

## 最適動学 CGE モデルによる水害被害に着目した地球温暖化の影響評価

山梨大学 学生員 ○西鶴誠希  
山梨大学 正会員 武藤慎一

### 1. はじめに

2015年12月に、フランスのパリにてCOP21(国連気候変動枠組み条約第21回締約国会議)が開催され、途上国を含む全ての国が参加するパリ協定が採択された。その中でわが国は、2013年を基準として2025年までに温室効果ガスを26%削減するという目標を定めた。これにより今後はわが国でも温室効果ガス(GHG)の抑制に向けた取り組み、いわゆる緩和策をより実効性のあるものにする事が重要になると考えられる。

一方、地球温暖化による被害として懸念されている生態系への影響や食糧生産分布の変化、マラリア等の疾病分布の変化や森林火災、また気候変動による台風の強大化や海面上昇による洪水被害のリスクの上昇などへの適応策についても検討が必要とされている。

適応策の評価にあたっては、対策の有無に対する被害額の減少分を便益として評価する必要がある。しかし、影響が多と考えられる気候変動に伴う洪水被害額の評価では、治水経済マニュアルに基づき資産被害や営業停止などの被害が求められているが、資本ストック水準が変化するという被害が含まれていないという問題があった。

そこで本研究では、地球温暖化に伴う洪水被害評価において、資本ストックの損壊による直接被害だけでなくそれにより投資行動が変化し資本ストック水準が変化することによる被害も発生する点を考慮に入れた地球温暖化被害評価モデルを開発する。そして、山梨県を対象にどの程度の被害が発生するのかを具体的に明らかにした。

### 2. ラムゼイモデルの水害被害評価

#### 2.1 ラムゼイモデルの概要

本研究と同じ問題意識で、ラムゼイ型最適動学モデルを用いて地球温暖化による洪水被害の影響分析を理論に行っているものには森杉<sup>1)</sup>がある。森杉が用いたモデルは以下のようなシンプルなラムゼイモデルである。

$$\max_{C_t} \int_{t=0}^{\infty} U(C_t) \exp(-\rho t) dt \quad (1a)$$

$$s.t. \quad \dot{K}_t + \delta K_t = Y_t - C_t \quad (1b)$$

ただし、 $U(\cdot)$ : 効用関数(ここでは $U(C_t) = \ln C_t$ とする)、 $C_t$ : 消費水準、 $K_t$ : 資本ストック、 $Y_t$ : 生産量(価格1とする)、 $\rho, \delta$ : それぞれ時間選好率、資本減耗率

現在価値ハミルトニアンは以下の通りである。

$$H = \ln C_t + \lambda \{Y_t - \delta K_t - C_t\} \quad (2)$$

この最適化問題の一階条件は以下ようになる

$$\frac{\partial H}{\partial C_t} = 0 \quad (3a)$$

$$-\frac{\partial H}{\partial K} = \dot{\lambda} - \rho \lambda \quad (3b)$$

これを解くと最終的に以下のオイラー方程式と資本蓄積式が得られる。

$$\text{【オイラー方程式】} \quad \frac{\dot{C}_t}{C_t} = r - \delta - \rho \quad (4a)$$

$$\text{【資本蓄積式】} \quad \dot{K}_t + \delta K_t = Y_t - C_t \quad (4b)$$

本ラムゼイモデルは、式(4)により動学経路が規定される。ただし、ここでは簡単化のため定常状態を考えることにする。定常状態とは粗投資水準が、資本減耗水準(=資本減耗率×資本ストック水準)に等しく、資本ストックの増大をもたらす純投資がない状態である。定常状態は、時間微分が0となることから式(4)のオイラー方程式と資本蓄積式から以下の条件式が求められる。

$$r = \delta + \rho \quad (5a)$$

$$C = Y - \delta K \quad (5b)$$

式(5a)は純投資が生じるかどうかのバランスの式、式(5b)は純投資がゼロのときの財市場の均衡条件式を表している。

## 2.2 EVによる水害被害額の計測

定常状態での分析は、静学分析に似たものであるが、最適投資行動を介した資本ストック水準変化が内生的に求められるという点に違いがあり、後に示すようにその考慮が非常に大きな意味をもつことになる。以上のラムゼイモデルに基づき、洪水被害の計測を行う。地球温暖化に伴う洪水被害は、通常の洪水とは異なり、恒常的に生じている洪水がより深刻化するものとして扱う必要がある。これを森杉は資本減耗率の変化によって表現している。そこで、地球温暖化に伴う洪水被害の増大によって、資本減耗率が $\delta_0$ から $\delta_1$ に変化したとする。このとき、年間の不便益は以下のような定常状態における年間消費水準の変化で表すことができる。

$$EV = \int_{C_0}^{C_1} dC \quad (6)$$

式(5b)を全微分したものを代入し、さらに $dY = rdk$ 、式(5a)を考慮するとEVは最終的に以下ようになる。

$$EV = \int (\rho dK - Kd\delta) \quad (7)$$

式(7)の第2項は、資本減耗率の変化による資本ストック額の減少分であることから、これは直接被害額を表すものといえる。これに加えて第1項が被害として生じるというものが森杉の主張である。すなわち、水害損壊率が大きくなると、持続状態の資本ストック水準は、変化無の状態に戻るのではなく、より低い資本ストック水準になる。そしてそれが企業の生産性の低下を介して家計の消費水準に影響を与える。その影響が資本報酬率と資本減耗率の差で表される時間選好率により評価されることを式(7)は意味している。

## 2.3 全国を対象とした地球温暖化の水害被害額

森杉は2000~2060年を対象期間とし、この期間における毎年の水害被害額、すなわち直接被害額を5,000億円/年と仮定している。

また、風間<sup>2)</sup>は温暖化による洪水氾濫の経済影響を評価しており、そこでは温暖化による洪水期待被害額は年間9,000億円と推計されている。風間は気候変動により、現在100年に一回の豪雨が50年に一回程度まで増加した場合の被害増加額を、MIROCモデルを用いて推計している。この変化は2030年頃までの状態と考え、その詳細として1km<sup>2</sup>当たりの被害額の分布

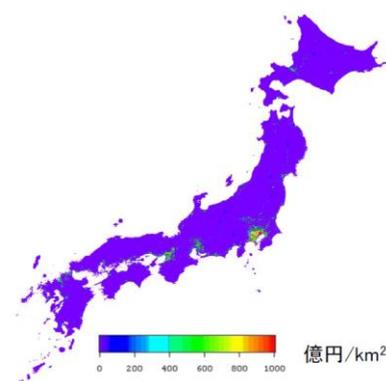


図-1 50年に1回の豪雨から100年に1回の豪雨に変化した際の被害増加額分布

を示したものが図-1である。多くの地域は、200億円/km<sup>2</sup>以下であるが、大阪、名古屋周辺では400億円/km<sup>2</sup>を越える地域が広がる。すなわち低地平地の広がる経済性の高い3大都市圏を中心に大きな対策が必要となる。東京周辺は1000億円/km<sup>2</sup>の被害額が見られる。以上を踏まえ、日本全域では年間9,000億円の被害額が生じるとされており、予算を潤沢に用意できない状況では、従来の治水整備、例えば大ダムやスーパー堤防等とは異なる方策、例えば早期警戒システムや洪水受容型住宅の建設が必要とされている。

森杉は以上の風間による推計結果を踏まえ、式(7)に基づき評価を行っている。まず森杉は式(7)の第1項を乗数効果と呼び、それが従来の洪水被害評価で用いられていた直接被害額の何倍かを表す「乗数」を求めている。さらに生産関数を $Y = AK^\alpha$  (AKモデル)で特定化した場合は、乗数がパラメータのみで表現されることを明らかにしている。

乗数の試算では、 $\alpha = 0.3$ とし、時間選好率は0.02, 0.03の2通り、資本減耗率は0.0502(防災投資によって水害が緩和した状態)、0.0503(現況の水害水準)、0.0505(温暖化があるときの水準)の3通りの計算を行っている。時間選好率が2%及び3%であるときの乗数は、それぞれ1.41, 1.53である。平均は時間選好率が2.5%であるものと考えると乗数の平均は約1.45と算出している。

### 3. 最適動学 CGE モデルの概要

2 章では、シンプルなラムゼイモデルによる分析を示した。これに対し、企業の産業部門別の被害等について明らかにすることも必要と考えられる。その評価には、応用一般均衡 (CGE : Computable General Equilibrium)モデルが有効と考えられる。

CGE モデルが有効とされている。CGE モデルの特徴複数の財市場と生産要素市場が同時に考慮され、経済全体を包括的に捉えている点にある。これにより、原油部門や石油製品製造部門といった GHG を直接排出するような部門を独立的に扱うことができる。また、洪水被害が各部門に直接的あるいは間接的に及ぼす影響が詳細に捉えられる。そして、影響の結果が経済全体での国民所得、国内総生産(GDP)といったマクロ指標にどのような影響をもたらすのかも分析できる。

本研究で構築する最適動学 CGE モデルの各期の基本構成は、通常の CGE モデルと同様である。すなわち、まず対象とする社会経済を山梨全体とし、そこには代表的家計、複数の産業部門からなる企業が存在し、経済活動を営んでいるものとする。企業には運輸企業が含まれ、それは鉄道旅客、道路旅客、自家旅客、航空の各運輸と、鉄道貨物、道路貨物、自家貨物、水運の各運輸に分かれる。運輸サービスは、家計あるいは企業が財・サービスを購入する際、財の輸送や人の移動に対して必要とされるものとする。また、GHG 排出を検討する上で、石油製品製造部門も明示的に考慮することにした。その他の部門として、政府、公的投資部門、民間投資部門も存在するとしている。

これらのうち代表的家計は、通時的効用を最大化する行動をとるものとし、ここが通常の CGE モデルと異なる点となる。家計行動モデルのツリー構造は図 3-1 の通りである。なお、図-2 中の  $U_H^i$  を(1a)式と同様として計算を行う。企業は瞬時的費用最小化行動をとるものとし、それは静学 CGE モデルと全く同じ行動モデルである。企業行動モデルのツリー構造は図-3 の通りである。政府、公的投資部門、民間投資部門も静学 CGE モデルと全く同じ行動をとるものとする。

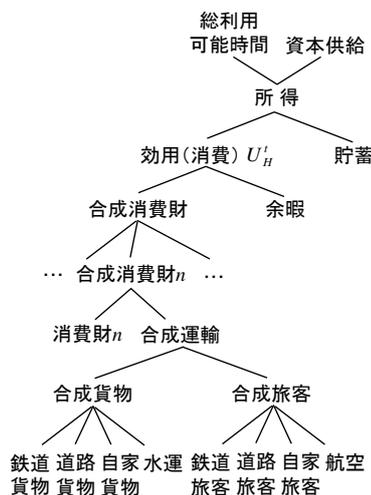


図-2 家計の行動モデル

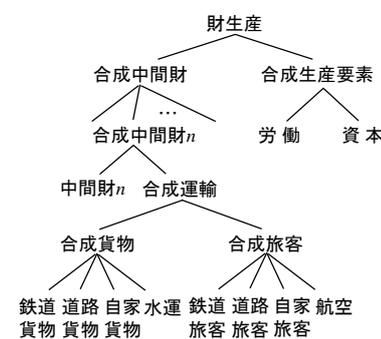


図-3 企業の行動モデル

## 4. 計測結果

### 4.1 山梨県における水害被害計測結果

現状の水害被害額は、治水経済調査マニュアルを基に推計されている。治水経済調査マニュアルにおいて、洪水氾濫被害の防止効果を便益として把握することとしている。治水事業の経済効果は、氾濫原内資産の被害防止効果等のストック効果と事業実施に伴うフロー効果に大別される。ストック効果は、洪水氾濫による直接的・間接的な洪水氾濫被害防止効果及び治水安全度の向上に伴う土地利用の高度化等の高度化効果がある。ただし、現在のところ、被害防止便益についても全てを計測できるわけではなく、ましてや、治水施設の整備に伴う高度化便益を計測することは技術的に容易ではなく、また、被害防止便益と完全に切り離して、純粋な高度化便益分を把握することは困難である。

また、従来までは一般資産被害についての直接的な被害額は一般資産の評価額を基に算定することとしていたが、水害後、同所にて再び生活を始めるには、人々は家屋や家財等を再調達するが多い。よって、実

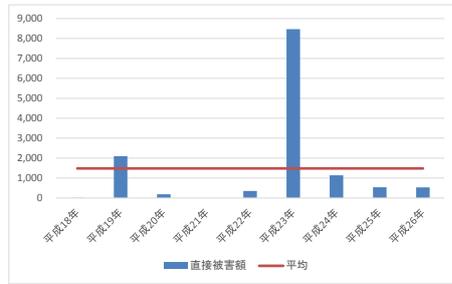


図-4 山梨県の水害における直接被害額推移

際に人々が支出する被害額に近い再調達価格を基に直接的な被害額を算定することを基本としている。

治水経済調査マニュアルより直接被害の対象資産は家屋、家庭用品、事業所償却・在庫資産、農漁家償却・在庫資産、農作物、公共土木施設等である。また間接被害の対象資産は営業停止損失、家庭における応急対策費用、事業所における応急対策費用である。

ここで、国土交通省の水害統計調査より過去9年間の山梨県の水害における直接被害額の推移を治水経済調査マニュアルを元に以下に示した。被害額単位は百万円である。本研究では図3-3に示した過去9年間の山梨県の水害における平均直接被害額1,479百万円を計測値として用いた。これは、森杉が示した全国5000億円に対し、0.3%となる。若干額が小さいように思えるが、山梨のGRPが全国比で0.7%程度であることを考えると大きくはずれしていないと思われる。

#### 4.2 最適動学CGEモデルによる計測結果

以上のデータを基に、最適動学CGEモデルで計算を行った。本研究では、社会的割引率 $\rho$ は4.0%、資本減耗率 $\delta_0$ は9.0%として計測を行った。

被害発生時の資本減耗率 $\delta_1$ は9.0166%、温暖化により増分した直接被害額が1,183百万円、EVは1,221百万円となり、その結果比率をとって乗数は1.032と算出された。

産業別財価格変化率は図4-1の通りである。被害が発生したことにより、原油の財価格が最も高くなっていることがわかった。産業別生産量変化量は図4-2の通りである。被害が発生したことにより、電気機械の生産量が最も減少していることがわかった。山梨県では電気機械の生産量が最も多く、当該産業が大きな影響を受けることがわかる。また、道路輸送施設提供部門に注目すると、被害が発生すると財価格は大きく増

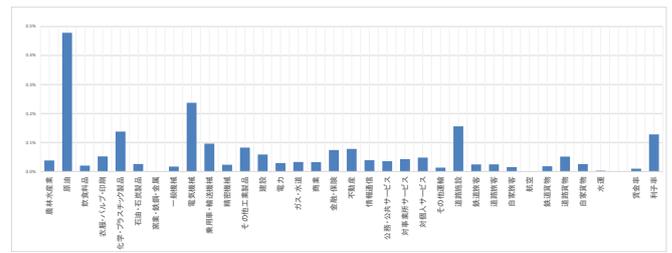


図-5 産業別財価格変化率

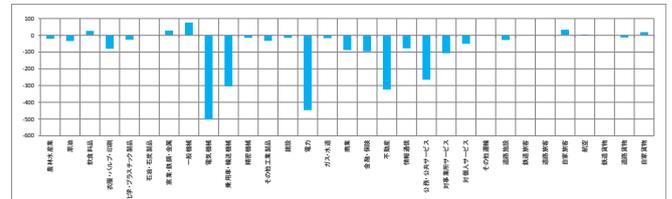


図-6 産業別生産量変化量

加するが、生産量はそこまで減少していない。これは、被害が発生した場合の高速道路損壊を評価したものであるが、実際は被害が発生し道路が通れなくなり所要時間が増加するが、これは含まれておらず過小評価となっている恐れがある。今後はこれらについての分析が必要である。

#### 5. おわりに

本研究は水害被害に着目した地球温暖化の影響を計測するために、最適動学CGEモデルを用いて、地球温暖化に伴う洪水被害が、山梨県を対象にどの程度の被害が発生するのかを具体的に明らかにした。

今後は、洪水リスク低減のための適応策の評価を行っていく必要がある。さらに、COP21で定められた国のGHGの削減目標を達成するためには、どのような緩和策が有効なのかも明らかにしたい。

#### 参考文献

- 1) 森杉壽芳：災害費用をどう見積もるべきか—成長論を適用した新しい定義と計測の提案，西岡秀三，植田和弘，森杉壽芳監修，損害保険ジャパン，損保ジャパン環境財団，損保ジャパン日本興亜リスクマネジメント編著：気候変動リスクとどう向き合か 企業・行政・市民の賢い適応，金融財政事情研究会，第2章2-4pp.70-84，2014。
- 2) 風間聡：地球温暖化「日本への影響」-最新の科学的知見-，2007。
- 3) 国土交通省：治水経済調査マニュアル，2005。
- 4) 国土交通省：水害統計調査，独立行政法人統計調査，2013。