立案に携わるべき.
- ベースラインを下げることの重要性.
- ハードな感染対策をすることの重要性. どうやったら感染者を早く激減させられるか？
- 成功体験を積み重ねることで前向きになれた筈.
(今は失敗体験を積み重ねて lose-lose の関係.)



結局どうすれば？

- 社会生活や経済活動をすればコロナが増えることを認めて対策をたてるべき.
- 一定の規準を定めて足並みを揃えて3週間程度のグレートリセットをする. 一斉に徹底してやるのが社会全体にとっては一番良いということを社会で共有して協力することが重要.
- ベースラインは30名程度(東京で)として, 500名位になったら自動的に行動制限をかける.
- このような枠組みの中であわよくばゼロコロナを目指す.
- ワクチンが期待ほど効かなかった時のためのプランBを用意しておく.



今日の話(新型コロナ関連)の資料等

- <http://www3.grips.ac.jp/~tsuchiya> にあります。予測も掲載されています。
- 土谷隆ホームページ で検索
- 質問等あれば、遠慮なく
tsuchiya@grips.ac.jp
まで。歓迎いたします。