

高速な連結・解結を前提とした 新たな高頻度鉄道運行スキーム

岸川 知樹¹・和田 健太郎²

¹非会員 筑波大学 理工学群 社会学類 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1 丁目 1-1)
E-mail: s1811224@s.tsukuba.ac.jp

²正会員 筑波大学准教授 システム情報系 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1 丁目 1-1)
E-mail: wadaken@sk.tsukuba.ac.jp

鉄道における保安装置・自動運転の性能向上により、今後極めて高速に車両同士が連結・解結が可能となることが期待される。本研究では、高速車両連結（解結）技術、つまり、柔軟に車両編成数を変えることができるシステムを前提として、新たな高頻度鉄道運行スキームを提案する。具体的には、郊外方向では急行列車が駅に停車する度に新たな各駅停車列車を生成（切り離し）する、その反対に、都心方向では多数の各駅停車列車が急行停車駅で 1 本の急行列車に連結される運行スキームを考える。この提案スキームを表現する連続体近似に基づく数理モデルを構築し、従来型運行スキームとの比較を通して、提案スキームの特徴や優位性を明らかにする。

Key Words: railway operation, fast coupling, automated driving

1. はじめに

現状の鉄道においては、既に TASC (Train Automatic Stop-position Controller) や、ATO (Automated Train Operation) 等の装置が登場しており、信号や路線状況に応じた自動運転が実現されている。また、保安装置についても JR 東日本の ATACS (Advanced Train Administration and Communication's System) 等の登場により、列車の車間をより縮められるようになってきている。

これらの技術がより進歩すれば、連結にかかる時間・コストが大幅に削減されることが期待される。具体的には、自動運転によって連結に係る安全性担保が容易になり、高度な保安装置によって車間距離を縮められるようになれば、連結までにかかる時間が短縮されるであろう。そしてこの連結の高速化により、編成の車両数を柔軟に変更すること、つまり、需要に応じたよりきめ細やかな運行が可能となると考えられる。

こうした柔軟な車両数の変更により解決できる可能性がある課題として、都心と郊外を結ぶ長距離路線の郊外におけるサービスレベル低下が挙げられる。速達性確保のために急行列車が有用であるが、郊外では需要が薄く運行コストとのトレードオフが働くため、運行頻度を下げる、あるいは、実質的に急行が各駅停車となる区間を導入するなどの運行が行われている。また別のトレードオフ関係としては、限られた線路容量における急行と各駅停車の運行が挙げられる。需要の多い都心部では急行停車駅以外であっても大きな需要が

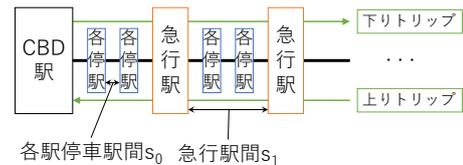


図-1 対象路線のイメージ

発生し各駅停車の頻度を確保する必要があるため、路線全体として急行の運行頻度の制約となりうる。

本研究では、高速車両連結（解結）技術により柔軟に車両編成数を変えることができる状況を前提として、以上で挙げたようなトレードオフ関係を解消しうる新たな高頻度鉄道運行スキームを提案する。具体的には、郊外方向では急行列車が駅に停車する度に新たな各駅停車列車を生成（切り離し）する、そしてその反対に、都心方向では多数の各駅停車列車が急行停車駅で 1 本の急行列車に連結される運行スキームを考える。この提案スキームを表現する連続体近似に基づく数理モデルを構築し、従来型運行スキームとの比較を通して、提案スキームの特徴や優位性を明らかにする。

2. 状況設定

本稿では、図 1 に示す、都心 (CBD: Central Business District) と郊外を結ぶ総路線長 L の鉄道路線を考える。CBD に向かう方向を「上り」方向、CBD から離れる方向を「下り」方向と呼ぶ。駅は路線に（ほぼ）等間隔で

存在しており、その距離は s_0 とする。また簡単のために、路線は複々線であり、異なる種別の列車（例えば、各駅停車、急行）は任意の地点で追い越しが可能であると仮定する。

乗客は路線沿いに一様に分布しており、この路線における主要なトリップは、CBD 駅以外の郊外駅から CBD 駅に向かう多起点 1 終点のトリップ（朝の通勤）、および、その逆の 1 起点多終点（夕方の帰宅）であるとする。また、前者の単位距離当たりの発生乗客流率、後者の単位距離当たりの集中乗客流率は、一定値 λ [pax/(km·h)] で表す。このとき、上り・下りともに、乗客の鉄道旅行距離の平均値は $L/2$ となる。従って、以降の分析において鉄道のサービスレベル（平均旅行時間）を考える場合は、この距離 $L/2$ を移動する乗客を考える（CBD に近いところにより多くの需要が集中している場合には、より小さい値を考えればよい）。

3. 従来型の運行スキーム

本章ではまず、各駅停車と急行から構成される従来型の運行スキームを考え、乗客の平均旅行時間、鉄道を運営するエージェンシーコストを定式化する。具体的には、急行列車が停車する駅間隔は $s_1 > s_0$ とし、急行・各駅停車ともに車頭時隔は H でサービスが提供されているとする。またここでは、急行と各駅停車の待ち合わせは考えない。

(1) 平均旅行時間

以上の仮定および Daganzo & Ouyang¹⁾ に基づき、鉄道旅行距離を l とする乗客のドアトゥドアの平均旅行時間（近似値）を以下のように与える。

$$T(l) = H + \Delta + \frac{s_0}{4v_w} + \frac{l}{v_{max}} + t_s \left(\frac{l}{s_1} - \frac{1}{2} + \frac{s_1}{2s_0} \right) \quad (1)$$

第 1 項は、乗車駅および乗換駅において費やす平均待ち時間の和である。 H が十分短いとすれば、乗客はランダムに駅に到着すると考えられるため、乗車駅・乗換駅における待ち時間の平均値は、それぞれ、 $H/2$ となる。第 2 項 Δ は乗換駅で待ち時間以外にかかる追加のペナルティである。第 3 項は、自宅から最寄り駅への平均アクセス時間である。需要が駅間に一様に分布しているとすれば、最寄り駅までの平均距離は $s_0/4$ であり、それを歩行速度 v_w で除することで求められる。第 4 項は最高巡航速度 v_{max} で距離 l を走るのにかかる時間である。第 5 項は、停車駅において追加にかかる時間（減速、加速、停車）である。最も近い急行停車駅で各駅停車から急行に乗り換えるとすれば、各駅停車で走行する距離は l, s_1 の値に応じて $0 \sim s_1$ で変動する

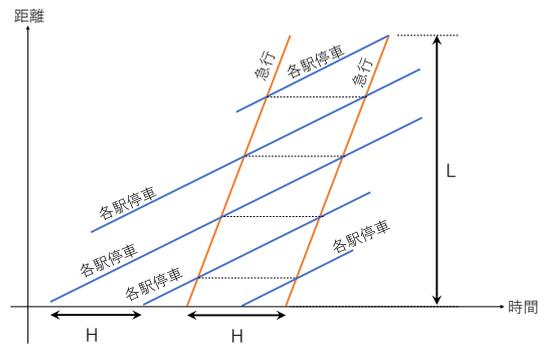


図-2 従来型運行スキームの単位ユニット

ことになる。ここでは、その平均値 $s_1/2$ を各駅停車で走行する距離の近似値として採用する。つまり、距離 l を移動する際に停車する駅数は、各駅停車駅 $s_1/(2s_0)$ 個、急行駅 $(l - s_1/2)/s_1$ 個となり、駅当たりの停車時間 t_s を掛け合わせれば追加的にかかる時間が得られる¹⁾。

以上の平均旅行時間は、必ず乗客が急行を利用することを仮定しているが、旅行距離 l が十分小さい場合、各駅停車のみを利用した方が旅行時間が小さくなりうる。つまり、停車駅数の増加による旅行時間の増加よりも、乗換待ち時間 $H/2$ 、乗り換えペナルティ Δ 時間が大きい場合である。ただし、旅行距離 l が十分小さい場合その旅行時間の絶対値は小さく、そこでの過大評価の影響もそれほど大きくないと考えられるため、式 (1) を全乗客に対して適用する。

なお、旅行距離 $l = L/2$ を持つ乗客の平均旅行時間を最小化する急行駅間隔 s_1^* は、 s_1 に関する凸関数である式 (1) の一階条件より、以下のように与えられる。

$$s_1^* = \sqrt{s_0 L} \quad (2)$$

(2) エージェンシーコスト

続いて、Daganzo & Ouyang¹⁾ に基づき、鉄道を運営するエージェンシーのコスト（人件費、車両・施設費）について定義する。より具体的には、車頭時隔 H 、路線長 L を時空間の単位ユニットとし、その中で生じるコストを定式化する。この単位ユニットには、上り下り、急行・各駅停車それぞれ 1 編成の列車（計 4 編成）が含まれることになる（図 2 の急行列車に挟まれた領域）。また、単位ユニットを張り合わせることで任意の時空間のコストを計算することができる。

人件費は、1 編成・時間当たりの人件費を c_f [yen/h]

¹⁾ 最大 $s_1/(2s_0)$ が誤差として生じるが、急行が 5 つの各駅停車駅を通過するとすればその最大誤差は 2.5 駅分であり、 l が十分大きいかつ t_s が小さければ平均旅行時間全体から見ればそれほど大きな誤差ではないと考えられる。

とすると,

$$4c_t \frac{L}{v_{max}} + 2c_t t_s \left(\frac{L}{s_0} + \frac{L}{s_1} \right) \quad (3)$$

と与えられる. 第 1 項は上り下り, 急行・各駅停車, 各 1 編成 (計 4 編成) が単位ユニット内を最高巡航速度で走行する時間にかかる人件費であり, 第 2 項は, 停車に際して追加的にかかる時間についての人件費である (括弧内はそれぞれ, 始発駅を除く, 各駅停車駅の数, 急行停車駅の数を表す).

車両費は, 1 車両・距離 (台キロ) 当たりの車両費を c_a [yen/(veh·km)] とすると,

$$2c_a(n_0 + n_1)L \quad (4)$$

と表される. ここで, n_0, n_1 はそれぞれ, 各駅停車, 急行 1 編成辺りの車両数を表す.

施設費は駅・線路にかかるコストからなる. 単位ユニット内に, 駅数は L/s_0 , 線路長は L であるので, それぞれ時間, 駅/距離辺りの係数 c_r [yen/(station·h)], c_g [yen/(km·h)] をかければ, 以下のように与えられる.

$$c_r H \frac{L}{s_0} + c_g HL \quad (5)$$

まとめると, エージェンシーの総コストは以下となる.

$$\begin{aligned} \$ = & 4c_t \frac{L}{v_{max}} + 2c_t t_s \left(\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_1} \right) L \\ & + 2c_a(n_0 + n_1)L + c_r H \frac{L}{s_0} + c_g HL \quad (6) \end{aligned}$$

4. 提案運行スキーム

本章では, 本研究で提案する新たな鉄道運行スキームについて平均旅行時間, エージェンシーコストを定式化する. 提案運行スキームでは, 急行列車が駅に停車する度に新たな各駅停車列車を生成 (分離) する, あるいはその反対に, 多数の各駅停車列車が急行停車駅で 1 本の急行列車に連結される運行スキームを考える. より具体的な運行の仮定は以下の通りである.

- 急行停車駅において切り離し・連結を行う.
- 上り線で切り離された各駅停車は切り離し駅間を往復し, 再び下り線の急行列車に連結される.
- 切り離し後は急行列車が先に駅を出発する.
- 1 回の切り離しで切り離す車両数は一定とする.

(1) 平均旅行時間

3. (1) 節と同様に鉄道旅行距離 l を持つ乗客の平均旅行時間を定式化する. ただし, 提案スキームでは上り・下り方向で全く対称ではないため, 各を定式化しその平均値として平均旅行時間を求める.

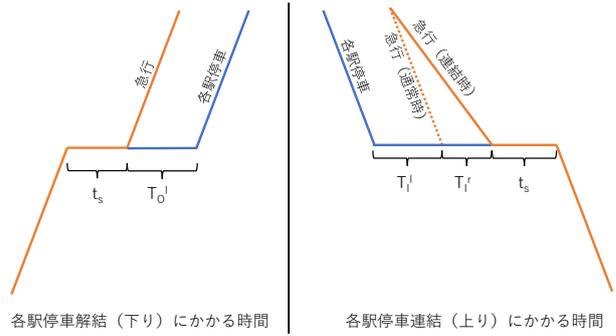


図-3 連結・解結に費やす時間

上り方向 (inbound) の平均旅行時間は次のように与えられる.

$$\begin{aligned} T_I(l) = & \frac{H}{2} + \frac{s_0}{4v_w} + \frac{l}{v_{max}} + t_s \left(\frac{l}{s_1} - \frac{1}{2} + \frac{s_1}{2s_0} \right) \\ & + T_I^r \left(\frac{l}{s_1} - \frac{1}{2} \right) + T_I^l \quad (7) \end{aligned}$$

第 1 項は乗車駅における平均待ち時間である. 提案スキームでは各駅停車から急行への乗り換えが必要ない (解結・連結により達成される) ため, 乗換駅における待ち時間および乗換ペナルティは発生しない. 第 2 項-第 4 項は, それぞれ, 居住地から駅までのアクセス時間, 最高巡航速度での走行時間, 停車で追加的にかかる時間であり, 従来型のスキームと全く同じである.

第 5 項, 第 6 項は各駅停車が急行に連結する際にかかる追加的な時間である. 具体的には, 第 5 項の T_I^l は, 急行が各駅停車に安全に接近するため追加的にかかる時間と連結の安全確認時間を合わせた時間を表し (図 3 のダイアグラムを参照), 急行駅数回分だけその時間がかかる. 第 6 項の T_I^r は, 以上には含まれない, 各駅停車が急行と待ち合わせるために停車している時間を表し, 乗客が乗る各駅停車が急行に連結する際の 1 回のみかかる.

同様に下り方向 (outbound) の平均旅行時間は次のように与えられる.

$$T_O(l) = \frac{H}{2} + \frac{s_0}{4v_w} + \frac{l}{v_{max}} + t_s \left(\frac{l}{s_1} - \frac{1}{2} + \frac{s_1}{2s_0} \right) + T_O^l \quad (8)$$

第 1 項-第 4 項は上り方向と全く同じである. 第 5 項は, 切り離しに追加的にかかる時間である. すなわち, 切り離し後急行が十分駅から離れ, 各駅停車が発車できるまでの時間を T_O^l とする. 乗客は目的地に最も近い急行停車駅でこの切り離しを経験するため, 各トリップ当たり 1 回追加時間がかかることになる. なお, 実際に切り離しにかかる時間 (安全確認等) は連結に比べて非常に短く, 通常の停車時間内に行われるものとし (実際, 現在技術でも 1 分以内の切り離しが可能で

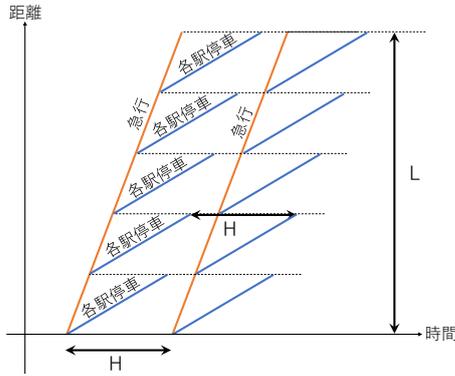


図-4 提案運行スキームの下り線の単位ユニット

ある), 急行列車の所要時間は増加しないものとする。

以上, 式(7)と式(8)を平均化すると, 提案運行スキームによる平均旅行時間は最終的に以下ようになる。

$$T(l) = \frac{H}{2} + \frac{s_0}{4v_w} + \frac{l}{v_{max}} + t_s \left(\frac{l}{s_1} - \frac{1}{2} + \frac{s_1}{2s_0} \right) + \frac{T_I^r}{2} \left(\frac{l}{s_1} - \frac{1}{2} \right) + \frac{T_I^l + T_O^l}{2} \quad (9)$$

なお, 旅行距離 $l = L/2$ を持つ乗客の平均旅行時間を最小化する急行駅間隔 s_1^* は, s_1 に関する凸関数である式(9)の一階条件より,

$$s_1^* = \sqrt{s_0 L \left(1 + \frac{T_I^r}{2t_s} \right)} \quad (10)$$

となり, 従来型の運行スキームよりもやや長くなる。

(2) エージェンシーコスト

提案運行スキームでは, 車頭時隔 H , 路線長 L の単位ユニットに, 急行列車が 1 編成, 切り離された各駅停車車が L/s_1 編成存在する (図 4 の急行列車に挟まれた領域)。ここで, 下りの始発 (CBD) 駅で n_2 両編成であった急行列車は, 始発駅も含め L/s_1 回の切り離しを行い終点駅に到着するため, 終点駅における急行列車および各急行停車駅間に存在する各駅停車の車両数が等しくなる切り離し車両数は, 以下ようになる。

$$\frac{n_2}{L/s_1 + 1} \quad (11)$$

以降は, この切り離し車両数を仮定して分析を行う。

ここではまず, $(k-1) \sim k$ 番目の切り離し駅間における人件費・車両費を考えよう。急行・各駅停車の計 2 編成が s_1 を移動し, 停車駅数は, それぞれ, 1 個, s_1/s_0 個である。また, 上りで連結, 下りで切り離しがそれぞれ 1 回行われるので, 上り・下りを合わせた人件費

表-1 パラメータ設定

パラメータ	値	パラメータ	値
L [km]	50	c_t [yen/h]	3000
s_0 [km]	1	c_a [yen/(veh·km)]	80
v_w [km/h]	3	c_s [yen/(station·h)]	11300
v_{max} [km/h]	130	c_g [yen/(km·h)]	1700
t_s [sec]	80	β [yen/h]	2000
T_I^l [sec]	60		
T_I^r [sec]	30		
T_O^l [sec]	30		

は, 以下ようになる。

$$4c_t \frac{s_1}{v_{max}} + 2c_t t_s \left(1 + \frac{s_1}{s_0} \right) + c_t (T_I^r + T_I^l + T_O^l) \quad (12)$$

続いて, 車両費について考える。各駅停車の車両数は式(11)で与えられ, 急行列車は (始発駅も含んで) k 回各駅停車を切り離しているため, その車両数は $n_2 - kn_2/(L/s_1 + 1)$ となる。従って, 上り・下りを合わせた車両費は,

$$2c_a n_2 \left(1 - \frac{k-1}{L/s_1 + 1} \right) s_1. \quad (13)$$

以上のコストを $k = 1, \dots, L/s_1$ に渡って足し上げ, (従来型の運行スキームと全く同じである) 施設費を合わせれば, 提案運行スキームにおけるエージェンシーコストは, 最終的に以下ようになる。

$$\begin{aligned} \$ = & 4c_t \frac{L}{v_{max}} + 2c_t t_s \left(\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_1} \right) L + c_t \frac{L}{s_1} (T_I^r + T_I^l + T_O^l) \\ & + c_a n_2 \left(2 - \frac{L - s_1}{L + s_1} \right) L + c_r H \frac{L}{s_0} + c_g H L \end{aligned} \quad (14)$$

5. 従来型スキームと提案スキームの比較分析

以上で定式化したモデルを用いて, 従来型運行スキームと提案運行スキームの比較を行う。より具体的には, 各スキームの計画変数と考えられる車頭時隔 H , 急行停車駅間隔 s_1 について, 平均旅行時間, エージェンシーコストがどのように変化するかを数値的にみていく。またここでは, 時間単位で測った乗客 1 人当たりの社会的コストを以下のように定義し,

$$SC \equiv \frac{\$/\beta}{2\lambda H L} + T(L/2) \quad (15)$$

この変化についても考察する。ここで, β は乗客の時間価値, $2\lambda H L$ は単位ユニットに発生する上り・下り合わせた総乗客数 (需要) である。

なお, 以下の計算に用いるパラメータの値は表 1 の通りであり, コストの係数については, 国土交通省公

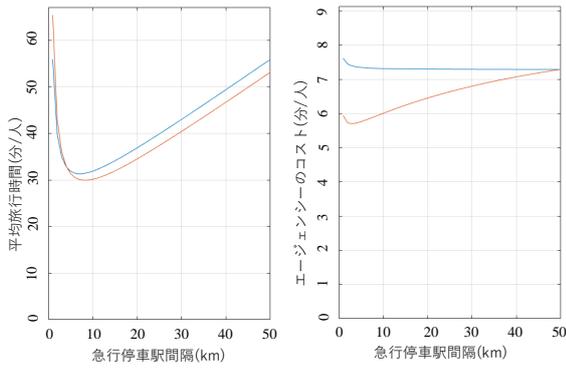


図-5 急行停車駅間隔 s_1 と平均旅行時間 (左図)・乗客 1 人当たりのエージェンシーコスト (右図) の関係 (赤線：提案スキーム, 青線：従来型スキーム)

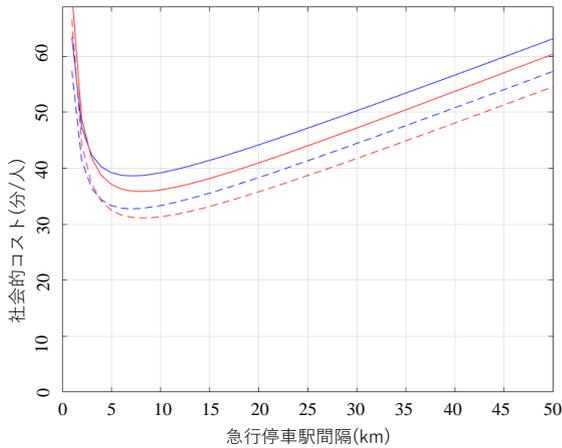


図-6 急行停車駅間隔 s_1 と社会的コストの関係 (赤線：提案スキーム, 青線：従来型スキーム, 実線： $\lambda L = 3600$ [pax/h], 破線： $\lambda L = 18000$ [pax/h])

開の JR 旅客会社の基準単価・基準コスト²⁾ および、近藤らの「鉄道車両の消費エネルギー簡易計算法」³⁾ を参考とした。また、列車の車両数は、 $n_0 + n_1 = n_2 = 10$ [veh] と設定する。これは、それぞれの運行スキームで用いる車両数が同じであることを意味している。

(1) 急行停車駅間隔 s_1 の影響

車頭時隔 $H = 300$ [sec], 1 時間当たりの路線全体の需要を $\lambda L = 3600$ [pax/h] としたときの、急行停車駅間隔 s_1 と平均旅行時間 (i.e., $l = L/2$ の乗客の平均旅行時間), 乗客 1 人当たりの (時間で測った) エージェンシーコストの関係を図 5 に示す。左の平均旅行時間の図より、従来型スキーム (青線) と提案スキーム (赤線) とともに、凸型の形状となっていることがわかる。これは、式 (1), (9) からわかるように、急行停車駅間隔 s_1 に反比例する急行停車駅数減少と、 s_1 に比例する各駅停車駅数増加のトレードオフを表す。なお、最小値が提案スキームの方が大きくなる理由は、式 (10) で考察した通りである。また、平均旅行時間が短くなる理由は、乗

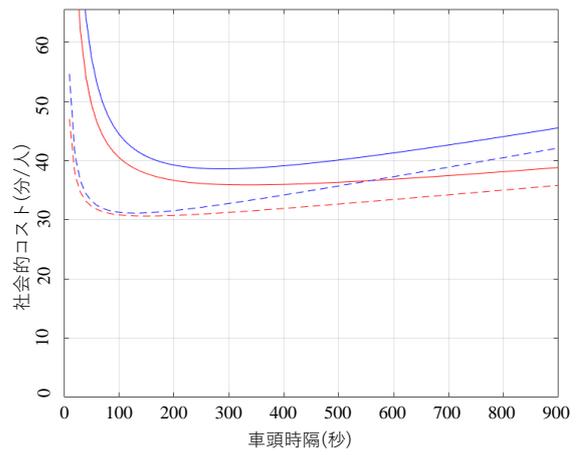


図-7 車頭時隔 H と社会的コストの関係 (赤線：提案スキーム, 青線：従来型スキーム, 実線： $\lambda L = 3600$ [pax/h], 破線： $\lambda L = 18000$ [pax/h])

換時間が不要である (かつ連結・切り離しの時間が十分短い) ためである。

一方、右図のエージェンシーコストについては、従来型スキームと提案スキームに質的な違いが見られる。具体的には、従来型スキーム (式 (6) を総需要で除したもの) では、急行の停車駅が減れば減るほど停車に関わる人件費を減らせるため、 s_1 を増加させるとエージェンシーコストは単調減少する。提案スキーム (式 (14) を総需要で除したもの) は、従来型同様、停車に関わる人件費は減少するものの、連結・解結の頻度が落ちるほど台キロが増加し車両費が増加するというトレードオフがあるため、最小値が現れる。なお、切り離しの全くない $s_1 = L$ を除いて、提案スキームの方が台キロが常に小さく、最大で従来型スキームのコストを 1/4 程度削減できている。

以上の 2 種類のコストの和であるソーシャルコストと急行停車駅間隔 s_1 の関係は図 6 に示す通りある。実線は先と同じ条件で計算した結果、破線は総需要を 5 倍とした $\lambda L = 18000$ [pax/h] の計算結果を表す。先の計算例からわかるように、平均旅行時間が乗客 1 人当たりの時間エージェンシーコストの 10 倍のオーダーであるため、その形状はほぼ平均旅行時間と同じとなる。需要が大きくなると、乗客 1 人当たりの時間エージェンシーコストがさらに下がるため、さらにその傾向は顕著になる。

(2) 車頭時隔 H の影響

続いて、車頭時隔 H を変化させた場合のコストについて考察を行う。まず、平均旅行時間について考えると、式 (1), (9) とともに、車頭時隔 H に比例して大きくなる。一方、乗客 1 人当たりの時間エージェンシーコストは、車頭時隔 H に反比例して減少する (エージェ

ンシーコスト (6), (14) は施設費は車頭時隔 H に比例, その他の人件費・車両費は車頭時隔 H と独立であるため). 従って, その和である社会的コストは, 以上のトレードオフを反映して最小値を持つ曲線となる (i.e., 車頭時隔 H が小さい領域では, 時間エージェンシーコストが漸近線となり, 車頭時隔 H が十分大きくなると平均旅行時間の曲線に漸近する).

急行停車駅間隔を $s_1 = \sqrt{s_0 L} \approx 7$ [km] として計算した社会的コストを図 7 に示す. 先と同様に, 実線が $\lambda L = 3600$ [pax/h], 破線が $\lambda L = 18000$ [pax/h] の結果を表している. この図より, 以上で考察した傾向が実際にみとれる. また, 平均旅行時間, エージェンシーコストともに提案スキームの方が小さいため, 社会的コストも提案スキームが常に小さくなっている. 需要が大きくなると, 乗客 1 人当たりの時間エージェンシーコストが小さくなるため, 漸近線が切り替わるタイミングが早まる (i.e., より小さい車頭時隔 H で社会的コストが最小となる). またこの場合のように, 需要が大きく, かつ, 車頭時隔 H が十分小さい場合には, 提案スキームの優位性 (乗換時間が不要, エージェンシーコストが小さい) が失われるため, 従来型スキームとのコスト差は非常に小さくなる. 逆に言えば, 需要がそこまで小さくなく, かつ (or ゆえに), 車頭時隔 H が長い路線 (あるいは路線の一部) において提案運行スキームは特に有効であると考えられる.

6. おわりに

本研究では, 鉄道における保安装置・自動運転の性能向上により高速に車両同士が連結・解結が可能となることを前提に, 郊外方向では急行列車が駅に停車する度に新たな各駅停車列車を生成する, そしてその反対に, 都心方向では多数の各駅停車列車が急行停車駅で 1 本の急行列車に連結される, 新たな列車運行スキームを提案した. 提案スキームおよび従来型の運行スキームの平均旅行時間およびエージェンシーコストを表現する連続体近似モデルを構築し, モデル構造の違いや数値計算による比較を行った. その結果, 提案運行スキームは以下の優位性を持つことがわかった.

- 平均旅行時間は, (待ち合わせを考慮しない) 従来型運行スキームよりも短くなる,
- エージェンシーコストは, 車両の走行台キロが小さくなる分, 従来型運行スキームよりも小さくなる.

このうち前者は, 従来型運行スキームでも待ち合わせを考えると失われると考えられるため, 提案運行スキームの主な優位性はエージェンシーコストの削減にある. また, 乗客 1 人当たりのエージェンシーコストは, 需要が大きいほど小さくなること (規模の経済) を考え

ると, 提案スキームが特に有効であるのは, 需要がそれほど大きくない路線に対してであると考えられる.

本研究では, 従来型の運行スキームとして路線全体に渡って一律なサービスが提供される状況を考えたが, 現実には, 路線長の長い路線では郊外になるほどサービスレベルが低下する (車頭時隔 H が伸びる) のが一般的である. つまり, こうしたより現実的な運行スキームとの比較により, 提案運行スキームの有効性はより顕著になることが予想される. また本研究では, 分析の簡単化のために複数線を想定したが, 複線においても提案運行スキームは有効に機能すると考えられる. 従って, 複線路線における feasibility も考慮した提案運行スキームの最適設計については今後の重要な課題である.

参考文献

- 1) Daganzo, C.F. and Ouyang, Y.: *Public Transportation Systems: Principle of System Design, Operations Planning and Real-Time Control*, World Scientific, 2019.
- 2) 国土交通省: JR 旅客会社・大手民鉄及び地下鉄事業者の基準単価・基準コスト等の公表について, https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk6_000029.html. (2021 年 3 月 1 日閲覧), 2020.
- 3) 近藤 稔, 小川 知行, 村上 浩一: 鉄道車両の消費エネルギー簡易計算法, 鉄道総研報告, 第 25 巻, 第 8 号, pp.41-46, 2011.

(2021. 03. 04 受付)

A NOVEL OPERATION SCHEME FOR HIGH-FREQUENT RAILWAY WITH A FAST TRAIN COUPLING TECHNOLOGY

Tomoki KISHIKAWA and Kentaro WADA

This paper proposes a novel train operation scheme for high-frequency railway systems with the fast train coupling technology that makes a possible to change the number of vehicles for each train flexibly. Specifically, the proposed scheme generates a new local train from an express train at every stop station in the outbound direction, and conversely, in the inbound direction, couples these local trains with an express train at those stations. We construct a simple continuum approximation model to describe the proposed scheme, and compare it with a conventional scheme, and clarify the features and advantages of the proposed scheme.