基礎研究において「共有地の悲劇」は生じるのか？*

大　川　隆　夫

1　はじめに

共有地は，社会的な観点からみて過剰に利用されてしまうという，いわゆる「共有地の悲劇」が，Hardin（1968）によって唱えられて以来，この比喩は，大気汚染から漁場や天然資源の利用など多くの経済問題の説明に適用されてきた。

研究開発活動の分野においても，公共財的な性格を有している基礎研究の成果に，「共有地の悲劇」が発生してしまうと考えられている。つまり，誰かの生み出した成果をタダで使用できるわけであるから，基礎研究の貢献度合いから見て過剰に利用することになり，結果，誰も基礎研究に力を入れなくなるというわけである。このような観点から，例えば，1980年にアメリカ政府はbiomedical分野での基礎研究における特許取得を促進する政策を打ち出している[1)]。

しかしながら，このような私有化政策は，「反共有地の悲劇」というべき状況を生み出してしまっている。それは，製品を生み出すためには，基礎研究の成果を入手しなくてはならないが，基礎研究の成果の私有化により，多くの特許にロイヤリティを支払わないと製品を生産できないようになってしまっていることを指している。このコスト増から，社会的に見て過小な財のヴァラエティしか生み出されなくなってしまう[2)]。

基礎研究の成果の特許化政策は，基礎研究において「共有地の悲劇」が発生しているという認識からスタートしていた。そもそも，この「認識」そのものは正鵠を射ているのであろうか？そこで，本稿では，この問に答える為に，従来の「共有地の悲劇」のモデルを，研究開発から財の生産までのプロセスを概観した際に特徴的な要素を盛り込んだ形に修正を加える。そして，「共有地の悲劇」が必ずしも発生するとは限らないことを示す。

本稿の構成は以下の通りである。2節において，修正された「共有地の悲劇」のモデルを示す。3節で，分析に用いる予備的な結果を導出し，4節で分析を行う。5節において，まとめを行った上で，今後の課題に触れる。

*本稿の作成に当たり，神戸市外国語大学の岡村誠先生より有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝したい。ありうべき語謬は全て筆者の責任である。なお，本研究は立命館大学社会システム研究所の「プロジェクト研究8」と特許庁の受託研究から補助を受けている。

2　修正されたモデル

「共有地の悲劇」のポイントは，共有地に羊を放牧している例で考えると，羊飼いは，自分の所有する羊の放牧数の決定に際し，羊たちが共有地内の草を食べて成長する際に，他の羊飼いの所有する羊たちの食べる分を「かすめて」いることを考慮してないが，草を食べた量に比例して，羊の価格が上がるので，その価格は羊の総放牧数に反比例してしまう，という点である。つまり，外部不経済が発生しているのである。

このポイントを研究開発活動から生産活動へのプロセスに置き換えて考えてみると次のようになる。ある共有されている基礎研究の成果があり，それを利用して財を生産・販売する場合，生産量の決定の際に，他の生産者の生産量は所与して取り扱うが，財の価格は総生産量の減少関数となっている。企業間の戦略的関係が外部不経済になっていることから，これは正にクールノー競争の定義に他ならない。中山（1997）でも指摘されているように，「共有地の悲劇」はクールノー競争とモデルの構造は全く同じなのである[3)]。

では，クールノー競争のモデルをそのまま適用して分析を行えばよいのであろうか？この問に対する答えはNOである。第一に，共有地の創出に関して，羊飼いは何らコストを負担する必要はないが，基礎研究の成果は，その創出にコスト，即ち，基礎研究費が必要となる。したがって，本来の「共有地の悲劇」を忠実に描写したクールノー競争のモデルでは，この点が抜けている。

第二に，このコストの負担に関する「ただ乗り」の問題である。一旦共有された技術知識はタダでアクセス可能なので，わざわざ基礎研究を行う必要がなくなるが，誰も負担しなければ共有知識そのものも存在しなくなる。これが共有地の存在を所与としている「共有地の悲劇」のモデルと異なる点である。そこで，ある産業に属している企業の何割が負担するかを，内生的に決定するモデルを作成する必要がある。

第三に，技術知識の伝播に関する問題である。技術知識の伝播には時間がかかる。基礎研究を行った企業がしなかった企業よりも，早くその成果を生かして開発研究が行え財を生み出せると考えるのは自然であろう。したがって，全ての企業が同時に財を生産するクールノー競争モデルは，不適当である。

以上の三点を鑑みて，本稿では，総企業数を一定にし，基礎研究の負担に関するコストを考慮したシュタッケルベルク寡占モデルを用いて，「共有地の悲劇」が生じるかどうかを分析することにする。勿論シュタッケルベルクモデルでは企業間の戦略的な関係を取扱える。では，具体的なモデルの内容に入っていこう。

同質財を生産しているN社の企業が市場に存在しているとする。基礎研究の成果を創出するのにはTだけ金銭的な負担が必要であるとし，負担額は負担する企業数n_Lで頭割りとする。即ち，負担企業の負担額は，T/n_Lとなる。負担企業はシュタッケルベルクリーダーとなり，負担しなかった$n_F(\equiv N-n_L)$社の企業はシュタッケルベルクフォロワーとなるとする。どの企業もコストゼロで基礎研究の成果を利用する事が可能であるとし，開発研究には，どの企業も財の生

産量1単位当たり c だけかかるとする。

逆需要関数を $p=A-Q$ とする。ただし，Q は総生産量，p は価格，A は市場規模で $A>c>0$ と仮定する。したがって，リーダー企業 i の利潤 π_L^i 及び，フォロワー企業 j の利潤 π_F^j は次のように示される。

$$\pi_L^i=(A-Q)q_i-cq_i-(T/n_L) \tag{1}$$

$$\pi_F^j=(A-Q)q_j-cq_j \tag{2}$$

ただし，$q_i(q_j)$ は企業 $i(j)$ の個別生産量である。

各企業は，公共財となる基礎研究を行ってシュタッケルベルクリーダーとなるか，負担せずにフォロワーとなるかの意思決定に直面している。負担企業数 n_L は，リーダーとフォロワーの利潤が等しくなる時に決定し，リーダーの利潤がフォロワーの利潤より大きくなると，リーダーになるインセンティヴが働くので n_L は増加する。この運動方程式を次のように定める。

$$\dot{n}_L=\lambda(\pi_L^i-\pi_F^j) \tag{3}$$

$\dot{n}_L$ は負担企業の増加数，λ は正の定数である。

なお，どの企業も基礎研究に負担しない場合は，基礎研究の成果そのものが創出されないので，全ての企業の利潤をゼロとする。逆に，全ての企業が基礎研究に従事すれば，全ての企業はシュタッケルベルクリーダーとなってしまい，結果，クールノー競争が生じるとする。

最後に「共有地の悲劇」がこのモデルではどのように定義されるのかを見ておこう。修正されたモデルにおいては，(3)式の運動方程式を考慮した上で，導出した負担企業数と経済厚生を最大にする負担企業の数と比較することで，前者が後者を下回っている場合に「共有地の悲劇」が発生していると定義する[4)]。

3　予備的考察

Ohkawa and Okamura（1999）での結果を援用すると，(1), (2)より，n_L 社のリーダーと n_F 社のフォロワーで構成されるシュタッケルベルク競争での利潤は，それぞれ次のようになる。

$$\pi_L=\frac{a^2}{(n_L+1)^2(n_F+1)}-\frac{T}{n_L} \tag{4}$$

$$\pi_F=\frac{a^2}{(n_L+1)^2(n_F+1)^2}>0 \tag{5}$$

ただし，$a=A-c$ 及び $n_F\geq 1$ である。

$n_L+n_F=N$ を考慮すると，(4)と(5)より $\pi_L-\pi_F$ は次のように変形できる。

$$\pi_L-\pi_F=\frac{n_Ln_Fa^2-[n_Ln_F+(N+1)]^2T}{n_L(n_L+1)^2(n_F+1)^2} \tag{6}$$

(6)から，$\pi_L-\pi_F$ の正負は(6)の右辺の分子部分の符号に依存する。この分子は n_L の4次関数とみなせることから，$n_F\geq 1$ を考慮すると次の補題が導出される。

補題1　$N\geq 2$ かつ a の大きさに応じて，$\pi_L-\pi_F$ の符号を調べると次のようになる。

(i)　$a<2\sqrt{(N+1)T}$の時は，常に，$\pi_L-\pi_F<0$。

(ii)　$N\geq 9$ かつ $a=2\sqrt{(N+1)T}$ の時は，$n\in[1,\ N-1]$ の大きさによって符号が変わり，次のようになる。(iii)，(iv)，(v)も同様である。

$1\leq n_L<(N/2)-\rho$ ならば，$\pi_L-\pi_F<0$。

$(N/2)-\rho\leq n_L\leq(N/2)+\rho$ ならば，$\pi_L-\pi_F\leq 0$ となり，等号は端点のみ成立。

$(N/2)+\rho<n_L\leq N-1$ ならば，$\pi_L-\pi_F<0$。

(iii)　$N\geq 9$ かつ $2\sqrt{(N+1)T}<a<M$ の時は次の通り。

$1\leq n_L<(N/2)-\rho$ ならば，$\pi_L-\pi_F<0$。

$(N/2)-\rho\leq n_L\leq(N/2)-\sigma$ ならば，$\pi_L-\pi_F\geq 0$ となり，等号は端点のみ成立。

$(N/2)-\sigma<n_L<(N/2)+\sigma$ ならば，$\pi_L-\pi_F<0$。

$(N/2)+\sigma\leq n_L\leq(N/2)+\rho$ ならば，$\pi_L-\pi_F\geq 0$ となり，等号は端点のみ成立。

$(N/2)+\rho<n_L\leq N-1$ ならば，$\pi_L-\pi_F<0$。

(iv)　$N\geq 9$ かつ $a=M$ の時は次の通り。

$1\leq n_L<(N/2)-\rho$ ならば，$\pi_L-\pi_F<0$。

$(N/2)-\rho\leq n_L\leq(N/2)+\rho$ ならば，$\pi_L-\pi_F\geq 0$ となり，等号は端点と $n_L=N/2$ の時に成立。

$(N/2)+\rho<n_L\leq N-1$ ならば，$\pi_L-\pi_F<0$。

(v)　$N\geq 9$ かつ $a>M$ の時は次の通り。

$1\leq n_L<(N/2)-\rho$ ならば，$\pi_L-\pi_F<0$。

$(N/2)-\rho\leq n_L\leq(N/2)+\rho$ ならば，$\pi_L-\pi_F\geq 0$ となり，等号は端点のみ成立。

$(N/2)+\rho<n_L\leq N-1$ ならば，$\pi_L-\pi_F<0$。

なお，$0<\rho<\sigma<N-1$ であり，M は以下の式を満たす a の値である。

$$-4a^2-4a\sqrt{a^2-4(N+1)T}+[N^2+8(N+1)]T=0 \tag{7}$$

（証明）数学注を参照。

次に，負担企業が全くいない $n_L=0$ のケースと全ての企業が負担する $n_L=N$ のケースについて，$\pi_L-\pi_F$ の符号をみておく。加えて，両ケースから各企業が選択した意思決定から deviate するインセンティヴがあるかどうかをみる。

基礎研究に関してどの企業も負担しない場合，基礎研究の成果は創出されない。したがって，全ての企業の利潤はゼロであるので，$\pi_L-\pi_F=0$ となる。さて，ある企業のみが基礎研究費 T を全額負担するとする。この時の利潤は，

$$\frac{a^2}{4N}-\frac{T}{N}=\frac{(a^2-4T)}{4N} \tag{8}$$

となるので，$a>2\sqrt{T}$ ならば，この時の利潤は正である。(5)よりフォロワーの利潤は全て正なので，誰も負担しない状態から，少なくとも1社が負担するという状態に deviate するインセンティヴを全ての企業が有している。このことを補題としてまとめておく。

補題2　どの企業も基礎研究に負担しない場合は，$\pi_L-\pi_F=0$ となる。もし，$a>2\sqrt{T}$ ならば，

全ての企業がこの状態を変更するインセンティヴをもつので，このような事態は生じない。そうでなければ，変更するインセンティブを持たない。

逆に，全ての企業が負担する場合は，全ての企業がリーダーになるのでクールノー競争が生じる。この時の各企業の対称均衡時の利潤 π_C は，(4)より，

$$\pi_C=\frac{a^2}{(N+1)^2}-\frac{T}{N} \tag{9}$$

となる。$n_F=1$ でのフォロワーの利潤は，(5)より，$a^2/4N^2$ である。(9)に示した π_C からこれを引いて整理すると，

$$\pi_C-\frac{a^2}{4N^2}=\frac{(N-1)(3N+1)a^2-4N(N+1)^2T}{4N^2(N+1)^2} \tag{10}$$

$N\geq 2$ を考慮すると，(10)の右辺の分子の正負が大小関係を規定する。もし，$a>\frac{2(N+1)\sqrt{T}}{\sqrt{(N-1)(3N+1)}}$ ならば，$n_F=1(n_L=N-1)$ の時のフォロワーの利潤よりも π_C の方が大きくなる。つまり，自分以外の全ての企業が負担している時には，負担するインセンティヴが存在する。のみならず，補題1より $n_F=1$ の時は必ず $\pi_L-\pi_F<0$ なので既存のリーダー企業も，唯一のフォロワーが負担することにより利潤が増加する。このことを補題にまとめておく。

補題3　$a>\frac{2(N+1)\sqrt{T}}{\sqrt{(N-1)(3N+1)}}$ が成立しているとする。この時，当該企業を除く全ての企業が基礎研究費を負担しているならば，当該企業を含む全ての企業が負担するインセンティヴを持つ。そうでなければ，当該企業はそのようなインセンティブを持たない。ちなみに全ての企業が負担すれば利潤は均等になる。

この補題の持つ意味は重要である。もし，$n_F=1$ となる帰結が生じた時は，必ず，唯一のフォロワーは基礎研究に負担をしてリーダーになるインセンティヴを持つ。その結果，全ての企業が負担をする状態に行き着くこと意味している。したがって，全ての企業が負担をする状況も均衡の一つと考えられる。

最後に，各補題に登場する a の閾値についての大小関係を見ておこう。$N\geq 2$ なので，$2\sqrt{T}<2\sqrt{(N+1)T}$ が成立する。加えて，

$$\frac{2(N+1)\sqrt{T}}{\sqrt{(N-1)3N+1)}}-2\sqrt{(N+1)T}=\frac{2\sqrt{(N+1)T}}{\sqrt{(N-1)(3N+1)}}\,\frac{N(1-3N)}{\sqrt{(N-1)(3N+1)}+\sqrt{N+1}}<0$$

が成立する。一方，$N=2$ の時は，明らかに，$2\sqrt{T}<\frac{2(N+1)\sqrt{T}}{\sqrt{(N-1)(3N+1)}}$ となる。$N\geq 3$ ならば，$(N+1)^2<(N-1)(3N+1)$ なので，$\frac{N+1}{\sqrt{(N-1)(3N+1)}}<1$ である。したがって，$N\geq 3$ ならば，$2\sqrt{T}>\frac{2(N+1)\sqrt{T}}{\sqrt{(N-1)(3N+1)}}$ となる。かくして，次の補題が成立する。

補題4　補題1から3に関する a の閾値について以下の大小関係が存在する。

(i)　$N=2$ の時は，$2\sqrt{T}<K<2\sqrt{(N+1)T}$。

(ii)　$N\geq 3$ の時は，$K<2\sqrt{T}<2\sqrt{(N+1)T}$。

ただし，$K=\dfrac{2(N+1)\sqrt{T}}{\sqrt{(N-1)(3N+1)}}$ である。

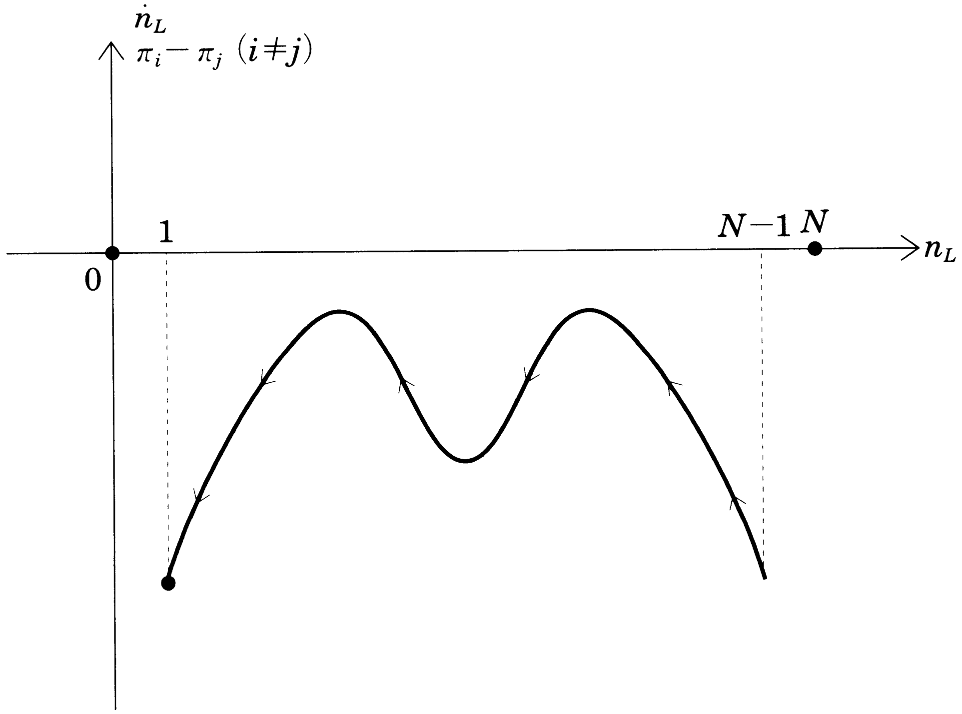
4　分　　析

以上の諸結果を踏まえて，均衡において，負担する企業数が何社になるかを考察していこう。(3)より，定常状態 $\dot{n}_L=0$ は，補題1で示した $\pi_L-\pi_F=0$ を満たす時に成立する。加えて，補題2と3より，$n_L=0$，N の時には全ての企業の利潤が均等化する。これらの事柄を踏まえて，a の大きさに応じて均衡負担企業数 n_L^* をみていく。

(i)　$N\geq 2$ かつ $a<2\sqrt{(N+1)T}$ の場合

位相図は図1のようになる[5)]。補題2から4より，$N=2$ の時と3以上の時に分けて考える。$N=2$ の時は，$a>2\sqrt{T}$ ならば，誰も負担するインセンティヴを持たないので $n_L^*=0$。$2\sqrt{T}\leq a<K$ ならば，少なくとも1社は負担するインセンティヴを持つので，$n_L^*=1$ となる。$K\leq a<2\sqrt{(N+1)T}$ ならば，全ての企業に負担するインセンティブが生じるので，$n_L^*=N$ である。

図1　$a<2\sqrt{(N+1)T}$

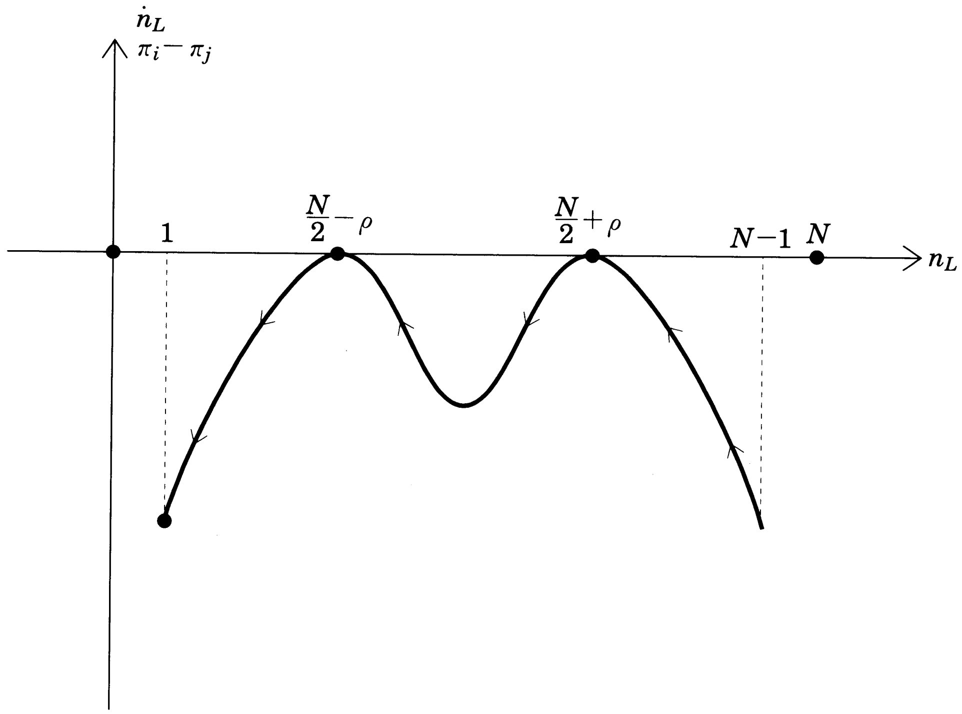


$N \geq 3$ の時は，$a<K$ ならば $n_L^*=0$，$K \leq a<2\sqrt{T}$ ならば，全ての企業が負担する可能性が生じるので $n_L^*=0$，N となる。$2\sqrt{T} \leq a<2\sqrt{(N+1)T}$ ならば，少なくとも1社は負担するインセンティヴが発生するので，$n_L^*=1$，N となる。

(ii) $N \geq 9$ かつ $a=\sqrt{(N+1)T}$

位相図は図2のようになり，定常均衡点は不安定であるので，補題2と3より，$n_L^*=1$，N となる。

図2　$a=2\sqrt{(N+1)T}$



(iii) $N \geq 9$ かつ $2\sqrt{(N+1)T}<a<M$

位相図を描くと，図3のようになる。定常均衡点は4つ存在するが，そのうち安定なのは2つで，E_1 と E_2 である。これらの点での均衡企業数を求めると，それぞれ，$n_L^*=(N/2)-\sigma$，$(N/2)+\rho$ となる。更に，補題2と3より，$n_L^*=1$，N も均衡となる。

(iv) $N \geq 9$ かつ $a=M$

位相図は図4に示した通りである。定常均衡点は3つ存在するが，そのうち安定なのは E_3 のみで，その時の均衡企業数は $n_L^*=(N/2)+\rho$ である。更に，補題2と3より，$n_L^*=1$，N も均衡となる。

(v) $N \geq 9$ かつ $a>M$

位相図は図5のようになり，定常均衡点は2つ存在する。この内，E_4 のみが安定的であり，この時の均衡企業数は，均衡企業数は $n_L^*=(N/2)+\rho$ である。更に，補題2と3より，$n_L^*=1$，N も均衡となる。

以上の分析から次の命題が導出できる。

図3　$\sqrt{(N+1)T} < a < M$

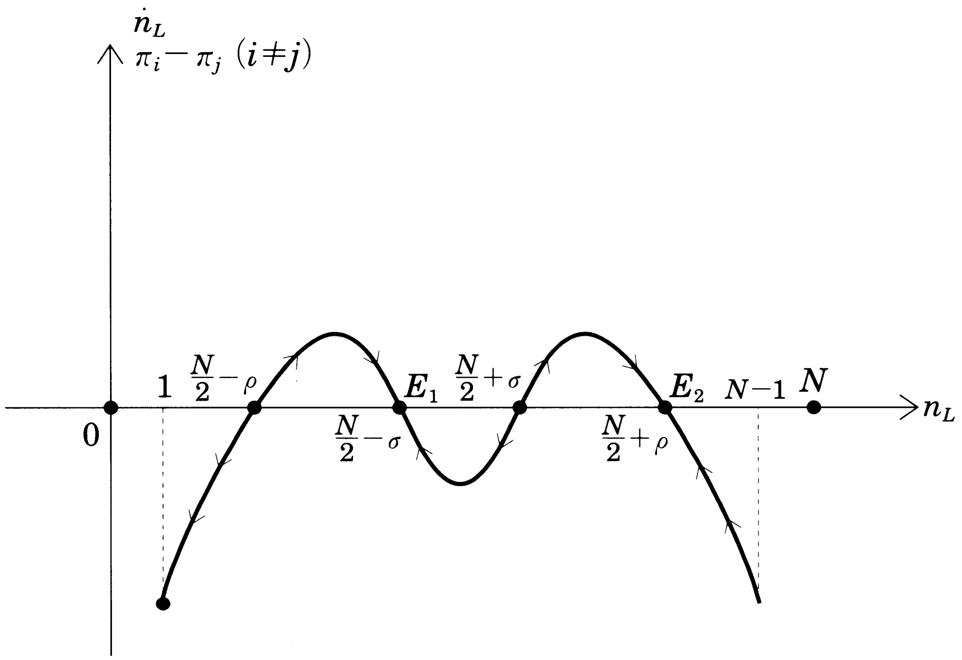


図4　$a = M$

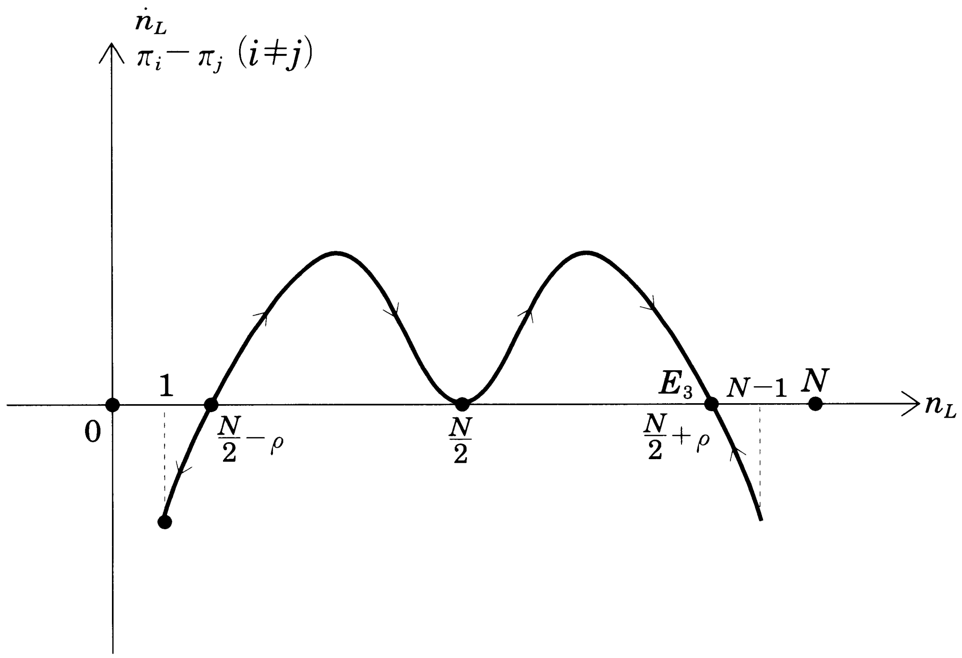
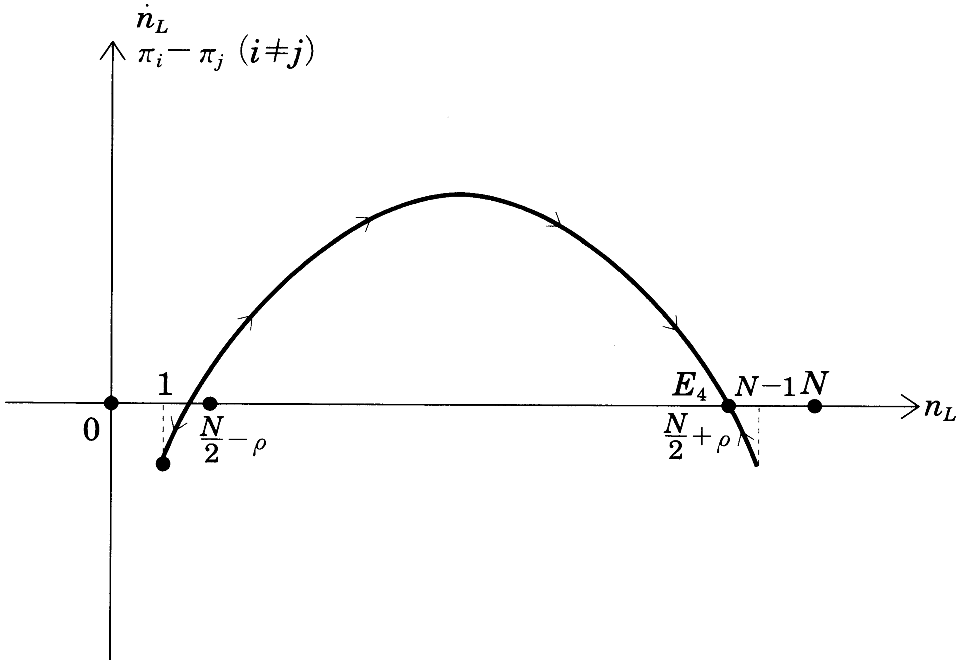


図5　$a>M$



命題1　$N\geq 2$ とする。a の大きさに応じて均衡負担企業数 n_L^* は次のようになる。

［1］　$a<\min.(K,\ 2\sqrt{T})$ ならば，$n_L^*=0$。

［2］　$N=2$ かつ $2\sqrt{T}\leq a<K$ ならば，$n_L^*=1$。

［3］　$N=2$ かつ $K\leq a<2\sqrt{(N+1)T}$ ならば，$n_L^*=2$。

［4］　$N\geq 3$ かつ $K\leq a<2\sqrt{T}$ ならば，$n_L^*=0,\ N$。

［5］　$N\geq 9$ かつ $2\sqrt{T}\leq a\leq 2(N+1)\sqrt{T}$ ならば，$n_L^*=1,\ N$。

［6］　$N\geq 9$ かつ $2(N+1)\sqrt{T}<a<M$ ならば，$n_L^*=1,\ (N/2)-\sigma,\ (N/2)+\rho,\ N$。

［7］　$N\geq 9$ かつ $a\geq M$ ならば，$n_L^*=1,\ (N/2)+\rho,\ N$。

ただし，$K=\dfrac{2(N+1)\sqrt{T}}{\sqrt{(N-1)(3N+1)}}$ であり，M は(7)を満たす a の水準である。

上記の通り，均衡負担企業数は一意に決定しない。初期時点の負担企業数 n_L^0 がどの水準かによって，行き着く均衡は異なってくることに注意しておく。

以上の分析において，各企業の最適化行動に基づいて内生的に決定される均衡負担企業数は判明した。次に，経済厚生を最大にするような企業数を求めて，先述の均衡企業数とを比較し，「共有地の悲劇」が発生するか否かを考察しよう。

経済厚生 W は以下のように定義できる。

$$W=\int_0^Q (A-s)\,ds-cQ-T \qquad (12)$$

ここでのモデルにおいて，企業数が与えられた時の Q の値は，Ohkawa and Okamura（1999）

より，次のようにパラメータ表示される。

$$Q=\left[1-\frac{1}{(n_L+1)(n_F+1)}\right]a \tag{13}$$

⑿と⒀より，経済厚生を最大にする最適な負担企業数 n_L^{**} は下式を満たす。

$$\frac{\partial W}{\partial n_L}=(A-Q-c)\frac{\partial Q}{\partial n_L}=\frac{N-2n_L}{(n_L+1)(n_F+1)}=0 \tag{14}$$

したがって，最適負担企業数は n_L^{**} である[6]。このことを命題にまとめておく。

命題 2　経済厚生を最大にする負担企業数は $n_L^{**}=N/2$ である。

この命題は，厚生の観点からみれば，基礎研究に従事する企業数は，その産業に属している企業の数の半分でよい，ということを意味している。つまり，全ての企業が基礎研究に従事する必要はなく，社会的な観点から見て，半数の企業が基礎研究を行い，残り半数はその成果をタダで利用してよい。

上記の二つの命題から，研究開発活動に即した形での修正を施した「共有地の悲劇」のモデルにおいて，「共有地の悲劇」が発生するか否かをみていくことにしよう。前述したが，ここでの「共有地の悲劇」とは，最適負担企業数 n_L^{**} に比して，均衡での負担企業数 n_L^* が少ないことで定義される。つまり，厚生の観点からみて，$n_L^{**}-n_L^*$ 社の企業が基礎研究費を負担せずに「不当」にその成果を掠め取っているといえる。

命題 1 より，n_L^* と n_L^{**} とを比較した場合，a の値の水準如何にかかわらず，「共有地の悲劇」が発生する場合がありうるといえる。特に a の値が小さい場合，全く基礎研究が生じず，財が生み出されないということも起こりうる。もっとも，a の値が小さくなければ，全ての企業が基礎研究に対して負担を行う場合も解となりうるが，それが実現するのは，例えば，図 2 に示されているように，初期時点の負担企業数 n_L^0 が $N-1$ 以上の場合に限られ，それより低い場合は，均衡負担企業数は減少を続け，遂には 1 社のみが負担し，あとの企業はその成果にただ乗りするという事態が生じるのである。

a の値がかなり大きくなれば状況は一変する。命題 1 の［4］より，均衡負担企業数は 1，$(N/2)-\sigma$，$(N/2)+\rho$，N である。確かに，「共有地の悲劇」が発生するのは，初期時点の負担企業数 n_L^0 がゼロか，あるいは区間 $[1, (N/2)+\rho]$ 内の値をとっている時であるが，初期時点の負担企業数が $(N/2)+\rho$ を超える数であるならば，全ての企業が負担するようになり，「共有地の悲劇」は発生しない。

a の値が更に大きくなると，一層「共有地の悲劇」は発生しにくくなる。命題 1 の［7］より，均衡負担企業数は 1，$(N/2)+\rho$，N となる。$n_L^{**}=N/2$ と比較すると，この内，1 のみが小さく，あとは最適負担企業数よりも大きい。図 5 より，初期時点の負担企業数 n_L^0 がゼロか，あるいは閉区間 $[1, (N/2)-\rho]$ 内の値を取っている時に限り，均衡負担企業数は 1 となる[7]。そうでなければ，均衡負担企業数は最適な負担企業数を常に上回り，社会的に見て過剰な数の負担になってしまっている。

更に，社会的に最適な企業数が市場メカニズムによって達成される事は，複占の場合にありえるが，非常にまれである事が分かる。そうでない場合は，社会的に過小になるか過剰になるかのどちらかである。

ところで，$a=A-c$ なので，a の値は市場規模 A の代理変数と考えられる。よって，「共有地の悲劇」が発生しやすいのは，市場規模がかなり小さな時か，あるいは市場規模はかなり大きいが，初期時点においてほとんどの企業が基礎研究に関して負担をしていないような場合のみであり，市場規模が大きな場合に半数以上の企業が初期に負担を行うのならば，むしろ社会的に見て過剰な数の企業が，基礎研究に従事してしまうことになる。この事を命題の形にまとめておく。

命題 3　社会的にみて負担企業数が過小になる「共有地の悲劇」が発生するのは次の二つの場合である。[1] 市場規模がかなり小さな場合。[2] 市場規模がかなりの大きさで，初期時点にほとんどの企業が基礎研究に負担をしていない場合。一方，それ以外の場合は社会的に過剰な数の企業が基礎研究に従事する。

ラフな言い方をすれば，市場規模が小さな時は，「共有地の悲劇」は生じやすいが，市場規模が大きな時は，生じにくい。では，なぜ市場規模の多寡が結果の相違を生むのであろうか？ (4)、(5)より，リーダーの企業数を一定にした上で，$\pi_L-\pi_F$ を a で微分すると，

$$\frac{\partial(\pi_L-\pi_F)}{\partial a}=\frac{2an_F}{(n_L+1)^2(n_F+1)^2}>0 \tag{15}$$

となる。(15)は，市場規模の増加に応じてシュタッケルベルクリーダーの利潤増がフォロワーの利潤増を上回る事を意味している。(3)より，このことは負担企業数を増加させる。すなわち，基礎研究に負担をして，シュタッケルベルクリーダーになるインセンティヴは，市場規模が増加すればするほど高くなる。したがって市場規模が大きいほどより多くの企業がリーダーになりたがるので，「共有地の悲劇」が発生しにくくなるのである。

問題は，むしろこのインセンティブのために，社会的に望ましい数を超えた企業が基礎研究に従事することである。特に，市場規模がある程度の大きさならば，全ての企業が負担する可能性がある。この時の経済厚生を，「共有地の悲劇」が明らかに発生している1社しか負担しない場合の厚生水準と比較する。(12)と(13)より，経済厚生は次のように表せる。

$$W=\frac{a^2}{2}\left\{1-\left[\frac{1}{(n_L+1)(n_F+1)}\right]\right\}-T \tag{16}$$

したがって，(16)より $\dfrac{1}{(n_L+1)(n_F+1)}$ の値の小さいほうが，経済厚生が高くなる。$n_L=1$ の時の $\dfrac{1}{(n_L+1)(n_F+1)}$ の値から $n_L=N$ の時の値を引くと，

$$\frac{1}{2N}-\frac{1}{N+1}=\frac{1-N}{2N(N+1)}<0 \tag{17}$$

となる。(17)より，「共有地の悲劇」が発生する場合 ($n_L=1$) よりも，全ての企業が基礎研究に負担を行う場合の方が，厚生は悪化する。この結果は，基礎研究に従事する過剰な企業数を是正する政策の必要性が，「共有地の悲劇」を是正する政策よりも急務である場合が存在することを示

唆している。先述したが，市場メカニズムによって，社会的に最適な負担企業数を達成する事は，ほとんど不可能である。したがって，何らかの政策的介入が必要であるといえる。

最後に，米国によって先鞭がつき今や世界的な潮流になりつつあるプロパテント政策に関して，本モデルの結果が与える含意について言及しておこう。基礎研究において特許化政策を推進した場合，負担企業数を増加させるインセンティヴがあることは間違いない。したがって，「共有地の悲劇」が発生しているのであれば，プロパテント政策は社会的に最適な企業数に近づけることのできるという意味で有効な政策であるといえる。しかし，すでに基礎研究に携わる企業数が社会的にみて過剰になっている場合，プロパテント政策による更なる負担企業数の増加は経済厚生を悪化させてしまう。

したがって，ある産業分野にプロパテント政策を行うかどうかは，当該分野の市場規模，総企業数，基礎研究に従事している企業数を勘案して決定されねばならない。基礎研究に従事する企業が必ずしも社会的にみて過小となるわけではないので，やみくもにプロパテント政策を実施するのは，厚生面の悪化を招来する危険性があるといえる。

5　結　　語

本稿では，「共有地の悲劇」モデルを研究開発活動の特徴を加味した形に修正したモデルを作成し，社会的にみて過小な数しか基礎研究に従事しないことをもって「共有地の悲劇」が発生していると定義付け，分析を行った。その結果，市場規模が小さい時には，「共有地の悲劇」が発生しやすいが，市場規模が大きくなるにつれて発生しにくくなることが判明した。

加えて，市場メカニズムでは，社会的に最適な負担企業数を達成することはきわめて困難で，何らかの政策的な介入が必要であることが明らかとなった。政策的な介入として，プロパテント政策を考えた場合，基礎研究に社会的にみて過小な数の企業しか携わっていない場合は，この状況を是正できるが，過剰な場合では，更なる負担企業を生み出し，厚生を悪化させてしまう。したがって，現実の状況が過小な負担企業数なのか過剰なそれなのかを見極めた上で政策を行使する必要がある。

なお，今後の方向性としては，需要曲線などを特定化しているので，一般化したモデルで結論が変わるかどうかを考察する事が第一である。第二に，「反共有地の悲劇」と社会的に過剰な数の企業が基礎研究に従事することとを関連させ，「共有地の悲劇」と「反共有地の悲劇」を包括的に語ることのできるモデルを創造することである。

数学注　補題1の証明

$n_L n_F = x$ とすると(6)の右辺の分子部分は x に関する2次関数とみなせる。これを $f(x)$ とすると

$$f(x) = -Tx^2 + [a^2 - 2(N+1)T]x - (N+1)^2 T \tag{A-1}$$

となる。2次方程式 $f(x)=0$ の判別式を D_f とすると，(A-1) より

$$D_f = a^2[a^2 - 4(N+1)T] \tag{A-2}$$

なので，(A-2) より $a \geq (<) 2\sqrt{(N+1)T}$ ならば $D_f \geq (<) 0$ である。$-T<0$ なので $D_f<0$ ならば $f(x)<0$。すなわち，$a<2\sqrt{(N+1)T}$ ならば $\pi_L-\pi_F<0$ となる。よって補題1の(i)は証明できた。

次に $D_f \geq 0$ の場合を考察する。$f(x)=0$ は正の実数解 α, $\beta(0<\beta\leq\alpha)$ を持つので，$x=n_L(N-n_L)$ を考慮すると (A-1) は以下のように書き換えられる。

$$f(x)=-T(n_L^2-Nn_L+\alpha)(n_L^2-Nn_L+\beta) \tag{A-3}$$

ただし，

$$\alpha=\frac{a^2-2(N+1)T-a\sqrt{a^2-4(N+1)T}}{T},\quad \beta=\frac{a^2-2(N+1)T+a\sqrt{a^2-4(N+1)T}}{T} \tag{A-4}$$

である。

$g(n_L)\equiv n_L^2-Nn_L+\alpha$, $h(n_L)\equiv n_L^2-Nn_L+\beta$ と定義する。ここで $g(n_L)\leq h(n_L)$ に注意しておく。$g(n_L)=0$ を二次方程式とみなし，その判別式を D_g とすると，下式のようになる。

$$D_g=\frac{-4a^2+4a\sqrt{a^2-4(N+1)T}+(N^2+8N+8)T}{T} \tag{A-5}$$

(A-5) の右辺の分母部分の正負が D_g の符号を規定するので，この部分を a の関数とみなし $G(a)$ とすると $G'(a)$ は

$$G'(a)=8a^2\left(\frac{1}{\sqrt{a^2-4(N+1)T}}-\frac{1}{a}\right)+4\sqrt{a^2-4(N+1)T}$$

なので $a\geq 2\sqrt{(N+1)T}$ より $G'(a)>0$ となる。さらに $G(2\sqrt{(N+1)T})$ を求めると

$$G(2\sqrt{(N+1)T})=[(N-9)(N+1)+1]T \tag{A-6}$$

となる。(A-9) より $N\geq 9$ ならば $G(2\sqrt{(N+1)\mathrm{T}})>0$ である。かくして (A-5) より $N\geq 9$ ならば $D_g>0$ となり $g(n_L)=0$ は異なる2実根を持つ。それらは

$$n_L=\frac{N}{2}\pm\frac{\sqrt{N^2-4\alpha}}{2}\equiv\frac{N}{2}\pm\rho \tag{A-7}$$

である。$g(N-1)=(3N+1)+\alpha>0$ なので $\frac{N}{2}+\rho<N-1$。この事は，$1<\frac{N}{2}-\rho$ が成立することも表している。

(A-7) より $g(n_L)=0$ の正負について，次の結果が求まる。

結果1　$N\geq 9$ かつ $a\geq 2\sqrt{(N+1)T}$ とする。この時 $g(n_L)=0$ の符号は次の通り。

$1\leq n_L<\frac{N}{2}-\rho$ ならば $g(n_L)>0$。

$\frac{N}{2}-\rho<n_L<\frac{N}{2}+\rho$ ならば $g(n_L)\leq 0$ で等号は端点のみ成立。

$\frac{N}{2}+\rho<n_L\leq N-1$ ならば $g(n_L)>0$。

一方，n_L に関する 2 次方程式 $h(n_L)=0$ の判別式を D_h とすると

$$D_h=\frac{-4a^2-4a\sqrt{a^2-4(N+1)T}+(N^2+8N+8)T}{T} \tag{A-8}$$

となる。同様に (A-8) の右辺の分母を $H(a)$ とすると，(A-4) より $a=2\sqrt{(N+1)T}$ の時に $\alpha=\beta$ であることから，$N\geq 9$ ならば，$H(2\sqrt{(N+1)T})$は，

$$H(2\sqrt{(N+1)T})=G(2\sqrt{N+1)T})>0 \tag{A-9}$$

となる。$H'(a)$ を求めると

$$H'(a)=-8a^2\left(\frac{1}{\sqrt{a^2-4(N+1)T}}+\frac{1}{a}\right)-4\sqrt{a^2-4(N+1)T}<0 \tag{A-10}$$

となる。加えて (A-8) より $a=\dfrac{\sqrt{(N^2+8N+8)T}}{2}$ の時 $H(a)$ は

$$H\left(\frac{\sqrt{(N^2+8N+8)T}}{2}\right)=-\frac{4a\sqrt{a^2-4(N+1)T}}{T}<0 \tag{A-11}$$

である。(A-9)，(A-10)，(A-11) より，$H(a)=0$ となる a の水準が区間 $a\in\left[2\sqrt{(N+1)T},\ \dfrac{\sqrt{(N^2+8N+8)T}}{2}\right]$ の間に一意に存在し，それを $a=M$ とする。従って，$N\geq 9$ とすると，$2\sqrt{(N+1)T}<a<M$ の時は $D_h>0$ となり $h(n_L)=0$ は異なる 2 実根を持つ。それらは

$$n_L^*=\frac{N}{2}\pm\frac{\sqrt{N^2-4\beta}}{2}\equiv\frac{N}{2}\pm\sigma \tag{A-12}$$

である。$a=M$ の時は $D_h=0$ となり $h(n_L)=0$ は重根

$$n_L^*=\frac{N}{2} \tag{A-13}$$

を持つ。$a>M$ の時は $D_h<0$ なので $h(n_L)=0$ は実数解をもたない。よって，以下の結果を得る。

結果 2　$N\geq 9$ としよう。この時，$h(n_L)$ の正負は a の大きさに応じて次のようになる。

[1]　$2\sqrt{(N+1)T}\leq a<M$ の時，

$1<n_L<\dfrac{N}{2}-\sigma$ ならば $h(n_L)>0$。

$\dfrac{N}{2}-\sigma\leq n_L\leq\dfrac{N}{2}+\sigma$ ならば $h(n_L)\leq 0$ で等号は端点のみ成立。

$\dfrac{N}{2}+\sigma<n_L\leq N-1$ ならば $h(n_L)>0$。

[2]　$a=M$ の時，

$1\leq n_L<\dfrac{N}{2}$ ならば $h(n_L)>0$。

$n_L=\dfrac{N}{2}$ ならば $h(n_L)=0$。

$\frac{N}{2} < n_L \leq N-1$ ならば $h(n_L) > 0$。

［3］ $a > M$ の時

$h(n_L) > 0$。

結果1と2を使って $a \geq 2\sqrt{(N+1)T}$ のケースでの $f(x)$ をみていくことにする。まず，$a = 2\sqrt{(N+1)T}$ の時は (A-4) より $\alpha = \beta$ となるので (A-3) より $f(x)$ は $f(x) = -T(n_L^2 - Nn_L - \alpha)^2$ となる。この時 $g(n_L) = 0$ は異なる2実根をもつので，$f(x)$ の正負は次のようになる。

$1 \leq n_L < \left(\frac{N}{2}\right) - \rho$ ならば $f(x) < 0$。

$\left(\frac{N}{2}\right) - \rho \leq n_L \leq \left(\frac{N}{2}\right) + \rho$ ならば $f(x) \leq 0$ で等号は端点のみ成立。

$\left(\frac{N}{2}\right) + \rho < n_L \leq N-1$ ならば $f(x) < 0$。

よって，補題1の(ii)が証明できた。

$2\sqrt{(N+1)T} < a < M$ の時は $f(x) = -T \cdot g(n_L) \cdot h(n_L)$ を n_L の4次関数とみたてると，$f(x)$ は異なる4つの実数解をもつ。$\rho > \sigma$ に注意して場合分けを行うと，この時 $f(x)$ の正負は次のようになる。

$1 \leq n_L < \left(\frac{N}{2}\right) - \rho$ ならば $f(x) < 0$。

$\left(\frac{N}{2}\right) - \rho \leq n_L \leq \left(\frac{N}{2}\right) - \sigma$ ならば $f(x) \geq 0$ で等号は端点のみ成立。

$\left(\frac{N}{2}\right) - \sigma < n_L < \left(\frac{N}{2}\right) + \sigma$ ならば $f(x) < 0$。

$\left(\frac{N}{2}\right) + \sigma \leq n_L \leq \left(\frac{N}{2}\right) + \rho$ ならば $f(x) \geq 0$ で等号は端点のみ成立。

$\left(\frac{N}{2}\right) + \rho < n_L \leq N-1$ ならば $f(x) < 0$。

よって，補題1の(iii)が証明できた。

$a = M$ の時は $f(x)$ は n_L に関して3つの実数解を持つ。この時の $f(x)$ の正負は次の通り。

$1 \leq n_L < \left(\frac{N}{2}\right) - \rho$ ならば $f(x) < 0$。

$\left(\frac{N}{2}\right) - \rho \leq n_L \leq \left(\frac{N}{2}\right) + \rho$ ならば $f(x) \geq 0$ で等号は端点及び $n_L = \frac{N}{2}$ の時に成立。

$\left(\frac{N}{2}\right) + \rho < n_L \leq N-1$ ならば $f(x) < 0$。

よって，補題1の(iv)が証明された。

$a > M$ の時は，$h(n_L) > 0$ なので $f(x)$ の符号は以下のようになる。

$1 \leq n_L < \left(\frac{N}{2}\right) - \rho$ ならば $f(x) < 0$。

$\left(\frac{N}{2}\right)-\rho \leq n_L \leq \left(\frac{N}{2}\right)+\rho$ ならば $f(x) \geq 0$ で等号は端点のみ成立。

$\left(\frac{N}{2}\right)+\rho < n_L \leq N-1$ ならば $f(x) < 0$。

よって，補題１の(v)が証明できた。　（証明終）

注：

1） Heller and Eisenberg（1998）を参照。

2）「反共有地の悲劇」は Heller（1998）によって広く知られるようになった概念である。ちなみに，この概念の理論モデルについては Buchanan and Yoon（2000）を参照のこと。

3） 確かに，「共有地の悲劇」のモデルとしてポピュラーな Cornes and Sandler（1983）のモデルとクールノー競争のモデルは一見異なる。しかし，そのエッセンスは上記の通り共通している。

4） もともとの「共有地の悲劇」が生産者側の側面しか考慮していないことからすると，生産者余剰を最大にする負担企業数と比較し過小であれば「共有地の悲劇」が発生しているとする方が自然である。しかし，本稿では先行研究が買い手側の立場を考慮しないまま分析を行っていた事の方が問題であると判断し，厚生を最大にする企業数と比して過小であることでもって定義する。

5） 便宜上，$n_L=0$，N の時，縦軸に $\pi^i-\pi^j$ $(i \neq j)$ がとられていると考えて作図を行っている。以降の図でも同様である。

6） Daughety（1990）を参照。

7） $n_L^0=(N/2)-\rho$ の時のみ均衡負担企業数が $(N/2)+\rho$ となる場合もありうる。以下の分析においても，初期時点の負担企業数が補題２及び３での区間の端点である場合，行き着く均衡負担企業数は一意に決定しない。

参考文献

Buchanan, J. M. and Y. J. Yoon,（2000）"Symmetric Tragedies : Commons and Anticommons," *Journal of Law and Economics* **43**, pp. 1-13.

Cornes, R., and T. Sandler,（1983）"On Commons and Tragedies," *American Economic Review* **73**, pp. 787-92.

Cornes, R., C. F. Mason, and T. Sandler,（1986）"The Commons and the Optimal Number of Firms," *Quarterly Economic Journal* **101**, pp. 641-46.

Daughety, A. F.,（1990）"Beneficial Concentration," *American Economic Review* **80**, pp. 1231-37.

Hardin, G.,（1968）"The Tragedy of Commons," *Science* **162**, pp. 1243-48.

Heller, M. A.,（1998）"The Tragedy of the Anticommons : Property in the Transition from Marx to Markets," *Harvard Law Review* **111**, pp.621-675.

Heller, M. A. and R. S. Eisenberg,（1998）"Can Patents Deter Innovation ? The Anticommons in Biochemical Research," *Science* **280**, pp. 698-701.

Kimber, R.（1981）"Collective Action and the Fallacy of the Liberal Fallacy," *World Politics* **33**, pp. 178-96.

森脇俊雄（2000）『集団と組織（社会科学の理論とモデル６）』，東京大学出版会。

中山幹夫（1997）『はじめてのゲーム理論』，有斐閣。

Ohkawa, T. and M. Okamura,（1999）"On the Existence and Uniqueness of Two-stage Stackelberg Equilibrium with Multiple Leaders and Followers," *Journal of Economic Research* **4**, 209-20.

Stevenson, G. G.,（1991）'Common Property Economics,' *Cambridge University Press.*

Welzel, P.（1994）"Oligopolistic Tragedies," *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik* **213**, pp. 403-18.