**課題1. 通常のCOVID-19と、****変異株（デルタ株）の両条件を再現するようなパラメータを入力し、それぞれのシミュレーションの振る舞いがどのように変化するか考察すること。**

　COVID-19の通常株とデルタ株の条件を設定するため、私は以下三つの資料を参考して、得た知識を今回の課題に活かしてシミュレーションした。

THE LANCET「Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study」[1]

universal-sci.com「Who's really at risk when it comes to the coronavirus outbreak?」[2]

Johns Hopkins University「MORTALITY ANALYSES」[3]

課題中用いる「Virus」モデルは簡単的な機能だけ持っているため、上記の参考資料により、モデルに合わせてパラメータを少し修正した。

　実験１：

　まず、COVID-19の通常株のパラメータ設定について説明する。

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

図 1　普通株モデルのパラメータ

　本モデルは、COVID-19の通常株の感染者モデルをシミュレーションするため、マップにいる人数が最初にデフォルトの150人として設定した。第二項の「infectiousness」いわゆる感染力についての情報が不足しているが、ここで論文[1]武漢市最初の病院の中に得たデータとしてシミュレーションする、75%として設定した。第三項の「chance-recover」は[3]のデータを参照して、何も処理しない場合、国の感染者死亡率が3%前後と設定された。第四項の「duration」は現実と大きな差別があるので。論文[1]で、COVID-19の通常株の感染者が病気を治す期間の中央値が約20日であるが、本モデルがサイズなどの原因を考慮し、デフォルトの20週として設定した。（3週と設定した時にあまりモデルシミュレーションできなかった）。また、最初の150人の中に、10人が感染したと設定した。（感染率6.7%）

グラフィカル ユーザー インターフェイス, アプリケーション

自動的に生成された説明

図 2　１年目のシミュレーション結果

グラフィカル ユーザー インターフェイス, アプリケーション

自動的に生成された説明

図 3　１０年目のシミュレーション結果

　シミュレーションの結果によって、保護や対策が何もしない状態で、COVID-19の通常株の感染者モデルは第9月中（36週目前後）アウトブレイク期に迎えた、感染が一番拡大している時に165人の中に68人が感染されている、感染率が36.3%である。そして、142週目、261週目、368週目の時にもアウトブレイク期が発生していた。感染率は39%~41%になった。また、毎回のアウトブレイク期になったとき、免疫を獲得している人間は40%を超えた時点で、感染の状況が改善していた、415週目の時に、**免疫**を獲得している人間は約**77.3%**いるため、その後ウイルスが徹底的に消失していた。**8年目**から**集団免疫**となっていた。

実験２：

　COVID-19の変異株（デルタ株）のパラメータ設定について説明する。

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

図 4　デルタ株モデルのパラメータ

本モデルは、COVID-19のデルタ株の感染者モデルをシミュレーションするため、マップにいる人数が最初にデフォルトの150人として設定した。第二項の「infectiousness」ここで論文[2]得たデータとしてシミュレーションする、85%として設定した。第三項の「chance-recover」は[2]のデータを参照して、何も処理しない場合、デルタ株の感染者死亡率が30%前後と設定された。第四項の「duration」は現実と大きな差別があるので。論文[1]で、COVID-19の通常株の感染者が病気を治す期間の中央値が約20日であるが、本モデルがサイズなどの原因を考慮し、デフォルトの20週として設定した。また、最初の150人の中に、10人が感染したと設定した。（感染率6.7%）

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

図 5 デルタ株１年目のシミュレーション結果

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

図 6　デルタ株１０年目のシミュレーション結果

グラフィカル ユーザー インターフェイス

中程度の精度で自動的に生成された説明

図 7　デルタ株２０年目のシミュレーション結果

デルタ株のシミュレーションの結果によって、保護や対策が何もしない状態で、COVID-19のデルタ株の感染者モデルは第７月目中（31週目前後）初めてアウトブレイク期に迎えた、感染が一番拡大している時に185人の中に94人が感染されている、感染率が50.8%である。そして、155週目、241週目、342週目、451週目、552週目、642週目、738週目の時にもアウトブレイク期が発生していた。デルタ株２０年目のシミュレーションを見ると、平均100週（約２年間）アウトブレイク期を迎えている。感染率は60%を超えることになった。複数のシミュレーションをやっても、保護や対策が何もしない状態で、COVID-19のデルタ株のウイルスがアウトブレイク期繰り返して消しないことになる。

**課題2. ロックダウン（人の移動を制限する地域）を作ることで、感染速度がどのように変化するか、コードを追加した上で検討してください。ロックダウンの方法は自由だが、ロックダウンの目的に沿っていること**

まず、修正したプログラムのインタフェース部分について説明する。また、パラメータ設定の部分課題１の「COVID-19の通常株」モデルと同じく設定した。

パソコン画面のスクリーンショット

中程度の精度で自動的に生成された説明

図 8　ロックダウン機能付けモデルのインタフェース部

上図によって、

「isolation」のスイッチは隔離対策があるかどうかを設定する機能を持っている。

「isolate」の入力ボックスは隔離区の数を自由に設定する機能を持っている。

図形 が含まれている画像

自動的に生成された説明

実験１：

図 9　実験１の初期状態

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

図 10ロックダウン対策で通常株のシミュレーション（1.5年目）

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

図 11　ロックダウン対策で通常株のシミュレーション（3.3年目）

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

図 12 ロックダウン対策で通常株のシミュレーション（7.7年目）

実験１の結果によって、COVID-19の通常株モデルに対して、ロックダウンの効果が顕著であると考えられる。上記の図10を見ると、最初的にCOVID-19の感染率が増えていたが、隔離区以内の感染者が増えるが、隔離区以外の感染者増えている成長率が遅くなっていた。一番感染率が高い第25週目の感染率が27.9%、何も対策していないモデルにより12%低かったことが分かった。そして、アウトブレイク期があまり出現しないと考えるが、237週の時に少し増えていたが、感染者増加する周期が対策なしモデルにより3倍となる。また、約7年目の時から、全てのウイルスがなくなって、対策なしのモデルにより1年早かった。

実験２：

グラフィカル ユーザー インターフェイス, アプリケーション

自動的に生成された説明

図 13　ロックダウン対策隔離区10所　デルタ株30年目のシミュレーション結果

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

図 14ロックダウン対策隔離区15所　デルタ株8年目のシミュレーション結果

実験2 の結果によって、COVID-19のデルタ株モデルに対して、ロックダウンの効果も顕著であると考えられる。

ただし、隔離区の数が増える程、感染率の改善が良くなることが分かった。

**課題3. ワクチン接種を行った際、どのように免疫が変化するか、コードを追加した上で検討してください**

**エージェントへのワクチン摂取の仕方は自由。現実に沿っても良いし、想像上のものでも良い**

1まず、修正したプログラムのインタフェース部分について説明する。また、パラメータ設定の部分課題１の「COVID-19の通常株」モデルと同じく設定した。

コンピューターのスクリーンショット

自動的に生成された説明

図 15 ロックダウン機能付けモデルのインタフェース部

上図によって、

「isolation」のスイッチを「isolate」の入力ボックス以外は「vaccine\_center」の入力ボックスを追加した、「vaccine\_center」は文字が書かれている

低い精度で自動的に生成された説明のようなワクチン接種センターの数を設定する機能を持っている。感染者や非感染者もワクチン接種センターでワクチンを接種することにより、免疫を得ることになる。

実験１　隔離区10所　ワクチン接種センター５所

図形

中程度の精度で自動的に生成された説明

図 16　実験１の初期状態

グラフィカル ユーザー インターフェイス, アプリケーション

自動的に生成された説明

図 17　実験１のシミュレーション結果（１年目）

グラフィカル ユーザー インターフェイス, アプリケーション

自動的に生成された説明

図 18　実験１のシミュレーション結果（３年目）グラフィカル ユーザー インターフェイス, アプリケーション

自動的に生成された説明

図 19 実験１のシミュレーション結果（4年目）

実験１の結果によって、COVID-19の通常株モデルに対して、隔離区10所　ワクチン接種センター５所の効果が非常に顕著であると考えられる。

上記の図17を見ると、最初的にCOVID-19の感染増加率がロックダウンモデルにより遅くなっている、隔離区以外の感染者成長率が免疫を得る人の成長率より低かった。一番感染率が高い第19週目の感染率が17.3%である、何も対策していないモデルにより22%低下する、ロックダウンのみモデルにより10%低下することが分かった。

そして、アウトブレイク期が出現してないと考えるが、３年目の時にほぼすべての感染者がなくなっているが、160週目の時から、全てのウイルスがなくなって、対策なしのモデルにより5年早かった、ロックダウンのみのモデルにより4年早かったことが分かった。

実験２：　ロックダウン対策なし　ワクチン接種センター10所

図形, 矢印

自動的に生成された説明

図 20 実験20の初期状態

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

図 21 実験2のシミュレーション結果（１年目）

グラフィカル ユーザー インターフェイス, グラフ

自動的に生成された説明

図 22 実験2のシミュレーション結果（２年目）

実験２の結果によって、COVID-19の通常株モデルに対して、隔離区なし　ワクチン接種センター10所の効果が今まで一番良い結果であると考えられる。

上記の図21を見ると、最初的にCOVID-19の感染増加率がロックダウンモデルと実験１のモデルにより遅くなっている、ワクチン接種センター以外の感染者成長率が免疫を得る人の成長率より低かった。アウトブレイク期が出現してないと考える、２年目の時から全てのウイルス感染者がなくなって、対策なしのモデルにより6年早かった、ロックダウンのみのモデルにより5年早かった、実験１のモデルにより1年早かったことが分かった。

実験３（発展実験）　ワクチン接種センター１０所　デルタ株に対するシミュレーション

グラフィカル ユーザー インターフェイス

自動的に生成された説明

図 23　実験３（デルタ株）のシミュレーション結果（２年目）

実験３の結果によって、COVID-19のデルタ株モデルに対して、隔離区なし　ワクチン接種センター10所の効果が通常株モデルにより悪いが、対策なしのデルタ株に対して、顕著な改善が出たと考えられる。

上記の図23を見ると、最初的にCOVID-19デルタ株の感染増加率が104週まで増加していたが、増加のスピードが遅かったと考える。COVID-19通常株のモデルに対して感染者なくなる期間が長くなっていたが、対策なしの永遠に続けている状況に対して、６年目の時にCOVID-19デルタ株ウイルスが全てなくなっていた。本シミュレーションを通じて、ワクチン＞ロックダウン＞対策なしという結論に達していたと考える。

**参考資料：**

[1] THE LANCET「Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study」

Fei Zhou, MD †Ting Yu, MD †Ronghui Du, MD †Guohui Fan, MS †Ying Liu, MD †Zhibo Liu, MD †et al.

Published:March 11, 2020DOI:https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30566-3

<https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30566-3/fulltext>

[2] universal-sci.com「Who's really at risk when it comes to the coronavirus outbreak?」 March 10, 2020

<https://www.universal-sci.com/headlines/2020/3/10/whos-really-at-risk-when-it-comes-to-the-coronavirus-outbreak>

[3] Johns Hopkins University「MORTALITY ANALYSES」“Mortality in the most affected countries”

<https://coronavirus.jhu.edu/data/mortality>