

## はしがき

本書は、2011年3月11日に発生した東日本大震災とその後の福島第一原子力発電所事故の後、2012年から2014年までの3カ年にわたって、横浜市・豊田市・けいはんな学研都市・北九州市の4地域で実施されたスマートグリッドのフィールド実験の研究成果をわかりやすくまとめ、それに基づき、現在進行中の電力システム改革を展望するものである。思えば、著者の3人が2010年3月にアメリカのカリフォルニア州バークレーで集い、研究プロジェクトを思い立ってから、奇遇にも、経済産業省から同様の研究協力の申し入れがあり、東日本大震災に見舞われてからは、プロジェクトの社会的意義が大きく高まったこと等、数奇な運命があった。したがって、「スマートグリッド・エコノミクス・プロジェクト」は、われわれ3人の研究成果というよりは、多くの研究パートナーとの、一筋縄では行かない協力物語である。ここに記して感謝したい。

本書の研究の3本柱について、説明したい。第1の柱は、「フィールド実験」の運営である。フィールド実験は、「無作為比較対照法」という因果性を特定する方法を、人間の実際の生活の場で行う最強のツールである。フィールド実験は開発経済学の分野で先行して導入されたが、アメリカのカリフォルニア電力危機が起きた2000年以降は電力・エネルギーの分野でも積極的に活用されている。本書の研究のもとになった4地域のフィールド実験は、日本最初の大規模フィールド実験である。われわれは、経済産業省の経済アドバイザー・チームとして、4地域の研究パートナーと協力して、フィールド実験の実験設計・経済分析・政策分析を担当した。日本の経済政策は、伝統的に、エビデンスを重視した経済評価が不十分なところがあった。今後は、フィールド実験を活用した「エビデンスに基づく政策」が求められる。本書はそうした新しい潮流の嚆矢となろう。

第2の柱は、「行動経済学」的知見の豊富な応用である。フィールド実験では、実際の生活の場で、生身の人間行動を直接的に観察するが、その行動は「不思議」に満ち満ちている。行動経済学でいうところの限定合理性から、必ずしも経済理論が予想するとおりの行動が観察されるとは限らない。われわれは、フィールド実験の中で、興味深い人間行動を心理学的仮説を用いて検証したり説明したりした。例を1つあげよう。われわれは、人間の公共心に基づく社会的行動がどの程度、ピーク時の節電行動の効果をもつのか計量経済学的に明らかにした。心理学によれば、人間の行動は、外部刺激に慣れて、その効果が落ちるという「馴化」<sup>じゅんか</sup>が知られている。しかし、ある程度、時間間隔を空けて刺激を与えると、再び効果が復活するという「脱馴化」も観察される。そして、刺激を取り除いた後も、刺激の効果が持続し、「習慣形成」が起こることも知られている。われわれは、人間の内的動機に訴えかける節電要請と外的動機に訴えかける経済的インセンティブをトリートメントとして用いて、以上の心理的性質がそれぞれのトリートメントに対して成り立つかどうかを分析する。

第3の柱は、「ビッグデータ」の利活用である。本書の研究で用いるデータは、実験協力世帯に設置されたスマートメーターの30分間の電力消費量(kWh)である。1世帯あたり1日48データが収集され、1年間でみれば、1万7520データとなる。横浜市のフィールド実験では、2000の世帯のデータが収集されたので、合計すると3504万データとなる。これだけのデータが、スマートメーターから無線で電力会社のサーバーに集められるわけだ。経済的インセンティブ等を用いて、ピーク時の節電行動を引き出すことを「デマンド・レスポンス」と呼ぶが、節電要請と時間別に価格が変動する「ダイナミック・プライシング」で行動を変容させることを「マニュアル(手動)・デマンド・レスポンス」と呼ぶことができよう。こうした知見の蓄積に基づいて、家庭の最適な節電行動を自動プログラム化することを「オート(自動)・デマンド・レスポンス」と呼ぶが、フィールド実験と並行して、そうした最先端技術の研究開発もあわせて進められ

た。

このように本書は、東日本大震災後の電力危機が顕在化した日本において、フィールド実験・行動経済学・ビッグデータを3本柱とした先進的な研究プロジェクトの成果である。本書の構成は、次のようになっている。第I部「スマートグリッドとフィールド実験」では、第1章「スマートグリッドの経済学」と第2章「フィールド実験の経済学」が解説される。

第1章では、情報通信技術の革新を基礎に、電気をスマートにコントロールするスマートグリッドのパラダイムが解説される。その中心を担うのが、需要側が消費量を調整するデマンド・レスポンスの活用である。そして、時間や季節により柔軟に価格を変えるダイナミック・プライシングを用いた経済効率性の改善が説明される。

第2章では、フィールド実験のイロハについて説明する。まず、フィールド実験を始めたいと思う人のために、フィールド実験の重要なポイントをわかりやすく述べる。次に、フィールド実験が目玉されるようになった歴史についてもかいつまんでまとめ、フィールド実験をいくつかに分類する。そして、スマートグリッドを例にとり、実際にフィールド実験を運用する際の注意点を述べる。

第II部「電力消費のフィールド実験」では、第3章「価格の威力」、第4章「習慣化への挑戦」と第5章「現状維持の克服」が解説される。

第3章では、北九州市の事例が取り上げられ、2012年から2013年にわたって実施された4レベルに価格が変動するダイナミック・プライシングのピーク時の節電効果が検証される。ピーク時の価格を50円/kWhから150円/kWhまで変動させたとき、ピークカット効果は、価格レベルに応じて、9%から15%まで大きくなった。しかし、価格に対する反応は2年目には観察されなくなり、世帯はデマンド・レスポンスのイベントに反応はするが、価格差には反応しなくなることもわかった。

第4章では、けいはんな学研都市の事例が取り上げられ、2012年夏と冬に実施された内的動機に訴えかける節電要請と3レベルに価格が変動す

るダイナミック・プライシングのピーク時の節電効果が検証される。節電要請のピークカット効果は平均して3%程度であり、最初の数回は効果があるものの、やがて効果がなくなる馴化がみられた。ダイナミック・プライシングの効果は平均して15~20%程度であり、シーズンを通じて効果が持続し、馴化はみられなかった。

第5章では、横浜市の事例が取り上げられ、2014年夏に実施されたダイナミック・プライシングへのオプトイン型加入と加入した者の条件付ピークカット効果が検証される。単なるオプトイン方式では、加入率は低いが、条件付ピークカット効果は高い。ダイナミック・プライシングにオプトインした場合の利得・損失を情報提供した場合、加入率は倍増したが、条件付ピークカット効果は半減した。結果として、トータルのピークカット効果はほぼ同じである。最後に、オプトインした場合にキャッシュ・インセンティブを与えた場合、加入率は3倍増し、条件付ピークカット効果もさほど減減しなかったことから、トータルのピークカット効果は一番高かった。

第Ⅲ部「スマートグリッドの実装に向けて」では、第6章「デマンド・レスポンスの社会的効果と実装」と第7章「スマートグリッドの新展開」が解説される。

第6章では、エビデンスに基づく政策形成に資するべく、けいはんな学研都市での結果を用いて、節電要請とダイナミック・プライシングという2つのトリートメントでピークカットを行った場合、日本全体でどれだけの社会厚生が増加するかを試算した。さらに、電力システム改革の動向を解説しながら、電力小売自由化時代にデマンド・レスポンスがどのように社会実装されていくべきかを論じた。

第7章では、デマンド・レスポンスのネガワット取引、需要を束ねるアグリゲーターの登場、手動応答からオート・デマンド・レスポンスへの進化、系統運用へのデマンド・レスポンスの活用等、これからのスマートグリッドのさらなる発展について展望した。最後に、エビデンス重視の経済

学の構築に向けたわれわれの思いを述べる。

本書の出版にあたっては、有斐閣の渡部一樹氏に担当いただいた。また、本書のフィールド実験は、経済産業省資源エネルギー庁新産業・社会システム推進室ならびに情報経済課の企画・運営のもと、一般社団法人新エネルギー導入促進協議会から受託した「次世代エネルギー社会システムにおけるデマンド・レスポンス経済効果調査事業」の研究成果である。あわせて、横浜市、東芝、パナソニック、東京電力、アクセンチュア、豊田市、トヨタ自動車、中部電力、京都府、三菱重工業、関西電力、北九州市、新日鐵住金、富士電機、IBM ほか、たくさんの研究パートナーとの共同研究の成果でもある。また、本書の研究プロジェクト遂行にあたっては伊藤の兼務研究機関である全米経済研究所（NBER）および経済産業研究所（RIETI）からさまざまな支援を受けた。謝意を表したい。

2017年4月

京都、東京、シカゴにて 著者一同

## 著者紹介

依田 高典（いだ たかのり）

1965年生まれ。京都大学経済学部卒業，同大学院経済学研究科博士課程修了。博士（経済学）。

現在，京都大学大学院経済学研究科教授。その間，甲南大学経済学部助教授，イリノイ大学・ケンブリッジ大学・カリフォルニア大学客員研究員等歴任。

主な著書・論文：*Broadband Economics: Lessons from Japan* (Routledge, 2009), “Simultaneous Measurement of Time and Risk Preferences: Stated Preference Discrete Choice Modeling Analysis Depending on Smoking Behavior” (with Rei Goto), *International Economic Review* 50(4): 1169-1182, 2009, 『「ココロ」の経済学——行動経済学から読み解く人間のふしぎ』（筑摩書房〔ちくま新書〕，2016年）等。

主な賞歴：日本学術振興会賞（2010年）等。

田中 誠（たなか まこと）

1967年生まれ。東京大学経済学部卒業，同大学院経済学研究科博士課程修了。博士（経済学）。

現在，政策研究大学院大学教授，経済産業研究所（RIETI）ファカルティフェロー。その間，ジョンズ・ホプキンス大学・カリフォルニア大学客員研究員等歴任。

主な著書：『電力自由化の経済学』（八田達夫と共編著，東洋経済新報社，2004年），『規制改革の経済分析——電力自由化のケース・スタディ』（八田達夫と共編著，日本経済新聞出版社，2007年）等。

伊藤 公一朗（いとう こういちろう）

1982年生まれ。京都大学経済学部卒業，カリフォルニア大学バークレー校博士課程修了（Ph.D.）。

現在，シカゴ大学公共政策大学院ハリススクール助教授。その間，スタンフォード大学経済政策研究所研究員，ボストン大学助教授等歴任。また，全米経済研究所（NBER）および経済産業研究所（RIETI）研究員を兼任。

主な著書・論文：“Do Consumers Respond to Marginal or Average Price? Evidence from Nonlinear Electricity Pricing,” *American Economic Review* 104(2): 537-563, 2014, “Sequential Markets, Market Power and Arbitrage” (with Mar Reguant), *American Economic Review* 106(7): 1921-1957, 2016, 『データ分析の力——因果関係に迫る思考法』（光文社〔光文社新書〕，2017年）等。

# 目 次

## 第 I 部 スマートグリッドとフィールド実験

### 第 1 章 スマートグリッドの経済学 ————— 3

- 1 情報通信技術の革新とスマートグリッドの夜明け 4
- 2 電気をスマートにコントロールする 6
- 3 スマートグリッドのパラダイム 9
- 4 大震災後に重要性の増したデマンド・レスポンス 13
- 5 ダイナミック・プライシング——臨機応変に価格を変える 15
- 6 ダイナミック・プライシングは古くて新しい 19
- 7 デマンド・レスポンスのフロンティアは広がる 21

### 第 2 章 フィールド実験の経済学 ————— 25

- 1 今、フィールド実験が熱い 26
- 2 フィールド実験を設計する 31
- 3 フィールド実験の歴史をひもとく 33
- 4 第 3 次フィールド実験ブーム来たる 36
- 5 フィールド実験の位置づけ 40
- 6 実際にフィールド実験を行う 43
- 7 オプトイン型フィールド実験を行う 47
- 8 フィールド実験と行動経済学 50
- 9 フィールド実験は万能か 52

## 第Ⅱ部 電力消費のフィールド実験

### 第3章 価格の威力 ————— 61

#### ●北九州市の実験

- 1 注目される日本の実験 62
- 2 先行するアメリカの実験 67
- 3 フィールド実験でわかったこと、わからないこと 72
- 4 北九州市フィールド実験の設計 75
- 5 北九州市フィールド実験の結果(1)——2012年夏期 77
- 6 北九州市フィールド実験の結果(2)——2012年冬期以降 84

### 第4章 習慣化への挑戦 ————— 89

#### ●けいはんな学研都市の実験

- 1 内的動機と外的動機に訴える 90
- 2 エネルギー政策にみる内的動機への介入 91
- 3 けいはんなフィールド実験の設計 94
- 4 けいはんなフィールド実験の結果(1)——ピークカット効果 98
- 5 けいはんなフィールド実験の結果(2)——馴化・脱馴化 104
- 6 けいはんなフィールド実験の結果(3)——習慣形成 107
- 7 けいはんなフィールド実験の学術的貢献・政策的含意 110

### 第5章 現状維持の克服 ————— 117

#### ●横浜市の実験

- 1 大きな現状維持バイアス 118
- 2 横浜市フィールド実験の設計 122
- 3 横浜市フィールド実験の結果(1)——加入率の分析 128
- 4 横浜市フィールド実験の結果(2)——ネット・ピークカット効果 133



- 5 横浜市フィールド実験の結果(3)——トータル・ピークカット効果 136
- 6 横浜市フィールド実験の学術的貢献・政策的含意 138

### 第Ⅲ部 スマートグリッドの実装に向けて

#### 第6章 デマンド・レスポンスの社会的効果と実装 ————— 145

- 1 社会実証から社会実装へ 146
- 2 デマンド・レスポンスによる社会厚生を増大 150
- 3 電力自由化の進展 155
- 4 新電力によるデマンド・レスポンスの先進的な取り組み 157
- 5 電力小売自由化時代のデマンド・レスポンス 159
- 6 デマンド・レスポンスの社会実装化に向けて 163

#### 第7章 スマートグリッドの新展開 ————— 165

- 1 ネガワットを市場で取引する 166
- 2 需要側を束ねるアグリゲーター 167
- 3 手動から自動のデマンド・レスポンスへ 169
- 4 需要側からのアンシラリー・サービス 172
- 5 始まるスマートグリッドの社会実装化 173
- 6 エビデンス重視の経済学へ向けて 176

#### APPENDIX ————— 181

- 第2章：フィールド実験の経済学 182
- 1 平均的トリートメント効果 182
- 2 ランダム化、排除可能性、非干渉性 183
- 3 ITT効果とTOT効果 185

第3章：価格の威力——北九州市の実験	188
1 アメリカの消費者行動研究	188
2 統計量バランス・チェック	188
3 主要な推定結果	191
第4章：習慣化への挑戦——けいはんな学研都市の実験	194
1 統計量バランス・チェック	194
2 主要な推定結果	196
第5章：現状維持の克服——横浜市の実験	200
1 統計量バランス・チェック	200
2 主要な推定結果（TOT 効果）	202
3 主要な推定結果（ITT 効果）	203
第6章：デマンド・レスポンスの社会的効果と実装	205
1 フレームワーク・モデル	205
2 社会厚生効果の分析	206

索引	209
----	-----

### Column 一覧

- |                        |     |
|------------------------|-----|
| ① DSMの再生               | 14  |
| ② コントロール・グループを置くという考え方 | 30  |
| ③ 始まりはパークレーのカフェだった     | 63  |
| ④ 経済産業省からの誘い           | 66  |
| ⑤ 転機は東日本大震災            | 103 |
| ⑥ 太平洋を挟んで              | 112 |
| ⑦ 太陽光発電プロシューマー         | 127 |
| ⑧ 若手研究者にとってのフィールド実験    | 147 |
| ⑨ 社会問題解決学としてのスマート化     | 178 |

スマートグリッド・エコノミクス——フィールド実験・  
行動経済学・ビッグデータが拓くエビデンス政策  
*Smart Grid Economics: The Evidence-based Policy Created  
through Field Experiments, Behavioral Economics, and Big Data*

2017年5月25日 初版第1刷発行

著者	依田 伊 た 田 い 伊	だ中 藤 な 中 とう 藤	たか高 公 高 公 こう 公	のり典 誠 まこと 誠 いちろう 朗
発行者	江 草 貞 治			
発行所	株式会社 有 斐 閣			



郵便番号 101-0051  
東京都千代田区神田神保町 2-17  
電話 (03) 3264-1315 [編集]  
(03) 3265-6811 [営業]  
<http://www.yuhikaku.co.jp/>

印刷・大日本法令印刷株式会社／製本・牧製本印刷株式会社

© 2017, Takanori Ida, Makoto Tanaka, Koichiro Ito.

Printed in Japan

落丁・乱丁本はお取替えいたします。

★定価はカバーに表示してあります。

ISBN 978-4-641-16505-2

**JCOPY** 本書の無断複写(コピー)は、著作権法上での例外を除き、禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に、(社)出版者著作権管理機構(電話03-3513-6969, FAX03-3513-6979, e-mail:info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。