

基礎マクロ：疫学 (マクロ経済学)

日野将志

一橋大学

2022

コロナの経済への影響

疫学マクロ

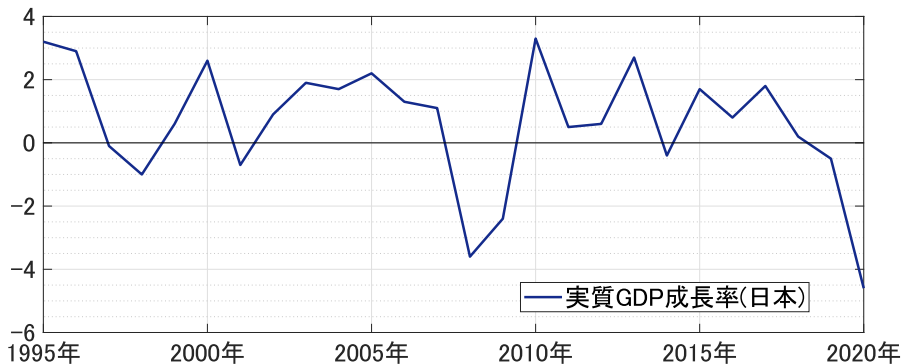
日野将志

純粋な疫学モデル

学マクロ経済学

田・藤井論文

論：コーディング



「昨年度の GDP -4.6 % リーマンショックを超える最大の下落」

(例：<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210518/k10013036691000.html>)

2021 年までの緊急事態宣言の大雑把な復習

- ▶ 1 回目：20 年 4 月上旬-5 月下旬
- ▶ 2 回目：21 年 1 月上旬-3 月下旬
- ▶ 3 回目：21 年 4 月下旬-6 月下旬
- ▶ 4 回目：21 年 7 月上旬-9 月

(※地域ごとに差異あり)

⇒ Q. なんで緊急事態宣言？ どういう効果？

緊急事態宣言の経緯

2021 年までの緊急事態宣言の大雑把な復習

- ▶ 1 回目：20 年 4 月上旬-5 月下旬
- ▶ 2 回目：21 年 1 月上旬-3 月下旬
- ▶ 3 回目：21 年 4 月下旬-6 月下旬
- ▶ 4 回目：21 年 7 月上旬-9 月

(※地域ごとに差異あり)

⇒ Q. なんで緊急事態宣言？ どのような効果？

(潜在的に) 重要なトレードオフ：健康 (人命) vs 経済

緊急事態宣言を...

- ▶ 強化すると，健康被害を抑えられるが，経済損失大
- ▶ 弱めると，経済損失は小さい (?) が，健康被害大

⇒ マクロ経済学と疫学が融合される必要があった

実験は出来ない． ⇒ モデルなら実験できる！

でも，ここでは疫学のモデルを主に教えます

(潜在的に) 重要なトレードオフ：健康 (人命) vs 経済

緊急事態宣言を...

- ▶ 強化すると，健康被害を抑えられるが，経済損失大
- ▶ 弱めると，経済損失は小さい (?) が，健康被害大

⇒ マクロ経済学と疫学が融合される必要があった

実験は出来ない． ⇒ モデルなら実験できる！

でも，ここでは疫学のモデルを主に教えます

(潜在的に) 重要なトレードオフ：健康 (人命) vs 経済

緊急事態宣言を...

- ▶ 強化すると，健康被害を抑えられるが，経済損失大
- ▶ 弱めると，経済損失は小さい (?) が，健康被害大

⇒ マクロ経済学と疫学が融合される必要があった

実験は出来ない． ⇒ モデルなら実験できる！

でも，ここでは疫学のモデルを主に教えます

(潜在的に) 重要なトレードオフ：健康 (人命) vs 経済

緊急事態宣言を...

- ▶ 強化すると，健康被害を抑えられるが，経済損失大
- ▶ 弱めると，経済損失は小さい (?) が，健康被害大

⇒ マクロ経済学と疫学が融合される必要があった

実験は出来ない． ⇒ モデルなら実験できる！

でも，ここでは疫学のモデルを主に教えます

日本経済新聞



トップ 速報 オピニオン 経済 政治 ビジネス 金融 マーケット マネーのまなび テック 国際 スポーツ

首相、東大研究者と面会 新型コロナと経済で意見交換

政治

+ フォローする

2021年6月20日 21:45 (2021年6月20日 23:23更新)



菅義偉首相は20日、首相公邸で東大大学院の仲田泰祐准教授、藤井大輔特任講師と面会した。新型コロナウイルスの感染状況と経済活動の見通しについて意見交換した。

私のノートは、仲田先生のノートや早稲田の久保田先生から譲り受けたものを参考に使っています



- ▶ 「経済学を世の中で活かすとはどういうことか」を，コロナという実例をもとに解説した唯一無二の本

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

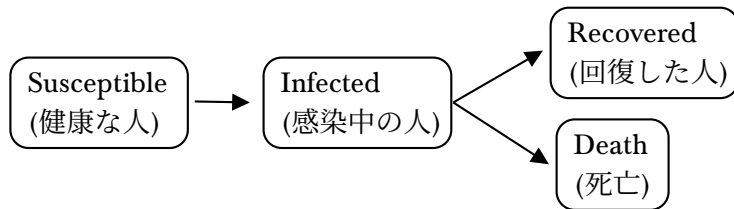
純粋な疫学モデル：SIRD モデル

最も単純な SIRD モデル

- ▶ S_t : Susceptible (感染前). 健康で免疫を持っていない人
- ▶ I_t : Infected (感染中). 感染していて, 他の人にうつす
- ▶ R_t : Recovered (回復済み). 回復して免疫を獲得した人
- ▶ D_t : Death (死亡).

人口は1と基準化: $1 = S_t + I_t + R_t + D_t$

この四つの状態を動く.



純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

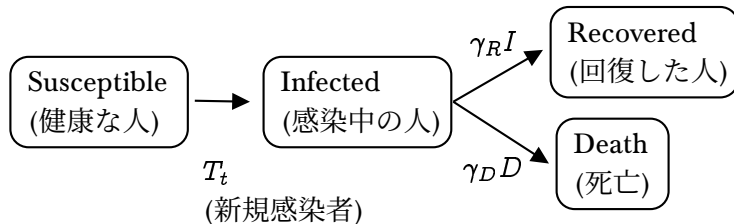
ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング



SIRD モデルは次の式からなる ($T_t(\cdot)$ は次頁)

$$S_{t+1} = S_t - \underbrace{T_t(\cdot)}_{\text{新規感染者 (newly transmitted)}}$$

$$I_{t+1} = I_t + T_t(\cdot) - \underbrace{\gamma_R I_t}_{\text{次期に回復 } (\gamma_R \in (0,1))} - \underbrace{\gamma_D I_t}_{\text{次期に死亡 } (\gamma_D \in (0,1))}$$

$$R_{t+1} = R_t + \gamma_R I_t$$

$$D_{t+1} = D_t + \gamma_D I_t$$

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

$$S_{t+1} = S_t - \underbrace{T_t(\cdot)}_{\text{新規感染者}}$$

$$I_{t+1} = I_t + T_t(\cdot) - \underbrace{\gamma_R I_t}_{\text{次期に回復 } (\gamma_R \in (0,1))} - \underbrace{\gamma_D I_t}_{\text{次期に死亡 } (\gamma_D \in (0,1))}$$

$$R_{t+1} = R_t + \gamma_R I_t$$

$$D_{t+1} = D_t + \gamma_D I_t$$

この中で、 $T_t(\cdot)$ が重要.

$$T_t = \underbrace{\beta}_{\text{感染確率}} \times \underbrace{I_t \times S_t}_{\text{感染者と健康な人が多いと感染拡大}}$$

T_t の関数形の意味

$$T_t = \beta I_t S_t$$

この T_t は 2 次同次 (収穫逓増). つまり $\lambda > 0$ に対して,

$$\lambda^2 T_t = \beta(\lambda I_t)(\lambda S_t)$$

意味：健康で無免疫な人 S_t と感染者 I_t が 2 倍ずつになったら, T_t は 4 倍
⇒ 指数的增长 (感染爆発) する (モデルの非線形性)

T_t を代入した SIRD モデル

$$S_{t+1} = S_t - \underbrace{\beta I_t S_t}_{\text{新規感染者}}$$

$$I_{t+1} = I_t + \beta S_t I_t - \underbrace{\gamma_R I_t}_{\text{次期に回復}} - \underbrace{\gamma_D I_t}_{\text{次期に死亡}}$$

$$R_{t+1} = R_t + \gamma_R I_t$$

$$D_{t+1} = D_t + \gamma_D I_t$$

連立の差分方程式 (シミュレーションは超簡単！)

経済学の観点からは、ソローモデルと大差ない

シミュレーションの準備：SIRD モデル

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

シミュレーションをするためにはパラメータを決める必要がある
(ここでの数字は初期コロナの米国での感染状況にフィット)

- ▶ モデルの期間：週

$t \rightarrow t + 1$ は1週間

- ▶ $I_0 > 0$

初期の感染者数. 初期感染者 I_0 が0だと, だれも永遠に感染しない.

- ▶ $\gamma_D = 0.005 \times 7/18$: 感染した人の一週間以内の死亡率

感染者のうち 0.5% が死亡. 平均 18 日感染が続く. これを週にするため, 7 で割る.

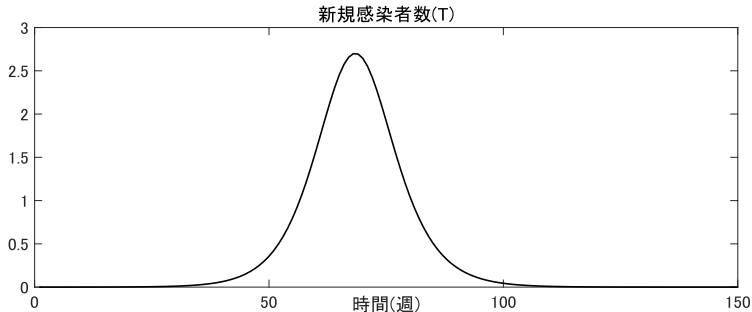
- ▶ $\gamma_R = (1 - 0.005) \times 7/18$

感染者のうち 99.5% が回復.

- ▶ $\beta \in (0.5, 0.5852)$: 感染確率

感染者 I_t と非感染者 S_t が会ったときに感染する確率. まだ未知数...

政府が何もしない場合：



- ▶ 時間が経ってから (50 週後に), 新規感染者数 T_t が急増
 - ▶ 人口の 3% 程度が感染

シミュレーション結果：他の変数

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

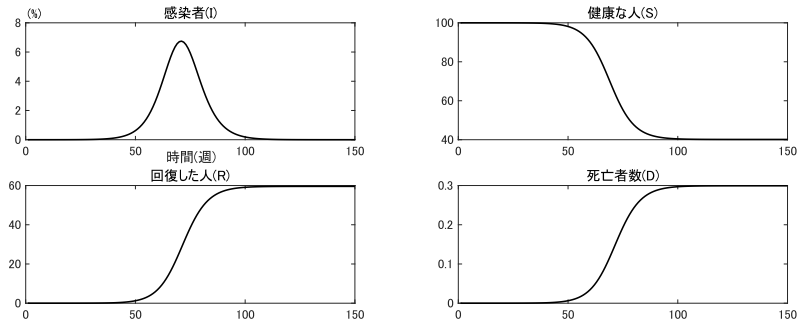
モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

政府が何もしない場合：



- ▶ 100 週後 (2 年後) に人口の 6 割程度が感染して落ち着く (集団免疫の獲得).
 - ▶ 人口の 0.3% \approx 36 万人死亡
 - ▶ 西浦教授 (2020/4 月) 「42 万人死ぬ」

ロックダウン：緊急事態宣言

現実における緊急事態宣言の役割

- ▶ 人と人が接触する可能性を減らす
- ▶ 例
 - ▶ 飲食店の閉店・自粛要請
 - ▶ 外出抑制

モデルにおける緊急事態宣言

- ▶ 感染者も非感染者も一律に出会わなくなる

$$T_t = \beta((1 - L)I_t)((1 - L)S_t)$$

$L \in (0, 1)$ ：ロックダウンの強さを表すパラメータ

理想は I_t だけを隔離 (でも無自覚症状者を捉えるのは難しい)

ロックダウン：緊急事態宣言

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

現実における緊急事態宣言の役割

- ▶ 人と人が接触する可能性を減らす
- ▶ 例
 - ▶ 飲食店の閉店・自粛要請
 - ▶ 外出抑制

モデルにおける緊急事態宣言

- ▶ 感染者も非感染者も一律に出会わなくなる

$$T_t = \beta((1 - L)I_t)((1 - L)S_t)$$

$L \in (0, 1)$ ：ロックダウンの強さを表すパラメータ

理想は I_t だけを隔離 (でも無自覚症状者を捉えるのは難しい)

純粹な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

疫学モデルの仮想実験

ロックダウンの仮想実験：ロックダウンの厳格さ

仮想実験できるのがモデル分析の強み！

ロックダウンに関して次のような疑問

(1) ロックダウン L は人命を救うか？

- ▶ やるべき実験：異なる L のシミュレーション比較
- ▶ 例：ロックダウンなし ($L = 0.0$) とロックダウンあり ($L = 0.2$)
- ▶ コード：[SIR_lockdown.m](#)

(2) 厳格なロックダウンは効果的か？

- ▶ 例えば、「2 倍厳しいロックダウンは、2 倍の人命を救う」か？
- ▶ やるべき実験：異なる L のシミュレーション比較
- ▶ 例： $L = 0, 0.2, 0.4$ の比較など
- ▶ コード：[SIR_lockdown_strict.m](#)

▶ 効率的なロックダウン？

- ▶ 検査して感染者 I_t のみ隔離

ロックダウンの仮想実験：ロックダウンの厳格さ

仮想実験できるのがモデル分析の強み！

ロックダウンに関して次のような疑問

(1) ロックダウン L は人命を救うか？

- ▶ やるべき実験：異なる L のシミュレーション比較
- ▶ 例：ロックダウンなし ($L = 0.0$) とロックダウンあり ($L = 0.2$)
- ▶ コード：[SIR_lockdown.m](#)

(2) 厳格なロックダウンは効果的か？

- ▶ 例えば、「2 倍厳しいロックダウンは、2 倍の人命を救う」か？
- ▶ やるべき実験：異なる L のシミュレーション比較
- ▶ 例： $L = 0, 0.2, 0.4$ の比較など
- ▶ コード：[SIR_lockdown_strict.m](#)

▶ 効率的なロックダウン？

- ▶ 検査して感染者 I_t のみ隔離

同じロックダウンの厳しさ (L) でも実行方法は多数！

(3) ロックダウンのタイミングはいつが良い？ 早い？ 感染拡大期？ 遅くても良い？

- ▶ やるべき実験：異なるタイミングでのロックダウン
- ▶ コード：[SIR_lockdown_timing.m](#)

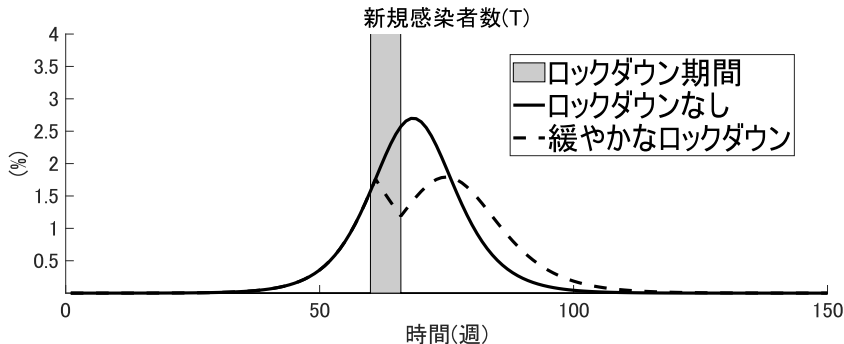
(4) ロックダウンの期間はどれくらいが良い？

- ▶ やるべき実験：短期間と長期間のロックダウン
- ▶ コード：[SIR_lockdown_long.m](#)

etc...

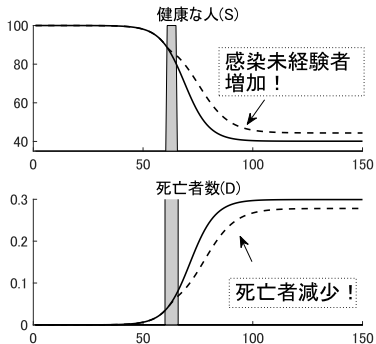
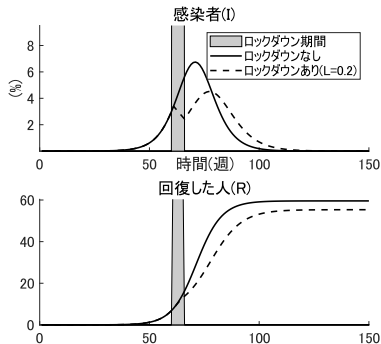
実験1：ロックダウンの役割の検証

実験内容： $L = 0$ と $L = 0.2$ の比較



- ▶ ロックダウンによって、新規感染者を遅らせられる (ワクチンまでの時間稼ぎ)
- ▶ ロックダウンによって、新規感染者数を減らせる

実験1：ロックダウンの役割



- ▶ 感染する人を減らせる
- ▶ 死亡者も減る

⇒ ロックダウンは効果的な手段!

ロックダウンの役割のまとめ

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

ロックダウンは次のような効果を持つ

- ▶ 感染する割合 $1 - S_t (= I_t + R_t + D_t)$ を減らせる
- ▶ 死亡者数 D_t も減らせる

ロックダウンは効果的な手段！ \Rightarrow ただの時間稼ぎではない

疑問：ロックダウンを2倍にすると、死亡者減を倍増できる？

(数学的には、「ロックダウンの効果は線形なのか？」)

実験2：厳格なロックダウンの効果

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

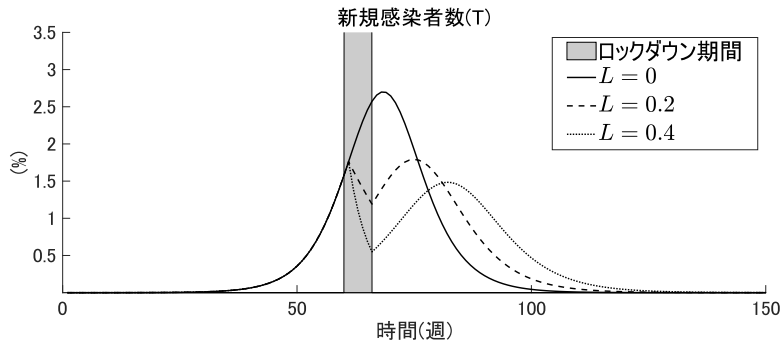
モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

実験内容： $L = 0$, $L = 0.2$, $L = 0.4$ の比較



▶ ロックダウン期間中，新規感染者は激減

実験2：厳格なロックダウンの効果

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

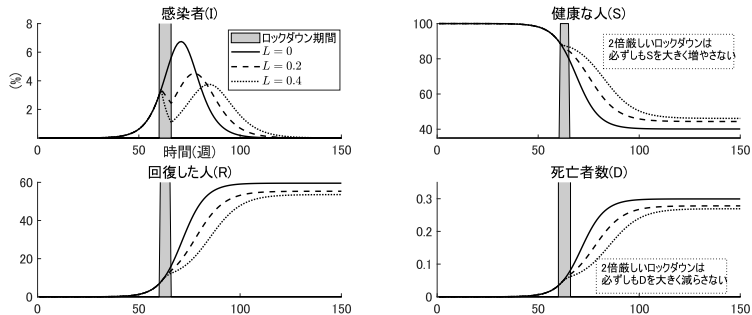
ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング



- ▶ ロックダウン時と直後は、厳格なロックダウンは効果的
- ▶ ロックダウンから時間が経つと、厳格なロックダウンの効果は消失していく

効率的なロックダウン：「検査増」

小林慶一郎教授「検査数を増やすべき！」

▶ 考え方

- ▶ ロックダウンの経済的損失が大きい原因は健常者 S_t も巻き込まれるから
- ▶ I_t だけを見つけて隔離すれば社会的負担は低い

$$T_t = \beta(1 - \tilde{L})I_t S_t$$

感染者 I_t を全員見つけて隔離 ($\tilde{L} = 1$) できればパンデミックは即収束。

- ▶ 日本では数多くの批判がされた
 - ▶ 「非現実的．医療の限界を越えている」
 - ▶ 「経済学者が疫学に口出しするな」
- ▶ アメリカではかなりの程度実施されていた
 - ▶ OSU ではキャンパスに入構するためには週一の検査が義務だった

実験3：ロックダウンのタイミング

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

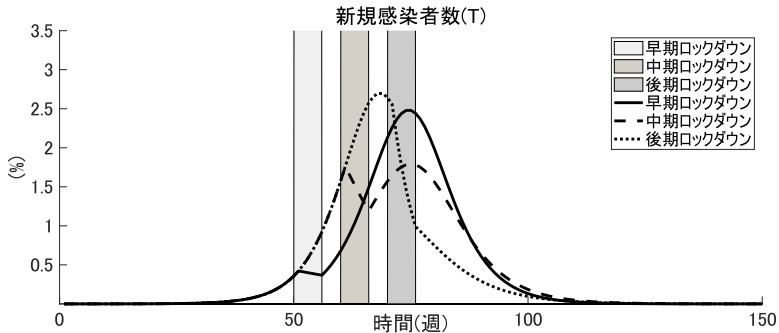
モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

異なるロックダウンの時期の比較



感染者が多いときに行った方が、大きな効果が見込める

実験3：ロックダウンのタイミング

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

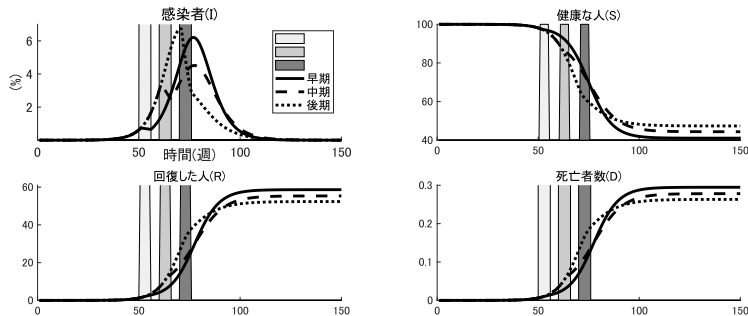
ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング



感染者が多いときに行った方が効果的

- ▶ ピーク時に抑え込むと効果は大きい
- ▶ この例だと、後期にロックダウンが効果的

(ただし、現実には死亡者を抑えるために、「早めに何度も」ということは出来ることに注意)

実験4：ロックダウンの長さ

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

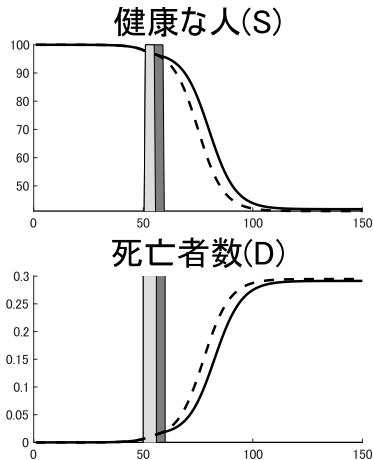
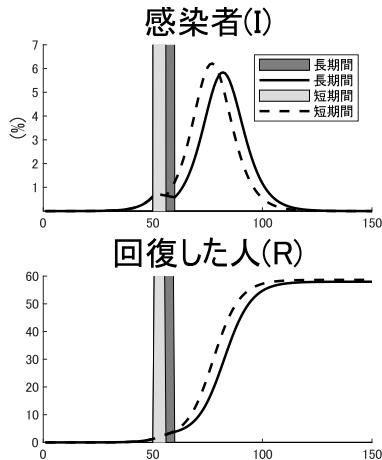
ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング



- ▶ ロックダウン中と直後は、長い方が効果大
- ▶ ロックダウンから時間が経つと、その効果はほぼ消失していく

発展：SIRD モデルの拡張の余地

これまでの教えた SIRD モデルは次のような要素を見逃している.

- ▶ 回復 \neq 免疫獲得
 - ▶ R が免疫保持は限らないかも...
 - ▶ $R \rightarrow S$ (※しかし、私の経験上、これは結果をあまり変えない)
- ▶ I の分解：重傷者と無自覚症状者
- ▶ 医療の限界：
 - ▶ 特定の上限 (例. 病床数, ICU 数, 人工呼吸器数) を超えると死亡者が激増する

$$I_{t+1} = \begin{cases} I_t + T_t - (\gamma_R - \hat{\gamma}_D)I_t - (\gamma_D + \hat{\gamma}_D)I_t & \text{if } I_t > C \\ I_t + T_t - \gamma_R I_t - \gamma_D I_t & \text{if } I_t \leq C \end{cases}$$

C は上限 (capacity).

- ▶ ワクチン

拡張の可能性は色々あるし、すでに分析されている

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

モデルの理解の深化

SIRD モデルは次のように書き換えることが出来る

$$S_{t+1} = S_t - T_t$$

$$I_{t+1} = I_t + T_t - \underbrace{(\gamma_R + \gamma_D)}_{\equiv \gamma} I_t$$

$$\underbrace{R_{t+1} + D_{t+1}}_{\equiv \bar{R}_{t+1}} = \underbrace{R_t + D_t}_{\equiv \bar{R}_t} + (\gamma_R + \gamma_D) I_t$$

数学的には、 $\bar{R}_t \equiv R_t + D_t$, $\gamma \equiv \gamma_R + \gamma_D$ と定義して、 D_t を省略できる.

⇒ そのため、SIRD モデルよりも SIR モデルのほうが、教科書的には一般的

$$\begin{aligned} I_{t+1} - I_t &= T_t - \gamma I_t = (\beta S_t - \gamma) I_t \\ \Leftrightarrow \frac{I_{t+1} - I_t}{I_t} &= \beta S_t - \gamma \end{aligned}$$

$\beta S_t - \gamma$ の大小関係で感染が広がるかどうか決まる.

- ▶ **実効再生産数** (effective reproduction number) $\mathcal{R}^E = \frac{\beta S_t}{\gamma}$
実効再生産数 $\mathcal{R}^E \leq 1$ で感染が増えるか減るか
- ▶ **基本再生産数** (basic reproduction number) $\mathcal{R} = \frac{\beta}{\gamma}$
 $S_0 \approx 1$ なので, 実効再生産数に $S_t = 1$ を代入したもの

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

$I_{t+1} = I_t = I$ となる定常状態を考える.

$$\begin{aligned} 0 &= (\beta S - \gamma)I \\ \Rightarrow S^* &= \frac{\gamma}{\beta} \left(= \frac{1}{\mathcal{R}} \right) \end{aligned}$$

この S^* を**集団免疫** (herd immunity) と解釈する

モデルのシミュレーションと集団免疫

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

SIRD モデル

仮想実験

ロックダウンの役割

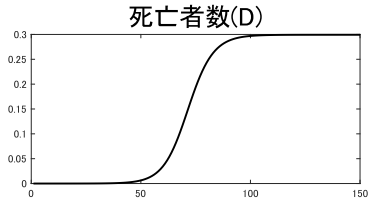
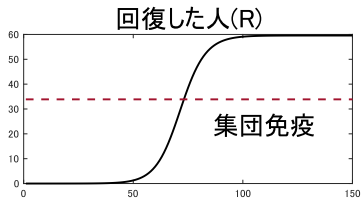
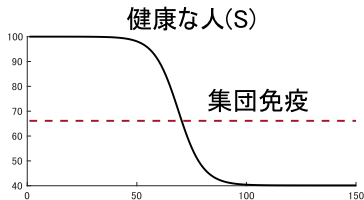
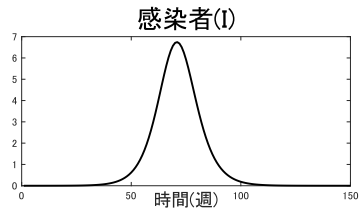
ロックダウンのタイミング

モデルの理解の深化

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

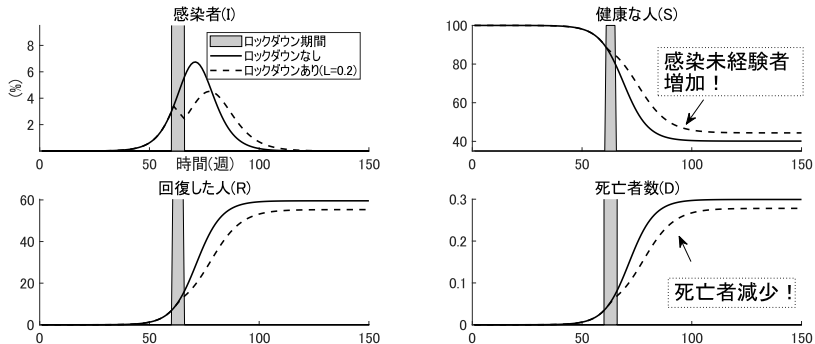
補論：コーディング



SIR モデルは**集団免疫 S^* に収束するわけではない！**感染者はもっと多くなる！
(overshoot)

⇒ 経済モデルは定常状態に収束するのが一般的

図は 20 頁の再掲



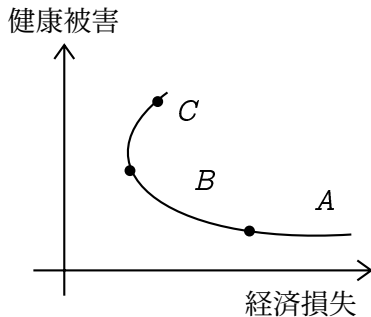
▶ ロックダウンは収束先を変える効果を持つ

疫学マクロ経済学

マクロ経済学と疫学の融合：小史

- ▶ 20 年 3 月中旬：初期の疫学マクロモデルの開発
 - ▶ 現在最も標準化したモデル：Eichenbaum, Rebelo and Trabandt ('20)
 - ▶ Alvarez, Argente Lippi ('20), Kaplan, Moll and Violante ('20), Glover, Heathcote, Krueger, Rios-Rull('20)
- ▶ 20 年 4/1：様々な webinar の開始 (vmacs, health,etc). 上記の研究が世界に配信される
- ▶ 20 年 4 月上旬：日本でも上記の研究の再現等が始まる

以下、様々な経緯を経て、現在では論文数は爆発的に増加...



読み方

- ▶ 右上は最悪：人命被害も経済損失も大きい
 - ▶ 例えば C 点是最悪. B の方がまだ良い
 - ▶ A 点と B 点は, 倫理・政治・民主的判断が必要

パンデミック可能性フロンティアのシフト

疫学マクロ

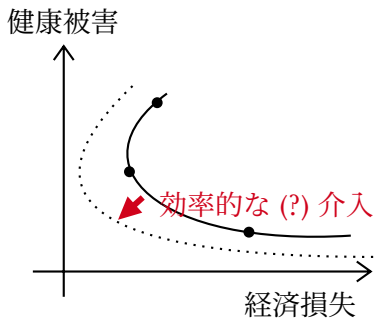
日野将志

純粋な疫学モデル

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング



効率的だと考えられて検討・提案された政策：“Targeting”

- ▶ 影響を受けやすい人を隔離：老人優先隔離
- ▶ 大量検査・大量隔離案：感染者隔離

▶ 純粋な疫学モデル：SIRD モデル

▶ ソローモデルみたいなもの

▶ 個人の経済行動は考慮されていない

▶ 疫学マクロモデル：SIR+マクロモデル

▶ “気のゆるみ” の自然な導入が可能：

感染が小康状態になると買い物へ ⇒ また感染拡大 ⇒ 経済自粛やロックダウン
⇒ …

現在，東大の仲田・藤井先生らが，マクロ経済学者として政策を牽引

- ▶ 首相との直接面会：

<https://www.sankei.com/politics/news/210508/plt2105080010-n1.html>

- ▶ 彼らのメディア活動一覧：<https://covid19outputjapan.github.io/JP/media.html>

以降，仲田・藤井モデルの解説

仲田・藤井モデルの特徴

- ▶ SIRD+超簡単な経済モデル
- ▶ SIRD パートは原則前述のとおり

$$S_{t+1} = S_t - T_t(\cdot) - \underbrace{V_t}_{\text{vaccinated}}$$

$$I_{t+1} = I_t + T_t(\cdot) - \gamma_R I_t - \gamma_D I_t$$

$$R_{t+1} = R_t + \gamma_R I_t + V_t$$

$$D_{t+1} = D_t + \gamma_D I_t$$

- ▶ T_t の関数形は後述
- ▶ V_t : ワクチン接種による抗体獲得

$$Y_t = \underbrace{(1 - L_t) A_t(\{L_j\}_{j=0}^{t-1})}_{\text{一人当たり生産性}} \underbrace{(S_t + \alpha_I I_t + R_t)}_{\text{労働}}$$

- ▶ $1 - L_t$ ：緊急事態，social distancing によって棄損された生産性
- ▶ $A_t(\{L_j\})$ ：過去の緊急事態宣言等によって持続的に棄損された生産性
- ▶ α_I ：感染者も一定程度働くことができる (例：無症状・無自覚患者)

$$T_t = \frac{\hat{\beta}_t}{POP_0} I_t S_t$$

$$\text{where } \hat{\beta}_t = \beta_t (1 - hL_t)^2$$

- ▶ $POP_0 (= I_0 + S_0)$: 初期人口
- ▶ $\hat{\beta}_t$: 効率感染率
- ▶ β_t : コロナの感染率
 - ▶ 例えばマスク着用率が上がると下がる. また例えば変異種は β が高い
- ▶ $(1 - hL_t)^2$: 経済活動が下がることで, 感染率が下がる効果 (h はパラメータ)

主要結論 1：感染と経済のトレードオフ

疫学マクロ

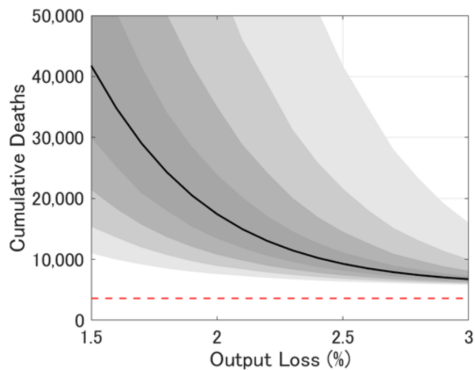
日野将志

純粋な疫学モデル

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング



主要結果

- ▶ 感染と経済にはトレードオフ
- ▶ 限界的な感染抑止効果が逡減
- ▶ 推定の誤差はとても大きい可能性

仲田・藤井のシミュレーションの設定

- ▶ 政府は1日の感染者数が2000人を超えると緊急事態を宣言
 - ▶ 設定した経済損失のペースを維持
 - ▶ ある基準 (新規感染者が週に 500×7 人 or 300×7 人) を下回ると解除する
- これを必要であれば何度も繰り返すという想定

主要結論 2：感染と経済のトレードオフと緊急事態宣言

疫学マクロ

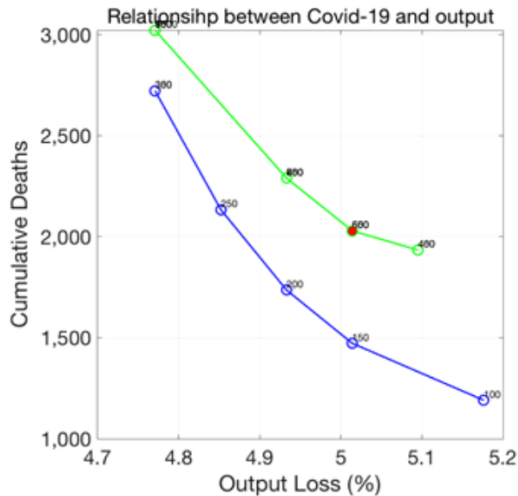
日野将志

純粋な疫学モデル

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング



主要結果

- ▶ 緑：
2 回短い緊急事態宣言
- ▶ 青：
1 回長い緊急事態宣言

⇒ 仲田・藤井グループは厳しい基準
(300 人/日) の緊急事態宣言を提案

参考文献：疫病マクロ経済学

▶ 日本語オンラインで読めるもののみ

- ▶ 仲田・藤井 [link](#) , 藤井 [link](#) , 久保田 [link](#) , 猪野・千葉 [link](#) , 日本経済学会 [link](#) , 経済セミナー [link](#) , [link](#)

▶ 他にも、経済セミナーという雑誌 [link](#)

▶ これらの中で紹介されている参考文献

補論：コーディング

MATLAB を例に

基本的には、数値計算やコーディングは電卓のようなもの
注意事項

(1) = は等号ではない

= は「右辺で左辺を定義する」という意味. == が等号
(※ R 等, = の代わりに < - 等を使う言語もある)

(2) ベクトルや行列は、配列と呼ぶ

(3) 最も特徴的な演算は (1)for ループ, (2)while ループ, (3)if 文

For ループは、 T 回ループを繰り返すという演算

▶ 数式例：

$$a = \sum_{t=1}^T a_t$$

▶ MATLAB コード例

```
1 % some codes
2 a=0;
3 for t=1:T
4     a = a + a_t(t);
5 end
```

While ループは、「ある条件を満たすまで」ループを繰り返すという演算

- ▶ ほぼ全ての場合、For ループで代替できる.

(私個人は、全て For ループで書くため、While ループを使わない)

If 文は条件付け. 「A が起きたら, B する」という命令

▶ 数式例:

$$a = \begin{cases} x + b & \text{if } x < 1 \\ x + c & \text{else} \end{cases}$$

▶ MATLAB コード例:

(※: コード例を挿入しようとしたら, 日本語のパッケージと色々干渉してしまった…)

SIRD モデルのコード

一番基本のケース (緊急事態宣言なし)

コード (1) : 準備パート

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

```
1  clc;clear all;close all;  % cleaning up
2
3  % Parameter setting
4  T=150; % simulation length
5  beta = 0.5852; % infection rate
6  gamma_D = 7/18*0.005; %death probability
7  gamma_R = 7/18*(1-0.005) ; % recovery probability
8
9  % preparation of matrices
10 S=zeros(1,T);%population of susceptible at all t
11 I=zeros(1,T);%population of infectious at all t
12 R=zeros(1,T);% population of recovered at all t
13 D=zeros(1,T);% number of death at all t
```

コード (2): Loop パート

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

```
1 % Initial Condition
2 I(1) = 10^(-6); % =1e-6
3 S(1) = 1 - I(1);
4 R(1) = 0;
5 D(1) = 0;
6
7 % Loop
8 for t=2:T
9     S(t) = S(t-1) - beta*S(t-1)*I(t-1);
10    I(t) = I(t-1) + beta*S(t-1)*I(t-1) - ...
        gamma_R*I(t-1) - gamma_D*I(t-1);
11    R(t) = R(t-1) + gamma_R*I(t-1);
12    D(t) = D(t-1) + gamma_D*I(t-1);
13 end
14 Trans=beta.*S.*I;
```

コード (3): 図示パート

疫学マクロ

日野将志

純粋な疫学モデル

疫学マクロ経済学

仲田・藤井論文

補論：コーディング

```
1 % Figure 1
2 figure
3 plot([1:T],Trans*100,'k','LineWidth',1.5)
4 title('新規感染者数(T)','FontSize',20)
5 xlabel('時間週()','FontSize',14,'interpreter','latex')
6
7 % Figure 2
8 figure
9 subplot(2,2,1)
10 plot([1:T],I*100,'k','LineWidth',1.5);
11 title('感染者(I)','FontSize',20,'interpreter','latex')
12 xlabel('時間週()','FontSize',14,'interpreter','latex')
13
14 subplot(2,2,2)
15 plot([1:T],S*100,'k','LineWidth',1.5);
16 hold on
17 title('健康な人(S)','FontSize',20,'interpreter','latex')
```


コード (3): 図示パート (cont'd)

```
1 subplot(2,2,3)
2 plot([1:T],R*100,'k','LineWidth',1.5);
3 hold on
4 title('回復した人(R)', 'FontSize',20, 'interpreter','latex')
5
6 subplot(2,2,4)
7 plot([1:T],D*100,'k','LineWidth',1.5);
8 hold on
9 title('死亡者数(D)', 'FontSize',20, 'interpreter','latex')
```