

状態空間モデルを用いたCOVID-19の実効再生産数の推定

小山 慎介 モデリング研究系 准教授

研究概要

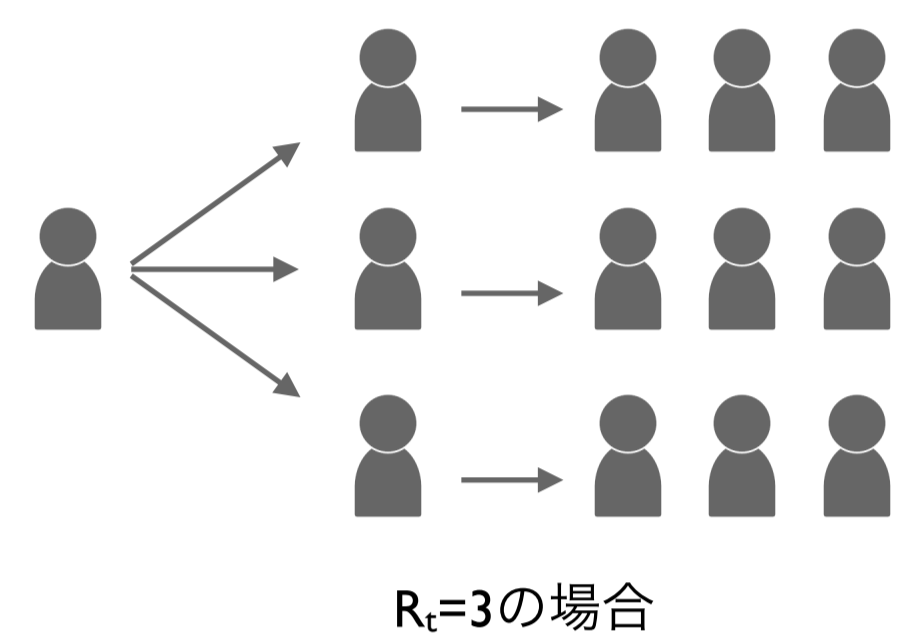
新型コロナウイルス感染症(coronavirus disease 2019; COVID-19)が2019年12月に中国武漢で初めて報告されてから2020年10月現在3500万人以上が感染し、死亡者数は100万人を超えている。これからもCOVID-19の流行が世界中で続くことが予想され、社会経済にも大きな影響を及ぼしている。本研究では、状態空間モデルを用いて新規感染者数（検査陽性者数）データから実効再生産数を推定する方法を提案する。

実効再生産数 R_t

“すでに感染が広がっている状況において、1人の感染者が平均何人に感染させるか”を示す指標

$R_t > 1$: 感染拡大

$R_t < 1$: 感染収束



実施した感染症対策などの効果の評価や、感染状況の未来の動向を予測するために用いられる

モデリング

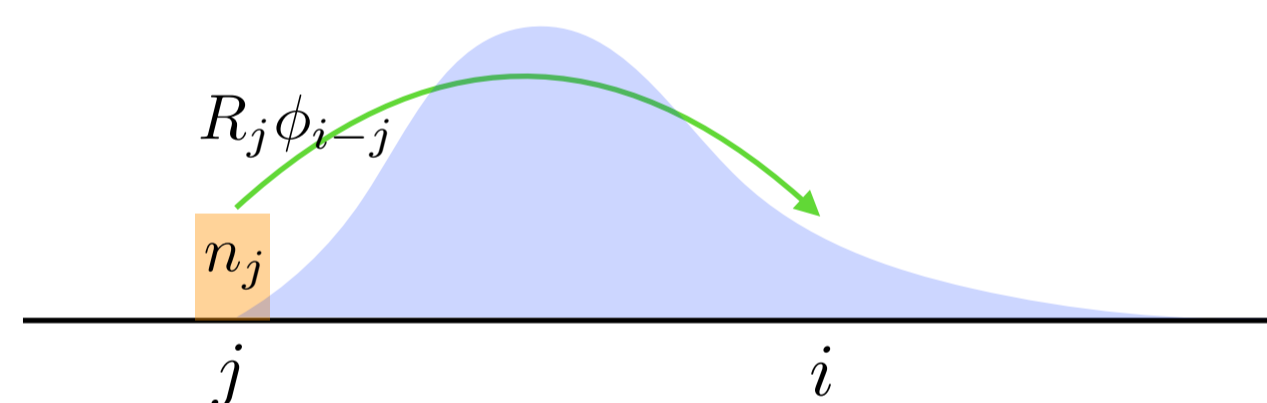
新規感染者数の頻度

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^{i-1} n_j R_j \phi_{i-j}$$

n_j : j日目の検査陽性者数

R_j : j日目の実効再生産数

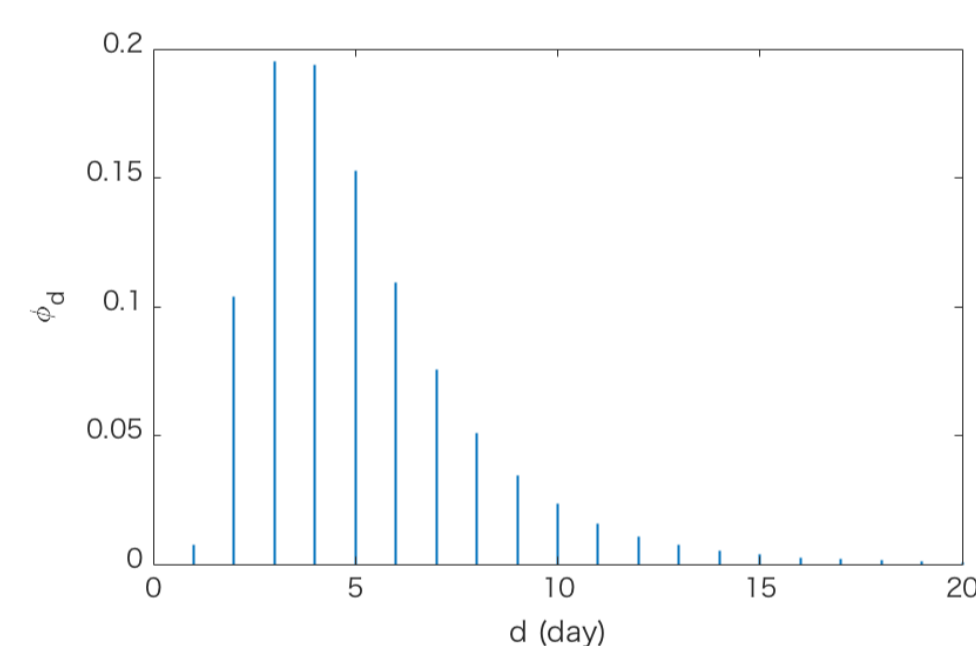
ϕ_{i-j} : 発症間隔(serial interval) 分布 (発症→発症の間隔)



発症間隔分布

平均4.7日, 標準偏差2.9日の対数正規分布

H. Nishiura, N. M. Linton, A. R. Akhmetzhanov, Serial interval of novel coronavirus (2019-nCoV) infections. medRxiv2020.02.03.20019497



新規感染者数の分布

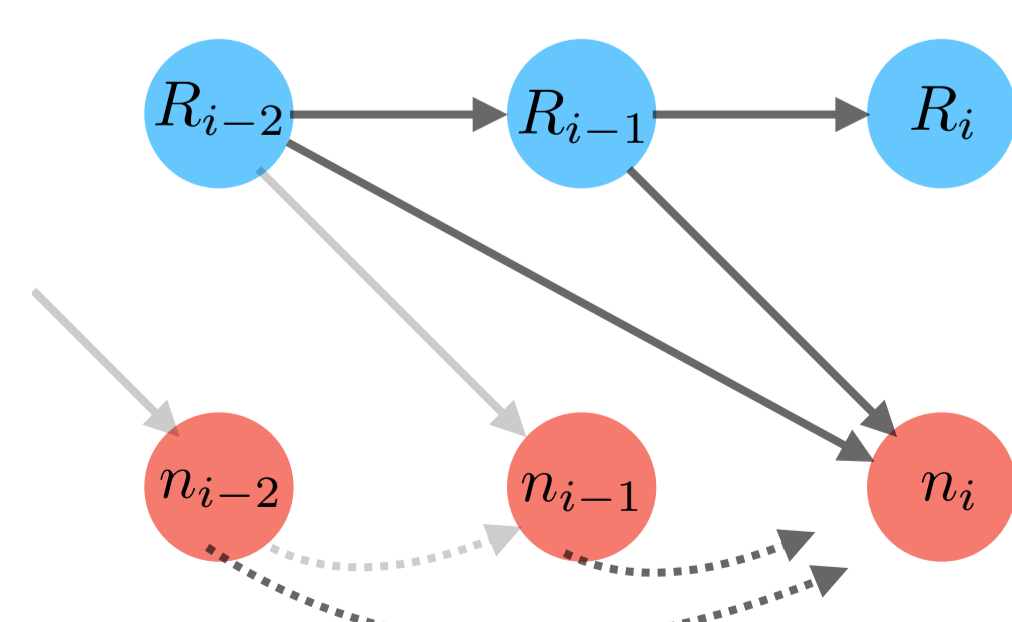
負の二項分布(negative binomial)

$$n_i \sim NB(\lambda_i, \rho) \quad (\rho > 0)$$

$$E(n_i) = \lambda_i, \quad \text{Var}(n_i) = (1 + \rho)\lambda_i$$

実効再生産数に対する状態モデル

$$R_i = R_{i-1} + \xi_i, \quad \xi_i \sim \text{Cauchy}(0, \gamma)$$

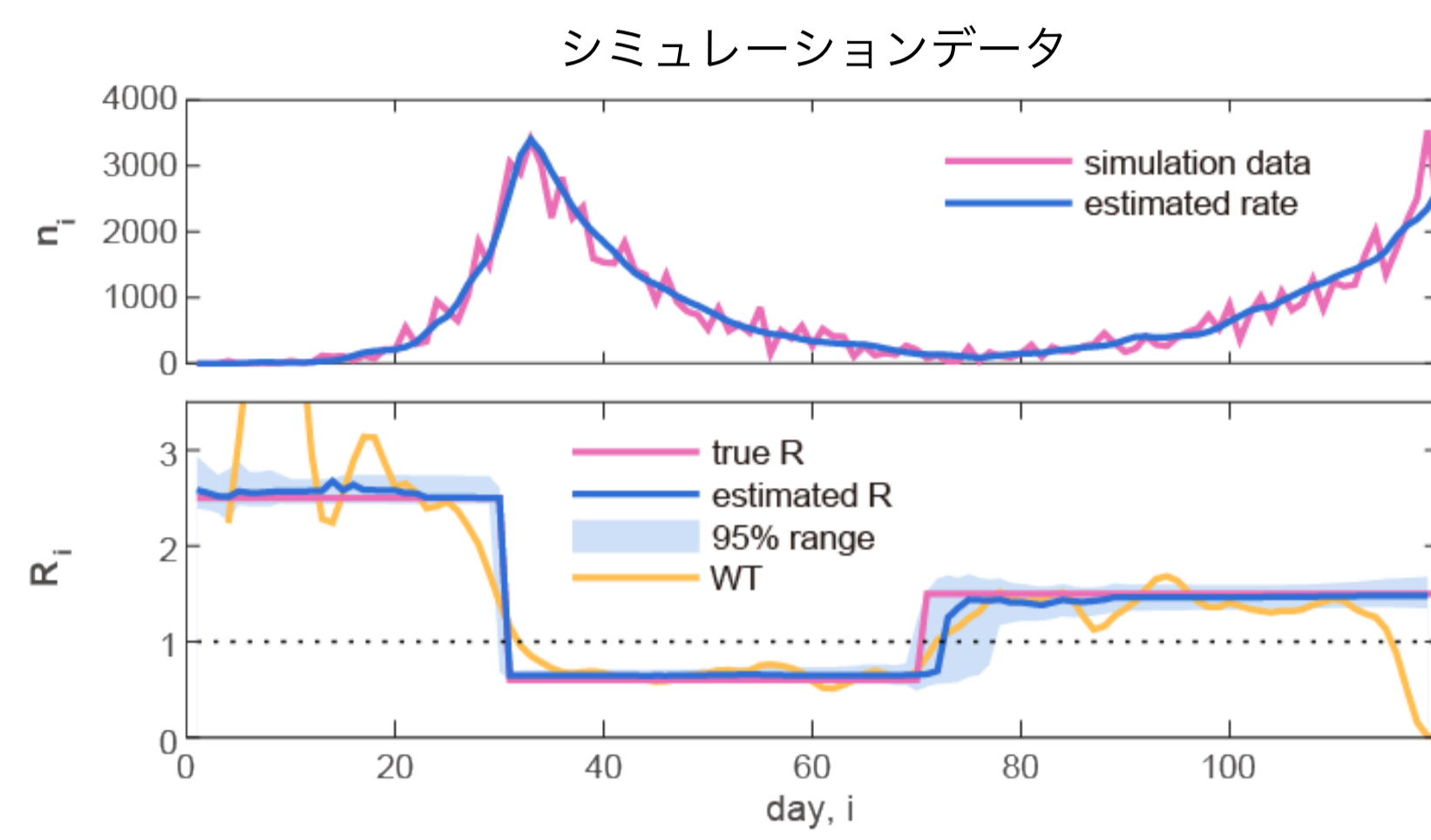


ベイズ推定

データ $\{n_1, \dots, n_T\}$ が与えられた下での実効再生産数 R_i の事後分布

$$p(R_i | n_1, \dots, n_T) \quad (i = 1, \dots, T)$$

を逐次モンテカルロ法 (粒子数10⁶個) で計算



提案手法は

- 実効再生産数の変化点を検出する
- ノイズに対して頑健

(*) WT: Wallinga-Teunis法
J. Wallinga and P. Teunis. Am J Epidemiol 160: 509-516 (2004)

データ解析

解析するデータ

各国の日々の新規感染者 (検査陽性者) データ

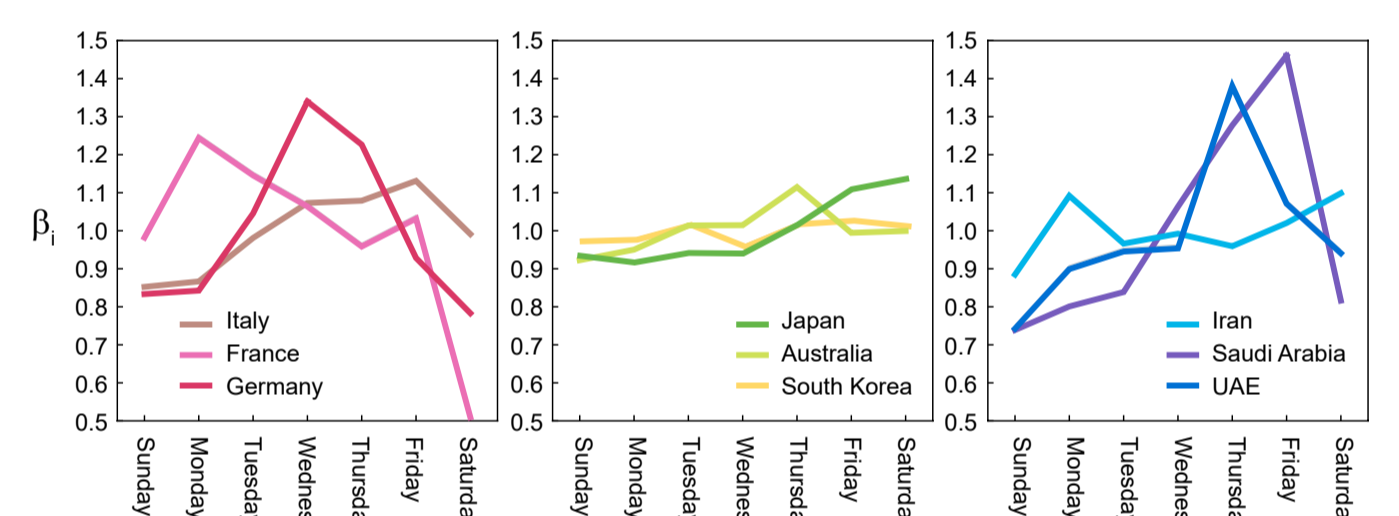
Our World in Data “Coronavirus Source Data” (<https://ourworldindata.org/coronavirus-source-data>) から入手

データの前処理

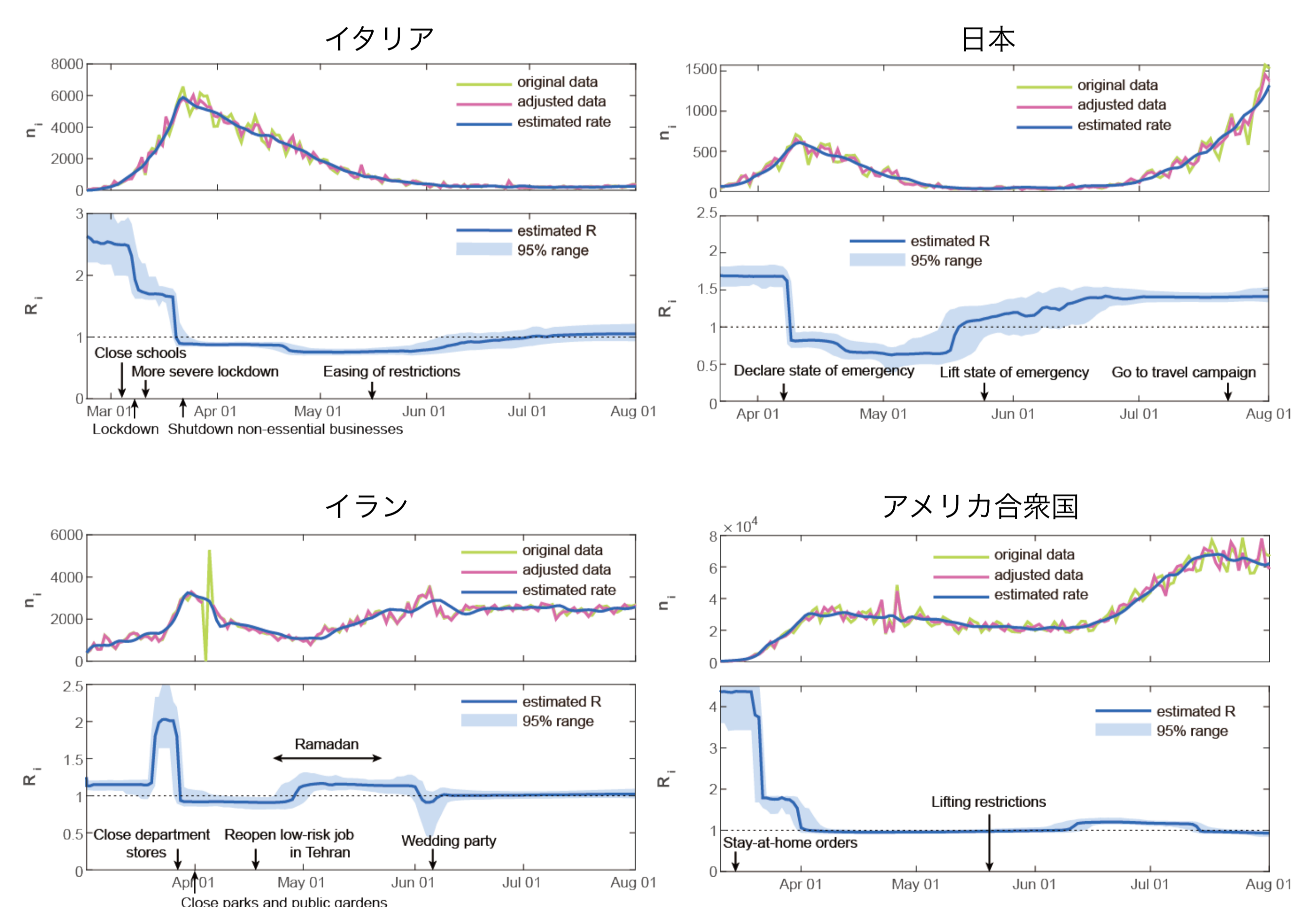
曜日毎の感染者の相対頻度:

$$\frac{1}{7} \sum_{\text{Saturday}}^{\text{Sunday}} \beta_i = 1$$

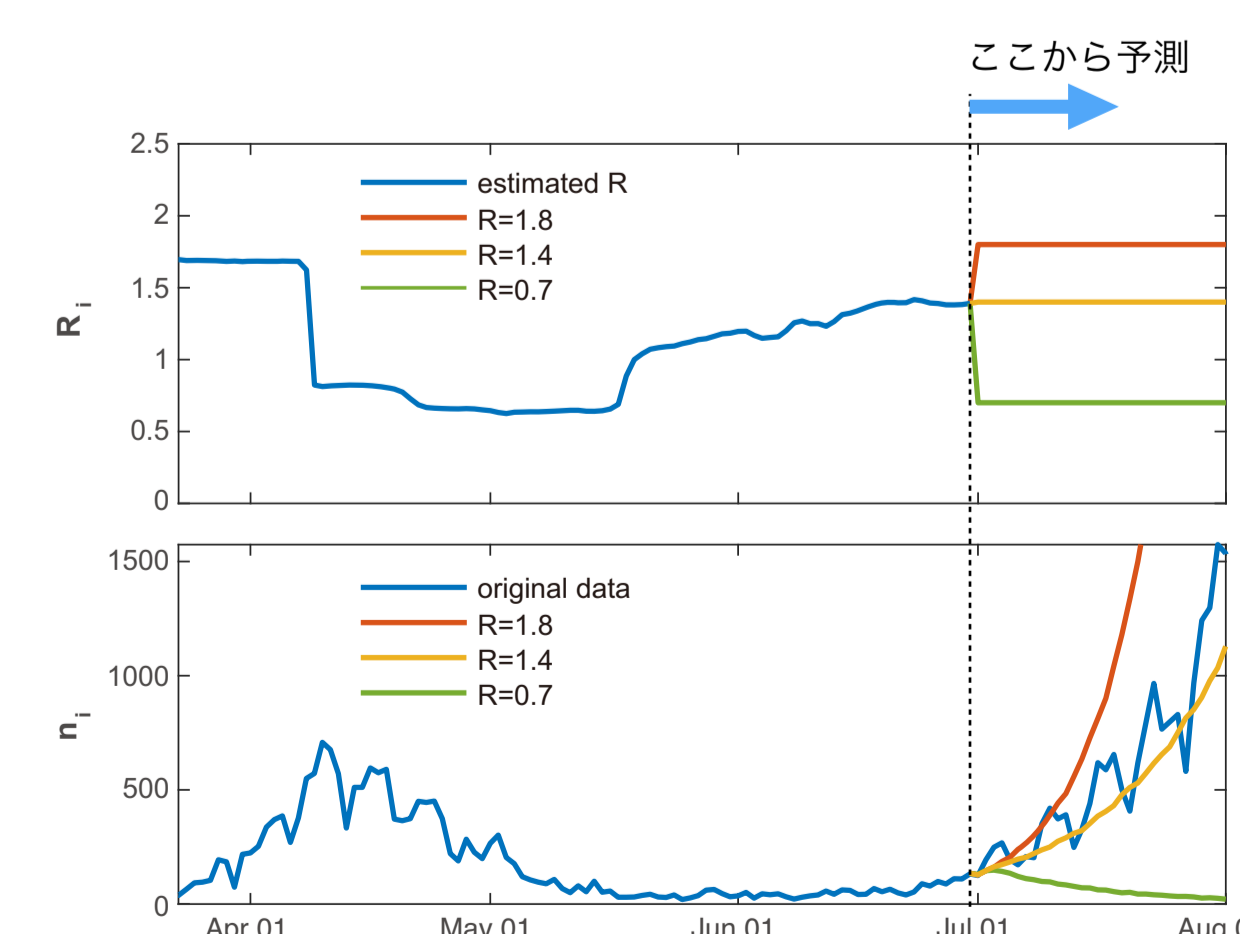
データの補正: $v_i = n_i / \beta_i$



各国の推定実効再生産数



新規感染者数の予測



まとめ

- 提案手法は実効再生産数の変化点を検出する
- 推定した実効再生産数の変化点は、社会的イベント (政策等) に概ね対応している

参考文献

S. Koyama, T. Horie and S. Shinomoto. Estimating the time-varying reproduction number of COVID-19 with a state-space method. medRxiv:2020.07.09.20150219.