

供給側オプション価格とその計測法

浅 野 耕 太

Kota ASANO : Supply-Side Option Price and Its Measurement The range of food, environmental, and agricultural policy problems includes many important issues where uncertainty plays central role. In this paper we investigate a theoretical framework for evaluating welfare changes in a world with uncertainty. Briefly reviewing the development of option value and option price to give the reader a feeling for the evolution of thinking that has occurred, we investigate two theoretical properties of the supply-side option value and price, which are exact welfare measures under supply uncertainty. One property is the sign-preserving property of supply-side option price to the change of expected utility. The other property is the determinant property of the sign of supply-side option value. In the course of showing the second property we can deal without very restrictive and unreasonable assumptions. Its measurement are also explained, focusing on the use of the hedonic technique. The paper concludes with a discussion of promising applications in natural resource economics and food and agricultural policy analysis.

第1節 はじめに

近年、不確実性下の状況のもとで資源それ自身あるいはその変化の価値を表すオプション価値やオプション価格を実証的に計測する研究、新保(1995)、矢部(1995)が発表されている。これらの研究は従来見過ごされてきた資源の価値を拾い上げ、定量的に明らかにするという意味で地域農林業資源の管理に関わる研究において重要な貢献をなすものと考えられる。本稿は、この不確実性下の厚生測度であるオプション価値、オプション価格の発展を概観し、そこで生まれてきた供給側オプション価格や供給側オプション価値に特に注目し、その性質を整理しながら、今後の研究の進展に資することを目的とするものである。

第2節 オプション価値とオプション価格の学説史的展開

オプション価値 (Option Value)は、Weisbrod (1964)によって学会に始めてその名を顕した。しかし、それにさかのぼること三四半世紀前、限界革命の旗手として有名なイギリスの経済学者Stanley Jevonsの著書の中にすでに類似の概念が登場していることも知られている (Krisström (1990))。

Weisbrodは、例えば国立公園を訪れるかどうかかわからない人々は、その公園を利用できるように期待消費者余剰よりも大きな金額を進んで支払うであろうと主張している。

その理由として、将来いつかその財を購入し（公園を訪れ）ようと思っているが、しかし実際は決して購入しない（訪れない）人々の存在を考えればよい。その場合においても、もしこれらの消費者が「経済人」として振舞うのであるなら、彼らは将来その財を消費するオプションを手に入れるためにいくらかを支払うであろう。この「オプション価値」はその公園を閉鎖して、他の目的に利用するかどうかの決定に関して考慮すべきものである。(Weisbrod (1964) p.472)

この論文はその後大きな反響を巻き起こし、いくつかの論争を引き起こした。学説史上では、不確実性下での消費者余剰の自然な展開である期待消費者余剰では捉え切れない便益があることを示した点でWeisbrodによるオプション価値の意義は大きかったといえよう。それ以降、より正確にその概念を定式化し、その性質を考察し、多方面に発展させる努力が始まった。まず、Cicchetti and Freeman (1971)によって、不確実性化で実現するあらゆる状況を考慮した上で確定的に（事前に）その財を確保する権利を手に入れるために支払ってもよい最大額として定義されるオプション価格 (Option Price) と期待消費者余剰の差としてオプション価値の厳密な定義が行われ、リスク回避的な消費者の場合このオプション価値は正値をとることが証明されたかに思われたが、すぐに証明の誤りがSchmalensee (1972)によって指摘され、その符号は一般に不定であることが明らかになった。この段階でオプション価値は政策的な意義を喪失したことになる。しかし、この状況はそう長くは続かず、1983年にアメリカ合衆国の環境保護局 (Environmental Protection Agency) が公共事業実施の要件である費用便益分析の便益の中にオプション価値を公式にとりあげたことから、環境保護局主催でオプション価値の実証的な計測や一層の理論的な研究が進められることとなった。このことはひとえに、先に引用したWeisbrodのアナロジーがあまりにも見事だったことによるものかもしれない。

一方、もともとのWeisbrodの発想を敷衍することから、供給側オプション価値、供給側オプション価格の概念も生まれてきた¹。従来、オプション価値は経済主体の将来の需要の不確実性に起因する価値として動機づけられてきたが、これを財の供給の不確実性に起因するものとしてあらためて定義し、その供給側オプション価値が正であることを証明したのが、Bishop (1982)であった。その後その結果は理論的にあまり頑健ではないこと、すなわち状態の数が二つで、変化後に不確実性が完全に取り除かれるケースに限定されることがFreeman (1985), Plummer (1986), Johansson (1988), Graham-Tomasi and Myers (1990)等によって示された。この概念の応用例としては、個体数の変動の予

¹ これ以外に通時的設定で不可逆的選択を行う場合に問題となる準オプション価値がある。ここで取り扱う設定とはかなり異なるのでこれについては論じない。手がかりとして、ヨハンソン (1994) を挙げておきたい。

測が難しい野生動物ハイイログマとオオツノヒツジを対象に狩猟許可証の抽選券を評価したBrookshire, Eubanks, and Randall (1983)がある。なお、新保 (1995)の第2節で、説明されたオプション価値の概念は、この供給側オプション価値である。また、矢部 (1995)の計測の基礎となったのはこの供給側オプション価格であると思われる。

第3節 供給側オプション価格・価値の性質

本節以降では第5節で紹介される生物資源経済学や政策分析での適用可能性において有意義と考えられる供給側オプション価格、オプション価値に議論を集中する。まず本節では供給側オプション価格が政策導入を評価する際に、基礎となる効用とおなじ符号を持つかどうか、さらに供給側オプション価値が実際の適用に必要な範囲で符号を定めることができるかどうかを検討する。

不確実性下におかれた経済主体の行動モデルとして、期待効用最大化を想定することは標準的なものとなっている²。供給側オプション価格がこの期待効用の変化と同じ符号を持つことはJohansson (1988)を次のように修正して確かめることができる。ある代表的個人の存在を仮定する³。この個人の間接効用関数を $V(p, y)$ 、ここで p はこの個人が享受している農林業の環境便益の水準、 y を(非確率的な)所得とする。いま p はある分布を持った確率変数とし、期待効用は有限、すなわち $EV(p, y) < \infty$ とする。ある環境農林業政策の下で確率変数 p の分布を退化させることができるとしよう。この時の水準を $\underline{p}$ とする。このとき $\forall p \leq \underline{p}$ である必要はない。ここでこの政策による期待効用の変

² 期待効用最大化仮説の意義とその問題点については酒井 (1982)を参照。

³ 一般化して代表的個人の仮定をはずすことには以下に述べるいくつかの問題がある。まず、異なる経済主体からなる経済の厚生変化の方向を見極めるための可能な展開方向はふたつあるとされる。一つは、潜在的パレート基準を判断材料にする方向と、もう一つは社会的厚生関数を想定しそれを尺度として使う方向である。前者の判断基準は補償原理という名前でも呼ばれている。新厚生経済学は、効用の個人間比較を前提とせずに効率性のみによって社会的順序付けを目指したものであるが、ほとんど無数に存在するパレート最適な資源配分から一歩進むために、仮想的な補償を前提にした新たな順序付けの方法を考案した。これが補償原理である。具体的には、補償変分または等価変分の主体間の単純和により便益を導出するものである。しかしこの方向には、奥野・鈴木(1988)の第34章に紹介されているソフトスキーのパラドックスやボードウェイのパラドックスなどに示されるような限界がある。但し、現実の費用便益分析においては、利用可能な判断基準としてその地位を確立しているのも現実である。一方、後者の方向には、個人間での社会的重みづけをどのように決定するかという大きな問題がある。しかし、それさえ決定してしまえば、後は機械的に厚生変化を評価できる点から費用便益分析においてもっと用いられてもよい方向であると考えられる。この社会的重みづけに際しては、効率性と公平性の両面が陰陽的に評価に入っていることが弱点であり利点でもある。

化は、 $\Delta U = V(p, y) - EV(p, y)$ である。つぎにこの状況においてオプション価格は、環境便益水準が変動する場合を変動しない場合と無差別にするために状況独立的に受け取る額と定義されるので、 $V(p, y) = EV(p, y + OP)$ となる⁴。この式を前式に代入すると、

$\Delta U = EV(p, y + OP) - EV(p, y)$ となり、オプション価格が期待効用の変化と同じ符号をとることが示された。このことによって、オプション価値が厚生変化の適切な測度として満たすべき性質の一つである効用の変化に対する符号保存性を持つことが確かめられた。これ以外に厚生変化測度として満たすべき特性に計測可能性がある。通常これは、適切な質問を提示することで CVM によって計測可能とされている。しかし、状況によっては CVM の利用が難しかったり、場合によっては、その信頼性が重要となる場合、代替的な手法、特に間接法による評価も必要となる。これについては第4節で論じる。

従来、確実な世界とのアナロジーでオプション価格の一部である消費者余剰が計測されてきた経緯があり、これがオプション価格の過少あるいは過大評価をもたらすことになるかどうかという点から、オプション価格と期待消費者余剰の差として定義されるオプション価値の符号問題が議論されてきた。またすでに紹介したように、オプション価値の持つ経済学的意味からも、理論的興味がいだかれてきたこともオプション価値の符号問題を多くの論文が取り扱ってきた理由のひとつであろう。

その供給側オプション価値の符号に関しては、次のような結果が得られる。個人がリスク回避的である場合に、変化後に確率分布 P が退化せずに有限の期待効用を持つ確率分布 $\tilde{P}$ に変化した場合においても、供給側オプション価値の符号は一意に定まる。個人がリスク回避的であるとき、間接効用関数 V は（外生的な）所得 y に関して凹関数となる。今、事後的にある環境便益水準 q が実現したものとすると。この変化にする等価変分を e_q とすると、 $V(q, y + e_q) = EV(p', y)$ が成立する。なお、 e_q は確率変数 q の関数となるので、これも確率変数である。 $Ee_q < \infty$, $EV(q, y + e_q) < \infty$ を仮定する。これに、ジャンセンの不等式を利用すると⁵、

$$EV(p, y + Ee_q) \geq E_q E_{e_q} V(q, y + e_q) = EV(p', y) = EV(p, y + OP)$$

すなわち、 $Ee_q - OP \geq 0$ 。この場合、等価変分型の供給側オプション価値は必ず負になる。同様に、補償変分型の供給型オプション価値は必ず正になる。この結果は Graham-Tomasi and Myers (1990) の定理 1 を状態の数が無限のケースに拡張したものとなっている

⁴ これは等価変分形のオプション価格であるが、補償変分形のオプション価値を定義することもできる。そして、同様の結果が証明できる。

⁵ ジャンセンの不等式 (Jensen's inequality) とは、凹関数 $g: \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$ と確率変数 X に対して $EX, Eg(X)$ が存在するならば、 $g(X) \geq E(g(X))$ が成立することである。証明は確率論や数理統計学の教科書、例えば、野田・宮岡 (1992) pp.62-63 を参照。

る。さらに変化後、供給不確実性が完全になくなるという条件も不必要になっている。ちなみに、条件付き期待値でもジャンセンの不等式は成立するので⁶、この結果をさらに実証的に使いやすい形に拡張できる可能性がある。

このように、供給側オプション価値の符号が一意に定まる場合、期待消費者余剰による政策の便益評価が過大評価あるいは過小評価をもたらすことになることを明確に定めることができる⁷。また、いずれにしてもオプション価値の符号が定まることによって、これを基礎にする費用便益分析において、純便益基準を用いる限り、便益評価が過大になっている場合には、それ以上の費用がかかる場合その政策は実施しないほうがよいし、一方、便益が過少になっている場合には、それが費用を上回っている限りその政策は実施したほうがよいということになる。この場合でも、決定不能な領域、すなわち費用が過小評価した便益より大きく、かつ過大評価された便益より小さい場合、があることに注意を促したい。

最後に、一般にオプション価値の計測がオプション価格の推定における計量モデルの特定化の過誤の発見に役立つという見解もLarson and Flacco (1992)によって出されており、実証的見地から、これについてはモデル特定化のための診断検定を積み重ねていくなどして、具体的に検討を進める必要があると考えられる。

第4節 供給側オプション価格の計測

通常、オプション価格は主体に直接評価額を尋ねるCVMの諸技法によって評価が行われるのが通例であった。さらにそれにトラベルコスト法などを用いて期待消費者余剰を計測し、オプション価値は評価されてきた。ここで用いられるCVMについてであるが、天気予報の降水確率に対する人々の理解の違いに如実に表れているように、確率概念というものは通常の数値の概念よりも人工的で、十分な直感性を獲得するまでにこなれたものではない⁸。それゆえに、その説明を簡潔に行うことは困難を極める。それゆえに、CVMにおいては通常のバイアス問題以外に、確率の変化を被験者に説明することに配慮が必要である。

⁶ 条件付き期待値によるジャンセンの不等式とは、凹関数 $g: \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$ と確率変数 X に対して $EX, Eg(X)$ が存在するならば、任意のボレル体 $\mathcal{I}$ に関して $g(E(X|\mathcal{I})) \geq E(g(X)|\mathcal{I})$ が確率1で成立することである。証明は、例えば、Chung (1974) pp.302-303を参照。

⁷ オプション価値が、オプション価格と期待消費者余剰の差で定義されることを思い出せば、(補償変分型の)期待消費者余剰はオプション価値の下限として用いることができ、(等価変分型の)期待消費者余剰はオプション価値の上限として用いることができる。これを用いて、費用便益分析の計算を簡便化することができる。

⁸ 京都大学総合人間学部の河野敬雄教授のご指摘による。

オプション価格それをもとにするオプション価値は、CVMのような直接法のみならず、ヘドニック法のような市場データをもとにした間接法でも計測可能であることが、Smith (1985) や Larson and Flacco (1992) によって示されている⁹。ここでは、ヘドニック価格分析を用いてその計測法を示す。

ある財を構成する複数の観測可能な属性の組み合わせから直接的に財のサービスが特徴づけることができる場合、その財の価格とその財に含まれている属性の数量との組み合わせを示す関数関係がヘドニック価格関数である。これを計量経済学的に推定し、その背後にある市場均衡のモデルを用いて、その財の消費者の属性に対する選好を明らかにするのがヘドニック価格分析である。この財の均衡モデルにより、ヘドニック価格関数の属性に関する偏微分から、属性と所得の限界代替率が計算される。この限界代替率を属性の数量とその価格の関係として計量経済学的に捉えたものは、属性の（逆）需要関数となるが、それは所得を一定に保つマーシャルの需要関数であり、効用を一定に保つヒックスの需要曲線ではない。マーシャルの需要関数は、それを積分することによって消費者余剰を導くことができるが、これは所得効果がある限り、厚生変化の適切な貨幣測度をととはならない。経路独立性が満たされていないのである。一方、ヒックスの需要曲線はこの問題は生じない。

幸い、計量分析によって得られたマーシャルの需要関数の情報をもとに、支出関数を媒介に、ヒックスの需要関数を計算する方法が Hausman (1981) によって開発されており、この技法は Horowitz (1984) によってヘドニック法へ拡張されている。本稿でもこの技法を援用することにする。

ある財を構成するある属性の供給が不確実なものとする。その財を購入する代表的個人の効用 U の最大化行動は次の通りである。

$$\max U(y, A)$$

$$s.t. \quad x = y + P(A)$$

但し、 x は外生的な所得、 P は財を構成する属性のひとつの供給確率が不確実な財に対する支出、 A はその財の属性ベクトル、 y は P 以外の消費支出とする。いまこの家計の最大化問題の一階の条件を整理すると、均衡点では次式が成立していることになる。

$$\frac{\partial U}{\partial a} / \frac{\partial U}{\partial y} = P_a(A, y)$$

⁹ 前者の説明としては、Freeman (1993) pp.245-251を参照。

但し、 a は属性 A のうちで問題となっている属性の供給の不確実性の程度を表す確率であり、ヘドニック価格関数についた添え字はその変数で偏微分したことを意味している。陰関数定理より、次式が得られる。

$$\frac{dy}{da} = -P_a(A, y)$$

$\ln P(A) \equiv -F(A)$ とおくと、予算制約式より、 $P_a = (y-x) F_a(A)$ 。

さて、従来、ヘドニック価格関数はパラメトリックな関数形で計測されてきたのに対し、その大域的な近似をさける意味からも現在ではノンパラメトリックな方法で計測することがより妥当であると考えられ、さらに飛躍的な計算能力の向上により、それが可能となってきている。いま仮に、局所回帰 (Local Regression) や核関数を用いた平滑化によって (Kernel Smoothing) ノンパラメトリックに $F_a(A)$ が推定されたとする。するとこの微分方程式は以下に示すように数値的に解くことができる。

しかし、その前にこの微分方程式の解が何を意味するのかについて考えてみる。この微分方程式の解は一定の効用のもとで、家計の効用最大化の一階の条件を満たす確率と所得の関数関係である。言い換えると、一定の効用を維持しながら主体が属性の供給確率の変化に対応して限界的に支払ってもよい所得を示したものである。すなわち、これを解いたものは、家計の直面する確率の変化に対応するオプション価格関数となる。このように属性に関するオプション価格関数はこの微分方程式を解くことによって得られることが示された。

さて、実際にこれを解いてみる。変数分離型の微分方程式なので次のように容易に解ける。

$$\frac{dy}{da} = (x-y) F_a(A)$$

$$\int_{y_0}^y \frac{1}{x-y} dy = \int_{a_0}^a F_a(\tau) d\tau$$

$$y = x + (y_0 - x) / \exp\left(\int_{a_0}^a F_a(\tau) d\tau\right)$$

ヘドニック価格関数がパラメトリックに与えられた場合、多くの場合、更に計算を進めることができる。一方、ノンパラメトリックな関数形を用いた場合は数値的に積分を評価してやればよい。

以上がヘドニック法に基づく方法であるが、これ以外に Larson and Flacco (1992) は、需要関数とその確率誤差を特定化することによって、オプション価値を間接法で計測す

る方法を提案した。計量経済学において広く用いられている線形、片対数形、両対数形のそれぞれの需要曲線をもとに、オプション価格の計算式を陽表的に導出した。しかしこの場合、効用関数を特定化していることにほぼ等しいことには注意を促したい。

第5節 生物資源経済学、政策分析における適用可能性

不確実性下の厚生変化の正確な測度であるオプション価格、特に供給側オプション価格は対象を記述し、モデル化を行う際に主体の選択集合に不確実性を取り込むことが本質的に必要とされる次のような局面で分析の主要なツールとなる。それは例えば、農林業の外部経済効果の発揮が生態的メカニズムによるところも大きく、また経済主体がコントロールしがたい環境に左右されることより、その水準を確率的なものとして捉えることがより望ましいのであれば、不確実性下における農林業の外部経済効果の評価において、またその外部経済効果の発揮を確かなものにするのを重視する環境農業政策の評価においても用いられる必要があるだろう。

さらに、これまで研究の進んでいない分野として食品安全性に関する消費者の選好の評価、食品の安全性を確保するための規制の評価など、食品安全性が本質的に人々の健康に危害を加える（確率の尺度で測られる）リスクとなることから、この概念を軸に定量的評価や分析を進めていく必要がある。食品の安全性やリスクに対してではなく、自然災害のリスクに対するものであるが、地震のリスクに対する消費者の選好をサンフランシスコとロサンゼルス住宅市場のデータを事例に分析したBrookshire, Thayer, Tschirhart and Schultz (1985)がある。

次に、従来から分析が行われてきた研究分野になるが、農産物ごとに異なるさまざまな価格安定化制度の評価にも、オプション価値が正確な厚生測度として用いられることが望ましい。

地域資源の社会・生物多様的な価値の評価はエントロピーを尺度に定量化できると考えられるが、これも不確実性と大きな関連がある。これとオプション価値の関係については今後一層研究を進めていく必要がある。

最後に、供給側オプション価格の計測が難しい場合にも、供給側オプション価値の符号が定まることから、費用便益分析において期待消費者余剰を正しく用いることができる可能性が本稿で拡張されたことを付け加えておきたい。

【引用文献】

- [1] Bishop, R.C. (1982) "Option Value: An Exposition and Extension," *Land Economics*, Vol.58, pp.1-15.
- [2] Brookshire, D.S., L.S. Eubanks, and A. Randall (1983) "Estimating Option Prices and Existence Values for Wildlife Resources," *Land Economics*, Vol.59, pp.1-15.
- [3] Brookshire, D.S., M.A. Thayer, J. Tschirhart, and W.D. Shultz (1985) "A Test of the Expected Utility Model: Evidence from Earthquake Risks," *Journal of Political Economy*, Vol. 93, pp.369-389.
- [4] Chung, K.L. (1974) *A Course of Probability Theory*, Academic Press.
- [5] Cicchetti, C.J. and A.M. Freeman, III (1971) "Option Demand and Consumer's Surplus: Further Comment," *Quarterly Journal of Economics*, Vol.85, pp.528-539.
- [6] Freeman, III, A.M. (1985) "Supply Uncertainty, Option Price, and Option Value," *Land Economics*, Vol.61, pp.176-181.
- [7] Freeman, III, A.M. (1993) *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*, Resources for the Future.
- [8] Graham-Tomasi, T. and R.J. Myers (1990) "Supply-Side Option Value: Further Discussion," *Land Economics*, Vol.66, pp.425-429.
- [9] Hausman, J.A. (1981) "Exact Consumer's Surplus and Deadweight Loss," *American Economic Review*, Vol.71, pp.662-676.
- [10] Horowitz, J.L. (1984) "Estimating Compensating and Equivalent Income Variations from Hedonic Price Models," *Economic Letters*, Vol.14, pp.303-308.
- [11] ヨハンソン P.-O. (1994) 『環境評価の経済学』多賀出版 (Johansson, P.-O. (1987) *The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits*, Cambridge University Press.)
- [12] Johansson, P.-O. (1988) "Option Value: Comment," *Land Economics*, Vol.64, pp.86-87.
- [13] Kriström, B. (1990) "W. Stanley Jevons (1888) on Option Value," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.18, pp.86-87.
- [14] Larson, D.M. and P.R. Flacco (1992) "Measuring Option Prices from Market Behavior," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.22, pp.178-198.
- [15] 野田一雄・宮岡悦良 (1992) 『数理統計学の基礎』共立出版.
- [16] 奥野正寛・鈴木興太郎 (1988) 『ミクロ経済学Ⅱ』岩波書店.
- [17] Plummer, M. L. (1986) "Supply Uncertainty, Option Price, and Option Value: An Extension," *Land Economics*, Vol.62, pp.313-318.
- [18] 酒井泰弘 (1982) 『不確実性の経済学』有斐閣.
- [19] Schmalensee, R. (1972) "Option Demand and Consumer's Surplus: Valuing Price Changes under Uncertainty," *American Economic Review*, Vol.62, pp.813-824.
- [20] 新保輝幸 (1995) 「農山村における祭りのオプション価値の計測」『農林業問題研究』第31巻 pp.10-22.
- [21] Smith, V.K. (1985) "Supply Uncertainty, Option Price, and Indirect Benefit Estimation," *Land Economics*, Vol.61, pp.303-307.
- [22] Weisbrod, B.A. (1964) "Collective-Consumption Services of Individual-Consumption Good," *Quarterly Journal of Economics*, Vol.78, pp.471-477.
- [23] 矢部光保 (1995) 「山村留学地へのコンティンジェント評価法の適用によるオプション価格の推計」『農林業問題研究』第31巻 pp.60-67.