

2016年11月21日（月）

第26回東京大学エネルギー工学連携研究センターシンポジウム「エネルギー需要を科学する」

JST CREST「エネルギー消費のデマンドレスポンスの行動経済学的研究」

スマートグリッド・エコノミクス

フィールド実験・人間心理・ビッグデータ
が切り拓くエビデンス・ベースド・ポリシー

京都大学大学院経済学研究科

副研究科長・教授

依田 高典

何がわかっていて何がわかっていないのか これから何が明らかにされるべきか

デマンドレスポンスの神話

神話1 消費者はダイナミック・プライシングに反応しない

神話2 デマンド・レスポンスはダイナミック・プライシングに応じて変化しない

神話3 デマンド・レスポンスは情報提供・補助技術に応じて変化しない

神話4 デマンド・レスポンスは持続しない

神話5 低所得者はダイナミック・プライシングによって損をする。

Faruqui, A. and Palmer, J. (2011) “Dynamic Pricing and its Discontents,” Regulation 34.3: 16-22.

エビデンス・ベースド・ポリシーによる回答

こうした神話に対して、フィールド実験と呼ばれる最強の方法を用いて、全ての神話に対して、以下、科学的に回答する。

電力のフィールド実験

—エビデンス・ベースド・ポリシー目指して—

東日本大震災後の電力危機

震災後の電力危機

- 福島第一原発の事故
- 東電管内2千万kW電力脱落
- 夏冬の電力危機と節電要請
- デマンドレスポンスの必要性

震災後の電力改革

- 原子力発電依存度を下げる
- 再生可能エネルギーを上げる
- 電力産業を構造改革する
- スマートグリッドを入れる

2011.03.11東日本大震災



<https://ja.wikipedia.org/wiki/東日本大震災>



http://gigazine.net/news/20110412_fukushima_daiichi_nuclear_accident/

電力システム改革の必要性

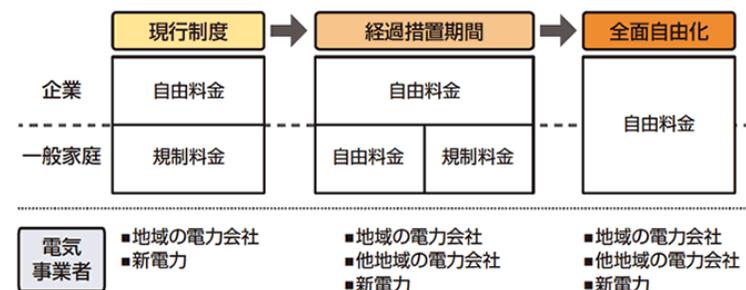
震災前の電力産業

- 発電送配電、莫大な固定費用
- 9地域独占による公的規制
- 緩やかで確実な規制改革
- 7割の大口市場を部分自由化

震災後の電力改革

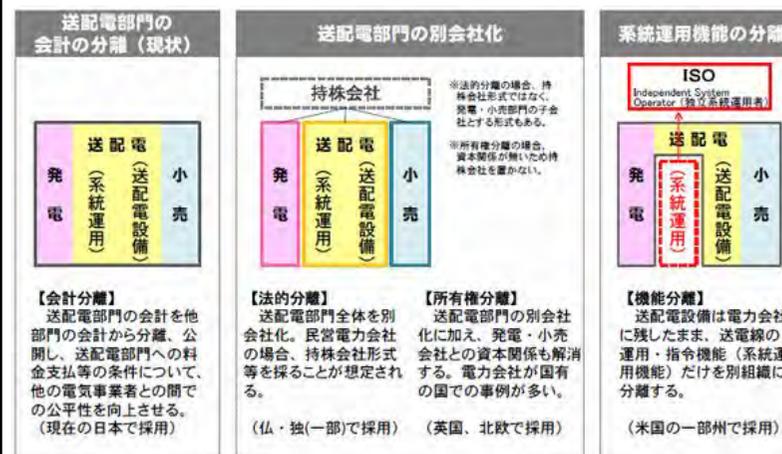
- 2015年全国規模の需給調整
- 2016年小売全面自由化
- 2020年送配電部門中立化
- さらに料金規制の撤廃も

2016年小売全面自由化



<http://sgforum.impress.co.jp/article/200>

2020年送配電分離(法的分離)



<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1302/12/news023.html>

デマンドレスポンスを活かす

4地域スマートコミュニティ

● 経産省社会実証プロジェクト
横浜・豊田・京都・北九州の4都市

● スマートメーター

● HEMSの見える化

デマンドレスポンスで節電

● 震災後の電力不足を補う

● 情報や価格に需要応答

● 時間帯別電力消費量見える化

● 変動型電気料金を活用

4地域スマートコミュニティ

けいはんな

- ・ 電力会社リソースを活用
- ・ 行き届いた地域調査
- ・ 斬新な省エネコンサル
- ・ オール電化世帯中心
- ・ ガス併給世帯への拡張
- ・ エコ・ポイントとダイナミック・プライシングの差別化

横浜市

- ・ 規模の大きさが魅力
- ・ PV設置と非設置の比較
- ・ 多種多様なダイナミック・プライシングのDR
- ・ ADRアップグレード
- ・ PV非設置サンプルの確保
- ・ EV社会実証との連携

北九州市

- ・ 熱意溢れる地域一帯の取組
- ・ 現金を用いたダイナミック・プライシング
- ・ スマートフォンの活用
- ・ 地域型インセンティブの活用
- ・ サンプル数が限られる
- ・ 既に十分高効率世帯対象

豊田市

- ・ 世界一の社会実証技術
- ・ 最高級スマートホーム
- ・ EV/PHEV家庭充電が中核
- ・ ADRアップグレード
- ・ サンプル数が少ない
- ・ EV/PHEV家庭充電がランダム化されない

HEMS見える化



ランダム型フィールド実験

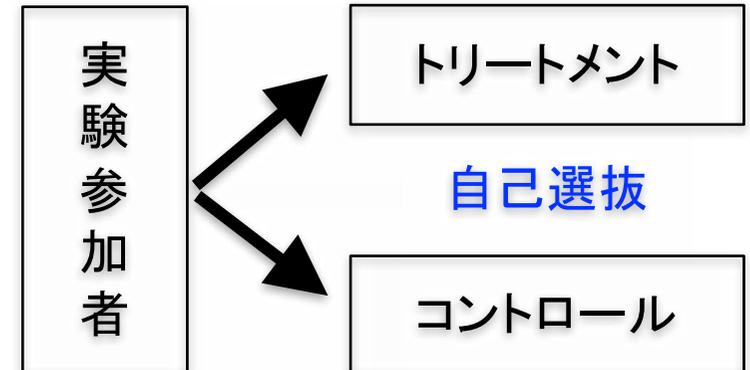
エビデンス重視の政策

- エビデンスが不足する日本
- ビフォーアフター比較はNG
- 自己選抜バイアスが問題
- フィールド実験革命

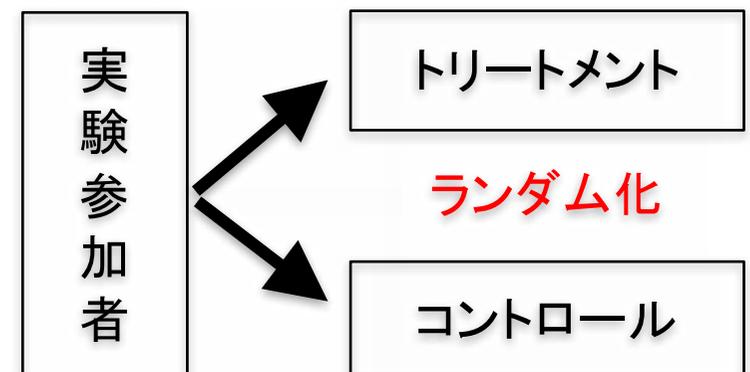
ランダム型フィールド実験

- ランダムに介入する
- 日本最初の大規模実験
- ビッグデータを活用
- 行動経済学が活躍

自己選抜は駄目



ランダム化が最強



北九州市の教訓
電力需要は価格に反応するか
—変動型ピーク価格—

先行する米国、追う日本

米国の経験

- 過去100を超える実証実験
- オバマ政権 11の実験
- 時間帯別TOU 10%節電
- ピーク型CPP 20%節電

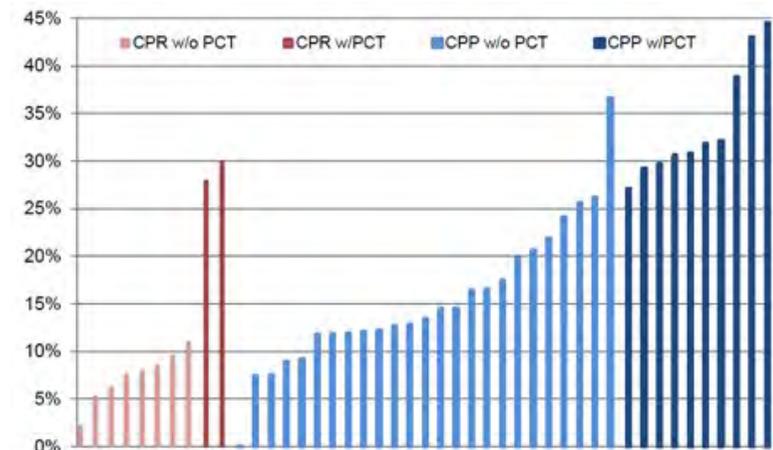
日本の挑戦

- 電気は価格非弾力的か？
- 価格弾力性は0.1前後
- 数値は小さいが統計的有意
- 手動から自動化(ADR)へ

グリーンニューディール



米国の節電効果



大胆な変動料金V-CPP

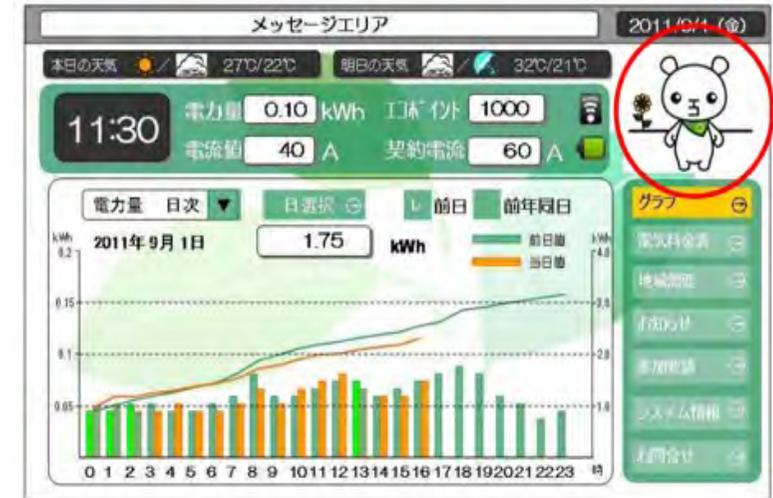
北九州の変動電気料金

- 日本最初の本格的実験
- 200世帯の省エネマンション
- ディスプレーの見える化
- 新旧料金間の収入中立性

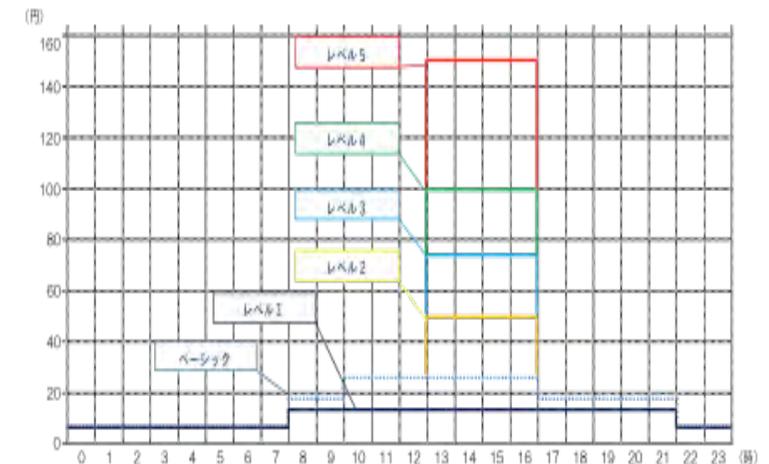
世界初の本格的V-CPP

- 世界初の4レベルのV-CPP
- 2012夏冬・2013夏
- 50/75/100/150円/kWh
- 4×12=48日のイベント日

HEMS画面



北九州型V-CPP



2年間の節電効果

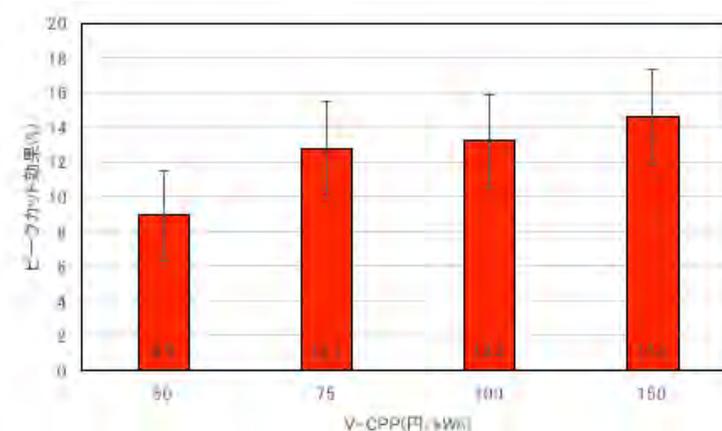
2012年夏の節電効果

- 50～150円まで高まる効果
- 節電効果 9～15%
- ベースTOU 約5%底上げ
- 価格弾力性 0.1弱

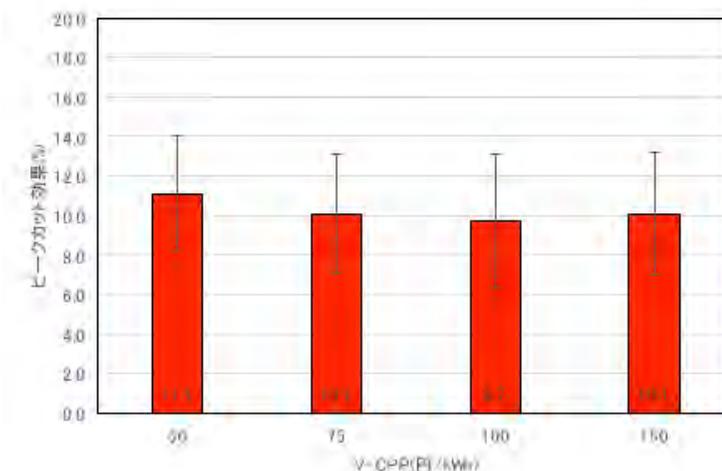
2013年夏の節電効果

- 節電効果 10%を維持
- デマンドレスポンスには反応
- 価格レベル反応 消える
- 2012-13年冬も同様の傾向

2012年夏



2013年夏



家計支出への効果

家計支出への効果

- 月間5800円から5100円へ
- 電気代削減率 約12%
- 発動回数40回効果 約6%
- 純粹な節電効果 約6%

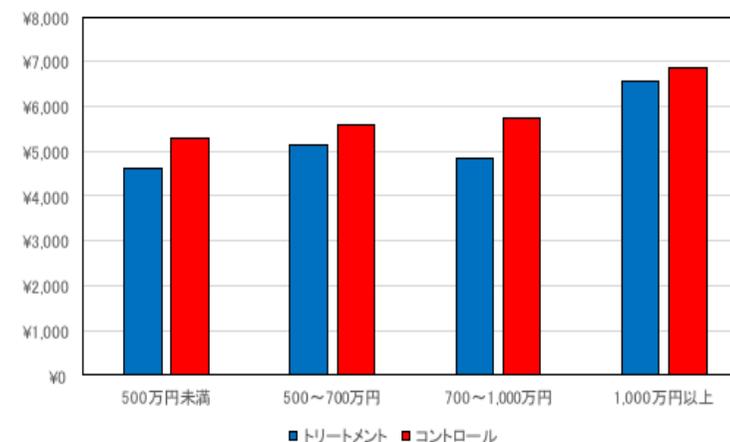
所得階層別効果

- 所得逆進効果 顕著ではない
- 所得500万円でも電気代節約
- 所得1000万円は節約限定的
- 家計にも社会にもプラス

2012年夏の家計への効果

	TOU	V-OPP	
トリートメント・グループ	¥5,685	¥5,091	¥594
コントロール・グループ	¥5,775	¥5,411	¥364
	¥90	¥320	

所得階層への効果



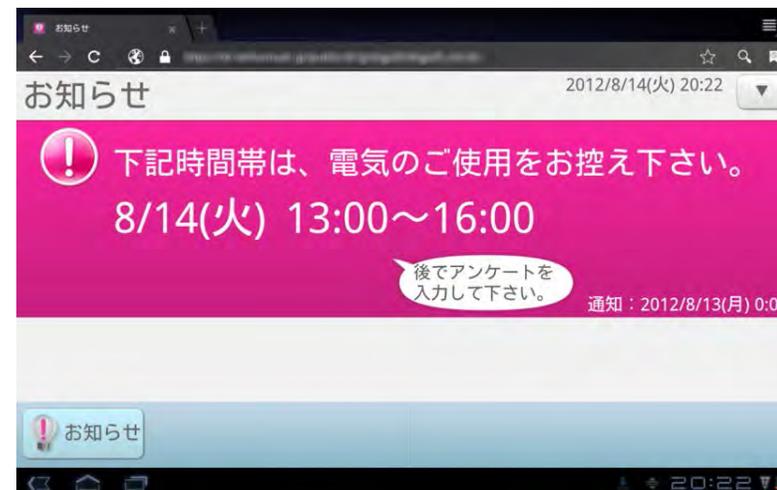
けいはんなの教訓
節電要請 対 変動価格
—馴化・脱馴化・習慣形成—

節電要請か変動料金か

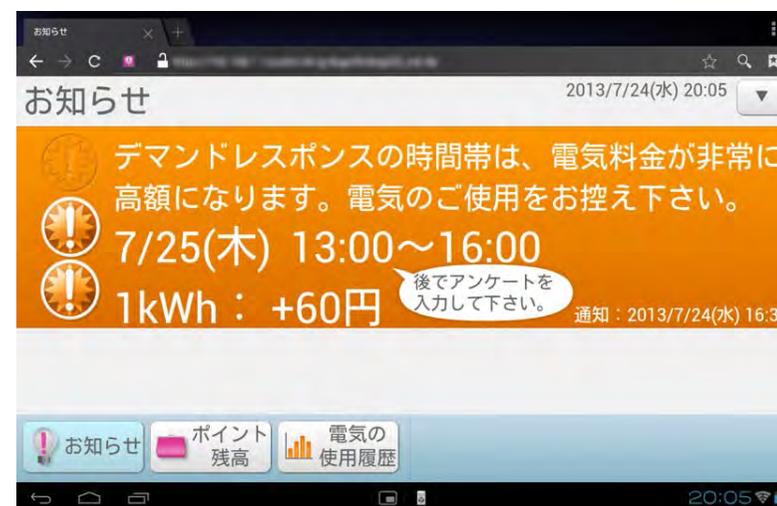
京都府地域実証

- けいはんな学研都市
 - 4万世帯中、7百世帯参加
 - 2012年夏・2013年冬
 - 夏15日・冬21日の節電
- デマンドレスポンスで節電
- 節電要請トリートメント
人間の**内的動機**に訴える
 - 変動料金トリートメント
人間の**外的動機**に訴える

節電要請



変動電気料金



節電効果ありやなしや

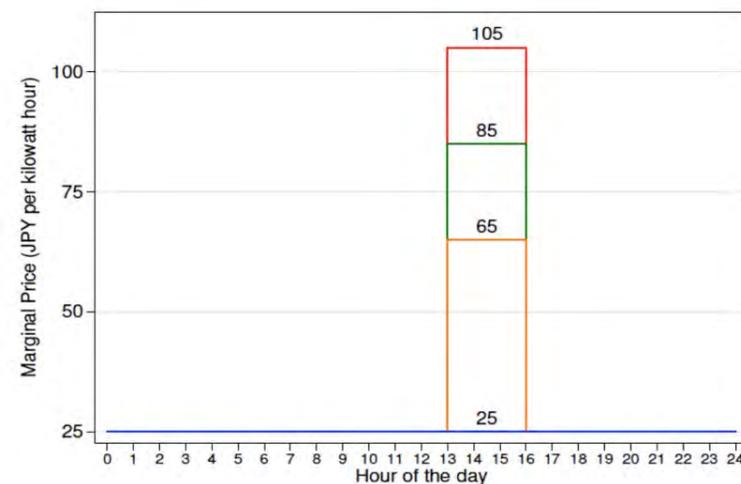
3レベル変動型電気料金

- 通常時25円
- ピーク時、電気料金引き上げ
- 65円・85円・105円
- オフピーク時は値下げ可能

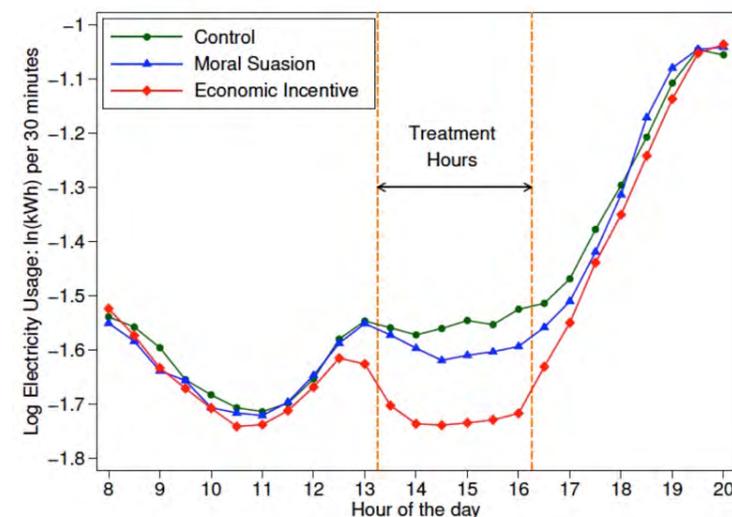
節電効果のグラフ化

- 節電要請トリートメント
約3%の節電効果
- 変動料金トリートメント
約15~20%の節電効果

3レベル変動型電気料金



節電効果グラフ



持続効果と生活習慣化

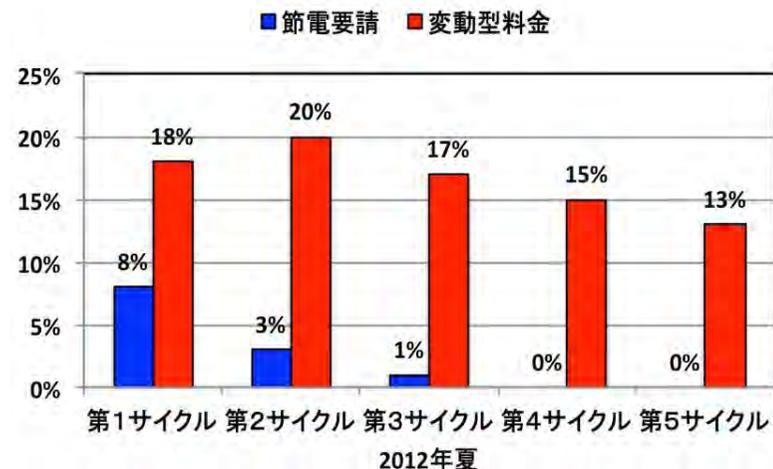
実験期間中の持続効果

- 節電要請 最初は8%すぐ消失
- 節電要請 最初のみ有効(馴化)
- 季節を改めると効果は戻る(脱馴化)
- 変動料金 最後まで効果が持続
- 変動料金 長期間安定して有効

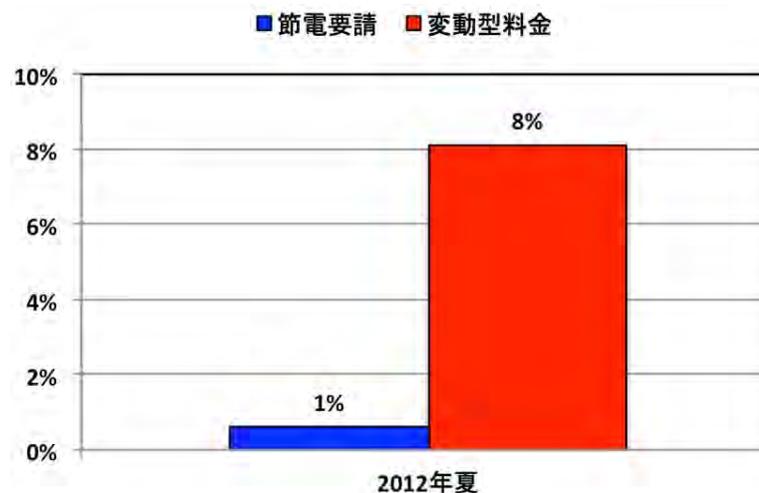
実験終了後の生活習慣化

- 節電要請 節電習慣は残らない
- 節電要請 行動変容までさせない
- 変動料金 8%の節電習慣が残る
- 変動料金 行動変容を誘導する

実験期間中の持続効果



実験終了後の生活習慣化



電力政策の効果と含意

● 夏3日間の短期効果試算

節電要請 11億円

変動料金 17億円(65円の場合)

● 夏15日間の長期効果試算

節電要請 24億円

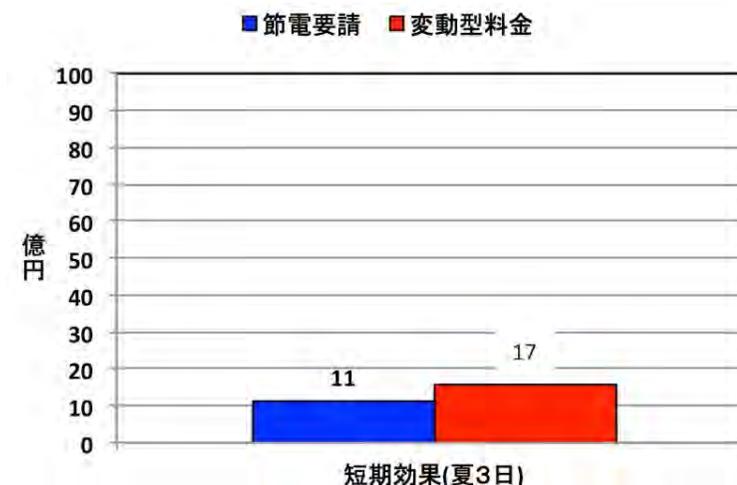
変動料金 77億円(65円の場合)

短期では違わないが、長期では違う
長期投資も考えれば1000億円の効果

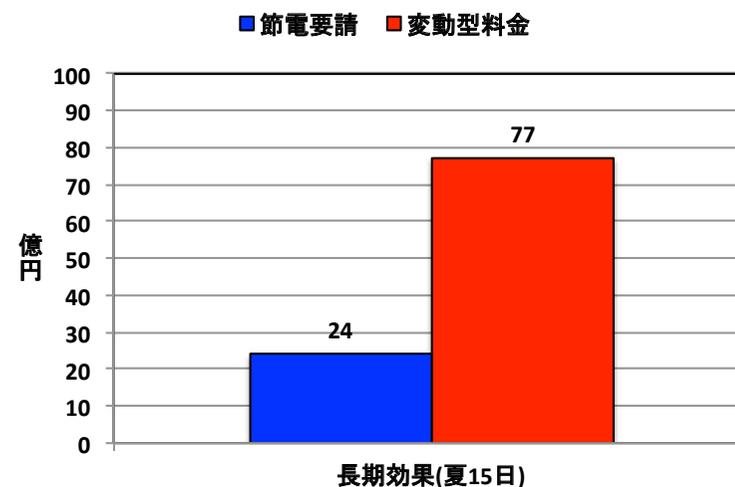
● 電力政策への含意

20%の節電に、10%の電気代節約
社会にも家計にも優しい経済効果

夏3日間の短期効果



夏15日間の長期効果



横浜市の教訓

オプトイン 対 節電効果

—オプトイン・シャドービル・インセンティブ—

デマンドレスポンスの社会実装化

デマンドレスポンスの蹉跌

- 家計にも社会にも優しいデマンドレスポンス
- 米国実験ではオプトイン方式20%、オプトアウト方式90%の加入率
- 消費者の情報摩擦・心理的慣性がオプトインを邪魔をする

横浜市社会実装化実験

- 現実的なオプトイン方式でどうやって加入率を高めるか
- 情報提供：変動型電気料金に加入した時、お得か損かを情報提供
- 特典付与：変動型電気料金に加入すると報奨金(6千円)を与える

横浜市社会実装化実験



横浜スマートシティプロジェクト (YSCP) フォーラム



横浜市のフィールド実験

横浜市フィールド実験

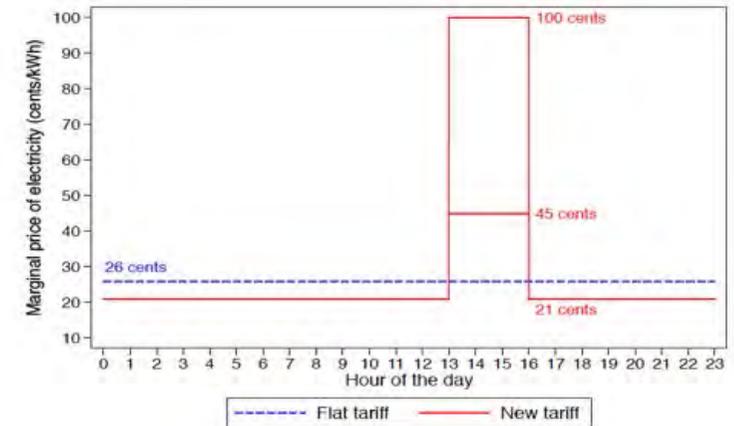
- 青葉区を中心に2千世帯参加
- 2014年夏、イベント14日
- CPP=100円、TOU=45円

- 収入中立性を仮定

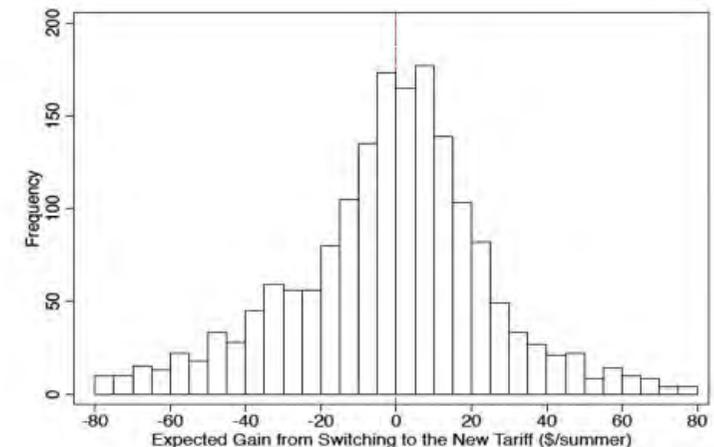
シャドービルの計算

- 右(+)は構造的利得者
- 左(-)は構造的損失者
- 左右対称に分布
- ±8千円以内に収まる

CPP+TOU



シャドービル



オプトイン加入率を高める

オプトイン勧誘方式と加入率

- オプトイン勧誘グループ

お得感関係なく、左右万遍なく、しかし僅か**16%の加入率**

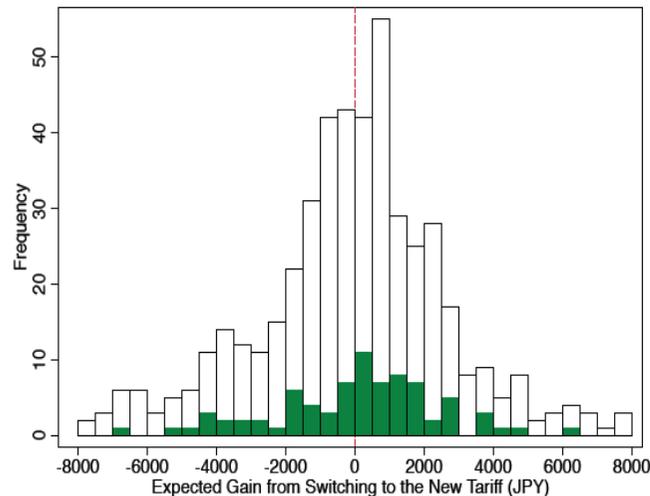
- 利得情報提供グループ

右側の得になるグループ中心に、**31%の加入率**

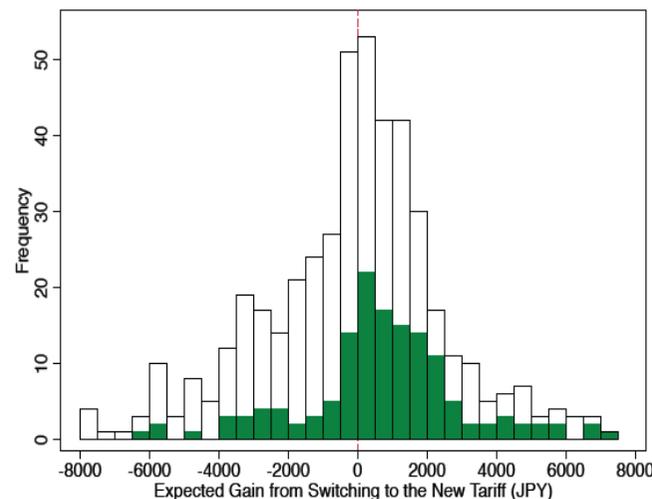
- 情報提供+特典付与グループ

再び、左右万遍なく、**48%の加入率**

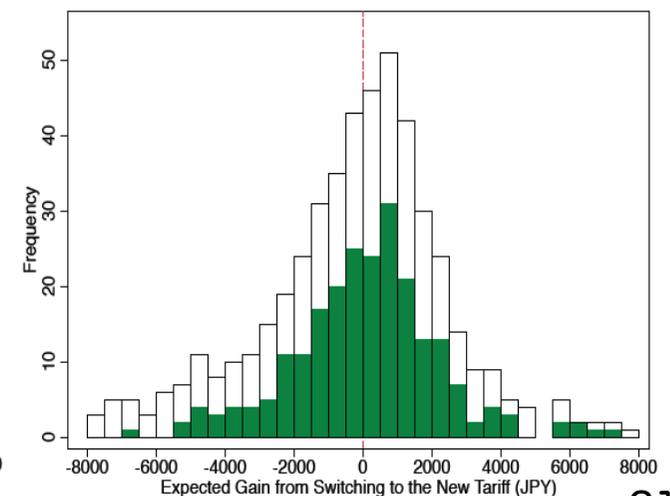
Panel A: Opt-in Group



Panel B: Opt-in & Shadow Billing Group



Panel C: Opt-in & Shadow Billing & Incentive Group



横浜市社会実装化実験

- 情報提供・特典付与という2つの政策を通じて、約20%の変動型電気料金**オプトイン加入率**はどれだけ上がるか
- **加入促進政策**は効果がある。**情報提供**によって**2倍**、**特典付与**によって**3倍**の加入促進効果
- **ネット・ピークカット効果**は、もとの**オプトイン勧誘**が**2倍**近い効果を持つので、**加入促進**と**ネット効果**の間に**トレードオフ**がある
- **トータル・ピークカット効果**を勘案すると、**ナッジ**によって**トータル効果**は**同等**、**インセンティブ**によって**トータル効果**は**2倍**となる

トリートメント	オプトイン加入率		ネット・ピークカット効果		トータル・ピークカット効果
オプトイン勧誘	16%	×	32%	=	5%
情報提供	31%	×	16%	=	5%
情報提供 + 特典付与	48%	×	19%	=	9%

電力システム改革を超えて

電力システム改革の筋道

一筋縄ではいかない競争進展

- 悪い競争（単なる叩き合い）と良い競争（社会的効率化）が共存する。
- 先ず安さを競う競争、次に顧客困い込む競争が進む。
- 電力負荷が平準化する料金体系の普及が重要。
- 垣根を越えた総合エネルギー会社は5つで十分。

マニュアルからオートへのアップグレードが重要

- 変動料金のデマンドレスポンスは、効果があるものの、消費者に心理的負担をかける。
- ビッグデータを解析し、心理的負担なく、経済的なエネルギー利用を実現する自動化技術の開発と普及が重要。
- スマート化＝ビッグデータ＋IOT＋人工知能。

良い競争と悪い競争

悪い競争・良い競争・そしてその先へ

- 悪い競争

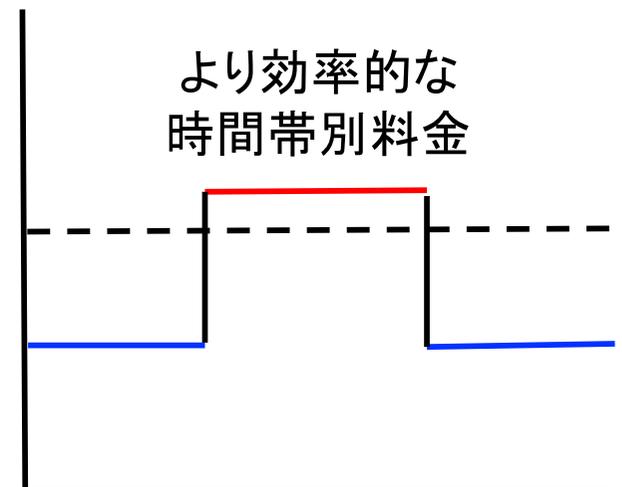
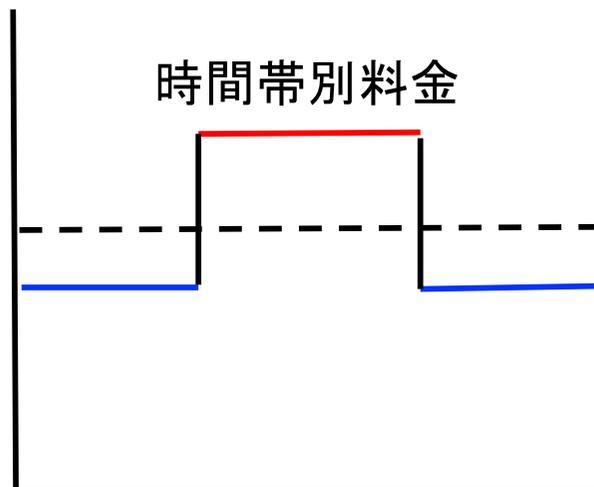
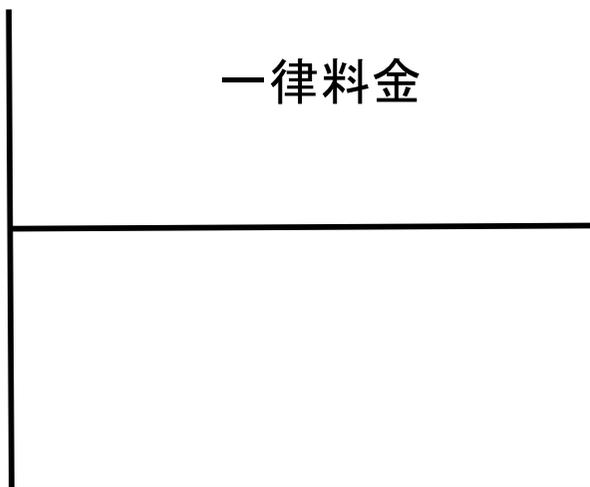
社会的効率性を高めず、単に安さを競う

- 良い競争

料金体系を工夫して、社会的効率性を高める

- もっと良い競争

自動化の技術革新を促し、動学的効率性を引き出す



電力システム改革を超えて

スマートシティ・マネージメントを進めよう

- 電力は20兆円産業、医療は100兆円産業。
- スマート社会の入り口はエネルギーだが、出口はヘルスケア。共通基盤としてのICT。
- エネルギー・ヘルスケア・教育文化まで視野に入れた、スマート・ライフ&シティの発想が必要。

日本の技術を海外の社会問題解決に役立てよう

- 震災後、電力危機に見舞われた日本、世界に先駆けて超少子高齢化に突入する日本は社会問題先端国家。
- 東京オリンピック・ブームをバブルに終わらせない。しっかりした次世代インフラを残す。
- 世界共通の社会問題を解決して、ハード&ソフト・システムの輸出で、世界に貢献しよう。