

費用便益分析⁽¹⁾

別所俊一郎⁽²⁾

平成 28 年 1 月 6 日

⁽¹⁾極く予備的なものなので引用等を禁止します。文献の引用・参照を十分に示していない箇所があります。

⁽²⁾慶應義塾大学経済学部, E-mail: bessho@econ.keio.ac.jp

目次

第1章 費用便益分析とは	4
1.1 はじめに	4
1.2 費用便益分析のむずかしさ	4
1.3 費用便益分析と市場の失敗	5
1.4 費用便益分析の基本的な手続き	6
第2章 経済効率性の条件	11
2.1 パレート基準	11
2.2 市場メカニズムと効率性	17
第3章 市場の失敗と政府介入の意義	20
3.1 公共財	20
3.2 外部性	25
第4章 厚生変化を測る尺度	29
4.1 補償変分と等価変分	29
4.2 消費者余剰	32
第5章 政策効果の波及	35
5.1 帰着ベースと発生ベース	35
5.2 異なる市場への波及効果：First-best のばあい	36
5.3 異なる市場への波及効果：Second-best のばあい	42
第6章 投入物の評価	46
6.1 First-best	47
6.2 Second-best	50

第7章 割引率と投資基準	56
7.1 資本市場が完全なとき	56
7.2 資本市場が不完全なとき	57
7.3 投資基準	64
第8章 オプションと存在価値	70
8.1 オプション価値	70
8.2 存在価値	76
第9章 評価デザイン	79
9.1 費用と便益の実証的評価	79
9.2 実証実験のデザイン	80
9.3 実証実験の結果と費用・便益の測定	86
第10章 需要曲線の直接推定	91
10.1 1点しかデータがないとき	91
10.2 いくつかの点のデータがあるとき	93
10.3 十分な数のデータがあるとき	94
第11章 顕示選好法	96
11.1 顕示選好法の代表的手法	96
11.2 代替法, 市場類似法	97
11.3 トラベルコスト法	99
11.4 ヘドニック・アプローチ	108
11.5 回避支出法	119
第12章 表明選好法	120
12.1 表明選好法とは	120
12.2 Contingent Valuation Method	121
12.3 コンジョイント分析	126
12.4 表明選好法の問題点	130

第 13 章 費用効果分析・費用効用分析	133
13.1 費用効果分析・費用効用分析とは	133
13.2 費用効果分析・費用効用分析の指標	134
13.3 効用指標	135
13.4 マルコフモデル	138
第 14 章 実験と構造推定	142
14.1 回帰分析の内的妥当性	142
14.2 実験・準実験	142
14.3 構造推定	144
14.4 「実験」 vs 「構造」?	148
第 15 章 [補論] 最小 2 乗法等の基本的な推定方法	150
15.1 最小 2 乗法	150
15.2 回帰分析の評価	161
15.3 質的変数モデル	163

第1章 費用便益分析とは

1.1 はじめに

費用便益分析の広義の目的は社会的な意思決定の支援をすることであり、そのためにミクロ経済分析を応用し、経済的観点に立って政策オプションに順位付けを行います（ボードウェイ 2005）。そのために、政策（プロジェクト）の社会に対するすべての費用（cost）と便益（benefit）を計算し、数値化して比較します。いま、数値化された便益を B 、費用を C とすると、純便益 NB は

$$NB = B - C \quad (1.1)$$

で表されます。もし純便益が正 ($NB \geq 0$) であれば政策は実行すべき（だった）、逆に負 ($NB < 0$) であれば政策は実行されるべきではない（なかった）と結論付けられます。ここで「政策」とは、規模が十分に小さくて部分均衡分析でたりるような小さなプロジェクトから、インフラ整備のように実際に費用便益分析の対象となっていて、他の市場に間接効果を持つようなプロジェクトだけでなく、規制や課税のような政府による介入すべてを含めて考えます。また、便益と費用は、もしも評価の対象となっている政策が実行されたとしたらなくなってしまう排他的な事業との比較で評価されます。しばしば、比較対象はその政策が実行されず何もされなかった状況（with/without）とされます。

費用便益分析の便益と費用には「社会的な」費用と便益が含まれます。これらの費用と便益は、市場メカニズムを経由せずに個人に帰着し、取引の対象とならないものを含みます。この点で、自らの収支のみを考える民間企業の財務分析とは異なります。

1.2 費用便益分析のむずかしさ

費用便益分析の難しさの源泉は、費用と便益が容易に数値化できないという点にあります。政策の実施は物理的に、あるいは家計や企業の行動変容を通じて、広範囲に影響を与えますから、政策の影響をすべて考慮するということは容易ではありません。費用や便益は、金銭的な費用の減少

や利潤の増加という形だけでなく、効用の増減という直接に観測できない形をとります。費用や便益の変化を表す数値が観測できたとしても、それを数値化する指標が観測できなかったり利用できなかったりすることもあります。数値化はしばしば貨幣換算という形をとりますから、価格が観測できないという言い方もできます。費用や便益が効用の増減という形をとるとすると、同じ政策であっても個人によって便益と費用の大きさが異なる可能性もあります。さらに、インフラ整備や環境政策に典型的に見られるように、便益や費用が長期にわたって発生する場合、将来の便益や費用を現在の便益や費用とどのように合算し、比較するかという問題もあります。

1.3 費用便益分析と市場の失敗

費用便益分析は公共政策の評価手法のひとつであり、一般的に定義すれば、ある政策にともなうすべての社会的な利得と損失を数値換算し、政策の採否についての決定ルールに基づいて比較するという分析手法です。しばしば、数値換算とは貨幣単位への換算を意味しますが、必ずしも貨幣単位である必要はありません。

公共政策の評価基準を考える際には、そもそも公共政策がなぜ必要なのかを考えておく必要があります。公共政策の必要性は、ミクロ経済学的な視点からは大きく2つの点で正当化されます。第1は、市場の失敗（market failure）にともなう非効率な資源配分の是正です。市場の失敗（あるいは市場の不在）には、独占や寡占等の不完全競争、不完全情報、外部性や公共財の存在といった例が考えられます。これらの市場の失敗に対応する公共政策としては、所有権の明確化、外部性を発生する企業活動の直接規制、独占企業や寡占企業に対する反トラスト法等の規制、公共財の直接供給、ピグー税やピグー補助金の設定等が含まれます。また、これらの政策を実行するための原資を調達する課税や借入も同時に考える必要があることもあります。

第2は、社会の厚生規範に基づく所得分配の是正です。厚生規範に基づいて理論的に考えると、金銭的な所得の分配だけではなく、効用水準の分布について考慮する必要があります。分配の不平等を是正する公共政策の例としては、累進的な税制の設定、補助金の現金給付にみられるような福祉政策が挙げられます。

費用便益分析の難しさは、公共政策がこのような目的をもって行われることに由来しています。第1に、市場の失敗に対応して公共政策が実施されるとき、資源の社会的価値を表現する価格が正しく観察されません。たとえば、独占が発生しているとき、単純なケースでは観察される価格は限界費用ではなくて限界収入に対応します。負の外部性が存在するとき、価格は私的限界費用に

対応しますが、費用便益分析で用いるべきなのは社会的限界費用です。公共財については価格が観察できません。このように、市場の失敗があるときには価格メカニズムが十全に機能しておらず、観察される価格は社会的な選好や費用をきちんと反映していません。公共政策の評価に、将来の費用や便益といった時間の要素や、リスクの要素を考慮する必要があるとき、問題はさらに複雑になります。

第2に、社会の厚生規範に基づいて所得再分配政策が行われるとき、「社会の厚生規範」は必ずしも観察されません。所得再分配政策とは、単純に言えば金持ちから1円を取り上げて貧乏な人にその1円を渡すという政策です。このような政策が正当化されるためには、金持ちの持つ1円よりも貧乏な人の持つ1円のほうが「社会的な」価値が高い必要があります。このことは、金持ちと貧乏な人の所得差が大きいとき等には直観的には是認されるでしょうが、金持ちの持つ1円と貧乏な人の持つ1円はどれほど社会的な価値が違うのか、については直接に観察できないことがほとんどです。

公共政策の費用便益分析にはこのような問題がついて回るため、これらに対処するためにさまざまな方法が考案されています。

1.4 費用便益分析の基本的な手続き

ここでは、費用便益分析の基本的な手続きについて説明します。これまでに述べたような難しさは、手続きの各ステップで登場します。

費用便益分析の基本的な手続きは以下のようにまとめることができます。

- [1] 一連の選択肢を明示する
- [2] 誰の便益・費用を計算するのか決定する（当事者適格性）
- [3] 影響を分類し、測定の単位を選ぶ
- [4] 機関を通じての影響を数量的に予測する
- [5] すべての影響を金銭単位に換算する
- [6] 現在価値に直す
- [7] それぞれの代替案の正味現在価値（Net Present Value）を求める

[8] 感度分析を行う

[9] 代替案の正味現在価値と感度分析に基づいて推奨案を選ぶ

それぞれの手続きがどのようなものなのか、ボードマンほか（2004，第2章）にあるコキハラ・ハイウェイの事例を使ってみてみましょう。コキハラ・ハイウェイは、カナダはブリティッシュ・コロンビア州の南東部にある高速道路で、ホープからカムループスというカナディアンロッキーのなかの町を結ぶ高速道路です。

選択肢を明示する： 公共政策のいずれを費用便益分析の対象にするかはさまざまな可能性があります。費用と便益を評価するためには、政策の細部まで決めておく必要があるからです。高速道路のばあい、建設するかしないかは評価の対象となりうる選択肢ですが、建設するならばどのようなルートを選ぶか、車線の数はどうするか、舗装はどうするか、いつ作るか、などさまざまなスペックを考えることができます。ここでは、高速道路を有料にするか無料にするかの2つの選択肢を分析の対象とします。有料といっても料金体系にはいろいろと可能性があります。ここではトラック40ドル、乗用車8ドルという料金を考えます。費用便益分析では、公共政策の選択肢を一つだけ検討するということはありません。必ず他の政策オプションを検討し、その比較で推奨案を選びます。しばしば、他の政策オプションは「現状維持」や「何もしない」であるので、検討している政策案が1つしかないように見えますが、何と比較しているのかを認識しておくことは重要です。理論的には、比較対象となる公共政策はどのようなものでもかまいません。たとえば、有料の高速道路を建設することと、健康管理プログラムに補助金を出すことを比較する、ということでもかまいません。ただし、一般的には、似たような政策選択肢間の、または「何もしない」との比較になることが多いようです。

当事者適格性の決定： 費用便益分析を誰の観点から行うかについても選択の余地があります。ここでは、プロジェクトを行う州の観点から分析を行うこととしています。もちろん、公共政策から影響を受けるすべての主体を考慮する「社会的な」観点から分析をすることも望ましい視点のひとつです。

影響の分類： 高速道路を無料で通行させることと比べると、有料にするものの費用と便益にはいろいろなものが考えられます。ここでは便益として6つ、費用として4つが挙げられています。すなわち、便益としては利用者の時間節約（運行費用の縮減）、ハイウェイの残存価

値、安全な道路になることによる事故の減少、旧道の混雑緩和、通行料収入、新規利用者の増加、です。費用としては、建設費用、維持費用、料金徴収費用、料金所の建設維持費用が挙げられます。これらの便益と費用のうち、金銭として目に見えるのは通行料収入と各種建設維持費用であり、とくに便益の多くについては価格が観察されません。したがって、計測しにくい効果が多くあることになります。とはいえ、考えられていない影響も多くあります。たとえば、自動車の通行が多くなることによる排ガスの健康や野生動物への効果、高速道路自体の景観への効果、あるいは地域の経済成長に与える効果等です。経済成長はマクロ経済的な事象ではありますが、費用便益分析では個人レベルで評価することが必要になります。逆に言えば、個人に影響することのみを評価します。公共政策が個人の効用に与える因果関係の存在や大きさは、しばしば科学的調査を必要とし、先験的にその存在や大きさを決めることは難しいことが多いようです。また、同じようなインパクトでも、便益になるかどうかは個人によって異なることもあります。たとえば景観の変化は、ある人にとっては好ましいもので便益となるかもしれませんが、他の人にとっては好ましくない変化として費用（マイナスの便益）になるかもしれません。

影響を数量的に予測：検討すべきどのような影響があるかを定めたあと、それぞれの影響の大きさを数量的に予測します。高速道路の有料化のばあい、第1次的な影響として将来にわたる通行量を、高速道路および影響を受ける旧道の両方について予測します。通行量がわかれば、節約できる通行費用、避けられる事故数・死亡数などを推測することができます。通行量の予測には交通工学の知識が必要かもしれません。また一般にこのような通行量予測の精度はそれほど高くないのが現状です。ここではさしあたって通行量が分かれば大きさのわかるような便益と費用のみを検討の対象としていますが、たとえば野生動物への影響を計算に含めるのであれば、通行量の変化に対する野生動物の頭数の変化などを予測する必要があります。

影響を金銭単位に換算：公共政策の影響の大きさが予測できたら、その影響の大きさを費用と便益に共通の尺度を用いて数値換算する必要があります。ほとんどの場合、数値換算とは金銭換算のことを指します。高速道路の例では、利用者が節約できた時間の価値は1台あたり1時間で12ドルとか、道路整備によって助かった人命の価値は1人あたり200万ドルなどといった単価を設定して、便益と費用を金銭換算します。時間や人命のような「典型的な」便益の価格については、費用便益ごとに推計するよりも先行研究などを利用するほうが一般的です。それほど典型的でない影響の一つの例は「環境」です。環境の価値はそれぞれの環境

によってさまざまなこともあって、とくに議論が多いところです。人命等については金銭換算せず、影響の大きさのみを比較する分析手法もあり、とくに医学薬学分野で利用されます。費用効果分析（CEA: Cost Effective Analysis）と呼ばれます。

現在価値に直す： 高速道路の便益や費用は長期にわたって発生します。運行時間を節約できるという便益は長期にわたって発生しますし、費用面でも、維持補修費用は将来にわたって生まれます。そこでこれらの便益と費用を現在価値に直して比較する必要があります。一般に、 t 年の便益 B と費用 C は割引率 s を用いて、 $(1+s)^t$ で除して現在価値に変換されます。この s を社会的割引率と呼びます。便益と費用が T 年後まで発生するとすれば、便益と費用の割引現在価値はそれぞれ、

$$PV(B) = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+s)^t}, \quad PV(C) = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+s)^t}$$

で表されます。計算自体は容易ですが、便益と費用が次の世代にもかかるときなどにとくに、社会的割引率の値をどれほどにするのか適切なのかについて合意は少ないようです。

正味現在価値を求める： 便益の割引現在価値から費用の割引現在価値を引いたものを純便益の割引現在価値、あるいは正味現在価値と呼びます。つまり、 $NPV = PV(B) - PV(C)$ です。費用便益分析では一般的にこの NPV が最大となる公共政策を選びます。ただし予算の制約があるなどのときには、他の指標として内部収益率（IRR: Internal Rate of Return）や便益費用比といった指標も利用されます。

感度分析： ここまでの手続きはいくつもの前提を置かなければ進めることができません。影響の数量的な予測やその影響の金銭価値への変換、さらに現在価値への変換には、実際には観察されないパラメタについて一定の仮定をおいた計算が行われます。たとえば、高速道路の通行量予測には料金に対する通行量の反応の大きさのパラメタが必要です。しかしそのような弾力性の値は直接には観察できず、なんらかのデータから推計するか、先行研究から適切な数値を設定するかなどの方法が取られます。また、社会的割引率は観測も推測も難しいため、一定の値が前提とされます。したがって、計算に使われるパラメタの値は「真の値」ではないと考えられます。そこで、ここまでの手続きで置かれたパラメタの仮定について、少しずつ数値を変えて正味現在価値がどれほど変動するかを計算します。計算に用いられるパラメタの数は多いので、数値を少しずつ変えた全ての組み合わせについて正味現在価値を計算す

ることは実際上は困難です。そこでいくつか限られた変更パターンについて正味現在価値の変動を示すのが一般的です。

推奨案を選ぶ： 正味現在価値と感度分析の結果をもとにして，正味現在価値が最も大きいと考えられる公共政策を推奨案として選択します。

第2章 経済効率性の条件

費用便益分析は公共プロジェクトの評価のために行われます。評価のためには基準が必要です。ここでは経済学でよく用いられる基準について説明します。実際の政策決定にあたっては、これら以外の基準が適用されることには留意が必要です。

2.1 パレート基準

ミクロ経済学でしばしば用いられる基準がパレート基準です。この名前はイタリアの経済学者であったヴィルフレッド・パレート（Vilfredo Pareto, 1848-1923）にちなんでいます。パレート基準とは、「他の誰かの効用を下げることなしに、誰かの効用をあげることができるかどうか」という基準を言い、他の誰かの効用を下げることなしには誰かの効用を上げることができないとき、パレート効率的である（Pareto efficient）と言います。逆に、他の誰かの効用を下げずに誰かの効用を上げることができるとき、パレート非効率的であると言います。経済的資源がどのように各家計に分けられ消費されているかという組合せのことを配分（allocation）と呼びますが、パレート非効率的な配分から始めて、他の誰かの効用を下げずに誰かの効用を上げることをパレート改善する（Pareto improving）と言い、パレート改善された配分はパレート非効率的な配分をパレートの意味で優越している（Pareto dominant）と言います。経済学では「効率性」といえばパレート効率性を指すことがほとんどなので、いちいち「パレート」とつけないことも多いようです。

パレート効率性はある配分がもたらす個人の効用がどう分布しているかによって定義されますが、より基礎的な「効率性」の条件の組合せとして考えることもできます。その条件とは、交換の効率性、生産の効率性、生産物構成の効率性⁽¹⁾の3つです⁽²⁾。

⁽¹⁾教科書では「配分の効率性」とありますが、この訳では分かりにくいと思います。

⁽²⁾厳密な定義についてはミクロ経済学の教科書を見てください。

2.1.1 交換の効率性

交換の効率性とは、財の量を所与とするとき、他の誰かの効用を下げることなく誰かの効用を上げられるかどうかを指します。ミクロ経済学で出てきたエッジワース・ボックスの話です。交換の効率性は限界代替率（MRS: Marginal Rate of Substitution）が等しいという条件で特徴付けられます。話を簡単にするため、AさんとBさんの2人から成り、XとYの2財しかない経済を考えましょう。限界代替率とは、財Xの消費量を限界的に1単位あきらめるときに、効用を維持するために必要な財Yの消費量のことをいいます⁽³⁾。財Xと財Yの消費量を縦軸と横軸にとって無差別曲線を描くと、限界代替率は無差別曲線の傾きに等しくなります。

AさんとBさんが消費する財Xと財Yの総量が固定されているとしましょう。AさんとBさんのそれぞれの限界代替率が等しくなければ、分配を変更することによってパレート改善することが可能です。たとえばAさんの限界代替率が1で、Bさんの限界代替率が2であるとします。このときAさんからBさんに財Xを1単位渡し、交換にBさんからAさんに財Yを1単位渡すという取引を考えましょう。Aさんの限界代替率が1ということは財Xを1単位あきらめるときに財Yが1単位あればよいということを意味していますから、この取引によってAさんの効用は変化しません。Bさんの限界代替率は2ですから、財Xを1/2単位もらえれば財Yを1単位あきらめても効用は変化しません。なので、この取引によってBさんの効用は増加します。したがって、この取引はパレート改善であり、もとの配分はパレート非効率的であったことがわかります。ただし、この取引でパレート最適が実現したかどうかについては何も言えません。

エッジワース・ボックスは、財の量が固定されているので交換の効率性を考えるのに適しています。エッジワース・ボックスのなかで、2人の限界代替率が等しい、すなわち2人の無差別曲線が接している点をつないだ線のことを契約曲線と呼びます。

2.1.2 生産の効率性

交換の効率性を考えるときには財の量を所与としましたが、生産要素と生産技術が所与のときに、これらを用いて十分な消費財が生産されているかどうかを指すのが生産の効率性です。生産の効率性が達成されているとは、他の財の生産量を減らすことなくある財の生産量を増やすことができないことをいいます。この効率性は、生産可能性集合を用いて図示することができます。いま横軸と縦軸に消費財XとYの生産量をとると、生産要素の量と生産技術が所与であれば、生産

⁽³⁾XとYは逆でもかまいません。

可能な財 X と Y の集合を図上に示すことができ、その縁をつくる曲線を生産可能性曲線と呼びます。生産技術（生産関数で表現されます）の形状に依存して生産可能性集合の形状は決まりますが、一般に生産可能性曲線は原点に対して凹、生産可能性集合としては凸と仮定されます。生産可能性集合の内点で生産可能性曲線上にない点では生産が非効率に行われているといえます。

生産可能性曲線の傾きは、財 X の生産を 1 単位限界的にあきらめることにより可能になる財 Y の生産量に対応します。この傾きは生産関数から求めることができ、限界変形率（MRT: Marginal Rate of Transformation）と呼ばれます。

2.1.3 生産物構成の効率性

消費財の生産が生産可能性曲線上で行われ、生産された消費財を所与として交換の効率性が達成されていたとしても、なおパレート非効率である可能性があります。2 人経済で消費財が X と

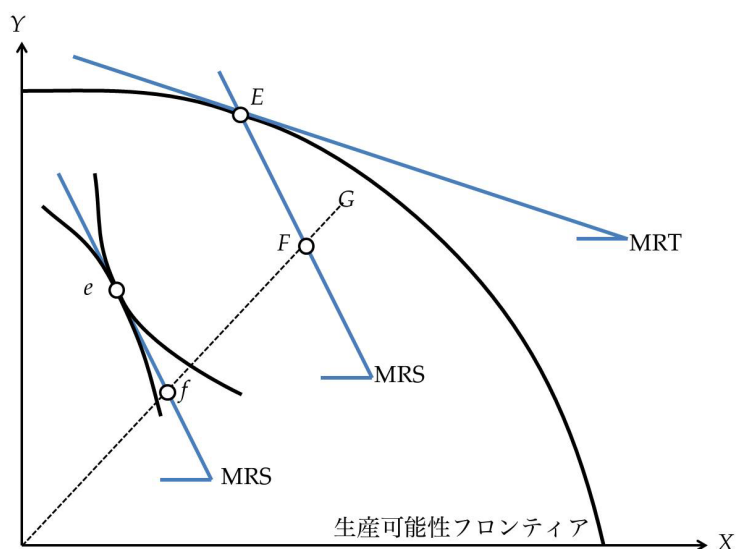


図 2.1: 生産物構成の効率性

Y である経済を考えましょう。図2.1の点 e は、無差別曲線が接しており交換の効率性を満たしています。また点 e を実現している消費財の組合せを示した点 E は生産可能性曲線上にあり、生産の効率性を満たしています。しかし、点 E での接線の傾きで示される限界変形率と、点 e での接線の傾きで示される限界代替率は等しくありません。このとき、生産物構成の効率性が満たされておらず、パレート非効率的です。

図2.1では限界代替率のほうが限界変形率よりも大きいので、いま限界代替率が4、限界変形率が1だとしてみましょう。限界代替率が4であるということは、2人の消費者はともに、財Xを1単位増やすために財Yを4単位あきらめることができます。他方、限界変形率が1なので財Xの生産を1単位増やすためには財Yは1単位減らせばよいことになります。そこで、財Yの生産を4単位減らして財Xの生産を4単位増やせば、2人の効用をともに増加させることができます。したがって最初の生産と消費の組合せはパレート非効率であったことがわかります。

図2.1でそのことを示してみましょう⁽⁴⁾。現在生産が行われている点Eから、財Xを1単位増やし、財YをMRS単位だけ増やしたとします。そうすると生産点は点Fに移りますが、MRTがMRSより小さいことから、この点Fは生産可能性集合の内点であり、生産可能性曲線上にはありません。この点Fと原点Oを結び、点eでの接線との交点を点fとします。点fは点eでの接線上を少し動いた所なので、点fでの2人の効用は点eからわずかに減少しません。そこで、点Fの少し外側の生産可能性集合の内点である点Gをとると、2人の効用を維持することができます。点Gは内点ですからさらに2人の効用を上げる余地があります。したがって点Eと点eで表わされる配分はパレート非効率であったことがわかります。

したがって、生産物構成の効率性は、限界変形率と、各消費者の限界代替率が等しいときに成立します。

2.1.4 効用フロンティア

消費財が2財で消費者が2人の生産経済を表わしている図2.1で、生産可能性曲線の上の1点を考えましょう。その点と原点を使ってエッジワース・ボックスを描き、中に契約曲線を描くと、限界変形率と同じ限界代替率になる契約曲線上の点が存在します。生産可能性曲線上の任意の点に対してこのような点があるとすれば、所与の資源（生産要素）と技術のもとで達成されるパレート効率的な資源配分は無数にあります。そのような組合せの軌跡を効用フロンティアと呼びます。2人経済では、それぞれの効用水準を横軸と縦軸にとったグラフ上に表現できます。図2.2は効用フロンティアの例です。生産可能性曲線と異なり、生産可能性集合の凸性や選好の凸性といった通常の仮定を置いた場合でも、効用フロンティアは原点に対して凹になるとは限りません。

図2.2はそれぞれの効用水準を横軸と縦軸にとったグラフなので、右上方向への変化がパレート改善を示します。点cを基準とすれば、領域abc内の点への変化はパレート改善になります。効用

⁽⁴⁾この議論は少しわかりにくいかもしれませんが

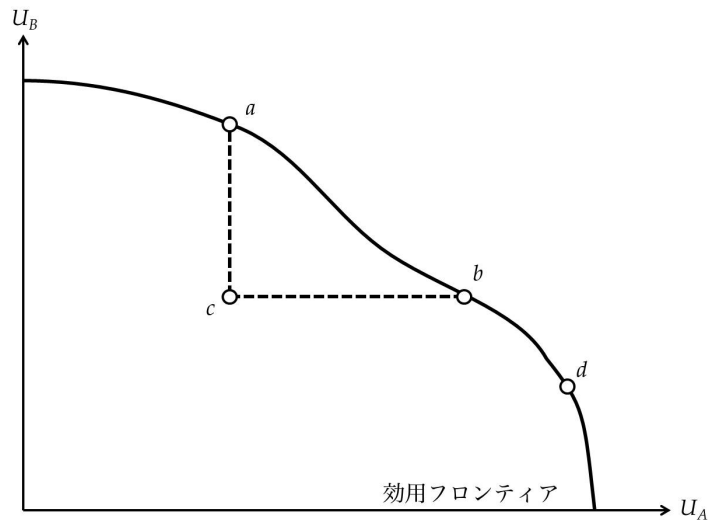


図 2.2: 効用フロンティア

可能性フロンティア上の点には、右上方向に実行可能な効用の組合せがないので、これらの点はパレート効率的な配分に対応しています。

点 c から点 d への移行はパレート改善ではありません。しかし、もし点 d が実現したのちに、個人 A から個人 B への適切な補償 (compensation) が行われることによって点 a から点 b のあいだの効用フロンティア上の点の実現できるとき、点 c から点 d への変化を潜在的パレート改善と呼びます⁽⁵⁾。

2.1.5 社会厚生関数

パレート基準では、任意の 2 つの配分の社会的な望ましさを判断することが常にできるわけではありません。たとえば図 2.2 の点 a, b, d はすべて効用フロンティア上にありパレート効率的な資

⁽⁵⁾ 実際には補償が行われないにしても「補償が行われたとすれば」という仮設的状況をもとに配分の変化を評価する考え方を補償原理と呼びます。補償原理のうち、配分の変化によって効用の増加した経済主体が、効用の減少した経済主体にその損失を補償してもなお自分の効用が増加するような変化を是認する基準をカルドア基準と呼びます。他方、効用の減少する経済主体 B が効用の増加する経済主体 A に補償を行って配分の変化を阻止するとき、そのような阻止をしてなおかつ B の効用の増加する余地があるときには、このような配分の変化は好ましくないことになりますから、逆に、この阻止ができないときには配分の変化を是認することができます。このような基準をヒックス基準と呼びます。カルドア基準もヒックス基準もパレート基準に比べると順序付けできる配分の組合せが多くなりますが、どちらも完全な基準ではなく、シトフスキー・パラドクスが起きうることが知られています。

源配分を表していますから、この3つの配分のどれがより望ましいかをパレート基準によって順序付けすることはできません。公共政策の評価では、パレートの意味で優越している政策とそうでない政策を比較する必要性があることはほとんどありませんから（パレート優越している政策を選ぶ方が当然に好ましい）、パレート効率的な配分どうしを順序付ける基準を考える必要があります。

順序付けができない配分の組合せがありうるという点でパレート基準には限界がありますが、その一方でパレート基準は好ましい性格も持っています。それが、個人の効用を他人と直接に比較しなくてよいという点と、効用の大小だけを考えればよいという点です。パレート基準とは「他の誰かの効用を下げることなく誰かの効用を上げることが可能かどうか」という基準ですから、誰かの効用を他の人の効用と比較しているわけではありません。また、効用が上がるか下がるかだけを問題にしているので、効用がどれくらい上がるかを気にする必要はありません。ミクロ経済学で習ったように、効用は序数的であり効用関数の値自体には意味がないとされています。したがって、効用関数を単調増加関数で変換した関数もまた同じ選好を表します。

とはいうものの、個人の効用を他人の効用と比較せず、効用が上がるか下がるかだけを考えるだけでは、配分の順序付けはずいぶんと制約されたものになり、公共政策の評価付けとしてできることも少なくなってしまう。そこで、個人の効用関数の値には意味があり、その値を個人間で比較することができるものと仮定して、資源配分を比較することを考えましょう。

そのような装置として考えられているものの一つが社会厚生関数（social welfare function）です。社会厚生関数は経済における配分に数値をあてはめる関数で、資源配分に対する社会の価値判断を反映するものです。社会厚生関数は経済の資源配分に実数に対応させることができればよいのですが、しばしば用いられる Bergson-Samuelson 型の社会厚生関数⁽⁶⁾では、社会厚生関数が個人の効用の組合せの関数とされます。個人の効用は消費に依存しますから、社会厚生は資源配分に依存することになります。

個人 A と個人 B からなる 2 人経済では、Bergson-Samuelson 型社会厚生関数は

$$W = W(U_A, U_B) \quad (2.1)$$

と表されます。効用に対して社会厚生が決まるので、図2.2のような効用平面上に社会厚生が等しい点の軌跡を描くことができます。この軌跡を社会的無差別曲線と呼びます。また、このタイプの社会厚生関数は以下の5つの仮定を満たすとされます。

⁽⁶⁾ 「バーグソン・サミュエルソン型」と言ったり、「ベルグソン・サミュエルソン型」と言ったりしますが、どちらがいいのかはよくわかりません。「ベルクソン・サムエルソン型」でもいいかもしれません。

効用の個人間比較可能性：効用は個人間で比較可能であり、効用の値が意味を持つ（基数的である）とされます。

厚生主義：社会厚生は個人の効用の関数と仮定されます。社会厚生は資源配分そのもの、つまり個人の消費パターンの直接の関数であるとしてもよさそうなものですが、ここでは消費をその個人がどのように評価しているかという判断を間に挟みます。

パレート原理：社会厚生関数による評価であっても、パレート優越している配分のほうがより好ましいという評価になるのがもっともらしいと考えられます。したがって、ある配分が他の配分をパレート優越しているとき、パレート優越している配分に対応する社会厚生関数の値のほうが大きくなります。式で書くと、 $\partial W / \partial U_i > 0$ となります。社会的無差別曲線を図2.2のような効用平面上で考えると、右上のほうが高い社会厚生水準に対応します。

匿名性：誰の効用が高いかということは社会厚生の大小に影響しないとされます。式で書くと、 $W(U_A, U_B) = W(U_B, U_A)$ となり、効用値の分布が社会厚生を決め、誰の効用がどれほどかは社会厚生を決めません。図2.2のような2人経済では、社会的無差別曲線は45度線に対して対称になります。

不平等回避：消費が誰かに偏っているよりは、平等に分布している方が社会的には好ましいと考えられます。Bergson-Samuelson 型社会厚生関数は効用から社会厚生への関数ですから、個人の効用の水準がより平等に分布しているほうが社会厚生の値が高くなるような関数形をしていると仮定されます。このとき、図2.2のような2人経済では、社会的無差別曲線は原点に対して凸になります。 $W = U_A + U_B$ のとき、効用の和のみが社会厚生の水準を決め、不平等は影響しませんが、このような社会厚生関数をベンサム型社会厚生関数と呼びます。逆に、不平等を回避する傾向が極めて強いとき、社会厚生はもっとも効用の低い個人の効用水準によって決まり、 $W = \min(U_A, U_B)$ となります。このような社会厚生関数をロールズ型社会厚生関数と呼びます。

2.2 市場メカニズムと効率性

パレート基準や社会厚生関数は、実現した資源配分をどう評価するかという基準です。これらの基準を用いて、それぞれの経済がどのような資源配分を実現していて、それが公共政策によってどのように変化するかを次にみてみましょう。

厚生経済学の第一基本定理は、市場が完全であれば実現する市場均衡はパレート最適である、ということを主張しています。ここで市場が完全であるということは、いくつかの数学的な技術的条件を除くと次の条件で特徴付けられます。

- 情報が完全です。売り手と買い手は取引される財についての情報を完全にもっていて、よく分かっていないものを取引したり詐欺的な取引が行われたりはしません。それぞれの財が自分の効用にどのような影響を及ぼすのか、あるいは生産にどのような費用がかかるのかが完全に把握されている状況を仮定しています。
- 消費者は効用の、企業は利潤の最大化を行います。消費者は自らの消費から効用を得、企業は自らの財を販売して利潤を得ますが、それぞれ効用と利潤を最大化するように行動します。そのためにどの財の組合せを購入すればよいか、どの生産要素を組み合わせればよいかを、消費者と企業は完全に把握しているとします。消費者はある程度満足が得られればよい、といった行動はとりません。
- 消費者と企業は価格受容者（price taker）です。消費者にも企業にも市場で付いている価格を操作することはできず、市場で付いている価格で売り買いをすることしかできません。いまの日本の日常生活では、企業（お店）が値札を付けていてそれに対して消費者が買うか買わないかを決めていることがほとんどですが、「市場」で決まっている価格を企業が知っていて、それを上回る価格を付けると消費者が逃げて行ってしまうので「市場の」価格をつねにつけているとすれば、消費者も企業も価格受容者と考えることはそれほど強い仮定ではないかもしれません。
- 新規参入や退出に費用は掛かりません。企業は利潤が発生するところには自由に参入し、利潤がない市場からは自由に退場できます。参入障壁はありません。この仮定は、参入退出が自由だという長期的にはもっともらしい状況を表しているとともに、生産関数（費用関数）の形状について一定の仮定を置いているものとも解釈できます。
- 所有権が明確に定義されています。どの財がだれのものかが明確に定義されていて、所有していないものは消費できないし、また消費させられることもないということを意味しています。これは詐欺などの犯罪が起きないということを仮定しているのと同時に、次回以降に扱う、外部性や公共財の問題がないということを仮定しています。

これらの仮定がすべて成り立つとき、消費者の効用最大化問題を解くと限界代替率が価格に等しくなり、企業の利潤最大化問題を解くと限界変形率が価格に等しくなります。価格はすべての消費者・企業にとって所与で共通ですから、個人間では限界代替率が等しくなり、また限界代替率と限界変形率が等しくなります。したがって、交換・生産・生産物構成の効率性が成り立ち、パレート効率的な資源配分が成り立っていることになります。

1財のみに注目すると、企業の利潤最大化問題から、財価格に対して供給量を定める供給関数を導出することができます。利潤最大化条件から、財価格は生産の限界費用に等しくなります。生産の限界費用は、他の財を生産する限界費用で基準化されるので、限界変形率と解釈できます。他方、消費者の効用最大化問題から、財価格に対して需要量を定める需要曲線を導出することができます。効用最大化条件から、財価格は財の消費から得られる限界便益に等しくなります。限界便益は他の財の消費からの限界効用で基準化されるので、財価格は限界代替率と等しいということになります。市場が均衡して、需要が供給と等しくなるとき、限界費用・価格・限界便益の3者が等しくなり、パレート効率性が達成されます。

厚生経済学の第一基本定理は市場が完全であれば実現する市場均衡はパレート最適であると言っていますが、もし市場が完全であれば実現する市場均衡はパレート効率的であるとは限りません。市場が完全であるということは上で述べた条件がすべて成り立っていることを示していますから、これらの条件が一つでも成り立たなければ、市場均衡はパレート効率的でなくなる可能性があります。つまり、情報の不完全性や非対称性があつたり、独占や寡占などの不完全競争があつたり、固定費用などの存在で参入障壁があつたり、あるいは外部性や公共財があれば、市場均衡ではパレート効率性は達成されません。市場均衡では、消費者にとっては限界代替率と価格が、企業にとっては限界変形率と価格が等しくなっていますから、市場が不完全であれば、限界代替率や限界変形率が社会的な便益や費用と乖離することになります。

第3章 市場の失敗と政府介入の意義

厚生経済学の第一基本定理では、市場が完全であれば実現する市場均衡はパレート効率性を達成することが主張されていますが、他方で、市場が不完全であれば実現する市場均衡はパレート非効率な配分を導く可能性があります。このような市場の失敗（market failure）があるときには政府による介入の余地があります。ここでは、市場の失敗があるときに市場均衡はどうなってしまうのか、パレート効率的な配分はどのようなになっているのか、市場の失敗を矯正するためには政府はどのような介入をすればよいのかについて、公共財と外部性を例にとりて抽象的にみておくことにしましょう。公共財や外部性は、費用便益分析が行われる公共政策を正当化する理由としてしばしば登場するものです。

3.1 公共財

公共財とは一般に、排除不可能性と非競合性の両方の性質を持つ財と定義されます。排除不可能性とは、財を消費させないようにすることができないことを言います。逆に言えば、財の消費にフリーライドすることを防ぐことができないという性質のことです。非競合性とは、財を複数の消費者が同時に消費できることをいい、消費によって財の量が減らないとも言えます。この性質は、等量消費や結合性とも呼ばれます。純粋な公共財は完全に非競合的ですが、実際に存在する財は完全には非競合的ではなく、混雑性をもっていることがほとんどです。ここでいう公共財は、これら2つの財の物理的性質によって定義され、財の供給者によって定義されていないことに注意しましょう。すなわち、公共財が私的に提供されることもありますし、私的財が公的部門によって提供されることもあります。

3.1.1 最適供給

まず、公共財が存在するときのパレート効率的な配分を確認しておきましょう。2人モデルで消費者Aと消費者Bがいるとします。2人の私的財の消費量をそれぞれ、 x_A, x_B とします。2人が

等量に消費する公共財の量を G とします。また、2 人の所得をそれぞれ M_A, M_B とし、私的財の量で表現されているとしましょう。私的財を p 単位使うと公共財が 1 単位作られるとし、A と B の供給する公共財の量を g_A, g_B とすると、 $G = g_A + g_B$ となります。このとき、消費者 A の効用と予算制約は

$$u_A = u_A(x_A, G), \quad x_A + pg_A = M_A \quad (3.1)$$

同様に消費者 B の効用と予算制約は

$$u_B = u_B(x_B, G), \quad x_B + pg_B = M_B \quad (3.2)$$

と書くことができます。制約条件を使って書き直すと、

$$u_A = u_A(x_A, g_A + g_B) = u_A(M_A - pg_A, g_A + g_B) \quad (3.3)$$

$$u_B = u_B(x_B, g_A + g_B) = u_B(M_B - pg_B, g_A + g_B) \quad (3.4)$$

となります。パレート効率性の条件は、「ほかの誰かの効用を下げることなく、誰かの効用を上げることができない状況」ですから、たとえば消費者 B の効用水準を一定値 $\bar{u}$ に保ったまま、消費者 A の効用水準を最大化する状況を考えればパレート効率的な配分を求めることができます。すなわち、

$$\max u_A, \quad \text{s.t.} \quad u_B \geq \bar{u} \quad (3.5)$$

という最大化問題を解くことにします。ラグランジアンは

$$L = u_A(M_A - pg_A, g_A + g_B) + \lambda (\bar{u} - u_B(M_B - pg_B, g_A + g_B)) \quad (3.6)$$

となるので、最大化の一階の必要条件（FONC: First Order Necessary Conditions）は

$$\frac{\partial L}{\partial g_A} = \frac{\partial u_A}{\partial x_A}(-p) + \frac{\partial u_A}{\partial G} - \lambda \frac{\partial u_B}{\partial G} = 0 \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial g_B} = \frac{\partial u_A}{\partial x_A} - \lambda \left(\frac{\partial u_B}{\partial x_B}(-p) + \frac{\partial u_B}{\partial G} \right) = 0 \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \bar{u} - u_B(M_B - pg_B, g_A + g_B) = 0 \quad (3.9)$$

となります。(3.7) より

$$\lambda = \frac{1}{\partial u_B / \partial G} \left(-p \frac{\partial u_A}{\partial x_A} + \frac{\partial u_A}{\partial G} \right) \quad (3.10)$$

となるので、(3.8)に代入すると、

$$\frac{\partial u_A}{\partial x_A} - \frac{1}{\partial u_B / \partial G} \left(-p \frac{\partial u_A}{\partial x_A} + \frac{\partial u_A}{\partial G} \right) \left(\frac{\partial u_B}{\partial x_B} (-p) + \frac{\partial u_B}{\partial G} \right) = 0 \quad (3.11)$$

両辺を $\partial u_A / \partial G$ で割ると、

$$1 = \left(-p \frac{\partial u_A / \partial x_A}{\partial u_A / \partial G} + 1 \right) \left(-p \frac{\partial u_B / \partial x_B}{\partial u_B / \partial G} + 1 \right) \quad (3.12)$$

となります。ここで、限界代替率を

$$\text{MRS}_A = \frac{\partial u_A / \partial G}{\partial u_A / \partial x_A} \quad (3.13)$$

と定義すると、

$$1 = \left(-\frac{p}{\text{MRS}_A} + 1 \right) \left(-\frac{p}{\text{MRS}_B} + 1 \right) \quad (3.14)$$

となるので整理すると

$$p = \text{MRS}_A + \text{MRS}_B \quad (3.15)$$

となります。ここで、左辺は公共財 1 単位を生産するのに必要な私的財の量を表しているの、公共財生産の限界費用を表しています。右辺は公共財への限界代替率の和となっています。公共財は消費者 A にも B にも効用をもたらすことから、社会的便益は 2 人に与える効用の和となります。この公共財の最適供給の条件を、サミュエルソン条件といいます。

3.1.2 自発的供給

前節で求めたのは、この経済でのパレート効率的な資源配分でした。では、消費者 A と B が自由に意思決定する分権経済ではどのような配分が実現するのでしょうか。分権化された経済と言っても、公共財が存在する経済では通常の交換は起きませんから、消費者 A と B が完全市場でのように価格受容者として行動すると仮定することには無理があります。また、消費者 A と B の 2 人しか考えていないのですから、この 2 人が話し合ったり交渉することができるかどうかによっても結論が変わります。ここでは、消費者 A と B が互いの行動を所与として行動し、話し合いなどによる協調行動をとらない、ナッシュ (Nash) 的な状況を想定しましょう。

消費者 A は消費者 B の生産する公共財の量 g_B を所与として自分の効用を最大にするように行動すると仮定されるので、消費者 A の最適化問題は

$$\max u_A = u_A(x_A, g_A + g_B) \quad \text{s.t.} \quad x_A + pg_A = M_A \quad (3.16)$$

と定式化されます。このとき、制約条件を目的関数に代入すると、FONC は

$$\frac{\partial u_A}{\partial x_A}(-p) + \frac{\partial u_A}{\partial G} = 0 \quad (3.17)$$

となるので整理すると

$$\frac{\partial u_A / \partial G}{\partial u_A / \partial x_A} = \text{MRS}_A = p \quad (3.18)$$

となります。消費者 B についても同様の最適化問題が解かれるので、 $\text{MRS}_B = p$ が FONC から求まります。したがって、

$$\text{MRS}_A + \text{MRS}_B = 2p > p \quad (3.19)$$

となり、パレート効率的な資源配分で満たすべき条件を満たしておらず、パレート効率的な配分が実現しないことがわかります。G が大きくなると $\partial u_A / \partial G$ が小さくなることから、最適な条件よりも限界代替率の和が小さいということは、公共財 G の供給量が過小になっていることがわかります。

3.1.3 解決策

公共財を自発的供給に任せた時に過小供給される問題に対する解決策はメカニズムデザインの分野でさまざまに考えられています。ここでは最も初期に考えられたメカニズムであるリンダールメカニズムについて考えましょう。

もし個人の限界代替率が政府にとって⁽¹⁾ 既知の情報であれば、この情報を使って公共財の過小供給の問題を解決することができます。いま、消費者 A と B の限界代替率に $2\text{MRS}_A = \text{MRS}_B$ という関係が成り立っているとしましょう。このとき、公共財を 1 単位生産する費用が消費者 A にとって $\frac{1}{3}p$ 、消費者 B にとって $\frac{2}{3}p$ となるように設定することができれば、消費者 A と B の最適化行動は $\text{MRS}_A = \frac{1}{3}p$ 、 $\text{MRS}_B = \frac{2}{3}p$ となるように決まるはずですから、サミュエルソン条件を満たすことができ、パレート効率的な配分を達成することができます。

ただし一般には消費者 A と B の限界代替率は既知の情報ではありませんし、この情報を集めるために個人に申告してもらったとしても、消費者には正直に申告するインセンティブはありません。というのも、限界代替率を大きく申告してしまうと、リンダールメカニズムの下ではその分、

⁽¹⁾政府でなくてもかまわないのですが、公共政策を扱う講義なので政府と呼ぶことにします。

負担が大きくなってしまふ（公共財 1 単位あたりの生産費用を高く設定されてしまふ）ことになるからです。

この問題を解決するため、メカニズムデザインでは正直に自分の選好を申告し、かつ政府の予算制約が満たされるようなメカニズムが検討されています。しかし、いまのところ実際の公共財生産においては消費者それぞれに選好に合わせた負担を求めるというよりは、一律の負担が求められます。

いま、消費者 A, B, C がいて、消費者 A は公共財に対する評価が低く、消費者 C は公共財に対する評価が高いとしましょう。このとき、公共財生産にかかる費用を一律に設定したとすると、サミュエルソン条件は満たされますが、自発的供給に任せたときにくらべてパレート改善するとは限りません。図3.1は消費者 A, B, C のそれぞれの公共財から得られる限界便益を描いています。

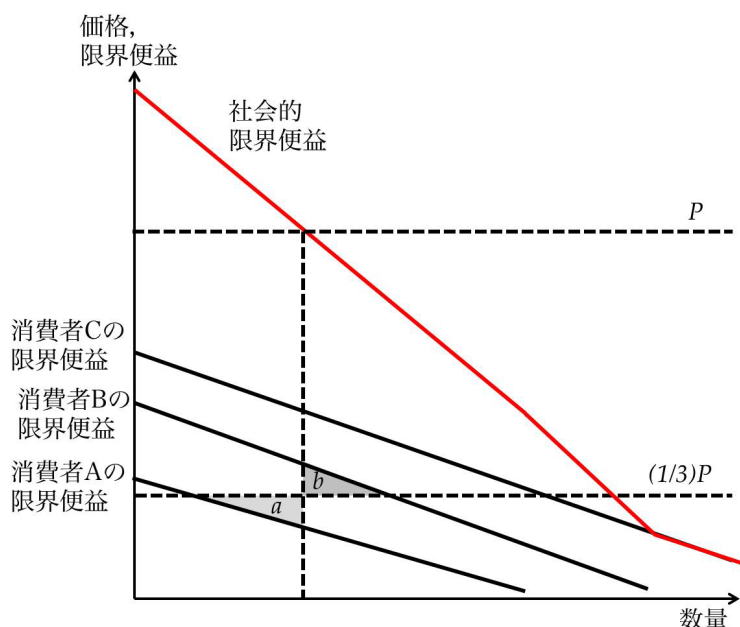


図 3.1: 等しい負担による公共財の調達

公共財の社会的限界便益は個人の限界便益の和になるので、消費者の限界便益を縦方向に足した赤い折れ線が社会的限界便益を表しています。いま、公共財生産の限界費用を p とすると、社会的限界便益曲線と限界費用曲線の交点で、社会的に望ましい公共財の量が求まります。公共財生産の限界費用を消費者 3 人で等分に負担し、それぞれが $(1/3)p$ だけ負担するとしましょう。そう

すると、消費者 A にとっては、社会的に望ましい公共財の量に対応する限界便益よりも負担のほうが大きいので、 a の領域で示される損失を被ることになります。逆に消費者 B にとっては、社会的に望ましい公共財の量に対応する限界便益よりも負担のほうが小さいので、 b の領域で示される損失を被ることになります。公共財の供給を自発的に任せておくと社会的に最適な量よりも過少になることがわかっていますから、消費者 A にとっては、自発的供給から社会的最適な水準への変更は効用が下がることになります。したがってこの変化はパレート改善にはなりません。

3.2 外部性

公共財とよく似た市場の失敗に外部性 (externality) があります。外部性とは、ある経済主体の選択が、市場を介さずに他の経済主体に与える影響のことをいい、他の経済主体にプラスの影響を与えるとき正の外部性、マイナスの影響を与えるとき負の外部性といいます。このとき、経済主体というのは家計でも企業でもよいですし、影響を与えるのは効用でも生産水準でも構いません。

一般に、負の外部性をともなう財の生産や消費は過大になり、正の外部性をともなう財の生産や消費は過小になります。この点で、公共財は正の外部性の極端な例と考えることもできます。負の外部性をともなう財の生産や消費が過大になることは、もし外部性が市場取引できたとすれば、負の外部性の受け手はより少ない量を望むはずだ、ということから理解できるでしょう。

グラフで描くと図3.2のようになります。負の外部性をともなう財では、所与の生産量について私的限界費用よりも社会的限界費用が高くなりますから、需要曲線 (社会的限界便益曲線) との交点で生産量が決まるとすると、外部性を考えずに生産が行われたときには、社会的最適な生産量よりも過剰な生産が行われます。

3.2.1 解決方法

外部性の解決方法としては4種類の方法が基本的です。

交渉：もし外部性の出し手と受け手が交渉できるのなら、交渉が外部性の取引の場となりうるのでパレート効率的な配分がもたらされる可能性があります。このことを示しているのがコース (Coase) の定理です。コースの定理では、もし取引費用がゼロで授権が明らかならば交渉がパレート効率的な配分をもたらすことが主張されます。この定理で注意すべきことの一つは、授権のあり方によって外部性の受け手と出し手のどちらが補償を支払う側になるかが

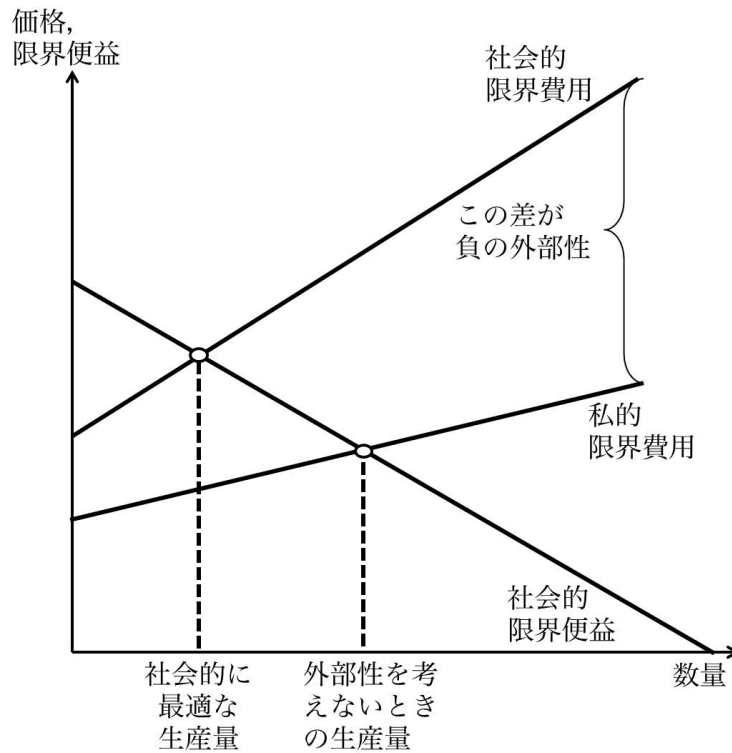


図 3.2: 負の外部性による過剰生産

変化するということです。たとえば上流の工場の排水によって下流の漁業者が被害を被っているとしましょう。工場の生産する権利のほうを認め、排水を流す権利を認めるとすれば、漁業者が工場に補償を行って排水を止めてもらうことになるでしょう。逆に、漁業者の権利を認め、清浄な水を得る権利を認めるとすれば、工場が漁業者に補償を行って排水を始めることになるでしょう。このように、コースの定理が成り立つ状況ではパレート効率的な配分が達成されますが、授権によって所得分配が異なります。いずれにしても、所有権の明確化が効率的な資源の配分に資することになります。

ただし、一般に交渉にともなう取引費用はゼロではありません。大規模な外部性であれば交渉のために弁護士などを雇わなければならないかもしれませんし、被害を証明する手間も費用もかかるでしょう。また、交渉結果は公共財になりますから、被害者が多くいるときにはそれぞれの被害者が交渉結果にただ乗りしようとして交渉自体が進まないかもしれません。被害の額は選好に依存しますから、選好を正直に申告するインセンティブがなければ交渉結

果は歪むでしょう。また授權（所有権の設定）が明らかでないかもしれません。

直接規制・数量割り当て：もし社会的な限界便益や限界費用が政府部門にとって既知であれば、パレート効率的な資源配分も政府にとっては既知の情報になりますから、そのような配分を直接規制によって達成させる方法もあります。実際にはパレート効率的な配分についての情報はないことがほとんどなので、直接規制によってパレート効率的な配分が達成されることは考えにくいですが、被害の拡大を防ぐための最低水準の設定や、施設や機器などの必置規制という形で直接規制の考え方は広く利用されています。ただし、直接規制では民間部門は規制をクリアすることのみを求めるため、負の外部性を減らすための研究開発が促進されないという欠点があります。

ピグー税・補助金：もし社会的な限界便益や限界費用が政府部門にとって既知であれば、私的限界便益や限界費用との差、すなわち外部性の大きさに対応するだけのピグー税やピグー補助金を設定することにより、私的限界便益や費用を社会的な限界便益や費用と等しくさせ、パレート効率的な配分を達成させることができます。ピグー税といったばあいには生産量に応じた税を課す仕組みを指しますが、市場均衡で実現する生産量からの減少量に応じた補助金を出すことによってもパレート効率的な生産量を達成させることができます。あるいは、パレート効率的な生産量を基準点としてそれ以上の生産に対してピグー税、それ以下の生産に対してピグー補助金を出すことにすれば、均衡では政府支出をゼロとしてパレート効率的な生産量を達成させることすら可能です。

直接規制と同様、ピグー税・補助金によってパレート効率的な配分を達成させるには政府部門は十分な情報を持つ必要があることから、実際にはこれらの税・補助金によってパレート効率的な配分が達成されるとは考えにくいですが、税・補助金は直接規制と異なり、技術革新によって税の減額や補助金の増額が見込まれることから、負の外部性を減らすための研究開発が促進されるとされています。

排出権取引：ピグー税は研究開発を促進するという長所を持っていますが、政府が十分な情報を持っていないときにはパレート効率的な配分はともかくとしても負の外部性を減少させることすら十分にできないかもしれません。外部性を減少させるだけなら直接規制のほうが有効かもしれません。そこでこの2つの仕組みを組み合わせたものとして考案されたのが排出権取引です。排出権取引では、負の外部性、とくに汚染物質を排出する権利を設定し、持って

いる権利の量に応じて排出が認められます。民間部門に出回る排出権の総量を制御することで、全体の排出量を抑えることが可能になります。低い費用で排出を削減することができる汚染者は排出権を売ることによって利得を得ますから、汚染を減らすための研究開発も促進されます。ただし、排出権取引を始めるときにそれぞれの汚染者に排出権をどのように初期分配するかは、所得分配の問題として政治的に困難な課題になりやすいところです。もちろん、初期配分がどうであっても、うまく機能すれば排出権取引ではパレート効率的な配分が達成されます。

3.2.2 社会的便益・費用と私的便益・費用の乖離

公共財においても外部性においても、分権化された意思決定のもとで実現する均衡ではパレート効率的な配分が達成されません。これは、社会的な限界便益・費用と、私的限界便益・費用が乖離していることが原因です。

公共財の例では、公共財を限界的に1単位生産する費用は p であり、これは私的にも社会的にも等しく認識されています。しかし、公共財を限界的に1単位生産した時の社会的限界便益は経済に存在する消費者の限界代替率の和になるのに対し、自発的に供給する消費者の私的限界便益は自分の限界代替率のみになり、他人の限界代替率の分だけ限界便益に乖離が発生しています。

負の外部性の例では、外部性をもたらす財の生産や消費の社会的限界費用には負の外部性（限界被害）が含まれるのに対し、私的限界費用にはこれが含まれず、そのために社会的限界費用と私的限界費用が乖離しています。外部性が考慮されないとき、市場で成立する価格は私的限界費用のみを考慮しており、社会的限界費用を表すシグナルとなっておりません。

社会の立場から行う費用便益分析では、社会的限界費用や社会的限界便益を計測する必要があるが、したがって公共財や外部性が存在するときには、市場で成立している価格をそのまま利用できないことになります。

第4章 厚生変化を測る尺度

4.1 補償変分と等価変分

費用便益分析では公共プロジェクトが発生させる便益と費用を同一の基準に数値化して比較します。便益を測る最も好ましい方法は効用の変化を測定することですが、効用そのものは本来は序数的な概念なので、効用そのままでは数値化するには向いていません。そこで、効用水準を表すために支出関数を考えます。

支出関数は、財の価格ベクトル p が所与のときに効用水準 u を達成するために必要な所得の最小値を与える関数です。必要な所得の「最小値」を与えることから、支出関数には個人が効用最大化問題を解いていることが前提となっていることに注意しましょう。2財モデルでは、 $E(p_1, p_2, u)$ と表現できます。

消費者を取り巻く環境が変わって行動が変化し、効用が変化したとしましょう。ここで「環境の変化」が、財1の価格 p_1 の $p_1^0 \rightarrow p_1^1$ という変化と、所得の $M^0 \rightarrow M^1$ という変化であるとし、この環境変化によって効用水準が u^0 から u^1 へ変化したとすると、この変化は支出関数を使うと

$$E(p_1^0, p_2, u^0) \rightarrow E(p_1^1, p_2, u^1) \quad (4.1)$$

と表現されます。この支出関数の変化は、価格 p_1 の変化と、効用 u の変化をともに含んでいますから、このままでは効用の変化を表す指標としては好ましくありません。じっさい、もし $u^0 = u^1$ であったとしても、価格が異なれば同じ効用を達成するのに必要な所得額が変化するため、支出関数の値は異なってしまいます。そのような状況を避け、効用の変化による支出関数の変化を考えるには、変化の前と後を同じ価格ベクトルで評価する必要があります。基準となる価格ベクトルは任意のものでかまわないのですが、一般には変化の前の価格ベクトルか、もしくは変化の後の価格ベクトルを使います。変化前の価格ベクトルで評価した支出関数の変化を等価変分 (EV: Equivalent Variation)、変化後の価格ベクトルで評価した支出関数の変化を補償変分 (CV: Compensated Variation) と呼び

ます。式で書けば、

$$\text{等価変分} : EV = E(p_1^0, p_2, u^1) - E(p_1^0, p_2, u^0) \quad (4.2)$$

$$\text{補償変分} : CV = E(p_1^1, p_2, u^1) - E(p_1^1, p_2, u^0) \quad (4.3)$$

となります。等価変分は変化前の価格ベクトルを基準としているので、変化に対する受入意志額（WTA: Willingness to Accept）、補償変分は変化後の価格ベクトルを基準としているので、変化に対する支払意志額（WTP: Willingness to Pay）に対応しているといわれることもあります。

さて、いま財 1 の価格のみが変化したとすると、効用の変化をグラフ上で表現できるか、需要曲線とどのような関係にあるのかを考えてみましょう。まず等価変分から始めます。等価変分の定義式に変化後の所得を足して引いてみます。ここで、変化後の所得は $M_1 = E(p_1^1, p_2, u^1)$ なので、

$$\begin{aligned} EV &= E(p_1^0, p_2, u^1) - E(p_1^0, p_2, u^0) \\ &= E(p_1^0, p_2, u^1) - E(p_1^1, p_2, u^1) + M_1 - E(p_1^0, p_2, u^0) \\ &= E(p_1^0, p_2, u^1) - E(p_1^1, p_2, u^1) + M_1 - M_0 \end{aligned} \quad (4.4)$$

と変形できます。最初の 2 項は、 p_2 と u^1 が共通なのでこれらを定数とみると、変数 p_1 についての関数 E の定積分の形をしているので、 E が原始関数となるような導関数を考えると、

$$\begin{aligned} EV &= E(p_1^0, p_2, u^1) - E(p_1^1, p_2, u^1) + M_1 - M_0 \\ &= \int_{p_1^1}^{p_1^0} \frac{\partial}{\partial p_1} E(p_1, p_2, u^1) dp_1 + M_1 - M_0 \end{aligned} \quad (4.5)$$

となります。支出関数を価格で偏微分すると補償需要関数になる（シェパードの補題：Shephard's lemma）ので、補償需要関数を x^c で表すと、

$$\begin{aligned} EV &= \int_{p_1^1}^{p_1^0} \frac{\partial}{\partial p_1} E(p_1, p_2, u^1) dp_1 + M_1 - M_0 \\ &= \int_{p_1^1}^{p_1^0} x_1^c(p_1, p_2, u^1) dp_1 + M_1 - M_0 \end{aligned} \quad (4.6)$$

と変形することができます。もし名目所得が変化しなければ最後の 2 項の差はゼロになりますから、等価変分は補償需要関数の積分で表現できることになります。積分はふつうは「関数のグラフの下の部分の面積」を表しますが、補償需要関数のばあいにはふつうの関数のグラフと縦横が逆なので、等価変分は「補償需要関数の左側の部分の面積」に対応します。

補償変分についても同様の式変形を行ってみましょう。補償変分の定義式に変化前の所得を引いて足してみます。ここで、変化前の所得は $M_0 = E(p_1^0, p_2, u^0)$ なので、

$$\begin{aligned} CV &= E(p_1^1, p_2, u^1) - E(p_1^1, p_2, u^0) \\ &= E(p_1^1, p_2, u^1) - M_0 + E(p_1^0, p_2, u^0) - E(p_1^1, p_2, u^0) \\ &= M_1 - M_0 + E(p_1^0, p_2, u^0) - E(p_1^1, p_2, u^0) \end{aligned} \quad (4.7)$$

と変形できます。最後の2項は、 p_2 と u^0 が共通なのでこれらを定数とみると、変数 p_1 についての関数 E の定積分の形をしているので、 E が原始関数となるような導関数を考えると、

$$\begin{aligned} CV &= M_1 - M_0 + E(p_1^0, p_2, u^0) - E(p_1^1, p_2, u^0) \\ &= M_1 - M_0 + \int_{p_1^1}^{p_1^0} \frac{\partial}{\partial p_1} E(p_1, p_2, u^0) dp_1 \end{aligned} \quad (4.8)$$

となります。シェパードの補題より、

$$\begin{aligned} CV &= M_1 - M_0 + \int_{p_1^1}^{p_1^0} \frac{\partial}{\partial p_1} E(p_1, p_2, u^0) dp_1 \\ &= M_1 - M_0 + \int_{p_1^1}^{p_1^0} x_1^c(p_1, p_2, u^0) dp_1 \end{aligned} \quad (4.9)$$

と変形することができます。もし名目所得が変化しなければ最初の2項の差はゼロになりますから、補償変分も補償需要関数の積分で表現できることになり「補償需要関数の左側の部分の面積」に対応します。

等価変分と補償変分はともに補償需要関数の左側の面積に対応しますが、基準となる効用水準が異なるので面積は異なります。いま、 $p_1^0 > p_1^1$ として、変化によって財1の価格が下落して、効用が増加した状況を考えてみましょう。このとき、図4.1の左側の曲線が、変化前の効用水準による補償需要関数を表し、この左側が補償変分に対応します。また、右側の曲線が変化後の補償需要関数で、この左側が等価変分に対応します。この図からわかるように、財1が上級財であれば、価格の下落について補償変分よりも等価変分のほうが大きな値をとります。

逆に、 p_1^0 が変化後、 p_1^1 が変化前の価格であり、財1の価格が上昇して、効用が減少したとしましょう。このときには、図4.1の右側の曲線が変化前の効用水準による補償需要関数、左側の曲線が変化後の補償需要関数となります。したがって変分の絶対値（グラフに現れる面積）でみると等価変分よりも補償変分のほうが大きな値となります。ただし、この場合には等価変分・補償変分はマイナスの値を取りますから、大小関係では等価変分のほうが大きいといえます。

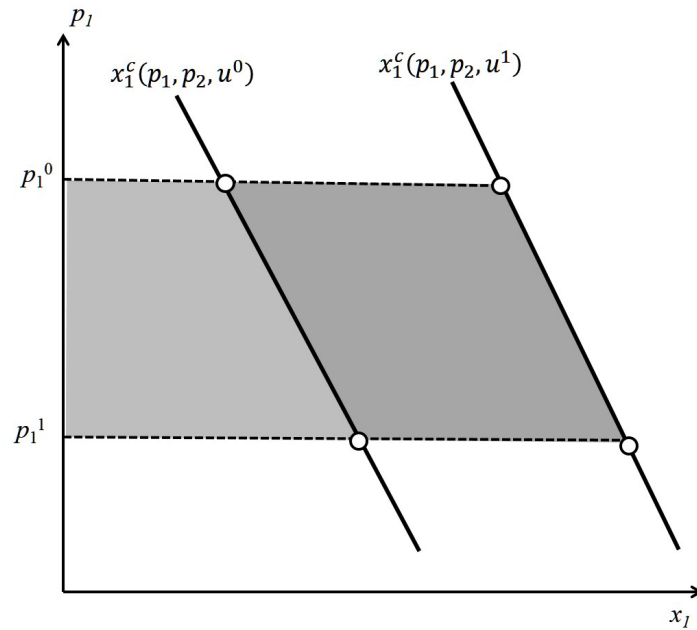


図 4.1: 等価変分と補償変分

等価変分と補償変分は、ともに支出関数から求められ、基準とする価格ベクトルが異なるだけなので、どちらかのほうが優れた指標であるということは一概に言えません。ただし費用便益分析では、分析が公共プロジェクト実施の前に行われることから、観測可能な変化前の価格を用いる等価変分を用いるほうが容易です。補償変分を用いるには、公共プロジェクト実施後の価格ベクトルを予想しなくてはならないからです。また、現状を変化させるいくつかのプロジェクトを比較することを考えた場合、それぞれのプロジェクト実施後の価格ベクトルを用いてはプロジェクト間比較が難しいため、変化前の価格という共通の指標を用いることができる等価変分が用いられることが多いようです。

4.2 消費者余剰

完全市場が成り立っていない財市場への介入は公共プロジェクトの存在理由の一つですが、公共プロジェクトの対象となる財が消費者にとっては「小さな」存在であれば、より簡単な厚生尺度を考えることができます。「小さな」というのは、その財の市場のありようが変化することが他の財の消費行動に影響せず、経済全体にも影響が及ばないような状態を指すものとしましょう。

いま、そのような「小さな」市場にある財を財 1 とし、その他の財をすべてまとめた合成財を財 2 としましょう。財 2 の価格を 1 に基準化し、ニュメレール財とします。財 1 の価格を p とします。このとき、財 1 の消費 x_1 から得られる便益をニュメレールである財 2 で測った大きさを $v(x_1)$ とします。別の言い方をすれば、財 1 と財 2 の消費が $(x_1, x_2) = (0, 0)$ であることと、財 1 を x_1 だけ消費するために財 2 を $v(x_1)$ だけ失うことが無差別であるとします。よって、 $v(0) = 0$ が成り立ちます。さらに、選好が財 2 について準線形 (quasi-linear) であるとき、この選好は単調変換 f を用いて

$$u(x_1, x_2) = f(v(x_1) + x_2) \quad (4.10)$$

と表わされます⁽¹⁾。一般に効用関数を単調変換した関数も同じ選好を表わしますから、ここでは、

$$u(x_1, x_2) = v(x_1) + x_2 \quad (4.11)$$

であるとしましょう。この効用関数から限界代替率を求めると、

$$\text{MRS} = \frac{\partial u / \partial x_1}{\partial u / \partial x_2} = v'(x_1) \quad (4.12)$$

となり、ニュメレールである財 2 の量に依存しません。効用最大化の 1 階の条件は限界代替率が価格と等しい、

$$v'(x_1) = p \quad (4.13)$$

ですから、需要関数は財 1 の価格のみに依存し、所得に依存しないことがわかります。すなわち、財 1 の価格が変化したとき、財 1 の消費量の変化には代替効果のみが働き、所得効果は働かないことになります。

さて、財 1 を x_1 買っている状態から、さらに Δx_1 だけ買い足すとニュメレールで測った便益はどれほど増加するか考えてみましょう。財 2 で測った限界的な便益の増加分は、 $v(x_1)$ の定義から $v'(x_1)\Delta x_1$ となります。また、 Δx_1 だけ買い足すためには財 2 を $p\Delta x_1$ だけ手放さなくてはなりません。したがって便益の純増加分は

$$v'(x_1)\Delta x_1 - p\Delta x_1 \quad (4.14)$$

となります。この計算を財 1 をまったく持っていない状態、 $x_1 = 0$ から順々に行っていくと、財 1 を $\bar{x}_1$ まで増やしたときの純便益は

$$\int_0^{\bar{x}_1} (v'(x_1) - p) dx_1 \quad (4.15)$$

⁽¹⁾この導出については、林 (2007, 第 6 章) を見てください。

となります。 $v'(x_1)$ の原始関数は $v(x_1)$ であり、また $v(0) = 0$ ですから、この定積分は

$$\int_0^{\bar{x}_1} (v'(x_1) - p) dx_1 = v(\bar{x}_1) - p\bar{x}_1 \quad (4.16)$$

と書き直すことができます。効用最大化の FONC から、 $v'(x_1) = p$ は通常の需要関数（補償需要関数ではない）に対応していますから、第 1 項は需要関数の下側の面積、第 2 項は消費点と原点を対角にもつ長方形の面積に対応します。すなわち、準線形の選好では、財 1 の消費から得られる便益はちょうど消費者余剰（consumer surplus）に等しくなります。通常の需要関数と補償需要

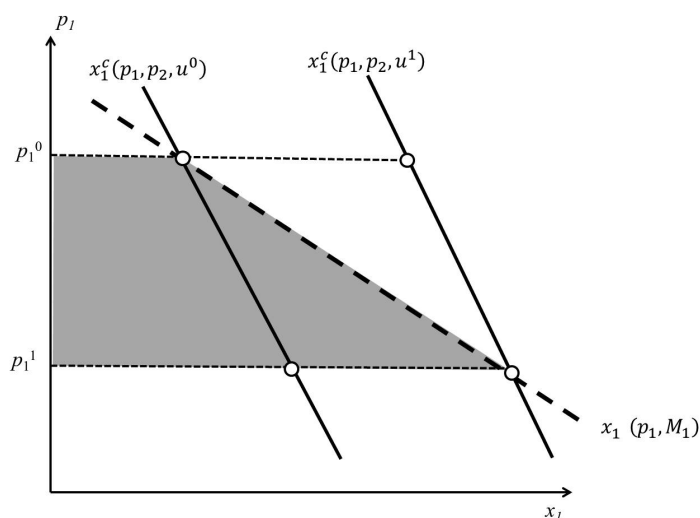


図 4.2: 消費者余剰と等価変分・補償変分

関数を重ねて描くと図4.2のようになります。スルツキー分解を考えてみるとわかるように、準線形の選好では補償需要関数と通常の需要関数が一致します。したがってこのとき、消費者余剰と等価変分と補償変分は同じ値となり、消費者余剰が便益の指標となります。選好が準線形でなければ、補償需要関数と通常の需要関数は一致しませんから、消費者余剰は等価変分とも補償変分とも一致せず、等価変分と補償変分の間の値をとります。

実際の費用便益分析では、取り扱っている財の市場が経済全体に対して十分に小さいことも多いので、対象としている財の市場の通常の需要曲線と供給曲線のみを考慮することもしばしばです。そのような分析を部分均衡分析と呼びます。部分均衡分析では需要への所得効果は捨象されており、消費者余剰が便益の指標とみなされます。

第5章 政策効果の波及

5.1 帰着ベースと発生ベース

公共プロジェクトはしばしば直接対象となる市場以外の市場にも影響を及ぼします⁽¹⁾。そのとき、どの影響については計上し、どの影響については計上しないのかを知らなければ、費用や便益を二重計上したり、あるいは見落としていたりすることになります。ここでは、このような政策の波及の効果をどのようなときに費用便益分析に計上するかを説明します。

その説明の前に、とくに公共投資の便益計測手法には帰着ベースと発生ベースの2種類があることを確認しておきましょう。帰着ベースの計測というのは、公共プロジェクトの波及効果をすべて追跡し、どの個人にどれほど帰着するかを見極めたうえで、その便益を計測します。つまり公共プロジェクトの実施による各個人の効用水準の変化を計測するものです。プロジェクトの評価の原則としては理想的であり、公平性を考慮することもできますが、その計測には詳細なデータが必要です。実際の分析では応用一般均衡分析などを用いますが、帰着ベースの計測に必要なデータが必ずしも十分には入手できるとは限らないので、分析の精度には疑問が残りますし、推計に当たってさまざまな仮定を置くことになることから、推計者が結果を操作する可能性も否定できません。そのため、帰着ベースの分析結果は、いまのところ参考資料程度にしか扱われず、政策担当者に供する主たる結果とはなっていないのが現状です。

発生ベースの手法とはこれに対し、便益が発生した市場でその便益の大きさを計測する手法です。消費者余剰アプローチやヘドニック推定、CVMも発生ベースの手法です。発生ベースの推計では、誰にどの程度の便益が帰着したかは計測せずに分析しますから、公平性の問題は原理的に扱うことができません。しかし、推計者が結果を操作する余地が帰着ベースの分析に比べて小さく、精度が相対的に高いことから、実際の費用便益分析では発生ベースの手法が圧倒的に中心と

⁽¹⁾ 今回の内容は、金本良嗣、1996、交通投資の便益評価・消費者余剰アプローチ、日交研シリーズ A-201、日本交通政策研究会 (<http://www3.grips.ac.jp/~kanemoto/BenNKK.pdf>)、赤井伸郎・金本良嗣、1999、費用便益分析における地域開発効果、社会資本整備の費用便益分析に係わる経済学的基本問題研究会「費用便益分析に係わる経済学的基本問題」報告書第4章、(<http://www3.grips.ac.jp/~kanemoto/bc/SEC4.PDF>) に基づいています。

なっています。このことは公平性を無視してもよいということを含意しているというよりも、精度の低い分析をもとに意思決定することが望ましくないということを示しています。

5.2 異なる市場への波及効果：First-best のばあい

5.2.1 一般化費用

前回説明したように、選好が準線形であるという仮定を置くと消費者余剰は厚生変化の正確な指標となります。また、計測等に伴う誤差を考慮すれば、等価変分と補償変分と消費者余剰の違いは大きなものではないと考えられることから、実際の費用便益分析では消費者余剰を便益測定の指標として用いることがしばしばです。

消費者余剰を求めるときには価格と需要量の関係を用いましたが、ここでは、サービスの入手に必要な貨幣以外の費用を含めた一般化費用を考えます。道路整備という公共プロジェクトを例にとると、通常の価格には道路料金・ガソリン代などが該当しますが、一般化費用にはこれらに加えて、時間費用、サービス頻度、確実性、快適性などを貨幣換算した額が含まれます。以下の部分均衡分析では、需要関数や供給関数は、おおむねこの一般化費用に対して設定されます。

5.2.2 数式による展開

設定

政策効果の波及を検討するために、3財からなるモデルを考えます。公共プロジェクトが直接介入する市場の財を財1とします。たとえば高速道路の利用を財1として、道路整備などの公共プロジェクトによって時間が短縮され一般化費用が低下するという状況を考えてよいでしょう。効果が波及する市場の財を財2とします。財1を高速道路利用とするとき、財2は並走する一般道の利用が考えられます。高速道路の一般化費用が低下することで高速道路の利用が増加し、これに対応して一般道の利用は減少すると考えられます。この2つの道路サービス以外のすべての財を合成した財を財3とし、財3の価格を $p_3 = 1$ に基準化します。

消費者の選好は財1と財2の組合せと財3について準線形で

$$u(x_1, x_2, x_3) = v(x_1, x_2) + x_3 \quad (5.1)$$

とします。予算制約は所得を M として

$$M = p_1x_1 + p_2x_2 + x_3 \quad (5.2)$$

となります。効用最大化問題を解くと一階の必要条件から

$$\frac{\partial v}{\partial x_1}(x_1, x_2) = p_1 \quad (5.3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial x_2}(x_1, x_2) = p_2 \quad (5.4)$$

が得られますから、ここから需要関数

$$x_1 = x_1^*(p_1, p_2) \quad (5.5)$$

$$x_2 = x_2^*(p_1, p_2) \quad (5.6)$$

を得ることができます。選好が財 3 について準線形と仮定されているので、財 1 と財 2 の需要関数は財 1 と財 2 の価格のみに依存し、所得効果はありません。

財 1 と財 2 の生産にかかる可変費用については以下のように仮定します。財 1 については費用は $C_1(x_1) = p_1x_1$ と 1 次関数で与えられ、財 2 については通常の $C_2(x_2) = c(x_2)$ で与えられるとします⁽²⁾。いま、財 1、財 2、財 3 の市場がすべて完全で、供給関数は一般化費用と限界費用が等しくなるように決まっていると仮定しましょう。このように市場がすべて完全である場合を最善 (first-best) である、といいます⁽³⁾。この first-best のケースでは供給曲線について

$$p_1 = c_1 \quad (5.7)$$

$$p_2 = c'_2(x_2) \quad (5.8)$$

が成立します。

展開

この設定のもとで、公共プロジェクトによって財 1 の限界費用 c_1 が変化したときに余剰や厚生がどのように変化するかを考えてみましょう。そのために、各財の生産量や余剰が限界費用 c_1 によってどのように表現されるかをみてみます。

⁽²⁾財 3 については明示的に考慮しませんが、1 次関数で表わされると仮定しておけばよいと思います。

⁽³⁾First-best であれば公共プロジェクトによる介入は必要ないのですが、今回はそこは目をつぶることにしましょう。

まず財 2 の市場について需要と供給が一致するところで消費量が決まるとすると、需要関数が $x_2 = x_2^*(p_1, p_2)$ 、供給関数が $p_2 = c_2'(x_2)$ だったので、需要と供給が一致するという市場均衡条件から

$$p_2 = c_2'(x_2^*(p_1, p_2)) \quad (5.9)$$

が成り立ちます。この式は p_1 と p_2 の関係を陰伏的に (implicit) 表現しているので、 p_2 について陽表的に (explicit) 表すと、

$$p_2 = p_2^*(p_1) \quad (5.10)$$

と表現することができます。同様に財 1 の市場均衡条件から $p_1 = c_1$ が成り立つので、上式に代入すると、

$$p_2 = p_2^*(c_1) \quad (5.11)$$

が成り立ちます。これを財 1 と財 2 の需要関数に代入すると、

$$x_1 = x_1^*(c_1, p_2^*(c_1)) \quad (5.12)$$

$$x_2 = x_2^*(c_1, p_2^*(c_1)) \quad (5.13)$$

となり、均衡での財 1、財 2 の需要量を限界費用 c_1 によって表現することができます。なお、財 1 の価格と財 2 の価格には (5.10) の関係が成り立っているので、こちらを需要関数に代入すると、

$$x_1 = x_1^*(p_1, p_2^*(p_1)) \quad (5.14)$$

$$x_2 = x_2^*((p_2^*)^{-1}(p_2), p_2) \quad (5.15)$$

というように⁽⁴⁾、それぞれの市場の需要をそれぞれの価格（一般化費用）のみで表現することができます。この需要関数は他の財市場での均衡条件を考慮している、つまり他の市場へ波及効果を考慮した需要関数で、一般均衡需要関数と呼ばれます。

さて、均衡での財 1、財 2 の需要量が限界費用 c_1 によって表現されたので、余剰を計算してみましょう。限界費用 c_1 によって表現された均衡での財 1、財 2 の需要量を効用関数に代入すると、

$$\begin{aligned} u(x_1, x_2, x_3) &= v(x_1, x_2) + x_3 \\ &= v(x_1, x_2) + M - p_1 x_1 - p_2 x_2 \\ &= v(x_1^*(c_1, p_2^*(c_1)), x_2^*(c_1, p_2^*(c_1))) \\ &\quad + M - c_1 x_1^*(c_1, p_2^*(c_1)) - p_2^*(c_1) x_2^*(c_1, p_2^*(c_1)) \end{aligned} \quad (5.16)$$

⁽⁴⁾ $(p_2^*)^{-1}$ は p_2^* の逆関数を表わします。

限界費用 c_1 を変化したときの余剰の変化を知りたいのでこれを c_1 で微分すると,

$$\begin{aligned}\frac{du}{dc_1} &= \frac{\partial v}{\partial x_1} \frac{dx_1^*}{dc_1} + \frac{\partial v}{\partial x_2} \frac{dx_2^*}{dc_1} \\ &\quad - \left(x_1^*(c_1, p_2^*(c_1)) + c_1 \frac{dx_1^*}{dc_1} \right) - \left(\frac{dp_2^*}{dc_1} x_2^*(c_1, p_2^*(c_1)) + p_2^*(c_1) \frac{dx_2^*}{dc_1} \right)\end{aligned}\quad (5.17)$$

効用最大化の 1 階の条件から, $\partial v / \partial x_1 = p_1 = c_1$, $\partial v / \partial x_2 = p_2^*(c_1)$ なので,

$$\begin{aligned}\frac{du}{dc_1} &= c_1 \frac{dx_1^*}{dc_1} + p_2^*(c_1) \frac{dx_2^*}{dc_1} \\ &\quad - \left(x_1^*(c_1, p_2^*(c_1)) + c_1 \frac{dx_1^*}{dc_1} \right) - \left(\frac{dp_2^*}{dc_1} x_2^*(c_1, p_2^*(c_1)) + p_2^*(c_1) \frac{dx_2^*}{dc_1} \right) \\ &= -x_1^*(c_1, p_2^*(c_1)) - \frac{dp_2^*}{dc_1} x_2^*(c_1, p_2^*(c_1))\end{aligned}\quad (5.18)$$

次に, 生産者余剰を考えましょう. 財 1 の生産の限界費用は一定で, 価格 (一般化費用) と等しいとされているので, 財 1 についての生産者余剰⁽⁵⁾ はゼロです. 財 2 については, 生産者余剰は

$$\pi_2 = p_2 x_2 - C_2(x_2) \quad (5.19)$$

ですから, 限界費用 c_1 によって表現された均衡での財 1, 財 2 の需要量を代入すると,

$$\pi_2 = p_2^*(c_1) x_2^*(c_1, p_2^*(c_1)) - c_2(x_2^*(c_1, p_2^*(c_1))) \quad (5.20)$$

なので, 限界費用 c_1 を変化したときの余剰の変化を知りたいのでこれを c_1 で微分すると,

$$\frac{d\pi_2}{dc_1} = \frac{dp_2^*}{dc_1} x_2^*(c_1, p_2^*(c_1)) + p_2^*(c_1) \frac{dx_2^*}{dc_1} - c_2'(x_2) \frac{dx_2^*}{dc_1} \quad (5.21)$$

供給側の条件 $p_2 = c_2'(x_2)$ から,

$$\begin{aligned}\frac{d\pi_2}{dc_1} &= \frac{dp_2^*}{dc_1} x_2^*(c_1, p_2^*(c_1)) + p_2^*(c_1) \frac{dx_2^*}{dc_1} - p_2 \frac{dx_2^*}{dc_1} \\ &= \frac{dp_2^*}{dc_1} x_2^*(c_1, p_2^*(c_1))\end{aligned}\quad (5.22)$$

となります.

ここで総余剰 S の変化を消費者余剰と生産者余剰の変化の和と定義すると,

$$\frac{dS}{dc_1} = \frac{du}{dc_1} + \frac{d\pi_2}{dc_1} = -x_1^*(c_1, p_2^*(c_1)) \quad (5.23)$$

となることから, 公共プロジェクトが直接介入した財 1 の一般均衡需要関数の値に等しくなります. したがって, 財 1 と財 2 の市場が完全であれば, 波及効果のある財 2 の市場での余剰の変化は

⁽⁵⁾ 生産の固定費用がなければ利潤に等しくなります.

考慮しなくてもよいことになります。ここでは c_1 の微小な変化のみを考慮していますが、 c_1 が大きく変化した場合には、財 1 の一般均衡需要関数の左側の面積が厚生変化に対応しますから、一般均衡需要関数で考えた消費者余剰が波及効果を含めた厚生変化を表す尺度となります。

5.2.3 グラフによる表現

First-best の経済では公共プロジェクトから波及する間接効果は相殺されるために計上しなくてもよいことについて、グラフを用いてみましょう。設定は上述の通りですが、財 3 はその他の財からなる合成財なので、財 1 と財 2 についてだけ部分均衡分析を行います。ここでは公共プロジェクトによって財 1 の価格が p_1^0 から p_1^1 に変化したとしましょう。

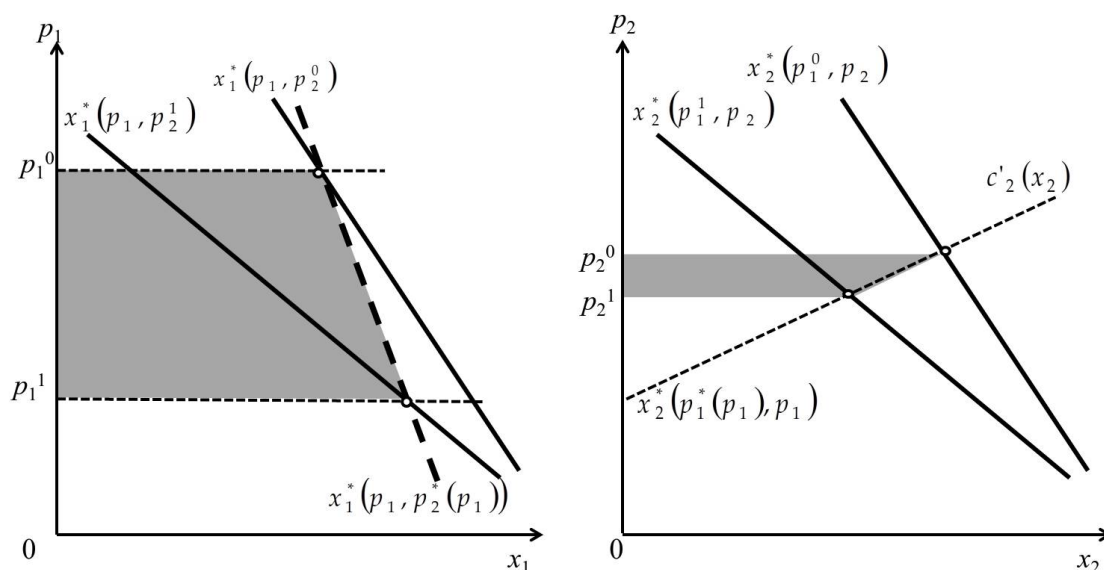


図 5.1: First-best での間接効果の相殺

図5.1の左側の図は公共プロジェクトが直接介入する市場を表わしています。上の例では高速道路にあたります。右側の図が波及効果を受ける財の市場、上の例では並行して走る一般道を表わしています。記法は上記の数式と同じで、一般化価格に対応する需要曲線と限界費用曲線が描かれています。公共プロジェクトが行われる前の状況を上添え字の0、後の状況を上添え字の1で表わします。準線形の選好を仮定していることから、財 1 と財 2 の需要には所得効果が働かず、通常の需要曲線と補償需要曲線が一致し、等価変分・補償変分・消費者余剰が一致していることに

注意しましょう。

公共プロジェクトが行われる前では、財 1 の価格は p_1^0 、財 2 の価格は p_2^0 となっており、それぞれの需要曲線は $x_1^*(p_1, p_2^0), x_2^*(p_1^0, p_2)$ でした。公共プロジェクトにより財 1 の一般化費用が低下し、財 1 の価格が p_1^1 に変化したとします。この価格低下により財 1 の消費量が増加します。上の例では、高速道路を利用する人が増加します。財 1 の消費量が増加すると、このケースでは代替関係にある財 2 の消費量が減る、この例では並行する一般道を走行する人が減少します。財 2 の需要曲線は財 2 の一般化費用に対して定義されていますから、図 5.1 の右側の財 2 市場では需要曲線が左にシフトします。財 2 の生産についての限界費用曲線が右上がりだと仮定すると、消費量は限界費用曲線に沿って減少し、価格も低下します。財 2 の価格の低下は、代替関係にある財 1 の消費量を減少させるので、図 5.1 の左側の財 1 市場では需要曲線が左にシフトします。この左シフトは財 2 の市場に代替関係を通じて波及しますが、このような財 1 と財 2 の市場間の効果の波及が均衡に達して、そこでは財 1 の価格は p_1^1 、財 2 の価格は p_2^1 となったとしましょう。このとき、それぞれの需要曲線は $x_1^*(p_1, p_2^1), x_2^*(p_1^1, p_2)$ となります。

財 1 の市場についてみると、需要曲線のシフトは財 2 の価格 p_2 の変化がもたらしたものであると同時に、財 2 の価格 p_2 は財 1 の価格 p_1 によって規定されています。したがって、財 2 市場での変化を織り込んだ上での、財 1 の価格に対する財 1 の消費量の軌跡として描かれる需要曲線を考えることができます。これが一般均衡需要曲線 $x_1^*(p_1, p_2^*(p_1))$ であり、図 5.1 の左側では破線で表わされています。 $p_1 = p_1^0$ のときの消費量は $x_1^*(p_1^0, p_2^0)$ 、 $p_1 = p_1^1$ のときの消費量は $x_1^*(p_1^1, p_2^1)$ なので、一般均衡需要曲線はこの 2 点を通ります。

同じように財 2 の市場についても一般均衡需要曲線を描くことができます。 $p_2 = p_2^0$ のときの消費量は $x_2^*(p_1^0, p_2^0)$ 、 $p_2 = p_2^1$ のときの消費量は $x_2^*(p_1^1, p_2^1)$ なので、一般均衡需要曲線はこの 2 点を通り、限界費用曲線 $c'(x_2)$ に一致します。

消費者余剰を一般均衡需要曲線をもとに考えると、図 5.1 の灰色の部分になります。左側の財 1 の市場では生産者余剰は常にゼロなので、総余剰は消費者余剰の変化分である灰色の部分に対応します。右側の財 2 の市場では消費者余剰の増加分は灰色の台形部分になりますが、これはちょうど生産者余剰の減少分にあたります。したがって、財 2 の市場では消費者余剰の増加分と生産者余剰の減少分がちょうど相殺して、総余剰の変化はゼロになります。

それゆえ、財 1 に対する公共プロジェクトの便益は、財 1 の一般均衡需要曲線で測った消費者余剰のみになり、財 2 の消費の変化にともなう余剰の変化は便益として計上しなくてよい、ということになります。

5.3 異なる市場への波及効果：Second-best のばあい

財 1 に対する公共プロジェクトの便益については、効果が波及する財 2 の消費の変化にともなう余剰の変化は便益として計上しなくてよい、ということは、財 1 と財 2 の市場が完全であり first-best の状態だ、ということに依存します。財 1 や財 2 の市場が完全でなければ、財 2 の市場に現れる波及効果を便益として計上する必要があります。市場が完全でないなかで最適化問題が解かれたあとの均衡のことを second-best と呼びます。

5.3.1 数式による展開

First-best とほぼ同じ設定を使って、財 2 の市場が完全でないときに波及効果をどのように計算すればいいかを考えましょう。

財 2 の市場に楔 (wedge) t が存在して、消費者が直面する価格と生産者が直面する価格が異なるとします。ここでは p_2 は消費者価格 (一般化費用) を表すとし、生産者価格は p_2 よりも t だけ大きいとします。このとき、供給側の利潤最大化の条件から

$$c_2'(x_2) = p_2 + t \quad (5.24)$$

が成り立ちます。楔 t は市場の不完全性によって発生するものですが、たとえば負の外部性が存在する、補助金がある、といったばあいには $t > 0$ があてはまることになります。上の例では並行する一般道の一般化費用を考えていますから、社会的に適切な水準に比べて混雑税が低い、というばあいにも $t > 0$ となります。ここでは t は定数としておきます。

さて、消費者余剰については first-best のケースとほとんど同じです。財 2 の市場均衡条件から、(5.10) 式は $p_2 = p_2^*(p_1, t)$ となりますが、その後の式展開はほぼ同様であって、効用の変化は

$$\frac{du}{dc_1} = -x_1^*(c_1, p_2^*(c_1, t)) - \frac{dp_2^*}{dc_1} x_2^*(c_1, p_2^*(c_1, t)) \quad (5.25)$$

となります。生産者余剰の変化も同様の式展開により、

$$\frac{d\pi_2}{dc_1} = \frac{dp_2^*}{dc_1} x_2^*(c_1, p_2^*(c_1, t)) \quad (5.26)$$

となります。First-best の世界では消費者余剰の変化と生産者余剰の変化の和によって総余剰の変化が定義されましたが、ここでは財 2 の市場にある楔がもたらす変化を総余剰に加える必要があります。楔が税によるものであれば税収の変化です⁶⁾ し、外部性によるものであれば外部性かも

⁶⁾ 税収は一括補助金として消費者に還付される、というよくある仮定を置きます。

たらず消費や生産の変化に対応します。補助金だと考えると、補助を出しているぶんだけ余剰が減るので⁽⁷⁾、 $T = -tx_2$ だけ総余剰が増えます⁽⁸⁾。 c_1 の変化による効果を考えると、

$$\frac{dT}{dc_1} = -t \frac{dx_2^*}{dc_1} \quad (5.27)$$

となりますから、総余剰の変化は

$$\frac{dS}{dc_1} = \frac{du}{dc_1} + \frac{d\pi_2}{dc_1} + \frac{dT}{dc_1} = -x_1^*(c_1, p_2^*(c_1)) - t \frac{dx_2^*}{dc_1} \quad (5.28)$$

で与えられます。First-best のばあいと比較すると、第2項 $-t \times dx_2^*/dc_1$ が追加されています。これは財2の市場にある楔の変化に対応しています。高速道路と並走する一般道の例で考えてみましょう。需要が代替関係にあるので、高速道路の一般化費用 c_1 が下がると一般道の通行量は減る、すなわち $dx_2^*/dc_1 > 0$ という関係にあります。 $t > 0$ は社会的に適切な水準に比べて混雑税が低いことを表わしているとしましょう。そうすると、高速道路の一般化費用 c_1 の低下は、財1の一般均衡需要曲線で示される財1市場での便益の増加に加えて、 $t(dx_2^*/dc_1)$ だけ便益を増加させることを示しています⁽⁹⁾。これは、一般道の通行量が減ることにより、混雑税が低すぎるという社会的な費用が減少したことに対応しています。

総余剰の変化に財2の市場にある楔の変化が与える効果の方向性は、第2項 $-t \times dx_2^*/dc_1$ の符号に依存します。もし高速道路と並走する一般道の例でも、なんらかの理由により需要が補完関係にあれば、 $dx_2^*/dc_1 < 0$ であれば一般道の通行量が増加し社会的な費用は増加します。まとめる以下表5.1のようになります。

表 5.1: Second-best での間接効果の総余剰への効果

	$t < 0$	$t = 0$	$t > 0$
	税	First best	補助金
	正の外部性		負の外部性
$dx_2^* > 0$	プラス	ゼロ	マイナス
$dx_2^* < 0$	マイナス	ゼロ	プラス

⁽⁷⁾補助金は一括税として消費者から徴収される、というよくある仮定を置きます。財1と財2の需要には所得効果は発生しないので、この仮定の下ではこれまでの分析が成り立ちます。

⁽⁸⁾ $t > 0$ で考えると、 $-tx_2$ はマイナスの値です。

⁽⁹⁾ c_1 が低下する状況を考えているので符号を逆に解釈しています。

5.3.2 グラフによる表現

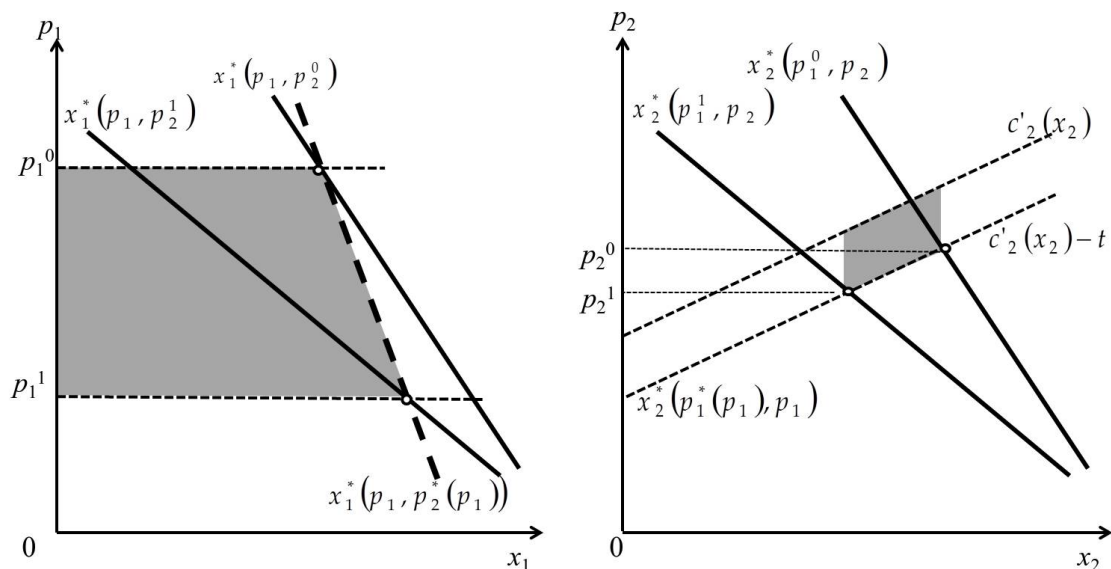


図 5.2: Second-best での間接効果の相殺／増幅

First-best のばあいと同様に、財 1 と財 2 について部分均衡分析を行います。図 5.2 の左側の図は公共プロジェクトが直接介入する市場を、右側の図は効果が波及する市場を表わしています。縦軸には、数式による展開のときと同じく、消費者価格（一般化費用）をとっています。縦軸が消費者価格なので、需要曲線は first-best のケースと同じように書くことができます。供給曲線について、まず比較のために first-best のときの供給曲線（限界費用曲線 $c'_2(x_2)$ ）を描きます。 $t > 0$ を仮定すると、いま、生産者価格は消費者価格 p_2 よりも t だけ大きいのですから、消費者価格が p_2 のときの供給量は、生産者価格 $p_2 + t$ のときの供給量に等しくなります。供給曲線は右上がりなので、縦軸に消費者価格を取ったときの供給曲線は、first-best のときの供給曲線を右にシフトさせた（ t だけ下にシフトさせた）位置に描くことができます。限界費用曲線 $c'_2(x_2)$ の下側に描かれた供給曲線と一般化費用にもとづく需要曲線との交点で消費量が決まります。

楔がもたらす効果の大きさ（補助金額や負の外部性の大きさ）は、first-best のときの供給曲線とシフトした供給曲線のあいだの面積で示されます。消費者余剰と生産者余剰は first-best のときと同様に考えることができるので、波及による財 2 の市場での消費者余剰の変化と生産者余剰の変化は相殺します。しかし、財 2 の消費量が変化していることから、楔がもたらす効果の大きさの

変化（必要な補助金額の変化や、負の外部性の変化）は相殺されずに残ります。これが右側の図の灰色の平行四辺形で表現されています。

このように、財 2 市場が不完全であるとき、財 2 市場の税・補助金や外部性の変化分については、財 1 市場での一般均衡需要曲線による消費者余剰の変化に加えて、便益に計上する必要があります。ただし、財 2 の消費変化による財 2 市場での消費者余剰の変化は、first-best のばあいと同じく、便益には計上されません。

第6章 投入物の評価

公共プロジェクトにはさまざまな資源が投入されます⁽¹⁾。公共プロジェクトの費用を評価するとは、これらの投入物の費用を計測することです。社会の観点から費用便益分析を行うときには、投入物の費用についても社会的費用、すなわち機会費用で計測する必要があります。ここで機会費用とは、その公共プロジェクトを遂行するために使用する資源を、代替する最良の用途に使用すれば生産されるはずの財やサービスの価値のことをいいます。したがって、代替の用途がもう存在しないような財やサービス、たとえばすでに使ってしまった労働力の価値は考えません。このような回収できない費用は埋没費用（sunk cost）と呼ばれます。使ってしまった財であっても、設置された橋の鉄骨のように、スクラップとして売ることができるなら、売却価格に相当する費用を考える必要があります。

ここでは投入物の市場の部分均衡を考え、消費者余剰や生産者余剰、税収などの変化によって社会的費用を評価します。もし公共プロジェクトのために政府が投入物を調達することで、その投入物を供給している生産者の余剰が増加していれば、その余剰の増加分だけ社会的費用は少なくなるでしょう。逆に、消費者余剰が減少していれば、そのぶんだけ社会的費用は大きく評価しなければなりません。このような投入物の費用の社会的評価を投入物1単位当たりで考えるとき、その費用を影の価格（シャドウ・プライス、**shadow price**）と呼びます。

便益の波及効果を考えた時と同じく、投入物の費用についても、投入物市場が first-best か second-best かで考えるべき要素が異なります。最初に投入物市場が first-best であるとき、次に second-best であるときについて考えます。Second-best である状況はさまざまに考えることができるので、いくつかに絞って示すことにしましょう。

⁽¹⁾以下の内容は、ボードマン他、112～124 ページに基づいています。

6.1 First-best

6.1.1 価格が変化しないとき

まず，投入物市場が first-best のばあいです．もっとも簡単なケースは，投入物市場に歪みがなく，また公共プロジェクトによる投入物の調達によって価格が変化しないケースです．これは公共調達量が市場規模に比べて十分に小さいとき，近似的に成り立つと考えられます．たとえば鉛筆などの文房具市場が当てはまるかもしれません．このばあい，機会費用は市場価格（=限界費用）と調達量の積に等しくなり，公的部門の支出額に等しくなります．多くの投入物については，限界費用曲線の傾きが非常に急だとは考えにくく，公共プロジェクトによって価格が大きく変化することも考えにくいので，支出額が機会費用に等しいと考えることはそれほど非合理ではありません．

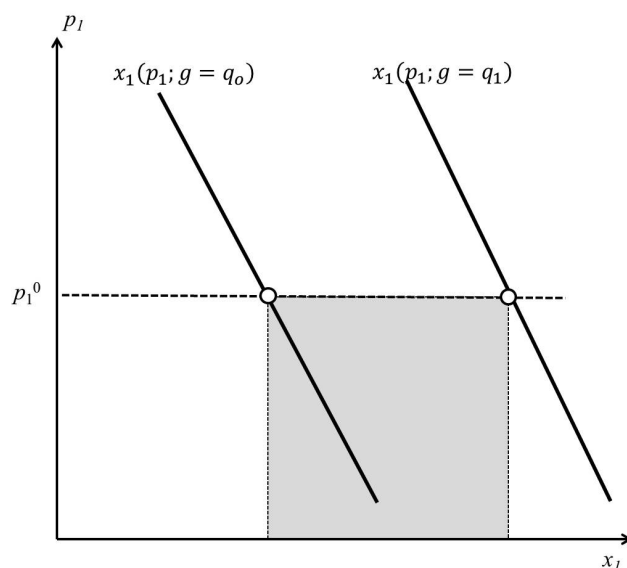


図 6.1: 市場が完全で，価格が変化しないとき

図6.1では，公共プロジェクトによって投入物市場の需要曲線が $x_1(p_1, g = q_0)$ から $x_1(p_1, g = q_1)$ に右シフトしています．このとき，公的部門の支出額は影のついた長方形の面積で表されます．既存の買い手の需要曲線はシフトする前の需要曲線で表されていますが，価格が変化していないので既存の買い手の得る消費者余剰に変化はありません．同様に，生産者余剰にも変化はありません．社会的費用は，公的部門の支出額に消費者余剰と生産者余剰の減少分を足したものですから，この場合はの社会的費用は，影のついた長方形部分に相当し，支出額と等しくなります．

6.1.2 全体の供給量が変わらないとき

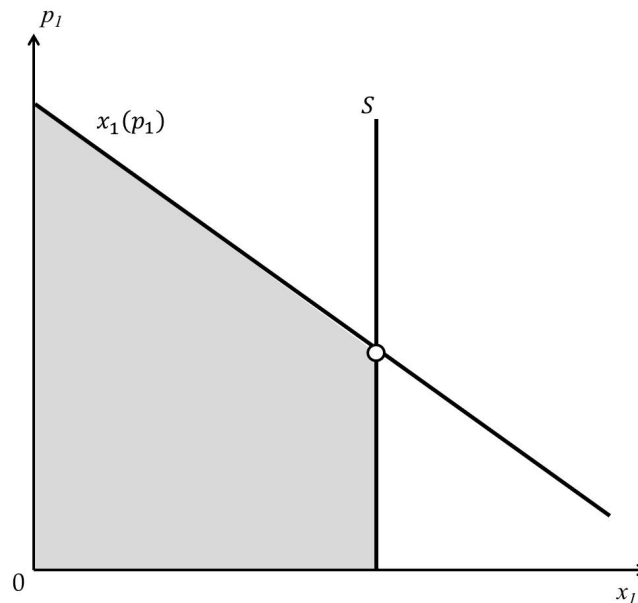


図 6.2: 市場が完全で、供給量が変わらないとき

次に、供給量に変化がないばあいです。土地の供給についてはこのケースが当てはまります。公共プロジェクトのためにある区画の土地を購入して利用するとしましょう。もし公共プロジェクトに利用されなければ、他の買い手が存在して利用されるとします。このとき、公的部門がこの土地を買い上げることによって、民間部門の他の買い手は消費者余剰を失いますから、機会費用はこの消費者余剰と公的部門の支出額の和に等しくなります（図6.2の影のついた台形部分）。このとき、公的部門の支出額は消費者余剰よりも小さくなりますから、支出額では費用を過小評価しています。

6.1.3 全体の供給量も価格も変化するとき

公共プロジェクトによる投入物の調達で、投入物市場の規模に比べて小さくなく、投入物市場で成立している価格を変化させることがあります。大規模な公共投資を行うために、建設資材を大量に調達するときなどがこれに当たります。このばあい、右上がりの限界費用曲線と、右下がりの需要曲線を使って分析する必要があります。図6.3はそのような投入物市場を表現しています。公

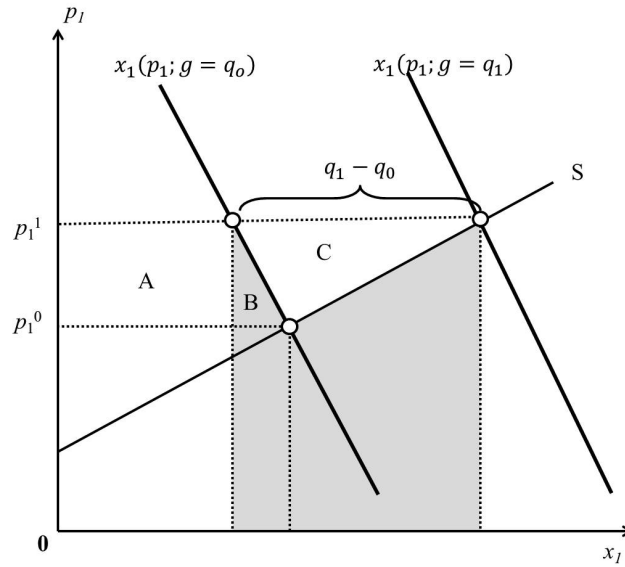


図 6.3: 市場が完全で、価格が変化するとき

共部門が調達を行う前、この投入物に対する需要は $x_1(p_1; g = q_0)$ で表されていましたが、公共部門がプロジェクトのために需要を $q_0 \rightarrow q_1$ へと増加させると、需要曲線は $x_1(p_1; g = q_1)$ へと右へシフトします。これにともなって、投入物の市場価格は $p_1^0 \rightarrow p_1^1$ へと上昇しています。公的部門は上昇した価格でこの投入財を買わなければなりませんから、公的部門の支出額は $p_1^1 \times (q_1 - q_0)$ となり、図6.3では長方形の面積で表現されます。

もし公共プロジェクトのための調達によっても価格が変化しなければ、この投入物の既存の買い手にとっては何の変化もありません。すなわち、プロジェクト以前と同じ価格で、同じ量を購入することになります。しかし、公共プロジェクトのための調達によって価格が上昇するときには、既存の買い手にとっても直面する価格が上昇するため、既存の買い手は購入量を減少させます。このことは既存の買い手の消費者余剰を減少させます。既存の買い手の需要関数は $x_1(p_1; g = q_0)$ で表現されていますから、価格上昇に伴う消費者余剰の減少は、図6.3の長方形 A と三角形 B の面積の和で表現されます。他方、この投入物の生産者は、価格の上昇に反応して生産量を増加させます。したがって生産者余剰が増加し、その大きさは図6.3の長方形 A ・ 三角形 B ・ 三角形 C の面積の和で表されます。消費者余剰が減少し、生産者余剰が増加していますから、総余剰を考えると三角形 C の面積のぶんだけ総余剰は増加します。ここでは投入物にかかる公共プロジェクトの費用について考えていますから、生産に直接かかる費用（公的部門の支出額）から増加した総余剰

を差し引いた分，すなわち消費者余剰と生産者余剰の減少分を足した分が公共プロジェクトの費用になります。生産の直接の費用は長方形で示されますから，三角形 C の面積を引いて，公共プロジェクトの費用は図6.3では影をつけた部分になります。

したがって，公共プロジェクトによる投入物の調達が入入物市場で成立している価格を上昇させるとき，プロジェクトの費用は公共部門の支出額よりも小さくなります。これは，投入物市場で生産者余剰の増加が見られるためです。

さて，図6.3で影をつけた部分がこの投入物の調達にかかる社会的費用ですが，この費用を調達した量 $q_1 - q_0$ で割ると，投入物 1 単位当たりの社会的な価格を求めることができます。この価格を影の価格（シャドウ・プライス，**shadow price**）と呼びます。このケースでは，投入物のシャドウ・プライスは，調達前と調達後の価格の加重平均といふことができます。

6.2 Second-best

投入物市場が完全ではなく，買い手が支払う価格と売り手が受け取る価格に乖離がある（wedge がある）ときには，投入物にかかる費用の評価の方法も異なります。投入物市場がどのように完全でないかによって，評価の方法も異なりますから，ここでは 2 つの例を取り上げて考え方を示します。

6.2.1 生産者に従量税が課されているとき

最初の例は，投入物に対して従量税が課されているときです。このときには，消費者価格は生産者価格に税率を足したものになります。図6.4はそのような投入物市場を表しています。横軸に投入物の供給/需要量，縦軸に消費者価格をとっています。限界費用曲線を S とすると，従量税が課税されたあとの供給曲線は上にシフトするので $S + t$ のように描くことができます。ここで，縦軸は消費者価格を表していることに注意しましょう。供給曲線は生産者価格に対する生産量を表す曲線ですから，縦軸が消費者価格を表しているときには供給曲線は従量税のぶんだけ上（あるいは左）にずれて描かれることになります。

公共プロジェクトによる調達が行われる前 ($g = q_0$) は， $x_1(p_1, g = q_0)$ という需要曲線とシフトした供給曲線 $S + t$ の交点で需要量が決まるので，消費者価格は $p_1^0 + t$ ，生産者価格は p_1^0 となっています。ここで，公共プロジェクトによる調達が行われ ($g = q_1$)，需要曲線が $x_1(p_1, g = q_0)$ か

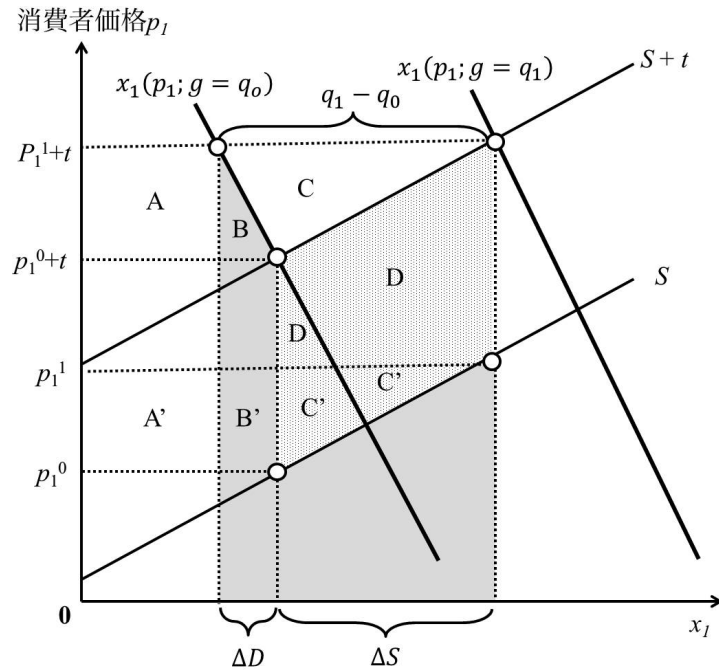


図 6.4: 生産者に従量税が課されているとき

ら $x_1(p_1, g = q_1)$ に右にシフトしたとしましょう。新しい需要曲線 $x_1(p_1, g = q_1)$ と供給曲線 $S+t$ の交点で市場が均衡するので、消費者価格は $p_1^1 + t$ 、生産者価格は p_1^1 となります。供給曲線が通常の仮定の下で右上がりであれば、供給曲線に沿って価格は上昇します。公的部門は上昇した価格でこの投入財を購入しますから、支出額は $(p_1^1 + t) \times (q_1 - q_0)$ となります⁽²⁾。

余剰の変化について先ほどと同じように考えてみましょう。既存の買い手の消費者余剰の変化はシフトする前の需要曲線を使って考えることができますから、価格上昇にともなう消費者余剰の減少は長方形 A と三角形 B の面積の和で示すことができます。生産者は価格上昇に反応して生産量を増加させますから、生産者余剰が発生します。図6.4ではその大きさは長方形 A' と長方形 B' と三角形 C' の面積の和で示されます。ここで、消費者余剰と生産者余剰の和の変化を考えてみましょう。供給曲線 $S+t$ は限界費用曲線 S を平行移動させたものですから、長方形 A と長方形 A' は合同です。したがって、消費者余剰と生産者余剰の和の増加分は、三角形 C の面積で対応します。これは、市場が完全で価格が変化するばあいと同じです。

⁽²⁾公的部門も購入の際には従量税をいったん支払います。日本政府が公的調達の際に消費税を支払うのと同じことです。

従量税が課されているので、余剰を考えるとときには税率の変化を考える必要があります。供給曲線 $S + t$ は限界費用曲線 S の縦方向の差が税率に等しいですから、薄い影をかけた平行四辺形（三角形 C' と台形 D の和）の面積が税率の増加分に対応します。

ここでは投入物にかかる公共プロジェクトの費用について考えていますから、生産に直接かかる費用から増加した総余剰を差し引いた分が公共プロジェクトの費用になります。ここでは、公的部門の支出額に、消費者余剰の減少分を足し、生産者余剰の増加分を引き、税率の増加分を引けばよいことになります。生産の直接の費用は長方形の面積 $((p_1^1 + t) \times (q_1 - q_0))$ で示されますから、三角形 C の面積と、薄い影をかけた平行四辺形の面積を引けば、投入の費用になります。すなわち、このばあいでの公共プロジェクトの費用は図6.4の濃い影をつけた部分になります。このとき、投入物の調達のための公的部門の支出額は、投入物の社会的費用よりも大きくなります。これは、投入物市場で生産者余剰が増加することと、税率が増加することを反映しています。

図6.4で濃い影をつけた部分がこの投入物の調達にかかる社会的費用ですが、この費用を調達した量 $q_1 - q_0$ で割ると、この投入物のシャドウ・プライスを求めることができます。価格変化 $p_1^0 \rightarrow p_1^1$ がそれほど大きくないとすれば、このシャドウ・プライスは、課税前価格 p_1 と課税後価格 $p_1 + t$ の加重和になります。いま、公的部門による調達を、既存の買い手の需要の減少 ΔD と、投入物生産の増加 ΔS に分解し、 $q_1 - q_0 = \Delta D + \Delta S$ と表すと、図6.4から、シャドウ・プライス p^* は

$$p^* = (p_1 + t) \frac{\Delta D}{\Delta D + \Delta S} + p_1 \frac{\Delta S}{\Delta D + \Delta S} \quad (6.1)$$

と近似されます。これをハーバーガーの加重平均公式（Harberger's weighted average shadow price formula）と呼びます。

6.2.2 失業者を雇用するとき

2番めの例は失業者を雇用するときです。公共プロジェクトのほとんどは労働投入を必要としますから、そのための雇用の社会的費用を考えておくことが必要です。

もし労働市場が完全であれば、労働者を雇用することの費用についても完全市場のケースを応用することができます。すなわち、労働のシャドウ・プライスは市場で成立している賃金率に等しく、費用便益分析に際して用いるべき費用は支払われた賃金に等しくなります。

労働市場が完全であれば失業者は存在しません⁽³⁾ から、「失業者を雇用するとき」という問題設

⁽³⁾一般に失業者とは、働くことができ、働く場所を探していて、働いていないひとのことを指します。働いておらず、働く気のないひとたちは非労働力人口に含まれます。詳細については労働経済学の本を参照してください。

定自体が、労働市場が不完全であることを前提としています。とはいえ、失業者が発生するメカニズムはいくつか考えられていて、それぞれについて雇用の社会的費用の考え方が異なる可能性があります。ここでは、もっとも単純な解釈として、賃金率に下限（最低賃金率規制）が存在するために失業者が存在しているばあいを考えます。それでも労働のシャドウ・プライスの求め方について完全に合意が得られているとは言えません。というのも、以下に述べるそれぞれの計測方法にはそれぞれに批判があるためです。賃金率に下限が存在するために失業者が存在していると

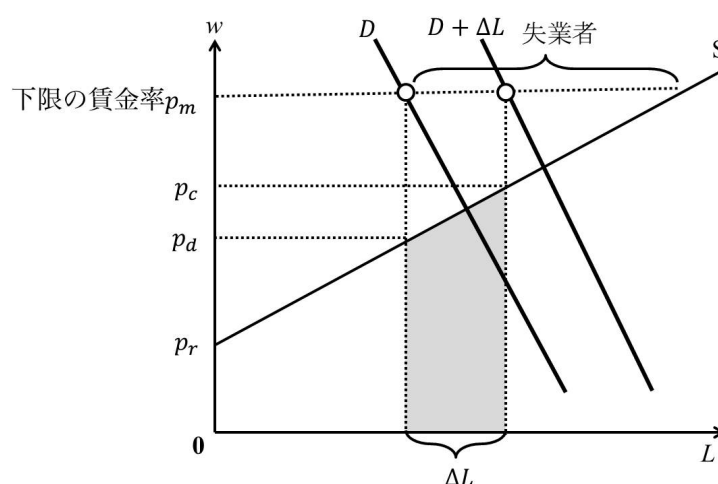


図 6.5: 賃金率に下限があるために失業者が発生しているとき

いう状況を図6.5を使って考えます。賃金率 p_m が最低賃金率であるとする、この賃金率では労働供給が労働需要よりも大きいので、その差が失業者となります。いま、公共プロジェクトのために ΔL だけ雇用を増加させたとしましょう。ここで注意すべきなのは、一般には公共プロジェクトのためには失業者だけが雇用されるわけではない、という点です。失業者対策という目的をも付与された公共プロジェクトでは失業者だけが雇用されるかもしれませんが、そうでなければ、公共プロジェクトのために働く労働者は、すでに働いている人かもしれませんし、失業していた人だったかもしれません。

このとき、労働のシャドウ・プライスとして次のような考え方があります。

基準 A シャドウ・プライスはゼロだ、というものです。これは、失業者は働いていないから、彼らを雇用したとしても社会的な費用は発生していない、という理由によります。しかし、この考え方は次の2点で適切ではありません。第1に、失業者と言っても多少なりとも余暇から

効用を得ていますから、労働によって余暇が減少すれば効用の減少という費用が発生する、という点です。この余暇の限界効用は労働供給曲線の背後に存在します。第2は、失業者の多くは市場取引されない生産活動、つまり家事や育児やその他もろもろの活動に従事しているという点です。この2点から、労働のシャドウ・プライスをゼロとすることは、労働の社会的費用を過小評価していることになります。

基準 B シャドウ・プライスは最低賃金率 p_m だ、というものです。これは、失業者が存在するもとで公共プロジェクトのために雇用をおこなえば、その賃金率は最低賃金率 p_m に設定することができるから、という理由によります。しかし、図6.5に示されるような単純な需要と供給の部分均衡モデルを考えているかぎり、雇用される人たちは最低賃金率 p_m よりも低い賃金率でも雇用されようとするでしょうから、実際の賃金率と、雇用されてもよい最低の賃金率の差は、ちょうど生産者余剰に対応し、そのぶんだけシャドウ・プライスは引下げられなければならない。つまり、労働のシャドウ・プライスを最低賃金率とすることは、労働の社会的費用を過大評価していることになります。

基準 C シャドウ・プライスは、図6.5の p_c と p_d のなんらかの加重平均だ、というものです。これは、労働供給曲線が労働者（失業者含む）の労働時間あるいは余暇に対する限界費用、つまり受け取りたい賃金率や時間価値を反映しているのだから、この限界費用を用いるべきだ、という考え方によります。この考え方自体は、上で述べた投入物の費用の評価の考え方と整合的です。しかし、実際に公的プロジェクトに雇われた人たちの余暇の限界費用が p_c と p_d のあいだに分布しているとは限りません。先に述べたように、公共プロジェクトのために働く労働者は、すでに働いている人かもしれませんし、失業していた人だったかもしれないからです。また、失業者のみが新たに公共プロジェクトのために雇用されたとしても、失業者のうちで余暇の限界費用が p_c と p_d のあいだにある人だけが雇用される保証はありません。

基準 D シャドウ・プライスは図6.5の p_m と p_r のなんらかの加重平均だ、というものです。これは、基準 C の欠点を補おうとするものです。つまり、現在の失業者の余暇の限界費用は p_m と p_r のあいだにあるのだから、そのうちの誰が公共プロジェクトに雇用されたかが明らかではない以上、この上限 p_m と下限 p_r のあいだのどこかの値を使うのがよい、という考え方です。この考え方はもっともらしいものではありませんが、実際には下限 p_r が観察されない、という欠点があります。

基準 E シャドウ・プライスは最低賃金率の半分、 $(1/2)p_m$ だ、というものです。これは、基準 D の実際上の問題点を回避するものです。すなわち、失業者の余暇の限界費用の下限 p_r が観測されないのなら、 $p_m = 0$ とおき、また、失業者・雇用された人の余暇の限界効用は p_m と p_r のあいだに均等に分布していると仮定すると、基準 D のいう加重平均は $(1/2)p_m$ に等しくなります。最低賃金率 p_m は観測されますから、この値は容易に計算できますが、限界費用の分布や雇用された人の特性について強い仮定を置いていることになります。

働いていない時間（余暇）には社会的な価値があるということを前提とすれば、基準 E が労働のシャドウ・プライスについて容易に入手できる控えめな見積もりを提供することができ、実際上はおそらくもっともまともな推定値となるでしょう。他方、公共プロジェクトのために支払われた労働賃金は、基準 B に従ったものと解釈できるので、労働の社会的費用としては過大な推定値と考えられます。

第7章 割引率と投資基準

将来の価値を現在価値に直すための割引率の選び方にはいくつかの考え方があります。第1は、個人や社会が将来の効用や消費を割り引くときに用いる時間選好率 q を使うという考え方です。第2は、現在の費用が民間投資に用いられたら生んだであろう投資収益率 r を使うという考え方です。第3は、現在の資金の需要と供給の取引を通じて資本市場で決定される市場金利 i を使うという考え方です⁽¹⁾。費用便益分析の割引率に投資収益率や市場金利を使うのは、これらが資本の機会費用を表しているからです。すなわち、資源は公共プロジェクトに投入されなければ民間部門で投資や消費に回され、それによって便益を発生させますから、資源を公共プロジェクトに投入する機会費用は、その資源を民間部門で最も費用効率的に活用したときの便益に等しいと考えられるからです。さて、割引率として時間選好率・投資収益率・市場利子率のいずれの考え方ももっともらしいのですが、どれが、あるいはこれらの組合せが適切か、ということは資本市場がどう機能しているかに依存しています⁽²⁾。

7.1 資本市場が完全なとき

資本市場が完全であれば、時間選好率（個人の時間割引率）と投資収益率と市場利子率は等しくなります。これを現在と将来の2期間のモデルで考えてみましょう（図7.1）。横軸に現在の消費、縦軸に将来の消費をとった平面を考えます。現在の消費をあきらめて投資をすると将来の消費が増えるとする、現在の消費と将来の消費の実行可能な組合せをこの平面に描くことができます。この組合せのうち原点から最も遠いものをつないだ線が生産可能性曲線になります。生産可能性曲線の傾きは、現在の消費を限界的に1単位あきらめたときに得られる将来の消費の最大値を近似していますから、資本市場が完全で競争的に機能していれば、投資の（限界）収益率 $1+r$ に対応します。

⁽¹⁾以下では、これらの値はゼロ近辺の値をとるほうで定義します。

⁽²⁾費用便益分析では実質化された費用と便益を用いて計算することがほとんどであり、利子率を割引率として用いるときにもインフレ率で割り引いた実質利子率を用います。

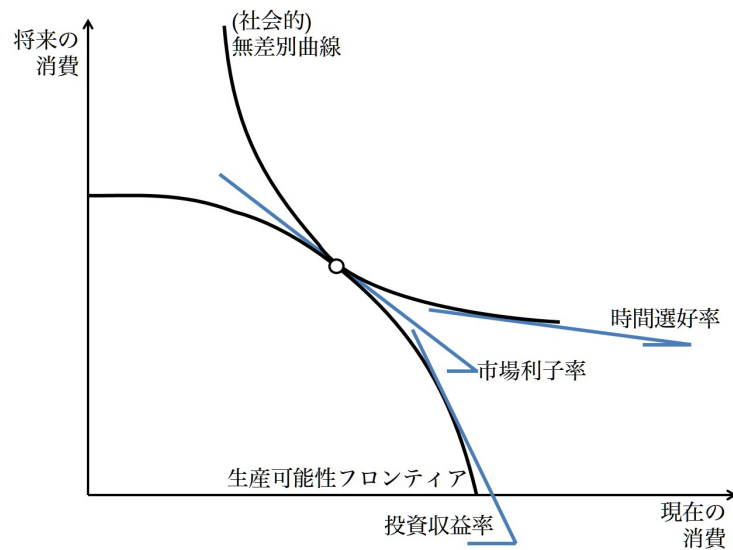


図 7.1: 資本市場が完全なとき

現在の消費と将来の消費の組合せについての社会的な選好は社会的無差別曲線で表現されます。社会的無差別曲線とは、現在の消費と将来の消費の組合せが無差別になるような点の軌跡であり、個人の無差別曲線とほぼ同様に考えることができます。ある点における社会的無差別曲線の傾きは、現在と将来の消費のその点における交換への意思を表現していて、限界代替率に相当します。現在と将来の消費の限界代替率は、時間選好率 $1 + q$ になります。

資本市場がよく機能していれば、社会が現在の消費を限界的に 1 単位あきらめたときに無差別になる将来の消費の量と、生産される将来の消費の量が等しくなり、これが市場利子率 i に等しくなります。したがって、時間選好率と投資収益率と市場利子率は等しくなり、この値を費用便益分析の割引率に利用することができます。

7.2 資本市場が不完全なとき

資本市場が不完全なとき、時間選好率と投資収益率を市場利子率は一般には等しくなりません。そこで、社会的割引率としてこれらのいずれか、あるいはその組合せを用いるかについていくつかの候補があります。

7.2.1 民間部門の限界投資収益率を用いる

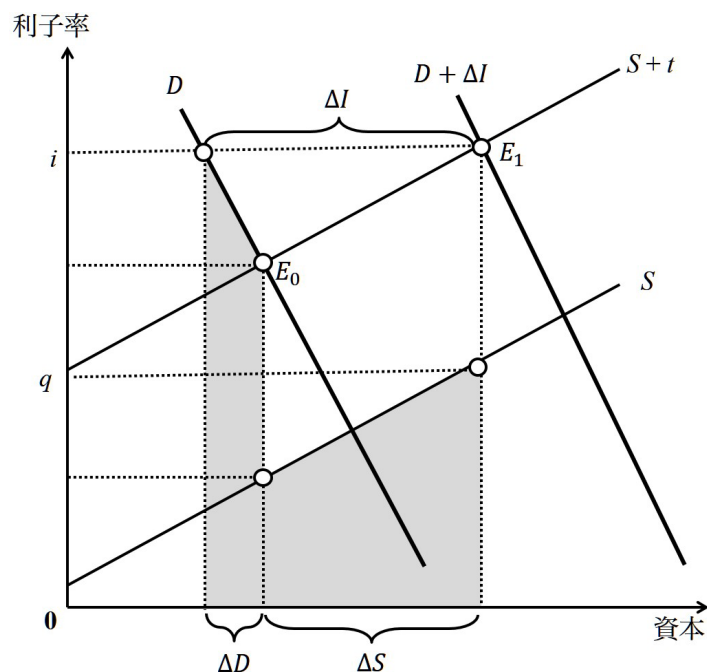


図 7.2: 法人所得税や利子所得税が課されているとき

公共部門が民間から資源を取り上げて公共プロジェクトを実施していると考え、公共プロジェクトを運用するからにはその収益率は民間の収益率よりも高くなければならない、と考えることもできます。ここで、資本市場に法人所得税や利子所得税が導入されているとすると、用いるべき収益率とはどの水準になるでしょうか。

利子所得税がかかっている資本市場を図7.2で考えてみましょう。縦軸に資本の受け手が直面する利子率、横軸に資本量をとります。当初の資本の需要曲線を D とします。当初の資本の供給曲線を S としておくと、縦軸には資本の受け手の直面する利子率が取られていることから、供給曲線は左側にシフトして $S+t$ のようになり、資本の需要/供給量と資本の受け手の支払う利子率の組合せは E_0 で決まります。いま、公共プロジェクトのために資本を調達し、資本の需要関数が ΔI だけ右にシフトしたとしましょう。需要関数の変化によっても供給関数は動きませんから供給曲線は変化せず、新しい均衡点は E_1 に移動します。縦軸は資本の受け手が直面する利子率をとっていますから、 E_1 がグラフ上で示している利子率は税引前の市場利子率 i であり、民間の限界収益率

に等しくなります。資本の供給側が個人ですから、税引後利子率が個人の時間選好率 q に対応します。資本需要が大きくなることで民間資本がクラウドアウトされた量が ΔD 、利子率の上昇によって増加する資本量（貯蓄量）が ΔS となり、公的部門が調達する資本量は $\Delta I = \Delta D + \Delta S$ となります。

ここで、資本は公共プロジェクトの投入物のひとつと考えられますから、資本を利用することの費用は図7.2の影を付けた部分で表されます。ハーバーガーの加重平均公式を使うと、このときの平均費用は

$$i \frac{\Delta D}{\Delta I} + q \frac{\Delta S}{\Delta I} \quad (7.1)$$

となります。もし貯蓄が利子率にあまり反応しないとすると、資本の供給曲線の傾きが急になるので、 ΔD に比べて ΔS が小さくなります。このとき、税引前利子率と税引後利子率の加重平均は税引前利子率、すなわち民間の限界収益率に近くなります。

民間部門のリスクの大きい投資の限界収益率は、アメリカの数字をもとにすると、8%程度になります⁽³⁾。この8%という値はやや大きいように思えるかもしれません。じっさい、税引前限界収益率をもとにする社会的割引率の求め方では、割引率が大きくなりすぎるのではないかとの批判があります。理由はいくつかありますが、第1は、この収益率にはリスクプレミアムが含まれている点です。公共プロジェクトにもリスクは伴いますが、リスクの織り込み方をほかに考えておいてここではリスクを考えない割引率を求めておくとする、割引率の算出においてもリスク要因は外しておく必要があります。民間の投資も多かれ少なかれリスクにさらされていますから、民間資本の利回りから求められた限界収益率にもリスクプレミアムが残っていると考えられます。第2は、公的部門による資本調達は、民間部門の資本をクラウドアウトするよりむしろ、民間部門の消費を減少させると考えられる点です。資本調達の原資は課税であり、課税が直接に消費を減少させると考えられるからです。第3は、資本は国外からの国債購入によってもまかなわれており、完全閉鎖経済を想定すると利子率の変動が過大評価されるという点です。第4は、民間部門の利子率は独占などの資本市場の不完全性によって上方にゆがめられているとされる点です。第5に、公共プロジェクトは民間資本をクラウドアウトするだけでなく、資本の収益率を上昇させることで投資機会を創出し、資本を呼び込む効果を持つかもしれないという点です。これらの批判を考慮すると、8%という値は、社会的割引率としては上限と考えるのがよいかもしれません。

⁽³⁾ ボードマンほか (2004, 第10章, 302ページ) では、AAA 格債券の1947年から1999年までの平均利回りが6.86%であり、法人税率が38%であることから、税引前名目利回りが $0.0686 / (1 - 0.38) = 0.1106$ から11.06%、インフレ率を年率3%として、実質税引前利回りが約8%としています。

7.2.2 社会的時間選好率を用いる

社会的割引率とは将来の費用や便益を現在価値に割り戻すときに用いる割引率ですから、社会を構成する個人の割引率、つまり時間選好率をそのまま用いるのがよいという考え方もあります。ただし、時間選好率は直接には観察できませんから、観測できるデータからどのように計算できるかを考える必要があります。

資本市場に法人所得税や利子所得税が導入されているとしても、時間選好率は税引後実質利子率に対応していると考えられます。前述の資本の平均費用についてのハーバーガーの加重平均公式において、もし民間資本のクラウドアウトがゼロであれば、割引率は税引後利子率に等しくなります。

リスクのない投資の税引後実質利子率は、国債投資から得られる利子率から計算できます。アメリカの数字をもとにすると、この数字は2%程度になります⁽⁴⁾。

社会を構成する個人の時間選好率を社会的割引率とし、その指標として税引後実質利子率を使うという考え方にも批判があります。第1は、社会を構成する個人によって時間選好率が異なり、単一の時間選好率が存在するわけではない、という点です。時間選好率に差があるからこそ取引が存在するという側面もありますから、市場で成り立っている税引後実質利子率が誰の時間選好率を表しているかは必ずしも明らかではありません。もっとも、社会を構成する人々の時間選好率がわかったとしても、それを単一の社会的割引率にまとめる方法が明らかであるわけでもありません。第2は、個人の直面する税引後利子率は投資と借入で異なり、また多くのばあい、個人は金融資産と金融負債を同時に抱えているという点です。この行動からは、個人が単一の時間選好率を持っているのかどうかも明らかではありません。第3は、市場で成立している利子率は市場に参加している個人の時間選好率しか反映していないという点です。長期にわたる公共プロジェクトは、まだ生まれていない個人にも影響し、厚生を変化させる可能性がありますから、現在の個人の時間選好率のみを考慮するのは適切ではないかもしれません。

⁽⁴⁾ ボードマンほか（2004，第10章，304ページ）では、アメリカ財務省10年債の1953年から1999年までの平均利回りが6.67%であり、所得税率が30%であることから、税引前名目利回りが $0.0667 \times (1 - 0.30) = 0.0474$ から4.74%、インフレ率を年率3%として、実質税引後利回りが約2%としています。

7.2.3 加重平均社会的費用をもちいる

図7.2は、公共プロジェクトのための資本が単一の資本市場から調達され、民間部門の資本調達をクラウドアウトするという設定で描かれていますが、そうでないかもしれません。国債を外債として発行して資金調達すれば、国内の民間部門の投資や消費をクラウドアウトするとは考えにくいでしょう。また、プロジェクトによって資本の調達先が異なるかもしれません。そこで、調達した比率をウェイトとして機会費用を加重平均した値を求めて割引率として利用するというとも考えられます。

外債による調達の機会費用は外債の利率、国内の民間部門の投資をクラウドアウトすることの機会費用は民間の限界収益率（=税引前利率）、国内の民間部門の消費をクラウドアウトすることの機会費用は時間選好率（=税引後利率）ですから、この3つの調達比率をウェイトとして、外債利率・税引前利率・税引後利率の加重平均を求めればよいことになります。もし公共プロジェクトの資金がすべて税金でまかなわれているとすれば、投資のクラウドアウトはないものと仮定すればよいでしょう。

このように求められる割引率については、構成要素である税引前利率・税引後利率を割引率として用いることに対する批判がおおむね当てはまります。それら以外の批判には、この加重平均社会的費用の考え方が公共プロジェクトごとに異なる割引率を適用することを含意することに対するものがあります。もし公共プロジェクトによって資本の調達先比率が異なれば、その比率が異なるのに応じて割引率も変化させるのが妥当なように考えられますが、異なる事業に異なる割引率を用いるということを正当化することは、経済学的にはともかく、政治的にはなかなか難しそうだからです。

7.2.4 資本のシャドウ・プライスをもちいる

将来にわたって便益と費用が発生するときの割引率を考えるのですから、現在の消費1単位を諦めることが将来の消費でどれほどになるかということがわかれば、この比率を割引率として使うことが考えられます。現在の消費1単位を諦めるということは1単位の投資を行うことなので、この投資によって生まれる将来の消費の現在価値の大きさを、資本のシャドウ・プライスと呼びます。資本のシャドウ・プライスを割引率に使うのですが、資本のシャドウ・プライスを用いるためには将来の消費を現在価値に直す割引率が必要で、この割引率には時間選好率を用います。資

本のシャドウ・プライスが時間選好率と異なるのは、投資の果実が再投資されたり、投資によって形成される資本が減価する（depreciate）ことを考慮する点にあります。

いま、資本減耗（capital depreciation）前の資本の粗利益率を r とおき、資本減耗率を δ とおきます⁽⁵⁾。時間選好率は $1 + q$ とします。現在価値にしていな割引前の t 期の消費を C_t 、資本ストックを K_t とします。また、各時点での貯蓄率を s とおきます。時点 0 で 1 単位の投資をしたとすると、1 期目には

$$C_1 = r(1 - s), \quad K_1 = (1 - d) + sr \quad (7.2)$$

となります。この資本が r の率で粗利益を生むので、

$$C_2 = r(1 - s)(1 - d + sr), \quad K_2 = (1 - d + sr)(1 - d) + sr(1 - d + sr) = (1 - d + sr)^2 \quad (7.3)$$

同様に、

$$C_3 = r(1 - s)(1 - d + sr)^2, \quad K_3 = (1 - d + sr)^3 \quad (7.4)$$

となります。資本のシャドウ・プライス θ は、消費の流列 $C_1, C_2, C_3, \dots$ を時間選好率で割り引いた現在価値の和ですから、

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{r(1 - s)}{1 + q} + \frac{r(1 - s)(1 - d + sr)}{(1 + q)^2} + \frac{r(1 - s)(1 - d + sr)^2}{(1 + q)^3} + \dots \\ &= \frac{r(1 - s)}{1 + q} \left[1 + \frac{1 - d + sr}{1 + q} + \frac{(1 - d + sr)^2}{(1 + q)^2} + \dots \right] \\ &= \frac{r(1 - s)}{1 + q} \left[1 + \frac{1 - d + sr}{1 + q} \right]^{-1} \end{aligned}$$

なので、整理すると、

$$\theta = \frac{r(1 - s)}{q + d - sr} \quad (7.5)$$

となります。もし貯蓄がなく（ $s = 0$ ）、資本減耗もしない（ $d = 0$ ）という投資であれば、この投資は每期 r という果実をもたらすものになるので、その現在価値は

$$\theta = \frac{r}{q} \quad (7.6)$$

というよく見る形になります。

⁽⁵⁾この説明は、Lyon, Randolph M. 1990. Federal discount rate policy, the shadow price of capital, and challenges for reforms. *Journal of Environmental Economics and Management* **18**(2-2), pp.S29-S50. の Appendix 1 によります。

資本のシャドウ・プライスは、現在の1単位の投資が将来の消費の割引現在価値で測ってどれくらいの大きさになるかを示す指標なので、理論的な基礎に優位性を持つ割引率ということができます。ただし、この資本のシャドウ・プライスを求めるには、貯蓄率 s や資本減耗率 d の値が必要です。資本減耗は企業会計でも計算されますが、費用便益分析ではそのような会計上の減耗ではなく、経済的価値の減耗率を用いなければならず、その計測は容易ではありません。貯蓄率についても仮定が必要になります。アメリカの数値例では、資本のシャドウ・プライスは1.3%から2.7%程度とされています。理論的な有意性を持つ資本のシャドウ・プライスですが、計算がややこしく、また導出に必要な情報・仮定が多いという批判があります。

7.2.5 時間を通じて逓減する割引率を用いる

ここまで挙げてきた割引率はいずれも、指数型割引になっています。ところが、経験的に、あるいは行動経済学的には、指数型割引はおかしな選択をもたらすことが知られています。いま、割引率を10%として以下の2つのプロジェクトを考えてみましょう。いずれも長い時間視野で見べき環境プロジェクトのようなものを想定するとよいでしょう。プロジェクトAは初年から永遠

	1	2	...	36	37	...	∞	PV
A	100	100	...	100	100	...	100	1,000
B	151	100	...	100	0	...	0	1,014

表 7.1: 2つのプロジェクトの比較

に毎年100ずつの便益をもたらす一方、プロジェクトBは初年に151の便益をもたらし、2年目から36年目まで100ずつの便益をもたらして終わります。これを割引率10%で現在価値に直してみると、プロジェクトAの割引現在価値は1,000である一方、プロジェクトBの割引現在価値は1,014となり、プロジェクトBのほうが割引現在価値が大きくなります。プロジェクトAとBの便益の差は1年目は51だけで、37年目以降は100ずつ違うのですから、この結論は直観的におかしいようにも思えます。

そこで、割引率が時間を通じて逓減するような割引率を考えることもあります。割引率が逓減するということは、遠い将来についてはあまり割り引かないことを意味します。上の例では、プロジェクトAの遠い将来に発生する便益をより大きく評価できれば、プロジェクトBよりも割引

現在価値が大きくなる可能性があります。

遠い将来の便益を大きくは割り引かないということは、世代間の関係からも正当化できます。遠い将来に便益や費用が発生するとき、その便益や費用を実際に被る人々はまだ生まれておらず、現在の意思決定に参加できない当事者になります。そこで、遠い将来の人々の好みをより強く反映するために、将来の割引を小さくするということが考えられるのです。F. Ramseyなどは、将来の世代の便益は、将来生まれるという理由のみで割り引くべきでない、と考えていました。

7.2.6 割引率の実際

実際の費用便益分析では、割引率をどう選択するかという問題以前に、割引自体を行っていないケースも見受けられます。割引が行われるときでも、割引率は7%や4%に固定されており、その根拠については明らかでないケースもあるようです。

7.3 投資基準

将来の費用と便益の値が確定し、割引率が決まれば、費用と便益を現在価値に直して比較し、純便益がプラスとなるものからプロジェクトを採択していけばよいと考えられます。しかしプロジェクトの投資基準は純現在価値だけではありません。

7.3.1 最終価値

公共プロジェクトの費用便益ではプロジェクトが発生させる便益と費用を計算しますが、長期的な影響をもつプロジェクトではあまりに遠い将来の便益と費用を見積もることは困難なことがあります。そのようなときには、便益と費用の計算期間 k について最終価値 $T(k)$ を設定して、 $T(k)$ について感度分析を行うことがあります。最終価値とは、理想的には計算期間後の純便益の割引価値であり、式で書くと

$$\text{純現在価値} = \sum_{t=0}^{\infty} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^k \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} + T(k) \quad (7.7)$$

となります。計算期間後の便益と費用を見積もることが困難という理由によって最終価値 $T(k)$ を設定しているのですから、最終価値の設定はなんらかの見積もりに依存します。見積もりの考え方としては以下の5つの方法が考えられています。

計算期間後の便益と費用を推計する。 計算期間後の便益と費用を見積もることが困難だという状況設定からは矛盾しているようですが、計算期間後については最終期 k の便益と費用が一定率で増加する、あるいは減少すると仮定して計算するという方法です。便益と費用が単純に増加したり減少したりするとは一概には言えないので、ここで簡単化の仮定を置いていることになります。

清算価値を用いる。 清算価値とは、スクラップ価値・残存価値・廃残価値などとも呼ばれるもので、計算期間が終わったときのプロジェクトの施設等の資産等の価値のことです。プロジェクトのために購入したバスを売るとか、鉄くずとして処分するとかいったケースを考えればよいでしょう。清算価値による見積もりが使いやすい条件として、(1) 計算期間後にプロジェクトからは費用も便益も発生しない、(2) 残った資産を評価できる、よく機能している市場が存在している、といったことがあります。鉄くずや航空機のように、残った資産を取引する市場がうまく機能していれば、その市場での価格が資産の社会的価値を反映していると考えられるからです。

経済的な減価償却後価格を用いる。 公共プロジェクトが終わった時点で資産が残っていて、その資産が便益をもたらすときには、資産の減価償却後価格がプロジェクトの最終価値に近いと考えることもできるでしょう。資産のファンダメンタル価格は、その資産が生み出す純便益の現在価値に等しいはずだからです。ここで必要なのは、経済的な減価償却後価格であって、会計上の減価償却後価格ではありません。したがって、資産を取引する市場がなくても利用できる方法ではありますが、資産市場がなければ計算は難しいでしょう。

当初の建設・取得費用から見積もる。 会計上の減価償却後価格は資産の価値を表す指標としては、このばあいには必ずしも望ましいものではありませんが、会計上の減価償却と同様に、当初の建設費用・取得費用に一定の比率を乗じたりして最終価値を見積もるという方法もあります。経済的な減価償却後価格が望ましいのですから、このような手法の正当性はあまりないと考えられます。

ゼロとおく。 計算期間を十分遠い将来に置くことができれば、それより将来時点ではプロジェクトやそこで用いた資産が費用や便益を発生させないと簡単化することもできるかもしれません。そのようなときには最終価値をゼロに置くということもあります。

このように最終価値の見積もりの方法が考えられていますが、比較的好ましい方法は最初に挙げたように、計算期間ごとの費用と便益をなんらかの方法で推計しておいてそこから求める方法でしょう。

7.3.2 投資基準の他の指標

費用便益分析では費用と便益の割引現在価値の差である純現在価値がプロジェクト実行の判断基準としておもに用いられますが、ほかの指標が使われることもあります。

費用便益比。純現在価値が割引現在価値でみた便益から費用を引いたものであるのに対し、便益と費用の比をとったものを考えることもできます。式で書けば、

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^{\infty} B_t / (1+r)^t}{\sum_{t=0}^{\infty} C_t / (1+r)^t} \quad (7.8)$$

となります。純現在価値がプラスとなるとき、費用便益比は1より大きくなります。一般には、プロジェクトの採否は費用便益比の大きな順に決めることになります。

純費用便益比。費用便益比の分子を、純便益の割引現在価値としたものを純費用便益比と呼びます。純現在価値がプラスであるとき純費用便益比もプラスの値をとります。

$$\text{net } B/C = \frac{\sum_{t=0}^{\infty} (B_t - C_t) / (1+r)^t}{\sum_{t=0}^{\infty} C_t / (1+r)^t} = \frac{\sum_{t=0}^{\infty} B_t / (1+r)^t}{\sum_{t=0}^{\infty} C_t / (1+r)^t} - 1 \quad (7.9)$$

内部収益率 (IRR: Internal Rate of Return)。費用便益比も純費用便益比も割引率が異なれば異なる値をとります。費用が初期に発生して便益が将来時点で発生するようなプロジェクトでは、割引率が大きいほど費用便益比は小さくなります。そこで、純費用便益比がゼロになるような割引率を考え、この割引率のことを内部収益率と言います。別の言い方をすると、割引現在価値に直した費用と便益が等しくなるような割引率が内部収益率です。式で書くと、内部収益率 π は

$$\frac{\sum_{t=0}^{\infty} B_t}{(1+\pi)^t} - \frac{\sum_{t=0}^{\infty} C_t}{(1+\pi)^t} = 0 \quad (7.10)$$

を満たします。投資基準としては、あらかじめ設定された収益率や市場利子率より内部収益率が高ければそのプロジェクトを採択する、あるいは、内部収益率の高い順番にプロジェク

トを採択していく，というように使われます．現状維持に対してただひとつの代替案しかないときには，内部収益率があらかじめ設定された割引率より大きければ採択，小さければ棄却，となります．

内部収益率は t 次方程式の解として求められるので，各時点での純便益 $B_t - C_t$ が t によってプラスになったりマイナスになったりと波打つときには，(7.10) 式の解が一意に定まらないこともあります．

これらの指標がどのような値になるか，数値例でみてみましょう⁽⁶⁾．いま，新しい施設を初年度に 1.5 億円をかけて作るとします．施設の残存期間は 30 年で，次の年度から維持管理費用が毎年 1500 万円かかるとしましょう．一方，この施設によって次年度から便益が毎年 2850 万円ずつ発生するとします．つまり，現在価値に直す前の費用と便益の流列は表 7.2 のようになります．割引

表 7.2: あるプロジェクトの費用と便益（数値例，万円）

年度	0	1	2	...	30
費用	15,000	1,500	1,500	...	1,500
便益	0	2,850	2,850	...	2,850

率を 6% とすると，このプロジェクトの純便益の割引現在価値（NPV: Net Present Value）は

$$\text{NPV} = -15,000 + \sum_{t=1}^{30} \frac{2,850 - 1,500}{(1 + 0.06)^t} \approx 3,583 \quad (7.11)$$

この純便益はもちろん割引率によって変化します．いくつかの割引率について計算した結果が表 7.3 に示されています．表を見て分かるように，割引率が大きくなるほど費用も便益も割引現在価値が小さくなり，このケースでは純便益の割引現在価値は小さくなります．割引率が 8.1395 のときに純便益の割引現在価値がゼロになり，費用便益比が 1 になるので，このプロジェクトの内部収益率は 8.1395% となります．

⁽⁶⁾この数値例は，ナス（2007，第 8 章）によります．ただし，ナス（2007，表 8.1）については再計算しています（誤植だともいます）．

表 7.3: あるプロジェクトの費用と便益の割引現在価値

割引率	費用	便益	純便益	B/C
4	40,938	49,282	8,344	1.204
6	35,647	39,230	3,583	1.100
8	31,887	32,085	198	1.006
8.1395	31,667	31,667	0	1.000
10	29,140	26,867	-2,274	0.922

7.3.3 プロジェクトの比較

プロジェクトの純便益の大きさを表す指標として、純便益の割引現在価値、B/C、内部収益率を挙げましたが、プロジェクトの規模が同じであれば、純便益の割引現在価値が大きければ B/C も大きくなり、内部収益率も大きくなるので、どの指標を用いてもプロジェクトの採否の意思決定は同じです。しかし、規模や年限が異なるプロジェクトを比較するときには、どの指標を用いるかによって採否の決定が変化する可能性があります。

まず、規模の異なるプロジェクトを比較するばあいです。表 7.4 にある 4 つのプロジェクトが検討対象になっているとしましょう。いずれのプロジェクトも初期投資 I_0 だけが費用として必要であり、純便益の割引現在価値 NPV がすでに計算されているとします。もしプロジェクトの採否

表 7.4: プロジェクトの採否例

	I_0	NPV	B/C
プロジェクト A	1,000	100	1.10
プロジェクト B	500	60	1.12
プロジェクト C	400	80	1.20
プロジェクト D	100	15	1.15

に際して予算の制約がなければ、いずれのプロジェクトも純便益がプラスで、B/C が 1 以上ですから、すべてのプロジェクトを実施すべきという結論になるはずです。しかし、これらのプロジェクトのために使える予算が 1,000 以下である、つまり $I_0 \leq 1,000$ という制約がかかっている

とします。このとき、これらのプロジェクトが分割不可能で複数実施することができるのであれば、プロジェクト C を 2 回、プロジェクト D を 2 回行うことが純便益を最大にします。プロジェクトが 1 回しか行えないのであれば、プロジェクト B, C, D を選ぶことになります。いずれにしても、純便益が最も大きいプロジェクト A は採択されません。

次に、年限が異なるプロジェクトがあるばあいを考えてみましょう⁽⁷⁾。表 7.5 にある 2 つのプロジェクトを比較してみます。プロジェクト A はたとえば水力発電で、プロジェクト期間は 75 年、純便益の割引現在価値は 3,000 万ドルであるとしましょう。プロジェクト B はたとえば火力発電で、プロジェクト期間は 15 年、純便益の割引現在価値は 2,400 万ドルです。この 2 つのプロジェ

表 7.5: プロジェクトの採否例

	NPV	年限
プロジェクト A (水力発電)	3,000	75 年
プロジェクト B (火力発電)	2,400	15 年

クトを比べると、純便益の割引現在価値はプロジェクト A のほうが大きいのですが、年限が異なります。もしプロジェクト B を 5 回行うことができる、つまり火力発電所を 15 年後に建て替えて同じように新たに運用できるとしましょう。水力発電の計画期間である 75 年間に火力発電所は 4 回建て替えることになり、この 5 回のプロジェクトの割引現在価値は、割引率を 8% とすると、

$$\text{プロジェクト B の 5 回分の純便益} = 2,400 + \frac{2,400}{1.08^{15}} + \frac{2,400}{1.08^{30}} + \frac{2,400}{1.08^{45}} + \frac{2,400}{1.08^{60}} \approx 3,494$$

となるので、火力発電のほうが純便益が大きいことになります。このように、プロジェクトの採否にあたっては、年限をそろえて計算する必要があります⁽⁸⁾。

⁽⁷⁾ この数値例は、ボードマンほか（2004, pp.171-172）によります。

⁽⁸⁾ 年限が異なるときには、そのプロジェクトがもたらす純便益の割引現在価値とおなじだけの割引現在価値を每期同じ純便益でもたらすとしたらいくらになるか、を計算して比較する方法もあります。

第8章 オプションと存在価値

ここまでは、公共プロジェクトによって生産活動や消費活動に変化がもたらされ、それによって費用や便益が発生するという状況での費用や便益の評価について考えてきました。そこではリスクは存在せず、財・サービスの生産・消費の変化が費用・便益を発生させると仮定されてきました。しかし、公共プロジェクトはリスクを軽減したり、逆にプロジェクトの存在がリスクを発生させたりすることもありますし、また消費されない財に対しても価値を見出すべきときもあります。ここではそのようなケースでの費用便益分析の考え方について説明します⁽¹⁾。

8.1 オプション価値

8.1.1 リスクを減少させるプロジェクトの評価：例

リスクを減少させるプロジェクトの評価を考えるために、小惑星防衛計画を想像してみましょう。今後1世紀以内に小惑星が地球に衝突する可能性があることがわかり、世界政府（国際連合でもかまいません）が対策の価値を見極めたいと考えているとします。小惑星の衝突は確率的な事象で、何も対策を行わなければ直径1km以上の小惑星が地球に衝突する確率が0.001（0.1%）、直径20m以上1km以下の小惑星が衝突する確率が0.004（0.4%）、直径20m以上の小惑星は衝突しない確率が0.995（99.5%）であるとして、何も対策をとらなかったときの被害額は、直径1km以上の小惑星との衝突のときには30兆ドル、直径20m以上1km以下の小惑星との衝突のときには6兆ドルであるとして、この小惑星の衝突に対して、地球の外に前進基地を作りミサイル等を利用して小惑星の軌道を変えて被害を少なくすることができるとしましょう。この前進基地の建設費用は600億ドルですが、建設によって直径1km以上の小惑星襲来の際の被害を5兆ドル、直径20m以上1km以下の小惑星の際の被害を1兆ドルまで減少できます。したがって、直径1km以上の小惑星が来たときにはかかる費用は5兆600億ドルになります。この状況をまとめたのが表8.1です。

⁽¹⁾今回の内容はボードマンほか、第8章、第9章を参考にしています。

表 8.1: 小惑星防衛計画

衝突する小惑星	直径 1km 以上	直径 20m-1km	衝突しない	期待値
今後 1 世紀の発生確率	0.001	0.004	0.995	
総費用 (10 億ドル)				
前進基地を作る	5,060	1,060	60	69
何もしない	30,000	6,000	0	54

それぞれの事象の確率と被害額がわかっているのですから、前進基地を建設したときとしなかったときの費用の期待値を計算することができます。前進基地を建設するときの費用の期待値は、 $5.06 \times 0.001 + 1.06 \times 0.004 + 0.06 \times 0.995 = 0.069$ なので 69 億ドルです。同様に計算すると、なにもしなかったときの費用の期待値は 54 億ドルです。したがって、期待値だけみるとなにもしないほうが費用はかからないことになります。

しかし、もし何もしないで小惑星が衝突すればその被害額は膨大なので、保険のために前進基地を作ってもよいし、そのために支払いをしてもよいという人もいるでしょう。どれほど支払っていいかは表 8.1 からは分かりませんから、なんらかの適切な質問調査を行う必要があります。支払意思額を適切に聞き出す質問調査の方法にはいろいろあり、それぞれに難点を抱えていますが、ここではとにかくにも正しく聞き出すことができ、地球人全体で 1000 億ドルという支払意思額が分かったとします。建設費用は 600 億ドルなので、支払意思額 1000 億ドルと費用 600 億ドルの差 400 億ドルが純便益のように見えますが、この建設によって費用の期待値は 150 億ドル増加するわけなので、合わせて 550 億ドルが、費用以上に与えられた地球人の便益の評価ということになります。この便益のなかには、保険を掛けることによる安心感の価値、すなわちオプション価値が含まれます。

8.1.2 復習：期待効用と確実性等価

リスクが存在するときの意思決定についての基礎的な考え方について復習しておきましょう⁽²⁾。個人が所得 Y を確実に得るときの効用水準を $U(Y)$ とします ($dU/dY > 0$)。所得 Y にリスクがあり、取りうる値 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K$ とその個数 K 、対応する確率 $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_K$ が既知であるとき、期

⁽²⁾この記述は、林正義・小川光・別所俊一郎、2010、公共経済学、有斐閣、第 8 章に依拠しています。

待効用は

$$E[U(Y)] = \pi_1 U(\alpha_1) + \pi_2 U(\alpha_2) + \cdots + \pi_K U(\alpha_K) = \sum_{i=1}^K \pi_i U(\alpha_i) \quad (8.1)$$

と定義されます。 Y が確率変数なので、実現する効用 $U(Y)$ もまた確率変数であることに注意しましょう。ここで、期待効用 $E[U(Y)]$ と同じ効用が得られる確実な所得 Y^* を考えます。すなわち Y^* は

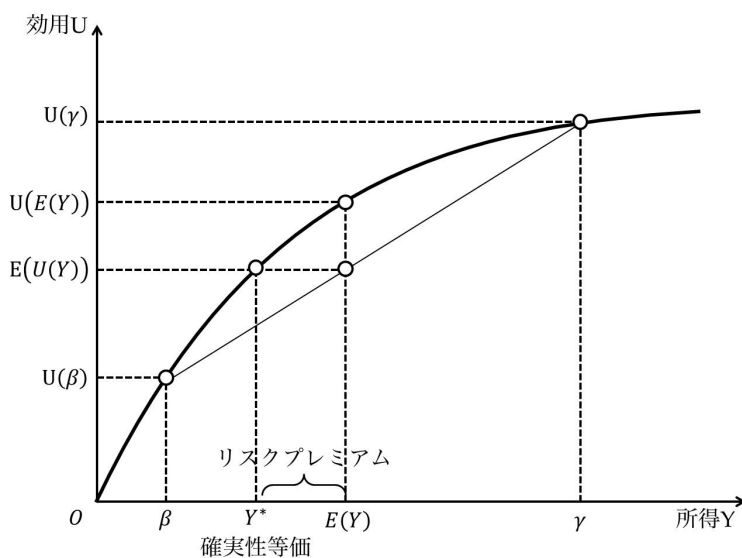
$$E[U(Y)] = U(Y^*) \quad (8.2)$$

を満たすものとしします。このとき Y^* を確実性等価 (certainty equivalence) と呼びます。効用関数 U で表される選好がリスク回避的 (risk averse) であるとき、 $U'' < 0$ であり、確実性等価 Y^* と期待所得 $E[Y]$ のあいだには $Y^* < E[Y]$ という不等号が成り立ち、この差をリスクプレミアム (risk premium) と呼びます。つまり

$$\text{リスクプレミアム} = E[Y] - Y^* \quad (8.3)$$

と定義されます。

図 8.1: 確実性等価とリスクプレミアム



$K = 2$ のときについて図で確認しておきましょう。所得 Y のとりうる値を β, γ とし、 $\beta < \gamma$ とします。 β が実現する確率を π とすると、 γ が実現する確率は $1 - \pi$ です。横軸に所得、縦軸に効

用水準をとったグラフを描くと、リスク回避的な選好のもとでは効用関数は上に凸の曲線で表現されます。

所得 β, γ を横軸にとると、期待所得 $E[Y] = \pi\beta + (1 - \pi)\gamma$ は、線分 $\beta - \gamma$ を $1 - \pi : \pi$ で内分する点で表され、この期待所得 $E[Y]$ に対応する効用水準は $U(E[Y])$ となります。同様に、効用水準 $U(\beta), U(\gamma)$ を縦軸にとり、この2点間の $1 - \pi : \pi$ の内分点が期待効用 $E[U(Y)] = \pi U(\beta) + (1 - \pi)U(\gamma)$ を表します。

縦軸にとった期待効用 $E[U(Y)]$ から水平線を引き、効用関数との交点にあたる所得水準が確実性等価 Y^* です。リスク回避的な選好のもとでは効用関数は上に凸なので、 $Y^* < E[Y]$ が成り立ち、この差がリスクプレミアムとなります。

8.1.3 オプション価値の定義

オプション価値は不確実性がなくなることによる期待効用の増加分にほぼ対応します。リスクがどのように顕現しても選好が同じだとすれば、オプション価値は、リスクがあるときの収益の期待値と、リスクがないときにそれと同等の効用を得るための収益 (certainty equivalence) との差のことをいいます。

リスクがあるときの費用便益分析では、(おそらく歴史的経緯から) これとは少し異なる定義を用います。すなわち、リスクがどのように顕現するかによって選好が変化するかもしれないということを考慮してオプション価値を定義します。いま、自然公園の保全を例として、実現しうる状況が2つずつあるという状況を考えましょう⁽³⁾。危険回避的な個人が、自然公園の保全を進めるべきかどうか考えているとします。もし何もしなくても、自然公園はある確率 q_1 で引き続き利用できますが、 $q_2 = 1 - q_1$ の確率で荒廃などによって利用できなくなります。公園が利用できるかどうかを変数 G で表し、利用できるときには $G = G^*$ 、利用できないときは $G = 0$ と書きます。自然公園の保全のために X だけの費用をかければ、利用できる確率を $r_1 (> q_1)$ に増加させることができます。しかし利用できなくなる確率 $r_2 (< q_2)$ も残ります。また、この個人は将来、自然公園に対して価値を見いだせなくなるかもしれません。自然公園に対する関心が引き続きある状態

⁽³⁾ この説明は、湧口清隆・山内弘隆、2002、交通サービスにおけるオプション価値の理論と現実：弘南バス深谷線におけるオプション価値計測の試み、運輸政策研究 5(3), 2-11. に依存しています。さらに元の論文は、Freeman III, A.M. 1986. Uncertainty and option value in environmental policy. in E. Miles, R. Pealy and R. Stokes eds. Natural Resources Economics and Policy Applications, Essay in honor of James A. Crutchfield, Seattle and London, University of Washington Press, pp.251-271. です。

を $i = D$ で表し、この確率を p_1 とします。つまり、 $p_2 = 1 - p_1$ の確率でこの個人は自然公園に対する関心を失ってしまいます ($i = N$)。関心がなくなるかどうかと公園が残っているかどうかは独立の事象と仮定しておきましょう。

自然公園に関心を持っているときの間接効用関数を $U_D(Y_D, P_D, G)$ 、関心を持っていないときの間接効用関数を $U_N(Y_N, P_N)$ とします。ここで、 Y と P はそれぞれの状況に依存した所得と価格ベクトルを表します。関心を持っているときには自然公園が利用できるほうが効用が高いため、 $U_D(Y_D, P_D, G^*) > U_D(Y_D, P_D, 0)$ が成り立ちます。このとき、補償余剰 CS_i は

$$CS_D : U_D(Y_D - CS_D, P_D, G^*) = U_D(Y_D, P_D, 0) \quad (8.4)$$

$$CS_N : CS_N = 0 \quad (8.5)$$

と定義されます。

なにもしなかったときの期待効用を考えましょう。自然公園への関心を失ってしまっていれば効用は $U_N(Y_N, P_N)$ であり、この状況は確率 p_2 で起こりえます。自然公園の関心を持ち続けているときは、公園が残っているときと失われたときで効用が異なります。公園が残っているときの効用は $U_D(Y_D, P_D, G^*)$ で、関心がなくなるかどうかと公園が残っているかどうかは独立の事象なので、この状況は確率 $p_1 q_1$ で起こりえます。公園がなくなっているときの効用は $U_D(Y_D, P_D, 0)$ で、確率は $p_1 q_2$ です。したがって、なにもしなかったときの期待効用 EU_{SQ} は

$$EU_{SQ} = p_1 q_1 U_D(Y_D, P_D, G^*) + p_1 q_2 U_D(Y_D, P_D, 0) + p_2 U_N(Y_N, P_N) \quad (8.6)$$

となります。

自然公園の保全のために X だけの費用をかけて、利用できる確率を $r_1 > q_1$ に増加させたときの期待効用を考えましょう。公園が残っていても失われても、保全費用 X は支払わなければならないことに注意すると、上と同様にして期待効用 EU_{OP} は

$$EU_{OP} = p_1 r_1 U_D(Y_D - X, P_D, G^*) + p_1 r_2 U_D(Y_D - X, P_D, 0) + p_2 U_N(Y_N - X, P_N) \quad (8.7)$$

となります。

いま、 p_1, q_1, r_1 の確率を所与として、自然公園の保全のために最大限いくら X を支払うことができるかを考えると、そのような X の最大値のことをオプション価格 (option price) と呼びます。 X が大きくなると期待効用 EU_{OP} は小さくなっていきますから、 $EU_{OP} = EU_{SQ}$ となるような X が存在して、その値がオプション価格と呼ばれます。他方、このオプションを購入すること

によって購入前に比べて増加する補償余剰で測定した消費者余剰の増加分を期待補償余剰 ECS と呼ぶことにします。自然公園に対する関心を失ってしまえば、オプションを購入したとしても消費者余剰は変化せず $CS_N = 0$ です。自然公園に対する関心を持ち続けていれば、補償余剰 CS_i を得る確率が q_1 から r_1 に上昇しますから、

$$ECS = p_1(r_1 - q_1)CS_D + p_2 \times 0 \times CS_N = p_1(r_1 - q_1)CS_D \quad (8.8)$$

となります。このように定義される期待補償余剰とオプション価格との差のことをオプション価値 (option value) と呼びます。すなわち、

$$\text{Option Value} = \text{Option Price} - ECS \quad (8.9)$$

です⁽⁴⁾。

このようにややこしい定義になるオプション価値ですが、基本的にはリスクを回避したり軽減したりするために追加的に支払ってもよい額に相当します。ただし、定義がややこしいだけあって、危険回避的な個人であってもオプション価値が負になるばあいがあります。

すでに述べたように、選好が変化しないのであればオプション価値はふつうの確実性等価の議論と同じになります。いちばん簡単なケースとして、選好が変化しない ($p_2 = 0$) であり、かつ、 X を支払うことで確実に公園が保全される ($r_2 = 0$) とすれば、

$$EU_{SQ} = q_1 U_D(Y_D, P_D, G^*) + q_2 U_D(Y_D, P_D, 0) \quad (8.10)$$

$$EU_{OP} = U_D(Y_D - X, P_D, G^*) \quad (8.11)$$

となりますから、 $EU_{OP} = EU_{SQ}$ となるオプション価格 X はリスクプレミアムと同じように考えることができます。

8.1.4 実践的尺度としての期待余剰

一般に、リスクがあるときにはオプション価格が概念的に正しい便益の尺度ですが、實際上よく用いられているのは期待余剰です。上の例では、選好が変化するリスクがなければ期待余剰は

$$U_D(Y_D - CS_D, P_D, G^*) = U_D(Y_D, P_D, 0) \quad (8.12)$$

⁽⁴⁾湧口・山内 (2002) から示唆されるように、金融市場の文脈では、オプション価値とオプション価格とオプション料は同じ値となります。

を満たす CS_D に G^* となる確率を乗じた値ですが、おおまかに言って、それぞれの事象が実現したときの便益の期待値のことを期待余剰といいます。オプション価値が正負いずれの符号も取りうることから、期待余剰とオプション価格の大小は一般には定まりません。では期待余剰を用いる妥当性は、計算の容易さ以外にどのようなものがあるのでしょうか。

第1は、個人の選好がリスク中立的であればオプション価値はゼロになることに注目します。個人の選好はリスク回避的と仮定するのが妥当と考えられますが、それぞれの公共プロジェクトの規模は個人にとっては小さいものなので、個別のプロジェクトをリスク中立的に評価しても近似としては悪くないと考えられます。なので、個人の期待余剰を集計したものもよい近似になると思われます。この議論は、公共プロジェクトが個人にとっては小さいものであるという仮定に依存していますが、個人にとって大きな影響を持つプロジェクトも当然存在しますし、特定の地域や集団に費用や便益が集中することはしばしばあります。

第2は、リスクが個別的である (individual risk, idiosyncratic risk) ときには、便益の平均は期待余剰に一致するので期待余剰を用いてもよい、という議論です。交通事故のように、リスクがどのように実現するかは個人によってばらばらであるようなリスクを個別リスクと呼び、そのようなときには一人あたりの便益にそれぞれの実現した事象に遭遇した人数をかけて足し合わせたものが全体の便益となりそうです。大数の法則が成り立っていれば、この全体の便益は期待便益とほぼ一致します。この議論はリスクが個別的であるという仮定を使っていますが、公共プロジェクトが対処したりあるいは生み出したりするリスクは必ずしも個別的であるとは限らず、集合的 (collective) であることもあります。原子力発電所のような大規模プロジェクトはその例です。そのばあいには全員が同じ事象に遭遇することになるため、事前の平均値をとることは必ずしももっともらしくありません。

そうはいつでもオプション価値・オプション価格を見積もることは困難ですから、リスクが個別的で、プロジェクトがそれほど大規模でなければ期待余剰として便益のよい近似値となります。集合的リスクがあったり、大規模プロジェクトであったりすれば、取り扱いには特に注意が必要です。

8.2 存在価値

公共プロジェクトはさまざまな便益を発生させますが、ここまでは便益とは消費者余剰や生産者余剰の増加がもたらすものと考えてきました。消費者余剰の増加はおおむね効用の増加に対応

していますが、効用の変化は一般には消費の変化によってもたらされます。しかし、公共プロジェクトによっては、通常の意味での「消費」が行われないにもかかわらず効用の変化がもたらされると考えたほうがよいことがあります。たとえば自然資源、とくに野生生物の保護などがこれにあたります。たとえば野生生物保護の公共プロジェクトでは、多くの住民は保護された野生生物を見に行くことはなく、したがって「消費」はしていないと考えられます。しかし野生生物保護にはなんらかの便益が発生していると考えられ、実際に見に行かない住民が野生生物保護プロジェクトにいくばくかの支払いをしてもいいと考えることもあるでしょう。このとき、このような自然資源に存在価値があるとか、消極的利用または非利用から便益が発生する、といいます。

8.2.1 評価の難点

「存在価値」がある財の評価や、その財からの便益を定義するときにはいくつかの難点があります。第1は、利用と非利用の区別が困難である点です。この点は、これらの財が純粋公共財的な側面を持っているとも解釈できます。ただし、純粋公共財の例としてしばしば挙げられる防衛や外交と異なり、その便益を住民が受けているかどうかを明確に判別できるとは限りません。

第2は、存在価値のある財について利用と非利用（積極的利用と消極的利用）の双方がありうるという点です。野生生物保護地域を設定して保護するというプロジェクトを考えてみると、その地域に出かけて行ってハイキングやトレッキングを行うということは積極的利用にあたります。他方、その地域が保全されているということ自体を住民が評価しているとすれば、消極的利用（非利用）からの便益が発生することになります。

第3は、財の量に対する便益の大きさが極めて非線形でありうる点です。野生生物保護を考えると、対象となっている生物の個体数が種の保存に必要な数より小さくなれば絶滅の危機となつて便益は大きく減少する一方で、個体数が種の保存に必要な数よりあるていど大きくなれば人々の感じる便益は個体数が増加してもそれほど増加しないかもしれません。

第4は、消極的利用や非利用から便益が発生するということは、人々の消費などの行動自体は変化せず、行動変化から便益を推測することが困難になる、つまり選好が顕示されにくいという点です。

8.2.2 存在価値の背後にある動機

存在価値の背後にどのような動機があるかを考えておくことは、存在価値の大きさをどのように測ればよいか、またその結果をどう解釈すればよいかを考えるときに役に立つかもしれません。背後にある動機には次のようなものがあると考えられています。

まず、存在価値のある財についても積極的利用、つまり通常の消費を行うことができ、そこから便益が発生します。積極的利用はさらに2つに分類されます。ひとつは競争的消費と呼ばれるもので、これは通常の財の消費と同じものです。自然公園を保全しておけば、たとえばその公園の森林から木材を伐採でき、利用できる、といったものです。もうひとつは非競争的消費であり、公共財的な側面に注目したものです。非競争的消費のうち、財そのものを利用する消費を直接非競争消費と呼び、自然公園でハイキングするとかトレッキングするとかバードウォッチングを楽しむといったことがこれにあたります。その特性から、非破壊的消費と呼ばれることもあります。非競争的消費のうち、その財に物理的に直接には接しない間接非競争的消費と呼ばれるものもあります。これは自然公園や野生動物の映画やDVD等を楽しむといったものが含まれます。

存在価値の背後には消極的利用からの便益の存在もあります。非利用が生む便益の第1は、オプション価値です。これは将来の積極的（あるいは消極的）利用の可能性を保持しておくためにいくらか支払う用意があるということを意味しています。存在価値が考えられる野生生物などは失われると復元や生産は困難ですから、保持しておく価値があることになります。第2は純粹存在価値です。これは存在していること自体にいくらか支払う用意があることを意味しており、自然秩序に対する畏敬の念とかなんらかの正義感とかを反映しているかもしれません。第3は利他的存在価値であり、これは自分自身がその財から効用・便益を得るというよりも、他の人がその財を利用できるようにするために自分がいくらか支払ってもよいという考えを反映しています。自然や芸術・歴史遺産を他人や将来世代が享受できることはそれ自体がよいことである、情緒的に豊かである、といった考えに基づいているのかもしれません。

このように存在価値の背後にはさまざまな動機が考えられますが、いずれにしても人々の行動変化が直接に観測できないことも多いため、その大きさの測定には仮想評価法等が用いられます。

第9章 評価デザイン

9.1 費用と便益の実証的評価

これまでは費用と便益の評価方法についてミクロ経済学的な視点から理論的に考えてきましたが、費用便益分析を行うためには計測すべき費用と便益を定量的に評価する必要があります。費用にせよ便益にせよ政策の効果を社会的余剰の変化で捉えんとすると、「価格」と「消費量」だけではなく、供給関数と需要関数（支払意思額 willingness to pay）を知る必要があります。

もし検討の対象となっている市場が完全に機能していて、統計が十分に整備されていれば、実現した価格と消費量の組合せを観測することができるでしょう。価格と消費量の組合せは供給関数と需要関数の交点を表していますが、適当な仮定を置かなければ、交点のデータを多く集めても供給関数も需要関数も知ることができません。しかし、市場が完全に機能していなければ、供給関数と需要関数の交点である価格と消費量の適切なデータさえ得られません。そのようなときに供給曲線や需要曲線をどのように推測すればよいのかがこれから扱うテーマです。

市場が完全に機能していないときに、おもに需要関数を推定する方法はいくつか考えられていますが、大きく4つに分類できるでしょう。第1は実証実験です。小規模な実験を行い、需要や供給がどのように変化するかを計測するというものです。第2は、市場データを用いる方法です。市場が完全には機能していなくても、なんらかの市場データが利用できるのであれば、それを利用しようというものです。第3は、その他の行動データを用いる方法です。市場データも需要側・供給側の行動の結果を反映しているという点では行動データと呼ぶことができますが、検討の対象となっている市場そのものではなく、その市場に関連する他の市場のデータを用いる方法もあります。顕示選好法もこれに含まれます。第4は、アンケートを行う方法です。価格や消費量が観察できないとき、支払意思額をアンケートによって質問して需要関数を推計する方法がとられることがあります。仮想質問法がこれに含まれます。

これらの方法を用いた推測の結果がどれほど信頼できるかは個別具体的な事情に依存しますが、2つの観点を区別することが有用でしょう。第1の観点は、内的妥当性（internal validity）です。

ここでは、計測したい需要関数や供給関数に対して用いられているデータが適切さと等の方法や条件設定の適切さに注目します。つまり、プログラム評価が正しく行われているか、政策の効果が正しく識別（identification）されているかという観点です。供給関数や需要関数の推定に回帰分析の枠組みを用いるときには、係数の推定量が一致性を持っているか、標準誤差が正しく推定されているか、因果関係について適切な統計的推測が行われているか、といった問題に帰着します。第2の観点は、外的妥当性（external validity）です。ここでは、用いたデータから得られた推測や結果を評価の対象としている母集団に対して適用してもよいか、一般化可能か、という観点です。データが得られた母集団と分析者が興味を持っている母集団では、制度的・法的・社会的・経済的環境が異なることがしばしばあります。そのようなとき、得られた推測や結果をそのまま応用できないこともあります。外的妥当性の有無の判断には統計学・計量経済学的な知識よりも、母集団についてのさまざまな知識が必要とされます。

9.2 実証実験のデザイン

ここでは実証実験（demonstration, pilot programs）の評価方法について考えます。ここでいう実証実験とは、小規模なグループに対してのみ、意図的あるいは偶然に、政策を実施し、その結果を評価することをいいます。評価の対象となっている政策が機能するかどうかを、一国全体等の広範囲に施行する前に知ることができるという点で実証実験は有用です。実証実験の事後評価を、政策を大規模に実施したときの事前予測につなげることも可能です。もし効果がなかったり、あるいは副作用や悪影響のほうが大きいことが分かったとしても、政策実施にともなう利益集団が形成される前に政策を止めることができます。

実証実験にももちろん十分でない点があります。広く言えば、実証実験の限界は外的妥当性が必ずしも保証されない点にあります。実証実験は一般に小規模に行われますが、小規模に行われてうまくいった政策も、一国全体等に大規模に展開すると他の効果が発生することがあります。たとえば失業者の職業訓練という政策を考えてみましょう。失業者の職業訓練を小規模に行っているときには、訓練を受けた失業者の就業率が上昇したり、就業したときの賃金が増えたりして政策の成果が大きく観測できるかもしれません。しかし、失業者全員が職業訓練を受ければ、訓練を受けた失業者の優位性は少なくなって就業率はそれほど上昇しないかもしれませんし、賃金も増えないかもしれません。さらに、労働市場の状況の変化は他の一般均衡効果をもたらす可能性もあります。職業訓練のような政策は、地域社会の態度や規範に変化をもたらす、この変化

が職業訓練の成果にフィードバック効果をもたらすかもしれません。たとえば、公的な職業訓練の普及は雇用者による自発的・補完的な訓練プログラムを衰退させるかもしれません。また、小規模に行われた実証実験に参加した人々には有効な政策も、実験に参加しなかった人々には有効ではないかもしれません。たとえば、男性ブルーワーカーに有効だった職業訓練は女性ホワイトカラーにはそれほど有効ではない可能性があります。実験に参加した人々はなんらかの意味で「やる気」があつて効果が大きく計測されたのかもしれませんし（標本の代表性）、小規模な政策を大規模に展開すると管理がおろそかになり政策の「質」を担保できないかもしれません（政策の代表性）。

このような限界はありますが、大規模な政策の展開に比べれば低い費用で政策の効果について知見を得ることができるという点で、実証実験の意義は大きいと考えられます。以下では、実証実験のパターンと、その評価デザインについて、職業訓練プログラムを例として述べていきます。

ここで、用語を導入しておきましょう。政策の効果を計測するためには、なんらかの意味で政策の対象となるグループと政策の対象とならないグループを用意し、その差を計測する必要があります。このとき、政策の対象となるグループ、職業訓練の例では職業訓練を受けるグループのことを実験群（treatment group）といいます。他方、政策の対象とならないグループ、職業訓練を受けないグループのことを対照群（control group）といいます。

9.2.1 古典的実験デザイン

最も理想的な実証実験のデザインは古典的実験デザインと呼ばれます。このデザインでは、対象となる経済主体は実験群と対照群に無作為に割り当て（random assignment）されるため、無作為割当実験（Randomized Controlled Experiment）と呼ばれることもあります。実験群と対照群についての基礎データや結果（outcome）のデータは実験の前後に集められて比較されます。このとき、実験群と対照群の平均的な差は政策の効果と考えられ、内的妥当性の高いデザインとされます。

古典的実験デザインでは、政策の対象になったかならなかった以外にはすべて同じ経済主体を用意してその結果を比べている、ということではありません。そもそも、すべて同じ経済主体は存在しません。古典的実験デザインでは、無作為に対象をえらんで政策を割り当てることにより「平均的な」効果を計測しています。政策の割り当てが無作為であれば、政策の対象になったかどうかという分布は、結果に影響を与える他の変数の分布とは独立です。このとき、因果効果（causal

effect, treatment effect) は、結果 (outcome) を Y として

$$E[Y|\text{treatment}] - E[Y|\text{control}] \quad (9.1)$$

という条件付き期待値の差として定義されます。この条件付き期待値が政策の水準の 1 次関数であると仮定されれば、単純な最小 2 乗法によって因果効果の大きさを推定することができます。

職業訓練の例では、対象者を無作為に実験群と対照群に振り分け、実験群の人々には職業訓練を施し、対照群の人々には職業訓練を行わないことになります。そのうえで、それぞれについて就業率や賃金等の結果のデータを集め、その平均値を比較します。

古典的実験デザインは理想的な実験デザインですが、経済学分野では実行可能性は必ずしも高くありません。大きな理由の一つは経費が多くかかることであり、またしばしば倫理的な問題を含むことがあります。経費や倫理的な問題がなくても、古典的実験デザインの実行は容易ではなく、内的妥当性が完全には確保できないこともあります。たとえば、無作為割当は失敗することがあります。職業訓練の例では、実験群の人たちは職業訓練を受け、対照群の人たちは職業訓練を受けないはずですが、実験群の人たちは職業訓練を休むかもしれませんし、対照群の人たちはどうにかして職業訓練を受けようとするかもしれません。職業訓練を受けた実験群の人たちは素早く職を見つけ、プログラムから途中で退出してしまう可能性もあります。無作為に割り当てたつもりでも実際には無作為でないというばあいもあります。実験群にいるというだけで、興奮や高揚感から行動が変わる可能性もあり、これをホーソーン効果 (Hawthorne effects) といいます。ホーソーン効果を弱める方法のひとつは double blind (二重盲検法) を用いて、被験者や被験者に接する実験者が、被験者が実験群にいるのか対照群にいるのかが分からないようにすることですが、職業訓練の例を考えればわかるように、公共政策について二重盲検法を用いることは難しいことが多いと思われます。

9.2.2 基礎データなしの古典的実験デザイン

古典的実験デザインに似ていても、実験の前のデータが集められていないというデザインもあります。政策の割り当てが無作為であれば、実験群と対照群の属性の分布は似ているはずですが、事前のデータがなければ実験群と対照群の属性の違いを制御して推定することができません。とくに被験者の数が少なかったり、実験者に手続きに誤りがあるときにこの危険性があります。

9.2.3 前後の比較

実験のデザインのひとつに、被験者のすべてについて政策を実行し、その前後のデータを利用するものがあります。このとき、政策実行前を対照群、政策実行後を実験群とみなしていることになります。職業訓練の例では、職業訓練を受ける前に提示される賃金と、職業訓練を受けた後に提示される賃金を比較します。このような前後の比較では、実験群に対して対照群を設置して管理する必要がないため、意図した実験として行うとしても費用が比較的少なくて済みます。

結果となる変数の値は、政策実行の前後で変化しているかもしれませんが、その変化がすべて政策の影響によるものだと考えるのは適切ではありません。環境の変化などにより、政策が実行されていなくても結果となる変数が変化していた可能性を否定できないからです。この点で前後の比較の内的妥当性は必ずしも高くありません。

9.2.4 非実験的比較：パネル

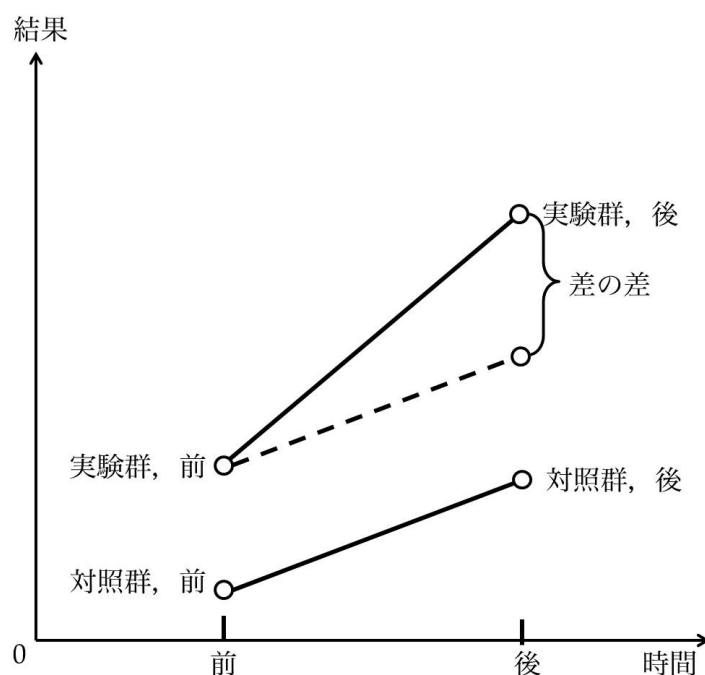
古典的実験デザインは意図した実験ですが、意図した実験ではない状況で得られたデータをあたかも実験データであるかのように扱って分析をすることがあります。このようなデータを観察データと呼ぶことがあり、従来の経済学の分析では多くがこの観察データを利用してきました。

政策の対象となったグループとならなかったグループについて、それぞれ政策実行の前と後の結果の変数や基礎的な属性データがあればそれらを利用することができます。このとき、政策の対象となったグループが実験群、対象とならなかったグループが対照群とみなされます。結果と基礎的属性のデータからパネルデータを構成して適切な統計的処理を行うと政策の効果を識別できるときがあります。

古典的実験デザインと異なり、政策の対象となるかならないかは無作為ではありませんから、実験群と対照群の結果の違いを政策の効果とみなすことはできません。実験群の結果の値は、政策の対象とならなくても変化したかもしれないからです。職業訓練の例では、職業訓練を受けた実験群の人たちの賃金は、職業訓練を受けなかった対照群の人たちと比べて、職業訓練後に大きく上昇していたかもしれません。しかしその上昇は職業訓練のおかげではなく、職業訓練を受けようという生来の生真面目さが原因かもしれません。したがって、賃金の上昇を実験群と対照群とのあいだで比べるだけでは政策の効果を識別することはできません。このように、実験群にある特定の属性を持った人たちしかいなかったり、多かったりするために、政策の効果を推定すると偏りが出てしまうことを標本選択による偏り（sample selection bias）と呼びます。

観察データを用いるときには、政策の対象となるかならないかは一般には無作為ではありませんが、制度上、無作為に振り分けたかのような状況が実現することがあります。このような状況を、古典的実験デザインに準じたものとして、準実験（quasi experiment）あるいは自然実験（natural experiment）と呼びます。準実験のばあい、政策実施前後での実験群と対照群の結果の差の差の平均を計算することで、政策の効果を推定することができます。このような推定を差の差推定（DD: difference-in-differences）と呼びます。差の差推定の考え方は図9.1で表されます。

図 9.1: 差の差推定



政策の効果は、もし実験群の人たちが政策の対象とならなかったら実現したであろう結果と、政策の対象となって実現した結果の差と考えることができます。準実験では実験群と対照群の振り分けはあたかも無作為のようにおこなわれているので、実験群の人たちが政策の対象とならなかったら実現したであろう結果の変化は、対照群の結果の変化と同じと考えられます。そこで、実験群の結果の変化（差）と対照群の結果の変化（差）の差をとることで政策の効果を推定できることになります。

パネルデータであっても、準実験的な状況でなく、観測できない属性がグループの振り分けに

重要な役割を果たしていれば、政策の効果は識別されません。

9.2.5 非実験的比較：横断面

観察データを用いるとき、政策の対象となったグループとならなかったグループの、政策実行の前のデータは手に入らず、政策実行の後のデータしか利用可能でないことがあります。このときも、政策の対象となったグループを実験群、とならなかったグループを対照群とみなして政策効果を推定します。経済学でよく使われるクロスセクションデータ（横断面データ）はこのデータの種類です。実験群と対照群の振り分けは無作為ではないので、結果だけを比較しても、上のケースと同様に、標本選択による偏りが存在して政策効果が識別できず、内的妥当性は低いと考えられます。職業訓練の例では、職業訓練を受けたグループと受けなかったグループの賃金を比較すると、賃金に差はないかもしれません。しかしこれは職業訓練に効果がなかったのではなく、職業訓練を受けなければより低い賃金しか得られなかった人たちが訓練を受けたグループに多く入っているためかもしれません。

経済学の実証分析で行われる回帰分析では、このような偏りを除去するために説明変数を追加していますが、偏りをなくすには十分な説明変数を用意することができず、偏りが残ったままになることがしばしばです。それは、職業訓練に参加するかどうかといったような、政策の対象になるかどうかを決める要因がしばしば選好や生来の気質に依存していて、選好を表現する適切なデータが存在しないことが原因です。このような偏りは、説明変数が足りないという意味で、省略変数バイアス（missing variable bias）とも呼ばれます。

9.2.6 実証実験の例

近年では実験経済学の発展に伴い、古典的実験デザインに基づいた実験室実験や、フィールド実験も多く行われるようになっていきます。公共政策と直接に関係した大規模な実験としては、RAND研究所による医療保険実験（1974～1977年）や、所得維持実験（1960年代後半から70年代前半）が挙げられます。医療保険実験は医療サービス需要の価格弾力性の推定、所得維持実験は労働供給の賃金弾力性の推定に活用されました。

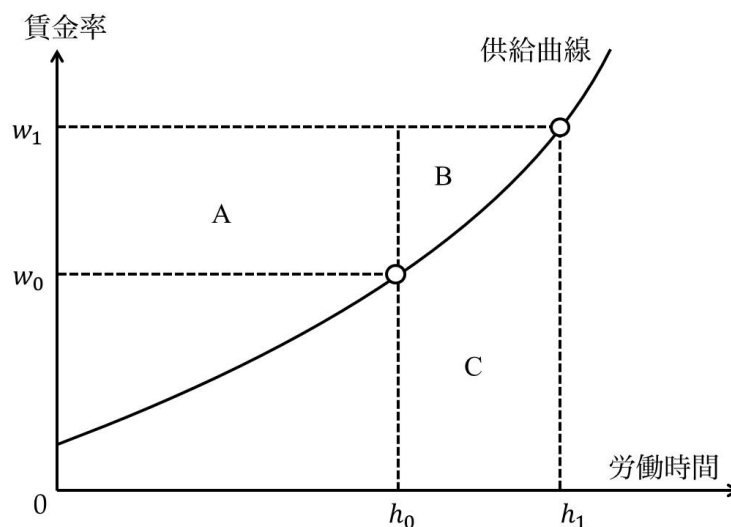
9.3 実証実験の結果と費用・便益の測定

9.3.1 所得の変化と余剰の変化の例

実証実験はさまざまな知見をもたらしますが、その結果を直接に費用便益分析に利用できるかどうかは実験のデザインや制度的背景に依存します。職業訓練プログラムを例に考えてみましょう。

職業訓練プログラムの費用と便益にはさまざまなものがあります。便益のひとつは、プログラムの参加によって受講者の労働生産性が上昇したり労働時間が伸びたりして産出が増加することです。この効果は受講者の受け取る賃金所得の増加として現れるでしょう。他方、受講者の労働時間が伸びると保育や通勤にかかる費用が増加するかもしれません。費用のひとつはもちろんプログラムの運営費用です。便益と費用を考えるうえでの一つの注意点は、所得移転は、分配の問題を無視しているときには、費用にも便益にも計上されないという点です。たとえばプログラム受講者が失業保険給付を受け取っていて、プログラムの参加によって給付額が減ったとき、その減少分は政府の財政にとってプラスに働くでしょうが、分配の問題を無視した費用便益分析では費用にも便益にもなりません。失業保険給付の減少は、他の納税者や保険拠出者の負担を減らすことになるからです。

図 9.2: 余剰の変化と賃金の変化



さて、職業訓練プログラムの費用や便益のうち、受講者による産出の増加、賃金所得の増加に

ついて考えてみます。職業訓練プログラムによって労働時間が増加したとしましょう。このとき、労働が不効用をもたらすという通常の仮定が成り立っているとすると、賃金所得の増加から、増加した不効用を差し引いたものが純便益（余剰の変化）となります。このことを図9.2で確認しておきましょう。労働市場での労働供給曲線が右上がりであるとします。受講者の余剰の変化に注目するので需要関数はさしあたり考えないことにします。いま、職業訓練プログラムによって賃金と労働時間の組合せが (w_0, h_0) から (w_1, h_1) に変化したとします。賃金所得が賃金率と労働所得の積で表現できるとすると⁽¹⁾、この賃金率と労働時間の変化による賃金所得の変化は領域 A、B、C の面積の和として表現されます。このうち、領域 A は賃金率の上昇によるもの、C は労働時間の増加によるもの、B は双方の影響が合わさったものと考えられます。さて、労働供給が不効用をもたらすとするとその費用は労働供給曲線の下で面積で表現できますから、不効用の増加は領域 C の面積で表されます。したがって、余剰の変化は領域 A と B の面積の和となります。いいかえると、賃金所得の増加分を余剰の変化とみなすと、領域 C の面積だけ過大評価になります。

図 9.3: 所得維持から workfare への移行

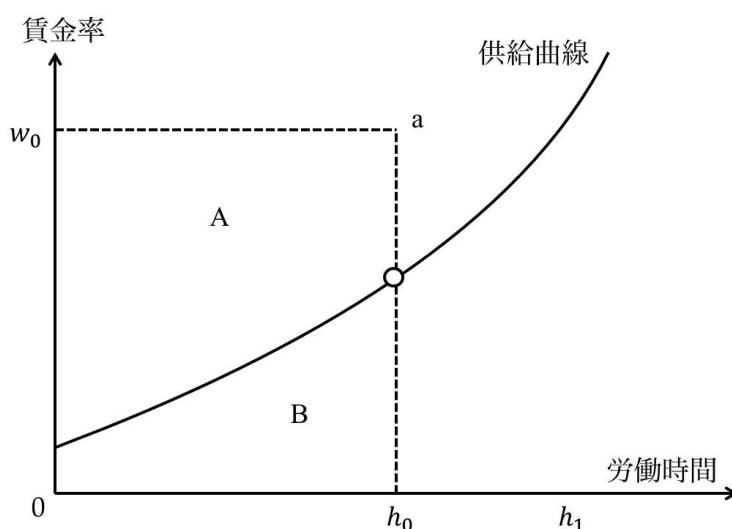
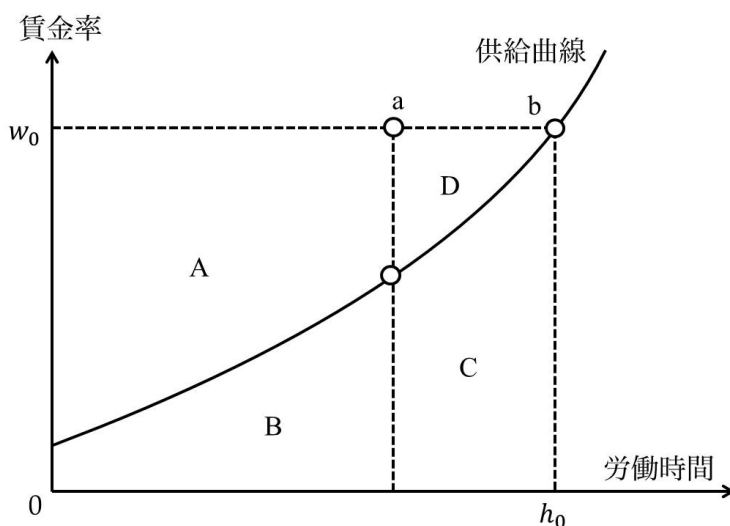


図9.2では職業訓練プログラムによって賃金率と労働時間が労働供給曲線に沿って増加するケース、すなわちプログラムの前後ともに民間雇用であるケースを扱っていることになります。そうではなくて、生活保護のような所得維持制度（income maintenance program）に入っていた人が職

⁽¹⁾実際の所得には、これらにFRINGE BENEFITSがついたりします。

業訓練プログラムを受けて workfare と呼ばれる勤労福祉制度の適用を受けるようになったとしましょう。Workfare とは所得維持制度の一環として行われることもあります。給付を受ける条件として一定の労働を行わなければならないという制度です。図9.3でこの変化を説明できるとしましょう。この人は workfare のもとで賃金率 w_0 、労働時間 h_0 という条件で働いています。賃金率 w_0 は労働時間 h_0 での留保賃金より高いので、この条件では働くことを選択するでしょう。簡単化のために、workfare 以前に受け取っていた給付額は、workfare で受け取る賃金、すなわち $w_0 \times h_0$ と等しいとします。この仮定から、この受講者の所得は職業訓練プログラム前後で変化していません。他方、労働供給が不効用をもたらすとすると、不効用は領域 B の面積に対応しているので、workfare のもとでの余剰は領域 A の面積で表されます。すなわち、このケースでは所得は変化していませんが、余剰が領域 B の面積だけ減少していることになります。

図 9.4: 所得維持から民間雇用への移行



所得維持制度から民間雇用に移った場合ではどうでしょうか。図9.4でみてみましょう。職業訓練プログラムを受けることで生活保護から脱却して職を得たケースを想像してみましょう。民間雇用での賃金率を w_0 、労働時間を h_0 とします。民間雇用なので、実現する賃金率と労働時間の組合せは労働供給曲線上にあるとします。このとき受け取っている賃金所得は $w_0 \times h_0$ です。ここで、所得維持制度のもとで受け取っていた給付額が領域 A と B の和になるように点 a を決めます。すると、所得の増加は領域 C と D の面積の和で表されます。所得維持制度のときは労働して

いなかったとすると余剰は所得そのものなので領域 A と B の面積の和となります。他方、雇用されているときには所得は領域 A, B, C, D の面積の和となりますが、労働の不効用が領域 B と C に相当するだけありますから、余剰は領域 A と D の和で表現されます。つまり、余剰の大きさは領域 A+B から領域 A+D へ変化したこととなります。したがって、 $D > B$ のときのみ余剰が増加しています。

このように、労働時間の増加にともなう所得の増加はそのまま余剰の増加を表しているとは限りません。しかし、実証実験などで直接に観察できるのは労働時間と労働所得であることが多いので、その解釈には注意が必要です。

9.3.2 ほかに考慮すべきこと

職業訓練プログラムの便益は、労働所得を得ることによる余剰の増加だけではありません。

たとえば、労働市場で働くことは不効用をもたらすだけではなく、自尊心の向上等の心理的な便益をもたらすかもしれません。この効果の大きさを計測するのは容易ではありませんが、自尊心があるためにより労働供給が増えるという意味で、労働供給曲線の右方向シフトが起きていると考えることができれば、労働の不効用の増加分がそれほど大きくならないという形でこの効果を含めて考えることができます。しかし、所得と余剰が直接に対応しないという点に変化はありません。また、自尊心の向上が労働時間に依存せず、固定便益のように発生するとすれば、労働供給曲線のシフトとして考えることは適切とは言えません。

雇用はある程度の期間にわたって行われますから、長期の効果を評価することも必要になるでしょう。その際、少なくとも以下の3点は考慮しなければなりません。第1は「長期」としてどれほどの期間を計算に含めるかです。職業訓練プログラムはもしかすると残りの生涯にわたって効果を持つかもしれませんが、将来の効果をすべて計算に含めることは、望ましいにしても、容易ではありません。第2は、効果の持続性の想定です。職業訓練プログラムの効果は、生涯にわたるかもしれませんが、すぐに陳腐化する可能性もあります。第3は、割引率の設定です。以前検討したように、割引率の設定は費用便益分析の結果を大きく左右するかもしれません。

波及効果も考慮しなければなりません。たとえば労働時間が増えたことで子どもの外部保育が増加するかもしれません。以前検討したように、波及先の市場、このケースでは保育市場が完全に機能していれば、余剰の計算において保育市場での状況の変化は考慮する必要はありません。労働供給の増加によって保育の費用が増えたからと言って、賃金所得の増加から保育費用の増加を

差し引くことは費用便益の計算としては適切ではありません。賃金所得の増加が余剰の増加を過大評価しているとしても、保育費用の増加を差し引くことが適切な控除になっているという保証はありません。

そのほかにも、雇用先が民間ではなくて公的部門であるときの費用や、すでに存在する雇用者との置換なども考慮する必要があるかもしれません。

第10章 需要曲線の直接推定

公共政策による介入にともなう費用便益分析を消費者余剰アプローチに基づいて行うとき、需要曲線を推定する必要があります。補助金を出す場合のように、介入する市場のデータが入手できるときには、得られたデータから直接に需要曲線を推定することができます。しかし、十分な量と質のデータが入手できるとは限りません。以下では入手できるデータに応じた需要曲線の推測方法について考えてみましょう⁽¹⁾。

10.1 1点しかデータがないとき

需要曲線上の点が1点だけ分かっているとき、それだけでは需要曲線を推測することはできませんが、先行研究と組み合わせることによって需要曲線を推測することができます。ここでは、ごみ処理の有料化の政策を例に考えてみましょう。

いま、ごみ処理は無料で行われていて、住民1人1日あたり1.2kgのごみが出ているとしましょう。ここで、ごみの量を減らすために、ごみが10kg入る回収箱1つにつき1日当たり100円を徴収することにしましょう。つまり1人1日1kgあたり10円かかることになります。なお、ごみしよりの社会的限界費用は1人1日1kgあたり12円で実行可能とします。つまり、ごみ処理の需要と供給を考えると、供給曲線は1人1日1kgあたり12円という水平線であり、需要曲線については0円のとき1.2kgであるということだけがわかっていることになります。

1点の情報しかないので、関数形を仮定し、追加的な情報を先行研究から得ることができれば、需要曲線を推測することができます。いま、線形の需要関数

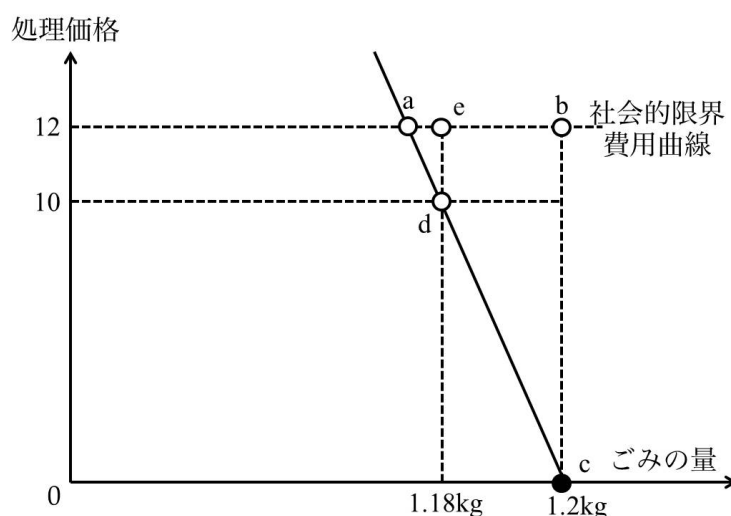
$$q = \alpha_0 + \alpha_1 p \tag{10.1}$$

を仮定しましょう。 $p = 0$ のとき $q = 1.2$ ですから、代入すると $\alpha_0 = 1.2$ となります。ここで、次のような先行研究を見つけたとします。アメリカのある研究によると、ごみ20ポンドの料金を1

⁽¹⁾ボードマンほか、第12章を参考にしています。

ドル引き上げると、ごみが0.4ポンド減った、というものです。計算の簡単のために1ドル100円、1ポンド500gとすると、100円で0.2kg減ったことになります。したがってこの研究から、需要曲線の傾きは $\alpha_1 = 0.002$ となり、需要曲線が推測できます。実行しようとしている政策では1人1日1kgあたり10円の料金をかけるのですから、ごみの量は1.2kgから1.18kgへ減少すると見込まれます。これを図で表したのが図10.1です。横軸上の点cのみが観察可能だったので、需要曲線

図 10.1: 1点しかデータがないとき



はこの点cを通る直線であると仮定し、さらに先行研究から傾きを求めます。供給曲線との交点は点dで与えられるので、台形debcが社会的余剰の増加分となります。ごみ処理の社会的費用は12円とわかっているので、三角形aedの面積が残っている社会的余剰の損失を表します。

このように、現状を示す一つの点のみしか観測できなかったとしても、追加的な仮定を置くことによって需要関数を推計し、社会的余剰の大きさを推計することができます。この手法では強い仮定を置かなければなりませんので、次の2点にとくに留意する必要があります。

第1に、先行研究から得られた値は検討中の事例にどれほど当てはまるか、すなわち外的妥当性が高いと考えられるかどうかという点です。上記の例では、ごみ処理の有料化という点では同じ政策の効果についての先行研究から需要曲線の傾きの推測をしましたが、ごみ処理の有料化に対する住民のごみの量の変化は、時代や場所や文化などによって異なる可能性があります。そこで時間的・地理的・文化的類似性については確認しておく必要があります。また、需要曲線がも

し直線でなければ、価格やごみの量に応じて傾きが変化するので、先行研究の初期時点での価格や消費量も見ておかなければなりません。

第2に、需要関数を1次関数と仮定することが妥当か、という点です。線形の需要関数では需要の価格弾力性が価格や消費量に応じて変化します。需要関数の関数形のよく使われるもう一つの候補は対数線形の需要関数、すなわち

$$\ln q = \beta_0 + \beta_1 \ln p \quad (10.2)$$

です。この需要関数では需要の価格弾力性は β_1 で一定となりますが、グラフを書くとグラフの傾きは一定ではありません。また、価格がゼロに近づくと消費量は $+\infty$ へ発散しますから、今回の例のように元の価格がゼロであれば直接には利用できません。そのようなときには、ほかの関数を使ったり、関数形を少し変えたりして対応する必要があります。

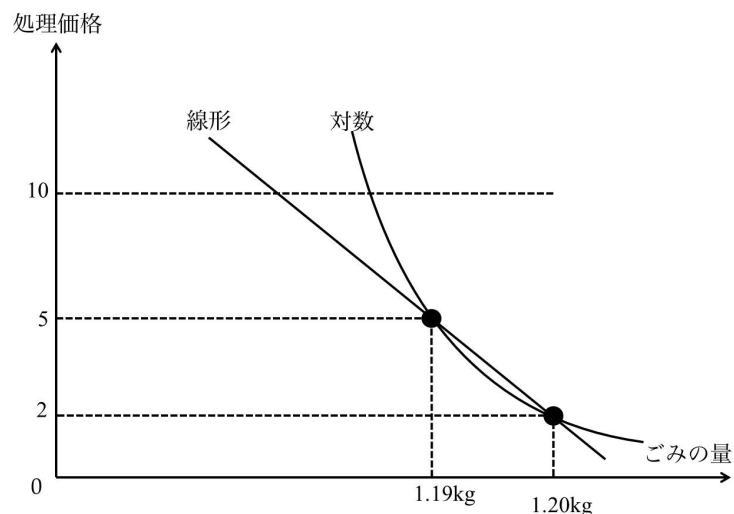
10.2 いくつかの点のデータがあるとき

1点しか情報がないときには、しばらく時間がたつのを待ったりすればいくつかの点のデータを得ることができるようになるかもしれません。たとえば2つの点の利用可能であるとしましょう。ごみ処理の料金が2円のときにはごみの量は1.20kgだったが、5円になると1.19kgだった、といったようにです。このとき、関数形として線形なり対数線形なりを仮定すれば、2点を通る線を引くことができ、需要曲線を推測することができます。得られた需要関数に $p = 10$ を代入すれば、社会的余剰も計算することができます。

ただし、線形でも対数線形でも需要関数を推測できますが、2点の情報だけではどちらが好ましいかを選ぶことはできません。もし適切な先行研究があれば、どちらの関数形がより適切かを判定することができるかもしれません。

また、2つの点の利用可能であるからといって、この2点を通る直線や曲線をそのまま需要関数とみなしてよいには疑問が残ります。ごみ処理料金が変化するのと同時に、住民の態度やその他の環境変化が起きていれば、ごみの量の変化は処理料金の変化に対応したものではなく、ほかの要因を含んだものとなり、推測した傾きや係数は適切ではない、すなわち内的妥当性を欠くことになります。とくに得られたデータが観測データであるとき、2つのデータの違いを疑似実験の結果とみなしてよいのか、十分な検討が必要です。

図 10.2: 1 点しかデータがないとき



10.3 十分な数のデータがあるとき

ごみ処理の料金とそのときのごみの量について十分な数のデータがあれば、統計的手法を用いてデータを最もよく説明するような需要曲線を推定することができます。手順としては以下のようになります。

第 1 に、結果 (outcome, output) に影響を与えそうな、政策手段以外の要因を特定します。ごみ処理料金とごみの量の例では、ごみの量に影響を与える料金以外の要因を考えます。どのような要因が重要であるかが、経済理論などの理論から示唆されることもあります。たとえばごみの量が最適化問題の解として求まっているとすれば、通常のマクロ経済学的な家計の最適化問題に登場する価格と所得は決定要因として重要と考えられるでしょう。とはいえ、理論は現実を抽象化したものですから、重要な要因が理論から直接に示唆されることはそれほど多くありません。むしろ、それぞれのケースに応じて実態として重要だと思われるものを選択することになります。

実験データではなく、観測（非実験）データを使っているとき、結果にはさまざまな要因が影響することがしばしばなので、可能な限り多くの要因を考慮に入れるべきです。しかし、それには限界があります。ひとつは、データが入手にくいという点です。たとえば、ごみの量の変化には家計や小売店等の環境意識の変化も影響しそうですが、環境意識の変化を適切に表すデータはなかなか入手しづらいものです。また、データが手に入ったとしても、影響が小さすぎて統計

的に適切に検出できないこともあるでしょう。また、影響を与える要因が同じように変動しているとする、それぞれの要因の影響を抽出することは難しくなります。回帰分析の枠組みでいうところの、不完全だが強い多重共線性⁽²⁾が存在して、標準誤差が大きくなってしまいう現象です。

手順の第2は、関数形を定めることです。非常に多くのデータがあれば関数形を特定しなくてもよいこともないわけではないですが、ほとんどのばあいで関数形を定めてその係数（パラメタ）を推定することになります。関数形の候補は、線形（1次式）、2次式、対数線形といったところで、必要があれば交差項（交絡項）も考慮します。推定すべきパラメタについて1次関数の関数形であれば、最小2乗推定（OLS）を用いることができます。さらに、対数-対数の定式化を用いると、係数が弾性値を表します。どの関数形を採用するかを決めるためには、まず散布図を描いて確認します。散布図から明らかでないばあいには先行研究等を参考にします。被説明変数が共通のばあいには決定係数を使うこともあります。

手順の第3は、推定することです。回帰分析で説明変数がすべて外生変数であるなら、OLSによって一致推定量を得ることができます。そうでないばあいには、より複雑な推定手法を使うべきです。

多くのデータを使って需要曲線を推定するとき、入手しやすいデータとして地域等で集計されたデータを用いることがあります。需要曲線は個人を前提とした消費者理論から導かれたものなので、地域ごとの平均値を比較するといった、集計データを用いた分析では誤った結果を導くことがありますし、正負の符号が逆転することもあります。時系列データは一般に短期の調整を反映すると言われ、横断面（クロスセクション）データは長期の均衡をより反映していると言われます。また、時系列データには系列相関の、横断面データには分散不均一の問題があることが多いようです。これらの問題は、横断面データを時系列に沿って集めたパネル（縦断）データを用いることで解決できることもありますが、統計的な処理には注意が必要です。一般に、データの数が多いとしても、外生的な政策ショックなどの準実験的な状況でない限り、政策の効果を厳密に識別することは容易ではありません。データの数がそれほど多くなければ、統計的に有意な結果を得ることは難しくなりますが、費用便益分析ではなんらかの数値を必要としますから、統計的な有意性に関わらず、点推定値を利用せざるを得ないこともあります。

⁽²⁾完全な多重共線性が存在するときには回帰分析は実行できませんし、変数間の相関がなければ重回帰を行う意味はありません。「強い」多重共線性が問題になるかどうかは程度によります。

第11章 顕示選好法

経済政策によって介入する市場の情報が直接には観測できないとき、関連する情報から間接的に推測する方法が取られます⁽¹⁾。実際の人々の行動に人々の選好が顕示されていると考える手法なので、まとめて顕示選好法（Revealed Preference）と呼ばれます。顕示選好法では、需要曲線や供給曲線全体の推定を行う場合もありますが、対象となる財・サービスがもし完全市場で取引されたらつくであろう価格（シャドウ・プライス shadow price）の推計が主となることもしばしばです。

11.1 顕示選好法の代表的手法

経済政策は財・サービスの価格や消費量等をさまざまな政策手段・介入によって変化させます。しかし、外部性がある財や公共財、たとえば風景や大気の清浄さや静けさといった環境等については、財・サービスの市場そのものが存在しないか、不完全であるために、その財・サービスの消費量やそこから得られる効用、またその変化を直接に観測することができません。そのようなとき、関連するほかの財・サービスについての人々の経済活動から得られる情報を手掛かりとして消費量や効用やその変化を間接的に推測することができることがあります。ほかの財・サービスとはいえ、実際の人々の行動から推測を行っており、実際の人々の行動には人々の選好が顕示されていると考えられるので、これらの手法を顕示選好法（Revealed Preference）と呼びます。顕示選好法は、需要についての直接のデータが存在しないときに shadow price を推測する手法の一つです。とはいうものの、人々の行動が変化しなければ推測しようがないので、存在価値や非利用価値のように行動変化を惹起しない価値については顕示選好法では推測ができないか困難なことが一般的です。

顕示選好法の代表的な手法としては、代替法（市場類似法）、トラベルコスト法、ヘドニック法、防衛（回避）支出法等があります。ここではそのそれぞれについて説明します。

⁽¹⁾ ボードマンほか（2004）第13章を参考にしています。

11.2 代替法，市場類似法

11.2.1 代替法とは

経済政策によって価格や消費量を変化させる財と同じか類似の財が民間から供給されているとき、その財の情報を用いることができます。このような方法を代替法あるいは市場類似法と呼びます。

もっとも簡単な例の一つは、公営住宅の評価を行うときに民間賃貸住宅の情報を用いる、というものです。もし完全に同等の財が存在して需要者が同じであれば、民間市場での価格をそのまま shadow price として用いることができます。ただし、そのまま用いることができるかどうかについてはいくつかの点に注意する必要があります。第1は、公的部門が介入しようとしている市場の財が、民間市場で取引されている財と「同じ」財かどうかという点です。とくに質について注意すべきです。もし公営住宅の質が民間賃貸住宅の質よりもなんらかの意味で悪ければ、同じ財とみなさないほうがよいかもしれません。第2は、民間市場が完全であるかどうかという点です。もし民間市場が完全でなければ、その市場で成立している価格は shadow price と等しくなりませんから、なんらかの調整を行う必要があります。第3は、需要者が「同じ」かどうかという点です。もし公営住宅を借りようとしている消費者と民間賃貸住宅を借りている消費者が社会経済的属性からみて大きな差があれば、2つの市場は異なるものとして扱ったほうがよいかもしれません。

公営住宅と民間賃貸住宅のようにいかにも同じ財のように見えるというときでなくても、代替法が利用できるかもしれないときがあります。その例として時間と生命をとりあげてみましょう。

11.2.2 時間の評価

たとえば、交通インフラ等の整備は消費者が移動に必要とする時間を節約させ、時間費用を減少させる効果を持ちます。この効果の大きさを費用便益分析で評価するためには、時間の価値を評価する必要があります。時間の価値は余暇の価値と考えることができます。もし労働市場が完全であれば、1単位の余暇への限界的評価は限界賃金率に等しいので、賃金率のデータを集めることで時間の価値を推測できます。

限界賃金率が時間の価値に等しいという推測は1次的接近としては妥当かもしれませんが、いくつかの問題を含んでいます。第1に、労働に対する対価は現金以外の形で支払われているかもしれません。雇用者の提供する社宅や医療保険や各種の割引特典などのフリンジベネフィットが

これにあたります。第2に、節約された時間は余暇に回らないかもしれません。節約された時間でなお働く人もいる可能性があります。第3に、消費者にとっての余暇の価値は手取りの限界賃金率に等しいので、税金を差し引かなければなりません。第4に、時間が節約できることが評価されることもあります。時間がかかることが楽しみとして評価されることがあります。たとえばドライブがこの例に当たるでしょう。第5に、賃金率はどのような労働を行うかによって異なります。このようなとき、どの賃金率を使うべきは明らかではありません。第6に、労働市場が完全であるとは限りません。労働組合によって賃金が引き上げられているかもしれませんし、雇用主のほう交渉力が強いために賃金が押し下げられているかもしれません。時間の価値を労働市場から推測するときにはこれらの点に注意する必要があります。

国土交通省が作成している費用便益分析マニュアル（2008年11月）⁽²⁾では、時間の価値を時間価値原単位と呼んでおり、たとえば乗用車では1台1分あたり40.10円となっています。車種によって時間価値原単位は異なるとされており、バスは1台1分あたり374.27円、普通貨物車は1台1分あたり64.18円となっています。車種によって時間価値原単位が異なるのは、それぞれの車種に乗っている人数が異なるのと、車の用途が異なるためとされています。乗用車の時間価値原単位の推定には賃金率が用いられており、基本的には月間現金給与総額を月間実労働時間で除した平均賃金率が用いられています⁽³⁾。交通インフラの整備による時間短縮の価値は、この時間価値原単位に節約された走行時間と交通量を乗じて求めることになります。

11.2.3 生命の評価

道路にガードレールをつけるといったハード面の公共投資のほか、さまざまな規制が消費者の安全を確保するために設定されます。これらの経済政策を評価するためには生命の価値を何らかの形で評価しておく必要があります。生命の価値の評価方法はさまざまですが、一つの考え方が逸失所得（foregone earnings）法です。この方法は、人命救助の価値は救われた当人の賃金の割引現在価値に等しいとする考え方に基づいており、過失致死の裁判で補償金額を定めるときなどに用いられています。逸失所得法は得られた時間の価値を生命の価値としていますから、前述した時間の価値の計測と同じ問題を抱えています。また、専業主婦や無給ボランティアの場合は評価がゼロになってしまうという欠点も持っています。

⁽²⁾これです。 http://www.mlit.go.jp/road/ir/hyouka/plcy/kijun/bin-ekiH20_11.pdf

⁽³⁾ここ。 <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/4pdf/2.pdf>（道路事業の評価手法に関する検討委員会、第4回資料）。

経済政策が消費者の安全を確保するために設計されるのであれば、死のリスクを回避するための行動から生命の価値・安全の価値を推測することができるかもしれません。たとえば自動車につけるエアバッグをつけるかどうかが自由であれば、その情報から生命の価値を推測することが考えられます。いま、エアバッグが20000円で販売されているとします。エアバッグを買わないとき、事故にあっても生存する確率が p であり、事故にあって死亡する確率が $1-p$ であるとしましょう。このエアバッグの購入は、生存確率を $p+\omega$ に上昇させ、死亡確率を $1-p-\omega$ に下落させます。死亡したときの効用を0と基準化して、生存したときの効用を V とします。エアバッグを購入するときとしないときの期待効用が等しいとすると、

$$(p+\omega)V - 20,000 = pV \quad (11.1)$$

が成り立つので、

$$V = \frac{20,000}{\omega} \quad (11.2)$$

となります。たとえば $\omega = 1/10,000$ であるとする、 $V = 2$ 億円と推測されます。

リスクを回避するための行動はエアバッグのような安全確保のための道具購入だけに現れるわけではなく、労働市場に現れるかもしれません。危険の多い職種のほうが賃金が高いという現象は、リスクを回避するために高い賃金を諦めていると解釈できますから、危険度と賃金の関係から生命や安全の価値を推測できるかもしれません。このような職の条件と賃金との関係は補償賃金仮説によって説明されます。いま、勤務中に死亡するリスクが1,000分の1だけ大きな職種では賃金が年間で20万円高いとしましょう。労働市場が完全であれば、このリスクと賃金のもとで他の職に就くこととは無差別になっているはずなので、生存したときの効用 $V = 2$ 億円と推測されます。ただし、安全の限界効用が逓減することから、死亡するリスクが小さくなるにつれて賃金差も小さくなる傾向があるので、検討しているリスクに見合ったリスク水準の職種を参照すべきです。またこの考え方は、労働者がリスクについて正しく認識しているという仮定に依拠しています。実際には低い確率は過大に見積もられているかもしれませんし、労働市場は完全には機能していないかもしれません。

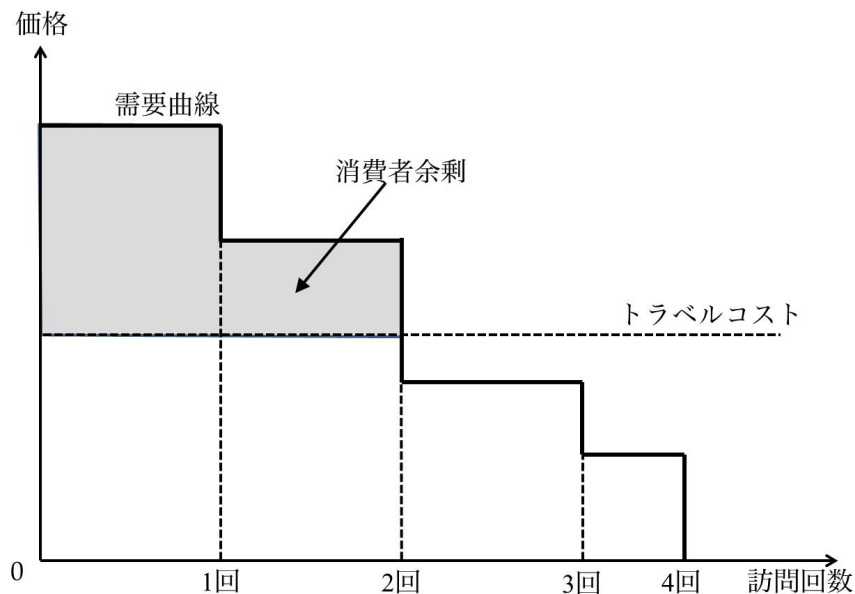
11.3 トラベルコスト法

トラベルコスト法は環境政策の評価によく用いられる手法で、環境やそこでのレクリエーションサービスを享受するために支払われた旅行費用（トラベルコスト）から環境の価値を評価しよ

うとする手法です。おもに自然公園や観光地等を対象にします⁽⁴⁾。

11.3.1 トラベルコスト法の考え方

図 11.1: 個人の需要曲線と消費者余剰



対象となる地域が1カ所であるシングルサイトモデルを考えます。図11.1は1回あたりの旅行費用を縦軸，旅行回数を横軸に取り，旅行費用が与えられたときに個人がその地域を訪れる回数を需要とみなした需要関数を描いたものです。対象となっている地域を訪れることでこの個人は効用を得ますが，訪問回数が増えるたびに追加的に得られる効用が減少していくと仮定すると，価格が低ければ何回も訪問しますが，価格が高ければそれほど訪問しません。図中の水平破線は，この個人がこの地域を訪れるために必要な旅行費用を表しています。旅行費用は何回も訪れると増加したり減少したりするのかもしれませんが，ここでは一定と仮定しています。この図では，この個人は2回訪問することになります。

需要曲線の高さは訪問のために支払ってもよい旅行費用とも解釈できますから，需要曲線と実際の旅行費用との差は消費者余剰とみなすことができます。図11.1では，灰色の部分が消費者余剰

⁽⁴⁾ 柘植ほか編（2004）第4章を参考にしています。

を表します。

このような個人の需要曲線を水平方向に（ヨコに）足し合わせていくと，社会全体の需要関数を得ることができ，消費者余剰を推計することができます。消費者余剰が無限大に大きくならないためには，需要関数は縦軸と適当なところで交差し，切片を持たなければなりません。これは，この地域を訪れるという需要が非本質財であるという前提を置くことと同じです。もし，どんなに高額な旅行費用であっても訪問するということであれば，この旅行需要は本質的であることとなりますが，対象は環境やレクリエーションサービスなので，非本質財であるとの仮定はそれほど不自然ではありません。

11.3.2 シングルサイトモデル

シングルサイトモデルにおいて図11.1にある需要曲線が住んでいる場所にかかわらず共通であれば，旅行費用の違いによる訪問回数の違いがわかれば需要曲線が推計できそうです。その方法は，用いるデータに応じて2つ考えることができます。

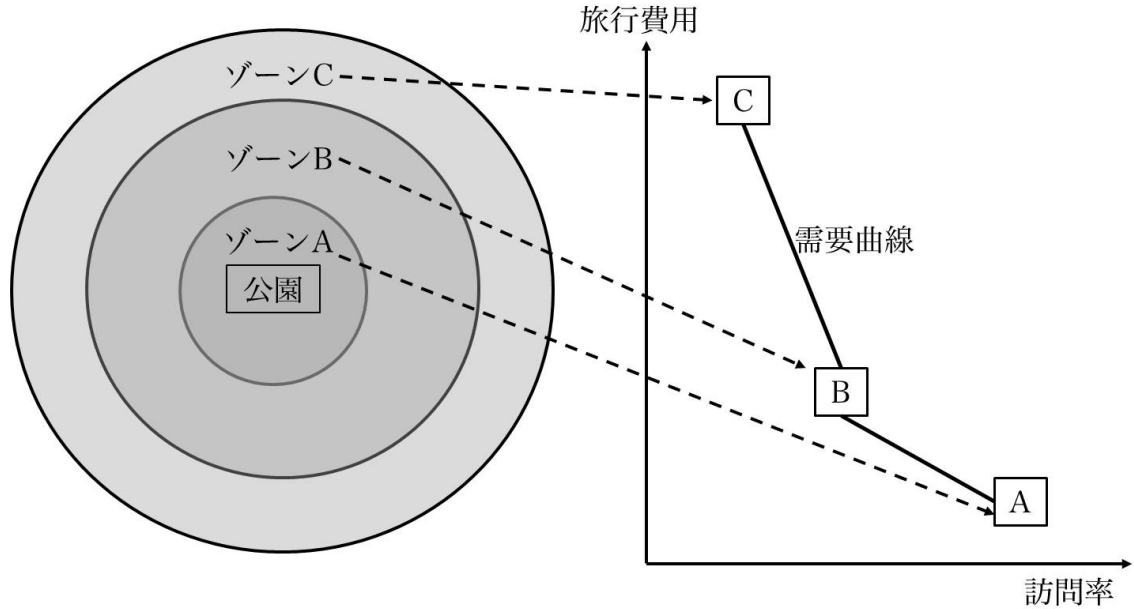
ゾーントラベルコスト法

ひとつの方法は，対象となる地域からの旅行費用の等しいゾーンを同心円状に設定し，それぞれのゾーンからの訪問者数を数えるという方法です。実際には旅行費用の代わりに距離を用い，厳密な同心円というよりはデータの得られる地域を単位として分析します。分析の対象として公園を考え，公園を中心としてA，B，Cの3つのゾーンを図11.2の左図のように設定したとしましょう。公園までの旅行費用はゾーン内で一定と仮定します。ゾーン*i*からの旅行費用を p_i ，訪問者数を V_i ，人口を P_i とします。縦軸に旅行費用 p_i ，横軸に訪問率 V_i/P_i をとると，図11.2の右図のような関係が観察されるでしょう。より一般的に，ゾーン*i*の住民の社会経済的な属性を表すベクトルを s_i と置くと，訪問率は

$$\frac{V_i}{P_i} = x(p_i; s_i) \quad (11.3)$$

と書くことができ，この $x(.,.)$ を需要関数とみることができます。旅行費用が高いほど訪問率は低くなると考えられるので， $d(V_i/P_i)/dp_i < 0$ が想定されます。もしゾーンの数に十分たくさんあり，需要関数の形状がゾーンによらず一定であるとすれば，旅行費用が外生変数であれば訪問率と旅行費用のデータを用いてOLSによって需要関数を推計することができます。

図 11.2: ゾーントラベルコスト法



需要関数が推定できれば、消費者余剰も推計することができます。ここで、ゾーン i の住民の訪問率がゼロとなるような旅行費用の大きさを p_i^* とします。 p_i^* は留保価格と呼ばれます。留保価格は需要曲線の縦軸切片で表現されるので、非本質財であれば有限の値をとります。消費者余剰は図11.1のように図示されるので、式で書くと

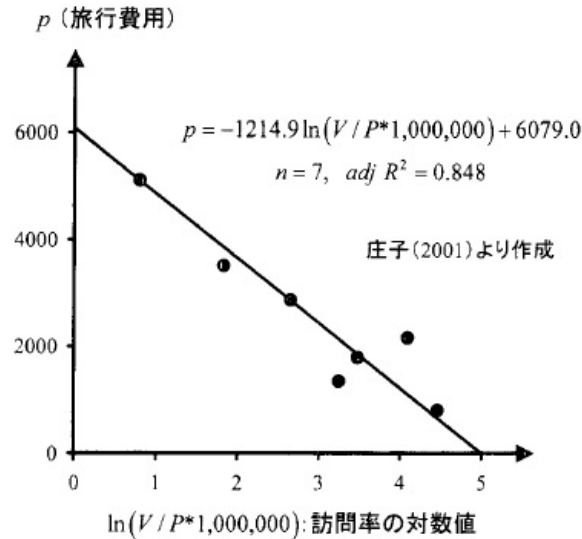
$$B = \sum_{i=1}^M V_i \int_{p_i}^{p_i^*} x(p; s_i) dp \quad (11.4)$$

によって与えられます。ここでゾーンの数 M だけあるとしています。

庄子 (2001) ⁽⁵⁾ では、暑寒別天売焼尻国定公園にある雨竜沼湿原におけるレクリエーションがもたらす便益をゾーントラベルコスト法で推定しています。雨竜沼湿原から半径 25 ごとに同心円状のゾーンを 7 つ設定し、アンケートによって利用者がどのゾーンから訪問しているかを明らかにして、ゾーンごとの訪問率と旅行費用の関係を求めます。図11.3は推定された需要関数を示しており、縦軸に旅行費用、横軸にゾーンごとの訪問率の対数値をとっています。傾きはマイナスになっており、旅行費用が増加すると訪問率が減少することを示しています。ここでは関数形とし

⁽⁵⁾ 庄子康. 2001. トラベルコスト法と仮想評価法による野外レクリエーション価値の評価とその比較. ランドスケープ研究 64, 685-690. 図11.3は庄子 (2003, 日本森林学会誌 85(1) の図 2).

図 11.3: ゾーントラベルコスト法による需要関数の推定結果



て片対数関数

$$\ln\left(\frac{V_i}{P_i}\right) = \alpha + \beta p_i \quad (11.5)$$

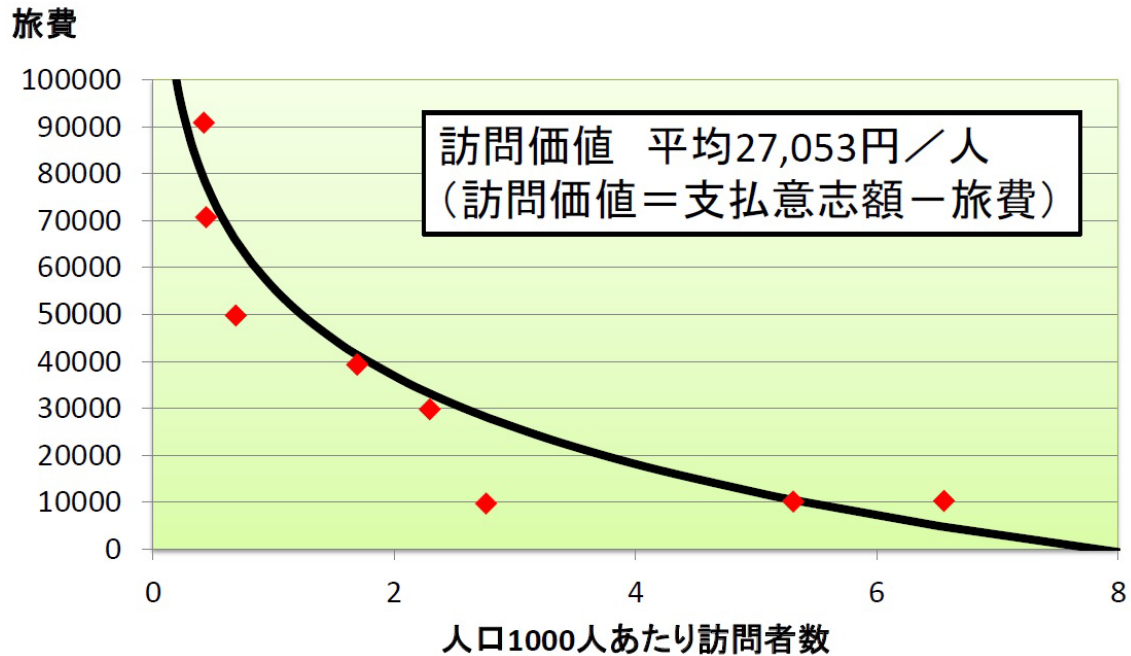
を仮定しているので、1回あたりの消費者余剰は $-1/\beta$ となります。これに訪問者数を乗じると、年間の便益を計算することができます。

栗山 (2014) ⁽⁶⁾ は、全国を 10 の地域に区分し、アンケート調査によって富士山への各地域からの訪問者数を計測しています。図 11.4 がその推定結果を示しています。この結果から、入山料を導入したときの効果がシミュレートされ、「入山料が一人あたり 500 円のときの抑制効果は 2%，1,000 円の場合は 4% で、仮に富士山の訪問者数が世界遺産登録により 30 % 増加する場合、入山料のみで現状水準まで抑制するためには少なくとも一人あたり 7,000 円の入山料が必要」との結果を得ています。

ゾーントラベルコスト法は、各ゾーンから対象施設までの旅行費用と訪問率（訪問者数）が分かれば推定できる方法ですが、問題もあります。大きな問題のひとつは、各ゾーンの住民の社会経済属性の変数 s_i が、ゾーンごとの平均値でしか利用できないことです。同じゾーンに住んでいても、所得や学歴といった社会経済属性によって訪問率に違いがあるかもしれません。ゾーントラベルコスト法ではそのような相違を扱うことはできません。

⁽⁶⁾ 栗山浩一. 2014. 富士山入山料の効果. http://kkuri.eco.coocan.jp/research/fuji/fuji_slide0604.pdf

図 11.4: ゾーントラベルコスト法による需要関数の推定結果



個人トラベルコスト法

個人によって対象施設までの旅行費用も訪問回数も社会経済属性も異なるのですから、個人単位でのこれらのデータが入手できれば、それを用いて需要関数を推定することができます。いま、個人 j について訪問回数を表す需要関数が

$$V_j = x(p_j, s_j) \quad (11.6)$$

であるとします。ここで、 V_j は訪問回数、 p_j は旅行費用、 s_j は社会経済的属性を表します。個人についてこれらのデータがあって、旅行費用と社会経済的属性が外生であれば、OLS によって需要関数を推定することができます。もっとも、訪問回数は非負の整数値しかとりえないので、カウントデータを扱う手法であるポワソンモデルや、負の二項分布モデルを用いた推定のほうが用いられます。

たとえば前述の庄子 (2001) は個人トラベルコスト法による需要関数の推定も行っています⁽⁷⁾。被説明変数が訪問回数で、非負の正数値しかとりえないことから、推定手法によって結果がやや

⁽⁷⁾ 庄子 (2003), 表 1 から作成

表 11.1: さまざまな回帰モデルによる需要関数の推定

推定方法	OLS		切斷回帰		ポワソン		切斷ポワソン	
定数項	2.82	***	3.20	***	1.25	***	1.86	***
Travel cost	-2.77	***	-4.41	**	-1.92		-4.90	**
Group size	-1.50		-2.53		-1.12		-4.47	*
NPO	7.07	**	9.87	***	4.27	**	9.81	***
Picture	3.08	**	4.93	**	2.19	*	7.06	***
消費者余剰	3610		2268		—		2041	

異なることがわかりますが，いずれにしてもトラベルコストの係数はマイナスに推定されています．また，個人の属性であるグループの人数（group size），自然保護に関する NPO に所属しているかどうか（NPO），写真撮影が趣味か（picture）といった要因が訪問回数に与える効果も推定できています．

需要関数が推定できれば，消費者余剰はゾーントラベルコスト法と同様に，

$$B = \sum_{j=i}^n V_j \int_{p_j}^{p_j^*} x(p; s_j) dp \quad (11.7)$$

によって推計できます．

ゾーントラベルコスト法でも個人トラベルコスト法でも，需要関数を推定することになりますから，施設整備や変化によって需要曲線がシフトしたことがわかれば，シフトした情報をもとに施設整備や変化の便益評価を行うことができます．ただし，そのためには対象となる地域を訪問したことから得られる効用の弱補完性の仮定と，補償需要関数の推定が必要となります．

11.3.3 サイト選択モデル

シングルサイトモデルでは検討の対象となる地域や施設は一つだけでしたが，代替的な訪問先があるばあいには他の訪問先の存在を明示的に考慮した分析を行う必要があるでしょう．そのようなときに用いられるのがサイト選択モデルです．

いま，消費者がいくつかの候補地のなかから一つの地域や施設を選んで訪問するとします．あるサイト i を訪問したときの効用が，そのサイトについて観察可能な属性 q_i ，そのサイトまでの旅

行費用 p_i , それ以外の観測できない要因 ε_i によって

$$U_i = v(q_i, M - p_i) + \varepsilon_i \quad (11.8)$$

と表現できるとします. ここで M はこの消費者の所得を表し, $M - p_i$ は旅行費用を払った後の所得を表します. q_i と p_i は観測可能なので, 関数 $v(.,.)$ の部分は観測可能です. この消費者は候補地のそれぞれについて訪問したときの効用 U_i を計算し, 効用が最も大きい地域や施設を一つ選んで訪問するとします. どこを訪問するかは観測できない要因 ε_i に依存し, サイト i を訪問する確率 P_i は

$$P_i = \Pr[v_i + \varepsilon_i \geq v_j + \varepsilon_j] \quad \text{for all } j \neq i \quad (11.9)$$

と表されます. ここで, ε_i がそれぞれ独立にタイプ I の極値分布 (ガンベル分布) に従うとすると,

$$\Pr = \frac{\exp(v_i)}{\sum_j \exp(v_j)} \quad (11.10)$$

によって与えられます. もし関数 $v(.,.)$ が 1 次関数で表現されれば, q_i, M, p_i のデータがあれば多項ロジットモデルによって $v(.,.)$ の係数を推定することができます.

関数 $v(.,.)$ が 1 次関数であるとし, サイトのある属性変数の係数を β_f , 旅行費用の係数を β_p とし, $\beta_f > 0, \beta_p < 0$ を仮定します. この仮定は, この属性の値が大きいほど消費者はサイトに行くことを高く評価し, 旅行費用が高いほどサイトを訪問しない状況を表しています. ここで, この属性の値が 1 増えたとすると, $-\beta_f/\beta_p$ がこの増加に対して追加的にいくら支払ってでも訪問したいかを表します. たとえば β_f が森林面積の係数だとすると, $-\beta_f/\beta_p$ は森林面積が 1 単位大きい公園を訪問するために追加的にどれほどの旅行費用を支払ってもよいかを表しています.

このサイト選択モデルでは, 各サイトを訪問したときの効用関数を直接推定していることになるので, 地域や施設的环境改善や施設整備によってどれほどの便益が増加するかを推計することもできます. たとえば観測可能な属性が q_i^0 から q_i^1 に変化したとすると, 補償変分は

$$CV = -\frac{1}{\beta_p} \left[\ln \sum_j \exp(v(q^1, .)) - \ln \sum_j \exp(v(q^0, .)) \right] \quad (11.11)$$

によって表現されます.

11.3.4 トラベルコスト法の課題

トラベルコスト法にもいくつかの限界や問題点があります.

第1は、トラベルコストが何を含むかが明らかではない点です。トラベルコスト法では、検討の対象としている地域や施設を訪問するための費用の情報を用いますが、その費用としてどこまでを含むかは分析するひとが決めなければなりません。訪問のための電車代や自家用車の燃料費は明らかに旅行費用に含まれるでしょうが、自家用車の購入費用や整備費用、自然公園を訪問するのであればそのために購入した登山靴やウェア、食事代等、含めるべきか含めないべきかについて必ずしも合意ができているとは限りません。また、訪問に費やされる時間の機会費用の大きさも評価しなければならないかもしれません。移動時間の消費そのものが効用を与えているかもしれません。

第2は、多目的旅行の扱い方です。検討の対象としている地域や施設を訪問し、そのまま家に帰るという旅行だけが行われているわけではありません。京都・奈良・鎌倉といった観光都市ではいろいろな施設を巡る旅行が一般的ですし、自然公園の訪問でも往復の途中で別の施設や観光地に立ち寄ることはしばしば行われます。このようなとき、分析の対象となる地域や施設への旅行費用としてどこまでを含めるか、あるいは多目的旅行全体を分析の対象とできるかについては、確立した方法があるわけではありません。

第3は、どの場所を何回訪ねるかという問題への対処法です。シングルサイトモデルでは訪問回数が、サイト選択モデルでは訪ねる場所が、消費者の決定すべき変数でした。言い換えると、シングルサイトモデルでは訪ねるべき場所が、サイト選択モデルでは訪ねる回数が、消費者にとっては変更できないという設定になっていました。しかし一般には、いろいろなサイトを何回か訪問します。つまり、訪問地と訪問回数を同時に決定する状況を分析する必要があります。このような問題を扱う方法も近年では開発されています。

第4に、訪問回数や訪問地の選択と旅行費用との同時決定性です。もし、検討の対象としている施設や地域を頻繁に訪ねるひとはその施設や地域の近くに住むかもしれません。すると、訪問回数・訪問地の選択によって旅行費用は外生ではなく、内生になります。また、データをその施設や地域で集める（オンサイトで集める）と、訪問しなかった人のデータが集まらないことから、単純なOLSや多項ロジットでは推定値に偏りが発生する可能性があります。

11.4 ヘドニック・アプローチ

11.4.1 理論的背景

ヘドニック・アプローチとは、財の価格はその財を特徴付ける性能や機能等の属性によって評価される、という考え方に基づく評価方法です⁽⁸⁾。財が属性の束とみなされるので、束の一部を入れ替えると財の価格も変化します。この価格変化が入れ替えられた束の価値であると考えて、それぞれの属性の経済的価値を評価します⁽⁹⁾。つまり、財の価格を P 、その財の属性のうちとくに注目している変数を Z 、その他の価格に影響する要因を X とすると、価格は一般に

$$P = p(Z; X) \quad (11.12)$$

と表現されます。ここで Z は一次元としておきます。この手法には Rosen (1974)⁽¹⁰⁾ によって理論的解釈が与えられているので、まずこれを確認しておきましょう。

財は消費者と生産者のあいだの完全市場で取引されているとします。財の属性についての情報の非対称性やリスクは存在しません。

消費者は所得 M を持っており、これを属性 Z を有する財と、合成財 c に配分して効用を最大化しています。効用関数を u とし、選好を決めるパラメタをまとめて Y^d というベクトルで表します。このとき、属性 Z の価格関数 $P(Z)$ は消費者にとって所与ですから、消費者の最大化問題は

$$\max_{(c, Z)} u(c, Z; Y^d), \quad \text{subject to} \quad M = c + P(Z) \quad (11.13)$$

と表現できます。予算制約式を変形して効用関数に代入すると

$$u(M - P(Z), Z; Y^d) \quad (11.14)$$

なので、 Z について微分してゼロと置いて整理すると、選ばれた Z^* について

$$\frac{\partial u / \partial Z}{\partial u / \partial c} = P'(Z^*) \quad (11.15)$$

⁽⁸⁾ 柘植ほか編 (2004) 第 4 章を参考にしています。

⁽⁹⁾ ここではこの考え方をおもに環境評価に応用しますが、市場に一般に出回っているさまざまな財、たとえば車やパソコンや文房具などでも、性能や機能で多くの差別化が図られており、その違いが市場価格に反映されています。もちろん、市場価格に反映されているということは、差別化された性能や機能に対する消費者の評価が価格に反映されているとも言えます。このような考え方に立ち、物価指数の作成などでもヘドニック・アプローチによる価格の推定が行われています。

⁽¹⁰⁾ Rosen, S. 1974. Hednic prices and implicit markets: Product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy* 82, 34-55.

が成り立ちます。さて、最大化された効用水準を u^* とすると、予算制約式から $c = M - P$ が成り立つので、

$$u(M - P(Z^*), Z^*; Y^d) = u^* \quad (11.16)$$

が成り立ちます。ここで、達成される効用水準 u^0 のほうを固定して、所得 M や選好パラメタ Y^d が一定のときに属性 Z を有する財にいくらまで支払えるかという問題を考えます。この支払える上限額を Θ で表し、付け値関数 (bid function) と呼びます。付け値関数は属性 Z の大きさ、効用水準 u^0 、所得 M 、その他の属性 Y^d に依存しますから

$$\Theta = \theta(Z; u^0, Y^d, M) \quad (11.17)$$

と表すことができます。価格が付け値と同じであればその価格で効用が最大化されるので、付け値関数は

$$P(Z^*) = \theta(Z^*; u^*, Y^d, M) \quad (11.18)$$

と

$$u(M - \theta(Z^*; u^*, Y^d, M), Z^*; Y^d) = u^* \quad (11.19)$$

を満たします。下の式は任意の (Z^*, u^*) で成り立ちますから、 Z で偏微分すると

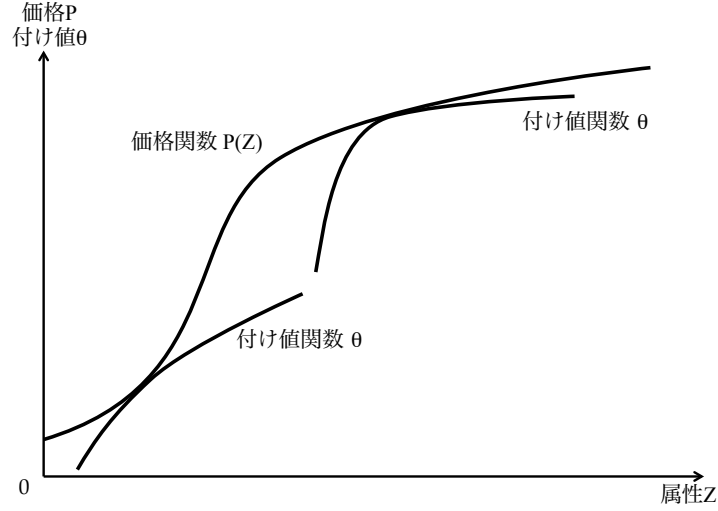
$$\frac{\partial u}{\partial c} \left(-\frac{\partial \theta}{\partial Z} \right) + \frac{\partial u}{\partial Z} = 0 \quad \text{なので} \quad \frac{\partial \theta}{\partial Z} = \frac{\partial u / \partial Z}{\partial u / \partial c} \quad (11.20)$$

が成り立ちます。効用最大化の一階の条件 (11.15) と合わせてみると、価格関数 $P(Z)$ と付け値関数 $\theta(Z; u, Y^d, M)$ は $Z = Z^*$ で同じ傾きを持つことが分かります。また、(11.18) より価格関数 $P(Z)$ と付け値関数 $\theta(Z; u, Y^d, M)$ は $Z = Z^*$ で同じ値を持ちます。したがって、価格関数 $P(Z)$ は付け値関数 $\theta(Z; u, Y^d, M)$ の包絡線になっていることが分かります⁽¹¹⁾。

図11.5は価格関数と付け値関数の関係を示したものです。効用の最大化される Z において価格関数 $P(Z)$ と付け値関数 $\theta(Z; u, Y^d, M)$ は接しています。付け値関数は所得 M 、その他の属性 Y^d が変化すれば形状が変化しますが、効用の最大化される Z において価格関数 $P(Z)$ と接するという性質は所得やその他の属性の値に依存しませんから、別の Z で価格関数と接しています。その結果、所得 M やその他の属性 Y^d が変化するのに応じて移動する付け値関数を上から包むように

⁽¹¹⁾包絡線の定義は以下のとおりです。曲線群 C_α に対して定曲線 E が包絡線であるとは、 E の点がいずれかの C_α の上にあり、かつ、その点で共通の接線をもつことをいいます。

図 11.5: 価格関数と付け値関数



価格関数 $P(Z)$ がのびています。証明は省略しますが、効用関数 u が属性 Z の増加関数であれば付け値関数は属性 Z の増加関数となり、効用関数の適当な仮定のもとで凹関数となります。

次に生産者の行動を考えます。技術を決めるパラメタベクトルを Y^s ，利潤を π ，生産量を Q ，費用関数を C とすると、企業の利潤最大化問題は

$$\max_{Q, Z} \pi(Q, Z; Y^s) = QP(Z) - C(Q, Z; Y^s) \quad (11.21)$$

ですから、利潤最大化の1階の条件は

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi}{\partial Z} &= Q \frac{\partial P}{\partial Z} - \frac{\partial C}{\partial Z} = 0 \\ \frac{\partial \pi}{\partial Q} &= P(Z) - \frac{\partial C}{\partial Q} = 0 \end{aligned} \quad (11.22)$$

となります。消費者のときと同様に、この時達成される利潤 π^* を所与としたときに企業が選ぶ属性 Z の価格の下限を Φ で表し、指し値関数（offer function）と呼びます。指し値関数は属性 Z の大きさ、利潤 π^0 ，生産技術 Y^s に依存しますから

$$\Phi = \phi(Z; \pi^0, Y^s) \quad (11.23)$$

と表すことができます。価格が指し値と同じであればその価格で利潤が最大化されるので、指し

値関数は

$$P(Z^*) = \phi(Z^*; \pi^*, Y^s) \quad (11.24)$$

と

$$Q\phi(Z^*; \pi^*, Y^s) - C(Q, Z^*; Y^s) = \pi^* \quad (11.25)$$

を満たします。下の式は任意の (Z^*, π^*) で成り立ちますから、 Z で偏微分すると

$$Q \frac{\partial \phi}{\partial Z} = \frac{\partial C}{\partial Z} \quad (11.26)$$

が成り立ちます。利潤最大化の一階の条件 (11.22) と合わせてみると、価格関数 $P(Z)$ と指し値関数 $\phi(Z; \pi, Y^s)$ は $Z = Z^*$ で同じ傾きを持つことが分かります。また、(11.24) より価格関数 $P(Z)$ と指し値関数 $\phi(Z; \pi, Y^s)$ は $Z = Z^*$ で同じ値を持ちます。したがって、価格関数 $P(Z)$ は指し値関数 $\phi(Z; \pi, Y^s)$ の包絡線になっていることが分かります。

図 11.6: 価格関数と指し値関数

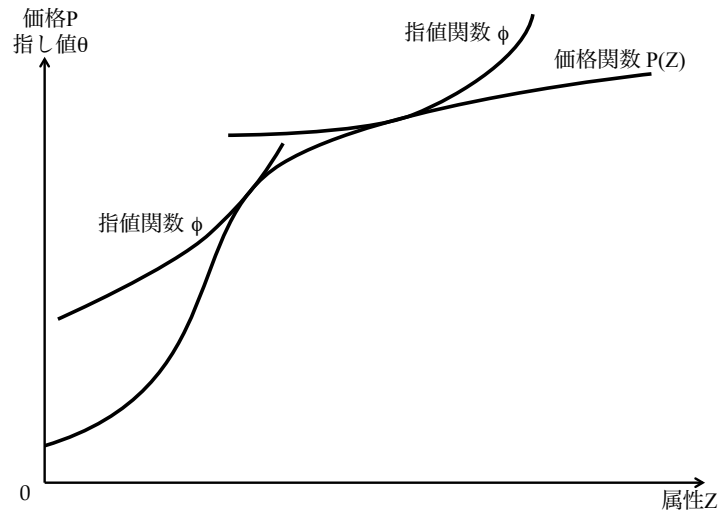
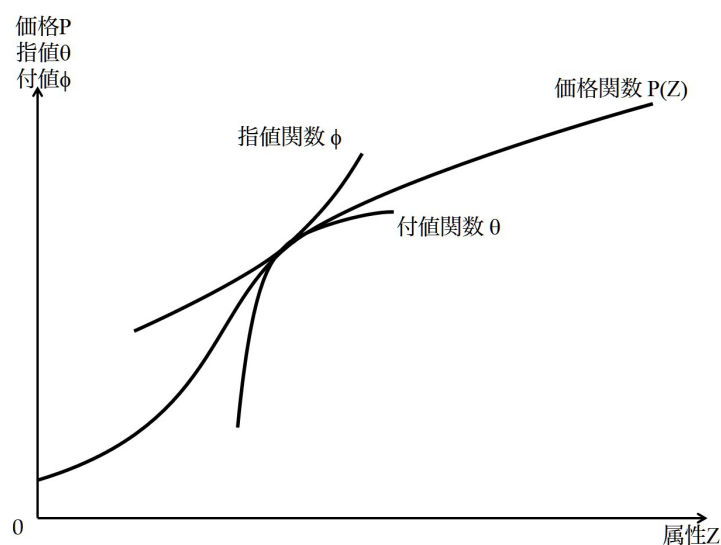


図11.6は価格関数と指し値関数の関係を示したものです。利潤が最大化される Z において価格関数 $P(Z)$ と指し値関数 $\phi(Z^*; \pi^*, Y^s)$ は接しています。指し値関数はパラメタ Y^s が変化すれば形状が変化しますが、利潤の最大化される Z において価格関数 $P(Z)$ と接するという性質はパラメ

タ Y^s の値に依存しませんから、別の Z で価格関数と接しています。その結果、パラメタ Y^s の値が変化するのに応じて移動する指し値関数を下から支えるように価格関数 $P(Z)$ がのびています。

競争市場で属性 Z を持つ財が消費者と生産者のあいだで取引されているとすると、これまでの議論から、取引が成立した Z において価格関数 $P(Z)$ と付け値関数 $\theta(Z; u, Y^d, M)$ と指し値関数 $\phi(Z; \pi, Y^s)$ が接していることになります。

図 11.7: 価格関数，指し値関数，付け値関数：市場均衡



11.4.2 2段階推定法

費用便益分析では属性 Z が変化したときの消費者の効用の変化を計測したいのですから、知りたいのは付け値関数です。付け値関数は属性 Z が決まった時に支払う上限額ですから、 Z が変化したときの付け値関数の変化は支払意志額 (willingness to pay) の変化とみなすことができます。付け値関数の変化は、限界的には 1 次微分によって表現されます。

そこでまず、価格関数，付け値関数，指し値関数の Z による 1 次偏微分を考えます。添え字 i が

取引を表すとし、観測できない要因も考慮して、

$$\begin{aligned} q_i &= \frac{\partial P}{\partial Z}(Z_i, X_i, \varepsilon_i) \\ q_i^d &= \frac{\partial \theta}{\partial Z}(Z_i, Y_i^d, \varepsilon_i^d) \\ q_i^s &= \frac{\partial \phi}{\partial Z}(Z_i, Y_i^s, \varepsilon_i^s) \end{aligned} \quad (11.27)$$

とおきます。 ε はそれぞれ観測できない誤差項とします。取引が成立しているとき、図11.7でみたように価格・付け値・指し値が一致していますから、

$$q_i(Z_i) = q_i^d(Z_i) = q_i^s(Z_i) \quad (11.28)$$

が成立しています。知りたいのは q_i^d ですが、実際に観測されるのは誤差項が含まれる $P(Z)$ だけです。

この問題を解決する方法として、Rosen は 2 段階推定を提案しました。第 1 段階では、観測される (P_i, Z_i, X_i) のデータを用いて、被説明変数を P_i 、説明変数を (Z_i, X_i) とする価格関数を柔軟な関数形で推定し、当てはめ値 $\hat{P}(Z; X)$ を得ます。つまり、

$$P_i = f(Z_i, X_i) + \varepsilon_i \quad (11.29)$$

を推定します。 $\hat{P}(Z; X)$ を Z で微分してそれぞれの取引での Z_i で評価した値は、市場均衡の条件から q_i^d と q_i^s に等しくなります。そこで第 2 段階では、2 元連立方程式を推定します。すなわち 1 本目は q_i^d を推定するために $\hat{P}'(Z; X)$ を被説明変数とし、 (Z_i, Y_i^d) を説明変数とします。2 本目は q_i^s を推定するために $\hat{P}'(Z; X)$ を被説明変数とし、 (Z_i, Y_i^s) を説明変数とします。つまり推定式は

$$\begin{aligned} q_i^d : \quad & \frac{\partial}{\partial Z} \hat{P}(Z_i; X_i) = g(Z_i, Y_i^d) + \varepsilon_i^d \\ q_i^s : \quad & \frac{\partial}{\partial Z} \hat{P}(Z_i; X_i) = h(Z_i, Y_i^s) + \varepsilon_i^s \end{aligned} \quad (11.30)$$

となります。ここで Z_i は両方の式に登場する内生変数となりますから、 q_i^d の式に対しては Y_i^s を、 q_i^s の式に対しては Y_i^d を、操作変数とする 2 段階最小 2 乗推定を行います。

この方法はもっともらしいものですが、推定上の問題があることが指摘されています。ひとつは、識別のためには X_i に含まれる変数のうちに、 Y_i^d と Y_i^s のどちらにも含まれない変数が必要ですが、一般にそのような変数を見つけるのは難しいことです。また、第 2 段階の推定では 2 段階最小 2 乗法が用いられますが、操作変数となる Y_i^d と Y_i^s と誤差項 $\varepsilon_i^d, \varepsilon_i^s$ がしばしば相関してしまうため、一致推定量が得られないことも指摘されています。

11.4.3 第1段階のみでの評価

Rosen の 2 段階推定は、価格関数・付け値関数・指し値関数の理論的背景に整合的な推定方法ですが、推定上の困難がありました。ところで、図11.7でみたような市場均衡の条件から、微小な Z の変化であれば付け値関数の傾きはほぼ価格関数の傾きに等しい、つまり

$$P(Z_b; X) - P(Z_a; X) \approx \theta(Z_b; u_i^*, Y_i^d) - \theta(Z_a; u_i^*, Y_i^d) \quad (11.31)$$

が成り立ちます。そこで、2 段階推定のもつ推定上の困難を避けて利用可能なデータのみを用いて、第1段階のヘドニック価格関数の推定のみで経済評価を行うことが、 Z の変化が微小であるときには可能です。ただし、図11.7から分かるように、 Z の増加が微小でないときには、ヘドニック価格関数による経済評価は過大評価になります。

11.4.4 応用例：ヘドニック地価・住宅価格

地価は交通アクセス・周囲の環境等の、住宅価格も住宅の広さ・部屋数・築年数に加えて周囲の環境等のさまざまな属性によって決定されています。もし周囲の環境が住民に便益をもたらしているとすれば、そこに住みたいと思う人が増え、地代や家賃、地価や住宅価格が上昇するはずです。地価や住宅価格に周囲の環境の価値が十分に資本化されている (capitalized) とすると、価格に環境の価値が反映されています。そこで、検討の対象としている土地や住宅の周囲の環境を変数 Z で表し、広さや部屋数等の他の属性を X で表すとすれば、線形のヘドニック価格関数

$$P_i = X_i\beta + Z_i\gamma + \varepsilon_i \quad (11.32)$$

を仮定することができます。 β と γ が推定される係数ベクトルであり、とくに γ が環境の限界的価値を表します。 X_i と Z_i が ε_i と相関していなければ、この線形ヘドニック価格関数は OLS で推定することができます。

ヘドニック価格関数の推定に際しては、関数形の選択に注意する必要があります。関数は線形とは限りませんから、たとえばパラメタ η を用いた Box-Cox 変換

$$x(\eta) = \begin{cases} \frac{x^\eta - 1}{\eta} & \text{if } \eta \neq 0 \\ \ln x & \text{if } \eta = 0 \end{cases} \quad (11.33)$$

を用いることもあります。このときはパラメタ η も同時に推定しなければならないので、非線形最小2乗法は最尤法を用いて推定します。

また、環境変数 Z はしばしば強い相関をもつので、不完全な多重共線性の問題が発生します。たとえば、海が見える家は海に近いでしょうから、景観と立地条件には強い相関をもちます。

ヘドニック価格関数を用いた分析は都市工学などでしばしば行われています。たとえば愛甲ほか(2008)⁽¹²⁾は、札幌市内の地価公示を用いて、市街地の公園緑地が地価に与える影響を分析しています。推定方法はOLSで、被説明変数には地価、説明変数には面積や用途、最寄駅までの距離、周辺緑地率、最寄公園までの距離やその面積が用いられています。線形モデルでは、表にあ

表 11.2: 線形モデルによる地価関数の推定結果

地価 (円 / m^2)	係数	標準誤差	
最寄公園面積 (m^2)	0.018	0.01	**
大通駅距離 (m)	-2.294	0.27	***
最寄駅距離 (m)	-6.379	0.48	***
第1種低層住宅専用地域ダミー	-15181.5	1710.7	***
奥行-間口比	-5116.6	1954.3	***
面積 (m^2)	16.002	4.96	***
定数項	97577.3	3766.8	***

るように、最寄の公園の面積が地価にプラスの影響を与えていることが統計的に確認されます。

説明変数間の不完全な多重共線性の問題に対処するため、特に注目している変数以外の変数については主成分分析を行って抽出された主成分を説明変数として用いるという方法もとられます。たとえば林(2013)⁽¹³⁾は、神戸市立博物館の影響を、建設前後の神戸市内の公示地価を用いて検討しています。被説明変数には対数をとった地価、説明変数には博物館までの距離、建設前後のダミーと距離の比、その他の土地の要因から抽出された3つの主成分が用いられています。推定結果の表からわかるように、博物館からの距離が大きくなるほど地価が下がっており、博物館が地価に影響を及ぼしていることがわかります。

⁽¹²⁾愛甲哲也・崎山愛子・庄子康. 2008. ヘドニック法による住宅地の価格形成における公園緑地の効果に関する研究. ランドスケープ研究 71(5), 727-730. 表は同論文の表4より作成.

⁽¹³⁾林勇貴. 2013. ヘドニック法による芸術・文化資本の便益評価. 関西学院経済学研究 44, 61-80.

表 11.3: 地価関数の推定結果

地価（対数化）	係数	t 値	
距離	-0.0969	-12.0	***
事前ダミー／距離	-0.5357	-3.4	***
第 1 主成分	-0.0222	-4.4	***
第 2 主成分	-0.0362	-2.2	***
第 3 主成分	0.0609	2.5	***
定数項	5.5844	86.9	***

11.4.5 応用例：ヘドニック賃金

賃金は職種，勤務地，勤続年数，労働環境等のさまざまな属性によって決定されています。もし，労働環境の悪い職の賃金が，環境の悪さを補償する（compensate）ように高くなっている（補償賃金仮説が成り立っている）とすれば，賃金の差から労働環境に対する評価を推測することができます。そこで，検討の対象としている労働環境を変数 Z で表し，勤続年数や学歴といった他の属性を X で表すとすれば，線形のヘドニック賃金関数

$$P_i = X_i\beta + Z_i\gamma + \varepsilon_i \quad (11.34)$$

を仮定することができます。 β と γ が推定される係数ベクトルであり， γ が労働環境の限界的価値を表します。変数 Z として健康被害や死亡のリスクの大きさを用いると，係数 γ は健康や生命の価値を表現することになります。このようにして推定された生命価値を統計的生命価値（VSL: Value of Statistical Life）と言います。⁽¹⁴⁾

ヘドニック法は完全情報のもとで価格関数が付け値関数の包絡線になっていることを利用していますが，労働市場で完全情報が成り立っていると考えるのはやや難しいところがあります。したがって，ヘドニック賃金関数を単純に推定するとバイアスが発生する危険性があります。

日本については，宮里（2010）⁽¹⁵⁾ がヘドニック賃金法を用いて VSL を推計しています。この研究では、『就業構造基本調査』と『労働災害動向調査』を使い，被説明変数に賃金，おもな説明変

⁽¹⁴⁾たとえば，Viscusi, W. K. 1993. The value of risks to life and health. Journal of Economic Literature 31, 1912-1946. を参照。

⁽¹⁵⁾宮里尚三，2010，労働市場のデータを用いた Value of a Statistical Life の推計，日本経済研究 63, 1-28.

数に労働災害率を設定して、労働災害率が上昇することに伴う賃金プレミアムの大きさを推定し、そこから VSL を推計しています。その結果、従業員規模 100 人以上のデータを用いると仕事の死亡リスクは賃金に対し統計的に有意に正の影響を持つ一方、従業員規模 30 人～99 人のデータを用いると仕事の死亡リスクと賃金に明確な相関を確認することができませんでした。従業員規模 100 人以上の推計結果をもとにすると、VSL は 8.2 億円から 21.4 億円と推計されますが、これは同じように働市場のデータをもとに VSL を計算した海外の研究と比べても高い値とされています。

11.4.6 環境評価への適用条件

ヘドニック・アプローチを用いるにはいくつかの条件が満たされている必要があります。ここでは環境の経済評価にヘドニック・アプローチを用いるために必要な条件について説明します⁽¹⁶⁾。必要な条件は、理論的な条件と、推定に当たっての統計的な条件に大別できます。

理論的な条件

理論的な条件の第 1 は、資本化仮説が成り立っていることです。ヘドニック住宅関数やヘドニック地価関数は、住宅価格や地価に周囲の環境の経済価値が資本化されていることを前提としています。環境の経済価値が完全に資本化されるためには、住宅や土地を買おうとする消費者や企業が自由に、移動費用なしに移動できることが必要です。もし消費者や企業が移動できなければ、周囲の環境が変化しても住宅や土地に対する超過需要は発生せず、価格は変化しないからです。移動費用には引っ越しのための金銭的費用以外に、土地を離れることに対する心理費用（愛郷心）も含まれます。移動費用が完全にゼロになることは考えにくいからです。資本化仮説が完全に成り立っているとは考えにくいところですが、近似として有効かどうかは程度問題です。むしろ注意すべきは、土地利用規制等の公的規制があれば移動は自由にならないという点です。資本化仮説の論理を考えると、移動費用や規制のために移動に制約がかかっているとき、環境の価値は部分的にしか住宅価格や地価に反映されませんから、ヘドニック・アプローチでは環境の価値は過小評価されます。

第 2 の条件は土地市場の競争性です。消費者や企業の移動に対して土地保有者が競争的に価格を提示し、提示された価格に対して消費者や企業が競争的に反応していくことで環境の価値が資

⁽¹⁶⁾ここは、金本良嗣・中村良平・矢澤則彦、1989、ヘドニック・アプローチによる環境の価値の測定、環境科学会誌 2(4)、251-266. を参考にしています。

本化するのですから、土地市場が競争的であることが必要です。もし土地需要者が独占力を持っていれば、周囲環境が改善しても住宅価格や地価はそれほど上昇せず、環境改善の価値は独占的利益として需要者が享受することになるでしょう。あるいは家賃規制や地代規制がかかっている場合、競争市場で成立するであろう価格よりも低い価格がついているでしょう。

第3の条件は経済全体への波及効果の不在です。環境変化によって住宅価格や地価が変化しますが、もし環境変化が大きければ、土地の利用状況が変化するかもしれません。一戸建てが高層集合住宅になってしまうというのはこの一例です。このような利用状況の変化は、ヘドニック・アプローチによる評価にバイアスをもたらすことが分かっています。

第4の条件は料金・税等の不在です。もし環境の変化が周囲の公共資本、たとえば公園や図書館等によってもたらされていて、それらの利用に料金が必要であれば、料金に応じて地価の上昇は抑えられます。したがって、料金が徴収されている公共資本の便益をヘドニック・アプローチによって計測するときには、料金を加えて考慮する必要があります。

第5の条件は環境評価の同質性です。環境に対する経済評価が大きく異なる消費者や企業が混在しているとき、便益の推定値が偏ることが分かっています。

第6の条件は将来の状況変化の不在です。資本化仮説は、住宅価格や地価がファンダメンタルズによって決まっている、つまり予測された家賃や地代の割引現在価値であることを想定しています。もし、将来のある時点で環境が変化することが分かっている場合、将来の変化も現在の住宅価格や地価に織り込まれてしまいます。したがって、現時点での環境変数を説明変数として用いるときには、将来の環境変化が少ないことを前提としなければなりません。

統計的な条件

統計的な条件の第1は、土地の市場価格が入手できることです。土地はそれほど頻繁に取引されるものではないので、実際の取引データが入手できないこともあります。そのようなときの代替的な価格の代表例は、不動産鑑定士や国土交通省等の公的部門による評価額です。また、日本では住宅価格は土地の値段を含むことが多いことにも注意する必要があります。

第2の条件は土地や建物の条件が十分に制御できることです。ヘドニック・アプローチによって環境の評価を行うためには、環境以外の要因を制御しなければなりません。土地や住宅は多様ですから、構造特性や立地条件等の情報を入手しておく必要があります。

第3の条件は環境に十分な差があることです。もしサンプルのなかで環境に差がなければ、環

境変数と定数項は完全な多重共線を発生させてしまいますから、環境の価値を識別することはできません。

第4の条件は、先に述べたように、多重共線が発生していないことです。近隣環境の良好な地域には良質な住宅があり、良質な公共施設が整備されることが多いので、変数間の相関係数は高くなる傾向があります。これに対処するためには、多様な地域のデータを集めるのが最善の手段です。

第5の条件は局地的な効果ではないことです。たとえば自動車の騒音や大気汚染は幹線道路の沿線では大きいかもしれませんが、少し離れると影響は非常に小さくなります。公園についても同様でしょう。したがって、評価すべき環境条件を十分に制御した詳細な情報を用いるなど、住宅価格や地価と環境変数が正確に対応したデータを利用する必要があります。

11.5 回避支出法

顕示選好法のひとつに、環境悪化を回避するために必要な支出額から環境悪化の評価を推測する方法があり、回避支出法と呼ばれています。騒音の被害から逃れるために防音壁を作るとか、大気汚染の影響を避けるために空気清浄機を買うとかいった行動を用います。ただし、適切な支出対象が設定できないこともあることに注意が必要です。

第12章 表明選好法

12.1 表明選好法とは

経済政策によって介入する市場の情報が直接には観測できず、関連する市場に人々の選好が顕示されているとも考えにくかったり利用できなかったりするとき、対象となる人たちの選好を質問調査によって聞き出すという方法が採用されることがあります。このような手法を表明選好法（Stated Preference）と呼びます。公共プロジェクトの存在によって人々の行動が変わるのであれば顕示選好法（Revealed Preference）が利用できるかもしれませんが、表明選好法は人々の行動が変わらないような便益、すなわち非利用価値や存在価値の推定に用いられます。非利用価値や存在価値とは、通常の意味では「消費」しないものに対して認められる価値であることを思い出しましょう。たとえば野生生物保護の公共プロジェクトでは、多くの住民は保護された野生生物を実際に見に行くことはなく、したがって「消費」はしていないと考えられますが、実際には見に行かない住民でも野生生物保護プロジェクトにいくばくかの支払いをしてもよいと考えていれば、このプロジェクトには非利用価値が発生しているといえます。このような価値は、実際の行動変化をとまなわないため、顕示選好法での推定は非常に困難です。

表明選好法では質問調査法を利用しますから、状況や支払いが仮想的な状況を設定することもでき、質問調査が実施さえできればデータの入手可能性には縛られません。そのため、公共事業の事前の費用便益分析などで広く利用されています。

表明選好法が注目されるようになった契機として、1989年のエクソン・バルディーズ号（Exxon Valdes）の座礁事故があります。これは、原油タンカーであるエクソン・バルディーズ号が暗礁に乗り上げ、積み荷の原油およそ1080万ガロンが流出し、アラスカ湾の漁業や生態系に大きな被害を与えた事件です。エクソン社を被告とする損害賠償に関する裁判では、被害額の算定に表明選好法のひとつであるCVM（Contingent Valuation Method）が用いられましたが、被害額の算定に表明選好法を用いることができるかどうかを巡って論争が発生しました。そこで、自然資源損害評価に際してCVMを用いるときのガイドラインがNOAA（National Oceanic and Atmospheric

Administration) によって 1992 年に作成されました。なお, Carson et al. (2003)⁽¹⁾ の CVM を用いた推定では被害額は 49 億ドルと推計された一方で, レクリエーション利用の損失を推計した Hausman et al. (1995)⁽²⁾ の推定では被害額は 380 万ドルと推定されています。この 1000 倍近い差のひとつの要因は, Hausman らの推定では非利用価値が含まれてないためとされています⁽³⁾。

2010 年には BP 社の石油掘削施設ディープウォーター・ホライズン (Deepwater Horizon) での爆発事故によりメキシコ湾へ大量の原油が (エクソン・バルディーズ号事故の 20 倍もの) 流出しましたが, この事故の被害額の推計にも CVM が用いられているようです (Kling et al. 2012)。

表明選好法の代表的な手法として, CVM (Contingent Valuation Method) とコンジョイント分析 (Conjoint analysis) があります。いずれも仮想的な状況を設定して支払意思額を聞き出そうとするものですが, CVM では環境のもつ属性のうちのひとつに着目するのに対し, コンジョイント分析では多数の属性の組合せを用いる点が異なります。

12.2 Contingent Valuation Method

12.2.1 CVM のいろいろ

CVM (Contingent Valuation Method) とは, 仮想的な状況を質問調査で提示し, その状況に対する支払意思額を尋ねることによって便益を評価する手法です。支払意思額の質問方法によっていくつかの方式があります。

第 1 は自由回答法 (open-end format) と呼ばれる方法で, 回答者に直接に支払意思額を質問します。選択肢や手がかりを与えないため, 回答者にとっては答えにくいことがあり, ゼロや極端に高い値が返される可能性があります。

第 2 は競りゲーム (bidding game format) と呼ばれる方法です。この方法では最初にある金額を提示し, その金額を支払うかどうかを尋ねます。答えが「はい」なら金額を引き上げて, 「いいえ」なら金額を引き下げて, 支払うかどうかを再度尋ねます。これを繰り返し, 答えが「はい」から

⁽¹⁾Carson, Richard, Robert Mitchell, W. Michael Hanemann, Raymond J. Kopp, Stanley Presser, Paul Ruud. 2003. Contingent valuation and lost passive use: Damages from the *Exxon Valdes* oil spill. *Environmental and Resource Economics* 25(3), 257-283.

⁽²⁾Hausman, Jerry A., Gregory K. Leonard, Daniel L. McFadden. 1995. A utility-consistent, combined discrete choice and count data model assessing recreational use losses due to natural resource damage. *Journal of Public Economics* 56(1), 1-30.

⁽³⁾Kling, Catherine L., Daniel J. Phaneuf, Jinhua Zhao. 2012. From Exxon to BP: Has some number become better than no number? *Journal of Economic Perspectives* 26(4), 3-26.

「いいえ」に、あるいは「いいえ」から「はい」に変わるところまで続けることによって支払意思額を聞き出します。この手法は答え方が簡単なので自由回答法に比べると極端な回答が返ってこないという利点がありますが、質問に時間がかかることに加えて、最初の提示額によって最終的に得られる支払意思額が変化してしまう開始点バイアス（starting point bias）が存在するといわれています。

第3は支払カード（payment card format）と呼ばれる方法です。この方法では、金額のリストを提示してそのうちから最も自分の支払意思額に近い額を選んでもらいます。自由回答法とちがってリスト内の数値しか返ってきませんし、競りゲームよりも時間がかからない方法ですが、リストに提示したなかから選ぶので、提示されたリストの範囲によって答えが変化してしまう範囲バイアス（range bias）が存在するといわれています。

第4は二肢選択（dichotomous choice method）と呼ばれる方法です。この方法では、回答者はある金額を提示され、その金額を支払うかどうかのみを答えます。競りゲームの1回目のみを行うことになるので得られる情報は少なくなりますが、答えやすいことと、「買う・買わない」という市場行動に近いことから、しばしば用いられます。

12.2.2 二肢選択方式の理論的背景

二肢選択方式では、背後に確率効用モデルがあると想定して分析が行われることがしばしばです。

いま、評価の対象となっている環境の水準を $q^0, q^1 (q^1 > q^0)$ とします。 q^0, q^1 としては、保全される森林の面積でも、大気汚染の程度でも、保護される野生動物の数などを考えるとよいでしょう。二肢選択方式で回答者 n に提示される質問は「 p_n を支払えば環境水準は q^1 に改善されるが、支払わなければ q^0 のままであるとき、 p_n を支払うか？」というものになります。ここでは q^0 は公共プロジェクトが実施されない現状維持（status quo）に対応しています。提示額 p_n を回答者によって変化させることによって、提示額 p_n の分布やその特性値を推定します。

確率効用モデルを想定すると、回答者 n の回答は次のように導かれます。回答者 n が p_n を支払うと答えたとすると、そのときの効用は

$$u_{n1} = V(q^1, M_n - p_n) + \varepsilon_{n1} \quad (12.1)$$

と書くことができます。ここで $V(\cdot)$ は確定的な（deterministic）効用を表し、この部分は環境の水準 q^1 とその他の財の消費量（ $= p_n$ を支払ったのちの所得）に依存します。 ε_{n1} は確率的な効用を

表します。回答者 n が p_n を支払わないときの効用は、

$$u_{n0} = V(q^0, M_n) + \varepsilon_{n0} \quad (12.2)$$

となります。この回答者 n は $u_{n1} \geq u_{n0}$ のときに支払うと答えるはずですから、支払うと答えるとき、

$$V(q^1, M_n - p_n) + \varepsilon_{n1} \geq V(q^0, M_n) + \varepsilon_{n0} \quad (12.3)$$

が成り立ちます。この式には確率的な部分が入っているので、支払うと答える確率を考えることができます、

$$\begin{aligned} \Pr(u_{n1} \geq u_{n0}) &= \Pr(V(q^1, M_n - p_n) + \varepsilon_{n1} \geq V(q^0, M_n) + \varepsilon_{n0}) \\ &= \Pr(V(q^1, M_n - p_n) - V(q^0, M_n) \geq \varepsilon_{n0} - \varepsilon_{n1}) \end{aligned} \quad (12.4)$$

ここで、 $\varepsilon_n = \varepsilon_{n1} - \varepsilon_{n0}$, $\Delta V_n = V(q^1, M_n - p_n) - V(q^0, M_n)$ とおくと、支払うと答える確率は

$$\Pr(u_{n1} \geq u_{n0}) = \Pr(\varepsilon_n \geq -\Delta V_n) \quad (12.5)$$

と表すことができます。そこで、 $\varepsilon_n, \Delta V_n$ に適当な仮定を置くと推定を行うことができます。

ε_n についてのよくある仮定は2つあります。ひとつは、 $\varepsilon_{n1}, \varepsilon_{n0}$ がそれぞれ独立にタイプ1の極値分布に従うという仮定で、このとき、

$$\Pr(u_{n1} \geq u_{n0}) = \frac{1}{1 + \exp(-\Delta V)} \quad (12.6)$$

となり、ロジットモデルを用いた推定が可能です。いまひとつは $\varepsilon_{n1}, \varepsilon_{n0}$ がそれぞれ独立に正規分布に従うという仮定で、このときはプロビットモデルを用いた推定が可能です。

ΔV_n についても2つの仮定がよく用いられます。すなわち、

$$\begin{aligned} \Delta V_n &= \alpha + \beta p_n \\ \Delta V_n &= \alpha + \beta \ln p_n \end{aligned} \quad (12.7)$$

の2つです。

ロジットモデルを用いると、推定結果から以下のように支払意思額の分布の特性値を求めることができます。まず、効用差 ΔV_n が線形、すなわち

$$\Delta V_n = \alpha + \beta p_n \quad (12.8)$$

であるとき、支払意思額の中央値（回答者が「支払う」と答える確率が0.5になる p_n ）は

$$-\frac{\alpha}{\beta} \quad (12.9)$$

であり、支払意思額の平均値は

$$\int_0^{p_{\max}} \frac{1}{1 + \exp(-(\alpha + \beta p))} dp \quad (12.10)$$

で与えられます。ここで、 $p_{\max}$ は質問調査の際に提示した p_n の最大値を表します。積分範囲の最大値は支払意思額の分布の最大値であるべきだと考えると、 $p_{\max}$ を上限とするのは不適切で、無限大とするべきだということにも見えますが、関数の形状によっては積分の値が異常に大きくなってしまう可能性があるため、提示額の最大値を積分範囲の設定に用いるのが一般的です。

他方、効用差 ΔV_n が片側対数、すなわち

$$\Delta V_n = \alpha + \beta \ln p_n \quad (12.11)$$

であるとき、支払意思額の中央値（回答者が「支払う」と答える確率が0.5になる p_n ）は

$$\exp\left(-\frac{\alpha}{\beta}\right) \quad (12.12)$$

であり、支払意思額の平均値は

$$\int_0^{p_{\max}} \frac{1}{1 + \exp(-(\alpha + \beta \ln p))} dp \quad (12.13)$$

となります。

支払意思額の分布の特性値として中央値を用いるか、平均値を用いるかはそのときどきに依りて異なります。中央値はモデルの選択に対して比較的頑健である一方で、中央値から総便益を計算するのは容易ではありません。平均値は、母集団の人数を乗じることによって総便益を容易に計算できる一方で、外れ値（分布の裾の重さ）に影響を受けやすいと考えられます。したがって、どちらを使うべきかは一概には言えませんが、どちらを採用するかによって分析の結果が変わることもありえますから、どちらを使っているかを明示することは必要です。

もし、提示した p_n と回答者の数が十分に大きければ、支払意思額の分布をノンパラメトリックに（誤差項の形状や関数形を特定せずに）推定することも可能です。おおざっぱに言えば、それぞれの提示額 p_n に対して「支払う」と答えた人数の比率をつないでいくと、提示額の減少関数が求まるはずです。ただし、回答者の数がそれほど多くなければ必ずしも減少関数になりませんので、Kaplan-Meier 推定量を用いることもあります。

12.2.3 例：ツシマヤマネコ保護増殖事業の経済価値評価

CVM を用いた分析例として、環境省の検討会が行った分析を見てみましょう。1993 年に生物多様性条約が発効し、締結国会議が 2 年に一度開かれるなど、生物多様性や生態系サービスの価値を経済的に評価することの重要性が注目されています。そのなかで、環境省も経済価値評価の検討を進めており、2013 年度には質問紙法を用いて、過去に失われた干潟を再生することの経済的価値・ツシマヤマネコの生息数を回復させることの経済的価値を試算しています⁽⁴⁾。

ツシマヤマネコの保護増殖事業に関する CVM 調査では、インターネットによる web アンケートが用いられ、回収数 1,040、うち有効回収 801 をもとに分析が行われています。Web アンケートでは、ツシマヤマネコの写真が示され、イエネコと比べた特徴・絶滅危惧種であること・保護対策の現状・交通事故発生件数が示されたのち、仮定の政策に対する評価が求められます。ここで提示された評価シナリオは、「新たに「ツシマヤマネコ保全基金」を設置して、募金を集める。この基金への支払いにより、20 年後の時点で野生のツシマヤマネコの生息数は現在よりも約 40 頭増加し、1980 年代の生息数である約 140 頭まで回復すると仮定した。支払期間は 10 年間とした」というものです。

回答者は、このシナリオが示されたのちに、毎年いくらかのお金を支払う必要があるとすると支払うかどうかを質問され、「はい」か「いいえ」で回答します（二肢選択）。「はい」と答えた場合にはより高額な金額が示された二肢選択、「いいえ」と答えた場合にはより低い金額が示された二肢選択に進み、2 回の二肢選択にこたえることになります（ダブルバウンド）。最初に提示される金額は 4 種類で、そのうちの 1 つがランダムに示されます。1 回目・2 回目の質問での提示金額は表のとおりです。

表 12.1: ツシマヤマネコ CVM における提示金額

	1 回目	2 回目（高い）	2 回目（低い）
1	500 円	1,000 円	100 円
2	1,000 円	3,000 円	500 円
3	3,000 円	7,000 円	1,000 円
4	7,000 円	15,000 円	3,000 円

この回答をもとにワイブル生存分析を行った結果、1 世帯当たりの年間支払意思額の中央値は

⁽⁴⁾詳細は <http://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/valuation/download.html> を参照のこと。

1,015 円、平均値は 2,790 円と推計され、これに全国の世帯数約 5000 万世帯を乗じると、日本全国での年間支払意思推計額が求まり、中位値を用いると約 527 億円、平均値を用いると約 1449 億円となります。

ダブルバウンドのワイブル生存分析の方法*

ダブルバウンドの二肢選択のばあい、回答は $\{YY, YN, NY, NN\}$ の 4 つのうちのいずれかになります。1 回目の提示金額を T_1 、2 回目の高いほうの提示金額を T_U 、低いほうの提示金額を T_L とすると、生存関数 S に対して、それぞれの回答が返される確率は

$$Pr(YY) = S(T_U)$$

$$Pr(YN) = S(T_1) - S(T_U)$$

$$Pr(NY) = S(T_L) - S(T_1)$$

$$Pr(NN) = 1 - S(T_L)$$

と表現されます。ここで、ワイブル生存関数は

$$S(T) = \exp \left(- \exp \left(\frac{\ln T - \mu}{\sigma} \right) \right)$$

と表現されます。 μ は位置 (location) パラメタ、 σ はスケール (scale) パラメタとも呼ばれます。このとき、回答の分布の平均値と中位値は

$$\text{平均値} = \exp(\mu) \Gamma(1 + \sigma)$$

$$\text{中位値} = \exp(\mu) [-\ln(0.5)]^\sigma$$

となります。ここで $\Gamma()$ はガンマ関数です。

12.3 コンジョイント分析

12.3.1 コンジョイント分析とは

コンジョイント分析 (conjoint analysis) とは、財を属性の束として把握し、その属性の限界的変化に対する評価を明らかにする手法の一つです。財を属性の束として認識するという点ではへ

ドニック・アプローチに似ています。財を特徴づけるさまざまな属性を考慮することで、多面的な影響を持つ環境政策の評価が可能になります。

具体的には、属性の組み合わせの異なる仮想的な財を提示して、それぞれに対する選好の度合いを質問します。たとえば、A, B, C の3つの属性を考え、それぞれの属性の取りうる値が0と1の2つずつであるとする、考えられる財の種類は 2^3 の8種類存在します。したがって、考慮する属性の数や、それぞれの属性が取りうる値の数が増えると、ありうる財の数は指数的に急激に増加します。そこで、直交配列等を用いて効率的に質問を構成する必要があります。

コンジョイント分析での質問の方法にもいくつかの種類があります。ひとつは評定方式と言われるもので、提示された財のそれぞれに点数をつけさせるものです。また、提示された財を選好する順番に並べるランキング方式もあり得ます。これらの手法は、うまく実行できれば得られる情報は多いのですが、仮想的な財を検討してもらうことになるためによく考えられた結果が得られない可能性もあります。そこで、提示された財のなかから最も選好する財を選ばせる選択方式がよく用いられます。CVMも二肢選択のように2つの仮想的な財のどちらを好むかを選ばせる方法もありますが、3つ以上の財を提示することもあります。

12.3.2 理論的背景

コンジョイント分析も、CVMと同じく、確率効用モデルを想定して分析が行われるのが一般的です。仮想的な財、つまり回答者にとっての選択肢の集合を $C = \{1, 2, \dots, J\}$ とし、回答者 n が選択肢 $i \in C$ を選んだとするときの効用が

$$u_{ni} = V(x_{ni}, \beta) + \varepsilon_{ni} \quad (12.14)$$

で表現されるとします。ここで $V(.,.)$ は確定的な (deterministic) 効用を表し、この部分は財の属性のベクトル x_{ni} によって決まるとします。 β は $V(.,.)$ を特徴づけるパラメタベクトルです。 ε_{ni} は確率的な効用を表します。ここで回答者 n が選択肢 i を選択肢の集合 $C = \{1, 2, \dots, J\}$ のなかから選んだとすると、

$$u_{ni} > u_{nj} \quad \text{for all } j \neq i \quad (12.15)$$

が成り立ちます。効用には確率的な要素が含まれていますから、回答者 n が選択肢 i を選ぶ確率を考えることができ、

$$P_{ni} = \Pr(u_{ni} > u_{n1}, u_{ni} > u_{n2}, \dots, u_{ni} > u_{nJ}) \quad (12.16)$$

となります。ここで、 ε_{ni} が互いに独立にタイプ I の極値分布に従うと仮定すると、

$$P_{ni} = \frac{\exp(u_{ni})}{\sum_{j \in C} \exp(u_{nj})} \quad (12.17)$$

と表現されます。さらに

$$V(x_{ni}, \beta) = x'_{ni} \beta \quad (12.18)$$

と効用の確定的な部分を線形に特定化すると、多項ロジットモデル (multinomial logit) になっていますから、最尤法によって β を推定することができます。

財を特徴づける属性のベクトル x_{ni} には財のさまざまな側面が含まれますが、その財の価格も重要な側面の一つです。そこで価格に対応する β の要素を β_p とし、属性 k に対応する β の要素を β_k と書けば、属性 k が限界的に変化したときの限界的な支払意志額は

$$-\frac{\beta_k}{\beta_p} \quad (12.19)$$

と表現されます。

12.3.3 例：禁煙意思の分析

コンジョイント分析の例として、禁煙の意思について分析した後藤ほか (2007) をみてみましょう⁽⁵⁾。喫煙は喫煙者本人の疾病リスクを上昇させるほか、周囲への健康被害・火災等を含めた負の外部性が大きいことから、禁煙の促進は政策的な課題となってきました。効率的な喫煙者対策のためには、価格や分煙の有無・健康リスクといった情報にどのように反応するかといった喫煙者の行動の分析が不可欠です。ところが、情報を知っているかどうかは直接に観察することが難しいことから、コンジョイント分析によってリスク情報を操作して、情報への反応度を測ることができるかもしれません。

後藤ほか (2007) では、モニタ調査会社に登録している成人から喫煙者を抽出し、男女比・喫煙習慣の強さが全体を反映するように 616 人の被験者を選んでいきます。この分析では、たばこは「価格」「公共性の高い場所での喫煙に対する罰金の有無」「健康リスク」を属性とした束と想定されています。「価格」については 1 箱あたり 300 円・400 円・600 円・800 円の 4 種類、「公共性の

⁽⁵⁾後藤 勲・西村 周三・依田 高典, 2007, 禁煙意思に関するコンジョイント分析, 厚生指標 54(10), 38-43. WP バージョンとして <http://www.econ.kyoto-u.ac.jp/ida/4Hoka/smoking/20070521paper.pdf> を参照。

高い場所での喫煙に対する罰金の有無」については施行されている・されていないの2種類が設定されています。「健康リスク」については3種類が用意され、非喫煙者に比した死亡リスクが等しい・2倍・3倍の3種類、非喫煙者に比した急性上気道感染症で自宅安静を必要とする期間が等しい・1週間長い・2週間長いの3種類、本人が吸わないときに比した家族の肺がんリスクが変わらない・上昇するの2種類が設定されています。したがって、たばこの属性の組合せとしては、 $4 \times 2 \times 3 \times 3 \times 2 = 144$ 種類ありえます。後藤ほか（2007）ではこの144種類のなかから直交計画法により8種類を選び、被験者はこの8種類について禁煙するかどうかの意思を答えます。たとえば、たばこが「300円で、公共性の高い場所では喫煙に罰金があり、死亡リスクは非喫煙者と等しく、急性上気道感染症によって1週間長く自宅安静が必要で、家族の肺がんリスクが高まる」ときに、禁煙するかどうかを答えます。

データとしては、各被験者が8種類の設定に対して禁煙する意思があると答えたか答えなかったか、とともに、年齢や性別といった個人属性変数が得られます。このデータを用い、被説明変数を禁煙する意思があるかないかの2択（喫煙継続を1、禁煙を0）、説明変数を設定されたたばこの属性と個人属性とするロジット回帰を行い、たばこの属性の係数がどうなるかを検討します。同じ人に8回ずつ質問していることから、パネルデータのような構造をしているため、推定では変量効果（random effect）を仮定します⁽⁶⁾。

表 12.2: コンジョイント分析におけるロジットモデルの推定結果

説明変数	FTND 高		FTND 中		FTND 低	
価格	-0.0079	***	-0.0106	***	-0.0096	***
罰金	-0.1694		-0.3803	*	-0.1888	
死亡リスク	0.1196		-0.2716		0.1613	**
自宅安静期間	-0.1642		-0.5033	***	-0.3753	**
年齢	0.0358	***	0.0407	***	0.0059	
女性ダミー	0.0399		0.6542	**	-0.4266	
喫煙知識	-0.3617	***	-0.0866		-0.0282	
定数項	5.7602	***	5.4292	***	5.5086	***

ロジットモデルの推定結果は表に示されているとおりです。この分析ではサンプルをニコチン依

⁽⁶⁾固定効果（fixed effect）モデルでは個人属性を識別できません。

存度によって分割しています。ニコチン依存度は FTND (Fagerstrom Test for Nicotine Dependence) 指数で表され、高いほうが依存度が高いことを示しています。表の結果は、どのグループでも価格を引き上げると喫煙継続確率が低下し、禁煙確率が上がることを示しています。罰金や健康リスクは一貫した効果を見せていません。

この推定結果を使うと、価格を変化させたときの禁煙確率を計算することができます。後藤ほか (2007) はこのシミュレーションを行い、高度喫煙者では禁煙率を 0.9 にするためには価格を 983 円にする必要があるとの結果を得ています。

12.4 表明選好法の問題点

表明選好法の考え方はそれほど難しいものではなく、NOAA パネルレポートでは「うまく実施された CVM からは出発点とするには十分に信頼できる推定値を得られる」とされているほどですが、実施のためには細部にわたる注意が必要です。経済学者はながらく実際の行動のデータのほうを信頼し、アンケートのような「表明された」データについては懐疑的だったことにも注意しましょう。ちゃんとした表明選好法による調査は簡単なものではなく、たとえば Carson et al. (2003) で用いられたエクソン・バルディーズ号の被害に関する調査のアンケートは 39 ページもあり、加えて地図や写真が 14 ページ、図表が 10 ページあるものです (Carson 2012⁽⁷⁾)。表明選好法によって信頼できる推定値を得るためには、候補となっている政策を政府が真剣に検討していて、回答者の回答が政策の実施に影響を与えるということを、回答者が信頼し、アンケートの趣旨を理解し、正直な回答をする必要があります (incentive compatibility and consequentiality)。

しかし、仮想的な状況についてのアンケートをもとにした分析であるため、注意深く設計されたときでさえ信頼できる回答が得られるとは限りません。ここでは、Hausman (2012)⁽⁸⁾ の指摘する表明選好法の問題点を 3 つ挙げておきましょう。

第 1 は、仮想バイアスの存在です。仮想バイアスとは、調査時には仮想的な状況に対する回答であるために、実際にその状況が実現したときに取られる行動が、調査時の回答と異なってしまうというバイアスを言います。表明選好法は公共財の評価に用いられるため、調査で設定された状況で支払いが任意とされているときや、調査結果が実際の政策決定に用いられないと考えられるときには、公共財の便益の評価が過大になる傾向があります。逆に、支払が税などによって強

⁽⁷⁾Carson, Richard T. 2012. Contingent valuation: A practical alternative when prices aren't available. *Journal of Economic Perspectives* 26(4), 27-42.

⁽⁸⁾Hausman, Jerry. 2012. Contingent Valuation: From debious to hopeless. *Journal of Economic Perspectives* 26(4), 43-56.

制されるときには、公共財の便益にフリーライドしようとするため、便益の評価は過小になる傾向があります。このように回答者が意図的に便益を過大あるいは過小評価するバイアスを戦略バイアスと呼ぶこともあります。また、評価対象となっている財やサービスを回答者が把握・理解できないことによって部分全体バイアスと呼ばれる偏りが生まれることもあります。調査で提示されたシナリオそのものに不満があるときに非現実的な回答をしたり（抵抗回答 protest bid）、手数料や税等の支払い手段に反対するために過小評価したり（支払い手段バイアス）、面接調査では調査者を喜ばせるような答えを選んだり（追従バイアス）、さまざまな要素によって「真の」選好から外れた回答になってしまう可能性があります。

第2は、支払意思額（WTP: willingness to pay）と受容意思額（WTA: willingness to accept）の乖離です。WTPとは、好ましくない結果を回避するか、好ましい結果を得るために支払ってもよい額のことをいい、WTAとは、好ましくない結果を受容するか、好ましい結果を得られないことを受け入れるために受け取りたい額のことをいいます。標準的なミクロ経済学では、WTPとWTAは近似的に等しい値をとるはずですが、しかし選好表明法ではWTAのほうがWTPよりもかなり大きく（2～5倍とも）推計されることが多く、選好表明法の欠点とされています。WTPとWTAが乖離すること自体については、損失回避などの行動経済学的観点から説明されます。しかし、費用便益分析は標準的なミクロ経済学を基礎として行われますから、WTPとWTAの乖離が説明されたとしても、その結果を費用便益分析にどう用いればよいかは明らかではありません。

第3は、範囲（scope）や埋め込み（embedding）にまつわる問題です。これは、同じ財への評価が、その財が単体として示されるか、他の財とのパッケージとして示されるかによって異なるという問題です。たとえば Desvousges et al. (1993)⁽⁹⁾ では、野鳥の保護のためのWTPを表明選好法によって推計したところ、2,000羽を保護するためのWTPが、20,000羽、200,000羽を保護するためのWTPとほとんど同じという結果が得られています。Hausman (2012)はこの現象が起きているかどうか確認するためのadding-up testの利用を提案しています。Adding-up testは次のように行います。回答者を3グループに分け、第1グループでは財Xの評価を、第2グループでは財Yの評価を、第3グループでは財Xと財Yを組み合わせの評価を行います。3つのグループが無作為に分割されていれば、第1グループで得られた評価と、第2グループで得られた評価の和が、第3グループでの評価として得られるはずです。

⁽⁹⁾Desvousges, William H., F. Reed Johnson, Richard W. Dunford, Kevin J. Boyle, Sara P. Hudson, and Nicole Wilson. 1993. Measuring Natural Resource Damages with Contingent Valuation: Tests of Validity and Reliability.” In *Contingent Valuation: A Critical Assessment*, edited by J. A. Hausman, 91-159. Amsterdam: North Holland.

Hausman (2012) はこれらの問題点を指摘したうえで、表明選好法についてのこれらの問題点が解決されるとは考えにくく、CVM の結果は用いないほうがよい (I do not expect these problems to be resolved, so in my view “no number” is still better than a contingent valuation method (Hausman 2012, p.54)) と述べています。他方、Hausman (2012) と同じ号に掲載されている Kling et al. (2012) と Carson (2012) は CVM を支持しています。表明選好法の結果は、まだまだ幅を持つてみる必要があるのが現状と言えるでしょう。

第13章 費用効果分析・費用効用分析

13.1 費用効果分析・費用効用分析とは

費用便益分析（CBA: Cost Benefit Analysis）では、政策にまつわる社会的費用と便益の大きさを推計し、多くの場合では金銭換算することで政策実行の是非や優先順位を決定します。顕示選好法や表明選好法は社会的費用と便益の大きさを評価するための手法であるとともに、設定によっては金銭換算する手法でもあります。しかし、いくつかの分野、とくに人命や健康を直接に扱う医療・公衆衛生の分野においては、政策にまつわる費用と便益を金銭換算することができないか、金銭換算すること自体や換算の比率に合意が得られないことがあります。また、金銭換算すべき便益の大きさそのものが把握されていないが重要だと思われたり、金銭換算になじまないと考えられたりすることもあります。このようなとき、とくに便益を金銭換算しない分析を費用便益分析の代替として行うことがあり、医療・公衆衛生の分野においては費用効果分析（CEA: Cost Effectiveness Analysis）、費用効用分析（CUA: Cost Utility Analysis）といいます。

費用効果分析とは、政策間で共通した単一の数量化された効果を基準とする分析です。数量化された効果としては、生存率・平均余命・血圧・体重（BMI）などの物理的に計測される指標の変化が用いられます。共通の指標に対する効果を比較するので、既存の研究の蓄積を利用することができます。費用効用分析とは、費用効果分析で用いられるような指標を加重平均のようになんらかの形で組み合わせた指標を基準とする分析です。このような指標の医学分野での代表例は、生活の質（QOL: Quality Of Life）や質調整生存年（QALY: Quality Adjusted Life Years）です。

費用効果分析や費用効用分析では物理的な指標を用いて評価しますから、金銭換算の必要性がなく、金銭換算に対する反感や違和感をもたらしません。他方で、共通の指標がない政策間での比較が困難になります。たとえば医学・公衆衛生分野内であっても、異なる疾病に効果を持つ手術や薬剤の有効性の比較は難しくなるでしょう。他分野の政策との比較はほとんど不可能といってよいでしょう。したがって、一定の予算を、たとえば公衆衛生に使うのか、教育に使うのか、福祉に使うのか、環境に使うのか、といった判断の助けには、費用効果分析や費用効用分析は用い

ることができません。

13.2 費用効果分析・費用効用分析の指標

一般に、費用効果分析・費用効用分析では、費用を金銭、効果を物理的な量で測って、政策の選択肢に順序を付けます。よく用いる指標は以下の2つです。

第1は、費用効果比です。政策*i*の費用を C_i 、効果を E_i とすると費用効果比は

$$CE_i = \frac{C_i}{E_i} \quad (13.1)$$

と定義されます。効果が同じであれば費用の小さい方から実施すべきですから、費用効果比CEの小さい順に実施すべきです。分子分母を逆にした $EC_i = E_i/C_i$ が用いられることもあります。

第2は増分費用効果（ICER: Incremental Cost Effective Ratio）です。現在行われている政策の費用を C_0 、効果を E_0 とすると、ICERは費用の増分と効果の増分の比をとって

$$ICER_i = \frac{C_i - C_0}{E_i - E_0} \quad (13.2)$$

と定義されます。新しい政策が費用も少なくなり効果も増加するようなものであれば採用するのに問題はありますが、効果に大きな変化はないが費用が減少するようなものであれば注意が必要です。分母は効果の増分をとっていますから、効果に大きな変化がなければゼロ近辺の値を取ることになります。統計的な分析を行うときには、分母の絶対値が小さくなるために全体の値が大きく振れてしまう難しさがあります。

医療・公衆衛生分野では費用は狭い意味では治療費用のみですが、費用効果分析・費用効用分析においても、費用便益分析と同じく、費用は関連する社会的な費用を広く含みます。医療機関までの交通費や補装具のような公的医療保険制度によらない支出のほか、たとえば、患者本人が仕事や家事ができないことの生産性の損失、家族などによる介護やケアの費用などが含まれます。このとき、新しい選択肢を評価するためにさまざまな費用を改めて評価し直すのは手間のかかることです。ICERの利点は、現在行われている政策との違いのみに着目すればよく、費用を広く考えていたとしても、共通部分は実質的に計算しなくてよいという点にあります。

13.3 効用指標

13.3.1 QOL, QALY

費用効果分析では生存率や血圧・体重のような物理的に計測される指標の変化を効果とみなしますが、費用効用分析ではQOLやQALYといった指標が用いられます。QOLとは、死亡を0、完全な健康状態を1として疾患や障害の状況を表現する指標です⁽¹⁾。QOL尺度の実際の計測方法にはさまざまなものがありますが、大きく2種類に分けることができます。ひとつは包括的尺度と呼ばれるもので、全体的な健康状態を表し、原則的にすべての疾患や障害に適用でき、健康な人にもあてはめることができます。SF-36 (Short-form 36), WHOQOL, EQ-5D (EuroQol 5 Dimension), HUI (Health Utilities Index), SF-6D (Short Form 6 Dimension) などがこれにあたります。いまひとつは疾病特異的尺度と呼ばれるもので、がんに対するEORTCやFACT-Tax, 呼吸器疾患に対するSGRQなどが該当します。

包括的尺度としてのQOLを計測する手法として最もよく用いられているものの一つがEQ-5Dです。EQ-5DはQALY計算のためのQOL値を提供できる手法の一つで、1987年に設立された研究者グループであるEuroQol（ユーロコル）グループが開発したものです。現在ではさまざまな言語バージョンが存在し、日本を含めた各国で用いられています。EQ-5Dは5項目（「移動の程度」「身の回りの管理」「ふだんの活動」「痛み／不快感」「不安／ふさぎ込み」）の質問からなり、回答者はそれぞれについて3段階で自己評価します⁽²⁾。5項目の質問に3段階で答えるのですから、回答パターンは全部で $3^5 = 243$ 通りあります。EQ-5Dではこの243通りの回答に対して、0から1までの実数を対応させ、この値をQOLとします。5つの質問項目と3段階の評価自体は各国で共通ですが、回答パターンと数値の対応（換算表、タリフ）は各国が独自に設定します⁽³⁾。

回答パターンに対応するQOLの値を求め、回答パターンからQOL値への換算表を作成するには、おもに3つの方法があり、Standard gamble, Time-trade off, Rating scaleと呼ばれます。第1のStandard gambleは期待効用仮説の考え方をを用いてQOLを評価します。すなわち、評価したい状態であることと、確率 p で完全に健康で確率 $1 - p$ で死亡する手術を受けることを比較すると

⁽¹⁾都市計画の分野でも社会資本整備の評価のためにQOLという指標を使うことがあります。医療健康分野でのQOLとは、総合的な評価を目指すという点では共通していますが、実際の評価方法は（当然ですが）かなり異なります。

⁽²⁾現在では5段階評価のEQ-5D-5Lが開発中です

⁽³⁾この換算表作成の試みとして、池田俊也・白岩健・五十嵐中・能登真一・福田敬・齋藤信也・下妻晃二郎. 2015. 日本語版EQ-5D-5Lにおけるスコアリング法の開発. 保健医療科学 64(1),47-55. があります。

き、この2つが無差別となるような p はいくらか、ということを質問します。つまり、

$$(\text{ある状態の QOL}) = p \times 1 (\text{健康}) + (1 - p) \times 0 (\text{死亡}) \quad (13.3)$$

という関係式を前提とし、この p を質問します。この式は期待効用仮説に基づいており、根拠が明確ではありますが、回答者の理解を得ることはなかなか難しく、測定は非常に困難だとされています。Standard gamble は危険回避度とは関係していますが、時間の概念はまったく入っていません。

第2の方法は Time-trade off と呼ばれ、評価したい状態で t 年生きることと、完全な健康状態で x 年生きることを比較するとき、この2つが無差別となるような t の年数を質問します。つまり、

$$(\text{ある状態の QOL}) \times t = 1 (\text{健康}) \times x \quad (13.4)$$

が成り立っていることを前提に、 x を所与として t を質問すれば、QOL は x/t と求まります。この手法も根拠が明確ですが、回答者の理解を得ることは必ずしも容易ではないとされていて、整合的な回答が得られないこともあります。また、Time-trade off には時間の概念が入っていますが、危険回避度とは関係していません。

第3の方法は Rating scale です。この手法は、最も望ましい状態（健康）の点数を 100、最も望ましくない状態（死亡）の点数を 0 として、評価したい状態の点数そのものを直接に質問する方法です。点数を数値で質問する方法のほか、ものさしや温度計の絵を用いて印をつけさせる visual analogue scale も用いられます。この手法は、Standard gamble や Time-trade off と比べると直感的にわかりやすいため、広く用いられています。

QOL を測る簡便な手法として、自己評価を尋ねる方法があります。すなわち、「あなたの現在の健康状態はいかがですか」といった質問を行い、5 段階で回答させるものです。この手法はわかりやすいのですが、「現在」とはいつのことをさすのか、だれと比べて健康なのかを明らかにしないと回答がばらばらになりかねません。一般には、「現在」は直近半年から 1 年程度を指し、同世代の人々と比べた健康状態を質問します。

QOL は現時点での生活の質を評価する指標ですが、時間の概念が入っていません。そこで、QOL の動きを時間について積分し、余命の生活の質を評価する方法があり、このように算出された尺度を QALY (Quality Adjusted Life of Years : 質調整生存年) と呼びます。実際には時間は離散的に扱われるので、

$$\text{QALY} = \sum_{s=0}^n \beta^s \text{QOL}_{t+s} \quad (13.5)$$

となります。ここで β は時間割引率です。医療の経済評価では、「効用」の尺度としてしばしばこの QALY が用いられます。

13.3.2 QOL 評価にまつわる問題

QOL や QALY を実際に測定するにはさまざまな課題がありますが、より根源的な課題として、QOL の評価者は誰かという問題があります。第 1 の候補はもちろん患者本人です。ただし、患者による評価には、心理学でいうところの適応という問題が発生します。適応とは、環境に対して適切で有効な反応ができるようになることを言いますが、ここでは、おおよっぱにいて現在の状態にだんだん慣れてくることを言います。これにより、健康状態の改善がなくても、時間の経過とともに患者の申告する QOL が上昇することがあります。一般市民と患者の重症の評価を比較したある研究では、EuroQOL で表現される最悪の状態の QOL は、一般市民では 0.2 から 0.31 であったのに対し、患者では 0.42 から 0.5 であったと報告されています。

第 2 の候補は、医師などの医療専門職です。医師には適応の問題は発生しませんし、患者の意思表示が困難な時にも評価が可能です。ただし、医療専門職は医療の提供側なので、QOL の評価に際して中立性を保てるかという問題があります。

第 3 の候補は、一般市民です。医療の経済評価が必要となるのは、その費用を税や社会保険料のかたちで一般市民が負担するからですので、一般市民が評価するということにも一定の正当性があります。ただし、一般市民による QOL 評価は仮想評価になりますから、疾患や障害の状態を理解し、適切に評価することができるかについて疑問も残ります。

13.3.3 QOL の金銭評価

QOL を用いた費用効用分析では金銭換算に対する反感や違和感を回避することができますが、治療方法や薬剤の公的保険収載の可否や薬価を決定するためには、QOL の金銭評価が重要となります。大日・菅原（2005）では、日本で行われた QALY の金銭評価の例が紹介されています。

QALY を金銭評価する方法の一つは、一般市民に直接に質問する CVM の手法を用いることです。大日・菅原（2005）で紹介された研究では、一般市民に対して「現状では今日死ぬしかない状態の患者にある治療法を施すと、完全に健康な状態で 1 年寿命を延ばすことができるとします。この新しい治療法を受ける人に、その費用を社会が 1 人当たりいくらまで負担してもよいと思いますか。医療費以外を含めてお答えください」という質問を行い、1 円単位 1 億円未満で回答欄を

設定しています。推定結果によれば、この回答の中央値は 100 万円、平均値は 600 万円となっています。他の研究では、アメリカで 5 万ドル、カナダで 2 万ドル、イギリスで 3 万ポンド、オランダで 2 万ユーロ、オーストラリアで 3.6 万ドルなどとなっています。

この値は、生命の価値としては少ないと思うかもしれません。この乖離は、WTP (willingness to pay) が WTA (willingness to accept) よりも小さくなりがちだということに起因しているのかもしれませんが、つまり、死亡を回避するのに支払ってもよい金額は、死亡を受け入れるのに必要な補償を大きく下回っている可能性があります。また、QALY の金銭評価は、社会が支払ってもよい額を示しており、栄養や公衆衛生の改善を含んでいるため、医療にかけてもよい費用はさらに小さくなるかもしれません。

13.4 マルコフモデル

13.4.1 マルコフモデルとは

医療の経済評価、たとえば投薬等の治療プログラムの効果を比較検討する方法のひとつは、よく設計された臨床試験を行い、その情報を用いることです。よく設計された臨床試験とは、被験者を実験群と対照群を無作為に分け、二重盲検の手続きを踏んだ実験のことをいいます。この方法は理想的ではあるものの、生活習慣病のようにその影響が長期にわたって顕現するケースでは必ずしも現実的な手法とはいえません（池田 2003, 小林 2005）⁽⁴⁾。なぜなら、臨床試験の評価のためには長期にわたって被験者を追跡調査する必要があり、十分なサンプルサイズを確保し、脱落バイアス等のないデータを集めるには、時間的にも費用的にも膨大な資源を必要とするからです。そこで、疾患の経過、治療やその結果、予後等を人工的に設計し、その動きについての確率や関連する費用などを設定したモデルを構築し、シミュレーションによって評価する方法も採られます。小林（2005）が指摘するように、このようなモデル分析は臨床試験が現実的ではないような長期間の分析を可能にし、そのパラメタ設定にさまざまな情報源を利用しつつ、その結果の頑健性（robustness）を検証することができるという長所を持っています。その代償として、結果がモデルの構造や採用したパラメタの値そのものに大きく依存する可能性があり、結果の妥当性を担保するのは必ずしも容易ではありません。

⁽⁴⁾池田俊也. 2003. 医療経済評価とモデル分析. オペレーションズリサーチ 48(5), 353-358., 小林慎. 2005. 臨床経済学のためのモデル分析. 池上・西村編所収, 第 5 章.

この分野で用いられる代表的なモデルは、決定樹 (decision tree) モデルと、マルコフ (Markov) モデルです。いずれのモデルにおいても、患者の状態は離散的に設定され、治療によって、あるいは確率的に、設定された状態を移動すると仮定されます。決定樹モデルでは、起きうる状態の変化のシナリオは枝分かれしていく樹状図によって表現され、それぞれのストーリーは死亡や治癒によって終了します。シナリオの展開は一方向であることもあって、急性疾患にかかる評価に用いられます。他方、マルコフモデルでは、患者の病態がいくつかの状態 (state) に分類され、患者はそれらの状態間を確率的に移動します。治療プログラムは移動する確率 (遷移確率) や、それぞれの状態で必要な治療費や副作用を変化させると仮定されます。マルコフモデルは慢性疾患のモデルとして用いられることが多いようです。たとえば、Honeycutt et al. (2002) や Hoerger et al. (2004) は糖尿病予防についてのモデルを構築しています⁽⁵⁾。

13.4.2 マルコフモデルの設計

マルコフモデルでは、対象となる集団の個人が離散的に設定されたいくつかの状態 (state) のいずれかに属しており、時間の経過とともにその状態のあいだを確率的に動いていくと考えます。ある時点にある状態になっている個人が、次の時点でどの状態へ移るかという条件付き確率 (遷移確率 transition probability) は、その時点の状態がどこであるかだけに依存し、その状態にどのように到達したかには依存しない (Markov 性) と仮定されます。医療経済学においては、生活習慣病のように時間的視野が比較的長く、疫学研究や実験が容易でない分野での政策介入の評価にも用いられます。

簡単な例として状態 (state) が3つのモデルを考えましょう。ここで、それぞれの状態を「健康」「糖尿病」「死亡」と呼ぶこととします。それぞれの時点で対象となる集団の個人はこの3つの状態のいずれかに属します。遷移確率とは、それぞれの状態にある個人が次の時点でそれぞれの状態に属している確率をいいます。たとえば、いま「健康」状態にある個人は10%の確率で「糖尿病」になり、5%の確率で「死亡」へ移動し、残り85%で「健康」のままであるとします。「糖尿病」にいる個人は「健康」へ戻ることはなく、10%の確率で「死亡」へ移動し、残り90%は「糖尿

⁽⁵⁾Honeycutt, Amada A., James P. Boyle, Kristine R. Broglio, Theodore J. Thompson, Thomas J. Hoerger, Linda S. Geiss, K.M. Venkat Narayan. 2002. A dynamic Markov model for forecasting diabetes prevalence in the United States through 2050. *Health Care Management Science* 6(3), 155-164., Hoerger, Thomas J., Russell Harris, Katherine A. Hicks, Katrina Donahue, Stephen Sorensen, Michael Engelgau. 2004. Screening for type 2 diabetes mellitus: A cost-effectiveness analysis. *Annals of Internal Medicine* 140(9), 689-699.

病」のままであるとします。「死亡」状態の個人は「健康」へも「糖尿病」へも移動せず、100%の確率で「死亡」のままです（生き返りません）。

さて、最初の時点では全員が「健康」にしているとします。次の時点では10%が「糖尿病」になり、5%が「死亡」へ移動しますから、それぞれの状態にいる個人の比率は、健康：糖尿病：死亡 = .85 : .10 : .05 になります。さらに次の時点では、「健康」状態にいる85%のうちの10% (=全体の8.5%) が「糖尿病」になり、5% (=全体の4.25%) が「死亡」します。「糖尿病」にいる10%のうち10% (=全体の1%) は「死亡」へ移り、残り90% (=全体の9%) は「糖尿病」のままです。「死亡」にいる個人は移動しませんから、健康：糖尿病：死亡 = .7225 : .175 : .1025 となります。このように、時間の経過とともに、それぞれの状態 (state) に属する個人の比率が変化します。

このようなマルコフモデルを用いて全体の医療費等を推計することができます。たとえば上の例で、「糖尿病」にある個人だけが各時点で100万円の医療費を必要とするとするれば、全体の人口を1000人とすれば、最初の時点の医療費は0だが、次の時点では1億円 (=100万円×1000人×10%)、その次の時点では1.75億円 (=100万円×1000人×17.5%) となります。もちろん、対象となるのは医療費だけではありません。

遷移確率が変化すれば、それぞれの状態の属している個人の比率も変化します。たとえば予防的な服薬や運動によって「健康」から「糖尿病」へ移る確率が10%から5%へ低下したとすれば、最初の時点で全員が「健康」にいたとき、次の時点での比率は健康：糖尿病：死亡 = .90 : .05 : .05 になります。もちろん、その後の各状態にいる個人の比率も先ほどの例とは異なります。この分布の変化に応じて、各状態で必要な一人当たりの医療費の額が変化しなくても、全体で必要な医療費の額も変化します。このようにして、遷移確率の変化に応じた「結果」の変化をシミュレートすることができるのです。

マルコフモデルでは、原則として、遷移確率を外生的に設定し、各状態にいる個人の比率 (分布 distribution) はシミュレーションの結果として得られます。医療の効果を測るときには、基本ケースに対して異なる遷移確率を与えたり、取りうる状態を変化させたりして、その結果を比較することになります。

ここでは3つの状態 (state) を考慮したが、状態の数は3に限ったわけではなく、遷移確率も一定とは限らず、研究の目的に応じて増やすことができます。

状態については、千差万別な人々の健康状態をいくつか (有限個) に分割するのですから、目的に応じた状態の設定が必要となります。目的に応じて「死亡」が存在しないケースや、いくつかの疾病の存在を無視したり、合併症の有無等に応じて細かく分割することもあります。OTC 薬

の場合には、医療機関を受診する前の状況をいくつかの状態に分割して考えるほうが望ましいかもしれません。ただし、それぞれの状態がある程度明確に定義できる必要があります。

遷移確率については、時点に依存しないで一定とすることもあります。時間の経過とともに個人は加齢していくので、これに応じて遷移確率を変化させることも考えられます。原則として遷移確率は外生的に与えなければなりません。各状態間の変化の様子が分かっている必要はありません。取りうる状態が増える（新薬が利用可能になる等）のも遷移確率の設定の変化と解釈されることがあります。政策介入等のシミュレーションを行うためには、介入があるときとないときのそれぞれについての遷移確率の前提が必要となります。遷移確率の値はしばしば実験や疫学的な先行研究の結果から推測して設定されます。

遷移確率が変わらないようなマルコフモデルでは、時間が十分に経過すれば、各状態に属している個人の比率が変わらないようになることが知られています。つまり、それぞれの状態から「出て行く」個人の比率と「入ってくる」個人の比率が等しい、という状況が全ての状態（state）に対して成り立つような定常状態に到達します。「死亡」という状態を設定しておいて、全ての個人が死亡してしまった、というのもこれにあたります。しかし、分析の目的によっては、ある程度の年齢を終端点に設定し、それよりあとのシミュレートは行わないこともあります。

第14章 実験と構造推定

14.1 回帰分析の内的妥当性

費用便益分析の実施にあたっては、最小二乗法・ロジット推定などの回帰分析を用いることがよくあります。とくに観察データを用いた需要曲線の推定や、顕示選好法ときには、回帰分析によってパラメタが一致性をもって推定されているかどうか問題になります。一致推定量が得られるかどうかはそれぞれのケースによって判断しなければなりませんが、最小二乗法を用いているばあい、統計的には(1)誤差項の条件付き期待値がゼロ、(2)観測値の分布がi.i.d.、(3)有限の4次モーメント、(4)完全な多重共線性が発生していない、が満たされていなければ一致推定量は得られません。より具体的には、先に述べたように、(1)Omitted variables、(2)Misspecification of the functional form、(3)Errors in variables、(4)Sample selection、(5)Simultaneous causality、のときには誤差項の条件付き期待値がゼロとならず、推定量は一致性を持ちません。

最小二乗法では一致推定量が得られないときの標準的な解決法の1つは、2段階最小二乗法のような操作変数法を用いることです。もし、内生性のある説明変数と相関し、誤差項と相関を持たない外生的な変数を説明変数以外に見つけることができれば、そのような変数を操作変数として利用することができます。

そのほかの解決方法として、実験・準実験の利用、構造推定といったものがあります。ここではこの2つについて簡単に説明してみましょう。

14.2 実験・準実験

「評価デザイン」のところでも説明したように、実験は「政策」の効果を推定する有力な方法の1つです。とくに、標本を母集団から無作為に抽出し、その標本を実験群と対象群に無作為に割り当てて結果の差を見る「理想的な」無作為割り当て実験(randomized controlled experiment)は、きわめて内的妥当性の高い評価デザインです。実験データでなく、観察データを用いるときでも、政

策の対象となるかならないかが、制度上、無作為に決められたかのような状況が実現すれば、実験の手法を用いて分析することができます。このような状況を、古典的実験デザインに準じたものとして、準実験（quasi experiment）あるいは自然実験（natural experiment）と呼びます。

理想的な実験においては、政策以外の要素がすべて同じ2人を連れてきてその結果を比べる、というわけではありません。そもそもそのような2人は、たとえ一卵性双生児であっても、存在しません。そうではなくて、無作為割当のばあいには、結果に影響する政策以外の変数の同時分布が実験群と対象群と等しいはずなので、結果の分布の違いは政策に起因するとみなすことができる、と考えます。ただし、結果の分布全体を比較することは有限な標本では困難なので、多くの場合、分布の平均値の差に着目します。すなわち、政策 X が二値変数のとき、政策 X の結果 Y への因果効果（Causal effect / Treatment effect）は

$$E[Y|X = x] - E[Y|X = 0] \quad (14.1)$$

と表現されます。

さて、理想的な実験での無作為割当のばあいには、政策の水準は結果に影響する他の要因から独立して分布しているはずなので、単回帰の枠組みで考えると、

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + u_i \quad (14.2)$$

という回帰式において、 X_i と u_i の分布は独立していることになります。このとき、 X_i の条件付きの u_i の分布は X_i に依存せず、 $E[u_i|X_i] = 0$ が成り立ち、 X_i は外生変数と考えられます。ただし、この単回帰で政策の水準が連続的なときには、因果効果の大きさに線形の仮定が置かれていることには注意しなくてはなりません。線形性の仮定が正しければ、 X_i は外生ですから、この式を OLS 推定すれば一致性のある推定値を得ることができます。

ただし、「評価デザイン」のところで述べたように、実際の実験ではデザインの細部の設計によっては内的妥当性のある推定値を得ることが難しいこともありますし、実験の代表性や一般均衡効果を考えると外的妥当性は必ずしも担保されません。

14.3 構造推定

14.3.1 ルーカス批判

注目している市場の需要と供給が直接に観察できる時には、観察データを用いた需要曲線の推定を回帰分析を用いて行うことが考えられます。しかし、このような回帰分析にはルーカス批判（Lucas critique）と呼ばれるやや根本的な批判が当てはまるかもしれません。ルーカス批判とは、1976年の有名な論文⁽¹⁾にちなんだもので、現在の政策変更は将来の政策に関する人々の期待に影響を与える結果、人々の行動も変える可能性があるため、過去のデータに基づいて推計された行動を不変なものと仮定して政策評価を行うことはできない（『経済学用語辞典』）という批判です。

観察データを用いた需要曲線の推定についてみれば、推定された傾きなどのパラメタをどう解釈すべきかという批判になります。もし需要曲線の傾き β が一致性をもって推定されているとしても、需要関数は効用関数から導かれるものであるはずですから、傾きそのものが効用関数のパラメタや価格ベクトルや所得や政策に依存するはずです。とすると、効用関数に特殊な仮定を置かない限り、政策変更によって傾きそのものが変化してしまいます。また、誤差項に選好や技術の異質性や将来への期待が含まれているとすれば、省略変数バイアスは避けられず、需要曲線の傾きを一致性をもって推定すること自体がかなり困難であると考えられます。

とすれば、政策変更の結果を評価するためには、効用関数や生産関数のパラメタを知る必要があります。このような問題意識から発展してきたのが構造推定（Structural Estimation）と呼ばれる手法です。

14.3.2 構造推定とは

構造推定とは、広義には、効用関数や生産関数のパラメタを直接推定する方法をいいます。したがって、サイト選択モデルやCVM、コンジョイント分析のように、線形の確率的効用関数を仮定したロジットモデルを用いた推定も、広い意味では構造推定に含まれます。ただし、狭い意味では、動学的最適化やゲーム理論に基づき、観察されたデータが仮定された最適化行動や均衡を反映しているという前提のもとで、設定された経済モデルのパラメタを最尤法や一般化積率法によって推定する方法をいいます。

⁽¹⁾Lucas, Robert E. Jr. 1976. Econometric policy evaluation: A critique. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 1, 19-46.

構造推定はしばしば以下のような手続きに従って進められます。

- [1] まず、対象としている現象を描く経済モデルを作ります。経済モデルを作るとは、家計・企業や政府といった登場する経済主体を確定させ、それぞれの経済主体の行動を規定します。家計であれば効用最大化問題を解いている、企業であれば利潤最大化問題を解いている、などと仮定し、効用関数や生産関数を設定します。家計の動学的な問題を扱うときには、資産の遷移方程式や、ライフステージごとのイベントについても設定を行います。企業を扱うときには、独占や寡占などの市場環境・価格や数量などの戦略変数に関する前提も置きます。この段階で、効用関数や生産関数の誤差項などとして確率的な要素を導入しておきます。
- [2] パラメタを1組設定し、そのもとで経済モデルを解きます。仮定された効用関数や生産関数の関数形に応じてパラメタの値を一組仮定すると、そのパラメタの組み合わせのもとでの均衡解を計算することができます。
- [3] 解かれた結果と観察されたデータを比較します。均衡解として算出される各経済主体の行動を表す数値と一般に観察されるデータとを比較します。行動を表す数値とは、たとえば家計の労働時間や消費量、企業の生産量や生産シェアなどのことをいいます。
- [4] パラメタをいろいろ動かし、観察されたデータに最も適合するパラメタを得ます。何をもって「最も適合する」と呼ぶかはそれぞれの設定に依存しますが、説明したい状況にもっともフィットするパラメタの組み合わせを、最尤法や一般化積率法によって推定します。
- [5] 適合するパラメタのもとで政策実験を行います。経済モデルのなかに含まれる政策パラメタを変更したり、合併などによって市場環境を変えたりしたうえで、再び経済モデルを解きなおし、もとの状況と比較します。構造推定では、効用関数・生産関数がわかっていますから、厚生評価ができます。

構造推定の意義は、なによりも、構造パラメタ（primitive, deep parameter）を直接に推定することにあります⁽²⁾。構造パラメタの値が分かることの利点はさまざまです。第1に、効用関数・生産関数が分かることになるので、厚生評価が可能になります。第2に、政策シミュレーションなどの反事実（counterfactual）な分析が可能となります。回帰分析で推定されるパラメタは政策の関数の可能性がありますから、政策が変化すれば推定されたパラメタの値自体が変化する可能性が

⁽²⁾Reiss, Peter C. and Frank A. Wolak. 2007. Structural econometric modeling: Rationales and examples from industrial organization. *Handbook of Econometrics* 6A, 4277-4415.

ありますが、構造パラメタはその定義からして、政策や環境の変化によっては値が変化しません（と仮定されています）。したがって、政策が変わった、新たな企業が参入した、合併が起こった、というような状況の変化に対して経済主体がどのように反応するかを試算することができ、事前の評価が可能となります。独占禁止法の適用などを視野に入れると、事前の評価ができるというのは大きな利点です。第3に、構造パラメタがわかれば、競合する理論の予測力の比較が可能になります。たとえば、寡占市場における戦略変数は価格なのか数量なのかといったことが識別できる可能性があります。

このような構造推定は、おもに産業組織論（IO, Industrial Organization）で発展しており、新・実証産業組織論（New Empirical IO）と呼ばれます⁽³⁾。産業組織論とは企業の行動や、その相互作用の結果として現れる産業の状況を記述・分析する分野です。産業組織論で構造推定がよく用いられるようになった契機は2つあります。ひとつは、ゲーム理論を応用した不完全競争についての理論的發展です。ミクロ経済学や産業組織論の授業で学習する、クールノー競争やベルトラン競争といった寡占理論はこのような理論の出発点ともなるものです。もうひとつは、集計された産業データを用いた分析の限界が認識されたことです。産業のあり方を分析するために、産業を観測値とみなして、利益率を企業数で回帰するといった分析が行われていましたが、利益率も企業数も企業の生産関数や市場環境によって決まるものであり、説明変数は必然的に内生性をもつものばかりでした。産業間の差異が識別（identification）には使えないという認識が広まると、新しい分析手法が求められるようになったのです。

産業組織論では、労働経済学や開発経済学に比べて、構造推定が用いられやすいことにも理由があるようです。産業組織論で扱うおもな経済主体は企業であり、企業の行動原理は基本的には利潤最大化にあるとみなされるため、経済理論を適用しやすいと考えられます。また、産業間の差異が大きく、他の産業の結論を容易に流用できないので、個別産業分野ごとに事前評価をする必要があるという事情もあります。

14.3.3 例：需要関数の推定

ここで、構造推定の例として需要関数の推定をみてみましょう⁽⁴⁾。

⁽³⁾Einav, Liran and Jonathan Levin. 2010. Empirical industrial organization: A progress report. *Journal of Economic Perspectives* **24**(2), 145-162.

⁽⁴⁾Berry, Levinsohn, Pakes (1995, Econometrica), Nevo, Aviv. 2000. A practitioner's guide to estimation of random-coefficients logit models of demand. *Journal of Economics and Management Strategy* **9**(4), 513-548.

市場 t にいる消費者 i が企業 j から財を購入した時の効用を

$$\begin{aligned} u_{ijt} &= \alpha_i(y_i - p_{jt}) + x_{jt}\beta_i + \xi_{jt} + \varepsilon_{ijt} \\ \alpha_i &= \alpha + \pi^\alpha D_i + \sigma^\alpha v_i \\ \beta_i &= \beta + \pi^\beta D_i + \sigma^\beta v_i \end{aligned}$$

と仮定します。ここで、推定したいパラメタは $(\alpha, \beta, \pi^\alpha, \pi^\beta, \sigma^\alpha, \sigma^\beta)$ であり、 D_i は観測できる個人 i の属性、 v_i は観測できない消費者の属性であるとします。また、 x_{jt} は観測可能な財の属性、 ξ_{jt} は観測できない財の属性を表します。ここで、誤差項の形状に、 ε_{ijt} がタイプ I の極値分布に従うという仮定を置きます。

$$V_{ijt} = -\alpha_i p_{jt} + x_{jt}\beta_i + \xi_{jt} \quad (14.3)$$

と定義すると、市場 t にいる消費者 i が企業 j から財を購入する確率は

$$P_{ijt} = \frac{\exp(V_{ijt})}{1 + \sum_{m=1}^J \exp(V_{imt})} \quad (14.4)$$

と表現できます。そこで、これを消費者について合計すれば市場 t での企業 j のシェアを得ますから、この条件からパラメタを推定できます。消費者 i について積分すればよいわけですが、消費者 i の属性は 2 種類 (D_i と v_i) ありますから、このままでは積分の計算は困難です。したがって、乱数を発生させた数値積分などを用いて評価します。

14.3.4 構造推定の限界

構造推定は、理論的な経済モデルに出てくるパラメタが実際にはどれほどの値なのかを推定するものなので、経済理論との整合性が高いのですが、限界もあります。

ひとつは、モデルについて強い仮定が必要であるという点です。効用関数や生産関数には具体的な関数を当てはめなければなりませんし、誤差項の分布関数も仮定しないとけません。上の例では効用関数は 1 次関数ですし、誤差項はタイプ 1 の極値分布に従うと仮定されています。また、企業や家計が最適問題を解いており、その均衡解が実現していると仮定されています。これらの仮定がすべて満たされていると考えることは、必ずしももっともらしいことではないかもしれませんし、推定された結果がこれらの仮定にどれほど頑健なのかは必ずしも明らかではありません。

もうひとつの実際上の問題は、計算が大変で、computer intensive であるという点です。上の例でも積分が簡単でない部分がありましたが、「パラメタを 1 つ決めてモデルを解く」を収束するま

で繰り返すという手法をとっているため、このような複雑な積分を何回も行う必要があります。そのため、計算に非常に時間がかかるといわれています。また、Stataなどのcanned packageによる推定は一般には使うことができず、C, Fortran, Matlabなどのプログラミング手法を習得する必要があります。

14.4 「実験」vs「構造」？

実験的手法と構造推定では、アプローチの考え方にずいぶんと差があるように見えます⁽⁵⁾。

実験的手法では、誤差項と相関しないような説明変数 X の動きを探してくることが重要です。実験であれば X の動きを研究者が制御して、誤差項と無相関になるように無作為割当などを用います。準実験であれば実験に似たような状況を探してきて、外生的なイベントを使って効果を識別します。いずれのケースでも、なるべく関数形の仮定を置かずに推定するほうが好ましいと考えられています。実験的手法は、労働・医療・教育・社会政策・政治といった分野で多く活用されているようです。

他方、構造推定では、誤差項に何が入っているかあやふやなのが問題であるとして、取り扱っている状況を明確・厳密に数理モデル化して分析を進めます。数理モデルに出てくる本質的なパラメタを直接推定すればよいという発想に立ち、モデル化するために関数形はすべて仮定します。この手法は、先にも述べたように、産業組織論でよく用いられています。

このように、実験的手法では関数形などの仮定をなるべく外すことを目指すのに対し、構造推定では関数形をこまかく仮定します。したがって、実験的手法から構造推定をみると、関数形や誤差項の分布についての仮定が強すぎ、影響の経路がモデルの仮定により限定されと感じられるでしょう。つまり、構造推定は内的妥当性が低いのではないかと見えるかもしれません。逆に、構造推定から実験的手法をみると、推定されるパラメタがどのような意味を持つのかが明らかではなく政策評価が難しいですし、識別に使われた実験の効果しかわからないと感じられるでしょう。つまり、実験的手法は外的妥当性が低いのではないかと見えるかもしれません。

⁽⁵⁾Journal of Economic Perspectives の2010年の特集を参照のこと。Angrist, Joshua D. and Jörn-Steffen Pischke. 2010. The credibility revolution in empirical economics: How better research design in taking the con out of econometrics. *Journal of Economic Perspectives* 24(2), 3-30. Nevo, Aviv and Michael D. Whinston. 2010. Taking the dogma out of econometrics: Structural modeling and credible inference. *Journal of Economic Perspectives* 24(2), 69-82. Einav, Liran and Jonathan Levin. 2010. Empirical industrial organization: A progress report. *Journal of Economic Perspectives* 24(2), 145-162. また、今井晋・有村俊秀・片山東. 2001. 労働政策の評価：「構造推定アプローチ」と「実験的アプローチ」, 日本労働研究雑誌 497, 14-21. も有用です。

分析手法として完全なものは存在しないようですし、実験的手法にしても構造推定にしても長所と短所がありますから、分析目的や得られるデータに応じて適切な手法を用いるべきかもしれません。政策の効果を測るには政策の水準に差がなければならず、外生性についての何らかの仮定に依存しなければならないのは実験的手法でも構造推定でも同じです。産業組織論で構造推定がよく用いられるのは、この分野では経済理論が当てはまる部分が多いからであり、労働や医療といった分野ではそうでないからこそ実験的手法がよく用いられるのかもしれない。

第15章 [補論] 最小2乗法等の基本的な推定方法

ここでは、費用便益分析の際によく用いられる計量経済学的な手法の基本的な部分について復習します。経済学分野でいまのところよく用いられる統計的手法は回帰分析であり、そのなかでも最小2乗法がよく使われますが、費用便益分析ではそのほかに離散選択モデルも活用されます。そこで離散選択モデルの最も基本的な手法のひとつであるロジット・プロビットモデルについても説明します。

15.1 最小2乗法

15.1.1 回帰分析とは

回帰分析は、ある変数 X が他の変数 Y に与える効果を分析する手法の一つです。一般に、 Y に影響する他の変数ベクトルを Z として、

$$Y = f(X; Z) \tag{15.1}$$

と表されます。回帰分析で用いるモデルのうち、変数 X と変数 Y の線形の、すなわち1次関数で表される関係に注目したモデルを線形回帰モデル (linear regression model) と呼びます。1次関数ですから、変数 X の係数は傾き (slope) と呼ばれ、 X の1単位の変化が与える Y の変化の大きさを表します。統計的に考えると、この傾きも (X, Y) の同時分布の特性値の1つです。1次関数で表される関係に注目しているからと言って、変数 X と変数 Y の「真の」関係が線形であることはほとんどありません。利用できるデータに制約があることから、近似的な関係を調べていると考えるとよいでしょう。また、2次関数や対数関数を使って変数を変形したものの線形関数についても線形回帰モデルは利用されます。いかでは、 (X, Y) の無作為標本があるときの統計的推測について考えます。ここでいう統計的推測とは、傾きの推定 (estimation)、仮説検定 (hypothesis test)、信頼区間の形成 (confidence interval) のことです。 (X, Y) の無作為標本がないときにはよ

り複雑な統計手法が必要になりますが、それらはおおむね、無作為標本があるときの手法を発展させたものです。

15.1.2 線形回帰モデル

一般的に、説明変数が1つの線形回帰モデル（単回帰モデル）は

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15.2)$$

と表されます。ここで、 Y_i を被説明変数 (dependent variable)、 X_i を説明変数 (explanatory variable, regressor) あるいは独立変数 (independent variable) と呼びます。定数項も説明変数に含むこともあります。 $\beta_0 + \beta_1 X$ は回帰線 (population regression line (function)) と呼ばれ、所与の X に対応する平均的な Y の値を示す関数です。この関数の β_0 を切片 (intercept) と呼びます。切片は $X = 0$ のときの平均的な Y の値を示しますが、経済的に意味のない数値の場合もあります。 β_1 が傾き (slope) です。 β_0 とあわせて、パラメタ (parameter) や係数 (coefficient) とも呼ばれます。 u_i は誤差項 (error term) です。 Y_i に影響する「その他の要因」を代表する確率変数で、平均的な値 ($\beta_0 + \beta_1 X_i$) と実現値 (Y_i) の差を説明し、 X_i 以外のすべての要因を含みます。

もし、 β_0 と β_1 の真の値がわかっていたら、 X_i と u_i の実現値に応じて Y_i の値を計算できます。しかし、実際に手許にあるデータは (X_i, Y_i) の（無作為抽出）標本だけであり、ここから β_0 と β_1 を推測する必要があります。もう1つの確率変数 u_i についても実現値がわかっていないことに注意しましょう。もちろん厳密に言えば、 (X_i, Y_i, u_i) が線形の関係にあるかどうかはほんとうは定かではありませんが、ここでは1次関数を仮定しているので、関数の形についてはこれ以上考えないことにします。すなわち、線形回帰モデルにおける統計的推測とは、もし (X, Y, u) が上の式を満たす確率変数の組だとすれば、係数の値はいくつか、を推測することにほかなりません。 β_0 と β_1 の真の値を標本から統計的に推測することになりますから、仮説検定や信頼区間の形成という手続きが可能となります。問題は、 β_0 と β_1 の真の値をどのように推測するのか、という点にあります。

15.1.3 最小2乗推定

線形回帰モデルのもっとも有名な推定量の1つが最小2乗推定量です。最小2乗推定の基本的な考え方は、データになるべく「近い」ような回帰線を描き、それを推定値とすることにあります。

す。ここで、「近さ」は X が与えられたときの Y の予測値と実現値の差の 2 乗の和で測ります。

最小 2 乗推定はしばしば OLS (Ordinary Least Squares) 推定と省略されて呼ばれます。ここでは得られた推定量を $(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1)$ で表します。このとき、OLS 推定値を用いて描かれる回帰直線

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X \quad (15.3)$$

を OLS regression line と呼びます。また、所与の X_i に対する回帰直線上の点のことを予測値、あるいは当てはめ値 (fitted value) と呼びます。当てはめ値は X_i に対する Y の平均的な値を与え、一定の条件のもとでは、 X_i で条件付けられた Y_i の期待値に対応します。当てはめ値は

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i \quad (15.4)$$

で表されます。各観測値の実現値 Y_i と当てはめ値 $\hat{Y}_i$ の差を残差 (residual) と呼びます。すなわち残差は、

$$\hat{u}_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (15.5)$$

で与えられます。誤差 (error) とは異なる概念であることに注意しましょう。誤差が真のパラメタに対応するその他の要因の、いわば真の値であって観測できないのに対し、残差は推定値から計算される値です。

OLS 推定量も確率変数です。これは、標本平均が確率変数であるのと同じことです。確率的な要素は、母集団から標本を抽出するところで発生しています。それゆえ、同じ母集団であっても標本が異なれば OLS 推定値は異なった値をとりますし、OLS 推定量について平均や標準偏差を考えることができます。ややこしいのは、実際には母集団から標本をいくつも抽出して OLS 推定値をいくつも計算するという手続きは行われないことです。しかし、1 つしか計算されない OLS 推定値を評価するとき、この推定値が確率分布を持つ確率変数の実現値のひとつであると考えて検定や信頼区間の形成を行います。

15.1.4 最小 2 乗推定量の定義

説明変数が 1 つの線形回帰モデルである単回帰モデルでは OLS 推定量は以下のように定義されます。いま、 (β_0, β_1) の最小 2 乗推定量を (b_0, b_1) と書きます。このとき、OLS 回帰直線は $b_0 + b_1 X$ と

なり, $X = X_i$ のときの Y の予測値は $b_0 + b_1 X_i$ で与えられますから, 実現値との差は $Y_i - (b_0 + b_1 X_i)$ となります. したがって, 最小化すべき二乗和は,

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - b_0 - b_1 X_i)^2 \quad (15.6)$$

となり, この 2 乗和についての最小化問題の解 (b_0, b_1) が OLS 推定量になります. 2 乗和の最小化の 1 階の必要条件は微分してゼロと置くことです. b_0 と b_1 について微分してゼロと置くと, 1 階の条件として連立 1 次方程式を得ることができます. 未知数が (b_0, b_1) の 2 個で条件式が 2 個ありますから, 一般に解は一意に定まります.

Stata や Eviews といった統計ソフトウェアでは行列を用いてこの連立方程式を解いていますが, 計算したいことは変わらないので, これ以上の説明はここではしません. また, OLS 推定量の標準誤差 (標準偏差の推定量) の計算方法についても省略します.

15.1.5 線形重回帰モデル

単回帰モデルはある変数 X が他の変数 Y に与える効果を分析する手法のひとつですが, 変数 Y は変数 X 以外の要因からも影響を受けているかもしれません. そのようなときには, 変数 X の影響として検出された大きさ (傾き β_1 の推定値 b_1 の大きさ) は, 変数 X の影響を過大にあるいは過少に評価しているかもしれません (省略変数バイアス missing variable bias). このような評価の偏りを減らす 1 つの方法が, 単回帰モデルを拡張して説明変数の数を増やす方法です. このようなモデルは重回帰モデルとも呼ばれます. 重回帰モデルでは, 注目している変数 X_1 以外の説明変数 $X_{2i}, X_{3i}, \dots$ の値を一定に保ったときの X_{1i} の Y_i への効果を推定します.

まず, 説明変数が 2 個 (X_{1i}, X_{2i}) のケースを考えましょう. 線形の重回帰モデルは,

$$\underbrace{E[Y_i | X_{1i} = x_1, X_{2i} = x_2]}_{\text{条件付き期待値}} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (15.7)$$

と表すことができます. 単回帰モデルと同様に, β_0 は切片 (intercept) あるいは定数項 (constant), β_1, β_2 は X_{1i}, X_{2i} の傾き (slope) あるいは係数 (coefficient) と呼ばれます. X_{1i}, X_{2i} は独立変数 (independent variable), 制御変数 (control variable), 説明変数 (explanatory variable) と呼ばれます.

説明変数に入っていない決定要因を誤差項を用いて表すと, 各観測値 i に対して

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15.8)$$

と書くことができます。つねに 1 をとる変数 X_{0i} ($X_{0i} = 1 \forall i$) を考えると

$$Y_i = \beta_0 X_{0i} + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15.9)$$

と書き直すことができますから、説明変数が 3 つあるモデルと言うこともあります。

より一般的には、 k 個の説明変数を持つモデルを

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

と書きます。重回帰モデルにおける統計的推測とは、実際に手許にあるデータは $(Y_i, X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki})$ の（無作為抽出）標本だけであるときに、 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ を推測することになります。このモデルでの OLS 推定は単回帰モデルの推定を拡張したものです。すなわち、 $(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ の最小 2 乗推定量を $(b_0, b_1, b_2, \dots, b_k)$ とするとき、OLS 回帰直線は $b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k$ となり、 $(X_1, X_2, \dots, X_k) = (X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki})$ のときの Y の予測値は $b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki}$ で与えられますから、実現値との差は $Y_i - (b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki})$ となります。したがって、最小化すべき二乗和は、

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - (b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki}))^2 \quad (15.10)$$

となり、この 2 乗和についての最小化問題の解 $(b_0, b_1, b_2, \dots, b_k)$ が OLS 推定量になります。

15.1.6 最小 2 乗推定的前提

最小 2 乗推定の基本的な考え方は、「近さ」を X が与えられたときの Y の予測値と実現値の差の 2 乗の和で測り、データになるべく「近い」ような回帰線を描き、それを推定値とすることにあります。このような推定方法が望ましいものであるとするためには、「望ましい」とはどういうことか、どういう前提のときに望ましいのか、を明らかにしておく必要があります。

回帰分析では、「望ましさ」の基準は不偏性 (unbiasedness)、一致性 (consistency)、有効性 (efficiency) によって定義されます。不偏性とは推定量の期待値が真の値に等しいこと、一致性とは推定量が真の値に確率収束すること、有効性とは不偏推定量のうちで標準誤差が小さいことを言います。不偏性と一致性は、推定値が真の値に近い、という意味では似たようなところがありますが、違う概念です。一致性とは、サンプルサイズが大きくなると真の値から外れた推定値が出てくる確率が小さくなっていくということを意味していますから、推定量の分布によっては一致性があっても不偏性がないことがあります。

OLS 推定量は、標本が無作為抽出標本で、以下に述べるような前提を満たすときに不偏性・一致性を持つことが知られています。証明は計量経済学の教科書に出ているので省略します。OLS 推定量がある前提を満たすときに不偏性・一致性を持つということは数学的な事実ですから、応用するときに大切なのは、手元にあるデータがこの前提を満たしていると考えてよいかどうか、ということになります。この前提が満たされていなくても、計算によって OLS 推定量自体は求めることができますが、求められた値が知りたい真の値に近いとは限りません。以下に述べる前提が何を意味するかを知っておくことは、OLS 推定量をどのようなときに用いればよいか、どのようなときには用いにくいのか、を判断するうえで必要なことです。

さて、OLS 推定量が一致性を持つために母集団と標本が満たすべき条件は以下の 4 つです。

- [1] 説明変数を所与としたときの誤差項の条件付分布の平均がゼロ
- [2] 各観測値の分布は i.i.d.
- [3] 説明変数と誤差項の 4 次モーメントは有限
- [4] 完全な多重共線性 (perfect multicollinearity) がない

2 番めの条件は標本についての条件で、それ以外は母集団についての条件なのですが、母集団から抽出した標本しか手許にないので、手許のデータがこれらの 4 条件を満たしているかどうかを考える必要があります。もし、手許にあるデータ (標本) がこれらの仮定を満たしていれば、OLS は望ましい性質を持つ推定量となります。以下ではそれぞれの条件について説明を加えておきましょう。

仮定 1: $E[u_i|X_i] = 0$

説明変数 X_i を所与としたときの誤差項 u_i の条件付分布の平均がゼロという条件は、誤差項 u_i が表している「その他の要素」についての仮定です。条件付き分布の平均が説明変数の値によらずゼロということは、誤差項と説明変数のあいだに関係はないことを意味しています。単回帰モデルで横軸に X 、縦軸に Y をとった散布図と回帰直線を書いてみると、観測値は真の回帰線の周囲に均等に分布することになります。誤差項の条件付き分布の平均がゼロなのですから、説明変数 X_i を所与としたとき、 Y_i の条件付期待値は真の回帰直線上に並ぶともいえます。

条件付き期待値がゼロであれば共分散もゼロです。

$$E[u_i|X_i] = 0 \implies \text{corr}(X_i, u_i) = 0 \quad (15.11)$$

ただし、逆は必ずしも成り立たないから、説明変数と誤差項の相関がゼロだからといって誤差項の条件付き期待値がゼロになるとは限りません。しかし、対偶は成り立ちますから、説明変数と誤差項に相関があれば誤差項の条件付き期待値はゼロになりません。それゆえ、この条件が実際に成り立っているかどうかを考えるとときには、説明変数と誤差項の相関で考えてもよいことになります。

この仮定1の条件を直交条件 (orthogonality condition) といい、直交条件が成り立っている説明変数は外生である (exogenous) といいます。逆に条件が満たされていないとき、説明変数は内生である (endogenous) といいます。外生・内生という言い方は連立方程式における外生・内生変数からきたものですが、回帰モデルでは推定式が連立方程式かどうかにかかわらず、外生・内生という表現を使います。

この条件が実際に成り立っているかどうかには慎重な検討と判断が必要です。無作為割当実験では、政策変数である X は無作為に割り当てられていますから、当然に誤差項とは独立で、相関しません。しかし非実験データでは、誤差項 u_i は選好等の観測できない要因を多く含んでいますから、説明変数 X と無相関とは限りません。

仮定2: (X_i, Y_i) は i.i.d.

各観測値の分布が i.i.d. (independently and identically distributed), すなわち独立に同一の分布に従うという仮定は、標本抽出の方法についての仮定です。官庁統計の作成のときに使われているような無作為抽出のときには、ほぼ成り立っていると考えてよいでしょう。

以下のようなときには必ずしも成り立っていないと考えられます。たとえば経済学分野ではあまりないことですが、 X_i が実験の一部として設定されており、意図的な割り振りが行われているときです。費用便益分析を行うときによりありそうなケースとしては、同じ主体の通時的変化を追っている時系列データを使うケースです。時点が近ければ、各観測値は相関を持つ可能性が高く、独立に分布しているとは言えません。そのようなときには特別な扱いが必要になります。ある時点での横断的なデータを集めたクロスセクションデータでも、地理的に近いところでは同じようなことが起きている、といったときにはこの仮定は成り立っていないかもしれません。

仮定 3: $0 < E[X_i^4], E[u_i^4] < \infty$

説明変数 X_i と誤差項 u_i が有限の 4 次モーメントを持つという仮定は、変数の散らばりについての仮定です。有限の 4 次モーメントを持たなければ変数の散らばりは非常に大きなものになりますから、この仮定は極端な外れ値を持たないということを意味しています。正規分布の 4 次モーメントは有限です。

数学的には、OLS の検定統計量の大標本近似を正当化する仮定であり、中心極限定理を適用するために必要な仮定です。推定の際は有限個の観測値しか手許にないので、標本 4 次モーメントは有限の値しかとりません。したがって、この仮定が成立しているかどうか確認するのは困難であり、その意味では証明のための数学的・技術的仮定ともみなせます。じっさいの推定においては、成立しているものとして扱うことがほとんどです。

仮定 4: 完全な多重共線性がない

完全な多重共線性がないという仮定は、説明変数の相関についての仮定です。完全な多重共線性があるとは、ある説明変数が他の説明変数の完全な線形関数になっていることを言います。ここで「説明変数」には定数項を含みますから、サンプル内で一つの値しかとらない説明変数は定数項と完全な多重共線を起こしていることになります。

完全な多重共線性があるとき OLS 推定量は定義できません。推定値の計算の過程で逆行列が存在せずに計算が止まってしまう、いわば「ゼロで割る」ことになるからです。Stata 等の統計ソフトウェアでは、完全な多重共線性があるときには多重共線を起こしている変数のいずれかを自動的に落として計算を進めるか、「計算できない」というエラーメッセージを返します。いずれにしても意図していた推定式そのものは推定できませんから、仮定が満たされていないことにはすぐに気が付きます。

完全な多重共線性が発生するのは以下のケースが多いようです。ひとつは本質的に同義の変数が入っているケースです。割合とそれを 100 倍したパーセント表示の変数を両方とも説明変数に加えてしまうケースがこれにあたります。いまひとつは、ダミー変数 (dummy variable, indicator variable) を用いるときにサンプルのなかで定数項と区別できないケースです。また、カテゴリを表すダミー変数を使うときに、カテゴリの数と同じだけのダミー変数を使ってしまい、定数項と多重共線を起こすこともあります。

完全な多重共線性があればそもそも推定ができないのですが、「不完全な」多重共線性があるときには対処法はいろいろのようです。不完全な多重共線性とは説明変数間に高い相関があることを言います。分野によってはなんらかの統計量を使って不完全な多重共線性を検出し、説明変数を選択したり加工したりすることもあるようです。ただし、OLS 推定において不完全な多重共線性の存在は理論的にはとくに問題はありません。むしろ、潜在的に相関のある説明変数があるときに、それぞれの単独での効果を抽出するための分析手法が OLS 推定であり、説明変数間の相関がゼロであれば、係数の推定量の分散は大きくなりますが、一致性は失われませんから単回帰で十分なはずで、とはいえ、不完全な多重共線があるときには係数の標準誤差が大きくなる傾向があり、係数が不安定になったり、帰無仮説を棄却するケースを見つけやすくなったりします。なので、説明変数間に高い相関があり、その説明変数が似たような意味を持つ変数であれば、どちらかは使わないほうがいいかもしれません。

15.1.7 係数についての仮説検定

OLS 推定量が得られるあと、仮説検定を行うのが一般的です。統計的仮説検定は、帰無仮説の設定、検定統計量の計算、p 値の計算、という手続きをとります。検定統計量については帰無仮説が正しいときの確率分布が分かっていますから、実際に計算した検定統計量の値が考えにくい（p 値が低い）ものであれば、帰無仮説を棄却します。

OLS 推定量についてもいくつかの仮説検定がありえますが、最もよく用いられるのは 1 つの係数の値についての仮説検定であり、しばしば帰無仮説として「傾きがゼロである」が設定されます。傾きがゼロであれば対応する説明変数は被説明変数と相関していないことになりますから、帰無仮説が棄却されればその説明変数が何らかの影響を持っていることを示唆することになります。この仮説検定は以下の手続きに沿って行います。

[1] まず、帰無仮説・対立仮説を設定します。検定したい傾きを β_1 とすると、

$$H_0 : \beta_1 = \beta_{1,0} \quad \text{v.s.} \quad H_1 : \beta_1 \neq \beta_{1,0} \quad (15.12)$$

となります。 $\beta_{1,0} = 0$ は分析する人が設定する定数であり、しばしば $\beta_{1,0} = 0$ とします。

[2] OLS 推定量 $\hat{\beta}_1$ の標準誤差 ($\text{SE}(\hat{\beta}_1)$) を推定します。標準誤差は推定量の標準偏差に対応す

る標本統計量で置き換えたものです。証明は省略しますが、推定量の標準偏差は

$$\sigma_{\hat{\beta}_1}^2 = \frac{1}{n} \frac{\text{var}[(X_i - \mu_X)u_i]}{(\text{var}[X_i])^2} \quad (15.13)$$

なので、標準誤差は以下で計算されます。

$$\text{SE}(\hat{\beta}_1) = \sqrt{\hat{\sigma}_{\hat{\beta}_1}^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \frac{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \hat{u}_i^2}{[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2]^2}} \quad (15.14)$$

[3] t 値を算出します。この検定では t 値が検定統計量であり、

$$t = \frac{\text{推定量} - \text{仮説の値}}{\text{推定量の標準誤差}} = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_{1,0}}{\text{SE}(\hat{\beta}_1)} \quad (15.15)$$

で求められます。

[4] p 値を算出します。p 値は帰無仮説を棄却できる有意水準の最小値であり、t 値は帰無仮説が正しいときに漸近的に標準正規分布に従うことが分かっているので、

$$p = \Pr_{H_0}(|Z| > |t|^{\text{act}}) = 2\Phi(-|t|^{\text{act}}) \quad (15.16)$$

と求められます。p 値は、帰無仮説が正しいとしたときに、得られた値よりも「離れた」値が得られる確率と考えることもできます。

15.1.8 説明変数選択の理論と実際

ここまでの説明はデータの存在と推定式はすでに決まったものとして説明をしてきました。しかし実際には推定式をどのようにするかを決めるところから始めなければなりません。用いるデータが決まったとしても推定式は唯一に定まらず、考える推定式はいくつもあることについては後述します。ここではどの変数（データ）を用いるべきかについて考えましょう。

説明変数の選択については、理論的には、省略変数バイアスが存在するのなら省略された変数を説明変数に追加すればよい、ということに尽きます。しかし、省略されているどの変数がバイアスをもたらすのかは「真のパラメタの値」が分かっている状態では判断できませんし、ありとあらゆる変数が省略変数バイアスをもたらす可能性を持つ以上、判断が難しいのが実情です。そこで、説明変数の選択は以下のような手続きで進めるのが一般的です。

まず、基本となる説明変数を決めておき、基本ケース（base specification）の定式化とします。基本となる説明変数としては、注目していて外せない変数、経済理論やデータの収集方法から必要と判断される変数、先行研究や expert judgement から使うべきと判断される変数を選びます。

次に、外せないと言えないものの重要かもしれないと考えられる変数をリストアップし、その組合せを追加した定式化を拡張ケース（alternative specifications）とします。このときにどのような変数を追加すべきかについて、経済理論が何らかの示唆を持っていることは稀で、データの収集方法や先行研究等を参考にすることがほとんどです。拡張ケースは1つだけではなく、数個用意するのが一般的です。そのうえで、基本ケースでの係数推定値と拡張ケースの係数推定値を比較し、得られた係数推定値に大きな変化がなければ基本ケースには省略変数バイアスがなかったと判断します。このとき、「頑健な robust」結果が得られた、などといいます。論文での結果報告には基本ケースと拡張ケースの両方を掲載します。もし得られた係数推定値が大きく変化するとすれば、省略変数バイアスが発生していたと考えられるので、変数を追加したものを基本ケースとして、ふたたび拡張ケースを設定します。

このように、基本ケースと拡張ケースの設定はループのようになっており、試行錯誤をして決めていくことになります。また、選好のような、必要と思われる変数が手許にないこともしばしばであり、そのようなときには、基本ケースと拡張ケースで係数推定値が似ていたとしても、省略変数バイアスが残っている可能性を否定できません。

15.1.9 非線形関数の回帰分析

ここまでは、被説明変数に対して説明変数が1次関数になっている推定式のみを考えてきましたが、このような推定式では被説明変数が説明変数の非線形関数であるときの推定はできません。しかし、重回帰分析は係数と誤差項について1次関数であれば実行できますから、その限りにおいて説明変数が非線形関数であっても推定を行うことができます。具体的には、対数関数と多項式関数、とくに2次関数がよく利用されます。つまり、回帰分析の推定式

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \cdots + \beta_k X_{ki} + u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15.17)$$

について、 $\ln X_{1i}$ や X_{1i}^2 を X_{1i} とみなして推定を行います。

観測値数がそれほど多くないときにはなるべく簡単な推定式を設定することが一般的ですから、このような非線形関数が採用されるのは、 X_1 の変分 ΔX_1 に対する Y の変分 ΔY が定数ではない

ことが強く推測されるばかりです。たとえば、 X_1 が増加するにしたがってその効果 ΔY が逓減すると思われるケースなどです。

説明変数と被説明変数の関係を

$$Y_i = f(X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki}) + u_i \quad (15.18)$$

と書いておくと、知りたい値は説明変数 X_1 の変分 ΔX_1 に対する被説明変数 Y の変分

$$\Delta Y = f(X_1 + \Delta X_1, X_2, \dots, X_k) - f(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (15.19)$$

ですから、推定された係数を用いると、

$$\Delta \hat{Y} = \hat{f}(X_1 + \Delta X_1, X_2, \dots, X_k) - \hat{f}(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (15.20)$$

となります。非線形関数を用いるときには、係数推定値だけではなく、この $\Delta \hat{Y}$ についても報告することが好ましいようです。ただし、説明変数 X_1 と被説明変数 Y がともに対数変換されているときには対応する係数は弾力性と解釈されるので、解釈の簡単化のために対数-対数の定式化を用いることもあります。

15.2 回帰分析の評価

回帰分析は説明変数と被説明変数のデータがあれば実行することができますが、その結果が信頼できるものなのかどうかはさまざまな要因に規定されます。ここで「信頼できる」とは、用いている推定量が独立変数（説明変数）から被説明変数への因果関係を見るのに有用な推定量だ、という意味で用いられています。回帰分析では因果関係を完全に識別することはできませんが、相関関係というよりはむしろ因果関係を念頭に置きます。

一般に、統計的手法を用いた実証分析の評価は、内的妥当性（internal validity）と外的妥当性（external validity）が満たされているかを基準とします。内的妥当性と外的妥当性がどのような概念であるかについては先に述べましたので省略します。ここではとくに内的妥当性に注目します。内的妥当性とは検討の対象としている母集団について、因果関係についての統計的推測が適切であることを意味しますが、回帰分析が内的妥当性を持つとは具体的に、(1) 因果関係の大きさを示すものとして得られた推定量が不偏性と一致性を持つこと、(2) 仮説検定が所望の有意水準を持ち、信頼区間が所望の信頼水準を持つ（標準誤差が正しく求められる）ことを言います。

先に述べたように OLS 推定が一致性をもつためにはいくつかの前提が必要でしたから、これらの前提が満たされなければ OLS 推定は一致性を持たず、内的妥当性を持ちません。ですから、OLS 推定量が内的妥当性を持つかどうかを調べなければ、これらの前提、すなわち、(1) 誤差項の条件付き期待値がゼロ、(2) 観測値の分布が i.i.d., (3) 有限の 4 次モーメント、(4) 完全な多重共線性が発生していない、を確認すればよいことになります。実証分析にあたっては、とくに以下の 5 つのケースで前提 (1) が満たされません。また、誤差項に相関があるときには標準誤差が正しく求められないことが知られています。

Omitted variables すでに重回帰モデルのところで述べましたが、被説明変数に影響を与え、かつ、誤差項と相関する説明変数が省略されていると、その他の説明変数の係数の推定量は一致性を持ちません。この現象を、省略変数の影響を「拾ってしまう」などということがあります。理想的な対処方法は、省略された説明変数のデータを集めて説明変数として追加することですが、さまざまな要因でデータとして入手できないこともあります。

Misspecification of the functional form 推定式の関数の定式化を間違えると、係数の推定量は一致性を持ちません。たとえば、真の関係が 2 次式であるのに 2 次項を説明変数に加えないで 1 次関数として推定してしまうと、1 次項の係数が偏りを持ちます。これは、2 次項が省略変数になっているとも解釈できます。被説明変数と説明変数の真の関係は 2 次式どころかもっと複雑なものである可能性もありますから、実際には、いくつかの関数形を推定して結果が大きく変わらなければ、定式化の誤りの可能性は低いものとして扱います。

Errors in variables / measurement error 説明変数のデータに観測誤差があるとき、内的妥当性が失われます。ただし、被説明変数について観測誤差があり、かつその誤差がランダムであれば、その誤差は誤差項に含まれてしまうので、内的妥当性は失われません。説明変数の観測誤差がランダムであるとき、その説明変数の係数は真の値よりもゼロに近く推定されます。これを希釈バイアスと呼びます。しかし、観測誤差がランダムであるとは限らないことには注意する必要があります。

Sample selection 標本（サンプル）が母集団からの無作為抽出標本ではなく、被説明変数の値によって観測値が選択されているとき、係数の推定量は一致性を持ちません。被説明変数の値に関係なく観測値が選択されるのなら偏りは発生しません。有名な例は賃金関数の推定です。賃金は働いている人についてしか観測できませんから、働いている（職がある）という

ことに影響する変数が賃金にも影響していれば、その変数の係数は一致性を持つては推定されません。もし適切な他の変数のデータがあれば、最尤法や、Heckman の標本選択モデルを用いて推定することができます。

Simultaneous causality 説明変数から被説明変数への因果関係だけでなく、被説明変数から説明変数への因果関係が存在するとき、その説明変数の係数の推定量は一致性を持ちません。この関係は数学的には連立方程式（同時方程式）で表現されることから、この偏りのことを同時（方程式）バイアスと呼ぶことがあります。対処方法としては、適切な他の変数を用意した操作変数法があります。もちろん、因果関係を測定するための実験データを集めることも対処方法のひとつです。

15.3 質的変数モデル

費用便益分析では OLS もよく使われますが、質的変数モデルもしばしば用いられます。質的変数モデルとは、質的な選択あるいは有限個の選択の結果を表す変数を被説明変数とする回帰分析のことを指し、費用便益分析のためのアンケート等ではしばしば多岐選択式の設問を置くことから、その分析のために用いられます。質的選択とは典型的には yes/no の選択であり、交通手段や金融手段のような量的でない選択を表します。一般には有限個の少ない値をとり、分析上はそれらに整数値が与えられます。2 値変数（binary variable）はその一例です。3 個以上の値をとりうる時、それらに順序がある（ordered）ときとない（multinomial）ときがあります。たとえば、金融市場で用いられる格付けは有限個の値をとり、かつ、その値には意味のある順序を与えることができます。他方、飛行機・新幹線・バスといった交通手段の選択は同じように有限個の選択肢からの選択ですが、選択肢に意味のある順序をつけることは一般にはできません。質的変数モデルでは順序があるときもないときも扱いますが、ここではより扱いの簡単な 2 値変数を被説明変数とする回帰分析のみを取り上げます。

被説明変数に 2 値変数を用いるとき、一般には 0 と 1 の値をあてはめ、説明変数の大きさが変化すると 1 を取る確率がどれほど変化するかを推定します。0 と 1 という値自体に意味はないことがほとんどですし、被説明変数は 0 と 1 以外の値は取らないのですから、被説明変数が連続変数であることを想定している通常の重回帰分析は利用できないように思えます。じっさい、2 値変数が被説明変数であるときにはロジットやプロビットと呼ばれる後述するモデルがよくつかわれるのですが、じつは重回帰モデルを用いることもできます。

15.3.1 線形確率モデル

被説明変数が2値変数のときの線形の重回帰モデルを線形確率モデル (Linear Probability Model) といいます。推定式自体は通常の重回帰モデルと同一で、重回帰モデルと異なる点は被説明変数が0と1以外の値を取らないことです。このときも回帰直線を考えることができますが、この回帰直線は説明変数で条件付けられた被説明変数が1の値をとる確率を表します。したがって、当てはめ値は被説明変数が1となる確率の予測値を表し、説明変数の係数は説明変数が1単位変化したときの被説明変数が1となる確率の変化分を表します。

推定手続きは通常のOLSと変わらないので、 t 値・ F 値・信頼区間の形成等は通常のOLSと同様に行うことができます。ただし、被説明変数が一直線上に並ぶことはありえないので、 R^2 は使えません。

欠点は、この回帰直線が0より下に伸びたり、1より上に伸びたりする点です。回帰直線は確率を表すはずなので、確率が0と1の間の数値しか取らないことと整合的ではありません。したがってとくに確率の予測値が0や1に近いときにはもっともらしい議論になりません。そこで、当てはめ値や回帰関数が0と1のあいだに収まるような非線形の定式化を考える必要があります。

15.3.2 プロビットとロジット

被説明変数が2値変数のときによく用いられる非線形の回帰手法がプロビット (Probit) モデルとロジット (logit) モデルです。いずれも確率分布関数を利用し、期待値 (予測される確率) が0と1の間に収まるような定式化がされています。プロビットモデルは標準正規分布 (Φ)、ロジットモデルはロジスティック (logistic) 分布を使用します。いずれのモデルも、被説明変数が3つ以上の有限個の値を取りうる多岐選択モデルに拡張可能です。計算の容易さから言うとプロビットは順序モデルへ、ロジットは順序のないモデルへ拡張しやすいのですが、計算機の発展によって、どちらがどうということはないようになって、むしろそれぞれのモデルの持つ仮定によって使い分けられているようです。

プロビットモデル

プロビットモデルは標準正規分布を用いて説明変数で条件付けられた被説明変数が1の値をとる確率を表します。たとえば説明変数が1つのとき、被説明変数が1を取る確率は

$$\Pr(Y = 1|X) = \Phi(\beta_0 + \beta_1 X) \quad (15.21)$$

と表します。 $\beta_0 = -2, \beta_1 = 3, X = 0.4$ であれば、 $\Phi(-2 + 3 \times 0.4) = \Phi(-0.8) = 0.21$ となり、 $Y = 1$ となる確率は21%です。 $\beta_1 > 0$ であれば、 X が大きくなれば $Y = 1$ の確率が高くなりますし、 $\beta_1 < 0$ であれば、 X が大きくなれば $Y = 1$ の確率が低くなります。ただし、標準正規分布関数は複雑な非線形関数なので、これ以上の直接の係数の解釈は難しいでしょう。そこで係数の大きさを直観的に表すために、 X の条件付確率 $\Pr(Y = 1|X)$ や、その変化の大きさを計算して解釈します。また、説明変数がひとつならS字型の図を書くのもよいかもしれません。

説明変数が2個以上のときも同様に定式化します。たとえば説明変数が2個あるときには

$$\Pr(Y = 1|X_1, X_2) = \Phi(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2) \quad (15.22)$$

と表されます。ここで、 $\beta_0 = -1.6, \beta_1 = 2, \beta_2 = 0.5, X_1 = 0.4, X_2 = 1$ であれば、 $\Phi(z) = \Phi(0.3) = 0.38$ となり、 $Y = 1$ の確率は38%となります。係数の大きさを評価するためには、 $\Pr(Y = 1|X_1, X_2)$ の値がどれほど変化するかを示す必要があります。そこで、もとの値 X での当てはめ値を求め、少し変化させた値 $X + \Delta X$ での当てはめ値を求め、2つの当てはめ値の差を計算するという手続きを取ります。Stataなどの統計ソフトウェアではこの手続きを行うコマンドが用意されています。

ロジットモデル

ロジットモデルはロジスティック分布を用いて説明変数で条件付けられた被説明変数が1の値をとる確率を表します。被説明変数が1を取る確率は

$$\Pr(Y = 1|\mathbf{X}) = F(\mathbf{X}|\beta) = \frac{1}{1 + \exp(-\mathbf{X}\beta)} \quad (15.23)$$

と表されます。説明変数の係数の符号と確率の動く方向の関係はプロビットと同じです。計算が比較的容易なため、歴史的にはロジット回帰のほうがよく使われてきましたが、今では計算はほとんどすべて統計ソフトウェアが行ってくれますから、2値選択モデルでのロジットモデルの計算上の優位性はあまりありません。

比較

これで、被説明変数が2値変数のときの推定方法が3つあることになります。これらの推定方法のうちどれを用いるのがよいのでしょうか。

線形確率モデルとプロビットモデルとロジットモデルでは、モデルの設定が異なるので説明変数の係数の推定値は異なる値となります。しかし、 $\Pr(Y = 1|X)$ が0と1の近辺でなければ、いずれの推定も同じような限界効果 (marginal effect), すなわち $\partial \Pr(Y = 1|X) / \partial X$ を算出します。したがって、とくにプロビットとロジットでは、どちらを用いるべきかについて明確な指針はありませんし、どちらを使っても結果に大差はありません。ただし、確率効用モデルのような理論モデルが背景にあるときにはロジットモデルを使う、といったように、とくにどちらかに正統性があるときもあります。

15.3.3 最尤推定

プロビットモデルとロジットモデルは、係数について非線形の推定式になっているので最小2乗推定によって推定することはできません。これらのモデルは最尤法 (ML, Maximum Likelihood) によって推定します。定式化が正しければ、最尤法による推定量は一致性を持ち、漸近的に正規分布に従います。推定値とその標準誤差 (分散共分散行列) が得られれば、t値・F値・信頼区間の形成は最小2乗推定と同じように行うことができます。さらに、統計ソフトウェアでの扱いもOLSとほぼ同様です。たとえばStataでは、OLSのコマンドである `regress` をそのまま `probit`, `logit` と書き換えれば推定が可能です。

最尤法とは、未知の推定したい係数の関数として書かれたデータの同時確率分布である尤度関数 (Likelihood function) を最大化する値を係数の推定値とする推定手法です。プロビット・ロジットを考える前に、ベルヌーイ試行を考えてみましょう。いま、表の出る確率が必ずしも0.5でないコインを2回振ることを考えます。2回の結果を確率変数 Y_1, Y_2 で表し、表が出る確率を確率 p とします。2回のコイン投げの結果はベルヌーイ試行の実現値であり、2つの変数 Y_1, Y_2 は互いに独立に同じ分布 (i.i.d.), つまり確率 p のベルヌーイに従うと考えることができます。ここで、確率変数 Y_1, Y_2 が従う確率分布の形状は既知 (ベルヌーイ分布) ですが、そのパラメタ (p) が未知であることに注意しましょう。いま、パラメタ p が決まれば、手許にある値が実現する確率を計算することができます。当然、その確率はパラメタ p の値によって異なります。このとき、手許にある値を実現させる確率を最大にするような p を選ぶというのが最尤推定の考え方です。この例では

具体的には、2回の試行結果が i.i.d. であることから、 $(Y_1 = y_1, Y_2 = y_2)$ となる確率は

$$\begin{aligned}\Pr(Y_1 = y_1, Y_2 = y_2) &= \Pr(Y_1 = y_1)\Pr(Y_2 = y_2) \\ &= (p^{y_1}(1-p)^{1-y_1})(p^{y_2}(1-p)^{1-y_2})\end{aligned}\quad (15.24)$$

と書くことができます。このように、手許にある状況が実現する確率は、パラメタ p と実現値 (y_1, y_2) の関数となります。 (y_1, y_2) は観測できることに注意しましょう。この関数をパラメタ p の関数と見たものを尤度関数と呼ぶ。すなわち、

$$\text{尤度} = L(p; y_1, y_2) = (p^{y_1}(1-p)^{1-y_1})(p^{y_2}(1-p)^{1-y_2}) \quad (15.25)$$

となります。このとき、 p の最尤推定量はこの尤度 $L(p; y_1, y_2)$ を最大化する p のことです。ベルヌーイ試行のばあいには、最尤推定量は単純平均となります。

一般に、確率変数 Y が従う確率分布の形状が既知あるいは前提され、そのパラメタが未知であるという状況であれば、尤度関数を構成し、最尤推定を行うことができます。ただし、最尤推定量のかたちが公式として簡単に求まることはほとんどなく、最大化問題を数値計算で解くことになります。観測値が互いに同一に独立の分布に従っていれば、尤度はそれぞれの観測値についての確率の積になりますから、尤度関数を最大にするという最大化問題を解くためには対数変換した尤度 $\ln L(p; y)$ を考えるほうが計算が簡単になることが多くなります。尤度関数を最大化する係数の値は、対数変換された尤度関数をも最大化するからです。

このように、最尤推定量 (Maximum Likelihood Estimator) とは、尤度関数を最大化するような係数の値を使う推定量であり、実際に観測されるデータとなるような確率を最大化して得られます。この意味で、観測されたデータを生成するのに「最も尤もらしい」係数を選んでいると言えるでしょう。最小2乗推定では誤差項の分布の形状を仮定しませんでした。最尤推定は分布の形状が既知でなければ実行できないことに注意しましょう。

プロビットモデルのばあい、尤度関数は以下のように構成します。説明変数の条件付きで、被説明変数が1あるいは0の値を取る確率は

$$\begin{aligned}\Pr(Y_i = 1 | X_{1i}, \dots, X_{ki}) &= \Phi(b_0 + b_1 X_{1i} + \dots + b_k X_{ki}) \\ \Pr(Y_i = 0 | X_{1i}, \dots, X_{ki}) &= 1 - \Phi(b_0 + b_1 X_{1i} + \dots + b_k X_{ki})\end{aligned}\quad (15.26)$$

ですから、まとめて書くと、

$$\Pr(Y_i = y_i | X_{1i}, \dots, X_{ki}) = \Phi(\mathbf{b}, \mathbf{X}_i)^{y_i} (1 - \Phi(\mathbf{b}, \mathbf{X}_i))^{1-y_i} \quad (15.27)$$

となります。したがって、 $Y_1 = y_1, Y_2 = y_2, \dots, Y_n = y_n$ が同時に起きる確率は、i.i.d. を仮定すると

$$L(\mathbf{b}|\mathbf{X}) = \Phi(\mathbf{b}, \mathbf{X}_1)^{y_1} (1 - \Phi(\mathbf{b}, \mathbf{X}_1))^{1-y_1} \times \Phi(\mathbf{b}, \mathbf{X}_2)^{y_2} (1 - \Phi(\mathbf{b}, \mathbf{X}_2))^{1-y_2} \\ \times \dots \times \Phi(\mathbf{b}, \mathbf{X}_n)^{y_n} (1 - \Phi(\mathbf{b}, \mathbf{X}_n))^{1-y_n} \quad (15.28)$$

となります。これがプロビットモデルの尤度関数です。対数変換して整理すると

$$\ln L(\mathbf{b}|\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^n y_i \ln(\Phi(\mathbf{b}, \mathbf{X}_i)) + \sum_{i=1}^n (1 - y_i) \ln(1 - \Phi(\mathbf{b}, \mathbf{X}_i)) \quad (15.29)$$

となり、この対数尤度関数を最大化する $\mathbf{b}$ が ML 推定値です。

最尤推定量は、前述したように、定式化が正しいければ一致性を持ち、漸近的に正規分布に従います。ここで「定式化が正しい」とは想定している確率変数 Y が従う確率分布の形状が正しいことを意味します。また、t 値・F 値・信頼区間の形成は最小 2 乗推定と同じように行うことができます。