No.ICP-2006-003

ブロードバンドネットワークのプライシング：定額料金制 vs 従量料金制[†]

Pricing Broadband Network: Fixed Rate vs Usage-Based Pricing

林　健太[*]

Kenta Hayashi

本論文においてわれわれは、通信設備の容量制約に比べて個人の通信サービス需要特性が十分大きく分散している状況を取り上げ、定額料金制と従量料金制との比較分析を行う。われわれは、通信サービス供給者が単独で（完全）従量料金制と定額料金制をそれぞれ採用した場合における均衡を比較することにより、定額料金制から従量料金制に移行することによって、ヘビーユーザの通信量は減少するものの、ライトユーザは市場に多数参加し、社会的にも余剰が上昇することを証明する。この結論は、現実のブロードバンドサービスや携帯電話市場で多用されている定額料金制に対し、経済理論的に従量料金制の優位性を示唆している。

We explore the question of optimal pricing for scarce network infrastructure capacities in the environment where individuals are distributed over a range in their demand intensity. We will show that the relative superiority of fixed-rate pricing does not hold when individual's demand intensity is sufficiently diversified relative to the capacity constraint of the network. By comparing the equilibria resulting from usage-based pricing and fixed-rate pricing, we will prove that the simple usage-based pricing scheme outperforms the fixed-rate pricing. This conclusion raises a serious question as to the desirability of the fixed-rate pricing that is adopted extensively in broadband and mobile communications services.

March 9, 2007

情報通信政策研究プログラム

[†] 本稿は「情報通信政策研究プログラム」の研究助成を得て行った研究の成果を総括したものであり、『平成 18 年度情報通信学会年報』への掲載が決定している。

[*] 甲南大学講師。本稿を完成させる過程において、依田高典京都大学助教授をはじめ、旧稿に対するレフェリーコメントが極めて有用であった。記して感謝したい。言うまでもなく、なお残る過誤等は全て筆者の責任である。khayashi@konan-u.ac.jp

1. はじめに

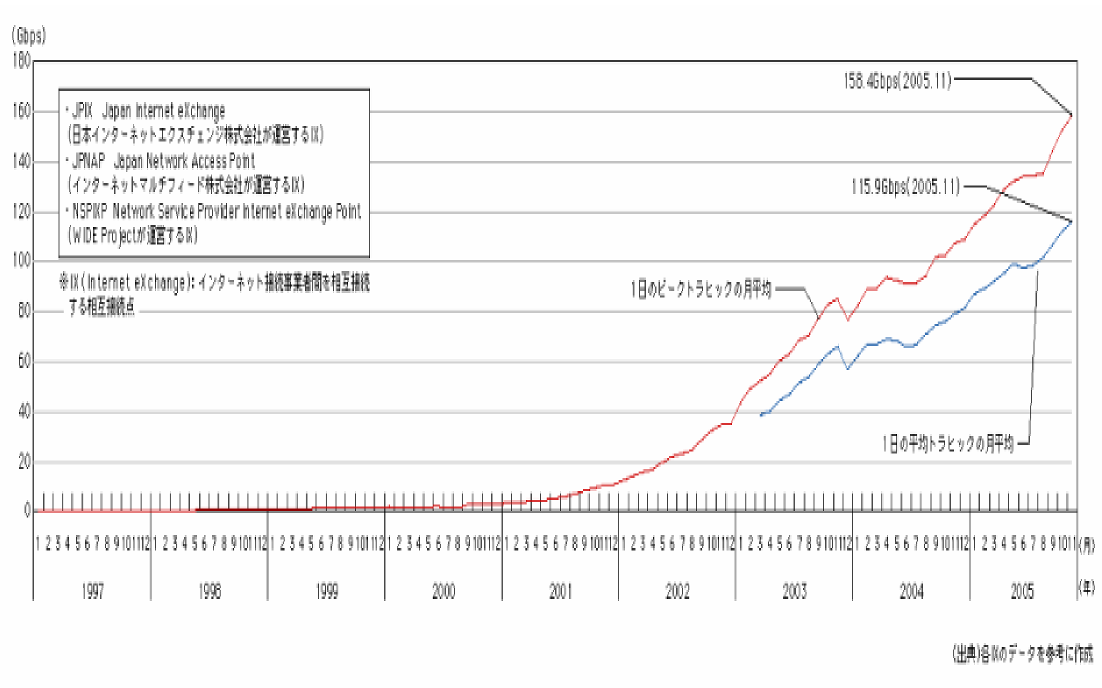
わが国は現在、世界で最も低廉・高速なブロードバンドサービス環境を享受することができる国の一つとなっている[i]。また、第3世代と呼ばれる携帯電話の普及率も著しい。そのような状況がもたらされた背景の一つに、定額料金制の導入があげられる[ii]。諸外国にならいわが国でも、インターネットの普及にともない、ダイアルアップ接続によって従量制の通話料に服することはユーザの負担が大きいとして、常時接続を望むユーザの要望に応える形で、はじめデータ通信に定額料金制が導入された。NTT は 2000 年 7 月、日本で初めて全国的な規模で ISDN サービスに定額料金制を導入した。その後、ブロードバンド技術の普及に伴い、今日では、ほとんどの ADSL サービス、FTTH サービスの利用料金は定額料金制をとっている。

定額料金制の導入は携帯電話市場でも進んでいる。2003 年 11 月、KDDI が携帯電話で初めてパケット定額制を導入したのに続いて、2004 年 6 月にはドコモが「パケホーダイ」を導入し、2004 年 11 月にはボーダフォンも定額制を導入した。こうして、固定端末でも移動体端末でも、データ通信の定額料金制は定着し、ブロードバンド化されたネットワークを介して大容量コンテンツの利用が促進されることとなった。さらに PHS の分野では、2005 年 5 月、ウィルコムが音声通話サービスにも定額プランを導入した。

こうして、今や定額料金制は、消費者のニーズと事業者のビジネスとを結ぶソリューションとして、理論的にも実際的にも最適解であるかのような理解が広がっている[iii]。しかし果たして本当に、定額料金制はパケット従量料金など需要量に応じた課金制度に比べて社会的優位性をもっているのであろうか[iv]。

図 1 はわが国のインターネット・トラフィックの推移を示している。ブロードバンドサービスに定額制が導入された 2000 年頃から、インターネット接続事業者間を相互接続する相互接続点（IX）を通るトラフィックは急増している。これは、インターネット人口の拡大、画像や映像など情報量の大きなコンテンツ（リッチコンテンツ）の流通量増大、ブログやソーシャル・ネットワーク・サービスなど新たなアプリケーションの開発、ピア・トゥ・ピア型の通信量の拡大などによるとされている。そのため、通信事業者は増え続けるトラフィックに対応するため、設備投資増強の必要性が増大している。

図１　国内主要インターネットエクスチェンジで交換されるトラフィックの推移



出所：総務省『平成 18 年度情報通信白書』

すなわち、わが国ではブロードバンド普及の初期において、豊富なネットワーク資源の有効活用を目的として定額料金制が導入された。それによって、リッチコンテンツの流通、創造的なアプリケーションの普及などが起こったが、他方、急増する大量のトラフィックはネットワーク資源への負荷を高め、通信事業者の設備増強の必要性を高めるに至った。この問題は、ネットワークが PSTN から IP 網へと比重を移していくに従ってより先鋭化していくと予想される[v]。

仮に、ブロードバンド・ネットワーク資源に限界があり、トラフィック需要がそれに近づくようになったとすれば、希少な資源を配分する方法が問題となる。一般にそれは「数量割当」によるか、あるいは「価格上昇」によるかしかない。数量割当とは今の場合、通信事業者、ISP などがトラフィックを恣意的に制御することを意味している。また仮に、数量割当は利用公平性の原則に反するとすれば、残された方法は、価格条件を利用してトラフィック量をコントロールしかない。

1990 年代にこの問題は、インターネットの混雑問題として提起され、Cocchi, Estin, Shenker and Zhang (1992), MacKie-Mason and Varian (1995)や Gupta, Stahl and Whinston (1997) などによって、混雑価格の導入が提唱された。その基本的な考え方は、定額料金制を前提

として、トラフィックの混雑時に部分的追加課金を行うというものである。

これに対して、本論文におけるわれわれの問題意識は、定額料金制そのものが、構造的にネットワーク資源への過剰負荷をもたらしているのではないかという点にある。2000 年代以降における課題は、ランダムに発生するネットワークの混雑をいかに解消するかではなく、構造的に発生するトラフィックの増大をどうコントロールするかという問題である。今日のネットワーク中立性の議論の中に、大口ユーザと小口ユーザなどユーザ特性に注目したトラフィック量のコントロールが必要との議論も散見される[vi]。料金的にこの問題に対処するとすれば、定額料金の水準を引き上げてユーザ数を減少させる方法をとるか、あるいは、従量料金制を導入し、その料金を引き上げてトラフィック量を減少させる方法をとるかの選択が問題となる。

こうした問題を考えるためには、ネットワーク資源が制約的で、個人の特性が多様な分布を示している場合について、定額料金制と従量料金制の社会的余剰の視点からの厳密な比較分析が必要である[vii]。この論文の目的はそのような分析のための基本的な理論モデルを提示し、それを用いた分析の結論として、問題を解く鍵は従量料金制への復帰にあると主張することである。

われわれと問題意識を共有する先行研究は少ないが、Sundararajan (2004)は、情報財の顧客が需要強度において分布している状況で、独占的な供給者にとって最適な価格付けを分析している。そこでの主たる結論は、定額料金制が採られている市場に、従量料金制を導入して、その選択を顧客に委ねれば、独占供給者の利潤は増加する、というものである。しかし、Sundararajan は問題の定式化にあたって一般性の高い分布関数と顧客の効用関数を用いているため、結論としても一般的な蓋然性しか示すことができていない。われわれが以下に展開するのは、Sundararajan よりも限定的な関数を採用することによって、より透明性が高く解釈が容易な結論を導き出すことである。

2. 基本モデル

この論文では、事業者の通信設備にトラフィック容量の限界があり、個人特性が分散している状況のもとでの定額料金制と従量料金制の特質を、社会的余剰の観点から分析する。われわれの主要な目的は、ユーザの消費者余剰と事業者の供給者余剰とを合わせた社会的余剰の視点より、定額料金制は従量料金制よりも劣っていることを立証することにある[viii]。

本論文で考察する料金体系は次のようなものである。すなわち、

$$p(q(a)) = f + gq(a).$$

ここで、qはサービスの需要量、fは料金のうち定額部分、gは需要量に比例する需要量１単位当たりの従量料金である。したがって、この料金体系は$g=0$の場合には定額料金制となり、$f=0$の場合には純粋の従量料金制となる。そして$f>0$および$g>0$ならば、この式は一般的な二部料金制を表している。

われわれが考察するのは以下のような市場である。このサービスの潜在的ユーザとなる個人は多数存在し、連続変数aによって特徴づけられる。個人aの効用関数は

$$U(a) = aq(a) - \frac{1}{2}bq^2(a) + m(a) \qquad (1)$$

で与えられる。ここで$q(a)$は個人aのサービス需要量であり、$m(a)$はこのサービス以外のすべての財の消費量である。また、この効用関数は$q(a) \geq 0$の範囲で定義されるものとする。この効用関数からは、切片がaで傾きが$1/b$の限界効用関数が導出される[ix]。

個人aは予算制約に直面する。すなわち、

$$料金支払い + m(a) = w.$$

ただし、wはこの個人が保有する所得である。簡単化のため、すべての個人は均等な所得を得ていると仮定している。

この論文を通じてわれわれは、潜在的ユーザたる個人の特性aは一定の範囲に一様分布しているという仮定を採用する。すなわち、$a \in [\underline{a}, \overline{a}]$であり、$\underline{a} > 0$と仮定する。これは、個人の選好の分散が、効用関数のパラメータa（需要強度と呼ぶことがある）の違いとして表されていることを意味する[x]。以下では、すべての個人のうち実際に非負のサービス料を需要する個人を「ユーザ」と呼ぶ。他方、サービス事業者は１社だけ存在し、その設備の上で可能なサービスの供給能力はFで表されるとする[xi]。

そうすると、すべてのユーザの効用からサービス利用料金を差し引いたユーザの消費者余剰と、事業者の収入からネットワーク・キャパシティを供給するための固定費Fを差し引いた供給者余剰との合計として、社会的余剰は次のように書くことができる。

$$\int_{\underline{a}}^{\overline{a}} \{aq(a) - \frac{1}{2}bq^2(a)\}da + \left(\int_{\underline{a}}^{\overline{a}} w(a)da\right) - F = \int_{\underline{a}}^{\overline{a}} \{aq(a) - \frac{1}{2}bq^2(a)\}da + (W - F)$$

ただし、ここでは消費者の所得の合計をWで表している。

しかし、上式の最後の項は一定なので、以後社会的余剰 SS というときには

$$SS = \int_{\underline{a}}^{\overline{a}} \left\{ aq(a) - \frac{1}{2} bq^2(a) \right\} da$$

を考えることにする。すなわち、社会的余剰の最大化は、結局サービス需要に起因する個人の効用の合計の最大化に等しい[xii]。

さらに、後の議論が意味をもつために、ネットワークサービスを需要する個人特性の分散と、ネットワーク容量との間には次のような条件が成立していると仮定する。

$$\overline{a} - \underline{a} > \sqrt{2bF}\ . \tag{2}$$

この仮定は、ネットワーク容量に比較して個人特性の分散が十分に大きいことを意味している。したがって後の便宜のため、この条件を「容量制約に比較して個人の需要特性の分散が十分大きい市場構造」の仮定と呼ぶことにしよう。これまでの多くの文献が暗黙の内に想定するように、すべての個人が同質的で $\overline{a} = \underline{a}$ であれば、この条件は成立しない。

3. 従量料金制下の均衡

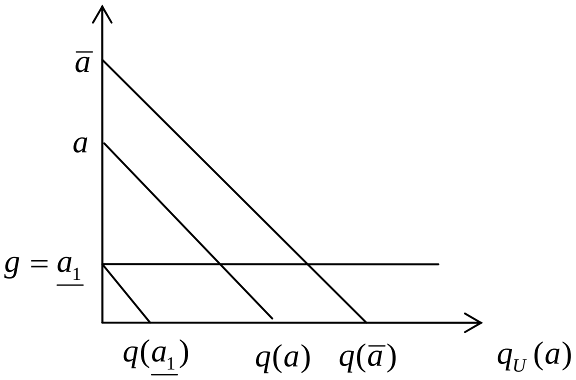
初めに、ベンチマークとして、サービス事業者が純粋の従量料金制を採用するときの均衡について考察する。このとき、個人 a が直面する予算制約は $gq(a) + m(a) = w(a)$ となる。したがって、この制約下に効用関数(1)を最大化する個人 a のサービス需要は、

$$q_U(a) = \frac{a - g}{b} \tag{3}$$

と導出される。$q \geq 0$ の制約から(3)式が負値となる場合には最適需要は $q_U(a) = 0$ となる。

この需要関数は図２に示したように、縦軸の切片が a で傾きが $-1/b$ の直線である。明らかに、従量料金 g が示されるとき、$a \geq g$ を満たす個人の需要量は非負であるが、$a < g$ なる個人の需要量はゼロである。ここで、需要量がゼロとなる限界的な個人を $\underline{a_1}$（$= g$）と呼ぶことにしよう。

図２　個人 a の需要関数（従量料金制）



このサービスに対する総需要 AD_U は $\underline{a}_1$ 以上の需要強度をもつユーザの需要を合計して、

$$AD_U = \int_{\underline{a}_1}^{\bar{a}} q(a)da = \int_g^{\bar{a}} \frac{a-g}{b} da = \frac{1}{b}\int_g^{\bar{a}} a da - \frac{g}{b}\int_g^{\bar{a}} 1 da = \frac{1}{b}\left\{\left[\frac{a^2}{2}\right]_g^{\bar{a}} - g(\bar{a}-g)\right\}$$

$$= \frac{1}{2b}\left(\bar{a}^2 - g^2 - 2g\bar{a} + 2g^2\right) = \frac{(g-\bar{a})^2}{2b}$$

のように表すことができる。

このサービスに対する市場は、この総需要と一定値 F と仮定されているサービス事業者の供給能力とが一致するとき均衡する[xiii]。すなわち均衡条件は

$$\frac{(g-\bar{a})^2}{2b} = F$$

で与えられる。したがって均衡条件から導出される均衡従量料金 g^* は

$$g^* = \bar{a} - \sqrt{2bF} \tag{4}$$

となる。ここでは(2)式の仮定から、 $g^* > \underline{a} > 0$ であることに注意されたい。

さて、サービス市場が均衡にあるときの個人 a の需要量 $q_U(a)$ は

$$q_U(a) = \frac{a-g^*}{b} = \frac{a-\bar{a}+\sqrt{2bF}}{b} \tag{5}$$

と計算される。また、 $a = \underline{a}_1$ については需要量がゼロであることから、

$$\underline{a}_1 = \bar{a} - \sqrt{2bF} \tag{6}$$

が成立し、したがって従量料金制下の均衡におけるユーザ数は

$$\overline{a} - \underline{a_1} = \overline{a} - g^* = \sqrt{2bF} \tag{7}$$

であることが判明する。ここでも(2)式の仮定から、$\underline{a_1} > \underline{a}$ となって、限界需要者は個人の分散の範囲に存在することを確認しておこう。

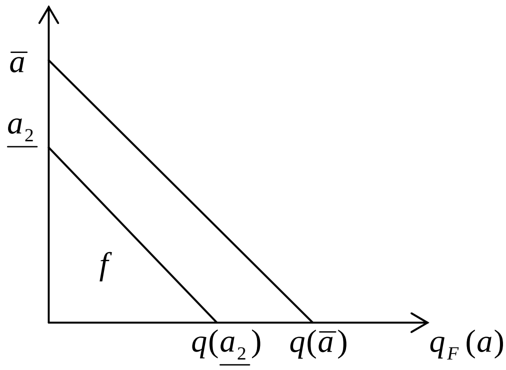
横軸に個人の特性あるいは需要強度 a をとり、縦軸に需要量をとった図４（次頁に掲載）には、すべての個人の需要プロファイル $q(a)$ が描いてある。(5)式より、$q_U(a)$ は右上がりの直線である。総需要はこの直線下の三角形の面積に等しい。均衡はこの面積が F に等しくなり成立する。

4. 定額料金制下の均衡

代表的個人を仮定する伝統的な分析では、従量料金が通常の価格に相当し、供給量に上限がある場合には価格が需要調整機能を発揮し、均衡において需給の一致を実現する。それと同時に、この均衡価格は社会的余剰の最大化を実現する。これに対して定額料金は、個人の消費者余剰からの所得移転に影響を与えるだけで、個人の需要行動に影響を与えることはないとされる。したがって定額料金を需要量の調整のために用いることはできない。

しかし、われわれのモデルでは、個人の特性は一様に分布しており、その上限と下限の格差は大きい。そのため、定額料金で余剰を奪われるとき、個人の中には、市場に参加することによる利得が負となって、このサービスのユーザとして契約しないものが現れる。すなわち、ここでは定額料金といえども、その水準が高ければ少数の個人のみがユーザとなり、水準が低ければ多数の個人がユーザとなる形で、需要量の調整機能を果たすことになる。定額料金制下の均衡とは、そのようにして実現される均衡と均衡定額料金水準のことをいう。

図３　個人aの需要関数（定額料金制）



さて、料金体系が定額制に移行したならば、すべての個人は、定額料金支払い後の余剰が非負である限り、限界効用がゼロとなる水準までサービスを需要する[xiv]。すなわち、aがユーザであれば、$a - bq(a) = 0$より、サービスの需要量$q_F(a)$は

$$q_F(a) = \frac{a}{b} \tag{8}$$

で与えられる。このとき、このユーザが獲得する純効用の値$CS_F(a)$は

$$CS_F(a) = aq_F(a) - \frac{b\{q_F(a)\}^2}{2} - f = \frac{a^2}{2b} - f$$

となる。

定額料金制下では、個人はこの純効用が非負である限りユーザとなる。純効用がゼロとなる限界的な個人を$\underline{a}_2$とすれば、$\frac{\underline{a}_2^2}{2b} = f$より

$$\underline{a}_2 = \sqrt{2bf} \tag{9}$$

である。したがって、定額料金制下でのユーザ総数は

$$\bar{a} - \underline{a}_2 = \bar{a} - \sqrt{2bf} \tag{10}$$

で与えられる。

こうしたユーザの需要量を集計すると社会全体のサービス需要量AD_Fとなる。すなわち

$$AD_F = \int_{\sqrt{2bf}}^{\bar{a}} \frac{a}{b} da = \frac{1}{b}\int_{\sqrt{2bf}}^{\bar{a}} a da = \frac{1}{2b}(\bar{a}^2 - 2bf)$$

である。

再び均衡をサービスの総需要量と総供給量が一致する状態と定義すれば、定額料金制下の均衡条件は

$$\frac{\bar{a}^2}{2b} - f = F$$

となる。この式を成立させる定額料金 f^*が均衡定額料金であり、それは

$$f^* = \frac{\bar{a}^2}{2b} - F \tag{11}$$

で与えられる。

ここで、均衡定額料金は正値をとることを確認しておこう。すなわち(2)式の仮定から、

$$\bar{a}^2 - 2bF > 2\bar{a}\underline{a} - \underline{a}^2 = \underline{a}(2\bar{a} - \underline{a}) > \underline{a}^2 > 0 \tag{12}$$

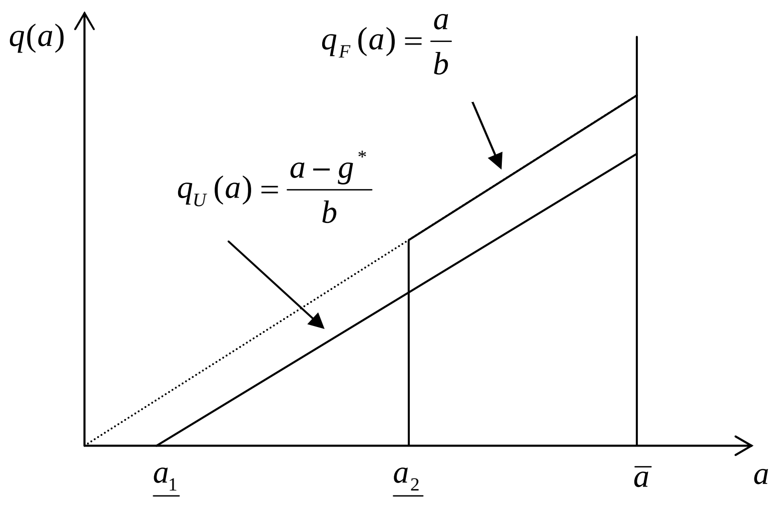
が示される。また、需要がゼロとなる限界的個人は、均衡において

$$\underline{a}_2 = \sqrt{2bf^*} = \sqrt{\bar{a}^2 - 2bF} \tag{13}$$

であるが、これも上と同じ理由から $\underline{a}_2 > \underline{a}$ となっている。すなわち、限界的個人は個人の分散の範囲内に存在していることが分かる。

今の場合、需要プロファイルは図４のように原点を通る直線となり、ユーザは $\underline{a}_2$ から $\bar{a}$ までの間に分布する個人であることが分かる。ここで、$\underline{a}_2$ 以下の個人は、定額料金支払い後には純余剰がゼロとなって、市場から退出することに注意しておこう。

図４　定額料金制と従量料金制均衡下の需要プロファイル



5. 比較分析

ここで２つの異なる料金システムの下で出現する均衡を比較してみよう。初めに、われわれは次の命題を主張することができる。

命題１　(2)式の仮定の下では、定額料金制下の均衡から従量料金制下の均衡への移行に伴って、ユーザ数は増加する。

＜証明＞従量料金制下の均衡におけるユーザ数から定額料金制下の均衡におけるユーザ数を差し引くと、(13)式および(6)式から

$$(\overline{a}-\underline{a_1})-(\overline{a}-\underline{a_2})=\underline{a_2}-\underline{a_1}=\sqrt{\overline{a}^2-2bF}-\left(\overline{a}-\sqrt{2bF}\right)$$

であるが、この式の右辺は正である。なぜなら、

$$\begin{aligned}&\left(\overline{a}^2-2bF\right)-\left(\overline{a}-\sqrt{2bF}\right)^2\\&=\overline{a}^2-2bF-\left(\overline{a}^2-2\overline{a}\sqrt{2bF}+2bF\right)\\&=2\overline{a}\sqrt{2bF}-4bF\\&=2\left(\overline{a}\sqrt{2bF}-2bF\right)>2\underline{a}\sqrt{2bF}>0\end{aligned}$$

であり、不等号は(2)式および$\underline{a}>0$という仮定から導かれる。証明了。

それでは２つの料金制の下で、個人のサービス需要量はどう変化するであろうか。

命題２　$a>\underline{a_2}$を満たす個人については、サービス需要量は定額料金制下の均衡から従量料金制下の均衡への移行に伴って減少する。

＜証明＞(8)式と(5)式の差をとれば、

$$q_F(a)-q_U(a)=\frac{a}{b}-\frac{a-\overline{a}+\sqrt{2bF}}{b}=\frac{\overline{a}-\sqrt{2bF}}{b}>0$$

最後の不等式は(12)式による。証明了。

ここで$a>\underline{a_2}=\overline{a}^2-2bF$を満たす個人のことを「ヘビーユーザ」と呼ぶことにしよう。ヘビーユーザは定額料金制下の均衡における需要量の方が従量料金制下の均衡における需要量よりも大きい。しかし、それではヘビーユーザの純効用はどうなるのであろうか。

命題３　ヘビーユーザの純効用は、定額料金制下の均衡から従量料金制下の均衡への移行により上昇する。

＜証明＞ヘビーユーザaの従量料金制下の均衡における純効用$CS_U(a)$は、均衡従量料金を代入すると、次のようになる。

$$CS_U(a) = aq^*(a) - \frac{bq^{*2}(a)}{2} - g^*q^*(a) = \frac{(a-g^*)^2}{2b} = \frac{\left(a-\overline{a}+\sqrt{2bF}\right)^2}{2b}$$

他方、ヘビーユーザaの定額料金制下の均衡における純効用$CS_F(a)$は、均衡定額料金を代入して

$$CS_F(a) = \frac{a^2 - \overline{a}^2 + 2bF}{2b}$$

となる。ここで両者の差をとれば、

$$CS_U(a) - CS_F(a) = \frac{(\overline{a}-a)\left(\overline{a}-\sqrt{2bF}\right)}{b}$$

であるが、$\overline{a} \geq a$および(12)式より、この式の値は$a = \overline{a}$という個人の場合を除いて、正である。証明了。

言い換えると、定額料金制下の均衡から従量料金制下の均衡への移行に伴って、ヘビーユーザはサービスの需要量を縮小させるものの、純効用は逆に上昇するのである。

それでは「ライトユーザ」の立場はどうか。それには次の命題が答えを与える。

命題４　$\underline{a_1} \leq a \leq \underline{a_2}$を満たす個人は、定額料金制下の均衡ではサービス需要量はゼロであるが、従量料金制下の均衡の下では正の量だけサービスを需要する。

＜証明＞　(5)式と(6)式を用いて

$$q_U(a) = \frac{a-\overline{a}+\sqrt{2bF}}{b} > \frac{\underline{a_1}-\overline{a}+\sqrt{2bF}}{b} = 0 = q_F(a)$$

であることが判明する。証明了。

$\underline{a_1}$と$\underline{a_2}$の間に位置するライトユーザは、従量料金制下の均衡ではユーザとなるが、定額料金制下の均衡では、均衡定額料金に相当する消費者余剰が確保できないため、ユーザ

とならない。

次に、サービス事業者の収益について見てみよう。サービス事業者の売上げを R とし、従量料金制下の売上げを R_U 、定額料金制下の売上げを R_F と書くことにしよう。そうすると、(4)式および(13)式より、

$$\begin{aligned} R_U &= g^* F = \left(\bar{a} - \sqrt{2bF}\right)F, \\ R_F &= (\bar{a} - \underline{a_2}) f^* = \left(\bar{a} - \sqrt{\bar{a}^2 - 2bF}\right) f^* \\ &= \frac{F(\bar{a}^2 - 2bF)}{\bar{a} + \sqrt{\bar{a}^2 - 2bF}} \end{aligned}$$

である。したがって、次の命題が成立する。

命題５　サービス事業者の収益は、定額料金制下の均衡から従量料金制下の均衡への移行に伴って、$\bar{a}^2 > 4bF$ ならば上昇し、$2bF < \bar{a}^2 < 4bF$ ならば下落する。

＜証明＞　R_U から R_F を差し引くと次式が得られる。

$$\begin{aligned} R_U - R_F &= \left(\bar{a} - \sqrt{2bF}\right)F - \frac{F\left(\bar{a}^2 - 2bF\right)}{\bar{a} + \sqrt{\bar{a}^2 - 2bF}} \\ &= \frac{F}{\bar{a} + \sqrt{\bar{a}^2 - 2bF}} \left(\bar{a} - \sqrt{2bF}\right)\left(\sqrt{\bar{a}^2 - 2bF} - \sqrt{2bF}\right) \end{aligned}$$

(12)式によって $\bar{a}^2 > 2bF$ であるから、この式は $\bar{a}^2 > 4bF$ ならば正、$2bF < \bar{a}^2 < 4bF$ ならば負である。証明了。

サービス事業者の収益増減を画する条件は、$\bar{a}$ と F との相対的関係を示している。もしも通信容量制約が最も強くサービスを望む個人の需要強度比して相対的に小さければ、つまり、通信容量制約が厳しければ、条件 $\bar{a}^2 > 4bF$ は成立する可能性が高く、したがって、定額料金制から従量料金制への転換に伴ってサービス事業者の収益は上昇する。

最後に、これらの分析からわれわれは次の命題を証明することができる。

命題６　容量制約に比較して個人特性の分散が十分大きい市場構造の下では、定額料金制下の均衡から従量料金制下の均衡への移行に伴って、社会的余剰は上昇する。

＜証明＞ $\bar{a}^2 > 4bF$ の場合についてここで証明し、一般的な場合の証明は後述の数学付録で展開する。

さて、従量料金制下の均衡における社会的余剰 SS_U および定額料金制下の均衡における社会的余剰 SS_F は、それぞれ

$$SS_U = \int_{\underline{a_1}}^{a_2} CS_U(a)da + \int_{\underline{a_2}}^{\bar{a}} CS_U(a)da + R_U$$

$$SS_F = \int_{\underline{a_2}}^{\bar{a}} CS_F(a) + R_F$$

で与えられる。したがって $\Delta SS = SS_U - SS_F$ は

$$\Delta SS = \int_{\underline{a_1}}^{\bar{a}} CS_U(a)da + \int_{\underline{a_1}}^{a_2} \{CS_U(a) - CS_F(a)\} da + (R_U - R_F)$$

であるが、右辺の第１項は従量料金制下の均衡におけるライトユーザの消費者余剰で正、第２項は命題３により正､そして第３項は､命題５によって正である｡したがって $\bar{a}^2 > 4bF$ の場合には容易に $\Delta SS > 0$ が証明される。

しかし、この条件が満たされない一般の場合には、証明が複雑となるため、数学付録に掲げておく。証明了。

6. おわりに

以上、われわれは、通信容量が制約的であり、個人の需要にばらつきがある場合には、サービス料金体系を定額料金制から従量料金制に変更することによって、ヘビーユーザは需要量を減少させ、ライトユーザは市場に参入し、アクティブなユーザ数は増加することを示した。さらに、通信容量の制約が厳しい場合には、定額料金制から従量料金制への移行によってサービス提供事業者の収益も増加することが明らかとなった。これらを総合して、社会的余剰も増加することを示すことができたた。

逆に従量料金制から定額料金制への移行は、ライトユーザが切り捨てられ、ヘビーユーザはサービスの使用量を増加させることができるものの定額料金を差し引いた純効用を低

下させ、また、サービス事業者の通信容量制約が厳しいときには収益を低下させ、社会全体としての余剰は必ず低くなる。

この結論にとって最も重要な条件は、(2)式で示される「通信容量に比較して個人の需要特性の分散が十分大きい市場構造」という仮定であった。この仮定が満たされない場合には、最後の社会的余剰に関する結論も証明できない。極端な場合、もしもすべての個人が同質で、$\overline{a} = \underline{a}$ が成り立つとき、定額料金は個人のサービス需要を制御する機能を完全に喪失し、ユーザの利用量を通信容量の範囲内に納めることはできなくなる。

したがって本論文の結論を要約すれば、通信容量に比較して個人の需要特性の分散が十分大きい場合には、社会的余剰の視点から見て、定額料金制よりも従量料金制の方が優れているということである。

言うまでもなく、本論文のモデルにはいくつか不自然な仮定が含まれている。たとえば、IP ネットワークにおける通信容量の限界という概念は、実体的にはそれほど明らかではない。すべての個人が線形の需要関数を持ち、個人の需要強度が一様分布しているという仮定も不自然かもしれない。しかし、もしも IP ネットワークに容量の限界が存在しないとしたら、ネットワーク資源は自由財としてその使用料にはゼロの価格しか成立しないはずである。需要関数の線形性や需要の一様分布の仮定も、それらが成立しないところでは本論文の結論が否定されることを示すものではない。

ブロードバンド先進国として、高速大容量通信ネットワークを建設しつつあるわが国においてこそ、定額料金が社会的意味を持ちうるかどうかは、さらに真剣な検討が必要だと思われる。

7. 数学付録

＜命題 6 の証明＞

ここでの目的は $\Delta SS > 0$ を証明することである。$\underline{a_1} \le a \le \underline{a_2}$ を満たす a については $q_F(a) = 0$ であることより、

$$\Delta SS = \int_{\underline{a_1}}^{\underline{a_2}} \{aq_U(a) - \frac{b}{2} q_U^2(a)\} da + \int_{\underline{a_2}}^{\overline{a}} \left[a\{q_U(a) - q_F(a)\} - \frac{b}{2}\{q_U^2(a) - q_F^2(a)\} \right] da$$

である。ここで右辺の第 1 項を A と置き、第 2 項を B と置く。初めに、

$$A = \int_{\underline{a_1}}^{\underline{a_2}} q_U(a)\{a - \frac{b}{2} q_U(a)\} da$$

に注目しつつ、(5)式を代入すると、

$$
\begin{aligned}
A &= \int_{\underline{a}_1}^{\underline{a}_2} \frac{a-\bar{a}+\sqrt{2bF}}{b}\left(a-\frac{a-\bar{a}+\sqrt{2bF}}{2}\right)da \\
&= \int_{\underline{a}_1}^{\underline{a}_2} \frac{a-\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)}{b}\frac{a+\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)}{2}da \\
&= \frac{1}{2b}\int_{\underline{a}_1}^{\underline{a}_2}\left\{a^2-\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^2\right\}da \\
&= \frac{1}{2b}\left\{\left[\frac{a^3}{3}\right]_{\underline{a}_1}^{\underline{a}_2}-\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^2(\underline{a}_2-\underline{a}_1)\right\} \\
&= \frac{1}{6b}\left[\left(\bar{a}^2-2bF\right)^{\frac{3}{2}}-\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^3-3\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^2\left\{\sqrt{\bar{a}^2-2bF}-\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)\right\}\right]
\end{aligned}
$$

が得られる。ここでは、(7)式より $\underline{a}_1=\bar{a}-\sqrt{2bF}$ 、(13)式より $\underline{a}_2=\sqrt{\bar{a}^2-2bF}$ という事実を用いた。

他方、B については、(5)式、(8)式および(13)式を用いると、

$$
\begin{aligned}
B &= \int_{\underline{a}_2}^{\bar{a}}\{q_U(a)-q_F(a)\}\left[a-\frac{b}{2}\{q_U(a)+q_F(a)\}\right]da \\
&= \int_{\underline{a}_2}^{\bar{a}}\frac{\left(\sqrt{2bF}-\bar{a}\right)}{b}\frac{1}{2}\left\{2a-b\left(\frac{a-\bar{a}+\sqrt{2bF}}{b}+\frac{a}{b}\right)\right\}da \\
&= \int_{\underline{a}_2}^{\bar{a}}-\frac{1}{2b}\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^2 \\
&= -\frac{\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^2}{2b}(\bar{a}-\underline{a}_2) = -\frac{\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^2\left(\bar{a}-\sqrt{\bar{a}^2-2bF}\right)}{2b}
\end{aligned}
$$

となる。

ここで A と B を合計すると、

$$
\begin{aligned}
\Delta SS &= A+B \\
&= \frac{1}{6b}\left\{\left(\sqrt{\bar{a}^2-2bF}\right)^3-\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^3\right\}-\frac{1}{2b}\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^2\left(\sqrt{\bar{a}^2-2bF}-\bar{a}-\sqrt{2bF}\right) \\
&\qquad -\frac{1}{2b}\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^2\left(\bar{a}-\sqrt{\bar{a}^2-2bF}\right) \\
&= \frac{1}{6b}\left\{\left(\sqrt{\bar{a}^2-2bF}\right)^3-\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^3-3\left(\bar{a}-\sqrt{2bF}\right)^2\sqrt{2bF}\right\}
\end{aligned}
$$

が得られる。この式について、b と F を固定すると、ΔSS は $\bar{a}$ の関数とみなすことができる。以下で示したいのは、$f^* > 0$ ならば $\Delta SS > 0$ となることである。

初めに、$\bar{a} = \sqrt{2bF}$ のとき、上式の 3 つの項目はすべてゼロとなって、$\Delta SS = 0$ であることを確認しよう。次いで、われわれは ΔSS は $\bar{a}$ の増加関数であることを示す。

上式を $\bar{a}$ について微分すると、

$$\begin{aligned}\frac{d(\Delta SS)}{d\bar{a}} &= \frac{1}{6b}\left\{\frac{3}{2}2\bar{a}\sqrt{\bar{a}^2 - 2bF} - 3\left(\bar{a} - \sqrt{2bF}\right)^2 - 6\sqrt{2bF}\left(\bar{a} - \sqrt{2bF}\right)\right\} \\ &= \frac{1}{2b}\left(\bar{a}\sqrt{\bar{a}^2 - 2bF} - \bar{a}^2 + 2\bar{a}\sqrt{2bF} - 2bF - 2\bar{a}\sqrt{2bF} + 4bF\right) \\ &= \frac{1}{2b}\left\{\bar{a}\sqrt{\bar{a}^2 - 2bF} - \left(\bar{a}^2 - 2bF\right)\right\}\end{aligned}$$

が得られる。しかし、

$$\begin{aligned}\left(\bar{a}\sqrt{\bar{a}^2 - 2bF}\right)^2 - (\bar{a}^2 - 2bF)^2 &= \bar{a}^4 - 2\bar{a}^2 bF - \bar{a}^4 + 4\bar{a}^2 bF - 4b^2F^2 \\ &= 2bF(\bar{a}^2 - 2bF)\end{aligned}$$

であるから、(2)式の仮定によって、$\dfrac{d(\Delta SS)}{d\bar{a}} > 0$ である。証明了。

参考文献

Clark, D. (1997), “Internet Cost Allocation and Pricing,” in McKnight, L.W. and Bailey J.P. eds., *Internet Economics*, pp.215-252, The MIT Press.

Cocchi, R., D. Estrein, S. Shenker and L. Zhang (1992), “Pricing in computer networks: Motivation, formulation, and example,” Technical report, University of Southern California.

Fioramanti, M. (2005), “Free Internet access: When is it suitable?,” *Information Economics and Policy*, Vol.17, pp.302-316.

Fukuda, K., K. Cho and H. Esaki (2005), “The Impact of Residential Broadband Traffic on Japanese ISP Backbones,” *ACM Sigcomm Computer Communications Review*, Vol.35, No.1, January.

Gupta A., D.O.Stahl and A.B.Whinston (1997), “A Stochastic Equilibrium Model of Internet Pricing,” *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol.21, pp.697-722.

Hayashi, K. (2004), “Flat Rate, Usage-Sensitive Rate, Two-Tier Pricing and Self-Selective Dual Tariff for Shared Facilities,” DP-2004-001-E, Stanford Japan Center.

MacKie-Mason, J.K. and H.R.Varian (1995), “Pricing the Internet,” in Kahin, B. and J. Keller, eds., *Public Access to the Internet*, pp.269-314, The MIT Press.

McKnight, L.W. and J.P.Bailey (1997), “An Introduction to Internet Economics,” in McKnight, L. W. and Bailey J.P. eds., *Internet Economics*, pp.3-26, The MIT Press.

Oi, W. (1971), “A Disneyland Dilemma: Two-Part Tariffs for a Mickey Mouse Monopoly,” *Quarterly Journal of Economics*, Vol.85, pp. 77-96.

Schmalensee, R. (1981), “Monopolistic Two-Part Pricing Arrangements,” *Bell Journal of Economics*, Vol.12, pp.445-466.

Scotchmer, S. (1987), "Two-Tier Pricing of Shared Facilities In a Free-Entry Equilibrium," *Rand Journal of Economics*, Vol.16, No.4, pp.456-472.

Sundararajan, A. (2004), "Nonlinear Pricing of Information Goods," *Management Science*, Vol. 50, No.12, December, pp.1660-1673.

総務省 (2006)、『平成 18 年度版情報通信白書』

IP 化の進展に対応した競争ルールの在り方に関する懇談会 (2006)、『IP 化の進展に対応した競争ルールの在り方について－新競争促進プログラム 2010－』

---

[i] たとえば総務省『平成 18 年度版情報通信白書』(2006)、参照。

[ii] 総務省のデータによれば、携帯電話の加入者は 2000 年には固定電話の加入者を上回り、2006 年度末には、第 3 世代携帯電話への加入は 4,800 万件を越えた。携帯電話市場に定額料金制が導入された時期と、インターネット利用端末別の利用人口について、携帯電話・PHS・携帯情報端末がパソコンに急迫していった時期とは重なっている。2005 年のわが国では、インターネット利用端末は、携帯電話等がパソコンを上回るに至った。

[iii] 学問的にも定額料金制のメリットは強調された。たとえば、McKnight and Bailey (1997)の中心的課題は、まさに、インターネットの料金体系であった。この本の序章では、定額料金、従量料金、取引比例料金の概念的区別が指摘されている。さらにこの本の中で Clark (1997)は実際的視点から、インターネットへのアクセス料金として定額料金制に優位性があると指摘した。

[iv] この関連で思い出されるのは、二部料金制をもって最適な料金体系とする考え方である。しかし、Oi (1971)の古典的論文も、Schmalensee (1981)や Scothmer (1987)も、サービス供給にボトルネックがある場合は取り扱っておらず、効用関数が分布しているという意味での需要の多様性にも考慮を払っていない。

[v]日本における 2002 年頃からのインターネット・エクスチェンジ（IX）を通過するトラフィックの急増は、Fukuda, Cho and Esaki (2005)において厳密な形で計測されている。

[vi] 『IP 化の進展に対応した競争ルールの在り方に関する懇談会報告書』、p.75。

[vii]現実の課題としてのユーザの多様性は、インターネットを e メールにのみ利用する個人から、検索サイト、仮想商店、動画配信サービスなどを提供するコンテンツ事業者までの広がりを見せている。しかしここでは、厳密な議論をするために、ユーザの多様性をパラメータ a で表現できる個人の需要強度の多様性として分析を進める。また、二部料金制や選択的二重料金制も含めた分析については、Hayashi (2004)を参照のこと。

[viii] ここで言う料金制とは、企業が選択する料金体系の意味で、政策的な制度という意味ではない。

[ix] ここで示した定式化は、通信経済学の文献において、Fioramanti (2005)をはじめ、多くの論者によって採用されている。たとえば、Sundararajan (2004)が例示として掲げる式は、われわれの仮定する効用関数そのものである。

[x] 後出の需要曲線に関して言えば、この仮定は、全ての個人は同じ傾きの需要曲線を持っており、a の分散は需要曲線の縦軸上の切片の分散として表されることを意味している。

[xi] F は通信容量を表すとともに、それを供給するための固定費の大きさを表すものとする。

[xii] 消費者が支払う料金はすべてサービス提供者の収益となるため、社会的余剰の計算において両者は相殺され、社会的余剰の大きさには影響を与えない。

[xiii]以下では、定額制であれ従量制であれ、一定の通信容量の供給に通信需要を一致させる競争的な市場構造を仮定している。独占的供給者の最適価格の視点からの分析についてもわれわれは類似の結論を得ているが、発表は別の機会に譲りたい。

[xiv] ここで限界効用がゼロすなわち消費者がこのサービスに飽和するというのは、議論を簡素化するための仮定である。限界効用にゼロではないある留保水準が存在すると仮定しても、議論の本質は変化しない。