# 道路ネットワークの整備がもたらす広範なストック効果の計量化手法に関する研究

プロジェクトリーダー：多々納 裕一
（京都大学防災研究所・教授）

# 構成

- 研究組織
- 研究の背景・目的
- これまで取り組みの成果
    1. ストック効果計量化の意義と課題
    2. 道路整備と立地変化に関する検討：第二京阪道路整備を事例として
    3. 道路整備による災害レジリエンス向上機能の計量化
- H30年度の取り組みについて

# 研究組織

- 研究総括：多々納（京都大学），渡部（近畿地方整備局）

1. ストック効果計量化の意義と課題：多々納・横松・大西（京都大学），小池・織田澤（神戸大学），川除（日建総合研）

2. 道路整備と立地変化に関する検討：川除（日建総合研），織田澤（神戸大学），西田・稲垣（近畿地方整備局）

3. 道路整備による災害レジリエンス向上機能の計量化：土屋（鳥取大学）・安田・矢野・片山（システム科学），藤・阿茂瀬・福本（近畿地方整備局）

（所属はH29年度末時点）

# ストック効果の最大化に向けて~その具体的戦略の提言~（社会資本整備審議会計画部会専門小委員会，H28.11.）

- 「賢く投資・賢く使う」の徹底
- ストック効果の「見える化・見せる化」
  - (1) **幅広い効果の把握**
  - (2) 誰にでも分かりやすい伝え方へ
  - (3) **経済分析手法の活用に向けた検討**
- 社会資本整備のマネジメントサイクルの確立

# 研究目的とH29年度の取り組み

- 目的:

道路事業の便益として，いわゆる3便益にとどまらない広範なストック効果の計量化のための方法論の構築

- H29年度の取り組み

① 道路整備と立地変化に関する検討:第二京阪道路整備を事例として

② 道路整備による災害レジリエンス向上機能の計量化

- リダンダンシー向上効果の評価
- レジリエンス向上効果の評価

# ①道路整備と立地変化に関する検討：
## 第二京阪道路整備を事例として

- 第二京阪道路整備によるストック効果の公表例

第二京阪道路沿線に145社が操業（工業団地）による法人税収が35%増加

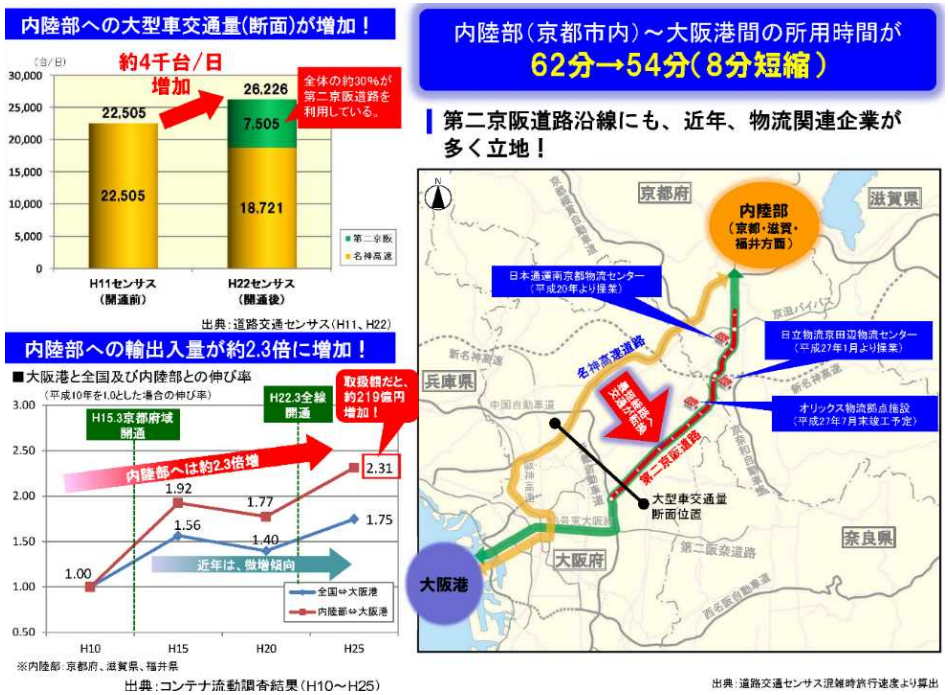
第二京阪道路沿線にまちが形成され沿線自治体の人口が増加し市民税収が増収

出典：国土交通省近畿地方整備局
https://www.kkr.mlit.go.jp/road/road_effect/qgl8vl0000003eel-att/dainikeihan.pdf

# ①道路整備と立地変化に関する検討：
## 第二京阪道路整備を事例として

- 第二京阪道路整備によるストック効果の公表例

<u>大阪港への利便性向上により港湾物流が活性化</u>




出典：国土交通省近畿地方整備局
https://www.kkr.mlit.go.jp/road/road_effect/qgl8vl0000003eel-att/dainikeihan.pdf

# ①道路整備と立地変化に関する検討：

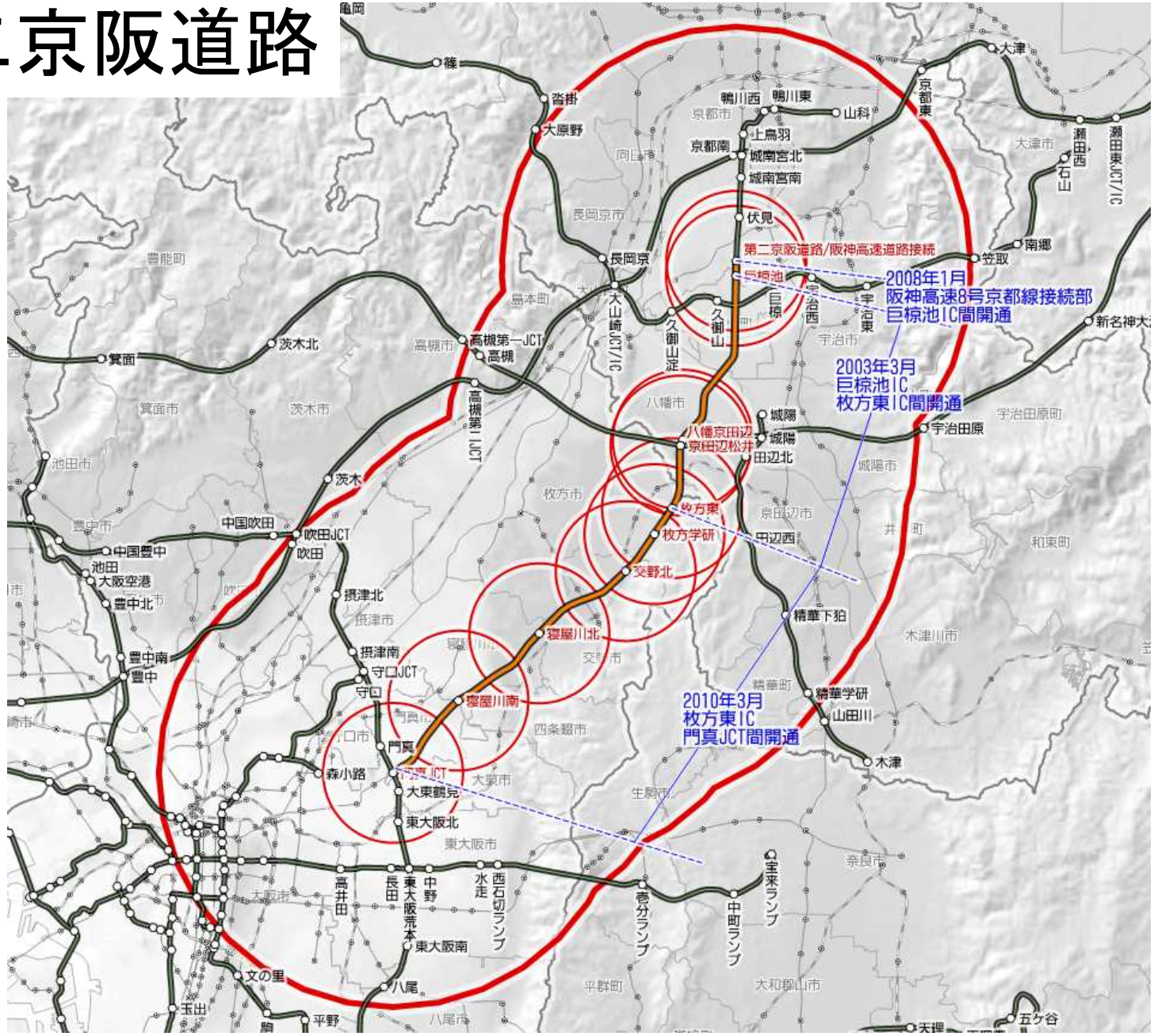
第二京阪道路整備を事例として

1. オープンデータを用いた分析
   - 道路整備の影響を視覚的に把握
   - 影響の空間範囲の特定など統計分析に資する情報の整理

2. 因果推論アプローチに基づくストック効果計測（試算）

ＩＣの圏域　３ｋｍ、10ｋｍ

# 第二京阪道路



# オープンデータを用いた分析の内容

＜社会＞

①土地利用（建物用地の面積）の変化
②人口総数の変化
③DID（人口集中地区）の面積の変化

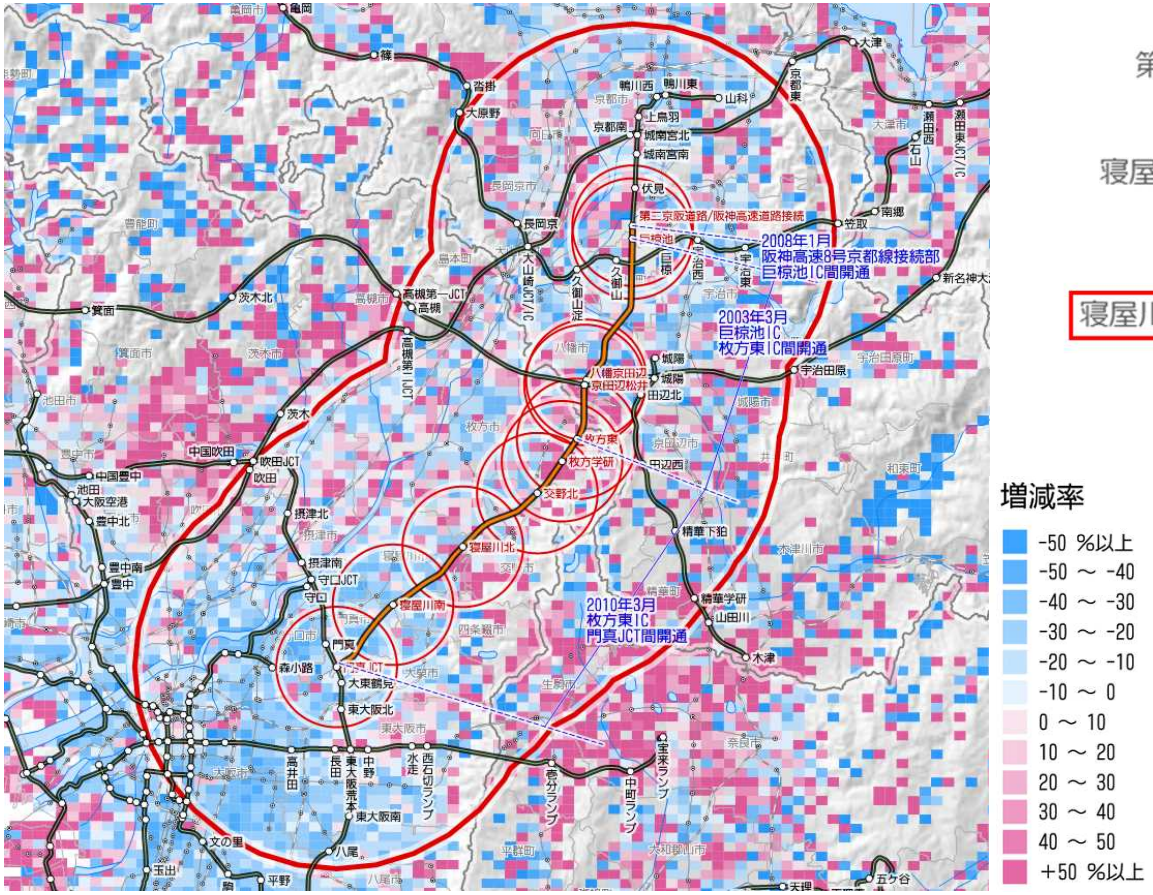
＜経済＞

④事業所数の変化
⑤従業者数の変化
⑥小売業 売場面積の変化
⑦小売業 年間販売額の変化

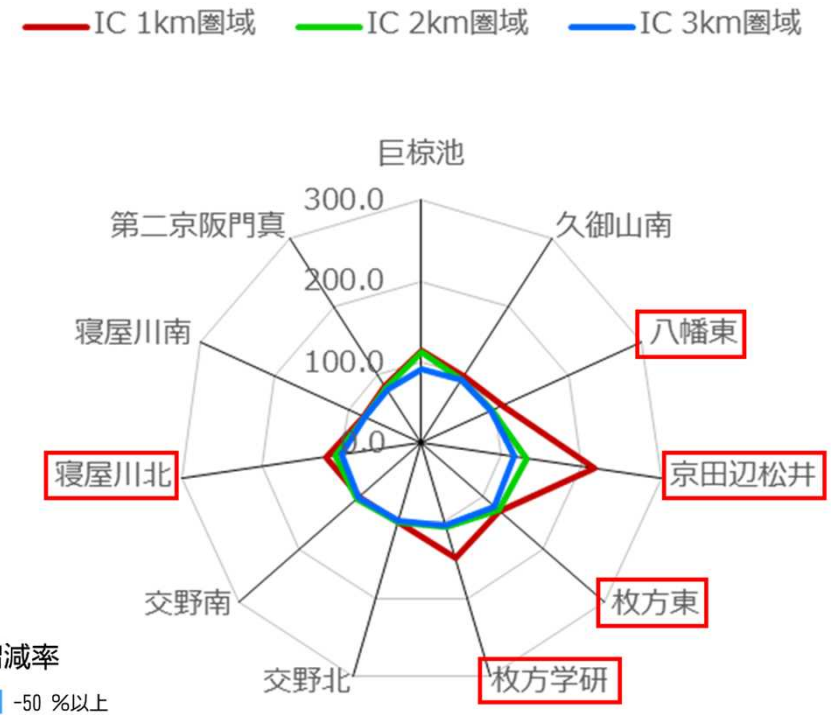
＜地価＞

⑧地価の変化

# 事業所数増減率　2001年 → 2014年

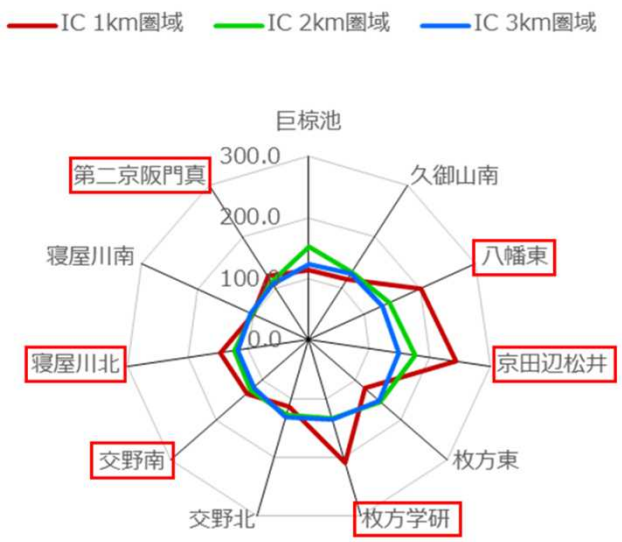



## 事業所数 増減率

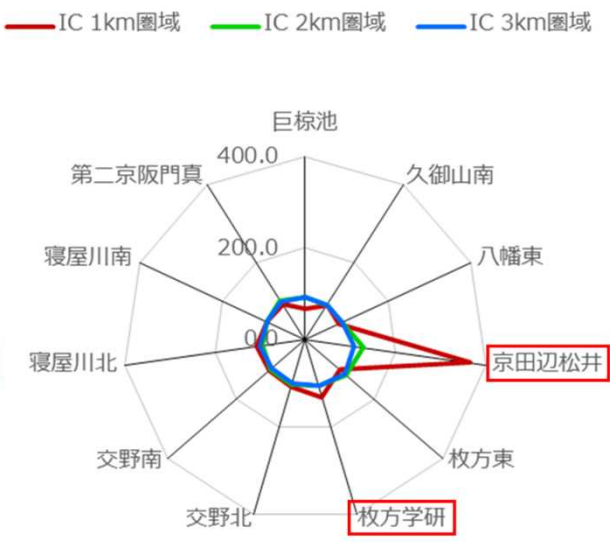



平成13年　事業所・企業統計　500mメッシュ、
平成26年　経済センサス　基礎調査　500mメッシュ

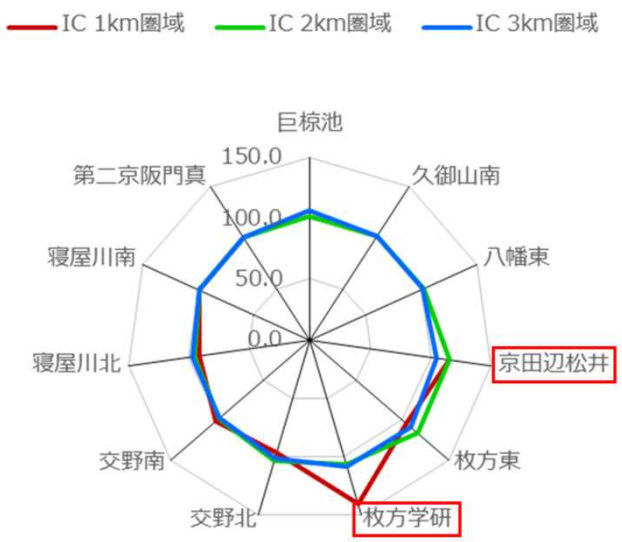
## 建物用地 増減率



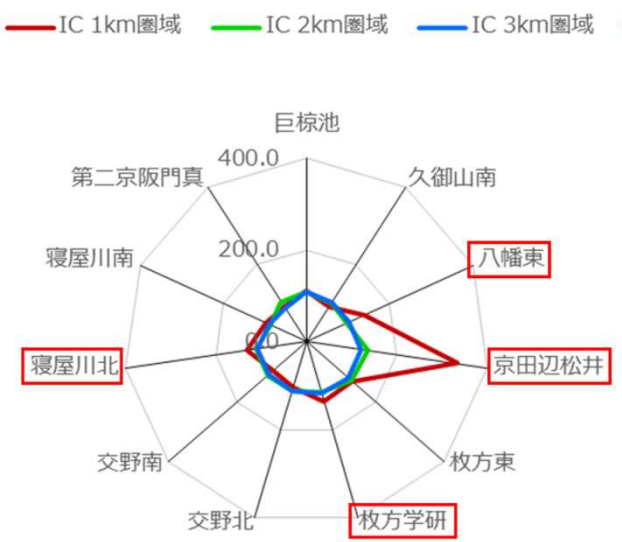

## 人口総数 増減率



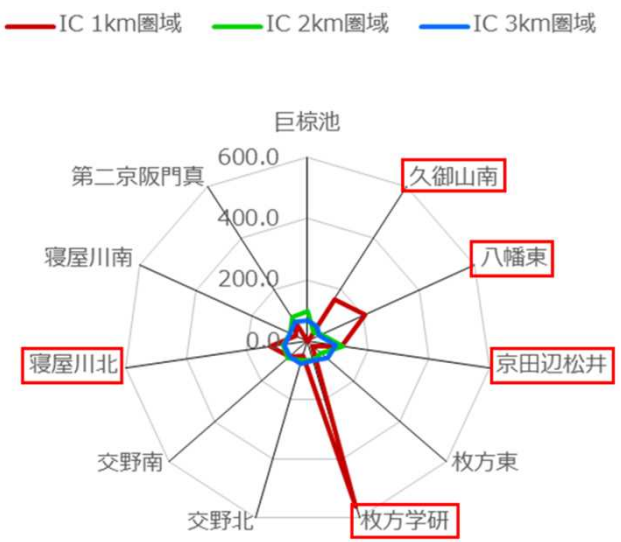

## DID（人口集中地区）面積 増減率



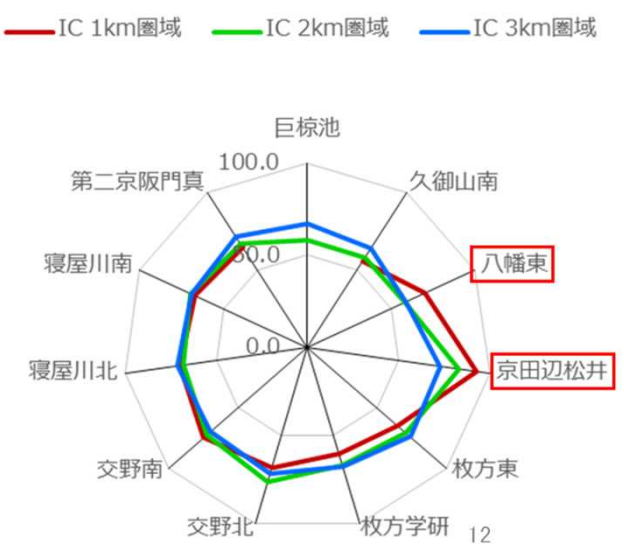

## 従業者数 増減率




## 小売業計 年間販売額 増減率



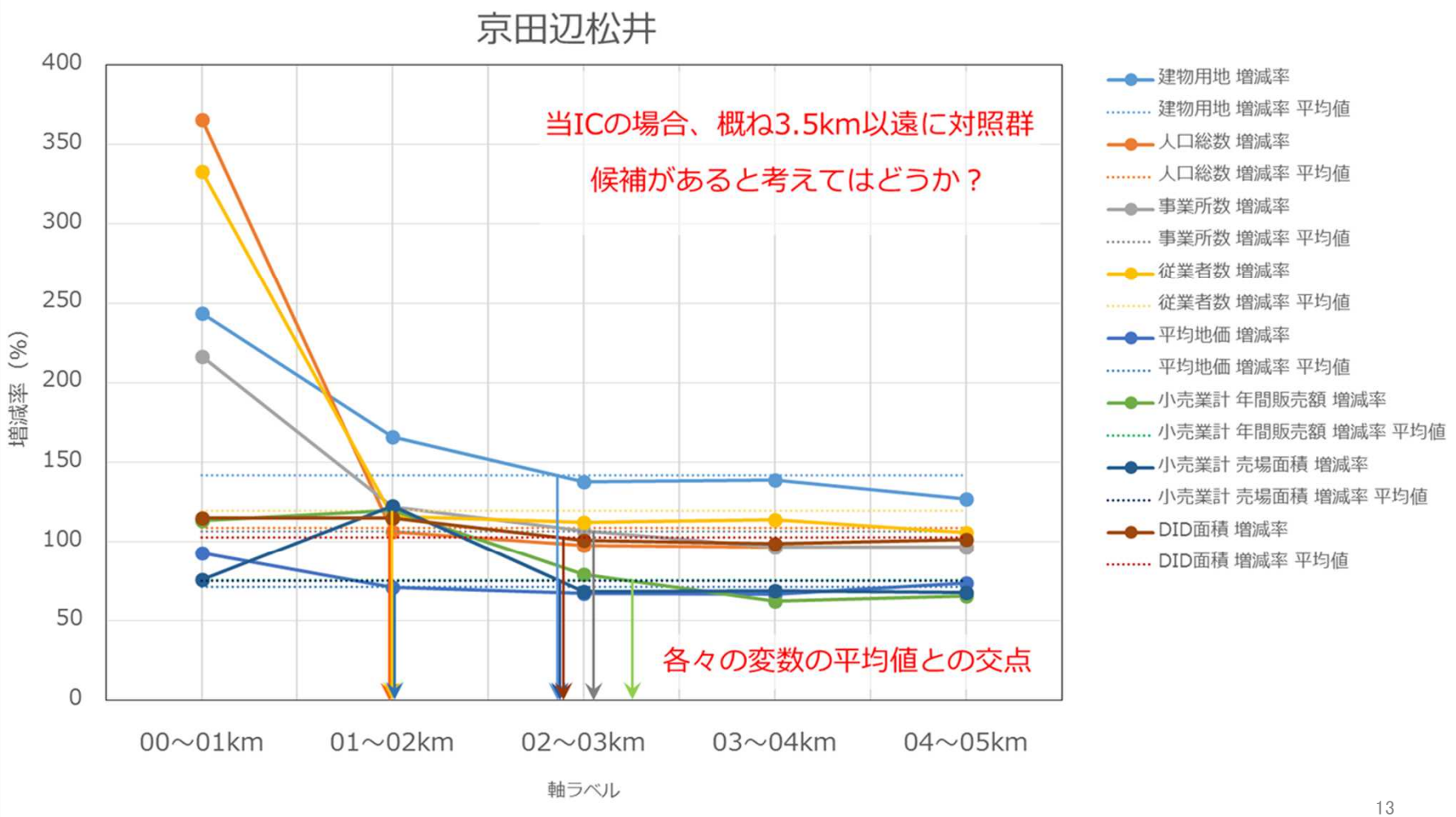

## 平均地価 増減率



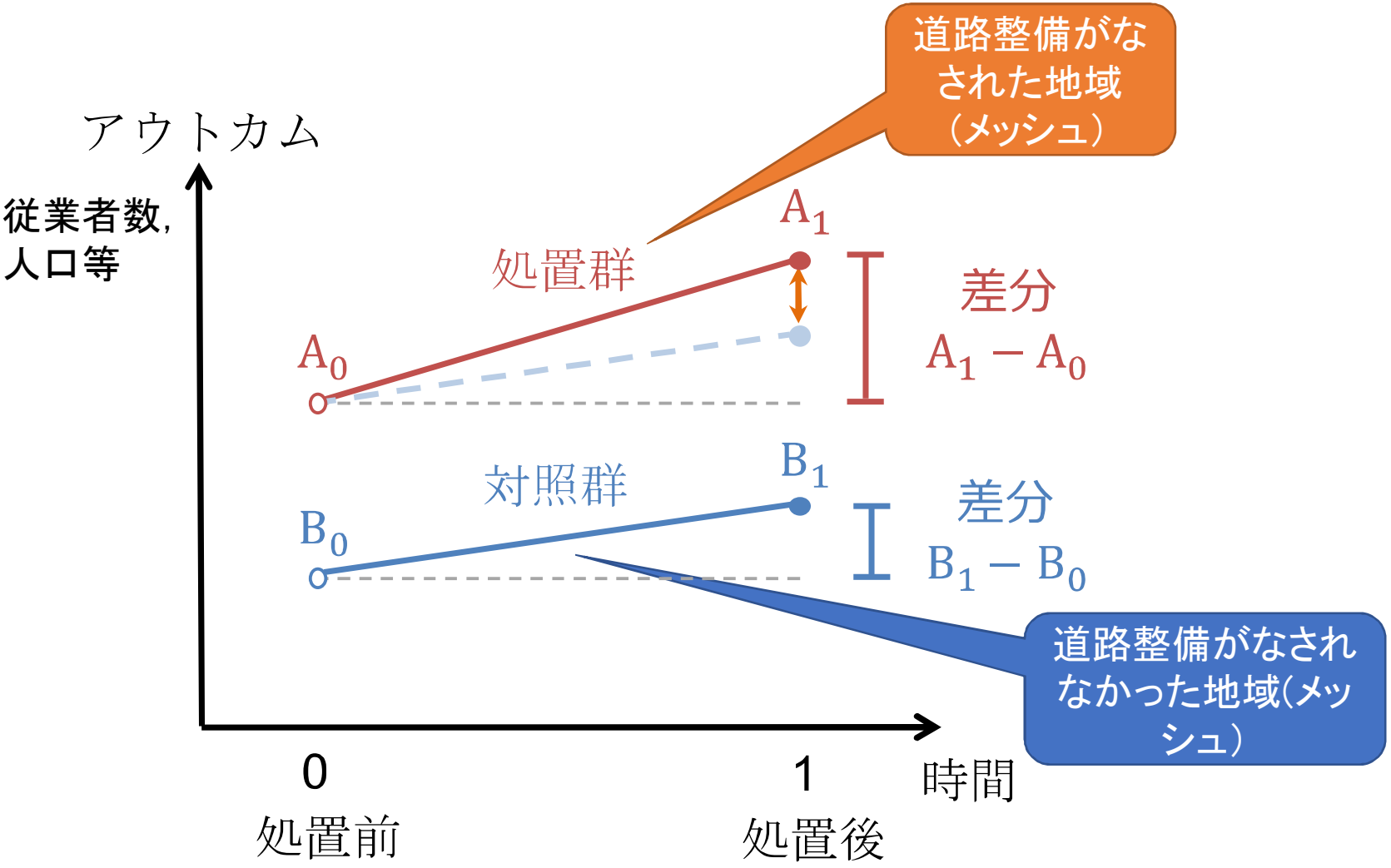
# 対照群の見極めの試験的検討（4つのICを対象：一例）

各ICから5kmまでを対象とし、1kmピッチにドーナツ集計し、変化率を算定（別紙参照）

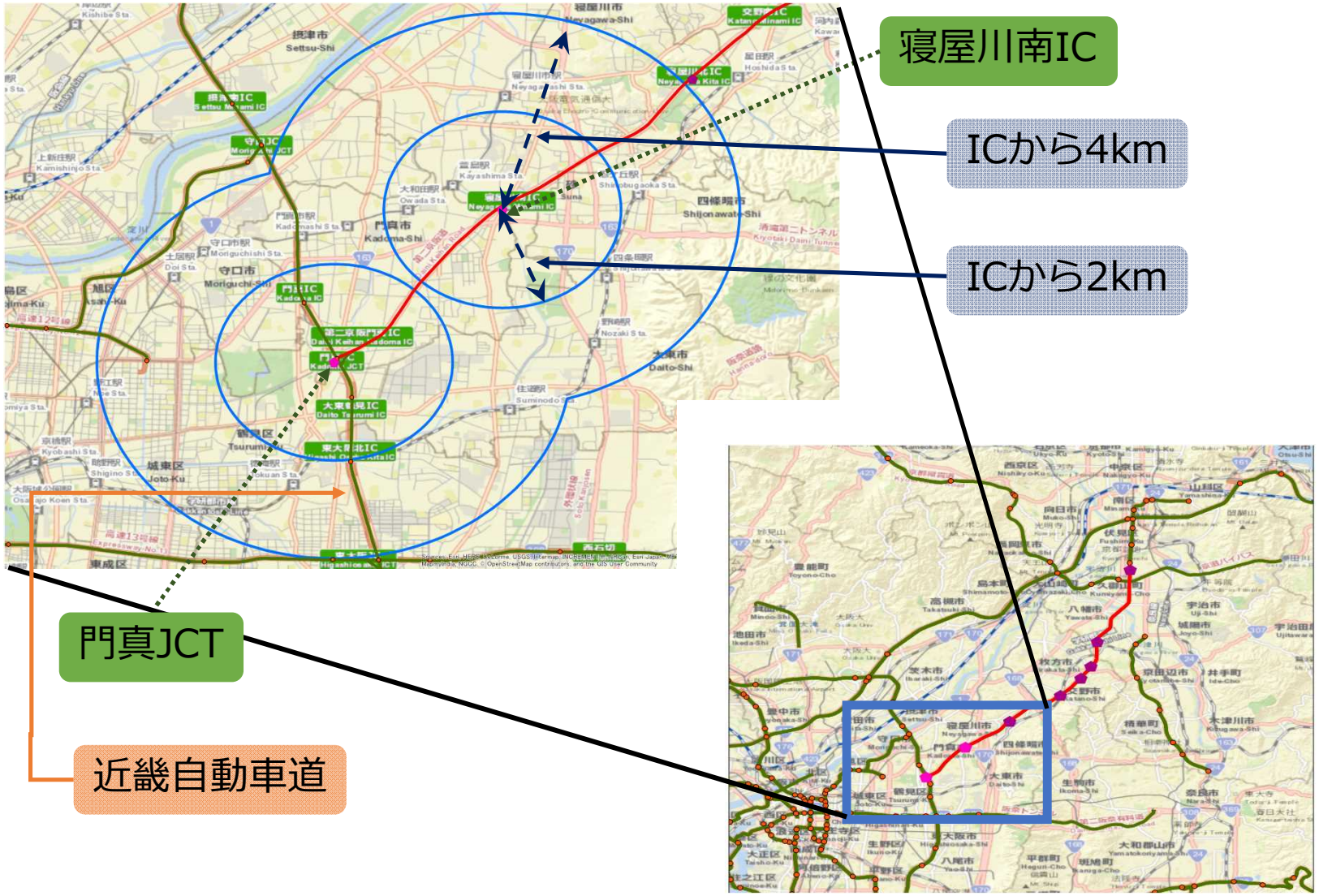
5kmの平均値と比較し、下回ってきたエリア以遠に対照群候補があると考えてはどうか？



# 差の差分析 (Difference in difference; DD)



# 工業統計データを用いた分析～分析範囲～



# 雇用促進効果の推定結果

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 処置群 (treated) | 2km圏内 | | 2km圏内 | | 4km圏内 | | 2km圏内 | |
| 対照群 (control) | 2km-4km圏 | | 2km-8km圏 | | 4km-8km圏 | | 4km-8km圏 | |
| post | -2.837* | 0.818 | -2.150*** | 0.355 | -1.967*** | 0.628 | -1.979*** | 0.0469 |
| | (1.512) | (1.823) | (0.402) | (0.530) | (0.452) | (0.567) | (0.301) | (0.429) |
| area2km | -0.284 | -0.539 | 2.225** | 2.231** | | | 2.934*** | 3.090*** |
| | (1.923) | (2.075) | (1.023) | (1.094) | | | (0.797) | (0.832) |
| intermediate | 14.59*** | 1.692 | 8.400*** | 0.111 | 6.534*** | -1.787 | 6.150*** | -1.158 |
| | (3.289) | (5.922) | (1.000) | (2.021) | (1.141) | (2.119) | (0.857) | (1.693) |
| postarea2km | -1.779 | -1.456 | -2.479** | -2.396** | | | -2.652*** | -2.658*** |
| | (2.430) | (2.387) | (1.169) | (1.161) | | | (0.792) | (0.850) |
| postintermediate | -7.812* | -3.690 | -3.209*** | -1.479 | -1.761 | 0.0662 | -1.657* | -0.248 |
| | (4.227) | (4.597) | (1.174) | (1.358) | (1.337) | (1.504) | (0.895) | (1.121) |
| area2kmintermediate | -6.989 | -5.183 | -1.091 | -1.066 | | | 0.674 | 1.497 |
| | (5.339) | (5.729) | (2.839) | (3.015) | | | (2.169) | (2.284) |
| postarea2kmintermediate | 10.09 | 9.736 | 5.472* | 6.075* | | | 3.909* | 3.837 |
| | (6.816) | (6.734) | (3.319) | (3.313) | | | (2.264) | (2.436) |
| area4km | | | | | 3.072*** | 3.481*** | | |
| | | | | | (0.717) | (0.773) | | |
| postarea4km | | | | | -1.561* | -1.895** | | |
| | | | | | (0.819) | (0.817) | | |
| area4kmintermediate | | | | | 5.069** | 4.519** | | |
| | | | | | (1.995) | (2.129) | | |
| postarea4kmintermediate | | | | | -2.188 | -1.964 | | |
| | | | | | (2.343) | (2.343) | | |
| Constant | 10.85*** | 2.936 | 8.384*** | 2.996*** | 7.711*** | 2.216*** | 7.756*** | 3.231*** |
| | (1.198) | (2.237) | (0.352) | (0.724) | (0.396) | (0.750) | (0.304) | (0.595) |
| Industry Dummies | No | Yes | No | Yes | No | Yes | No | Yes |
| Observations | 15,729 | 14,984 | 51,106 | 48,621 | 51,106 | 48,621 | 41,468 | 39,463 |
| Number of id | 7,873 | 7,873 | 25,553 | 25,553 | 25,553 | 25,553 | 20,752 | 20,752 |

Standard errors in parentheses
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

中間財投入比率が高い産業ほど，道路整備による雇用促進効果が大きい．

ICから2km圏内で発現している．

# ①道路整備と立地変化に関する検討

## 今後の検討方針

- 近畿圏内の道路整備事業を対象に差の差分析を実施
  - 効果の時間的広がりや地域的広がりの把握
  - 道路の特性毎に効果が発現しやすい産業の特定

# ②道路整備による災害レジリエンス向上機能の計量化

## 道路の防災機能評価の高度化に向けた検討

1. リダンダンシー向上効果の評価
   - ハザード条件を現実に近い状態（地震）に設定して評価を実施
   - 地震に対する計画（道路啓開計画）を踏まえ、時間軸を考慮した評価を実施
   - 南海トラフ巨大地震発生時における和歌山県沿岸地域の道路ネットワークを対象とした検討

2. レジリエンス向上効果の評価
   - 道路ネットワークの災害レジリエンス機能評価
   - 和歌山県沿岸地域における道路ネットワークを対象とした検討

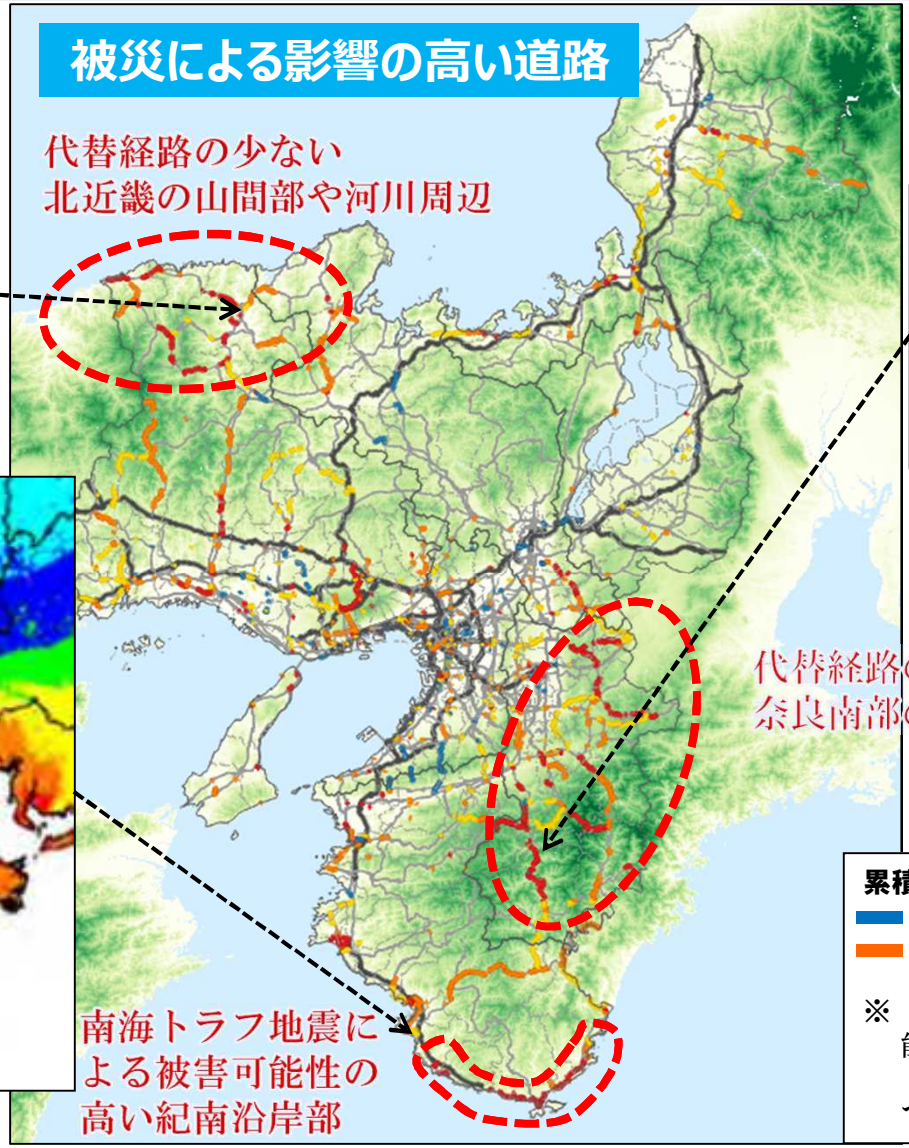
# 近畿地方整備局管内の災害に対するネットワーク脆弱性



○　奈良県南部など、代替路が少なく道路ネットワークが脆弱な地域で甚大な被害が発生
○　南海トラフ地震の発生が懸念される南部は，紀勢自動車道の未供用区間の被害可能性が高い

台風23号による円山川の氾濫
（H16年10月19～21日）

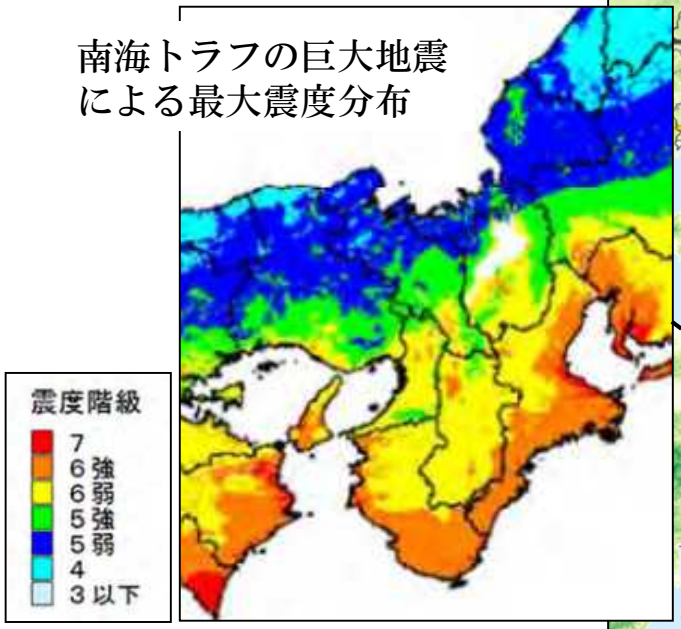
（資料）国土交通省




紀伊半島大水害の被害
（H23年被災直後）

（資料）国土交通省

南海トラフの巨大地震
による最大震度分布




（資料）内閣府

**累積脆弱度※**

- :0.01-0.99
- :1.01-2.99
- :1.00
- :3.00-

※「道路ネットワークの防災機能の向上効果 計測マニュアル（案）」（国土交通省）に基づく試算結果

# 紀南地域における南海トラフ地震（津波）による被害想定



○　幹線道路である国道42号は沿岸部に位置しており、南海トラフ巨大地震の発生時には、津波の来襲により広範囲に渡り道路が寸断されると予想される。

○　災害時に機能する代替ネットワーク（近畿自動車道紀勢線）が求められている。

出典：和歌山県企画部情報政策課，和歌山県地理情報システム（http://www2.wagmap.jp/wakayamaken/Portal?mid=759）

# 紀南地域における近畿自動車同紀勢線の整備状況



○　紀南地域では、平成２７年度に紀勢自動車道（田辺～すさみ南）、那智勝浦新宮道路（那智勝浦～市屋）が供用

○　引き続き延伸となるすさみ串本道路、県境の新宮紀宝道路が事業中。

# 発生時からの時間軸を考慮

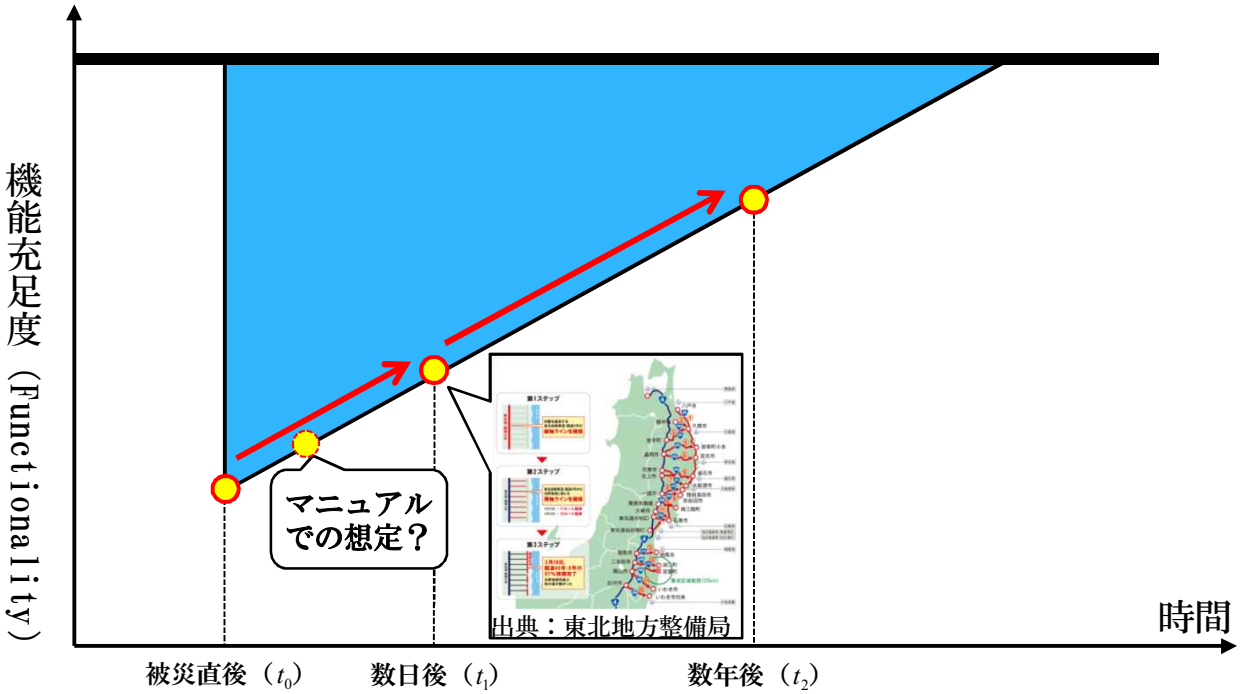


○　災害発生時からいつの時点を想定するかで，前提とする諸条件が異なる

○　マニュアルでは災害発生時の**いつ時点**を評価すべきか？（いつ時点であれば評価可能か？）

○　最寄ＩＣの設定は、基幹道路から拠点（広域・交通・被災・地域）までの道路啓開（時間軸）は未考慮

**⇒ 道路啓開計画を含めた評価を考えてみてはどうか。**




参考：多々納裕一，道路ネットワークのレジリエンスの計量化に向けて，高速道路と自動車　第６０巻　第９号，２０１７年９月，Ｐ５-８

# 時間軸の設定：和歌山県内での道路啓開計画（※抜粋）



## 3．道路啓開の基本的考え方

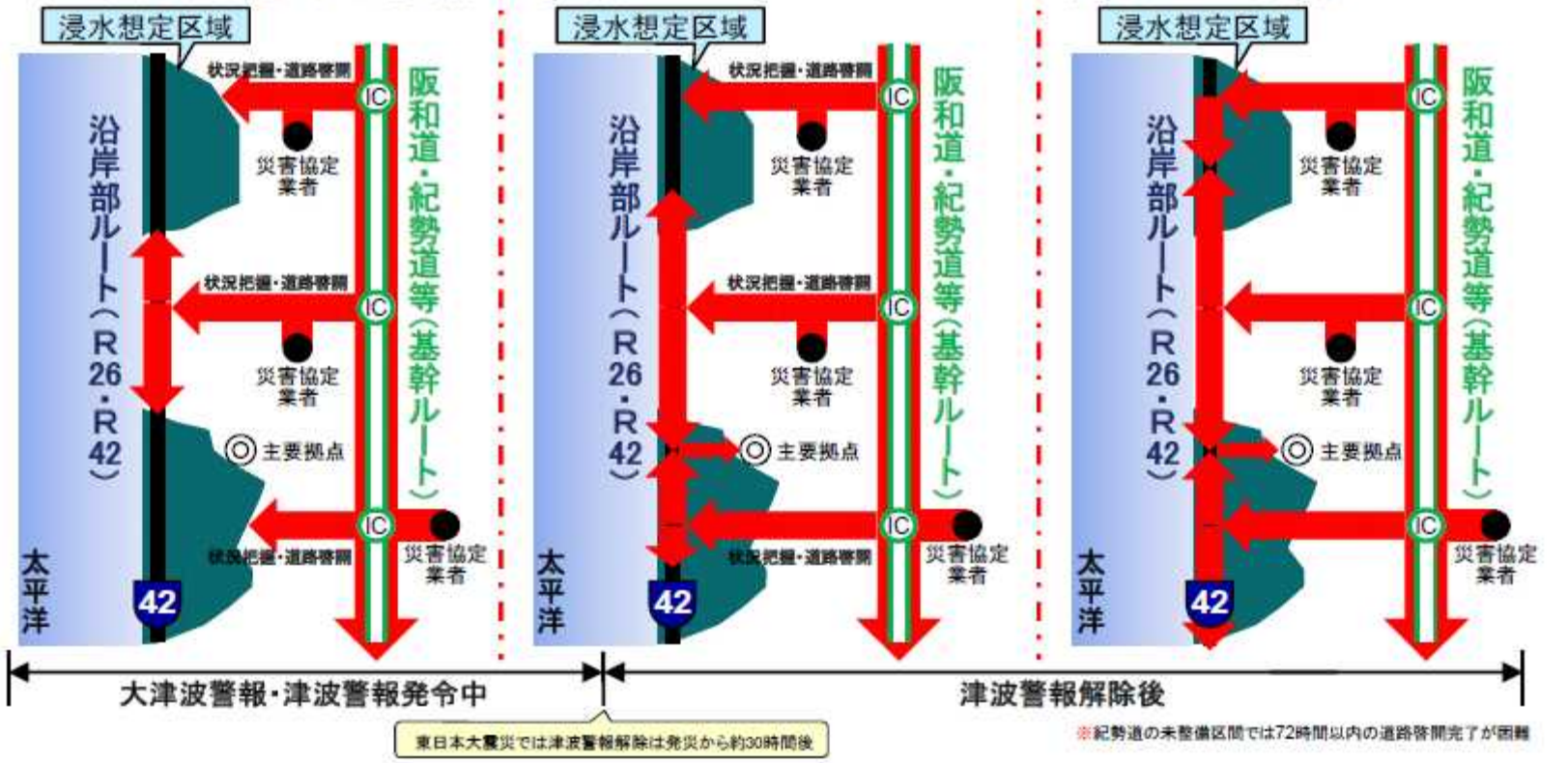
### 3．4 啓開目標

人命救助を目指した救助・救援ルートを確保するため『道路啓開』の段階目標（STEP1～3）を設定。

**【STEP1⇒24時間以内完了目標】**
基幹ルート、及び沿岸部への進出ルート等（浸水想定区域外）を確保

**【STEP2⇒48時間以内完了目標】**
主要拠点（市役所等）への進出ルートを確保

**【STEP3⇒72時間以内完了目標※】**
沿岸部への進出ルート、及び沿岸部ルートを確保




出典）和歌山県道路啓開協議会：南海トラフ地震に伴う津波浸水に関する和歌山県道路啓開計画，平成29年8月.

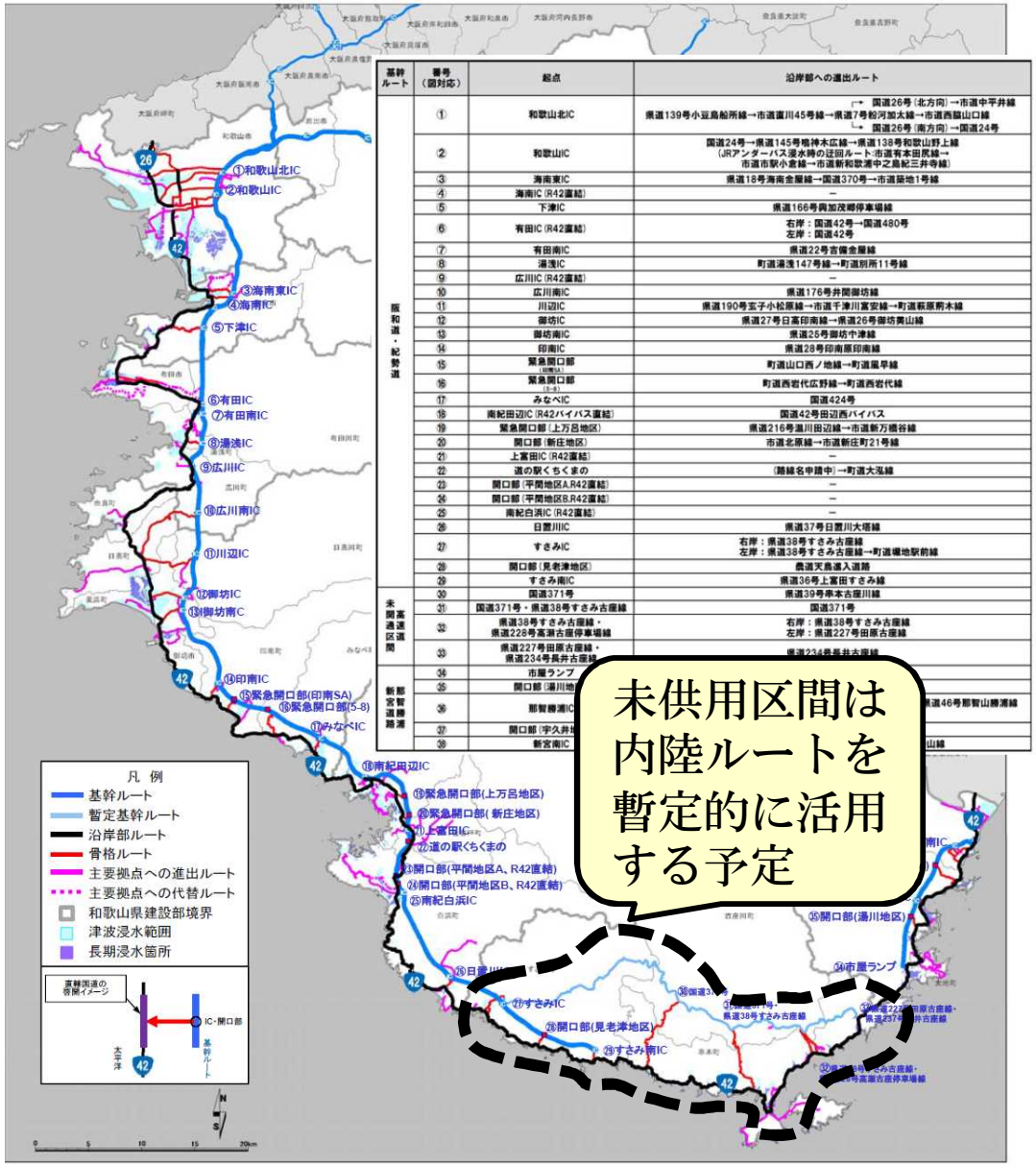
# 時間軸の設定：和歌山県内での道路啓開計画（※引用・抜粋）



**災害発生後のネットワークを再構築**

○「啓開ルート」を考慮し、啓開目標のSTEP３（地震発生後から約２４時間→約４８時間→約７２時間後）の道路ネットワーク状況を想定し、検討を実施

※狭小幅員をハザード設定に考慮




出典）和歌山県道路啓開協議会：南海トラフ地震に伴う津波浸水に関する和歌山県道路啓開計画，平成29年8月.

# 道路啓開計画を考慮した分析アプローチ（２）



分析①： Scenario１とScenario２の結果（Without）を比較し，地震被害による和歌山県内の道路ネットワークの脆弱度合いを確認

分析②： Scenario２の条件（地震ハザードのみを想定）により，紀勢自動車道が全線整備された時の効果を検討

分析③： Scenario２の条件に道路啓開計画を反映し、時間軸による評価を実施

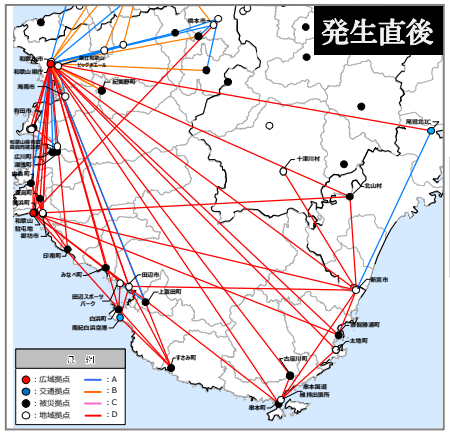
内陸ルートには未改良区間が多数存在するため，未改良区間もハザードに反映

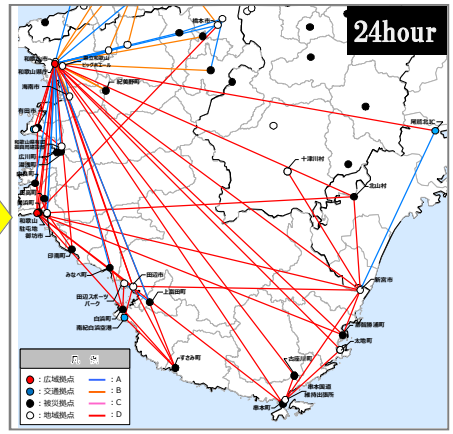
| 前提条件 | | （参考）既存の評価手法 | 本検討 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Scenario1 | Scenario2 | Scenario3 |
| ハザード条件 | 事前通行規制区間 | ○ | ○ | × | × |
| | 津波浸水区間 | ○ | ○ | ○ | ○（啓開計画反映） |
| | 未改良区間 | ○ | ○ | × | ○ |
| | 未耐震区間 | ○ | ○ | ○ | ○（啓開計画反映） |
| | 冬期通行不可 | ○ | ○ | × | × |
| | 防災点検要対策箇所 | ○ | ○ | × | × |
| 基本ネットワーク | | 事業化 NW | 現況 NW(H28年度) | 現況NW(H28年度) | 現況NW(H28年度) |
| 計算ペア数 | | 512ペア | 512ペア | 512ペア | 512ペア |

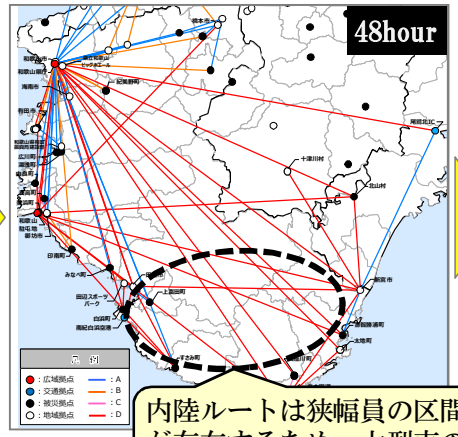
# 分析③：道路啓開計画を考慮した評価結果　※Scenario3

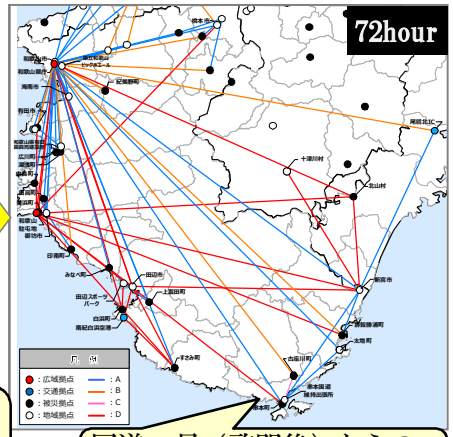


【整備前の脆弱度 $z_{rs}^{O}$】



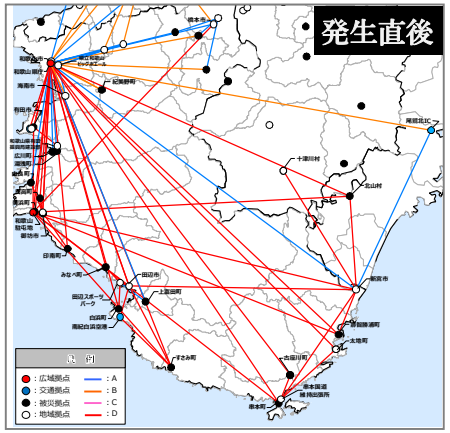



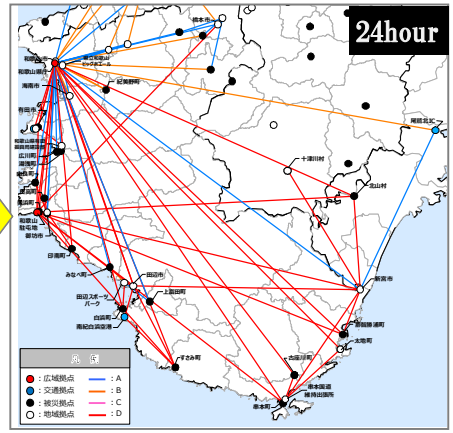



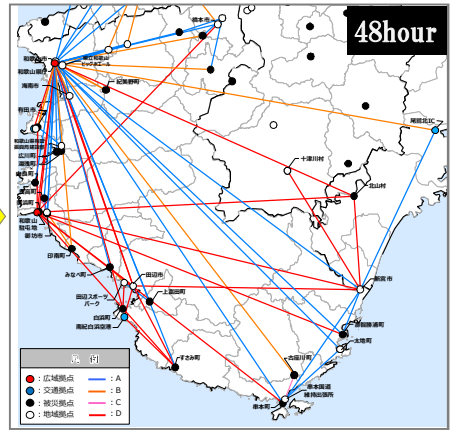

内陸ルートは狭幅員の区間が存在するため、大型車の通行は困難な可能性有

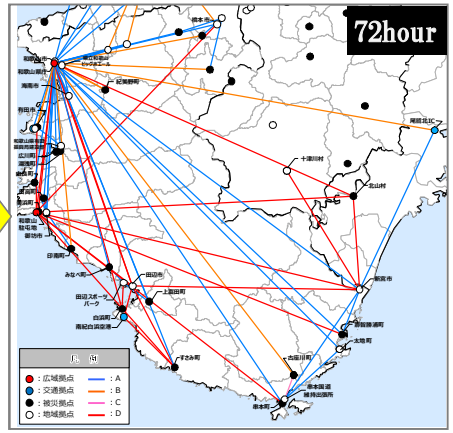
国道42号（啓開後）からのアクセスによるもの

【整備後の脆弱度 $z_{rs}^{W}$】




- 発生直後は，市町村役場までのアクセス・イグレスが寸断するため，整備前後の脆弱度に大きな差は確認できない

- ２４時間が経過すると，高速ＩＣまでのアクセス・イグレスは啓開するものの，拠点までは到達不可のため，整備前後の脆弱度に大きな差は確認できない

- ４８時間が経過すると高速道路ＩＣから主要拠点（市町村等）まで啓開されるため，整備後では沿線自治体で大きく改善

  ※脆弱度の変化が最も大きい

- ７２時間が経過すると，和歌山県内の国道４２号が全線啓開されるため，整備前後の脆弱度に大きな差は確認できない

# 紀勢線整備前後での時間短縮エリア（Search & Rescue）

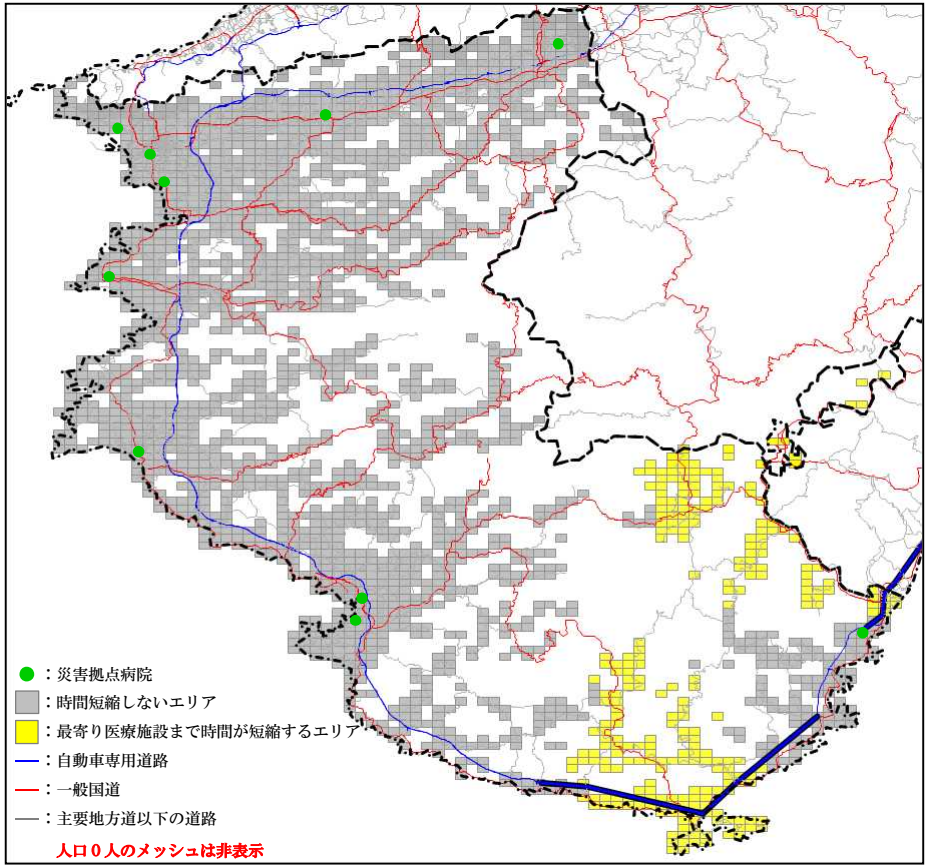


○　検討結果より，災害発生から概ね48時間後の道路ネットワーク（啓開計画反映）を想定

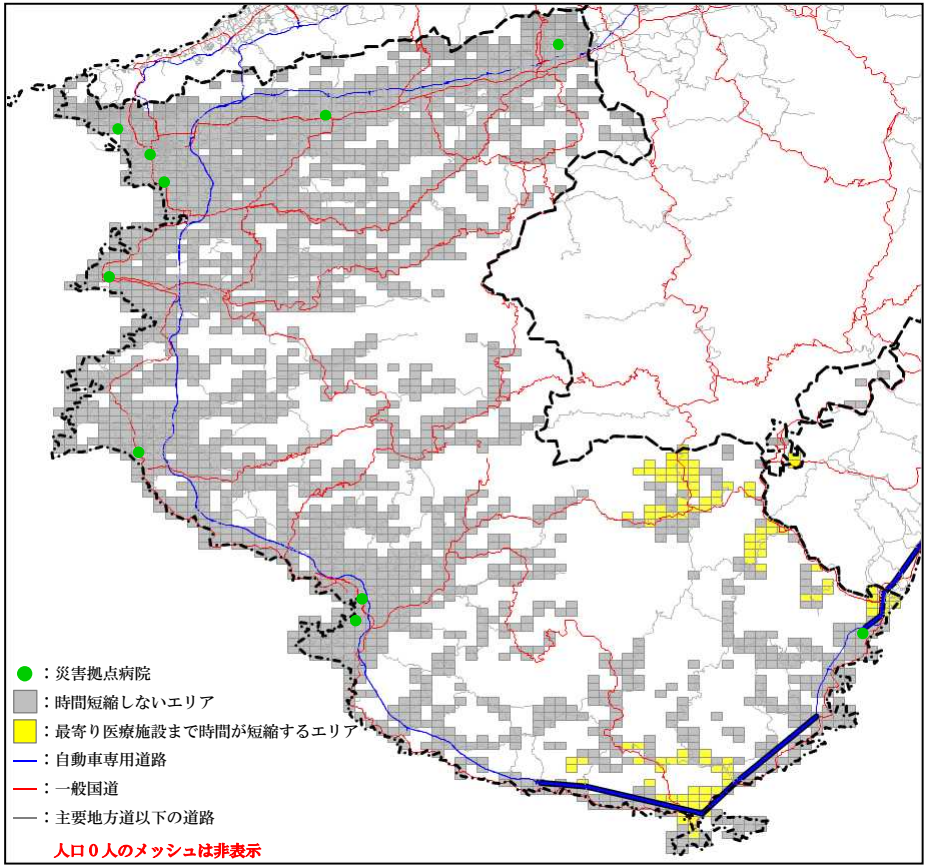
○　紀勢自動車道の整備により，（最寄り）災害拠点病院※までの時間を計測

※和歌山県地域防災計画で定められた病院

【通常時：整備前後の時間短縮メッシュ】




【被災時：整備前後の時間短縮メッシュ】



# 被災時における孤立人口の解消

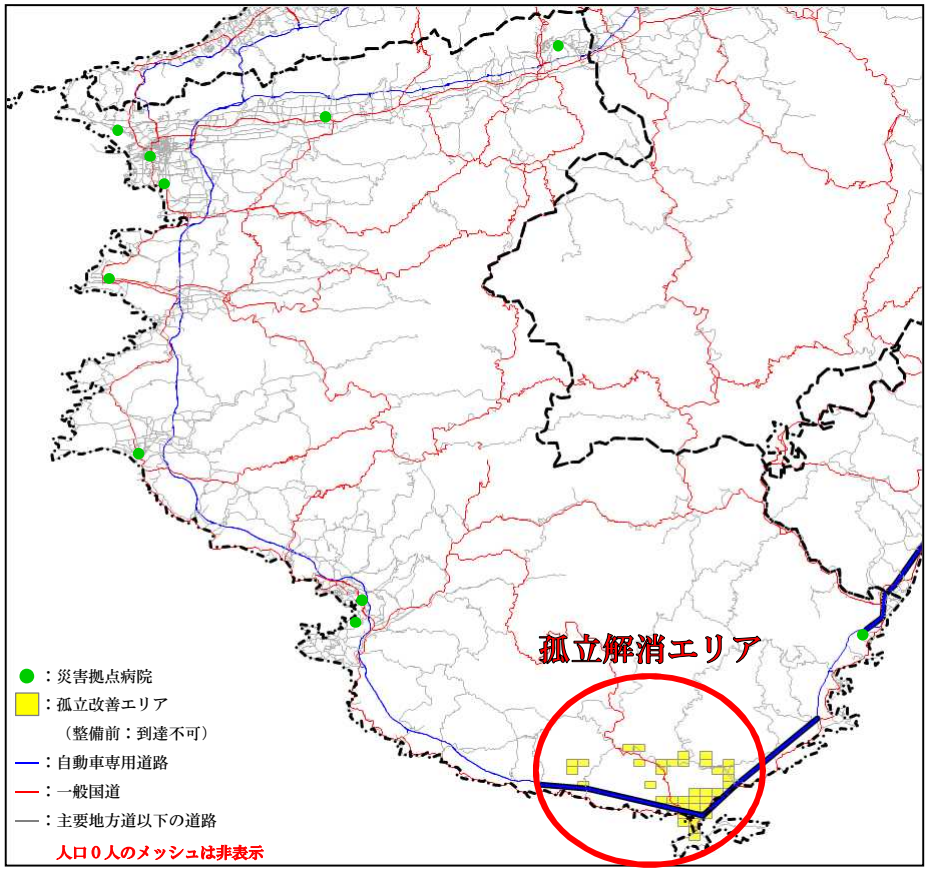


○　前頁で算定した結果から，被災前後において災害拠点病院までの３０分圏エリアが拡大

○　さらに被災時において，紀勢線が整備されることで解消する孤立人口を算定

○　主には串本町周辺のエリアで災害拠点病院までの孤立人口が解消（約１万人）

【孤立改善メッシュ】




【前頁での人口整理】

| 想定状況 | 整備有無 | 人口（人）※ | 割合 |
|---|---|---|---|
| 通常時 | 整備なし | 944, 384 | 94. 0% |
| | 整備あり | 947, 506 | 94. 3% |
| 被災時 | 整備なし | 606, 651 | 60. 4% |
| | 整備あり | 607, 752 | 60. 5% |

※30分圏人口

【孤立人口の整理】

| 整備有無 | 人口（人） |
|---|---|
| 整備なし | 279, 605 |
| 整備あり | 269, 679 |
| 差 | 9, 926 |

# ②災害時のリダンダンシー向上効果の計量化



○　本検討のまとめ

（１）和歌山県（特に紀南地域）では、近畿管内において地震に対する脆弱性が高い。

（２）現況ＮＷへ啓開計画（暫定ルート版）を適用し、より現実的に考慮しても、内陸部の脆弱性により啓開が進まない可能性があり、近畿自動車道紀勢線の必要性が高い。

（３）広域拠点（和歌山駐屯地）が被災（浸水）する場合は、現在の評価手法においては対応が考慮されておらず（拠点の機能低下は評価対象外）、過小評価の可能性がある。
⇒代替拠点の設定等を協議していく材料になる。

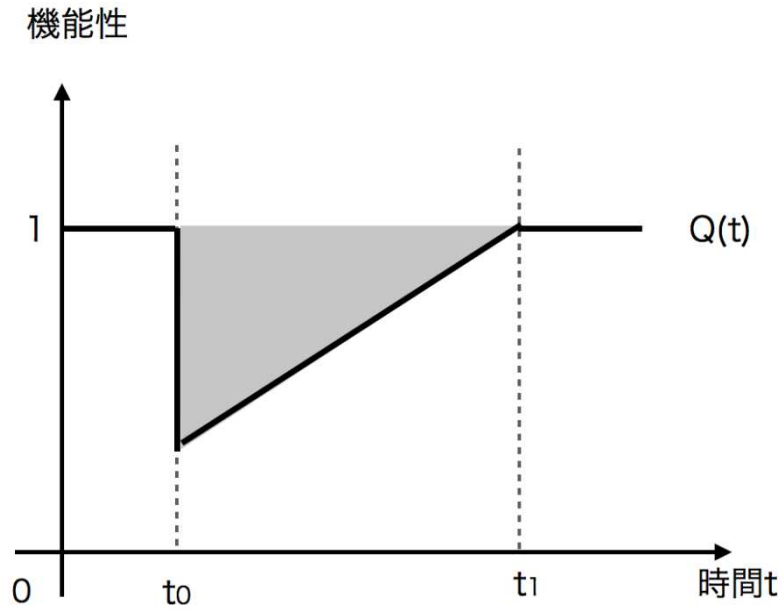
# レジリエンス向上効果の評価

レジリエンス評価の考え方（Bruneau et al, 2003）

- 規定要因：
  - 抵抗力(Robustness)
  - 冗長性(Redundancy)
  - 資源性(Resourcefulness)
  - 迅速性(Rapidity)

- 定量評価

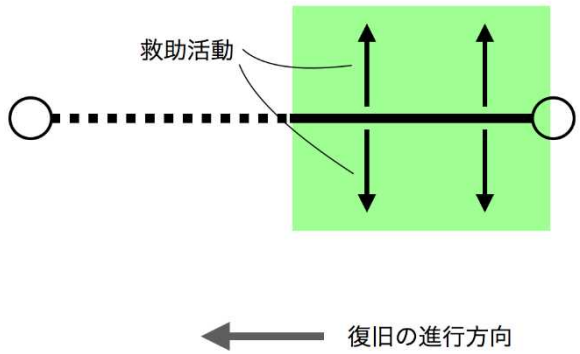
$$R = \int_{t_0}^{t_1} \{1 - Q(t)\} dt$$

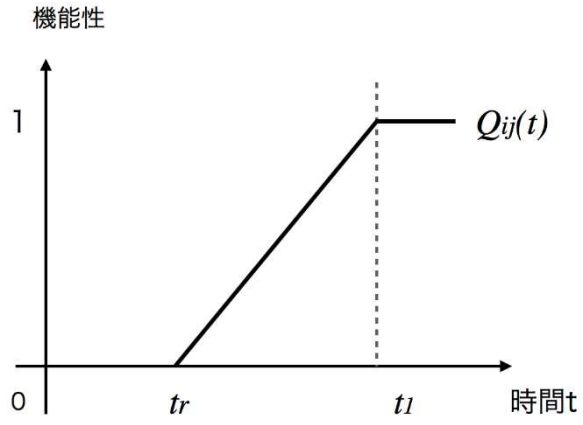


# 道路ネットワークの災害レジリエンス機能

| 発災からの経過時間 | 災害対応の段階（機能に対応） | 指標（例） |
|---|---|---|
| 数日 | 救命救急 | 拠点病院などへのアクセシビリティ（連結性） |
| 数か月 | 救援（救援物資輸送） | 災害拠点から避難所等へのアクセシビリティ（連結性・所要時間） |
| 数か月 | 復旧活動 | 交通容量・消費者余剰 |
| 数年 | 経済活動の継続・復興 | 交通容量・消費者余剰 |

- 救命救急活動に着目した評価： $R = \int_0^{t_1} \{1 - \sum_j \omega_j^i Q_j^i(t)\} dt$



# 和歌山県沿岸地域における道路ネットワークを対象とした検討

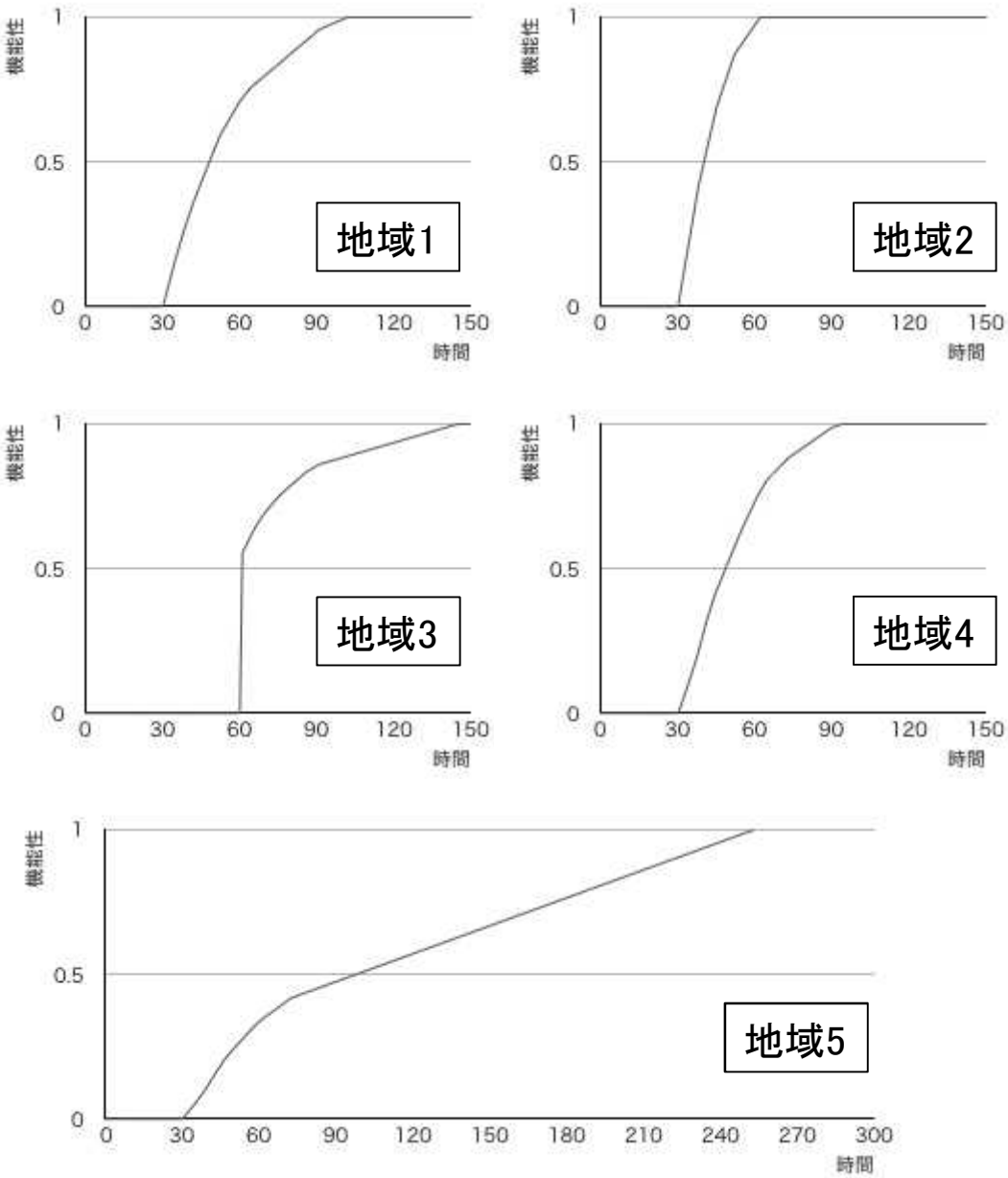
- 地域区分

| 地域 | 対象地域 | 病院数 |
|---|---|---|
| 1 | 和歌山市，海南市 | 6 |
| 2 | 有田市，湯沢市，広川市，有田川町 | 2 |
| 3 | 由良町，日高町，美浜町，御坊市，印南町 | 3 |
| 4 | みなべ町，田辺市，白浜町，すさみ町 | 4 |
| 5 | 串本町，那智勝浦町，新宮市 | 3 |

- 病院までの啓開時間

| 地域 | 病院名 | 浸水被害 | 開通時刻(h) |
|---|---|---|---|
| 1 | 国保野上総合病院 | なし | – |
| 1 | 海南医療センター | あり | 40.7 |
| 1 | 和歌山労災病院 | あり | 58.0 |
| 1 | 済生会和歌山病院 | なし | – |
| 1 | 赤十字和歌山医療C | なし | – |
| 1 | 県立医科大学付属病院 | あり | 79.6 |
| 2 | 有田市立病院 | あり | 90.7 |
| 2 | 済生会有田病院 | なし | – |
| 3 | 国保日高総合病院 | あり | 61.9 |
| 3 | 北出病院 | あり | 60.7 |
| 3 | 和歌山病院 | あり | 64.7 |
| 4 | 紀南病院 | なし | – |
| 4 | 南和歌山医療センター | なし | – |
| 4 | 白浜はまゆう病院 | あり | 116.7 |
| 4 | 国保すさみ病院 | あり | 40 |
| 5 | くしもと町立病院 | なし | – |
| 5 | 那智勝浦町立温泉病院 | あり | 46.8 |
| 5 | 新宮市医療センター | なし | – |

- 道路の機能性回復状況




- レジリエンスの算出結果

| 地域 | 啓開作業完了時刻(h) | レジリエンス(h) |
|---|---|---|
| 1 | 102 | 52.9 |
| 2 | 62 | 41.6 |
| 3 | 145 | 72.4 |
| 4 | 94 | 51.6 |
| 5 | 255 | 114.9 |

- 道路整理によるレジリエンス向上効果

| | 啓開作業完了時刻(h) | レジリエンス(h) |
|---|---|---|
| 前 | 255 | 139.5 |
| 後 | 126 | 70.7 |
| 差 | 129 | 68.8 |

# H30年度の取り組みについて

●道路網形成による信頼性向上の便益計測のための応用経済モデルに関する研究

- ➢交通分析モデルの諸設定（被災リンク想定，災害時の交通の考え方，データなど）について検討し，道路網の信頼性向上の便益をより精緻に計量化できる分析枠組みを構築する.

●便益項目の列挙とこれらの相互関係に関する検討

- 多様な効果とその発現の仕方（時間的・空間的な特性）の把握
- 再評価の充実に資する因果効果計測手法の確立

●研究成果のとりまとめ

- ➢ “賢く投資，賢く使う”に資する知見の導出・整理