

# スペインにおける高速鉄道導入に伴う 主要都市間の移動時間の特徴分析

波床 正敏<sup>1</sup>・中村 建世<sup>2</sup>・湯河 孝允<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 大阪産業大学教授 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

<sup>2</sup>非会員 近畿日本鉄道株式会社 (〒543-8585 大阪市天王寺区上本町6丁目1-55)

<sup>3</sup>非会員 クラボウプラントシステム株式会社 (〒572-0823 大阪府寝屋川市下木田町14-41)

スペインでは標準軌の高速新線の開通にあわせて1992年にAVEが運行開始され、在来線改良や広軌在来線と標準軌新線の直通列車なども併用しながら、年間約125kmのペースで高速新線建設が続けられてきた。本研究では、このような路線整備の影響を分析するため、1963年以降概ね10年ごとに2015年までの6年次について、主要都市間の各種所要時間指標を計測し、その特徴を考察した。

その結果、特に1985年以降は運行頻度や乗り継ぎ利便性向上にやや課題を残しながらも、乗車時間に加えて待ち時間や運行頻度を考慮した総合的な利便性の面で国内主要都市間の多くの区間で利便性向上を果たしてきたことがわかった。これはTGV主体のフランスと異なる結果であり、その差は年間の建設距離が大幅に多いことが原因と考えられる。

*Key Words : Spain, trunk railway, stayable time, expected value of traveling time, major cities*

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

欧州における高速鉄道の導入は、独自開発を行ったフランスのTGVが1981年、ドイツのICEが1991年であり、イタリアでも1977年に高速新線が部分開業するとともに1988年に本格的な高速列車が営業投入されている。一方、技術導入によって高速鉄道網を展開したスペインでは1987年にMadrid-Sevilla間で高速新線の建設が開始され、1992年にAVE (Alta Velocidad Española) と呼ばれる高速列車が営業を開始した。欧州の鉄道の多くは軌間が標準軌の1,435mmであるのに対し、高速鉄道導入前のスペインでは一部路線が1,000mmなどの狭軌であったものの、大半の路線は軌間1,668mmの広軌であった。1992年に開業した高速鉄道AVEは将来的な欧州の高速鉄道網との接続を考慮していたため標準軌で建設され、広軌の鉄道網の中に標準軌の独立した路線を整備する形態となった。

スペインの広軌線と隣接するフランスの標準軌の路線を直通する列車を運転するため、1969年から軌間可変車両を使用した列車が運転されており、近年は高速新線での走行に対応した車両も開発されて使用されている。ま

た、広軌の在来線だけを走行する一部列車 (Euromed) にも200km/h運転対応の車両が投入され、使用されている。

2005年に策定されたPlan Estrategico de Infraestructuras del Transporte (PEIT) では、高速鉄道の人口カバー率90%を目指しており、UICのデータベースによると、2018年6月現在、高速鉄道の営業路線は2,852km、工事中路線が904km、計画中路線が1,061km、計4,817kmとなっており、急速に建設が進行している。スペインの鉄道網は全体で約1万5千km、高速鉄道網は完成時に約5千kmであり、在来線と高速新線で軌間が異なっている。一方、日本のJR線網は約2万km、新幹線網は営業中路線に加えて整備計画線、基本計画線のものを含めて約7千kmで、在来線と新幹線で軌間が異なっており、スペインにおける幹線鉄道網に関する分析を行うことは、我が国の今後の幹線鉄道整備のあり方を考えてゆく上でも意義深いのではないかと考えられる。

### (2) 本研究の目的と構成

前節の背景のもと、本研究では異なる軌間のネットワークを持ち、近年急速に高速鉄道ネットワークの展開が行われてきたスペインの主要都市間における鉄道利用によ

る移動時間推移の特徴を定量的に明らかにすることを目的とする。

本研究では、第二次大戦後のスペインの鉄道政策の概観、その直接的影響としての列車の表定速度の変化の把握、ネットワークへの影響の観点からの各種所要時間指標の計測、指標計測結果を整理することによるスペインの幹線鉄道網整備の特徴分析を行うこととする。詳しい分析方法は後述する。

### (3) 本研究の視点

本研究では所要時間の観点で幹線鉄道ネットワークの整備状況を評価するが、「政策分析は投資効果や国民生活への影響を分析すべきだ」「都市間交通の市場分析をすべき」といった意見もあろうかと思われる。だが、鉄道政策の直接的な目的は輸送改善であり、本研究はその長期的な改善を計測・分析するものである。一般的な工業製品に例えるならば、新しい技術（より高性能な車両、高速運転できる新線、高度な保安装置など）が開発されて、それらを組み合わせた製品（都市間鉄道ネットワーク）が完成した状況下で、その製品そのものの性能を計測するような位置づけが本研究である。その製品の市場における競争力や売れ行き、提供価格をいくりにすべきか、収益性はどうかといった経済的側面については本研究では議論の対象としない。

本研究はスペインにおける1992年に導入が開始された高速鉄道網の発達に関する分析を行うものであるが、それ以前についても広軌の在来線を比較的高速走行できる車両の開発などが行われており、主として1960年代以降について分析する。分析は定量的分析を基本とし、都市間交通を評価するために適した指標を用いて計測する。将来的な分析結果の相互比較を可能とするため、基本的には文献<sup>14)</sup>と同様の方法で実施する。

## 2. AVEの導入と路線網拡大

### (1) 高速鉄道導入以前<sup>6)</sup>

スペイン最初の鉄道は1848年に導入され、1941年に当時の国内鉄道会社が統合されることで、総路線延長12,401kmのRENFE (Spanish National Railways Network, 通称スペイン国鉄) が設立されている<sup>5)</sup>。1940年代に電化計画や財政が脆弱な地域における鉄道網の再構築策などの計画が立てられたが、財源不足で十分には進捗しなかった。1950年には動力の近代化が図られるとともに、Talgo列車がMadrid-Hendaya(仏)間に投入されている。

スペイン政府から1964年のRenfeの近代化計画が示され、622kmの新線の建設と569kmの廃線、軌道の更新、

自動信号機の導入、自動閉塞とCTCの導入が実施された。電化区間は1953年に722kmであったものが1968年には3,140kmにまで伸びている。しかし、モータリゼーションの影響により、1950年から1975年までに鉄道の輸送シェアは52%から12%にまで低下している。

1979年にRenfeと政府の間で約束が取り交わされ、鉄道の質と効率性の向上に対して国がインフラ投資に対して一定の融資を行うことになった。160km/h運転を目指して複線電化が推進され、1989年には電化率は51.1%に達した。1988年にはMadrid-Sevilla間の高速新線の建設が決定されている。

### (2) 高速新線の建設<sup>6)</sup>

1987年4月、政府は2000年を目標年次とした鉄道輸送計画を承認し、鉄道の近代化に乗り出した。1988年12月、国際標準軌によるMadrid-Sevilla間の高速新線の建設が決定されたが、広軌による鉄道網が形成されていたスペインにとっては画期的な政策変更であった。この路線は25kV 50Hzで交流電化され、保安装置としてドイツのLZBが採用され、300km/h運転が目指された。車両はフランスのTGVの改良型が投入され、1992年4月に営業を開始した。それまでの鉄道シェアは20%程度であったが、1993年には45%まで上昇し、新規需要も創出された<sup>6)</sup>。だが、次の高速新線建設までには11年半を要した。

1993～2007年を計画期間とする社会基盤整備計画ではスペインの高速鉄道網を欧州の鉄道網に接続する方針がとられ、Madrid-Barcelona-仏国境間の路線建設が始まった。路線沿線にはスペインの人口の約1/3が集積し、2003年10月にMadrid-Zaragoza-Lleida間443kmの路線が開業した。2006年にはBarcelonaまで開業し、2010年には既に開業していた国境区間の路線に達することでParisまで列車が運行可能となった。2015年までに図-1および表-1のような2,852kmの営業路線網となっており、904kmが建設中、これに加えて2024年までにさらに1,061kmの建設予定があり、全て完成すると4,817kmの路線網となる。

なお、2005年、Renfeのインフラを管理する組織としてAdif (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias) が設置されている。

## 3. 本研究の分析方法

### (1) 分析指標について

本研究で用いる所要時間指標については多数の研究で利用されており、内容が重複するが以下の分析結果の理解を助けるため、指標の特徴等を以下に簡単に説明する。本研究では、都市間の所要時間指標として、滞在可能時

表-1 高速新線の区間と建設時期(2018年現在)の

Status	Section		Speed (km/h)	Date	Dist. (km)
In operation	①	Madrid - Seville	270	1992	471
	②	Madrid - Lleida	300	2003	448
	②	Zaragoza - Huesca	200	2003	79
	③	(Madrid -) La Sagra - Toledo	220	2005	21
	⑥	Córdoba - Antequera	300	2006	111
	④	Lleida - Camp de Tarragona	300	2006	82
	⑤	Madrid - Segovia - Valladolid	300	2007	178
	⑥	Antequera - Malaga	300	2007	58
	⑦	Camp de Tarragona - Barcelona	300	2008	100
	⑩	La Coruna - Santiago	200	2009	61
		By pass Madrid : Line Madrid - Barcelona - Gavilanes	200	2009	5
	⑧	Madrid - Valencia / Albacete	300	2010	398
	⑨	Figueres - Frontera (- Perpignan)	300	2010	20
Under construction	⑩	Ourense - Santiago	300	2011	85
		By pass de Yeles : Line Madrid / Valencia	200	2012	6
	⑪	Barcelona - Figueres	290	2013	131
	⑫	Albacete - Alicante	300	2013	165
		Santiago - Vigo	200	2015	95
		Utrera - Jerez	200	2015	73
	⑬	Valladolid - Leon	200	2015	166
		Olmedo - Zamora	200	2015	99
		Monforte del Cid - Murcia	300	2018	62
		Venta de Baños - Burgos	300	2018	91
		Bobadilla - Granada	250	2018	109
		Plasencia - Cáceres / Badajoz	250	2019	193
		Zamora - Ourense	300	2019	224
Planned		Leon - Asturias - Variante de Pajares	300	2019	50
		Vitoria - Bilbao-San Sebastian - "Basque Y"	300	2022	175
		Burgos - Vitoria	300		110
		Madrid - Navalморal / Plasencia	300		276
		Almeria - Murcia	300		190
		Palencia - Santander	300		201
		Castejon - Pamplona	300		75
	Zaragoza - Castejon	250		149	
	Ourense - Vigo (via Cerdedo)	250		60	



図-1 高速新線のネットワーク(2015年現在)

表-2 各所要時間指標の特徴

考慮事項	(a) 滞在可能時間	(b) 期待所要時間	(c) 仮想最速所要時間	(d) 実運転時損失時間
乗車時間 列車速度に起因 経路変更や運転 速度変化による 増減	朝夕便のみ	全便考慮	最速便のみ	-
	朝夕便のみ	全便考慮	-	全便考慮
待ち時間 運行頻度に起因 乗り継ぎ時の 接続待ち	朝夕便のみ	全便考慮	-	全便考慮
	朝夕便のみ	全便考慮	-	全便考慮
備考		Mixed モード 対応		(b)と(c) の差

間、期待所要時間、仮想最速所要時間の3つを使用して分析する。これら指標および後述の実運転時損失時間の4つが表現しうる項目について、表-2に示す。

滞在可能時間<sup>3)8)</sup>とは、ある都市を一定時刻(例えば朝6時)以後に出発し、一定時刻(例えば深夜24時)以前に帰着する場合における目的地での滞在できる時間数のことで、実際の乗り継ぎ経路に沿って計測する。実際のダイヤに沿って算出することで、乗り継ぎの良否や乗車時間などについても考慮でき、都市間の空間的抵抗を表す指標の1つとして用いることができる。ただし、朝夕の往復に用いられた便のみが考慮対象である。計算が簡易であるものの、所要時間指標としては後述の期待所要時間に近い表現力がある。本研究では、上記の時間帯設定を用いて計算する。

期待所要時間<sup>1)3)8)</sup>は、都市間交通で運行されている便ごとの所要時間や乗り継ぎ等を考慮でき、各便の所要時間が小さく、運行頻度が高いほど指標値が小さくなり、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くて実質的に利用できる便に限られる場合などには指標値が大きくなる。実際のダイヤに沿って算出することで、乗り継ぎの良否についても考慮できる。すなわち、移動時間の総合指標である。本研究では、朝6時から夜21時までの15時間の間に出発する場合についてこの指標を計算する。

例えば表-3は2018年9月現在における新大阪駅から長野野駅に向かう場合の先着便(乗継ぎ)の一覧であるが、出発時刻により経路地も所要時間(着時刻と発時刻との差分)もバラバラであり、単純に乗車時間を合計するだけでは利便性を表現し得ない。前便との間隔もバラバラなので出発時の待ち時間も均一では無いので、平均待ち時間を加算すればいいというものでもない。都市間交通では一般に出発しようとした時刻  $t$  に対して到着時刻  $f$  は  $t$  の関数であり、 $f(t)$  と表現できる。このとき、期待所要時間  $EVTT$  は次のように表現される。

$$EVTT = \frac{1}{(t_b - t_a)} \int_{t_a}^{t_b} f(t) - t \, dt \quad (1)$$

$t_a$  は計測時間帯の開始時刻、 $t_b$  は終了時刻である。関数  $f$  の形状はかなり複雑な波形になり、例えば表-3の場合、横軸に出発時刻  $t$  を、縦軸に  $f(t) - t$  をとって図示すると図-2のような波形になる。実際には列車の発着時刻をデータとして乗り継ぎの可否を考慮しながら最短経路探索して求めるのが現実的である。表-3の場合は4h21mになる。

一方、実際には乗り継ぎできないにもかかわらず、区間ごとの最速便が乗り継げることを仮定して地点間の所要時間が計算されることもあり、行政等においてインフ



表-3 例：新大阪→長野の先着乗継ぎ(2018年9月)

間隔 (分)	発時刻		乗換時間(分)		着時刻		所要 時間	乗車 時間
	新大阪	金沢	名古屋	東京	長野	長野		
	6:03				10	9:59	3:56	3:46
20	6:23				11	10:39	4:16	4:05
10	6:33				17	10:46	4:13	3:56
1	6:34	8				10:48	4:14	4:06
30	7:04	8				10:51	3:47	3:39
36	7:40			11		11:44	4:04	3:53
23	8:03		7			11:59	3:56	3:49
20	8:23			8		12:48	4:25	4:17
17	8:40			11		12:52	4:12	4:01
23	9:03		7			12:54	3:51	3:44
60	10:03		7			13:53	3:50	3:43
17	10:20			11		14:48	4:28	4:17
20	10:40			11		14:52	4:12	4:01
23	11:03		7			14:56	3:53	3:46
17	11:20			11		15:53	4:33	4:22
43	12:03		7			15:55	3:52	3:45
17	12:20			11		16:49	4:29	4:18
43	13:03		7			16:55	3:52	3:45
37	13:40			11		17:46	4:06	3:55
23	14:03		7			17:53	3:50	3:43
37	14:40			11		18:49	4:09	3:58
23	15:03		7			18:58	3:55	3:48
17	15:20			11		19:43	4:23	4:12
20	15:40			11		19:46	4:06	3:55
36	16:16	24				20:24	4:08	3:44
24	16:40		9			20:39	3:59	3:50
10	16:50			9		21:14	4:24	4:15
50	17:40		9			21:34	3:54	3:45
6	17:46	45				22:06	4:20	3:35
4	17:50			13		22:18	4:28	4:15
30	18:20			11		22:26	4:06	3:55
20	18:40		9			22:38	3:58	3:49
6	18:46	13				23:02	4:16	4:03
34	19:20			15		23:53	4:33	4:18

ラ整備のための検討の際などにおいてしばしば用いられている。この指標を本研究では仮想最速所要時間<sup>1)</sup>と定義する。仮想最速所要時間は列車の乗車時間そのものの合計(理論的最小値)と考えて差し支えない。例として示した表-3では、一見17:46発の金沢乗継ぎの場合の3h35mがこの指標に該当するように見えるが、実際には乗継がない列車(サンダーバード33号とかがやき500号など)を組合わせた3h32mがこの指標値に該当する。

また、仮想最速所要時間と期待所要時間との差(以下、実運転時損失時間と呼ぶ)は、次の各要素により構成される。

- a) 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)
  - b) 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
  - c) 乗り継ぎ時の接続待ちに伴う時間的損失
- 例として示した表-3の場合、期待所要時間4h21mと仮想最速所要時間3h35mの差の0h46mになる。

(2) 分析対象都市について

本研究ではスペインの国内主要都市間の各種指標を計測するが、対象都市は離島を除く15の州の州都(表-4)または人口20万人以上の都市(大都市圏内の都市を除

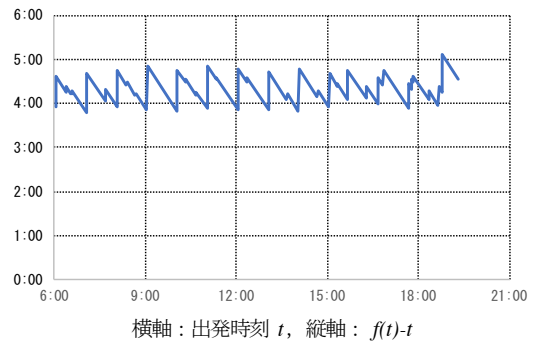


図-2 出発時刻tに対するf(t)-tの波形(表-3に対応)

表-4 スペインの州と州都

州名	州都	州名	州都
Madrid	(1) Madrid	La Rioja	(14) Logroño
Catalunya	(2) Barcelona	Navarra	(15) Pamplona
Andalucía	(3) Sevilla	Extremadura	(16) Mérida
Aragón	(4) Zaragoza	Galicia	(17) Santiago de Compostela
Castilla y León	(5) Valladolid	Castilla-La Mancha	(18) Toledo
Valenciana	(6) València	Asturias	(19) Oviedo
Murcia	(7) Murcia	Vasco	(20) Vitoria
Cantabria	(8) Santander	-	-

表-5 人口20万人以上の都市都

都市	万人	都市	万人
(1) Madrid	326	(12) Córdoba	33
(2) Barcelona	162	(13) Granada	23
(3) Sevilla	70	(19) Oviedo	22
(4) Zaragoza	67	(20) Vitoria	25
(5) Valladolid	32	(21) Vigo	30
(6) València	81	(22) Gijón	28
(7) Murcia	44	(23) La Coruña	25
(9) Málaga	57	(24) Jerez de la Frontera	21
(10) Bilbao	35	(25) Cartagena	21
(11) Alicante	33	-	-

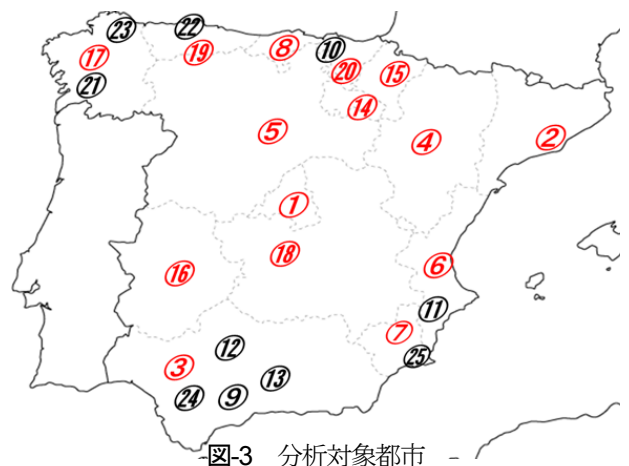


図-3 分析対象都市

く(表-5)の計25都市とした。各都市の位置は図-3に書き込んで示しており、番号は各表内の都市の頭に示した番号である。

(3) 分析対象年次と整備概要について

スペインの高速鉄道導入は1992年であるが、1960年代以降Renfeの近代化が行われてきたことや、将来的な多国間の鉄道整備状況の比較分析の可能性などを考慮し、表-6に示した6年次について分析した。分析対象路線は分析対象都市間を結ぶ幹線鉄道とし、分析対象列車は平日に運行されているもののみとし、週末運転の列車や特定日だけ運転される列車は対象外とした。

4. 各所要時間指標の推移

年次	資料名	出版社等
1963	Thomas Cook Continental Timetable, May 26-June 30 1963	Thomas Cook & Son Limited
1975	Thomas Cook Continental Timetable, May 1-31 1975	Thomas Cook Limited
1985	Thomas Cook Continental Timetable, June 1985	日本語版, ダイヤモンド社
1995	Thomas Cook European Rail Timetable, Summer 1995	日本語版, ダイヤモンド社
2005	Thomas Cook European Rail Timetable, Summer 2005	日本語版, ダイヤモンド社
2015	European Rail Timetable, Summer 2015	日本語版, ダイヤモンド社

(1) 滞在可能時間の推移について

図-4は滞在可能時間の推移を示したもので、図では初めて滞在可能時間が8時間以上となった年次を示している(1963年…■, 1975年…▲, 1985年…●, 1995年…△, 2005年…×, 2015年…○)。図はOD形式になっており、左側に示した都市が出発側、上部に示した都市が訪問先の都市である。計測条件は朝6時に出発、深夜24時帰着という条件であり、滞在可能時間が8時間以上とは、片道あたりの移動時間が5時間に相当する。

1963年段階では初期のTalgo列車(特急列車, この時期は単なる連節式車両)が既に(1950年より)営業運転を開始しているが、8時間以上滞在可能な都市の組合せは近隣都市相互の場合に限られており、州を超えて8時間以上となっているのはMadrid-Toledo間, Logroño-Bilbao間のみである。Granada, Pamplona, Méridaについては8時間以上滞在可能な訪問先が無い。この背景としては、当時のFranco政権の下で鉄道インフラが長期にわたって放置され、路線の改良が遅れていたことが挙げられる。

1975年になると、8時間以上滞在可能な都市の組合せは、新たにZaragoza, Alicante, Valladolid, Santanderを発着する場合にも見られるようになってくる。首都Madrid

O \ D	Madrid	Barcelona	València	Sevilla	Zaragoza	Málaga	Murcia	Bilbao	Alicante	Córdoba	Valladolid	Vigo	Gijón	La Coruña	Granada	Vitoria	Oviedo	Cartagena	Jerez de la Frontera	Pamplona	Santander	Logroño	Santiago de Compostela	Toledo	Mérida
Madrid									×	△	▲								△	×				■	
Barcelona	○		△		△					○	○														○
València	●	△			○				△	○	○														○
Sevilla	△					△				■						×				■					○
Zaragoza	△	△	○							×	○						△				●	●		×	
Málaga	×			△						●										○					
Murcia	△		×						▲									■							
Bilbao																					▲	▲			
Alicante	△		●				●			○	○							△							○
Córdoba	△		○	■	×	△				○	○								△						○
Valladolid	▲				○					○										△					○
Vigo														●										■	
Gijón											○							■							
La Coruña												●												■	
Granada						×																			
Vitoria	○										△														
Oviedo													■												
Cartagena									▲																
Jerez de la Frontera	×			■		○				△															
Pamplona	×	○			△															△					
Santander									●		△														
Logroño	○				▲			■																	
Santiago de Compostela													■	■											
Toledo	■	○	○	○	○	○			○	×	○														
Mérida																									

滞在可能時間が8時間以上となった年次

■ 1963年 ▲ 1975年 ● 1985年 △ 1995年 × 2005年 ○ 2015年

図-4 スペイン主要都市間の滞在可能時間の推移

からはValladolidへの滞在可能時間が8時間を超えたほか、ZaragozaからもLogroñoを訪問する際の滞在可能時間が8時間を超えており、内陸部から北部の都市への利便性が向上していることがわかる。この時点では多くの都市の組合せで（表では表現できていないが）滞在可能時間が計算上マイナス（つまり1日では往復できない）になっているが、数値がプラスの都市が出現し始めている（日帰りが可能になってきている）。だが、BarcelonaやValènciaなどの地中海沿いの都市の利便性は低い。

1985年は路線の高速化が始まっている時期であり、Barcelona, Zaragoza, Málaga, Granada, Vitoria, Méridaを除く都市において8時間以上滞在可能な訪問先都市が現れるようになった。1975年と比較して特に滞在可能時間の拡大が目立つのは、Aragón州にあるZaragozaから北部の諸都市を訪問する場合である。また、南東部のAlicanteからは、既に滞在可能時間が8時間を超えていた近隣都市のMurciaに加え、Valènciaについても滞在可能時間が8時間を超えた。

1995年になると高速新線がMadrid-Sevilla間に開通し、AVE（高速列車）が営業を開始している。この年次では、Madridから南西部の都市を訪問する場合において8時間以上滞在可能となるケース（Madrid-Sevilla間とMadrid-Córdoba間）が初登場している。このほか、Madridからは東部のZaragozaや南東部のValènciaへも8時間以上滞在可能となるなど、滞在可能時間は各都市とも大幅に改善している。しかしMéridaなど一部の都市では年々滞在可能時間が悪化する訪問先都市が多くなっている。この背景としては運行スケジュールの改定に合わせて列車が高速化される一方、運行本数が減少している路線もあり、これが影響していると考えられる。

2005年になると、Madrid-Sevilla間（1992年開業）に加えてMadrid-Zaragoza-Lleida間（2003年開業）にも高速新線が建設されて高速列車AVEが運転を開始しており、Zaragozaから各都市への滞在可能時間が向上している。また、1997年にはBarcelona-València-Alicante間において広軌の在来線を改良した線路上をEuromedと呼ばれる高速列車（200km/h運転）が運転されるようになったため、沿線都市では滞在可能時間が増加している。だが、在来線改良区間は新線よりも運転速度が低く、変化は比較的小さい。さらに、Barcelona-Madrid間に標準軌の高速新線と広軌の在来線を直通する列車（Talgo列車、Lleidaで軌間変換）が運転されることでBarcelona発着の滞在可能な時間増加している。一方、利便性が低下した都市も存在し、例えば1995年のAlicante発着の場合はMadrid, València, Murcia, Cartagenaにおいて8時間以上滞在可能であったが、2005年では運転本数の減少によりMadridとValènciaのみとなっている。

2015年になると、Madrid-Barcelona間の高速新線が全線開業（2008年）するとともに、Madrid-València間を結ぶ高速新線も開業（2010年）しており、沿線都市を発着地とするケースで8時間以上滞在可能な都市が増加している。例えば、MadridとAlicanteなどの南東部の都市との間の滞在可能時間が増加している。また、Madrid南西約75kmに位置するToledoを発着地とするケースでは、2005年段階ではMadridとCórdobaだけが8時間以上滞在可能だったが、高速新線開通によりBarcelona, València, Sevilla, Zaragoza, Málaga, Alicante, Valladolidの計7都市において新たに8時間以上滞在可能となった。一方、Oviedo発着の場合では2005年にはGijónにおいて8時間以上滞在可能であったが、2015年には8時間以上滞在可能な都市は皆無となっている。

## (2) 仮想最速所要時間の推移について

図-5は仮想最速所要時間（区間ごとの最速便が乗り継ぎ可能であった場合の仮想的な所要時間）の推移を示したものであり、概ね乗車時間の理論的最小値と考えて差し支えない。図では初めて仮想最速所要時間が5時間以下となった年次を示している（凡例は図-4と同様）。図はOD形式であり、左側が出發側、上部が訪問側である。

1963年時点では一部区間でTalgo列車が運転されている状況であり、幹線鉄道の近代化も始まっている。Madrid-Valladolid間やMadrid-Zaragoza間といった一部の内陸部の都市の組合せや、同じ州内の都市相互の場合において仮想最速所要時間が5時間以下になっており、直通列車が存在したり乗り継ぎが可能であれば利便が高い状況になっている。一方、他都市から離れているBarcelona, Granada, Méridaなどでは仮想最速所要時間が5時間以下となる都市が存在しない。滞在可能時間の計測結果と比較考察してみると、計測方法が異なるにもかかわらず傾向の違い比較的小さいことがわかる。これは、当時の輸送形態は朝夕の都市間直通便主体であったからであると考えられる。

1975年では、GranadaやMéridaを除き、仮想最速所要時間が5時間以下となる都市間が増加しており、路線そのものの改良は進みつつあると考えられる。改善された例としては、Valladolid発着の場合においてBilbao, Santanderといった都市のほかにも、Gijón, Oviedoでも仮想最速所要時間が5時間以下になっており、北部の地方都市との組合せで改善が見られた。また、Barcelona発着の場合は1963年時点では仮想最速所要時間が5時間以下となる都市は存在しなかったが、ValènciaとZaragozaについて5時間以下となった。

1985年は複線電化や160km/h程度の高速化が進行している最中であり、1975年に比べて仮想最速所要時間が5

時間以下の都市間が多少増加している。例えば、Madrid 発着の場合、València, Alicante, Córdobaを対象とするケースにおいて仮想最速所要時間が5時間以下になっており、南東部および南西部方面への路線改良が進んでいるものと考えられる。しかし、1985年時点では高速新線が開業しているわけではなく、1975年と比べて大きな変化があったわけではない。

1995年の段階では高速新線が開通し、Madrid-Córdoba-Sevilla間にAVEが運行されている。このため、MadridからCórdobaやSevillaなどの南西部の都市への仮想最速所要時間が大幅に短縮されている。直接的な高速新線の沿線都市だけでなく、高速新線を部分的に利用できるMálagaやJerez de la Fronteraといった周辺都市を対象とするケースについても数値の改善が見られる。高速新線建設以外にも1979年以降の在来線改良が進行しており、MadridからMurciaへも仮想最速所要時間が5時間以下になっており、Madridを中心とする改良等が進行している。さらに、Valladolid-Pamplona間といった組合せにおいても仮想最速所要時間が5時間以下となってきており、地方路線でも路線改良が進行している。1985年時点では仮想最速所要時間が5時間以下となる都市が存在しなかった

Méridaについても、5時間以下となる都市が出現している。

2005年時点ではMadrid-Sevilla間とMadrid-Zaragoza-Lleida間でAVEが運転を開始されているほか、Barcelona-València-Alicante間にEuromedが運転されており、Madrid-Barcelona間にTalgo列車も運転されている。高速鉄道網がMadridを中心に放射状に整備されつつあり、Madrid-Cartagena, Madrid-Pamplonaといった地方都市へも仮想最速所要時間が5時間以下になっている。また、部分的に高速新線を利用できるMadrid-Barcelona間でも仮想最速所要時間が5時間以下になっている。

2015年はMadrid-Barcelona間の高速新線が全線開業するとともにMadrid-València間にも高速新線が開業している。2005年の結果に比べてさらに期待所要時間が5時間以下となる都市間が増加し、路線の改良が進行していることが確認できる。例えば、南東部のValència発着の場合、2005年において仮想最速所要時間が5時間以下であったのはMadridとBarcelona（MadridとTalgo列車で連絡）のほかはMurcia, Alicante, Cartagenaといった南東部の都市ばかりであり、計5都市であった。2010年にMadrid-València間に高速新線が開業することで、さらに

O \ D	Madrid	Barcelona	València	Sevilla	Zaragoza	Málaga	Murcia	Bilbao	Alicante	Córdoba	Valladolid	Vigo	Gijón	La Coruña	Granada	Vitoria	Oviedo	Cartagena	Jerez de la Frontera	Pamplona	Santander	Logroño	Santiago de Compostela	Toledo	Mérida
Madrid		x	▲	△	■	△	△	○	●	▲	■				x	▲		△	△	△	○	△		■	△
Barcelona	x		▲	○	▲	○			x	○	○					○		△	△	x	x			○	△
València	▲	▲		○	○	○	▲		■	○	○							▲	○	○		○		x	
Sevilla	△	x	x		x	■			○	■	△				△				■					△	△
Zaragoza	■	▲	○	x		○	○	▲	○	△	△					△			x	■	■		●	●	
Málaga	△	x	○	▲	○				○	■	○				x				▲					○	
Murcia	△		▲		○				■		○						△	■						x	
Bilbao	○				●						■						△				■	■			
Alicante	●	x	■	○	○	○	■			○	○							■						△	
Córdoba	●	x	x	■	△	■	○		○		△				△				■	○		○		△	△
Valladolid	■	○	○	△	x	○	○	■	○	△			▲			■	▲		○	△	■	○		▲	
Vigo													▲		■									■	
Gijón								△			▲						■				▲				
La Coruña												■												■	
Granada		x		●		x				△										△					
Vitoria	▲	○			△						■									△		△		○	
Oviedo								△			▲		■								▲				
Cartagena	△		▲				■		■																○
Jerez de la Frontera	△	x	x	■	○	▲				■	○				x									△	△
Pamplona	△	x	○		■					○	△					△						▲		x	
Santander	○							■		■			●				▲					●		○	
Logroño	△	x	○		■			■		○	○					△				▲	△			x	
Santiago de Compostela												■		■											
Toledo	■	x	x	△	△	○	x		△	△	▲					○		○	△	x	○	x			○
Mérida	△			△						△	△								○						○

仮想最速所要時間が5時間以内となった年次

■ 1963年 ▲ 1975年 ● 1985年 △ 1995年 × 2005年 ○ 2015年

図-5 スペイン主要都市間の仮想最速所要時間の推移



Sevilla, Zaragoza, Málaga, Córdoba, Valladolid, Pamplona, Toledoの7都市が新たに仮想最速所要時間が5時間以下となった。首都Madrid発着の場合では新たにVitoria, Santanderの2都市において仮想最速所要時間5時間以下となり、仮想最速所要時間が最大となる都市でも6時間半ほどになった。これは、Madridを中心として高速新線が放射線状に開通し、列車の速度が向上した影響である。だが、依然として北西部のVigo, La Coruña, Santiago de Compostelaについては、遠方の都市への仮想最速所要時間は5時間以上のケースがほとんどである。地理的にMadridやBarcelona, Sevillaなどの主要都市から離れている上、これらの都市に接続する高速新線が開業していないことが主因である。

(3) 期待所要時間の推移について

図-6に期待所要時間(移動時間の総合指標であり、乗車時間だけでなく運行頻度、乗り継ぎの良否などを反映できる)の推移を示す。図では初めて期待所要時間が5時間以下となった年次を示している(凡例は図-4や図-5と同様)。図はOD形式であり、左側が発元側、上部が訪問側

である。期待所要時間は列車の乗車時間相当の仮想最速所要時間に運行頻度や途中での乗り継ぎ待ち時間等が加算されたものとなるため、数値が大きくなりがちである。朝夕と昼間の利便性が同程度であれば、滞在可能時間で表現される利便性と同様の傾向になることがわかっている<sup>8)</sup>。

さて、1963年時点で期待所要時間が5時間以下となる都市の組合せは仮想最速所要時間に関する図-5に比べると非常に少ない。図-5では他の主要都市から離れているBarcelona, Granada, Pamplona, Méridaを除いて仮想最速所要時間が5時間以下の都市の組合せはいくつか存在しているが、図-6では期待所要時間が5時間以下となる都市の組合せは全体でも10組しか存在しない。州をまたぐ都市間としては近距離のToledo発Madrid着(約75km, 逆のMadrid発は期待所要時間5時間超)へ向かう場合のみで、それ以外はSevilla-Córdoba間などの同一州内都市間である。すなわち、路線として列車が5時間で走れる能力を持っていても、待ち時間等を含めて実際に短時間で結ばれる都市間は少なかった。

1975年になると、州をまたぐ都市間での期待所要時間

O \ D	Madrid	Barcelona	Valencia	Sevilla	Zaragoza	Málaga	Murcia	Bilbao	Alicante	Córdoba	Valladolid	Vigo	Gijón	La Coruña	Granada	Vitoria	Oviedo	Cartagena	Jerez de la Frontera	Pamplona	Santander	Logroño	Santiago de Compostela	Toledo	Mérida	
Madrid		○	×	△	△	○			○	△	●								×					▲		
Barcelona	○		×		×																				○	
Valencia	△	△			○				△		○														○	
Sevilla	△					×				■										■					○	
Zaragoza	△	△	○							○	○										●		●		○	
Málaga	○			×						△										○						
Murcia									▲										▲							
Bilbao																					●					
Alicante	○		△				■																		○	
Córdoba	△		○	■	○	●					○									△					△	
Valladolid	▲		○		○						○						×								○	
Vigo														△										▲		
Gijón																		■								
La Coruña													△											■		
Granada																										
Vitoria											△										△					
Oviedo														■												
Cartagena							●																			
Jerez de la Frontera				▲						△																
Pamplona					△																					
Santander								●												△						
Logroño					●																					
Santiago de Compostela												■		■												
Toledo	■		○		○					○	○															
Mérida										○	○															

期待所要時間が5時間以内となった年次

■ 1963年 ▲ 1975年 ● 1985年 △ 1995年 × 2005年 ○ 2015年

図-6 スペイン主要都市間の期待所要時間の推移



5時間以下の組合せが若干増えている。例えば、前述の Toledo-Madrid間では両方向とも期待所要時間が5時間以下となったほか、新たにValladolid発Madrid着（逆は5時間超）が期待所要時間5時間以下になっている。南東部では、Murcia-Alicante間が相互に期待所要時間5時間以下となったほか、Murcia-Cartagena間でも期待所要時間が5時間以下となった。南西部ではJerez de la Frontera-Sevilla間相互で期待所要時間が5時間以内となっている。

1985年は複線電化や160km/h程度の高速化が進行している最中であり、1975年に比べて多少の改善が見られる。例えば1975年までの時点で期待所要時間が5時間超の都市ばかりであった内陸部にあるZaragozaでは、1985年になると北部のLogroñoやPamplonaに対する期待所要時間が5時間以下となった。また、北部ではBilbao-Santander間において期待所要時間が5時間以下になっている。このように州をまたぐような区間でも期待所要時間が5時間以下となるケースが増えており、速度改善だけでなく運行頻度や乗り継ぎの改善が進行している。

1995年には最初のAVEがMadrid-Córdoba-Sevilla間に開通し、これら都市間において期待所要時間が5時間以下になっている。単に速度が向上しただけでなく、直通列車が多数運転されるようになり、乗車時間以外の時間的ロスが縮小した影響も大きい。また、高速新線以外の在来線においても列車の高速化が進むとともに運転本数が増加するなどしてValència-Alicante間やMadrid-Zaragoza間などにおいても期待所要時間が5時間以下になっている。また、一方、高速鉄道が直接通っていない都市であっても期待所要時間が大幅に改善されていることが多い。

2005年時点ではMadrid-Sevilla間とMadrid-Zaragoza-Lleida間でAVEが運転を開始している。期待所要時間については、Madrid-València間、Barcelona-Zaragoza間といった区間で5時間以下になっている。これら区間では高速新線が開通前でも改善が見られ、運転本数等の増加が影響していると思われる。特にBarcelona発着のケースではEuromed（改良した在来線を高速走行）が運行を開始したことで、対南東部都市において改善が進んでいる。まだ建設途上の高速新線が多く、上記を除いて1995年に比べて変化は小さい。また、仮想最速所要時間の面ではBarcelonaやZaragoza、Valènciaを発着する場合において5時間以下となるケースが存在するが、期待所要時間の面では1995年比での変化は小さく、運行頻度等の面で課題が残っていた。

2015年はMadrid-Barcelona間の高速新線が全線開業するとともにMadrid-València間にも高速新線が開業している。2005年から2015年までの10年間でMadridを起点とする放射線状の高速新線網が形成されAndalucía州やCatalunya州などを目的地とする遠距離の組合せにおいて

も期待所要時間が5時間以下の組み合わせが現れている。2008年にMadrid-Barcelona間の高速新線が全線開業したことで、両都市間の期待所要時間が5時間以下になった。それまでの軌間変換式Talgo列車から高速列車AVEに変わったことが影響している。また、2010年にMadrid-València間を結ぶ高速新線が開業し、Valènciaへの期待所要時間がさらに短縮された上、Madrid-Alicante間の期待所要時間も5時間以内となるなど南部の都市でも利便性が向上している。一方、北西部のVigo、La Coruña、Santiago de Compostelaについては、州またぐケースで期待所要時間が5時間以上となっており、仮想最速所要時間の分析と同様に地理的にMadridやBarcelona、Sevillaなどの主要都市から離れている上、高速新線未整備が主因である。

## 5. 路線網整備の特徴分析

### (1) 本章での分析方法

前章の分析によって、スペイン主要都市間の幹線鉄道の発達において、主に速度面での利便性改善を表現できると考えられる仮想最速所要時間(VFTT = Virtual Fastest Traveling Time)を用いた分析と、乗り継ぎ等を含めた総合的な利便性を表現できると考えられる期待所要時間(EVTT = Expected Value of Traveling Time)を用いた分析とでは、表現されている改善の傾向が異なっていた。そこで、本章では期待所要時間の改善を速度面(乗車時間)の改善とそれ以外の乗り継ぎ等の改善とに分離して分析することとする。分析にあたって、実運転時損失時間(ROLTime = Real Operation Loss Time)という主として乗り継ぎ等の利便性を表現する指標を導入することとし、既に計測した指標を使って以下のように定義する。

$$ROLTime = EVTT - VFTT \quad (2)$$

以下、これら指標を用いて分析する。各指標は概ね10年ごとに計測されているが、鉄道政策の結果を分析するには計測間隔が細かすぎるため、1963年から1985年にかけての路線整備が低調であった時期と、1985年から2015年にかけての高速新線が大規模に整備された時期の2つに分けて分析する。

### (2) 1963年から1985年にかけての変化

図-7は横軸に実運転時損失時間(ROLTime)の1963年から1985年にかけての22年間の改善量(減少量)をとり、縦軸に仮想最速所要時間(VFTT)の改善量をとって全ODについてプロットしたものである。定義上、両者を加算し

たものが期待所要時間(EVTT)(の改善量)になるので、図の右上にプロットされたODほど総合的な利便性が改善されたと言える。また、上方ほど速度が向上(乗車時間が短縮)しており、下方ほど速度が低下している(新線が整備されると旧線に比べて線形が直線に近くなるため、距離自体が多少短くなることもあるが、広義の速度向上と解釈し、以下、単に速度向上などと表現する)。さらに右方ほど乗り継ぎや運行頻度等の速度以外の面での改善が大きく、左方ほど速度以外の面での利便性が悪化していると解釈できる。

この期間では、高速新線の開業はなかったものの、1964年以降のRenfeの近代化(新線建設、軌道の更新、自動信号機の導入、自動閉塞導入、CTC導入、電化促進)の実施、1979年以降の160km/h運転を目指しての複線電化の推進などが実施された。この期間において、全ODペアのうち実運行時損失時間が改善されたのは全体の約93%(図の右側ほど改善)、仮想最速所要時間は約98%で改善(図の上方ほど改善)、期待所要時間は約99%において改善(図の右上ほど改善)されている。

また、全ODペアのうち、約60%は実運行時損失時間の改善量よりも仮想最速所要時間の改善量の方が大きい(図中の斜線より上側)という特徴がある。すなわち、この期間における輸送改善は、路線改良や車両の高性能化に伴う速度向上の方がやや優勢であったといえる。

(3) 1985年から2015年にかけての変化

図-8は図-7と同様の作図方法であるが、1985年から2015年にかけての30年間の変化を示したものである。

この期間には1979年以降の160km/h運転を目指しての

複線電化の推進が継続されるとともに、多数の高速新線が開業し、AVEのサービスが大規模に提供されてきている。改良された在来線でもEuromedのような高速運転サービスが提供されるとともに、従前はフランスへの国際列車にだけ使用されていた軌間可変Talgo列車が高速新線においても運転(広軌の在来線と標準軌の高速新線を直通)されるようになっている。

この期間では、全ODペアのうち実運行時損失時間は約75%において改善されるとともに、仮想最速所要時間は約97%で改善されている。また、期待所要時間についても約93%で改善されている。全ODペアのうち、約82%については、実運行時損失時間の改善量よりも仮想最速所要時間の改善量の方が大きく、高速鉄道のAVEやEuromedなどが運行開始したことによる高速運転による改善が主体であったと言える。

前項の1963年と1985年の間の比較分析の場合、実運行時損失時間の改善割合は93%であったものが1985年から2015年の間での改善は75%にとどまっており(つまり25%は改悪)、運行頻度や乗り継ぎ改善といった面では課題が残っている。

8. おわりに

(1) 既存の研究における結果との比較考察

本研究ではスペインの幹線鉄道網について分析したが、ドイツの幹線鉄道網についての分析<sup>4)</sup>では、東西ドイツの再統一や高速鉄道導入以前の1985年までについては、在来線改良や車両の高性能化などによる速度向上に加え

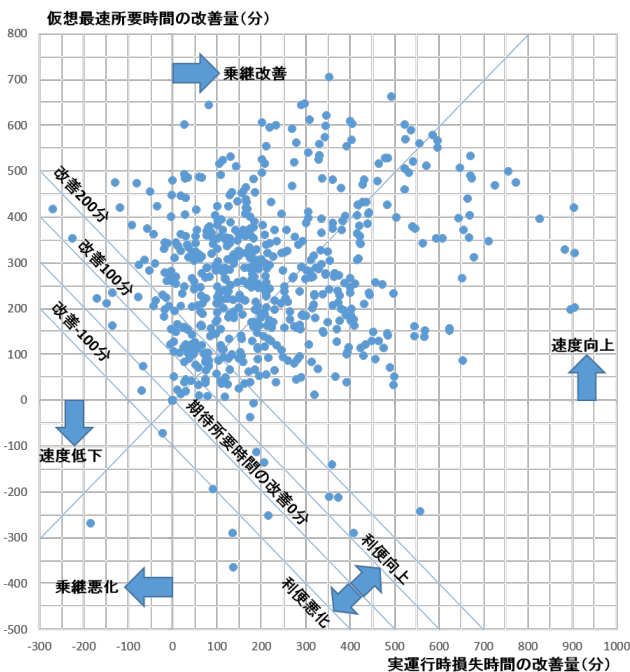


図-7 期待所要時間変化の構成('63→'85)

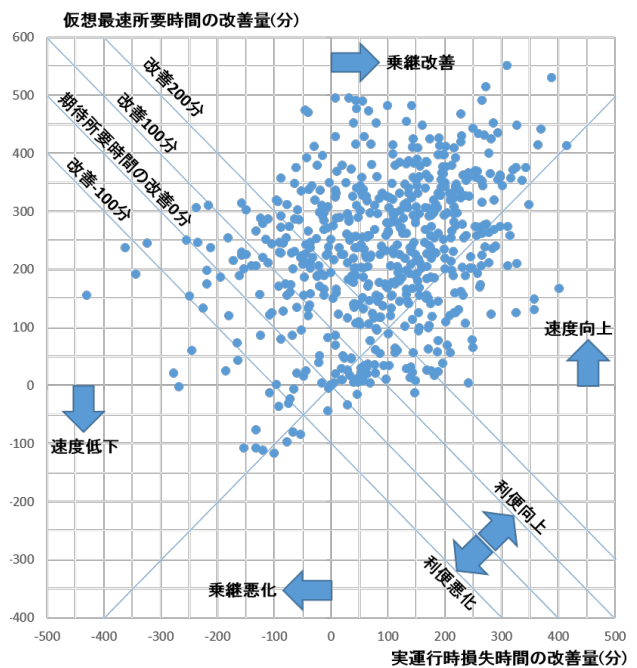


図-8 期待所要時間変化の構成('85→'15)

て運行頻度の向上と乗り継ぎ改善が大きな役割を果たし、ほぼ全ODで総合的な利便性改善が見られた。1985年以降はICEなどの高速列車の運転開始が目につくものの、速度向上よりも運行頻度の向上と乗り継ぎ改善によって総合的な利便性が向上(期待所要時間が改善)する結果になっている。

また、フランスの幹線鉄道網について分析した研究<sup>3)</sup>では、1985年以前は速度向上と乗り継ぎ利便や運行頻度の改善の両方が実現することで総合的な利便性が大きく向上(期待所要時間が改善)したが、1985年以後のTGVの全国展開期においては速度面では改善があったものの運行頻度や乗り継ぎ利便性の面では悪化するケースも多く、期待所要時間の改善は小さかったことがわかっている。

さらに、同様の分析手法でスイスの鉄道政策Rail 2000について分析した研究<sup>4)</sup>でも、期待所要時間の改善には乗り継ぎ改善が有効であったことが確認されている。

さて、スペインについて分析した本研究の結果では1985年以前は速度向上と乗り継ぎ利便や運行頻度の改善の両方が実現することで総合的な利便性が大きく向上(期待所要時間が改善)し、1985年以後のAVEの大規模導入期においては速度面での改善が主体であり、運行頻度や乗り継ぎ利便性の面では悪化するケースがあった。しかし、期待所要時間の改善はかなりの割合で実現しており、フランスの場合とは異なっている。

## (2) わが国の幹線鉄道政策への示唆

ドイツやスイスでは運行頻度の向上と乗り継ぎ改善によって幹線鉄道網の改善を実現してきた。一方、フランスやスペインでは高速新線の積極的建設を主体としたものの、前者は運行頻度の向上と乗り継ぎ改善に課題を残して必ずしも総合的な利便性向上にはつながらなかった。一方でスペインでは総合的な利便性向上はかなりの割合で実現できた。この差は何であろうか。

フランスでは1981年のParis-Lyon間におけるLGV開業から2018年のMontpellier開業までの37年間に約2,800kmの高速新線を建設しており、年間建設距離は約76kmである。スペインでは1992年のMadrid-Sevilla間の開業から2022年開業予定のVitoria-Bilbao間まで、30年間に約3,760km建設され、年間建設距離は約125kmである。すなわち、まさに力業で利便性向上を果たしてきたということである。

翻って我が国では1964年の東海道新幹線から2031年開業予定の北海道新幹線までの67年間で約3,250km、1997年の北陸新幹線の部分開業からならば3-4年間で約1,330kmであり、年間約39kmである。スペインの1/3以下の建設ペースであり、高速新線の建設のみで全体の利便

性を大幅に引き上げるという方法は、このままでは実現困難と思われる。ドイツやスイスのような方策が検討されてしかるべきではないかと思われる。

## (3) 今後の課題

本研究ではスペインの鉄道ネットワークを分析したが、スペインの鉄道では山岳の曲線区間を高速運転したり異なる軌間を直通運転する特殊車両開発が利便性向上に大きな役割を果たしており、車両面に関する分析を深める必要があると考えられる。また、陸上交通では一部区間で都市間バスの存在が前提になっている部分もあり、これについての分析も課題である。

## 参考文献

- 1) 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, pp.839-844, 2006.
- 2) Masatoshi Hatoko and Dai Nakagawa: Comparative Analysis of Swiss and Japanese Trunk Railway Network Structures, 11th World Conference on Transport Research, WCTRS, 2007.
- 3) 波床正敏: TGVネットワーク展開期におけるフランス主要都市間の移動時間の特徴分析, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.72, No.5, (土木計画学研究・論文集第33巻), p.I\_809-I\_820, 2016.
- 4) 波床正敏, 吉村晟輝: ドイツの幹線鉄道網発達に伴う主要都市間の移動時間変化, 土木計画学研究・講演集, Vol.56, CD-ROM, 2017.
- 5) Renfe: Executive Summary Annual Report 2010, [http://www.renfe.com/docs/2010\\_ExecutiveSummary.pdf](http://www.renfe.com/docs/2010_ExecutiveSummary.pdf), 2010, 2018年7月29日取得.
- 6) Miguel Muñoz Rubio: Renfe, 75 años de historia (1941-2016) (Renfe 75年の歴史, スペイン語), Fundación de los Ferrocarriles Españoles, <https://www.tecnica-vialibre.es/documentos/Libros/Renfe75Anios.pdf>, 2017, 2018年7月29日取得.
- 7) UIC (国際鉄道連合): HIGH SPEED LINES IN THE WORLD (Summary) (2018年6月12日現在), [https://uic.org/IMG/pdf/20180612a\\_high\\_speed\\_lines\\_in\\_the\\_world.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/20180612a_high_speed_lines_in_the_world.pdf), 2018年7月29日取得.
- 8) 天野光三, 中川大, 加藤義彦, 波床正敏: 都市間交通における所要時間の概念に関する基礎的研究, 土木計画学研究論文集, Vol.9, pp.69-76, 1991.

(2018. 7. 31 受付)

AN ANALYSIS OF TRAVELING TIME BETWEEN SPANISH MAJOR CITIES  
ACCOMPANIED BY THE INSTALLATION OF HIGH-SPEED RAIL

Masatoshi HATOKO, Kensei NAKAMURA AND Takayoshi YUKAWA