

# OD 組合せが複数存在する交通システムの エントロピーによる運行スケジュール評価

茂呂 浩平<sup>1</sup>・須貝 康雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 千葉大学大学院 工学研究科 博士後期課程 (〒 263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)  
E-mail: adfa3285@chiba-u.jp

<sup>2</sup>工博 千葉大学大学院 工学研究科 教授 (〒 263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

鉄道など予め定められたスケジュールに従い運行されている公共交通では、利用者にとって便利なスケジュールが設定されていることが望まれる。そこで、著者らはスケジュールが利用者にとって便利であるかどうかを評価する手法として、スケジュールのエントロピーを利用することを提案している。しかし、提案した手法では、出発地-目的地の組み合わせ (OD-pair) が複数存在する交通システム全体のエントロピー算出方法に関して検討の余地がある。本研究では、OD-pair が複数存在する交通システムのエントロピー算出方法を 2 種類提案し、各々の方法で算出したエントロピーの意味を考察し双方の有用性を示す。

**Key Words:** entropy, scheduled transit system, evaluation of schedules

## 1. はじめに

鉄道のように予め設定されたスケジュールに従って運行されている交通システムの場合、スケジュールにより利便性が左右される。一般的には、設定されている便数が多い方が少ない場合よりも利便性が高くなる。ただし、同じ運行本数が設定されたスケジュールであっても運行間隔に偏りがある場合には、等間隔で運行されている場合よりも利便性が低いと感じる場合がある。運行間隔に偏りがある場合には、列車へ乗車する駅に到着する時刻によって待ち時間にバラつきがあり、待ち時間が大きくなる可能性がある。待ち時間が平均よりも大きくなる場合、時間的損失が大きくなると解釈すると、損失回避の傾向が強い利用者は、待ち時間が大きくなる可能性はスケジュールに対する評価を低くする。そこで、著者らは、交通システムの運行スケジュールに関して、運行本数の大小と間隔のバラつきの双方を評価するためにエントロピーの概念を導入した<sup>1)</sup>。なお、評価の対象とする交通システムは、十分に多数の利用者が存在する場合を想定している。ここで、十分に多数の利用者が存在する場合とは、乗車する駅に到着する利用者が、評価の対象とするスケジュールの期間において、万遍なく存在する場合であると考えている。

しかし、導入したエントロピーの概念は、単一の区間 (OD-pair) に関する有用性を考察しているが、複数の区間が存在する交通システム全体に関するエントロピーの算出方法としては十分ではない。本稿では、単一の OD-pair に関する運行スケジュールのエントロピーの概

念を確認し、複数の OD-pair が存在する交通システム全体への概念の拡張を試みる。エントロピーの概念の拡張方法として、個々の OD-pair 毎に算出したエントロピーの平均値をシステム全体のエントロピーとする方法と、システム全体を単一のシステムとして求めた確率により算出したエントロピーをシステム全体のエントロピーとする方法を提案する。続いて、提案した各々のエントロピーをどのように解釈することが可能であるかを考察する。

## 2. エントロピーによる評価方法

運行スケジュールを評価するにあたり、運行本数の大小、同数の運行本数が設定されている場合の運行間隔の一様性を評価する方法として、情報理論のエントロピーを利用する。

### (1) エントロピーの定義

情報理論におけるシャノンのエントロピー (Shannon's entropy) は、次のように定義される<sup>2)</sup>。

有限集合  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$  と確率関数  $p: A \mapsto \mathbb{R}$  に対して、確率変数  $X: A \mapsto \mathbb{R}$  を考える。確率変数  $X$  のエントロピー  $H(X)$  を

$$H(X) = - \sum_{a \in A} p(a) \cdot \log_2 p(a) \quad (1)$$

と定義する。ただし、 $0 = 0 \cdot \log_2 0$  であるとする。

## (2) 確率の定義

2.(1) より, 事象  $A$  に関する確率関数  $p$  が定義できれば, エントロピーを算出することが可能である. そこで, 運行スケジュールに関する確率関数を定義する.

スケジュールで設定されている列車を集合  $Tr = \{tr_1, \dots, tr_m\}$  とし, 列車  $tr_i$  の乗車人数を  $\nu_i = \nu(tr_i)$  とする. 全乗車人数を  $Np = \sum_{tr \in Tr} \nu(tr)$  と表記すると,

$$X(tr) = \frac{\nu(tr)}{Np} = p_i \quad (2)$$

は確率変数となる.

## (3) 評価方法

### a) 乗車する列車の選択ルール

交通システムの利用者は, 乗車する駅に来た時刻以降に出発する列車から, 目的地に最も早く到着する列車を選択して乗車すると仮定する. また, モデルを簡単にするため, 全ての利用者が乗車する区間を同一であると仮定する.

### b) スケジュールの状態

乗車駅の出発時刻が決まれば, 目的地に到着する時刻が一意に決定すると仮定する. さらに, 目的地に到着する順序は出発順序を保つと仮定する. つまり, 移動途中で追越等の順序入換は発生しないと仮定する.

### c) その他の状態

交通システムのモデルを簡単化するために, 列車へ乗車する駅に来る利用者の時刻分布は一様分布であると仮定する. この仮定により, 各列車の乗車人数は, 先行列車の出発時刻との間隔の長さに比例する. 列車  $tr_i \in Tr$  の出発時刻を  $d_i = d(tr_i)$  とすると, 乗車人数  $\nu_i$  は

$$\nu_i = \alpha \cdot (d_i - d_{i-1}) \quad (3)$$

となる. ここで,  $\alpha$  は比例定数である. 確率  $p_i$  を算出することが目的であるので,  $\alpha = 1$  として問題はない. また, 表記を簡単にするために  $h_i = d_i - d_{i-1}$  とする.

## 3. 単一区間のエントロピー

スケジュールに設定されている本数と出発時刻の分布が単一の OD-pair のエントロピーに与える影響を考察する.

### (1) 運行本数の影響

等間隔で列車が運行される場合を考える. なお, 対象とするスケジュールの期間は 1 時間であるとする.

運行本数が  $f$  本の場合,  $h_i = \frac{60}{f}$  となり  $Np = \sum_{i=1}^f h_i = 60$  であり,  $p_i = \frac{\nu_i}{Np} = \frac{1}{f}$  となる. エン

表-1 運行間隔の分布とエントロピー

	出発時刻 (分)	エントロピー
1	15,30,45,00	2.00
2	10,20,30,00	1.79
2	10,15,30,00	1.73
4	05,10,30,00	1.63
5	05,10,15,00	1.45

トロピー  $H_f$  は,

$$\begin{aligned} H_f &= - \sum_{i=1}^f p_i \cdot \log_2 p_i \\ &= \left( -\frac{1}{f} \cdot \log_2 \frac{1}{f} \right) \cdot f = \log_2 f \end{aligned} \quad (4)$$

となる.

式(4)は, 運行本数が多い程便利である, つまり評価が高いと考えると, 評価が高いスケジュール程エントロピーが大きくなることを示している.

### (2) 出発時刻の分布の影響

運行本数が同一で, 出発時刻の分布が異なるスケジュールの場合を考える. なお, 対象とするスケジュールの期間は 1 時間であり, 運行本数は 4 本であるとする.

表-1 の出発時刻のように 5 種類の時刻分布に関してエントロピーを計算する.

算出したエントロピーは, 時刻分布が一様であるほど大きくなる. 利用者が運行スケジュールを気にしないで列車へ乗車する駅に来るケースを想定すると, 時刻分布が一様であるほうが待ち時間の平均値が小さくなる傾向がある. 待ち時間の平均値が小さなスケジュールは便利であると仮定すると, 3.(1) の結果と同様に評価が高いスケジュール程エントロピーが大きくなることが示された.

### (3) エントロピーによる評価に対する結論

3.(1), (2) から運行スケジュールが便利であるほどエントロピーが大きくなる傾向があることが分かる.

## 4. システムとしてのエントロピー

3. では, 単一の OD-pair に関してエントロピーによる運行スケジュールの評価方法を示した. しかし, 一般的に公共交通システムでは, OD-pair が複数存在する. そこで, システム全体のスケジュールを評価するために, 2 種類の方法を提案し, 各々の方法で算出したエントロピーをどのように利用すべきかを考察する.

表-2 エントロピーを計算する OD

	A	B
利用者数	5	6
運行本数	5	6

(1) 平均エントロピー

3. で求めた個々の OD-pair のエントロピーの平均値をシステムの「平均エントロピー」とする。ただし、OD-pair により利用者数の差が存在するため、全利用者数に対する各 OD-pair の利用者数の割合を重みとして平均値を計算する。

OD-pair の集合を  $\Omega$  とする。  $\omega \in \Omega$  の利用者数を  $N_p^{(\omega)}$  とすると、重みは  $w^{(\omega)} = \frac{N_p^{(\omega)}}{\sum_{\omega \in \Omega} N_p^{(\omega)}}$  となる。  $\omega \in \Omega$  のエントロピーを  $H_\omega$  とした場合、平均エントロピーは

$$H^\circledast = \sum_{\omega \in \Omega} w^{(\omega)} \cdot H_\omega \quad (5)$$

となる。

平均エントロピーは、OD-pair 毎のエントロピーに関する統計情報となっている。

(2) 全体エントロピー

各区間の各列車の乗車人数に対して、システム全体の利用者数に関する割合を確率としてエントロピーを算出し、「全体エントロピー」とする。

OD-pair の集合を  $\Omega$  とする。  $\omega \in \Omega$  で利用可能な列車の集合を  $Tr^{(\omega)} = \{tr_1^{(\omega)}, \dots, tr_{i_\omega}^{(\omega)}\}$  とすると、各列車の利用者数は  $\nu_{i_\omega}^{(\omega)}$  である。交通システム全体の利用者数は、  $Np^\dagger = \sum_{\omega \in \Omega} Np^{(\omega)} = \sum_{\omega \in \Omega, tr_{i_\omega} \in Tr^{(\omega)}} \nu_{i_\omega}^{(\omega)}$  であり、各列車の確率は  $p_{i_\omega}^{(\omega)} = \frac{\nu_{i_\omega}^{(\omega)}}{Np^\dagger}$  となる。全体エントロピーは

$$H^\dagger = - \sum_{\omega \in \Omega, tr_{i_\omega}^{(\omega)} \in Tr^{(\omega)}} p_{i_\omega}^{(\omega)} \cdot \log_2 p_{i_\omega}^{(\omega)} \quad (6)$$

となる。

全体エントロピーは、交通システム全体に関してスケジュール平準化の程度を示す情報となっている。

(3) 仮想的なモデルを用いた計算例

利用者数の比と運行本数の比が等しいケースでエントロピーを計算する。

表-2 のように 2 個の OD-pair(A,B) から構成される交通システムのエントロピーを計算する。

A と B のスケジュールで運行本数の比が利用者数の比と等しく 5 : 6 であると仮定する。さらに、運行間隔が等間隔であると仮定する。

表-3 OD-pair 利用者数割合 (THSR)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	0.068	-	-	-	-	-
新竹	0.073	0.020	-	-	-	-
臺中	0.145	0.044	0.043	-	-	-
嘉義	0.047	0.014	0.014	0.024	-	-
臺南	0.066	0.019	0.020	0.035	0.010	-
左營	0.144	0.043	0.043	0.077	0.022	0.027

a) OD-pair 毎の確率

OD-pair 毎の各列車の確率  $p_A, p_B$  は、

$$p_A = \frac{1}{5}, \quad p_B = \frac{1}{6} \quad (7a, b)$$

となる。

b) OD-pair 毎のエントロピー

OD-pair 毎のエントロピーは、式 (7a,7b) から

$$H_A = (-\frac{1}{5} \cdot \log_2 \frac{1}{5}) \cdot 5 = \log_2 5 \approx 2.322 \quad (8a)$$

$$H_B = (-\frac{1}{6} \cdot \log_2 \frac{1}{6}) \cdot 6 = \log_2 6 \approx 2.585 \quad (8b)$$

となる。

c) 平均エントロピー

平均エントロピーは、OD-pair 毎のエントロピーに各 OD-pair の利用者の割合を重みとした加重平均

$$H^\circledast = \frac{5}{11} \cdot \log_2 5 + \frac{6}{11} \cdot \log_2 6 \approx 2.465 \quad (9)$$

となる。

d) 全体エントロピー

全体エントロピーは、OD-pair 毎の列車の確率 (式 (7a,7b)) に各 OD-pair の利用者数の割合を乗じた確率

$$p_A^\dagger = \frac{1}{5} \cdot \frac{5}{11} = \frac{1}{11}, \quad p_B^\dagger = \frac{1}{6} \cdot \frac{6}{11} = \frac{1}{11} \quad (10a, b)$$

を用いて

$$\begin{aligned} H^\dagger &= -(\frac{1}{11} \cdot \log_2 \frac{1}{11}) \cdot 5 - (\frac{1}{11} \cdot \log_2 \frac{1}{11}) \cdot 6 \\ &= \log_2 11 \\ &\approx 3.459 \end{aligned} \quad (11)$$

となる。

(4) 台湾高速鉄道を用いた計算例

「台湾高速鐵路 (THSR)」に関して、北上列車 (高雄から台北方向の列車) のスケジュールに関するエントロピーを算出する。

a) OD-pair 毎の利用者数割合

中華民國交通部 (MOTC) が公開している高速鐵路各站旅客人数<sup>3)</sup>から推定した OD-pair 毎の利用者数割合 (表-3) を使用する。なお、板橋駅は臺北駅に近接しているため、臺北駅の利用者数に含めて以下の計算を行う。

表-4 OD-pair 毎のエントロピー (THSR)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	4.012	-	-	-	-	-
新竹	4.047	4.047	-	-	-	-
臺中	4.792	4.237	4.237	-	-	-
嘉義	3.928	3.841	3.841	3.957	-	-
臺南	4.024	3.945	3.945	4.053	4.053	-
左營	4.609	4.040	4.040	4.609	4.060	4.105

表-7 平均エントロピー (THSR)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	0.273	-	-	-	-	-
新竹	0.295	0.081	-	-	-	-
臺中	0.695	0.186	0.182	-	-	-
嘉義	0.185	0.054	0.054	0.095	-	-
臺南	0.266	0.075	0.079	0.142	0.041	-
左營	0.664	0.174	0.174	0.355	0.089	0.111

表-5 OD-pair 毎の列車本数 (THSR)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	18	-	-	-	-	-
新竹	18	18	-	-	-	-
臺中	31	20	20	-	-	-
嘉義	16	15	15	17	-	-
臺南	17	16	16	18	18	-
左營	30	17	17	30	18	19

表-8 全体エントロピー (THSR)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	0.537	-	-	-	-	-
新竹	0.571	0.194	-	-	-	-
臺中	1.099	0.385	0.377	-	-	-
嘉義	0.392	0.140	0.140	0.224	-	-
臺南	0.524	0.184	0.192	0.311	0.107	-
左營	1.066	0.369	0.369	0.640	0.210	0.252

表-6 列車本数から算出したエントロピー (THSR)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	4.170	-	-	-	-	-
新竹	4.170	4.170	-	-	-	-
臺中	4.954	4.322	4.322	-	-	-
嘉義	4.000	3.907	3.907	4.087	-	-
臺南	4.087	4.000	4.000	4.170	4.170	-
左營	4.907	4.087	4.087	4.907	4.170	4.248

**b) 対象とするスケジュール**

2015年7月20日時点で参照した時刻表<sup>4)</sup>に従い、月曜日の6:00から14:00を対象とする。左營発が7:00以降は、各駅に停車する列車が毎時2本、速達列車(臺南、嘉義、新竹、桃園を通過)が11:00まで毎時2本、以降は毎時1本設定されている。

**c) OD-pair 毎のエントロピー**

OD-pair 毎のエントロピーは、表-4のとおりとなる。

エントロピー算出時に選択可能であった各 OD-pair の列車本数は、表-5のとおりである。

式(4)に従って列車本数から算出したエントロピーは、表-6のとおりである。

表-6のエントロピーは、各 OD-pair において全ての列車が等間隔に運行されている場合の値であり、同一

の運行本数が設定されているスケジュールでは最大のエントロピーである。表-4の値が表-6の値よりも小さいことから、対象とするスケジュールの運行間隔には多少の偏りがあることが示されている。

**d) 平均エントロピー**

OD-pair 毎のエントロピーに利用者割合を乗じた値は表-7のとおりとなり、平均エントロピーは4.268となる。

**e) 全体エントロピー**

式(6)の右辺に現れる OD-pair 毎の値  $(p_{i_w}^{(\omega)} \cdot \log_2 p_{i_w}^{(\omega)})$  は表-8のとおりとなり、全体エントロピーは8.282となる。

**f) 結論**

エントロピー算出の対象とするスケジュールでは、各駅停車が15~18本、速達列車が13本設定されている。平均エントロピーから式(4)で逆算すると、対象となるスケジュールで各 OD-pair では  $19.26 (= 2^{4.268})$  本運行されていることに相当する。全体エントロピーから式(4)で逆算すると、対象となるスケジュールにおいて  $311.3 (= 2^{8.282})$  本運行されていることに相当する。OD-pair の組み合わせ数が21であるので、各 OD-pair では  $14.83 (= \frac{311.3}{21})$  本運行されていることに相当する。結果として、各 OD-pair で選択可能な列車本数(16~29)より小さくなっている。

平均エントロピーは、逆算して得られた本数が各駅停車の運行本数に近い値になっている。また、平均エントロピーから得た本数が各駅停車の運行本数よりも大きくなっている。このことから、速達列車を利用可能な OD-pair のみを考えた交通システムの利便性が他の OD-pair よりも極端に大きくなっていないと考えられる。つまり、速達列車を利用できない OD-pair の利便性は、利用者の割合が小さいが利便性はそれほど小さくなっていないと考えることが可能である。

全体エントロピーが実際の列車本数から推定する値よりも小さくなった原因は、11 時以降の速達列車の運行間隔が小さくなったことにより、利用者の割合が大きく速達列車を利用可能な OD-pair に関して運行間隔が大きくなる時間が発生したためであると考えられる。ただし、実際には利用者が少ない時間帯において速達列車の運行間隔が大きくなっていると考えられるので、運行間隔が開いている時間帯の列車の確率は相対的に大きくなることは予想される。また、利用者の割合が相対的に大きな OD-pair(左營-臺北, 臺中-臺北)で選択可能な列車本数が、他の OD-pair の本数と比較して「利用者割合の比率」ほど大きくなっていないことも原因であると考えられる。つまり、利用者の割合が小さな OD-pair では速達列車を利用できないにもかかわらず、利便性が小さくならないスケジュールが設定されていると言える。

#### (5) 等間隔のスケジュールを用いた計算例

等間隔で運行するスケジュールの場合、エントロピーは最大になる。そこで、運行間隔が等間隔であるスケジュールのエントロピーを算出する。対象とする交通システムは(4)と同一の台湾高速鐵路とし、エントロピー算出対象とするスケジュールの時間帯も同一とする。

##### a) OD-pair 毎の利用者数割合

(4)と同様に表-3の割合とする。

##### b) 対象とするスケジュール

月曜日の 6:00 から 14:00 を対象とする。運行する列車は、20 分間隔に各駅停車を運行する。速達列車は運行しない。左營発 6:00 を始発として臺北行きを運行する。臺中以北では、左營発の始発から遡って、臺中を起点とする各駅停車を 20 分間隔で運行する。

20 分間隔で各駅停車のみ運行するスケジュールは、2014 年 9 月 20 日に台風が台湾に接近した時に実施された臨時スケジュールを参考にしている。当スケジュールは、通常スケジュールと同様に毎時 3 本の列車を設定している。

##### c) OD-pair 毎のエントロピー

OD-pair 毎のエントロピーは、表-9 のとおりとなる。

表-9 OD-pair 毎のエントロピー (THSR:等間隔)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	4.502	-	-	-	-	-
新竹	4.575	4.575	-	-	-	-
臺中	4.597	4.597	4.597	-	-	-
嘉義	4.541	4.541	4.541	4.541	-	-
臺南	4.619	4.619	4.619	4.619	4.619	-
左營	4.585	4.585	4.585	4.585	4.585	4.585

表-10 OD-pair 毎の列車本数 (THSR:等間隔)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	23	-	-	-	-	-
新竹	24	24	-	-	-	-
臺中	25	25	25	-	-	-
嘉義	24	24	24	24	-	-
臺南	25	25	25	25	25	-
左營	24	24	24	24	24	24

表-11 列車本数から算出したエントロピー (THSR:等間隔)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	4.524	-	-	-	-	-
新竹	4.585	4.585	-	-	-	-
臺中	4.644	4.644	4.644	-	-	-
嘉義	4.585	4.585	4.585	4.585	-	-
臺南	4.644	4.644	4.644	4.644	4.644	-
左營	4.585	4.585	4.585	4.585	4.585	4.585

エントロピー算出時に選択可能であった各 OD-pair の列車本数は、表-10 のとおりである。

式(4)に従って列車本数から算出したエントロピーは、表-11 のとおりである。

表-11 のエントロピーは、各 OD-pair において全ての列車が等間隔に運行されている場合の値であり、同一の運行本数が設定されているスケジュールでは最大のエントロピーである。表-9 の値が表-11 の値よりも小さいことから、対象とするスケジュールの運行間隔には多少の偏りがあることが示されている。

##### d) 平均エントロピー

OD-pair 毎のエントロピーに利用者割合を乗じた値は表-12 のとおりとなり、平均エントロピーは 4.573 となる。

表-12 平均エントロピー (THSR:等間隔)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	0.306	-	-	-	-	-
新竹	0.334	0.092	-	-	-	-
臺中	0.667	0.202	0.198	-	-	-
嘉義	0.213	0.064	0.064	0.109	-	-
臺南	0.305	0.088	0.092	0.162	0.046	-
左營	0.660	0.197	0.197	0.353	0.101	0.124

表-13 全体エントロピー (THSR:等間隔)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南
桃園	0.570	-	-	-	-	-
新竹	0.610	0.204	-	-	-	-
臺中	1.071	0.401	0.393	-	-	-
嘉義	0.421	0.150	0.150	0.238	-	-
臺南	0.564	0.196	0.205	0.331	0.113	-
左營	1.063	0.392	0.392	0.638	0.222	0.264

## e) 全体エントロピー

式(6)の右辺に現れる OD-pair 毎の値  $(p_{i_w}^{(\omega)} \cdot \log_2 p_{i_w}^{(\omega)})$  は表-13 のとおりとなり、全体エントロピーは 8.587 となる。

## f) 結論

エントロピー算出の対象としたスケジュールでは、各駅停車が 23~25 本設定されている。平均エントロピーから式(4)で逆算すると、対象となるスケジュールで各 OD-pair では  $23.80 (= 2^{4.573})$  本運行されていることに相当する。全体エントロピーから式(4)で逆算すると、対象となるスケジュールにおいて  $384.5 (= 2^{8.587})$  本運行されていることに相当する。OD-pair の組み合わせ数が 21 であるので、各 OD-pair では  $18.31 (= \frac{384.5}{21})$  本運行されていることに相当する。結果として、各 OD-pair で選択可能な列車本数 (23~25) より小さくなっている。

平均エントロピーは、逆算して得られた本数が各駅停車の運行本数に近い値になっている。ただし、桃園-臺北以外の OD-pair では、エントロピーから得られた運行本数は実際の運行本数よりも小さくなっている。小さくなった原因として、利用者の割合が相対的に大きな OD-pair のエントロピーが、式(4)から算出するエントロピーよりも小さくなったことが影響していると考えられる。「左營-臺北」に関しては運行本数が最大値 (25) になっておらず、「臺中-臺北」に関しては各列車の確率が平準化されていないためにエントロピーが小さくなっ

たと考えられる。

全体エントロピーが実際の列車本数から推定する値よりも小さくなった原因は、利用者の割合が相対的に小さな OD-pair に関して利用可能な列車本数が多くなっていることが原因である。つまり、利用者の割合が小さな OD-pair に対するサービスが過剰であると解釈することが可能である。しかし、対象とするスケジュールは、b) で説明したとおり、台風が接近することにより、スケジュールで設定された列車の運行が不可能となることを想定して作成したスケジュールである。運行が中止される前に多くの利用者が目的地まで移動できるために、全ての OD-pair に対して乗車機会を大きくすることを目的としたスケジュールであり、使用者数に比例したサービスの量を提供することはスケジュール作成時に考慮する条件として優先度が低くなっている。

## 5. 結論

平均エントロピー、全体エントロピーともに「OD-pair 毎のエントロピー」、「実際の運行本数から算出したエントロピー」と比較することにより、スケジュールを評価することが可能である。平均エントロピーでは、交通システムとして OD-pair 毎に利便性のバラツキの程度をスケジュールの観点から評価することが可能である。全体エントロピーでは、各 OD-pair の利用者数の割合に比例した運行本数が設定されているかどうかを評価することが可能である。

## 参考文献

- 1) Moro, K. and Sugai, Y.: A relation between a robustness of the disruption of the train schedule and the entropy of information theory, *6th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis*, pp. 074-1-19, International Association of Railway Operation Research, 2015.
- 2) 横尾英俊: **情報理論の基礎**, 共立出版, 2004.
- 3) 中華民国交通部: 高速鐵路各站旅客人数, <http://www.motc.gov.tw/uploaddowndoc?file=month/22090.pdf>, 2015 年 7 月 20 日 参照.
- 4) 台湾高速鐵路股份有限公司: 北上列車 車次時刻表, [http://www5.thsrc.com.tw/jp/ticket/tic\\_time\\_pop\\_summary2.asp?atid=2](http://www5.thsrc.com.tw/jp/ticket/tic_time_pop_summary2.asp?atid=2), 2015 年 7 月 20 日 参照.