

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*

A Study on Effects of Condition Setting for Trunk Railway Network Analysis by Genetic Algorithm*

波床 正敏**・中川 大***

By Masatoshi HATOKO**・Dai NAKAGAWA***

1. はじめに

整備新幹線計画が着々と進行し、そう遠くない時期にはリニア新幹線も実現する可能性が出てきた昨今、幹線鉄道網の将来像を再度模索する時期に来ている。

本研究に至る一連の研究では、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて幹線鉄道網の将来の姿を探ってきた。この手法に関し、計算量が多大であるという課題については、計算システムの改善によって克服されつつある。しかし、GAは通常の方法では解析困難な細部に至るまで実用解を得られる反面、費用制約をはじめとする諸設定が、特に細部の計算結果を大きく左右し、計算結果の解釈が難しい場合がある。

例えば、実際の交通網整備では、計画立案から完成までに長期を要する場合が多く、投入できる財源が当初予定から大きく変化したり、沿線人口の分布が変化してしまったりすると、路線によっては整備内容を大きく変更しなければならない場合がある。そのような場合、その路線の整備をすでに終えていると、交通網全体のパフォーマンスが大きく低下させる可能性もある。

以上のような背景を考慮し、本研究では、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて幹線鉄道網研究における費用制約、建設や改良の単価、人口分布等の影響を分析し、分析結果の解釈方法について考察することとする。

2. 分析内容与方法

(1) 基本的な分析の枠組み

本研究では、沖縄を除く都道府県を結ぶ幹線鉄道網(JR・第3セクタ)、および航空路(1日5往復以上の路線)を対象とし、一定費用制約下における、改良対象路線・改良対象内容・運行ダイヤ設定の組合せ最適化問題ととらえ、GAを用いて分析をおこなった。構築される路線網の評価基準は、列車等の乗車時間だけでなく、乗継ぎ利便を反映しうる指標として期待所要時間(Expected Traveling Time: EVTT)を採用した。EVTTを採用した背景としては、スイスにおけるRail2000政策(乗継ぎ利便性向上に配慮

した鉄道政策)の成功も存在する。

主要地点間の所要時間や運行頻度については流動データの年次を考慮して2005年時点としたが、新幹線については、2007年末時点で工事中の区間が完成した状態を想定した。中央新幹線と四国新幹線(海峡横断部)は、新設だけを考慮し、並行線の改良は考慮しない。

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、北海道は全国幹線旅客純流動調査にあわせて四分割している。

(2) 基本的な計算方法

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、より実施の整備に近くなるように、次の基準を併用する。

- a) 改良対象路線が振り式車両を使用している場合、振り式車両を使用している路線の事例データを使用す

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 複:化:子:速 度:km/h	単:電:振:表 複:化:子:速 度:km/h	単:電:振:表 複:化:子:速 度:km/h	単:電:振:表 複:化:子: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、60km/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		

*キーワード: 幹線鉄道計画, 全国新幹線鉄道整備法, 国土形成計画

** 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)

る。そうでない場合は、特に制限しない。

- b) 近年は動力方式が速度に与える影響が小さくなってきているため、改良対象路線の電化・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する。
- c) 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。
- d) 過大な評定速度を用いて計算しないために、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する。
- e) 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、必要に応じて線増費用等を計上する。
- f) 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のみとする。ただし、それ以外の路線については 160km/h の新線建設は可能とする。
- g) 大都市近郊区間では、在来線の改良を行わない。
- h) 東海道新幹線の改良は行わない。

これらをもとに、分析対象路線(幹線鉄道 + 航空路)それぞれについて、表 3 のように、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肢を作成した。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発時刻を 5 分刻みで変化させ、その組合せの中から、費用が設定値以下であり、かつ評価値(都道府県間の幹線旅客純流動量[2005 年, 秋期平日, 鉄道 + 航空] × EVTT の総和)が最小となるものを遺伝的アルゴリズム(GA)を使用した計算システムで探索した。

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。費用制約のケースについ

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 10.0km 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]
新線 500km/h	188.88	453.9	リニア新幹線
新幹線高速化	0.78	+10.1	最高速度向上幅 10km/h あたり

表 3 山陰線(鳥取 - 米子)の改良選択肢(例)

番	分	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	紀勢線白浜以北高速化
3	53	468.7	単線, 電化, 非振子	61.0	同、ミニ新幹線化試算
4	48	964.8	単線, 電化, 振子	86.8	高尾 - 甲府 160km/h 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

ては、表 4 のような計 13 ケースとした。

(3) 分析内容

a) 費用制約(および単価設定)の影響分析

冒頭に述べたように、GA は細部に至るまで実用解を探索する反面、費用制約の設定(あるいは路線の改良単価等の設定)に対して、各路線の選択肢の選択結果が鋭敏に変化する場合がある。本研究では、改良選択肢の選択結果が費用制約値に応じてどのように変化するか(あるいは、変化しないのか)について分析を行う。

b) 人口分布変化の影響分析

解の探索結果に大きな影響を与える要素としては、費用制約の他に、人口分布の変化も考えられる。本研究では、現在[2005 年とする]の人口分布に基づく計算結果と、公表されている将来人口推計値(日本の都道府県別将来推計人口[2035 年の値, 2007 年 5 月推計, 国立社会保障・人口問題研究所])を用いた計算結果とを比較して、改良選択肢の選択結果が受ける影響について分析を行う。

3. 費用制約値および単価設定が整備内容に与える影響

(1) 基本的な計算結果について

図 1 は、表 4 の各整備費用制約値に対する評価値(県間旅客純流動量 × EVTT の総和)が現状(2005 年の実測値)に比べてどれだけ短縮したか(総所要時間短縮量)を示したものである。整備費用制約値が大きくなるほど総所要時間短縮量は増大するが、整備費用制約値が 12.5 兆円付近を境に急速に伸びが鈍化し、25 兆円付近でほぼ完全に頭打ちとなる。

(2) 費用制約値が整備内容に与える影響

表 5 は、各整備費用制約値に対する計算結果について、主要路線の主要区間ごとに、その概略を示したものである。ただし、総所要時間短縮量の伸びが頭打ちとなるため、25 兆円までの範囲で示している。

表 5 において、●印は 160km/h 以上で連続運転できる

表 4 整備費用制約のケース設定

費用	0 兆円, 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
----	-----------------------------------------------------------------------------------------------

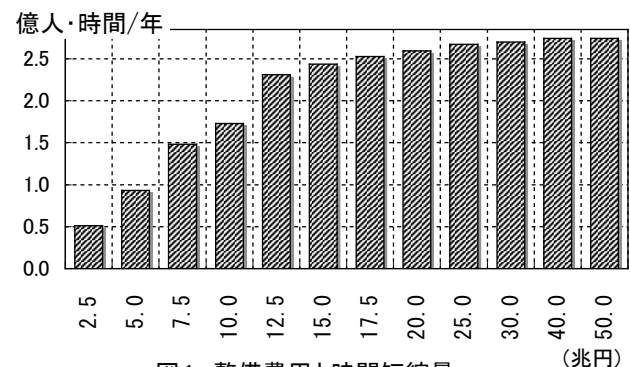


図 1 整備費用と時間短縮量

表5 費用と整備内容

主な路線と区間	費用制約(兆円)								
	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	25
北海道(幹)旭川-札幌	=	△	=	=	△	=	●	●	●
北海道(幹)札幌-函館	○	○	△	○	△	△	△	○	△
北海道南回り(幹)	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
羽越(幹)青森-秋田	△	○	○	○	△	△	○	△	○
羽越(幹)秋田-新潟	△	○	△	△	△	○	△	○	▲▲
羽越(幹)長岡-上越	△	△	△	△	=	△	△	=	△
田沢湖線	○	○	○	○	○	○	○	○	●
奥羽(幹)山形-秋田	○	○	○	△	△	○	○	○	▲▲
奥羽(幹)福島-山形	○	○	○	○	○	○	●	●	●
常磐線水戸以北	○	○	△	△	△	○	△	○	○
常磐線水戸以南	●	△	=	●	●	●	●	●	●
北陸(幹)金沢-敦賀	▲	△	△	●	●	●	●	●	●
北陸(幹)敦賀-大阪	=	=	=	=	=	=	=	●	●
北陸中京(幹)	○	○	○	●	●	●	●	●	●
湖西線	=	=	=	=	=	=	○	=	=
中央(幹)東京-名古屋	=	=	●	●	●	●	●	●	●
中央(幹)名古屋-大阪	=	●	=	=	●	●	●	●	●
山陰(幹)鳥取以東	△	○	△	○	△	○	○	○	▲○
山陰(幹)鳥取-松江	△	△	=	△	△	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
山陰(幹)松江以西	△	△	△	△	△	△	△	△	△
中国横断(幹)	=	=	=	=	=	▲	●	●	●
四国横断(幹)坂出以北	●	●	●	●	●	●	●	●	●
四国横断(幹)坂出以南	=	=	=	=	=	△	△	△	●
四国(幹)大阪-徳島	=	=	=	=	=	=	●	●	●
四国(幹)徳島-松山	○	○	○	▲▲	▲▲	▲○	▲○	▲○	●
四国(幹)松山-大分	=	=	=	=	=	=	=	=	=
東九州(幹)大分以北	△	△	△	△	△	●	●	●	●
東九州(幹)大分以南	○	○	○	○	○	○	○	○	○
九州横断(幹)	△	△	△	△	△	△	△	△	△
九州(幹)長崎ルート	▲	△	△	▲	▲	▲	▲	●	●
整備単価増(+20%) [兆円]	3	6	9	12	15	18	21	24	30
整備単価減(-20%) [兆円]	2	4	6	8	10	12	14	16	20

備考：(幹)…新幹線、=…無改良、●…区間の大部分に高速新線を建設、▲…区間の一部に高速新線(160km/h以上)を建設、○…区間の大部分で在来線改良、△…在来線の一部改良

高速新線(フル規格新幹線やリニア新幹線を含む)の建設であり、建設延長が路線長の2/3以上のもの、▲印は2/3未満のものである。また、○印は在来線改良であり、改良延長が路線長の2/3以上のもの、△印は2/3未満のものである。=印は無改良を示す。「▲△」など、複数記号併記は、各条件を両方とも満たしている。

全般的に整備費用制約値が大きいほど高速新線の建設などが数多く実施される傾向にあるが、費用によらず整備内容がほとんど変化しない路線と、費用変化に応じて整備内容が頻繁に変化する路線があり、費用制約値が大きい場合の方が整備レベルが低い場合もある。

整備内容が大きく変化しない路線で、整備の水準が比較的高い路線としては、田沢湖線(秋田新幹線)や奥羽新幹線の山形-福島間(山形新幹線)、常磐線の水戸以南、北陸新幹線の金沢-敦賀間、北陸・中京新幹線、中央新幹

線(リニア新幹線)、四国横断新幹線の坂出以北(瀬戸大橋区間を含む)などが挙げられる。これらは他路線に比べて、比較的用户の多い区間であるが、これら路線においても多少整備内容が変化している。その変化は、多くの場合、整備費用制約値が10兆円付近となっている。この付近では、建設単価が高額で路線長も大きい中央新幹線が建設されており、10兆円までは部分的整備、12.5兆円で全線整備となっている。本研究では一種のナップサック問題として路線網を分析しているため、中央新幹線の整備内容が他路線に使用できる費用を大きく変化させることになる。また、中央新幹線は他路線に比べて極めて速度が高いため、中央新幹線へのアクセスの役割を担う路線では、影響がより大きくなっている。

一方、整備内容が頻繁に変化する路線としては、北海道内の路線や北日本の日本海側の路線、山陰地域の路線などが挙げられる。これら路線では、費用制約値が大きいケースの方が、整備内容が低くなるという逆転現象も見られる。

以上を考慮すると、実際に幹線鉄道網を構築する際には、路線網の全体像を確定するとともに、全体の整備費用を設定し、その上で整備を開始する必要があると考えられる。また、社会情勢変化により路線網全体に投じることができる費用が変化してしまう可能性を考慮するならば、費用に対する整備内容の変化が鈍い路線から順に整備着手するなどの対応も有効ではないかと思われる。

(3) 整備単価設定の影響について

路線の改良や建設に要する単価が変化すると、形成される路線網も変化する。しかし、単価と路線網全体の費用の関係は相対的なものであり、例えば通常の単価に対する10兆円の路線網と、単価が全体的に2割上昇した場合に対する12兆円の路線網は、同じ内容になるはずである。単価が2割上昇した場合および2割下降した場合については、表5の下側に示した費用制約値が対応する。

4. 人口分布の変化が整備内容に与える影響

(1) 計算方法について

次に、将来人口推計値を用いた計算を行ったが、人口分布の変化はまず都道府県間の旅客流動に影響を与える。本研究では、旅客流動のパターンが大きく変化しないと仮定し、現在パターン法(デトロイト法)で将来人口に対応する都道府県間の旅客流動量を計算した。また、この計算値を用いて評価値(県間旅客純流動量×EVTの総和)を計算し、この値が最小となる改良選択肢と出発時刻の組み合わせをGAを使って探索した。

(2) 人口分布の変化について

使用した将来人口推計値は2035年に対するものである

表6 人口分布変化と整備内容

主な路線と区間	費用制約(兆円) 現人口 → 将来推計人口								
	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	25
北海道(幹)旭川-札幌	= → △	△ → =	=	= → △	△	= → ○	● → ○	●	●
北海道(幹)札幌-函館	○	○ → △	△	○ → △	△	△	△	○	△ → ○
北海道南回り(幹)	▲▲	▲▲	▲▲ → ▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲	▲▲
羽越(幹)青森-秋田	△	○	○ → △	○	△	△	○	△	○ → △
羽越(幹)秋田-新潟	△ → ○	○	△	△ → ○	△	○	△	○	▲▲
羽越(幹)長岡-上越	△	△ → =	△	△ → =	=	△ → =	△	= → △	△ → =
田沢湖線	○	○	○	○	○ → △	○	○	○	● → ○
奥羽(幹)山形-秋田	○	○ → △	○ → △	△	△ → ○	○	○	○	▲▲
奥羽(幹)福島-山形	○	○	○ → △	○	○	○ → ▲▲	●	●	●
常磐線水戸以北	○	○ → △	△ → ○	△	△	○ → △	△ → ○	○	○
常磐線水戸以南	●	△	= → △	●	● → △	●	●	●	●
北陸(幹)金沢-敦賀	▲ → △	△	△ → ▲	●	● → ▲▲	●	●	●	●
北陸(幹)敦賀-大阪	=	=	=	=	=	=	= → ●	●	●
北陸中京(幹)	○	○	○	●	●	●	●	●	●
湖西線	=	=	=	=	=	=	○ → =	= → ○	=
中央(幹)東京-名古屋	=	=	●	●	●	●	●	●	●
中央(幹)名古屋-大阪	=	●	=	=	●	●	●	●	●
山陰(幹)鳥取以東	△	○ → △	△ → ○	○	△ → ○	○	○	○ → ▲	▲ → ○
山陰(幹)鳥取-松江	△	△ → =	=	△ → =	△	▲▲	▲▲	▲▲ → ▲	▲▲
山陰(幹)松江以西	△	△	△	△	△	△	△	△	△
中国横断(幹)	=	=	=	=	=	▲	●	●	●
四国横断(幹)坂出以北	●	●	●	●	●	●	●	●	●
四国横断(幹)坂出以南	=	=	=	=	= → △	△ → =	△	△	●
四国(幹)大阪-徳島	=	=	=	=	=	=	●	●	●
四国(幹)徳島-松山	○	○ → △	○ → △	▲▲	▲▲ → ▲○	▲○	▲○	▲○ → ▲▲	●
四国(幹)松山-大分	=	=	=	=	=	=	=	=	=
東九州(幹)大分以上	△	△	△	△	△	●	●	●	●
東九州(幹)大分以南	○	○	○	○	○	○	○	○	○
九州横断(幹)	△	△	△	△	△	△	△	△	△
九州(幹)長崎ルート	▲	△ → ▲	△ → =	▲	▲	▲	▲	● → ▲	●

備考：(幹)…新幹線，=…無改良，●…区間の大部分に高速新線を建設，▲…区間の一部に高速新線(160km/h以上)を建設，○…区間の大部分で在来線改良，△…在来線の一部改良

が、全国の人口は2005年比86.6%であり、東京と沖縄を除く全ての道府県で人口が減少している。最も人口減少の程度が大きいのは秋田県であり、2005年比68.3%である。地方別では、関東地方が2005年比93.7%、中京3県が90.5%であるのに対し、東北が2005年比77.1%、四国が77.0%と減少の程度が大きい。

(3) 人口分布の変化が整備内容に与える影響について

表6は各費用制約値について、現人口(2005年)をもとにした整備内容と、将来推計人口(2035年)をもとにした整備内容とが異なる場合に「● → △」(現人口に基づく結果 → 将来推計人口に基づく結果)と表現したものである。矢印の無い欄は、計算結果に変化がなかった(あるいは変化が比較的小さかった)ケースである。

将来人口推計値で計算することによって結果が変化することが多かったのは、北海道、東北、山陰、四国などである。これらは比較的人口減少の程度が大きいと推計されている地域であり、整備水準が下がる傾向がある。その反面、北陸・中京新幹線、中央新幹線、四国横断新幹線の坂出以北、東九州新幹線などでは整備内容の変化がほ

んど無いか、もしくは小さい結果となった。

なお、全般的には将来人口推計値を用いた結果と現人口を基にした結果の差違はさほど大きくはない。

5. 今後の研究課題

本研究では幹線鉄道網の評価基準をEVTTとしたが、乗継ぎ等のロスタイムの総量を基準とする方法もある。また、路線ごとの流動量に応じて運行頻度を調整したり、期待一般化費用(EVGC)の採用、鉄道以外の交通機関からのシフトの考慮なども考えられる。

本研究では、幹線鉄道網整備における考慮すべき因子として整備費用と人口分布について着目したが、他の因子についても体系的に分析することも考えられる。

さらに、幹線鉄道整備は、人口分布およびそれらの結びつきといった国土構造を長期的に変化させる可能性があり、過去における幹線鉄道整備が国土構造をどのように変化させたかを分析するとともに、今後の幹線鉄道整備が将来の国土構造にどのような影響を与えるかについて検討を行う必要もあると考えられる。