

防災投資の費用便益分析:現状と課題

多々納裕一¹⁾

正会員 工博 京都大学防災研究所 総合防災研究部門(〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

本稿では、高度に情報化され集積の進んだ巨大都市圏において発生する大規模地震のリスクが集合性・巨大性・希少性という特色を持つカストロフリスクであり、そのリスクの同定に際してファイナンシャルなカストロフとテクノロジー的なカストロフとが生じうることを念頭においた社会・経済的被害の評価法の開発を目指す上でどこまでが現在までに開発されてきた方法で対応可能で、どこからがそうでないのかを議論していきたい。さらに、カストロフィックなリスクに対する総合的なリスクマネジメント手法の確立を目指して、リスク・コントロール技術とリスク・ファイナンス技術とを有機的に組み合わせて有効な被害軽減戦略を構築するために今後いかなる研究が必要とされているのかを概観したい。

Key Words: catastrophic risk, cost-benefit analysis, uncertainty, long term effect, technological catastrophe, Financial catastrophe

1 はじめに

高度に情報化され集積の進んだ巨大都市圏における大規模な地震のリスクは紛れもなくカストロフィックなリスクである。カストロフリスクは集合性・巨大性・希少性という特色を持っている。すなわち、このような事象が発生すれば、その被害を保険によってカバーすることができないというファイナンシャルなカストロフと、産業や地域の相互依存性に起因して被害を直接受けていない産業や地域が影響を被るというテクノロジー的なカストロフが生じうる。特に、高度に情報化され集積の進んだ巨大都市圏において発生する大規模地震を想定すれば、これら2種類のカストロフが生じることを考慮する必要がある。しかしながら、この種のカストロフリスクによって生じる被害の発生・波及構造を分析するための理論的・実証的な枠組みは未だ整備されているとはいえない状況にある。

巨大都市における大震災というカストロフィックなリスクに対する被害軽減措置を構成するためには、リスクマネジメントの方策を総合的に駆使していくことが必要である。リスクマネジメントの方策としては、構造物の耐震化や住宅の不燃化、土地利用の規制誘導等に代表されるようなリスクコントロールの手段と、地震保険や政府による被災後の財政支出等のリスクファイナンスの手段に大別できる。これらのリスク・コントロール技術とリスク・ファイナンス技術は互いに密接に関係しており、双方を独立に議論することはできない。

カストロフィックなリスクに対する総合的なリスクマネジメント手法に関する研究は現在まだ緒についたばかりであり、この種のリスクの分析・評価の方法について重点的に研究を推進する必要がある。特に、大都市圏域にお

ける地震の及ぼすカストロフィックな影響を分析し、リスク・コントロール技術とリスク・ファイナンス技術とを有機的に組み合わせて有効な被害軽減戦略を構築するための研究を推進することが不可欠であると考え。

本稿では、高度に情報化され集積の進んだ巨大都市圏において発生する大規模地震のリスクが集合性・巨大性・希少性という特色を持つカストロフリスクであり、そのリスクの同定に際してファイナンシャルなカストロフとテクノロジー的なカストロフとが生じうることを念頭においた社会・経済的被害の評価法の開発を目指す上でどこまでが現在までに開発されてきた方法で対応可能で、どこからがそうでないのかを議論していきたい。さらに、カストロフィックなリスクに対する総合的なリスクマネジメント手法の確立を目指して、リスク・コントロール技術とリスク・ファイナンス技術とを有機的に組み合わせて有効な被害軽減戦略を構築するために今後いかなる研究が必要とされているのかを概観したい。

2. 不確実性下の便益評価指標と防災への適用

(1) 不確実性の分類

不確実性下のプロジェクト評価の問題を議論するに際して、まず、本研究で議論の対象とする不確実性の概念を明確にしておくことには意味があるであろう。まず、F. Knight の分類¹⁾について触れよう。経済学においては、不確実性に関してF. Knight の定義が広く受け入れられている。Knight によれば、不確実性には2種類あり、その一つは結果(consequences)に関する確率分布関数が既知の場合であり、他の一つはそのような確率分布に関する知識が全くない場合である。Knight は前者を「リスク」(risk)、

後者を「不確実性」(uncertainty)と呼んだ。ここで、主観的な意味あいにおいて各状態または各事象の生起確率を理解しようという立場に立てば、このような区別にはあまり意味はない²⁾。現実の世界においては、上述のような完全無知の仮定はほとんど妥当ではない。むしろ、主体は生起しうる各状態の確からしさについて、あいまいなものであれ、部分的な知識を有している方が普通であろう。サベッジ³⁾は人々がこのような部分的な知識を持つ場合に、その人の行動が合理的で首尾一貫しているとみなせる場合には、そこから各状態の生起確率が導出できることを示した。したがって、サベッジのような主観確率論者の立場に立つ限り、不確実性下の意思決定の問題は、結局のところ、リスクが存在する場合の意思決定に帰着することになる。ほとんどの経済分析では基本的にこのような立場に立ち、期待効用理論⁴⁾を用いた議論が進められている。

ここで、Bishopによって導入された「供給側の不確実性」の概念について触れよう。Bishop⁵⁾は不確実性の発生する原因がプロジェクトによって提供される(公共)財・サービスの水準が不確実性をもつ場合とそうでない場合を区別した。家計が直面する不確実性がこのような(公共)財・サービスの提供水準の確率的な変動に起因する場合を「供給側の不確実性」と呼び、それ以外の要因による場合を「需要側の不確実性」と呼んだのである。ここで、需要側の不確実性としては市場財の価格、所得の不確実性、さらには状況依存的嗜好などが挙げられる。需要側の不確実性のみが存在する場合には、プロジェクトが実施されているかそうでないかによって、家計に提供される(公共)財やサービスの水準が確定的に定まる。しかしながら、リアルタイム地震防災のための投資にとどまらず、ほとんどの防災を目的とした社会基盤整備では家計に提供される(公共)財やサービスの水準が確定的に定まらない。たとえば、リアルタイム地震防災のための投資の多くは、平常時のサービスの水準の向上に寄与しない。それどころか、投下された費用を回収するために、いずれはその費用は消費者が負担しなければならないため、平常時のみに限れば高い対価を支払って従前と変わらないサービスを利用しなければならなくなる。しかしながら、災害時にはこの種のシステムのおかげでより効率的な運用がなされ、早期の機能回復が可能となる。したがって、消費者が災害時に享受するサービスの水準は向上すると考えて良い。ただし、災害の発生そのものが不確実性を有するから、家計が享受するサービスの水準も確率的に変化する。したがって、リアルタイム地震防災のための投資は、家計の享受するサービスの確率分布を変化させる(すなわち、「供給側の不確実性」を変化させる)と考えることが妥当であろう。この場合、サービス水準は確定的には定まらず、確率的にのみ定まることとなる。

(2) 不確実性下の便益評価指標

①家計の消費行動

不確実性下におけるプロジェクトの便益を評価する際には、多くの場合以下のような仮定が採用されている。(1)家計は市場財の消費行動を行う際には彼の意思決定環境を確定的に知っている。(2)市場財の消費に際して、家計は近視眼的に効用を最大化する。この仮定に従って家計の厚生水準を記述しよう。

いま、プロジェクトによって供給される(公共)財・サービスの水準を q とし、他の市場財の量および価格(ベクトル)を x, p 所得を Y とすると、家計の消費行動モデルは以下のように定式化できる。

$$v(p, q, Y) = \max u(x, q)$$

$$\text{subject to } \langle p, x \rangle = Y$$

ただし、 $u(\cdot)$ は効用関数、 $v(\cdot)$ は家計の間接効用関数である。したがって、家計の厚生水準 $v(p, q, Y)$ は、家計が消費行動に際して直面する意思決定環境 (p, q, Y) に依存することとなる。

先述したように社会基盤整備プロジェクトの場合、プロジェクトの実施が必ずしもそれによって提供される(公共)財やサービスの水準が確定的に定まらない場合も少なくない。たとえば、防災施設整備の場合には、自然災害を引き起こす洪水や地震といった外力自体の発生を制御することは困難であり、むしろ同一規模の外力が生じた場合に発生する被害の程度を軽減するにすぎないのである。この場合には、防災プロジェクトの整備は災害時に家計が直面するアメニティの水準を変化させると解することができよう。従って、家計は供給側の不確実性にも直面することになる。いま、外力の規模を z 、防災施設の整備水準を ξ とし、その際に消費者が直面するアメニティの水準を $Q(z, \xi)$ で表そう。さらに、外力の生起確率を $\pi(z)$ とすれば、家計の厚生水準 $EU(\xi)$ は以下のように与えられる。

$$EU(\xi) = \sum_z E_{\pi(z)} [v(p, Q(z, \xi), Y)] \pi(z)$$

ただし、この場合もう一つの異なった定式化も可能である。すなわち、アメニティ水準の生起確率を導入するのであるが、等価な変換が可能であるから以下では式(1)の定式化を標準として用いる。

②便益評価指標の分類

不確実性下の家計の享受便益を評価するために多くの手法が提案されてきた⁶⁾。これらの手法は、いずれも何らかのプロジェクトの実施に伴うシステムの状態の確率分布の変化に対する家計の享受便益を評価することを意図している。

- a) システムの状態の違いに対する支払意思額を用いる方法
- 期待被害軽減額（期待利得増加額）
 - － 等価変分、補償変分の期待値の差
- b) 整備状況の違いに対する支払意思額を用いる方法
- システムの状態に依存しない支払意思額
 - － 等価的 option 価格、補償的 option 価格
 - システムの状態に依存する支払意思額
 - － certainty point、fair bet point

図－1 不確実性下の便益評価指標の分類

これらを分類すれば図－1 のようである。すなわち、これらの手法は「a) システムの状態の違いに対する支払意思額の期待値を用いる方法」と「b) プロジェクトの実施に対する支払意思額を用いる方法」とに大別される。

a) の手法では、まず、プロジェクトの実施前及び実施後のそれぞれの整備状況において、基準となるシステムの状態と他の状態間での家計の厚生水準の差を等価変分 EV、補償変分 CV 等の支払意思額によって金銭指標化し、それぞれの整備状況毎にその期待値を求め、その差をとって家計の享受便益の評価を行うという方法である。

b) の手法は、プロジェクト実施前と実施後の期待効用の差を支払意思額によって金銭換算する方法あり、さらに「システムの状態とは独立な確定的支払意思額を求める方法」と「システムの状態に依存した支払意思額を求める方法」とに細分される。

支払意思額がシステムの状態に依存することを許さない場合には、プロジェクト実施前の期待効用を実施後の期待効用の水準に等しくするような支払意思額は、ただ1つに定まり等価的 option price と呼ばれる⁷⁾。また、同様な制約下ではプロジェクト実施前の期待効用を実施後の期待効用の水準に等しくするような支払意思額もただ1つであり、補償的 option price と呼ばれる⁷⁾。したがって、これらの option price はプロジェクトによって家計が享受する便益の一元的な評価指標となっている。

一方、支払意思額がシステムの状態に依存することを許せば、プロジェクト実施前と実施後の期待効用の水準を等しくするような支払意思額の組み合わせは無数に存在する⁸⁾。このうち、すべてのシステムの状態における家計の効用が等しい水準であるという条件を満たす支払意思額の組み合わせが certainty point⁸⁾⁽⁹⁾であり、期待支払意思額を最小とする支払意思額の組み合わせが fair point⁸⁾⁽⁹⁾となる。これらはやはりプロジェクトによる家計の厚生水準の変化を金銭尺度で表現したものである。しかし、これらはシステムの状態によって異なる支払意思額の組（ベクトル）として与えられるために、このままでは一元的指標であるプロジェクトの便益の評価指標とはならない。後述するよう

に、この場合には、これらの支払意思額を期待値を用いて便益を構成する必要がある。

③不確実性下の便益評価指標の性質

これらの不確実性下の便益評価指標の性質に関しては詳細な分析が行われている¹⁰⁾⁽¹¹⁾。その結論は、表－1に示すように、整合的な評価を行うためには等価的 option 価格の使用を支持するものとなっている。

表－1 不確実性下の便益評価指標の整合性

指 標	符号保存性	順序保存性
期待被害額	×	×
等価的オプション価格	○	○
補償的オプション価格	○	×
期待 fair bet point, 期待 certainty point	×	○

ここで、「符号保存性」とは「プロジェクトの実施に伴って生じる期待効用の変化の符号と当該評価指標の符号が一致する性質」である。また、「順序保存性」とは「複数のプロジェクトに対する期待効用による序列と当該評価指標による序列が一致するという性質」である。

そこで、他の指標の定義については過去の論文に譲り、等価的 option 価格の定義についてのみ示しておくこととする。

いま、プロジェクトの実施前の状態を ξ_0 、実施後の状態を ξ_1 とおき、システムの状態が実現値 x をとる場合の支払意思額を $s(x; \xi_1)$ とおこう。このとき、次の関係が成り立つ。

$$\sum_x E_{[p, y]} [v(p, Q(x; \xi_0), y + s(x; \xi_1))] \pi(x) = EU(\xi_1)$$

したがって、整備後の厚生水準と整備前の厚生水準を等しくするような支払意思額の組 $s = \{s(x; \xi_1)\}$ は無数に存在する。

ここで、option 価格は実現するシステムの状態 x とは独立なプロジェクトの実施に対する確定的支払意思額である。このことは、任意の相異なる x_0, x_1 に対して $s(x_0; \xi_1) = s(x_1; \xi_1) = \text{const.}$ となることを意味している。そこで、上式において $s(x; \xi_1) = OP_e$ とおけば、等価的オプション価格の定義式が得られる。すなわち、である。

$$\sum_x E_{[p, y]} [v(p, Q(x; \xi_0), y + OP_e)] \pi(x) = EU(\xi_1)$$

(3) 防災プロジェクトの便益

ここまでの分析では、災害によるシステムの状態の変化は家計のアメニティ水準に影響を及ぼすとして表現してきた。一般には、災害は家計にとどまらず、企業や政府にも直接的・間接的な影響を及ぼす。

この種の影響を分析するためには、一般均衡モデルに理論的基礎をおく産業連関分析や応用一般均衡モデルを用いて災害による被害の発生・帰着構造を明らかにしておく必要がある。しかしながら、企業や政府に生じた損害は最終的には家計に帰着する。というのは、本源的資源（経済の中で生産されない財、代表的には労働、土地、資本）が家計によって所有されており、株式の保有を通じて企業の自体も家計によって所有されているからである。災害によって資本に損傷が生じ、生産が滞り企業の利潤が負となっても、そのことによる損失は結局配当の減少として家計の所得を減少させることとなる。税収の落ち込み、復興のための投資等による財政の悪化も最終的には家計が負わなければならない。したがって、最終的には災害の影響は価格・所得といった家計の意思決定環境に影響し、家計の厚生の変化として帰着する。このため、災害による被害や防災施設整備による便益は結局家計の厚生変化に基づいて計算すれば良いことになる。言い換えれば、前節で示した便益の評価指標のみを集計化すれば十分である。言い換えれば、他の主体に生じた損失と家計の損失とを足しあわせる場合には慎重な態度が要求される。すべての変化を織り込んで家計の損失を計上すればそれで十分なのであるから、さらに企業や政府で生じた損失を加えると、被害が2重計算されて課題となってしまうからである。

したがって、この種の集計を行う場合には、便益の帰着構造を経済主体ごとに整理し、2重計算を避ける必要がある。このために開発された方法が森杉¹²⁾による便益帰着構成表である。災害分野でもいくつかの適用事例がある¹³⁾¹⁴⁾。ただし、この方法は均衡の比較を前提としており、直接的に時間軸に沿った議論を展開することは困難である。

3. 災害リスクの特徴と現在の方法の問題点

以上、現状における防災投資の費用便益分析の状況を概観してきた。その結果明らかになったことは、静的な分析に主眼が置かれ、動的な問題がそれほど精緻に扱われていないということである。防災対策の便益が本質的に均衡の比較によって定義しうるのであればそれで十分であるが、災害リスクの特色を考えるとやはり十分とは言えない。以下では、この点について考察を加える。

(1) 集合性・巨大性

災害リスクはその特徴として空間的相関性の高い純粋リスクであるという側面を持つ。純粋リスクは対象とするリスクが損失のみを発生させる場合をさす。多くの場合、リスクというとこの純粋リスクを意味するが、損失のみならず利益が生じるような不確実な事象の発生確率もリスクの範疇に入れられることが近年多くなってきている。この種のリスクの代表的なものは、投機的リスクと呼ばれ、株価

の変動等のリスクを対象とするファイナンスの分野で取り扱われることが多い。

純粋リスクのうちでも、自動車事故のリスク等のように、空間的相関性が低く、対象とする事象が独立に生起するとみなしても差し支えない場合がある。隣の家の人々が交通事故に会った場合に、自分の家の誰かが交通事故に会っている状況が生起することは統計的に有為な程度に発生するとは考えにくい。

これに対して、災害リスクは空間的相関性が高い。隣の家が地震によって被災した場合に、自分の家も被災している確率は、そうでない場合に比べて統計的に有為な程度に高い比率で発生すると考えられる。したがって、この場合は、災害という被害をもたらす事象が発生したことによって被害を受ける客体が多数同時に現れることの影響を考慮する必要がある。小林・横松¹⁵⁾は、このような災害の発生を2段階のくじとして表現したモデルを提案している。すなわち、第1段階のくじで、ある集団に対しての被害の規模が定まり、その下で第2段階のくじによってその集団に属する個人が損害を被るかが定まるようなモデルである。

①ファイナンシャルなカストロフ

この被害の集合性・巨大性が、先述したファイナンシャルなカストロフィーとテクニカルなカストロフィーを引き起こす。従来、保険のシステムは、主として独立に生起する純粋リスクを対象とし、相互扶助の仕組みによって損害を被った少数の人を損害を被っていない多数の人々が救済する仕組みである。したがって、その成立のためには大数の法則が成り立つように、損害の発生が本質的には独立に発生しなければならない。しかしながら、災害は被害を同時に集合的に発生させる。したがって、大規模な災害に対しては相互扶助の仕組みは成り立ちにくい。後述するように、現代の保険会社は大規模な災害に対しても対応可能な枠組みの開発を行ってきた。その一つは、再保険であり、また、災害保険の証券化である。小林・横松¹⁵⁾はある集団全体のリスクと、集団内のリスクの分散を図る方法を別々の枠組みで構築すべきであると結論づけている。すなわち、集団内のリスク分散の方法としては従来型の保険で対応できるが、ある集団全体のリスクの分散には、アロー証券の市場の創設が必要であることを述べている。さらに、この種のリスク分散の仕組みの整備の状況に応じて、防災投資の便益が異なりうることを示している。この結論は、きわめて重要であり、施設の耐震化やリアルタイム対応のための投資の効果が保険等のリスク分散・移転の方策と個別に議論できないことが示唆されているからである。

ファイナンシャルなカストロフのいま一つの側面を強調しておく必要がある。その側面は、保険が可能でない状況下において生じる通時的な効果である。大規模な災害に襲われた地域は、復興に長期を要する場合が少なくない。

その一つの要因は事後的な資金調達の問題である。災害前には何とか維持されていた企業が一時に多額の損失を被った場合、経営の継続が困難となることは少なくない。このような変化がある種の産業や地域に集中的に生じた場合、地域の産業構造や就業構造そのものが不可逆な変化をうけ、永続的な変化をうけてしまう可能性が高い。しかしながら、標準的な経済分析では、災害によって生じる被害は過渡的に生じるとされ、永続的な被害の可能性を考慮した分析がなされることはほとんどない¹⁶⁾。

②テクノロジカルなカストロフ

産業や地域の相互依存性起因して被害を直接受けていない産業や地域が影響を被るというテクノロジカルなカストロフが生じうる。このことが、間接的な被害を招く一つの主要な要因となっている。瞬時に均衡に達するという仮定が成り立てば、この種の影響の分析には先述したような(多地域)応用一般均衡モデルや産業連関モデルが有効である。

ここで、動的な側面に目を転じれば、この種のカストロフが生じる理由は直接的に被害を受けていない産業や地域が被災後にも存在していることに注目すべきである。防災投資の効果を動的に分析する試みは近年になって著者らにより始められたばかりである¹⁷⁾。この分析では新古典派的な経済成長モデルにランダムな発生時間間隔をもつ資本損傷のリスクを災害リスクとして組み込んだモデルである。このモデルの分析結果から、災害の頻度は社会的割引率に

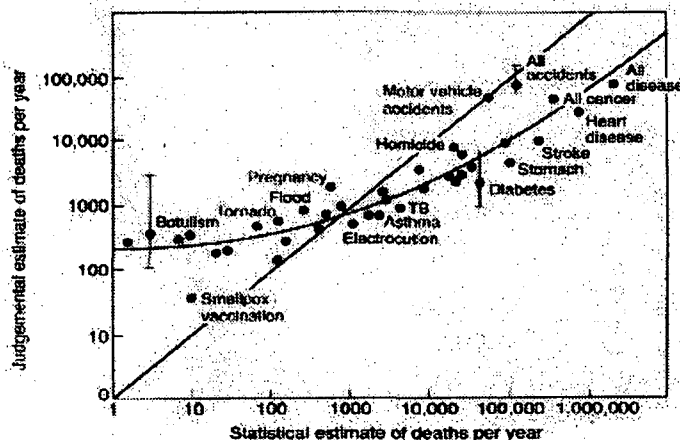
じて経済成長を図る場合には、長い期間を要するが、災害後の復興はより早期に実現されるのが普通であるからである。これは、災害時にはそれでも損傷を負っていない産業や地域があるために、資源の効率的な利用のためにも早期の回復が望まれるのである。そのような結論を導きうるモデルを構成することができて始めて、最適な復興戦略について現実的な議論が展開できようが、これは今後の課題である。

(2) 希少性

災害は明らかに希少な事象である。このことは、我々が災害について多くの知識を得ることができない主要な要因となっている。災害のリスクに関しても日常の経験を通じて学習することが困難であるため、あいまいなリスク認知やバイアスが生じることとなる。

図一2¹⁸⁾は、一般の人々が希少な事象に対するリスクをどのように評価しているかを調べたアンケート調査の結果である。この図から、より稀にしか生じない事象に対しては、そのリスクが高めに見積もられ、そうでない場合には低めに見積もられる傾向が読み取れる。

一般の人々によってなされる減災行動や居住地選択行動は、主観的に認知されたリスクに基づいてなされる。したがって、この種のバイアスの存在は災害に対して脆弱な都市構造を作り上げる要因の一つとなりうる。このような認知リスクのバイアスが存在する状況下では、主観的な効用を下に便益を評価すると社会的には望ましくない結果を招



図一2 認知リスクと実際のリスク

影響を及ぼすこと、家計の危険回避度の程度が高いほど、高度な防災投資の水準が望まれることなどがわかっている。しかし、通常の経済成長モデルと同様、生産要素としては資本のみが取り扱われているために、最適な成長と最適な復興は同じ経路となっている。これは、すべての生産要素が同時に同じ割合で損傷した場合なら妥当するかもしれないが、そうでない場合には非現実的である。資本蓄積を通

く恐れがある。山口・多々納¹⁹⁾は客観的なリスク水準を用いて補正した厚生をもとに便益評価を行う方法を示している。

4. おわりに: 動的な要素を考慮した便益の評価に向けて

本稿で議論した主要な論点を整理しよう。現在までになされてきた防災投資の便益の評価は、基本的に均衡の比較を中心として議論されてきた。しかしながら、前章で示したように、ファイナンシャルなカストロフ、テクニカルなカストロフが生じるような大規模な災害では、復興等の動的な側面を無視することが困難である。この種の状況に対して、今までなされてきた取り組みは、直接被害と間接被害を個別に算定し、これらを集計化するという方法である。

既に見たように、単に集計化するという行為は2重計算の過ちを犯す恐れがあり、慎重を期すことが肝要である。しかしながら、動的なフレームの中では、あまりこの種の検討はなされてきていない。Tatano¹⁷⁾は、単にストックに生じる直接被害とその結果として生じるフローを間接被害として集計するのではなく、ストックに生じる直接被害と復興の便益そしてその費用を考慮すべきであることを示している。このような分離を行うことで、フローの名目的な減少分（例えば、地域総生産）の現在価値と復興の費用と和が総体としての被害となることを示している。しかしながら、保険等の制度との関連やテクニカルなカストロフに踏み込んだ議論にはいたっていない。この点に関して、統合的な検討を行うことが火急の課題であると考えている。

また、構造変化の可能性を考慮した防災プロジェクトの評価は現在のところ皆無といって良い。構造変化の可能性を考慮に入れると、通常考えられている以上に防災投資の効果は少なくとも地域のレベルで上がっているということができであろうが、この点に関しても検討していきたい。

参考文献

- 1) Knight, F.: Risk, Uncertainty and Profit, Houghton, Mifflin Co., 1959.
- 2) 酒井泰弘: 不確実性の経済学、有斐閣、1982.
- 3) Savage, L.: The Foundations of Statistics, John Wiley, 1954.
- 4) Von-Neumann, J. and O. Morgenstern: Theory of Games and Economic Behavior, Princeton University Press, 1971 [鈴木浩・橋本和美・宮本敏夫訳: ゲームの理論と経済行動、東京図書、1972-73].
- 5) Bishop, R.C.: Option value: An exposition and extension, Land Economics, 58, pp.1-15, 1982.
- 6) Johansson, P.O.: Cost-Benefit Analysis of Environmental Change, Cambridge University Press, 1993.
- 7) Graham-T., T. and Myers, R.J.: Supply-side option value: Further discussion, Land Economics, 66, pp.425-429, 1990.
- 8) Graham, D. A.: Cost-benefit Analysis under

Uncertainty, American Economics Review 71, pp.~715-725, 1981.

- 9) Morisugi, H and E. Ohno: Proposal of a benefit incidence matrix for urban development project, regional Science and urban Economics, No.25, pp.461-481, 1995.
- 10) 多々納裕一: 不確実性下の便益評価指標に関する考察, 京都大学防災研究所年報, 第41号 B-2, pp.11-19, 1998.4.
- 11) 多々納裕一: 不確実性下のプロジェクト評価: 課題と展望, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.19-30, 1998.9.
- 12) 森杉壽芳: プロジェクト評価に関する最近の話題, 土木計画学研究・論文集, No.7, pp.1-13, 1989.
- 13) 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.
- 14) 上田孝行: 防災投資の便益評価—不確実性と不均衡の概念を念頭において、土木計画学研究・論文集, No.14, pp.17-34, 1997.9.
- 15) 小林潔司, 横松宗太, カストロフ・リスクと防災投資の経済効果, 土木学会論文集, No. 639/IV-46, pp.39-52, 2000.
- 16) Chang, S.: Disasters and transport systems: loss, recovery and competition at the Port of Kobe after 1995 earthquake, J. Transport Geography, 8, pp.53-65, 2000.
- 17) Tatano H., ISOBE W. and OKADA N.: Economic evaluation of seismic risks, in proc. of the Japan-China workshop on Urban Diagnosis against Seismic Risks, 2000.
- 18) Fischhoff, B. et. al: Acceptable Risk, Cambridge, Cambridge University Press, 1981.
- 19) 山口健太郎・多々納裕一・田中成尚・岡田憲夫: 単一中心都市における甚大な災害リスクに関する情報の提供効果に関する分析, 土木計画学研究・論文集 No.16, pp.333-340, 1999.9