

# 操作変数法 補足資料: 実証研究例

講師: 遠山祐太

更新: 2024-12-01

**実証研究例：排出権取引制度においてコー  
スの定理は本当に成り立つのか？**

# Fowlie and Perloff (2013) : コースの定理のテスト

- Fowlie, Meredith, and Jeffrey M. Perloff. "Distributing pollution rights in cap-and-trade programs: are outcomes independent of allocation?." *Review of Economics and Statistics* 95.5 (2013): 1640-1652.
- 問：実際の排出権取引制度において、**コースの定理**が成立しているか？
- モチベーション：
  - 経済理論としての重要性。
  - 「コースの定理」が成立していれば「分配」と「効率性」を分けて考えることができる。政策を遂行する上で重要(後述)
- 分析設定：カリフォルニアにおけるNoX規制であるRECLAIMプログラムに着目。

# 経済理論：排出権取引制度とコースの定理

- 排出権取引制度における個々の企業の意思決定問題

$$\begin{aligned} \max_{E_i, b_i} \quad & \pi_i(E_i) - Pb_i \\ \text{s. t.} \quad & E_i = A_i + b_i \end{aligned}$$

- $E_i$  : 排出量、  $b_i$  : 排出権購入量、  $A_i$  : 排出権の割当量
  - $\pi_i(E_i)$  : 排出量に応じた利潤。これは排出削減費用などを含む。
  - $P$  : 排出権価格
- 排出権価格  $P$  は市場均衡条件  $\sum_i E_i = \sum_i A_i$  を満たすように決まる。

# 排出権市場均衡

- 利潤最大化の最適条件は

$$\frac{\partial \pi_i(E_i)}{\partial E_i} = P$$

- ポイント 1 (コースの定理) : **最適な排出量は初期割当量  $A_i$  に依存しない。**
- ポイント 2 (効率性) : 各企業の排出に関する限界利益が均等化され、**効率的な結果**が達成。
- 直観 : 市場価格  $P$  で自由に取引できるならば、
  - 排出権の価値が高い人 (= 削減費用が高い人) は排出権を購入 & 消費
  - 排出権の価値が低い人 (= 削減費用が引く人) は排出権を売却

# 理論からの含意

- コースの定理が成立する場合は、制度の効率性を犠牲にせずに、排出権割当を自由にできる。
- 従って、政治的・分配的な点を考慮できるため、政策が実行しやすくなる。
- コースの定理が成立しないような場合：
  - 排出権取引市場に取引費用が存在する。
  - 排出権取引市場orアウトプット市場が不完全競争
  - 排出権割当量が過去の生産量に依存する場合
- コースの定理のテストによって、実際の排出権市場がどの程度有効に機能しているか、について見ることができる。

# 分析の難しさ: 排出権割当の内生性

- 基本的には、排出権の割当量が排出量に与える因果効果を見る。

$$E_{it} = \phi A_{it} + \beta' x_{it} + \delta_t + \alpha_i + \epsilon_{it}$$

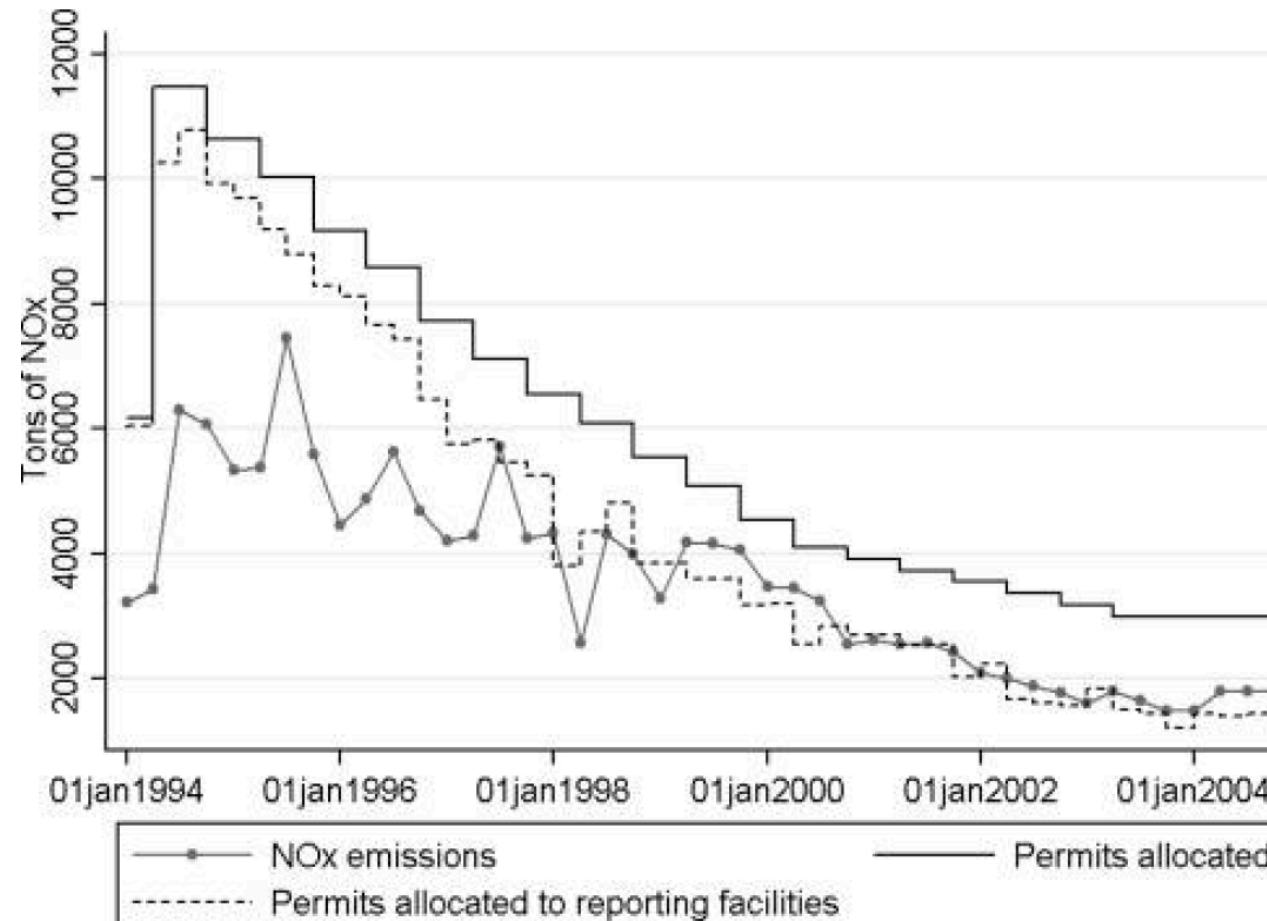
- 問題点：排出権の割当が外生変数と言えるのか？
  - 多く排出するような企業(工場)に多く割当。(例：過去の排出実績に依存する割当)
  - 仮に企業固定効果を入れていても、誤差項と相関するかもしれない。
  - 理由：徐々に排出枠が小さくなる(=排出権価格が上がる)と、それに応じた企業の反応も異なりうる。その排出の減らし方が、排出権の割当の変化と相関しているかもしれない。
- 本論文の解決策：排出権の割当に際して存在した「ランダム」さを活用する。

# RECLAIMプログラムの概要

- Regional Clean Air Incentives Market (RECLAIM)
- 南カリフォルニア地域において、二酸化窒素(NOx)を排出している企業が対象。
- 1994年に開始。2003年までに全体の排出を75%減することが目標。
- **排出権取引**による規制
  - 1排出権 = 二酸化窒素1トン
  - 各企業に排出権が無料で付与される。
  - 排出権の有効期限は1年間。
  - 各年に排出権がどれだけ付与されるかは、1994年に決定されアナウンスされている。



# (参考) 総排出量と排出権割当量 (Figure 1)



# 排出権取引の詳細

- 規制遵守の単位期間(サイクル)は1年。排出権も1年有効。
  - 3ヶ月ごとに排出量をレポートし、それに等しい排出権を規制当局に差し出す。
- サイクルが進むにつれて、割当量も減少していく。
- 他の企業との排出権の取引は自由。
- 重要：**企業によって、「規制遵守のサイクル」がランダム**に決められている。
  - グループ1：1月1日から12月31日
  - グループ2：7月1日から翌年6月30日
- このランダムさを「自然実験」としてみなし、操作変数法を利用する(後述)

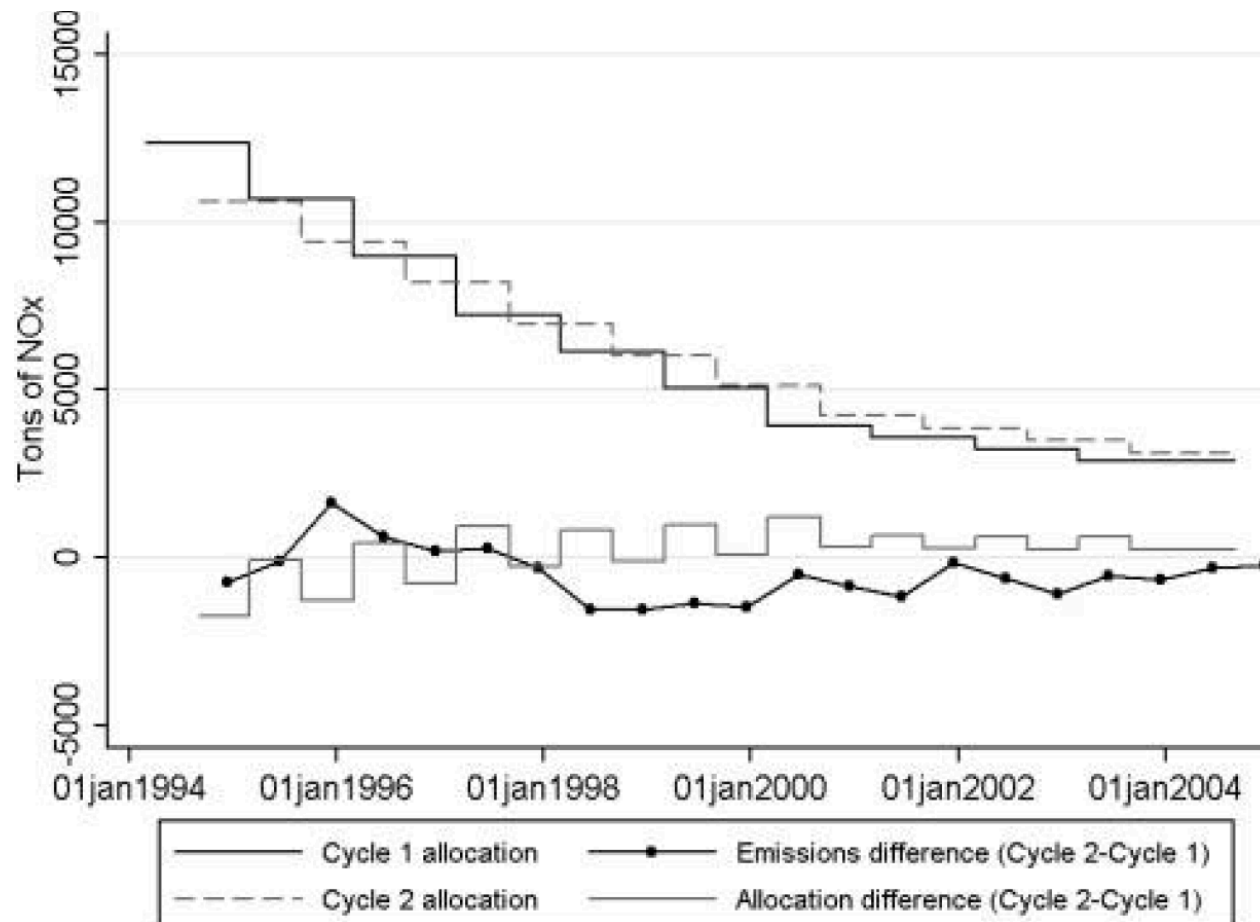
# データ

- 規制当局にデータ公開申請をして取得。
- 工場・施設(facility)単位の情報。
- 変数
  - グループ1かグループ2かのダミー
  - 排出権割当計算に必要な情報
  - 各年における割当量
  - 各四半期における排出量

# リサーチデザイン

- 排出権割当の外生的な変動要因として、ランダムに決まる「規制遵守のサイクル」を用いる。
- グループ1：
  - 1サイクル目：1994年1月1日から12月31日
  - 2サイクル目：1995年1月1日から12月31日、以下同様
- グループ2：
  - 1サイクル目：1994年7月1日から95年6月30日
  - 2サイクル目：1995年7月1日から96年6月30日、以下同様
- ここで、95年1月に着目すると・・・
  - グループ1：2サイクル目 → 排出権割当が減っている
  - グループ2：1サイクル目 → グループ1よりも割当量が多い！！

# グループ間の排出権割当量の差 (Figure 2)



# (参考) バランス・チェック

TABLE 1.—PRETREATMENT CHARACTERISTICS AND MISSING DATA

	Allocation Cycle 1	Allocation Cycle 2	Cycle 1 - Cycle 2	<i>P</i> -Value <sup>a</sup>	<i>P</i> -Value <sup>b</sup>
A. Pretreatment Characteristics Summarized by Allocation Cycle					
Permit allocation in the first compliance cycle (tons NOx)	130.32 (317.82)	102.97 (342.37)	27.34	0.21	0.26
Historic maximum emissions (tons of NOx)	135.83 (340.20)	114.87 (398.59)	20.96	0.31	0.44
% reduction in permit allocation (1993–2002)	0.49 (0.30)	0.48 (0.27)	0.00	0.44	0.36
Proportion of facilities in the coastal trading zone	0.70 (0.46)	0.76 (0.27)	–0.06	0.11	0.11
Number of facilities	172	204	–32	–	0.68
Share of permits allocated	0.50	0.50			
B. Industrial Composition					
Electricity, construction (21, 22, 23)	40	43	–3	0.31	0.38
Food, textile manufacturing (31)	22	27	–5	0.45	0.29
Pulp, paper, chemicals, plastics (32)	42	60	–18	0.14	0.14
Primary metals, machinery, electronics (33)	43	43	0	0.37	0.48
Wholesale trade (42)	7	4	3	0.11	0.14
Transportation and warehousing (48, 49)	6	7	–1	0.49	0.31
Services, management (51, 52, 54)	1	2	–1	0.33	0.12
Recreation, tourism, food services (71, 72)	2	4	–2	0.27	0.13
Public administration, other (81, 92)	4	7	–3	0.26	0.50
C. Missing Data, Attrition					
Missing emissions reports (% of total)	0.33	0.33	0.00	0.46	–
Attrition in the first year of the program (1994)	0.00	0.00	–	–	–
Attrition in the first half of the study period (1994–1999)	0.21	0.22	–0.01	0.40	–
Attrition in the second half of the study period (2000–2004)	0.21	0.24	–0.03	0.24	–

This table reports summary statistics by compliance cycle. Standard deviations are in parentheses. See text for details.

<sup>a</sup>*p*-values from standard comparisons of means (allowing for unequal variances across groups).

<sup>b</sup>simulated *p*-values.

# 操作変数法による回帰式

- 推定したい式：

$$E_{it} = \phi A_{it} + \beta' x_{it} + \delta_t + \alpha_i + \epsilon_{it}$$

- 2SLSの第一段階の式:

$$A_{it} = \alpha_i^F + \gamma Z_{it} + \delta_t^F + u_{it}$$

- 操作変数  $Z_{it}$  は、「グループ2ダミー」と「1月から6月ダミー」の交差項
  - グループ2の企業は1月から6月において、グループ1よりも割当量が多くなっている。

# OLS・固定効果モデルの結果

TABLE 2.—CROSS-SECTIONAL AND FIXED EFFECTS ESTIMATES  
DEPENDENT VARIABLE: LOG EMISSIONS

	Pooled OLS (1)	Pooled OLS (2)	Pooled OLS (3)	Fixed Effects OLS (4)
Log permit allocation	0.79*** (0.05)	0.65*** (0.14)	0.65*** (0.17)	0.49*** (0.13)
Log wage			-0.24 (0.17)	
Log producer price index			0.36 (0.28)	
Log allocation in first compliance period ( $P1$ )		0.14 (0.15)	0.18 (0.19)	
Log change in allocation ( $P1 - P2$ )		0.00 (0.03)	0.03 (0.05)	
Firm fixed effects	No	No	No	Yes
$R^2$	0.46	0.46	0.49	0.78
Root mean square error	1.42	1.42	1.34	0.90
Firms	361	360	291	361
Observations	5,190	5,168	3,760	5,190

Robust standard errors clustered by facility are in parentheses. Time period fixed effects are included in all specifications (coefficients not reported). \*Significantly different from 0 at 90% confidence. \*\*Significantly different from 0 at 95% confidence. \*\*\*Significantly different from 0 at 99% confidence.



# 操作変数法の結果

TABLE 3.—INSTRUMENTAL VARIABLES ESTIMATES OF THE EFFECT OF PERMIT ALLOCATION ON EMISSIONS

	IV-2SLS (1)	Fixed Effects IV-2SLS (2)
A. Dependent Variable: Log Permit Allocation		
Cycle 2 × Jan-July indicator	0.19*** (0.04)	0.12*** (0.01)
Partial F-statistic	20.47	268.05
Partial $R^2$	0.02	0.01
B. Dependent Variable: Log Emissions		
Log of permit allocation	-0.13 (0.72)	-0.11 (0.32)
Root mean squared error	1.46	0.92
Firms	360	361
Observations	5,168	5,190

Robust standard errors clustered by facility are in parentheses. Time-period fixed effects are included in all specifications (coefficients not reported). \*Significantly different from 0 at 90% confidence. \*\*Significantly different from 0 at 95% confidence. \*\*\*Significantly different from 0 at 99% confidence.