

防災投資の便益評価 - 不確実性と不均衡の概念を念頭に置いて -*

On the Benefit of Natural Disaster Prevention Project
from the Points of Uncertainty and Economic Disequilibrium

上田 孝行 **

By Takayuki UEDA

1. はじめに

我が国は気象条件や地質・地形条件の上から、自然に災害に見まわれやすく、各種の社会資本整備を防災の観点から評価することが不可欠であるという見解には社会のほぼすべての構成員が合意すると言える。しかし、そのような合意があるにせよ、防災のために我々の有しているすべての経済資源を投入できない以上、防災投資事業に対しては費用便益分析を実施して合理的な評価を行う必要がある。周知のように、1995年1月の阪神・淡路大震災は防災投資事業への社会的関心を再び大きく呼び起こし、今後の防災投資のあり方についての多くの議論を喚起している。その中には、防災投資事業の評価論が話題となる場合も見受けられるが、筆者の見る限りでは、残念ながら明確な理論フレームを欠いたものが多いように思われる。

費用便益分析は、その手法の発展と適用例の蓄積の経緯から見ると、ダム事業を典型例として防災事業もその対象としてきた。しかし、実務レベルでの適用方法を概観すると、その理論的基盤が不明確なものが多く、それゆえ、実際の計測手法の妥当性について判断するのが困難な場合もある。

本稿は、防災投資の便益評価のための理論的フレームの構築とそれに基づく計画手法の開発を目指して、筆者及びその研究グループが行っている研究について報告することを意図している。無論、その中にはサブテーマとなる数多くの話題が含まれており、その全てについて成果が得られているわけ

はなく、また、一応の成果が得られているものに限ったとしても、紙面の都合上、その全てを紹介することはできない。そこで、本稿では、次の2点に話題を限定して報告したい。

第一は、災害およびそれによる被害は、ある空間の中で常に均質に発生する訳でない点である。ある場所は災害について非常に危険であっても、他の場所ではさほど危険でないといったように異なっているのが一般的である。自然災害は空間において一様ではなく場所毎に異なる現象、すなわち、本質的に location-specific な現象である。従来の不確実性(あるいはリスク)を取り扱った多くの経済理論においてはこの点が看過されてきたように見受けられる。そこで、防災投資の便益評価を考えるに当たっては環境の不確実性を伴った空間経済システムをモデル化し、その文脈において議論を展開する必要がある。具体的には、立地場所の属性の相違はそこで経済主体が享受できる効用(利潤)に反映され、最終的には立地選択行動を規定することになる。そのため、防災投資の便益を定義するに際しては、それが立地選択行動と整合的であることが必要である。

第二は、災害の発生時には、各種施設の破壊・破損によって、平常時と同じように経済活動を営むのは困難であり、そのため、財の需給の不一致が生じたいわゆる不均衡経済状態に陥るのが一般的であると考えられる点である。そのため、これまでのワルラス的一般均衡理論に依拠した経済モデルでは必ずしも災害時の経済状況を表現することができず、防災投資の便益評価を行うに当たっては、不均衡経済モデルの開発が必要になる。また、一般均衡分析による社会資本整備評価の各種手法が現在ようやく実務レベルにも普及していく段階に入りつ

*Keywords: 防災投資、便益評価、不確実性、不均衡経済

**正会員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科
(〒501-11 岐阜市柳戸 1-1 tudea@cc.gifu-u.ac.jp)

つあることを考えても、理論的な研究課題としてまさに不均衡分析に取り組むべき時期であると考えられる。

2. 不確実性下での便益の定義

2.1 既往研究の状況について

これまでに不確実性下でのプロジェクト便益については多くの経済学者が議論しており、Ready(1995)や Mier and Randall (1991)などは研究の経緯や理論的な話題について、Graham (1981) や Schmalensee(1972)などの代表的な研究から現在までの理論的發展を包括的にまとめている。また、Bishop and Woodward (1995) などでは、不確実性のない経済システムにおけるプロジェクト便益の議論と対比的に概観することで不確実性下のプロジェクト便益の特徴をよりの確に表現している。さらに、Johansson (1987) および Johansson (1993) は不確実性とりわけ環境水準の不確実性を取り上げたきわめて網羅的かつ標準的なテキストとなっており、不確実性下でのプロジェクト便益についての既往理論の概略を示している。しかし、これらの既往研究の枠組みの中では、災害を不確実性を伴う環境水準の変化として捉えた場合、それが location-specific な現象であることを明示的に分析できない。

また、ほとんどの研究は議論する際の全ての経済変数の変化を外生的に取り扱っており、それらの一部は本来は内生的に変化すべきものとして扱うべきものであることを考慮していない。例えば、Hartman and Plummer(1987)や Plummer(1986)などはそのような典型であり、それらは基本的には主体均衡の枠組み内で便益の定義を論じている。無論、内生的な経済変数の変化を扱うためには、市場メカニズムや経済主体間の相互作用を詳細にモデル化する必要があり、それは必ずしも容易ではない。これについては本稿では不均衡経済のモデル化に関する話題として後半部で扱う。

以上の点を踏まえて、本稿の前半では、災害が本質的には location-specific な現象であるとの認識のもとに空間経済システムの特徴である立地選択行動を考慮した新たな便益定義を提案する。

2.2 空間経済システムの基本モデル

(1) 空間経済システムの捉え方

空間経済システムにおける不確実性下の便益を定義するための基本モデルを定式化する。まず、空間経済システムは、適当な方法によりによって次のラベルで表される有限個のゾーンに区分されているとする。

$$j \in J = \{1, \dots, J\}: \text{ゾーンを表すラベル}$$

ゾーン内の地理的属性は均質であり、この空間経済システムにおける立地点はゾーンによって表される。この経済システムには同質の選好を有する次の一定数の家計が存在するとする。なお、複数タイプの家計や企業部門を導入した場合も本稿での議論は容易に拡張でき、本質的な特徴は変更を受けない。

$$N_T: \text{空間経済システムにおける総家計数 (一定)}$$

空間経済システムが取り得る状態は適切な方法で区分されており、次のラベルによって表されるものとし、それぞれの状態の生起確率を導入する。

$$i \in I = \{1, \dots, I\}: \text{状態を表すラベル}$$

$$\phi_i (\leq 1) \in \mathbf{R}_+: \text{状態の生起確率}$$

$$\phi = [\phi_1, \dots, \phi_I] \in \left\{ \phi_i | \phi_i \geq 0, \sum_{i \in I} \phi_i = 1 \right\} \subset \mathbf{R}_+^I$$

このような状態の区分と確率の定義方法としては、状態をある一定の期間を均等に分割したものとして見なしてもよいし、また、何らかの自然状態に対応させて定義してもよい。具体的なモデルを作成する際に分析目的やデータの利用や可能性に応じて理論的な整合性を保つ範囲内で定めることができる。

(2) 家計の行動モデル

家計があるゾーンに立地してそこで空間経済システムのある状態が実現したときに達成できる効用水準を次のように表す。

$$V_i^j = V(Y_i^j, Q_i^j) \quad (1)$$

ここで、 V_i^j : ゾーン j ・状態 i での家計の効用水準
 Y_i^j : " 家計の所得水準
 Q_i^j : 効用水準に影響する所得以外の経済変
 数(ベクトルであっても良い)

あるゾーンに立地した家計がそこで達成できる効用水準の期待値を次のように定める。

$$E(V_i^j) = \sum_{i \in I} \phi_i \cdot V_i^j \quad (2)$$

ここで、 $E(X_i^j) = \sum_{i \in I} \phi_i \cdot X_i^j$: 状態の生起確率に関し
 て変数 X_i^j の期待値をとるオペレータ

(3) 立地選択行動

家計は各ゾーンに立地した場合の期待効用水準を認知した上で、より期待効用水準が高いゾーンへより多く立地しようとする。しかし、どの家計も期待効用水準を確定的に認知することができないため、次のようなロジットモデルにより与えられる立地選択確率にしたがってゾーンの選択を行うものとする。

$$S = \max_{P^j} \sum_{j \in J} \left\{ P^j E(V_i^j) - \left(\frac{1}{\theta} \right) P^j (\ln P^j - 1) \right\} - \left(\frac{1}{\theta} \right) \quad (3.a)$$

$$s.t. \quad \sum_{j \in J} P^j = 1 \quad (3.b)$$

ここで、 S : 空間経済システム全体での代表的な家計が達成する期待効用水準
 P^j : 家計がゾーン j を選択する確率

最大化問題から次のロジットモデルが導出される。

$$P^j = \frac{\exp(\theta E(V_i^j))}{\sum_{j' \in J} \exp(\theta E(V_i^{j'}))} \quad (4.a)$$

$$S = \left(\frac{1}{\theta} \right) \ln \left\{ \sum_{j \in J} \exp(\theta E(V_i^j)) \right\} \quad (4.b)$$

この選択確率は、総家計数を用いてゾーン間での家

計数分布に変換される。

$$N = [N_1, \dots, N_J] = N_T [P_1, \dots, P_J] \quad (5)$$

2.3 防災投資事業の表現

防災投資事業は、前項で定式化したモデルにおいてはゾーン・状態別の所得水準と各経済変数の水準を変化させる。これら変数の一部はモデルに対して政策変数として外生的に与えられるものであり、その他は市場メカニズムや経済活動間の相互作用を介して内生的に決定される変数である。しかし、便益の定義自体を行うに際しては、両者の区別は必要ないため、ここではその点には注意を払わないで、次のような効用水準の変化を定義して次項の便益定義の出発点とする。

$$V_i^{aj} = V(Y_i^{aj}, Q_i^{aj}) \quad (6.a)$$

$$V_i^{bj} = V(Y_i^{bj}, Q_i^{bj}) \quad (6.b)$$

ここで、 a, b : それぞれ防災投資プロジェクトが無
 と有の場合を表すラベル

2.4 等価的偏差の概念に基づく便益定義の各種

本稿では、便益定義の基礎的概念の一つである等価的偏差(Equivalent Variation, 略して EV)の概念を不確実性を含む空間経済システムでの便益評価に適した形式に拡張する。それによっていくつかのタイプの新たな便益定義を提案し、また、それらの相互関係について解説する。

(1) 参照状況に応じた等価的偏差

ゾーン・状態別 EV (Zone-State Contingent EV : ZSCEV)

既にゾーン・状態別の効用水準の変化を定義しているので、通常の EV の定義方法をそのまま適用して次のようなゾーン・状態別 EV を定義する。

$$V_i^{bj} = V(Y_i^{bj}, Q_i^{bj}) = V(Y_i^{aj} + ZSCEV_i^j, Q_i^{aj}). \quad (7)$$

ここで、 $ZSCEV_i^j$: ゾーン j ・状態 i に家計があるという条件のもとでの EV

ゾーン・状態別 EV は、家計がプロジェクト有無のいずれの場合においても同じゾーンと同じ状態におかれているものとし、プロジェクト有の場合の効用水準を無の場合の状況のもとでも達成するために必要な追加的所得をもって便益とするものである。従って、この定義による便益は、一つのプロジェクトに対して(ゾーン数)×(状態数)と同数だけ計測され、それらは一般には同じ値を取らない。治水経済調査などで用いられている災害発生時の被害の軽減額は、この定義による便益の一部を計測したものであると解釈できる。

ゾーン別 EV (ZSCEV: Zone-Contingent EV)

等価的偏差の概念を用いた第二の定義は、状態については限定せず、立地しているゾーンだけを限定した定義である。これを定義するためには、プロジェクト有無のそれぞれの場合について次のように表される期待効用水準を用いる。

$$E(V_i^{aj}) = E(V(Y_i^{aj}, Q_i^{aj})) \quad (8.a)$$

$$E(V_i^{bj}) = E(V(Y_i^{bj}, Q_i^{bj})) \quad (8.b)$$

すなわち、家計がプロジェクト有無のいずれの場合も同じゾーンに立地しているとした上で、プロジェクトの有りの場合と同じ期待効用水準を無の状況のもとでも期待効用として達成できるように、無しの場合のどの状態におかれていても同額の追加的所得を与えるものとする。その額をもって便益とし、それを次のように定式化する。

$$E(V_i^{bj}) = E(V(Y_i^{bj}, Q_i^{bj})) = E(V(Y_i^{aj} + ZCEV_i^j, Q_i^{aj})) \quad (9)$$

ここで、 $ZCEV_i^j$: ゾーン j についてのゾーン別 EV.

この定義では、一つのプロジェクトに対してゾーン数と同数だけ便益が計測されることになる。ゾーン別 EV は地域間で便益を比較する際に有用な定義であり、ゾーンを限定しているものの、状態に依らない定義であるため従来の代表的な不確実性下の

便益定義の一つとして用いられてきたオプション価格(Option Price)の性質(例えば、Johansson(1993)を参照)も持っている。

非限定 EV または社会的 EV (NCEV :Non-Contingent EV)

第三の定義は、ゾーンも状態も限定しない便益定義である。そのために、空間経済システムにおける代表的な家計の期待効用水準を(4.b)におけるロジットモデルにより表される立地選択行動と整合的なログサム関数(例えば、Ben-Akiva and Lermann (1985), Anderson, de Palma and Thisse (1992)を参照)を用いて表す。それをプロジェクト無しと有りのそれぞれの場合について次のように表す。

$$S^a = \left(\frac{1}{b}\right) \ln \left\{ \sum_{j \in J} \exp(\theta E(V(Y_i^{aj}, Q_i^{aj}))) \right\} \quad (10.a)$$

$$S^b = \left(\frac{1}{b}\right) \ln \left\{ \sum_{j \in J} \exp(\theta E(V(Y_i^{bj}, Q_i^{bj}))) \right\} \quad (10.b)$$

ログサム関数により表される期待効用水準を包括期待効用水準(inclusive expected utility)と呼ぶものとして、それを用いて次のような非限定 EV($NCEV^s$)を定義する。

$$\begin{aligned} S^b &= \left(\frac{1}{b}\right) \ln \left\{ \sum_{j \in J} \exp(\theta E(V(Y_i^{bj}, Q_i^{bj}))) \right\} \\ &= \left(\frac{1}{b}\right) \ln \left\{ \sum_{j \in J} \exp(\theta E(V(Y_i^{aj} + NCEV_i^j, Q_i^{aj}))) \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

すなわち、プロジェクト無の場合のどのゾーンと状態においても同一の追加的所得を与え、その結果としてプロジェクト有の場合と同じ包括的期待効用水準が達成できるようにする。その際の追加的所得の額をもって便益とする。

しかし、ログサム関数によって表される包括的期待効用水準は、それに含まれる期待効用水準の分布に対応した立地選択確率の分布と常に一体的に変化する。このときの立地選択確率は次のようになっている。

$$\tilde{p}^j = \frac{\exp(\theta E(V(Y_i^{qj} + NCEV^f, Q_i^{qj})))}{\sum_{j \in J} \exp(\theta E(V(Y_i^{qj} + NCEV^f, Q_i^{qj})))} \quad (12)$$

従って、追加所得が支払われた際に実現する(11)の右辺のログサム関数と整合的な立地選択確率の分布は、プロジェクト無の追加的所得が支払われない場合の立地選択分布とは一般に一致していない。すなわち、

$$\tilde{p}^j \neq P^{qj} = \frac{\exp(\theta E(V(Y_i^{qj}, Q_i^{qj})))}{\sum_{j \in J} \exp(\theta E(V(Y_i^{qj}, Q_i^{qj})))} \quad (13)$$

ただし、効用関数 $V(\cdot)$ が準線形効用関数(a quasi-linear utility function)と呼ばれる形式(例えば、Varian(1992)参照)である場合には一致する。

そのため、非限定 EV を定義するもう一つの代替的アプローチとして、立地選択確率をプロジェクト無の追加所得が支払われていない場合のそれに固定した方法が考えられる。そこで、Miyagi(1986)で示されているログサム関数の特性を利用して、(11)右辺の包括的期待効用水準を次のように書き改める。

$$S^a = \left(\frac{1}{\theta} \right) \ln \left\{ \sum_{j \in J} \exp(\theta E(V(Y_i^{qj}, Q_i^{qj}))) \right\} \\ = \sum_{j \in J} P^{qj} E(V(Y_i^{qj}, Q_i^{qj})) - \left(\frac{1}{\theta} \right) \sum_{j \in J} P^{qj} \ln P^{qj} \quad (14)$$

そして、(14)に含まれるプロジェクト無で追加的所得の支払われていない場合の立地選択確率 P^{qj} を固定して、ゾーン・状態に依らず同一の追加的所得を与えてプロジェクト有の場合の包括的期待効用水準の達成するようにする。その額をもって便益とする定義を $NCEV^s$ で表わし次のように定式化する。

$$S^b = \left(\frac{1}{\theta} \right) \ln \left\{ \sum_{j \in J} \exp(\theta E(V(Y_i^{bj} + NCEV^s, Q_i^{bj}))) \right\} \\ = \sum_{j \in J} P^{bj} E(V(Y_i^{bj} + NCEV^s, Q_i^{bj})) - \left(\frac{1}{\theta} \right) \sum_{j \in J} P^{bj} \ln P^{bj} \quad (15.a)$$

or

$$S^b = \sum_{j \in J} P^{bj} E(V(Y_i^{bj}, Q_i^{bj})) - \left(\frac{1}{\theta} \right) \sum_{j \in J} P^{bj} \ln P^{bj} \\ = \sum_{j \in J} P^{qj} E(V(Y_i^{qj} + NCEV^s, Q_i^{qj})) - \left(\frac{1}{\theta} \right) \sum_{j \in J} P^{qj} \ln P^{qj} \quad (15.b)$$

ここで、(15.b)ではプロジェクト有りの場合の立地選択確率 P^{bj} がモデルによって計算可能なため、それを用いてプロジェクト有りの場合の包括的期待効用が書き改められることを明示的に表した定義式である。ただし、これはプロジェクトに応じて内生的に変化するものであり、プロジェクト無の場合の固定されている立地選択確率とは整合しない。

以上のように非限定 EV には2種類の定義方法があるものの、どちらか一つの定義方法を採用すれば、一つのプロジェクトに対して一つの便益計測値が対応する。しかも、ゾーンと状態に依らずに支払われる追加的所得として定義されているため、この定義も従来のオプション価格と同様の性質も有している。これらの性質から、不確実性を含む空間経済システムにおけるプロジェクトの社会的便益の定義として非限定 EV を採用することが望ましいと判断される。

(2) 期待等価的偏差による定義

既に定義した各種の等価的偏差について状態の生起確率や立地選択確率を用いた期待値をとり、それを便益とすることもできる。

ゾーン別期待 EV(ZCEEV :Zone-Contingent Expected EV)

ゾーン・状態別 EV ($ZSCEV_i^j$) に対してプロジェクト無の場合の状態の生起確率(ϕ_i)を重みとした加重平均をとることにより期待値を以下のように定義できる。

$$ZCEEV^j = \sum_{i \in I} \phi_i ZSCEV_i^j \quad (16)$$

これはゾーン別 EV と同様の一つのプロジェクトに対してゾーン数と同数だけ計測される。

社会的期待 EV(SEEV :Social Expected EV)

ゾーン別期待 EV ($ZCEEV_i^j$)は、プロジェクト無しの場合の立地選択確率(P^{qj})を重みとした加重平均として次のような期待値をとることができ、それも便益定義の一種となる。

$$SEEV^j = \sum_{j \in J} P^{qj} ZCEEV^j = \sum_{j \in J} P^{qj} \sum_{i \in I} \phi_i ZSCEV_i^j \quad (17)$$

この定義は、非限定 EV と同様に、一つのプロジェクトに対して一つ計測され、また、空間経済システムに含まれる全てのゾーン・状態について便益を集計したものである。そのため、社会的期待 EV と呼ぶものとする。

(3) オプション価値 (Option Value)

ゾーン別 EV とゾーン別期待 EV は、ゾーン毎に定義される便益であるが、両者は一般には一致しない。非限定 EV と社会的 EV はそれぞれ空間経済システム全体について一つ定義されるという意味で共通の性質を持つが、同様に両者は一般には一致しない。

家計が不確実性下におかれているとき、前述のオプション価格から期待消費者余剰を差し引いた額として、従来よりオプション価値の概念が提案されている。オプション価値は、経済主体のリスクに対する選好と密接に関係していると考えられてきたため、多くの経済学者 (Smith (1987), Plumer and Hartman(1986), Freeman(1985), Freeman(1984), Smith(1984), Bishop(1982)) がその大きさや符号を議論してきた。それらは興味深い議論ではあるものの、オプション価値の大きさや符号は対象としている経済システムにおける市場メカニズムや経済主体間の相互作用の構造に本来は大きく依存しているため、それらの特定化とあわせて議論する必要がある。また、従来の議論では空間経済システムの側面、すなわち立地選択行動と整合するオプション価値は論じられていない。そのため、本稿では既に新たに提案した便益概念に基づいて派生的に定義されるオプション価値を示し、その大きさと符号については特に論じない。ただし、後の適用例の紹介においてその計測例を示す。

ゾーン別オプション価値 ($ZCOV$: Zone-Contingent Option Value)

まず、ゾーン別 EV とゾーン別期待 EV の差として、ゾーンを限定したもとの次のようにゾーン別オプション価値($ZCOV^j$)が定義される。

$$ZCOV^j = ZCEV^j - ZCEEV^j = ZCEV^j - \sum_{i \in I} \phi_i ZSCEV_i^j \quad (18)$$

ゾーン別オプション価値は、ある家計がプロジェクト有りの場合も無しの場合と同じゾーンに立地し続けるとして、そのゾーンでの災害が軽減すること自体に伴う不安感の変化を反映した便益である。

社会的オプション価値 (SOV : Social Option Value)

第二の種類のオプション価値は、非限定 EV と社会的期待 EV の差として定義される社会的オプション価値(SOV)であり、次のように定義される。

$$SOV = NCEV - SEEV = NCEV - \sum_{j \in J} P^{qj} ZCEEV^j \quad (19)$$

社会的オプション価値は、ゾーン別オプション価値を立地選択確率で加重平均したものとは一般には一致しない。そのため、それを分解することによってさらに次のような定義のオプション価値を導くことができる。

立地選択準オプション価値 ($LCQOV$: Location choice quasi option value)

社会的オプション価値(SOV)を(18)を用いて次のように分解する。

$$SOV = NCEV - \sum_{j \in J} P^{qj} ZCEV^j + \sum_{j \in J} P^{qj} ZCOV^j \quad (20)$$

この分解した形式から、社会的オプション価値は(20)の右辺第3項であるゾーン別オプション価値の総和、および第1項と第2項で表される非限定 EV とゾーン別 EV の総和の差によって構成されていることがわかる。ゾーン別オプション価値はプロジェ

クト有無のいずれにおいても家計が同じゾーンに立地しているものとして定義したオプション価値である。それを除いた部分は、家計が立地するゾーンを変更できることに起因して発生している便益である。それはプロジェクト有の場合に家計がより期待効用水準の高いゾーンへ立地変更を実際に行うことができるという機会の存在を反映したものであり、一種の準オプション価値の概念(例えば、Graham-Tomasi (1995))に属すると考えられる。そこで、これを立地選択準オプション価値(LCQOV)と呼ぶものとし、次のように定義しておく。

$$LCQOV = NCEV - \sum_{j \in J} P^{aj} ZCEV^j \quad (21)$$

2.5 各便益定義の相互関係の説明

本稿で新たに提案した各種の便益定義は表1のように整理される。各種便益の間の相互関係を直観的に理解するために、各種の定義による便益を図解によって説明する。まずは、空間経済システムには3ゾーン・3状態が存在するとし、総家計数を1に基準化しておく。図1は包括的な社会的便益の定義として望ましい非限定EVを示している。縦方向の長さは家計当たりの便益の大きさを表し、横方向の長さは立地選択率や状態の生起確率による重みを表している。非限定EVはゾーン・状態に依らない同一の追加的所得として定義されているため、縦方向にはどのゾーン・状態においても同じ長さが取られ、非限定EVはハッチングのかかったボックスの大きさとして表され、それが社会的便益を意味する。

図2は、その中に含まれているゾーン別EVを取り出したものであり、縦方向方向の長さが各ゾーンで異なるゾーン別EVの大きさを表し、横方向は各ゾーンの立地選択確率の大きさが表されている。ハッチングされた各ボックスは立地選択確率とゾーン別EVの積を表す。図3は、ゾーン別EVの中からゾーン・状態別EVを取り出したものである。縦方向にはそれぞれのゾーン・状態におけるゾーン・状態別EVが表されており、横方向には立地選択確率と状態の生起確率を同時に考慮した重みが表されている。各ボックスはそれらの積の大きさを意味する。図2と図3のボックスを重ね合わせて、ゾーン別EVの各ボックスからゾーン・状態別のボックスを除いた部分を図示するとその部分の面積は立地選択確率で重み付けられたゾーン別オプション価値を表している。図5は図1と図3を重ね合わせ、非限定EVからゾーン・状態別EVを除いた部分を図示したものである。その部分の面積が社会的オプション価値を意味する。図6は、図5の社会的オプション価値の部分から図4に示したゾーン別オプション価値の部分を除いた部分を描いたものである。その部分の面積が立地選択準オプション価値を表している。

これらの柱状図は Morisugi and Ohno(1995)等において提案されている便益帰着構成表 (Benefit Incidence Matrix)を視覚的に表現する手法の一つであると同時に、不確実性下の便益の特徴であるオプション価値を直観的に捉えるための有効な手段の一つである。

表1 各種便益定義のまとめ

Zone	State	Zone-State Contingent EV	Zone- Contingent Expected EV	Zone- Contingent EV	Zone- Contingent Option Value	Social Expected EV	Non- Contingent EV	Location Choice Quasi Option Value	Social Option Value
1 . . .									
	0 . . .								
j	i	ZSCEV _j	$ZCEEV^j = \sum_{i \in I} \phi_i \times ZSCEV^j_i$	ZCEV ^j	$ZCEV^j - ZCEEV^j = ZCOV^j$	$SEEV = \sum_{j \in J} P^{aj} \sum_{i \in I} \phi_i \times ZSCEV^j_i$	NCEV	$NCEV - \sum_{j \in J} P^{aj} ZCEEV^j = LCQOV$	$NCEV - SEEV = SOV$
. . . J									

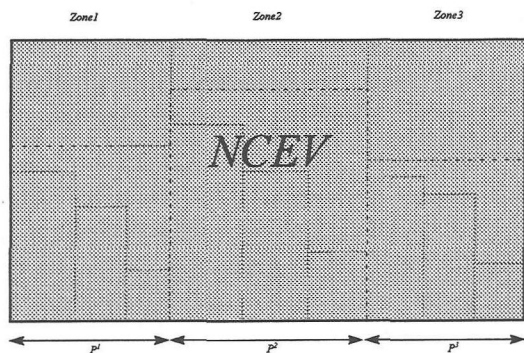


図1 社会的便益としての非限定 EV(NCEV)

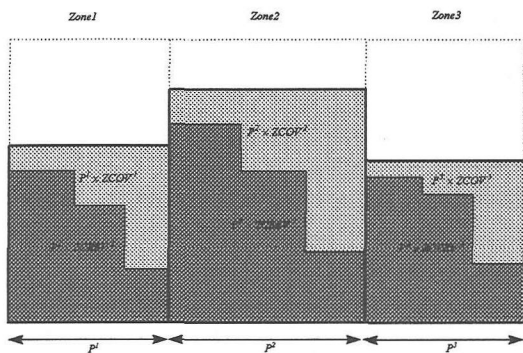


図4 ゾーン別 EV のゾーン別期待 EV(ZCEEV) とゾーン別オプション価値(ZCOV) への分解

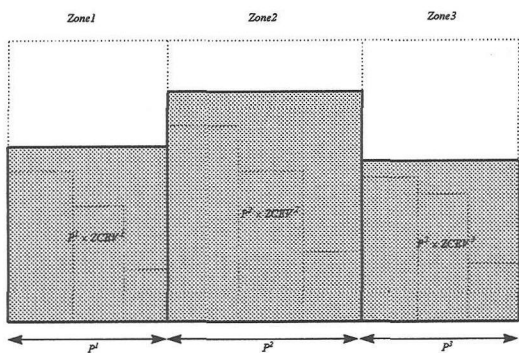


図2 ゾーン別 EV(ZCEV) の位置づけ

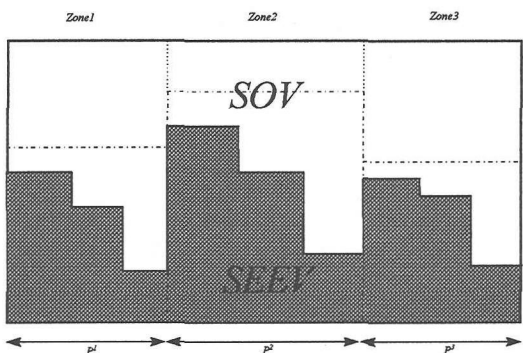


図5 社会的便益(NCEV)の社会的期待 EV(SEEV) と社会的オプション価値(SOV) への分解

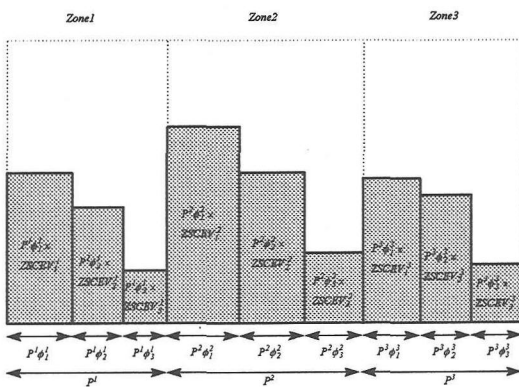


図3 ゾーン・状態別 EV(ZSCEV) の位置づけ

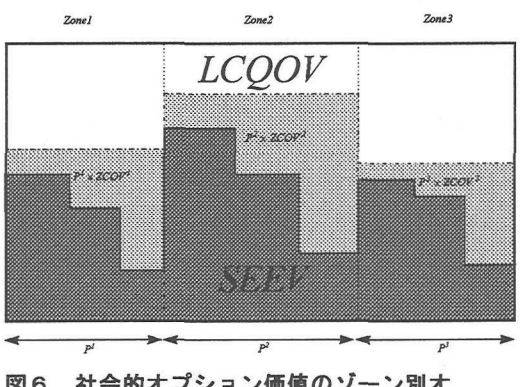


図6 社会的オプション価値のゾーン別オプション価値と立地選択準オプション価値(LCQOV) への分解

3. 不均衡経済のモデル化

3.1 モデル化の必要性

阪神大震災をはじめとして、大規模な災害の発生後を見ると、多くの建物や商品等が破壊・破損し、各経済主体が望むだけの量を需要(供給)することが不可能な場合がある。すなわち、経済システムが不均衡状態に陥ることになる。

そのため、ここでは、前節までのモデルをベースにして災害時における不均衡空間経済状態をも考慮した空間経済モデルを構築し、それをを用いた便益計測に関する数値実験の一例を紹介する。

3.2 既往研究の状況について

防災投資という視点に限定しない場合でも、社会資本整備評価において不均衡経済を取り扱うことは非常に重要である。ただし、不均衡経済の状況にも代表的ないくつかの種類があり、それらの内のどれに焦点を当てて分析するかに応じてモデル化の方針も大きく異なる。平常時においても、失業や遊休資源が存在するいわゆる不況は、ケインズ経済学が取り組んできた代表的な不均衡経済状態であり、災害に起因しないような不均衡状態の一つである。そのような場合も含めた一般的な不均衡経済のモデル化については、社会資本整備の評価という観点から既に上田(1994)で理論面についてのサーベイが行われている。そして、そこでは、不均衡動学の理論に依拠した国民経済モデルによって不均衡経済下での社会資本整備の影響に関する考察も行われている。不均衡に関する代表的な分類をそこから引用すれば、次の5タイプが挙げられる。

A. 価格固定数量調整モデル

Clower(1965)、Patinkin(1965)、Barro and Grossman(1971)、伊藤(1985)、山下(1989)

B. 推測均衡モデル

Hahn(1978)、根岸(1980)、皆川(1983)、Benassy(1983)、中込(1987)、Drez(1991)

C. 累積不均衡モデル

岩井(1987)

D. 在庫保有モデル

小谷(1987)

E. 非通貨貨幣効用モデル

小野(1992)

それぞれの詳細については、紙面の都合上、上田(1994)に譲るものとするが、さらに分類すれば、AおよびBの理論は静学の範囲で展開されており、C、D、Eは動学の範囲で展開されている。災害により経済活動が被害を受ける期間が非常に長期である場合には、動学の範囲での不均衡理論を援用する必要があるが、その際には、復旧のスケジュールを考慮する必要があると思われ、現段階ではそれを含んだモデルを展開するのは非常に困難である。また、その期間が短期・中期であると見なせば、静学の範囲でのモデルの方が取り扱いやすい。そこで、本稿のモデルは、主に、Aを特殊ケースとして含むBのタイプの理論に依拠して構築するものとし、その中で中心的な役割を果たす割り当てメカニズムの考え方はBenassy(1983)の枠組みを援用するものとする。

3.3 モデルの基本的仮定

モデルは次のような主な前提に基づいている。

前提 1. 社会経済システムの地理的空間は2地域(ゾーン)で構成されており、それは $j \in J = \{1, 2\}$

でラベル付けされている。

前提 2. 実現する状態は離散的に捉えた自然状態に対応して定義される。今回は「平常時」と「災害時」の2つの状態を考え、その状態を $i \in I = \{0, 1\}$ としてラベル付けする。ただし、

0 : 平常時, 1 : 災害時。災害は経済状態における環境質または社会資本サービス水準に関連する外生的変数の変化として捉え、防災投資はその水準を向上させるものとして表現する。

前提 3. 社会は地域(ゾーン)間で自由に立地変更できる同一の選好を有する世帯、地域毎に定義される代表企業、不在者地主、および政府の4部門で構成される。

前提 4. 各世帯はいずれの企業の生産する財も消費することが可能であるが、自地域の企業で勤

務する。

前提 5. 各経済主体は必ずしも望むだけの量の財を需要(供給)できるとは限らず、市場で不足(超過)している場合には実現できる取引量について割り当てを受ける。また、災害時には集計的需要(供給)についての外生的な制約が存在するものとする。

3.4 各主体の行動モデル

(1) 世帯の行動

世帯は、将来に災害が起こるかもしれないことを考慮し、消費行動と立地行動を行うと考える。

(a) 消費行動

各世帯は平常時と災害時の効用からなる期待効用が最大になるように予算制約と取り引き可能量の制約のもとで、合成財の各需要水準、土地サービスをコントロールする。

$$E^j(V_i^j) = \sum_{i \in I} \phi_i^j V_i^j \quad (22)$$

ここで、 ϕ_i^j : 地域 j の状態 i の発生確率、

V_i^j : 間接効用関数。

そこで V_i^j を以下のように定式化する。

$$V_i^j = \max. \left\{ f(H_i^j) \left(\alpha_1 \ln z_i^{jj} + \alpha_2 \ln z_i^{jj} + \alpha_3 \ln a_i^j \right) \right\} \quad (23.a)$$

s.t.

$$\left(\frac{p_i^j}{\tau_i^{jj}} \right) z_i^{jj} + \left(\frac{p_i^{jj}}{\tau_i^{jj}} \right) z_i^{jj} + r_i^j a_i^j \leq w_i^j l_i^j + y_i + y_i' - g = \Omega_i^j \quad (23.b)$$

$$z_i^{jj} \leq \bar{z}_i^{jj}, \quad z_i^{jj} \leq \bar{z}_i^{jj}, \quad a_i^j \leq \bar{a}_i^j \quad (\text{for all } i \text{ and } j) \quad (23.c)$$

ここで、 H_i^j : 状態 i における地域 j の環境質、
 $f(\cdot)$: 環境質が世帯の効用に及ぼす影響、
 z_i^{jj} : 地域 j で生産された合成財の地域 j で

の需要水準、

z_i^{jj} : 地域 j' で生産された合成財の地域 j での需要水準、

a_i^j : 地域 j での土地需要水準、

p_i^j : 地域 j で生産される合成財の輸送前価格、

p_i^{jj} : 地域 j' で生産される合成財の輸送前価格、

τ_i^{jj} : 地域 j 内の Iceberg 型交通費用支払後の財の残存率、

$1 - \tau_i^{jj}$: Iceberg 型交通費用の比率、

τ_i^{jj} : 地域 j' から地域 j への Iceberg 型交通費用支払後の財の残存率、

$1 - \tau_i^{jj}$: Iceberg 型交通費用の比率、

r_i^j : 地域 j の住宅地代、

w_i^j : 地域 j の賃金率、

y_i : 私企業による世帯の資産配分所得、

y_i' : 地主による世帯の資産配分所得、

g : 世帯に課せられる一括税、

Ω_i^j : 一般化可処分所得、

$\bar{X}$: 実現できる財の需給量

(b) 立地選択行動

世帯は居住地を期待効用水準に従って選ぶと仮定する。ここで期待効用水準が誤差項を持ち、それが独立かつ Gumbel 分布に従うと仮定すると、Logit モデルによって表される立地選択確率を得る。この行動は、次の最大化問題(Miyagi(1986))として定式化できる。

$$S = \max_{P^j} \sum_{j \in J} \left\{ P^j E^j(V_i^j) - \left(\frac{1}{\theta} \right) P^j (\ln P^j - 1) \right\} - \frac{1}{\theta} \quad (24.a)$$

$$s.t. \sum_{j \in J} P^j = 1 \quad (24.b)$$

ここで、 P^j : 立地選択確率、

θ : 立地選択のロジットパラメータ

この最適化問題を解くと、立地選択確率 P^j が得られる。

$$P^j = \frac{\exp\{\theta E^j(V_i^j)\}}{\sum_{j \in J} \exp\{\theta E^j(V_i^j)\}} \quad (25)$$

このとき最大期待効用値を示す、満足度関数を得る。

$$S = \left(\frac{1}{\theta} \right) \ln \left\{ \sum_{j \in J} \exp\{\theta E^j(V_i^j)\} \right\} \quad (26)$$

(2) 企業の行動

各企業の利潤は合成財の供給量、労働量、土地サービスの各需要水準によって表され、生産技術制約の下で期待利潤を最大にするものと仮定する。

$$E^j(\Pi_i^j) = \sum_{j \in J} \phi_i^j \Pi_i^j \quad (27)$$

ここで、 Π_i^j 状態 i における利潤

Π_i^j を以下のように定式化する。

$$\Pi_i^j = \max_{Z_i^j, L_i^j, A_i^j, C_i^j} \{ p_i^j Z_i^j - w_i^j L_i^j - R_i^j A_i^j - \lambda_i^j C_i^j \} \quad (28.a)$$

$$s.t. Z_i^j = Q(H_i^j) L_i^{\beta_{Li}^j} A_i^{\beta_{Ai}^j} C_i^{\beta_{Ci}^j} \quad (28.b)$$

$$L_i^j \leq \bar{L}_i^j, A_i^j \leq \bar{A}_i^j, Z_i^j \leq \bar{Z}_i^j \quad (\text{for all } i \text{ and } j) \quad (28.c)$$

ここで、 Z_i^j : 状態 i における地域 j の企業の合成

財の供給水準,

L_i^j : 地域 j の企業の労働需要水準,

A_i^j : 地域 j の企業の土地需要水準,

C_i^j : 地域 j の企業の所有資本量,

R_i^j : 地域 j の業務地代,

λ_i^j : 地域 j の企業の資本利子率,

$\beta_{Li}^j, \beta_{Ai}^j$: パラメータ

なお、企業は $\Pi_i^j = 0$ となるように $\lambda_i^j C_i^j$ を社会に存在する全世帯に均等に配分する。

$$\sum_{j \in J} \lambda_i^j C_i^j = y_i N_T \quad (29)$$

ここで、 N_T : 総人口

ただし、資本所有について均等所有以外の特定の構造が与えられれば、それに応じた利潤の配分スキームを導入することもできる。

(3) 地主の行動

各地域に代表的な不在地主が存在すると仮定し、それらは家計と企業にそれぞれ土地を賃貸して地代収入を得る。しかし、人口移動と土地所有構造に起因する資産所得の配分の問題を本稿での議論から分離するために、地代収入は、全世帯に均等に配分するものとする。無論、土地所有構造が与えられれば、それに応じた配分スキームを導入することは可能である。

$$\Omega_i^j = \max. (r_i^j k^j + R_i^j K^j) \quad (30.a)$$

$$s.t. k^j \leq \bar{k}^j, K^j \leq \bar{K}^j \quad (\text{for all } j) \quad (30.b)$$

および

$$\sum_{j \in J} \Omega_i^j = y_i^j N_T \quad (30.b)$$

ここで、 Ω_i^j : 状態 i における地域 j の地主の地代収入,

k^j : 地域 j での居住地供給面積,

K^j : 地域 j での業務地供給面積,

$\bar{k}^j$: 地域 j の居住用利用可能土地面積 (一定),

$\bar{K}^j$: 地域 j の業務利用可能土地面積 (一定)

(4) 政府の行動

政府は各世帯から一定額の税収 g を得て、防災投資を行う。

$$g N_T = I \quad (31)$$

ここで、 I : 防災投資額

3.5 均衡及び不均衡条件

本モデルが対象とする経済状況は、市場の清算と立地均衡条件の二種類の条件によって表現される。

(1) 市場条件

この条件は、各状態の各地域の土地、労働、合成財の各市場の清算条件と私企業からの配当、地主の利潤配分条件とその他、税収と支出の均衡条件、総人口一定の各条件よりなる。ここでは合成財市場における条件について記す。

$$\bar{z}_i^H N^J + \bar{z}_i^H N^J + \frac{E^J}{P_i^J} = \bar{Z}_i^J \quad (32.a)$$

$$P_i^J = v_i^J \left(\bar{z}_i^H N^J + \bar{z}_i^H N^J + \frac{E^J}{P_i^J}, \bar{Z}_i^J \right) \quad (32.b)$$

$$\bar{z}_i^H = \omega \left(\bar{z}_i^H N^J + \bar{z}_i^H N^J + \frac{E^J}{P_i^J}, \bar{Z}_i^J \right) \quad (32.c)$$

$$\bar{Z}_i^J = \xi \left(\bar{z}_i^H N^J + \bar{z}_i^H N^J + \frac{E^J}{P_i^J}, \bar{Z}_i^J \right) \quad (32.d)$$

$$\bar{z}_i^H = \min \left\{ z_i^H(q_i^J, \bar{z}_i^H, \bar{z}_i^{JJ}, \bar{a}_i^J), \bar{z}_i^H \right\} \quad (32.e)$$

$$\bar{z}_i^H = \min \left\{ z_i^H(q_i^J, \bar{z}_i^{JJ}, \bar{z}_i^H, \bar{a}_i^J), \bar{z}_i^H \right\} \quad (32.f)$$

$$\bar{Z}_i^J = \min \left\{ Z_i^J(q_i^J, \bar{L}_i^J, \bar{A}_i^J, \bar{Z}_i^J), \bar{Z}_i^J \right\} \quad (32.g)$$

ここで、 $\bar{X}_i^J$: 需給割り当ての外生的上限値,

E_i^J / P_i^J : rest of the world からの集計需給量,

$v(\cdot)$: 価格決定関数,

$\omega(\cdot)$, $\xi(\cdot)$: 需給割り当て関数,

q_i^J : p, τ, r, H, Ω からなるベクトル

これらと同様の条件は、労働・土地市場に対しても同様に成り立つ。

割当(rationing)のメカニズム、及びそのもとでの価格決定メカニズムは、種々のものが想定される。どのメカニズムをモデルで用いるべきかは、財の特性や実際の災害時での取引実態を考慮して決定すべきものである。災害時には、平常時に比べて価格が高騰する財もあれば、一種の価格統制が行われて、平常時と同じに保たれるものもあろう。それらの各状況は、 $v(\cdot)$ を具体的な形式に特定化することで表される。財の集計的取引量は、集計需要量と集計供給量、および外生的に与えられた制約量の中の最も

小さい量に一致するものとする。これは、いわゆる short side 原則に従うものであり、short side になった側の個々の経済主体が割当を受けることになる。割当には、個々の主体が本来望んでいるだけの量を順番に割当てて、残量がなくなったところで終了するような方法（すなわち割当量がゼロの主体が発生する）もあれば、全主体に均等に同量ずつ割当てる方法もある。特に労働市場における場合は、前者は人員調整に、後者は時間調整に対応する。

(2) 立地均衡条件

立地均衡条件については、3.4(b)の通りである。

3.6 適用上の課題について

本稿で提案している不均衡モデルは、外生的に与えられる需要(供給)量の制約及びモデル内で内生的に決定されるその両方を含む。そのため、列挙された条件式を解いて不均衡状態を表す解を求めるのは容易ではない。適用にあたっては、効率的な解法の開発が前提になるが、現在試みているのは次節で紹介する数値実験のような小規模なケースを想定した試行錯誤的な解法である。可能な限り単純化したケースではあるが、それでも計算は複雑であり、解の一意性のチェックなども行っていない段階である。当然ながら、複数均衡の可能性もあり、また、解の安定性についても吟味が必要となる。これらの解の特性については今後の大きな課題として残っているが、安定性については、例え不均衡経済にあっても、取り引きが自発的交換と整合できである場合には解は安定的である可能性が高い。この方向での研究には、例えば、Makarov, Levien, and Rubinov(1995)などの動的なプロセスとしての非模索過程のモデルなどがヒントになり得ると考えられる。

解法の開発方向の内、一つは変分不等式によるアプローチを援用することである。本稿のモデルは既に述べたように、多数の不等式条件を含む。そのため、このアプローチは求解を大幅に効率化する可能性がある。もう一つの方法は、不均衡状態を表す解の特性についてある程度の知見が蓄積された段階で、同じ特性を持った解を与える一般均衡モデルを

作ることである。すなわち、不均衡をある特定の一般均衡状態によって近似的に表現することである。一般均衡モデルについては、近年の応用一般均衡モデル(CGE)の発展により大規模なケースでも適用可能な計算手法が開発されている。それを活用する方法として、この方向が大いに可能性を持っていると思われる。

3.7 数値実験の一例

(1) 災害時の経済状態

本モデルの適用可能性を吟味する。最初の段階として Clower の再決定過程を扱った駄田井(1989)の計算プロセスを参考にいくつかのケースを想定して数値実験を行った。

災害時の経済状況として、次の2つの case を想定した。

case1) 財の割り当て制約が十分に大きい場合
この場合は、各経済主体は災害時においても財の割り当てを受けず、ワルラス的な一般均衡状態が実現する。

case2) 災害時には個々の経済主体が price maker となれるだけの情報を取得することが困難であるとする。すなわち、市場において需要量と供給量を逸させるような均衡価格が情報として伝達されない。この見方を極限にまで押し進めて、価格は完全に硬直的であり、調整能力は全く持たないとも考える。そこで両地域において災害時の合成財の価格について平常時のそれがそのまま維持されているとする。それは災害時においては均衡価格ではないので、各主体は平常時の価格水準の下で、しかも平常時と異なった環境水準や社会資本サービスの水準の下でも生産、消費を行うことになる。このとき、合成財市場での需給不均衡は労働市場にも波及してそこでも不均衡を生じさせる可能性がある。そこで、その場合の集計労働需要は次式に従って決定されるものとする。

$$\bar{Z}_1^1 = Q(H_1^1) \bar{L}_1^{A1} A_1^{B1} C_1^1 \quad (33)$$

ここで、 $\bar{Z}_1^1$: 災害時における地域1の供給制限量、
 $\bar{L}_1 (< \bar{L})$: 有効的労働量、

$\bar{L}$: 観念的(平常時の)労働量

労働市場で超過供給が生じた場合、ここでの数値実験では、員数調整によって失業者が発生するとは考えず、全世帯に均等に労働供給の割当が行われ、時間調整が行われるものとする。

(2) 数値実験の結果

表2はcase1の結果、表3はcase2のそれをまとめたものである。ここでの両ケースは、防災投資によって地域1の地域内での交通社会資本のサービス水準および地域1と2を結ぶそれが向上するものと想定している。具体的には、各表のパネルaとbにおいて網掛けされている箇所の財の輸送後の残存率を比較すると、それが投資後には大きくなっており、それは交通費が低下することを意味している。防災投資という意味では、災害時においてそれらの数値で表わされる社会資本サービスの水準が向上するか、一般に、そのような投資が行われると平常時においても社会資本サービスの水準が向上すると考えられるため、今回の数値実験においても、平常のそれも改善した設定にしている。各表のパネルaとbの下部にはモデルの各変数についての出力が示されている。パネルcには既に本稿の前半部で提案した各種の定義に従った便益の計算結果が示されている。

case1 についての結果である表2では、平常時と災害時のそれぞれで一般均衡状態が成立しているため、価格水準は両者で異なる。全体的には、投資後には、どの地域、どの状態においても価格が上昇しており、また、所得水準も高くなっている。無論、地域1の交通社会資本が重点的に改善されているため、そちらの地域での便益が大きくなっている。また、提案した各種定義に従った便益はいずれも正の値として計測されており、各種の定義は数値実験の範囲内では一応適用可能であることが確認されている。

case2 については、災害時にも平常時と同じ価格水準が維持されるものと想定しているため、表3のパネルaとbではそれらの表記が表2のそれと異なっている。表3のパネルaとbを見ると、防災投資前と後のいずれにおいても、災害時の財の需要量は

表 2-a 防災投資前の model outputs
(一般均衡状態)

	地域 1		地域 2	
	平常時	災害時	平常時	災害時
α_1 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
α_2 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
α_3 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
β_1 生産パラメータ	0.40	0.40	0.45	0.45
β_2 生産パラメータ	0.40	0.40	0.35	0.35
f_{RD} 世帯環境質	10	10	9	9
Q_{RD} 企業環境質	10	10	9	9
k 居住地面積	60	60	50	50
K 業務地面積	6	6	5	5
C 企業資本	120	120	100	100
E 外国需要ポテンシャル	5000	5000	5000	5000
g 税金	1	1	1	1
l 労働時間	8	8	8	8
N_T 総人口	100			
τ_{11}, τ_{22} 地域内交通費用支払い後残存率	0.5	0.7	0.9	0.7
τ_{12}, τ_{21} 地域間交通費用支払い後残存率	0.7	0.5	0.7	0.5
θ ロジットパラメータ	0.1			
ϕ 発生確率	0.95	0.05	0.95	0.05
人口	56.55		43.45	
期待効用	35.04		32.40	
効用	35.14	33.16	32.49	30.72
総供給量	28355.82	28355.82	21997.86	21997.86
合成財 1 価格	0.88	0.44	0.88	0.44
合成財 2 価格	1.12	0.56	1.12	0.56
資金率	22.10	11.07	31.85	15.96
居住地代	222.61	111.29	227.86	113.95
業務地代	1666.42	834.87	1722.26	862.89
世帯所得	708.62	354.27	786.60	393.35
合成財 1 需要量	241.16	187.17	208.21	148.44
合成財 2 需要量	147.83	105.37	210.99	163.79
総需要量	28355.82	28355.82	21997.86	21997.86
土地需要量	1.06	1.06	1.15	1.15
企業資本配分	99.20	49.70	99.20	49.70
地主利潤配分	433.60	216.99	433.60	216.99

表 2-b 防災投資後の model outputs
(一般均衡状態)

	地域 1		地域 2	
	平常時	災害時	平常時	災害時
α_1 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
α_2 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
α_3 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
β_1 生産パラメータ	0.40	0.40	0.45	0.45
β_2 生産パラメータ	0.40	0.40	0.35	0.35
f_{RD} 世帯環境質	10	10	9	9
Q_{RD} 企業環境質	10	10	9	9
k 居住地面積	60	60	50	50
K 業務地面積	6	6	5	5
C 企業資本	120	120	100	100
E 外国需要ポテンシャル	5000	5000	5000	5000
g 税金	1	1	1	1
l 労働時間	8	8	8	8
N_T 総人口	100			
τ_{11}, τ_{22} 地域内交通費用支払い後残存率	0.95	0.85	0.9	0.7
τ_{12}, τ_{21} 地域間交通費用支払い後残存率	0.75	0.65	0.75	0.65
θ ロジットパラメータ	0.1			
ϕ 発生確率	0.95	0.05	0.95	0.05
人口	57.00		43.00	
期待効用	35.49		32.67	
効用	35.53	34.72	32.73	31.50
総供給量	28447.42	28447.42	21893.27	21893.27
合成財 1 価格	1.10	0.64	1.10	0.64
合成財 2 価格	1.37	0.76	1.37	0.76
資金率	27.49	16.00	39.38	21.88
居住地代	278.47	159.25	279.29	157.62
業務地代	2089.74	1216.28	2106.94	1170.91
世帯所得	879.30	502.84	974.37	549.90
合成財 1 需要量	252.70	222.15	221.07	185.78
合成財 2 需要量	159.89	142.60	212.62	167.94
総需要量	28447.42	28447.42	21893.27	21893.27
土地需要量	1.05	1.05	1.16	1.16
企業資本配分	122.89	69.94	122.89	69.94
地主利潤配分	537.46	305.88	537.46	305.88

表 2-c 各便益結果
(一般均衡状態)

Zone	1		2	
State	平常時	災害時	平常時	災害時
Zone-State Contingent EV	28.212	59.508	20.786	35.606
Zone Contingent EV	30.987		22.142	
Zone Contingent Expected EV	29.777		21.527	
Zone Contingent Option Value	1.210		0.615	
Non Contingent EV	27.603			
Social Expected EV	26.192			
Location Choice Quasi OV	0.460			
Social Option Value	1.411			

表 3-a 防災投資前の model outputs
(災害時価格=平常時価格)

	地域 1		地域 2	
	平常時	災害時	平常時	災害時
α_1 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
α_2 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
α_3 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
β_1 生産パラメータ	0.40	0.40	0.45	0.45
β_2 生産パラメータ	0.40	0.40	0.35	0.35
β_3 生産パラメータ	0.40	0.40	0.35	0.35
β_4 世帯環境質	10	10	9	9
β_5 企業環境質	10	10	9	9
k 居住地面積	60	60	50	50
K 業務地面積	6	6	5	5
C 企業資本	120	120	100	100
E 外国需要ポテンシャル	5000	5000	5000	5000
π 税金	1	1	1	1
l 労働時間	8.00	1.44	8.00	1.70
N_T 総人口	100			
π_{11}, π_{22} 地域内交通費用支払い後残存率	0.90	0.70	0.90	0.70
π_{12}, π_{21} 地域間交通費用支払い後残存率	0.70	0.30	0.70	0.30
θ ロジックパラメータ	0.10			
ϕ 発生確率	0.95	0.05	0.95	0.05
人口	56.57		43.43	
期待効用	34.82		32.18	
効用	35.13	28.91	32.49	26.17
総供給量	28360.72	14291.86	21992.29	10952.99
合成財 1 価格	0.88		0.88	
合成財 2 価格	1.12		1.12	
資金率	22.09		31.87	
居住地代	222.69		227.78	
業務地代	1666.48		1722.19	
世帯所得	708.55	485.32	786.73	507.61
合成財 1 需要量	241.17	98.93	208.27	69.60
合成財 2 需要量	147.79	55.68	210.98	76.77
総需要量	28360.72	14291.86	21992.29	10952.99
土地需要量	1.06	1.06	1.15	1.15
企業資本配分	99.20	20.86	99.20	20.86
地主利潤配分	433.60	433.60	433.60	433.60

表 3-b 防災投資後の model outputs
(災害時価格=平常時価格)

	地域 1		地域 2	
	平常時	災害時	平常時	災害時
α_1 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
α_2 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
α_3 消費パラメータ	0.33	0.33	0.33	0.33
β_1 生産パラメータ	0.40	0.40	0.45	0.45
β_2 生産パラメータ	0.40	0.40	0.35	0.35
β_3 生産パラメータ	0.40	0.40	0.35	0.35
β_4 世帯環境質	10	10	9	9
β_5 企業環境質	10	10	9	9
k 居住地面積	60	60	50	50
K 業務地面積	6	6	5	5
C 企業資本	120	120	100	100
E 外国需要ポテンシャル	5000	5000	5000	5000
π 税金	1	1	1	1
l 労働時間	8.00	2.12	8.00	2.18
N_T 総人口	100			
π_{11}, π_{22} 地域内交通費用支払い後残存率	0.95	0.85	0.90	0.70
π_{12}, π_{21} 地域間交通費用支払い後残存率	0.75	0.65	0.75	0.65
θ ロジックパラメータ	0.10			
ϕ 発生確率	0.95	0.05	0.95	0.05
人口	57.03		42.97	
期待効用	35.31		32.48	
効用	35.52	31.29	32.73	27.81
総供給量	28451.74	16718.21	21888.31	12204.97
合成財 1 価格	1.10		1.10	
合成財 2 価格	1.38		1.38	
資金率	27.49		39.40	
居住地代	278.56		279.20	
業務地代	2089.85		2106.93	
世帯所得	879.25	645.79	974.55	673.66
合成財 1 需要量	252.71	136.05	221.13	102.89
合成財 2 需要量	159.85	83.36	212.61	88.78
総需要量	28451.74	16718.21	21888.31	12204.97
土地需要量	1.05	1.05	1.16	1.16
企業資本配分	122.89	51.12	122.89	51.12
地主利潤配分	537.47	537.47	537.47	537.47

表 3-c 各便益結果
(災害時価格=平常時価格)

Zone	1		2	
State	平常時	災害時	平常時	災害時
Zone-State Contingent EV	21.185	132.256	15.581	116.694
Zone Contingent EV	37.794		30.619	
Zone Contingent Expected EV	26.738		20.636	
Zone Contingent Option Value	11.056		9.982	
Non Contingent EV	35.038			
Social Expected EV	24.088			
Location Choice Quasi OV	0.360			
Social Option Value	10.949			

平常時のそれよりも大きく低下している。防災投資後にはその低下が食い止められている。また、これは災害時には平常時に比べて労働需要量も低下していることを意味しており、この低下も防災投資後には食い止められていることになる。このような改善を反映した効用変化を各種の定義に従って便益に換算したものが表3のパネルcであり、ここでも数値実験の範囲内で提案した便益定義の適用可能性が確認された。

5. おわりに

本稿では、防災投資の便益評価に関して筆者とその所属する研究グループが進めている研究の一部を紹介した。サブテーマとしては非常に多岐にわたる多くの課題が在り、本稿ではその中から不確実性の観点からの便益定義と不均衡経済状態のモデルに関する話題を中心に報告を行った。言うまでもなく、今後の研究に残された課題の方が多く、それらに積極果敢に取り組んで行かなければならない。

最後に、その中から現在既に筆者らが取り組んでいる課題のいくつかを以下に列挙したい。

課題1. 防災投資は公共部門によってだけ実施されるのではなく、私的利潤動機と整合する限りは民間により私的に行われる可能性もある。あるいは、市場保険の活用により私的に被害軽減を図ることも可能である。そのような行動を明示的にとり込んだモデルの開発が必要である。

課題2. 本稿で言う状態の生起確率は客観的なそれではなく、期待効用水準のレベルでは私的な経済主体によって認識される主観的生起確率である。従って、両者の間でのバイアスがモデルの中であるいは便益評価の段階においてどのような役割を果たすのかについて検討が必要である。

課題3. 本稿では数値実験により適用可能性を示したが、実際のデータを用いた操作性の高いモデルによってそれを確認する必要がある。治水事業を対象とした実際データによる計測は既に高木・上田・森杉・西川・佐藤(1996)において試みて一応の成果を得て

いる。しかし、さらに計測事例を蓄積して精度の検討や簡便な計測手法の開発につなげる必要がある。

以上の課題については一応の成果が得られた段階で機会を見て報告したいと考えている。

本稿について、各方面から様々なご批判・ご意見を頂きながら、改めるべきは改めて、さらに研究を進展させていきたいと考えている。

【謝辞】

まず最初に、この土木計画学研究発表会での招待講演の機会を与えて頂いた土木計画学研究委員会に心より感謝したい。そして、今回の講演の直接の理由となった土木学会論文奨励賞の受賞論文「古典的消費者行動理論からみた交通行動モデル」の共著者である森杉壽芳教授(アジア工科大学)と Le Dam Hanh(運輸政策研究所)に感謝したい。

筆者は東京大学での大学院学生時代から岐阜大学関係者による一連の研究論文に刺激を受け、一種のあこがれを抱いていた。森杉教授にはそのような東京大学在籍時から現在にいたるまで常に暖かい応援を頂き、また、共同研究にお誘い頂いたりした。筆者が土木計画学における理論的基盤の必要性を主張し、そのために経済学を学ぶべしとの考えを持つようになったのは、一重に森杉教授の影響である。森杉教授のこれまでのご支援に感謝し、そして、今後も変わらぬご指導・ご鞭撻をお願いしたい。また、昨年度より筆者自身も岐阜大学の研究グループの一員となり、現在は、宮城俊彦教授・秋山孝正助教授に刺激を受け、そして、若手の助手諸君や学生達に囲まれながら、理論的な基盤に立った実用性の高い計画・分析手法の開発を目指しているところである。現在の快適な研究環境を支えてくれている岐阜大学の関係諸氏に心より感謝したい。

本稿で報告した防災投資の便益評価というテーマは、今年3月に岐阜大学より博士(工学)の学位を授与された高木朗義氏(中日本建設コンサルタント)の学位請求論文(高木(1996))に関連した共同研究として取り組んできたものである。このテーマを招待

講演の題目とすることに快く同意してくれた同氏に心より感謝し、今後も共同研究者としてご協力頂くことをお願いしたい。

最後に、筆者を常に叱咤・激励し、研究者のとして育ててくれた恩師中村英夫先生(元東京大学教授・現運輸政策研究所所長)、そして、常に暖かく見守ってくれている同門の関係諸氏に心より感謝したい。

【参考文献】

- [1]伊藤隆敏：不均衡の経済分析、東洋経済新報社、1985。
- [2]岩井克人：不均衡動学の理論、岩波書店、1987。
上田孝行：不均衡経済下での社会資本整備の影響に関する一考察、土木学会論文集 No.488/IV-23、pp67-76、1994
- [3]上田孝行・森杉壽芳・高木朗義：防災投資の経済評価の考え方、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、pp.619-629、1996
- [4]小谷 清：不均衡理論、東京大学出版会、1987。
- [5]小野善康：貨幣経済の動学理論、東京大学出版会、1992。
- [6]高木朗義：防災投資の便益評価手法に関する研究、岐阜大学学位論文、1996
- [7]高木朗義・上田孝行・森杉壽芳・西川幸雄・佐藤尚：立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法に関する研究、土木計画学研究・論文集 13、1996(印刷中)
- [8]駄田井正：経済学説史のモデル分析、九州大学出版会、pp.84-124、1989
- [9]中込正樹：不均衡理論と経済政策、創分社、1987。
- [10]根岸 隆：ケインズ経済学のミクロ理論、日本経済新聞社、1980。
- [11]皆川 正：不均衡課程の経済理論、創分社、1983。
- [12]山下章夫：不均衡理論と情報、安部大佳編「情報のニューフロンティア」所収、pp.31-49、中央経済社、1989。
- [13]Anderson, S.P. , De Palma, A. and Thisse J.F. , “ Discrete Choice Theory of Product Differentiation”, MIT Press, 1992
- [14]Barro, R.J. and Grossman, H.I.: A General Disequilibrium Model of Income and Employment , American Economic Review , Vol.51 , pp.82-93 , March 1971.
- [15]Ben-Akiva, M. and Lerman, S.R. , ”Discrete Choice Analysis, MIT Press, 1985
- [16]Bennasy, J.P. “ The Economics of Market Disequilibrium”, Academic Press, 1983
- [17]Bishop, R. C., “Option Value: An Exposition and Extension”, Land Economics, Vol.58, No.1, February 1982, pp.1-15.
- [18]Bishop, R. C. and Woodward R. T. “Valuation of Environmental Quality under certainty”, in Bromley, D. W. eds. “ The Handbook of Environmental Economics”, Blackwell, 1995, pp.544-567.
- [19]Blackorby, C. , Laisney, F. and Schmachtenberg, R. “ Ethically-consistent welfare prescriptions are reference independent. “ , in Blundell, R., Preston, Ian, and Walker, I. eds. “ The Measurement of Household Welfare”, Cambridge University Press, 1994
- [20]Clower, R.W. : The Keynesian Counter-Revolution: A Theoretical Appraisal, in F. Brechling and F. Hahn (eds), The Theory of Interest Rates , Macmillan , London , pp.103-125 , 1965.
- [21]Dreze, J. H. , “Underemployment Equilibria”, Cambridge University Press, 1991
- [22]Freeman, A. Myrick III, “Supply Uncertainty, Option Price, and Option Value”, Land Economics, Vol.61, No.2, May 1985, pp.176-181.
- [23]Freeman, A. Myrick III, “The Sign and Size of Option Value”, Land Economics, Vol.60, No.1, February 1984, pp.1-13.
- [24]Graham, D. A., “Cost-Benefit Analysis under Uncertainty”, The American Economic Review, Vol.71, No.4, September 1981, pp.715-725.
- [25]Graham-Tomasi, T. “ Quasi-Option Value”, in Bromley, D. W. eds. “ The Handbook of Environmental Economics”, Blackwell, 1995, pp.594-614.
- [26]Hahn, F.H. : On Non-Walrasian Equilibria, Review of Economic Studies, Vol.45, pp.1-17, 1978.
- [27]Hartman, R. and Plummer, M. L. “Option Value under Income and Price Uncertainty”, Journal of Environmental Economics and Management 14, 1987, pp.212-225.

- [28]Johansson, P. O. "The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits", Cambridge University Press, 1987
- [29]Johansson, P. O. "Cost Benefit Analysis of Environmental Change", Cambridge University Press, 1993
- [30]Makarov, V.L. , Levin, M.J. and Rubinov, A.M. "Mathematical Economic Theory, -Prue and Mixec Types of Economic Mechanisms-", Elsevier, 1995
- [31]Meier, C. E. and Randall, A. "Use Value under Uncertainty: Is There a "Correct" Measure?", *Land Economics*, Vol.67, No.4, November 1991, pp.379-389.
- [32]Morisugi, H. ,"Welfare Implications of Cost Benefit Analysis", in "International and Regional Conflict", eds. by Isard, W. and Nagao, Y. , Ballinger, 1982, pp.101-185
- [33]Morisugi, H. and Ohno, E. , "Proposal of a Benefit Incidence Matrix for Urban Development Projects", *Regional Science and Urban Economics*, No. 25, 1995, pp.461-481.
- [34]Miyagi, T. "On the Formulation of a Stochastic User Equilibrium Model Consistent with the Random Utility Theory, -a conjugate dual approach-", selected Proceeding of World Conference on Transport Research 1986, 1986, pp.1619-1635.
- [35]Patinkin, D. : *Money , Interest , and Prices* , Harker and Row , New York, 1965.
- [36]Philip, C. J. and Graham, D. A. "The Demand for Insurance and Protection: The Case of Irreplaceable Commodities", *Quarterly Journal of Economics*, pp.143-156.
- [37]Plummer, M. L., "Supply Uncertainty, Option Price, and Option Value: An Extension", *Land Economics* Vol.62, No.3, August 1986, pp.313-318.
- [38]Plummer, M. L. and Hartman, R. C. "Option Value: A General Approach", *Economic Inquiry*, Vol.XXIV, July 1986, pp.455-471.
- [39]Ready, R.C. , "Environmental Valuation under Uncertainty", in Bromley, D. W. eds. "The Handbook of Environmental Economics", Blackwell, 1995, pp.568-593.
- [40]Smith, V. K., "A Bound for Option Value", *Land Economics*, Vol.60, No.3, August 1984, pp.292-296.
- [41]Smith, V. K., "Uncertainty, Benefit-Cost Analysis, and the Treatment of Option Value", *Journal of Environmental Economics and Management* 14, 1987, pp.283-292.
- [42]Schmalensee, R., "Option Demand and Consumer's Surplus: Valuing Price Changes under Uncertainty", *The American Economic Review*, 1972, pp.813-824.