

# タクトダイヤによる地方都市間の鉄道の 利便性向上に関する研究 —スイスと日本を対象にした経年変化の分析—

千葉 好史<sup>1</sup>・中川 大<sup>2</sup>・波床 正敏<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 非会員 富山大学大学院 理工学研究科都市・交通デザイン学プログラム  
(〒930-8555 富山県富山市五福 3190) E-mail: m22c1704@ems.u-toyama.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 富山大学 都市デザイン学系 (〒930-8555 富山県富山市五福 3190)  
E-mail: nakagawa@sus.u-toyama.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 大阪産業大学 工学部都市創造工学科 (〒574-8530 大阪府大東市中垣内 3-1-1)  
E-mail: .hatoko@ce.osaka-sandai.ac.jp

海外においては、接続する路線間の乗り換えを面的に整合させるタクトダイヤ (Taktfahrplan) と呼ばれる鉄道ダイヤを実施して利便性を向上させている例がある。そこで本研究では、所要時間の期待値である期待所要時間などの指標を用いて、タクトダイヤを実施しているスイスと日本を対象として、ダイヤ改良がどのような効果をもたらすのか、1987年、2005年、2021年のデータを作成し、経年比較を行った。その結果、日本では1987年から2005年にかけて利便性は大きく向上したが、2005年から2021年にかけては悪化した区間も多いことが分かった。スイスでは、どちらの年次間においても多くの区間で改善していた。さらに期待所要時間に占める実運行損失時間の割合はスイスでは小さく、日本では改良は見られないことが分かった。

**Key Words:** Taktfahrplan, Rail2000, expected value of travel time, railway, cyclic timetable

## 1. はじめに

### (1) 本研究の背景

鉄道をはじめとした公共交通機関のダイヤの考え方に、タクトダイヤ (Taktfahrplan) と呼ばれるものがある。タクトダイヤは、個々の路線を毎時同時分発着のパターンダイヤとした上で、一つの路線内だけではなく接続する路線との乗り換えを地域全体で面的に整合させる手法であり、スイスやオーストリアなどで導入されている。タクトダイヤの考え方の一側面であると言えるパターンダイヤについては、日本国内でも採用されている路線も多いが、地方の路線などにおいてはそのようなダイヤでなく、発着時刻がバラバラなダイヤであることも多い。

都市間における公共交通の利便性向上のためには、新線整備や増便などさまざまな案が考えられるが、それらの多くは多額の投資を必要とするものであるのに対して、ダイヤの改良は、比較的低コストに行うことができる他、ケースに応じては運行経費の削減に寄与する場合もある。

### (2) 海外の先進事例について

#### a) Rail2000の概要

タクトダイヤへの取り組みが先進的な地域として、スイスの例がよく知られている。スイスでは、Rail 2000 (Bahn 2000) と呼ばれる幹線鉄道の改良計画が実施され、1987年以降、スイスの主要駅間での乗継ぎ改善を目的として、高速新線建設、路線改良、高性能車両導入、高度な保安システムの構築などが行われ、スイス全体での所要時間の短縮が図られている。

#### b) Rail2000の背景と歴史

Hesse, W<sup>1)</sup>によると、1970年代から1980年頃までは、時間帯によって、異なる発着時刻の設定を行う、いわゆる需要重視のダイヤが、一部を除いたヨーロッパ中で利用されていた。そのような中、新たな利用者の獲得と、常に利用可能な道路網に代わる鉄道サービスを提供するため、1980年代初頭にダイヤが再考され、オランダの例に倣い、スイスでも1982年のダイヤ改正において、1時間毎のダイヤが導入された。1980年代になると、ヨーロッパでは鉄道の衰退が明らかになり、今後の鉄道発展の

ためのコンセプトが模索されるようになった。フランスやドイツは日本の例に倣い、主要な路線に重点的に投資を行う考え方から TGV や ICE などの高速鉄道を実現させた。スイスでは、高速鉄道を建設するというコンセプトと、高速鉄道の建設は行わず、スイス全土のほぼ全域でサービスを改善するため、ネットワーク全体に多くの選択的改良を行う Rail 2000 のコンセプト（タクトダイヤの実現に向けた投資を行う）との 2 つで議論が行われた。最終的には、1987 年 12 月の国民投票で Rail 2000 が支持され、このプロジェクトが実施されることとなったと説明されている。

Rail 2000 のプロジェクトにより、130 のインフラプロジェクトを含む、計 180 のプロジェクトが実施され、2004 年に完成された。このプロジェクトの結果、主要 40 駅間の接続のうち 58% で、5% 以上所要時間が短縮され、旅客数は 14.4% 増加した。<sup>2)</sup>

### c) 現在のスイスにおける鉄道網と今後の計画

スイスでは、Rail 2000 後も継続的に鉄道への投資が行われており、Rail 2000 で実施できなかった計画に関して、後継プロジェクトとして ZEB（独：Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur、英：Future development of rail infrastructure）が実施されているほか、NEAT（独：Neue Eisenbahn-Alpen-transversale、英：New rail link through the Alps）と呼ばれるプロジェクトでは、アルプスに 3 つの新たなトンネルが建設された<sup>3)</sup>。

また、2021 年現在、ZEB の残りのプロジェクトと並行し、戦略的開発プログラム STEP が策定され、AS25（拡張ステップ 2025）、AS35（拡張ステップ 2035）に従い今後の開発が行われる計画となっている<sup>2)3)4)</sup>。

### (3) タクトダイヤとは

Hesse, W<sup>1)</sup>, Walter, S<sup>5)</sup>によると、最適な接続（タクトダイヤ）の実現のためには、ダイヤの対称性が重要となる。まず、一定間隔でタイムテーブルノードを設置することが必要となる。ここでは、乗換え接続のあるすべての駅をノードと呼ぶ。ノードは、そこから異なる方向に向かうルートが増えれば増えるほど重要になる。ダイヤは、到着した列車から他の列車への乗り換えが必要最低限であれば理想的である。これは、60 分間隔（この間隔を設定することを以後クロッキングと呼ぶ）の列車であれば例えば、各方面からの列車が 00 分または 30 分の少し前にノードに到着し、少し後にノードを出発する際に達成される（ランデブーコンセプトと呼ばれる）。2 つのノードをクロッキングする場合、ノード間の所要時間は、クロッキングの時間の半分以下、もしくはその倍数である必要がある。例えば、1 時間毎のクロッキングの場合は、28 分、57 分、87 分となる（乗換えに要する時間を 0 分と仮定すると、30 分、60 分、90 分…となる）。

これらの条件を、ネットワーク全体で満たすようなダイヤをタクトダイヤ（Taktfahrplan、もしくは Integraler Taktfahrplan : ITF）と呼ぶ。既存のネットワークに対して、これを実現するために、ダイヤの調整のほか、必要に応じた投資（車両の高速化、線形改良、駅や路線の容量増加、新線建設など）が行われている。

## 2. 既往研究のレビューと本研究の目的

### (1) 既往研究の整理

ダイヤに着目した研究としては、波床ら<sup>6)</sup>は、期待所要時間等の指標を用いて、スイスの幹線鉄道改良計画 Rail 2000 について政策前後での所要時間の短縮や、乗継ぎの改善について分析を行っている。

波床ら<sup>7)</sup>は、タクトダイヤの成立基礎条件を明らかにした。また阪神圏を例にして、成立条件が妥当であることを確認した。

大庭ら<sup>8)</sup>は、京都の鉄道を例にし、所要時間の期待値を最小にするダイヤの探索を行ない、タクトダイヤの考え方をを用いることで、総走行距離を増加させずに、所要時間の期待値を減少させられることなどを示した。他にも、石原ら<sup>19)</sup>は、京都におけるバスを例にし、等間隔のダイヤ設定が、所要時間の期待値を減らすということを実証している。

また波床ら<sup>10)</sup>は、GA を用いて、九州地方の鉄道を例に、費用制約がある中でどの路線をどれだけ改良すれば、全体の利便性を効率よく改善できるか分析を行い、比較的小規模な投資で乗り継ぎを含めた総合的な利便性向上を図れる可能性があることを明らかにした。

また Walter, S<sup>5)</sup>は、現在 2 次元で設計されているダイヤに関して、3 次元においてさまざまなパラメータ等を設定し、長距離輸送、地域輸送、通勤輸送の間に関して、厳格なタクトダイヤの設計手法を示している。

### (2) 本研究の目的と概要

本研究では、既往の研究で分析されているスイスの鉄道政策に関して、近年のデータを用いて新たに分析をし、ダイヤの改良をより経年的に分析する。また、同時に日本国内においても分析を行い、日本の事例とスイスの事例を比較し、ダイヤの改良がどのような効果をもたらすのか、ダイヤの改良の意義に関して考察する。また、スイス及び日本の鉄道の経年的変化を比較し、それぞれの特徴などを分析・考察する。

### 3. データの作成と研究手法

本章では、まず初めに本研究で用いる指標の説明を行い、次に、研究に用いるデータの説明を行う。

#### (1) 期待所要時間

期待所要時間 (Expected Value of Travel Time : EVTT) は、所要時間の期待値であり、所要時間に、旅客の出発の分布が一定とした場合の待ち時間の平均値を足したものである。この指標は、出発時刻の偏りや、待ち時間、運行頻度など、乗車時間以外の要素を表現できる<sup>9)</sup>(図-1)。

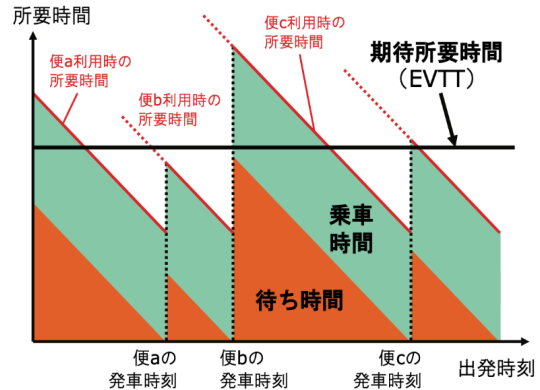


図-1 期待所要時間の概念図

#### (2) 最短所要時間

最短所要時間 (Minimum Travel Time : MinTT) は、ある出発駅から到着駅までの経路における全ての便の中で、最短で到着駅へ到達できる便を乗り継いだ際の所要時間であり、乗換え等に要する時間も含む。すなわち、図-2の例では、出発駅から到着駅まで3列車が、それぞれ45min、35min、50minの所要時間で移動が可能な時、35minが最短所要時間となる。

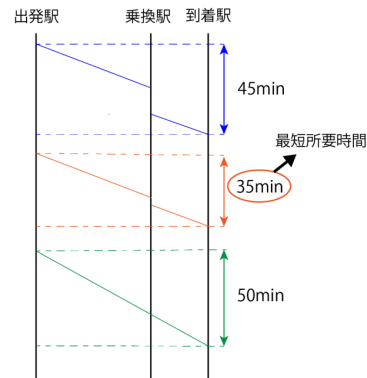


図-2 最短所要時間の概念図

#### (3) データの作成

##### a) スイスにおけるデータ

スイスにおける鉄道ネットワークの対象範囲は表-1で示す通りで、波床ら<sup>9)</sup>の研究と同じ都市間とする。ただし本研究では、この条件を満たすペアのうち、特に時間短縮効果が大きく現れる、1987年の期待所要時間が240分以上であるペアを用いる。スイスにおけるデータは1987年、2005年、2021年の3カ年分を分析に用いる。そのうち1987年、2005年のデータは、波床らによる計算済みのデータを用いる。2021年のデータは、時刻表検索サイト<sup>11)</sup>を用いてデータの作成を行った。

##### b) 日本におけるデータ

日本における分析では表-2の通りで、中国・四国・九州地方の各県庁所在地間(四国内を結ぶペアを除く)の計114ペアを用いる。また、日本においてもスイスと同じく、1987年、2005年、2021年の3カ年のデータを用い

表-2 日本におけるデータ

分析年次	1987年	2005年	2021年
資料	日本交通公社時刻表 1987 5月号	JTB時刻表2005 3月号	交通新聞社デジタルJR時刻表 Pro内の経路検索サービス
ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>中国・四国・九州地方の新幹線を含む全JR線と一部の私鉄</li> <li>寝台特急は、特急券で乗車できる区間のみを含む</li> </ul>		
分析対象都市	中国・四国・九州地方の各県庁所在地(四国内地方内同士のペアを除く)		
サンプル数	全114ペア		
計測条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>期待所要時間等を6~21時について計測</li> <li>乗継ぎ時間を5分に設定(2005年の新八代駅での新幹線と特急列車の乗換えは、それぞれ接続する便としている)</li> <li>乗継ぎ時間を「急ぎ」に設定</li> </ul>		

表-1 スイスにおけるデータ

分析年次	1987年	2005年	2021年
資料	Thomas Cook Continental Timetable August 1987	トーマスクック・ヨーロッパ鉄道時刻表 '05 夏号	経路検索サービス「Eurail」
ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>スイス国内の全鉄道路線と一部バス路線</li> <li>隣接国の一部鉄道路線</li> <li>観光鉄道などで冬季運休となる路線を除く</li> <li>盲腸線や国外への連絡路線などを除く</li> <li>秋季平日に運行されている全列車を対象</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>サービスで検索可能なネットワーク(明記されていないが、隣接国の一部路線を含むスイス国内の全鉄道路線)</li> <li>秋季平日を対象</li> </ul>
分析対象都市	<ul style="list-style-type: none"> <li>準州を含む各州(カントン)の州都</li> <li>州内において州都よりも人口の大きい都市</li> <li>3方向以上に幹線鉄道が延びる交通の拠点となる都市</li> <li>上記の条件を満たす都市間内、1987年における期待所要時間が240分以上の都市間</li> </ul>		
サンプル数	全135ペア		
計測条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>期待所要時間を6~21時について計測</li> <li>最低乗継ぎ時間を2分に設定</li> <li>バスと鉄道は乗継ぎ時間最低5分に設定</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>期待所要時間等を6~21時について計測</li> </ul>

る。1987 年、2005 年のデータは時刻表を用いて、また 2021 年のデータは時刻表検索システム<sup>12)</sup>を用いて、データの作成を行なった。

#### 4. 全データを用いた分析

##### (1) 期待所要時間と最短所要時間の推移

今回の分析対象において求めた期待所要時間 (EVTT) と最短所要時間 (MinTT) の推移を求めた。EVTT に関して増減したペアの割合を求めたものが図-3 である。

日本のペアにおいては、1987 年から 2005 年にかけて 99.1%のペアで EVTT が減っている。一方、2005 年から 2021 年にかけては、EVTT が改善したペアは 57%に留まっている。

スイスにおいては、1987 年から 2005 年にかけて 86.7%のペアで EVTT が減少している一方、一部に増加しているペアが見られる。2005 年から 2021 年に関しては、97.8%のペアで EVTT が減少している。

##### (2) 2 カ年間ににおける EVTT と MinTT の比較

本節では、期待所要時間 (EVTT) と最短所要時間 (MinTT) の変化量を比較する (図-4)。日本においては、1987 年から 2005 年にかけては、EVTT の減少量が、MinTT の減少量を上回るペアの割合が 85.1%と多数を占めているが、2005 年から 2021 年にかけては、28.9%と大幅に減少し、割合が逆転している結果となっている。スイスにおいては、1987 年から 2005 年にかけては、EVTT の減少量が MinTT の減少量を上回るペアは約 6 割であり、2005 年から 2021 年にかけては、EVTT の減少量が MinTT の減少量を上回っているペアが約 9 割となった。

期待所要時間 (EVTT) の減少量が、最短所要時間 (MinTT) の減少量を上回っているペアは、速達化が図られた時分の減少に加えて、その他の要素により、EVTT が減少したことを示しており、これは次節で説明を行う、実運行時損失時間 (ROLTime) として表現でき

る。

##### (3) 2 カ年間ににおける EVTT, MinTT, ROLTime の比較

本節では、EVTT, MinTT に加えて、ROLTime という指標を用いて、乗換えや運行頻度など、EVTT, MinTT のみでは表すことのできなかった要素をより定量的に分析する。

###### a) ROLTime の定義

本項では、乗り継ぎ時間によって発生している時間損失として実運行時損失時間に関して分析する。

波床ら<sup>10)</sup>によると、実運行時損失時間 (Real Operation Loss Time : ROLTime) は、「最速便を経路上の各区間で全て乗り継げたと仮定した所要時間 (仮想最短所要時間)」を EVTT から差し引いたものであると定義しており、次の各項目により構成される。

- 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、列車の走行時間が延びた際の時間損失
- ② 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時間損失
- ③ 運行間隔に伴う、列車の平均的な待ち時間に関する時間損失
- ④ 乗り継ぎ時の待ち時間に伴う時間損失

本研究では仮想最短所要時間の代わりに、期待所要時間 (EVTT) から最短所要時間 (MinTT) を差し引くことによって、運行本数、運行間隔、乗継ぎ利便性の経年的変化を定量的に明らかにする。これは波床らによる ROLTime とは厳密には異なるが、乗換えや運行頻度などによる損失時間を示しているため本研究ではこの値を ROLTime と呼ぶこととする。

###### b) 分析結果

図-5, 図-6 は、1987 年から 2005 年、及び 2005 年から 2021 年にかけて、横軸に ROLTime の減少量を、縦軸に MinTT の減少量を取り、分析対象をプロットしたものである。図中の右下がりの斜め線のうち、原点を通る線を

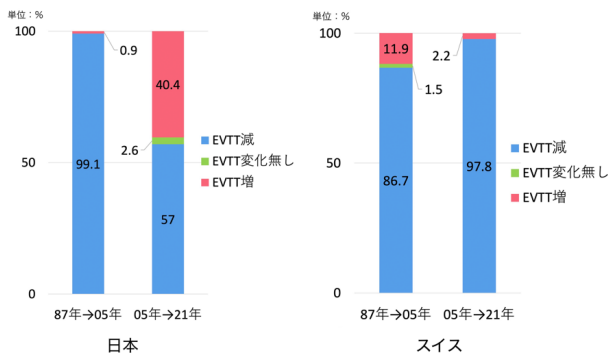


図-3 期待所要時間の推移の内訳

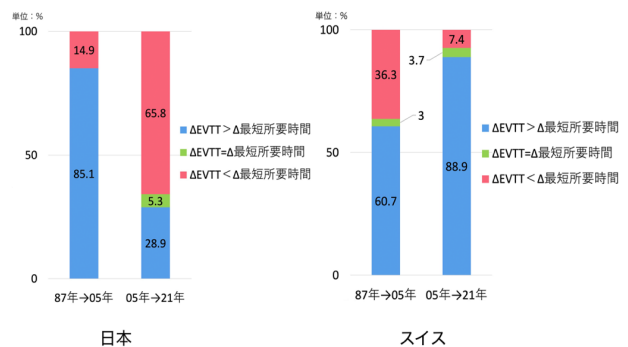


図-4 期待所要時間と最短所要時間の変化量の比較

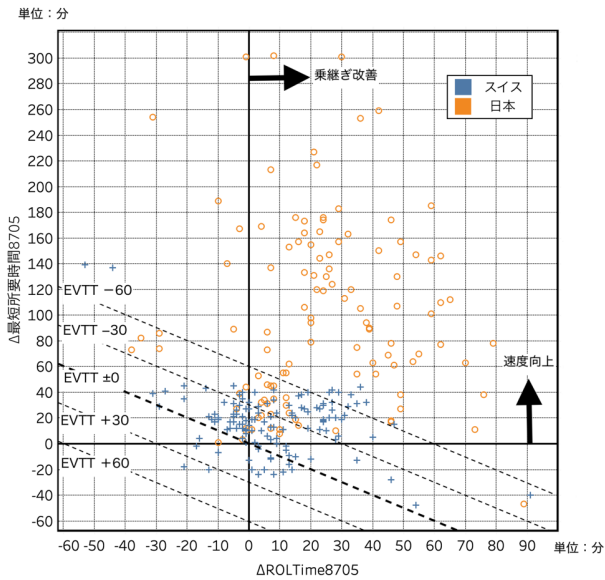


図-5 実運行時損失時間と最短所要時間の変化量の分布 (1987年→2005年)

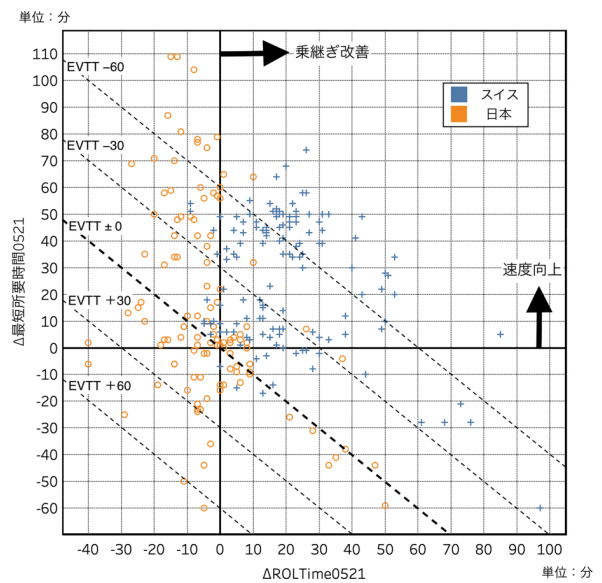


図-6 実運行時損失時間と最短所要時間の変化量の分布 (2005年→2021年)

境に、右上はEVTTが減少、左下が増加した領域である。また、横軸を境に上はMinTTが減少(速度向上)、下はMinTTが増加(速度低下)した領域であり、縦軸を境に右はROLTimeが減少(乗継ぎ改善)、左はROLTimeが増加(乗継ぎ悪化)した領域である。また、図-5、図-6にプロットされた象限の割合について、棒グラフにしたものが図-7である(ただし軸上にプロットされたものは除いている)。

日本のペアに着目すると1987年から2005年にかけては、ペアの多くは各指標の改善が見られ、図-7より84.2%が第1象限(速度向上・乗継ぎ改善)にプロットされており、図-3より、全体の99.1%のペアでEVTTが減少していることもわかる。対して同じく図-7より、2005年から2021年に関しては、第1象限にプロットされているのはわずか11.5%であり、また図-3より、EVTTが減少したのも全体の57.0%と、半数程度にとどまっている。また、EVTT、MinTT、ROLTimeの3指標が、全て

悪化している第3象限には19.2%がプロットされた。

スイスのペアに着目すると、1987年から2005年にかけてEVTTが減少したのは、図-3より全体の86.7%であり、その内、第1象限にプロットされたのは図-7より、46.9%であった。同じく図-3より2005年から2021年にかけてEVTTが減少したのは全体の97.8%であり、ほとんどのペアで指標の改善が見られ、図-7より、第1象限には79.8%と、約8割がプロットされた。さらに、3指標全て悪化を表す第3象限にプロットされたペアは存在しなかった。

### c) 分析の考察

日本において2005年から2021年にかけては、MinTTの指標が改善しているペアは6割程度であり、図-7より、第2象限(速度向上・乗継ぎ悪化)に全体のおよそ半数がプロットされていることがわかる。新幹線整備によって高速化された路線においても乗換え等の利便性が悪化しているペアも多く見られ、高価な新線を建設しても、

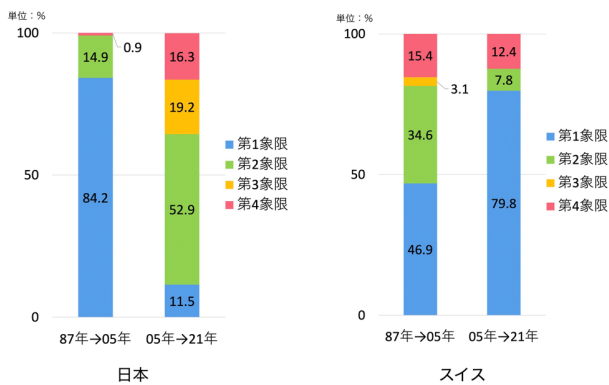


図-7 図-5、図-6でプロットされた象限の割合

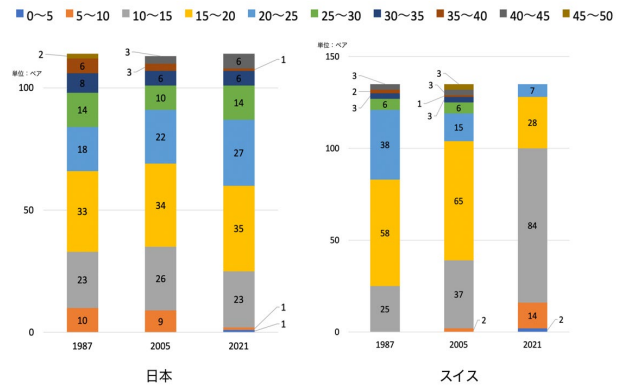


図-8 期待所要時間に占める実運行時損失時間の割合 (%)

乗り継ぎが悪く投資が活かされていない状況がみられる、それに対してスイスでは、同じ 2005 年から 2021 年にかけて、第 1 象限に約 8 割プロットされるなど、速達性のみでなく、乗換え等の利便性も向上している。

#### (4) EVTT に占める ROLTime の割合

本節では、ROLTime を EVTT で除することにより、ROLTime が EVTT に占める割合を求め、前節での変化量の相対的な評価ではなく、絶対的な評価を行う。

前項で求めた ROLTime に関して、EVTT に占める ROLTime の割合を、5 分毎に区分し算出した結果を図-8 に示す。

スイスのデータにおいては、割合が大きいペアは年々減少傾向にあり、2021 年に関しては、割合が一番大きいペアで 20~25% であり、また 7 割以上のペアで 15% 以下となっている。経年的に ROLTime が EVTT に占める割合は減少傾向にあり、2021 年において日本と比較し相対的に低い値を示している。対して、日本のペアに関してはほぼ横ばいの傾向を示している。経年的に速達化は図られているが、乗換えや運行頻度等の利便性に関しては、改善がほとんど進んでいないと言える。

またスイスと日本を比較することにより、日本において、ROLTime の改善の余地は大きいことが分かる。一方スイスでは ROLTime の短縮が進んでおり、利便性が高くなっていることがわかる。

#### (5) 最短所要時間の減少が同程度のペア同士での比較

本節では、MinTT の減少が同程度の日本とスイスのペアに関して、EVTT や ROLTime の変化を分析し、同様に速達化が図られたペアの違いを分析・考察する。

日本、スイス両国に関して、近年、同程度高速化されたペアにおいて、ROLTime に着目すると、日本とスイスにおいては大きく異なる結果となる。2005 年から 2021 年にかけて、MinTT が 30 分~80 分減少したペアを比較し散布図にプロットしたものを図-9 に示す。この条件に該当するペアは、日本が 32、スイスが 72 である。日本のペアの中で、ROLTime が減少したのはわずか 3 ペア（平均+83 分）であるのに対し、スイスのペアの中で ROLTime が減少したのは 67 ペア（平均-18.5 分）である。また、これらのペアに関して 2005 年から 2021 年にかけての EVTT の減少量を計算すると、日本のペアの平均が-45.4 分、スイスのペアの平均が-63.6 分となった。どちらも EVTT は大きく減少しているものの、両者の平均を比較すると 20 分ほどの差が生じている。

タクトダイヤを構築すること（ROLTime の減少）を考慮した高速化を行うことで、同程度の高速化においても、EVTT の減少に差が生じることがわかる。また、スイスと日本において、近年同程度の高速化が行われた路線に

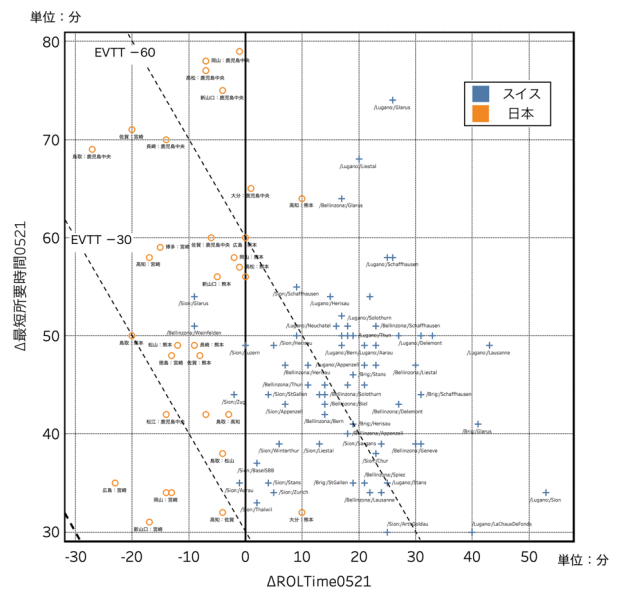


図-9 実運行時損失時間と最短所要時間の変化量の分布  
(2005 年→2021 年： $\Delta$ 最短所要時間 30~80 分)

においても、ROLTime の減少には大きな差が生じていることがわかる。

## 5. 各ペアに個別に着目した考察

### (1) 日本のペアに関する考察

1987 年から 2005 年に関しては、ほとんどのペアに関して指標は改善しており、最短所要時間 (MinTT) は全てのペアで改善していたが、特に 1988 年に開業した瀬戸大橋を通るペアで指標が大幅に改善していた。瀬戸大橋の開業により、所要時間の短縮のみでなく、乗換え回数も減少したことで、MinTT、実運行時損失時間 (ROLTime) のどちらも減少していると考えられる。

また、2004 年には九州新幹線の新八代駅-鹿児島中央駅間が開業し、所要時間を大きく減少させているペアがある。この 2004 年の九州新幹線部分開業時には、博多駅方面との特急列車と、新八代駅にて同一ホーム対面乗り換えが実施され、乗り換えによる影響は少なくなるように配慮されていた。

熊本~宮崎間では、肥薩線経由で「急行えびの」が運行されていたが、2000 年 3 月に廃止になり<sup>13)</sup>、鉄道による本ペアの各種指標は悪化している。

2005 年から 2021 年に関しては、2011 年に博多駅-鹿児島中央駅間で全線開業した九州新幹線を通るペアで、MinTT の減少が顕著であることが分かる。一方、ROLTime は悪化しているペアが多くを占めている。

また、九州北部方面から大分・宮崎方面への日豊本線の特急列車では、2021 年のダイヤ改正において主に昼間の時間帯において大幅な減便があり、またその減便に伴

い、大分駅での乗換えが大幅に悪化している。一方、九州新幹線の全線開業に伴い、山陽新幹線方面から宮崎駅への経路として、鹿児島中央駅経由での経路の速達性が向上した。そのため、宮崎発着のペアの影響は限定的であったと思われる。

## (2) スイスのペアに関する考察

1987年から2005年に関しては、Rail2000によるダイヤ改良により、各指標が改善されているペアもある一方、LuganoやBellinzona、Brigを発着するペアでは、指標が悪化しているペアも多く見られた。これらのペアの多くはアルプスを越える必要があり、路線の制約が大きいペアである。

2005年から2021年に関しては、ほとんどのペアで指標が改善しているが、前述したLugano、Bellinzona、Brigや、Sionを発着するペアで改善が著しい。これはこの期間において、多くの山岳トンネルが開通し、所要時間の短縮が図られたペアであるためと推測できる（Gotthard Base Tunnel (2016)、Ceneri Base Tunnel (2020)、Lötschberg Base Tunnel (2007)）。所要時間の短縮は、タクトダイヤとして重要である「同時に複数方向への乗換えを行う」上で必要になる、「主要駅間を一定時分の倍数で走行する」という条件を満たすためにも大きく寄与する。そのため、トンネルによる最短所要時間の短縮は単なる区間所要時間の短縮に留まらず、ROLTimeの大きな減少につながることができている。

## (3) 類似ペア同士の比較

本節では、前節までに述べた路線に関して、日本とスイスにおいて、各指標が類似しているペア同士を取り上げ、より詳細な比較・分析を行う。

指標が類似しているペアとしては、期待所要時間、最短所要時間、及びそれらの変化量が類似していることなどを基準として選択し、日本のペアとして「長崎から鹿児島中央間」、スイスのペアとしては「Lugano から Weinfelden間」を用いて2005年と2021年のデータを用いて比較・分析を行う。

これらの両ペアは、2021年以前に大規模なプロジェクトがあり、大幅に所要時間が短縮した区間であり、「長崎-鹿児島中央間」に関しては、九州新幹線の全線開通、「Lugano-Weinfelden間」に関しては、Gotthard Base Tunnel及びCeneri Base Tunnelが新たに開通している。また、スイスのペアは途中Zurich、また日本のペアは新鳥栖で、どちらのペアも途中で1度（一部を除き）の乗換えが生じる経路となっている。

求めた各指標は表-3に記載しており、EVTTは「長崎-鹿児島中央間」で268分（2005年）、212分（2021年）、「Lugano-Weinfelden間」で276分（2005年）、193分

（2021年）であり、減少量はそれぞれ56分、83分である。MinTTは「長崎-鹿児島中央間」で240分（2005年）、170分（2021年）、「Lugano-Weinfelden間」で229分（2005年）、171分（2021年）であり、減少量はそれぞれ70分、58分である。

また、MinTTの値は、特に2021年において170分（長崎-鹿児島中央間）、171分（Lugano-Weinfelden間）とほぼ同じ値となっている。すなわち、速達性としてはほぼ同じであるということができる。

さらに実運行時損失時間（ROLTime）について着目する。長崎-鹿児島中央間では28分（2005年）から42分（2021年）と14分増加（悪化）しているのに対して、Lugano-Weinfelden間では、47分（2005年）から22分（2021年）と25分減少（改善）している。また、ROLTimeがEVTTに占める割合も、長崎-鹿児島中央間で約10%から約20%に悪化しているのに対して、Lugano-Weinfelden間では約17%から約11%に減少している。両ペア共に大幅な速達性の向上が図られたものの、これらの指標では大きく異なる結果となった。長崎-鹿児島中央間では減少させることができた所要時間の一部をROLTimeの悪化で帳消しにしており、速達性の向上を十分に活かすことができていない。この要因の一つとしては、2005年においては、鳥栖駅にて長崎方面から鹿児島中央方面へ乗換えを行う際、全ての列車に乗換えが可能であった一方、2021年には九州新幹線の内、みずほ号が新鳥栖駅を通過するため、一部の便で乗換えに時間を要していることをあげることができる。一方スイスでは、速達性の向上と共に、ROLTimeの減少も図られており、速度の向上に加え、その他の要因による利便性向上がなされたと言える。

## 7. 結論と課題

本研究では、スイスと日本において、鉄道の所要時間に関する経年的変化を計算し、期待所要時間・最短所要時間・実運行時損失時間という指標を用いて、経年的な変化や、両国の違いなどを分析・考察した。その中で、明らかにした結果を以下に挙げる。

- a) スイスと日本の分析の結果、1987年から2005年にかけてはスイス・日本の両国ともに多くのペアで期待所要時間が減少していた。特に日本のペアでは非常に大きな減少が見られた。また、2005年から2021年にかけては、日本において期待所要時間が減少したペアは半数程度であるのに対し、スイスのペアの多くは期待所要時間が減少していた。
- b) 実運行時損失時間と呼ばれる指標を用いて、乗り換えに要する時間や、運行頻度・運行間隔などに起因

する所要時間の経年的変化を分析した。その結果、1987 年から 2005 年にかけては、日本・スイス両国とも指標は改善しているペアの方が多く、特に日本で顕著であった。2005 年から 2021 年にかけては、日本のペアの多数で指標は悪化していた。対してスイスでは、指標が改善しているペアが多くを占めていた。

- c) 実運行時損失時間が期待所要時間に占める割合を求めた。その結果、日本では、経年的にほぼ横ばいの傾向であったが、スイスにおいては、経年的に大幅に減少しており、また日本とスイスの両国を比較すると、日本において、実運行時損失時間が占める割合が大きいことが分かった。
- d) 最短所要時間の減少量が同程度の、日本とスイスのペア同士を比較・分析した。その結果、2005 年から 2021 年に関して、最短所要時間の減少量が同程度であるペアで、日本のペアの多くは実運行時損失時間を増加させているのに対して、スイスのペアの多くは実運行時損失時間を減少させていた。また、これらのペアを比較し、実運行時損失時間の減少が期待所要時間の減少に寄与していることを示した。

一方、本研究の課題としては、得られた結論について統計的検定を行うなど、より精緻な分析を行うことや、日本においてどのような具体策があり得るかという提案を踏まえた分析を行うことなどがあげられる。

## 参考文献

- 1) Wolfgang Hesse : Deutsche Spinne oder Schweizer Netz? –Netz- und Fahrplanentwicklungen im Vergleich, Eisenbahn-Revue International(German Spider or Swiss Network? - Network and timetable developments in comparison), Eisenbahn-Revue International, pp98-102, 2006. 2.
- 2) Sonia Strube Martins, Matthias Finger, Andreas Haller and Urs Trinkner : Integrated timetables for railway passenger transport services, Swiss Economics Working Paper 0037, 2014.4.
- 3) Bundesamt für Verkehr:Standbericht 2020 Eisenbahn-ausbauprogramme(Status report 2020-Railway expansion programs), [https://www.bav.admin.ch/dam/bav/de/dokumente/aktuell-startseite/berichte/sb\\_eisenbahn\\_ausbauprogramme/standbericht-2020-eisenbahn-ausbauprogramme.pdf.download.pdf/Standbericht%202020.pdf](https://www.bav.admin.ch/dam/bav/de/dokumente/aktuell-startseite/berichte/sb_eisenbahn_ausbauprogramme/standbericht-2020-eisenbahn-ausbauprogramme.pdf.download.pdf/Standbericht%202020.pdf), 2021.4(2022/01/31 最終閲覧)
- 4) Schweizerische Eidgenossenschaft:ZUKUNFT DER NATIONALEN INFRASTRUKTURNETZE IN DER SCHWEIZ, Bericht des Bundesrates, Bericht des Bundesrates(FUTURE OF THE NATIONAL INFRASTRUCTURE NETWORKS IN SWITZERLAND), Bericht des Bundesrates vom 17., pp27-31, 2010.9.
- 5) Stefan Walter:The Truly Integrated Integrated Timetable, Proceedings of the 11th European Transport Congress, pp292-298, 2013.9.
- 6) 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 Rail 2000 の効果分析を踏まえて-, 都市計画論文集 No.41-3, pp839-844, 2006.
- 7) 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 24, pp.693-702, 土木学会, 2007
- 8) 大庭哲治, 中川大, 松中亮治, 原田容輔, 松原光也:鉄道路線網における最適なパルスタイムテーブルの探索, 日本都市計画学会都市計画論文集 Vol.49 No.3, pp423-428, 2014.
- 9) 石原洋平, 中川大, 松中亮治, 大庭哲治:都市内公共交通のダイヤ設定条件と実際のダイヤの評価—期待所要時間の観点から, 日本都市計画学会都市計画論文集 No.45-3, pp829-834, 日本都市計画学会, 2010.
- 10) 波床正敏・中川大:GA を用いた都市間鉄道網計画策定システムの開発, 土木情報利用技術論文集 16 巻, pp71-82, 2007.
- 11) Eurail, [https://www.eurail.com/en\(2022/3/4 最終アクセス\)](https://www.eurail.com/en(2022/3/4 最終アクセス)).
- 12) デジタル JR 時刻表 Pro, 交通新聞社.
- 13) 結解学・渡部史絵:写真で振り返る JR ダイヤ改正史 1987-2018, 飛鳥出版株式会社, 2018.7.