数理解析研究所講究録
741巻 1991年 92-115

# 情報の売買のゲーム理論的分析

東北大経済　武藤滋夫　（Shigeo Muto）

## 1　はじめに

本稿の目的は、情報が売買によって拡散しうるか否か、また、もし拡散しうるとすればそれはいかなる形態になるかについて、ゲーム理論による分析を行なうことである。

情報は、複製の可能性、つまり、いったん入手してしまえば、ごくわずかの（情報を利用することによって得られる利得に比べれば無視しうるほど小さな）費用でその複製をつくることができ、しかも複製をつくることによってもとの情報は破壊されないという、他の経済財にはみられない大きな特徴を有している。

従って、情報の所有者が彼の持つ情報を他者に売り渡した場合、買い手は購入した情報を使用しつつ、その複製を第三者に売る（転売する）ことが可能となる。このような転売の可能性を考慮すると、これを禁ずる特別な法的保護がない場合には、情報の所有者は、彼の持つ情報をいったん他者に売り渡すと、その後の情報の拡散をコントロールすることができず、従って、情報の売買は成立しえないと考えられてきた。（Arrow[1962] など）

しかしながら、情報の価値（情報を利用することによって得られる利得）が、その拡散にともなって減少するような場合には、転売によって情報が拡散することにより情報の価値が減少することを考慮し、たとえ転売が自由に許されるとしても、買い手は自発的に転売を行なわず、従って、情報の売買は成立しうることが、この分野の先駆的業績である野口[1974]により指摘されている。

本稿では、野口[1974]の分析をもとに、その不十分な点を補うとともに、転売が許されている状況のもとでの情報の売買の可能性について、より厳密なゲーム理論的分析を行なう。

以下、本稿の構成は次の通りである。まず、次の第2節で情報の経済財として

の性質を明らかにし、第3節において以下の分析を進めていくためのモデルを与える。第4節で情報の売買可能性についての野口[1974]のアイデイアとその問題点を指摘した後、第5節においてそれを修正した resale-proofness の概念を提示する。第6節では、利得の分配をめぐる交渉を考慮した上で resale-proofness をより精緻化するとともに、どのような情報の拡散の形態が安定な状態となるかを考察する。第7節では、情報の売買のプロセスを提示し、subgame perfect 均衡を用いて、情報の売買における均衡状態を考察する。さらに、第8節において、coalition-proof Nash 均衡を用いて、主体間のコミュニケーションが許される場合の均衡状態を明らかにするとともに、この均衡状態と第5節及び第6節の分析結果との関連を考察する。最後に第9節においては、結びとして、以上の研究に関連するいくつかの問題について述べる。

## 2　情報の経済財としての性質

本節では、野口[1974]に従い、以下の議論において仮定する情報の性質について述べる。

まず第1の性質は、既に第1節で述べた「複製の可能性」である。この複製の可能性により、情報の売買を考察する際に、次の2つの性質を考慮にいれておかねばならない。1つは「転売の可能性」であり、いま1つは「取引の非可逆性」である。前者については既に第1節で説明してあるので、後者について簡単に説明しておく。通常の財の取引においては、多くの場合、売買が成立し財が売り手から買い手に引き渡された後でも、売り手ないしは買い手がその取引を破棄し、売買前の状態に引き戻すことが可能である。しかしながら、情報の売買においては、買い手が情報を入手してしまえば、彼はその複製をつくりうるので、その後取引を破棄し売買前の状態に引き戻すことは不可能である。従って、情報の取引は、通常の財の取引とは異なり、可逆性をもたないといえる。

第2の性質は「外部効果」、つまり、所有者にとっての情報の価値は、その情報が他の主体間でどのように所有されているかに大きく依存するということである。多くの場合、情報は拡散すればするほど、その所有者にとっての価値は減少

するという「負の」外部効果をもつ。例えば、ある企業が開発に成功した新技術を考えてみると、この企業のみが新技術を所有している場合には、その独占的使用により大きな利潤をあげられるが、この技術が拡散し、他の企業も使用するようになれば、開発企業の利潤は減少する。（Kamien and Tanman[1984],[1986] を参照。）本稿においても、以下このような負の外部効果を仮定する。

第３の性質は、「非分割性」である。情報はその全体として価値をもち、その一部だけを手にいれたとしても意味をもち得ないことが多い。また、既にもっている情報と全く同じものを入手したとしても意味がない。本稿でも、非分割性を仮定し、（情報の一部分だけの売買は考えず）取引は情報全体について行なわれるものとし、また、買い手が同じ情報を２人以上の売り手から購入することはないものとする。

第４の性質は、「秘匿可能性」、つまり、情報を使用し利得をあげながらも、その内容は秘匿しうるというものである。秘匿可能でない情報については、情報を使用することによってその内容が他者にわかってしまうわけであるから、もし特許制度のような特別の法的保護がなければ、その売買は不可能である。

以下、本稿では、以上の４つの性質「複製の可能性」、「負の外部効果」、「非分割性」、「秘匿可能性」をもつ情報を考え、初期においてある主体によって独占的に所有されているこのような情報が、転売が自由に許されている状況のもとで、所有者と需要者の間の売買を通して拡散しうるか否かを考察していく。

なお、情報の経済財としての性質について、より詳しくは、野口[1974]を参照していただきたい。

## 3　モデル

野口[1974]に沿い、以下では次のような簡単なモデルをもとに分析を進めていく。（このモデルのより一般的な状況への拡張については、第９節において述べる。）

n 人の主体（プレイヤー）及び（第２節で述べた４つの性質をもつ）情報と貨幣の２種類の財からなる情報の取引市場を考える。プレイヤーの全体を N= {1, 2,...,n} とする。ここで、プレイヤー 1 は情報の初期所有者であり、2,...,n はこの情報の需要者である。

議論を簡単にするために、情報の所有者それぞれにとってのこの情報の価値は、所有者の人数のみに依存するものとし、所有者の人数が m 人であるときの各所有者にとっての情報の価値を E(m) で表わすこととする。負の外部効果に基づき、$E(1) \geqq E(2) \geqq ... \geqq E(n)$ とする。また、非所有者の利得はゼロとし、$E(n) > 0$ としておく。なお、以上のモデルの構造は、すべてのプレイヤーに共通に知られている（common knowledge である）ものとする。

## 4 情報の売買可能性 － 野口[1974]のアイディアとその問題点

まず、3人のプレイヤーからなる簡単な例を用いて、転売が許されている状況の下での情報の売買可能性に関する野口[1974]のアイディアをふりかえっておく。

例1　$N=\{1,2,3\}$, $E(1)=30$, $E(2)=16$, $E(3)=6$

いま、プレイヤー 1 と 2 の間で売買が行なわれたとする。実際、売買前の 1, 2 の総利得は $E(1)+0=30$ であり、売買後は 1, 2 の2人のプレイヤーで情報が所有されるから、1, 2 の総利得は $E(2)+E(2)=32$ に増加する。従って、この総利得の増加分を分けあうような価格での売買が可能である。

さて、この後、プレイヤー 2（ないしは 1）は、プレイヤー 3 に転売するであろうか。いま、2 から 3 への転売を考えてみると、転売前の 2, 3 の総利得は $E(2)+0=16$ であり、転売後は 1, 2, 3 の3人のプレイヤーで情報が所有されるから、2, 3 の総利得は $E(3)+E(3)=12$ に減少する。従って、たとえ転売が自由に許されているとしても、2 から 3 への転売は起こり得ないと考えられる。いま、$E(\cdot)$ の値は所有者の人数のみに依存するから、全く同じ理由により、1 から 3 への転売も起こり得ず、従って、最初の 1 と 2 の間の売買は行なわれうる。

以上が、売買可能性についての野口[1974]のアイディアである。このアイディアは、一般の n 人のプレイヤーからなる状況においては、次のようになる。いま、

プレイヤー 1 と需要者の集合 $S\subseteqq N-\{1\}$ との間で売買が行なわれたとする。この後、どの所有者 $i\in\{1\}\cup S$ がどのような非所有者の集合 $R\subseteqq N-(\{1\}\cup S)$ に転売しても、i と R のメンバーの総利得を増加させることができない、つまり、

$$E(|\{1\}\cup S|)\geqq|\{1\}\cup R|E(|\{1\}\cup S\cup R|)$$

であれば、転売は起こらず、最初の 1 と S の間の売買は成立する。ここで、$|\cdot|$ は集合 ・ に属するプレイヤーの人数を表わす。

ただ、この野口{1974]のアイデイアは、転売が起こらない状況がありうることを示しているだけであり、どのような条件のもとで情報の売買が行なわれうるかについては明確に述べていない。いま、次のような例を考えてみる。

例2　$N=\{1,2,3\}$, $E(1)=30$, $E(2)=16$, $E(3)=11$

この例では、$E(2)=16<22=2E(3)$ であり、野口[1974]のアイデイアに従えば、1 と 2（ないしは 3）の間で売買が行なわれた後、3（ないしは 2）への転売が行なわれることとなる。しかしながら、この状況で情報の売買が行なわれ得るか否かについては、明らかにされていない。

この点を明らかにするためには、情報の売買における利得の増加分の分配をめぐるプレイヤー間の交渉ないしは情報の売買のプロセスを明確にする必要がある。この問題については、第6節、第7節、及び第8節で詳しく議論する。

野口[1974]のアイデイアのより大きな問題点は、論理的な一貫性を欠いている点である。次の第5節において、まず、この点について論ずることとする。

## 5　Resale-Proofness

前節で述べた野口[1974]のアイデイアは、プレイヤーの人数が4人以上となった場合には、次の例に示されるような論理的な問題点が生ずる。

例3　$N=\{1,2,3,4\}$, $E(1)=30$, $E(2)=16$, $E(3)=9$, $E(4)=5$

いま、1 と 2 の間で売買が行なわれたとする。（実際、$E(1)=30<32=2E(2)$ であり、売買により両者の総利得は増加し、売買は行なわれ得る。）野口[1974]の考えでは、$E(2)=16<18=2E(3)$ ゆえ、2（ないしは、1）から 3（ないしは 4）への転売が起こる。問題点は、このような転売が実際に起こり得るかどうかである。

例えば、2 から 3 への転売を考えてみよう。いま、転売は自由に許されており、しかも、まだ情報を所有していないプレイヤー 4 が残されているわけであるから、2 から 3 への転売の後、3 から 4 への転売の可能性も考慮しなければ、論理的な一貫性を失う。$E(3)=9<10=2E(4)$ ゆえ、3, 4 両者の総利得は増加し、しかもこの転売により情報が全員に拡散し、これ以上の拡散は起こりえないから、3, 4 は総利得 $2E(4)$ を確かに獲得し得る。従って、3 から 4 への転売は起こり得る。もし、3 から 4 への更なる転売が起こるとすれば、プレイヤー 2 は、3 への転売において、この更なる転売を見越した上で 3 に要求しうる最大の価格 $10=2E(4)$ で 3 に転売したとしても、情報は最終的に 4 人で所有されるから、2 の獲得しうる最大の利得は $E(4)+10=15$ となる。この利得は、3 への転売を行なわなかった場合の利得 $E(2)=16$ より小さく、従って、3 から 4 への更なる転売を考慮すれば、2 から 3 への転売は行なわれないと考えられる。

プレイヤー 1 についても全く同様であり、このように考えれば、1 と 2 の売買の後、転売は起こらず、1 と 2 の間の売買は成立しうる。

以上の考えをもとに、転売が起こりえない状態を recursive な形で定義したものが、Nakayama, Quintas and Muto[1988] による「resale-proofness」である。この概念の基本的な考えは以下の通りである。

いま、プレイヤーの集合 $M$ ($\{1\}\subsetneq M\subsetneq N$) により情報が所有されているとする。このとき、次の2条件が成り立てば、情報の所有者 $i\in M$ は、非所有者のグループ $R\subseteq N-M$ に対して転売を行なうと考える。

(1) $E(|M|)<|\{i\}\cup R|E(|M\cup R|)=(1+|R|)E(|M\cup R|)$

(2) $i$ が $R$ に転売して、情報の所有者の集合が $M\cup R$ になった後、更なる転売が起こらない。

条件 (1) は、$i$ から $R$ への転売による総利得の増加を意味しており、条件 (2) は、更なる転売が起これば、負の外部効果（$E(m)$ の $m$ に関する非増加性）

により、(1) における右辺の $E(|M\cup R|)$ が必ずしも保証されえないことに基づいている。

条件 (1), (2) を満たすような $i\in M$ と $R\subseteq N-M$ が存在しないとき、転売は起こらないと考え、所有者の集合 $M$ は resale-proof であるという。resale-proofness の正確な定義は、recursive な形で次のように与えられる。

<u>定義1</u>:　プレイヤーの集合(情報の所有者の集合) $M$ ($\{1\}\subsetneq M\subseteq N$) をとる。まず、$M=N$ であれば、$M$ は resale-proof であるとする。次に、$M\subsetneq M'$ となるすべての $M'$ について、resale-proof であるか否かが既に決定されているものとする。いま、$M\cup R$ が resale-proof であるようなすべての $R\subseteq N-M$ ($R\neq\phi$) とすべての $i\in M$ について、上の条件 (1) が成り立たない、つまり、$E(|M|)\geqq(1+|R|)E(|M\cup R|)$ であるとき、$M$ は resale-proof であるという。

これまでの例1、2、3における resale-proof な集合を与えておく。例1においては、$\{1,2,3\}$ 及び $\{1,i\}$ ($i=2,3$) であり、例2においては、$\{1,2,3\}$ のみである。例3においては、まず全員集合 $\{1,2,3,4\}$ は resale-proof であり、従って、$E(3)=9<10=2E(4)$ ゆえ、$\{1,2,3\}$, $\{1,2,4\}$, $\{1,3,4\}$ は resale-proof にならない。よって、$E(2)=16>15=3E(4)$ より、$\{1,2\}$, $\{1,3\}$, $\{1,4\}$ は resale-proof となる。

resale-proof 集合を形成するような情報の売買は、それ以上転売が行なわれることはなく、実際に行なわれ得ると考えられるが、resale-proof 集合は、上の例から明らかなように一般にただ一つには定まらず、どの resale-proof 集合を形成するよう売買が行なわれるかについては、明らかではない。ただ、次の定理の成り立つことが示されている。

<u>定理1</u>:　2つのプレイヤーの集合 $M$, $M'$ ($\{1\}\subsetneq M\subsetneq M'\subsetneq N$) がともに resale-proof であるとする。このとき、$|M|E(|M|)>|M'|E(|M'|)$ が成り立つ。
(証明は、Nakayama, Quintas and Muto[1988] を参照。)

この定理は、最小の resale-proof 集合を形成するように情報の売買が行なわ

れたときに、総利得が最大となることを示している。ここで、「最小の」resale-proof 集合とは、その部分集合で resale-proof なものが存在しない resale-proof 集合である。なお、E(・) が所有者の人数のみに依存すること及び resale-proofness の定義から、最小の resale-proof 集合はすべて同じサイズとなることを注意しておく。

以上が、resale-proofness の概念及びそれを用いて得られた結果であるが、総利得を最大にするような最小の resale-proof 集合を形成する売買が、果して実際に起こり得るのかについては、明らかではない。さらに、resale-proofness の考えは、上記の条件 (1) にみられるように、転売により総利得が増加し、その後更なる転売が起こらなければ、この転売は行なわれると考えられており、そこにまだ不十分な点が残されている。つまり、転売により総利得が増加するとしても、その増加分をどのように分けあうかについて、（転売にかかわる）プレイヤーの間で合意に達せず、その結果転売が行なわれないこともありうると考えられる。

以上の点を考慮した resale-proofness の修正について、次に述べる。

## 6　利得の分配を考慮した Resale-Proofness

前節の最後に述べた考えに基づき、情報の所有者の集合が M であるときに、所有者 $i \in M$ から非所有者 $R \subseteq N-M$ に転売が行なわれるための条件の1つであった

(1) $E(|M|) < (1+|R|)E(|M \cup R|)$

を、次の条件

(1)' $E(|M|) < (1+|R|)E(|M \cup R|)$ であり、かつ、$\{i\} \cup R$ に属するメンバーの間で合意に達し得るような、「安定な」、総利得の増加分 $(1+|R|)E(|M \cup R|) - E(|M|)$ の分配が存在する。

で置き換える。

ここで、「安定な」利得分配の基準としては、Aumann and Maschler[1964] による交渉集合（bargaining set）を考えるものとする。交渉集合は、利得分配をめぐるプレイヤー間の交渉を、異議、逆異議という形でとらえたものであり、ある利得の分配に対して、どのプレイヤーも異議をもたないか、ないしは、たとえ

あるプレイヤーが異議をもったとしても、他のプレイヤーがその異議に対する逆異議をもつならば、最初の異議は有効ではなく、この分配は安定であると考える。（交渉集合の正確な定義については、Aumann and Maschler[1964] を参照。）ただ、(1)' で用いる総利得の増加分の分配における安定性は、基本的には Aumann and Maschler の交渉集合の考えに沿うものであるが、ここで考えている（転売の可能性を含んだ）情報の売買の分析に適するよう修正したものとなっている。詳しくは、Muto and Nakayama[1990] を参照していただきたい。

上の条件 (1)' と、前節で述べた条件 (2) を満たすような $i \in M$ と $R \subseteqq N-M$ が存在しないとき、所有者の集合 M は、利得の分配を考慮した上で resale-proof であるという。正確な定義は、resale-proofness の場合と同様、recursive な形で与えられる。

<u>定義２</u>：　プレイヤーの集合 M ($\{1\} \subsetneqq M \subseteqq N$) をとる。まず、$M=N$ であれば、M は利得の分配も考慮した上で resale-proof であるとする。次に、$M \subsetneqq M'$ となるすべての M' について、利得の分配を考慮した上で resale-proof であるか否かが既に決定されているものとする。いま、$M \cup R$ が利得の分配を考慮した上で resale-proof となるようなすべての $R \subseteqq N-M$ ($R \neq \phi$) とすべての $i \in M$ について、上の条件 (1)' が満たされないとき、M は利得の分配を考慮した上で resale-proof であるという。

さらに、この考え方に沿えば、転売の可能性だけでなく、最初のプレイヤー 1 と需要者の間の売買の可能性についても同様に考えることができる。

いま、プレイヤー 1 と需要者の集合 $S \subseteqq N-\{1\}$ をとる。このとき、次の２条件が成り立つならば、1 と S の間で売買が行なわれると考える。

(1)* $E(1) < (1+|S|)E(1+|S|)$ であり、かつ、$\{1\} \cup S$ のメンバーの間で、安定な総利得の増加分 $(1+|S|)E(1+|S|)-E(1)$ の分配が存在する。

(2)* $\{1\} \cup S$ は、利得の分配を考慮した上で resale-proof である。

利得の分配を考慮した resale-proofness では、上の条件 (1)' をみればわかるように、resale-proofness に比べ、転売が起こるための条件が厳しくなっている。ただ、resale-proofness、利得の分配を考慮した上での resale-proofness

のいずれもが recursive な形で定義されており、両者の関係は定義からだけでは明らかではない。しかしながら、総利得が増加する場合には、必ず増加分の安定な分配が存在することを示すことができ、それをもとに次の定理が得られる。

定理２： 情報の所有者の集合を M ($\{1\} \subsetneq M \subseteq N$) とする。このとき、M が利得の分配を考慮した上で resale-proof となるための必要十分条件は、M が resale-proof 集合となることである。
（証明は、Muto and Nakayama[1990] を参照。）

従って、少なくとも本稿で想定しているモデルの上では、たとえ利得の増加分の分配を考慮にいれたとしても、転売が起こるか否かについては、前節で定義した resale-proofness を考えておけば十分であることになる。

さらに、最初のプレイヤー 1 と需要者の間の売買について、次の定理が得られる。

定理３： プレイヤー 1 と需要者の集合 $S \subseteq N-\{1\}$ をとり、$E(1) < (1+|S|)E(1+|S|)$ とする。このとき、$\{1\} \cup S$ のメンバーの間で利得の増加分の安定な分配が存在するための必要十分条件は、$\{1\} \cup S$ が最小の resale-proof 集合となることである。さらに、安定な利得分配においては、利得の増加分はすべてプレイヤー 1 が獲得する。
（証明は、Muto and Nakayama[1990] を参照。）

従って、上述のように条件 $(1)^*$, $(2)^*$ が成り立つとき、そしてそのときにのみ最初の所有者と需要者の間の売買が行なわれると考えると、次の結論が得られる。前節で述べたように、最小の resale-proof 集合はすべて同じサイズとなることを注意しておく。

「最小の resale-proof 集合のサイズを $s^*$ とする。$E(1) < s^*E(s^*)$ であれば、最小の resale-proof 集合の１つを形成するような形で情報の拡散が起こり、総利得の増加分はすべて最初の所有者が獲得する。もし、$E(1) \geq s^*E(s^*)$ であれば、情報の拡散は起こらない。」

例1においては、最小の resale-proof 集合のサイズ s* は 2 で、E(1)＝30＜32＝2E(2) ゆえ、需要者 2, 3 のどちらか1人のみに情報は拡散し、例2においては、s*＝3 で、E(1)＝30＜33＝3E(3) ゆえ、情報は全員に拡散する。例3においては、s*＝2 で、E(1)＝30＜32＝2E(2) ゆえ、需要者 2, 3, 4 のいずれか1人に拡散する。

以上、転売が許されている状況のもとでの情報の売買の可能性について、野口[1974]のアイディア、それを精緻化した resale-proofness および利得の分配を考慮した上での resale-proofness の概念を述べ、それらに基づく分析結果を述べてきたが、これらの概念は、いずれも、ある条件が成り立てば、例えば、resale-proofness においては、前節の条件 (1), (2)、また、利得の分配を考慮した resale-proofness においては、上の条件 (1)', (2) （ないしは (1)*, (2)*） が成り立てば、転売（ないしは最初の売買）が行なわれるとの仮定に基づくものであった。従って、次のステップとして、これらの仮定が妥当なものかどうかを考察していく。具体的には、（転売の可能性を含んだ）情報の売買のプロセスを考え、このプロセスに沿って情報の売買が行なわれていくとき、その均衡状態として、上記の仮定が満たされるか否かを考察する。

## 7　情報の売買のプロセス

第2節で与えた情報の4つの性質、特に「複製の可能性」とそれによって導かれる「転売の可能性」、「取引の非可逆性」、及び「非分割性」に基づき、次のような売買のプロセスを考える。

議論を簡単にするため、まず、3人のプレイヤー 1, 2, 3 からなる場合について説明する。プレイヤー 1 が情報の所有者、2, 3 は需要者である。

最初に、所有者であるプレイヤー 1 が、2, 3 に対して価格 p を提示する。（簡単のために、2, 3 に対して同じ価格を提示するものとする。）需要者 2, 3 は、提示された価格 p の下で、同時かつ独立に 1 のもつ情報を購入するか否かを決定する。もし、2, 3 がともに購入すれば、取引の非可逆性により、取引は終了する。両者ともに購入しない場合も取引は終了する。2,3 の一方のみが購入した場

合には、転売の可能性により、次の転売の段階に進む。

いま、プレイヤー 2 のみが購入したとしよう。従って、所有者は 1, 2、非所有者は 3 である。最初の売買におけると同様、所有者である 1, 2 が、それぞれ 3 に対して価格 q(1), q(2) を同時かつ独立に提示する。（q(1) は 1 の提示価格、q(2) は 2 の提示価格である。）提示された価格ベクトル (q(1), q(2)) の下で、3 は 1, 2 のどちらから購入するか、ないしは全く購入しないかを決定する。（非分割性により、3 は1, 2 のどちらか一方から購入すれば十分である。）購入した場合には、取引の非可逆性により、取引は終了する。どちらからも購入しなかった場合も取引は終了する。

最初にプレイヤー 3 のみが 1 から購入した場合も、同様に、1, 3 を所有者、2 を非所有者とする転売が行なわれる。いずれにしても、3人のプレイヤーからなる場合には、最初の売買とそれに続いて起こり得る1回の転売の、高々2段階で取引は終了する。

この売買のプロセスを展開形ゲームとして表現したものが、図1である。ゲームは、左から右へとすすむ。p は 1 の提示価格、(1,1), (1,0), (0,1), (0,0)は、価格 p の下での 2, 3 の購入に関する決定を表わす。「1」、「0」は、それぞれ「購入する」、「購入しない」を表わしており、第1成分は 2 の決定、第2成分は 3 の決定である。(1,1)（2,3 ともに購入）及び(0,0)（2,3 ともに購入しない）の場合には、そこでゲームは終了する。(1,0) の場合（つまり、2 のみ購入した場合）には、転売の段階に進み、1, 2 が価格 q(1), q(2) を提示し、その下で、3 が「1」、「2」、「0」のいずれかを選択してゲームは終了する。「1」は「1 から購入」、「2」は「2 から購入」、「0」は「どちらからも購入しない」を表わしている。 3 の決定によりゲームは終了する。(0,1) の場合（3 のみが購入した場合）も同様であり、q(1), q(3) は 1, 3 による 2 に対する価格、「1」、「3」、「0」は その下での購入に関する 2 の選択肢を表わしている。

右端には、それぞれの場合の各プレイヤーの利得が書き並べてある。例えば、第1段階において 2, 3 ともに価格 p の下で購入した場合には、情報は3人で所有され、また、2, 3 はそれぞれ 1 に対して価格 p を支払うから、1, 2, 3 の利得は、それぞれ $E(3)+2p$, $E(3)-p$, $E(3)-p$ となる。他の場合も同様である。

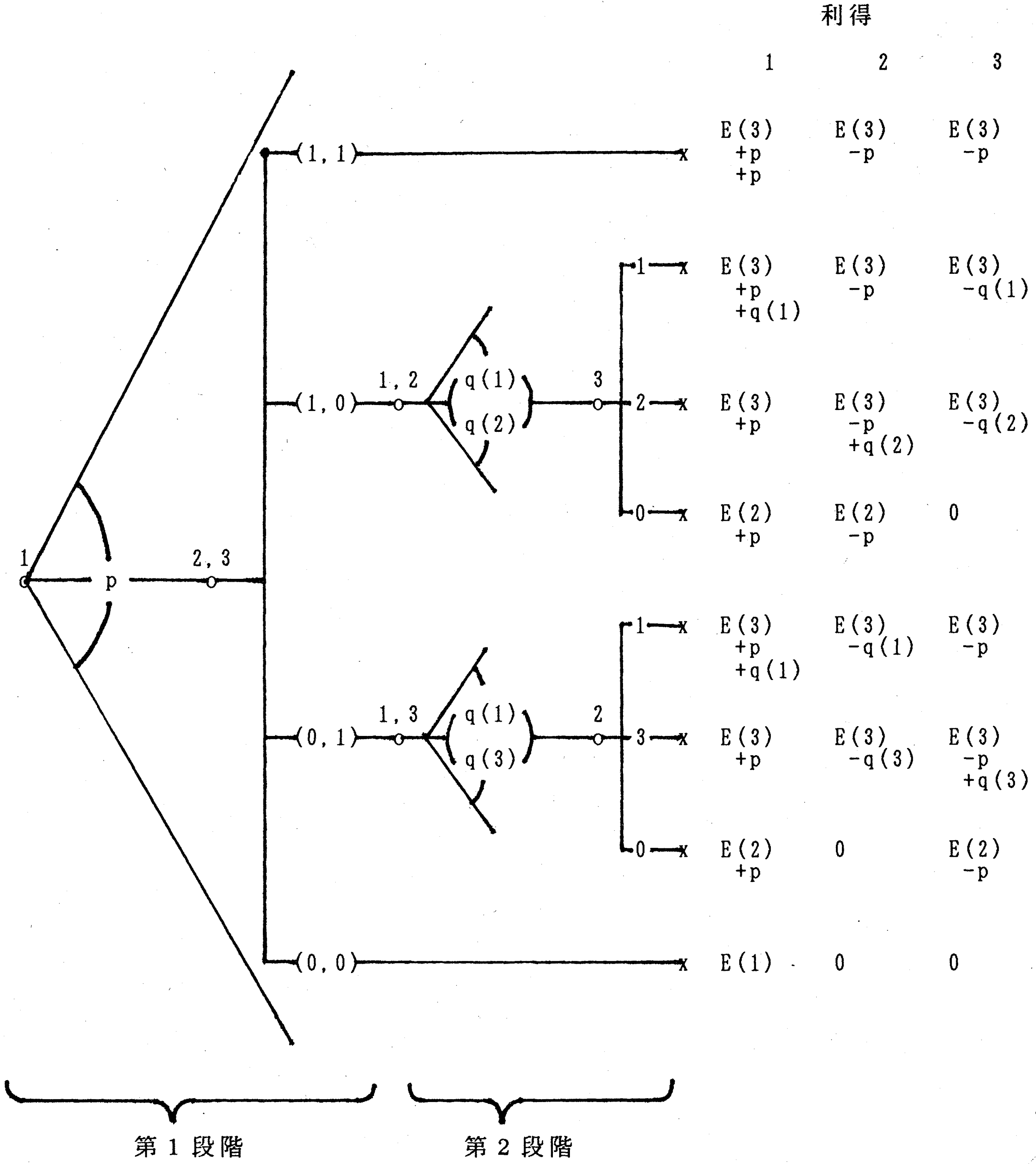


図 1　N＝{1, 2, 3} の場合の売買プロセスの展開形ゲーム表現

一般の n 人からなる場合も売買のプロセスは同様である。最初に所有者であるプレイヤー 1 が価格を提示し、需要者 2,...,n は、この価格の下で、同時かつ独立に購入するかしないかを決定する。需要者全員が購入するか、ないしは全員が購入しない場合には、取引は終了する。需要者の一部が購入した場合には、転売の段階に進む。いま、最初の売買で 1 から購入した需要者の集合を $S \subsetneq N-\{1\}$ とすると、所有者である 1 と S のそれぞれが、同時かつ独立に価格を提示し、非所有者 $N-(\{1\} \cup S)$ のそれぞれは、提示された価格の下で、同時かつ独立に誰から購入するかないしは全く購入しないかを決定する。以下同様にして、需要者全員が情報を所有するか、ないしは非所有者の全員が誰からも情報を購入しない状態が起これば、そこで売買は終了する。従って、高々 n−1 段階の売買で取引は終了する。

この売買プロセスを表現する展開形ゲームを、以下 Γ と表わす。ゲーム Γ において、情報の所有者の集合が M ($\{1\} \subseteq M \subsetneq N$) であるときの各プレイヤーの選択肢は、各所有者 $i \in M$ については、提示する価格、各非所有者 $j \in N-M$ については、どの所有者から購入するかないしは全く購入しないかである。

３人のプレイヤーの場合を表わす図１からわかるように、Γ には多くの階層的な部分ゲームが存在する。３人の場合でいえば、ゲームの終わりの方から、第２段階（転売）における非所有者の購入決定に関する部分ゲーム（非所有者の１人ゲーム）、転売における２人の所有者の価格決定からスタートする部分ゲーム、第１段階（最初の売買）における需要者 2, 3 の購入決定からスタートする部分ゲーム、そして最初の売買における所有者 1 の価格決定からスタートする部分ゲーム（つまり、本来のゲーム Γ そのもの）である。

そこで、このような階層的な構造をもつゲームの均衡状態を分析するのに最も適した Selten[1975] による subgame perfect 均衡を用いて、この売買プロセスに沿って情報の売買が行なわれたときの均衡状態を考察する。Subgame perfect 均衡とは、Nash 均衡の内、各部分ゲームについて、その部分ゲームにおいてやはり Nash 均衡を与えるようなものであり、ゲームの終わりの方の部分ゲームから順次帰納的に Nash 均衡点を求めていくことにより、求めることができる。（詳しくは、Selten[1975] を参照。）なお、ゲーム Γ においては、同じ情報の所有者の集合からスタートする部分ゲームは、たとえそこまでのゲームの history が

異なろうとも、本質的には同じゲームの構造をもつ。（詳しくは、Muto[1986], [1990] を参照。）よって、以下、所有者の集合 M からスタートする部分ゲームを、単に Γ(M) と表わすこととする。（Γ({1}) は、本来のゲーム Γ そのものである。）

前節までにあげた各例の状況における subgame perfect 均衡を求めてみよう。説明の便宜上、例２から始める。

まず、第２段階（転売）の部分ゲーム、例えば、最初の売買でプレイヤー 2 のみが情報を購入した場合の部分ゲーム Γ({1,2}) を考える。Γ({1,2}) の内、プレイヤー 3 の購入決定に関する部分ゲームの Nash 均衡は、このゲームが 3 の１人ゲームであることにより、1, 2 の提示する各価格ベクトル (q(1),q(2)) の下で、単に 3 の利得を最大にするようなものとして与えられる。つまり、$\min(q(1),q(2)) > E(3) = 11$ であれば、どちらからも購入せず、$\min(q(1),q(2)) \leq E(3) = 11$ であれば、低い価格を提示した方から購入する。従って、3 が購入しうる最大の価格 11 で転売したときの利得 $E(3) + 11 = 22$ は $E(2) = 16$ より大きくなるから、1, 2 はいずれも 3 に転売するインセンテイブをもつ。よって、1, 2 の間で価格の引き下げ競争が起こり、均衡においては、1, 2 の提示する価格はともにゼロとなる。従って、Γ({1,2}) における Nash 均衡においては、1, 2 の提示する価格はゼロで、3 は 1, 2 のいずれかから無料で情報を入手する。最初の売買でプレイヤー 3 のみが購入した場合の部分ゲーム Γ({1,3}) における Nash 均衡も全く同様であり、従って、例２の状況では、いったん１人の需要者が情報を購入すれば、いま１人の需要者には価格ゼロで拡散してしまう。

部分ゲーム Γ({1,2}), Γ({1,3}) における Nash 均衡をもとに、第１段階の売買における均衡を求める。まず、1 により提示された価格 p の下での 2, 3 の購入決定については、どちらか一方が購入すれば、その後他の需要者に価格ゼロで拡散してしまうから、2, 3 がともに 1 から購入することはなく、$p > E(3) = 11$ であれば、2, 3 ともに購入せず、$p \leq E(3) = 11$ であれば、2, 3 の一方のみが購入する。従って、情報を売ることによって 1 が獲得しうる最大の利得は、$E(3) + 11 = 22$ であり、これは、情報を自分のみで使用した場合の利得 $E(1) = 30$ より小さい。従って、ゲーム Γ の subgame perfect 均衡においては、売買は行なわれない。前節の利得の分配を考慮した resale-proofness による分析結果と

異なっていることに注意していただきたい。

しかしながら、E(3) の値がより大きく、（例えば、E(3)＝15.5 のように）2E(3)＞E(1) となっていれば、売買は行なわれ、情報は全員に拡散する。n 人のプレイヤーからなる状況においても、この結果の一般化である次の定理が得られる。

定理４： ゲーム Γ において、E(1)＜2E(n) であれば、すべての subgame perfect 均衡において、情報は全員に拡散する。より、詳しくいうと、最初の売買において、ただ１人の需要者が価格 E(n) でプレイヤー 1 から購入し、残りの需要者は、転売の段階で価格ゼロで入手する。
（証明は、Muto[1986] を参照。）

定理１の条件 E(1)＜2E(n) が成り立たない場合には、subgame perfect 均衡から得られる結果は一般にただ１つには定まらず、様々な結果がもたらされる。いま、例１の状況における subgame perfect 均衡を考えてみる。

まず、部分ゲーム Γ({1,2}) における 価格ベクトル (q(1),q(2)) の下での 3 の購入決定については、例２におけると同様、min(q(1),q(2))＞E(3)＝6 であれば、3 は購入せず、そうでなければ購入する。しかしながら、例２とは異なり、この例では E(2)＝16＞12＝E(3)＋6 となることから、Γ({1,2}) において次の２つのタイプの Nash 均衡が存在する。

(i)  q(1), q(2)＞E(3)＝6 で、3 はどちらからも購入しない。

(ii) q(1)＝q(2)＝0 で、3 は価格ゼロで情報を入手する。

Γ({1,3}) においても同様である。

(i) のタイプの Nash 均衡に基づけば、2 （ないしは 3）が購入した後転売は起こらないから、Γ における subgame perfect 均衡は、1 が価格 E(2)＝16 で 2 （ないしは 3）に売り渡すという結果をもたらし、(ii) のタイプに基づけば、2 （ないしは 3）が購入した後、価格ゼロで 3 （ないしは 2）への拡散が起こるから、2 （ないしは 3）が購入する最大の価格は E(3)＝6、従って 1 の利得は最大でも 2E(3)＝12 である。いま、E(1)＝30＞12 ゆえ、最初の売買は行なわれない。よって、例１においては、「１人の需要者への拡散」、「全く拡散しない」

の２つの結果が、subgame perfect 均衡からもたらされる。この例においても、「全く拡散しない」という前節の分析結果とは異なる結果がもたらされ得ることに注意していただきたい。

例３においても、「１人の需要者への拡散」、「全く拡散しない」という２つの状態が、subgame perfect 均衡からもたらされる。

このように、subgame perfect 均衡のもたらす結果は一般にただ１つとは限らず、様々な売買の状態が均衡としてもたらされる。（詳しくは、Muto[1986] を参照。）

ただ、このような多様な結果をもたらす基本的な要因は、上の例１の部分ゲーム $\Gamma(\{1,2\})$ において２つのタイプの Nash 均衡が存在することにある。もし、この部分ゲームにおいて、転売に先立ち、1，2 の間で話し合いが許されるとすれば、(i) のタイプの均衡における両者の利得は $E(2)=16$、(ii) のタイプの均衡における両者の利得は $E(3)=6$ ゆえ、1，2 の双方にとって前者のタイプの Nash 均衡の方が好ましく、この Nash 均衡が達成されると考えられる。次節において、この点についてより詳しく検討する。

## 8　Coalition-Proof Nash 均衡による分析

本節では、前節の最後に述べた subgame perfect 均衡の問題点を考慮し、プレイヤー間のコミュニケーションを許した上での均衡概念である Bernheim, Peleg and Whinston[1987] による coalition-proof Nash 均衡を用いた分析について述べるが、それに先立ち、前節で提示した情報の売買のプロセスそのものについて、不十分と思われる点に修正を加えておく。

まず第１は、所有者の選択肢のなかに、全く行動を起こさないという選択肢を加えておくことである。前節の売買プロセスでは、もし情報を売りたくなければ、誰も購入しないような非常に高い価格をつけることが想定されていた。しかしながら、このような場合、所有者はなにも行動を起こさないと考える方がより自然である。

第２は、価格ゼロでの売買（単なる拡散）と正の価格での売買を区別して扱う

ことである。前節のプロセスではこの２つを区別してはいなかったが、正の価格での取引には、なんらかの費用（取引費用）がかかると考えるのがより自然である。

最後に、これが最も重要な修正点であるが、最初の売買及び転売において、所有者の選択肢の中に、彼が情報を売ろうとする非所有者のグループを指定し、その全員が彼の提示した価格を受け入れて購入する場合にのみ情報を売り渡すという選択肢を加えることである。前節のプロセスでは、所有者は価格を提示し、この価格の下で購入したい非所有者はすべて購入できると仮定されていた。前節の例２における議論を詳細に振り返ってみればわかるように、この例においては、この仮定により、最初の所有者はただ１人の需要者にしか得ることができず、従って、情報が全く拡散しないという結果がもたらされていた。いま、もし上のような選択肢を加えたとすれば、最初の所有者、プレイヤー 1、はこの選択肢をとることにより、2, 3 にそれぞれ価格 $E(3)=11$ で売ることができ、利得 $E(3)+11+11=33$ を獲得できる。この利得は、$E(1)=30$ より大きく、従って、情報は売買されることになる。

以上の３点を考慮にいれ、以下では、最初の売買及び転売における所有者の選択肢として、単に彼が提示する価格だけでなく、次の３つのタイプの選択肢 F, (T, p), $\phi$ を与える。F は価格ゼロで非所有者のグループ F に情報を伝えること、(T, p) は価格 p ($p>0$) で非所有者のグループ T に情報を売ること、$\phi$ は全く誰にも売らない（行動を起こさない）ことを表わす。(T, p) を選択したときには、ある正の費用がかかるものとする。非所有者の選択肢は、彼に情報を売ろうとする所有者の誰から買うか、もしくは誰からも買わないかである。ただし、ある所有者から価格ゼロでの情報の伝達を受けた非所有者は、自動的に情報を入手し、また、ある所有者が (T, p) を選択したときに、この所有者と非所有者のグループ T との間で売買が成立するのは、T に属する非所有者の全員がこの所有者からの購入を選択した場合のみである。そのほかの部分は、前節のプロセスと同様であり、需要者全員が情報を所有するか、もしくは全く売買が成立しない状況が起きた時点で取引は終了する。この修正された売買プロセスについて、詳しくは、Muto[1990] を参照していただきたい。

以下、修正された売買プロセスを表現する展開形ゲームを $\Gamma'$ と表わし、情報

の所有者の集合 M からスタートする部分ゲームを Γ'(M) と表わす。

次に、coalition-proof Nash 均衡について説明しておく。Nash 均衡は、どのプレイヤーも単独では逸脱 (deviate) しないような戦略の組、また、前節で用いた subgame perfect 均衡は、どの部分ゲームにおいても Nash 均衡となっているような戦略の組であり、いずれも1人のプレイヤー単独での逸脱のみを想定している。

しかしながら、プレイヤー間の事前の話し合いが許されるとすれば、プレイヤーのあるグループが共同して逸脱する状況も考えられる。このようなグループによる逸脱も考慮し、プレイヤーのどのグループも逸脱することのない戦略の組として定義されたのが、Aumann[1959] による strong Nash 均衡である。

この strong Nash 均衡にも問題が残されている。いま、あるグループが共同して逸脱することに合意したとする。もし、この合意に拘束力（ないしは外部的な強制力）があり、必ず守られる場合には問題がないが、拘束力のない場合には、このグループの中の何人かが合意を守らず、さらにこの合意から逸脱する可能性が生ずる。このような可能性も考慮にいれ、更なる逸脱が起こり得ないような「有効な」逸脱のみを考えようとしたものが、coalition-proof Nash 均衡である。

Coalition-proof Nash 均衡では、グループによる逸脱の内、その中で更なる逸脱が起こり得ないようなものを有効な逸脱と考える。論理的一貫性を保つためには、更なる逸脱もまた有効なもの、つまり、その中で更なる有効な逸脱がないものでなければならない。従って、coalition-proof Nash 均衡は、次のような recursive な形で定義される。

まず、1人のプレイヤーによる逸脱は、それ以上の逸脱はありえないから、有効な逸脱とする。次に、2人のプレイヤーのグループによる逸脱を考え、その中でどちらのプレイヤーもさらに逸脱する動機をもたないものを有効な逸脱とする。以下同様にして、3人のグループ、4人のグループ、．．．による有効な逸脱を定義し、最終的に、n 人のプレイヤーの戦略の組の内、いかなるプレイヤーのグループも有効な逸脱をもちえないようなものを、coalition-proof Nash 均衡と呼ぶ。1人のプレイヤーの逸脱は常に有効ゆえ、coalition-proof 均衡は必ず、Nash 均衡になっていなければならず、Nash 均衡の1つの精緻化になっている。

以上が coalition-proof Nash 均衡の定義の簡単な説明であるが、われわれが

問題としている情報の売買プロセスは、前節で述べたように、動的（dynamic）（ないしは、階層的）な性格をもっており、subgame perfect 均衡のような動的な整合性を考慮しておく必要がある。coalition-proof Nash 均衡にこのような動的な整合性を加えたものが、perfectly coalition-proof Nash 均衡である。Coalition-proof Nash 均衡、perfectly coalition-proof Nash 均衡の正確な定義については、Bernheim, Peleg and Whinston[1987] を参照していただきたい。

さて、修正された情報の売買プロセスを表現したゲーム $\Gamma'$ に perfectly coalition-proof Nash 均衡を適用した結果として、次の２つの定理が得られる。

<u>定理５</u>： 情報の所有者の集合 M（$\{1\} \subsetneq M \subsetneq N$）からスタートする部分ゲーム $\Gamma'(M)$ においては、以下が成り立つ。

（i） M が（第５節で述べた）resale-proof 集合であれば、$\Gamma'(M)$ におけるすべての perfectly coalition-proof Nash 均衡は、M から全く情報が拡散しない状態を導く。

（ii） M が resale-proof な集合でなければ、$\Gamma'(M)$ におけるすべての perfectly coalition-proof Nash 均衡は、M を含む最小の resale-proof 集合への価格ゼロでの拡散を導く。

<u>定理６</u>： ゲーム $\Gamma'$ におけるすべての perfectly coalition-proof Nash 均衡は、以下の状態を導く。以下、第６節におけると同様、最小の resale-proof 集合のサイズを $s*$ とする。

（i） $E(1) < s*E(s*)$ であれば、最小の resale-proof 集合の１つが形成されるように情報は拡散する。また、そのときの価格は、$E(s*)$ であり、拡散による総利得の増分はすべてプレイヤー 1 が獲得する。

（ii） $E(1) \geq s*E(s*)$ であれば、情報は全く拡散しない。

（証明は、いずれも Muto[1990] を参照。）

定理５により、第５節、第６節で与えた resale-proofness 及び利得の分配を考慮した resale-proofness の考えの基礎となっていた仮定が、情報の売買プロセスにおける１つの均衡状態として満たされることが示され、第６節の最後に与

えた問題に肯定的な解答が与えられたことになる。さらに、定理6により、第6節で利得の分配を考慮した ressale-proofness を用いて得られた結果が、売買プロセスの均衡状態としても達成されることが示された。

## 9 結び

本稿では、転売が自由に許されている場合の情報の売買の可能性について、この分野の先駆的業績である野口[1974]の結果をもとに、その後の発展について述べてきた。

まず、野口[1974]の考えの論理的な不十分さを修正した resale-proofness の考えを提示し、たとえ転売が許されるとしても、プレイヤーが自発的に転売を行なわない状況が生じ得ること、及び最小の resale-proof 集合において、所有者の総利得が最大となることを示した。

ついで、利得の分配をめぐるプレイヤー間の交渉を考慮にいれて、resale-proofness をより精緻化した上で、たとえ利得の分配を考慮にいれたとしても、転売が起こらないのは resale-proof な状態のみであることを示した。さらに、利得の分配を考慮に入れた上での安定な情報の売買においては、必ず最小な resale-proof 集合が形成されること、及び総利得の増加分は、初期所有者がすべて獲得することを示した。

最後に、情報の売買のプロセスを提示し、このプロセスに沿って、情報の売買が行なわれたときの均衡状態を考察した。まず、subgame perfect 均衡による分析を行い、均衡状態として情報の売買が行なわれ得ることは示されるが、様々な均衡状態がもたらされ、情報の売買がどのように行なわれるかなどについて、subgame perfect 均衡は必ずしも明確な結論をもたらし得ないことを示した。ついで、プレイヤー間の話し合いを許す perfectly coalition-proof 均衡による分析を行ない、均衡状態として、resale-proof 集合からは転売が起こり得ないという結果が導かれることを示すとともに、情報の売買について、利得の分配を考慮に入れた resale-proofness を用いて得られたのと同じ結果が導かれることを示した。

以上が、本稿で得られた結果の概要であるが、最後にこれらの結果に関連するいくつかの問題についてふれておく。

まず第1に、本稿では、転売が自由に許される状況のみを扱ってきたが、情報に対する法的保護が完全で転売が起こり得ない状況での情報の売買についてのゲーム理論による分析も、Kamien and Tauman[1984],[1986], Katz and Shapiro [1986], Driessen, Muto and Nakayama[1989], 林[1990] などによって行なわれている。これらの分析と本稿での分析とを比較することにより、特許制度など情報に対する法的保護の果たす役割についての考察が可能になると思われる。

第2に、本稿では、非所有者の利得は常にゼロと仮定してきたが、情報の拡散によって、情報をもたない主体も影響を受ける場合がある。上述の Kamien and Tauman の研究などはすべてこのより一般的な状況の下で行なわれている。本稿の結果のうち、第5節の定理1は、この一般的な状況の下でも成り立つことが Muto, Nakayama and Quintas[1988] により示されているが、その他の定理についてはまだ明らかでなく、今後の課題として残されている。

第3は、情報の価値が所有者の人数のみに依存して定まるという仮定である。この仮定をはずしたとしても、同様の議論が行えると思われるが、この方向の研究は、 Nakayama and Quintas[1988] があるだけであり、今後の課題である。

第4は、非分割性及び負の外部効果の仮定である。いくつかの情報を合わせることにより初めて価値を生ずるような場合もあり、また、拡散すればするほど所有者の利得が増加するような場合もある。このような場合の研究も今後の課題である。なお、後者については、コンピューターのハードウェアのメーカーとソフトウェアのメーカー間の情報の拡散の問題を扱った Beggs[1988] がある。

第5は、情報の価値の不確実性についてである。本稿では、情報の価値は事前にすべてのプレイヤーに知られているものと仮定されていたが、一般には、情報を得て初めてその真の価値がわかる場合が多い。このような状況を情報不完備なゲームとして定式化した上で、情報の売買を考察することも今後の課題として残されている。

参考文献：

1. Arrow, K.J., Economic welfare and the allocation of resources for invention, in R.R. Nelson (ed.), The Rate and Direction of Incentive Activity, Princeton University Press, 609-625, 1962.

2. Aumann, R.J., Acceptable points in general cooperative n-person games, Annals of Mathematics Studies No.40, Princeton University Press, 287-324, 1959.

3. Aumann, R.J. and M. Maschler, The bargaining set for cooperative games, Annals of Mathematics Studies No.52, Princeton University Press, 443-476, 1964.

4. Beggs, A.W., Two-sided information transmission: how many dates should I invite to the party ?, Discussion Paper No.38, Economics, Nuffield College, Oxford, 1988.

5. Bernheim, B.D., B. Peleg and M.D. Whinston, Coalition-proof Nash equilibria I, concepts, Journal of Economic Theory 42, 1-12, 1987.

6. Driessen, T., S. Muto and M. Nakayama, A cooperative game of information trading: the core, the nucleolus and the kernel, Memorandum No.810, Faculty of Applied Mathematics, University of Twente, 1989.

7. Kamien, M.I. and Y. Tauman, The private value of a patent: a game theoretic analysis, Journal of Economics supp.4, 93-118, 1984.

8. Kamien, M.I. and Y. Tauman, Fees versus royalties and the private value of a patent, Quarterly Journal of Economics CI, 471-491, 1986.

9. Katz, M.L. and C. Shapiro, How to license intangible property, Quarterly Journal of Economics CI, 567-589, 1986.

10. 林永修、情報の共有と利得の配分について、修士論文、東北大学大学院経済学研究科、1990.

11. Muto, S., An information good market with symmetric externalities, Econometrica 54, 295-312, 1986.

12. Muto, S., M. Nakayama and L. Quintas, Patent licensing through negotiations, Discussion Paper No.76, Faculty of Economics, Tohoku University, 1988.

13. Muto, S., Resale-proofness and coalition-proof Nash equilibria, to appear in Games and Economic Behavior, 1990.

14. Muto, S. and M. Nakayama, Sequential bargaining in information trading, Working Paper No.95, The Center for Japan-U.S. Business and Economic Studies, New York University, 1990.

15. Nakayama, M. and L. Quintas, The core of resale-proof information trades, Discussion Paper No.740, MEDS, Northwestern University, 1988.

16. Nakayama, M., L. Quintas and S. Muto, Resale-proof trades of information, Discussion Paper no.776, MEDS, Northwestern University, 1988.

17. 野口悠紀雄、情報の経済理論、東洋経済新報社、1974.

18. Selten, R., Reexamination of the perfectness concept for equilibrium points in extensive games, International Journal of Game Theory 4, 25-55, 1975.