

# 脱炭素政策のデザインにおける 実証ミクロ的評価手法の重要性

財務省財務総合政策研究所  
講演会

2022. 12. 14

小西祥文  
慶應義塾大学 経済学部

(本資料の無断転用・転載はお控え下さい。)

# 自己紹介

- 専門：

実証ミクロ経済学，環境経済学

- 略歴：

1999~2001 ゴールドマン・サックス証券 投資調査部

2002~2008 ミネソタ大学 大学院 応用経済学研究科 (Ph.D.)

2008~2010 ウィリアムズ大学 (米国) 経済学部

2010~2017 上智大学 国際教養学部 国際経営経済学部門

2017~2020 筑波大学 システム情報系 社会工学域

2020~ 慶應義塾大学 経済学部 教授

- その他：

東京大学エコノミックコンサルティング 社外アドバイザー  
環境経済・政策学会 学術賞 (2022)

# Outline

- 実証ミクロ的評価手法とは？
- なぜ脱炭素政策のデザインに重要か？
  - 電力市場においてカーボンプライシングは(どのように)機能するか？
    - 需要側
    - 供給側
- 纏め：より良い政策デザインへ向けて
- Q&A
  - 寄せられた質問への回答
  - その他のトピック

# 実証ミクロ的評価手法とは？

## 1. ミクロ経済学

- 応用理論：公共経済学, 労働経済学, 環境経済学, 行動経済学も含む

+

## 2. 1990年代～の経済実証の手法・方法論

- 研究デザイン
- 実験・準実験手法(統計的因果推論)
- 構造推定手法

+

## 3. 制度的背景の理解



- より厳密(正しい)実証的政策評価

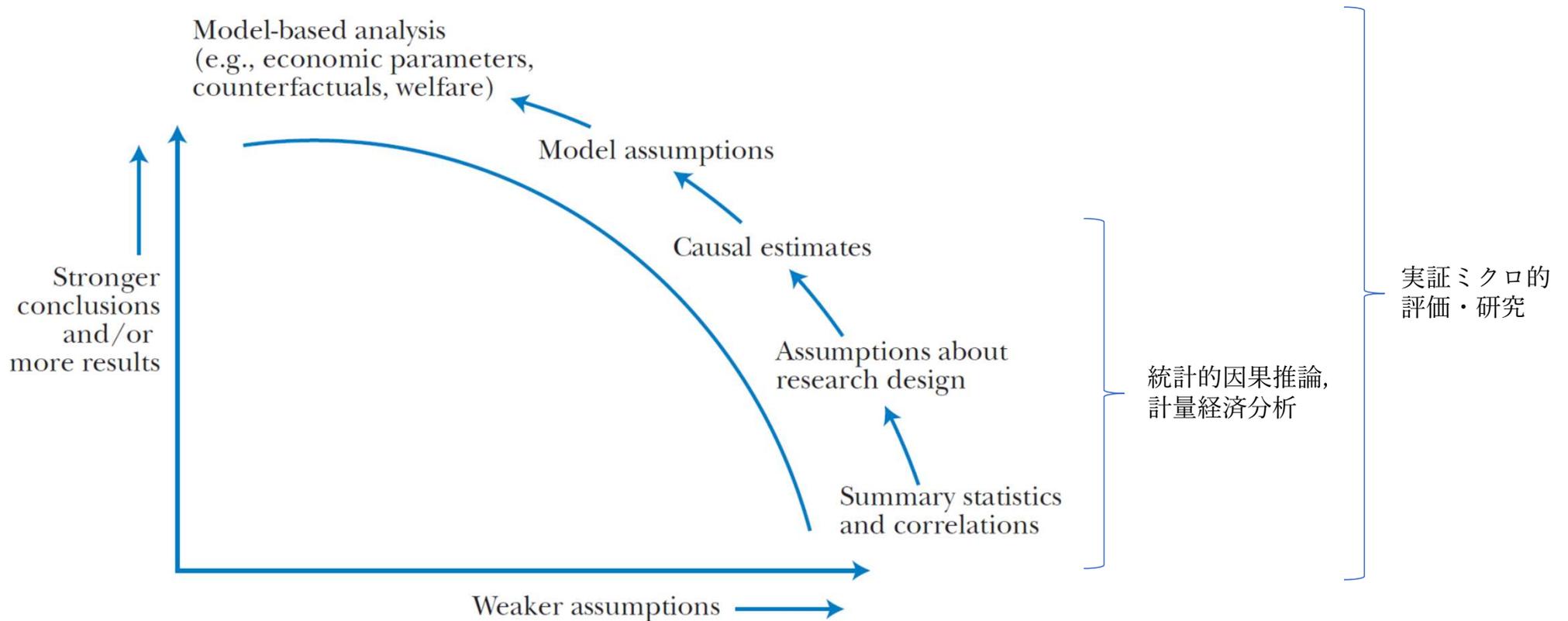
“What, Why, How?”

- 環境効果と経済効果(費用)を実証評価

⇒ より現実的かつ効果的な政策のデザイン

# 実証ミクロ的評価手法とは？

政策的に重要な効果の実証評価と必要とされる仮定の関係



出所：Mahony (JEP, 2022) Figure 1.

# 新しい環境経済学？



## 1 はじめに

1990年代以降、経済学における実証研究の手法および方法論は飛躍的に発展したといわれている。それを象徴するように、近年のノーベル経済学賞は、その発展を牽引してきた研究者たちに贈られている。2019年には、フィールド実験を用いて貧困問題の解決に資する実証研究を行ったアビジット・バナジー (A. V. Banerjee)、エスター・デュフロ (E. Duflo)、マイケル・クレマー (M. R. Kremer) の三者が受賞した。また2021年には、観察データにおいて因果関係を正しく識別・推定するために「自然実験」を利用する方法論を確立したデヴィッド・カード (D. E. Card)、ヨシュア・アングリスト (J. D. Angrist)、グイド・インベンス (G. W. Imbens) の三者が受賞した。環境経済学の先進的な実証研究では、このような「新しい」経済実証の手法および方法論が頻繁に用いられるようになっており、環境経済関連のトピックに関する実証研究でトップジャーナルをめざそうとする研究者にとって、このような経済実証の手法と方法論を学ぶことは不可欠なまでにきている。

一方で、第5節で詳しく紹介するように、環境経済学分野の代表的な教科書では、このような

「新しい」経済実証の手法および方法論が必ずしも市民権を得ているとはいえない。現存する多くの教科書は、環境経済学の理論や環境問題のトピックを中心にまとめられており、経済実証の手法や方法論をベースにまとめられた教科書はきわめて稀である。それ以上に問題だと考えられるのは、これらの教科書で紹介される実証研究がこういった「新しい」経済実証の手法や方法論に基づいた研究成果なのか、あるいはそうでないのか、明確に区別されないまま説明されていることである。

新しい経済実証では、実証結果が「どのようにして」得られたかを重視する。正しい実証的作法に則り、いくつもの頑健性チェックを行い、実証研究のデザイン上の仮定を明示したうえで（無作為実験であっても！）初めて、実証結果を正しく解釈することが可能であるとするのが新しい経済実証の考え方である。別の言い方をすると、単に

小西祥文 Konishi Yoshifumi

慶應義塾大学経済学部教授。  
2008年、ミネソタ大学大学院応用経済学研究科博士課程修了。Ph.D. (応用経済学)。ゴールドマン・サックス証券投資調査部証券アナリスト、ウリアムズ大学経済学部助教授、上智大学国際教養学部助教授、筑波大学システム情報系社会工学専攻教授を経て、2020年より現職。  
2022年、環境経済・政策学会より「学術賞」を受賞。  
専門は、環境政策（制度・施策）の効果を実証シロ経済学のアプローチで検証する「環境経済実証」、カーボンプライシング、交通と環境、炭素・EV政策、排出量取引市場、ライドシェアの環境効果など幅広いテーマの研究に取り組み、日本の環境政策の設計にも役立つ知見を蓄積している。

第1回：新しい経済実証と環境経済学

第2回：環境経済学における構造推定と誘導形推定  
～ 環境評価手法を例として～

第3回：効果的な環境政策を考える（1）  
～ 戦略的な行動を予測する～

第4回：効果的な環境政策を考える（2）  
～ 環境ナッジを考える～

第5回：環境政策の技術進歩促進効果を考える

第6回：意図せざる政策効果を考える  
～ 住宅・商用建築物向け省エネ規制を事例に～

第7回：電力市場の脱炭素政策を考える  
～ カーボンプライシングは必要か～

第8回：気候変動の社会的費用を考える  
～ 統合評価モデル vs. 実証ミクロアプローチ～

# なぜ実証ミクロ的評価が重要？

*Details that we as economists might consider relatively uninteresting are in fact extraordinarily important in determining the final impact of a policy or a regulation, while some of the theoretical issues we worry about most may not be that relevant.*



--- Esther Duflo, “The Economist as Plumber”  
Richard T. Ely Lecture at the 2017 ASSA meeting

- A, Bそれぞれが本来的に良い政策だったとしても,

× :  $A + B$

× :  $A \times B$

× :  $A \times C$

となるケースが沢山存在する.

⇒ 現実の制度的・文化的制約を考えて政策をデザイン・実行する必要.

# なぜ実証ミクロ的評価が重要？

## France Freezes Fuel Tax Hike In Face Of Yellow Vest Protests

December 4, 2018 · 7:38 AM ET

BILL CHAPPELL 

 2-Minute Listen

+ PLAY



The French government is suspending a planned fuel tax hike, after "yellow vest" demonstrators took to the streets for months of protests. On a motorway near Aix-en-Provence, France, on Tuesday, demonstrators set up a barrier.

出所：NPR (2018).

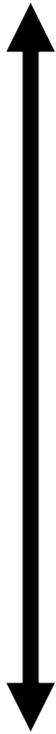
## Yellow Vests, Pessimistic Beliefs, and Carbon Tax Aversion<sup>†</sup>

By THOMAS DOUENNE AND ADRIEN FABRE\*

*Using a representative survey, we find that after the Yellow Vests movement, French people would largely reject a tax and dividend policy, i.e., a carbon tax whose revenues are redistributed uniformly to each adult. They overestimate their net monetary losses, wrongly think that the policy is regressive, and do not perceive it as environmentally effective. We show that changing people's beliefs can substantially increase support. Although significant, the effects of our informational treatments on beliefs are small. Indeed, the respondents that oppose the tax tend to discard positive information about it, which is consistent with distrust, uncertainty, or motivated reasoning. (JEL D83, H23, H31, Q54, Q58)*

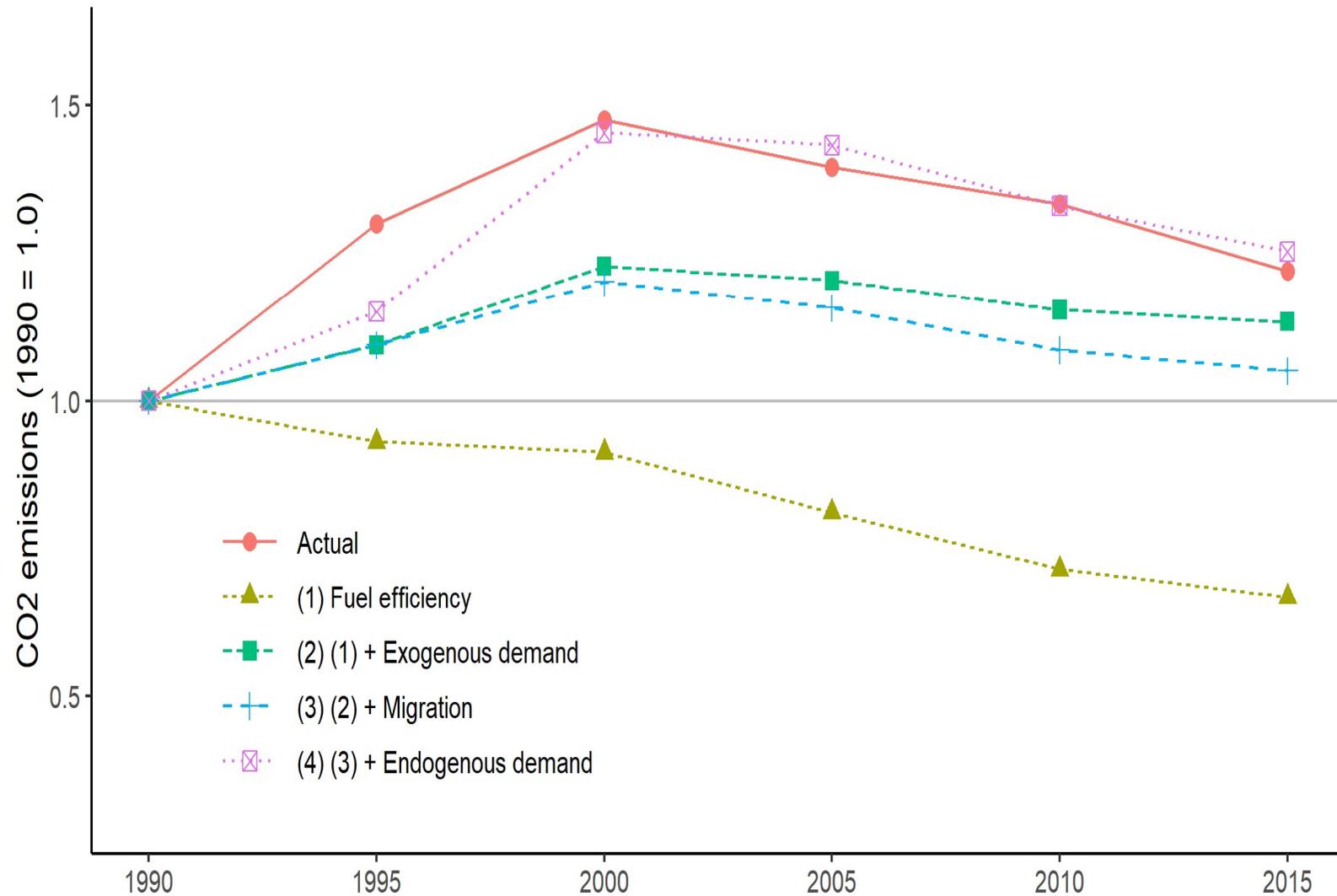
⇒ 政策の環境効果も重要だが、  
経済負担も重要。でも経済  
負担をどう推定する？

# 脱炭素施策の費用対効果と削減ポテンシャル

政策	経済コスト (US\$2017/t-CO <sub>2</sub> )	潜在的な削減量
省エネナッジ事業	-190	小  大
エタノール推進事業	-18~+310	
再エネ基準 (RPS)	0~190	
森林再生事業	1~10	
風力発電への補助金	2~260	
クリーン発電計画 (CPP)	11	
ガソリン税	18~47	
メタンフレア規制	20	
連邦炭田リース削減	33~68	
自動車燃費規制 (CAFE)	48~310	
クリーンエネルギー基準 (CES)	51~110	
土壌管理プログラム	57	
畜産管理プログラム	71	
再エネ燃料への補助金	100	
低炭素燃料への補助金	100~2900	
太陽光発電への補助金	140~2100	
バイオディーゼル燃料事業	150~250	
自動車スクラップ補助金 (CFC)	270~420	
建物の耐候性支援プログラム (WAP)	350	
EVへの補助金	350~640	

出所：Gillingham-Stock (2018)のTable 2より抜粋.

# なぜ工学的な経済評価では不十分なのか？



# 寄せられた質問より

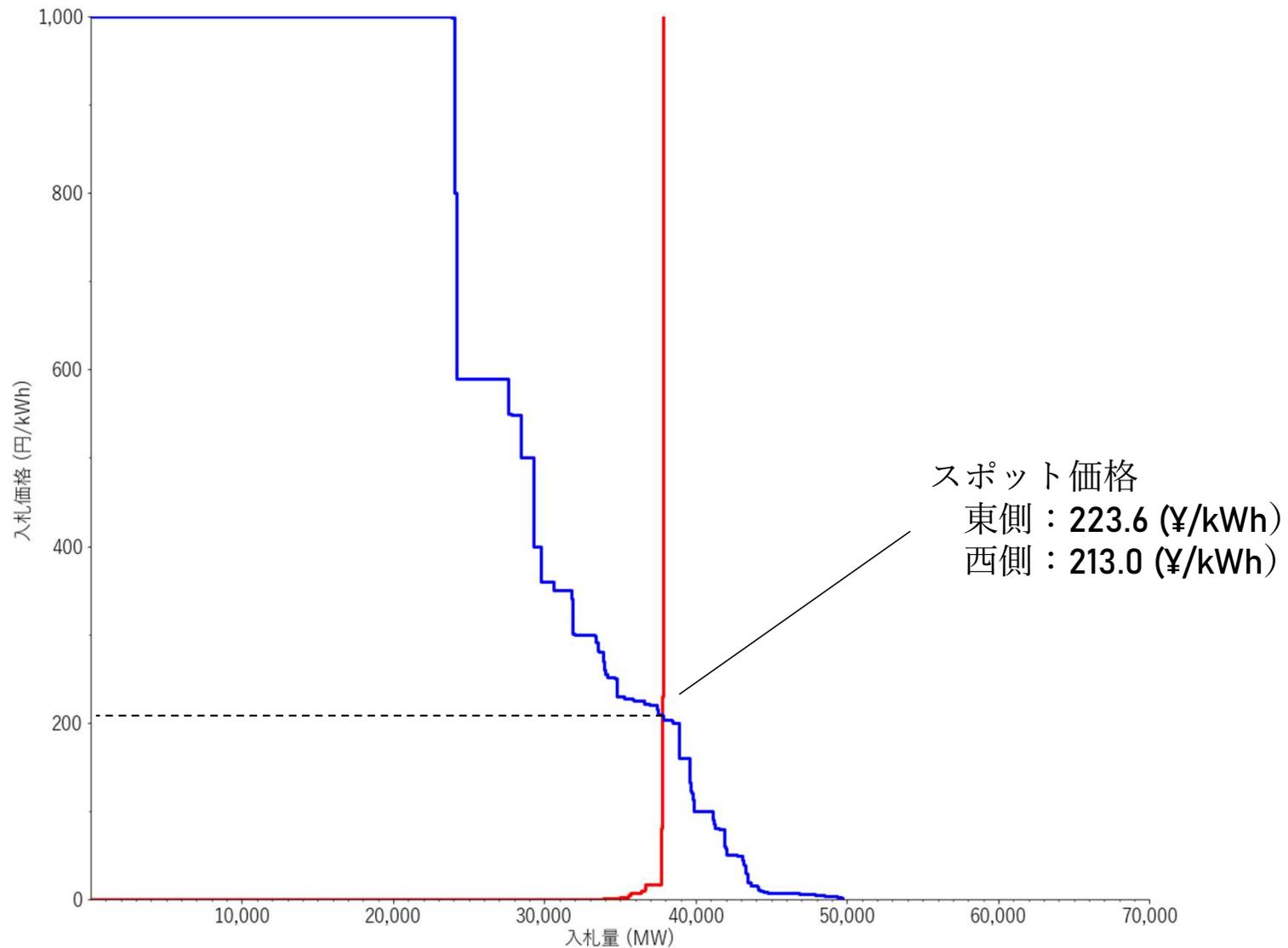
- 「燃費規制やエコカー補助金・減税のような政策」と「社会的コストを内部化するような炭素税や排出枠取引市場」の短所長所は、脱炭素政策としての効果・効率性は？
- それぞれの政策(ないし政策ミックス)の効果は、国ごと(あるいは先進国・途上国, 地域ごと)に異なるのか？
- 環境保護と経済成長を両立出来るような環境政策についてどのような方策が考えられるか？
- 新興国や途上国を気候変動への取組に巻き込んで行くためにはどうすれば良いか？

# Outline

- 実証ミクロ的評価手法とは？
- なぜ脱炭素政策のデザインに重要か？
  - 電力市場においてカーボンプライシングは(どのように)機能するか？
    - 需要側
    - 供給側
- 纏め：より良い政策デザインへ向けて
- Q&A
  - 寄せられた質問への回答
  - その他のトピック

# 電力部門に炭素税を課すとどうなるか？

2021, 1, 15 (19:30 - 20:00) (前日市場)



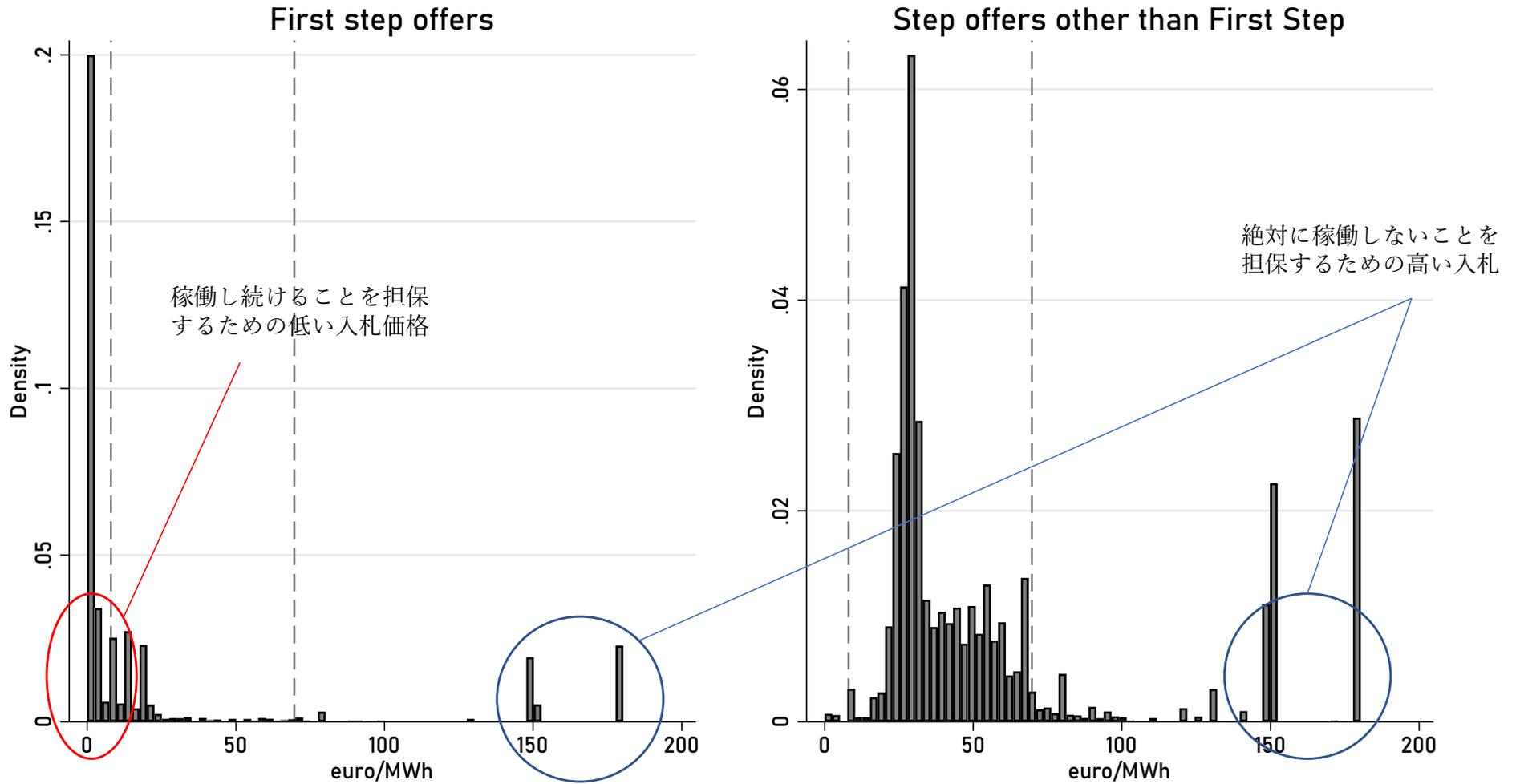
出所：JEPX 入札カーブ ([jepx.org/market](http://jepx.org/market)).

# 制度的背景

## (問いを考える上でのヒント)

- 日本の電力卸売市場は, 6割が相対取引(発送電分離後も継続)
- 売り手側の入札には戦略的な入札行動が存在 ; 必ずしも限界費用の低い順に供給されるとは限らない
- 小売価格は(発電ないし調達した)電力の平均費用による
- Real-time pricing (RTP) は採用されていない (RTPとTOUは別物; 類似の制度に各社のポイント付与制度)

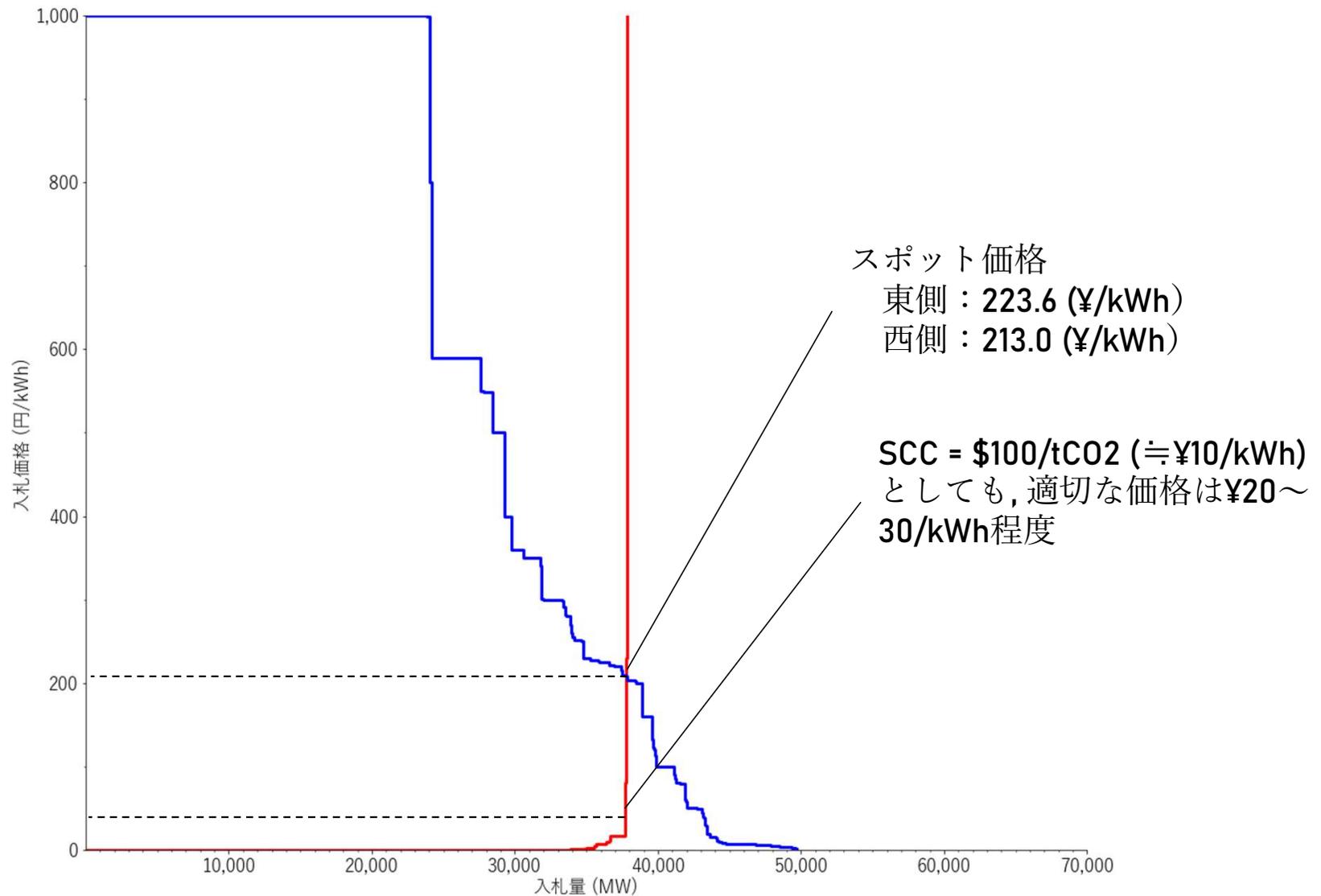
# 戦略的な入札行動の例（スペイン）



出所：Reguant (RES, 2014) Figure 3.

# ポイント 1 : 卸売価格 > 最適な価格

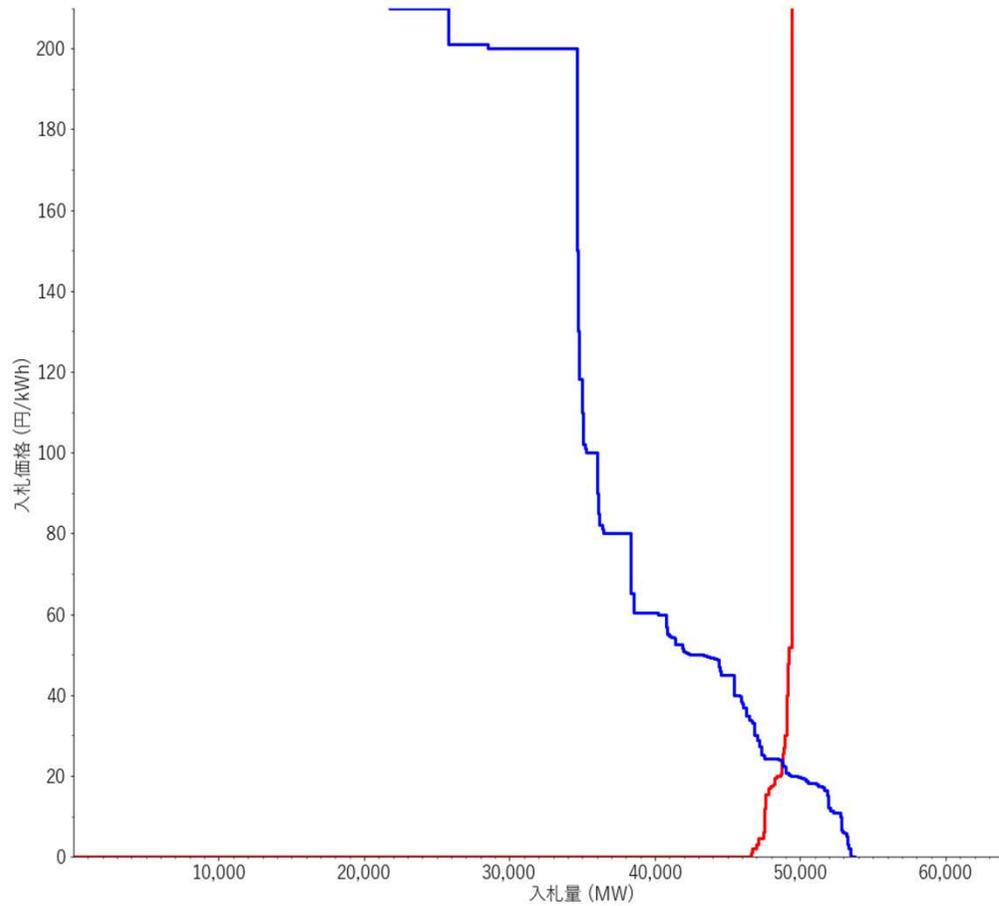
2021, 1, 15 (19:30 - 20:00) (前日市場)



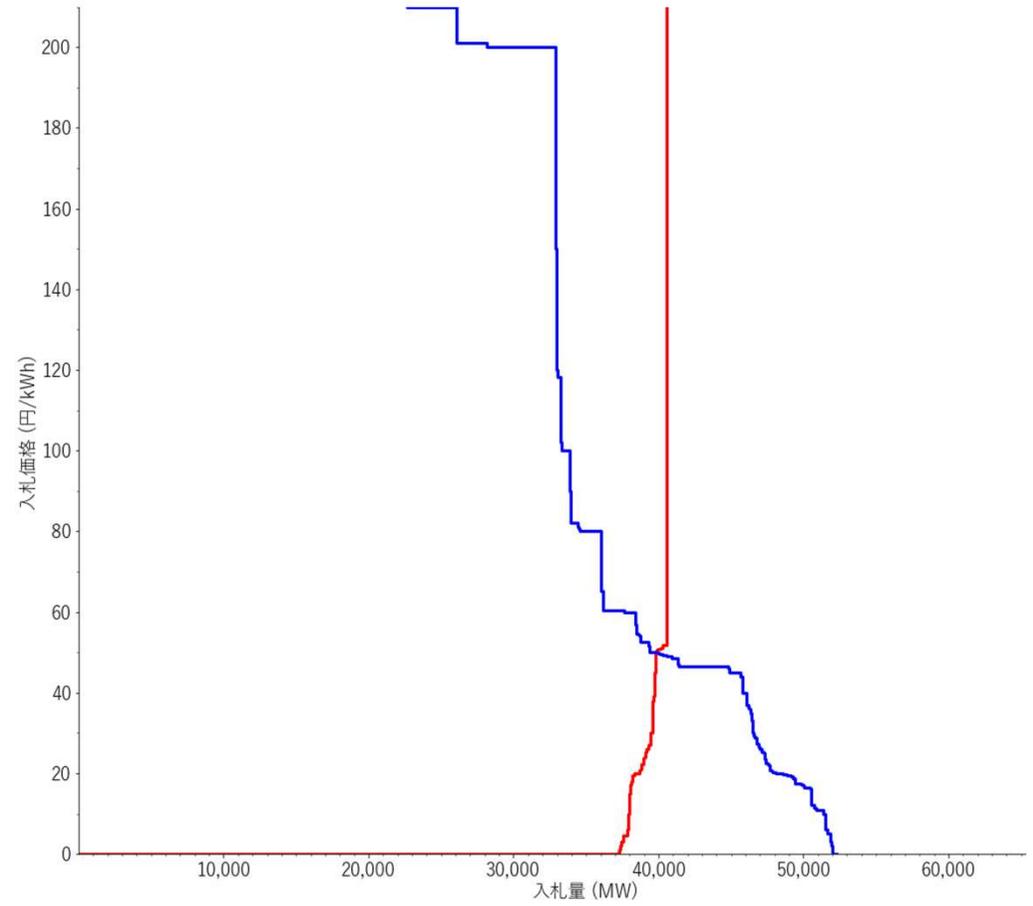
出所 : JEPX 入札カーブ ([jepx.org/market](http://jepx.org/market)).

# 需給逼迫時でなくとも同様

2022, 8, 1 (12:30 - 13:00) (前日市場)

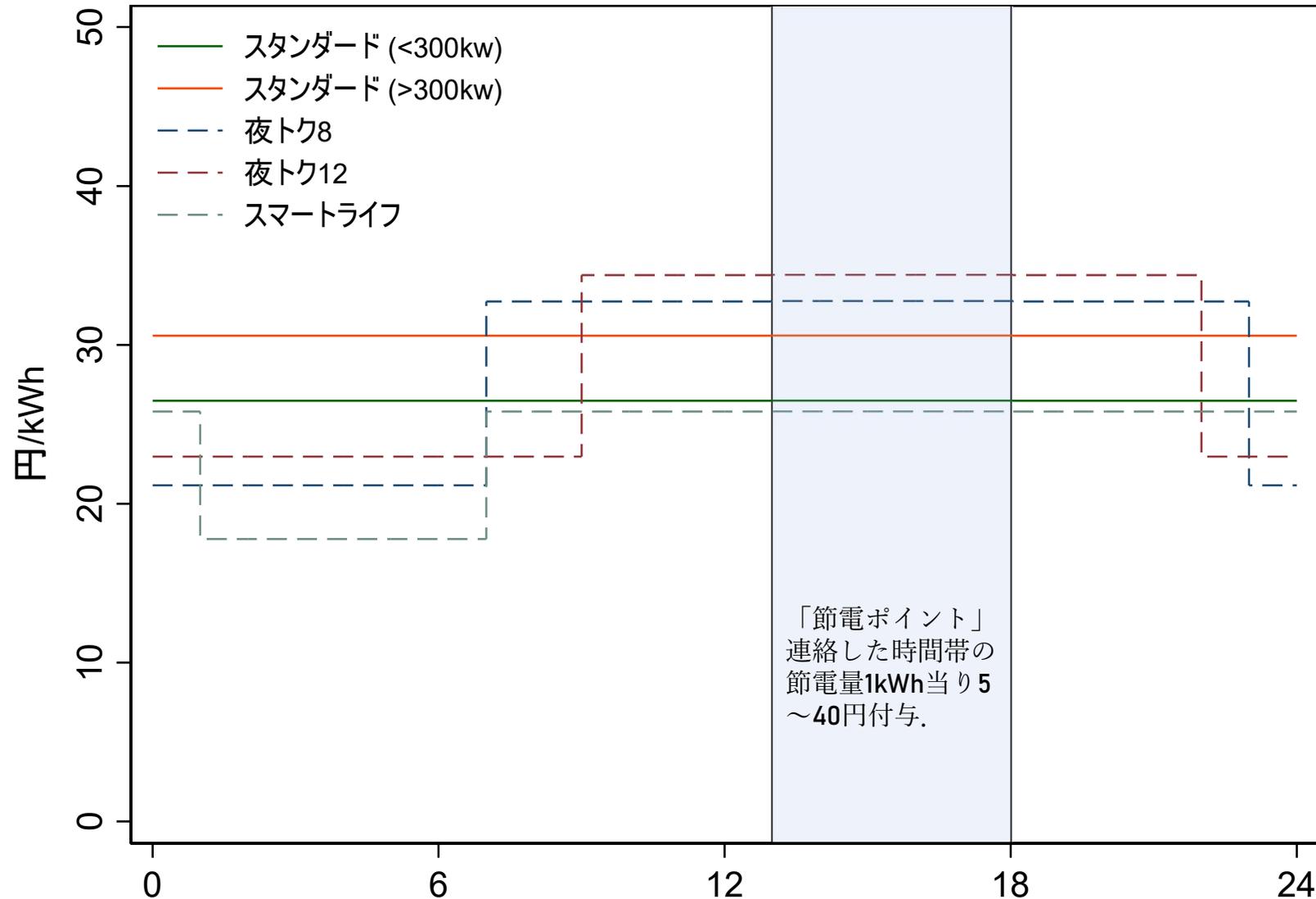


2022, 8, 1 (19:30 - 20:00) (前日市場)



出所：JEPX 入札カーブ ([jepx.org/market](http://jepx.org/market)).

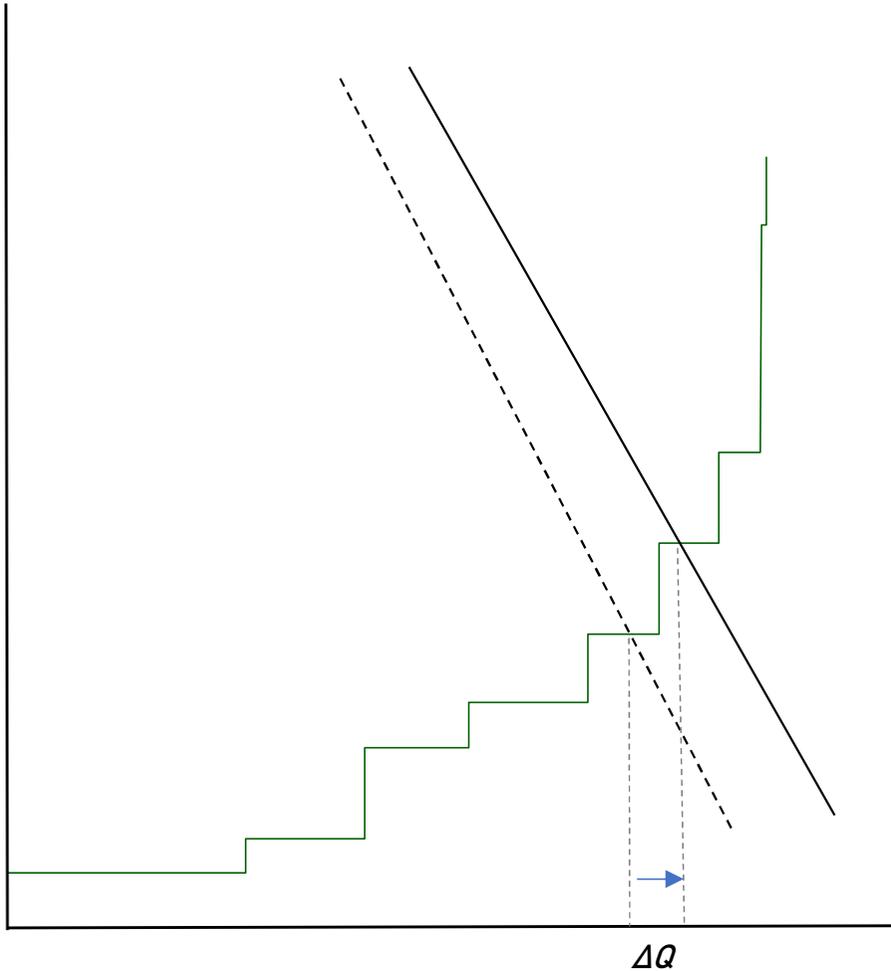
# TEPCOの小売価格体系



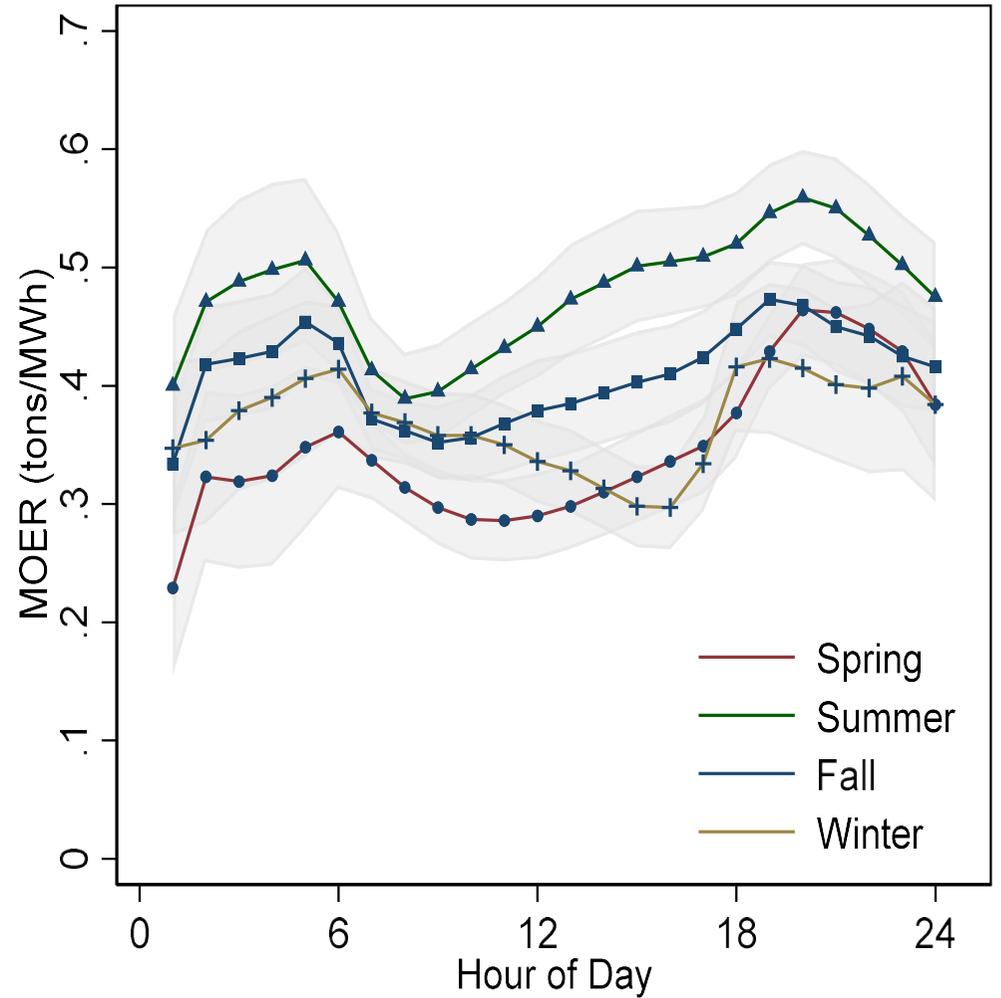
出所：TEPCO. 政府の節電ポイント制度は節電プログラムへの参加に対する2000円相当のポイント付与.

# 限界CO<sub>2</sub>排出量(MOER)とは？

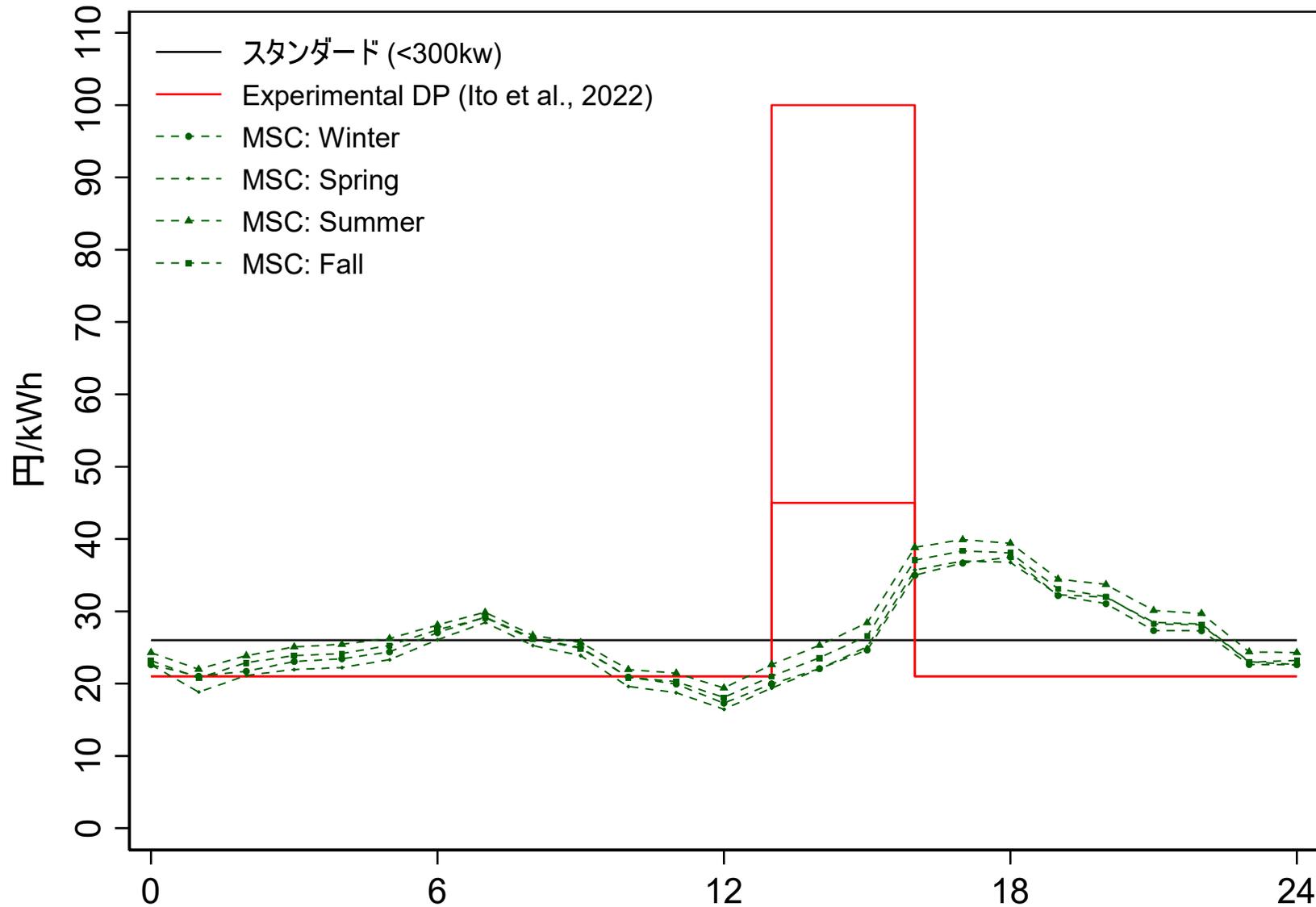
A. MOERの考え方



B. MOER Estimates (CO<sub>2</sub>)  
CAISO: 2012-2016

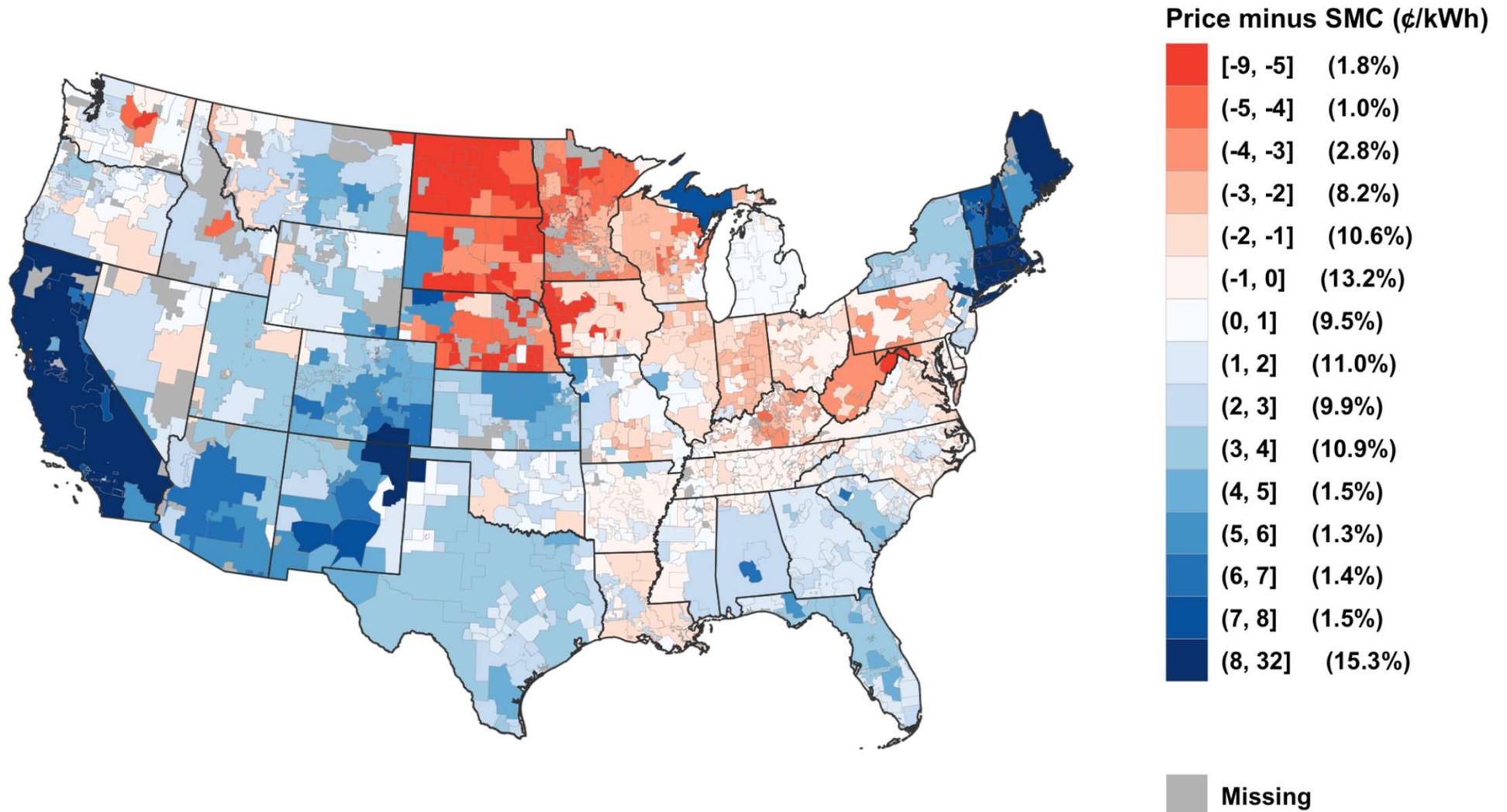


## ポイント 2. 小売価格 ≠ 最適価格



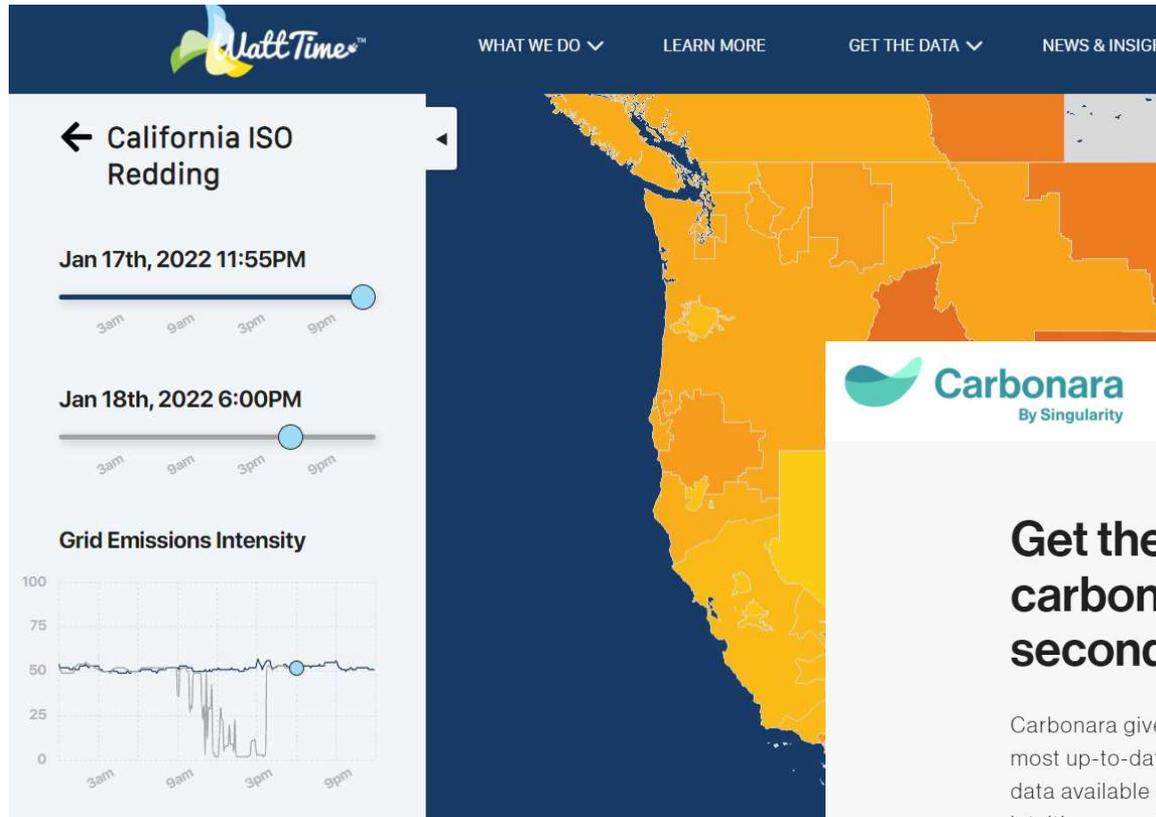
出所：TEPCO, Ito *et al.* (2022), MSC = 2020年に観察された卸売価格の90%分位 + CAISOのMOER × \$185/ton. \$1 = 100円換算.

# 米国では？



出所：Borenstein-Bushnell (AEJ, 2022).

# 電力市場データのDX利用が進む米国



The screenshot shows the Carbonara website interface. At the top, there is a navigation bar with the Carbonara logo (By Singularity) and menu items: News, Changelog, Contact, and About. The main content area features a headline: "Get the best grid carbon data in seconds." Below the headline is a paragraph: "Carbonara gives you access to the most up-to-date, granular grid carbon data available and lets you visualize it in intuitive, easy-to-use ways." To the right of the text is a map of the United States with various data points and lines connecting them, representing a network of carbon data. Below the main content area is a smaller section titled "Real-Time Grid Carbon Intensity" with a location pin for "North Franklin, AR 11:04 AM".

出所：WattTime.org (左), Carbonara.Energy (右).

# ここまでの纏め(1)

- 現状の電力市場で教科書的CPを適用しても機能しない可能性
  - 卸売価格 ≠ 最適価格
    - ⇒ メリット・オーダー化を阻む市場制約の解消
      - 相対取引からGross Biddingへ
      - 適切な容量市場のデザイン&実証評価
      - 送配電網の整備&より適切な発送電分離
  - 小売価格 ≠ 最適価格
    - ⇒ 需要側への適切なインセンティブ付与が必要
      - 例：半年ごとにMOERを評価 ⇒ TOUに反映
- 停電リスク回避と環境価値の内部化の二つの問題は切り分け
  - ⇒ 安定供給と脱炭素は両立しうる（市場のデザイン次第）
    - 適切な容量市場のデザイン×適切なCPのデザイン

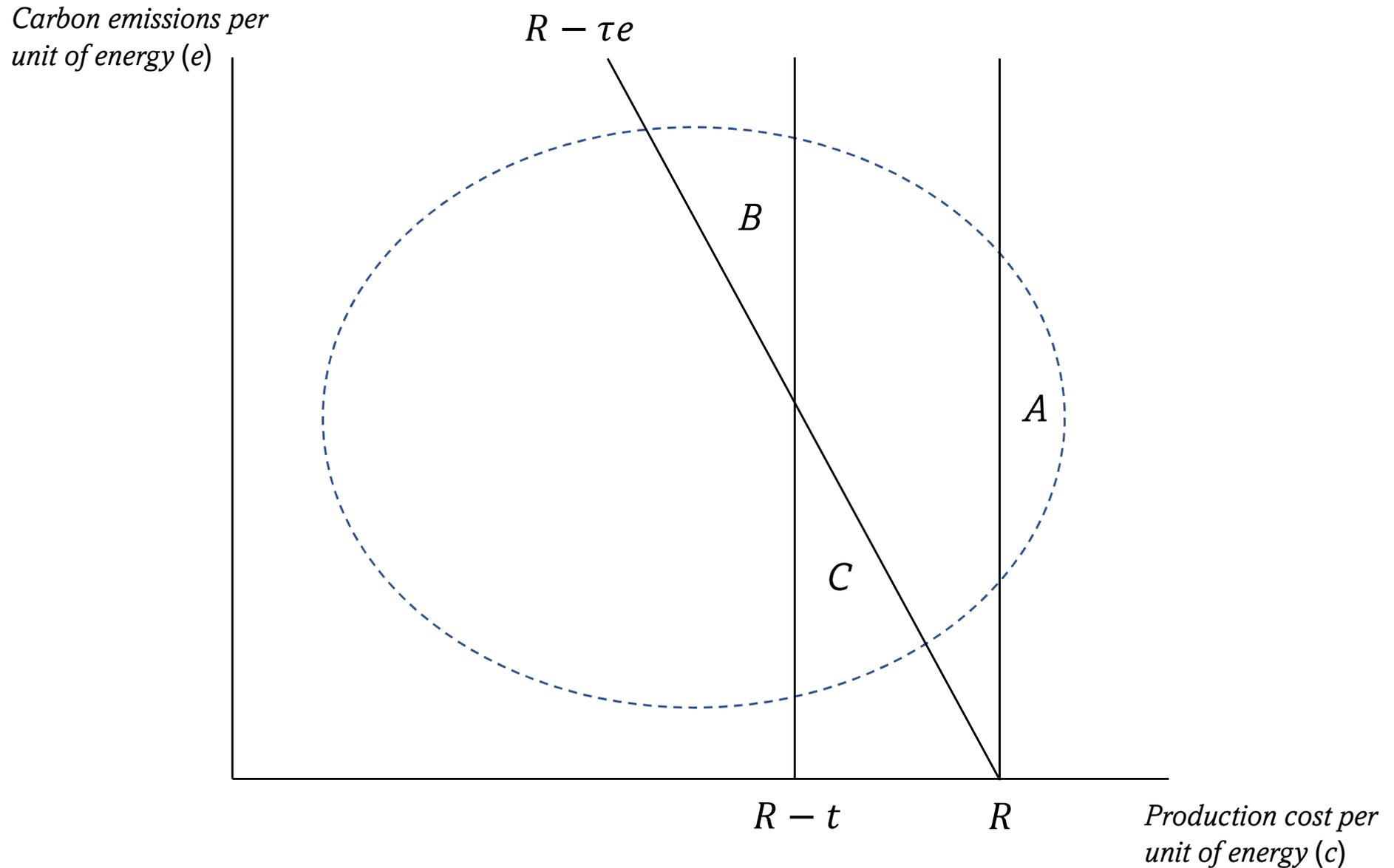
# 電力市場への 理論上の脱炭素政策の効果

表. 各政策を追加的に採用した場合に期待される効果・影響

政策	GHG排出原単位	電力価格	発電量	GHG排出量	政府税收
カーボンプライシング(CP)					
炭素税	低	高	低	低	プラス
排出権取引市場	低	高	低	低	0 or プラス
排出率規制(ES)					
CO2排出率規制	低	中	中	中	0
非化石率規制	中	中	中	中	0
クリーンエネルギー(CE)補助金					
CE補助金(発電ベース)	中	低	高	高	マイナス
CE補助金(容量ベース)	中	低	高	高	よりマイナス

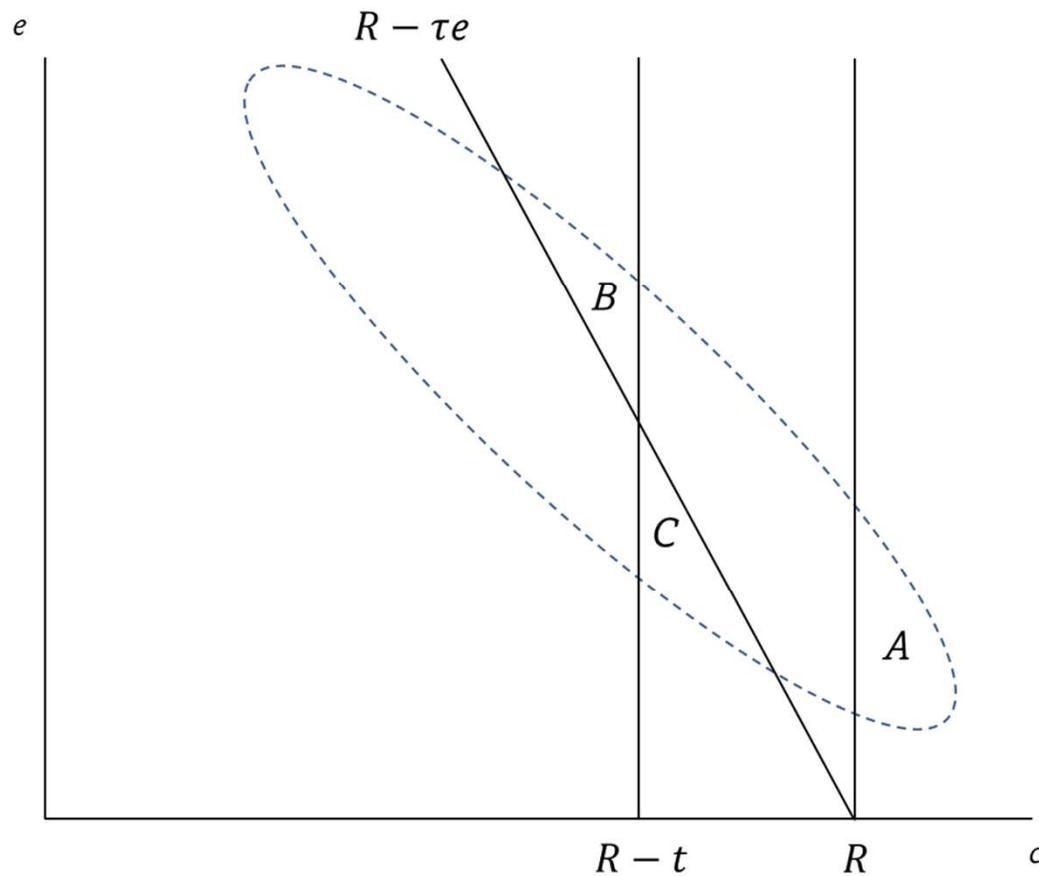
出所：Borenstein-Kellogg (NBER, 2022) Table 2. 表は同じ非化石発電比率を達成した場合の政策間の比較を行ったもの。

# 実証的に供給側への影響を考えると？

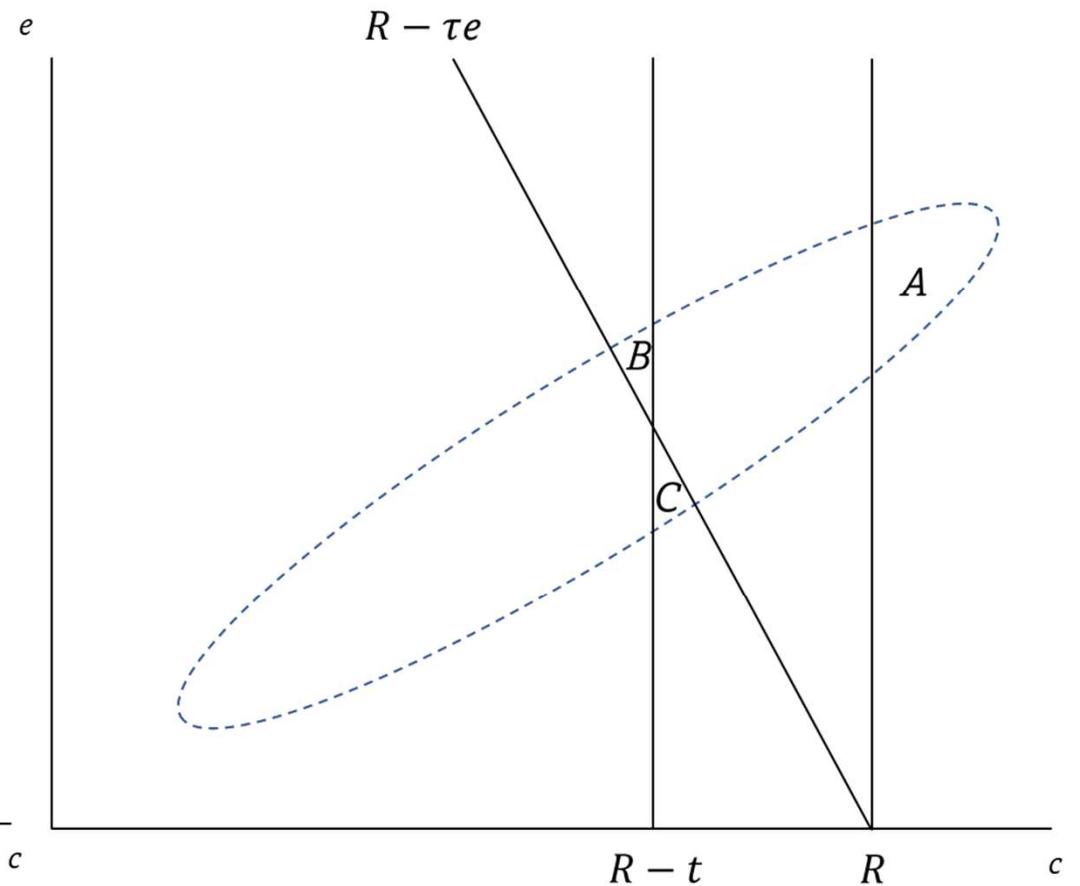


# 実証的に供給側への効果を考えると？

A.  $(c, e)$  に負の相関



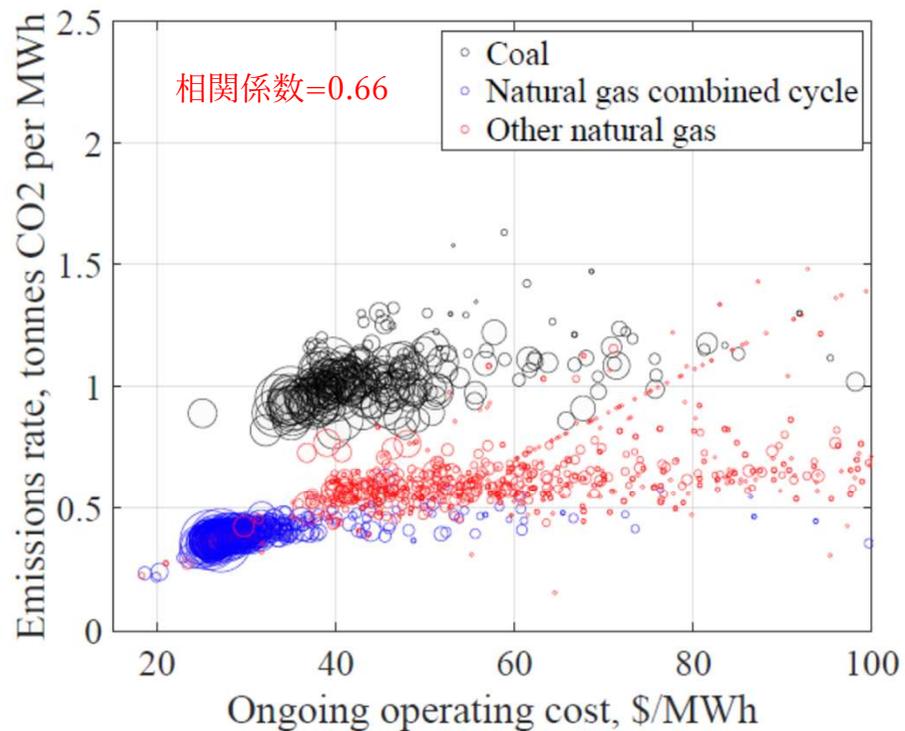
B.  $(c, e)$  に正の相関



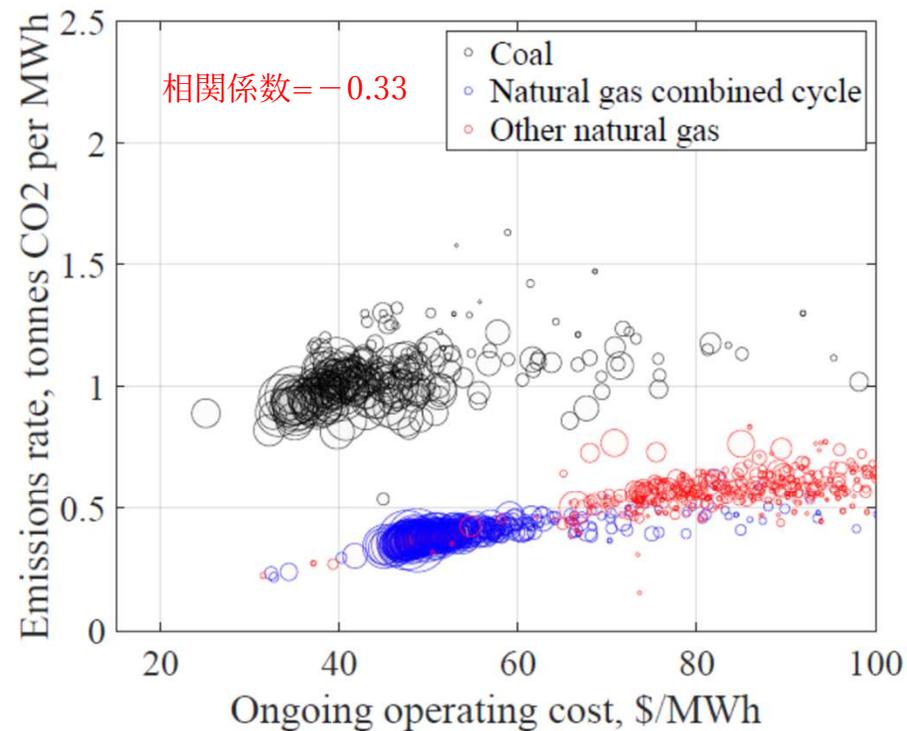
出所：Borenstein-Kellogg (NBER, 2022)

# 実証的に見てみると？（米国）

(a) Gas price = \$2.89/mmBtu



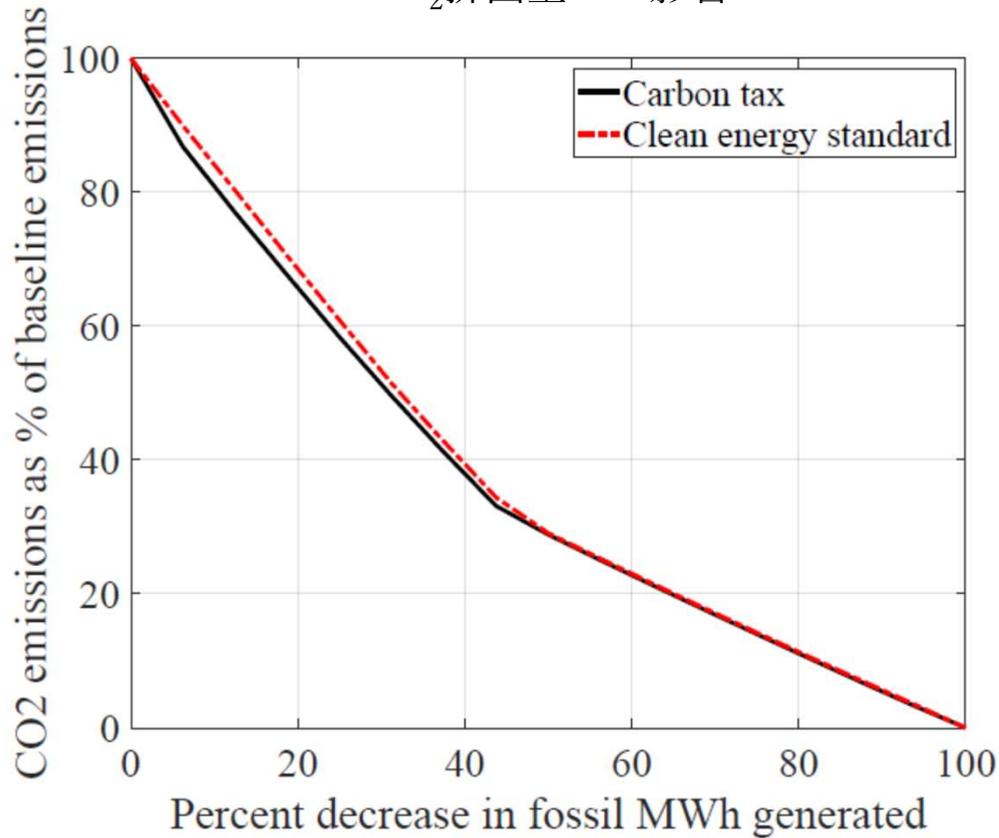
(b) Gas price = \$6.00/mmBtu



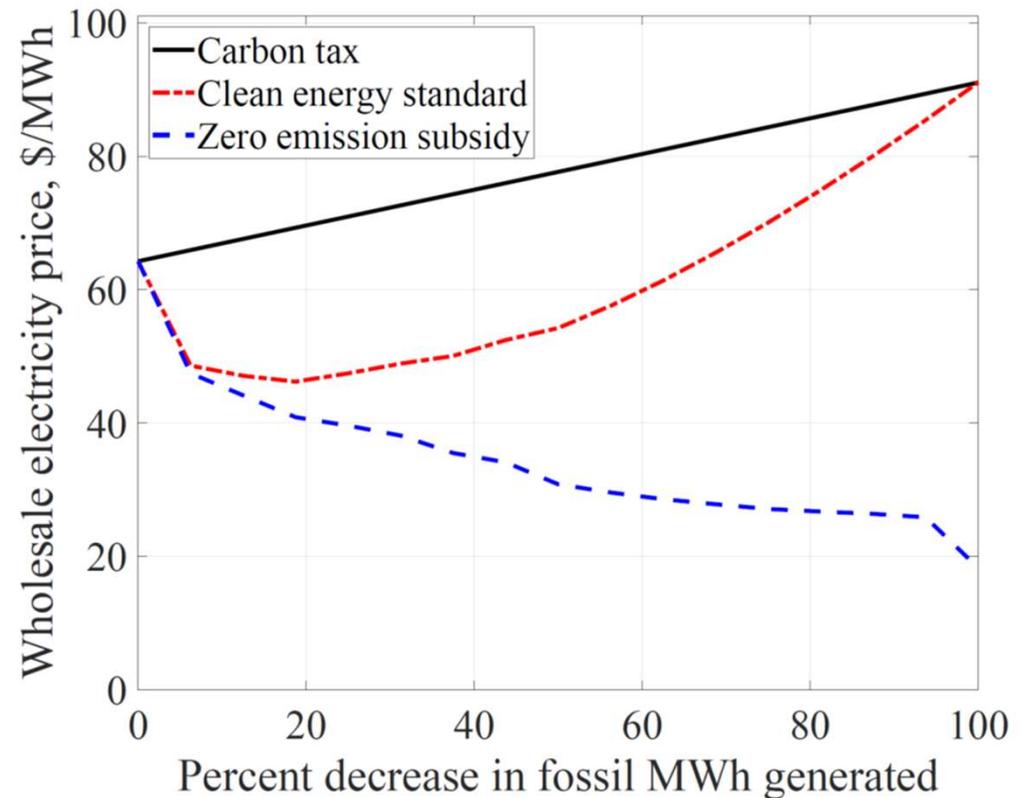
出所：Borenstein-Kellogg (NBER, 2022).  $N=2,345$  generating units taken from EIA (2021).

# 実証的に見てみると？（米国）

A. CO<sub>2</sub>排出量への影響



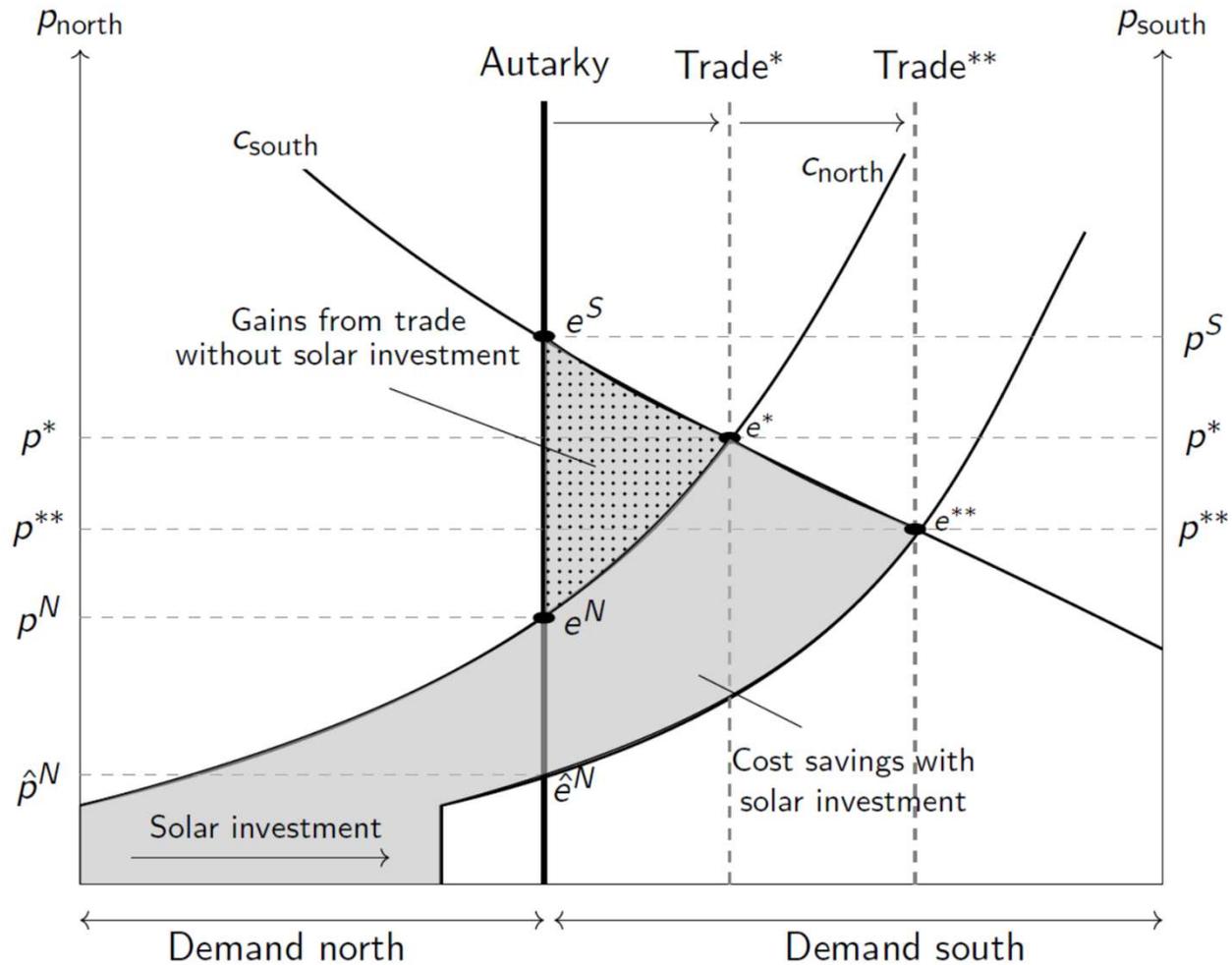
B. 電力価格への影響



出所：Borenstein-Kellogg (NBER, 2022) Figure 3 & Figure 5. Gas price = \$2.89/mmBtu.

# 再エネの価値は系統効率性に依存

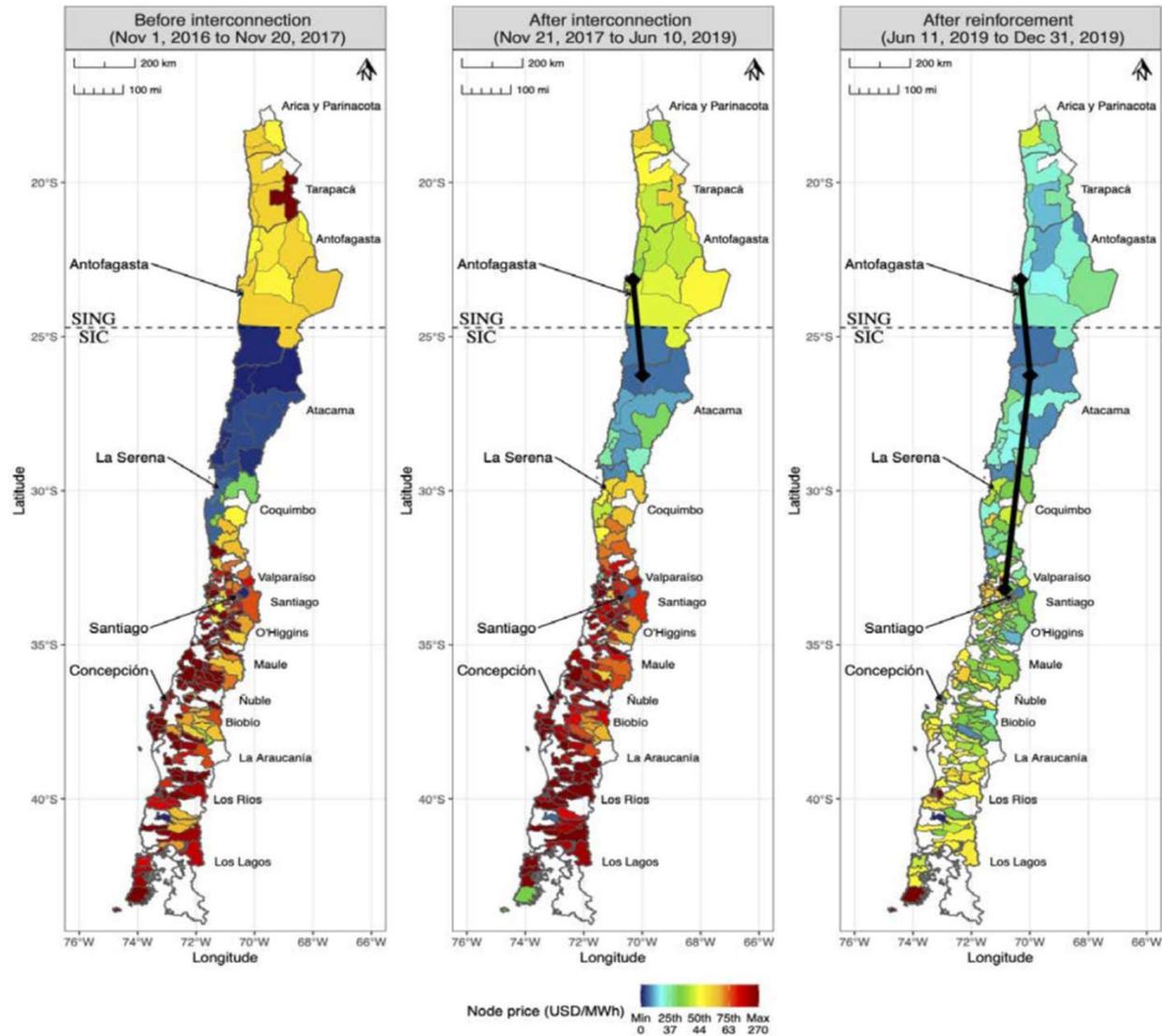
Figure 1: Static and Dynamic Impacts of Market Integration



出所：Gonzales, Ito, Reguant (NBER, 2022).

# 再エネの価値は系統効率性に依存

Figure 4: Impacts of Market Integration on Spatial Variation in Electricity Prices



出所： Gonzales, Ito, Reguant (NBER, 2022).

## ここまでの纏め(2)

- 参入退出への影響に関しては,
  - 同じ電力ミックス(再エネ比率)でも, 採用される政策手段によってCO<sub>2</sub>削減量や電力価格の影響は大きく異なる.
    - ⇒ “社会シナリオ分析”, “最適電力ミックス”の議論は重大な誤謬に繋がる可能性.
  - 火力電源のCO<sub>2</sub>排出率と発電コストが正の相関を持つ場合, CPと非化石率基準の違いはそれほど大きくない可能性.
- 発電容量と発電量への政策効果は切り分けて考える必要  
(例: 火力の予備電力を増やす政策と火力の発電量を減らす政策は両立しうる(Elliott, 2022))
- 纏め(1)より: 供給側(発電事業)と需要側(卸売・小売市場)への政策効果は切り分けて考える必要.
- エネ庁や環境省の資料を見る限り, 電力市場に関しては実証ミクロ的政策評価が行われた形跡は見られない.

# より良い政策のデザインに向けて

- 理想的な政策が取りうる場合,
  - ① 容量市場 (容量補助金)
  - ② MC-based dispatch (メリット・オーダー化)
  - ③ 系統間・内の送電網制約の解消
    - ⇒ ④非明示的なCPの撤廃 + 明示的なSCCによるCP
- ①～④が可能でない場合, 次善の政策の検討・評価:
  - 需要側: 系統別・時間別のSCCベースのTOU
  - 供給側: クリーンエネルギー比率規制 (CO<sub>2</sub>排出率規制) + クレジット取引 (≠非化石証書制度!)
  - 蓄電技術(蓄電池, 揚水, グリーン水素)への補助金 (or 需給ひっ迫時にのみ稼働する容量への補助金)

# より協働的な関係へ向けて

- 制度的背景×因果推論×経済学＝より良い政策デザイン
- 脱炭素政策や電力市場に関しては、実証ミクロ的評価が圧倒的に足りていない印象。
  - 分析・研究に必要なデータへのアクセスが限定的。
  - アカデミアとの適切な役割分担  
(主役は政策立案・実務を担当される皆様)。
  - 旗頭的な諮問委員として利用するのではなく，“研究者”あるいは“並走者(一緒に政策課題を考える仲間)”として利用しては？