

リダンダンシー効果による地域経済への影響分析

片山 慎太郎¹・古市 英士¹

¹一般社団法人システム科学研究所 調査研究部（〒604-8223 京都市中京区新町通四条上ル小結棚町 428）

我が国は、世界的にも有数の自然災害大国であり、防災・減災対策に向けた取組は極めて重要である。災害時においては、とりわけ道路ネットワークの多重化（リダンダンシー）が被害軽減に大きな役割を果たすが、平常時においても企業の生産活動へ寄与するものと考えられる。本稿では、平常時におけるリダンダンシー経路（第2経路）の時間短縮が、企業の生産活動へ与えた影響を長期時系列データを用いて検討した。その結果、第2経路のアクセシビリティと社会経済データとの相関性が高くなる地域を確認することができた。

キーワード リダンダンシー、アクセシビリティ、社会経済データ

1. はじめに

我が国は、世界的にも有数の自然災害大国であり、平成23年3月11日に発生した東日本大震災では甚大なる被害が報告されている¹⁾。将来的に発生が確実視されている東海・東南海地震等の大規模災害による被害軽減に向けて、防災・減災対策への取組は極めて重要であるといえる。災害発生後の状況下では、被災地への物資輸送、負傷者等の搬送等、道路が果たすべき役割は非常に大きく、とりわけ道路ネットワークの多重化（リダンダンシー）が被害軽減に寄与することが知られている²⁾。例えば、避難経路および物資輸送経路の確保や、企業のサプライチェーン寸断を防ぐことも大きな効果の1つとして挙げられる。リダンダンシー効果の定量的計測事例として、例えば、岩瀬ら³⁾（1998）は、仮想的市場評価法（CVM：Contingent Valuation Method）を用いて、幹線道路整備によるリダンダンシー効果の定量的な計測を試みている。また、小池ら⁴⁾（2006）は、空間的応用一般均衡モデルを用いて、新潟県中越地震の発生時における磐越道や上信越道のネットワークが、経済的被害の量的拡大・空間的拡大を抑制した効果を定量的に計測している。これらの既往研究をはじめとし、災害時におけるリダンダンシー効果の定量的な計測事例が多く蓄積されている。しかしながら、多くの既存研究では、主に「災害時」を想定したリダンダンシー効果の計測であるが、「平常時」においても、都市間モビリティの向上・選択経路数の増加に伴う多様性向上といったリダンダンシー機能が発揮されることから、平常時における効果検討も重要であると考えられる。平常時におけるリダンダンシー効果

は、特に企業への生産活動（生産リスクの低減・新規企業立地等）へ大きな影響を与えるものと推察されるが、平常時におけるリダンダンシー効果を定量的に検討した調査・研究等は、これまであまり行われたことがない。そこで本稿では、「平常時」におけるリダンダンシー経路（第2経路）の時間短縮が、企業の生産活動等へ与えた影響を、過去40年の長期時系列データ（交通データおよび社会経済データ）を用いて検討する。

2. 既存のリダンダンシー経路の考え方

(1) 防災機能評価マニュアル^{5),6)}による評価手法

国土交通省では、必要性・有効性・効率性の3つの観点で評価を実施するものとし、「主要都市・拠点間等の防災機能向上に関する計測マニュアル（暫定案）⁵⁾」ならびに、「ネットワーク全体の防災機能向上に関する計測マニュアル（暫定案）⁶⁾」（以降、2つのマニュアルを総称して防災機能評価マニュアルとする）が策定され、新規事業採択時評価に活用されている。防災機能評価マニュアルでの基本的な考え方は、対象事業あり・なしにおける、耐災害性および多重性（災害時における迂回経路の迂回率）から評価を実施するものであり、最短時間経路（第1経路：主経路）以外の経路からリダンダンシーネットワーク（第2経路：迂回経路）を評価している。また、防災機能評価マニュアルにおける第2経路は、時間もしくは距離が最短となる経路としているため、厳密には第2最短時間経路または第2最短距離経路といえる。

(2) 接続脆弱性分析⁷⁾による評価手法

接続脆弱性分析は、平常時における拠点間の到達可能性を交通需要を扱わずに評価する手法であり、近年、その研究が精力的に行われている⁷⁾。接続脆弱性分析では、拠点間の接続性を「非重複経路数」で表現し、ネットワークの途絶時に確保できる非重複経路数から、道路ネットワークの脆弱箇所を特定するものである。「非重複経路」という点では、防災機能評価マニュアルと同様の考えであるが、両分析での大きな違いの1つとして経路探索方法が挙げられる。両分析での経路探索の違いを図-1に示すが、まず防災機能評価マニュアルでは、最短経路を基本（速達性評価）とするため、この場合AB間における第2経路は探索されない。一方で、接続脆弱性分析では、経路数が最大となるように経路探索（接続性評価）を行うため、AB間の経路が2本探索される。

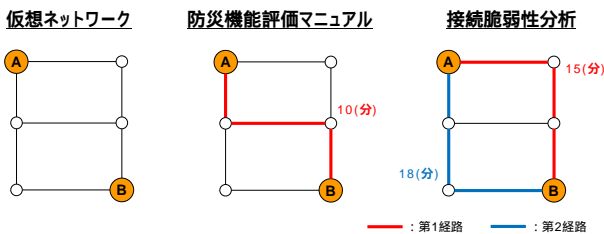


図-1 経路探索方法の違いによるリダンダンシー経路の違い⁸⁾

(3) 本稿のリダンダンシー経路の考え方

既存のリダンダンシー経路の考え方を参考とし、各評価手法と本稿でのリダンダンシー経路の考え方の違いを表-1に整理する。まず、本稿では、平常時における企業の生産活動への影響を分析するために、経路探索方法は最短経路（速達性の評価）として考える。これは、限定された労働時間の中で、より効率的に生産活動が行われているものと想定するためである。よって、本稿でのリダンダンシー経路（第2経路）を、「第1最短所要時間経路を除いたリンクでの最短所要時間経路」と定義し、第1経路と第2経路が重複しないように設定する。

表-1 既存の評価手法との違い

	防災機能評価 マニュアル	接続脆弱性分析	本稿での分析
経路の考え方	最短経路	経路数最大	最短経路
評価視点	速達性	接続性	速達性
想定状況	災害時	平常時	平常時
時点	1時点	1時点	多時点

また、本稿のもう1つの大きな特徴として、多時点での分析を行っている点が挙げられる。既存の評価手法では、評価時点を1時点とし、対象事業のあり・なしによって分析が行われていたが、本稿では多時点のネットワークを扱った時系列分析を行うため、この点も新たな試みの1つといえる。ただし、多時点でのリダンダンシー経路を考える場合、経年変化のパターンに注意が必要である。表-2では、多時点での最短経路探索を行うことで考えられる第1経路および第2経路の所要時間経年変化パターンである。なお、ここでは、「速度状況の経年変化なし・平常時における非重複経路」であることを前提条件として考える。このうち、パターン⑥～パターン⑨は、最短経路を前提とする以上、発生し得ることはないパターンであるが、分析を行う上で問題となり得るパターンは③である。これは、例えばある道路が第2経路上に整備され第1経路となった場合、第2経路はこれまでの経路よりも大きく迂回する経路となるパターンである。本稿では、これらのケースを問題提起のみに留めるが、今後リダンダンシー経路の時系列分析を行う上では、検討していく必要がある1つの課題といえる。

表-2 最短経路探索における経年変化パターンの可能性

	第1経路所要時間	第2経路所要時間	可能性
パターン①	↘ 減少	↘ 減少	○
パターン②	↘ 減少	→ 変化なし	○
パターン③	↘ 減少	↗ 増加	○
パターン④	→ 変化なし	↘ 減少	○
パターン⑤	→ 変化なし	→ 変化なし	○
パターン⑥	→ 変化なし	↗ 増加	×
パターン⑦	↗ 増加	↘ 減少	×
パターン⑧	↗ 増加	→ 変化なし	×
パターン⑨	↗ 増加	↗ 増加	×

3. 分析データの整理

(1) 地域間所要時間データ

a) ネットワークデータ

より現実的な道路ネットワークを用いた経路探索を実施するために、DRM (Digital Road Map) を使用した。ただし、DRMの全道路を対象とした場合、サービス水準の低い一般市道や細街路を含んだ経路が選択され、非現実的な経路となる可能性があるため、主要地方道以上を経路探索の対象ネットワークとして設定した。また、主要地方道以上で一括にネットワークを設定した際の問題

としては、高速道路ICのアクセス道路や拠点周辺のネットワークが限定されてしまい、利用の多い高速道路ICが経路として選択されない事や、ネットワーク密度の粗さから第2経路が探索されない可能性があるため、本稿では高速道路ICのアクセス道路及び拠点周辺の道路ネットワークを府県道を含めて密に設定した。なお、対象とする時点は、1970年から2010年までの5年毎のデータとし、40年間・10時点でのネットワークデータを作成した。

b) 速度データ

本来の交通現象を想定した場合、バイパスや拡幅事業等による交通転換により、周辺道路の速度向上が考えられるため、経年の道路整備に伴う各道路の速度変化を考慮することが望ましいといえる。しかしながら、過去の速度設定が困難であることや、本稿ではあくまで道路整備のみを起因とした地域間所要時間の変化とするため、各年の速度データは、平成22年道路交通センサスの混雑時旅行速度（府県別・政令市別・道路種別）で固定し、経年的な速度変化は考慮しないものとした。

c) 拠点データ

拠点（セントロイド）は市役所・町村役場を代表位置とし、近畿地方整備局管内である2府5県の全市町村を対象とした。ただし、設定したネットワーク上に庁舎がない場合、近傍のネットワーク上に拠点を設定した。

(2) アクセシビリティ指標

本稿では、道路整備水準（所要時間短縮）をアクセシ

ビリティ指標を用いて表現する。アクセシビリティとは、ある交通結節点での交通利便性を表す指標であり、道路整備による所要時間短縮の効果を面（もしくは点）的に捉えることが可能である。アクセシビリティ指標に決められた定義はないが、本稿では、宮城ら⁹⁾（1995）で示されたように、到達地点の社会経済規模（本稿では人口規模とした）と経年の所要時間で表現された交通抵抗を用いた関数とし、以下の様に定義した。

$$Acc_{is}^r = \sum_{j \in J} \exp(-t_{ijs}^r) w_{js} \quad (1)$$

ただし、 Acc_{is}^r : 発地域*i*の期間*s*における第*r*経路アクセシビリティ、 t_{ijs}^r : 発地域*i*から着地域*j*の期間*s*における第*r*経路所要時間、 w_{js} : 着地域*j*の期間*s*における社会経済規模（夜間人口）

また、本稿では、着地域の対象地域を、近畿管内の広域生活圏の中心都市である15都市（福井市・敦賀市・大津市・彦根市・京都市・舞鶴市・大阪市・泉佐野市・神戸市・姫路市・豊岡市・奈良市・五條市・和歌山市・田辺市）で設定した。ただし、この着地域の設定を近畿管内で閉じた設定としているが、本来は東京・名古屋といった大都市圏とのアクセス性も考慮した方がより現実的であるため、これらについては今後の課題としたい。

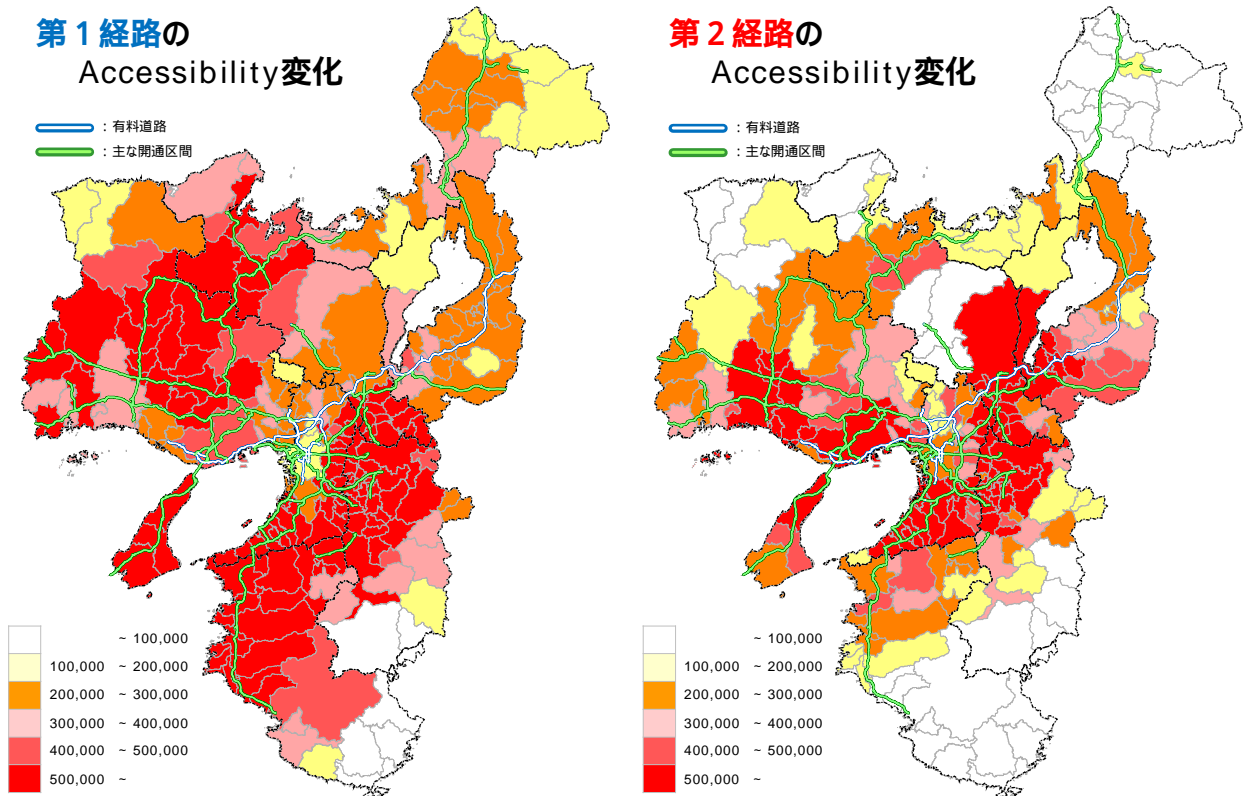


図-2 過去の道路整備状況と各経路のアクセシビリティ変化量（2010年－1970年）

過去40年間の近畿管内における道路整備状況と、1970年から2010年にかけての各経路のアクセシビリティ変化量を図-2に示す。左図が第1経路、右図が第2経路のアクセシビリティ変化であるが、地域の傾向が各経路で異なっていることが分かる。まず第1経路での変化をみると、京都府（北部・南部）、大阪府（東部・南部）、兵庫県（中部）、奈良県、和歌山県（北部）で大きくなっており、高規格道路が整備されていなかった1970年代に比べ、他都市へのアクセシビリティ向上に貢献していることが分かる。一方で、1970年代は我が国の大動脈である名神高速道路が既に整備されていたため、沿線地域ではアクセシビリティがやや低くなっていることが分かる。次に、第2経路での変化をみると、滋賀県（南部）、京都府（中部・北部）、大阪府（南部）、兵庫県（南部）、奈良県（北部）で大きくなっており、名神高速道路の沿線地域や、道路ネットワークが密に整備されてきた地域で大きくなっていることが分かる。つまり、近畿全体で見た場合、第1経路のアクセシビリティは地方部で比較的大きく、第2経路のアクセシビリティは都市部で大きくなる傾向となり、特に道路ネットワークが脆弱な地域においてリダンダンシー経路が不足している状況が確認できる。こ

れは、今後の道路整備を考える上でも重要な指標となると考えられる。

(2) 社会経済データ

我が国の製造業の実態を捉えた工業統計調査¹⁰を長系列で整理する。なお、分析対象とする指標は、事業所数、従業者数、製造品出荷額とする。ただし、データ中の秘匿箇所は「0」として取扱い、製造品出荷額はデフレーター¹¹で除した実質値で分析を行った。図-3では、各指標値の伸び率（基準値：1970年）の傾きを地域別に整理した結果である。まず、事業所数は多くの地域で減少傾向であることが確認できるが、これはバブル崩壊後における事業所数の減少が大きく影響しているためである。一方、従業者数をみると近畿管内全域では減少傾向であるものの、滋賀県（湖東地域）、京都府（南部）、兵庫県（南東部）で増加傾向であることが分かる。さらに製造品出荷額をみると、リーマンショック以降はやや減少傾向であったものの、多くの地域で増加傾向であることが確認できる。ただし、地方部に比べ京都市・大阪市・神戸市といった都市圏での伸び率は低く、特に大阪市では減少傾向であることが分かる。

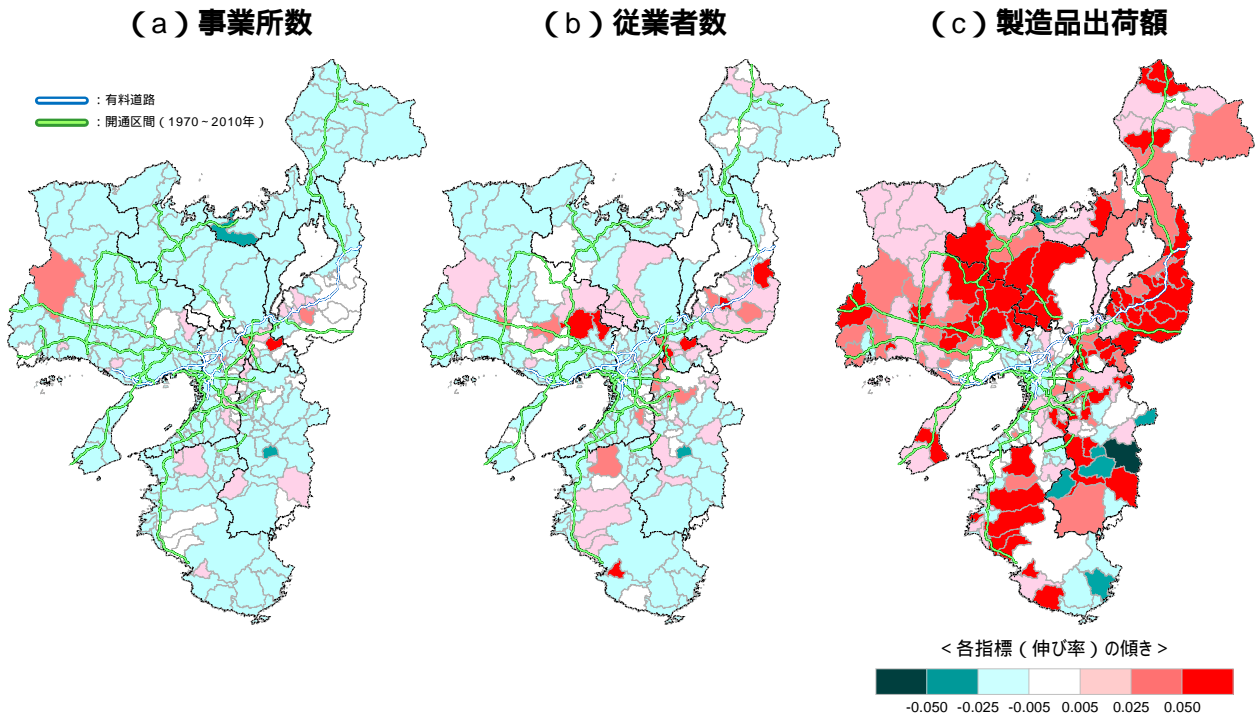


図-3 過去の道路整備状況と経済指標の伸び率変化の傾き（基準値：1970年）

4. 分析結果

(1) 検証方法

各経路のアクセシビリティと社会経済データとの相関係数を式 (2) の通り算出し、第1経路と第2経路の相関

係数を比較することで、第2経路と社会経済データとの相関性が高い地域を検証する。なお、相関性が低い地域や、負の相関がみられた地域は分析対象から除外するものとし、制約条件として相関係数0.8以上を設定することで、地域の抽出を行った。

$$R_i^r = \frac{\sum_{s=1}^n (Acc_{is}^r - \overline{Acc_i^r})(y_{is} - \overline{y_i})}{\sqrt{\left\{ \sum_{s=1}^n (Acc_{is}^r - \overline{Acc_i^r})^2 \right\} \left\{ \sum_{s=1}^n (y_{is} - \overline{y_i})^2 \right\}}} \quad (2)$$

ただし、 R_i^r : 地域*i*の第*r*経路の相関係数 (0.8以上の地域のみを対象)、 y_{is} : 地域*i*の期間*s*における社会経済データ、 n : 期間数

(2) 第2経路との相関性

本稿では紙面の制約上、特に経年の伸び率が高かった製造品出荷額での分析結果を紹介する。また、小池ら¹²⁾(2009)で分析されているように、本稿でも対象期間を、全期間 (1970~2010年)、経済成長期 (1970~1990年)、経済低迷期 (1990~2010年)の3期間に分け、期間別の相関性についても分析を行う。図-4は、各期間での製造品出荷額と第2経路アクセシビリティとの相関性が高かった地域を抽出した結果である。

まず、全期間での結果をみると、兵庫県 (中部) で相関性が高い地域が多くなっていることが分かる。これは、中国自動車道・山陽自動車道といった西日本エリアを支える高速道路が整備されたことで、各地域から第2経路を利用した各都市への時間短縮に大きく貢献しているためであると考えられる。また、福井県 (北部) の地域でも相関性が高くなっていることが分かる。これは、北陸自動車道が整備されたことで、第1経路として機能する

とともに、それまでの主経路であった国道8号が第2経路として機能し、アクセシビリティの相対的な向上に貢献したためであると推察される。

次に、各期間での結果をみていくと、まず経済成長期では、相関性の高い地域が全期間の結果よりも多く、兵庫県や福井県以外にも、京都府 (北部) や奈良県 (北部) で相関性の高い地域が確認できる。特に、供用した道路の沿線地域以外でも相関性の高さを確認できることは大きな特徴の1つである。道路ネットワークが脆弱であった経済成長期では、高速道路の整備によって、当然ながら第1経路の時間短縮に大きく貢献したものと考えられるが、一方で、それまでの主経路が第2経路として果たした役割も大きかったものと推察される。さらに、経済低迷期での結果をみると、相関性の高い地域数は少なくなり、相関性の高いほぼ全ての地域が供用した道路の沿線地域であることが分かる。これは、小池ら¹²⁾(2009)で指摘されているように、道路投資と労働生産性の相関関係が過去よりも少なくなってきたことに加え、経済低迷期の社会経済データは、道路整備以外の要因 (株価・景気等) に大きく影響されているためであると考えられる。経済低迷期を含めた期間で道路整備と社会経済データの相関関係を分析する場合は、道路整備以外の要因を除去した上で分析することが必要不可欠であるが、これらの課題に対しては、固定効果モデルを用いたパネルデータ分析¹²⁾が有用であり、今後はこれらの統計的手法を活用した分析を行っていく必要がある。

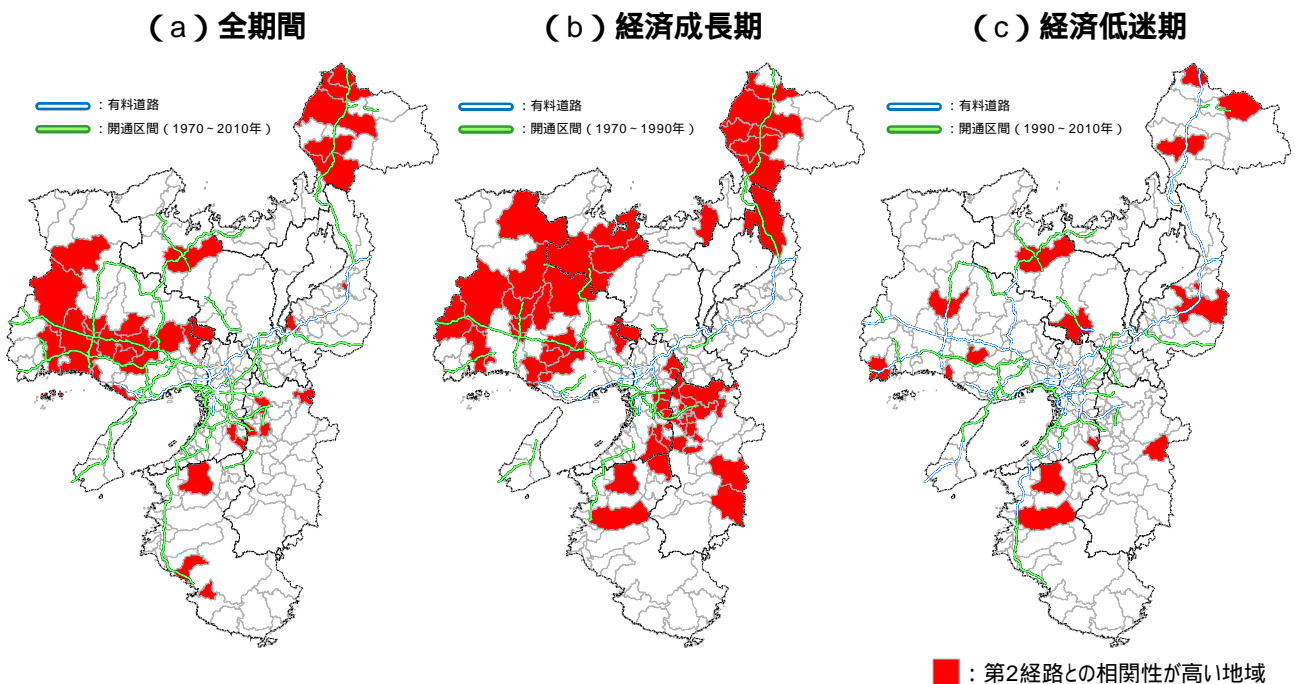


図-4 第2経路と製造品出荷額の相関性が強い地域

(3) 相関性の高い地域での各経路の経年変化

第2経路との相関性が高かった地域の中から、アクセシビリティの変化が大きかった期間を対象とし、表-2で整理したパターンと合わせながら、各経路の経年変化を整理する。まず、図-5では、パターン①に該当する経路の経年変化であり、第1経路および第2経路ともに所要時間が短縮されるパターンである。ただし、第2経路上に開通区間があるわけではなく、道路が整備されたことで第1経路が他路線へ転換し、過去の第1経路が第2経路となり得るケースである。つまり、第1経路上および第2経路上ともに道路が整備され、両経路ともに時間が短縮されるケースもあれば、今回のように、第2経路が直接的に開通区間を通過しないケースもあることが分かる。



図-5 各経路の経年変化例 (パターン①)

次に、図-6では、パターン④に該当する経路の経年変化である。これは、第2経路のみが時間短縮されるパターンであるが、各経路沿線に開通区間がない場合でも、時間短縮が起り得るケースである。つまり、第2経路でみた場合、開通区間の沿線地域以外のエリアでも時間短縮が起り得るため、道路整備による効果を適切に捉えるためには、拠点間の複数経路において時間短縮効果を捉えていくことが重要であると考えられる。

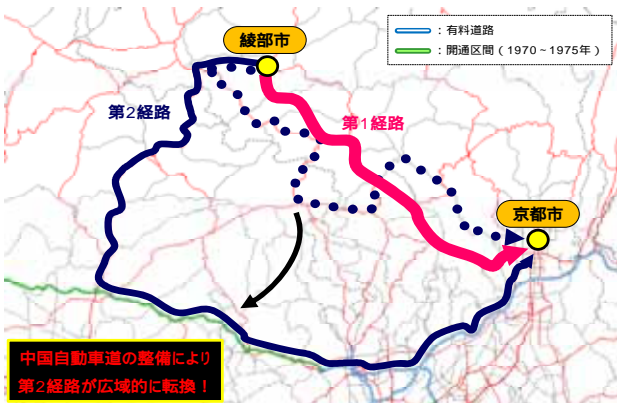


図-6 各経路の経年変化例 (パターン④)

5. まとめと今後の課題

本稿では、リダンダンシー経路（第2経路）のアクセシビリティと社会経済データから、両指標の相関性が高くなる地域があることを確認した。これは、既に基幹となる道路が整備されている地域において、今後の道路ネットワークを考えていく上で重要な視点であると考えられる。ただし、本稿での検討から今後の課題も見られた。

まず、第2経路の経年変化パターンにも様々なケースが存在し、対象とする道路が所要時間を直接的に短縮させるのか、間接的に短縮させるのか等も細かく見ていく必要がある。本稿では全てのケースを対象としたが、実際の企業の生産活動へ寄与している（もしくは、企業が第2経路として選択し得る）経路を第2経路として定義し、分析を行っていく必要がある。また、本稿での検討は、社会経済データを用いた簡易な統計分析に留まっているが、実際の生産活動へ第2経路がどの程度寄与しているかをヒアリング等を通じて確認していく必要がある。特に、企業の立地行動では、どの程度リダンダンシーが考慮されているのかといったリスク軽減の視点は、今後の道路整備効果（ストック効果）を検討する上で重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府：東日本大震災における被害額の推計について、<http://www.bousai.go.jp/2011daishinsai/pdf/110624-1kisyu.pdf>.
- 2) 国土交通省：多重性（リダンダンシー）、ネットワークの重要性の再認識、国土交通白書 2012, pp.45-49, 2012.
- 3) 岩瀬広, 林山泰久：CVM による幹線交通網整備がもたらすリダンダンシーの経済的評価 - 支払形態バイアスの検討 -, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.187-194, 1998.
- 4) 小池淳司, 右近崇：新潟県中越地震における磐越道・上信越道のリダンダンシー効果, 高速道路と自動車, 第 49 巻 第 7 号, pp.17-26, 2006.
- 5) 国土交通省：主要都市・拠点間等の防災機能向上に関する計測マニュアル（暫定案）, 2013年4月.
- 6) 国土交通省：ネットワーク全体の防災機能向上に関する計測マニュアル（暫定案）, 2013年4月.
- 7) 倉内文孝, 宇野伸宏, 夏皓清, 葉光毅：台湾道路ネットワークにおける接続脆弱性解析とその活用, 土木計画学研究・講演集, Vol.42, 2010.
- 8) 定金乾一郎, 古市英士：接続脆弱性分析手法を用いた災害時の道路ネットワーク評価, 平成 25 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集, 調査・計画・設計部門, No.4, 2013.
- 9) 宮城俊彦, 鈴木崇児：交通ネットワークにおけるアクセシビリティの定義, 土木計画学研究・講演集, Vol.18(1), pp.373-376, 1995.
- 10) 経済産業省：工業統計調査, <http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/>.
- 11) 内閣府：国民経済計算(GDP 統計), <http://www.esri.ca.go.jp/index.html>.
- 12) 小池淳司, 門間俊幸, 藤井聡：地方部における道路投資の社会的メリット・デメリット, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, No.229, 2009.