

Priority Service の最適メニューに関する条件

確率的に生じる需要を考慮した場合

Conditions on the Optimal Menu of Priority Service in Markets where both Stochastic and Deterministic Demands Exist

キーワード：電力需要、最適メニュー、確率的需要、Priority Service

伊藤 穰

電力需要を供給能力の範囲に抑制することはシステム全体の安全性を確保するために重要なことである。そのため、如何にして電力を効率よく抑制するかが課題となっている。いくつかの方法が望ましいものとして挙げられており、Priority Service は電力需要に優先度をつけて、優先度の高いものから順に電力を供給している方法であり、効率的に電力負荷を割り当てることができる手法として注目されている。これまでの研究により、最適な資源配分を実現する Priority Service の料金メニューの条件が示されている。しかし、これらの研究で分析対象となっている需要は、状況の変化にかかわらず存在することが暗黙のうちに仮定されてきた。しかし、需要にはある状況の下でしか生じないものもある。このように状況の変化に伴って市場に参加し、あるいは市場から退出する需要に関しては分析がなされてこなかった。需要抑制が必要となるのは需要が時間を通じて変動するからであり、変動する需要の分析は大きな意義を持っている。本稿では需要全体を変動する部分と変動しない部分に分け、このうち変動する部分を明示的に扱うことにより、最適メニューが満たすべき諸条件を再検討するものである。そして需要に変動部分を想定する場合には、従来の「最適メニュー」では最適な資源配分がなされないことを示し、最適な資源配分を保証するためには、理論上、従来よりも厳しい制約条件を満たすことが要請されることを明らかにする。

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 問題意識 2. モデル <ol style="list-style-type: none"> 2. 1 恒常的需要 2. 2 確率的需要 2. 3 需要曲線および供給能力 3. 確率的需要がある場合の資源配分 <ol style="list-style-type: none"> 3. 1 Priority Service の「最適メニュー」 | <ol style="list-style-type: none"> 3. 2 消費者の純便益 <ol style="list-style-type: none"> (1) 「最適メニュー」による純便益 (2) Spot Pricing による純便益 4. 最適メニューの満たすべき条件 <ol style="list-style-type: none"> 4. 1 満たすべき条件の相違 4. 2 最適メニューが満たすべき条件 5. 結論 |
|--|---|

1. 問題意識

Priority Service は状況の変化に応じて変動する電力需要を供給能力の範囲に抑制することを目的として考案された需要管理手法である。したがって、Priority Service 理論は状況の変化に応じて電力需要全体が変動する様子をモデル化してきた。これまでの研究の系譜は松川（1990）および松川（1995）に詳しくまとめられている。¹しか

しながら、これまでに分析の対象となってきたのは、状況がどの様に変化しようとも存在する需要（これを恒常的需要と呼ぶことにする）であった。需要には状況の変化に伴って生起するもの（これを確率的需要と呼ぶことにする）と、状況の変化によらず常に存在するもの（＝恒常的需要）があ

¹ 伊藤（1998）は任意の Priority Service と同様の資源配分を生じる非均一料金が存在することを示している。

り得る。²従来のモデルは需要全体が変動することを仮定しながら、確率的需要に対する明示的な分析を行ってこなかった。³

需要全体が変動する原因は恒常的需要ではなく、確率的需要にこそ求められる。したがって、この確率的需要に対する明示的な分析が重要である。Priority Service により確率的需要がどのような影響を受けるのかを分析する必要が生じる。そして、恒常的需要だけでなく確率的需要も含めた需要を考慮した場合に、Spot Pricing の場合と同様の資源配分を導くような Priority Service の料金メニューが真の意味での最適メニューということになるのではないだろうか。

本稿では、確率的需要を考慮した場合には、従来分析されてきた「最適メニュー」のもとでは資源配分は最適化されないことを示し、確率的需要を想定する場合に最適メニューが満たすべき条件を明らかにする。

2. モデル

2.1 恒常的需要

恒常的需要とは前述のように、様々な状況の変化に関わらず存在する需要のことである。恒常的需要に関する様々な仮定は、松川 (1995) をはじめ従来からの需要に関する仮定に概ね準じたものとする。すなわち、電力の供給信頼度は消費者に対して正の効用を与え、その限界効用は各消費者ごとに異なるが、各々一定値 v をとるものとする。ただし、

$$0 \leq v \leq 1 \quad (2.1)$$

とする。⁴

² 恒常的需要は確率 1 で生じる確率的需要であるが、本稿では常に存在するとは限らない需要に焦点を当てることを強調するために、これらを分離して論を進める。

³ これまでの研究では、需要が変動するメカニズムはモデル化されてこなかった。また、Wilson, R. (1993) では需要を変動させる代わりに供給能力を変動させ、代表的個人の効用を分析している。この際に分析対象となっているのは、変化しない需要である。

一方、電力会社はどの消費者がどのような限界効用を持っているかについては知らないが、限界効用の分布全体については知っているものとする。つまり、電力会社は恒常的需要に関する需要関数を知っているものと仮定するのである。恒常的需要の全体 D_c はスポット価格 P の関数であり、

$$D_c = 1 - P \quad (2.2)$$

と表せるものとする。恒常的需要の限界効用の分布は図 1 で表せる。

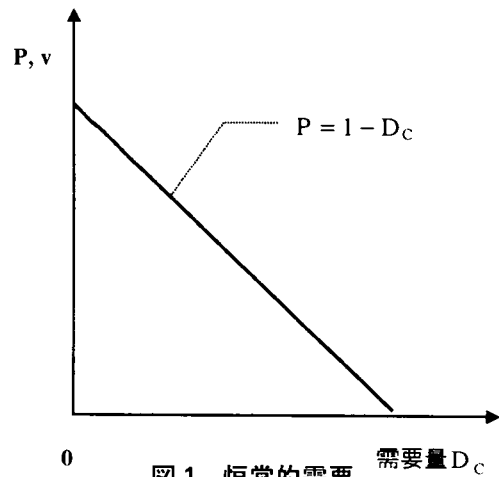


図 1 恒常的需要

2.2 確率的需要

確率的需要は様々な状況の変化に対応して生じたり、あるいは生じなかったりする需要である。つまり、ある消費者 $\theta(u, W_i)$ は特定の状況 W_i が生じる場合にのみ市場に参入し、電力消費による限界効用は u である。ただし、簡単化のために

$$u = 1 \quad (2.3)$$

とする。このような消費者の全体量を D_p とすると、 $P \leq 1$ に対して、

$$D_p = W_i - 1 \quad (2.4)$$

が成立する。ただし、 $W_i (i=1, 2, \dots)$ は状況を表すパラメーターであり、

$$1 \leq W_i \leq 2 \quad (2.5)$$

⁴ 松川 (1995) では V を限界効用の最大値とし、 $0 \leq v \leq V$ となっているが、本稿では V を 1 に基準化したにすぎず、分析上本質的な差は生じない。

とする。また状況 W_i が生じる確率を $\text{Pr}(W_i)$ とし、

$$0 \leq \text{Pr}(W_i) \leq 1 \quad (2.6)$$

が成立するものとする。

このモデルにおいては確率的需要の限界効用は 1 であり、恒常的需要より大きいので、Priority Service では、優先的に確率的需要に電力が供給され、その残りが恒常的需要に供給されることになる。価格が 1 以下の場合には確率的需要全量に対して電力が供給されるのである。確率的需要に関する需要曲線は図 2 のように垂直線となる。⁵

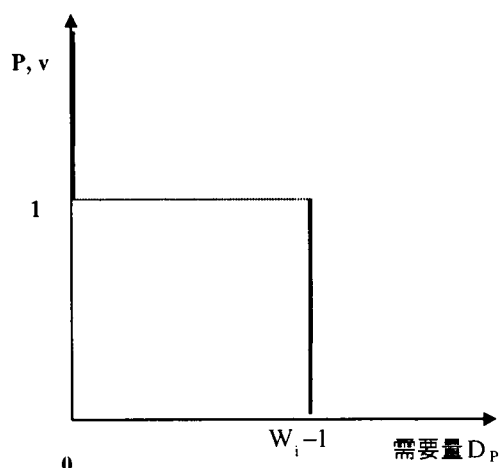


図 2 確率的需要

2. 3 需要曲線および供給能力

需要 D は恒常的需要 D_c と確率的需要 D_p の合計であるから、

$$D = D_c + D_p \quad (2.7)$$

と表すことが出来る。よって、(2.2)、(2.4)、(2.7) より $P \leq 1$ に対して、

$$D = W_i - P \quad (2.8)$$

が成立する。

電力供給能力を S で表し、簡単化のために

$$S = 1 \quad (2.9)$$

とする。電力供給の限界費用 MC は一定であり

$$MC = c < 1 \quad (2.10)$$

とする。

Spot Pricing では価格は需要と供給が一致するところで決まる。(2.2)、(2.4)、(2.5)、(2.7)、(2.8)、(2.10) の下では

$$c \leq P(W_i) \leq 1 \quad (2.11)$$

であるから⁶、(2.8) は一般に成立する。ただし、 $P(W_i)$ は状況 W_i が生じたときのスポット価格である。結局、電力需要全体は図 3 で表され、状況に応じて確率的需要が変動することにより、需要全体も変動するのである。

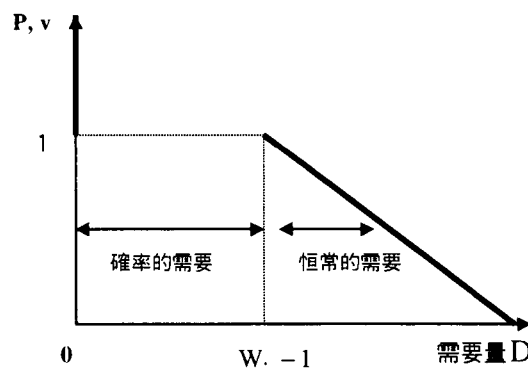


図 3 需要曲線

3. 確率的需要がある場合の資源配分

恒常的消费者に関する分析はすでに Chao&Wilson (1987)、松川 (1995) をはじめ多くの先行研究により行われている。これらにより Priority Service の最適メニューによって、Spot Pricing と同様の効用を各消費者は得られることがわかっている。⁷ また、恒常的需要に関

⁵ 本稿では恒常的需要よりも確率的需要の限界効用が大きいと仮定している。しかし、これは現実においても確率的需要の限界効用が大きいということを主張するものではない。この仮定は、そのような場合が有り得るという認識をモデル化したものである。例えば、夏の暑い日には、普段何気なくつけているテレビ（恒常的需要）よりも冷房（確率的需要）の方が高い限界効用を持っていることが有り得る。また、雨天が続く状態では、ふだん使用している他の恒常的電力需要よりも乾燥機に関する電力需要（確率的需要）の方がより高い限界効用を持っている場合があるだろう。

⁶ (2.7)、(2.8)、(2.10) および均衡条件より $c \leq P(W_i) = W_i - 1$ 。一方 (2.5) 式より、 $1 \leq W_i \leq 2$ であるから、 $c \leq P(W_i) \leq 1$ となる。

⁷ 正確には、恒常的消费者に対して Spot Pricing お同様の効用を保証するような料金メニューが最適メニューとして求められている。

する消費者の電力会社への支払いも両制度の下で等しいことも示されている。そこで、以下では「最適メニュー」で確率的需要によって消費者が得られる効用について Spot Pricing と比較していく。

3. 1 Priority Service の「最適メニュー」

松川 (1995) にしたがって、最適料金メニューを $M^* = \{t^*(v), s^*(v), r^*(v)\}$ とすると、

$$r^*(v) = R(v) \quad (3.1.1)$$

$$s^*(v) = c \quad (3.1.2)$$

$$t^*(v) = \int_0^v [r^*(v) - r^*(x)] dx - s^*(v)r^*(v) \quad (3.1.3)$$

は最適メニューの一形態である⁸。ただし、 $r^*(v)$ は最適メニューにおける限界効用が v の消費者の供給信頼度、 $R(v)$ は Spot Pricing のもとで成立する、限界効用が v である消費者の供給信頼度である。 $s^*(v)$ は最適メニューにおける従量料金であり、これは実際に電力が供給された場合にのみ支払うものである。また $t^*(v)$ は基本料金部分であり、これは電力の供給の有無に関わらずサービスの申し込み時点で支払うものである。ただし、

$$\frac{d}{d} \frac{r}{v} > 0, \quad r(v) \geq 0 \quad (3.1.4)$$

$$\frac{d}{d} \frac{t}{v} > 0, \quad t(v) > 0 \quad (3.1.5)$$

であり⁸、限界効用が v の消費者の期待支払い総額を $E(v) = t(v) + r(v)s(v)$ とすると、

$$\frac{d}{d} \frac{E}{v} > 0, \quad E(v) \geq 0 \quad (3.1.6)$$

が成立しているものと仮定する。

確率的需要の限界効用は 1 であり、Spot Pricing の下では、この需要に対する供給信頼度は 1

である。したがって、確率的消費者 $\theta(u, W_i)$ の直面する価格体系は $R(v) = v$ を仮定すると、

$$r^*(u) = r^*(1) = R(1) = 1 \quad (3.1.7)$$

$$s^*(u) = s^*(1) = c \quad (3.1.8)$$

$$t^*(u) = t^*(1)$$

$$= \int_0^u [r^*(1) - r^*(x)] dx - s^*(1)r^*(1)$$

$$= \int_0^1 (1-x) dx - c$$

$$= \frac{1}{2} - c \quad (3.1.9)$$

となる。

3. 2 消費者の純便益

(1) 「最適メニュー」による純便益

消費者 $\theta(u, W_i)$ が (3.1.1)、(3.1.2)、(3.1.3) で表される Priority Service の「最適メニュー」の下で、電力消費により享受する純便益を $B^P(W_i)$ とすると (3.1.7)、(3.1.8)、(3.1.9) より、

$$B^P(W_i)$$

$$= \Pr(W_i) \cdot r^*(1) \cdot 1$$

$$- [t^*(1) + \Pr(W_i) \cdot r^*(1) \cdot s^*(1)]$$

$$= \Pr(W_i) - \left[\frac{1}{2} - c + \Pr(W_i) \cdot c \right]$$

$$= [1 - \Pr(W_i)](c-1) + \frac{1}{2} \quad (3.2.1)$$

したがって、

$$B^P(W_i) \begin{cases} \geq 0 & \text{if } c \geq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Pr(W_i)}{1 - \Pr(W_i)} \right) \\ < 0 & \text{if } c < \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Pr(W_i)}{1 - \Pr(W_i)} \right) \end{cases}$$

$$(3.2.2)$$

つまり、Priority Service の下では、費用条件次第で確率的需要は市場に参加しない可能性が生じるのである。

(2) Spot Pricing による純便益

Spot Pricing の下で確率的消費者 $\theta(u, W_i)$ が電力消費により享受する純便益を $B^S(W_i)$ とする

⁸ 松川 (1995) pp.145-146 参照。

⁹ (3.1.5) 式において $t(v)$ は理論的には負の値をとりうるが、現実の料金において「負の基本料金」を排除するために、 $t(v) > 0$ の制約を設けている。

と、(2.11) より $c \leq P(W_i) \leq 1$ なので

$$\begin{aligned} B^S(W_i) &= \Pr(W_i)[1 - P(W_i)] \\ &= \Pr(W_i)[1 - P(W_i)] (\geq 0) \end{aligned} \quad (3.2.3)$$

となる。したがって、Spot Pricing を用いた場合には確率的消費者の純便益は常に非負である。

4. 最適メニューの満たすべき条件

4.1 満たすべき条件の相違

以上の分析より、

$$c < (1/2) - \Pr(W_i) / \{2[1 - \Pr(W_i)]\}$$

が成り立つ時には、Priority Service では確率的消費者の参入はなく、彼等に関する余剰は生じない。他方、Spot Pricing の下では確率的消費者に関わる余剰は常に生じるのである。つまり、Spot Pricing と Priority Service では異なった資源配分を生じさせる。確率的需要を考慮する場合には、Priority Service と Spot Pricing とで異なった資源配分、分配が生じる理由はどこにあるのだろうか。従来からの「最適メニュー」は恒常的需要のみを考慮して、IC (Incentive Compatibility)、IR (Individual Rationality) 条件を満たすように設計されている。しかし、そのようにして設計されたメニューの下では確率的需要は IC、IR 条件を満たしているとは限らず、そのため「最適メニュー」の下ですら Spot Pricing とは異なった資源配分が生じる結果になるのである。

Priority Service は選好顕示メカニズムの一種であり、各消費者が自らの選好を正しく申告し、このサービスに参加するためには IC、IR の両条件が満たされなくてはならない。すると、

$$\begin{aligned} r(v)[v - s(v)] - t(v) \\ \geq r(v')[v' - s(v')] - t(v') \end{aligned} \quad (4.1)$$

である。

確率的需要に関しては自らの選好だけでなく、その需要が生じる確率についても正しく申告する

ようにメニューは設計されなければならない。つまり、選好だけでなく需要の生じる確率についても Incentive Compatible である必要がある。したがって、確率的需要が満たすべき IC 条件は、 $0 \leq W_i' \leq 2$ 、

$$\begin{aligned} \Pr(W_i)r(v)[v - s(v)] - t(v) \\ \geq \Pr(W_i')(v')[v' - s(v')] - t(v') \end{aligned} \quad (4.2)$$

となる。

IR 条件はサービスに参加することによって、各消費者が正の利益を得ることを保証するものである。したがって、恒常的需要が満たすべき IR 条件は

$$r(v)[v - s(v)] - t(v) \geq 0 \quad (4.3)$$

であり、確率的需要が満たすべき IR 条件は

$$\Pr(W_i)r(v)[v - s(v)] - t(v) \geq 0 \quad (4.4)$$

である。

恒常的需要と確率的需要が満たすべき条件は異なっており、恒常的需要が満たすべき条件が成立しているとしても、確率的需要が満たすべき条件が成り立っているとは限らない。しかしながら、確率的需要が満たすべき IC 条件、IR 条件は恒常的需要が満たすべきそれらの十分条件となっている。¹⁰ したがって、最適メニューは確率的需要の IC、IR 条件を満たすように設計されるべきである。

先行研究における「最適メニュー」は恒常的需要に関する条件を満たしているが、確率的需要は明示的に取り扱われておらず、確率的需要に関する条件を満たしていないのである。したがって、確率的需要に関しては消費者が自らの選好および需要の発生確率を正しく申告することは保証されず、消費者が Priority Service に参加する保証もないのである。

¹⁰ この部分の証明について興味ある読者は、筆者に直接請求されたい。

4. 2 最適メニューが満たすべき条件

以上の分析から確率的需要がある場合に最適メニューが満たすべき条件をまとめると、以下のようになる。

$$\Pr(W_i)r(v)[v-s(v)]-t(v) \geq \Pr(W_i')(v')[v-s(v')] - t(v') \quad (4.2)$$

$$\Pr(W_i)r(v)[v-s(v)]-t(v) \geq 0 \quad (4.4)$$

$$r^*(v)=R(v) \quad (3.1.1)$$

$$\frac{d}{d} \frac{t}{v} > 0, \quad t(v) > 0 \quad (3.1.5)$$

$$\frac{d}{d} \frac{E}{v} > 0, \quad E(v) > 0 \quad (3.1.6)$$

(4.2) 式は Incentive Compatibility の条件であり、各消費者が正しく自らの選好および需要の生じる確率を顕示することを保証している。(4.4) 式は Individual Rationality の条件であり、消費者が Priority Service から非負の利得を得ることを保証するものである。(3.1.1) 式は各消費者に Spot Pricing の場合と同一の供給信頼度を保証する条件である。(3.1.5) および (3.1.6) は確率的需要に関する IC、IR 条件が恒常的需要に関する IC、IR 条件の十分条件であることを保証するものである。

したがって、これら5つの条件を満たす料金メニューは最適メニューであり、これによって供給される Priority Service は、確率的需要を考慮した場合にも、Spot Pricing と同様の資源配分を生じるのである。

5. 結論

上の諸条件が満たされる最適メニューにおいて、確率的需要に対する基本料金は $\Pr(W_i)t(v)$ であり、これは実際に使用するか否かにかかわらず徴収されるものである。 $\Pr(W_i)t(v)$ は $\Pr(W_i)$ の確率で生じる状況 W_i のもとで生じる需要に対して課される。したがって消費者は、自らの需要が

どんな確率で生じるものなのかを見極めた上で、電力会社に基本料金を支払い、サービス提供を求めることになる。生じる確率が1である恒常的需要に対しては $t(v)$ の基本料金が課されることになる。IC 条件および IR 条件より、消費者は自らの限界効用だけでなく、需要が生じる確率をも合わせて電力会社に正しく申告することを要請されている。

つまり、このような Priority Service を実際に運用するためには、どのような状況がどのような確率で生じるかを消費者が知っているということが前提となっている。一方、この最適メニューと同じ資源配分は Spot Pricing の下でも当然ながら成立する。そして、Spot Pricing の場合には消費者は状況に関する確率を知る必要も、それを電力会社に正しく申告する必要もない。

このことは Priority Service よりも Spot Pricing の方が、モデル上、少ない制約条件の下で最適な資源配分を実現できると言うことを示している。Priority Service を実行に移すには少なくとも理論上、Spot Pricing よりも高いハードルを乗り越える必要がある。

【参考文献】

- [1] Chao, H. & Wilson, R. (1987), "Priority Service: Pricing, Investment, and Market Organization", The American Economic Review, Vol. 77, 899-916
- [2] 伊藤 稯 (1998)、「Priority Service と同一の帰結を生む非均一料金」、横浜商大論集、第 31 巻、第 1.2 合併号
- [3] 松川 勇 (1990)、「プライオリティー・サービス電力における品質差別化の料金理論の概要」、電力中央研究所報告、調査報告 Y90004
- [4] 松川 勇 (1995)、電気料金の経済分析、日本評論社
- [5] Wilson. R. (1993), "Nonlinear Pricing", Oxford University Press.

(いとう ゆたか
横浜商科大学商学部専任講師)