不確実性下の環境資産の価値と評価手法*

赤尾 健一

1. はじめに

ここでは環境資産を，もともと自然生態系によって形成されたもので，同時に自然生態系の一部を構成している資本と定義する。また，環境資産が存在することによって社会に供給される公共財・サービスを，環境サービスと呼ぶことにする。例えば，森林は環境資産の一例であり，それは潤いある景観，洪水防止，土砂崩壊防止といった環境サービスを社会に提供している。

環境資産，あるいはそれが供給する環境サービスは，通常それらを取引する市場が存在せず，したがって価格付けられていない。このため，環境資産の変化が社会にいかなる便益や損失をもたらすかを，直接知ることはできない。しかし，環境資産の変化をともなうプロジェクトが計画されているとき，その妥当性を判断するために，伝統的な社会的費用便益分析を用いるには，環境資産，あるいはその環境サービスの暗黙の価格（以下ではそれを価値と呼ぶ）が必要である。

このため環境経済学は，環境資産の価値を計測するためのさまざまな評価手法を開発してきた。しかし，それらの手法の多くが，決定論的静学的モデルに立脚していることに注意しなければならない。現実の社会

* 本研究は，1995年度文部省科学研究費，1996年度早稲田大学特定課題研究助成費の助成を受けた。

が，不確実性な将来に対する見通しの下で運営されていること，そして，資本というその定義によって，環境資産の開発の影響は無限の将来に及ぶことを考えると，重要な問題として，不確実性と時間を捨象して得られる評価手法が，果たして実際に有効なものかどうかが，提起される。

この問題を考察するには，まず，不確実性下で利用可能な貨幣測度が明らかにされねばならない。これまで環境経済学では，さまざまな貨幣測度が提案され，考察されてきた。特に，オプション価格と期待消費者余剰との関係について，両者の差であるオプション価値の符号をめぐって，多くの議論がたたかわされてきた。今日では，不確実性下での貨幣測度の選択に関して，ある明確な方針が確立している。それは，貨幣測度に，家計の期待効用変化に対する符号保存性を要求することである。考察されている状況で，問題の貨幣測度が符号保存性を持たなければ，その貨幣測度を社会的費用便益分析に利用することはできない。この選択基準に関する基本的な結果はすでに知られているものの，それは多くの場合，未来を対象とする一期間（静学）モデルの枠組みで導かれたものである。しかし，より現実的な設定は，任意の有限計画期間モデル，あるいは無限計画期間モデルであろう。

本論文の課題は，これら2つの問題，すなわち環境資産や環境サービスの不確実性下での貨幣測度と価値評価手法を，より現実的な設定で考察することにある。以上の問題を明らかにすることは，環境資産の存在する社会において，それをいかに扱うべきかを考察するための基礎的な知識を提供するであろう。

本論文は以下のように構成されている。続く第2節では，不確実性下での家計の消費選択モデルを示す。第3節では，そのモデルを用いて，期待効用変化に対する符号保存性の観点から，不確実性下の貨幣測度を考察する。第4節は，以上の考察を基に，これまでに提示されている評

価手法を検討する。

2．不確実性下の消費選択モデル

ある家計の消費選択モデルを考える。現時点を０時点とし，$t=0$，１，... で時点を表す（ただし，以下では現時点の添字０は省略する）。時点 $t-1$ と時点 t をそれぞれ期首，期末とする期間を t 期と呼ぶ。

ここで想定する不確実性は，次のようなものである。すなわち家計にとって，現時点（１期）における不確実性は解消されているが，来期以降は不確実である。しかし，時点１（２期の期首）に至れば，２期での不確実性は解消されている。ただし，時点２以降の諸変数は未だ確率的である。以下，時点を進む毎にその時点での不確実性は解消される。この不確実性は，家計の行動によって影響されることなく，また，費用ゼロで解消される。このような設定は，経済動学モデルで標準的に用いられているものである（例えば，Epstein 1975)。

不確実性は，所得，諸私的財の価格，そして環境サービスの供給量に関するものとする。現時点での初期資産 y（スカラー），私的財の価格 p（n 次ベクトル），そして環境サービスの供給量 q（m 次ベクトル）は，確定的に知られているが，時点１（２期期首）以降のこれらの値は，確率変数 s_t+W_t, P_t, Q_t, $t=1$，2,... で表される。ここで s_tは前期から繰り越された確定的な資産額を示し，W_tは期間所得を示す。１期での繰越金と期間所得は，それぞれ s, w で表され，$s+w=y$ である。なお，所得及び価格は，安全資産の利子率で割り引かれた現在価値で評価されている。また以下を通じて，大文字で示された変数は確率変数を表し，小文字で示された変数は確定的な変数を表す。

t 時点で状態 i が生じたときに実現する値を，$s_t+w_t^i$, p_t^i, q_t^iで表し，

この状態 i が生じる確率を $\pi_t^i(>0)$ で表す。確率過程に関する仮定として，各 t で状態は有限個であり，各 t，各 i で $w_t^i \geqq 0$，$p_t^i>0$，かつ全て有界で，状態の成立は各時点間で独立であるとする。さらに期間所得に関して，特に状態に関わらず $t\to\infty$ で $w_t^i\to 0$ を仮定する。

z（スカラー）は考察される環境資産の初期賦存量を表す。1期に供給される環境サービス q との関係は，微分可能な関数 $q_j=q_j(z)$，$j=1,2,...,m$ によって表されるとする。初期ストック z の変化は，将来の環境サービスの供給量にも影響を与える。その影響は，平均値にのみ影響し，分散以上の高次のモーメントは変化しないもの（平行シフト）と仮定する。このとき将来の環境サービスの供給量は，$Q_t=q+\varepsilon(Q_t)$ と表すことができる。ここで $\varepsilon(Q_t)$ は確率変数であり，各期で独立である。ただし，$E[\varepsilon(Q_t)]=0$ とは限らない（$E[\cdot]$ は本論文を通じて期待値をとることを表す)。その他の確率変数についても，この平行シフト関係が成立することを仮定する。すなわち $P_t=p+\varepsilon(P_t)$，$W_t=w+\varepsilon(W_t)$ と表され，$\varepsilon(P_t)$，$\varepsilon(W_t)$ はそれぞれ期間に独立な確率変数である。なお，以下では平均保存的拡散のような2次以上のモーメントの変化は考察しない。

以上のような不確実性下での消費選択モデルとして，はじめに有限計画期間問題を考える。

期待効用仮説にしたがう von Neumann-Morgenstern 型家計を考え，その期間効用関数を $u(x,q):R_+^n\times R^m\to R$ で表す。u は有界な単調増加関数で定義域の内部で微分可能とする（不確実性下での von Neumann-Morgenstern の選択公理を満たす連続かつ有界な効用関数の存在については，Grandmont 1972を参照のこと)。ここで x は私的財の消費量を示すベクトルである。特にその第1財は，本質的な財であると仮定し，その消費量 x_1 が0のとき，そしてそのときに限って $u=0$，

そして任意の $(x,\ q)$ に対して $u \geqq 0$ と，効用関数を基準化する。さらに $x_1 \to 0$ で $\partial u/\partial x_1 \to \infty$ を仮定する。また，少なくとも一つの私的財の消費量に対して，u は厳密に単調増加するものとし，すべての環境サービスの供給量に対しては，厳密に単調増加するものとする。

ある（有限あるいは無限の）計画期間における，この家計の期間効用の列 $\{u_t\}$ に対して，ある実数を割り付ける関数 U を考え，それを全期間効用関数と呼ぶことにする。また，U の値を全期間効用と呼ぶ。全期間効用関数として，ここでは経済動学モデルで最も標準的に用いられている形式，すなわち期間を通じて一定の割引因子 ρ でウェイト付けられた加法的関数形，$U=\Sigma\rho^t u_t$ を採用する。このような加法的な集計方法は，各期での選好の独立性が満たされるときには妥当なものである（Koopmans 1972を参照)。なお，割引因子は $\rho\in(0,1)$ を満たすことを仮定する。

有限計画期間問題では，家計の最適消費計画を逆向きの帰納法によって得ることができる。計画期間を T 期間とする。$T-1$ 時点での資産額を s_{T-1} とすると，家計は次の問題を解くことにより，T 期の期間効用を最大化する。

$$\max_{x_{T-1}} \quad u(x_{T-1},\ q_{T-1}),$$

$$\text{subject to} \quad s_{T-1}+w_{T-1}-p_{T-1}\ x_{T-1} \geqq 0\ .$$

この問題から得られる効用水準は，間接効用関数を $v^{(T)}{}_{T-1}$ として，

$$v^{(T)}{}_{T-1}\ (s_{T-1}+w_{T-1},\ p_{T-1},\ q_{T-1})$$

と表すことができる。ここで v の右肩の (T) は問題が T 期間問題であることを示す。

次に逆向きに時間を進んで，$T-1$ 期の家計の意思決定を考える。$T-1$ 期において，T 期のパラメータは不確実である。T 期の効用水準が状態に依存して確率的であることを表すために，間接効用関数を

$$V^{(T)}{}_{T-1}(s_{T-1}+w_{T-1}{}^{i},\ p_{T-1}{}^{i},\ q_{T-1}{}^{i})$$

と表現し直すことにする。

さて，確定的な $T-2$ 時点での資産額を s_{T-2} とすると，この状況で，家計は $T-1$ 期の消費 x_{T-2} と T 期のために残す資産額 s_{T-1} を決めねばならない。家計の問題は次のように表される。

$$\max_{x_{T-2}, s_{T-1}} \ u\ (x_{T-2},\ q_{T-2})+\rho E[\,V^{(T)}{}_{T-1}(s_{T-1}+w_{T-1}{}^{i},\ p_{T-1}{}^{i},\ q_{T-1}{}^{i})],$$

$$\text{subject to}\quad s_{T-2}+w_{T-2}-p_{T-2}x_{T-2}-s_{T-1}\geqq 0\,,$$

$$s_{T-1}+\min_i[w_{T-1}{}^{i}]\ \geqq 0\ .$$

ここで，２番目の制約条件は計画期間を超えて借金を持ち越すことはできないことを示している。ただし，$s_{T-1}+\min_i[w_{T-1}{}^{i}]=0$ の場合，仮定により，T 期の所得に対する限界期待効用は無限大となるから，解が存在しないかトリビアルとなるケース（$s_{T-2}+w_{T-2}+\min_i[w_{T-1}{}^{i}]\leqq 0$）を除いて，最適消費計画では，必ず $s_{T-1}+\min_i[w_{T-1}{}^{i}]>0$ が成立する。したがって，この借金に関する制約条件は陽に表す必要はない。以下でも，この理由によりこの制約条件の表示を省略する。

上の問題の目的関数の第２項において，期待値記号の中の効用水準は確率的だが，期待値計算された期待効用自身は確定的である。この確定的な期待効用水準を，

$$\omega^{(T)}{}_{T-1}(s_{T-1},\ w,\ p,\ q)=E[\,V^{(T)}{}_{T-1}(s_{T-1}+w_{T-1}{}^{i},\ p_{T-1}{}^{i},\ q_{T-1}{}^{i})]$$

で表現すれば，問題は

$$\max_{x_{T-2}, s_{T-1}} \ u(x_{T-2},\ q_{T-2})+\rho\omega^{(T)}{}_{T-1}(s_{T-1},\ w,\ p,\ q)]$$

$$\text{subject to}\quad s_{T-2}+w_{T-2}-p_{T-2}\ x_{T-2}-s_{T-1}\geqq 0$$

と表すことができる。なお，ω には確率変数の２次以上のモーメントに関連する変数が省略されている。これは上で述べたように，ここでは２次以上のモーメントの変化に関する考察は行わないためである。

この問題から得られる期待効用水準は，２期間評価関数を $v^{(T)}{}_{T-2}$ と

すれば,

$$v^{(T)}{}_{T-2}(s_{T-2}+w_{T-2},\ p_{T-2},\ q_{T-2},\ w,\ p,\ q)$$

と表すことができる。

次に $T-2$ 期の意思決定は, s_{T-3}を $T-3$ 時点での資産額とすると, 問題

$$\max_{x_{T-3},s_{T-2}}\ u(x_{T-3},\ q_{T-3}) + \rho E\left[V^{(T)}{}_{T-2}(s_{T-2}+w_{T-2}{}^{i},\ p_{T-2}{}^{i},\ q_{T-2}{}^{i},\ w,\ p,\ q)\right],$$

$$\text{subject to}\quad s_{T-3}+w_{T-3}-p_{T-3}\ x_{T-3}-s_{T-2}\geqq 0$$

によって表される。得られる期待効用水準は, 3期間評価関数 $v^{(T)}{}_{T-3}$ によって,

$$v^{(T)}{}_{T-3}(s_{T-3}+w_{T-3},\ p_{T-3},\ q_{T-3},\ w,\ p,\ q)$$

と表現される。

以下, 逆向きに時間を現在時点まで遡れば, 有限 T 期間問題の最大期待効用が, T 期間評価関数を用いて

$$v^{(T)}(y,\ w,\ p,\ q)$$
$$=\max_{x,s_1}\left[u(x,\ q)+\rho E\left[V^{(T)}{}_1\ (s_1+w_1{}^{i},\ p_1{}^{i},\ q_1{}^{i},\ w,\ p,\ q)\right]\right],$$
$$\text{subject to}\quad y-px-s_1\geqq 0\ .$$

あるいは,

$$v^{(T)}(y,\ w,\ p,\ q)$$
$$=\max_{x,s_1}\left[u(x,\ q)+\rho\omega^{(T)}{}_1(s_1,\ w,\ p,\ q)\right]]$$
$$\text{subject to}\quad y-px-s_1\geqq 0$$

と表される。

以上で有限計画期間問題の評価関数が得られた。$v^{(T)}{}_{T-1}$, $v^{(T)}{}_{T-2},\ldots,$ $v^{(T)}{}_1$に順次 Berge の最大値定理を適用することにより, 評価関数 $v^{(T)}$ は y, w, p, q に関して連続であることがわかる。また, 効用関数に関する仮定と最大化問題の特質により, $v^{(T)}$は y, w, q に関して厳密

な増加関数であり，p に関しては減少関数である。

次に無限計画期間問題を考える。

期間効用の最小値をゼロに基準化したことと，期間所得が非負であるという仮定により，$v^{(T)}$は計画期間 T に対して増加関数である。ここで $T \to \infty$を考えると，期間効用関数が上に有界で $\rho < 1$ だから，$\{v^{(T)}, T \geqq 1\}$ は上に有界な単調増加列であり，各 (y, w, p, q) において，$T \to \infty$で $v^{(T)}(y, w, p, q) \to v(y, w, p, q)$ に各点収束する。

ここでは，このようにして得られた有限計画期間評価関数の極限関数 v を，無限計画期間問題の評価関数とみなす。極限操作は不等号を保持することから，v は y，w，q に関して増加関数であり，p に関しては減少関数である。さらに v の確率的ベルマン方程式による表現

$$v(y, w, p, q) = \max_{x, s_1} [u(x, q) + \rho E[V_1(s_1 + w_1{}^i, p_1{}^i, q_1{}^i, w, p, q)]]$$

$$\text{subject to} \quad y - px - s_1 \geqq 0$$

を考えれば，期間効用関数の仮定（効用を厳密に単調増加させる私的財の存在）により，v が y，w，q に関して厳密な増加関数であることもわかる。もし，$v^{(T)}$が v に一様収束するならば，v が連続関数であることが保証される。ここではこの仮定が成立するものとする。このとき，有限計画期間で得られた評価関数の性質は，そのまま無限計画期間問題の評価関数の性質となる。このため，以下では考察を無限計画期間問題で代表させて行うことにする。なお以下の考察では，しばしば v の微分可能性が想定される。例えば，v は２回連続微分可能というような想定である。この想定は，任意の T で $v^{(T)}$が２回連続微分可能で，その２次導関数が v の２次導関数に一様収束し，かつ１階の微分係数が各点収束することを仮定すれば，成立する。ただし，このような仮定が成立するための条件については，言及しない。

3. 不確実性下の貨幣測度

今日，不確実性下の貨幣測度として知られているものに，オプション価格，フェア・ベットの期待値，期待消費者余剰，そして状態安定化補償変分の期待値がある。ここでは，上で得られた評価関数 v を用いて，これらの貨幣測度について，それが期待効用変化に対する符号保存的測度という意味で適切か否かを考察する。

あるプロジェクトによる環境資産が z^0から z^1に変化するものとする。対応して環境サービスは（q^0, $\{Q^0{}_t,\ t \geqq 1\}$）から（q^1, $\{Q^1{}_t,\ t \geqq 1\}$）に変化する。変化前の期待効用水準は $v^0 = v(y,\ w,\ p,\ q^0)$，変化後のそれは $v^1 = v(y,\ w,\ p,\ q^1)$ である。本論文を通じて，その変化は，環境資産の減少を意味し，環境サービスの供給量にマイナス方向の平行シフトをもたらすものとする。つまり，$v^0 > v^1$を想定する。以下で，この期待効用変化に対する貨幣測度の符号を論じるが，その考察はすべて補償変分の観点から行う。規準となる期待効用水準を変化後のそれとすることにより，等価変分の観点からの考察は，全く同様に行うことができる。

① オプション価格

はじめにオプション価格 OP を導出する。

オプション価格は，変化後の期待効用水準を変化前の期待効用水準にとどめるために支払ったり補償したりする確定的な貨幣額として定義される。このため状態独立支払額（Johansson 1987，第11章）と呼ばれることがある。OP を評価関数で表せば，それは

$$v(y,\ w,\ p,\ q^0) = v(y - \mathrm{OP},\ w,\ p,\ q^1)$$

なる恒等式を満たしている。容易に確認できるように，評価関数が初期

保有額yに関して厳密に単調増加関数である限り，オプション価格は期待効用変化の符号保存的測度である。そしてこの条件は，期間効用関数を厳密に単調増加させる私的財が少なくとも一つ存在するという仮定により，成立している。

② Graham 価格

次に第2の重要な貨幣測度を導出するために，Graham (1981) の第2期フェア・ベット$FB^i{}_1$を定義する。その準備として，評価関数をベルマン方程式の形に書き直す。

$$v(y,\ w,\ p,\ q)$$
$$=\max_{x,s_1}[u(x,\ q)+\rho E[V_1(s_1+w_1{}^i,\ p_1{}^i,q_1{}^i,\ w,\ p,\ q)]]$$
$$\text{subject to}\quad y-px-s_1\geqq 0$$

次に$\gamma_1{}^i$を時点2で生じる状態iに対する条件付き支払意志額とする。このとき，$FB_1{}^i$は次の問題の解である。

$$\max_{\gamma_1{}^i}\quad \sum_i \pi_1{}^i\gamma_1{}^i,$$
$$\text{subject to}\quad v(y,\ w,\ p,\ q^0)$$
$$\leqq \max_x[u(x,\ q^1)$$
$$+\rho E[V_1(y-px+w_1{}^i-\gamma_1{}^i,\ p_1{}^i,\ q^1{}_1{}^i,\ w,\ p,\ q^1)]].$$

ただし，$\pi_1{}^i$は2期に状態iが生じる確率である。

この問題から得られる最大期待支払意志額を，ここではGP_1 ($\equiv\Sigma_i\pi_1{}^i$ $FB_1{}^i$) で表し，第2期 Graham 価格と呼ぶことにする。プロジェクトがこの個人にとって望ましくない場合でも，プロジェクトの実行に際してFB^iなる条件付き債券が提供されれば，個人はプロジェクトを受容する。そして，プロジェクトの実行者が危険中立者ならば，集計されたGP_1がプロジェクトの便益を下回る限り，このような債券を発行することができる。反対にプロジェクトが望ましい場合も，これと全く同様に

考えることができる。このため，Graham (1981) は，不確実性下での費用便益分析に用いられる貨幣測度の一つとしてGraham 価格を提案した。

GP_1 と OP の関係は，容易に示すことができる。先に定義した OP が，フェア・ベットの問題の制約条件を満たしていることに注意しよう。すなわち，

$$v(y,\ W,\ p,\ q^0)$$
$$=\max_x[u(x,\ q^1)+\rho E[V_1(y-px+w_1{}^i-\mathrm{OP},\ p_1{}^i,\ q^1{}_1{}^i,\ w,\ p,\ q^1)]]$$

あるいは，OP がこの問題に，$\gamma_1{}^1=\gamma_1{}^i,\ i=2,3,\ldots$ なる制約条件を付すことで求められることに気付けば，最大化問題の特質によって，$GP_1 \geqq$ OP であることは明らかである。

以上の考察は，2期を対象としたものだが，それは任意の $t+1$ 期フェア・ベットを求める問題（あるいは $t+1$ 期以前の全ての時点でフェア・ベットを求める問題）に拡張できる。時点1で状態 i が生じる確率を $\pi_1{}^i$，時点2での状態 j の確率を $\pi_2{}^{ij}$ とする。このとき，時点2での条件付き支払意志額を $\gamma_2{}^{ij}$ で表せば，第3期フェア・ベット $FB_2{}^{ij}$ は次の問題の解である。

$$\max_{\gamma_2{}^{ij}}\quad \Sigma_i\Sigma_j\pi_1{}^i\pi_2{}^j\gamma_2{}^{ij}$$

$$\text{subject to}\quad v(y,\ w,\ p,\ q^0)$$
$$\leqq\max_x[u(x,\ q^1)+\rho\Sigma\pi_1{}^i\{\max_{x^i{}_1}[u(x_1{}^i,\ q^1{}_1{}^i)$$
$$+\rho E[V_2(y-px+W_1{}^i-p_1{}^ix_1{}^i+W_2{}^j-\gamma_2{}^{ij},\ p_2{}^j,$$
$$q^1{}_2{}^j,\ w,\ p,\ q^1)]\}]$$

上述の $FB_1{}^i$ が，この問題の制約条件を満たしていること，あるいは追加的な制約条件 $\gamma_2{}^{ij}=\gamma_1{}^i$, all i,j を加えることで得られることに気づけば，

$$GP_2\equiv\Sigma_i\Sigma_j\pi_1{}^i\pi_2{}^jFB_2{}^{ij}\geqq GP_1\geqq \mathrm{OP}$$

が成立することがわかる。以上の議論を，任意の期間に適用することによって，

$$\mathrm{OP} \leqq \mathrm{GP}_1 \leqq \mathrm{GP}_2 \leqq \ldots \leqq \mathrm{GP}_{t-1} \leqq \mathrm{GP}_t \leqq \ldots$$

を得る。

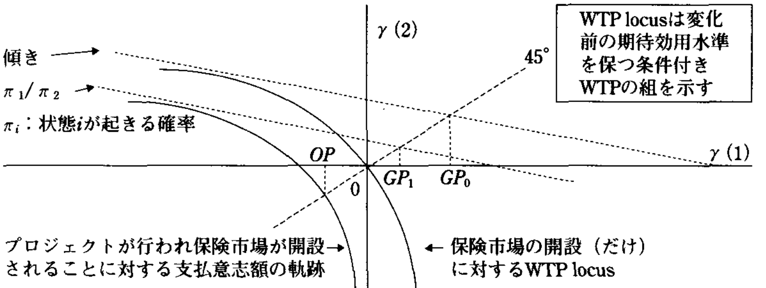
この不等号関係，あるいは非負の $\mathrm{GP}_t - \mathrm{GP}_{t-1}$ は，二通りの解釈ができる。第1の解釈は，それが環境サービスの変化に対する支払いを，t 期から $t+1$ 期に延期していることに注目する。つまり，$\mathrm{GP}_t - \mathrm{GP}_{t-1}$ は，支払い行使のオプションを t 期ではなく $t+1$ 期まで保持していることに対して発生する価値と解釈できる。第2の解釈は，GP_t が $t+1$ 期の不確実性が解消されたのちに支払われることに注目する。不確実性の解消を情報の到来と見なせば，それは t 時点で到来する情報の価値と見なすことができる。

さて，以上の Graham 価格 GP は，一見，不確実性下で費用便益分析を行う際の適切な貨幣測度であるように思える（このような見解は，Cory and Saliba 1987に見られる)。そして，保険市場が整備された社会においては，このことは正しい（Meier and Randall 1991および以下の議論を参照のこと)。しかし，そうではない現実の社会において GP を用いるには注意が必要である。なぜなら，その利用は，同時にそれまで存在しなかった条件付き請求権市場の開設をも，意味するからである。容易に想像されるように，環境サービスの変化が生じなくとも，単にそのような市場が開設されるだけで，家計の期待効用は増加する可能性がある。したがって，プロジェクトの計画者は，条件付き請求権市場の開設と引き替えに，望ましくない変化を家計に受け入れさせる可能性が生じる。

このような状況の一例として，2期の状態が2種類の場合を図－1に示した。図－1には，環境資産が z^0 から z^1 に減少するときの第2期

Graham 価格が，GP_1で示されている。対応するオプション価格 OP が負である一方でGP_1は正であり，Graham 価格が，必ずしも期待効用変化の符号保存的測度でないことがわかる。次に図－1のGP_0は環境資産が変化せず，単に条件付き請求権市場を開設するだけで得られる Graham 価格を示している。もし，条件付き請求権市場を開設することによる期待効用変化の影響を除去しようとするならば，GP_1ではなくGP_1-GP_0を用いるべきであろう。ここではこのGP_1-GP_0を修正 Graham 価格と呼ぶことにする。Graham 価格が必ずしも符号保存的測度とは限らない一方で，修正 Graham 価格は期待効用変化の符号保存的測度である。ここではこのことを，第2期修正 Graham 価格を例として確認しておこう。なお，任意の t 期に関する考察は，全く同一の形式で行うことができる。

はじめに環境資産の水準 z^0，z^1に対応する期待効用水準を v^0，v^1とするとき，ある価格と所得の水準と確率過程($(y, p, w, \{P_t, W_t, t\geq 1\})$) に関して，$v^0>v^1$ならば，それらの任意の水準と確率過程に関して $v^0>v^1$であることを確認する。任意に選んだ価格と所得の確率過程



図－1　第1期の状態が二つで環境財の変化が家計にとって望ましくないケース

と q^1から始まる環境サービスの確率過程の下での（状態依存）最適消費計画を x^1, $X^1{}_1$, $X^2{}_1$.... とすると，この計画は環境サービスが q^0から始まる場合でも実行可能である。この消費計画から得られる期待効用は，期間効用関数の q に対する厳密な単調増加性により，v^1より大となる。すなわち $v^0 > v^1$である。

次に，z^0での（開発が行われない場合の）第2期フェア・ベットを $\mathrm{FB}^0{}_1{}^i$, z^1でのそれを $\mathrm{FB}^1{}_1{}^i$とする。このとき，修正 Graham 価格 CGP は

$$\mathrm{CGP} = \Sigma_i \pi_1{}^i (\mathrm{FB}^1{}_1{}^i - \mathrm{FB}^0{}_1{}^i)$$

表される。ここで，$\mathrm{FB}^1{}_1{}^i$, $\mathrm{FB}^0{}_1{}^i$は,

$$\begin{aligned} v^0 &= \max_x [u(x,\ q^1) \\ &\qquad + \rho E[V_1(y - px + w_1{}^i - FB^1{}_1{}^i,\ p_1{}^i,\ q^1{}_1{}^i,\ w,\ p,\ q^1)]] \\ &= \max_x [u(x,\ q^0) \\ &\qquad + \rho E[V_1(y - px + w_1{}^i - FB^0{}_1{}^j,\ p_1{}^i,\ q^0{}_1{}^i,\ w,\ p,\ q^0)]] \end{aligned}$$

を満たしている。

もし，CGP が符号保存的測度でなければ，$\Sigma_i \pi_1{}^i$ $(\mathrm{FB}^1{}_1{}^i - \mathrm{FB}^0{}_1{}^i) \geqq 0$ が成立するはずである。そこで $\Sigma_i \pi_1{}^i (\mathrm{FB}^1{}_1{}^i - \mathrm{FB}^0{}_1{}^i) \geqq 0$ を仮定する。評価関数 v^1は，初期資産に関して単調増加し，フェア・ベットが最大化問題の解であることにより，このとき

$$\begin{aligned} v^{1'} &\equiv v^0 \\ &= \max_x [u(x,\ q^1) \\ &\qquad + \rho E[V_1(y - px + w_1{}^i - FB^1{}_1{}^i,\ p_1{}^i,\ q^1{}_1{}^i,\ w,\ p,\ q^1)]] \\ &\geqq \max_x [u(x,\ q^0) \\ &\qquad + \rho E[V_1(y - px + w_1{}^i - FB^1{}_1{}^i,\ p_1{}^i,\ q^0{}_1{}^i,\ w,\ p,\ q^0)]] \\ &\equiv v^{0'} \end{aligned}$$

が成立する。

$v^{1'}$と$v^{0'}$は，所得と価格の確率過程が共通で，ただ環境サービスの確率過程だけが異なっている。したがって，$v^0 > v^1$ならば，$v^{0'} > v^{1'}$が成立しなければならない。このことは得られた不等式と矛盾する。したがって，$v^0 > v^1$ならば，$\Sigma_i \pi_1{}^i$ $(FB^1{}_1{}^i - FB^0{}_1{}^i) < 0$でなければならない。つまり，修正Graham価格は符号保存的測度である。

修正Graham価格に関して次の3点をコメントしておく。第1に，考察されている社会が，完全な保険市場を持っているならば，家計は保険を利用して，自ら期待効用を最大にするように条件付き所得を調整する。この場合，常に$GP_0 = 0$であり，Graham価格と修正Graham価格は一致する。つまり，Graham価格は期待効用変化の符号保存的測度であり，修正の必要はない。第2に，潜在的パレート改善の観点からは，現実の社会の費用便益分析にGraham価格を用いることは，誤りとはいえない。しかし，実際には環境サービスに関する条件付き請求権市場が開かれないならば，そのような潜在的パレート改善に基づく補償テストが意味のあるものであるかどうかは疑問が残る。最後に，オプション価格とGraham価格の間には明快な不等号関係が得られたが，オプション価格と修正Graham価格との間には，そのような関係を見いだすことはできない。図－1の2つの支払意志額の軌跡の形状や状態生起確率を変化させることで，このことは確認できる。したがって，保険市場の整備されていない社会では，どちらの貨幣測度を用いるべきかという問題は，一層複雑になる。関連して，Johansson（1987，第11章）は，期待効用変化を表現するための貨幣測度は無数に存在することを指摘した上で，測度の選択は「測度を計算するための十分な情報を得る可能性」といった観点によりなされるだろうと論じている。

③ 期待消費者余剰

次に，第3の貨幣測度として期待消費者余剰を論じる。

第2期期待消費者余剰を導出するために，はじめに第2期条件付き補償変分 CV^iを定義する。なお，以下の議論は，任意の t 期について全く同様の形式で行うことができるので，議論は2期に関するもので代表する。さて，環境資産が z^0から z^1に変化するとき，問題

$$\max_x [u(x, q^0) + \rho E\{V_1(y - px + w_1{}^i, p_1{}^i, q^0{}_1{}^i, w, p, q^0)\}]$$

の解を x^0，対応する期待効用水準を v^0とし，問題

$$\max_x [u(x, q^1) + \rho E\{V_1(y - px + w_1{}^i, p_1{}^i, q^1{}_1{}^i, w, p, q^1)\}]$$

の解を x^1，対応する期待効用水準を v^1とする。

このとき条件付き補償変分 CV^iは，

$$u(x^1, q^1) + \rho v_2(y - px^1 + w_1{}^i - CV^i, p_1{}^i, q^1{}_i{}^i, w, p, q^1)]$$
$$= u(x^0, q^0) + \rho v_2(y - px^0 + w_1{}^i, p_1{}^i, q^0{}_1{}^i, w, p, q^0)]$$

で与えられる。そして，第2期期待消費者余剰ES は，$ES \equiv E[CV^i]$ で定義される。

ここで得られた期待消費者余剰の符号と，期待効用の変化の方向との関係は，Johansson (1988) で用いられた方法により，次のように示すことができる。v_2が所得に関して微分可能であるとき，平均値の定理により，

$$u(x^1, q^1) + \rho v_2(y - px^1 + w_1{}^i - CV^i, p_1{}^i, q^1{}_1{}^i, w, p, q^1)]$$
$$= u(x^1, q^1) + \rho v_2(y - px^1 + w_1{}^i, p_1{}^i, q^1{}_1{}^i, w, p, q^1)]$$
$$+ \rho(\partial v_2(\xi^i)/\partial y)(-CV^i)$$

と変形することができる。ここで $\partial v_2/\partial y$ は所得の限界期待効用を示し，ξ^iは，$y - px^1 + w_1{}^i - CV^i$と $y - px^1 + w_1{}^i$を端点とする開区間に属するある値である。この式の期待値をとることにより，

$$v^1 - \rho E[(\partial v_2(\xi^i)/\partial y)(CV^i)] = v^0$$

が得られる。確率変数の積の期待値に関する公式を用いて変形すれば，

$$v^1-v^0=\rho E[(\partial \mathrm{v}_2(\xi^i)/\partial \mathrm{y})(\mathrm{CV}^i)]$$
$$=\rho\{E[(\partial \mathrm{v}_2(\xi^i)/\partial \mathrm{y})\times E[\mathrm{CV}^i]+\mathrm{COV}[\partial \mathrm{v}_2(\xi^i)/\partial \mathrm{y},\ \mathrm{CV}^i]\}$$

である。この式から，期待消費者余剰が期待効用の変化に対する符号保存的測度であるためには，共分散項の影響が無視できるほど小さくなければならないことがわかる。例えば，上式の左辺が負であるとき，共分散項もまた負で十分に大きな値をとるならば，期待消費者余剰（ES≡E $[\mathrm{CV}^i]$）は正の値をとることになる。しかし，この共分散項がいかなる符号をとり，その大きさがどれほどであるかは，不明である。Chavas *et al.* (1986) は，変数（例えば環境資産）の限界的な変化についてその符号を考察しているが，v^1に凹性の仮定を置いたとしても，それは正負いずれの符号をもとり得ることを明らかにしている。したがって，期待消費者余剰が不確実性下での適切な貨幣測度であるとする根拠は，かなり曖昧である。さらにいえば，上述の条件付き補償変分は，ここでのモデルでは，図－１の支払意志額の軌跡上にあることも保証されていない。なぜなら，CV^iが家計から取り去られる（あるいは与えられる）ことがわかっていれば，それに合わせて家計は１期の私的財の消費量を調整し，x^1での消費以上の期待効用を得ることができるからである。つまり，期待消費者余剰測度は，支払意志額の軌跡上から貨幣測度を選ぶという問題からもはずれることになる。結論として，不確実性下の貨幣測度として，期待消費者余剰測度を利用することは，あまり勧められない。

④　状態安定化補償変分の期待値

最後に，以上の３つの貨幣測度とは異なる Graham (1981) の certainty point の期待値 ECP を簡単に紹介する。期待消費者余剰の項で述べたのと同じ理由により，ここでも議論を 2 期に関するもので代表する。さてこの測度は，2 期を対象にする場合，その状態安定化補償変分 CP^iを用いると，次のように定義される。

$$\mathrm{ECP} \equiv E[\mathrm{CP}^i],$$

ここで CP^iは

$$v^0 = \max_x [u(x,\ q^1) + \rho v_2(y - px + w_1{}^i - CP^i,\ p_1{}^1,\ q^1{}_1{}^i,\ w,\ p,\ q^1)],\quad \text{all } i$$

を満たす。

すなわち CP^iは，時点 1 でいかなる状態が成立しようとも，期待効用水準を初期期待効用水準にとどめるように，家計に支払ったり補償したりする貨幣額であり，ECP とはその期待値である。CP^iは別の見方をすれば，2 期の不確実な状態を i という特定の状態に状態を安定化させることに対して支払われる補償変分である。期待消費者余剰のところで用いた変形を上の式に適用することで，

$$\begin{aligned} v^1 - v^0 &\leqq \rho E[(\partial v_2(\xi^i)/\partial y)(\mathrm{CP}^i)] \\ &= \rho\{E[(\partial v_2(\xi^i)/\partial y) \times \mathrm{ECP} + \mathrm{COV}[\partial v_2(\xi^i)/\partial y,\ \mathrm{CP}^i]\} \end{aligned}$$

が得られる。ただし，イェンゼンの不等式により

$$\begin{aligned} v^1 &= \max_x [u(x,\ q^1) + \rho E[V_2(y - px + w_1{}^i,\ p_1{}^i,\ q^1{}_1{}^i,\ w,\ p,\ q^1)]] \\ &\leqq E\{\max_x [u(x,\ q^1) + \rho v_2(y - px + w_1{}^i,\ p_1{}^i,\ q^1{}_1{}^i,\ w,\ p,\ q^1)]\} \end{aligned}$$

が成立することを利用している。

この式から，ECP もまた，不確実性下の貨幣測度として適切ではないことがわかる。ただし，本論文の想定では，環境資産が変化しないときの状態安定化補償変分 $\mathrm{CP}_0{}^i$

$$v^0 = \max_x [u(x,\ q^0) + \rho v_2(y - px + w_1{}^i - \mathrm{CP}_0{}^i,\ p_1{}^i,\ q^0{}_1{}^i,\ w,\ p,\ q^0)]$$

を用いて，その期待値 ECP^0を ECP^1から引いたもの（修正 ECP と呼

ぶ）は，期待効用変化の符号保存的測度である。なぜなら，ここでの環境サービスの変化，$q^0{}_t{}^i < q^1{}_t{}^i$, all i, t に対して，$\mathrm{CP}_0{}^i > \mathrm{CP}_1{}^i$, all i であることは明らかだからである。最後に，修正 ECP が，オプション価格や修正 Graham 価格と同様，図－1の2つの支払意志額の軌跡の特定の点と関係していることも，容易に確認できる。

4. 評価手法

前節では，不確実性下での適切な貨幣測度について考察した。次の問題は，適切な貨幣測度の中から，環境資産の価値の計測のために，どの測度を用いるべきかである。ここでは，先に示した Johansson（1987, 第11章）の見解にしたがって，複数の（あるいは無数に存在する）貨幣測度の優劣を理論的に検討するのではなく，実際にどの測度が計測可能なのかという問題として，考察したい。

今日利用可能な主たる価値評価手法としては，CVM，Hicks 中立性アプローチ，弱補完性アプローチ，ヘドニック法がある。このうち CVM は，支払意志額（オプション価格，状態安定化補償変分）やその軌跡（フェア・ベットを算出するため）を家計に直接尋ねるものであり，問題はその質問票をいかに作成するかということになる。これに対して他の3手法は，市場で観察されたデータから機械的に価値を計測する。興味深いのは，この機械的に算出される価値に関する考察であろうと考えられる。したがって，ここでは市場データを用いるこれら3手法を論じることにし，CVM に関しては次の点を指摘するにとどめる。すなわち，CVM で条件付き請求権市場の開設をともなうような質問票を用いるとき，単に環境資産の変化した後の条件付き支払意志額を尋ねるだけでは不十分で，環境資産が変化しない状況での条件付き支払意志額もま

た，尋ねる必要があるということである。その理由は，前節で明らかとなったように，Graham 価格及び ECP は期待効用変化の符号保存的測度ではないことによる。実際には条件付き請求権市場が決して開設されない状況で，もしこれらの貨幣尺度を用いたいならば，修正 Graham 価格，修正 ECP を利用すべきである。

以下の検討に先だって，市場データを用いる手法が，前節で検討したどの測度と関係しているかを述べておく。市場データを用いることは，現実の市場，あるいは社会を前提としていることを意味する。現実の社会では，環境サービスに対する条件付き請求権市場は，通常，開設されていない。したがって，これらの手法は，Graham 価格や ECP とは基本的に無関係であり，オプション価格か期待消費者余剰と関係していることがわかる。

① Hicks 中立性アプローチ

はじめに家計の期待効用最大化問題を次の形式で表す。

$$v(y,\ w,\ p,\ q) = \max_{x, s_1} \quad u(x,\ q) + \rho\omega_1(s_1,\ w,\ p,\ q),$$

$$\text{subject to} \quad y - px - s_1 \geqq 0\ .$$

ここで ω_1 は $\omega_1 \equiv E[\,V_1(s_1 + w_1{}^i,\ p_1{}^i,\ q_1{}^i,\ w,\ p,\ q)\,]$ である。

次にこの問題の双対問題である支出最小化問題は，上の問題で得られる期待効用水準を v として，

$$\min_{x, s_1} \quad px + s_1,$$

$$\text{subject to} \quad u(x,\ q) + \rho\omega_1(s_1,\ w,\ p,\ q) \geqq v$$

で表される。

この問題から得られる最小支出を e で表し，支出関数 $e(w,\ p,\ q,\ v)$ を定義する。ここで $-\partial e/\partial q$ が限界オプション価格を表していることは，オプション価格の定義から確認できる。環境資産の変化 $z^0 \to z^1$ に

対する環境サービスの変化 $q^0 \rightarrow q^1$ の経路を c とすれば，この変化に対するオプション価格 OP が，

$$\mathrm{OP} = -\int_c \partial e / \partial q \ dq$$

で表される。さらにもし，e が q に関して 2 回連続微分可能ならば，OP の値は q^0 と q^1 を結ぶ経路に対して独立である（経路独立性条件については Johansson 1987，第 3 章補論を参照のこと)。ただし，以下では本節を通じて，議論を q の限界的な変化に限定する。離散的な変化に対する貨幣測度を計測する場合，静学的な枠組みですら，Hicks 中立性アプローチとヘドニック法は，さらなる留意点や追加的な仮定を必要とする。紙数の都合上，これらの点にまで言及することはここでは控える。

さて，上の二つの最適化問題の解が内点解であり，陰関数定理が適用できれば，微分可能な（通常の）需要関数 $x(y, w, p, q)$, $s_1(y, w, p, q)$ と補償需要関数 $x^c(w, p, q, v)$, $s_1{}^c(w, p, q, v)$ がそれぞれ得られる。ここで需要関数と補償需要関数の間には，最大化問題と最小化問題の特質から，

$$x_i{}^c(w, p, q, v) = x_i(e(w, p, q, v), w, p, q), \quad i = 1, \ 2 \ldots, n,$$
$$s_1{}^c(w, p, q, v) = s_1(e(w, p, q, v), w, p, q)$$

が成立していることに注意しておく。

以上の準備の下で，Hicks 中立性アプローチを考察する。この方法は，Neil (1988) が確立したものであり，その後 Larson (1992) がより詳細な検討を行っている。ここで Hicks 中立性とは，ある環境サービス q_j に対して第 i 財の補償需要関数が $\partial x_i{}^c / \partial q_j = 0$ を満たすことを意味する。もし，$\partial x_i{}^c / \partial q_j > 0$ ならば第 i 財は第 j 環境サービスに対して Hicks 補完的であり，$\partial x_i{}^c / \partial q_j < 0$ ならば，Hicks 代替的である。

いま，上で示した需要関数と補償需要関数の等式を q_j で微分すれば，

$$\partial x_i^c/\partial q_j = \partial x_i/\partial q_j + (\partial x_i/\partial y)(\partial e/\partial q_j).$$

したがって,

$$-\partial e/\partial q_j = (\partial x_i/\partial q_j - \partial x_i^c/\partial q_j)\ /(\partial x_i/\partial y)$$

を得る。もし，第 i 財が q_jに対して Hicks 中立的ならば,

$$-\partial e/\partial q_j = (\partial x_i/\partial q_j)\ /(\partial x_i/\partial y).$$

つまり，q_jの変化に対する限界オプション価格は，観察可能な需要関数の q_jと y に関する偏微分係数の比によって正確に表される。もし，第 i 財が Hicks 補完的ならば,

$$-\partial e/\partial q_j > (\partial x_i/\partial q_j)/(\partial x_i/\partial y)$$

であり，Hicks 代替的ならば,

$$-\partial e/\partial q_j < (\partial x_i/\partial q_j)/(\partial x_i/\partial y)$$

である。これらのケースでは，その比は限界オプション価格の下限，あるいは上限を表している。

以上の結果から，Hicks 中立性アプローチが不確実性下においても，限界オプション価格の計測のために，修正なしに用いられることがわかる。

② 弱補完性アプローチ

弱補完性アプローチは，Mäler (1974) と Bradford and Hildebrandt (1977) によってそれぞれ独立に確立された評価手法である。この手法では，考察する環境サービス q（スカラー。ここでは他の環境サービスを考察しない）とある私的財（ここでは第 n 番目の財 x_nとする）の間に次の二つの関係が成立することが前提となる。すなわち,

A. 1　非本質性：任意の価格ベクトルの下で x_nの価格 p_nが上昇するとき，その補償需要量 x_n^cが 0 となる価格 $p^* < \infty$が存在する。

$A.2$　弱補完性：もし $x=0$ ならば，期間効用は q の供給量の影響を受けない。すなわち，

$$\partial u/\partial q\mid_{x_n=0}=0.$$

この仮定の下で，弱補完性アプローチは，環境サービスの限界価値を，

$$\partial\left[\int_{p_{n*}}^{\infty} x_n{}^c\, dp_n\right]/\partial q$$

で表せることを主張する（ここで $p_n{}^*$ は第 n 財の現在の価格を示している）。もし，モデルが2期以降の期待効用を無視した静学モデルならば，上式の値は，正確に家計の限界支払意志額を表す。しかし，ここでのモデルでは，この結果は修正されねばならない。

Hicks 中立性アプローチのところで用いた支出関数を p_n で偏微分すると，

$$\partial e/\partial p_n=x_n{}^c-\mu\rho\partial\omega_1/\partial p_n$$

を得る。ここで μ はラグランジュ乗数であり，支出最小化問題の最適解の1階の条件により，$\mu\rho=(\partial\omega_1/\partial s_1)-1$ を満たしている。2期以降に得られる期待効用 ω_1 を一定に保つ繰越資産額を調整所得と呼び s_1' で表せば，

$$d\omega_1=(\partial\omega_1/\partial s_1)\,ds_1'+(\partial\omega_1/\partial p_n)\,dp_n=0\,.$$

したがって，

$$\mu\rho\partial\omega_1/\partial p_n=(\partial\omega_1/\partial s_1)^{-1}(\partial\omega_1/\partial p_n)=-ds_1'/dp_n$$

である。これより，

$$\begin{aligned}&\partial\left[\int_{p_{n*}}^{\infty} x_n{}^c\, dp_n\right]/\partial q\\&=\partial\left[\int_{p_{n*}}^{\infty}(\partial e/\partial p_n-ds_1'/dp_n)\,dp_n\right]/\partial\rho\\&=\partial\left[e-s_1'\right]_{p_{n*}}^{\infty}/\partial q\end{aligned}$$

もし，第 n 財の価格 p_n が十分に大きければ，非本質性と弱補完性の仮定により，支出関数の値も調整所得の値も q の変化に対して不変であ

る。

このことに気付けば，

$$\partial\left[\int_{p_n*}^{\infty} x_n{}^c\ dp_n\right]/\partial q = -\partial e(p_n{}^*,\ q)/\partial q + \partial s_1{}'(p_n{}^*,\ q)/\partial q$$

が得られる。すでに見たように，右辺第１項は，環境サービスの変化に対する限界オプション価格を表している。したがって，弱補完性アプローチは，調整所得 $s_1{}'$ の q に対する変化分だけ，環境サービスの価値を評価し損なっていることになる。

この結果に関する留意事項として，次の３点を指摘しておく。第１に，もし現時点での価格 $p_n{}^*$ が，第 n 財に関する将来の価格に影響を及ぼさないと家計が予想しているならば，$\partial\omega_1/\partial p_n = 0$ であり，調整所得の項は消去される。同様に２期以降の環境サービスの供給量が，現在の環境サービスの供給量によっては変化しないと家計が予想しているならば，調整所得の項は消去される。これらのケースでは，弱補完性アプローチはオプション価格を評価するための正確な評価手法である。

第２に，$\partial s_1{}'/\partial q < 0$ なので，この方法は，弱補完性の仮定が成立しても，限界オプション価格を過小評価することになる。このことは，この方法によって得られた貨幣測度が，期待消費者余剰と無関係であることを意味している。なぜなら，（限界）期待消費者余剰は，（限界）オプション価格よりも大きくなることも小さくなることもあり得ることが知られているからである（Chavas *et al.* 1986, Johansson 1987 第10章, Mäler 1989他）。

第３に，調整所得 $s_1{}'$ は，第２期に繰り越す貨幣量に関する補償需要 $s_1{}^c$ とは必ずしも同じではない。前者は，ω_1 を一定に保つものであり，後者は $v = u + \rho\omega_1$ を一定に保つものである。したがって，１期の消費者余剰の左側の面積 $\int_{p_n*}^{\infty} x_n{}^c\ dp_n$ の q に関する偏導関数が，q の変化による１期の限界効用変化に対する貨幣評価額を表しているという解釈はで

きない。なぜなら，１期の限界効用変化の貨幣評価額は

$$-\partial px^c/\partial q=-\partial e/\partial q+\partial s_1{}^c/\partial q$$

と表され，$\partial s_1{}'/\partial q=\partial s_1{}^c/\partial q$ である保証はないからである。このことは，たとえ第 n 財の補償需要関数が将来にわたって一定であるとしても，その偏導関数の値がフロー・ベースの限界オプション価格を表していると見なすには慎重さを要することを示唆する。

③ ヘドニック法

ヘドニック法の理論的基礎は，Rosen（1974）によって確立された。環境経済学において通常行われるその適用は，宅地価格や住居価格をその属性に回帰させて，対応する偏微分係数を属性の限界価値と見なすというものである。

このようなヘドニック法の適用に関する理論的検討は，Scotchmer（1985）が厳密に行っている。彼女は交換経済モデルを用いて，非常に緩やかな仮定の下で，均衡宅地価格が存在することを証明し，その偏微分係数が限界支払意志額と一致することを示した。ただし，彼女のモデルは決定論的静学的モデルである。したがって，本論文のモデルにおいて，ヘドニック価格式の偏微分係数が何を意味するかを検討する必要がある。

以下では，（一時）均衡宅地価格の存在を前提として，この点を考察する。なお，ヘドニック法に対する痛烈な批判はMäler（1977）にあるが，以下で得られる結果は，ヘドニック法に対する新たな留意事項をつけ加えるものである。

環境経済学で用いられるヘドニック法において，家計は住居を選択することによって，環境サービスの供給量を選択できる。すなわち，その環境サービスは住居の属性とみなされる。これは，環境サービスが外生

的に供給されるというこれまでの想定とは異なるものである。ここでは，このようなタイプの環境サービスをアメニティと呼び，ベクトル a で表す。

次に表現を簡略化するために，1期に購入される私的財を，宅地 x_1（これまでの x の中の第1私的財）とその他の私的財からなる合成財 m に統合する。アメニティ及びこれらの変数として表される期間効用関数を $\psi(x_1, a, m)$ とすると，これまでの期間効用関数との関係は，

$$\psi(x_1, a, m) = \max_{x_2, x_3, \ldots, x_n} u(x_1(a), x_2, x_3, \ldots, x_n, a)$$

$$\text{subject to} \quad m - \sum_{i=2}^{n} p_i x_i \geqq 0$$

である（ここでは，居住地選択によって変化しない環境サービスの表記は省略する。また，宅地面積 x_1 は分割可能であることを想定している)。なお，これまでの仮定に加えて，この ψ が x_1 に関して飽和点を持つことを仮定し，2期以降に得られる期待効用を無視すれば，Scotchmer (1985) が用いた効用関数が得られる。

さて，ヘドニック法では宅地価格（地代）が市場均衡の結果，得られることを想定する。社会に存在するアメニティの種類は有限で K 個あるとし，k タイプのアメニティを a^k で表す。また，宅地面積とアメニティの組 (x_1, a^k) を要素とする購入可能な宅地の集合を A で表す。

次に A なる宅地の資源制約の下で形成される均衡宅地価格を $p(x_1, a)$ で表す。均衡状態で h タイプの家計が選択している宅地を $(x^h{}_1, a^h)$ とし，その期待効用水準を v^h とすれば，次の不等式が成立する。

$$v^h = \psi(x^h{}_1, a^k, m^h) + \rho\omega_1 \ (s^h{}_1, w, p(A)\ ;\ A)$$

$$\geqq \psi(x_1, a, m) + \rho\omega_1 \ (s_1, w, p(A)\ ;\ A)$$

$$\text{for any } (x_1, a, m, s_1) \quad \text{such that} \quad y - p(x_1, a) - m - s_1 \geqq 0 .$$

もし，予算制約を満たすある (x_1, a) で不等式〝<〟が成立すれば，家計はその宅地を購入しようとし，したがって社会は均衡状態にはないこ

とになる。一方，すべての (x_1, a) で厳密な不等式〝>〟が成立すれば均衡期待効用 v^hが実現できないことになる。

なお，ω_1の変数 $p(A)$ は，2期以降に得られる期待効用が，現在の宅地価格に基づいて予想される将来の宅地価格によって影響を受けることを示している。同時に，ω_1には期間所得 w が変数に含まれている。もし，h タイプの家計がある宅地を所有しているならば，期間所得には地代収入が含まれる。したがって，2期以降に得られる期待効用は w への影響を通じても，$p(A)$ によって変化する。ただし，以下では，現在形成されている均衡宅地価格に基づく将来の所得と価格の予想は，アメニティの微小な変化に対して影響を受けないことを仮定し，期待効用関数 ω_1を $\omega_1=\omega_1(s_1, A)$ と省略して表すことにする。その理由は，この想定を変えると問題が極めて複雑となるためである。

次に h 家計の付け値関数を導入する。付け値とは，所与の期待効用水準を維持するために，ある宅地に対して家計が支払ってもよいと考える最大の貨幣額のことである。

A の閉包 $\mathrm{cl}A$ を定義域として，付け値関数 $b^h(x_1, a ; v^h, y, A)$ は，

$$b^h(x_1, a ; v^h, y, A)=\max_{m, S_1} \quad y-m-s_1, \qquad \text{subject to} \quad \psi(x_1, a, m)+\rho\omega_1(s_1, A) \geqq v^h$$

で定義される。

任意の h 家計について，均衡状態では，

$$p(x_1, a) \geqq b^h(x_1, a ; v^h, y, A), \text{ any } (x_1, a) \in A$$

が成立している。なぜなら，ある (x'_1, a') で $p<b^h$ならば，この宅地を選択することで h 家計は v^hより大きな期待効用を得ることになり，v^hが均衡状態における期待効用水準であることと矛盾する。一方，すべての $(x_1, a) \in A$ で，$p>b^h$ならば，家計は v^hを実現することができない。

次に均衡人口配置 $(x^h{}_1, a^k)$ を考える。このとき h 家計は $p(x^h{}_1, a^k)$ を支払って期待効用 v^hを実現しているから，付け値関数の定義により，$b^h(x^h{}_1, a^k) \geqq p(x^h{}_1, a^k)$ である。一方，上の考察から $b^h(x^h{}_1, a^k) \leqq p(x^h{}_1, a^k)$ であり，したがって，$p(x^h{}_1, a^k) = b^h(x^h{}_1, a^k)$ を得る。

以上の準備により，ヘドニック価格式が得られる。ヘドニック価格式 $HP(x_1, a)$ とは $\mathrm{cl}A$ を定義域とし，均衡人口配置の各点で

$$HP(x^h{}_1, a^k) = p(x^h{}_1, a^k) = b^h(x^h{}_1, a^k)$$

を満たし，かつ，任意の $h \in H$, $(x_1, a) \in \mathrm{cl}A$ で $HP \geqq b^h$を満たす (x_1, a) の関数である。図－２には，ヘドニック価格式と家計の付け値関数の関係が図示されている。

もし，HP と b^hがともに$(x^h{}_1, a^k)$ で微分可能ならば，

$$\partial HP(x^h{}_1, a^k)/\partial a^k = \partial b^h(x^h{}_1, a^k)/\partial a^k$$

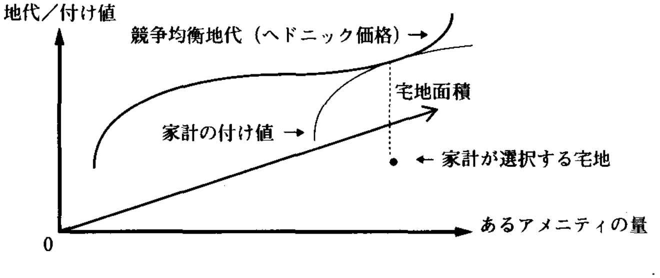
が成立する。ここで，$x^h{}_1$は a^kなる属性を持つ宅地の面積であり，

$$x^h{}_1 = \arg\max_{X_1} b^h(x_1, a^k)$$

を満たしている。したがって，$\partial b^h(x^h{}_1, a^k)/\partial x_1 = 0$ であり，

$$db^h(x^h{}_1, a^k)/da^k = \partial b^h(x^h{}_1, a^k)/\partial a = \partial HP(x^h{}_1, a^k)/\partial a^k$$

が得られる。通常のヘドニック法では，この偏微分係数をもって，その宅地に居住する家計の限界支払意志額とみなす。さらに a^kタイプの宅



図－２　均衡地代と家計の付け値曲線

地に居住するすべての家計について偏微分係数を集計することで，このタイプの宅地における環境サービスの変化の集計限界支払意志額とする。

ここで，$\partial b^h(x^h{}_1, a^k)/\partial a^k$が何を表しているかを検討すると，

$$\partial b^h(x^h{}_1, a^k)/\partial a^k$$
$$=\mu[\partial\psi^h/\partial a^k+\rho(\partial\omega_1(s_1, A)/\partial a^k)]$$

である。ここで μ は付け値関数の制約条件に対するラグランジュ乗数を示す。また，上の式の右辺[・］の第1項は1期の効用変化を表し，第2項は2期以降に得られる期待効用の変化を表す。μ はそれを期待効用単位から貨幣単位に変換するための乗数である。

上で得られた等式は，ヘドニック法が現在 a^kタイプの宅地に居住する家計の1期の効用変化だけではなく，将来の期待効用変化をも考慮したものとなっていることを示している。したがって，ここで得られる限界支払意志額は，この家計の限界オプション価格を表している。しかし，問題は現在 a^kタイプの宅地に居住しない家計，例えば $a^{k'}$に居住する家計についても，$\partial\omega_1/\partial a^k$は正，あるいは負の値をとる可能性があることである。このことは，家計が将来の状態によっては，a^kタイプの宅地に引っ越すことを計画している場合に生じる。

したがって，ここでの考察から得られる結論は，仮にヘドニック法が，その宅地に現在居住している家計の限界オプション価格を正確に計測するものであったとしても，集計の段階において将来その宅地に居住するかもしれない家計の限界オプション価格を計測できない，ということである。

もう一つ注意すべき点は，ここでの宅地価格は，単位期間当たり地代を意味するという意味でフロー・ベースであるのに対して，ヘドニック価格の偏微分係数は限界オプション価格と解釈されることである。それは，事前一括支払意志額であり，アメニティ変化に対して事前に一度だ

け徴収（あるいは補償）されるものである。つまり，それはストック・ベースの支払意志額を表している。ヘドニック価格式の偏微分係数が将来にわたって一定であると仮定でき，しかもすべての家計は考察されている宅地に１期間だけ居住すると想定できる場合を除けば，その偏微分係数をフロー・ベースの支払意志額と見なすことはできない。この点を気付かずに，ストック・ベースに変換しようとして，偏微分係数を何らかの割引率 r で除するとすれば，それは $\rho(\partial\omega_1(s_1, A)/\partial a^k)/r$ だけ，限界支払意志額を余分に評価することになる。

以上，本節では３つの価値評価手法を検討した。ここで明らかとなったことは，Hicks 中立性アプローチは修正なしで不確実性下の動学的設定の下で用いることができるが，弱補完性アプローチとヘドニック法に関しては，その適用にはいくつかの留意点が存在するということである。

引用文献

Bradford, D. and G. Hildebrandt (1977) "Observable pubic good preferences", *Journal of Public Economics* **8**, 111－131

Chavas, J. P., R. C. Bishop, and K. Segerson (1986) "Ex ante consumer welfare evaluation in cost-benefit analysis", *Journal of Environmental Economics and Management* **13**, 255－268.

Cory, D. C. and B. C. Saliba (1987) "Requiem for option value", *Land Economics* **63**, 1－10.

Epstein, L. (1975) "A disaggregate analysis of consumer choice under uncertainty", *Econometrica* **43**. 877－892.

Graham, A. D. (1981) "Cost-benefit analysis under uncertainty", *American Economic Review* **71**, 715－725.

Grandmont, J. M. (1972) "Continuity properties of a von Neumann-Morgenstern utility", *Journal of Economic Theory* **4**, 45－57.

Johansson, P. -O. (1987) *The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits*. Cambridge University Press. (邦訳：嘉田良平監訳「環

境評価の経済学」多賀出版，1994)

Johansson, P. -O. (1988) "Option value : comment", *Land Economics* **64**, 86－87.

Koopmans, T. C. (1972) "Representation of preference orderings over time", in McGuire, C. B. and R. Radner (eds.), *Decision and Organization*. North-Holland.

Larson, D. M. (1992) "Further results on willingness to pay for nonmarket goods", *Journal of Environmental Economics and Management* **23**, 101－122.

Mäler, K. -G. (1974) *Environmental Economics －A Theoretical Inquiry－*. Johns Hopkins University Press.

Mäler, K. -G.(1977) "A note on the use of property values in estimating marginal willingness to pay for environmental quality", *Journal of Environmental Economics and Management* **4**, 355－369.

Mäler, K. -G. (1989) *Risk and the environment : an attempt to a theory*. Research Paper 6390. 26pp.

Meier, C. E. and A. Randall (1991) "Use value under uncertainty : is there a "correct" measure?" *Land Economics* **67**. 379－389.

Neil, J. R. (1988) "Another theorem on using market demands to determine willingness to pay for non-traded goods", *Journal of Environmental Economics and Management* **15**, 224－232.

Rosen, S. (1974) "Hedonic prices and implicit markets : product differentiations in pure competition", *Journal of Political Economy* **82**. 34－55.

Scotchmer, S. (1985) "Hedonic prices and cost/benefit analysis", *Journal of Economic Theory* **37**, 55－75.