

全国幹線鉄道ネットワークにおける技術組み合わせと速度向上水準の最適決定*

Optimal Speed and Technical Options for Speed-up on Intercity Railway Network

上村拓哉**・家田 仁***・加藤浩徳**・永井邦彦****

By Takuya KAMIMURA**, Hitoshi IEDA***, Hironori KATO**, Kunihiko NAGAI****

1. はじめに

近年、世界的に幹線鉄道の高速化が鋭意行われてきている。これは短距離域での自動車交通及び長距離域での航空に対して鉄道の優位性を発揮できる距離帯を速度向上によって拡大し、環境改善その他の社会的便益の向上と鉄道事業の採算性を期待するものである。

こうした目的意識をもとにした鉄道の速度向上のための投資は内外ともに、多かれ少なかれ公的セクターの財政的助成を前提にすることが多い。しかし、その場合、各線区でどのような速度水準が達成されるべきなのか、需要と距離帯に応じてインフラストラクチャー（インフラ）と車両（ビークル）など非インフラのどちらの改良に重点を置くべきなのか、そのためには公的セクターはどの程度の助成をすべきなのか、などという問いに対しては未だ答えを出すに足る明確な根拠は用意されていない。

従来の速度向上に関する研究¹⁾では具体的な線区を想定して、ある技術組み合わせに対しての費用と収入を算定している。この場合、費用面においてかなりの確かな算定が可能になるものの、全国レベルでの算定を行うことは作業量的に困難である。ある程度精度を犠牲にしてでも全国を視野におさめた研究の意義がここに存在すると思われる。

そこで、本研究においては、

- (1) わが国の幹線旅客輸送を対象とし、全国各地域間の全機関合計のODと対抗交通機関のサービスレベルを所与として、ある線区においてある技術組

み合わせによって実現する速度水準とその時の便益、利潤、費用の算定を行う「幹線鉄道高速化モデル」の構築

- (2) 幹線鉄道高速化モデルを用い、全国鉄道網において鉄道事業者利潤を最大化させる時・社会便益を最大化させる時それぞれの速度水準と技術組み合わせの算定を目的とする。

なお、本研究が対象とする速度向上は以下のような前提によるものを指すものとする。

- (1) わが国の現在県庁所在地レベルの都市間を結んでいる線区を対象とする。特急列車に加えて岡山-高松の快速列車なども含まれる。
- (2) 対象とする速度向上はインフラの改良と車両の改良によるものとする。
- (3) 対象とする改良は大規模な線形改良などを伴わないものとする。

2. 幹線鉄道高速化モデルの構築

(1) 幹線鉄道高速化モデルの概要

幹線鉄道高速化モデルは全部で4つのサブモデルから構成され、今後サブモデルの精度の改善、計測対象の拡大などがあった際に、その部分の改良のみで全体の改良を行うことができる。本モデルの入出力関係は図1のようになっている。

(2) 輸送マーケットサブモデル

本サブモデルでは対抗交通機関の条件と鉄道の速度水準、料金水準、および全国の幹線鉄道のOD交通量が与えられたときの鉄道各線区の需要と収入を出力する。

本サブモデルではあるODについて鉄道、道路、航

*キーワード：鉄道計画、総合交通計画、公共交通需要

**学生員、東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻

***正員、工博、東京大学工学部土木工学科助教授

****学生員、工修、東京大学大学院工学系研究科土木工学専攻

(東京都文京区本郷7丁目3番1号、TEL 03-3812-2111、FAX 03-5800-6868)

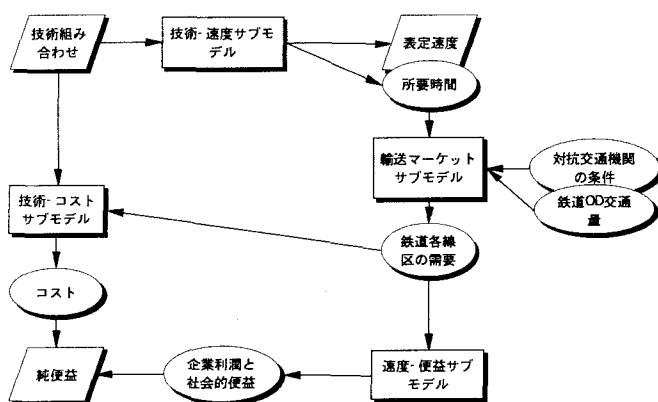


図1 幹線鉄道高速化モデルの入出力関係

空の3機関から利用者が認知する一般化費用の最も小さい機関を確率的に選択している。また、鉄道、道路内での経路選択についてはOD毎の最短経路に全交通量が流れるものとし、その経路上のリンクにリンク交通量を配分した。

ゾーンは50ゾーン（北海道のみ4分割、他は都府県）とし、ゾーン内の発生交通はそのゾーンの中にひとつ存在するセントロイド（原則的に都道府県庁所在地）から発生するとしている。ネットワークは全国における鉄道、道路、航空の3機関の平成元年当時のものを簡略化して用いた。また、輸送量に関するデータとしては平成元年度の旅客地域流動調査の内、定期券のデータを差し引いたものを用いた。

以下、本サブモデル中において鉄道分担率を算出する部分について述べる。

(a) OD間コストの算定

まず最初に、各機関ごとに所要のOD間一般化費用を算定した。なお各交通機関についてそれぞれ以下のような仮定をおいた。

①鉄道

鉄道料金（運賃と特急料金の和）は距離に比例すると考え、1km当たりの料金を新幹線（スーパー特急を含む）で23円、在来特急（ミニ新幹線を含む）で18円と仮定した。また、固定費は1,500円とした。

表1 道路の通過速度

道路の種類	通過速度
フェリー	時速 20km
一般道	時速 40km
大都市部の高速道	時速 60km
高速道路	時速 80km

②道路

道路の通過速度を表1のように設定し、高速道路料金は1台あたり1kmで22.5円とした。フェリー料金及び高速道路の都市部割り増しについては簡単のため無視した。

なお、1台当たりの乗車人数は1.5人として計算している。

③航空

航空所要時間はここではどのリンクも2時間で一定であるものとした。

さらに、鉄道と航空の一般化費用に対してそれぞれ1.5時間、6時間にあたる一般化費用を加えた。これは、ノード間の所要時間に加え、本当の発地から発ノードまでのアクセス所要時間と費用、発車待ち時間と費用、着ノードから本当の着地までのイグレス所要時間費用などが一般化費用として必要になるからである。

数字については、検討の結果それぞれ妥当な範囲と思われる。

(b) 鉄道分担率モデルの推定

上記で求めた鉄道、道路、航空の交通機関分担について、ロジットモデルを仮定し、モデルの推定を行った。その結果、分散パラメータ $\theta=1.1505$ が得られた。

(3) 速度-便益サブモデル

本サブモデルでは、表定速度の変化とそれに伴い

需要が変化したときの便益額を算定する。

広義の便益としては物価所得変化による間接的便益（貨幣的外部効果）、環境改善などの技術的外部効果、及び利用者の直接の費用低減便益、事業者の収益増が考えられるが、本モデルではとりあえず直接の利用者便益と事業者の収益増を社会的便益の計測の対象としている。また、ここでは簡単のため、需要曲線を一次近似した。その結果、企業利潤及び社会的便益の増分は次式のように求めることができる。ここでは費用として所要時間と料金を考慮しているが、本研究では料金水準は変えないものとした。

$$dF \cdot |dT_a| = \sum_{rs} \left\{ r_{rs} \left(\frac{dQ_{rs}^i}{dT_a} \right) dT_a \right\} - c_a$$
$$dB \cdot |dT_a| = \sum_{rs} \left\{ Q_{rs}^i \delta_{rs}^a dT_a + \frac{1}{2} \left(\frac{dQ_{rs}^i}{dT_a} \right) (dT_a)^2 \right\} - c_a$$

ただし、

dF : 企業利潤の増分

dB : 社会的便益の増分

Q_{rs}^i : i モード rs 間交通量

δ_{rs}^a : リンク a が rs 間最短経路上にある場合 1

そうでないとき 0

T_a : リンク a の短縮時分

c_a : リンク a の改良コスト

r_{rs} : rs 間運賃

である。

(4) 技術-速度サブモデル

ハイクラスのインフラ、ハイクラスのビークルといった組み合わせほど達成可能な速度水準が向上するが同時に費用が上昇する。その費用もインフラが主として距離に依存するのに対してビークルでは輸送量に依存する。ここに、費用最小化という行動基準に立つ技術組み合わせを考えることの意義がある。

このサブモデルではある技術の組み合わせが与えられた時に可能となる速度水準を出力する。

まず、速度向上のための技術に関するリストを軌道と車両に分けてそれぞれ作成した。

軌道については、レール重量、枕木本数と道床厚の差により 6 段階に分類した。また、車両については、牽引力と重量の比とカーブ通過性能によって 10 段階に分類した。これは現在のわが国の在来鉄道の技術水準にほぼ準拠したものであり、いずれの線区、車両も

このどれかに該当するものと考えられる。

次に、軌道レベルと車両レベルからなる技術組み合わせに対して、専門家の意見を参考に最高速度、加減速度、許容カント不足量を設定した。技術組み合わせにおいて、軌道及び車両のレベルが高くなるほど最高速度、加減速度、許容カント不足量はいずれも大きくなるように設定されている。

表定速度と所要時間の算定に関しては、本来は全ての線区の線形情報を保有していれば正確な算定が可能であるが、本研究では回帰分析により簡便に計算する手法を採用している。

なお、インフラレベルが低下するような施策は行わないものとした。

(5) 技術-コストサブモデル

本サブモデルでは設定された技術組み合わせに対して、改良を行った場合のコストをもとに、必要な初期コストと年間当たり維持コストを出力する。

まず、技術組み合わせに対しインフラと車両に分けて各々のコストを設定した。

インフラの改良については工事の単価（レール代、枕木代、作業代）を参考に各改良ステップに応じたコストを算定し、維持費については 1 通過人 km あたり 1 円とした。また、維持費は輸送量に依存するが、ここでは輸送マーケットサブモデルより算出された需要水準を用いることとする。

一方、車両については改良に際し、全て新規に購入するものとし、初期コストは改良レベルの差には依存しないと仮定した。この数値の設定に際しては現在使用されている車両を想定して定めた。また、一両当たりの維持費は各レベルごとに一定とするが、必要車両数については、一日 12 時間稼働で平均乗車率 70%、1 両の定員 60 人という現在のわが国の標準的な数字を用いて計算した。プロジェクトスパンは 20 年とし、割引率は 7% として維持費を現在価値に直して算入した。

3. わが国における試算結果について

(1) 試算方法と試算の前提について

(a) 現状モデル

全国の輸送マーケットに対してある線区の数度水

準を変更することによって、企業利潤最大の場合は収入の増分・費用、社会的最適の場合は社会的便益・費用を最大にする技術組み合わせを探索した。なお、ここではモデル構築に際して用いたネットワークや輸送データをそのまま適用した。

(b) 2000 年モデル

計算方法は現状モデルと同様であるが、2000 年頃わが国で実現していると思われる幹線交通網に対して試算を行った。高速道路に加え、整備新幹線等が加わっている。また、20%の需要の伸びと30%の所得の伸びを仮定した。

(2)試算結果

全国約70リンクのうち、表2にあげるリンクにおける速度向上が、企業的にあるいは社会的に効果的であるという結果が出た。社会的最適と企業的最適との差異が小さいように見えるが、本稿ではとりあえず環境改善効果などいわゆる外部効果をカウントしていないためである。企業的最適の結果は、現在事業者において検討されつつあるリンク群とも整合的であると思われる。

表2 最適化計算結果（上：現状モデル、下：2000 年モデル）

	現状	企業的最適	社会的最適
高松-多度津 最高速度(km/h)	110	110	110
技術組合せ	(I3, V32)	(I3, V11)	(I3, V11)
鳥栖-大分 最高速度(km/h)	80	80	110
技術組合せ	(I6, V24)	(I6, V24)	(I3, V11)
宮崎-鹿児島 最高速度(km/h)	80	110	120
技術組合せ	(I6, V24)	(I3, V11)	(I2, V11)

	現状	企業的最適	社会的最適
札幌-旭川 最高速度(km/h)	130	130	130
技術組合せ	(I1, V33)	(I1, V11)	(I1, V11)
大阪-奈良 最高速度(km/h)	120	120	120
技術組合せ	(I2, V34)	(I2, V11)	(I2, V11)
高松-多度津 最高速度(km/h)	110	110	110
技術組合せ	(I3, V32)	(I3, V11)	(I3, V11)
鳥栖-大分 最高速度(km/h)	80	80	110
技術組合せ	(I6, V24)	(I6, V24)	(I3, V11)

注1 その他に曲線通過速度等が技術組み合わせにより変化している。

注2 表2中の技術組み合わせの内容は以下の通りである。

表3 インフラレベルの内容

インフラレベル	レール	枕木種別と25m当たり本数	道床厚
I1	60kgロング	PC43	250mm
I2	50Nロング	PC38	200mm
I3	50N定尺	木41	200mm
I6	37kgロング	木37	200mm

表4 車両レベルの内容

車両レベル	牽引力重量比	カーブ性能
V11	強	横子8度
V24	強	通常
V32	通常	横子5度
V33	通常	横圧低減
V34	通常	通常

4. まとめ

(1)結論

- (a)全国の鉄道各線区においてある表定速度を実現したときの利潤、利用者便益と費用を定量的に算出する幹線鉄道高速化モデルを構築した。本モデルの精度は必ずしも十分とは言えないものの、今後の改良によって実用可能との見通しを得た。
- (b)上で構築した幹線鉄道高速化モデルを用いて、鉄道会社の利潤最大化を目指した場合と、社会的便益最大化を目指した場合とでわが国の鉄道各線区においてどのような技術組み合わせでどのような速度水準を達成すべきかを算出した。その結果、数値まで正しく算定しているとは言えないものの、優先順位など定性的考察には現段階でも十分耐えうるものとする。

(2)今後の課題

本研究ならびに幹線鉄道高速化モデルの今後の課題は以下に示すとおりである。

- (a)本研究では対象とする便益を利用者の時間短縮便益と事業者収益のみに限定したため、企業利潤最大化と社会的便益最大化の乖離はさほど大きくならなかった。混雑緩和効果などの外部効果を考慮に入れることによって便益計測範囲を拡大していくことが今後の大きな課題であり、その場合には両者の乖離の原因についても検討が必要である。
- (b)本研究では運賃は変化しないものとしたが、現行の運賃設定の枠を超えて運賃を変動させての評価も改良により可能であり、また興味深い課題であると考えられる。
- (c)本研究では便益の発生リンクは特定しているものの、帰着先については何等言及していない。そのため、公平性に関する議論は行うことができなかった。将来的にはストロー効果等の分析のため、帰着先についての研究が課題となる。

<参考文献>

- 1) 運輸経済研究センター (1993): 在来線の速度向上に関する研究報告書
- 2) 家田 仁 (1992): 幹線鉄道高速化の展望と課題-ヨーロッパとの比較を通じて-、季刊モビリティ