

ロードマネジメントとその費用便益分析¹⁾

キーワード：ロードマネジメント，季時別料金制，
負荷適応料金制，費用便益分析

浅 野 浩 志

〔要 旨〕

電力の需給両面において不確実性が增大している現在，電力コスト抑制を図りながら，電力の安定供給を果たしていくためには，需要側に積極的に働きかけてより望ましい負荷特性に誘導し，電力設備の利用効率向上と設備投資の効率化を図っていくロードマネジメントが重大な関心事となりつつある。また，将来の高度情報化技術を背景として，季時別料金制の概念を更に押し進めて時々刻々の需給事情に応じて料金を可変とする負荷適応料金制（スポット料金制）が国内外で提案・検討されている。

ロードマネジメントにより達成しようとする負荷調整には，各電気事業がおかれている経営環境により負荷平準化，省エネルギー，需要創成と様々なパターンがある。その手段は特定の消費者行動を狙い打ちして働きかけるもの（直接負荷制御）と，需要を特定せず，季時別料金制のような一般に適用される料金制度を利用して間接的に働きかけるものに大別される。これらの方策の効果を評価する費用便益手法には，関連する費用項目毎の増減を積み上げる「費用節約的分析」と，経済的厚生の変化で便益を測る「厚生経済学的分析」があり，前者は特定の消費者行動を狙い打ちするタイプに，後者は料金を介して間接的に働きかけるタイプに適する。本報告では費用節約的分析に属するものの例としてカリフォルニア州規制当局が開発した手法を紹介するとともに，厚生経済学的分析を加味する改良案を提示する。

また，設備調整のない短期的視点から，均一料金制と季時別料金制，更に季時別料金制と負荷適応料金制の厚生効果を比較し，これら新料金制度の理論的側面からの有効性を示す。

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1. はじめに | 3.2.2 参加者テスト |
| 2. ロードマネジメントの諸方策 | 3.2.3 非参加者テスト |
| 2.1 料金制度によるロードマネジメント | 3.2.4 電力会社所要収入テスト |
| 2.2 末端需要に直接働きかけるロードマネジメント | 3.2.5 社会テスト |
| 2.3 米国におけるロードマネジメント | 3.3 費用便益分析手法の改良 |
| 3. ロードマネジメントの費用便益分析 | 4. 新料金制度の厚生経済学的分析 |
| 3.1 費用節約的分析と厚生経済学的分析 | 4.1 基礎分析—交差効果 |
| 3.2 カリフォルニア州規制当局（CPUC-CEC）の手法 | 4.1.1 相互依存需要モデルと独立需要モデル |
| 3.2.1 手法の概要 | 4.1.2 価格弾力性とコスト関数 |
| | 4.1.3 交差効果 |

1) 本稿は第4章を除いて電力中央研究所調査報告「ロードマネジメントとその費用便益分析—米国における実施状況と研究の現状—」〔1〕を要約したものである。また第4章の分析にあたっては茅陽—東京大学教授，室田泰弘埼玉大学助教授，当経済研究所山地憲治主査研究員から貴重な助言を頂いたことに心より謝意を表したい。

- 4.2 報酬率規制と季時別料金制
- 4.3 季時別料金制と負荷適応料金制の比較

5. 結 語

1. はじめに

従来の電力計画においては、電力需要は所与とされ、供給側の計画によってシステムの最適化を図ってきた。しかし、近年、負荷率の悪い需要が相対的に増大する一方で、電源開発、送配電網開発のほうでは、需要に応じた調整が難しくなっており、需要側への働きかけの必要が強く認識されるようになった。需要側へ積極的に働きかけて負荷の調整を行なうことを一般にロードマネジメントと呼んでいる。また、将来の高度情報化技術を背景として、季時別料金制の概念を更に押し進めて、時々刻々の需給事情に応じオンライン的に料金を変化させる負荷適応料金制（スポット料金制）が提案され、各方面で注目を浴びている。

本報告は、米国におけるロードマネジメントの実施状況と各種の費用便益分析手法の調査を踏まえ、ロードマネジメント、特に季時別料金制及び負荷適応料金制の厚生経済学的分析を通じてその理論的側面からの有効性を評価することを目的とする。次の段階では、日本における新しいロードマネジメント導入の実現可能性と実施上の諸問題を検討する予定である。

以下、第2章では、米国におけるロードマネジメントの諸方策と実施状況を簡単に整理する。第3章は、調査報告の根幹をなす部分であるが、まずロードマネジメントの費用便益分析の理論的なサーベイを行ない、次にカリフォルニア州規制当局が採用している費用便益分析手法を紹介し、本手法適用上の問題点とモデルの改良点を検討する。第4章では、均一料金制と

季時別料金制、更に負荷適応料金制との厚生効果を比較し、新料金制度の経済効率の評価を試みる。

2. ロードマネジメントの諸方策

電力需要側に積極的に働きかけて、望ましい負荷曲線に誘導することを一般にロードマネジメント (Load Management あるいは Demand-side Management) と呼んでいる。ロードマネジメントにより達成しようとする負荷調整には様々なパターンがある。米国においては各電気事業が置かれている 地域的・時代的条件により、負荷平準化や省エネルギー、特定時間帯の需要創成等、ロードマネジメントの目標は変化している。有効なロードマネジメントを行うためにはまず目標とする負荷特性を明確にする必要がある。

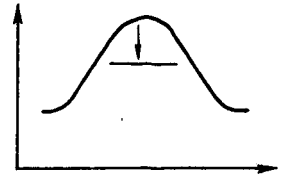
表 2.1 に C. W. Gellings (米国電力研究所 EPRI, IEEE ロードマネジメント小委員会委員長) によるロードマネジメントの目標となる6種類の負荷特性変化パターン及びそれに対応する手段の例を示す。表に示すようにロードマネジメントが直ちに負荷平準化を意味するものではなく、省エネルギーや需要創成など需要の絶対水準を変化させることも含む広い概念であることに注意を要する。

ロードマネジメントの手段は、特定の消費者行動を狙い打ちして働きかけるものと、需要を特定せず一般に適用される料金制度を利用して間接的に働きかけるものに大別される。前者に含まれるのは、省エネルギー投資に対する支援や需要機器の直接負荷制御などであり、多種多

表 2.1 ロードマネジメントの目標となる6種の負荷特性変化パターン

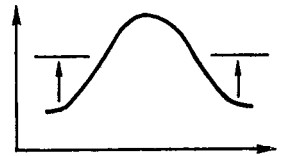
①ピーク削減

手段：需要家の電気機器の直接制御等



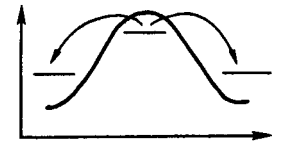
②谷間需要創成

手段：夜間蓄熱方式による給湯・暖房の電化等



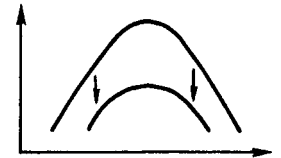
③負荷移行

手段：蓄熱式空調装置の導入，季時別料金制度の採用等



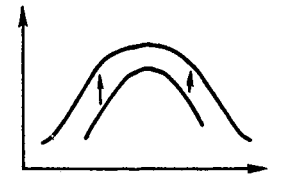
④省エネルギー

手段：建屋断熱化，機器高効率化等



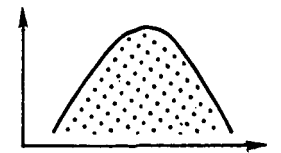
⑤需要開拓

手段：電気加熱等による電力シフト促進，地域開発等



⑥負荷の制御性向上

手段：負荷遮断可能料金制度の導入等



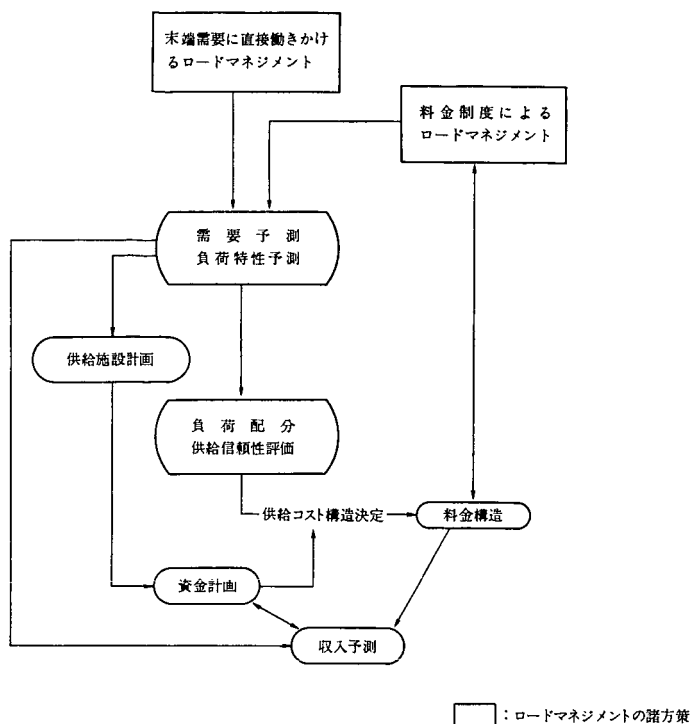


図 2.1 電力計画プロセスの中に位置付けたロードマネジメント

様な方式が実施・計画されている。後者に分類されるのは、季時別料金制や通増料金制等の料金制度であるが、これらにおいては、電力生産の原価を忠実に反映して経済効率を追求することが主目標とされるのが通常であり、ロードマネジメントとしての目標である負荷特性の変化は、結果としてもたらされる副産物であることが多い。これらロードマネジメントの手段を従来の電力計画プロセスの中に位置付けると図 2.1 のようになる。供給側計画（電源計画、負荷配分）との関係においては、次の負荷特性変化が挙げられる。

電源代替として：ピーク削減，負荷移行，負荷の制御性向上

負荷配分効率化として：谷間需要創成，負荷移行

限界費用上昇抑制対策として：省エネルギー

一、ピーク削減

また、マーケティング対策としては、省エネルギー、谷間需要創成が重要である。

以下、ロードマネジメントの具体的方策を簡略に説明する²⁾。

2.1 料金制度によるロードマネジメント

電気料金を介して需要家の自発的行動により負荷を調整する方法は料金に限界費用が適切に反映されていれば、市場の力を借りて最適な経済効率を達成できるという点で魅力的である。この点で最も理想的な料金制度は時々刻々の需給条件に応じてオンライン的に価格を決定する負荷適応料金制（スポット料金制）で、第 4 章で詳しく触れる。負荷適応料金制ほど理想的ではないが、あらかじめ決められた時間帯ごとに

2) ロードマネジメント諸方策の詳細な内容は調査報告〔1〕を参照のこと。

料金を変え、オフピークに需要を誘導する方式が季節別時間帯別料金制（季時別料金制）と呼ばれるものでロードマネジメントの中心的な位置を占める。これには時間帯の設定、デマンド料金との組み合わせなどにより様々な形態があり、我が国で採用されている需給調整契約の一部（産業用の年間調整契約）はこれにあたる。また、省エネルギーの目的には通増料金制が有効である。

以上は一般的に適用される料金制度であるが、この他に特定の負荷に結びついて負荷抑制に対して料金上優遇する特別契約があり、これらはピーク削減、信頼性向上の効果が明確であるため、現状では上記の制度より多く用いられている。代表的なものは、我が国の需給調整契約にも含まれている、需給逼迫時に供給を遮断できるという条件付で料金を割り引く負荷遮断可能料金制（Interruptible Rates）、使用可能最大負荷を需要家が前もって設定でき、低く設定するほど割引の大きい需要登録制度（Demand Subscription System）などである。その他にも重負荷があらかじめ予想される時期に負荷を抑制することで料金割引を受けられる制度（需給調整契約の計画調整契約）など多くの形態がある。

2.2 末端需要に直接働きかけるロードマネジメント

直接負荷制御が代表的であり、これは電力供給者が電力線・電話等を通して蓄冷熱装置等の需要機器を直接制御する方式である。料金上の優遇措置によって導入が促進されることが多く、米国では既に相当の効果を上げている。現在、制御対象として考えられているのは、温水器、空調機器、プールポンプなどで、これら需要機器をサイクリング運転させたり、タイマー

によりあらかじめ時間を決めて運転することで同時負荷を避けピーク削減している。

この他に、上手な電気の利用法についてのセミナーを開くとか、低利融資により住宅の断熱化や効率的機器の導入を促進するなど省エネルギーと結びついてたものから、逆に深夜作動する温水器の販売を促進して深夜需要を創成するという需要促進型の対応まで、供給者の置かれた環境に応じて様々な方策が考えられる。需要家の構成、知識レベル等によって効果が変化するが、重要なロードマネジメント方策の一つである。

2.3 米国におけるロードマネジメント

1970年代以降、米国においては、エネルギー危機、インフレーションに起因する燃料費及び建設費の高騰、ピーク需要の増大及びその結果としての設備の拡張と年負荷率の低下といった諸要因が複合して、供給コストが著しく増大し、これは需要家にとって電気料金の値上げとして反映された。この結果、電気料金の頻繁な値上げ申請に伴う州規制委員会審査の急増と料金問題への需要家の関心の高まり、環境保護団体の料金体系改革運動、公益事業規制政策法（PURPA）の制定など電気事業にとって重要な一連の動きが見られた。これらの環境の変化に応じて公益事業規制委員会協会（NARUC）は、発電コストの上昇を抑制するために、最大需要の伸びを鈍化させ、更に、ピーク時の電力消費をオフピーク時間帯に移行する（ロードソフト）方法を検討する目的でロードマネジメントに関する研究を料金制度研究会（RDS）に要請した（1974年には、料金設定上の問題について、1976年には、直接負荷制御を含めたロードマネジメントに拡張）。RDSの研究成果は、その最終報告書「ロードマネジメント—課題、目

的と選択—^[2]^[3]に集約されている。

70年代に起きた需要構造の変化の中で、特に家庭用冷暖房負荷が急増して系統負荷を次第に尖鋭化させたことと、季時別料金制実施に必要な諸コストが商工業用需要家よりも相対的に高く、費用効果性が不確実であるため実験から得られる情報量が大きいという二つの理由から、家庭用需要を対象として、DOE（エネルギー省）がスポンサーとなった季時別料金制の社会実験が1975年以来数多くなされてきた。この実験の結果と評価は、一連の料金制度研究会（RDS）レポート等を参照されたい^[4]^[5]。

米国におけるロードマネジメントは、既に予備的なフィージビリティスタディを終え、実際にどのロードマネジメントオプションを選択すべきか、という段階に達している。

EPRI-DOEの年次調査では、100社を超える電気事業が、現在、種々のロードマネジメント計画に関係しているが、関心の高まりの割には実際に影響を受けている需要家は多くない。ロードマネジメントの本格的な実施状況は地域により差があり、現在比較的進んでいるのはカリフォルニア州など数州に限られる。

調査報告〔1〕では、米国の需力会社の中でもロードマネジメントに関して革新的な会社であるパシフィックガス・電力会社（PG & E）、南カリフォルニア・エジソン社（SCE）のロードマネジメントプログラムの歴史的経緯と将来計画を詳細に調査している。両社は、ロードマネジメントに関する調査や分析についてカリフォルニア州公益事業規制委員会（CPUC）、DOEなどと密接な協力関係を保ち、相互のプログラム費用削減に努めている。

3. ロードマネジメントの費用便益分析

3.1 費用節約的分析と厚生経済学的分析

ロードマネジメントの費用便益分析に関する研究は、欧米各地で季時別料金制社会実験が行われるようになった1970年代から幾つか現われるようになってきた。これらの研究は、電力会社、需要家及び社会といったその費用便益が帰属する主体からの視点をどこまで明確にするか、あるいは需要家の受けるサービス価値の変化といった定量化しにくい要素をどこまで考慮するのか、といった基準で分析の精緻さが問われる。

ロードマネジメントプログラムの評価に際しては次のようないくつかの注意すべき問題点がある。第一に、プログラム実施に直接・間接に関与する主体のいかなる立場から、当該プログラムの費用便益を評価するかといった評価観点の多様性である。プログラムの社会的な経済効率を計測するためには電力会社・需要家を含む社会の観点から評価すればよいが、プログラムコストの分担や料金支払いの公平性をみるためには、参加者と非参加者のそれぞれの立場から評価する必要がある。

第二に、費用便益分析は短期と長期の問題に分けて論じる必要がある。需要側では、短期的には保有機器構成は不変であるから、スイッチのオン/オフで需要を調節するのみであるが、長期的にはロードマネジメントプログラムのメリットを十分享受するために電気温水器やタイマー類の購入・設置といった行動をとりうる。また、供給側は、短期的には運用計画の変更、長期的には新規電源開発の見直しが可能となる。

第三に、何をもちいて評価基準とするか、とい

う問題があり、これは本研究の主要な論点である。例えば、需要側の純便益として料金支払いの節減分のみを計上するのか、あるいは消費者余剰、補償変分、等価変分などの厚生変化のより精密な測度を用いるのかという問題である。また、夜間就業など労務条件の変化、環境へのインパクト、生活様式の変化など貨幣価値に換算しにくい要素、いわゆる intangibles をどう取り扱うかも無視できない。

第四に、評価結果が主要パラメータの仮定など前提条件に非常にセンシティブであり、特に割引率の設定や不確定な限界費用の計測に依存する。

初期の研究の多くは、便益としてロードマネジメント実施により生ずる料金支払いまたは発電費用の節約額を計測するものであり、「費用節約的分析」(cost savings approach) と呼ぶことができる。こうしたアプローチではロードマネジメントプログラム参加により需要家が経験するサービス価値の利得と損失を十分に反映していないとの批判を受けている。

これに対して、特に新料金制度の費用便益分析として有効であるが、厚生経済学の理論を適用して、新料金制度の採用により社会的にどれほどの厚生変化をもたらされたかを計測する分析、即ち、「厚生経済学的分析」(welfare economics approach) はより包括的に費用便益を捕捉することができるものと考えられる。

費用節約的分析をとる研究の一例として Lande. R. H. [6] が挙げられる。そこでは、電力会社の視点から費用として追加的メータリングコストを便益として季時別料金制により節約される燃料及び繰り延べされる所要設備の価値がとられている。

厚生経済学的分析を最初に季時別料金制に

適用した研究は、Wenders. J. T. and L. D. Taylor [7] であるといわれている^[8]。また、Aigner. D. J. は、Journal of Econometrics で特集号「電力ピークロードプライシングの厚生経済学的分析」を組み、その中では米国の料金実験等で蓄積された豊富なデータを活用して家庭用季時別料金制の興味深い厚生経済学的分析がいくつか試みられている^[9]。一般に、厚生経済学的分析においては便益として供給コストの時間的变化を料金が追従することに失敗することによって引き起こされる厚生損失(welfare loss)の減少をとり、費用としてプログラム実施に必要な追加的コストをとって、両者を比較することによって行われる。

Wenders-Lyman によれば、季時別料金制の費用便益分析の理論的枠組みは次のように示される(文献[8]に基づく)。夏冬の2つの料金設定季節が存在し、各々が昼間(ピーク)と夜間(オフピーク)の料金設定時間帯をもつとする。簡単化のため、4つの時間帯はすべて等しい長さで、互いに独立であり、更に各時間帯について限界費用と需要関数が既知であると仮定する。従って、4つの独立な電気に対する市場が存在することになる。

いま、季節料料金も時間帯別料金も設定されおらず、夏冬、昼夜を通じて均一の料金が設定されているとすれば、これら4つの市場に存在する厚生損失は、(1)適切な季節別料金を設定しないことによる損失、及び(2)時間帯別料金制を設定しないことによる追加的損失、の2つの部分に分けることができる。このうち、前者の損失は、追加的なメータリングコストを必要とせず、最適な季節料金を設定することにより消滅させることができる。時間帯別料金を設定しないことから生じるのは、最適季

節別料金が設定された後に残る厚生損失のみである。従って、新たなメータリングコストを必要とする時間帯別料金制についての費用便益を計算する前に、まず既存のメータから得ることが可能な全ての厚生利得を解明する。

図 3.1 は夏季の電気市場を示している。料金を限界費用に等しく設定すれば、ピークには P_p 、オフピークには P_{op} となるが、TOU メータが設置されない場合、均一料金 P_s を課し得るだけである。

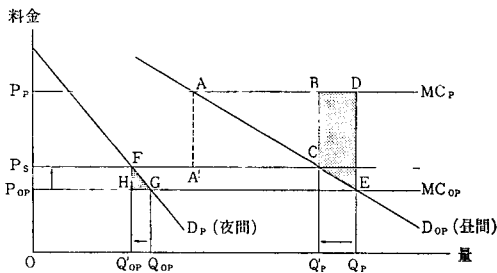


図 3.1 最適な季節別料金

最初均一料金が P_{op} に等しく設定された場合、ピーク市場には ADE に等しい厚生損失が引き起こされるが、オフピーク市場には厚生損失は発生しない。次に均一料金が図の P_s に引き上げられると、ピーク市場において $BCED$ に等しい分だけ厚生利得がもたらされるが、オフピーク市場において FGH だけの厚生損失が生み出される。この増分利得と増分損失が等しくなる料金が夏季の均一料金が設定されるべきである。冬季についても同様である。

このようにして季節別料金が最適化されると、2つの三角形 ABC と FGH の面積の和が時間帯別料金設定により夏季市場にもたらされる追加的な利得である。冬季市場にも同様な三角形が存在し、これらの厚生利得の合計額が、追加的なメータリングコストと比較される。

Wenders らは、以上のような理論的枠組みを5つの電力会社の各需要種別の平均的規模の需要家に適用し、費用便益テストをパスする需要家規模のブレークイーブン年間電力消費量を算出している。その分析結果によれば、季節別料金制は全ての工業用及び大口商業用需要家については実施されるべきであるが、小口商業用及び住宅用については一定の大口需要家についてのみ実施すべきであるとされている。このような分析結果は他の大部分の分析者においても受け入れられている。

EPRI を中心とする料金制度研究会 (Rate Design Study, RDS) は、米国公益事業規制委員協会 (NARUC) の要請を受けて、既存の費用便益分析の方法論を調査し、新しい手法を開発している。これらの手法は、電気事業の経営者や規制委員会が、電気事業、需要家及び社会といった視点からロードマネジメントの代替案の費用便益を定量化するのに有用である。RDS の費用便益分析に関する報告書は全部で 11 件あり、その最終のものに主な研究成果がまとめられている^[10]。

ロードマネジメント戦略評価モデル (Load Management Strategy Testing Model, LMS TM) は EPRI で開発された大規模なシミュレーションモデルで、ロードマネジメント、省エネルギー、コージェネレーションなどを含むあらゆる種類の需要側の方策を包括的に評価できる^[11]。図 3.2 に示すように LMSTM は 4 つのサブモデルから構成され、その間には動的な相互作用が考慮されている。供給サブモデルには電源計画と需要種別の毎時間の需要が入力され、日間の運転費用を最小化するような給電と直接負荷制御を指示する。また、負荷変動に基づき計画外運転停止や個々のユニットの信頼性

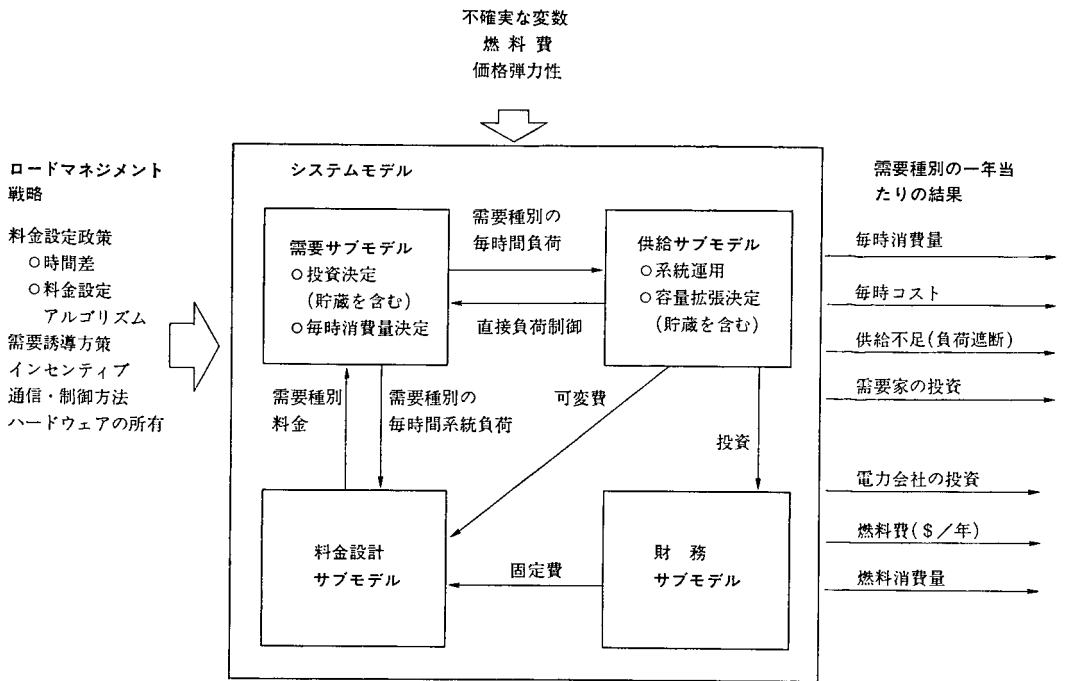


図 3.2 ロードマネジメント戦略評価モデル (LMSTM) の構成

も計算している。財務サブモデルには容量拡張に伴う投資が入力され、固定費の所要収入を計算する。料金設計サブモデルでは、需要種別の需要、固定費、可変費及び特定需要家用の料金計算アルゴリズムに基づき、需要種別の毎時の価格を計算する。価格は、期待収入が総費用に等しくなるように調整される。需要サブモデルは代表日の毎時の系統負荷をシミュレートする。LMSTM は対話型で操作性が高く、ロードマネジメントプログラムの精緻な評価に必要な専門的な記述が可能である。

3.2 カリフォルニア州規制当局 (CPUC-CEC) の手法

3.2.1 手法の概要

ここで紹介する手法は、カリフォルニア州公益事業委員会(CPUC)省エネルギー部門とカリフォルニア州エネルギー委員会 (CEC) 省エネ

ルギー部門の共同開発により、省エネルギー及びロードマネジメントプログラムの評価用に設計された^[12]。そこで用いられる評価基準は、従来の CPUC 省エネルギー費用効果性テスト及びロードマネジメントテストにとって代わり、CPUC の規制下にある全ての電力会社の省エネルギー政策の評価に利用される。また、CEC のロードマネジメント基準に準拠している電力会社もこのテストを使うことになっている。

本手法は、いわば費用節約的分析とみなせるが、プログラムに参加する需要家、参加しない需要家、電力会社、社会の4者の立場から4種類のテスト、即ち、

- (1) 参加者テスト
- (2) 非参加者テスト
- (3) 電力会社所要収入テスト
- (4) 社会テスト

を用意している。これらの全てのテストでプログラムにかかわる純現在価値（＝〔便益－費用〕の現在価値）と便益/費用比を計算している。参加者テストと非参加者テストにより公正性を、社会テストにより経済効率を計測する。より厳密には、このテストは非参加者の厚生を減じないという制約の下で効率を最大化するようなインセンティブのレベルを決定するために用いられる。従って、この手法は効率と公正の二つの評価基準が相いれない場合にはどちらにプライオリティを置くべきかについては言及しない。

CPUC-CEC の費用便益分析手法のフレーム

ワーク全体を電力会社、プログラム参加者、非参加者、社会の間でやりとりされる費用便益の流れに着目して整理すると、図 3.3 のようになる。ここで各ノード（太線枠組み）はプログラム実施により生ずる利害に関与する全主体を表わし、ノードに向かう矢印はそれに付される費用便益項目がそのノードに流入すること、即ち、純便益としてプラスに勘定されることを意味し、また、ノードから出る矢印はそれに付される費用便益項目がそのノードから流出する、即ち、純便益としてマイナスに勘定されることを意味する。但し、この CPUC-CEC のフレームワークでは参加者が受けるサービス価値の

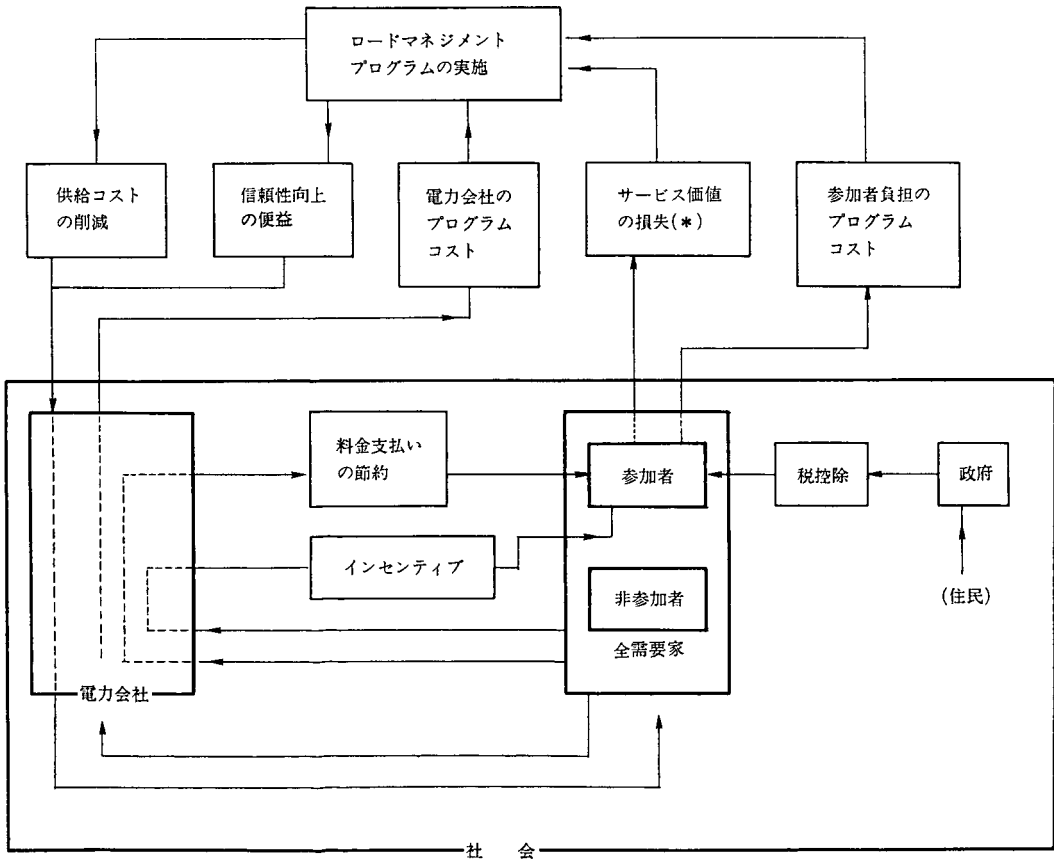


図 3.3 CPUC-CEC の費用便益分析フレームワーク

(*)：新たに付加した項目

損失を考慮していないことに注意する必要がある。

ここでは参加者テストを例に基本的な考え方を説明し、その他のテストに関するより詳細な内容は調査報告〔1〕を参照されたい。

3.2.2 参加者テスト

参加需要家の立場からすれば、料金支払いの節約分、プログラム参加の直接コスト、その他のやや計測困難な要因等を見比べて、省エネルギーあるいはロードマネジメントプログラムに参加するか否かを決定する。

このテストでは純現在価値（純便益の現在価値換算額）と便益費用比の計算の際には市場利子率で便益と費用を割り引いている。一般に、純現在価値が正、あるいは便益費用比が1より大であれば、その投資は需要家にとって利益をもたらす (beneficial) と考えられる。即ち、

$$NPV_p = B_p - C_p > 0 \quad (3.1)$$

$$BCR_p = B_p / C_p > 1 \quad (3.2)$$

ここで

NPV_p = 参加者にとっての純現在価値

BCR_p = 参加者にとっての便益費用比

B_p = 参加者にとっての便益

C_p = 参加者にとっての費用

便益、費用は次のように定義する。

$$B_p = \sum_{t=1}^N [(\Delta E_t \times AEC_t + \Delta D_t \times ADC_t + TC_t + INC_t) / (1+d)^{t-1}] \quad (3.3)$$

$$C_p = \sum_{t=1}^N [PC_t / (1+d)^{t-1} + GRR_p] \quad (3.4)$$

ここで

ΔE_t = t 年における年間の節約電力量 (kWh)

ΔD_t = t 年における最大電力削減 (kW)

AEC_t = t 年における平均エネルギーコスト

ADC_t = t 年における平均ディマンドコスト

PC_t = t 年における参加費用（初期投資、運転維持費、撤去費用などを含む）

TC_t = t 年における税控除

INC_t = t 年において参加者に支払われるインセンティブ

GRR_p = 粗所要収入に占める料金支払い³⁾

d = 参加者割引率

N = 考察期間（プロジェクトライフ）

節約電力量や最大電力削減は、それが発生した季節別・時間帯別に計測する必要があり、このことは特にロードマネジメントプログラムの評価では厳密な時間帯別の区別が必要である。また、これらの物理量の経済的価値への換算には、需要種別毎に平均した時間帯別の原価あるいは実際の料金を用いる。

3.2.3 非参加者テスト

このテストは、省エネルギーあるいはロードマネジメントのプログラムが非参加者の料金に与える影響を予測することを目的とする。非参加者の料金に影響を与える基本的な要因は、次の四つである。

- (1) 節約されたエネルギー及び最大電力の限界費用
- (2) 売り上げ減による参加者から全需要家へシフトされた料金支払い負担
- (3) 参加者に支払われるインセンティブの費用、これは所要収入に含まれる
- (4) その他電力会社が負担するプログラムコスト

3) ここで粗所要収入は、電力会社所要収入テストの中で移転支払い (transfer payment) として考慮される費用を含む所要収入として定義される。移転支払いは参加者から非参加者へシフトされた収入とインセンティブ費用を含む。

非参加者に対する最も重要な影響は、プログラム実施から生ずる所要収入の参加者と非参加者との間の配分である。

3.2.4 電力会社所要収入テスト

電力会社所要収入テストでは所要収入変化を計測している。しかし CPUC-CEC 方式の枠組みではプログラムの実施にかかわらず常に公正報酬を含む所要収入が確保されているため、このテストは必ずしも必要ではない。

割引率としては、市場利子率ではなく、電力会社の資金調達コスト（社債や長期借入金）の加重平均を用いるのが適当である。

このテストでは、料金支払いシフト C_r 及びインセンティブコスト C_i は参加者と全ての需要家との間の移転支払いとみなされるので、料金には影響を与えるが、所要収入には影響を与えない（図 3.3 においてこの二つの項は電力会社を通過するのみでその量は変化しない）。但し、インセンティブが料金設定の際に総所要収入に関与するプログラム支出として扱われれば、 C_i もこのテストに含められる。もしインセンティブが料金割引の形で与えられたり、参加者による投資に対する明示的な補助金でなければ、 C_i は無視される。料金割引は、プログラム参加者への所要収入配分を減ずることによってなされるが、一方、プログラム支出は所要収入を増加させる。

3.2.5 社会テスト

このテストでは参加者、非参加者、電力会社を含む社会全体からみた純現在価値及び便益費用比を計算する。

社会的割引率として、(1) 市場機会費用率、(2) 社会的時間選好率、の 2 つの考え方があ

る収益率である。後者は異時点における同一の消費に対して、社会全体として与える相対的な評価を示す率と定義される。この社会的時間選好率という概念は、社会が全体として将来の消費のために現在の消費を犠牲にする限界代替率を表わしているものといえる。社会的な観点にたつて費用便益分析を行う場合に、市場利子率を用いると将来収益を過小評価することになることは、多くの経済学者が指摘するところである。

社会テストと非参加者テストあるいは電力会社所要収入テストで用いられる限界費用は必ずしも一致しないことに注意する必要がある。例えば、ある電力会社管内で節約された電力量が限界費用の高い他の電力会社に売電されるような場合には、社会テストで用いる限界費用は非参加者テストのそれよりも高くなる。社会テストで用いる限界費用は、比較的高価な代替エネルギー資源のコストを反映するため、CEC では新エネルギー導入に積極的な PG & E の限界費用を社会テストで用いる州ベースの限界費用の近似値として選んでいる。

また、社会テストで用いる限界費用は、市場で評価されない外部性のコストも含むべきであるが、その定量化の試みはまだ予備的な段階を脱していないといえる。

3.3 費用便益分析手法の改良

本節では、前節で紹介した CPUC-CEC の費用便益分析手法の基本的問題点を検討し、その改良を試みる。以下では、サービス価値の変化、つまり、電力消費の効用の取り扱いに焦点を当て議論を進める。

ここで注意すべきことは、需要家の保有する最終需要機器が変化する場合と変化しない場合で効用の取り扱いを区別する必要があることで

ある。高効率暖房機器の導入促進策といった全消費量を削減する省エネルギーを目的とするプログラムでは、需要家はその機器の使用により設置前と等しいだけの効用（暖房による快適さといった類いの）を得るのにより少ない電力消費で済むわけであるから、電力消費が節約されたといってもサービス価値の損失はないといえる。

これに対して、需要家の保有機器は変わらないという条件下で、季時別料金制を実施した場合、ピーク時の電力消費を節約することは、節約した電力消費から得られたはずの効用を放棄したわけであるから、この効用変化分を費用便益項目として計上する必要がある。この意味で、保有機器が変わらない場合に、消費節約による料金支払いの減少分を参加者にとっての便益とみなすことは、効用の減少分を無視したことに加えて二重に参加者の便益を過大評価していることになる。

従って、ロードマネジメント、とりわけ、新料金制度導入の費用便益分析を行う場合には、CPUC-CEC の費用便益分析手法を改良する必要がある。

今、季時別料金制を導入することを考え、ピークとオフピークの2つの料金設定時間帯が存在し、両者は互いに独立した市場であると仮定する。需要家の保有機器が変わらないとき、それぞれの市場の需要関数も不変であると考えられる。

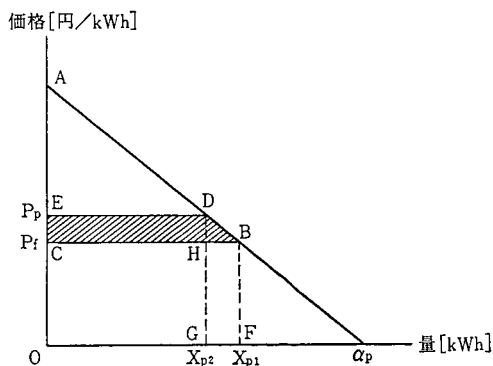
ピーク、オフピークの両市場において、図 3.4 に示す線形な需要関数を仮定する。

$$\text{ピーク： } X_p = \alpha_p - \beta_p P_p \quad (3.5)$$

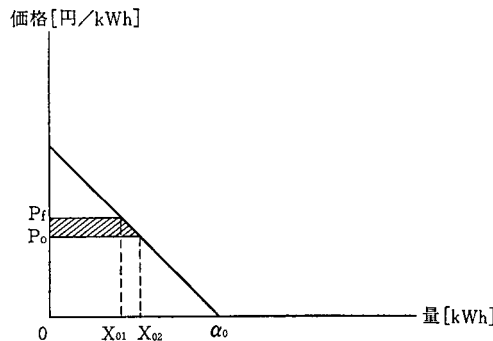
$$\text{オフピーク： } X_o = \alpha_o - \beta_o P_o \quad (3.6)$$

ここで、 α_p , β_p , α_o , β_o は正定数である。

ピーク市場において均一料金 P_f からピーク



(a) ピーク市場



(b) オフピーク市場

図 3.4 季時別料金制導入により消費者余剰の変化

料金 P_p に上げたとき、需要は X_{p1} から X_{p2} に減少する (図 3.4)。このとき、サービス価値ともいべき総余剰 (効用の総額) は四角形 AOFB から四角形 AOGD に減少する。一般にこの総余剰の変化 ΔU (四角形 BDGF) は料金支払いの変化分 ΔR と消費者余剰の変化分 ΔCS に分解できる。 ΔR は長方形 BFGH から長方形 DECH を差し引いた分に相当し、 ΔCS は四角形 DECB に相当する。オフピーク市場においても同様の変化が起こる。このうち、両市場における料金支払いの変化の合計は支払い節約分と相殺するため、支払い節約分は参加者

にとっての便益としては勘定されないことになる。従って、サービス価値の変化を考慮したとき問題になるのは消費者余剰の変化分のみである。ピーク市場においては図 3.4 (a) の斜線部分に相当する分だけ消費者余剰が減少し、オフピーク市場においては同図 (b) の斜線部分に相当する分だけ消費者余剰が増加する。両者を合計した消費者余剰の増分は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 \Delta CS &= \Delta CS_p + \Delta CS_o \\
 &= -(X_{p1} + X_{p2})(P_p - P_f)/2 \\
 &\quad + (X_{o1} + X_{o2})(P_f - P_o)/2 \\
 &= -(X_{p1} + X_{p2})(X_{p1} - X_{p2})/2 \beta_p \\
 &\quad + (X_{o1} + X_{o2})(X_{o2} - X_{o1})/2 \beta_o
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

今、所得増加などの外部条件の変化がなければ、価格 0 のときの潜在需要 α は一定であるので、線形の価格弾力性を表わす β が ΔCS の正負に関して支配的なパラメータである。

図 3.5 はピーク需要の方が弾力的である場合（実線の需要曲線）と、オフピーク需要の方が弾力的である場合（破線の需要曲線）の消費者

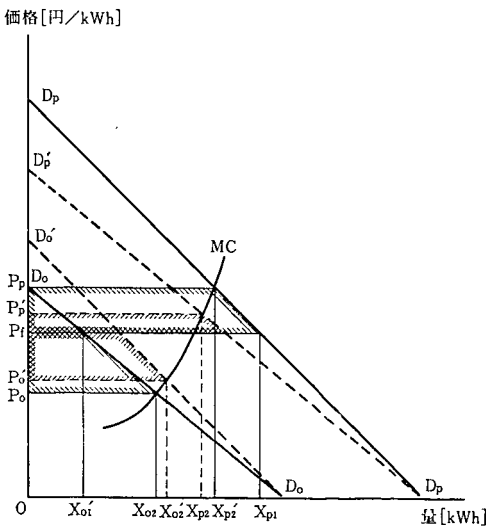


図 3.5 価格弾力性と消費者余剰

余剰変化をしている。ピーク需要の方が弾力的である場合 ($\beta_p > \beta_o$) には、ピーク需要関数の勾配が相対的に小さく、(3.7) 式の第 2 項が支配的になるので ΔCS は大きく、正になる可能性が高い。参加者にとってはこのケースが望ましい。逆に、オフピーク需要の方が弾力的である場合 ($\beta_p < \beta_o$) には、オフピーク需要関数の勾配が相対的に小さく、(3.7) 式の第 1 項が支配的になるので ΔCS は小さく、負になる可能性が高い。

このように季時別料金制導入により消費者余剰が増加するか減少するかはピーク、オフピーク需要の価格弾力性の大小関係により決まるわけで、もし需要変化の近傍における価格弾力性が計測可能であれば、サービス価値の変化としての消費者余剰変化を考慮すべきである。

しかし、一般には価格弾力性の計測は困難であり、消費者余剰の変化分は無視せざるを得ないとき、参加者にとっての便益 (3.3) 式を次のように修正すればよい。

$$B_p = \sum_{i=1}^N [(TC_i + INC_i)/(1+d)^{i-1}] \tag{3.8}$$

図 3.3 より明らかなようにサービス価値の変化が影響する項目はこの B_p だけであるから、他の項は修正を受ける必要はない。

4. 新料金制度の厚生経済学的分析

ロードマネジメントの諸方策の中で、季時別料金制は料金制度が一般的にもつ需要制御の機能を利用するもので、需要の形態を問わず広範な影響を及ぼすと考えられる。また、将来の高度情報化技術を背景として、季時別料金制の概念を更に押し進めて、時々刻々の需給事情に応じ料金を変化させる負荷適応料金制（スポット料金制）が国内外で提案・検討されている^[13]。

[16]。

ここでは、設備調整のない短期的視点から季時別料金・制負荷適応料金制に厚生経済学的アプローチを適用して、

①時間帯需要の相互依存性が価格設定及び需要家・供給者の経済的利得に与える影響(交差効果)の大きさ

②報酬率規制を考慮した均一料金制と季時別料金制下での増分利得の需要家・供給者への分配

③需要の不規則変動がある場合の季時別料金制と負荷適応料金制の厚生効果の比較を定量的に検討し、これら新料金制度の理論的側面からの有効性を示す。

4.1 基礎分析—交差効果

4.1.1 相互依存需要モデルと独立需要モデル

静学的態様において需要変動の確率的変動を無視すれば、料金設定区分が等しい限り、負荷適応料金制と季時別料金制は理論的には同一視できる。

以下の分析では価格弾力性など費用便益に支配的なパラメータや需要の不規則変動(4.3節)が厚生にどの程度の影響を及ぼすかを検討することに主眼を置くため、現在確実なデータのないメータリングコストなどの実施コストは無視する⁴⁾。マイクロエレクトロニクスの技術革新に支えられる計測・通信・情報処理コストの低下とエネルギーコストの上昇という現在の傾向が続く限り、将来はこれらの実施コストが大きな障害となることは考えにくい。

今、需要変動の一周期を N 時間帯に分け、その中では電力需要が一樣であるとする。需要は確定的で、設備容量を超える超過需要は発生しないものと仮定する。設備調整のない短期の状況では供給関数は各時間帯の需要(=供給量)

X のみに依存し、次のような2次関数で近似する。

$$c(X) = c_0 + c_1 X + c_2 X^2 \quad (4.1)$$

ここで、 $c_i (i=0, 1, 2)$ は正定数

時間帯別電力需要ベクトルを価格ベクトルの線形関数で近似する。

$$X(P) = \alpha + \beta P \quad (4.2)$$

ここで、

$X = (X_1, \dots, X_N)$ は需要ベクトル

$P = (P_1, \dots, P_N)$ は価格ベクトル

$\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_N)$ は価格0のときの潜在需要

$\beta = [\beta_{ij}]$ は $N \times N$ の定数行列

β の対角成分はすべて負であり、非対角成分は需要が代替的な場合は正、補完的な場合は負である。

供給者の収入は需要家の支払いに等しい。

$$R = \sum_{i=1}^N P_i X_i \quad (4.3)$$

時間帯別需要が相互に依存するとき、総余剰(支払い容認価額)は線積分の形で定義され、消費者余剰は次式のように書ける。

$$CS = \int_r \sum_{i=1}^N P_i(x) dx_i - R \quad (4.4)$$

ここでこの線積分は N 次元空間の原点から X に至る積分路 Γ に対して定義されるわけだが、これが積分路と独立に定義され、かつ微分可能となるためには、次の可積分条件の成立が必要である。

$$\partial X_i / \partial P_j = \partial X_j / \partial P_i$$

$$\text{or } \partial P_i / \partial X_j = \partial P_j / \partial X_i \quad (4.5)$$

これは(4.2)式を用いれば、

$$\beta_{ij} = \beta_{ji} \quad \text{or} \quad \tilde{\beta}_{ij} = \tilde{\beta}_{ji} \quad (4.6)$$

と等価である。ここで $\tilde{\beta}_{ij}$ は行列 β の余因子で

4) Aigner らによれば家庭用時間帯別メータは \$125~150 程度と見積られている¹⁰⁾。

ある。

今、 $N=3$ (1:ピーク, 2:ミッドピーク, 3:オフピーク) とし、可積分条件を仮定すれば、(4.4) 式の総余剰 (効用関数と呼ぶ) は3つの1次元の線積分の和になる。

$$\begin{aligned}
 U(\mathbf{X}) &= \int_r \sum_{i=1}^3 P_i dx_i \\
 &= \int_0^{x_1} P_1(x_1, 0, 0) dx_1 \\
 &\quad + \int_0^{x_2} P_2(X_1, x_2, 0) dx_2 \\
 &\quad + \int_0^{x_3} P_3(X_1, X_2, x_3) dx_3 \\
 &= \sum_{i=1}^3 s_{ii}(X_i - \alpha_i)^2 \\
 &\quad + \sum_{i \neq j} s_{ij}(X_i + X_j - \alpha_i - \alpha_j)^2 + s_0
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

ここで s_{ii} ($i=1, 2, 3$) は非正でかつ少なくとも一つは負の定数である。 $U(\mathbf{X})$ の第1項は各時間帯内での消費スケジュールの維持, 第2項は時間帯間の代替関係を表わしている。

消費者余剰 CS と生産者余剰 PS (収入と運転費用の差) の和で定義される社会余剰 (社会厚生) を最大化する価格設定は、従来からよく知られている限界費用原理である。

$$\begin{aligned}
 \max SW &= CS + PS = U(\mathbf{X}) - C(\mathbf{X}) \\
 \rightarrow P_i(\mathbf{X}) &= \partial C(\mathbf{X}) / \partial X_i \\
 &= 2c_2 X_i + c_1 \text{ for all } i
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

価格設定に際して交差効果 (交差価格弾力性) を考慮する相互依存需要モデルにおいて最適消費水準 \mathbf{P}^0 及び最適価格 \mathbf{X}^0 は次式で与えられる。

$$\mathbf{X}^0 = (\mathbf{I} - 2c_2\beta)^{-1}(\alpha + c_1\beta u) \tag{4.9}$$

$$\mathbf{P}^0 = 2c_2\mathbf{X}^0 + c_1 \tag{4.10}$$

ここで \mathbf{I} は単位行列, $u = [1, 1, 1]'$

同様に価格設定に際して交差効果 (交差価格弾力性) を無視する独立需要モデルにおいて最

適消費水準 \mathbf{X}^0 及び最適価格 \mathbf{P}^0 は次式で与えられる。

$$X_i^0 = (\alpha_i + c_1\beta_{ii}) / (1 - 2c_2\beta_{ii}) \text{ for all } i \tag{4.11}$$

$$P_i^0 = 2c_2 X_i^0 + c_1 \text{ for all } i \tag{4.12}$$

4.1.2 価格弾力性とコスト関数

ここでの厚生分析には短期の全価格弾力性が必要である。日本で季特別料金制下での価格弾力性を計測した例はないため、米国の時間帯別価格弾力性及び日米の時系列の長短期価格弾力性のサーベイに基づいて表 4.1 に示すモデル需

表 4.1 モデル需要家の価格弾力性
(a) 低ケース

ϵ_{ij}	P_1	P_2	P_3
X_1	-0.100	0.035	0.018
X_2	0.059	-0.100	0.027
X_3	0.076	0.067	-0.100

(b) 高ケース

ϵ_{ij}	P_1	P_2	P_3
X_1	-0.300	0.104	0.053
X_2	0.176	-0.300	0.080
X_3	0.227	0.200	-0.300

$$\epsilon_{ij} = (\partial X_i / X_i) / (\partial P_j / P_j)$$

要家の価格弾力性を仮定する^{[17]-[21]}。但し、交差価格弾力性は可積分条件を満たすように設定している。また、均一料金制及び負荷適応料金制においても短期的には同一の価格弾力性を用いる。

コスト関数のパラメータは西野らの時間帯ごとの限界費用の計測^[22]を参考にして、昭和52年度A社並みとする。

$$c(X) = c_0 + c_1 X + c_2 X^2 \text{ [Myen/hr]} \tag{4.13}$$

$$c_0 = 70.36 \text{ [Myen/hr]},$$

$$c_1 = 0.1265 \text{ [Myen/hr/GW]}$$

$$c_2 = 0.3859 \text{ [Myen/hr/GW}^2],$$

$$X \text{ [GW]}, \text{ Myen は } 100 \text{ 万円}$$

このとき限界費用は逓増傾向を示す。また、

需要水準は同社昭和 52 年夏季平日並みとし、これとモデル価格弾力性から需要関数のパラメータを決める。

4.1.3 交差効果

上記のモデルパラメータに従って相互依存需要モデルと独立需要モデルの比較を行った計算の一例を表 4.2 に示す。季時別料金制の価格設

表 4.2 限界費用原理における交差効果 (低価格弾力性ケース)

	相互依存需要モデル	独立需要モデル
需要 [GW]		
ピーク	20.77	19.65
ミッドピーク	15.99	14.59
オフピーク	10.13	8.68
平均	15.63	14.31
負荷率 [%]		72.80
価格 [円/kWh]	75.25	
ピーク	16.15	15.29
ミッドピーク	12.47	11.39
オフピーク	7.95	6.82
[億円/年]		
収入	17,969	16,594
費用	15,234	13,920
効用	447,890	443,490
消費者余剰	429,92	426,895
生産者余剰	12,734	2,674
社会厚生	432,656	429,70

定に際して交差価格弾力性を無視することによる社会厚生へのロスは無視し難いほど大きく、両モデルでの社会厚生への差は相互依存需要モデルでの総費用に対して約 22.2% に達する。また、自己価格弾力性を -0.1 から -0.3 に変化させて、価格弾力性に対する感度解析を行うと、この社会厚生への損失は 22.2% から 54.3% に増加する。Caves らは米国の 5 つの料金実験結果をプーリングして代表的な需要家の代替弾力性を 0.10~0.13 と計測しているが^[20]、我が国で季時別料金制を実施する際にも交差価格弾力性の計測は是非とも必要である。

4.2 報酬率規制と季時別料金制

資源配分の効率性の観点から、無制約下の社

会厚生最大化からは限界費用原理が得られるが、季時別料金制の導入による社会厚生への増分利得の供給者・需要家への公正な分配は保証され得ない。本節では、前節のモデルに利潤に関する制約を導入したときの最適な季時別料金制及び均一料金制の下での費用便益を比較検討する。

公正報酬率規制は、今日でも最も代表的な料金規制方式であり、我が国では電力、都市ガスの公益事業に適用されている。公正報酬率基準では、総収入と短期費用の差(純収入)の投下資本に対する割合、即ち、資本収益率に上限が置かれる。このような形式の制約下での社会厚生を最大化するピークロードプライシング問題は Pressman^[28] らによって扱われているが、本節では総費用に対して一定率の報酬が認められるという規制方法を利用する。

総費用報酬率規制下で社会厚生を最大化する最適価格設定問題は次のように定式化される。

$$\begin{aligned} \max SW &= \int_{r=1}^N P_r dx - C(X_1, \dots, X_N) \\ \text{subject to } & \sum_{i=1}^N P_i X_i \\ & = (1+r_p)C(X_1, \dots, X_N) \end{aligned} \quad (4.14)$$

ここで r_p は利潤率で非負定数である。可積分条件を仮定すれば、最適価格は次式で与えられる。

$$P_0 = [1 + \lambda(1+r_p)] [(1+\lambda)I + E] \left[\frac{\partial C(X)}{\partial X} \right]' \quad (4.15)$$

ここで λ は (4.14) 式の制約に関するラグランジュ係数、 I は単位行列、 $E = [1/\epsilon_{ij}]$ は価格弾力性 ϵ_{ij} の逆数からなる行列である。

この価格設定の下での最適消費水準は、

$$X^0 = \beta P^0 + \alpha \quad (4.16)$$

である。

次に比較のために用いる均一料金制は上記の季時別料金制と同様に定式化できる。

$$\begin{aligned} \max SW &= \int_{F} \sum_{i=1}^N P_i dx - C(X_{F1}, \dots, X_{FN}) \\ \text{subject to } P_F \sum_{i=1}^N X_{Fi} &= (1+r_p)C(X_{F1}, \dots, X_{FN}) \\ X_{Fi} &= P_F \sum_{j=1}^N \beta_{ij} + \alpha_{ij} \end{aligned} \quad (4.18)$$

ここで P_F は均一料金である。

季時別料金制及び均一料金制に対する報酬率制約付の最適化問題はラグランジェの未定係数法により容易に解ける。ケーススタディとして均一料金制下での報酬率を一定に固定した場合、消費者余剰及び生産者余剰が共に増加するような季時別料金制の報酬率を探索する。

モデルパラメータは前節と同様に昭和 52 年度 A 社並みとする。価格弾力性を低ケース、季時別料金制の報酬率を 4% にした場合の費用便益分析結果を表 4.3 に示す⁵⁾。また、均一料金制の報酬率を 4% に固定した場合、均一料金制

表 4.3 報酬率規制下での均一料金制と季時別料金制 (低価格弾力性ケース)

	均一料金制	季時別料金制
需要 [GW]		
ピーク	21.61	20.90
ミッドピーク	16.08	16.00
オフピーク	9.24	10.10
平均	15.64	15.67
負荷率 [%]	72.39	74.96
価格 [円/kWh]		
ピーク	11.74	14.34
ミッドピーク	11.74	11.15
オフピーク	11.74	6.58
報酬率 [%] [億円/年]	3.78	4.00
収入	16,059	15,902
費用	15,474	15,293
効用	354,568	354,511
消費者余剰	338,509	338,609
生産者余剰	585	608
社会厚生	339,094	339,217

に比して消費者余剰及び生産者余剰が共に増加する季時別料金制の報酬率とその代表点における消費者余剰、生産者余剰、社会厚生増分を表 4.4 に示す。これらの結果から価格弾力性の

表 4.4 季時別料金制における報酬率特性 (均一料金制における報酬率 = 4%)

	高弾力性ケース	低弾力性ケース
実現可能報酬率 [%]	4.1~4.7	4.2~6.6
代表ポイント [%]	4.45	5.45
消費者余剰の増分 [億円/年]	53	201
[%]*	0.33	1.25
生産者余剰の増分 [億円/年]	56	199
[%]*	0.36	1.24
社会厚生増分 [億円/年]	109	400
[%]*	0.69	2.49

* 季時別料金制における収入に対する百分率

大小にかかわらず均一料金制に比して需要家、供給者とも益するような季時別料金制が実現可能で、需要家の反応が大きくなるほど実現可能な報酬率の範囲は拡がることになる。但し、この増分利得の一部はメータリングコストなど諸種のコストに振り向けられ、また、需要家間の分配は考慮されていない点に注意する必要がある。

4.3 季時別料金制と負荷適応料金制の比較

前節では需要変動は確定的で、季時別料金制と負荷適応料金制の本質的差異が顕在化しない場合について分析した。現実の電力需要は主として経済変動による長期的な需要水準のトレンド、社会生活・季節の推移に伴う日間、週間、月間、年間の周期的変動の他に自然現象による不規則な変動もある。本節では需要の不規則変動要因を考慮したとき、価格がこの確率的な変

5) この報酬率は、昭和 54 年度 (第 2 次石油ショック直後) を除いた 51 年度から 58 年度の 9 電力会社の収支比率に基づいている。

動に追従できる負荷適応料金制と各期の価格があらかじめ固定される季時別料金制の厚生分析を試みる。

負荷適応料金制は季時別料金制を発展させた概念であり、料金設定区分を不規則変動要因を反映できるほど短くして、供給コストの時間的な変化を料金が追従することに失敗することによって生じる厚生損失を減少させると同時に、時間軸上での公正な原価負担を反映させることも狙っている⁶⁾。

負荷適応料金制としての料金アルゴリズムは、時々刻々の短期限界費用を追従する形のものや供給者と需要家間のゲーミング状況で決定される料金戦略など様々なバリエーションが考えられる^[25]。また、異なる時間帯間の相互依存性を考慮する負荷適応料金制を計算するためには需要及び価格の変化をある程度予測する必要がある。この場合にはこの予測誤差と交差効果を無視することによる厚生損失を比較するためのモデルを別途開発しなければならない。

ここでは需要の不規則変動要因による季時別料金制と負荷適応料金制の厚生損失を定量的に検討することに焦点をあてることにして、次のような仮定を置く。

- ① 1日をN期に分け、各期内では需要は一定とみなし、価格は各期の期首にのみ変化する。
- ② 各期の需要は相互に独立であり、需要の不規則変動要因は加法的擾乱項で表わす。
- ③ 需要家、供給者とも期の長さに対して無視し得る時間内で自然の状態を知り得る。
- ④ 供給者は常に十分な供給力を有する。

ここで超過需要の発生を排除している点は本来供給側の不確実性も反映できる負荷適応料金制の特徴を無視することになるが、この問題につ

いては今後の課題としたい。従って、負荷適応料金制のもつ潜在的な利得の下限を評価すると考えてよい。

仮定①、②より各期の需要は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} X_i &= \beta_{ii} P_i + \alpha_i \\ &= \beta_{ii} P_i + \alpha_{mi} + \alpha_{vi} w_i(t) \text{ for all } i \end{aligned} \quad (4.19)$$

ここで α_{mi} 、 α_{vi} はそれぞれ α_i の期待値、標準偏差であり、 $\{w_i\}$ は平均値0、分散1、一期遅れ相関係数 ϕ なる正規型マルコフ系列である。

最も単純な限界費用に基づく負荷適応料金制の下では、各期の需要 X_{Li} 、価格 P_{Li} は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} X_{Li}(w_i) &= (\alpha_i + c_1 \beta_{ii}) / (1 - 2 c_2 \beta_{ii}) \\ &= [\alpha_{mi} + \alpha_{vi} w_i(t) + c_1 \beta_{ii}] / (1 - 2 c_2 \beta_{ii}) \end{aligned} \quad \text{for all } i \quad (4.20)$$

$$P_{Li}(X_{Li}, w_i) = 2 c_2 X_{Li} + c_1 \text{ for all } i \quad (4.21)$$

この方式の負荷適応料金制に対応する季時別料金制のアルゴリズムは次のような3つのステップからなる。まず全期間に先だて、 α_i の期待値 α_{mi} に基づいて各期の需要の期待値 X_{Ti}^* を計算する。次に、この需要の予測値を用いた限界費用に基づいて各時間帯の価格 P_T を設定する。需要家はこの季時別料金制と各期の不規則変動要因を知った上で消費量 X_{Ti} を決定する。

負荷適応料金制と季時別料金制の最も大きな違いは、前者が不規則変動要因に応じて価格が適応的に変化するのに対して、後者はある一定

6) 更に電力系統における接続地点(場所)という空間的な原価配分を時間とともにダイナミックに考慮した負荷適応料金制も提案検討されている^[24]。

期間における需要の予測値に基づいて価格を決定するという情報構造の差異である。

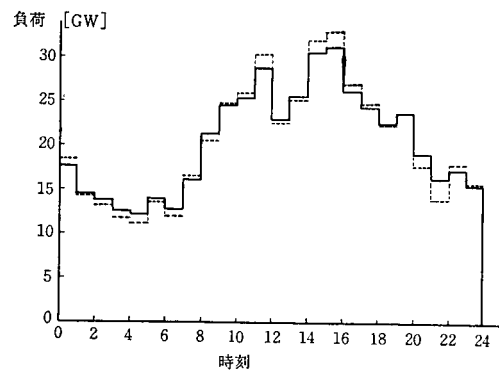
次に、ケーススタディにより負荷適応料金制の有効性を示す。季時別料金制の料金設計では時間帯の設定自体が社会的最適化問題として捉えられるが、ここでは所与とする。季時別料金制において $N=3$ とし、13:00~16:00 をピーク、22:00~8:00 をオフピーク、残りをミッドピークとする。不規則変動要因を1時間ごとに与え、負荷適応料金制においては価格は1時間ごとに更新するものとする。需要関数はA社昭和58年度夏季平日並みとし、その他のモデルパラメータは前節までと同じとする。

モンテカルロシミュレーションの結果はマルコフ系列の一期遅れ相関係数にあまりセンシティブではなかったため、 $\phi=0.6$ で一定とする。図4.1は高価格弾力性のケースの負荷適応料金制と季時別料金制の(a)日負荷曲線、及び(b)価格曲線を示す。負荷適応料金制の負荷平準化効果は明らかであり、日負荷率は季時別料金制の61.9%から65.2%と3.3ポイントも向上している。また、この負荷平準化作用は価格弾力性の絶対値が大きくなるほど顕著になる。

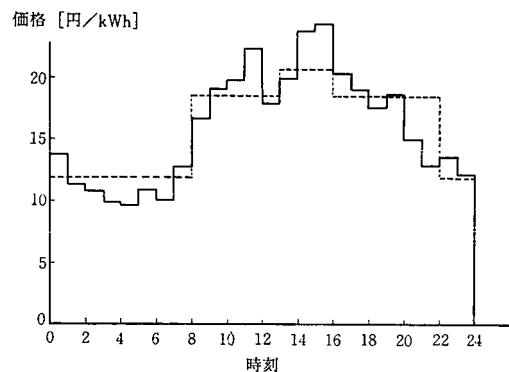
負荷適応料金制と季時別料金制における厚生損失を負荷適応料金制の下での総費用に対する比率で表わすと、低価格弾力性ケースで0.6%、高価格弾力性ケースで1.8%に達する。

以上は日間の負荷変動のみをシミュレートしたが、更に長い周期の負荷変動に対して同様のシミュレーションを行えば両料金システムの厚生効果の差は拡大するであろうし、現実には季時別料金制において需要の期待値を精度良く予測することは困難であろう。

このように負荷適応料金制は不確実性に対し



(a) 日負荷曲線



(b) 価格曲線

図 4.1 負荷適応料金制と季時別料金制の比較 (高価格弾力性ケース)

註) 一: 負荷適応料金制, ...: 季時別料金制

てロバストであるが、この長所を十分享受するためには、ハードウェアコストは勿論のこと、需要家の理解を得るための費用など現行システムからの移行費用も勘案する必要がある。

5. 結 語

今回の調査研究と予備的検討を踏まえて、今後は我が国の電気事業が行うべきロードマネジメントの目標を明らかにし、その手段を具体的にいくつか示し、それらの評価を行う必要がある。

参考文献

- [1] 山地憲治, 浅野浩志「ロードマネジメントとその費用便益分析—米国における実施状況と研究の現状—」, 電力中央研究所調査報告: 584004, 1985
- [2] Males, R. H. and R. G. Uhler: Load Management, Issues, Objectives and Options. Electric Utility Rate Design Study, RDS-100, 1982
- [3] 森清堯, 他「ロードマネジメント」(翻訳)—課題, 目的と選択—, 電力中央研究所内部資料, No. 236, 1982
- [4] Poirier, D. I.「家庭用電力の時間帯別電気料金制度の経済性—北アメリカと日本の比較研究」, 経済企画庁経済研究所, 研究シリーズ第40号, 1983
- [5] 伊藤成康・大屋隆生「アメリカ合衆国における時間帯別電気料金制度実験について」, 電力中央研究所内部資料, No. 255, 1984
- [6] Lande, R. H.: A Cost-Benefit Analysis of Electric Peak-load Pricing, Public Utility Fortnightly, Vol. 103, No. 3, 1979
- [7] Wenders, J. T. and L. D. Talor: Experiments in Seasonal-Time-of-Day Pricing of Electricity to Residential Users”, Bell Journal of Economics, Vol. 7, No. 2, 1976
- [8] 山谷修作「時間帯別電気料金の費用便益分析」, 東洋大学経済研究会, 経済論集, Vol. 9, No. 2, 1984
- [9] Aigner, D. J. ed.: Welfare Econometrics of Peak-Load Pricing for Electricity, Journal of Econometrics, Vol. 26, No. 1/2, 1984
- [10] Niemeyer, E. V.: Cost/Benefit Analysis of Load Management, Topic Paper 6, Rate Design Study No. 89, EPRI, 1981
- [11] Barrager, S. M., C. E. Clark, Jr., R. B. Francher and D. N. Stengel: Load Management Strategy Testing Model, EPRI-2396, 1982
- [12] California Public Utilities Commission and California Energy Commission: Standard Practice for Cost-Benefit Analysis of Conservation and Load Management Programs, 1983
- [13] Vickrey, W. “Responsive Pricing of Public Utility Services.”, Bell Journal of Economics and Management Science, Vol. 2, 337~346, 1971
- [14] Schweppe, F. C., R. D. Tabors and J. L. Kirtley, “Homeostatic Control: The Utility/Customer Marketplace for Electric Power”, MIT Energy Laboratory Report MIT-EL 81-033, 1982
- [15] 茅陽一「電力時間帯別料金制の動学的モデルによる検討」, 第2回エネルギーシステム・経済コンファレンス, 1985
- [16] 西川禎一・喜多一「電力負荷適応料金制のゲームモデルについて」, 第2回エネルギーシステム・経済コンファレンス, 1985
- [17] 阿波田禾積「電力需要の短期・長期の弾力性について」, 電力経済研究, No. 10, 55~62, 1976
- [18] Natinal Economic Research Associates Inc.: Considerations of the Price Elastysity of Demand for Electricity: Topic 2, 1977
- [19] Chung, C. and D. J. Aigner: Industrial and Commercial Demands for Electricity by Time-of-Day: A California Case Study., Energy Journal, Vol. 2, No. 3: 91~110, 1981
- [20] Caves, D. W., L. R. Christensen and J. A. Herriges.: Consistency of Residential Customer Response in Time-of-Use Electricity Pricing Experiments., Journal of Econometrics, Vol. 26, No. 1/2: 179~204, 1984
- [21] Kohler, D. F. and B. M. Mitchell: Response to Residential Time-of-Use Electricity Rates: How Transferable are the Findings?, Journal of Econometrics, Vol. 26, No. 1/2: 141~178, 1984
- [22] 西野義彦・富田輝博・大山達雄「長期限界費用の計測と電気料金問題」, 電力経済研究, No. 14, 1979
- [23] Pressman, I.: A Mathematical Formulation of the Peak-Load Pricing Problem,” Bell Journal of Economics and Management Science, Vol. 1, No. 2: 304~326, 1970
- [24] Bohn, R. E., M. C. Caramanis and F. C. Schweppe: Optimal Pricing in Electrical Networks over Space and Time. Rand

Journal of Economics, Vol. 15, No. 3 : 360
~376, 1984

329, 1982

- [25] Luh, P. B. and Y-C Ho.: Load Adaptive
Pricing: An Emerging Tool for Electric
Utilities, IEEE, Vol. AC-27, No. 2 : 320~

(あさの ひろし
経済部
エネルギー研究室)