

---

# 世代間異質性をパラメター調整で考慮すること

2021年8月3日

藤井大輔（東京大学）・長沢賢一（U.OF  
WARWICK）・仲田泰祐（東京大学）

# 背景

- 藤井・仲田分析では世代間異質性のないモデルを利用
  - データ制約が理由
    - 年代別の重症患者数・入院患者数・死亡者数が毎週公開されない
    - 年代別の経済活動指標、年代別の人流データは存在しない
- が、コロナ感染を分析する上で世代間異質性はとても重要
  - ワクチン接種が年代別に違うペースで進んでいる時に特に重要
- 現実的な解決策として、藤井・仲田分析では世代間異質性をパラメター調整によって考慮。この資料ではその調整の中身を解説。

# 分析

## 3つのモデルを比較

- 世代間異質性を明示的に考慮したモデル (Multi-group SIRモデル)
- 世代間異質性を明示的に考慮していないモデル (Single-group SIRモデル)
  - パラメーター調整なしのモデル (Unadjusted/naive single-group SIRモデル)
  - パラメーター調整を通じて世代間異質性を考慮したモデル (Adjusted single-group SIRモデル)
- 以下、MG-SIR, SG-SIR, Naive SG-SIR, Adjusted SG-SIRモデル

# 結果

- 世代間異質性を考慮しない場合（Naive SG-SIRモデル）
  - Multi-group SIRモデルとの違い（最大値）
    - 重症患者数：約800人、新規感染者数：約400人
    - 高齢者優先ワクチン接種により世代間の感染状況が変化するため
- 世代間異質性をパラメーター調整によって考慮した場合（Adjusted SG-SIRモデル）
  - Multi-group SIRモデルとの違い（最大値）
    - 重症患者数：約80人、新規感染者数：約100人
  - 精緻に調整すれば、MG-SIRモデルのAggregate Dynamicsを完全に再現できる。

# 重要ポイント

- 世代間異質性は非常に重要
- だが、世代間異質性をモデルに明示的に考慮するか否かは全体の見通しを立てる際にはそれほど重要ではない
  - 現実的なデータ制約を考慮すると、パラメータ調整で考慮することが一つの解決策
  - もちろん、全体 (aggregate) だけでなく部分 (disaggregate) の見通しを立てるならば、明示的考慮は必要
- リアルタイムの政策分析では、現実的な制約を考えてモデルを構築することが重要
  - 政策のためのモデル分析と純粋な学問的研究は、全く同じではない
    - 参考資料：「経済モデルに基づく政策分析・提言」、「シンプルなモデルに基づく政策分析・提言」
      - [https://covid19outputjapan.github.io/JP/files/FujiiNakata\\_Slides\\_20210307b.pdf](https://covid19outputjapan.github.io/JP/files/FujiiNakata_Slides_20210307b.pdf), [https://covid19outputjapan.github.io/JP/files/FujiiNakata\\_Slides\\_20210307c.pdf](https://covid19outputjapan.github.io/JP/files/FujiiNakata_Slides_20210307c.pdf)

# 使用しているモデル

## ■ 疫学マクロモデル

- Fujii and Nakata (2021) : Covid-19 and Output in Japan
  - <https://covid19outputjapan.github.io/JP/>, <https://covid19outputjapan.github.io/JP/resources.html>
- シンプルな疫学モデルにシンプルな形で経済活動を追加
  - 参考資料：「経済モデルに基づく政策分析・提言」、「シンプルなモデルに基づく政策分析・提言」
- 「今後、経済活動がこのように推移すると、このように感染者数・重症患者数は推移する」という計算
  - 疫学モデルでは「今後、実効再生産数がこのように推移すると、このように感染者数・重症患者数は推移する」という計算
- 過去のデータから「人流と感染の関係」・「人流と経済活動の関係」を推定

## ■ 分析の特徴

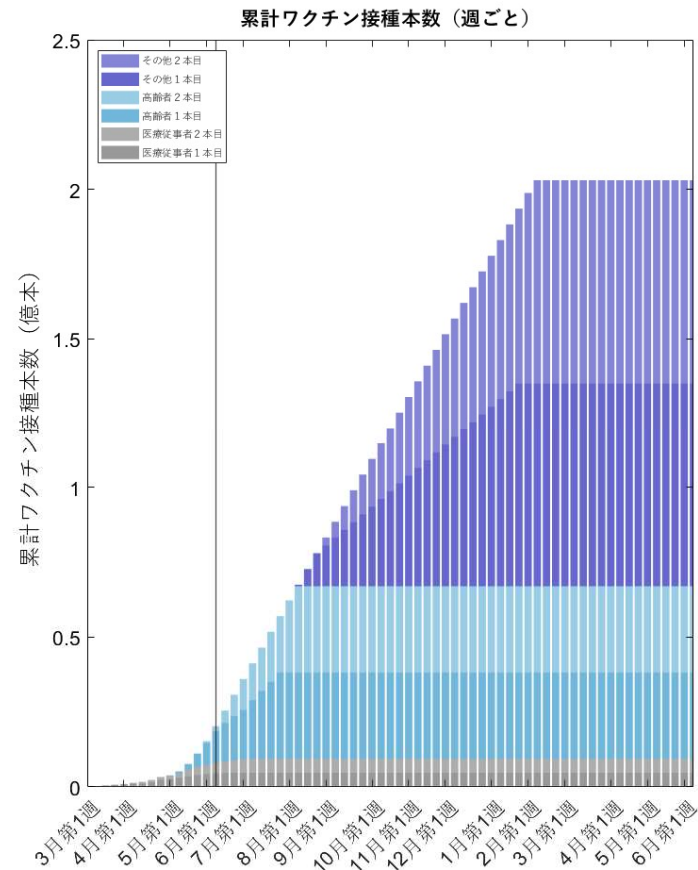
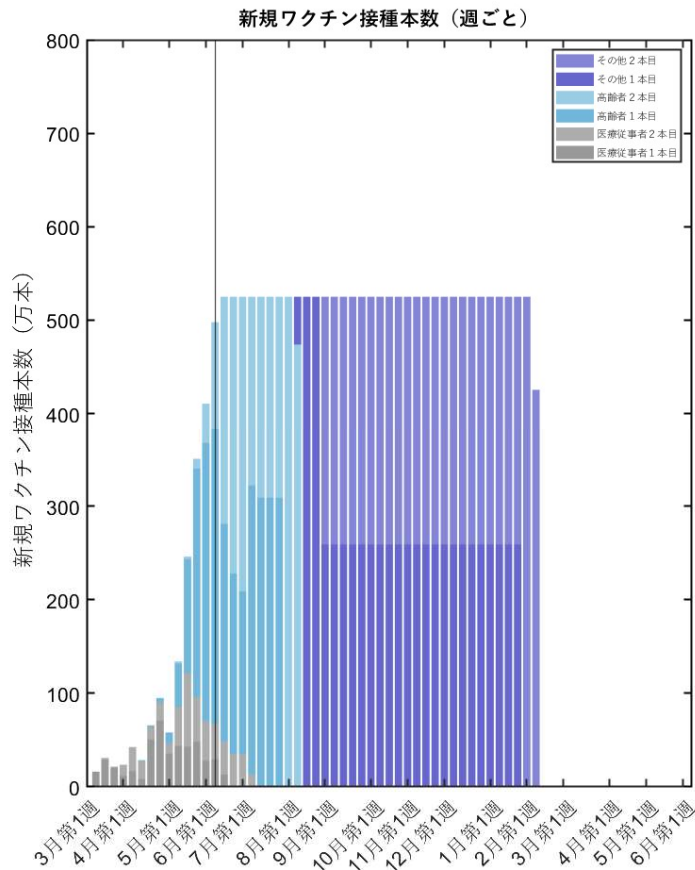
- **「コロナ感染と経済活動」を同時に考慮**
- **中・長期の見通しを提示**
- これまでと今後のイギリス型・インド型変異株割合の推移を考慮
- これまでと今後のワクチン接種の推移を考慮：高齢者ワクチン接種により、全体の重症化率・致死率が減少していくことを明示的に考慮

# 設定：東京都（6月中旬時点）

- 今後の経済活動の推移
  - 緊急事態宣言解除後に12週間かけて経済活動・人流を昨年2月のレベル（コロナ危機直前のレベル）に促進と仮定
- 過去4か月平均の「経済活動レベル調整後の感染率」を見通しに利用
- 緊急事態宣言再発令タイミング
  - 6月上旬に1000人。高齢者ワクチン接種が進み全体重症化率が減少するにつれて、再発令タイミングが徐々に1500人に上昇すると仮定
- ワクチン接種のペース
  - **基本見通し：1日75万本（全国換算）**。接種希望者8割・2本目は1本目の3週間後に接種
- ワクチンの効果
  - ファイザーを仮定：感染率：1本目62.5%、2本目89.5%減少、重症化率・致死率：1本目62.5%、2本目89.5%減少。接種効果は接種2週間後に現れると仮定
- 季節性は考慮せず
- アルファ型変異株
  - 感染力：従来株の1.3倍、重症化率：従来株の1.4倍、致死率：従来株の1.4倍
- **デルタ型変異株**
  - 感染力：アルファ株の1.2倍、重症化率：アルファ株と同じ、致死率：アルファ株と同じ
  - **デルタ型変異株割合の今後の推移：6月末に5割・7月末に9割**

# ワクチン仮定（6月中旬時点）

1日75万本・週525万本





# SINGLE-GROUP SIRモデル

$$N_t = \beta_t S_t I_t,$$

$$I_{t+1} = I_t + N_t - \gamma I_t - I_t \delta_t,$$

$$H_{t+1} = H_t + \delta_t^{ICU} I_t - \gamma^{ICU} H_t - I_t \delta_t$$

注：6月中旬使用していたモデルですが、非常に汚い&Unorthodoxなコンパートメントです。現在（7月20日に）使っているモデルは改善されています。ただ、「どのようなコンパートメントをしてるか」はこの資料のMain Pointsには影響がありません。

# MULTI-GROUP SIRモデル

$$N_{jt} = \beta_t S_{jt} \sum_{k=1}^N \rho_{jk} I_{kt}$$

$$I_{jt+1} = I_{jt} + N_{jt} - \gamma I_{jt} - \delta_{jt} I_{jt}$$

$$H_{jt+1} = H_{jt} + \delta_{jt}^{ICU} N_{jt} - \gamma^{ICU} H_{jt} - \delta_{jt} I_{jt}$$

注：前頁の中を参照して下さい。

# AGGREGATION

- Multi-Group SIRモデルをAggregateすると...

$$N_t = \beta_t S_t I_t \omega_{\beta,t}, \quad \omega_{\beta,t} = \sum_{j,k=1}^N \rho_{jk} \frac{I_{kt}}{I_t} \frac{S_{jt}}{S_t}$$

$$I_{t+1} = I_t + N_t - \gamma I_t - I_t \delta_t \omega_{\delta,t}, \quad \omega_{\delta,t} = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{\delta_{jt} I_{jt}}{I_t}}{\delta_t}$$

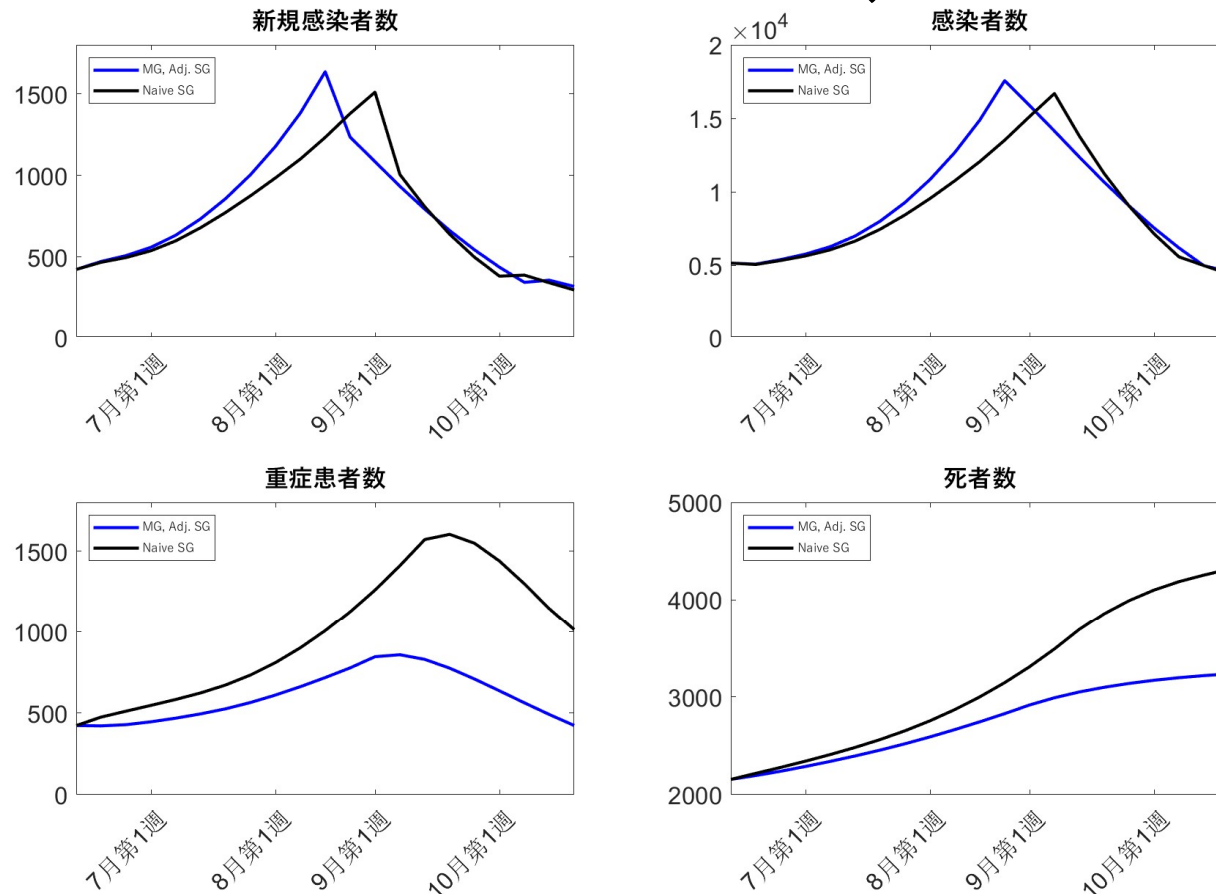
$$H_{t+1} = H_t + \delta_t^{ICU} \omega_{ICU,t} N_t - \gamma^{ICU} H_t - I_t \delta_t \omega_{\delta,t}, \quad \omega_{ICU,t} = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{\delta_{jt} N_{jt}}{N_t}}{\delta_t^{ICU}}$$

注：前頁の中を参照して下さい。

# AGGREGATIONの含意

- Time-varying wedge,  $\omega_{\beta,t}, \omega_{\delta,t}, \omega_{ICU,t}$ , を適切に設定すれば、SG-SIRモデルでMG-SIRモデルのAggregate Dynamicsを完全に再現できる
  - Time-varying wedge,  $\omega_{\beta,t}, \omega_{\delta,t}, \omega_{ICU,t}$  は世代間の感染者比率に依存
  - “Adjusted SIRモデル”
- 高齢者優先ワクチン接種等で世代間感染者比率が変化する際に、調整がなされてないとNaive SG-SIRモデルとMG-SIRモデルに乖離が生じる
  - 高齢者がワクチンを接種しても若者の間で感染が拡大
    - Naive SG-SIRモデルだと楽観的な新規感染者数予測
  - 高齢者の重傷化率・致死率が低下
    - Naive SG-SIRモデルだと悲観的な重傷者数・死者数予測

# Naive SG-SIRモデル, MG-SIRモデル, Adjusted SG-SIRモデル



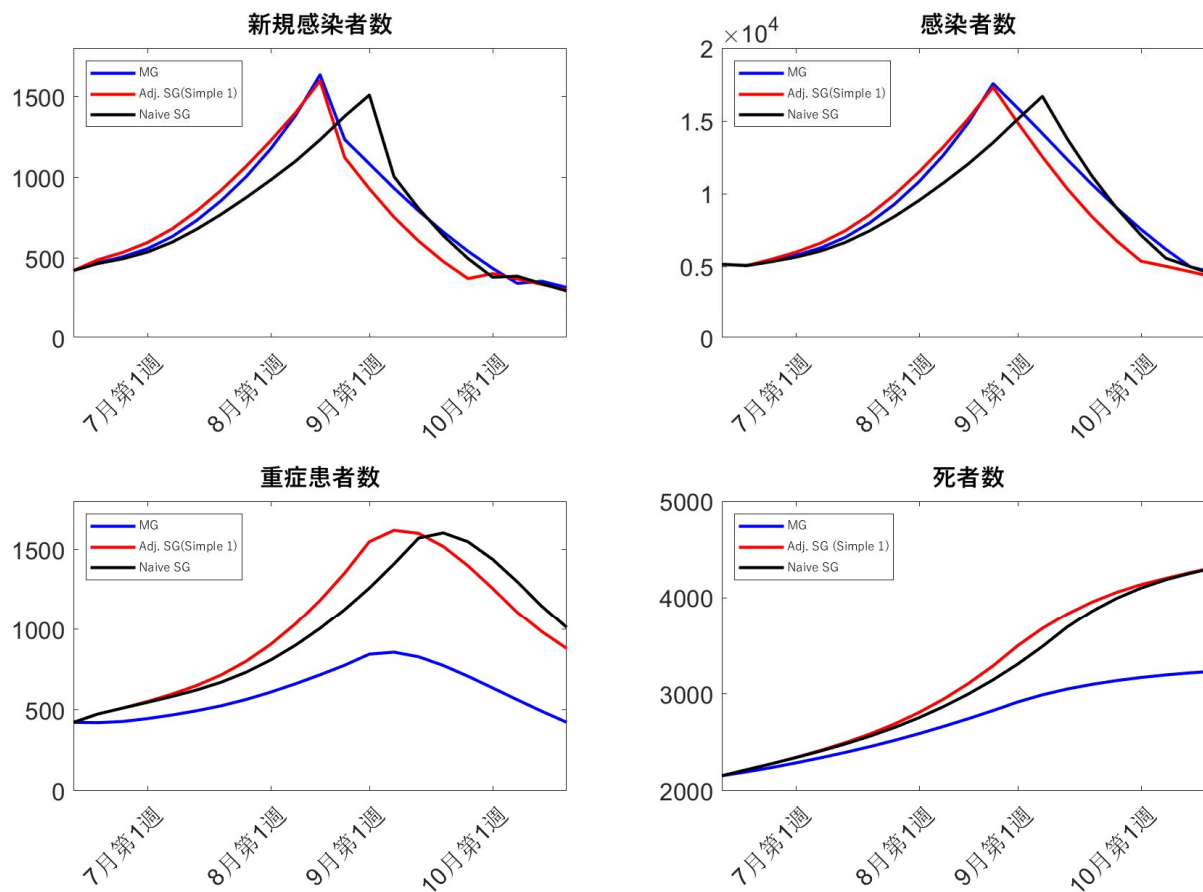
**ポイント 1 : Naive SG-SIRモデルは、MG-SIRモデルと比べて、感染者数の見通しが楽観的で、重症患者・死亡者数の見通しが悲観的。**

**ポイント 2 : が、適切なパラメータ調整をしたAdjusted SG-SIRモデルはMG-SIRモデルのAggregate Dynamicsを完全に再現**

# シンプルなパラメータ調整

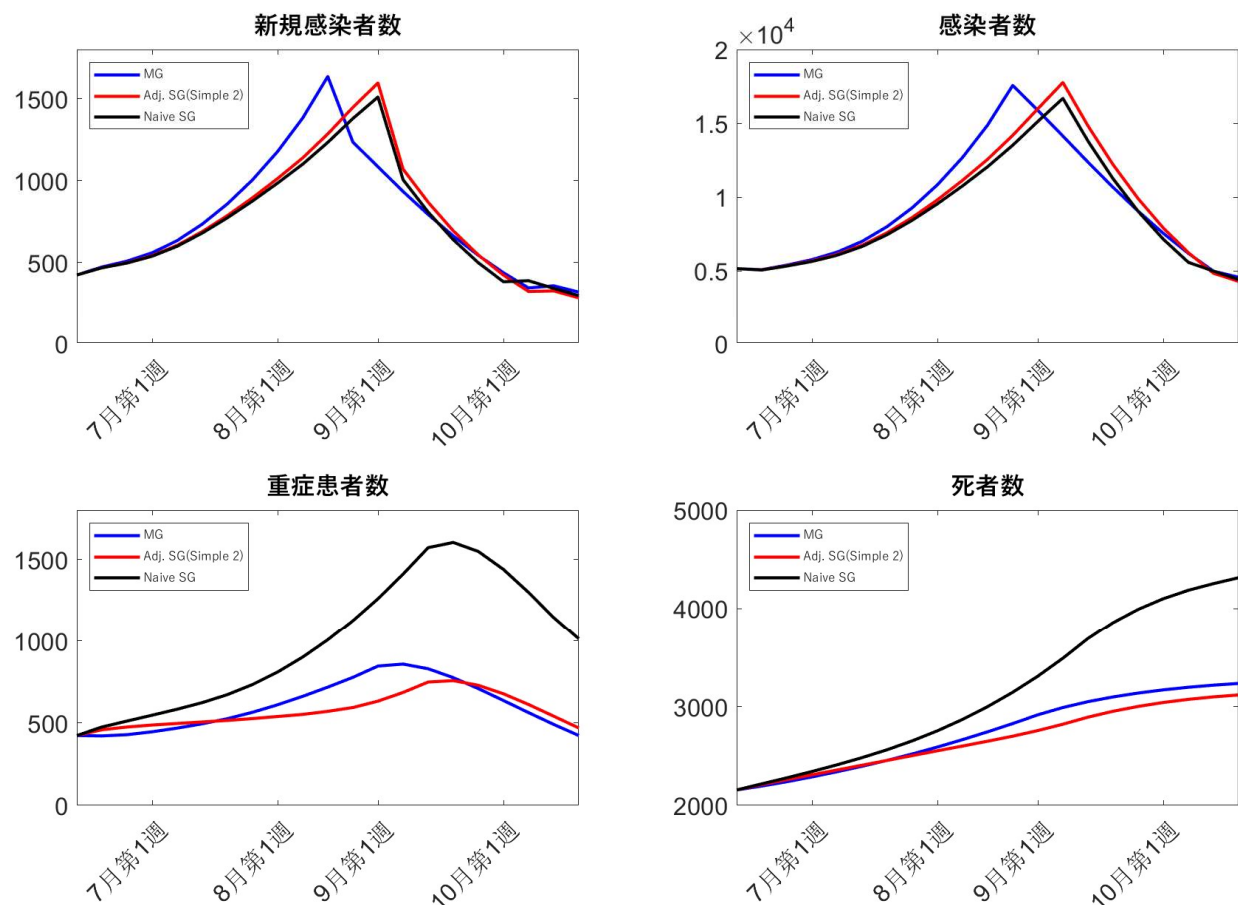
- MG-SIRモデルを回してTime-varying wedgeを正確に計算しなくても、シンプルなパラメータ調整をすることで、MG-SIRモデルの動学を近似することが可能
  - 具体的には
    - 今後の感染率パラメータに正のAR(1)ショックを与える
    - 今後のワクチン接種配分・ペースと連動して、今後の重傷化率・致死率を低下させる

# Adjusted SG-SIRモデル（シンプルな感染力調整）



**ポイント：今後の感染力のパスに正のショックを入れることで、SG-SIRモデルの感染者数見通しは、MG-SIRモデルに近づく**

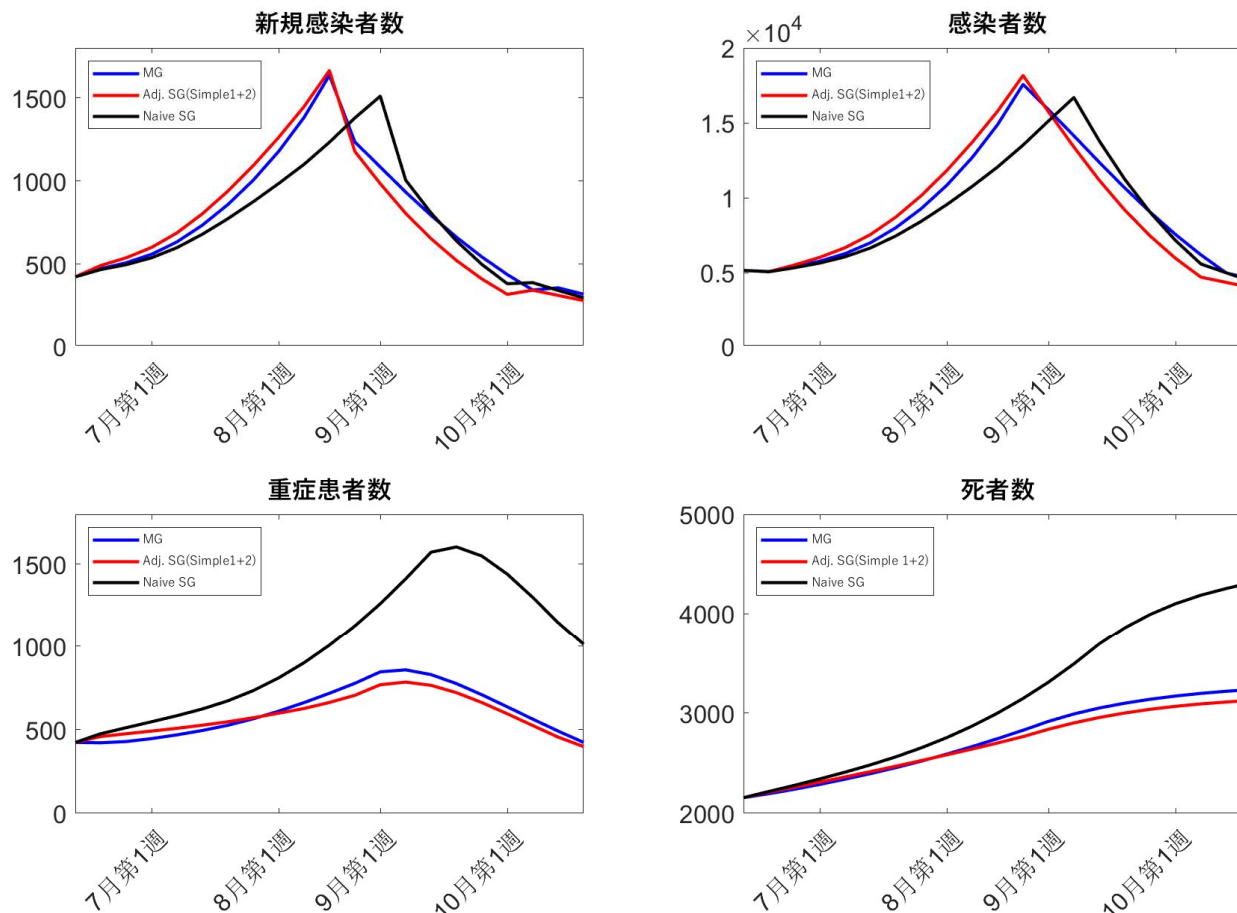
# Adjusted SG-SIRモデル（シンプルな重症化率・致死率調整）



**ポイント：ワクチン接種率に連動して今後の重傷化率・致死率を低下させることで、SG-SIRモデルの重症患者数・死亡者数見通しは、MG-SIRモデルに近づく**



# Adjusted SG-SIRモデル（シンプルな調整（両方））

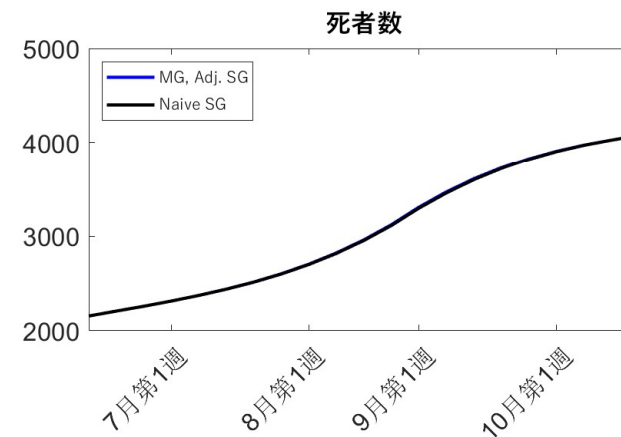
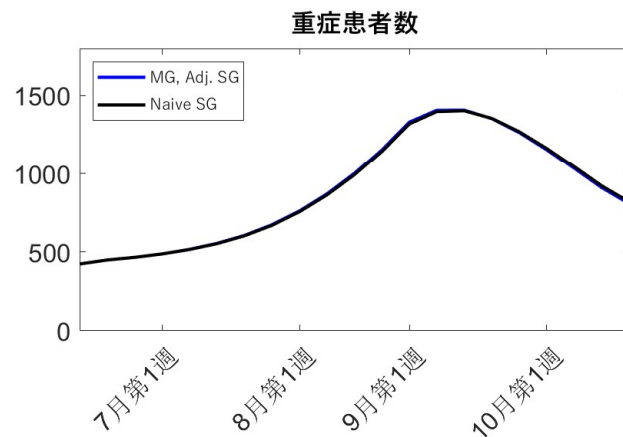
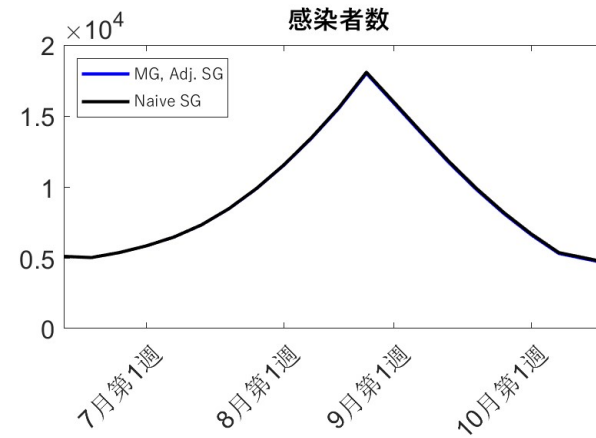
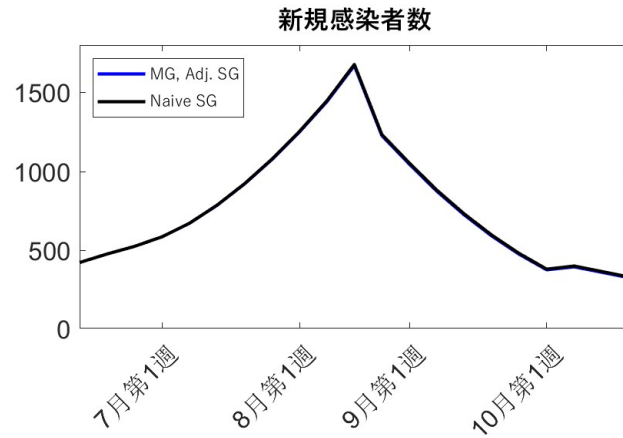


ポイント：Naive SG-SIRモデルと比べて、Adjusted SG-SIRモデルは（非常にシンプルなパラメータ調整でも）MG-SIRモデルに定量的にさほど変わらない

# 世代間異質性が重要でないケース

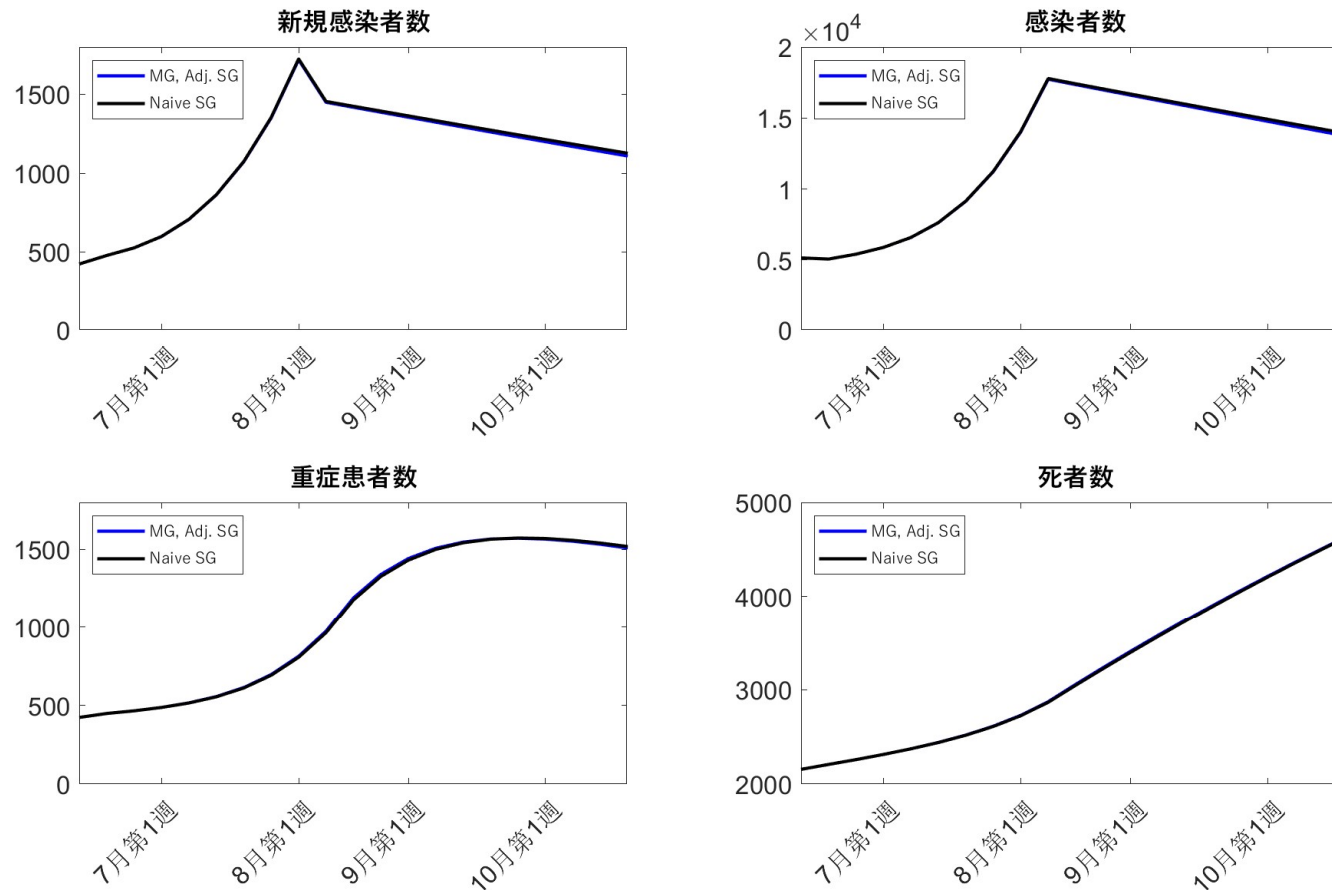
- ワクチン接種がない場合やワクチン接種が全ての世代で均等に行われる場合、Naive SG-SIRモデルとMG-SIRモデルにほとんど差が生じない

# 均等にワクチン接種が行われた場合



ワクチン接種が均等に行われた場合、各世代間の感染者比率はほとんど変化しない（感染者比19率のInitial valuesに依存する）

# ワクチン接種がない場合



ワクチン接種全くない場合、各世代間の感染者比率はほとんど変化しない（感染者比率のInitial 20 valuesに依存する）

# まとめ

- 世代間異質性を明示的に考慮するモデル（Multi-group SIRモデル）とそうでないモデル（Single-group SIRモデル）の違い
  - 世代間感染者の比率が変化する場合では見通しが異なってくる
  - 現在の状況では：新規感染者数予測が過度に楽観的に、重傷者・死者数予測が過度に悲観的に
- 世代間異質性をパラメータ調整を通じて考慮することで2つのモデルの見通しは近いものに
  - Adjusted SG-SIRモデル
- データの制約上、Multi-group SIR マクロモデルを毎週推定するのは不可能
  - 世代ごとの重症患者数、入院患者数・死亡者数がタイムリーに公開されない
  - 世代ごとの経済活動の指標が存在しない。世代別の人流データも存在しない（or 手に入らない）
  - **Adjusted SG-SIRモデルは一つの現実的な解決策**

- 毎週火曜日分析を更新

<https://Covid19OutputJapan.github.io/JP/>

- 質問・分析のリクエスト等

- [dfujii@e.u-tokyo.ac.jp](mailto:dfujii@e.u-tokyo.ac.jp)
- [taisuke.nakata@e.u-tokyo.ac.jp](mailto:taisuke.nakata@e.u-tokyo.ac.jp)