

利便性の高い場所に設置された期日前投票所が投票率に与える影響
一般化合成統制法(Generalized Synthetic Control Method)による効果検証

Online Appendix

善教 将大
関西学院大学 法学部
masahirozenkyo@kwansei.ac.jp

Last Update: 2/24/2023

A. 大阪市における各行政区の特徴

表 A.1 行政区ごとの人口、年齢構成、および学歴（大卒者比率）

行政区	人口総数(人)	15歳未満 人口比率(%)	65歳以上 人口比率(%)	大卒・院卒 比率(%)
北区	123667	8.517	18.415	16.235
都島区	104727	11.364	23.185	15.33
福島区	72484	11.685	19.564	15.893
此花区	66656	11.843	25.932	8.842
中央区	93069	8.544	16.516	18.178
西区	92430	11.047	15.678	15.123
港区	82035	10.726	26.442	10.521
大正区	65141	11.194	30.009	7.871
天王寺区	75729	12.575	19.186	18.813
浪速区	69766	6.636	18.258	8.748
西淀川区	95490	12.922	24.434	10.429
淀川区	176201	10.294	22.681	14.489
東淀川区	175530	10.401	23.428	11.572
東成区	80563	10.902	25.218	12.609
生野区	130167	9.205	31.207	8.946
旭区	91608	10.391	29.292	13.612
城東区	164697	12.399	24.944	13.893
鶴見区	111557	15.506	21.587	11.85
阿倍野区	107626	12.369	25.246	18.929
住之江区	122988	10.96	28.041	11.065
住吉区	154239	11.85	26.941	12.881
東住吉区	126299	11.364	28.98	13.627
平野区	196633	12.311	27.185	8.325
西成区	111883	6.909	36.813	5.917

出典：e-Stat（URL: <https://www.e-stat.go.jp/regional-statistics/ssdsview/municipality> 最終アクセス日: 2023年1月7日）。総人口から65歳以上人口比率までは2015年度、大卒・院卒比率は2010年度の調査結果であり、それぞれ人口に占める比率を計算した。元データのe-Stat項目コードは、総人口がA1101、15歳未満人口比率がA1301、65歳以上人口比率がA1303、大卒・院卒比率がE9106である。

表 A.2 行政区ごとの住民投票の結果

行政区	2015 投票率(%)	2015 賛成率(%)	2015 反対率(%)	2020 投票率(%)	2020 賛成率(%)	2020 反対率(%)
北区	64.83	38.27	26.56	62.60	35.08	27.26
都島区	69.08	36.64	32.43	65.76	34.47	31.05
福島区	68.41	38.01	30.40	64.79	34.63	29.90
此花区	66.95	32.31	34.65	62.19	28.99	32.90
中央区	62.65	33.89	28.76	59.55	30.22	29.06
西区	64.39	37.13	27.26	60.97	32.66	28.04
港区	67.14	32.11	35.02	64.80	27.73	36.79
大正区	68.63	30.18	38.45	63.51	29.43	33.81
天王寺区	71.46	33.46	38.00	69.09	32.90	35.87
浪速区	52.62	27.72	24.91	48.16	24.80	23.20
西淀川区	68.59	31.22	37.37	61.98	29.22	32.45
淀川区	63.15	35.06	28.09	58.50	32.05	26.15
東淀川区	62.14	31.82	30.32	57.28	28.67	28.33
東成区	67.70	33.87	33.83	64.01	31.60	32.11
生野区	65.07	30.27	34.80	59.10	28.28	30.55
旭区	68.84	31.12	37.71	65.20	30.61	34.28
城東区	70.04	35.38	34.66	67.18	33.75	33.14
鶴見区	69.44	34.78	34.66	65.21	33.16	31.73
阿倍野区	73.67	35.66	38.01	71.14	31.92	38.88
住之江区	69.46	32.90	36.56	64.21	31.10	32.79
住吉区	68.45	31.26	37.19	64.14	28.72	35.10
東住吉区	67.71	32.32	35.39	63.13	29.71	33.10
平野区	66.25	29.62	36.62	61.21	27.79	33.09
西成区	60.08	28.09	31.99	53.49	26.21	26.97

出典：大阪市選挙管理委員会 HP（URL: <https://www.city.osaka.lg.jp/senkyo/page/0000320193.html> 最終アクセス日: 2023 年 1 月 7 日）。

表 A.3 分析に用いた変数の記述統計量

	観測数	平均値	標準偏差	最小値	最大値
臨時期日前投票所の有無	480	0.035	0.185	0	1
投票率増分(2020)	480	3.119	9.261	0.296	49.800
投票率増分(2015)	480	3.340	10.694	0.302	55.952
松井・吉村演説回数	480	0.246	0.587	0	3

注：臨時期日前投票所の有無は、設置されている状態を 1、それ以外を 0 とする 2 値変数。

B. GSCM の推定結果の妥当性

GSCM は、処置前時点数が 10 未満、もしくは、統制群数が 40 未満の場合、推定結果にはバイアスが生じる可能性が高くなることが、シミュレーションの結果から明らかにされている (Xu, 2017)。ゆえにこの条件に該当する場合は、慎重に推定結果を検討すべきとされる。本研究のデータは統制群数が 20 であり、後者の条件に該当する。

Xu (2017) では、推定結果の妥当性を検討する方法として、以下の 2 つが提案されている。第 1 は処置群と統制群の実際のアウトカムの推移、及び推定された反実仮想のアウトカムの推移をプロットし、確認する方法である。第 2 は、統制群と処置群の因子負荷量をプロットし、両者の重複を確認する方法である。以下では、これら 2 つの方法により、GSCM の推定結果の妥当性について検討する。結果を先取りすれば、大正区の因子負荷量が相対的に大きな値を示したので、二方向固定効果モデルによる推定も行なった。

合成統制法を含むアウトカムの時間変動を利用する分析手法は、介入に先立つ期待 (anticipation) に基づく行動等が生じないことを仮定しており、この仮定が満たされない場合、推定結果にはバイアスが生じることが指摘されている (Abadie, 2021)。仮に有権者が臨時期日前投票所について、それが設置されることを事前に察知し、そのことに事前に期待を寄せていた場合、GSCM の推定結果にはバイアスが生じることとなる。そこで、介入に対する期待に伴うバイアスの可能性についても検証する。

B.1 処置群、統制群、予測値のアウトカムの比較

第 1 に、処置群における投票率の差分の推移、非介入だった場合の処置群における投票率の差分の推定値の推移、及び統制群における投票率の差分の平均値の推移の関係を分析する。図 B.1 は、Online Appendix 表 C.1 Result 1 における GSCM の推定結果に基づき、処置群に割り当てられた 4 つの区ごとに、処置群における投票率の差分の観測値 (「処置群の観測値」と推定値 (「非介入だった場合の予測」)、そして統制群の平均値、推定された投票率の差分 (「統制群の平均値」) を日ごとにプロットしたものである。赤色の線より左側は介入ないし処置前、右側は処置ないし介入後である。なお、投票日の 11/1 の結果を含めて可視化すると不明瞭な図となるため、この図では 10/13 から 10/31 までの結果をプロットしている。なお、省略した 11/1 時点の前日の投票率からの変動%を記しておく、大正区は観測値が 39.3 ポイントで推定値が 37.2 ポイント、此花区は観測値が 42.6 ポイントで推定値が 42.0 ポイント、港区は観測値が 42.2 ポイントで推定値が 43.0 ポイント、城東区は観測値が 46.7 ポイントで推定値が 46.4 ポイントである。11/1 時点の統制群の平均値は 43.3 ポイントである。

補足しておく、統制群における投票率の差分のばらつきは小さく、10/31 までの日ごとの標準偏差を確認しても、最大値は 10/14 時点の 0.239 であった。10 月 17 日以降は標準偏差が 0.2 を下回るなど、投票日が近づくごとに統制群内の投票率の差分のばらつきは小さく

なる。行政区ごとに投票率差分の推移を示す可視化の方法もあろうが、統制群間の投票率の差分のばらつきは大きくないため、図 B.1 では統制群の平均値のみをプロットした。

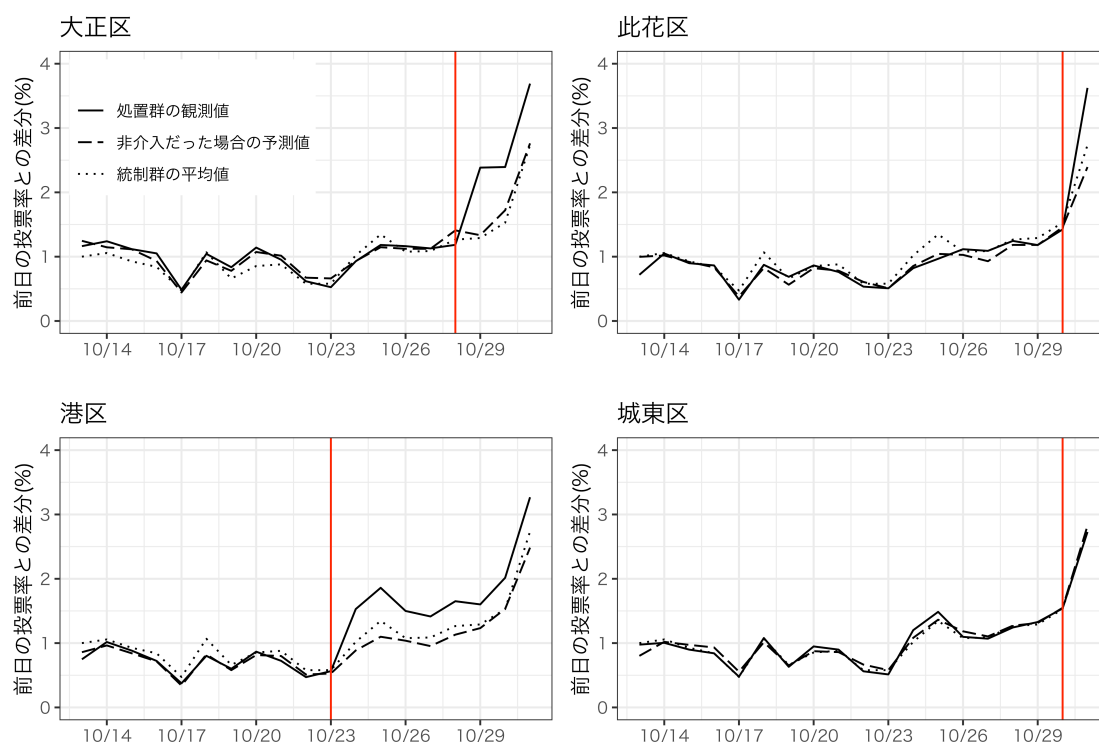


図 B.1 前日の投票率との差分の観測値、非介入だった場合の予測値、および統制群の投票率差分平均値の推移

図 B.1 に示すように、いずれの行政区においても、統制群における投票率の差分の推定値と、推定された処置群の投票率の差分の推定値は、似通った値となっている。これは、処置前の統制群のアウトカムの推移と、処置前の処置群のアウトカムの推移が似通ったものであることを意味している。したがって、処置後の処置群のアウトカムの反実仮想推定に関しても妥当性を有することを示す結果だと解釈できる。

B.2 処置群及び統制群における潜在因子の負荷量

第 2 に、Online Appendix 表 C.1 Result 1 の推定結果における、行政区単位の因子負荷量を確認する。本論中に述べている通り、交差検証により因子数を推定した結果、MSPE の値が最小となる因子数は 1 となった。交差検証の結果は下記表 B.1 の通りである。因子数の選択方法の概略を述べれば（詳細は Xu 2017: Algorithm 1 参照）、統制群の情報を利用し任意の因子数に基づく負荷量を推定し（step 1）、step 1 の推定結果に基づき処置群の処置前データを対象に予測を行った上で（step 2）、MSPE を計算する（step 3）。これを因子数 0 から

任意の因子数まで繰り返し行う (step 4)。この任意の因子数は、デフォルトでは 5 となっている。最後に、最も MSPE が小さくなる因子数を選択する (step 5)。表 B.1 の通り最も小さい MSPE となった因子数は 1 だったので因子数を 1 とした、ということである。

表 B.1 交差検証の結果

因子数	MSPE
0	0.013959
1	<u>0.008888</u>
2	0.009425
3	0.010565
4	0.012183
5	0.015603

この潜在因子の因子負荷量について、処置群と統制群でどの程度の重複が見られるかを確認した。以下の図 B.2 は潜在因子の因子負荷量を、処置群と統制群ごとにプロットしたものである。この図から明らかなように、最も大きな因子負荷量を示すのは、処置群の 1 つである大正区であり、因子負荷量は 2.99 だった。大正区の推定結果については慎重に検討する必要があることが示唆されるが、統制群である西成区の因子負荷量 (2.62) と大差ないともいえる。したがって、推定結果に深刻なバイアスが生じている可能性は低いように思われる。なお、他の処置群である城東区 (0.86)、此花区 (1.10)、港区 (0.77) については、統制群の因子負荷量の範囲内におさまっている。

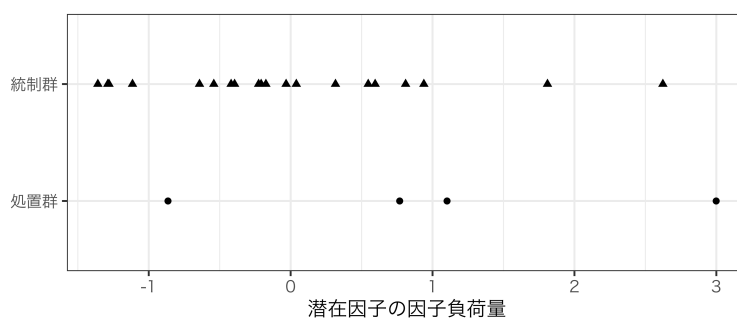


図 B.2 行政区ごとの潜在因子の因子負荷量

処置群の行政区数の少なさや、大正区の因子負荷量が統制群の範囲内に完全にはおさまっていない点を勘案し、二方向固定効果モデル (Two-way Fixed Effects Model, TWFE) による、臨時期日前投票所設置の効果に関する推定も行なった。TWFE による推定は、R の estimatr

パッケージ (ver. 1.0.0) を利用した。標準誤差は、行政区でクラスタ化した頑健標準誤差とした。

TWFE による推定結果をまとめたものが表 B.2 である。いずれの分析にも行政区および時間固定効果にくわえて、共変量として、2015 年住民投票の投票率の差分と吉村・松井の演説回数を含めた。すべてのデータを対象に分析した結果が Result 1、効果がない可能性が高い城東区を除いて分析した結果が Result 2、投票日当日 (11/1) を除いて分析した結果が Result 3、城東区と投票日当日を除いた結果が Result 4 である。いずれの結果においても、期日前投票所の係数値は正に有意、つまり臨時期日前投票所を設置することには投票率を上げる効果があることを示す結果となった。

表 B.2 TWFE モデルによる推定結果

	Result 1 (Full)		Result 2 (城東区除く)		Result 3 (11/1除く)		Result 4 (城東区&11/1除く)	
	Coef.	S.E.	Coef.	S.E.	Coef.	S.E.	Coef.	S.E.
期日前投票所	0.272	0.062	0.241	0.052	0.612	0.122	0.689	0.118
Δ2015住民投票	1.001	0.053	0.995	0.054	0.625	0.097	0.646	0.094
松井・吉村演説	0.033	0.015	0.036	0.016	0.021	0.008	0.024	0.008
行政区固定効果	○		○		○		○	
時間固定効果	○		○		○		○	
観測数	480		460		456		437	
処置群行政区数	4		3		4		3	
統制群行政区数	20		20		20		20	

注：Result 1 はすべての行政区および期間を対象とする推定結果であり、Result 2 は城東区を除くデータを用いた推定結果、Result 3 は投票日当日を除くデータを用いた推定結果、Result 4 は城東区と投票日当日を除くデータを用いた推定結果。標準誤差は行政区でクラスタ化した頑健標準誤差。

係数の符号や統計的有意性については、GSCM と TWFE の間に大きな相違は見られないが、他方で Online Appendix 表 C.1 の結果と比較すると、係数値に若干の相違が見られる。その意味で、臨時期日前投票所の設置が「どの程度」投票率の向上に寄与するかは、やや慎重に検討する必要がある。それを前提とするが、上記表 B.2 の推定結果は、効果がないはずの城東区を含めない方が、係数値が相対的に大きくなると予測できるにもかかわらず、Result 1 と Result 2 を比較した場合、城東区を含めた場合の係数値の方が大きいという推定結果であり、やや不可解な結果といえる (GSCM では含めない場合の推定結果の方が、異質処置効果の平均値は大きくなる)。より実態に近い推定結果となっているのは、以上を勘案すれば、GSCM であるように思われる。ただし、投票日当日のデータを除く場合、城東区を含めた推定結果である Result 3 における期日前投票所の係数値は、城東区を除く推定結果 (Result 4) より大きく、この点は予測通りである。

B.3 介入への期待によるバイアスの確認

介入に対する期待に伴うバイアスの可能性について検証するために、処置群における全ての区について、介入時期と実際には異なる 10/23 を擬似的な介入時期とし処置効果を推定した。大正区では 10/23 から 10/28 まで、港区では 10/23 のみ、此花区では 10/23 から 10/30 まで、城東区では 0 と想定しているため 10/23 以降、推定値が 0 に近似している、あるいは、0 より有意に大きな値でなければ、上述の期待バイアスは生じていないものと判断できる。

図 B.3 は、処置ないし介入のタイミングを 10/23 とした上で、処置群の異質処置効果を推定した結果を可視化したものである。実線が日ごとの推定値、網掛けの部分はその 95%信頼区間である。左側の青色の縦線はバイアスの検証のために設定した設置のタイミングであり、右側の赤色の線は実際の設置のタイミングである。此花区の推定結果を確認すると、擬似的に設定した時期と実際の時期の間の推定結果のほとんどが 0 に近く、かつ、95%信頼区間も 0 の破線と重なる。港区の推定結果も、10/23 の推定値は 0 に近い値である。大正区の推定結果も此花区や港区と同じ結果である。城東区は全ての日の推定結果が 0 に近く有意でない。以上から、介入への期待によるバイアスはないか、あるいは、あるとしても無視できるほど小さいものと判断できる。

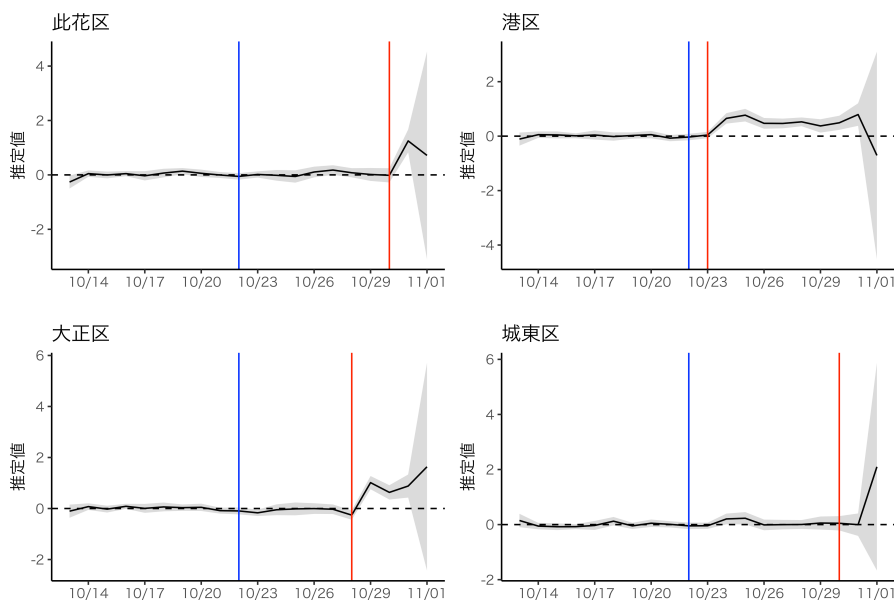


図 B.3 介入時期を 10/23 とした場合の、行政区ごとの異質処置効果

注：図中の線は異質処置効果の推定値、灰色で塗り潰しているのはその 95%信頼区間である。図中の縦線は、いずれも青色が擬似的に設定した設置時期、赤線は実際の設置時期である。

C. GSCM による臨時期日前投票所の効果の推定結果

本論中の図 1 および図 2 は、下記表 C.1 の Result 1 および表 C.2 の推定結果を可視化したものである。

表 C.1 GSCM による臨時期日前投票所設置の効果の推定結果

	Result 1 (Full)		Result 2 (城東区除く)		Result 3 (11/1除く)		Result 4 (城東区&11/1除く)	
	Effect	S.E.	Effect	S.E.	Effect	S.E.	Effect	S.E.
期日前投票所	0.615	0.211	1.052	0.311	0.800	0.092	0.849	0.093
Δ2015住民投票	0.734	0.034	0.621	0.025	0.210	0.075	0.257	0.071
松井・吉村演説	0.017	0.008	0.005	0.007	0.002	0.005	0.007	0.005
潜在因子数	1		2		4		3	
行政区固定効果	○		○		○		○	
時間固定効果	○		○		○		○	
観測数	480		460		456		437	
処置群行政区数	4		3		4		3	
統制群行政区数	20		20		20		20	

注：期日前投票所の効果（Effect）は、期日前投票所設置後の行政区及び時点ごとに推定された異質処置効果の総和について、期日前投票所設置後の処置群における時点数の総和を分母とする平均値。Result 1 はすべての行政区および期間を対象とする推定結果であり、Result 2 は城東区を除くデータを用いた推定結果、Result 3 は投票日当日を除くデータを用いた推定結果、Result 4 は城東区と投票日当日を除くデータを用いた推定結果。いずれもパラメトリック推定で分析を行った。標準誤差は行政区でブロック化したブートストラップ法により推定した（繰り返し数は 2000）。潜在因子数は交差検証により、MSPE がもっとも小さな因子数を採用した。

表 C.2 行政区及び時点ごとの異質処置効果の推定結果

年月日	此花区		港区		大正区		城東区	
	Effect	S.E.	Effect	S.E.	Effect	S.E.	Effect	S.E.
2020/10/13	-0.279	0.144	-0.110	0.123	-0.083	0.165	0.175	0.151
2020/10/14	0.031	0.064	0.053	0.061	0.094	0.076	-0.015	0.066
2020/10/15	-0.019	0.068	0.042	0.065	0.002	0.074	-0.074	0.067
2020/10/16	0.030	0.045	0.008	0.048	0.118	0.047	-0.091	0.045
2020/10/17	-0.051	0.102	0.035	0.082	0.043	0.105	-0.078	0.099
2020/10/18	0.050	0.073	-0.022	0.081	0.101	0.081	0.066	0.072
2020/10/19	0.123	0.056	0.022	0.057	0.056	0.063	-0.021	0.056
2020/10/20	0.043	0.076	0.053	0.070	0.069	0.085	0.074	0.076
2020/10/21	-0.020	0.064	-0.075	0.059	-0.062	0.070	0.039	0.065
2020/10/22	-0.073	0.076	-0.040	0.059	-0.055	0.083	-0.104	0.076
2020/10/23	0.000	0.070	0.036	0.052	-0.136	0.073	-0.067	0.068
2020/10/24	-0.034	0.053	0.644	0.100	-0.003	0.062	0.119	0.054
2020/10/25	-0.077	0.052	0.761	0.121	0.035	0.065	0.122	0.054
2020/10/26	0.088	0.056	0.462	0.102	0.041	0.063	-0.086	0.057
2020/10/27	0.161	0.072	0.461	0.093	0.006	0.081	-0.035	0.071
2020/10/28	0.062	0.062	0.520	0.085	-0.225	0.073	-0.028	0.060
2020/10/29	-0.001	0.087	0.369	0.128	1.051	0.110	0.014	0.087
2020/10/30	-0.034	0.096	0.484	0.134	0.672	0.123	-0.010	0.098
2020/10/31	1.230	0.149	0.784	0.214	0.929	0.180	-0.097	0.147
2020/11/01	0.666	1.389	-0.817	1.943	2.046	1.464	0.294	1.362

注：期日前投票所が設置されていた期間の推定結果は太字かつ下線を引いている

D. 偽薬検定 (Placebo test) の結果

D.1 投票日当日を含む場合の偽薬検定の結果

表 D.1 投票日当日を含む場合の検定結果

	観測値	反実仮想	変動%	p-value (linearized)	p-value (permutation)
10/13~11/1	222.82	207.31	7.482	0.1895	0.0791

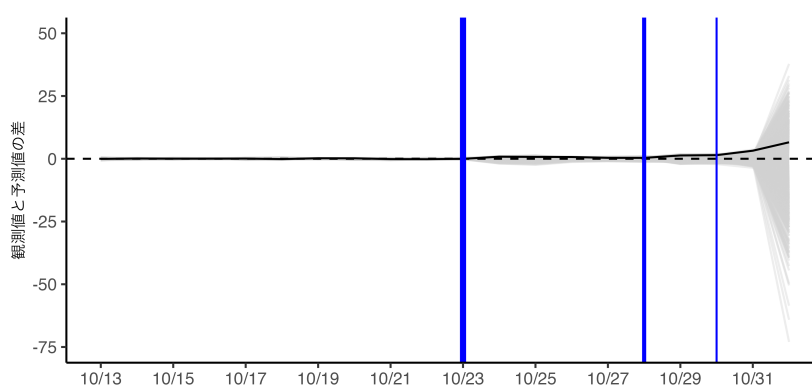


図 D.1 偽薬検定の結果(10/13~11/1)

注：図中の実線は実際の推定結果であり、灰色の線は偽薬として推定された擬似的な結果である。偽薬による推定回数は2000回としている。一番左側の縦線は港区で、中央の縦線は大正区で、右側の縦線は此花区と城東区で臨時期日前投票所が設置されたタイミングである。

D.2 投票日当日を除いた場合の偽薬検定の結果

表 D.2 投票日当日を含む場合の検定結果

	観測値	反実仮想	変動%	p-value (linearized)	p-value (permutation)
10/13~10/31	52.45	43.11	21.666	0.0001	0.0032

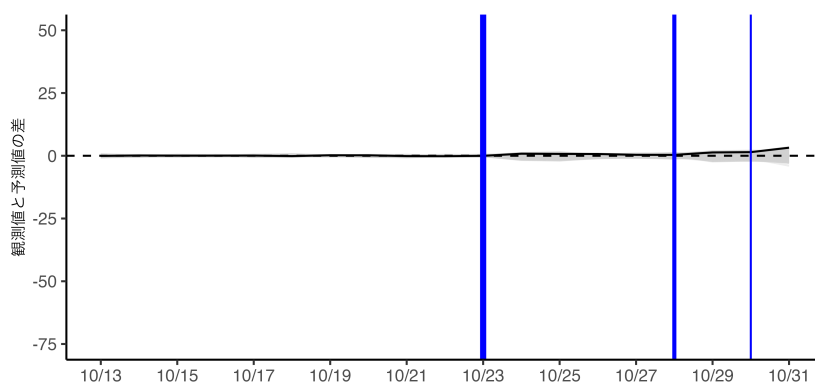


図 D.2 偽薬検定の結果(10/13~10/31)

注：図中の実線は実際の推定結果であり、灰色の線は偽薬として推定された擬似的な結果である。偽薬による推定回数は 2000 回としている。一番左側の縦線は港区で、中央の縦線は大正区で、右側の縦線は此花区と城東区で臨時期日前投票所が設置されたタイミングである。なお、上記図 D.1 との比較を容易とするために、Y 軸の範囲を図 D.1 と同一にしている。

参考文献

- Abadie, Alberto (2021) “Using Synthetic Controls: Feasibility, Data Requirements, and Methodological Aspects.” *Journal of Economic Literature*, 59(2): 391-425.
- Xu, Yiqing (2017) “Generalized Synthetic Control Method: Causal Inference with Interactive Fixed Effects Models.” *Political Analysis*, 25(1): 57-76.