エージェンシィ理論による分権的システムの研究

上木政美
奥田和重

1. 緒　　言

大規模な複雑なシステムの最適化を行う方法として，システムを幾つかのサブシステムに分割し，扱いやすくすることがなされてきた。論文［1］では分割原理によるアプローチが分権的システムの解明には適していないこと，非協力ゲームによるアプローチが分権的システムを取り扱うのに有効であるが，サブシステム間を調整するコーディネータが存在しないため，ある2次－線形モデル以外ではNash均衡解が無限個の解集合になることを指摘している。また論文［2］ではシステム全体の目的関数が存在しない場合の大規模複雑なシステムを対象に，従来の最適化の概念にかわる均衡化の概念を提案し，均衡化の方法として，非協力ゲームの理論を適用し，決定に優先権が無い場合のNash均衡解と，優先権がある場合のStackelberg均衡解を求めるための条件を導いている。さらに論文［3］では分権的生産システムの単一期間生産計画問題に対して，非協力ゲームに基づいた手法を適用することによって最適性の必要条件を導き，生産目標からのずれを最小にするNash均衡解を求めている。

さてここで情報という側面から，大規模複雑なシステムについて考えてみよう。システムを幾つかのサブシステムの集まりとみなした場合，コーディネータが存在する場合はコーディネータが下位システムと情報をやり取りして全体の最適化を考える。またコーディネータが存在しない場合はサブシステムが互いに情報を交換する場合と情報の一部を交換する場合，全く交換しない場合が

考えられる。前述の論文においても，情報を制約条件として最適化の考察をしている。しかし，そこでは情報の別の側面，「対称性」についての考察はなされていない。現実の大規模複雑なシステムの例として企業を考えてみよう。企業は階層的なサブシステムの集まりであり，最適化の目標は，例えば企業全体の売り上げの最大化などである。その目標達成のために上位システム（例えば上司）は下位システム（例えば部下）と情報を交換することになる。しかし，その情報は必ずしも同質のもの（対称）とは考えにくい。つまり，上司は部下のすべての行動（情報）を観察することはできない。部下が一生懸命努力したのか，それともしなかったのか，仕事の成果から判断することになる。部下にしても一生懸命努力をするかどうかは報酬とも関係してくる。つまり，システム全体（企業）の最適化を考察するには，システム内の情報の非対称性についても考察しなければならない。そこで，本論文ではエージェンシィ理論［4］を用いて大規模複雑なシステムにおける上位システム（ここではプリンスパルとよぶ）と下位システム（ここではエージェントとよぶ）との情報の非対称性について考察する。問題を単純化するために，本論文ではプリンスパルとエージェントが1対1の場合を対象とするが，いずれ，それを1対nさらにm対nと拡張し，一般化することを目標としたい。

2．エージェンシィ理論

2．1 エージェンシィ理論の一般的な意味

経済主体間で持っている情報の非対称性について考える。例えば保険の契約を想定してみよう。今，保険会社Aは火災保険を販売し，家計B1が所定の保険料を負担して火災保険を購入したとしよう。このような場合，家計B1はたとえ火災が発生しても保険会社Aが損害を補償してくれる安心感から，保険に入る前より，火の後始末に注意を払わなくなるかもしれない。つまり保険会社Aは家計B1のとる行動についての情報を100％は把握できないという情報の非対称性が存在する。そして，他の加入者の家計B2，・・・，Bnが家計B1と

同じように火の後始末に注意を払わなくなると，道徳上あるべき行為がゆがめられるといった，モラルハザード［5］の問題が生じ，保険そのものが成立しなくなるかもしれない。また，会社は従業員を雇うが，給料を払っても，従業員がまじめに働くかどうか100%は監視できない。やはり，そこにも情報の非対称性が存在する。このように，社会全体の経済活動の中には情報の非対称性の問題がいくらでも存在する。このような行動に関する情報の非対称性があるときの理論的な分析モデルとして，有力な枠組みがエージェンシィ理論である。ここでは［4］に基づいてエージェンシィ理論の簡単なモデルを考察する。

2．2　エージェンシィ理論の簡単なモデル

モデルとして依頼人（プリンスパル）と代理人（エージェント）を想定する。依頼人は代理人の行動を直接は観察できない。つまり，情報の非対称性が存在し，モラル・ハザード問題が生じる可能性がある。そこで，依頼人は様々な手段，例えば賃金の設定，料金の設定，行動を観察するための装置の設定など考え，代理人が仕事を一生懸命するように誘引する。そして，依頼人と代理人はそれぞれの効用が最大になるように行動する。なお，その際リスクに対しては依頼人は中立的，代理人は回避的という設定が一般的である。図1に簡単なモデルと依頼人（プリンスパル）と代理人（エージェント）の例を上げておく。

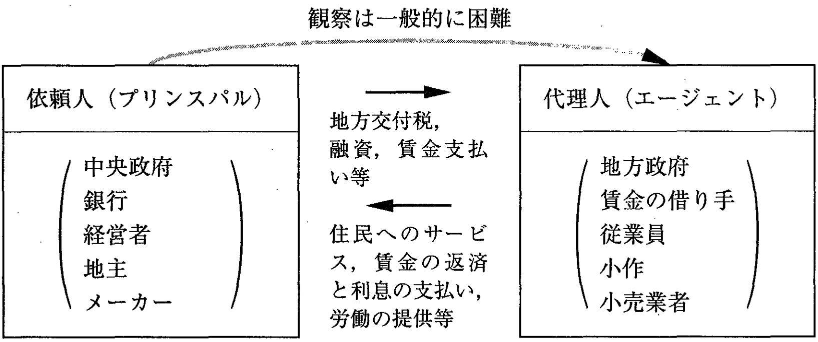

図1　プリンスパルとエージェントの例

2．3 線形モデル

プリンスパルとエージェントの関係において，エージェントの隠された努力と性質を観察する問題の一般的な解を求めることは極めて難しいので，ここでは線形モデルを考えて，その考察をすることにする。まず，用語を準備することになるが，ここでは経営者（プリンスパル）と従業員（エージェント）との関係を想定した賃金契約について考察する。

(1) $\tilde{y}=f(x, \tilde{\theta})$：プリンスパルの富の総和を表しており，エージェントの努力を表す変数xと外的なリスクを表す変数θで定められている関数で与えられる値である。

(2) $p=p(\tilde{y})$：$\tilde{y}$で表される賃金計画の関数である。

(3) $p=p(y)$：$\tilde{y}$の実現値yで表される賃金計画の関数である。

(4) $c(x)$：エージェントの不効用関数（disutility function）である。

(5) $\tilde{w}(x, p)=p(f(x, \tilde{\theta}))-c(x)$：エージェントの富を表す関数であり(1)，(2)より得られる賃金計画と不効用関数$c(x)$の差で与えられる。

(6) $U(x, p)=\mathrm{u}^{-1}(E[u(\tilde{w})])$：エージェントの厚生関数であり$u$はNeumann-Morgenstern効用関数［6］である。

(7) $U(x^{*}, p)=max\{U(x, p) \mid x \in X\}$：エージェントの意志決定問題，ここで$x^{*}$は効用関数を最大にするエージェントの努力。

(8) $x=\phi(p)$：努力xは賃金計画pで誘引される関数となる。

(9) $U(\phi(p), p) \geq m$：エージェントがプリンスパルと契約する条件で，mは条件値である。

(10) $\tilde{y}-p(\tilde{y})$：プリンスパルの実質的な富，富の総収入からエージェントに支払う賃金を引いた残余で与えられる。

(11)　$V(x,\ p) = v^{-1}(E[v(\tilde{y} - p(\tilde{y}))])$：プリンスパルの厚生関数。ここで v は Neumann-Morgenstern効用関数である。

(12)　$V(\phi(p^*_m),\ p^*_m) = max\{V(\phi(p), p) \mid p \in P,\ U(\phi(p), p) \geq m\}$

：プリンスパルの意志決定問題。ここで p^*_m は条件値が m のときの効用関数を最大にする賃金計画。

エージェントは式(12)で導かれた p^*_m に対して反応し，努力 $x^*_m = \phi(p^*_m)$ を提供する。この組合せ $(x^*_m,\ p^*_m)$ が情報の非対称性を考慮した場合の最適解になる。

また，エージェントの効用関数について，$-\frac{u''}{u'} > 0$ のときはリスク回避的，$-\frac{u''}{u'} = 0$ のときはリスクに対して中立，$-\frac{u''}{u'} < 0$ のときはリスク愛好的である。本論文ではリスク回避的であると仮定している。一方，プリンスパルはリスクに対して中立と仮定する。

これらの用語を用いて次のような線形モデルM１を想定しよう。

線形モデルM１

$\tilde{y} = f(x,\ \tilde{\theta}) = x + \tilde{\theta}$　　　$x \in X = [0, 1/2]$

$\tilde{\theta}$ は $N(0,\ \sigma^2)$ に従う確率変数。

賃金計画は線形で右の式で表す。　$p(y) = r + sy$

エージェントの厚生関数：$u(w) = -\exp(-\alpha w),\ \alpha > 0$

プリンスパルの厚生関数は v で，線形関数であると仮定する。

プリンスパルはリスク中立であると仮定する。

エージェントの不効用関数：$c(x) = x^2$

これらの仮定からエージェントのリスク回避の値は $\alpha = -u''/u' > 0$ としプリンスパルはリスク中立であるので $-v''/v' = 0$ である。

賃金計画を与える線形関数において，r は謝礼と考えられる一定の固定給部分に相当し，マイナスもありえる。また，s は分け前と考えられ，歩合給に相

当する。タクシー会社を例とすると，r は営業車のレンタル代（この場合はマイナスと考えられる）であり，s は売り上げに対する歩合給を表している。

線形モデルＭ１においては，内因性のパラメータは x, r, s であり，外因性のパラメータは $\alpha, \sigma, \tilde{\theta}$ が相当する。ここではパラメータ r, s による賃金計画を外因性のパラメータで分析してみよう。つまり，プリンスパルにとっての最適な賃金計画とはどのようなものであるかを考察する。

(i)　エージェントの努力の誘因

エージェントの富を表す関数(5)より

(13)　$\tilde{w}(x\,;\,r\,,s)\;=r+(x+\tilde{\theta})\,s-x^2$

となる。これより，エージェントの厚生関数［７］は，次のようになる。

(14)　$U(x\,;\,r,\,s)=E\,[\tilde{w}]-\dfrac{\mathrm{a}}{2}Var\,[\tilde{w}]=r+sx-x^2-\dfrac{\alpha}{2}s^2\sigma^2$

この U を最大にするには U を x で微分してゼロとおけばいいから，最適な努力は

(15)　$x^*=\phi\,(r,\,s)=\dfrac{s}{2}$

である，これは，与えられた r, s に対するエージェントの最適な反応を与えている。上式はエージェントの努力が m, r では誘引されず，s のみで誘引されることを示している。極論すると $s=0$（歩合給が0）では，$x^*=0$ となりエージェントは何も努力しないことになる。しかし，現実ではこれは考えにくく，r（固定給）は結構大きな値になるかもしれない。

(ii)　一定条件を満たす賃金計画

式(14)，(15)によれば

(16)　$U(x^*\,;\,r,\,s)\;=r+\dfrac{s^2}{4}\,(1-2\alpha\sigma^2)$

となる。U は契約の条件 $U\geq m$ を満たさなくてはいけないから

(17) $r \geq m - \frac{s^2}{4}(1-2\alpha\sigma^2)$

である。これより次のことを明らかにすることができる。

(a) この式によって，α，σが十分小さいとき，つまり$1-2\alpha\sigma^2>0$のときはsを大きくするとrを小さくできることがわかる。

sが大きくなるときの効果は他に，高い分け前（ボーナス）による収入の増加を期待できること，エージェントのやる気を増すこと，多少のリスクは我慢するようになる等である。特にリスク回避が小さくなることに注目すれば，高い分け前が予想される限り，全体としては謝礼部分rは，少なくなるというよりむしろ高くなるであろう。

(b) $1-2\alpha\sigma^2<0$のときは式(16)の右辺はsの増加とともに大きくなり，結果rの増加ももたらされるようになる。

(iii) プリンスパルにとって最適な賃金計画

賃金計画に対するエージェントの最適反応は式(16)で与えられ，制約条件は式(17)で与えられたわけであるが，その時のプリンスパルの厚生関数最大化を考えてみよう。

プリンスパルの富は，総収入からエージェントに賃金を支払った残余の次式であたえられる。

(18) $\tilde{y}-(r+s\tilde{y})=(1-s)(x+\tilde{\theta})-r$

ここで，プリンスパルはリスクに対して中立的であるという仮定から，期待される厚生関数は次式で与えられる。

(19) $V(x;r,s)=(1-s)x-r$

さらに，エージェントの最適反応式(15)を考慮するとプリンスパルの厚生関数は次式となる。

(20) $V(x^*; r, s) = (1-s)\dfrac{s}{2} - r$

さらに制約条件式(17)を考慮すると次式を得る。

(21) $V \leq (1-s)\dfrac{s}{2} - m + \dfrac{s^2}{4}(1-2\alpha\sigma^2)$

もちろん，等号が成立するときVは最大である。ここでVはsの2次関数であり，関数が上に凸であることを考慮すると，Vを最大にするsは次式で与えられる。

(22) $s^*_m = \dfrac{1}{1+2\alpha\sigma^2}$

式(22)を(16)に代入することによってrの最適値は次式で与えられる。

(23) $r^*_m = m - \dfrac{1-2\alpha\sigma^2}{4(1+2\alpha\sigma^2)}$

また，式(15)，(22)によって誘引されたエージェントの努力は次式となる。

(24) $x^*_m = \phi(r, s) = \dfrac{1}{2(1+2\alpha\sigma^2)}$

結果，式(21)に(22)を代入して，プリンスパルの厚生関数を導くと次式になる。

(25) $V \leq \dfrac{1}{4(1+2\alpha\sigma^2)} - m$

もちろんVの最大値は等号が成立するときである。

式(22)，(24)，(25)よりエージェントの歩合制における報酬と誘引される努力，そしてプリンスパルの富は$\alpha\sigma^2$と反対に作用することがうかがえる。つまりリスク回避係数が大きくなる，あるいはリスクの分散が大きくなるとエージェントの報酬は減り努力の誘因も小さくなる，その結果，プリンスパルの富も小さくなることがわかる。

プリンスパルとしてはリスク回避の小さなエージェントの方が都合がいいわけである。式(22)についていえば，エージェントはリスクに対して高い保証を要求するので，プリンスパルとしてはエージェントのリスク回避係数αと外的

なリスク分散σ^2が大きいときは，sの値を小さくするほうがよいことがわかる。しかし，実際にはリスク回避が大きいからといって賃金のすべてを固定給にすることをエージェントは望まないだろう。

2．4　エージェンシィ・コストについて

エージェンシィ・コストの定義は以下のように考えるのが一般的である。エージェントの努力xと賃金計画pとの組み合わせの中で，プリンスパルの厚生関数を最大にする組み合わせ（x, p）をベストセットＥとする。ここでエージェントの努力を賃金計画から誘引されたものに限定して考えたときの，エージェントの努力$x=\phi(p)$と賃金計画pとの組み合わせの中で，プリンスパルの厚生関数を最大にする組み合わせ$(\phi(p), p)$を２番目のベストセットＩとする。

ベストセットＥとベストセットＩとの差を一般的にエージェンシィ・コストと呼んでいる。これを数式で表すと次のようになる。

ベストセットＥとは次の最適化問題の解（x^o_m, p^o_m）である。

$$\begin{array}{ll} Max\ V(x, p) & \\ subject\ to & U(x, p) \geq m \\ & x \in X,\ p \in P \end{array}$$

ベストセットＩとは次の最適化問題の解（x^*_m, p^*_m）である。

$$\begin{array}{ll} Max\ V(x, p) & \\ subject\ to & U(x, p) \geq m \\ & x = \phi(p),\ p \in P \end{array}$$

すなわちエージェントの努力xは賃金計画pによってのみ誘引される。

よって，エージェンシィ・コストは次式で与えられる。

(26)　$AC_m = V(x^o_m, p^o_m) - V(x^*_m, p^*_m)$

これを，２．３の線形モデルＭ１に適応してみると次のようになる。すなわち，

$x^o_m = 1/2$，$r^o_m = m$, $s^o_m = 0$ が成り立つとすると

(27) $$AC_m = V(x^o_m, p^o_m) - V(x^*_m, p^*_m) = \frac{1}{4} - m - \frac{1}{4(1+2\alpha\sigma^2)^2} + m = \frac{\alpha\sigma^2}{4\alpha\sigma^2+2}$$

この式から AC が m に依存しない値であること，$\alpha\sigma^2$ の増加は AC の増加につながることがわかり，エージェントの努力を観察できない状況では，AC の増加を生みプリンスパルの不利益を増大することになる。ここで $\alpha\sigma^2$ が特に大きい場合の対策について考えると，まず一つは賃金計画のセットを可能な限り大きくすることである。例えば r，s の組み合わせで非線形のものを考えたり，r にペナルティを導入するなど，様々な工夫をすることでエージェントコストを小さくできるかもしれない。また，エージェントの努力を観察する何らかの装置の設定も考えられる。無論それ自体にコストがかかるわけだから，十分に検討する必要はある。その他，やや楽観的な見方ではあるが，最初は非協力関係で始まったプリンスパルとエージェントの関係だが，時間がたつにしたがって親密なものになり，エージェントの努力を自然とうながす場合も考えられる。エージェントにしても協力した方が全体の利益を増やし，結果としてエージェントにとっても得と判断するようになるということである。

２．４　モニタリング・シグナル

エージェントの隠された努力については，それを観察し推し量る何らかの装置があれば，プリンスパルにとっては都合がよい。しかも，簡単でコストがかからないことが望ましい。それは，エージェントの努力 x から得られるなんらかのシグナル（信号）と考えられるであろう。このようなプリンスパルが観察するシグナルをモニタリング・シグナルとよび，一般的にはモニタリング・シグナル $\tilde{z}$ として次のように定義される。

(28)　$\tilde{z}=h(x)+\tilde{\varepsilon}$

ここで$h(x)$は観察関数と呼ばれ，$\tilde{\varepsilon}$は観察の誤差で確率分布をもった変数と考えられる。プリンスパルとしては賃金計画pをたてるとき，プリンスパルの富の総和の実現値yのみならず$\tilde{z}$の実現値zも賃金計画に取り入れた方がよりよい賃金計画$p(y, z)$を得ることができる。

zを導入した場合の賃金計画はいかなるものか，また，より正確な観察のためには，どの程度コストをかけることができるかということについて考えてみよう。そこで前出の線形モデルM１を拡張したモデル「線形モデルM２」を想定して考察する。

線形モデルM２

$\tilde{y}=f(x, \tilde{\theta})=x+\tilde{\theta}$　　$x \in X[0, 1/2]$

$\tilde{z}=h(x)+\tilde{\varepsilon}=x+\tilde{\varepsilon}$　　$x \in X[0, 1/2]$

$\tilde{\theta}$，$\tilde{\varepsilon}$は$N(0, \sigma_{\theta}^{2})$, $N(0, \sigma_{\varepsilon}^{2})$に従う確率変数。

ここで，$\tilde{\theta}$と$\tilde{\varepsilon}$は相関がないと仮定する

賃金計画：$p(y, z)=r+sy+tz$

エージェントのリスク回避係数：　$\alpha=-u''/u'>0$

プリンスパルはリスクに対して中立と仮定する。

エージェントの不効用関数：　$c(x)=x^2$

プリンスパルはこれらの仮定のもとに，残余の富$\tilde{y}-(r+s\tilde{y}+t\tilde{z})$を最大にするように，つまり厚生関数$V$を最大にするように願うであろう。

ここでプリンスパルは事前にα, X, c, m等のデータは知っていると仮定すれば，賃金計画に対するエージェントの最適反応$x^*=\phi(r, s, t)$を予測することができる。

これは以下のようである。エージェントの富を表す関数は

(29)　$\tilde{w}(x; r, s, t)=r+s(x+\tilde{\theta})+t(x+\tilde{\varepsilon})-x^2$

で与えられ，対応するエージェントの厚生を表す関数は次式で与えられる。

(30)　$U(x;r,s,t)=r+(s+t)x-x^2-\frac{a}{2}(s^2\sigma_\theta^2+t^2\sigma_\varepsilon^2)$

数式(30)を最大にするx^*はこの式を微分してゼロとおくことで得られることからエージェントの最適な努力は次式になる。

(31)　$x^*=\phi(r,s,t)=\frac{s+t}{2}$

ここで条件制約$U(x^*;r,s,t)\geq m$を考慮にいれると，

(32)　$r\geq m-\frac{s^2}{4}(1-2\alpha\sigma_\theta^2)-\frac{t^2}{4}(1-2\alpha\sigma_\varepsilon^2)-\frac{st}{2}$

となる。プリンスパルの残余の富は

(33)　$$\begin{aligned}\tilde{y}-p(\tilde{y},\tilde{z})&=\tilde{y}-(r+s\tilde{y}+t\tilde{z})=(1-s)\tilde{y}-r-t\tilde{z}\\&=(1-s)(x+\tilde{\theta})-r-t(x+\tilde{\varepsilon})\end{aligned}$$

であるので，式(33)によればプリンスパルの厚生関数は

(34)　$$\begin{aligned}V&=E[\tilde{y}-(r+s\tilde{y}+t\tilde{z})]=(1-s)\frac{s+t}{2}-r-t\frac{s+t}{2}\\&=\frac{s+t}{2}-m+\frac{s^2}{4}(1-2\alpha\sigma_\theta^2)+\frac{t^2}{4}(1-2\alpha\sigma_\varepsilon^2)+\frac{st}{2}-\frac{(s+t)^2}{2}\end{aligned}$$

で与えられる。ここで式(34)を最大にするr,sを求めるためVを変数r,sについて，それぞれ偏微分してゼロとしておくと

(35)　$s^*=\frac{1-t^*}{1+2\alpha\sigma_\theta^2}$　　　$t^*=\frac{1-s^*}{1+2\alpha\sigma_\varepsilon^2}$

を得る。さらに，これらを連立させることで次式を得る。

(36)　$s^*=\frac{1}{1+2\alpha\sigma_\theta^2+\frac{\sigma_\theta^2}{\sigma_\varepsilon^2}}$　　　$t^*=\frac{1}{1+2\alpha\sigma_\varepsilon^2+\frac{\sigma_\varepsilon^2}{\sigma_\theta^2}}$

式(36)から最適な賃金計画が導き出されたが，ここでいくつかの重要な性質について説明しておこう。

まず，式(36)から $t^*>0$ が成立し $t^*\neq 0$ となること，これは多少観察の誤差があってもtを使用した方がプリンスパルにとっては有利なことを示している。そして，誤差の分散σ^2_εが大きいときはtを小さくし，かわりにsを大きくした方がよいことを示している。

また，モニタリング・シグナルが正確に把握できるとすると $\sigma^2_\varepsilon \fallingdotseq 0$ が成立し，結果$s=0, t=1$となる。これは，努力の度合いが最初からわかることを意味し，つまり変数tは労働力の入力を示す変数と考えられる。一方，分け前を表す変数sは，努力の結果に対して支払われると考えられるから，変数sは労働の出力を表すと考えられる。

さて，ここで別の視点からモニタリング・シグナルについて考えてみよう。今，エージェントの努力を表す変数xを，2個の変数x_1, x_2の和であると仮定する。これより，生産される富の総和は$\tilde{y}=f(x, \tilde{\theta})=x_1+x_2+\tilde{\theta}$であり，このときのエージェントの不効用関数は$c(x)=x_1^2+x_2^2$で表される。一般的には$x_1^2+x_2^2\geq\left(\frac{x_1+x_2}{2}\right)^2$が成立し，等号は$x_1=x_2$のときである。すなわち，$x_1=x_2$が成立するとき，エージェントの不効用関数は最小になる。そこでもし，モニタリング・シグナルがx_1の関数であるが，x_2の関数でないとすれば，すなわち，$\tilde{z}=x_1+\tilde{\varepsilon}$とすると，エージェントの反応は$x_1>x_2$と考えられる。これはエージェントの不効用関数が最小値ではなくなり，富の総和$\tilde{y}$を減ずることになる。しかし，$t^*>0$である以上，プリンスパルはモニタリング・シグナルを利用することを好むといえる。

さて，モニタリングを行う装置の導入について，エージェントの反応という点から考えると，結果として富の増加に関係なければエージェントは興味を示さないが，たとえば，制約条件$U\geq m$の条件値mの値に修正（増加）が加わることになれば受け入れるであろう。しかし，モニタリングの装置導入にはいくらかのコストを覚悟しなければならない。ひとつはモニタリングの装置そのものの経費であり，2つめはエージェントの富の制約条件mの増加要求である。3つめはモニタリングによる不効用の増加である。

2．5　スクリーニング

今までは，エージェントの性質，例えばリスクに対する態度α等は既知であることを前提として，主に隠された努力について考察してきた。ここでは，エージェントの性質（リスクに対する態度，能力等）がわからないときの観察の方法について考察する。これにはスクリーニングといわれる，自己選択の方法がある。

隠された性質として，リスクに対する態度を仮定して線形モデルＭ１にあてはめて考察しよう。モニタリング・シグナルを含めると複雑になるのでここでは除外することにする。

まず，仕事を探しているエージェントと労働者を探しているプリンスパルを想定し，賃金契約について考察する。
プリンスパルは式(17)，(22)から

$$(37)\quad s(\alpha)=\frac{1}{1+2\alpha\sigma^2}\qquad r(\alpha,m,s)=m-\frac{s^2}{4}(1-2\alpha\sigma^2)$$

という賃金計画をエージェントに示す。それに対して最適反応をしたエージェントは式(16)より

$$(38)\quad U_\alpha(r,s)=r+\frac{s^2}{4}(1-2\alpha\sigma^2)$$

という富を手に入れる。ただ，この時点ではプリンスパルはエージェントのリスクに対する回避度（態度）αについては未知である。単純化のため$\alpha_0=0$と$\alpha_1=\alpha$の２種類とすれば，この２種類のエージェントを雇った場合，プリンスパルの富はそれぞれ

$$(39)\quad V_0=\frac{1}{4}-m\qquad V_\alpha=\frac{1}{4(1+2\alpha\sigma^2)}-m$$

であり，その差は

$$(40)\quad V_0-V_\alpha=\frac{1}{4}-m-\left(\frac{1}{4(1+2\alpha\sigma^2)}-m\right)=\frac{\alpha\sigma^2}{\partial\qquad\alpha\sigma^2)}$$

である。明らかにリスクに対する態度が$\alpha=0$のエージェントの方が，プリン

スパルに多くの富をもたらす。しかし，これはリスクに対する態度が $\alpha>0$ のエージェントを除外してリスクに対する態度が $\alpha=0$ のエージェントのみを雇用することを意味するのではない。リスクに対する態度が $\alpha=0$ のエージェントのみが存在するといったプリンスパルにとって都合のいい現実はないはずである。そこで，何らかの方法でエージェントのリスクに対する態度を見分ける方法を考える。そのような方法は，なるべくコストがかからず，賃金契約を通じて自動的にリスクに対する態度が判明するような方法（自己選択とよぶ）が理想である。今，エージェントのリスクに対する態度を，$\alpha_0=0$ と $\alpha_1=\alpha$ の2種類とする。もちろん，プリンスパルは2種類のエージェントがいることは知っているが，誰かはわからないとする。それを幾つかの賃金契約条件の中で，エージェントに自由に選択（自己選択）させることによって，彼がどのタイプのエージェントなのかを知ろうというのである。これをスクリーニングとよぶ。

(i) 賃金契約Ⅰ

プリンスパルは次の2種類の賃金契約をエージェントに提案すると仮定する。

契約0 ：リスクに対する態度が $\alpha=0$ のエージェントが対象

分け前： $s_0=s(0)=1$

謝礼： $r_0=r(0,m,s_0)=m-\dfrac{1}{4}$

契約1 :リスクに対する態度が $\alpha>0$ のエージェントが対象

分け前； $s_1=s(\alpha)=\dfrac{1}{1+2\alpha\sigma^2}$

謝礼； $r_1=r(\alpha,m,s_1)=m-\dfrac{s_1^2}{4}(1-2\alpha\sigma^2)$

この契約が自己選択の装置としてうまく機能するか検討する。エージェントの立場から考察してみる。まず，リスクに対する態度が異なるエージェントがこの2種類の契約を自分のタイプに関係なく，それぞれ結んだとして，その富を計算してみよう。

a）リスクに対する態度が$\alpha>0$のエージェントの富は式(39)より

契約0を結んだ場合：　$U_\alpha(r_0, s_0)=m-\frac{1}{4}+\frac{1}{4}(1-2\alpha\sigma^2)=m-\frac{\alpha\sigma^2}{2}$

契約1を結んだ場合：　$U_\alpha(r_1, s_1)=m$

であるので$U_\alpha(r_1, s_1)>U_\alpha(r_0, s_0)$が成り立つ。

b）リスクに対する態度が$\alpha=0$のエージェントの富は式(39)より

契約0を結んだ場合：　$U_0(r_0, s_0)=m-\frac{1}{4}+\frac{1}{4}=m$

契約1を結んだ場合：　$U_0(r_1, s_1)=m+\frac{s_1^2}{4}(1-2\alpha\sigma^2)+\frac{s_1^2}{4}$

$$=m+2\alpha\sigma^2\left(\frac{s_1^2}{2}\right)=m+\frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2}$$

であるので$U_0(r_1, s_1)>U_0(r_0, s_0)$が成り立つ。

a），b）を比較してわかることは，リスクに対する態度が異なる2種類のエージェントを想定したが，いずれのタイプも契約0より，契約1を交わした方がエージェントの富が大きくなることがわかる。すなわち，この契約の設定のしかたでは自己選択機能は働いていないことになり，プリンスパルはエージェントのタイプの違いを見分けることはできない。さらに契約の工夫が必要であろう。

(ii)　賃金契約Ⅱ

式(40)によるとリスクに対する態度が$\alpha=0$のエージェントに対しては条件制約がmではなく

(C)　$m_0=m+\frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2}$

を必要とすることがわかる。

また，リスクに対する態度が$\alpha>0$のエージェントでは条件制約はmのままである。そこで契約0での謝礼部分rのmをm_0にした修正契約案，契約2を考える。

契約2　：リスクに対する態度が$\alpha=0$のエージェントが対象

分け前；　$s_2=s_0=1$

謝礼；　$r_2=r(0, m_0, s_2)=m-\dfrac{1}{4}+\dfrac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2}$

ここで，プリンスパルは契約1と契約2の2種類の契約をエージェントに対して提供すると仮定する。このときリスクに対する態度が異なる2種類のエージェントはどちらの契約を好むか，その富を計算することで比較してみよう。

a）リスクに対する態度が$\alpha>0$のエージェントの富は式(39)より

契約2を結んだ場合：

$$U_\alpha(r_2, s_2)=m-\frac{1}{4}+\frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2}+\frac{1}{4}-\frac{\alpha\sigma^2}{2}$$
$$=m+\frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2}-\frac{\alpha\sigma^2}{2}$$

契約1を結んだ場合：　$U_\alpha(r_1, s_1)=m$

であるので$U_\alpha(r_1, s_1)>U_\alpha(r_2, s_2)$が成り立つ。

b）リスクに対する態度が$\alpha=0$のエージェントの富は式(39)より

契約2を結んだ場合：

$$U_0(r_2, s_2)=m-\frac{1}{4}+\frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2}+\frac{1}{4}$$
$$=m+\frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2}$$

契約1を結んだ場合：

$$U_0(r_1, s_1)=m-\frac{s_1^2}{4}(1-2\alpha\sigma^2)+\frac{s_1^2}{4}$$
$$=m+2\alpha\sigma^2\left(\frac{s_1^2}{2}\right)=m+\frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2}$$

であるので$U_0(r_2, s_2)=U_0(r_1, s_1)$が成り立つ。

つまり，このタイプのエージェントにとっては，契約2も契約1も期待される富という点では差はない。それぞれの契約の謝礼部分rを比較すると

$$r_1=r(0, m, s_1)=m-\frac{1}{4}$$

$$r_2 = r(0, m_0, s_2) = m - \frac{1}{4} + \frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2}$$

であるので契約2の方が若干$\frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2}$だけ謝礼部分が多く設定されていることになる。よって，リスクに対する態度が$\alpha=0$なエージェントは契約1より契約2を選ぶ誘因がある。

a)，b）の結果から，契約を工夫することによってリスクに対する態度が$\alpha=0$であるエージェントは契約2を選択し，リスクに対する態度が$\alpha>0$であるエージェントは契約1を選択するといった，自らがリスクに対する態度が明らかになるように契約を選択（自己選択）することになる。

さて，契約の設定のしかたによってはスクリーニング効果でエージェントが自らのリスクに対する態度を明らかにする誘因があることはわかったが，プリンスパルにとってこの装置の導入は好ましいものなのだろうか。今の例で検討してみよう。賃金契約Ⅰではエージェントのリスクに対する態度に関係なく，エージェントは契約1を好むことがわかった。また，賃金契約Ⅱではリスクに対する態度が$\alpha=0$なエージェントは契約2を，リスクに対する態度が$\alpha>0$なエージェントは契約1を好むことがわかった。その富の差を比較してみよう。式(40)，(41)より

$$\{V_0 - (m_0 - m)\} - V_\alpha = V_0 - V_\alpha - m_0 - m$$
$$= \frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2} - m - \frac{\alpha\sigma^2}{2(1+2\alpha\sigma^2)^2} + m = \left(\frac{\alpha\sigma^2}{1+2\alpha\sigma^2}\right)^2 > 0$$

つまり，賃金契約Ⅱの方が若干，富は多い。よってスクリーニングの装置設定の誘因をプリンスパルは持っていることになる。

このような例は現実社会にも多く見られる。例えばスポーツクラブでは会員に何種類かの契約を設定して，希望者に自由に選択させることによってお互いの利益（会員にとっては一番得な条件，クラブ経営者にとっては会員数の増加）につながる。ＪＲであれば利用頻度の高い人には定期や回数券の設定をしたりして，利用頻度の低い人と自由に選択できるようにしている。また，最近では

携帯電話やインターネットの利用で細かな料金設定をして，利用者を増やそうとする電話会社やプロバイダーが宣伝している。つまり，契約の存在するところにエージェンシィ理論が関係してくることになる。ここでは1対1の場合について，契約も2種類と単純化して考察してきたが，契約を何種類も設定してプリンスパルとエージェントの双方にとって最適な契約は何かを明確にすることが今後必要となる。

3．エージェンシィ理論の分権的システムへの応用

ここまで，エージェンシィ理論について単純化のため，主にプリンスパルとエージェントが1対1の場合について，互いの最適化の行動と契約について考察してきた。言い換えれば，図1に示したように，上位のものと下位のものとの間の情報が非対称の場合の最適な関係を考察してきた。しかし，現実社会の組織（例えば企業）は単純ではなく，上部構造から下部構造にいたるまで複雑な中間構造を持っているのが普通である。論文［1］［2］［3］においても大規模複雑なシステムについて考察していた。しかし，情報の非対称性についての考慮はなされていない。そこで，図2に示すモデルを想定してエージェンシィ理論による分析を行う。

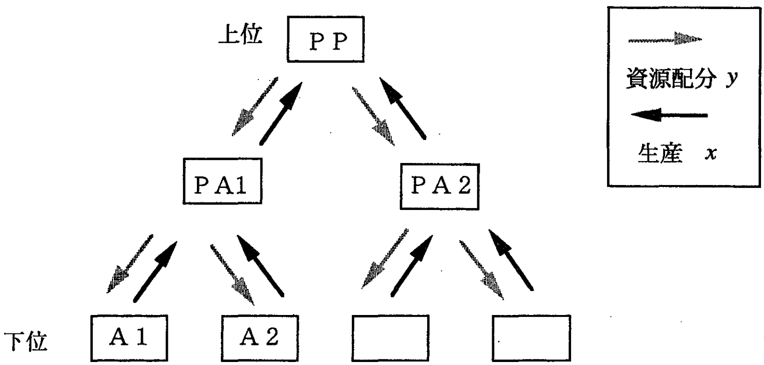

図2　複数のプリンスパルとエージェントの例

このモデルでは上位企業ＰＰがその下請け会社ＰＡ１，ＰＡ２…等に資源yを配分し，その見返りとして生産xを得るものとする。同様に上位企業ＰＡ１，ＰＡ２…等が下請け会社Ａ１，Ａ２…等に資源y（たとえば下請企業との契約金）を配分し，その見返りとして生産xを得るものとする。つまり，大規模なシステムも部分的に見た場合，ＰＰとＰＡ１の関係やＰＡ１とＡ１の関係はプリンスパルとエージェントの関係とみなすことができる。また，現実にはＰＡ１，ＰＡ２等の間の情報のやり取りも考えられるが，単純化のためここではこのような情報交換は無視する。

(i)　１対１の場合

最初にＰＡ１（親企業と呼ぶ）とＡ１（下請企業と呼ぶ）の関係について考察を行う。まず，基本的な関数を前述のエージェンシィ理論に合わせて生産xと資源配分y等を使って表現しよう。親企業の利益の総和を$\tilde{z}$で表し，次のように定義する。$\tilde{z}=\varphi(x, \tilde{\theta})$すなわち$\tilde{z}$は，下請企業の生産$x$と外的な要因（リスク）$\tilde{\theta}$（たとえば「親企業が生産している製品の需要変動など」）で決定され，$\tilde{\theta}$は正規分布$N(0, \sigma^2)$に従うものとする。

yは資源配分を示すが$y=y(\tilde{z})=y(\varphi(x, \tilde{\theta}))$が成立し，その結果$y$は利益$\tilde{z}$の値で決まり，つまり$x, \tilde{\theta}$の関数となる。

下請企業の生産費用を$c(x)$で表し下請企業の利益Uは資源配分から生産費用を引いたものであるとする。すなわち

$U(x, y)=y(\varphi(x, \tilde{\theta}))-c(x)$

親企業の実質の利益Vは利益の総和から資源配分を引いたもので$\tilde{z}-y(\tilde{z})$で表す。すなわち

$V(x, y)=\tilde{z}-y(\tilde{z})=\varphi(x, \tilde{\theta})-y(\varphi(x, \tilde{\theta}))$

さてここで，親企業と，下請企業が情報交換をする状況，つまり，親企業が下請企業の行動を観察できるときは情報に対称性があり，その最適化問題は次のように一般化できる。

下請企業は利益関数$U(x, y)$を最大にするように生産する。

すなわち $U(x^*, y) = \max \{U(x, y) \mid x \in X\}$

同様に親企業は利益関数$V(x, y)$を最大にするように資源配分する。

すなわち $V(x, y^*) = \max \{V(x, y) \mid y \in Y\}$

親企業と下請企業の利益関数を最大にする組み合わせ(x^*, y^*)が最適解となる。

次に，親企業と下請企業が情報交換をしない状況，つまり，親企業が下請企業の行動を観察できないときは情報に非対称性があり，その最適化問題は次のように一般化できる。

もちろん，親企業と下請企業はそれぞれ利益関数を最大にするように行動するのであるが，エージェンシィ理論によれば親企業は下請企業の生産xを観察できない。つまり生産xは資源配分yでしか制御できないのである。また，外因性の値mによっても制約を受ける。これは下請企業の利益関数が値m以上でなければ下請企業は他にもっといい条件を提示する親企業と契約するからである。これらの制約条件は次式で表される。

$x = \phi(y)$； 生産xは資源配分yできまる関数となる。

$U(x, y) \geq m$；下請企業の利益関数がある値m以上のときのみ契約は成立する。

つまりこの場合の最適化問題は

$$U(x^*_m, y) = \max \{U(x, y) \mid x = \phi(y), x \in X\}$$

$$V(x, y^*_m) = \max \{V(x, y) \mid x = \phi(y), U(x, y) \geq m, y \in Y\}$$

となり，最適解は(x^*_m, y^*_m)の組み合わせである。

これらを数理計画法の一般的な表現に直すと

情報が対称の時

親企業	下請企業
Max $V(x, y)$	*Max* $U(x, y)$
subject to $g_p(x, y) \leq 0$	*subject to* $g_a(x, y) \leq 0$

情報が非対称の時

親企業	下請企業
Max $V(x, y)$	*Max* $U(x, y)$

$$subject\ to\ \ g_p(x,\ y) \leq 0 \qquad\qquad subject\ to\ \ g_a(x,\ y) \leq 0$$
$$U(x,\ y) \geq m \qquad\qquad x = \phi(y)$$

というようにまとめられる。ここで g_p と g_a はそれぞれ親企業と下請企業の独自の制約条件である。さらに $x=\phi(y)$ というように x が y の関数になることを考慮すると，結局

$U(x,\ y) = U(\phi(y),\ y)$, $V(x,\ y) = V(\phi(y),\ y)$, $U(\phi(y),\ y) \geq m$

となり，すべての関数がyの関数になるので，最適化問題は次のようになる。

親企業

$Max\ V(y)$

$subject\ to\ \ g_p(y) \leq 0$

$U(y) \geq m$

下請企業

$Max\ U(y)$

$subject\ to\ \ g_a(y) \leq 0$

(ii) 1対nの場合

図2においてPA1（親企業：プリンスパル）とA1，…，An（複数の下請企業：エージェント）の場合に拡張して考察を行う。親企業から各下請企業への資源配分を y_i，各下請企業の生産をx_iとすると，親企業が各下請企業から得る利益の総和 $\tilde{z}_i$ は $\tilde{z}_i = \varphi_i(x_i,\ \tilde{\theta})$である。つまり，$\tilde{z}_i$ は生産 x_i と外的な要因 $\tilde{\theta}$ の関数で表される。また，資源配分 y_i は $\tilde{z}_i$ で決定され，$y_i = y_i(\tilde{z}_i) = y_i(\varphi_i(x_i,\ \tilde{\theta}))$となる。各下請企業の生産費用を $c(x_i)$ で表すと各下請企業の利益関数 U_iは，すなわち $U_i = U_i(x_i,\ y_i) = y_i(\varphi_i(x_i,\ \tilde{\theta})) - c(x_i)$

親企業が各下請企業から得る実質の利益 V_i は $\tilde{z}_i$ と y_i の差で表される。すなわち

$$V_i = V_i(x_i,\ y_i) = \tilde{z} - y_i(\tilde{z}) = \varphi_i(x_i,\ \tilde{\theta}) - y_i(\varphi_i(x_i,\ \tilde{\theta}_i))$$

よって，親企業が各下請企業から得る実質の利益全体Vはそれらの総和となる。すなわち

$$V(\boldsymbol{x},\ \boldsymbol{y}) = \sum_i V_i(x_i,\ y_i) = \sum_i(\tilde{z}_i - y_i(\tilde{z})) = \sum_i(\varphi_i(x_i,\ \tilde{\theta}_i) - y_i(\varphi_i(x_i,\ \tilde{\theta})))$$

ただし，$\boldsymbol{x} = (x_1,\ \cdots,\ x_n)$, $\boldsymbol{y} = (y_1,\ \cdots,\ y_n)$である。

さてここで，親企業と，各下請企業が情報交換をする状況，つまり，親企業が各下請企業の行動を観察できるときは情報に対称性があり次のように最適化問題は一般化できる。

各下請企業は利益関数 $U_i(x_i, y_i)$ を最大にするように生産する。

すなわち　　$U_i(x_i^*, y_i) = \max\{U_i(x_i, y_i) \mid x_i \in X_i\}$

ここで　$\boldsymbol{x}^* = (x_1^*, \cdots\cdot, x_n^*)$ とおく。

同様に親企業は利益関数 $V(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y})$ を最大にするように資源配分する。

すなわち　　$V(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}^*) = \max\{\sum_i V_i(x_i, y_i) \mid y_i \in Y_i\}$

ここで　$\boldsymbol{y}^* = (y_1^*, \cdots\cdot, y_n^*)$ とおく。

親企業と各下請企業の利益関数を最大にする組み合わせ $(\boldsymbol{x}^*, \boldsymbol{y}^*)$ が最適解となる。

次に，親企業と各下請企業が情報交換をしない状況，つまり，親企業が各下請企業の行動を観察できないときは情報に非対称性があり次のように最適化問題は一般化できる。

もちろん，親企業と各下請企業はそれぞれの利益関数を最大にするように行動するのであるが，エージェンシィ理論によれば親企業は各下請企業の生産 x_i を観察できない。つまり生産 x_i は資源配分 y_i でしか制御できないのである。また，外因性の値 m_i によっても制約を受ける。これは各下請企業の利益関数が値 m_i 以上でなければ各下請企業は他にもっといい条件を提示する親企業と契約するからである。これらの制約条件は次式で表される。

$x_i = \phi(y_i)$　　：生産 x_i は資源配分 y_i できまる関数となる。

$U_i(x_i, y_i) \geq m_i$　：各下請企業の利益関数がある値 m_i 以上のときのみ契約は成立する。

つまりこの場合の最適化問題は

$U_i(x_i^*, y_i) = \max\{U_i(x_i, y_i) \mid x_i = \phi(y_i), x_i \in X_i\}$

$V(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y}_m^*) = \max\{\sum_i V_i(x_i, y_i) \mid x_i = \phi(y_i), U_i(x_i, y_i) \geq m_i, y_i \in Y_i\}$

ここで　$x^*_m=(x^*_1, \cdots\cdots, x^*_n)$, $y^*_m=(y^*_1, \cdots\cdots, y^*_n)$とおけば，
最適解は(x^*_m, y^*_m)の組み合わせである。

これらを数理計画法の一般的な表現に直すと

情報が対称の時　　$i\ (i=1, 2, \cdots, n)$

親企業

$$Max\ V(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y})=\sum_i V_i(x_i, y_i)$$
$$subject\ to\ \ g_p(x_i, y_i)\leq 0$$

各下請企業

$$Max\ U_i(x_i, y_i)$$
$$subject\ to\ \ g_a(x_i, y_i)\leq 0$$

情報が非対称の時　　$i\ (i=1, 2, \cdots, n)$

親企業

$$Max\ V(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{y})=\sum_i V_i(x_i, y_i)$$
$$subject\ to\ \ g_p(x_i, y_i)\leq 0$$
$$U_i(x_i, y_i)\geq m_i$$

各下請企業

$$Max\ U_i(x_i, y_i)$$
$$subject\ to\ \ g_a(x_i, y_i)\leq 0$$
$$x_i=\phi(y_i)$$

というようにまとめられる。ここでg_pとg_aはそれぞれ親企業と各下請企業の独自の制約条件である。結局，制約条件が不等式で表される数理計画法の問題に一般化できることがわかるが，その考察は今後の課題としよう。

4．結　　言

大規模複雑な分権的システムの解析のために情報の非対称性に注目し，エージェンシィ理論を適用した結果，以下の結論を得た。

(1)　プリンスパルとエージェントが1対1の場合についてプリンスパルが提示する賃金計画p，観察できないエージェントの努力xについての考察をした。

(2)　主に線形モデルを想定し，エージェンシィの努力はx賃金計画pで決定されること，賃金計画は固定給部分と歩合給部分を適切に設定することが重要であることを確認した。

(3) プリンスパルの側からは，エージェントの努力 x を誘引するためには多少のコスト（エージェンシィコスト）が必要であることを確認した。

(4) 別の線形モデルを想定し，エージェントの側からはたとえ多少効率が落ちても，何らかの信号（モニタリング・シグナル）を発する誘因があること，またプリンスパルもこれを好むことを確認した。

(5) さらにプリンスパルの側から見るとエージェントのタイプ（ここではリスクに対する態度）はその厚生の増加のためには極めて重要であり，コストをなるべく掛けずにエージェントのタイプを自らが明らかにする賃金契約の方法（スクリーニング）を考察した。

(6) 大規模複雑な分権的システムにエージェンシィ理論を応用するため，賃金計画 p の代わりに資源 y とし，努力 x の代わりに生産 x とした。まず，プリンスパルとエージェントが１対１の場合において，情報の対称，非対称の場合を数理計画法の問題として一般化した。

(7) 次にプリンスパルとエージェントが１対ｎの場合において，情報の対称，非対称の場合を数理計画法の問題として一般化した。

参 考 文 献

[1] 奥田和重：“分権的システム－分割原理と非協力ゲームによるアプローチ,” 商学討究, Vol.38, No.2, pp53-76, 1987

[2] 奥田和重：“大規模複雑なシステムの最適化理論と均衡化理論,” 商学討究, Vol.47, No.4, pp73-90, 1997

[3] 奥田和重：分権的生産システムの最適化に関する研究, 日本機械学会論文集, Vol.65, No.633.C, pp382-387, 1999

[4] 例えば Gunter Bamberg and Klaus Spremann : Agency Theory, Infomation, and Incentives, 1987, Springer-Verlag

[5] 井堀利宏：入門ミクロ経済学, pp.332-335, 1996, 新世社

[6] 例えば瀬尾芙巳子：多目的評価と意志決定, pp.108-113, 1984, 日本評論社

[7] 例えば Paul Milgrom and John Roberts ：組織の経済学, pp.230-235, 1997, ＮＴＴ出版

[8] Stephen A. Ross (1973) : The Economic Theory of Agency : The Principal's Problem, American Economic Association, Vol.63 No.2, pp134-139.

[9] Roger B. Myerson (1982) : Optimal Coordination Mechanisms in Generalized Principal-Agent Problems, Journal of Mathematical Economics Vol.10, pp67-81, North-Holland Publishing Company

[10] Anil Arya and John C. Fellingham and Richard A. Young (1993) : The Effects of Risk Aversion on Production Decisions in Decentralized Organizations. Management Science, Vol.39, No.7, July, pp794-805.

[11] By Edward Szczerbicki (1996) ; External Environment of An Autonomous Manufacturing Agent : Dynamics and Representation, International Journal of Systems Science, Vol.27, No.12, pp1211-1218

[12] Gilad Zlotkin and Jeffrey S. Rosenschein (1991) : Cooperation and Conflict Resolution via Negotiation Among Autonomous Agents in Noncooperative Domains. IEEE Transaction on systems, Man and Cybernetics, Vol.21, No.6, pp1317-1324.

[13] Hideshi Itoh (1991) : Incentives To Help In Multi-Agent Situation. Econometrica, Vol.59, No.3, pp611-636.

[14] Edward Szczerbicki (1993) Rule-based Integration of Autonomous Multi-agent Systems. INT. J. Systems SCI, Vol.24, No.11, pp2117-2134.

[15] James C. Moore, H. Raghav Rao, Member, IEEE, and Andrew B. Whinston (1994) : Multi-Agent Resource Allocation : An Incomplete Information Perspective, IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, Vol.24, No.8, pp1208-1219.

[16] Tae Young Paik and Pradyot K. Sen (1995) : Project Evaluation and Control in Decentralized Firms : Is Capital Rationing Always Optimal ? Management Science. Vol.41, No.8, pp1404-1414