ワクチン接種と大学授業形態に関する分析

NTTデータ数理システム　学生研究奨励賞発表

早稲田大学大学院　創造理工学研究科　経営システム専攻1年
櫻井 陸，楠 優輔，李 健翔

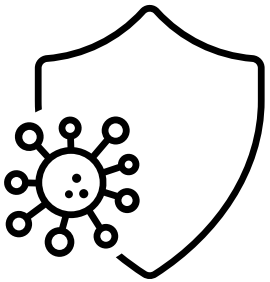
問題状況

新型コロナウイルスの流行

- 世界的に流行
- 大きな社会問題
- 人々の生活スタイルの変化

大学への影響

- 授業のオンライン化
- クラスター対策による
  キャンパス構内の立入制限
- 中退者や休学者が増加[2]



ワクチン接種の必要性[1]

- 新型コロナウイルスの発症の予防
- 蔓延防止
- 集団免疫の獲得

対象システムと問題状況

問題状況

- オンライン授業に対しての学生の不満[2]

  授業の説明不足／学生同士・教授との交流減少

どこまでワクチン接種が進めば，対面授業が可能になるか

問題関与者それぞれの利害

- **学生**

  対面授業を受けたい／コロナには感染したくない

- **大学**

  大学でのクラスター感染を防ぎたい

対象システム

- 大学のキャンパス（教室・食堂・ワクチン接種会場）
- 家、通学

分析目的とシナリオ

分析目的

- ワクチン接種ペースをシナリオに，感染確率が低いオンライン授業割合
- 望ましいワクチン接種ペース　　を明らかにする

評価基準

- **感染の拡大状況（何人が感染したか）**
  - シナリオごとに50日間で感染はどのくらい拡大するか
- **感染リスク**の低減
  - 感染リスクを抑えられるシナリオ（オンライン授業/ワクチン接種ペース）
  - 感染経路、ワクチンの効果

シナリオ

- **施策変数**
  - オンライン授業割合
  - 1日の接種ペース（進み具合）

概念モデル（モデルコンポーネント）

エージェント

- **内部モデル**
  - 属性，状態
- **行動モデル**
- **学習モデル**

環境モデル

- **空間的環境**

内部モデル

- **属性**
  - **学生ID**（1000人を想定）
  - **履修行動モデル**
- **状態**
  - **感染状態**

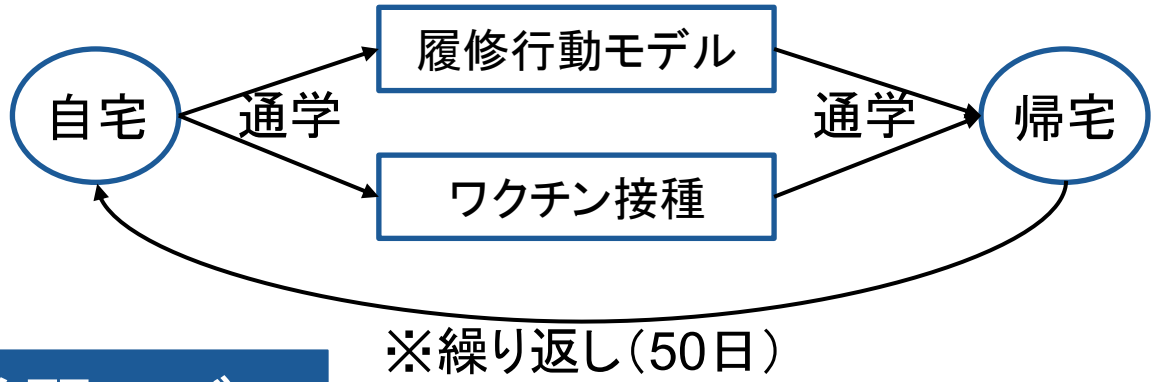
    （平常／無症状①／無症状②／発症／回復）
  - **ワクチン接種回数**

    （0回／1回／2回）
  - **場所**(家／通学／教室／食堂／ワクチン会場)

概念モデル（モデルコンポーネント）

行動モデル

- **エージェント（学生）の1日の行動**



※確率でオンラインか対面か決定

※エージェント毎に決定した
履修行動モデル
※ワクチン接種は1人2回

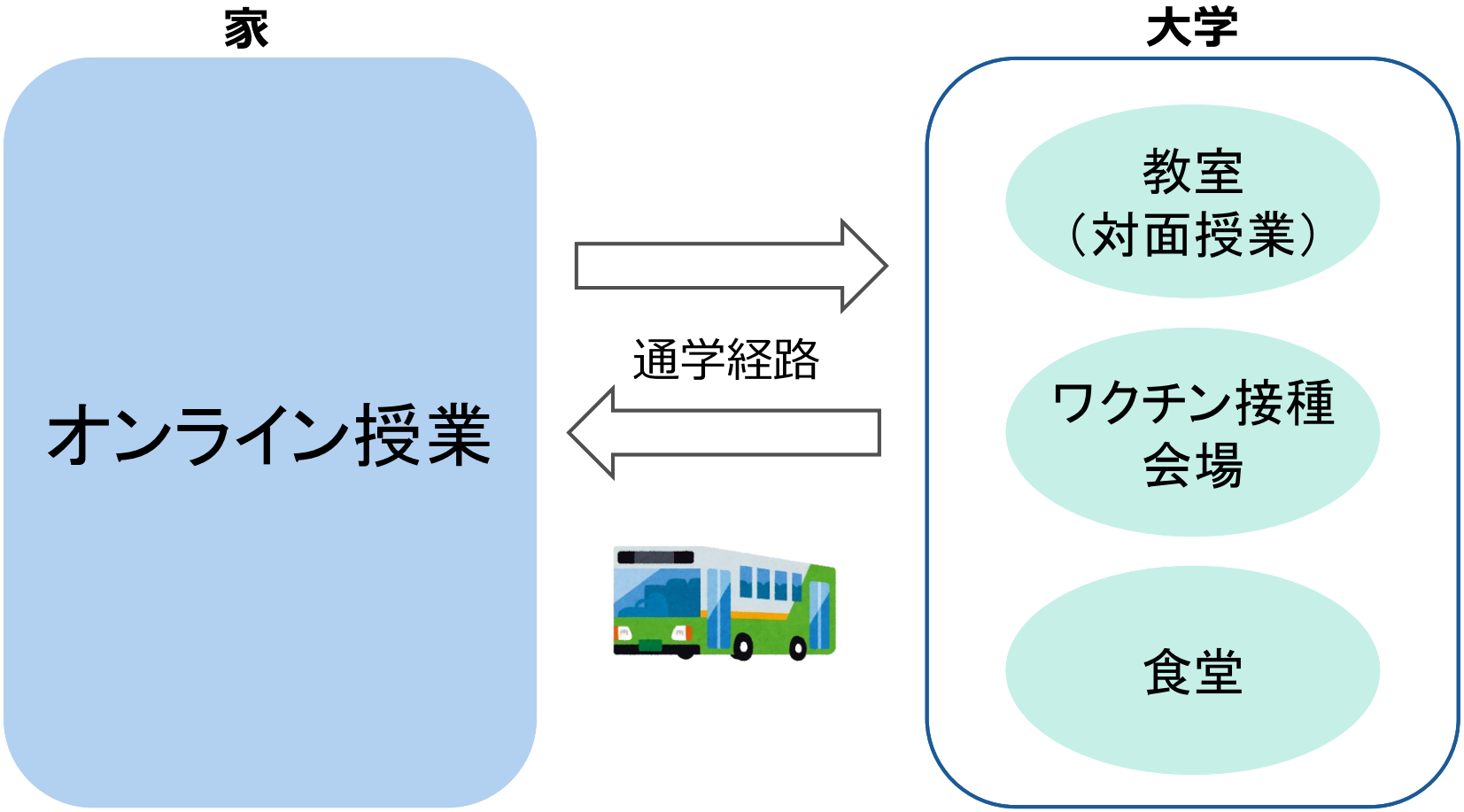
学習モデル

- **感染確率** $ir = cr$（感染者密度）$\times\ tr$（伝播確率） (倉橋,2020[3])
- **感染者密度cr**(教室／食堂／ワクチン会場)
  - 感染者数/場にいるエージェント数
  - 大学内では、感染者と同じ空間にいれば感染確率が上昇
- **伝播確率tr**(ワクチン接種回数により変化)

概念モデル（モデルコンポーネント）

環境モデル

– 空間的環境



定式化

学生

– 設定

- 人数：1000人 ⇒ $ID = \{1,2,\ldots,1000\}$
  - 早稲田大学理工キャンパス約10000人程度なのでその1/10スケールで仮として想定
- 感染状態：$x = \{$平常, 無症状①, 無症状②, 発症, 回復$\}$ ※遷移については次頁
- ワクチン接種状況：$y = \{0,1,2\}$
- 感染確率ir = 感染者密度cr × 伝播確率tr (倉橋,2020[3])
- 伝播確率tr：ワクチン接種回数で決定

  1回接種で80%,2回接種で90%感染を抑制(アメリカ疫病対策センターの報告[4])

$$tr = \begin{cases} 0.10\ (y = 0) \\ 0.02\ (y = 1) \\ 0.01\ (y = 2) \end{cases}$$

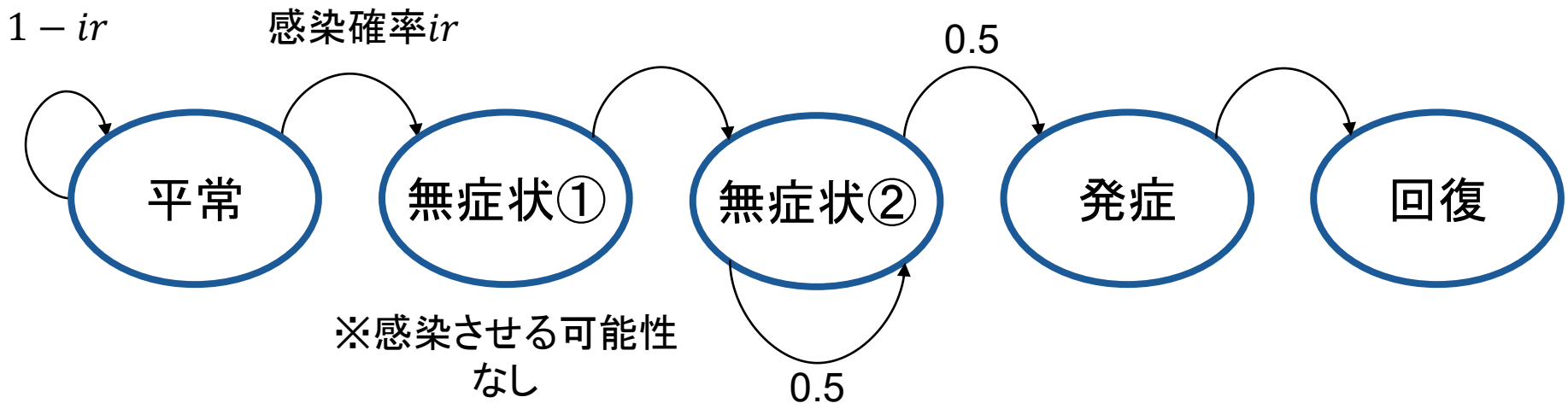
- 場所

  家／通学／教室／食堂／ワクチン会場

定式化

学生

– 感染状態遷移(倉橋,2020[3])



- 無症状①に遷移後，2日で感染力を持つ無症状②に遷移
- 遷移から6日目に50%の確率で病院を受診し発症が判明
- 判明しなかった場合も、以降1日ごとに50%の確率で発症に遷移
- 発症から3週間で回復

定式化

学生

– 履修行動モデル

履修パターン：10通り ⇒ 各エージェントが5つ選択（月～金を想定）

昼食：対面授業だった場合のみ食堂利用

パターン	1限	2限	昼食	3限	4限	5限
1	○					
2		○	食堂			
3			食堂	○		
4					○	
5						○
6	○	○	食堂			
7			食堂	○	○	○
8	○	○	食堂	○		
9					○	○
10	○	○	食堂	○	○	○

– ワクチン接種

ワクチン接種日は、通学⇒ワクチン接種のみ

定式化

大学

– ワクチン接種ペース（操作変数）

1日あたりの接種人数

A案	B案	C案	D案	E案
10人／日	30人／日	60人／日	100人／日	0人／日

– ワクチン接種の順番

学生IDの番号順（1→1000）　　例）D案なら10日で全員1回目接種

定式化

- **感染者密度cr ー 場所ごとに設定**
  - 教室、ワクチン会場
    - cr = 潜伏感染者数(無症状②) ÷ 部屋にいる人数
  - 食堂
    - $cr = \mathbf{2} \times$ 潜伏感染者数(無症状②) ÷ 部屋にいる人数
    - 検査陽性の人は陰性に人に比べ**2倍**で食堂で食事している(CDCの研究[5])
  - 家,通学
    - $cr = 0$(家、オンライン), 0.07(通学)
    - 通学時は大学の感染者に依らず感染者密度を設定(倉橋,2020[3])

実験環境

– 設定

エージェント数：1000

オンライン授業の割合： {10%, 30%, 50%, 70%, 90%}

ワクチン接種ペース（1日当たり）： {0回, 10回, 30回, 60回, 100回}

初期感染者：10人

試行時間　150[ステップ/日]×50[日]

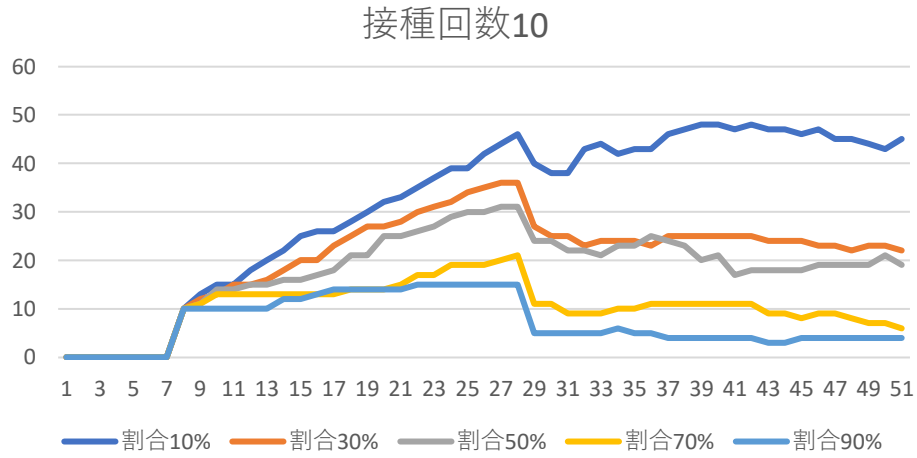
– 評価

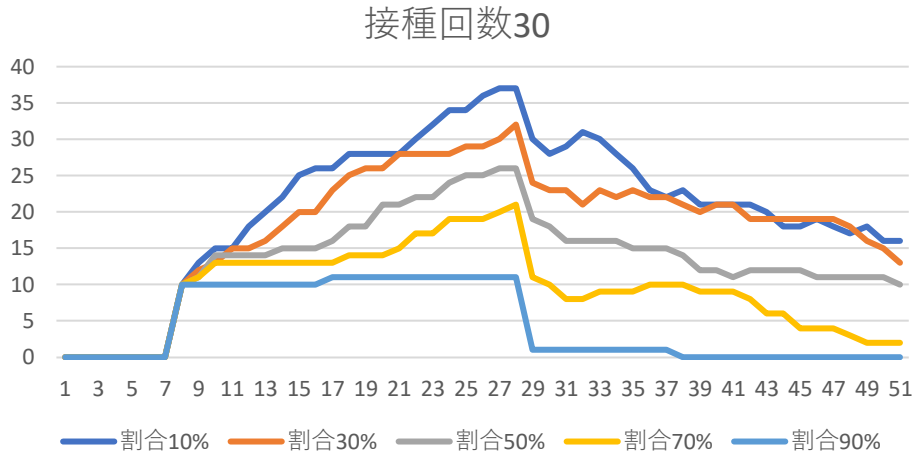
オンライン授業割合・ワクチン接種ペースに対する**感染者数**

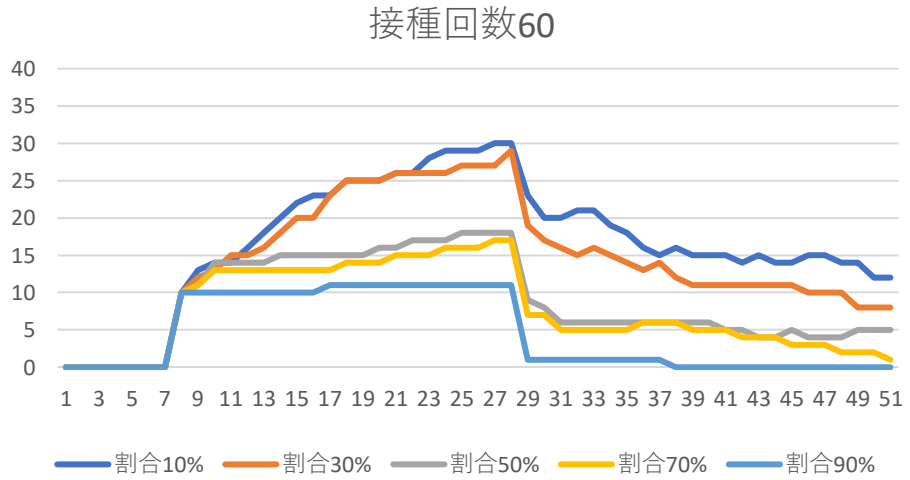
実験結果

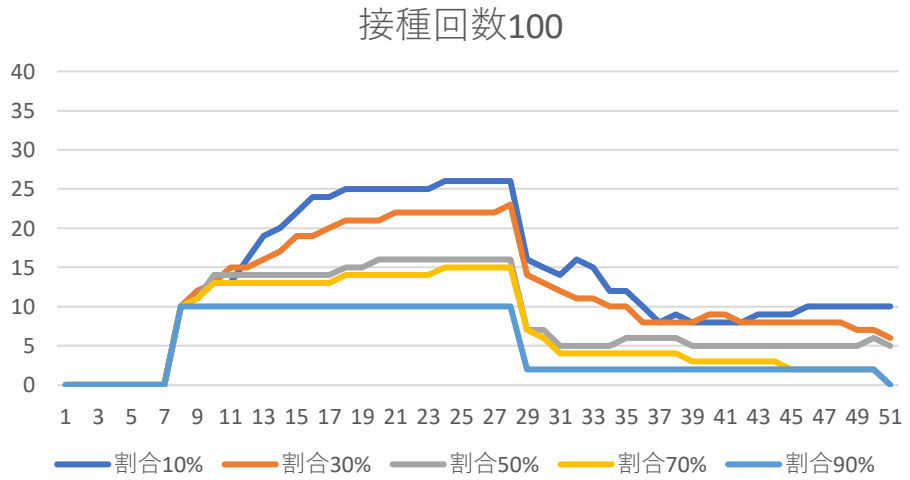
– オンライン授業割合と1日あたりの接種回数

– 縦軸：感染者数[人]，横軸：日数[日]









実験結果

– オンライン授業割合と1日あたりの接種回数

◆ オンライン授業割合と接種ペース

オンライン授業割合が高いほど感染者は少ない

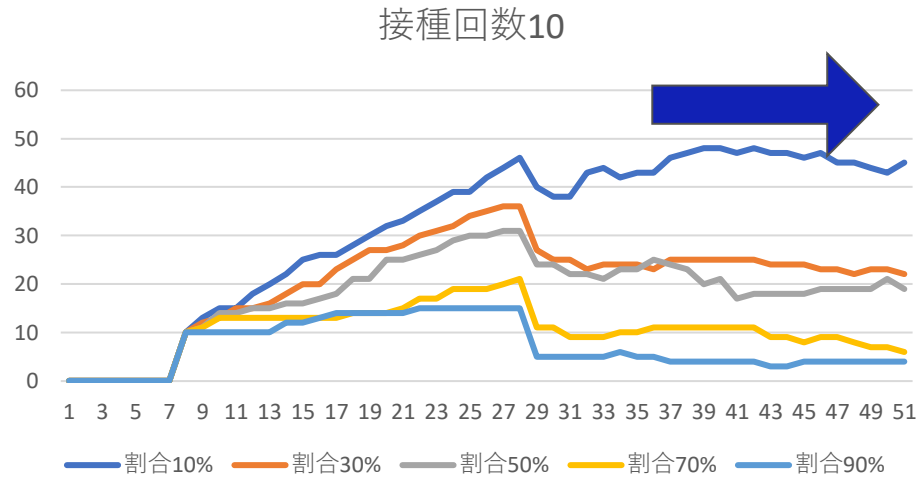


図1. 感染者数の推移(接種ペース10人/回)

◆ 接種ペース10人/日の場合

オンライン授業割合によらず**感染は横ばい**

◆ 接種ペース30人/日以上の場合

オンライン授業割合によらず、**感染収束傾向**

➢ **感染リスクは抑えたまま対面授業を実施できるはず**

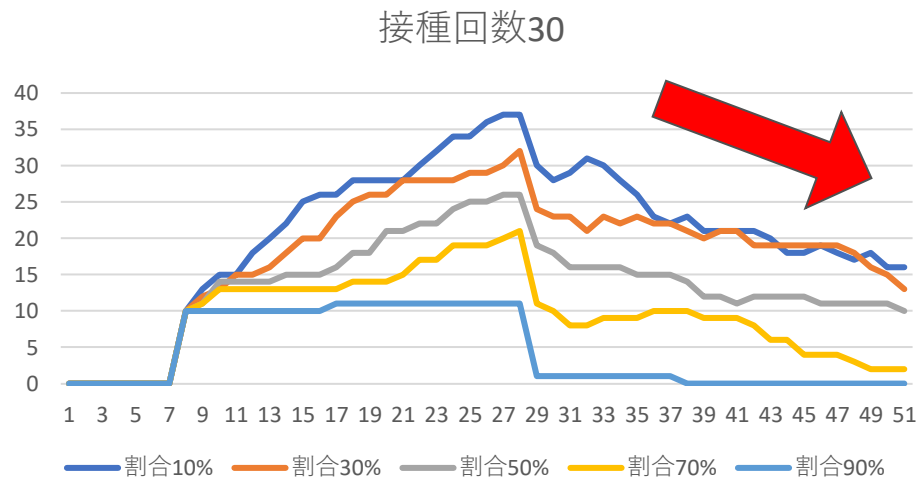


図1. 感染者数の推移(接種ペース30人/回)

実験結果

– ワクチン接種を行わない場合の感染状況

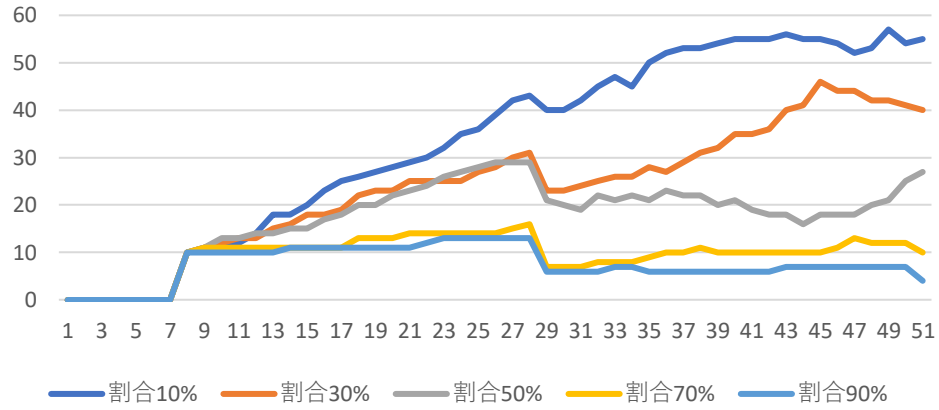


図3. 感染者数の推移(ワクチン接種行わないとき)

ワクチン接種を行わないと…

オンライン授業割合50%以下の場合、感染は<u>増加傾向</u>

オンライン授業割合70,90%の場合、感染は<u>収束傾向</u>

- ワクチン接種が進まない状況下では、**授業のオンライン化は有効な手段**
- オンライン授業化により感染リスク大幅減

実験結果

– 感染者に関する分析(接種ペース10人/日)

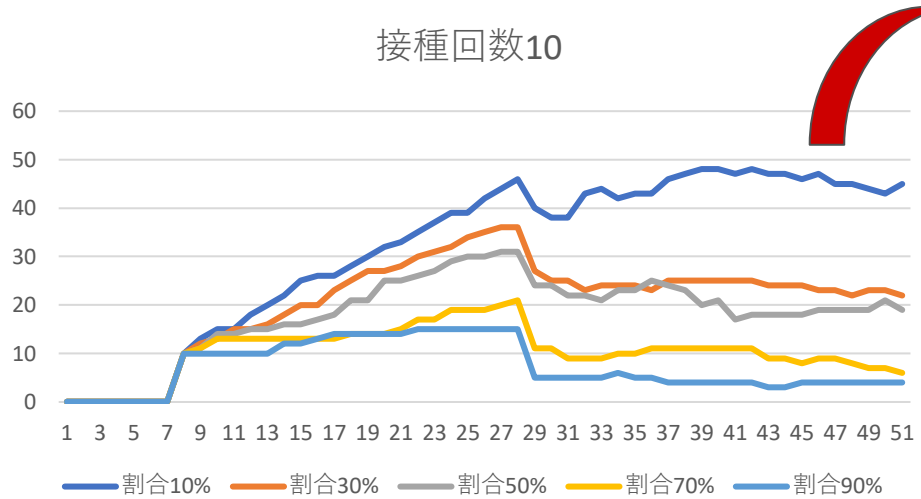


図1. 感染者数の推移(接種ペース10人/回)※再掲

感染が拡大している場合に注目

感染経路、ワクチンの接種状態を
エージェント毎に分析

表1. オンライン授業割合と感染経路

オンライン授業割合	通学	教室	食堂	感染者数合計
10%	61	21	4	86
30%	37	9	3	49
50%	40	4	3	47
70%	17	0	3	20
90%	8	1	0	9

大学構内での感染リスク

- オンライン授業割合10%の場合でも70%(=61/86)は学外での感染
- **学外での感染リスクが高い**

実験結果

– 感染者に関する分析(接種ペース10人/日)

表2. オンライン授業割合とワクチン接種回数

オンライン授業割合	ワクチン			感染者数合計
	0回	1回	2回	
10%	78	8	0	86
30%	44	5	0	49
50%	39	8	0	47
70%	19	1	0	20
90%	8	1	0	9

感染者のワクチン接種回数の分布

- 対面授業割合に依らず、8割以上がワクチン未接種者による感染
- ワクチン接種者への感染は少ない

まとめ・課題

– まとめ

- 1000人のキャンパスを考えた場合、**30人/日以上のペース**でワクチン接種を行えれば対面授業が多くても**感染リスクを抑えられる**
- 大学内での感染よりも**学外での感染のリスクが高い**
- ワクチン接種を行えない場合は、オンライン授業化は感染リスク低減策として有用

  オンライン授業割合70%以上ならば大学内での感染リスクを大きく抑えられる

– 課題・今後の展望

- **場所ごとの新型コロナウイルスの感染確率**は文献調査でも明確でない
  - ➢ 妥当性に関して更なる検証が必要
- 大学構内での感染は**初期感染者**の影響が大きい
  - ➢ 本研究では検証できていない
- 新型コロナウイルスのワクチン接種は**全学生必須ではない**
  - ➢ 実際は接種しない学生も多数存在、本研究では検証できていない

参考文献

1. 新型コロナワクチン接種の目的等について, 首相官邸, https://www.kantei.go.jp/jp/headline/kansensho/vaccine_purpose.html, 最終アクセス日2021.6.13
2. 対面授業なしは「義務不履行」 学生が明星大を提訴へ, 朝日新聞, https://news.yahoo.co.jp/articles/cee2509354ef5fc6be435eaa411d241d233fb85a, 最終アクセス日2021.6.13
3. 倉橋(2020):「新型コロナウイルス (COVID-19)における感染予防策の推定」, 人工知能学会論文誌, Vol.35 , No.3
4. **CDC Real-World Study Confirms Protective Benefits of mRNA COVID-19 Vaccines | CDC Online Newsroom | CDC**, https://www.cdc.gov/media/releases/2021/p0329-COVID-19-Vaccines.html, 最終アクセス日2021.7.25
5. **Community and Close Contact Exposures Associated with COVID-19 Among Symptomatic Adults ≥18 Years in 11 Outpatient Health Care Facilities — United States, July 2020 | MMWR (cdc.gov)**, https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/69/wr/mm6936a5.htm?s_cid=mm6936a5_x, 最終アクセス日2021.7.25
6. 路線バスのイラスト, いらすとや, https://www.irasutoya.com/2014/02/blog-post_7663.html, 最終アクセス日2021.7.25

担当者：楠，櫻井，李