



WINPEC Working Paper Series No. J2002
October 2020

新型コロナウイルスの無症状者に対する
PCR検査の費用対便益分析

俞 炳匡

高木 俊

野口 晴子

現代政治経済研究所
(Waseda INstitute of Political Economy)

早稲田大学

新型コロナウイルスの無症状者に対する PCR検査の費用対便益分析

2020年9月30日

Authors:
Byung-Kwang (BK) YOO, MD, MS, PhD*1
Shun TAKAGI*2
Haruko NOGUCHI, PhD*3

*1 俞 炳匡 (ユウ ヘイキヨウ)

Byung-Kwang (BK) YOO, MD, MS, PhD

神奈川県立保健福祉大学 イノベーション政策研究センター 教授 (医療経済学)

米国スタンフォード大学医療政策センター 非常勤研究員

Email: bk.yoo-7jv@kuhs.ac.jp

*2 高木 俊

Shun TAKAGI

早稲田大学 ソーシャル&ヒューマン・キャピタル研究所 (Waseda Institute of Social and Human Capital Studies) 研究員

Email: stakagi6@gmail.com

*3 野口 晴子

Haruko NOGUCHI, PhD

早稲田大学 政治経済学術院 教授

Email: h.noguchi@waseda.jp

利益相反：報告すべき利益相反は無し。

要約

背景：米国 CDC の研究者によるレビュー論文（2020 年 7 月）は、新型コロナウイルス・パンデミック（COVID-19）の感染拡大に、無症状者による 2 次感染が大きな影響を与えていた可能性を報告している。¹また、この論文は、現状の検査規模を更に拡大する事を通じて、無症状者由来の 2 次感染に関する（a）より正確なデータの収集と（b）大規模検査の効果について正確な評価を行う必要性も指摘している。¹日本における人口当たりの PCR 検査の実施数は、依然として、他の先進諸国の 20 分の 1 以下と極めて少ない。²日本における PCR 検査に関する議論は、検査の費用と便益との双方を考慮した、定量的・経済的なエビデンスが不足しているのが一因で、収束しない傾向にある。

目的：本分析の主たる目的は、無症状者対象とした Polymerase Chain Reaction (PCR) 検査を用いる大規模スクリーニング検査を、経済的に正当化可能な定量的な条件を「仮想例」として提示することである。二次的な目的は、分析の精度を向上させ、より正確な政策提言をするため、不十分な疫学・費用に関するデータを明示することである。

方法：標準的な決定モデルを作成し、費用対便益分析を行った。費用対便益分析下で、スクリーニング検査の便益費用比を推定する際は、常に『現状どおり（Status quo）』（有症状者と濃厚接触者のみが PCR 検査を受診可能）と比較した。本研究でのスクリーニング検査は、感染リスクが低い・ないし不明な、無症状者のみを対象とする。

便益費用比は、以下の 2 つの選択肢の各々について推定した：（選択肢 1）PCR 検査を一度のみ実施する；（選択肢 2）1 次スクリーニングとしての PCR 検査が陽性であれば、直ちに 2 次スクリーニングとして再度 PCR 検査を行う。

『現状どおり（Status quo）』に比較して、スクリーニング検査の追加的費用（（a）PCR 検査、（b）隔離の費用、（c）無症状1次感染者の発見に伴う『社会費用 1』の増加）と追加的便益（（d）発症前の早期発見と（e）無症状者の発見による、2次感染者予防に伴う『社会費用 2』の減少）を推定した。

結果：本研究の結果は、無症状者対象の大規模 PCR 検査が、特に選択肢 2（検査陽性者に直ちに 2 次 PCR 検査を行う）が、経済的視点から正当化できる可能性が高いことを示している。また、喫緊な政策課題は、検査の正確さ（感度・特異度）の技術的向上ではなく、「検体採取後、隔離までの期間の短縮」であると示唆された。また、検査の正確さ（感度・特異度）の向上よりも、検査費用の低下を実現し、費用レベルに応じて許容できる最低限の感度・特異度を設定することが、現実的な政策課題である。

政策含意：本分析の結果は、無症状者を対象とした PCR 検査の実施について、行政・民間機関の実務家が決定する際に、判断基準を与えると期待できる。また、明らかに不足している疫学・費用データを収集するためにも、パイロット事業として無症状者対象の大規模 PCR 検査の実施が早急に望まれる。

背景：

米国 CDC の研究者によるレビュー論文（2020 年 7 月）は、新型コロナウイルス・パンデミック（COVID-19）の感染拡大に、無症状者による 2 次感染が大きな影響を与えていた可能性を報告している。¹また、この論文は、現状の検査規模を更に拡大する事を通じて、無症状者由来の 2 次感染に関する（a）より正確なデータの収集と（b）大規模検査の正確な評価を行う事の必要性も指摘している。

COVID-19 関連の健康指標（例、致死率）と経済指標（例、GDP 成長率）において、他の先進諸国に比べ、日本は明らかに悪化している。一例として、COVID-19 の単位人口当たり死亡率において、日本は東アジアでは最悪になりつつあり、台湾の 27 倍、中国の 2.4 倍、韓国の 1.4 倍（7 月 31 日現在）。³更に、先進国クラブと呼ばれる OECD（経済協力開発機構）のレポートは、大規模な PCR 検査を薦める一方、^{4,5}COVID-19 の影響で GDP の悪化が最大になる国は、先進 7 か国（G7）中で日本であると予想している。⁶

国際的基準によると、COVID-19 対策として最優先すべき政策は、大規模な Polymerase Chain Reaction (PCR) 検査の実施である。^{4,5}しかし、2020 年 7 月 24 日現在で、日本における人口当たりの PCR 検査の実施数は、他の先進諸国の 20 分の 1 以下、世界ランキングは 159 位と、極めて少ない。²

無症状者による 2 次感染を効果的に予防するためにも、また、日本の健康指標と経済指標を同時に改善するためにも、検査対象者を大規模に拡大した PCR 検査スクリーニング検査の実施を検討すべき時期であると、筆者は考える。日本における大規模スクリーニング検査に関する議論は、検査の費用と便益との双方を考慮した、定量的・経済的なエビデンスが不足しているのが一因で、収束しない傾向にある。このような定量的・経済的なエビデンスを提供することが、本研究の目的である。具体的には、大規模スクリーニング検査を行う上で、取りうる選択肢を経済効率の観点から比較し、これらの選択肢が経済的に正当化できる条件を提示することとする。

方法：

費用対便益分析の目的

この分析の主たる目的は、『現状どおり（Status quo）』（有症状者と濃厚接触者のみが PCR 検査を受診可能）に比較して、無症状者対象とした PCR 検査を用いる大規模スクリーニング検査を、経済的に正当化可能な定量的な条件を「仮想例」として提示することである。具体的には、このスクリーニング検査に必要な追加的費用よりも、スクリーニング検査によって得られる追加的便益の方が、大きくなる条件を提示することである。

標準的な決定モデルを作成し、費用対便益分析を行った。費用対便益分析下で、PCR スクリーニング検査の便益費用比を推定する際は、常に『現状どおり（Status quo）』と比較した。このスクリーニング検査は、感染リスクが低い・ないし不明な、無症状者のみを対象とする。

便益費用比は、以下の 2 つの選択肢の各々について推定した：（選択肢 1）1 次スクリーニングとしての PCR 検査のみを実施し、検査結果に関わらず再検査は行わない。；（選択肢 2）1 次スクリーニングとしての PCR 検査が陽性であれば、直ちに 2 次スクリーニングとして再度 PCR 検査を行う。

本研究では、PCR 検査を実施する時点での全有病者（ウイルス保有者）を、『1 次感染者』と呼ぶ。『1 次感染者』の正確な数は、各感染者に PCR 検査と抗体検査を連続して実施した後にのみ判明する。COVID-19 典型的症例においては、発症後、PCR 検査において陽性結果（累計で約 75%）が得られる期間は 2 週間以内であり、抗体検査において陽性結果（累計で約 80%）が得られるまで約 2 週間以上が必要である。⁷すなわち、PCR 検査のみでは『1 次感染者』の全てを発見できない。PCR 検査が発見できずに見落とす『1 次感染者』は、他人に感染させてるので、約 5 日で次世代の『2 次感染者』を生む。⁸『2 次感染者』

は、検査による隔離が無ければ、更に次世代の『3次感染者』を生む。実効再生産数が2.5である場合、『1次感染者』一人あたり、『2次感染者』を2.5人生む。

これらの感染者の「世代」の違いを区別して、本研究では、感染者一人当たりが社会全体に与える影響を金銭的価値に換算するため、『社会費用1』と『社会費用2』を以下のように定義する。『社会費用1』とは、PCRスクリーニング検査実施により、『現状どおり(Status quo)』に比較して、追加的に発見される「無症状の1次感染者」一人当たり費用である。『現状どおり(Status quo)』の選択肢の下では、『社会費用1』は生じない。『社会費用2』は、2次感染者一人当たり費用である。『現状どおり(Status quo)』の選択肢の下では、無症状の1次感染者を全員見逃していると仮定しているため、これらの1次感染者が無症状の期間（発症前ないし、発症しない全感染期間）に生む2次感染者全員に、一人当たり『社会費用2』が生じる。これら2種類の社会費用は、医療費のみならず、感染者が勤務する事業所（例、会社・医療・教育機関）の閉鎖に伴う経済的損失も含む。従って、これらの社会費用は事業所ごと、地域ごとに大きく異なる。

スクリーニング検査の追加的費用としては、一人当たりの(a) PCR検査費用、(b) 検査陽性者向けの隔離費用と、(c) 無症状1次感染者の発見に伴う『社会費用1』の増加を、確率を考慮した期待値として計算した。隔離費用は、更に、「発症前」と「常に無症状」とを区別して計算した。発症「後」の患者は、本分析の対象ではないため、分析から除外した。

スクリーニング検査の追加的便益は、『現状どおり(Status quo)』で発見できない無症状の1次感染者（ウイルス保有者）を検査で発見・隔離し、この1次感染者が生む2次感染者の数を減らすこと得られる。この追加的便益は、社会全体の『社会費用2』の減少として計算可能である。更に、追加的便益を、以下の2種類を区別して推定した。1種類目の便益は、(d) 発症前の一次感染者を陽性判定することで、発症前の早期隔離が可能になり、この発症前の一次感染者が生む「将来の2次感染者が伴う『社会費用2』を節約」できることである。2種類目の便益は、(e) 常に無症状だが、他人を感染させる一次感染者（いわゆるサイレント・スペッシャー（Silent Spreader））を陽性判定・隔離することで、「将来の2次感染者が生む『社会費用2』を節約」できることである。これら2種類の節約可能な『社会費用2』の額を、期待値として推定した。

決定モデル

費用対便益分析を行う為に、図1・2で示される標準的な決定モデル（英語では、「木の結節と枝」に見えるため、Decision Treeとも呼ばれる）を作成した。図1・2はそれぞれ、選択肢1・2の費用対便益分析を行う為の決定モデルを示す。図1・2の決定モデルでは、仮想的な集団における（無症状の）一個人が経験する事象を、時間の経過に伴い、図の左から右方向に示す。図の枝状の直線の上部と下部に、それぞれ「事象（例、ウイルス保有者）」と「その事象の確率」を示す。

最左端の四角（□）の結節は、我々が決定できる選択肢を示す。ここでは、次の2つの選択肢のうち1つを選べる。第一に、感染リスクが低い、もしくは不明な無症状者を対象としてPCR検査を実施することである。第二に、有症状者と濃厚接触者のみがPCR検査を受診できるという『現状どおり(Status quo)』である。『現状どおり(Status quo)』を、費用対便益分析の慣習に従い、英語表記で「Do-Nothing」と表した。

図1・2中の丸状（○）の結節は、我々が結果を決定・選択できないが、事前に結果として起こる全事象と、それらの確率が既知であることを示す。図表の下段の『現状どおり(Status quo)』の下では、無症状者の個人レベルでは、ウイルス保有者であるか否かの結果を、確率的に予想することは可能である。図1・2中の確率を示す変数（パラメーター）は、表1で定義している。更に、ウイルス保有者は、時間の経過とともに「発症前」か、「常に無症状」のいずれかになる。なお、「#」は、丸状（○）の結節の事象の確率のうち、「他の事象として定義された確率」を1から引いたものである。

図1・2 中で右端の三角状（△）の結節は、最終事象（選択肢1・2ではそれぞれ9・12事象）を示す。それぞれの最終事象に伴う便益と費用と事象が起きる確率を含めた表を、図1・2の下部に加えた。

決定モデルで用いたパラメーター

分析モデルのパラメーターは、文献検索により決定した。文献は、質が一定水準以上であれば、日本の文献を優先的に用いた。パラメーターの定義は表1に出典を含めて示した。なお、『社会費用1』は1次感染者という1世代の感染のみを含む。一方、『社会費用2』は、2次感染のみならず、3次感染以降までの費用を含む為、『社会費用1』よりも大きいと仮定した。また、現時点で、これらの社会費用の正確な推定は困難であるため、複数のシナリオ（感度分析）を示す。これらの感度分析は、事業所・地域単位で、『社会費用1』と『社会費用2』の推定が可能であれば、個々の事業所・地域単位で、PCRスクリーニング検査を無症状者を対象に行う事業を正当化・実施する根拠になると期待される。

全てのパラメーターが、最も起こり得る値（点推定値）を取るもの的基本モデルと今後呼ぶ。パラメーターの点推定値と、仮定した値の範囲は表1に示した。なお、図1・2で用いたパラメーターのうち、表1に含まれていないパラメーターが2つ（AUC_{asy}、AUC_{pre}）ある。これらは、PCR検査が予防できる2次感染者数に関するパラメーターであり、図3を用いて詳解する。図3は、仮想的な4つのシナリオを定義した表を含む。

図3の横軸は、1次感染者が2次感染を開始してからの日数を示す。縦軸は、予防できる2次感染者の数を示す。ベスト・シナリオ下では、2次感染を開始した日にPCR検査の検体を採取し、検体採取から隔離までの時間を0と仮定する。このシナリオにおいて予防できる2次感染者の数は、「実効再生産数」に「検査の感度」を乗じた数である（例、 $2.5 * 0.75 = 1.9$ 人）。ワースト・シナリオ下では、2次感染が終了した日にPCR検査の検体を採取するため、予防できる2次感染者の数はゼロである。これら2つのシナリオが示すように、予防できる2次感染者数は、PCR検査の実施時期が、感染期間のどの時期にあたっているかに依存する。従って、1次感染者の全感染期間中の、「予防できる2次感染者数〔1日当たり平均〕」を計算するためには、図3の青色の斜線部分の面積を求める積分計算を行う必要がある。単位として〔1日当たり平均〕を用いるのは、PCR検査一回当たり平均の「2次感染予防効果」を推定するためである。

ベスト・シナリオより現実的なセカンド・ベスト・シナリオ下では、2次感染を開始した日にPCR検査の検体を採取し、検体採取から隔離まで24時間（1日）要すると仮定した。このシナリオでは、検体採取から隔離まで24時間（1日）に生じる2次感染を予防できない。また、セカンド・ワースト・シナリオ下では、2次感染が終了した1日前にPCR検査の検体を採取するが、検体採取から隔離まで24時間（1日）要する。すなわち、このシナリオ下では、隔離をしても、予防できる2次感染者の数はゼロである。従って、1次感染者の全感染期間中の、「予防できる2次感染者数〔1日当たり平均〕」を計算するためには、図3の赤色の斜線部分の面積を求める積分計算を行う必要がある。この面積は、「実効再生産数（Re）」と「検体採取から隔離までの期間（lag_{PCR}）」を用いると「 $0.5 * (Re * (1 - (lag_{PCR}/12))) * (12 - lag_{PCR})$ 」で示される。この面積が、上記の2つのパラメーター（AUC_{asy}とAUC_{pre}）の定義である。

上述した様に、最も正確な有病率は、PCR検査と抗体検査によって測定される。この最も正確な有病率の定義に従うと、1次感染は、感染後3日のプレ・感染期（2次感染を生じない）と、12日間の感染期（2次感染を生じる）を合わせた15日間になる。^{8,9}従って、「常に無症状な1次感染者」が、PCR検査を受けた結果、予防できる2次感染者数〔1日当たり平均〕は、上記で計算した面積に（ $1 / (3+12)$ ）を乗じて推定した。また、いずれ臨床症状を持つ患者は、発症2日前から感染期（2次感染を生じる）が始まっていると仮定した。⁸この場合、「発症前の1次感染者」が、PCR検査を受けた結果、予防できる2次感染者数〔1日当たり平均〕は、上記で計算した面積に（ $1 / (3+2)$ ）を乗じた上、（RR_{pre}）も乗じ

て推定した。(RR_pre)は、表1の最下行で定義した「有症状感染者が、発症前に2次感染を起こす確率」である。¹⁰なお、単純化のため、本研究では、選択肢1と2の間で、検査陽性判定例（選択肢1では1回陽性、選択肢2では2回陽性）について、PCR検査の2次感染予防効果に差は無いと仮定した。

基本モデルにおいて、『社会費用1』、『社会費用2』、PCR検査の費用、PCR検査の検体採取から隔離までの期間、有病率、実効再生産数を、それぞれ100万円、500万円、1万円、1日、1%、2.5と仮定した。

費用対便益分析の解釈

本分析の主たる指標は、「便益費用比」である。便益費用比は、営利企業における投資回収率や純益率と同じ意味を持つ指標である。「便益費用比」の定義は、以下通りである。

$$\text{便益費用比} = \frac{[\text{スクリーニング検査の追加的便益}]}{[\text{スクリーニング検査の追加的費用}]}$$

すなわち、スクリーニング検査の追加的便益が、スクリーニング検査の追加的費用を上回れば、便益費用比が1より大きくなり、社会全体として純便益が得られる。つまり、便益費用比が1より大きい公共政策・プログラムは、経済的な視点から正当化することが可能である。

感度分析

費用対便益分析の一環として、感度分析を行った。感度分析の目的は、パラメーターの不確実性が、費用対便益分析の結果（例、便益費用比）に与える影響を定量化することである。すなわち、便益費用比の推定値が、パラメーターの変化に対し、頑強か否かを検証する。

感度分析としては、他のパラメーターを点推定値で固定して、1つのパラメーターが変化する影響を測定する「1次元感度分析」を行った。例えば、パラメーターの一つである

「PCR検査の特異度」が、「90%から100%」の範囲で変化する場合、便益費用比がどのように変化するかを、定量化することが可能である。この例のように、1次元感度分析は、個々のパラメーターの値が取り得る範囲で行う。

パラメーター値の範囲を文献で決定できない場合、理論上取り得る値の範囲を用いた（例、確率であれば0から1の範囲）。このような、文献が不十分なパラメーターを発見することは、新たな研究テーマの発見にも寄与できる。

損益分岐点分析

前述の「1次元感度分析」の一部として、損益分岐点分析も行った。損益分岐点分析とは、他のパラメーターを点推定値で固定して、便益費用比が1以上になる、1つのパラメーターの「閾値」を計算することである。例えば、便益費用比が1以上になる、「PCR検査費用」の最大「閾値」金額Y円を計算することが可能である。この場合、ある組織・集団（例、介護施設）で可能な「PCR検査費用Z円」が「閾値」金額Y円より低ければ、この介護施設の無症状者全員を対象にしたPCR検査は、純便益を生むことを意味する。

なお、この分析の閾値は、着目するパラメーターに応じて、最「小」閾値または、最「大」閾値を示す。これらの閾値は、政策の実施を決める基準（例、予想される有病率X%以上なら、ある施設・地域で全員対象のPCR検査を実施）や、検査機能（例、特異度や検査費用）の目標値を設定することに役立つ。

2次元感度分析

上述の1次元感度分析の拡張として、2次元感度分析も行った。他のパラメーターを点推定値で固定したとき、2つのパラメーターが「同時に変化」する影響を定量化して、図に示し

た。2つのパラメーターを選ぶ基準の一つには、相互関係が予想される組み合わせ（例、PCR検査の特異度と感度；PCR検査の費用と感度）がある。また、本研究の読者として行政・民間機関の実務家も想定しているため、費用に関連するパラメーターを可能な限り含めた。

結果

便益費用比が1以上であれば、スクリーニング検査への政府支出・投資を経済的に正当化できる。一つの仮想例として、基本モデルのパラメーターの値で定義されるある集団・組織において、無症状者全員を対象とする「選択肢1」に基づくPCRスクリーニング検査を実施すると、純便益を生み出すことが可能になり、便益費用比（當利企業の投資回収率や純益率と同じ）が、1.39になると推定された（表2、1行目）。すなわち、100万円の費用を支出してスクリーニング検査を実施すると、139万円の費用削減が可能になる。換言すると、39万円（=139万円—100万円）の「純便益」を生むことが可能である。

自治体レベルなら、1億円の費用を支出して、3900万円の純便益が見込まれる。これは例えば、検査実施やそれに付随する陽性患者の隔離などのために1億円の費用を支出すると、検査を実施しなかったときに生じる、2次感染者（と3次以降の感染者）への対策に必要となる1億3900万円の出費を抑えることができ、その結果、3900万円の純便益が見込まれることを意味する。

同様に基本モデルのパラメーターの値の下で、「選択肢2」の便益費用比は、1.48と推定された（表2、3行目）。すなわち、1次スクリーニングの検査結果が陽性である場合、直ちに2次のPCR検査を行わない「選択肢1」に比べ、直ちに2次のPCR検査を行うことで、「選択肢2」において経済効率が改善されることを、表2の結果が示している。

また、表2は、PCR検査費用が低くなる程、便益費用比で示される経済効率は高くなること表している。基本モデルで10,000円であるPCR検査費用を5,000円に低下させると、便益費用比は選択肢1と2で、それぞれ2.03と2.31と推定された。

表3は、1次元感度分析の一例として、有病率の変化が、「選択肢1」の便益費用比に及ぼす影響を示す。すなわち、有病率を除く、分析モデルの全てのパラメーターを、基本モデルの値で固定している。有病率の増加に伴い、費用便益比（最右端9列目）が高くなると推定された。有病率が、5%、10%、20%に上昇すると、便益費用比はそれぞれ3.45、4.24、4.79に上昇する。便益費用比が4.79である場合、100万円の費用を支出して、ある集団・組織に含まれる無症状者全員を対象とするPCR検査を実施すると、379万円もの純便益（純便益・利潤）が可能になる。

また表3は、費用と便益の詳細な項目を、検査を受ける1個人の期待値として示す。詳細な項目中、PCR検査費用だけが、有病率に依存せずに、一定の値（基本モデルでは1万円）を取る。有病率の増加に伴い、他の全ての費用・便益の項目は上昇すると推定された。

この表3における便益費用比の、詳細な費用と便益の計算方法を以下で説明する。無症状者全員を対象とするPCR検査を実施すると、PCR検査費用（¥10,000；表3の8行、2列目太字）、期待値としての隔離費用（¥2,387；3列目）、期待値としての『社会費用1』

（¥3,387；4列目）の3項目の合計¥15,774（5列目）が、一人当たりの追加費用として生じる。その一方で、上述した様に、2つの便益がある。1つ目は、発症前のケースを陽性判定・早期隔離することで、「『社会費用2』を期待値として¥7,654（6列目）」節約できることである。2つ目は、常に無症状であるが、他人を感染させる個人（いわゆるSilent Spreader）を陽性判定することで、「『社会費用2』を期待値として¥14,232（7列目）」節約できることである。これら2つの便益は、合計で¥21,885（8列目）である。上記の一人当たりの追加費用が¥15,774であるので、便益費用比（9列目）は、1.39（=（8列目）／（5列目）=¥21,885／¥15,774）になる。

表4は、損益分岐点分析を用いて、便益費用比を1以上に（すなわち純便益を実現）する『社会費用2』の閾値を、有病率ごとに推定した。有病率が高い程、『社会費用2』が低

くても、純便益が可能になると推定された。有病率が、10%、5%、1%、0.1%の場合、PCRスクリーニング検査の選択肢1を正当化できる『社会費用2』の最少額は、それぞれ、118万円、145万円、361万円、2790万円と推定された（2列目）。選択肢1に比べ、スクリーニング検査を正当化できる『社会費用2』の最少額は、選択肢2の方が低い。すなわち、有病率が、10%、5%、1%、0.1%の場合、選択肢2を正当化できる『社会費用2』の最少額は、117万円、141万円、337万円、2530万円と推定された（3列目）

更に、「PCRスクリーニング検査の選択肢2」について、有病率を含む主要なパラメーターの損益分岐点分析を実施して、便益費用比を1以上にする他のパラメーターの閾値と条件を推定して表5に含めた。この分析モデルのパラメーターの値は、行ごとに注目している1つのパラメーターを除いて、基本モデルのものと同じである。例えば、1行目は、有病率が閾値である0.60%以上であれば、「便益費用比が1を超えて、純便益を実現できる」ことを意味する。

費用関連のパラメーターについては、社会費用1、社会費用2、PCR検査費用、隔離費用が、それぞれ314万円以下、337万円以上、16,800円以下、222万円以下の条件下で、便益費用比が1を超える。PCR検査関連のパラメーターに関しては、1次スクリーニング検査感度、2次スクリーニング検査感度、1次スクリーニング検査特異度、2次スクリーニング検査特異度が、それぞれ45%、57%、41%、0%以上であれば、便益費用比が1以上になる。

「PCRスクリーニング検査の選択肢2」の2次元感度分析の結果を、図4-図18で示した。2次元感度分析の解釈は、2つのパラメーターの特定の値の組み合わせで決まる点が、図中の赤色部分内にあれば、「選択肢2」の便益費用比が1以上になり、経済的に正当化できることを意味する。例えば、図4において、横軸（X軸）と縦軸（Y軸）は、それぞれ有病率（0.1%～1%）と、感染者一人当たりの『社会費用1』（0円～400万円）を示す。図4の解釈は、有病率と社会費用1の組み合わせ点（例、X = 0.7%，Y = 100万円）が赤色部分（右下部分）の内部なら「選択肢2を行うべき」との政策判断ができる。一方、別の組み合わせ点（例、X = 0.3%，Y = 200万円）が青色部分（左上部分）なら、「選択肢2を行うべきではない、すなわち『現状どおり（Status quo）』」が政策判断になる。

図5において、横軸（X軸）と縦軸（Y軸）は、それぞれ有病率（0.1%～1%）と、感染者一人当たりの『社会費用2』（0円～1000万円）を示す。図中の赤色部分の位置が、図4と図5では異なる。「PCRスクリーニング検査の選択肢2」の追加的費用である『社会費用1』は、値が大きくなる程、便益費用比が1以上になる確率が低くなる。この「確率が低くなる」ことは、図4において、より高い有病率が必要になることを意味する。他方、『社会費用2』の値が大きくなる程、選択肢2の追加的便益が大きくなる為、便益費用比が1以上になる確率が高くなる。すなわち、図5において、低い有病率でも、選択肢2を経済的に正当化できる確率が高くなる。

また、図6-13で示した2次元感度分析は、経済的エビデンスを提供することで、PCR検査の正確さ（すなわち感度と特異度）に関する議論を収束させることにも貢献できる。図6-9において、縦軸（Y軸）は常にPCR検査費用（1人1回0円～2.5万円）を示す。横軸（X軸）は、図6・7、図8・9、図6・8、図7・9においてそれぞれ、PCR検査の感度、特異度、1次スクリーニング（感度ないし特異度）、2次スクリーニング（感度ないし特異度）を示す。

図6-9の解釈で留意すべき点は2つある。一つ目の留意点は、唯一の2次元感度分析、すなわち、2つのパラメーターのみの分析で、PCR検査に関する政策含意を導くことは困難であることである。なぜなら、費用便益比を1以上にするパラメーターの条件については、異なる2次感度分析が、異なる条件を提示する可能性があるためである。以下で説明するように、関連する複数の2次元感度分析も併せて考慮すべきである。二つ目の留意点は、低い感度（ないし特異度）でも費用便益比を1以上にすることは可能であるが、この場合、社会全体の純便益の総額は低くなることである。

図 6 の解釈は、1 次スクリーニングの PCR 検査の感度と費用の組み合わせ点（例、 $X = 50\%$ 、 $Y = 5,000$ 円）が赤色部分（右下部分）の内部なら「選択肢 2 を行うべき」との政策判断が経済的に正当化できるというものである。同様に、**図 7** は、1 次スクリーニングの PCR 検査の特異度と費用の組み合わせ点（例、 $X = 50\%$ 、 $Y = 5,000$ 円）が、赤色部分（右下部分）の内部であるので「選択肢 2 を行うべき」が正当化できることを示す。

図 6-9 の 2 次元感度分析は、PCR 検査の費用を低くすることが可能なら、感度や特異度が 50%以下という、低い正確性でも費用便益比を 1 以上にすることが実現可能であることを示唆している。しかし、上記で留意したように、**図 6-9** の解釈には、**図 10-14** の 2 次元感度分析の結果も併せて考慮する必要がある。例えば、上述のように、**図 6・7** は、PCR 検査費用が 5,000 円なら、それぞれ感度 50%、特異度 50%でも便益費用比が 1 以上になることを示している。しかし、**図 10** の 2 次元感度分析は、PCR 検査費用が 5,000 円の場合、PCR 検査の感度と特異度共に 50%である点は、図中の青色部分内であり、便益費用比が 1 未満である。この理由は、**図 6**においては、感度が 50%の場合でも、特異度は基本モデルの値（95%）であるためである。

図 10 と**図 11** の 2 次元感度分析の違いは、PCR 検査費用のみである。PCR 検査費用が 5,000 円（**図 9**）から、10,000 円（**図 10**）に上昇すると、便益費用比が 1 以上になる確率（赤色部分の面積）は減少する。例えば、感度（60%）と特異度（60%）の組み合わせ点は、**図 10** では便益費用比が 1 以上（赤色部分の内部）だが、**図 11** においては便益費用比が 1 未満である（青色部分の内部）。

図 12 の 2 次元感度分析においては、2 次スクリーニングの感度・特異度がそれぞれ 65%・50%でも、便益費用比が 1 以上になる。このような低い正確性が 2 次スクリーニングにおいて許容される理由は、1 次スクリーニングの感度・特異度が、それぞれ 75%・99%と高く仮定しているためである。

図 13 の 2 次元感度分析は、1 次スクリーニングの感度と 2 次スクリーニングの感度の相互関係を示している。これら 2 つの感度パラメーター間の関係は、単純な線形ではないものの、2 つの感度の和が約 140%を超えると、便益費用比が 1 以上になると推定された。すなわち、これらの感度パラメーターは、2 つとも約 40%以上であることが必要である。また、一方の感度が低い程、他方の感度が高い値を取る必要がある。

図 14 は、1 次スクリーニングの特異度と 2 次スクリーニングの特異度の相互依存関係を示している。これら 2 つの特異度パラメーター間の関係も、単純な線形ではないが、2 つの特異度の和が約 170%を超えると、便益費用比が 1 以上になると推定された。すなわち、これら 2 つの特異度が共に 90%であれば、便益費用比が 1 以上になる事は十分に可能である。従って、特異度を 100%に近づける技術的な進歩は、喫緊な課題ではないと言える。

図 13・14 の 2 次元感度分析は、本研究の 2 つのスクリーニング選択肢以外の選択肢を考慮する参考にもなる。例えば、今後新たな選択肢 3 として、1 次スクリーニングを PCR 検査ではなく、抗原検査を用い、2 次スクリーニングに PCR を用いることが考えられる。このような新たな選択肢を考慮する際に、抗原検査に期待される感度・特異度が、併用する PCR 検査の感度・特異度に、どの程度依存しているかを、**図 13・14** は計量的に示している。

図 15-18 の 2 次元感度分析は、PCR 検査の迅速性と正確さ（感度ないし特異度）の関係を示している。これら 4 つの分析結果は、きわめて近い。すなわち、「検体採取後、隔離までの期間」が 3 日を超えると、PCR 検査の正確さの理論上の上限値（感度ないし特異度が 100%）であっても、経済的に PCR 検査を正当化できないと推定された。逆に、「検体採取後、隔離までの期間」が 1 日である場合、1 次スクリーニングの感度 50%・特異度 70%、2 次スクリーニングの感度 60%・特異度 0%でも、便益費用比が 1 以上になると推定された。これらの推定結果は、PCR 検査の正確性（感度、特異度）を 100%に近づける技術的な進歩よりも、遙かに喫緊な課題は「検体採取から隔離までの期間の短縮」である事を示唆している。この期間の短縮は、PCR 検査機械を増加させるだけでは不十分であり、PCR 検査が可能な施設数の増大、隔離施設への速やかな移動等が必要である。

考察・分析の限界・政策含意

感度分析を含めた本研究の結果は、無症状者対象の大規模 PCR 検査が、特に選択肢 2（検査陽性者に直ちに 2 次 PCR 検査を行う）が、経済的視点から正当化できる可能性が高いことを示している。本研究の結果が示すように、喫緊な政策課題は、検査の正確さ（感度・特異度）の向上ではなく、「検体採取後、隔離までの期間」を少なくとも 3 日以下、更にできる限り短縮することである。この期間の短縮は、PCR 検査機械を増加させるだけでは不十分であり、PCR 検査が可能な施設数の増大、隔離施設への速やかな移動等が必要である。また、検査の正確さ（感度・特異度）の向上よりも、先ず検査費用の低下を実現し、費用レベルに応じて許容できる最低限の感度・特異度を設定することが、現実的な政策課題である。

そもそも、PCR 検査の対象人口を拡大する程、地域全体の COVID-19 に関する健康指標が改善することを、先ず前提知識として共有すべきである。この前提知識の実証例としては、Neilan らの費用対効果分析がある。¹¹ この分析は、米国マサチューセッツ州の全住民を対象に毎月 1 度 PCR 検査を行う選択肢は、重症者のみを PCR 検査対象とする選択肢に比べ、感染者を 63%、死者を 44% 減少させると推定した。¹¹ また、質調整生存年の 1 年当たり、米貨 10 万ドル（約 1070 万円）の価値と、実効再生産数 1.8 以上を仮定すると、「全住民を対象に毎月 1 度 PCR 検査を行う選択肢は経済的に正当化できる」との推定結果を得た。¹¹ 更に、実効再生産数の値にかかわらず、「全ての軽症者に対し PCR 検査を行う選択肢」が、他の選択肢（重症者のみ、ないし全住民）よりも社会全体の純便益を高める推定結果も得られた。¹¹

包括的な健康指標である「質調整生存年の 1 年」当たりに金銭価値を仮定する方法論は、日本において未だ一般的でない為、本研究では用いなかった。特定の健康指標を金銭価値に換算する方法として、Corral らは PCR 検査によって内視鏡検査が増加した場合、内視鏡検査に対する保険機関からの診療報酬額（約 11 万円）を「便益」とした。¹² また、Savitsky らは、医療従事者の感染が 1 例予防できる価値として、約 270 万円を仮定している。¹³ これらの特定の健康指標の例は、本研究の社会費用とは比較が困難である。

本研究の社会費用の概念に近いのは、Paltiel らによる費用対効果分析である。この研究は、米国の大学で対面授業を再開するために、経済的に望ましい PCR 検査の頻度を推定した。この分析では、COVID-19 の死亡率、検査対象である大学生の平均余命（60 年）と生命年 1 年当たりの「支払意思額（WTP (Willingness to pay)）」が米貨 10 万ドル（約 1070 万円）」の 3 つの因子を基に、彼らの基本モデルにおいて「感染者 1 例当たりの経済価値を米貨 10,500 ドル（約 110 万円）」と仮定した。¹⁴ この約 110 万円という値は、本研究の基本モデルで仮定した、「社会費用 1（1 次感染者 1 例当たりの経済価値）100 万円」とほぼ等しい。

また、Paltiel らは、「全大学生を対象に PCR 検査を毎日実施する」選択肢を正当化するために必要な条件として、「感染者 1 例当たりの経済価値を米貨 46,400 ドル（約 500 万円）以上」と推定した。¹⁴ この約 500 万円という値は、本研究の基本モデルで仮定した、「社会費用 2（2 次感染者 1 例当たりの経済価値）500 万円」とほぼ等しい。それ故、本研究の 2 つの社会費用の値は、ある程度の妥当性があると考えられる。

本研究は、2 つのスクリーニング検査の選択肢を比較し、追加で 2 次検査を行う方が経済効率が高いことを示した。この結果は、先行研究において、検査頻度を増やしても、経済的に正当化できるという結果と一致する。^{11, 14, 15} 一例として Paltiel らは、有効再生産数の仮定次第で、検査頻度を増やす方が好ましいと推定した。¹⁴

更に、PCR 検査の正確性（感度、特異度）を改善するよりも、PCR 検査の頻度を増やす方が、遙かに容易に経済効率が改善されることを、Paltiel らのシミュレーション分析は、示している。¹⁴ 上記の様に、本研究の 2 次元感度分析は、PCR 検査の正確性（感度、特異度）を改善するよりも、PCR 検査の迅速性（検査から隔離までの期間の短縮）を改善する重要性

を指摘している。今後の COVID-19 対策の資源配分の上で、PCR 検査の正確性（感度、特異度）の技術的な改善は、高くないと考えられる。

最も深刻な方法論上の問題は、パラメーターの多くについて、十分な文献が存在しないことである。そのため、本分析の結果は不確実性が高いことに留意すべきである。この不確実性を定量的に検証するため、多くの感度分析を行い、本研究に含めた。今後新たな文献が見つかる度に、本分析は改訂を重ねる必要がある。

本分析の結果は、無症状者を対象とした PCR 検査の実施について、行政・民間機関が決定する際に、判断基準を与えると期待できる。また、明らかに不足している疫学・費用データを収集するためにも、パイロット事業として無症状者対象の大規模 PCR 検査の実施が早急に望まれる。

表1. 新型コロナウイルスの無症状者に対するPCR検査の費用対便益分析で用いた変数（パラメーター）の定義（選択肢1と2に共通）

変数 (図1・2のパラメーターの名称)	一点推定値	範囲	出典/ 特記事項
有病率関連			
有症状者を含む有病率 (pvl)	1%	0.01%-10%	¹⁶
無症状者のみの有病率 (pvl_wosym) § #1 §	2%	0.0067%-6.9%	8,9,17-28
ウイルス保有者に占める「常に無症状者」の割合 (p_asy) §	45%	30%-60%	8,9,17-28
無症状ウイルス保有者に占める「発症前患者」の割合 (p_pre_symp) § #2	25%	18%-44%	8,9,17-28
費用			
1次感染者1人当たりの社会費用 (C_Soc_1) §	100万円	0円-500万円	仮定のみ
2次感染者1人当たりの社会費用 (C_Soc_2) §	500万円	0円-1000万円	仮定のみ
PCR検査費用 (C_PCR) [1人1回]	1万円	0円-2万円	国民保険
無症状者対象の隔離費用 (C_Qt_fx_d) #3	18万 9500円	17万9千円 -20万円	1人1日
PCR検査の正確性と迅速性			
1次スクリーニング検査感度 (sns_CPR) §	75%	50%-100%	¹²
2次スクリーニング検査感度 (sns_PCR_2nd)	95%	50%-100%	専門家の意見
1次スクリーニング検査特異度 (spc_PCR)	99%	50%-100%	¹²
2次スクリーニング検査特異度 (spc_PCR)	95%	50%-100%	専門家の意見
検体採取後、隔離までの日数 (lag_PCR)	1	0.5-5	仮定のみ
感染性			
実効再生産数 (Re) §	2.5	1.5-3.5	14,29
有症状感染者が、発症前に2次感染を起こす確率 (RR_pre) §	44%	25%-69%	¹⁰ #4

§：文献が不十分であるため、今後新たな知見が得られる度に改訂が必要。

#1: $pvl_wosym = (pvl - pvl * (1-p_asy) * (10/15)) / (1 - pvl * (1-p_asy) * (10/15))$

#2: $p_pre_symp = ((1-p_asy) * (5/15)) / (p_asy + (1-p_asy) * (5/15))$

#3: <https://www.mhlw.go.jp/content/000646674.pdf>

「ホテルの借り上げ費について、1室当たり13,100/日を補助上限額（上記PDFのp.14）。」「食事提供費：1食当たり1,500円（飲料及び配送費は除く），1日当たり4,500円（飲料及び配送費は除く）を補助上限額（P.15）」。これらの上限額に、事務経費（医療スタッフを含む）を加えて、1日当たりの費用を2万円と仮定。範囲の下限は、7日ホテルに滞在し、2回PCR検査を受けて、17万9千円（=19500円*2回+20000円*7日）。範囲の上限は、10日ホテルに滞在するのみで、20万円（=20000円*10日）。一点推定値は、これら上限値と下限値の平均値、18万9500円とした。なお、発症前・検査陽性者の隔離費用

(C_Qt_2d) は 3 日目以降に発症して本分析から除かれるため、2 日のみ 4 万円 (=2 万円 * 2 日) とした。

#4: 発症前感染者において、全感染期間（15日^{8,9)}のうち、2次感染を起こす期間の割合。

表2. 新型コロナウイルスの無症状者に対するスクリーニング PCR 検査の費用対便益分析

スクリーニング方法	PCR 検査の費用 1回当たり	便益費用 比
(選択肢 1) PCR 検査を一度のみ実施する。	1 万円	1.39
	5 千円	2.03
(選択肢 2) 1次スクリーニングとして PCR 検査を行い、検査陽性であれば、直ちに2次スクリーニングとして再度 PCR 検査を行う	1 万円	1.48
	5 千円	2.31

表3. 新型コロナウイルスの無症状者に対するPCR検査（選択肢1）の費用対便益分析：1次元感度分析（有病率が変化）‡

(1)	(2)	(3)	(4)	(5) =(2)+(3)+(4)	(6)	(7)	(8) =(6)+(7)	(9) =(8)/(5)
				費用			便益	便益費用比‡
有病率	PCR検査	隔離	『社会費用1』§	合計	発症前の 早期発見§	無症状者の 発見§	合計	
	¥10,000	¥15,445	¥72,842	¥98,287	¥164,580	¥306,036	¥470,616	4.79
20%	¥10,000	¥11,822	¥53,571	¥75,394	¥121,040	¥225,074	¥346,114	4.59
15%	¥10,000	¥8,337	¥35,035	¥53,372	¥79,158	¥147,194	¥226,352	4.24
10%	¥10,000	¥4,982	¥17,190	¥32,172	¥38,840	¥72,223	¥111,062	3.45
5%	¥10,000	¥4,326	¥13,701	¥28,027	¥30,956	¥57,563	¥88,519	3.16
4%	¥10,000	¥3,675	¥10,238	¥23,912	¥23,131	¥43,012	¥66,143	2.77
3%	¥10,000	¥3,028	¥6,800	¥19,828	¥15,364	¥28,569	¥43,933	2.22
2%	¥10,000	¥2,387	¥3,387	¥15,774	¥7,654	¥14,232	¥21,885	1.39
0.8%	¥10,000	¥2,259	¥2,708	¥14,967	¥6,118	¥11,377	¥17,495	1.17
0.6%	¥10,000	¥2,132	¥2,029	¥14,161	¥4,585	¥8,527	¥13,112	0.93
0.4%	¥10,000	¥2,004	¥1,352	¥13,356	¥3,055	¥5,680	¥8,735	0.65
0.2%	¥10,000	¥1,877	¥675	¥12,552	¥1,526	¥2,838	¥4,364	0.35
0.1%	¥10,000	¥1,813	¥338	¥12,151	¥763	¥1,418	¥2,181	0.18
0.05%	¥10,000	¥1,782	¥169	¥11,951	¥381	¥709	¥1,090	0.09
0.01%	¥10,000	¥1,756	¥34	¥11,790	¥76	¥142	¥218	0.02

‡：有病率以外のパラメーターは、基本モデルと同じ。費用対便益分析の主たる指標は便益費用比である。

†：基本モデル（パラメーターは、表1で定義）に於ける便益費用比の解釈は以下の通り。有病率が1%である場合、「無症状者対象のPCR検査」は、検査を受診した一人当たり、追加費用と追加便益を、期待値として各々、¥15,774（5列目）と¥21,885（8列目）が生じる。便益費用比は、（追加便益／追加費用） = （¥21,885／¥15,774） = 1.39（9列目）。便益費用比（営利企業の投資回収率や純益率と同じ）が、1.39である場合、100万円の費用を支出してスクリーニング検査を実施すると、139万円の費用削減が可能になる。換言すると、39万円（=139万円-100万円）の純便益（ないし純益）を生むことが可能。

§『社会費用1』とは、無症状1次感染者の発見に伴う社会費用。便益は、「発症前の早期発見」と「無症状者の発見」による2次感染者数の削減を計算した。『社会費用2』とは、2次感染（プラス3次、4次以降の感染）者に伴う社会費用であり、無症状者1次感染者の発見により、部分的に軽減可能。『社会費用1』と『社会費用2』は、集団・組織ごとに異なり、会社・医療機関を閉鎖する損失額を含む。『社会費用2』は、2次のみならず、3次（4次以降の）感染までの費用を含むため、『社会費用1』よりも大きいと仮定。

表 4. 新型コロナウイルスの無症状者に対する PCR 検査の損益分岐点分析：「便益費用比が 1」になるために必要な「2 次感染者 1 人当たりの『社会費用 2』の閾値」の推定

(1)	(2)	(3)	(3)
有病率	2 次感染者 1 人当たりの『社会費用 2』の閾値 §	便益費用比	
	選択肢 1	選択肢 2	
10%	¥1,180,000	¥1,170,000	1
5%	¥1,450,000	¥1,410,000	1
1%†	¥3,610,000	¥3,370,000	1
0.1%	¥27,900,000	¥25,300,000	1
0.01%	¥271,000,000	¥244,000,000	1

§ : 解釈は以下の通り。有病率が 10%である場合、選択肢 1において『社会費用 2』が ¥1,180,000 以上であれば、便益費用比が 1 以上になり、「無症状者対象の PCR 検査」を実施することで純便益を実現できる。すなわち、「無症状者対象の PCR 検査」の実施を、経済的に正当化できる。

† : 基本モデル（パラメーターは、表 1 で定義した。）

図表 5. 新型コロナウイルスの無症状者に対するスクリーニング PCR 検査（選択肢 2：2 次スクリーニングを行う）の、1 次元感度分析における損益分岐点（閾値）と、「便益費用比が 1 以上（純便益）」を実現するための条件

(1) 変数 (「決定モデル」内のパラメーターの名称)	(2) 損益分岐点 (閾値) §	(3) 基本モデル の値
有病率関連		
有症状者を含む有病率 (pvl)	≥ 0.60%	1 %
ウイルス保有者に占める「常に無症状者」の割合 (p_asy)	(なし)	45%
費用		
無症状 1 次感染者 1 人当たりの『社会費用 1』 (C_Soc_1)	≤ 314 万円	100 万円
2 次感染者 1 人当たりの『社会費用 2』 (C_Soc_2)	≥ 337 万円	500 万円
PCR 検査費用 (C_PCR)	≤ 16,800 円	1 万円
無症状者対 1 人 1 回当たりの隔離費用 (C_Qurt)	≤ 222 万円	189,500 円
PCR 検査の正確性と迅速性		
1 次スクリーニング検査感度 (sns_PCR)	≥ 45%	75%
2 次スクリーニング検査感度 (sns_PCR_2nd)	≥ 57%	95%
1 次スクリーニング検査特異度 (spc_PCR)	≥ 41%	99%
2 次スクリーニング検査特異度 (spc_PCR_2nd)	≥ 0%	95%
検体採取後、隔離までの日数 (lag_PCR)	≤ 3.0 日	1 日
感染性		
実効再生産数 (Re)	≥ 1.7	2.5
有症状感染者が、発症前に 2 次感染を起こす確率 (RR_pre)	≥ 3.0%	44%

§：図表中の推定値は、注目する 1 つのパラメーター以外は、基本モデルのパラメーター値で固定した。

図1. 新型コロナウイルスの無症状者に対するPCR検査（選択肢1）の費用対便益分析で用いた決定モデル（次項に続く）

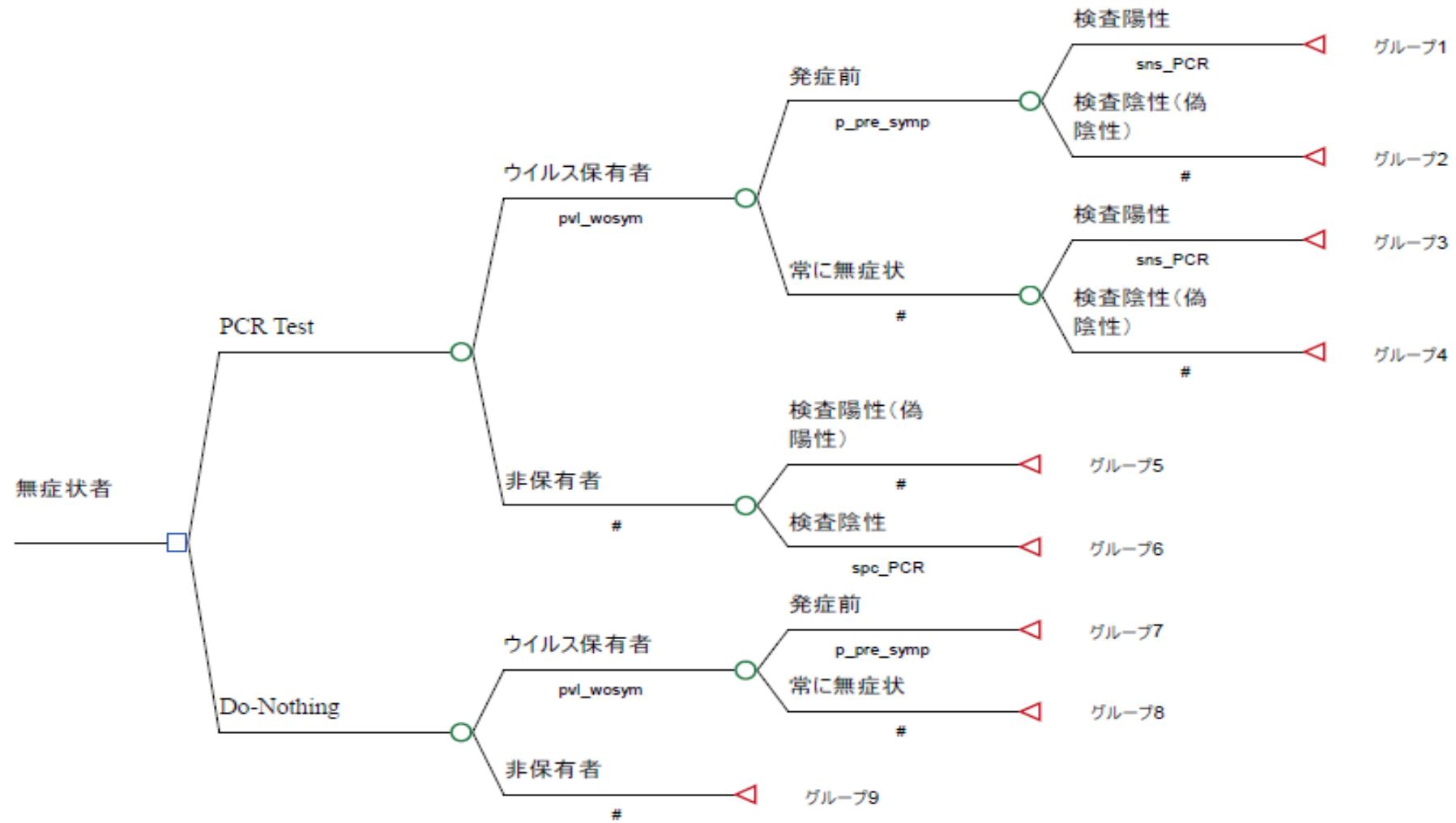


図1. (前項からの続き) . 新型コロナウイルスの無症状者に対する PCR 検査の費用対便益分析で用いた決定モデル

グループ名	確率	費用	便益
グループ 1	$pvl_wosym^* p_pre_symp^*sns_PCR$	$C_PCR+C_Qt_2d$	$C_Soc_2nd^*AUC_pre^* RR_pre^*(1/5)$
グループ 2	$pvl_wosym^* p_pre_symp^* (1-sns_PCR)$	C_PCR	0
グループ 3	$pvl_wosym^* (1-p_pre_symp)^* (sns_PCR)$	$C_PCR+C_Qurt +C_Soc_1^{st} +C_Soc_2nd^*Re$	$C_Soc_2nd^*AUC_asy^* (1/15)$
グループ 4	$pvl_wosym^* (1-p_pre_symp)^* (1-sns_PCR)$	$C_PCR +C_Soc_2nd^*Re$	0
グループ 5	$(1-pvl_wosym)^* (1-spc_PCR)$	C_PCR+C_Qurt	0
グループ 6	$(1-pvl_wosym)^* spc_PCR$	C_PCR	0
グループ 7	$pvl_wosym^* p_pre_symp$	0	0
グループ 8	$pvl_wosym^* (1-p_pre_symp)$	$C_Soc_2nd^*Re$	0
グループ 9	$1-pvl_wosym$	0	0

本図表中の変数名は表 1 で定義した。

図2. 新型コロナウイルスの無症状者に対するPCR検査（選択肢2）の費用対便益分析で用いた決定モデル（次項に続く）

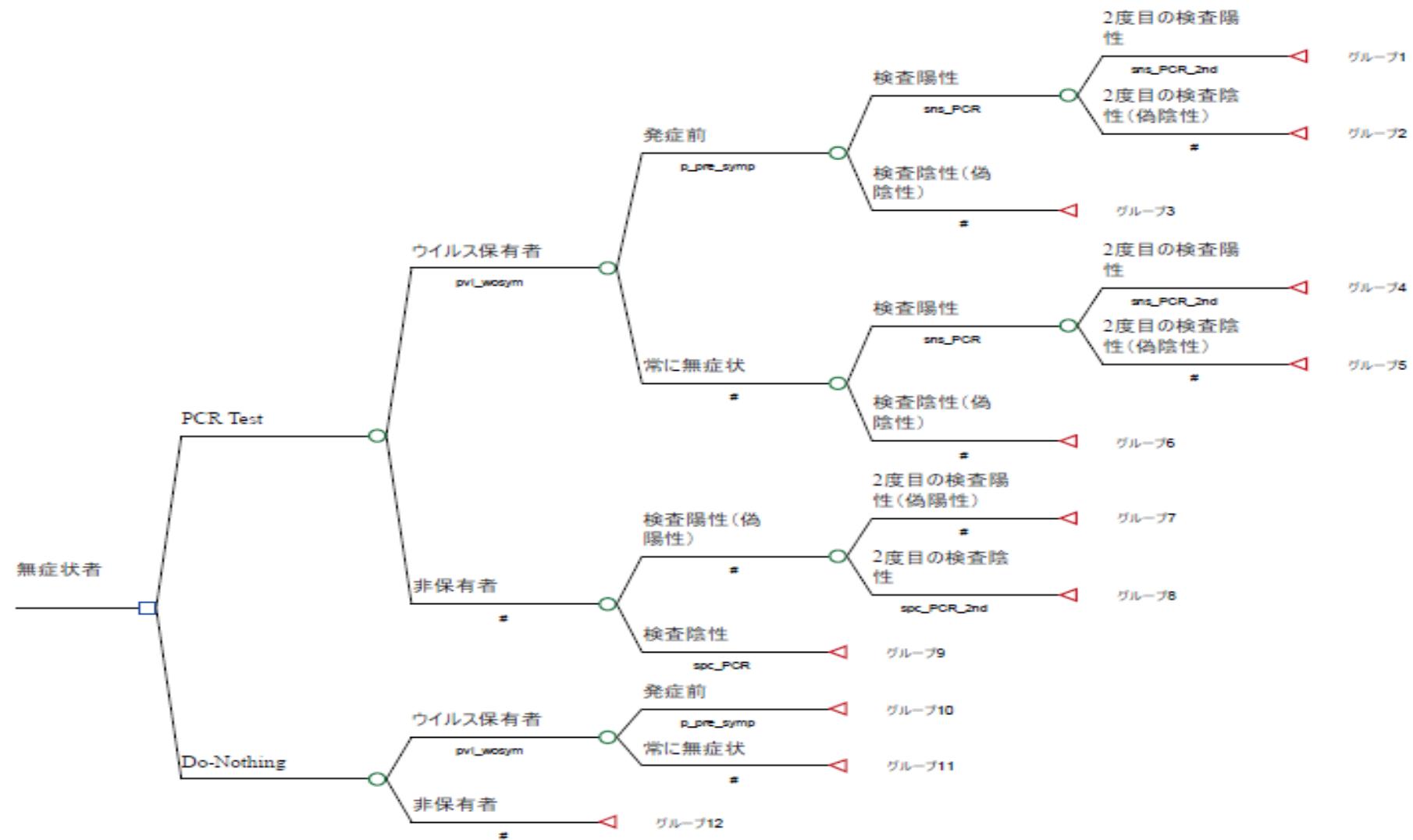
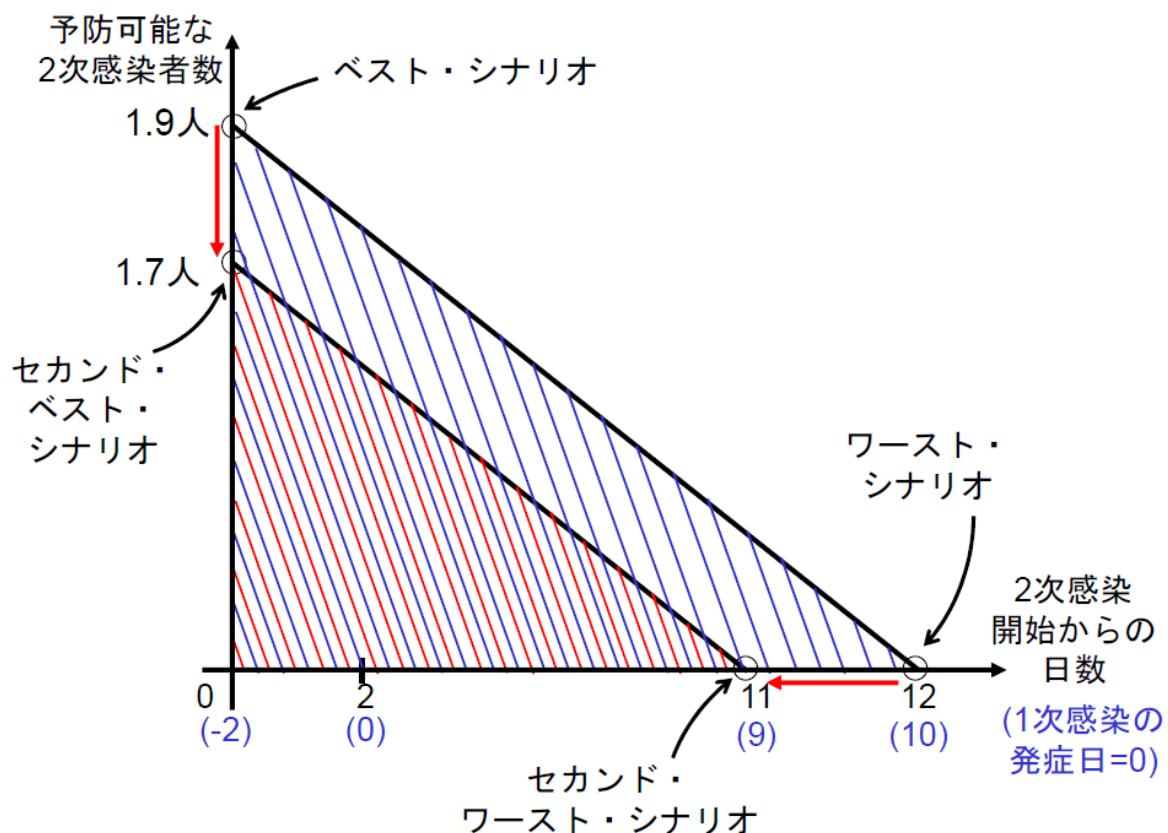


図2. (前項からの続き) . 新型コロナウイルスの無症状者に対するPCR検査の費用対便益分析で用いた決定モデル

グループ名	確率	費用	便益
グループ 1	$pvl_wosym^* p_pre_symp^*$ $sns_PCR^*sns_PCR_2nd$	$C_PCR^*2+C_Qt_2d$	$C_Soc_2nd^*AUC_pre$ $*RR_pre^*(1/5)$
グループ 2	$pvl_wosym^* p_pre_symp^*$ $sns_PCR (1-sns_PCR_2nd)$	C_PCR^*2	0
グループ 3	$pvl_wosym^* p_pre_symp^*$ $(1-sns_PCR)$	C_PCR	$C_PCR^*2+C_Qurt$ $+C_Soc_1st$ $+C_Soc_2nd^*Re$
グループ 4	pvl_wosym^* $(1-p_pre_symp)^*$ $sns_PCR^*sns_PCR_2nd$	$C_PCR^*2+C_Qurt$ $+C_Soc_1st+C_Soc$ $_2nd^*Re$	0
グループ 5	pvl_wosym^* $(1-p_pre_symp)^* sns_PCR^*$ $(1-sns_PCR_2nd)$	C_PCR^*2 $+C_Soc_2nd^*Re$	0
グループ 6	$pvl_wosym^* (1-p_pre_symp)^*$ $(1-sns_PCR)$	C_PCR $+C_PSoc_2nd^*Re$	0
グループ 7	$(1-pvl_wosym)^* (1-spc_PCR)^*$ $(1-spc_PCR_2nd)$	$C_PCR^*2+C_Qurt$	0
グループ 8	$(1-pvl_wosym)^* (1-spc_PCR)^*$ spc_PCR_2nd	C_PCR^*2	0
グループ 9	$(1-pvl_wosym)^* spc_PCR$	C_PCR	0
グループ 10	$pvl_wosym^* p_pre_symp$	0	0
グループ 11	$pvl_wosym^* (1-p_pre_symp)$	$C_Soc_2nd^*Re$	0
グループ 12	$1-pvl_wosym$	0	0

本図表中の変数名は表 1 で定義した。

図 3. PCR 検査が予防できる 2 次感染者数：
4 つの仮想シナリオ (詳細は図下の表に記載)



シナリオ	検体採取日時	検体採取後、隔離までの時間	予防できる2次感染者数
1) ベスト	-2 日、0 時 (感染期間の最初)	0 時間	1.9 人 (= 2.5*75%) † (検査・隔離前の2次感染がゼロ)
2) ワースト	+10 日、24 時 (感染期間の最後)	0 時間	0 人 (検査前に2次感染が全て終了)
3) セカンド・ベスト	-2 日、0 時 (感染期間の最初)	24 時間 †	1.7 人 (= 2.5*75%*(11/12)) † (検査後・隔離前の2次感染である0.2人を、ベスト・シナリオから引く)
4) セカンド・ワースト	+9 日、24 時	24 時間 †	0 人 (隔離前に2次感染が全て終了)

† (2.5=実行再生産数 (R_e) =1 次感染者 1 人当たりの 2 次感染者数 ; 75% は PCR 検査の感度 (sns_PCR) ; 12 日は感染性を持つ期間 ; 0.2 人 = 2.5 人 * 75% * (1 日 / 12 日)) ; † (Lag_PCR) の分析モデル中の値は表 1 に示した。

図4. 2次元感度分析：無症状者対象のPCR検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X軸）：有病率（0.1%-1%）

縦軸（Y軸）：1次感染者1人当たりの『社会費用1』（0円-400万円）

解釈：有病率と『社会費用1』の組み合わせ点（例、X=0.7%，Y=100万円）が赤色部分の内部なら「PCR検査を行うべき」

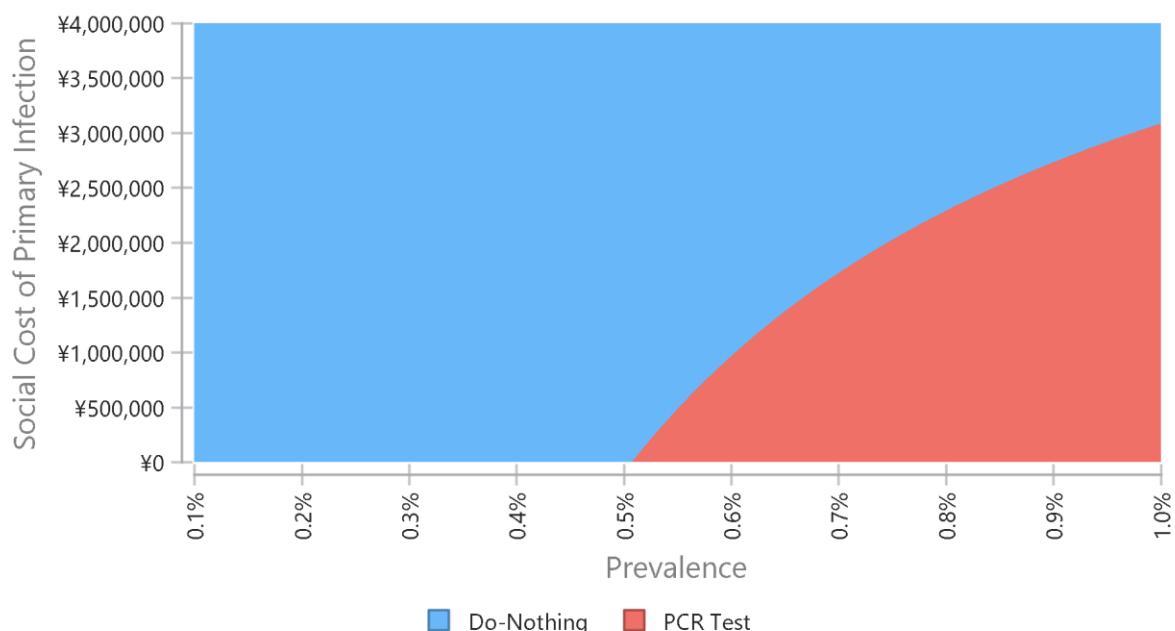


図 5. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X 軸）： 有病率（0.1%-1%）

縦軸（Y 軸）： 2 次感染者 1 人当たりの『社会費用 2』（0 円-1 千万円）

解釈：有病率と『社会費用 2』の組み合わせ点（例、X= 0.5%，Y=1,000 万円）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」

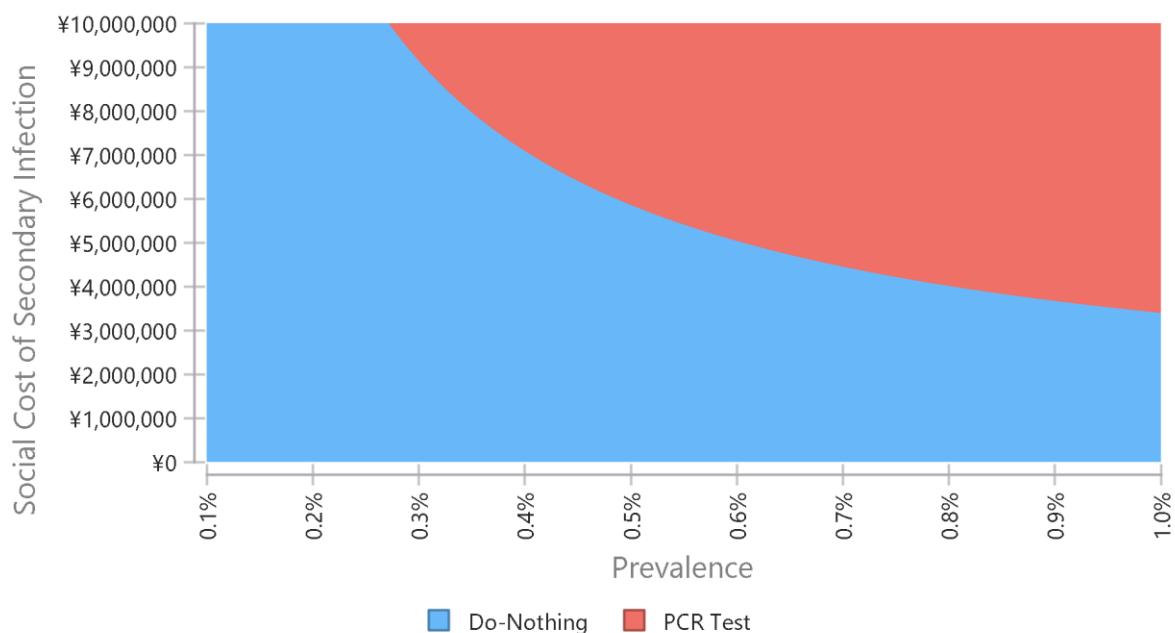


図6. 2次元感度分析：無症状者対象のPCR検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X軸）：1次スクリーニングPCR検査の感度（50%-100%）

縦軸（Y軸）：1人1回のPCR検査費用（0円-2.5万円）

解釈：感度と検査費用の組み合わせ点（例、X=50%，Y=5,000円）が赤色部分の内部なら
「PCR検査を行うべき」

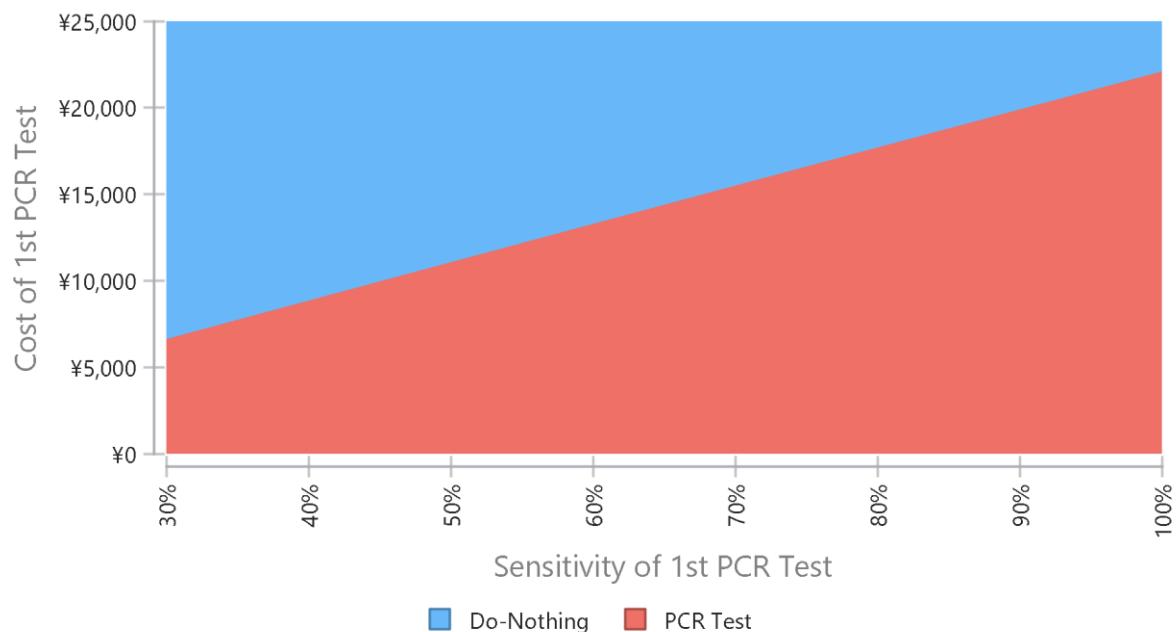


図7. 2次元感度分析：無症状者対象のPCR検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X軸）：2次スクリーニングPCR検査の感度（50%-100%）

縦軸（Y軸）：1人1回のPCR検査費用（0円-2万円）

解釈：感度と検査費用の組み合わせ点（例、 $X=50\%$,

$Y=5,000$ 円）が赤色部分の内部なら「PCR検査を行うべき」

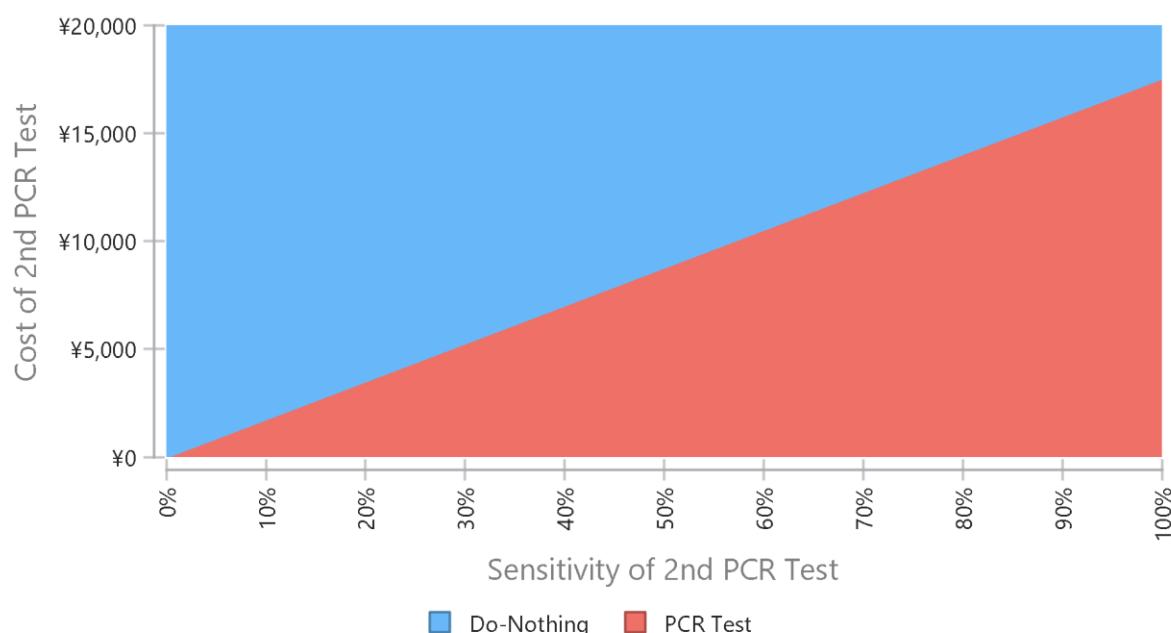


図 8. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X 軸）：1 次スクリーニング PCR 検査の特異度（0%-100%）

縦軸（Y 軸）：1 人 1 回の PCR 検査費用（0 円-2 万円）

解釈：特異度と検査費用の組み合わせ点（例、 $X=50\%$,

$Y=5,000$ 円）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」

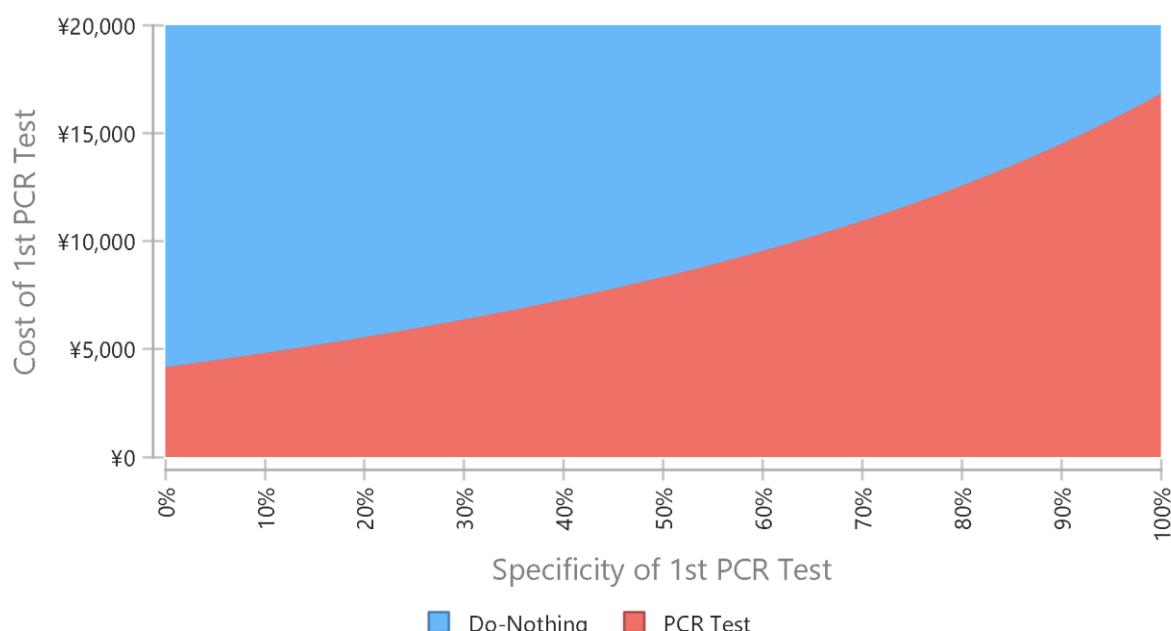


図9. 2次元感度分析：無症状者対象のPCR検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」
横軸（X軸）：2次スクリーニングPCR検査の特異度（0%-100%）
縦軸（Y軸）：1人1回のPCR検査費用（0円-2万円）
解釈：特異度と検査費用の組み合わせ点（例、X=50%，Y=10,000円）が赤色部分の内部なら「PCR検査を行うべき」

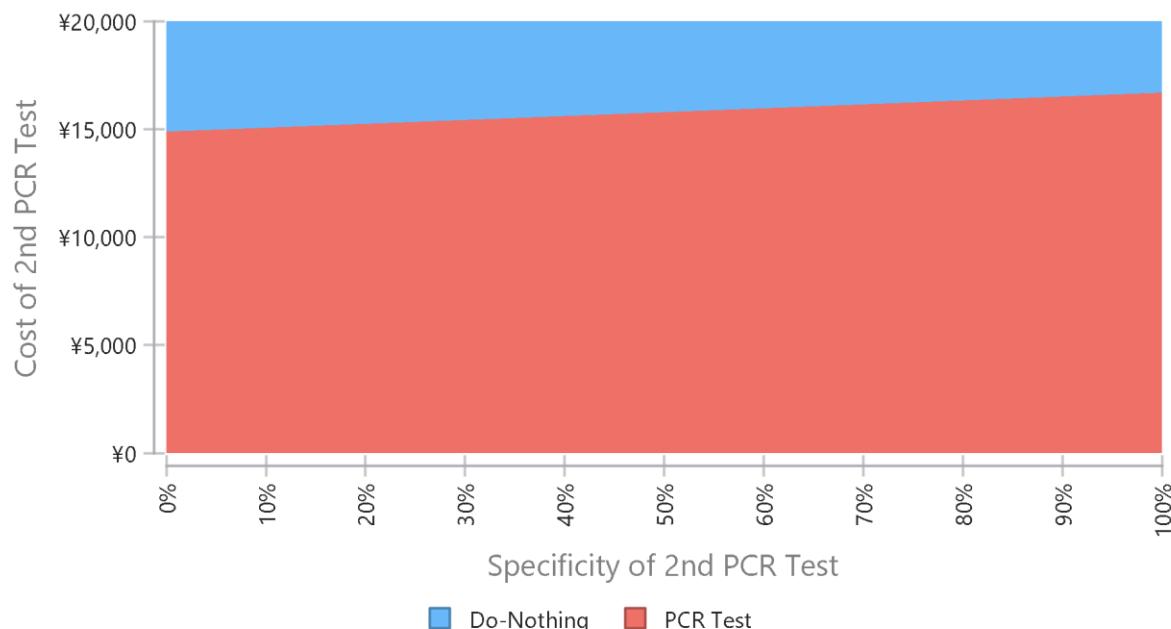


図 10. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X 軸）：1 次スクリーニング PCR 検査の感度（30%-100%）

縦軸（Y 軸）：1 次スクリーニング PCR 検査の特異度（30%-100%）

PCR 検査費用：¥ 5,000

解釈：感度と特異度の組み合わせ点（例、 $X = 70\%$,

$Y = 90\%$ ）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」

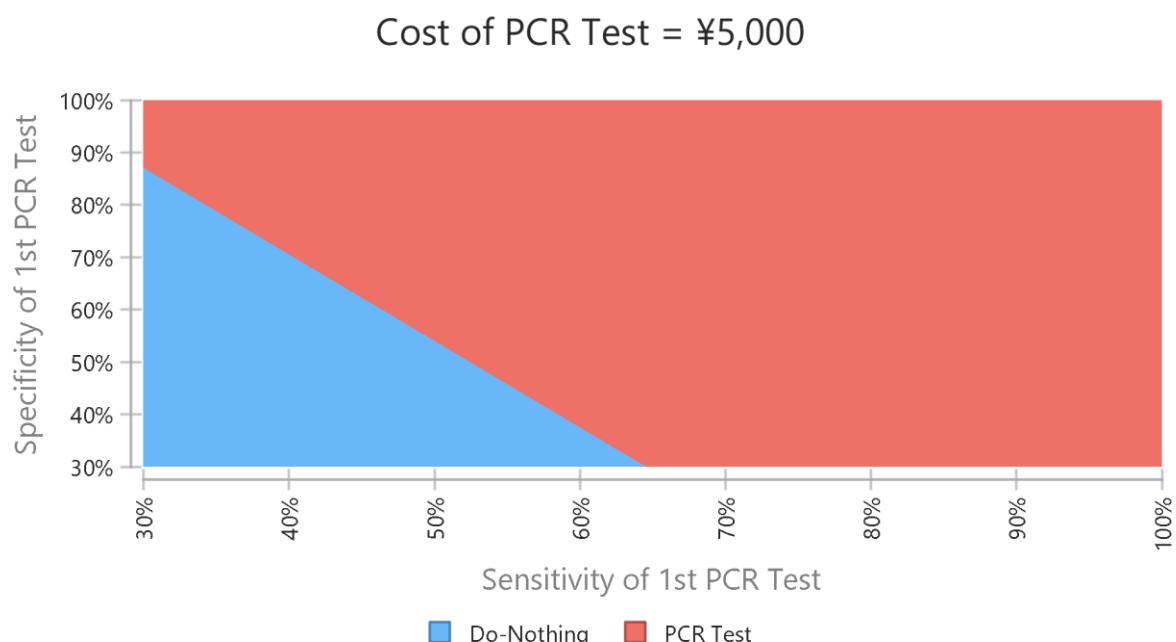


図 11. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X 軸）：1 次スクリーニング PCR 検査の感度（30%-100%）

縦軸（Y 軸）：1 次スクリーニング PCR 検査の特異度（30%-100%）

PCR 検査費用：¥ 10,000

解釈：感度と特異度の組み合わせ点（例、 $X = 70\%$,

$Y = 90\%$ ）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」

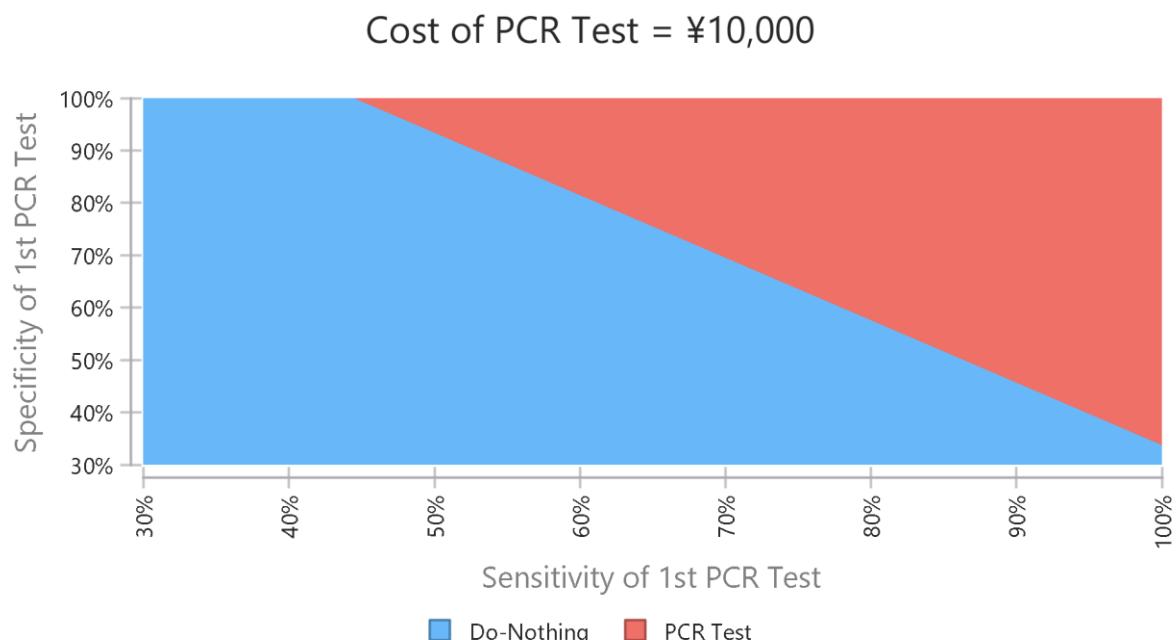


図 12. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」
横軸（X 軸）：2 次スクリーニング PCR 検査の感度（50%-100%）
縦軸（Y 軸）：2 次スクリーニング PCR 検査の特異度（50%-100%）
解釈：感度と特異度の組み合わせ点（例、X = 70%，
Y = 70%）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」

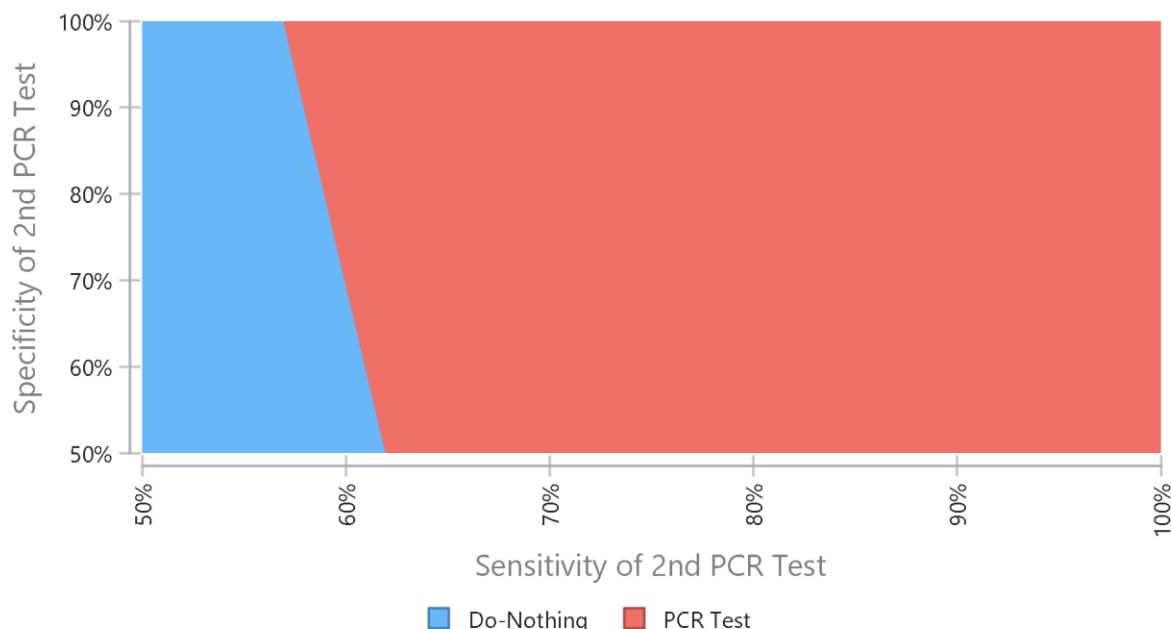


図 13. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X 軸）：1 次スクリーニング PCR 検査の感度（30%-100%）

縦軸（Y 軸）：2 次スクリーニング PCR 検査の感度（30%-100%）

解釈：1 次感度と 2 次感度の組み合わせ点（例、 $X = 70\%$,

$Y = 90\%$ ）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」

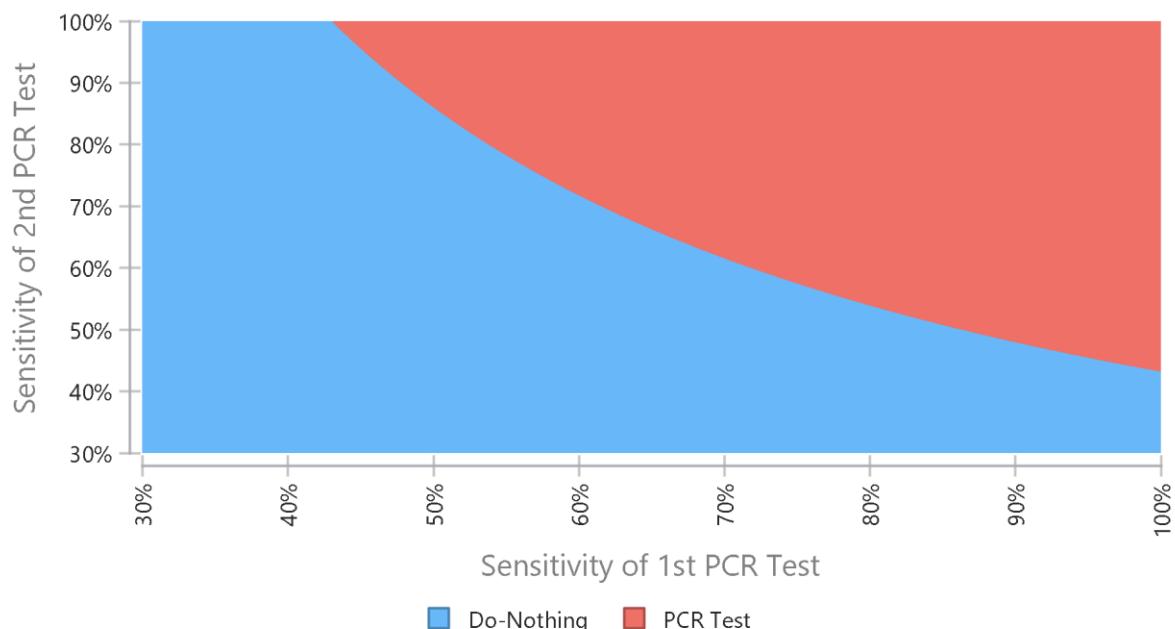


図 14. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」
横軸（X 軸）：1 次スクリーニング PCR 検査の特異度（50%-100%）
縦軸（Y 軸）：2 次スクリーニング PCR 検査の特異度（50%-100%）
解釈：1 次特異度と 2 次特異度の組み合わせ点（例、X = 90%, Y = 90%）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」

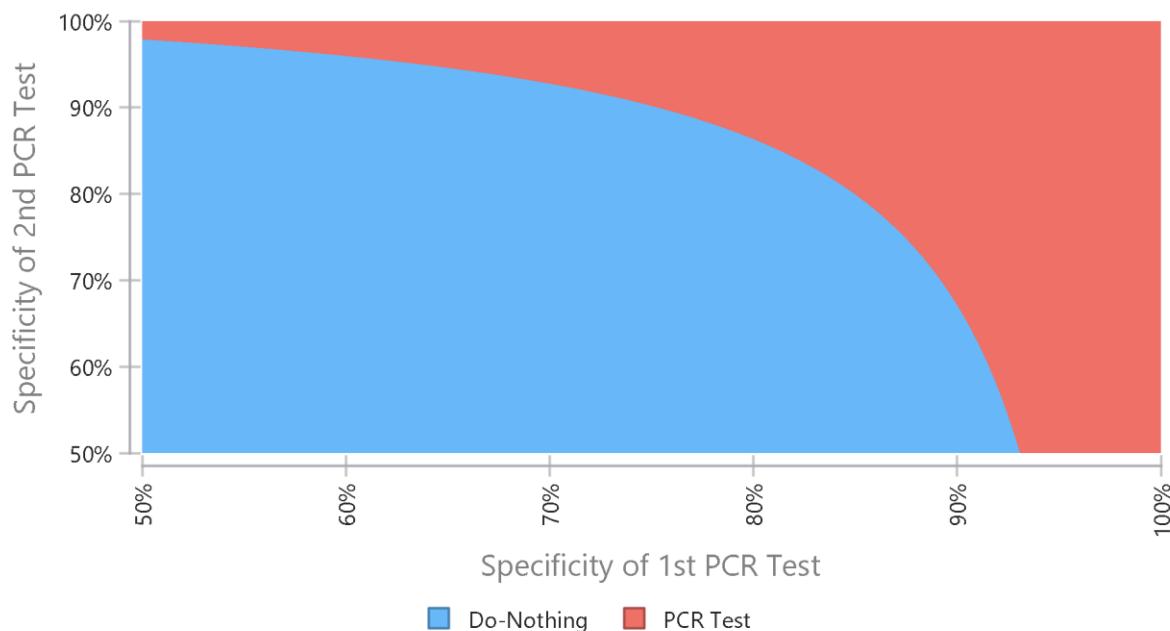


図 15. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X 軸）： 検体採取後、隔離までの日数（0-4）

縦軸（Y 軸）： 1 次スクリーニング PCR 検査の感度（30%-100%）

解釈：特異度と検査費用の組み合わせ点（例、 $X = 2$,

$Y = 70\%$ ）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」

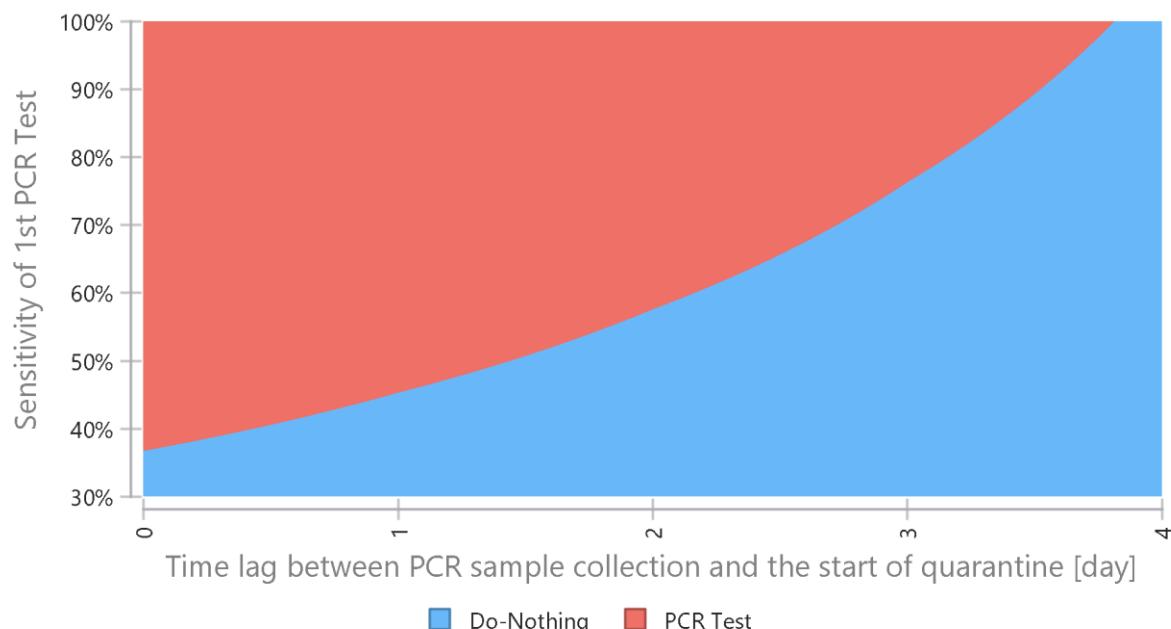


図 16. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X 軸）： 検体採取後、隔離までの日数（0-4）

縦軸（Y 軸）： 1 次スクリーニング PCR 検査の特異度（30%-100%）

解釈：特異度と検査費用の組み合わせ点（例、 $X = 1$ 日，

$Y = 80\%$ ）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」

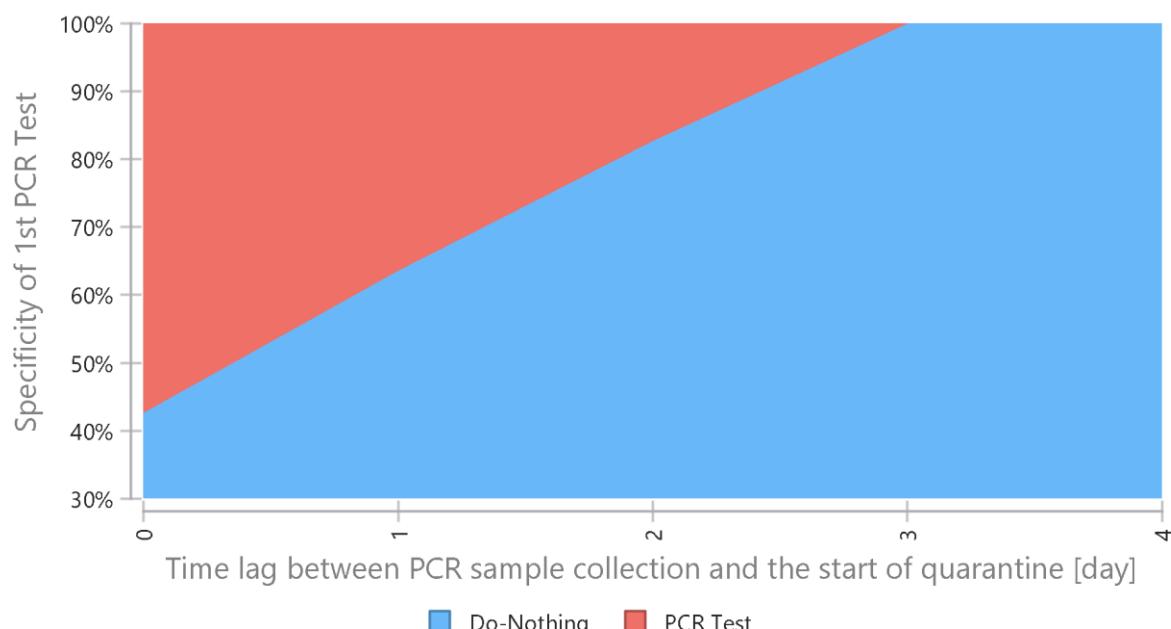


図 17. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸（X 軸）： 検体採取後、隔離までの日数（0-4）

縦軸（Y 軸）： 2 次スクリーニング PCR 検査の感度（40%-100%）

解釈：特異度と検査費用の組み合わせ点（例、 $X = 2,$

$Y = 80\%$ ）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」

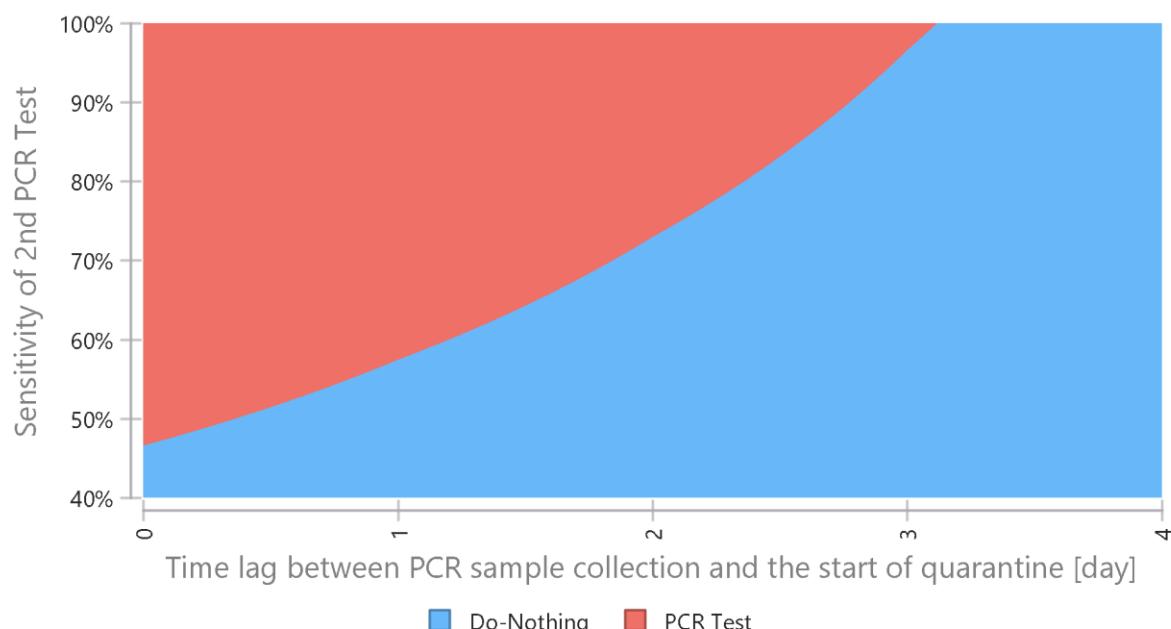


図 18. 2 次元感度分析：無症状者対象の PCR 検査

「行う（図中の赤色部分）」 vs 「しない（青色部分）」

横軸 (X 軸) : 検体採取後、隔離までの日数 (0-4)

縦軸 (Y 軸) : 2 次スクリーニング PCR 検査の特異度 (0%-100%)

解釈：特異度と検査費用の組み合わせ点（例、 $X = 2$ 日，

$Y = 20\%$ ）が赤色部分の内部なら「PCR 検査を行うべき」



文献

1. Furukawa NW, Brooks JT, Sobel J. Evidence Supporting Transmission of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 While Presymptomatic or Asymptomatic. *Emerg Infect Dis.* 2020;26(7).
2. Worldometer. COVID-19 CORONAVIRUS PANDEMIC. 2020; <https://www.worldometers.info/coronavirus/>. Accessed July 24, 2020.
3. 札幌医科大学医学部 附属フロンティア医学研究所 ゲノム医科学部門. 人口あたりの新型コロナウイルス死者数の推移【国別】. 2020年; <https://web.sapmed.ac.jp/canmol/coronavirus/death.html?kw=China%2CJapan%2CSouth%20Korea%2CTaiwan>, 2020年8月1日.
4. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Testing for COVID-19: A way to lift confinement restrictions. 2020; https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=129_129658-l62d7lr66u&title=Testing-for-COVID-19-A-way-to-lift-confinement-restrictions. Accessed June 12, 2020.
5. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). COVID-19 検査：外出制限措置を解除するために. 2020年; <https://www.oecd.org/tokyo/newsroom/ja%20Testing%20for%20Covid%20may%204%20rev.pdf>, 2020年6月11日.
6. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19): Evaluating the initial impact of COVID-19 containment measures on economic activity. 2020; <http://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/evaluating-the-initial-impact-of-covid-19-containment-measures-on-economic-activity-b1f6b68b/>. Accessed June 12, 2020.
7. 児玉龍彦. PCR陽性で無症状で、抗体検査陰性の感染者について（記者会見）. 2020年; <https://www.rcast.u-tokyo.ac.jp/ja/news/release/20200707.html>, アクセス日：2020年9月28日.
8. Adhikari B.B., Fischer L.S., Greening B., et al. COVIDTracer A Planning Tool to Illustrate the Resources Needed to Conduct Contact Tracing and Monitoring of COVID-19 cases and Its Potential Impact (Beta Test Version 1.0). 2020; https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/downloads/php/COVID_TracerManual-508.pdf. Accessed August 6, 2020.
9. Shrestha NK, Marco Canosa F, Nowacki AS, et al. Distribution of Transmission Potential during Non-Severe COVID-19 Illness. *Clin Infect Dis.* 2020.
10. He X, Lau EHY, Wu P, et al. Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19. *Nat Med.* 2020;26(5):672-675.
11. Neilan AM, Losina E, Bangs AC, et al. Clinical Impact, Costs, and Cost-Effectiveness of Expanded SARS-CoV-2 Testing in Massachusetts. *medRxiv.* 2020.
12. Corral JE, Hoogenboom SA, Kröner PT, et al. COVID-19 polymerase chain reaction testing before endoscopy: an economic analysis. *Gastrointest Endosc.* 2020.
13. Savitsky LM, Albright CM. Preventing COVID-19 Transmission on Labor and Delivery: A Decision Analysis. *Am J Perinatol.* 2020;37(10):1031-1037.
14. Paltiel AD, Zheng A, Walensky RP. COVID-19 screening strategies that permit the safe re-opening of college campuses. *medRxiv.* 2020.
15. Jiang Y, Cai D, Chen D, Jiang S. The cost-effectiveness of conducting three versus two reverse transcription-polymerase chain reaction tests for diagnosing and discharging people with COVID-19: evidence from the epidemic in Wuhan, China. *BMJ Glob Health.* 2020;5(7).
16. 愉炳匡. 日本に於ける新型コロナウイルス・パンデミックの抗体検査結果の比較と分析. 参議院予算委員会資料補足資料(3).2020年. https://www.ric.u-tokyo.ac.jp/topics/2020/ig-20200716_all.pdf; English version: Yoo BK. Analysis of Antibody Tests for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) conducted in Japan. Supplementary material (3), submitted to the Japan's National Diet, House of Councilors, Budget Committee Meeting on

- “Measures against COVID-19” on July 16, 2020. <https://www.ric.u-tokyo.ac.jp/topics/2020/ig-20200727.pdf>. 2020. Accessed July 31, 2020.
- 17. Rivett L, Sridhar S, Sparkes D, et al. Screening of healthcare workers for SARS-CoV-2 highlights the role of asymptomatic carriage in COVID-19 transmission. *Elife*. 2020;9.
 - 18. Chau NVV, Thanh Lam V, Thanh Dung N, et al. The natural history and transmission potential of asymptomatic SARS-CoV-2 infection. *Clin Infect Dis*. 2020.
 - 19. Meyers KJ, Jones ME, Goetz IA, et al. A cross-sectional community-based observational study of asymptomatic SARS-CoV-2 prevalence in the greater Indianapolis area. *J Med Virol*. 2020.
 - 20. Sakurai A, Sasaki T, Kato S, et al. Natural History of Asymptomatic SARS-CoV-2 Infection. *N Engl J Med*. 2020. doi:10.1056/NEJMc2013020. [Epub ahead of print: 12 Jun 2020].
 - 21. Keeley AJ, Evans CM, de Silva TI. Asymptomatic SARS-CoV-2 infection: the tip or the iceberg? *Thorax*. 2020;75(8):621-622.
 - 22. Byambasuren O, Cardona M, Bell K, Clark J, McLaws ML, Glasziou P. Estimating the extent of true asymptomatic COVID-19 and its potential for community transmission: systematic review and meta-analysis. *medRxiv*. 2020.
 - 23. Lavezzo E, Franchin E, Ciavarella C, et al. Suppression of a SARS-CoV-2 outbreak in the Italian municipality of Vo'. *Nature*. 2020.
 - 24. Mizumoto K, Kagaya K, Zarebski A, Chowell G. Estimating the asymptomatic proportion of coronavirus disease 2019 (COVID-19) cases on board the Diamond Princess cruise ship, Yokohama, Japan, 2020. *Euro Surveill*. 2020;25(10).
 - 25. Du Z, Xu X, Wu Y, Wang L, Cowling BJ, Meyers LA. Serial Interval of COVID-19 among Publicly Reported Confirmed Cases. *Emerg Infect Dis*. 2020;26(6):1341-1343.
 - 26. Ferretti L, Wymant C, Kendall M, et al. Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing. *Science*. 2020;368(6491).
 - 27. Hung IF, Cheng VC, Li X, et al. SARS-CoV-2 shedding and seroconversion among passengers quarantined after disembarking a cruise ship: a case series. *Lancet Infect Dis*. 2020.
 - 28. Li R, Pei S, Chen B, et al. Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). *Science*. 2020;368(6490):489-493.
 - 29. 萩原和樹(東洋経済オンライン編集部). 新型コロナウイルス国内感染の状況. 2020 年; <https://toyokeizai.net/sp/visual/tko/covid19/>, 2020 年 8 月 5 日.