

# K値とは何か？

大阪大学核物理研究センター  
中野 貴志

# クイズ

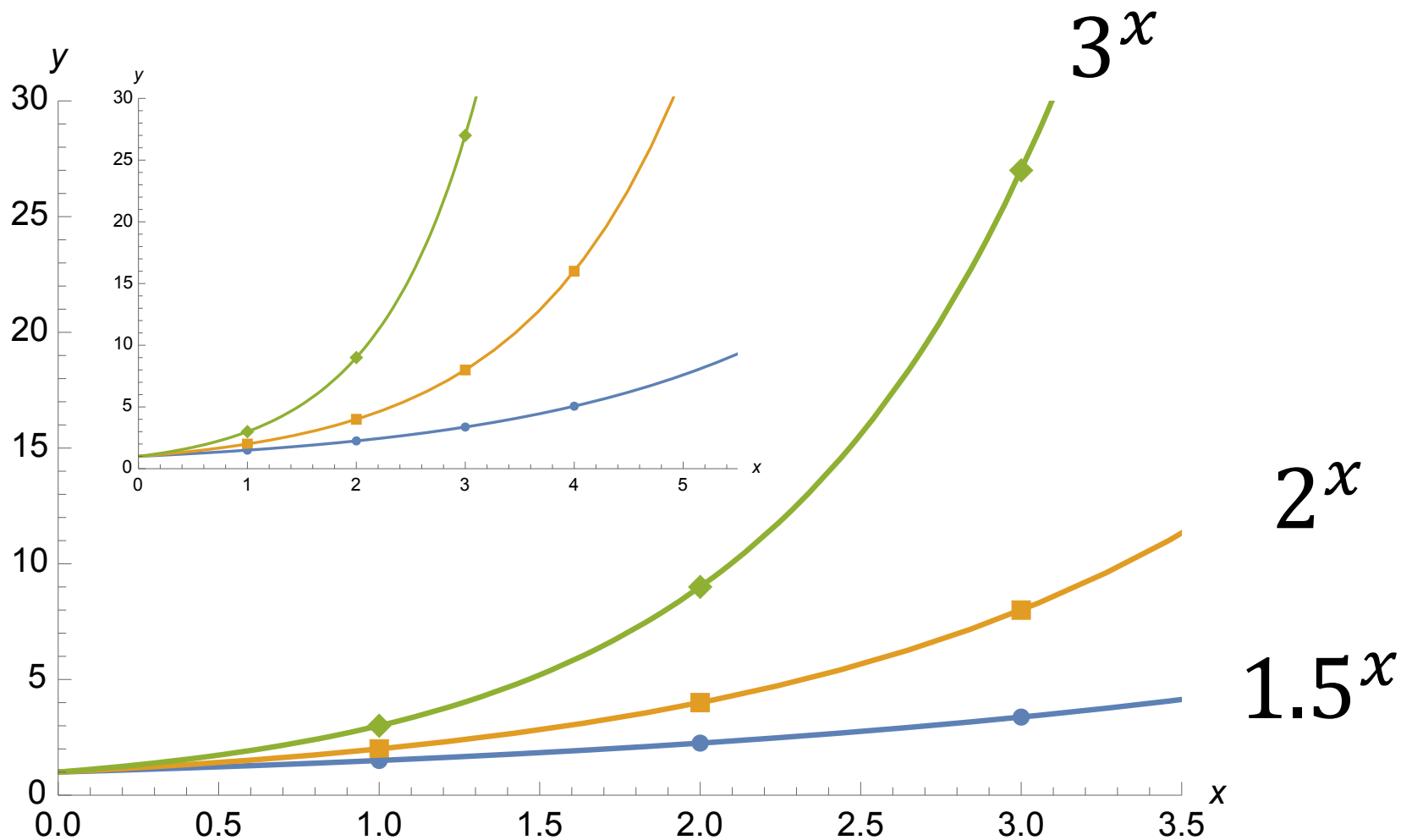
0	1	2	3	4	5
1	2	4	8	16	32
1	3	9	27	81	243
1	1.5	2.25	3.375	5.0625	7.59375

0	1	2	3	4	5
$2^0$	$2^1$	$2^2$	$2^3$	$2^4$	$2^5$
$3^0$	$3^1$	$3^2$	$3^3$	$3^4$	$3^5$
$1.5^0$	$1.5^1$	$1.5^2$	$1.5^3$	$1.5^4$	$1.5^5$

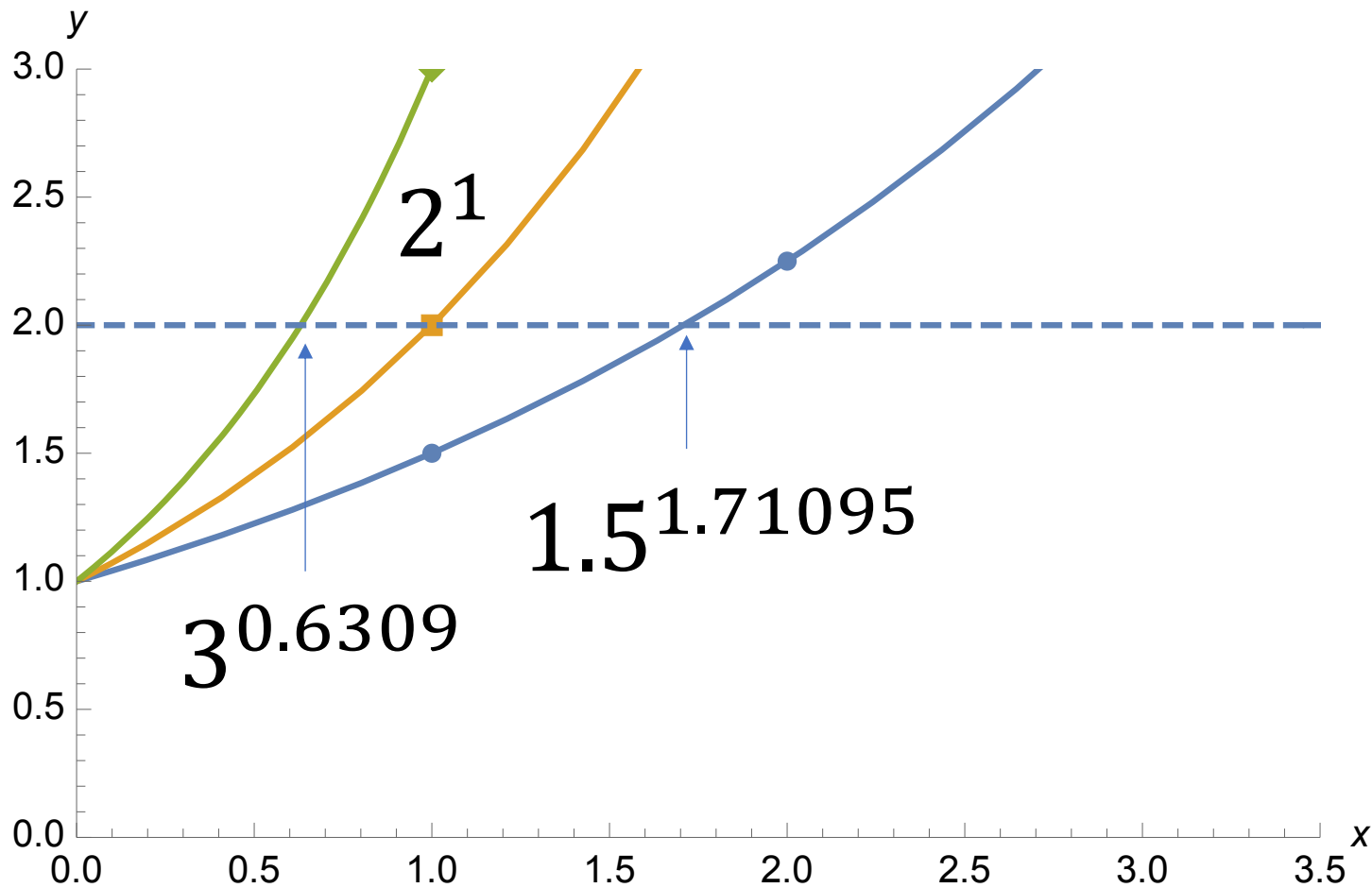
これが指数関数. 肩にある小さな数字が指数係数

エクセルに「=1.5^5」と入力してみよう.

# 指数関数をグラフにしよう

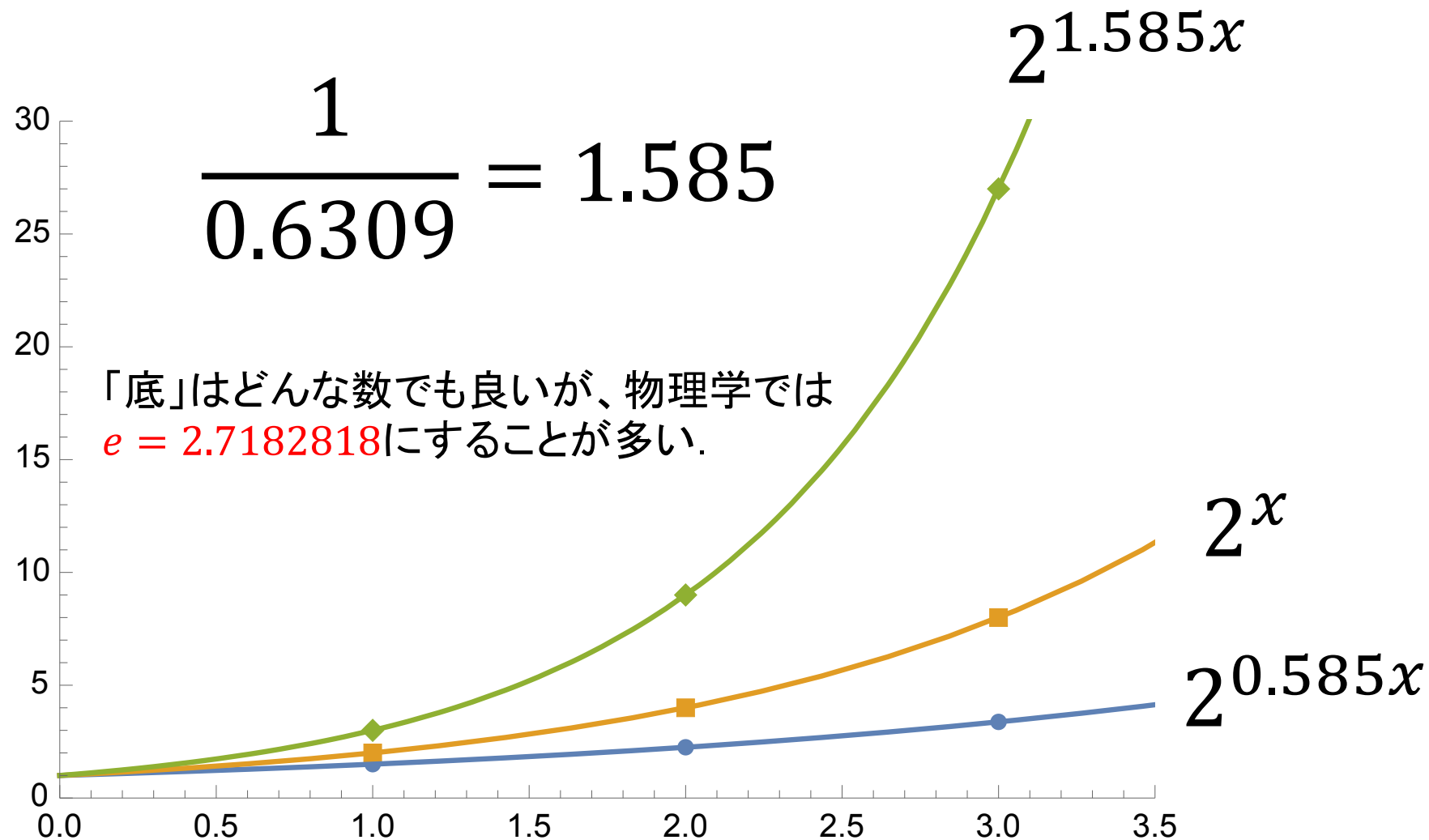


2を3通りの方法で計算する.



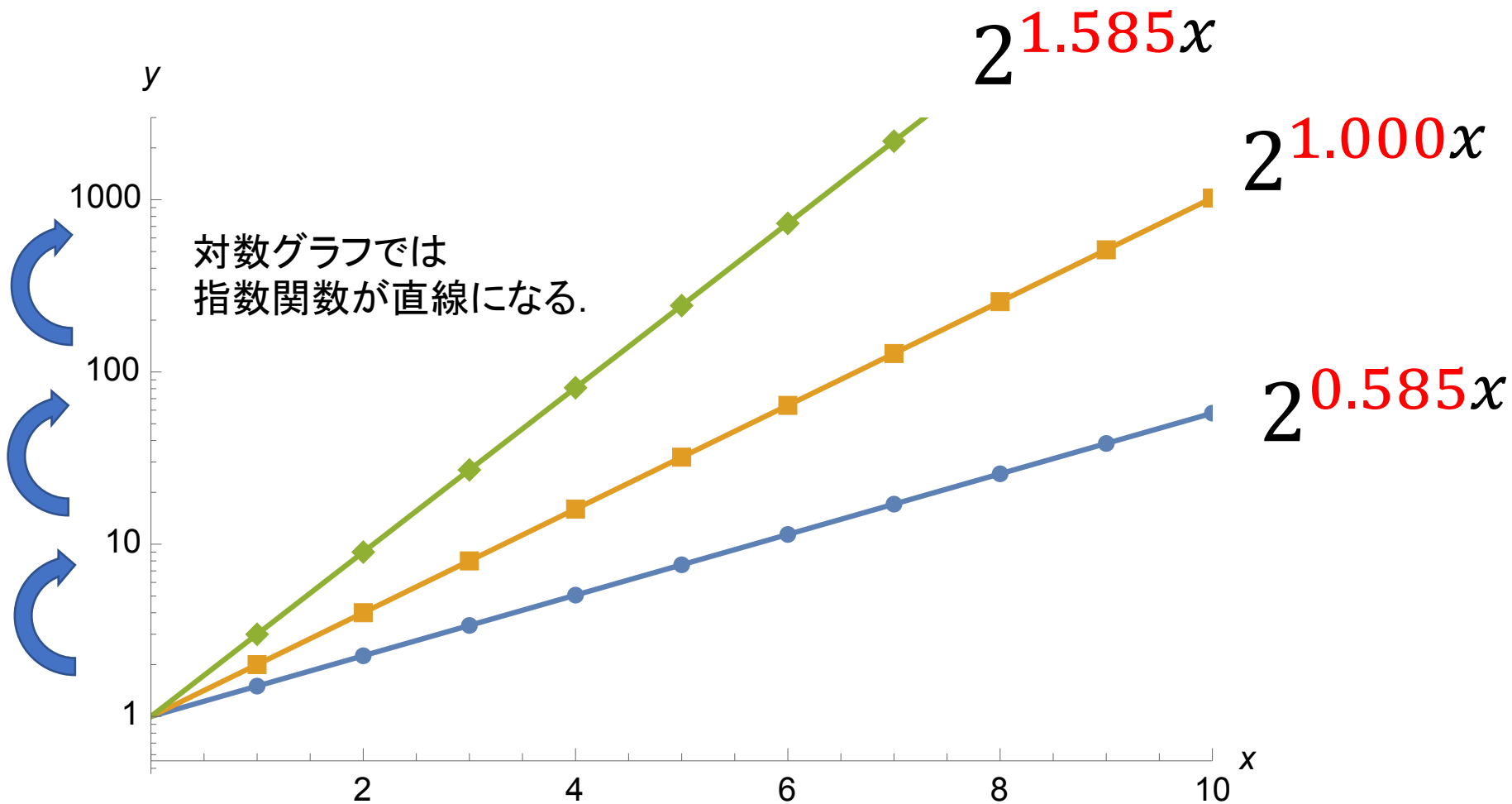
エクセルに「=3^0.6309、=1.5^1.71095」と入力してみよう.

指数関数の「底」を2に固定する.



エクセルに「=2^1.585」と入力してみよう.

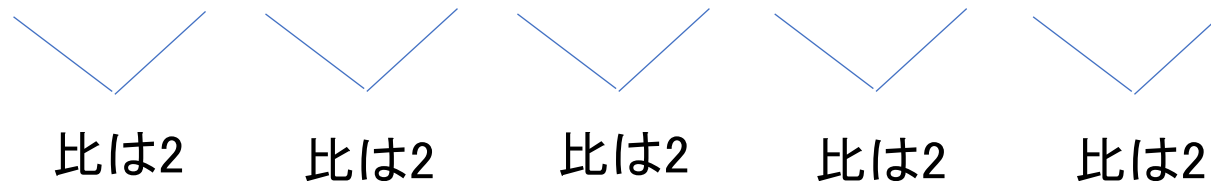
# 指数関数を「対数グラフ」で表す



「指数係数」が大きいほど傾きが急になる。

# 指数係数の求めかた

0	1	2	3	4	5
1	2	4	8	16	32

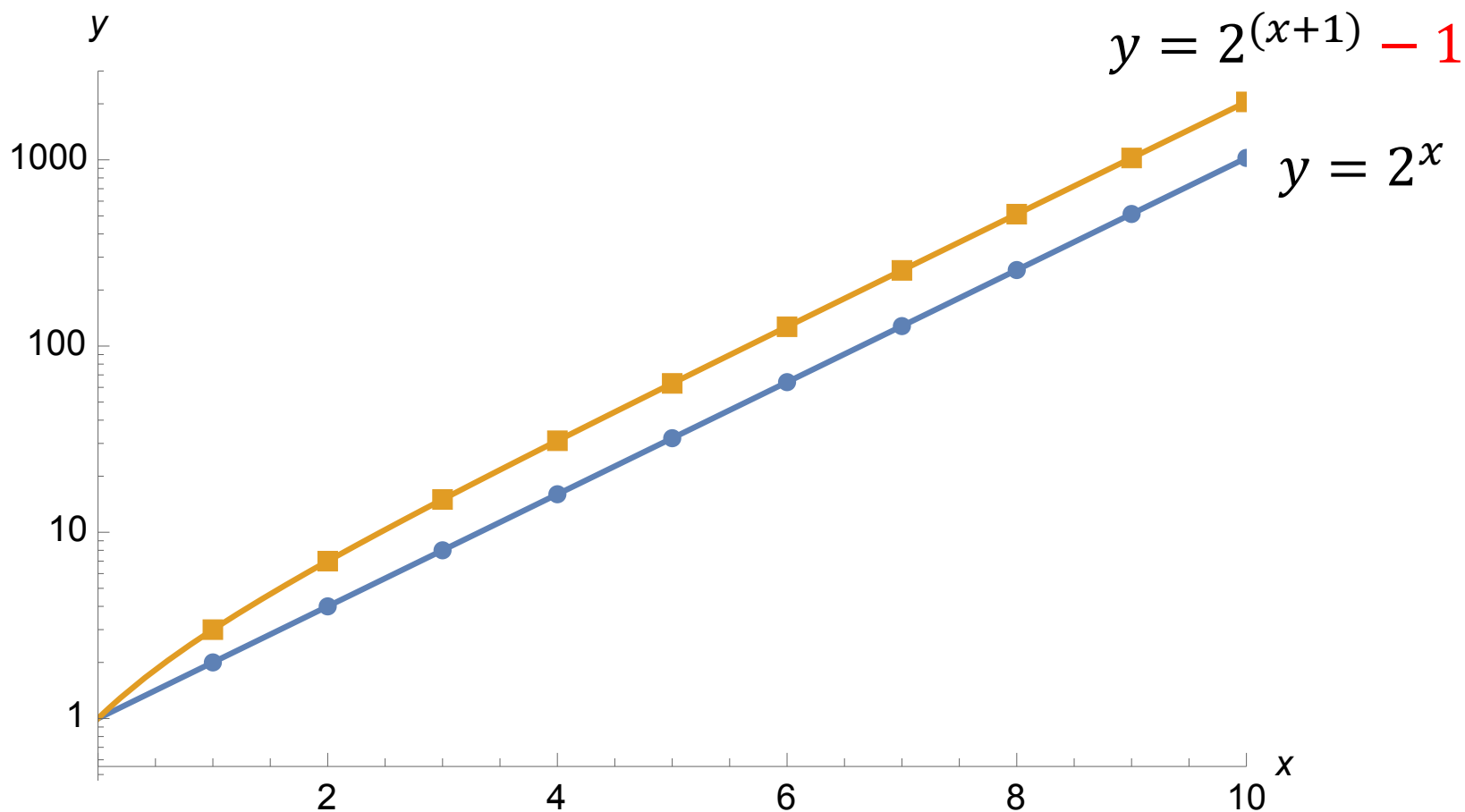


足し  
上げ

0	1	2	3	4	5
1	3	7	15	31	63



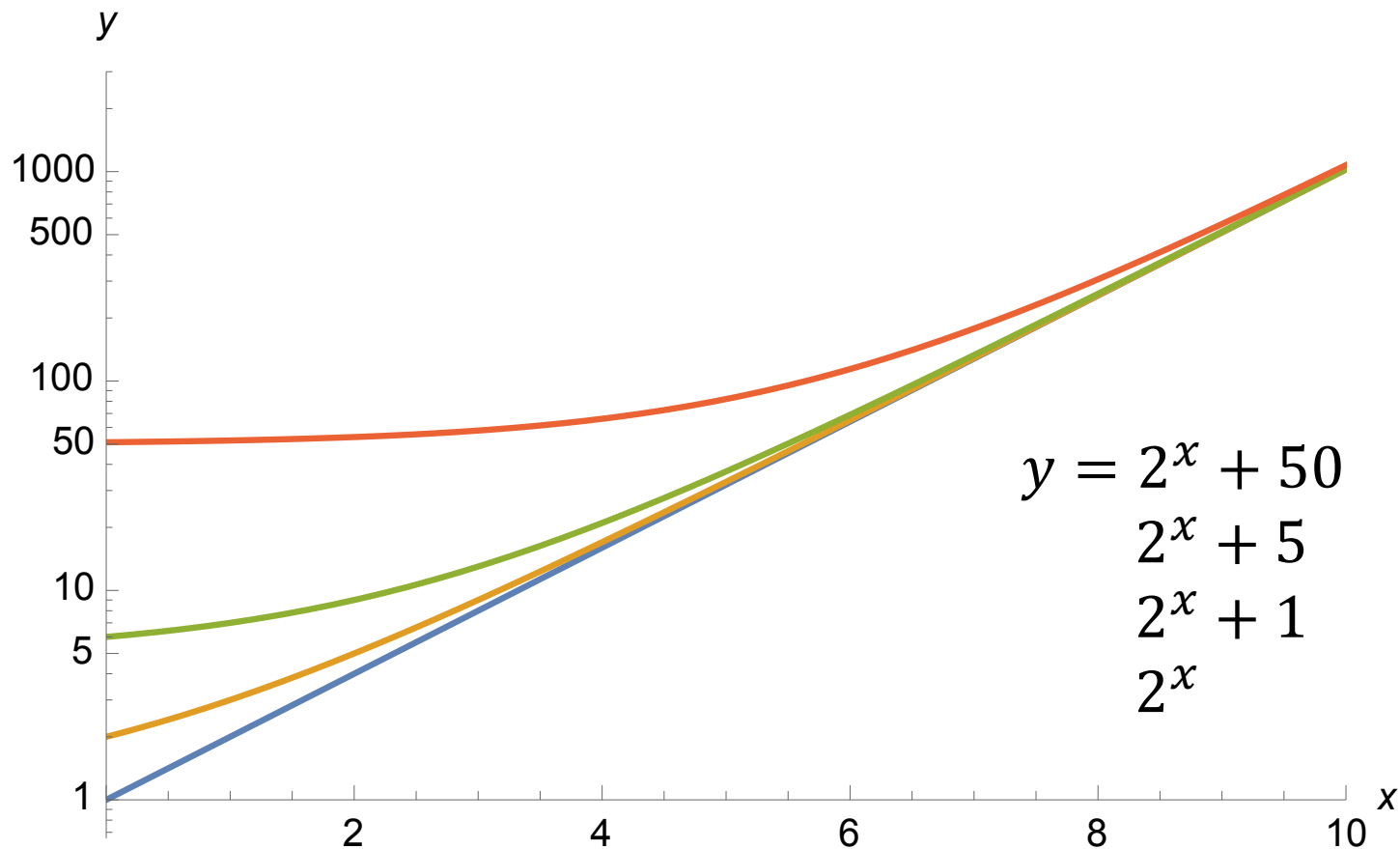
足し上げても(累計でも)同じ傾き.



xが大きくなるほど、傾きの一致は良くなる.

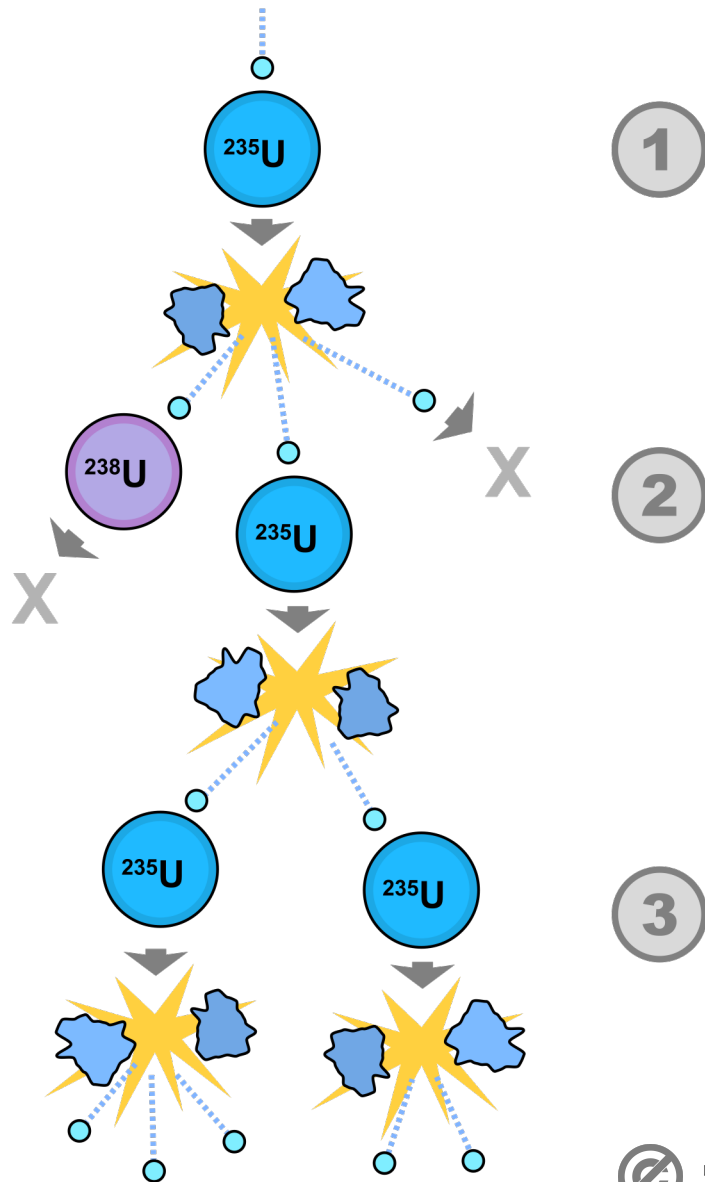


# 指数関数に定数項が加わると？



定数項(オフセット)が加わると指数関数が曲がる.

# 指数関数で表される現象の例：核分裂

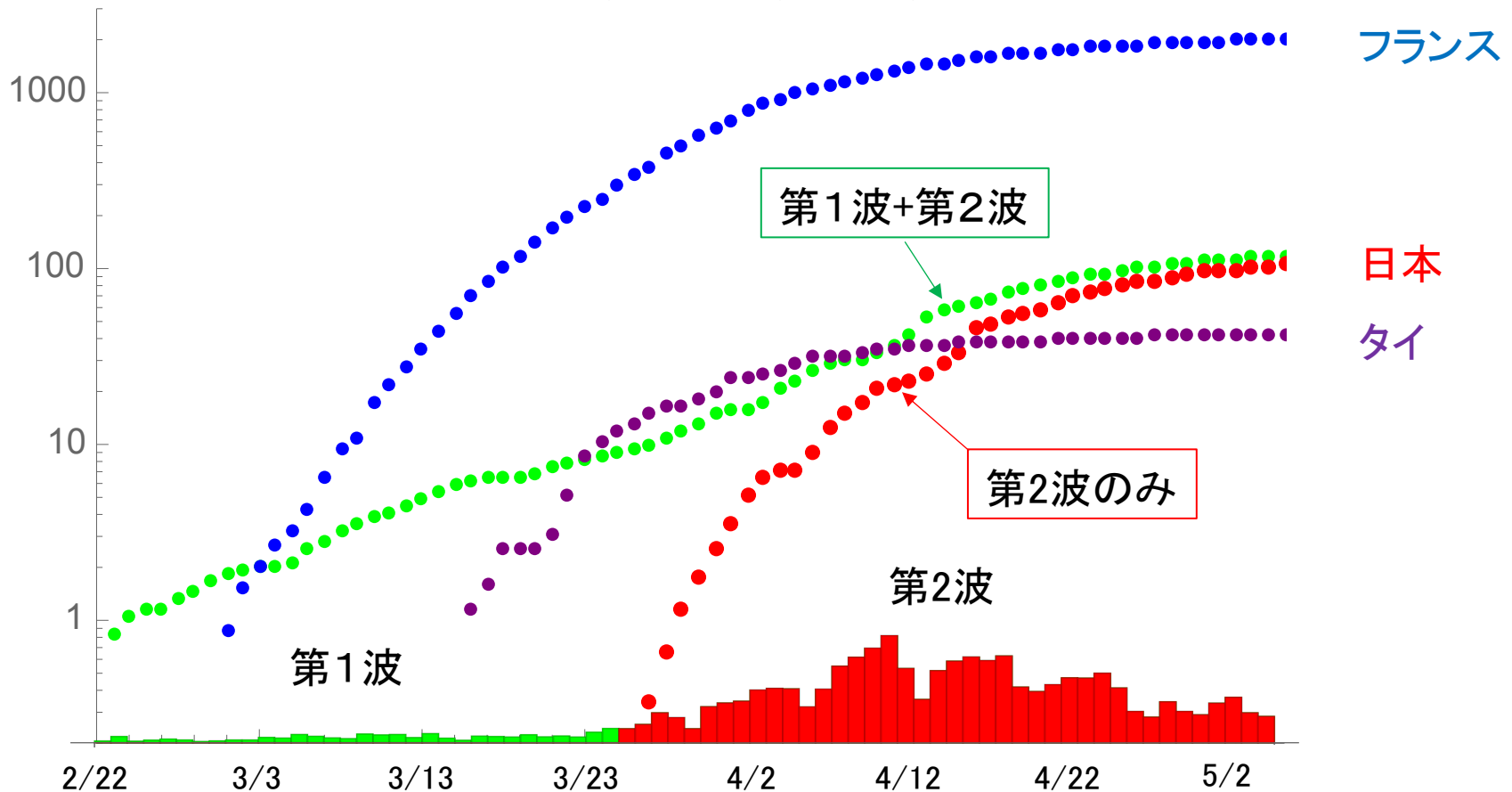


1. あるウラン235原子核が1個の中性子を吸収し、2個の新たな原子核に分裂する。同時に3個の新たな中性子と結合エネルギーを放出する。
2. 放出された中性子のうちの1個がウラン238原子核に吸収される。この場合は反応は続かない。別の1個の中性子は他の原子核と衝突せずに失われる。この場合も反応は続かない。しかし残りの1個の中性子は別のウラン235原子核に衝突する。この原子核は核分裂を起こして2個の中性子を放出する。
3. ここで放出された中性子は2個とも別のウラン235原子核に衝突し、それぞれ核分裂を起こして1~3個の中性子を放出する。こうして反応が持続する。

# 日本の累計感染者数推移は変か？

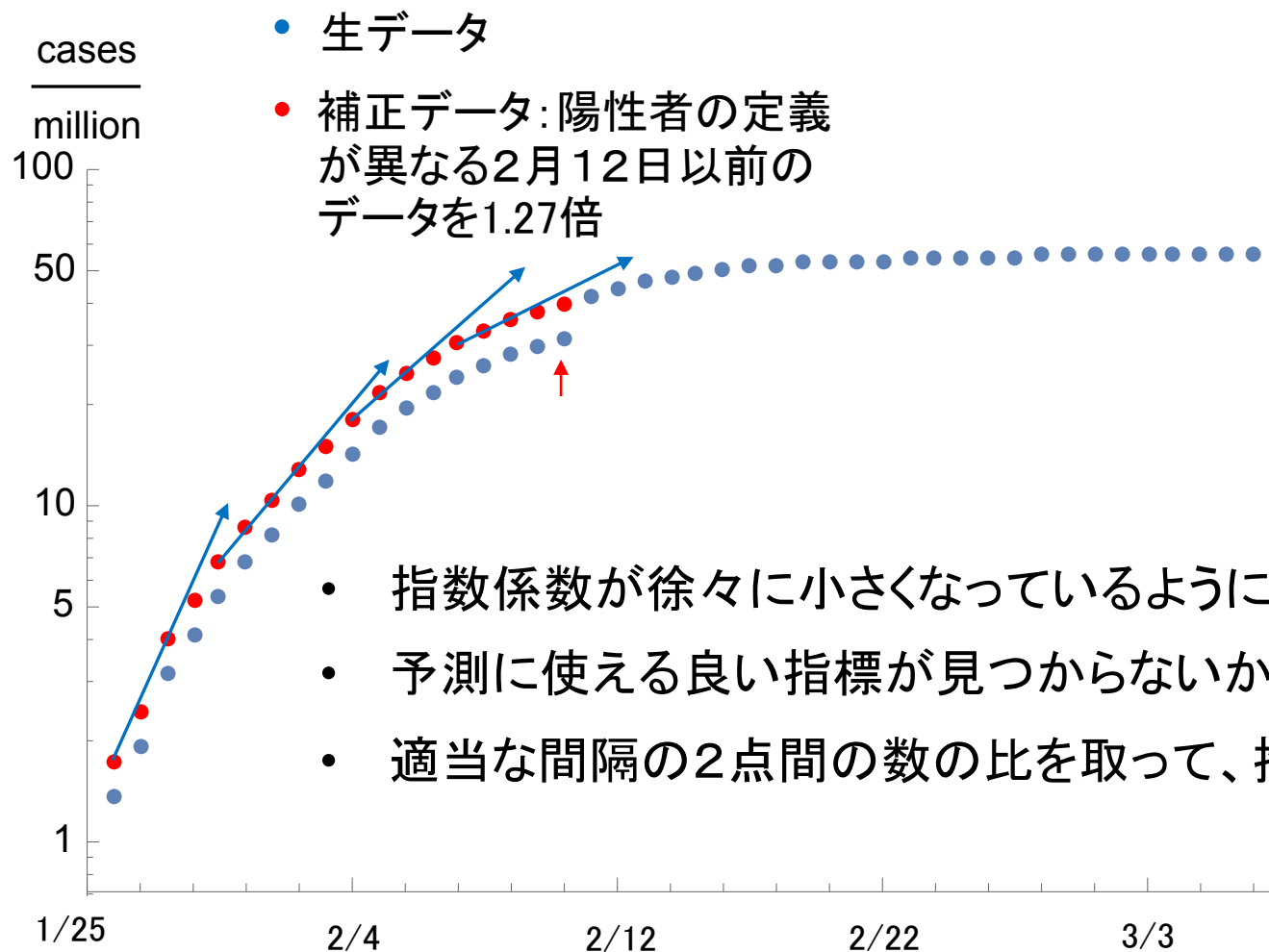
「これから2週間、非常事態宣言の効果が見れ始めるまで、1週間に2倍のペースで感染者が増える！」**本当か？**

人口100万人あたり累計感染者数(陽性者数)の対数グラフ



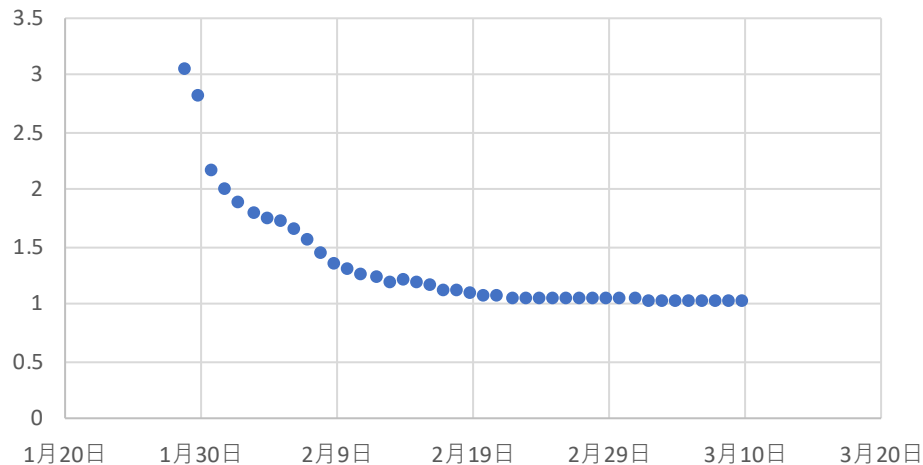
第1波と第2波を分離すると、日本の感染者数推移も普通に見える。

# 中国の累計感染者推移



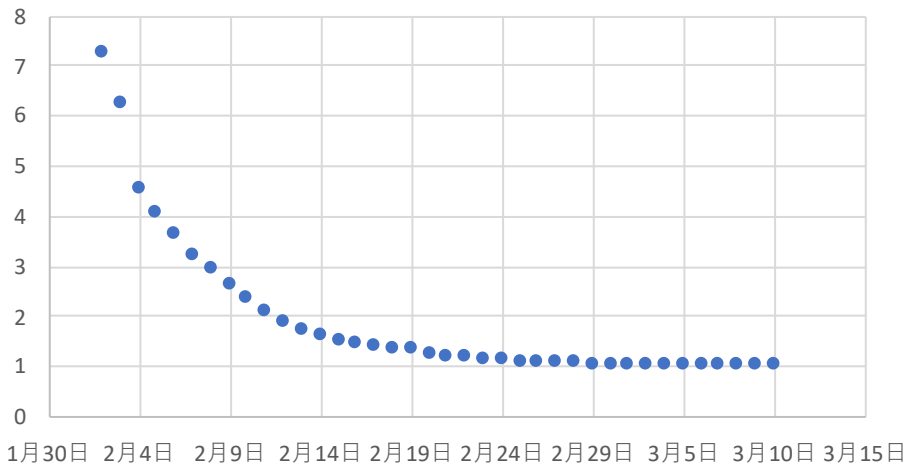
# 中国のデータを用いた試行錯誤

3日前の値との比



「良さそう。でも、少しグニャグニャしているな。」

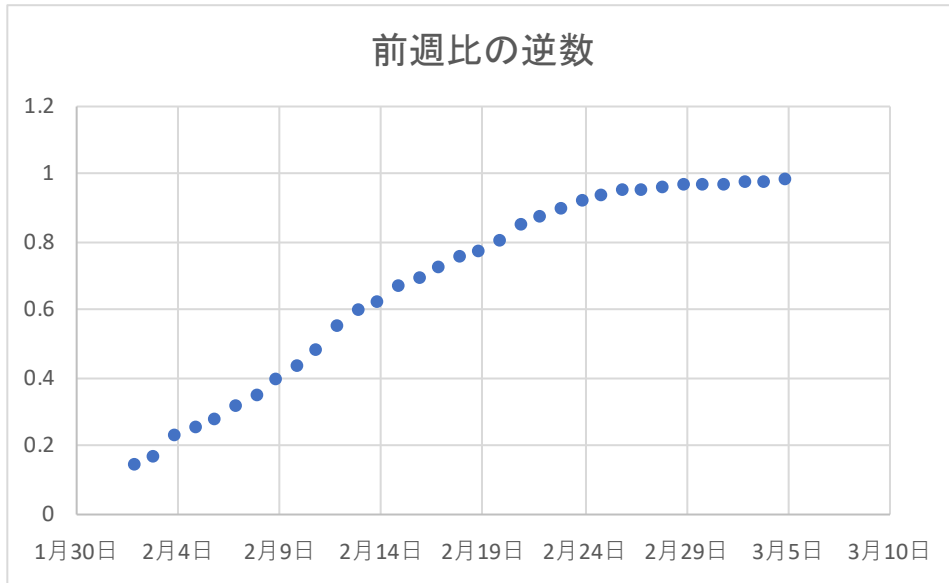
前週の値との比



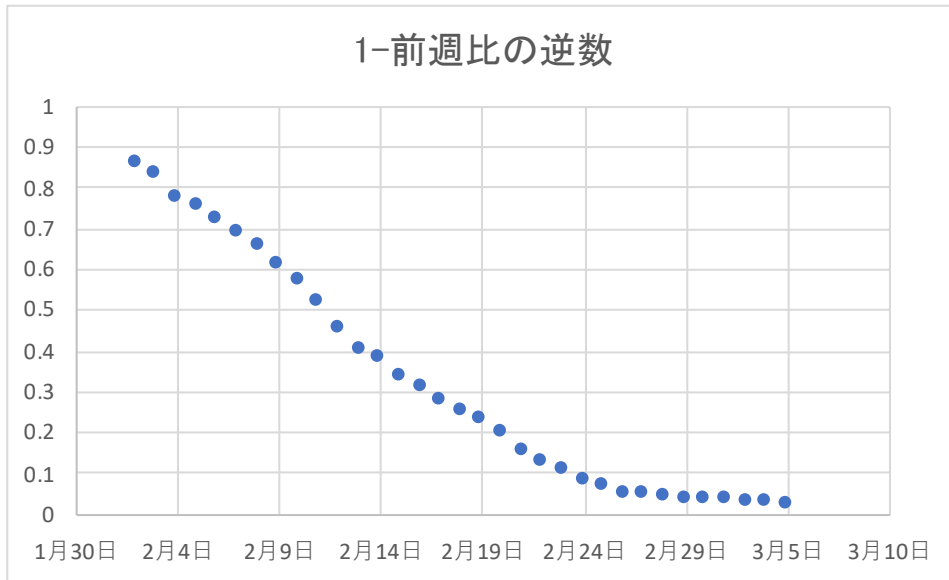
「ずっと良い。でも、予測は難しそう。」

「そうだ、逆数を取ろう！」

# K値の発見!



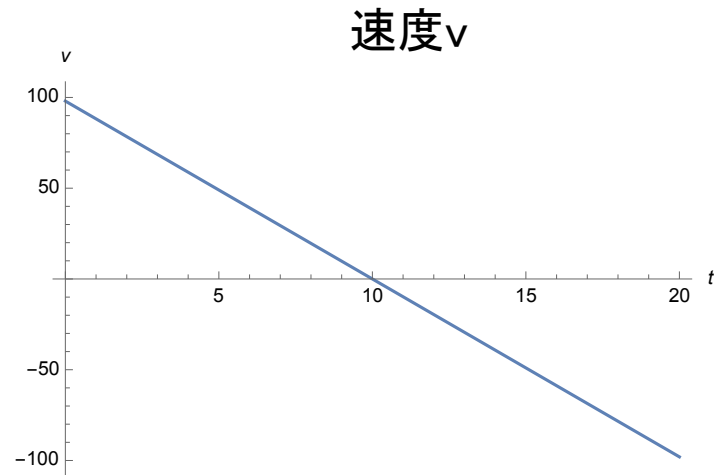
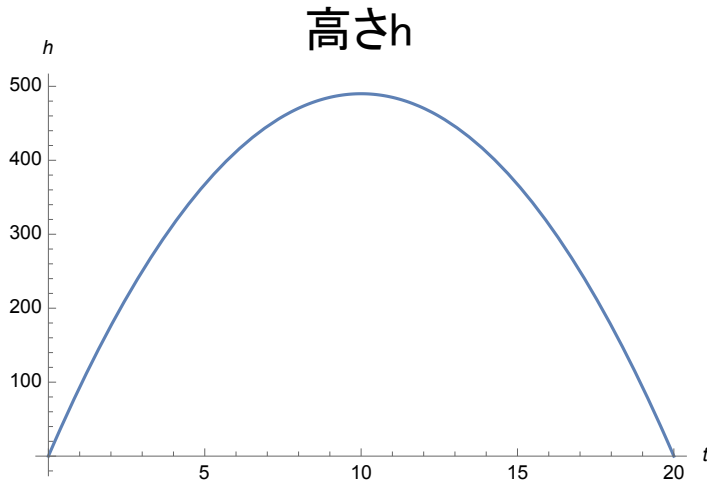
「やっぱり、直線だ！」



「どうせなら、0に収束させよう。」

$$K = 1 - \frac{1 \text{ 週間前の累計感染者数}}{\text{累計感染者数}}$$
$$= \frac{\text{直近1週間の感染者数}}{\text{累計感染者数}}$$

# ボールの投げ上げと予測



- 高さ $h$ は $v=0$ の時にピークアウト
- $v=-v_0$ の時に地面に戻る.
- $h(t+1)=h(t)+v(t)$  ( $\Delta t=1$ として.)
- $v$ の変化が直線的なので予測が容易
- 速度の差 $v(t+1)-v(t)=g$ が一定

「ボールを垂直に投げ上げて途中で止まって地面に戻ってくる」  
→一定の重力加速度( $g$ )が存在するから

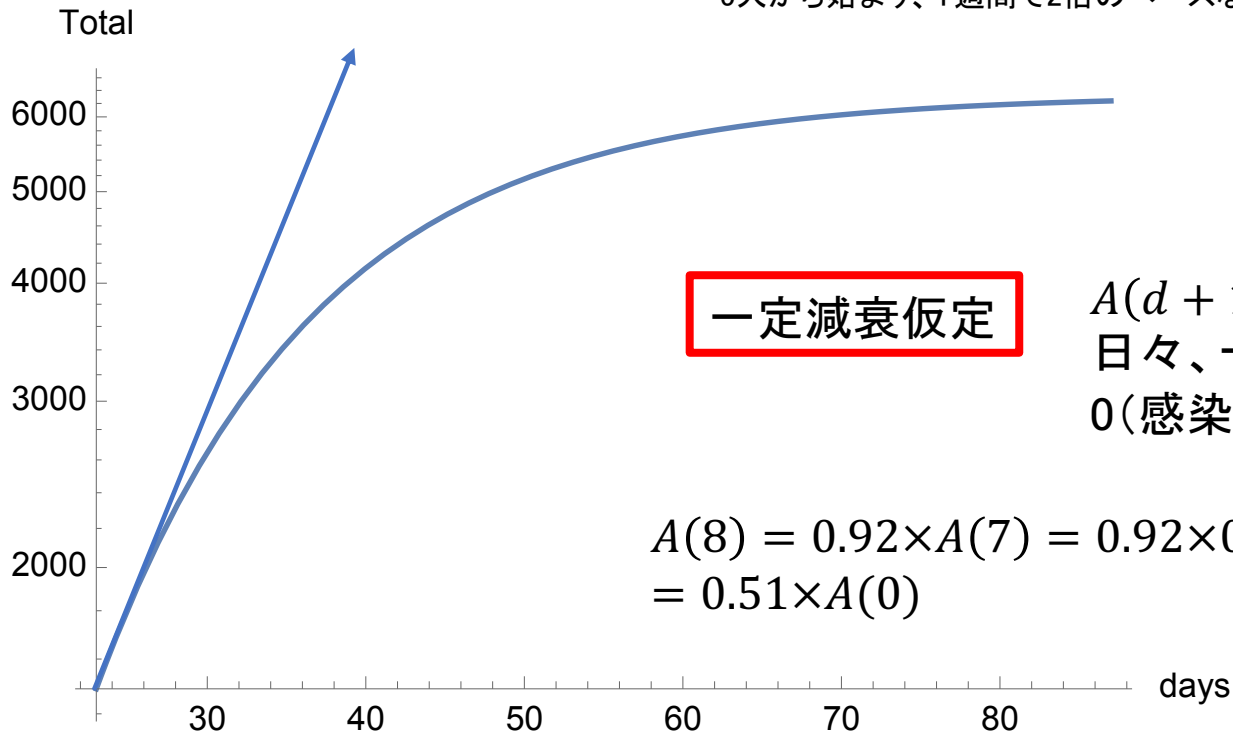
投げ上げ速度と $g$ で到達高度も到達時間も決まる.

# 一定減衰(一定の割合で小さくなる)仮定

$$N(d) = N_0 e^{Ad}$$

$A$ が定数(指数関数)なら直線的に増大

5人から始まり、1週間で2倍のペースなら、 $N(d) = 5 \times 2.718^{0.1d}$



一定減衰仮定

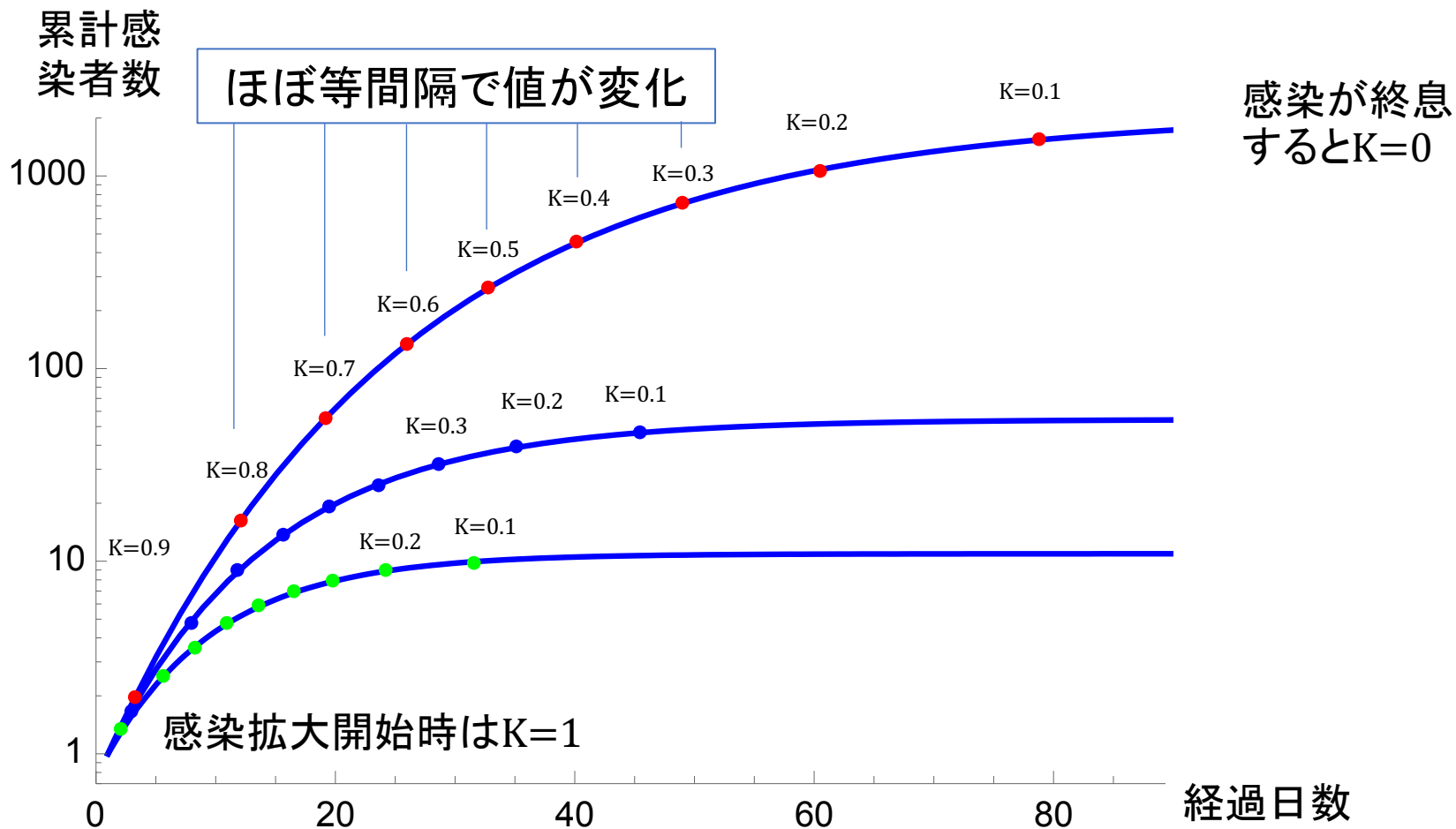
$A(d+1) = kA(d)$  に従い、  
日々、一定の割合で指数係数 $A$ が  
0(感染終息)に近づく。

$$A(8) = 0.92 \times A(7) = 0.92 \times 0.92 \times A(6) = 0.92^8 A(0) \\ = 0.51 \times A(0)$$

1より小さい減衰定数 $k$ は、感染者の快復、隔離、死亡、社会的距離、自然免疫、獲得免疫、等全ての効果・影響を反映する。

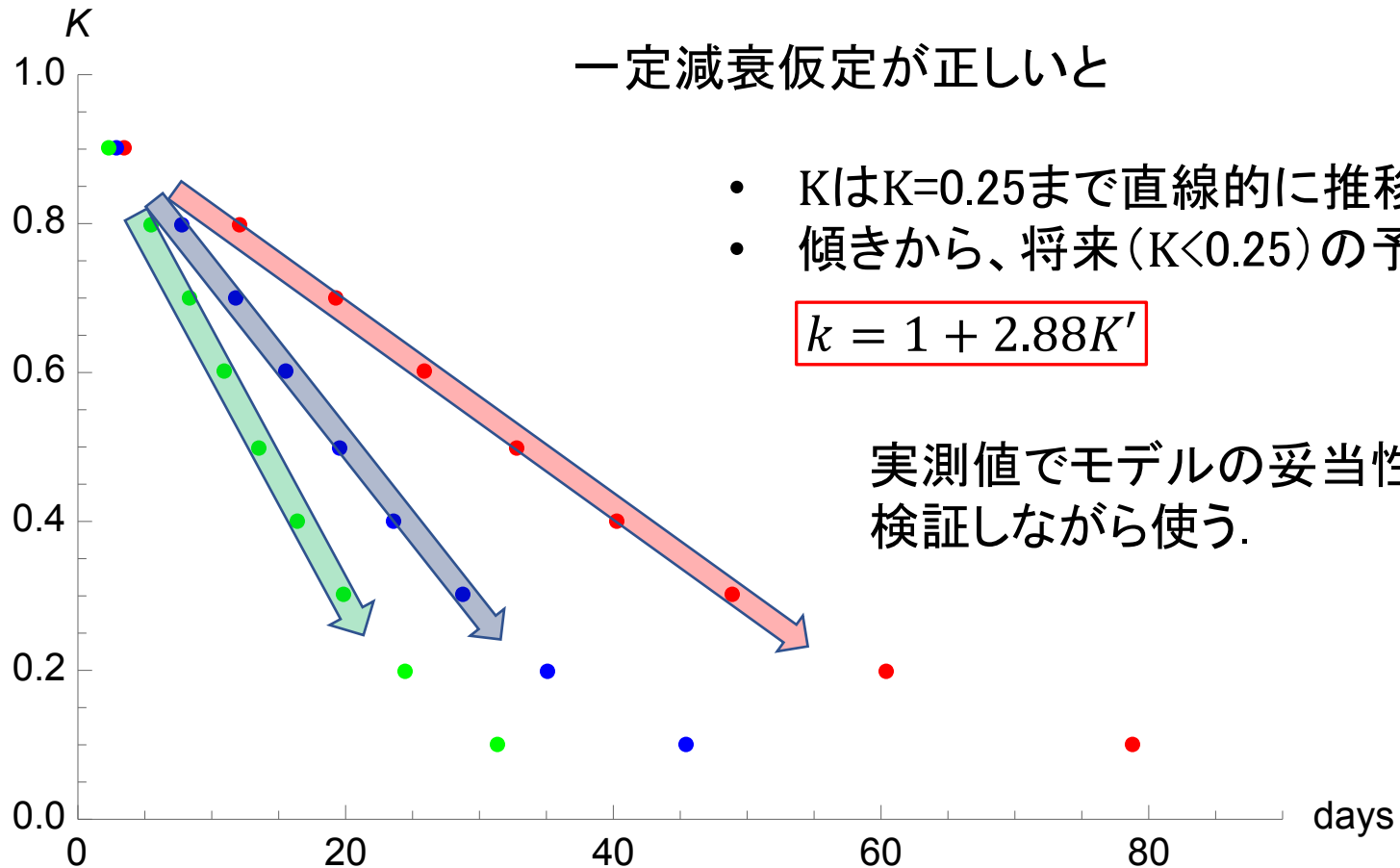


# 一定減衰する流行曲線とK値の関係



感染拡大の状況把握と将来予測が可能

# K値の推移



K値の推移予測 = 毎日の新規感染者数の予測

# 同業者向けのK値の説明

一般の方は3分間の休憩です。

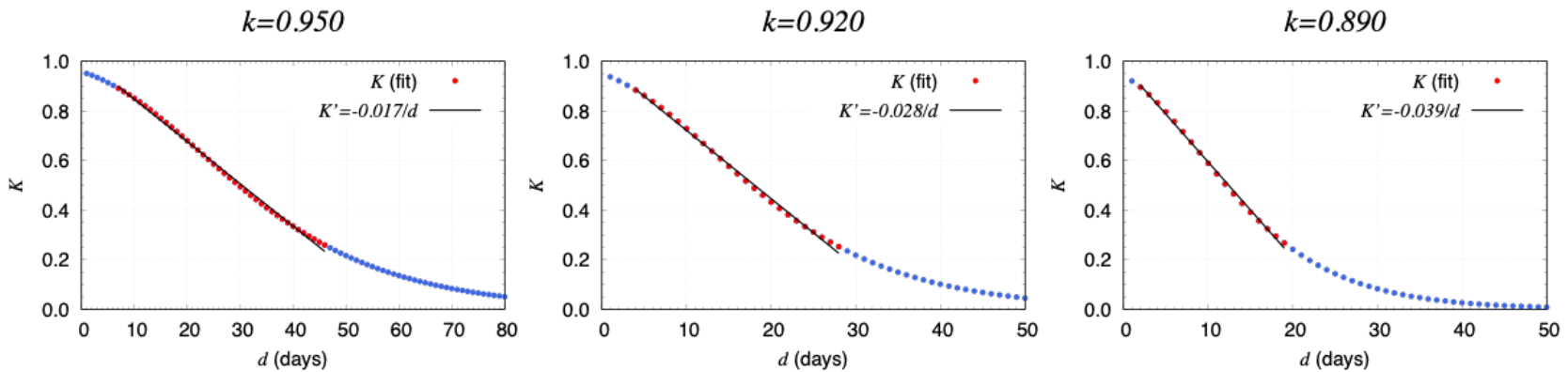
$$N(t) = N_0 e^{A(t)}$$

$$dA(t) = dN(t) / N(t)$$

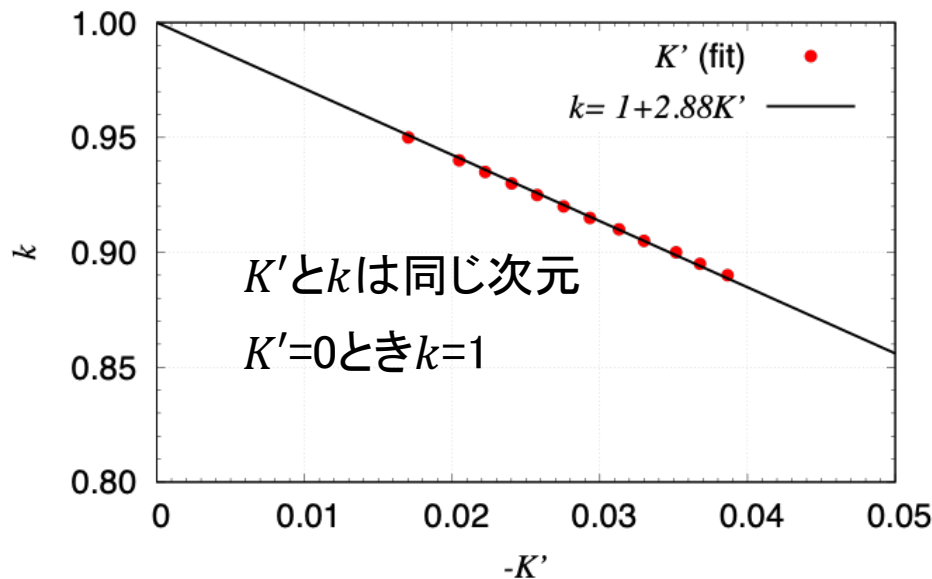
$$K(d) = \frac{N(d) - N(d-7)}{N(d)}$$

$$= 1 - \frac{N(d-7)}{N(d)}$$

# 同業者向けの $K'$ と $k$ の関係の説明



$k$  as a function of  $K'$

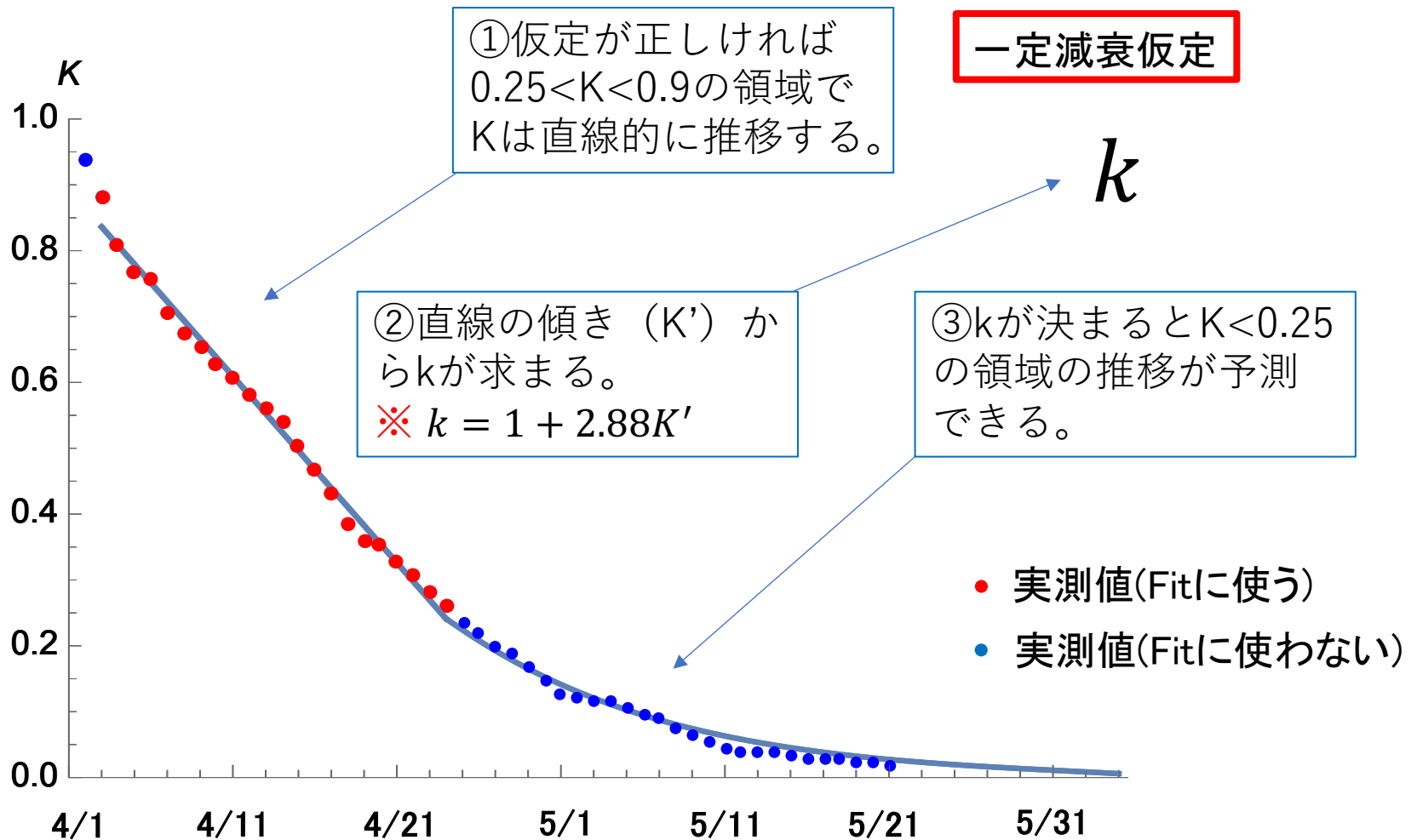


「数学者なら一瞬」

「よくできる中学生でも証明できる。」

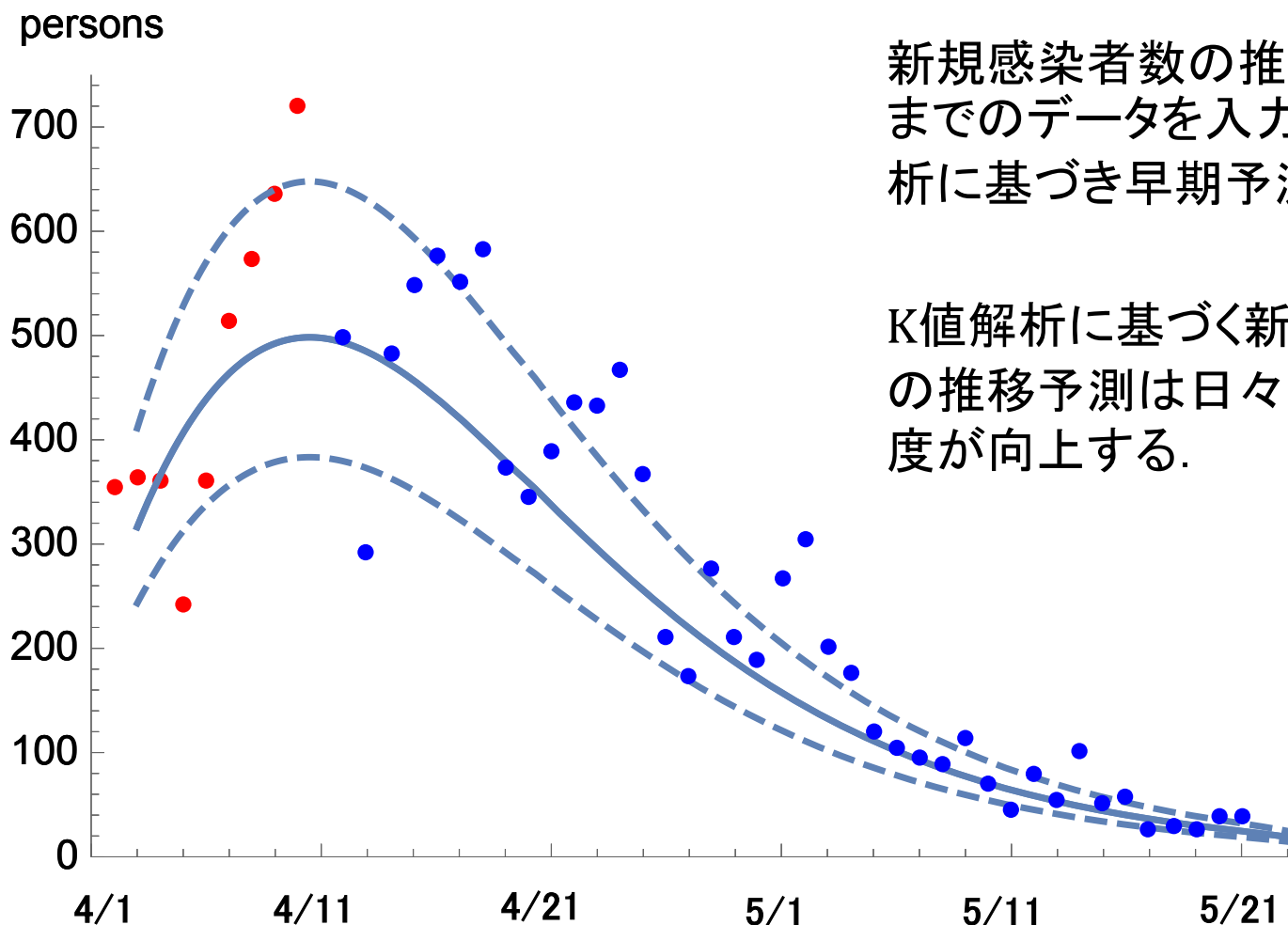
一定減衰仮定と $K$ の時間発展が二重指数関数 $K(t) = 1 - e^{-L(0)}e^{-(1-k)t}$ に従うということが同値であることが東工大・情報工学・秋山 泰教授により示された。(FBの友達承認ありがとうございます。)

# 日本のK値の推移



K値の推移予測 = 毎日の新規感染者数の予測

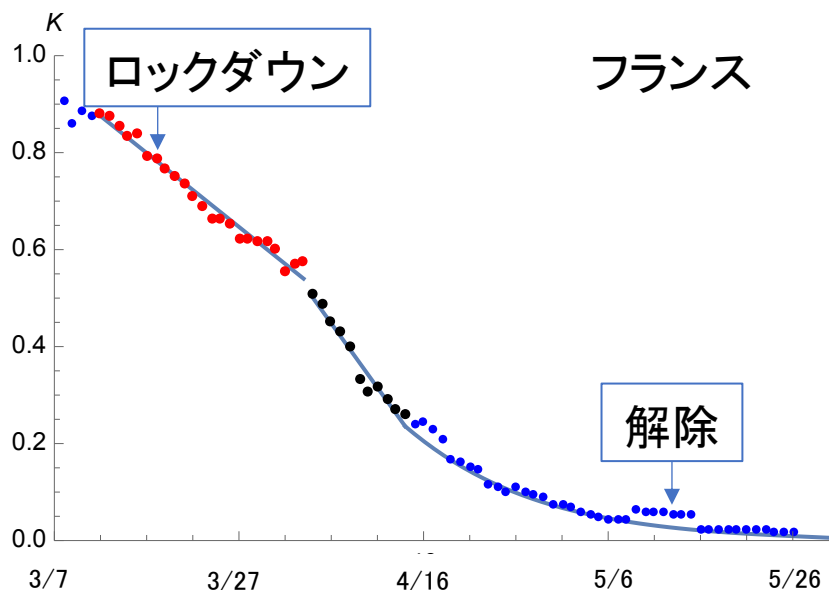
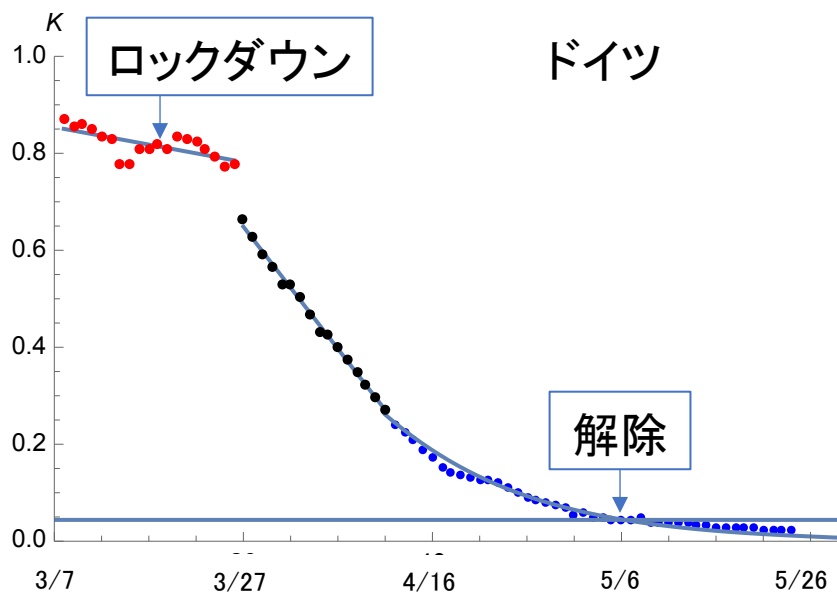
# 新規感染者数の早期予測



新規感染者数の推移を4月11日までのデータを入力としたK値解析に基づき早期予測.

K値解析に基づく新規感染者数の推移予測は日々更新され精度が向上する.

# 欧州におけるロックダウンの影響（効果）



ロックダウン前後でKの傾き（収束スピード）に変化が見られる。  
ロックダウン後でも日本より収束スピードが遅い。  
解除後に感染再拡大の兆候は見られない。  
活動制限前のK値高止まり時に感染が爆発的に拡大した。

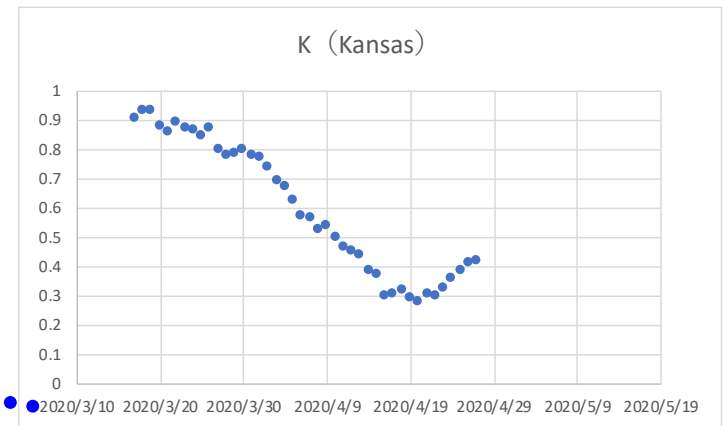
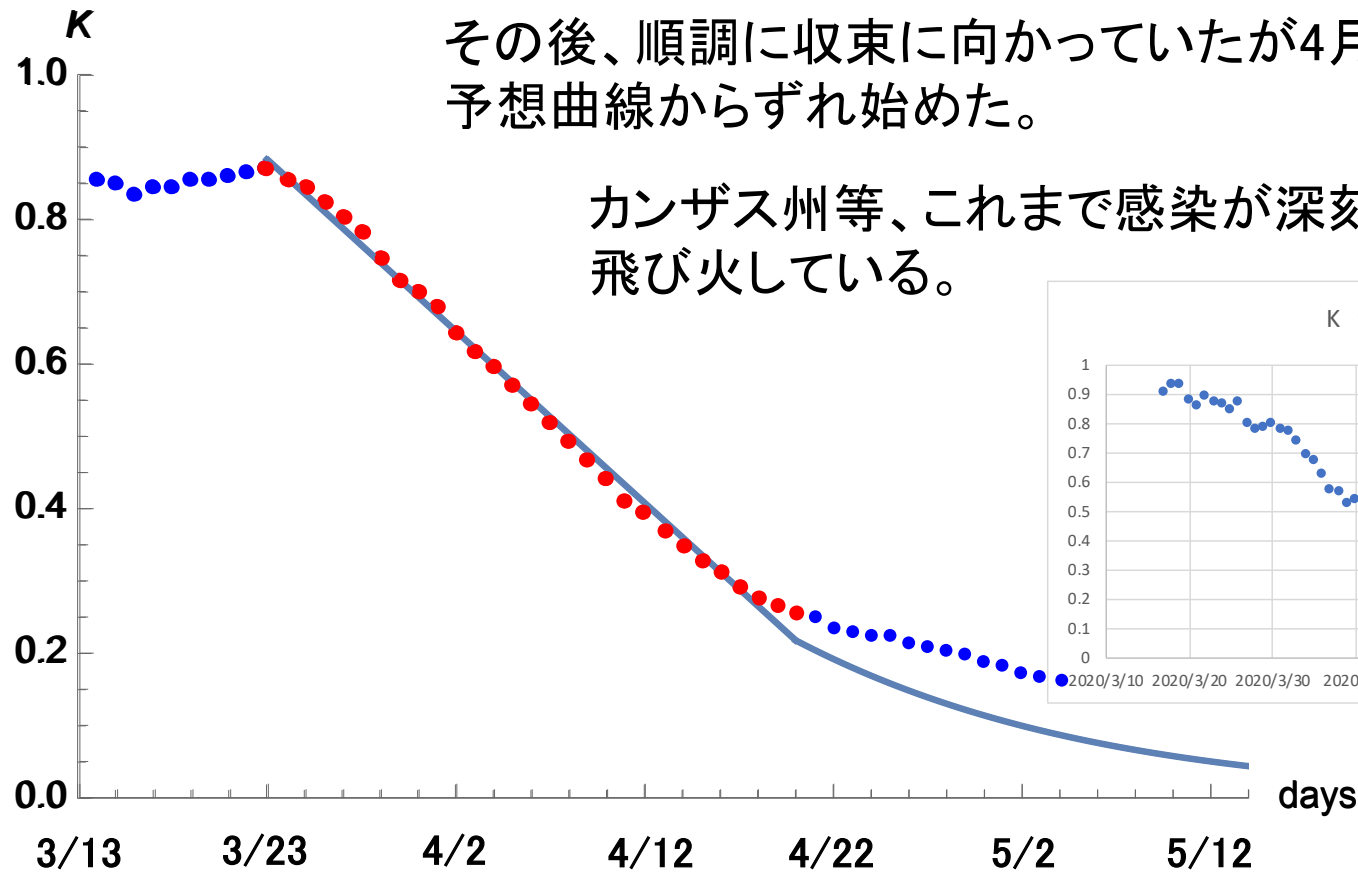
日本で感染爆発が起こる可能性は極めて低い。

# アメリカでの感染拡大

初期に $K > 0.8$  (1週間で5倍)の時期が10日以上も続いたことが深刻な事態を招いた。

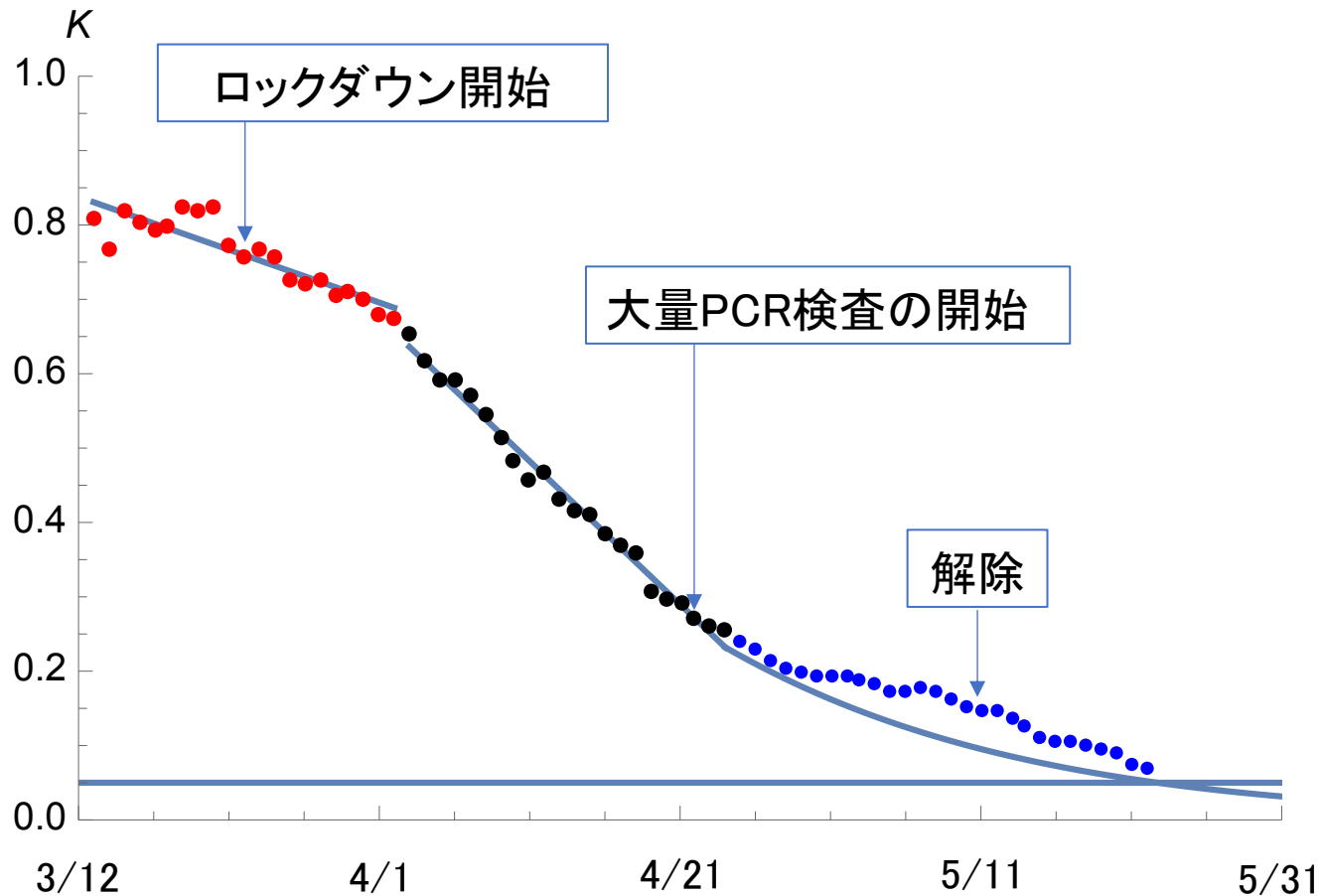
その後、順調に収束に向かっていていたが4月19日頃を境に予想曲線からずれ始めた。

カンザス州等、これまで感染が深刻でなかった地域に飛び火している。



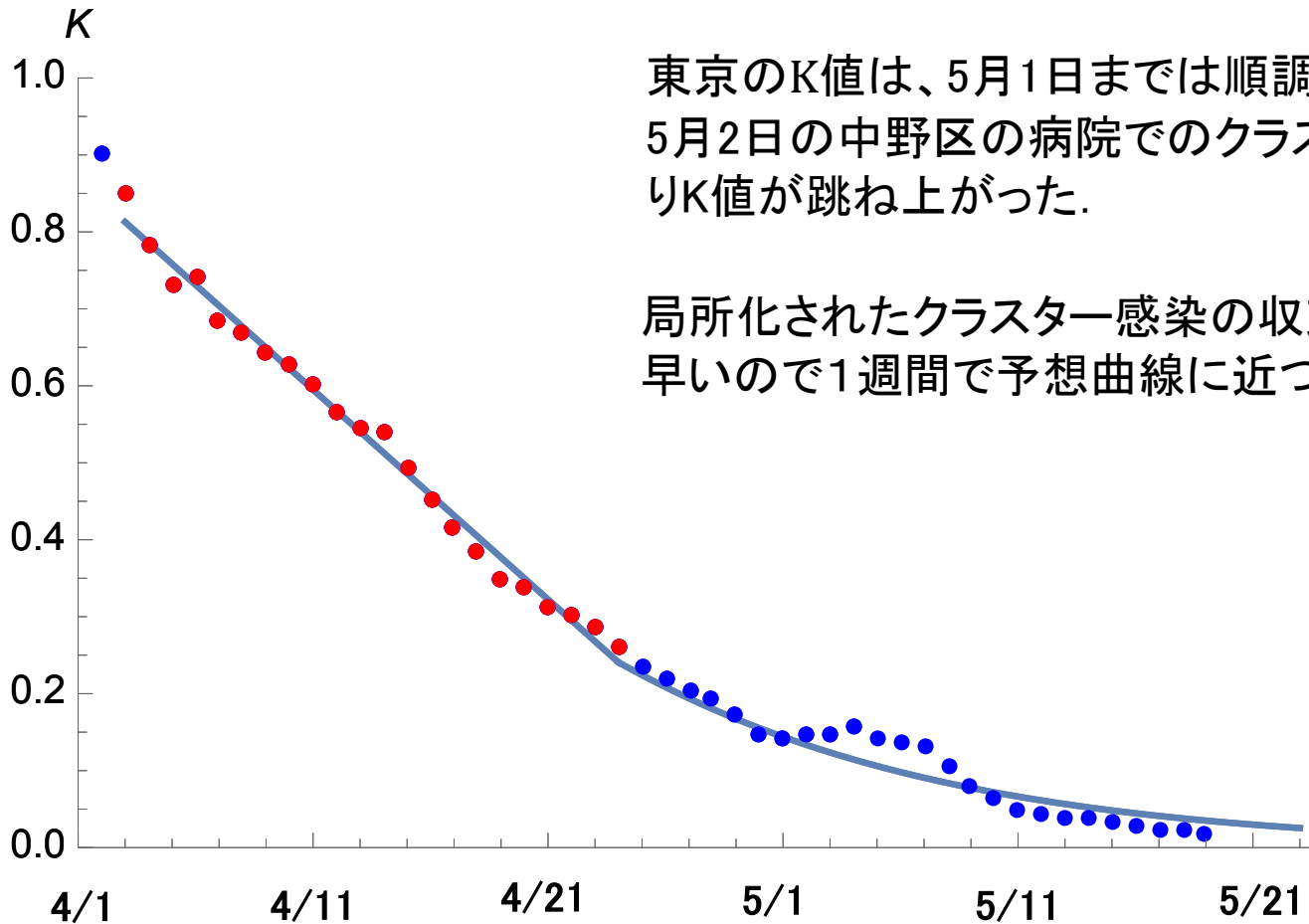


# 英国における施策の影響

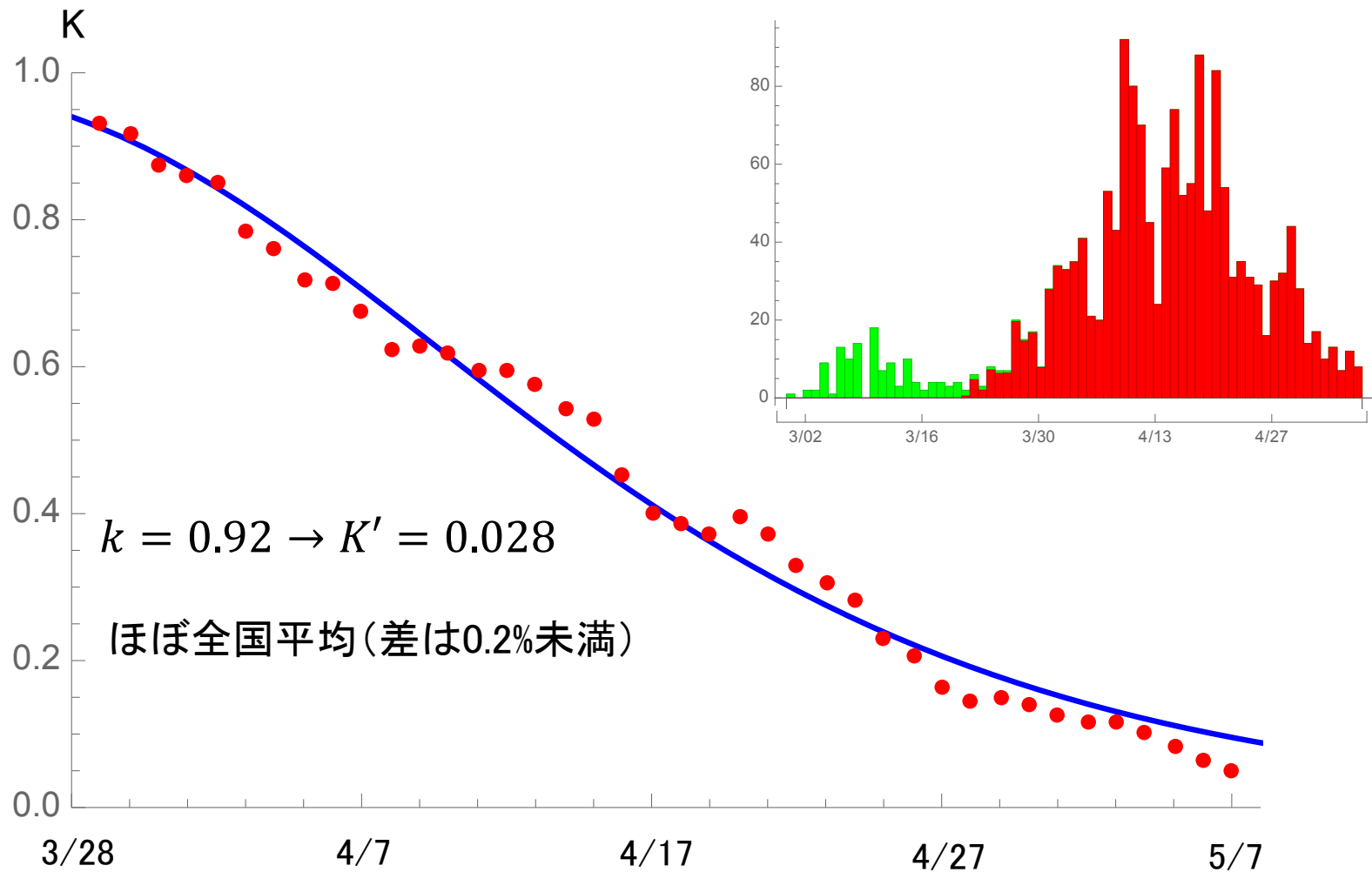


集団免疫戦略を止めて本当に良かった。  
大量PCR検査に大きな害はなさそう。

# 比較的大規模なクラスター感染の検知

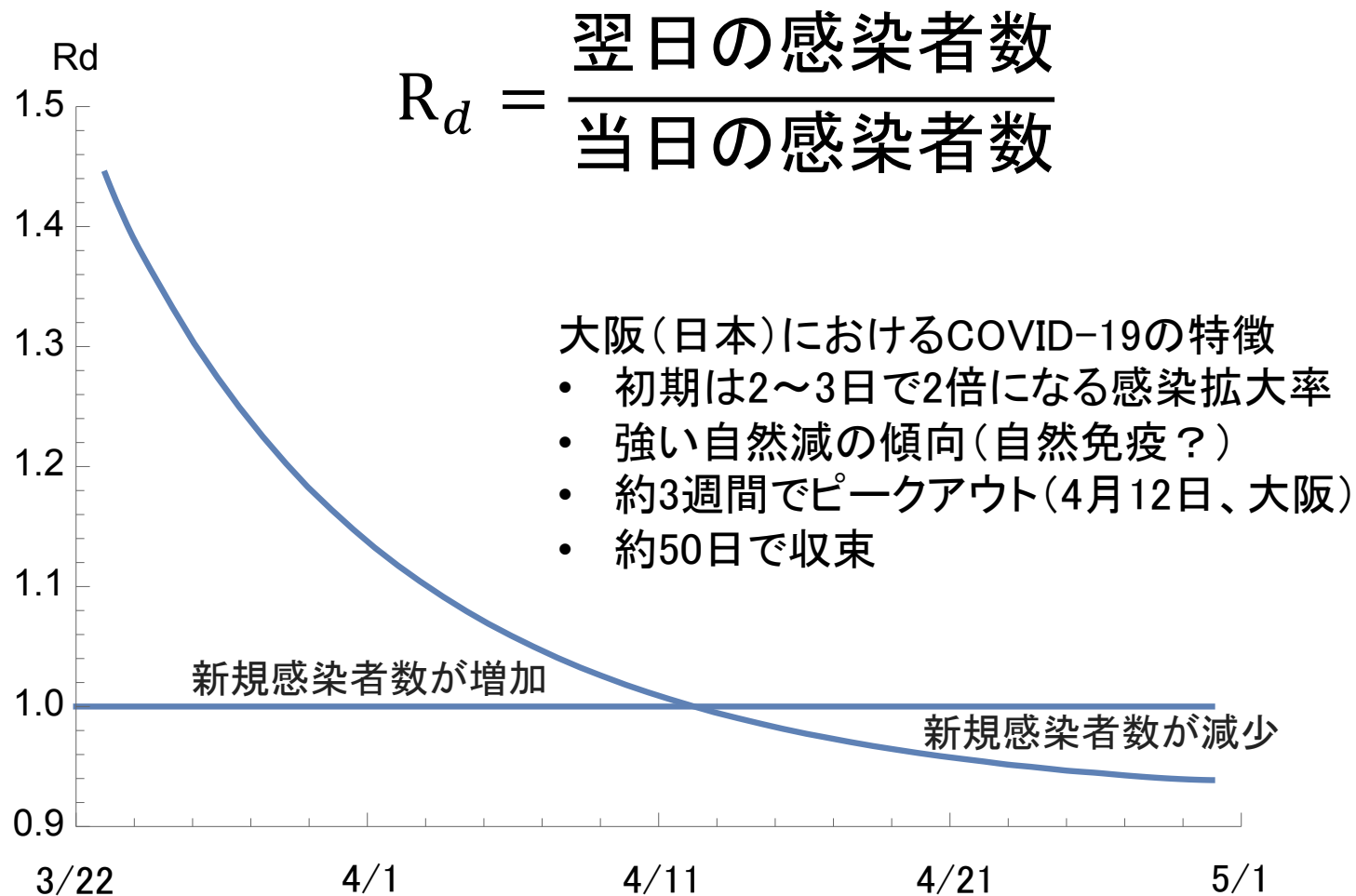


# 大阪のK値の詳細解析



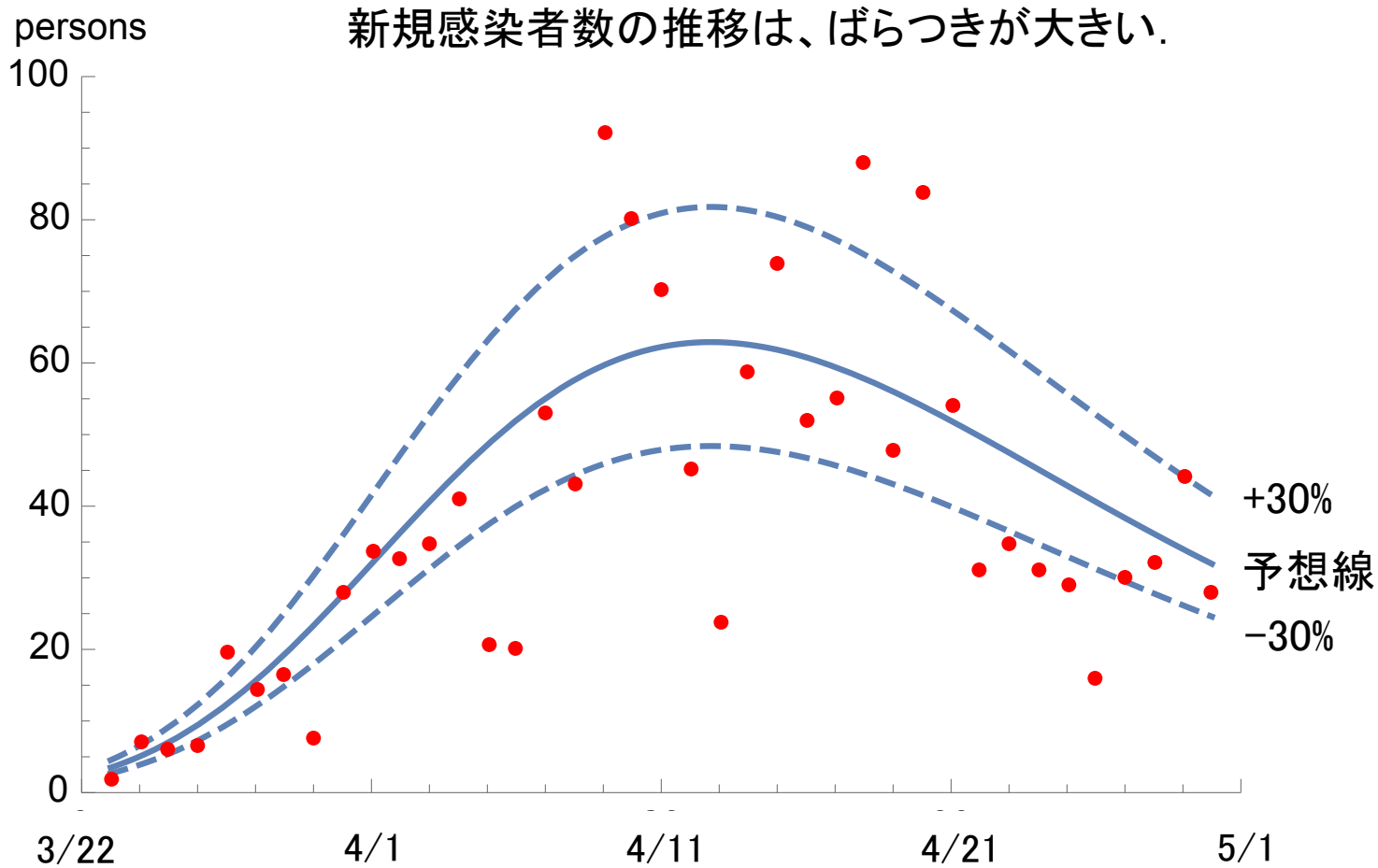
4月下旬から収束スピードが若干上がっている可能性有り。

# どのように感染が拡大し収束したか？



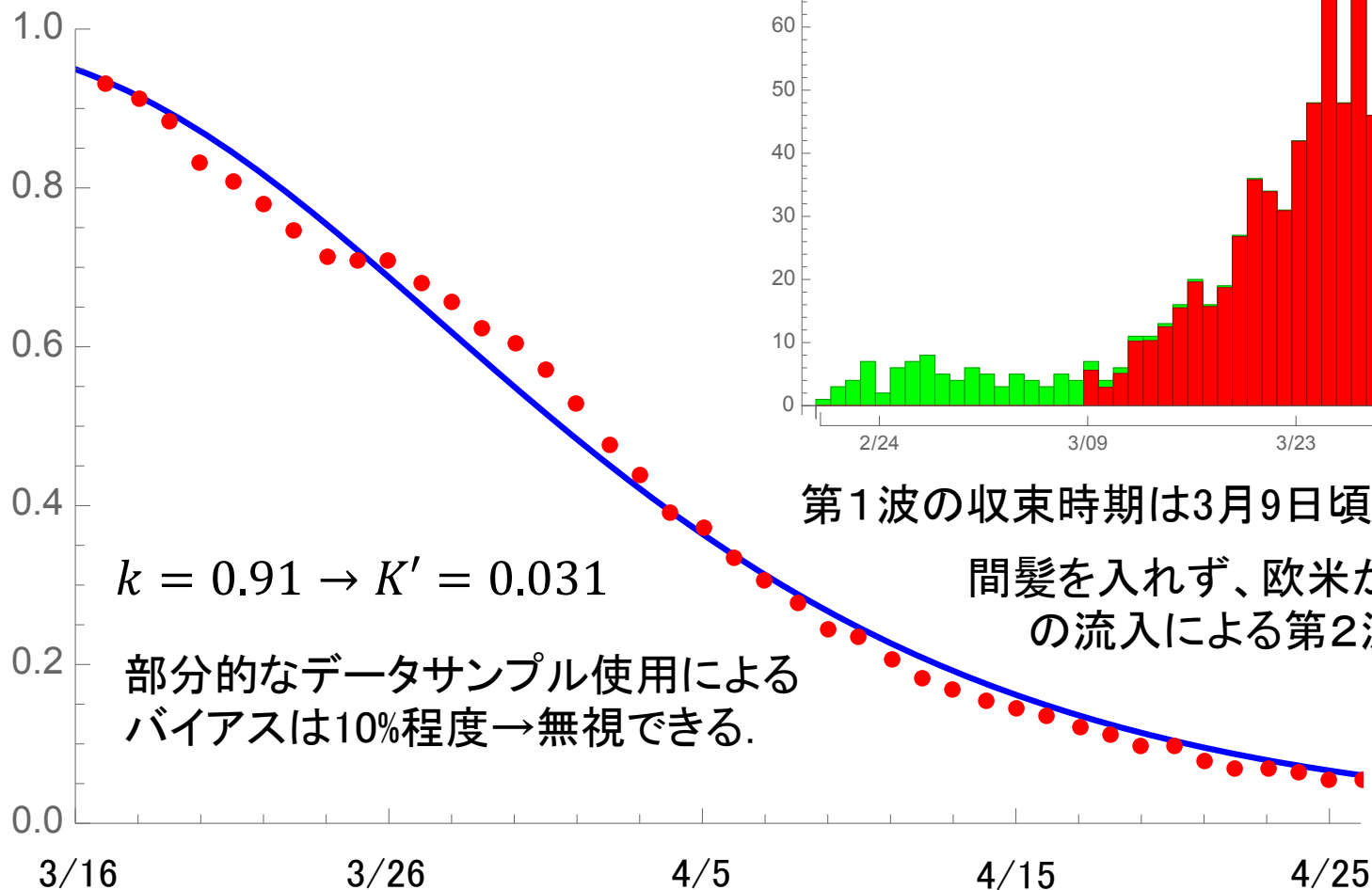
強い自然減の理由は未解明

# 新規感染者数の推移



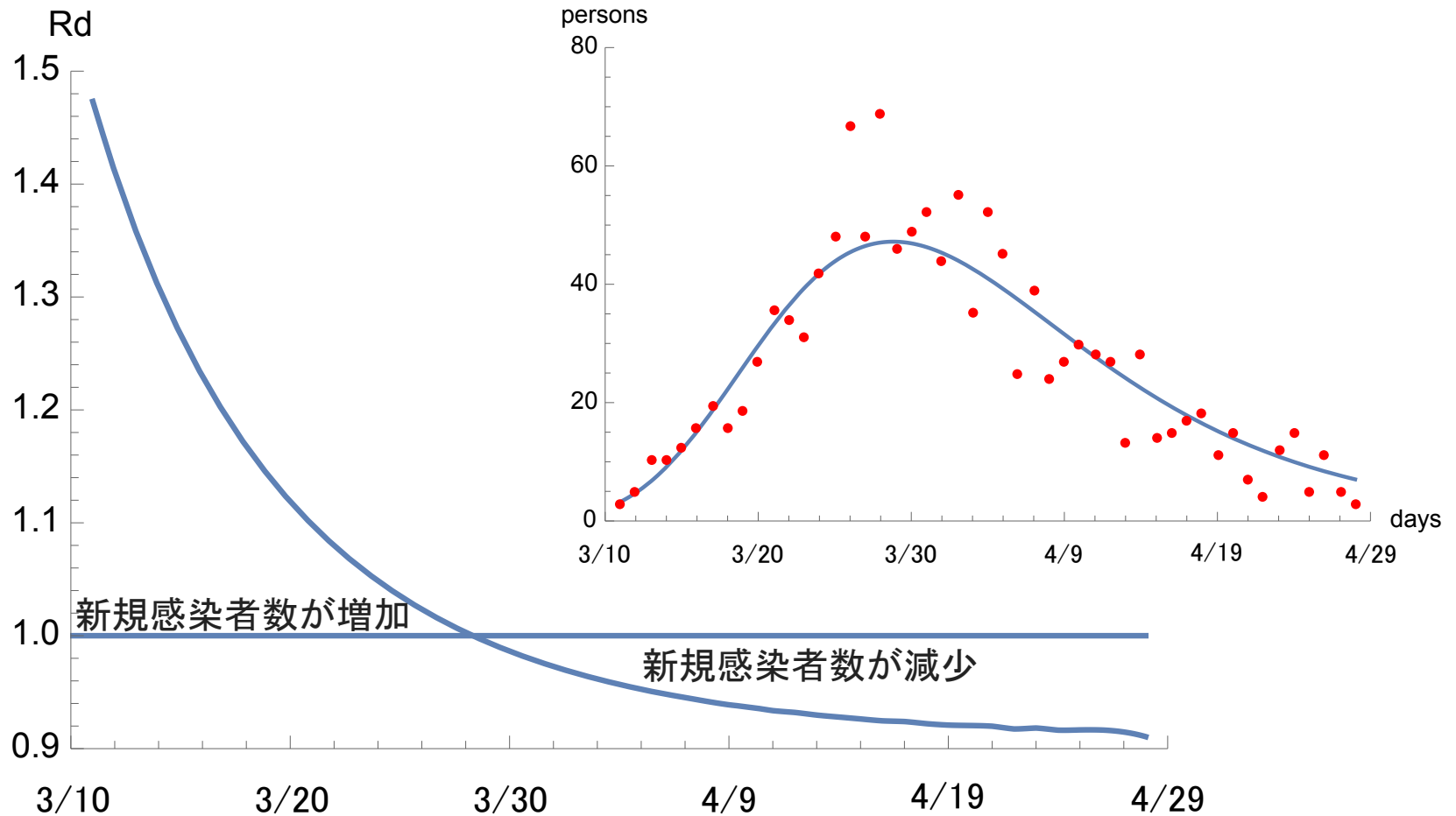
突発的な事態(感染者数の増加)に対応する余裕が必要

# 推定感染日ベースでのK値の推移



第2波拡大の原因は三連休の気の緩みではない。

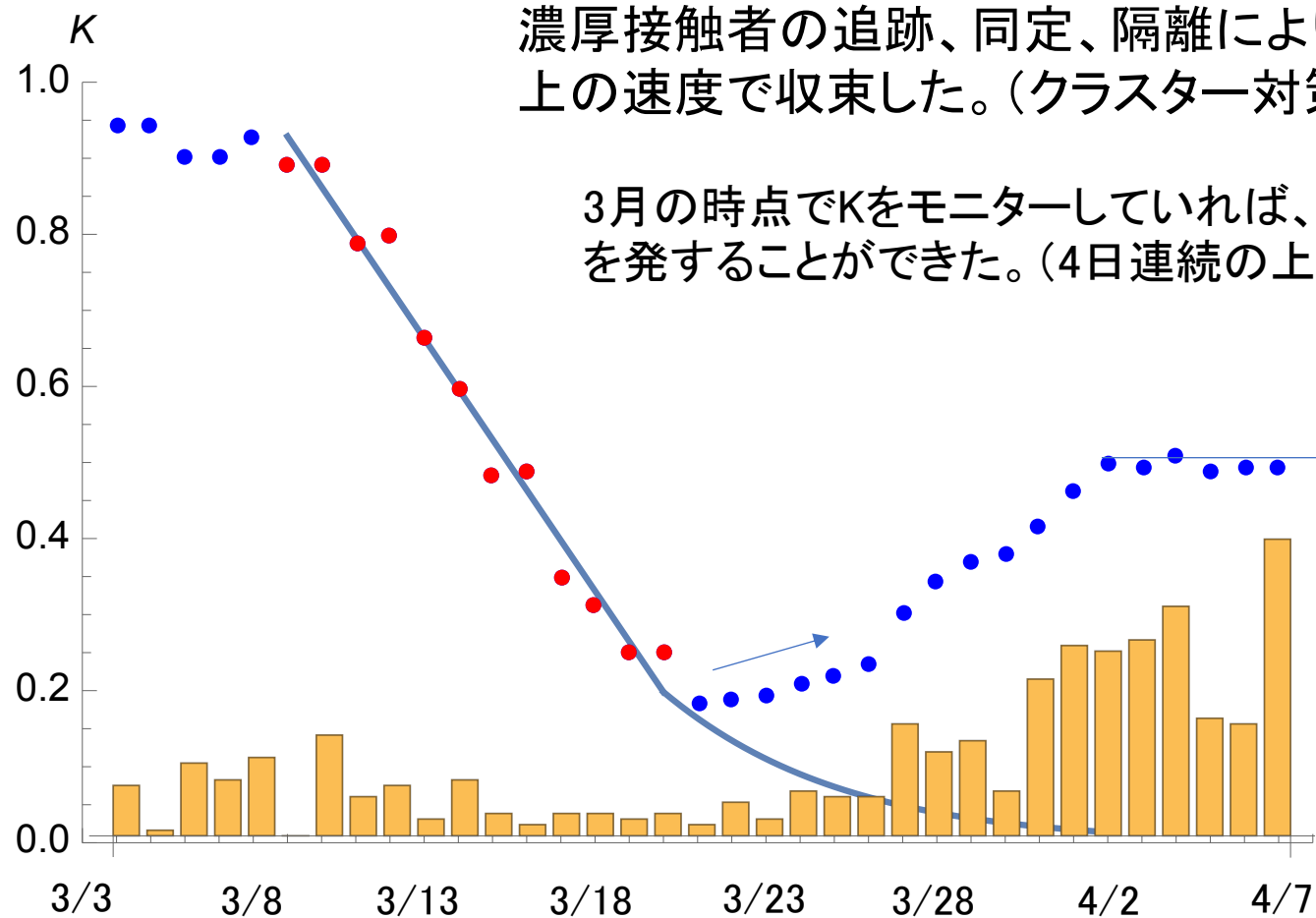
# Rdの推移(推定感染日ベース)



3月29日に収束フェーズ(Rd<1)入り.

# K値をモニターして異常を検知する.

複数のライブハウスを発生源とするクラスター感染は濃厚接触者の追跡、同定、隔離により通常の2倍以上の速度で収束した。(クラスター対策班の対応)



3月の時点でKをモニターしていれば、3月25日に警報を発することができた。(4日連続の上昇)

Kが0.5に張り付くのは第1波の影響  
K=0.5は「週に2倍」に対応



# 新しい波の兆候と規模について

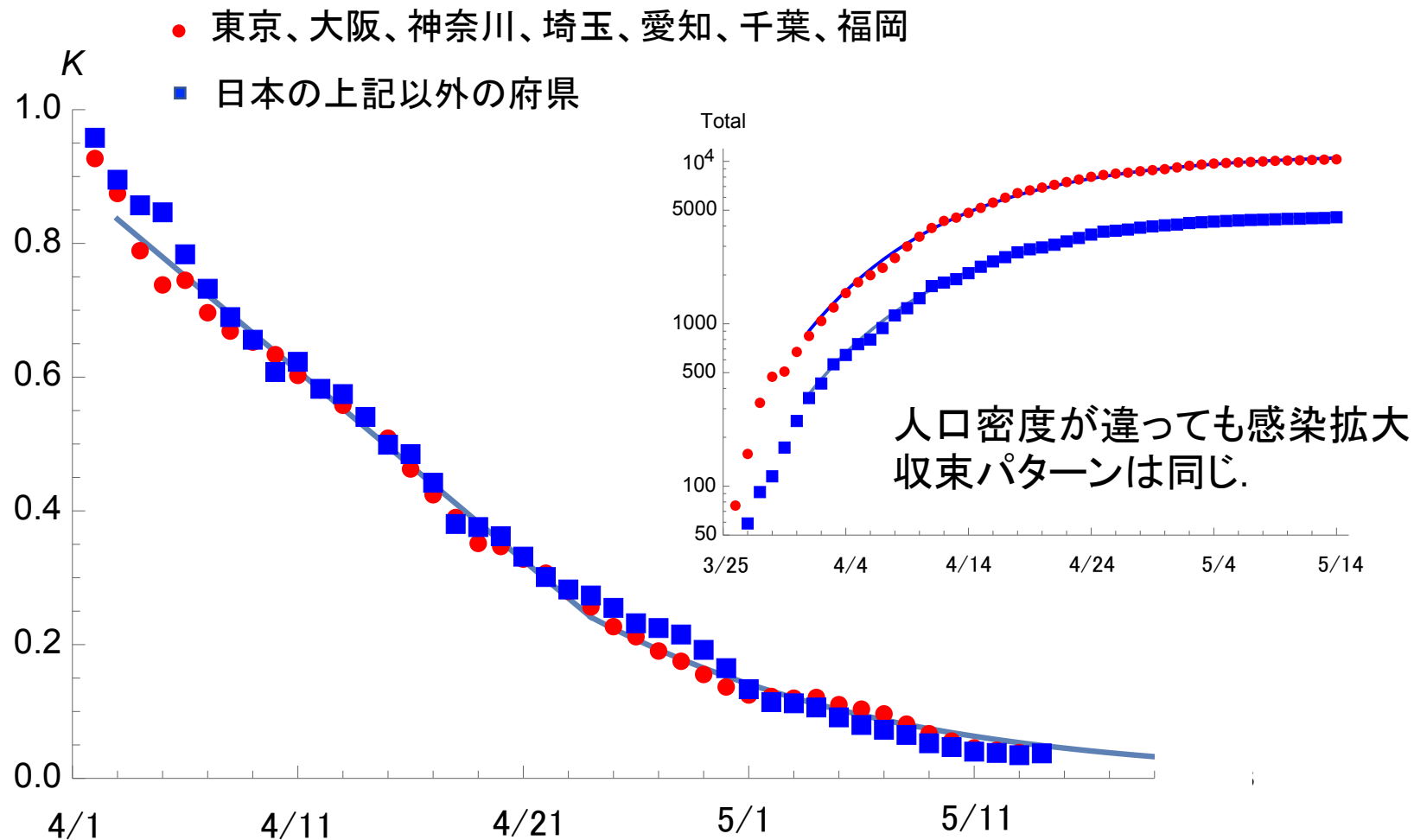
最初の7日間	最初の10日間	最大新規感染者数	累積感染者数
30	65	32	850
60	130	64	1,700
120	260	128	3,400
360	780	384	10,200

- 10日目までの倍加日数が2～3日（クラスター感染は逆に頭でっかち）
- 最大新規陽性者数は中心値なので30%以上のふらつきを想定すべき。
- 約50日で収束( $K < 0.05$ )する。
- 感染初期にクラスター対策を実施すれば収束スピードは倍になり、累積感染者数は、一桁少なくなる。

新しい波の被害を最小化するために有効であると考えられる対策：

1. 水際対策（新たな高リスク集団を入れない。）
2. クラスター対策（濃厚接触者の追跡と隔離。一人目から！）
3. 早期検知（パターン認識の導入。検査体制の強化！）

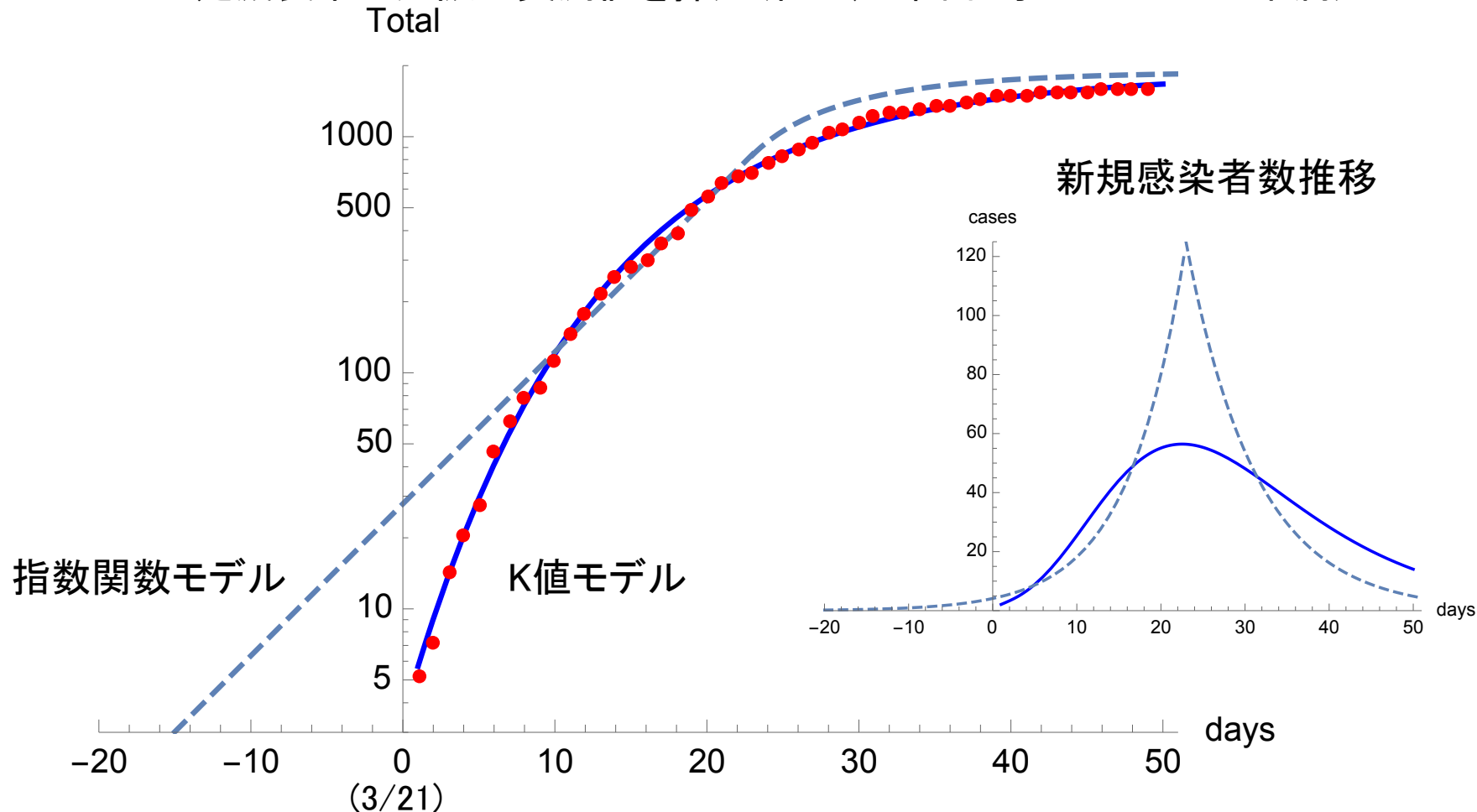
# 人口密度上位7都府県とそれ以外のK値比較



波の高さは始めの7日間で決まる.

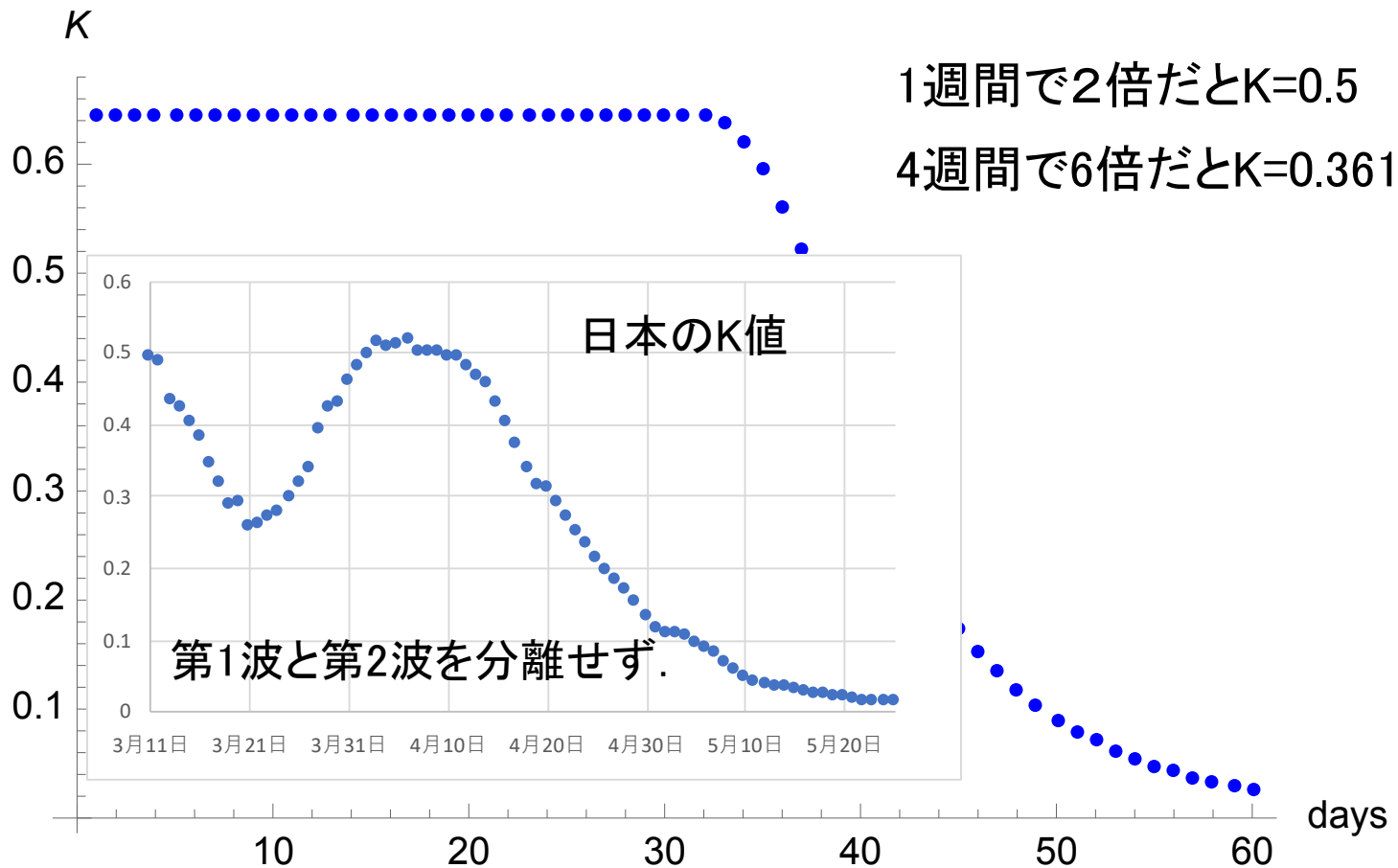
# 大阪の第2波の累積感染者数の推移

- 第1波成分と第2波成分をK値解析により分解
- 一定減衰率は大阪の実測値を採用(但し、全国平均との差は0.2%未満)

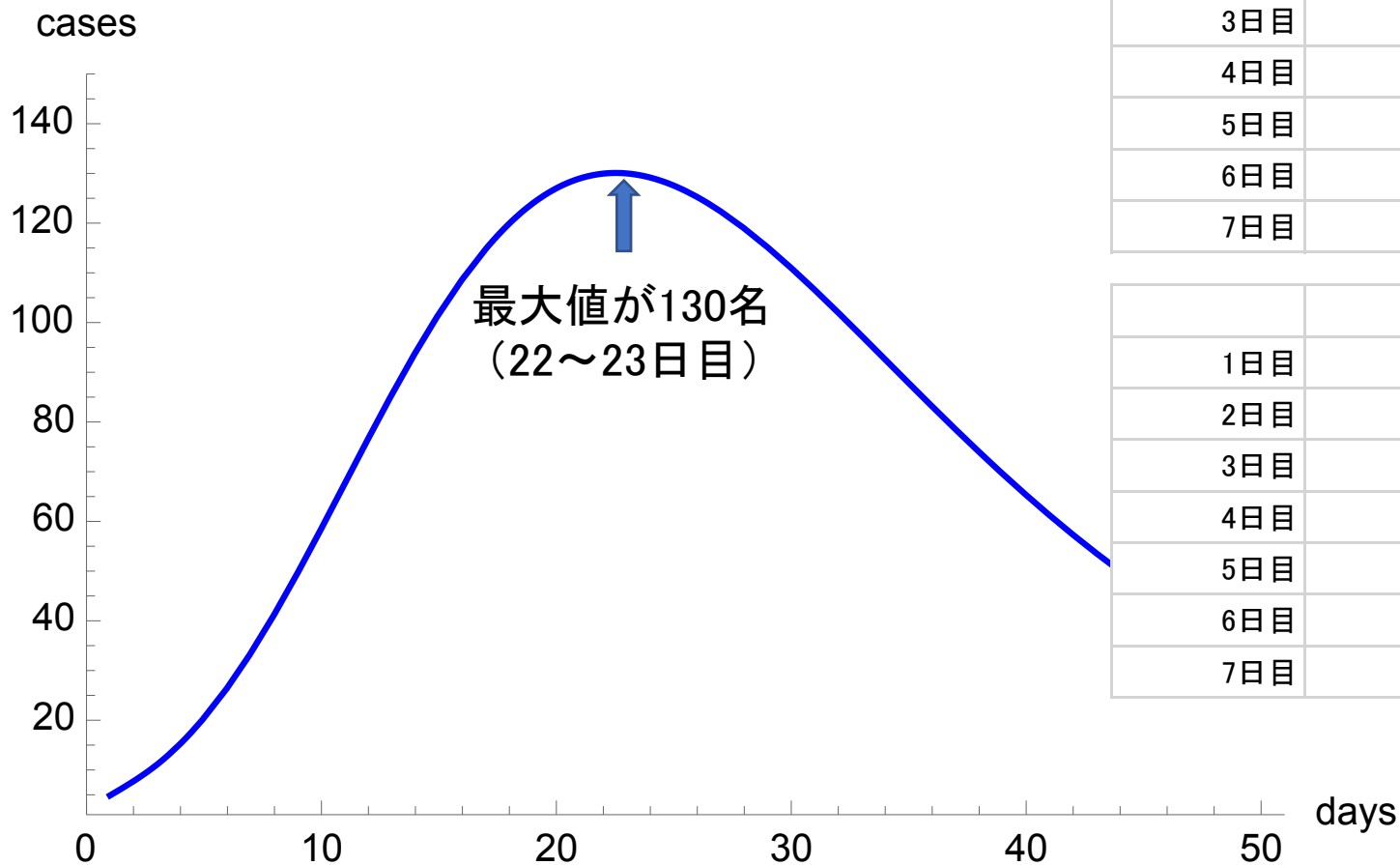


大阪・第2波をテンプレートとして感染規模を予測

# 指数関数モデルのK値推移



# 大阪モデルの新基準



	日別	累積
1日目	4.9	4.9
2日目	7.7	12.6
3日目	11.1	23.7
4日目	15.3	39.0
5日目	20.5	59.4
6日目	26.6	86.0
7日目	33.6	119.6

	日別	累積
1日目	7.7	7.7
2日目	11.1	18.8
3日目	15.3	34.1
4日目	20.5	54.6
5日目	26.6	81.1
6日目	33.6	114.7
7日目	41.3	156.1

直近7日間で累計が120人以上かつ後半3日で半数以上

# 昨日(7月12日)の黄色点灯と今後の予測

## ① 大阪で7月5日頃を起点とする新たな感染拡大が起きている場合

- 倍加日数が未だ3日程度と予想されるので、今週中に1日の新規感染者数が倍増
- 感染拡大のピークは約2週間後
- 推定感染日ベースで今がピーク時期なので、**感染予防にいつもに増して細心の注意を。**

日付	日別	累積
7月6日	8	8
7月7日	12	20
7月8日	10	30
7月9日	30	60
7月10日	22	82
7月11日	28	110
7月12日	32	142

} 58%

## ② 全国で6月22日頃を起点とする新たな感染拡大が起きている場合

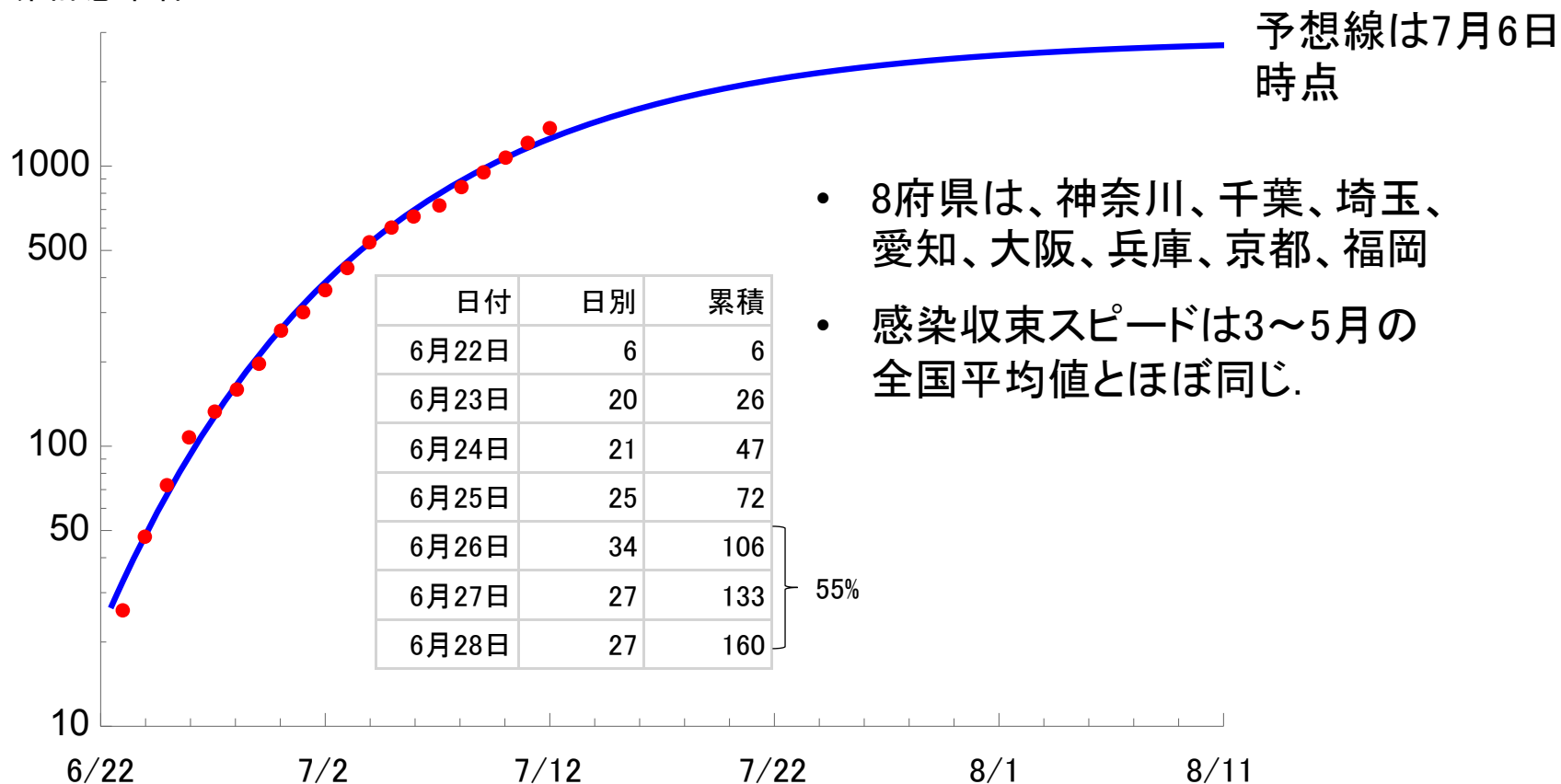
- 今週はゆっくりと新規感染者数が減少する。

いずれにせよ収束スピードアップにクラスター対策が非常に有効

国の新型コロナウイルス接触確認アプリ、大阪コロナ追跡システムの登録を！

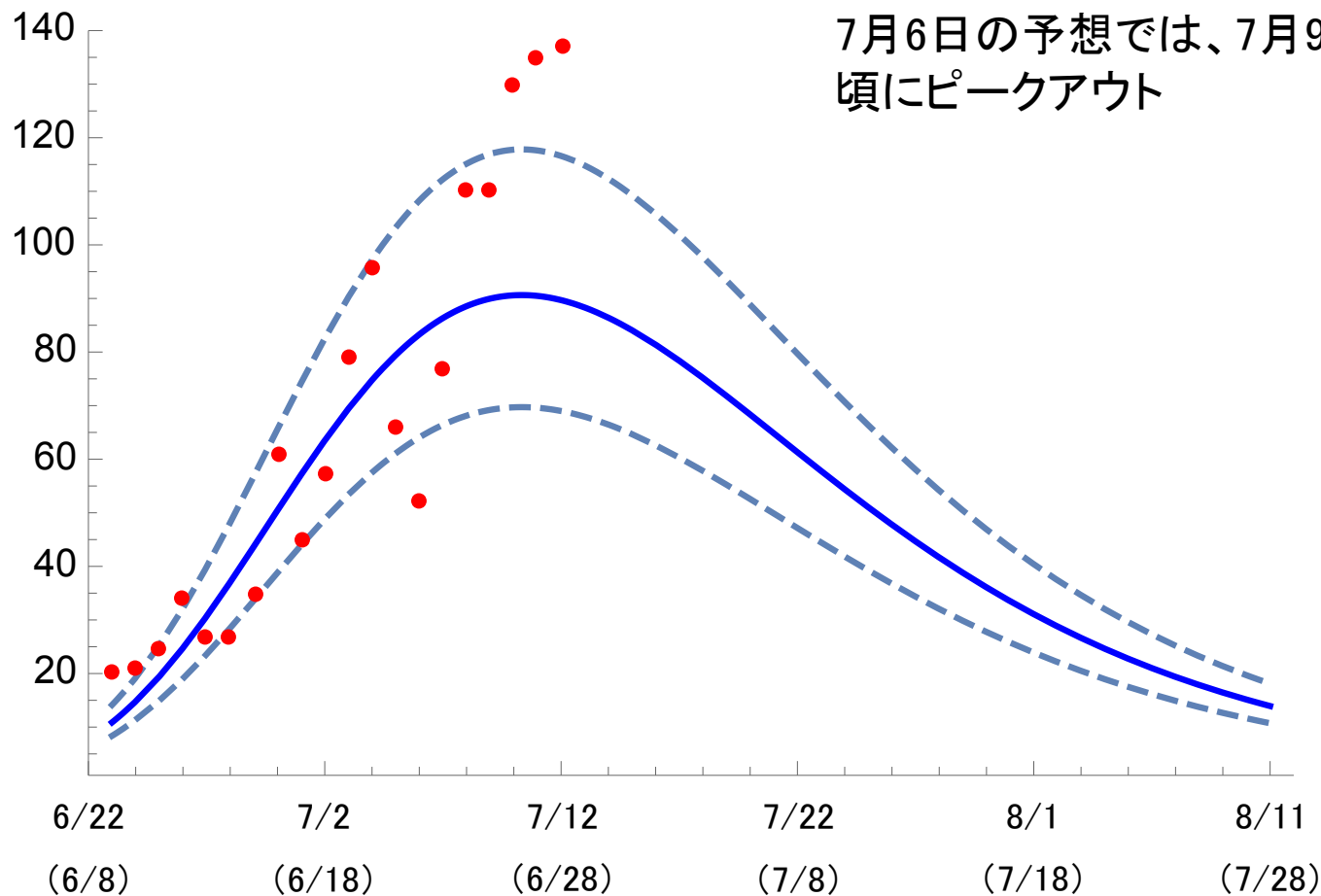
# 8府県の累計感染者数の推移予測

累計感染者



# 8府県の新規感染者数の推移予測

新規感染者

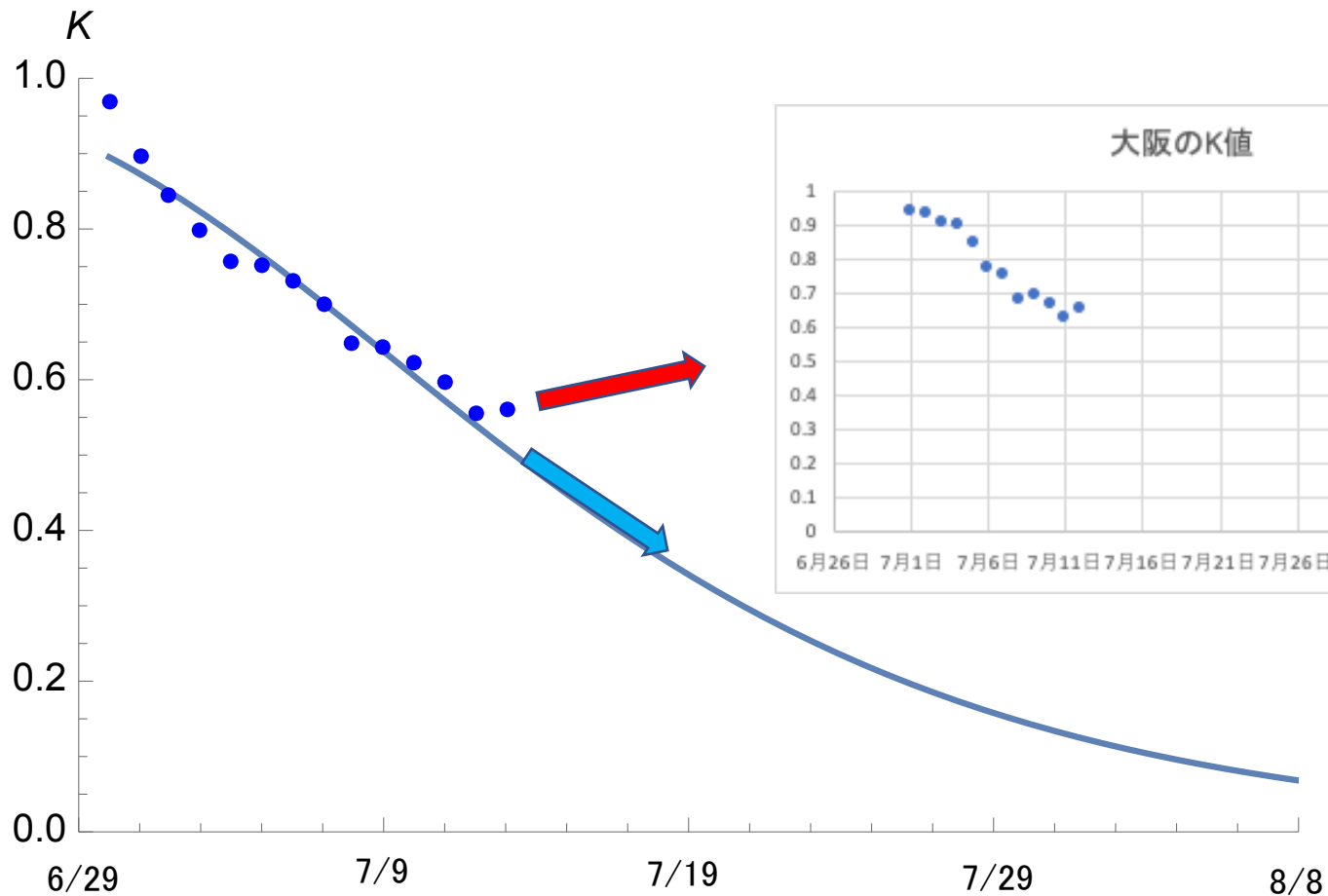


日付	東京
6月22日	29
6月23日	31
6月24日	55
6月25日	48
6月26日	54
6月27日	57
6月28日	60
6月29日	58
6月30日	54
7月1日	67

(推定感染日)



# 8府県のK値の推移予測



# まとめ

- COVID-19の感染拡大状況の新指標 $K$ は地域や施策の違いによらず二重指数関数に沿って減衰する.
- 新指標 $K$ 値の傾き $K'$ から減衰定数 $k$ が求まる.
- 殆ど全ての国・地域で程度の差はあれ、自然減の傾向がある.
- 従って $K$ 値のマクロ解析により以下のことが可能になる.
  - 感染者数推移の予測
  - 感染再拡大の兆候の検知
  - 感染拡大防止や収束促進のための施策の評価

# まとめ

- 日本におけるCOVID-19感染拡大
  - 第1波および第2波では、自然減の傾向が強く欧米のような感染爆発は起きなかった。
  - クラスタ対策班によるターゲット戦略は効果的
  - 3月末からの感染拡大の原因は欧米からの感染者の流入であろう。
  - 第2波の収束スピードは一定で緊急事態宣言の効果は限定的
  - 今回の感染拡大(第3波)は東京から全国に広がったと思われる。全国同時の感染拡大であれば、波の高さは第2波の1/3程度(東京の状況は、集団検査の影響等でよく分からないが…)
  - 第3波の大阪での規模の把握のためには、今週の感染者数推移を注視する必要がある。

*“It doesn't matter how beautiful your theory is, it doesn't matter how smart you are. If it doesn't agree with experiment, it's wrong. In that simple statement is the key to science.”*

*Richard Feynman*