

Text-Based Nudges Promoting Rubella Antibody Testing and Vaccination: Evidence from Nationwide Online Field Experiment in Japan *

Hiroki Kato [†]

Shusaku Sasaki [‡]

Fumio Ohtake [§]

2022/04/23

Abstract

This study conducted a randomized controlled trial (RCT) in a nationwide online survey to examine which text-based nudges best promote rubella antibody testing and vaccination. The main results are as follows. First, the altruistic message, which emphasizes that the fetus's health could be impaired by infecting women in the early stages of pregnancy with rubella, has a positive effect on the intention and behavior relating to the antibody test among men, who had automatically received a free coupon from the local government in 2019. Second, most people who test negative for antibodies (do not have antibodies), regardless of the type of nudge messages or whether or not they have received the coupon, have since been vaccinated. This result suggests that policies to increase antibody testing of pre-test individuals should be prioritized over those to increase vaccination of post-test negatives. Third, text-based messages have no statistically significant effect among men who had to apply for coupons themselves in 2019.

Key words: Rubella, Vaccination, Antibody Test, Text-Based Nudges

JEL Codes: D90, I12, I18

1 Introduction

2 Background of Rubella Vaccination in Japan

図1は国立感染症研究所（NIID）の2018年度感染症流行予測調査の男女別・年齢別の風しん抗体保有率をプロットしたものである。39-55歳の男性の抗体保有率は約80.7%で

*This study is conducted as a part of the Project “Implementation of EBPM in Japan” undertaken at the Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI). In completing this paper, we thank participants of the EBPM Study Group and the Discussion Paper Study Group of RIETI for their insightful comments. This research is financially supported by the Japan Society for the Promotion of Science [JSPS Grant Number: 20H05632 (F., Ohtake)] and the Ministry of Health, Labor, and Welfare. Prior to conducting a randomized controlled trial on an online survey, this study was approved by the Institutional Review Board of the Graduate School of Economics, Osaka University (R020114).

[†]Graduate School of Economics, Osaka University. E-mail: h-kato@econ.osaka-u.ac.jp

[‡]Center for Infectious Disease Education and Research, Osaka University.

[§]Graduate School of Economics, Osaka University. Center for Infectious Disease Education and Research, Osaka University.

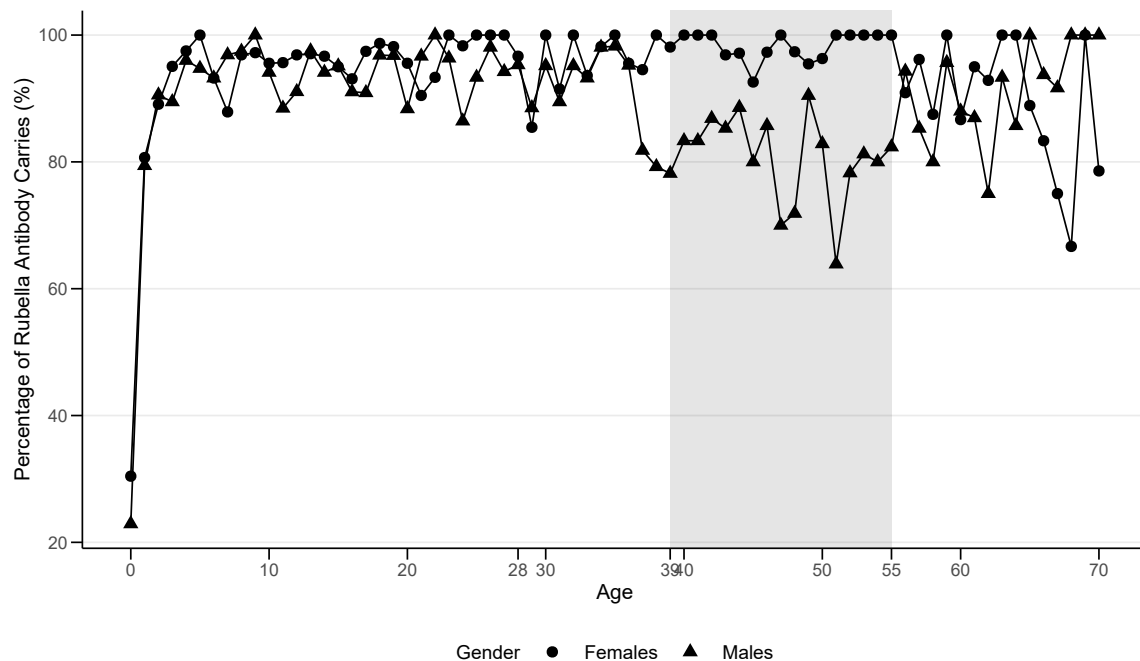


Figure 1: Percentage of Rubella Antibody Carriers at Each Age by Gender. Data: NIID "2018 National Epidemiological Surveillance of Vaccine-Preventable Diseases (NESVPD)."

あり、同じ世代の女性（約 98.3%）や他の世代と比較して低いことが分かる¹。これは 39-55 歳の男性が定期接種として風しんワクチンを接種していないこと、さらに、風しんに自然感染していないことを反映している²。56 歳以上の男性と女性の抗体保有率はそれぞれ 91.3% と 89.4% である。彼らは風しんワクチンの定期接種を受けていないが、風しんが流行していた期間に育っているので、感染を通じて抗体を保有している可能性が高い。38 歳以下の男性と女性の抗体保有率はそれぞれ 91.3% と 94.0% である。彼らは定期接種を通じて少なくとも 1 回の風しんワクチンを接種している。

Kinoshita and Nishiura (2016) によれば、すべての世代で抗体保有率が 90% を超えれば、日本で風しんの集団免疫が獲得できる³。これを達成するために、厚生労働省は 2019 年 4 月から 2022 年 3 月までの間で、風しん定期接種の追加対策を実施することを決めた。対象者は 2019 年時点で 40-57 歳の男性である⁴。ワクチン接種の効率的な活用のために、対象の男性は、はじめに抗体検査を受検する。抗体検査により抗体が持っていないことが明らかになった男性は風しんワクチンを接種する。この追加的対策の政策目標

¹ このデータを用いて、3 つの年齢層（38 歳以下・39 歳以上 55 歳以下・56 歳以上）と女性ダミーの飽和モデルによって抗体保有率を予測した。その結果、39 歳以上 55 歳以下の抗体保有率の男女差は 0.176 (std.error = 0.034; $p = 0.000$) である。また、39 歳以上 55 歳以下の男性と 56 歳以上の男性の抗体保有率の差は 0.106 (std.error = 0.036; $p = 0.003$) である。

² 風しんワクチンの定期接種の背景は補論に詳細を記した。

³ Plans-Rubió (2012) によれば、風しんの集団免疫は 83% から 95% の抗体保有率で達成できる。Nishiura et al. (2015) では集団免疫が必要な風しんの抗体保有率は 83.6% とされている。

⁴ より正確には、1962 年 4 月 2 日から 1979 年 4 月 1 日生まれの男性である。

は、2022 年 3 月までに、対象世代の男性の抗体保有率を 80% から 90% に引き上げることである。

この追加対策は予防接種法に基づく定期接種であり、対象となる男性は無料で抗体検査とワクチン接種を受けられる。追加対策を円滑に進める観点から、地方自治体が風しんの抗体検査とワクチン接種の無料クーポン券を 3 年かけて段階的に対象世代の男性に送付した。2019 年度にクーポン券が自動的に送付されるかどうかという観点で、追加対策の対象男性は以下の二つのグループに分けられる。

1. 40-46 歳の男性：クーポン券が自動的に送付される
2. 47-57 歳の男性：2020 年度以降にクーポン券が自動的に送付されるが、市区町村の判断もしくは本人の希望によって、2019 年度にクーポン券を受け取れる

40-46 歳の男性は約 646 万人おり、追加対策の対象である男性の半数以上を占める。しかしながら、2019 年 1 月時点で、クーポン券を利用した抗体検査の受検率は約 18% と低い水準にとどまった⁵。

3 Nationwide Online Survey Experiment

本研究は、厚生労働省とコラボレーションをして、2 回のオンライン調査を実施した⁶。我々はオンライン調査の実施をインターネット調査会社であるマイボイスコム株式会社（MyVoiceCome Co. Ltd.）に委託した。補論 B に調査の流れを示した。第 1 回調査は 2020 年 2 月 15 日から 2020 年 2 月 17 日に実施した。第 1 回調査の対象は調査会社のモニターのうち、日本全国に居住する 40 歳から 59 歳の男性の 4,200 名である。第 1 回調査の目的はナッジ・メッセージをランダムに割り当て、それが風しんの予防行動の意思にどのような影響を与えるかを検証することである。第 2 回調査は 2020 年 3 月 17 日から 2020 年 3 月 25 日に実施した。第 2 回調査は第 1 回調査の回答者全員を対象として、3,963 名から回答を得た（脱落率 = 5.64%）⁷。第 2 回調査の目的は第 1 回調査でランダムに割り当てたナッジ・メッセージが実際の予防行動にどのような影響を与えるかを検証することである。

⁵2019 年 4 月から 2020 年 3 月までに 40 歳から 46 歳の男性（約 646 万人）にクーポン券が発送された。厚生労働省の聞き取り調査によると、2019 年 10 月までに約 96% の自治体がクーポン券の発送を完了する予定であった。2019 年 1 月までのクーポン券を利用した抗体検査の累積実績件数は 117 万件であった。抗体検査の受検率は 2019 年 1 月までのクーポン券を利用した抗体検査の累積実績件数（117 万件）を 2019 年度のクーポン券の発送対象年齢層の 40 歳から 46 歳の男性の人口（646 万人）で割った値である。

⁶オンライン調査上のランダム化比較試験を実施する際、我々は大阪大学経済学研究科の倫理審査委員会の認可を受けている（承認番号：R020114）。

⁷脱落率はナッジ・メッセージの群間で統計的に有意な差はない。第 2 回調査に参加しなかったら 1 を取るダミー変数を被説明変数にし、介入群ダミーを説明変数とした線形回帰分析を行った。その結果、F-value = 1.434 (p-value = 0.197) となった。

Table 1: List of Text-Based Nudges

Message	Contents		Age (as of Apr 2019)				
			39	40-46	47-56	57-59	All
MHLW	Dear all men born in 1962-1979. Get a rubella antibody test and vaccination to protect yourself and your upcoming generation!	N	20	210	321	49	600
Age expression	Dear men in their 40s and 50s (all men born in 1962-1979). Get a rubella antibody test and vaccination to protect yourself and your upcoming generation!	N	23	205	309	63	600
Altruistic	Dear men in their 40s and 50s (all men born in 1962-1979). If a pregnant woman becomes infected with rubella because of you, her baby may be born with a disability. Get a rubella antibody test and vaccination!	N	24	214	296	66	600
Selfish	Dear men in their 40s and 50s (all men born in 1962-1979). When an adult male is infected with rubella, it can become severe, and lead to complications such as encephalitis and thrombocytopenic purpura. Get a rubella antibody test and vaccination!	N	16	225	302	57	600
Social comparison	Dear men in their 40s and 50s (all men born in 1962-1979). One in five people in your generation does not have rubella antibodies, which means that more than twice as many people can get rubella as compared to other generations. Get a rubella antibody test and vaccination!	N	18	204	321	57	600
Valid date	Dear men in their 40s and 50s (all men born in 1962-1979). The coupon for free rubella antibody test and vaccine is valid on March 31, 2020. Get a rubella antibody test and vaccination!	N	18	216	299	67	600
Low-cost	Dear men in their 40s and 50s (all men born in 1962-1979). There is an increasing number of workplaces and local governments that you can take rubella antibody tests with your coupon in addition to your usual health examinations. Get a rubella antibody test and vaccination!	N	19	213	307	61	600

3.1 Wave 1: Interventions and Outcome Variables on Intention

表1はコントロールメッセージとナッジ・メッセージをまとめている⁸。厚生労働省メッセージ（MHLW message）は厚生労働省が風しんの抗体検査とワクチン接種を勧奨するホームページ上で用いているものであり、本研究のコントロールメッセージ（*business-as-usual control*）である。我々はどのような要素を強調したナッジ・メッセージが有効であるかを探るために、厚生労働省メッセージに基づいた6つの異なるナッジ・メッセージを作成した。本研究のように、ナッジ・メッセージの探索的研究は、候補となるメッセージを

⁸表1に示した年齢は調査によって得られた誕生年と誕生月を用いて、2019年4月時点の年齢を計算した。2019年4月時点で40歳から56歳の男性が厚生労働省の追加的対策の対象であり、40歳から46歳の男性は1年目にクーポン券を自動的に受け取る。4月生まれの人はまだ誕生日を迎えていないことを仮定している。また、2019年4月時点での年齢であるため、調査時点で40歳の男性の一部が39歳である。

複数用意し、一回の実験でその有効性を検証しているものが多い (e.g. Dai et al., 2021; Milkman et al., 2021)。

ナッジ・メッセージは、厚労省メッセージを (1) 簡易な年齢表現と (2) 行動経済学に基づいたメッセージ内容に変更している。年齢表現メッセージ (*Age expression message*) は風しんの追加対策の正確な対象年齢に加えて、「40 代・50 代の男性」という平易な表現を追加した。これは自分が接種対象者であるかどうか容易に理解できるようにして、メッセージ自体の注意を引くことを目的としている。年齢表現メッセージは年齢表現を変えただけで、メッセージの内容は原文と同じであるが、それ以外のナッジ・メッセージは年齢表現だけでなく、行動経済学の知見に基づいたメッセージ内容に変更した。

利他強調メッセージ (*Altruistic message*) は自身が感染することで他人（特に、妊婦）にどのような損害を与えるかを具体的に記述している。これは負の外部性を容易に想起させ、外部性を考慮する利他的な人の行動変容を促すことを目的としている。

利己強調メッセージ (*Selfish message*)・社会比較メッセージ (*Social comparison message*) は風しんの抗体を持つことの価値を高めることで行動変容を促すという目的で作成された。利己強調メッセージは自身が感染することで自分がどのような損害を受けるかを具体的に記述し、自身が感染することで生じる自身の損害を容易に想像できるようにした。社会比較メッセージは抗体保有率が低いことを明記して、自身が感染しやすいことを強調している。これは風しんの感染確率を過小に見積もることを通じてワクチン接種の価値を過小に評価することを防ぐことができる。

有効期限メッセージ (*Valid data message*)・低コストメッセージ (*Low-cost message*) は風しんのクーポン券制度に関する内容に変更した。有効期限メッセージはクーポンの有効期限を強調する内容である。2019 年度に配布されるクーポン券には、2020 年 3 月 31 日が有効期限であることを明記していた。このメッセージは再度その内容を明記した。これは現在バイアスによって抗体検査の受験やワクチン接種が妨げられていることを防ぐ目的で作成した。低コストメッセージは健康診断のついでに抗体検査を受診できることを明記して、簡単に受検できることを強調する内容である。このメッセージは抗体検査の主観的なコストを抑える目的で作成した。

サンプルサイズが均等になるように、我々は 7 つのメッセージを年齢層別にランダムに割り当てた⁹。したがって、各群のサンプルサイズは 600 人である。

ランダムに割り当てられたメッセージを閲覧した直後、回答者は抗体検査受検とワクチン接種の意向について 5 段階で評価する。抗体検査受検の意向は「今、あなたは、風しんの抗体検査を受けようと思うくらい思っていますか」という質問である。ワクチ

⁹調査会社が保有する年齢情報を用いて、40-44 歳・45-49 歳・50-54 歳・55-59 歳の層別にランダムに割り当てた。各層は 1,050 名で構成されていて、我々はナッジ・メッセージを均等に割り当てた (150 名)。

ン接種の意向は「抗体検査を受けて、あなたに抗体がないと分かった場合、あなたは、ワクチンを接種しようと思うくらい思いますか」という質問である。それぞれの質問に対して、回答者は「絶対に受ける」「受ける」「どちらともいえない」「受けない」「絶対に受けない」「すでに受けた」で回答する。我々は、それぞれの意向について、「絶対に受ける」もしくは「受ける」と回答したら1を取るダミー変数を作成し、それらを意向に関するアウトカム変数として用いる。

3.2 Wave 2: Outcome Variables on Behavior

第2回調査は第1回調査以降の抗体検査の受検有無・ワクチン接種の有無を調査した。抗体検査の受検行動は「前回のアンケートの回答終了時から今日までの期間に、あなたは風しんの抗体検査を受診しましたか」という質問である。回答者は「受診した」・「受診していない」・「前回アンケートより以前に、受診済みである」から一つ選ぶ。我々は「受診した」と回答したならば1を取るダミー変数を作成し、それを抗体検査の受検率に関するアウトカム変数として用いる。

ワクチン接種は「前回のアンケートの回答終了時から今日までの期間に、あなたは風しんワクチンを接種しましたか」という質問である。回答者は「接種した」・「すでに抗体検査で十分に抗体があることを確認した・すでに風しんに感染したので、接種する必要がなかった」・「すでに抗体検査で十分に抗体がないことを確認したが、まだ接種していない」・「抗体検査の受診もワクチンの接種もしていない」・「前回アンケートより以前に、接種済みである」から一つ選ぶ。厚生労働省の追加対策でワクチンを接種するためには、対象者は必ず抗体検査を受検しなければならない。したがって、我々は抗体検査の受検行動の質問に対して「受診した」と回答し、ワクチン接種の質問に対して「接種した」と回答すると1を取るダミー変数を作成し、それをワクチン接種率に関するアウトカム変数として用いる。厚生労働省の政策目標は抗体を持っていない人がワクチン接種を受けることで抗体保有率を引き上げることである。したがって、このアウトカム変数は政策目標に直結している。

4 Results

4.1 Effect of Text-Based Nudges on Intentions

はじめに、我々は意向に対するナッジ・メッセージの効果を推定する。ナッジ・メッセージによって行動変容を促したい対象は第1回調査時点で抗体検査やワクチン接種を受けていない男性である。そこで、第1回調査で過去に抗体検査とワクチン接種を受けて

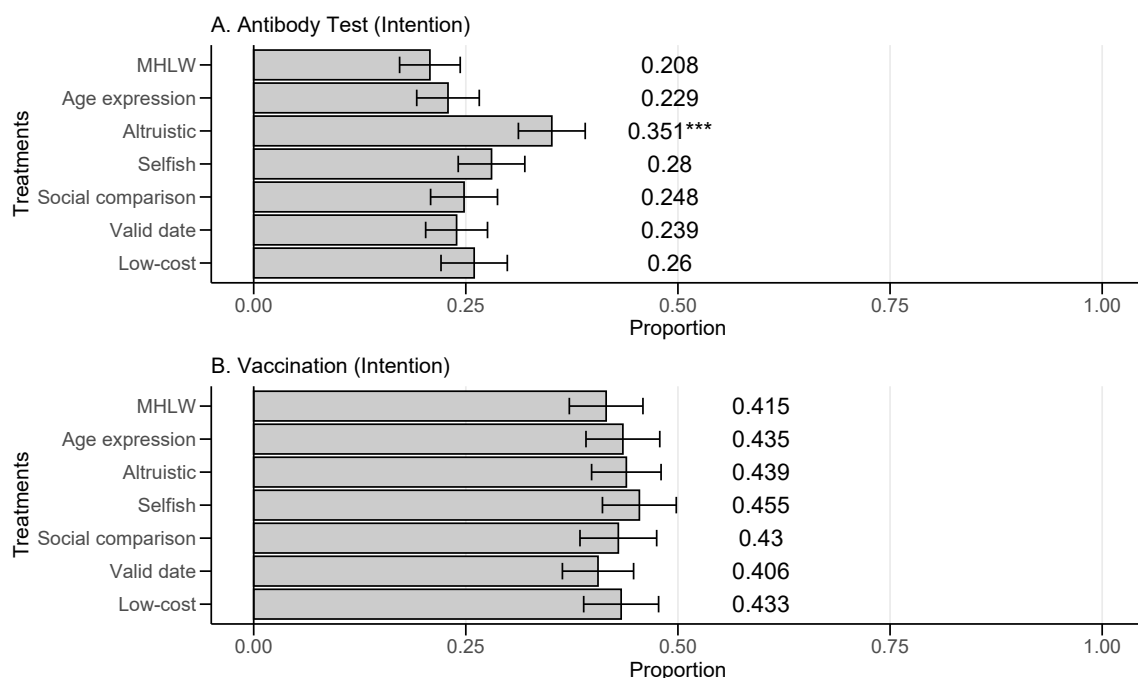


Figure 2: Effect of Text-Based Nudges on Intentions among Men for whom Coupons are Automatically Distributed in FY 2019. Data source: wave 1 selection data. Note: Numbers in the figure indicate the proportion of each group. Error bars indicate standard error of the mean. Asterisks are p-values for t-tests of the difference in means from the MHLW message group: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

いないと回答した人に限定したデータを用いる（wave 1 selection data）。さらに、我々の関心はクーポン券の自動送付によってクーポン券を取得するための取引費用が減少したという意味でのインセンティブの有無のもとでのナッジ・メッセージの効果である。自治体は2019年度に40歳から46歳の男性に無料クーポン券を送付し、2020年度以降に47歳から56歳の男性にクーポン券を送付する。そのために、我々は、2019年4月時点の年齢が46歳以下であるかどうかでサブサンプルを構築し、各サブサンプルにおけるナッジ・メッセージの効果を推定した。二つのサブサンプルにおいて、個人の観察可能な特徴はトリートメント間でバランスされているので、t検定の結果のみを示し、回帰分析の結果は補論Cに示す（バランステストの結果は補論Bを見よ）。

また、検定力80%・有意水準5%を保つために必要な効果の規模を計算したところ、2019年度にクーポン券が自動で送付される男性のサブサンプルを用いる場合、少なくとも6.7%ポイントの差が必要である。2019年度ではクーポン券を受け取るために手続きが必要な男性のサブサンプルを用いる場合、少なくとも5%ポイントの差が必要である。

2019年度にクーポン券が自動で送付される男性のサブサンプルを用いて、我々は各介入群の抗体検査（パネルA）とワクチン接種（パネルB）の意向の比率を図2に示し

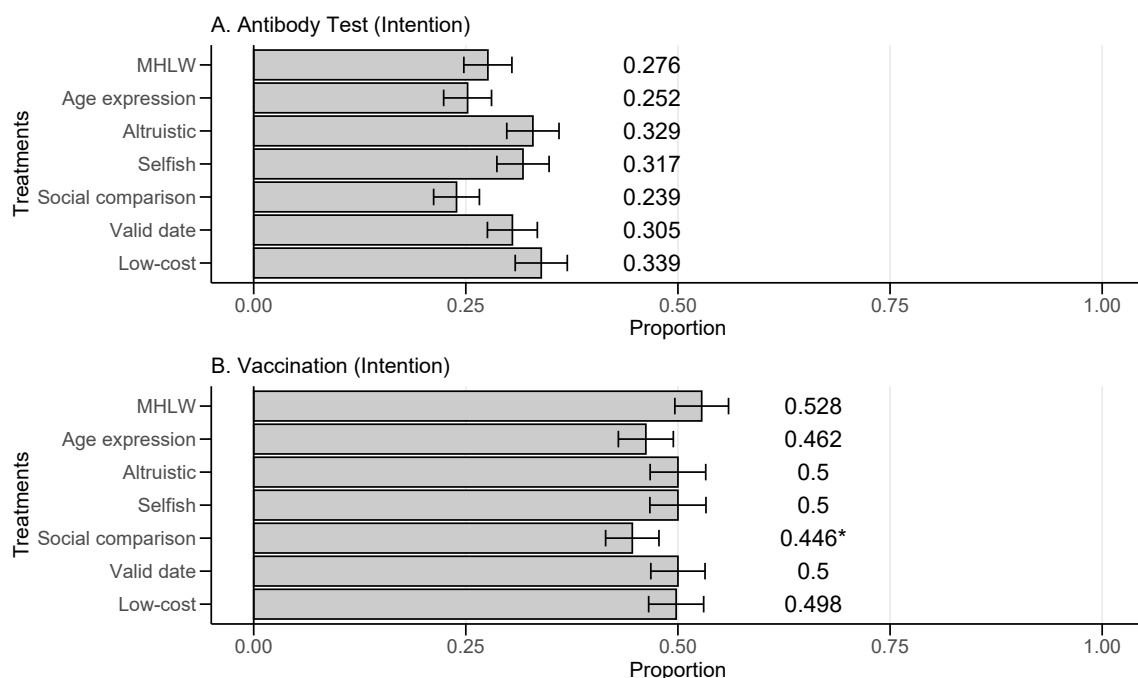


Figure 3: Effect of Text-Based Nudges on Intentions among Men Who Needed Costly Procedures to Receive Coupons in FY 2019. Data source: wave 1 selection data. Note: Numbers in the figure indicate the proportion of each group. Error bars indicate standard error of the mean. Asterisks are p-values for t-tests of the difference in means from the MHLW message group: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

た。その結果、利他強調メッセージは厚労省メッセージより抗体検査の意向を高めている。厚労省メッセージ群の抗体検査の意向の比率は約 20.8% であるのに対して、利他強調メッセージ群の抗体検査の意向の比率は約 35.1% である。したがって、厚労省メッセージと比較して、利他強調メッセージは抗体検査の意向を約 14.3% ポイント高めていて、これは統計的に 1% 水準で有意である。また、厚労省メッセージと比較して、すべてのナッジ・メッセージはワクチン接種の意向を統計的に有意に高めていない¹⁰。

2019 年度にクーポン券を得るためにコストのかかる手続きが必要な男性のサブサンプルを用いて、我々は各介入群の抗体検査（パネル A）とワクチン接種（パネル B）の意向の比率を図3に示した。その結果、厚労省メッセージと比較して、すべてのナッジ・メッセージは抗体検査の意向を統計的に有意に高めていない。対照的に、社会比較メッセージは厚労省メッセージよりもワクチン接種の意向を低めている。厚労省メッセージのワクチン接種の意向比率は約 52.8% であるのに対し、社会比較メッセージのワクチン

¹⁰また、すべての介入群のワクチン接種の意向の比率は抗体検査のそれよりも高い。これはワクチン接種の意向を引き出す質問の刺激によるものだと考えられる。我々はワクチン接種の意向を回答者に尋ねるとき、抗体を保有していないことを条件にしている。この条件がワクチン接種の必要性を強く刺激している可能性がある。

接種の意向比率は約 44.6% である¹¹。したがって、厚労省メッセージと比較して、社会比較メッセージはワクチン接種の意向を約 8.2% ポイント低めており、これは統計的に 10% 水準で有意である。

この効果の原因の一つとして、ワクチン接種のただのりが挙げられる。社会比較メッセージは「5 人に 1 人が抗体を持っていない」ことを強調している。裏返せば、5 人に 4 人が抗体を持っているということである。このメッセージを読んだ人は、仮に風しんの抗体を保有していないとしても、全体の 80% が抗体を持っているので、自身が感染する機会は少ないと考えたのかもしれない。クーポン券を受け取るために手続きが必要なとき、この信念がワクチンを接種することの価値を低め、ワクチン接種の意向の比率を厚労省メッセージよりも下げた可能性がある。

クーポン券が自動的に送付されるかどうかは年齢で決まるので、サブサンプルを用いたナッジ・メッセージの効果はクーポン券が自動的に送付されるかどうかだけでなく、二つのサブサンプルの年齢の違いの影響を受けている。この問題を排除するために、意向の線形確率モデルを推定した。説明変数はナッジ・メッセージのダミー変数、ナッジ・メッセージのダミー変数とクーポン券が自動的に送付されることを示すダミー変数の交差項、そして年齢を含んだ共変量である。意向の線形確率モデルは上述の結果と同じ結果を得られた（詳細は補論を参照せよ）。

4.2 Effect of Text-Based Nudges on Behaviors

次に、我々は第 1 回調査以降の行動に対するナッジ・メッセージの効果を推定する。第 1 回調査時点で抗体検査やワクチン接種を受けていない男性に焦点を当てるために、第 1 回調査もしくは第 2 回調査で第 1 回調査以前に抗体検査とワクチン接種を受けたと回答した人を排除した（wave 2 selection data）¹²。さらに、取引費用の減少の有無のもとのナッジ・メッセージの効果を推定するために、我々は 2019 年 4 月時点の年齢が 46 歳以下であるかどうかでサブサンプルを構築し、各サブサンプルにおけるナッジ・メッセージの効果を推定した。二つのサブサンプルにおいて、個人の観察可能な特徴はトリートメント間でバランスされているので、t 検定の結果を示し、回帰分析の結果を補論 C に示す（バランステストの結果は補論 B を見よ）。

また、検定力 80%・有意水準 5% を保つために必要な効果の規模を計算したところ、

¹¹2019 年度にクーポン券が自動で送付される男性のサブサンプルを用いた結果と同様に、すべての介入群のワクチン接種の意向比率は抗体検査のそれよりも高い。これはワクチン接種の意向を引き出す質問の刺激によるものだと考えられる。

¹²第 1 回調査以降に自身の接種歴を調べ直すなどによって、第 1 回調査と第 2 回調査の回答に違いが生じる可能性がある。そのため、どちらかの調査で第 1 回調査以前に抗体検査を受検したもしくはワクチンを接種したと回答した人を除いた。

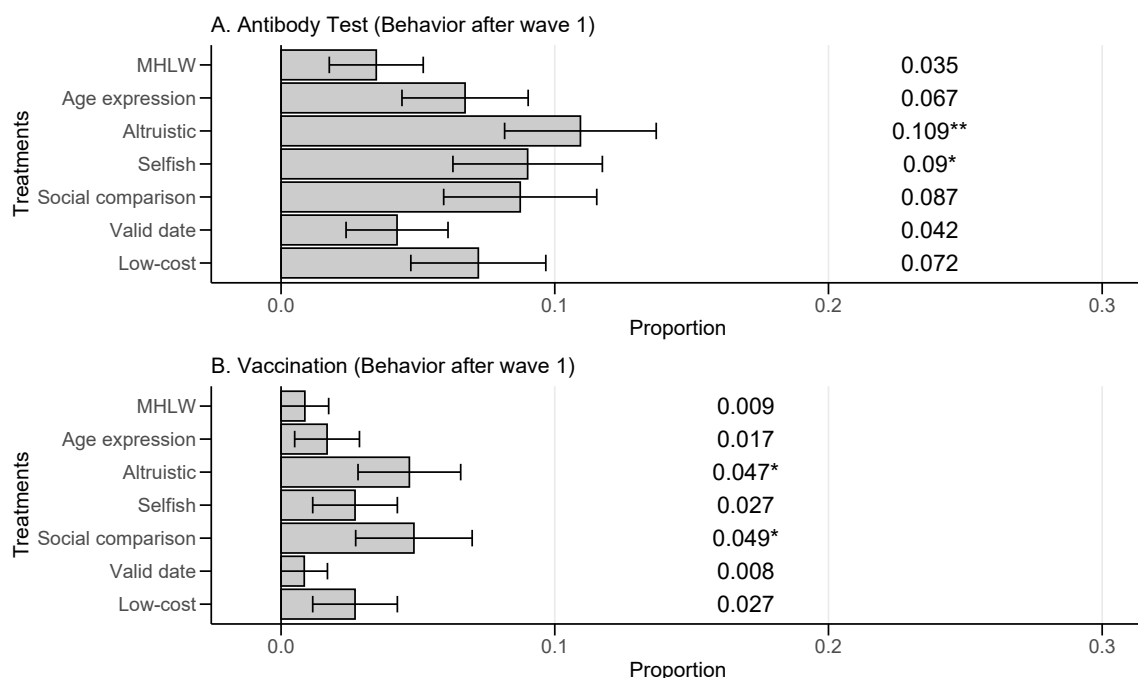


Figure 4: Effect of Text-Based Nudges on Behavior among Men for whom Coupons are Automatically Distributed in FY 2019. Data source: wave 2 selection data. Note: Numbers in the figure indicate the proportion of each group. Error bars indicate standard error of the mean. Asterisks are p-values for t-tests of the difference in means from the MHLW message group: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

2019 年度にクーポン券が自動で送付される男性のサブサンプルを用いる場合、少なくとも 7.2 % ポイントの差が必要である。2019 年度ではクーポン券を受け取るために手続きが必要な男性のサブサンプルを用いる場合、少なくとも 5.3 % ポイントの差が必要である。

2019 年度にクーポン券が自動で送付される男性のサブサンプルを用いて、我々は各介入群の抗体検査の受検率（パネル A）とワクチン接種率（パネル B）を図4に示した¹³。その結果、利他強調メッセージと利己強調メッセージの抗体検査の受検率は厚労省メッセージよりも高い。厚労省メッセージ群の抗体検査の受検率は約 3.5% である。対して、利他強調メッセージ群と利己強調メッセージ群の抗体検査の受検率はそれぞれ約 10.9% と約 9% である。したがって、厚労省メッセージと比較して、利他強調メッセージは抗体検査の受検率を約 7.4% ポイント引き上げていて、これは統計的に 5% 水準で有意である。また、利己強調メッセージは抗体検査の受検率を約 5.5% ポイント引き上げており、これは統計的に 10% 水準で有意である。

¹³ ワクチン接種は抗体検査を受検し、ワクチンを接種したら 1 を取るダミー変数である。よって、ワクチン接種率はワクチン接種を通じて新規に抗体を獲得した人の比率とみなすこともできる。これは厚生労働省の政策目標と対応するアウトカム変数である。

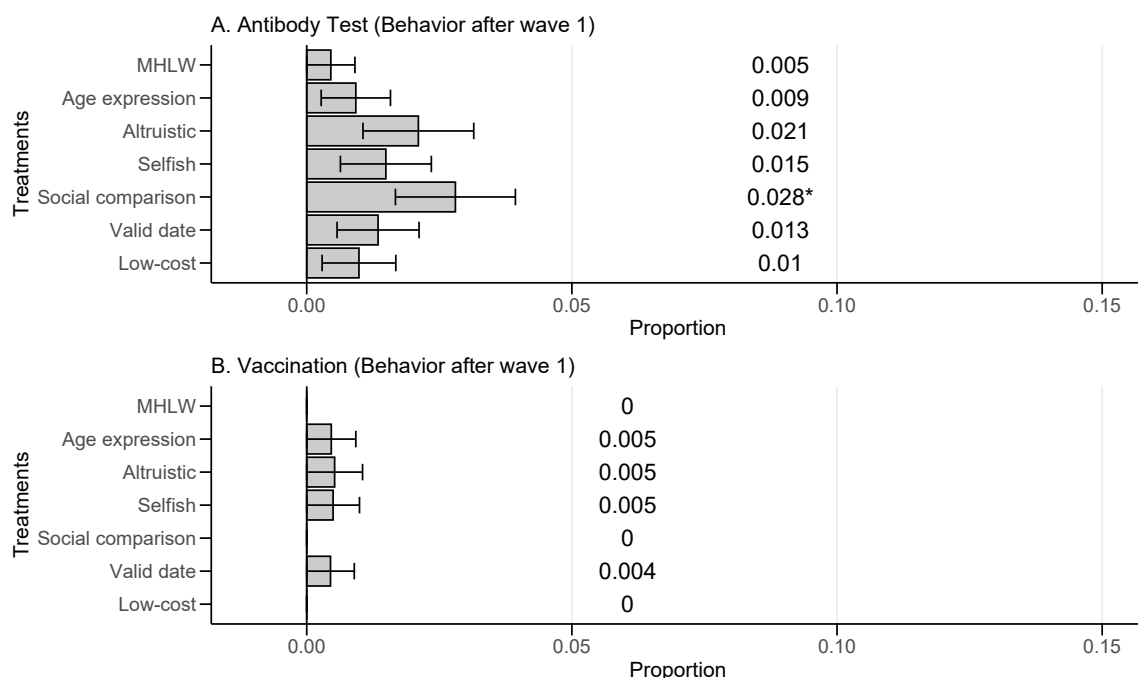


Figure 5: Effect of Text-Based Nudges on Behaviors among Men Who Needed Costly Procedures to Receive Coupons in FY 2019. Data source: wave 1 selection data. Note: Numbers in the figure indicate the proportion of each group. Error bars indicate standard error of the mean. Asterisks are p-values for t-tests of the difference in means from the MHLW message group: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

さらに、利他強調メッセージと社会比較メッセージのワクチン接種率は厚労省メッセージよりも高い。厚労省メッセージ群のワクチン接種率は約 0.9% である。対して、利他強調メッセージと社会比較メッセージのワクチン接種率はそれぞれ 4.7% と約 4.9% である。したがって、厚労省メッセージと比較して、利他強調メッセージと社会比較メッセージはワクチン接種率をそれぞれ約 3.8% ポイントと 4% ポイント引き上げていて、これらは統計的に 10% 水準で有意である。

2019 年度にクーポン券を得るためにコストのかかる手続きが必要な男性のサブサンプルを用いて、我々は各介入群の抗体検査の受検率（パネル A）とワクチン接種率（パネル B）を図5に示した。その結果、厚労省メッセージと比較して、社会比較メッセージは抗体検査の受検率を高めているが、ワクチン接種率を高めていない。厚労省メッセージを読んだ人の 0.5% が抗体検査を受検しているが、誰もワクチン接種をしていない。同様に、社会比較メッセージを読んだ人の 2.8% が抗体検査を受検しているが、誰もワクチン接種をしていない。したがって、厚労省メッセージと比較して、社会比較メッセージは抗体検査の受検率を約 2.3% ポイント引き上げていて、これは統計的に 10% 水準で有意である。しかしながら、ワクチン接種率に対する効果はゼロである。

Table 2: Movement of Antibody Test Takers

Text-based nudge	w/ receiving coupon automatically			w/o receiving coupon automatically		
	Antibody test	Negative test result	Vaccination	Antibody test	Negative test result	Vaccination
MHLW	4	1	1	1	0	0
Age expression	8	2	2	2	2	1
Altruistic	14	7	6	4	1	1
Selfish	10	3	3	3	1	1
Social comparison	9	5	5	6	1	0
Valid date	5	1	1	3	1	1
Low-cost	8	5	3	2	0	0
Fisher's exact test (p-value)		0.52	0.66		0.45	1.00

Note: Limiting our sample to antibody test takers, we tested the null hypothesis that the number of negative antibody tests does not differ between intervention groups with Fisher's exact test. Also, restricting the sample to negative individuals, we tested the null hypothesis that the number of vaccinations would not differ between intervention groups with a Fisher's exact test.

サブサンプルで推定されたナッジ・メッセージの効果はクーポン券が自動的に送付されるかどうかだけでなく、年齢の違いの影響を受けるので、我々はこの問題を排除するために線形確率モデルを推定した。行動の線形確率モデルは上述の結果と同じ結果を得られた。それに加えて、2019 年度にクーポン券が自動的に送付される男性において、社会比較メッセージの抗体検査の受検率は厚労省メッセージよりも 5.7% ポイント高く、これは統計的に 10% 水準で有意である。

クーポン券が自動的に送付されるかどうかに関わらず、すべての群において、ワクチン接種率は抗体検査の受検率より低い。これは陰性であるにも関わらずワクチンを接種していない人が多いからではなく、ワクチンを接種すべき人が少ないという外生的な要因によるものである。この点を明らかにするために、我々は抗体検査の受検者数・抗体検査が陰性であった人の数・ワクチンを接種した人数を介入群ごとに計算し、表2に示した。

表2より、クーポン券が自動的に送付されかどうかや介入群に関わらず抗体検査の結果が陰性である人のほとんどがワクチンを接種している¹⁴。2019 年度にクーポン券を自動的に受け取った男性に限定すると、利他強調メッセージ・低コストメッセージを除くすべての群で陰性者はワクチンを接種している。また、利他強調メッセージ・低コストメッセージ群においてもワクチンを接種していない陰性者は少数である。同様に、2019 年度にクーポン券を受け取るためにはコストのかかる手続きが必要な男性に限定する

¹⁴2019 年度にクーポン券を自動的に受け取った男性に限定すると、陰性者のワクチン接種率は 87.5%(= 21/24)であり、1000 個のブートストラップ標本を用いて構築した 95% 信頼区間は [75.0%, 100.0%] である。2019 年度にクーポン券を受け取るためにはコストのかかる手続きが必要な男性に限定すると、陰性者のワクチン接種率は 66.7%(= 4/6)であり、1000 個のブートストラップ標本を用いて構築した 95% 信頼区間は [33.3%, 100.0%] である。

と、年齢表現メッセージ・社会比較メッセージを除くすべての群で陰性者はワクチンを接種している。

さらに、表2より、抗体検査の陰性件数が介入群間でバラツキがあることが分かる。2019年度にクーポン券を自動的に受け取った男性に限定したとき、厚労省メッセージの抗体検査の陰性比率は25%(=1/4)である。これに対して、ワクチン接種率に対して効果のある利他強調メッセージ・社会比較メッセージの抗体検査の陰性比率はそれぞれ50%(=7/14)・55%(=5/9)である。逆に、抗体検査受検率のみに効果のある利己強調メッセージの抗体検査の陰性比率は30%(=3/10)であり、厚労省メッセージのそれと近い値を取る。2019年度にクーポン券を受け取るためにはコストのかかる手続きが必要な男性に限定するとき、抗体検査受検率のみに効果のある社会比較メッセージの抗体検査の陰性比率は16%(=1/6)である。したがって、ワクチン接種率が高い介入群は陰性比率が高く、それがワクチン接種率に対する効果に影響を与えたといえる。

ただし、抗体検査の陰性比率の介入群間のばらつきは統計的な誤差による可能性が高い。我々はクーポン券を自動的に送付される対象かどうかでサンプルを分割し、抗体検査の陰性件数が介入群間で異ならないという帰無仮説をフィッシャーの正確検定で検証した。その結果、二つのサブサンプルでこの帰無仮説を棄却できない。よって、我々のデータの抗体検査の陰性比率は介入群間で異なっているが、母集団のそれは介入群間で異ならないかもしれない¹⁵。

¹⁵これと対立する仮説として、利他強調メッセージや社会比較メッセージを読んで抗体検査を受検した人は自身に抗体を保有していないと信じているということが考えられる。そこで、陰性者の抗体検査受検率を推定することを試みる。しかしながら、陰性であるにも関わらず抗体検査を受検していない人がいるはずなので、陰性者の抗体検査受検率をデータから直接復元することはできない。ベイズ定理を用いて、我々は間接的に推定した。陰性という事象 A と抗体検査の受検という事象 B の二つの事象を考える。このとき、抗体検査の受検比率は $P(B)$ 、抗体検査受検者の陰性比率は $P(A|B)$ で表すことができ、これらの値はデータから直接推定できる。ベイズの定理より、抗体検査受検者の陰性比率は

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}$$

と定義できる。ここで、 $P(A)$ は陰性比率であり、これは NIID の抗体保有率のデータより 0.2 となる。確率 $P(B|A)$ は陰性者で条件づけた抗体検査の受検比率であり、我々の関心のあるパラメータである。よって、陰性者の抗体検査の受検比率は

$$\hat{P}(B|A) = \frac{\hat{P}(A|B) \cdot \hat{P}(B)}{0.2}$$

で計算できる。利他強調メッセージ群において、 $\hat{P}(A|B) = 0.5$ と $\hat{P}(B) = 0.109$ なので、 $\hat{P}(B|A) = 0.273$ となる (1000 個のブートストラップ標本で構築した 95% 信頼区間は [0.117, 0.469]) さらに、陰性であるかどうかによって抗体検査の受検にセレクションが生じているかどうかを検証するために、陰性という事象と抗体検査の受検という事象が独立であるという帰無仮説を検定した。 $\hat{P}(B|A) - \hat{P}(B)$ の 95% 信頼区間にゼロが含まれていないとき、我々は帰無仮説を 5% 有意水準で棄却できる。その結果、 $\hat{P}(B|A) - \hat{P}(B)$ の 95% 信頼区間は [0.016, 0.336] なので、我々は帰無仮説を棄却できる。同様に、社会比較メッセージ群の $\hat{P}(B|A) - \hat{P}(B)$ の 95% 信頼区間は [0.000, 0.350] である。したがって、利他強調メッセージ群と社会比較メッセージ群では、陰性者が抗体検査を積極的に受検している傾向があるかもしれない。

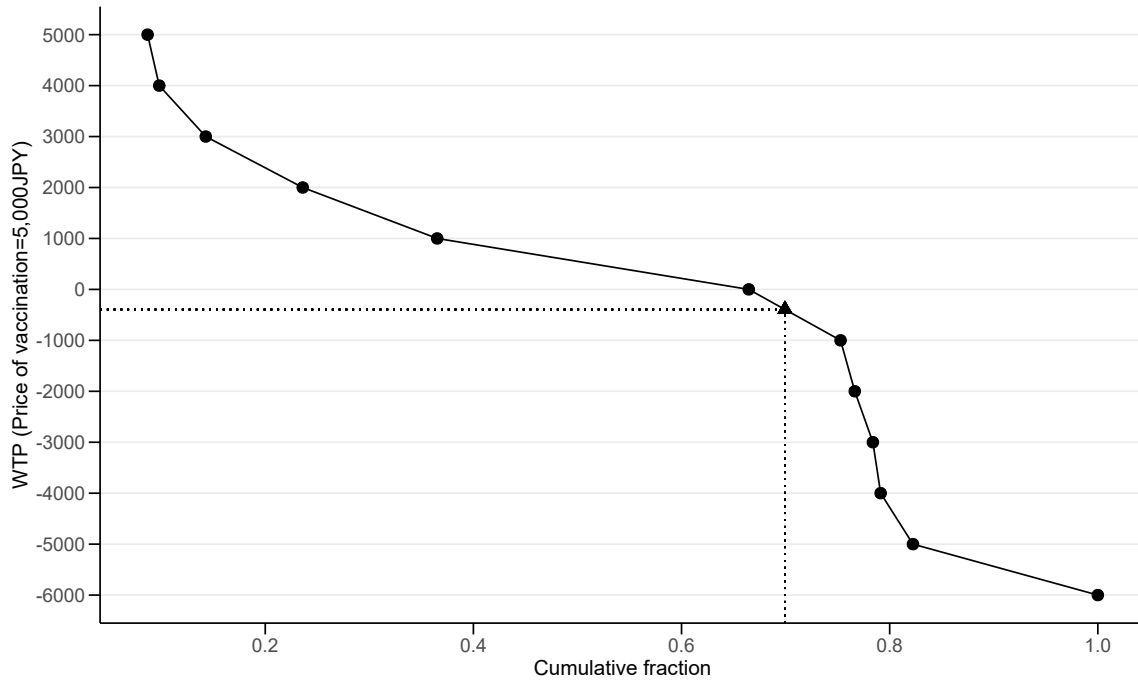


Figure 6: Demand Curve of Rubella Vaccination among Men for whom Coupons are Automatically Distributed in FY 2019. Data source: wave 2 selection data. Note: Black triangles indicate the sum of the percentage of vaccination when vaccination costs are free and the percentage of antibody test uptake in the MHLW message combined, and the corresponding WTP.

4.3 Monetary Value of Text-Based Nudges

2019 年度にクーポン券を自動的に受け取った男性におけるナッジ・メッセージの金銭的な価値で評価することを試みる。ナッジ・メッセージの金銭的な価値は推定されたメッセージの効果と同等となる追加的な金銭的補助で得られる。そのため、我々はワクチン接種の支払意思額を知る必要がある。

第 1 回調査のナッジ・メッセージを示す前の質問票 A で、我々はワクチン接種の支払意思額を調査した。ワクチンの価格は 5000 円と仮定して、我々は、自治体の補助金額が s_j のとき、ワクチン接種をするかどうかを調査した。補助金額は $s_j \in \{0, 1000, 2000, \dots, 10000\}$ とした。回答者 i が接種すると回答した最低の補助金額を s_i^{\min} とする。回答者 i が接種しないと回答した最高の補助金額を s_i^{\max} とする。このとき、回答者 i の支払意思額は $[5000 - s_i^{\min}, 5000 - s_i^{\max})$ の範囲内で識別される¹⁶。したがって、追加の仮定を置かない限り、ワクチン接種の需要曲線はステップワイズな曲線となり、メッセージの金銭的価値は範囲で得られる。

¹⁶回答者がすべての補助金額 s_j のときの接種しないと回答したならば、 $s_i^{\max} = 10000$ である。しかしながら、 s_i^{\min} はデータで定義できない。そこで、 $s_i^{\min} = 11000$ と仮定した。ただし、後に示すが、この仮定はナッジ・メッセージの金銭的価値に影響を与えない。

Table 3: Estimated Monetary Value of Text-Based Nudges

Text-based nudge	Size of effect	Baseline + size of effect	Monetary value (JPY)		Monetary value (USD)	
			pp	total	pp	total
Age expression	0.032	0.732	367.854	1.946	3.344	17.690
Altruistic	0.075	0.774	2037.553	10.779	18.523	97.988
Selfish	0.055	0.755	744.045	3.936	6.764	35.782
Social comparison	0.053	0.752	596.335	3.155	5.421	28.678
Valid date	0.008	0.707	86.059	0.455	0.782	4.139
Low-cost	0.037	0.737	422.789	2.237	3.844	20.332

Note: Effect is the size of effect of each text-based nudge on antibody test. Baseline is the sum of the rate of antibody test in the control and the vaccination rate when the vaccine is free. The monetary value is the amount per person (pp) and the total amount (total) multiplied by the number of people who received the coupon in 2019 but did not use it until January, 2020. We valued the monetary value in Japanese Yen (JPY) and US Dollars (USD) (1USD = 110JPY). The unit of monetary value per person is 1 JPY and 1 USD, respectively. The unit of total monetary value is 1 billion JPY and 1 million USD, respectively.

メッセージの金銭的価値を点推定するために、我々は支払意思額が $[5000 - s_i^{\min}, 5000 - s_i^{\max}]$ の範囲で識別されるとき、真の支払意思額はその範囲内で一様に分布することを仮定する。このとき、ステップワイズなワクチン接種の需要曲線は線型補間で表される。図6はこの仮定のもとで、2019年度に自動的にクーポン券を受け取った人に限定した風しんワクチン接種の需要曲線である。我々はこの需要曲線を用いて、メッセージの金銭的価値を算出する。

ナッジ・メッセージの金銭的な価値を次のように計算する。はじめに、ベースラインの接種割合を決める。図6の需要曲線は無料クーポンが発行される人に限定しているので、ワクチンの供給曲線はゼロで水平である。このときの接種割合は約 66.5% である。ベースラインの接種割合はこの割合に厚労省メッセージの抗体検査受検率を足したものである¹⁷。ベースラインの接種割合は約 70% であり、対応する支払意思額は約 394 円である。

次に、接種割合をベースラインの均衡点からナッジ・メッセージの効果分だけ増やすとき、需要曲線上で対応する支払意思額を見つける。その支払意思額はナッジ・メッセージの効果だけ増やすのに必要な自治体の追加的な補助金額であり、それがナッジ・メッセージの一人当たりの金銭的価値である。たとえば、ベースラインの均衡点の接種割合とナッジ・メッセージの効果の和が 0.8 であるとき、需要曲線上で対応する支払意思額は約 4280 円である。すなわち、ナッジ・メッセージの効果量分だけ接種割合を増やすために、自治体は一人当たり約 3886 (= 4280 - 394) 円の追加的な補助金を支払う必要がある。

我々は抗体検査の受検率に対するナッジ・メッセージの効果を用いる。表2で示した

¹⁷ ベースラインの接種割合を求めるときに、我々は厚労省メッセージの抗体検査受検率を足した。これは調査によってメッセージを受け取ることの自体の影響を考慮したためである。

ように、抗体検査の結果が陰性である人のほとんどはワクチンを接種している。この事実は、抗体検査を受検した人は同時にワクチンを接種したいと考えていることを示唆している。したがって、抗体検査受検に対するナッジ・メッセージの効果を行動から推測されるワクチン接種の（真の）意向に対する効果とみなせる。

表3はメッセージの金銭的価値の試算結果である。第2列は図4のパネルAで示したメッセージの効果を示している。第3列はベースラインの均衡点の接種割合からメッセージの効果だけ増やしたときの接種割合を示している。第4列はメッセージの一人当たりの金銭的価値である。この金銭的価値をアメリカドルに換算した結果を第6列に示している。抗体検査の受検を促進した利他強調メッセージの一人当たりの金銭的価値は約2000円（約18ドル）である。

また、メッセージ自体の金銭的価値の総額は一人当たりの金銭的価値と2019年度に発行されたクーポン券をまだ利用していない人数の積で得られる。厚生労働省より、2019年度にクーポン券が発行されたにもかかわらず、1月時点で抗体検査のクーポン券を利用していない人は約529万人である。表3の第5列はメッセージの金銭的価値の総額を示している。第7列はそれをアメリカドルに換算した結果を示している。利他強調メッセージの金銭的価値の総額は約100億円である。

5 Discussion and Conclusions

本研究は、オンラインサーベイによるランダム化比較試験（RCT）を用いて、風しんワクチンの接種を促進するためにどのようなナッジ・メッセージが有効であることを明らかにした。主な結果は以下の三つにまとめられる。第一に、2019年度にクーポン券送付対象の年齢の男性のみに利他強調メッセージが抗体検査の受検を7.5%ポイント促進した。この効果は個人の観察可能な特徴に対して頑健である。このメッセージの効果を金銭的価値で評価すると、一人当たりの金銭的価値は約2000円（約18ドル）であり、その総額は約100億円（約9,700万ドル）である。

利己強調メッセージや社会比較メッセージも抗体検査を促進している可能性がある。二群の平均値の差の検定より、利己強調メッセージは統計的な有意性は弱いものの、抗体検査を促進していた。共変量を制御した線形確率モデルより、利己強調メッセージや社会比較メッセージは統計的な有意性は弱い、抗体検査を促進していた。さらに、線形確率モデルの推定値を用いて、利他強調メッセージを参照群としたメッセージの効果を推定した。その結果、利己強調メッセージや社会比較メッセージの抗体検査の受検比率は利他強調メッセージ群のそれと有意な差ではない。この意味で、二つのメッセージ

も抗体検査の受検を促進した可能性がある。しかしながら、抗体検査の受検比率の差は検出力を十分に保てるほどの大きさではないので、サンプルサイズを増やした再検証が必要である。

第二に、クーポン券を自動的に受け取ったかどうか・介入群に関わらず、抗体検査の結果が陰性である人のほとんどはワクチンを接種していた。よって、ワクチン接種率に対するメッセージの効果は介入群の陰性比率に強く依存している。これは陰性比率を高めるようなナッジ・メッセージがワクチン接種率を高めることを示唆している。本研究で用いたナッジ・メッセージが陰性比率を高めているようなエビデンスは得られなかった。これは抗体検査の受験者数が少なすぎる可能性も考えられる。自治体の接種データなどでの大規模なデータを活用した再検証が必要である。

この結果はナッジ・メッセージのターゲティングに関する問題も提供している。すなわち、全員がワクチン接種を促進するようなナッジ・メッセージか、もしくは感染しやすい人を促進するようなナッジ・メッセージのどちらが社会的に効率的なのかという問題である。これは日本の風しん政策だけでなく、一般的なワクチン政策に適用される問題だろう。

最後に、2019 年度にクーポン券を受け取るためにはコストのかかる手続きが必要な男性に対して、ナッジ・メッセージの効果は弱い。考えられる可能性が二つある。第一に、厚生労働省の無料クーポン券制度を認知度が低い点である。第 1 回調査の調査票 A（ナッジ・メッセージを示す前の調査）で、我々は厚生労働省のクーポン券制度の認知度を調査した。その結果、クーポン券を受け取るのに手続きが必要な男性の約 77.5% が厚生労働省のクーポン券制度を知らなかった。仮にナッジ・メッセージを読んで、風しんの抗体検査やワクチン接種を受ける必要性を理解したとしても、クーポン券の存在を知らない人はそれらの予防行動を自費で受けないといけなく考えている。ナッジ・メッセージは予防行動のコストを上回るほどその価値を高められなかったのかもしれない。第二に、クーポン券制度を認知し、無料で受けられることを知っていたとしても、自治体にクーポン券を発行してもらうように依頼する必要があるという点である。クーポン券制度を認知している男性が無料で抗体検査やワクチン接種を受けられることを知っていても、クーポン券の発行の手続き自体にコストが伴う。したがって、ナッジ・メッセージはクーポン券の発行の手続きのコストを上回るほどその価値を高められなかったのかもしれない。

本研究の限界として、行動に関するアウトカムがすべて自己申告によるものである。アウトカム変数に想起バイアスや虚偽の回答が含まれているならば、推定された効果は真の効果ではない。こうした問題点を回避するためには、行政データなどの客観的な指

標を用いる必要がある。

本研究では、この問題に可能な限り対応するために想起バイアスを考慮した分析を行い、その結果を補論 D に示した。ナッジ・メッセージの行動に対する効果を推定するとき、我々は Wave 2 で前回のアンケート調査以前に抗体検査もしくはワクチン接種を受けたと回答した人を除いている。しかしながら、この回答は想起バイアスを伴っている可能性がある。もしそうならば、サンプルセレクションに想起バイアスが伴うので、Wave 2 で Wave 1 以前に抗体検査もしくはワクチン接種を受けたという人を除くべきではない。したがって、想起バイアスを想定した分析では、Wave 1 で過去に抗体検査もしくはワクチン接種を受けたと回答した人を除いたサブサンプルと、抗体検査やワクチン接種を受けた時期に基づかないアウトカム変数を用いるべきである。想起バイアスを想定した分析では、効果・統計的な有意性・効果の金銭的価値は大きく異なるものの、利他強調メッセージが抗体検査の受検を促進していることを確認している。

参考文献

- Dai, H., Saccardo, S., Han, M.A., Roh, L., Raja, N., Vangala, S., Modi, H., Pandya, S., Sloyan, M., Croymans, D.M., 2021. Behavioural nudges increase COVID-19 vaccinations. *Nature* 597, 404–409. doi:10.1038/s41586-021-03843-2
- Kinoshita, R., Nishiura, H., 2016. Assessing herd immunity against rubella in Japan: A retrospective seroepidemiological analysis of age-dependent transmission dynamics. *BMJ Open* 6, e009928. doi:10.1136/bmjopen-2015-009928
- Milkman, K.L., Patel, M.S., Gandhi, L., Graci, H.N., Gromet, D.M., Ho, H., Kay, J.S., Lee, T.W., Akinola, M., Beshears, J., Bogard, J.E., Bottenheim, A., Chabris, C.F., Chapman, G.B., Choi, J.J., Dai, H., Fox, C.R., Goren, A., Hilchey, M.D., Hmurovic, J., John, L.K., Karlan, D., Kim, M., Laibson, D., Lambertson, C., Madrian, B.C., Meyer, M.N., Modanu, M., Nam, J., Rogers, T., Rondina, R., Saccardo, S., Shermohammed, M., Soman, D., Sparks, J., Warren, C., Weber, M., Berman, R., Evans, C.N., Snider, C.K., Tsukayama, E., Van den Bulte, C., Volpp, K.G., Duckworth, A.L., 2021. A megastudy of text-based nudges encouraging patients to get vaccinated at an upcoming doctor's appointment. *Proc Natl Acad Sci USA* 118, e2101165118. doi:10.1073/pnas.2101165118
- Nishiura, H., Kinoshita, R., Miyamatsu, Y., Mizumoto, K., 2015. Investigating the immunizing effect of the rubella epidemic in Japan, 2012–14. *International Journal of Infectious Diseases* 38, 16–18. doi:10.1016/j.ijid.2015.07.006
- Plans-Rubió, P., 2012. Evaluation of the establishment of herd immunity in the population by means of serological surveys and vaccination coverage. *Human Vaccines & Immunotherapeutics* 8, 184–188. doi:10.4161/hv.18444