

令和2年度 AIMaPチュートリアル

新型コロナウイルス感染症にかかわる諸問題の数理

著者：池森俊文

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所

令和2年度 AIMaP チュートリアル

新型コロナウイルス感染症にかかわる諸問題の数理

池森 俊文

About MI Lecture Note Series

The Math-for-Industry (MI) Lecture Note Series is the successor to the COE Lecture Notes, which were published for the 21st COE Program “Development of Dynamic Mathematics with High Functionality,” sponsored by Japan’s Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) from 2003 to 2007. The MI Lecture Note Series has published the notes of lectures organized under the following two programs: “Training Program for Ph.D. and New Master’s Degree in Mathematics as Required by Industry,” adopted as a Support Program for Improving Graduate School Education by MEXT from 2007 to 2009; and “Education-and-Research Hub for Mathematics-for-Industry,” adopted as a Global COE Program by MEXT from 2008 to 2012.

In accordance with the establishment of the Institute of Mathematics for Industry (IMI) in April 2011 and the authorization of IMI’s Joint Research Center for Advanced and Fundamental Mathematics-for-Industry as a MEXT Joint Usage / Research Center in April 2013, hereafter the MI Lecture Notes Series will publish lecture notes and proceedings by worldwide researchers of MI to contribute to the development of MI.

October 2018

Osamu Saeki

Director

Institute of Mathematics for Industry

Mathematical Analyses of Various Problems Associated with COVID-19

MI Lecture Note Vol.82, Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University

ISSN 2188-1200

Date of issue: March 22, 2021

Author: IKEMORI Toshifumi

Publisher:

Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University

Graduate School of Mathematics, Kyushu University

Motooka 744, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395, JAPAN

Tel +81-(0)92-802-4402, Fax +81-(0)92-802-4405

URL <http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/>

はじめに

文部科学省科学技術試験研究委託事業「数学アドバンストイノベーションプラットフォーム」(AIMaP: Advanced Innovation powered by Mathematics Platform)は、「数学・数理科学と諸科学・産業との協働によるイノベーション創出のための研究促進プログラム(略称:数学協働プログラム)」(中核機関:統計数理研究所、H24~28年度)で構築されたネットワーク型研究基盤を引き継ぎ、平成29年度より5年間かけて数学・数理科学と諸科学分野・産業との協働を推進する組織的な取り組みです。九州大学マス・フォア・インダストリ研究所(IMI)が幹事拠点となり、全国12の数学・数理科学機関と協力体制を築き、諸科学・産業界に潜在する数学・数理科学へのニーズを積極的に発掘して、問題解決にふさわしい数学・数理科学研究者との協働による研究を促進する仕組みを構築することを目標としています。

当事業の一環として、2021年3月20日と3月21日の二日間AIMaPチュートリアル「新型コロナウイルス感染症にかかわる諸問題の数理」をオンライン開催いたしました。これは諸科学や産学官、異なる分野や立場のフロントランナーの方々にご登壇いただき、2020年10月31日に開催した“数学関連3学会連携企画<特別公開セッション>「感染症に立ち向かう数理科学」”の後続企画です。数学・数理科学の最新の研究成果の紹介も交えながら複眼的に新型コロナウイルス感染症とそこから派生する課題について理解するための企画であった前回は踏まえ、今回は2017年度AIMaP運営委員会委員も務められた池森俊文氏を講師としてお招きし、経済と数理の両方が見渡せる専門家の視点で、社会が直面する喫緊の課題を数学・数理科学の力で紐解くご講義を展開いただきました。

激動の銀行業界において要職を長くお務めになられており、それらの豊富なまた最前線のご経験を背景に新型コロナ問題における相容れない「3つの連立方程式」へのソリューションについて第1回 行動制限と感染症モデル、第2回 家計・産業への影響を考える、のタイトルで二日間にわたって主として数学的アプローチから連続講義を行っていただきました。まさに緊急事態宣言解除前後のタイミングで、多くの人々がニューノーマルやそのための判断基準に高い関心を寄せる時期と重なりました。身近に感じる生データを用いて数式によって、新型コロナウイルス感染状況と家計や経済への影響に切り込んでいられるスタイルのご講義は迫力満点でした。このレクチャーノートは、参加者のみならず非参加者に対しても、当該分野の基礎事項の勉強に供し、また、先端的情報を提供するため、講義資料をとりまとめたものです。

本チュートリアルが今後の数学・数理科学の研究および諸科学分野・産業への応用の一助となることを願っています。

本チュートリアルは、AIMaP事業(文部科学省)が主催いたしました。開催に際しては、AIMaP協力拠点皆様にご趣旨への賛同を賜り、多くの方に貴重なご講義への参加を賜ることができました。講師を務めてくださった池森氏、開催協力いただいた全ての皆様にこの場をお借りして深く御礼申し上げます。

AIMaP事業 代表 佐伯 修

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所・所長

2021年3月

AIMaPチュートリアル 「新型コロナウイルス 感染症にかかわる 諸問題の数理」

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の世界的な拡大を受け、国内外の経済活動は収縮し、卸売業・小売業、サービス産業 (観光業など)、製造業、農林水産業など、広範囲の業種で影響が現れ、それは現在も継続しています。マクロ、ミクロレベルで日々刻々行動様式や習慣、文化の変容が起きていますが、苦難を切り抜ける一過性の方策と観るのか、あるいは全世界的な新しいパラダイムの登場として認識するのか、我々は選択を迫られており、そのための十分な精査・検証を必要としています。今後、ワクチンや治療薬の開発、医療体制の拡充等が及ぼす効果によってまた予知せざる大きな変化に晒されることでしょう。ただ、この嵐はやがて去ります。そして、危機を乗り切ったのち我々が身をおくべき世界について予め考えておかなければなりません。

今回のチュートリアルでは、いわゆる第三波までの経過を感染症と経済の数理、双方に精通された池森先生に多角的に分析いただき、家計や企業、政府、様々な立場で、我々が重要な判断を求められた際にその確固たる足場となりうる知見を解説していただきます。そして新しいルールや指標についてイメージし、コロナの向こう側にある真のニューノーマルな景色を一緒に紐解いてまいりましょう。

令和3年 3/20 [土]・21 [日]
2021 13:30~15:45 構成:50分×2コマ、休憩あり(10分)、意見交換あり(20分)

参加
無料



Zoomウェビナーによる
オンライン開催

パソコンやスマホで簡単に視聴できます



事前申し込み
登録専用フォーム



統計数理研究所統計思考院 特命教授
東京大学医学部附属病院 届出研究員

池森 俊文氏

申し込み方法 事前申し込み制

上記のQRコードから必要情報を入力して参加の事前登録をお願いします。

希望者が定員の500名を超えた場合はお申し込みを制限させていただきます。予めご了承ください。
詳細はホームページをご覧ください。 <https://aimap.imi.kyushu-u.ac.jp/wp/event/2020k002>





「新型コロナウイルス感染症にかかわる諸問題の数理」

参加
無料令和3
3/20_[土]・21_[日]
13:30~15:45 構成:50分×2コマ、休憩あり(10分)、
意見交換あり(20分)

Program プログラム

3/20 _[土]	13:30~13:35	開会挨拶・講師紹介/九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 所長 佐伯修
	13:35~14:25	「行動制限と感染症モデル」①
	14:25~14:35	休憩
	14:35~15:25	「行動制限と感染症モデル」②
	15:25~15:45	意見交換および質疑応答
21 _[日]	13:30~14:20	「家計・産業等への影響を考える」①
	14:20~14:30	休憩
	14:30~15:20	「家計・産業等への影響を考える」②
	15:20~15:40	意見交換および質疑応答
	15:40~15:45	閉会挨拶・総括/九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 教授 福本康秀

講師プロフィール

統計数理研究所統計思考院 特命教授
東京大学医学部附属病院届出研究員いけ もり とし ぶみ
池森 俊文氏

新商品開発・金融リスク管理等の「数理を用いた金融技術の実務化」において豊富な経験と知見を有し、それを一般企業も含めた経営全般及び事業全般に活かすことをテーマとして活動をしてきました。
コロナ感染症拡大防止のための緊急事態宣言以降、国内外を問わず経済と感染症の動向を様々な側面から洞察しています。今回はそのレポートの中から、家計や我々の日常行動等に焦点をあてた論考をご紹介します。

略 歴

1977年3月 東京大学理学部数学科 卒業
1977年4月 (株)日本興業銀行入社
1998年4月 興銀フィナンシャルテクノロジー(株)
2000年9月 (株)みずほホールディングス 参事役
2002年4月 みずほ第一フィナンシャルテクノロジー(株) 取締役
2007年1月 同社 代表取締役社長 (2013年3月まで)
2007年4月 兼職:東京大学経済学部非常勤講師
2011年10月 兼職:一橋大学大学院商学研究科客員教授
2013年4月 一橋大学大学院商学研究科特任教授 (2018年3月まで)
2018年4月 ロボット投信(株) 顧問 (2020年3月まで)
2018年8月 統計数理研究所統計思考院 特命教授
2020年11月 東京大学医学部附属病院届出研究員 現在に至る

目 次

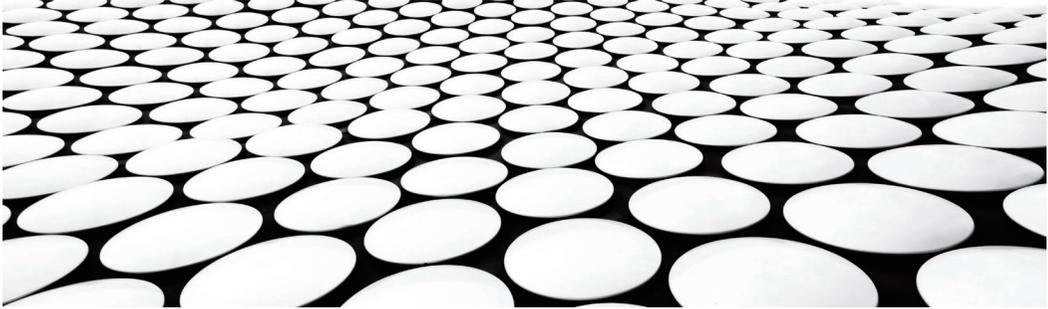
1. 行動制限と感染症モデル	1
1-1. 第一波の発生と終息（古典的 SIR モデル）	
1-2. SIR モデルの応用・修正適用	
1-3. 感染再拡大の可能性	
1-4. 感染拡大第二波・第三波の発生	
1-5. 新型コロナの終息に向けて	
2. 家計・産業等への影響を考える	27
2-1. 緊急事態宣言	
2-2. 産業別の動向	
2-3. 財務モデルⅠ（損益分岐点分析）	
2-4. 財務モデルⅡ（純資産利益率分析）	
2-5. 新型コロナとわが国の財政再建問題	
2-6. ポストコロナに向けて	

参考資料

新型コロナウイルスの日本の社会・経済への影響 －中間集計（1）－	59
新型コロナウイルスの日本の社会・経済への影響 －中間集計（4）：最近の感染者発生状況など－	78
新型コロナウイルスの日本の社会・経済への影響 －中間集計（5）：日本の財政問題への影響－	92
新型コロナウイルス感染の日本の社会・経済への影響 －感染拡大から半年間の状況－	105
新型コロナウイルス感染者についての基礎分析 －国内の地域別新規感染者数の因子分析ほか－	124
新型コロナウイルス感染者についての基礎分析 －地域別新規感染者数の因子分析（2）－	134

新型コロナウイルス感染症 にかかわる諸問題の数理. 1

1. 行動制限と感染症モデル 2. 家計・産業等への影響を考える



【お断り】

今回のプレゼンテーションの内容は、発表者の個人的な意見に基づくものであり、発表者の属する組織の見解とは必ずしも同じではないことにご注意下さい。

簡単な自己紹介

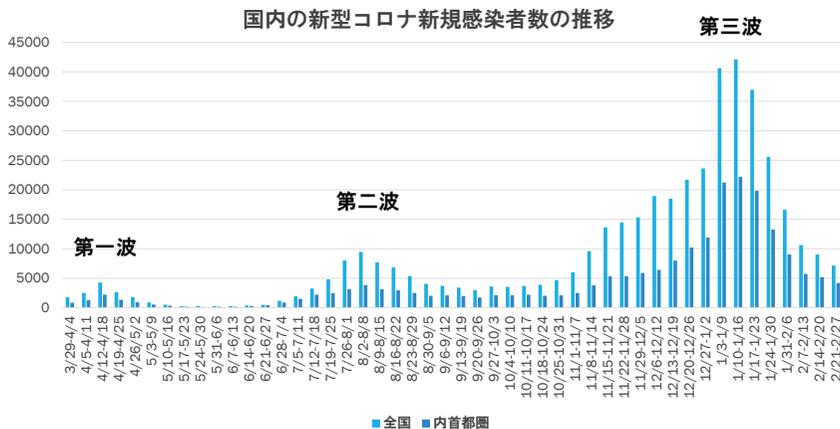
(略歴)

- 1953年7月 広島県生まれ
- 77年3月 東京大学理学部数学科卒業
- 4月 日本興業銀行入行 (経理部、広島支店)
計量システム開発室、金融商品開発部、
フィナンシャルエンジニアリング部、総合リスク管理部
- 2000年9月 みずほホールディングス (株) 総合リスク管理部
- 02年4月 みずほ第一フィナンシャルテクノロジー (株) 取締役
- 07年1月 同社 代表取締役社長
- 13年4月 同社社長退任、同社顧問、一橋大学大学院商学研究所特任教授
- 18年3月 同社顧問退任、一橋大学大学院特任教授退任
- 18年4月 ロボット投信株式会社顧問 →2020年3月 退任
- 18年7月 統計数理研究所統計思考院特命教授
- 20年11月 東大医学部附属病院研究員 現在に至る

数理を使った
金融技術開発
を担当

2021/3/11

問題提起



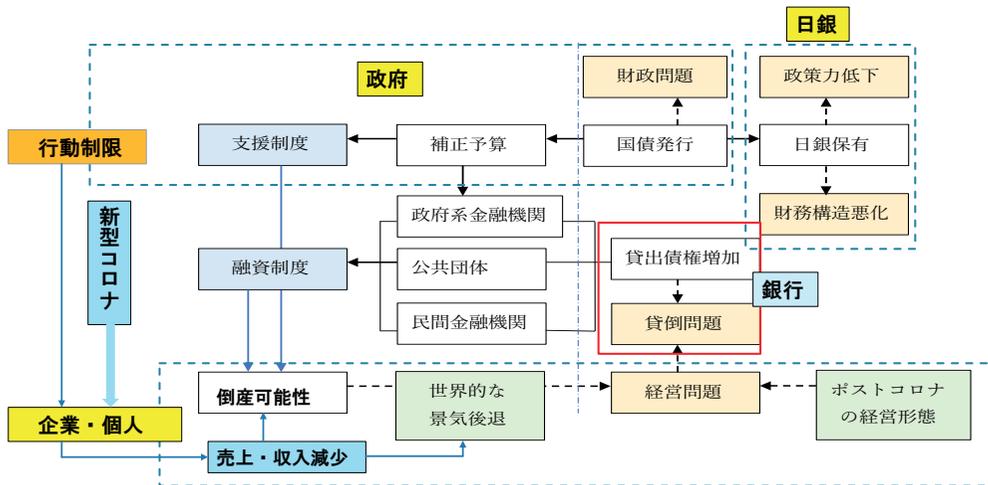
2021/3/11

<経緯>

- 2020年2月初 新型コロナは、まだ「中国固有の問題」
2月3日 ダイヤモンド・プリンセス号
- 2020年3月上旬 新規感染者が増加（**第一波**）
段階的に海外からの**入国制限・入国拒否** →観光業・留学生・労働力に影響
- 2020年4月 **緊急事態宣言**（最初は首都圏ほか、4月16日に全国に） →商業施設等が休業
- 2020年5月 **解除**（日本モデルー新型コロナの封じ込めをアピール（安倍首相））
- 2020年6月中旬 **第二波**の立ち上がり
- 2020年7月22日 **Go-To-Travel キャンペーン開始**
- 2020年8月上旬 第二波ピーク、以下、新規感染者数は下降
- 2020年9月後半 東京都の「**時短制限**」が解除、10月からは**その他のGo-To キャンペーン開始**
(9/20-9/26の週に第二波の新規感染者数の下降が反転、増加に = **第三波の開始**)
- 2020年12月後半 **Go-To-Travel キャンペーンを一時停止**（5都市→全国一斉に） →**第三波が拡大**
- 2021年1月 首都圏ほかにも再度**緊急事態宣言**
- 2021年3月 **解除**（首都圏を除き）

2021/3/11

<問題の構図>



2021/3/11

<本講座の構成>

- 新型コロナ問題では、相容れない次の「**3つの連立方程式**」へのソリューションが必要になる。

- (1) 国民の安全を確保すること
- (2) わが国の産業構造を維持・保全すること
- (3) 国家財政の破綻を防ぐこと（含む、中央銀行の財務構造・政策能力）

この講座では、主として (1),(2) を中心に、数理的アプローチを試みる。

- 2回の講座を以下のように構成する。

- 第1回 行動制限と感染症モデル
- 第2回 家計・産業への影響を考える

2021/3/11

1. 行動制限と感染症モデル

1. 1 第一波の発生と終息（古典的SIRモデル）

- (1) 古典的SIRモデル
- (2) 非感染者数 (x) と感染力保有者数 (y) の関係
- (3) 古典的SIRモデルの修正解釈
- (4) 緊急事態宣言の諸施策の意味

1. 2 SIRモデルの応用・修正適用

- (1) 感染終息時期の予測
- (2) 移動制限解除の影響 – 2地域モデル
- (3) 確率モデル – SIR + Cramer/Lundbergモデル
- (4) 感染力保有者がコロニーを形成するモデル

1. 3 感染再拡大の可能性

- (1) 古典的風土病モデル（Endemic model）
- (2) 免疫解消による再拡大、新種ウィルスによる再拡大

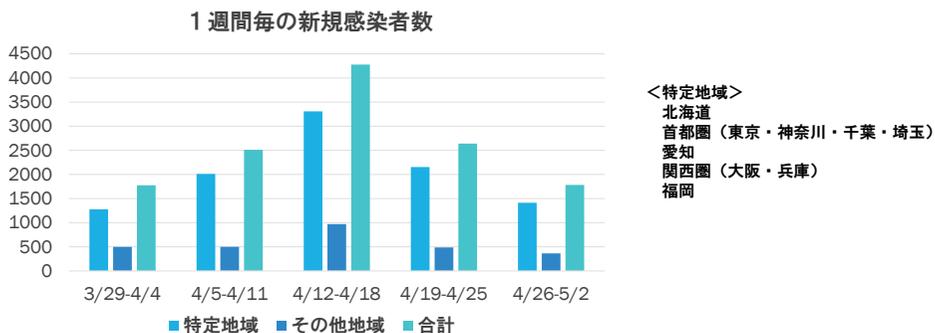
1. 4 感染拡大第二波・第三波の発生

- (1) 第三波の特徴
- (2) 感染拡大の地域間の連動性
- (3) 地域別新規感染者の因子分析 (3-1) 第一波・第二波の因子分析 (3-2) 第三波の因子分析
- (4) 第三波の因子分析の背景（推測）

1. 5 新型コロナの終息に向けて

1. 1 第一波の発生と終息（古典的SIRモデル）

■ 感染拡大第一波は、5月中旬には終息し、政府は「日本型モデル」の成功をアピールした。



2021/3/11

(1) 古典的SIRモデル

(注) Kermack-McKendric Model と呼ばれる

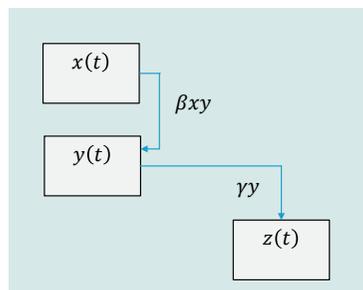
■ 古典的SIRモデル（Susceptible-Infective-Recovered Model (注)）では、

感染症への感染メカニズムを次のような連立微分方程式で考える。

時点 t における、非感染者数 $x(t)$ 、感染力保有者数 $y(t)$ 、

発見され隔離された人数 $z(t)$ 、総人口 N とするとき、

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = -\beta xy \quad (1) \\ \frac{dy}{dt} = \beta xy - \gamma y = \beta y(x - \rho), \quad \rho = \frac{\gamma}{\beta} \quad (2) \\ \frac{dz}{dt} = \gamma y \quad (3) \\ x(t) + y(t) + z(t) = N \quad (4) \end{array} \right.$$



2021/3/11

■ 流行曲線 (dz/dt) を求める。

以下、[2] 佐藤總夫による。

第(1)式を第(3)式で割って次式を得る

$$\frac{dx}{dz} = -\frac{\beta}{\gamma}x = -\rho x$$

x を z の関数と見ると、解けて、

$$x(z) = x_0 e^{-\frac{z}{\rho}} \quad (5)$$

一方で、(4)式から得られる $y = N - z - x$ と上式 (5) を、モデルの連立方程式系の (3)式に代入すると、

$$\frac{dz}{dt} = \gamma \left(N - z - x_0 e^{-\frac{z}{\rho}} \right) \quad (6)$$

感染者数の閾値となる ρ と比較して、感染判明者数 z は相対的に小さく、 z/ρ は小さな値と考えられ、Taylor展開近似すると、

$$e^{-\frac{z}{\rho}} = 1 - \frac{z}{\rho} + \frac{1}{2} \left(-\frac{z}{\rho} \right)^2 + o(3)$$

2021/3/11

これを (6)式に代入すると、

(注) 公式 $\tanh^{-1}x = \frac{1}{2} \log \frac{1+x}{1-x}$ を用いる

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dt} &= \gamma \left(N - z - x_0 \left(1 - \frac{z}{\rho} + \frac{1}{2} \left(-\frac{z}{\rho} \right)^2 \right) \right) \\ &= \gamma \left((N - x_0) + \left(\frac{x_0}{\rho} - 1 \right) z - \frac{x_0}{2\rho^2} z^2 \right) \\ &= \frac{\gamma x_0}{2\rho^2} (A^2 - (z - B)^2) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{\rho^2}{x_0} \sqrt{\left(\frac{x_0}{\rho} - 1 \right)^2 + \frac{2x_0(N - x_0)}{\rho^2}} \\ B &= \frac{\rho^2}{x_0} \left(\frac{x_0}{\rho} - 1 \right) \end{aligned}$$

微分方程式 (7) は、次のように変数分離して解くことができる。

$$\frac{dz}{A^2 - (z - B)^2} = \frac{1}{2A} \left(\frac{dz}{A - (z - B)} - \frac{dz}{A + (z - B)} \right) = \frac{\gamma x_0}{2\rho^2} dt$$

これを解き、 $z(0) = 0$ を考慮すると、(注)

$$z(t) = \frac{\rho^2}{x_0} \left(\left(\frac{x_0}{\rho} - 1 \right) + \lambda \cdot \tanh \left(\frac{\gamma \lambda}{2} t - \mu \right) \right) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \sqrt{\left(\frac{x_0}{\rho} - 1 \right)^2 + \frac{2x_0(N - x_0)}{\rho^2}} \\ \mu &= \tanh^{-1} \frac{1}{\lambda} \left(\frac{x_0}{\rho} - 1 \right) \end{aligned}$$

2021/3/11

■ 流行曲線（新規感染者数） dz/dt を計算する。（注）

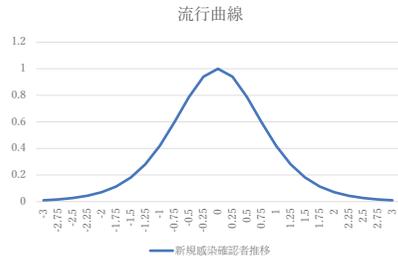
$$\frac{dz}{dt} = \frac{\gamma \rho^2 \lambda^2}{2x_0} \operatorname{sech}^2\left(\frac{\gamma \lambda}{2}t - \mu\right) \quad (9) \quad \text{（注）公式 } \frac{d}{dt}(\operatorname{tanh}x) = \operatorname{sech}^2x = 4/(e^x + e^{-x})^2 \text{ を利用}$$

■ 流行曲線 dz/dt は次のような性質をもつ。

1. $t = 2\mu/\gamma\lambda$ に対して左右対称である。
2. $t < 2\mu/\gamma\lambda$ で単調増加、 $t > 2\mu/\gamma\lambda$ で単調減少である。
3. $t = 2\mu/\gamma\lambda$ で最大値 $\frac{\gamma \rho^2 \lambda^2}{2x_0}$ をとる。

■ 1週間毎の新規感染者数推移と比較すると、

ピーク $a = \frac{\gamma \rho^2 \lambda^2}{2x_0}$ 、 時点 $t = \frac{2\mu}{\gamma\lambda}$ 、 時間尺度 $\frac{\gamma\lambda}{2}$
 などを推定することができる。



2021/3/11

(2)非感染者数 ($x(t)$) と感染力保有者数 ($y(t)$) の関係

■ 古典的SIRモデル ((1)~(4)) において、 $x(t)$ と $y(t)$ の関係を見てみよう。

(2)式を(1)式で割れば次式が得られる。

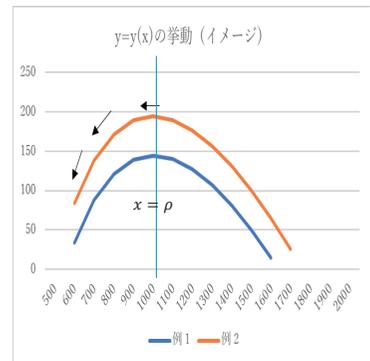
$$\frac{dy}{dx} = \frac{\beta xy - \gamma y}{-\beta xy} = \frac{\rho}{x} - 1, \quad \rho = \frac{\gamma}{\beta} \quad (10)$$

これは解けて、初期値を (x_0, y_0) とすると、

$$y(x) = (y_0 + x_0) - x + \rho \cdot \log\left(\frac{x}{x_0}\right) \quad (11)$$

曲線 $y = y(x)$ を (x, y) 平面で考えると、(10)式より $d^2y/dx^2 = -\rho/x^2$

で上に凸、 $x = \rho$ を境に、 $x > \rho$ ならば y は単調減少（このモデルでは時間とともに $x(t)$ が減少するので $y(t)$ は増加）、 $x < \rho$ ならば y は単調増加（同じ理由で時間とともに $y(t)$ は減少）となる。



2021/3/11

■したがって、新規感染者数 ($dz/dt = \gamma y$) を減少させるには、 y を減少させること、すなわち $x < \rho = \gamma/\beta$ の状態を作ることが重要である。

■そのためには、パラメータ ρ を実質的にシフトさせる必要がある。

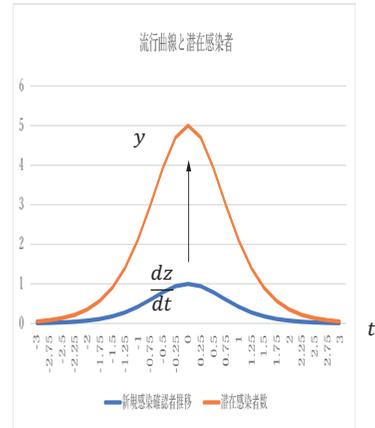
具体的には、

- ・ β を小さくする
- ・ γ を大きくする

ことによって、パラメータ ρ を大きくして、

$$x < \rho = \gamma/\beta \quad (12)$$

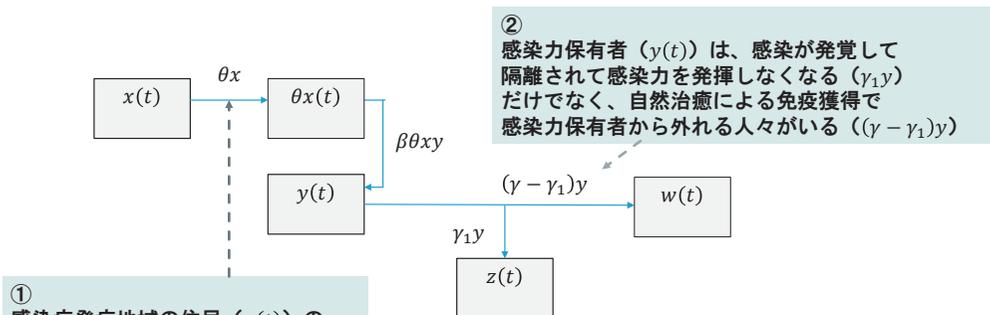
とすることである。



2021/3/11

(3) 古典的SIRモデルの修正解釈

■古典的SIRモデルを適用するにあたっては、若干の解釈の修正が必要となる。



① 感染症発症地域の住民 ($x(t)$) のうち、比率 θ に当たる人々が感染力保有者 ($y(t)$) と接触する

(注) 実際、気体分子運動論のように地域住民が感染力保有者と均等に接触をするとは考えられない。

2021/3/11

(4)緊急事態宣言の諸施策の意味

■このような要素を考慮すると、パラメータ ρ は次のように修正される。

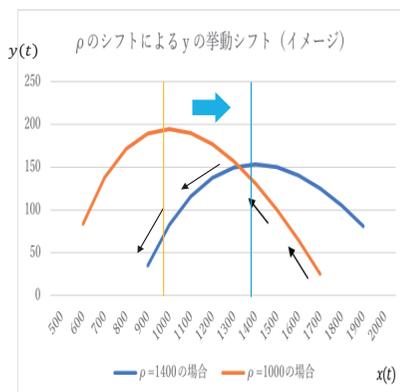
$$\rho = \frac{\gamma_1 + (\gamma - \gamma_1)}{\theta\beta} \quad (13)$$

■このパラメータ ρ を大きくすることによって、 $x < \rho$ となるようにすればよい。具体的には、

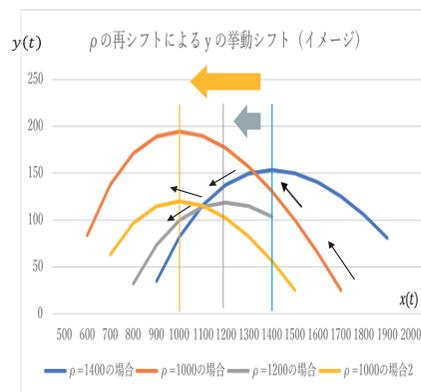
- (1) θ を小さくすること
施設閉鎖、イベント中止、移動制限、Stay Home、在宅勤務など
- (2) β を小さくすること
マスク着用、手洗い、うがい、3密回避、時差出勤など
- (3) γ を大きくすること (γ_1 を大きくすること)
ワクチンの開発（人為的な感染・免疫獲得）
検査体制整備により自然免疫獲得よりも早期に感染者の保護・隔離を行う

2021/3/11

■それによってパラメータ ρ はシフトして、感染は縮小するはず。しかし、再シフトすると再び拡大する可能性も。



$\rho = 1000$



2021/3/11

1. 2 SIRモデルの応用・修正適用

以下、基本的には「SIRモデル」を基礎として、次のような内容について見ていく。

- (1) 感染終息時期の予測
- (2) 移動制限解除の影響 – 2 地域モデル
- (3) 確率モデル – S I R + Cramer/Lumdbergモデル
- (4) 感染力保有者がコロニーを形成するモデル

2021/3/11

(1) 感染終息時期の予測

■ SIRモデルでは、パラメータがシフトしなければ流行曲線 ($w(t) = dz(t)/dt$) は次のようになった。

$$w(t) = \frac{dz(t)}{dt} = a \cdot \sec^2(bt - c) \quad (9)$$
$$a = \frac{\gamma \rho^2 \lambda^2}{2x_0}, b = \frac{\lambda \gamma}{2}, c = \tanh^{-1} \frac{1}{\lambda} \left(\frac{x_0}{\rho} - 1 \right)$$

ピーク時 (t_0) を起点に時点を s に変換すると、 $bt - c = bs$ 、 $w(s) = a \cdot \sec^2(bs)$ 、 $w(0) = a$

このピーク時の値 a に対して、 $w = \phi a$ ($0 < \phi < 1$) となる時点を $s_\phi = t_\phi - t_0$ とすると、

$$\phi a = a \cdot \sec^2(bs_\phi) = a \cdot \frac{4}{(e^{bs_\phi} + e^{-bs_\phi})^2}$$

これを解くと、次式が得られる。

感染終息の判定基準を $\phi = \phi_E$ とすると、その時期は、

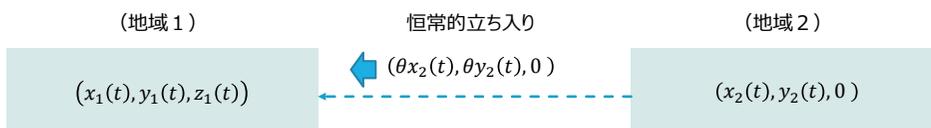
$$s_\phi = \frac{1}{b} \log \left(\frac{1 + \sqrt{1 - \phi}}{\sqrt{\phi}} \right) \quad s_{\phi_E} = \frac{1}{b} \log \left(\frac{1 + \sqrt{1 - \phi_E}}{\sqrt{\phi_E}} \right) \quad (14)$$

2021/3/11

(2) 移動制限解除の影響 – 2 地域モデル

- 古典的SIRモデルは、閉ざされた「単一地域モデル」であるが、ここでは、感染の終息していない（地域1）と、感染が終息した（地域2）を考える。

- （地域2）から（地域1）へ、人口に対して比率 θ の人が恒常的に立ち入るものと仮定する。



- 移動する者には非感染者と感染力保有者が均一に混じり、各地域で非感染者と感染力保有者が均一に接触するとすれば、それぞれの地域では次のような「接触」が発生する。

$$(x_1 + \theta x_2)(y_1 + \theta y_2) \qquad (1 - \theta)^2 x_2 y_2$$

2021/3/11

- この接触に伴って発生する感染を、それぞれの地域別に整理して微分方程式にすると、

$$\begin{array}{l}
 \text{(地域1)} \\
 \left[\begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = -\beta x_1 (y_1 + \theta y_2) \\ \frac{dy_1}{dt} = \beta x_1 (y_1 + \theta y_2) - \gamma y_1 \\ \frac{dz_1}{dt} = \gamma_1 y_1 \end{array} \right. \quad (14)
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{(地域2)} \\
 \left[\begin{array}{l} \frac{dx_2}{dt} = -\beta x_2 ((1 - \theta)^2 y_2 + \theta (y_1 + \theta y_2)) \\ \frac{dy_2}{dt} = \beta x_2 ((1 - \theta)^2 y_2 + \theta (y_1 + \theta y_2)) - \gamma y_2 \\ \frac{dz_2}{dt} = \gamma_1 y_2 \end{array} \right. \quad (15)
 \end{array}$$

- 例えば、初期値として、

$$(x_1, y_1) = (10700, 665), \quad (x_2, y_2) = (10000, 0)$$

時間間隔を1週間とし、パラメータ $\beta, \theta, \gamma, \gamma_1$ をうまく設定すると、

（地域2）において感染症が再発生する状況をシミュレーションすることができる。

- 緊急事態宣言の解除（地域的移動制限の解除）、GoToトラベルキャンペーンの推進、出入国規制の解除などの場合のシミュレーションに使える。

2021/3/11

(3) 確率モデル – SIR + Cramer/Lundberg モデル

■ 連立方程式系のSIRモデルは決定論モデルであるが、このモデルに確率論的要素を加味したらどうなるか。

実際、感染拡大第一波の終息時期（緊急事態宣言解除後）に、北海道、東京、神奈川、福岡などで、比較的多数の「クラスターによる感染者」が発生し、左右対称の流行曲線が乱れた。

■ 損害保険や金融のオペレーショナルリスク計量などに使われる「Cramer-Lundberg model」を応用する。

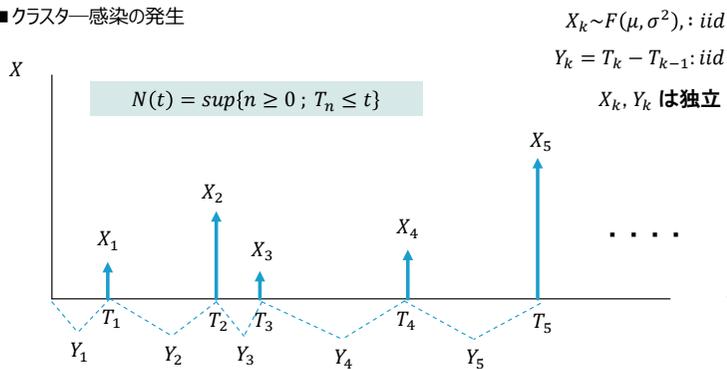
(Cramer-Lundberg model)

1. 発生する感染の感染者数 $(X_k)_{k \in \mathbb{N}}$ は正値の iid 確率変数で共通分布 F に従う。 $E[X_k] = \mu, V[X_k] = \sigma^2 < \infty$
2. 発生する感染時刻 $0 < T_1 < T_2 < \dots$ はランダムとし、発生間隔を $Y_k = X_k - X_{k-1}$ とすると、
 $(Y_k)_{k \in \mathbb{N}}$ は iid の指数分布で、 $E[Y_k] = 1/\lambda$ とする。
3. 2つの列 $(X_k)_{k \in \mathbb{N}}$ と $(Y_k)_{k \in \mathbb{N}}$ は相互に独立とする。
4. 期間 $[0, t]$ 中に発生する感染の回数を $N(t)$ とする。 $N(t) = \sup\{n \geq 1; T_n \leq t\}$

2021/3/11

(参考) クラスター発生モデル化

■ クラスター感染の発生



2021/3/11

■これらの (Cramer-Lundberg model) の仮定から、

$N(t)$ は「強度 (intensity) $\lambda > 0$ の Poisson過程」となり、

$$\mathbb{P}(N(t) = k) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (16)$$

ここで累計感染者数を $S(t)$ とすると、

$$S(t) = \begin{cases} \sum_{k=1}^{N(t)} X_k & N(t) > 0 \\ 0 & N(t) = 0 \end{cases} \quad (17)$$

$S(t)$ の 1 週間毎の期待値は、

$$E[S(t)] = \mu\lambda(t) \quad (18)$$

となり、1 週間ごとの感染者数 $S(t)$ は次のような「確率モデル」によって表すことができる。

$$\frac{dz(t)}{dt} = S(t) = \mu\lambda(t) + (S(t) - \mu\lambda(t)) \quad (19)$$

2021/3/11

(4) 感染力保有者がコロニーを形成するモデル

- 古典的SIRモデルは、ある閉ざされた地域内で非感染者 ($x(t)$) と感染力保有者 ($y(t)$) が均一に接触し、その接触に伴って比率 β で「感染」が発生する ($\beta x(t)y(t)$) という設定であった。
- しかし、そのような設定は、軍隊内や大学内の感染やダイヤモンドプリンセス号内の感染には当てはまっても、日本全国やと都道府県内の感染者を分析するには不適當。

<新しいモデル>

- ある考察対象地域の感染力保有者 ($y(t)$) は複数のコロニー (colony) を形成している。

$$y(t) = y_1(t) + \dots + y_n(t) \quad (20)$$

- そこに非感染者のうちの比率 θ の人達が、それぞれ別々にそれに接触して、

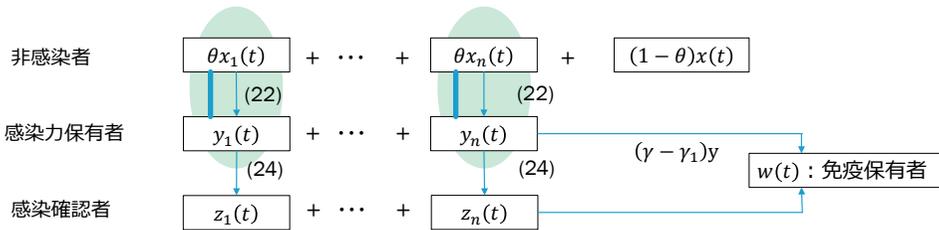
$$x(t) = \theta x(t) + (1 - \theta)x(t) = \theta(x_1(t) + \dots + x_n(t)) + (1 - \theta)x(t) \quad (21)$$

接触しない人

2021/3/11

■各コロナー毎に古典的SIRモデルを満たすとする。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_i}{dt} = -\beta\theta x_i y_i \quad (22) \\ \frac{dy_i}{dt} = \beta\theta x_i y_i - \gamma y_i = \beta\theta y_i (x_i - \rho), \quad \rho = \frac{\gamma}{\beta\theta} \quad (23) \\ \frac{dz_i}{dt} = \gamma_1 y_i \quad (24) \\ \sum_{i=1}^n x_i(t) + \sum_{i=1}^n y_i(t) + \sum_{i=1}^n z_i(t) + w(t) = N \quad (25) \end{array} \right.$$



2021/3/11

■微分の線形性から、全体では次の関係を満たす。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{dx_i}{dt} = -\beta\theta \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (25) \\ \frac{dy}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{dy_i}{dt} = \beta\theta \sum_{i=1}^n x_i y_i - \gamma y \quad (26) \\ \frac{dz}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{dz_i}{dt} = \gamma_1 y \quad (27) \end{array} \right.$$

■従来のSIRモデルと異なるのは $\sum_{i=1}^n x_i y_i$ の箇所である。形式的に、

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = xy \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{xy}$$

と変形すると、(25)式は次のように書くことができる。

$$\frac{dx}{dt} = -\beta\theta \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{xy} \cdot xy = -\bar{\beta}\theta xy \quad \text{但し、} \quad \bar{\beta} = \beta \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i} = \beta \cdot \Pi$$

2021/3/11

■ Lagrange未定乗数法を使うと、次の関係が示せる。

$$1 \geq \Pi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i} \geq \frac{1}{n} \quad \frac{dx}{dt} = -\beta\theta\Pi \cdot xy$$

(注) $1/n$ は、Colonyが一様分布をする時に実現する。

■ このことは、感染のピーク付近から急速に感染が減少したり、終息局面で感染がなかなか終息しなかったり、という現象に符合している。

■ 感染の終息局面では、

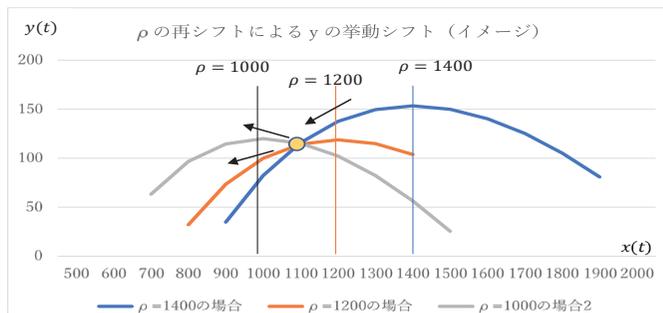
- (1) 引き続き活動を自粛して、 θ を小さく保つこと
- (2) 3密をさけマスク・手洗いうがい等に気を付けて、 β を小さく保つこと
- (3) 同じ n ならば、コロニーを分散化させて（クラスターを作らないで）、 Π を小さくすることが重要になる。

2021/3/11

1. 3 感染再拡大の可能性

■ SIRモデルの閾値 ($\rho = \gamma/\beta$) がシフトすることによって、感染が再拡大する可能性について考えた。

(グラフ5) 閾値シフトによる感染者の挙動のシフト



2021/3/11

(1)古典的な風土病モデル (Endemic model)

■長期間をかけて免疫世代が交代すれば、感染は再拡大する可能性がある。

古典的な風土病モデル (Endemic model) とは、誕生と死亡によって世代が交代することを考慮した SIR (susceptible-infective-recovered) モデルである。

$X(t)$: 非感染者数、 $Y(t)$: 潜在感染者数、 $Z(t)$: 感染確認者数 (= 隔離者数) とし、 $X(t) + Y(t) + Z(t) = N$ とすると、Endemic model は次のような連立式で提示される。

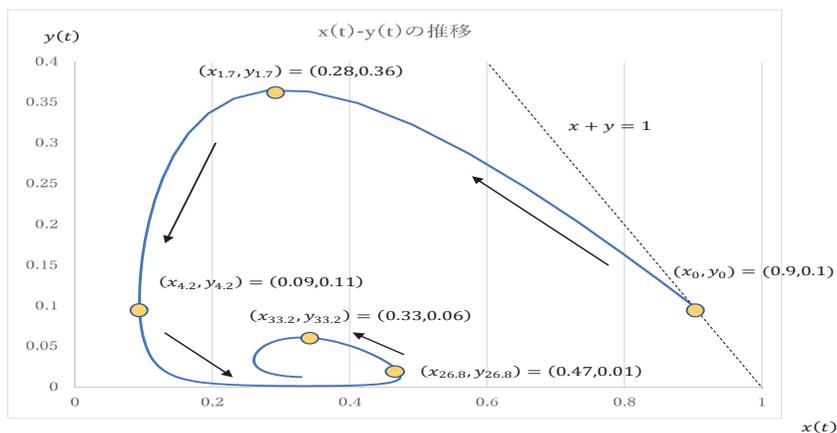
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dX}{dt} = \mu N - \mu X - \beta \frac{Y \cdot X}{N}, \quad X(0) = X_0 \geq 0 \\ \frac{dY}{dt} = \beta \frac{Y \cdot X}{N} - \gamma Y - \mu Y, \quad Y(0) = Y_0 \geq 0 \\ \frac{dZ}{dt} = \gamma Y - \mu Z, \quad Z(0) = Z_0 \geq 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

但し、 β : 感染率、 γ : 感染確認率、 μ : 出生率 (= 死亡率) とし、出生者は全員が非感染者に加算され ($\mu N = \mu(X + Y + Z)$ 、それぞれの区分者数 $\times \mu$ (右辺) が死亡する。

2021/3/11

(参考) 古典的 Endemic Model によるシミュレーション例

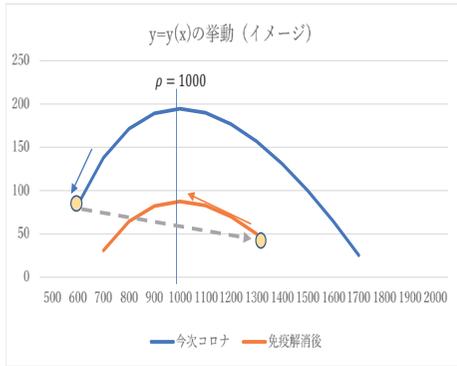
(グラフ 6) Endemic model による感染拡大の様子



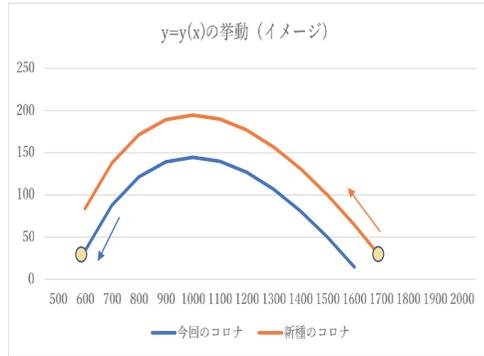
2021/3/11

(2) 免疫解消による再拡大、新種ウイルスによる再拡大

(グラフ6) 免疫解消による感染再拡大



(グラフ7) 新種ウイルス出現による感染再拡大



2021/3/11

1. 4 感染拡大第二波・第三波の発生

国内の新型コロナ新規感染者数の推移

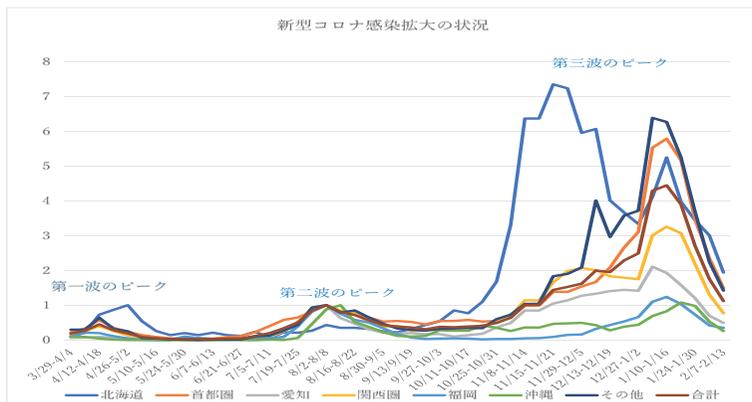


2021/3/11

(1) 第三波の特徴

1. ピークが地域によって少しずつ異なったこと

(グラフ4) 地域別の週次新規感染者指数の推移 (8/2-8/8=1)



2021/3/11

2. 感染が全国各地で大規模に拡大したこと

(グラフ5) 新規感染者数=0、≧10の都道府県数の推移



2021/3/11

3. 死亡者数が増えていること

期間	退院者数	死亡者数	合計	新規感染	差引	期間	退院者数	死亡者数	合計	新規感染	差引
9/20-9/26	3604	44	3648	2979	669	12/6-12/12	16188	249	16437	18949	-2512
9/27-10/3	3609	52	3661	3588	73	12/13-12/19	15784	305	16089	18505	-2416
10/4-10/10	3512	29	3541	3540	1	12/20-12/26	16880	343	17223	21686	-4463
10/11-10/17	3663	43	3706	3690	16	12/27-1/2	16232	349	16581	23622	-7041
10/17-10/24	3673	43	3720	3891	-171	1/3-1/9	20949	440	21389	40611	-19222
10/25-10/31	3627	56	3683	4681	-998	1/10-1/16	26604	460	27064	42120	-15056
11/1-11/7	3988	47	3941	6029	-2088	1/17-1/23	41549	592	42141	36953	5188
11/8-11/14	5409	71	5480	9608	-4128	1/24-1/30	40070	624	40694	25568	16573
11/15-11/21	7819	93	7912	13629	-5717	1/31-2/6	33280	688	33968	16636	17332
11/22-11/28	10290	129	10419	14462	-4043	2/7-2/13	21697	545	22242	10644	11598
11/29-12/5	13097	217	13314	15328	-2014						

2021/3/11

(2) 感染拡大の地域間の連動性

1. 第一波+第二波の相関行列

(表7) 都道府県別新規感染者数(第一波+第二波)の相関行列

	北海	埼玉	千葉	東京	神奈	愛知	京都	大阪	兵庫	福岡	沖縄	他
北海道	1.00	0.20	0.21	0.15	0.16	0.06	0.11	0.15	0.25	-0.07	0.05	0.37
埼玉		1.00	0.95	0.97	0.85	0.79	0.92	0.90	0.90	0.84	0.72	0.89
千葉			1.00	0.94	0.92	0.82	0.92	0.94	0.95	0.87	0.79	0.92
東京				1.00	0.84	0.87	0.92	0.94	0.92	0.88	0.76	0.87
神奈川					1.00	0.74	0.87	0.89	0.84	0.81	0.81	0.78
愛知						1.00	0.84	0.95	0.91	0.98	0.87	0.77
京都							1.00	0.95	0.89	0.90	0.80	0.86
大阪								1.00	0.97	0.97	0.88	0.97
兵庫									1.00	0.94	0.85	0.91
福岡										1.00	0.92	0.80
沖縄											1.00	0.62
その他												1.00

2021/3/11

2. 第三波の相関行列

(表8) 都道府県別新規感染者数(第三波)の相関行列

	北海	埼玉	千葉	東京	神奈	愛知	京都	大阪	兵庫	福岡	沖縄	他
北海道	1.00	0.37	0.29	0.37	0.35	0.70	0.35	0.73	0.59	-0.29	0.42	0.51
埼玉		1.00	0.97	0.95	0.94	0.83	0.96	0.85	0.93	0.97	0.87	0.91
千葉			1.00	0.95	0.97	0.77	0.94	0.81	0.91	0.97	0.88	0.87
東京				1.00	0.98	0.88	0.94	0.87	0.94	0.98	0.79	0.95
神奈川					1.00	0.85	0.96	0.85	0.94	0.98	0.82	0.93
愛知						1.00	0.87	0.96	0.96	0.84	0.68	0.95
京都							1.00	0.84	0.94	0.97	0.80	0.94
大阪								1.00	0.96	0.82	0.80	0.92
兵庫									1.00	0.93	0.83	0.96
福岡										1.00	0.79	0.94
沖縄											1.00	0.73
その他												1.00

2021/3/11

(3)地域別新規感染者の因子分析

1. 地域別新規感染者数

$$\tilde{\mathbf{Y}}^T = (\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_{12}) \xrightarrow{\text{平均値と標準偏差で規格化}} \tilde{\mathbf{X}}^T = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_{12})$$

2. 因子分析モデル

$$\begin{pmatrix} \tilde{x}_1 \\ \vdots \\ \tilde{x}_{12} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} a_{1,1} \\ \vdots \\ a_{12,1} \end{pmatrix}}_{\text{因子空間}} \tilde{\mathbb{F}}_1 + \dots + \underbrace{\begin{pmatrix} a_{1,m} \\ \vdots \\ a_{12,m} \end{pmatrix}}_{\text{誤差空間}} \tilde{\mathbb{F}}_m + \begin{pmatrix} \tilde{\epsilon}_1 \\ \vdots \\ \tilde{\epsilon}_{12} \end{pmatrix}$$

(注) 直交変換(回転)で自由に「因子」は変換することができる。

$\tilde{\mathbb{F}}_1, \dots, \tilde{\mathbb{F}}_m \sim N(0,1)$: 互いに直交

$\tilde{\epsilon}_i \sim N(0, \sigma_i^2), (i = 1, \dots, 12)$: $\tilde{\mathbb{F}}_1, \dots, \tilde{\mathbb{F}}_m$ と直交、互いに直交

(主因子法) $\tilde{\mathbb{F}}_1, \dots, \tilde{\mathbb{F}}_m$ を主成分分析から得られる「成分」とする。

2021/3/11

(3-1)第一波・第二波の因子分析

1. 因子の変換と因子の情報量

因子番号	固有値	寄与率	累積寄与率
1	9.77	0.814	0.814
2	1.10	0.092	0.906
3	0.48	0.040	0.946
4	0.30	0.025	0.971
5	0.13	0.010	0.981



変換

因子番号	固有値	寄与率	累積寄与率
1*	5.44	0.453	0.453
2*	5.44	0.453	0.906
3	0.48	0.040	0.946

$$\tilde{F}_1^* = \frac{1}{\sqrt{2}}(\tilde{F}_1 + \tilde{F}_2)$$

$$\tilde{F}_2^* = \frac{1}{\sqrt{2}}(\tilde{F}_1 - \tilde{F}_2)$$

2021/3/11

2. 因子負荷量

変換前

都道府県	因子 1	因子 2	因子 3
北海道	0.106	0.000	0.820
埼玉県	0.864	0.425	0.125
千葉県	0.776	0.497	0.152
東京都	0.826	0.530	0.077
神奈川県	0.632	0.487	0.097
愛知県	0.512	0.842	0.001
京都府	0.735	0.560	0.029
大阪府	0.656	0.717	0.089
兵庫県	0.651	0.680	0.220
福岡県	0.533	0.827	0.013
沖縄県	0.335	0.841	0.011
その他の県	0.788	0.414	0.340



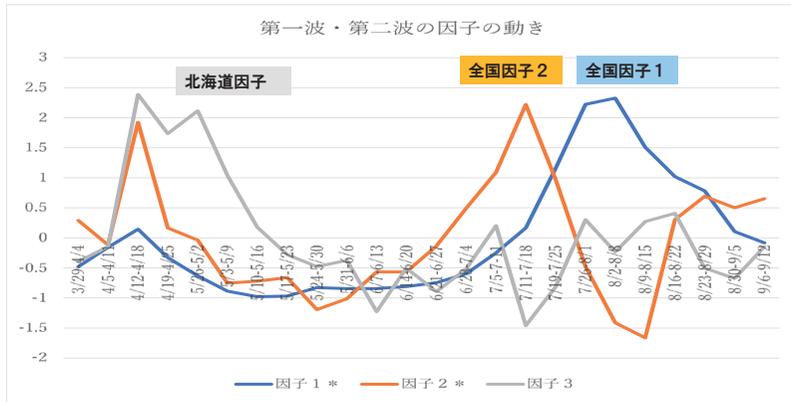
変換後

都道府県	因子 1 *	因子 2 *	因子 3
北海道	0.075	0.075	0.820
埼玉県	0.912	0.310	0.125
千葉県	0.900	0.198	0.152
東京都	0.959	0.209	0.077
神奈川県	0.792	0.103	0.097
愛知県	0.957	-0.233	0.001
京都府	0.916	0.124	0.029
大阪府	0.971	-0.043	0.089
兵庫県	0.941	-0.002	0.220
福岡県	0.962	-0.208	0.013
沖縄県	0.831	-0.358	0.011
その他の県	0.850	0.265	0.340

2021/3/11

3. 各因子の動き（第一波+第二波）

（グラフ14）第一波・第二波の因子の変動



2021/3/11

(3-2)第三波の因子分析

1. 因子の情報量

因子番号	固有値	寄与率	累積寄与率
1	10.22	0.852	0.852
2	1.15	0.096	0.947
3	0.39	0.033	0.980

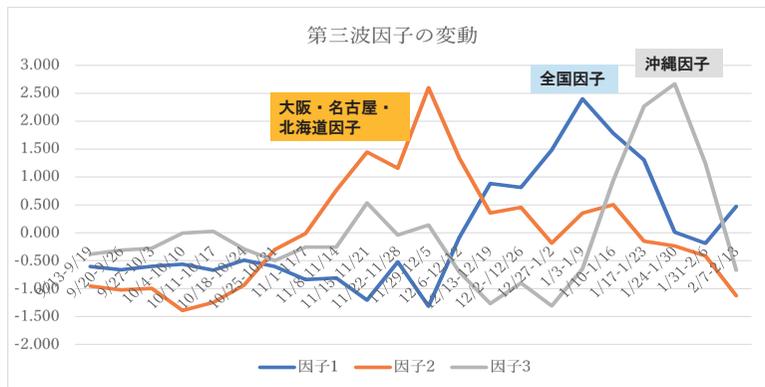
2. 因子負荷量

都道府県	因子1	因子2	因子3
(寄与率)	(0.852)	(0.096)	(0.033)
北海道	0.085	0.929	0.133
埼玉県	0.803	0.250	0.505
千葉県	0.807	0.157	0.561
東京都	0.887	0.274	0.334
神奈川県	0.870	0.237	0.399
愛知県	0.735	0.660	0.138
京都府	0.877	0.245	0.359
大阪府	0.630	0.683	0.351
兵庫県	0.775	0.509	0.362
福岡県	0.918	0.171	0.357
沖縄県	0.514	0.301	0.756
その他の県	0.859	0.436	0.209

2021/3/11

3. 各因子の動き（第三波）

（グラフ17）第三波の因子の変動



2021/3/11

(4)第三波の因子の背景（推測）

1. 三大都市圏主要駅の利用状況

（表15）三大都市圏主要駅の利用状況

首都圏		大阪圏		名古屋圏	
駅	指数	駅	指数	駅	指数
東京駅（JR）	51	大阪駅（JR）	70	名古屋駅（市交）	73
日本橋駅（メトロ）	57	梅田駅（メトロ）	72	栄駅（市交）	74
大手町駅（都交）	57	京都駅（市交）	69	金山駅（名鉄）	77
横浜駅（市交）	59	三宮駅（市交）	76		

（出典）国土交通省鉄道局公表資料

■本年9月第一週の利用者を、昨年同時期を100として指数化したもの。
名古屋圏・大阪圏では、首都圏と比較して、人出が多い。

2021/3/11

2. 首都圏・大阪圏の大型連休期間の都府県外への移動

(表16) 首都圏・大阪圏から居住地外への平均移動人口の指数 (%)

連休期間	首都圏	大阪圏
GW (4/25-5/6)	23.5	22.0
お盆 (8/8-8/26)	55.9	62.8
S W (9/19-9/22)	92.3	111.8

(出典) (株) Agoop によるデータ提供

- 今週の連休（GW、お盆、SW）の、首都圏（東京・神奈川・千葉・埼玉）と、大阪圏（大阪、京都、兵庫）から他地域への移動平均人口を、昨年の平均と比較して指数化したもの（(株) Agoopが提供）。
- 感染拡大第一波の記憶が遠のくとともに、徐々に入出が増加。
- 時間の経過とともに、大阪圏が顕著。

2021/3/11

3. 国内定期航空路線（主要幹線）月次旅客数（対前年同月比）

(表17) 国内定期航空路線（幹線）月次旅客数の対前年同月比推移

	前年同月比 (%)				
	7月	8月	9月	10月	11月
東京－新千歳	31.4	31.6	40.6	55.4	49.5
東京－大阪	37.1	33.3	45.5	61.3	66.9
東京－福岡	32.7	30.1	36.8	51.9	57.7
東京－沖縄（那覇）	41.8	28.4	35.7	51.9	63.0
大阪－新千歳	39.2	40.5	55.3	77.1	71.4
大阪－福岡	42.5	49.2	63.0	77.3	89.5
大阪－沖縄（那覇）	57.6	26.9	40.1	59.2	73.5
福岡－新千歳	28.0	42.1	45.6	65.2	58.4
福岡－沖縄（那覇）	51.1	23.1	38.6	52.6	63.1
新千歳－沖縄（那覇）	0.0	20.1	0.0	20.7	77.8

(出典) 国土交通省交通統計調査室公表資料より

- 9月頃から、特に大阪が起点・到着点の航空客が増加。
北海道（新千歳）、沖縄（那覇）への移動も増加。

2021/3/11

1. 5 新型コロナの終息に向けて

■ 感染症モデル（SIRモデル）に戻ると、感染力保有者（ $y(t)$ ）を減らすには、

$$\frac{dy}{dt} = \beta\theta \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{xy} \cdot xy - (\gamma_1 + (\gamma - \gamma_1))y$$

入りを減少させ、

$$\beta\theta \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{xy} \cdot xy = \beta(1 - \theta)\Pi \cdot xy$$

$$x(t) = \theta x(t) + (1 - \theta)x(t) \quad \Pi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{xy}$$

$\theta \rightarrow$ 大 : 在宅、自粛
 $\beta \rightarrow$ 小 : 手洗い、マスク
 3密回避等
 $\Pi \rightarrow$ 小 : コロニー分散
 (=クラスター潰し)

出口を増やすこと

$$-(\gamma_1 + (\gamma - \gamma_1))y$$

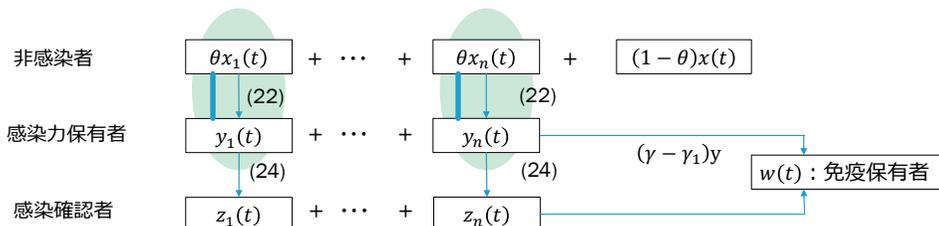
$\gamma \rightarrow$ 大 : ワクチン接種
 $\gamma_1 \rightarrow$ 大 : PCR検査拡大

2021/3/11

<参考：修正SIRモデル>（再掲）

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_i}{dt} = -\beta\theta x_i y_i \quad (22) \\ \frac{dy_i}{dt} = \beta\theta x_i y_i - \gamma y_i = \beta\theta y_i (x_i - \rho), \quad \rho = \frac{\gamma}{\beta\theta} \quad (23) \\ \frac{dz_i}{dt} = \gamma_1 y_i \quad (24) \end{array} \right.$$

$$\sum_{i=1}^n x_i(t) + \sum_{i=1}^n y_i(t) + \sum_{i=1}^n z_i(t) + w(t) = N \quad (25)$$



2021/3/11

【参考文献】

- [1] 稲葉 寿 (2001) 「人口と伝染病の数理」、数理解析研究所講究録、1083巻、75-104
- [2] 佐藤總夫 (1987) 「自然の数理と社会の数理－微分方程式で解析する」、日本評論社
- [3] 高橋陽一郎 (1996) 「力学と微分方程式」、岩波講座現代数学への入門 7
- [4] 高木貞治 (1971) 「解析概論 (改訂第 3 版)」、岩波書店
- [5] 日本数学会 (1985) 「岩波数学辞典 (第 3 版)」、岩波書店
- [6] ジャレド・ダイヤモンド (2019) 「銃・病原菌・鉄」(上・下)、倉骨彰訳、草思社文庫
- [7] ジャレド・ダイヤモンド (2019) 「文明崩壊」(上・下)、榎井浩一訳、草思社文庫

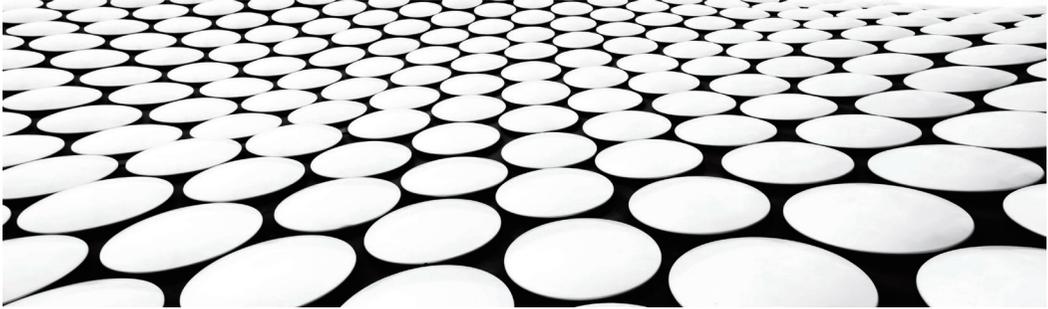
2021/3/11

-
- [8] Embrechts, P. et al (1997) "Modelling Extremal Events", Springer
 - [9] Kendall, D.G. (1956) "Deterministic and Stochastic Epidemics in Closed Population",
Proceedings of the Third Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, vol.IV
 - [10] Kermack, W.O. and MacKendrick, A.G. (1927) "A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics"
Proceedings of Royal Society of London
 - [11] Herffernan, J.M.et al (2005) "Perspectives on the basic reproductive ratio", Journal of The Royal
Society Interface, Oct.2005
 - [12] Hethcote, H.W. (1989) "Three basic epidemiological models", Applied Mathematical Ecology,
Springer-Verlag, pp.119-144
 - [13] Hethcote, H.W. (2000) "The Mathematics of Infectious Diseases", SIAM Review, Vol.42, No.4,
pp599-653

2021/3/11

新型コロナウイルス感染症 にかかわる諸問題の数理. 2

1. 行動制限と感染症モデル 2. 家計・産業等への影響を考える



【お断り】

今回のプレゼンテーションの内容は、発表者の個人的な意見に基づくものであり、発表者の属する組織の見解とは必ずしも同じではないことにご注意下さい。

<本講座の構成>

■新型コロナ問題では、相容れない次の「**3つの連立方程式**」へのソリューションが必要になる。

- (1) 国民の安全を確保すること
- (2) わが国の産業構造を維持・保全すること
- (3) 国家財政の破綻を防ぐこと（含む、中央銀行の財務構造・政策能力）

この講座では、主として (1),(2) を中心に、数理的アプローチを試みる。

■ 2回の講座を以下のように構成する。

- 第1回 行動制限と感染症モデル
- 第2回 家計・産業への影響を考える

2021/3/11

2. 家計・産業等への影響を考える

2-1 緊急事態宣言

2-2 産業別の動向

- (1)卸売業・小売業 (2)サービス産業 (3)鉱工業 (4)貿易 (5)訪日外国客 (6)雇用・失業の状況
- (7)消費者意識 (8)法人企業景気予測(2020.8)

2-3 財務モデルⅠ（損益分岐点分析）

- (1)家計モデル (2)企業モデル (3)損益分岐点売上高と資金収支 (4)日本企業の損益分岐点分析

2-4 財務モデルⅡ（純資産利益率分析）

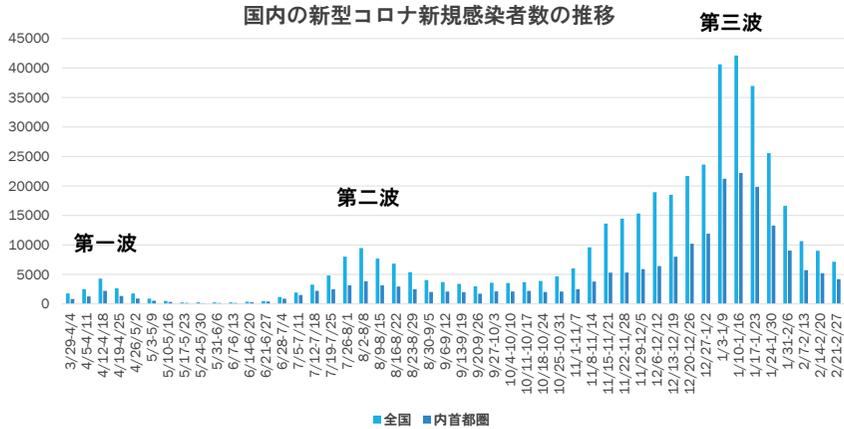
- (1)Dupont 分解 (2)2020/4-6期の分解結果 (3)企業倒産の状況

2-5 新型コロナとわが国の財政再建問題

- (1)補正予算 (2)金融機関による緊急融資 (3)日本の財政再建問題 (4)日銀の資産負債構成

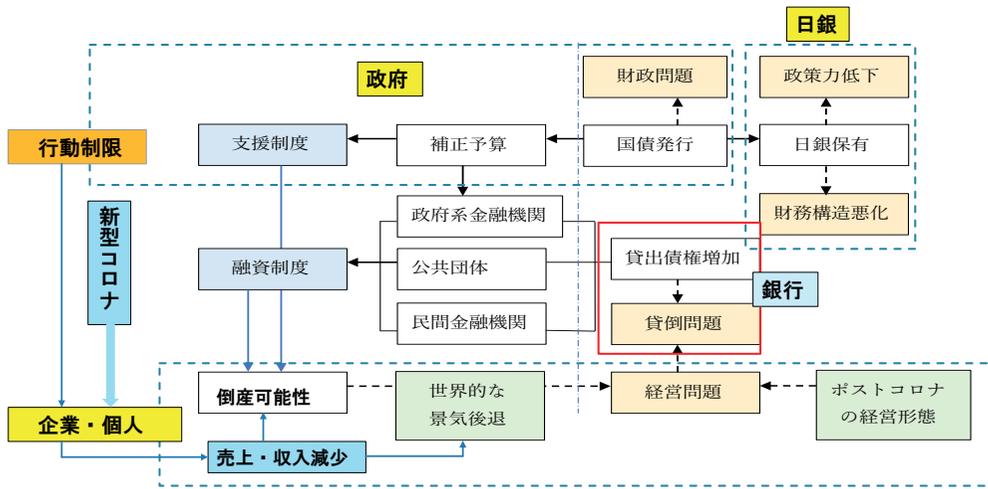
2-6 ポストコロナに向けて

問題提起



2021/3/11

<問題の構図>



2021/3/11

2-1. 緊急事態宣言 東京都の休業要請（2020年4月11日～）

施設の種類	要請内容	例
1. 基本的に休止を要請		
遊興施設	施設の使用停止 催し物の開催停止	バー、キャバレー
大学・学習塾		大学、学習塾
運動・遊戯施設		体育館、パチンコ
劇場		映画館
集会・展示施設		博物館
商業施設		必需品以外
2. 社会生活維持に必要な		
医療施設	適切な感染防止策	病院、薬局
必需品販売施設		スーパー、コンビニ
食事提供施設	営業時間短縮 適切な感染防止策	飲食店、喫茶店 5:00am-8:00pm
住宅・宿泊施設	適切な感染防止策	
交通機関		バス、鉄道
金融機関・官庁	テレワーク推進 適切な感染防止策	銀行、官公署
その他	適切な感染防止策	メディア、銭湯
3. その他		
文教施設	原則、上記1.	学校
社会福祉施設	適切な感染防止策	保育所、介護

2021/3/11

2-2. 産業別の動向

(1) 卸売業・小売業

（単位：兆円、％）

	商業計		うち卸売業		うち小売業	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	34.8	▲4.3	23.0	▲6.2	11.8	▲0.4
2	34.8	▲3.9	23.6	▲6.3	11.2	1.6
3	49.0	▲5.8	36.2	▲6.9	12.8	▲4.7
4	40.7	▲16.0	29.8	▲17.3	10.9	▲13.7
5	36.5	▲21.2	25.4	▲24.7	11.0	▲12.5
6	41.5	▲12.4	29.2	▲16.9	12.3	▲1.3
7	42.6	▲12.8	30.1	▲16.8	12.4	▲2.8

（出典）経済産業省「商業動態統計速報」

2021/3/11

(1-1) 百貨店・スーパー

(単位：兆円、%)

	百貨店・スーパー計		うち百貨店		うちスーパー	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	1.61	▲1.6	0.52	▲3.3	1.09	▲0.8
2	1.44	0.3	0.41	▲11.8	1.03	6.0
3	1.62	▲8.8	0.38	▲32.6	1.24	2.6
4	1.35	▲18.6	0.14	▲71.5	1.21	3.7
5	1.45	▲13.6	0.17	▲64.1	1.28	6.7
6	1.68	▲2.3	0.43	▲18.5	1.25	4.8
7	1.69	▲3.2	0.43	▲19.8	1.26	4.5

(出典) 経済産業省「商業動態統計速報」

2021/3/11

(1-2) 家電大型店、ドラッグストア、ホームセンター

(単位：兆円、%)

	家電大型店		ドラッグストア		ホームセンター	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	0.39	▲0.3	0.57	6.3	0.23	▲1.5
2	0.32	5.2	0.61	19.1	0.23	9.7
3	0.39	▲9.5	0.61	7.6	0.27	3.5
4	0.31	▲9.0	0.62	10.8	0.30	4.1
5	0.38	8.8	0.61	6.4	0.34	11.2
6	0.47	26.5	0.61	6.4	0.31	17.3
7	0.46	12.4	0.62	5.6	0.30	10.6

(出典) 経済産業省「商業動態統計速報」

2021/3/11

(2) サービス産業

(単位：上段売上高／兆円、下段前年同月比／％)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
サービス産業合計	30.16	30.23	35.19	25.19	23.54	27.67	(注)
	0.3	▲0.2	▲7.9	▲18.9	▲22.9	▲12.7	
情報通信業	4.81	4.76	6.75	4.42	4.25	4.98	
	2.5	0.2	▲1.1	▲2.6	▲6.1	▲2.3	
運輸業・郵便業	5.08	5.18	5.56	4.35	3.85	4.36	
	▲2.5	▲1.6	▲16.9	▲21.2	▲28.8	▲20.0	
不動産業・物品賃貸業	3.84	4.14	5.14	4.00	3.59	3.95	
	4.6	▲0.8	4.4	▲1.1	▲6.1	▲3.7	
学術研究・専門・技術	25.3	25.7	4.20	2.47	2.18	2.65	
	1.0	4.1	▲1.9	▲4.7	▲8.7	▲4.1	
宿泊業・飲食業	2.28	2.10	1.78	0.93	1.01	1.46	
	0.1	▲2.6	▲29.4	▲61.4	▲59.0	▲36.3	

(出典) 総務省統計局「サービス産業動向調査」

2021/3/11

(続き)

(単位：上段売上高／兆円、下段前年同月比／％)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
生活関連・娯楽業	3.46	3.29	2.88	1.66	1.70	2.49	(注)
	▲4.9	▲2.4	▲26.7	▲56.1	▲55.2	▲32.6	
教育・学習支援業	0.31	0.32	0.29	0.20	0.16	0.25	
	▲1.2	2.4	▲15.0	▲40.2	▲47.4	▲14.7	
医療・福祉業	4.65	4.54	4.71	4.18	4.03	4.43	
	0.1	1.1	▲3.1	▲9.5	▲12.4	▲4.5	
その他サービス業	3.20	3.33	3.87	2.99	2.79	3.11	
	2.4	0.9	0.9	▲7.7	▲14.1	▲7.4	

(出典) 総務省統計局「サービス産業動向調査」

(注) 7月計数は調査時に未発表のため空欄

2021/3/11

(3) 鋳工業

(注) 指数は2015年=100、季節調整後

(単位：指数/数値、前月比/%)

	生産指数		生産者出荷指数		生産者在庫指数		生産者在庫率	
	指数	前月比	指数	前月比	指数	前月比	指数	前月比
1月	99.8	1.9	97.9	0.9	106.2	2.1	115.2	▲0.3
2月	99.5	▲0.3	98.9	1.0	104.4	▲1.7	112.5	▲2.3
3月	95.8	▲3.7	93.2	▲5.8	106.4	1.9	121.9	8.4
4月	86.4	▲9.8	84.3	▲9.5	106.1	▲0.3	138.5	13.6
5月	78.7	▲8.9	76.8	▲8.9	103.3	▲2.6	148.6	7.3
6月	80.2	1.9	80.5	4.8	100.8	▲2.4	138.0	▲7.1
7月	86.6	8.0	85.3	6.0	99.2	▲1.6	125.9	▲8.8

(出典) 経済産業省「鋳工業（生産・出荷・在庫）指数の動向（速報）」

2021/3/11

(参考) 生産指数が大きく増加・低下した業種（2020年7月）

業種	対前年同月比 (%)
鉄鋼・非鉄金属	▲27.4
輸送機械（除く自動車）	▲25.6
自動車	▲25.5
石油・石炭製品	▲23.3
生産用機械	▲18.4
汎用・業務用機械	▲17.8
パルプ・紙・紙加工品	▲17.3
金属製品	▲17.2
窯業・土石製品	▲17.1
無機・有機化学	▲16.8
化学工業（除く無機・有機）	▲14.5
電気・情報通信機器	▲14.5

2021/3/11

(4) 貿易

(単位：金額／兆円、伸び率／％)

	輸出		輸入		差引
	金額	伸び率	金額	伸び率	金額
1月	5.43	▲2.6	6.75	▲3.6	▲1.31
2月	6.32	▲1.0	5.21	▲13.9	1.11
3月	6.36	▲11.7	6.35	▲5.0	0.01
4月	5.21	▲21.9	6.14	▲7.1	▲0.93
5月	4.19	▲28.3	5.03	▲26.1	▲0.84
6月	4.86	▲26.2	P5.13	▲14.4	P▲0.27
7月	P5.37	▲19.2	P5.36	▲22.3	P0.01

(出典) 財務省「貿易統計(速報)」
Pは速報値、差引＝輸出－輸入

2021/3/11

(5) 訪日外国客

(単位：人数／万人、伸率／％)

	総数		うちアジア		うち欧州		うち北米	
	人数	伸率	人数	伸率	人数	伸率	人数	伸率
1月	266.1	▲1.1	230.0	▲2.8	10.2	10.7	15.2	16.8
2月	108.5	▲58.3	84.0	▲63.8	8.8	▲11.5	9.5	▲21.4
3月	19.4	▲93.0	10.0	▲96.0	3.0	▲84.0	3.1	▲86.0
4月	0.3	▲99.9	0.1	▲99.9	0.0	▲99.9	0.0	▲99.9
5月	0.2		--		--		--	
6月	0.3		--		--		--	
7月	0.4		--		--		--	

(出典) 日本政府観光局「訪日外国客(総数)」

2021/3/11

(6)雇用・失業の状況（業種別就業者数）

（単位：万人）

業種別就業者数	人数	対前年同月増減（万人）						
		7月	6月	5月	4月	3月	2月	1月
農業・林業	209	▲8	▲7	▲8	1	▲7	▲3	12
建設業	475	▲20	▲31	▲13	▲12	3	7	▲14
製造業	1,056	▲8	▲13	▲27	▲17	▲24	▲15	5
情報通信業	249	6	3	15	20	2	▲5	16
運輸・郵便業	341	▲8	▲14	10	15	12	▲1	▲9
卸売業・小売業	1,010	▲9	▲15	▲29	▲33	17	44	22
金融業・保険業	158	1	▲3	▲5	▲2	▲5	▲7	3
不動産業・物品賃貸業	146	14	▲2	10	15	3	8	14
学術研究・専門技術	237	9	14	▲2	9	13	▲1	8
宿泊業・飲食業	384	▲22	▲38	▲38	▲46	▲14	▲6	▲8
生活関連・娯楽業	231	▲18	▲22	▲29	▲11	3	1	1
教育・学習支援業	359	10	20	8	▲7	▲11	▲2	▲12
医療・福祉	863	▲5	8	9	15	40	25	31
その他サービス業	445	▲13	16	22	▲8	▲6	2	2

（出典）総務省統計局「労働力調査（基本集計）」

2021/3/11

(7)消費者意識（2020.8まで）



（出典）内閣府「消費者動向調査」

（消費者意識指数）
三段抽出した8400世帯に対して、加重

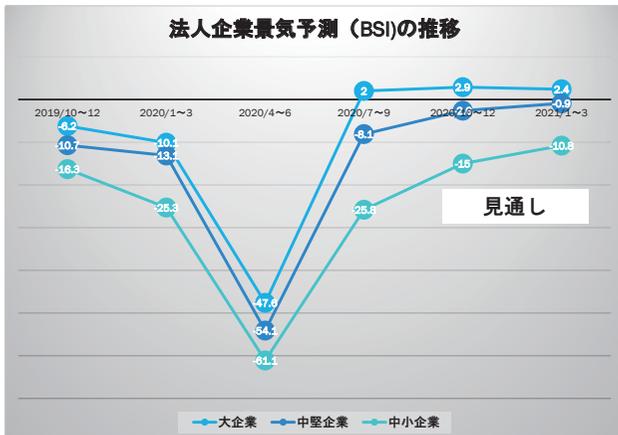
良く +1
やや良く +0.75
不変 +0.5
やや悪く +0.25
悪く +0

を聞き、それぞれの構成比（%）
を上記で加重して「指数」を算出

従って、ニュートラル=50

2021/3/11

(8)法人企業景気予測（2020.8時点）



（出典）内閣府・財務省「法人企業動向調査」

（法人企業景気予測）
母集団企業92万社から選定した1.5万社
から、回収率70%程度で作成。
「前半期と比べて」

上昇
不変
下降
不明

のアンケートをとり、
指数（BSI）= 上昇 - 下降
（構成比）（構成比）
によって算出

従って、ニュートラル=0

2021/3/11

2-3.財務モデル I（損益分岐点分析）

(1)家計モデル

1. 家計の資産負債（時点 t の残高）

現預金 $M(t)$	負債 $L(t)$
その他資産 $A(t)$	純資産 $E(t)$

$$M(t) + A(t) = L(t) + E(t)$$

現預金 = 現金、決済性預金
その他資産 = 貯蓄性預金・証券
住宅、家具等の動産など
負債 = 住宅等のローン、
カード負債など

2. 家計の資金収支（期間 $[t-1, t]$ の収入・支出）

支出 $P(t)$	収入 $I(t)$
資金余剰 $S(t)$	

$$S(t) = I(t) - P(t)$$

収入 = 給与・年金、事業収入
資産売却、新規借入
支出 = 食費・衣料費等生活費
利払費、資産取得、
負債返済など

この2つのバランスは、次の関係で繋がっている。

$$\Delta M(t) = M(t) - M(t-1) = S(t) = I(t) - P(t) \quad (1)$$

2021/3/11

3. (1)式の内容を更に整理すると※、

※家計の場合、経常的収支と資産負債増減が併せて収支になっている（国や地方の財政も）

$$\begin{aligned} \Delta M(t) &= -\Delta A(t) + \Delta L(t) + \Delta E(t) \\ &= I(t) - P(t) = (\text{資産負債増減}) + (\text{経常的収支}) \end{aligned}$$

（経常的収支）= 給与・年金等の収入－食費・住居費等の経常的家計費 → **悪化！**

となり、この（経常的収支）悪化による家計の破綻を先延ばしする方策として、

- ・収入減を補う新たな収入源を求める（+I(t)）
 - ・支出を抑える（-P(t)）
 - ・貯蓄性預金を取り崩し、或いは保有資産を売却する（-A(t)）
 - ・新規に借入を行う（+L(t)）
 - ・相続や贈与を受ける（+E(t)）
- } 経常収支
} 資産負債増減
純資産増減

が考えられる。

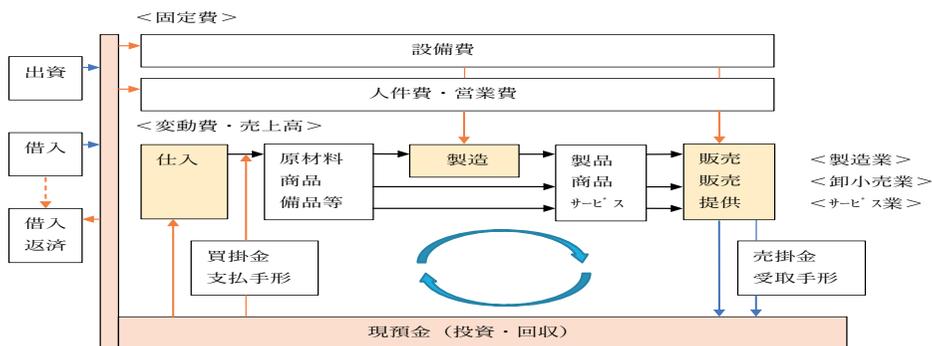
2021/3/11

(2)企業モデル

■企業の場合には、期間損益（経常的収支）と資金収支を区別して会計を行う。

1. 企業活動と資金循環プロセス

（図2）企業活動と資金循環プロセス



2021/3/11

2. 貸借対照表と損益計算書

$$M(t) + \sum_{i=1}^m A_i(t) = \sum_{j=1}^n L_j(t) + E(t)$$

- 対前期比増減をとると、

$$\Delta M(t) = - \sum_{i=1}^m \Delta A_i(t) + \sum_{j=1}^n \Delta L_j(t) + \Delta E(t)$$

- 純資産の増減（ $\Delta E(t)$ ）は、当期未処分利益（ $\Delta E_0(t)$ ）とそれ以外（ $\Delta E_1(t)$ ）に分けられて、

$$\Delta M(t) = \Delta E_0(t) - \sum_{i=1}^m \Delta A_i(t) + \sum_{j=1}^n \Delta L_j(t) + \Delta E_1(t)$$

- 当期未処分利益（ $\Delta E_0(t)$ ）は、損益計算書から次のように計算される。

$$\Delta E_0(t) = \text{売上高} - \text{売上原価} - \text{販売} \cdot \text{一般管理費} + \text{営業外損益} + \text{特別損益} - \text{税金} \pm \text{償却} \cdot \text{繰入}$$

（損益計算書）

企業の貸借対照表

$M(t)$	$\sum_{j=1}^n L_j(t)$
$\sum_{i=1}^m A_i(t)$	$E(t)$

$M(t)$: 現預金残高
 $A_i(t)$: その他資産科目 i 残高
 $L_j(t)$: 負債科目 j 残高
 $E(t)$: 純資産残高

2021/3/11

3. 新型コロナ（売上高減少）への対応策

- 以上から、新型コロナ感染拡大に起因する売上高減少（収支悪化）に対しては、**次のような対策**が考えられる。

- ・新規の収入源を求める（ $+P(t)$ ）
- ・経費削減を図る（ $-L(t)$ ）
- ・投資資産を取り崩し、あるいは保有資産を売却する（ $-\Delta A_i(t)$ ）
（金融資産等の売却、遊休資産の売却、受取手形の割引など）
- ・負債を増やす（ $+\Delta L_j(t)$ ）
（新規借入、借入返済・支払手形決済の繰り延べなど）
- ・純資産を増やす（ $+E_1(t)$ ）
（増資、給付金・協力金の受取など）

2021/3/11

(3) 損益分岐点売上高と資金収支

■このような企業（読み替えれば家計）の収支を、次のようにモデル化する。

$$\begin{aligned}
 \text{損益 } (\Delta E_0(t)) &= \text{売上高} - (\text{費用} \pm \text{その他項目}) \\
 &= S(t) - C(t) = S(t) - [c_1 S(t) + C_0] && \text{費用} = \text{変動費 } (c_1 S(t)) + \text{固定費} \\
 &= (1 - c_1)S(t) - C_0 \\
 &= (1 - c_1)st - c_0t = ((1 - c_1)s - c_0) \cdot t && s : \text{月次売上高} \quad c_0 : \text{月次変動費}
 \end{aligned}$$

↑ 月次損益 ↑ 経過月数

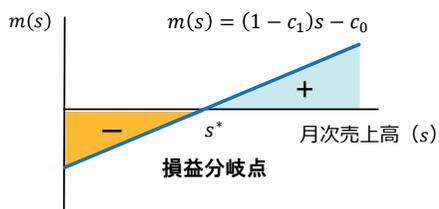
月次損益 $m(s) = (1 - c_1)s - c_0$

損益分岐点売上高 $s^* = \frac{c_0}{1 - c_1}$

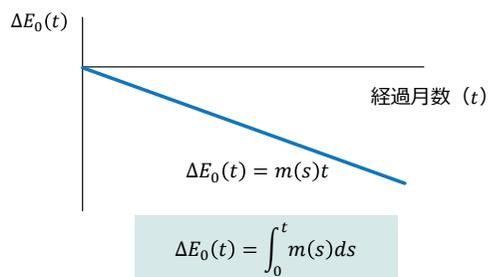
2021/3/11

■グラフで表示すると、

月次損益



年間損益



2021/3/11

(4)日本企業の損益分岐点分析

- 総務省統計局がまとめる e-Stat政府統計「法人企業統計調査」（2018年度決算）を用いて、日本企業の損益分岐点分析を行った。

(対象社数) 2,815,711社

	全産業	製造業	非製造業
全規模	2,815,711	340,176	2,475,535
資本金 1000 万円未満	1,858,904	179,393	1,679,511
1000 万円～1 億円	926,820	152,775	774,045
1 億円～10 億円	24,961	6,064	18,897
10 億円以上	5,026	1,944	3,082

(使用データ) 期末計数 社数、現預金残高

期中計数 売上高、売上原価、販売費・一般管理費、営業利益、経常利益

2021/3/11

- これらの「業種別・資本金規模別決算データ」によって、損益分岐点分析を次のように行った。

売上高 S

変動費 = 売上原価 $c_1 S$

固定費 = 販売費・一般管理費 + (営業利益 - 経常利益) C_0

損益分岐点売上高

$$S^* = \frac{C_0}{1 - \frac{c_1 S}{S}} = \frac{C_0}{1 - c_1}$$

売上高余裕率

$$\pi = \frac{S - S^*}{S^*}$$

2021/3/11

<損益分岐点分析の結果>

1. 損益分岐点余裕率（製造業・非製造業別、基本金規模別）

（単位：％）

	全産業	製造業	非製造業
全規模	28.2	45.2	23.9
資本金 1000 万円未満	6.5	8.6	6.3
1000 万円～1 億円	15.3	25.2	13.8
1 億円～10 億円	31.2	40.8	28.8
10 億円以上	62.0	61.3	62.5

■ 資本金規模が大きいほど、非製造業よりも製造業の方が、余裕率が高いことが判る。

2021/3/11

2. 売上高余裕率の低い製造業の業種（2018年度：15%未満）

（単位：％）

資本金規模	～1000 万円	1000 万円 ～1 億円	1 億円 ～10 億円	10 億円以上
製造業	8.6	13.8		
食料品	5.3	10.9		
繊維	0.3	11.5	13.4	
木材・木製品	5.3	9.9		
パルプ・紙・紙加工	0.7		11.6	
印刷・同関連	2.3	13.1		
石油・石炭製品	9.3			
窯業・土石製品	5.9			
非鉄金属	8.4			
業務用機器	10.5			
情報通信機器	7.1			
自動車・付属部品	2.3			
その他輸送用機器	3.1			
その他製造業	3.1			

2021/3/11

3. 売上高余裕率の低い非製造業の業種（2018年度：15%未満）

（単位：％）

基本金規模	～1000万円	1000万円 ～1億円	1億円 ～10億円	10億円以上
非製造業	6.3	13.8		
農林業			5.0	
漁業	▲8.7			
電気業	1.3			
ガス・熱供給・水道	0.1	12.4		
情報通信	5.5	3.2		
陸運業	0.9	11.8		
水運業	4.4	▲11.5		
その他運輸	4.6	9.1		
卸売業	2.1	13.3		
小売業	5.9	6.7	11.2	
リース業	▲4.0			
その他物品賃貸業	1.0	14.4		
宿泊業	▲3.6	6.2	6.9	13.6

2021/3/11

4. 売上高余裕率の低い非製造業の業種（2018年度：15%未満）：つづき

（単位：％）

資本金規模	～1000万円	1000万円 ～1億円	1億円 ～10億円	10億円以上
飲食サービス	0.3	4.8	4.5	8.2
生活関連サービス	1.7	9.3	10.3	9.1
娯楽業	0.9	8.7		
学術研究・専門技術	4.2			
広告業	▲9.0			
その他学術研究	5.4			
教育・学習支援	3.5	8.5		
医療・福祉業	1.4	6.7		
職業紹介・派遣	6.8	12.2		
その他サービス業	9.9			

2021/3/11

5. 売上高減少を持ち応える現預金残高

現預金残高／月間売上高の水準

(単位：倍)

	全産業	製造業	非製造業
全規模	1.74	1.72	1.75
資本金 1000 万円未満	2.32	2.44	2.30
1000 万円～1 億円	2.35	2.60	2.30
1 億円～10 億円	1.21	1.41	1.15
10 億円以上	1.35	1.41	1.32

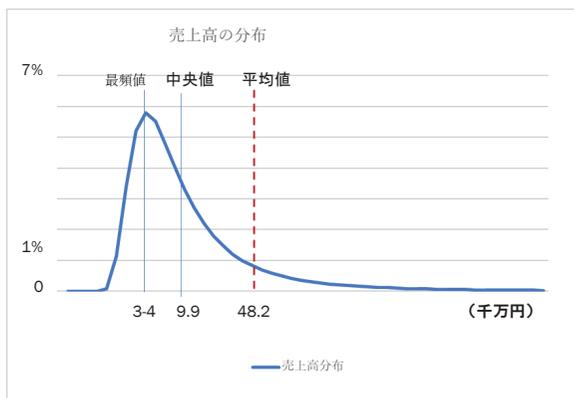
■ 売上高が減少した場合に、何もしなければ「何か月持ち応えられるか」の目安になる。

2021/3/11

(参考) 業種集計の意味 (要注意)

■ 業種集計データによる分析は、業種の平均値を使って分析している。
中小企業庁の「中小企業白書 (2016年度)」では、中小企業の売上高や純資産の分布が掲載されている。

指標	売上高	
平均値	481.5	
中央値	99.3	
最頻値	35.0	
%点	1%	2.6
	5%	10.1
	10%	17.5
	25%	39.5
	50%	99.3
	75%	280.4
	90%	847.9
	95%	1,751.5
99%	6,490.1	

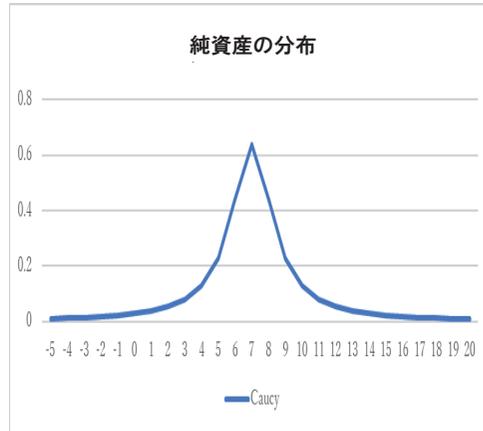


2021/3/11

(続き)

中小企業庁「中小企業白書（2016年度）」より

指標	純資産	
平均値		147.6
中央値		6.9
最頻値		6.9
%点	1%	-116.9
	5%	-41.2
	10%	-22.5
	25%	-4.4
	50%	6.9
	75%	47.8
	90%	220.2
	95%	534.7
	99%	2,582.9



2021/3/11

(参考) Copulaによる確率分布の合成

【定義】

2次元 copula とは、 $[0,1]^2$ 上で定義された分布関数 $C(u_1, u_2); [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ である。

この copula に関して次の定理が成り立つ。

【定理】

F_1, F_2 を 1 変量分布関数、 C を 2 次元 copula とすると、

$$H(x_1, x_2) = C(F_1(x_1), F_2(x_2))$$

は周辺分布 F_1, F_2 の 2 次元確率分布である。

(注) この定理は、多変量分布を構成するのに 2 段階で行うことを示唆している。

第一段階：周辺分布を個別に構成する。 $(F_1(x), F_2(x))$

第二段階：copula C を選定して (3) 式で合成する。

2021/3/11

(続き)

逆に、一般のすべての多変量分布が、その周辺分布と copula に分解できることを示したのが「Sklar の定理」である。

【定理】(Sklar1959)

確率変数 $X = (X_1, X_2)$ の同時分布を $H(x_1, x_2)$ 、周辺分布を $F_1(x_1), F_2(x_2)$ とするとき、copula $C_X : [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ が存在して、次のようになる。

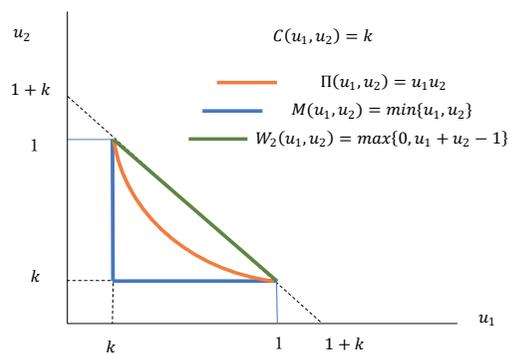
$$H(x_1, x_2) = C_X(F_1(x_1), F_2(x_2))$$

(注) $F_1(x_1), F_2(x_2)$ が連続ならば、 C は一意に決まる。

2021/3/11

3つの特徴的な copula を考える。独立 copula (independence copula) ($\Pi(u_1, u_2)$) と単調 copula (comonotonicity copula) ($M(u_1, u_2)$)、および逆単調 copula (countermonotonicity copula) ($W_2(u_1, u_2)$) である。

(グラフ6) copula の形状



2021/3/11

2-4. 財務モデルⅡ（純資産利益率分析）

- 総務省統計局がまとめる e-Stat政府統計「法人企業統計調査」（2020年度4-6決算）を用いて、日本企業の純資産利益率分析（Dupont分解）を行った。

（対象社数）931,324社

（単位：社）

	全産業	製造業	非製造業
全規模	931,324	152,940	768,384
資本金 1000万円～1億円	926,820	152,775	745,249
1億円～10億円	24,961	6,064	19,986
10億円以上	5,079	1,930	3,149

（使用データ）四半期末計数 社数、資産合計、純資産合計

四半期中計数 売上高、経常利益（以下、利益率は経常利益率とする）

2021/3/11

(1) Dupont 分解

- これらの「業種別・資本金規模別四半期決算データ」によって、純資産利益率分析を次のように行った。

四半期経常利益 R 四半期売上高 S
6月末純資産額 E 6月末資産合計額 A

純資産経常利益率（年率）

$$ROE = \frac{R \times 4}{E}$$

デュボン（Dupont）分解

$$ROE = \frac{R \times 4}{E} = \frac{R}{S} \times \frac{S \times 4}{A} \times \frac{A}{E}$$

= 売上高利益率 × 資産回転率（年率） × レバレッジ

2021/3/11

(2)2020/4-6期の自己資本利益率分解の結果

1. 純資産利益率の推移

(単位：%)

	全産業		製造業		非製造業	
	利益率	前年比	利益率	前年比	利益率	前年比
2019/1-3	12.05	0.67	10.20	▲1.12	12.95	1.53
2019/4-6	12.43	▲2.28	12.47	▲5.17	12.41	▲0.85
2019/7-9	9.36	▲0.76	9.39	▲1.88	9.34	▲0.22
2019/10-12	9.88	▲0.87	9.48	▲2.18	10.08	▲0.23
2020/1-3	8.62	▲3.43	7.63	▲2.57	9.10	▲3.85
2020/4-6	6.73	▲5.70	6.51	▲5.96	6.84	▲5.57

2021/3/11

2. 純資産利益率の Dupont 分解

(1) 製造業

	利益率	売上高利益率		資産回転率		レバレッジ	
		利益率	前年比	回転率	前年比	比率	前年比
2019/7-9	9.39	5.66	▲0.91	0.84	▲0.02	1.98	▲0.02
2019/10-12	9.48	5.84	▲0.57	0.81	▲0.09	2.01	0.01
2020/1-3	7.63	4.71	▲1.25	0.80	▲0.05	2.02	0.00
2020/4-6	6.51	4.95	▲2.77	0.65	▲0.16	2.03	0.03

(2) 非製造業

	利益率	売上高利益率		資産回転率		レバレッジ	
		利益率	前年比	回転率	前年比	比率	前年比
2019/7-9	9.34	4.67	▲0.16	0.84	▲0.02	2.39	▲0.07
2019/10-12	10.08	5.14	▲0.38	0.81	▲0.06	2.43	▲0.06
2020/1-3	9.10	4.59	▲1.39	0.82	▲0.06	2.41	▲0.05
2020/4-6	6.84	4.14	▲2.18	0.68	▲0.15	2.42	0.04

2021/3/11

3. 製造業の純資産利益率の増減要因分解

	利益率増減 (寄与度)	要因分解		
		売上高利益率	資産回転率	レバレッジ
2019/7-9	▲1.88 (100)	▲1.50 (80)	▲0.28 (15)	▲0.10 (5)
2019/10-12	▲2.18 (100)	▲0.93 (42)	▲1.20 (55)	▲0.06 (3)
2020/1-3	▲2.57 (100)	▲2.00 (78)	▲0.57 (22)	0.00 (0)
2020/4-6	▲5.96 (100)	▲3.66 (61)	▲2.49 (42)	0.19 (▲3)

2021/3/11

4. 非製造業の純資産利益率の増減要因分解

	利益率増減 (寄与度)	要因分解		
		売上高利益率	資産回転率	レバレッジ
2019/7-9	▲0.22 (100)	0.33 (▲150)	▲0.29 (132)	▲0.26 (118)
2019/10-12	▲0.23 (100)	0.73 (▲317)	▲0.71 (309)	▲0.25 (108)
2020/1-3	▲3.85 (100)	▲2.75 (71)	▲0.87 (23)	▲0.23 (6)
2020/4-6	▲5.57 (100)	▲3.60 (65)	▲2.19 (39)	0.22 (▲4)

2021/3/11

5. 製造業の業種別 Dupont 分解 (1)

業種	純資産利益率		売上高 利益率	資本 回転率	レバ レッジ
	利益率	前年比			
製造業合計	6.51	▲5.96	4.95	0.65	2.03
食料品	6.36	▲8.24	5.47	1.16	2.28
繊維工業	6.56	▲5.68	5.06	0.56	2.37
木材・木製品	8.56	0.44	4.11	0.88	2.37
パルプ・紙・紙加工品	8.12	▲1.48	4.94	0.76	2.23
印刷・同関連	1.80	▲6.72	1.36	0.68	1.97
化学工業	10.56	▲3.24	12.64	0.48	1.79
石油・石炭製品	▲36.40	▲48.00	▲7.44	1.28	3.86
窯業・土石製品	6.68	▲2.36	5.63	0.60	2.02
鉄鋼業	▲2.52	▲8.92	▲1.61	0.64	2.46
非鉄金属	6.40	▲4.60	4.11	0.64	2.41
金属製品	0.52	▲9.36	0.42	0.68	1.76

2021/3/11

6. 製造業の業種別 Dupont 分解 (2)

業種	純資産利益率		売上高 利益率	資本 回転率	レバ レッジ
	利益率	前年比			
製造業合計	6.51	▲5.96	4.95	0.65	2.03
汎用機械器具	4.76	▲3.24	4.15	0.56	1.99
生産用機械器具	10.08	▲4.68	7.96	0.64	2.01
業務用機械器具	8.00	▲2.88	6.54	0.60	1.99
電気機械器具	10.52	▲3.72	7.72	0.60	2.28
情報通信機械器具	4.48	▲1.76	3.72	0.60	1.94
自動車・同付属品	3.84	▲13.08	3.61	0.60	1.83
その他輸送用機械器具	4.40	0.68	2.25	0.68	2.83
その他製造業	10.68	▲2.04	7.12	0.76	1.94

2021/3/11

7. 非製造業の業種別 Dupont 分解（1）

業種	純資産利益率		売上高 利益率	資本 回転率	レバ レッジ
	利益率	前年比			
非製造業合計	6.84	▲5.57	4.14	0.68	2.42
農林水産業	▲12.48	▲16.48	▲5.30	0.76	3.07
鉱業・採石砂利採取業	3.84	▲7.56	13.69	0.20	1.53
建設業	8.36	▲2.28	4.02	0.92	2.25
電気業	13.64	▲3.24	7.48	0.40	4.58
ガス・熱供給・水道	11.16	▲5.96	7.62	0.72	2.09
情報通信業	16.12	▲0.64	12.04	0.76	1.79
陸運業	▲7.52	▲48.00	▲6.03	0.48	2.68
水運業	3.80	▲10.96	1.50	0.72	3.54
その他運輸業	▲16.64	▲29.56	▲11.66	0.56	2.62
卸売業	9.04	▲6.96	2.33	1.44	2.67
小売業	6.21	▲6.32	2.49	1.32	2.70
不動産業	7.36	▲1.36	13.23	0.24	2.39
リース業	10.60	▲5.32	7.26	0.24	6.52
その他物品賃貸業	7.60	▲15.24	2.66	0.52	5.71

2021/3/11

8. 非製造業の業種別 Dupont 分解（2）

業種	純資産利益率		売上高 利益率	資本 回転率	レバ レッジ
	利益率	前年比			
非製造業合計	6.84	▲5.57	4.14	0.68	2.42
宿泊業	▲67.08	▲81.68	▲96.25	0.16	3.94
飲食サービス業	▲57.92	▲72.88	▲16.09	1.20	2.96
生活関連サービス業	▲25.92	▲34.56	▲18.48	0.52	2.72
娯楽業	▲13.20	▲30.64	▲12.42	0.48	2.27
学術・専門技術	10.00	0.88	26.60	0.20	2.04
広告業	▲2.32	▲6.92	▲0.86	1.40	1.90
純粋持ち株会社	10.72	0.52	74.86	0.08	2.08
その他学術研究・専門	8.24	3.60	6.11	0.76	1.80
教育・学術支援	▲19.68	▲20.28	▲16.88	0.56	2.14
医療・福祉業	5.20	▲10.56	2.82	0.80	2.26
職業紹介・派遣業	19.32	▲6.04	5.09	1.64	2.33
その他のサービス	7.08	▲2.48	6.28	0.64	1.80

2021/3/11

(3)企業倒産の状況

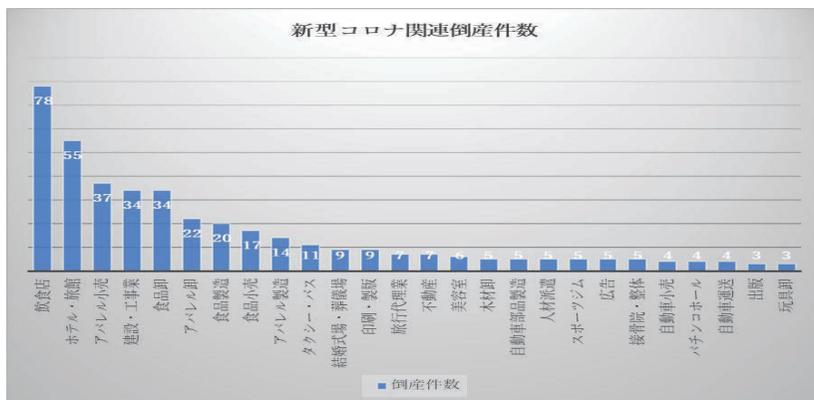
■それでは、その間の企業倒産の状況はどうだったか。
 以下は、東京商工リサーチ「全国企業倒産状況」がまとめた資料である。

	2019年		2020年		比率 ②/①
	倒産件数①	倒産件数②	内コロナ関連		
2020.1	666	773	0	1.16	
2	588	651	1	1.11	
3	662	740	12	1.12	
4	645	743	71	1.15	
5	695	314	61	0.45	
6	734	780	94	1.06	
7	802	789	89	0.98	
8	678	667	73	0.98	

■昨年と比べて「倒産件数は増えていない（減っている？）」ことが判る。

2021/3/11

(参考) 新型コロナ関連倒産の業種別内訳



■帝国データバンク発表の「新型コロナウイルス関連倒産動向調査（9/25まで）」によると、業種別内訳は上記グラフのとおりで、分析結果と符合する。

2021/3/11

2-5. 新型コロナとわが国の財政再建問題

(1) 補正予算

令和2年度一般会計補正予算（第1号）（兆円）

歳出		歳入	
1. 新型コロナ緊急経済対策関係経費	25.6	1. 公債金	25.7
(1) 感染拡大防止と医療体制整備治療費	1.8	(1) 建設国債	2.3
(2) 雇用の維持と事業の継続	19.5	(2) 特例国債	23.4
(3) 次段階の官民挙げた経済活動の復活	1.8		
(4) 強靱な経済活動の構築	0.9		
(5) 新型コロナ対策予備費	1.5		
2. 国債整理基金特別会計へ繰入	0.1		
合計	25.7	合計	25.7

令和2年度一般会計補正予算（第2号）（兆円）

歳出		歳入	
1. 新型コロナ対策関係経費	31.8	1. 公債金	31.9
(1) 雇用調整助成金の拡充等	0.5	(1) 建設国債	9.3
(2) 資金繰り対応の強化	11.6	(2) 特例国債	22.6
(3) 家賃支援給付金の創設	2.0		
(4) 医療提供体制等の強化	3.0		
(5) その他の支援	4.7		
(6) 新型コロナ対策予備費	10.0		
2. 国債整理基金特別会計へ繰入	0.1		
3. 既定経費の減額（議員歳費）	▲0.0		
合計	31.9	合計	31.9

2021/3/11

(2) 金融機関による緊急融資

（出典）日本政策金融公庫「融資実績・残高」

■ 日本政策金融公庫の貸出額

（単位：億円、件）

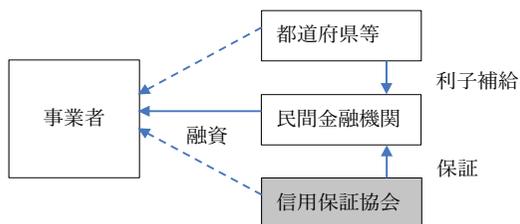
	国民生活事業		中小企業事業	
	貸出額	件数	貸出額	件数
3月	2,734	35,026	1,522	2,191
4月	10,303	112,510	6,029	8,041
5月	16,536	170,258	7,972	9,880
6月	23,314	197,147	7,334	9,567
7月	13,880	114,873	6,041	6,528
8月	5,930	52,621	3,784	4,000
9月	3,608	34,377	3,418	3,438
10月	2,863	29,325	2,526	2,749
11月	2,120	22,922	2,156	2,308
12月	2,548	28,448	2,156	2,255
前年度月平均	1,577	20,152	956	1,627

2021/3/11

(続き)

民間金融機関による信用保証付き融資 民間金融機関+信用保証協会

(仕組)



(保証) 一般保証 2.8 億円

2021/3/11

(参考) 信用保証実行の推移

(単位) 金額：億円、件数：件、前年同月比（増加率）：%

	保証金額		保証件数	
	当月金額	前年同月比	当月件数	前年同月比
1月	5,141	6.2	40,219	4.3
2月	5,866	▲2.5	45,875	▲3.2
3月	17,197	103.7	101,334	58.9
4月	26,549	433.5	132,576	205.3
5月	44,888	707.0	234,742	412.3
6月	58,417	726.4	319,527	479.9
7月	49,562	584.2	264,604	365.4
8月	31,521	396.5	176,627	258.0
9月	25,073	196.0	144,661	127.7
10月	15,160	139.2	97,802	90.9
11月	13,555	101.0	89,431	66.7
12月	17,354	105.8	120,260	84.4

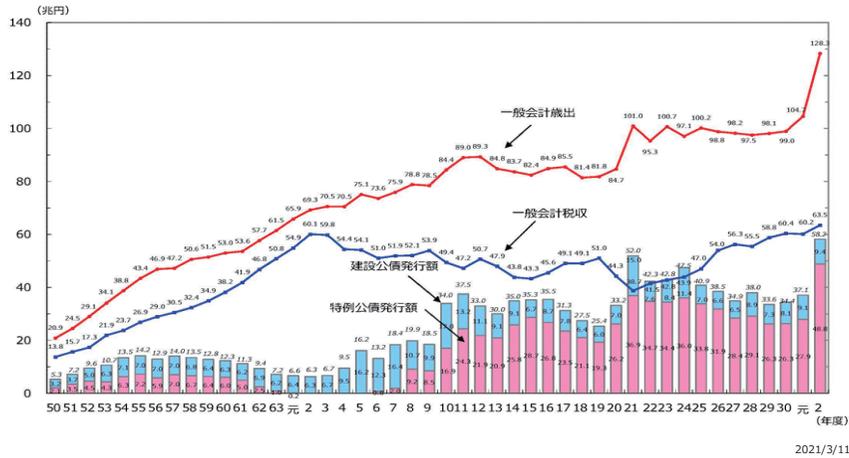
(出典) 全国信用保証協会連合会

2021/3/11

(3)日本の財政状況

■一般会計歳入と税収の乖離

(出典) 財務省「財政に関する資料」

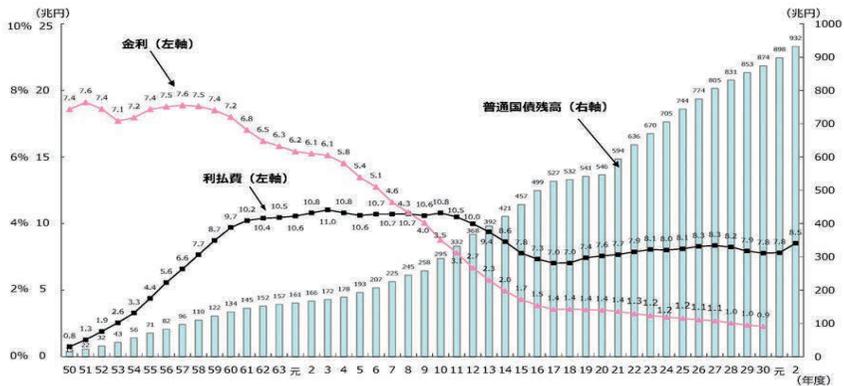


2021/3/11

(続き)

■国債残高・金利・利払費（一般会計）の推移

(出典) 財務省「財政に関する資料」



2021/3/11

(4)日銀の資産負債構成

日銀の資産負債残高の推移

(兆円)

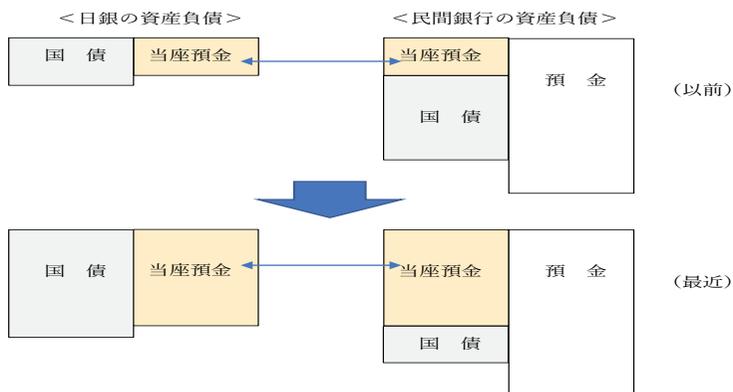
	2020 6/30①	①-② 増減	2019 12/31②	①-③ 増減	2010 12/31③
資産	648.9	75.8	573.1	520.2	128.7
国債	509.2	27.9	481.3	432.5	76.7
金銭の信託	34.1	4.5	29.6	32.6	1.5
貸付金	71.9	23.2	48.7	28.9	43.7
負債	645.6	75.8	569.8	519.6	126.0
発行銀行券	113.3	0.6	112.7	31.0	82.3
当座預金	447.0	46.5	400.5	424.3	22.7
その他預金	43.0	10.8	32.2	43.0	0.0
政府預金	24.4	8.9	15.5	22.5	1.9

(出典) 日本銀行「営業毎旬報告」より作成

2021/3/11

(続き) 銀行と日銀による国債保有の仕組み

(図1-1) 日銀と民間銀行による国債保有の仕組み



2021/3/11

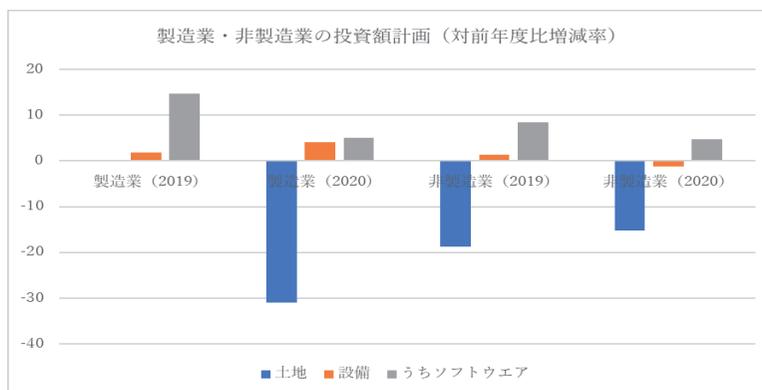
2-6. ポストコロナに向けて

■ 今回の新型コロナウイルス感染拡大は、日本社会（あるいは世界）で以前から課題となっていた諸問題について、その解決策実現の早期化を促すことになった。

1. 企業や政府・官庁のデジタル化・IT化
2. 働き方・生活スタイル改革
3. 長期にわたり低価格化を進めてきた「物の値段」に見直し
4. 企業のサプライチェーン・国際分業体制の見直し
5. 様々な物資の「国としての備蓄」の重要性
6. CO2削減問題やエネルギーシフト問題
7. 政府や企業機能の大都市集中の是正・地方再生問題
8. 世界の協調と南北問題・民主主義問題
9. 日本の国家財政・金融機関の役割・中央銀行の機能

2021/3/11

（参考）企業の投資計画（対前年度増減率）



（出典）「日銀短観（6月基準）」より

2021/3/11

【参考資料】

- [1] 経済産業省（毎月）「商業動態統計速報」
- [2] 経済産業省（毎月）「鉱工業（生産・出荷・在庫）指数の動向（速報）」
- [3] 国際通貨基金（IMF）（2020.4）「World Economic Outlook」
- [4] 財務省（2020.3）「令和2年度予算のポイント」
- [5] 財務省（2020.4,6）「令和2年度一般会計補正予算（第1号、第2号）」
- [6] 財務省（毎月）「貿易統計（速報）」
- [7] 商工組合中央金庫（毎月）「商工中金の危機対応業務への取組みについて」
- [8] 全国信用保証協会連合会（毎月）「信用保証実績の推移」
- [9] 総務省統計局（毎月）「サービス産業動向調査」
- [10] 総務省統計局（毎年）「法人企業統計調査（2018年度）」、e-Stat 収録
- [11] 総務省統計局（毎四半期）「法人企業統計調査（2020/4-6）」、e-Stat 収録

2021/3/11

- [12] 総務省統計局（毎月）「労働力調査」
- [13] 中小企業庁（年次）「中小企業白書（2019年度版）」
- [14] 帝国データバンク（毎旬）「新型コロナウイルス関連倒産」
- [15] 東京都（2020.4）「東京都の緊急事態宣言」
- [16] 東京商工リサーチ（毎月）「全国企業倒産状況」
- [17] 内閣府（2020.1）「中長期の財政政策に関する試算」
- [18] 内閣府（毎月）「消費者動向調査」
- [19] 内閣府・財務省（毎四半期）「法人企業動向調査」
- [20] 日本銀行（毎旬）「営業毎旬報告」
- [21] 日本銀行（毎四半期）「日銀短観」
- [22] 日本銀行金融機構局（毎月）「貸出・預金動向速報」
- [23] 日本銀行金融市場局（毎月）「業態別当座預金残高」
- [24] 日本政策投資銀行（毎月）「危機対応業務の実績について」

2021/3/11

[25] 日本経済新聞社（毎日）「新型コロナ都道府県別の感染者・死者数」

[26] 日本政策金融公庫（毎月）「融資残高・実績（月次）」

[27] 日本政府観光局（毎月）「訪日外客（総数）」

【参考文献等】

[1] 日本数学会（1985）「岩波数学辞典（第3版）」、岩波書店

[2] ランダル・レイ（2019）「MMT現代貨幣理論入門」、鈴木正徳訳、東洋経済新報社

[3] Durant, F. and Sempì, C.（2016）“Principles of Copula Theory”, CRC Press

[4] Embrechts, P. et al（1997）“Modelling Extremal Events”, Springer

[5] McNeil, A.J. et al.（2005）“Quantitative Risk Management”, Princeton Univ. Press

2021/3/11

新型コロナウイルスの日本の社会・経済への影響

－中間集計（１）－

2020年6月18日

統計数理研究所統計思考院¹

池森俊文

<要約>

1. 日本でも3月に入ってから本格的な「新型コロナ対策」を実施し、3月から4月にかけての感染者拡大を受けて「緊急事態宣言」が発令された。（4月7日）
2. それに伴って国内の経済活動は収縮し、卸売業・小売業、サービス産業（観光業など）、製造業、農林水産業など、広範囲の業種で「新型コロナウイルス」の影響が現れ、多くの業種でそれは現在も継続している。
3. まずは足元の状況を切り抜ける方策が重要であるが、「ポストコロナ」への対応を模索する動きも始めている。今回の問題がワクチンや治療薬の開発によって最終解決して一過性のものとなるのか、或いは「パンデミック・リスク」として認識されて、今回の諸対応が新しい社会のルールとして定着するのか、家計や企業や政府は重要な判断を求められる。

<目次>

1. 感染拡大と行動規制の経緯
2. 経済活動の縮小
 2. 1 消費者意識調査
 2. 2 法人企業景気予測調査
 2. 3 卸・小売業の状況
 2. 4 サービス産業の状況
 2. 5 鉱工業の状況
 2. 6 農林・水産業の状況
 2. 7 貿易の状況
 2. 8 訪日外国客の状況
 2. 9 雇用・失業の状況
3. 中間集計（１）のまとめと、（２）（３）の計画

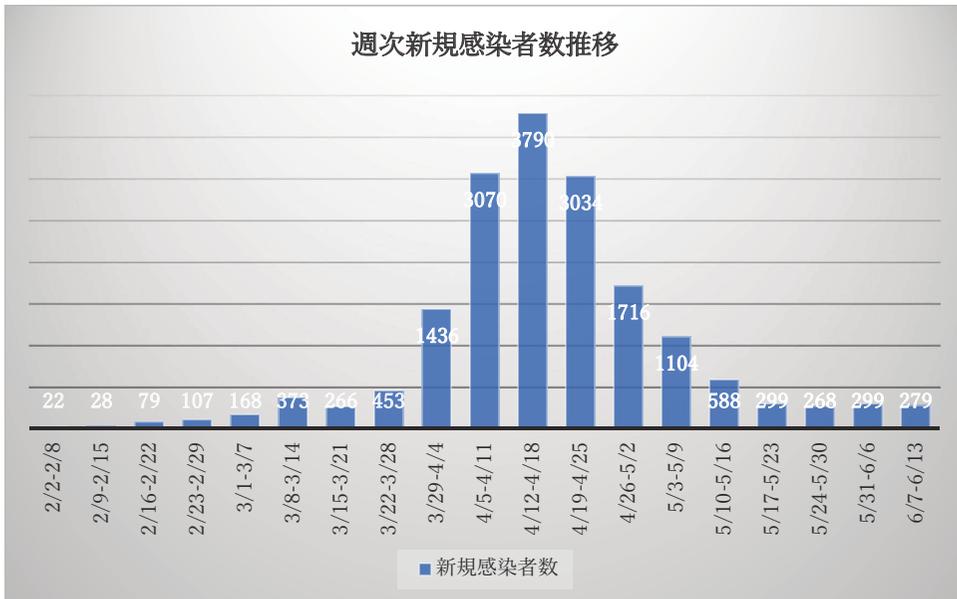
¹ このレポートの内容は筆者の私見に基づくものであり、筆者の所属する組織の見解ではないことに注意願いたい。

1. 感染拡大と行動制限の経緯

新型コロナウイルスの感染拡大による緊急事態宣言が5月25日に全面解除され、経済・社会・文化活動の再開に向けてシナリオを進めているところであるが、国内での感染拡大が本格化した3月中旬から3か月を経た段階で、起こっている状況を整理しておきたい。

国内の新規感染者の推移は（グラフ1）のとおりである。

（グラフ1）国内新規感染者数推移



（データ）日本経済新聞社「新型コロナ感染世界マップ」より採取

2月初めの時点では、新型コロナ問題はまだ中国固有の問題として考えられていた。その状況が一変したのが、2月3日に横浜港に到着した「ダイヤモンド・プリンセス号」であった。日本政府は対応に追われ、検疫を隔離状態で行わずクルーズ船内で行ったことや、約1000人の下船客をそのまま帰宅させたことなどで、その対応が問題となった。

やがて新型コロナは中国のほか、隣の韓国やヨーロッパ諸国、中東諸国などで感染の拡大が見られるようになり、各国が早い段階から感染国からの入国拒否や感染国への渡航禁止の措置をとる中、日本も3月上旬から段階的に「入国者に対する2週間の待機要請」「入国拒否」の対応をとった。それによって海外との社会・文化的な交流が途絶えて、日本経済の一部を支えていた観光も大きく停滞することになった。

3月後半から4月にかけては新規感染者数が更に拡大を続け、政府は4月7日に首都圏4都県（埼玉、千葉、東京、神奈川）と大阪、兵庫、福岡に対して「5月6日を期限とする緊急事態宣言」を発令し、4月16日にはそれを全都道府県に拡大した。5月6日に期限を迎える緊急事態宣言は、一旦5月31日まで延長されることになったが、新規感染者数増加のペースダウンを受けて、北海道、首都圏4都県、京都、大阪、兵庫を除く39県で5月14日に解除となり、5月21日には京都、大阪、兵庫でも解除になり、5月25日にはすべての都道府県で解除となった。

緊急事態宣言の下では、各都道府県単位で緊急事態措置がとられた。例えば東京都では、次の（表2）のような緊急事態措置がとられた。

（表2）東京都の緊急事態措置（抜粋）

区域	都内全域
期間	5月6日まで（5月25日まで延長となった）
実施内容	(1)都民向け 徹底した外出自粛の要請
	(2)事業者向け 施設の使用停止及び催物の開催の停止要請
対象施設	基本的に休止を要請する施設
	遊興施設、大学・学習塾等（床面積100㎡超）、運動・遊戯施設 劇場等、集会・展示施設、商業施設（床面積100㎡超）
	協力依頼を行う施設
	大学・学習塾等（床面積100㎡以下）、集会・展示施設、 商業施設（床面積100㎡以下）
	種別により休業を要請する施設
	文教・社会福祉施設等
	社会生活を維持する上で必要な施設
	医療施設、生活必需物資販売施設、食事提供施設、住宅・宿泊 施設、交通機関等、工場等、官庁・金融機関等、その他

（出典）東京都報道発表資料より

その結果、日本各地で繁華街や商業地の人通りが途絶え、時差出勤や在宅勤務（テレワーク）が行なわれ、主要な商業施設や遊興施設などは休業を要請されることになった。

NHKの特設サイト「新型コロナウイルス、街の人ではどうなっている？」（データ提供グループ）によると、携帯電話情報に基づいて推計を行ったところ東京駅付近の人出は、それまでは平日平均で58,000人程度であったのが、2月末から3月末には42,000～43,000人程度、4月上旬には30,000人程度となり、緊急事態宣言が発令された4月中旬から5月中

旬にかけては 15,000 人程度まで低下したが、緊急事態宣言が解除されて以降の 5 月下旬から少しずつ増加していき、6 月に入ってから 23,000～24,000 人程度に回復している。しかし新型コロナ前と較べると未だに半分以下の水準で推移している。²

2. 経済活動の縮小

このような海外との間の入国拒否や渡航制限、国内での外出自粛や活動休止要請で、経済活動や文化・スポーツ活動などは大きく制約を受けることになった。その結果、3 月以降に発表された様々な政府統計には、新型コロナ問題の影響を明確に確認することができる。

2. 1 消費者意識調査

新型コロナウイルスの感染拡大による自粛・活動休止要請を受けての、消費者意識の変化について見てみよう。内閣府経済社会研究所景気統計部が、三段抽出³によって選定した 8400 世帯に対して、郵送・オンライン併用で継続調査しているのが「消費者意識調査」で、暮らし向き、収入の増え方、雇用環境、耐久消費財の買い時判断、資産価値の 5 つの視点について、〈良くなる、やや良くなる、変わらない、やや悪くなる、悪くなる〉の 5 段階のうちから 1 つを回答してもらう形式である。2020 年 5 月の調査の結果は（表 3）のとおりであった。

（表 3）消費者意識 2020 年 5 月の調査結果（回答の構成比）（％）

	良く	やや良く	不変	やや悪く	悪く	指標
暮らし向き	0.2	1.7	27.4	41.0	29.8	25.4
収入の増え方	0.2	2.1	36.1	33.4	28.2	28.2
雇用環境	0.1	1.8	11.3	37.8	49.0	16.5
耐久消費財買い時	0.3	5.8	22.7	41.3	30.0	26.3
資産価値	0.1	2.0	39.2	32.4	26.3	29.3

（出典）内閣府経済社会総合研究所 消費者動向調査（2020 年 5 月）

右端の指標（意識指標）は、良くなる（+1）、ややよくなる（+0.75）、変わらない（+0.5）、やや悪くなる（+0.25）、悪くなる（+0）を加重して、構成比を足し合わせたものである。例えば、暮らし向きの意識指標 25.4 は次のように計算される。

$$0.2 \times 1 + 1.7 \times 0.75 + 27.4 \times 0.5 + 41.0 \times 0.25 + 29.8 \times 0 = 25.4$$

² グラフ表示のデータを目測で読んでいるため若干の不正確性がある。

³ 市町村－調査単位区－世帯の 3 段階で選出された世帯に 15 か月継続して調査し、その後別の世帯に交替する。

このようにして計算される消費者意識指数を時系列で見ると（表4）のようになる。

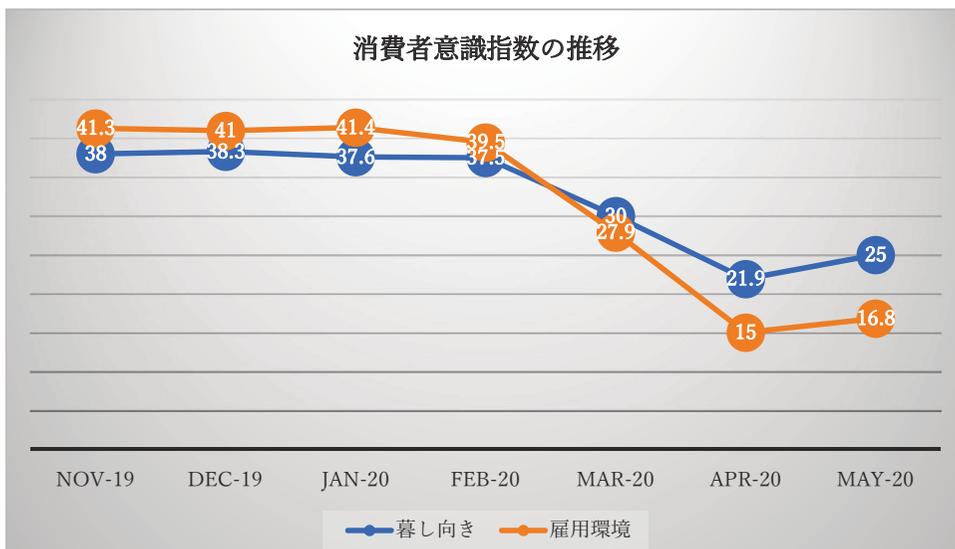
（表4）消費者意識指標の推移

	2019年		2020年				
	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
暮らし向き (前月差)	38.0 (3.3)	38.3 (0.3)	37.6 (▲0.7)	37.5 (▲0.1)	30.0 (▲7.5)	21.9 (▲8.1)	25.0 (3.1)
収入の増え方 (前月差)	40.1 (1.2)	40.2 (0.1)	39.8 (▲0.4)	39.7 (▲0.1)	34.8 (▲4.9)	26.3 (▲8.5)	27.8 (1.5)
雇用環境 (前月差)	41.3 (0.5)	41.0 (▲0.3)	41.4 (0.4)	39.5 (▲1.9)	27.9 (▲11.6)	15.0 (▲12.9)	16.8 (1.8)
耐久消費財買時 (前月差)	35.6 (4.0)	36.3 (0.7)	36.4 (0.1)	36.4 (0.0)	31.0 (▲5.4)	23.3 (▲7.7)	26.3 (3.0)
資産価値 (前月差)	40.1 (0.8)	39.8 (▲0.3)	39.2 (▲0.6)	40.7 (1.5)	32.4 (▲8.3)	27.0 (▲5.4)	29.5 (2.5)

（出典）内閣府経済社会総合研究所 消費者動向調査（2020年5月）

暮らし向きと雇用環境の指数をグラフ表示すると（グラフ5）になる。意識指数は今年になって2月ごろから徐々に低下を始め、国内の感染が拡大を始めた3月から急低下し、非常事態宣言が発令された4月に底となって、それが解除された5月にはやや回復傾向にあることが判る。

（グラフ5）消費者意識指標（暮らし向き・雇用環境）の推移



2. 2 法人企業景気予測調査

それでは法人企業の景況感は、今回の新型コロナウイルス問題でどのように推移しているであろうか。内閣府・財務省が四半期ごとに母集団企業 92 万社の中から選定した 1.5 万社のうち回収率 70%程度で得た回答に基づいて作成している「法人企業景気予測調査」を見ると（表 6）のとおりであった。

（表 6）法人企業「景気予測（BSI）」の推移

	現状判断			見通し	
	2019/10-12	2020/1-3	2020/4-6	2020/7-9	2020/10-12
大企業	▲6.2	▲10.1	(▲4.4) ▲47.6	(4.2) ▲6.6	2.3
製造業	▲7.8	▲17.2	▲52.3	▲7.9	6.6
非製造業	▲5.3	▲6.6	▲45.3	▲6.0	0.2
中堅企業	▲10.7	▲13.1	(▲6.3) ▲54.1	(2.8) ▲17.3	▲2.3
中小企業	▲16.3	▲25.3	(▲12.5) ▲61.1	(▲6.7) ▲27.2	▲12.2

（出典）内閣府・財務省 法人企業動向調査（2020年5月）

（注）上段（ ）内は、前回調査時（2020/2）の見通しを表す。

表示した数字は BSI（=Business Survey Index）と呼ばれ、調査に対して、
 前四半期と比べて 「上昇」と回答した企業の構成比 40.0%
 「不変」と回答した企業の構成比 25.0%
 「下降」と回答した企業の構成比 30.0%
 「不明」と回答した企業の構成比 5.0%

であったならば、BSI は、

「上昇」と回答した企業の構成比－「下降」と回答した企業の構成比

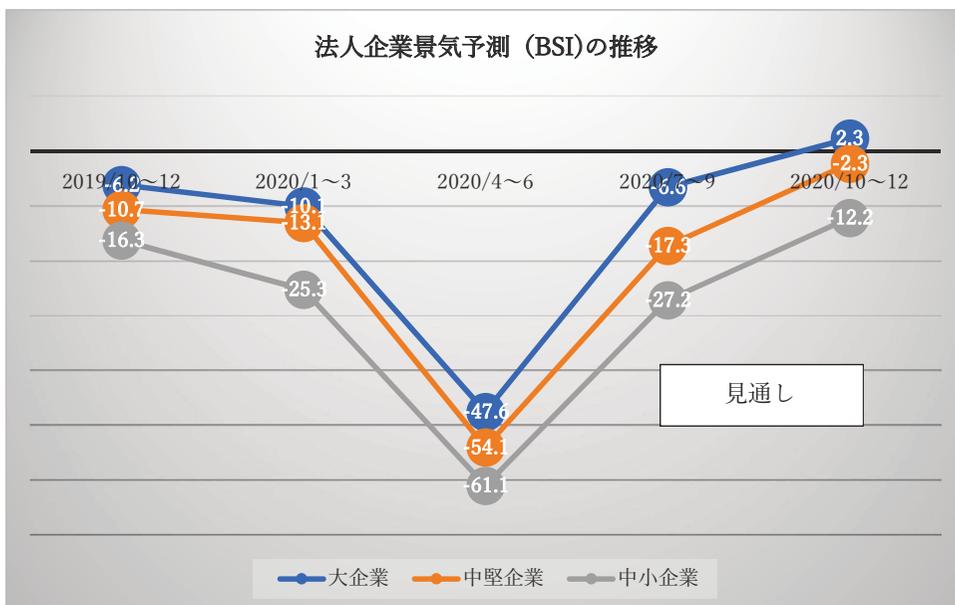
$$40.0 \quad - \quad 30.0$$

で、BSI=10.0 ポイントと算定される。

従って BSI は前四半期と比較しての相対観を表した指標である。

2020年4-6期は、新型コロナ・ウィルス感染の拡大による海外との間の入国拒否や渡航制限、国内での外出自粛や活動休止要請を受けて、どの業態（大企業・中堅企業・中小企業）でも全体では景況判断が悪化していることが判る。また企業規模が小さいほど判断が深刻であることも判る。

(表6) をグラフにしたのが (グラフ7) である。
 (グラフ7) 法人企業景気予測 (BSI) の推移



2020/7-9 期、2020/10-12 期と、業況が改善すると見込む企業が増えていることを、このグラフは示している。

(注) 同調査では、国内の景況に限ると、判断は更に悲観的になっている。(表8)

(表8) 法人企業「国内の景況予測 (BSI)」の推移

	現状判断		見通し		
		2020/1-3	2020/4-6	2020/7-9	2020/10-12
大企業			(▲5.0)	(5.7)	
		▲20.9	▲71.2	▲18.6	▲2.9
製造業		▲22.4	▲70.3	▲15.7	0.3
非製造業		▲20.2	▲71.7	▲20.1	▲4.5
中堅企業			(▲9.2)	(1.4)	
		▲25.5	▲79.7	▲40.2	▲11.8
中小企業			(▲22.7)	(▲10.8)	
		▲38.2	▲78.6	▲51.0	▲24.3

(出典) 内閣府・財務省 法人企業動向調査 (2020年5月)

この景気予測とともに各企業から回答された2020年度の企業収益予想を、内閣府・財務省において積み上げて対前年比増減率を推計すると、次の(表9)のようになる。

(表9) 2020年度企業収益予想

	対前年比伸び率		
	製造業	非製造業	全産業
2020年度売上高	▲4.2%	▲5.5%	▲5.2%
2020年度経常利益	▲27.4%	▲22.0%	▲23.5%

収益予想に寄与の大きかった業種は次のとおりである。

区分		業種		対前年比伸び率
売上高	製造業	増収		
		減収	自動車・同付属品製造業 その他製造業	▲6.2% ▲5.6%
	非製造業	増収	農林水産業	2.4%
			リース業	0.3%
		減収	卸売業	▲5.6%
			小売業	▲5.9%
経常利益	製造業	増益	パルプ・紙・紙加工品製造業	1.2%
		減益	情報通信機械器具製造業	▲41.7%
			化学工業	▲24.6%
	非製造業	増益		
		減益	サービス業	▲28.4%
			卸売業	▲27.9%

(出典) 内閣府・財務省 法人企業動向調査(2020年5月)

以上では、家計・企業の消費者意識・景況判断(いわゆるセンチメント)について見てきたが、新型コロナウィルスの感染拡大と緊急事態宣言に伴う行動規制等によって、実際の企業業績や家計はどのように推移しているのだろうか。卸売業・小売業の商業活動、運輸・通信・宿泊・飲食・教育・医療などのサービス産業、そして自動車・鉄鋼などの鉱工業について、公的機関の統計に従って最近の動向を見てみよう。

2. 3 卸・小売業の状況

経済産業省大臣官房調査統計グループが、毎月発表している「商業動態統計速報」によると、今年に入っての卸売業・小売業の販売額・および前年同月比増減⁴は（表10）のとおりである。

（表10）商業販売額・前年同月比増減率（兆円、%）

	商業計		うち卸売業		うち小売業	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	34.8	▲4.3	23.0	▲6.2	11.8	▲0.4
2	34.8	▲3.9	23.6	▲6.3	11.2	1.6
3	49.0	▲5.8	36.2	▲6.9	12.8	▲4.7
4	40.7	▲16.0	29.8	▲17.3	10.9	▲13.7

（出典）経済産業省大臣官房調査統計グループ「商業動態統計速報」より。

4月は卸売業・小売業ともに前年同月比で販売額が大きく落ち込んだ。業種別に落ち込みの大きいところをみると、次のとおりである。

（卸売業）		（%）	（小売業）		（%）
業種	前年比		業種	前年比	
衣服・身の回り品	▲35.7		織物・衣服・身の回り品	▲53.6	
鉱物・金属材料	▲28.4		各種商品（百貨店など）	▲42.9	
機械器具	▲23.6		自動車	▲23.7	
各種商品	▲22.2		燃料	▲21.7	
繊維品	▲19.0		機械器具	▲12.9	
建築材料	▲15.6		その他	▲8.6	
家具・建具・什器	▲14.3		無店舗	▲5.6	
化学製品	▲13.0		医薬品・化粧品	3.0	
農畜産物・水産物	▲12.5		飲食料品	0.6	

（注）前年比は対前年同月比増減率

外出自粛による衣料品等の需要の落ち込みや、自動車・燃料需要の低迷、百貨店や量販店の休業の影響、海外からの建材・鉱物などの輸入の落ち込み、接待の自粛による農畜産物・水産物などの落ち込みがうかがえる。一方で医薬品は増加している。

⁴ 卸・小売業の販売額には季節性があり、前年同月比で増減を判断することが多い。

(1) 百貨店・スーパーの状況

小売業のうち、百貨店とスーパーについては(表11)のようになった。

(表11) 百貨店・スーパー販売額・前年同月比増減率 (兆円、%)

	百貨店・スーパー計		うち百貨店		うちスーパー	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	1.61	▲1.6	0.52	▲3.3	1.09	▲0.8
2	1.44	0.3	0.41	▲11.8	1.03	6.0
3	1.62	▲8.8	0.38	▲32.6	1.24	2.6
4	1.34	▲18.6	0.14	▲71.5	1.20	3.6

百貨店・スーパーの4月の売り上げの増減を品目別にみると次のとおりである。

(百貨店)

(%)

(スーパー)

(%)

品目	前年比
紳士服・洋品	▲84.2
婦人・子供服・洋品	▲83.0
身の回り品	▲82.7
その他の衣料品	▲68.1
飲食料品	▲50.6
食堂・喫茶	▲89.3
家庭用品	▲67.8
家具	▲46.6
その他商品	▲72.7

品目	前年比
衣料品	▲52.6
食堂・喫茶	▲64.5
家具	▲19.9
家庭用電気機械器具	▲10.5
飲食料品	12.3
その他商品	▲10.1

(注) 前年比は対前年同月比増減率

(2) コンビニエンスストアの状況

小売業のうち、コンビニエンスストアについては(表12)のとおりである。

(表12) コンビニエンスストア販売額・前年同月比増減率 (兆円、%)

	コンビニ計		うち商品販売		うちサービス売上	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	0.97	1.6	0.92	1.5	0.06	2.1
2	0.93	3.4	0.88	4.5	0.05	▲12.4
3	0.96	▲5.4	0.91	▲4.6	0.05	▲19.8
4	0.89	▲10.7	0.85	▲10.0	0.04	▲22.2

コンビニエンスストアの4月の売り上げの増減を品目別にみると次のとおりである。

(%)

品目	前年比
商品販売	▲10.0
ファスト F 及び日配食品	▲12.8
加工食品	▲8.5
非食品	▲7.7
サービス売上	▲22.2

(注) 減少率は対前年同月比増減率

(3) 家電大型店、ドラッグストア、ホームセンターの状況

小売業のうち、家電大型店、ドラッグストア、ホームセンターについては(表13)のとおりである。

(表12) 家電大型店、DS、HC 販売額・前年同月比増減率

(兆円、%)

	家電大型店		ドラッグストア		ホームセンター	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	0.39	▲0.3	0.57	6.3	0.23	▲1.5
2	0.32	5.2	0.61	19.1	0.23	9.7
3	0.39	▲9.5	0.61	7.6	0.27	3.5
4	0.31	▲9.0	0.62	10.4	0.30	4.0

(注) 前年比は対前年同月比増減率

それぞれの4月の売り上げの増減を品目別にみると次のようになる。

(家電大型店)

品目	前年比
AV 家電	▲1.4
情報家電	23.5
通信家電	▲36.3
カメラ類	▲69.2
生活家電	▲16.0
その他	▲20.1

(ドラッグストア)

品目	前年比
調剤医薬	11.0
OTC 医薬	▲0.9
HC/介護	20.4
健康食品	▲4.3
化粧品	▲15.9
トイレット	4.9
家庭用品	19.8
食品	26.1
その他	8.5

(ホームセンター)

品目	前年比
DIY	9.8
電気	6.7
インテリア	0.3
家庭用品	8.0
園芸用品	6.3
ペット用品	8.1
カー用品	▲14.2
オフィス用品	▲29.2
その他	4.6

2. 4 サービス産業の状況

総務省統計局が、毎月発表している「サービス産業動向調査（速報）」によると、今年に入ってのサービス産業の売上高・および前年同月比増減率⁵は（表13）のとおりである。

（注）4月の計数は6月末に発表予定で空欄にしてある。

（表13） サービス産業売上高・前年同月比増減率（兆円、%）

	1月	2月	3月	4月
サービス産業合計	30.16	30.23	35.19	(注)
	0.3	▲0.2	▲7.9	
情報通信業	4.81	4.76	6.75	
	2.5	0.2	▲1.1	
運輸業・郵便業	5.08	5.18	5.56	
	▲2.5	▲1.6	▲16.9	
不動産業・物品賃貸業	3.84	4.14	5.14	
	4.6	▲0.8	4.4	
学術研究・専門・技術	25.3	25.7	4.20	
	1.0	4.1	▲1.9	
宿泊業・飲食業	2.28	2.10	1.78	
	0.1	▲2.6	▲29.4	
生活関連・娯楽業	3.46	3.29	2.88	
	▲4.9	▲2.4	▲26.7	
教育・学習支援業	0.31	0.32	0.29	
	▲1.2	2.4	▲15.0	
医療・福祉業	4.65	4.54	4.71	
	0.1	1.1	▲3.1	
その他サービス業	3.20	3.33	3.87	
	2.4	0.9	0.9	

上段：月間売上高、下段：対前年同月比伸び率

（出典）総務省統計局「サービス産業動向調査」より。

運輸業・郵便業、宿泊業・飲食業、生活関連・娯楽業、教育・学習支援業など、3月になって売上高が対前年同月比で大きく減少している業種があることが判る。これらの業種について、更に細分化（産業中分類）して見ると、（表14）のようになる。

⁵ サービス産業の売上高には季節性があり、前年同月比で増減を判断することが多い。

(表14) 売上高の対前年同月比の減少率が大きいサービス産業（産業中分類）

運輸業・郵便業		宿泊業・飲食業		その他	
鉄道業	▲34.7	宿泊業	▲45.0	職業支援施設等	▲25.1
道路旅客運送業	▲27.8	飲食店	▲26.8	学習塾等	▲18.8
航空運送業	▲52.1	持帰り・配達飲食	▲19.9	娯楽業	▲22.9
運輸付帯サービス	▲24.8			その他生活サービス	▲46.0

これらはまだ3月までの業況変化であるが、4月以降は売上高の更なる減少が懸念される。引き続きフォローしていくこととしたい。⁶

2. 5 鉱工業の状況

経済産業省が、毎月発表している「鉱工業（生産・出荷・在庫）指数の動向（速報）」によると、今年に入ってから鉱工業の生産指数・生産者出荷指数・生産者在庫指数（いずれも季節調整済）および前月比増減率は（表15）のとおりである。

(表15) 鉱工業指数の動向

	生産指数		生産者出荷指数		生産者在庫指数		生産者在庫率	
	指数	前月比	指数	前月比	指数	前月比	指数	前月比
1月	99.8	1.9	97.9	0.9	106.2	2.1	115.2	▲0.3
2月	99.5	▲0.3	98.9	1.0	104.4	▲1.7	112.5	▲2.3
3月	95.8	▲3.7	93.2	▲5.8	106.4	1.9	121.9	8.4
4月	87.1	▲9.1	85.0	▲8.8	106.1	▲0.3	137.4	12.7
5月		▲4.1						
6月		3.9						

（出典）経済産業省「鉱工業（生産・出荷・在庫）指数の動向（速報）」より。

（注）指数はいずれも季節調整済み指数

（注）生産指数の5月、6月前月比は予測指数による

4月の経済産業省の解説では次のように説明されている。

・・・新型コロナウイルス感染症の影響は2月から現れ、生産の低下が見られたが、3月、4月とその影響が拡大し、4月は国内外で需要の減少や、部品供給の遅れ、感染防止策のための工場の稼働の低下等が生じたことにより、幅広い業種で生産が低下し、低下幅は特に大

⁶ 4月分のサービス産業の売上高速報は、6月30日に発表予定である。

幅なものになった。・・・

4月の鉱工業出荷指数を大きく動かした品目（財別）は次のようなものであった。⁷

（表16）2020年4月の鉱工業出荷指数を大きく動かした品目（％）

	品目	前月比	寄与率
資本財	半導体製造装置	28.6	3.9
	ノート型パソコン	67.5	1.0
建設材	アルミニウム製建具	▲4.1	▲0.3
	電気照明器具（除く自動車用）	▲4.9	▲0.1
非耐久消費財	ガソリン	▲14.1	▲1.6
	仕上げ用化粧品	▲19.9	▲0.6
耐久消費財	普通自動車	▲41.6	▲26.0
	軽自動車	▲43.3	▲3.7
生産財	駆動電動・操縦装置部品	▲35.3	▲7.6
	自動車用エンジン	▲34.1	▲6.0

（出典）経済産業省「鉱工業（生産・出荷・在庫）指数の動向（速報）」より。

（注）寄与率＝出荷全体の変動に対して影響を及ぼした財別の影響の度合いを表す。すべての財の寄与率を足すと、当月が上昇ならば100%、低下ならば-100%となる。

2. 6 農林・水産業の状況

農林水産業への新型コロナウイルスの影響については、公的な統計データは見当たらないが、報道情報などによると次のような影響が出ている。⁸

<農業>

- ・食堂・レストランの和牛の需要減少で、和牛価格が低迷している。
- ・学校の休校要請で牛乳が余るのではないかと懸念されたが、加工用に回される等によって廃棄は免れている。
- ・イベント自粛で花の業務用需要が低下している。
- ・外国人実習生が来日できず、深刻な人手不足に陥っている地域がある。
- ・日本人や外国人客が農家の暮らしを体験する農泊が定着しつつあったが、キャンセルが相次いでいる。

⁷ 経済産業省「鉱工業（生産・出荷・在庫）指数の動向（速報）」解説資料より。

⁸ 日本経済新聞記事、NHK ニュース等による。

<漁業>

- ・料亭の宴席キャンセル、宿泊施設や飲食店の営業自粛、輸出の減少等で、鮮魚価格が下落して、出漁の採算性が悪化している。
- ・それに伴って、鮮魚の流通業者の業績も低迷している。

2. 7 貿易の状況

財務省が、毎月発表している「貿易統計（速報）」によると、今年に入ってから輸出輸入額は（表15）のとおりである。

（表15）貿易額の推移（兆円、%）

	輸出		輸入		差引
	金額	伸び率	金額	伸び率	金額
1月	5.43	▲2.6	6.75	▲3.6	▲1.31
2月	6.32	▲1.0	5.21	▲13.9	1.11
3月	6.36	▲11.7	6.35	▲5.0	0.01
4月	5.20	▲21.9	6.13	▲7.2	▲0.93

（注）伸び率は対前年同月比である。 差引＝輸出－輸入。

4月の輸出・輸入で増加・減少に寄与した主要品目は次の通りである。

（表16）2020年4月の貿易統計を大きく動かした品目（%）

	輸出			輸入		
	品目	伸率	寄与	品目	伸率	寄与
増加				織物用糸・繊維品	124.5	1.5
				医薬品	27.3	1.0
減少	自動車	▲50.6	▲8.1	原粗油	▲43.7	▲5.0
	自動車部分品	▲39.2	▲1.9	石炭	▲23.0	▲0.8
	原動機	▲34.7	▲1.3	液化天然ガス	▲14.2	▲0.7

2. 8 訪日外国客の状況

日本は3月上旬から段階的に海外からの入国者に対する2週間の待機要請、そして入国拒否の対応をとった。それによって海外との社会・文化的な交流が途絶え、日本経済の一部を支えていた観光も大きく停滞することになった。

（表17）は、日本政府観光局（JNTO）が毎月発表している「訪日外客数（総数）」に

よる訪日外国人の推移を2020年1月以降でまとめたものである。

(表17) 訪日外国人の推移

(万人、%)

	総数		うちアジア		うち欧州		うち北米	
	人数	伸率	人数	伸率	人数	伸率	人数	伸率
1月	266.1	▲1.1	230.0	▲2.8	10.2	10.7	15.2	16.8
2月	108.5	▲58.3	84.0	▲63.8	8.8	▲11.5	9.5	▲21.4
3月	19.4	▲93.0	10.0	▲96.0	3.0	▲84.0	3.1	▲86.0
4月	0.3	▲99.9	0.1	▲99.9	0.0	▲99.9	0.0	▲99.9

(出典) 日本政府観光局「訪日外客数(総数)」より。

(注) 伸率は対前年同月比

2月から訪日外国人は減少を始め、4月にはほぼ皆無となってしまった。同じく日本政府観光局(JNTO)が実施した「訪日観光客消費動向調査」によると、2019年10-12月期の外国人観光客の支出内訳⁹は(表18)のとおりであった。

(表18) 訪日外国人費目別購入率(全体集計:抜粋)

区分	費目	該当者率(%)	単価(万円)
旅行前	団体・個人パッケージ料金	22.2	15.1-16.6
	往復航空運賃	77.9	6.7
滞在中	宿泊費	72.7	5.7
	飲食費	88.8	3.4
	交通費	81.2	1.8
	娯楽サービス	41.4	1.5
	美術館・博物館	23.3	0.4
	テーマパーク	13.0	0.9
	温泉等	4.5	0.6
	買い物	96.5	5.6
	菓子	68.4	0.9
	化粧品・香水	40.1	3.6
	その他食品	36.0	0.8
	衣料	35.8	2.2
	医療品	29.7	1.7
	革製品	19.9	3.1
酒類	17.7	1.2	

⁹ 空港等でのアンケートによる。

現在はこれらの消費が完全に失われている状態である。

2. 9 雇用・失業の状況

新型コロナ・ウィルス感染拡大による行動規制や休業要請の影響を受けて、国内の雇用はどのように推移しているであろうか。総務省統計局が毎月発表する「労働力調査（基本集計）」によると（表19）のとおりである。

（表19）労働力調査の結果

		人数 (万人)	対前年同月増減 (万人)			
			4月	3月	2月	1月
就業者数		6,628	▲80	13	35	59
内 訳	自営業種・家族従業者	662	▲32	▲40	▲25	3
	雇用者	5,923	▲36	61	64	64
	正規職員・従業員	3,563	63	67	44	42
	非正規職員・従業員	2,019	▲97	▲26	2	▲5
産 業 別 就 業 者	農業・林業	211	1	▲7	▲3	12
	建設業	491	▲12	3	7	▲14
	製造業	1,040	▲17	▲24	▲15	5
	情報通信業	242	20	2	▲5	16
	運輸・郵便業	351	15	12	▲1	▲9
	卸売業・小売業	1,048	▲33	17	44	22
	金融業・保険業	163	▲2	▲5	▲7	3
	不動産業・物品賃貸業	139	15	3	8	14
	学術研究・専門技術	248	9	13	▲1	8
	宿泊業・飲食業	373	▲46	▲14	▲6	▲8
	生活関連・娯楽業	225	▲11	3	1	1
	教育・学習支援業	319	▲7	▲11	▲2	▲12
	医療・福祉	855	15	40	25	31
	その他サービス業	449	▲8	▲6	2	2
完全失業者数		189	13	2	3	▲7
内 訳	非自発的な離職	49	8	7	2	▲3
	自発的な離職	71	▲4	▲8	3	▲3
	新たに求職	52	13	6	1	▲3
休業者数		597	420	31	19	8

外国人観光客の激減や緊急事態宣言による営業自粛の対象となった宿泊業・飲食業、生活関連・娯楽業、卸売業・小売業などで就業者数の減少が見られる。また、完全失業者数が徐々に増加しているほか、休業者（雇用者・自営業主で期間中に全く仕事をしなかった者）の数が急増しており、それがそのまま失業者予備軍となる恐れがある。

3. 中間集計（1）のまとめと、（2）（3）の計画

新型コロナウイルスの感染拡大に伴う対外的な渡航規制・入国規制、国内向けの緊急事態宣言による諸活動の自粛要請は、国内の経済活動の停滞をもたらし、家計および法人の財務構造に大きな影響を引き起こしている。具体的には「収入の減少」、「売上高の減少」という形で顕現化して、定常的な支出に対して収入が追いつかないことによる「資金ショート」が起こり、それに持ちこたえるための現預金が枯渇すると、やがて自己破産や資金繰り倒産が発生する事態となる。また、企業の決算は債務超過に陥り、上場廃止や赤字倒産が多発する可能性も考えられる。

それを防止する施策として、国から個人への「特別定額給付金」や「一時金」の給付、個人事業主等への「持続化給付金」や「持続化補助金」の給付、法人向けの政府系金融機関や民間金融機関からの「危機対応融資」などが用意されているが、給付が間に合い（資金繰りは待ったなしである）一時的には救済ができて、資金ショートの状況が長く続けばそれに伴って赤字幅は拡大していく。新型コロナウイルスの問題が長引けば、再度・再再度の資金繰り支援が必要になる場合もあり得るのである。

一方で（日本企業も含めて）世界の企業は、今回の新型コロナ問題を乗り越えた後の対応についても迫られている。顧客の（ポストコロナ）行動様式の変化は、ワクチンや治療薬が開発される迄は継続することが予想され、それが長期間に及んだり開発が不可能であった場合には、世界の新しい行動様式としてそのまま定着することも考えられる。また、今回の新型コロナ問題が将来の「パンデミック・リスク」（新たなウイルス感染拡大の危険性）として明確に認識されて、社会の組み立てをそれに対応したものにシフトさせていく動きになることも考えられる。

ソーシャルディスタンスを保つような座席の配置をすれば、鉄道やバスや航空機などの公共交通機関の輸送力は低下して、公共交通システムの在り方を新たに設計を行う必要がある。またそれらの採算性を考慮すると料金は相当に高いものになる。この問題は観劇や映画や音楽などの文化事業や、スポーツ観戦についても同様である。

工場やオフィスでも、従業員同士の配置を一定距離以上に離れた設計に変更すれば、大きなスペース費の増加となる。それに対して、活動のプロセスをデジタル化することによって、従業員同士の接触を回避する方向性も考えられるが、それが可能な業種・業務は

限定されており、物流や建設業や相当範囲のサービス業については、それに直ちに対応することは技術的にも資金的にも（或いは採算的にも）不可能であろう。

世界の製造業では、今回の新型コロナ問題の前には、リカードの自由貿易理論に基づいて「グローバルなサプライチェーン（供給網）」を世界的に構築することが行われてきたが、「世界の工場」であった中国が今回の感染源となったこともあり、それが大きく破綻してしまった。日本も含めて世界の製造業にとって、このサプライチェーンの再構築が大きな課題となっている。今回の新型コロナ問題の終息を睨んで、現状の回復を目指すのか、或いは新たなスタイルのサプライチェーンの構築を目指すのか、岐路に立たされている。

以上のような問題意識の下で中間集計（２）では、損益分岐点分析に基づいて家計や企業に資金ショートが発生するメカニズムを整理した後に、政府による資金繰り支援策の概要と政府系金融機関や民間金融機関による「緊急対応融資」の概要、及びそれらの残高の積み上がり状況をトレースすることにしたい。その一方で、今回の新型コロナに起因する「倒産発生状況」などの整理を行いたい。

また、中間集計（３）では、中小企業統計等に基づいて金融機関が新型コロナ問題に伴う「ストレス・シナリオ」を構成する方法について考察したい。併せて日本の国債残高問題（財政問題）、日銀の財務構造問題などについても考察することとしたい。

以 上

新型コロナウイルスの日本の社会・経済への影響

－中間集計（４）：最近の感染者発生状況など－

2020年7月7日

統計数理研究所統計思考院 池森俊文¹

<要約>

1. 国内の感染者が首都圏を中心に再び増加を始めて、流行曲線に第二波を形成中である。また、都道府県を跨ぐ移動の自粛が全面解除（6/19）されて、感染が再度、全国各地に広がりつつある。
2. 6/29 に世界の新型コロナウイルスの感染者が 1000 万人を超えた。感染者を多く出している国々で引き続き拡大を続けており、世界の新型コロナ感染はしばらく収まりそうにない。
3. 移動制限解除に伴い、感染が再び感染終息値に広がる様子をシミュレーションした。クラスター感染が発生すると、更に感染が拡大する可能性がある。
4. 古典的 S I R モデルの課題を修正して新しい S I R モデルを構成した。新しいモデルでは、(1)感染拡大時にピークが尖る、(2)感染期間中パラメータが安定しない、(3)感染終息時になかなか感染が収まらなかつたり再拡大（第二波）する、などの現象を説明することができる。

（注）第二波は 7/7 の段階で、ピークを打つ気配があるが予断は許さない。

<目次>

1. 最近の感染者発生の状況
 1. 1 日本の状況
 1. 2 世界の状況
 1. 3 分析結果
2. 移動制限会場のシミュレーション（参考）
 2. 1 モデル
 2. 2 シミュレーション
 2. 3 結果
3. S I R モデル再考
 3. 1 必要性
 3. 2 新しい S I R モデルの枠組み

<補足資料> $\Pi < 1/n$ の証明

¹ このレポートの内容は筆者の私見に基づくものであり、筆者の所属する組織の見解ではないことに注意願いたい。

1. 最近の感染者発生状況

1. 1 日本の状況

国内の感染者数が首都圏を中心に再び増加を始めて、流行曲線に2つめの山（第二波）を形成中である。まだそのピークを迎えておらず、どこまで第二波の感染が拡大するのか予断を許さない状況である。（注）首都圏=東京、埼玉、千葉、神奈川、関西圏=大阪、兵庫

（表1）週ごとの国内新規感染者数の推移² (人)

期間	北海道	首都圏	関西圏	福岡	その他	合計
3/29-4/4	22	842	260	96	555	1775
4/5-4/11	46	1280	426	182	577	2511
4/12-4/18	163	2214	662	171	1068	4278
4/19-4/25	194	1354	430	98	564	2640
4/26-5/2	222	914	216	46	385	1783
5/3-5/9	120	548	109	6	106	889
5/10-5/16	57	350	49	3	59	518
5/17-5/23	30	173	11	4	32	250
5/24-5/30	45	135	1	82	13	276
5/31-6/6	30	171	2	53	8	264
6/7-6/13	46	169	2	23	17	257
6/14-6/20	32	293	21	15	26	387
6/21-6/27	27	420	15	6	25	493
6/28-7/4	54	882	68	23	149	1176

（データ源）日本経済新聞社「都道府県別の感染者・死者数」より

また、各週の「新規感染者数=0」の府県数の平均値は再び減少傾向にあり、感染が再度全国各地に広がりつつあることが判る。（（表2）参照）

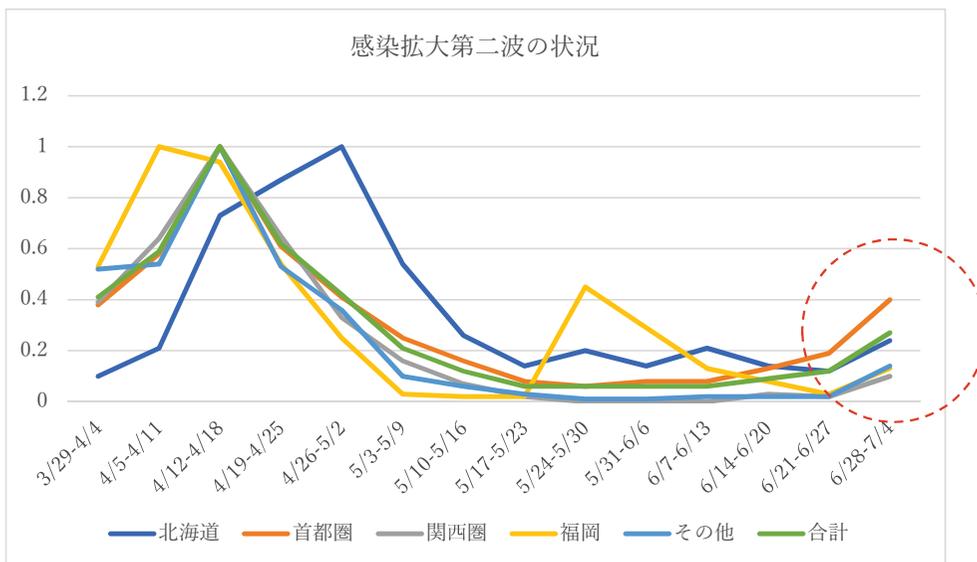
（表2）「新規感染者数=0」の府県数の週間平均値の推移

期間	平均値	期間	平均値	期間	平均値
4/19-4/25	17.1	5/17-5/23	38.7	6/14-6/20	38.0
4/26-5/2	26.4	5/24-5/30	40.4	6/21-6/27	38.4
5/3-5/9	31.4	5/31-6/6	40.4	6/28-7/4	32.9
5/10-5/16	35.6	6/7-6/13	39.7		

² 後日の申告漏れ判明や修正等があり必ずしも正確ではない。（すべてを修正しきれていない）

各地域ブロックの週ごとの新規感染者数を、ピーク時の感染者数に対する比率を計算してグラフ表示すると、(グラフ3) のようになる。感染拡大の第2波が立ち上がりつつある様子が判る。

(グラフ3) 地域ブロック別新規感染者の推移 (対ピーク時指数)



1. 2 世界の状況

米国ジョン・ホプキンス大学の集計によると、6月29日に世界の新型コロナウイルスの感染者が1,000万人を超え、死者数も50万人を超えた。³

(表4)は、7月4日時点の累計感染者数が多い国を順番に列挙したものである。

(表4) 世界各国の新型コロナ感染者数 (万人)

国	感染者数	国	感染者数	国	感染者数
米国	279.5	メキシコ	24.5	南アフリカ	17.7
ブラジル	153.9	イタリア	24.1	バングラデシュ	15.6
ロシア	66.7	イラン	23.5	カナダ	10.7
インド	64.8	パキスタン	22.5	コロンビア	10.6
ペルー	29.6	フランス	20.4	カタール	9.9
チリ	28.8	トルコ	20.3	中国	8.5
英国	28.6	サウジアラビア	20.2	アルゼンチン	7.3
スペイン	25.1	ドイツ	19.7	エジプト	7.3

³ NHK NEWSWEB (6/29)「世界の感染者1000万人超 死者50万人超 新型コロナウイルス」

(注) 米国ジョンズ・ホプキンス大学まとめ (日本経済新聞より転記)

前週 (6/28-7/4) の新規感染者数を前々週 (6/21-6/27) の新規感染者数で割って、最近の新規感染者の増減傾向を計測すると (表5) のようになる。

(表5) 直近の新規感染者増減の動向

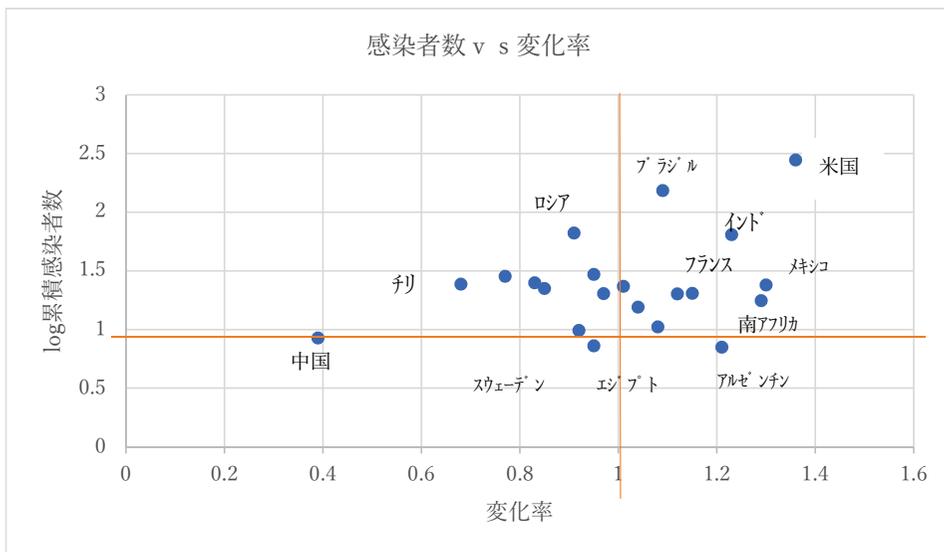
国	変化率	国	変化率	国	変化率
米国	1.36	メキシコ	1.30	南アフリカ	1.29
ブラジル	1.09	イタリア	0.68	パングラデシュ	1.04
ロシア	0.91	イラン	1.01	カナダ	----
インド	1.23	パキスタン	0.85	コロンビア	1.08
ペルー	0.95	フランス	1.15	カタール	0.92
チリ	0.77	トルコ	0.97	中国	0.39
英国	----	サウジアラビア	1.12	アルゼンチン	1.21
スペイン	0.83	ドイツ	----	エジプト	0.95

(出典) 日本経済新聞社「新型コロナウイルス感染世界マップ」より転記して計算

(注) 英国、ドイツ、カナダは期間中にデータの修正があつて計算不可

また、横軸に「変化率=前週新規感染者/前々週新規感染者」、縦軸に「 \log_{10} 累計感染者数」をとって散布図を作成すると (グラフ6) になる。

(グラフ6) 累計感染者数 v s 変化率の散布図



米国、ブラジル、インド、メキシコ、南アフリカなど、累計感染者数が大きな国々が引き続き拡大を続けており、世界の新型コロナ感染はしばらく収まりそうにない。

各国を流行曲線の形状によって主観的に、(1)感染が終息しつつある国、(2)感染第二波に苦しんでいる国、(3)感染拡大がピークを打ったと思われる国、(4)感染が拡大中の国、に分類すると(表7)のようになる。

(表7) 各国の感染拡大状況

(1)感染が終息しつつある国
中国、イタリア、スペイン、英国、オランダ、ベルギー、ノルウェー、タジキスタン マレーシア
(2)感染第二波に苦しんでいる国
米国、日本、豪州、韓国、イラン、トルコ、ポルトガル、フランス、ドイツ、スイス ポーランド、クロアチア、アルジェリア、クエート
(3)感染拡大がピークを打ったと思われる国
ペルー、チリ、パキスタン、サウジアラビア、ロシア、ウクライナ、スウェーデン エジプト、カタール、オマーン
(4)感染が拡大中の国
インド、ブラジル、コロンビア、メキシコ、アルゼンチン、フィリピン、南アフリカ イラク、ウズベキスタン、キルギス、バーレーン

2 移動制限解除のシミュレーション (参考)

緊急事態宣言が解除され、都道府県をまたぐ移動の自粛要請が全面解除されて(6/19)、感染がほぼ終息した地域から感染が未だに終息しきっていない地域(首都圏や関西圏など)への立ち入りや、その逆の移動が行われるようになった。

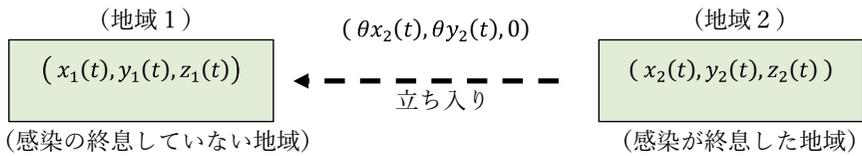
そのことによる新規感染者発生への効果がどのように表れるか、古典的なSIRモデルを2地域間モデルに拡張してシミュレーションを行った。

2.1 モデル

モデル設定は以下のとおりである。

感染の終息していない(地域1)と感染が終息した(地域2)を考える。それぞれの地域の非感染者、感染力保有者、感染確認者をそれぞれ $(x_1(t), y_1(t), z_1(t))$ 、 $(x_2(t), y_2(t), z_2(t))$ と置く。 $(x_2(0), y_2(0), z_2(0)) = (x_2(0), 0, 0)$ である。

(地域2)から(地域1)へ、人口に対して θ の割合の人々が恒常的に立ち入るものと仮定すると、下図のような図式になる。



その時、(地域1) および (地域2) では、次のような接触が発生する。

(地域1内)

$$(x_1 + \theta x_2) \cdot (y_1 + \theta y_2) \quad (1-1)$$

(地域2内)

$$(1 - \theta)^2 x_2 y_2 \quad (1-2)$$

この接触に伴って感染する可能性を、それぞれの地域別に整理して微分方程式系を組み立てると、次式のような2地域SIRモデルが得られる。

(地域1)

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -\beta x_1 (y_1 + \theta y_2) \\ \frac{dy_1}{dt} = \beta x_1 (y_1 + \theta y_2) - \gamma y_1 \\ \frac{dz_1}{dt} = \gamma_1 y_1 \end{cases} \quad (2-1)$$

(地域2)

$$\begin{cases} \frac{dx_2}{dt} = -\beta x_2 ((1 - \theta)^2 y_2 + \theta (y_1 + \theta y_2)) \\ \frac{dy_2}{dt} = \beta x_2 ((1 - \theta)^2 y_2 + \theta (y_1 + \theta y_2)) - \gamma y_2 \\ \frac{dz_2}{dt} = \gamma_1 y_2 \end{cases} \quad (2-2)$$

2. 2 シミュレーション

次のように前提条件を置く。

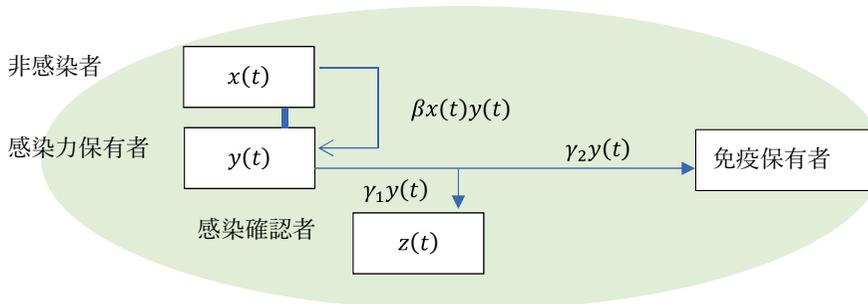
<初期値> (地域1) (10700, 665) : 感染が終息間際の状態を作った。

(地域2) (10000, 0) : 感染が終息 (但し、免疫の無い人が多数存在)。

<時間> 1週間 = 1 とし、間隔を 0.2 ずつに分割して近似シミュレーション

<パラメータ> $\beta = 0.0001$, $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 = 0.5$, $\theta = 0.1$, $\gamma_1 = 0.05$

(参考) 単一地域のSIRモデル



2. 3 結果

このような前提条件の下でシミュレーションを行うと、下記のような結果が得られた。

週 t	地域 1			地域 2		
	週末 非感染者 x_1	週末 感染力者 y_1	週内 感染者 dz_1/dt	週末 非感染者 x_2	週末 感染力者 y_2	週内 感染者 dz_2/dt
0	10700	665		10000	0	
1	10639	442	131	9994	6	1
2	10599	293	87	9990	10	2
3	10573	194	58	9986	13	3
4	10555	129	38	9984	15	3
5	10543	86	25	9981	16	4
6	10535	57	17	9979	18	4
7	10530	38	11	9977	19	5
8	10526	25	7	9975	20	5
9	10524	17	5	9973	20	5
10	10522	11	3	9972	21	5

(地域 1) では感染が終息しつつあり週内感染者数も減少しているところへ、(地域 2) からの立ち入り者があると、(地域 1) はそのまま減少を続けるが、(地域 2) では少しずつ感染者が発生していくという結果が得られた。

都道府県をまたぐ移動の自粛要請が全面解除されて (6/19) 以降の先週には、それまで長い間「感染者数 = 0」であった府県に新規感染者が確認された。そのうちの何例かは、首都圏や関西圏との行き来が原因となったものであった。⁴

このシミュレーションは、海外からの入国制限解除や海外への出国規制解除による影響を検討する上でも参考になる。

⁴ UTY テレビ山梨 (7/3) 「都内から山梨に帰省の男性が新型コロナ感染」

NHK NEWS WEB (7/3) 「茨城新たに 6 人感染確認 (・・男性は都内での食事会に参加した・・)」

日本経済新聞 (7/3) 「東京観光の 2 人が新型コロナ感染 宮城県」

朝日新聞デジタル (7/4) 「奈良県内で 38 日ぶり新規感染者 (大阪市内でアルバイト)」

静岡新聞 NEWS (7/4) 「清水町、静岡市で計 5 人感染 新型コロナ (・・もう一人は感染流行地域からの帰省者・・)」

NHK NEWS WEB (7/4) 「新潟市で新たに 1 人感染確認 (・・東京から新幹線とタクシーを乗り継いで新潟の自宅に戻った・・)」

京都新聞 (7/5) 「京都でも感染者じわり増加 (・・首都圏由来の感染事例も・・)」

またこのシミュレーションは古典的 S I R モデルをベースにしており、算定される結果はあくまでも「期待値」であることに注意が必要である。実際、クラスター感染の発生などによって新規感染者数は期待値の周りに確率的に振れが生じる。

「緊急事態宣言解除後の感染状況の管理方法（案）」(2020.6.1) で提示した「S I R + Cramer-Lundberg モデル」等によって、そのような状況も意識した管理が必要である。

東京都内や埼玉県、栃木県、鹿児島県などでクラスター感染が観測されている。⁵

(参考) S I R + Cramer-Lundberg モデル (確率モデル) の要旨⁶

$dz = Sdt$, $dt = 1$ 週間 とする。1 週間の感染者数を次のように表す。

$$\tilde{S} = \sum_{i=1}^{\tilde{n}} \tilde{s}_i \quad (3)$$

但し、 \tilde{n} : 1 週間の感染発覚件数 (強度 λ の Poisson 過程に従う)

\tilde{s}_i : 各事案 i の同時感染者数 ($\sim F(s)$; $E[\tilde{s}_i] = \mu$, $V[\tilde{s}_i] = \sigma^2$ の i i d)

このとき \tilde{S} の分布関数 $G(s)$ は次のようになるが、これは簡単には計算できない。

$$G(s) = \mathbb{P}(S \leq s) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!} F^{n*}(s), \quad S \geq 0 \quad (4)$$

但し、 $F^{n*}(s)$ は F の n 回畳み込み (convolution)

しかし、期待値と分散は簡単に計算できる。

$$E[\tilde{S}] = \mu\lambda, \quad V[\tilde{S}] = (\mu^2 + \sigma^2)\lambda \quad (5)$$

感染発覚件数の強度 λ が時間の関数 $\lambda(t)$ とすると、次の確率モデルが得られる。

$$E[\tilde{S}(t)] = \mu\lambda(t) = \gamma_1 y(t), \quad \lambda(t) = \frac{\gamma_1}{\mu} y(t) \quad (6)$$

$$dz/dt = \mu\lambda(t) + (\tilde{S}(t) - \mu\lambda(t)) = \gamma_1 y(t) + (\tilde{S}(t) - \gamma_1 y(t)) \quad (7)$$

⁵ 埼玉新聞 (7/2) 「クラスターキャバクラ店名公表で客 27 人が連絡・・・」

FNN プライムオンライン (7/3) 「新型コロナ要警戒 東京で 124 人新規感染・・・夜の街クラスター「感染防止大会」が密だと疑問の声も」

南日本新聞 373news.com (7/5) 「新型コロナ 鹿児島県内 85 人に ショーパブ関連は 66 人・・・」

下野新聞 SOON (7/5) 「1 週間の感染者過去最多並ぶ 宇都宮「夜の街」利用者ら・・・」

⁶ 池森 (2020.6.1) 「緊急事態宣言管理後の感染状況の管理方法（案）」参照

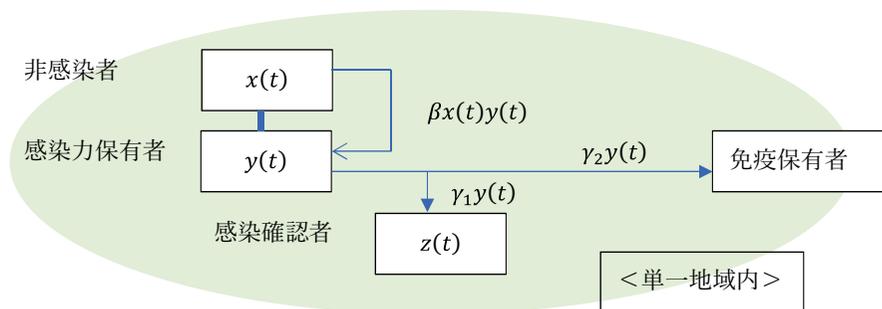
3 SIRモデル再考

3.1 必要性

古典的SIRモデルは、(1)ある閉ざされた単一地域の中で、非感染者 $x(t)$ と感染力保有者 $y(t)$ が均一に接触し、その接触に伴って比率 β で「感染」が発生する ($\beta x(t)y(t)$)。

その結果、当該者が非感染者から感染力保有者に移行する。(2)また、感染力保有者は、一定の比率 (γ_1) で感染が発覚して感染確認者 $z(t)$ となり隔離される、或いは感染の症状が出ずに一定の比率 (γ_2) で免疫保有者となって感染力保有者から抜けていく。というものであった。(下図参照)

(図8) SIRモデルの関係図(再掲)



その関係を次のような連立方程式系で表現した。

$$\left\{ \begin{array}{l} dx/dt = -\beta x(t)y(t) \\ dy/dt = \beta x(t)y(t) - (\gamma_1 + \gamma_2) y(t) \\ dz/dt = \gamma_1 y(t) \\ x(t) + y(t) + z(t) = n \end{array} \right. \quad (8)$$

しかしこのようなモデルは、米国の軍隊内や大学内で発生した感染症や、ダイヤモンド・プリンセス号内の新型コロナ感染の分析には適当でも、日本全国や都道府県内などの感染者数を分析するには不適當である。広い地域に於いて非感染者と感染力保有者が、気体分子運動論の分子のように「均等に接触し合う」ことはあり得ず、逆に、殆どの人々は「決して接触しない」人々である。感染を終息させたい最後の詰めの局面で、感染発生メカニズムを明示して適切な対応策を提供するようなモデルにはなっていないのである。

このモデルは、地域内の大多数が非感染者から免疫保持者または感染確認者になることによって、感染が終息するという設定であるが、先般に厚生労働省が日本赤十字社の協力を得て実施した「抗体検査キットの性能評価」の研究結果は、献血者のうちのわずか0.4%～

0.6%が「陽性」という内容で、集団免疫の形成とは程遠い発表であった。⁷

一方でこのモデルは、感染発生期間中のある局面においては、新規感染発生者数の動向を比較的よく表している。感染発生から新規感染者数がピークを打って減少に向かう一連の過程では、モデルによる理論曲線と新規感染者数の発生状況は良く合致していた。

そこで、観測される現象と合致する枠組みは残しつつ、現状（特に感染の終息局面）と合致しないところを修正して、これから感染を終息させるに当たって取るべき施策の根拠となるようなモデルを再構成することが求められている。

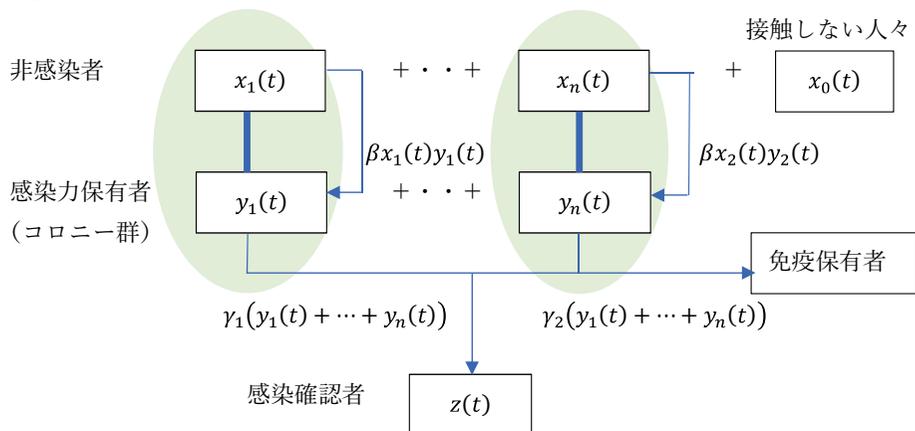
3. 2 新しいS I Rモデルの枠組み

新しいモデルでは、単一地域内の人々を一括りにするのではなく、感染力保有者 $y(t)$ が複数のコロニー ($y_i(t); i = 1, \dots, n$) を形成していると考ええる。

$$y(t) = y_1(t) + \dots + y_n(t) \quad (9)$$

非感染者のうちの殆ど ($x_0(t)$) はこのコロニー群に接触することはないが、非感染者のうちの特定の人々 ($x_i(t); i = 1, \dots, n$) が、各コロニー $y_i(t)$ に個別に接触する機会を持つとする。(図9) 参照

(図9) 新しいS I Rモデルの関係図



$$x = \sum_i x_i + x_0, \quad y = \sum_i y_i, \quad z = \sum_i z_i \quad (10)$$

⁷ 日経バイオテック (5/18) 「厚労省が実施した抗体検査の性能評価、業界関係者から相次ぐ指摘ーそもそも研究のデザインからしておかしいのではー」

各コロニーにおける非感染者 ($x_i(t)$) と感染力保有者 ($y_i(t)$) の接触による感染発生のメカニズムは従来の S I R モデルと同様として、次のような連立方程式系を得る。

$$(\forall i = 1, \dots, n) \quad \begin{cases} dx_i/dt = -\beta x_i(t)y_i(t) \\ dy_i/dt = \beta x_i(t)y_i(t) - (\gamma_1 + \gamma_2) y_i(t) \\ dz_i/dt = \gamma_1 y_i(t) \end{cases} \quad (11)$$

$$x(t) = \sum_i x_i(t) + x_0(t), \quad y(t) = \sum_i y_i(t), \quad z(t) = \sum_i z_i(t)$$

各式を $i = 1, \dots, n$ について足し合わせると、微分の線形性から次式が得られる。

$$\begin{cases} dx/dt = \sum_{i=1}^n dx_i/dt = -\beta \sum_{i=1}^n x_i(t)y_i(t) \\ dy/dt = \sum_{i=1}^n dy_i/dt = \beta \sum_{i=1}^n x_i(t)y_i(t) - (\gamma_1 + \gamma_2) y(t) \\ dz/dt = \sum_{i=1}^n dz_i/dt = \gamma_1 y(t) \end{cases} \quad (12)$$

従来の S I R モデルと異なるのは、 $\sum_{i=1}^n x_i y_i$ の箇所である。これはどのように考えたらよいであろうか。形式的に次のような処理を行うと、

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = xy \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{xy} \quad (13)$$

第 1 式は次のように書き換えることができる。

$$dx/dt = -\beta \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{xy} xy = -\bar{\beta} xy \quad (14)$$

$$\text{但し、} \quad \bar{\beta} = \beta \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{xy} \quad (15)$$

ここで、 $\phi_0 = x_0/x$ (コロニーに接触しない人々の比率) と置くと、

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{xy} &= \frac{(1 - \phi_0)xy}{xy} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{(1 - \phi_0)xy} \\ &= (1 - \phi_0) \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i} = (1 - \phi_0)\Pi \end{aligned} \quad (16)$$

但し、

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i} \quad (17)$$

(16)式を(15)式に代入すると次式が得られる。

$$\bar{\beta} = \beta \cdot (1 - \phi_0) \cdot \Pi \quad (18)$$

したがって、通常の接触によって感染する可能性の実測値としての β に対して、コロニーに接触しない人々の比率を考慮した $(1 - \phi_0)$ と Π を掛けることによって、古典的なSIRモデルの $\bar{\beta}$ が構成される。

ここで Π の効果について見ると、Lagrange乗数法を使うことにより次式が示せる。

<補足資料>参照

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i} \leq \frac{1}{n} \quad (19)$$

実際、 x_i, y_i がともに一様分布（同じ規模のコロニーとそこへの接触者集団が n 個）のときに $\Pi = 1/n$ となる。また、 x_i, y_i がともに三角分布のときには次のようになる。

$$n = 2m + 1$$

$$\Pi = \frac{1}{3} \left(\frac{2}{(m+1)} + \frac{1}{(m+1)^3} \right) \quad (20)$$

<補足資料>参照

古典的なSIRモデルによると、流行曲線はパラメータ $(\beta, \gamma_1, \gamma_2)$ が不変ならば、ピーク時を中心に感染が拡大する段階と感染が終息する段階では左右対称となる。しかし、実現される流行曲線を見ると、ピークが尖っていたり、終息局面で長く裾をひく（感染がなかなか終息しなかったり、感染の第2波が発生したりする）ケースが多い。

この現象は以下のように説明することができる。

- (1) 感染が拡大する局面で、感染コロニーの発生個数 (n) が大きくなって、 $\bar{\beta}$ を構成する Π が小さくなっていくこと。
- (2) 感染が終息する局面では、感染コロニーの発生個数 (n) が小さくなって、 $\bar{\beta}$ を構成する Π が大きくなっていくこと。
- (3) 緊急事態宣言が解除されて、実際の密接度が高まって、もとの β が大きくなること。
- (4) 同じく緊急事態宣言が解除されて、自宅で自粛していた x_0 の人達が活動範囲を拡大して、コロニーとの接触をする集団 (x_1, \dots, x_n) に入ってきて、 $(1 - \phi_0)$ が大きくなること。
- (5) 検査体制が行き届いて γ_1 が大きくなること。

感染の終息局面ではコロニーの所在をトレースし、一つ一つ潰していったって感染を終息させるような対応が必要である。

<補足資料> $\Pi \leq 1/n$ の証明と補足説明

Lagrange 未定乗数法を使って $\Pi = \sum_{i=1}^n x_i y_i \leq 1/n$ であることを示す。

(証明)

$X = \sum x_i, Y = \sum y_i$ で割って、 $\sum x_i = 1, \sum y_i = 1$ と規格化することができる。

Lagrange 関数を次のように置く。

$$\Phi = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \lambda_1 \left(\sum_{i=1}^n x_i - 1 \right) - \lambda_2 \left(\sum_{i=1}^n y_i - 1 \right) \quad (1)$$

x_i, y_i で偏微分して $= 0$ と置くと、

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} = y_i - \lambda_1 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y_i} = x_i - \lambda_2 = 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

したがって、 $x_1 = \dots = x_n = 1/n, y_1 = \dots = y_n = 1/n$ のときに最大値が実現されて、

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i} = \frac{1}{n} \quad (3)$$

(具体例)

これを具体的な分布を仮定して計算してみる。

(1) x_i, y_i がともに一様分布のとき、 $x_i = y_i = 1/n$ 。したがって、

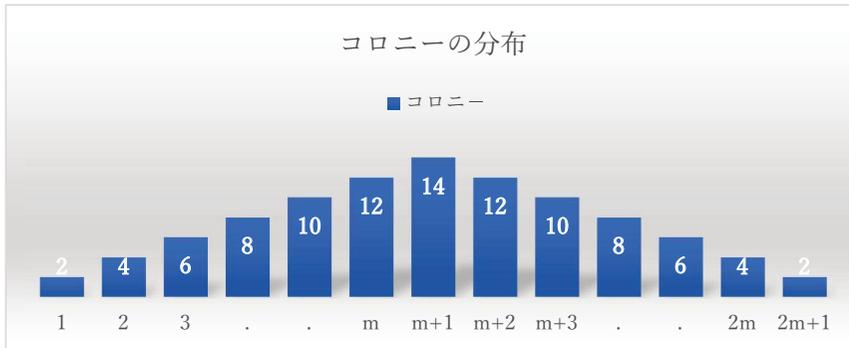
$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n^2} = \frac{1}{n} \quad (4)$$



(2) x_i, y_i がともに三角分布のとき、

$$x_i = y_i = \begin{cases} i\pi & (1 \leq i \leq m) \\ (m+1)\pi & (i = m+1) \\ ((2m+2)-i)\pi & (m+2 \leq i \leq 2m+1) \end{cases} \quad (5)$$

$$n = 2m+1, \quad \pi = \frac{1}{(m+1)^2}$$



したがって、 Π は次のように計算される。

$$\begin{aligned} \Pi &= 2 \sum_{i=1}^m i^2 \pi^2 + (m+1)^2 \pi^2 \\ &= 2\pi^2 \frac{m(m+1)(2m+1)}{6} + (m+1)^2 \pi^2 \\ &= \pi^2 (m+1) \left(\frac{m(2m+1) + 3(m+1)}{3} \right) \\ &= \frac{1}{(m+1)^3} \cdot \frac{2m^2 + 4m + 3}{3} \\ &= \frac{1}{3} \left(\frac{2}{(m+1)} + \frac{1}{(m+1)^3} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

以上

新型コロナウイルスの日本の社会・経済への影響

－中間集計（５）：日本の財政問題への影響－

2020年7月10日

統計数理研究所統計思考院 池森俊文¹

<要約>

1. 第1号、第2号補正予算による新型コロナ対策（医療体制整備、困難者支援、経済対策等）は不可欠なものであったが、一方で、我が国の長期的課題である財政健全化は大きく後退することになった。
2. IMFが定期的に発表する6月の世界経済見通しでは、今回の新型コロナウイルス感染の世界的な拡大が予想以上に世界経済に打撃を与えていることを踏まえて、4月発表の見通しを下方に改定して2020年の世界のGDP成長率▲4.9%（日本のGDP成長率▲5.8%）とした。
3. これらの(1)補正予算による国債追加発行、(2)日本のGDP成長率の低下見通しを反映させて、今年1月に内閣府が発表した「中長期の経済財政に関する試算」の限界的な修正計算を試みた。その結果、財政健全化計画は大きく後退することになり、基礎的財政収支の黒字化は先送りとなり、公社債残高/GDP比率は高止まりするという結果となった。
4. 今後の対応策としての基礎的財政支出の圧縮は、それぞれの事情でなかなか難しいものと予想される。世界各国も、新型コロナ対策で国債発行による経済対策を行ったが、対GDP比率で見ると、日本は米国に次いで大規模な対策を行ったことが判る。

<目次>

1. 補正予算による政府の支援策
2. IMFの世界経済見通し（WEO）
3. 内閣府「中長期の経済財政の試算」の修正計算
 3. 1 中長期の経済財政に関する試算
 3. 2 補正予算、IMF見通しによる修正計算
 3. 3 財政支出圧縮の難しさ
 3. 4 各国の新型コロナ対策の公的債務への影響

¹ このレポートの内容は筆者の私見に基づくものであり、筆者の所属する組織の見解ではないことに注意願いたい。

1 補正予算による政府の支援策

3月27日の参院本会議で可決、成立した「令和2年度予算」は、当初予算としては2年連続の100兆円を超えるもので、前年10月の消費税増税を受けて、社会保障の充実、経済対策の着実な実行、歳出改革の取組の継続により、経済再生と財政健全化を両立する予算であった²。

(表1) 令和2年度予算フレーム

(兆円)

歳出		歳入	
科目	金額	科目	金額
国債費	23.4	税収	63.5
一般歳出	61.7	その他収入	6.6
うち社会保障関係費	35.8	公債金	32.6
うち社会保障関係費以外	25.9		
地方交付税交付金	15.8		
小計	110.9		
臨時・特別の措置	1.8		
計	102.7	計	102.7

(出典) 財務省資料より

我が国における新型コロナウイルスの感染拡大が懸念される中、安倍首相は予算成立を受けて、新型コロナウイルスの感染拡大に対処するための補正予算案の編成を指示し、4月30日に補正予算(第1号)が、6月12日に補正予算(第2号)が可決、成立した。

(表2) 令和2年度補正予算(第1号)フレーム³

(兆円)

歳出		歳入	
科目	金額	科目	金額
1.緊急経済対策関係経費	25.6	公債金	25.7
(1)感染防止策と医療体制整備、治療薬開発	1.8	(1)建設国債	2.3
(2)雇用の維持と事業の継続	19.5	(2)特例国債	23.4
(3)官民を挙げた経済活動の回復	1.8		
(4)強靱な経済構造の構築	0.9		
(5)感染症対策予備費	1.5		
2.国債整理基金特別会計へ繰入	0.1		
合計	25.7	合計	25.7

(出典) 財務省資料より

² 財務省「令和2年度予算のポイント」より。

³ 科目名は判る範囲で略記している。

(表3) 令和2年度補正予算(第2号) フレーム⁴

(兆円)

歳出		歳入	
科目	金額	科目	金額
1.緊急経済対策関係経費	31.8	公債金	31.9
(1)雇用調整助成金の拡充等	0.5	(1)建設国債	9.3
(2)資金繰り対応の強化	11.6	(2)特例国債	22.6
(3)家賃支援給付金の創設	2.0		
(4)医療提供体制等の強化	3.0		
(5)その他の支援	4.7		
(6)感染症対策予備費	10.0		
2.国債整理基金特別会計へ繰入	0.1		
3.既定経費の減額(議員歳費)	▲0.0		
合計	31.9	合計	31.9

(出典) 財務省資料より

新型コロナウイルス感染の拡大という緊急事態に際して、国を挙げての医療体制の整備、困難者の支援、経済対策等は不可欠の対応であったが、一方で我が国の長期的な課題である財政健全化は、2次に亘る補正予算も含めて、今年度の国債発行額が90.2兆円(=32.6+25.7+31.9兆円)に及ぶことで、大きく後退することになった。

財政健全化は、当初予算策定の段階では(表4)のような見通しであった。

(表4) 我が国の経済指標、財務指標(一般会計)

(金額単位:兆円)

	実績			見込み	見通し
	H28年度	H29年度	H30年度	R1年度	R2年度
<経済指標>					
名目GDP成長率	0.8%	2.0%	0.1%	1.8%	2.1%
名目GDP	537	548	548	558	570
物価上昇率	▲0.1%	0.7%	0.7%	0.6%	0.8%
完全失業率	3.0%	2.7%	2.4%	2.3%	2.3%
<財務指標>					
一般歳出	57.8	58.4	58.9	62.0	63.5
公債金収入	34.4	34.4	33.7	32.7	32.6
基礎的財政収支	▲10.8	▲10.8	▲10.4	▲9.2	▲9.2
公債依存度	35.6%	35.3%	34.5%	32.2%	31.7%

(出典) 財務省資料より

(注) 基礎的財政収支=一般歳出+地方交付金-(税収+その他) 公債依存度=公債金/歳出総額

⁴ 科目名は判る範囲で略記している。

2 IMFの世界経済見通し（WEO=World Economic Outlook）

国際通貨基金（IMF=International Monetary Fund）は、定期的に世界経済見通し（WEO=World Economic Outlook）を発表しているが、新型コロナウイルス感染の世界的な拡大を受けて、2020年4月の見通しは「感染の世界的流行」というシナリオの下で、前回1月の見通しを大幅に下方修正したものとなった。

（表5）WEOによる最新の成長率予測（2020年4月）（%）

	2019年	2020年	2021年
世界 GDP（実質）	2.9	▲3.0	5.8
先進国	1.7	▲6.1	4.5
米国	2.3	▲5.9	4.7
ユーロ圏	1.2	▲7.5	4.7
日本	0.7	▲5.2	3.0
新興国と途上国	3.7	▲1.0	6.6
中国	6.1	1.2	9.2
インド	4.2	1.9	7.4
ロシア	1.3	▲5.5	3.5
ラテンアメリカ	0.1	▲5.2	3.4
中東・中央アジア	1.2	▲2.8	4.0
サブサハラアフリカ	3.1	▲1.6	4.1
低所得途上国	5.1	0.4	5.6

（出典）IMF WEO より。

IMF は今回の新型コロナウイルス感染拡大による経済危機を、影響が巨大で、持続期間や深刻度が不確実で、対策の中核が経済刺激策ではなく拡散防止策であるという意味で、「これまでに類を見ないもの」とし、二段階での対応が必要であるとしている。

第一段階は「感染症の封じ込めと安定化」で、感染者の隔離、都市封鎖、社会的距離の確保を実施するとともに、治療薬やワクチンの開発のための医療支出の拡充を行うこと。

第二段階は「景気回復あるいはそのための準備」で、社会の経済的・金融的インフラを保つこと、企業と労働者（雇用）や資金の貸手と借手（金融）の繋がりを維持すること等によって金融システムによるショックの増幅を防ぐことである。

また、この状況下では「各国間の協調」が重要で、ワクチンが開発された場合の新興国や低所得途上国への供給体制や、金融支援（支払猶予や返済計画の見直し）が必要になるとしている。そのうえで、今回の見通しは2020年後半にパンデミックが終息し、拡散防止措置が徐々に解除できるという前提で構成した。（WEO 要旨より抜粋）

しかし、その後の新型コロナウイルスの感染拡大は、第一四半期・第二四半期の経済封鎖の打撃が予想以上に大きく、2020年後半にかけても社会的距離が確保され、ポストコロナによる生産性低下も見込まれることから、IMFは6月になって「改定見直し」を発表した。

以下の(表6)のような内容である。

(表6) WEOによる最新の成長率予測(2020年6月) (%)

	2019年	2020年	2021年
世界GDP(実質)	2.9	▲4.9	5.4
先進国	1.7	▲8.0	4.8
米国	2.3	▲8.0	4.5
ユーロ圏	1.2	▲10.2	6.0
日本	0.7	▲5.8	2.4
新興国と途上国	3.7	▲3.0	5.9
中国	6.1	1.0	8.2
インド	4.2	▲4.5	6.0
ロシア	1.3	▲6.6	4.1
ラテンアメリカ	0.1	▲9.4	3.7
中東・中央アジア	1.2	▲4.7	3.3
サブサハラアフリカ	3.1	▲3.2	3.4
低所得途上国	5.1	▲1.0	5.2

(出典) IMF WEO より。

しかしこの見通しも、経済封鎖の長期化が経済活動に更なる打撃を与える可能性があり、また金融市場のセンチメントは既に見通し作成の前提と乖離しており、金融環境のタイト化が、見通し以上に経済を悪化させる可能性があるとしている。

3 内閣府「中長期の経済財政の試算」の修正計算(試算)

以上で見てきた(1)新型コロナウイルス対策の補正予算による国債追加発行と、(2)日本のGDP成長率の低下見通しが、わが国の長期的な課題である「財政健全化」にどのような影響を与えているのであろうか。

3.1 中長期の経済財政に関する試算

内閣府は今年の1月に「中長期の経済財政に関する試算」を実施して、2025年度の国・地方を合わせた基礎的財政収支の黒字化を目指し、債務残高/GDPの安定的な引き下げを目指すことを堅持する旨を宣言した。⁵

⁵ 内閣府(2020/1)「中長期の経済財政に関する試算」(1.はじめに)より。

そして、(1) 2021 年以降は政策効果が発現すると仮定して試算した「成長実現ケース」と、(2)経済が足元の潜在成長率並みで将来に亘って推移すると仮定して試算した「ベースラインケース」の2つを提示した。概要は以下の(表7)(表8)のとおりである。

(表7) 経済財政に関する試算(成長実現ケース) (金額:兆円、比率%)

年	GDP 成長率	GDP	物価 上昇率	完全 失業率	基礎的 財政収支	公債等 残高	同 GDP 比率
2019	1.8	558.3	0.6	2.3	▲15.2	1074.4	192.4
2020	2.1	570.2	0.8	2.3	▲15.3	1080.7	189.5
2021	1.5	578.6	1.0	2.4	▲10.7	1094.1	189.1
2022	2.8	595.0	1.4	2.4	▲8.1	1106.3	185.9
2023	3.3	614.8	1.8	2.4	▲6.9	1117.7	181.8
2024	3.4	635.9	2.0	2.4	▲5.2	1128.1	177.4
2025	3.5	658.1	2.0	2.4	▲3.6	1137.8	172.9
2026	3.4	680.8	2.0	2.5	▲1.7	1146.9	168.5
2027	3.4	703.9	2.0	2.5	0.3	1157.7	164.5
2028	3.3	727.2	2.0	2.5	2.0	1169.9	160.9
2029	3.2	750.7	2.0	2.6	3.9	1184.4	157.8

(表8) 経済財政に関する試算(ベースラインケース) (金額:兆円、比率%)

年	GDP 成長率	GDP	物価 上昇率	完全 失業率	基礎的 財政収支	公債等 残高	同 GDP 比率
2019	1.8	558.3	0.6	2.3	▲15.2	1074.4	192.4
2020	2.1	570.2	0.8	2.3	▲15.3	1080.7	189.5
2021	0.7	574.4	0.6	2.4	▲11.2	1094.6	190.6
2022	1.7	584.0	0.7	2.4	▲9.2	1108.1	189.7
2023	1.5	592.8	0.7	2.4	▲9.0	1121.7	189.2
2024	1.4	601.0	0.8	2.4	▲8.5	1135.0	188.8
2025	1.3	608.8	0.8	2.4	▲8.2	1148.2	188.6
2026	1.2	616.3	0.8	2.5	▲8.1	1162.1	188.5
2027	1.2	623.7	0.8	2.5	▲8.0	1177.2	188.7
2028	1.1	630.8	0.8	2.5	▲8.0	1193.3	189.2
2029	1.1	637.5	0.8	2.6	▲8.0	1211.3	190.0

(注) GDP、GDP 成長率は名目ベース。物価上昇率は消費者物価

3. 2 補正予算、IMF 見通しによる修正計算

この試算に対して、第1号・第2号の補正予算の国債追加発行額（57.6兆円=25.7兆円+31.9兆円）と、IMFの経済見通し（2020年▲5.8%、2021年2.4%）の情報を加えた場合に、試算はどのように修正されるであろうか。

以下で、限界的に関連データを入れ替えて修正計算を試みた。修正計算の前提は次のとおりである。（注）以下では「中長期の経済財政に関する試算」を「試算」と略記する。

・当年名目GDP=前年名目GDP×名目成長率

2020年と2021年をIMF見通しとし、それ以外の年は「試算」どおりとした。

IMF見通しは実質成長率なのでGDPデフレーターで調整した。

例えば、成長実現ケースでは次のように修正した。

（2020年） ▲5.8%+0.8%=▲5.0%

（2021年） 2.4%+0.7%= 3.1%（低下した翌年で戻りの影響がある）

・当年税金=当年名目GDP×0.11⁶

・当年国債残高=試算国債残高+57.6兆円+（試算税金-修正後税金）

2020年の国債残高に57.6兆円を加算し、それ以外の年は上式で求めた。

・当年国債費=「試算」国債費+0.001×前年（国債残高-「試算」国債残高）

0.001（=0.1%）は長期国債の市場利回りを参考にした。⁷

（表9）経済財政に関する試算の修正（成長実現ケース）（金額：兆円、比率%）

年	GDP 成長率	GDP	物価 上昇率	完全 失業率	基礎的 財政収支	公債等 残高	同GDP 比率
2019	1.8	558.3	0.6	2.3	▲15.2	1074.4	192.4
2020	▲5.0	530.4	0.8	2.3	▲71.2	1138.3	214.6
2021	3.1	546.8	1.0	2.4	▲12.4	1155.2	211.3
2022	2.8	562.1	1.4	2.4	▲12.5	1167.5	207.7
2023	3.3	580.7	1.8	2.4	▲12.2	1179.1	203.1
2024	3.4	600.4	2.0	2.4	▲11.5	1189.6	198.1
2025	3.5	621.4	2.0	2.4	▲11.0	1199.5	193.0
2026	3.4	642.6	2.0	2.5	▲10.5	1208.8	188.1
2027	3.4	664.4	2.0	2.5	▲9.9	1219.7	183.6
2028	3.3	686.3	2.0	2.5	▲9.6	1232.1	179.5
2029	3.2	708.3	2.0	2.6	▲9.0	1246.7	176.0

⁶ 「試算」ではこの比率=0.11になっている。

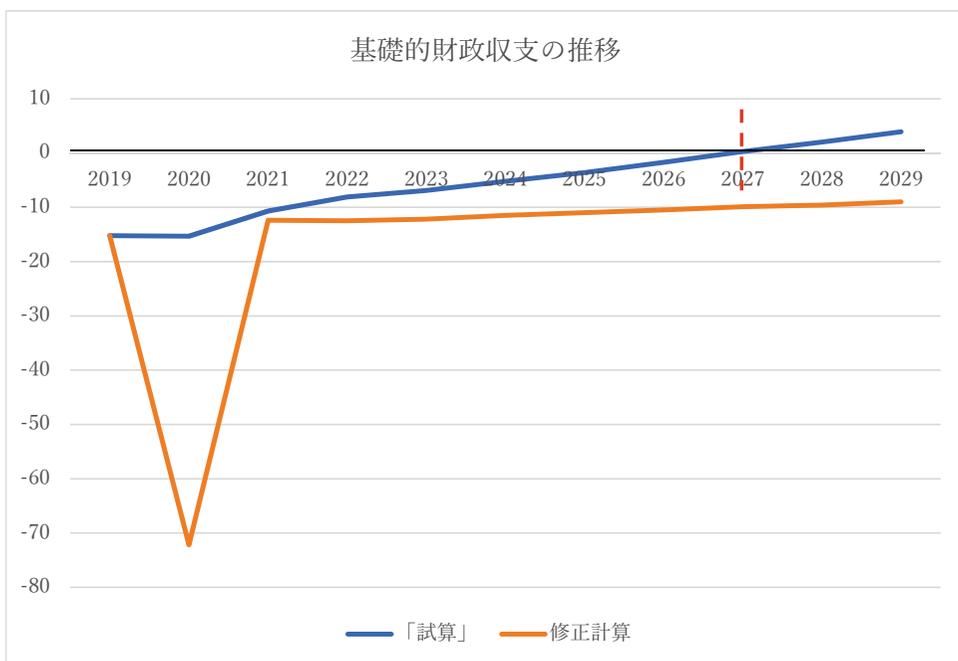
⁷ 但し、国債費への影響は殆どなかった。

(表10) 経済財政に関する試算の修正（ベースラインケース）（金額：兆円、比率％）

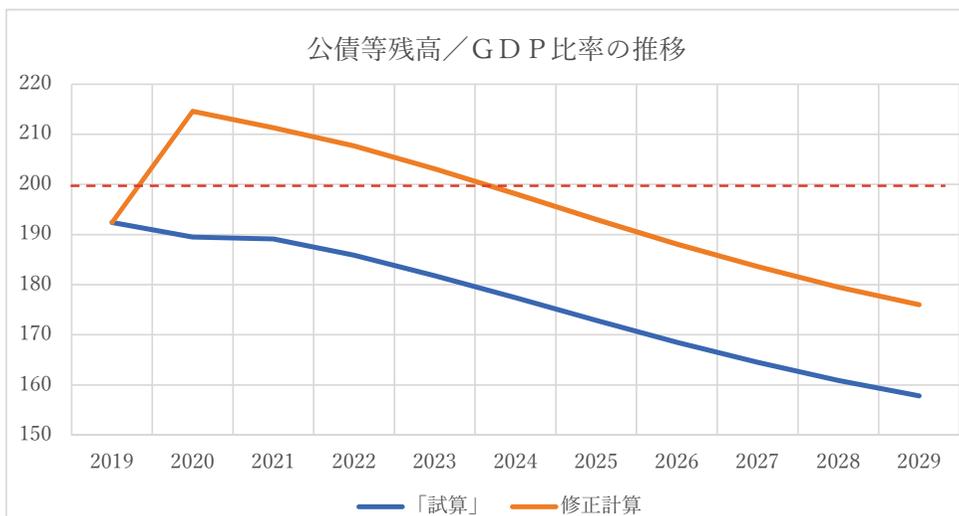
年	GDP 成長率	GDP	物価 上昇率	完全 失業率	基礎的 財政収支	公債等 残高	同 GDP 比率
2019	1.8	558.3	0.6	2.3	▲15.2	1074.4	192.4
2020	▲5.0	530.4	0.8	2.3	▲71.2	1138.3	214.6
2021	2.6	544.2	1.0	2.4	▲12.6	1155.6	212.3
2022	1.7	533.4	1.4	2.4	▲12.8	1169.1	211.2
2023	1.5	561.7	1.8	2.4	▲12.8	1182.7	210.6
2024	1.4	569.6	2.0	2.4	▲12.8	1196.1	210.0
2025	1.3	577.0	2.0	2.4	▲12.6	1209.3	209.6
2026	1.2	583.9	2.0	2.5	▲12.5	1223.3	209.5
2027	1.2	590.9	2.0	2.5	▲12.6	1238.4	209.6
2028	1.1	597.4	2.0	2.5	▲12.8	1254.6	210.0
2029	1.1	604.0	2.0	2.6	▲12.8	1272.6	210.7

この結果を「試算」と修正計算で比較すると、成長実現ケースでは（グラフ11）（グラフ12）、ベースラインケースでは（グラフ13）（グラフ14）のようになる。

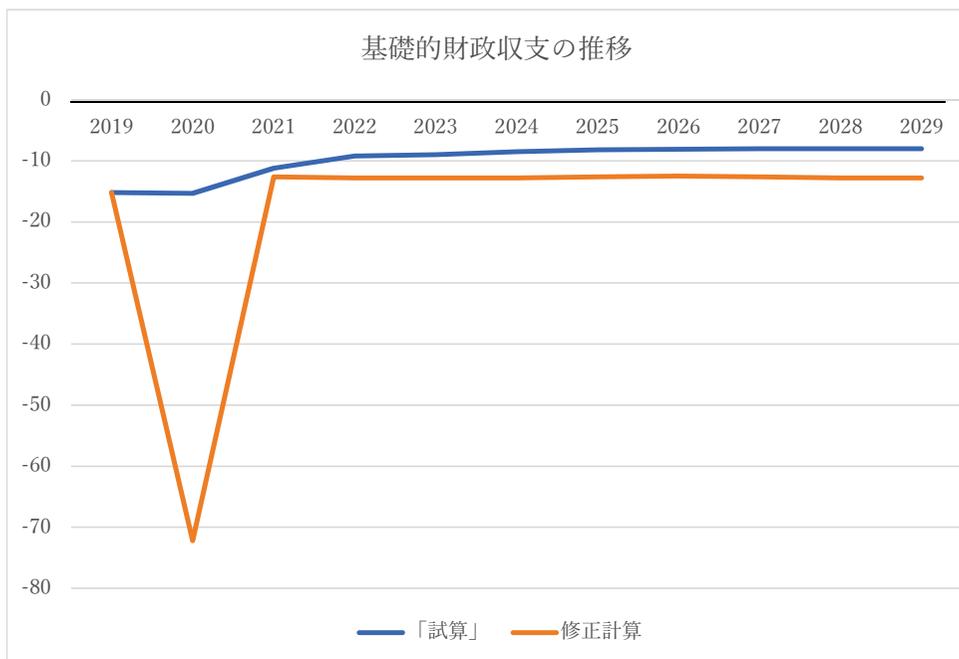
（グラフ11）基礎的財政収支の推移（修正前・後）：成長実現ケース



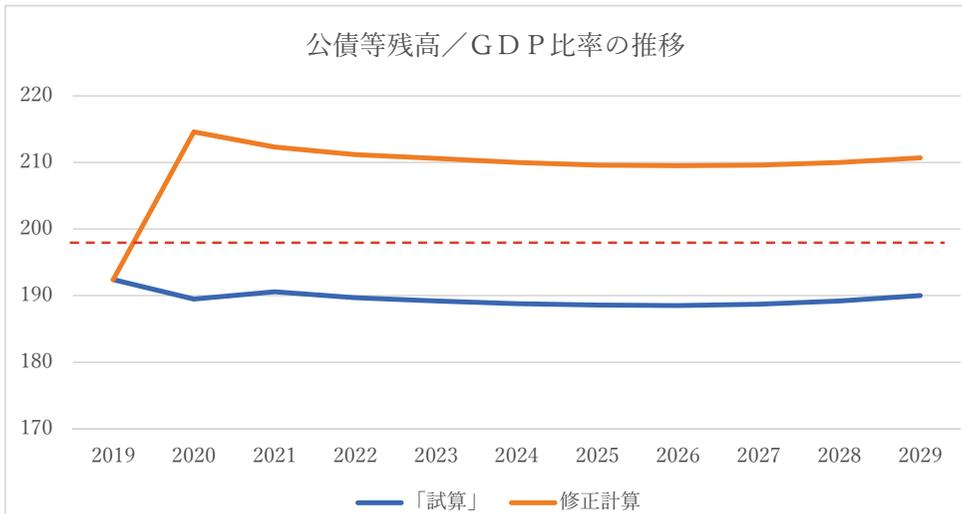
(グラフ12) 公債等残高/GDP比率の推移(修正前・後):成長実現ケース



(グラフ13) 基礎的財政収支の推移(修正前・後):ベースラインケース



(グラフ14) 公社債残高/GDP比率の推移 (修正前・後)：ベースラインケース



成長実現ケースの場合、「試算」では2027年に基礎的財務収支がプラスに転じる予定であったが、修正計算では2027年には引き続き10兆円程度の基礎的財務収支マイナスとなる。公社債等残高の対GDP比率は2029年には176%に低下する。

ベースラインケースの場合、「試算」では基礎的財務収支が2029年までにマイナス8兆円程度に圧縮できる予定であったが、修正計算では2026年のマイナス12.5兆円から逆に2029年にかけてマイナス12.8兆円に増加する。また公社債等残高の対GDP比率は2029年にも210.7%と高止まりする。

3.3 財政支出圧縮の難しさ

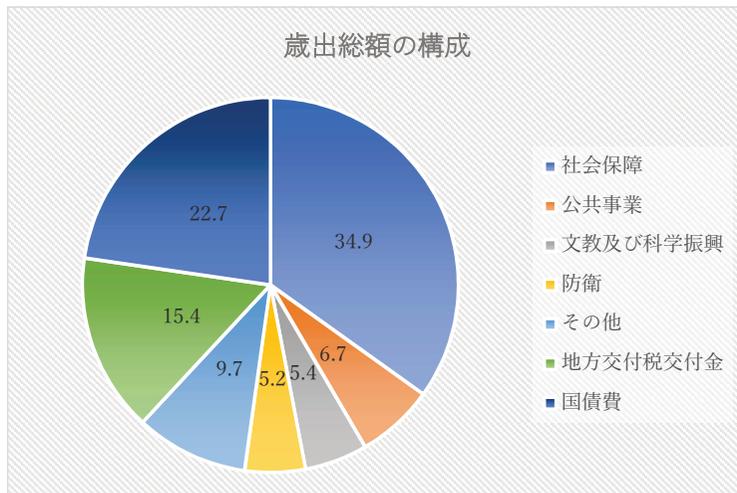
今回の修正計算では、基礎的財政支出(=一般歳出+地方交付税交付金)の支出額予想は「試算」のままとした。

一般歳出の中身は2020年当初予算では、社会保障(34.9%⁸)、公共事業(6.7%)、文教及び科学振興(5.4%)、防衛(5.2%)、その他(9.7%)で、これに地方交付税交付金(15.4%)、国債費(22.7%)が加わって歳出総額を構成する。その他には食糧安定供給(1.0%)、エネルギー対策(0.9%)などが含まれる。次頁(グラフ15)参照。⁹

⁸ 構成比は歳出総額に占める比率を表す。

⁹ 財務省「令和2年度予算のポイント」より。

(グラフ15) 一般会計歳出の内訳(2020年度当初予算)



これらの支出金額を将来に亘って圧縮するのは、それぞれの事情があつてなかなか難しいものと思われる。

社会保障には、年金、医療保険、社会保険を含み、難しい対応が求められる。

公共事業は、社会インフラの老朽化問題やIT・ネット社会への転換問題を含み、むしろ今後の進展が求められている。

文教及び科学振興は、わが国の将来の競争力を規定するもので、なかなか減額はできないと思われる。

防衛は、最近の極東地域の緊張や米国との関係もあり高止まりが予想される。

その他は、食糧やエネルギーの安定供給の問題など重要な支出を含んでいる。

地方交付税交付金は、地方の活性化や、今回の新型コロナ対応で傷んだ地方財政の支援で圧縮は難しい。

国債費は、将来に亘って償還条件や利払条件から自動的に計算され、修正の余地はない。

しかし、一方で国債残高はどこまで伸長が可能なのか、日銀が残高の大部分を保有するという形態はどこまで可能なのか、いよいよ明かな説明が求められる局面となっているような気がする。

3. 4 各国の新型コロナ対策の公的債務への影響

日本のほか、世界の各国では新型コロナ対策として巨額の経済対策を実施することを決め、その資金を国債の新規発行によって調達する計画である。(表16)は日本を含む主要国のGDP規模と新型コロナ対策費を示したものである。

(表16) 主要国の GDP と新型コロナ対策国債発行 (金額：兆\$、比率：%)

	GDP 規模 (名目) ①	新型コロナ 対策発行②	同 保証予算	GDP 比率 ① / ②
日本 ¹⁰	4.97	0.54		10.9
米国 ¹¹	20.58	4.48	0.42	21.8
英国 ¹²¹³	2.83	0.17	0.42	6.0
ドイツ ¹⁴	3.95	0.18	0.68	4.6
フランス ¹⁵	2.78	0.17	0.34	6.1
イタリア ¹⁶	2.08	0.06		2.9

(出典) メディア情報を集約

(注) (表16) の数字は、メディアを通じて得られた数字を、最近の外為レートで単純に US\$ 換算して列挙したものであり、入手の時期も違い正確性にも欠ける可能性がある。

(参考) 原通貨建て対策発行・保証予算と US\$換算の外為レート

	日本	米国	英国	ドイツ	フランス	イタリア
新型コロナ 対策予算	57.6 兆円	44,830 億\$	1,320 億£	1,560 億€	1,500 億€	550 億€
同 保証予算	?	4,250 億\$	3,300 億£	6,000 億€	3,000 億€	?
外為レート	0.00932	1	1.2612	1.1330	1.1330	1.1330

(注) 外為レートは 7/8 のレートを使用

¹⁰ 財務省資料

¹¹ 日本経済新聞 (5/5) 「米財務省が 3 兆ドル調達 4～6 月、新型コロナ 75 倍」

・米財務省は 7～9 月期も 6770 億ドルの純借入・20 会計年度の借入額は 4 兆 4830 億ドル・

¹² 日経ビジネス (6/5) 「英国の新型コロナ経済対策費「総額 18 兆円超」、予算責任局が推定」

・政府の経済対策費の総額は 1325 億 £ にのぼるとする推定結果・

¹³ GREAT (6/15) 「新型コロナウイルス感染症対策事業者向け各種支援策のご案内」

・銀行融資を対象とする 3300 億 £ 以上の保証を提供します・

¹⁴ 日本経済新聞 (3/23) 「ドイツ経済対策、GDP 比 2 割 7 年ぶり新規国債 18 兆円」

・1560 億 € の国債を発行して・経済安定ファンドを通じて最大 6000 億 € の債務保証・を実施。

¹⁵ Newsweek (5/25) 「フランスの新型コロナ景気対策は 4500 億 € 規模＝経財相」

・フランスのルメール経財相は・景気対策の規模が 4500 億 € であること、・3000 億 € を上限とした政府の融資保証・

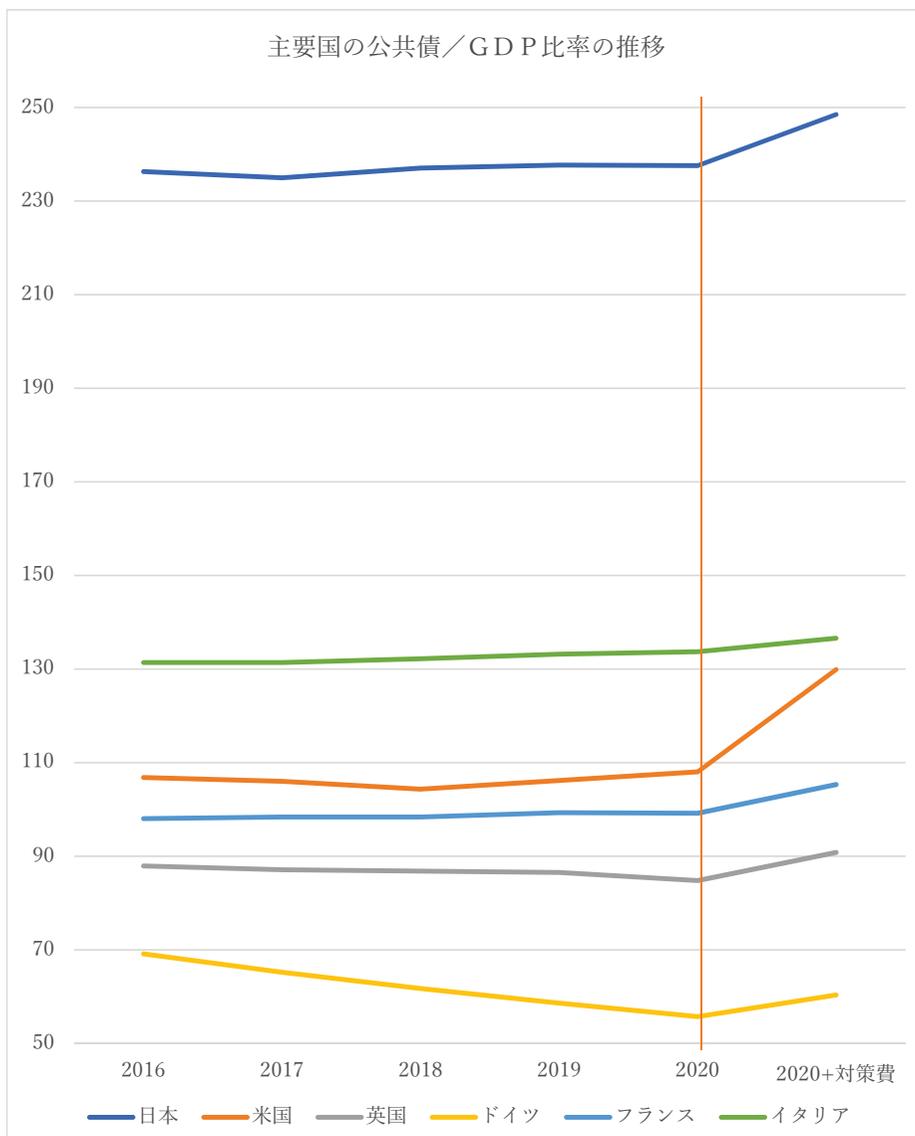
¹⁶ Bloomberg (5/14) 「イタリア政府、6.4 兆円の包括的経済対策を承認－減税や企業支援」

イタリア政府は 13 日、550 億 € 規模の包括的経済対策を承認した。・

この数字を、IMFによる各国の公共債発行残高/GDP比率に乗せて伸ばしたのが(グラフ17)である。

IMFの公共債の範囲は3.1、3.2の財務省資料のベースとは異なるが、IMFの定義にそのまま乗せて表示した。日本は他国と比べて公共債発行残高比率が群を抜いて高いにも関わらず、米国に次いで大規模な金額の対策を実施したことが判る。

(グラフ17) 新型コロナ対策の公共債発行残高/GDP比率への影響



以上

新型コロナウイルス感染の日本の社会・経済への影響

－感染拡大から半年間の状況－

2020年9月15日

統計数理研究所統計思考院¹

池森俊文

<要約>

1. 感染拡大の第二波が収縮しつつある中、政府が進める「Go To キャンペーン」が実施される。今年2月以降の日本における「新型コロナ」対応の経緯を振り返った。
2. この半年間の「新型コロナ禍」における国内消費者・企業の意識の変遷、産業別の企業実績や雇用状況について概観した。多くの業種において、売上高の減少等による業況悪化が見られ、その影響は未だにコロナ禍前の状態に戻っていない。
3. 今回の新型コロナ問題では、(1)国民の健康・生命を守る、(2)経済・文化活動の停滞を最小限に抑える、(3)大幅に傷んだ国家財政を立て直す、(4)ポストコロナの新しい経済・社会を構築する、という必ずしも相容れない連立方程式を解くことが要請されている。これらは、新型コロナ対応と同時並行で考えて行くべき重要課題である。

<目次>

1. 国内の感染状況と行動制限・解除・経済振興策の経緯
2. 消費者・企業の意識の動向
 2. 1 消費者意識調査
 2. 2 法人企業景気予測調査
3. 産業別の動向
 3. 1 卸・小売業の状況
 3. 2 サービス産業の状況
 3. 3 鉱工業の状況
 3. 4 農林・水産業の状況
 3. 5 貿易の状況
 3. 6 訪日外国客の状況
 3. 7 雇用・失業の状況
4. まとめ

¹ このレポートの内容は筆者の私見に基づくものであり、筆者の所属する組織の見解ではないことに注意願いたい。

1. 国内の感染状況と行動制限・解除・経済振興策の経緯

新型コロナウイルスの感染拡大の第二波が終息しつつある中、政府による Go To Travel キャンペーンに東京が加わり（10/1 予定）、Go To Eat、Go To Event、Go To 商店街キャンペーンが相次いで実施されようとしている。これらのキャンペーンはいずれも 3 密状態を助長する恐れがあり、感染が再再度、拡大を始める可能性もあり得る。

国内での感染が拡大を始めた 3 月中旬から半年を経た段階で、この新型コロナウイルスの感染拡大に関して起こってきた状況を整理しておきたい。

国内の新規感染者の推移は（グラフ 1）のとおりである。

（グラフ 1）国内新規感染者数推移



（データ）日本経済新聞社「新型コロナ感染世界マップ」より採取

（1）

2 月初めの時点では、新型コロナ問題はまだ中国固有の問題として考えられていた。その状況が一変したのが、2 月 3 日に横浜港に到着した「ダイヤモンド・プリンス号」であった。

やがて新型コロナは中国のほか、隣の韓国やヨーロッパ諸国、中東諸国などで感染の拡大が見られるようになり、各国が早い段階から感染国からの入国拒否や感染国への渡航禁止の措置をとる中、日本も 3 月上旬から段階的に「入国者に対する 2 週間の待機要請」「入国拒否」の対応をとった。それによって日本経済の一部を支えていた「観光」が大きく停滞することになった。

(2)

3月後半から4月にかけては新規感染者数が更に拡大を続け、政府は4月7日に首都圏4都県(埼玉、千葉、東京、神奈川)と大阪、兵庫、福岡に対して「5月6日を期限とする緊急事態宣言」を発令し、4月16日にはそれを全都道府県に拡大させた。

緊急事態宣言の下では、各都道府県単位で行動制限の措置がとられ、その結果、日本各地の繁華街や商業地で人通りが途絶え、会社員や公務員は時差出勤や在宅勤務(テレワーク)が要請され、主要な商業施設や遊興施設などは休業が要請された。

5月6日が期限であった緊急事態宣言は一旦5月31日まで延長されたが、新規感染者のペース・ダウンを受けて、北海道、首都圏4都県、京都、大阪、兵庫を除く39県で5月14日に解除となり、5月21日には京都、大阪、兵庫で、5月25日にはすべての都道府県で解除となった。

安倍首相は5月25日の記者会見で「・・・日本ならではのやり方で、わずか1か月半で今回の流行をほぼ終息させることができた」と感染の封じ込めの成功を強調した。しかし一方で「・・・感染予防を怠ったとたん感染が広がっていく・・・」とも言及して、引き続きリスクが存在することを示唆した²。結果としてこの懸念が当たってしまった。

(3)

新型コロナウイルスの新規感染者数は、6/14-6/20の週から再び増加を始めて「感染拡大の第二波」を形成することになった。6月19日に全国の都道府県間の移動の自粛が解除されて以降、新型コロナウイルスの新規感染者数が再び増加していき、一旦首都圏に押し込められていた感染状況も、再度、全国各地に広がっていった。

この新型コロナウイルス感染拡大第二波の最中に、低迷する観光業の振興を目的として、需要喚起のための「Go To Travel キャンペーン」が7月22日から実施されて、感染拡大の第二波は第一波を大きく超える規模で拡大した。8/2-8/8の週にピークを打って現在は縮小をつづけているが、9月後半からは東京都の10時までの時短制限が解除されるほか、その他の「Go To キャンペーン³」の開始も計画されていて、これらは基本的に「3密の促進」を伴う施策であることから、今後の感染者発生動向が懸念される。

² YAHOO! JAPAN ニュース (5/25) 「1か月でほぼ収束」安倍首相、コロナ対策の成功協調

³ Go To キャンペーン事業 予算額 16,796 億円

(経済産業省、中小企業庁、国土交通省観光庁、農林水産省)

新型コロナウイルスの感染拡大は、観光需要の低迷や、・・・地域の多様な産業に対し甚大な被害を与えている。このため、新型コロナウイルス感染症の流行収束後には、日本国内における人の流れと街のにぎわいを創り出し、地域を活性化するための需要喚起が必要。

(まずは、感染防止を徹底し、雇用の維持と事業の継続を最優先に取り組むとともに、)・・・観光・運輸業、飲食業、イベント・エンターテインメント業などを対象とし、期間を限定した官民一体型の需要喚起キャンペーンを講じる。

Go To Travel (7/22～)、Go To Eat (9月中旬～)、Go To Event (9月～)、Go To 商店街

2. 消費者・企業の意識の動向

このような海外との間の入国拒否や渡航制限、国内での外出自粛や活動休止要請で、経済活動や文化・スポーツ活動などは大きく制約を受けることになった。その結果、3月以降に発表された様々な政府統計には、新型コロナ問題の影響を明確に確認することができる。

その影響は、緊急事態宣言の解除や都道府県間の移動の自粛が解除された後も引き続き、新型コロナ禍の前の状態には未だに戻っていない状況である。

2. 1 消費者意識調査

内閣府経済社会研究所景気統計部が、三段抽出⁴によって選定した約8400世帯に対して、郵送・オンライン併用で調査している「消費者意識調査」では、毎月、暮らし向き、収入の増え方、雇用環境、耐久消費財の買い時判断、資産価値の5つの視点について、<良くなる、やや良くなる、変わらない、やや悪くなる、悪くなる>の5段階のうちから1つを回答してもらう形式で実施している。

この「消費者意識調査」に基づいて計算される消費者意識指数は、新型コロナ禍に伴って(表2)のように推移している。

(表2) 消費者意識指標の推移

	2020年						
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
暮らし向き (前月差)	37.5 (▲0.1)	30.0 (▲7.5)	21.9 (▲8.1)	25.0 (3.1)	30.4 (5.4)	31.7 (1.3)	31.4 (▲0.3)
収入の増え方 (前月差)	39.7 (▲0.1)	34.8 (▲4.9)	26.3 (▲8.5)	27.8 (1.5)	31.4 (3.6)	32.8 (1.4)	32.7 (▲0.1)
雇用環境 (前月差)	39.5 (▲1.9)	27.9 (▲11.6)	15.0 (▲12.9)	16.8 (1.8)	20.9 (4.1)	21.7 (0.8)	21.2 (▲0.5)
耐久財買時 (前月差)	36.4 (0.0)	31.0 (▲5.4)	23.3 (▲7.7)	26.3 (3.0)	30.8 (4.5)	31.6 (0.8)	32.0 (0.4)
資産価値 (前月差)	40.7 (1.5)	32.4 (▲8.3)	27.0 (▲5.4)	29.5 (2.5)	32.8 (3.3)	33.2 (0.4)	33.5 (0.3)

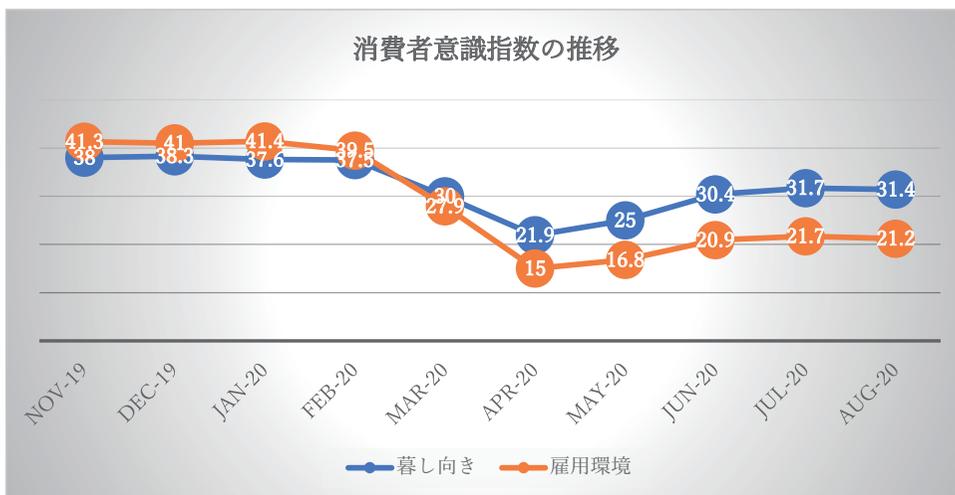
(出典) 内閣府経済社会総合研究所 消費者動向調査(2020年8月)

暮らし向きと雇用環境の指数をグラフ表示すると(グラフ3)になる。意識指数は今年になって2月ごろから徐々に低下を始め、国内の感染が拡大を始めた3月から急低下し、非常

⁴ 市町村-調査単位区-世帯の3段階で選出された世帯に15か月継続して調査し、その後に別の世帯に交替する。

事態宣言が発令された4月に底を打って、それが解除された5月からは回復傾向にあるが、新型コロナウイルス感染拡大前の水準（今年1月頃）には戻っていないことが判る。

（グラフ3）消費者意識指標（暮らし向き・雇用環境）の推移



2. 2 法人企業景気予測調査

内閣府・財務省が四半期ごとに母集団企業92万社の中から選定した1.5万社のうち回収率70%程度で得た回答に基づいて作成している「法人企業景気予測調査」を見ると、法人企業の景気予測は（表4）のとおりであった。

（表4）法人企業「景気予測（BSI）」の推移

	現状判断				見通し	
	2019/ 10-12	2020/ 1-3	2020/ 4-6	2020/ 7-9	2020/ 10-12	2021/ 1-3
大企業	▲6.2	▲10.1	▲47.6	(▲6.6) 2.0	(2.3) 2.9	2.4
製造業	▲7.8	▲17.2	▲52.3	0.1	8.5	4.3
非製造業	▲5.3	▲6.6	▲45.3	2.9	0.2	1.5
中堅企業	▲10.7	▲13.1	▲54.1	(▲17.3) ▲8.1	(▲2.3) ▲2.6	▲0.9
中小企業	▲16.3	▲25.3	▲61.1	(▲27.2) ▲25.8	(▲12.2) ▲15.0	▲10.8

（出典）内閣府・財務省 法人企業動向調査（2020年9月）

（注）上段（ ）内は、前回調査時（2020/6）の見通しを表す。

表示した数字は BSI (=Business Survey Index) と呼ばれ、調査に対して、

前四半期と比べて 「上昇」と回答した企業の構成比 40.0%

「不変」と回答した企業の構成比 25.0%

「下降」と回答した企業の構成比 30.0%

「不明」と回答した企業の構成比 5.0%

であったならば、BSI は、

$$\begin{array}{ccc} \text{「上昇」と回答した企業の構成比} & - & \text{「下降」と回答した企業の構成比} \\ 40.0 & - & 30.0 \end{array}$$

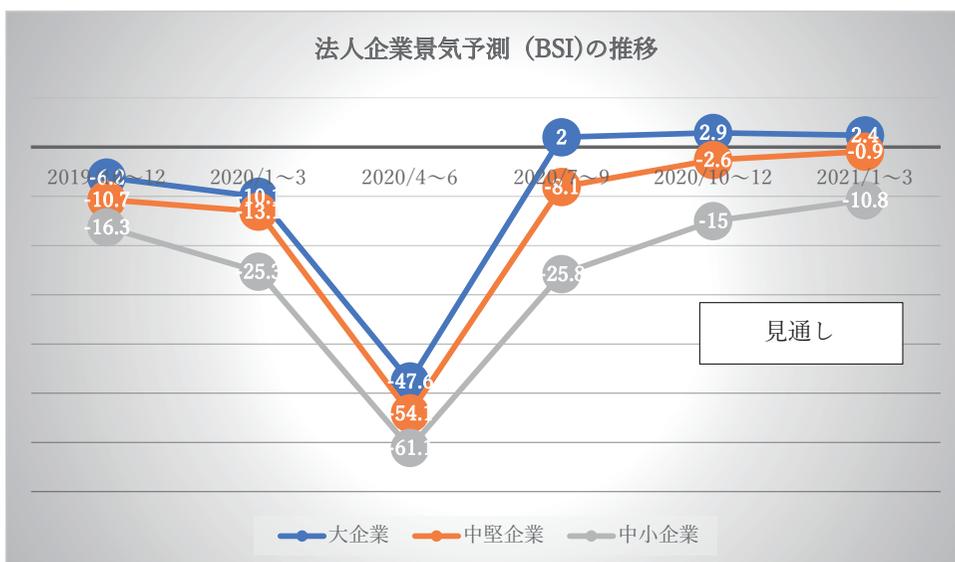
で、BSI=10.0 ポイントと算定される。

従って BSI は前四半期と比較しての相対観を表した指標である。

2020 年 4-6 期は、新型コロナ・ウィルス感染の拡大による海外との間の入国拒否や渡航制限、国内での外出自粛や活動休止要請を受けて、どの業態（大企業・中堅企業・中小企業）でも全体では景況判断が悪化した。これは企業規模が小さいほど判断が深刻であった。

（表 4）をグラフにしたのが（グラフ 5）である。

（グラフ 5）法人企業景気予測（BSI）の推移



2020/10-12 期、2021/1-3 期と、業況の悪化が軽減すると見込む企業が増えていることを、このグラフは示している。しかし企業規模が小さいほど状況が深刻である。

同調査を、国内の景況に限ると、判断は更に悲観的になっている（表 6）。また、前回の見通し（（ ）内）に対して、2020/10-12 では見通しを下方修正していることが判る。

(表6) 法人企業「国内の景況予測 (BSI)」の推移

	現状判断			見通し	
	2020/1-3	2020/4-6	2020/7-9	2020/10-12	2021/1-3
大企業	▲20.9	▲71.2	(▲18.6) ▲14.6	(▲2.9) ▲9.8	▲3.1
製造業	▲22.4	▲70.3	▲12.6	▲4.2	0.4
非製造業	▲20.2	▲71.7	▲15.5	▲12.5	▲4.8
中堅企業	▲25.5	▲79.7	(▲40.2) ▲33.7	(▲11.8) ▲26.3	▲12.1
中小企業	▲38.2	▲78.6	(▲51.0) ▲52.3	(▲24.3) ▲42.1	▲24.4

この景況予測とともに各企業から回答された2020年度の企業収益予想を、内閣府・財務省において積み上げて対前年比増減率を推計すると、次の(表7)のようになる。

(表7) 2020年度企業収益予想

(注) () 内は前回調査結果

	対前年比伸び率		
	製造業	非製造業	全産業
2020年度売上高	(▲4.2%) ▲7.8%	(▲5.5%) ▲6.4%	(▲5.2%) ▲6.8%
2020年度経常利益	(▲27.4%) ▲31.4%	(▲22.0%) ▲20.5%	(▲23.5%) ▲23.2%

収益予想に寄与の大きかった業種は次のとおりである。

区分		業種		対前年比伸び率
売上高 ▲6.8%	製造業 ▲7.8%	減収	自動車・同付属品製造業 その他製造業	▲12.4% ▲8.3%
	非製造業 ▲6.4%	減収	卸売業 サービス業	▲7.0% ▲11.3%
経常利益 ▲23.2%	製造業 ▲31.4%	増益	その他の輸送用機械器具製造業	39.8%
		減益	自動車・同付属品製造業 化学工業	▲58.9% ▲19.7%
	非製造業 ▲20.5%	減益	サービス業 建設業	▲40.1% ▲26.8%

(出典) 内閣府・財務省 法人企業動向調査 (2020年9月)

3. 産業別の動向

新型コロナ・ウィルスの感染拡大と緊急事態宣言、同解除、需要喚起策（Go To キャンペーン）のアナウンス等によって、実際の企業業績や雇用状況はどのように推移しているのだろうか。卸売業・小売業の商業活動、運輸・通信・宿泊・飲食・教育・医療などのサービス産業、そして自動車・鉄鋼などの鉱工業について、公的統計に従って動向を見てみる。

3. 1 卸・小売業の状況

経済産業省大臣官房調査統計グループが、毎月発表している「商業動態統計速報」によると、今年に入っての卸売業・小売業の販売額・および前年同月比増減⁵は（表8）のとおりである。

（表8）商業販売額・前年同月比増減率（兆円、%）

	商業計		うち卸売業		うち小売業	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	34.8	▲4.3	23.0	▲6.2	11.8	▲0.4
2	34.8	▲3.9	23.6	▲6.3	11.2	1.6
3	49.0	▲5.8	36.2	▲6.9	12.8	▲4.7
4	40.7	▲16.0	29.8	▲17.3	10.9	▲13.7
5	36.5	▲21.2	25.4	▲24.7	11.0	▲12.5
6	41.5	▲12.4	29.2	▲16.9	12.3	▲1.3
7	42.6	▲12.8	30.1	▲16.8	12.4	▲2.8

（出典）経済産業省大臣官房調査統計グループ「商業動態統計速報」より。

卸売業・小売業ともに4月5月に前年同月比で大きく落ち込んだ販売額は、6月7月になって小売業ではほぼ回復したが、卸売業では十分な回復になっていない。業種別に7月販売額の落ち込み（増加）の大きいところをみると、次のとおりである。

（卸売業）（%）（小売業）（%）

業種	前年比
鉱物・金属材料	▲29.5
機械器具	▲23.8
各種商品	▲23.3
医薬品・化粧品	▲9.6
農畜産物・水産物	▲3.7

業種	前年比
織物・衣服・身の回り品	▲18.9
自動車	▲15.3
燃料	▲12.5
各種商品（百貨店など）	▲12.3
無店舗	6.6
機械器具	8.0

⁵ 卸・小売業の販売額には季節性があり、前年同月比で増減を判断することが多い。

新しい生活スタイルによる衣料品・化粧品等の需要の低迷や、自動車・燃料需要の低迷、百貨店や量販店の回復の遅れ、海外からの建材・鉱物などの輸入の落ち込み、接待の自粛による農畜産物・水産物などの落ち込みがうかがえる。

(1) 百貨店・スーパーの状況

小売業のうち、百貨店とスーパーについては(表9)のようになった。

(表9) 百貨店・スーパー販売額・前年同月比増減率 (兆円、%)

	百貨店・スーパー計		うち百貨店		うちスーパー	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	1.61	▲1.6	0.52	▲3.3	1.09	▲0.8
2	1.44	0.3	0.41	▲11.8	1.03	6.0
3	1.62	▲8.8	0.38	▲32.6	1.24	2.6
4	1.35	▲18.6	0.14	▲71.5	1.21	3.7
5	1.45	▲13.6	0.17	▲64.1	1.28	6.7
6	1.68	▲2.3	0.43	▲18.5	1.25	4.8
7	1.69	▲3.2	0.43	▲19.8	1.26	4.5

スーパーは対前年比で好調であるが、百貨店は4月5月に大きく落ち込んで、6月7月になっても十分な回復が見られない。7月の売り上げの品目別増減は次のとおりである。

(表10) 百貨店・スーパーの7月の売り上げの前年同月比増減率 (%)

	合計			
		衣料品	飲食料品	その他
合計	▲3.2	▲21.8	4.2	▲9.4
百貨店	▲19.8	▲24.2	▲11.5	▲22.9
スーパー	4.5	▲16.2	7.2	1.7

(百貨店)

主力商品の衣料品は、全体で▲24.2%の減少(子供服・紳士服・身の回り品とも低調)、その他は食堂・喫茶が▲44.0%の減少、家具が▲21.0%の減少などとなった。

(スーパー)

衣料品は婦人・子供服が▲22.8%、紳士服が▲19.0%、その他衣料品が▲11.2%。主力商品の飲食料品は自宅での自粛の影響で7.2%の増加。その他は家庭用品が9.2%の増加、家具が4.1%の増加、食堂・喫茶が▲46.9%の大幅減少となったものの、全体では1.7%の増加となった。

(2) コンビニエンス・ストアの状況

小売業のうち、コンビニエンス・ストアについては(表11)のとおりである。

(表11) コンビニエンス・ストア販売額・前年同月比増減率 (兆円、%)

	コンビニ計		うち商品販売		うちサービス売上	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	0.97	1.6	0.92	1.5	0.06	2.1
2	0.93	3.4	0.88	4.5	0.05	▲12.4
3	0.96	▲5.4	0.91	▲4.6	0.05	▲19.8
4	0.89	▲10.7	0.85	▲10.0	0.04	▲22.2
5	0.93	▲9.6	0.88	▲9.1	0.05	▲19.1
6	0.96	▲5.1	0.92	▲3.3	0.04	▲32.8
7	0.99	▲7.9	0.95	▲7.5	0.05	▲16.4

販売額が4月5月に1割程度落ち込んで以降、6月7月にも完全には回復していない。コンビニの7月の売り上げの増減を品目別にみると次のとおりである。(単位：%)

品目	前年比	品目	前年比
商品販売	▲7.5	サービス売上	▲16.4
ファストF及び日配食品	▲9.7		
加工食品	▲9.5		
非食品	▲2.8		

(3) 家電大型店、ドラッグストア、ホームセンターの状況

家電大型店、ドラッグストア、ホームセンターについては(表12)のとおりである。

(表12) 家電大型店、DS、HC販売額・前年同月比増減率 (兆円、%)

	家電大型店		ドラッグストア		ホームセンター	
	販売額	前年比	販売額	前年比	販売額	前年比
2020.1	0.39	▲0.3	0.57	6.3	0.23	▲1.5
2	0.32	5.2	0.61	19.1	0.23	9.7
3	0.39	▲9.5	0.61	7.6	0.27	3.5
4	0.31	▲9.0	0.62	10.8	0.30	4.1
5	0.38	8.8	0.61	6.4	0.34	11.2
6	0.47	26.5	0.61	6.4	0.31	17.3
7	0.46	12.4	0.62	5.6	0.30	10.6

それぞれの7月の売り上げの増減を品目別にみると次のようになる。(単位：%)
 概して、これらの業態は業績を回復し（或いは悪化せず）好調な販売を続けている。
 (家電大型店) (ドラッグストア) (ホームセンター)

品目	前年比
AV 家電	20.3
情報家電	23.0
通信家電	4.6
カメラ類	▲22.0
生活家電	10.4
その他	7.7

品目	前年比
調剤医薬	7.3
OTC 医薬	▲1.2
HC/介護	37.6
健康食品	2.2
化粧品・小物	▲12.3
トイレタリー	3.9
家庭用品	11.1
食品	8.3
その他	12.9

品目	前年比
DIY	13.7
電気	17.2
インテリア	14.8
家庭用品	13.5
園芸用品	9.3
ペット用品	10.2
カー用品	2.9
オフィス用品	▲2.6
その他	1.8

3. 2 サービス産業の状況

総務省統計局が、毎月発表している「サービス産業動向調査（速報）」によると、今年に入ってのサービス産業の売上高・および前年同月比増減率⁶は（表13）のとおりである。

（注）7月の計数は9月末に発表予定で空欄にしてある。

運輸業・郵便業、宿泊業・飲食業、生活関連・娯楽業、教育・学習支援業など、3月以降大きく売上高が減少している業種があることが判る。これらの業種について、6月の売上高減少を更に細分化（産業中分類）して見ると、次の（表13-2）のようになる。

（表13-2）売上高の対前年同月比の減少率が大きいサービス産業（産業中分類）

運輸業・郵便業		宿泊業・飲食業		その他	
鉄道業	▲52.4	宿泊業	▲63.5	その他生活サービス	▲61.8
道路旅客運送業	▲40.8	飲食店	▲33.1	保険衛生	▲28.2
航空運送業	▲71.7	持帰り・配達飲食	▲11.6	娯楽業	▲26.0
水運業	▲33.7			その他サービス	▲26.0
				社会・職業支援	▲21.1
				広告業	▲20.7

これらの業種は6月になっても未だに業況が回復しておらず、今後に向けての追加的な支援策が必要と思われる業種である。

⁶ サービス産業の売上高には季節性があり、前年同月比で増減を判断することが多い。

(表13) サービス産業売上高・前年同月比増減率

(兆円、%)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
サービス産業合計	30.16	30.23	35.19	25.19	23.54	27.67	(注)
	0.3	▲0.2	▲7.9	▲18.9	▲22.9	▲12.7	
情報通信業	4.81	4.76	6.75	4.42	4.25	4.98	
	2.5	0.2	▲1.1	▲2.6	▲6.1	▲2.3	
運輸業・郵便業	5.08	5.18	5.56	4.35	3.85	4.36	
	▲2.5	▲1.6	▲16.9	▲21.2	▲28.8	▲20.0	
不動産業・物品 賃貸業	3.84	4.14	5.14	4.00	3.59	3.95	
	4.6	▲0.8	4.4	▲1.1	▲6.1	▲3.7	
学術研究・専門 ・技術	25.3	25.7	4.20	2.47	2.18	2.65	
	1.0	4.1	▲1.9	▲4.7	▲8.7	▲4.1	
宿泊業・飲食業	2.28	2.10	1.78	0.93	1.01	1.46	
	0.1	▲2.6	▲29.4	▲61.4	▲59.0	▲36.3	
生活関連・娯楽業	3.46	3.29	2.88	1.66	1.70	2.49	
	▲4.9	▲2.4	▲26.7	▲56.1	▲55.2	▲32.6	
教育・学習支援業	0.31	0.32	0.29	0.20	0.16	0.25	
	▲1.2	2.4	▲15.0	▲40.2	▲47.4	▲14.7	
医療・福祉業	4.65	4.54	4.71	4.18	4.03	4.43	
	0.1	1.1	▲3.1	▲9.5	▲12.4	▲4.5	
その他サービス業	3.20	3.33	3.87	2.99	2.79	3.11	
	2.4	0.9	0.9	▲7.7	▲14.1	▲7.4	

上段：月間売上高、下段：対前年同月比伸び率

(出典) 総務省統計局「サービス産業動向調査」より。

これら売上が低迷する業種の事業従業者数の推移は(表14)のとおりである。

(表14) サービス産業の事業従業者数

(万人、%)

	4月		5月		6月	
	実数	前年比	実数	前年比	実数	前年比
運輸・郵便業	358.5	▲4.8	350.1	▲4.4	354.5	▲3.7
宿泊・飲食業	516.2	▲5.6	499.6	▲9.1	504.0	▲8.4
生活関連・娯楽業	252.7	▲0.6	249.9	▲2.1	248.7	▲2.2
教育・学習支援業	102.3	▲1.1	102.4	▲2.6	104.0	▲0.1
その他サービス業	374.9	▲2.1	370.4	▲3.6	372.4	▲3.0

3. 3 鋳工業の状況

経済産業省が、毎月発表している「鋳工業（生産・出荷・在庫）指数の動向（速報）」によると、今年に入ってから鋳工業の生産指数・生産者出荷指数・生産者在庫指数（いずれも季節調整済）の推移および前月比増減率は（表15）のとおりである。

（表15）鋳工業指数の動向

	生産指数		生産者出荷指数		生産者在庫指数		生産者在庫率	
	指数	前月比	指数	前月比	指数	前月比	指数	前月比
1月	99.8	1.9	97.9	0.9	106.2	2.1	115.2	▲0.3
2月	99.5	▲0.3	98.9	1.0	104.4	▲1.7	112.5	▲2.3
3月	95.8	▲3.7	93.2	▲5.8	106.4	1.9	121.9	8.4
4月	86.4	▲9.8	84.3	▲9.5	106.1	▲0.3	138.5	13.6
5月	78.7	▲8.9	76.8	▲8.9	103.3	▲2.6	148.6	7.3
6月	80.2	1.9	80.5	4.8	100.8	▲2.4	138.0	▲7.1
7月	86.6	8.0	85.3	6.0	99.2	▲1.6	125.9	▲8.8
8月		4.0						
9月		1.9						

（出典）経済産業省「鋳工業（生産・出荷・在庫）指数の動向（速報）」より。

（注）指数はいずれも季節調整済み指数、生産指数の8月、9月前月比は予測指数による

7月は生産指数、出荷指数は上昇、在庫指数、在庫率は低下した。生産指数が大きく増加・低下した業種は次のとおりである。いずれも対前年同月比では大きく低下していることが判る。

（表16）7月に生産指数が大きく増加・低下した業種 (%)

業種	前月比	前年比	業種	前月比	前年比
<上昇業種>			電気部品・デバイス	4.4	▲1.6
自動車	38.5	▲25.5	パルプ・紙・紙加工品	10.2	▲17.3
その他	9.0	▲19.8	窯業・土石製品	3.9	▲17.1
鉄鋼・非鉄金属	9.7	▲27.4	化学工業（注）	0.6	▲14.5
汎用・業務用機械	6.1	▲17.8	<低下業種>		
電気・乗法通信機械	4.3	▲14.5	生産用機械	▲4.4	▲18.4
金属製品	8.2	▲17.2	輸送機械（除自動車）	▲5.1	▲25.6
プラスチック製品	6.5	▲10.5	石油・石炭製品	▲4.5	▲23.3
無機・有機化学	6.0	▲16.8			

（注）除く、無機・有機化学・医薬品

生産指数の推移をグラフ表示すると（グラフ17）のようになる。
 （グラフ17）生産指数の推移



3. 4 貿易の状況

財務省が、毎月発表している「貿易統計（速報）」によると、今年に入っての輸出輸入額は（表18）のとおりである。

（表18）貿易額の推移 （兆円、%）

	輸出		輸入		差引
	金額	伸び率	金額	伸び率	金額
1月	5.43	▲2.6	6.75	▲3.6	▲1.31
2月	6.32	▲1.0	5.21	▲13.9	1.11
3月	6.36	▲11.7	6.35	▲5.0	0.01
4月	5.21	▲21.9	6.14	▲7.1	▲0.93
5月	4.19	▲28.3	5.03	▲26.1	▲0.84
6月	4.86	▲26.2	P5.13	▲14.4	P▲0.27
7月	P5.37	▲19.2	P5.36	▲22.3	P0.01

（出典）財務省「貿易統計（速報）」（2020年8月）

（注）Pは速報値

（注）伸び率は対前年同月比である。 差引＝輸出－輸入。

7月の輸出・輸入で増加・減少に寄与した主要品目は次の通りである。

(表19) 2020年7月の貿易統計を大きく動かした品目 (%)

	輸出			輸入		
	品目	伸率	寄与	品目	伸率	寄与
減少	自動車	▲30.0	▲4.9	原粗油	▲63.1	▲6.3
	自動車部分品	▲32.5	▲1.5	石炭	▲46.1	▲1.6
	船舶	▲68.2	▲1.5	液化天然ガス	▲32.9	▲1.7

(注) 伸率は対前年同月比。

7月の地域別貿易動向は次のとおりである。

(表20) 地域別貿易動向 (兆円、%)

	輸出		輸入		差引
	金額	伸び率	金額	伸び率	金額
総額	5.37	▲19.2	5.36	▲22.3	0.01
米国	1.09	▲19.5	0.58	▲25.5	0.51
E U	0.44	▲30.5	0.65	▲14.3	▲0.21
アジア	3.18	▲8.2	2.84	▲13.5	0.34
(中国)	1.33	8.2	1.46	▲9.8	▲0.13

(注) 伸び率は対前年同月比。差引＝輸出－輸入。

3. 5 訪日外国客の状況

(表21)は、日本政府観光局(JNTO)が毎月発表している「訪日外客数(総数)」による訪日外国人の推移を2020年1月以降でまとめたものである。

(表21) 訪日外国人の推移 (万人、%)

	総数		うちアジア		うち欧州		うち北米	
	人数	伸率	人数	伸率	人数	伸率	人数	伸率
1月	266.1	▲1.1	230.0	▲2.8	10.2	10.7	15.2	16.8
2月	108.5	▲58.3	84.0	▲63.8	8.8	▲11.5	9.5	▲21.4
3月	19.4	▲93.0	10.0	▲96.0	3.0	▲84.0	3.1	▲86.0
4月	0.3	▲99.9	0.1	▲99.9	0.0	▲99.9	0.0	▲99.9
5月	0.2		--		--		--	
6月	0.3		--		--		--	
7月	0.4		--		--		--	

(出典) 日本政府観光局「訪日外客数(総数)」より。伸率は対前年同月比

2月から訪日外国人は減少を始め、4月にはほぼ皆無となってしまった。以降、訪日外国人はほとんど居なくなり、世界を結ぶ交通機関や観光業への影響は引き続き甚大である。

3. 6 雇用・失業の状況

懸念される国内の雇用状況について、総務省統計局の「労働力調査（基本集計）」によって見てみると（表22）のとおりである。

（表22）労働力調査の結果（1月～7月）

（万人）

		人数	対前年同月増減（万人）						
			7月	6月	5月	4月	3月	2月	1月
就業者数		6,655	▲76	▲77	▲76	▲80	13	35	59
内 訳	自営業種・家族従業者	670	14	9	▲2	▲32	▲40	▲25	3
	雇用者	5,942	▲92	▲94	▲73	▲36	61	64	64
	正規職員・従業員	3,578	52	30	▲1	63	67	44	42
	非正規職員・従業員	2,043	▲131	▲104	▲61	▲97	▲26	2	▲5
産 業 別 就 業 者	農業・林業	209	▲8	▲7	▲8	1	▲7	▲3	12
	建設業	475	▲20	▲31	▲13	▲12	3	7	▲14
	製造業	1,056	▲8	▲13	▲27	▲17	▲24	▲15	5
	情報通信業	249	6	3	15	20	2	▲5	16
	運輸・郵便業	341	▲8	▲14	10	15	12	▲1	▲9
	卸売業・小売業	1,010	▲9	▲15	▲29	▲33	17	44	22
	金融業・保険業	158	1	▲3	▲5	▲2	▲5	▲7	3
	不動産業・物品賃貸業	146	14	▲2	10	15	3	8	14
	学術研究・専門技術	237	9	14	▲2	9	13	▲1	8
	宿泊業・飲食業	384	▲22	▲38	▲38	▲46	▲14	▲6	▲8
	生活関連・娯楽業	231	▲18	▲22	▲29	▲11	3	1	1
	教育・学習支援業	359	10	20	8	▲7	▲11	▲2	▲12
	医療・福祉	863	▲5	8	9	15	40	25	31
	その他サービス業	445	▲13	16	22	▲8	▲6	2	2
完全失業者数		197	41	33	33	13	2	3	▲7
内 訳	非自発的な離職	57	21	24	15	8	7	2	▲3
	自発的な離職	74	4	6	5	▲4	▲8	3	▲3
	新たに求職	48	13	7	14	13	6	1	▲3
休業者数		220	34	90	274	420	31	19	8

外国人観光客の消滅や行動自粛の影響を受けた宿泊業・飲食業、生活関連・娯楽業、卸売業・小売業などで引き続き就業者数の減少が見られる。また、非正規職員・従業員数が引き続き大量に減少しているほか、完全失業者数が徐々に増加している。

4月に急増した休業者（雇用者・自営業主で期間中に全く仕事をしなかった者）の数は、その後は徐々に減少している。業種別には次のとおりである。休業者の減少が、（表2.2）の雇用者数減少および完全失業者数増加につながっているのではないかと懸念される。

（表2.3）休業者の対前年同月増減

（単位：万人）

	7月	6月	5月	4月	3月
休業者合計	34	90	274	420	31
農林業	4	▲2	1	1	▲2
建設業	7	6	10	15	5
製造業	6	10	21	33	3
情報通信業	3	3	5	7	▲1
運輸・郵便業	3	4	13	17	2
卸・小売業	3	13	28	68	2
金融・保険業	1	2	4	7	▲1
不動産・物品賃貸業	2	2	4	6	0
学術研究・専門技術	2	5	12	13	1
宿泊業・飲食業	0	18	71	95	2
生活関連・娯楽業	5	7	28	48	5
教育・学習支援業	▲11	4	29	45	3
医療・福祉	0	▲2	12	25	5
その他サービス業	5	12	21	26	6

4. まとめ

今年2月になって早々「ダイヤモンド・プリンセス号」問題として意識することになった新型コロナウイルスの感染拡大は、現在、感染拡大第二波が収まりつつある状況にあるが、経済・文化活動を活性化させるための「Go To キャンペーン」のマイナス面の影響が気になる処である。

今回の新型コロナ問題では、(1)感染防止策によって国民の健康や生命を守ること、(2)行動自粛による経済・文化活動の停滞を最小限に抑え、産業基盤や文化基盤の維持を図ること、また中長期的には(3)巨額の救済策によって傷んだ国家財政や日銀バランスを立て直すこと、(4)ポストコロナの行動様式に基づく新しい経済・社会を構築すること、という相互に相反

する連立方程式（課題）を同時に解くことが要請されている。

いずれも施策実施の途中であるが、これまでの経過を振り返りながら現状を分析し、必要に応じて軌道修正や新たな体制作りを行う必要がある。例えば、以下のような事項である。

(1)では、

日本としての「ワクチン」や「治療薬」の開発体制は十分か。

（予算・人材投入など）

今回の出来事を分析し対策を打つためのデータ収集・公開は十分か。

緊急時の国と都道府県の情報交換・情報収集、医療支援等は連携できているか。

（検査体制、病床確保など）

(2)では、

政府として実施した各種の支援・救済策は実効が上がったのか。

（国民1人当たり一律に配布した10万円は本当に必要だったのか）

（家賃支援や雇用調整の給付金等は需要回復が遅れる中で間に合っているか）

・・・損害額は時間の関数である・・・

経済・文化活動の活性化策はどの程度の効果があるのか。

（外国客が戻らない中、国内客（割引があり高級志向）で観光業が復活するのか）

これから更に追加的な施策が必要になるか。

（予備費10兆円の支出をどうするか）

(3)はこれからの課題である。

まず、国家の財政が極めて困難な状態にあることの自覚が必要である。

（かつ、それを行った政府が、問題解決の糸口を示す責任がある）

MMTに依拠するならば、その有効性についての十分な説明が必要である。

日銀のバランス問題についても同様である。

(4)は、今回の救済策によって、構造転換が必要な企業に対しても「延命措置」を行った可能性がある。また、今回の新型コロナ問題によって、放置していたいくつかの課題が明らかになったものがある。今後に向けての検討課題もある。

（多額の政府保証融資・無利息融資の焦げ付きの可能性）

（政府・企業のデジタル化問題）、（製造業等のサプライチェーンの問題）

（CO2削減の問題）、（新しい行動様式における「単価設定／採算」の問題）

（新しい行動様式におけるオフィス設計、人事管理、営業方式など）

（外国人の人材・労働力確保の問題）など

これらは、新型コロナ対応と同時並行で考えて行くべき重要課題である。

以上

お断り（2021年3月8日追記）

一連のレポートでは新規感染者数の日次データに含まれる「ノイズ」を解消するために、週次データに合算したものを分析してきましたが、次レポート「新型コロナウイルス感染者についての基礎分析－国内の地域別新規感染者数の因子分析ほか－2020年11月9日」では執筆時速報性を重要視し、敢えて因子分析を日次データによって行っています。そのため「ノイズ」による影響が懸念される点予めご了承願います。

新型コロナウイルス感染者についての基礎分析

－国内の地域別新規感染者数の因子分析ほか－

2020年11月9日

統計数理研究所統計思考院 池森俊文¹

<要約>

1. 国内では感染拡大第三波が立ち上がりつつある。
2. 国内の新型コロナ感染者数の地域的連動性を見るために、11月5日時点の累計感染者数が1,000人を超える都道府県について、1週間ごとの新規感染者数の推移の「因子分析」を行った。
通期 (3/29-10/31) では、日本全国因子 (79.5%)、首都圏因子 (10.3%)、神奈川県因子 (3.9%)、北海道因子 (2.6%) が抽出された。
第二波期間 (5/24-9/26) では、東日本・西日本・その他地域にまたがる日本全国因子 (86.5%)、中部・西南日本因子 (5.5%)、北海道・神奈川県因子 (4.0%) が抽出された。この期間には、日本全体の新規感染者の発生が連動している様子が判る。
最近 (第三波立ち上がり：9/27-10/31) では、日次データの分析という限界があるものの、日本の各地の多様性が観測された。
3. 世界の新型コロナの感染状況は依然として深刻である。全世界の累計感染者数の5,000万人越え、米国の累計感染者数の1,000万人越えは時間の問題である。
最近の感染状況を見ると、米国、欧州諸国での感染者増加ペースが更に加速している。

<目次>

1. 地域別新規感染者の推移
2. 地域別新規感染者数の因子分析 (通期：3/29-10/31)
 2. 1 因子分析の概要
 2. 2 因子分析の結果
3. 第二波の状況、最近 (第三波立ち上がり) の状況
 3. 1 第二波の状況
 3. 2 最近 (第三波立ち上がり) の状況
4. 世界の感染状況

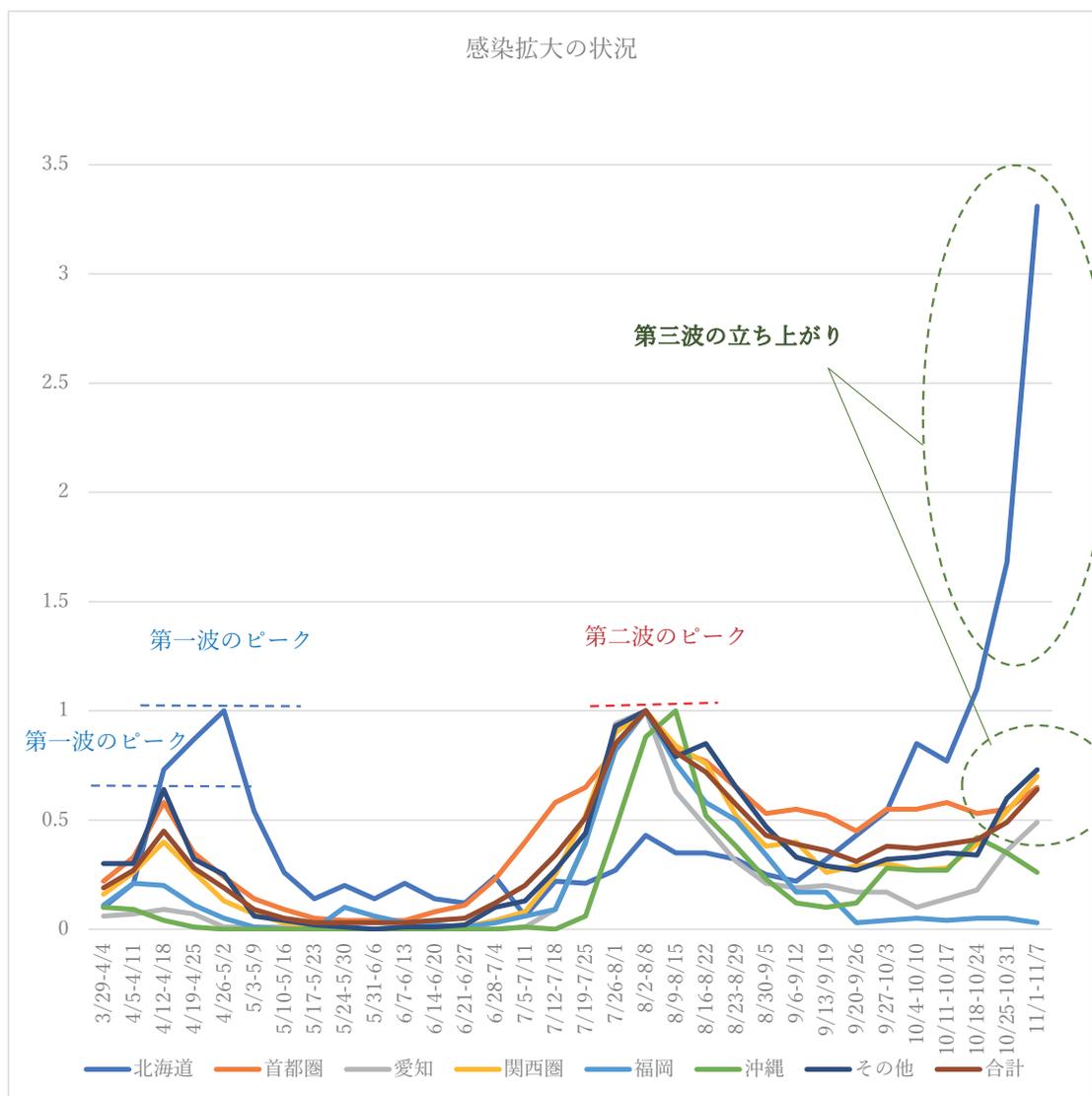
¹ このレポートの内容は筆者の私見に基づくものであり、筆者の所属する組織の見解ではないことに注意願いたい。

1. 地域別新規感染者の推移

日本においても今年3月に新型コロナ・ウィルスの感染が拡大し始めて以来、新規感染者数は（グラフ1）のように推移している。（第二波ピーク（8/2-8/8）を1として指標化²）

首都圏＝東京、埼玉、千葉、神奈川 関西圏＝大阪、兵庫

（グラフ1）地域別の週次新規感染者指数の推移（8/2-8/8＝1）



（データ源）日本経済新聞社「都道府県別の感染者・死者数」より作成

² 沖縄は8/9-8/15がピーク（583人）で、それを基準に指数化している。

北海道は第二波が低かったため、第一波のピーク（5/26-5/2：222人）を基準に指数化している。

この期間の新規感染者数の地域別の推移は、第一波・第二波のピークがほぼ重なっている等、相互にかなり連動しているように見える。そこで11月5日時点で累計感染者数が1,000人を超えている都道府県（表2）について、1週間毎（日曜日から土曜日まで）の新規感染者数の推移の連動性をみるために、通期（3/29-10/31）の相関係数を算定したのが（表3）である。（色付きは相関 ≥ 0.85 の関係）

（表2）11月5日までの都道府県別累計感染者数（1,000人を超える都道府県）（人）

都道府県名	累計感染者数	都道府県名	累計感染者数
1. 東京都	31,624	8. 北海道	3,424
2. 大阪府	13,191	9. 沖縄県	3,405
3. 神奈川県	8,904	10. 兵庫県	3,363
4. 愛知県	6,459	11. 京都府	2,090
5. 埼玉県	5,982	その他の県	13,905
6. 福岡県	5,228	合計	102,709
7. 千葉県	5,134		

（データ源）日本経済新聞社「都道府県別の感染者・死者数」より作成

（表3）累計感染者数が1,000人を超える都道府県の新規感染者の通期の相関行列

	北海	埼玉	千葉	東京	神奈	愛知	京都	大阪	兵庫	福岡	沖縄	他
北海道	1.00	0.29	0.38	0.18	0.29	0.09	0.07	0.21	0.21	-0.13	0.21	0.28
埼玉		1.00	0.93	0.95	0.82	0.75	0.88	0.87	0.88	0.71	0.73	0.89
千葉			1.00	0.91	0.93	0.75	0.83	0.88	0.91	0.66	0.78	0.90
東京				1.00	0.83	0.85	0.90	0.92	0.92	0.78	0.75	0.89
神奈川					1.00	0.69	0.80	0.84	0.81	0.62	0.79	0.81
愛知						1.00	0.84	0.95	0.90	0.92	0.84	0.89
京都							1.00	0.92	0.88	0.86	0.77	0.91
大阪								1.00	0.96	0.88	0.86	0.96
兵庫									1.00	0.86	0.84	0.96
福岡										1.00	0.80	0.86
沖縄											1.00	0.82
その他												1.00

（データ源）日本経済新聞社「都道府県別の感染者・死者数」より算定

北海道を除く各都府県間には比較的高い相関があり、相互に影響し合っているように見える。これらの相関が生じる要因について、形式的な「地域因子」として抽出するために「因子分析」³を行った。

³ 因子分析の概要については末尾の「＜補足資料＞因子分析」を参照。

2. 地域別新規感染者数の因子分析（通期：3/29-10/31）

北海道、埼玉、千葉、東京、神奈川、愛知、京都、大阪、兵庫、福岡、沖縄、その他の1週間毎の新型コロナウイルス新規感染者数を、「12次元確率変数ベクトル $(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_{12})$ 」のサンプルデータと考え、その分散・共分散行列（正値対称行列）を計算し、直交行列によって対角化を行ったとき（これは12次元確率変数ベクトルの主成分を構成したことになる）⁴、その対角成分として出てくるのが「主成分ベクトルの固有値（eigen value）」である⁵。通期（3/29-10/31）の地域別新規感染者数の分散・共分散行列から出てきた固有値を大きい順に並べると（表4）のようになる。第4固有値までで、全体の変動の96.3%（95%超）を説明している。

（表4）分散・共分散行列の固有値と寄与率（通期：3/29-10/31）

因子番号	固有値	寄与率	累積寄与率
1	9.53	0.795	0.795
2	1.24	0.103	0.898
3	0.47	0.039	0.937
4	0.32	0.026	0.963
5	0.13	0.011	0.974
6	0.12	0.010	0.984
7	0.10	0.083	0.992
8	0.04	0.003	0.995
9	0.03	0.002	0.997
10	0.01	0.001	0.999
11	0.01	0.001	0.999
12	0.01	0.001	1.000

2. 1 因子分析（主因子法）の概要

因子分析（主因子法）は、確率変数ベクトル $\tilde{\mathbf{x}}^T = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_{12})$ の主成分を利用して、ベクトルの各成分 $x_k (k = 1, \dots, 12)$ を互いに直交する潜在因子の和に分解する方法である。

$\tilde{\mathbf{x}}$ が直交行列（ A ）によって主成分ベクトル $\tilde{\mathbf{G}}$ に変換されたとすると、⁶

$$\tilde{\mathbf{G}} = A \cdot \tilde{\mathbf{x}} \quad A = (a_{i,j}), \quad \tilde{\mathbf{G}}^T = (\tilde{g}_1, \dots, \tilde{g}_{12})$$

直交行列はその転置行列が逆行列になるから、

$$\tilde{\mathbf{x}} = A^T \cdot \tilde{\mathbf{G}}$$

⁴ 正値対称行列は、直交行列によって対角化できることが知られている。

⁵ 主成分は元の12個の確率変数ベクトルを直交行列で線形変換（従って「回転」）して得られる「互いに直交する確率変数ベクトル」で、固有値はこうにして得られる「主成分の分散」を表している。

⁶ $\tilde{\mathbf{x}}, \tilde{\mathbf{y}}$ は「期待値=0」となるように規格化されているとする。

ベクトルの成分で表すと、

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} \tilde{x}_1 \\ \vdots \\ \tilde{x}_{12} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} a_{1,1} \\ \vdots \\ a_{1,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_1 + \cdots + \begin{pmatrix} a_{m,1} \\ \vdots \\ a_{m,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_m + \left[\begin{pmatrix} a_{m+1,1} \\ \vdots \\ a_{m+1,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_{m+1} + \cdots + \begin{pmatrix} a_{12,1} \\ \vdots \\ a_{12,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_{12} \right] \\
 &= \begin{pmatrix} a_{1,1} \\ \vdots \\ a_{1,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_1 + \cdots + \begin{pmatrix} a_{m,1} \\ \vdots \\ a_{m,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_m + \begin{pmatrix} \tilde{\epsilon}_1 \\ \vdots \\ \tilde{\epsilon}_{12} \end{pmatrix} \\
 &= \sqrt{\lambda_1} \begin{pmatrix} a_{1,1} \\ \vdots \\ a_{1,12} \end{pmatrix} \frac{\tilde{g}_1}{\sqrt{\lambda_1}} + \cdots + \sqrt{\lambda_m} \begin{pmatrix} a_{m,1} \\ \vdots \\ a_{m,12} \end{pmatrix} \frac{\tilde{g}_m}{\sqrt{\lambda_m}} + \begin{pmatrix} \tilde{\epsilon}_1 \\ \vdots \\ \tilde{\epsilon}_{12} \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} b_{1,1} \\ \vdots \\ b_{1,12} \end{pmatrix} \tilde{f}_1 + \cdots + \begin{pmatrix} b_{m,1} \\ \vdots \\ b_{m,12} \end{pmatrix} \tilde{f}_m + \begin{pmatrix} \tilde{\epsilon}_1 \\ \vdots \\ \tilde{\epsilon}_{12} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

ここで、 $\tilde{f}_1, \dots, \tilde{f}_m$ は正規直交基底であり、これが「因子」である。 $b_{i,k}$ を「因子負荷量」という。 $\tilde{\epsilon}_i$ は $\tilde{f}_1, \dots, \tilde{f}_m$ と直交する残余項である。

$$\begin{aligned}
 \tilde{\epsilon}_i &= \begin{pmatrix} a_{m+1,1} \\ \vdots \\ a_{m+1,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_{m+1} + \cdots + \begin{pmatrix} a_{12,1} \\ \vdots \\ a_{12,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_{12} \\
 \tilde{f}_k &= \tilde{g}_k / \sqrt{\lambda_k}, \quad b_{i,k} = a_{i,k} \sqrt{\lambda_k}
 \end{aligned}$$

2. 2 因子分析の結果

累積で全体の変動の95%以上を説明する第4因子までを採用して、各都道府県の新規感染者数の変動について、これらの因子に掛かる「負荷量」($b_{i,j}$)を算定した。色付きは、負荷量 ≥ 0.6 のものを表示した。第1因子は「日本全国因子」、第2因子は「首都圏因子」(京都府も連動)、第3因子は「神奈川県因子」(神奈川県は首都圏でも少し違う変動)、第4因子は「北海道因子」と考えられる。

(表5) 因子負荷量

都道府県	因子1	因子2	因子3	因子4
北海道	-0.008	0.119	0.093	0.905
埼玉県	0.467	0.797	0.251	0.191
千葉県	0.460	0.681	0.454	0.295
東京都	0.559	0.752	0.257	0.080
神奈川県	0.402	0.537	0.718	0.182
愛知県	0.871	0.372	0.189	0.035
京都府	0.645	0.639	0.268	-0.029
大阪府	0.774	0.520	0.306	0.138
兵庫県	0.731	0.562	0.272	0.145
福岡県	0.892	0.358	0.148	-0.201
沖縄県	0.728	0.297	0.429	0.151
その他の県	0.727	0.566	0.241	0.215

3. 第二波の状況、最近（第三波立ち上がり）の状況

6/19に全国の都道府県間の移動自粛が解除され、7/22から始まった「Go To Travel」や、夏場の帰省による人の移動などにより、5/16-5/23の週を底として国内の新規感染者数は再び増加に転じた。この感染拡大第二波（5/24-9/26）の期間について、通期で行った分析と同様の因子分析を行った。分析の結果は以下のとおりである。

3. 1 第二波の状況

この期間（5/24-9/26）の分散共分散行列の固有値（各主成分の分散に相当）を列挙すると、（表6）のとおりとなる。通期（3/29-10/31）では4番目の主成分までで全体の変動の95%が説明されたのに対して、第二波期間（5/24-9/26）では3番目の主成分までで全体の変動の95%が説明されている。第1主成分だけでも全体の86.5%が説明できる。日本全体の新規感染者の発生が連動している様子が判る。

（表6）分散・共分散行列の固有値と寄与率（第二波の期間：5/24-9/26）

因子番号	固有値	寄与率	累積寄与率
1	10.38	0.865	0.865
2	0.66	0.055	0.920
3	0.48	0.040	0.960
4	0.22	0.018	0.978
5	0.09	0.010	0.988

（表7）因子負荷量（第二波の期間：5/24-9/26）

都道府県	因子1	因子2	因子3
（寄与率）	（0.865）	（0.055）	（0.004）
北海道	0.231	0.318	0.834
埼玉県	0.834	0.453	0.246
千葉県	0.686	0.431	0.579
東京都	0.798	0.472	0.330
神奈川県	0.578	0.299	0.658
愛知県	0.471	0.803	0.322
京都府	0.733	0.511	0.336
大阪府	0.613	0.655	0.427
兵庫県	0.567	0.692	0.431
福岡県	0.475	0.831	0.250
沖縄県	0.319	0.748	0.442
その他の県	0.600	0.673	0.408

累積で全体の変動の95%以上を説明する第3因子までを採用して、各都道府県の新規感染者数の変動について、これらの因子に掛かる「負荷量」($b_{i,j}$)を算定したのが(表7)である。色付きは、負荷量 ≥ 0.6 のものを表示した。

大きな説明力を持つ第1因子は東日本・西日本・その他県にまたがる「日本全国因子」と考えられるが、第2因子は「中部・西南日本因子」、第3因子はそれらとは少し違う動きを示す「北海道・神奈川県因子」と考えられる。

3. 2 最近(第三波立ち上がり)の状況

9/27以降は、第二波の終息傾向(新規感染者数の減少)が底を打ち、減少が止まったり反転して増加に転じた地域が見られる。⁷

しかし、第三波の新規感染者数のその変動状況は各地域によって少しずつ違っているように見える。第三波の期間の週次データは5週分しかとれず、因子分析を行うには十分なデータ量でないため、この期間については「日次データ」を使って分析を行ってみた。⁸(表8)に各因子(主成分)が説明する全体変動への寄与率を示す。

(表8) 分散・共分散行列の固有値と寄与率(第三波以降の期間:9/27-10/31)

因子番号	固有値	寄与率	累積寄与率
1	4.98	0.415	0.415
2	1.93	0.161	0.576
3	1.45	0.121	0.697
4	0.84	0.070	0.767
5	0.69	0.057	0.824
6	0.55	0.046	0.870
7	0.43	0.036	0.906
8	0.39	0.033	0.938
9	0.33	0.027	0.965
10	0.18	0.015	0.981
11	0.16	0.014	0.994

第三波の期間では、日本全体の新規感染者数の変動の95%を説明するのに、9個の因子(主成分)が必要である。第1因子だけでは全体の変動の41.5%しか説明できていない。このことは今回の第三波が日本の各地に「多くの異なった動き」を内包していることを示している。

⁷ 「1. 地域別新規感染者の推移」のグラフ参照。

⁸ この一連のレポートでは新規感染者数の日次データに含まれる「ノイズ」を解消するために、週次データに合算したものを分析してきた。ここでは因子分析を日次データによって行うことになり、「ノイズ」による影響が懸念される。因子分析に耐えられる量の週次データが揃ったところで、あらためて第三波の分析を行ってその影響についても検討することにしたい。

9個の因子（主成分）が「各都道府県の第三波における新規感染者数の変動に対してどの程度の影響を与えているか」を示す「因子負荷量」は（表9）のとおりである。色付きは、黄色が負荷量 ≥ 0.6 のもの、緑色が負荷量 ≥ 0.5 のものを表示した。

（表9）因子負荷量（第二波以降の期間：9/27-10/31）

都道府県	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6	因子7	因子8	因子9
寄与率	0.415	0.161	0.121	0.070	0.057	0.046	0.036	0.033	0.027
北海道	0.812	0.107	0.053	0.244	-0.348	-0.041	0.274	0.245	-0.091
埼玉県	0.036	0.783	0.124	0.043	0.061	0.147	0.092	0.201	0.015
千葉県	0.159	0.247	0.740	0.230	0.224	-0.125	0.242	0.126	0.019
東京都	0.075	0.541	0.397	0.478	0.304	0.351	0.179	-0.094	-0.138
神奈川県	0.113	0.232	0.373	0.310	0.736	0.128	0.224	0.252	0.027
愛知県	0.905	0.057	-0.075	0.125	0.118	0.175	0.068	-0.125	0.082
京都府	0.213	0.207	-0.054	-0.005	0.060	0.705	-0.129	0.148	0.020
大阪府	0.773	0.021	0.291	0.097	0.164	0.148	0.095	0.148	-0.055
兵庫県	0.250	0.059	0.145	0.755	0.111	-0.021	0.079	0.066	0.030
福岡県	0.125	0.469	0.146	0.090	0.198	0.276	0.009	0.706	0.021
沖縄県	0.313	0.143	0.231	0.114	0.133	-0.169	0.660	0.005	0.021
その他	0.547	0.002	0.372	0.214	0.123	0.173	0.259	0.102	0.312

第1因子は、感染拡大の第三波で最初に増加を始めて、その後も確実に増加を続ける「北海道・愛知県・大阪府」の動きを示すと考えられる因子である。

第2因子、第3因子は、それぞれ「埼玉県（東京都）」、「千葉県」の因子で、同じく早めに増加に転じたが、その後に大きくは増加していない動きである。（11月に入って少し様子に変化している）

第4因子から第6因子は、それぞれ一進一退の「兵庫県」「神奈川県」「京都府」に対応している。

第7因子は、早めに立ち上がり、既に減少を示している「沖縄県」に対応している。

第8因子は、第二波が収まった後に大きな増加を見せていない「福岡県」に対応している。

第9因子には大きな特徴はない。いわゆる調整項である。

前頁の脚注で示したとおり、この日次データによる因子分析では「日々の観測によるノイズ」が含まれていて（例えば「曜日による増減傾向」）、それが「因子」に大きく影響している可能性がある。従って、この「第三波期間の分析」を見る場合には注意が必要である。十分な週次データが揃ったところで、あらためて「全期間」「第二波期間」と同じ条件で分析を試みることにしたい。

地域別新規感染者数分析は、新型コロナ感染者対策を「地域性を考慮」して実施するための有益な情報となる。得られた結果をどのように「政策」に結び付けるかが重要である。

4. 世界の感染状況

(表10)は、11月7日時点における国別累計感染者数を多い順に列挙したものである。全世界で感染者累計が5,000万人を超え、米国の累計感染者数が1,000万人を超えるのも時間の問題である。⁹

(表10) 世界各国の新型コロナ感染者数 (11/7) (万人)

国	感染者数	国	感染者数	国	感染者数
米国	973.4	コロンビア	112.8	ポーランド	49.4
インド	846.2	メキシコ	95.5	イラク	49.3
ブラジル	563.1	ペルー	91.5	ベルギー	48.8
ロシア	172.0	イタリア	86.3	ウクライナ	45.4
フランス	171.0	南アフリカ	73.4	インドネシア	43.0
スペイン	132.9	イラン	66.4	バングラデシュ	41.7
アルゼンチン	122.9	ドイツ	65.4	オランダ	40.4
英国	115.0	チリ	51.8	チェコ	40.3
				その他共合計	4,932.3

(注) 米国ジョンズ・ホプキンス大学まとめ (日本経済新聞より転記)

10月24日から2週間の各国の新規感染者数は(表11)のとおりである。

(表11) 前々週 (10/24) からの新規感染者増加数 (万人)

国	感染者数	国	感染者数	国	感染者数
米国	124.0	コロンビア	12.9	ポーランド	26.6
インド	64.7	メキシコ	7.4	イラク	4.7
ブラジル	27.7	ペルー	3.5	ベルギー	20.0
ロシア	24.9	イタリア	37.8	ウクライナ	10.7
フランス	62.5	南アフリカ	2.2	インドネシア	4.8
スペイン	28.3	イラン	10.7	バングラデシュ	2.1
アルゼンチン	16.0	ドイツ	22.8	オランダ	12.5
英国	31.6	チリ	1.9	チェコ	16.5
				その他共合計	711.1

(注) 米国ジョンズ・ホプキンス大学まとめ (日本経済新聞より転記)

インド、米国、中南米(ブラジル、アルゼンチン、コロンビア)、欧州(フランス、イタリア、英国、スペイン、ポーランド、ロシア、ドイツ、ベルギー、チェコ、オランダ)などで感染者が増加している。

⁹ 日本経済新聞(10/24など)「新型コロナ感染世界マップ(感染者数・死者数)」より

これらの国々の最近の2週間ごとの新規感染者数の推移をみると（表12）のようになる。米国、ヨーロッパ諸国（含むロシア）における感染状況の深刻さが判る。

（表12）2週間ごとの新規感染者数の推移

（万人）

国	9/13- 9/26	9/27- 10/10	10/11- 10/24	10/25- 11/7	国	9/13- 9/26	9/27- 10/10	10/11- 10/24	10/25- 11/7
米国	58.8	63.2	82.9	124.0	ペルー	7.8	4.4	4.1	3.5
インド	124.4	107.5	83.6	64.7	イタリア	2.1	3.8	14.1	37.8
ブラジル	40.8	36.6	29.8	27.7	南アフリカ	2.3	1.9	2.4	2.2
ロシア	8.3	13.5	20.5	24.9	イラン	4.2	5.2	6.5	10.7
フランス	15.0	18.0	35.3	62.5	ドイツ	2.4	3.6	10.6	22.8
スペイン	15.0	14.5	18.5	28.3	チリ	2.3	2.4	2.1	1.9
アルゼンチン	15.5	18.0	19.8	16.0	ポーランド	1.1	3.2	11.2	26.6
英国	6.2	15.2	25.6	31.6	イラク	5.9	5.6	4.8	4.7
コロンビア	9.6	10.6	10.5	12.9	ベルギー	2.0	3.8	13.9	20.0
メキシコ	6.3	8.9	7.1	7.4	ウクライナ	4.4	6.1	8.1	10.7
					その他共合計	407.4	431.7	532.8	711.1

以上

新型コロナウイルス感染者についての基礎分析

－地域別新規感染者数の因子分析（２）－

2021年1月9日

統計数理研究所統計思考院 池森俊文¹

<要約>

1. 新型コロナウイルス感染拡大第三波の勢いは止まらず、第一波・第二波の水準を大きく超えて拡大中である。
2. 今回の感染拡大第三波の特徴は以下のとおりである。
 - (1) ピークが地域によって異なること
 - (2) 感染が全国各地で拡大していること
 - (3) 死者数が増えていること
3. 「新型コロナ感染拡大の地域間の相互関係」を見るために、第一波・第二波と第三波に分けて各地域の新規感染者数の変動の相関係数を見た後に、因子分析を行った。
 - (第一波・第二波)
第1因子+第2因子：全国要因 第3因子：北海道要因
 - (第三波)
第1因子：首都圏要因 第2因子：北海道・愛知・大阪（先行地域）要因
第3因子：沖縄要因

<目次>

1. 国内新規感染者数の推移
2. 感染拡大第三波の特徴
3. 新型コロナ感染拡大の地域間の連動性
4. 第一波・第二波の因子分析
5. 第三波の因子分析

<補足説明>

¹ このレポートの内容は筆者の私見に基づくものであり、筆者の所属する組織の見解ではないことに注意願いたい。

1. 国内新規感染者数の推移

新型コロナ感染拡大は「第三波」を形成して更に拡大中である。(グラフ1)にその様子を
示す。新年1/2までで感染者数が5000人を越えた都道府県は(表2)のとおりである。
(グラフ1) 国内新規感染者数の推移



(表2) 1月2日までの累計感染者数(5,000人※を超える都道府県) (人)

都道府県名	累計感染者数	都道府県名	累計感染者数
1. 東京都	61,774	8. 兵庫県	10,236
2. 大阪府	30,519	9. 福岡県	9,225
3. 神奈川県	22,107	10. 沖縄県	5,421
4. 愛知県	16,911	11. 京都府	4,987
5. 埼玉県	14,728	その他の県	41,720
6. 北海道	13,617	合計	242,689
7. 千葉県	11,444		

(データ源) 日本経済新聞社「都道府県別の感染者・死者数」より作成
※5000人に近づく京都府も追加

2. 感染拡大第三波の特徴

地域別の新規感染者数を1週間ごとに集計すると(表3)のとおりとなる。各地域の波のピークを「赤」で、ボトムを「青」で示す。「黄色」は一旦ピークとなって減少した後に、再度増加を始めたと思われる地域の最初のピークである。

(表3) 週ごとの国内新規感染者数の推移²

(人)

期間	北海道	首都圏	愛知	関西圏	福岡	沖縄	その他	合計
7/19-7/25	46	2482	397	867	346	37	649	4824
7/25-8/1	59	3152	967	1492	705	257	1375	8017
8/2-8/8	95	3837	1027	1658	858	513	1485	9473
8/9-8/15	77	3150	652	1399	650	583	1173	7684
8/16-8/22	78	2947	481	1264	495	303	1265	6833
8/23-8/29	70	2510	320	859	431	219	967	5376
8/30-9/5	55	2026	214	631	293	136	692	4047
9/6-9/12	49	2100	193	667	150	72	483	3714
9/13-9/19	71	1992	206	589	64	59	430	3411
9/20-9/26	95	1734	171	486	27	69	397	2979
9/27-10/3	120	2126	178	496	31	162	475	3588
10/4-10/10	188	2109	106	449	46	158	484	3540
10/11-10/17	171	2209	139	457	36	160	518	3690
10/18-10/24	245	2026	189	643	40	244	504	3891
10/25-10/31	372	2103	374	901	46	202	885	4681
11/1-11/7	735	2504	504	1159	50	152	1077	6029
11/8-11/14	1414	3798	868	1888	90	208	1550	9608
11/15-11/21	1632	5306	1076	2747	145	271	2723	13632
11/22-11/28	1607	5318	1174	3292	245	280	2826	14462
11/29-12/5	1323	5901	1308	3428	261	288	3102	15328
12/6-12/12	1347	6419	1368	3332	532	250	5956	18949
12/13-12/19	891	8011	1446	3038	717	161	4402	18505
12/20-12/26	814	10213	1481	2971	887	223	5320	21686
12/27-1/2	741	11913	1457	2897	1091	255	5520	23622

(データ源) 日本経済新聞社「都道府県別の感染者・死者数」より作成

² 後日の申告漏れの判明や修正等があり必ずしも正確ではない。(すべてを修正しきれていない)

今回の第三波の特徴は以下のとおりである。

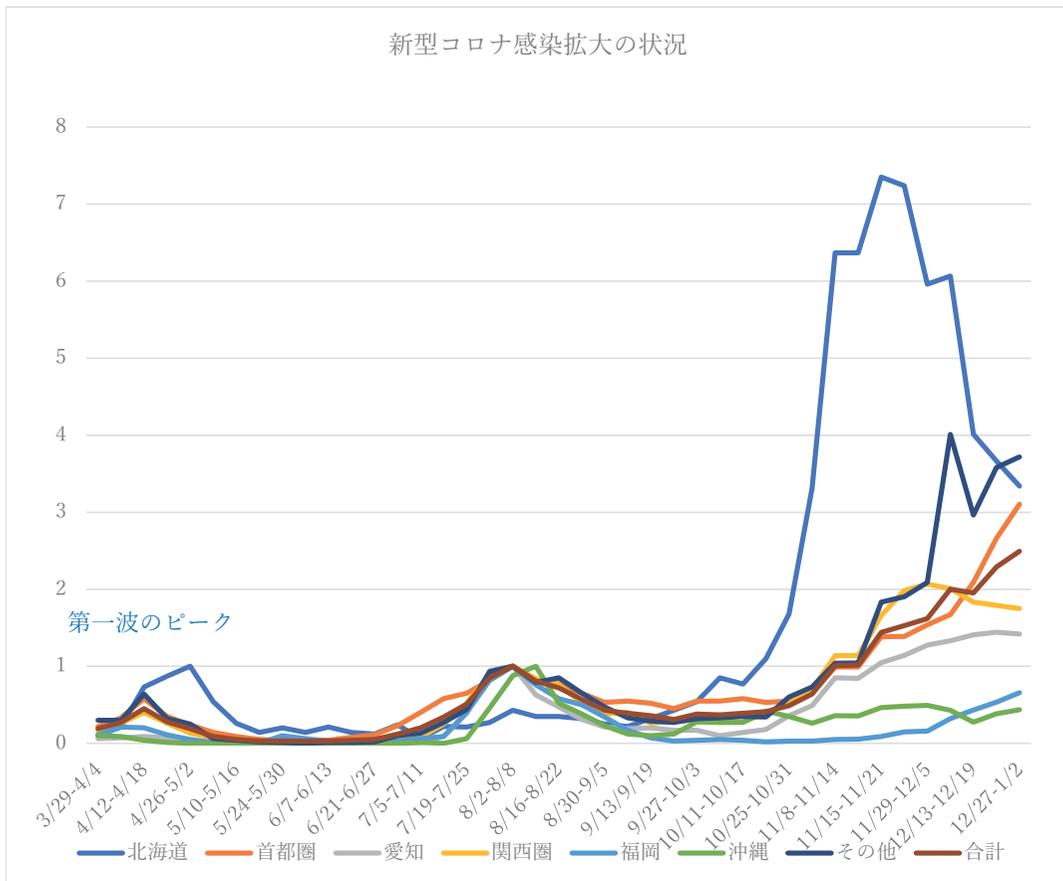
- (1) ピークが地域によって異なること
- (2) 感染が全国各地で拡大していること
- (3) 死者数が増えていること

(1) ピークが地域によって異なること

(グラフ4)は地域別の新規感染者数の推移を「第二波のピーク=1」として指数化してグラフ表示したものである。(注)北海道だけは第一波のピークを1としている。

第一波・第二波ではピークの位置が大体揃っているのに対して、第三波では首都圏や福岡などで拡大中、関西圏や北海道や愛知県では既に減少の兆しが見えていることが判る。

(グラフ4) 地域別の週次新規感染者指数の推移 (8/2-8/8=1)



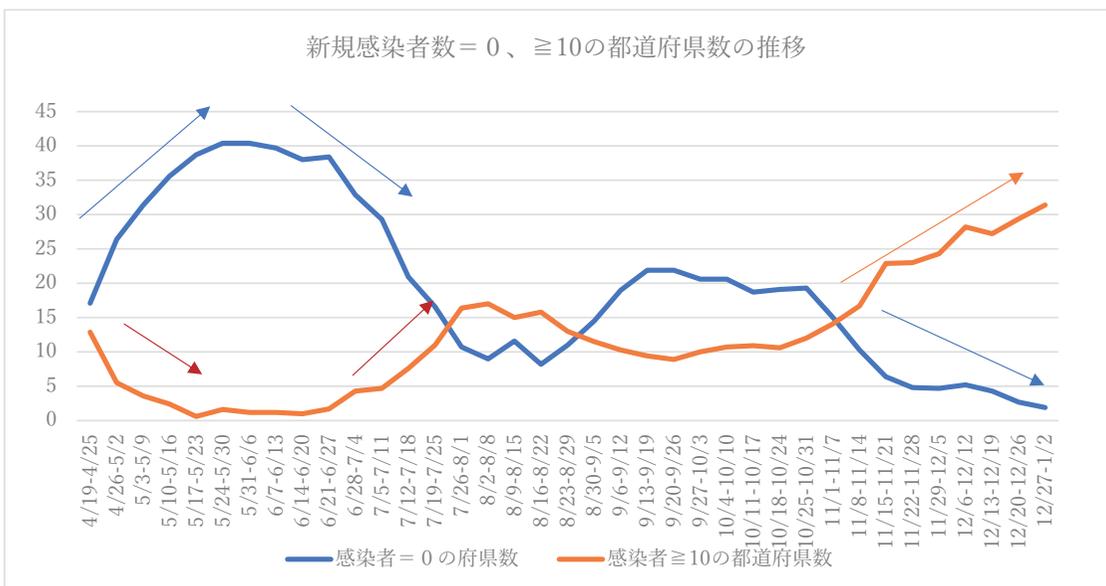
(データ源) 日本経済新聞社「都道府県別の感染者・死者数」より作成

(2) 感染が全国各地で拡大していること

第三波では全国各地で大規模な感染拡大が見られるのが特徴である。(グラフ4)に週ごとの「新規感染者数=0の府県数の平均値」と「新規感染者数 ≥ 10 (2桁)の都道府県数の平均値」の推移を示した。

新規感染者数=0の府県数が大きく減少し、新規感染者数 ≥ 10 (2桁)の都道府県数が大きく増加していることが判る。新型コロナ感染は第二波を超えて全国に拡大している。

(グラフ5) 新規感染者数=0、 ≥ 10 の都道府県数の推移



(データ源) 日本経済新聞社「都道府県別の感染者・死者数」より作成

(3) 死者数が増えていること

新規感染者数が退院者と死亡者を合わせた数を上回り始めたのが10/17-10/24の週からであったが、最近では更にその規模が大きくなって医療体制が崩壊している状況がメディアによって伝えられている。(表6)にその様子を示す。

この(表6)からは、11月に入ってから「新型コロナによる死亡者数」が増えてきていることが判る。米国や欧州諸国ほどではないが、国内の死亡者数が増加していることは気になる状況である。

(表6) 週ごとの新規感染者数と退院者数+死亡者数

期間	退院者数	死亡者数	合計	新規感染者	差引
9/20-9/26	3604	44	3648	2979	669
9/27-10/3	3609	52	3661	3588	73
10/4-10/10	3512	29	3541	3540	1
10/11-10/17	3663	43	3706	3690	16
10/17-10/24	3673	43	3720	3891	-171
10/25-10/31	3627	56	3683	4681	-998
11/1-11/7	3988	47	3941	6029	-2088
11/8-11/14	5409	71	5480	9608	-4128
11/15-11/21	7819	93	7912	13629	-5717
11/22-11/28	10290	129	10419	14462	-4043
11/29-12/5	13097	217	13314	15328	-2014
12/6-12/12	16188	249	16437	18949	-2512
12/13-12/19	15784	305	16089	18505	-2416
12/20-12/26	16880	343	17223	21686	-4463
12/27-1/2	16232	349	16581	23622	-7041

(データ源) 日本経済新聞社「都道府県別の感染者・死者数」より作成

3. 新型コロナウイルス感染拡大の地域間の連動性

新型コロナウイルス感染者数は日本全国に拡大しているが、第一波・第二波が一部の地域（北海道など）を除き「全国一斉に拡大」したのに対して、第三波は地域によって異なる変動を見せられている。

第二波の減少過程におけるボトム的位置が異なっている（北海道・沖縄・福岡などが早い＝それはそのまま第三波の立ち上がりが早い）ほか、北海道・関西圏・愛知などでは早くも第三波がピークを打ったように見える。また、沖縄等では第三波の中で再度の立ち上がりの兆しが見られる。

これらの「新型コロナウイルス感染拡大の地域間の相互関係」を見るために、各地域の新規感染者数の変動の相関係数を算定した。第一波・第二波と第三波の違いを見るために、期間を第一波・第二波と第三波に分けて、それぞれの期間について相関係数を求めた。

全国の新規感染者数推移のグラフの変曲点となった 9/13-9/19 の週以降を「第三波」と定義した。

(表7) 都道府県別新規感染者数(第一波+第二波)の相関行列

	北海	埼玉	千葉	東京	神奈	愛知	京都	大阪	兵庫	福岡	沖縄	他
北海道	1.00	0.20	0.21	0.15	0.16	0.06	0.11	0.15	0.25	-0.07	0.05	0.37
埼玉		1.00	0.95	0.97	0.85	0.79	0.92	0.90	0.90	0.84	0.72	0.89
千葉			1.00	0.94	0.92	0.82	0.92	0.94	0.95	0.87	0.79	0.92
東京				1.00	0.84	0.87	0.92	0.94	0.92	0.88	0.76	0.87
神奈川					1.00	0.74	0.87	0.89	0.84	0.81	0.81	0.78
愛知						1.00	0.84	0.95	0.91	0.98	0.87	0.77
京都							1.00	0.95	0.89	0.90	0.80	0.86
大阪								1.00	0.97	0.97	0.88	0.97
兵庫									1.00	0.94	0.85	0.91
福岡										1.00	0.92	0.80
沖縄											1.00	0.62
その他												1.00

(表8) 都道府県別新規感染者数(第三波)の相関行列

	北海	埼玉	千葉	東京	神奈	愛知	京都	大阪	兵庫	福岡	沖縄	他
北海道	1.00	0.54	0.44	0.51	0.43	0.78	0.36	0.89	0.73	-0.31	0.73	0.61
埼玉		1.00	0.97	0.99	0.97	0.93	0.96	0.79	0.95	0.96	0.56	0.95
千葉			1.00	0.99	1.00	0.86	0.96	0.69	0.90	0.96	0.50	0.87
東京				1.00	0.99	0.91	0.96	0.76	0.94	0.96	0.52	0.92
神奈川					1.00	0.86	0.97	0.68	0.90	0.97	0.47	0.88
愛知						1.00	0.84	0.95	0.98	0.81	0.64	0.94
京都							1.00	0.64	0.86	0.99	0.36	0.91
大阪								1.00	0.92	0.61	0.72	0.84
兵庫									1.00	0.85	0.66	0.95
福岡										1.00	0.36	0.89
沖縄											1.00	0.55
その他												1.00

(データ源) 日本経済新聞社「都道府県別の感染者・死者数」より作成

(データ解析) エスミ「EXCEL 多変量解析 ver.7.0」を使用

北海道・沖縄（第三波では大阪も）を除く各都府県間には比較的高い相関があり、相互に影響し合っているように見える。これらの相関が生じる潜在要因を、形式的な「地域因子」として抽出するために「因子分析」³を行った。

4. 第一波・第二波の因子分析

第一波・第二波期間（3/29-4/4～9/6-9/12）の地域別新規感染者数の分散・共分散行列の固有値とそれぞれの固有値（＝因子の情報量）の寄与率を（表9）に示す。また、各因子と地域別新規感染者数の相関係数（＝因子負荷量）を（表10）に示す。第5因子までで全体の情報量の98%を表していることが判る。

（表9）分散・共分散行列の固有値と寄与率（第一波・第二波）

因子番号	固有値	寄与率	累積寄与率
1	9.77	0.814	0.814
2	1.10	0.092	0.906
3	0.48	0.040	0.946
4	0.30	0.025	0.971
5	0.13	0.010	0.981
6	0.10	0.008	0.989
7	0.07	0.006	0.995

（表10）第一波・第二波の因子への因子負荷量

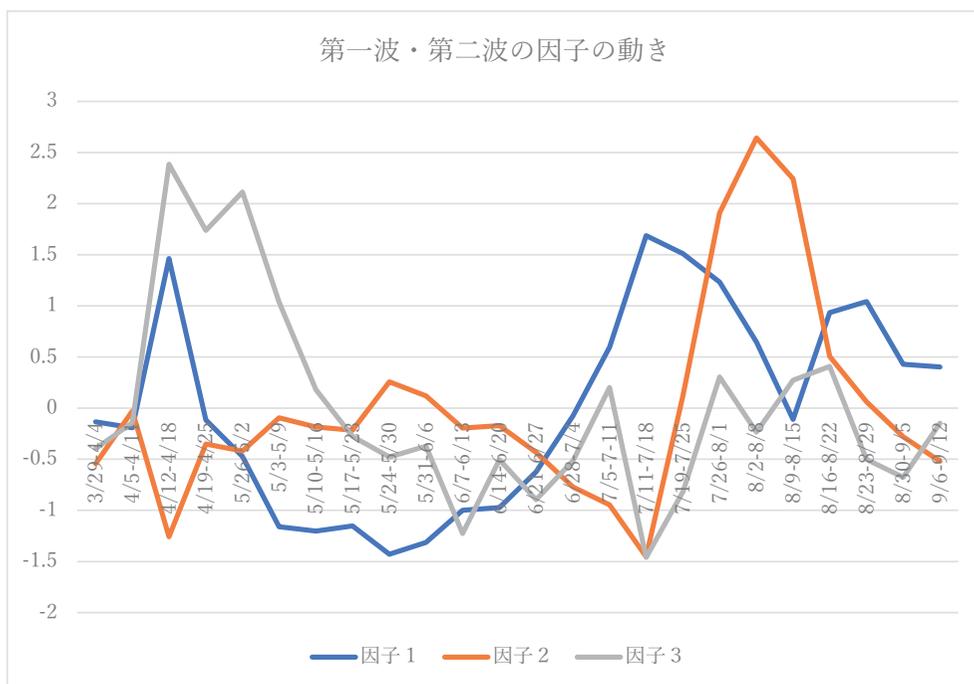
都道府県	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5
北海道	0.106	0.000	0.820	0.025	0.007
埼玉県	0.864	0.425	0.125	0.166	-0.065
千葉県	0.776	0.497	0.152	0.320	0.094
東京都	0.826	0.530	0.077	0.089	-0.099
神奈川県	0.632	0.487	0.097	0.545	0.021
愛知県	0.512	0.842	0.001	0.001	0.064
京都府	0.735	0.560	0.029	0.227	0.052
大阪府	0.656	0.717	0.089	0.191	0.060
兵庫県	0.651	0.680	0.220	0.152	0.098
福岡県	0.533	0.827	0.013	0.131	0.076
沖縄県	0.335	0.841	0.011	0.353	-0.057
その他の県	0.788	0.414	0.340	0.071	0.289

³ 因子分析の概要については末尾の「＜補足資料＞因子分析」を参照。

因子1と因子2を合わせて、日本全国の新規感染者数の推移を表していると考えられる。因子3は、第一波で若干時期がズレて大きな感染拡大となった「北海道」の様子を表す因子と考えられる。

各因子が与えている「変動」を（グラフ11）に示す。

（グラフ11）第一波・第二波の因子の変動



5. 第三波の因子分析

第三波期間（9/13-9/19～12/27-1/2）の地域別新規感染者数の分散・共分散行列の固有値とそれぞれの固有値（＝因子の情報量）の寄与率を（表12）に示す。

（表12）分散・共分散行列の固有値と寄与率（第三波）

因子番号	固有値	寄与率	累積寄与率
1	9.83	0.819	0.819
2	1.57	0.131	0.950
3	0.38	0.032	0.982
4	0.12	0.010	0.992
5	0.05	0.005	0.996

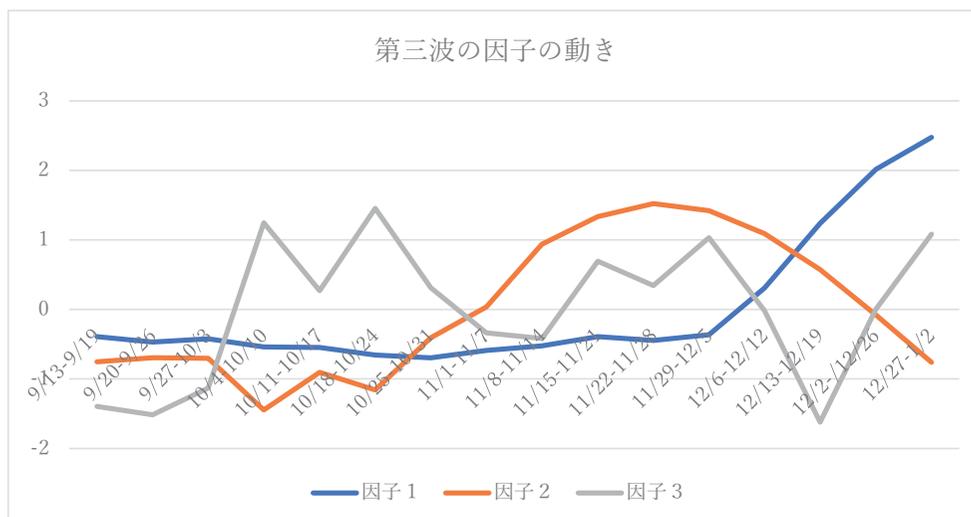
また、この期間の各因子と地域別新規感染者数の相関係数（＝因子負荷量）を（表13）に示す。第3因子までで全体の情報量の98%を表していることが判る。

（表13）第三波の因子への因子負荷量

都道府県	因子1	因子2	因子3
（寄与率）	（0.819）	（0.131）	（0.032）
北海道	0.144	0.940	0.222
埼玉県	0.890	0.397	0.197
千葉県	0.934	0.277	0.200
東京都	0.910	0.374	0.156
神奈川県	0.947	0.271	0.152
愛知県	0.695	0.703	0.118
京都府	0.961	0.227	0.031
大阪府	0.449	0.859	0.169
兵庫県	0.740	0.630	0.190
福岡県	0.975	0.166	0.075
沖縄県	0.216	0.580	0.711
その他の県	0.790	0.510	0.110

因子1が遅れて始まった首都圏を中心とした新規感染者数の推移を表していると考えられる。因子2は、先行した北海道・愛知県・大阪府の感染拡大、因子3は更に先行した沖縄県の感染拡大を表していると考えられる。各因子の「変動」を（グラフ14）に示す。

（グラフ14）第三波の因子の変動



<補足資料>

因子分析（主因子法）は、確率変数ベクトル $\tilde{\mathbf{X}}^T = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_{12})$ の主成分を利用して、ベクトルの各成分 $x_k (k = 1, \dots, 12)$ を互いに直交する潜在因子の和に分解する方法である。

$\tilde{\mathbf{X}}$ が直交行列（ A ）によって主成分ベクトル $\tilde{\mathbf{G}}$ に変換されたとすると、⁴

$$\tilde{\mathbf{G}} = A \cdot \tilde{\mathbf{X}} \qquad A = (a_{i,j}), \quad \tilde{\mathbf{G}}^T = (\tilde{g}_1, \dots, \tilde{g}_{12})$$

直交行列はその転置行列が逆行列になるから、

$$\tilde{\mathbf{X}} = A^T \cdot \tilde{\mathbf{G}}$$

ベクトルの成分で表すと、

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \tilde{x}_1 \\ \vdots \\ \tilde{x}_{12} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} a_{1,1} \\ \vdots \\ a_{1,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_1 + \dots + \begin{pmatrix} a_{m,1} \\ \vdots \\ a_{m,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_m + \left[\begin{pmatrix} a_{m+1,1} \\ \vdots \\ a_{m+1,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_{m+1} + \dots + \begin{pmatrix} a_{12,1} \\ \vdots \\ a_{12,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_{12} \right] \\ &= \begin{pmatrix} a_{1,1} \\ \vdots \\ a_{1,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_1 + \dots + \begin{pmatrix} a_{m,1} \\ \vdots \\ a_{m,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_m + \begin{pmatrix} \tilde{\epsilon}_1 \\ \vdots \\ \tilde{\epsilon}_{12} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

ここで、 $\tilde{g}_1, \dots, \tilde{g}_m$ は直交基底であり、これが「因子」である。

$\tilde{\epsilon}_i$ は $\tilde{g}_1, \dots, \tilde{g}_m$ と直交する残余項である。

$$\tilde{\epsilon}_i = \begin{pmatrix} a_{m+1,1} \\ \vdots \\ a_{m+1,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_{m+1} + \dots + \begin{pmatrix} a_{12,1} \\ \vdots \\ a_{12,12} \end{pmatrix} \tilde{g}_{12}$$

「因子負荷量」 $\theta_{i,k}$ を次のように定義する。

$$\theta_{i,k} = \text{Corr}[\tilde{x}_i, \tilde{g}_k] = \frac{a_{k,i}}{\sqrt{V[\tilde{x}_i]} \sqrt{V[\tilde{g}_k]}}$$

以 上

⁴ $\tilde{\mathbf{X}}, \tilde{\mathbf{Y}}$ は「期待値=0」となるように規格化されているとする。

MI レクチャーノートシリーズ刊行にあたり

本レクチャーノートシリーズは、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「機能数学の構築と展開」(H.15-19 年度)において作成した COE Lecture Notes の続刊であり、文部科学省大学院教育改革支援プログラム「産業界が求める数学博士と新修士養成」(H19-21 年度)および、同グローバル COE プログラム「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点」(H.20-24 年度)において行われた講義の講義録として出版されてきた。平成 23 年 4 月のマス・フォア・インダストリ研究所 (IMI) 設立と平成 25 年 4 月の IMI の文部科学省共同利用・共同研究拠点として「産業数学の先進的・基礎的共同研究拠点」の認定を受け、今後、レクチャーノートは、マス・フォア・インダストリに関わる国内外の研究者による講義の講義録、会議録等として出版し、マス・フォア・インダストリの本格的な展開に資するものとする。

平成 30 年 10 月
マス・フォア・インダストリ研究所
所長 佐伯修

令和 2 年度 AIMaP チュートリアル 新型コロナウイルス感染症にかかわる諸問題の数理

発行 2021年 3 月 22 日
著者 池森 俊文
発行 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
九州大学大学院数理学府
〒819-0395 福岡市西区元岡744
九州大学数理・IMI 事務室
TEL 092-802-4402 FAX 092-802-4405
URL <http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/>

印刷 城島印刷株式会社
〒810-0012 福岡市中央区白金 2 丁目 9 番 6 号
TEL 092-531-7102 FAX 092-524-4411

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
COE Lecture Note	Mitsuhiro T. NAKAO Kazuhiro YOKOYAMA	Computer Assisted Proofs - Numeric and Symbolic Approaches - 199pages	August 22, 2006
COE Lecture Note	M.J.Shai HARAN	Arithmetical Investigations - Representation theory, Orthogonal polynomials and Quantum interpolations- 174pages	August 22, 2006
COE Lecture Note Vol.3	Michal BENES Masato KIMURA Tatsuyuki NAKAKI	Proceedings of Czech-Japanese Seminar in Applied Mathematics 2005 155pages	October 13, 2006
COE Lecture Note Vol.4	宮田 健治	辺要素有限要素法による磁界解析 - 機能数理学特別講義 21pages	May 15, 2007
COE Lecture Note Vol.5	Francois APERY	Univariate Elimination Subresultants - Bezout formula, Laurent series and vanishing conditions - 89pages	September 25, 2007
COE Lecture Note Vol.6	Michal BENES Masato KIMURA Tatsuyuki NAKAKI	Proceedings of Czech-Japanese Seminar in Applied Mathematics 2006 209pages	October 12, 2007
COE Lecture Note Vol.7	若山 正人 中尾 充宏	九州大学産業技術数理研究センター キックオフミーティング 138pages	October 15, 2007
COE Lecture Note Vol.8	Alberto PARMEGGIANI	Introduction to the Spectral Theory of Non-Commutative Harmonic Oscillators 233pages	January 31, 2008
COE Lecture Note Vol.9	Michael I. TRIBELSKY	Introduction to Mathematical modeling 23pages	February 15, 2008
COE Lecture Note Vol.10	Jacques FARAUT	Infinite Dimensional Spherical Analysis 74pages	March 14, 2008
COE Lecture Note Vol.11	Gerrit van DIJK	Gelfand Pairs And Beyond 60pages	August 25, 2008
COE Lecture Note Vol.12	Faculty of Mathematics, Kyushu University	Consortium "MATH for INDUSTRY" First Forum 87pages	September 16, 2008
COE Lecture Note Vol.13	九州大学大学院 数理学研究院	プロシーディング「損保数理に現れる確率モデル」 — 日新火災・九州大学 共同研究2008年11月 研究会 — 82pages	February 6, 2009

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
COE Lecture Note Vol.14	Michal Beneš, Tohru Tsujikawa Shigetoshi Yazaki	Proceedings of Czech-Japanese Seminar in Applied Mathematics 2008 77pages	February 12, 2009
COE Lecture Note Vol.15	Faculty of Mathematics, Kyushu University	International Workshop on Verified Computations and Related Topics 129pages	February 23, 2009
COE Lecture Note Vol.16	Alexander Samokhin	Volume Integral Equation Method in Problems of Mathematical Physics 50pages	February 24, 2009
COE Lecture Note Vol.17	矢嶋 徹 及川 正行 梶原 健司 辻 英一 福本 康秀	非線形波動の数値と物理 66pages	February 27, 2009
COE Lecture Note Vol.18	Tim Hoffmann	Discrete Differential Geometry of Curves and Surfaces 75pages	April 21, 2009
COE Lecture Note Vol.19	Ichiro Suzuki	The Pattern Formation Problem for Autonomous Mobile Robots —Special Lecture in Functional Mathematics— 23pages	April 30, 2009
COE Lecture Note Vol.20	Yasuhide Fukumoto Yasunori Maekawa	Math-for-Industry Tutorial: Spectral theories of non-Hermitian operators and their application 184pages	June 19, 2009
COE Lecture Note Vol.21	Faculty of Mathematics, Kyushu University	Forum "Math-for-Industry" Casimir Force, Casimir Operators and the Riemann Hypothesis 95pages	November 9, 2009
COE Lecture Note Vol.22	Masakazu Suzuki Hoon Hong Hirokazu Anai Chee Yap Yousuke Sato Hiroshi Yoshida	The Joint Conference of ASCM 2009 and MACIS 2009: Asian Symposium on Computer Mathematics Mathematical Aspects of Computer and Information Sciences 436pages	December 14, 2009
COE Lecture Note Vol.23	荒川 恒男 金子 昌信	多重ゼータ値入門 111pages	February 15, 2010
COE Lecture Note Vol.24	Fulton B.Gonzalez	Notes on Integral Geometry and Harmonic Analysis 125pages	March 12, 2010
COE Lecture Note Vol.25	Wayne Rossman	Discrete Constant Mean Curvature Surfaces via Conserved Quantities 130pages	May 31, 2010
COE Lecture Note Vol.26	Mihai Ciucu	Perfect Matchings and Applications 66pages	July 2, 2010

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
COE Lecture Note Vol.27	九州大学大学院 数理学研究院	Forum “Math-for-Industry” and Study Group Workshop Information security, visualization, and inverse problems, on the basis of optimization techniques 100pages	October 21, 2010
COE Lecture Note Vol.28	ANDREAS LANGER	MODULAR FORMS, ELLIPTIC AND MODULAR CURVES LECTURES AT KYUSHU UNIVERSITY 2010 62pages	November 26, 2010
COE Lecture Note Vol.29	木田 雅成 原田 昌晃 横山 俊一	Magma で広がる数学の世界 157pages	December 27, 2010
COE Lecture Note Vol.30	原 隆 松井 卓 廣島 文生	Mathematical Quantum Field Theory and Renormalization Theory 201pages	January 31, 2011
COE Lecture Note Vol.31	若山 正人 福本 康秀 高木 剛 山本 昌宏	Study Group Workshop 2010 Lecture & Report 128pages	February 8, 2011
COE Lecture Note Vol.32	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2011 “TSUNAMI-Mathematical Modelling” Using Mathematics for Natural Disaster Prediction, Recovery and Provision for the Future 90pages	September 30, 2011
COE Lecture Note Vol.33	若山 正人 福本 康秀 高木 剛 山本 昌宏	Study Group Workshop 2011 Lecture & Report 140pages	October 27, 2011
COE Lecture Note Vol.34	Adrian Muntean Vladimír Chalupecký	Homogenization Method and Multiscale Modeling 72pages	October 28, 2011
COE Lecture Note Vol.35	横山 俊一 夫 紀恵 林 卓也	計算機代数システムの進展 210pages	November 30, 2011
COE Lecture Note Vol.36	Michal Beneš Masato Kimura Shigetoshi Yazaki	Proceedings of Czech-Japanese Seminar in Applied Mathematics 2010 107pages	January 27, 2012
COE Lecture Note Vol.37	若山 正人 高木 剛 Kirill Morozov 平岡 裕章 木村 正人 白井 朋之 西井 龍映 柴 伸一郎 穴井 宏和 福本 康秀	平成23年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワーク ショップ 拡がっていく数学 ～期待される“見えない力”～ 154pages	February 20, 2012

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
COE Lecture Note Vol.38	Fumio Hiroshima Itaru Sasaki Herbert Spohn Akito Suzuki	Enhanced Binding in Quantum Field Theory 204pages	March 12, 2012
COE Lecture Note Vol.39	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Multiscale Mathematics: Hierarchy of collective phenomena and interrelations between hierarchical structures 180pages	March 13, 2012
COE Lecture Note Vol.40	井ノ口順一 太田 泰広 寛 三郎 梶原 健司 松浦 望	離散可積分系・離散微分幾何チュートリアル2012 152pages	March 15, 2012
COE Lecture Note Vol.41	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2012 “Information Recovery and Discovery” 91pages	October 22, 2012
COE Lecture Note Vol.42	佐伯 修 若山 正人 山本 昌宏	Study Group Workshop 2012 Abstract, Lecture & Report 178pages	November 19, 2012
COE Lecture Note Vol.43	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Combinatorics and Numerical Analysis Joint Workshop 103pages	December 27, 2012
COE Lecture Note Vol.44	萩原 学	モダン符号理論からポストモダン符号理論への展望 107pages	January 30, 2013
COE Lecture Note Vol.45	金山 寛	Joint Research Workshop of Institute of Mathematics for Industry (IMI), Kyushu University “Propagation of Ultra-large-scale Computation by the Domain-decomposition-method for Industrial Problems (PUCDIP 2012)” 121pages	February 19, 2013
COE Lecture Note Vol.46	西井 龍映 栄 伸一郎 岡田 勘三 落合 啓之 小磯 深幸 斎藤 新悟 白井 朋之	科学・技術の研究課題への数学アプローチ —数学モデリングの基礎と展開— 325pages	February 28, 2013
COE Lecture Note Vol.47	SOO TECK LEE	BRANCHING RULES AND BRANCHING ALGEBRAS FOR THE COMPLEX CLASSICAL GROUPS 40pages	March 8, 2013
COE Lecture Note Vol.48	溝口 佳寛 脇 隼人 平坂 貢 谷口 哲至 鳥袋 修	博多ワークショップ「組み合わせとその応用」 124pages	March 28, 2013

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
COE Lecture Note Vol.49	照井 章 小原 功任 濱田 龍義 横山 俊一 穴井 宏和 横田 博史	マス・フォア・インダストリ研究所 共同利用研究集会 II 数式処理研究と産学連携の新たな発展 137pages	August 9, 2013
MI Lecture Note Vol.50	Ken Anjyo Hiroyuki Ochiai Yoshinori Dobashi Yoshihiro Mizoguchi Shizuo Kaji	Symposium MEIS2013: Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis 154pages	October 21, 2013
MI Lecture Note Vol.51	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2013 “The Impact of Applications on Mathematics” 97pages	October 30, 2013
MI Lecture Note Vol.52	佐伯 修 岡田 勘三 高木 剛 若山 正人 山本 昌宏	Study Group Workshop 2013 Abstract, Lecture & Report 142pages	November 15, 2013
MI Lecture Note Vol.53	四方 義啓 櫻井 幸一 安田 貴徳 Xavier Dahan	平成25年度 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 共同利用研究集会 安全・安心社会基盤構築のための代数構造 ～サイバー社会の信頼性確保のための数理学～ 158pages	December 26, 2013
MI Lecture Note Vol.54	Takashi Takiguchi Hiroshi Fujiwara	Inverse problems for practice, the present and the future 93pages	January 30, 2014
MI Lecture Note Vol.55	栄 伸一郎 溝口 佳寛 脇 隼人 洪田 敬史	Study Group Workshop 2013 数学協働プログラム Lecture & Report 98pages	February 10, 2014
MI Lecture Note Vol.56	Yoshihiro Mizoguchi Hayato Waki Takafumi Shibuta Tetsuji Taniguchi Osamu Shimabukuro Makoto Tagami Hirotake Kurihara Shuya Chiba	Hakata Workshop 2014 ~ Discrete Mathematics and its Applications ~ 141pages	March 28, 2014
MI Lecture Note Vol.57	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2014: “Applications + Practical Conceptualization + Mathematics = fruitful Innovation” 93pages	October 23, 2014
MI Lecture Note Vol.58	安生健一 落合啓之	Symposium MEIS2014: Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis 135pages	November 12, 2014

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
MI Lecture Note Vol.59	西井 龍映 岡田 勘三 梶原 健司 高木 剛 若山 正人 脇 隼人 山本 昌宏	Study Group Workshop 2014 数学協働プログラム Abstract, Lecture & Report 196pages	November 14, 2014
MI Lecture Note Vol.60	西浦 博	平成26年度九州大学 IMI 共同利用研究・研究集会 (I) 感染症数理モデルの実用化と産業及び政策での活用のための新たな展開 120pages	November 28, 2014
MI Lecture Note Vol.61	溝口 佳寛 Jacques Garrigue 萩原 学 Reynald Affeldt	研究集会 高信頼な理論と実装のための定理証明および定理証明器 Theorem proving and provers for reliable theory and implementations (TPP2014) 138pages	February 26, 2015
MI Lecture Note Vol.62	白井 朋之	Workshop on “ β -transformation and related topics” 59pages	March 10, 2015
MI Lecture Note Vol.63	白井 朋之	Workshop on “Probabilistic models with determinantal structure” 107pages	August 20, 2015
MI Lecture Note Vol.64	落合 啓之 土橋 宜典	Symposium MEIS2015: Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis 124pages	September 18, 2015
MI Lecture Note Vol.65	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2015 “The Role and Importance of Mathematics in Innovation” 74pages	October 23, 2015
MI Lecture Note Vol.66	岡田 勘三 藤澤 克己 白井 朋之 若山 正人 脇 隼人 Philip Broadbridge 山本 昌宏	Study Group Workshop 2015 Abstract, Lecture & Report 156pages	November 5, 2015
MI Lecture Note Vol.67	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	IMI-La Trobe Joint Conference “Mathematics for Materials Science and Processing” 66pages	February 5, 2016
MI Lecture Note Vol.68	古庄 英和 小谷 久寿 新甫 洋史	結び目と Grothendieck-Teichmüller 群 116pages	February 22, 2016
MI Lecture Note Vol.69	土橋 宜典 鍛冶 静雄	Symposium MEIS2016: Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis 82pages	October 24, 2016
MI Lecture Note Vol.70	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2016 “Agriculture as a metaphor for creativity in all human endeavors” 98pages	November 2, 2016
MI Lecture Note Vol.71	小磯 深幸 二宮 嘉行 山本 昌宏	Study Group Workshop 2016 Abstract, Lecture & Report 143pages	November 21, 2016

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
MI Lecture Note Vol.72	新井 朝雄 小嶋 泉 廣島 文生	Mathematical quantum field theory and related topics 133pages	January 27, 2017
MI Lecture Note Vol.73	穴田 啓晃 Kirill Morozov 須賀 祐治 奥村 伸也 櫻井 幸一	Secret Sharing for Dependability, Usability and Security of Network Storage and Its Mathematical Modeling 211pages	March 15, 2017
MI Lecture Note Vol.74	QUISPEL, G. Reinout W. BADER, Philipp MCLAREN, David I. TAGAMI, Daisuke	IMI-La Trobe Joint Conference Geometric Numerical Integration and its Applications 71pages	March 31, 2017
MI Lecture Note Vol.75	手塚 集 田上 大助 山本 昌宏	Study Group Workshop 2017 Abstract, Lecture & Report 118pages	October 20, 2017
MI Lecture Note Vol.76	宇田川誠一	Tzitzéica 方程式の有限間隙解に付随した極小曲面の構成理論 —Tzitzéica 方程式の楕円関数解を出発点として— 68pages	August 4, 2017
MI Lecture Note Vol.77	松谷 茂樹 佐伯 修 中川 淳一 田上 大助 上坂 正晃 Pierluigi Cesana 濱田 裕康	平成29年度 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 共同利用研究集会 (I) 結晶の界面, 転位, 構造の数理 148pages	December 20, 2017
MI Lecture Note Vol.78	瀧澤 重志 小林 和博 佐藤憲一郎 斎藤 努 清水 正明 間瀬 正啓 藤澤 克樹 神山 直之	平成29年度 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 プロジェクト研究 研究集会 (I) 防災・避難計画の数理モデルの高度化と社会実装へ向けて 136pages	February 26, 2018
MI Lecture Note Vol.79	神山 直之 畔上 秀幸	平成29年度 AIMaP チュートリアル 最適化理論の基礎と応用 96pages	February 28, 2018
MI Lecture Note Vol.80	Kirill Morozov Hiroaki Anada Yuji Suga	IMI Workshop of the Joint Research Projects Cryptographic Technologies for Securing Network Storage and Their Mathematical Modeling 116pages	March 30, 2018
MI Lecture Note Vol.81	Tsuyoshi Takagi Masato Wakayama Keisuke Tanaka Noboru Kunihiro Kazufumi Kimoto Yasuhiko Ikematsu	IMI Workshop of the Joint Research Projects International Symposium on Mathematics, Quantum Theory, and Cryptography 246pages	September 25, 2019



Institute of Mathematics for Industry
Kyushu University

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
九州大学大学院 数理学府

〒819-0395 福岡市西区元岡744 TEL 092-802-4402 FAX 092-802-4405
URL <http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/>