

形状論アプローチによる 道路ネットワーク接続性評価

熊本大学 安藤 宏恵

背景

道路：

安全かつ円滑な交通を確保するための重要なインフラ設備
日常生活や経済・社会活動において大きな役割を果たす

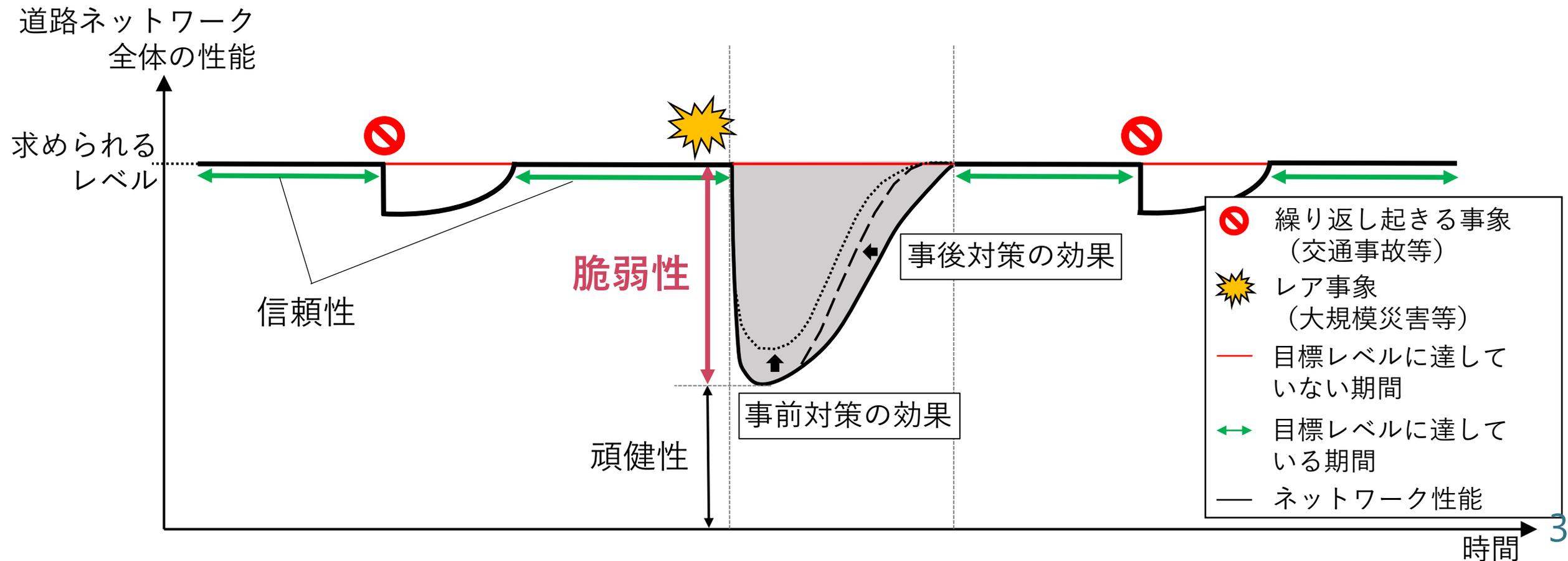


- 交通渋滞や事故，自然災害などによって発生する大幅な遅延や通行止めなどは依然として課題
- 社会の効率性を向上させ，社会的持続性への貢献

道路サービスの安定的な供給が可能かつニーズに見合う道路ネットワークの構築

レジリエンスにおける脆弱性向上の役割

- レジリエンスとは、「**変化する状況に備え、混乱に適応し、迅速に回復する能力**」。
意図的な攻撃、事故、自然災害による変化が含まれる。 (The White House, 2013)
- Resilience Triangle (Bruneau et al., 2003) 中の脆弱性 (Gu et al., 2020)



交通ネットワーク信頼性分析

- 時間信頼性
 - 任意の時間内において目的地に到達できる確率 (**Bell and Iida, 1997**)
- 容量信頼性
 - 道路ネットワーク容量が渋滞のない状態で交通需要をどれほど捌くことができるか (**Chen et al., 2002**)
- 連結信頼性
 - ネットワークの一部がある確率で途絶する場合、あるノードペア間が連結されている確率 (**Wakabayashi and Iida, 1992**)

➡ 〈課題〉

- 発生確率の強度に大きく依存
- OD交通量といった需要データが必要不可欠

道路ネットワークの脆弱性定義

- 短期的（発災直後から数週間単位）（**Berdica, 2002**）
 - サービス性が大幅に低下しうる事象に対する影響の受けやすさ
 - サービス性とは「特定の期間内のあるリンクや経路，道路ネットワークの利用可能性」
- 長期的（数か月から数年単位）（**D'Este and Taylor, 2001**）
 - 少数リンクの欠損によってアクセシビリティが著しく低下するノードは脆弱である。
 - 欠損することである特定のノードのアクセシビリティを著しく低下させるリンクは重要である。

道路ネットワークの脆弱性定義

利用者目線

- 短期的（発災直後から数週間単位）（**Berdica, 2002**）
 - サービス性が大幅に低下しうる事象に対する影響の受けやすさ
 - サービス性とは「特定の期間内のあるリンクや経路，道路ネットワークの利用可能性」

供給者目線

- 長期的（数か月から数年単位）（**D'Este and Taylor, 2001**）
 - 少数リンクの欠損によってアクセシビリティが著しく低下するノードは脆弱である。
 - 欠損することである特定のノードのアクセシビリティを著しく低下させるリンクは重要である。

既存脆弱性手法の全体像

Taylor (2018)

現在の脆弱性分析手法のアプローチ分類

- **リスクマネジメント**：ネットワーク内の様々な要素の運用状態を評価。機能継続のための各要素の外的要因と内的要因の影響を分析。
- **形状論**：ネットワーク構造と相互接続を考慮し、損失が最も大きい影響を与える位置（ノード）または要素（リンク）を特定。
- **サービス性**：ネットワークの損失が交通運用や需要満足度を与える影響を評価。ネットワーク構造とともに交通容量、リンク長、移動時間などの指標値を活用。
- **アクセシビリティ**：ネットワークが損失した場合に地域の人々が通常の経済的・社会的活動を継続できるかどうかにより評価。

形状論のアプローチ

Taylor (2018)

- インフラシステムをネットワークとして表記し，ネットワーク構造の性質を考える
- 基本ケースは繋がり方のみ

- ノード i と j を結ぶリンク (i, j) の情報

$$a_{ij} = \begin{cases} 1: \text{ノード } ij \text{ 間にリンクが存在するとき} \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$

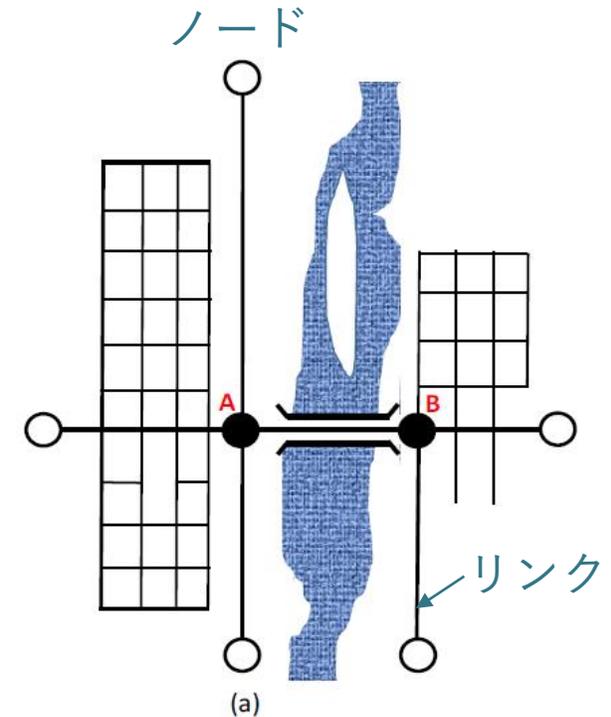
- 交通指標を重みとして与える

- リンクが性質を持つ（例えば，長さや交通容量など）

$$a_{ij} = \begin{cases} L: \text{ノード } ij \text{ 間にリンクが存在するとき，そのリンクの長さ} \\ 0: \text{それ以外} \end{cases}$$

- ネットワークの接続を調べる指標

- ネットワーク効率性 (Network Efficiency)
- 中心性指標 (Centrality Measures)



形状論による重要区間が分かりやすい極端なケース

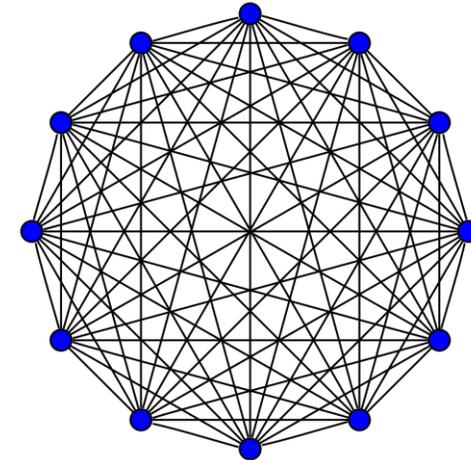
ネットワーク効率性

Latora and Marchiori (2001)

- 対象ネットワーク内の全ノード間平均最短経路 $\bar{L} = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in N, i \neq j} L_{ij}$
- ネットワークが分断されているとき $L_{ij} = \infty$ となり、正しく評価できない

Global efficiency $\eta(G) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in N, i \neq j} \frac{1}{L_{ij}}$

- 基本ケースでは $\eta(G)$ は $[0, 1]$
- すべてのノード同士が接続している完全グラフでは $\eta(G) = 1$



完全グラフ

- L_{ij} をノード ij 間の実際の長さとするとき効率性を求める比較対象は？

ノード間のユークリッド直線距離 $\eta(G^{id}) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in N, i \neq j} \frac{1}{L_{ij}^{Euclid}}$

基準化されたGlobal Efficiency $E(G) = \frac{\eta(G)}{\eta(G^{id})}$

Mattson and Jenelius (2015)

N : ノード数, L : 距離

中心性指標

中心性とは？

ネットワークにおける各ノードやリンクの重要度を評価する指標

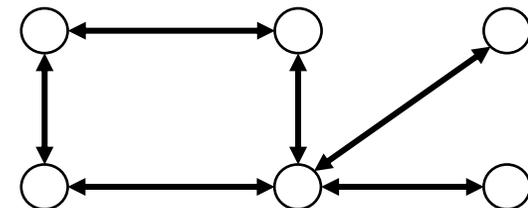
- ノードやリンクの損失がネットワーク全体の性能に与える潜在的な影響を見つける
- ネットワークの接続性低下，最短経路長の相対的増加量から性能を評価する

代表的な中心性指標

- 次数中心性
- 近接中心性
- 離心中心性
- 媒介中心性
- 固有ベクトル中心性
- Katz中心性

有向/無向

- 有向グラフは一方通行道路，上下線の違い（交通量や交通容量）を考慮可
- 手法によって有向グラフ適用可能/不可能がある



形状論アプローチの利点と欠点

【利点】

- 基本的に必要とするデータはネットワーク構造のデータのみ
- 計算負荷が小さいためネットワークの範囲や詳細度に捉われない分析が可能
- 多くの代表的な指標は既に定義かつ適用されており、交通ネットワーク以外のネットワーク構造と比較や融合が可能
- 行動に対する前提（UEの完全情報やSOの完全制御など）を必要としない

【欠点】

- 需要の変化に対応できない
- 遅れや混雑などダイナミクスな現象を無視している
- 現実的に起きる交通行動事象を捉えることは難しい

ネットワーク形状による評価

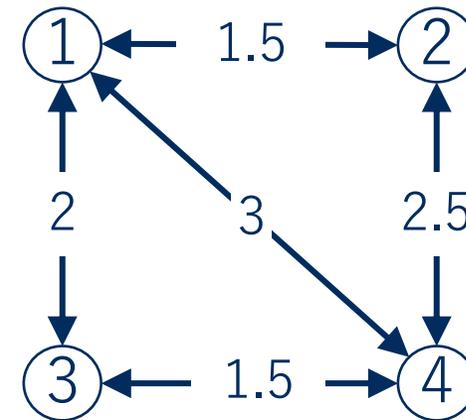
グラフ理論

ネットワーク $G = (V, E, w)$ V :ノード集合, E :リンク集合, w :重み

● 無向グラフ 重み付き隣接行列 A

$$a_{ij} = \begin{cases} w_e & \text{if } e = (i, j) \in E \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

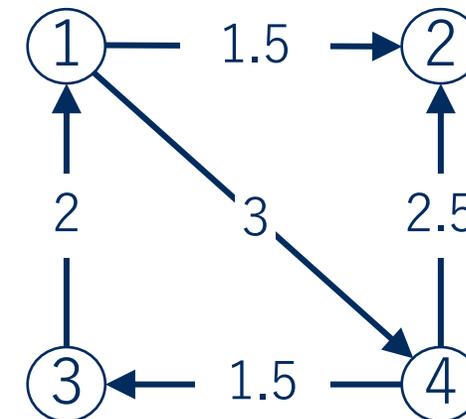
$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1.5 & 2 & 3 \\ 1.5 & 0 & 0 & 2.5 \\ 2 & 0 & 0 & 1.5 \\ 3 & 2.5 & 1.5 & 0 \end{pmatrix}$$



● 有向グラフ 重み付き隣接行列 A

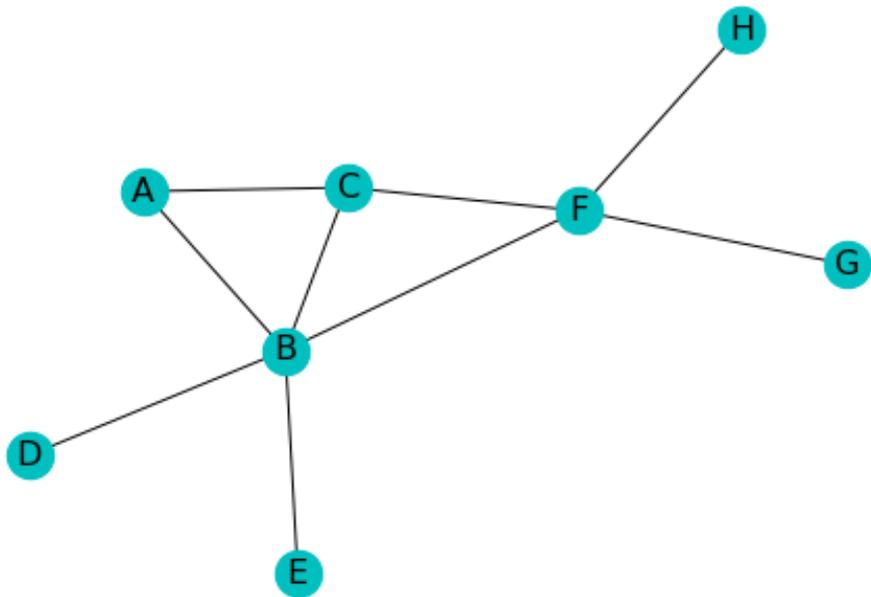
$$a_{ij} = \begin{cases} w_e & \text{if } e = (i, j) \in E \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A = \begin{matrix} & \text{Destination} \\ \text{Origin} & \begin{pmatrix} 0 & 1.5 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.5 & 1.5 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$



中心性指標

- Social Network Analysis 分野において発展
- 友人関係, 感染症, 生態系ネットワーク, Webネットワーク, インフラネットワークなど様々な分野で活用
- 鉄道, 航空, 船舶, 道路などを対象とする場合, これまでは最短経路の概念を含む近接中心性や媒介中心性を活用する事例が多い



各中心性指標による順位

	Degree	Closeness	Eccentricity	Betweenness	Eigenvector
A	4	4	4	4	4
B	1	1	1	1	1
C	3	3	1	3	2
D	5	5	4	4	5
E	5	5	4	4	5
F	2	2	1	2	3
G	5	7	4	4	7
H	5	7	4	4	7

固有ベクトル中心性の優位性

- 経路の概念を必要としない
- 有向グラフに適用可能
- 互いに強く接続されているノードセット，弱く接続されているノードセットを識別（影響の伝播が表現可能）
- 隣接するすべてのノードに影響を与え，影響の強いノードと隣接するノードを持つ場合，そのノードも強い影響を持つ

固有ベクトル中心性(Bonacich, 1972)

- 重要なノードと隣接するノードと接続する場合, そのノードの中心性は高くなる.
- 重要なノードは隣接するノードの重要性を押し上げる.

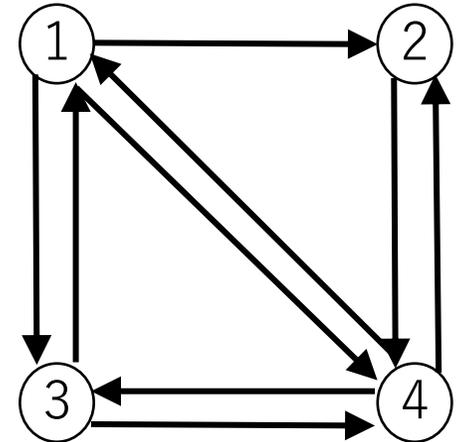
$$\mathbf{x}(t+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t)$$

$$x_i(t+1) = \sum_{j=1}^N A_{ij}x_j(t)$$

x : 影響度合い
 \mathbf{A} : 隣接行列
 N : ノード数

1st iteration :

$$\begin{pmatrix} x_1(t+1) \\ x_2(t+1) \\ x_3(t+1) \\ x_4(t+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{pmatrix}$$



反復計算は最大固有値 λ_{max} において収束する.

$$\mathbf{A}\mathbf{x} = \lambda_{max}\mathbf{x} \quad x_i > 0 \quad (1 \leq i \leq N)$$

λ_{max} : 隣接行列 \mathbf{A} の最大固有値

隣接行列の最大固有値に対応する固有ベクトルによって
固有ベクトル中心性が得られる

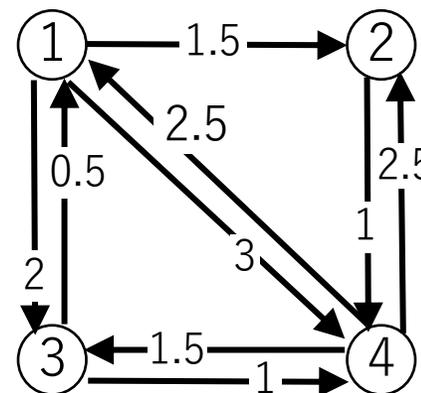
固有ベクトル中心性指標による道路ネットワーク評価

重み付き固有ベクトル中心性によって道路ネットワーク評価を試みる

- 道路機能を示す特徴量を各リンクの重みとして与える
- 重み付き固有ベクトル中心性によってそれぞれの重みに基づく影響を評価する

$$Ax = \lambda x$$

$$a_{ij} = \begin{cases} \text{ノード } i \text{ とノード } j \text{ を接続するリンク上の重み} \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$



$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1.5 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.5 & 0 & 0 & 1 \\ 2.5 & 2.5 & 1.5 & 0 \end{pmatrix}$$



- 発散を防ぐためネットワークサイズに正規化しつつ反復計算を繰り返す
- 反復計算は最大固有値に収束し，最大固有値に対応する固有ベクトルはすべて正となる。



従来手法による道路ネットワーク評価との比較

リンク重要度 (Link Criticality Index, Kurauchi et al. 2009)

- 道路ネットワークの接続脆弱性評価手法のひとつ
- リンク重複のない経路数によって定義される非重複経路の数をもとに、脆弱な部分を特定

リンク e におけるリンク重要度：リンク e が欠損した場合に減少する非重複経路数

$$LCI_e = \frac{\sum_{rs \in W} \left(1 - \frac{n_{rs}^{after}}{n_{rs}^{before}} \right)}{W}$$

W : ノードペア数

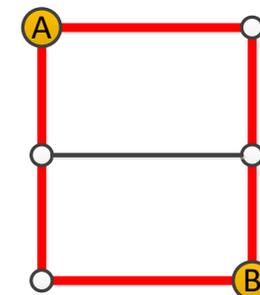
W : ノードペア集合

n_{rs} : ノード r とノード s の間における非重複経路数

$before$: リンク e の欠損前

$after$: リンク e の欠損後

※今回のケースでは全ノードペア間が対象



	共通点	相違点
LCI	対象ネットワーク全体の接続性担保において重要な機能を持つ部分を特定する	<ul style="list-style-type: none"> • すべてのノードペア間を分析 • 経路概念を用いる • 脆弱な部分を特定
EC		<ul style="list-style-type: none"> • ノードペアの作成や、経路の列挙はしない • 接続性の強い部分、弱い部分を特定

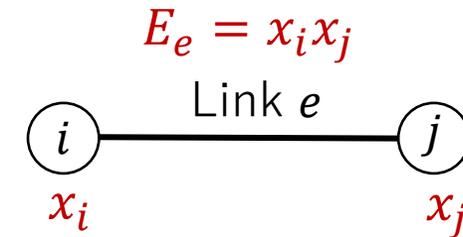
従来手法による道路ネットワーク評価との比較

リンクベースのリンク重要度とノードベースの固有ベクトル中心性の評価を比較するため、リンク上の固有ベクトル中心性を以下のように定義

- ノード*i*とノード*j*を接続するリンク*e*における固有ベクトル中心性

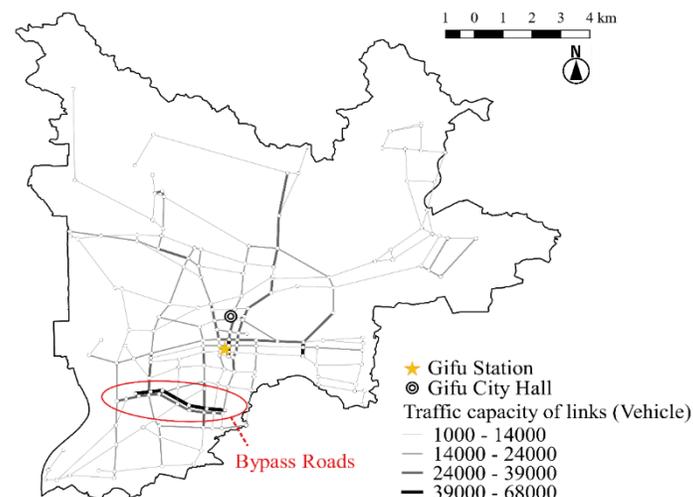
$$E_e = x_i x_j$$

x_i : ノード*i*の固有ベクトル中心性

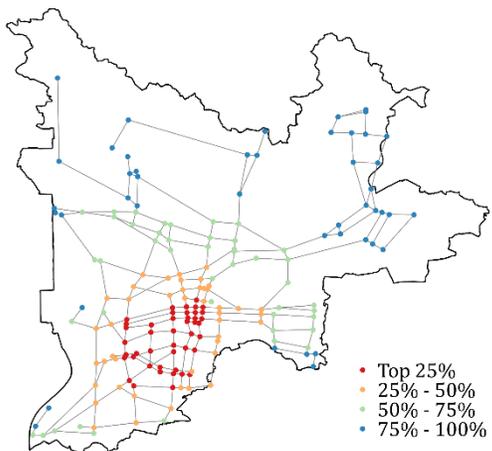


- 対象ネットワーク：岐阜市内における県道以上の道路

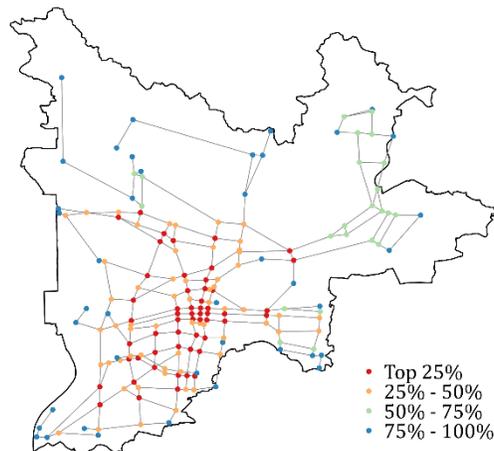
- リンク数：554（有向グラフ）
- ノード数：177
- 南部にそのほか市町村と接続されるバイパス道路が存在する。
- 北部には山間部を有しており、県道以上の道路が存在しないエリアも多い。



従来手法による道路ネットワーク評価との比較

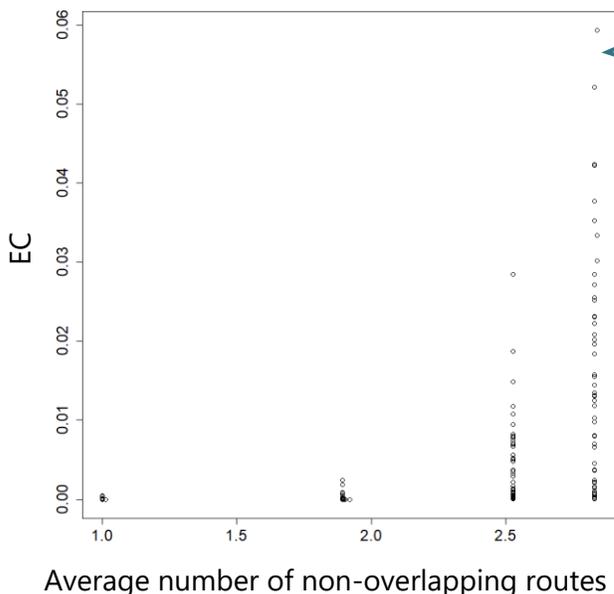


EC



LCI

- ECではネットワーク中央部に上位25%レベルのノードが集合
- LCIでは上位50%のノードが広範囲に分布しており、そのエリアはECにおける上位ノード分布エリアより大きい
- 北部エリアのノードはどちらの評価手法においても接続性は低い



ECでは接続性が高く，従来手法では接続性が低いというノードは存在しない

同一ノードの2手法による評価結果に基づく順位相関の無相関検定の結果，両者には統計的有意性が示された

無相関検定（順位相関）

t-value	14.582
df	175
p-value	2.2e-16
Correlation	0.741

ECは道路ネットワーク接続性評価手法として有用である

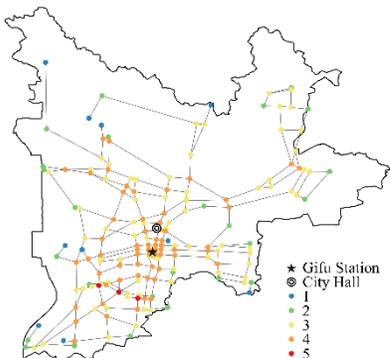
他の中心性指標との比較

代表的な中心性指標

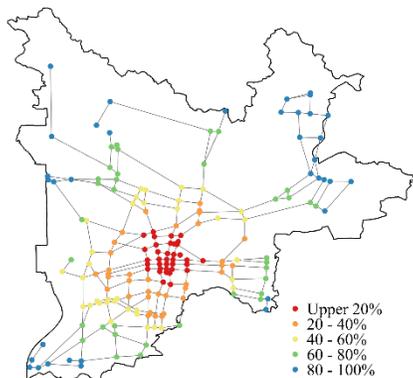
中心性指標	出典	定義式	定義
次数中心性	Proctor & Loomis (1951)	$x_i = \sum_j^n a_{ij}$	ノードに接続しているリンク数によって評価
近接中心性	Beauchamp (1965)	$x_i = \frac{n}{\sum_j d_{ij}}$	すべてのノードへの最短距離の平均
固有ベクトル中心性	Bonacich (1972)	$x_i = \sum_j A_{ij} x_j$	重要ノードと隣接するノードと接続することによってそのノード自体の重要性も向上
媒介中心性	Freeman (1977)	$x_i = \sum_{st} \frac{n_{st}^i}{g_{st}}$	全ノードペア間の最短距離に多く含まれるノードほど重要

他の中心性指標との比較

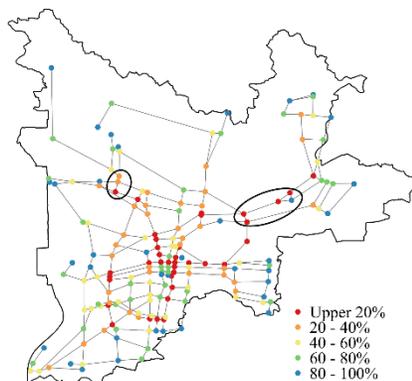
試算用の小規模実ネットワークとして岐阜市道路ネットワークを使用



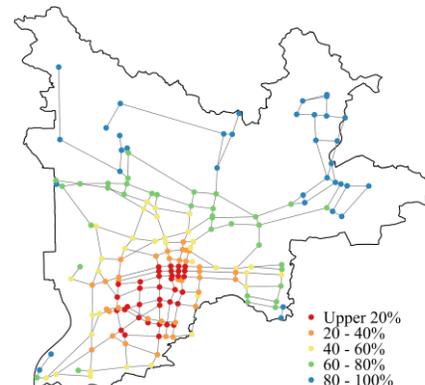
次数中心性



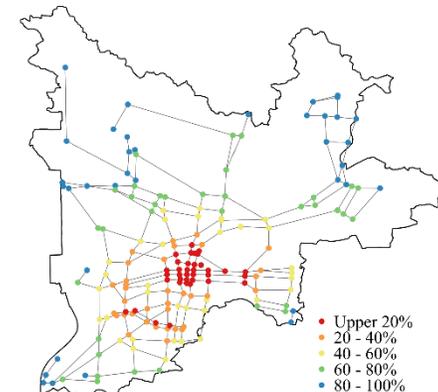
近接中心性



媒介中心性



固有ベクトル中心性



容量重み付き固有ベクトル中心性

- 近接中心性と固有ベクトル中心性は類似した傾向を持つ。
- 次数中心性はバイパス道路の影響を大きく評価する。
- 固有ベクトル中心性は次数中心性と近接中心性の特徴を併せて表現している。

表 順位相関係数

	次数中心性	近接中心性	媒介中心性	固有ベクトル中心性	容量重み付き固有ベクトル中心性
次数中心性	1.0000				
近接中心性	0.5004	1.0000			
媒介中心性	0.5554	0.5132	1.0000		
固有ベクトル中心性	0.5717	0.7679	0.3546	1.0000	
容量重み付き固有ベクトル中心性	0.4974	0.9263	0.4646	0.8405	1.0000

最短距離の概念を用いない固有ベクトル中心性にとって近接中心性による評価と相関が高いことは大きな利点であるといえる。

固有ベクトル中心性 (Bonacich, 1972)

固有ベクトル中心性：最大固有値に対応する固有ベクトル

$$\mathbf{Ax} = \lambda \mathbf{x}$$

\mathbf{x} : 固有ベクトル, λ : 固有値, \mathbf{A} : 隣接行列

$$a_{ij} = \begin{cases} \text{ノード } i \text{ と } j \text{ を結ぶリンクの交通容量} \\ 0 \end{cases}$$

固有値

$$\lambda = \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{Ax}}{\mathbf{x}^T \mathbf{x}} = \frac{\sum_{i,j} x_i a_{ij} x_j}{\sum_i x_i^2}$$

最大固有値

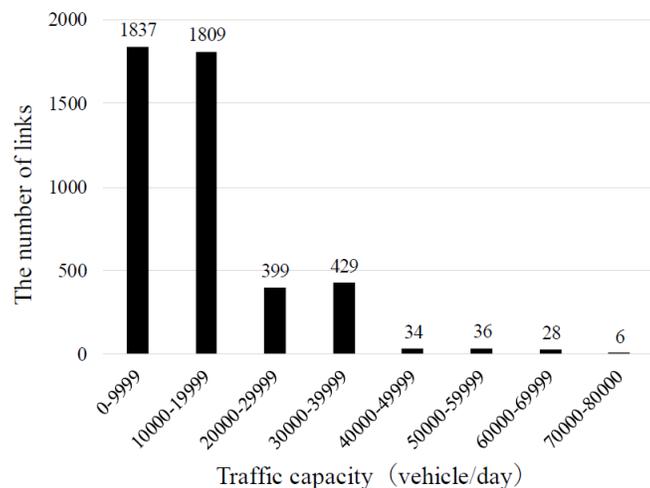
$$\begin{aligned} \lambda^* &= \max_{\mathbf{x}} \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{Ax}}{\mathbf{x}^T \mathbf{x}} = \frac{\mathbf{x}^{*T} \mathbf{Ax}^*}{\mathbf{x}^{*T} \mathbf{x}^*} = \frac{\sum_{i,j} x_i^* a_{ij} x_j^*}{\sum_i x_i^{*2}} \\ &= \frac{\dots + x_i^* a_{ij} x_j^* + \dots}{\dots + x_i^{*2} + x_j^{*2} + \dots} \end{aligned}$$

x^* : 固有ベクトル中心性 (最大固有値に対応する固有ベクトル)

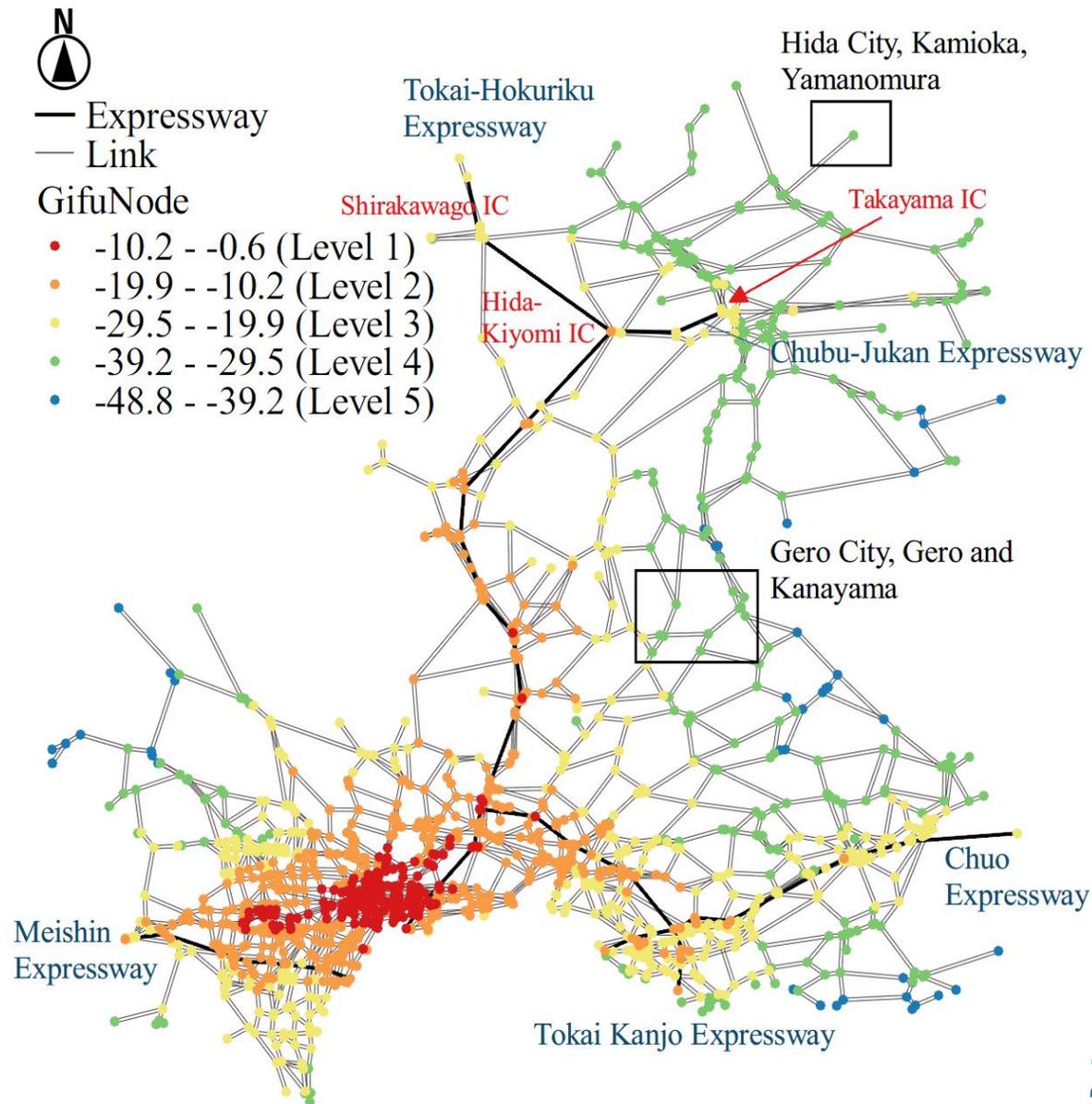
交通容量重み付き固有ベクトル中心性

岐阜県の実道路ネットワークに適用

- 対象：県道規模以上の道路
- ノード数：1,460
- リンク数：4,578（有向）

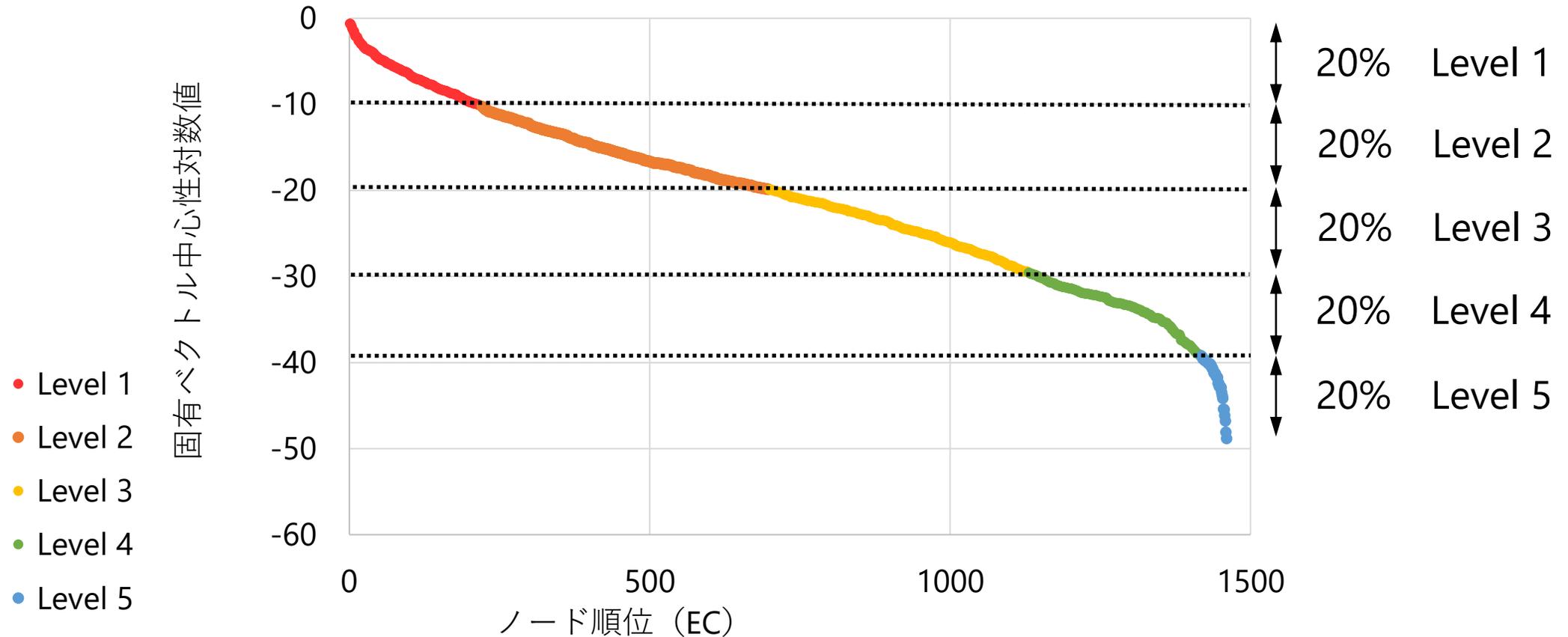


- 最も高い接続性評価を持つノードは県内中心部に集中して位置している
- 高速道路に沿って高い接続性評価を持つノードが分布している



ノードのレベル分割方法

EC対数値を降順に並べる

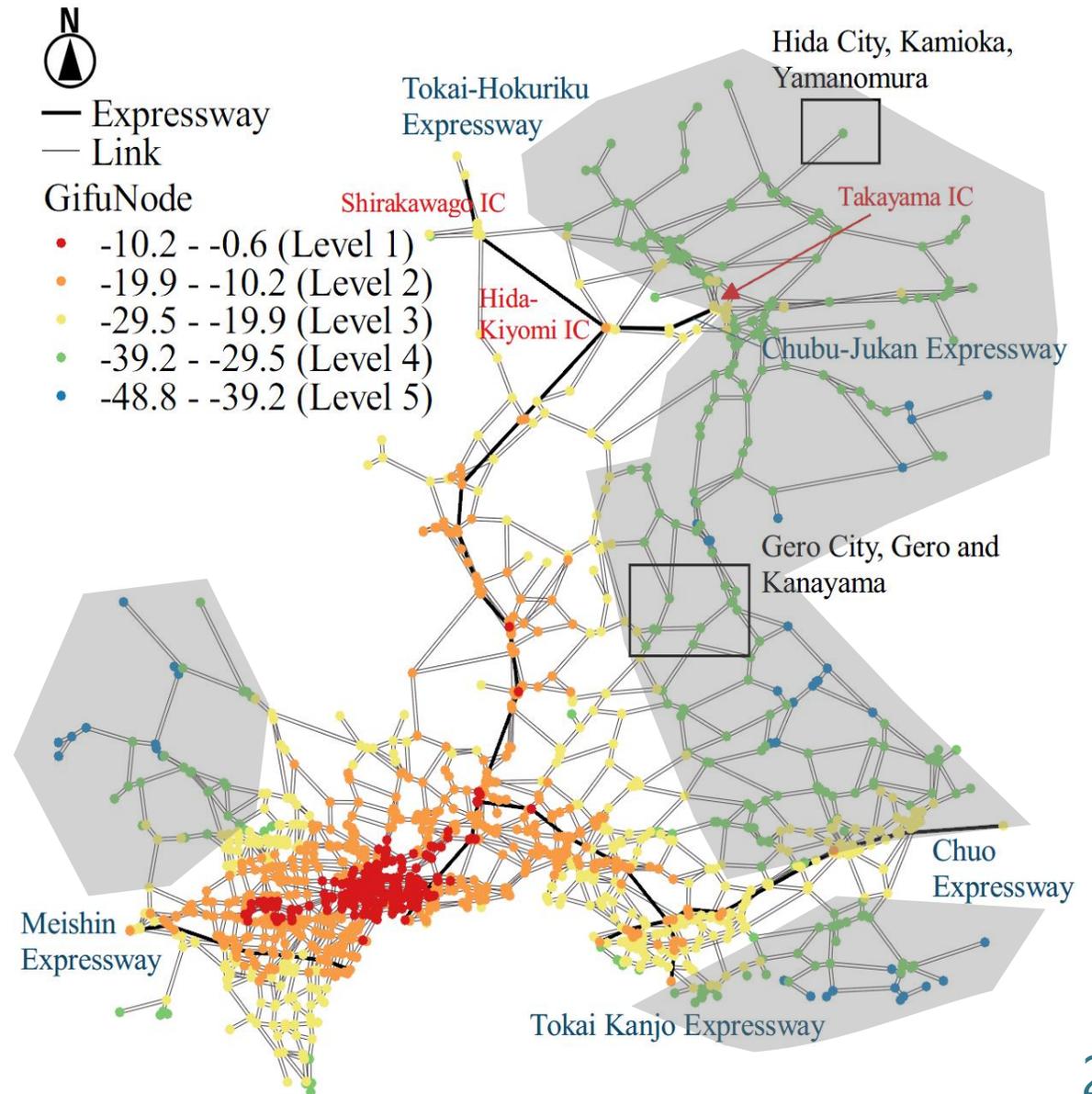


- 固有ベクトル中心性対数値をもとに等間隔に分割
- 各レベルに含まれるノード数は異なる

交通容量重み付き固有ベクトル中心性

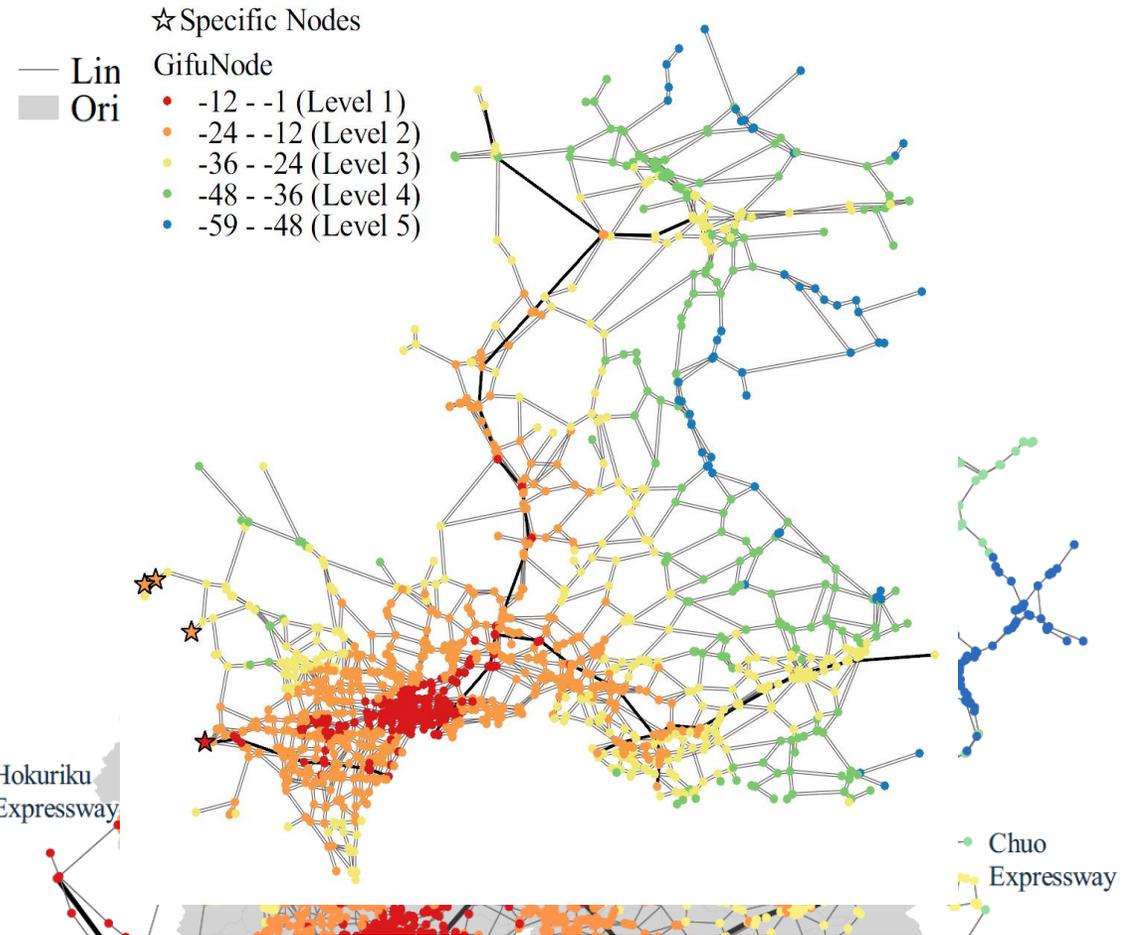
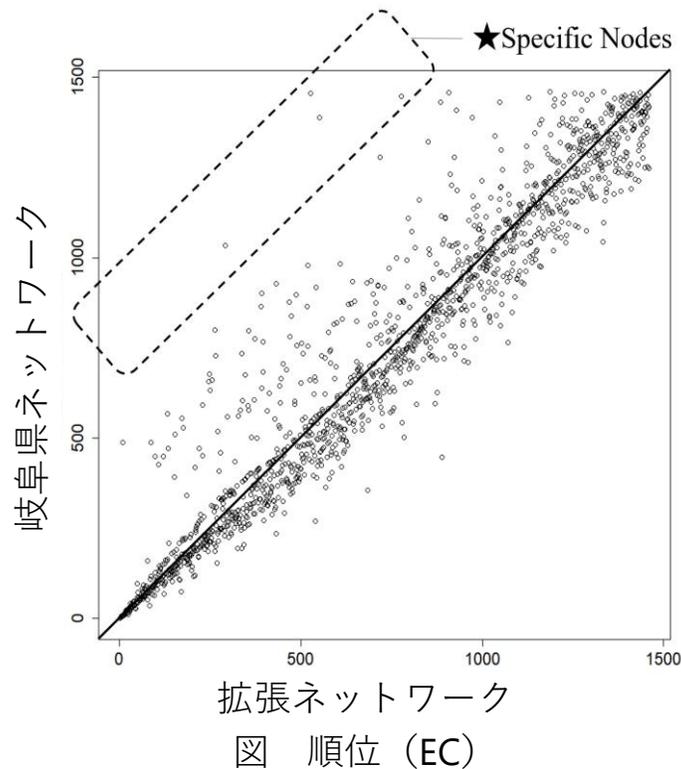
- 最も低い接続性評価（青）は全体の3%にあたる59ノードが存在し，主にネットワークの端に位置する
- レベル4，レベル5評価のノードが集中しているエリアも存在する

固有ベクトル中心性の指標によりネットワーク内の接続性が高い部分と低い部分を抽出



境界の影響

拡張ネットワークによる評価と比較することにより、境界設定がノード評価に及ぼす影響を検証



岐阜県ネットワークでは非常に低い評価，拡張ネットワークでは高い評価を持つノードはネットワークの西側に位置する

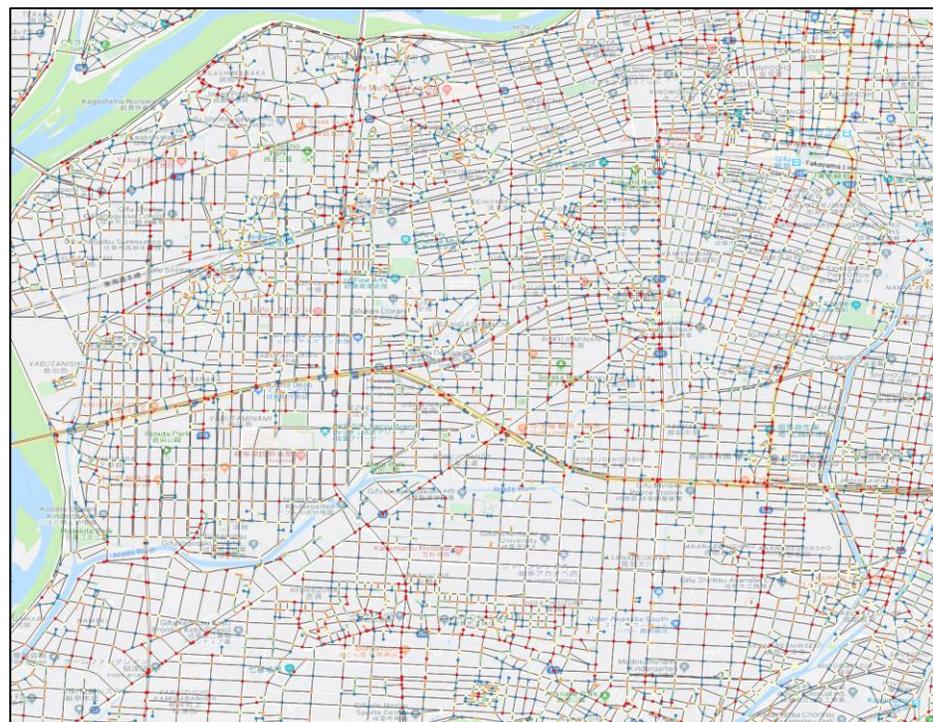
➡ 対象ネットワーク外の状況において，境界から近い位置に大容量の道路がある場合，その影響は非常に大きいため，それらの道路も対象に含めるべき

大規模道路ネットワーク分析

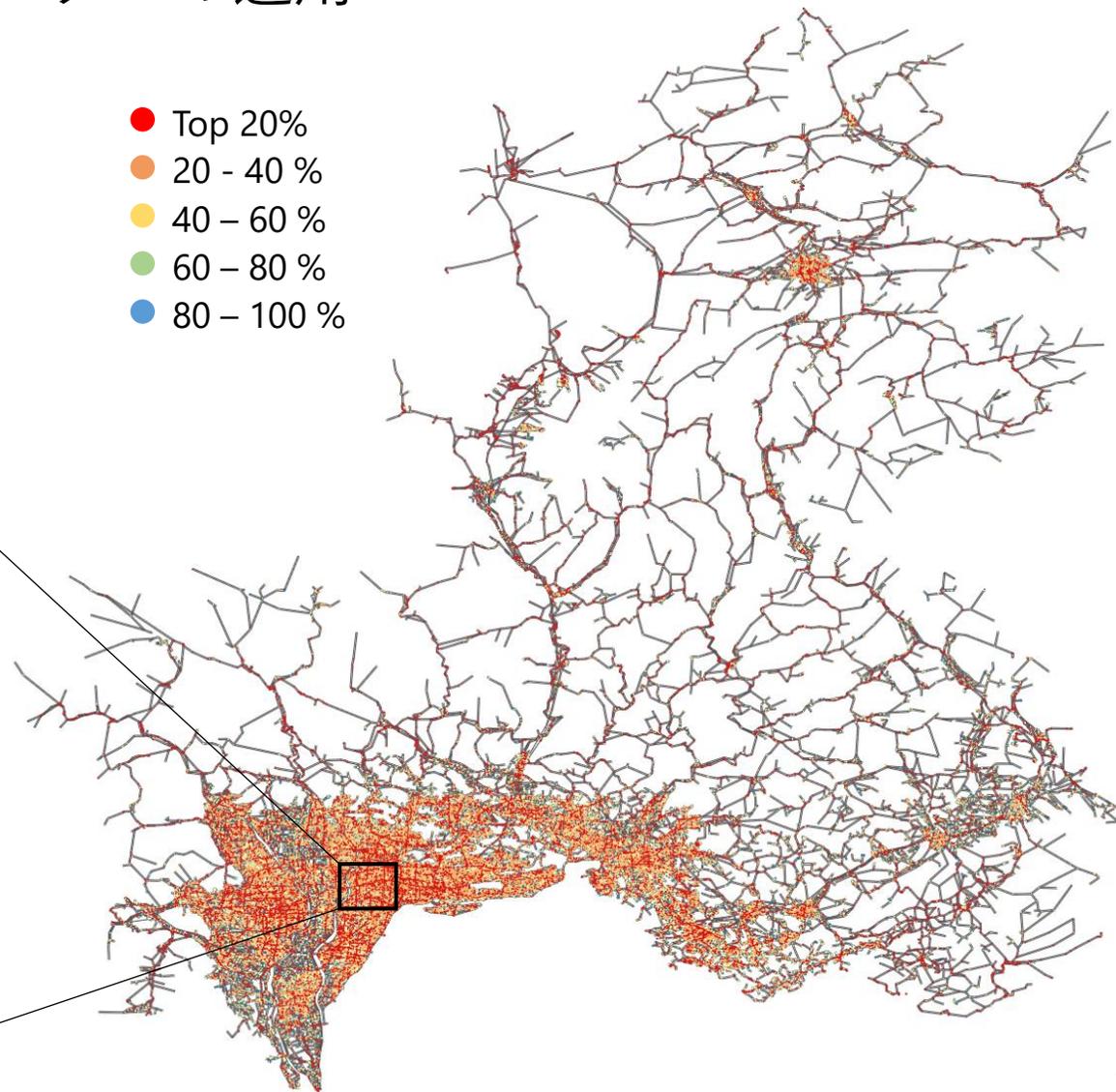
全ての規模の道路を含む詳細道路ネットワークへの適用

- ノード数：138,871
- リンク数：399,438 (有向)
- 計算時間：57.98秒

Intel Xeon, CPU:E5-1620v4@3.50GHz, memory:32GB,
OS: Windows10, 64bit

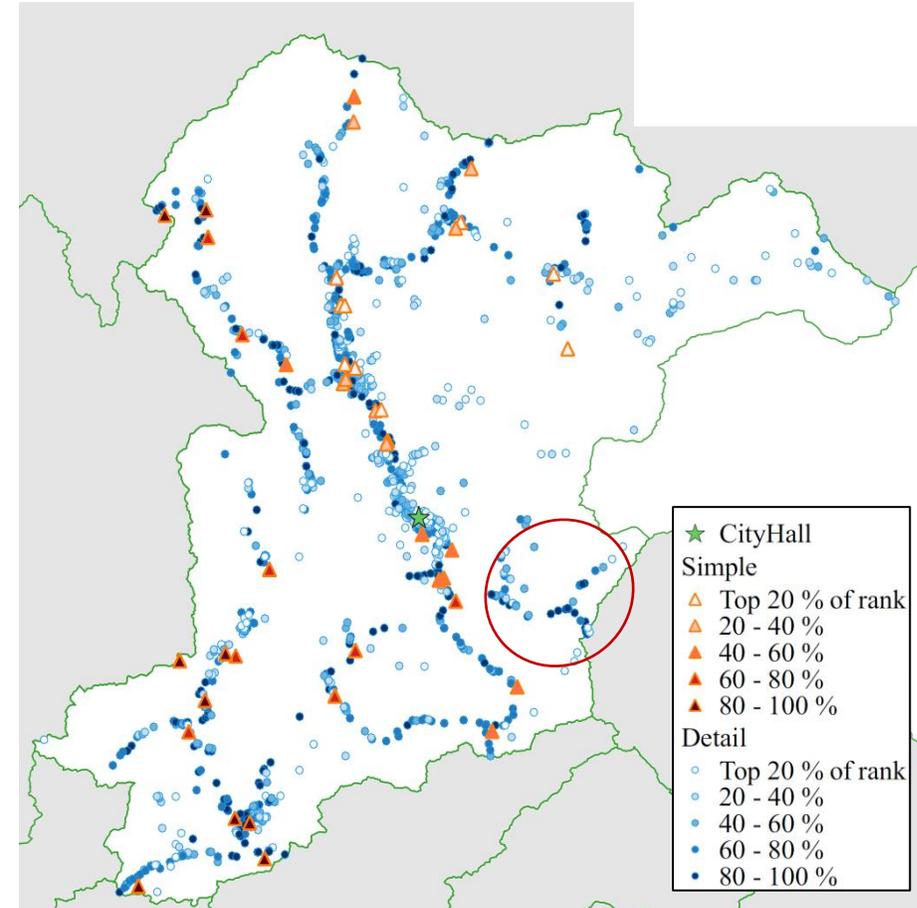


- Top 20%
- 20 - 40 %
- 40 - 60 %
- 60 - 80 %
- 80 - 100 %



ネットワーク解像度による違いの例（下呂市）

- 高速道路なし
- 西側に通る東海北陸自動車道と国道256号線によって接続



- 県道ネットワーク ▲

- 国道の影響により南西部エリアの評価が高い
- 市街地エリアの中心性評価は低い

- 詳細ネットワーク ●

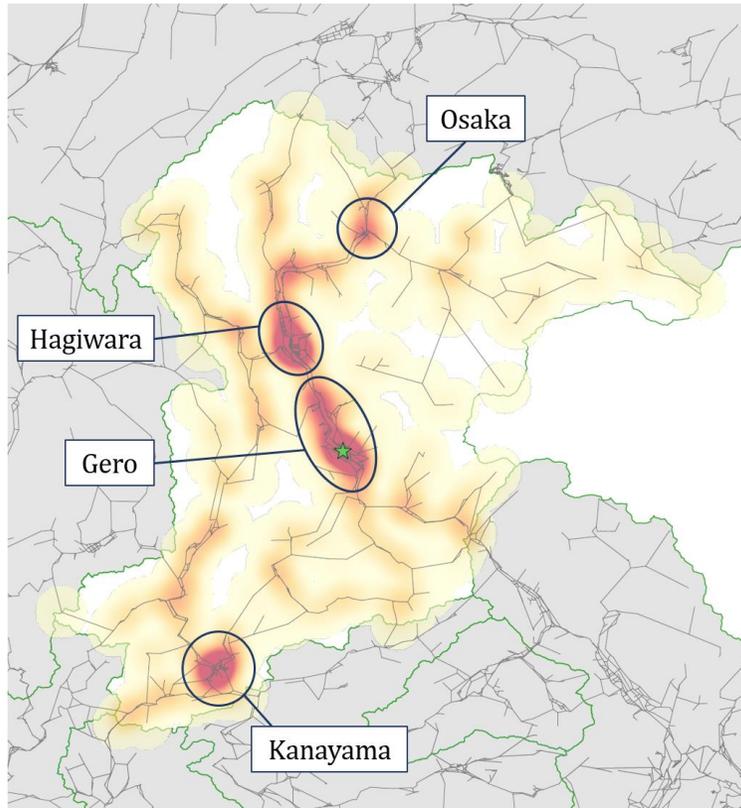
- 高い評価のノードは市内に幅広く分布
- 県道ネットワークでは一律に高い中心性評価となっていた市内南西部においても、詳細ネットワークでは低い中心性評価を持つノードが存在

➡ **小さな道路の存在による市内の接続性が強い部分と弱い部分が示されている**

- 県道ネットワークには含まれてはいないが、隣接する市に接続している道路で高い評価を持つノードが存在

ネットワーク解像度による違いの例

固有ベクトル中心性に基づくヒートマップの違い



Detailed network



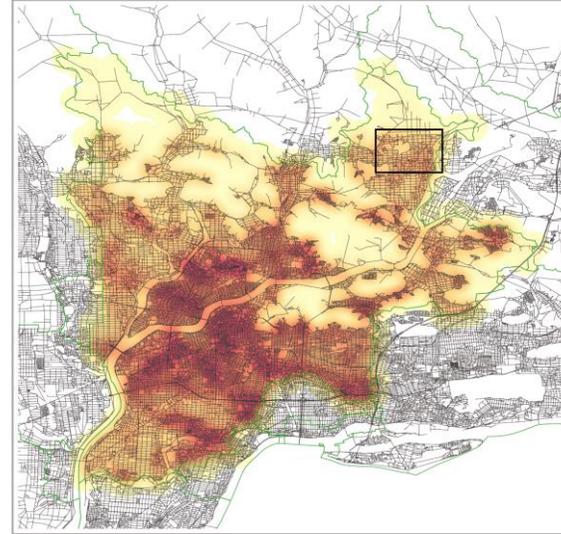
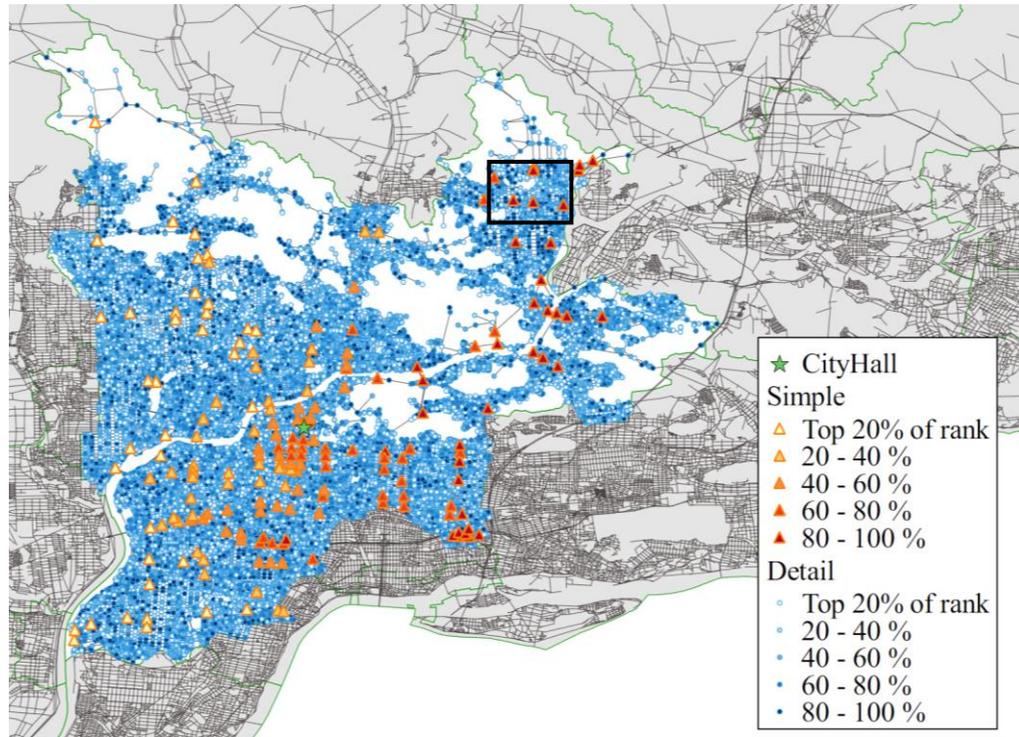
Simple network

- 詳細ネットワークに基づくECの評価では、県道ネットワークよりも小さな集落において接続性が高くなっている部分が目立つ
- 詳細ネットワークに基づく評価結果から、市の中心部は周辺の接続性が低く孤立危険性が高いことがわかる

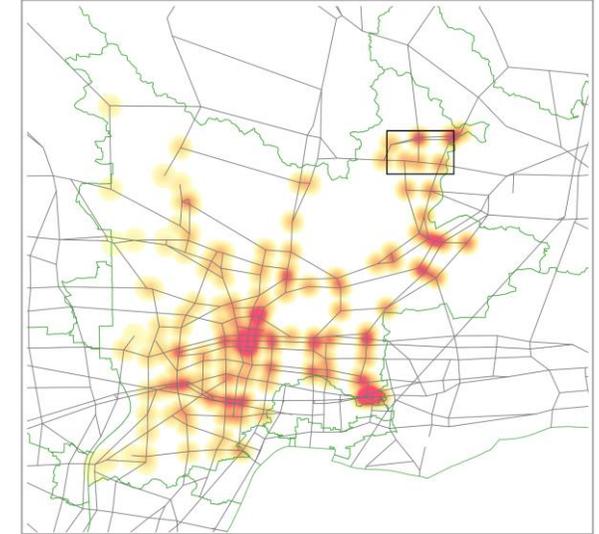
小規模な道路を含むネットワークを用いて評価が可能となる場合、同じ場所でも接続性評価が異なる部分が生じる。全道路を含むネットワークで分析可能である意義は大きい

ネットワーク解像度による違いの例（岐阜市）

岐阜県内において最も密である岐阜市



Detailed network



Simple network

- 黒枠部分は県道ネットワークでは東海北陸自動車道の影響で接続性評価が高くなっているが、詳細ネットワークでは評価が低い。
- 道路は密集しているものの、そのほとんどが小容量のリンクであるため、詳細ネットワークでは低い接続性を示している。

詳細ネットワークを用いた分析では、道路が密集していても周辺の大容量道路の影響を受けないエリアを特定することができる

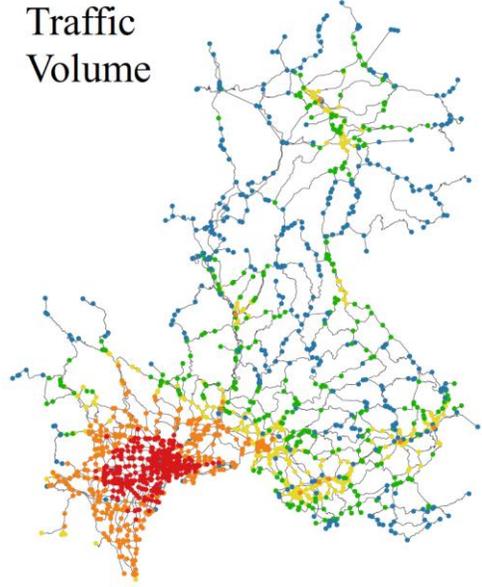
重み設定による評価指標の変化

交通機能を示す特徴量を重みとしてネットワークに与える

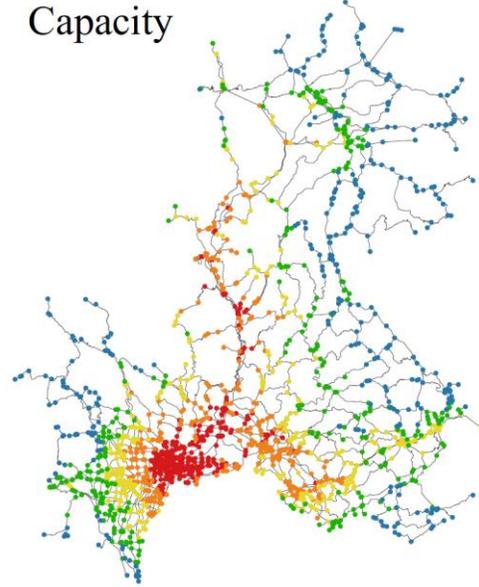
重み設定	式	解釈
交通量	$w_e = V_e$	交通量の集中度合いと分布
交通容量	$w_e = C_e$	道路ネットワークの輸送能力に関する強さ、交通容量に基づくリンクの途絶のしやすさを考慮した接続性
混雑率	$w_e = \frac{V_e}{C_e}$	混雑しているリンクの集中度合いと分布
制限速度	$w_e = S_e$	道路ランクに関する接続性
距離	$w_e = L_e$	ネットワークの空間的な密度
所要時間	$w_e = t_e$	移動時間が長いリンク同士がつながっている場合に中心性指標値は大きくなる、道路ランクに関する接続性評価と分布
BPR値	$w_e = t_{0i} (1 + \alpha R_e^\beta)$	混雑度を考慮した所要時間の接続性

重み設定による評価指標の変化

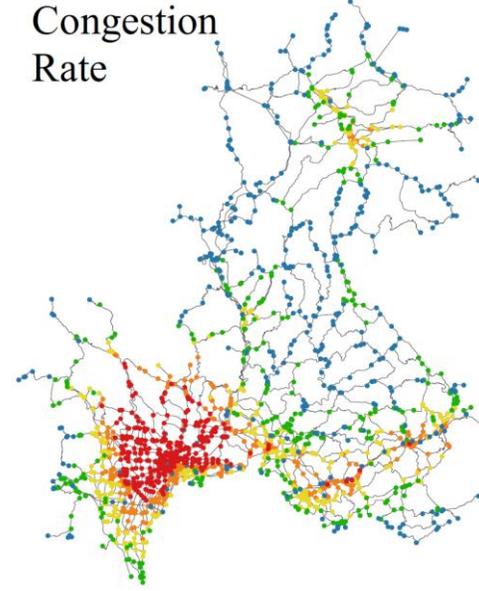
Traffic Volume



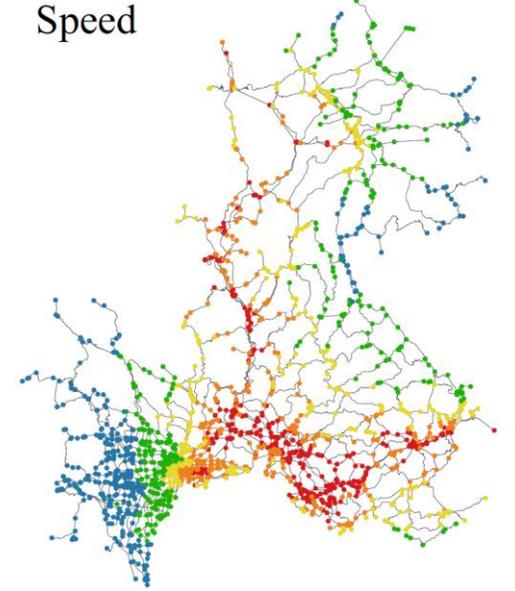
Capacity



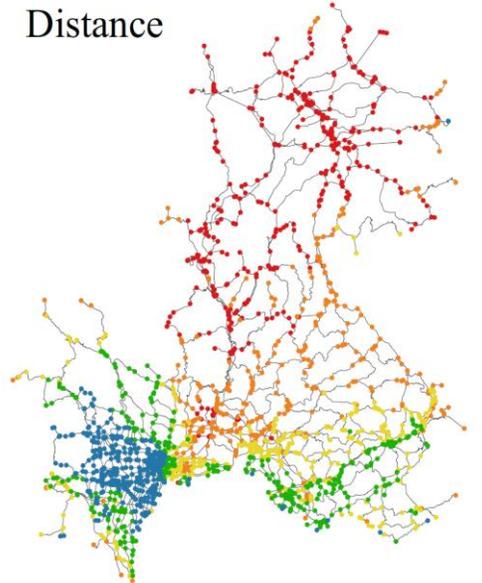
Congestion Rate



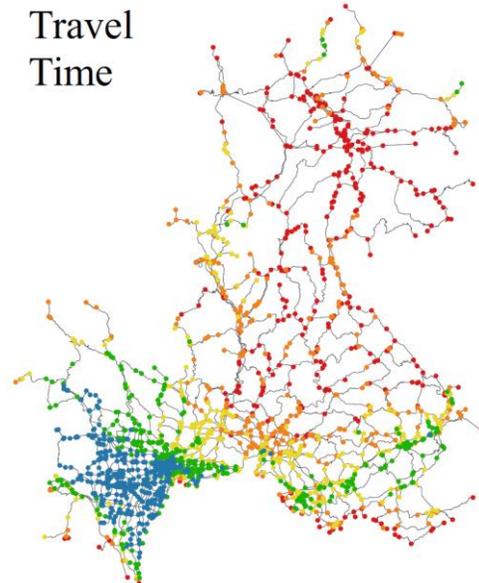
Speed



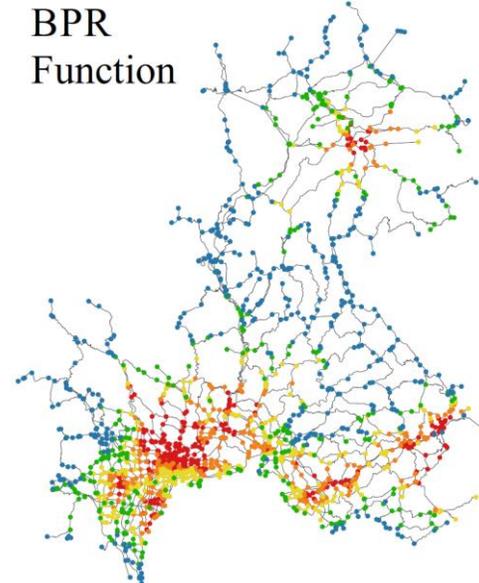
Distance



Travel Time



BPR Function



- 1 : Top 20% of Rank
- 2 : 20% - 40%
- 3 : 40% - 60%
- 4 : 60% - 80%
- 5 : 80% - 100%

因子分析

共通要因を特定するため固有ベクトル中心性指標を用いて因子分析を実施

$$\mathbf{Y} = \mathbf{\Lambda} \mathbf{f} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

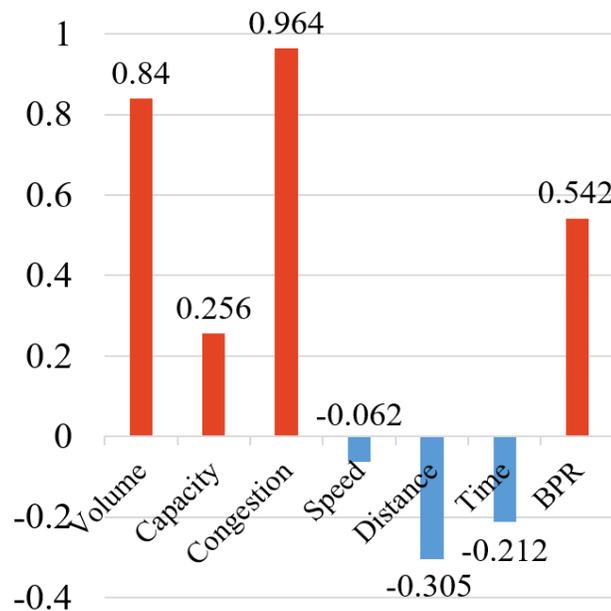
\mathbf{Y} : 観測変数

$\mathbf{\Lambda}$: 因子負荷量

\mathbf{f} : 共通因子

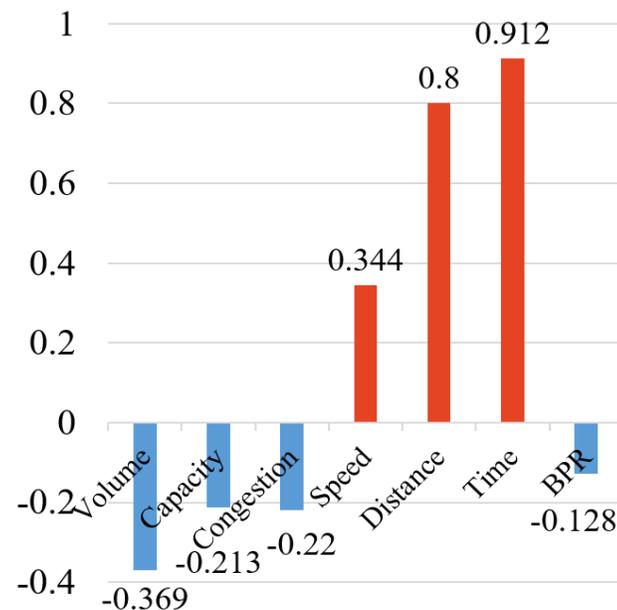
$\boldsymbol{\varepsilon}$: 独自因子

因子分析により 3つの共通因子を抽出



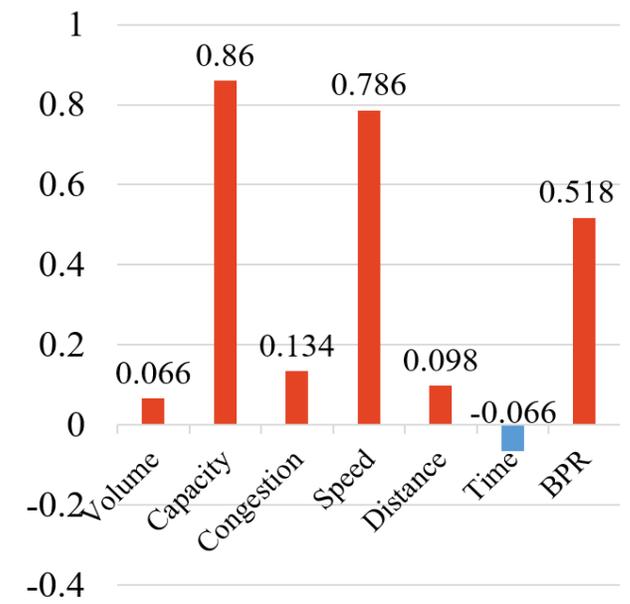
1) First factor loading

交通需要



2) Second factor loading

道路密度



3) Third factor loading

道路ランク

共通因子によるクラスタ分析

- Cluster 1 【472 : 26%】 “山地クラスタ”

下呂市, 恵那市, 白川町北部, 飛騨市

- Cluster 2 【372 : 21%】 “南西部都市クラスタ”

大垣市, 本巣市, 揖斐川町, 海津市

- Cluster 3 【140 : 8%】 “北部都市クラスタ”

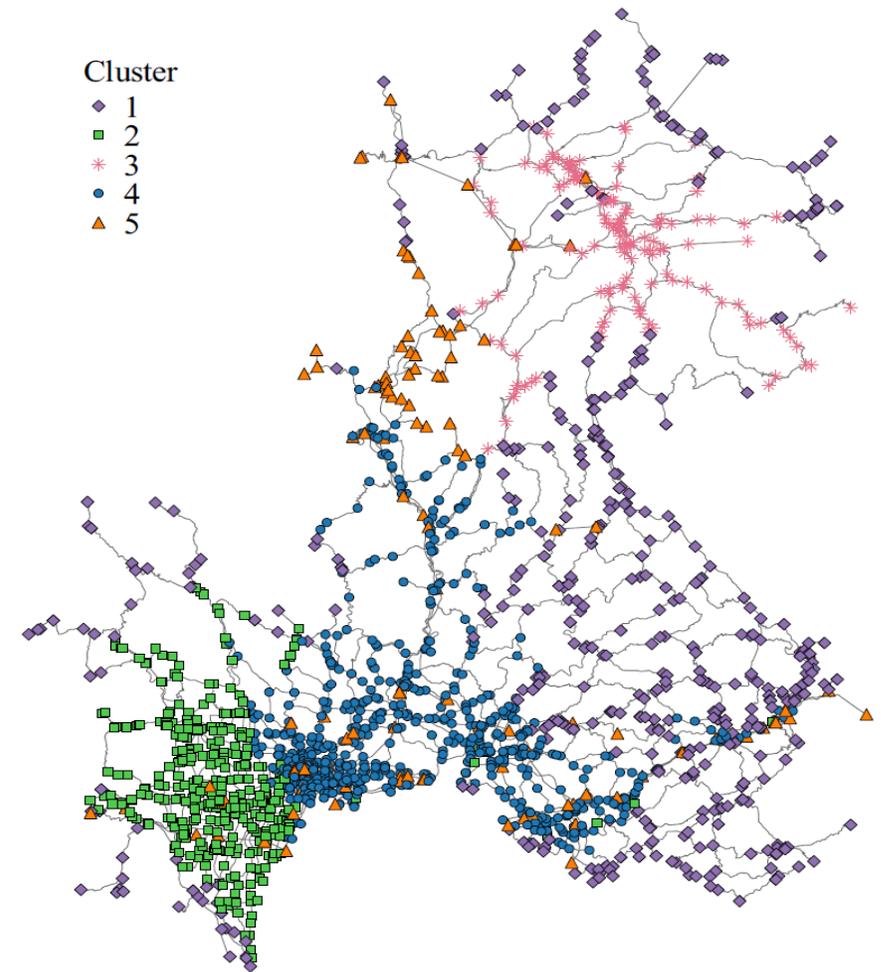
高山市

- Cluster 4 【678 : 38%】 “中央都市圏域クラスタ”

岐阜市, 各務原市, 美濃加茂市, 関市, 郡上市

- Cluster 5 【121 : 7%】 “高速道路クラスタ”

高速道路周辺



固有ベクトル中心性指標に基づく因子分析の結果, 道路ネットワーク上のノードは
地域的・地理的特性によって分類された

共通因子によるクラスタ分析

Cluster	The number of nodes	Percentage	Average factor score 1 “Traffic demand”	Average factor score 2 “Road sparsity”	Average factor score 3 “Road rank”
1	472	26%	-0.376	0.348	-0.830
2	372	21%	0.378	-1.267	-0.729
3	140	8%	0.247	2.252	-0.541
4	678	38%	0.479	0.060	0.861
5	121	7%	-2.665	-0.402	1.281

Average factor score in each cluster

- Cluster 2 【372 : 21%】 “南西部都市クラスタ”

大垣市, 本巣市, 揖斐川町, 海津市

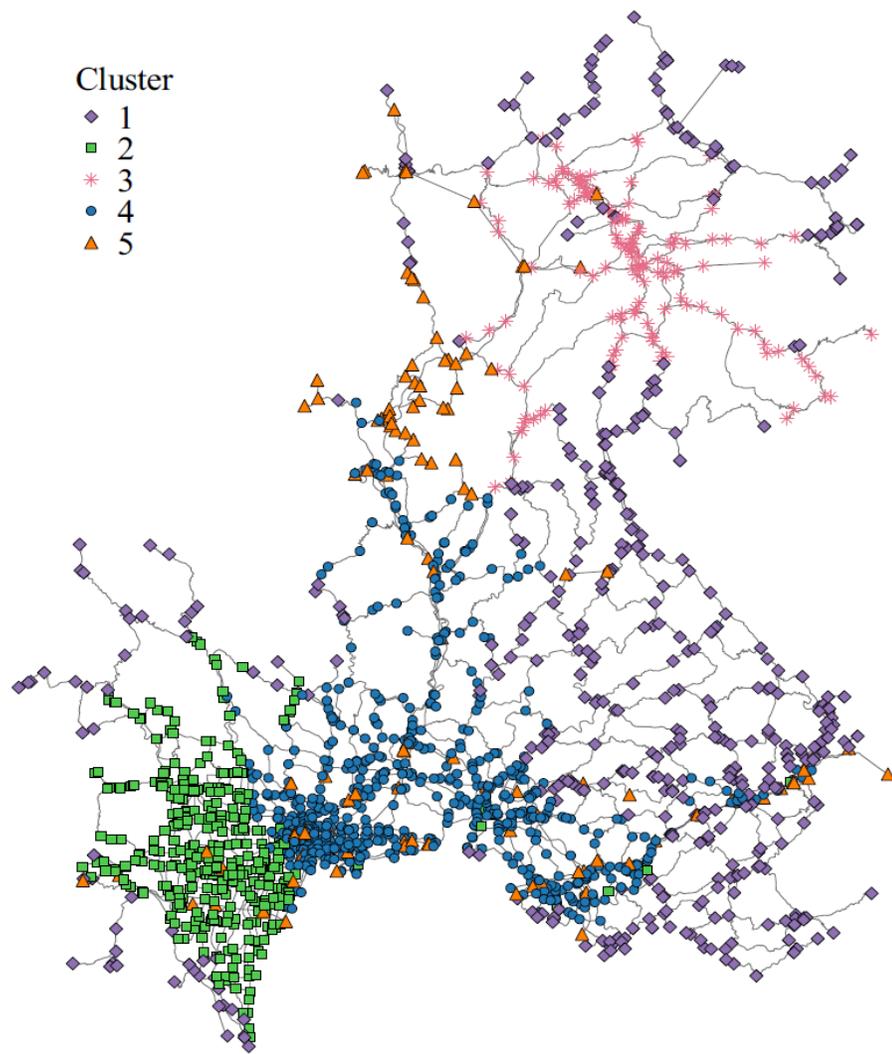
交通需要: 高需要

道路密度: 密

道路ランク: 低

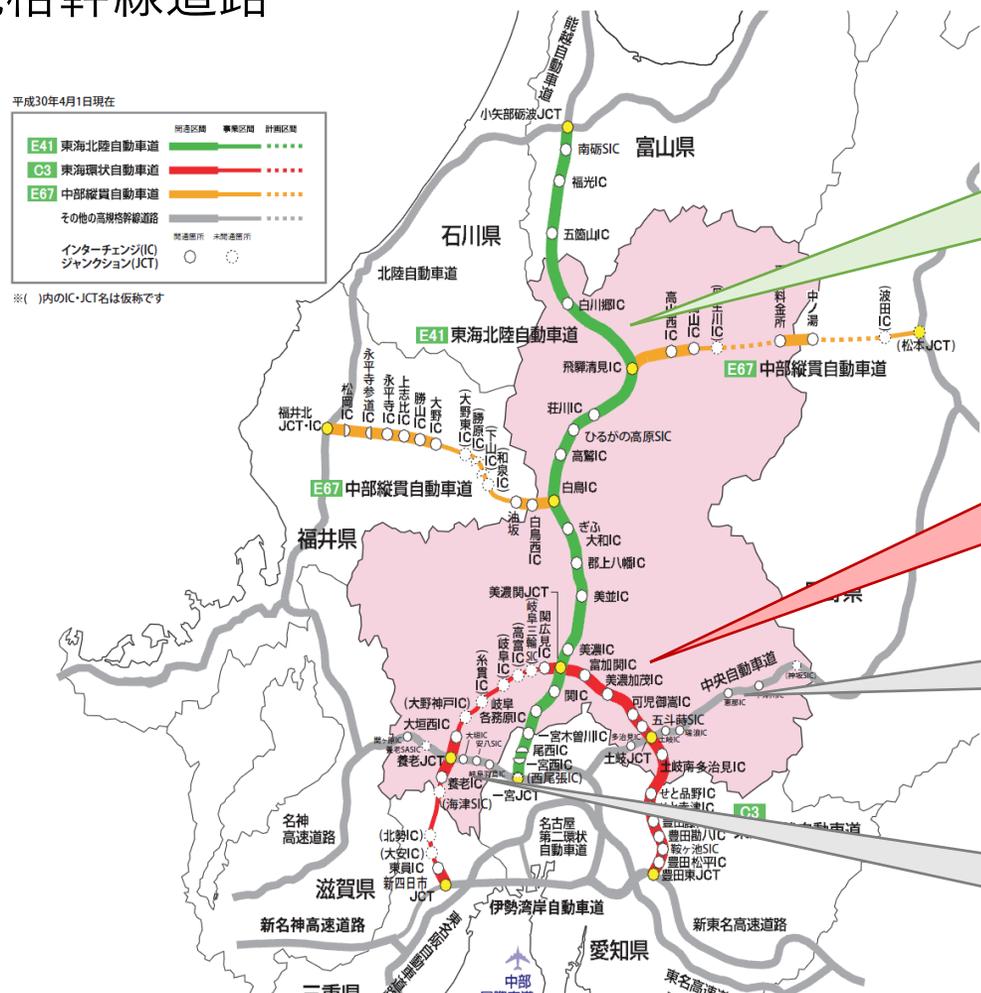


交通需要が高く, 道路ネットワークも密度高く整備されているが大きな容量を持つ道路が少ない. この地方の整備には既存道路の容量拡張が特に効果的なのではないか



岐阜県道路ネットワーク整備状況

岐阜県内の高規格幹線道路



東海北陸自動車道
1986年一部供用開始
2008年全線開通
現在4車線化整備中

東海環状自動車道
2005年東回り供用開始
現在西回り建設中

中央自動車道
全線4車線開通済み

名神高速道路
全線4車線開通済み

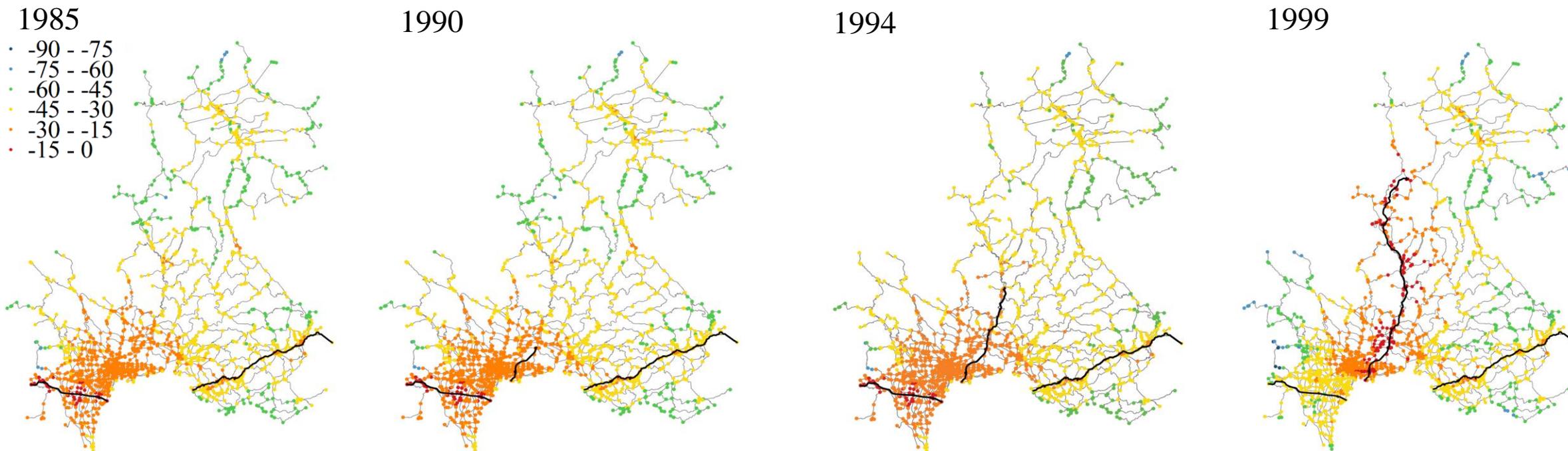
平成30年4月時点の新高速三道の位置関係⁴⁾

その他、主要国道や県道に関してもネットワークに反映

各年ネットワークにおける固有ベクトル中心性

固有ベクトル中心性の対数値を6段階に分類

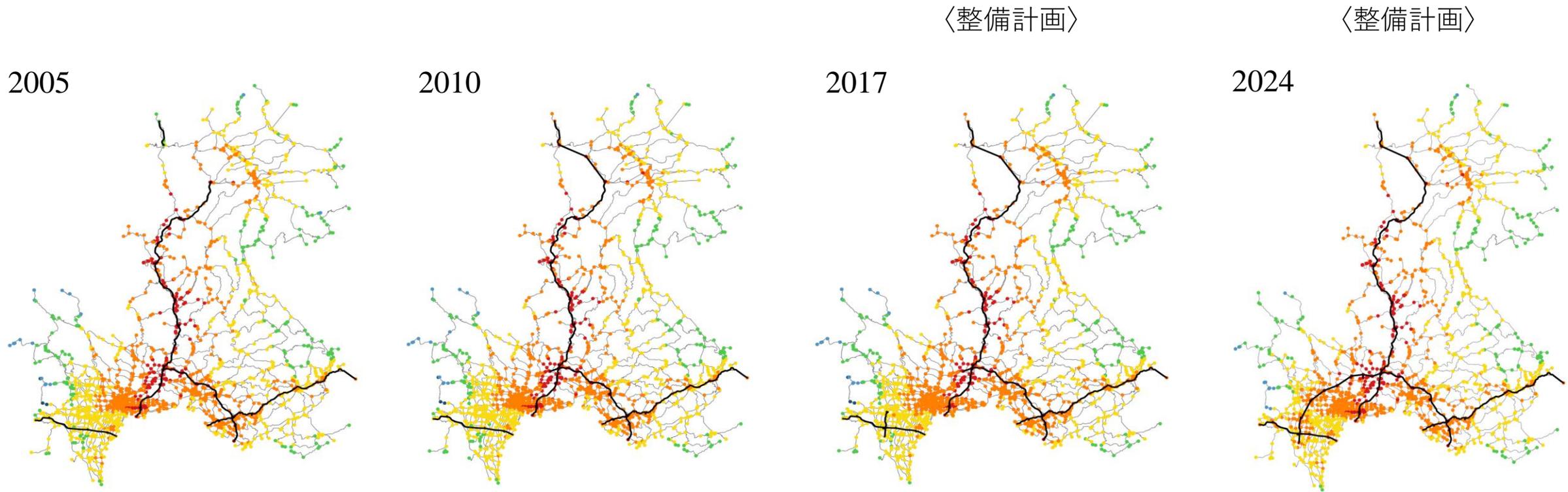
重み設定 $w_e = L_e C_e$ L_e :リンク e の長さ, C_e :リンク e の交通容量



- 1985年では中心性対数値-30以上のノードは各務原市・岐阜市・大垣市周辺に位置
- 東海北陸自動車道の延伸に伴い北部へ高い中心性のノードが進出

各年ネットワークにおける固有ベクトル中心性

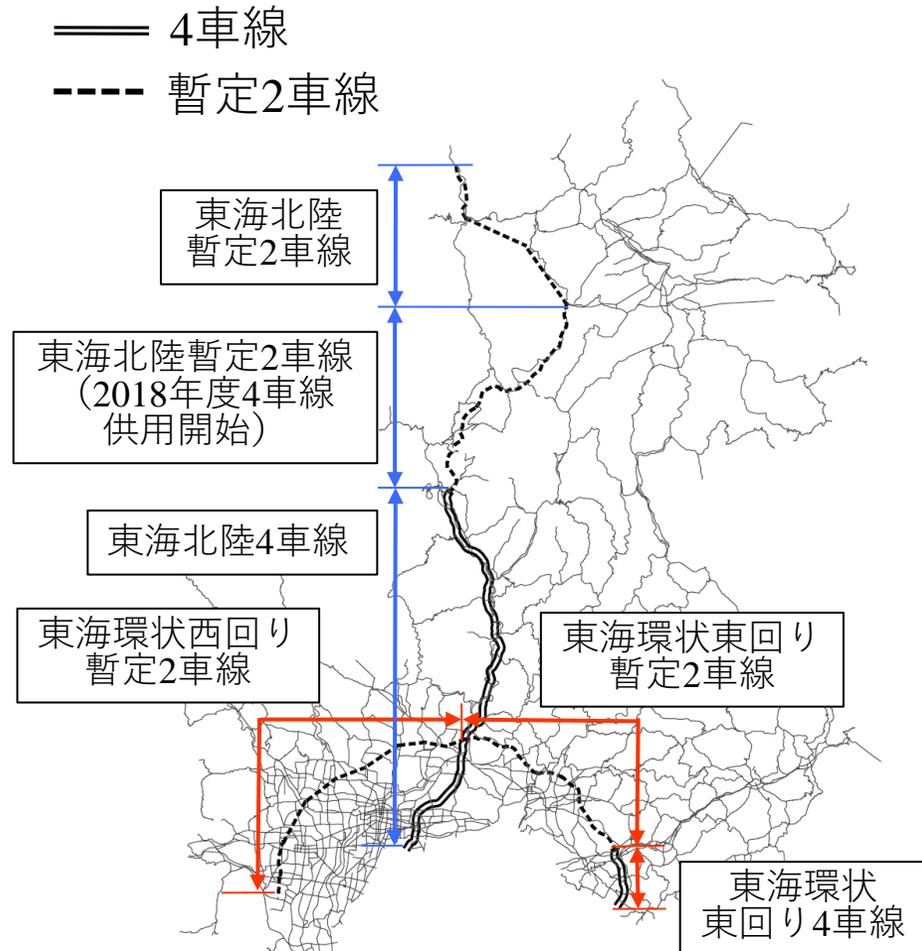
固有ベクトル中心性の対数値を6段階に分類



- 2005年から東海環状自動車道整備開始
 - 既存の中央自動車道周辺の中心性も向上
- 東海環状自動車全線開通予定の2024年では、中心性対数値-45以上のノード範囲が大きく拡大

暫定2車線区間の4車線供用による効果

東海北陸自動車道，東海環状自動車道の暫定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評価の変化



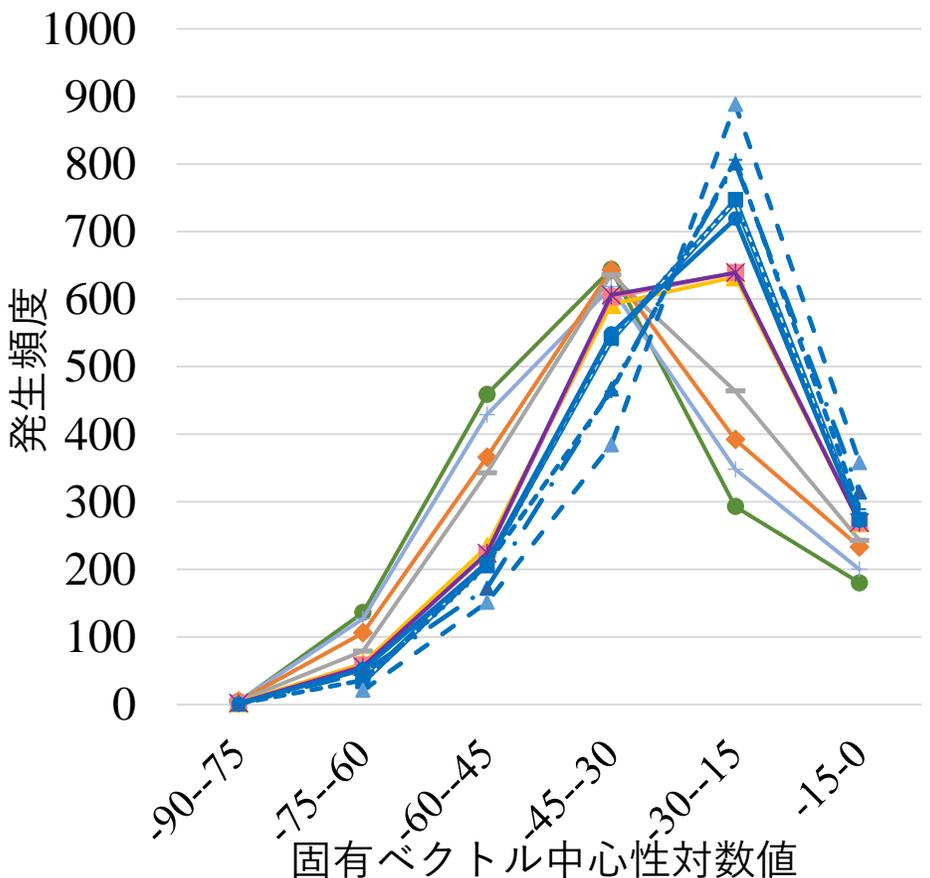
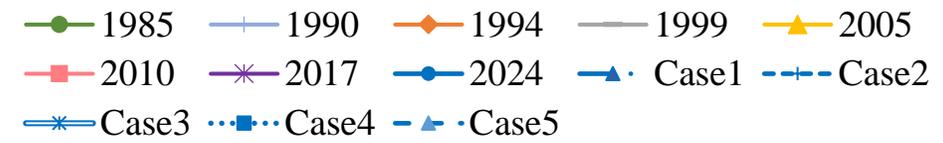
4車線化の現状と計画

4車線化対象区間
(施工後の総道路面積)

- Case1: 東海環状自動車道東回り
(109,318,056)
- Case2: 東海環状自動車道西回り
(109,399,286)
- Case3: 東海北陸自動車道2018年度4車線供用予定区間
(109,100,682)
- Case4: 東海北陸自動車道全線
(110,945,426)
- Case5: 東海環状自動車道全線
東海北陸自動車道全線
(116,003,250)

暫定2車線区間の4車線供用による効果

東海北陸自動車道，東海環状自動車道の暫定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評価の変化



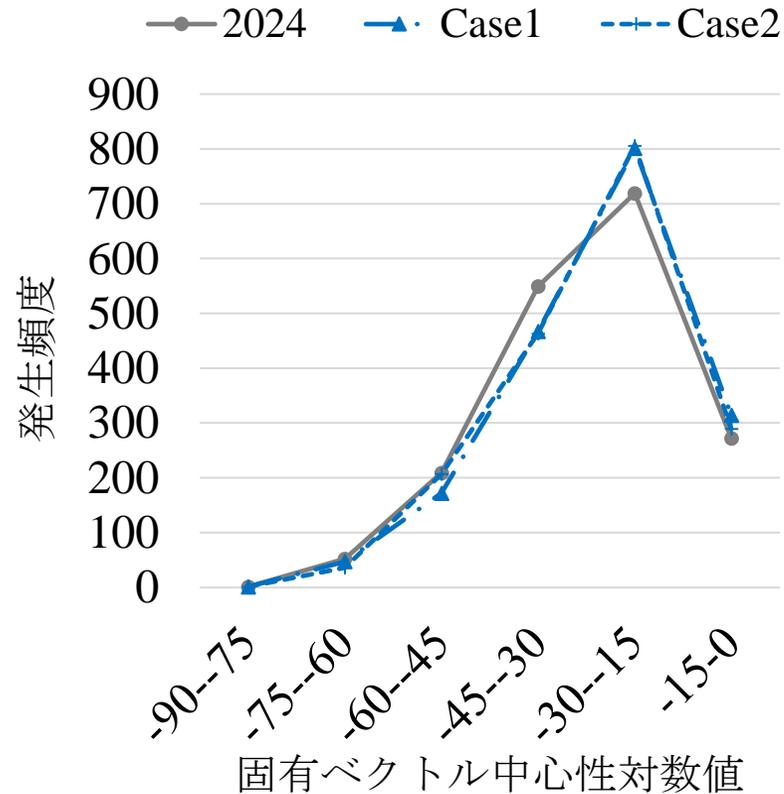
- Case1: 東海環状自動車道東回り (109,318,056)
- Case2: 東海環状自動車道西回り (109,399,286)
- Case3: 東海北陸自動車道2018年度4車線供用予定区間 (109,100,682)
- Case4: 東海北陸自動車道全線 (110,945,426)
- Case5: 東海環状自動車道全線
東海北陸自動車道全線 (116,003,250)

いずれのケースにおいても4車線供用開始により固有ベクトル中心性の高いノードは増加

東海環状自動車道 東回り 西回り

暫定2車線道路の建設プロセス

東回り ⇒ 西回り



Case1:東回り (109,318,056)

Case2:西回り (109,399,286)

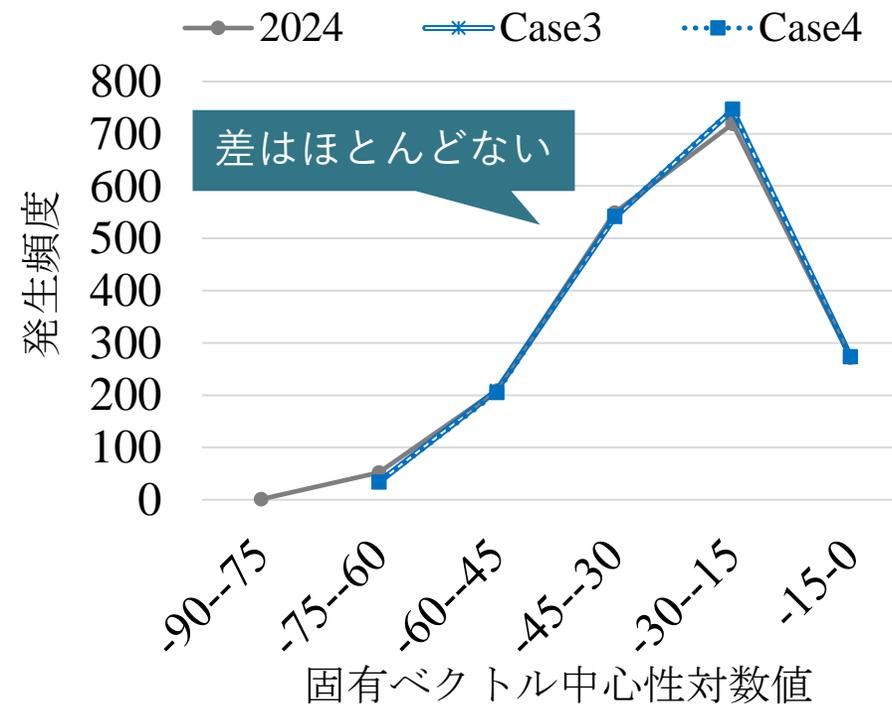
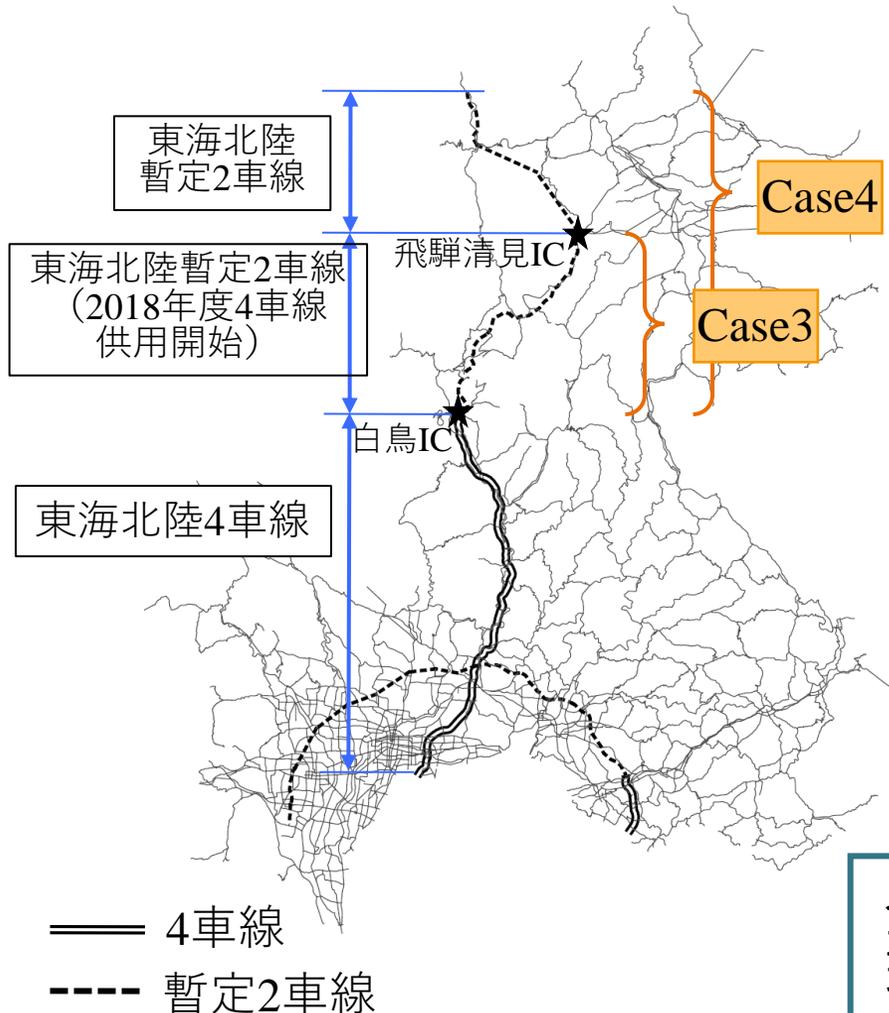
- ✓総道路容量は西回りの方が上回る
- ✓対数値-60 - -45範囲内のノードは東回りの方が少ない
- ✓対数値-15 - 0範囲内のノードは 東回りの方がわずかに多い

総道路容量は下回るが、既存の4車線区間を有する東回り区間の優先的な4車線供用がより効果的である。

東海北陸自動車道の延伸

Case3:白鳥ICから飛騨清見ICまで4車線化 (109,100,682)

Case4:東海北陸自動車道全線4車線化 (110,945,426)



全線4車線化の前段階として飛騨清見ICまで4車線化する現方針は効率的な施策.

まとめと今後

- 形状論に基づく指標を用いた道路ネットワーク評価の意義
- 既存手法との比較による有用性の検証
- 詳細かつ大規模なネットワークへの適用可能性
- 実際の経年的変化に対する道路ネットワーク接続性評価

今後

- 接続性評価の知見を踏まえて、脆弱性評価指標への発展
- より頑健な道路ネットワークを構築するにはどのような補強をすべきか、最適補強問題への発展