

# COVID-19の死亡者数を 最小化する ワクチン接種方法の検討

PBL演習2班

一ノ瀬祐作 伊藤悠椰 松沢啓太 胡天嵩

アドバイザー教員

高安亮紀 遠藤靖典

**COVID-19**が全世界で感染拡大  
→多数の死者・経済被害が発生

日本では  
外出自粛要請・病床の確保・医療機器導入の支援  
水際対策の強化・検査体制の確保・相談窓口の設置  
企業への助成金 といった対策を実施

6月から本格的に  
**ワクチン接種開始**  
発症予防と重症化予防を期待



(タウンニュース)

## ワクチン接種の優先順位

- (1) 医療従事者等
- (2) **高齢者（65歳以上）**
- (3) 基礎疾患を有する者、高齢者施設等の従事者

○ワクチン量には限りがあること

○医療体制の確保

○死亡者や重傷者を減らすため

という観点から優先順位決定（厚生労働省）

※「ワクチンの効果として、人から人への感染の防止ではなく、  
**発症や重症化を防ぐことを期待**」

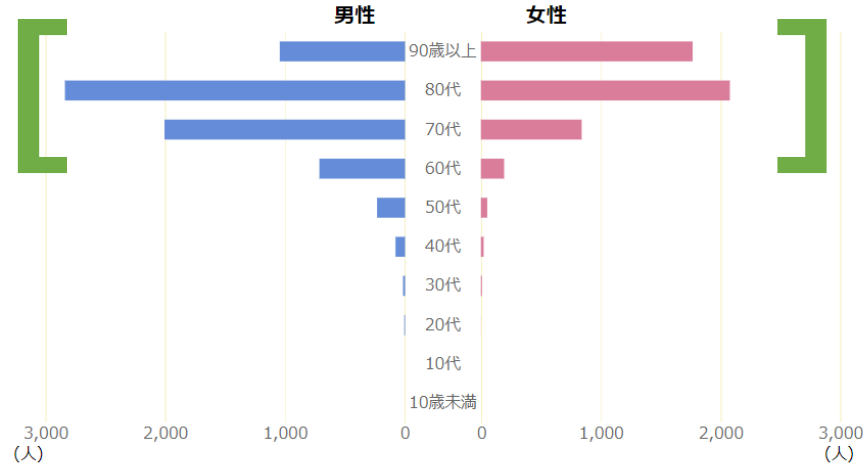
（令和3年2月9日 第24回新型コロナウイルス感染症対策分科会）

ワクチンの効果は**感染抑制ではなく症状緩和・死亡率低下**にある。

## COVID-19と年代（2021年6月時点）

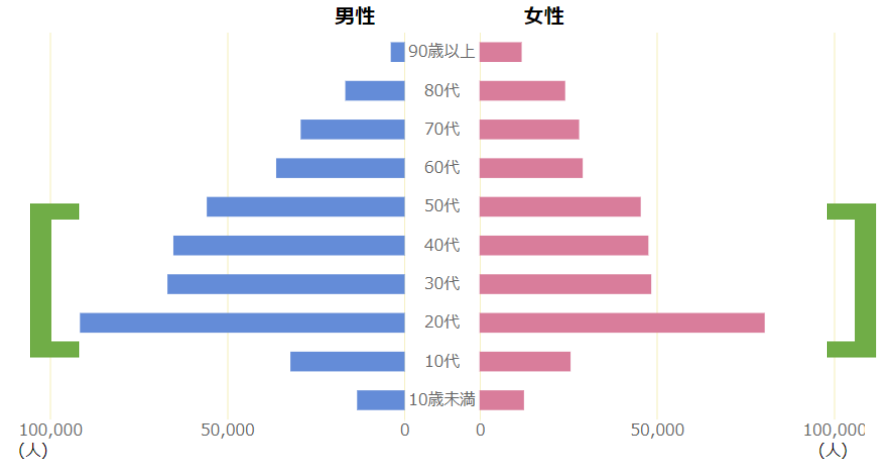
性別・年代別死亡者数（累積）

情報更新日(週次)：2021年06月22日



性別・年代別陽性者数（累積）

情報更新日(週次)：2021年06月22日



(厚生労働省)

死亡者数は高齢者に集中

陽性者数は20代が最も多く、30・40・50代と続き

若年層を中心に感染が広がる

→ **本当に高齢者優先が死亡者数を最も減少できるのだろうか？**

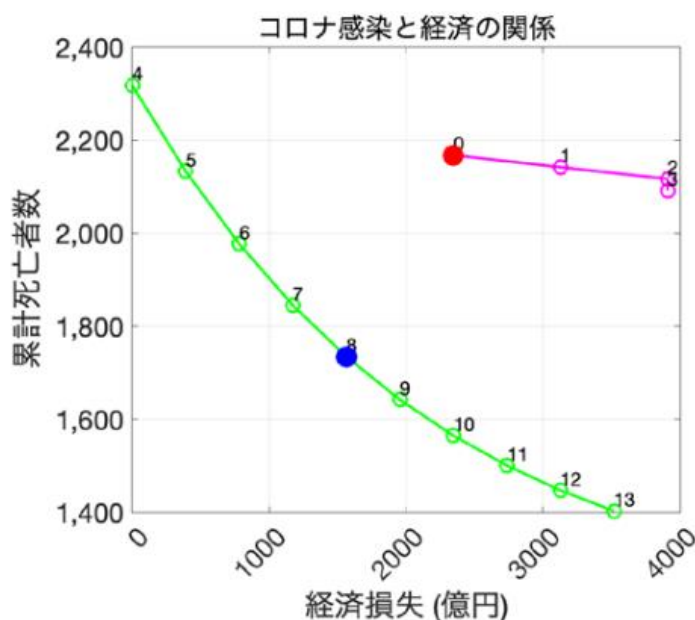
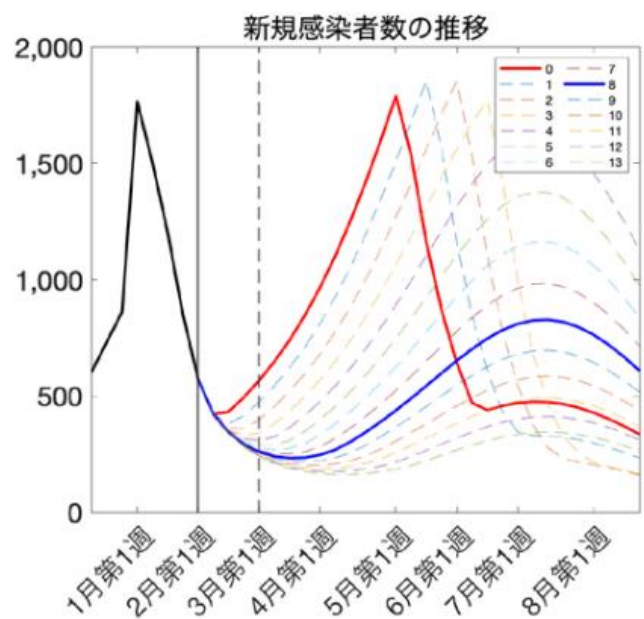
**様々なワクチン接種順ごとの効果を検証すべき**

# 問題意識と目的

## 問題意識

死亡者は主に高齢者、感染者は主に若年層  
ワクチン接種の効果検証の必要性

先行研究では規制緩和と感染推移・経済損失・死亡者数の関係をシミュレーションを用いて分析



(令和3年2月9日  
第24回新型  
コロナウイルス  
感染症対策分科会)

**接種優先順に着目したシミュレーションは分析されず**

## 目的

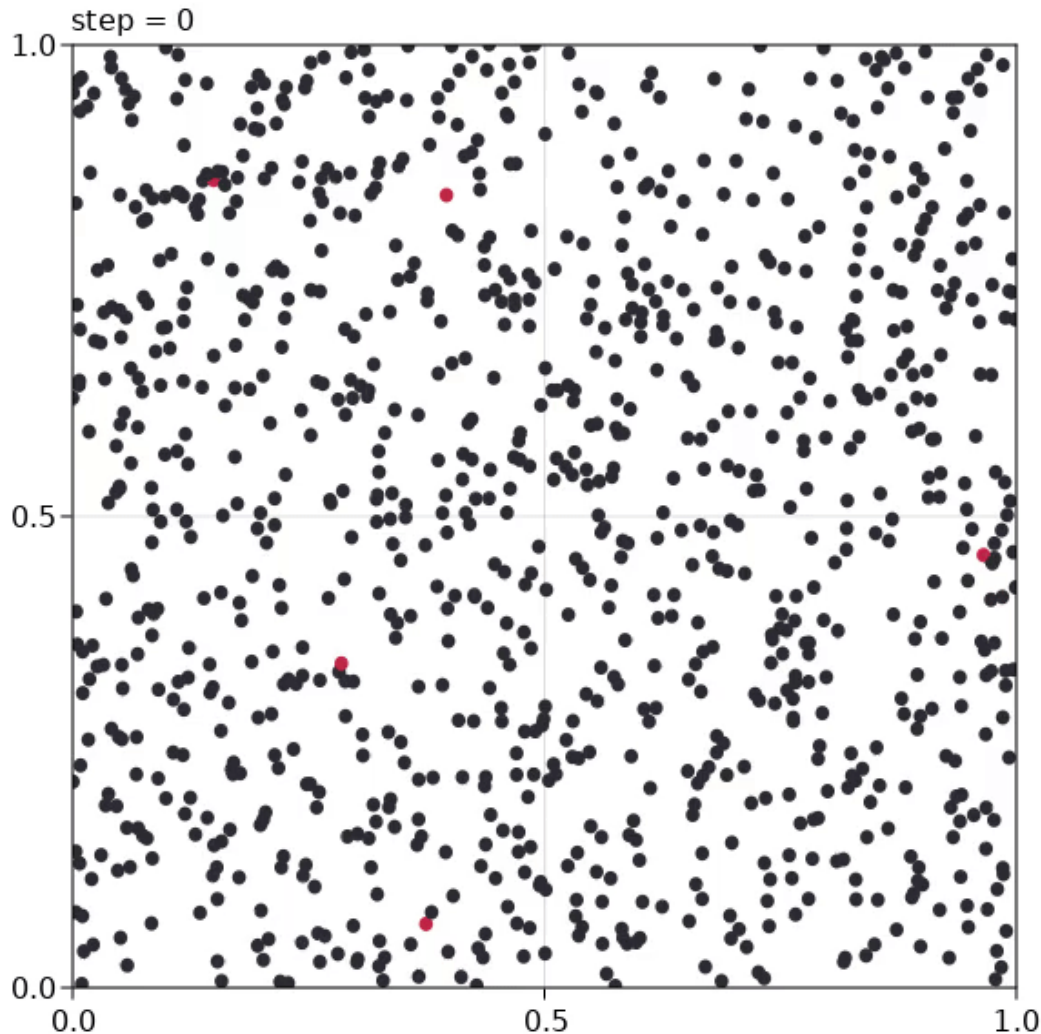
感染シミュレーションを用いた

**「COVID-19による死亡者数を最小化する」**  
ワクチン接種順を中心とした施策の検討

※今回の感染シミュレーションは

COVID-19感染による**死亡者数を基準**にして  
分析・考察を行った。

感染者数ピークの変動や経済損失などは分析対象としない



Julia言語上で実装

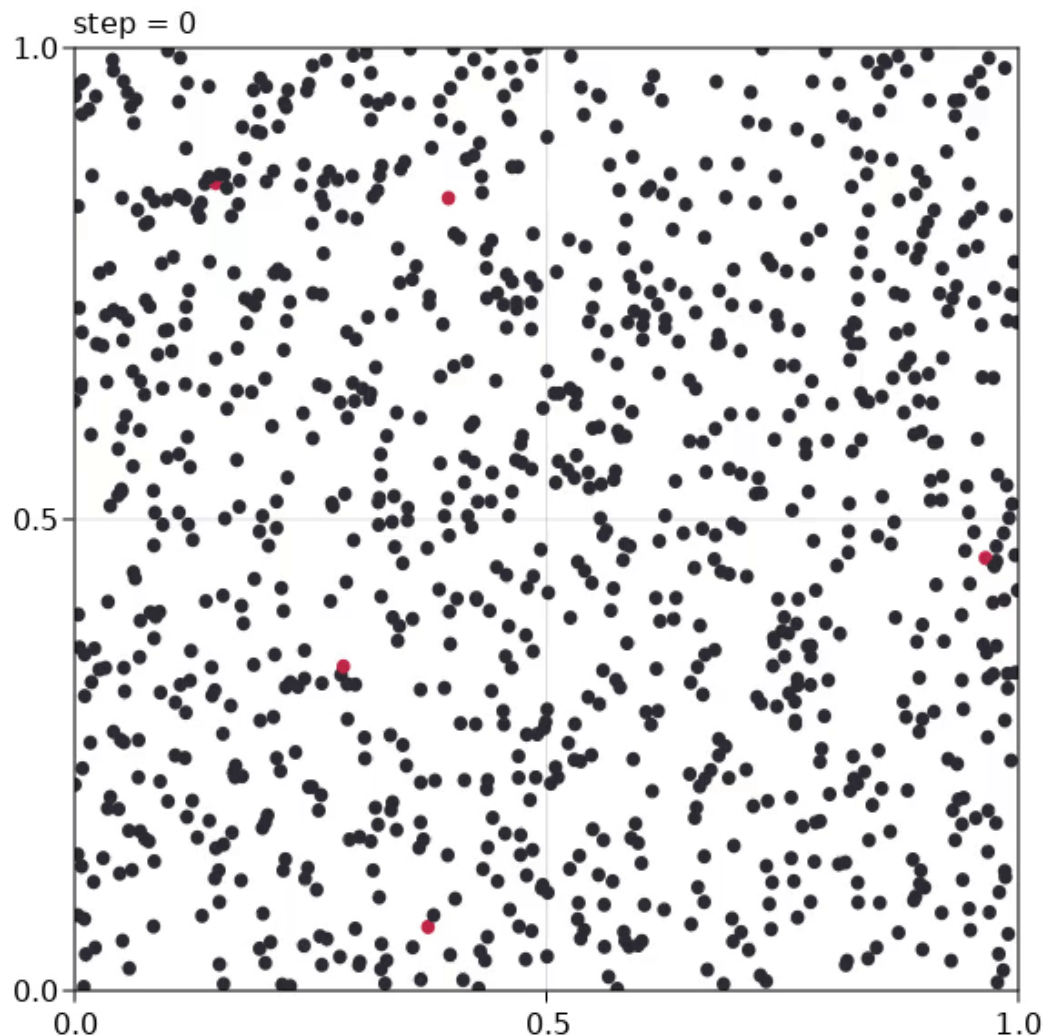
<https://julialang.org/>

主体の状態は  
**未感染者** (黒)  
**感染者** (赤)  
**回復者** (緑)

各主体は  
等速直線運動をする

各主体の位置座標が  
**重なった時に感染**

一定時間が経過したら  
**設定した死亡率により**  
回復するか  
**死亡するかを判定**



主体の総数は1000

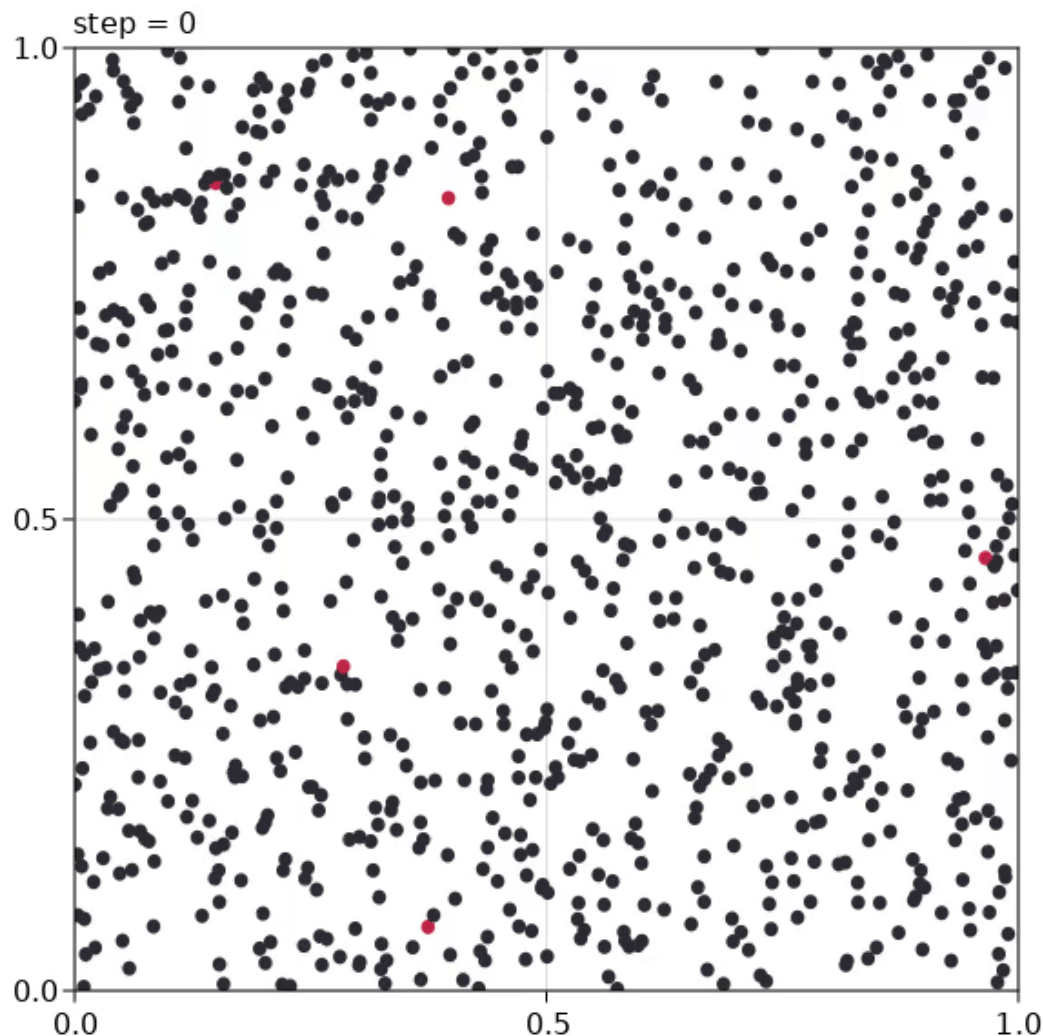
65歳以上：不働  
死亡率20%  
総数300

15～65歳：死亡率0.5%  
総数600

15歳未満：死亡率0.5%  
総数100

※現実の値を採用すると  
死亡者数が極めて少なくなるので**現実の年齢別死亡率の約5倍**に設定





## ワクチン接種

1回の接種人数を設定し  
計10回の接種を行う  
接種の際

「65歳以上」および  
「15～65歳」に**何%ずつ**  
**打つかの比率を調整**

例：高齢者優先  
→ 「65歳以上」 100%  
1回の接種人数50人中  
「65歳以上」 50人接種

**「65歳以上」と「15～65歳」の接種比率を調整し比較**

# 感染の初期数値について

## ● 高齢者（65歳以上）COVID-19による死亡率について

- 高齢者で 6,931人中 282 人である。  
**4%は致死率**だと分かった。

## ● 高齢者以外の COVID-19 による死亡率について

- 高齢者以外で45812人中35人である。  
**0.076%の致死率**だと分かった。



年齢別 コロナ感染陽性者数、死亡者数、致死率						
年齢別	陽性者数	(構成割合)	死亡者数	(構成割合)	致死率	40代前半との比較
100歳以上	24	0.05%	2	0.63%	8.333%	166
90-99歳	642	1.22%	64	20.2%	9.969%	199
85-89歳	779	1.48%	58	18.3%	7.445%	148
80-84歳	994	1.89%	58	18.3%	4.835%	116
75-79歳	1,095	2.08%	52	16.4%	4.749%	95
70-74歳	1,713	3.25%	30	9.46%	1.751%	35
65-69歳	1,684	3.20%	18	5.68%	1.069%	21
60-64歳	2,237	4.24%	10	3.15%	0.457%	8.9
55-59歳	2,966	5.62%	7	2.21%	0.236%	4.7
50-54歳	3,799	7.20%	8	2.52%	0.211%	4.2
45-49歳	4,227	8.01%	4	1.26%	0.095%	1.9
40-44歳	3,984	7.55%	2	0.63%	0.050%	1
18-39歳	23,120	43.8%	4	1.26%	0.017%	0.3
18歳未満	5,479	10.4%	0	0%	0%	0
全年齢	52,743		317		0.601%	
65歳以上	6,931	13.1%	282	89.0%	4.069%	
65歳未満	45,812	86.9%	35	11.0%	0.076%	

(厚生労働省)

高齢者よりもはるかに低い致死率であり 年齢が上がるほど致死率は上昇

## ● ワクチン接種による感染陽性者の致死率について

- 高齢者における死亡者
  - 未接種で5,387人中232人(4.31%)
  - 1回の接種で857人中26人(3.03%)
  - 2回の接種で112人中1人(0.89%)
- 65歳未満の死亡者ほとんど記載されていない

コロナ陽性患者	未接種者 致死率	1回接種者 致死率	2回接種者 致死率			
100歳以上	5%	1/20	33.3%	1/3	0/0	
90-99歳	10.90%	51/468	6.19%	6/97	0%	0/16
85-89歳	8.29%	48/579	3.64%	4/110	0%	0/26
80-84歳	6.70%	51/761	2.92%	4/137	0%	0/16
75-79歳	5.11%	41/802	3.98%	7/176	4%	1/25
70-74歳	1.68%	23/1,371	2.26%	4/177	0%	0/15
65-69歳	1.23%	17/1,386	0%	0/157	0%	0/14
60-64歳	0.45%	9/2,002	0%	0/61	0%	0/9
55-59歳	0.18%	5/2,742	0%	0/31	0%	0/8
50-54歳	0.20%	7/3,495	0%	0/47	0%	0/9
45-49歳	0.10%	4/3,931	0%	0/36	0%	0/19
40-44歳	0.05%	2/3,714	0%	0/26	0%	0/14
18-39歳	0.02%	4/21,615	0%	0/149	0%	0/61
18歳未満	0%	0/5,245		0/0	0%	0/1
全年齢	0.55%	263/48,131	2.15%	26/1,207	0.43%	1/233
65歳以上	4.31%	232/5,387	3.03%	26/857	0.89%	1/112
65歳未満	0.07%	31/42,744	0%	0/350	0%	0/121

(厚生労働省)

## ● 結果として

- 2回目ワクチン接種を受けた高齢者は、感染の死亡率を大幅に低下させる  
4.31%⇒0.89% ↓
- 65歳未満にとって、ワクチン接種は死亡率を減らす上であまり顕著ではない
- ワクチン接種後は死亡率を0.2倍にするようにシミュレーションは設定

## ワクチン接種の比率

ワクチン接種なし

お年寄り：若者 = 0 : 0

お年寄り優先

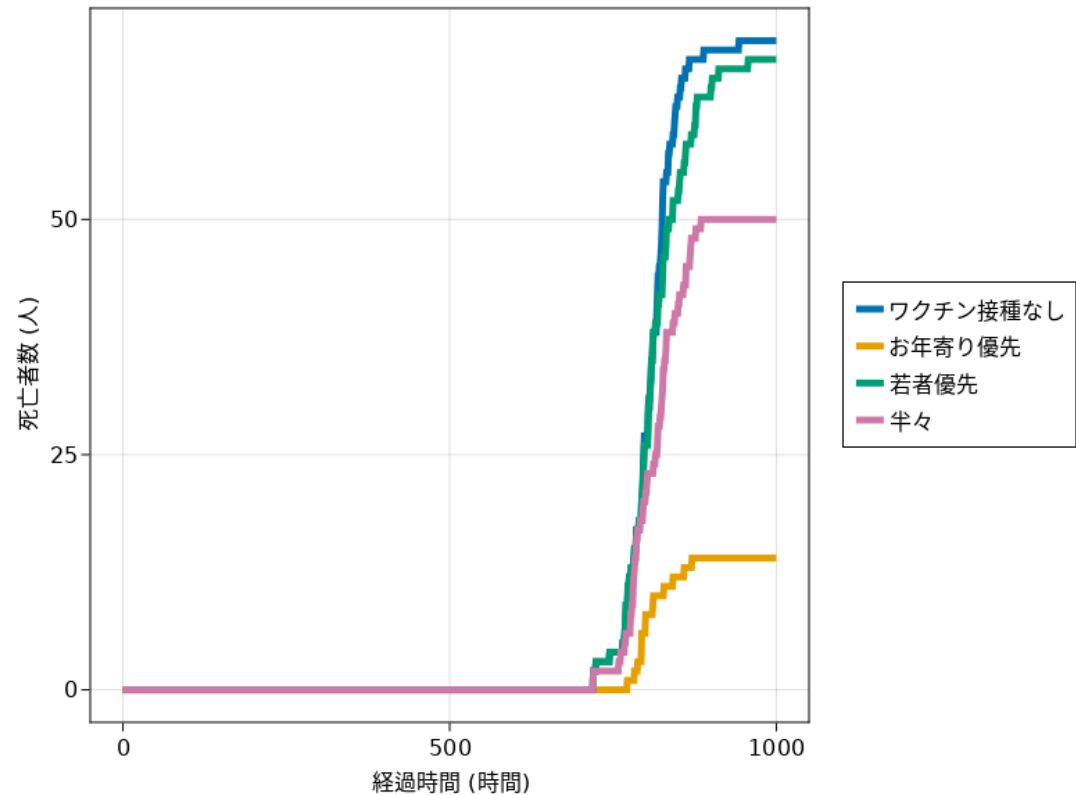
お年寄り：若者 = 100 : 0

若者優先

お年寄り：若者 = 0 : 100

半々

お年寄り：若者 = 50 : 50



- ワクチン接種なし条件 < 若者優先条件 < 半々条件 < お年寄り優先条件の順に死亡者数が減少。
- お年寄り優先条件は、大幅に死亡者数が減少している。

## ワクチン接種割合

0%

0人 / 900人中

30%

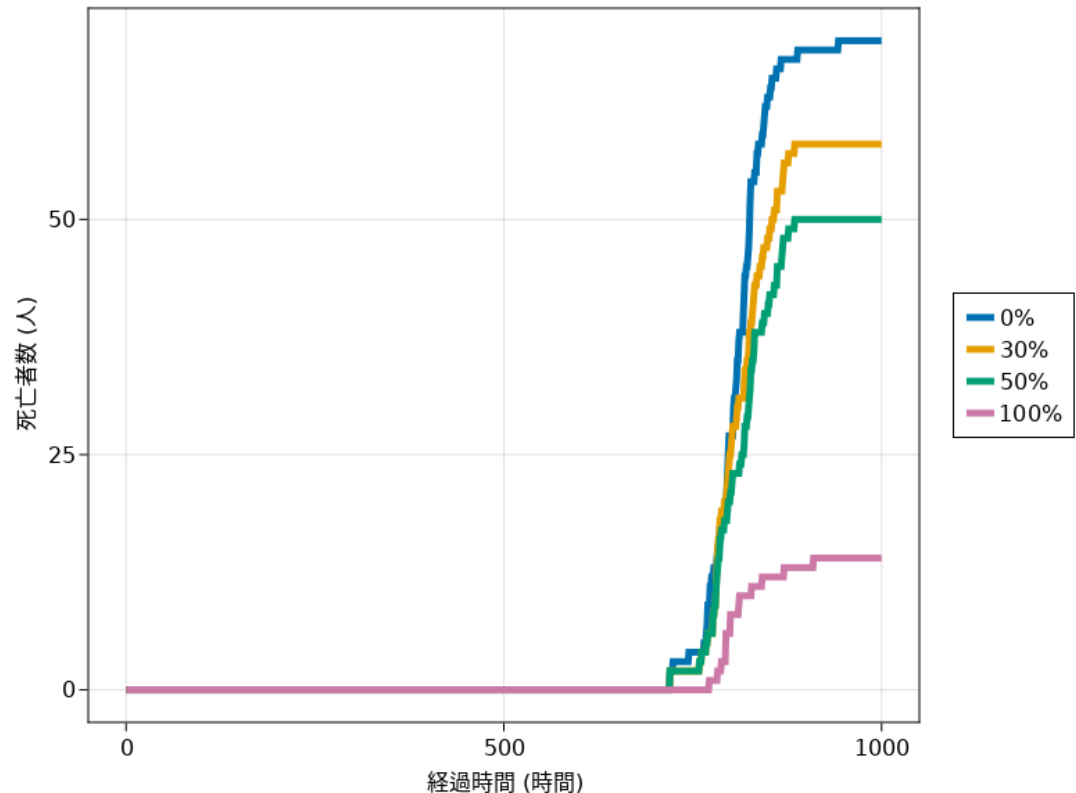
270人 / 900人中

50%

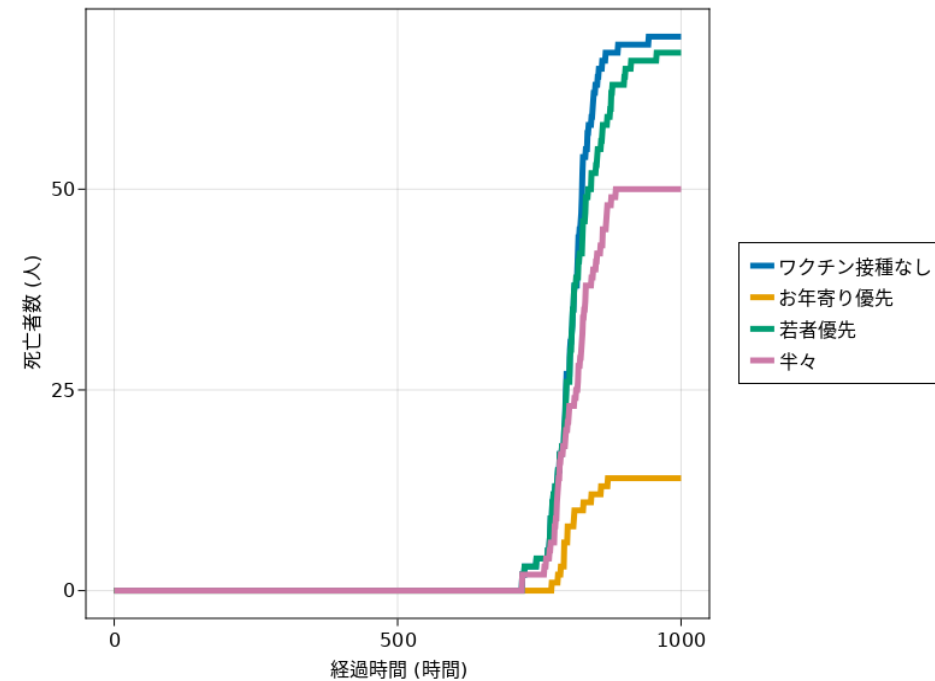
450人 / 900人中

100%

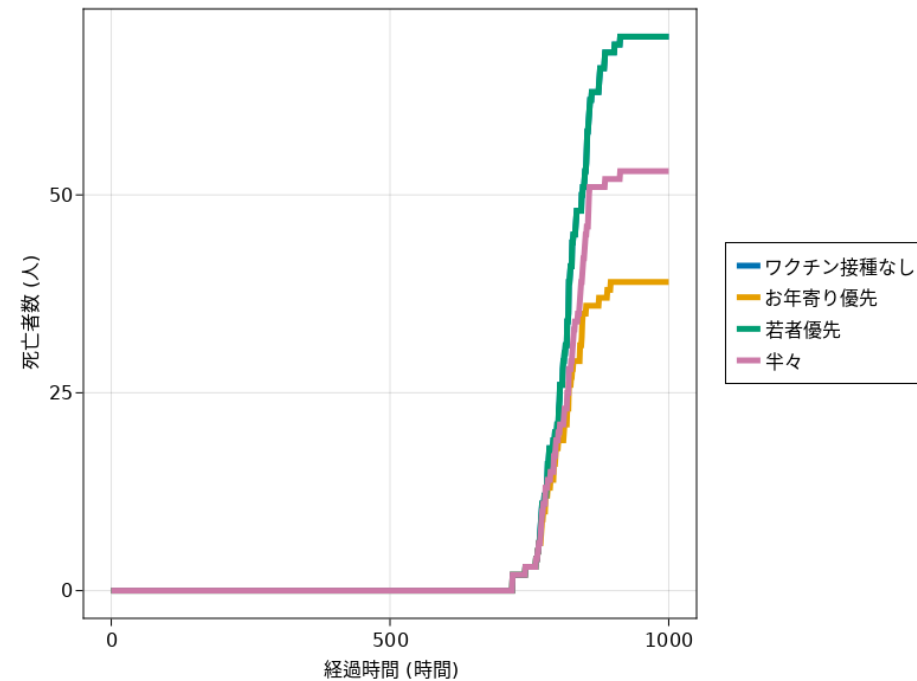
900人 / 900人中



- ワクチン接種割合が増えるほど、死亡者数が減少。
- 接種割合50%から大幅に死亡者数が減少している。



ワクチン接種間隔 24時間×10回



ワクチン接種間隔 240時間×10回

- ワクチン接種間隔が長くなると死亡者数が増加。
- お年寄り優先条件は特に、死亡者数が増加している。

## 1. 優先してワクチン接種する年代

- 65歳以上の高齢者を優先したワクチンを接種が、死亡者数を減少させるのに効果的であると考えられた。  
→日本のワクチン接種の有効性を裏付けた。

## 2. ワクチン接種割合

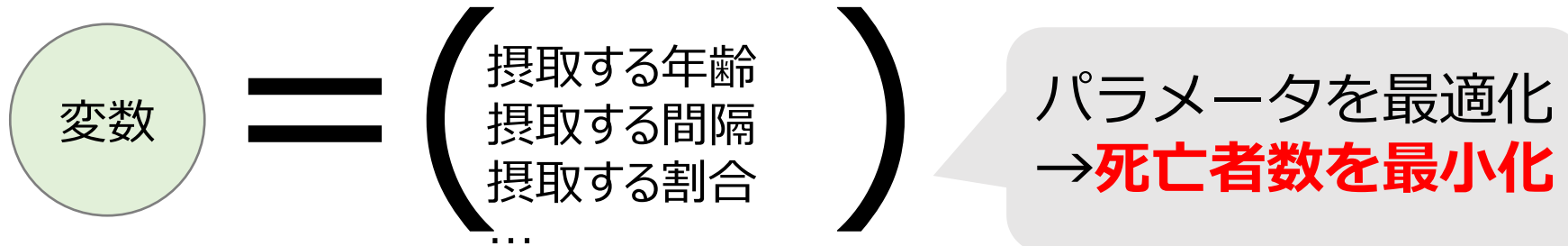
- ワクチンを接種する人の割合が増えるほど、死亡者数を減少させると考えられた。
- 接種割合50%のボーダーラインを越えると、大きく死亡者数が減少すると考えられた。

## 3. ワクチン接種間隔

- ワクチン接種間隔を短くすることが、死亡者数を減少させると考えられた。
- 65歳以上の高齢者には、特に効果的と考えられた。

- ① シミュレーション結果を取得
- ② **遺伝的アルゴリズム**を用いたパラメータの改善

→今回は「ワクチンを優先して摂取する年齢」を変動させる



## 【実行結果】

- ・ 死亡者数を減らすことができた
- ・ 一方で「最適化」はできなかつた  
→ 遺伝子数・世代数に改善の余地有り

```
// rは高齢者向け接種の割合、  
// 出力結果は死亡者数  
Log:          r=0.8246443201786091 => 41  
Log:          r=0.6509684038545303 => 54  
...  
Log:          r=0.7762070301506304 => 53  
Log:          r=0.9475534201163373 => 39  
...  
【第10世代】 0.9466707886983982 => -39
```



**問題意識** シミュレーションを用いたワクチン接種順の効果検証はされずシミュレーションによる検証の必要性

**目的** 感染シミュレーションを用いた  
**「COVID-19による死亡者数を最小化する」**  
ワクチン接種順を中心とした施策の検討

**結果と考察** 死亡者数を減少させることに関しては、**高齢者優先接種によって死亡者数を減らせる**ことがわかった。  
→ **日本が現在行っている対策は適切**である

**今後の方針** パラメータを増やし、シミュレーションの結果をより現実に近いものにする  
遺伝的アルゴリズムを実行、より正確に最適化する