

わが国幹線鉄道網の再構築に向けたネットワーク構造の分析

- 幹線鉄道網へのハブシステム導入可能性*

An Analysis of Network Structure Aiming for Reconstruction of Trunk Railway Network in Japan

- Possibility of Introducing Hub System into Trunk Railway Network*-

波床 正敏**・中川 大***

By Masatoshi HATOKO**, Dai NAKAGAWA***

1. はじめに

わが国では1970年以降、全国新幹線鉄道整備法に基づいて、新幹線建設という方法によって幹線鉄道整備が実施されてきた。だが、同法は幹線鉄道改良の手段として新幹線整備という選択肢しか持たない。このため、他の幹線鉄道の改良は主として地元主導で個別的に実施されてきた。

いっぽう、欧州では移動の効率化とともに温暖化ガス排出削減に対応すべく鉄道重視の政策が実施されているが、その中でも特徴的な政策を実施しているのがスイスである。

1987年以降、Rail 2000という幹線鉄道網の改善計画が進められ、拠点駅間を一定時間（30分や60分の倍数）内で結ぶことができるように新線建設・路線改良・高性能車両投入などによって、拠点駅での乗換え利便性を向上させ、幹線鉄道網にハブシステムを導入した。

本研究では、スイスのような幹線鉄道ハブシステムを、わが国の幹線鉄道ネットワークに導入するには、どのような課題が存在するかについて、主要拠点間の所要時間や運行本数などの面について現状把握を主体とした検討を行うものである。本研究では、スイスと同程度の面積を持つ九州を取り上げ、スイスと比較することにより分析を行った。

2. 比較分析対象地域の概要と分析条件

比較分析の対象とした地域的一方であるスイスは、山岳が国土の約70%を占める内陸国である。表1に示すように、面積は九州と同規模、人口と人口密度は半分強である。連邦共和制であり、26のカントンとよばれる州により構成される。主要都市間は国鉄でむすばれ、その延長は約3,000kmである。JR九州の延長が約2,100kmであることを考慮すると、スイスの路線密度は高い。

なお、本研究では2005年について、文献1)と同じ幹線鉄道網について分析を行った。図1にそのネットワークを

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、鉄道利用可能な生活圏数25

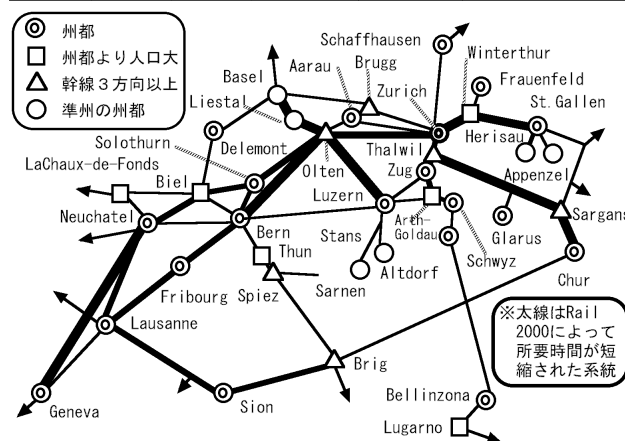


図1 分析対象のスイスの都市・幹線鉄道網('05)

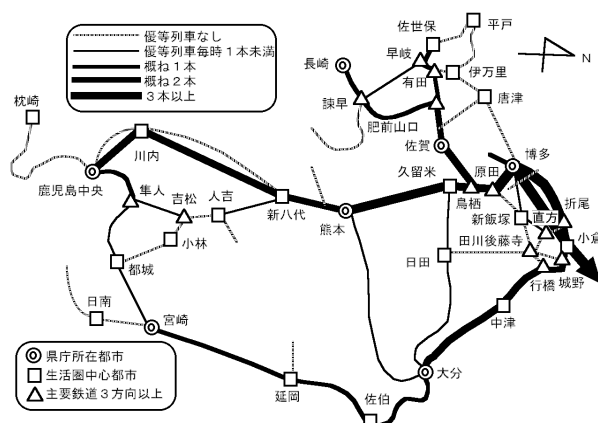


図2 分析対象とした九州の都市・鉄道ネットワーク

示した。

もう一方の分析対象である九州についても、その人口や面積を表1に示した。スイスと同じく、2005年を分析対象年次として、表2に示した条件で幹線鉄道の分析を実施した。また、分析対象とした鉄道ネットワークを図2に示す。

3. 期待所要時間の比較

*キーワードズ：鉄道計画，交通網計画，国土計画，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
（京都市左京区吉田本町，Tel: 075-753-5138,
E-mail: nakagawa@utel.kuciv.kyoto-u.ac.jp）

分析対象とした都市配置は、スイスでは北東部が密であり、九州では北部が密であるものの、配置の傾向が両者で極端に異なっているわけではない。しかし、図3の計測結果を見ると、スイスで期待所要時間が270分を超える区間(空白)は限られるのに対し、九州では東部および南部を中心にかなりの区間で期待所要時間が270分を超えている。枕崎発着に至っては、期待所要時間が270分以下となる区間が一つもない。

図3は、スイスと九州について、区間ごとの期待所要時

資料	・ JR 線デジタル時刻表「調べ太郎」2005 年秋号 ・ ブリーズワン（交通新聞社発行の JR 時刻表と同じデータ）
ネット ワーク	・ 九州内の全 JR 線と一部第 3 セクター鉄道 ・ 盲腸線や分析対象都市以外への路線を除く ・ 秋期平日に運行されている全列車を対象
分析対象 都市	・ 県庁所在都市 ・ 鉄道利用可能な生活圏の中心都市 ・ 3 方向以上に幹線鉄道が延びる交通の拠点となる都市 ・ 各都市の中心駅について分析を実施
計測 条件	・ 期待所要時間を 6～21 時について計測 ・ 最低乗継ぎ時間を 2 分に設定 ・ 新幹線との乗り継ぎ等は JR 時刻表に基づいて設定

4. 仮想最速所要時間と実運行時損失時間の比較

期待所要時間は、待ち時間を含めた目的地到着までに要する時間を時刻に沿って平均したものであるのに対し、調査対象時間帯内で最も乗継ぎの良い場合の所要時間は実最短所要時間と呼ぶ¹⁾。実最短所要時間は実在する乗継ぎであるが、ダイヤ調整によって、さらに時間短縮できる可能性がある。そこで、経路上の各路線・各区間ごとの最速便をすべて乗継ぐことができたと仮定し、そのような場合の仮想的な所要時間を「仮想最速所要時間」と呼ぶ¹⁾。仮想最速所要時間は必ずしも実在しないが、経路とする路線の潜在的な最高性能を示す指標である。

- ① 先行列車や単線運転の対向列車、駅ホームの制約等により、列車の走行時間を延ばさざるを得なくなる損失（経路変更に伴う迂回等含む）
- ② 出発時利用路線の運行頻度の大小に伴う、列車の平均的な待ち時間に関する損失
- ③ 乗継ぎ時の接続待ちに伴う時間的損失

[illegible]

(凡例) ■・・・期待所要時間 90 分以下 ▲・・・180 分以下 ×・・・270 分以下 無印・・・270 分超 ―・・・対象外

図4はスイスと九州について、区間ごとの仮想最速所要時間を30分刻みでヒストグラム化して比較したものである。この指標についても両者の最頻値に大きな差はない。スイスは長くとも270分程度までであるのに対し、九州については390分以上まで分布している。期待所要時間ほどの大きな差とはなっていないが、九州の期待所要時間を延ばす一因になっているものと考えられる。

(3) 実運行時損失時間の比較

図5はスイスと九州について、区間ごとの実運行時損失時間を30分刻みでヒストグラム化して比較したものである。スイスについては、ほぼ半数が30～60分の階級であり、長くとも210分程度までである。いっぽう、九州については最頻値は30～60分の階級であるものの、最大570分まで分布しており、九州の期待所要時間を延ばして

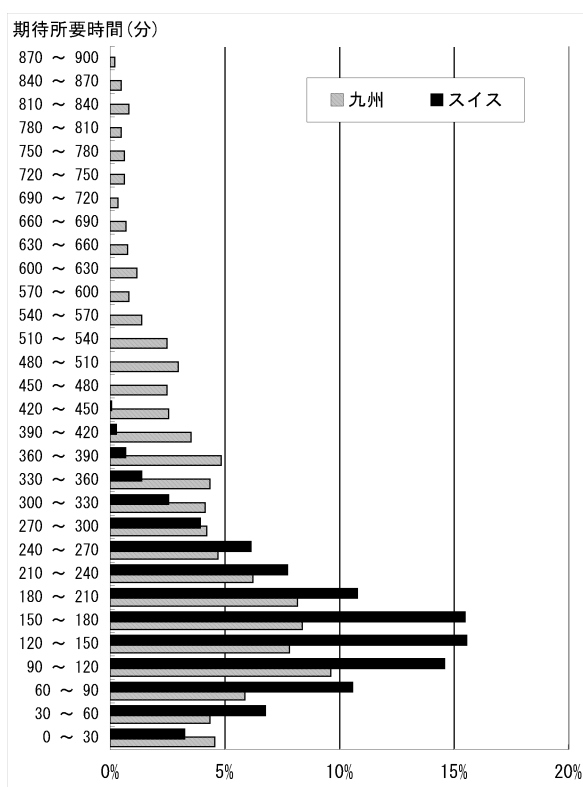


図3 期待所要時間の分布

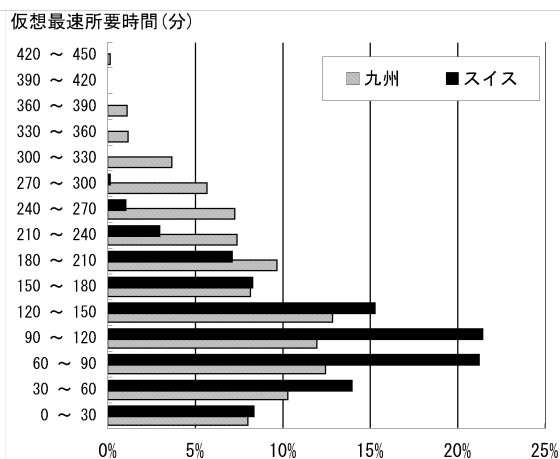


図4 仮想最速所要時間の分布

いる原因となっていると考えられる。

(4) 九州の幹線鉄道ネットワークの構造

図2に示したように、九州のネットワークでは西側の鹿児島本線で多数の優等列車が運行されている反面、東側は運行本数が少なく、九州山地を横断する路線ではさらに運行本数が少ない。このため、九州山地を横断しなければならない区間では大部分の時間帯において運行本数の少ない路線を避け、かなり大回りするような経路が最短経路となり、列車への乗車時間そのものが延びる。

5. 幹線鉄道ハブシステムの幾何的要件

(1) スイスにおけるハブシステム実現方法と課題

幹線鉄道において、ハブシステムを成功させる方法の一つとしては、スイスのRail 2000で実践されている方法であり、拠点駅間を一定時間（30分や60分の倍数）内で結ぶとともに、毎時同じパターンの運行を行うことにより、拠点駅での乗換えを確実なものとしている。

スイスで実施されている方法は、ハブシステム実現のための一つの解であるが、わが国で幹線鉄道のハブシステムを実現する場合、例えば幹線網のうち、新幹線部分は拠点駅間の所要時間をこれ以上短縮することが困難であるなどの制約を生じ、拠点駅間を30分や60分の倍数以内で走行することが困難な場合がある。

(2) 閉ループを形成しないネットワークの場合

ハブシステムを導入しようとしている公共交通ネットワークが、図6のように、閉じたループを全く持たないネットワークの場合は、各リンクの所要時間に関する制約は全くない。例えば、A～Fのいずれかを出発してXを経由し、A～Fのいずれかに向かう場合、Xへの到着時刻さえ決めれば、A～Fの出発時刻あるいは到着時刻はAX～FXの

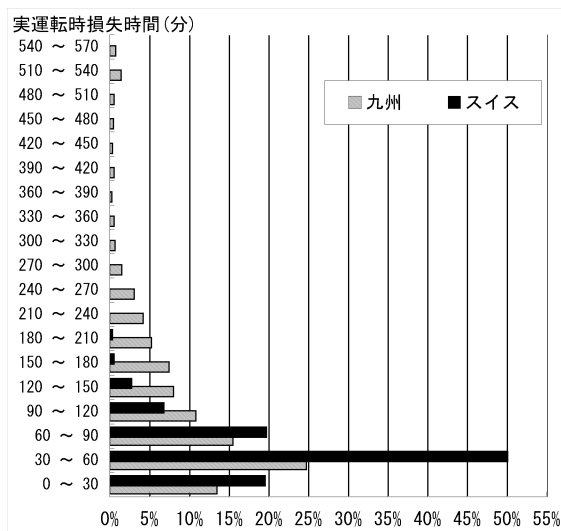


図5 実運行時損失時間の分布

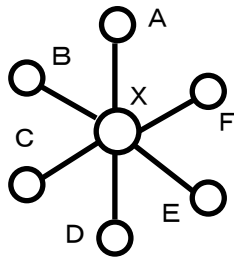


図6 閉ループを持たないネットワーク

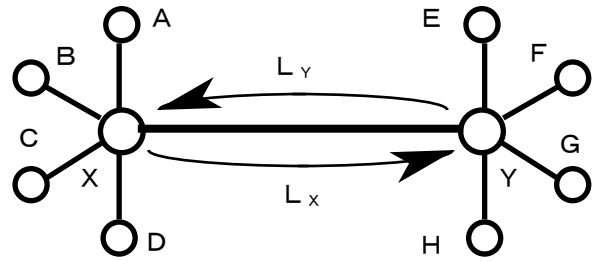


図8 実質的な閉ループがあるネットワーク

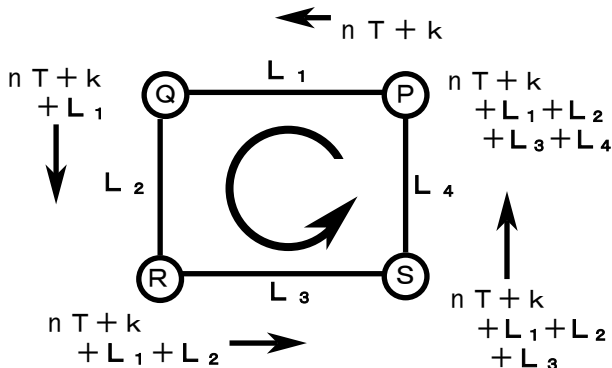


図7 閉ループを持つネットワーク

各リンクの所要時間だけを用いて何の制約もなく決めることができる。

(3) 閉ループを形成するネットワークの場合

ネットワークが図7のように、閉じたループを持っている場合は、各リンクの所要時間に一定の制約が発生する。例えば、鉄道の運行間隔がTであり、Pを時刻 t_P に出発するとする。n, n', mを整数とすると、次のようになる。

$$t_P = nT + k \quad [1]$$

このとき、リンクPQ, QR, RS, SPの所要時間をそれぞれ L_1, L_2, L_3, L_4 とすると、Q, R, Sの発時刻はそれぞれ次のようになる。

$$t_Q = nT + k + L_1 \quad [2]$$

$$t_R = nT + k + L_1 + L_2 \quad [3]$$

$$t_S = nT + k + L_1 + L_2 + L_3 \quad [4]$$

再びPに戻った際にも速やかに乗り継ぎが行われるには、次の条件を満たす必要がある。

$$t'_P = nT + k + L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \quad [5]$$

$$t'_P = n'T + k \quad [6]$$

よって、 L_1, L_2, L_3, L_4 の制約条件は次のようになる。

$$mT = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \quad [7]$$

(4) 実質的な閉ループがあるネットワーク

ネットワークが図8のように、幹線の両端にいくつかの支線が接続されるような形態の場合、一見、閉ループは無いように見えるが、実質的な閉ループが存在している。

図8では、A～Dのいずれかを出発して幹線部分のX→Yを経由してE～Hのいずれかに向かう場合、Xにおいて

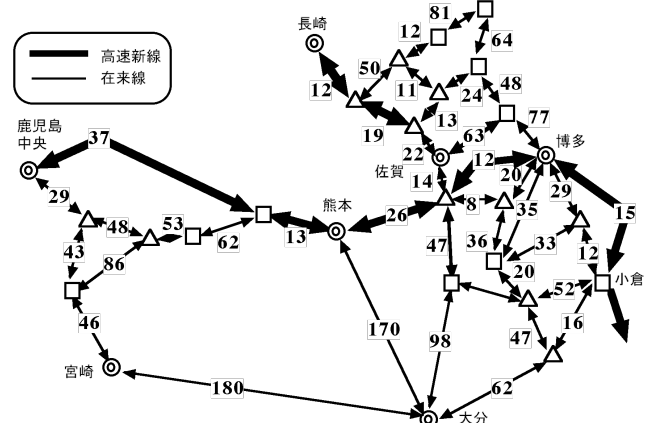


図9 九州新幹線完成後の区間所要時間(推定値)

支線相互の速やかな乗り継ぎを実現するには、A～Dを出発してXへの到着時刻とYからの到着時刻を同じにしなければならない。すると、実質的にX→Y→Xという閉ループが形成されることになり、鉄道の運行間隔をTとすると、次の関係が生じる。

$$nT = L_X + L_Y = 2L_X = 2L_Y \quad [8]$$

(5) 現実のネットワーク

現実の鉄道ネットワークでは、図9のように複数の閉ループが存在し、すべての乗り継ぎ駅での接続を円滑に実施するには、閉ループごとに[7]のような関係式を作成し、連立方程式を解く必要がある。

6. まとめ

本研究では、面積が同程度のスイスと九州について、幹線鉄道網の比較を行った。その結果、九州の鉄道網では列車の所要時間そのものが長いだけでなく、運行頻度や乗り継ぎにも課題があることがわかった。また、ハブシステム構築の条件を検討するとともに、現実のネットワークにおける解法についても述べた。

【参考文献】

- 1) 波床正敏・中川大:「幹線鉄道ハブシステム構築政策の効果-Rail 2000 プロジェクトで便利になったか-」, 土木計画学研究・講演集 33, 投稿中, 2006