

# 「災害などのリスクと経済政策」勉強会 （第1回）

開催日：2005年12月1日

プログラムⅠ：「高度地震シミュレーションシステム」

講師：東京工業大学大学院理工学研究科 助教授 市村 強氏

## 1. はじめに

今回紹介するのは、地震時に都市がどのようなようになるかということ予測するシステム、「統合地震シミュレータ」というものである。当研究は東京大学地震研究所の堀教授との共同研究であるが、今回は現時点での研究結果につき紹介していく事としたい。

## 2. 研究の目的

当研究を始めた目的であるが、まず、世の中の人々は、地震に対して「怖い」というイメージを持っているが、「地震による被害がどういったものなのか」という具体的なイメージを持っていないという現状がある。そのため、地震は「怖い」ので備えを用意しようという行動は起こすのだが、結果的には防災グッズを揃えるといったような水準に留まってしまっている。また、地震が発生して5分後に自分は一体何をしているのかというイメージも、「自分は死んではいけない」であろうし、また、たぶん人助けをしているであろうというようなレベルである。つまり、実際に、震災時には「何が起きて」「どのような状況にあって」「何をしなければならぬ」のか、といった具体的なイメージを持つことが出来ない。しかし現状は、そういった人々に対して、災害による被害を軽減するための合理的な震災対策が求められており、ここに大きなギャップが生じている。

これに対し、人々は起こりうる地震被害に対する「共通認識」を持たなくてはならない。ただ「怖い」のではなく、「何が怖い」のか、そういった「共通認識」を持つことが重要になってくるのだ。そのために、分かりやすく可視化されたデータが提供されるべきであり、それが当事者である市民、行政、技術者などに共有されてこそ、効果的な震災対策が生まれてくる。

また、「実際に何が起こるのか」ということの把握であるが、震災時に、想像も出来ないような事に対応する事は非常に困難を極める。そこで、「何が起こるのか」という事の把握のために、可能な限りの多数のシナリオを経験すること、つまりは場数を踏む事によって、想定外であるものを、想定内に入れてしまう事が必要である。

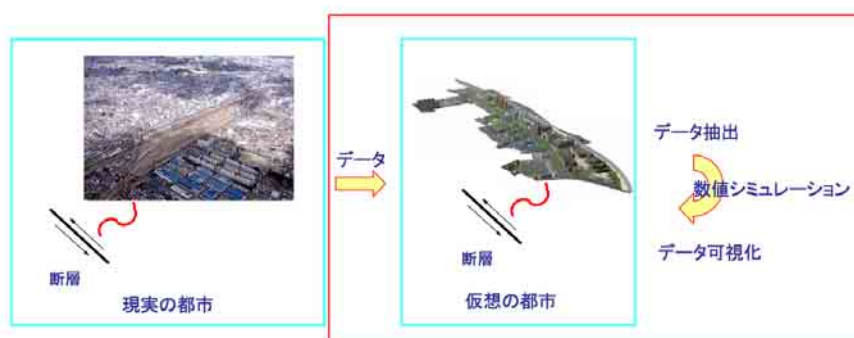
そこで、起こりうる震災の可視化された情報をどのように提供するか、実際に発生する

可能性の高いリアリスティックな情報をどう作り出すのか、ということがポイントとなってくる。

従来の地震工学でも、こういった取り組みは行われてはいた。しかし成果としては、色々な制約を受けた影響もあり、あまり出てきていない。そういった中で、これらの問題を解決し、震災の可視化された情報を提供するためにはどのような手法を用いるべきであるかということに対して、我々は現在、地震工学・情報工学などを融合した分や横断的な手法を用いてのアプローチを試みている。

それは、まず計算機上に現実と等価な仮想の都市を構築する事から始まる。そして、断層を動かし、断層がどのように動き、地殻の中を地震動がどのように伝わってくるのか、地上付近でどのような地震動分布となり、都市はどのように揺れるのか、それを全て計算機上でシミュレーションしてしまうのである。つまり数値シミュレーションを積み重ねることによって、どのような事が起きるのかを導き出すのである。そのため、「統合地震シミュレータ」ではこのようなシミュレーションによって、仮想現実都市内の様々な建造物の解析を行い、また併せて緊急対応や復旧対応の解析も行い、震災時には実際にどのような事が起こるのかといった情報を生み出すことを目的としているのである。(イメージは図1を参照)

図1 : <統合地震シミュレータシステムの目的イメージ>



### 3. シミュレーションシステムの概要

「統合地震シミュレータ」は、断層の破壊過程、波動伝播、ローカルサイトエフェクト等の地震動計算のための「強震動シミュレータ」と、それぞれの建造物の解析のための、「各種建造物のシミュレーションツール」、さらにはデータのまとめりである仮想現実都市を、上手く組み合わせる事によって、シミュレーションの実現を図っている。

具体的には、GISデータやCADデータを用いて計算機上に仮想現実都市を作成する。この中には、土や、橋梁などの色々な建造物が含まれている。そして、これに対して地震

動を計算する解析ツールによって、断層がどのように破壊するのか、地震波がどのように伝播するのか、地上付近でどういった地震動の増幅が起きるのかなどといった事を計算することで、計算機上の都市を揺らすのである。これによって、都市内のどの部分が揺れやすいのかといった、仮想現実都市の挙動の計算結果が可視化されてくる。そして、この結果をデジタルデータとして計算機上に保存しておく事によって、それぞれの見たい尺度で切って見ることが出来る。例えば、この辺の橋梁が揺れていたらしいとか、またはひとつひとつの構造物を取り出してその揺れ方を見る、さらにはそれらにどのように力が掛かるのかを見ることも可能である。

#### 4. シミュレーションの具体例

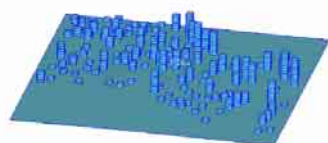
##### (1) 仮想六本木の場合

これは4, 5年前に行った研究であるが、東京の六本木近辺の3次元GISデータと、ボーリングデータを用いて、計算機上に現実仮想都市を構築したものである。都市というものは、例えば300m×300mという狭い範囲を見ても、決して単純な構造をしてはおらず、それは地盤構造が複雑であったり、その範囲内の構造物も同一の物ばかりではない。

これに対して、前述と同様にシミュレーションを積み重ねることで、地震動のシミュレーションを行っていく。例え300m×300mという狭い範囲であったとしても、高い分解能で解析することで、都市は地盤の影響を受けてかなり偏った影響を受けるということが分かってくる。それは、建物に対する入力というのが複雑な分布をする、そして建物ひとつひとつの性質も異なっている、つまりは結果として、建物の揺れはさらに複雑な結果となってくるという事によるのである。

一様で単純な想定ではなく、シミュレーションを積み重ねる事によって、都市内で応答に大きなばらつきが出てくる可能性が分かってくるのである。

図2：＜都市内の挙動計算結果に関する応答の大きなばらつき＞

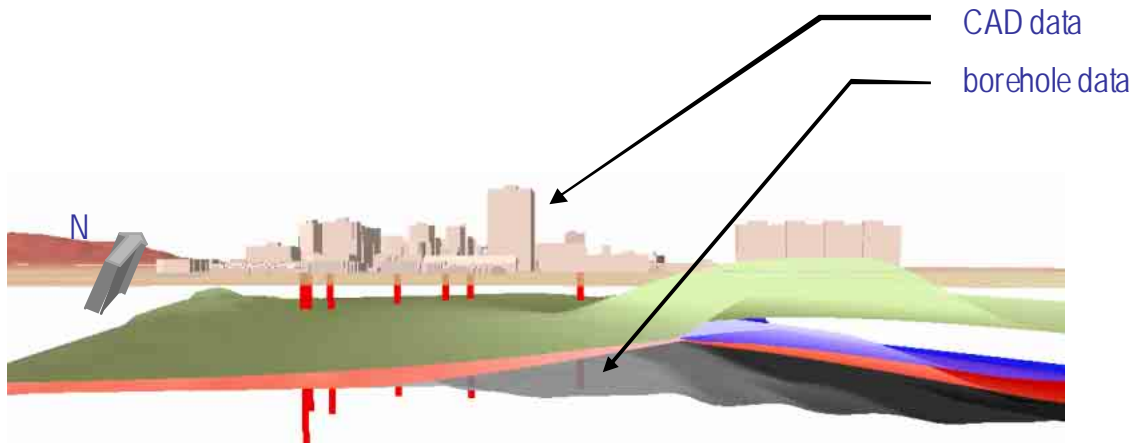


応答の大きなばらつき

(2) 仮想仙台X町<sup>1</sup>の場合

この研究においても、六本木の場合と同様に、1km×2km の範囲でデジタルデータを構築している。その上にあるのが都市の町並みであり、その下にあるのが地盤構造である。

図3：<仙台X町の仮想現実都市のイメージ>

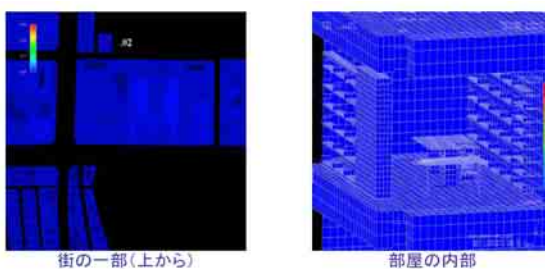


これを用いることで、この仮想現実都市に対し新潟中越地震のような直下型の地震が発生した場合にどのような事が発生するのかといった物理的なメカニズムに基づいた可視化された情報を提供することが可能になる。

また、仙台において懸念されている宮城沖地震のような海溝型の地震が発生した場合にどのようなことが起こるかということを見てみると、選択的に高い建物、つまりゆっくりと揺れる建物ほど共振を起こして大きく揺れるということが分かってくる。

このように想定する地震によって、想定される損害も異なることを、こうしたシミュレーションを通じて可視化する仕組みが出来つつある。また、高分解能解析によって、街の一部のみの揺れを見ることや、さらには部屋の内部がどのようになるのかをいうことをシミュレーションすることも可能である。

図4：<高分解能によるシミュレーション>



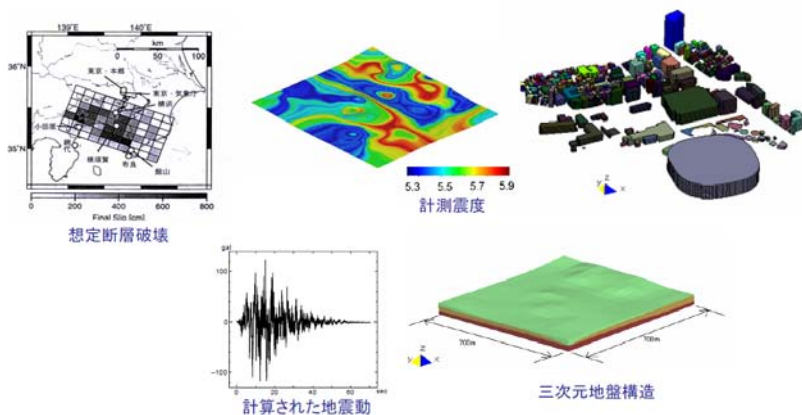
<sup>1</sup> データの出所の関係上、具体的な町名での表示を行っていない。

### (3) 仮想文京区の場合

これもGISデータを用いて、東京ドーム近辺の街並みを計算機上に構築し、併せて地盤構造も構築することで、仮想現実都市を作り上げた。

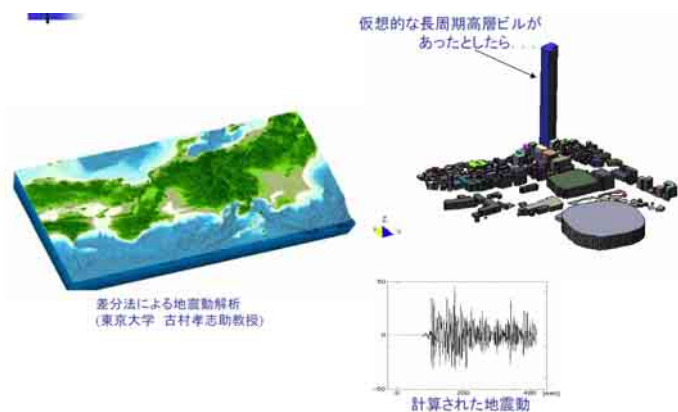
このシミュレーションでは仮想関東地震の際の仮想文京区の揺れを検証した。関東地震の際の想定地震動を作り、断層がどのように壊れるかということを想定して地震動を計算し、それを3次元の地盤構造に反映させることで、地震動の分布を見ることが可能となっている。

図5：＜仮想文京区のシミュレーションの仕組み＞



また、この研究では、東京大学の古村教授に東海東南海地震が同時に発生した際の地震動を計算して頂き、これを仮想文京区に適用することで、長周期地震動の例を見ることも行った。併せて、この検証では、何も耐震補強を施していない長周期の高層ビルを仮に文京区に建設した場合に、東海東南海地震時にどのような影響を受けるかどうかということも検証してみた。

図6：＜仮想文京区に対する長周期地震動シミュレーション＞



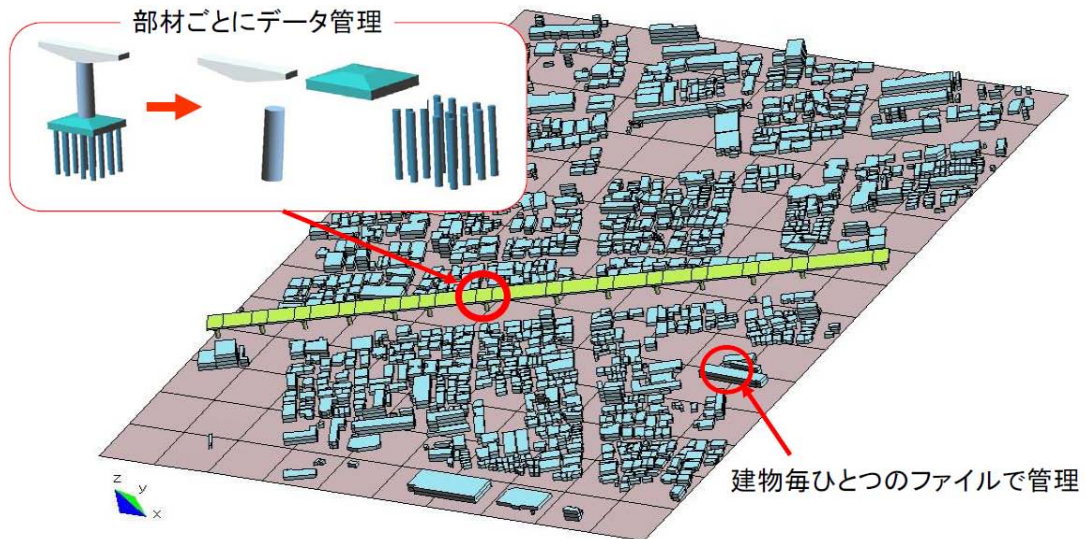
これにより長周期の地震動によって、高い建物のみが地震動に共振し揺れるという様子がわかった。これは物理的なメカニズムからすれば、高い建物が持っている揺れやすい振動数と、入ってくる地震動が重なる結果ではあるが、このようなシミュレーションを積み重ねることによって、都市全体でどのようなことが起きるのかという被害想定を可視化された情報とすることが可能になってきている。

#### (4) 仮想旧神戸（阪神大震災以前の東灘区）

この研究では対象地域は、600m×700mという非常に狭い範囲での検証を行っているが、検証対象物としてはこの範囲内の建築構造物、道路高架橋としている。道路高架橋は、阪神大震災の際に倒壊した部分である。

まず他の研究同様に、GISデータ・CADデータを用いて、計算機上に仮想現実都市を構築する。この街を構築する際には、単純な3次元CADデータではなく、橋の橋脚一本一本の部材データまで管理するような詳細なデータを用いている。また、建物についても、それぞれ一つ一つのファイルで管理されており、そこにはその用途や3次元の形状データなどの情報が含まれている。これによって、高度数値シミュレーションが可能になっている。

図7：＜デジタルシティ神戸の構築＞



市村強, 伊丹洋人, 佐茂隆洋, 堀宗朗, 山口直也, デジタルシティ神戸の構築とその震災シミュレーションへの応用に関する基礎検討, 構造工学論文集 JSCE, Vol.51A, pp. 513--520, 2005.

この仮想旧神戸の仮想現実都市に対し、以下図8にある通り、3つのケースのシナリオを想定して、それらが発生した際にどのようなことになるのかということを検証してみた。

図8：＜想定シナリオ Case 1～3＞

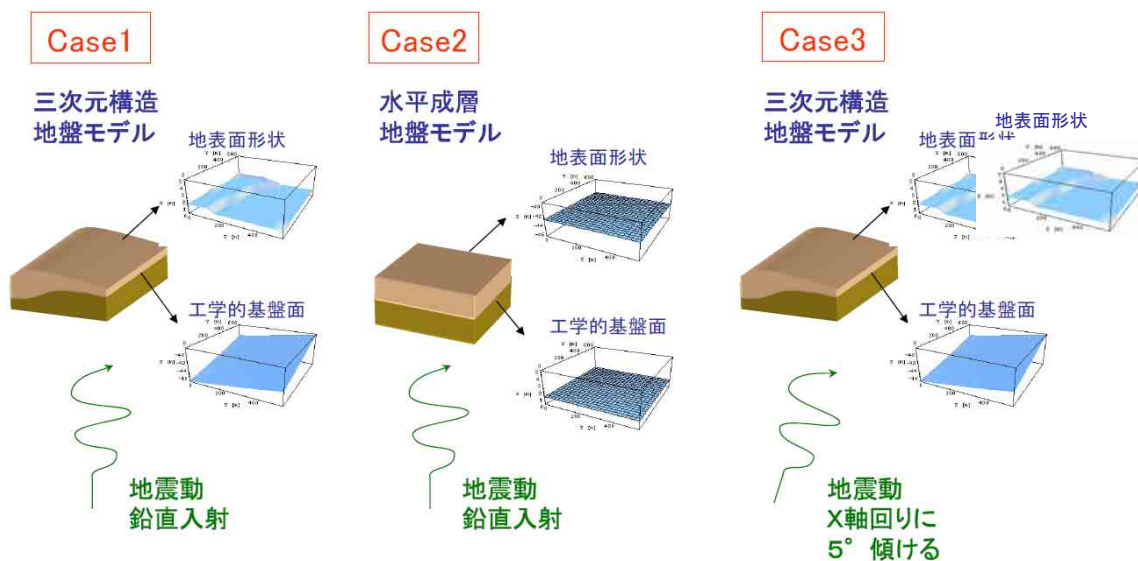


図9：＜解析結果：地表面の地震動分布 ～各ケースの最大速度分布～＞

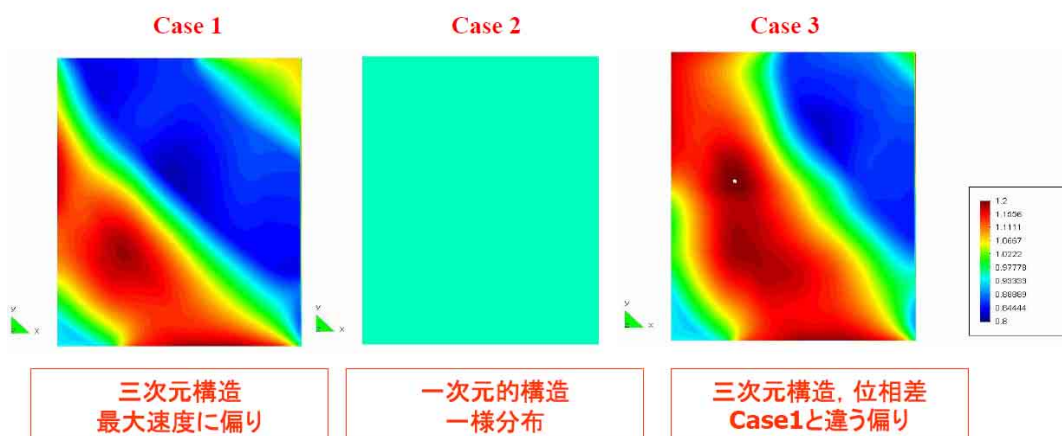
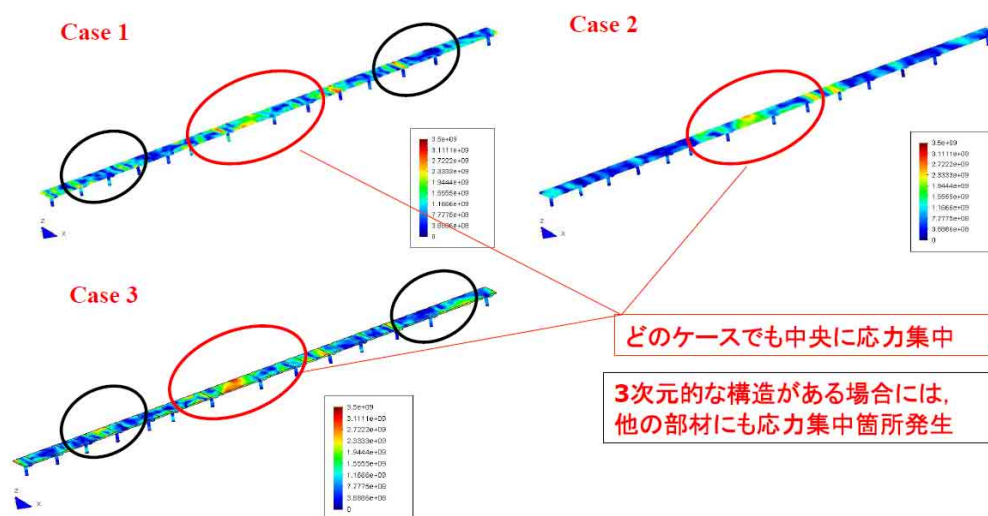


図9にあるように、Case 1 の場合には最大速度に偏りが見られる。また、地盤の構造を単純化した Case 2 の場合には全て一様に揺れることが分かる。さらに Case 3 では、Case 1 よりも揺れをより現実的な設定して行っているが、揺れる幅が上方へシフトするところが見てとれる。

同様にそれぞれの Case における橋梁の損傷度評価も行うことが出来、図10にある通り、Case 毎に損傷する箇所が変わってくる。

図10：＜橋梁の損傷度評価＞



街の挙動の分布を見た場合、これも図9と同様に、地盤構造によって地震動の分布がそれぞれの場所で変わってくる。もちろん一つ一つの建物が持っている性質も異なっているため、都市のどの部分が揺れるのかということはかなり複雑な結果になってくる。

こういったシミュレーションを行うことの意味は、以下のようになる。

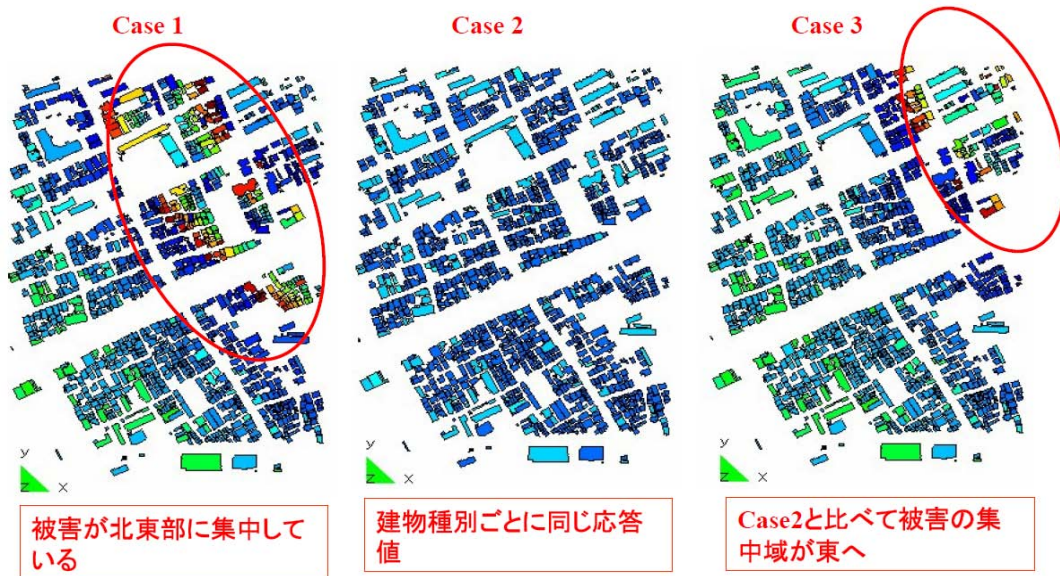
従来までは都市全体における震災の評価は、過去の知見で得られた情報、つまり経験的な情報、統計的な情報を上手くハンドリングすることによって、都市全体ではこういった被害が出るであろうとか、被害率としてはこの程度であろうといったことを求めてきていたが、これだけ都市が複雑化してどういった被害が起こるのかの想定がますます難しくなっている。そこで、従来の手法の代替方法として、物理的なメカニズムを明らかにしながら、一つ一つが大規模シミュレーションになったとしても構わないので、とにかくシミュレーションの積み重ねによって、震災でどのような事が起きるのかということをも明示化する事を狙っているというのがこのシミュレーションの狙いであり、従来のアプローチとの大きな違いである。

こういったシミュレーションであれば、600m×700mという非常に狭い範囲であったとしても、その結果を図11のように見ることが出来る。Case 1であれば、北東部が大きく揺れたことによって破壊されたいのか、またCase 2であれば地盤構造を下手に近似してしまうと実は被害が見えなくなってしまうということがわかるのである。さらには、Case 3の場合であれば、Case 1の場合よりも被害の集中地域が東へ推移するといったことが見えてくる。

このように、シナリオ毎にどのようなことが起きるのかということ、狭い範囲であったとしてもシミュレーションの積み重ねによって見ることが可能になってくる。



図 1 1 : <建物の最大層間変位角分布>



またデジタルデータを持っていることから、その都市にどの程度の被害額が生じるかの推計にも役立つ可能性がある。

図 1 2 : <被災状況の試算>

各構造物の被災度を3段階に分けて評価  
 損傷なし=0      小破=0.5      大破=1.0

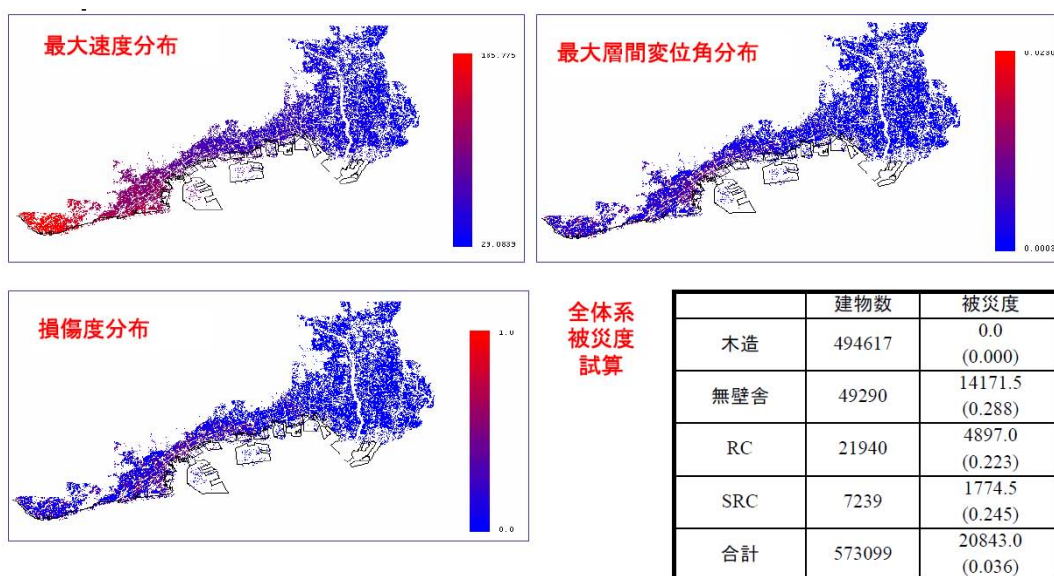
|     | 建物数  | 被災度              |                  |                  |
|-----|------|------------------|------------------|------------------|
|     |      | Case 1           | Case 2           | Case 3           |
| 木造  | 1090 | 525.0<br>(0.482) | 545.0<br>(0.500) | 500.0<br>(0.459) |
| 無壁舎 | 124  | 17.5<br>(0.141)  | 62.0<br>(0.500)  | 105.5<br>(0.851) |
| RC  | 28   | 13.0<br>(0.464)  | 28.0<br>(1.000)  | 19.5<br>(0.696)  |
| SRC | 19   | 9.5<br>(0.500)   | 19.0<br>(1.000)  | 19.0<br>(1.000)  |
| 合計  | 1261 | 565.0<br>(0.448) | 654.0<br>(0.519) | 644.0<br>(0.511) |

※ 被災度  
 上:合計  
 下:平均

図 7 の場合は 600m × 700m で建物数も 1,000 棟程度の狭い範囲でのシミュレーション

であったが、図13のように建物数も50万棟近くとかなり広範な地域でもひとつひとつの建物が各々独立なファイルで管理されており、同様のシミュレーションを行う事が出来るようになっている。これにより広域においても、図13のように、どこがどのように揺れるのかという事や、どこがどの程度壊れるのかという事などを、狭い範囲の場合と同様にシミュレーション出来るのである。

図13：＜神戸全域での応答や震災評価＞



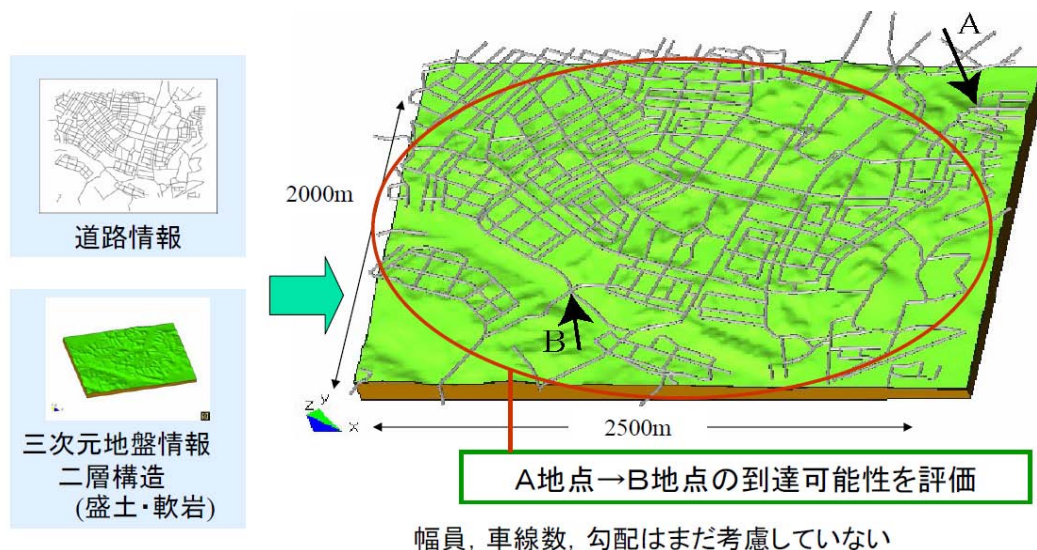
## 5. シミュレーションシステムの今後の活用

### (1) ネットワーク機能への被害解析

シミュレーションシステムを使つてのネットワーク解析についてもいくつか話が進んできている。前述のシミュレーションでは構造物しか入って来ていなかったが、これに対して、図14の様な道路網のデータを導入する。これに基づいて、シミュレーションを行う事で、ネットワークのどこがどのように破壊されるのかという事が分かってくる。ネットワークがどのように破壊されるのかという事が判明すれば、例えば、震災時にA地点から避難場所であるB地点に到達することが可能であるかどうかを検討するのに役立つ。具体的には、想定断層を介して、地震動を計算し、3次元の地盤構造を考慮して、地表面の計測震度分布を求めるといった流れとなる。そこに、道路情報を用いて道路閉鎖解析を行う事によって、ネットワーク閉鎖時の到達可能性を評価すると、ネットワークにおける重要な部分を見つけ出す事が出来る。さらに、地盤情報の曖昧さも考慮して解析を行っているが、結果として86%はA地点からB地点へ到達する事は出来るが、残りの10数%は到達する事が出来ないという数値の算出も可能である。つまり、冗長性評価やネットワークの

弱点箇所の抽出といった事が可能なのである。

図14：＜道路ネットワークを含む都市モデル＞



## (2) シミュレーションシステムの問題点とその対応

今まで「統合地震シミュレータ」を使用して何が出来るのかという事を紹介してきたが、これには大きな問題が存在する。それは、いくら分解能が高くともそれに精度が伴わなければ意味がない、つまり精度の問題である。

現在は、都市についてのデータの構造を踏まえながら、今まで紹介したような一連の流れが出来上がった段階だ。しかし、ここで見たような非常に高度な数値シミュレーションを行うためには、それに見合ったデータが無ければ解析が出来ない。では、これに見合ったデータが、都市全体についてあるかと言えば、「ない」というのが現状である。こういった致命的な欠陥を抱えている。

そこで、以下のような工夫をしている。有限要素法という高度なシミュレーションを行うためのデータが不足している問題点を解決するために、「耐震設計のための動的解析ツール」を構造物の解析ツールとしてシミュレーションシステムの中に取り込むのである。この方法で限られたデータを用いてある程度の精度でのモデリングが可能になる。

現在は高度な数値シミュレーションを行うには、データがなければ何も出来ない。しかし、代替プログラムを組み込む事で、データ量によって結果の精度に幅が生じはするものの、ある程度の想定に使える仕組みが出来てきたのである。

## (3) NPO 法人の設立

前述してきたような、都市の情報と構造物の情報のシミュレーションツールを効率的に

組み合わせていくという事は、大学一つの研究で行うことは困難であるため、現在NPO法人（安全な社会研究）を設立しようと考えている。この目的は、自然災害に関する高度シミュレーションシステム技術の研究と、その研究によって得られた学識成果を社会へ還元するという事である。両者のプロトタイプが完成しており、その高度化を図っている。

プログラム II : 「災害の社会経済的評価について」

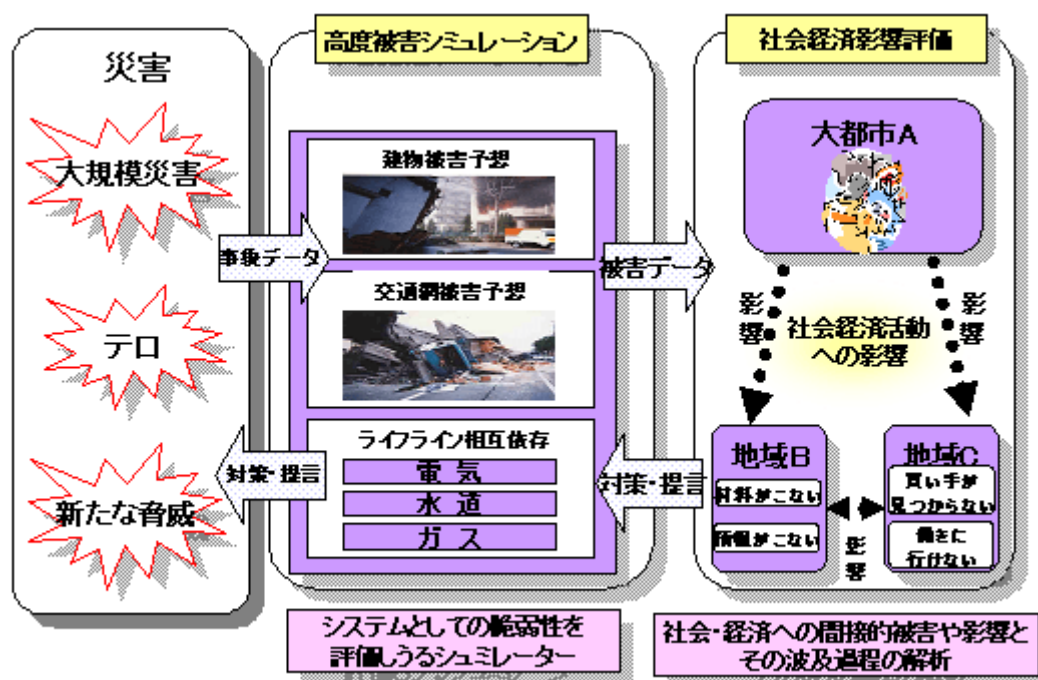
講師：(独)科学技術振興機構 社会技術研究開発センター

安全安心領域 領域統括補佐 奥山 恭英氏

1. はじめに

現在、我々は相互依存性の研究を行っている。相互依存性研究では、大規模災害やテロ、さらには新たな脅威と呼ばれるような災害が発生した際に、建物や橋梁物などがどのように壊れるか、またそれによって交通網がどのように遮断され被害が出るのかというインフラ間の相互依存性、さらに電気や水道、そしてガスといったライフラインが各々切断されてしまう、もしくは電気が切断された事によって水道の浄水場のポンプが動かなくなり、浄水場自体に被害はないが水を送る事が出来なくなってしまったというようなライフライン間の相互依存性、そういった事を考えていく。そしてこれらの物理的な被害、および物流の被害というものを社会経済的影響評価のモデルに入れる事で、どのような影響があるのかを見ていく。しかし、この社会経済影響評価の中でも、経済の相互依存、産業間の相互依存、地域間の相互依存ということも考えて、非常に複雑な影響評価をしていかななくてはならない。そこで、我々が現在焦点を当てているのが、交通網の被害というものとライフラインの相互依存である。またそれを、建物の詳細なデータとそれらをどのように結びつけて、社会経済という部分へ被害データとしてインプットするかという試みも行っている。これが相互依存性解析の大きな枠組みである。

図1：＜相互依存性解析研究の枠組み＞



## 2. アメリカにおける災害の社会経済的評価

私はアメリカで、災害の社会経済評価について研究してきた。近年7、8年は国際地域学会の北米大会という全米規模の学会で、「自然災害の地域経済にもたらす影響」というセッションを主催し、自然災害が地域経済にどのような影響をもたらすかということを中心に焦点を当ててきた。そういった活動を通して収集した情報をもとに、現在のアメリカにおいてどのような事が考えられているのかということを紹介していきたい。

### (1) 社会経済的影響を計量化の目的

災害の社会経済的影響を計量化して把握しておく目的は、その地域がどの程度災害に弱いのか、またもし発生してしまった場合にどういった事が起きるのかという事を把握することである。アメリカでは以前から甚大な被害が予想されていた災害が3つあった。それはサンフランシスコの大地震、ニューヨークでのテロ、そしてニューオーリンズのハリケーンである。もちろん、ハリケーンカトリーナのように分かっているにもかかわらず被害が甚大になってしまうように、把握したからといって必ずしも効果的に対応できるとは限らないわけではあるが、その必要性は高いはずである。

そして、減災政策の評価および立案支援としてどの地域における損害を、どのように減少させるのかという事を検討するという事も目的の一つだ。

最後に、災害後の復興計画支援として、復興時にどこからどのように修復していく事が、効果的な復興に繋がるのかということの検討に役立つ情報を提供する事も目的として挙げられるであろう。

### (2) 社会経済的影響計量化の課題

#### (イ) ストック被害 対 フロー影響

ストックである建物が壊れる、または資産が壊れるというような直接被害に対して、フローとしての経済活動に影響を及ぼすという間接被害がある。現在はこのフローへの影響評価を中心に考えなくてはならないというのが主流になっている。それは幅広い範囲での影響評価が可能である事、つまり直接建物に被害がなくともライフラインが切断され、電気が供給されなくなる事によって経済活動が遮断され、操業不能に陥ってしまう可能性を考えなくてはならない時には、やはりこのフローへの影響を考えなくてはならないだろうという考えによる。また、フローへの影響評価が他の経済指標との比較が容易である事や、いわゆる波及効果との関連が比較的容易に出来るという事も、その考えに影響を及ぼしている。

#### (ロ) 時間的推移と復旧・復興

災害は短期間に大きな変化を与えるものである。例えば地震であれば、2分、3分という短い時間で多くの建物を崩壊させる。つまりマイナスの影響を、瞬時にかつ広範囲

にわたって与えるのである。また、その災害復旧・復興としての、ポジティブな経済活動が発生する。そこで、こういった非常にダイナミックなプロセスを、経済モデルの様なものの中でどのようにして取り込んでいけばよいのかということが、現在の議論の焦点となっているのである。

#### (ハ) Resiliency (弾力性、災害時適応性)

例えば災害によって電気供給量が 20%減少した場合、その時に経済の生産力も比例して 20%減少するかというと、たぶん 20%も減少はしないはずである。それは「Resiliency (災害時適応性)」があるからだ。つまり、20%電気の供給量が減少した時に人々は、節約や代用などを通じて状況に適応する事で、その生産力を 20%も低下させないように努めるはずである。こうした事を考えなくては、被害のデータを経済モデルで評価する際に、その結果は過大になってしまう可能性がある。また、問題なのは地域経済ベースで分析をする場合は非常に複雑である事だ。例えば各々企業や産業において、どの程度電力が減少すればどの程度の生産力低下が生じるのかということはアンケート等を通じて把握する事が出来るが、地域経済というこの複雑な経済システムについては同様にはいかず、これをモデルにおいてどのように評価していけばよいのかという事が現在議論の焦点になっている。

#### (二) 今後取り入れられなければならない課題

まず、「階層を考慮した影響の分布」である。今回のハリケーンカトリーナでも如実になったが、どうしても災害は経済的に最も弱い人々に最も深刻な影響を及ぼしてしまう。そのため、実際に減災政策を行った場合に、誰がその費用を支払い、誰がその恩恵を被るのかという事を明確にしておく必要がある。そこで所得階層や人口分布、または日本の場合であれば高齢者などの年齢分布を考慮した減災政策というものを考えなくてはならないのであり、現在は社会的にもそういった時期なのではないだろうか。

そしてもう一つが、アメリカでは数十年来謳われているが、「Sustainability (持続可能性)」である。それは環境への影響、つまり自然災害は非常に大きな破壊活動を生じさせるために環境を変えてしまうほどに影響も大きく、そういった事をどうやって影響評価に反映させていけばよいのかということである。もしくは減災対策を行う事による環境への影響ということも考えていかなければならない。それは減災を行うことによって、長期間のうちに環境を破壊してしまう様な減災政策となってしまう可能性もあるという事を考慮しなくてはならないという事だ。

### 3. 研究成果の紹介

#### (1) 人口統計—経済モデルによる分析

この研究は災害の影響が階層間、また地域間の伝播を考える時に、例えば生産活動への影響のみならず、そこから生じる所得形成への影響までを考えた場合にどういった分析が出来るかを考えた例である。ここでは、拡張産業連関表（宮沢による拡張）を用いた地域間影響分布として、阪神大震災の影響分布を例に挙げている。すなわち、近畿とその他日本という2地域間の産業連関表を用いて、近畿という地域内で阪神大震災が起こった事によってその他日本へどのような影響が及んだかということを試算した研究である。

#### (イ) 災害の直接被害の取り込み

地震は建物や道路、そして生産施設までも壊す。これをモデルに取り込む場合以下のように考える。まず、最終需要の変化として、経済活動が停滞することによって市場が縮小する、一方災害が起こった直後から非常に規模の大きい、かつ短期間で復旧・復興という需要がプラスのインパクトとなって生じる。そして、地域間交易の変化、つまり高速道路が通れなくなる事によって、迂回ルートや輸送に多くの時間を要することで、災害前までとは異なる地域から購入する事といった点を、中間投入係数の変化に取り込んでいく。また、災害の発生によって将来への不安がかき立てられるという社会心理的影響による消費性向の変化、例えばアメリカの場合、9・11同時多発テロの発生後の11月の自動車の売り上げが過去14ヶ月で最低であったなど、つまり将来への不安や見通しなくなる事での消費控えというものを考えなくてはならない。最後に付加価値係数の変化ということで、雇用形態の変化というものも考えなくてはならないであろうと考えている。

#### (ロ) 阪神・淡路大震災への影響

実際の試算値を図2に示している。

図2：＜地域別直接および間接所得形成の変化＞

(単位：百万円)

|                |          | 需要地域側      |            |            |
|----------------|----------|------------|------------|------------|
|                |          | 近畿         | その他日本      | 合計         |
| <b>所得受領地域側</b> |          |            |            |            |
| 近畿             | (復興需要なし) | -936,190   | -1,168,787 | -2,104,977 |
|                | (復興需要あり) | 1,108,274  | -1,168,787 | -60,513    |
| その他日本          | (復興需要なし) | -738,664   | -937,145   | -1,675,809 |
|                | (復興需要あり) | 814,125    | -937,145   | -123,020   |
| 合計             | (復興需要なし) | -1,674,854 | -2,105,932 | -3,780,786 |
|                | (復興需要あり) | 1,922,399  | -2,105,932 | -183,533   |

備考：1995百万円



これは、近畿およびその他日本という2地域間でどれだけ所得が減少したかという試算である。復興需要あり、なしという2パターンに分類しているが、復興需要は3年間で全て終了したものと仮定している。

結果としては、やはり近畿の方が減少額は小さいが、その他日本においても総額でかなりの額の所得減少になるであろうということがわかった。そして、復興需要があっても近畿に大きな建設ラッシュや道路等の復旧があり、需要が流れ込んでくるわけではあるが、それでも所得は失われてしまっている。その他日本は近畿よりも大きく所得が失われるであろうという事がわかる。

## (2) 広域レベルの分析 —交通ネットワークの被害と社会経済的影響—

ここでは地域間・階層間でこういった影響が出てくるかを見るために、もう少し動的にネットワークというものに焦点を当ててみた。阪神・淡路大震災において、倒れないと言われていた高速道路が倒れた。そこで、もし災害時に同様な事が発生し、それが交通ネットワークに影響を与えた場合にどのような経済的影響があるだろうかということ考えたのである。

巨大災害による交通ネットワークへの被害が生じた場合、物流への影響と交易パターンの変化が考えられる。それにより、売り手と買い手のペアが崩れる、ないしはペアが同様であってもその輸送時間が変化することによって、交易ルートが変化する。その影響により、混雑する箇所が変化してくる。そしてさらに売り手と買い手のペアに影響が及んでくる。こういった事が波及的に生じる事で、その影響は大きくなるのではないかと考えられる。結果として生産活動への影響も出てくる。もしくは、生産施設が影響を受けた事によっても物流に影響が出てくる可能性も考えられる。

こういった事を考えることによって、全体的な社会経済的影響を考えた場合に、減災対策を行うに際して、例えばどこの橋が重要であるのかという減災政策の立案支援ができるのである。

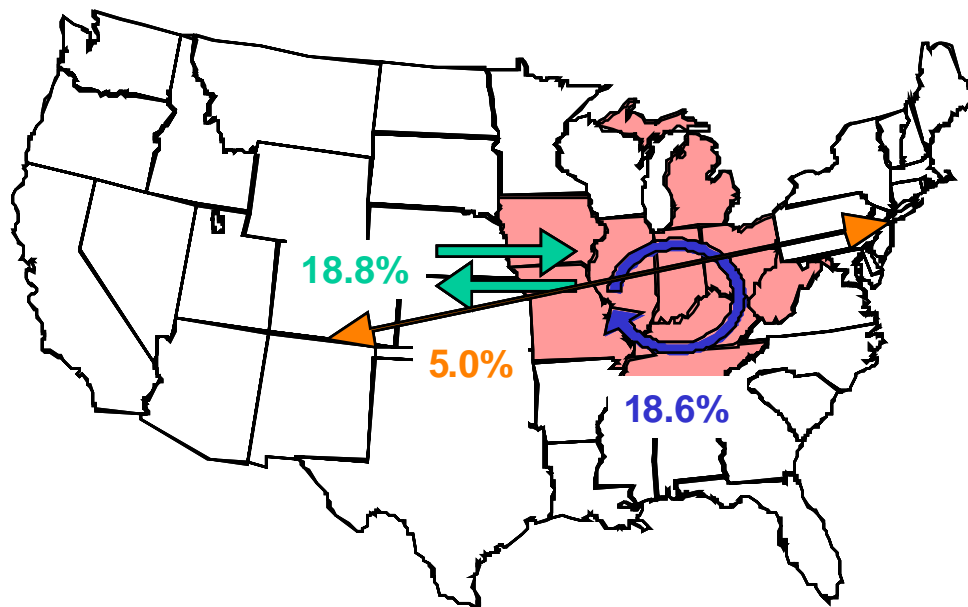
そこで、私がアメリカにおいて行った研究を紹介したい。アメリカでは前述した3つの災害以外にも、メンフィス近郊のニューマドリッドというところにおける大地震が懸念されている。実際ニューマドリッドでは、1811年の冬から1812年の新年にかけて、アメリカの記録されている歴史上最大規模の地震が起きたという事実がある。

この地域で地震が発生するとどのような問題があるのか。この地域は地理的に米国の中心であるという事もあるが、ミシシッピ川が流れている。ミシシッピ川というのは、材木流通の主たる輸送路であり、橋が架かっていて交流の要所となっているため、その流域において災害が発生すると、交易上大きな問題となる可能性が極めて高い。

図3に示しているが、色かけの部分で中西部とした場合この部分だけでアメリカ全体の物流の18.6%の物流を扱っている。さらに、この地域への移入移出だけでも全体の

18.8%、この地域を通過する物流だけでも全体の 5.0%を占めている。合計すると、アメリカ全体の物流の 43%が何らかの形でこの地域に関連しているのである。

図 3 : <アメリカ合衆国中西部の交易分布>



こういった状況下で、災害が発生し橋が破壊されてしまった場合、物流へのかなりの影響が考えられる。また、物流のみではなく、この地域ではメキシコ湾岸で精製された石油の輸送のためのパイプラインが北東部へ向けて走っているため、地震が発生すればそのパイプラインが切断される可能性も考えられる。

図 4 : <主要な州間高速道路のネットワーク>

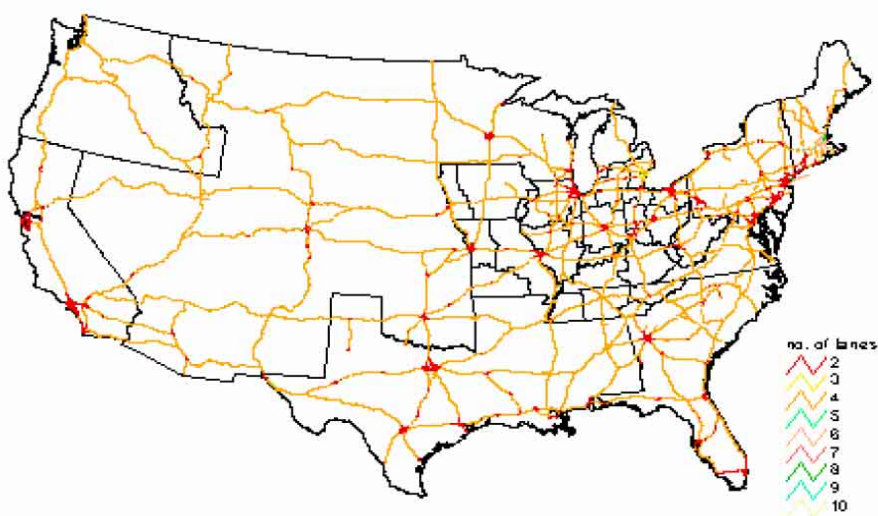


図4は主要な州間高速道路のネットワークを示しているが、この地域は交通網のハブ的な役割を担っており、西海岸からもしくは南部から来た交通がこの地域を通過して北部へ抜けるという形になっている。そのため、災害でこの地域の高速道路が切断された場合にはかなりの影響が生じる事は容易に想像ができる。そこで、その影響を計った結果が次の図5である。

図5：＜道路被害確率から経済的重要度分析へ＞

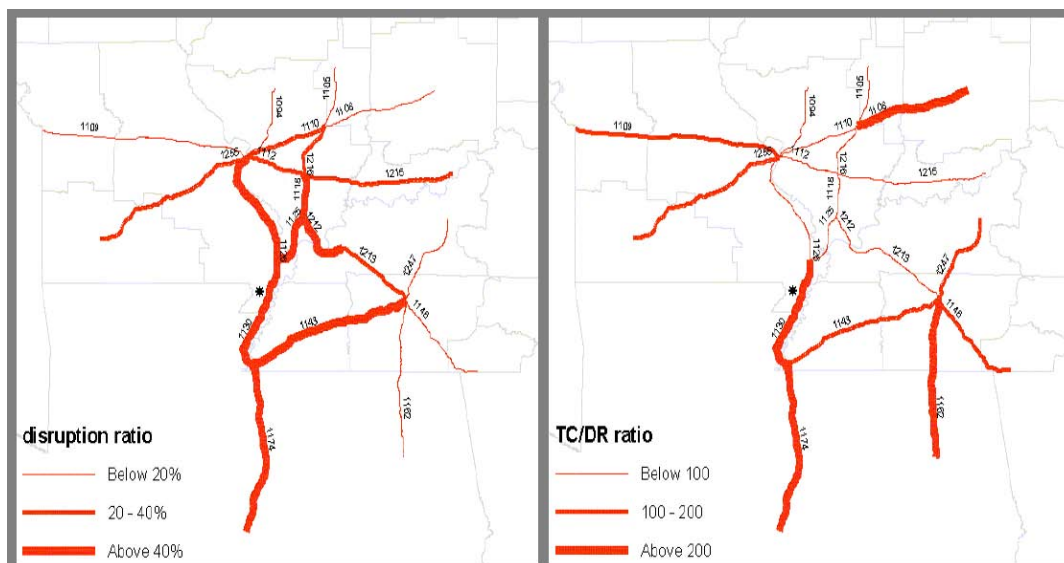


図5における左図は想定道路被害率を示しているが、これはどのような確率でどの区間が被害を受けるかを表している。線が太いほど確率が高くなっている。そしてこれに基づいて経済モデルを組み合わせる事でこれらの道路に被害が発生した事によって米国全土にどれくらいの経済的影響が生じるのかという事を計算し、さらにその値を標準化した上で、各道路の区間が1%だけ被害率を下げた場合にどれだけの効果があるか、つまりその区間が守られることによってどれだけの影響があるかという事を示したのが右図である。

これによって、ただ道路の被害率だけを見て橋の補強の優先順位を決めるべきなのか、もしくは経済的な影響まで勘案して、どの区間を守る事が大切なのか、またはどの区間から修復する事が経済的被害を減少させる事に最も効果的なのかという情報を提供することができる。そしてこれは減災政策に有効な情報となってくると考えている。

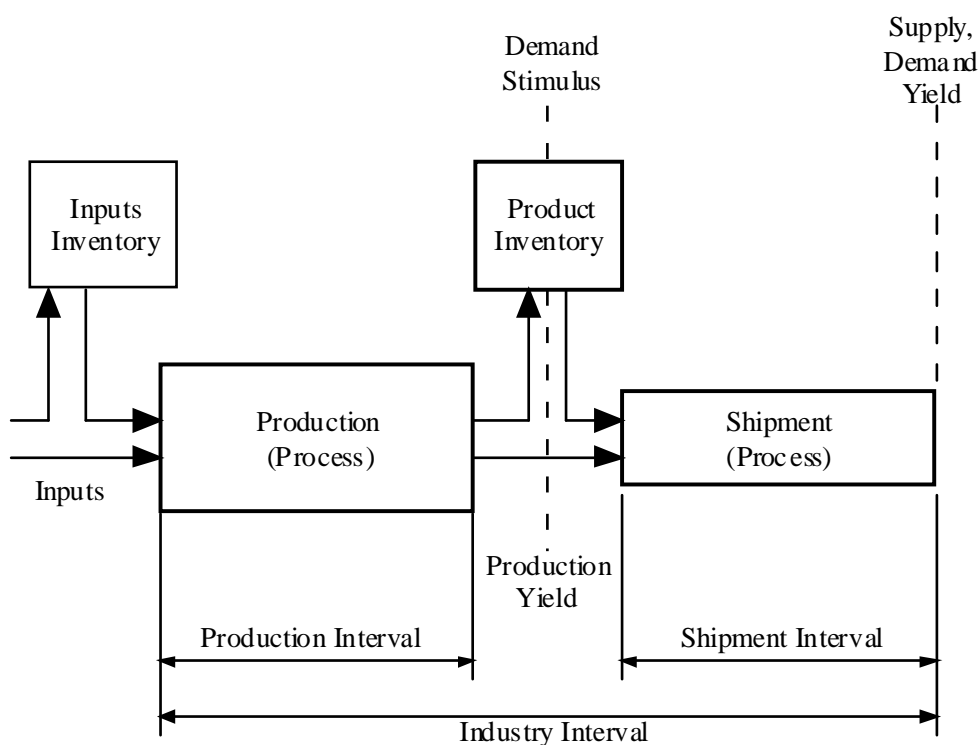
### (3) ライフライン被害と経済影響の分析

ここでは現代の社会生活上欠かす事が出来なくなっている、電気・ガス・水道といったライフラインに災害による被害が発生した場合に、どのような影響が出るのかという事に焦点を当てている。

ライフラインは非常に重要なものなので、阪神・淡路大震災の場合をみても分かる通り、非常に早い期間で修復される。例えば電気は、2週間程度で完全復旧した。しかし、この2週間という早い期間で電気が復旧していったという事実を経済モデルで評価しようとしても、あまり影響を見る事が出来ない。つまり、例えばこの2週間という期間が、仮に10日間に縮まった場合にどの程度の経済的影響があるかという事は、大きな経済モデルでは感度が悪く上手く反映されないのである。この事例では、ライフラインの被害と復旧と経済モデルの感度を合わせるためには何が必要なのかを考える。また前述の通り災害直後には、非常に大きな復旧・復興需要が短時間でその地域に発生してくるため、様々な活動があらゆる場所で発生し、通常時とは異なったペースで物事が進んでいく。これに対して、どのように時間軸上で対応していけばよいのか、どのような方法を用いるべきか、という事についても考えている。

ここでも産業連関表を用いるが、産業連関表は基本的には1年という期間を単位として作られている。このためライフラインのように非常に短い期間ストップしても、結果として大きな影響の出るような事象を捉えるには、感度面で問題があるので、図6にある「順次産業連関モデル」で経済活動をいくつかの区切りに分けていった。

図6：＜順次産業連関モデル Sequential Interindustry Model : SIM)



このモデルは中間投入の在庫を考えることで、生産プロセスに対して時間という概念を

与える。そして、最終製品の在庫を考え、輸送概念も加えプロセスとして考える事によって、時間軸を導入しようという試みである。

時間軸を考慮すると、産業を生産形態によっていくつかの部門に分類することが出来る。一つは、「予測生産部門」であり将来の需要を予測しながら生産を行う部門であり、具体的には農林水産業、製造業などが挙げられる。次に「受注生産部門」は、受注・需要を受けてから生産する部門であり、これは在庫を持つ事が出来ない建設業や軍需産業などがある。そして、サービス業などあまり生産に時間を要さない部門は「ジャストインタイム生産部門」になる。予測生産部門は、予測と実際の結果が必ずしも合うわけではないので、その予測誤差は製品在庫によって調整していると考えて計算していくこととなる。

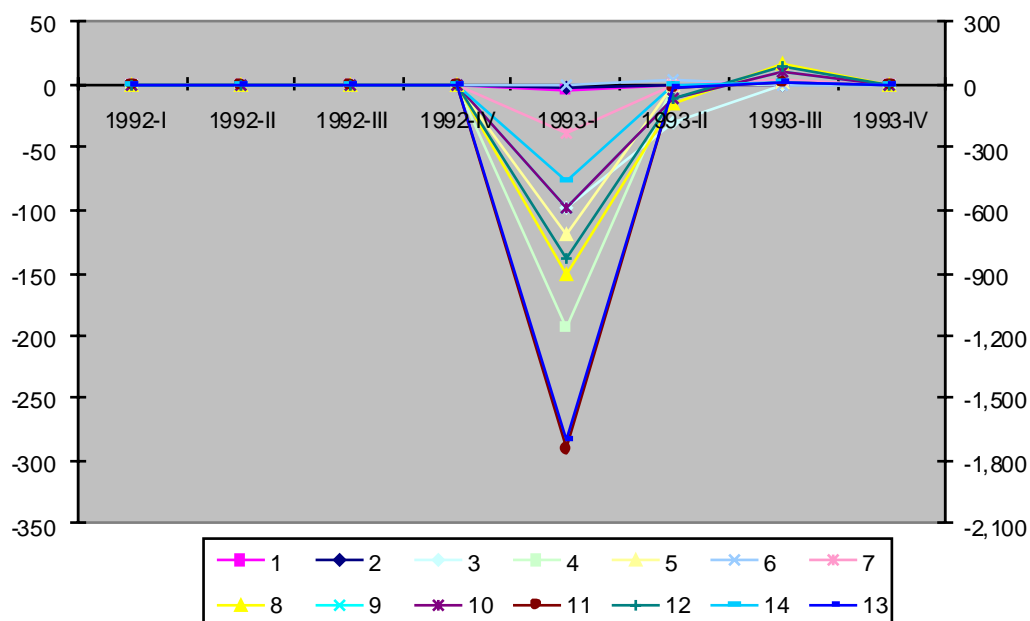
これもアメリカの例であるが、図7はシカゴ大都市圏地域産業連関表であり農業や工業、建築業など14部門に分類した産業連関表である。ピンク色の部分が「予測生産部門」であり、黄色の部分が「受注生産部門」、そして青の部分が「ジャストインタイム部門」となっている。

図7：＜シカゴ大都市圏地域産業連関表（1992）＞

|    | Sector                                   | REAL 53-Sector    |
|----|--|-------------------|
| 1  | Agriculture, Forestry, and Fisheries     | 1-2               |
| 2  | Mining                                   | 3                 |
| 3  | Construction                             | 4                 |
| 4  | Food and Kindred Products                | 5                 |
| 5  | Chemicals and Allied Products            | 12                |
| 6  | Primary Metals Industries                | 17                |
| 7  | Fabricated Metal Products                | 18                |
| 8  | Industrial Machinery and Equipment       | 19                |
| 9  | Electronic and Electric Equipment        | 20                |
| 10 | Transportation Equipment                 | 21                |
| 11 | Other Non-Durable Manufacturing          | 6-7, 10-11, 13-15 |
| 12 | Other Durable Manufacturing              | 8-9, 16, 22-23    |
| 13 | TCU, Services, and Government Enterprise | 24-30, 32-53      |
| 14 | Electric, Gas, and Sanitary Services     | 31                |

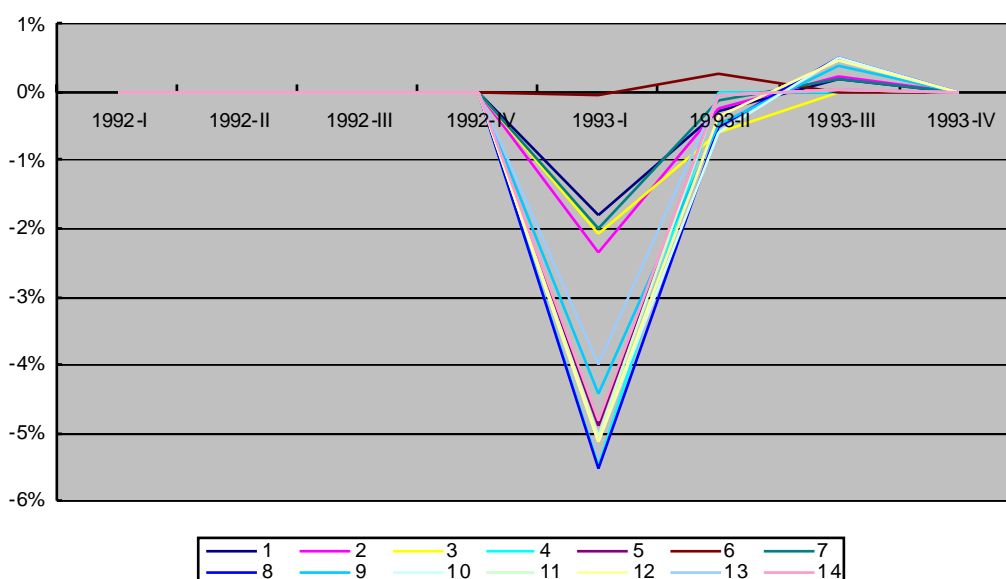
そしてこれを用いて経済的影響のシミュレーションをした結果が、図8である。これは四半期のモデルで、1993年の第1期最初の1週間だけ、全てのライフラインが止まってしまった場合に、どの程度生産が低下するかを見たものである。1週間と短い期間であるため、あまり大きな影響は出ていないが、やはりライフラインが止まってしまった時期には影響が出ている事が確認できる。また、第2期にも若干の影響が出ている事が見受けられる。しかし、うって変わって第3期にはプラスの影響が出てきている。これは、在庫が大幅に減少した反動でその復元のために生産が増加した事によるものであると考えられる。

図 8 : <ライフライン部門の短期間にわたる一時停止のシミュレーション>



また、これを図 9 にあるように割合で見た場合においても、やはりライフラインの停止の影響からか、ほとんどの影響が 1993 年の第 1 期に起きているが、一定程度は第 2 期まで継続している。そして、第 3 期に在庫の復元による生産の増加が発生していることが読み取れる。

図 9 : <影響の生産に対する割合の分布>



ただ、線6の1部門のみプラスの影響の発生が1期早くなっているが、これは製鉄業であり、特殊な産業部門である。つまり、最終需要へ流れる生産がほとんどなく、その大部分が中間投入として他の産業に需要されており、そのために、1期早いプラスが生じているのである。このように1週間という短い影響ではあるが、産業によって災害の影響が時間軸上で違うことが分かる。

#### 4. 今後のモデル活用において

まとめとして、災害の社会経済的影響を考えていく上で、どのような議論が重要か挙げてみたい。

##### (1) モデルを構築していく上での議論

まず、モデルを構築する上で、またはモデルに変更を加えていく上で何が必要かという事である。相互依存性解析として構造物の被害データや、交通網の変化、さらにはライフラインのデータなどの物理的な情報を収集して経済モデルにインプットすることで社会経済的影響を計ろうと考えているが、現在では物理的な影響と社会経済の影響とで使われる「ものさし」がかなり異なっているという点が問題である。つまり、この異なった「ものさし」をそのまま使っていると、たとえシミュレーションの場数を踏み、また物理的な構造等などのデータをモデルに入れたとしても、社会経済面の結論としては、ほぼ同じような結果しか出てこない事になる。そこで、相互依存解析としてモデル間の感度をいかに整合させていくかという事を考えていく必要性が生じてくる。

また災害発生直後の将来への不透明性・不確実性によって、消費の形に変化が生じるのかどうかを取り込んでいこうと考えている。例えばこれは日本特有の現象かもしれないが、被災地があれだけ甚大な被害を受けたのだから、他の地域の人々までもが、贅沢品の購入を控えようというような考えの変化を起こす可能性も考えられるのではないかと考えている。

さらに、復興時における生産技術の更新ということである。例えば復興によって、壊れ易い建物（機器）が新しい技術を盛り込んだ生産性の高い建物（機器）に変換されることを、どのように経済モデルに組み込んでいくかという事は、地域経済における長期的な影響などを見ていくためには必要とされてくるはずである。

##### (2) モデルを評価していく上での議論

モデルによって計算された結果が実際の被害と照らせ合わせた際に、どこまで整合性があるのかという結果の検証が必要である。しかし実際のモデルでは仮定を用いて、ある部分のみが変化した場合にはこれだけの影響が生じるという見方をしているため、それを現実のデータを比べた場合にどれだけ違うのかを検証していく事は非常に難しいと考えられる。そのため、今後の課題としては、災害の経済影響評価の精度をどのようにして上げて

いくのか、または「正確な結果」というものの再定義を行うことなどが求められてくるであろう。

### (3) 政策提言のための議論

現在は社会経済構造が複雑化しており、特にライフラインなどにおいては、それぞれが密接に相互依存をしており、また情報という新しいライフラインの出現もある。こういった社会情勢を踏まえ、例えば情報が切断された場合のライフラインへの影響、そしてさらにそこから波及する経済への影響というものを考えていくために、この相互依存性解析を、より包括的なものにしていく必要があると考えている。