

モスクワ地下鉄の高頻度運行管理

—我が国首都圏鉄道における列車遅延対策への示唆—

我が国の首都圏鉄道は輸送力増強や利便性向上のため、高密度ネットワーク、高頻度運行、相互直通運転等の施策を実施してきたが、その副作用として朝ラッシュ時に慢性的な列車遅延が発生し、新たな課題を抱えている。一方で世界屈指の輸送量を誇るモスクワ地下鉄は、遅延が問題化することなく90秒間隔の高頻度運行を実現している。本報告では、まずモスクワ地下鉄の概況と現地調査に基づく列車運行の現状を報告し、旅客流動と列車走行の視点から、高頻度運行を可能とする施設や運行管理の実態と仕組みについて現状分析と考察を行う。最後にこれらの事例から、我が国首都圏鉄道の遅延解消に向けた施設整備および運行管理に対する示唆を述べる。

キーワード 高頻度運行, 列車遅延, 旅客流動, 列車走行

仮屋崎圭司
KARIYAZAKI, Keiji

修(工)(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構新幹線部新幹線第一課担当係長
前(財)運輸政策研究機構運輸政策研究所研究員

日比野直彦
HIBINO, Naohiko

博(工) 政策研究大学院大学准教授

1——はじめに

我が国では首都圏の列車運行遅延が慢性的に発生しており、特に朝の通勤・通学ピーク時には利用者の混雑に起因する数分単位の遅延が毎朝のように起きている。大量の旅客を輸送するため、多くの路線で約2分間隔の高頻度運行を実施しているが、施設容量いっぱいに行っていることから、些細な遅延が路線全体へと波及・拡大している。また、相互直通運転により、その影響は広域に及んでいる。首都圏鉄道における高密度なネットワーク整備、高頻度運行、相互直通運転などの施策は、輸送力増強と利便性向上において高い効果をあげた一方で、その副作用として、列車遅延の問題が顕在化し、首都圏鉄道に新たな課題が生じている。

一方、ロシアのモスクワ地下鉄は世界屈指の輸送量を誇っており、その輸送量は首都圏の地下鉄(東京メトロ+都営地下鉄)の輸送量と同程度である。注目すべきは、列車の運行間隔であり、ピーク時は90秒間隔の運行を実施し、首都圏鉄道以上の高頻度運行を実現している。これまでにモスクワ地下鉄の運行管理の詳細について我が国で報告されている例は筆者の知る限り存在しないが、その内容は今後の我が国の都市鉄道整備と運行管理を検討するに当たり、有益な情報を含んでいる。

本稿では、モスクワ地下鉄における列車運行の実態と管理手法について、公開されている文書^{1), 2)}と、モスクワ地下鉄に対するヒアリング調査^{注1)}および現地での観測をもとに紹介するとともに、遅延問題の解消に向けた我が国首都圏鉄道の施設整備および運行管理に対する示唆についても考察を行う。

2——モスクワ地下鉄の概要

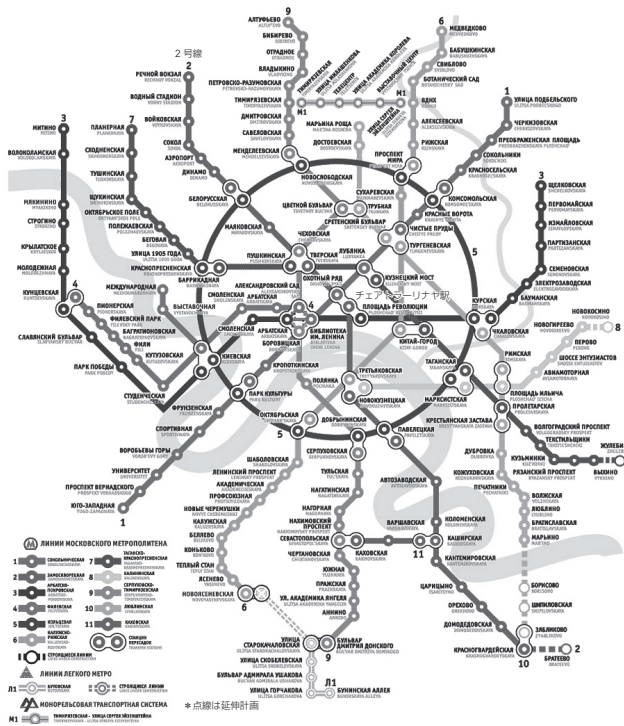
2.1 路線網

モスクワ地下鉄は、全12路線(ライトメトロ1路線を含む)、180駅、総営業キロ298.2kmを持ち、2009年時点で一日平均655万人と世界有数の輸送人員を誇る地下鉄である^{注2)}。その建設は、旧ソ連時代の「国家5ヵ年計画」により進められた。1931年に地下鉄建設が決定し1932年に着工、1935年に1号線が開業した。現在の運営主体はモスクワ市地下鉄公社である。

地下鉄では数少ない環状路線と放射路線によって路線網が形成されている(図—1)。環状路線はモスクワ市の中心を取り囲む直径約5km、全長19.3kmのコリツェヴァヤ線(5号線)が1954年に全線開業している。当初、環状線の計画はなかったが、2号線と3号線の開通に伴い市中心部の乗換え駅での混雑が顕在化したため、環状線が建設された。モスクワ市とロシア各都市を結ぶロシア鉄道の多くの路線が、この環状線(5号線)の駅と連絡している。また、郊外にある放射路線の終端駅では、多くの旅客が端末交通としてバスを利用している。

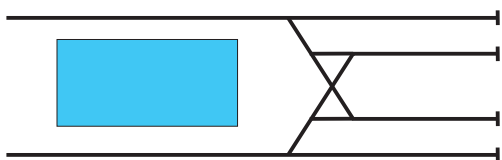
停車場は1面2線の島式が多く、広いホーム幅が特徴である。放射路線の終端駅も1面2線の島式で引上げ折返し型の配線となっているが、ホーム幅が広いため、折返し線は本線内側に2線配線されている(図—2)。処理容量が大きい折返し施設と配線形態は、モスクワ地下鉄の高頻度運行を可能としている要素の一つである。

また、ロシア鉄道局は2008年3月に、モスクワ地下鉄の混雑緩和を目的とした外環状路線を整備する計画を発表した³⁾。地下鉄の外側を走るロシア鉄道の貨物用環状線



出典：モスクワ地下鉄²⁾

■図一1 モスクワ地下鉄路線図



■図一2 終端駅配線略図

を改良および全線電化し、地下鉄との乗換え駅を含む30駅を新設する。2011年の開通を目指している。

2.2 運行概況

モスクワ地下鉄と日本の首都圏地下鉄の概況を表一1に示す。一都市の地下鉄路線網として、東京メトロと都営地下鉄の合計値とモスクワ地下鉄とを比較すると、路線数や営業キロ数はほぼ同値である。輸送人員は首都圏地下鉄には及ばないが、一事業者としての年間輸送人員は2008年時から181万人減少したものの、世界一を誇っている。また、一人当たりのトリップ長が2008年時で13kmと長く、延人キロは首都圏地下鉄の約1.3倍である。また、世界でも有数の高頻度運行を実施しており、ピーク時の運行間隔は90秒(40本/h)、オフピークでも120秒~180秒(30本/h~20本/h)で運行している。このため、車両数も首都圏地下鉄の約1.2倍の4,535車両を保有している。

主要な路線で8両編成の運行を実施しており、1車両長は20m、4ドアの車両が標準である。3号線は新型車両を一部導入しており、1車両長27m、6ドアの5両編成で運行している。ワンマン運転は8路線で実施されている。軌間は1,520mmで、集電は第三軌条方式である。信号システ

■表一1 路線概要の比較

	単位	東京メトロ	都営地下鉄	東京メトロ+都営地下鉄	モスクワ地下鉄
開業年	年	1927	1960	—	1935
営業キロ	km	195.1	109.0	304.1	298.2
路線数	線	9	4	13	12
駅数	駅	179	106	285	180
保有車両数	両	2,717	1,086	3,751	4,535
年間輸送人員	百万人	2,310 (09)	850 (09)	3,160	2,392 (09)
年間客車走行キロ	百万キロ	281.6	116.0	397.6	686.8
延人キロ	百万人キロ	18,519	5,972	24,491	31,099*
一日平均輸送人員	万人	632.8	233.0	865.8	655.3
運賃制度	—	対キロ 区間制	対キロ 区間制	—	均一性
最小運行間隔	分：秒	1：50	2：30	—	1：30

*2008年の1人平均乗車キロから推計
出典：モスクワ地下鉄²⁾、東京メトロ⁴⁾

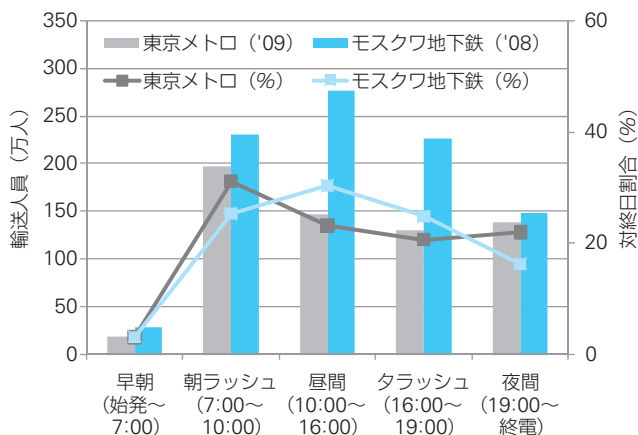
ムは、自動閉そく方式でATC(Automatic Train Control)を導入しており、CTC(Centralized Traffic Control)による制御方式を採用している。また、一部の路線ではATO(Automatic Train Operation)による運転が実施されている。

2.3 時間帯別輸送人員

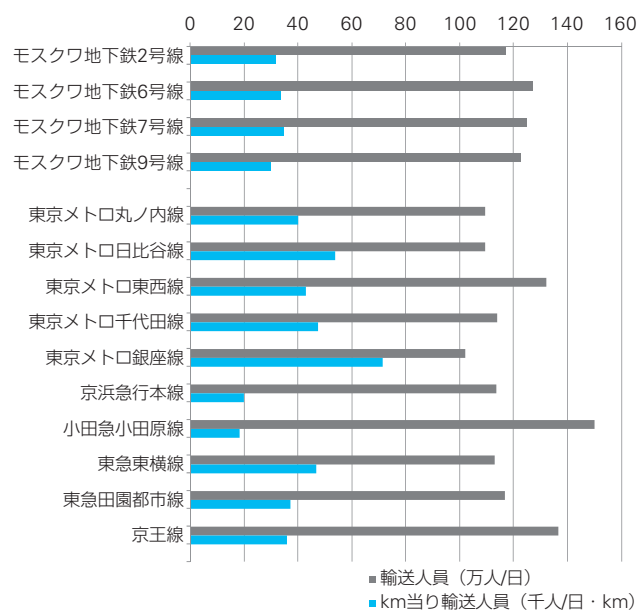
モスクワ地下鉄と東京メトロの時間帯別輸送人員を図一3に示す。一般的に、東京メトロをはじめ我が国の都市鉄道は、通勤・通学時の輸送需要が最も多く、日中は需要が減少する。それに対し、モスクワ地下鉄では、通勤ラッシュ時と帰宅ラッシュ時の輸送人員がほぼ等しく、それらは東京メトロのピーク時間帯である通勤ラッシュ時の輸送人員を上回る。さらに、モスクワ地下鉄では日中の時間当り輸送量がラッシュ時の半数程度あるため、輸送人員が最大となる時間帯が日中の10:00~18:00の8時間となっており、時間帯で東京メトロの約2倍に相当する280万人の輸送需要がある。このため、朝夕のラッシュ時間帯のみならず、日中の時間帯においても120秒~180秒間隔の高頻度運行が実施されている。

2.4 路線別輸送人員

モスクワ地下鉄の2号線、6号線、7号線、9号線は一日の平均輸送量が100万人/日を超える路線であり、これらの路線ではピーク1時間(8:00~9:00)の輸送量が11万人を超える。最も輸送量が多い7号線は13.8万人/時である。図一4に路線別一日平均輸送人員と1km当たりの平均輸送密度を示す。モスクワ地下鉄は輸送人員が多いものの営業キロが長いこと、1km当たりの平均輸送密度は4万人/日km以下となっている。



出典：モスクワ地下鉄¹⁾、東京メトロ⁴⁾
 ■図—3 時間帯別輸送人員



出典：モスクワ地下鉄¹⁾、東京メトロ⁴⁾、関東交通広告協議会⁵⁾
 ■図—4 一日平均輸送人員

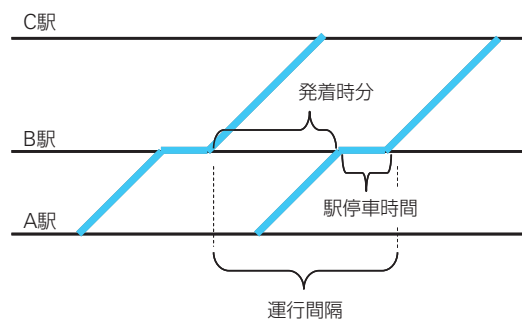
3——モスクワ地下鉄の運行状況

首都圏鉄道と同様に大量の輸送人員を抱えるモスクワ地下鉄の特徴の一つが、列車の運行間隔である。利用者に対する時刻表は存在しないものの、首都圏鉄道よりも短い90秒間隔の運行を実施している。そこで、モスクワ地下鉄の高頻度運行の現状を把握するため、2010年3月に列車運行間隔の現地計測を行った。なお、計測はスケジュールの都合上、帰宅ラッシュに行ったものであるが、モスクワ地下鉄では、通勤および帰宅ラッシュ時の輸送人員がほぼ等しいことから(図—3)、朝の通勤ラッシュ時間帯も本結果と同様な傾向を示すものと考えられる。

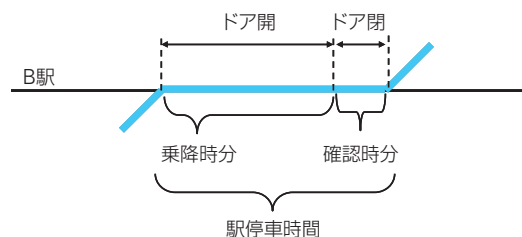
3.1 ダイヤ上の運行間隔

3.1.1 運行間隔の定義

列車の運行間隔は、先行列車が駅を出発してから後続列車が到着するまでの時分と、列車が駅に停車している



■図—5 計測時分の定義(運行間隔)



■図—6 計測時分の定義(駅停車時間)

時分とに分類することができる。本稿では前者を発着時分、後者を駅停車時間と定義する(図—5)。さらに駅停車時間は、列車到着と同時に乗降扉が開いて旅客の乗降完了後に再び扉が閉まるまでの時分と、乗降扉が閉まった後に列車が動き出すまでの時分とに分類でき、前者を乗降時分、後者を確認時分と定義する。なおこの場合、ドアばさみ等により列車扉の再開閉に要した時分は、確認時分に計上される(図—6)。

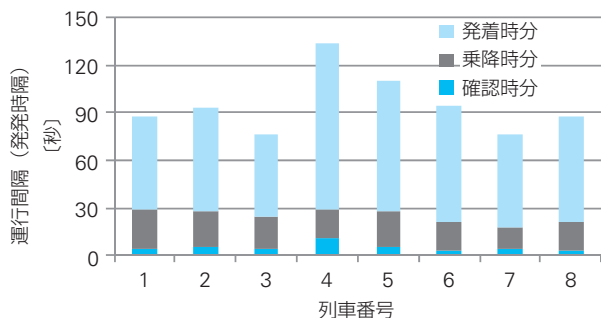
3.1.2 運行ダイヤの設定

モスクワ地下鉄はピーク時に90秒間隔で列車を運行している。運行間隔90秒のダイヤは、標準駅停車時間を20秒、標準発着時分を70秒に設定して計画されている。環状線駅などのターミナル駅では停車時間を25秒~30秒で設定する場合もある。日本と同様に、各駅に要する停車時間を経験的に判断し駅毎に停車時間を決定している。

首都圏鉄道で運行間隔が小さい路線の一つに東急田園都市線がある。渋谷駅で東京メトロ半蔵門線に直通運転をしている。ピーク時の運行間隔は125秒であり、停車時間を60秒、発着時分を65秒で設定している。なお、停車時間60秒は、路線で最も乗降者数が多い渋谷駅での駅停車時間である。

3.2 運行間隔の実測値

2号線のチェアトラリーナヤ駅ホームにて帰宅ラッシュ時の列車運行間隔を計測した。当該駅は市の中心に位置しており、1号線および3号線と結節するターミナル駅である。図—7に列車8本分の運行間隔の計測結果を示す。



■図—7 運行間隔の実測値
(2010年3月18日(木)18:40~18:52)

駅停車時間(乗降時分+確認時分)は、全ての列車で30秒以内に抑えられていることが分かる。計測4本目の列車も同様であるが、確認時分は他と比べて7秒程度大きい。これは旅客のドアばさみにより、扉の再開閉が発生したためである。当該列車は発着時分が増加していることから、列車の到着遅れによってホーム上に通常より多くの旅客が発生していたと考えられる。我が国と同様に、利用者混雑に起因する遅延の発生・拡大のメカニズムがモスクワ地下鉄でも確認される一例である。

一方で、発着時分は約60秒~約105秒と列車毎に値が異なり、運行間隔の乱れは主に発着時分の増加によって生じていることが見て取れる。しかしながら、90秒以下で運行された列車もあり、若干の遅れや間隔の乱れが発生しているものの、概ね90秒間隔の高頻度運行が実現されている。

4——高頻度運行の仕組み

モスクワ地下鉄は大量の輸送人員を有するにも関わらず、90秒間隔の高頻度運行を実現している。そこで本章では、列車の運行間隔を構成する駅停車時間と発着時分の双方について、高頻度運行が実現される運行管理の実態と仕組みについて考察する。

4.1 駅停車時間

列車の運行間隔90秒において、首都圏鉄道との明確な違いは駅停車時間である。首都圏鉄道のターミナル駅では、ダイヤ上で60秒程度の停車時間が設定されているのに対し、モスクワ地下鉄は半数の30秒以下である。首都圏鉄道とほぼ同量の輸送量でありながら、どのようにして停車時間を短時間に抑えているのかが論点となる。

4.1.1 駅停車時間の管理と実状

モスクワ地下鉄では、駅での乗降に関する特別な対策は実施していないのが現状である。旅客の乗降完了、ドア閉め、発車時の安全確認は、各駅のホーム先端に設置さ

れた大きな鏡で運転手が確認しており、ホームに配置している駅員が尻押しなどの乗車補助を行うことはない。モスクワ地下鉄によると、駅毎に必要な停車時間を経験的に判断し、運行ダイヤに反映させているため、停車時間が増加することは殆どないとの見解である。しかし、現地観測からは、列車の出発時刻になると運転士が機械的にドアを閉めているという印象を受ける。ドア閉めの際にホーム上で列車の発車を知らせるベルなどは鳴らず、車内にドアが閉まることを告げるアナウンスが流れるだけである。このため、利用者の駆け込み乗車を見る機会は少なく、ドアが閉まる前から次の列車の到着を待つ利用者も多く存在する。

これには、高頻度運行の効用として列車を見送ることへの抵抗感の小ささや、国民性による時間価値の違い、社会背景、あるいは日本の車両と比べて扉の閉まる速度が速いため、ドアに挟まった際の衝撃が大きいことなど、様々な要因が影響していると考えられる。また短い停車時間を利用者自身も弁えており、混雑率が180%を超える車内では、乗客同士のコミュニケーションによってそれに対処している。次駅で降車する利用者がドア付近の利用者に声をかけて立ち位置を交換する様子は、頻繁にみられる光景である。

この様にモスクワ地下鉄の短い停車時間は、利用者の理解のもとに成立しているといえよう。しかし一方で、旅客の円滑な乗降は、モスクワ地下鉄の駅構造の特性が大きく影響していると考えられる。これについては次節で述べる。

4.1.2 駅構造

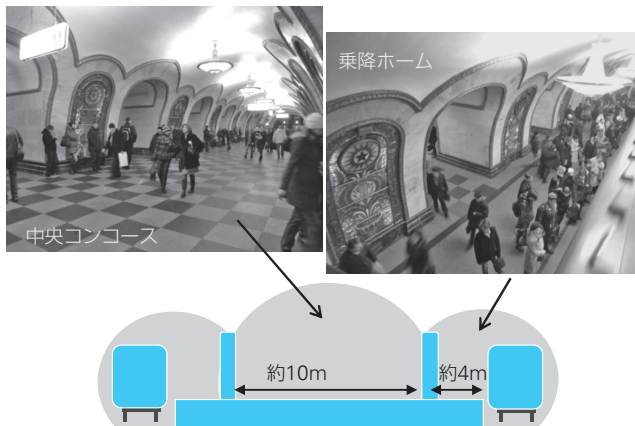
モスクワ地下鉄の駅は豪華な装飾が施されていることで有名であるが、その構造は旅客流動の視点から特筆すべき点がある。

(1)ホーム上の中央コンコース

1面2線の島式の駅構造は、乗降ホームの中央に広いコンコースを備えている(図—8)。境界には天井を支える太柱があるため、空間的に分離がなされているものの、双方の往来は容易である。このため、列車到着の際に、降車客は乗降ホームを線路方向に移動することなく、ホームを横断し中央のコンコースへと流れるため、乗降ホームに滞留する乗車客との錯綜は殆ど生じることなく、円滑な乗降が可能となっている。

(2)通路・階段の一方通行

中央コンコースから他路線へ乗換える通路・階段は、双方の乗換え旅客の錯綜を防ぐため、乗換え案内版の



■図-8 駅ホーム断面図

設置とともに上り下りで一方通行とし、動線の分離が図られている。

(3) エスカレータによる流入量の制御

モスクワ地下鉄は市中心部の駅が、地中深くに設置されていることでも有名である。最も深いパールク・ポベードイ駅は地下84mに位置し、地下のホームまでは延長126mのエスカレータで約3分の所要時間を要する。トンネルの深さは地下30.5m～39.6mと言われており⁶⁾、その様な駅では地上の改札と地下のホームを往来する手段はエスカレータしかない。エスカレータの定格速度は我が国の鉄道駅で一般的な速度30m/分に対し^{注3)}、60m/分(勾配30°)となっている。モスクワ地下鉄では駅構内の混雑緩和を目的として高速エスカレータを導入した経緯があり、処理容量は単純計算で我が国の2倍である。しかし、階段と比べてエスカレータは人を捌ける量が少ないため、その手前がボトルネックとなり旅客の滞留が生ずる(写真-1)。朝夕のラッシュ時にはその混雑が、改札を超えて駅前に群衆を発生させている⁷⁾。

一方で、地下のホーム上には大量の旅客が一度に押し寄せることなく、旅客の発生は絞られて定常流となる。



■写真-1 地下のエスカレータ乗降口

このため、改札周辺やエスカレータ乗り口の混雑とは対照的に、ホーム上の移動および列車の乗降がスムーズに行われている状況は特筆すべき点である。エスカレータの乗り込み効率の低さが、結果的に旅客の円滑な列車乗降を可能とし、駅停車時間の増加を抑制している。モスクワ地下鉄の高頻度運行を可能としている要因の一つと言える。

4.2 発着時分(駅間の列車走行)

次に、運行間隔のもう一つの構成要素である発着時分について考察する。モスクワ地下鉄によると、首都圏鉄道のような高頻度運行に伴う慢性的な遅延は生じていない。これは、上述したように、駅で遅延が発生しにくい状況になっていることが影響していると考えられる。一方で、遅延が発生した場合でも、駅間の列車走行によって遅れを回復出来る状況にあることも要因の一つである。そこで本節では、駅間の列車走行の特性と運行管理の工夫について考察する。

4.2.1 発着時分とバッファの設定

首都圏鉄道の高頻度運行は、短い閉そく割による発着時分の短縮によって実現されており、駅部やその周辺部では1編成の列車が複数の閉そく区間に跨って在線する場合も少なくない。同様に、モスクワ地下鉄の閉そく割も短く区分されており、最小閉そく長は75mである。

さらに、モスクワ地下鉄の場合は乗り心地を犠牲にする代わりに、首都圏鉄道よりも高い加速・減速度で運転しているため(表-2)、発着時分をより短縮することが可能である。

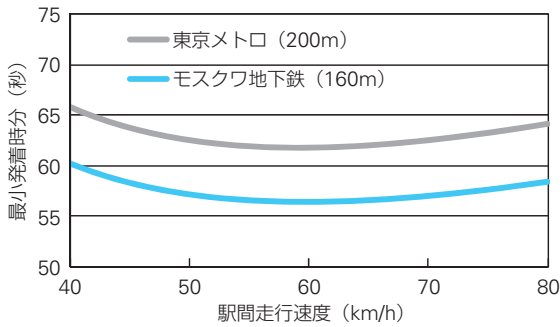
ここで、路線閉そく長75mにおける駅間走行速度と最小発着時分との関係を図-9に示す。実際の運行仕様に基づいて、モスクワ地下鉄は列車長160m、加速度3.6km/h/s・減速度4.0km/h/s、首都圏鉄道は列車長200m、加速度3.3km/h/s・減速度3.5km/h/sと設定し、各々に必要な防護長を考慮して試算した^{注4)}。

図-9に示すとおり、モスクワ地下鉄の最小発着時分は、56秒～60秒程度で首都圏鉄道のそれよりも約5秒小さく、より高頻度運行が可能な状況にある。しかしながら、先に

■表-2 走行仕様

	東京メトロ	モスクワ地下鉄
最高速度*	80km/h	80km/h
加速度*	3.3km/h/s	3.6km/h/s
減速度*	3.5km/h/s (常時) 4.5km/h/s (非常時)	4.0km/h/s (常時)
表定速度	32.0km/h	41.6km/h
平均駅間距離	1,200m	1,800m

*標準車両の性能
出典：モスクワ地下鉄¹⁾、東京メトロ⁴⁾



■図—9 最小発着時分の推計

述べたようにモスクワ地下鉄の運行ダイヤは発着時分を70秒と設定している。つまり、実際に可能な発着時分にバッファ(時間余裕量)を持たせたダイヤを設計していることが分かる。一方で、首都圏鉄道はこの試算条件の場合、65秒の発着時分が採用される例が多い。

実は、モスクワ地下鉄では、過去の検討から等間隔運行を保つために、発着時分に10秒～15秒の余裕時間を設けてダイヤを設計している。このバッファを無くすと円滑な運行に支障をきたすため、ラッシュ時でも現状以上に運行本数を増やすことなく、ダイヤ上のバッファを確保することとした。この様なバッファは他の交通分野でも考慮されており、航空管制ではファイアーブレイクとして、遅延に対する余裕量を考慮したスケジュールが組まれている⁸⁾。

4.2.2 等間隔運行

モスクワ地下鉄では、時間帯別で等間隔運行を実施しており、利用者向けの時刻表は存在しない。遅延の発生を抑制する点からも等間隔運行を維持することは重要であり、このためにモスクワ地下鉄ではホーム上のデジタル時計を活用している^{注5)}。

(1) 列車運行表とデジタル時計

運転士は乗務時に列車毎に作成された運行表を得る(写真—2)。各駅の出発時刻が5秒単位で記載されており、運転士はそれを順守するよう運転する。また運行表には列車の運行間隔も記されており、平常時は出発時刻により駅を出発し、遅延が発生した場合は、時刻よりも出発間隔(列車間の時隔)を優先させる。この等間隔運行の実施において、ホーム先端に設置されたデジタル時計が効果的に機能している。

モスクワ地下鉄では、全ての駅ホームの先端にデジタル時計が設置されている。写真—3の左側は現在時刻を秒単位で表示し、右側は先行列車が出発してからの経過時間を表示している。これをもって、運転士は先行列車との列車間隔を駅毎に認識し、次駅間の列車運転操作を実行する。

駅名	時刻
Выхино	06:59:40
Раз. пр-т	07:00:00
Кузьм	07:00:05
Текстил	07:00:10
Волг пр-т	07:00:15
Пролет	07:00:20
Т а г а н	07:00:25
К. Горд	07:00:30
Куз. Мост	07:00:35
Пушкин	07:00:40
Баррик	07:00:45
Ул. 1905 г	07:00:50
Беговая	07:00:55
Полож	07:01:00
Окт. поле	07:01:05
Щукин	07:01:10
Тухин	07:01:15
Сходн	07:01:20
Планер	07:01:25

■写真—2 列車運行表

所要時間 (48分15秒)
 運行間隔 (1分35秒)
 出発時刻 (ヴィヒノ駅：6時59分40秒発)
 停車駅名



■写真—3 ホーム先端のデジタル時計

東京メトロ日比谷線の霞ヶ関駅にも同様なデジタル時計がある。列車が駅に到着してからの経過時間を駅員に知らせるために設置されており、停車時間増加による遅延の発生を抑制している。これにより結果として等間隔運行が実現されるが、モスクワ地下鉄のデジタル時計は先行列車との運行間隔を表示するため、列車間隔をより意識した管理手法と言える。

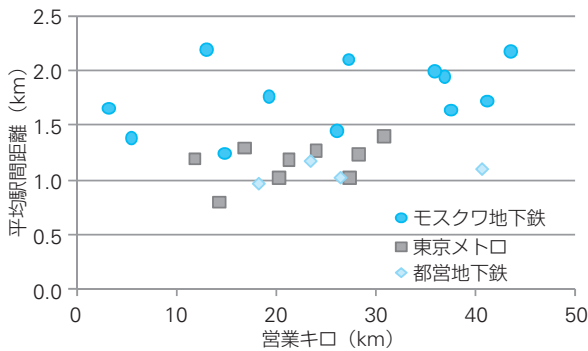
(2) 駅間距離

モスクワ地下鉄は東京メトロ路線と比較して駅間距離が長いことから(図—10)、駅間の運転操作方法に自由度があると考えられる。このため、駅で発生した遅延は、次駅に到着するまでの駅間走行区間で、運転士の運転技術をもって回復することが可能な状況にある。

また、地下鉄路線は必ずしも道路下に建設されておらず、道路線形の制約を殆ど受けていない。このため、急曲線が少ない緩やかな線形になっていることも、回復運転を実施する際に有利に作用していると考えられる。

5——首都圏鉄道の遅延対策への示唆

以上でモスクワ地下鉄における高頻度運行の実態とそ



出典：モスクワ地下鉄¹⁾、東京メトロ⁴⁾

■図—10 路線別平均駅間距離

の仕組みついて紹介してきたが、本章では高頻度運行に伴う遅延対策に向けた我が国首都圏鉄道への示唆について考察を述べる。

5.1 旅客流動

モスクワ地下鉄では、利用者意識の違いだけでなく、駅構造の特性も作用して、遅延の発生要因である駅停車時間の増加が発生しにくい状況が形成されている。モスクワ地下鉄のように駅施設を大きくすることは、現在の我が国において困難である。しかし、改札通過から列車乗降までの一連の旅客流動に関するモスクワ地下鉄の事例は、通路や階段の拡張といった我が国の駅施設整備においても有用な視点を含むものである。特に多くの制約により十分な施設容量を整備できない我が国の首都圏鉄道においては、個別の施設整備と列車の運行管理との整合性を考慮した評価が必要である⁹⁾。これまでポトルネックとなっていた通路や階段などの駅設備を改良した結果、ホーム上での旅客の滞留や錯綜が増加し、列車乗降時間の増加に伴う運行遅延が顕在化する可能性も考えられる。現在の首都圏鉄道は旅客の混雑に起因した遅延の発生により、路線の時間当たり輸送力が低下し、旅客の混雑と列車遅延がさらに増幅するといった悪循環が生じている。ホーム上の円滑な旅客流動は、この混雑と遅延の負の連鎖を絶ち切る一助となることから、駅構内の旅客流動と列車の運行を一体的に評価した駅施設整備・改良の検討が重要と考えられる。

その際に、ホーム上に滞留する降車客を円滑に処理するために、流出する側のエスカレータにモスクワ地下鉄で見られる様な高速エスカレータを採用し、一方でホームへの流入側のエスカレータは現状速度のままとするなどの工夫も考えられる。これには制度改正などを伴うが、地下鉄の場合、流出側のエスカレータは上昇方向であることが多く、高速エスカレータを導入しやすい環境にあると思われる。

5.2 列車走行

運転士は先行列車との位置関係を把握することができれば、走行速度を上げて遅延の回復運転を図る、あるいは、駅間での一時停車を回避して発着時分を増加させない運転など、条件にあった運転方法を実施し、遅延の影響を抑制することが可能である。しかし我が国においては、多くのケースで運転士は先行列車の位置を目視等により確認出来ないため、信号現示に従って最高速度を保持するよう運転している。ところが、遅延発生時にはこのような運転方法が遅延を拡大させてしまう一つの要因となってしまうため、駅での出発や駅間走行時において、あえて列車間隔を拡げることも遅延の早期回復を図るうえで有効となる¹⁰⁾。列車間隔を適正に保つためには、運転士への列車間隔の情報提供は効果的であり、モスクワ地下鉄のデジタル表示はその一例である。先行列車の駅間走行状態までは把握できないが、運転士および駅員にとって駅毎に列車間隔を認識することは、路線全体で等間隔運行を図る際に有益な情報となり得る。運転士や駅員に対する列車間隔の情報提供方法、さらには前後の列車の運行状況や路線全体の運行状況に合わせた運転手法の検討を行うことは、遅延の拡大抑制や早期回復に向けた効果的な対策の一つである。

また、些細な遅れで遅延時間が拡大している我が国の首都圏鉄道において、モスクワ地下鉄の運行ダイヤに設定された発着時分のバッファ(余裕時間)は注目に値する。モスクワ地下鉄では、バッファの設定により列車の等間隔運行が維持されやすいため、駅停車時間の増加による遅延が生じにくくなり、さらに安定した運行が堅持されている。一方で首都圏鉄道の場合、現状より停車時間を短くすることは困難であるため、バッファの設定はダイヤ上の運行本数の減少を伴い、サービス低下となる。しかし、遅延の発生により実質的な輸送力が減少している現状において、ダイヤ上の運行本数の意義を如何に考えるべきであろうか。ダイヤ上の運行本数は減少しても、遅延の発生が抑制され、結果的に現状より輸送力が増加するケースも考えられる。また、列車種別や行先の違いがあるため、一概には言えないが、高頻度運行や等間隔運行下における時刻表の必要性についても議論の余地がある。駅で時刻表に対する列車の早発が認められないために、ダイヤ上の駅停車時間の設定や列車の運行管理において自由度が低下している可能性も考えられる。運行の信頼性および輸送力向上の観点から、バッファの効果と課題および時刻表の意義について、モスクワ地下鉄や他の交通機関における適用事例を参考とし、柔軟な思想で議論する必要があると考えられる。

6—おわりに

本稿は、モスクワ地下鉄に対するヒアリング調査と現地調査をもとに、高頻度運行の管理手法と実態について報告および考察を行った。列車の運行間隔は、駅停車時間と発着時分に分類できることから、双方について考察を行い、モスクワ地下鉄では利用者意識の違いだけでなく駅構造の特性も作用して、駅停車時間の増加による遅延が発生しにくいこと、また列車間隔の管理方法やダイヤの設計概念などにより、駅間の列車走行区間で遅れが回復し易いことを明示した。最後に、高頻度運行下での遅延対策について、旅客流動と列車走行の視点から、我が国の首都圏鉄道の施設整備および運行管理に対する示唆を幾つか示した。モスクワ地下鉄の運行管理手法の我が国への適用可能性と有効性は、様々な制約や文化の相違などが存在するため判断をすることは容易ではない。しかしながら本稿で報告した内容は、我が国においても参考となる数多くの視点と情報を含んでいるものと考ええる。

謝辞: 本報告の現地調査およびヒアリング調査にあたっては、モスクワ大学の鳩山紀一郎氏、モスクワ地下鉄のСеми́н Ю́рий Николаевич氏およびПахо́мов Константи́н Викто́рович氏からから多大な協力を頂いた。また、本稿を取りまとめるにあたり、政策研究大学院大学特別教授、前運輸政策研究所長の森地茂氏から貴重な意見を頂いた。なお、本報告の内容は科学研究費補助金(課題番号: 21360242)の成果の一部をまとめたものである。ここに記して感謝の意を表する。

注

注1)モスクワ地下鉄で運行管理業務を担うTechnical DepartmentのVice ChiefのСеми́н Ю́рий Николаевичと、運輸司令所(Situation Center)のChief

EngineerのПахо́мов Константи́н Викто́ровичへ2010年3月にヒアリング調査を実施した。

注2)モスクワ地下鉄はモスクワ市内の公共交通に対して59%の分担率を占めている(2008年9月~2009年9月)¹¹⁾。

注3)日本のエスカレータの定格速度は「建築基準法」に基づき、勾配が8度~30度未満は分速45m、30度~35度が分速30mと定められている。

注4)最小発着時分は下記の式¹²⁾にて計算した。

$$T_{ser} = \frac{V_c}{\alpha} + \frac{1}{V_c} (Ltr + Lbs - \frac{V_c^2}{2\alpha}) + \frac{V_c}{\beta} \quad \text{if } V_c \leq \sqrt{2\alpha(Ltr + Lbs)}$$

$$T_{ser} = \sqrt{\frac{2(Ltr + Lbs)}{\alpha}} + \frac{V_c}{\beta} \quad \text{if } V_c > \sqrt{2\alpha(Ltr + Lbs)}$$

α : 加速度 β : 減速度 V_c : 巡行速度

Ltr : 列車長 Lbs : 閉塞防護長

注5)サンクトペテルブルク地下鉄にも同様のデジタル時計が設置されている。本来は運転士のための運転支援設備であるが、ホームドアが設置された3号線ゴスチーヌイドヴォール駅では、運転士からは見ることが出来ない中央コンコースにもデジタル時計が設置されていることから、利用者への情報提供としても活用されていると考えられる。

参考文献

- 1)モスクワ市地下鉄公社(Московский Метрополитен), "annual report 2008, 2009".
- 2)モスクワ市地下鉄公社(Московский Метрополитен), <http://mosmetro.ru/>, 2011/1/28.
- 3)"Moscow Metro commits to expansion, Freight ring to relieve metro", Metro Report International, March 2008.
- 4)東京地下鉄(株)[2010], 『東京メトロハンドブック2010』.
- 5)関東交通広告協議会[2010], 「各社輸送人員一覧表」.
- 6)(社)日本地下鉄協会編集[2010], 『世界の地下鉄』, ぎょうせい.
- 7)鳩山紀一郎[2008], "モスクワ市の交通事情", 『運輸政策研究』, Vol. 11, No. 3, pp. 31-35.
- 8)坂下文規・森地茂・日比野直彦[2009], "羽田空港における航空遅延および発時地上走行時間に関する研究", 『第40回土木計画学研究発表会・講演集』, Vol. 40, CD-ROM.
- 9)Hibino, N., Yamashita, Y., Kariyazaki, K and Morichi, S. [2010], "A Study on Characteristics of Train Station Passengerflows for Train Delay Reduction", Proceedings of the 12th Word Conference on Transport Research, 12pages.
- 10)仮屋崎圭司[2011], "都市鉄道の列車遅延の拡大メカニズムに関する研究", 『運輸政策研究』, Vol. 13, No. 4, pp. 54-57.
- 11)モスクワ市交通公社(Мосгортранс), <http://mosgortrans.com/>, 2010/3/18.
- 12)曾根悟[1991], "高密度運転の実現に向けて", 『電気学会交通・電気鉄道研究会』, TER91-46, pp. 121-130.

(原稿受付 2011年2月9日)

Operating System for High-Frequency Intervals in Moscow Metro

By Keiji KARIYAZAKI and Naohiko HIBINO

This paper reviews the existing operating system of the Moscow Metro. The Moscow Metro carries a large number of passengers everyday operating trains at high-frequency intervals. In Tokyo too, the railway system is operating at a capacity close to its limit, but small irregularities are causing significant delays in the service. This paper studies the methods that the Moscow Metro adopted in operating the system to achieve high-frequency intervals services, along with smooth flows of passengers and trains. It is hoped that this research would be very information and useful for the improvement of the worsening punctuality in the urban railway services of Tokyo.

Key Words: *High-Frequency Operation, Train Delay, Passenger Flows, Train Running*

この号の目次へ <http://www.jterc.or.jp/kenkyusyo/product/tpsr/bn/no53.html>