

# 連系線の制度改革の経済効果：間接オークションの実証分析

Interconnection Capacity Allocation Method:  
First-Come-First-Served Rule to Implicit Auction

杉本康太

東京財団政策研究所 博士研究員

([sugimoto@tkfd.or.jp](mailto:sugimoto@tkfd.or.jp))

# モチベーション

- 日本は震災後、様々な電力システム改革を実施してきた。
- 改革は成功か失敗か？
- 制度改革の因果効果を事後的に検証した研究は少ない。

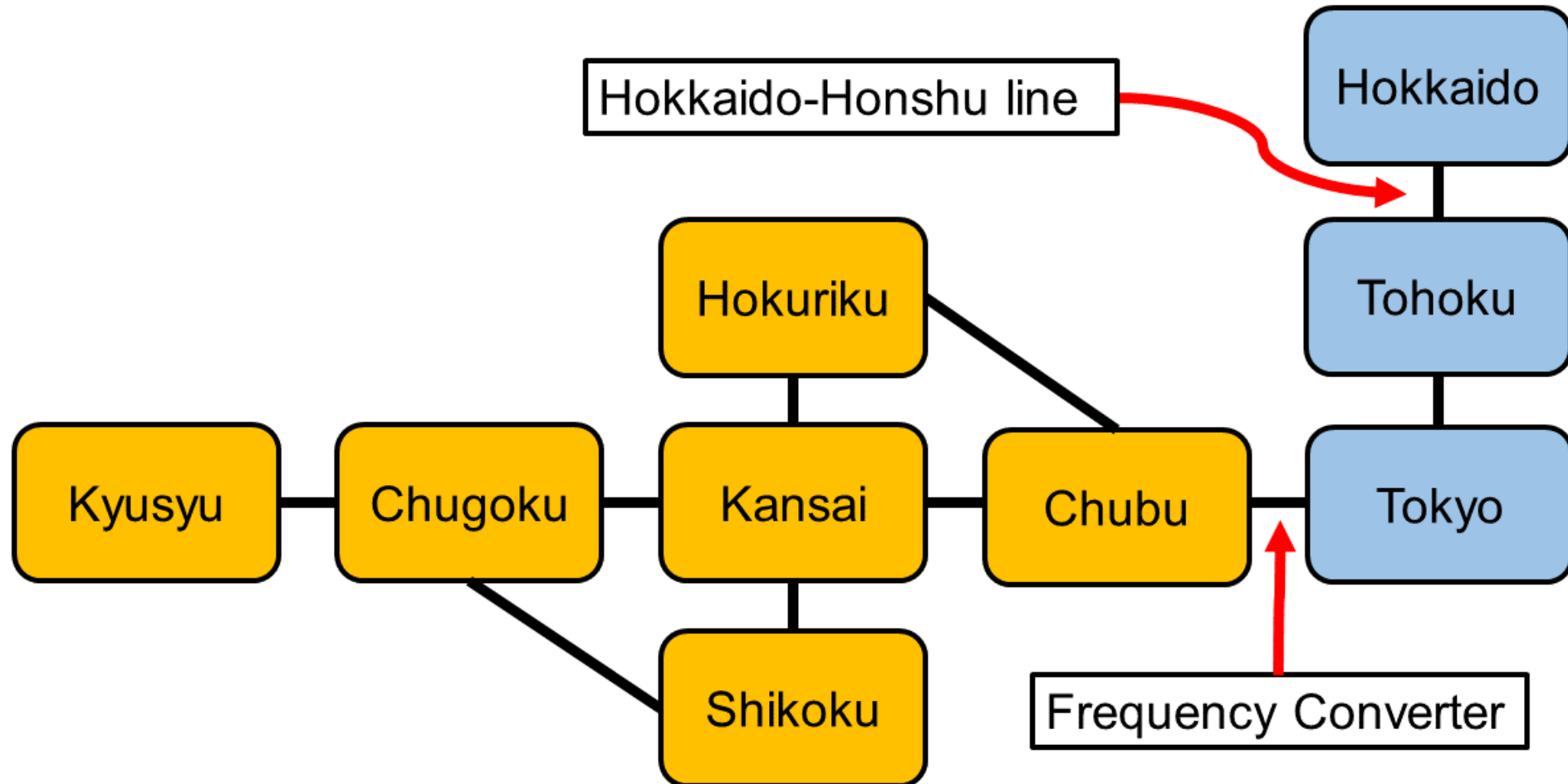
# イントロダクション

- 分析対象は、2018年10月1日から導入された、**間接オークション**

## 連系線利用ルールの機能

- 日本全体での**最小費用での電力供給**（広域メリットオーダー）
- エリア間の**需要と供給の一致を空間的に支える**
- **新規参入者と既存事業者の公平な競争環境の整備**

# 日本の9エリアと連系線



先着優先ルール

First-come-first-served (FCFS)

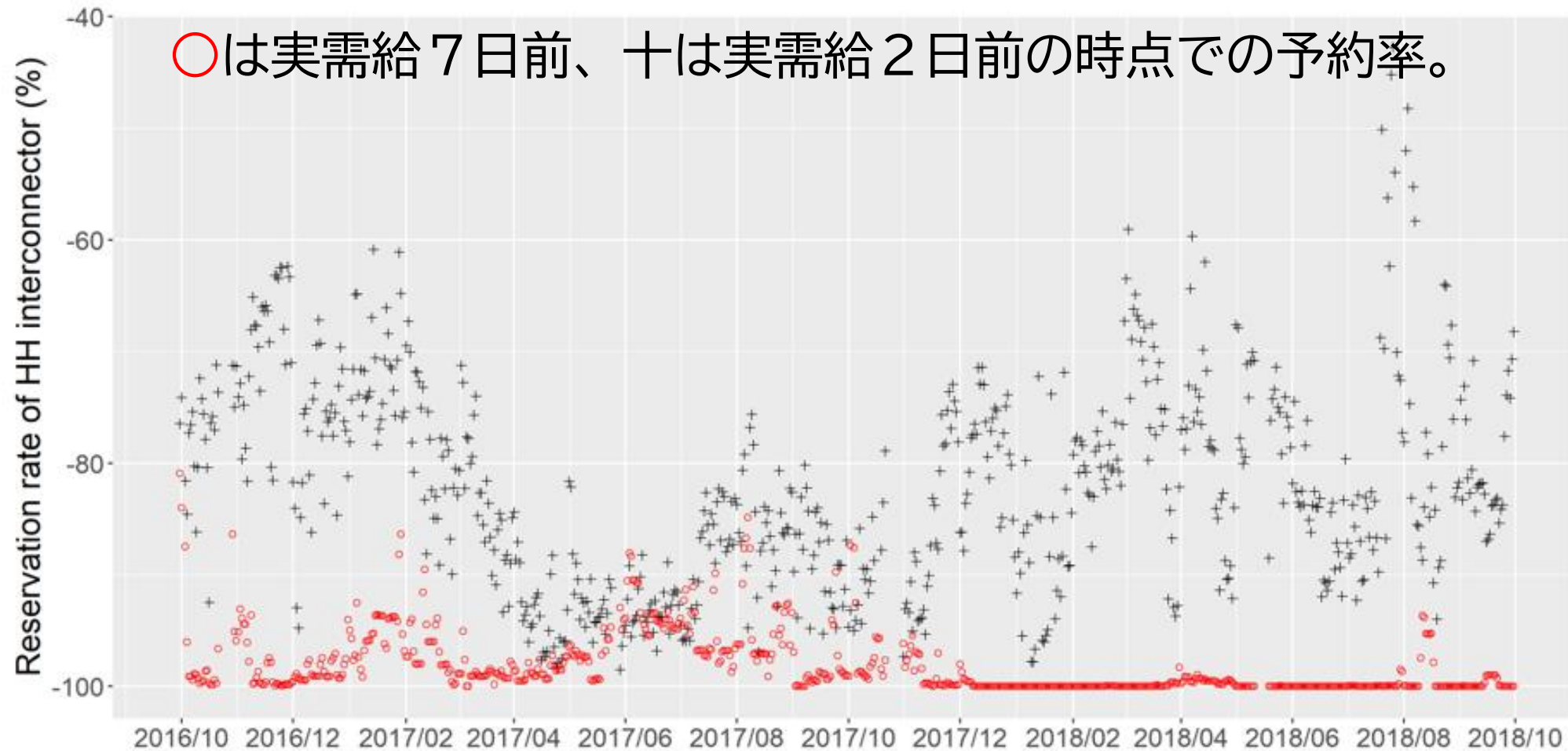
連系線の空き容量 (= 運用容量 - マージン)

先着順で  
予約された容量

前日市場 + 時間前市場で  
配分可能な容量

# 先着優先ルールの下では...

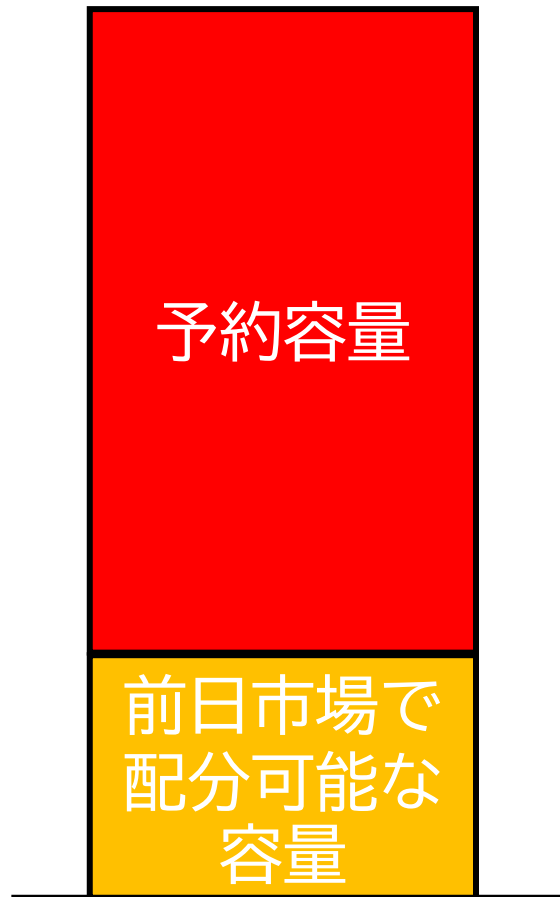
## 北本連系線の予約率



空き容量の大半が前日市場のゲートクローズ（前日午前10時）**以前**に予約されていた。

# 先着優先ルールで起きていたこと

前日 10時以前



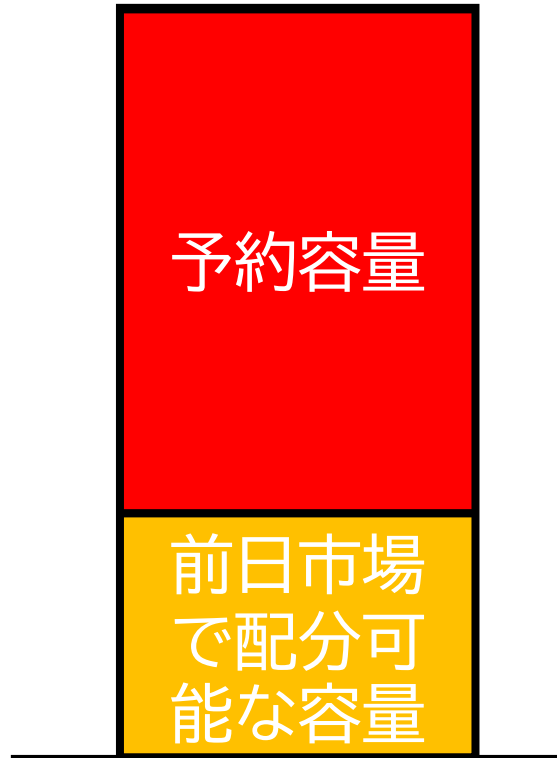
前日 10時～前日 17時



## 先着優先ルール (FCFS)

## 間接オークション(IA)

連系線の空き容量



2018/10/01~



連系線の空き容量



Q. 間接オークションの経済的な効果は何か？



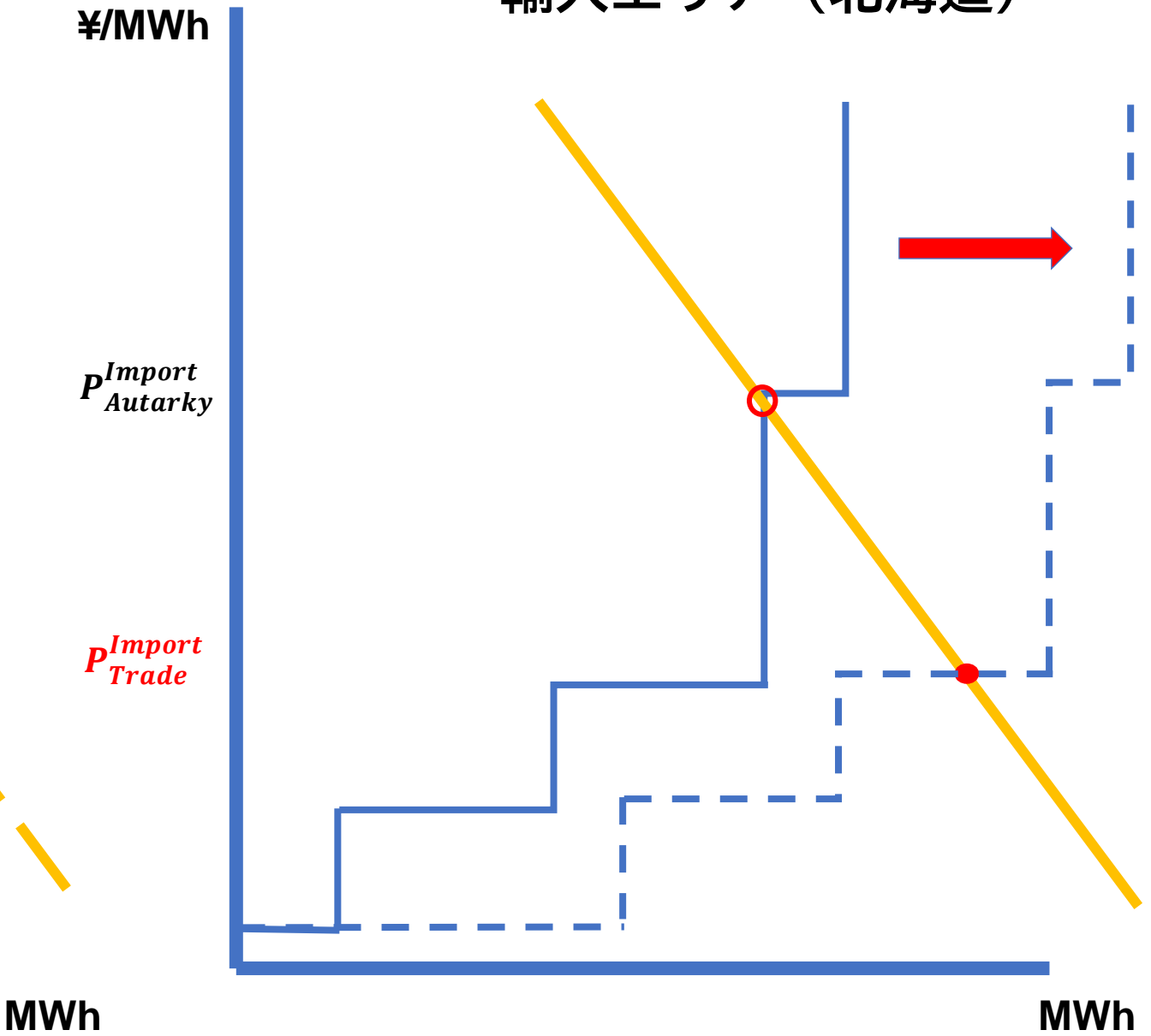
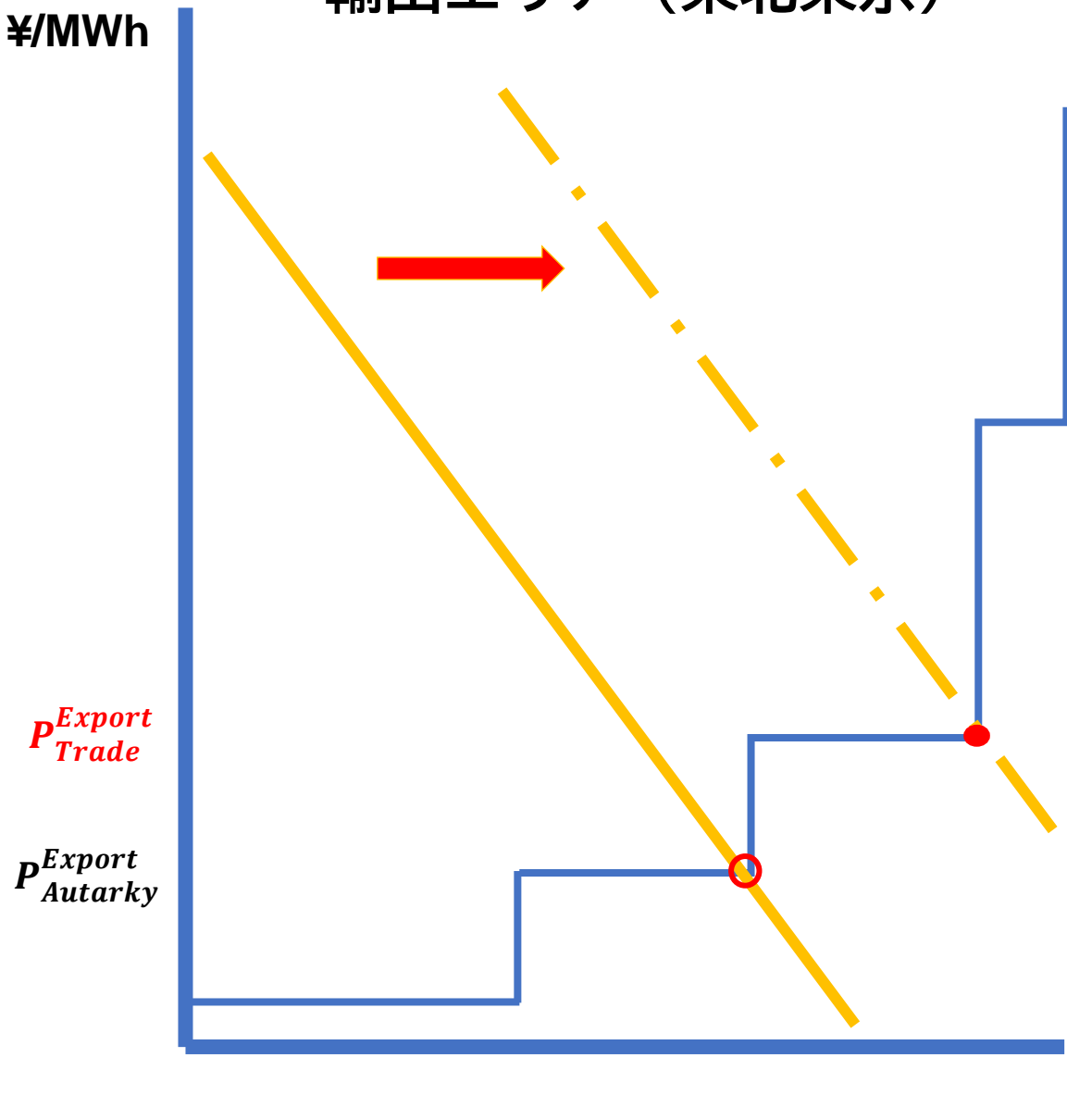
# 貿易効果

- 間接オークションによる、
- 前日市場でのエリアを越えた電気の輸出入（貿易）量の増加は、
- 輸入エリアと輸出エリア間の**前日市場の価格の差を減少させる。**
  
- なぜなら、
- 輸出エリアの限界費用の低い発電機が、追加的にエネルギーを生産し、連系線を通じて輸入エリアに送電し、
- 同時に、
- 輸入エリアの限界費用の高い発電機が、発電電力量を減らすため。

# 貿易効果

輸出エリア (東北東京)

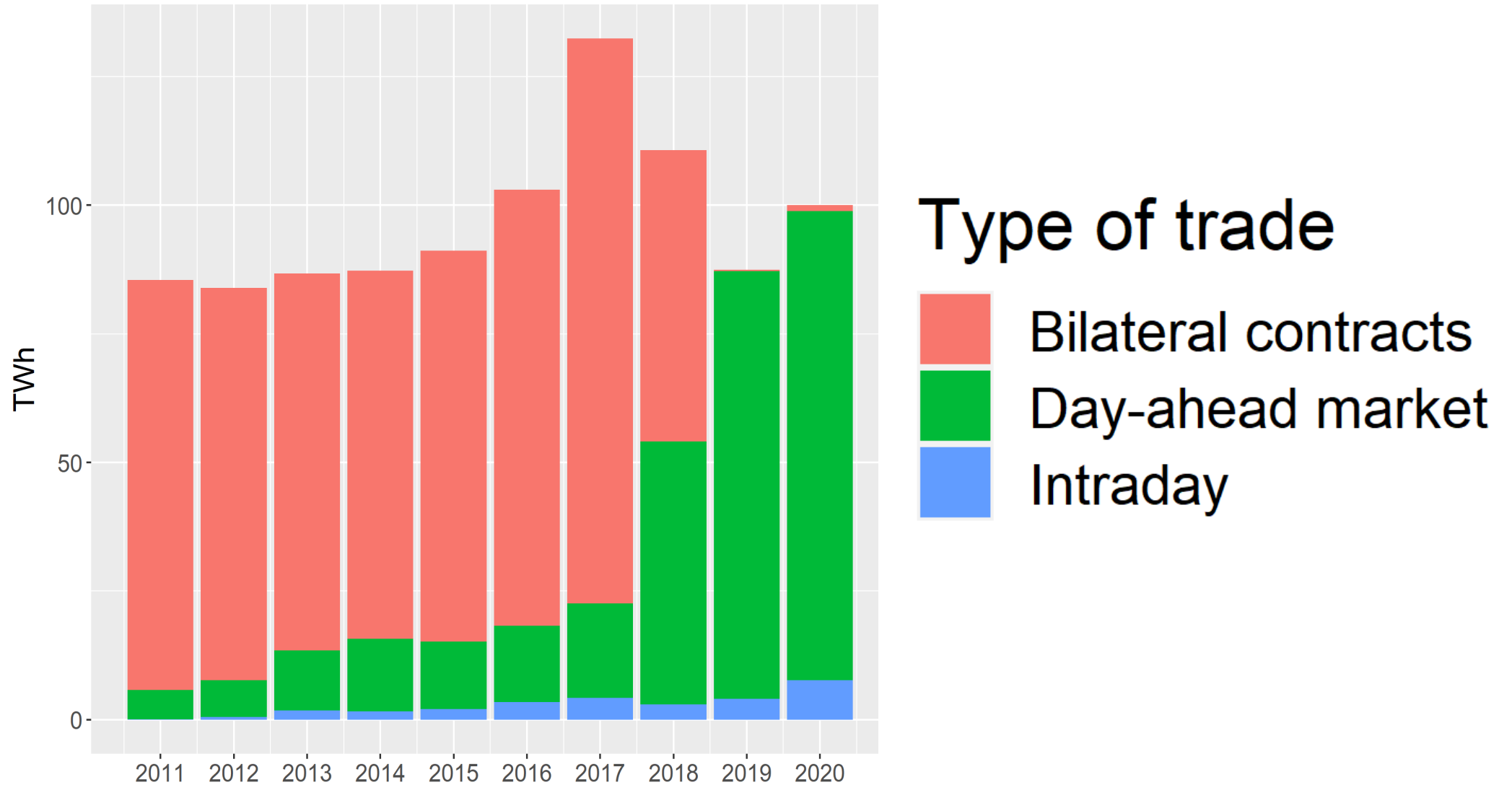
輸入エリア (北海道)



# 入札量効果

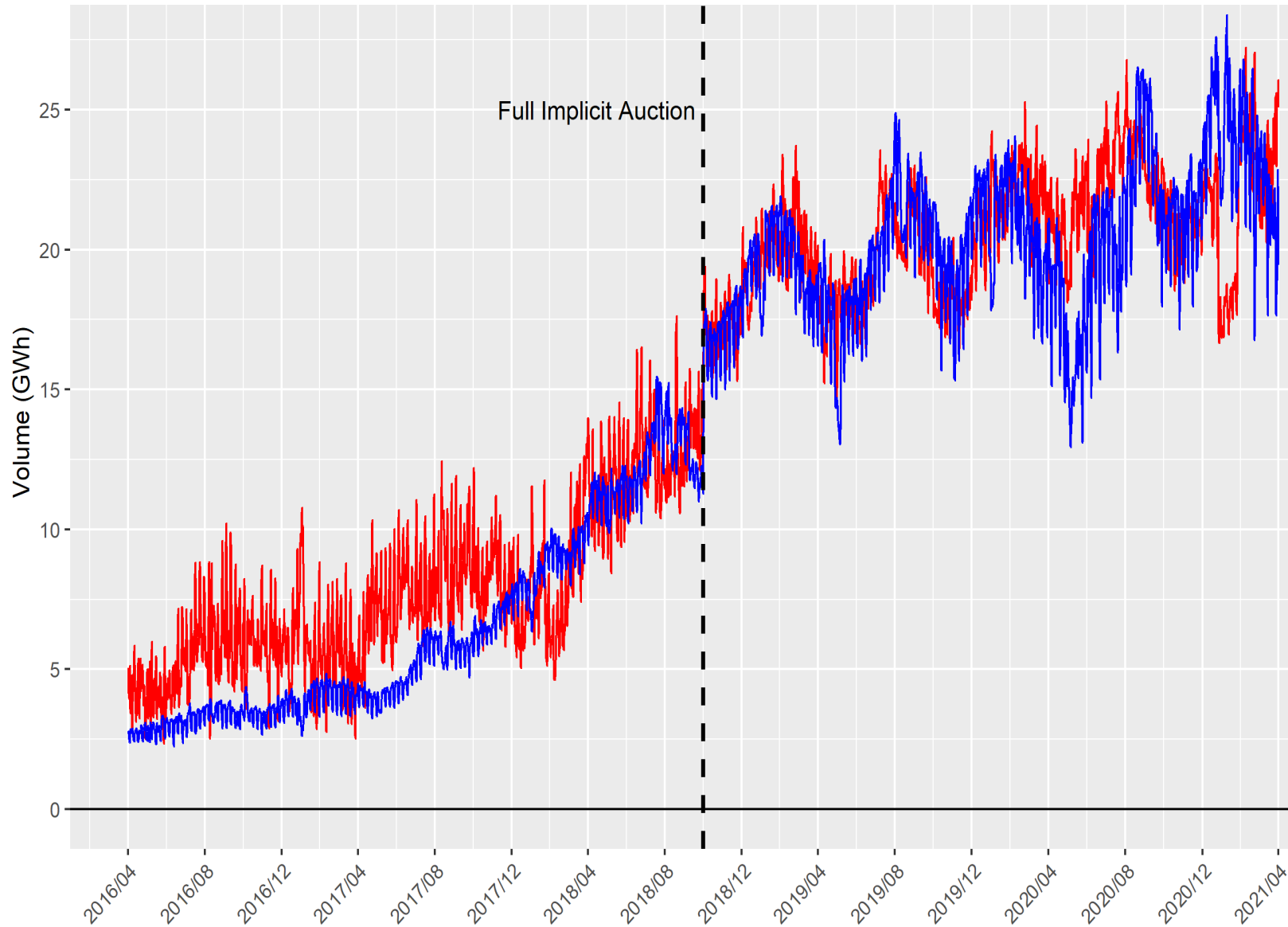
- 間接オークションは、連系線の事前予約を禁じることで、前日市場での入札量を増加させる。
- その結果、輸入エリアと輸出エリア間の前日市場の価格の差を増加させる。

# 連系線を流れる電気の量（取引の種類別）



先着優先ルールの下では、年間70～100TWh程度の電気が**相対契約**で連系線を流れていた。これは年間電力消費量の7～10%に相当する。

# 前日市場の**売り**・**買い**入札量



赤線は**売り**入札量、青線は**買い**入札量の日次移動平均値。

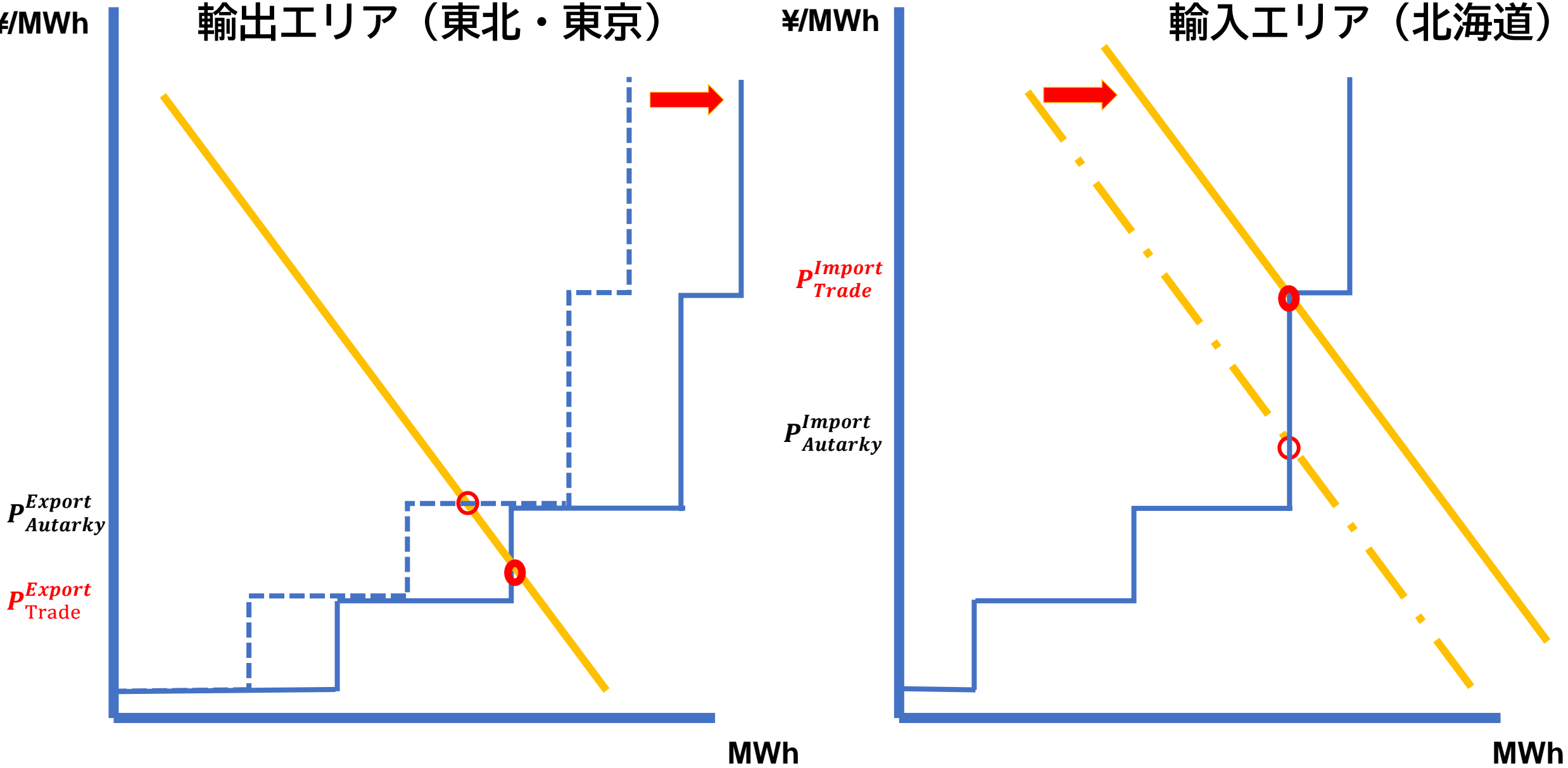
# 入札量効果

(⇒が北本の予約量)

輸出エリア (東北・東京)

¥/MWh

輸入エリア (北海道)



# 間接オークションの 経済効果

$$\Delta W = \frac{1}{2} \left\{ \left( P_{FCFS}^{import} - P_{FCFS}^{export} \right) + \left( P_{IA}^{import} - P_{IA}^{export} \right) \right\} * \left( Q_{IA} - Q_{FCFS} \right)$$

前日市場の価格

2018年10月以降の  
仮想的な市場価格の差 (線分DC) と貿易量  $Q_{FCFS}$  を推定する必要



$P_{FCFS}^{import}$

$P_{IA}^{import}$

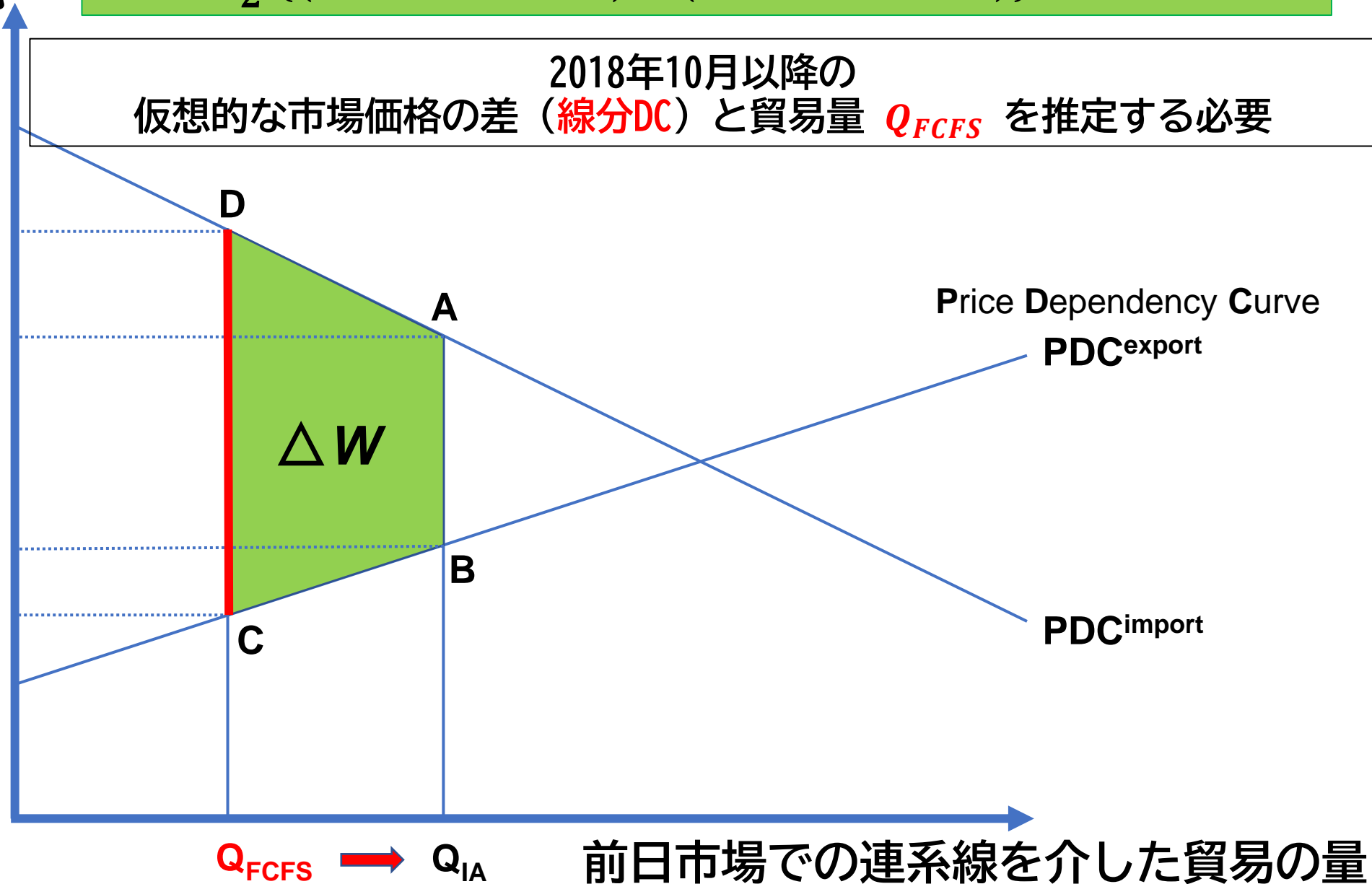
$P_{IA}^{export}$

$P_{FCFS}^{export}$



青：貿易効果

赤：入札量効果



# 2018年10月以降の仮想的な貿易量 $\hat{Q}_{FCFS}$ を推定

$$\hat{Q}_{FCFS} = \text{空き容量} - \text{予約量} \text{ if } \Delta\hat{p}_{DAM} \neq 0$$

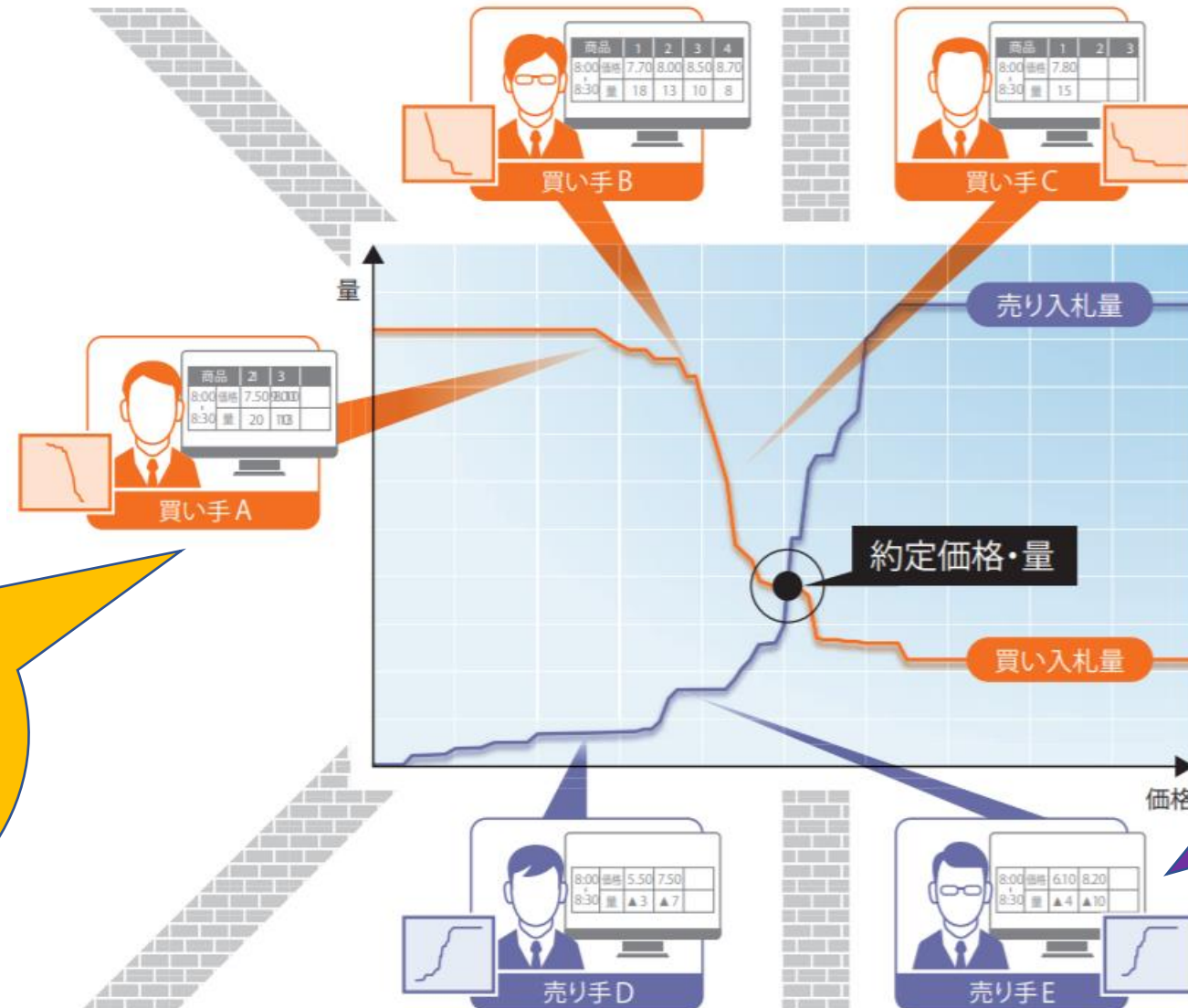
空き容量



前日市場で”市場分断”が発生するとき ( $\Delta\hat{p}_{DAM} \neq 0$ )、  
連系線の空き容量を全て使って貿易を行う



# 前日市場は、シングルプライス・オークション + 市場分断約定（やくじょう）方式



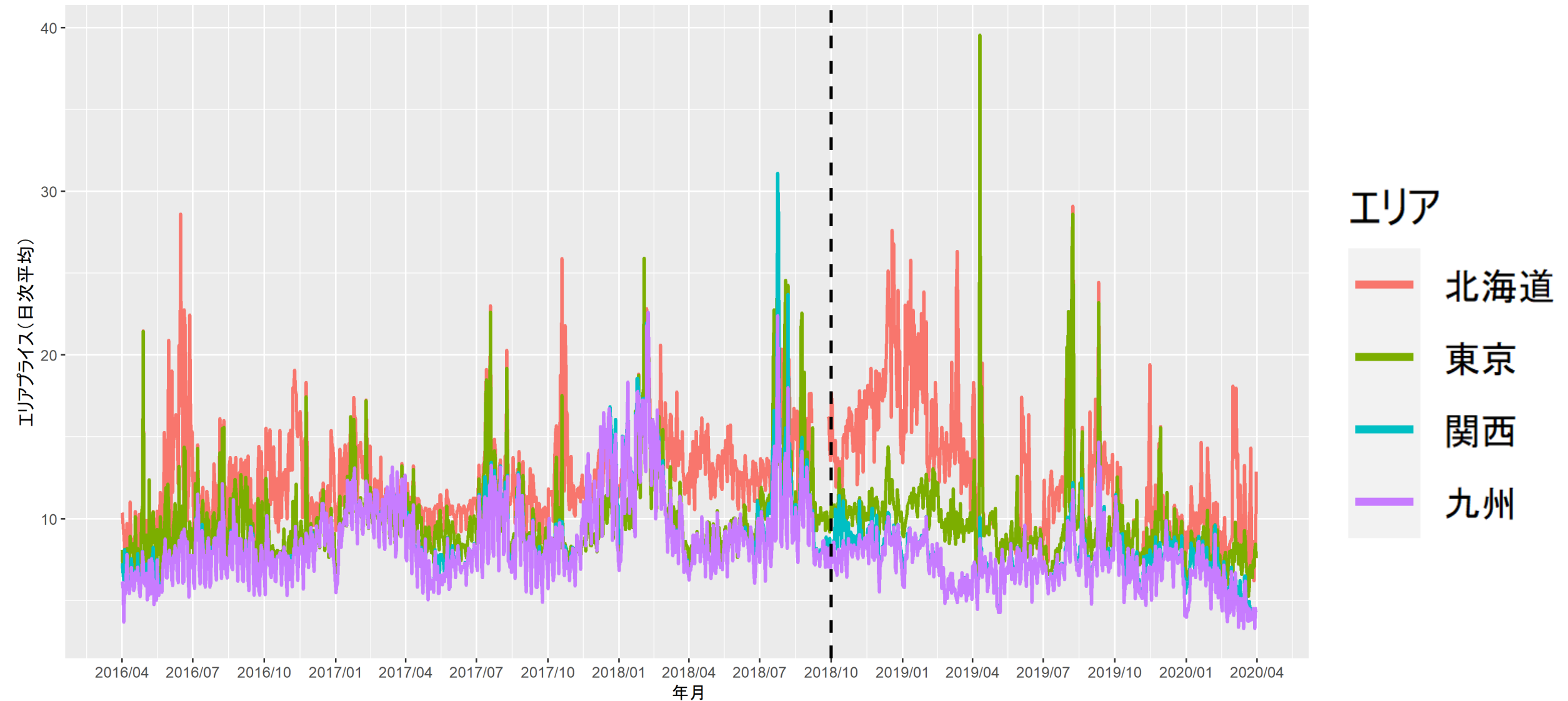
- ・ 買い入札価格
- ・ 買い入札量
- ・ 買うエリア

- ・ 売り入札価格
- ・ 売り入札量
- ・ 売るエリア

# (参考) 前日市場の約定の手順

- ① 日本全体でオークションを実施し、均衡点（システムプライスと総約定量）を求める。
- ② その際に各連系線を通る電気の方向と電力量を計算
- ③ もし①の電力量が各連系線の空き容量を超過しなければ、①の均衡点が最終的な約定価格・取引量になる。
- ③' もし①の電力量が各連系線の空き容量を超過した場合、①を取り消し、その連系線を境に市場を分断して、ミニ市場ごとにオークションをやり直し、ミニ市場ごとに異なる均衡点（エリアプライス・約定量）を決定する。

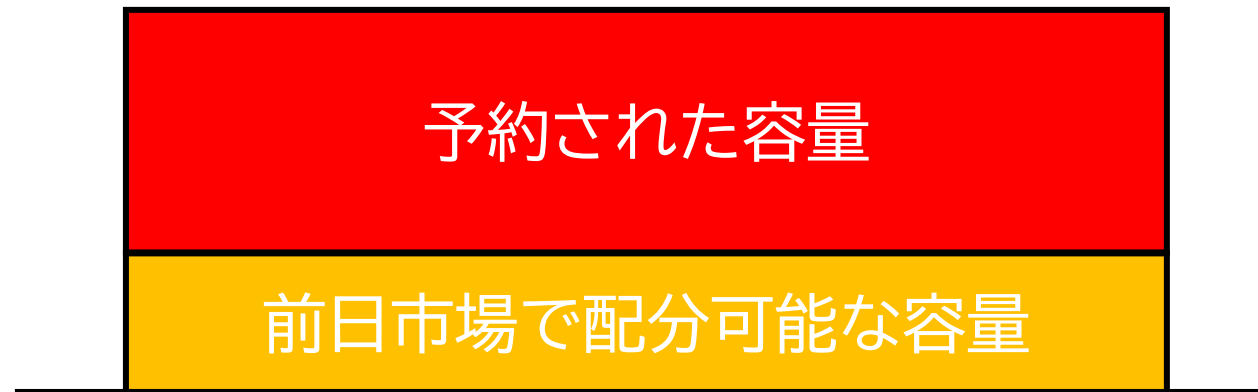
# エリア別市場価格の乖離＝市場分断が発生している



北海道 > 東北・東京 > 西日本のとき、北本とFCで分断

# 2018年10月以降の仮想的な北本の貿易量 $\hat{Q}_{FCFS}$ を推定

$$\hat{Q}_{FCFS} = \text{空き容量} - \text{予約量} \text{ if } \Delta\hat{p}_{DAM} \neq 0$$



前日市場で市場分断が発生するとき（ $\Delta\hat{p}_{DAM} \neq 0$ ）、  
前日市場は連系線の空き容量を全て使って貿易を行う

まずは仮想的な予約量と、市場分断の有無・方向を求める

# 仮想的な北本の予約量の推定

- 2018年10月以前のデータを、訓練データとテストデータに8:2の比で分割し、
- 訓練データを用いて、2018年10月以前の連系線の予約量を推定:

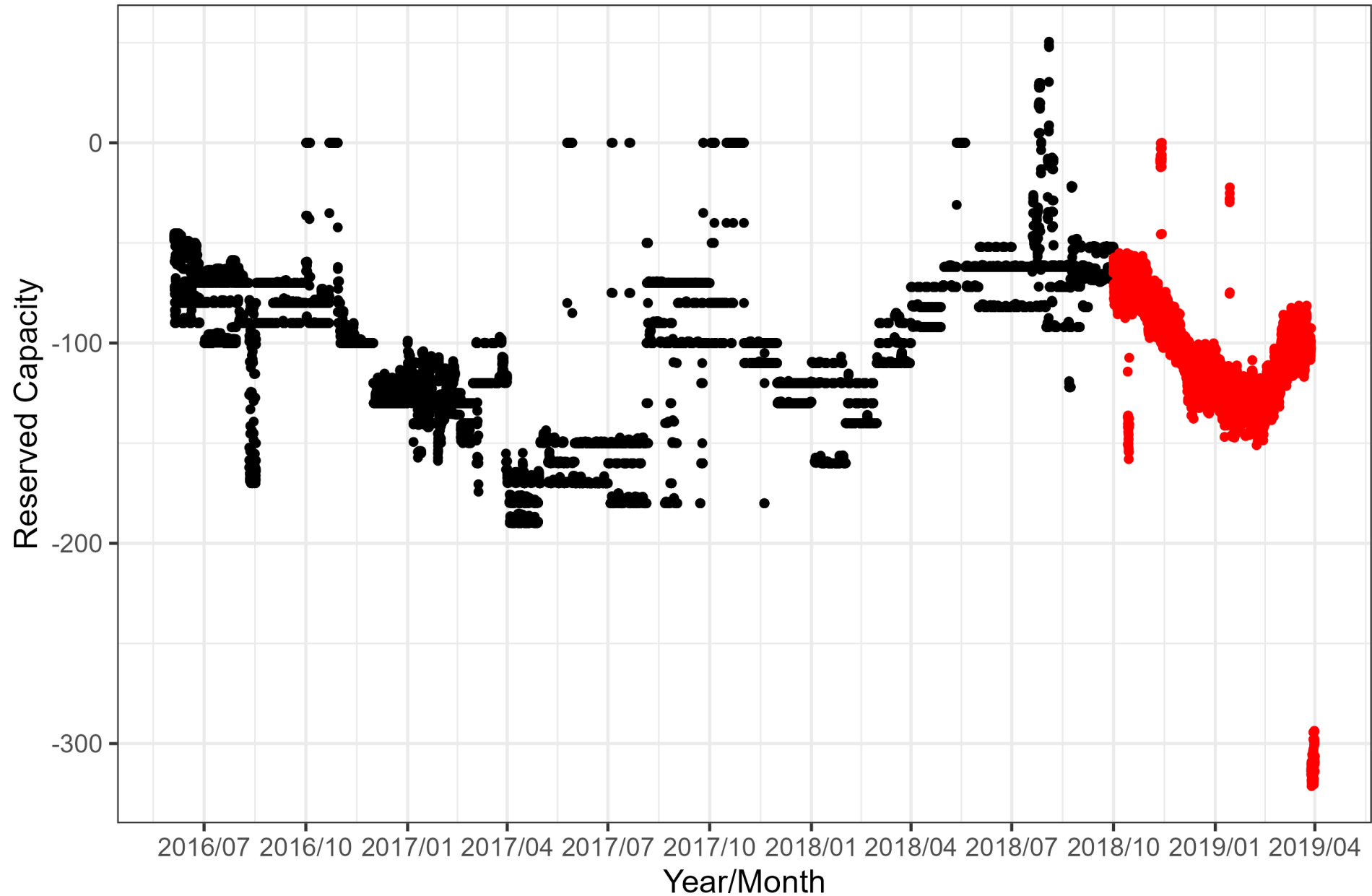
$$q_{reserve,t}^{pre} = \alpha_0 + \beta_1 \text{空き容量} + Time FE_t + e_t$$

- 推定したモデルに、テストデータを代入して予測誤差 (MSE) を計算

	(1)	(2)	(3)	(4)
モデル	線形回帰	LASSO	Random Forest	Neural Network
Mean Square Error	<b>375</b>	<b>377</b>	<b>426</b>	<b>408</b>

- 線形回帰を用いて、2018年10月以降の仮想的な**予約量**を予測

# 仮想的な北本連系線の予約量



# 仮想的な市場分断の有無・方向の推定

- 2018年10月以前のデータを、訓練データとテストデータに8:2の比で分割し、
- 訓練データを用いて、2018年10月以前の市場分断の発生確率モデルを推定:

$$P_t = \alpha_0 + \beta_1 \text{空き容量} + \beta_2 \text{予約量} + \beta_3 \text{需給要因} + \text{Time FE}_t + e_t$$

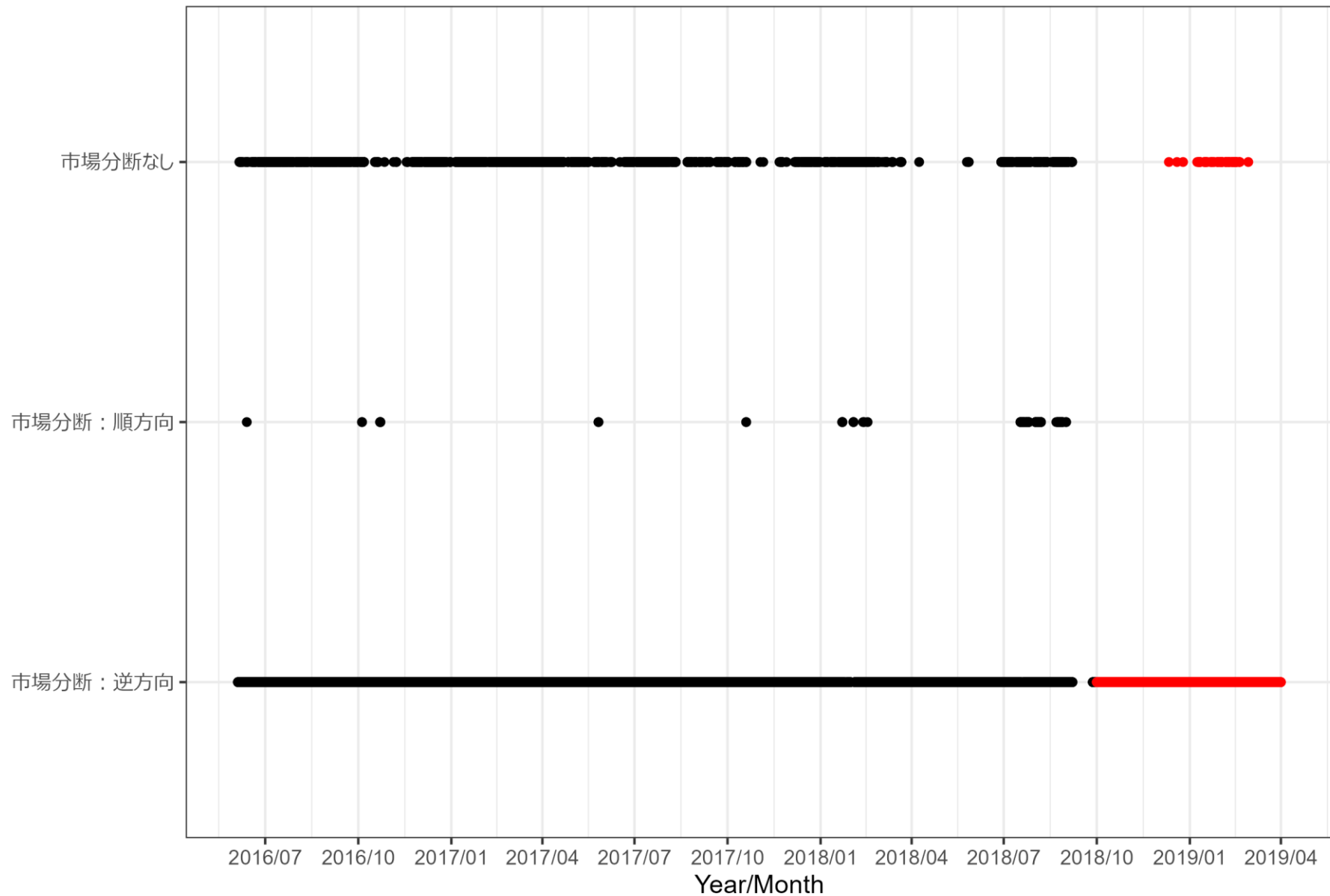
$$P_t = \{\text{市場分断なし、順方向に市場分断、逆方向に市場分断}\}$$

- 推定したモデルに、テストデータを代入して正解率 (Accuracy) を計算

	(1)	(2)	(3)
モデル	多項ロジット	Random Forest	Deep Neural Network
Accuracy	84.04%	86.53%	86.43%

- RFを用いて、2018年10月以降の仮想的な市場分断の発生の有無・方向を予測

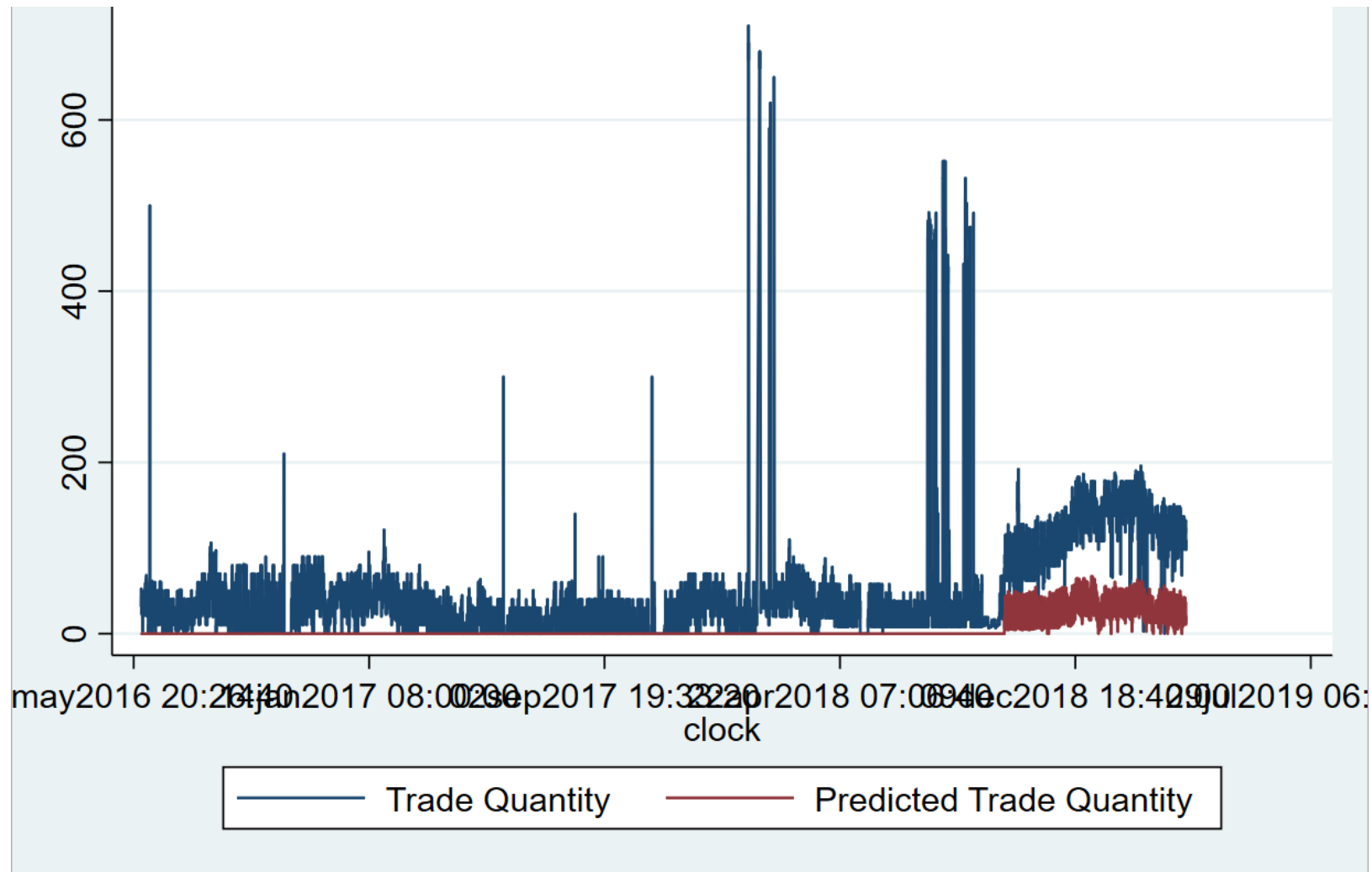
# 仮想的な北本の市場分断の有無・方向





# 2018年10月以降の仮想的な北本の貿易量 $\hat{Q}_{FCFS}$ を推定

$$\hat{Q}_{FCFS} = \text{空き容量} - \text{予約量} \text{ if } \Delta \hat{p}_{DAM} \neq 0$$



# 間接オークションの 経済効果

$$\Delta W = \frac{1}{2} \left\{ \left( P_{FCFS}^{import} - P_{FCFS}^{export} \right) + \left( P_{IA}^{import} - P_{IA}^{export} \right) \right\} * \left( Q_{IA} - Q_{FCFS} \right)$$

前日市場の価格

2018年10月以降の  
仮想的な市場価格の差 (線分DC) と貿易量  $Q_{FCFS}$  を推定する必要



$P_{FCFS}^{import}$

$P_{IA}^{import}$

$P_{IA}^{export}$

$P_{FCFS}^{export}$

Price Dependency Curve  
 $PDC^{export}$

$PDC^{import}$

$\Delta W$

青：貿易効果

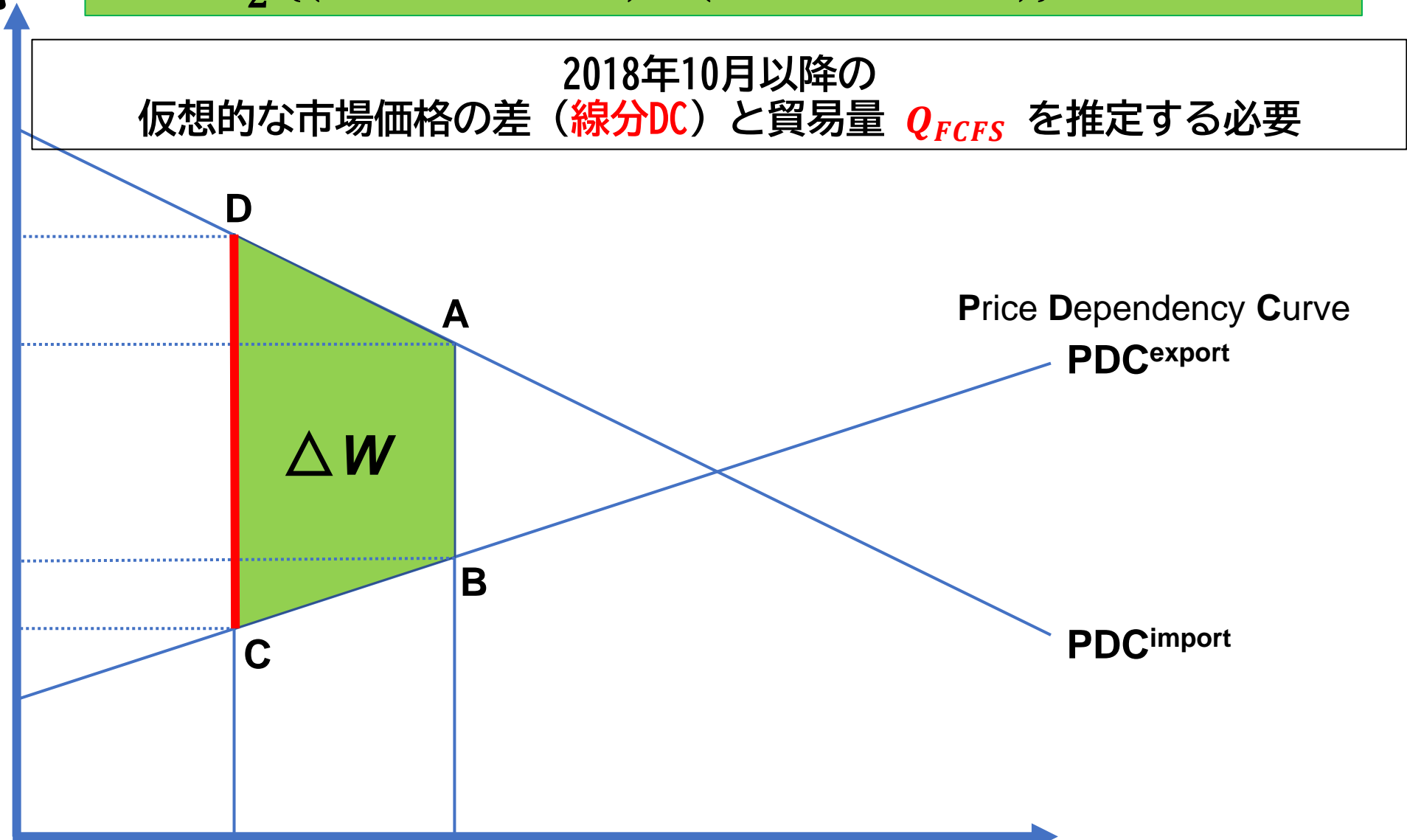
赤：入札量効果

$Q_{FCFS}$



$Q_{IA}$

前日市場での連系線を介した貿易の量



# 2018年10月以降の仮想的な市場価格の差の推定

$$\Delta p_{DA,t} = \alpha_0 + \beta_1 q_{DA,t} + \beta_2 q_{bid@import} + \beta_3 Supply_t + \beta_4 Demand_t + FE_t + \varepsilon_t$$

- $\beta_1$ は貿易効果、 $\beta_2$ は入札量効果を示す。
- このモデルを推定し、先ほど求めた仮想的な貿易量 $\hat{Q}_{FCFS}$ を代入することで、仮想的なエリア間の市場価格の差を求めることができる。

# 2018年10月以降の仮想的な市場価格の差の推定

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$\beta_1$ : 貿易効果	-0.03***	-0.03***	-0.03***	-0.03***	-0.03***
se	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004
$\beta_2$ : 入札量効果	0.12***	0.12***	0.11***	0.10***	0.10***
se	0.12	0.012	0.12	0.12	0.23
Month $\times$ Year FE	No	Yes	No	Yes	Yes
Hour $\times$ Month FE	No	No	Yes	Yes	No
Hour $\times$ Year-Month FE	No	No	No	No	Yes

標準誤差は日レベルでクラスタリング。\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

# 間接オークションの経済効果

$$\sum_t^T \Delta W = \frac{1}{2} \left\{ \left( P_{FCFS}^{import} - P_{FCFS}^{export} \right) + \left( P_{IA}^{import} - P_{IA}^{export} \right) \right\} * (Q_{IA} - Q_{FCFS})$$

t = 2018/10/01 0時.    T = 2019/03/28 15時.

北本連系線の運用容量は、2019年3月28日15時に増強されたため、経済効果の計算は、その手前までの約6か月間。

連系線	北本	FC
経済効果 (億円/ 6か月)	25.9	(分析中)

# 結論

- 間接オークションは、連系線の事前予約を禁じることで、前日市場でのエリア間の貿易量と入札量を増加させる。
- この制度改革による経済効果（発電費用の削減効果）は、
- 実施から約6か月間で、北本で25.9 億円、FCで？ 億円。
- 年間換算では計51.8 + $\alpha$  億円。
- 間接オークションという制度改革の費用対効果は高かったと考えられる。