

# 都市間道路の途絶・復旧・整備の統合評価に関する研究

## ～和歌山県を対象として～

A study on integrated evaluation of interruption, restoration and development of roads between regions in Wakayama prefecture, Japan

佐藤徹治研究室 1874003 太田 秀平

### 1. 序論

#### 1.1 背景

日本の各地ではこれまで、地震、豪雨など様々な自然災害による都市間道路の途絶が度々発生してきた。道路途絶の主な原因としては、土砂崩れや橋梁、トンネルの崩落、河川氾濫や津波による浸水が挙げられる。都市間道路の途絶は、救助・救援、緊急物資輸送の他、地域の生活再建に支障を生じさせ、また地域の社会経済に甚大な影響を与えてきた。

#### 1.2 目的

本研究では、震災・自然災害等による都市間道路の途絶・復旧、新規道路の整備が地域経済に及ぼす時系列の影響を交通近接性を変数として使用せずに評価可能なマクロ計量経済モデルの理論的な枠組みを示す。具体的には、生産と民間資本の蓄積、生産と雇用等を用いた従来のマクロ計量経済モデルに、産業連関による中間投入を考慮する。また、道路途絶が度々発生している和歌山県を対象として実証分析を行う。

#### 1.3 既往研究と本研究の位置づけ

大規模地震等による都市間道路網の被害を通じた経済被害額を推計した既往の調査研究としては、Cho, et al. (2001)<sup>1)</sup>、梶谷ら(2009)<sup>2)</sup>がある。Cho, et al.<sup>1)</sup>は、産業連関モデルと交易モデル、人流を含む交通モデルを組み合わせて、大規模地震による交通と産業の生産能力への影響、これらが地域経済に及ぼす影響を分析可能な計量経済モデルを構築し、ロサンゼルス都市圏における橋梁被害による経済被害の評価を行っている。梶谷ら<sup>2)</sup>は、産業連関モデルと利用者均衡配分モデルを統合したモデルを用いて、1995年の阪神大震災による各産業の生産能力の減少を踏まえた全国地域ブロック間の交通量への影響を分析している。

都市間道路整備の評価については、費用便益分析マニュアル<sup>3)</sup>を用いた事前・中間・事後評価が実施されている。また、近年は、空間的応用一般均衡(SCGE)モデルによる地域別帰着便益の計測も一般的となりつつある。SCGEモデルを用いた都市間道路整備の事例としては、小池ら(2009)<sup>4)</sup>などがある。ただし、費用便益分析マニュアルや一般的なSCGEモデルは、道路整備が地域経済に及ぼす時系列の影響を分析することができない。時系列の経済効果を計測可能な手法としては計量経済モデルがある。計量経済モデルを用いて実際の道路整備の時系列の経済

効果を分析した研究として、Sato, et al. (2013)<sup>5)</sup>は、岩手県を対象に地域計量経済モデルを構築し、東日本大震災による人的被害・生産設備被害、交通網の途絶、復興事業による公的総資本形成の増加が震災後10年間の地域経済に及ぼす影響を分析している。しかし、これらの地域計量経済モデルは、年度ベースのモデルであり、短期間の道路途絶の影響を分析することはできない。

本研究のモデルは、産業連関を考慮した都市間道路の途絶・復旧・整備を統合的に評価できること、四半期ベースの時系列で評価ができることに新規性がある。

### 2. 道路途絶・復旧・整備の統合評価モデル

#### 2.1 地域経済への影響の仮説

都市間道路の途絶については、ある地域が一定期間道路途絶によって孤立する状況を想定する。復旧については、途絶した道路が復旧し孤立が解消した状況を仮定する。なお、企業の生産設備の被害や人的被害はないものとする。新規道路整備については、地域間の道路のダブルネットワーク化や既存の道路の機能向上を想定する。

都市間道路の途絶により小地域(市町村など)が孤立した場合、当該大地域(都道府県など)の地域経済への直接的な影響は、次のi～ivが想定される。

- i. 孤立小地域以外および当該大地域から孤立小地域への原材料の輸送停止  
→ 孤立小地域内の企業の生産力の減少
- ii. 孤立小地域内企業の生産減少に伴う孤立小地域から当該大地域内の孤立小地域以外への原材料の輸送停止  
→ 当該大地域の生産額の減少
- iii. 孤立小地域から当該大地域外への移輸出、iiに伴う当該大地域内の孤立小地域以外への移輸出の減少

i～iiiの影響の大地域や小地域間の関係を図-1に示す。また、道路途絶の際は対象市町村が孤立することを想定する。i、iiiの影響は、都市間道路が復旧し、小地域の孤立が解消されれば消滅する。

また、新規道路整備の影響は、以下ようになる。

- iv. 大地域内外の小地域間所要時間の減少  
→ 大地域内外の企業の生産力の増加

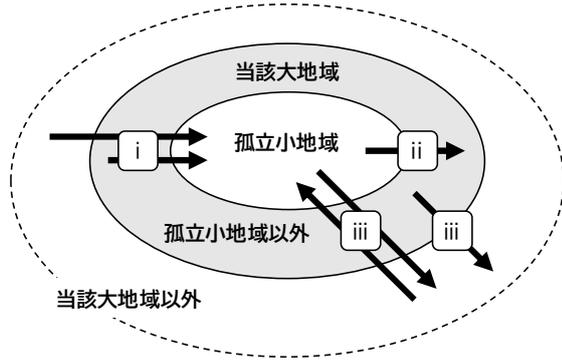


図-1 都市間道路の変化と地域の関係

## 2.2 道路途絶・復旧の影響の推定式

生産要素間の代替性がない場合、各産業の粗生産額をレオンチェフ型の生産関数(1)式で表現することができる。

$$X_i = \min \left\{ \frac{V_i(K_i, L_i)}{a_{0i}}, \frac{x_{1i}}{a_{1i}}, \frac{x_{2i}}{a_{2i}}, \dots, \frac{x_{ji}}{a_{ji}} \right\} \quad (1)$$

ここで、 $i, j$  は産業を表す。 $X$  は生産額、 $V$  は付加価値関数（潜在生産力）、 $K$  は民間資本ストック（稼働率調整済み）、 $L$  は労働投入量（＝就業者数×労働時間）、 $x_{ji}$  は中間投入額、 $a_{0i}$  は付加価値比率、 $a_{ji}$  は投入係数である。

(1)式は、付加価値関数と中間財のうち相対的に小さい方で決まるため、原材料の減少により付加価値（生産）が減少することを意味している。

$i, ii$  に関しては、道路途絶により孤立小地域内企業の生産減少に伴い当該大地域の生産力が減少する分を、各産業の潜在生産力に加えることで(2)式で表現できる。

$$V_{i,t} = V'_{i,t}(K_{i,t}, L_{i,t}) + \Delta X_{i,t} \quad (2)$$

ここで、 $i$  は産業、 $t$  は期間を表す。 $\Delta X$  は道路途絶に伴う生産の減少額を表す。

## 2.3 新規道路整備の影響の推定式

$iv$  に関しては、大地域内外を結ぶ新規道路整備により圏外のからの入込客数が増加し、移輸出が増加すると仮定する。地域計量経済モデルの需要側（地域内総支出）の関数において、外生変数として考慮することにより、(3)、(4)式のように表現することができる。

$$GRE_t = CP_t + \sum_i IP_{i,t} + IHP_t + G_t + ZNE_t + \Delta E_t \quad (3)$$

$$\Delta E_{r,t} = u_{r,t} \cdot \Delta NV_{sr,t} \quad (4)$$

ここで、 $s$ ：出発地  $r$ ：目的地。 $GRE$  は地域内総支出、 $CP$  は民間消費支出、 $IP$  は民間企業設備投資、 $IHP$  は民間住宅投資、 $G$  は政府支出、 $ZNE$  は在庫投資＋純移輸出、 $\Delta E$  は移輸出の変化、 $u$ ：消費単価、 $\Delta NV$  は入込客数の変化である。また、入込客数推計モデルに関する式を(5)、(6)式に示す。

$$NV_{sr} = NV_{sr}(POP_s, GC_{sr}) \quad (5)$$

$$GC_{sr} = w_s T_{sr} + MC_{sr} \quad (6)$$

ここで  $POP$  は人口、 $GC$  は一般化費用、 $w$ ：時間価値、 $T$  は所要時間、 $MC$  は貨幣費用（高速道路利用料金＋ガソリン代）である。

## 2.4 その他の関数

その他の関数については、既存の一般的な地域計量経済モデルを踏襲して構築する。その他の関数を(7)～(13)式に示す。

$$KP_{i,t} - IP_{i,t} = (1 - \theta_i) KP_{i,t-1} \quad (7)$$

$$NW_{i,t} = NW_{i,t-p} \quad (8)$$

$$CP_t = CP(CP_{t-1}, YH_t) \quad (9)$$

$$YH_t = YH(GRP_t) \quad (10)$$

$$IP_{i,t} = IP_{i,t-p} \quad (11)$$

$$IHP_t = IHP(YH_t) \quad (12)$$

ここで、 $i$  は産業、 $t$  は期間を表す。 $KP$  は民間資本、 $\theta$  は民間資本の減耗率、 $NW$  は就業者数、 $p$  はラグ、 $GRP$  は実現地域内総生産、 $NH$  は世帯数、 $YH$  は家計可処分所得である。

## 3. 和歌山県を対象とする実証モデル

### 3.1 概要

前章で検討した理論モデルを基に、南海トラフ地震や豪雨による都市間道路の途絶、一部地域の孤立が想定される和歌山県を対象に、四半期ベースの実証モデルを構築する。

### 3.2 入込客数推計モデル

研究対象である和歌山県は、観光業が盛んであることから、観光目的の入込客を対象に、(5)式のパラメータ推定を行う。

推定は、和歌山県の北部、南部の2か所を目的地、北海道、沖縄を除く44都府県を出発地として第六回(2015年)全国幹線旅客純流動調査(国土交通省)にある観光目的のデータを用いて行う。

各都府県間の一般化費用については NAVITIME のルート検索機能を用いて一般乗用車を利用した一般化費用を算出する。なお、到着地は和歌山県観光動向調査(2015)を基に和歌山県北部は和歌山市、南部は白浜町とする。推定式を(5a)に表す(ダミー変数は割愛)。なお、出発地の入込客数が多い都府県を(A)地域、それ以外を(B)地域とし、それぞれ推定を行う。

$$\ln NV_{sr} = \alpha + \beta \ln POP_s + \gamma \ln CG_{sr} \quad (5a)$$

パラメータ推定された推計モデルによる入込客数の現況再現を表-1に示す。平均絶対誤差率は最大でも5.39%となっている。

表－1 入込客数（地域別）の現況再現

(人)				
到着地	出発地	実績値	推計値	平均絶対誤差率
県北	(A)地域	22,703,324	22,907,286	0.90%
	(B)地域	76,357	72,244	5.39%
県南	(A)地域	16,807,368	16,730,976	0.45%
	(B)地域	56,855	54,810	3.60%

### 3.3 その他の関数

#### (1) 時系列データの収集と定常性の検証

和歌山県の経済変数の時系列データは、基本的には県民経済計算から得られるが、暦年または年度ベースであり、四半期ベースのものは公表されていない。一方、国民経済計算では、四半期ベースの時系列データが公表されている。このため、本研究では、和歌山県の年度データを日本全体の各四半期値と年度値の比率で按分することにより、和歌山県の四半期ベースのデータを作成する。データ作成期間は、2008SNAの県民経済計算のデータが公表されている2006～2015年度に相当する2006年第2四半期から2016年第1四半期とする。また、産業別のモデルを構築するために本研究では、第2次産業を9部門、第3次産業を3部門に分け全12部門でデータを作成する（1次産業は外生値）。産業分類の詳細を表－2に示す。各関数のパラメータ推定を行う際には、推定に用いる時系列データが定常性を満たす必要がある。検証は、ADF (Augmented Dickey-Fuller) テストにより行う。ここではp値が0.1未満の場合に定常と見なす。非定常となった変数については、1階の階差を取り再度検証を行う。原系列で非定常、1階の階差系列が定常となった変数が含まれる関数については、1階の階差系列を用いて関数の再定式化を行う。定常性の検証結果一覧は紙面の都合上割愛する。

#### (2) パラメータ推定

パラメータ推定は、定常性が検証された四半期ベースの時系列データを用いて最小二乗法により行う。推定結果の例として、生産関数のパラメータ推定結果を記載する(ダミー変数は割愛)。推定式を(2a)～(2d)に、パラメータ推定結果を表－3に表す。

$$\ln(V_{i,t}/L_{i,t}) = \alpha + \beta \ln(K_{i,t}/L_{i,t}) \quad (2a)$$

$$D\_ \ln(V_{i,t}/L_{i,t}) = \alpha + D\_ \beta \ln(K_{i,t}/L_{i,t}) \quad (2b)$$

$$D\_ \ln(V_{i,t}/NW_{i,t}) = \alpha + D\_ \beta \ln(KP_{i,t}/NW_{i,t}) \quad (2c)$$

$$D\_ \ln(V_{i,t}/NW_{i,t}) = \alpha + D\_ \beta \ln(K_{i,t}/NW_{i,t}) \quad (2d)$$

ここで、「D\_」は1階の階差を取った変数であることを表す。なお、①、②の産業は外生値とする。

#### (3) 現況再現

パラメータ推定されたすべての関数を連立させた最終

的なモデルによる現況再現性（地域内総生産の推計値と実績値の比較）を図－2に示す。

推定期間は2009年第3四半期～2016年第1四半期とし、地域内総生産（全産業）の推計値と実績値の平均絶対誤差率（MAPE）は2.39%となっている。

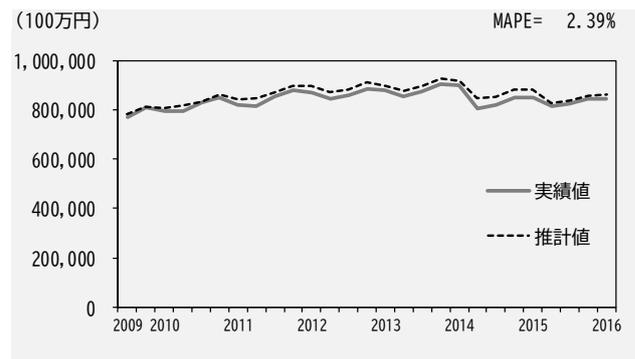
表－2 本研究の産業分類

産業名	産業名
① 農林水産業	⑧ 機械・部品
② 鉱業	⑨ その他の製造工業製品
③ 飲食物品	⑩ 建設業
④ 繊維・パルプ・紙・木製品	⑪ 商業
⑤ 化学製品	⑫ 運輸・郵便
⑥ 石油・石炭製品	⑬ その他のサービス業
⑦ 鉄鋼・非鉄金属品	

表－3 パラメータ推定結果（産業別生産関数）

産業	推定式	$\alpha$	$\beta$	R <sup>2</sup>	D. W.
③ 飲食物品	(2b)	0.013761 (1.311)	0.538117 (3.156***)	0.772	2.870
④ 繊維・パルプ・紙・木製品	(2b)	0.019563 (2.474)	0.405922 (3.288***)	0.620	2.346
⑤ 化学製品	(2b)	0.006605 (0.954)	0.46556 (4.342***)	0.797	2.431
⑥ 石油・石炭製品	(2c)	0.015669 (3.950)	0.367026 (3.128***)	0.998	2.416
⑦ 鉄鋼・非鉄金属	(2d)	0.013632 (3.012)	0.258672 (3.556***)	0.977	2.499
⑧ 機械・部品	(2b)	0.028122 (3.716)	0.408161 (3.591***)	0.748	2.182
⑨ その他の製造工業製品	(2b)	0.030256 (3.536)	0.183072 (1.678*)	0.630	2.029
⑩ 建設業	(2b)	0.024208 (3.932)	0.253851 (2.614***)	0.828	1.990
⑪ 商業	(2b)	0.006464 (1.107)	0.910335 (5.838***)	0.486	2.639
⑫ 運輸・郵便	(2b)	0.00664 (1.953)	0.868968 (10.918***)	0.895	2.073
⑬ その他のサービス業	(2a)	0.158098 (0.939)	0.473801 (2.768***)	0.511	0.554

※( )内はt値 \*\*\*は1%有意、\*\*は5%有意、\*は10%有意。  
※ダミー変数は割愛する。



図－2 地域内総生産（全産業）の現況再現

## 4. 道路途絶と復旧の影響分析

### 4.1 前提条件

道路途絶により孤立を想定する市町村は御坊市とする。

御坊市は物流拠点である日高港や工業用地を有しており、機械器具、プラスチック等の製造品出荷額は約310億円となっている。途絶を想定する道路は、紀勢自動車道、国道42号、県道御坊美山線、御坊由良線とする。

## 4.2 主な仮定とシミュレーションケース

ここでは、御坊市における第2次産業の原材料の市外からの搬入が震災等に伴う道路途絶により一定期間停止する状況を想定する。御坊市への市外からの原材料の輸送停止に伴う市内企業の生産力の減少、御坊市内の企業の生産減少に伴う和歌山県の生産額の減少のみを考慮する。このとき、道路途絶時には、御坊市の製造業（③～⑨産業）の生産額分だけ減少する。

シミュレーションケースは、3ケースとする。ケース0は途絶が生じないケース、ケース1は2019年第1四半期に生じた途絶が長期化し、2020年第1四半期期初に復旧するケース、ケース2は2019年第1四半期に途絶が生じ、2019年第2四半期期初に復旧するケースである。

## 4.3 シミュレーション結果

地域内総生産のシミュレーション結果を図-3に示す。道路途絶の影響は復旧後も5年以上の長期に渡って継続することが見て取れる。これは、次期以降の生産要素の水準に影響を与える民間設備投資および就業者数が当期の地域内総生産で決定され、民間消費支出が前期の民間消費支出および当期の家計可処分所得で決定される本研究のモデルの構造に起因する。すなわち、途絶期間における原材料の輸送停止による生産額の減少に伴う地域内総生産の減少が同期間の就業者数、民間設備投資、民間消費支出、民間住宅投資を減少させ、その結果、復旧した後も長期に渡って民間資本ストック、就業者数および民間消費支出の水準は、道路途絶がなかった場合と比較して小さくなり地域内総生産も減少したと考えられる。

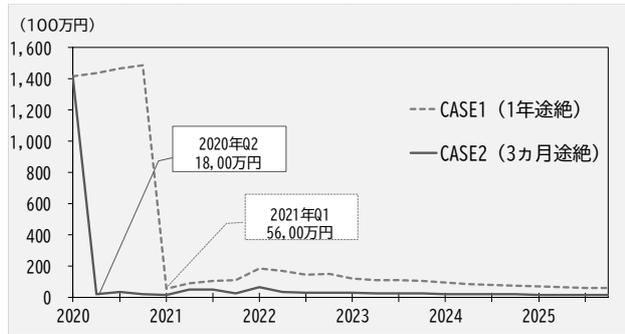


図-3 ケース別被害額の推移（地域内総生産）

## 5. 新規道路整備の影響分析

### 5.1 主な仮定とシミュレーションケース

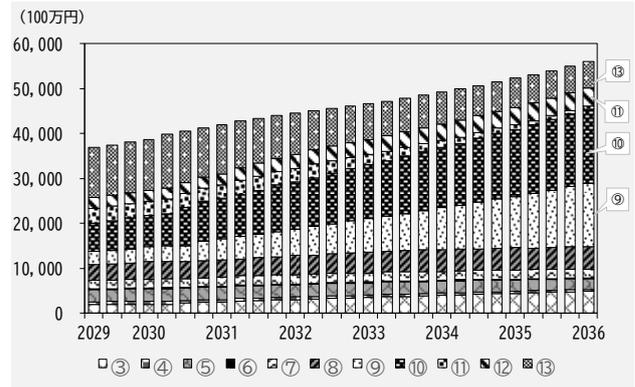
ここでは新規道路整備として紀勢自動車道が全線開通した場合のシミュレーションを行う。2029年第2四半期に紀勢自動車道の未開通区間（3区間）が開通することを仮定する。紀伊半島東部から時計回りに同区間を通過する可能性がある1都12県から和歌山県南までの一般化費用が変化するものとする。一般化費用の算出は近畿地方整備局、中部地性整備局から公表されている紀勢自動車道の建設予定延長距離と費用分析マニュアルにおける

時間価値、NAVITIMEによる所要時間を用いて行う。

## 5.2 シミュレーション結果

入込客数の推計により紀勢自動車道が全線開通した場合、和歌山県南への観光入込客数が約600万人の増加することが見込まれる。また、図-4に示すように整備なしの時と比較して地域内総生産は約370億円の増加が見込まれる。

本研究は産業別に増加額を確認することができる。総生産は年々増加し中、産業の内訳は年々⑬や⑩の産業が減少し⑨や⑩の産業が増加していることがわかる。



※①～⑬は表-2における産業分類。

図-4 産業別地域内総生産増加額

## 6. 今後の課題

本研究では、和歌山県を対象に四半期ベースかつ産業を細分化した道路の途絶・復旧、整備の統合評価モデルを構築し、分析を行った。

改善点として、途絶・復旧では、孤立状態だけでなく一部の道路が途絶されたケースを考慮できるようにすることが挙げられる。

今後の発展として、新規道路の有無による自然災害時の経済的被害の違いなどを考慮したモデルに改良することにより、社会に貢献できるものになると考えられる。

## 参考文献

- 1) Cho, S., Gordon, P., Moore II, J.E. Richardson, H. W.: "Integrating Transportation Network and Regional Economic Models to Estimate the Costs of a Large Urban Earthquake" Journal of Regional Science, 41(1), pp. 39-65, 2001.
- 2) 梶谷義雄, 水上裕治, 皆川勝, 吉田郁政: 交通ネットワーク上の貨物流動予測モデルを用いた自然災害の経済的影響評価に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.26, No.1, pp.219-227, 2009.
- 3) 国土交通省道路局・都市局: 費用便益分析マニュアル, 2018.
- 4) 小池敦司, 佐藤啓輔, 川本信秀: 空間的応用一般均衡モデル「RAEM-Light」を用いた道路ネットワーク評価～地域間公平性の視点からの実務的アプローチ～, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.26, No.1, pp.161-168, 2009.
- 5) Sato, T. and Suzuki, K.: Impact of Transportation Network Disruptions caused by the Great East Japan Earthquake on Distribution of Goods and Regional Economy, Journal of JSCE, 土木学会, Vol.1, pp.507-515, 2013.