

Network Topology 指標による 長期的な道路ネットワーク整備の影響評価

安藤 宏恵¹・倉内 文孝²

¹学生会員 岐阜大学大学院 工学研究科生産開発システム工学専攻 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

E-mail:hiroe@gifu-u.ac.jp

²正会員 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

E-mail:kurauchi@gifu-u.ac.jp

わが国では、継続的に道路ネットワークの整備事業を実施しており、そして今後も必要とされる重要な事業の一つである。それに伴う道路ネットワークにおける整備効果の評価指標については、東日本大震災発生以降、従来のネットワーク評価指標にくわえ、災害発生確率に依存しない判断基準や効率性以外の観点の指標化が求められている。このような背景のもと、本研究では、確率に依存しないうえに、需要を考慮せずネットワークそのものが持つ形状の観点から評価をおこなうNetwork Topology指標により、長期的な視点における道路整備の影響を評価することを試みる。交通容量を重みとする固有ベクトル中心性指標を活用し、岐阜県における1985年から2024年までの道路ネットワークを評価することで、道路整備によるネットワーク変化がもたらす供給能力への影響を検証する。

Key Words : road network, network topology, road infrastructure investment, eigenvector centrality,

1. はじめに

近年、わが国では台風、豪雨、地震等の大規模災害が頻発しており、このような自然災害に対し、平時から大規模災害に対する備えをおこなう必要があるという国土強靱化の考え方はより一層重要性を増している。そのなかで、アクセス性確保のための交通ネットワークの円滑な活用の一部として、道路ネットワークの整備も喫緊の課題の一つといえる。わが国では以前より、道路ネットワークの整備に関して積極的な取り組みがおこなわれている。昭和37年に全国総合開発計画が制定されて以来計画的に道路整備が実施されており、昭和62年の第四次全国総合開発計画では、地方都市の機能の周辺地域での活用を円滑にするとともに、地方都市相互間で適切な連携を図り、多極分散型国土の形成を促すよう、地方都市と周辺地域を結ぶ幹線道路や地方中枢・中核都市及び地域の発展の核となる地方都市を連絡する高規格幹線道路の整備を早めることとしている¹⁾。そこでは、高速交通サービスの全国的な普及を目指し、21世紀初頭に14,000kmのネットワーク形成を目標としていた。しかしながら、平成23年時点で供用延長の目標達成率は約7割に留まっております²⁾、依然として道路ネットワークの整備は必要と

されている。

このように、道路ネットワークの構築が進められるなか、東日本大震災発生以降、道路事業における今後の事業評価のあり方が再検討されている³⁾。震災の経験を踏まえ、従来の3便益（走行時間、走行経費、交通事故）だけでなく、他の効果を評価することや災害発生確率に依存しない判断基準の必要性、B/Cという効率性以外の観点の指標化が求められている⁴⁾。

従来の道路ネットワーク評価手法では、平時、災害時どちらにおいても確率の概念を用いることが多い^{例えば 5)}。しかしながら、災害発生確率を予測することは難しく、平時においても需要を考慮する際に、正確なODデータを入手することは困難であり、評価結果がそれらに依存することは従来の手法にとって大きな課題であるといえる。このような背景のもと、本研究では、需要データを必要とせず確率に依存しないネットワーク形状（Network Topology）による評価手法に着目した。Network Topologyによるネットワーク評価は近年様々な研究が実施されており、道路ネットワークに適用可能であること、ネットワーク上の重要な部分を少ない計算負荷において特定可能であることが示されている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。また、複数の実道路ネットワークにて適用され、それぞれの都

市に応じたネットワーク形状による評価が可能であることも明らかにされている¹⁰。本研究では、Network Topology 指標を用いて、道路ネットワーク整備が活発におこなわれてきた過去30年程度のネットワークを評価することで、道路整備による道路ネットワーク機能への影響を評価することを試みる。需要を考慮せずネットワーク形状による評価が可能であるNetwork Topology 指標を活用することで、道路整備による経年的なネットワーク変化がもたらす道路機能性への影響を検証し、今後の道路整備計画に有効な示唆を与えることをめざす。また、ネットワーク形状を評価する際の重みとして交通容量を設定することで、交通容量を考慮した道路ネットワークの供給能力を評価する。同地域における長期的な道路ネットワークを用いることで、基本的な道路ネットワーク形状の枠組みに大きな変化がない状況のもと、道路整備により変化し成長する道路ネットワークを評価することにより道路整備効果を検証する。

2. 岐阜県道路ネットワークの変遷

本研究では対象地を岐阜県とする。岐阜県では他地域と同様に1986年に策定された全国14,000kmの高規格幹線道路網計画²⁾に基づき、高速道路自動車国道または自動車専用道路の整備が積極的に進められている。特に、東海北陸自動車道、東海環状自動車道、中部縦貫自動車道は現在もなお事業中であり、観光振興や物流機能強化など地域経済の活性化や交通渋滞の軽減に大きく寄与する他、災害時には人命救助や物資の緊急輸送道路として重要な役割を担うとして、岐阜県ではこの三路線を「新高速三道」と総称し整備を推進している¹¹⁾。2018年4月1日時点における岐阜県内の新高速三道の位置関係、隣接する都道府県内の高規格幹線道路との接続状況を図-1に示す。また、このような高規格道路整備に伴い、一般国道や県道の整備も併せて進められている。さらに、すでに全線4車線供用済みである名神高速道路、中央自動車道を含めた道路ネットワークとしての機能向上のため、今後の道路整備も多く計画されている。これらの道路整備に期待される効果としては、アクセス性の向上による物流、観光、災害、農業への効果が具体的にあげられている。本研究ではこれらの効果にとって必要不可欠な要素である交通容量に着目し、道路ネットワークが持つ供給能力として、道路整備によって交通容量に基づく道路機能の影響がどのように変化、向上しているのか評価することを目的としている。

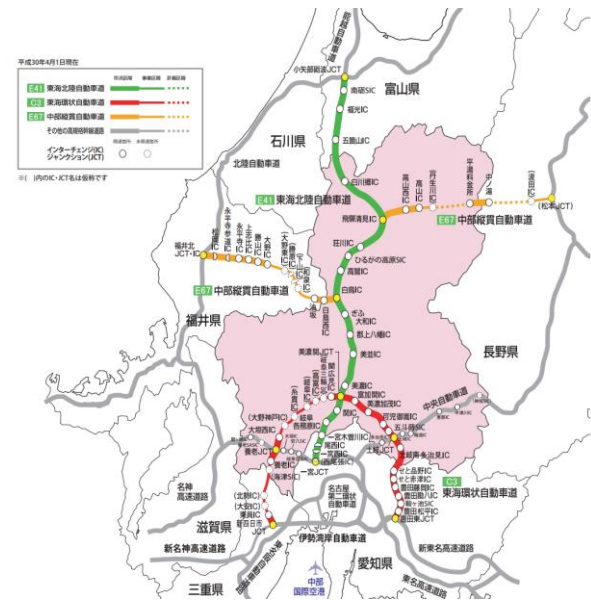


図-1 新高速三道の位置関係¹¹⁾

3. Network Topology指標

(1) 中心性指標

本研究では、多くあるNetwork Topology指標のなかでも中心性指標に着目する。中心性指標とはネットワーク上で各ノードがどれほど中心的であるのかを表す度合いであり“中心”の定義の仕方によって様々である。また、リンクに重みづけをすることで重みに応じた評価が可能である。代表的な中心性の定義についていくつか説明を加える。最もシンプルな定義とされる次数中心性は、接続するリンクの本数でそのノードの中心性が決定される。近接中心性は自分が示すノードから他のすべてのノードまでの平均距離がどの程度短いかにによって定義されるものである。媒介中心性は、すべてのノードペアの最短経路にあるリンクが何回含まれるかにによって定義されるものであり、リンクベースによる中心性指標である。そのほかにも、Page Rank中心性やKatz中心性など、中心性指標は多く存在する。本研究では、固有ベクトル中心性を使用している。固有ベクトル中心性は重要なノードと接続しているノードと多く隣接している場合に中心性が高くなるという指標である。そのため、中心性の高いノードが集中している部分では、相乗的により一層中心性が高くなるという特徴をもつ。本研究では、道路ネットワークにおける交通容量に基づく影響の広がり方を把握するため、伝播的な評価が期待される固有ベクトル中心性を使用する。

(2) 固有ベクトル中心性¹²⁾

ここでは重み付き有向グラフにおいて活用可能な固有ベクトル中心性について紹介する。まず、ネットワークをグラフ理論により分析するため、隣接行列を用いる。

隣接行列とは、ネットワーク上の接続関係を表現するものである。いま、ネットワークが $G = (\mathbf{V}, \mathbf{E}, \mathbf{w})$ で表現されるものとする。ただし、 \mathbf{V} はノードの集合、 \mathbf{E} はリンクの集合、そして \mathbf{w} は各リンクに紐付けられた重み (> 0) である。このとき、隣接行列 \mathbf{A}_G は、大きさ $|\mathbf{V}| \times |\mathbf{V}|$ であり、以下を要素に持つ行列である。

$$a_{uv} = \begin{cases} w_e & \text{if } e = (u, v) \in \mathbf{E}, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

つまり、ネットワーク上のノード u から v に向けてリンクがある場合、そのリンクに対応する重み w_e を要素に持つ。もし、重みを考慮しない場合、 $w_e = 1$ とする。無向リンクの場合、隣接行列 \mathbf{A}_G は対称行列となる。この隣接行列 \mathbf{A} を用い、固有ベクトル中心性は以下のように示される。

$$\mathbf{A}\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x} \quad (2)$$

ただし、

- \mathbf{x} : 固有ベクトル
- λ : 固有値

式 (2) を満たす最大固有値 λ^* に対応する固有ベクトル \mathbf{x}^* が固有ベクトル中心性となる。上記により得られる固有ベクトル中心性をもとに道路ネットワーク評価をおこなう。

4. 岐阜県道路ネットワークへの適用

本章では、前述の重み付き有向グラフにおいて適用可能である固有ベクトル中心性を岐阜県の道路ネットワー

クに適用した結果を示す。1985年以降の数年おきの道路ネットワークを適用することで、固有ベクトル中心性により長期的な道路整備によるネットワーク変化がもたらす影響をネットワーク形状論 (Network Topology) の観点から検証する。対象は、1985, 1990, 1994, 1999, 2005, 2010, 2017, 2024年の8時点とし、いずれも高速道路、一般国道を含む県道以上の道路を含むネットワークである。2017年以降は事業計画を反映した建設予定の道路ネットワークである。年次ネットワークの構成は表-1に示す。

(1) 各年ネットワークにおける固有ベクトル中心性

各年の道路ネットワークに固有ベクトル中心性を適用した結果を図-2に示す。太線で示すリンクは高速自動車国道である。なお、すべての年次において固有ベクトル中心性の値は正規化されているため、各ノードが持つ値は1以下の非常に小さいものとなる。それらの微小変化を捉えるため、ここでは固有ベクトル中心性の対数値を用い、すべての年次において同一の閾値によって6段階にレベル分けをおこない表示している。

表-1 各年ネットワークのノード数、リンク数

Year	1985	1990	1994	1999	2005	2010	2017	2024
Node	1716	1727	1745	1770	1791	1793	1796	1802
Link (一般道路)	4470	4494	4514	4618	4717	4723	4728	4745
Link (高速道路)	31	35	40	52	69	73	78	89

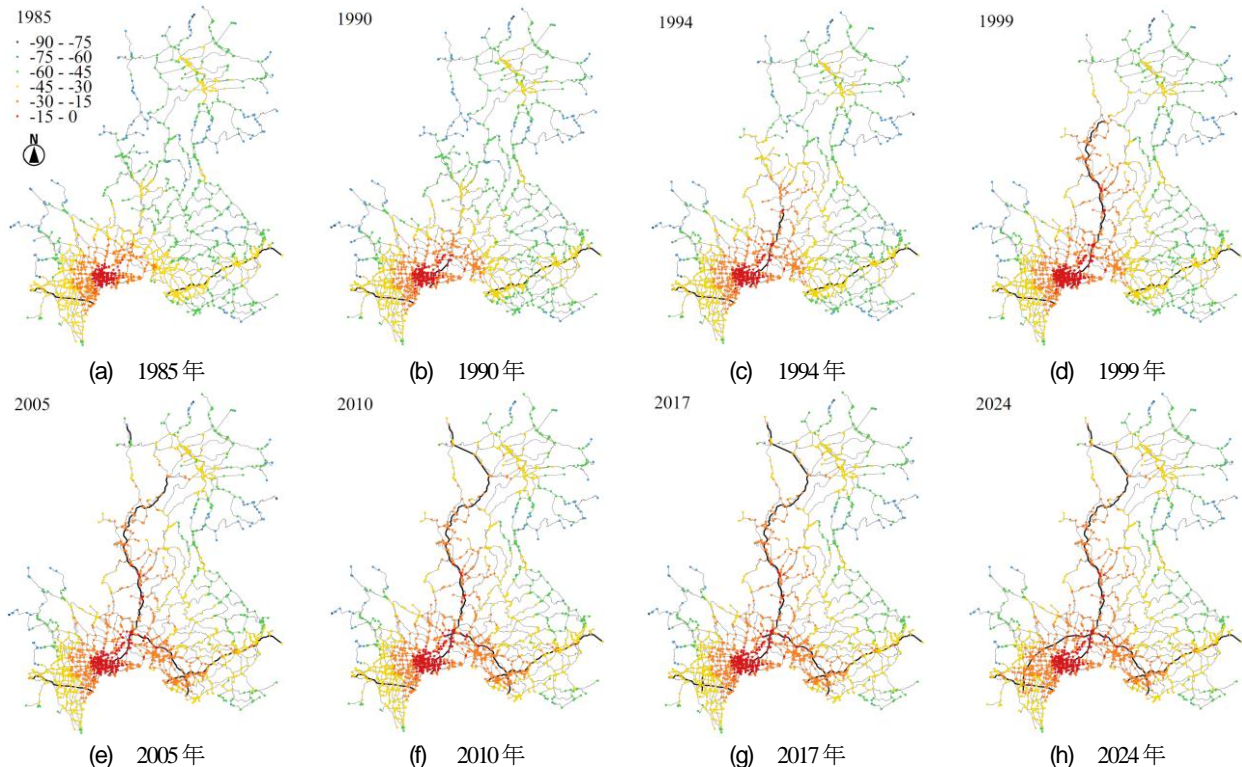


図-2 各年の道路ネットワークにおける固有ベクトル中心性

道路ネットワーク上の分布状況は、1985年では対数値-15以上の大きな固有ベクトル中心性を持つノード群は岐阜市市街地のみに位置し、東海北陸自動車道の延伸に伴い徐々に北部へ高い中心性を持つノードの分布が拡大していることがわかる。2005年からは東海環状自動車道が整備され、新設された道路沿線のみではなく既存の中央自動車道周辺のノード中心性も高まる効果が生じている。東海環状自動車道東回り、西回りが全線開通予定の2024年ネットワークでは全線開通前と比較し対数値-30以上の値を持つノードの範囲は大きく広がり、ネットワークの端を除くほとんどのノードは対数値-45以上を示している。このことから、道路ネットワーク整備は交通容量の観点における機能性の繋がりを強固にするという点で、高い効果が得られていることがわかる。特に大きな容量を持つ高速道路が接続した際には影響の広がりが大きい。交通容量を重みとする固有ベクトル中心性による評価により、道路が新設される場合に生じる影響の確認が容易に可能であることがわかった。

また、図-3に各年の道路ネットワークにおける固有ベクトル中心性対数値の内訳を割合にて示す。総道路容量は岐阜県道路ネットワーク内すべてのリンクが持つ交通容量を足し合わせたものである。1985年から2005年までのネットワーク整備では総道路容量が大きく変化しており、それに伴い固有ベクトル中心性の値分布は全体的に値が大きなノードが増加していることがわかる。特に1999年から2005年にかけて東海環状自動車道の一部供用開始の影響は大きく、2005年以降は対数値-30以上を示すノードがネットワークの半分以上を占める。一方、2005年から2010年における大きな整備は飛騨トンネルの開通である。飛騨トンネル開通は総道路容量における変化は微小であるが、高い輸送能力を持つ道路の接続性という観点では非常に影響の大きな事象であると考えられる。しかしながら、今回の評価対象は岐阜県内のみとしており岐阜県の固有ベクトル中心性による評価ではその影響はみられなかった。東海北陸自動車道は富山県において北陸自動車道と接続しているため、飛騨トンネル開通の影響は北陸地方において特に大きいと考えられる。さらに、地図上の分布の広がりにおいて影響が大きいとされた2017年から2024年における東海環状自動車道の東回り、西回り全線開通は値自体の内訳からも影響の大きさがみてとれる。総道路容量の増加は大きくないが、対数値-30以上の割合は効果的に伸びており、東海北陸自動車道、中央自動車道と接続する東海環状自動車道の全線開通は岐阜県全体の道路機能の向上において非常に大きな役割を担っていることがわかる。また、固有ベクトル中心性の値は各年のネットワークにおいて正規化されており、道路の新設によってノード数は増加しているが、その増加量は大きくなく、ネットワークサイズはほぼ等

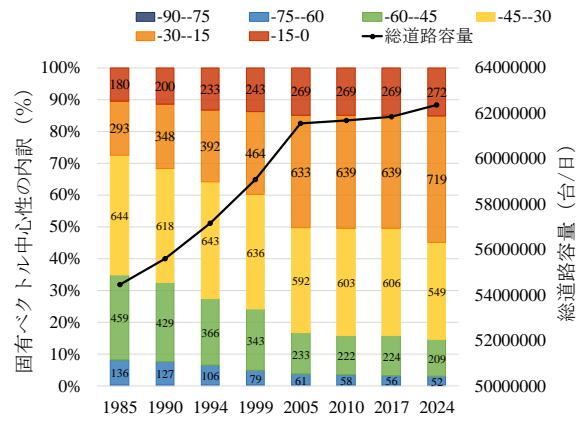


図-3 固有ベクトル中心性の内訳と総道路容量の推移

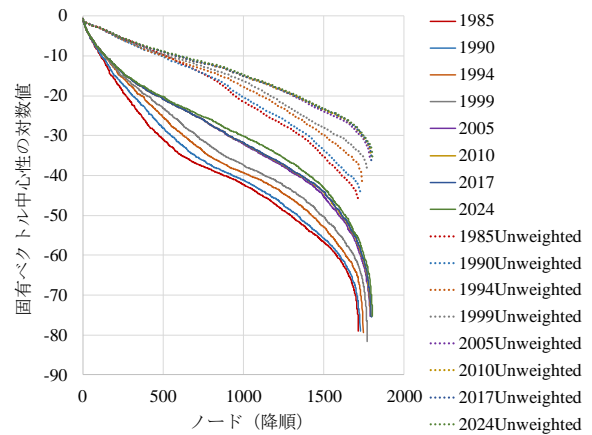


図-4 重み設定による固有ベクトル中心性の推移

しいと考えられる。その中において、県の中心部や高規格道路周辺ノードの中心性が高まる一方、交通容量の少ない道路が集中している部分の中心性は低下していない。このことは、岐阜県道路ネットワーク内において道路整備により相対的に機能性が高まる部分がより顕著になったのではなく、ネットワーク全体の道路機能が向上したことを示している。

(2) 重みの設定による影響

本研究ではリンクが持つ交通容量を重みとした固有ベクトル中心性による道路ネットワーク評価を試みている。ここでは、重みなしとしたときの固有ベクトル中心性による評価と比較することで、各年の道路ネットワークにおいて交通容量を重みとして設定することによる変化を確認する。重みなしとしたときのネットワークはすべてのリンクが等価であるため、道路の規模に関わらない道路ネットワーク形状のみによる評価となる。

図-4は、各年の道路ネットワークにおける交通容量を重みとした場合と重みなしとした場合の固有ベクトル中心性の対数値をそれぞれ昇順に並べたものである。重みの設定に関わらず、固有ベクトル中心性が非常に高いノードには道路整備の影響はあまりみられず、徐々にネットワークによる違いが生じ始めることがわかる。道路整

備が進むにつれて固有ベクトル中心性の減少の程度が緩やかになることは明らかであり、特に1999年と2005年の間の差は交通容量を重みとする場合、重みなしとする場合のどちらにおいても大きい。これより、2005年のネットワークから反映されている東海環状自動車道東回りの供用は道路ランクに依存せず、道路ネットワーク形状の観点からも非常に大きな整備であったことがわかる。

重み設定による違いでは、まず各ネットワークの最小対数値からわかるように、ネットワーク内のノード中心性の差は交通容量を重みとした際の方が大きい。これは、高速道路や一般国道等の大きな容量を持つ道路が接続することで固有ベクトル中心性は相乗的に大きくなるため、重みの設定により中心性が高い部分と低い部分の差が広がったと考えられる。1999年以前の交通容量を重みとした場合の評価では、重みなしの場合の変化と異なる挙動をみせ、中心性の大きなノードから700個程度までに非常に急激な低下をしている。このような急激な低下は重みなしの場合には発生しておらず、ネットワーク内において一部分に大きな容量を持つリンクが偏って存在することに起因すると考えられる。2005年以降の道路整備によってそのような偏りは解消している。重みなしの場合における固有ベクトル中心性の推移は、ネットワーク整備が進むにつれて中心性の減少傾向は着実に緩やかとなっている。これより、道路規模を考慮しない場合においても、新規道路の建設はネットワーク形状論における道路機能向上の効果を確認可能といえる。また、交通容量を重みとした場合には減少傾向の緩和だけでなく、減少変化量にも違いがみられ、重みとして交通容量を加味す

ることにより明瞭に道路整備の効果を確認できることが示された。

(3) 1985年ネットワークを対象とした比較

ここでは、1985年時点の道路ネットワークを比較対象として、固有ベクトル中心性による評価がどのように変化したのか、ネットワーク上で確認することで広がり方や位置関係を把握する。各年のネットワークはノード数が異なるため1985年時点で存在していたノードのみを対象として比較する。そのため新設された道路に関しては、その道路上に存在するノードは含まれず、1985年時点から直接的な接続状況は変化していないノードが経年的な道路整備によって受ける影響をみる。図-5は1985年のネットワークにおける各ノードの固有ベクトル中心性を1としたときの比率を示す。1割未満の変化量の場合はノードを表示せず、赤色で示すノードは1.1以上、青色で示すノードは0.9未満の上昇率をもつ。1990年では、東海北陸自動車道の供用が始まったが、供用開始となった部分の周辺ではなく、その先の地域において中心性が高まっていることが興味深い。これは、岐阜市市街地周辺に存在する中心性が高いノードの影響が東海北陸自動車道の一部供用開始により、赤で示されるノード群エリアまで到達可能となったと考えられる。1994、1999年は東海北陸自動車道の延伸方向に、1985年から中心性が上昇しているエリアが広がるが、東海北陸自動車道とその周辺のみではなく、面的な中心性の広がりを確認することができる。南北方向のみではなく東西方向にも、中心性上昇がみられ、高速道路から離れた山間部のノードにおい

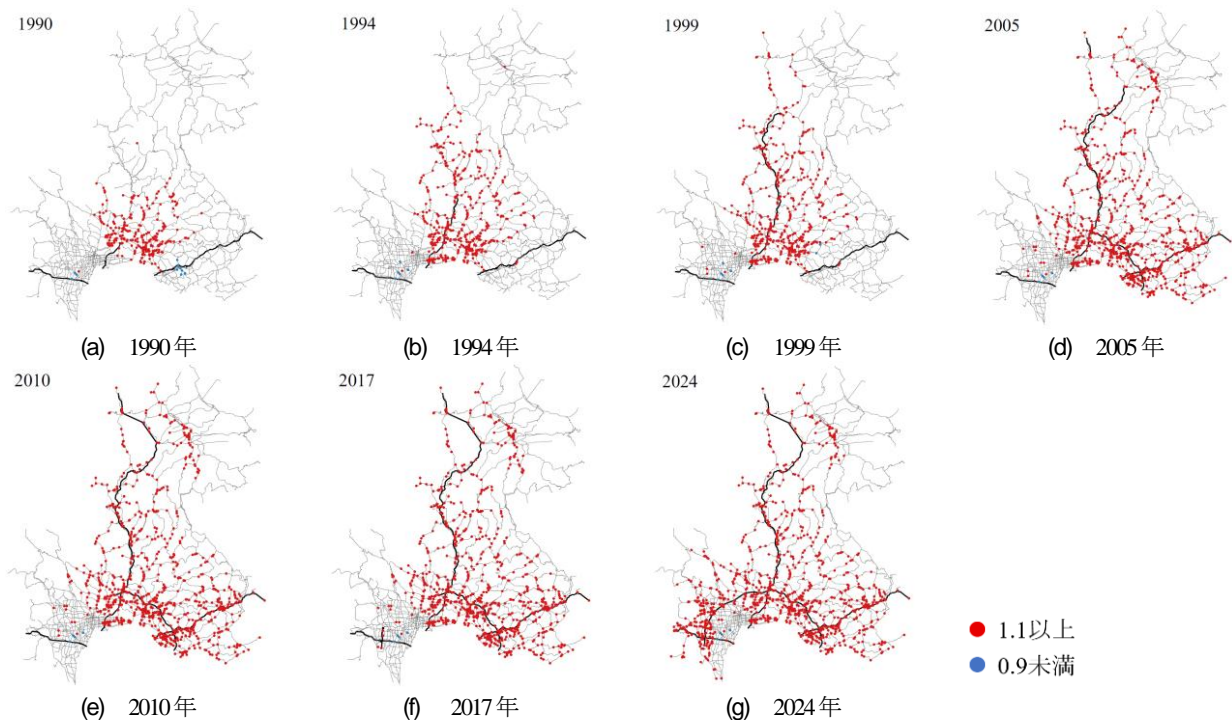


図-5 1985年をベースとした固有ベクトル中心性変化量

でも道路新設による影響が少なからず生じていることがわかる。2005年の東海環状自動車道東回りの供用開始により、そこまでほとんど変化のなかった中央自動車道付近に位置するノードの中心性も上昇している。また、2005年時点でまだ建設されていない東海環状自動車道西回り方向にも影響がみられ、東海環状自動車道の東海北陸自動車道、中央自動車道との接続による影響の広がりをネットワーク上で可視化できているといえる。さらに、2005年には、岐阜市街地を一周する主要地方道である県道77号岐阜環状線が完成している。市街地の中にも中心性が上昇しているノードがみられるのは、このような主要地方道の整備が要因だと考えられる。このように、高速道路のみではなく一般国道や主要地方道の整備による影響も確認することができる。また、東海北陸自動車道西回りの供用が開始され全線開通予定の2024年には1985年と比較し、市街地の一部とネットワークの端以外ほぼ全域で中心性は高まっている。本研究で対象としている1985年から2024年までの道路ネットワーク整備の変遷と計画について、岐阜県全域に影響をもたらす効果的な整備であることが確認された。このように影響の範囲をネットワーク上の広がりとして面的に表現可能であることは、固有ベクトル中心性による評価の利点である。

ここまで中心性が上昇しているノードに着目してきたが、低下しているノードもわずかながら存在する。1990年から2024年までに共通してみられる中心性が低下しているノードは河川付近に位置し、目立った新規道路整備がなされていない部分である。その他の多くのノードの中心性が上昇したため、値として相対的に低下したと考えられ、特に整備が不十分な部分として特定されるものではない。中心性の低下がみられるノード数は少なく、固有ベクトル中心性を用いた経年的な道路ネットワーク評価の比較では、道路整備によって交通容量の観点における機能性の向上と拡張を可視化できることが確認された。

5. 高速道路の4車線化供用による効果

本研究では交通容量を重みとする道路ネットワークを分析しているため、特に大きな交通容量を持つ高速道路の整備に伴う影響について着目していることになる。整備状況として、1985年以降に新設された東海北陸自動車道、東海環状自動車道の一部では暫定2車線となっている。暫定2車線とは本来4車線以上で計画された道路のうち2車線のみを暫定的に供用することをいい、将来的には4車線として供用される予定である。岐阜県内の高速道路における4車線化の現状と計画は図-6のようになっており、今回試算で用いたネットワークにも多くの暫定

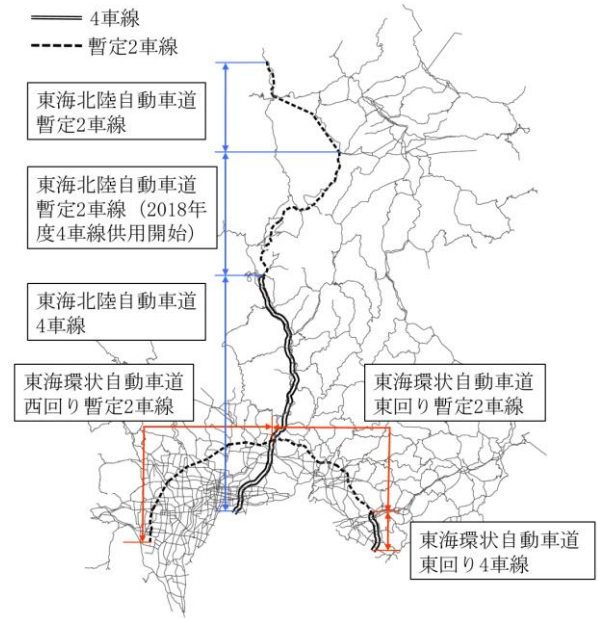


図-6 4車線化の現状と計画

表-2 4車線供用試算ケース

	4車線化対象区間	施工後の総道路容量 (台/日)
Case1	東海環状自動車道東回り	63235400
Case2	東海環状自動車道西回り	63247400
Case3	東海北陸自動車道 2018年度4車線供用予定区間	62654600
Case4	東海北陸自動車道全線	62915200
Case5	東海環状自動車道全線 東海北陸自動車道全線	64420400

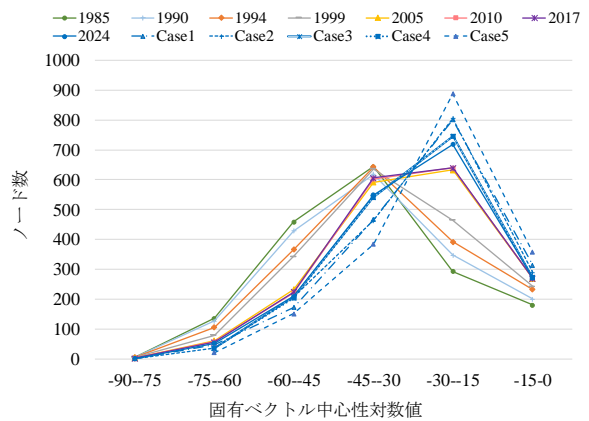


図-7 各ケースにおける固有ベクトル中心性頻度分布

2車線区間が存在する。ここでは、そのような暫定2車線区間が4車線供用された際の固有ベクトル中心性による評価の変化を確認する。試算ケースは表-2のように東海環状自動車道、東海北陸自動車道におけるそれぞれ5つのケースを用意した。図-7は、各ケースにおける固有ベクトル中心性の値を6段階に分けた際に、それぞれの段階に含まれるノードの数を示す。どのケースにおいてもいずれかの区間において4車線供用が開始された場合、固有ベクトル中心性の高いノードがさらに増加し、低い

ノードは減少することがわかる。Case1とCase2は東海北陸自動車道について、東回りと西回りのどちらの4車線化がより効果的かどうか検証している。暫定2車線道路の建設自体は東回りから先におこなわれている。検証の結果、4車線化を実施した際の総道路容量は東回りのほうが上回るものの、この2つのケースに大きな差はみられないことがわかった。ただ、対数値-45以下の中心性の低い値を持つノード数がCase2のほうがCase1と比較してわずかに多い。そのため、Case1の東回りが優先して4車線供用されることがより効果的だと考えられる。東回りにはすでに4車線化されている区間が存在することもこのような結果となった要因と思われる。さらにそれらの区間は隣接する愛知県内にも延びており、岐阜県内の評価以上に東回りの効果は大きいと予想される。つぎに、Case4とCase5では東海北陸自動車道について、2018年度までに4車線供用開始が予定されている白鳥ICから飛騨清見ICまでの区間と、それ以外の区間も含めた全線4車線化をおこなう2つのパターンを比較する。図-7が示すように、Case4とCase5の間に差はほとんどみられない。総道路容量には200,000台/日の差が存在するが、固有ベクトル中心性による評価には違いが生じていない。この結果からいえることとして、2018年度までに4車線供用を予定している飛騨清見ICまでを4車線化することは非常に効果的であり、全線開通の前段階として、まずはその区間までの4車線化を目指すという現状の方針は理にかなった施策である。あくまで岐阜県内の評価のみではあるが、飛騨清見IC以降の4車線化に関しては、そこまでの施策と比較すると効果は少ないといえる。最後に、東海環状自動車道、東海北陸自動車道全線4車線供用を実施した際の固有ベクトル中心性評価がCase5の結果である。道路リンク数が等しい2024年における結果と比較しても、高い中心性を持つノードが多く、低い中心性を持つノードが少ない傾向の差は顕著に表れており、ネットワーク全体の交通容量に基づく供給能力の向上に効果的であることは明らかである。よって、ここまでの各年ネットワークではネットワーク形状の変化と交通容量の増加を併せた評価をおこなってきたが、この結果から道路新設をおこなわず容量増設のみというネットワーク形状が全く変化しない施策においても、交通容量を重みとする固有ベクトル中心性により、その効果を検証することが可能であることがわかった。また、部分的な容量増設ケースを試算することでその影響範囲や度合いの違いを図ることが可能であるため、施策の優先順位決定などに有益であることがわかった。

6. おわりに

本研究では、交通容量を重みとする固有ベクトル中心性の指標を用いてNetwork Topologyの観点から道路ネットワークの評価をおこなった。具体的には、岐阜県における1985年から2024年までの道路ネットワークの変遷と計画をまとめ、それらの経年的変化の評価をおこなうことで、道路整備による交通容量に基づく供給機能の向上効果を図った。固有ベクトル中心性指標による評価は、道路整備に伴う道路ネットワークの変化がネットワーク全体としての中心性を確実に高めることを示し、その影響が面的に拡大していることを可視化した。また、交通容量の増設の施策に関して、複数のケースにおいて固有ベクトル中心性指標による評価結果を比較し、交通容量に基づく機能性の向上のために効果的な施策を明らかにした。これにより、本手法が施策の検討や優先順位の決定の一助となりうることを示された。

今後の課題として、本研究では対象を岐阜県に限定したため、あくまで岐阜県内における評価に留まった。周辺の都道府県まで範囲を広げた際に効果が表れる施策も存在することが大いに考えられるため、それらの効果検証のために岐阜県外の道路ネットワークを考慮に入れる可能性について、検討する必要があるといえる。また、試算に用いた年次ネットワークはそれぞれ県道、一般国道を含むものであり、それらの道路整備による新設も考慮している。しかしながら、固有ベクトル中心性による評価と道路整備の関係性の考察では一般道を取り上げた例は少ない。そのため、岐阜県全体ではなくより詳細な地域に着目した考察に関しても、加えておこなう必要がある。

謝辞：本研究は、JSPS科研費JP18H01557の助成を受けて遂行された。ここで記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 第四次全国総合開発計画，国土庁，1987年6月30日閣議決定，国土交通省ホームページ <http://www.mlit.go.jp/common/001135927.pdf>（2018年3月9日アクセス）
- 2) 高規格幹線道路網計画の変遷，国土交通省，www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hw_arikata/chu_maintenance/01.pdf，（2018年12月2日アクセス）
- 3) 道路事業における今後の事業評価のあり方について，国土交通省道路分科会第2回事業評価部会，2012年1月24日，http://www.mlit.go.jp/policy/shin-gikai/road01_sg_000045.html（2018年3月9日アクセス）
- 4) 震災等を踏まえた今後の事業評価のあり方について，国土交通省道路分科会第3回事業評価部会，2012年5月27日，http://www.mlit.go.jp/policy/shin-gikai/road01_sg_000051.html（2018年3月9日アクセス）

- ス)
- 5) Wakabayashi, H. and Iida, Y., Upper and lower bounds of terminal reliability of road networks: an efficient method with Boolean algebra. *Journal of Natural Disaster Science*, 14, 29-44, 1992.
 - 6) Chen, A, Yang, H., Lo, H. K. and Tang, W. H., Capacity reliability of a road network : an assessment methodology and numerical results, *Transportation Research, Part B : Methodological*, 36(3), 225-52, 2002
 - 7) Bell, MGH, Kurauchi, F, Perera, S and Wong, W., Investigating transport network vulnerability by capacity weighted spectral analysis, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 99, May 251-266, 2017
 - 8) 小林俊一, 若林桂汰, 坪川秀太郎, 中山晶一郎, 固有ベクトル中心性の概念を拡張したネットワーク上の拠点ノード抽出および領域分割手法の提案, *土木計画学研究・論文集*, Vol.74, No.5, pp.747-760, 2018.
 - 9) 明光就平, 倉内文孝, 安藤宏恵, Graph Topology 指標を用いた道路ネットワーク評価手法の検討, *土木計画学研究・講演集*, Vol.57. 2017.
 - 10) 安藤宏恵, 倉内文孝, 明光就平, 交通ネットワーク信頼性解析に向けた Network Science 指標の適用関係性に関する考察, *土木計画学研究・講演集*, Vol.56, 2016
 - 11) 岐阜県の高速度道路, *岐阜県公式ホームページ* <https://www.pref.gifu.lg.jp/shakai-kiban/doro/kosoku-doro/11651/kousoku-index.html> (2018年12月2日アクセス)
 - 12) Bonacich, P., Factoring and weighting approaches to status scores and clique identification, *Journal of Mathematical Sociology*, 2, 113-20, 1972.

(2019.3.10 受付)

THE EVALUATION OF ROAD NETWORK INVESTMENT IN LONG TERM BY USING NETWORK TOPOLOGY METHOD

Hiroe ANDO, Fumitaka KURAUCHI