

わが国幹線鉄道網の再構築に向けた基本政策の影響に関する分析*

- ポスト全国新幹線鉄道整備法に向けて -

An Analysis of Effects of Basic Policies for Reforming Trunk Railway Network in Japan*

- Post-Second Phase Shinkansen Network -

波床 正敏**・中川 大***
By Masatoshi HATOKO**, Dai NAKAGAWA***

1. はじめに

わが国の幹線鉄道政策は、高度成長期である1970年制定の全国新幹線鉄道整備法である。同法は新幹線建設によって、全国に高速鉄道サービスを広めるものであるが、整備新幹線の建設ですら長年月を要しており、現状において全体計画が完成する見込みは立っていない。

海外に目を向けると、近年、世界の多くの国々がCO₂排出削減を意識し、交通政策を鉄道重視に転換しつつある。EUでは、TEN-T(トランスヨーロッパ交通ネットワーク)計画が統合後の政策の柱の一つであり、独仏などではICEやTGVなどの高速鉄道網の拡大がはかられている。また、新線建設以外の方法も採用されており、スイスのRail2000政策では、主要駅間を一定時間内で結ぶことを目的とした路線改良が20年前から行われており、主要駅での乗継ぎ利便性が向上することによって、新線整備延長は短いながら、鉄道利用者数を増加させている。

本研究は、日本がスイスと同様の乗継ぎ利便性向上策を採用した場合、どのような幹線鉄道体系を構築しようかについて検討するものである。例として、スイスと同程度の地理的規模である九州を取り上げて分析した。

2. 全国新幹線鉄道整備法の課題

日本の高速鉄道網の全体像は、建設を開始すべき新幹線鉄道の路線を定める基本計画(1971)で示されているが、全国新幹線鉄道整備法は、主たる区間を200km/h以上で走行する“新幹線鉄道”だけを対象としており、新幹線建設という改良手段しか持たない。

高速道整備では、近年、様々な工夫が見られ、民営会社による建設のほか、道路特定財源による国の直轄事業、一般国道自動車専用道路、あるいは一般国道バイパスにより実質的な利便性を確保する方法もある。だが、幹線鉄道整備にはこのような多様な手法は存在しない。

* キーワーズ：パルスタイムテーブル、交通網計画、鉄道計画、Rail2000

** 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)

かつては、国の現業部門であった国鉄が新幹線以外の幹線の複線化・電化・線形改良などを計画・実施していたが、民営化後は幹線鉄道政策の長期的方針と具体的な実現策は不明確である。近年における幹線鉄道改良としては、山形新幹線や秋田新幹線のようなミニ新幹線もあるが、いずれも地元主体の事業であり、国は補助金投入や無利子貸付けという形での事業参加にとどまっている。

他の在来線高速化事業についても地元主導であり、例えば、日豊本線の高速化事業では、宮崎県、地元企業、JRが負担する形態で、国からの資金提供はない。以後、各地で幹線鉄道改良事業が行われているが、鉄道整備基金から20%程度の補助金を受けているに過ぎない。

このように、全国新幹線鉄道整備法は整備新幹線を除き、幹線鉄道政策として機能しておらず、地方政策として個別に幹線鉄道の改良が行われている状況にある。

3. スイスの幹線鉄道政策 Rail2000

スイスの幹線鉄道政策 Rail 2000 (Bahn 2000) の政策目標は「より頻繁に、より速く、乗換を少なく、より快適に」である。具体的には、図1のように¹⁾、主要幹線において終日30分間隔の長距離列車運行をおこない、同時に新線建設・路線改良・高性能車両の投入などをおこなって主要駅間を30分の倍数以内で結ぶようにした。これにより、主要駅では必ず他の幹線路線への乗継ぎが短時間でおこなえるようになっていく。Rail2000実施の結果、列車本数が12%、列車キロは14%、それぞれ増加するとともに、ネットワーク全体で旅客数が平均8%、改良対象路線で約20%増加するなど²⁾、大きな効果を上げている。

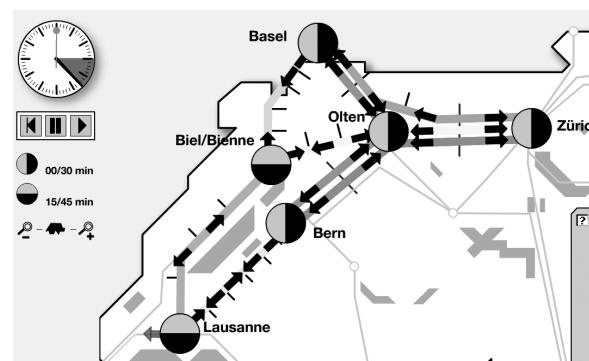


図1 Rail2000の運行システム

4. パルスタイムテーブルシステムの成立要件

スイスの幹線鉄道では、パターンダイヤが採用されるとともに、主要拠点駅における路線相互の乗継ぎが良好となるように駅間所要時間と出発時刻の調整がおこなわれている。また、幹線鉄道へのアクセス手段となるバス・私鉄線・フェリーなども含めて、幹線の運行にあわせたダイヤ設定が実現されており、公共交通システムの成功例として注目されている³⁾。このような運行システムをパルスタイムテーブルシステム（以下、PTS）と呼ぶが、PTSの成立条件としては、次の各項が挙げられる⁴⁾。

- 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図2のように、交通結節点が1つだけであり、閉ループが存在しないネットワークについては、交通結節点への集合時刻さえ決めればよい。
- ④図3のようなネットワーク上の閉ループについて、一周した際のリンク走行時間の総和は、運行周期の整数倍でなければならない。例えば、Pを時刻 $nT+k$ (n :整数, T :運行周期, k :定数)に出発し、一周した際のPへの到着時刻 $nT+k+\Sigma L$ (L :各リンクの所要時間)は、同時にPの出発時刻 $n'T+k$ でなければならない。よって、 $\Sigma L=mT$ (m は整数)となる。
- ⑤図4のように複数の交通結節点が隣接する場合、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でなければならない。例えば、Xの集合時刻 t_x とYの集合時刻 t_y との間には $t_x=t_y+L_{xy}$ の関係があるが、同時に $t_y=t_x+L_{yx}$ であり、 $L_{xy}=L_{yx}$ なので、Xの集合時刻を $t_x=nT+k$ とすると、 $mT=2L_{xy}$ となる。

5. わが国幹線鉄道網におけるPTS構築課題について

わが国の幹線鉄道網を対象としてPTSを構築する場合、次のような考慮すべき課題が存在する。

- ・部分的に運行頻度が異なる場合

人口の疎密や鉄道網の形状により、都市間列車の運行頻度が2~3時間に1本程度の路線もあれば、毎時10本以上の路線もあり、様々である。理想的には、特に運行本数が多い路線の列車をPTSの一部として運行する列車と特定の都市間の直行列車とに区別して考慮することが必要と考えられる。
- ・乗継ぎのための停車時間確保が難しい場合

多数の大都市を結ぶ新幹線のような列車は、乗継ぎ拠点駅といえども、長時間停車して路線間相互の乗継ぎが完了するのを待つのが難しい。このような場合、在来線側のダイヤにホーム間の移動時間の分の余裕を持たせる方法で対処可能であるが、在来線相互の乗継ぎ利便性はやや低下する。

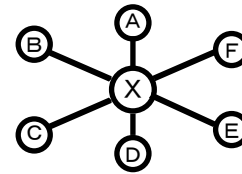


図2 閉ループを持たないネットワーク

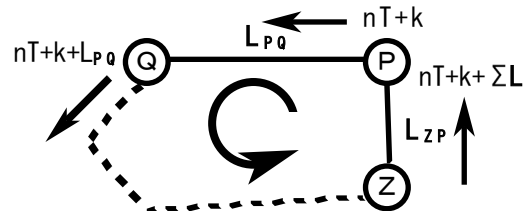


図3 閉ループを持つネットワーク

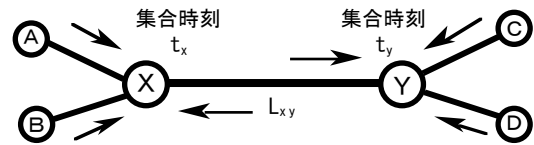


図4 交通結節点間のリンク長の条件

・乗継ぎを意図する必要がない場合

実際のネットワークでは、別の最短経路が存在するために、乗継ぎを考慮する必要のない場合がある。例えば $B \rightarrow A \rightarrow C$ という経路とは別に $B \rightarrow C$ という最短経路が存在する場合は、AにおいてB方面からC方面への乗継ぎを考慮する必要がない。

・隣接する交通結節点間が非常に短い場合

大都市部等では乗継ぎ拠点駅が多数存在し、前章⑤項を満たそうとすると、PTSの運行周期を非常に短くする(運行頻度を大きくする)、不必要に乗継ぎ駅間をゆっくり走行する、あるいは乗継ぎ駅での待ち時間を大きくするなどの対応が必要となる。

・費用制約の存在

幹線鉄道の改良資金には限りがある。特に、社会的な便益を上回るような整備費用は投入できない。実際の幹線鉄道網では、このような複雑な事情を考慮して乗継ぎ利便性を考慮した改良計画を立案する必要がある。そこで本研究では、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て分析をおこなうこととした。

6. 分析対象と分析方法

(1) 分析対象地域とネットワーク

分析対象地域は九州とした。表1のように、九州は参考とするスイスと面積が同程度であり、関門海峡部分のみで他地域とつながっているため、分析しやすい。また、後述する評価値計算に用いる期待所要時間(以下、EVTI)計測に用いる地点としては、図5に示す広域生活圈

の中心都市(含む県庁所在都市)の中心駅とした。九州外からの流動を考慮する際の代表地点は、小倉駅とした。

分析対象ネットワークは、図5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は全通した状態を想定する。

在来線または新幹線相互の乗継ぎ時間は5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。

(2) 改良費用の算定条件

路線改良に要する費用の km あたり単価および改良後の平均速度は、文献5)などを参考に表2のように設定した。表2をもとに、図5の各区間(全61区間)ごとに現状、および5分の整数倍の短縮量となるような選択肢を表3のように作成した。在来線は区間全体の260km/h新線化、新幹線は350km/h運転化をそれぞれ短縮量最大の選択肢とした。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採用した。

(3) 評価方法

分析対象全61区間について、前項の方法で改良選択肢を作成するとともに、各交通結節点を都市間列車が発発時刻を5分刻みで変化させ、その組み合わせ(単純計算で約 1.5×10^{176} 個)の中から、改良の総費用が設定された費用以下であり、なおかつ以下に述べる評価値が最小のものを選ぶこととした(ナップサック問題)。

広域生活圏の中心都市相互間のEVTTと全国幹線旅客純流動調査(2005)の流動量(鉄道、秋期平日)とを乗じて総移動時間数を計算して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、区間ごとの利用者数変化に伴う運行本数の増減については考慮していない。

表1 スイスと九州の概要

	人口 [万人]	面積 [km ²]	人口密度 [人/km ²]	路線延長 [km]	地域区分
スイス	739	41,000	180	約3,000	26州
九州	1,345	42,200	318	約2,100	7県、生活圏数25

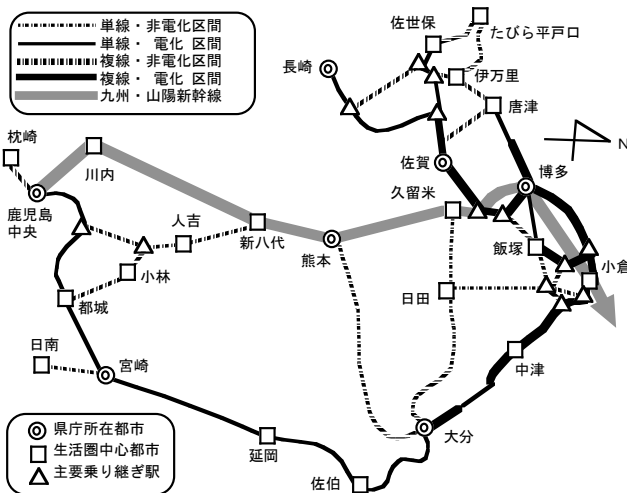


図5 分析対象都市(駅名)・鉄道ネットワーク

EVTTは、交通機関そのものの所要時間、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できる。

(4) 最適解の計算方法

1.5×10^{176} 個の全組合せについて評価値を計算することは非現実的なので、本研究では遺伝的アルゴリズムを用いた。集団数1,000、トーナメント方式(サイズ5)、突然変異率0.05、交叉率0.7で各遺伝子のうち改良レベルの高い方を常に採用する特殊な交叉と二点交叉を併用するとともにエリート戦略併用、特定の遺伝子が早期に広まることを防ぐ補助策を用いた。100世代にわたって評価値が改善されない場合、解に達したと判断した。計算時間はCore2Duo(2.1GHz)、WindowsVista64bitの機器で1ケースあたり30~70時間程度である。

7. 結果の分析と今後の課題

(1) 分析ケース設定

分析ケースは、整備費用0億円(速度向上無しでダイヤ調整のみ実施)、整備費用1,250億円、2,500億円、7,500

表2 キロあたり路線改良単価設定

在来線	億円/Km	平均速度 (Km/h)	備考
複線化	3.00	—	160Km/h 運転の場合必須
電化	2.00	—	160Km/h 運転の場合必須
130Km/h 単線	0.52	90	元路線表定速度90Km/h未満区間
130Km/h 複線	0.80	100	元路線表定速度90Km/h未満区間
160Km/h 運転	7.10	112	元路線表定速度90Km/h以上の場合
160Km/h 新線	40.00	128	スーパー特急相当[改良長20Km以上]
260Km/h 新線	70.00	208	フル規格整備新幹線相当[20Km以上]
300Km/h 運転	1.60	240	九州新幹線で、区間長20Km以上
320Km/h 運転	2.40	256	〃
350Km/h 運転	3.60	280	〃
320Km/h 運転	0.80	256	山陽新幹線で、区間長20Km以上
350Km/h 運転	2.00	280	〃

表3 日豊線(大分-佐伯)の改良選択肢(例)

番	分	億円	状態	改良長(km)	備考
1	54	0	単線電化	0	基本
2	50	12.6	〃	24.2	130Km/h 単線
3	45	28.3	〃	54.4	〃
4	40	229.3	複線電化	60.3	130Km/h 複線
5	35	2091.9	複線電化	52.3	160Km/h 新線
6	30	3090.6	複線電化	44.2	260Km/h 新線
7	25	3734.4	〃	53.3	〃
8	20	4378.3	〃	62.5	〃
9	19	4543.0	〃	64.9	〃

億円、1兆円、1.5兆円、2兆円、2.5兆円の8ケースとした。また、PTSの周期は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、現状と同じ運行本数とした。

参考: スイスのRail 2000の投資額は20年間で約2.7兆円、九州新幹線鹿児島ルート(約260km)の建設費は約1.5兆円(整備新幹線3線6区間630kmの建設費は3.6兆円)である。

(2) 結果の分析

図6は、各ケースの整備費用、EVT短縮による利用者便益、およびこれらの差分としての社会的便益額を示したものである。利用者便益については、2005年時点の実際のEVT(九州新幹線は新八代以南のみ)をもとに計算した総移動時間を基準に、各分析ケースにおける総移動時間との差分を計算し、文献6)を参考に1分=69.4円として40年分の便益額を計算したものである。

図6では利用者便益が1兆円付近で頭打ちになっており、整備費用7,500億円超では社会的便益が負となる。これは整備費用が大きい場合、利用者の少ない路線の改良がおこなわれていることが影響しているものと考えられる。例えば図7は費用制約2.5兆円の計算結果を簡略化して図示したものだが、東九州新幹線(基本計画路線)の一部区間の整備が行われている。

いっぽう、制約である整備費用が小さいケースでは乗継ぎ利便性の向上などにより、比較的社会的便益が大きくなっている。計算したケースの中では最小の整備費用の1,250億円の場合が社会的便益最大であった。図8は整備費用2,500億円のケースであるが、新幹線の速度向上が図られるとともに、ほぼすべての区間において路線改良が行われている。なお、ダイヤ調整のみ(整備費用0億円)では乗継ぎ待ち時間が長くなってしまい、社会的便益を正にすることができなかった。

(3) 研究のまとめと今後の課題

以上のように、乗継ぎ利便性向上を考慮した幹線鉄道整備は、比較的小規模な投資で比較的大きな効果を引き出せる可能性があり、今後の幹線鉄道整備の基本策になりうると思われる。本研究では、九州を対象として総移動時間短縮の観点から分析を行ったが、最適化の基準としては総量のほかにも地域ごとのバランスの観点も考えられる。また、全国的な分析をおこない、今後の全国的な幹線鉄道体系の姿を探ることも課題である。

なお、GAを用いた数値計算作業には、かなり時間を要しており、より迅速に的確な解を見つけ出す方法の開発も必要である。

【参考文献】

1) SBB: Informationen-Bahn2000 (<http://mct.sbb.ch/mct/bahn2000>)

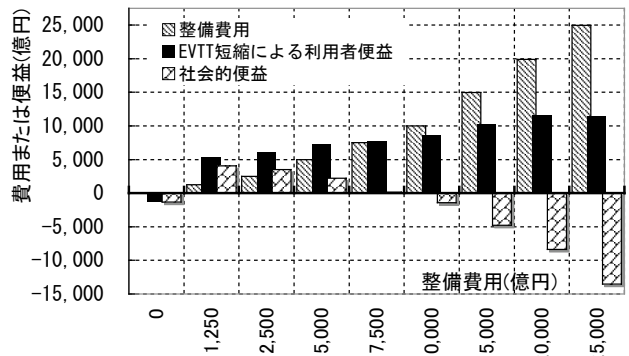


図6 パルスタイムテーブル構築費用と便益

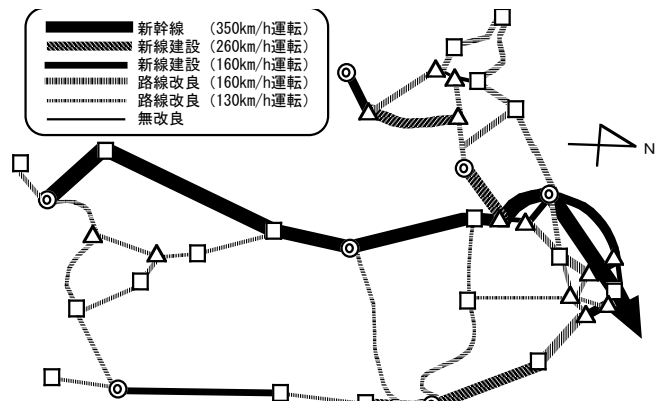


図7 整備費用2兆5,000億円の場合のネットワーク

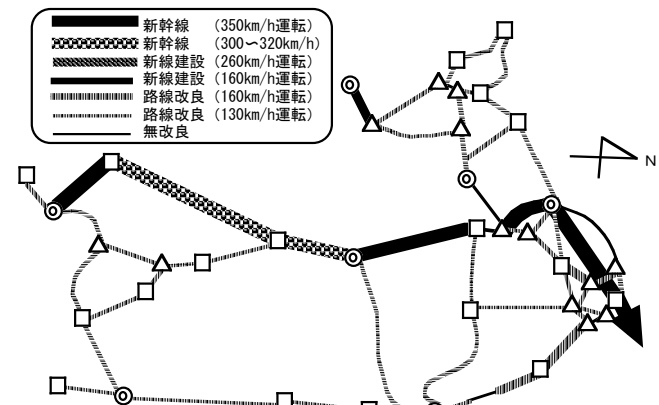


図8 整備費用2,500億円の場合のネットワーク

- 加藤:「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
- Standing Committee on Communications, Transport and Microeconomic Reform Tracking Australia: An inquiry into the role of rail in the national transport network, Chapter 6, p. 158 (<http://www.aph.gov.au/house/committee/cita/rail/>)
- 波床・中川:「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」, 土木計画学研究講演集 34, CD-ROM, 2006
- 運輸経済研究センター:「在来線の高速化に関する調査研究報告書」, p. 36, 1993
- 野村・青山・中川・松中・白柳:「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. 627-636, 2001