

# 香川を起点とする四国高速鉄道導入の 社会経済効果分析

曾根 慎太郎<sup>1</sup>・紀伊 雅敦<sup>2</sup>・土井 健司<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 香川大学大学院工学研究科安全システム建設工学専攻  
(〒761-0396 香川県高松市林町2217-20)  
E-mail: s12g413@stmail.eng.kagawa-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 香川大学准教授 工学部 (〒761-0396 香川県高松市林町2217-20)  
E-mail: kii@eng.kagawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 香川大学教授 工学部 (〒761-0396 香川県高松市林町2217-20)  
E-mail: doi@eng.kagawa-u.ac.jp

四国の鉄道は速達性の面で自動車に対する競争力が低く、モータリゼーションの進展および人口減少と相まって利用者数は大きく減少し、地域ネットワークの維持が困難となっている。鉄道は持続的発展を図る戦略インフラとして、また人々の移動権を確保する基礎的社会インフラとしての役割が期待されており、その維持・改善方策として高速鉄道の導入が検討されている。本研究では、四国圏における鉄道の持続可能性と高速化の意義を明らかにすることを目的とし、香川を起点とする四国高速鉄道導入の効果を、高速シナリオを設定したうえで2035年までの人口動態をもとに、経済的効率性・社会的公平性の観点から定量的に分析した。成果として、高速鉄道導入は鉄道事業者の財務状況の改善と鉄道利用者のサービス水準の向上に一定の効果をもたらすことが示された。

**Key Words :** *high speed rail, motorization, social benefit*

## 1. はじめに

四国の鉄道利用者数は昭和 63 年にピークを迎えた後、一貫して減少しており、鉄道事業者の運輸収入も減少を続けている。その原因としてモータリゼーションの進展や人口減少が挙げられる。結果として JR 四国の鉄道事業の営業収支は赤字を続けており、収支改善を目的とした経営安定基金の運用収益は、経済的不況のため、現在は想定半分程度となっている。2010 年には、経営安定化基金の積み増しが行われたが、依然として経営状況は厳しく、コスト削減等の経営努力ならびに改善方策の導入が急務とされている。事業経営の厳しい状況は JR に限らず、域内の民鉄も同様である。このため、四国では鉄道ネットワークの維持が困難となりつつある。

鉄道は大量輸送、定時性、高エネルギー効率といった特性を有し、地域の自律的、持続的発展を図る戦略インフラとしての役割が期待されており、その維持・改善策が求められている。2011 年 7 月には、今後の四国の交通体系の課題や将来像について考える「四国における鉄道ネットワークのあり方に関する懇談会」の会合が、四国

4 県や四国運輸局、経済界、鉄道事業者の代表らが出席して開かれた。懇談会の一つの意見として、高速鉄道の導入が検討されている。これは鉄道の高速化による地域間の移動性の向上、災害時輸送路の確保、および利用者数の増加を通じた運輸収入の増加を目指したものである。しかしながら、その効果は定性的な検討にとどまっており、四国地域および鉄道事業にどのような影響をもたらすかは定量的には明らかとされていない。

そこで本研究では、四国に高速鉄道を導入する効果を経済的・社会的な観点から定量的に分析し、高速鉄道導入の社会的意義を明らかにする。現状の四国の鉄道ネットワークは概ね香川県を起点とする形状となっている。また、本州と鉄道が接続しているのは香川県だけである。ここでは現在の鉄道ネットワークを高速化するという想定の下、その効果を2035年までの人口動態の下で分析し、鉄道事業収支、利用者便益、交通量の変化、社会的便益を推計する。この分析に基づき、経済的効率性、社会的公平性の観点から鉄道の持続可能性と高速化の社会的意義を明らかにする。以上により、四国の交通政策形成に資することが本研究の目的である。

## 2. 既往研究と本研究の位置づけ

広域交通体系の改善は、直接的には事業者の経営や利用者の便益に影響を与え、間接的には帰着する便益の差により立地等に地域差が生じさせるものと考えられる<sup>4)</sup>。このため交通整備がもたらす影響について、その地域差を含めて分析し把握することは地域政策においても重要である。

既往研究では、新たな交通体系の整備を行う場合の建設費の算出および、整備後の観光客増加による地域振興効果の分析などは見受けられるが<sup>3) 5) 6)</sup>、事業者の経営改善効果の算出と、広域レベルでの便益変化を統合的に分析している研究はあまり見受けられない。紀伊<sup>1)</sup>は四国における公共交通の交通体系の整備に伴う事業者の収支の変化や、市町村単位での費用便益効果、環境面にもたらされる効果を算出し分析し、高速化が鉄道事業者の収支の改善や、利用者便益の波及効果を示している。しかしながら、高速鉄道の整備費用について検証が不十分であり、また、高速化を検討する路線が一部にとどまっている。さらに、一部の鉄道ネットワークの表現方法に課題があり、一部地域では高速化の効果を適切に表現できていない。

本研究では、先行研究のモデルシステムに新たなデータを追加し、現況をより適切に再現できるよう推計を行った。まず、先行研究では不備のある鉄道ネットワークを、現実の路線の接続状況と合致するよう改良を行った。次に、高速化を行う鉄道リンクに対して、速度向上分に応じて建設費を推計するようモデルシステムを改良し、高速化に伴うインフラ費用が鉄道事業者の支出に反映されるよう設定する。また高速化シナリオを追加し、表定速度を100 km/h, 150 km/h, 180 km/h, 200 km/hの4つの速度に高速化を行うシナリオを作成する。さらに先行研究では分析対象ではなかった高松—高知間の高速化シナリオを新たに作成し効果を推計する。特に高知県は近い将来発生すると考えられている南海地震に備えて、交通インフラの整備または高規格化が急務とされており、分析の必要性が高いと考えられる。

ただし、四国圏全域の交通状況の現況把握はデータの制約から現在のところ困難である。一方、交通行動データについては、大都市圏でデータの蓄積があり、数多くの研究がなされている。本研究では交通行動は交通条件に対する人間の応答であり、条件が同一ならば都市部・地方部を問わずに同一の行動をとると想定する。しかし、他地域のデータを用い作成されたモデルの移転性については十分な検証が必要であり、今後の当該地域での交通行動データの整備とそれを用いた検証が必要である。ただし、現在対象地域で得られている総輸送量や事業収支といった周辺情報と整合するようモデル推計値は調整さ

れており、対象地域の状況を再現している。このことから、本研究は対象地域の高速鉄道導入効果を厳密に評価するものではないが、限定されたデータに基づき効果を評価するフレームワークを提供し、概算値を推計する試みであり、詳細な検討を行う前の戦略検討段階で活用しうる方法と考える。

## 3. モデル推計とシナリオ設定

### (1) 研究方法

本研究では、四国4県（徳島県、香川県、愛媛県、高知県、ただし島嶼部を除く）を対象地域とし、都市間鉄道を高速化する場合の効果を経済的・社会的観点から分析する。高速化する路線は、高松—松山間（予讃線）、高松—徳島間（高德線）、高松—高知間（土讃線）の3つの路線とし、それぞれ100km/h, 150km/h, 180km/h, 200km/hに高速化する場合の鉄道事業収支、利用者便益、鉄道利用者数を2035年までの人口動態の下で推計する。この際、事業収支は路線ごと、利用者便益は四国内の市町村ごとに分析し、効果の地域差も推計する。また、高速鉄道導入に関わる建設費を考慮した、社会的便益を算出し、高速鉄道導入による効果について考察を行う。

### (2) 分析対象地域

対象地域は四国4県とし、分析の空間単位は市町村とする。また移動手段は徒歩、バス、鉄道、乗用車の4手段とし、徒歩は市町村内移動のみ選択され、その選択比率は他の手段のLOSによらず市町村内の平均移動距離と人口密度の関数として与える。ただし、市町村間の移動に海上交通を利用する必要がある4市町村を除き、91市町村を分析対象としている。図-1は対象とする市町村を示しており、青線は集約的に表した四国の鉄道ネットワークを示している。本研究では、愛媛県での短絡線建設を除き、在来線ネットワークを高速化する前提で分析を行う。

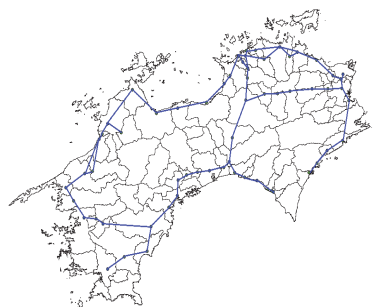


図-1 対象地域および鉄道ネットワーク

本研究では都市間鉄道についてはこの集約ネットワークを用い、都市内鉄道については、郊外から都心部へのアクセスリンクに集約して分析する。市町村のCBDは昼間人口重心で表し、市町村間の移動はCBD間の移動として表す。また市町村内の移動は、メッシュ人口に基づきメッシュ間の平均移動距離を求め、CBDからその平均距離だけ離れた代表地点を設定し、その地点間の移動として表現する。ただし、公共交通については、鉄道駅の座標とメッシュ人口より、市町村内の平均アクセス距離をそれぞれ求めている。

### (3) 分析フレーム

本研究では、高速鉄道導入の効果を図る指標として公共事業の収支、利用者便益、建設費等を考慮した社会的便益とする。しかし、各高速化シナリオをこれらの指標により評価できることが要件とされる。このため、交通戦略等による交通サービス水準(Level of service : LOS)変化、それに伴う交通行動変化と交通量変化、交通事業者収入と費用変化を整合的に表現可能なモデルが必要であり、またそれらは、利用者便益についても計量可能である必要がある。

そこで、本研究では図-2に示す分析フレームを設定した。ここで、交通機関は乗用車、バス、鉄道の3機関とし、分布交通は市町村単位で表す。乗用車のLOSおよびルートはODに対して固定的と想定し、リンクは明示的に考慮しないが、公共交通のLOSはシナリオ・戦略で変化するため、市町村間を結ぶ集約的なリンクを想定する。なお、バスについて、高速バスリンクについても考慮はしているが特定の区間を結ぶようなリンクは明示的に示していない。ただし機関分担率のモデルパラメータは、高速バスを含めた分担率を推計するモデルであり、高速バスを明示していなくても現況の機関分担率の推計にバイアスは生じていないと考えられる。

公共交通について、リンク別の車両数を設定すると、各ノードの期待待ち時間が算定され、これと表定速度に基づきリンクLOSを算定する。また、立地分布シナリオの下で公共交通へのアクセス距離が算定され、リンクLOSと併せてOD-LOSを算定する。OD-LOSと市町村人口に基づき発生・分布・分担交通量が算定されOD交通量が求められる。これをリンク交通量で集計し、運賃を乗ずることで交通事業収入を算定する。各リンクの投入車両数、路線長等の条件により事業費用が算定され事業収支を求める。

このフレームでは、利用者の交通行動を効用ベースのモデルで表し、交通戦略による利用者便益を算定する。交通事業者は戦略目標に基づき各リンクの投入車両数を決定する。

### (4) 交通需給モデル

本モデルは、円山ら<sup>2)</sup>交通需要統合型ネットワーク均衡モデルを参考に、発生・分布・分担までをネスティッドロジットモデルを用いて表現している。このモデルでは、需要推計フローは従来の4段階推定と同様だが、下位のサービス水準を上位の選択要因として用いることで、交通戦略によるLOS変化が交通発生にまで与える影響を反映することが出来る。

本研究では交通需要は都市内交通と都市間交通に分けて分析する。都市内交通とは、都市圏内での交通であり、都市間交通とは県をまたがる移動を表す。なお都市圏は概ね通勤圏を表している。ここでは都市圏内の移動は、都市圏間の移動と比較して必需的な移動が多いと考えられるため、交通発生原単位は固定的に与えるが、都市間の移動では発生原単位そのものが移動性や目的地の魅力等の影響を受けると考えられるため、集約的な交通LOSの関数として求める。以下、都市内交通需要モデルと都市間交通需要モデルを説明する。

#### a) 都市内交通需要モデル

需要モデルでは、OD間の費用と所要時間が交通機関ごとに与えられていると想定する。OD- $ij$ における交通機関 $k$ の所要時間を $t_{ijk}$ 、費用を $c_{ijk}$ とし、時間価値を $\omega$ とする。このとき、交通機関 $k$ の選択確率をロジットモデルを用いて以下のように表す。

$$Pr_{ijk} = \frac{\exp(\theta_c \cdot (\omega \cdot t_{ijk} + c_{ijk}) + \theta_k)}{\sum_{k'} \exp(\theta_c \cdot (\omega \cdot t_{ijk'} + c_{ijk'}) + \theta_{k'})} \quad (1)$$

ここで、 $\theta_c$ は分散パラメータであり、 $\theta_k$ は交通機関 $k$ のダミーパラメータである。このとき、OD- $ij$ の期待最小一般化費用は次式で表される。

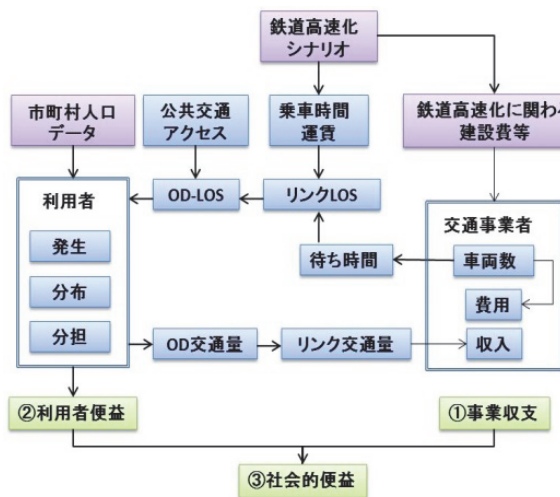


図-2 分析フレーム

$$C_{gij} = \frac{1}{\theta_c} \log \left\{ \sum_k \exp(\theta_c \cdot (\omega \cdot t_{ijk} + c_{ijk})) + \theta_k \right\} \quad (2)$$

次に、目的地選択確率を同様にロジットモデルを用いて以下のように表す。

$$\Pr_{ij} = \frac{\exp(\theta_p \cdot \log(N_j) + \theta_g \cdot C_{gij})}{\sum_{j'} \exp(\theta_p \cdot \log(N_{j'}) + \theta_g \cdot C_{gj'})} \quad (3)$$

ただし、 $N_j$ は目的地  $j$  の人口、 $\theta_p, \theta_g$  はパラメータであり、一人あたりの交通発生原単位を  $q$  とすると、OD- $ij$  の交通量は  $Q_{ij}$  および機関別交通量  $Q_{ijk}$  は次式となる。

$$Q_{ij} = q \cdot N_i \cdot \Pr_{ij} \quad (4)$$

$$Q_{ijk} = Q_{ij} \cdot \Pr_{ijk} \quad (5)$$

ただし、発生原単位  $q$  は徒歩・自転車等による発生量を除いたものとする。結局、機関別 OD 交通量は OD 間の所要時間、費用、および発着地の人口の関数となる。

#### b) 都市間交通需要モデル

都市間交通需要モデルにおいても、式(1)~(3)で表される機関選択確率、目的地選択確率は全く同様に定式化される。ただし、都市間移動では、出発地と同一圏内への移動は対象外とし、目的地集合を  $\Omega_i$  と表す。ここで、都市間交通では需要は LOS に関して弾力的であると想定し、発生原単位を出発地の期待費用の関数として表す。式(3)より、出発地  $i$  における都市間移動の期待最小一般化費用を次のように表す。

$$C_{gi} = \frac{1}{\theta_g} \log \left\{ \sum_{j' \in \Omega_i} \exp(\theta_p \cdot \log(N_{j'}) + \theta_g \cdot C_{gj'}) \right\} \quad (6)$$

この費用を用いて、出発地  $i$  の都市間交通発生量  $Q_i$  を次式で表す。

$$Q_i = \frac{\theta_{g2} \cdot N_i}{1 + \exp(\theta_{g0} + \theta_{g1} \cdot C_{gi})} \quad (7)$$

式(4)の  $q \cdot N_i$  の代わりに  $Q_i$  を用いることで、OD 交通量が求められ、式(5)により都市間の機関別 OD 交通量を求められる。

#### c) リンク交通量

交通機関  $k$  について、都市内の OD 交通量  $Q_{jk}^U$  を、都市間の OD 交通量を  $Q_{jk}^I$  とし、両者の和を  $Q_{jk}$  とする。

このとき、交通機関  $k$ 、リンク  $a$  の交通量  $Q_a^k$  は次式のように表される。

$$Q_a^k = \sum_{ij \in \Omega_a} Q_{ijk} \quad (8)$$

ここで、 $\Omega_a$  は経路上にリンク  $a$  を含む OD の集合を表す。各リンクの投入車両数、路線長等の条件により事業費用が算出され、それらを用いて、事業収支を求める。ただし、乗用車については費用は考慮しない。

#### d) 交通 LOS 算定方法

本研究では、乗用車の LOS は OD で固定的に与える。一方、公共交通の LOS は各リンクに投入する車両数により変化すると仮定する。交通機関  $k$ 、リンク  $a$  の車両数を  $n_a^k$ 、路線長を  $l_a^k$ 、速度を  $v_a^k$ 、ターミナルでの停車時間を  $t_a^{*k}$  とすると、当該リンクの期待待ち時間  $t_{ak}^w$  は次式で表される。

$$t_{ak}^w = (l_a^k / v_a^k + t_a^{*k}) / n_a^k \quad (9)$$

また、立地分布より公共交通へのアクセス距離が算定され、リンク LOS と伏せて OD-LOS を算出される。出発地  $i$ 、目的地  $j$  の OD を結ぶ交通機関  $k$  のルートはただ一つとして、そのルートに含まれるリンク集合を  $\Omega_{jk}$  とする。このとき、OD- $ij$  の乗車時間  $t_{ijk}^r$ 、期待待ち時間を  $t_{ijk}^w$  それぞれ次式で定義する。

$$t_{ijk}^r = \sum_{a \in \Omega_{jk}} \frac{l_a^k}{v_a^k} \quad (10)$$

$$t_{ijk}^w = \left\{ \frac{1}{|\Omega_{jk}|} \cdot \sum_{a \in \Omega_{jk}} (t_{ak}^w)^\gamma \right\}^{1/\gamma} \quad (11)$$

ただし、 $|\Omega_{jk}|$  はリンク集合の要素数である。ここで、期待待ち時間はルート上のリンク待ち時間の一般化平均で表しており、 $\gamma$  が十分大きければ、リンク待ち時間の最大値となる。また、鉄道駅、バス停までのアクセス時間を  $t_{ik}^a$  と表す。すると OD- $ij$  間の総所要時間  $t_{ijk}$  は次式となる。

$$t_{ijk} = t_{ijk}^r + t_{ijk}^w + t_{ijk}^a \quad (12)$$

次に、交通機関  $k$  の初乗り運賃を  $c_{0k}$ 、人キロあたりの賃率を  $c_{1k}$  とすると、OD- $ij$  の交通コスト  $c_{ijk}$  は次式となる。

$$c_{ijk} = c_{0k} + c_{1k} \sum_{a \in \Omega_{ijk}} l_a^k \quad (13)$$

#### e) 交通事業収入と支出

OD- $ij$ における交通機関  $k$  の運賃収入  $I_{ij}^k$  は、式(8)の  $Q_{ijk}$  と式(13)の  $c_{ijk}$  を用いて次のように表される。

$$I_{ij}^k = c_{ijk} \cdot Q_{ijk} \quad (14)$$

これを全ての OD について合算したものが対象地域の運輸収入となる。ただし、リンク別の採算性を評価するために、リンク  $a$  の運賃収入を次式で定義する。

$$I_a^k = \sum_{ij \in \Omega_a} I_{ij}^k \cdot \frac{l_a}{\sum_{a' \in \Omega_{ijk}} l_{a'}} \quad (15)$$

これは、OD 間の運賃を乗車距離に応じて案分していることを意味する。一方、年間運行時間を  $H$  とすると、該当リンクの年間運行距離  $L_a^k$  は次のようになる。

$$L_a^k = H \cdot v_a^k \cdot n_a^k \quad (16)$$

鉄道ではインフラコストを無視できないため、路線維持費、車両維持費、輸送費に分けて推計する。路線長あたり費用を  $c_L^k$ 、列車数あたりの費用を  $c_N^k$ 、運行距離あたり費用を  $c_D^k$  とすると、リンク  $a$  の年間費用は次式となる。

$$C_a^k = c_L^k \cdot l_a^k + c_N^k \cdot n_a^k + c_D^k \cdot L_a^k \quad (17)$$

ここで、利用者の交通行動を効用ベースのモデルで表しているため、公共交通戦略による利用者便益を算定することができる。

#### f) 高速鉄道導入における建設費の算出

高速化対応に関わる建設費は九州新幹線の博多・新八代間および新八代・鹿児島中央間の事後評価報告書<sup>7)</sup>に基づき設定した。対象区間は 256.8 km であり、建設事業費は総額 1 兆 4424 億円である。事業期間を 50 年として、年間費用を 1 億 1234 万円と設定し、これを社会的費用とする。ただし、事業期間 50 年の利子は考慮しないこととしている。なお、九州新幹線博多・鹿児島中央間の高架橋区間構成率は 31.5%、トンネル区間構成率は 50% となっており、全国の整備新幹線の中で双方とも高い構成率となっている。四国は平野が少なく山が多いため、高速化には九州新幹線と同様、多くの高架橋やトン

ネルの整備が必要と考えられる。実際の事業費の算定には具体的な路線を設定し、その地形に基づく積算が必要とされるが、本稿では、キロあたり単価を九州新幹線と同程度と仮定することで事業費の概算を行う。

一方、整備新幹線では JR は受益に応じた貸付料を支払うこととされており、九州新幹線の博多・新八代間では年間 81.3 億円、新八代・鹿児島中央間では年間 20.4 億円とされている。本研究では両区間の貸付料の合計値を九州新幹線建設の際の貸付料と考え、101.7 億円とする。またここでは、単純化のため九州新幹線の貸付料をあらかじめ事業者の費用として設定する。事業期間を同じく 50 年と設定し、本研究の路線長あたりでは、年間約 3500 万円/キロの費用増加となるように設定した。

先行研究では高速化を行う区間に、高速化の速度に関わらず社会的費用、貸付料の満額が発生すると設定していた。しかしこの設定では、表定速度 100 km/h に高速化する場合と 200 km/h に高速化する場合の費用が同額ということになり、高速化の建設費を適切に表しているとは言えない。そこで本研究では高速化を行う速度毎に、社会的費用、貸付料が変化するモデル式を作成し、さらにリンクごとの速度変化量にも対応付けを行った。表定速度 200km/h に高速化する場合の費用を  $P_F$ 、現在の最高表定速度を  $V_{\max}$ 、最低表定速度を  $V_{\min}$ 、建設費を求めたいリンク間の表定速度を  $V_x$ 、設定する速度を  $V^*$  とする。このとき、各リンク間における建設費用  $V_x$  は以下のように表す。

$$P_x = \frac{-P_F/2}{V_{\max} - V_{\min}} \cdot (V_x - V_{\min}) + \left( P_F - \frac{P_F}{2} \right) \cdot \frac{V^* - V_{100}}{V_{200} - V_{100}} + \frac{P_F}{2} \quad (18)$$

ここでは、最高表定速度  $V_{\max}$  を 100 km/h、最低表定速度  $V_{\min}$  を 40 km/h と設定する。最低表定速度 40 km/h を 200 km/h に高速化する際に、JR に貸付料として 3500 万円/キロが費用増加すると考え、100 km/h に高速化する場合は、その半分である 1750 万円/キロの費用増加と仮定する。その他の 150 km/h、180 km/h は線形的に増加すると仮定し建設費用の増加分を設定した。

#### (5) 評価指標の定式化

本研究での評価指標は、交通事業収支、利用者便益、社会的便益である。以下では各評価指標を定式化する。

##### a) 交通事業者収支

式(15)、式(17)を用い、リンク  $a$  の事業収支  $FB_a^k$  を次式で定義する。

$$FB_a^k = I_a^k - C_a^k \quad (19)$$

これを全てのリンクについて合算したものが、対象地域の事業収支となる。

### b) 利用者便益

利用者便益 LOS を固定して、鉄道の高速化を行わない場合（以下、基準シナリオ）に対する各高速化シナリオの期待最小一般化交通コストの差として定義される。ここでは台形公式を用い、式(6)の出発地別の期待最小費用  $C_{gi}^o$  と式(7)の発生交通量  $Q_i$  を用いて、出発地  $i$  における便益  $UB_i$  を次のように定義する。

$$UB_i = \frac{1}{2} \cdot \sum_{IU} (Q_i^w + Q_i^o) \cdot (C_{gi}^o - C_{gi}^w) \quad (20)$$

ただし、 $w, o$  はそれぞれ対策有り無しを表す記号であり、また、 $I, U$  は都市間交通、都市内交通に関して和を取ることを意味している。なお、式(6)、(7)は都市間交通についてのみ定義しているが、式(6)については都市内交通についても同様に計算することが可能である。一方、式(7)の発生交通量は、都市内では固定的に与えているため、対策の有無によって値は変わらない。

### c) 社会的便益

社会的便益とは、高速化を行わない場合の収支と高速化を行った場合の収支の差と利用者便益を合算したことから、高速鉄道導入に関わる建設費用、ここでは収支に企業が支払う貸付料が含まれており重複しているため、それらを差し引いて得られる値である。社会的便益を  $SB$ 、利用者便益を  $UB^w$ 、高速化する場合の収支  $I^w$ 、高速化を行わない場合の収支を  $I^o$ 、高速鉄道導入による全建設費を  $CC^w$ 、事業者が負担する建設費を  $C_i^w$  として以下の式で表す。

$$SB = UB^w + (I^w - I^o) - (CC^w - C_i^w) \quad (21)$$

## (6) 交通需要モデルの推計

### a) 市町村内の移動距離と徒歩率の推計

市町村内の移動距離を把握するためにはパーソントリップ調査が必要だが、四国圏全域について利用可能なデータは存在しない。ここでは、平成11年東京都市圏パーソントリップ（以下、東京PT）調査データに基づき目的地選択モデルを作成し、これを四国圏内の各市町村に適用することで都市圏内の移動距離を推計する。なお、東京と四国では公共交通の整備レベルが明らかに異なるが、ここでは人々の機関に対する選好を求めている。すなわち一般化費用が機関選択に与える影響及び目的地選択等に関わる人々の判断基準を推計しており、それらが両地域で共通しているものと仮定して分析を行っている。

$$Pr_{ji} = \frac{N_j^{d_{ij}} \exp(\theta_1 \cdot d_{ij})}{\sum_{j'} N_{j'}^{d_{ij'}} \exp(\theta_1 \cdot d_{ij'})} \quad (22)$$

ただし、 $N_j^d$  は目的地  $j$  の昼間人口、 $d_{ij}$  は  $ij$  間の距離、 $\theta_1, \theta_2$  はパラメータを表す。東京PTに基づき、高齢者、非高齢者別にキャリブレーションでパラメータを求めた。得られたパラメータと目的地選択確率の統計値と推計値の相関係数を表-1に示す。

このモデルは、距離が近く昼間人口の多い目的地ほど選択確率が高まることを表している。従って、人口の地理分布がコンパクトな市町村ほど、移動距離は短くなる。このモデルを四国の市町村内の3次メッシュでの目的地選択に適用し、各市町村の平均移動距離を求めた。

$$d = \frac{\sum_i q_i \cdot \sum_j d_{ij} \cdot Pr_{ji}}{\sum_i q_i} \quad (23)$$

都市  $i$  における徒歩率を次式により推計する。

$$Pr_i^w = \frac{1}{1 + \exp(\theta_3 + \theta_4 \cdot d_i^{\theta_6} + \theta_5 \cdot (N_i / A_i)^{\theta_7})} \quad (24)$$

ただし、都市内の移動距離は高齢者と非高齢者の人口比率で重み付けした平均値を用い、徒歩率の推計においては高齢者と非高齢者を区別しない。キャリブレーションにより推計されたパラメータと徒歩率の統計値と推計値の相関係数を表-2に示す。

パラメータより、移動距離が短く、人口密度が高いほど徒歩率が高いモデルとなっている。

表-1 都市内目的地選択モデル

	非高齢者	高齢者
$\theta_1$	-0.169	-0.217
$\theta_2$	0.457	0.448
相関係数	0.929	0.943

表-2 徒歩率推計モデルパラメータ

$\theta_3$	6.23
$\theta_4$	1.87
$\theta_5$	-7.75
$\theta_6$	0.0936
$\theta_7$	0.0240
相関係数	0.54

なお、このモデルパラメータに加え、現況の徒歩率と一致するよう、市町村にダミーパラメータを設定する。

#### b) 都市内交通モデル

推計された都市内機関分担モデルと目的地選択モデルのパラメータおよび相関係数を表-3に示す。ここでは、ネスティッドロジットモデルの目的地選択と機関分担のパラメータを同時に推計している。対象は市町村間および市町村内の通勤交通であり集計データ数は529である。機関選択における一般化費用、鉄道・バスダミー、目的地選択におけるログサムおよび昼間人口のパラメータは符号条件を満たしており有意である。また、モデルの尤度比、および輸送量でみた推計値と実測値の相関係数は十分高い値が得られている。

#### c) 都市間交通モデル

幹線旅客純流動データは県をまたぐ生活圏間のOD交通を与えている。このため、モデル推計では市町村単位で推計される分担率を生活圏で集計したうえで、尤度関数を設定する必要がある。まず、市町村*i*における目的地*j*の選択確率、および*ij*間における交通機関*k*の選択確率をそれぞれパラメータベクトル $\theta$ の関数と見なして、 $Pr_{ij}(\theta)$ 、 $Pr_{ijk}(\theta)$ と表す。このとき、生活圏*L*における生活圏*J*を目的地とする確率 $Pr_{ij}$ 、および*LJ*間で交通機関*k*を選択する確率 $Pr_{ijk}$ はそれぞれ次のように表される。

$$Pr_{ij}(\theta) = \frac{\sum_{j \in \Omega_j} \sum_{i \in \Omega_i} Q_i \cdot Pr_{ij}(\theta)}{\sum_{i \in \Omega_i} Q_i} \quad (25)$$

$$Pr_{ijk}(\theta) = \frac{\sum_{j \in \Omega_j} \sum_{i \in \Omega_i} Q_i \cdot Pr_{ij}(\theta) \cdot Pr_{ijk}(\theta)}{\sum_{j \in \Omega_j} \sum_{i \in \Omega_i} Q_i \cdot Pr_{ij}(\theta)} \quad (26)$$

ここで、 $Q_i$ は市町村*i*における交通発生量、 $\Omega_i$ は生活圏*L*に含まれる市町村の集合である。生活圏*L*において生活圏*J*を目的地とする比率を $q_{LJ}$ 、*LJ*間における交通機関*k*の分担率を $q_{Ljk}$ とすると、都市間交通モデルのパラメータは以下の尤度関数を最大化する点として求められる。

$$LL = \sum_{L,J} q_{LJ} \cdot \ln(Pr_{LJ}(\theta)) + \sum_{L,J,k} q_{Ljk} \cdot \ln(Pr_{Ljk}(\theta)) \quad (27)$$

推計されたパラメータと実測値と推計値の相関係数を表-4に示す。なお、集計に用いたデータは幹線旅客純流動データの生活圏間ODのうち、交通量が0より大きい140組の機関別交通量を用いた。また、都市間交通においても都市内交通と同様にすべての項目でパラメータの符号条件を満たしており有意であり、機関別輸送量の再現性についてはバスを除いて高い相関が得られている。

なお、交通発生量は、現況値と一致するよう市町村毎に調整係数を乗じている。

また本モデルを用いて推計される鉄道事業者収支は、収入が260億円、支出が380億円の120億円の赤字となっている。2008年の鉄道運送統計年報によれば、四国の鉄道事業者の収支は270億円、支出は350億円であり、それぞれ10億円と30億円の差となっており、推定誤差は4~7%程度である。これより、本モデルは鉄道事業収支についておおむね妥当な推計を与えると考えられる。

#### (7) 人口分布シナリオ

本研究では、市町村別の将来人口シナリオを国立社会保障・人口問題研究所「日本の市町村別将来推計人口」に基づき与える。ただし、都市内の交通機関分担率は人口の地理的配置で異なるため、ここでは3次メッシュの人口も推計している。推計では、まずメッシュ毎にコーホート法を適用し、次に市町村毎の集計値が人口研の推計値と一致するよう、年齢階層ごとの人口を一様に調整した。これにより、人口研の市町村別人口と整合的なメッシュ人口を設定している。

表-3 都市内交通推計モデルパラメータ

	パラメータ	t値
一般化費用(円)	-0.00071	-1012.95
鉄道ダミー	-0.761	-472.866
バスダミー	-1.433	-147.749
目的地選択ログサム	1.279	469.737
目的地選択昼間人口	0.474	276.005
尤度比	0.399	
相関係数	OD交通量	0.997
	自動車輸送量	0.991
	鉄道輸送量	0.958
	バス輸送量	0.981

表-4 都市間交通推計モデルパラメータ

	パラメータ	t値
一般化費用(円)	$-9.55 \times 10^5$	-724.877
鉄道ダミー	-3.188	-103.207
バスダミー	-3.186	-71.724
目的地選択ログサム	3.315	634.184
目的地選択昼間人口	0.991	129.103
尤度比	0.279	
相関係数	OD交通量	0.844
	自動車輸送量	0.999
	鉄道輸送量	0.788
	バス輸送量	0.300

## 4. 鉄道高速化による効果分析

### (1) 鉄道事業者収支

図-3に基準シナリオでの鉄道事業者収支と100km/hと200km/hに高速化を行う場合の収支のそれぞれの差を示す。ただし、150km/hと180km/hに高速化した場合の推計結果については、図の視認性のため割愛している。また、この分析方法では高速化する年次に便益が発生すると想定し、人口の変化に伴うその評価値の変化の把握を目的としている。このため、高速化が完了する年次は想定せず、2000年以降の分析結果を示している。

100km/hに高速する場合、2000年時点で高松－徳島間で約14億円、高松－松山間では約12億円の収支改善となり、高松－徳島間を高速化する場合の効果が最も大きいことがわかる。しかし、高松－高知間では収支がマイナスに転じる結果となり、最大2億円ほど収支が悪化する結果となった。次に200km/hに高速化する場合では、高松－松山間で約30億円、高松－徳島間で約22億円の収支改善となった。また、この場合、高松－松山間の高速化の効果が最も大きい結果になった。高速化シナリオによって最も効果がある路線が変化した要因として路線長が関係していると考えられる。高松－松山間の路線長は149.3km、高松－徳島間は74.5kmでおよそ2.5倍の差があり、速度が速くなることで、高速化による効果がより反映されやすくなったと考えられる。ただし、高松－高知間では100km/hの場合と同様に収支がマイナスとなり、その幅も大きくなる結果となった。高松－高知間で収支が悪化する原因として、高速化による利用者増加量が他の路線と比べて小さく、同時に運賃収入の増加も小さいことが考えられる。よって運賃収入の増加分より路線使用料の増加が上回ることにより収支が悪化するという結果となった。

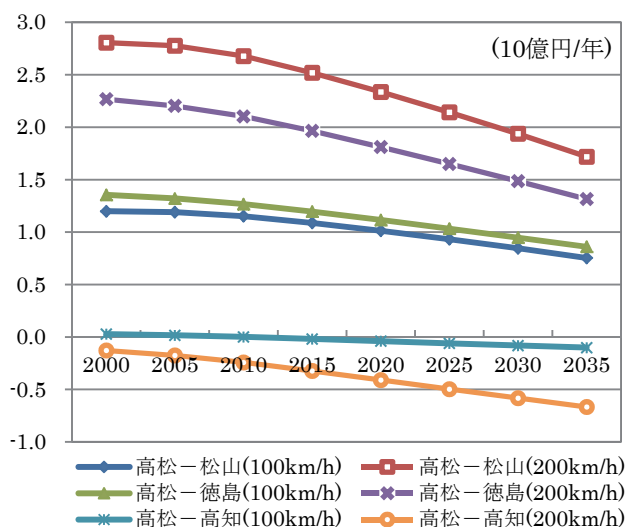


図-3 高速鉄道導入による事業者収支の変化量

### (2) 利用者便益

利用者便益は、式(20)に示すように、LOSを固定した基準シナリオに対する各ケースの期待最小一般化交通コストの差として定義される。高松－松山間、高松－徳島間、高松－高知間のそれぞれを200km/hに高速化した場合の利用者便益変化の地理分布を図-4に示す。なお、便益は対策がもたらす効用水準変化を貨幣単位で表したものであり、ここでは基準シナリオからの変化として示している。

高松－松山間における利用者便益の変化は、100km/hに高速する場合2000年時点で約40億円、200km/hに高速化する場合においては約80億円の便益が発生するという結果が得られた。特に、図-4左上図より新居浜市や伊予西条市において大きな便益が発生することがわかる。

高松－徳島間では、100km/hに高速する場合2000年時点で約30億円、200km/hに高速化する場合においては約50億円の便益が発生するという結果が得られた。特に、図-4右上図より、東かがわ市、板野町、藍住町において大きな便益が発生することがわかる。

高松－高知間では、100km/hに高速する場合2000年時点で約7億円、200km/hに高速化する場合においては約30億円の便益が発生する結果が得られた。特に、図-4下図より、坂出市、大豊町、南国市、三好市において大きな便益が発生することがわかる。

いずれの路線においても、利用者便益の発生は高速化を行う路線沿線の市町村のみならず、その市町村に隣接する市町村まで効果が波及しており、四国全体に効果が波及するという結果が得られた。

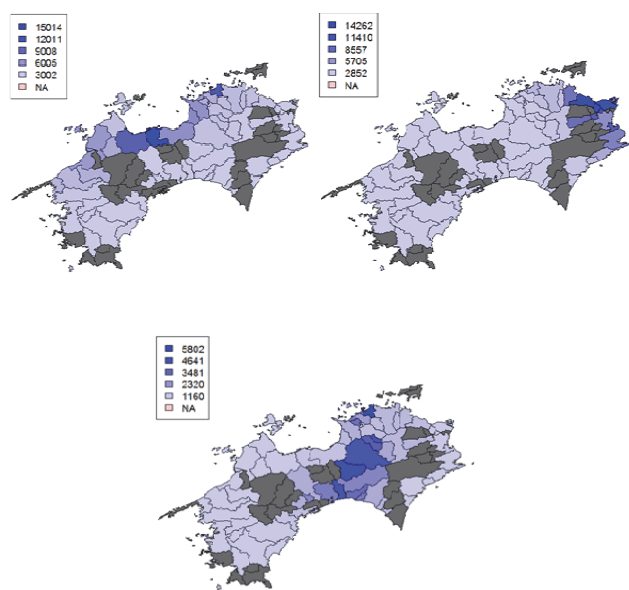


図-4 高速鉄道導入による利用者便益変化の地理分布 (左上図：高松－松山間、右上図：高松－徳島間、下図：高松－高知間)



### (3) 社会的便益

社会的便益は、式(21)に示すように、高速化有無の収支差と利用者便益の和から、高速鉄道導入に関わる建設費用を差し引いたもので定義する。ただし、建設費には鉄道事業者が支払う貸付料が含まれているため、重複分を差し引いている。社会的便益が正の値であれば、高速鉄道導入が鉄道事業者だけでなく社会的にも意義があると評価できる。一方で、社会的便益が負の値ならば、経済的または社会的な効果がないと考える。

高松－松山間における社会的便益の変化は、100km/hに高速する場合2000年時点で約50億円、200km/hに高速化する場合においては約100億円の便益が発生するという結果が得られ、3路線の中で最も高速鉄道導入の効果が大きい路線であることがわかる。

高松－徳島間における社会的便益の変化は、100km/hに高速する場合2000年時点で約40億円、200km/hに高速化する場合においては約70億円の便益が発生するという結果が得られた。

高松－高知間における社会的便益の変化は、100km/hに高速する場合2000年時点で約5億円、200km/hに高速化する場合においては約20億円の便益が発生するという結果が得られ、100km/hに高速化する場合においてはわずかであるが効果があることがわかった。

また、経済的に便益が低下しているのは、人口減少を反映している。利用者便益は一人あたりのサービス水準の向上に人口を乗じているため、人口が減少すると全体のその総和も減少する。

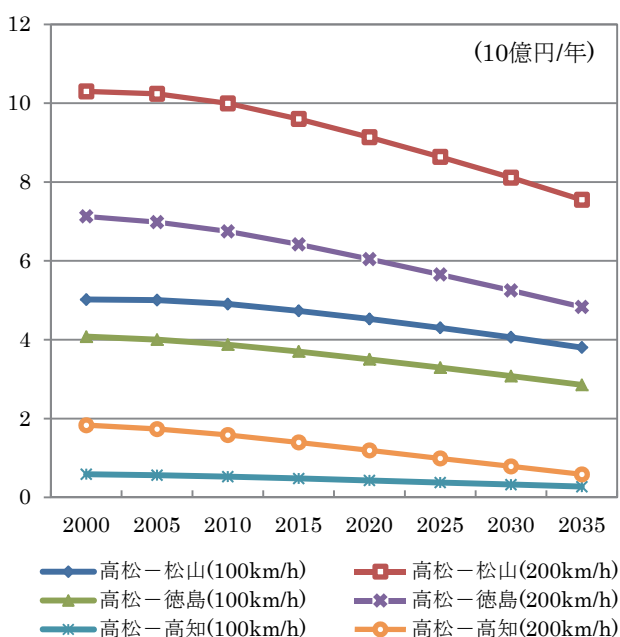


図-5 高速鉄道導入による社会的便益の変化量

### 5. おわりに

本研究では、香川を起点とする四国の県庁所在地間の高速鉄道導入の効果を経済的・社会的な観点から定量的に分析し、高速鉄道導入の社会的意義を明らかにすることを試みた。具体的には高松を起点に、高松－松山間の予讃線、高松－徳島間の高徳線、高松－高知間の土讃線を高速化する場合の効果を2035年までの人口動態の下で分析し、鉄道事業収支、利用者便益、社会的便益の推計を行った。その際、事業収支は路線ごと、利用者便益は四国内の市町村ごとに推計した。

その結果、高速鉄道導入により高松－松山間および高松－徳島間において、鉄道事業の収支の赤字幅を改善する結果となった。しかし、高松－高知間では、一部のシナリオを除き赤字幅が拡大する結果となった。ただし、ここでは料金を固定しているため、料金を変化させる場合異なる結果が得られる可能性がある。また、利用者便益については、100km/hに高速化した場合では年間10億円から40億円ほど、200km/hに高速化した場合では年間30億円から80億円ほどの便益が、いずれの路線でも発生する結果となった。さらに、高速化を行う路線沿線の市町村のみならず、それ以外の市町村にまで効果が波及し、四国全体で利便性が向上する結果が得られた。また、社会的便益についてはすべてのシナリオにおいてプラスと推計され、高速鉄道導入に関わる建設費等を考慮しても、効果があることがわかった。以上より、2035年度の人口動態の下で高速鉄道導入は、経済的および社会的に一定の効果をもたらすことが示された。

ただし本研究では、高速鉄道導入による効果を鉄道事業者収支、利用者便益、高速鉄道導入に関わる建設費および、それらを合算した社会的便益のみで評価しており、また利用者便益は、鉄道高速化による目的地までの時間短縮しか考慮されていない。また、今回の分析結果では、200km/hで社会的便益が最も高くなっているが、必ずしも高速化するほど社会的便益が増加するわけではなく、建設費用とのバランスで捉えることが必要である。ここでは現状の検討状況から200km/hよりも高速化することは現状のネットワークを前提とすると現実的ではないと想定したが、建設費用のモデルをより精緻化したうえで最適な速度についても今後検討が必要であると考えられる。

高速鉄道の導入は、目的地までの時間短縮だけでなく、線路や信号などの高規格化による防災性の向上や、緊急時の輸送インフラとしての機能改善等が期待される。また、本研究では、県外からの観光客の流入は固定的に与えていたため、高速鉄道の導入により増加が見込まれる交流人口をシナリオごとに推計するようモデルの改良が必要である。また、交流人口の増加による地域経済への

影響は分析しておらず、経済効果について、より広い観点から評価する必要がある。さらに、速度の設定については仮想的な状況を想定しており、より現実を反映した設定が必要である。

以上のように、より幅広い評価指標用を推計できるようなモデルシステムの改良を行い、より精緻な高速鉄道導入の効果を経済的・社会的な面から分析を行うことが今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 紀伊雅敦：国土情報を活用した都市・交通戦略のクロスアセスメント手法に関する研究，国土政策関係研究支援事業研究成果報告書，2010。
- 2) 円山琢也，原田昇，太田勝敏：大規模都市圏への交通需要統合型ネットワーク均衡モデルの適用，土木

- 計画学会研究・論文集，Vol. 9, No. 3, pp. 551-560, 2002.
- 3) 中川大，波床正敏：利用者便益を考慮した整備新幹線の評価に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol. 27, No. 242, 2003.
- 4) 中里透：交通関連社会資本と経済成長，日本経済研究，No. 43, 2001.
- 5) 中岡良司，今尚之，佐藤整一：相対時間からみた新幹線の整備効果に関する研究，土木史研究，第 15 号，1995.
- 6) 松本卓也，山口修司：整備新幹線の開業効果について，土木計画学研究・講演集，Vol. 33, 2009.
- 7) 独立行政法人鉄道・運輸機構：九州新幹線事業に関する事後評価報告書，2009.

(2013. 2. 25 受付)

## SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF HIGH-SPEED RAIL IN SHIKOKU REGION

Shitaro SONE, Masanobu KII and Kenji DOI

The Railway in Shikoku region is less competitive than private cars in terms of its speed. Coupled with the motorization and de-population, the number of passengers has been drastically declined and that makes it difficult to keep the regional network because of the decline of income from passenger. Railway is expected to have a role of a basic social infrastructure to ensure the right to travel of people, and role of a strategic infrastructure for sustainable society. In this study, the socio-economic impact of high-speed rail in Shikoku is examined under the de-populating situation until 2035.

As a result, the speed up of railway will increase the number of passengers and improve the financial condition of railway operators. These results indicate that the public investment on high speed rail in Shikoku can be justified from the view point of efficiency and equity.