

期待一般化費用に基づく幹線鉄道網の最適化研究*

A Study for Optimization of Trunk Railway Network Based on Expected Value of General Cost*

波床 正敏**・中川 大***

By Masatoshi HATOKO**・Dai NAKAGAWA***

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、再度検討を要する時期に来ていると考えられる。

本研究に至る一連の研究では、乗り継ぎ利便性向上策を主体としたスイスにおける Rail2000 政策を参考¹⁾に、期待所要時間(EVTT)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 GA による計算システムを用いて分析してきた²⁾。

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、当初より参考としているスイス Rail2000 政策と同様の視点の導入が可能である。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い。

例えば北海道新幹線については、並行する航空路の運行頻度が高く、これまでの研究結果³⁾⁴⁾では、函館-札幌間には高速新線を建設しないという結果となっている。時間的視点では、待ち時間等を含めても、新幹線を利用するよりも航空機利用の方が早着できることが多いためである。しかし、東京-札幌間の新幹線運賃・料金は、正規航空運賃よりも1万円程度安くなる可能性があるため、金銭面を考慮すると、建設した方が良いという結論に至る可能性を排除できない。

このように、評価指標を時間的損失だけを表現する EVTT から金銭的損失をも考慮できる期待一般化費用(Expected Value of General Cost: EVGC)⁵⁾に変更することで、より高精度な分析が行える可能性がある。

(2) 本研究の目的

本研究では、これまでの研究を一步進め、評価指標を EVTT から EVGC に変更した上で、最適な幹線鉄道網を GA によって探索することを目的とする。また、同時に、分析方法や指標変更の影響について考察を行うものである。

評価指標を高度化する必要があることについては、これまでの研究においても認識されていたが、EVTT を用いた分析ですら計算時間が膨大であり⁶⁾、指標をより複雑なものとすると計算時間が大幅に増大するため、現実的ではなかった。しかし、計算の高速化手法が確立されたことにより⁷⁾、本研究実施の見通しが立った。

2. 分析対象と評価方法

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、本研究は新指標導入後の初めての分析であるので、計算の手直しが発生した場合などにおいて再計算がしやすいことから選定した。

評価値計算に用いた EVGC の計測地点は、図1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。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は、図1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。航空路やバス路線については考慮していない。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、研究 2)3)4) など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総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⁶⁾⁷⁾。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

*キーワード：幹線鉄道計画, EVGC, 遺伝的アルゴリズム

** 正員, 博士(工), 大阪産業大学工学部都市創造工学科
(大阪府大東市中垣内 3-1-1, Tel: 072-875-3001 (ex.3722),
E-mail: hatoko@ce.osaka-sandai.ac.jp

*** 正員, 工博, 京都大学大学院工学研究科
(京都市西京区京都大学桂, Tel: 075-383-3225,
E-mail: nakagawa@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

EVGCを採用した。

EVGCの考え方については、次のように説明できる。2地点間の移動に要する一般化費用(本研究では、時間的コストと金銭的コストを考慮し、前者に時間価値[69.4円/分⁵⁾]を乗じたものと後者との和とする)は、一般的には利用する便ごとに乗車時間や料金が異なるので(例えば、快速列車と特急列車とでは、時間だけでなく金銭的コストも異なる)、各便の出発時刻においては図2の●点のように示される。また、他の時刻を出発時刻とした場合は、次便までの待ち時間という新たな時間的コスト(…を金銭価値換算したもの)が加わり、図中の斜め線のようになる。旅行開始時刻に対して目的地に最も小さい一般化費用で到着することを想定すると、斜め線のうち実線部分をつなぎ合わせたノコギリ状のグラフが時刻に対する一般化費用の時間変化を表している。この場合、鎖線部分はより小さな一般化費用で到着する便があるので利用されない。このノコギリ状のグラフを平均して指標としたものが期待一般化費用(Expected Value of General Cost: EVGC)である。EVGCは、各便の所要時間が小さく、運行頻度が高く、運賃・料金が少ないほど小さな値となり、また各便の所要時間や運行本数が同じ場合で

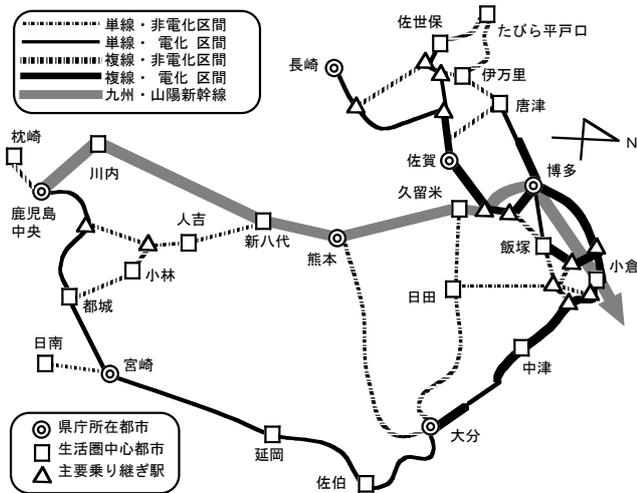


図1 分析対象都市(駅名)・鉄道ネットワーク

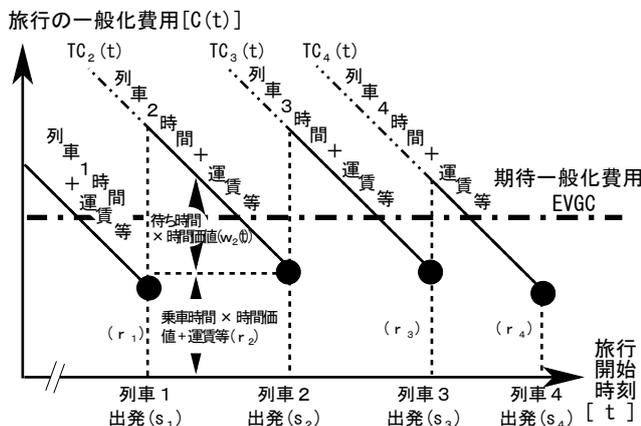


図2 EVGC(期待一般化費用)の考え方

も、団子運転のような実質的な利便性が低い場合、あるいは便によって費用が大きく異なっていて実質的に利用できる便が限られる場合などには指標値が大きくなる。実際のダイヤに沿って算出することで、乗継ぎの良否についても考慮できる。なお、EVT(期待所要時間)は、運賃・料金等の計算をせずに図2の縦軸を所要時間にしたものである。

3. 基本的な計算方法

本研究では、費用制約下における組合せ最適化問題を扱うため、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、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、次式で計算される費用が設定値以下であり、かつ評価値

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	単:電:振:表定		
複:化:子:速度	複:化:子:速度		
km/h	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

(都道府県間の幹線旅客純流動量[2005年, 秋期平日, 鉄道]×EVGCの総和)が最小となるものをGAを使用した計算システム(図3)で探索した。

$$c \geq \sum_i (LIC_{in}) \quad [*]$$

c : 費用制約値
 LIC_{in} : 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)

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ては、現状と同本数とした。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、2009年末時点で着工されている区間が完成した状態を想定した。新規に新幹線を建設できる区間としては、全幹法における基本計画線以上とし、それ以外については在来線改良だけを考慮した。

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 10.0km 以上]
新線 160km/h	35.95	113.1	複線電化[延長 12.3km 以上]
新線 260km/h	58.18	213.3	フル規格新幹線[20.0km 以上]
新幹線高速化	0.78	+10.1	最高速度向上幅 10km/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り子式車両を使用している場合、同様の車両を使用する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、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となっている路線データを使用する。
- (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のどちらか小さい方を採用。
- (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。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, 非振り子	0	基本(現状)
2	28	2.6	単線, 電化, 振り子	27.2	中村線高速化
3	23	33.8	単線, 電化, 振り子	27.7	智頭急行試算 130km/h(電)
4	18	1002.3	複線, 電化, 非振り子	27.9	スーパー特急 160km/h 新線
5	13	1690.0	複線, 電化, 非振り子	29.4	スーパー特急 200km/h 新線
6	8	1906.1	複線, 電化, 非振り子	31.1	フル規格新線 300km/h
7	7	1954.3	複線, 電化, 非振り子	31.1	フル規格新線 350km/h

4. 運賃率・料金率の設定および移動費用の計算方法

(1) 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3および図4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5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、九州新幹線は図示していないが「ひかり」の体系とほぼ同等である。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。

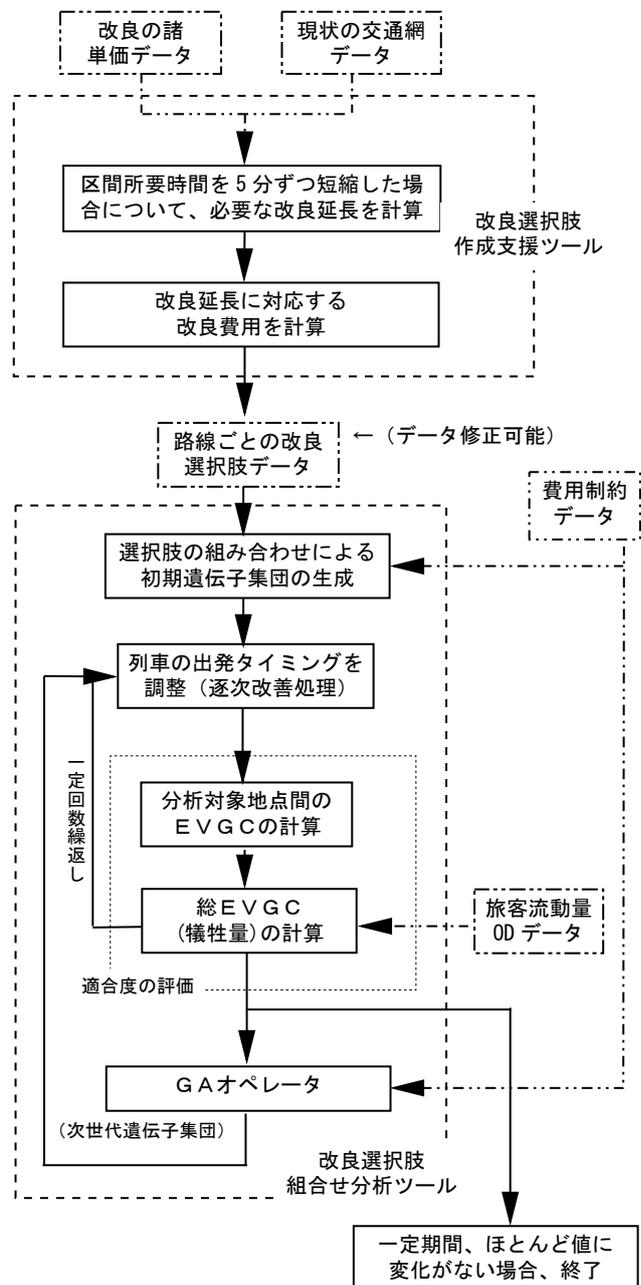


図3 システムの構成概要

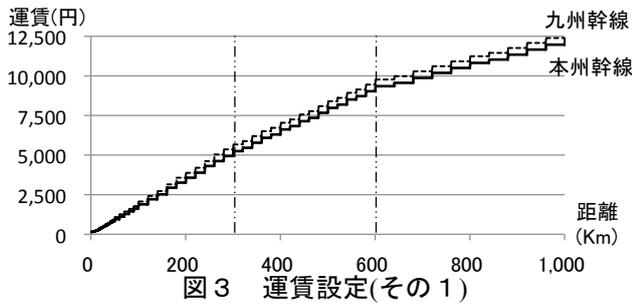


図3 運賃設定(その1)

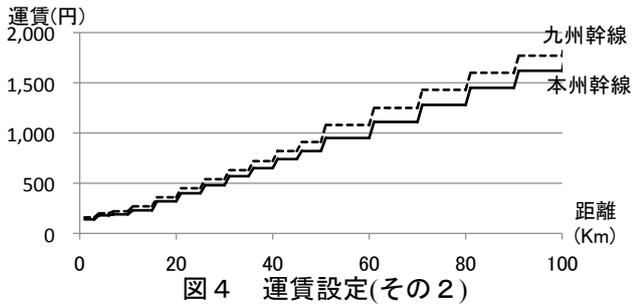


図4 運賃設定(その2)

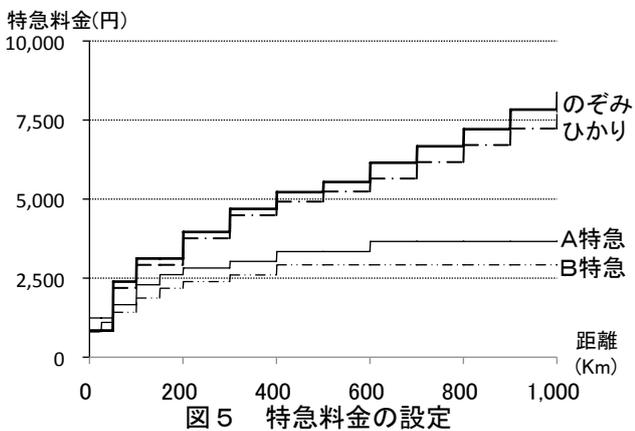


図5 特急料金の設定

(2) 費用の計算方法

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 線における運賃および料金の計算手順は極めて煩雑な面があり、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特定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。

5. 計算結果について

本原稿執筆時点で、GA による数値計算が進行中であり、計算が終了するには今しばらくの時間を要する。

計算結果および結果の考察については、講演発表時に示すこととする。

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、乗車順序に沿って組合せが成立することに割引計算する。
- (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[改良選択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。同様に、九州新幹線乗車区間についても、距離に応じて差額を計算して加算[または減算]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]

【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Rail2000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) 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
- 3) 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
- 4) 波床正敏・中川大:「GA を用いた幹線鉄道網分析における条件設定の影響に関する研究」, 土木計画学研究講演集 39, CD-ROM, 2009
- 5) 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
- 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