感染症対策の厚生経済学：外部性と公衆衛生的介入 *

Welfare Economics of Managing an Epidemic: Externalities and Non-pharmaceutical Interventions

岩本　康志

目次

---

* 2022 年 4 月 18 日。

本稿の作成に当たっては、JSPS 科学研究費補助金（基盤研究 C）21K01522 の助成を受けた。

1. はじめに

本稿は、岩本(2021)の補遺として、民間部門による感染予防行動がもつ外部性を解説したものである。

単純な SIR モデルでは、個人は感染症の流行に関わらず経済活動を営んでいると暗黙に仮定している。しかし、実際には自身に感染のリスクがあり、経済活動と感染リスクに関係がある場合には、感染予防のために活動を抑制するであろう。さらに、「他人に感染させない」という利他的行動も現実の社会では働いている。このような感染症の流行に影響を受ける個人の予防行動を「内生的予防行動」と呼ぶことにしよう。ただし、利他的行動も含めた内生的予防行動が社会的観点から不足する場合には、政府による追加的な対策である「公衆衛生的介入」（non-pharmaceutical interventions、NPI）が必要とされる。このような政府介入の根拠は、経済学における外部性の議論によって与えられる。

SIR モデルで個人の動学的最適化による予防行動がくわしく分析されたのは新型コロナウイルス感染症流行以降であり（たとえば Eichenbaum, Rebelo and Trabandt 2021、Farboodi, Jarosch and Shimer 2021、Jones, Philippon and Venkateswaran 2021）、動学モデルでの外部性の研究は比較的新しい。本稿では、岩本(2021)のモデルに即して、この外部性を解説する。

本稿の構成は以下の通りである。2 節では、以前から研究されている静学的外部性について、利己的行動と利他的行動の両者を視野に入れて解説する。SIR モデルでの分析は複雑になるため、いったん 3 節では、議論が少し単純化される SI モデルによって、内生的予防行動と社会的観点から望ましい感染症対策を比較し、外部性の性格を明らかにする。4 節では、SIR モデルに基づき、同様の手順で外部性を特徴づけ、3 種類の動学的外部性の性格を議論する。5 節では、外部性に基づく政府介入に関する経済学の議論から、感染症対策の課題を指摘する。

本稿で使用する記号は、表 1 に整理しているが、岩本(2021)に現れる記号はとくに断りなく使用することもある。

表 1　記号一覧

D	累積死亡者
H	ハミルトン関数
I	感染者
N	人口（初期値を 1 に基準化）
$New(\cdot)$	新規感染者関数
$new(\cdot)$	未感染者 1 人当たり新規感染者関数
R	累積回復者・死亡者（初期値は 0）

S	未感染者（感受性人口、初期値は 1）
T	定額給付金
t	時点
U	生涯効用
u	各時点の効用
V	社会的厚生（個人の効用の和）、評価関数、求職
VSL	統計的生命価値
Y	1 人当たり所得（消費）
y	所得減少率（GDP ギャップ）
$\bar{Y}$	1 人当たり潜在 GDP
β	感染率
γ	感染期間の逆数（感染者の回復率）
ι	隔離された陽性者の割合
λ	共役変数
ν	ワクチンが開発される確率
ϕ	致死率
ρ	割引率
τ	消費税率（ピグー補助率）

2.　静学的外部性

2.1　内生的予防行動

2 節では、感染症の予防行動に内在する静学的外部性を議論する。3 節で動学的外部性を定義するまで、静学的外部性を単に外部性を呼ぶことにする。

まず、極めて単純な（現実にはそのまま成立しない）想定として、個人は自分が未感染者、感染者、回復者・死亡者のどの状態にいるかを知っており、利己的に（自身の利害のみを考慮して）行動するものとしよう。経済学では個人は利己的に行動すると仮定されることが一般的であるが、この場合、他者に感染させることによって生じる損害を考慮しない利己的な行動が問題となる。これは、外部性の問題である。

外部性の問題の解消には、健康に対する財産権を認め、権利侵害に対する罰を与えることで、利己的動機のなかに他者に感染させない誘因を与える手段をとることが考えられる。しかし、感染の因果関係を特定することが困難であったり、あまりにも件数が多く司法の処理能力を超える場合には、この方法は機能しない。感染症法で規定されている罰則は、「一種病原体等をみだりに拡散させて公共の危険を生じさせ（る）」（第 67 条 1 項）という危険度の高い行為のみである。

感染症の流行を防ぐ手段は、法による刑罰によらない形式をとらず、個人が他者に感染させる危険のある行動を自粛することに多くを負っている。現実には、そのような行動の自粛は広く見られる。岩本(2022)では、感染予防のための利他的行動の動機として、純粋な利他的動機、不純（impure）な利他的動機（warm glow）、社会規範の遵守、互酬をあげている [1]。また、自由主義の規範である他者危害の原則（他者に迷惑をかけない限り、行動の自由は制限されない）から、他者に感染させる危険のある行動を自粛すべきことが導かれる。

ここでは、こうした行動の自粛だけでは社会的に望ましい予防が果たされない状況を考える。ただし、モデルの構造を単純化するために、個人は利己的であると仮定し、他者の効用に関係する変数が含まれた社会的選好をもつ定式化はとらないことにする。実際に観察される外部性は、社会的利害と利己的な個人の利害との差ではなく、社会的利害と他者に配慮する個人の利害の差であるが、モデルでは便宜上、あたかも前者の差として定式化する。

もう 1 つの仮定についても現実には、確定診断がされる前までは未感染者か、感染者か

---

[1] これらの動機に関する基本的な文献として、純粋な利他的動機には Becker (1974)、不純（impure）な利他的動機（warm glow）には Andreoni (1989)、社会規範には Elster (1989)、互酬には Fehr and Gachter (2000)がある。新型コロナウイルス感染症以降の研究では、Alfaro, et al. (2020)、Toxveard (2021)が、感染予防での利他的行動を主眼としている。

はわからないし、発症前ではなおさら不明である。自身が未感染者か感染者かわかっていれば、未感染者のみ感染予防行動をとるが、わからない場合は未感染者と感染者が同じ感染予防行動をとる。ある時点での感染者数は未感染者数よりも大幅に小さいことが通常なので、予防行動に費やす総費用に感染者の予防行動が与える影響はさほど大きくないと考えられるものの、感染の流行には大きな影響を与える可能性がある。新型コロナウイルス感染症では、無症状者からの感染が大きな影響を与えており、自身が感染者であるかどうかを完全に知っているという仮定は、現実の流行の重要な面をとらえ損なっている[2]。

かりに未感染者か感染者かが確実に知られ、上述のいずれかの理由で自由主義の規範が守られれば、実際の感染は何等かの理由で感染予防策に失敗があった場合になる。したがって、公衆衛生的介入が必要となるのは、内生的予防行動では考慮されない外部性の問題があるときである。

2.2 感染予防の外部性のモデル

感染予防の外部性が感染の発生に与える影響をモデルによって説明しよう。経済で全員が一律に活動を抑制することによる感染予防効果を線形近似で評価し、全微分形式で

$$dNew(t)=\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)}\frac{1}{N(t)}d\Big(\big(1-y(t)\big)N(t)\Big) \tag{1}$$

と表す。ここで、Newは新規感染者、yは 1 人当たり所得の減少率、Nは人口を表す。社会的な視点から対策を講じる場合に関心のある、所得と感染の関係は、(1)式にある偏微分係数として、

$$\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)}$$

で表される。1 人の未感染者の視点からは、自身が感染する確率（未感染者 1 人当たりの新規感染者）newを

$$new(t)\equiv\frac{New(t)}{S(t)}$$

と定義して、自身の感染予防での所得と感染の関係は、

---

[2] CDC によるモデル分析のガイドライン（COVID-19 Pandemic Planning Scenarios, https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/planning-scenarios.html、2021 年 5 月 19 日）では、無症状者は感染者の 40%で、発症者からの感染は発症前に 50%発生し、無症状者の感染力は発症者の 50%を基本値としている。したがって、発症者 1 人が 2.5 人に感染させるとし、100 人の感染者がいるとすれば、60 人の感染者が 150 人に感染させるが、その 50%の 75 人は発症前に感染させ、残りの 75 人は発症後に感染させる。40 人の無症状者は、その 1.875 倍（2.5 の 75%）の 75 人に感染させる。したがって、全体の感染者 225 人のうち、3 分の 2 の 150 人が無症状だった者からの感染になる。

$$\frac{\partial new(t)}{\partial\left(1-y_i(t)\right)}$$

となる。y_iは未感染者の所得減少率である。

(1)式の感染予防効果を未感染者と感染者の活動の抑制に分解して表示すると、

$$\frac{\partial New(t)}{\partial\left(\left(1-y_i(t)\right)S(t)\right)}d\left(\left(1-y_i(t)\right)S(t)\right)+\frac{\partial New(t)}{\partial\left(\left(1-y_j(t)\right)I(t)\right)}d\left(\left(1-y_j(t)\right)I(t)\right)$$

$$=\frac{\partial new(t)}{\partial\left(1-y_i(t)\right)}d\left(\left(1-y_i(t)\right)S(t)\right)+\frac{S(t)}{I(t)}\frac{\partial new(t)}{\partial\left(1-y_j(t)\right)}d\left(\left(1-y_j(t)\right)I(t)\right) \qquad (2)$$

と表される。所得の下付き添え字のiとjで未感染者と感染者を区別することにする。

(2)式の右辺第 1 項は未感染者が自身の感染を予防する行動であり、個人が利己的動機から感染予防をとる場合に考慮に入れる効果である。公衆衛生的介入がなくても、内生的予防行動にはこの効果は考慮に入れられる。しかし、他の項が存在することから、社会的観点からの感染症対策と未感染者による予防行動では、関心をもつ所得と感染の関係が異なっており、これが外部性を生じさせる理由となることがある。右辺第 2 項は感染者が他者に感染させることを予防する効果であり、感染者が利己的であるとこの効果は内生的予防行動で考慮されないが、感染者が利他的行動をとるときには内生的予防行動で考慮される。

内生的予防行動に現れないもう 1 つの効果は、人口が大きく、1 人の個人の行動の影響が全体に与える影響は、個人の行動で無視されると考えることである。この認識は、

$$\frac{\partial New(t)}{\partial\left(1-y_i(t)\right)}\approx 0, \qquad \frac{\partial New(t)}{\partial\left(1-y_j(t)\right)}\approx 0 \qquad (3)$$

と表される。新規感染者合計の影響としては、集計量への影響には、感染者が増えると医療資源制約から致死率が上昇する影響と、動学モデルでは将来の感染症の流行状態に与える影響がある。個人の立場から見たときはこれらの影響は 0 で近似されるため、内生的予防行動ではこれらの影響は無視されると考えられる。

3.　SI モデルでの外部性

3.1　生涯効用と社会的厚生

岩本(2021)で使用したモデルで表現すると、数式が非常に煩雑になるので、まずワクチンを考慮しない SI モデルによって、外部性の概念の基本を理解してから、その延長線として岩本(2021)のモデルでの外部性を議論する。死亡への遷移がないため、未感染者Sと感染者Iを合わせた人口は一定で 1 であるとし、

$$S(t) + I(t) = 1$$

となる。新規感染者の増加は、未感染者の減少と等しく、

$$New(t) = \dot{I}(t) = -\dot{S}(t)$$

が成立している。最終的にはすべての人口が感染し、

$$I(\infty) = 1$$

になるとする。

ここでは、未感染者の瞬時的効用をu_S、感染者の瞬時的効用をu_Iとして、記号を区別する。これは、両者の生涯効用を理解しやすくするためであり、完全な保険が働いて、同時点の瞬時的効用は等しくなる場合もある。ただし、生存時の同時点での保険であるので、死亡損失が保険で平準化されるわけではなく、未感染者と（死亡損失の発生確率が高まった）感染者の同時点での生涯効用は異なる。以下では、同時点での完全な保険が働くことを想定するが、これは本質的な仮定ではなく、完全な保険が働かない場合に拡張することもできる。

感染者の生涯効用は、

$$U_I(t) \equiv \int_t^\infty e^{-\rho(s-t)} u_I(s) ds \tag{4}$$

で表される。後で必要となるため、(4)式を時間微分すると、

$$\dot{U}_I(t) = -u_I(t) + \int_t^\infty \rho e^{-\rho(s-t)} u_I(s) ds = -u_I(t) + \rho U_I(t) \tag{5}$$

が得られる。

未感染者がs時点に感染すると、それ以降は感染者のままである。この場合のt時点での生涯効用は、

$$\int_t^s e^{-\rho(u-t)} u_S(u) du + e^{-\rho(s-t)} U_I(s) \tag{6}$$

で表される。s時点に感染する確率は、

$$\frac{\dot{I}(s)}{1 - I(t)} \tag{7}$$

である。(6)式と(7)式を利用して、生涯効用は期待効用として

$$U_S(t) \equiv \int_t^\infty \frac{\dot{I}(s)}{1-I(t)}\left[\int_t^s e^{-\rho(u-t)}u_S(u)du + e^{-\rho(s-t)}U_I(s)\right]ds \tag{8}$$

で表される。(8)式を時間微分すると、

$$\begin{aligned}\dot{U}_S(t) &= -\frac{\dot{I}(t)}{1-I(t)}U_I(t) + \frac{\dot{I}(t)}{1-I(t)}\int_t^\infty \frac{\dot{I}(s)}{1-I(t)}\left[\int_t^s e^{-\rho(u-t)}u_S(u)du + e^{-\rho(s-t)}U_I(s)\right]ds \\ &\quad + \int_t^\infty \frac{\dot{I}(s)}{1-I(t)}\left[-u_S(t) + \int_t^s \rho e^{-\rho(u-t)}u_S(u)du + \rho e^{-\rho(s-t)}U_I(s)\right]ds \\ &= -\frac{\dot{I}(t)}{1-I(t)}U_I(t) + \frac{\dot{I}(t)}{1-I(t)}U_S(t) - \int_t^\infty \frac{\dot{I}(s)}{1-I(t)}u_s(t)ds + \rho U_S(t) \\ &= -u_s(t) + \frac{\dot{I}(t)}{1-I(t)}\big(U_S(t) - U_I(t)\big) + \rho U_S(t)\end{aligned} \tag{9}$$

が得られる。

社会的厚生は、未感染者と感染者の生涯効用を用いて、

$$V(t) \equiv \big(1-I(t)\big)U_S(t) + I(t)U_I(t) \tag{10}$$

と定義できる。(10)式を時間微分し、(5)式と(9)式を代入すると、

$$\begin{aligned}\dot{V}(t) &= \big(1-I(t)\big)\dot{U}_S(t) - \dot{I}(t)\big(U_S(t)-U_I(t)\big) + I(t)\dot{U}_I(t) \\ &= \big(1-I(t)\big)\left[-u_s(t) + \frac{\dot{I}(t)}{1-I(t)}\big(U_S(t)-U_I(t)\big) + \rho U_S(t)\right] \\ &\quad -\dot{I}(t)\big(U_S(t)-U_I(t)\big) + I(t)[-u_I(t) + \rho U_I(t)]\end{aligned} \tag{11}$$

となる。(10)式を用いて(11)式を整理すると、

$$\rho V(t) = \big(1-I(t)\big)u_s(t) + I(t)u_I(t) + \dot{V}(t)$$

が得られ、社会的厚生は、

$$V(t) = \int_t^\infty e^{-\rho(s-t)}\big[\big(1-I(s)\big)u_S(s) + I(s)u_I(s)\big]ds \tag{12}$$

となり、岩本(2021、4.3 節)で定義されている形式（各時点での個人の効用の和を時間を通して集計したもの）でも表すことができる。

新規感染者の発生は、経済活動とその時点での感染者数の増加関数であり、

$$New(t) \equiv New\big(1-y(t), I(t)\big)$$

で表されると仮定する。

3.2 感染症対策

社会的厚生を最大化する感染症対策は、ハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式

$$\rho V(I(t),t) = \max_{y(t)}\left\{\big(1-I(t)\big)u_s\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big) + I(t)u_I\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big) + \dot{V}(I(t),t)\right\} \tag{13}$$

を解くことによって、求められる。ここで、同時点で所得を平準化する完全な保険が働くと仮定している。$V(I,t)$は、最適解のもとでの最大化された社会的厚生（評価関数）であり、

$$V(I(t),t) \equiv \big(1-I(t)\big)U_S(I(t),t) + I(t)U_I(I(t),t) \tag{14}$$

と定義される。ここで、$U_S(I,t)$と$U_S(I,t)$はそれぞれ最適解のもとでの非感染者と感染者の最大化された効用を表す。また、評価関数の時間微分は、

$$\dot{V}(I(t),t) = \frac{\partial V(I(t),t)}{\partial I(t)}\dot{I}(t) + \frac{\partial V(I(t),t)}{\partial t}$$

となり、これを(13)式に代入すると、

$$\rho V(I(t),t) = \max_{y(t)}\Bigg\{\big(1-I(t)\big)u_S\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big) + I(t)u_I\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)$$
$$+ \frac{\partial V(I(t),t)}{\partial I(t)}New\big(1-y(t),I(t)\big) + \frac{\partial V(I(t),t)}{\partial t}\Bigg\}$$

と変形できる。

　このとき、最適化の条件は、

$$-u'\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)N(t)\bar{Y} - \frac{\partial V(I(t),t)}{\partial I(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)} = 0 \tag{15}$$

によって与えられる。(15)式左辺第 1 項を右辺に移項し、Nで除すると、

$$-\frac{\partial V(I(t),t)}{\partial I(t)}\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)} = u'\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)\bar{Y} \tag{16}$$

となり、感染症対策による感染減少の限界効用（左辺）と所得減少の限界不効用（右辺）が等しくなるように、対策の水準を決めることを表している。

3.3　内生的予防行動

　つぎに、未感染者の予防行動を考えよう。個人の立場からは、予防行動によって自身の感染確率が低下することは考慮に入れるが、集計量である状態変数に影響することは考慮に入れないと考えることにする。個人の感染する確率は、

$$new\big(1-y_i(t),1-y(t),I(t)\big) = \frac{\dot{I}(t)}{1-I(t)} \equiv \frac{New\big(1-y_i(t),1-y(t),I(t)\big)}{1-I(t)} \tag{17}$$

であると認識する。右辺分子の第 1 項は、自身のみが予防行動y_iをとったときの新規感染者への影響、第 2 項は全員が予防行動をとったときの影響を表す。第 2 項は、個人にとっては所与とみなされる。

　外部性の性格を理解しやすくするために、外部性を補正する公衆衛生的介入を消費に対するピグー税として表現することにする。個人の消費に対して消費税が課され、税込価格が$1/(1-\tau)$倍されるとすると、未感染者の瞬時的効用は、$u\Big((1-\tau)\Big(\big(1-y_i(t)\big)\bar{Y}+T_i\Big)\Big)$と表される。消費税収は、定額給付金$T_i$として還元されると想定している。$\tau$が正のときは、消費活動が抑制され、感染が減少するので、予防行動に対するピグー補助金となる。

　未感染者の効用は、(9)式に(17)式を代入することで、

$$\rho U_S(t) = u_s(t) - new\big(1-y_i(t), 1-y(t), I(t)\big)\big(U_S(t) - U_I(t)\big) + \dot{U}_S(t)$$

と表すことができる。ハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式は、

$$\begin{aligned}\rho U_S(I(t),t) = \max_{y_i(t)} \Bigg\{ & u_s\left((1-\tau)\left(\big(1-y_i(t)\big)\bar{Y} + T_i\right)\right) \\ & - new\big(1-y_i(t), 1-y(t), I(t)\big)\big(U_S(I(t),t) - U_I(t)\big) \\ & + \frac{\partial U_S(I(t),t)}{\partial I(t)} New\big(1-y(t), I(t)\big) + \frac{\partial U_S(I(t),t)}{\partial t} \Bigg\}\end{aligned}$$

と表され、最適化の条件は、

$$-(1-\tau)u'\left((1-\tau)\left(\big(1-y_i(t)\big)\bar{Y} + T_i\right)\right)\bar{Y} + \frac{\partial new(t)}{\partial\big(1-y_i(t)\big)}\big(U_S(I(t),t) - U_I(t)\big) = 0$$

となり、これを変形すると、

$$\big(U_S(I(t),t) - U_I(t)\big)\frac{\partial new(t)}{\partial\big(1-y_i(t)\big)} = (1-\tau)u'\left((1-\tau)\left(\big(1-y_i(t)\big)\bar{Y} + T_i\right)\right)\bar{Y} \tag{18}$$

となる。内生的予防行動による感染減少の限界効用（左辺）と所得減少の限界不効用（右辺）が等しくなるように、対策の水準を決めることを表している。

3.4　静学的外部性と動学的外部性

未感染者の最適な内生的予防行動が最適な感染症対策と等しくなるようにピグー補助金は設定されるので、yはy_iと等しく、$\tau\big(1-y_i(t)\big)\bar{Y} = (1-\tau)T_i$となるとして、(16)式から(18)式を引くことによって、

$$\begin{aligned}&\tau u'\left(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\right)\bar{Y} \\ &= -\frac{\partial V(I(t),t)}{\partial I(t)}\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)} - \big(U_S(I(t),t) - U_I(t)\big)\frac{\partial new(t)}{\partial\big(1-y_i(t)\big)}\end{aligned} \tag{19}$$

が、ピグー補助金を特徴づける式となる。(14)式をIで偏微分した

$$\frac{\partial V(I(t),t)}{\partial I(t)} = -\big(U_S(I(t),t) - U_I(t)\big) + \big(1-I(t)\big)\frac{\partial U_S(I(t),t)}{\partial I(t)} + I(t)\frac{\partial U_I(I(t),t)}{\partial I(t)}$$

を(19)式に代入して整理すると、

$$\begin{aligned}&\tau u'\left(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\right)\bar{Y} \\ &= \left(\big(U_S(I(t),t) - U_I(t)\big) - \big(1-I(t)\big)\frac{\partial U_S(I(t),t)}{\partial I(t)} - I(t)\frac{\partial U_I(I(t),t)}{\partial I(t)}\right)\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)} \\ &\quad - \big(U_S(I(t),t) - U_I(t)\big)\frac{\partial new(t)}{\partial\big(1-y_i(t)\big)} \\ &= \big(U_S(I(t),t) - U_I(I(t),t)\big)\left(\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)} - \frac{\partial new(t)}{\partial\big(1-y_i(t)\big)}\right) \\ &\quad - \left(\big(1-I(t)\big)\frac{\partial U_S(I(t),t)}{\partial I(t)} + I(t)\frac{\partial U_I(I(t),t)}{\partial I(t)}\right)\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)}\end{aligned} \tag{20}$$

のように特徴づけられる。(20)式を所得の限界効用で除すると、予防行動の社会的的便益と私的便益の差になり、外部性を示すものとなる。社会的便益が私的便益を上回れば正の外部性が存在し、予防行動に補助金を与える（経済活動に課税する）か、直接規制で経済活動を抑制することで外部性を補正できる。逆に、私的便益が社会的便益を上回れば負の外部性が存在し、予防行動に税を与える（経済活動に補助金を与える）ことで外部性を補正できる。

Garibaldi, Moen and Pissarides (2020)、Gonzalez-Eiras and Niepelt (2020)は、(20)式の最後の式の 2 項を、それぞれ静学的外部性

$$\left(U_S(I(t),t)-U_I(I(t),t)\right)\left(\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\left(1-y(t)\right)}-\frac{\partial new(t)}{\partial\left(1-y_i(t)\right)}\right)$$

と動学的外部性

$$-\left(\left(1-I(t)\right)\frac{\partial U_S(I(t),t)}{\partial I(t)}+I(t)\frac{\partial U_I(I(t),t)}{\partial I(t)}\right)\frac{\partial New(t)}{\partial\left(1-y(t)\right)} \tag{21}$$

と呼んだ。

(21)式は、予防行動が感染者数に与える影響と感染者数が社会的厚生に与える影響の積で表されている。個人は(3)式で示されたように自身の行動が集計量に与える影響を無視できるほど小さいと考えるために、(21)式で示された効果を無視する。全員が予防行動をとることで感染者数が減少して社会的厚生に与える影響が個人の意思決定で無視されることで、動学的外部性が生じる。

静学的外部性については、2 節で議論したように、予防行動に正の外部性があると考えられる。動学的外部性は正負の両方の可能性があるので、4 節でくわしく検討する。

4. SIR モデルでの外部性

4.1 生涯効用と社会的厚生

前節の SI モデルの議論に沿って、SIR モデルでの外部性を検討していく。回復者・死亡者が追加されることで数式が複雑になるが、SI モデルとの類推が可能な箇所は説明を簡略化する。本節では、各時点でνの確率でワクチンが利用可能になり、経済は感染前経済に戻ると仮定する。

SIR モデルでは、未感染者S、感染者I、回復者・死亡者R、死亡者Dの動学は、

$$-\dot{S}(s) = New(t)$$

$$\dot{I}(t) = New(t) - \gamma I(t) \tag{22}$$

$$\dot{R}(t) = \gamma I(t) \tag{23}$$

$$\dot{D}(t) = \phi\big(I(t)\big)\gamma I(t) \tag{24}$$

となる。感染者は、各時点で$\big(1-\phi(I)\big)\gamma$の確率で回復、$\phi(I)\gamma$の確率で死亡する。

回復者の生涯効用の変化は、

$$\rho U_R(t) = u_R(t) - \nu(U_R(t) - U_0) + \dot{U}_R(t) \tag{25}$$

で表され、これを前向きに解くことで、生涯効用は、

$$U_R(t) \equiv \int_t^\infty e^{-(\rho+\nu)(s-t)}[u_R(s) + \nu U_0]ds$$

で表される。

感染者の生涯効用の変化は、

$$\begin{aligned}\rho U_I(t) = u_I(t) - \Big(1-\phi\big(I(t)\big)\Big)\gamma\big(U_I(t) - U_R(t)\big) \\ -\phi\big(I(t)\big)\gamma U_I(t) - \nu(U_I(t) - U_0) + \dot{U}_I(t)\end{aligned} \tag{26}$$

で表され、生涯効用は、

$$U_I(t) = \int_t^\infty e^{-(\rho+\nu)(s-t)}\Big[u_I(s) + \Big(1-\phi\big(I(s)\big)\Big)\gamma U_R(s) + \nu U_0\Big]ds$$

で表される。

未感染者は、各時点でNew/Sの確率で感染し、生涯効用の変化は、

$$\rho U_S(t) = u_S(t) - \frac{New(t)}{1 - I(t) - R(t)}\big(U_S(t) - U_I(t)\big) - \nu(U_S(t) - U_0) + \dot{U}_S(t) \tag{27}$$

で表される。SIR モデルでは長期的に人口の一定割合が感染するので、未感染者には長期的に感染しない者と感染する者が存在する。そのため、未感染者の生涯効用は、この 2 種類に分けて考えることになり、

$$U_S(t) = \frac{S(\infty)}{S(t)}\int_t^\infty e^{-(\rho+\nu)(u-t)}[u_S(u) + \nu U_0]du + \left(1 - \frac{S(\infty)}{S(t)}\right)$$

$$\int_t^\infty \frac{-\dot{S}(s)}{S(\infty)-S(t)}\left[\int_t^s e^{-(\rho+\nu)(u-t)}[u_S(u)+\nu U_0]du + e^{-(\rho+\nu)(s-t)}U_I(s)\right]ds \tag{28}$$

で表される。(28)式の右辺第 1 項が長期的に感染しない者の期待効用、第 2 項がどこかの時点で感染した者の期待効用である。

社会的厚生は、未感染者、感染者、回復者の生涯効用を用いて、

$$V(t) \equiv \big(1-I(t)-R(t)\big)U_S(t) + I(t)U_I(t) + \big(R(t)-D(t)\big)U_R(t) \tag{29}$$

となる。(29)式を時間微分し、(25)式、(26)式、(27)式を代入して整理すると、

$$\rho V(t) = \big(1-I(t)-R(t)\big)u_S(t) + I(t)u_I(t) + \big(R(t)-D(t)\big)u_R(t) - \nu(V(t)-V_0) + \dot{V}(t)$$

が得られ[3]、これを前向きに解くことで、社会的厚生は、

$$V(t) \equiv \int_t^\infty e^{-(\rho+\nu)(s-t)}\big[\big(1-I(s)-R(s)\big)u_S(s) + I(s)u_I(s) + \big(R(s)-D(s)\big)u_R(s) + \nu V_0\big]ds$$

と表すことができる。数式での導出は煩雑であるが、社会的厚生と未感染者、感染者、回復者の効用の対応する項を表形式で整理したのが、表 2 である。表の 2 行目から 4 行目までを合計すると、表の 1 行目が得られる。

表 2　社会的厚生と未感染者、感染者、回復者の効用

人口				
1	$\rho V(t)$	$=\big(1-I(t)-R(t)\big)u_S(t)$ $+I(t)u_I(t)+\big(R(t)-D(t)\big)u_R(t)$	$-\nu(V(t)-V_0)$	$+\dot{V}(t)$
$1-I(t)$ $-R(t)$	$\rho U_S(t)$	$=u_s(t)$ $-\frac{New(t)}{1-I(t)-R(t)}\big(U_S(t)-U_I(t)\big)$	$-\nu(U_S(t)-U_0)$	$+\dot{U}_S(t)$
$I(t)$	$\rho U_I(t)$	$=u_I(t)$ $-\Big(1-\phi\big(I(t)\big)\Big)\gamma\big(U_I(t)-U_R(t)\big)$ $-\phi\big(I(t)\big)\gamma U_I(t)$	$-\nu(U_I(t)-U_0)$	$+\dot{U}_I(t)$
$R(t)-D(t)$	$\rho U_R(t)$	$=u_R(t)$	$-\nu(U_R(t)-U_0)$	$+\dot{U}_R(t)$

[3] 式が煩雑になるので、時間の関数であることの表記を落として展開すると、

$$\begin{aligned}
\dot{V} = (1-I-R)\dot{U}_S + I\dot{U}_I + (R-D)\dot{U}_R - \dot{I}(U_S-U_I) - \dot{R}(U_S-U_R) - \dot{D}U_R \\
&= (1-I-R)\dot{U}_S - \big(\dot{I}+\dot{R}\big)(U_S-U_I) + I\dot{U}_I - \big(\dot{R}-\dot{D}\big)(U_I-U_R) - \dot{D}U_I \\
&\quad + (R-D)\dot{U}_R \\
&= (1-I-R)\left[-u_s + \frac{New}{1-I-R}(U_S-U_I) + \nu(U_S-U_0) + \rho U_S\right] \\
&\quad - \big(\dot{I}+\dot{R}\big)(U_S-U_I) \\
&\quad + I\big[-u_I + \big(1-\phi(I)\big)\gamma(U_I-U_R) + \phi(I)\gamma U_I + \nu(U_I-U_0) + \rho U_I\big] - \dot{R}(U_I-U_R) \\
&\quad - \dot{D}U_R + (R-D)[-u_R + \nu(U_R-U_0) + \rho U_R]
\end{aligned}$$

となり、これを整理する。

4.2　感染症対策

社会的厚生を最大化する感染症対策は、ハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式

$$(\rho+\nu)V(\cdot)=\max_{y(t)}\Big\{\big(1-I(t)-R(t)\big)u_S\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)+I(t)u_I\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)$$

$$+\big(R(t)-D(t)\big)u_R\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)\Big\}$$

$$+\nu V_0+\dot{V}(\cdot) \tag{30}$$

を解くことによって、求められる。ここで、同時点で所得を平準化する完全な保険が働くと仮定している。

$$V(\cdot)\equiv V(I(t),R(t),D(t),t) \tag{31}$$

は、最適解のもとでの最大化された社会的厚生（評価関数）であり、状態変数と時間の関数であるが、式が煩雑になることに避けるために、状態変数を簡略化して表現することになる。評価関数は、未感染者、感染者、回復者の生涯効用の評価関数の加重和として、

$$V(\cdot)=\big(1-I(t)-R(t)\big)U_S(\cdot)+I(t)U_I(\cdot)+\big(R(t)-D(t)\big)U_R(\cdot) \tag{32}$$

で定義される。ここで、$U_S(\cdot)$、$U_I(\cdot)$、$U_R(\cdot)$はそれぞれ最適解のもとでの非感染者、感染者、回復者の最大化された効用であり、状態変数の関数であるが、社会的厚生と同様に簡略化した表現を用いている。また、(31)式を時間微分すると、

$$\dot{V}(\cdot)=\frac{\partial V(\cdot)}{\partial I(t)}\dot{I}(t)+\frac{\partial V(\cdot)}{\partial R(t)}\dot{R}(t)+\frac{\partial V(\cdot)}{\partial D(t)}\dot{D}(t)+\frac{\partial V(\cdot)}{\partial t} \tag{33}$$

となる。ハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式は、(30)式に(22)式、(23)式、(24)式、(33)式を代入して、

$$(\rho+\nu)V(\cdot)=\max_{y(t)}\Bigg\{\big(1-I(t)-R(t)\big)u_S\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)+I(t)u_I\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)$$

$$+\big(R(t)-D(t)\big)u_R\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)+\frac{\partial V(\cdot)}{\partial I(t)}\Big(New\big(1-y(t),I(t),R(t)\big)-\gamma I(t)\Big)\Bigg\}$$

$$+\nu V_0+\frac{\partial V(\cdot)}{\partial R(t)}\gamma I(t)+\frac{\partial V(\cdot)}{\partial D(t)}\phi\big(I(t)\big)\gamma I(t)+\frac{\partial V(\cdot)}{\partial t}$$

として、表される。このとき、最適化の条件は、

$$-u'\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)N(t)\bar{Y}+\frac{\partial V(\cdot)}{\partial I(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)}=0 \tag{34}$$

によって、与えられる。(34)式の左辺第 1 項を右辺に移項すると、

$$\frac{\partial V(\cdot)}{\partial I(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)}=u'\Big(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\Big)N(t)\bar{Y} \tag{35}$$

となり、感染症対策による感染減少の限界効用（左辺）と所得減少の限界不効用（右辺）が等しくなるように、対策の水準を決めることを表している。

4.3　内生的予防行動

未感染者は、自身が感染する確率は、

$$new\big(1-y_i(t),1-y(t),I(t),R(t)\big)\equiv\frac{New(\mathrm{t})}{1-I(t)-R(t)} \tag{36}$$

であると認識する。未感染者の効用は、(27)式に(36)式を代入することで、

$$\rho U_S(t)=u_s\left((1-\tau)\left(\big(1-y_i(t)\big)\bar{Y}+T_i\right)\right)-new\big(1-y_i(t),1-y(t),I(t),R(t)\big)\big(U_S(t)-U_I(t)\big)$$
$$-\nu\big(U_S(t)-U_0\big)+\dot{U}_S(t) \tag{37}$$

と表すことができる。ハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式は、(22)式、(23)式、(24)式、(37)式を用いて、

$$\rho(\rho+\nu)U_S(\cdot)=\max_{y_i(t)}\left\{u\left((1-\tau)\left(\big(1-y_i(t)\big)\bar{Y}+T_i\right)\right)\right.$$
$$\left.-new\big(1-y_i(t),1-y(t),I(t),R(t)\big)\big(U_S(\cdot)-U_I(\cdot)\big)\right\}-\nu\big(U_S(\cdot)-U_0\big)$$
$$+\frac{\partial U_S(\cdot)}{\partial I(t)}New\big(1-y(t),I(t),R(t)\big)+\frac{\partial U_S(\cdot)}{\partial R(t)}\gamma I(t)+\frac{\partial U_S(\cdot)}{\partial D(t)}\phi\big(I(t)\big)\gamma I(t)$$
$$+\frac{\partial U_S(\cdot)}{\partial t}$$

と表され、最適化の条件は、

$$-(1-\tau)u'\left((1-\tau)\left(\big(1-y_i(t)\big)\bar{Y}+T_i\right)\right)\bar{Y}+\frac{\partial new(t)}{\partial\big(1-y_i(t)\big)}\big(U_S(\cdot)-U_I(\cdot)\big)=0$$

となり、これを変形すると、

$$\big(U_S(\cdot)-U_I(\cdot)\big)\frac{\partial new(t)}{\partial\big(1-y_i(t)\big)}=(1-\tau)u'\left((1-\tau)\left(\big(1-y_i(t)\big)\bar{Y}+T_i\right)\right)\bar{Y} \tag{38}$$

となる。内生的予防行動による感染減少の限界効用（左辺）と所得減少の限界不効用（右辺）が等しくなるように、対策の水準を決めることを表している。

4.4　静学的外部性と動学的外部性

未感染者の最適な内生的予防行動が最適な感染症対策と等しくなるようなピグー補助金は、yはy_iと等しく、$\tau\big(1-y_i(t)\big)\bar{Y}=(1-\tau)T_i$となるとして、(35)式から(38)式を引くことによって、

$$\tau u'\left(\big(1-y(t)\big)\bar{Y}\right)\bar{Y}=\frac{\partial V(\cdot)}{\partial I(t)}\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\big(1-y(t)\big)}-\big(U_S(\cdot)-U_I(\cdot)\big)\frac{\partial new(t)}{\partial\big(1-y_i(t)\big)} \tag{39}$$

で特徴づけられる。(32)式をIで微分して、

$$\frac{\partial V(\cdot)}{\partial I(t)}=-\big(U_S(\cdot)-U_I(\cdot)\big)+\big(1-I(t)-R(t)\big)\frac{\partial U_S(\cdot)}{\partial I(t)}+I(t)\frac{\partial U_I(\cdot)}{\partial I(t)}+R(t)\frac{\partial U_R(\cdot)}{\partial I(t)}$$

として、(39)式に代入して整理すると、

$$
\tau u'\left(\left(1-y(t)\right)\bar{Y}\right)\bar{Y}
$$

$$
=\left(U_S(\cdot)-U_I(\cdot)\right)\left(\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\left(1-y(t)\right)}-\frac{\partial new(t)}{\partial\left(1-y_i(t)\right)}\right)
$$

$$
-\left(\left(1-I(t)-R(t)\right)\frac{\partial U_S(\cdot)}{\partial I(t)}-I(t)\frac{\partial U_I(\cdot)}{\partial I(t)}-R(t)\frac{\partial U_I(\cdot)}{\partial I(t)}\right)\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\left(1-y(t)\right)}
$$

のように特徴づけられる。SI モデルと同様に、静学的外部性

$$
\left(U_S(\cdot)-U_I(\cdot)\right)\left(\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\left(1-y(t)\right)}-\frac{\partial new(t)}{\partial\left(1-y_i(t)\right)}\right)
$$

と動学的外部性

$$
-\left(\left(1-I(t)-R(t)\right)\frac{\partial U_S(\cdot)}{\partial I(t)}-I(t)\frac{\partial U_I(\cdot)}{\partial I(t)}-R(t)\frac{\partial U_R(\cdot)}{\partial I(t)}\right)\frac{1}{N(t)}\frac{\partial New(t)}{\partial\left(1-y(t)\right)}
$$

を定義することができる。

4.5　動学的効率性の種類

感染者の社会的費用をくわしく調べるには、岩本(2020)の最適化問題での共役変数（$\lambda_I=-\partial V/\partial I$、$\lambda_R=-\partial V/\partial R$、$\lambda_N=\partial V/\partial D$）の動学を考察することが有益である。岩本(2021、[23]式から[25]式)で導かれているように、

$$
\dot{\lambda}_I(t)-(\rho+\nu)\lambda_I(t)=-\frac{\partial H(t)}{\partial I(t)}=-\phi\left(I(t)\right)\gamma VSL-\phi'\left(I(t)\right)\gamma I(t)VSL-\lambda_I(t)\frac{\partial New(t)}{\partial I(t)}
$$

$$
+\lambda_I(t)\gamma-\lambda_R(t)\gamma+\lambda_N(t)\phi\left(I(t)\right)\gamma+\lambda_N\phi'\left(I(t)\right)\gamma I(t) \tag{40}
$$

$$
\dot{\lambda}_R(t)-(\rho+\nu)\lambda_R(t)=-\frac{\partial H(t)}{\partial R(t)}=-\lambda_I(t)\frac{\partial New(t)}{\partial R(t)} \tag{41}
$$

$$
\dot{\lambda}_N(t)-(\rho+\nu)\lambda_N(t)=-\frac{\partial H(t)}{\partial N(t)}=-y(t)\bar{Y}. \tag{42}
$$

となる。ここで、VSLは統計的生命価値である。(40)、(41)、(42)式を前向きに解くと、

$$
\lambda_I(t)=
$$

$$
\int_t^\infty e^{-(\rho+\nu+\gamma)(s-t)}\left[\left(VSL-\lambda_N(s)\right)\phi\left(I(t)\right)\gamma+\left(VSL-\lambda_N(s)\right)\phi'\left(I(t)\right)\gamma I(t)+\lambda_I(s)\frac{\partial New(s)}{\partial I(s)}\right.
$$

$$
\left.+\lambda_R(s)\gamma\right]ds \tag{43}
$$

$$
\lambda_R(t)=\int_t^\infty e^{-(\rho+\nu)(s-t)}\lambda_I(s)\frac{\partial New(s)}{\partial R(s)}ds
$$

$$\lambda_N(t) = \int_t^{\infty} e^{-(\rho+\nu)(s-t)} y(s)\bar{Y} ds.$$

が得られる。(43)式の右辺はλ_Iを含むため、λ_Iについて完全には解けていない。個人は自身の行動が集計量に与える影響を考慮しないため、(43)式でIが与える影響は、Garibaldi, Moen and Pissarides (2020)、Gonzalez-Eiras and Niepelt (2020)で議論されたような動学的外部性をもたらす[4]。(43)式右辺の括弧内の項は、以下のような含意をもつ。第1項は、感染者の死亡損失である。個人はこれを考慮に入れるので、これは外部性の源泉ではない。しかし、他の 3 項は、動学的外部性を生じる。第 2 項（医療混雑外部性、medical congestion externality[5])は、医療資源制約によって、感染者が多いときに致死率が上昇する効果である。第 3 項(感染外部性、contagion externality)は、現在の新規感染によって将来に感染者が増えることで将来の感染を増加させる効果である。第 4 項(免疫外部性、immunity externality)は、現在の新規感染者が将来に免疫をもつことで将来の感染が減少する効果である。

これらの効果の大きさは、時間とともに変化する。医療混雑外部性はつねに負の外部性であるが、有病率Iが高いときに大きくなる。有病率が高いときには、感染者が増えたときの医療資源制約への影響は大きく、致死率を上昇させる効果が大きくなると考えられる。

感染外部性は感染を拡大させる効果なので、負の外部性である。感染率が一定であり、$New = \beta_0 SI = \beta_0(1-R-I)I$のときには、$\partial New/\partial I = \beta_0(S-I)$であることから、未感染者が多いときにこの効果は大きい。これは、感染者の接触者に占める未感染者の割合が大きいからである。未感染者Sは時間とともに減少するので、この負の外部性は流行初期は大きく、その後は小さくなっていく。ただし、正確な推移は感染率が時間とともに変化する場合で検討する必要がある。

---

[4] SIR モデルでの感染症対策の経済的誘因を分析した先駆的研究である Gersovitz and Hammer (2004)では、消費者は自身の行動が集計量に与える影響も考慮することができる「大きな家計」であると仮定したため、ここで分析している動学的外部性は発生しない。言い換えると、大きな家計は動学的外部性を内部化する。

一方で、Garibaldi, Moen and Pissarides (2020), Gersovitz and Hammer (2004) and Gonzalez-Eiras and Niepelt (2020)は消費者の最適化行動を明示的にモデル化し、静学的外部性を定式化した。

[5] ここでの動学的外部性の名称は、Garibaldi, Moen and Pissarides (2020)のそれを用いた。ただし、モデルの構造が完全には一致しないので、概念は完全には一致しない。Garibaldi, Moen and Pissarides (2020)はSとIを状態変数としているが、ここでは、IとRを状態変数に用いている。

一方、免疫外部性は、将来の感染を抑制するので、正の外部性である。感染率が一定の場合には、この外部性は、$\partial New/\partial R = -\beta_0 I$ となるので、感染が流行しているときに効果が大きくなる。

これらの外部性は反対方向に働くものが混在し、時間とともに変化するので、全体の効果は数値計算によって確かめる必要がある。そのような多くの研究(Garibaldi, Moen and Pissarides 2020、Gonzalez-Eiras and Niepelt 2020、Kubota 2021、Makris and Toxvaerd 2020、Phelan and Toda 2021)で、静学的外部性を含む全体の外部性が流行の収束前の局面で正になることを見出している。これは感染の社会的費用が私的費用よりも小さいことを意味するので、感染を促進させるような「逆ロックダウン」(inverse lockdown) を実施することが望ましいことを意味している。集団免疫によって感染症の収束が間近になると、未感染者は最後まで感染しないで収束を迎えることを望み、そのことが収束を遅らせることで、社会的な観点からよりも感染を強く避けるようになる。本稿ではワクチンが開発される確率は一定としていたが、ワクチンが開発される時期が事前に見通せる場合には、ワクチン接種まで感染しないことの便益が大きくなり、やはり社会的な観点から内生的予防行動が過度になることが示されている。

5. 政策的含意

感染予防には外部性が存在することから、個人や事業者が自発的におこなう予防行動だけでは社会的観点から不足する場合に、公衆衛生的介入が必要となる。外部性は経済学で長く研究されてきた概念であり、その知見をもとに、必要な介入をしないことの問題点や、不必要な介入をすることの問題点を検討することができる。

本稿のモデルで示された外部性には、ある時点での感染予防行動に関係する静学的内部性と、SIR モデルのような動学モデルで現れる動学的外部性がある。静学的内部性の代表的なものは、個人が利己的であると、他人に感染させるリスクを考慮しないで行動することである。現実には他人に感染させないという利他的行動もとられているので、社会的な観点からそれでは不足する状況が公衆衛生的介入の根拠になる。

動学的外部性は、動学モデルでの個人の行動に関する研究が新型コロナウイルス感染症流行以降に進展することで明らかになってきた概念であり、医療混雑外部性、感染外部性、免疫外部性の 3 種類が定式化されている。感染外部性と免疫外部性は将来の感染症の流行状況に複雑に依存するため、公衆衛生的介入がこれらの外部性を正確に補正することは実務的には困難である。そのため、政府がこれらの外部性を補正できないという前提で感染症対策を立案することが現実的である可能性がある。一方、医療混雑外部性は、医療資源と致死率の静学的な関係から導かれるので、政府がそれを認識して外部性を補正することは介入の妥当な根拠となり得る [6]。

外部性は私的利害と社会的利害が一致しないことから生じるが、個人の効用関数や政府の目的関数が社会的厚生関数から乖離している状況も同じ構造となる。このような設定は、温情主義的（家父長主義的、paternalistic）政策、政府の失敗、行動バイアスを是正する政策（岩本[2009]を参照）、等の議論に用いられている。これは本稿のモデルでは明示的に考慮されていないが、感染症対策にも重要な含意をもつ。

第 1 に、人間行動を考慮しない疫学モデルでは内生的予防行動は存在しないので、それに基づく政策立案も内生的予防行動を無視することになり、現実と齟齬が生じる。個人や事業者が自発的にとれる予防行動を政府が強制したり、経済的誘因や規制で誘導する必要はない。また、岩本(2022)が論じたように、政府が内生的予防行動を考慮せずにおこなう介入が、内生的予防行動のなかでの利他的行動を阻害し、長期的には社会の損失になるおそれもある。

第 2 に、感染症や感染予防の正確な知識を提供して、内生的予防行動が適切なものになるような介入が重要である。不正確な情報にもとづく個人の意思決定が社会的に望ましく

[6] この外部性が生じるのは、個人は自身の行動が集計量に与える影響を無視することからであり、その構造をもつ静学モデルでも外部性は発生する。動学モデルではこの集計量が状態変数であるため、本稿で見たように動学的外部性に分類されることになる。

なくなる状況は、外部性と同じ構造となる。また、予防行動に費用がともなうときには、知識を提供することなく行動制限をすることは政府への不信感を生み、遵守率を下げることにつながるおそれがある。

第 3 に、政府の目的関数が適切であることが必要である。政府の目的関数が社会的厚生を反映せずに、特定の利益集団の利益を強く反映することも起こり得る。規制政策では、規制当局が規制産業にとりこまれてしまい（capture)、規制産業を利する規制がおこなわれる現象が問題とされてきた（Stigler 1971）。新型コロナウイルス感染症の社会経済的影響は異質的であり、医療部門は大きな負荷を負っているが、政府は全体の利害を反映するべきである。対策の立案には専門家の知見が求められており、多くは医療界の人間である。また、日本の代表的な利益集団である日本医師会は政策形成に大きな影響力をもっている。こうしたことから、感染症対策が社会の利害ではなく、医療提供側の利害を重視する介入が実施されてしまう土壌がある。その要素をモデルに加えた場合には、政府の目的関数を正すことが望ましい。

参考文献

Alfaro, Laura, et al. (2020), “Social Interactions in Pandemics: Fear, Altruism, and Reciprocity,” NBER Working Paper No. 27134, May.

Andreoni, James (1989), “Giving with Impure Altruism: Applications to Charity and Ricardian Equivalence,” *Journal of Political Economy*, Vol.97, No. 6, December, pp. 1447–1458.

Becker, Gary S. (1974), “A Theory of Social Interactions,” *Journal of Political Economy*, Vol. 82, No. 6, December, pp. 1063–1093.

Eichenbaum, Martin S., Sergio Rebelo and Mathias Trabandt (2021), “The Macroeconomics of Epidemics,” *Review of Financial Studies*, Vol. 34, Issue 11, November, pp. 5149–5187.

Elster, Jon (1989), “Social Norms and Economic Theory,” *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 3, No. 4, Fall, pp. 99–117.

Farboodi, Maryam, Gregor Jarosch and Robert Shimer (2021), “Internal and External Effects of Social Distancing in a Pandemic,” *Journal of Economic Theory*, Vol. 196, September, 105293.

Fehr, Ernst and Simon Gachter (2000), “Fairness and Retaliation: The Economics of Reciprocity,” *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 14, No. 3, Summer, pp. 159–181.

Garibaldi, Pietro, Espen R. Moen and Christopher A. Pissarides (2020), “Static and Dynamic Inefficiencies in an Optimizing Model of Epidemics,” IZA Discussion Paper No. 13844. https://www.iza.org/publications/dp/13844/static-and-dynamic-inefficiencies-in-an-optimizing-model-of-epidemics

Gersovitz, Mark, and Jeffrey S. Hammer (2004). “The Economical Control of Infectious Diseases,” *Economic Journal*, Vol. 114, No. 492, January, pp. 1-27.

Gonzalez-Eiras, Martin, and Dirk Niepelt (2020), “Optimally Controlling an Epidemic,” CEPR Discussion Paper DP15541, December.

岩本康志(2009)「行動経済学は政策をどう変えるのか」池田新介・市村英彦・伊藤秀史編『現代経済学の潮流 2009』東洋経済新報社、61-91 頁。

岩本康志(2021)「感染症対策の厚生経済学：解説」東京大学 CIRJE-J-299。http://www.cirje.e.u-tokyo.ac.jp/research/dp/2021/2021cj299ab.html

岩本康志(2022)「新型コロナウイルス感染症と経済学」『医療経済研究』第 33 巻第 2 号、3 月、109–133 頁。

Jones, Callum J., Thomas Philippon and Venky Venkateswaran (2021), “Optimal Mitigation Policies in a Pandemic: Social Distancing and Working from Home,” *Review of*

Financial Studies, Vol. 34, Issue 11, November, pp. 5188–5223.
Kubota, So (2021). The macroeconomics of COVID-19 exit strategy: The case of Japan. *Japanese Economic Review*, Vol. 72, Issue 4, October, pp. 651–682.
Makris, Miltiadis, and Flavio Toxvaerd (2020), "Great Expectations: Social Distancing in Anticipation of Pharmaceutical Innovations," *COVID Economics*, 56, pp. 1–19.
Phelan, Thomas, and Alexis Akira Toda (2021), "Optimal Epidemic Control in Equilibrium with Imperfect Testing and Enforcement," arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.04455
Stigler, George J. (1971), "The Theory of Economic Regulation," *Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol. 2, No. 1, Spring, pp. 3–21.
Toxvaerd, Flavio (2021), "Contacts, Altruism and Competing Externalities," CEPR Discussion Paper DP15903, March.