

都市間道路の途絶・復旧・整備の統合評価手法に関する研究

千葉工業大学 教授 佐藤 徹治

概要：

本研究では、都市間道路の震災等による途絶・復旧・整備が地域経済に及ぼす時系列の影響を評価可能な地域計量経済モデルを開発した。モデルでは、都市間道路が途絶した場合には移輸出の減少、新規に整備された場合には地域間所要時間減少に伴う潜在生産力の増加がもたらされるとの仮説の下、これらを外生変数として考慮した。さらに、道路途絶時には、各原材料の搬入減少率のうちもっとも大きな減少率に等しい割合で平均労働時間指数と民間資本稼働率指数を減少させることにより、道路途絶が潜在生産力に及ぼす影響を分析できるものとした。

また、和歌山県を対象に四半期ベースの実証モデルを構築し、県中部の御坊市が道路途絶により孤立するケースを想定し、道路途絶や復旧時期が和歌山県経済に及ぼす影響について、シミュレーション分析を行った。分析の結果、都市間道路の途絶の影響は復旧後も長期間に渡って継続すること、早期復旧は長期間に渡って地域内総生産の減少額を小さくすることなどが示唆された。

キーワード：道路途絶、道路整備、地域計量経済モデル、和歌山県

1. 研究の背景と目的

我が国ではこれまで、自然災害による都市間道路の途絶が度々発生してきた。福島県、福井県、鳥取県では、2010 年 12 月末から 2011 年 2 月初旬にかけて、大雪により高速道路や国道などの都市間道路が寸断され、地域の社会経済に甚大な影響を与えた。2011 年 3 月に発生した東日本大震災では、東北地方太平洋岸を中心に多くの都市間道路が長期間途絶し、救援物資や燃料等の輸送やがれきの撤去に支障を来すとともに、沿線地域の経済に大きな影響を及ぼした。豪雨による道路途絶も近年多発している。2011 年 9 月には、平成 23 年台風 12 号（紀伊半島豪雨）により、紀伊半島各地の国道・県道・市町村道が寸断され、奈良県十津川村や和歌山県那智勝浦町を中心に 18 集落が孤立状態に陥った。2018 年 6 月末から 7 月上旬には、西日本を中心に広域が被災した平成 30 年 7 月豪雨が発生し、土砂流入や橋梁流出等の被災や雨量規制等により高速道路 77 区間が通行止めとなった他、広島県呉市と竹原市が道路途絶により一次孤立状態となった。

現在、南海トラフ地震の発生が高い確率で予想されている。また、今後も豪雨や大雪は各地で発生すると考えられるため、都市間道路の途絶が発生する可能性は高い。

一方、新たな都市間道路、とりわけ高規格道路の整備は、地域間所要時間の短縮等を通じて沿線地域に便益を

もたらす他、災害等により都市間道路が途絶した場合に代替ルートとして機能する可能性がある。

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⁴⁾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 : Spatial Computable General Equilibrium）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、例えば、小池ら（2009）⁵⁾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は、佐藤ら（2008）⁶⁾、Sato, et al. (2018)⁷⁾などがある。また、Sato, et al. (2013)⁸⁾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、交通網寸断、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。また、都市間道路の途絶・復旧・整備を統合的に評価できる手法は開発されていない。

以上から、本研究は、震災・自然災害等による都市間道路の途絶・復旧、代替道路の整備が地域経済に及ぼす四半期ベースの時系列の影響について、同一の枠組みで評価可能な手法を開発することを目的とする。また、道路途絶が度々発生している和歌山県を対象に、実証分析を行い、本研究の手法の適用可能性を示す。

2. 道路途絶・復旧・整備と地域経済の関係

本研究では、都市間道路の途絶については、ある都道府県内の1ないし小数の市町村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、整備については、リダンダンシー向上に資する新規の都市間道路を整備する状況を仮定する。なお、道路途絶の際、企業の生産設備の被害や人的被害はないものとする。

上記の道路途絶が生じた場合、当該都道府県の地域経済への直接的な影響としては、次の①～③が考えられる。

- ①孤立市町村への原材料の輸送停止
→ 孤立市町村内の企業の生産力の減少
- ②孤立市町村から都道府県内の他の市町村への原材料の輸送停止
→ 都道府県内の他の市町村内の企業の生産力の減少
- ③都道府県内の企業の生産の減少に伴う移輸出の減少

また、新規に都市間道路を整備した場合、当該都道府県の地域経済に次のような効果をもたらすと考えられる。

- ④都道府県内外の地域間所要時間の減少による都道府県内の企業の生産力の増加

3. 地域計量経済モデルの理論的検討

上記の①②に関しては、各産業の粗生産額を(1)式で表すことで表現することができる。

$$X_i = \min \left\{ \frac{V_i (ROW_i \cdot KP_i \cdot LHR_i \cdot NW_i)}{a_{0i}}, \frac{x_{1i}}{a_{1i}}, \frac{x_{2i}}{a_{2i}}, \dots, \frac{x_{ji}}{a_{ji}} \right\} \quad (1)$$

ここで、 i, j は産業を表す。 X は生産額、 V は付加価値(潜在生産力)、 LHR は平均労働時間指数、 NW は就業者数、 ROW は民間資本稼働率指数、 KP は民間資本ストック、 x_{ji} は中間投入額、 a_0 は付加価値比率、 a_{ji} は投入係数である。

(1)式は、レオンチェフ型の生産関数であり、利用できるもっとも減少率の高い原材料と同じ比率で付加価値(生産)が減少することを意味している。いま、付加価値(生産)関数がコブ・ダグラス型であると仮定すると、道路途絶によりある原材料の搬入が減少した場合、同じ

比率で平均労働時間指数と民間資本稼働率指数が減少することとなる。

③④に関しては、地域計量経済モデルの供給側(潜在生産力)と需要側(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、表現することができる。③④を考慮した潜在生産力、地域内総支出をそれぞれ(2)、(3)式に示す。

$$V_{i,t} = f \left(ROW_{i,t} \cdot KP_{i,t}, LHR_{i,t} \cdot NW_{i,t} \right) + \sum_{r,s} w_t \Delta T_{rs,t} Q_{i,rs,t} \quad (2)$$

$$GRE_t = CP_t + \sum_i IP_{i,t} + IHP_t + CG_t + IG_t + Z_t + NE_t + \Delta E_t \quad (3)$$

ここで、 i は産業、 t は期、 r と s は地域を表す。 V は潜在生産力、 w は時間価値、 ΔT は都市間道路整備による地域間所要時間の変化、 Q は都道府県内企業の地域間トリップ数、 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、 CG は政府消費支出、 IG は公的総資本形成、 Z :在庫投資、 NE :純移輸出、 ΔE :道路途絶・復旧・整備による移輸出の変化である。

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(4)～(10)式に示す。

$$KP_{i,t} = (1-\theta)KP_{i,t-1} + IP_{i,t} \quad (4)$$

$$NW_{i,t} = f \left(NW_{i,t}, GRP_{i,t} \right) \quad (5)$$

$$\frac{CP_t}{NH_t} = f \left(\frac{CP_{t-1}}{NH_{t-1}}, \frac{YH_t}{NH_t} \right) \quad (6)$$

$$YH_t = f \left(GRP_t \right) \quad (7)$$

$$IP_{i,t} = f \left(KP_{i,t-1}, GRP_{i,t} \right) \quad (8)$$

$$\frac{IHP_t}{NH_t} = f \left(\frac{YH_t}{NH_t} \right) \quad (9)$$

$$GRP_t = \phi GRE_t + (1-\phi) \sum_i V_{i,t} \quad (10)$$

ここで、 θ は民間資本の減価償却率、 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。

4. 和歌山県を対象とする実証モデルの構築

(1) 概要

南海トラフ地震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、前章で検討した四半期ベースの実証モデルを構築する。具体的には、(2)式および(5)～(9)式の特定化、(2)式および(4)～(9)式の被説明変数・説明変数の時系列データの収集と定常性の検証、定常性が検証されたデータを用いた各関数のパラメータ推定を行う。

(2) 和歌山県の都市間道路網の現状と将来計画

和歌山県における和歌山市以南の紀伊半島における主要な都市間道路としては、半島沿岸の国道 42 号と近畿自動車道紀勢線がある。近畿自動車道紀勢線は、和歌山県内では和歌山～すさみ間、太地～新宮間が開通済みである。すさみ～串本～太地間は現在事業中である。一方、新宮～熊野（三重県）間約 21km が紀勢線唯一の未事業化区間となっている。また、有田以南が暫定二車線となっており、現在、有田～南紀田辺間で 4 車線化事業が進められている。

その他の都市間道路としては、沿岸部と内陸部を結ぶ国道 370 号・480 号・424 号・425 号・371 号・311 号・168 号などがある。また、和歌山県は、県内主要都市である和歌山～新宮間、橋本～田辺間を結ぶ幹線道路（X 軸ネットワーク）の整備を計画している。

(3) 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、国全体の国民経済計算では、四半期ベースの各種経済変数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国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。

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。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。検証の結果、すべての関数の被説明変数、説明変数が定常であると判定された。

(4) パラメータ推定

(2)式および(4)～(9)式のパラメータ推定は、定常性が検証された時系列データを用い、OLS（最小二乗法）により行う。

各関数の推定において、説明変数は一般型で示した変数およびダミー変数（一定期間：1、その他：0）を候補とし、符号条件を考慮して有意水準 10% で非有意な変数を除いて再推定を繰り返す減少法で決定する。なお、産業区分は第 1 次・第 2 次・第 3 次産業の 3 区分とし、生産関連の関数において、推定は第 2 次産業と第 3 次産業について行い、第 1 次産業の各変数は外生で与えられるものとする。

パラメータ推定結果の例として、(2)式を外生的に与える地域間所要時間の変化の項を除いて特定化した(2)'式の推定結果を表-1 示す。(2)'式中の式の中の D_{Q1} 、 D_{Q2} は、それぞれ、第 1 四半期ダミー（第 1 四半期：1、その他：0）、第 2 四半期ダミー（第 2 四半期：1、その他：0）である。

$$\ln \frac{V_{i,t}}{LHR_{i,t} \cdot NW_{i,t}} = \alpha + \alpha_1 D_{Q1} + \alpha_2 D_{Q2} + \beta \ln \frac{ROW_{i,t} \cdot KP_{i,t}}{LHR_{i,t} \cdot NW_{i,t}} \quad (2)'$$

表-1 生産（潜在生産力）関数のパラメータ推定結果

	α	α_1	α_2	β	R ²	D.W.
2 次産業	1.8906 (1.506)	0.0534 (1.382**)		0.5503 (2.992**)	0.2776	0.3024
3 次産業	0.1896 (0.291)	0.0166 (1.565*)	0.0182 (1.662*)	0.8869 (7.636**)	0.7836	0.1674

注) () 内は t 値。**は 1% 水準有意、*は 10% 水準有意を表す。

(5) モデルの現況再現性

(10) 式のパラメータ、即ち、地域内総支出と潜在生産力のウェイト ϕ については、0.01～0.99 まで変化させて、すべての関数を連立させたファイナルテストを実施し、2006 年第 2 四半期から 2016 年第 1 四半期における地域内総生産の推計値と実績値の平均絶対誤差率（MAPE：Mean Absolute percentage error）が最小になった値を採用する。採用された ϕ は 0.71 である。

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-1 に示す。

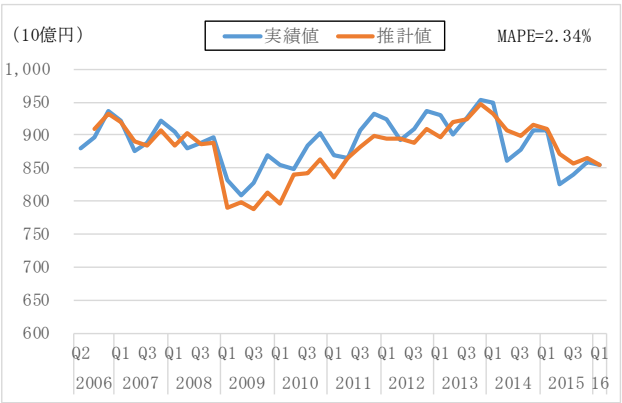


図-1 地域内総生産のモデルによる推計値と実績値

5. シミュレーション分析

(1) 概要

構築した実証モデルを用いて、都市間道路の途絶と市町村の孤立、復旧が将来時系列の和歌山県経済に及ぼす影響に関するシミュレーション分析を行う。

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、和歌山市から南に約 40km の紀伊半島西岸に位置し、人口（平成 27 年国勢調査）は約 24,800 人である。花卉栽培が盛んな都市であるが、県中部の地域の物流拠点である日高港や工業用地を有しており、金属製品、機械器具、プラスチック、電子部品等の製造品出荷額は約 310 億円（平成 29 年工業統計）となっている。

途絶を想定する道路は、近畿自動車道紀勢線、国道 42 号、県道御坊美山線とする。具体的に途絶を想定する箇所を図-2 に示す。

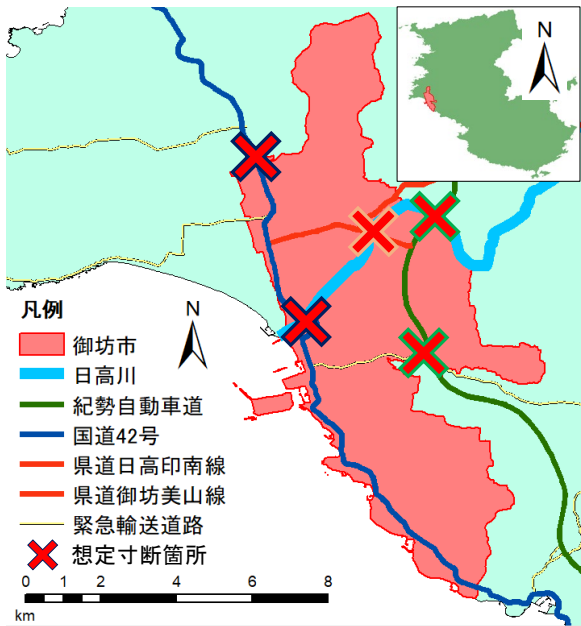


図-2 道路途絶の想定箇所

(2) 主な仮定とシミュレーションケース

ここでは、本研究の実証モデルの産業区分は 3 区分であることから、御坊市における第 2 次産業の原材料の市外からの搬入、製品の市外への搬出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。和歌山県庁でのヒアリング結果に基づき、御坊市の製造品出荷はすべて県外向けであると見做し、道路途絶時には、御坊市の製造品出荷額分だけ和歌山県の移輸出が減少するものとする。また、御坊市の第 2 次産業は、道路途絶時には原材料を使用できないため、和歌山県の原材料使用は通常時と比較して（和歌山県計－御坊市）／和歌山県計の比率で減少する。このため、道路途絶時には、平均労働時間指数と民間資本稼働率指数がこの比率で減少することを想定する。御坊市の製造品出荷額、和歌山県と御坊市の原材料使用額のデータについては、平成 29 年工業統計を利用する。

シミュレーションケースは、表-2 に示す 3 ケースとする。

表-2 シミュレーションケース

	途絶	復旧
ケース 0	なし	—
ケース 1	2019 年第 1 四半期	2019 年第 2 四半期期初
ケース 2	2019 年第 1 四半期 ～第 4 四半期	2020 年第 1 四半期期初

(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（一部抜粋）を表-3 に示す。

表-3 シミュレーション結果

		単位：百万円			
		ケース 1	ケース 2	ケース 1 －ケース 0	ケース 2 －ケース 0
2019	Q1	804,005.7	803,938.6	4,105.8	4,172.9
	Q2	801,241.3	797,051.0	437.2	4,627.5
	Q3	794,922.6	790,275.6	392.7	5,039.7
	Q4	789,581.5	784,524.3	354.0	5,411.2
2020	Q1	786,335.9	785,065.3	320.3	1,590.9
	Q2	781,832.5	780,686.9	290.6	1,436.2
	Q3	777,175.7	776,140.7	264.2	1,299.2
	Q4	773,287.1	772,348.7	241.0	1,179.4
2025	Q1	775,263.8	774,964.1	83.1	382.8
	Q2	774,780.8	774,495.9	79.3	364.2
	Q3	773,817.5	773,546.7	75.4	346.2
	Q4	773,276.9	773,019.0	72.0	329.9
2030	Q1	767,782.2	767,656.3	35.8	161.7
	Q2	767,175.5	767,054.4	34.5	155.6
	Q3	766,130.0	766,013.6	33.1	149.5
	Q4	765,526.7	765,414.8	31.9	143.8
2035	Q1	760,663.9	760,603.8	17.3	77.4
	Q2	760,122.3	760,064.2	16.6	74.7
	Q3	759,146.7	759,090.8	16.1	72.0
	Q4	758,607.2	758,553.3	15.5	69.4

6. 結論

本研究では、都市間道路の途絶・復旧、新規の整備が地域経済に及ぼす時系列の影響について、同一の枠組みで評価可能な手法を提案した。手法は、既存の地域計量経済モデルをベースとし、新たに、都市間道路が途絶した場合には移輸出の減少、新規に都市間道路が整備された場合には地域間所要時間減少に伴う潜在生産力の増加がもたらされるとの仮説の下、これらを外生変数として考慮した。さらに、道路途絶時には、各原材料の搬入減少率のうちもっとも大きな減少率に等しい割合で平均労働時間指数と民間資本稼働率指数を減少させることにより、道路途絶が潜在生産力に及ぼす影響を分析できるものとした。

また、豪雨等による道路途絶が度々発生している和歌山県を対象に四半期ベースでの実証モデルを構築し、県中部の御坊市が道路途絶により一定期間孤立するケースを想定し、道路途絶や復旧時期が和歌山県経済に及ぼす時系列の影響について、シミュレーション分析を行った。分析の結果、都市間道路の途絶の地域経済への影響は復旧後も長期間に渡って継続すること、早期復旧は長期間に渡って地域内総生産の減少額を小さくすることなどが示された。

謝辞：和歌山県企画部企画政策局統計課分析班班長の永尾吉賞氏には、和歌山県の地域経済や道路整備の経緯、現状、今後の方向性等についてご教示いただくとともに、評価手法の是非、シミュレーション分析の方向性についても多くの示唆をいただいた。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 川本義海: 降積雪の境界地域における冬季道路交通マネジメント, 土木計画学研究・講演集, 土木学会, Vol.43 (CD-Rom), 326, 2011.
- 2) 社会資本整備審議会: 大規模広域豪雨を踏まえた水災害対策のあり方について～複合的な災害にも多層的に備える緊急対策～答申, 2018.
- 3) 国土交通省: 2011 年紀伊半島大水害 国土交通省近畿地方整備局災害対応の記録, 1993.
- 4) 国土交通省道路局・都市局: 費用便益分析マニュアル, 2018.
- 5) 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.
- 6) 佐藤徹治, 樋野誠一, 稲垣雅一: 産業連関を考慮した多地域計量経済モデルと NEG 型応用一般均衡モデルの実証比較, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.25, No.1, pp.59-66, 2008.
- 7) Sato, T. and Fujiwara, M.: Impact of Developing the Orbital Expressway on Reduction of Logistics Costs and the Regional Economy in the Tokyo Metropolitan Area, Asian Transport Studies, EASTS, Vol.5, No.1, pp.177-190, 2018.
- 8) 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.
- 9) 和歌山県県土整備部: 平成 30 年度和歌山県県土整備の概要, 2018.
- 10) 東洋経済: 都市データパック 2018 年版, 2018.