

ネットワーク経済の基礎理論

—コミュニケーションサービスと経済— (継続)

城 所 幸 弘 政策研究大学院大学助教授

1 はじめに

ブロードバンドを使ったインターネット接続は日本では急速に発達したが、世界ではダイヤルアップを使った接続も広く用いられている。ブロードバンド接続は、大容量のデータの送受信に適している。しかし、ブロードバンド接続のためには、インターネットサービスプロバイダーは投資を行う必要がある。したがって、インターネットサービスプロバイダーは必ずしも喜んでブロードバンド接続サービスを提供するわけではない。例えば、米国では、ブロードバンドインフラへの投資不足がブロードバンド接続を妨げている。

本研究の目的は、インターネットへの投資が接続スピードを決めるという関係を明確に考慮した上で、ファーストベストの解、セカンドベスト（インターネットサービスプロバイダーの利潤はゼロ以上という意味で）の解、独占企業の利潤最大化解を導出・比較して、ブロードバンド接続に関する問題の所在を明確化することである。その結果、本研究ではなぜデジタルディバイドが生じるかも合理的に説明している。

これまでの、インターネットに関する理論モデルは、インターネットの内部構造に焦点を当ててきた。例えば、Cremer et al. (2000) は、インターネットのバックボーンプロバイダーとインターネットサービスプロバイダーの接続問題に焦点を当てているし、Laffont et al. (2001, 2003) は、インターネットバックボーンプロバイダーの競争問題を分析している。また、Foros et al. (2002) や Foros (2004) では、インターネットサービスプロバイダーの接続問題が取り上げられている。しかし、インターネットサービスプロバイダーの投資量がナローバンドからブロードバンドへのアップグレードを可能にするというプロセスは注目されて来なかった。また、消費者のインターネット接続に関して、ファーストベストの状態がどのような状況で、ファーストベストが達成されないとどのような問題が生じるかについても十分な分析が行われてこなかった。本研究では、これまでの研究の焦点であったインターネットの内部構造を分析の対象外とし、地域独占企業がインターネットサービスを提供していると仮定する。そのもとで、インターネットの接続数、インターネットインフラへの投資、インターネット接続料金が内生的に決まるモデルを用いて、ファーストベストの状態、セカンドベストの状態、インターネットサービスプロバイダーの独占状態の三者を比較する。

本研究のモデルの特徴は以下の通りである。消費者はインターネットに接続する消費者と接続しない消費者の2種類存在している。インターネットに接続する消費者は合成財とインターネットから得られる情報を消費し、インターネットに接続しない消費者は合成財だけを消費する。インターネットに接続する消費者は、インターネットに接続する時間費用とインターネットに接続するための学習費用を負担しなければならない。インターネットに接続する時間は、インターネットサービスプロバイダーの投資に依存する。つまり、インターネットサービス提供会社があまり投資せず、ダイヤルアップ接続をしなければならないのであれば、インターネットで情報を収集する時間は長くなるが、積極的な投資をしてブロードバンド接続を可能にするなら情報の収集時間は短くなる。また、われわれのモデルはインターネットに接続する人が多くなればなるほど情報のバラエティーが増し、インターネットの接続者全員の効用が増加するという形でネットワークの外部性を入れている。

このようなモデルを用いて、本研究で得られた主要な結果は以下のとおりである。ネットワークの大きさが大きくなるほど、消費者が得る情報のバラエティーが増すというメカニズムが有効であれば、インターネットへの新規加入がインターネットの既存加入者全体に外部性をもたらすことになる。この結果、ファーストベストの状況では、インターネットの接続料金は限界費用を下回る。インターネットインフラへの投資は、投資によるインターネット接続スピードの上昇が生む情報取得時間の短縮便益と投資の限界費用が等しくなる点で決定される。

このファーストベストの解では、インターネットサービスプロバイダーの利潤が負になる。このことは、(何らかの補助金政策なしでは) ファーストベストの解が達成できないことを意味する。インターネットサービスプロバイダーの利潤が非負という条件でのセカンドベストの解では、インターネット加入者数、インターネットインフラへの投資量ともファーストベストの場合を下回る。独占企業の利潤最大化解では、インターネット加入者数、インターネットインフラへの投資量はさらに少なくなる。セカンドベストや独占企業の利潤最大化解では、ファーストベストに比べて、インターネット接続料金が高くなり、それがネットワーク加入者を減らし、投資も少なくするというメカニズムが働いている。ファーストベストに比べて、セカンドベストや独占企業の利潤最大化解でネットワーク加入者が少なくなるということは、ファーストベストに比べてデジタルディバイドが発生していることを意味する。

本報告書は以下のように構成される。2節でモデルを作る。3節でファーストベスト、セカンドベスト、独占企業の利潤最大化解を導出し、それらを比較する。4節で分析を締めくくる。

2 モデル

モデルは、消費者とインターネットサービスプロバイダーで構成されている。それらを順に見ていく。

2.1 消費者

消費者は $[0, 1]$ に一様に分布し、そのインデックスを i とする。ここでは整数問題を無視する。消費者は、2つのタイプに分類される。I 消費者は合成財とインターネットサービスを消費するが、NI 消費者は合成財しか消費しない。NI 消費者は自由に I 消費者になることができる。

I 消費者は $[0, n]$ に分布している。ここで、 $0 < n < 1$ である。I 消費者の効用関数は全員に共通であり、合成財 z 、(価格は1に基準化) とコミュニケーションからの効用 $u^i(x, n)$ に関して分離可能であるとする。つまり、I 消費者の効用関数は、

$$(1) \quad U^i = z + u^i(x, n)$$

とかける。ここで、 x はインターネットから得られる情報量であり、 n はインターネット加入者数、つまり I 消費者の数である。ここで、 $u'_x \equiv \frac{\partial u^i(x, n)}{\partial x} > 0$ 、 $u''_{xx} \equiv \frac{\partial^2 u^i(x, n)}{\partial x^2} < 0$ 、 $u'_n \geq 0$ 、 $u''_{nn} \leq 0$ 、 $u'_{xn} \geq 0$ であるとする。すなわち、コミュニケーションからの効用と限界効用は、インターネットから得られる情報量だけでなく、インターネット加入者数にも依存している。これは、インターネット加入者数が多いほど取得する情報のバラエティーが増え、I 消費者の効用が高まることを含んでいる。もし、限界的なネットワークの大きさの増加が効用に影響を与えない、つまり、限界的な情報のバラエティーが効用を上昇させないのであれば、 $u'_n = u''_{nn} = u'_{xn} = 0$ となる。

I 消費者は i 以下のような時間制約に直面していると考える。

$$(2) \quad \bar{H} = \bar{L} + h + s(m)x + e(i)$$

ここで、 \bar{H} は利用可能な時間の合計、 \bar{L} は余暇時間(固定)、 h は労働時間、 $s(m)x$ はインターネットを使って情報を得るのにかかる時間、 m はプロバイダーが行うインターネットインフラへの投資、 $e(i)$ はインターネットを学習するために費やす時間である。 $s'(m) < 0$ を仮定して、プロバイダーが行うインターネットインフラへの投資はインターネットの接続スピードを高め、インターネットを使って情報を得るための時間を短くすると考える。例えば、ダイヤルアップ接続の場合は、投資 m は少なくても速いが、スピードが遅く、情報の取得にかかる時間 $s(m)x$ が長い。一方、光ファイバー等のブロードバンドの場合、投資 m は高いが、スピードが速く、情報の取得にかかる時間は短くなる。I 消費者 i のインデックスが小さいほど、教育水準が高く、インターネットを使いこなすのに必要な学習時間が減る、つまり、 $e'(i) > 0$ とする。この仮定は、USDOC (2002) が示しているように、教育水準によって、インターネットに接続する割合が変わるという事実を反映している。(2)より、I 消費者 i の予算制約は、

$$(3) \quad wh = z + t$$

となる。ここで、 w は単位時間当たり賃金、 t はインターネットサービスプロバイダーに払う接続料金である。

(1)-(3)より、I 消費者 i の効用は以下のようにかける。

$$(4) \quad U^i = w \{ \bar{H} - \bar{L} - s(m)x - e(i) \} - t + U^i(x, n)$$

I 消費者 i は(4)を x に関して最大化する。その結果、

$$(5) \quad u'_x(x, n) = ws(m)$$

が得られる。(5)式は追加的な情報から得られる効用の増加とそのため時間費用が等しくなるところまで情報を得ることを示している。

NI 消費者は、 $[n, 1]$ に分布しており、皆同じ効用関数を持っている。その効用関数は、合成財の量だけに依存する。すなわち、

$$(6) \quad U^N = z$$

とかける。NI 消費者の時間制約は

$$(7) \quad \bar{H} = \bar{L} + h$$

であり、予算制約は、

$$(8) \quad wh = z$$

であるので、NI 消費者の効用は、

$$(9) \quad U^N = w(\bar{H} - \bar{L})$$

である。

限界的、つまり、 n 番目の消費者は、I 消費者になっても NI 消費者にとどまっても同じ効用水準を得る。つまり、 $U^I = U^N$ である。したがって、

$$(10) \quad w\{\bar{H} - \bar{L} - s(m)x - e(n)\} - t + u^I(x, n) = w(\bar{H} - \bar{L})$$

である。I 消費者になることによる限界的な便益を $MB \equiv w\{-s(m)x - e(n)\} - t + u^I(x, n)$ と定義すると、(10)を

$$(11) \quad MB = 0$$

とかくことができる。唯一の安定的な均衡が存在するためには、I 消費者になることによる限界的な便益 MB が、インターネット加入者数に関して減少関数にならなければならない。つまり、

$$(12) \quad MB_n = -we'(n) + u_n^I < 0$$

である。この条件が満たされない場合は、複数均衡が存在する可能性がある¹。しかし、この研究の目的は、複数均衡が存在するかどうかを示すことではないので、本研究では、(12)が常に満たされると仮定する²。

(5)と(10)を全微分して整理すると、 x と t を、 $x(m, n)$, $t(m, n)$ として表現することができる。すなわち、

$$(13) \quad \begin{pmatrix} u_{xx}^I & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ dt \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ws'(m)dm - u_{xn}^I dn \\ -ws'(m)x dm + (u_n^I - we'(n))dn \end{pmatrix}$$

より、

$$(14) \quad x_m = \frac{ws'(m)}{u_{xx}^I} > 0$$

$$(15) \quad x_n = \frac{-u_{xn}^I}{u_{xx}^I} \geq 0$$

$$(16) \quad t_m = -ws'(m)x > 0$$

$$(17) \quad t_n = (u_n^I - we'(n)) = MB_n < 0$$

である。(14)は、インターネットから得る情報量は、インターネットサービスプロバイダーのインフラ投資に関して増加関数であることを示している。この理由は、投資が増加すると、インターネットの接続スピードが上昇し、より少ない時間で多くの情報を得ることができるためである。(15)は、インターネットから得る情報量はインターネット加入者数に関して非減少関数であることを示している。この理由は、インターネット加入者数が増えるほど、情報のバラエティーの増加を通じて、情報の限界的な価値が上がるからである。(16)より、インターネットの接続料金は、インターネットサービスプロバイダー投資の増加関数であり、投資によるインターネット接続料金の上昇は、投資が生む情報の取得にかかる時間短縮の便益に等しいことがわかる。限界的な投資が行われたことによってインターネット加入者が得る便益は、時間短縮便益 $-ws'(m)x$ である。したがって、インターネット加

¹ 複数均衡の存在に焦点を当てた研究には、例えば、Rohlf's (1974), Oren and Smith (1981), Economides and Himmerlberg (1995) がある。

² 教育にかかる時間費用がに関して増加関数である、つまり、であることは、(12)が成立するための一つの必要条件になっている。

入者が無差別であるためには、インターネット接続料金が $-ws'(m)x$ だけ上昇する必要があるのである。また、(17)は、インターネットの接続料金は、インターネット加入者数の減少関数であり、限界的な加入者の増加がもたらす接続料金の低下は、限界的な加入者が得る便益の低下に等しいことを示している。インターネット加入者が増加するほど、インターネットに習熟しにくい人が加入者になるため、加入者の限界的な便益は低下する。このような、より低い限界便益を持つ加入者がネットワークに加入するには、限界便益の低下とともに接続料金も低下する必要がある。

2.2 インターネットサービスプロバイダー

簡単化のために、地域独占企業がインターネットサービスを提供していると仮定する。インターネットサービスを供給する総費用は

$$(18) \quad C = c(m)n$$

とかけるとする。ここで、 $c(m)$ は、1 消費者一人当たりのインターネットサービス供給費用であり、 $c'(m) > 0$ である。 $c'(m) > 0$ は、インターネットサービスプロバイダーのインフラ投資によって、一人当たりのインターネットの接続に要する費用が上昇することを考えている。固定費用の存在は無視するので、加入に関する限界費用と平均費用は一致する。したがって、本研究では、固定費用がもたらす限界費用と平均費用の差がもたらす、ファーストベストとセカンドベストの問題はとりあげない。インターネットサービス供給がもたらす利潤は

$$(19) \quad \pi(n, m) = t(n, m)n - c(m)n$$

とかける。

(4), (9), (19)より、社会厚生 SW は、

$$(20) \quad \begin{aligned} SW &= \int_{i=0}^n U^i di + (1-n)U^N + \pi(n, m) \\ &= nw\{\bar{H} - \bar{L} - s(m)x\} - w \int_{i=0}^n e(i) di - nt(n, m) \\ &\quad + nu^l(x, n) + (1-n)w(\bar{H} - \bar{L}) + t(n, m)n - c(m)n \\ &= w(\bar{H} - \bar{L}) - nws(m)x - w \int_{i=0}^n e(i) di + nu^l(x, n) - c(m)n \end{aligned}$$

となる。

3 ファーストベスト、セカンドベスト、独占企業の利潤最大化

ここではファーストベストの解、セカンドベストの解、独占企業の利潤最大化解を比較する。ファーストベストの解は、(20)を最大化することから得られる。セカンドベストの解は、(20)を、独占企業の利潤が非負であるという条件の下で最大化することから得られる。独占企業の利潤最大化解は、(19)を最大化することから得られる解である。これらを次の補題1にまとめる。

補題 1

(i) ファーストベスト解：

$$(21) \quad -ws'(m^{FB})x(m^{FB}, n^{FB}) = c'(m^{FB})$$

$$(22) \quad t^{FB} = c(m^{FB}) - n^{FB}u_{n^{FB}}^l(x(m^{FB}, n^{FB}), n^{FB}) \leq c(m^{FB})$$

(ii) セカンドベスト解：

$$(23) \quad -ws'(m^{SB})x(m^{SB}, n^{SB}) = c'(m^{SB})$$

$$(24) \quad t^{SB} = c(m^{SB})$$

(iii) 独占企業利潤最大化解：

$$(25) \quad -ws'(m^M)x(m^M, n^M) = c'(m^M)$$

$$(26) \quad t^M = c(m^M) - n^M t_{n^M}(m^M, n^M) > 0$$

ここで、右上添え字の FB , SB , M はそれぞれファーストベストの解、セカンドベストの解、独占企業利潤最大化解であることを示している。

補題1の証明は付録に述べる。(21), (23), (25)より, 投資に関しては, 3つの場合に同じ式が成立し, 投資による時間短縮の便益と投資の限界費用が等しくなるように投資が決まることを示している。つまり, インターネット加入者数の歪みを所与とすれば, 投資自体には歪みは生じない。この理由は, 独占企業は, 投資によって得られる社会的便益のすべてを得ることができるからである。限界的な投資が行われたことによってインターネット加入者が得る1人あたりの便益は, 時間短縮便益 $-ws'(m)x$ である。しかし, (16)でみたように, このときインターネット接続料金は $-ws'(m)x$ だけ上昇する。この特徴ゆえ, 社会的余剰を最大化しても, 独占企業が利潤を最大化しても, 投資の選択には歪みが生じない。また, セカンドベストの場合は, 独占企業のゼロ利潤条件を制約に含めて最大化することになるが, この場合は, 最大化されるラグランジュアンが, 社会厚生と独占企業の利潤のウェイト付けされた和になるため, 同様に歪みは生じなくなる。

インターネットサービスプロバイダーのインフラ投資に関しては, それ自体の歪みが発生しない。したがって, 歪みの元凶はインターネットの接続料金が決定するインターネット加入者数の差に起因することがわかる。ファーストベストではインターネットの接続料金は, 限界費用以下になる。これは, 電話に関するネットワーク外部性に関する Littlechild (1975) の結論と同様である。この論文の分析では, インターネット加入者数の成長が情報のバラエティーの拡大をもたらし, それによってインターネット加入者全員が正の外部性を得るという外部性があるため, その分, インターネットの接続料金は低くなる必要があることを示している。ただし, インターネット網がすでに大きく, 加入者数の増加が生む情報の多様性が意味を持たない場合, つまり, $u_{n,FB}^I=0$ の場合は, 最適なインターネット接続料金は限界費用になる。セカンドベストの場合は, インターネット接続料金は限界費用 (= 1人あたりの供給費用) に等しくなる。独占の場合は, インターネット接続料金は限界費用を上回る。

補題1より, インターネット加入者数, インターネットサービスプロバイダーのインフラ投資, インターネットから取得する情報量, 社会厚生に関して, 以下の定理1を得る。

定理1

$$(27) \quad n^{FB} \geq n^{SB} > n^M$$

$$(28) \quad m^{FB} \geq m^{SB} > m^M$$

$$(29) \quad x^{FB} \geq x^{SB} > x^M$$

$$(30) \quad SW^{FB} \geq SW^{SB} > SW^M$$

定理1の証明は付録で行う。インターネットの接続料金がファーストベストと比べて高くなるので, セカンドベストではインターネットの加入者数は少なくなる。インターネットの加入者数が少ないときは, インターネットの接続スピードの上昇による1人当たりの便益 $-ws'(m)x(m, n)$ も小さいため, インターネットサービスプロバイダーのインフラへの投資もファーストベストよりも少なくなる。(ここで, $-ws'(m)x(m, n)$ は, (15)よりインターネット加入者数の増加関数であることに注意せよ。) このことは, インターネットの接続スピードは, 社会的に最適なスピードより遅いスピードで均衡することを意味している。その結果, インターネットから得る情報量, 社会的余剰も縮小する。また, 独占企業の利潤最大化解では, インターネットの接続料金がセカンドベストのときよりもさらに上昇するので, インターネット加入者数はさらに少なくなり, その結果, インターネットサービスプロバイダーのインフラへの投資も一層少なくなる。その結果, インターネットから得る情報量, 社会的余剰もさらに縮小する。

4 おわりに

本研究で得られた結果は現実的に非常に示唆に富むものである。インターネット接続に関し, 最も重要なことは接続料金であり, 接続料金が最適なら, インターネットスピードも最適になる。したがって, もし政策介入による状況の改善を考えるのなら, 接続料金をファーストベストの水準に低下させるような政策を考えるべきである。また, ファーストベストの接続料金は, インターネットの加入者増がもたらす情報の多様性による外部性が大きいときほどセカンドベストの接続料金と乖離する。これらのことは, インターネット接続があまり発展していない状況では, インターネットの加入者増がもたらす情報の多様性による外部性が大きいので, ファーストベストとセカンドベストの接続料金が大きく乖離し, 補助金政策等による政策介入が重要であることを示唆する。しかし, インターネット接続が十分に発展した状況では, インターネットの加入者増がもたらす情報の多様性に

よる外部性が小さいので、ファーストベストとセカンドベストの接続料金があまり乖離しない。この場合には、政策介入による効果は限定的なものになるであろう。

また、本研究ではデジタルデバイドの問題を内生的に分析することに成功している。注意しなければならないのは、デジタルデバイドが消費者の自主的な選択により、ファーストベストの場合でも存在する可能性がある点である。インターネットの接続料金が高すぎるために、現実の加入者数が、ファーストベストのインターネットの加入者数に比べて少ないのであれば政策介入の余地がある。しかし、ファーストベストのインターネット加入者数を超えてインターネットの加入者数を増やすことを目的とするのであれば、社会厚生はかえって低下してしまう。

付録 定理・補題の証明

補題1の証明

(i) (20)を m と n に関して最大化すると、

$$(A1) \quad SW_m = -nws'(m)x - nws(m)x_m + nu'_x x_m - c'(m)n = 0$$

$$(A2) \quad SW_n = -ws(m)x - nws(m)x_n - we(n) + u'(x, n) + nu'_x x_n + nu'_n - c(m)n = 0$$

である。(A1) に(5)の結果を適用すると、(21)が得られる。また、(A2) に(5)、(10)を適用すると、(22)が得られる。

(ii) 最大化のためのラグランジュアンを以下のように作る。

$$(A3) \quad A = w(\bar{H} - \bar{L}) - nws(m)x - w \int_{i=0}^n e(i) di + nu'(x, n) - c(m)n + \lambda[c(m)n - t(n, m)n]$$

最大化の一階の条件は

$$(A4) \quad A_m = -nws'(m)x - nws(m)x_m + nu'_x x_m - c'(m)n + \lambda[c'(m)n - t_m(n, m)n] = 0$$

$$(A5) \quad A_n = -ws(m)x - nws(m)x_n - we(n) + u'(x, n) + nu'_x x_n - c(m) + \lambda[c(m) - t(n, m) - t_n(n, m)n] = 0$$

$$(A6) \quad A_\lambda = c(m)n - nt(n, m) = 0$$

である。(A4) に(5)、(16)を代入して整理すると、

$$(A7) \quad (1 - \lambda)(-nws'(m)x - c'(m)n) = 0$$

となる。 $\lambda = 1$ のとき、(A5)、(5)、(10)、(17)より、

$$(A8) \quad nwe'(n) = 0$$

である。しかし、 $0 < n < 1$ と $e'(i) > 0$ とという仮定より、

$$(A9) \quad nwe'(n) > 0$$

となるため、矛盾する。したがって、 $\lambda \neq 1$ であることがわかる。(A7) を $1 - \lambda$ でわって、(23)を得る。また、(A6) を変形して、(24)を得る。

(iii) (19)を m と n に関して最大化すると、

$$(A10) \quad \pi_m = t_m(n, m)n - c'(m)n = 0$$

$$(A11) \quad \pi_n = t_n(n, m)n + t(n, m) - c(m) = 0$$

(A10) と(16)より、(25)を得る。(A11) と(17)より、(26)を得る。

証明終わり

定理1の証明

われわれは第一に、 $n^{FB} \geq n^{SB}$ 、 $m^{FB} \geq m^{SB}$ 、 $x^{FB} \geq x^{SB}$ を証明する。 $f(m, n)$ と $g(m, n)$ とを以下のように定義しよう。

$$(A12) \quad f(m, n) = SS_m = -nws'(m)x - c'(m)n$$

$$(A13) \quad g(m, n) = SS_n = -ws(m)x - we(n) + u'(x, n) + nu'_x x_n - c(m)$$

(21)、(23)、(25)より、すべての場合において、 $f = 0$ 、つまり、

$$(A14) \quad -ws'(m)x = c'(m)$$

であることがわかる。したがって、

$$(A15) \quad df(m, n) = SS_{mm} dm + SS_{mn} dn = 0$$

である。(A15) を

$$(A16) \quad dg(m, n) = SS_{mn} dm + SS_{nn} dn$$

に代入して,

$$(A17) \quad dg(m(n), n) = \left(\frac{SS_{nn} SS_{mm} - (SS_{mn})^2}{SS_{mm}} \right) dn$$

を得る。最大化の二階の条件より, $SS_{mm} < 0$ かつ $SS_{mm} SS_{nn} - (SS_{mn})^2 > 0$ なので,

$$(A18) \quad \frac{dg(m(n), n)}{dn} < 0$$

である。(A13) を使うと, (A5) を

$$(A19) \quad g(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) + \lambda [c(m^{SB}(n^{SB})) - t(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) - t_{n^{SB}}(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) n^{SB}] = 0$$

と変形できる。(A6) と(10)を (A5) に代入すると

$$(A20) \quad \lambda [c(m^{SB}(n^{SB})) - t(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) - t_{n^{SB}}(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) n^{SB}] = -n^{SB} u'_{n^{SB}} \leq 0$$

である。(A19) と (A20) より,

$$(A21) \quad g(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) \geq 0$$

である。(A13) より $g(m^{FB}(n^{FB}), n^{FB}) = 0$ なので, (A18) と (A21) より

$$(A22) \quad n^{FB} \geq n^{SB}$$

であることがわかる。

(A12) を n に関して微分して, (A14) を適用すると

$$(A23) \quad SS_{mm} = -ws'(m)x - nws'(m)x_n - c'(m) = -nws'(m)x_n \geq 0$$

が得られる。(A15), (A23), $SS_{mm} < 0$ より,

$$(A24) \quad \frac{dm}{dn} = -\frac{SS_{mn}}{SS_{mm}} \geq 0$$

である。(A22) と (A24) より

$$(A25) \quad m^{FB} \geq m^{SB}$$

であることがわかる。(A22) と (A25) は, (14)と(15)より,

$$(A26) \quad x^{FB} \geq x^{SB}$$

を意味する。

次に, 同様の方法で, $n^{SB} > n^M$, $m^{SB} \geq m^M$, $x^{SB} \geq x^M$ を証明する。(5)を (A1) に代入し, また, (16)を (A10) に代入すると, $\pi_m = SS_m$ であることがわかる。したがって, (A15) より,

$$(A27) \quad df(m, n) = SS_{mm} dm + SS_{nn} dn = \pi_{mm} dm + \pi_{nn} dn = 0$$

を得る。 $h(m, n)$ を

$$(A28) \quad h(m, n) = \pi_n = t_n(m, n)n + t(m, n) - c(m)$$

と定義しよう。(A27) を

$$(A29) \quad dh(m, n) = \pi_{mn} dm + \pi_{nn} dn$$

に代入すると

$$(A30) \quad dh(m(n), n) = \left(\frac{\pi_{mn}\pi_{nn} - (\pi_{nn})^2}{\pi_{mn}} \right) dn$$

である。最大化の二階の条件より, $\pi_{mn} < 0$ かつ $\pi_{mn}\pi_{nn} - (\pi_{nn})^2 > 0$ である。したがって, (A30) より

$$(A31) \quad \frac{dh(m(n), n)}{dn} < 0$$

を得る。

(A6) を (A28) に代入すると, (17)より,

$$(A32) \quad h(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) = t_{n^{SB}}(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) n^{SB} < 0$$

を得る。(A28) より, $h(m^M(n^M), n^M) = 0$ なので, (A31) と (A32) より,

$$(A33) \quad n^{SB} > n^M$$

である。

(16)を (A10) に代入した後で, n に関して微分すると

$$(A34) \quad \pi_{mn} = -ws'(m)x - nws'(m)x_n - c'(m) = -nws'(m)x_n \geq 0$$

となる。ここで, (A14) より $-ws'(m)x = c'(m)$ である。(A27) を $\pi_{mn} < 0$ と (A34) を使って変形すると

$$(A35) \quad \frac{dm}{dn} = -\frac{\pi_{mn}}{\pi_{mm}} \geq 0$$

である。したがって、(A33) と (A35) より、

$$(A36) \quad m^{SB} \geq m^M$$

である。(A33) と (A36) は、(14)と(15)より、

$$(A37) \quad x^{SB} \geq x^M$$

を意味する。

最後に、 $SS^{FB} \geq SS^{SB} > SS^M$ を示す。 $SS^{FB} \geq SS^{SB}$ は明らかなので、 $SS^{FB} > SS^{SB}$ を証明する。(A13), (A18), (A33) より、

$$(A38) \quad SS_n(m^M(n^M), n^M) > SS_n(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB})$$

である。(5), (10), (24)を (A2) に代入すると

$$(A39) \quad SS_n(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) = t^{SB}(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) + n^{SB}u_{n^{SB}}^I - c(m^{SB}(n^{SB})) = n^{SB}u_{n^{SB}}^I \geq 0$$

である。(A38) と (A39) より、

$$(A40) \quad SS_n(m^M(n^M), n^M) > SS_n(m^{SB}(n^{SB}), n^{SB}) \geq 0$$

を得る。(A40) は、 $SS(m(n), n)$ が $n^M \leq n \leq n^{SB}$ の範囲で増加関数であることを示している。したがって、 $SS^{SB} > SS^M$ である。

証明終わり

参考文献

- Cremer, J., Rey, P., and Tirole, J., (2000), "Connectivity in the Commercial Internet," *Journal of Industrial Economics* 48, 433-472.
- Economides, N. and Himmerlberg, C., (1995), "Critical Mass and Network Size with Application to the US FAX Market," *Discussion Paper No. EC-95-11*, Stern School of Business, New York University, <http://www.stern.nyu.edu/networks/95-11.pdf>.
- Foros, O., Kind, H., J., and Sorgard, L., (2002), "Access Pricing, Quality Deregulation and Foreclosure in the Internet," *Journal of Regulatory Economics* 22, 59-83.
- Foros, O. (2004), "Strategic Investments with Spillovers, Vertical Integration and Foreclosure in the Broadband Access Market," *International Journal of Industrial Organization* 22, 1-24.
- Laffont, J-J., Marcus, S., Rey, P., and Tirole, J., (2001), "Internet Peering," *American Economic Review* 91, 287-291.
- Laffont, J.-J., Marcus, S., Rey, P., and Tirole, J., (2003), "Internet Interconnection and the off-net-cost pricing principle," *RAND Journal of Economics* 34, 370-390.
- Littlechild, S. C., (1975), "Two-part Tariffs and Consumption Externalities," *Bell Journal of Economics* 6, 661-670.
- Oren, S. S. and Smith, S. A., (1981), "Critical Mass and Tariff Structure in Electronic Communications Markets," *Bell Journal of Economics* 12, 467-487.
- Rohlfs, J., (1974), "A Theory of Interdependent Demand for a Communications Service," *Bell Journal of Economics* 5, 16-37.
- U. S. Department of Commerce, (2002), "A Nation Online," U. S. Department of Commerce.

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
A model of Internet Access when Internet connection speed is upgradable	Information Economics and Policy	未定 (受理済)