

新型コロナウイルス感染阻止への一人ひとりの 行動変容とリスク未然防止

—動機付けへのシーソーモデルとマスク義務化効果分析—

鈴木 和幸[†]

(受付 2021 年 6 月 30 日；改訂 12 月 8 日；採択 12 月 9 日)

要 旨

新型コロナウイルス感染阻止へ向けて、このリスクを抑え未然防止を図るには、全体の舵取りを行う為政者、公衆衛生・治療への医療・医学関連従事者、検査への保健局・関連企業の方々に加え、市民一人ひとりの行動変容が必須である。本研究は感染リスク未然防止へ鍵を握る源流管理・予測・動機付けとともに、未然防止へのアクション三視点として、発生防止・発見・影響防止を示し、それぞれの視点から感染阻止を検討する。特に鍵を握る源流での感染阻止には、感染者への迅速な対応とともに市民一人ひとりの行動変容が大切である。行動変容への動機付けとして、シーソーモデルとともに全米 50 州と DC 特別区のマスク義務化の効果を分析し、誰でもが直感的に理解し、納得しうる記述統計の立場よりのグラフの提示を行なう。また、実効再生産数を基にマスク義務化の有効性を定量的に示す。

キーワード：源流管理，予測，実効再生産数，品質保証，効果と効率。

1. はじめに

1.1 背景

COVID-19 パンデミックは世界中に大きな禍をもたらしている。COVID-19 の根絶には強制的な活動封鎖を要するが、今日のレベルまでに感染が広がってしまった場合は早急な根絶は困難で、これを強ければいずれ経済破綻となる。速やかなワクチン接種とその効果に期待するとともに、日常生活での感染リスクを許容レベル以下にコントロールし、コロナと共存する方法を見出すことが大切である。

品質保証の最も基本的なモデルが、プロセスでの品質の作り込み、検査による不適合品の検出・手直し、顧客へのクレーム対応の 3 ステップから記述される (狩野・近藤, 2012) ように、これを COVID-19 に対応させると、経済社会活動からなる社会日常体制、PCR 検査に代表される検査体制、そして治療へ向けての医療体制となる (図 1, Kano et al., 2020 を基に作成)。図 2 は、2020 年 2 月より 2021 年 6 月までの一週間ごとの日本・韓国・台湾の検査数・陽性者数・死者数の比較 (100 万人当たりに換算, person per million, PPM) の推移グラフである (データソース; CSSE, 2021)。品質管理における品質保証の基本が、開発設計段階で品質を作り込む源流管理にあるように、2021 年 5 月 11 日迄をみれば、如何に台湾が優れた源流管理による

[†] 電気通信大学大学院 情報学専攻：〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

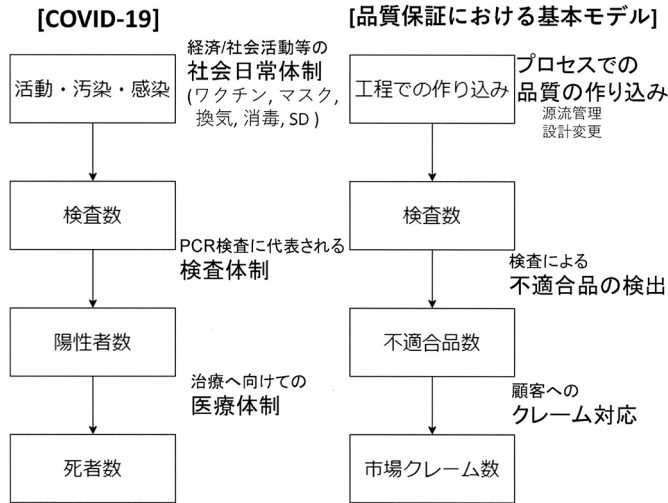


図 1. COVID-19 と品質保証の最も基本的なモデルとの対応。

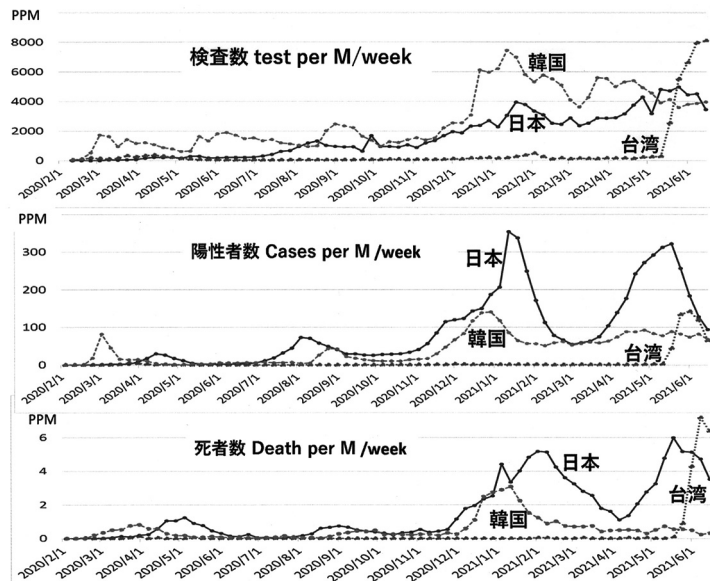


図 2. 日本・韓国・台湾の検査数・陽性者数・死者数の比較(100万人当たりへ換算; PPM)。

社会日常体制を為し得てきたかが分かる。品質管理で最も優れた検査は無検査であり、開発設計製造を含む工程での品質の作り込みが完璧であれば、付加価値を生まない検査は不要である。検査・医療体制の重要性は言うまでもないが、市民一人ひとりの行動変容により感染を抑え込めれば理想である。

台湾は2003年4月24日の台北市和平病院院内感染をはじめとするSARS(重症急性呼吸器症候群)により84名の死者を出した。これを教訓に台湾では防疫体制が強化され、2012~2015年に発生したMERS(中東呼吸器症候群)を克服し、今回のCOVID-19においても図2に示す効

果を挙げている。韓国は2015年にMERSによる死者37名、陽性者186名、隔離対象者16693名に上り、2016年感染症検査緊急導入制度など検査体制の充実と共に防疫体制が平時に強化された。

1.2 本研究の目的

一部の国ではワクチン接種が進み、その効果が徐々に現れ始めているが、たとえ一つの国での感染が抑えられても、グローバル化の進む今日、コロナ撲滅社会への復帰は難しく、コロナとの共存社会の構築に向けた活動が当面必要となる。本研究は感染リスク未然防止へ鍵を握る源流管理・予測・動機付けとともに、未然防止へのアクション三視点として、発生防止・発見・影響防止を示し、それぞれの視点から感染阻止を検討する。特に鍵を握る源流での感染阻止には感染者への迅速な対応とともに市民一人ひとりの行動変容が大切である。これへの動機付けとして、シーソーモデルとともに全米50州とDC特別区のマスク義務化の効果を分析し、誰でもが直感的に理解し、納得しうる記述統計の立場よりのグラフの提示を行なう。また、実効再生産数を基にマスク義務化の有効性を定量的に示す。

2. リスク未然防止

2.1 リスク未然防止の三つの鍵—源流管理・予測・動機付け—

生じたことへの批判は誰でもできる。大事なことは、「取り返しのつかない重大なトラブルをいかに未然防止するか」である。現時点から先さきの取り返しのつかない致命的なトラブルを如何に防げば良いか。(1)源流管理、(2)トラブルの予測、(3)行動への動機付けの三つが鍵を握る。前章にて述べたように、台湾・韓国のように過去の苦い経験を教訓として平時のときに防疫体制を確立すること、これが“源流管理”である。

それではどのような重大なトラブルに対し、源流管理を行えばよいか。このためには取り返しのつかない将来起こりうる重大なトラブルを“予測”することが重要である。即ち、予測できないことは防げない。これまで、SARSやMERSの苦い経験や知識のない方でCOVID-19を“予測”し得た人はどれ程いたであろうか。また、2019年12月武漢からの第一報があったときに台湾のように危機感を持ち即対応した国がどれ程あったであろうか。自分の国は問題ない、と他人事とするのが人の常である。例えば、2018年7月の西日本豪雨において、ハザードマップという素晴らしい予測がなされていたにもかかわらず、速やかな避難が進まず多くの被害が出た。

このように、仮に事象を予測したならば、それを他人事とせず、我が身の問題として捉え、平時の備えや有事の行動に移すことが大切である。SARS/MERSの苦い経験をしていない国こそが平時において未然防止への行動を起こすことが重要である。それでは、行動を起こしてもらうためにはどうすればよいか。ウイルス感染のメカニズムと影響の大きさをリーダーが理解し納得すること、市民一人ひとりに事の重大さを伝え理解し納得してもらうこと、マスク・社会的距離(Social Distancing; SD)・手指消毒・換気を基本とする感染対策の有用性を分かり易く誰でもが理解納得できるように示し、これを伝えること、これに加えリーダー・発信者への信頼が重要である。即ち、人は理解・納得・信頼がなければルールへの遵守や新しい行動を起こさないものである。従って、このような“動機付け”が必要である。本研究では、以上の3項目“源流管理”、“予測”、“動機付け”に重きを置き、リスク未然防止を論ずる。

2.2 未然防止へのアクション三視点

未然防止へのアクション三視点として、発生防止・発見・影響防止が必要である。そして、

有事においてはこれらのアクションの順序が逆になる。

(1) 発生防止

モノづくり、労災において、源流段階でのネック技術の抽出とこれへの組織一丸となった対応、インターロックに代表されるフルプルーフ・フェールセーフなどの本質安全設計が大切であるように、COVID-19へは、台湾のごとき平時の防疫体制の確立が鍵を握る。台湾では、米仏と同様、国会議員は内閣の一員になってはならない。蔡英文総統(法学博士)、陳建仁副総統(疫学者)、陳其邁行政院副院長(副首相 産婦人科医)、唐鳳IT担当大臣(元アップルのデジタル顧問、35歳にて史上最年少大臣、ITの天才と言われている)などの優れた人材が先頭にたち、2003年のSARSの苦い経験を基に「中央感染症流行指揮センター実施弁法」、「国民への強制力を担保する法規制」などの防疫体制が平時において構築されていた。

今回のCOVID-19の感染の流れは、SARS、MERSと大きな変化は見られない(発症がないにも関わらず、感染性を有する人がいる点が異なる)ゆえ、平時に時間のかかる防疫体制の確立、テレワーク・オンライン治療などのIT活用へのインフラ構築と教育、そして処方薬・ワクチン開発体制などの仕組みを構築しておくことが大切である。

(2) 発見

発見の大切さは私たちの健康に関しても同様であり、50歳を超えれば定期的ながん検診・人間ドックが必須である。筆者は5年前の6月の人間ドックにてステージIbの肺がんが見つかり早期手術により命が救われた。また、モノづくりにおいても検査・信頼性試験・安全性評価、そして上市後の定期的な予防保全活動は必要不可欠である。

韓国ではMERSを教訓に検査体制が確立された(1章参照)。図2の検査数のグラフに示したごとく韓国のCOVID-19への検査数は日本を大きく上回り、例えば2020年6月の時点では日本の8倍のPCR検査が実施され、軽・中・重症・最重症の4段階のすみわけ医療が行われている。また、ICTを駆使した徹底した感染経路追跡がなされている。台湾においては個人の海外渡航情報を含むICチップ入り健康保険カードにより病院や薬局が感染のリスクを知ることが可能である。

(3) 影響防止・影響拡大防止・影響緩和

平時にリモートワーク・Online診療・処方薬・ワクチン開発体制などを整え、これらの備えがあれば感染が流行しても適宜、対応が可能となる。一方、有事となり陽性が判明すれば速やかな隔離・入院・医療処置が必要である。

有事においては、以上の(1)～(3)の項目の優先順位が逆となり、COVID-19の場合は空港などでの水際対策、感染者の隔離、濃厚接触者の割り出し、重病者への人工呼吸器、ECMOの処置など、影響防止・影響拡大防止を最優先に行なわなければならない。

3. 源流管理

事故が発生して厳しい局面に立たされその重大さに気付かされたとき、改めて未然防止の意義が強調される。COVID-19、労災、モノづくりにおける重大クレーム、そして病気でも同じである。私達は重大なトラブル・事故の発生が未然防止によって回避できても、何も起こらないのが当たり前で、ありがたいことだと思わなくなってしまう。何もない、という平時の素晴らしさを常々認識しなければならない。このような素晴らしさを認識するためには、失敗したときの教訓を常に忘れず、他国や他組織のトラブルを他人事とせず、今回の台湾のように平時に防疫体制を確立しておくことが必要である。

例えば、モノづくりの場合、東京工業大学真壁肇名誉教授は、「新製品開発において、トップ

が事前に品質上の問題に大きな関心を示し、かつ、計画段階において組織全体が協業して品質問題に対して十分な検討を加えた製品には、一般に品質上のトラブルが発生することがない」と記されている(朝香 他編, 1989)。これを私たちは「源流管理」と呼び、トップのリーダーシップと源流の開発設計段階での作り込みの重要性を指す。また、米国の第16代大統領リンカーンは、「もし木を切り倒すのに6時間与えられたとしたら、私は最初の4時間を斧を研ぐのに費やすだろう」と語っている。両者に共通するのは本質とは何かを見抜くことである。即ち本質をトップ・リーダーが見抜くことこそがポイントである。モノづくりにおいて、商品開発の本質は何なのか、どのような本質が社会と顧客に感動と安心を与えるのか、どのようなリスクがあるのかを源流で徹底的に考え、これを組織として共有することが肝要である。

台湾のCOVID-19に対する源流管理はいかなるものであったらだろうか。2019年12月31日、台湾の衛生福利部所管の疾病管制署 TCDC の幹部が中国のネット上で「武漢で原因不明の肺炎が発生している」情報をキャッチするやいなや、政府が一丸となって動き出した。例えば12月31日夜から武漢からの直行便の機内に検疫官が乗り込み検疫が開始された。1月2日伝染病防止諮問委員会、1月5日中国の原因不明の肺炎に対応する専門家諮問会議がそれぞれ設立され、中国現地へ専門家を派遣して状況把握が開始されている(小笠原, 2020)。

更に、トップ・リーダーの姿勢と安全文化に関していえば、台湾蔡英文総統の目的に向けたぶれない姿勢と専門に長けた優秀な人材より組閣し、彼らを信頼し権限を委譲するなど民主政治体制において常に自由を意識した臨機応変迅速対応(横断型行政組織と整備された情報システム)が現在の防疫と国民の信頼に繋がっている。

そして、品質管理でいう、Q(クオリティ)、C(コスト)、D(デリバリー)、S(セーフティ)、L(法令遵守)―コンプライアンスのCの代わりに法令のLawを使用―の優先順位をCOVID-19の場合、どのように考えるべきだろうか。この場合 $S > L > Q > D > C$ とすることが大切であろう。トップ・リーダーが市民目線を常に持ち、市民一人ひとりへ、この順序を常に伝えることにより、全市民に浸透し、また、人々が判断に迷うとき、トップの言葉を思い出し、この順序に従って行動する安全文化が必要である。

台湾では、感染対策と経済活動では感染対策、即ち安全を最優先とした。例えば2月25日COVID-19感染対策の総合的法令である「嚴重特殊伝染性肺炎防治および国難緩和振興特別条例」が成立した。これには医療従事者が感染した場合の補償、隔離・在宅待機者への補償、雇用者には隔離・在宅待機者への有給休暇を義務づけそれに伴う減税措置、打撃をうけた企業が雇用を維持する補助金、観光関連自営業者・社会的弱者への補助金が含まれている。このように安全への規制・ルール遵守へ向けての必要かつ十分な経営資源の投下が必要であり、これがトップとしての役割である。

また、台湾の陳健仁副総統が小学生にわかる言葉で隔離の重要性和隔離を受けている人への敬意を説き、そしてSARSの経験から感染状況を隠さず透明化することが重要であることを伝え続けているように、問題を起こすことが問題ではなく、問題を隠すことが問題となる文化の構築が必要である。誰でも失敗する。失敗をしない人はいない。

4. 予測に基づく未然防止

2章で述べたように予測できれば発生防止・発見・影響防止のアクション三視点からこれを未然防止する事が出来る。それではいかに予測すればよいか。

4.1 帰納的アプローチと演繹的アプローチ

我が国では感染者の過去の行動履歴を追い、複数の陽性者の共通感染源に着目し“3密(密

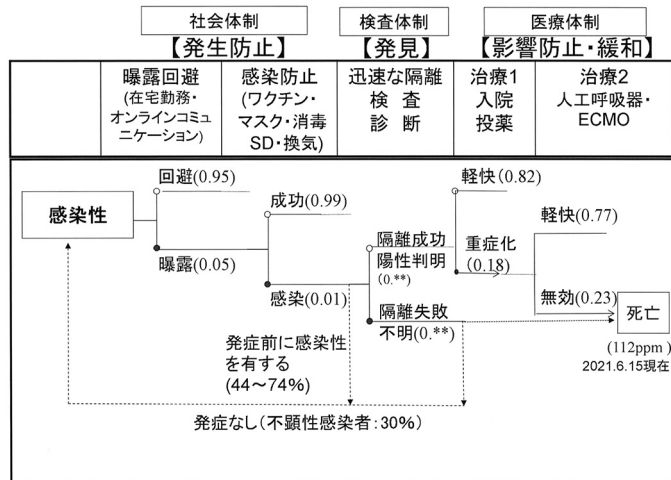


図3. 曝露から感染, 検査, 治療へのプロセス(注: 括弧内の数値は仮のものである).

閉・密集・密接”が導かれた。新型コロナウイルス感染症対策専門家会議ではこれを“さかのぼり(Retrospective)調査”と呼ぶ。このように過去に生じた事象を、現場・現物・現実の視点より一般化、普遍化し、共通概念を導出し、これを組織構成員全員が情報共有を行い、現時点から先のトラブル未然防止を図る帰納的アプローチが大切である。因みにモノづくり、労災においては、重大労災はほぼ100%再発であり、帰納的に労災発生の予測が可能である。

一方、感染はウイルスに汚染され生じる故、感染性を有する人との接触者、特に濃厚接触者がウイルスを除去できず感染に至ることになる。この流れを図3に示す。すなわち、原理・原則からトラブル事象を導く演繹的アプローチが必要である。これから導かれるものの一つが“前向き(Prospective)調査”の濃厚接触者への着目である。COVID-19に対する接触者調査は諸外国でも行われており、新規陽性者の濃厚接触者を洗い出し、濃厚接触者に幅広くPCR検査を実施し、将来の感染者を探し出す調査が行われている。

4.2 PDCAの視点からの予測

(1) トラブル情報の共有

トラブルは

- a. 過去において経験、あるいは類するトラブル
- b. 未経験なトラブル

に分けることができる。さらにb.は、

- b1. 個人で未経験なトラブル
- b2. その個人が属する地域(市/県/国)・組織(係/課/部/企業)等で未経験なトラブル
- b3. ○○地域、**業界で未経験なトラブル
- b4. 地域・業界の枠を越えて未経験なトラブル

に分かれる。例えば台湾でのSARS、韓国でのMERSなどトラブル事象の発生メカニズムや根本原因を考えれば、上記のa, b1, b2, b3がかなりの割合を占めることは経験するところであ

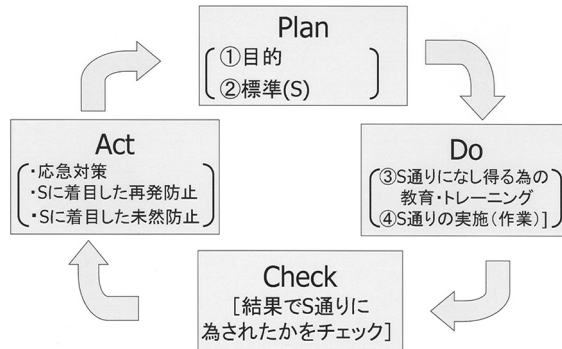


図 4. 個別トラブル事象の普遍化とその仕組み・プロセスへの PDCA (狩野, 2005 を基に作成).

る。従ってデータベースにこれを整理し、関係者が誰でも情報を共有しうるシステムが不可欠となる。もちろん、希少ではあるが b4 もありえる。これに対しては、過去のトラブルを抽象化・一般化することによりかなりのことが予測可能であろう。

(2) PDCA の視点からの個別事象の一般化

図 4 は標準に着目した際の PDCA の要点である (狩野, 2005 を基に作成)。Plan は目的とこれを達成するための仕組み・方法・ルール・手順(これを標準; Standard という, 以下 S で示す)からなる。COVID-19 の場合, 感染阻止のためのマスク着用・社会的距離・手指消毒・換気などのルールが, この標準に当たる。Do は, S を遵守しうるための教育・訓練, および教育後に S に従って業務を行うこと, Check は結果で S 通りに業務や行動がなされたか否かのチェックを行うこと(大切なことは結果をチェックするのではなく, 結果で S の遵守をチェックすること)である。S の遵守の視点からみると, 結果が目的未達の時は S を遵守しなかった, あるいは S の中身に問題があった, のいずれかになる。前者であれば S が遵守されなかった理由を, 後者であれば S の中身そのものの問題を追求することが Act(アクションを行う)である。

以上の視点から, トラブル事象が生じたときには図 5 のように

- ①目的の理解とその納得が為されていたか否か
- ②適切な S (標準・行動・ルール) を組織として確立していたか否か
- ③ S が確立していたとき, S の教育・訓練がなされていたか否か [遵守すべき理由, 過去のトラブル例とその背景などを含めた教育が重要]
- ④教育・訓練がなされていた場合, S 通りに業務を実施しようとしていたか否か
- ⑤ S を遵守したにもかかわらずトラブルやエラーが発生してしまったか否か

の分類を行うこと, そして上記の各々に対し, 図 5 のように根本原因を PDCA の視点から検討することが肝要である。

コロナ感染の場合, 3 密回避, マスク着用などのルールを遵守したにもかかわらず感染してしまったか, あるいは遵守せず感染してしまったかを調べ, ルールの適切さとルール遵守に対する PDCA を回さなければならない。これは感染経路不明の方に対する聞き取りの要所である。また, ワクチンの種類, ワクチン未接種, 1 回摂取, 2 回摂取にて層別した感染者数の報道も必要である。

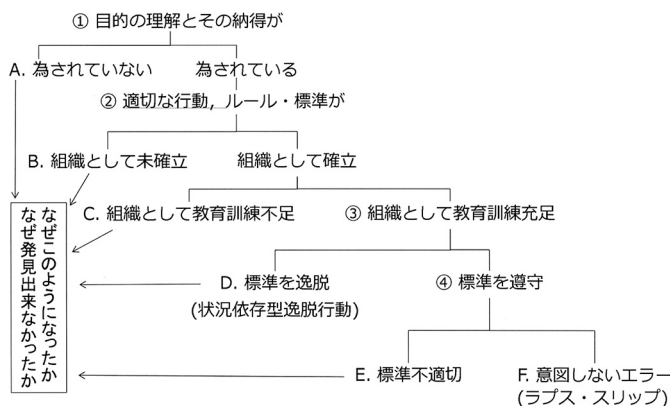


図 5. トラブルの PDCA の視点からの分類.

4.3 ヒヤリ・ハットからの予測

誰も今日までに交通事故に至る寸前の「ヒヤリ」とした、あるいは「ハッ」とした経験を持つであろう(「ヒヤリ・ハット」と呼ぶ)。運よくかすり傷一つ負わなかった方、軽傷で済んだ方、骨折を経験された方もいらっしゃるであろう。同じ原因であってもその結果は1件の死亡、29件の骨折、300件のかすり傷として生じるといふハインリッヒの法則がある。実際にはかすり傷にも至らない「ヒヤリ・ハット」がその大半である。これら大半を占めるかすり傷やヒヤリ・ハット(確率的に死亡よりもこちらが先に生じる)により、将来起こるかもしれない死亡および骨折などの重大事故やトラブルを未然に防止すること、即ち、将来の重大なトラブルの発生を自らのヒヤリ・ハットのみでなく、他の方のもも含めて情報共有し、予測することが大切である。コロナ感染の濃厚接触者が陰性であったとき、なぜ陰性であったかの背景と原因を追及し前節のSへ反映することが大切であり、この分析と報道が為されなければならない。

5. 動機付け

モノづくりにおける新製品開発時、重大な事故の発生が回避できても、これが当然のこととしか目に映らず、これを未然防止への成果として認知することは難しい。反面、事故が発生して厳しい局面に立たされたときやその重大さに気付かされたとき、はじめて未然防止への意義が強く認識される。今、コロナに感染せず、健康に恵まれている方はその有り難さを感じ、健康であることに感謝しているであろうか。人はややもすると、この有り難さを忘れ、感染してはじめて健康の有り難さを痛感する。

5.1 シーソーモデルに基づく行動変容への3ステップ

市民一人ひとりには如何にすればリスク未然防止への新たな行動をとり、また標準・ルールを遵守するか。社会科学・行動科学の分野では、市民の行動変容への要因として、リスク・脅威の認識、行動による自身への利益・有効性の認識、行動による他者への利益・有効性の認識などが指摘されている(Bavel et al., 2020; Irfan et al., 2021 など)。これらの重要度は文化・道徳的価値観・社会的規範等とともに、これらを発信する機関や政府への信頼によっても変わりうる。

未然防止の観点からは医療受入体制の逼迫などの脅威・リスクが生じる前の市民の行動変容が必要である。そこで本稿では、ワクチン接種・マスク着用・換気・社会的距離(SD)等の指針への市民の遵守徹底を目的に検討する。

ステップ2 正しい理解

AとBへの激論を

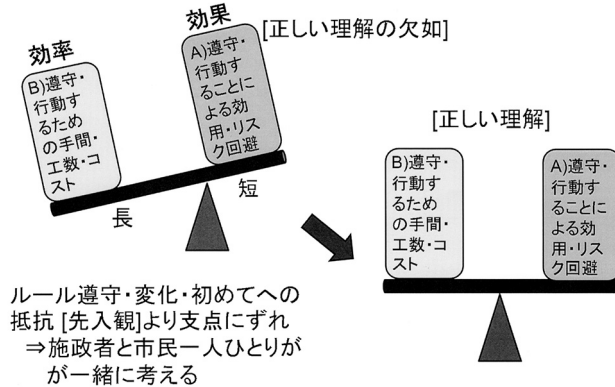


図 6. シーソーモデルにおける正しい理解。

Lemoine and Vanderhaegen (2007), 中條 (2018)では, 人はルールを守ることによる効用とルールを守るための手間を秤にかけ, 前者よりも後者が大きいと守らないことに基づき, 効用の向上と手間の減少の必要性を述べている. 本節ではこれをより具体的に COVID-19 に向けての行動変容に結びつくように下記の3ステップを提案する.

ルールの遵守・新しい行動をなすためには,

- A) 効果; ルール遵守・行動することによる効用・リスク回避
- B) 効率; ルール遵守・行動へ向けての手間・工数・コスト

の二つの理解と納得, そして信頼が大切である.

Step1: 為政者・リーダーへの会話・相談ができる文化の構築

モノづくりの現場では, 管理者と担当者が上記の A), B) についての激論により, A と B の中身を完全に理解・納得することが大切である. この為には, リーダーのマネジメントにより管理者と担当者がとことん話し合える慣習と文化が必要となる. リーダー不在でまとまりに欠ける組織, 耳を貸さない管理者, 意見を自由に述べられる雰囲気欠ける職場, 命令だけの一方通行の押しつけでは, 人は動かず, 問題解決には至らない. COVID-19 感染阻止に対しても同様であり, 感染現場からのデータに基づく分析がなく, 市民との激論無しで, 一般論での一律の対策のみを論じていては, 市民一人ひとりの日常生活での対策・ルールの遵守はおぼつかない.

Step2: A, B の激論によるルール, 行動の正しい理解

私達は新しいことや面倒で厄介なルールに関しては, 図 6 に示すように, A) と B) のシーソーの支点を中心にはなく, 初めからずれている. 米国ではこれまでマスク着用の慣習がなく, 多くの米国人はマスク着用には抵抗があると聞く. 新しい行動や面倒なルールはなるべく避けたい, 守りたくないという思いが誰にでもある. A) と B) の激論によって為政者・リーダーと市民一人ひとりが一緒に考えてはじめて共通の理解が深まり, シーソーの支点が A) と B) の中心となるであろう.

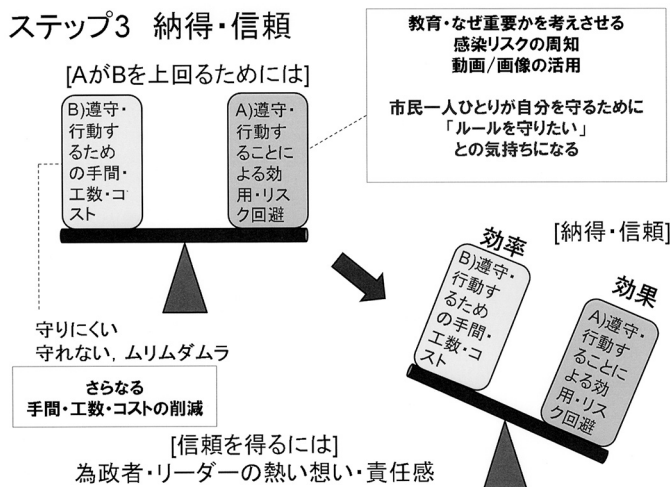


図 7. シーソーモデルにおける納得と信頼。

Step3: 標準の更なるカイゼンと効用・リスクの納得

完璧なルールはあり得ない。守りやすく使いやすい、ベストのルールへのカイゼンを常に図ることが大切である。また、A)の有効性、リスク回避の重要性に対し身を以て納得することが大切である。言葉だけでは難しい。その1つの方法として、例えばマスク着用の効果を誰でもが直感的に納得し理解しうるグラフなどにより提示すること、コロナ経験者の体験を動画などで共有しコロナ感染の脅威を認識することなどが大切である。そして熱い思いと責任感を持つ為政者・リーダーへの信頼が最後は鍵を握る。

以上より図7のようになり、理解と納得、そしてリーダーへの信頼が得られてはじめて人が動く。

台湾では国民の理解と納得、そして信頼への台湾 CDC トップの陳時中指揮官と各省庁の専門家による毎日定時の記者会見がなされている。陳時中氏は歯科医であり医学の専門知識を持ち患者に接するようなわかりやすい説得力のある言葉で、最新の感染状況や管理体制の情報提供を行うとともに、質問する記者には納得するまで説明し、会見打ち切りはしない。会見はネット中継され多くの人が注目するとともに、これにより政府への信頼を得ている。2003年のSARS以降、台湾 CDC は政府のホームページで伝染病に関する情報を公開し、さらに24時間体制のホットラインで国民からの情報提供、問い合わせに対応しているが、COVID-19においては政府のHPだけでなく、LINE経由でチャットボットを活用し感染情報と公衆衛生情報を発信している。2003年のSARSの教訓より国民の理解・納得が図られ、民間での自主的な検温・マスク着用の取り組みが加速された(2020年3月25日の民意調査では感染対策への政府および陳時中氏の「満足」はそれぞれ84%, 91%である(小笠原, 2020))。

5.2 誰でも直感的に理解・納得しうるグラフ・図の提供

前節での効果と効率のシーソーモデルが基本となり市民一人ひとりの行動変容が期待されるが、1億2千万人を越える全国民一人ひとりとの激論は難しい。本研究では、これを打開する一つの方法として、誰でもが直感的に理解しうるアプローチとして記述統計のグラフの利用を次章で検討する。

6. マスク義務化効果分析

6.1 市民一人ひとりの行動変容へ向けて

マスク着用・社会的距離(SD)の指針を全市民一人ひとりに遵守徹底してもらうためには、この指針への理解と納得が必要となる。このためには指針の重要性と有効性をデータと論理にて科学的に示し、これを分かり易く伝えることが必要となる。本研究ではモデルベースではなく、誰でもが直感的に理解しうるアプローチとして記述統計を用いる。

COVID-19の感染経路は大きく以下の3つに分けられる；

- ①口腔から放たれる直径 5μ 以上の飛沫による飛沫感染
⇒ 対策；マスク・社会的距離(SD)
- ②飛沫の水分が減少し生じる飛沫核(直径 5μ 未満)による飛沫核感染
⇒ 対策；換気・マスク・眼鏡
- ③手指や目等を通しての接触感染
⇒ 対策；手指消毒・洗眼およびマスク

即ち、マスクは三つの感染経路全てに必要であり、本研究ではマスク効果について取り上げる。

6.2 データの収集

2020年1月28日より9月30日までの全米50州とDC特別区のマスク義務化情報(義務化開始日、一部義務化の州については対人口割合)およびマスク義務化前後の他の施策情報、Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME)によるマスク着用率とMobility (IHME, 2021) (直近のマスク着用率はDelphi Group, 2021参照)、およびCDCからの各州の感染者数情報(CDC, 2020)によるマスク義務化の感染者数低減への効果の分析を行なう。なお本研究では感染者数はすべて州(DC特別区を含む：以下同様)の人口100万人当たり基準化する(PPM)。なお、米国を取り上げた理由は、これまでマスク着用の慣習がなく、その義務化に当たり州毎に施策内容とそのタイミングが異なり社会実験と見做すことが可能であるためである。

6.3 分析

全米における2020年9月30日までのマスク義務化は、州全体の義務化の州と郡/市の一部義務化の州とに分かれる(Ballotpedia, 2021; Kim et al., 2020; Markowitz, 2021; The New York Times, 2020, Wikipedia, 2021)。本研究では、前者をWHOがマスク着用の推奨を報じた6月5日前と後の2群にわけ、後者は州人口に対しマスク着用義務対象者が占める割合により、人口割合30%以上・同30%未満の2群にわけ、なお、複数の郡/市が異なる日に義務化を行っている場合は、義務化日を対象人口の最も多い郡/市の実施日、対象人口を上記の実施日+2Week(W)、-2Week(W)間の対象総人口とする。以上より

- 群A：6/5前の州全体の義務化の州(●印)
- 群B：6/5以降の州全体の義務化の州(■印)
- 群C：州一部実施人口割合30%以上の州(△印)
- 群D：州一部実施人口割合30%未満の州(×印)

の4群を考える。

6.4節前半においては、記述統計のアプローチにより直感的に理解・納得ができるグラフによりマスク義務化の効果を示す。後半では、Stay at home、学校の閉鎖、大規模な集会の禁止、レストラン・バー・娯楽施設の閉鎖等の施策はMobilityに関連するゆえ、マスク義務化開始時点前後2W、合計4WのMobilityに着目し、このMobilityが平時に比し15%未満の減少のみ

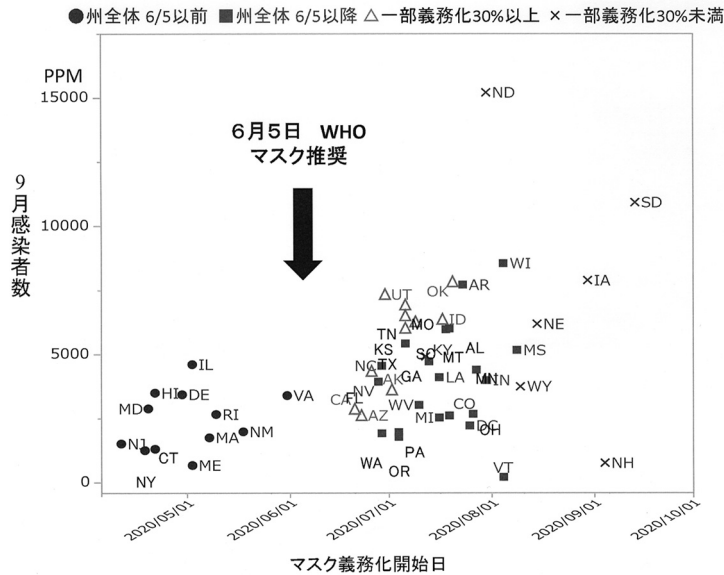


図 8. 全米 50 州と DC 特別区のマスク義務化開始日と 2020 年 9 月の感染者数 (PPM)。

の州に対し，マスク義務化の効果を検討する．なお，マスク効果の定量的仮説検定に関しては義務化開始日 2W 後 (8 日目から 14 日目の 1 週間) の日々の実効再生産数の平均と，その後 6 週間の日々の実効再生産数の平均をもとめ，後者から前者を引いた増減をマスク義務化効果指標として検討する．なお，Suzuki et al. (2021) では，実効再生産数ではなく，人口百万人当たりの感染者数の増減をもとにマスクの効果を提示している．

6.4 分析結果

6.4.1 マスク義務化日の相違と感染者数

横軸にマスク義務化開始日，縦軸に人口 100 万人あたりの各州の 2020 年 9 月の 1 ヶ月分の感染者総数を取り，全米 50 州並びにワシントン DC 特別区，計 51 地区に関しプロットした (図 8，州名の略称は SSA, 2021 参照)．4 群にて感染者数 (人口 100 万人あたり) に差が出ていることがわかる．特に 6 月 5 日前に義務化している州 (群 A：●印) は感染者数が少ない．

6.4.2 マスク着用率と感染者数

図 9 は横軸に 51 地区それぞれの 9 月の全水曜日 (2 日・9 日・16 日・23 日・30 日) のマスクの平均着用率，縦軸に人口 100 万人あたりの 9 月の感染者数を取った．相関係数 r は -0.67 ，無相関の検定に関する p 値 $= 0.0001$ であった (Wyoming 州を除くと $r = -0.77$ ，この州は人口および人口密度が低い (人口は最下位 (約 60 万人)，人口密度は下位より 2 番目) ことが寄与している可能性がある)．即ち，マスクの着用率が高ければ高いほど感染者数は少ない．また，図 10 は，2020 年の米大統領選にての勝利政党により層別したものである (◆民主党，◇共和党)．政党による感染者数の相違が明らかである．米国では，マスク義務化，stay at home 等の感染への施策は州ごとに異なり，為政者の施策の違いが明らかである．

6.4.3 Mobility を考慮したマスク義務化効果

全米 50 州と DC 特別区のマスク義務化開始日前後各 2 週間，合計 4 週間の Mobility の平均

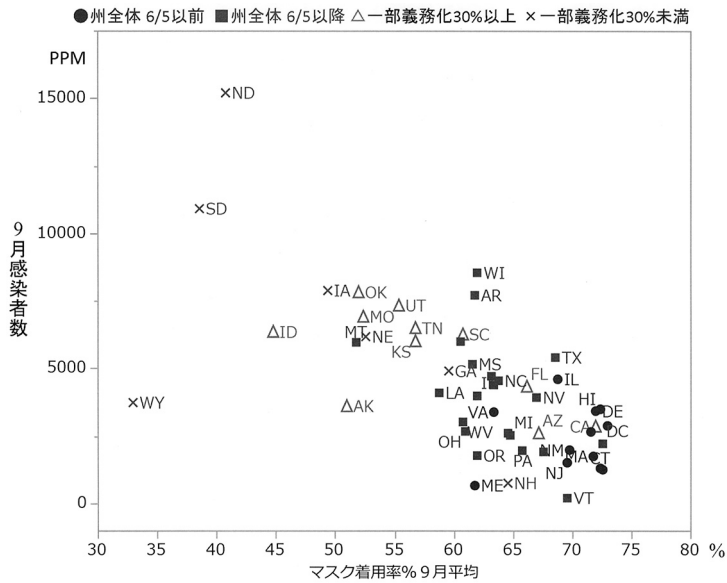


図 9. 全米 50 州と DC 特別区の 2020 年 9 月のマスクの着用率(全水曜の平均)と感染者数 (PPM).

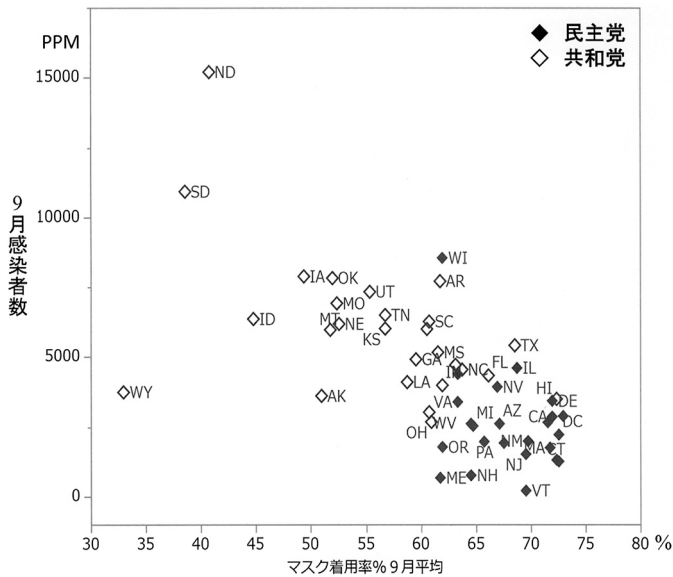


図 10. 図 9 への米大統領選 2020 年の勝利政党による層別(◆民主党, ◇共和党).

を求めた。また義務化後 2W 目(8 日目から 14 日目)までと、その後 6 週間(3W 目から 8W 目)のそれぞれの日々の実効再生産数の平均を算出し、後者から前者を引きマスク義務化効果指標とした。実効再生産数の算出方法は、感染者数のモデルを疑似ポアソン分布としたこと以外は石岡 他 (2022)と同様である。なお、世代時間分布の期待値は、Nishiura et al. (2020)より 4.8

表 1. マスク義務化日前後各 2 週間の Mobility 平均が平時に比し 15% 未満減少の 23 州のマスク義務化開始日・Mobility 実効再生産数等の主要データ。

Group	州	略号	人口	大統領選 1: 民主 2: 共和	マスク義務化 実施日	マスク義務化 人口 比%	stay at home 開始日 start date	stay at home 解禁日	マスク義務化時点 -2W~+2W Mobility (vs.平時)	マスク使用率 % 9/30	9月 感染者数 ppm	R_0 マスク義務化後2W 目平均 (8日目~14日目)	R_0 3W~8W の平均	R_0 3W~8W /2W目平均	R_0 3.8W-2W
B	Alabama	AL	1,174,497	2	2020/7/16	100	2020/4/4	2020/4/30	-9%	61	5993	0.993	0.966	0.973	-0.027
	Arkansas	AR	1,008,047	2	2020/7/20	100	No issue until	2020/9/30	-13%	62	7707	1.009	0.999	0.990	-0.010
	Indiana	IN	2,029,571	2	2020/7/27	100	2020/3/24	2020/5/1	-14%	61	3983	1.011	1.008	0.997	-0.003
	Kentucky	KY	1,373,577	2	2020/7/10	100	2020/3/26	2020/6/29	-14%	65	4711	1.100	1.044	0.948	-0.057
	Mississippi	MS	823,185	2	2020/8/5	100	2020/4/3	2020/4/27	-11%	59	5157	0.957	0.969	1.013	0.012
	Montana	MT	337,196	2	2020/7/15	100	2020/3/28	2020/4/26	3%	54	5963	1.094	1.072	0.980	-0.022
	Ohio	OH	3,097,655	2	2020/7/23	100	2020/3/23	2020/5/19	-14%	62	2672	0.997	0.971	0.974	-0.026
	West Virginia	WV	552,844	2	2020/7/7	100	2020/3/24	2020/5/4	-8%	61	3021	1.065	1.036	0.972	-0.029
	Wisconsin	WI	1,522,965	1	2020/8/1	100	2020/3/25	2020/5/13	-14%	62	8538	1.050	1.106	1.053	0.056
C	Alaska	AK	444,791	2	2020/6/29	40	2020/3/28	2020/4/24	-10%	52	3606	1.132	1.031	0.911	-0.100
	Kansas	KS	513,909	2	2020/7/3	67	2020/3/30	2020/5/3	-9%	59	6006	1.118	1.038	0.929	-0.080
	Idaho	ID	304,891	2	2020/7/14	41	2020/3/25	2020/4/30	-8%	47	6354	1.049	0.956	0.911	-0.094
	Missouri	MO	1,372,365	2	2020/7/3	32	2020/4/6	2020/5/3	-14%	54	6915	1.025	1.016	0.991	-0.009
	Oklahoma	OK	1,205,616	2	2020/7/17	30	2020/3/17	2020/5/1	-7%	53	7820	1.008	1.004	0.997	-0.003
	South Carolina	SC	1,386,564	2	2020/7/6	40	2020/4/7	2020/5/4	-13%	60	6259	1.006	0.986	0.981	-0.020
	Tennessee	TN	2,840,109	2	2020/7/3	36	2020/3/31	2020/4/30	-11%	56	6493	1.039	0.992	0.955	-0.047
D	Georgia	GA	3,199,951	2	2020/7/9	20	2020/4/3	2020/4/27	-11%	59	4909	1.036	0.976	0.943	-0.059
	Iowa	IA	788,868	2	2020/8/26	7	2020/3/17	2020/4/30	-6%	51	7881	1.016	1.049	1.032	0.032
	Nebraska	NE	452,862	2	2020/8/11	24.7	2020/3/16	2020/5/1	-8%	53	6175	1.035	1.105	1.068	0.070
	New Hampshire	NH	300,413	1	2020/8/31	5	2020/3/27	2020/6/15	-14%	67	753	1.082	1.154	1.066	0.072
	North Dakota	ND	238,737	2	2020/7/27	16	2020/3/20	2020/4/30	-4%	42	15192	1.097	1.100	1.003	0.003
	South Dakota	SD	188,344	2	2020/9/9	3	2020/3/23	2020/4/30	3%	40	10907	1.169	1.140	0.976	-0.029
	Wyoming	WY	159,210	2	2020/8/6	5	2020/3/20	2020/5/1	6%	34	3737	1.010	1.129	1.118	0.119

日と設定した。

Stay at home 等の影響が少ない Mobility が平時に比し 15% 未満の減少であった州は 23 州あり、この内訳は州全体の義務化が 9 州(B 群: ■印)、州一部の義務化で人口割合 30% 以上が 7 州(C 群△印)、同人口割合 30% 未満が 7 州(D 群: ×印)であり、これを表 1 に示す。なお、この 15% は我が国の 2020 年 4 月から 2021 年 6 月末までの全期間中の、平時に比し Mobility の減少率が最低のときの値である(緊急事態宣言・まん延防止等重点措置等の対象期間外の 2020 年 10 月 22 日~25 日)。これら 23 州のみを対象とする実効再生産数による義務化の効果指標のグラフと、各群の効果の母平均の 95% 信頼区間を図 11 に、分散分析の結果を表 2 に示す。分散分析の結果は、 p 値 = 0.013 となりマスク義務化の効果が示される。なお、C 群・D 群の境界 30% を 20% ならびに 40% に変えたときもそれぞれ p 値 = 0.014, p 値 = 0.028 となり、ともに有意であった。一方、上記の 3 群に関する Mobility の差に関する分散分析は p 値 = 0.11 となり 3 群には差があるとはいえない。

6.4.4 考察

図 8 は、マスク義務化実施時点と 9 月のマスク着用率のグラフである。一般に早期にマスク着用義務化がなされた後は、その習慣は着用義務が解除されたのちも継続する(IHME のマスク着用率の時系列グラフ, IHME, 2021 参照)。その点でマスク着用義務化は、行動変容の契機となりうる。

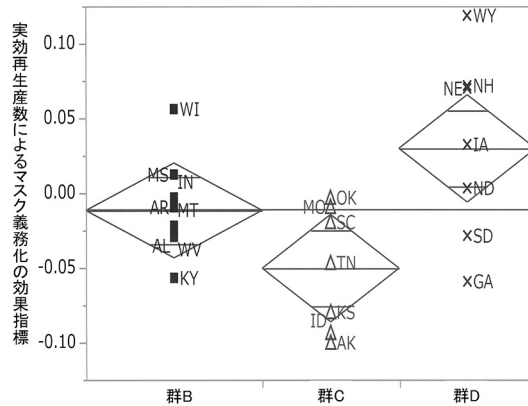


図 11. 表 1 の 23 州のみを対象とする実効再生産数によるマスク義務化の効果指標(義務化開始日 2 週目(8 日目から 14 日目の 1 週間)の実効再生産数の平均, その後 6 週間の実効再生産数の平均に対し, 後者から前者を引いた増減)のグラフ.

表 2. 表 1 の 23 州の 3 つの群への実効再生産数によるマスク義務化効果指標の分散分析.

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	p-値	F 境界値
群間	0.0202	2	0.0101	5.417	0.013	3.493
群内	0.0372	20	0.0019			
合計	0.0574	22				

なお, マスクの効果に関する従来研究は Brooks and Butler (2021)によるまとめがある. また, Lyu and Wehby (2021)では, 公共の場でのマスク使用義務化と集会禁止, 学校閉鎖などの移動制限の効果について, 指数増加型曲線のモデルをもとにマスク着用義務化により COVID-19 感染者数の増加率が最大 2.0% ポイント低下することが報告されている. このような指数増加型曲線などのモデルに基づく分析も重要であるがこれに加えて, 現状を反映したデータに対する本章前半に示した記述統計の適用による検証も必要である.

なお, 本研究は, 地域相関研究であり, 因果関係を直接証明するものではなく, またマスク着用以外の要因が結果に影響した可能性もある.

7. 結び

本研究では新型コロナウイルス感染阻止を目的にリスク未然防止への源流管理・予測・動機付けならびに未然防止へのアクション三視点として, 発生防止・発見・影響防止の重要性を示した. また, 行動変容への動機付けに対し, シーズンモデルを提示するとともに, アメリカ各州における COVID-19 施策のひとつであるマスク義務化を例にとり, データを収集し記述統計のアプローチと実効再生産数を算出することによりマスク義務化の効果を示した. 本アプローチはマスク着用効果のみでなく, ワクチン接種・リモートワーク(在宅勤務の推進)・社会的距離(SD)・換気・手指消毒の効果の提示にも同様である. 市民一人ひとりの理解と納得, そして行動変容のためには, 為政者がこの種の誰でもが直感的にわかる分析結果の提示とともにこれに基づく施策を国民に伝え, また, 報道・メディアも施策のみでなく, その施策の背景となる分析を含むわかりやすい伝達が大切である. そして, ワクチン提供・医療体制増強が進んだ今日においても市民一人ひとりの行動変容へ向けて, 施策の背景のわかりやすい説明が鍵を握る

ことは変わらない。以上、本稿が市民、ならびに市民によって構成されている企業の従業員の行動変容への一助となることを期待する。

謝 辞

本研究の作成に当たり、統計数理研究所 所長椿広計先生、同研究所「新型コロナ対応プロジェクト(代表:松井知子先生)」メンバーの皆様、東京理科大学名誉教授狩野紀昭先生、東邦大学医学部教授長谷川友紀先生、狩野品質研究事務所岡本欣久様より数々の貴重なご教示を賜った。ここに厚く御礼申し上げる。とりわけ、椿広計先生には実効再生産数の算出において多大なご協力を賜った。ここに伏して御礼申し上げる。さらにご丁寧にも本稿をお読み頂き貴重なコメントを賜った査読者並びに編集委員会の方々にも御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 朝香鐵一, 石川馨, 山口襄 監修 (1989). 『新版 品質管理便覧(第2版)』, 9.3節(執筆 真壁肇), p.651, 日本規格協会, 東京.
- Ballotpedia (2021). State-level mask requirements in response to the coronavirus (COVID-19) pandemic, 2020–2021, [https://ballotpedia.org/State-level_mask_requirements_in_response_to_the_coronavirus_\(COVID-19\)_pandemic](https://ballotpedia.org/State-level_mask_requirements_in_response_to_the_coronavirus_(COVID-19)_pandemic) (accessed April 29, 2021).
- Bavel, J.J.V., Baicker, K., Boggio, P.S., et al. (2020). Using social and behavioural science to support COVID-19 pandemic response, *Nature Human Behaviour*, **4**, 460–471.
- Brook, J.T. and Butler, J.C. (2021). Effectiveness of mask wearing to control community spread of SARS-Cov-2, *The Journal of the American Medical Association*, **325**(10), 998–999.
- CDC (2020). Centers for Disease Control and Prevention (CDC). United States COVID-19 cases and deaths by state over time, <https://data.cdc.gov/Case-Surveillance/United-States-COVID-19-Cases-and-Deaths-by-State-o-9mfq-cb36/> (accessed April 29, 2021).
- CSSE (2021). COVID-19 data repository by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University, <https://raw.githubusercontent.com/owid/covid-19-data/master/public/data/testing/covid-testing-all-observations.csv> (accessed June 17, 2021).
- Delphi Group, Carnegie Mellon University (2021). Real-time indicators of COVID-19 activity, <https://delphi.cmu.edu/> (accessed April 29, 2021).
- Irfan, M., Akhtar, N., Ahmad, M., et al. (2021). Assessing public willingness to wear face masks during the COVID-19 pandemic: Fresh insights from the theory of planned behavior, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**(9), 1–22.
- Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) (2021). COVID-19 projections, <https://covid19.healthdata.org/> (accessed 27 June, 2021).
- 石岡文生, 椿 広計, 久保田貴文, 鈴木和幸 (2022). 新型コロナウイルス感染症の時空間集積性とそれに基づく実効再生産数推定精度の向上一東京都を例にして一, *統計数理*, **70**(1), 3–26.
- 狩野紀昭 (2005). 因果関係モデルと包括的品質管理手順, 日本品質管理学会第35回年次大会(大阪)研究発表要旨集, 17–20.
- 狩野紀昭, 近藤智保 (2012). プロセス, 検査, 顧客の各段階で得られる品質データの一貫表示による品質保証の一貫通貫評価, JSQC 研究発表会.
- Kano, N., Suzuki, K., Hasegawa, T. and Okamoto, Y. (2020). Building society quality towards with-Covid-19 society, ANQ Congress 2020, Seoul, https://anforq.org/media/Plenary-Session-I_Presentation_from_Dr_Noriaki_Kano.pdf.
- Kim, A., Andrew, S. and Froio, J. (2020). These are the states requiring people to wear masks when

- out in public, CNN US, Updated August 17, 2020, <https://edition.cnn.com/2020/06/19/us/states-face-mask-coronavirus-trnd/index.html> (accessed April 29, 2021).
- Lemoine, M.P. and Vanderhaegen, F. (2007). BCD model for human state identification, *IFAC Proceedings*, **40**, 378–383.
- Lyu, W. and Wehby, G.L. (2021). Community use of face masks and COVID-19: Evidence from a natural experiment of state mandates in the US, *Health Affairs*, **39**(8), 1419–1425.
- Markowitz, A. (2021). State-by-state guide to face mask requirements, American Association of Retired Persons, <https://www.aarp.org/health/healthy-living/info-2020/states-mask-mandates-coronavirus.html> (accessed April 29, 2021).
- 中條武志 (2018). 『こんなにやさしい未然防止型 QC ストーリー』, 日科技連出版社, 東京.
- Nishiura, H., Linton, N.M. and Akhmetzhanov, A.R. (2020). Serial interval of novel coronavirus (COVID-19) infections, *International Journal of Infectious Diseases*, **93**, 284–286, doi:10.1016/j.ijid.2020.02.060.
- 小笠原欣幸 (2020). 新型コロナウイルスと蔡英文政権, および本記事の参考文献, <http://www.tufs.ac.jp/ts/personal/ogasawara/analysis/coronavirusandtsaiadmin.html> (2020年4月30日最終アクセス).
- SSA (2021). Two-letter state abbreviations, Social Security Administration, <https://www.ssa.gov/international/coc-docs/states.html> (accessed November 5, 2021).
- Suzuki, K., Hasegawa, T., Kano, N. and Okamoto, Y. (2021). A study of the effect of wearing facemasks in preventing COVID-19 transmission in the United States of America, *Public Administration and Policy*, **24**(3), 275–289.
- The New York Times (2020). See Coronavirus restrictions and mask mandates for all 50 states, <https://www.nytimes.com/interactive/2020/us/states-reopen-map-coronavirus.html> (accessed April 29, 2021).
- Wikipedia (2021). Face masks during the COVID-19 pandemic in the United States, https://en.wikipedia.org/wiki/Face_masks_during_the_COVID-19_pandemic_in_the_United_States#:~:text=On%20April%20%2C%202020%2C%20the,significant%20amounts%20of%20community%20transmission (accessed April 29, 2021).

Behavioral Change of Each Person for Preventing Novel Coronavirus
Infection and Risk Prevention
—Seesaw Model and Analysis of the Effect of Mask Mandate
for Motivation—

Kazuyuki Suzuki

Department of Informatics, University of Electro-Communications

In order to prevent coronavirus infection, the risk of infection should be reduced. To do this, it is necessary for each citizen to change the behavior besides politicians who direct overall corona measures, workers who engage in public health /medical treatment /healthcare, and health bureau/ related companies for testing. In addition to up-stream management, prediction, and motivation, which are the key to prevent the infection, this paper presents occurrence prevention, detection, and impact prevention as three viewpoints of action for prevention and consider prevention from each point of view. Especially for preventing infection at the up-stream stage that holds the key, it is important to change the behavior of each citizen other than dealing with infected people quickly. For motivating people to change their behavior, this paper shows the seesaw model and the effectiveness of masks by analyzing the mask mandate in 50 states and Washington D.C. with the graphs that anyone can intuitively understand and be convinced, from the perspective of descriptive statistics. Furthermore, the effectiveness of mask mandate is indicated quantitatively based on reproductive number.