スマートメーターの節電効果: 米国ハワイ州における実証実験

Energy conservation through smart meters: evidence from social experiments in Hawaii

BECC Japan 2014年9月

ハワイ大学マノア校経済学部 樽井 礼

スマートメーターの節電効果

- 本報告は以下の論文にもとづく。
- John Lynham^a, Kohei Nitta^a, Tatsuyoshi Saijo^b, Nori Tarui^a (2014) "Why does real-time information reduce energy consumption?" University of Hawaii at Manoa Department of Economics Working Paper
- Nori Tarui and Anna Lou Abatayo "When real-time information may not reduce energy consumption." Work in progress, University of Hawaii at Manoa.

研究の背景

- スマート電力メーターに対する関心・期 待の拡大
 - 電力使用量・価格に関するリアルタイム情報の発信
- 既存研究はスマートメーターの節電効果の有無・大きさに着目
- なぜスマートメーターは節電を促すのか?本研究では、背後にあるメカニズムに着目

In-home display (IHD)



www.theenergydetective.com



学習効果

写真の出典:

http://www.dailymail.co.uk/news/article-1232334/Smart-meters-reduce-average-familys-fuel-28-YEAR.html

「顕在化」効果



月一回の請求書に比べて、 電力利用の認識を高める・顕 在化させる

写真の出典: http://yayimages.com/image/fileid/22460476

「多くの場合、人は形にして見せてもらうまで自分は何が欲しいのかわからない ものだ」 (スティーブ・ジョブズ)

「リアルタイム情報→省エネ」のメカニズム

- 1. Learning Effect 学習効果
 - 各種電気機器の電力使用量についての知識習得·不確 実性の削減?
- 2. Saliency Effect 「顕在化」効果
 - (ディスプレイにより)電力利用・支払いについての認識が 顕在化される?
- 両効果の比較は、省エネ促進策の改善に示唆を与える
 - ラベリング、啓蒙活動により学習効果を促進?
 - スマートメーターの低価格化?いかに電力利用を顕著に するか?

本研究と結果

研究

- 1. 米国の都市住宅におけるランダム化比較実験
- 2. In-home display (IHD)による節電効果の規模・背後のメカニズムについての仮説検定

主要な結果

- 1. IHDは(とくにピーク時の)節電を促す
- 2. (顕在化効果に比べ)学習効果のほうが大きくかつ持続する

社会実験の設計

- ・ 同敷地内65世帯のアパート住民が参加
 - (全世帯は同じ間取り)
- ・ 各世帯の(分単位の)電力消費量を3ヶ月 にわたって記録







www.theenergydetective.com

社会実験の設計(2)

• 参加世帯を対照群と二つの処置群に無作為に振り分け

3 weeks 4-5 weeks	eks 4-5 weeks	S
-------------------	---------------	---

Group	Period 0	Period 1	Period 2
Control	No Information	No Information	No Information
	(No effect)	(No effect)	(No effect)
Learning treatment	No Information	Receive Information	No Information
	(No effect)	(L1 and S1)	(RL1)
Saliency treatment	No information	Receive Information	Receive Information
	(No effect)	(L1 and S1)	(RL1, L2 and S2)



Note: Potential effects in parentheses.

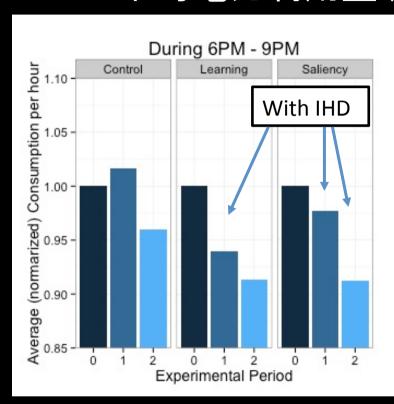
www.theenergydetective.com/

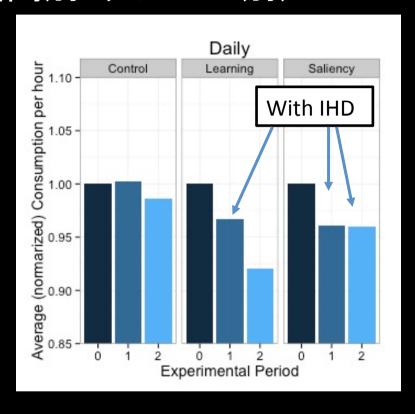
 "Receive Information"処置: In-home displays (IHD)を設置、対象世帯にリアルタイムの電力 利用情報を提供

参加世帯についての記述統計

Pre-Questionnaire Age of survey respondent		33.39	35.23	30.86	34.14
		(1.50)	(3.08)	(2.64)	(2.11)
	# of household members	2.72	2.39	3.21	2.55
		(0.17)	(0.28)	(0.34)	(0.23)
	# of children (under 18 years old)	0.89	0.61	1.42	0.65
		(0.13)	(0.18)	(0.25)	(0.18)
	# of income earners	1.49	1.39	1.42	1.65
		(0.08)	(0.12)	(0.12)	(0.15)
	Observations	57	18	19	20
Post-Questionnaire	Hours at home on weekdays	15.98	14.58	15.94	17.28
		(0.52)	(0.83)	(0.95)	(0.84)
	Hours at home on weekends	17.68	16.56	17.76	18.63
		(0.56)	(1.06)	(1.05)	(0.84)
	Observations	55	18	17	20

平均電力利用量(期間別・グループ別)





- 期間Oから1にかけて、処置群での利用量は低下したが対照群では低下しなかった
- 電力利用低下は、期間2でも持続

IHD処置効果の推定

家計・日別固定効果をふくんだパネル回帰結果

Estimated treatment effects:

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Observations	6AM-9AM	10AM-5PM	6PM-9PM	10PM-5AM	0AM-11PM
All Periods	0461*	0.0116	0730**	0.0085	-0.0189
	(0.0278)	(0.0249)	(0.0301)	(0.0193)	(0.0145)
Period 0	112***	0.0102	-0.0567	0.0131	-0.0254
& Period 1	(0.0425)	(0.0372)	(0.0448)	(0.0289)	(0.0222)

Notes: Standard errors in parentheses, * p < .10, ** p < .05, *** p < .01

その他の回帰分析結果

- (世帯属性を考慮した分析)
- ・ IHDの節電効果は、世帯人数が多い世帯ではより小さい
- ・ IHDの節電効果は、テレビがある世帯・温水器にタイマーを使用している世帯ではより大きい

 $\log C_{it} = \alpha + \beta IHD_{it} + X_i\gamma + (IHD_{it} * X_i)\delta + \eta_t + \varepsilon_{it}$

学習効果か顕在化効果か?(1)

• 対照群・学習効果処置群の比較

\J\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\				
Group	Period 0	Period 1	Period 2	
Control	No Effect	No Effects	No Effects	
Learning treatment	No Effect	L1 and S1 RL1 (Rema		ning L1)
Saliency treatment	No Effect	L1 and S1	RL1, L2 and	S2
Group name (Period)	VARIABLES	6-9AM 10AM-5PM	M 6-9PM 10PM	M-5AM 0AM-11PM
(Period 0 and 2)	RL1 Decreasing RL1 Constant	-0.170** (0.0754) (0.00724** (0.00326) (0.0665) -0.00217 (0.00328) -0.290 (0.480) (0.160)	(0.0839) (0.0 -0.00131 0.00 (0.00423) (0.0 -0.960*** -1.7	0852 -0.0383 0548) (0.0361) 0481* 0.00259 00266) (0.00182) -0.710*** 350) (0.0590)
	Observations R-squared Number of households	1,571 1,579 0.079 0.189 37 37	0.065	1,574 043 0.081 37 37

学習効果の存在を確認(朝のピーク時節電に関して)

学習効果か顕在化効果か?(2)

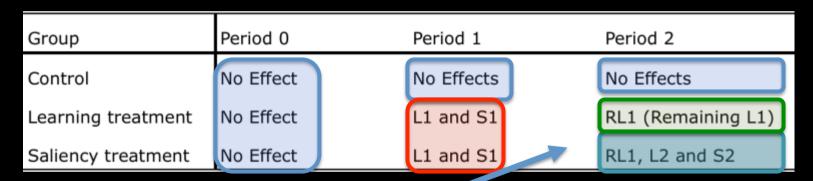
• 対照群・顕在化処置群の比較

Group	Period 0	Period 0			Period 2	
Control	No Effect		No Effects		No Effects	
earning treatment	No Effect		L1 and S1		RL1 (Remaining L1)	
Saliency treatment	No Effect		L1 and S1		RL1, L2 and S2	
1 .	VARIABLES S1 Decreasing S1 S2 Decreasing S2 Constant	6-9AM -0.189*** (0.0642) 0.00265 (0.00242) -0.0591 (0.0727) 0.00140 (0.00354) -0.0608 (0.490)	10AM-5PM -0.0321 (0.0582) 0.000112 (0.00220) -0.00111 (0.0659) -0.00137 (0.00324) -0.534*** (0.182)	6-9PM 0.0313 (0.0722) -0.00550** (0.00274) -0.00866 (0.0827) -0.00225 (0.00420) -0.767*** (0.148)	10PM-5AM 0AM-11PM 0.0219 -0.0297 (0.0445) (0.0337) -0.00149 -0.00102 (0.00167) (0.00128) -0.0342 -0.0187 (0.0503) (0.0386) 0.00268 (0.00244) -1.748*** (0.339) (0.0690)	
	Observations R-squared Number of households	3,057 0.109 38	3,067 0.170 38	3,056 0.043 38	3,055 0.037 38 3,056 0.058 38	

顕在化効果は確認できず

学習効果か顕在化効果か?(3)

・ 全グループ・期間比較



緑対茶色部分:統計的に優位な違いが見られなかった。

分析結果の総括

- IHDによるリアルタイム電力利用情報は、朝・夕 方のピーク時に節電を誘発した(4.6%-11.2%)。 他の時間帯では節電効果は観察されなかった
- ・ 節電効果は(90日間の実験期間内においても) 時間を通じて減少
 - 先行研究 (e.g. Houde et al. 2013)と同様の結果
- 節電は顕在化効果でなく学習効果により説明できる
 - 学習効果を誘発するような省エネ対策の有効性を示唆

謝辞

- 研究費:
 - 米国エネルギー省 Workforce Training Grant in the Strategic Training and Education in Power Systems through the University of Hawai'i Renewable Energy and Island Sustainability (REIS) Center (代表: Anthony Kuh)
 - 文部科学省 学術振興助成(代表:西條辰義)
- メーター設置作業:ハワイ大学マノア校 施設課
- 研究助手: Chaning Jang, Joshua Jensen, and Qianxue Zhao (ハワイ大学マノア校経済学研究 科)

補足:

マウイスマートグリッド実証事業を通じた省エネルギー効果に関する分析

マウイ島スマートグリッドプロジェクト

- スマートグリッド技術実証事業
- Co-Project Leads: Hawaii Natural Energy Institute (University of Hawaii at Manoa), Maui Electric Company
- ・米国エネルギー省による研究助成
 - \$7 million + cost sharing by project partners (\$7.4 million)
- Participants include smart-grid technology providers (Silverspring Network etc.)



















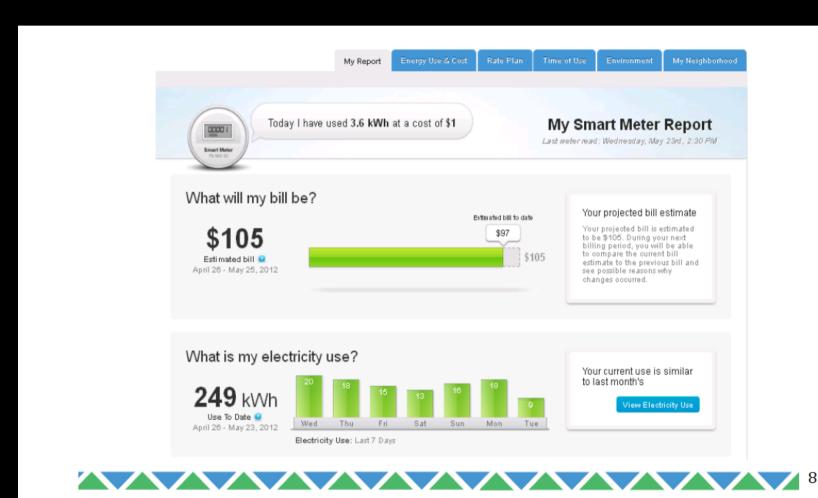




マウイSGP「見える化」事業の特徴

- 先述のプロジェクトと異なり、ランダム化されていない社会実験
- ・ 自主参加の七十数世帯には、ウェブを通じた 「見える化」の処置が適用される
- うち二十数世帯は自主的にin-home display 設置・利用を承諾
- 研究課題:ウェブの見える化とin-home displayでは節電効果はいかに異なるか?

インターネット・ウェブを通じた見える化 (参加世帯すべてに提供)



From "Equipment guide for project volunteers"

http://www.mauismartgrid.com/guide-to-maui-smart-grid-project-equipment/

In-Home Display (snapshot) (参加世帯の一部希望者に提供)

PowerTab™ In-Home Display

The PowerTab is an optional device that allows you to access energy data without logging on to the CustomerIQ web portal. How to read your PowerTab:



Your PowerTab has three power modes: On, Off, and Sleep.

- To turn on, press either <L> or <R>.
- To turn off, press and hold <L> for three seconds. A confirmation screen will appear. Press <L> again ("Yes") to approve the shutdown.
- If not connected to a network, the PowerTab will turn off automatically after 5 minutes.
- When connected to a network, it will enter sleep mode after 5 minutes of inactivity. Wake the PowerTab from sleep by pressing <L> or <R>.

13

プロジェクトの概要

月別電力利用量データ: 2011年7月-2013年6月

2011年7月

2012年8月

2012年12月

2013年6月

スマートグリッドプロジェクト参加世帯:2012年8月に参加、ウェブサイトを通じた「見える化」

うち二十数世帯は2012年12月にIn-home displayを受給・利用開始

(マウイメドウズ地区の)スマートグリッドプロジェクト参加・非参加世帯全体について電力会社による月次電力利用量データを分析に利用

分析結果(要約)

参加世帯と非参加世帯の比較

- (世帯・月次固定効果を考慮したパネル回帰分析)
- 参加世帯では(非参加世帯に比べ)参加後に統計的に有意 な節電が実現
- ただし節電効果は参加後5ヶ月間ほどのみ有意。その後は 顕著な節電効果は観察されなかった

参加・IHD利用の効果

- IHDグループ世帯は、参加後(見える化開始後)にIHDなしグループ世帯と同様に節電を実行
- ・ IHDなしの参加世帯は、IHD設置時期後も節電が持続(3ヶ月ほど)。ただし、IHD設置世帯では、設置後に節電みられず

マウイスマートグリッド事業: 「見える化」の節電効果に関する示唆

- ・ 追加的な電力利用に関する情報は、必ずしも消費者の節電促進につながらない
- 本事業の場合、IHDによる節電効果の低下 (「クラウディングアウト」)の可能性を示唆
- IHDの効率的な利用についての示唆
 - (スクリーンにどのような情報を表示するのが有効であるか?)