

交換代数を用いた電力消費行動モデルの研究

小西啓貴 Shuang Chang ○出口弘 (東京工業大学)

A Study of Power Consumption Behavior Model using Exchange Algebra

H. Konishi and S. Chang and * H. Deguchi (Tokyo Institute of Technology)

概要— 近年、エネルギーマネジメントが注目されているが、実際の家庭のエネルギー消費を考慮したエネルギーの会計に関する分析はほとんど為されていない。そこで、本研究では、家計における電力の利用を、交換代数を用いて、一種のサービス生産と、そのサービスの消費の同時生起として実物簿記的に記述し、実際の消費に踏み込んだ会計的な分析を行う。さらに、家計のエネルギー消費をどのように変化、視覚化させるかを検討するために、減価償却なども考慮した様々なシナリオ分析を行う。

キーワード: エネルギーマネジメント, 交換代数, 減価償却, シナリオ分析

1 研究背景

1.1 背景

2011年に起きた東日本大震災以降世間では、原子力発電の廃止活動などから、電力不足が懸念され、電力に関する関心が高まっている。特に今現在の日本においては、電力小売完全自由化が2016年4月に解禁となることもあり、関心を集めている。その中でも特にエネルギーマネジメントに関しての議論は、化石燃料の枯渇、世界人口の爆発的な増大からも世界的に急務であると考えられる。

東日本大震災により、我が国ではエネルギーマネジメントは注目を集めたが、購入されたエネルギーがどこにどの程度投入されているのかなどの、家庭の実際の消費に踏み込まない、ブレーカで測定できる範囲を超えた、会計やオフィスでの詳細なエネルギー需要に関する分析は、ほとんど行われていないままである。エネルギーマネジメントの主体である家計やオフィスや地域の中でのエネルギーフローの解析とエネルギー利用の見える化と、それに基づくエネルギーマネジメントを可能としていないのが現状である。依田¹⁾や、川村ら²⁾による次世代型電力システム(デマンドレスポンス)による分析のほか、兵藤ら³⁾によるコミュニティ間の電力融通による電力消費の分析等はなされているが、これらのいずれも会計データとしての分析は為されていない。それに加え、エージェントベースの行動をサービス単位で考えたモデル化や、分析はなされていない。また、それに基づいたシナリオ分析や、マネジメントを可能としていない。

1.2 研究目的

エネルギーマネジメントをボトムアップ的に行うためにも、エネルギーマネジメントの主体の一つである家計に焦点を当てる。家計のエネルギーマネジメントを行うことにより、よってはコミュニティ等、社会全

体の最適化がなされることを目的としている。具体的な手法として、本研究では家庭での電力消費行動を交換代数で記述し、分析することにより行う。この交換代数とは簿記を抽象化した代数系で、東工大出口⁴⁾⁵⁾⁶⁾によって導入されたものである。この交換代数を用いることにより、電力の利用を一種のサービス生産として実物簿記により会計的に記述することにより、家庭でのエネルギー会計データの見える化が為され、家計でどの部分にどの程度電力が費やされているのかが分かるようになる。実物簿記により会計的に記述することに加え、エネルギーをサービス毎に記述し、エージェントの行うサービス生成と自己消費が同時に消費されると記述することにより、エージェント(主体)毎でのエネルギーサービス毎の分析や、エネルギーサービスに用いられるモノの減価償却や、その他に使われる消費財を含めた、包括的なサービス毎の分析が可能となる。その行動に必要なサービス毎の分析が可能になることにより、どこにどの程度電力が費やされているかだけでなく、誰が、いつどのような行動により、エネルギーが使われているのかわかるようになり、不明確であった電力利用と、それに伴うマネジメントが可能になる。具体的には、電力会社側が電力価格を変化することによって、需要側も価格に反応し需要や、生活行動を変化させることができるような次世代型の電力システム(デマンドレスポンス)や、電力小売完全自由化により電力会社が選べる場合や、明確にどの程度のメリットがあるのか曖昧な自己発電、蓄電装置が存在する場合であっても、需要側での明確な意思決定が可能になる。本研究では、このような多様な場合を想定して、家庭におけるエネルギーサービス毎で分析できるエージェントベースのモデルを作成し、本手法の有用性を示すとともに、そのような場合のシナリオ分析を行う。

1.3 関連研究との位置付け

エージェントベースモデリングシミュレーションを用いた電力消費モデルとして、川村らの生活行動に基づく電力消費行動モデルの分析²⁾がある。これは、電力消費行動をエージェントベースシミュレーションに基づいてモデル化を試みたものである。それに加え、供給量に応じて需要側が需用量を抑制する、デマンドレスポンス (Demand Response, DR) というものも取り扱っている。これは、電力供給側は、今までピーク時間帯には調整電源によって供給量を確保することで対応してきたが、供給者側でなく、需要側で需用量を抑制することで、需要供給バランスを確保することが可能になるものである。このような、この中の手法の一つで、需要の予測に応じて、時間帯によって電気料金の価格差を設けることで、需要側の電力消費パターンを変化させる方法について川村らはモデル化を行った。そして、兵藤らの研究では、この電力消費行動モデルに、分散型電力システム下のコミュニティにおける電力融通のあり方について検討できるモデルを構築し、分析している。しかし、上記の量研究も、電力を会計的に解析するまでに至っていない。

そこで本研究では、電力を会計的にサービス単位で記述し、モデル化する。電力をサービス単位で行うことによって、それぞれの状態をサービスの扱うことが可能となり、どこにどの程度エネルギーが費やされているかが、可視化することができるようになる。

2 研究方法

本研究では、今まで会計的手法を用いて、詳細に解析されてこなかった電力エネルギーについて新たな会計的手法を用いて表現し、その解析を行う。この章では先ず初めに本研究に用いる手法の交換代数, AADL (Algebraic Accounting Description Language, 代数的会計記述言語) について詳しく述べる。

次に、本研究で取り扱う対象について、データも含めて記述する。

2.1 交換代数

本研究では、電力を会計的に扱うために、東工大出口考案の、簿記的システムの数理的定式化した交換代数 (Exchange Algebra) という代数系及び、これを実装したプログラム言語 AADL (Algebraic Accounting Description Language, 代数的会計記述言語)^{4) 5) 6)}を用いる。交換代数による表現は、一般的に、<勘定科目(name), 単位(unit), 時間 (time), 主体(subject)>とい 4 つの基底によってデータを表現する。これは誰が (subject), 何を (name), いつ (time), どれだけ (unit) 処理したかを表現している。そして、それぞれの基底は基底集合を持っている。交換代数はそれぞれの基底からなる要素によって構成されている。

交換代数を用いた具体的例を挙げると、500<お酒, ml, Y2016M01D01, 酒屋>と表記すると、酒屋による

2016年1月1日の500mlのお酒を表現している。このように表現することにより、それぞれの状態を明確に記述することが可能となる。

この交換代数による表現でデータを処理する場合には、ストック・フロー的にデータを表現することができる。交換代数による表現がなぜストック・フロー的に表現できるかという点、交換代数による表現が簿記で記述される複式 (ダブルエントリー) 記述を可能としているからである。交換代数による記述では、500[^]<お酒, ml, Y2016M01D01, 酒屋>というようにマイナスの数を使わずに、代わりに[^] (ハット) をつけたハット基底と、通常の基底によって表現する。このハット基底と通常基底により相殺する表現方法により、簿記でいうダブルエントリー記述を可能としている。このような簿記的表現をすることによって、経済システムでの経済の流れをそれぞれの場面で、データの的に表現することができる。この例として、100 円のりんごを買ったことを表現すると、

$$x = 100<りんご, 円> + 100^<現金, 円>$$

となる。これは、りんごという資産が増え、現金 100 円が減るというイベントを表現している。ここでりんご, 円>は、分類基底と計算基底を表す複式表現であり、100 はその単位であり、計算した数量である。この表現方法は、簿記での借方貸方による表現方法を意識すると理解が早い。なお、上記のように簡単化する際には、<勘定科目, 単位>で表現する。

本研究では、交換代数のダブルエントリー記述を応用して、エネルギーがどのように使われているのかのブレイクダウンを行う。簿記による、損益計算の流れでは、“光熱費”のようにただ単純にコストとして表現される。ここでは、コストとしてしか考えられていなかったエネルギーを、サービスとして表現し、そのサービスの消費という形で表現する。この表現方法によって、エネルギーのサービスとしての利用を、ダブルエントリーの状態空間上で可視化することを考える。そして、AADL とは交換代数に近い表現を持つ仕様記述言語である。つまり AADL では、交換代数記述された状態や、集合論的記述が容易に可能であり、その実装を行うことができる。

2.2 研究対象・利用データ

全体のエネルギーマネジメントをボトムアップ的に行うことを踏まえて、本研究では家庭での電力消費行動を研究対象とする。そこで生活行動に関するデータとしては、NHK 放送文化研究所による生活行動に関する統計データ⁷⁾を用いる。このデータには、調査対象の性別、年齢、職業、在学状態、都市規模の属性集合のもと、行為分類ごとのデータが存在する。行為分類については、28 分類のデータを用いるが、より正確に表現するために、総務省データ⁸⁾の 90 分類と比較し、“炊事・就業・洗濯”行為については、時刻別行為者率

を用いて按分を行うことにより、30分類とする。これらの分類をまとめたものを、Table 2.1 に示す。

各行為の電力消費分類の設定については、EDMC/エネルギー・経済統計要覧⁹⁾を参考とした。その文献によると、家庭におけるエネルギー消費の用途は、動力負荷、厨房負荷、給湯負荷、冷房負荷、暖房負荷の5つの分類に分けられている。ここでは、さらに生活行動における消費を詳細に分割している西尾、浅野らの研究¹⁰⁾を参考にし、動力負荷をベース負荷、テレビ負荷、照明負荷、その他の家電に分割して、エネルギー消費分類の設定を行う。各行為の電力消費の設定については、家庭内での電力消費のみに焦点を当てるため、電力や化石燃料を含むエネルギー全般の文献^{10) 11)}だけでなく、電力消費に関する実データ^{12) 13)}を用いつつ、EDMCによる調査⁹⁾や、厚生労働省の家計調査¹⁴⁾による電力使用量を考慮して電力消費を設定する。

Table 2.2 に本研究で使用する行為別電力消費量を示す。生活行動属性分類の細かい行動の対応に関しては、生活時間の社会学¹⁵⁾の行動小分類の題目を参考にする。

Table 2.1: 生活行動属性分類

分類方法	分類	分類数
職業分類別	1. 農林漁業者, 2. 自営業者, 3. 販売職・サービス職, 4. 技能職・作業職, 5. 経営職・管理職, 6. 専門職・自由職・その他, 7. 主婦, 8. 無職, 9. 学生	9分類
男女就業状態別	1. 男性有職者, 2. 男性勤め人, 3. 男性勤め人以外の有職者, 4. 女性有職者, 5. 女性勤め人, 6. 女性勤め人以外の有職者	6分類
在学別	1. 高校生, 2. 中学生, 3. 小学生	3分類
曜日別	1. 平日, 2. 土曜, 3. 日曜	3分類
行為分類別	1. 睡眠, 2. 食事, 3. 身の回りの用事, 4. 療養・静養, 5. 仕事, 6. 仕事のつきあい, 7. 授業・学内の活動, 8. 学校内の学習, 9. 放事, 10. 掃除, 11. 洗濯, 12. 買い物, 13. 子どもの世話, 14. 家庭雑事, 15. 通勤, 16. 通学, 17. 社会参加, 18. 会話・交際, 19. スポーツ, 20. 行楽・散歩, 21. 趣味・娯楽・教養, 22. インターネット, 23. テレビ, 24. ラジオ, 25. 新聞, 26. 雑誌・マンガ・本, 27. CD・テープ, 28. ビデオ・DVD, 29. 休息, 30. その他	30分類

Table 2.2: 行為別電力消費量の設定

属性	小分類	対応行為	消費電力[Wh/min]	
動力負荷	ベース負荷	-	3.33	
	テレビ負荷	テレビ	2.50	
	照明負荷	住宅行為全般	3.00	
	その他家電負荷	掃除		13.33
		洗濯		8.13
		インターネット		0.67
		ラジオ		0.67
CD・テープ		0.67		
ビデオ・DVD・HDD		3.17		
厨房負荷	厨房負荷	炊事	4.99	
給湯負荷	給湯負荷	身の回りの用事	$0.46 \times \min(0.60 - T_t)$	
冷房負荷	冷房負荷	住宅行為全般	[起床時] $1.20 \times \max(0, T_t - 24)$ [就寝時] $1.20 \times \max(0, T_t - 4)$	
暖房負荷	暖房負荷	住宅行為全般	[起床時] $0.80 \times \max(0, 18 - T_t)$ [就寝時] $0.80 \times \max(0, -10 - T_t)$	

3 モデル

本研究では家庭における電力消費行動モデルの交換代数による定式化を行うが、最初にモデルベースとしている、生活行動モデル及び、電力行動のアルゴリズムとなっている電力消費モデルについて記述する。

その次に、電力消費行動モデルの交換代数による定式化について具体的な事例を含めて記述する。最後に、この交換代数化して取り扱うことによる、優位性について述べる。そして、この定式化によつての今後の括

張性についても述べる。

3.1 生活行動モデル

生活行動に関するモデル化は、本研究室川村ら²⁾が構築したモデルをベースとして構成されている。このモデルについての説明を以下に記載する。

生活行動モデルは、世帯各人の属性 a_{ij} ごとの生活行動 b_{kl} (行為分類) を作成するモデルである。生活行動の作成においては、NHK放送文化研究所による生活行動に関する統計データ⁷⁾を使用する。この統計データについては、前節で述べたように属性 a_{ij} ごとに行為分類 b_{kl} のデータが存在する。これらの統計データを利用して、各人の一日の生活行動が決定され、各行為が実行される。しかし、NHK放送文化研究所によるデータにはそれぞれの行為が一日に何回行われたかの記述がない。それぞれの行為の回数が一般的に定義でき、複数回行われることが想定される行為 (通勤、通学は一日2回、食事は一日3回等) は各行為を一日何回行うかを規定する。そうすることによって、現実に近い生活行動が表現されている。そして、これらによって多様性のある生活行動を実現している。なお行為を表す変数を b_{kl} は、 $k=\{1,2,3,\dots,28,29,30\}$, $l=\{1,2,3,\dots,a\}$ (行為回数), 行為回数 $=\{1,2,3,4,5\}$ と定義している。

属性分類集合 $Att=\{a_{ij}|i=1,2,\dots,n_att \in \mathbb{N}^+\}$ (= {有職者 (男)・平日, 有職者 (男)土曜, ... 小学生・日曜}), 行為分類別集合 $Beh=\{b_{kl}|j=1,2,\dots,n_beh \in \mathbb{N}^+\}$ (= {睡眠, 身の回りの用事, ... , その他}), 定義域 $\{0,1,\dots,95\}$ をとる15分刻みの時刻変数 t とする時, 行為者比率 $r(a_i, b_k)$, 時刻別行為者率 $p(a_i, b_k, t)$, 全体平均時間 $\mu_A(a_i, b_k)$, 全体標準偏差 $\sigma_A(a_i, b_k)$, 行為者平均時間 $\mu_B(a_i, b_k)$ と定める。その時, 該当行為を15分以上した人の時間量の散らばり具合を $\sigma_B(a_i, b_k)$ とすると(1)の式で解析的に算出することができる。

$$\sigma_B(a_i, b_k) = \sqrt{\frac{\sigma_A(a_i, b_k)^2 + \mu_A(a_i, b_k)^2}{r(a_i, b_k)} - \mu_B(a_i, b_k)^2} \quad (1)$$

これらの値により、行為分類が決定される使用となっている。

3.2 電力消費モデル

電力消費モデルは、前述のNHK放送文化研究所による生活行動に関する統計データ⁷⁾の生活行動属性分類及び、生活時間の社会学¹⁵⁾の行動小分類の題目の詳細な行動に対応させて、電力消費を定義している。

Table 2.2 の行為別電力消費量の設定に大まかな電力消費の設定を記述している。

動力負荷のベース負荷に関しては、全行為に対応して、電力消費を生じるように設定した。照明負荷に関しては、日照時間(5-8月)は19-7時、9-10月及び、3-4月)は18-8時、11-2月)は17-9時に照明負荷が生じる時間)及び、「在宅」, 「非在宅」及び、在宅の場合であ

っても睡眠時を除くように設定した。テレビ負荷及び、その他家電負荷に関しては、「テレビ」「掃除」「洗濯」「インターネット」「ラジオ」「CD・テープ」「ビデオ・DVD・HDD」行為がそれぞれの電力消費負荷に対応する。

暖房負荷及び、冷房負荷に関しては、その行動が「在宅」、「非在宅」に応じて電力消費を行うものとして、それに加え、季節に応じて、冷房負荷、暖房負荷、もしくは両方使用されない等の差を出すために、外気温を考慮して負荷が決定される計算式となっている。また、「在宅」の場合であっても睡眠時には、負荷が生じる閾値が変わるように設定した。

厨房負荷に関しては、「炊事」行為が対応する。給湯負荷に関しては、「身の回りの用事」行為を対応させた。給湯負荷に関しては外気温の影響を受けるため、暖房負荷、冷房負荷と同じように、外気温に応じて消費電力が決まるような計算式で設定した。

照明負荷及び、冷房負荷、暖房負荷、の電力消費設定で使用した「在宅」、「非在宅」の行為が世帯内で行われるかどうかは、文献⁷⁾と文献¹⁵⁾の行為の定義等から決定している。

家庭における集計は、照明負荷で行なっていたものと同じように、文献⁷⁾と文献¹⁵⁾の行為の定義等から、該当行為が家庭において同時刻になされていて、同じ電気機器を用いての電力消費とみなせる場合は、電力消費を共有しているものと見なし設定した。

そして各行為による電力消費量は、各行為とその行為により使用が想定される一般的な電力機器、電力機器の消費電力、使用時間を基に算出される。電力消費の設定に関しては前章で述べた行為別電力消費量の設定を用いる。

3.3 交換代数による電力消費行動モデル

3.3.1 交換代数を用いたモデルの概要

本研究の電力消費行動モデルでは、上記の生活行動モデルと、そのモデルに対応させた電力消費モデルをベースに行う。生活行動に対応させて、モデリングを行うが、特に電力消費によるエネルギーのサービスの部分に焦点を当て、交換代数化を行う。その交換代数化されたものを、必要な視点で集めその分析を行う。具体的なエネルギーサービスの交換代数化としては以下のように行う。

X1[掃除機によるサービス変換]

$$=8.13 \cdot \langle \text{電力量, Wh, Time, 洗濯機} \rangle + 1 \cdot \langle \text{洗濯サービス, 分, Time, 洗濯機} \rangle + 1 \cdot \langle \text{洗濯機の減価償却, 分, Time, 洗濯機} \rangle + 1 \cdot \langle \text{洗剤の利用, 分, Time, 洗濯機} \rangle$$

X2[掃除サービスの消費]

$$=1 \cdot \langle \text{洗濯サービス消費, Wh, Time, 洗濯機} \rangle + 1 \cdot \langle \text{洗濯サービス, 分, Time, 洗濯機} \rangle$$

上記の表現は掃除機によって掃除サービスへの電力のサービス変換と、そのサービスの自己消費が同時に行われたことを意味する。この場合は洗濯機（機器）を4項基底の主体においているが、家計主体のエネルギーマネジメントを考える場合には、以下のように記述する。

X[電力量購入]

$$=100 \cdot \langle \text{電力量, Wh, Time, 家計} \rangle + 100 \cdot \langle \text{買掛金, Wh, Time, 家計} \rangle$$

これは買掛金という形で、電力量を購入したことを表現している。このような形でそれぞれを表現して、電力消費プロセスを明確化する。そしてこのような表現でモデル化したものについて会計的に分析を行う。

加えて以下の Fig. 3.1 の食事サービスの例のように電力サービスがアクティビティに応じてサービス投入されることにより、エージェントの状態変化がなされているというように考える。食事サービスの例では、ご飯前の状態の人に食事サービスを投入することにより、状態変化が起り、ご飯後の人に状態変化がなされたと表現する。それが Fig. 3.2 のように、アクティビティの変化によって連続的になされるというように表現している。上記で表現した交換代数表記で記述を行うのは、投入されるサービスについてである。

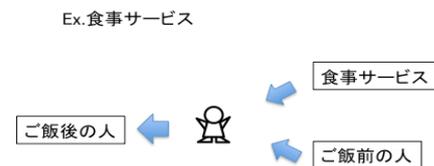


Fig. 3.1: 食事サービスによる状態変化例

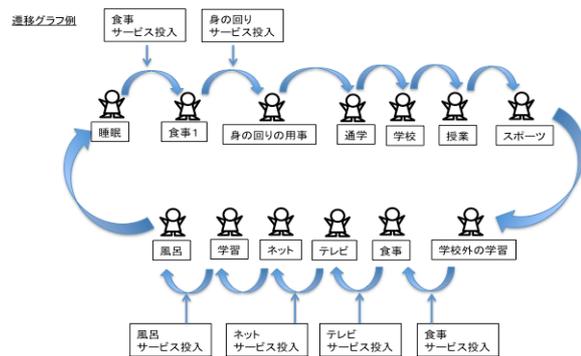


Fig. 3.2: 状態変化の全体像

なお、本モデルに関しては、全てのモデルを通して、ABM(Agent-based Model)と呼ばれる手法を用いてモデリングを行う。この ABM という手法はエージェント毎に属性や、変数、行動の特性などを持たせて、エー

ジェントがそれぞれ自律的に行動することによって、全体の構造が生まれるというボトムアップ型の構造になっている。この ABM という手法を用いるために、本研究では java ベースで構築された開発環境である SOARS(Spot Oriented Agent Role Simulator)を用いてモデリングを行う。

3.3.2 交換代数を用いたモデルの定義

それぞれのサービス投入に関しては、実物簿記を数理的に定式化した交換代数の表記により、エネルギーサービス毎に記述する。交換代数によるサービス生産と自己消費は Fig.3.3 のような概念で行われる。

洗濯機サービスの例では使われる電力と、洗濯機の減価償却と洗剤によって、洗濯機サービスが生成される。そして、生産された洗濯機サービスがサービス前の個人に投入されることにより、サービス後の個人に状態変化するという流れである。しかし、本研究では会計的に扱うためにサービス前の個人がサービス投入によってサービス後の個人が生成されるという表現を、洗濯機サービスの自己消費という表現で行なっている。

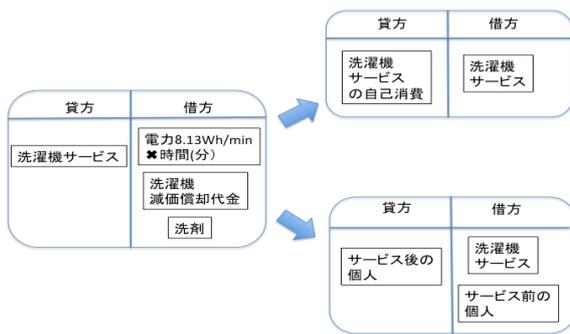


Fig. 3.3: サービス生産と自己消費の概要

この表現を交換代数表記で記述すると。

X5[洗濯サービス]

$$=8.13^{\wedge}\langle\text{Electric_energy, Wh, Time, home}\rangle + 1^{\wedge}\langle\text{Washing_service, minute, Time, home}\rangle + 1^{\wedge}\langle\text{Use of Washing machine , minute, Time, home}\rangle$$

Y5[洗濯サービス]

$$=1^{\wedge}\langle\text{Washing_service, minute, Time, home}\rangle + 1^{\wedge}\langle\text{Washing_service_self_consumption,minute, Time,home}\rangle$$

という形で記述する。本モデルの1ステップは実世界の1分に対応する。よって交換代数の表記では1分毎のサービス生産にかかる電力量及び、減価償却、そのサービス生産に用いられる消費財によって、1分毎のサービス生産と自己消費が為されるという記述をしている。

このようなサービスのそれぞれの定義を、前節の電力消費モデルを用いて、「ベース負荷サービス」、「照明負荷サービス」、「テレビサービス」、「掃除サービス」、「洗濯サービス」、「ネットサービス」、「ラジオサービス」、「音楽サービス」、「ビデオサービス」、「食事サービス」、「給湯サービス」、「冷房サービス」、「暖房サービス」の13種類に分けてそれぞれ行う。

それぞれの交換代数による定義を Table 3.1 に示す。この表記ではそれぞれの主体は家計になっているが、エージェント(有職者、主婦、高校生など)それぞれでサービス毎の集計が為され、前節で記述されているアルゴリズムで家計における集計も同時に為される。

Table 3.1: サービス毎の交換代数式

サービス名	交換代数式
ベース負荷サービス	X1[ベース電力負荷]=3.33<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<Base_load_service, 分, Time, home > Y1[ベース電力負荷]=3.33<Base_load_service_self_consumption, minute, Time,home>+3.33<Base_load_service, Wh, Time, home>
テレビサービス	X3[テレビサービス]=2.50<Electric_energy,Wh,Time,home>+1<TV_service,minute,Time,home>+1<Use of TV , minute, Time, home> Y3[テレビサービス]=1<TV_service, minute, Time, home>+1<TV_service_self_consumption, minute, Time, home>
照明サービス	X2[照明サービス]=3.00<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<Lighting_service, minute, Time, home>+1<Use of lighting equipment , minute, Time, home> Y2[照明サービス]=1<Lighting_service, minute, Time, home>+1<Lighting_service_self_consumption, minute, Time, home>
掃除サービス	X4[掃除サービス]=13.33<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<Cleaning_service, minute, Time, home>+1<Use of a vacuum cleaner , minute, Time, home> Y4[掃除サービス]=1<Cleaning_service, minute, Time, home>+1<Cleaning_service_self_consumption, minute, Time, home>
洗濯サービス	X5[洗濯サービス]=8.13<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<Washing_service, minute, Time, home>+1<Use of Washing machine , minute, Time, home> Y5[洗濯サービス]=1<Washing_service, minute, Time, home>+1<Washing_service_self_consumption, minute, Time, home>
ネットサービス	X6[ネットサービス]=0.67<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<Net_service, minute, Time, home>+1<Use of computer , minute, Time, home> Y6[ネットサービス]=1<Net_service, minute, Time, home>+1<Net_service_self_consumption, minute, Time, home>
ラジオサービス	X7[ラジオサービス]=0.67<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<Radio_service, minute, Time, home>+1<Use of radio , minute, Time, home> Y7[ラジオサービス]=1<Radio_service, minute, Time, home>+1<Radio_service_self_consumption, minute, Time, home>
音楽サービス	X8[音楽サービス]=0.67<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<music_service, minute, Time, home>+1<Use of music equipment , minute, Time, home> Y8[音楽サービス]=1<music_service, minute, Time, home>+1<music_service_self_consumption, minute, Time, home>
ビデオサービス	X9[ビデオサービス]=0.67<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<video_service, minute, Time, home>+1<Use of video , minute, Time, home> Y9[ビデオサービス]=1<video_service, minute, Time, home>+1<video_service_self_consumption, minute, Time, home>
食事サービス	X10[食事サービス]=4.99<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<meal_service, minute, Time, home>+1<Use of cooking equipment , minute, Time, home> Y10[食事サービス]=1<meal_service, minute, Time, home>+1<meal_service_self_consumption, minute, Time, home>
給湯サービス	X11[給湯サービス]=A<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<Hot_water_supply_service, minute, Time, home>+1<Use of , minute, Time, home> Y11[給湯サービス]=1<Hot_water_supply_service, minute, Time, home>+1<Hot_water_supply_service_self_consumption, minute, Time, home>
冷房サービス	X12[冷房サービス]=B<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<cooling_service, minute, Time, home>+1<Use of air conditioning , minute, Time, home> Y12[冷房サービス]=1<cooling_service, minute, Time, home>+1<cooling_service_self_consumption, minute, Time, home>
暖房サービス	X13[暖房サービス]=C<Electric_energy, Wh, Time, home>+1<heating_service, minute, Time, home>+1<Use of Heating equipment , minute, Time, home> Y13[暖房サービス]=1<heating_service, minute, Time, home>+1<heating_service_self_consumption, minute, Time, home>

3.4

本モデルの優位性・拡張性

交換代数によって電力消費をモデル化することにより、電力消費モデルはただ単純に、社会をシミュレーションするものではなく、よりミクロな視点でエネルギーの見える化を為すことができるようになる。

つまり、より具体的にどのような部分で電力が費やされているのか会計的な形で見える化が可能となる。

本モデルでは家計に対する電力、つまり生活行動からの電力消費行動を交換代数により定式化、モデル化をする。この表現方法では、前節の電力購入の記述のように記述することにより、太陽光電池による発電及び、蓄電池の使用をも表現することができる。以前では明確に、どの程度のメリット、デメリットがあるかわからなかったものをも、明確に表現出来るものとする。

より具体的な優位性に関して言えば、交換代数の基底である、主体、現在時間、勘定科目でそれぞれを集計、分析できることが優位性である。それに加え、サービス単位であつかうことによって、電力消費だけでなく、減価償却や、そのエネルギーサービスに費やされる消費財の利用まで含めたマネジメントが可能となってくる点にある。

4 モデルの妥当性評価

ひと月ごとにシミュレーションを行い、5種類の負荷に分けてまとめたものを Fig. 4.1 に示す。この平均をとり、1世帯あたりの用途別・電力消費量比率で EDMC データとの比較を行ったものを Table 4.1 に示す。この結果より、実データとの形状とほとんど一致することが確認できる。暖房の電力消費量比率が低く、動力負荷の値が想定よりも高くなってしまっているが、これは日照時間の関係と、月別の気温データとして、北九州市の実証実験データと、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)⁹⁾が公表している気象データベース METPV-11 から八幡市の1時間ごとの月別平均気温を用いているため、全国平均よりも暖房負荷の割合が低くなり、冷房負荷の割合も若干高くなっているものと考えられる。

Table 4.1: シミュレーション結果- EDMC データ比較 (1世帯あたりの用途別・電力消費量比率)

	動力負荷	厨房負荷	給湯負荷	暖房負荷	冷房負荷
平均電力量(シミュレーション結果)	8443.44	566.79	3110.83	2366.9	808.69
構成比(%) (シミュレーション結果)	55.19796818	3.7053211	20.33667502	15.47332259	5.286713104
EDMCデータ(%)	34.78127868	8.188028959	28.21454063	26.57285612	2.243295605

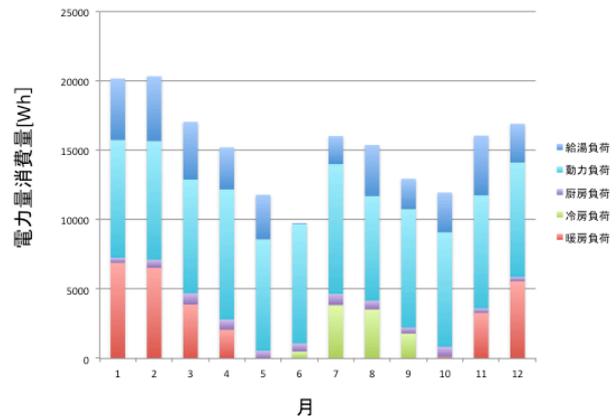


Fig. 4.1: シミュレーション結果・月毎の電力消費量

この EDMC のデータに加え、経済産業省資源エネルギー庁の電気料金の水準の電気料金の水準¹⁶⁾を用いて、シミュレーション結果の月ごとの平均電力量を電気料金に換算し、総務省統計局⁸⁾の月ごとの平均電気料金の平均と比較すると、総務省統計局のひと月のあたりの平均電気料金が 9,590.9 円、シミュレーション結果の年間のひと月の平均電気料金が 11,013.6 円となり、ほぼ一致することが確認できる。以上の結果より、電力消費の設定及び、本モデルのシミュレーションの妥当性が確認できる。

5 シミュレーション結果

交換代数で<勘定科目、単位、時間、主体>と言うように表すことにより、それぞれのサービス単位でのプロファイリング可能となる。それに加え、主体(家庭や、有職者、主婦など)ごとによる電力消費も見ることが可能となることや、この時刻に消費が多いなどの時刻による集計も可能となっている。以下にサービス単位での集計や、主体毎によるプロファイリングの例と、その有用性について示す。

5.1 サービスによる集計とその意義

サービスごとの使用電力量(主婦)の使用電力量の総計と、その時刻毎のデータを Fig. 5.1 に示す。その時刻ごとのデータからは朝 8 時ごろ及び、夕方 5 時から 9 時頃までに電力消費が多くなっている。よってピークシフトに関して言えば、その部分に注目すれば良いこと効率的に行われることがわかる。本研究での優位点として、サービス単位で電力を可視化できることが挙げられるが、その視点で見れば給湯サービス及び、掃除サービスがピーク電力に関係していることが見て取れる。

サービス毎の集計をみると、ピークには関係していなかった、ベース負荷サービス及び、暖房サービスが使用電力量に大きく関係していることがわかる。よって、単純に使用電力量を下げようと思えば、ベース負荷（待機電力）を下げるようにするもしくは、暖房サービスにおける電力消費を抑えるようにするのが一番効率的であることがわかる。逆に使用限度電力及び、電力供給側などからのピークシフトが要請されるような場合には、掃除サービスや、給湯サービスに着目するのが効率的だと考えられる。

この研究のサービス単位で電力消費を考えられることが優位点であると考えられる理由は、そのサービス生産に関して、単に電力量だけでなく、減価償却及び、消費財も含めて、そのサービスに必要なものを一括で考えることができるからである。この節では扱っていないが、このサービス生産に一括で考えることによって、電化製品の効率的な買い替えや、どの程度その電化製品の使用電力が効率的であれば、利益がどの程度かわかるようになる。これは近年普及し始めている、太陽光発電や、蓄電池が、どれほどその家計に利益をもたらすのか不明確であるという問題も解消できると考えられる。

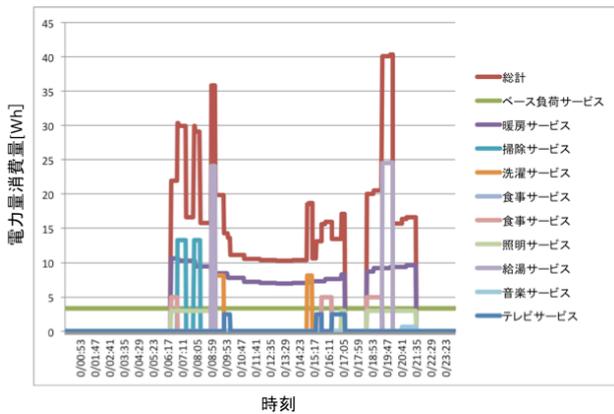


Fig. 5.1: 主婦でのサービス毎の使用電力量 その時刻毎

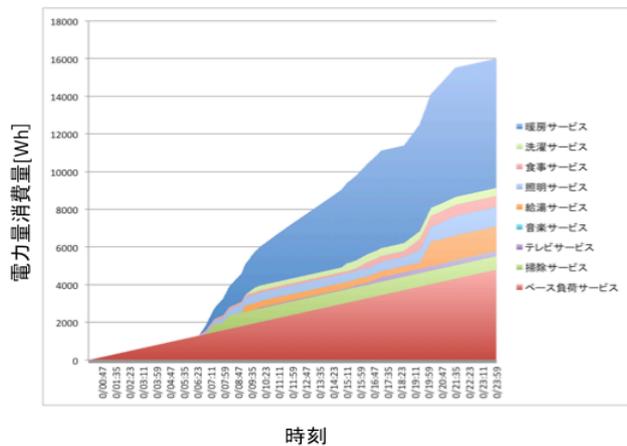


Fig. 5.2: 主婦でのサービス毎の使用電力量 総計

5.2 主体毎による集計とその意義

家計における主体毎での使用電力量の総計と、家計におけるサービスごとの使用電力量の総計をそれぞれ、Fig. 5.3, Fig. 5.4 示す。Fig. 5.3 からは主婦が圧倒的な使用量を示すが、高校生や、有職者が帰宅後であっても、家計において使用電力カーブがそこまでの変化がないことより、世帯構成により一人当たりでの使用電力量が大幅に削減されていることがわかる。また、Fig. 5.2 と Fig. 5.4 の違いから主婦以外の給湯サービスの差により、大幅な差が出ていることと、アクティビティパターン（行動時間）にあまり差がないことが家庭内の電力の効率的に為されていると考えられる。このモデルの主体毎で解析できるという優位点は世帯構成の違いによる、家庭及び、その主体がどれだけ利益を得ているのかがわかる。またエージェントのアクティビティパターンの変更により、それぞれの主体での使用電力量の違いも取り扱うことができる。

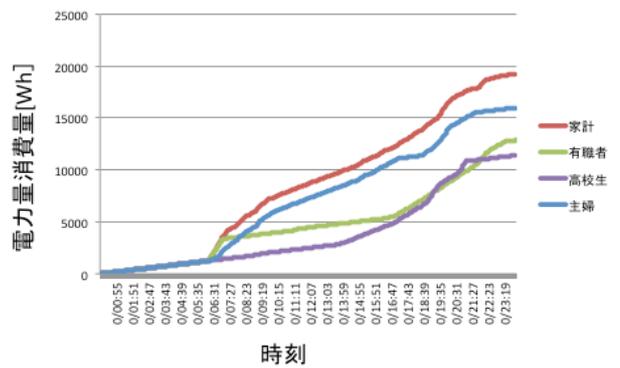


Fig. 5.3: 主体毎での使用電力量 総計

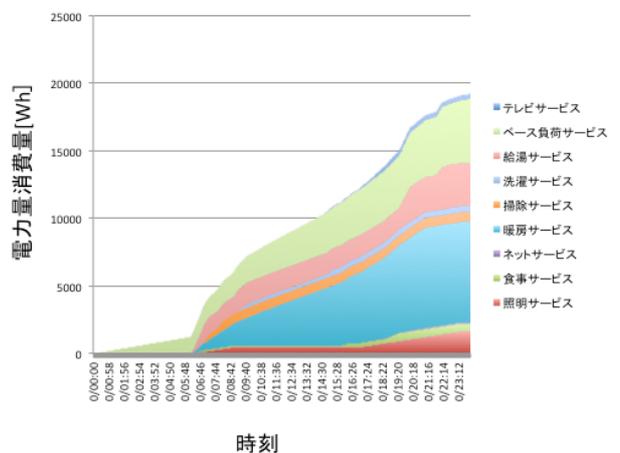


Fig. 5.4: サービス毎の使用電力量 総計

5.3 シナリオ分析

5.3.1 世帯構成によるシナリオ分析

世帯構成のごとの電力消費量データと、それを一人あたりのものに計算したデータをそれぞれ Fig. 5.5 と Fig. 5.6 に示す。二世帯は共働きの場合を想定している。世帯構成ごとの電力消費量のデータからは、三世帯以降から、家庭における電力消費量の差はほとんどなくなっているのがわかる。二世帯（共働き）の場合に家庭における電力消費量が三世帯と比べて大幅に低いのは、家事にかかる時間の違いからと推測できる。世帯構成ごとの一人当たりの電気量のデータからは、一人暮らしの一人当たりの電力消費量が圧倒的に不利益であることが見て取れる。世帯構成が多い、もしくは家庭において電力消費サービスが多くなされている家であるほどに、電力消費の共有が為されていて、一人あたりの電力消費が少なくなっている。よって一人で電力消費を行うより、ルームシェアや、電力使用を共有できる仕組みにすることで電力利用の削減でき、本モデルではどの程度削減できるかが明確にわかることが確認できる。また共働きの世帯と、主婦のいる家庭における分析を本シナリオで交えたように、アクティビティパターンが違う人たちによる、ルームシェアのベストミックスや、アクティビティパターンが大きく違いがある家庭での分析も可能であると考えられる。

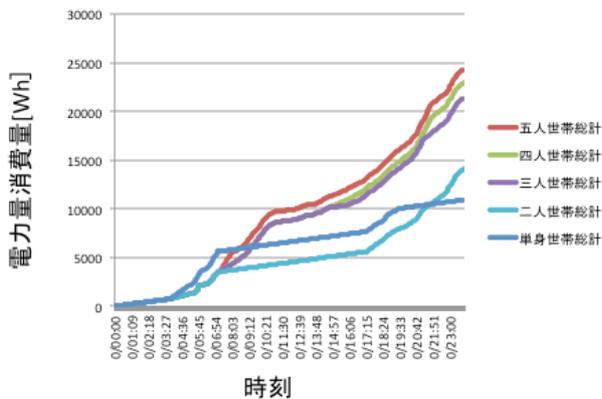


Fig. 5.5: 世帯構成ごとの電力消費量 総計

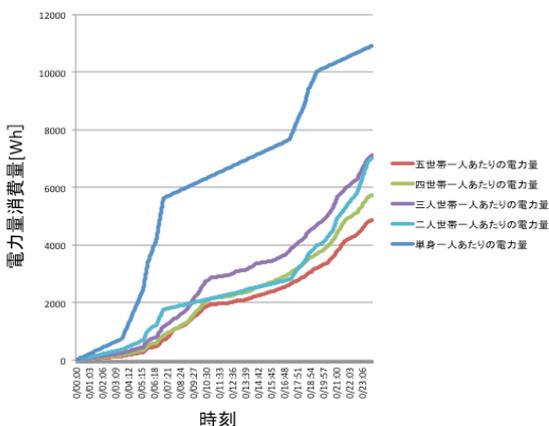


Fig. 5.6: 世帯構成ごとの一人あたりの電力消費量

5.3.2 減価償却を含めた電力サービス会計

減価償却のシナリオ例として、ピーク時の電力量が高い掃除機でシナリオ分析を行う。掃除機の場合は掃除機の平均価格 16,000 円とし、電力価格を 1kWh あたり 25 円とすると、この家庭での減価償却使用は $56 \times \langle \text{Use of a vacuum cleaner, minute, Time, home} \rangle$ であるので、国税庁の定額法による減価償却法及び、耐用年数表¹⁷⁾用い、掃除機の減価償却を考えると、電気冷蔵庫、電気洗濯機その他これらに類する電気・ガス機器に対応すると考えられ、耐用年数を 6 年とすると、1 分での減価償却は $(16000 \div 6) \div (54 \times 30 \times 12) = 0.14$ 円であるので、1 分あたりの消費電力量に対する金額は $13.33 \times 25 + 1000 = 0.33$ 円となる。よって、使用電力量から利益を出そうとすると、 $(0.33 - 0.14) \div 0.33 = 0.575$ であるので、6 年の使用後の掃除機であれば効率が 42.5% 以上の効率の改善があるのであれば、利益が出ているものと考えられる。このような手法を用いることによって、全ての家電製品の有効な替え時が、計算することができる。

これによって、替え時だけでなく、その電力サービス生成にかかる金額をまとめて扱えるようになる。

6 まとめ、考察

今回のシナリオ分析では掃除機による減価償却のみを扱ったが、他の家電製品についても計算が可能である。太陽光発電に関しても、その家庭における太陽光発電の日射量のデータや、太陽光発電の効率、大きさのデータさえあれば、この計算と同様に行うことが可能である。この計算によって、以前まではその家庭で具体的にどの程度の利得があるのか、どの程度で元を取ることができるのかなど、不明確であった部分が、それぞれの家庭である程度の正確性で推定することができる。

また、本モデルの定義でも記述している通り、太陽光発電や、掃除機の減価償却だけでなく、その他のエネルギーサービスについても、減価償却に関するものや、そのサービスにかかるその他の消費財などを含めたサービス生産と、サービス消費について扱うことが可能である。このようなサービス消費を家庭における電力サービス全体で会計的に分析することにより、サービスひとつひとつにどの程度の出費がかかっているのか正確にわかるようになる。このように一回のサービスや、年間を通してのサービスの利用にどの程度の出費がかかっているかなどがわかると、その電力に関わるサービス生産のマネジメントが可能になる。それに加え、サービスの一括提供一月いくらなどのような、電力レンタルサービスの提供などが可能になり、そのようなサービスの創出だけでなく、今現在、太

陽光や、蓄電池の導入などにより、どのような年月でどのような利益が出るかなど不明確なブラックボックスとなってしまう部分に対しても、その主体に対し、明確にどのようなメリット、利益があるのかが明確になり、新たなサービス投入が可能となる。

このような電力サービスの一括提供が可能となる理由としては、そのエージェントのアクティビティパターンがある程度想定できれば、電気代、それに伴う減価償却、消費財という変動値であったものが固定値として扱えるからである。このような新たなサービスシステムの提供も、このシステムを使えば可能となってくると考えられる。

また、コミュニティやその家庭毎に対応したモデルを構築するにあたっては、今回の NHK 放送文化研究所のデータを用いた出力結果の、大きな影響を与えている部分のみに着目し、在宅の平均時間、平均気温、テレビ、給湯、洗濯、掃除、食事の平均時間のみに質問事項をしてアンケート調査を行う。そのアンケート結果を用いて、本モデルの簡単化モデルを作成することにより、精度は下がるが、大まかな値は変わらずに、より簡単にそのコミュニティや家庭に対応したモデル構築が可能であると考えられる。

7 今後の課題

広い視点での課題は、前章で記述したような、減価償却や、消費財を含めた、サービスの利用にどの程度の出費がかかっているかなどがわかるようなモデルに拡張し、その分析を行うことである。そうすることによって、家系での意思決定や、電力レンタルサービスの提供などが可能になり、そのようなサービスの新設、検討も可能というシナリオ分析ができ、新たなサービス提案や、家系マネジメントとして利用できる。細かいところでは、家庭における意思決定に利用できるようにするためには、消費電力のパラメータや、行動の対応などの、より詳細なモデル構築が必要である。

シナリオ分析に関しては、太陽光発電や、BEMS によるマネジメント、ガスと電力のベストミックス、コジェネ発電の導入や、オール電化などの様々なアクティビティや、システムの導入などの分析が可能であるので、これらの分析についても行いたい。なぜならこの手法では、より複雑なモデルになればなるほど、サービス単位、主体単位で分析できる利点が活きてくると考えられるので、他の手法にはない分析が可能でありと考えられ、そのシナリオに合わせることにより、どの程度の利益、不利益がわかり、明確な意思決定支援をも行えるようになると考えるからである。

8 参考文献

1)依田高典,田中誠,伊藤公一朗:北九州市における変動型 CPP 社会実証-2012 年度夏期評価結果-,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.(2013)

2)川村淳貴,出口弘:シミュレーション手法による生活行動に基づく電力消費行動の解析,進化経済学会(JAFEE)北海道大会報告論文集,pp270/284.(2015)

<http://www.jafee.org/conference/conference_files/otaru_conference_volume.pdf>

3)兵藤峻,出口弘:世帯類型電力消費モデルに基づいたコミュニティ電力融通モデルの研究,第8回社会システム部会研究会,pp139/148.(2015)

<<http://journals.socsys.org/symposium008/pdf/008-018.pdf>>

4)出口弘,竹林知善,吉田宏章:エネルギー会計によるエネルギー運用計画デザイン,国際 P2M 学会誌,Vol.10 No.1,pp.191/214.(2015)

5)出口弘:トランザクションベースの経済システム学,進化経済学会第 17 回大会報告論文集.(2013)

<http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/jafee/papers/Deguchi_Hiroshi_2.pdf>

6)榊俊吾:メディア学体系8 ICT ビジネス,コロナ社.(2015)

7)NHK放送文化研究所:データブック国民生活時間調査 2010,NHK出版.(2011)

8)総務省統計局:社会生活基本調査.(2011)

9)(財)日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット:EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2016年版),(財)省エネルギーセンター.(2016)

10)西尾健一郎,浅野浩志,世帯の多様性を考慮した家庭部門エネルギー需要生成ツールの開発,電力中央研究所研究報告,Y05008.(2006)

11)渡邊裕美子,岩船由美子:人口構成の変化を考慮した地域における長期的なエネルギー需要の推計,エネルギー資源学会論文集34 No.6,18/28.(2013)

12)資源エネルギー庁:家庭の節電対策メニュー.(2011)

13)(財)省エネルギーセンター:平成24年度待機時消費電力調査.(2013)

14)総務省統計局:家計調査結果.(2011)

<<http://www.stat.go.jp/data/kakei/>(閲覧日2017-1-12)>

15)矢野眞和:生活時間の社会学-社会の時間・個人の時間.1995

16)経済産業省資源エネルギー庁:電気料金の水準.2015

17)国税庁:No.2106 定額法と定率法による減価償却(平成19年4月1日以後に取得する場合).

<<https://www.nta.go.jp/taxanswer/shotoku/2106.htm>(閲覧日:2017-1-12)>