

三田論発表会(2024/11/24)

トラックデータを用いた首都高速道路 における政策導入効果検証

学部3年(10期) 小田直輝 児島千佳 林祐太郎 町田奈津実 持松進之介 森田梨加

目次

研究概要

- 研究背景
- 研究目的
- 発表の流れ
- 首都高での政策の概要
- 先行研究
- 医療経済学的観点
- 先行研究の課題
- 本研究の意義

解析手法

- 解析理論
 - 差分の差分法
 - PSM-DID ,PSW-DID
 - 合成コントロール法
- 解析詳細
 - A. 深夜の高速道路の交通量に対する、「深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充」の政策効果検証
 - B. 深夜割引制度の効果検証
 - 1. 昼夜勤務時間比率
 - 2. 深夜/日中の高速利用回数
 - 3. 深夜時間帯の高速道路採択率

実証分析・結論

- データの概要
- データの加工
- 効果検証の概要
- 首都高政策の効果検証
- 深夜割引制度の効果検証
- 追加検証
- 考察
- 今後の課題と展望

目次

研究概要

- 研究背景
- 研究目的
- 発表の流れ
- 首都高での政策の概要
- 先行研究
- 医療経済学的観点
- 先行研究の課題
- 本研究の意義

解析手法

- 解析理論
 - 差分の差分法
 - PSM-DID ,PSW-DID
 - 合成コントロール法
- 解析詳細
 - A. 深夜の高速道路の交通量に対する、「深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充」の政策効果検証
 - B. 深夜割引制度の効果検証
 - 1. 昼夜勤務時間比率
 - 2. 深夜/日中の高速利用回数
 - 3. 深夜時間帯の高速道路採択率

実証分析・結論

- データの概要
- データの加工
- 効果検証の概要
- 首都高政策の効果検証
- 深夜割引制度の効果検証
- 追加検証
- 考察
- 今後の課題と展望

物流業界の現状

1

トラックドライバーの不足

物流需要が年々急増する一方、トラックドライバーの待遇改善は十分ではない

2

2024年問題

時間外労働に対する年960時間の上限規制が適用されることで、さらなる輸送効率向上が求められる

3

官民の取り組み

- ・物流革新に向けた政策パッケージ制定
- ・高速道路における料金体系の見直し

首都高速道路で導入された「深夜割引」「料金体系見直し」「大口多頻度割引拡充」の政策効果検証が本研究の目的

物流業界の現状や2024年問題の対策の一例

首都高速道路で2022年6月に導入された

「深夜割引」「料金体系見直し」「大口多頻度割引拡充」政策

政策効果を検証するため、

日野自動車様からご提供いただいたトラックの詳細な位置情報データを、
DID、PSM-DID、PSW-DID、合成コントロール法を用いて分析を行う

発表の流れ

1. 研究背景と目的

- 研究背景: 首都高速道路の深夜割引制度導入とその社会的影響についての現状
- 研究目的: 医療経済学的観点から深夜割引制度の社会的損失や経済効果を検証し、政策の改善案を提案

2. 先行研究と政策の概要

- 先行研究: 深夜割引制度や高速道路政策に関する既存の研究をレビュー
- 首都高での政策概要: 深夜割引制度の導入背景と制度の詳細を解説

3. 分析手法

- 主要手法: 差分の差分法 (DID) 、傾向スコアを用いたPSM-DIDやPSW-DID
- 合成コントロール法: 他の統計手法との比較も含め、効果を精緻に捉えるためのアプローチ

発表の流れ

4. データと解析方法

- データの概要と加工: 首都高利用に関するデータの内容と、解析に適した形へのデータ加工方法
- 解析詳細: 各手法を用いた効果検証の設計
 - (1) 首都高政策の効果検証 (2) 深夜割引制度の効果検証 (3) 追加検証

5. 結果と考察

- 結果: 主要な検証項目の効果と統計的な結果を提示
- 考察: 結果から得られる政策的な示唆やドライバーへの影響、経済的試算

6. 今後の課題と展望

- データ加工・分析における課題
- 政策への活用

首都高での政策の概要

1

上限料金の見直し

2

大口・多頻度割引の
更なる拡充

3

深夜割引の
新たな導入



渋滞の深刻化、利用者負担の不公平感の高まりに対処する他、
地域経済活性化の狙いも

首都高での政策の概要▶1.上限料金の見直し

従来の料金設定

料金距離35.7km以上の利用は上限料金（普通車1320円）を設定

料金設定による交通状態への影響

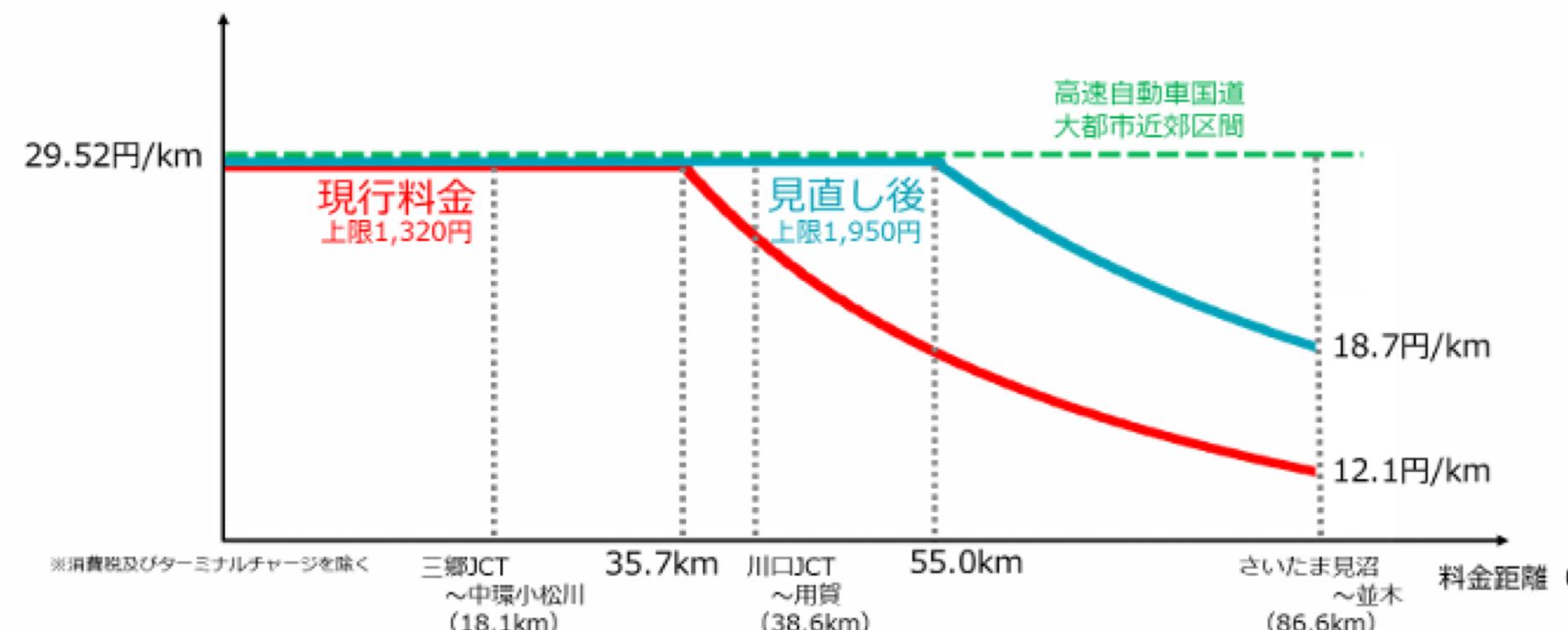
35.7km以上走行する車にとって割安のため、多くの車が首都高を通行し、混雑の原因に

対策

上限料金設定を、料金距離55km以上の利用は上限料金（普通車1950円）へ変更

▼ETC車（普通車）の例

料金距離あたり単価（円/km）※



(抜粋：首都高速道路の料金体系の見直しについて（説明資料）より)

首都高での政策の概要▶2.大口・多頻度割引の更なる拡充

背景

トラック運転手労働時間規制などによる物流業界の負担増

対策

- ① 基本割引率を最大25%へ拡充。
- ② 中央環状線外側利用分の割引率を5%→10%に拡充。

首都高速道路の料金体系の見直しについて

▶大口・多頻度割引の更なる拡充 (ETC車)

- ・物流を支える車の負担が急激に増加しないよう、大口・多頻度割引のうち車両単位割引の基本割引率について、最大20%から更に最大25%まで拡充するとともに、その割引対象額のうち、中央環状線の内側を通過しない利用分については、割引率5%を更に10%まで拡充します。
- ・その結果、大口・多頻度割引は、最大35%から最大45%（車両単位最大35%+契約単位10%）まで拡充されます。
- ・なお、大口・多頻度割引のうち契約単位割引については、現行の割引率10%からの変更はありません。

大口・多頻度割引の更なる拡充イメージ（最大割引率の場合）

		現行の割引率 (最大)	4月1日からの割引率 (最大)
車両単位割引	基本割引	20%	25%
	中央環状線の内側を通行しない利用分	5%	10%
契約単位割引		10%	10%
合計		35%	45%

※車両単位割引の拡充及び契約単位割引は2026年3月末までの措置

[\(抜粋：首都高速道路の料金体系の見直しについて（説明資料）より\)](#)

首都高での政策の概要▶3.深夜割引の導入

背景

交通量が昼間に集中

対策

深夜時間における利用料金を**20%割引**
→深夜時間の利用を促し、昼間の混雑を緩和

首都高速道路の料金体系の見直しについて

▶深夜割引の新たな導入（ETC車）

- 混雑している昼間のご利用から、比較的交通量が少ない深夜のご利用への転換を促すため、深夜割引を新たに導入します。
- 深夜0時から4時までの間に首都高速の入口等を通過する車両（ETC無線通行に限る）の料金を**20%割引**します。

（※）深夜割引の適用判定は、首都高速の最初のETCアンテナとの通信時間が基準となります

割引の対象走行と対象外走行の例



OK : 入口通過時間が対象時間内（0時～4時）のご利用のため割引対象
NG : 入口通過時間が対象時間外（0時～4時以外）のご利用のため割引対象外

（抜粋：首都高速道路の料金体系の見直しについて（説明資料）より）

長時間、夜間運転に関する先行研究

Lee et al.(2017)

「夜勤勤務者は非夜勤勤務者より鬱病のリスクが約40%高い」

ORIGINAL ARTICLE
Check for updates
Occupation & Environmental Medicine

<https://doi.org/10.3346/joms.2017.32.7.1091> • J Korean Med Sci 2017; 32: 1091-1096

JKMS

Night Shift Work and Risk of Depression: Meta-analysis of Observational Studies

Aeyoung Lee,* Seung-Kwon Myung,^{2,3,4*}
Jung Jin Cho,¹ Yu-Jin Jung,¹
Jong Lull Yoon,¹ and Mee Young Kim¹

¹Department of Family Medicine, Hallym University Dongtan Sacred Heart Hospital, Hwaseong, Korea;
²Department of Cancer Control and Policy, Graduate School of Cancer Science and Policy, National Cancer Center, Goyang, Korea; ³Molecular Epidemiology Branch, Division of Cancer Epidemiology and Prevention, Research Institute, National Cancer Center, Goyang, Korea; ⁴Department of Family Medicine and Center for Cancer Prevention and Detection, Hospital, National Cancer Center Goyang, Korea

*Aeyoung Lee and Seung-Kwon Myung contributed equally to this work.

Received: 13 January 2017
Accepted: 10 March 2017

Address for Correspondence:
Jung Jin Cho, MD, MPH, PhD
Department of Family Medicine, Hallym University Dongtan Sacred Heart Hospital, 7 Keurjeong-gil, Hwaseong 18450, Republic of Korea
E-mail: treet@hallym.ac.kr

Funding: This study was supported by a grant of the Korean Health Technology R & D Projects, Ministry of Health and Welfare, Republic of Korea (HI13C1461).

This study aimed to assess whether night shift work is associated with the risk of depression by using a meta-analysis of observational studies. We searched PubMed and EMBASE in August, 2016 to locate eligible studies and investigated the association between night shift work and the risk of depression, reporting outcome measures with adjusted odds ratios (ORs) relative risks (RRs) and 95% confidence intervals (CIs). In the meta-analysis of a total of 11 observational studies with 9 cross-sectional study, 1 longitudinal study, and 1 cohort study, night shift work was significantly associated with an increased risk of depression (OR/RR, 1.43; 95% CI, 1.24–1.64; $I^2 = 78.0\%$). Also, subgroup meta-analyses by gender, night shift work duration, type of occupation, continent, and type of publication showed that night shift work was consistently associated with the increased risk of depression. The current meta-analysis suggests that night shift work is associated with the increased risk of depression. However, further large prospective cohort studies are needed to confirm this association.

Keywords: Night Shift Work; Depression; Observational Study; Meta-analysis

Address for Correspondence:
Jung Jin Cho, MD, MPH, PhD
Department of Family Medicine, Hallym University Dongtan Sacred Heart Hospital, 7 Keurjeong-gil, Hwaseong 18450, Republic of Korea
E-mail: treet@hallym.ac.kr

Funding: This study was supported by a grant of the Korean Health Technology R & D Projects, Ministry of Health and Welfare, Republic of Korea (HI13C1461).

松元(2022)

「夜間運転による不規則な食事や睡眠不足が原因で、肥満や高血圧症を引き起こし、長期的な健康リスクを高める」

産衛誌
Occupation & Environmental Medicine

<https://doi.org/10.3346/sangyoecisei.2020.041-B>

原 著

トラックドライバーの健康障害と過労状態に関連する労働生活要因の検討

松元 俊, 久保 智英, 井澤 修平, 池田 大樹, 高橋 正也, 甲田 茂樹

独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所

抄録：目的：日本においてトラックドライバーは脳・心臓疾患による過労死や健康起因事故が多い職種である。また、トラックドライバーは、脳・心臓疾患のリスクである高血圧症、肥満、高脂血症、糖尿病に関連する項目の定期健診での有所見率も高い。そこで、トラックドライバーの過労死防止策の立案に向けて、職種の特徴を踏まえた労働生活条件と、脳・心臓疾患に高血圧症、肥満、高脂血症、糖尿病を含めた健康障害、疾患前としての過労状態との関連について検討した。対象と方法：全国のトラックドライバーを対象として、上記の健康障害の既往歴および過労状態を含む、基本属性、生活習慣、働き方、休み方、運転労働の負担について質問紙調査を行った。47都道府県の1,082のトラック運送事業所に5部ずつ合計5,410部を配達し、1,992部を回収した（回収率36.8%）。そのうち、女性41人および性別不明4件を除く男性1947人を解析対象とした。労働生活条件と各種健康障害との関連は多重ロジスティック回帰分析を用いて検討した。

(産衛誌 2022; 64(1): 1–11)
doi: 10.1539/sangyoecisei.2020-041-B

キーワード : Truck driver, Health disorders, Work and rest conditions, Excessive fatigue, Night and early morning drive, Sleep

1.はじめに

トラックドライバーは、長時間の作業種と並んで健康

小山(2011)

「長距離トラックドライバーを対象とした調査で、平均睡眠時間は約6時間、トラックキャビンでの睡眠環境の悪さなどにより、多くの労働者が疲労に苦しんでいる」

原著

労働科学 87巻、4号 (121)~(135), 2011
J. Science of Labour Vol.87, No.4

トラックドライバーの勤務条件と疲労・睡眠 (第2報)
—長距離トラックドライバーの疲労とその関連要因の分析—

小山秀紀*** 鈴木一弥** 酒井一博**

Working Conditions, Fatigue, and Sleep of Truck Drivers (2nd report) : An Analysis of Cases of Fatigue and Related Factors in Long-haul Truck Drivers

By
Hideki OYAMA***, Kazuya SUZUKI**, Kazuhiro SAKAI**

The purpose of this study was to examine cases of increased fatigue and related factors in 103 long-haul truck drivers. The results showed that about 40 percent of long-haul truck drivers experienced fatigue due to work. The following factors were found to be significantly related to increased fatigue : (1)long driving hours, sleep deprivation, lack of holidays, lack of rest periods and naps between drives, time-related pressure, and work load ; (2)dissatisfaction with company equipment and sleeping conditions in the truck's cabin ; (3)dissatisfaction with performance-based pay ; (4) poor health ; and (5) lack of vegetables, deviation of meals, erratic eating habits, and lack of exercise aspects of the individuals' lifestyle. The results analyzed through structural equation modeling showed that sleeping conditions had a direct influence on the degree of fatigue and health states. Further, driving conditions and organizational conditions as background factors were found to have an indirect influence on the work-related fatigue and health states.

キーワード : 長距離トラックドライバー；長時間運転；睡眠不足；疲労；職場環境改善
Key Words : Long-haul truck drivers ; Long driving hours ; Lack of sleep ; Fatigue ; Work environment improvement

医療経済学的観点からの社会的損失、政策の背景

トラック運転手の人口（66万人、2010年）あたりのうつ病による社会的損失は約138億円と試算され、
そのうち深夜労働によるうつ病リスクの増加で生じた損失は約20億円と試算される。

→ うつ病でこれだけの社会的損失を生む深夜労働。これ以外にも、深夜労働は**肥満や高血圧症などさまざまな病気や身体的負荷の増加**をもたらしており、こうした深夜労働の制限が労働時間規制とつながってきた。

→ 長時間労働や深夜労働を規制するものとして、深夜割引の導入が進んだという背景がある。交通量を**昼夜で分散させ**、昼間の**渋滞を緩和**し労働時間を少なくすることが狙いの一つだった。

→ ただこれは実際は深夜労働の助長につながっている可能性があるのではないか

先行研究の課題

背景

渋滞緩和・物流効率向上のため、首都高速道路の料金改定（国土交通省, 2022）
→深夜利用増加・渋滞損失時間の減少の効果が見られた

深夜料金制度は「ドライバーの深夜労働を助長」しているのか、「労働負荷の分散に寄与」しているのか？が不明

課題

これらは交通全体の効率向上を評価したもので、**ドライバー個々の労働環境や健康への影響**は十分に検証されていない

現在、**深夜割引の影響に関するデータと具体的な解析が不足**
小澤ら（2017）：昼間の割引効果をモデル化したが、深夜割引については未検証

本研究の意義

現在のデータでは、**深夜料金制度がドライバーの労働環境や健康に与える影響の詳細な把握が不十分**
ドライバーの深夜労働が進行する現状に対し、**具体的な実態把握と分析が急務**

本研究の目的と意

目的

深夜料金制度の影響をドライバーの労働環境と健康に焦点を当てて解析



意義

データに基づく政策判断の改善に貢献し、ドライバーの健康と安全確保に資する基礎資料を提供

目次

研究概要

- 研究背景
- 研究目的
- 発表の流れ
- 首都高での政策の概要
- 先行研究
- 医療経済学的観点
- 先行研究の課題
- 本研究の意義

解析手法

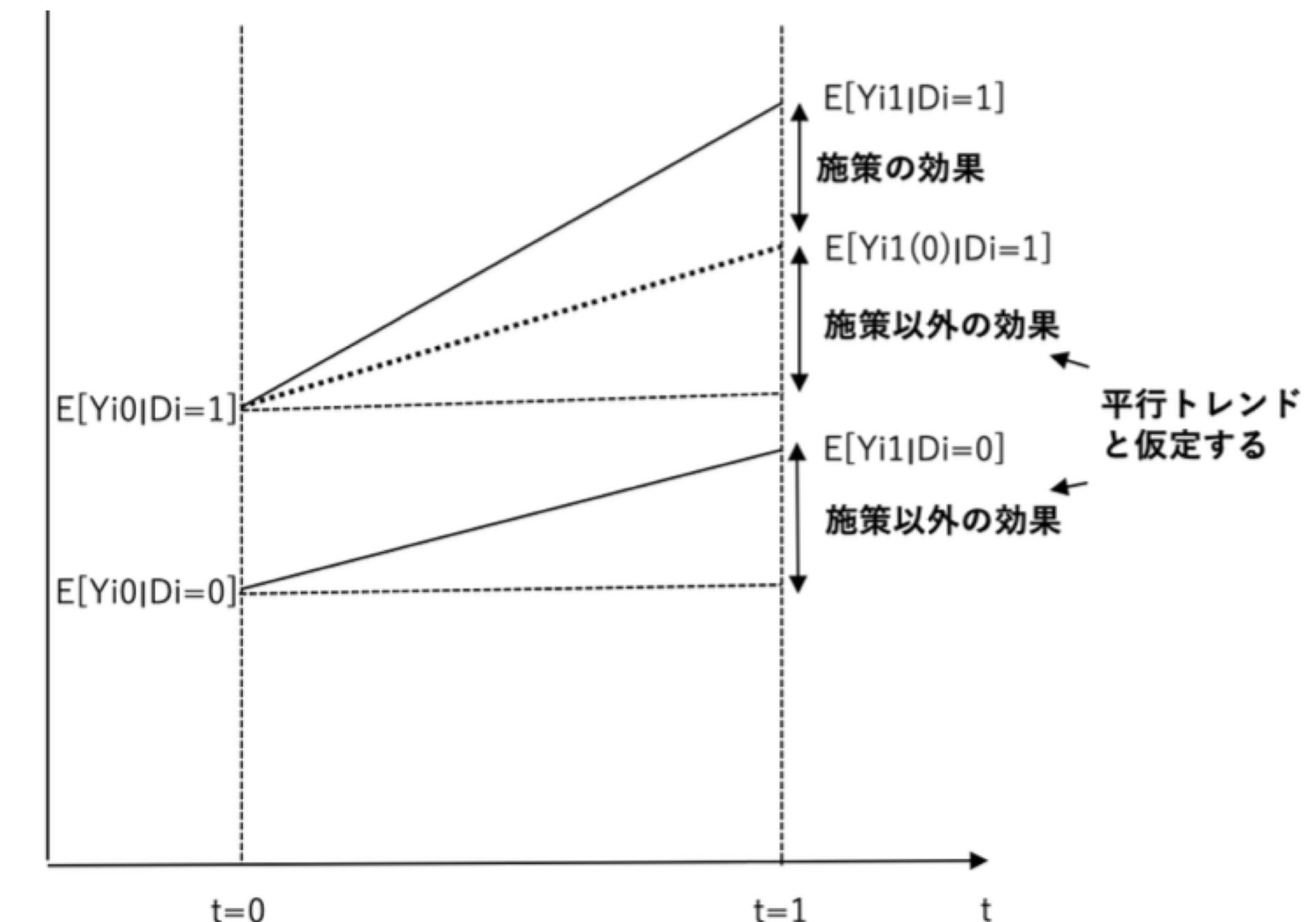
- 解析理論
 - 差分の差分法
 - PSM-DID ,PSW-DID
 - 合成コントロール法
- 解析詳細
 - A. 深夜の高速道路の交通量に対する、「深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充」の政策効果検証
 - B. 深夜割引制度の効果検証
 - 1. 昼夜勤務時間比率
 - 2. 深夜/日中の高速利用回数
 - 3. 深夜時間帯の高速道路採択率

実証分析・結論

- データの概要
- データの加工
- 効果検証の概要
- 首都高政策の効果検証
- 深夜割引制度の効果検証
- 追加検証
- 考察
- 今後の課題と展望

差分の差分法(DID)は観察データから因果効果を推定したいときに用いられる統計的因果効果推論の手法。

介入群の介入前後の差分から、非介入群の同時期の差分を引いたものを、効果として推定する手法。

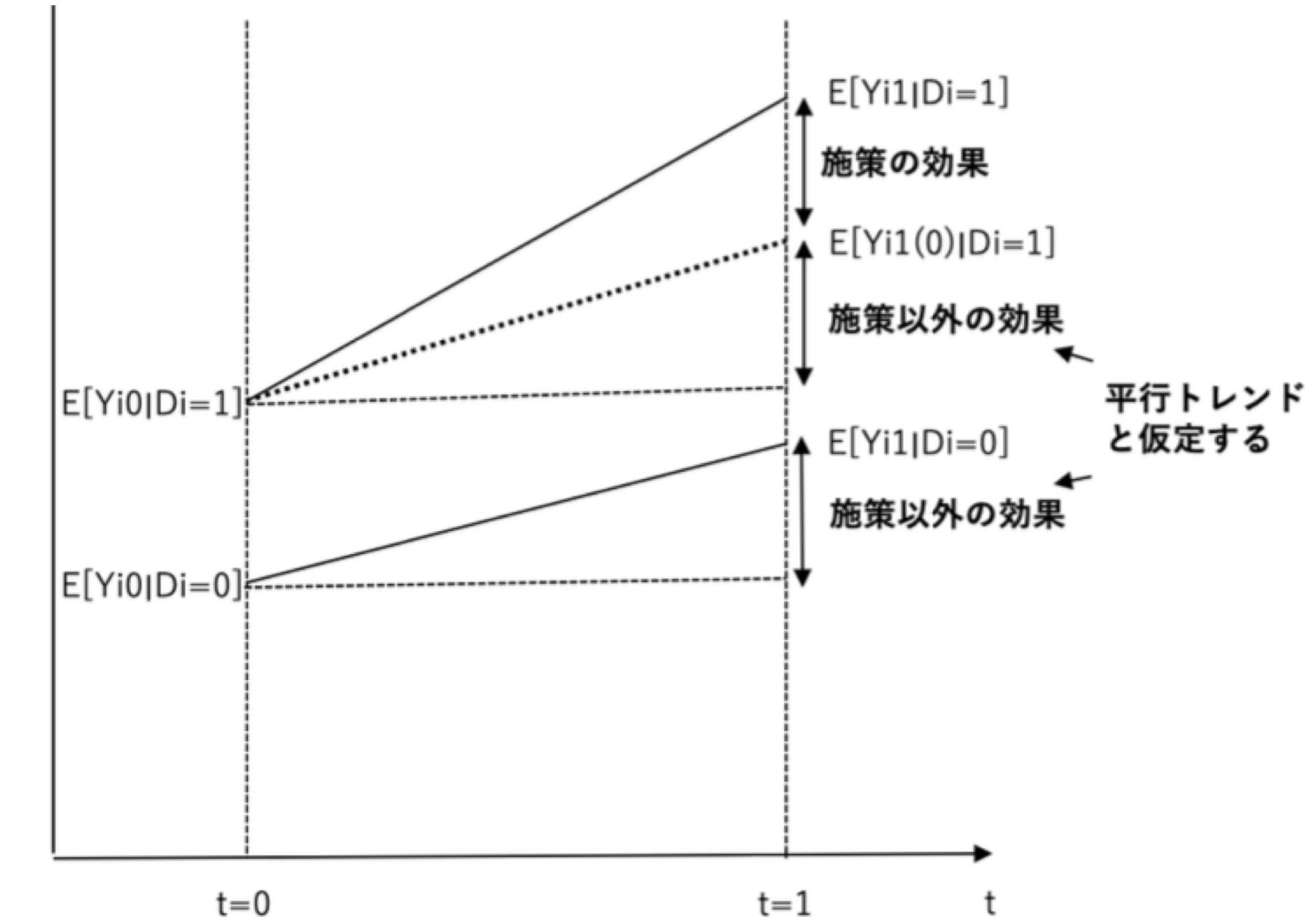


差分の差分法では、平行トレンド仮定を満たすことを前提としている。

平行トレンド仮定：

もし介入群に介入がなかった場合、介入群の結果と非介入群の結果変数は平行なトレンドを示すという仮定。

$$E[Y_{i1}(0) - Y_{i0}(0)|D_i = 1] = E[Y_{i1}(0) - Y_{i0}(0)|D_i = 0]$$



差分の差分法での効果推定は、一般に回帰モデルを用いて行われる。

差分の差分法を回帰モデルで以下のように表すことができる

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta D_i + \eta Post_t + \gamma(D_i \cdot Post_t) + \varepsilon_{i,t}$$

Y_{it} = 個体*i* の時点*t* における目的変数

β_0 = 切片項で介入前かつ対照群に対する基準の平均アウトカム

ε_{it} = 誤差項

βD_i = 介入群フラグ (i が介入群の場合は $D_i = 1$ 、対照群のは $D_i = 0$)

$\eta Post$ = 介入後フラグ (時点 *t* が介入後である場合は $Post = 1$ 、介入前である場合は $Post = 0$)

$\gamma(D_i \cdot Post)$ = 介入効果を表す相互作用項

傾向スコアとは、個体の介入割り当て確率であり、複数の共変量を一次元の予測確率に集約することを可能にする手法。

傾向スコアの定義

観測された共変量を用いて算出された、ある個体が処置群に割り当たる条件付き確率。

共変量を X 、割り当てる変数の値を T_i とすると、
 $e(X) = \Pr(T_i = 1 | X)$
と表される（ただし $0 \leq e(X) \leq 1$ ）。

傾向スコアを用いる際、以下の前提条件が存在する。

①無交絡性(条件付き独立)

$$\{Y(1), Y(0)\} \perp T | X$$

②条件付き正値性

$$0 < \Pr(T = 1 | X) < 1$$

複数の共変量を一次元の予測確率に集約した傾向スコアを用いることで、無作為割り当たるが困難な状況下でも処置群と対照群の性質のバランスを取り、セレクションバイアスを軽減できる。

傾向スコアは、一般にロジスティック回帰モデルを用いて推定される。

傾向スコア($T_i = 1$ になる確率)をロジスティック回帰モデルで表現すると、

$$Pr(T_i = 1 \mid X_i) = e(X_i) = \sigma(X_i\alpha) = \frac{1}{1 + \exp(-X_i\alpha)}$$

このときの割り当てに関する尤度は

$$L(\alpha) = \prod_{i=1}^N \left(\frac{1}{1 + \exp(-X_i\alpha)} \right)^{T_i} \left(1 - \frac{1}{1 + \exp(-X_i\alpha)} \right)^{1-T_i}$$

となり、これを最大化する最尤推定値を求める。



最尤推定値を用いると、傾向スコアの推定値は以下のようになる。

$$\hat{e}(X_i) = \sigma(X_i\hat{\alpha}) = \frac{1}{1 + \exp(-X_i\hat{\alpha})}$$

傾向スコアの評価指標として、c統計量や、バランスシングスコアとしての標準平均差が用いられる。

c統計量(AUC) :

傾向スコア推定モデルの目的変数と予測確率を用いて描かれるROC曲線の下側面積で算出される指標。

基準：0.7程度であれば良い(久繁,2005)。

*小さすぎることも、大きすぎることも問題(康永ら, 2018)

バランスシングスコア(標準平均差) :

共変量の2群間(処置群と統制群)の平均の差を標準偏差で標準化したもの。

基準：標準平均差が0.1以下であれば望ましいとされる(Nguyen, 2017)。

*c統計量よりもバランスシングスコアの方が、傾向スコアの精度を測る上で適切であるといった考え方も存在(Stuart, 2010)。

傾向スコアマッチング(PSM)とは、処置群の個体に対し、傾向スコアが等しい(近い)統制群の個体をマッチングして2群間の共変量を揃える手法。

具体的手法：

傾向スコアを用いて、処置群の各個体に対し、統制群から傾向スコアが等しい・極めて近い個体をマッチングしてペアにする。

ペアとなった個体のみで構成される処置群と統制群を用いて、その目的変数の差の平均を持って因果効果の推定値とする。

傾向スコアマッチングによるATT推定値

N_1 は処置群の数、 N_0 は統制群の数、 $W(i, j)$ は傾向スコアに基づく統制群の中のウェイト、 $\sum_{j=1}^{N_0} W(i, j) = 1$

$$\hat{\tau}_{\text{ATT, PSM}} = \frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} \left[Y_{1i} - \sum_{j=1}^{N_0} W(i, j)Y_{0j} \right]$$

*ATT(Average Treatment effect on the Treated)とは、**処置群**における、処置を受けた場合と受けない場合の差の平均(平均処置効果)
(対するATE(Average Treatment effect)は統制群と処置群両方における平均処置効果を表す。)

マッチングの方法には、アルゴリズム、復元/非復元、マッチング比率、キャリパー値等、複数の分類が存在する。

アルゴリズム

最近傍マッチング、
最適ペアマッチングなど。

最近傍マッチング

$$\min_j \|p_i - p_j\|$$

復元/非復元

統制群の個体を二回以上マッチさせることができか否か。

非復元に比べて復元の方が、分散を増加させずに因果効果の推定の精度を改善できる。
。 (Dehejia and Wahba, 1998)

マッチング比率

一対一、固定比、
変動比など。
 $W(i, j)$ に影響。

一対一の時、 $W(i, j)$ は、
処置群の中のある個体に
対して、
統制群の中で最も近い個
体に重みが1、それ以外
の個体には重みが0とな
る。

キャリパー

傾向スコアの差がそのキャリパー値以内の個体のみをマッチングの対象として設定する値。

標準偏差に0.2をかけた値が適切(Austin, 2011)



本研究では、復元あり、1対1の、キャリパーを伴う最近傍マッチング(キャリパー0.2)を用いる。

傾向スコア重み付け法(PSW)とは、傾向スコアの逆数を重みとして利用して、傾向スコアごとにサンプルサイズを調整し、二群間の傾向スコアの偏りを除去する方法。

ATEの重み

$$w_i = \frac{T_i}{\hat{e}_i} + \frac{1 - T_i}{1 - \hat{e}_i}$$

処置群と統制群両方を重み付け

ATTの重み

$$w_i = T_i + \frac{(1 - T_i)\hat{e}_i}{1 - \hat{e}_i}$$

統制群のみを重み付け



傾向スコア重み付け法(PSW)によるATE・ATT推定値

$$\hat{\tau}_{ATE, PSW} = \hat{E}[Y^{(1)}] - \hat{E}[Y^{(0)}] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{T_i Y_i}{\hat{e}_i} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(1 - T_i) Y_i}{1 - \hat{e}_i}$$

$$\hat{\tau}_{ATT, PSW} = \hat{E}[Y^{(1)}] - \hat{E}[Y^{(0)}] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i Y_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(1 - T_i) \hat{e}_i Y_i}{1 - \hat{e}_i}$$

DIDにPSMやPSWを組み合わせより、二郡間の共変量を調整し精度の高い因果効果推定を行う。

PSM-DID, PSW-DIDにおける並行トレンド仮定：

- 「 X で条件付けた平行トレンド仮定」

$$E(Y_{0t} - Y_{0s}|T = 1, X) = E(Y_{0t} - Y_{0s}|T = 0, X)$$



- 「傾向スコア $p(X)$ で条件付けた平行トレンド仮定」

$$E(Y_{0t} - Y_{0s}|T = 1, p(X)) = E(Y_{0t} - Y_{0s}|T = 0, p(X))$$

PSM-DIDは、傾向スコアマッチングで二群の共変量を調整した後、介入前後の変化をDIDで捉える効果推定手法。

PSM-DIDの流れ：

Xという共変量を持つ、あるいはある傾向スコアを持つ処置群の個体に対応するように、**傾向スコアを使って統制群の個体をマッチングさせることで、平行トレンド仮定をより正確に成立させる。**

その後、**介入前後の時間的变化をDIDで捉え、因果効果を推定。**

$$\hat{\tau}_{\text{ATT, PSM-DID}} = \frac{1}{N_{1t}} \sum_{i=1}^{N_{1t}} \left[Y_{1it} - \sum_{j=1}^{N_{0t}} W(i, j)Y_{0jt} \right] - \frac{1}{N_{1s}} \sum_{i=1}^{N_{1s}} \left[Y_{1is} - \sum_{j=1}^{N_{0s}} W(i, j)Y_{0js} \right]$$

PSW-DIDは、PSWで二群間の傾向スコアの偏りを調節した後、介入前後の変化をDIDで捉える効果推定手法。

PSW-DIDの流れ：

Xという共変量を持つ、あるいはある傾向スコアを持つ処置群の個体に対応するように、**傾向スコアを使って統制群のみを重み付けすることで、平行トレンド仮定をより正確に成立させる。**

*この時、DIDはATT推定なため、**PSWでATTを求める際の重み付け**

$$w_i = T_i + \frac{(1 - T_i)\hat{e}_i}{1 - \hat{e}_i}$$
 を用いる。

その後、**介入前後の時間的变化をDIDで捉え、因果効果を推定。**

$$\hat{\tau}_{\text{ATT, PSW-DID}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(T_i - \frac{1 - T_i \hat{e}(X_i)}{1 - \hat{e}(X_i)} \right) \cdot (Y_{i,t} - Y_{i,t-1})$$

合成コントロール法 (Synthetic Control Method)

差分の差分法の弱点として、どのように対称群を選ぶべきかのルールが曖昧であり、平行トレンド仮定を満たさないまま、チェリーピッキングになる可能性がある。

→Abadie & Gardeazabal (2003)が**合成コントロール法**を考案
複数の対称群の値を加重平均によって、処置される前の処置群に合わせて合成群を作成することによって、平行トレンドの欠如を定量的に補う。

$$\tau_t = Y_{0t}(1) - Y_{0t}(0) = Y_{0t}(1) - \sum_{i=1}^N \alpha_i Y_{it}(0)$$

合成コントロール法 (Synthetic Control Method)

重みの推定には、**最小二乗法（OLS）** を使用することができる。

$$Y_{0t} = \sum_{i=1}^N \alpha_i Y_{it} + \epsilon_t, \quad (t = 1, 2, \dots, T)$$

Abadie et al. (2010) は最小二乗法（OLS）を使用する際に、ユニット数 i が大きく、サンプルサイズが短い場合には、**重みの推定量が不安定** になるという問題点を指摘した。

→スパース性を仮定した手法が使用可能

合成コントロール法 (Synthetic Control Method)

Carvalho et al (2018)はスパース性を仮定して、**Lasso** 回帰を合成コントロール法に適用した。

$$\hat{\alpha} = \arg \min_{\alpha} \left\{ \frac{1}{T_0} \sum_{t=1}^{T_0} \left(Y_{0t} - \sum_{i=1}^N \alpha_i Y_{it} \right)^2 + \lambda \|\theta\|_1 \right\}$$

また、Ben-Michael et al (2018) はスパース性を仮定して、**Ridge** 回帰を適用した。

$$\hat{\alpha} = \arg \min_{\alpha} \left\{ \frac{1}{T_0} \sum_{t=1}^{T_0} \left(Y_{0t} - \sum_{i=1}^N \alpha_i Y_{it} \right)^2 + \lambda \|\theta\|_2^2 \right\}$$

合成コントロール法 (Synthetic Control Method)

Doudchenko and Imbens (2016) は合成コントロール法において Ridge 回帰と Lasso 回帰両方を組み合わせた **Elastic Net** を使用した。

$$\hat{\alpha} = \arg \min_{\alpha} \left\{ \frac{1}{T_0} \sum_{t=1}^{T_0} \left(Y_{0t} - \sum_{i=1}^N \alpha_i Y_{it} \right)^2 + \lambda_1 \|\theta\|_1 + \lambda_2 \|\theta\|_2^2 \right\}$$

合成コントロール法 (Synthetic Control Method)

合成コントロール法における推論に、Abadie and Gardeazabal (2003) やAbadie et al. (2010) はフィッシュラーの正確確率検定に似たプラセボテストが広く適用した。

非介入群のユニットjを仮想的に介入群であったと仮定して、合成コントロール法を再度構築し、統計的有意性を検定する。

$$\tau_{jt} = Y_{jt}^I - \hat{Y}_{jt}^N$$

合成コントロール法 (Synthetic Control Method)

プラセボテスト

実際の介入効果 τ_{1t} が、全ての偽の介入効果と比較して統計的に有意であるかを判断する。政策の介入効果が他の偽の介入効果よりも大きいという仮説を検定するため、以下のように p 値を計算する。(効果が正の影響を与える場合、不等号を逆にする。)

$$p = \frac{1}{N} \sum_{j=2}^{J+1} \mathbf{1}\{\tau_{1t} > \tau_{jt}\}$$

合成コントロール法 (Synthetic Control Method)

Chernozhukov et al (2018) によりブートストラップ法の一 種である conformal inference を合成コントロール法に適用する方法が提案された。

合成コントロールによって推定された反事仮想データ $\hat{Y}_t(0)$ と観測データ Y_t の差 u_t を求める。

$$u_t = Y_t - \hat{Y}_t(0)$$

介入後の残差 u_t の大きさを要約するテスト統計量 $S(u)$ を計算する。

$$S(u) = \sum_{t=T_0+1}^T |u_t|$$

合成コントロール法 (Synthetic Control Method)

Chernozhukov et al (2018) によりブートストラップ法の一種である conformal inference を合成コントロール法に適用する方法が提案された。

P値は、観測されたテスト統計量が、さまざまなブロックパーティーションによって得られる統計量の中で、どの程度極端であるかを評価するために計算される。

$$p = \frac{1}{|\Pi|} \sum_{\pi \in \Pi} 1\{S(u^\pi) \geq S(u)\}$$

特定の有意水準を設定し、対応する p 値がこの有意水準以上となるような仮定された効果の範囲を探し、信頼区間を構築する。

$$CI_{1-\alpha} = \{\theta \mid \text{p-value}(\theta) \geq \alpha\}$$

解析詳細 介入/目的変数別一覧

A. 介入：首都高速道路で2022年4月に導入された政策（深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充）の効果検証

A.1 目的変数：交通量(一台あたりの高速利用回数)

B. 介入：首都高速道路で2022年4月に導入された政策のうち、深夜割引制度導入の効果検証

B.1 目的変数：昼夜間勤務時間比率

B.2 目的変数：日中/深夜の高速利用率

B.3 目的変数：深夜の高速道路採択率

A. 深夜の高速道路の交通量に対する、「深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充」の政策効果検証

目的変数：1台の トラックが 3ヶ月間に深夜に高速道路を利用した回数

*今回はデータの都合上、交通量を一台 トラックあたりの高速使用回数としている

対象地域：介入群を首都高速道路、非介入群を阪神高速道路 (類似した 3つの政策が 2024 年 6 月に導入される前)

効果検証の手法：

- ①差分の差分法、②PSM-DID、
- ③PSW-DID、④合成コントロール法

①差分の差分法について

Y_{it} を目的変数、 D_i は高速道路の種類を示すダミー変数で、阪神高速道路を0、首都高速道路を1、 P_t は2022年4月1日を基準とした時点フラグで、基準日前を0、基準日後を1とすると、回帰式は以下。

$$Y_{it} = \alpha + \beta D_i + \gamma P_t + \delta(D_i \times P_t) + \epsilon_{it}$$

A. 深夜の高速道路の交通量に対する、「深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充」の政策効果検証

②、③傾向スコア算出

「あるトラックが深夜割引適用になる = 深夜割引が適用になる時間帯に高速道路を走行する」確率に影響を及ぼす変数を共変量に選定し、介入前の共変量を用いてロジスティック回帰モデルで傾向スコア算出。

Bilotkach et al(2019)などを参考に、かつ「影響を与えていていると考えられる共変量は可能な限りモデルに入れる」として以下の共変量を選定。

IND_S_i	3ヶ月間におけるトラック1台の始点の産業の割合
IND_E_i	3ヶ月間におけるトラック1台の終点の産業の割合 1: 製造業、2: 農業/林業/漁業、3: 運輸業/郵便業、 4: 卸売業/小売業
RUN_DIST	総走行距離(1回の勤務あたり)
$FUEL_CNSMPTN$	燃料使用料(1回の勤務あたり)
VIN_TYPE_i	車種(1: 大型、2: 中型)

②PSM-DID

推定された傾向スコアを元に介入群と非介入群間のトラックで、キャリパー0.2の復元あり一対一最近傍マッチングを行う。その後、マッチングの処理を経たデータ群に対して、差分の差分法の回帰適用。

③PSW-DID

推定された傾向スコアを元にp32に示した式で統制群を重み付けし、その後後差分の差分法を行う。この際、トリミングにより0.1より小さい、または0.9より大きい傾向スコアを持つ個体を除去する。

A. 深夜の高速道路の交通量に対する、「深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充」の政策効果検証

④合成コントロール法

目的変数

= (一台ごとではなく) 1ヶ月の深夜の時間帯における交通量

対象地域

介入群を首都高速道路の21路線、非介入群を阪神高速道路の12路線

阪神高速道路の12路線から、加重平均により首都高速道路1つの道路の処置前のトレンドに合わせ合成群を作成。首都高速道路全ての道路に対して同じように行う。

道路1つ1つを別々に介入群として分けており、それぞれの道路ごとによって効果が異なるか否かを検証する

A. 深夜の高速道路の交通量に対する、「深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充」の政策効果検証

④合成コントロール法

分析の対象となる路線

阪神高速道路:

1号環状線、3号神戸線、4号湾岸線、5号湾岸線、7号北神戸線、11号池田線、12号守口線、13号東大阪線、
14号松原線、15号堺線、16号大阪湾線、17号西大阪線

首都高速道路:

都心環状線、八重洲線、1号上野線、1号羽田線、2号目黒線、3号渋谷線、4号新宿線、5号池袋線、6号向島線、
6号三郷線、7号小松川線、9号深川線、11号台場線、中央環状線、川口線、湾岸線、神奈川1号横羽線、神奈川2号線三ツ沢線、神奈川3号狩場線、神奈川5号大黒線

B. 深夜割引導入の効果検証:介入と仮定の設定

動機：同時に施行された3つの政策（深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充）から**深夜割引の導入という1つののみの因果効果を推定したい。**

深夜割引以外の二つの政策「料金体系見直し」「大口多頻度割引の拡充」は全ての時間帯において一定の影響を及ぼしており、これらの影響が昼・夜など時間帯によって変化することはない、という仮定を置く。



この仮定により、**目的変数で昼夜間の比率を取るなどすることで、深夜割引のみの効果が検証できる。**

→B1~B3では全てこの仮定を置く。 分析方法はAの①から④と同じ（合成コントロール法は同じく高速道路ごとに目的変数を検討する）

B. 1. 昼夜勤務時間比率に対する深夜割引導入の効果検証

目的変数：一台のトラックの昼夜勤務時間比率（夜/昼）

*今回はデータの都合上、交通量を一台トラックあたりの高速使用回数としている

対象地域：介入群を首都高速道路、非介入群を阪神高速道路(類似した3つの政策が
2024年6月に導入される前)

効果検証の手法：

①差分の差分法、②PSM-DID、③PSW-DID、④合成コントロール法

深夜労働がどのくらい増えたかを検証。

B. 2. 深夜/日中の高速利用回数に対する、深夜割引導入の効果検証

目的変数 :

Y3 = 1台当たりのトラックが1ヶ月間に高速道路を利用した回数の深夜/日中の割合

*今回はデータの都合上、交通量を一台 トラックあたりの高速使用回数としている

対象地域 : 介入群を首都高速道路、非介入群を阪神高速道路 (類似した3つの政策が2024年6月に導入される前)

効果検証の手法 :

- ①差分の差分法、②PSM-DID、
- ③PSW-DID、④合成コントロール法

深夜割引制度導入目的の一つである**昼間の混雑解消**が解消されているのかについて効果検証を行う。

深夜の定義 = 深夜割引が適用される 0 時から 4 時 (深夜料金制度の効果検証に注目するため)

B.3. 深夜時間帯の高速道路採択率に対する、深夜割引導入の効果検証

目的変数：

Y4 = 1ヶ月間の一台あたりのトラックの深夜時間帯の高速道路の採択率 (=高速道路/高速道路 + 一般道路) の深夜/日中比率

*今回はデータの都合上、交通量を一台トラックあたりの高速使用回数としている

対象地域：介入群を首都高速道路、非介入群を阪神高速道路（類似した3つの政策が2024年6月に導入される前）

効果検証の手法：

- ①差分の差分法、②PSM-DID、
- ③PSW-DID、④合成コントロール法

深夜割引制度のもう1つの導入目的である**深夜の一般道路の混雑が解消されているのか**について検証する。

深夜の定義=深夜割引が適用される0時から4時（深夜料金制度の効果検証に注目するため）

目次

研究概要

- 研究背景
- 研究目的
- 発表の流れ
- 首都高での政策の概要
- 先行研究
- 医療経済学的観点
- 先行研究の課題
- 本研究の意義

解析手法

- 解析理論
 - 差分の差分法
 - 傾向スコアを用いた手法
 - PSM-DID ,PSW-DID
 - 合成コントロール法
- 解析詳細
 - A. 深夜の高速道路の交通量に対する、「深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充」の政策効果検証
 - B. 深夜割引制度の効果検証
 - 1. 昼夜勤務時間比率
 - 2. 深夜/日中の高速利用回数
 - 3. 深夜時間帯の高速道路採択率

実証分析・結論

- データの概要
- データの加工
- 効果検証の概要
- 首都高政策の効果検証
- 深夜割引制度の効果検証
- 追加検証
- 考察
- 今後の課題と展望

日野自動車トラックデータはODデータであり、全国のトラックの移動履歴を1分単位で得ることができる



- **使用した期間**
 - 2021年1月1日～2023年12月31日
- **データの概要**
 - 日野自動車のトラックがエンジン稼働時に約1分間隔で送信されている位置情報データ(ODデータ)
 - 記録されるデータは、「識別番号」、「送信時間」、「緯度」、「経度」、「メッシュコード」、「累計走行距離」、「累計燃料消費量」等である

ゼンリン電話帳データは、トラックが停車した場所の産業構造を全国規模で把握することができる

- **使用した期間**
 - 2023年度
- **データの概要**
 - 個人や法人に関して、業種や住所など様々な情報を収録したデータ
 - 具体的なデータ内容として、「電話帳記載名」、「業種コード」、「緯度・経度」、「住所」などがある
 - 日野自動車のトラックデータにおける始点・終点の産業構造を紐づけるために使用

国土数値情報データは、分析対象となる首都高速道路と阪神高速道路の位置情報を取得することができる



- **使用した年度**
 - 1995年度
- **データの概要**
 - 全国の道路位置情報データ
 - 具体的なデータ内容として、道路の「位置情報(線型,GM_Curve)」、「路線名」、「線名」等がある
 - 現在の道路状況とは一部異なっているため、今回の分析対象である首都高速道路および阪神高速道路において、いくつかの区間に欠損が存在する

日野自動車トラックデータの加工手順

分析対象となる
トラックの選定



トラックの
走行特性を付与



高速道路利用 &
深夜割引適用の
データを取得

国土数値情報データを使用し、首都高速道路と阪神高速道路を通過した、全国のトラックデータを取得

首都高速道路と阪神高速道路のメッシュ(地図上の区画を緯線経線で等分したもの)を国土数値情報データから取得する



2021 年1 月1 日から2023 年12 月31 日の期間で首都高速道路または阪神高速道路いずれかの道路を通行したトラックの車種に絞る

検証で必要となる変数を作成するためにトラックの走行特性を付与し、分析対象のデータに絞る

No	車種識別番号	受信時間	緯度	経度	累計走行距離 (km)	累計燃料消費量	メッシュ
1	FW093443269	2021/10/12 12:00:29	36.99519	138.207	192000.6	46270.51565	53294204
2	FW093443270	2021/10/12 12:01:29	37.00673	138.209	192000.8	46270.55765	53294204
3	FW093443271	2021/10/12 12:02:29	37.01691	138.224	192000.9	46270.59965	53294204
4	FW093443272	2021/10/12 12:03:29	37.02639	138.2314	192001.0	46270.64165	53294204
5	FW093443273	2021/10/12 12:04:29	37.03617	138.2322	192001.3	46270.68365	53294204



特徴量関連:

タイムラグ、始点・終点の産業(ゼンリンデータ)、速度、総走行距離、総消費燃料、勤務時間(1日/日中/深夜)、高速道路利用回数、一般道路利用回数、高速道路採択率

フラグ関連:

高速名称(首都高/阪神)、勤務、休憩、深夜、高速道路上、一般道路上、深夜割引適用有無、路線名称(首都高21路線/阪神11路線)、車種判別
車種(大型/中型/小型)

分析対象の仮定

- 最大労働時間が16時間であり、8時間以上のタイムラグを勤務の終了とみなす
- 時速50km以上の速度が15分間(15回)以上連続して記録され、かつその地点が高速道路のメッシュコード上にある場合、高速道路上を走るとみなす
- 高速道路の出入りが以下の場合、深夜割引が適用されるとみなす

深夜(0-4時)→深夜と深夜→日中(4時以降)の

2つの政策効果検証を行うために、結果変数を定義する

A.首都高速道路で2022年4月に導入された政策の効果検証

「深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充」

Y_1 :深夜時間帯の高速道路利用日数

B.深夜割引制度導入のみの効果検証

Y_2 :昼夜勤務時間比率

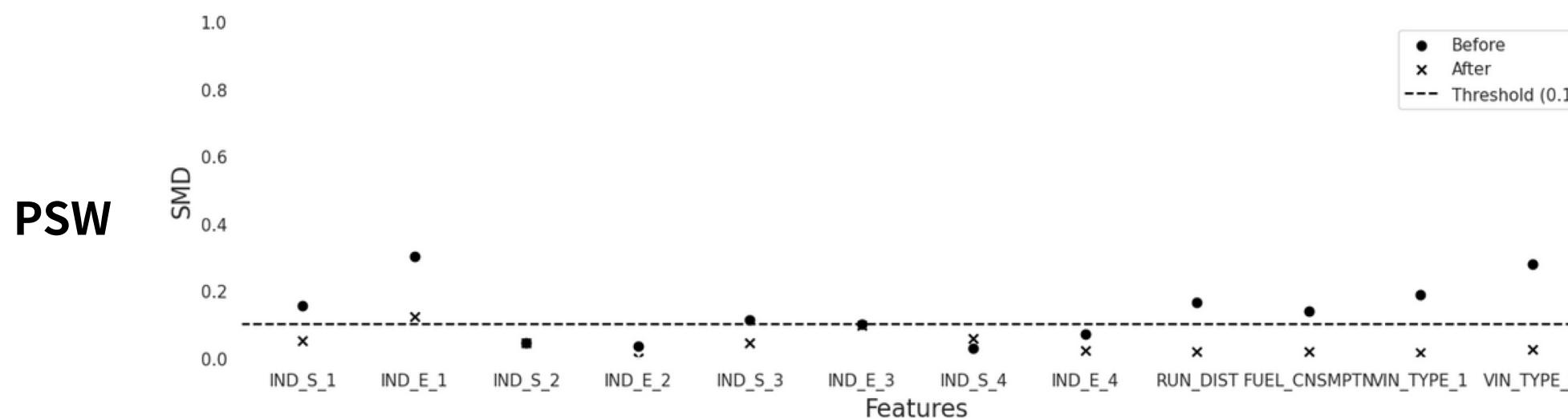
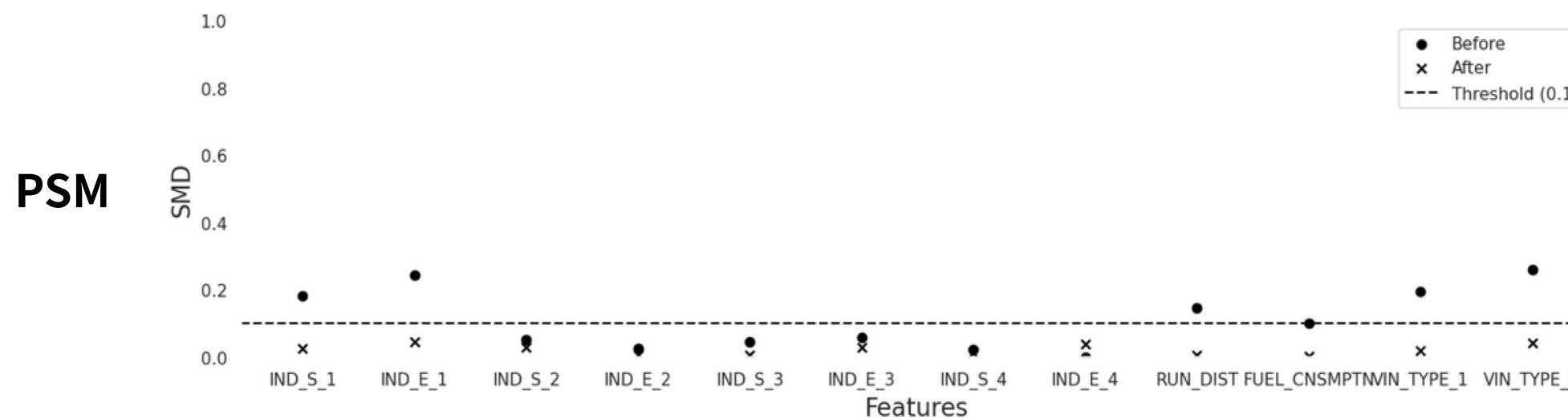
Y_3 :深夜/日中の高速利用日数

Y_4 :深夜時間帯の高速道路採択率

効果検証のプロセス

- 1) 共変量を用いて傾向スコアを求める
- 2) 介入前の期間で平行トレンド仮定が満たされているか確認
↓
- 3) 介入後の期間でDID・PSM-DID・PSW-DIDによる効果検証
&
- 4) 合成コントロール法による効果検証

傾向スコアから、首都高速道路・阪神高速道路における共変量のバランスが調整された

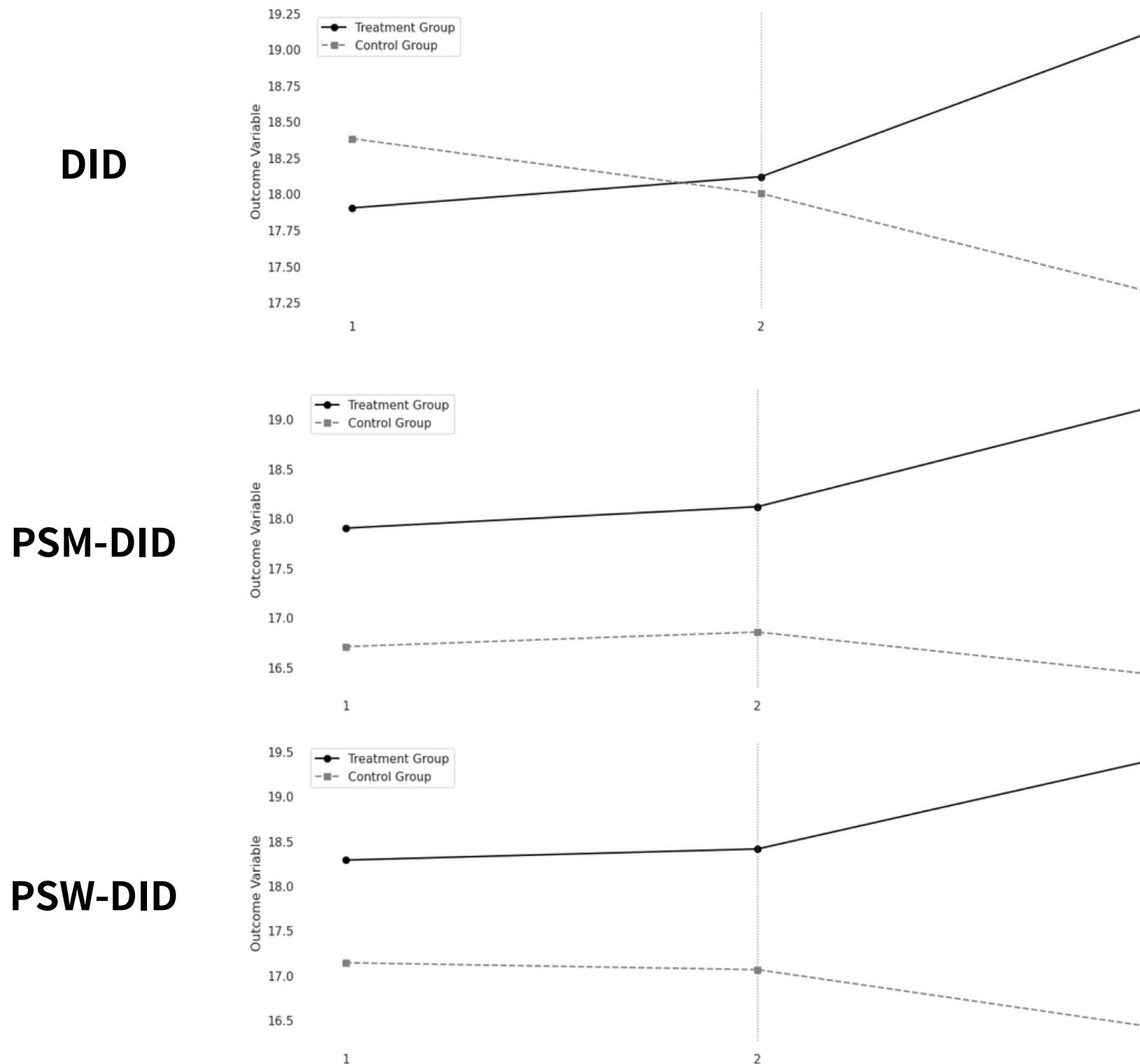


非介入群（阪神高速道路）と介入群（首都高速道路）の二値に対し、産業やトラックの走行状況等の共変量を用いてロジスティック回帰分析から傾向スコアを推定し、マッチングとウェイティングを行う



標準化平均差から、重み付けによって介入群と非介入群の間のバランスが改善していることがわかる

Y_1 はPSM-DID、PSW-DIDが平行トレンドが見受けられる



	DID			PSM-DID			PSW-DID		
	coef	t	p	coef	t	p	coef	t	p
const	16.03	26.23	0.00	16.70	42.03	0.00	16.76	465.1	0.00
D	-0.38	-0.54	0.59	1.18	2.11	0.04	1.47	30.59	0.00
P	-0.40	-0.48	0.63	-0.09	-0.16	0.87	0.09	1.83	0.07
DP	0.55	0.57	0.57	0.28	0.35	0.73	-0.19	-2.61	0.01

介入前(2021年7月1日から2021年12月31日)

介入後(2021年1月1日から2022年6月30日)

でそれぞれDID分析を行った結果のプロットでは、PSM-DIDとPSW-DIDで介入前に平行トレンドが見受けられる

介入前の回帰分析結果、介入群と処置期間の相互作用項であるDPはPSW-DIDのみ有意となり、それ以外は有意でない



DID、PSM-DIDは平行トレンドがあると断言できない、PSW-DIDは係数が0に近く、平行トレンドがありそう

PSM-DID およびPSW-DID モデルにおいて、介入後に深夜時間帯の高速道路利用回数が増えた

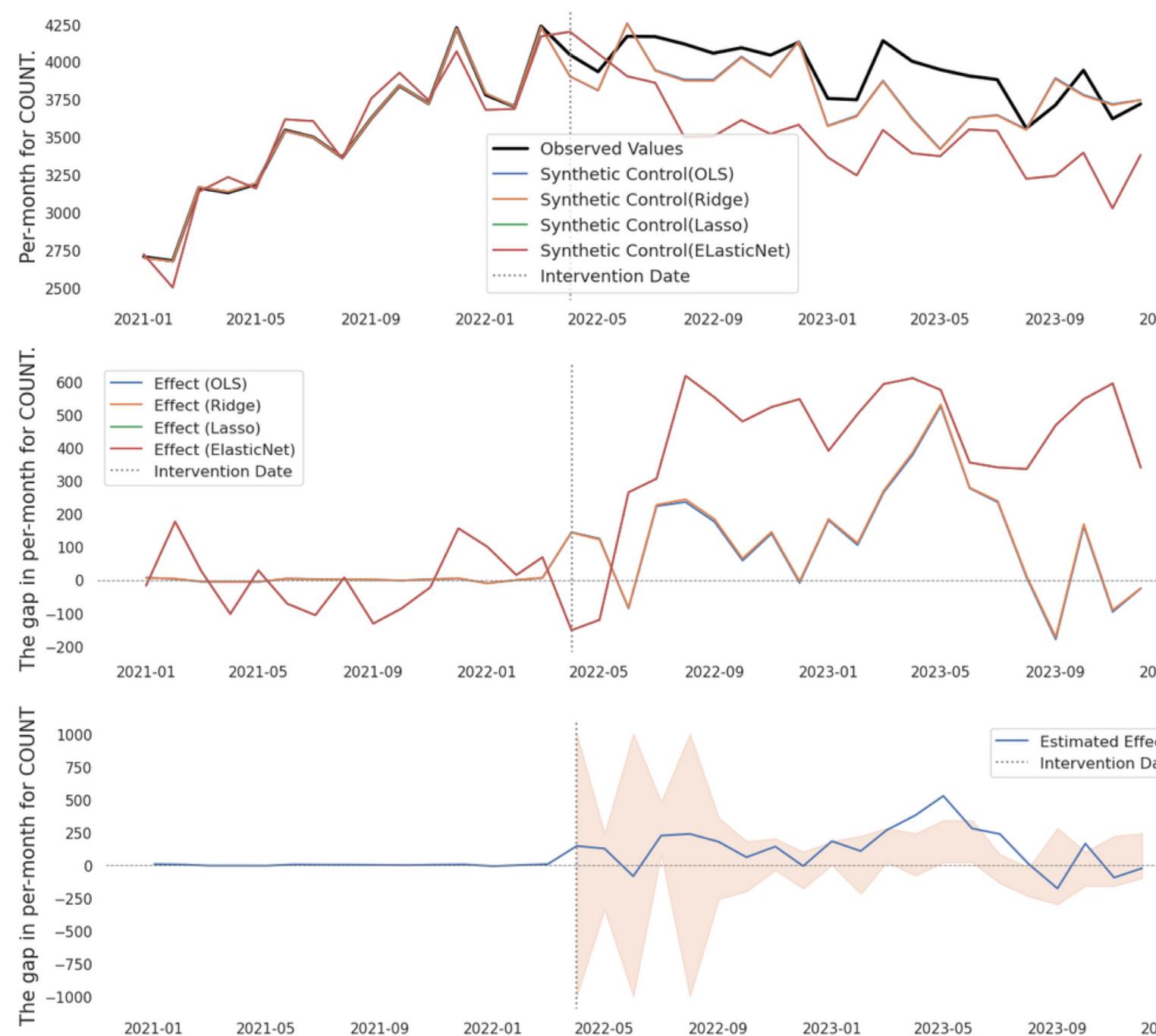
	DID			PSM-DID			PSW-DID		
	coef	t	p	coef	t	p	coef	t	p
const	16.31	27.21	0.00	17.63	45.10	0.00	16.90	492.15	0.00
D	-0.34	-0.49	0.62	0.45	0.82	0.41	1.48	30.47	0.00
P	-0.84	-1.00	0.32	-0.74	-1.34	0.18	-0.17	-3.55	0.00
DP	1.30	1.35	0.18	1.74	2.23	0.03	0.81	11.88	0.00



介入後の回帰分析結果、DPはPSM-DIDとPSW-DIDで有意となり、介入後に深夜時間帯の高速道路利用回数が増えたことがわかる

合成コントロール法で首都高速道路を各路線ごとに分析する

政策介入までの阪神高速の計12路線において、ある路線の一ヶ月間の深夜の高速利用回数を説明変数とし、首都高速の1路線の同回数を目的変数として介入前のデータをRidge回帰し、介入後の首都高速道路の反実仮想データを生成。これを首都高の計21路線それぞれに同様に行う。



首都高速道路6号向島線において、反実仮想データの高速道路の利用回数が実測値よりも低い水準で推移している

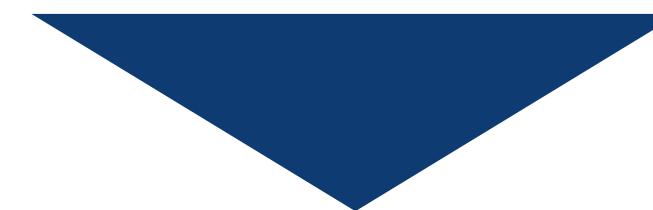


介入が高速道路の利用回数を増加させた可能性を示唆

首都高速道路の各路線ごとに、介入効果が異なる

対象道路	効果 (effect)	p 値 (p-value)
都心環状線	-104.911	1.000
八重洲線	131.702	0.286
1号上野線	138.859	0.143
1号羽田線	33.809	0.571
2号目黒線	145.657	0.143
3号渋谷線	-26.555	1.000
4号新宿線	-153.720	1.000
5号池袋線	51.092	0.429
6号向島線	300.746	0.000
6号三郷線	-106.999	1.000
7号小松川線	151.770	0.143
9号深川線	78.623	0.429
11号台場線	440.924	0.000
中央環状線	500.319	0.000
川口線	874.343	0.000
湾岸線	542.069	0.000
神奈川1号横羽線	62.734	0.429
神奈川2号線三ツ沢線	684.503	0.000
神奈川3号狩場線	595.266	0.000

プラセボテストで介入効果がゼロ以上であるという片側仮説が有意水準5%で有意であったのは7路線



路線ごとに一か月間の深夜の高速利用回数が増加している場所もあればそうでない場所もある

Y₂.昼夜勤務時間比率では、PSW-DIDモデルにおいて小さな介入効果が確認された

	DID			PSM-DID			PSW-DID		
	coef	t	p	coef	t	p	coef	t	p
const	0.35	71.45	0.00	0.38	138.25	0.00	0.37	1507.71	0.00
D	0.03	4.57	0.00	0.00	1.18	0.24	0.01	21.83	0.00
P	-0.01	-1.21	0.23	0.00	0.50	0.62	-0.00	-3.50	0.00
DP	-0.00	-0.41	0.68	-0.00	-0.11	0.91	0.00	7.30	0.00

プロットからPSM-DID モデルおよび
PSW-DID モデルでは、介入前のトレンドが概ね平行であるように見受けられる
&
PSW-DIDにおいて係数が0で平行トレンドがあるように見受けられる



PSW-DIDは平行トレンドがあるように見受けられる

	DID			PSM-DID			PSW-DID		
	coef	t	p	coef	t	p	coef	t	p
const	0.35	99.72	0.00	0.37	172.43	0.00	0.37	1943.90	0.00
D	0.02	4.96	0.00	0.00	0.82	0.41	0.00	15.54	0.00
P	0.01	1.29	0.20	-0.00	-1.05	0.29	-0.00	-15.23	0.00
DP	-0.01	-1.18	0.24	0.01	1.36	0.18	0.01	20.47	0.00

DIDとPSM-DIDでは有意水準5%で回帰係数が有意ではない。また、PSW-DIDにおいて係数が0.01かつ有意である。また、PSW-DIDでは平行トレンドがあるように見受けられる



PSW-DIDにおいて、介入が昼夜勤務時間比率をわずかに増加させた可能性を示唆

Y₂.昼夜勤務時間比率では、合成コントロール法において介入効果が有意であったのは2路線

対象道路	効果 (effect)	p 値 (p-value)
都心環状線	-0.097	0.625
八重洲線	1.007	0.000
1号上野線	0.265	0.125
1号羽田線	0.034	0.375
2号目黒線	-0.144	0.625
3号渋谷線	0.337	0.125
4号新宿線	0.130	0.250
5号池袋線	-0.210	0.750
6号向島線	0.286	0.125
6号三郷線	-0.487	0.875
7号小松川線	0.053	0.375
9号深川線	-0.094	0.625
11号台場線	-0.065	0.500
中央環状線	-0.012	0.375
川口線	0.129	0.250
湾岸線	0.512	0.000
神奈川1号横羽線	-1.287	1.000
神奈川2号線三ッ沢線	0.181	0.125
神奈川3号狩場線	0.154	0.125

プラセボテストで介入効果がゼロ以上であるという片側仮説が有意水準5%で有意であったのは2路線



昼夜勤務時間比率が有意に増加しているといえる路線がある一方で、その数は少ない

Y₃.深夜/日中の高速利用回数では、PSW-DIDモデルにおいて小さな介入効果が確認された

	DID			PSM-DID			PSW-DID		
	coef	t	p	coef	t	p	coef	t	p
const	0.69	31.25	0.00	0.68	54.94	0.00	0.68	519.87	0.00
D	-0.01	-0.47	0.64	0.02	1.05	0.30	0.02	9.40	0.00
P	-0.02	-0.81	0.42	0.01	0.59	0.56	-0.01	-4.61	0.00
DP	0.04	1.15	0.25	0.00	0.03	0.98	0.02	8.18	0.00

	DID			PSM-DID			PSW-DID		
	coef	t	p	coef	t	p	coef	t	p
const	0.67	31.90	0.00	0.71	50.32	0.00	0.73	467.30	0.00
D	0.03	1.14	0.25	0.02	1.02	0.31	-0.00	-0.31	0.75
P	0.02	0.68	0.50	-0.05	-2.56	0.01	-0.05	-22.17	0.00
DP	-0.01	-0.34	0.74	0.06	2.21	0.03	0.06	20.24	0.00

プロットからPSM-DID モデルは介入前のトレンドが概ね平行であるように見受けられる

&

PSM-DIDにおいて係数が有意ではない



係数は有意でないが、PSM-DIDは平行トレンド仮定が満たされそう

DIDでは有意水準5%で回帰係数が有意ではないが、PSM-DIDとPSW-DIDでは係数が有意である。また、PSM-DIDでは平行トレンドがあるように見受けられる



PSM-DIDにおいて、介入が昼夜/日中の高速利用回数を増加させた可能性を示唆

Y₃.深夜/日中の高速利用回数、合成コントロール法において 介入効果が有意であったのは2路線

対象道路	効果 (effect)	p 値 (p-value)
都心環状線	-0.917	1.000
八重洲線	1.147	0.000
1号上野線	-0.617	0.909
1号羽田線	-1.070	1.000
2号目黒線	-0.917	1.000
3号渋谷線	-0.839	0.909
4号新宿線	-0.742	0.909
5号池袋線	-0.714	0.909
6号向島線	-0.273	0.727
6号三郷線	-1.001	1.000
7号小松川線	-0.726	0.909
9号深川線	-0.651	0.909
11号台場線	-0.679	0.909
中央環状線	-0.256	0.636
川口線	-0.386	0.909
湾岸線	-0.092	0.455
神奈川1号横羽線	-0.261	0.636
神奈川2号線三ッ沢線	0.253	0.091
神奈川3号狩場線	-0.075	0.455

プラセボテストで介入効果がゼロ以上であるという片側仮説が有意水準10%で有意であったのは2路線



深夜/日中の高速利用回数が有意に増加しているといえる路線がある一方で、その数は少ない。また、効果がマイナスになっているものが多いのは、DIDと合成コントロール法で検証期間が異なるからだと考えられる

Y₄. 深夜時間帯の高速道路採択率、PSW-DIDモデルにおいて小さな介入効果が確認された

	DID			PSM-DID			PSW-DID		
	coef	t	p	coef	t	p	coef	t	p
const	0.75	23.26	0.00	0.74	37.62	0.00	0.74	409.49	0.00
D	-0.04	-0.99	0.32	-0.01	-0.53	0.60	-0.00	-0.89	0.37
P	0.03	0.60	0.55	0.03	1.05	0.29	0.05	20.23	0.00
DP	-0.00	-0.09	0.93	0.03	0.72	0.47	0.01	2.99	0.00

プロットからPSW-DID モデルでは、介入前のトレンドが概ね平行であるように見受けられる

&

PSW-DIDにおいて係数が0で平行トレンドがあるように見受けられる

PSW-DIDは平行トレンドがあるように見受けられる

	DID			PSM-DID			PSW-DID		
	coef	t	p	coef	t	p	coef	t	p
const	0.78	24.90	0.00	0.79	34.05	0.00	0.79	402.85	0.00
D	-0.04	-1.14	0.25	0.00	-0.00	1.00	-0.00	-0.06	0.95
P	0.00	0.10	0.92	-0.02	-0.51	0.61	-0.02	-6.83	0.00
DP	-0.03	-0.54	0.59	-0.03	-0.69	0.49	-0.03	-7.69	0.00

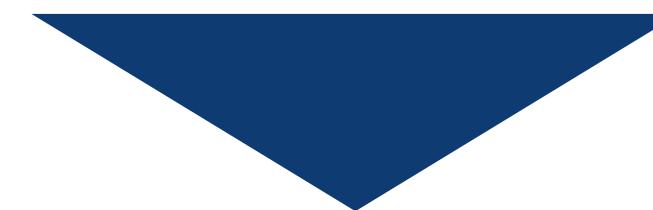
DIDとPSM-DIDでは有意水準5%で回帰係数が有意ではない。また、PSW-DIDにおいて係数が-0.03かつ有意である。また、PSW-DIDでは平行トレンドがあるように見受けられる

PSW-DIDにおいて、介入が深夜時間帯の高速道路採択率を減少に寄与した可能性を示唆

Y₄. 深夜時間帯の高速道路採択率では、合成コントロール法において介入効果が有意であったのは15路線

対象道路	効果 (effect)	p 値 (p-value)
都心環状線	-3.541	0.00
八重洲線	-21.024	0.00
1号上野線	-7.382	0.00
1号羽田線	-6.955	0.00
2号目黒線	-7.098	0.00
3号渋谷線	0.574	0.75
4号新宿線	-3.732	0.00
5号池袋線	-1.603	0.00
6号向島線	-7.207	0.00
6号三郷線	0.700	0.75
7号小松川線	-3.891	0.00
9号深川線	-5.231	0.00
11号台場線	-3.166	0.00
中央環状線	-3.771	0.00
川口線	-3.142	0.00
湾岸線	-5.232	0.00
神奈川1号横羽線	14.231	1.00
神奈川2号線三ッ沢線	-0.514	0.00
神奈川3号狩場線	2.227	1.00

プラセボテストで介入効果がゼロ以下であるという片側仮説が有意水準5%で有意であったのは15路線



深夜時間帯の高速道路採択率が有意に減少しているといえる路線が多い。

まとめ(1/2) 首都高速道路で2022年4月に導入された政策の効果が検証された

Y_1 :深夜時間帯の高速道路利用日数

DIDモデル (PSW-DID)

一台あたりの深夜時間帯における高速道路利用回数が政策後に有意に増加

合成コントロール法

首都高速道路の7路線で深夜時間帯における月次交通量が有意に増加

まとめ(2/2) 深夜割引制度の効果が検証された

Y_2 : 昼夜勤務時間比率

DIDモデル (PSW-DID)

昼夜勤務時間比率が政策後に有意にわずかに増加

合成コントロール法

八重洲線、湾岸線で昼夜勤務時間比率が有意に増加

Y_3 : 深夜/日中の高速利用回数

DIDモデル (PSM-DID)

深夜/日中の高速利用回数が政策後に有意に増加

合成コントロール法

八重洲線と神奈川2号線三ツ沢線で深夜/日中の高速利用回数が有意に増加

Y_4 : 深夜時間帯の高速道路採択率

DIDモデル (PSW-DID)

深夜時間帯の高速道路採択率が政策後に有意に減少

合成コントロール法

首都高速道路の15路線で深夜時間帯の高速道路採択率が有意に減少

首都高速道路を利用したトラックの深夜勤務割合の増加に伴う、うつ病リスク增加の追加的な経済損失は3048万円

全国のトラック運転手の深夜労働によるうつ病リスク増加の社会的損失額
20億7060万円

首都高速道路の政策介入前後の深夜勤務割合
約2.46% 増加

全国を走るトラックにおける首都高速道路を走るトラック
約60%



約3048万円の社会損失額
かつ今回はうつ病に関する影響に限定しているが、深夜労働の増加が引き起こす経済的影响はそれだけにとどまらない

データの課題と改善

研究の制約上、全ての自動車やトラックを包括的に把握した研究ではない



データの種類・量を増やすことで研究精度が向上する可能性がある

データの特性上、位置情報やタイムラグから特徴を付与したため、各変数が正確ではない



定点観測で交通量を捉えるETC のデータや勤務情報などと複合して解析を行うと、
より頑健な検証ができると考えられる

統計的手法の課題と改善

- ・2022年4月に導入された3つの政策（深夜割引、料金体系見直し、大口多頻度割引の拡充）から、深夜割引制度のみの効果検証に絞るために、目的変数を昼分の夜（夜/昼）とした
→深夜割引時間の0時から4時以外の時間へのスpillオーバーを考慮することできないため、バイアスが生じる
- ・B.1では深夜割引制度の効果だけではなく深夜労働に焦点を当てるために「夜」の定義を国土交通省が深夜業として定める22時から5時とした。
→深夜労働の増加減少を捉えるためには適した目的変数だが、深夜割引制度による効果検証としては、数時間の誤差によるバイアスが出てしまう可能性

統計的手法の課題と改善

傾向スコア推定モデルの改善：

機械学習手法(CART、GBDT、CNN)を用いて傾向スコアの推定精度向上

PSM-DIDの改善: マッチングのアルゴリズム、マッチング比率を適切に変更することで、精度を向上させることが検討。(最適マッチング、カーネルマッチングなど)

*Straut(2010)によると、データ全体のマッチングの精度を高めるには最適マッチングを行うことが有効

PSW-DIDの改善:

- ・正規化した重み付け法を用いることで、トリミングのようにデータサイズを減らさずに傾向スコアが極端な値を取っても推定を安定させることが期待
- ・別の極端な傾向スコアの対処法であるOverlap weightingを用いる(そのデータが「自分の属する群と反対の群に割り当てられる確率」に比例させる方法)

統計的手法の課題と改善

- 合成コントロール法における課題と改善

- Kim et al (2020) のよって紹介されたBaysian Synthetic Control Method Horseshoe やBaysian Synthetic Control Method spike and slabの活用

- 道路の特徴を捉えた共変量の追加

- conformal inferenceを5.1. だけでなく5.2. に適用

- 目的変数の追加

- e.g. 深夜割引制度の効果検証において深夜における運転時間を目的変数にする

THANK YOU
FOR
READING