

# 重力方程式を用いた2元固定効果差の差推定

田中 鮎夢

2024-03-14

## Table of Contents

はじめに .....	1
貿易データ .....	2
分析の枠組み .....	3
伝統的重力方程式に基づく推定 .....	5
単純な2 x 2 DiD – Base R .....	5
TWFE (OLS) – Base R .....	5
TWFE (OLS) – fixest .....	6
TWFE (PPML) –fixest .....	6
固定効果アプローチに基づく推定 .....	6
TWFE (PPML) –fixest .....	6
結果の比較 .....	6
参考文献 .....	8
補論 .....	9

## はじめに

本ページでは、政策が2国間の貿易額に与える影響を分析するため、2期間2グループの「2 x 2」の差の差 (DiD: difference-in-differences)

分析を実施する。単純なOLSによるDiD分析から始めて、Anderson and Van Wincoop (2003)

が指摘した多角的貿易抵抗指数（物価効果）を制御するために、時変の輸出国（輸入国）固定効果、貿易ペアの固定効果、さらには年次固定効果を加えて、重力方程式をポワソン擬似最尤（PPML）で推定していく。

本ページでは、1958年1月1日に、ローマ条約が発効し、欧州経済共同体（EEC、のちの欧州共同体

(EC)）発足した事例を用いて、EEC発足が2国間貿易に与えた影響を推定する。EEC発足は、1958年という単一時点のため、本ページで扱う処置は時差のない処置である。

時差のある処置の場合は、処置効果の推定はより難しくなるが、本ページで扱う時差のない処置は、そうした困難はない（Goodman-Bacon (2021), Roth et al. (2023)）。

推定には、本ページでは、Berge and McDermott (2023)

によって開発されたfixestパッケージを用いる。

パッケージのインストールのインストールは以下のコードで行われる。

```
install.packages("fixest")
```

パッケージの読み込みを行う。

```
# パッケージの読み込み
```

```
library(fixest)
```

## 貿易データ

gravityIMFeu.dtaには、フランスの研究機関CEPIIが作成している、Gravityという無料のデータベースから、2国間の貿易額やRTAの有無など必要最小限のデータを抜き出している。gravityIMFeu.dtaには、1948-1972年の25年間の世界の2国間の貿易額

(trade\_flow\_imf\_d, trade\_flow\_imf\_o)

が収録されている。今回は古い期間の貿易データを用いるため、1996年からしかデータがないCEPIIが作成した貿易データ(trade\_flow\_baci)

ではなく、IMFの貿易データ(trade\_flow\_imf\_d)

を用いる。また、一般に、関税計算のために目的地の貿易統計の方が正確であると言われるので、目的地の貿易額 (trade\_flow\_imf\_d) を分析に用いる。

Gravityデータベースは定期的に更新されている。本ページで用いるデータは、「Gravity\_dta\_V202211」版であり、2024年3月に入手した。主な変数は以下の通りである。

- year: Year
- rta: 1 = RTA (source: WTO)
- pair: group(iso3\_o iso3\_d)
- origin: Origin ISO3 alphabetic
- destination: Destination ISO3 alphabetic
- gdp\_o: Origin GDP (current thousands US\$)
- gdp\_d: Destination GDP (current thousands US\$)
- gdpcap\_o: Origin GDP per cap (current thousands US\$)
- gdpcap\_d: Destination GDP per cap (current thousands US\$)
- treated\_after: 1 = Both Origin and Destination EU members and after 1958
- treated: 1 = Both Origin and Destination EU members
- after: 1 = after 1958
- trade\_flow\_imf\_o: Trade flows as reported by the origin, 1000 current USD (source: IMF)

- `trade_flow_imf_d`: Trade flows as reported by the destination, 1000 current USD (source: IMF)

RでStata形式のデータ（.dta）を読み込むには、パッケージ`haven`が必要になる。以下でインストールする。

```
install.packages("haven")
```

そして、`haven`パッケージの`read_dta`関数でdtaファイルを読み込む。

```
library(haven)
gravityIMFeu <- read_dta("gravityIMFeu.dta")
head(gravityIMFeu)
```

```
## # A tibble: 6 × 25
##   year iso3_o iso3_d dist contig comlang_off gdp_o gdp_d gdpcap_o
##   <dbl> <chr> <chr> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
##   <dbl>
## 1  1948 AUS    CAN    16025    0      1 NA      NA      NA
NA
## 2  1949 AUS    CAN    16025    0      1 6.61e6 1.63e7 0.834
1.21
## 3  1950 AUS    CAN    16025    0      1 7.04e6 1.70e7 0.852
1.21
## 4  1951 AUS    CAN    16025    0      1 7.46e6 2.06e7 0.876
1.43
## 5  1952 AUS    CAN    16025    0      1 8.01e6 2.51e7 0.921
1.70
## 6  1953 AUS    CAN    16025    0      1 9.14e6 2.63e7 1.03
1.73
## # 15 more variables: gatt_o <dbl>, gatt_d <dbl>, wto_o <dbl>, wto_d
<dbl>,
## # eu_o <dbl>, eu_d <dbl>, rta <dbl>, rta_coverage <dbl+lbl>,
## # rta_type <dbl+lbl>, trade_flow_imf_o <dbl>, trade_flow_imf_d <dbl>,
## # pair <dbl>, treated_after <dbl>, treated <dbl>, after <dbl>
```

## 分析の枠組み

処置群は、輸出国・輸入国の両方が、ドイツ（DEU）、フランス（FRA）、イタリア（ITA）、オランダ（NLD）である2国間域内貿易である。制御群は、輸出国・輸入国のいずれか、もしくは両方が、ドイツ・フランス・イタリア・オランダではない2国間貿易である。1958年1月1日に、ローマ条約が発効し、欧州経済共同体（EEC、のちの欧州共同体（EC））発足した。そのため、1948–1957は、処置前期間（before）、1958–1972は処置後期間（after）である。

	Before	After	
	1948-1957	1958-1972	差
EEC非加盟国	A0	A1	A1-A0
EEC加盟国	B0	B1	B1-B0
差	B0-A0	B1-A1	(B1-B0)-(A1-A0)

tableにより観測数の確認を行う。

```
table(gravityIMFeu$treated, gravityIMFeu$after)
```

```
##
##      0      1
##  0  7260 10890
##  1   120   180
```

処置群は、ドイツ（DEU）、フランス（FRA）、イタリア（ITA）、オランダ（NLD）の4カ国の12ペアである。処置前の期間については、処置群は12x10年=120観測値、処置後の期間については、処置群は12x18年=180観測値となっている。

dplyrパッケージをインストールして、記述統計の確認を行う。

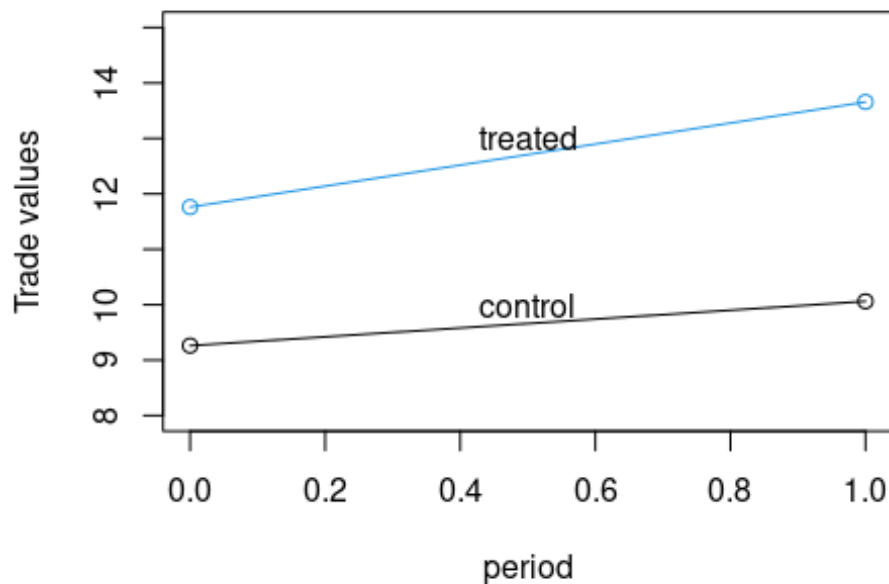
```
install.packages("dplyr")
```

まず記述統計のデータdesを作成する。その後、処置群と制御群の貿易の推移をplot関数で折れ線グラフにする。

```
library(dplyr)
des <- gravityIMFeu %>%
  group_by(treated, after) %>%
  summarise(mean = mean(log(tradeflow_imf_d)), sd = sd(log(tradeflow_imf_d)))

treated <- subset(des, treated==1)
control <- subset(des, treated==0)

plot(treated$after, treated$mean, type = "o", ylim=c(8,15), col=4, xlab =
"period", ylab="Trade values")
points(control$after, control$mean, type = "o", col=1)
text(0.5, 13, "treated")
text(0.5, 10, "control")
```



## 伝統的重力方程式に基づく推定

### 単純な2 x 2 DiD – Base R

まず、OLS推定で、単純な2 x 2の古典的なDiDで、EU加盟の効果を推定する。処置変数treatedと処置後を表すafterの交差項treated \* afterは、処置後の期間のEEC域内貿易であれば1をとる。

```
did <- lm(log(tradeflow_imf_d) ~ treated * after
          + log(gdp_o) + log(gdp_d) + log(dist), data = gravityIMFeu)
```

### TWFE (OLS) – Base R

観測単位（貿易国ペア）と時間（年）両方の固定効果（ダミー変数）を加えて、処置効果を推定する「2元（双方向）固定効果モデル」(TWFE model: two-way fixed effects model) が近年使用されることが多い。

TWFEモデルをBase RでOLS推定するコードは以下の通りである。

```
twfe <- lm(log(tradeflow_imf_d) ~ treated_after
          + log(gdp_o) + log(gdp_d)
          + factor(pair) + factor(year), data = gravityIMFeu)
```

## TWFE (OLS) – fixest

TWFEモデルをfixestでOLS推定するコードは以下の通りである。

```
twfe1 <- feols(log(tradeflow_imf_d) ~ treated_after
               + log(gdp_o) + log(gdp_d)
               | pair + year,
               vcov = ~ iso3_o + iso3_d,
               data = gravityIMFeu)
```

## TWFE (PPML) –fixest

TWFEモデルをfixestでPPML推定するコードは以下の通りである。

```
library(fixest)
twfe2 <- fepois(tradeflow_imf_d ~ treated_after
               + log(gdp_o) + log(gdp_d)
               | pair + year,
               vcov = ~ iso3_o + iso3_d,
               data = gravityIMFeu)
```

## 固定効果アプローチに基づく推定

### TWFE (PPML) –fixest

TWFEモデルをfixestで固定効果アプローチでPPML推定するコードは以下の通りである。

```
library(fixest)
twfe3 <- fepois(tradeflow_imf_d ~ treated_after
               | iso3_o^year + iso3_d^year + pair + year,
               vcov = ~ iso3_o + iso3_d,
               data = gravityIMFeu)
```

ここで、以下のようにyearを固定効果に指定しなくても同じ結果が得られる。これは、iso3\_o^yearもしくは、iso3\_d^yearを固定効果に指定しているため、yearの固定効果も自動的に含まれるからである。ただ、推定結果表で、yearの固定効果を明示するために、上のコードでは、にyearを固定効果に指定した。

```
twfe3 <- fepois(tradeflow_imf_d ~ treated_after
               | iso3_o^year + iso3_d^year + pair,
               vcov = ~ iso3_o + iso3_d,
               data = gravityIMFeu)
```

## 結果の比較

modelsummaryを使って、推定結果の比較を行う。

```
library(modelsummary)

coef_rename = c("treated × after" = "treated × after", "treated:after" =
"treated × after", "treated_after" = "treated × after")

models <- list("2x2 DiD \ (GDP)" = did, "TWFE-OLS \ (GDP)" = twfe1,
               "TWFE-PPML \ (GDP)" = twfe2, "TWFE-PPML \ (固定効果)" = twfe3)

modelsummary(models,
              stars = TRUE,
              coef_omit = "Intercept|.*factor",
              coef_rename = coef_rename,
              gof_omit = 'DF|Deviance|Log.Lik.|RMSE|AIC|BIC|R2 Within|R2
Within Adj. ')

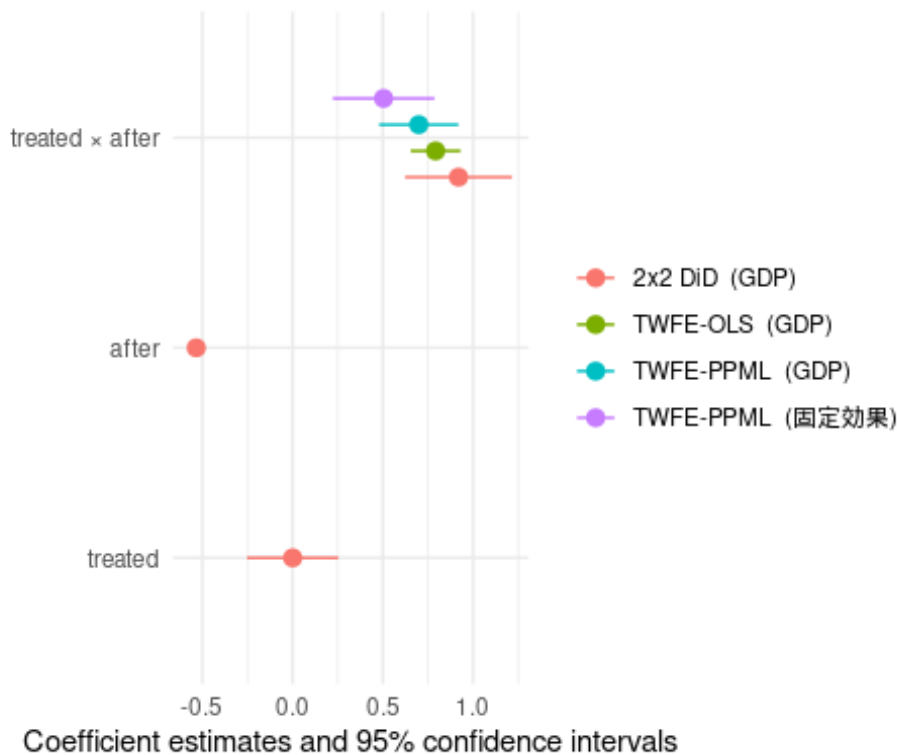
```

	2x2 DiD (GDP)	TWFE-OLS (GDP)	TWFE-PPML (GDP)	TWFE-PPML (固定効果)
treated	0.001 (0.129)			
after	-0.533*** (0.019)			
log(gdp_o)	0.723*** (0.005)	0.564*** (0.156)	0.859*** (0.105)	
log(gdp_d)	0.720*** (0.005)	0.532*** (0.138)	0.622*** (0.097)	
log(dist)	-0.505*** (0.009)			
treated × after	0.919*** (0.151)	0.792*** (0.068)	0.699*** (0.112)	0.504*** (0.144)
Num.Obs.	16319	16319	16319	18450
R2	0.688	0.935	0.979	
R2 Adj.	0.688	0.932	0.979	
Std.Errors		by: iso3_o & iso3_d	by: iso3_o & iso3_d	by: iso3_o & iso3_d
FE: pair		X	X	X
FE: year		X	X	X
FE: iso3_o^year				X
FE: iso3_d^year				X

- p < 0.1, \* p < 0.05, \*\* p < 0.01, \*\*\* p < 0.001

modelplotを用いて係数プロットを作成し、モデルを比較する。ここで、coef\_renameを使って、変数の表示名を統一化している。また、coef\_omit = " $^{(?!. *treated|. *after)}$ "によって、treatedもしくはafterを含まない変数はのぞいている。

```
coef_rename = c("treated × after" = "treated × after", "treated:after" =  
"treated × after", "treated_after" = "treated × after")  
  
modelplot(models, coef_omit = " $^{(?!. *treated|. *after)}$ " ,  
           coef_rename =coef_rename)
```



## 参考文献

Anderson, James E, and Eric Van Wincoop. 2003. "Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle." *American Economic Review* 93 (1): 170–92.  
<https://doi.org/10.1257/000282803321455214>.

Berge, Laurent, and Grant McDermott. 2023. "Fast Fixed-Effects Estimation: Short Introduction." [https://cran.r-project.org/web/packages/fixest/vignettes/fixest\\_walkthrough.html](https://cran.r-project.org/web/packages/fixest/vignettes/fixest_walkthrough.html).

Goodman-Bacon, Andrew. 2021. "Difference-in-Differences with Variation in Treatment Timing." *Journal of Econometrics* 225 (2): 254–77.



Roth, Jonathan, Pedro HC Sant'Anna, Alyssa Bilinski, and John Poe. 2023. "What's Trending in Difference-in-Differences? A Synthesis of the Recent Econometrics Literature." *Journal of Econometrics* 235 (2): 2218–44.

## 補論

モデルの名前を推定結果表の表頭に記す別の方法として、**tibble**パッケージの**tibble**関数で、表頭のデータフレームを作成することもできる。この場合、**attr(rows, 'position')** <- **c(1, 1)**と、一番最初にモデルの名前を表示するように、設定する。

**tibble**をインストールしていない場合は、以下でインストールする。

```
install.packages("tibble")
```

以下のコードで、モデルの名前を推定結果表の表頭に記すことができる。

```
library(modelsummary)
library(tibble)
rows <- tibble(
  a = "Model",
  b = "2x2 DiD",
  c = "TWFE-OLS",
  d = "TWFE-PPML",
  e = "TWFE-PPML",
)
attr(rows, 'position') <- c(1, 1)
modelsummary(list(did, twfe1, twfe2, twfe3),
  stars = TRUE,
  coef_omit = "Intercept|.*factor",
  gof_omit = 'DF|Deviance|Log.Lik.|RMSE|AIC|BIC|R2 Within|R2
Within Adj. ',
  add_rows = rows)
```

Model	2x2 DiD	TWFE-OLS	TWFE-PPML	TWFE-PPML
treated	0.001 (0.129)			
after	- 0.533*** (0.019)			
log(gdp_o)	0.723*** (0.005)	0.564*** (0.156)	0.859*** (0.105)	
log(gdp_d)	0.720*** (0.005)	0.532*** (0.138)	0.622*** (0.097)	

---

log(dist)	-			
	0.505***			
	(0.009)			
treated × after	0.919***			
	(0.151)			
treated_after		0.792***	0.699***	0.504***
		(0.068)	(0.112)	(0.144)
Num.Obs.	16319	16319	16319	18450
R2	0.688	0.935	0.979	
R2 Adj.	0.688	0.932	0.979	
Std.Errors		by: iso3_o & iso3_d	by: iso3_o & iso3_d	by: iso3_o & iso3_d
FE: pair		X	X	X
FE: year		X	X	X
FE: iso3_o^year				X
FE: iso3_d^year				X

- p < 0.1, \* p < 0.05, \*\* p < 0.01, \*\*\* p < 0.001