

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*

A Study on Clarification of Japanese Trunk Railway Policy Problem Based on a Search for an Efficient Network by Genetic Algorithm*

波床 正敏**・中川 大***

By Masatoshi HATOKO**・Dai NAKAGAWA***

1. はじめに

(1) 研究の背景

21世紀に入って、はや10年近くが経過し、国土計画も一連の全総計画から国土形成計画へと新たな方向に変化してきている。全国的な幹線鉄道網計画については、そのような国土計画の一部をなしているにもかかわらず、高度経済成長期の1970年に制定された全国新幹線鉄道整備法(以下、全幹法)のまま現在まで至っており、30年以上にわたって新たな全国計画は策定されていない。

同法における整備計画路線(整備新幹線)の建設は、1990年代以降、財源の目処がつくたびに徐々に進行しているものの、その先の基本計画線の整備をどの程度実施すべきか、あるいは、それ以外の在来線を含めた国土全体の幹線鉄道網をどこまで構築すべきかなどについては、一向に明確になっていない。

最近になって、基本計画線である中央新幹線の一部区間について、鉄道会社が自己資金によってリニア新幹線として建設する方針を示しており、具体化な動きも始めている。このような既存の交通機関にはない超高速の路線の出現は、過去の例に照らして、日本の幹線鉄道網と国土構造に新たな展開をもたらす可能性がある¹⁾。しかし、幹線鉄道網整備に関する正確な議論は、その必要性が指摘されている²⁾³⁾ものの、あまり進んでいないのが実状である。

いっぽう、世界的に目を移すと、環境問題に対する意識の高まりから、欧州におけるTGVやICEなどの高速鉄道網整備が進行しているだけでなく、今や自動車大国の米国ですら高速鉄道整備に興味を示す時代になってきている⁴⁾⁵⁾。長期的には、移動に要するエネルギー効率が国力に大きな影響を及ぼすとの意見⁶⁾もあり、わが国でも整備新幹線やリニア新幹線などの建設の議論はもとより、在来線改良も含めた国土全体の幹線鉄道網の将来像を示すことが必要に時期に来ていると考えられる。

(2) 研究の目的

本研究では、都道府県間を結ぶ幹線鉄道網を分析対象とし、新幹線建設と在来幹線の改良に対してどの程度の費用を投入することによってどれだけの利便性向上が得られるかについて、組合せ最適化問題として分析した。

幹線鉄道網の利便性向上策としては、主要駅で必ず他路線に短時間で乗継ぎができることを目指して成功を収めたスイスの幹線鉄道政策 Rail2000⁷⁾がある。運行頻度と区間所要時間の関係などについては、すでに明らかにされており⁸⁾、以下のようにまとめられる。

- ①乗継ぎ元と乗継ぎ先の運行間隔をそろえること。
 - ②不必要に乗継ぎ先の出発時刻を遅らさないこと。
 - ③交通結節点が1つだけで閉ループが無い場合は、交通結節点への集合時刻さえ決めればよい。
 - ④ネットワーク上の閉ループに沿って一周した際のリンク走行時間の総和は、運行周期の整数倍とする。
 - ⑤複数の交通結節点が存在する場合、これらの間のリンク走行時間は、運行周期の半分の整数倍とする。
- Rail2000と全く同様の幹線鉄道網を構築するには、上記条件に従って多元の連立方程式を作成して解けばよい。しかし、実際には次のような課題が存在するため、そのような結果は実用的ではない。
- ①スイスでは人口密度が少ないにもかかわらず、都市間鉄道を30分間隔で運行しようとしているが、日本では路線により運行頻度が大きく異なる。
 - ②新幹線などの広域的な移動を担う路線では、乗継ぎ目的の長時間停車が難しい。
 - ③別の短絡経路が存在するなどのために、必ずしも乗継ぎを意図する必要がない場合がある。
 - ④日本の幹線鉄道網では、隣接する交通結節点間が非常に短い場合があり、上述の条件を満たすとかえって所要時間を大幅に伸ばしてしまうことがある。
 - ⑤スイスでは鉄道政策にかなり多額の費用が投入されたが、日本では財源が乏しく、費用制約が大きい。

このような事情を考慮した日本の幹線鉄道網に適した改良計画を立案するには、一定の費用制約を設けて、その制約下で利便性を表現する一定の指標を最適化するという方法が必要と考えられる。これは、費用制約下における投入内容の組合せ最適化問題となる。

*キーワード：幹線鉄道計画, 全国新幹線鉄道整備法, GA

** 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 (ex3722),
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)

このような最適化問題は、いわゆるナップサック問題と呼ばれる整数計画問題であり、その具体的な数値計算については遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm: GA)や動的計画法(Dynamic Programming: DP)が用いられる。後者については、問題を部分問題に分割して多段決定できることが前提であるが、本研究では乗継ぎ利便性までを考慮した分析を試みているため、特定の路線改良プロジェクトを複数同時実施した場合にのみ評価値が大きく変化するような事態が発生しうる。このような状況を考慮し、本研究ではGAを用いて求解することとした。

本研究に至る一連の研究では、これまでも同様の計算システムを用いて分析を行っていたが、計算に極めて長時間を要していたため全国を対象とする分析が難しかった。本研究では、計算システムを改良することによって計算速度を大幅に向上させ、分析対象ネットワークが比較的大きくても実用的な計算期間内に実用的な計算結果を得ることができるようになった。

本研究は、その計算結果に基づき、わが国の幹線鉄道網には、さらなる整備の余地があるのか、それとも、十分な整備が行われており既に飽和状態に達しているのかについて明らかにすることを目的としている。

利便性向上を計測する観点としては、鉄道先進国であるスイスにおける幹線鉄道政策Rail2000が乗継ぎ利便性向上を目指して成功したことや、都市間交通は運行頻度が必ずしも高くはないので乗車時間だけでなく、実際の利便性を反映した指標を採用する必要があること⁹⁾などを考慮し、期待所要時間(Expected Traveling Time: EVTT)を用いる。

2. 幹線鉄道網に関連する既存の研究など

幹線鉄道網に関する研究としては、様々なアプローチがあるが、幹線鉄道網が国土構造の一部をなす骨格であるとの視点の研究としては、高速交通体系の整備水準の変化を定量的な面からとらえた近藤・青山の研究¹⁰⁾、都市間交通の整備水準を所要時間の厳格な定義により計測する方法を示すとともに、明治以降のわが国の都市間交通整備の特徴を明らかにした中川・波床らの研究¹¹⁾がある。文献 11)では、都市間交通では列車等の乗車時間だけでなく、運行頻度や乗継ぎ時間などについても、移動の実質的な利便性に大きな影響を与えるとの観点から、整備水準計測に期待所要時間(EVTT)を採用している。

また、幹線交通整備によって将来的に整備水準がどのように変化するかを計測した研究としては、奥山・高梨らの研究¹²⁾、文献 11)の整備水準計測法を一般化費用に拡張することによって、鉄道整備プロジェクトの便益評価とした野村・青山らの研究¹³⁾がある。東海道新幹線の建設前の需要予測を事後的に検証し、幹線交通の需要予測

に関する教訓や要件を導き出した研究としては、土井・柴田の研究¹⁴⁾もあるが、これについても一種の将来予測研究と考えられる。

このような将来の整備水準を計測する研究に共通する特徴としては、特定のプロジェクトを想定して、それに対する評価を行っていることが挙げられる。だが、実際には幹線鉄道プロジェクトは複数存在しており、一つのプロジェクトを実施に移せば他のプロジェクトに鉄道網を介して影響が及んだり、資金制約の面で影響が及んだりすることが考えられ、実際にはプロジェクトを独立して評価することが難しいことが多い。

このような交通網独特のプロジェクト評価の特徴を考慮した研究としては、高速道路網に関するものであるが、青山・松中らの研究¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾、田邊・井田らの研究¹⁸⁾がある。高速道路網については、すでに全体構想は示されており、文献 15)-17)では、個々の路線の短期的な視点からの整備効果の評価に基づいて整備を行うと、必ずしも最適なネットワークが形成されないことを指摘するとともに、未完成路線の建設凍結は最適な選択ではないものの、全線建設についても適切ではないことなどを明らかにしている。また、分析手法としては、未完成路線ごとに着工の有無を設定し、組合せ最適化問題としてGAを使った分析がおこなわれているが、公共交通にそのまま適用できるわけではない。

以上の既存の研究を参考とすると、全国的な幹線鉄道網の分析をおこなうためには、少なくとも以下の2点に配慮することが必要であると考えられる。

- ①都市間交通では列車等の乗車時間だけでなく、運行頻度や乗継ぎ時間などについても、移動の実質的な利便性に影響を与えるため、これを考慮する。
- ②個々の路線の評価をおこなっても、必ずしも最適なネットワーク形成にはつながらないので、ネットワーク全体を評価するような方法を採用すること。

3. 分析内容与方法

(1) 分析の枠組み

本研究では、新幹線や在来幹線鉄道で構成される幹線鉄道網を分析対象とし、一定の費用制約を与え、その費用制約の下で最も利便性の高い幹線鉄道網とはどのようなものであるかを組合せ最適化問題として分析する。第1章で説明したように、本研究では利便性の視点としてEVTTを用いる。

具体的には、幹線鉄道網の各区分ごとに新線建設を含めた路線改良の段階を複数準備し、その中から改良のレベルを選ぶ。また、都市間交通では乗継ぎ利便性が全体の利便性に大きな影響を与えることから、各区分において列車の出発時刻についても選択肢の中から選ぶ。この

ような選択枝の組合せの中から、都市間移動の際の EVTT の総量が最小になる組合せを探す。EVTT の総量が少ないほど良いネットワークであり、投入費用がどれだけ EVTT の総量の減少に寄与したかといった観点から分析をおこなう。なお、EVTT を採用した理由としては、路線網の評価にあたっては、単なる列車の走行時間だけでなく、乗継ぎの利便を反映しうる指標だからである。

現在の幹線鉄道整備は全幹法に基づいているが、同法の下では、基本的には新幹線建設という選択枝しかない。しかし、今後の幹線鉄道の整備方針は、必ずしも既存の方法だけにとられる必要がないため、路線の改良選択枝の作成にあたっては、これまでの研究の結果⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾を参考に、在来線改良も選択枝に加えて分析した。

(2) 分析対象

分析対象地域は図 1 に示すような沖縄を除く都道府県を結ぶ幹線鉄道網(JR 線および第 3 セクタ鉄道)である。また、新幹線は航空路線の有無の影響を大きく受けるため、主要航空路線(1日 5 往復以上)も考慮した。主要地点間の所要時間や運行頻度については、旅客流動量のデータ年次を考慮して 2005 年時点のものを基本とした²¹⁾。

整備新幹線については、2008 年末時点で工事中の区間が完成した状態(九州新幹線は鹿児島ルート全通、長崎ルートは一部区間がスーパー特急として開通、北陸新幹線は金沢以東が開通、東北新幹線は全通、北海道新幹線は新函館以南が開通)を想定した。基本計画線については、四国新幹線の海峡横断部分および中央新幹線(東京-甲府-名古屋-奈良-大阪)については、既設の幹線鉄道が存在しないため、在来線改良は考慮せずに新規建設だけを考慮した。それ以外の基本計画線と整備計画線の未着工区間については、在来線改良と新線建設を考慮し、基本計画線と整備計画線のいずれにも該当しない幹線については在来線改良だけを考慮した。

評価値計算に用いた EVTT の計測地点としては、各都道府県の県庁所在都市の代表駅とした。在来線相互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。なお、計算効率化のため、乗継ぎ時間を駅によらず同一の値としたが、市販の時刻表でも新幹線と在来線との乗継ぎ時間は一部を除き 5~10 分程度と案内されており、これを 7 分に固定することの影響はさほど大きくない。また、同一種相互の乗換を 2 分に固定したことについても、日本の鉄道駅は小規模なものが多く、移動距離そのものは小さいため、計算結果への影響は軽微と考えられる。

分析の基準年である 2005 年の EVTT については、実際の鉄道および航空路線の運行ダイヤ²¹⁾²²⁾に基づいて、文献 23) のシステムの改良版を用いて計測した。



図 1 分析対象とした幹線鉄道網

(3) 路線改良費用・新設費用

本研究のような方法では、路線の改良や建設に要する費用の設定状況が結果に影響を与えるが、本研究では比較的近年に実施された複線化・電化・在来線高速化・新線建設の事例や試算値などをもとに、改良単価を設定した。表 1 は本研究で使用した従来の改良単価^{24)~32)}の一覧であり、選択枝作成の際はこれらの中から対象としている路線に最適なものを使用して改良選択枝を作成する。表 2 は選択枝作成にあたって、電化や複線化を要する場合に使用する単価^{28), 33)~39)}である。

表 3 は、路線改良よりもさらに時間短縮をおこなう場合に使用する新線建設単価^{29), 40)~44)}である。表 3 にはあわせて新幹線の高速化に要する単価も示している。また、新幹線の高速化については、東海道新幹線の高速化事業(のぞみ号の運転)の事例⁴⁵⁾をもとに、速度向上幅に比例して改良費用単価も大きくなるように設定した。新線建設の場合についても、300km/h 上の高速運転を想定する場合には、260km/h 対応の新線を建設費する場合の建設費に加えて、この高速化の単価をあらかじめ加算してある。新幹線区間の表定速度については、文献 20) と同じ方法で設定した。なお、いずれもデータ年次の違いを考慮するため、費用等は企業物価指数(総平均)を用いて 2005 年度価格に換算している。

これらをもとに、幹線の主要区間ごとに現状、および所要時間を 5 分刻みで短縮した場合の選択枝を、例えば表 4 のように作成した。ただし、乗換え時間を 2 分もしくは 7 分と設定していることを考慮し、所要時間の設定値は 5 分の倍数から 2 分を差し引いた値を原則とした。

表 1 在来線改良費用の単価設定

改良前の条件				改良後の条件				改良単価 [億円/Km]	参考事例	文献
単 複	電 化	振 子	表定速度 [km/h] V _{b,option}	単 複	電 化	振 子	表定速度 [km/h] V _{a,option}			
単	電	振	51.5	単	電	振	69.7	0.64	紀勢線(白浜-新宮)の高速化試算	24)
"	"	"	51.5	"	"	非	96.8	13.45	" ミニ新幹線化試算(路線の付替を伴う)	
複	"	"	85.5	複	"	振	92.0	0.13	阪和線(天王寺-和歌山)の高速化試算	
"	"	"	86.7	"	"	"	98.9	0.81	紀勢線(和歌山-白浜)の高速化試算	
"	"	"	86.7	"	"	非	115.1	12.36	" ミニ新幹線化試算(路線の付替を伴う)	25)
"	"	"	94.6	"	"	振	106.2	5.60	中央線(高尾-甲府)の130km/h化試算	
"	"	"	94.6	"	"	"	123.1	20.13	" 160km/h化試算	
単	非	非	46.3	単	非	非	56.8	0.21	津山線(津山-岡山)の高速化事業	26) 27)
"	"	"	57.4	"	電	"	67.9	2.02	山陰線(園部-福知山)の高速化事業	28)
"	"	"	58.8	"	非	"	68.8	0.14	宮福線(宮津-福知山)の高速化試算(KTR 気動車の場合)	28)
"	"	"	58.8	"	電	振	90.4	1.88	" 高速化試算(651系電車の場合)	
"	"	"	58.8	"	"	非	78.7	1.30	" 高速化試算(485系電車の場合)	
"	"	"	63.2	"	"	"	83.0	5.87	北越急行(六日町-犀潟)の130km/h運転試算	28)
"	"	"	63.2	"	"	"	105.0	5.37	" 160km/h運転試算	
"	"	"	66.2	"	非	振	73.7	0.10	中村線(窪川-中村)の高速化事業	28)
"	"	"	68.3	"	"	"	88.6	0.41	智頭急行(上郡-智頭)の130km/h運転試算(2000系気動車の場合)	28)
"	"	"	68.3	"	電	"	92.9	1.22	" 130km/h運転試算(381系電車の場合)	
"	"	"	68.3	"	"	"	100.5	2.09	" 160km/h運転試算	
複	電	"	68.8	複	"	非	87.1	4.82	奥羽線(福島-山形)のミニ新幹線化(山形新幹線)	
単	"	"	68.8	単	"	"	83.7	0.29	日豊線(延岡-宮崎)の高速化事業	30)
"	"	"	71.4	"	"	"	90.9	4.65	田沢湖線等(盛岡-秋田)のミニ新幹線化(秋田新幹線)	29)
"	非	"	72.4	"	非	振	81.6	0.74	高徳線(高松-徳島)の高速化事業	28)
"	電	"	72.4	"	電	非	99.7	4.65	奥羽線(山形-新庄)のミニ新幹線化(山形新幹線延伸)	29)
複	"	"	78.8	複	"	"	85.5	1.57	白新線・羽越線(新潟-酒田)の高速化試算	31)
単	非	"	79.5	単	非	振	97.6	0.32	山陰線(鳥取-米子)の高速化事業	32)
複	電	"	85.4	複	電	"	100.5	0.19	日豊線(小倉-大分)の高速化事業	28)

表 2 複線化・電化費用の単価設定

	億円/Km	備考
複線化	13.10	単線→複線の線増費用
電化	0.98	複線の場合は2倍必要, 160km/h運転の場合必須

表 3 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
新線建設 130km/h	29.30	91.9	複線電化[延長 10.0km 以上]
新線建設 160km/h	35.95	113.1	複線電化[延長 12.3km 以上]
新線建設 260km/h	58.18	213.3	フル規格新幹線[延長 20.0km 以上]
新線建設 300km/h	61.29	253.4	フル規格新幹線[延長 23.1km 以上]
新線建設 320km/h	62.84	273.5	フル規格新幹線[延長 24.6km 以上]
新線建設 350km/h	65.17	303.5	フル規格新幹線[延長 26.9km 以上]
新線建設 500km/h	188.88	453.9	リニア新幹線
新幹線高速化	0.78	+10.1	最高速度の向上幅 10km/h あたり

このように改良の程度を離散的な値にすることにより、費用制約下における、改良対象路線・改良対象内容・列車の出発時刻設定の組合せ最適化問題として分析できるようにしている。同じ時間短縮量で改良方法が複数ある場合は、改良費用の小さい方法を用いて路線改良内容の選択肢を作成した。なお、選択肢を作成する際、より実際の選択肢となるように、次のような基準を併用した。

- a) 曲線を高速で通過できる振子式車両を使用している路線は、通常の軌道強化等の方法による改良の余地が少ない。そこで、対象路線がそのような路線の

表 4 山陰線(鳥取-米子)の改良選択肢(例)

番	分	費用 [億円]	改良後の状態	改良長 (km)	参考事例
1	62	0	単線, 非電化, 振子	0	基本
2	58	117.0	単線, 電化, 振子	64.4	紀勢線(和歌山-白浜)の高速化試算
3	53	468.7	単線, 電化, 非振子	61.0	紀勢線(和歌山-白浜)のミニ新幹線化試算
4	48	964.8	単線, 電化, 振子	86.8	中央線(高尾-甲府)の160km/h化試算
5	27	5393.3	複線, 電化, 非振子	92.7	260km/h 新線
6	22	5681.6	複線, 電化, 非振子	92.7	300km/h 新線
7	19	5041.3	複線, 電化, 非振子	92.7	350km/h 新線

場合、表 1 に示した事例のうち振子式車両使用路線の改良事例データを用いる。対象路線が振子式車両を使用していない場合は、特に制限しない。

- b) 近年は、動力方式の違いが速度に与える影響が小さくなってきているので、電化・非電化の別は表 1 に示した各事例の採否に影響させない。ただし、対象路線が非電化で、採用しようとしている表 1 上の事例が電化を前提としている場合は、電化費用を加算する。電化は改良区間長にかかわらず、区間全体を電化する。
- c) 改良前の速度が対象路線となるべく似た事例を表 1 から選ぶようにするため、対象路線の改良前の表定

速度をもとに、次式を満たす範囲で表1から事例を選ぶ。

$$V_{b_{option}} \leq 1.1 V_{b_{target}} \quad [1]$$

$V_{b_{target}}$:対象路線の改良前表定速度

$V_{b_{option}}$:表1の事例の改良前表定速度

- d)対象路線の改良後の表定速度が過大にならないようにするため、次式のように、表1の各事例における速度向上幅を対象路線の改良前の表定速度に加算したものか、もしくは表1に示された改良後表定速度そのものかの、いずれか小さい方を対象路線の改良後の表定速度とする。

$$V_{a_{target}} = \text{Min}(V_{b_{target}} + V_{a_{option}} - V_{b_{option}}, V_{a_{option}}) \quad [2]$$

$V_{a_{target}}$:対象路線の改良後表定速度

$V_{a_{option}}$:表1の事例の改良後表定速度

- e)単線・複線の別は表1に示した各事例の採否には影響させないが、対象路線と表1上の事例とで単線・複線が一致しない場合は、改良単価を2倍もしくは半分に調整する。
- f)新線建設はいかなる場合も適用可能で、表定速度は表3に示された値をそのまま使用する。ただし、260km/h以上の新線は全幹法に示された新幹線予定区間のみ選択可とする。また、リニア新幹線は中央新幹線区間のみ適用可とする。
- g)大都市近郊区間では、改良単価が大きく異なる可能性が高いため、在来線の改良を行わない。
- h)東海道新幹線は、既に改良の余地のない段階にまで達していると考えられるので、改良は行わない。

例えば、表4の作成過程を説明すると次のようになる。現状では、鳥取－米子間92.7kmに62分を要しているため、この区間の表定速度 $V_{b_{target}}$ は次のように計算できる。

$$V_{b_{target}} = 92.7 / (62/60) = 89.7 \text{ km/h} \quad [3]$$

したがって[1]より、表1の事例の改良前表定速度 $V_{b_{option}}$ については次のような範囲となる。

$$V_{b_{option}} \leq 1.1 \times 89.7 = 98.7 \text{ km/h} \quad [4]$$

この区間では、現状において振り式車両使用区間であるので、表1において「改良前の条件」欄の「振り」欄が「振」である単価事例のうち、「改良前の条件」欄の「表定速度」欄、すなわち $V_{b_{option}}$ が98.7km/h以下である事例を用いる。

表4の改良選択肢2番は区間所要時間が58分となるように作成する。参考対象となる事例は複数存在するが、結果として改良費用が最も小さくなるのは「紀勢線(和歌山－白浜)の高速化試算」の事例である。この事例に関しては、表1より、改良前の表定速度が86.7km/h、改良後の表定速度が98.9km/hであるため、[2]を用いて選択肢作成に用いるための表定速度である $V_{a_{target}}$ は次のように計算される。

$$V_{a_{target}} = \text{Min}(89.7 + 98.9 - 86.7, 98.9) \\ = 98.9 \text{ km/h} \quad [5]$$

区間長92.7kmを無改良部分28.3kmと改良部分64.4kmに分け、前者は表定速度89.7km/h、後者は[5]の結果である98.9km/hを用いると、全体の所要時間は次のようになる(端数切り上げ)。

$$(28.3/89.7 + 64.4/98.9) \times 60 = 58 \text{ 分} \quad [6]$$

このときの鳥取－米子間の改良費用は以下のように計算される。表1に示された改良単価は0.81億円/kmであるが、「紀勢線(和歌山－白浜)の高速化試算」が複線電化を前提としたものであるのに対し、鳥取－米子間は単線非電化であるので、まず0.81億円/kmを半分にした上で改良延長64.4kmを乗じ、さらに92.7km全線にわたる電化(0.98億円/km)を計上し、次式で求める。

$$(0.81/2) \times 64.4 + 0.98 \times 92.7 = 117 \text{ 億円} \quad [7]$$

表4の改良選択肢3番および4番も同様の方法で作成するが、区間所要時間を48分(改良選択肢4番)よりも小さくするには、在来線改良による方法では不可能であるため、改良選択肢5番以降は新線建設になる。

新線を建設する場合、表3の新線建設160km/hでは表定速度が113.1km/hであり、区間全てを新線として建設しても所要時間が49分となるため、48分よりも大きくなってしまう。1段階上の新線建設260km/hでは表定速度が213.3km/hとなるため、所要時間は27分と計算され、これが改良選択肢5番となる。改良費用は表3における新線建設260km/hに対応する建設単価58.18億円/kmに、建設延長の92.7kmを乗じた5393.3億円となる。以降の選択肢も同様にして作成される。

このような手順で、全区間について表4のように改良選択肢をそれぞれ作成する。本研究のGAにおける幹線鉄道網の表現型(PTYPE)はこの選択肢番号と出発時刻(両方向)の組合せであるが、遺伝子コード(GTYPE)はPTYPEをそのまま使用した。したがって、本研究のGAにおける遺伝子はバイナリ表現ではない。

また、本研究では費用制約下の組合せ最適化問題であるため、以下の制約式を満たす場合にのみ次節で説明する評価値を計算し、それ以外については致死遺伝子として取り扱った(評価せずに棄却した)。つまり、本研究の唯一の制約条件は、「各区間の改良費用の総和が設定された費用制約値以下」という条件である。

$$c \geq \sum_i (LIC_{in}) \quad [8]$$

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「費用」欄の値)

(4) 評価方法

本研究では、乗車時間や待ち時間などを含めた旅客の実質的な移動時間が少ないほど良い鉄道ネットワークであるとの観点から分析を行った。すなわち、都道府県庁所在都市間のEVTTと全国幹線旅客純流動調査(2005年)の

流動量(鉄道+航空、秋期平日)とを乗じて総移動時間数を計算し、これを評価値として使用した。運賃変化や他の交通機関からの移転、利用者数変化に伴う運行本数の増減、旅客流動そのものの変化などは考慮していない。

$$fc = \sum_i \sum_j (A_{ij} \text{EVT}T_{ij}) \quad [9]$$

fc : 費用制約 c に対する評価値
(小さいほど良い)

A_{ij} : ij 間の旅客純流動
 $\text{EVT}T_{ij}$: ij 間の EVTT

分析指標として使用した EVTT は、交通機関そのものの所要時間(乗車時間)、乗継ぎ、ダイヤ構成などを総合的に表現する指標である。間欠運行している都市間交通の各便の所要時間が小さく、運行頻度が高いほど小さな値となる。また各便の所要時間や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。実際のダイヤに沿って算出することで、乗継ぎの良否も考慮可能である。算出方法の詳細については、次節で説明する。

分析対象とした幹線鉄道網を構成する 231 区間について前項の方法でそれぞれ改良選択枝を作成するとともに、主要航空路線とアクセス交通のリンク(改良選択枝は現況のみ)を加えたネットワークを作成した。また、各交通結節点における列車(あるいは航空便等)の出発時刻を 5 分刻みで変化させた。

区間ごとの改良選択枝数はそれぞれ異なり、東海道新幹線や大都市近郊区間などの無改良区間を除くと、最小 2 択枝数(計 21 区間)、最大 26 択枝数(1 区間)であり、最頻値は 3 択枝数(計 50 区間)である。これらの改良選択枝の組合せを計算すると約 5.6×10^{28} 通りとなる。

さらに、本研究では EVTT という乗継ぎ考慮できる指標を採用しているため、区間ごとに列車の出発時刻も選択している(後述の[14]の Phase 値の選択)。運行本数は区間ごとに異なり、M 分間隔で運行されている区間では片道あたり選択枝数は $M/5$ 通り、往復で $(M/5)^2$ 通り(例えば毎時 1 本運転の場合、往復 144 通り)の出発時刻に関する組合せがある。無改良区間を含めた全幹線鉄道区間、主要航空路線、アクセス交通の全区間について、列車や航空便等の出発時刻を考慮した。その結果、前述の改良選択枝の組合せと出発時刻選択の組合せの双方を組み合わせることで、計約 1.4×10^{563} 通りになる。これの中から、改良の総費用が設定値 c 以下であり、なおかつ上で述べた評価値 fc が最小のものを GA により探索する。このような問題はナップサック問題と呼ばれ、解析的に最適解を求めることが難しい。

ナップサック問題とは、一定の容積を持つナップサック(袋)と複数の品物(個々の荷物は異なる体積と価値を持っている)が与えられた時、ナップサックの容積を超えない範囲で品物をいくつか詰め、ナップサック内の品

物の価値を最大化するという問題である。この問題は多項式などを用いて解を求めることが困難であることが知られており、完全な最適解を求めるには全組合せを総当たりで調べるしか方法がない。

また、本研究では都市間鉄道網を扱うため、特定の改良選択枝および列車の出発時刻の組合せの時だけ乗継ぎが成功して評価値が良好になる(ナップサックでたとえると、詰める荷物の組合せに応じて、荷物の価値が変化するような状況)。このため、評価値は選択枝の組合せに対して比較的鋭い峰を数多く持つ多峰性関数であることが予想され、GA を用いたとしても局所解に陥りやすく、求解は比較的難しい部類であると考えられる。

1.4×10^{563} 通りの全ての組合せについて評価値を計算することは非現実的なため、本研究では文献 20) 等に用いた GA による計算システム⁸⁾の改良版(演算を高速化したもの)を用い、実用解を算出した。

(5) 期待所要時間(EVTT)について

評価値 fc を計算[9]するには、EVTT(期待所要時間)をあらかじめ計算する必要がある。EVTT は、次のような考え方に基づく指標である⁹⁾。

直接結ばれている 2 点間の公共交通利用時の所要時間 $D(t)$ 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 の関数になる。まず、図 2 のように一般的には利用する便ごとに乗車時間が異なり (r_1, \dots, r_4, \dots) 、各便の出発時刻 (s_1, \dots, s_4, \dots) においては図 2 の●点のように示される。

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 $(w_1(t), \dots, w_4(t), \dots)$ が加わり、図中の斜め線のようにになる。このとき、列車 n を利用しようとした場合の待ち時間は旅行開始時刻 t によって変化し、次式で表される。

$$w_n(t) = s_n - t \quad (s_{n-1} < t \leq s_n) \quad [10]$$

このときの旅行時間 $\text{TT}_n(t)$ は $w_n(t)$ に乗車時間 r_n が加

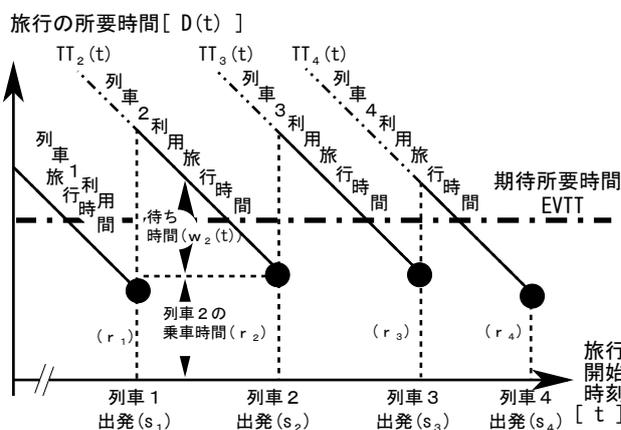


図 2 EVTT(期待所要時間)の考え方

わったものであるため、次式のようになる。

$$TT_n(t) = r_n + w_n(t) = r_n + s_n - t \quad (s_{n-1} < t \leq s_n) \quad [11]$$

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 $D(t)$ の変化を表している。この場合、鎖線部分はより早く到着する便があるので利用されない。

$$D(t) = \min(TT_1(t), TT_2(t), \dots, TT_n(t)) \quad [12]$$

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 EVTT である。T を EVTT 計算のための計測時間帯とすると次式になる。

$$EVTT = (1/T) \int_0^T D(t) dt \quad [13]$$

EVTT は、各便の所要時間が小さく、運行頻度が高いほど小さな値となり、また各便の所要時間や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・等間隔に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。

$$s_n = n \text{ Cycle} + \text{Phase} \quad [14]$$

このとき、直接結ばれる2点間のEVTTは次のようになる。

$$EVTT = r + \text{Cycle}/2 \quad (r = r_1 = r_2 = \dots) \quad [15]$$

複数路線を乗継ぐ場合は単純に[15]でEVTTが計算できるわけではなく、実際のダイヤおよび経路に沿って算出しなければならない。そこで、最短経路探索手法であるDijkstra法に時間軸の概念を導入して計算を行う。Dijkstra法では計算対象とするネットワークを構成する各リンクの所要時間は、リンクの出発側時刻によらず一定の固定値として計算されることが多い。だが、公共交通は間欠運行であるため、所要時間は出発時刻により異なり、[11][12]および図2で示されるように変化する。

そこで、リンク所要時間を固定値の代わりに出発時刻の関数として記述し([14]を[11]に代入した上で[12]を求める)、出発ノード i と出発時刻 t_i を指定した上で、計算手順そのものは通常のDijkstra法と同じ方法で探索を行うことで、公共交通に対応した最短経路探索が行えるようになる。このときの到着ノードを j とし、その時の到着時刻を t_j とすると、 ij 間の公共交通利用時の所要時間 $D_{ij}(t)$ は次のようになる。

$$D_{ij}(t) = t_j - t_i \quad [16]$$

$D_{ij}(t)$ の時刻 t に沿ったグラフの形状は、経路が t によって変化したり、途中のリンクの運行間隔が異なった

りすることにより、一般的には不規則な鋸型形状をしている。 ij 間のEVTTはこの不規則な鋸型形状を、 t_i を細かく変化させて複数回指定することで具体的に計測し、その結果を使って[13]と同様に求めることができる。

$$EVTT_{ij} = (1/T) \int_0^T D_{ij}(t) dt \quad [17]$$

これにより、複数路線を乗継ぐ場合や複数経路を時間帯によって使い分ける等の状況下でもEVTTを計算できる。

(6) 計算システムについて

本研究では、一連の研究で使用してきた計算システムを改良するとともに各種設定を見直すことなどにより、計算を大幅に高速化することで、全国の幹線鉄道網を対象とした分析を実現することができた。

GAによる解の探索は突然変異と交叉が基本的なオペレーションであるが、ごく狭い範囲では逐次改善が可能な場合があり、確実な評価値改善になるので計算時間短縮につながる。本研究の場合、列車の発車時刻選択についてはごく狭い範囲では出発時刻を変化させることで待ち時間を短縮できる可能性があり、逐次改善が行える。

また、集団サイズも計算精度と計算速度に大きな影響を与える。集団サイズは大きいと計算精度が向上する可能性がある反面、計算速度は低下する。通常、集団サイズとしては50~150程度がよく用いられるが、一般に最適な集団数はビット列に応じて指数的に増大すると言われている⁴⁷⁾。本研究の場合、逐次改善の対象とした出発時刻選択を除き、路線改良に関する改良選択肢の組合せである約 5.6×10^{123} 通りを、ビット換算(2進数で表現した場合の桁数)すると427ビットとなる。このため、集団サイズを100前後に設定すると計算精度の低下が懸念される。そこで、初期集団サイズを425に設定するとともに、解の探索が進行に伴って使用されない選択肢が明らかになってきた場合に集団サイズを縮小し、計算精度を保ちながら計算時間の短縮を実現した。

本研究の場合、厳密な最適解が事前には不明であるため、計算をどこかで打ち切らなければならないが、計算の打ち切り条件も計算時間に影響を与える。従前²⁰⁾²³⁾は100世代にわたって評価値が全く変化しない場合に計算を打ち切っていたが、探索が進行した段階における新たな改善は小規模なものが多く、計算時間がかかる割にはほとんど計算精度は上がらなかった。そこで、打ち切り条件を「100世代あたりの評価値の変化率が0.1%未満となった場合、実用解に達したと判断して計算を打ち切る」とし、計算終了までの世代数を半分程度に削減した。1つの制約値に対して、このような計算を5回繰り返し、最良値を最終的な結果とした。

本研究のGAによる探索の世代数については500世代程

度であるが、前述のように逐次改善を組み込んでいるため、評価値の計算回数は計 4000 万回程度になっている（さらに、それを 5 回繰り返している）。なお、単純な GA では世代数に集団サイズを乗じたものが評価値の計算回数であり、本研究では世代数は少ないが十分な評価作業回数を確保している。

本研究の分析対象は、評価関数が多峰性になることが予想されたので、やや大きな突然変異率（5%）を採用した。また、交叉率については 70%の二点交叉とした。これら設定値については本研究よりも小規模なネットワークを使った予備的調査で検討を行った。ランダムサーチ性を重視して突然変異率をさらに大きくしたり、交叉率を小さくしたりすると、解の探索効率が低下することが確認されており、単なるランダムサーチではなく、GA としての探索がおこなわれていると考えられる。

その他、トーナメント方式採用、エリート戦略(10%)併用とした。計算時間は Intel Visual Fortran 9.1 でコンパイルしたプログラムを Core 2 Quad (3.6 GHz, 4 コア並列処理)、Windows Vista (64bit)の機器で計算した場合、1 ケースあたり 150 時間程度(後述の図 3 を作成するために必要な計算は、のべ約 9,000 時間程度)である。

(6) 整備費用などのケース設定

制約式[8]の整備費用制約 c のケース設定は、表 5 に示した計 16 ケースとした。基本計画線を含めた全国の新幹線計画を完成させるには概ね 35 兆円を要することから、それよりもやや大きい値の 50 兆円を費用制約値の最大値とした。

また、各路線の列車の運行周期については 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、現状と同じ運行本数とした。航空路についても同様の設定である。

4. 整備費用と総所要時間短縮量

(1) 総所要時間短縮量の推移

図 3 は、各整備費用 c に対する評価値 f_c を求めた結果から、2005 年における EVTT の実測値（前章（5）の方法で、2005 年における実際の運行ダイヤに基づいて算出）をもとに[9]の方法で費用 0 円の際の評価値 f_0 を求め、 f_c と f_0 との差分（総所要時間短縮量）を示したものである。整備費用が大きくなるほど総所要時間短縮量は増大しているが、同時に整備費用あたりの短縮量が小さくなる傾向があり、整備費用 12.5 兆円付近を境に急速に伸びが鈍

表 5 整備費用制約のケース設定

費用制約	2.5 兆円,	5 兆円,	7.5 兆円,	10 兆円,
	12.5 兆円,	15 兆円,	17.5 兆円,	20 兆円,
	25 兆円,	30 兆円,	40 兆円,	50 兆円

化し、25 兆円付近でほぼ完全に頭打ちとなっている。

本研究における「整備費用 0 円」は、図 1 に示したように整備新幹線については 2008 年末時点で工事中の区間が完成した状態である。そこを基準にしても、図 3 では整備費用 12.5 兆円付近までは費用を投入することで総所要時間が短縮される可能性があることが示されている。すなわち、整備新幹線の工事が完了したら幹線鉄道網が完成するわけではなく、さらに整備して改良する余地が残っていることがわかる。

(2) 差し引き便益額の推移

図 3 ではどの程度の整備費用の場合に効果が最大になるのが明瞭でないため、本節では総所要時間短縮量を金額換算し、整備費用を差し引いた値（以下、差し引き便益額）を使って分析する。まず、総所要時間の短縮量を文献[13]を参考に 1 分あたり 69.4 円の率で時間短縮便益に変換するとともに、これを一定期間分を累計した。本研究では文献[48]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、累計期間を 40 年とした。

図 4 は上述の方法で計算した結果であるが、整備費用が 40 兆円を超えると差し引き便益額が負になり、整備費用が国民の移動時間短縮という形で回収できなくなることがわかる。差し引き便益額が最大であるのは、整備費用が 12.5 兆円の場合であり、その値は約 23.5 兆円である。整備費用が 15 兆円の場合についてもほとんど同じ結果である（約 23.2 兆円）。GA が実用解を求める手法であることを考慮すると、これら 2 つの結果の差違は事実上無いと考えられる。

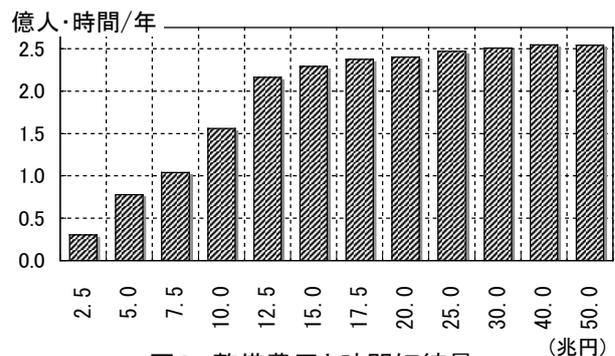


図 3 整備費用と時間短縮量

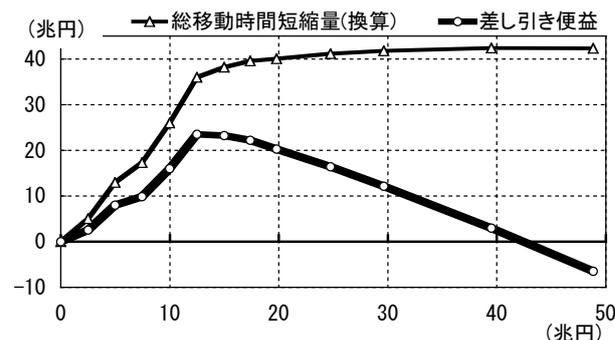


図 4 費用制約と差し引き便益の比較

これらのことから、工事中の整備新幹線が完成後、さらに12.5~15兆円程度の幹線鉄道整備をおこなっても、整備の効率性を損なうことなく幹線鉄道網の利便性を向上させることが可能であると考えられる。

(3) 整備費用に対する感度分析

単価等の条件設定は現実的な値とするよう注意したが、前述のように、本研究のような分析方法は整備費用の単価設定の影響を受けやすい。そこで、本項では単価が全体的に20%上昇した場合と20%低下した場合について図4と同様の分析を行う。

単価が全体に20%上昇した場合、例えば図3で10兆円の費用に対応する総所要時間短縮量を得るには、12兆円を要するようになる。逆に20%低下した場合は8兆円で済むことになる。このような考え方をもとに差し引き便益額を再計算して図示したものが図5である。

図5では、基本の単価設定(太線)に比べて、費用が20%上昇した場合にはグラフの最大値はやや右に移動するとともに高さが若干下がる(15.0兆円の時に最大値21.0兆円)。逆に20%低下した場合にはグラフはやや左に移動するとともに高さが上がる(12.0兆円の時に最大値26.2兆円)。しかし、その移動の程度はあまり大きくない。

このことから、±20%程度の費用変化では、「12~15兆円程度の幹線鉄道整備が良好な結果をもたらす可能性が高い」という結論を変更する必要はない。

5. 計算結果の整備内容内訳

図4では差し引き便益値が整備費用12.5~15兆円で最大となっているが、このうち、15兆円の計算結果について、その概要を集計したものが表6である。また、図6はこの結果の構成比の概要を図示したものであり、図7は地図上に示したものである(GAの結果としては、区間ごとの改良選択結果が得られるため、まず図7が作成でき、これを集計して表6や図6が得られる)。

整備費用に関して半分以上の約7.9兆円を占めるのが

リニア新幹線の建設費である。鉄道会社が建設の意思を表明している区間だけでなく、全線を建設するような結果となっている。リニア新幹線については、整備費用10兆円以下のケースでは全通しておらず、費用12.5兆円ではじめて全通する。わが国の鉄道ネットワークの中央部に位置し、超高速運転であることから鉄道ネットワーク全体の利便性に与える影響がきわめて大きい。

次いで大きな費用となっているのが従来型の新幹線の建設であり、約4.0兆円、総延長は約640kmである。ここまですべて全幹線で明確に取り扱える範囲であり、費用15兆円のうちの約80%を占めている。

具体的な路線については図7に示されているが、これはEVTTの観点から算出されたものであり、運賃変化、列車の乗車効率(混雑状況)、投資の地域バランス、整備財源制度の有無、運営会社の事業採算性、国土構造の長期的変化への配慮などはなされていない。GAの探索結果は区間ごとに詳細に得られるが、図7は作図上の都合で在来線の改良などは規模の大小が表現されていない。さら

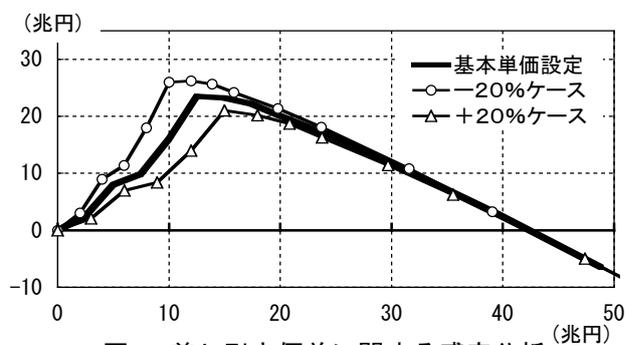


図5 差し引き便益に関する感度分析

表6 計算結果概要(15兆円の場合)

	費用[億円]	延長[km]	区間数
リニア新幹線の建設	78,952	418	4
新幹線新線建設	40,172	640	12
既設新幹線の高速化	10,852	1,894	25
160 km/h 対応新線(スーパー特急)建設(一部130km/h区間含む)	8,706	246	6
在来線改良事業	7,373	3,263	84
在来線の160km/h化	3,699	658	19

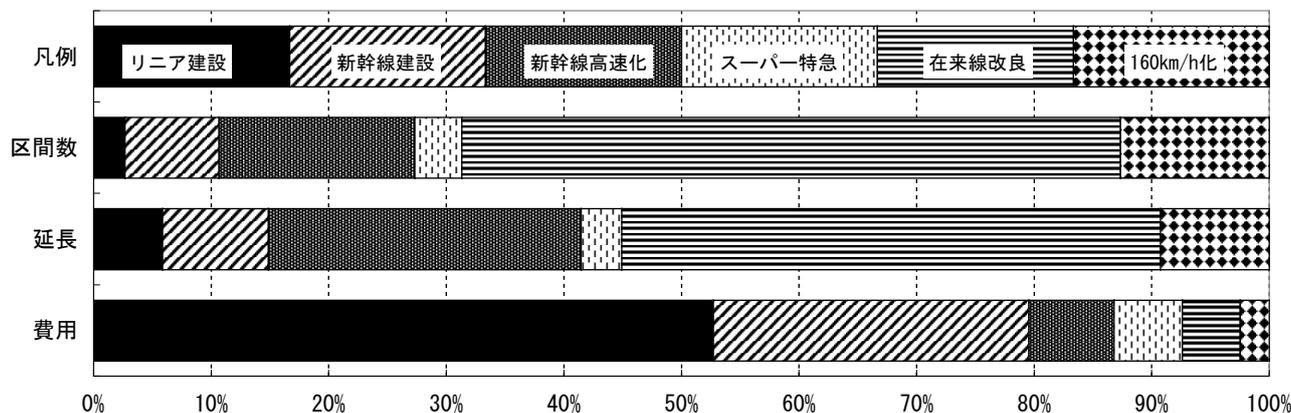


図6 整備費用15兆円に対する計算結果の内訳

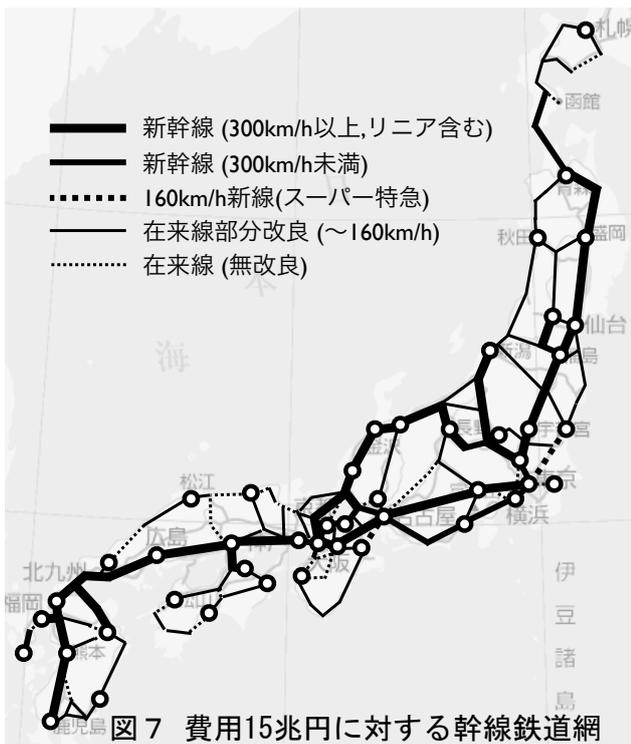


図7 費用15兆円に対する幹線鉄道網

に、費用制約下における組合せ最適化問題の結果であるので、費用制約値を変化させた場合に整備内容が鋭敏に変化してしまう区間が一部に存在する。

既設新幹線(2008年末で工事中区間を含む)の高速化に投じられる費用は約1.1兆円と比較的小さいが、改良延長は1,900km近くになっており、幹線鉄道網全体の利便性向上には、既設新幹線の大部分を今以上に高速化する必要があることがわかる。しかし、既設新幹線の高速化事業は完全網全体への影響が大きいと考えられるにもかかわらず、幹線鉄道政策としては明確に取り扱われておらず、各鉄道事業者の自主的な事業となっているのが現状である。

既設新幹線の高速化と同程度の費用になっているのが160km/h運転対応の新線建設である。区間数は6カ所と少ないが、新幹線計画のない比較的人口の多い地域や人口が少ない地域でも都市間の距離が短い区間などで有効な選択肢となると考えられる。160km/h~200km/h程度で狭軌電車を走行させる方式はスーパー特急と呼ばれ、全幹法に基づく新幹線整備において将来的にフル企画新幹線に転換することを前提として暫定的に整備されることがある。しかし、全幹法に示されていない路線に対してこのような形態の新線を整備する方法がなく、幹線鉄道整備の盲点となっている。

在来線の改良事業は総費用0.7兆円であるが、改良延長の累計が3,000km以上にもおよび、区間数も最も多い。個々の改良事業が鉄道網全体に与える影響こそ小さいものの、比較的狭い範囲内での利便性向上に大きな影響を与えているものと考えられる。在来線の160km/h運転化も含めると在来線の改良に投じられる費用は1兆円を超

え、改良延長も計4,000kmあまりとなる。しかし、これらを整備するには、現行の幹線鉄道整備の体系では対応できず、国庫の補助事業はあるものの、沿線地域が主導的に改良事業を行わなければならない。

6. わが国の幹線鉄道整備政策に関する考察

本研究では新幹線建設だけでなく、幹線鉄道の改良を含めてネットワーク全体に投入する費用と幹線鉄道網上の総移動時間の短縮量についての分析を行った。その結果、主要航空路線の存在を考慮しても、なおも12~15兆円の整備費用を投入することで、総移動時間を大きく減少させることが可能であり、工事中の整備新幹線が開通したとしても幹線鉄道網整備が飽和状態になるとは言えないことがわかった。また、整備費用が15兆円を超えると総所要時間の短縮が急速に頭打ちの傾向になることもわかった。

総所要時間を金額換算したものから整備費用を差し引いた、差し引き便益額を計算した場合、この値が最大となる費用も12~15兆円であり、このときの時間短縮量を金額換算すると40年間で約23兆円になることがわかった。整備費用15兆円という額は小さな値とは言えないが、大きな社会的便益が発生するものであることや、わが国の社会資本整備全体の規模(国費だけで10年間で約80兆円)から見れば決して莫大すぎるわけではない。

また、実際に整備に移されることになったとしても、①15兆円のすべてが負担となるわけではなく、現行のスキーム下で建設する新幹線区間については施設の貸付料収入が還元されるものであること、②中央リニア新幹線の東京-名古屋間については運営会社による投資も見込まれていること、③現状における新幹線整備への公的投資額が年間約3000億円程度であること、などを考慮すると、このような交通体系を実現するには無限に近いような長期を要するわけではない。

計算結果の内訳について分析すると、現行の全幹法の枠組みでは取り扱えない整備内容が少なからず含まれている。例えば、上述した整備費用15兆円のうち、民間主導で進行しているリニア新幹線の費用を除くと、全国的な幹線鉄道整備の費用は約7兆円となる。現行の全幹法では、「建設を開始すべき新幹線鉄道の路線を定める基本計画(以下、基本計画)」に示された路線が整備対象である。また、新幹線鉄道は「主たる区間を列車が二百キロメートル毎時以上の高速度で走行できる幹線鉄道」のことであるため、200km/hに達しない鉄道は基本計画に示された路線であっても全幹法では直接取り扱われていない(例えば奥羽新幹線計画と並行する山形新幹線など)。このため、現状の運用では全幹法でカバーできるのは、表6の「新幹線建設」(約4兆円)だけである。他の整備方法

(約3兆円)は、現行の全幹法が直接想定していない方法であるが、一部区間については全幹法の対象となる可能性はある。新幹線鉄道の定義は「主たる区間」を高速走行することであり、一体整備される路線の一部区間が低速運転されるような場合、そのような区間を含めて新幹線鉄道として扱われる。

だが、在来線を単に高速化するだけの事業は全幹法の対象ではない。幹線鉄道等活性化事業費補助などもあるが、基本的な視点は地方の事業に対する補助であり、国土全体にわたる幹線鉄道政策に基づくものではない。実際に事業を実施するにあたっては、国庫負担率が低く、事業者負担もあり、補助の年間予算額も小さい⁴⁹⁾。

今後の幹線鉄道整備を無駄なく円滑に進めるためには、全国的な幹線鉄道網整備の対象として単に新幹線建設だけを取り扱うのではなく、全国的な利便性向上を目指した各種方策を取り扱える総合的な幹線鉄道整備政策の立案が必要であると言える。

7. 今後の研究課題

本研究では、都道府県庁所在都市を代表地として分析を行ったが、面積が大きな都道府県も存在する。個々の路線の詳細な整備レベルの検討を行うには、生活圏を考慮した分析などをおこなうことによって、より計算精度を向上させることも必要と思われる。

また、本研究では幹線鉄道網の評価基準を期待所要時間としたが、運賃変化などを考慮するために期待一般化費用(EVGC)を採用したり、航空や自動車などの交通機関からの移転、区間ごとの旅客流動の多寡に応じて運行頻度が増えることなどを考慮した分析も必要である。

本研究では、費用の投入方法として路線改良による区間所要時間短縮を取り上げたが、駅構造を改良することによる乗継ぎ時間短縮という観点も考えられ、投入費用の一部をこれに充てることも考えられる。

本研究ではGAを用いて分析をおこなったが、所要時間だけを取り扱っているにもかかわらず計算時間が大変長く、これら分析をおこなうには計算のさらなる高速化や分析手法の転換も必要になってくるものと思われる。

【参考文献】

- 1) 波床正敏: 明治期以降の交通網整備が我が国の地域構造に及ぼした影響に関する研究, 京都大学学位論文, 1998年
- 2) 中川大・波床正敏: 整備新幹線評価論 - 先入観にとらわれずに科学的に評価しよう -, ピーテック出版部, 2000年10月
- 3) 波床正敏・池田篤司: 計画中の幹線鉄道整備に伴う都市間の利便性変化の計測に関する研究 - 将来の高速鉄道網における既設新幹線・整備新幹線・中央新幹線の役割 -, 鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL 2002) pp. 229-232, 2002年
- 4) 朝日新聞社: 鉄道復権 -Railroad Renaissance-, 朝日新聞グループ, No. 9, 2009年2月9日, <http://www.globe.asahi.com/feature/090202/index.html> (2009年2月26日取得)

- 5) 朝日新聞社: 「新幹線技術で米に協力」首相、米大統領に意向打診へ, 朝日新聞 web 版, 2009年2月24日, <http://www.asahi.com/politics/update/0224/TKY200902230345.html> (2009年2月26日取得)
- 6) 益田悦佐: 日本文明世界最強の秘密, PHP 研究所, 2008
- 7) 加藤浩徳: 「スイスの都市間鉄道サービス改善に向けた取り組み: RAIL2000 プロジェクトとその後のSBBの研究開発」, 運輸政策研究 Vol. 9 No. 2 2006 Summer, pp. 59-61, 運輸政策研究機構, 2006年
- 8) 波床正敏・中川大: 公共交通網におけるパルスタイムテーブルシステム成立条件に関する研究, 土木計画学研究論文集 Vol. 24, no. 4, pp. 693-702, 2007年
- 9) 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 9, pp. 69-76, 1991年
- 10) 近藤光男・青山吉隆: 「旅行時間と費用からみた全国高速交通体系の近年の整備変化」, 土木計画学研究・論文集 No. 11, pp. 49-56, 1993
- 11) 中川大・波床正敏・加藤義彦: 「交通網整備による都市間の交流可能性の変遷に関する研究」, 土木学会論文集 No. 482/IV-2, pp. 47-56, 1994
- 12) 奥山育英・高梨誠・橋本貴司: 「構想中の国土軸内における移動時間の比較分析」, 土木計画学研究・論文集 No. 12, pp. 613-620, 1995
- 13) 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
- 14) 土井利明・柴田洋三: 「東海道新幹線の需要予測に関する事後的分析」, 土木学会論文集 No. 562/IV-35, pp. 121-131, 1997
- 15) 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
- 16) 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
- 17) 松中亮治・谷口守・青山吉隆・舛岡田渡史: 「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
- 18) 田邊慎太郎・井田直人・佐々木恵一・田村亨: 「修正費用便益分析による地方部高規格幹線道路の整備順位決定」, 土木計画学研究・論文集 Vol. 20, No. 1, pp. 175-181, 2003
- 19) 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年
- 20) 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年
- 21) JR 時刻表 2005 年 10 月号, 交通新聞社, 2005 年
- 22) 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 年
- 23) 波床正敏・中川大: 公共交通利用における都市間の所要時間指標算出システム, 土木情報システム論文集 Vol. 7, pp. 169-176, 1998 年
- 24) 運輸経済研究センター: 特定地域における鉄道在来線活性化に関する調査報告書, 第 6 章, pp. 40-53, 1995 年
- 25) 長野県議会: 長野県議会公共交通等調査特別委員会調査報告書, p. 7-11, 2007 年, <http://www.pref.nagano.jp/gikai/tyousa/happyou/koukyoukoutuu/houkoku/H19.3.1.pdf> (2009年2月26日取得)
- 26) 鉄道ジャーナル社: JR 西日本が津山線高速化に着手, 鉄道ジャーナル No. 351, 1996 年 1 月号, p. 97, 1996 年
- 27) 鉄道ジャーナル社: 津山線の高速化が完成, 鉄道ジャーナル No. 364, 1997 年 2 月号, p. 108, 1997 年
- 28) 日本鉄道建設公団高速化研究会編: 「三セク新線高速化の軌跡」, 交通新聞社, 1998 年
- 29) 高速鉄道研究会編著: 「新幹線 - 高速鉄道技術のすべて -」, pp.

- 217-225, 山海堂, 2003 年
- 30) 鶴通孝: 鉄道高速化への道をさぐる, 鉄道ジャーナル No. 328, 1994 年 2 月号, pp. 71-77, 1994 年
- 31) 新潟県: 羽越本線の高速化と地域活性化に関する検討委員会報告書, <http://www.pref.niigata.lg.jp/koutsuseisaku/1190650538450.html>, 2007 年 (2009 年 2 月 26 日取得)
- 32) 鳥取県企画部地域づくり支援局交通政策課: 山陰本線等高速化事業, <http://www.pref.tottori.lg.jp/dd.aspx?menuid=87075> (2009 年 2 月 26 日取得)
- 33) 亀岡市: 「J R 山陰本線(嵯峨野線)複線化事業の取り組み情報第 1 号」, http://www.city.kameoka.kyoto.jp/contents_detail.php?co=kak&frmId=185, 2006 年 10 月 31 日
- 34) 京都府: 「山陰本線京都～園部間の複線化について」, <http://www.pref.kyoto.jp/koho/kaiken/kaiken2003/030402/030402komoku1.html>, 2003 年 4 月 2 日
- 35) 佐賀県: 「西九州ルートってどんなもの?」, http://www.pref.saga.lg.jp/at-contents/kensei_joho/shinkansen/nazenani02.html, 2007 年
- 36) 愛知県: 「平成 15 年度行政活動評価調書(愛知環状鉄道複線化等整備推進事業)」, <http://www.somusomu.pref.aichi.jp/hyouka/h16/16b/b1205.pdf>, 2004 年 12 月
- 37) 佐藤信之: 「関西の鉄道新線建設例をめぐって」, 鉄道ジャーナル No. 391, 1999 年 5 月号, p. 58, 1999 年
- 38) 兵庫県: 「J R 加古川線の電化開業及び高架切替について」, <http://web.pref.hyogo.jp/contents/000060361.pdf>, 2004 年 7 月 5 日
- 39) 嶺南広域行政組合: 「小浜線紹介電化事業の概要」, <http://www.obamasen.com/introduce/electro.html>, 2007 年
- 40) 国土交通省: 「新幹線鉄道の整備」, http://www.mlit.go.jp/tetudo/shinkansen/shinkansen6_QandA.html#q3, 2002 年
- 41) 青森県: 「東北新幹線概要」, <http://www.pref.aomori.lg.jp/kokikaku/shinkansen/morihati.html>, 2005 年
- 42) 鹿児島県: 「九州新幹線鹿児島ルート」の計画概要」, <http://www3.pref.kagoshima.jp/shinkansen/gaiyou/gaitou-zu2.htm>, 2004 年
- 43) 国土交通省: 「整備新幹線の取扱いについて 政府与党合意」, <http://www.mlit.go.jp/tetudo/shinkansen/shinkansen6-kanren.html>, 1996 年 12 月 25 日
- 44) 札幌市: 「北海道新幹線の概要」, <http://www.city.sapporo.jp/shimin/shinkansen/gaiyo/keikaku.html>, 2007 年
- 45) 葛西敬之: 「国鉄改革の真実」, 中央公論新社, 2007 年
- 46) 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 年
- 47) 伊庭斉志: 「遺伝的アルゴリズムの基礎」, オーム社, 1994
- 48) 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-5.pdf, 2005 年
- 49) 国土交通省: 「地方鉄道等に対する国の支援制度」, http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk5_000001.html, 2009 (2009 年 7 月 21 日取得)
- 50) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構: 「鉄道助成の概要 幹線鉄道」, http://www.jrnt.go.jp/business/train_support.htm, 2009 (2009 年 7 月 21 日取得)

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*

波床 正敏**・中川 大***

わが国の幹線鉄道網の基本案は 40 年近く前の全国新幹線鉄道整備法に示されている。このうち、整備新幹線は完成に近づきつつあるが、在来線幹線に対する方針を含めて、その後の幹線鉄道政策をどのような方針とするかについては全くビジョンがない。最近になって、中央リニア新幹線を整備する方針が運営会社から出されたが、このような交通機関の出現は幹線鉄道網の構造を大きく変える可能性がある。しかし、それに関する議論もあまり行われていない。

本研究では、幹線鉄道の建設および改良の単価と整備費用総額を設定し、遺伝的アルゴリズムを使って都道府県間の幹線鉄道網全体として最大限移動時間を減少させるにはどのような整備の組合せが適切であるかについて数値解析を行った。その結果、全幹法に基づく整備新幹線やリニア新幹線整備だけでなく、多数の小規模な幹線改良を実施することが有効であることがわかった。

A Study on Clarification of Japanese Trunk Railway Policy Problem Based on a Search for an Efficient Network by Genetic Algorithm*

By Masatoshi HATOKO** and Dai NAKAGAWA***

The basic policy for Japanese trunk railway network was established in almost 40 years ago. The second-phase Shinkansen projects based on this policy are nearing completion, but there is no clear vision for future trunk railway network policy including conventional trunk railways. In recent months, MAGLEV project has been just started by Central Japan Railway Company, however, must change the structure of Japanese trunk rail network, but few discussions are held about this matter.

In this study, we made a numerical analysis with Genetic Algorithm for searching the best combination of railway constructions and reconstructions at a viewpoint of minimizing of traveling time on trunk railway network under a certain cost constraint. As a result, we found a policy with many small projects of improving trunk lines to be a better policy than with only Shinkansen constructions.