

# 幹線鉄道網の最適化基準が 路線網形成に与える影響の比較分析

波床 正敏<sup>1</sup>・中川 大<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 大阪産業大学准教授 工学部都市創造工学科 (〒574-8530 大阪府大東市中垣内 3-1-1)  
E-mail: hatoko@ce.osaka-sandai.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 京都大学大学院教授 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター C1 棟)  
E-mail: nakagawa@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

本研究に至る一連の研究では、期待所要時間(EVTT)を評価指標として、費用制約下における幹線鉄道網の最適化を行ってきたが、本研究では運賃や料金の変化を考慮できる期待一般化費用(EVGC)を用いて分析を行った。

EVGCを基準として幹線鉄道網を最適化した場合とEVTTを基準として最適化した場合とについて比較を行ったところ、利用者の便益は後者よりも前者の方が大きかったものの、交通事業者の便益は前者では非常に小さく、交通事業者も社会を構成する一部であると考え、一定の仮定の下では社会的な便益は後者の方が大きいことがわかった。しかし、EVTTを最適化の基準として採用するには、運賃・料金の設定方法や、整備費用の負担のあり方など検討を要する課題が存在することもわかった。

**Key Words:** *trunk railway network, expected value of general cost, expected value of traveling time, genetic algorithm*

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

現在、全国的な新幹線網建設が徐々に進行しているが、わが国の幹線鉄道網の全体構想は、全国新幹線鉄道整備法(全幹法)のままである。制定後40年を経過しており、今後どのような幹線鉄道網を構築すべきかについて再検討すべき時期に来ていると考えられるが、抜本的な見直しは実現していない。

わが国の幹線鉄道整備の基本法である全幹法は、新幹線建設が前提となった枠組みであるが、幹線鉄道網の機能を向上させる方法は他にも存在し、在来線の高速化や乗り継ぎの調整など、様々な方策を組合せた方が効率的である。海外では、スイスの幹線鉄道網において、在来線の改良によって乗継ぎ利便性を向上させることを主体とした政策を実施し、高速新線の建設はわずかであっても全体の利便性を大きく向上させることに成功している。

本研究に至る一連の研究では、このような政策を参考に、期待所要時間(Expected Value of Traveling Time: EVTT)<sup>2)</sup>を評価指標として、一定費用制約下における最適な幹線鉄道ネットワークはどのようなものかを遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: GA)を用いた計算システムによって分析してきた<sup>3)</sup>。

このような分析の評価指標にEVTTを用いた場合、乗車時間や乗り継ぎ利便性といった移動そのものに関する幹線鉄道ネットワークの性能を定量評価できる。しかし、現実の都市間移動では、時間的損失だけでなく移動に伴う金銭的損失も無視できないことが多く、これが研究上の課題となっていた。評価指標を時間的損失だけを表現するEVTTの考え方を拡張し、金銭的損失をも考慮できる指標としては、期待一般化費用(Expected Value of General Cost: EVGC)<sup>4)</sup>があるが、評価指標をEVGCに変更することで、より高度な分析が行えると考えられる。

### (2) 本研究の目的

本研究では、これまでの研究で用いてきた評価指標をEVTTからEVGCに変更した場合、幹線鉄道網整備に関する最適化にどのような影響があるのか、評価指標値をどのように解釈すべきかについて考察することを目的とする。

なお、本研究は最適化基準変更に関する影響の分析が目的であり、あらゆる事項を考慮して高精度な将来予測結果を得ることが目的ではなく、対象地区内の幹線鉄道網の中長期的な鉄道政策を直接的に導出するものでもない。このため、最適化基準にかかわる指標変更以外の要因については、極力変化させずに分析し、指標変更の影響

を明確化させている。

## 2. 幹線鉄道網に関連する既存の研究など

### (1) 本研究に至る一連の研究について

本研究に至る一連の研究は、乗り継ぎ利便性向上策を主体とした幹線鉄道網整備政策であるスイスの Rail 2000 について分析したものが最初であり、続いてスイスと同程度の面積の九州の幹線鉄道網との利便性比較を EVTT を評価指標として実施した<sup>5)</sup>。スイスの政策と同様の政策をわが国に導入した場合、どのような幹線鉄道網を構築するかについて分析するため、費用制約下における路線ごとの整備内容の組み合わせを分析するコンピュータシステムを開発し<sup>6)</sup>、九州のネットワークを対象にこのシステムを用いて幹線鉄道網の各種整備方針の影響を分析した<sup>3)</sup>。その後、分析内容の高度化に備えてコンピュータシステムの改良を行うとともに<sup>7)</sup>、分析対象を全国に拡げて全国的な幹線鉄道網整備の課題について分析した<sup>8)</sup>。さらに、長期的な視点を導入した場合、どのような幹線鉄道網整備を行うべきかについて分析した<sup>9)</sup>。

このような一連の分析は、参考としたスイスの政策が乗り継ぎ利便性向上策を主眼としたものであったため、評価指標として EVTT を用いてきたが、わが国の場合は新幹線整備を行った場合には移動費用が大きく変化する例も多く、前述のように研究上の課題となっていた。そこで、本研究では、評価指標として金銭的損失をも考慮できる EVGC を採用して分析することとした。

### (2) 幹線交通網に関する既存の研究と本研究の視点

高速道路網整備に関する研究である青山・松中らの研究<sup>10)・12)</sup>では、ネットワークのリンクの犠牲量として一般化費用が採用されており、所要時間だけでなく通行料金や走行費用が考慮されている。また、幹線交通の機関選択について研究した柴田と内山の研究<sup>13)</sup>では、機関選択因子として交通機関の重視度を抽出しているが、同時に所要時間や交通費用についても基本要因として挙げている。さらに、都市間交通のサービス水準について研究した荒谷・轟らの研究<sup>14)・15)</sup>においても、モビリティ計測の基本的な視点として運賃や所要時間、運行本数が考慮されている。このように、所要時間と交通費用は幹線交通網を評価する基本的な視点として重要であることがわかる。

一方、公共交通ネットワークを評価する場合には、任意の時刻に出発できないことを考慮する必要があり、上記の研究でも文献 14) においても運行本数が考慮されている。運行頻度をより厳密に考慮するには、文献 2) の方法で EVTT を計算することになるが、EVTT には交通費用の観点が含まれていないため、EVTT の考え方に交通費用の視点を加えた EVGC<sup>4)</sup>を採用することが望ましい。

以上のような状況を考慮し、本研究では都市間交通を評価する基本指標として EVGC を採用した。

## 3. 期待一般化費用 (EVGC) について

EVGC の考え方については、以下のように説明できる。直接結ばれている 2 点間の公共交通利用時の一般化費用  $C$  は、公共交通機関が間欠運行であるため、旅行開始時刻  $t$  によって目的地までに要する時間が変化し、 $t$  の関数  $C(t)$  になる。まず、図-1 のように一般的には利用する便ごとに乗車時間や交通費用が異なっており、これらを合わせた乗車に関するコスト  $(rc_1, \dots, rc_4, \dots)$  は、各便の出発時刻  $(st_1, \dots, st_4, \dots)$  ごとに図-1 の●点のように示される。運賃を  $Fare_n$ 、単位時間あたりの時間価値を  $k$ 、乗車時間を  $RideTime_n$  とすると、便ごとのコスト  $rc_n$  は次のように表される。

$$rc_n = Fare_n + k \cdot RideTime_n \quad (1)$$

また、他の時刻  $t$  を旅行開始時刻とした場合は、次便までの待ち時間をコスト換算したもの  $(wc_1(t), \dots, wc_4(t), \dots)$  が加わり、図中の斜め線のようになる。このとき、 $wc_n(t)$  は旅行開始時刻  $t$  によって変化し、次式で表される。

$$wc_n(t) = k(st_n - t) \quad (st_{n-1} < t \leq st_n) \quad (2)$$

このときの列車ごとの一般化費用  $TC_n(t)$  は  $wc_n(t)$  に  $rc_n$  が加わったものであるため、次式のようになる。

$$TC_n(t) = rc_n + wc_n(t) \quad (st_{n-1} < t \leq st_n) \quad (3)$$

旅行開始時刻に対して目的地に最も早く着くことを想定すると、斜め線のうち実線部分をつなぎ合わせた鋸状のグラフが時刻に対する所要時間  $C(t)$  の変化を表している。この場合、鎖線部分はより小さな一般化費用で到達できる便があるので利用されない。

$$C(t) = \min(TC_1(t), TC_2(t), \dots, TC_n(t)) \quad (4)$$

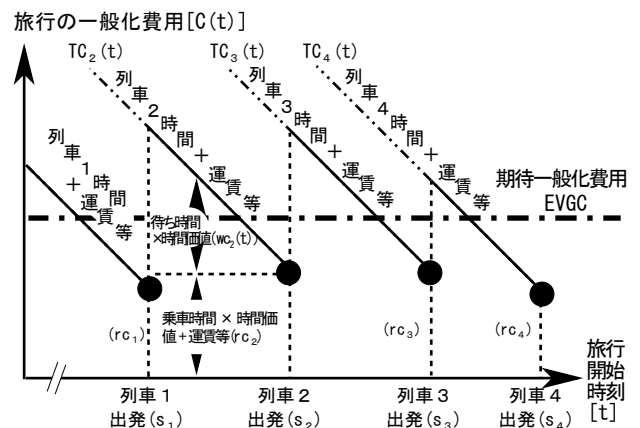


図-1 EVGC (期待一般化費用) の考え方

このノコギリ状のグラフを平均して所要時間相当の指標としたものがこの2点間の期待所要時間 EVGC である。T を EVGC 計算のための計測時間帯とすると次式になる。

$$EVGC = (1/T) \int_0^T C(t) dt \quad (5)$$

EVGC は、各便の交通費用や乗車時間が小さく、運行頻度が高いほど小さな値となり、また各便の交通費用や所要時間、運行本数が同じ場合でも、団子運転のような実質的な利便性が低い場合には値が大きくなる。

本研究では、幹線鉄道網の各区間では列車は等速度・等間隔・等運賃で運行されているという設定をしており、Cycle を運行間隔、Phase を基準となる時刻からのズレとすると、 $S_n$  は次のように表される。

$$S_n = n \text{ Cycle} + \text{Phase} \quad (6)$$

また、直接結ばれる2点間の EVGC は次のようになる。

$$EVGC = \text{Fare} + k (\text{RideTime} + \text{Cycle} / 2) \quad (7)$$

複数路線を乗継ぐ場合は単純に式(7)で EVGC が計算できるわけではなく、実際のダイヤおよび経路、運賃計算ルールに沿って算出した。

なお、EVGC については (EVTT も同様に)、出発地における交通の発生時刻分布を一樣と仮定して犠牲量計算を行っているが、運行頻度の低い都市間交通においても時間あたり運行本数や平均待ち時間等を考慮する方法など、実質的に一樣と仮定している方法が一般的に用いられてきている。交通を出発時刻にあわせて発生させるような分布、つまり運行頻度を無視して計算するような方法よりは、運行頻度を考慮した方が旅客流動に対する説明力が高いことが分かっている<sup>2),16)</sup>。

## 4. 分析の基本的な枠組み

### (1) 分析対象地域について

本研究では、分析対象地域を九州とした。九州の鉄道網は関門海峡部分のみで他地域と接続されるため分析がしやすく、また、本研究に至る一連の研究における分析においても九州の幹線鉄道網を分析したものが多く、比較検討しやすいために採用した。

評価値計算に用いた EVGC の計測地点は、図-2 に示す広域生活圏の中心都市(含む県庁所在都市)の中心駅とした。また、九州外との流動の代表地点は小倉駅とした。分析対象ネットワークについても、図-2 に示した九州内の JR 線および第3セクタ鉄道、福岡市営地下鉄の一部とし、九州新幹線鹿児島ルートが全通した状態を想定する。本研究は現実の交通政策を直接的に分析することは目的としていないので、航空路やバス路線などについては考慮しないこととした。

各都市間交通便の所要時間は資料<sup>17),18)</sup>に基づいて設定し、在来線または新幹線相互の乗継ぎ時間は2分、在来線と新幹線を乗り継ぐ場合は7分必要であるとした。

評価指標を EVTT から EVGC に変更したこと以外は、基本的には一連の研究<sup>8),9)</sup>と同様の計算方法とした。一定の費用制約値を設け、その費用制約下において実質的な犠牲量が最小となるような改良対象路線・改良対象内容・運行ダイヤ設定(列車の出発タイミング)の組合せを求める。この組合せは極めて多数存在するため、一種のナップサック問題(一定制約下における組合せ最適化問題)ととらえ、GA を用いて解を探索した<sup>6),7)</sup>。構築される路線網の評価基準としては、列車等の乗車時間、乗継ぎ利便性、運賃等の金銭的費用等を反映しうる指標として EVGC を採用した。

### (2) 基本的な計算方法

本研究では、これまでの一連の研究<sup>8),9)</sup>と同様に、路線の改良の程度を離散化して表現し、費用制約下における組合せ最適化問題として取り扱い、遺伝的アルゴリズム(GA)を応用したシステム<sup>6),7)</sup>により解の探索をおこなう。

路線の改良単価や建設単価が結果に影響を与えるが、本研究では、これまでの研究<sup>8),9)</sup>と同様に在来線の改良単価を表-1、新線の建設単価および新幹線の高速化の単価を表-2のように設定した。また、より実際の整備に近くなるように、表-3の基準を用いて区間ごとの整備選択枝を作成した。

表-4に選択枝の作成例を示したが、現状そのままという選択枝に加えて、5分の整数倍から乗継ぎ時間の2分(新幹線と在来線との乗継ぎの場合は7分)を減じた所要時間となるような選択枝を作成した。改良の程度を離散的な値にするとともに、各交通結節点における列車の出発時刻を5分刻みで変化させ、その組合せの中から、以下に示す式(8)で計算される費用が設定値以下であり、かつ式(9)

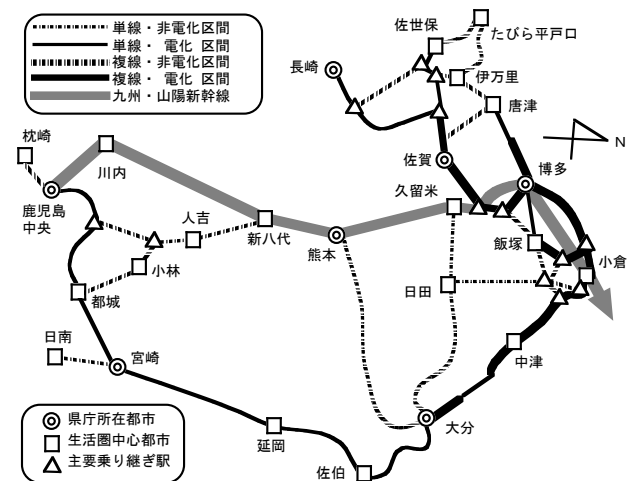


図-2 分析対象都市(駅名)・鉄道ネットワーク

表-1 在来線の改良単価設定

改良前の条件		改良後の条件		キロ単価 億円	参考事例
単電振	表定速度 km/h	単電振	表定速度 km/h		
単電振	51.5	単電振	69.7	0.64	紀勢線白浜以南高速化試算
" " "	51.5	" " 非	96.8	13.45	同, ミニ新幹線化(路線付替)
複 " "	85.5	複 " 振	92.0	0.13	阪和線高速化試算
" " "	86.7	" " "	98.9	0.81	紀勢線白浜以北高速化試算
" " "	86.7	" " 非	115.1	12.36	同, ミニ新幹線化(路線付替)
" " "	94.6	" " 振	106.2	5.60	高尾-甲府130km/h化試算
" " "	94.6	" " "	123.1	20.13	同, 160km/h化試算
単非非	46.3	単非非	56.8	0.21	津山線高速化事業
" " "	57.4	" 電 "	67.9	2.02	山陰線:園部-福知山改良
" " "	58.8	" 非 "	68.8	0.14	宮福線高速化試算(KTR車)
" " "	58.8	" 電 振	90.4	1.88	同, (651系電車)
" " "	58.8	" " 非	78.7	1.30	同, (485系電車)
" " "	63.2	" " "	83.0	5.87	北越急行130km/h運転試算
" " "	63.2	" " "	105.0	5.37	同, 160km/h運転試算
" " "	66.2	" 非 振	73.7	0.10	中村線高速化事業
" " "	68.3	" " "	88.6	0.41	智頭急行130km/h(気動車)
" " "	68.3	" 電 "	92.9	1.22	同, (381系電車)
" " "	68.3	" " "	100.5	2.09	同, 160km/h運転試算
複電 "	68.8	複 " 非	87.1	4.82	山形新幹線
単 " "	68.8	単 " "	83.7	0.29	日豊線(延岡-宮崎)改良
" " "	71.4	" " "	90.9	4.65	秋田新幹線
" 非 "	72.4	" 非 振	81.6	0.74	高德線(高松-徳島)改良
" 電 "	72.4	" 電 非	99.7	4.65	山形新幹線延伸
複 " "	78.8	複 " "	85.5	1.57	白新線・羽越線高速化試算
単非 "	79.5	単非 振	97.6	0.32	山陰線(鳥取-米子)高速化
複電 "	85.4	複電 "	100.5	0.19	日豊線(大分以北)高速化

で計算される適合度  $f_{cc}$  が最小となる改良選択肢の組み合わせを GA を応用した計算システム (図-3) で探索した。図-3 に示したシステムの基本構造は、これまでの研究<sup>8),9)</sup> で使用したものと同一であるが、適合度の計算に使われる指標が EVIT から EVGC に変更されている。計算システムの終了条件としては、100 世代にわたって適合度に変化がない場合とし、このような計算を 10 回繰り返して最良となる結果を最終的に採用した。

$$c \geq \sum_i (LIC_m) \quad (8)$$

c : 費用制約値

LIC<sub>m</sub>: 区間 i における改良選択肢が n 番の場合の改良費用 (例えば、表-4 の「億円」欄の値)

$$f_{cc} = \sum_i \sum_j (A_{ij} EVGC_{ij}) \quad (9)$$

f<sub>cc</sub> : 費用制約 cc に対する適合度[評価値] (小さいほど良い)

A<sub>ij</sub> : ij 間の幹線旅客純流動量[2005 年, 秋期平日, 鉄道]

EVGC<sub>ij</sub> : ij 間の EVGC

各路線の運行周期は 60 分を基本とし、最低毎時 1 本運行とした。すでに毎時 1 本以上運行されている区間につい

表-2 新線建設・新幹線速度向上費用の単価設定

	億円/km	表定速度(km/h)	備考
新線 130km/h	29.30	91.9	複線電化[延長 10.0 km 以上]
新線 160km/h	35.95	113.1	複線電化[延長 12.3 km 以上]
新線 260km/h	58.18	213.3	フル規格新幹線[20.0 km 以上]
新幹線高速化	0.78	+10.1	最高速度向上幅 10 km/h あたり

表-3 改良選択肢の採用基準

- (1)改良対象路線が曲線を高速走行できる振子式車両を使用している場合、同様の車両を使用する参考事例の路線データを使用する。そうでない場合は、制限なし。
- (2)近年は動力方式が速度に与える影響が小さいので、改良対象の電化・非電化の別は選択肢の採否に影響させない。ただし、参考事例が電化路線の場合は、必要に応じて電化費用を計上。
- (3)なるべく類似のケースを参考とするために、改良対象路線の「表定速度+10%」を計算し、これ以下の表定速度である参考事例の中から路線データを選ぶ。
- (4)過大な速度とならないようにするため、改良後の表定速度は、選択肢の速度向上幅を加算するか、選択肢の改良後表定速度か、いずれか小さい方を採用。
- (5)直接的に速度に影響しないため、単線・複線の別は選択肢採否の条件にしない。ただし、参考事例が複線化路線の場合、必要に応じて線増費用等を計上。
- (6)新線建設はいかなる場合も選択可能とするが、260km/h 以上の新線(フル規格新幹線)は全幹法に示された区間(実質的に並行してる区間)のみとする。ただし、それ以外の路線における新線建設は可能とする。
- (7)大都市近郊区間では、在来線の改良を行わない。

表-4 改良選択肢例(日豊線[隼人-鹿児島中央])

番	分	億円	改良後の状態	改良長(km)	参考事例
1	31	0	単線, 電化, 非振子	0	基本(現状)
2	28	2.6	単線, 電化, 振子	27.2	中村線高速化
3	23	33.8	単線, 電化, 振子	27.7	智頭急行試算 130km/h(電)
4	18	1002.3	複線, 電化, 非振子	27.9	スーパー特急 160km/h 新線
5	13	1690.0	複線, 電化, 非振子	29.4	スーパー特急 200km/h 新線
6	8	1906.1	複線, 電化, 非振子	31.1	フル規格新線 300km/h
7	7	1954.3	複線, 電化, 非振子	31.1	フル規格新線 350km/h

ては、現状と同数とした。主要地点間の所要時間や運行頻度は流動データの年次を考慮して 2005 年時点のものとしたが、新幹線は九州新幹線鹿児島ルートが完成した状態を想定し、運行頻度については現状と同じとした。旅客需要量および分布については、上記のように 2005 年度の全国幹線旅客純流動調査の結果を用いたが、本研究は評価指標の変更の影響の分析を主としており、影響を明確にとらえるために、EVGC の変化に伴う誘発需要の発生や沿線人口の増減に伴う需要の変化等については考慮せずに固定値とした。

なお、本研究に至る一連の研究の中には九州を分析対象地域としたものがある<sup>3),9),10)</sup>が、それらとは改良単価や選択肢の作成基準が異なっており、計算結果を相互に比較することはできない。

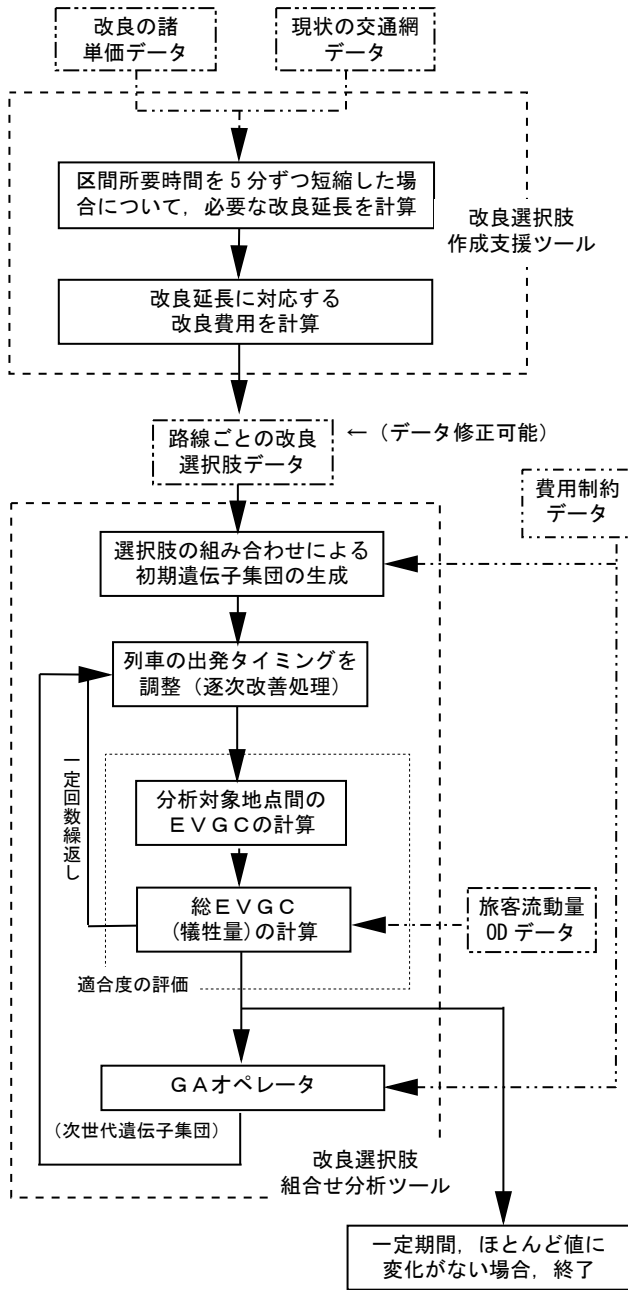


図-3 システムの構成概要

### (3) 運賃および特急料金の設定

運賃および特急料金の水準については、原則として現状水準とした。乗車距離と運賃の関係については、図-4 および図-5 に示すような関係であり、九州島内の運賃の方が若干高い。また、乗車距離300kmと600kmで賃率が変化している。乗車距離と特急料金の関係については、図-6 に示すとおりである。山陽新幹線は「のぞみ」「ひかり」の体系であり、九州新幹線については「ひかり」の体系と同等である<sup>19)</sup>とともに、九州島内については山陽新幹線と通算される。また、九州島内の特急料金は原則として「B特急料金[JR九州]」が適用される。

運賃および特急料金の計算手順は、原則として現状の運賃・料金と同じ方法で行うが、現行のJR線における運

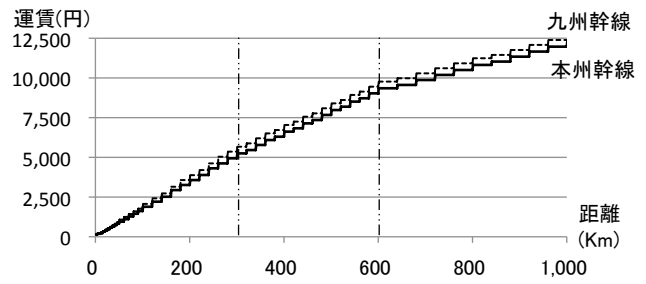


図-4 運賃設定(その1)

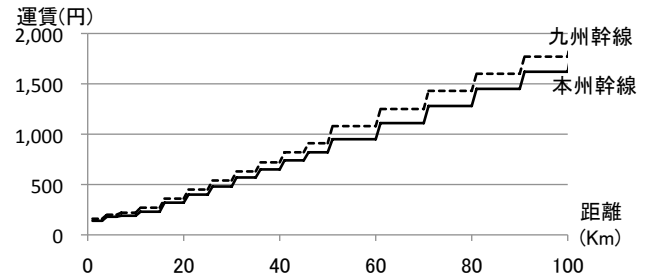


図-5 運賃設定(その2)

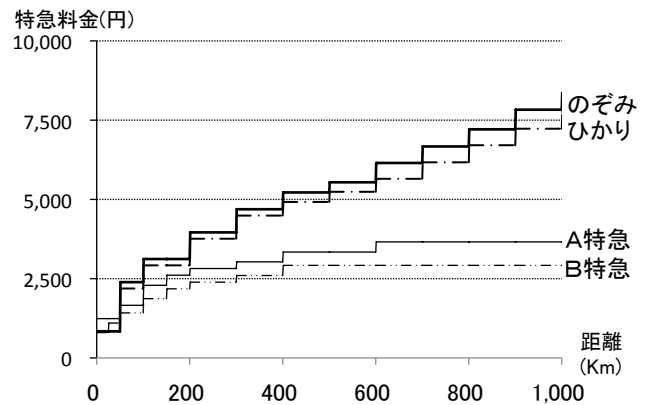


図-6 特急料金の設定

賃および料金の計算手順は、特定区間運賃等の例外的取り扱いが多くて極めて煩雑であり、これを完全に再現すると計算速度の大幅な低下を招く可能性が高い。また、路線改良後の特急料金の体系については決定済みのルールがあるわけではない。

そこで本研究では、表-5のような手順で運賃・料金の計算を行い、計算結果が大きく異ならない範囲で簡略化をはかるとともに、改良後の特急料金の計算方法を定めた。

### (4) 整備費用制約のケース設定

整備費用制約のケース設定は、費用0億円(ダイヤ調整のみ実施)を含めて表-6に示した計17ケースとした。基本計画線を含めた九州内の新幹線計画を完成させるには概ね2兆5,000億円を要することから、この値を整備費用制約値の最大値とした。

なお、本研究は最適化基準変更の影響分析が目的であるため、同一費用制約値に対する異なる最適化方法による結果比較ができるように、複数の費用を設定した上で、その後に最適化作業を行った。もし単に利用者便益や供

給者便益などを最大化するだけならば、最適投入費用およびそれを実現するネットワークを同時に計算結果として得ることはできる。それだけでなく、複数の費用制約値を設定して計算する必要がなくなるため、より高速な計算が期待できる。

### (5) 時間価値について

時間を貨幣価値換算する際の時間価値  $k$  の値については、文献 4) を参考に、69.4 円/分と設定した。この値

表-5 運賃および料金計算の方法

運賃計算ルール	
(1)	乗車距離(営業距離)を通算し、本州幹線運賃を適用する。
(2)	うち、JR 九州乗車距離については、本州幹線運賃と九州幹線運賃の差額を計算し、(1)に加算する。
(3)	地方交通線については、距離を 10%増に換算して計算する。
(4)	地下鉄や JR 線以外の社局線を途中にはさむ場合は、いったん精算する。また、これら路線運賃を単純に加算する。
(5)	電車特定区間運賃、大都市近郊区間運賃、特定区間運賃は考慮しない。
(6)	第三セクター鉄道を通過する場合、現状において前後の JR 区間を通算して運賃計算している場合は、そのように取り扱う。[九州島内では該当区間無し]
特急料金計算ルール	
(1)	普通車、指定席、通常期の特急料金とする。
(2)	在来線特急と新幹線の乗り継ぎ割引は、在来線特急料金を半額とする。在来線区間と新幹線区間の組合せは、より料金が安価になるように組合せて割引計算する。
(3)	JR 九州内の在来線特急運賃は B 特急料金[JR 九州]とする。
(4)	ミニ新幹線の特急運賃[改良選抜肢によっては九州でもあり得る]と新幹線を直通する場合は、ミニ新幹線の特急運賃(A 特急料金相当)を 30%引きとする。[JR 東日本の現行料金体系に準ずる]
(5)	ミニ新幹線化区間および高速化実施区間、スーパー特急区間は A 特急料金とする。
(6)	A 特急料金区間と B 特急料金区間を直通する場合は、まず A 特急料金で通算し、B 特急料金区間については距離に応じて差額を計算して加算[または減算]する。
(7)	九州新幹線の特急料金は、現行水準なみとする。[現行水準とは、東海道山陽新幹線のひかり・こだまと同等]
(8)	山陽新幹線と九州新幹線を直通する場合は、まず山陽新幹線の料金水準で通算し、のぞみ号乗車区間については距離に応じて差額を計算して加算する。
(9)	第三セクター鉄道を通過する場合、現状において前後の JR 区間を通算して料金計算している場合は、そのように取り扱う。[九州島内では該当区間無し]

表-6 整備費用制約のケース設定

費用制約	0 億円 (ダイヤ調整のみ), 250 億円, 500 億円,				
		750 億円,	1000 億円,	1500 億円,	2000 億円,
	2500 億円,	3000 億円,	4000 億円,	5000 億円,	
	7500 億円,	1 兆円,	1 兆 2500 億円,		
	1 兆 5000 億円,	2 兆円,	2 兆 5000 億円		

は地域間の流動量と EVGC の実測値をもとに選好接近法により求められているが、時間価値の設定方法としては所得近接法で求められた値を設定する方法も考えられる。しかし、所得近接法による値が平均的な労働時給の値を表していることを考えると、日常的な移動に用いる都市交通のような交通網の評価に利用するには適した時間価値設定法であるものの、比較的非常日常的な移動である幹線鉄道網を利用した都市間交通を評価するにはあまり適していないと考えられる。このような理由から、本研究では選好接近法による値を採用した。

### (6) 分析ケースについて

本研究では、評価の基本指標を EVTT から EVGC に変更した場合、幹線鉄道網整備に関する最適化にどのような影響があるのか、評価指標値をどのように解釈すべきかについて考察することを目的としているので、以下の 2 種について比較を行う。

a) EVGC 最適化: 費用制約下における路線ごとの改良選抜肢の組み合わせを GA により探索する際、地点間の EVGC を用いて式(9)で計算される適合度(評価値)が最小になるような探索を行う。すなわち、移動費用の変化を考慮した上で、なるべく利用者の一般化費用が小さくなるようなネットワークを最適解とする方法である。

b) EVTT 最適化: 同じく GA により探索する際、式(9)の EVGC を EVTT に置き換えて適合度(評価値)が最小になるような探索を行う。すなわち、費用変化は考慮せず、とにかく利用者の移動時間が小さくなるようなネットワークを最適解とする方法である。

これらケースそれぞれについて、表-6 の費用制約値を用いて探索を行い、傾向の違いや形成されるネットワークの特徴を比較分析した。

## 5. 費用制約と EVGC・EVTT 各減少量の推移

### (1) EVGC 減少量の推移

図-7 の○印のマーカのあるグラフは、EVGC 最適化を行った場合における各整備費用制約  $cc$  に対する適合度  $f_{cc}$  (式(9)により計算されたものであり、全旅客流動に対する EVGC に基づく犠牲総量)と費用 0 円の際の適合度  $f_0$  ( $f_{cc}$  と同様)との差分(総 EVGC 減少量[年間、億円])を示したものである。横軸は実際に投入された整備費用、縦軸は総 EVGC 減少量である。EVGC は移動費用と移動時間の変化を考慮しており、利用者便益と見なすことができる。整備費用が大きくなるほど総 EVGC 減少量(利用者便益)は増大しているが、同時に整備費用あたりの短縮量が小さくなる傾向がある。費用制約 1,500 億円程度までは急速に伸びるが、それ以降鈍化し、1 兆円を超えると頭打ち

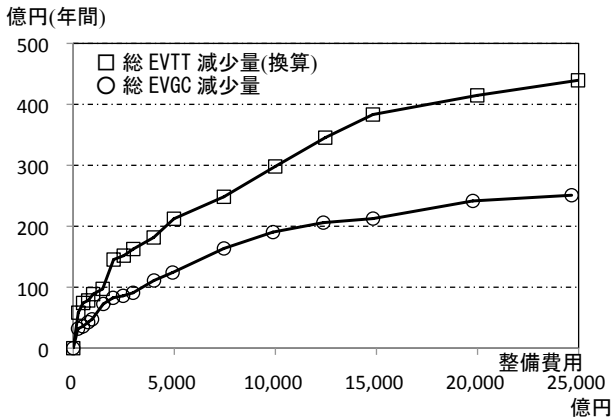


図-7 EVGC および EVTT 減少量の推移

になっている。整備費用の大小を無視すれば、整備費用制約 2 兆 5,000 億円の場合まで総 EVGC 減少量(利用者便益)そのものを増大させることは可能である。

## (2) EVTT 減少量の推移

図-7の□印のマーカのあるグラフは、EVTT 最適化を行った場合における総 EVTT 減少量を時間価値 69.4 円/分で貨幣価値換算したものである[年間、億円]。横軸は実際に投入された整備費用、縦軸は総 EVTT 減少量の換算値である。EVGC の場合と同じく、整備費用が大きくなるほど総 EVTT 減少量の伸びは頭打ちになる傾向にある。伸びが比較的大きいのは費用制約 2,000 億円程度までとなっている。これについても、整備費用の大小を無視すれば、総 EVTT 減少量、すなわち地点間の移動時間を改善し続けることができる。

## (3) EVTT 減少量の推移との比較

図-7の総 EVGC 減少量(○)と総 EVTT 減少量(□)を比較すると、全般的に前者の方が後者よりも小さいことがわかる。これは鉄道網整備に伴い、特急料金の高い新幹線利用などが増えて運賃・料金が上昇する傾向にあり、時間的な利便性が向上しても費用変化を考慮すると利用者の利便性は上がりにくい傾向にあることを示している。(ただし、EVGC 最適化と EVTT 最適化は別個に行われているので、同じ費用制約値であっても形成されるネットワークの形態は異なっており、この分析は全般的な傾向に関するものである。)

# 6. 投入する費用との比較

## (1) EVTT(換算値)と EVGC の差について

EVTT を貨幣価値換算したものと EVGC の差分は、指標の定義上、利用者が事業者を支払った運賃や料金等の金銭的負担である。逆に交通事業者側から見ると、利用者が支払った金銭的負担は交通事業収入である式(10)。し

たがって、整備費用 0 億円の場合に対する総 EVTT の減少量は、総 EVGC 減少量(利用者便益)と総交通事業収入の変化量の和と考えることができる式(11)。また、総交通事業収入の変化量は、運行経費等が変化しないと仮定した場合の交通事業者の便益(供給者便益)と見ることもできる。つまり、総 EVTT の減少量は、利用者便益と一定の仮定(運行経費等一定および旅客流動量変化無し)の下における供給者便益との和(総便益)と見る事ができる。

$$\begin{aligned} (\text{利用者の金銭負担}) &= (\text{交通事業収入}) \\ &= \text{EVTT}^{\text{換算値}} - \text{EVGC} \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \Sigma (\text{交通事業収入}) + \Delta \Sigma \text{EVGC} \\ &= \Delta \Sigma \text{EVTT}^{\text{換算値}} \quad (11) \end{aligned}$$

## (2) EVGC 最適化の場合

図-8の○印のマーカのあるグラフは、各整備費用制約値に対して EVGC に関して最適化を行い、総 EVGC 減少量(利用者便益)を 40 年分集計した上で、整備費用を差し引いたものである(以下、「 $\Delta \Sigma \text{EVGC}$ -整備費用」と表現)。また、□印のマーカのあるグラフは、EVGC 最適化の結果として得られた鉄道網に関して EVTT を計測し、総 EVTT 減少量の貨幣価値換算値を 40 年分集計した上で、整備費用を差し引いたものである(以下、「 $\Delta \Sigma \text{EVTT}$ -整備費用」と表現)。同じ費用制約値ならば、図-8の○印と□印のマーカに対応する鉄道網は同じである。図の横軸は整備費用、縦軸は上記説明の各計算結果である。集計期間 40 年については、文献 20)において便益の計算期間が 30 年および 50 年とされていることを参考に設定した。

なお、研究目的でも述べたように、本研究は最適化基準となる指標を変更した場合の影響分析を目的としているため、最適化基準にかかわる指標変更以外の要因については、基本的には固定して分析し、指標変更の影響を明確化させている。以下の計算結果については、整備期間や整備順序、誘発需要、人口構造変化などについては考慮されていない。また、40 年分の集計も単純集計であり、社会的割引率も考慮していない。

「 $\Delta \Sigma \text{EVGC}$ -整備費用」は、投入した費用が利用者の利便向上につながったかという視点を表現しているが、図-8では「 $\Delta \Sigma \text{EVGC}$ -整備費用」は整備費用 1,500~2,000 億円付近がピークであり、整備費用が 5,000 億円を超えると負に転じている。

また、「 $\Delta \Sigma \text{EVTT}$ -整備費用」は、投入した費用が利用者の利便向上と事業者の収入増につながったかという視点を表現している。図-8では「 $\Delta \Sigma \text{EVTT}$ -整備費用」は整備費用 500 億円付近がピークであるほか、いくつかの整備費用において局地的な極大値が見られる。このようにグラフが凸凹の形状になる理由としては、次のように説明できる。

EVGC は移動時間と移動費用を総合したものであるため、ある費用制約に対応する EVGC 最適化結果としてのネットワークは、在来線改良が主体の場合と新幹線化が主体の場合とが費用制約値をわずかに変化させただけで頻繁に入れ替わる場合がある。図-8 において「 $\Delta\Sigma$ EVIT-整備費用」が凸凹の形状になるのは、この理由による。

すなわち、ある費用制約値に対応する最適化結果の内容が在来線改良が主体である場合、新幹線化した場合に比べて所要時間短縮量は比較的小さく、同時に特急料金等の移動費用の上昇も比較的小さい傾向にある。このとき、「 $\Delta\Sigma$ EVIT-整備費用」は移動費用変化を考慮しない数値であるため、所要時間短縮量が比較的小さいことだけを反映して、比較的小さな値になる。

逆に、最適化結果が新幹線化が主体である場合、在来線改良の場合に比べて所要時間短縮量は比較的大きく、特急料金等の移動費用の上昇も比較的大きい。このとき、「 $\Delta\Sigma$ EVIT-整備費用」は所要時間短縮量が大きいことだけを反映して、比較的大きな値になる。

費用制約値をわずかに変化させただけで、在来線改良が主体か、新幹線化が主体かといった整備内容が頻繁に入れ替わるような状況が生じる場合、グラフが凸凹の形状になる。

なお、「 $\Delta\Sigma$ EVIT-整備費用」と「 $\Delta\Sigma$ EVGC-整備費用」との差、すなわち□印と○印のグラフの差は利用者の移動

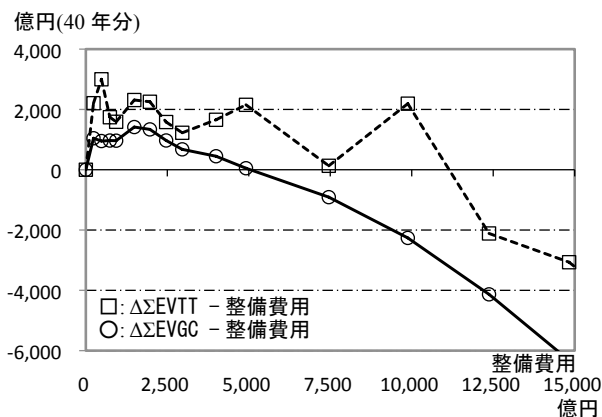


図-8 EVGC 最適化の場合

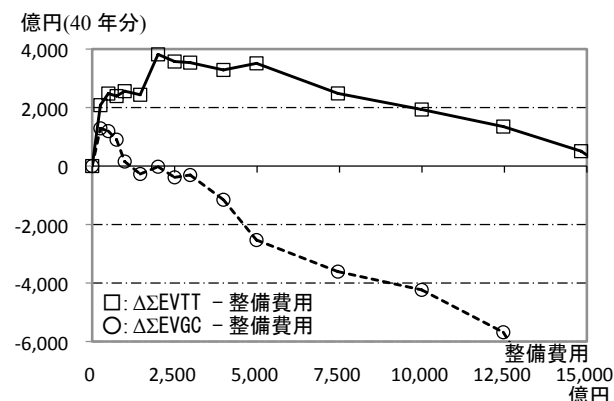


図-9 EVTT 最適化の場合

費用であるので、交通事業者の収入と考えることができるが、これが最大になったのは整備費用が1兆円の場合であった。

このような整備費用と利用者便益、一定の仮定の下における供給者便益の関係などについては、EVTT 最適化の結果を含めて、次の第7章で詳しく考察する。

### (3) EVTT 最適化の場合

図-9 は、図-8 と同様の方法で作成したものであるが、各整備費用制約値に対してEVTTに関して最適化を行った点が異なっている。EVGCについては、図-8の場合とは逆に、EVTT 最適化の結果として得られた鉄道網に関してEVGCを計測し、あとは図-8と同様の方法で集計している。よって、図-9についても、同じ費用制約値ならば○印と□印のマーカーに対応する鉄道網は同じである。

図-9では「 $\Delta\Sigma$ EVIT-整備費用」は整備費用2,000億円付近にピークがある。負に転じるのは整備費用が1兆5,000億円を超えた場合であり、図-8の場合よりも低下の度合いが緩やかである。

また、「 $\Delta\Sigma$ EVGC-整備費用」については、整備費用250億円付近でピークを迎えた後は急速に低下し、整備費用1,000~3,000億円ではゼロ付近、それを超えると大きく負になる。「 $\Delta\Sigma$ EVIT-整備費用」と「 $\Delta\Sigma$ EVGC-整備費用」との差、すなわち交通事業者の収入については、整備費用が1兆5,000億円の場合に最大であった。

## 7. 形成される鉄道網の特徴と投資基準の考察

### (1) 形成される幹線鉄道網について

形成される幹線鉄道網の例として、図-10にEVGC最適化に基づく費用制約2,000億円に対応するネットワークを、図-11にEVTT最適化に基づく費用制約2,000億円に対応するネットワークをそれぞれ示した。

図上では明確な整備レベルの差はほとんど無く、各路線の整備レベルの選択結果を詳細に検討しても、その差は大きくなかった。最も大きな差は、EVGC最適化に基づくネットワークでは日豊本線の大分-宮崎間を結ぶ区間において高速化が重点的に行われているのに対し、EVTT最適化に基づくネットワークでは長崎本線の改良が重点的に行われていることであった。

このことから、幹線鉄道網整備では路線の改良レベルの組み合わせの小規模な差異が、全体の移動時間や運賃・料金といったネットワークの利便性を特徴付ける項目に与える影響が小さくないと考えられ、実際の幹線鉄道網整備には十分な検討を要するものと考えられる。

### (2) 幹線鉄道網への投資基準について

社会基盤整備の投資判断の基準として、しばしば費用



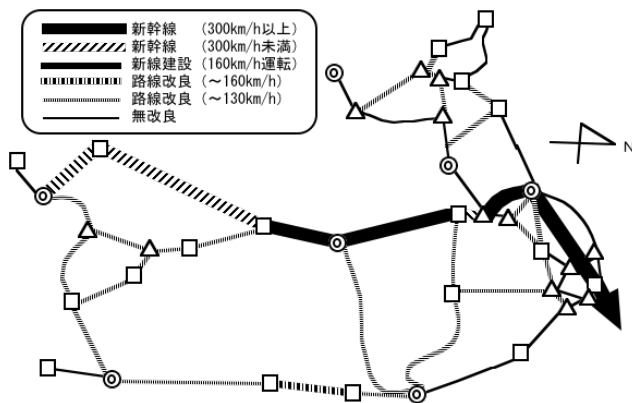


図-10 EVGC 最適化 2,000 億円の場合

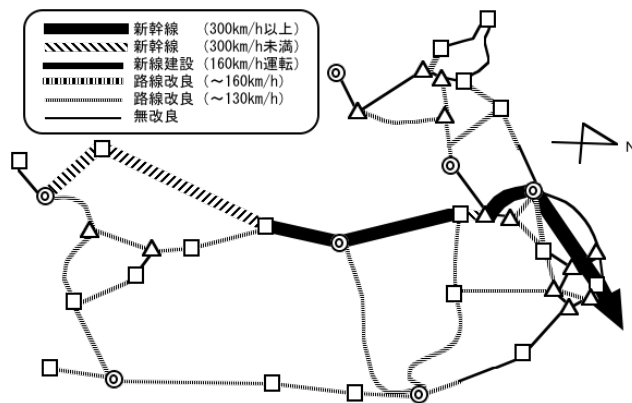


図-11 EVTT 最適化 2,000 億円の場合

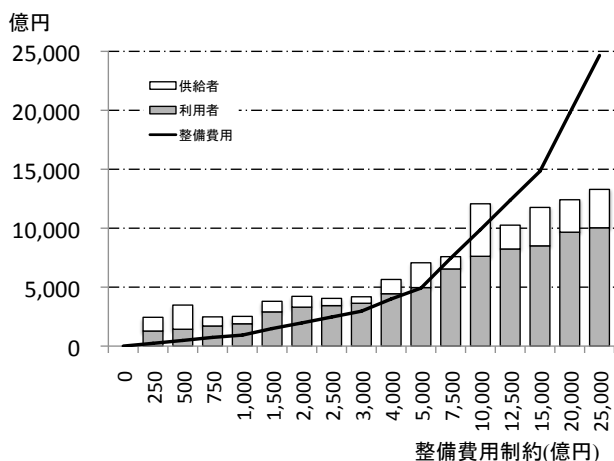


図-12 整備費用と各便益関連指標 (EVGC 最適化)

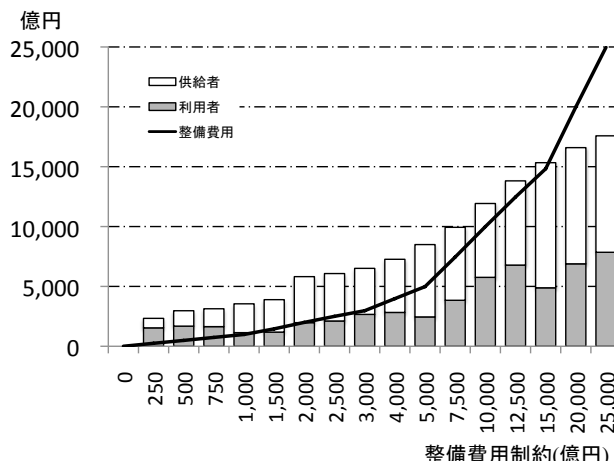


図-13 整備費用と各便益関連指標 (EVTT 最適化)

便益比や総純便益などが用いられるが、幹線鉄道網整備への投資にあたっては注意を要する可能性があると考えられる。

なお、度々説明しているように、本研究は最適化基準となる指標を変更した場合の影響分析を目的としているため、指標変更以外の要因については、基本的には固定して分析している。したがって、以下の考察は最適化指標を変更したことに関するものである。

図-12はEVGC最適化の結果に関し、棒グラフとして利用者便益を表現する「 $\Delta\Sigma$ EVGC-整備費用」、および一定の仮定(運行経費等一定および旅客流動量変化無し)の下における供給者便益を表現する「 $\Delta\Sigma$ EVTT-整備費用」と「 $\Delta\Sigma$ EVGC-整備費用」との差を図示したものである。前者は図中では「利用者」、後者は「供給者」と記述している。また、整備費用についても図中に折れ線グラフとして記入している。また、図-13は図-12と同様に作図したもので、EVTT最適化の結果に関するものである。

EVGC最適化の結果では、便益全体のうち利用者便益が大半を占め、供給者便益が小さい傾向にある。一方、EVTT最適化の結果では、利用者便益が小さく、供給者便益が大きい。また、図-13と図-12の両者を比較すると、EVTT最適化の方が「利用者」と「供給者」の合計、すなわ

ち一定の仮定下での社会的な総便益が大きい傾向にある。

供給者の便益は、関連産業や供給者の従業者などを通じて社会に還元される可能性があることを考慮すると、幹線鉄道網の最適化は、EVGC最適化のような単に利用者便益を最大化するという視点だけではなく、供給者を通じて社会に影響を与えるという視点も重要であり、EVTT最適化のような方法も十分に意味があると考えられる。

だが、幹線鉄道網の最適化基準としてEVTT最適化を選んだ場合にも課題が存在する。図-13では、利用者便益よりも供給者便益の方が大きい傾向にあるが、整備新幹線建設のように原則として公費負担で整備が行われる場合、私企業である鉄道事業者が税の投入によって大きなメリットを享受するような構造では、納税者の理解が得にくくなる可能性がある。幹線鉄道網の整備や改良に伴う運賃・料金の設定方法や、整備費用の負担のあり方など、今後検討すべき課題が存在するものと考えられる。

## 8. 研究のまとめと今後の課題

本研究に至る一連の研究では、期待所要時間(EVTT)を評価指標として、費用制約下における幹線鉄道網の最適化を行ってきたが、本研究では運賃や料金の変化を考慮

できる期待一般化費用(EVGC)を用いて分析を行った。

EVGCを基準として幹線鉄道網を最適化した場合とEVTTを基準として最適化した場合とについて比較を行ったところ、利用者の便益は後者よりも前者の方が大きかったものの、交通事業者の便益は前者では非常に小さく、交通事業者も社会を構成する一部であると考え、一定の仮定の下では社会的な便益は後者の方が大きいことがわかった。しかし、EVTTを基準として採用するには、運賃・料金の設定方法や、整備費用の負担のあり方など検討を要する課題が存在することもわかった。

本研究は九州の幹線鉄道網を例に分析と考察を行ったが、今後は最適化の基準についての課題を考慮しながら、全国的な幹線交通網について分析を行い、今後のわが国の幹線鉄道網をどのように整備すべきかについて研究する必要があると考えられる。

### 参考文献

- 1) 波床正敏, 中川大: 幹線鉄道におけるハブシステム構築の効果と意義に関する研究 - スイスの鉄道政策 Rail 2000 の効果分析を踏まえて -, 都市計画論文集, No.41-3, pp.839-844, 2006.
- 2) 天野光三, 中川大, 加藤義彦, 波床正敏: 都市間交通における所要時間の概念に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.9, pp.69-76, 1991.
- 3) 波床正敏, 中川大: 幹線鉄道整備の基本方針がネットワーク形成に与える影響に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, No.2, pp.487-498, 2008.
- 4) 野村友哉, 青山吉隆, 中川大, 松中亮治, 白柳博章: EVGCを用いた都市間高速鉄道プロジェクトの便益評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, No.4, pp.627-635, 2001.
- 5) Hatoko, M. and Nakagawa, D. : Comparative Analysis of Swiss and Japanese Trunk Railway Network Structures, 11th World Conference on Transport Research, WCTRS, 2007.
- 6) 波床正敏, 中川大: GAを用いた都市間鉄道網計画策定支援システムの開発, 2007年度土木情報利用技術論文集, Vol.16, pp.71-82, 2007.
- 7) 波床正敏: GAを用いた都市間鉄道網計画策定支援システムの計算効率化に関する研究, 2009年度土木情報利用技術論文集, Vol.18, pp.223-234, 2009.
- 8) 波床正敏, 中川大: 遺伝的アルゴリズムを用いた幹線鉄道網構築分析に基づく幹線鉄道政策の課題抽出, 土木計画学研究・論文集, Vol.26, No.4, pp.763-774, 2009.
- 9) 波床正敏, 中川大: 戦略的視点に基づく長期的幹線鉄道網の構築方針に関する考察, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, No.4, pp.653-664, 2010.
- 10) 青山吉隆, 松中亮治, 野村友哉: 大規模高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの最適化手法とその応用, 運輸政策研究, Vol.5, No.2, pp.2-13, 2002.
- 11) 松中亮治, 柚木俊郎, 青山吉隆, 中川大: わが国における高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの事後評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.1, pp.33-42, 2003.
- 12) 松中亮治, 谷口守, 青山吉隆, 舩岡田渡史: 高規格幹線道路網整備計画における段階的整備プロセス, 土木学会論文集, No.793/IV-68, pp.13-25, 2005.
- 13) 柴田宗典, 内山久雄: 幹線旅客の交通機関選択行動における意志決定プロセスのモデル化に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.26, No.3, pp.457-468, 2009.
- 14) 荒谷太郎, 轟朝幸, 金子雄一郎: 公共交通サービスによる都市間移動の地域格差分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.26, No.4, pp.807-816, 2009.
- 15) 荒谷太郎, 轟朝幸: わが国の都市間公共交通モビリティに関する時系列分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, No.4, pp.643-652, 2010.
- 16) 中川大, 波床正敏, 伊藤雅, 西澤洋行: 国際交通における利便性指標としての積み上げ所要時間に関する研究, 土木学会論文集, No.590/IV-39, pp.43-50, 1998.
- 17) JR時刻表 2005年10月号, 交通新聞社, 2005.
- 18) プリーズワン: JR線デジタル時刻表 2005年秋号(交通新聞社発行の時刻表に基づくデータ), 2005.
- 19) 九州旅客鉄道株式会社: JR九州列車予約サービス, <http://www.yoyaku.jrkyushu.co.jp/jrk/reserve/route/pc/Top/nologin.do> (2011年2月24日取得).
- 20) 国土交通省: 鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル 2005, [http://www.mlit.go.jp/tetudo/jigyo\\_hyoka/1.pdf](http://www.mlit.go.jp/tetudo/jigyo_hyoka/1.pdf) -5.pdf, 2005.

(2011.2.25 受付)

## A COMPARATIVE STUDY ON INFLUENCE OF OPTIMIZING CRITERION FOR TRUNK RAILWAY NETWORK FORMATION

Masatoshi HATOKO and Dai NAKAGAWA

In the previous studies, trunk railway networks were optimized with Expected Value of Traveling Time (=EVTT), while the network is analyzed with Expected Value of General Cost (=EVGC), which can consider not only time distance but also train fare or express charge.

A comparative study on optimizing criterion have been made and it has been found that user benefit with the criterion of EVGC is larger than with that of EVTT, while supplier benefit is very smaller with the former criterion. Under a certain assumption, social benefit is larger with the latter criterion of EVTT, because transportation companies belong to the society. And also it has been found that there are some tasks of considering fare system for the trunk railway network or frameworks of burden for improvement of the network.