

「災害などのリスクと経済政策」勉強会 （第2回）

開催日：2005年12月9日

プログラム：「空間的応用一般均衡分析を用いた巨大災害の経済評価」

講師：東京大学工学系研究科 社会基盤学専攻 上田 孝行 教授

1. はじめに

今回は、新しい社会基盤を作ったときにどのような便益が社会にもたらされるか、それと費用をどのように比較するかといった費用便益分析の推定の方法をある意味で裏返しにして、あるインフラが破損したときにどのような被害や損害になるのかということを考えるためのモデルを紹介する。

2. 講演の流れ

今回の講演は以下の流れに沿って説明していく。

- (1) 経済評価の必要性：なぜ防災といった問題で経済評価をしなければならないのか
- (2) 空間的応用一般均衡モデルの考え方：一般均衡分析、応用一般均衡分析、さらにはそれを地域別、空間的に被害や便益の分布を捉えるような形で空間のディメンジョンに拡張したモデル、および考え方の紹介
- (3) 事例紹介：公共事業評価に使用しているEGU、CGUの考え方および事例紹介
 - ・ 分析事例（イ）：関東地域で新幹線が不通となった場合の波及被害
 - ・ 分析事例（ロ）：静岡県における社会基盤施設破壊の波及被害
 - ・ 分析事例（ハ）：浜松都市圏での社会基盤施設破壊の波及被害
- (4) 今後の課題：研究における将来の展望、自分自身に課している宿題について

3. 経済評価の必要性

(1) 防災投資の判断基準

我々が土木のエンジニア集団のなかで求められるものは、事前にどれだけの防災投資をすればいいのかを明らかにする事である。

例えば、橋梁を作る時には、その中に鉄筋をどれだけ入れればいいのかということを計算する。たくさん入れれば頑丈になるが、もちろんそれにはコストがかかる。ではどれだけの鉄筋量で、どれだけの強さというのが経済的に最も合理的であるのか。過剰なコストをかけた設計は当然無駄であるし、耐震の性能が弱ければそれは問題になる。そこで、被害額と発生確率をみて、それを防止できるだけの投資額と比較をして、大小比較で判定を

するのである。

$$(\text{経済被害額}) \times (\text{発生確率}) - (\text{防災投資額}) \begin{cases} > 0 \\ = 0 \\ < 0 \end{cases}$$

ただし、ここで難しい点は、力学のエンジニアから求められる事は個別の構造物に対する防災投資の答えであるが、実際の経済被害というのは一カ所が壊れてどうかということよりもむしろ、広範囲に色々な部分が破損され、ネットワークが壊れて機能が停止するという事であり、そこにギャップが生じている点である。

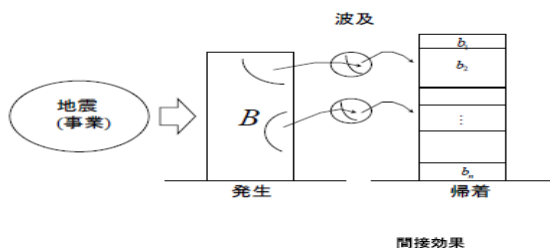
そのため、我々は、個別の構造物において、柱を何本にして、鉄筋をいくらにして、コンクリートをどれだけにする、という個別レベルでの評価ではなく、もう少し大括りの段階を対象としている。例えば東京で新幹線の機能が破損によって数カ月停止する、といったことが無いようなレベルまで新幹線の耐震能力を保証することが出来る水準、言い換えれば、どのような状況でもある一定程度の機能、性能を発揮できるといったような「性能の保証」を示す事によって防災投資の評価としているのである。

(2) 被害額をどうみるか

通常、耐震設計の世界では、直接被害額は壊れた構造物を元の状態に戻すための復旧工事費用であり、対して間接被害額とは、破損によって生じた経済社会活動の不都合を通じた被害を貨幣額として表したものとされている。もう少し間接被害を説明するならば、まず災害によって橋が壊れる。そこで、回り道をしなくてはならなくなり、結果として余分な時間が生じる。時間が余分に掛かるという事は時間の喪失であり、その時間を金銭的に仮定した上で、本来はその橋を一日何台の車両が通過しているかということから、災害によって一日何台分の交通が遮断されるかということ計算し、その結果を被害額とするのである。これは橋を元に戻すための復旧費用とは全く別のものとして考えられており、いわゆる経済被害といった場合は、この間接被害が当てはまる。

また、被害推定はもちろんのこと、新しいインフラを整備したときの効果というものについても、図1のように通常2つのフェーズで考える。

図1 : <被害 (便益) の発生・波及・帰着>

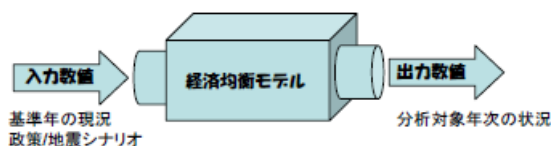


一つは「発生」であり、もう一つは「帰着」である。「発生」とは橋が被災して交通が遮断され、橋の交通を利用している人が被害を受ける段階をいう。そして、それが物資の輸送を不便にさせる。結果、輸送に時間・コストがかかる。さらに、それが実際に輸送をしているわけではない生産者側へのコストとして及び、生産のコストがアップされて価格が上がるとか、生産者の利益が下がるといった形で、「波及」していく。このように災害時には、発生した被害が小分けになって色々な人のところへ伝播していき、色々な人のところに「帰着」していくという流れになるのである。

通常、被害推定といった場合には、この「発生」の段階で捉えることの方が容易である。それは、「帰着」の段階で捉えることは、小分けになった被害の全てを追っていき、一つ一つ積み上げなくてはいけないため、相当な手間がかかるからである。そのため、基本的にはこの「発生」の段階で評価を行っている事が多いが、これでは被害が総額として評価されたとしても、どの地域がどれだけの便益または被害を受けるのか、さらにはどの産業セクターが特に甚大な被害を受けて大変になるのか、という情報が不足してしまっている。そのためには「波及」「帰着」の段階までもを、もれなく、網羅的に、空間的な視点から捉えることが必要となってくる。これがないと、防災投資をした際に、ある地域は手厚く、ある地域は手薄にということになり、結果「格差」が生じる事につながる。またこういった情報は、「効率性」の視点からも、まず甚大な被害を受けるだろう地域や産業セクターから優先的に対策を行うという、合理的な判断につながると考えられる。よって、「公平性」、「効率性」の観点から、空間的に便益・被害の分布を見ておくことは重要なのである。

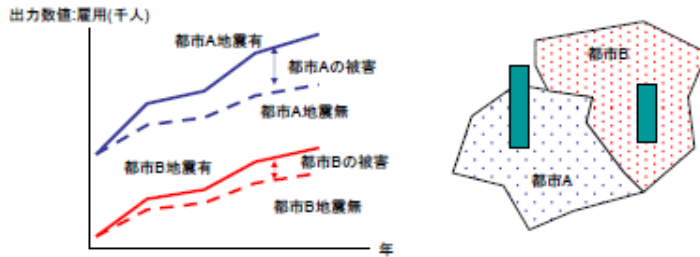
イメージとしては経済均衡モデルに、基準年の色々な状況や防災・復旧・復興政策、さらには地震のシナリオを入力することで、どれくらいの被害になるのかという分析対象年次の状況が把握できるのである。

図2：＜波及被害を測る手法 イメージ＞



また、実際に被害の推定という意味では、地震の発生した時と、そうでない時それぞれに、出力数値を算出してその差を見るとか、あるいは事前の防災投資の便益という意味では、防災投資をして地震が起きた時とそうでない時と比較してその差を見るということになる。ここで、重要なのはその分析を色々な地域毎に行う、つまり空間的に分布を見ていくという事であるが、これは手間もかかるし、きちんとした経済モデルがないと出来ない分析になってくるのである。

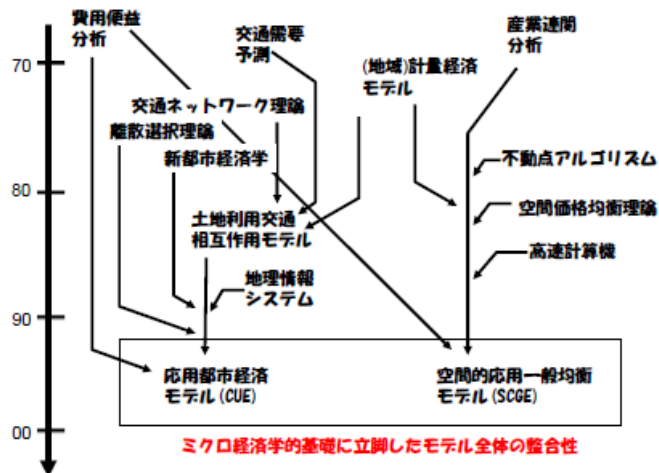
図3：＜被害推定手法のイメージ＞



(3) 経済均衡モデルの日本での発展

経済均衡モデルの発展には色々な理論的背景がある。そもそも産業連関や計量経済の伝統がある中で、数学的なハンドリングをする上でのアルゴリズムや色々な理論、あるいはコンピューターの技術などが発展した事によって計算などが楽になったという事も、発展の要因の一つである。

図4：＜公共事業評価のための経済均衡モデル 日本での発展＞



同時に、地域計画・交通計画を専門にしている人間は、交通の流れを予測するということを徹底的にたたき込まれているが、そういったモデルのみならず、都市経済学の流れを受けながらも、都市内の土地利用や住宅の利用分布がどうなるのかということも交通の発生源として予測する手段が、60年代後半から出現し、特に80年代に発達している。また、その上で地理情報システムによるデータの発達もあいまって、モデルとして発展してきたのである。そして、応用都市経済モデル（CUE）と、空間的応用一般均衡モデル（SCGE）へとつながっていく。

(4) 経済均衡モデルの特徴

応用都市経済モデル (CUE) と、空間的応用一般均衡モデル (SCGE) の特徴としては、(イ) 教科書的なミクロ経済学の効用最大、利潤最大、費用最小といった、みんなが認めやすい行動仮説、均衡仮説に基づいているので、モデルが割合誰にでも納得してもらいやすいという事、また (ロ) そのため誰がモデルを作っても似たような構造になってくることから、大きなばらつきが少なく、合意が得やすいということがある。さらに、(ハ) 便益の計算についても、ミクロ経済学の基礎理論に依ったベネフィットの尺度が確立されているため、すぐに活用が出来、非常に使いやすいという点も挙げられる。

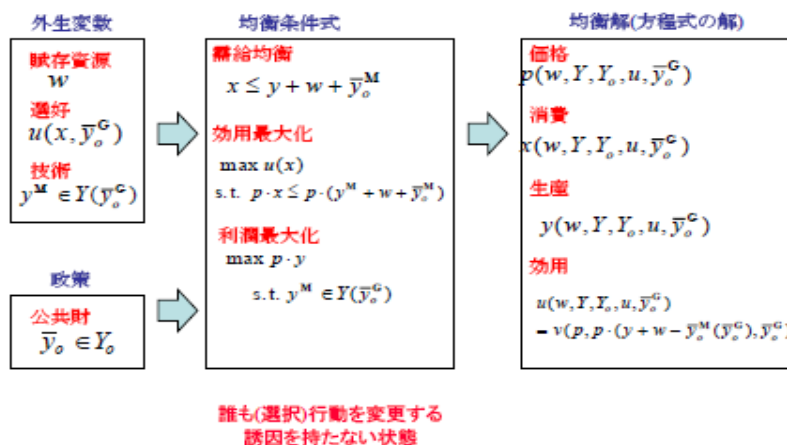
この応用一般均衡モデルは、前述の通り、本来、被害推定ではなく公共投資の便益を測る、例えば施設効果など、インフラの利用がもたらす便益を求める事などが中心となっている。経済系の研究者はよく、生産関数アプローチとして、インフラのストック量を生産関数の中に入れ、それによって付加価値ベースでの生産がどの程度増加するかということを求める事が多い。また、その応用として、生産関数の中に入れたインフラのストック量が、地震で 30%破損した場合、それによって GDP、GRP (地域総生産) ベースでどれくらいの生産減少が生じるか推定して、それを被害と捉えたりすることが多い。

それに対し、空間的応用一般均衡モデル (SCGE) はまだ定型化はされていないし、必ずしもオーソライズされているものではない。とはいうものの、2005 年 9 月 13 日の運輸政策研究機構におけるセミナーでは、公共事業関係の方へ SCGE の紹介をする機会があり、200 名近い出席者があったが、特に地方自治体の人に興味を示してくれたという実績もある。

4. 空間的応用一般モデルの考え方

(1) 基本的構造

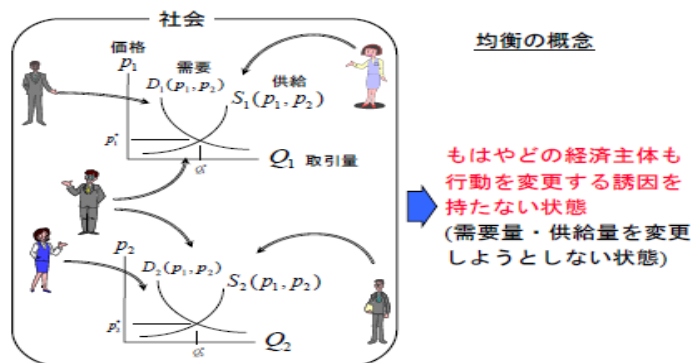
図 5 : < 経済均衡モデルの基本構造 - ワルラス均衡 - >



基本的構造としては、まず、外生変数として資源がどれだけあって、世帯・消費者の選好がどのようなものであって、生産の技術がどうなるというようなことを与える。そして、生産と消費、つまりは需要と供給のバランス式（需要均衡）の背後に、効用を最大化し、利潤を最大化する企業や家計の行動が存在する。こういった方程式体系で価格や消費量、生産量を求めて、効用の関数の中にそれらの数値を入れると、結果として効用が出てくるわけである。例えば資源が地震によって破損して減ったりする、あるいは公共事業投資によって公共財等の供給量が変わって経済変数が変化すること、それを効用関数の中に入れるというわけである。地震の場合はこの効用の低下分が経済被害ということになるし、通常の投資の場合は、この効用がどれだけ上昇したかということをもってその便益とするわけである。

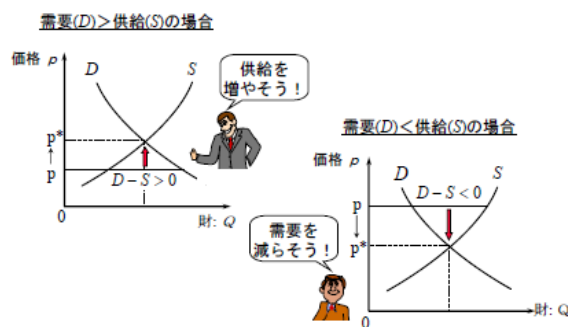
こういった一般均衡理論の基礎概念としてポイントとなるのは、「均衡」の概念として、需要や供給は価格変数の関数として表現されており、需要と供給が一致して、もうだれも供給量も需要量とも変更しようと思わないという状況を表現しているということである。

図6：＜一般均衡理論の基礎概念（イ） 均衡の概念＞



次に、価格が自分の思ったものよりも高ければより多く売ろうと思うし、または買い控えようとするというような「価格の役割」から、最終的に便益が決まる。つまり、市場では、価格が「シグナル」の役割を果たして、需要と供給がバランスするように調整されるということも押さえない。

図7：＜一般均衡理論の基礎概念（ロ） 市場における価格の役割＞



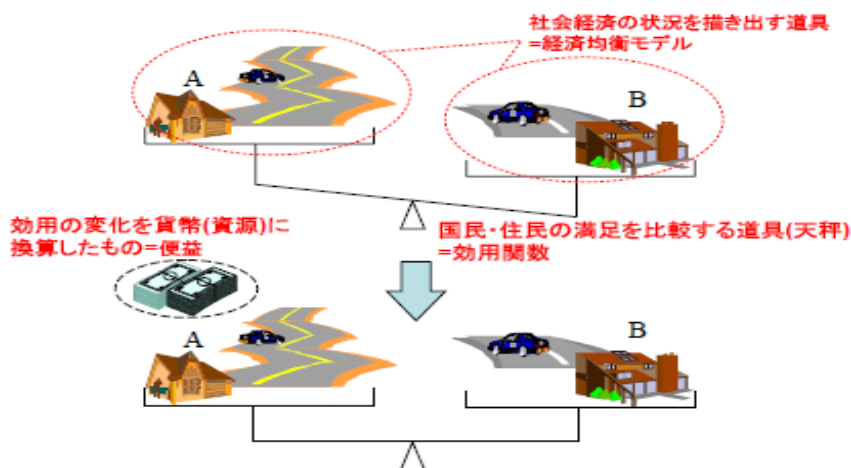
また、市場については、生産物市場のみではなく、生産要素、つまりは労働・資本・土地の分についても考えることが重要になってくる。これらの要素を、災害との関係から見れば、災害時は、物資が届かないとか、生産が落ち込んで商品を販売することが出来ない等の様々な状況が生じる。また、災害の結果として働き口がなくなってしまう、またはそもそも働き手が不足してしまうなどといった、「労働力」という意味での生産要素を上手く調達出来なくなる事が生じる。さらには、「資本」としての建物や構造物のストックが壊れることも生じる。そして、この状況から如何に早く復旧できるかということが全体の被害額の推定にも影響するのである。そのため、特に生産要素に関しては、きちっとモデル化しておくということが重要になってくる。

こういったモデルで方程式を解くに当たっては、色々な経済計算の体系に基づいてデータを取ってくるわけであるが、その中でも特に重要なのは、「産業連関表」である。特に他部門のセクターや他地域のセクターに関するものとして、産業連関表でも「地域間の産業連関表」が重要である。日本ではこれは政府によって整備されているものであるため、これを用いた研究をする研究者は恵まれているわけではあるが、分析の目的によっては必ずしも全ての都合良く出来ているわけではないので、自分たちで加工したり補完したりして使っていく事になる。

(2) 被害推定モデルの考え方

便益の推定、あるいは被害の推定は、基本的には図6のようにAとBという二つの状態を考える。

図8：＜便益（被害）計測と経済均衡モデル＞



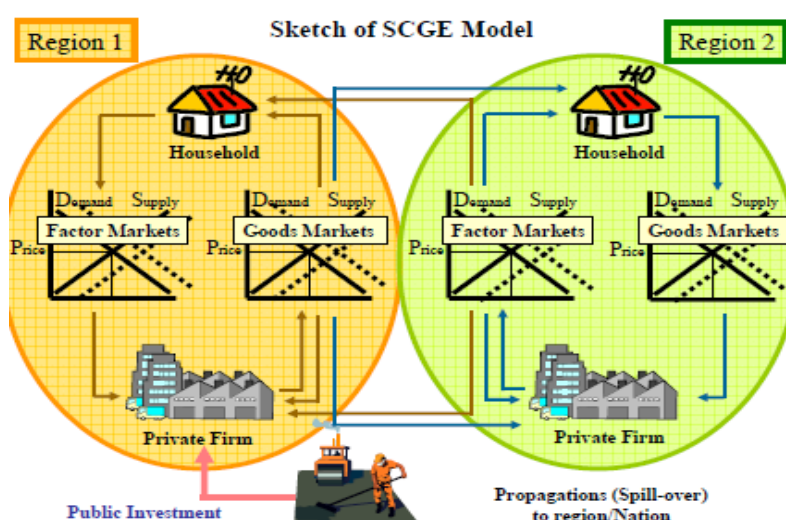
Aを整備していない状態、あるいは地震によって道路が破損した状態と仮定し、Bが平時あるいは望ましい状態であると仮定した場合、これらのどちらが良い状態かという、もちろんBの方が価値が高いという事になる。そこで、例えば、それをバランスさせるく

らいにお金を積んだとしたら、いくら積んであげればバランスするのか、つまり経済学で言う無差別という状態になるのかというのを考えていく事になる。これは、A+お金もしくはBのどちらが重いか、つまりは良いか、という二者択一をするわけであるが、結果とは、これはどちらも同じ、つまりは両方が無差別であるという事になる。こういった判断が出来るものに関しては、基本的に全て貨幣単位で表現が出来る事になってくる。

しかし、この時、人命などを貨幣単位で想定するのかという事が問題になってくるが、災害の場面においては人命の被害を経済被害として含めることはタブーとされており、またエンジニアの世界でもタブーとなっている。特に土木の世界では、設計基準を考える際には、最低限のラインとして、万が一建物が壊れたとしても絶対に人が死なない、それだけはどんなにコストがかかっても守るべき条件とした設計基準でいこうと考えるのである。ただその先は壊れ方に応じて補修の費用がかかってくることになるわけだが、それは費用との見合いで、どれだけ強くするかを建物の所有者に選ばせていいたろうという見方になっている。こういった意味から災害に関しては、人命を費用計算、金銭換算するような事はしない。ただし、交通安全に関しては、世界的に人命の価値をいくらというように決めて（大体一人1億~1億5千万円）、被害計算や便益計算をしているという例もある。とはいうものの、今回のモデルでは人命の被害を計算はしないという前提である事は理解してもらいたい。

さて、ここからはSCGEモデルで他地域を扱って、Factorのマーケットと、Goodsのマーケットをモデル化していく。

図9 : < SCGEモデル概要図 >



まず企業は労働や資本を投入していく。この時、企業は自地域から中間投入を取るだけでなく、様々な地域から中間投入を調達してくる事になり、そして、それらを組み合わせる一つ一つの製品にしていくという生産行動をとっているわけである。