

GAによる都市間鉄道路線計画の最適化

広島大学大学院工学研究科 学生員 ○竹内 太郎
 広島大学大学院工学研究科 学生員 村上 直樹
 広島大学大学院工学研究科 正会員 奥村 誠

1. はじめに

これまで遺伝的アルゴリズムを用いて交通ネットワークの最適化を図る研究が、高速道路・航空を対象に行われてきた。

高速道路ネットワークでは、施設の整備によりその経路の所要時間が短縮されサービスレベルが上昇すると、必ず交通量が増える。よって一旦整備した後の効率が小さくなることがあっても、負になることはないという特徴がある。一方航空ネットワークでは、運行頻度が主に経路のサービスレベルに影響しており、施設面での制約は弱く、人口や需要の変化に合わせて短期的に調整を行うことが容易である。

これに対して鉄道ネットワークでは、路線規格という施設に依存する所要時間と、列車の運行頻度の双方がサービスレベルを大きく左右する。そのため、長期的な施設整備の戦略と短期的な運営面の意思決定を絡み合った形で考える必要がある。本研究ではこれらの路線規格と運行頻度という2つの要素を、同時に最適化する問題を考え、GA（遺伝的アルゴリズム）による最適化手法を提案する。

2. 最適路線計画案の計算方法

(1)都市間交通量モデル

都市間交通量は出発地・目的地の人口、OD間距離、OD間のサービスレベルの影響を受ける。ここでは、194生活圏間の鉄道旅客データ（純流動データのうち代表交通機関が鉄道であるもの）に基づいて重力モデル型の都市間交通量モデルを作成した。

$$T_{OD} = \Lambda(N_1)^\alpha (N_2)^\beta d_{OD}^\gamma (LOS_{OD})^\phi \quad (1)$$

N_1, N_2 : ODの人口 ($N_1 \geq N_2$) (万人)

d_{OD} : OD間の最短鉄道距離 (km)

LOS_{OD} : OD間のサービスレベル

$\Lambda, \alpha, \beta, \gamma, \phi$: パラメータ

$$LOS_{OD} = \sum_m \exp(V_m) \quad (2)$$

V_m : 経路 m の効用関数

(2)経路選択モデル

ここでは鉄道利用旅客の経路選択モデルを作成した。ODごとに、所要時間の最も短い最短経路と第2経路の2項選択をロジットモデルで表現した。

$$P_m = \frac{\exp(V_m)}{\exp(V_1) + \exp(V_2)} \quad (3)$$

P_m : 経路 m の選択確率

経路の魅力度は一般化費用、待ち時間の関数とする。

$$V_m = \beta_{GC} GC_m + \beta_W W_m + \beta_c c_m \quad (4)$$

GC_m : 経路 m の一般化費用 (万円)

W_m : 経路 m の平均待ち時間 (時間)

c_m : 選択肢固有ダミー

$\beta_{GC}, \beta_W, \beta_c$: パラメータ

一般化費用として運賃と所要時間の金銭値の和を用い、時間価値を0.3 (万円/時間) とした。また、運賃は走行時間の違いを反映して設定した。

$$GC_m = C_m + 0.3T_m \quad (5)$$

C_m : 経路 m の運賃 (万円)

T_m : 経路 m の所要時間 (時間)

列車の待ち時間として、経路に含まれるリンクの平日6~24時の最小運行本数により表される。

$$W_m = \frac{18}{F_m} \times \frac{1}{2} \quad (6)$$

F_m : 経路 m に含まれるリンクの最小運行本数 (本)

(3)消費者余剰による評価方法

鉄道ネットワークの評価指標として、各OD旅客の利便性を表す消費者余剰に基づき、利用実態のあるODについて総和をとったものを評価値とする。

$$H = \frac{1}{\phi\beta_{GC}} \sum_{OD} [T_{OD2} - T_{OD1}] \quad (7)$$

T_{OD2} : 最適化後の予測交通量(人)

T_{OD1} : 最適化前の交通量(人)

後述するように各リンクの速度より (5) 式で一般化費用が、運行本数より (6) 式で平均待ち時間が求まり、これらを (4) (2) (1) 式に代入することにより交通量が求まる。

(4)GA(遺伝的アルゴリズム)の適用

各リンクの路線規格の設定案(路線計画案)と運行本数の設定案(運行計画案)を、GA を用いて同時に最適化する。すなわち染色体として、194 生活圏を結ぶ 275 リンクの数レベル・運行距離をリンク順に並べたものを用いた。

	リンク	1	2	3	4	...	273	274	275	リンク	1	2	3	4	...	273	274	275
計画案	速度	1	4	3	2		3	4	3	運行距離	4	6	7	8		11	21	16

この染色体に「評価・淘汰・交叉・突然変異」を繰り返し、評価値の向上がほぼなくなった時点で探索を終了し、最適解を得る。

(5)遺伝子の定義

各リンクの路線規格を表す遺伝子として、列車の「速度レベル」を4段階で表したものをを用いる。すなわち95年の「新幹線・ミニ新幹線・特急列車・普通列車」の平均速度である「178・118・74・48 (km/h)」の4段階を設定し、これによりリンクの走行時間を計算する。制約条件として95年度の各レベルの路線距離「1174・975・8716・6321 (km)」を与えた。また経路上で新幹線・ミニ新幹線と特急列車・普通列車のリンクをまたぐ場合は乗り換え時間を付加した。

一方運行本数を表す遺伝子として、リンクの「1日列車運行距離」を採用する。制約条件として、95年度の全国の総運行距離「347,451 (km・本)」を与えた。

3. 最適路線計画案の出力

以上の手法を用いて最適路線計画案を出力し、新幹線リンクに相当する速度レベル1、2の鉄道リンクの位置を考察する。

最適路線計画案を図1に示す。新幹線路線は実際の路線網とほぼ同じ形である。山陽新幹線は博多までとなっており、滋賀を中心に岐阜や京都府北部に延びる路線が加わっている。また東北新幹線が八戸まで上越新幹線が新潟まで延び、山形新幹線は整備されない。

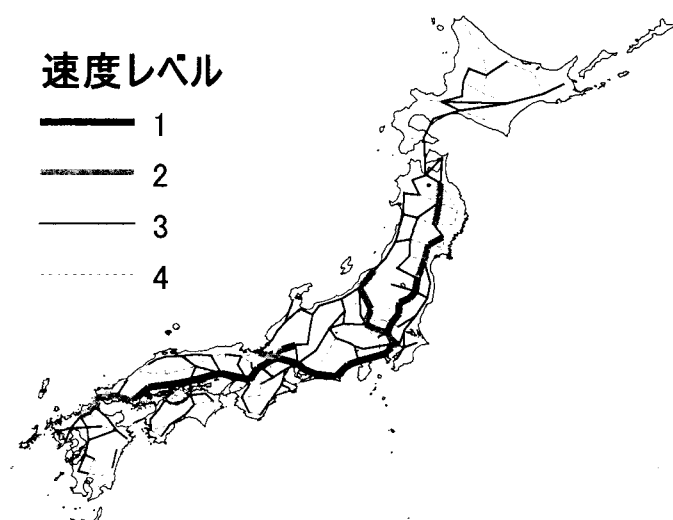


図1. 95年での最適路線計画案

図2より、最適な運行計画案は関東・関西地方内の運行頻度が高い結果となった。また2つの地方を結ぶ東海道や、関東・関西から北陸に延びるリンクの運行頻度も高くなっている。

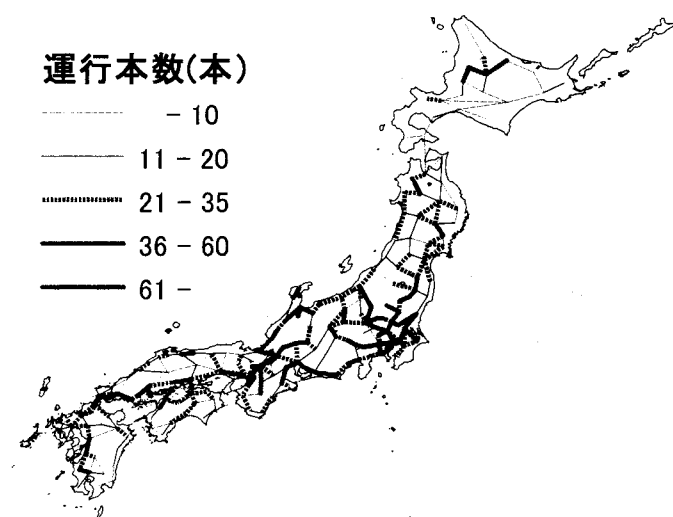


図2. 95年で最適化された運行計画案

4. おわりに

以上の分析より、1995年の実際の路線網はほぼ最適路線計画案に近いものといえる。また運行計画案に関しては、関東・関西・東海に加え、北陸地方に運行本数を多く確保するべきとなった。

【参考文献】

村上直樹, 奥村誠, 塚井誠人: 都市間鉄道の利便性を最大とする運行頻度の設定モデル, 第11回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 p389-392