

質的变化を考慮した道路整備ストック効果の定量的評価に関する研究

京都大学大学院工学研究科 准教授 松島 格也

1. はじめに

これまで道路整備効果の把握は費用便益分析における 3 便益により行われてきた。しかしながら、これらの便益は交通量の絶対量による影響が大きく、そのみに従って建設された結果都心部への一極集中が進んだ可能性が否定できない。また、今後想定される新規区間の道路はこれまでに開通した区間よりも少ない交通量であることが想定され、そういった場合にどのような便益を評価すべきか、またその便益をどのように定量化するのかは、大きな課題である。道路ストック効果を把握する試みが全国で始まっているが、その定量的な評価に関する統一的な基準は欠けている。

本研究では、従来の 3 便益、特に交通量の変化のみによらない評価指標の提案を目指した。具体的には、サプライチェーン構造の変化に伴う物流構造の変化による便益と買い物行動の変化に着目し、交通量変化以外の便益の定量化を試みた。そのために、サプライチェーン構造の変化を明示的に考慮した小売企業の在庫管理行動のモデル化と、市場裁定条件により規定される市場構造を表現する社会経済会計モデルを構築した。

2. 本研究の分析枠組

本研究では以下の 2 つの観点から研究を進めた。すなわち、物流構造の変化による便益と買い物行動の変化による便益とに着目した。まず、都市内道路整備による商品の輸送時間短縮が、物流センターの立地を促進することを指摘する。そのために、フランチャイズ小売企業の在庫管理行動をモデル化し、物流センターが有する機能には、個別チェーン店の直面する商品在庫保有リスクを集約する機能と、都市外からの商品仕入れにおけるロットサイズの大型化を達成する機能の二つがあることを明らかにした。都市内道路整備による物流センターや都市内のチェーン店の再編は、消費者の買い物交通行動の変化に繋がる可能性があり、物流に生じた変化が消費者の私的なトリップに間接的な影響を与える可能性を示唆した。そのうえで、都市内道路整備による物流の円滑化が、都市内のチェーン店や物流センターの立地パターンを再編する効果や、消費者の買い物利便性を改善する効果について分析した。

次に、中山間地域を対象とした社会経済モデルを構築し、道路整備が家計の消費行動を変化させることを指摘した。交通費用の減少は、道路整備による買物、通勤時間の減少効果と、中心都市への通勤家計の増加による通勤時間の増加という 2 つの相反する効果をもたらす。域内の生産量が有効需要に規定される場合、地方自治体による産業振興政策は、小売・サービス業、域内産業の賃金率や財・サービス価格を変化させない。賃金率が中心都市との裁定条件で決定される場合、域内家計の所得上昇効果はない。しかし、域内雇用数の増加は、通勤時間の減少による余暇時間の増加を通じて、域内家計の社会的厚生を増加させる可能性がある。このような観点より、交通施設の整備や地元自治体の政策が、家計の消費行動や余暇時間の消費パターンに及ぼす影響を総合的に分析できるような地域経済モデルを定式化した。

3. 在庫管理モデルによる都市内道路整備と物流構造の変化

食品や日用品を扱う商店の立地は、消費者の生活の利便性に直結している。近年は、ネット通販や

宅配など様々な流通チャンネルが存在しており、消費者の商品調達方法が多様化しているとは言え、生鮮食品など日常的に購入される商品の多くは、消費者の居住地付近の商店において購入されている。本研究では、このように商店を通じた消費者の商品調達に着目する。消費者の居住地付近に商店が立地していない場合、消費者は買い物の度に、遠方まで買い物に出かける不便を強いられることになる。このような買い物の利便性が低い地区に、商店の新規立地が実現した場合、近隣住民は、買い物交通費用（ガソリン代や旅行時間）が軽減される便益を受ける。現代の都市においては、小規模なスーパーマーケットやコンビニエンスストアのチェーン店が多数立地しているが、このようなチェーン店の立地戦略は、消費者の利便性を高めることを通じて、売上や利益を伸ばそうとするものであると言える。

都市内にチェーン店を多数立地させるためには、各チェーン店に商品を配送する拠点となる物流センター（配送センター、Distribution Center, DC）を配置することが効果的である。チェーン店は商品の在庫を保有している。商品の需要は日々変動しているため、在庫保有には常に売れ残りのリスクが伴う。小規模なチェーン店には、このようなリスクを負担することは困難である。そこでチェーン店を統括するフランチャイズ小売企業は、都市内もしくは都市近郊に物流センターを配置し、この物流センターに多量の在庫を保有する倉庫機能を持たせる。物流センターからチェーン店には頻繁に商品が配送されるため、チェーン店は必要最小限の在庫を保有すれば運営が可能となる。この点において、物流センターはチェーン店の在庫保有リスクを集約して引き受ける拠点と見なすことができる。

現代のスーパーやコンビニエンスストアなどのフランチャイズ小売企業の多くが、物流センターを都市内に配置し、傘下のチェーン店に商品を配送する戦略を採用している。この傾向には、都市内道路網整備等による物流費用の継続的低減が寄与している可能性がある。仮に、都市内道路ネットワークが未整備であり、物流センターとチェーン店間の商品の輸送時間が長い場合には、チェーン店が急遽商品を追加発注したとしても、商品がチェーン店に配送されるまでの間に在庫切れが発生する可能性がある。このため、チェーン店は安定的に商品を販売するために、商品の在庫ストックを増加させることが合理的となる。このような状況では、図1に示すように、チェーン店は物流センターを介さずにサプライヤから直接商品を仕入れることが効率的になると考えられる。一方、都市内物流時間が十分に短縮されれば、図2に示すように都市の物流拠点となる物流センターを配置することが効率的になると考えられる。

以上で議論したように、都市内道路の整備状況や都市内物流費用は、フランチャイズ小売企業によ

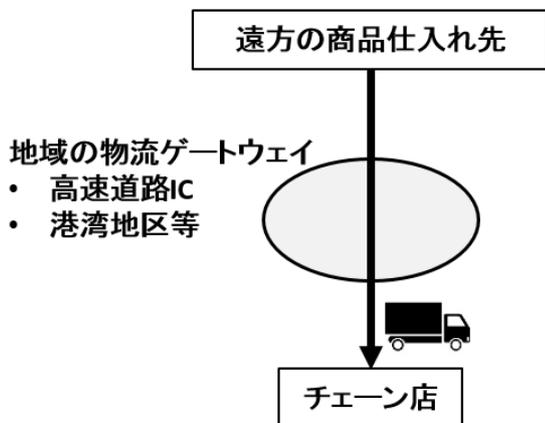


図1 直接仕入れをする場合

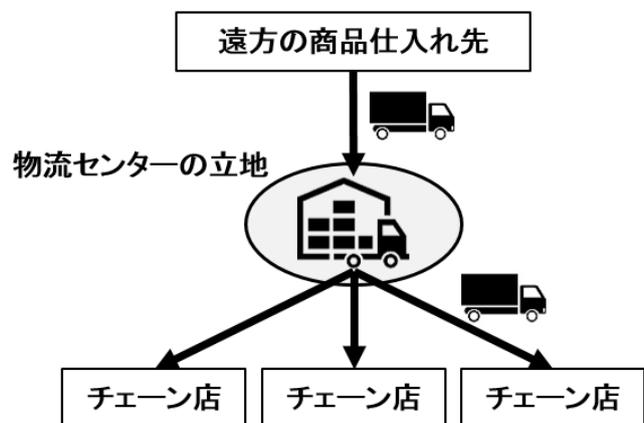


図2 都市内物流センターを配置する場合

る都市内物流センターの立地戦略に影響を及ぼす可能性がある。そして、物流センターの立地は、チェーン店の在庫保有費用を軽減することによりチェーン店の立地数を増やすとともに、消費者の買い物交通費用を軽減すると考えられる。本研究では、このような問題意識のもとで、在庫保有リスクの観点から、都市内の複数のチェーン店を統括するようなフランチャイズ小売企業が、都市内物流センターの立地を決定するような理論的モデルを定式化する。そのうえで、都市内道路整備による物流の円滑化が、都市内物流センターやチェーン店の立地パターンを再編する効果と、消費者の買い物利便性を改善する効果について分析する。

本研究は、在庫管理という視点から、フランチャイズ小売企業による都市内物流センターの立地戦略を分析する。チェーン店が顧客満足度を高めるためには、来店した消費者が在庫切れに直面する事態を防ぐ必要がある。しかし、商品の需要は日々変動しており、平均よりも高い需要が生じることもあるため、チェーン店は、需要の高まりに備えて在庫を保有しなければいけない。この在庫を安全在庫と呼ぶ。安全在庫は、売れ残った場合には処分する必要があるため、商品価値の減耗が早い商品を扱うチェーン店にとっては重い負担となる。商品価値の減耗が早い商品の例としては、食品や季節性の衣料品、ファストファッション、型落ちしやすい電子機器などを挙げられる。このような商品を扱う小売企業においては、在庫管理をいかに効率的に行うかが、経営戦略上の重要な課題となる。例えば、スーパーやコンビニエンスストアの主力品は飲食料品であり（飲食料品は平成 28 年度のスーパーの売上の 73%、コンビニエンスストアの売上の 68%を占めている）、これらの身近なチェーン店にも、上述の議論は当てはまる。

本研究では、小売企業による都市内物流センターの立地に関する意思決定をモデル化する。そのために、OR の分野で利用されている在庫管理モデルを応用する。在庫管理モデルとして最も広く知られている基本的なモデルが EOQ (Economic Order Quantity)モデルと Safety Stock (安全在庫) モデルである。交通に関係した研究分野において、在庫管理モデルは物流リードタイムの品質（早さや信頼性）の評価に関する研究に応用されてきた実績がある。Baumol and Vinod や Blauwens *et al.*は、在庫管理モデルを利用して荷主の費用と物流リードタイムの関係を表現し、貨物輸送サービスや輸送機関の選択問題に応用している。de Jong and Ben-Akiva は、貨物の輸送経路の選択に在庫管理モデルを応用している。瀬木は貨物の時間価値の性質の分析に在庫管理モデルを応用している。

Safety Stock モデルの重要な貢献の一つは、安全在庫を複数のチェーン店間で共有することにより、必要な安全在庫の総量を削減できることを明らかにした点にある。たとえば、来客が平常よりも少なかったチェーン店の余分な安全在庫を、来客が平常よりも多かったチェーン店に補充することができる。これにより、在庫保有リスクを全体として平準化し、安全在庫の総量の圧縮が可能になる。安全在庫を複数のチェーン店間で共有するいま一つの方法は、サプライチェーンの上流に物流センターを配置することにより、下流に位置するチェーン店の在庫保有リスクを集約化することである。ただし、この方法を利用するためには、 \forall チェーン店が必要なときに必要なだけ、物流センターから商品を補充できるような輸送環境が必要である。すなわち、物流センターとチェーン店間の輸送時間の短さが、物流センターを核とするサプライチェーンを形成するための要件となる。

本研究の新規性は、在庫保有リスクのサプライチェーン上流への集約という観点から、道路上の輸送時間と都市内物流センターの立地の関係を分析する点にある。物流拠点の立地を最適化する Facility Location Model に関しては、数多くの研究蓄積がある。しかし、これらの研究では、物流センターは物流の結節点としての役割しか持たないことが多い。本研究のモデルは、サプライチェーンの上流と下流の間の在庫管理の協調と、その協調に道路上の旅行時間が与える影響を定式化する点に新規性がある。

モデルの概略は以下のとおりである。円周都市を考え、都市の中心部には物流ゲートウェイ地区（高速道路インターチェンジや港湾地区など）が存在する。物流ゲートウェイ地区と円周は、放射線状に伸びる多数の物流専用道路（図中の破線）により連結されている。交通混雑は発生しないと考える。円周上は住民が居住する市街地であり、消費者が均等な人口密度で居住している。

都市内には日常的な商品を販売するチェーン店を経営する独占企業が存在する。この企業は、円周上の任意の位置にチェーン店を立地することができると思う。企業は利潤を最大化するように、円周上のチェーン店数と商品の販売価格を決定する。円周上の人口密度は均質であるため、企業は均等な間隔を置いてチェーン店を立地させることになる。消費者は円周上を移動して最寄りのチェーン店を利用し、自宅とチェーン店間の距離に比例した買い物交通費用を負担する。1つのチェーン店が担当する商圈は、そのチェーン店の位置を中心とした範囲となる。

また、企業の意味決定の対象には、「物流ゲートウェイ地区に物流センターを立地させるか否か」も含まれる。物流センターを立地させない場合には、個々のチェーン店は都市の外部から直接商品を仕入れる。物流センターを立地させる場合には、物流センターが都市の外部から商品を仕入れて在庫を保有し、チェーン店は物流センターから商品を仕入れる。いずれの場合にも、チェーン店が商品を仕入れる際には、都市外部に位置するサプライヤから、物流ゲートウェイ地区を経由したのちに、物流専用道路を介して各チェーン店に商品の輸送が行われる。

モデル分析より、平均在庫管理費用が十分に小さければ、都市内輸送時間の短縮はチェーン店数の増加と商品の販売価格の減少をもたらすことが示された。また、都市内輸送時間が十分に短ければ、輸送時間の短縮により物流センターの新規立地が実現したとき、店数の増加と価格の減少がもたらされることが示された。都市内の消費者余剰はチェーン店数について単調増加し、商品価格について単調減少する。したがって、都市内輸送時間の減少は消費者余剰を増加させることがわかる。すなわち、都市内輸送時間の短縮は、企業の利潤を増やすのみならず、消費者余剰も改善することを示している。輸送時間の短縮による企業の意味決定の変化に伴い、消費者は商品価格の低下と、買い物交通費用の軽減という恩恵を受けることになる。

以上の分析結果より、都市内道路整備が都市内の物流センターやチェーン店の立地パターンに及ぼす影響に関するいくつかの政策的示唆が導かれる。

第1に、都市内道路整備は、仮にそれが物流の円滑化のみに資するものであったとしても、都市内のチェーン店数を増やすことにより消費者の買い物利便性を改善し、消費者余剰を増加させる。

第2に、都市内物流センターの立地は、都市内輸送時間が十分に短い場合、都市内のチェーン店数を増やし、消費者の買い物利便性を改善する効果を持つ。よって、物流センターの立地は、消費者余剰の増加に繋がる。また、本研究の分析結果は、都市内道路整備による輸送時間の短縮が、都市内物流センター立地の必要条件であることを示している。下流のチェーン店から上流の物流センターに在庫保有リスクを集約する戦略は、現代のスーパーやコンビニエンスストア等の小売企業の多くが採用するものであるが、このような戦略の成立には、都市内道路整備が寄与していると言える。

第3に、都市内道路整備による都市内の物流センターやチェーン店の再編は、消費者の買い物交通行動の変化に繋がる可能性がある。チェーン店数が増えれば、消費者は居住地のより近隣において商品を購入するようになり、短距離の買い物トリップが増加する。これは、物流に生じた変化が消費者の私的なトリップに間接的な影響を与える可能性を示唆するものである。

4. 中山間地域を対象とした社会経済モデルによる道路整備効果の把握

従来、空間的に限定された特定の地域の経済構造を分析することを目的として、経済理論に基づい

て市場均衡を分析するために、応用一般均衡（computable general equilibrium: CGE と略す）モデルが利用されている。都市計画の分野においても、CGE モデルを用いた交通整備効果や都市・地域政策の効果进行分析の研究が蓄積されている。これらの CGE モデルは、いずれも市場における需給調整を通じて、財やサービスの価格、労働賃金率、資本レントが内生的に決定されるメカニズムを有している。さらに、地方生活圏における交通施設の整備効果进行分析することを目的とした実証的・実用的経済モデルもいくつか提案されてきた。しかしこれらのモデルは部分均衡の枠組にとどまっている。すでに述べたように、ある生活圏域の内部に位置する狭小地域を対象とした場合、通常の CGE モデルを適用することには問題がある。中山間地域における狭小地域を対象として分析をする場合、以下に示すような性質を持つ社会経済会計モデルを構築する必要がある。

本研究では、中山間地域の賃金率や財・サービス価格が、中心都市と中山間地域経済の間に競争関係の下で、利潤が 0 となるような水準に決定されると考える。域内の家計が中心都市で雇用される場合、家計は通勤費用を負担しなければならない。したがって、域内企業が域内で労働者を確保するためには、域内賃金率は「中心都市の賃金所得－通勤費用」以上でなければならない。一方、財・サービス市場においても、家計が域内で財・サービスを購入するためには、域内の価格水準は少なくとも「中心都市の価格水準＋買物費用」以下でなければならない。小売・サービス業は、中心都市で必要な財やサービスを仕入れるが、域内の価格水準が生産費用より大きい限り域内に立地することが可能である。

以上で言及したような中山間地域の経済構造を、図 3 に示すように模式的に整理できる。中山間地域では、域内で消費・投入される財や中間財の多くが域外で生産されるため、図 3 では、域内における経済循環構造を考慮していない。地方自治体が策定する財政計画に基づいてモデルの政策変数の値を決定する（STEP1：外生的パラメータ、政策変数の設定）。ついで、これらの域内賃金率、財・サービスの域内・域外価格、域内家計数、および自治体の財政支出計画を与件として、家計行動により小売・サービス業、域内産業に対する有効需要が決定される。さらに、域外との契約条件や域内資源の供給制約により移出産業の生産量が決定される（STEP2：有効需要の決定）。ついで、域内の財・サービスに対する有効需要に基づいて、域内における小売・サービス業の立地量が内生的に決定され

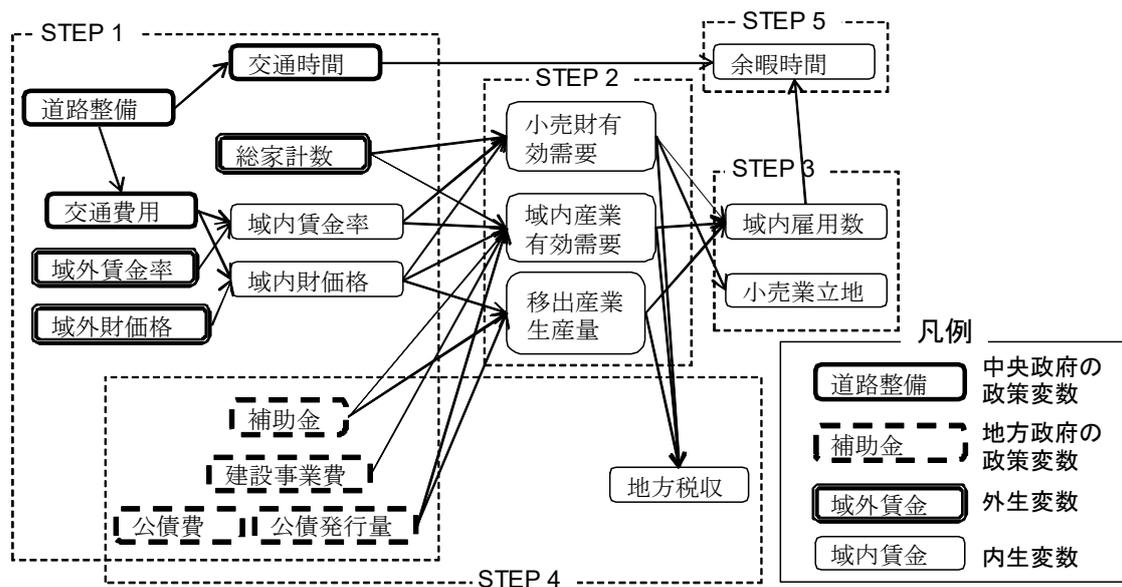


図 3 地域経済構造

る。さらに、各産業の域内雇用数が決定される（STEP3：域内雇用数の決定）。移出産業の利潤や家計・企業の行動に基づいて、地方税収入が決定される。これにより、地方自治体の財政バランスが求まる（STEP4：財政収支の判定）。市場均衡における家計行動に基づいて、余暇時間が確定する（STEP5：余暇時間の決定）。賃金率や財・サービス価格が中心都市との競争関係により決定されるため、域内における有効需要が本質的な役割を果たす。域内雇用の増加や域内における小売・サービス業の立地により、家計は移動時間を節約する（余暇時間を増加する）ことが可能となる。

本研究では、政策パラメータとして、1) 上位政府による地域間道路整備、2) 地方自治体による産業振興政策をとりあげる。上位政府による道路整備は、家計の通勤・買物費用、財の輸送費用（以下、交通費用と呼ぶ）、及び通勤・買物交通時間（以下、交通時間）に直接影響を及ぼす。交通費用の減少には、1) 労働市場の競争条件に影響を及ぼし、域内家計の賃金率の増加をもたらす、2) 域内の財・サービス価格の低下により、域内家計の消費量の増加をもたらす、3) 移出産業の価格競争力を高め、単位生産量あたりの利潤増加をもたらす、という直接的な効果が存在する。さらに、交通時間の減少により、家計の買物交通時間が減少する。一方で、企業の販売額が一定である場合、域内の賃金率の増加は域内雇用数の減少をもたらすというストロー効果が発生する危険性がある。道路整備による買物、通勤時間の減少効果と、中心都市への通勤家計の増加による通勤時間の増加という2つの相反する効果が同時に出現する。

これに対して、域内の生産量が有効需要に規定される場合、地方自治体による産業振興政策は、小売・サービス業、域内産業の賃金率や財・サービス価格を変化させない。賃金率が中心都市との裁定条件で決定される場合、域内家計の所得上昇効果はない。しかし、域内雇用数の増加は、通勤時間の減少による余暇時間の増加を通じて、域内家計の社会的厚生を増加させる可能性がある。このような観点より、本研究では交通施設の整備や地元自治体の政策が、家計の消費行動や余暇時間の消費パターンに及ぼす影響を総合的に分析できるような地域経済モデルを定式化する。

モデルの概要は以下のとおりである。労働力のみを生産要素とする静学経済を考える。域内には、中心地に通勤する域外通勤家計(タイプ a)、域内に雇用機会を有する域内勤労家計(タイプ b)、老人家計(タイプ c)という3つのタイプの家計が存在する。タイプ a および b の家計は賃金所得、賃金外所得（年金等）を獲得する。老人家計は、賃金外所得のみにより生計を立てている。家計は財の消費に対して Cobb-Douglas 型選好を有しており、家計の消費額シェアは財のタイプにより連続的に分布している。福祉サービスはニューメレール財である。

域内には、移出産業（農業、林業、製造業）、小売・サービス業、域内産業（建設業、福祉サービス、運輸通信業）が存在する。移出産業は生産量が外生的に制約されており、その生産物はすべて域外に移出され、市場価格と生産費用、輸送費用との価格差により利潤を獲得する。財のタイプが連続的に分布している小売・サービス業は、差別化された財を提供しているが、中心地に立地する小売・サービス業との間に完全競争市場が成立する。対象地域では、一定規模以上の収益をあげる財のみが販売される。域内産業（建設業、福祉サービス業、運輸通信業）は、いずれも労働投入量に関して収穫一定の技術を持つと仮定する。また、地方政府は、国からの所得移転、税金、国からの補助金、起債、保険料による収入と、補助金、年金、賃金支払、消費財購入額等の支出をバランスさせる。

実証分析の対象地域として鳥取県日野郡日南町を取り上げる。同町は鳥取県南西部に位置し、岡山、広島、島根県と接する典型的な中山間地である。同町の人口は、平成 27 年現在で 4,765 人であり、農業(兼業)及び林業が同町の基幹産業となっている。高齢化率は 44.90%であり、全国平均 21.90%を大きく上回る。計算にあたって各種外生変数、ならびにパラメータの値を、内生的に決定される町内における各産業の従業者数が鳥取県統計年鑑における平成 27 年従業者数に等しくなるよう、キャリ

ブレーションにより求めた。家計調査及び町役場職員に対するヒアリングの結果より小売財の消費シェアパラメータを推計した結果を図 4 に示している。同図中の点が実際の品目の購入シェアを、実線が近似曲線を当てはめた結果を示している。また、町内外の賃金及び物価水準について、利用可能な既存統計は存在しないが、モデルのキャリブレーションにより賃金・物価水準とそこから導出される観察可能な経済変数（例えば、雇用者数等）の関係の妥当性に関して検討している。

基本ケースにおける経済会計表を作成した結果を表 1 中に記載している。すでに述べたように、域内家計の最終消費の多くは域外企業の生産によるところが大きく、経済活動の大きな部分を域外に頼っている中山間地域の特徴を示している。また、域内に立地する企業総生産の約半額が域外に漏出していることもみてとれる。

次に、地域振興のための政策として、上位政府による地域間道路整備(政策 1)、地方自治体による建設事業費の増加(政策 2)、を行った場合に、地域経済に及ぼす影響を分析しよう。具体的には、地

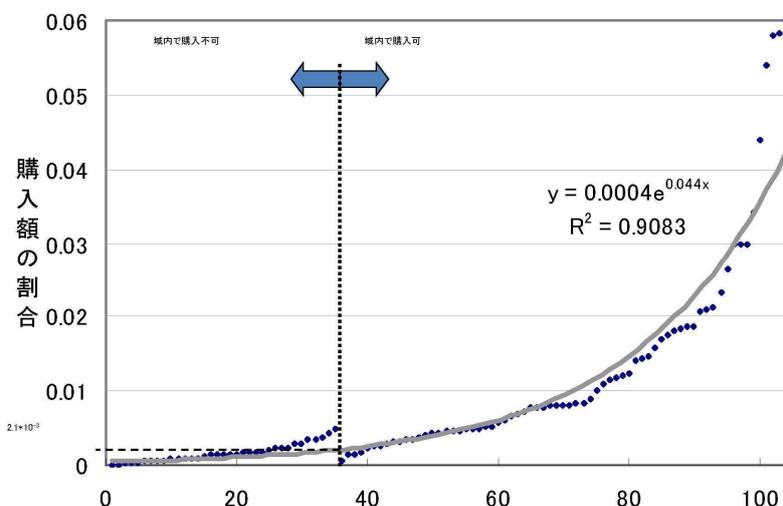


図 4 小売財の消費シェアパラメータ

表 1 社会経済会計表 (単位 100 万円)

生産	中間投入		最終消費			合計
	域内企業	域外企業	域内家計	域外家計	地方政府	
移出産業	0	0	0	4,226	0	4,226
小売業	0	0	4,137	0	0	4,137
建設業	0	0	0	0	2,353	2,353
福祉	0	0	826	0	0	826
交通企業	170	0	6	0	0	176
家計	0	0	0	50	0	50
域外企業	2,514	0	6,657	0	261	0
域内家計	9,902	1,477				
地方政府	431	0				
上位政府	1,180	0				
総付加価値	14,197	1,477				

域間道路整備により地域間交通費用及び交通時間が 20%減少した場合、ならびに、建設事業費を 20%増加した場合を想定している。

まず、いずれの政策も域内の雇用機会の増加をもたらす。結果として域外通勤家計の一部を域内勤労家計へ変化させることがわかる。直接的な通勤・買物交通時間の減少に加えて、域内勤労家計への転換による通勤時間の減少を通じて、余暇時間の増加をもたらす。政策 1（交通時間・費用減少）では余暇時間が大きく増加し所得も増加している。政策 2（建設事業費増加）では所得は変化せず、余暇時間のみが増加する。

政策 1 はさらに、家計の可処分所得の増加と、それに伴う財の購入量の増加を通じて域内への小売・サービス業の立地増加をもたらす。すなわち、道路整備により交通費用が減少すれば、家計が負担する交通費用の直接的な減少に加えて、移出産業及び兼業農業の利潤が増加することにより、実質所得が増加する。余暇時間の増加と財の購入量の増加の 2つの効果によって家計の効用水準も増加することとなる。ただし、交通費用の低下により域内貸金率が上昇したため、小売・サービス業以外の域内雇用機会が減少する。

一方、政策 2 の効果はほぼ全てが建設産業の雇用増加に帰着する。家計所得は変化せず、通勤時間の減少に伴う余暇時間の増加のみが結果として得られる。以上の結果を表 2 にまとめている。このように、中山間地域の地方自治体に居住する家計の所得増加をもたらすためには、地方自治体による財政支出のみでは不十分であり、上位政府による交通施設整備が不可欠であることがわかる。

中山間地における過疎地域を対象とした社会経済会計モデルを構築した。域内における雇用がそれほど大きくなく、また消費財購入の大きな割合を域外に頼っている中山間地域においては、その活動の多くを域外の中心都市に頼っている。域内の経済活動を支えるための政策として、地方自治体による財政支出、上位政府による交通整備、及び、農業等移出産業の付加価値向上を取り上げ、その経済効果を分析した。その結果、地方政府による財政支出はすべて余暇時間の増加に帰着する一方、中央政府による交通整備は貸金の増加をもたらすことがわかった。また、移出産業の付加価値向上は、家計所得の増加を通して小売財の立地や域内雇用創出に影響を与える可能性があることがわかった。

表 2 政策分析の結果

ケース		基本ケース	政策 1	政策 2
人口	域外通勤家計	783	758	635
	域内勤労家計	4,506	4,531	4,654
域内雇用	小売	829	853	829
	建設	416	413	499
	その他	1,364	1,356	1,365
	計	2,609	2,622	2,693
所得（百万円）		11,887	11,976	11,887
平均余暇時間		20.58	20.65	20.60
小売業の立地に関する閾値		0.337	0.317	0.337