

社会基盤学専攻
土木計画研究

AH20028 わたなべ こうせい
渡邊 航成
指導教員 岩倉 成志

1. はじめに

道路空間において、交通量が交通流状態に大きく影響を及ぼしていることは自明である。一方、図-1に示すように非渋滞領域において、同一交通密度であっても平均速度は広く分布しており、この要因の一つに交通流状態の違いがあると考える。この交通流状態の違いを表現するために、従来の交通流理論における“量”の観点に加え、“質”という観点から定量的に捉えることを試みる。

その指標として情報理論に基づくエントロピーに着目する。エントロピーを用いて交通流状態を記述した先行研究として、岩崎ら¹⁾²⁾の研究がある。街路網に分布し走行する車両のパターンをエントロピーによって定量化することで、区間内の車両分布状況の情報化が可能であることを示している。この中で空間平均速度が交通密度、エントロピーの関数として定義できることを言及しており、現実の交通流を観測して検証を行っている。また、交通流の瞬時画像から得られるエントロピーと交通密度から空間平均速度および交通量を推定する汎用的な関数方程式を提案している。これらにより、エントロピーの有効性は示されているが、高速道路の地点データに応用した例はない。

本研究では、岩崎ら¹⁾²⁾が提唱するエントロピー式を援用し、高速道路において地点データである車両感知器パルスデータへの適用可能性を検証する。さらに、車両分布パターンを説明するエントロピーによって、同一交通密度条件下における交通流状態の質的差異を定量的に把握し、速度変動の理由を明らかにする。

2. エントロピーを用いた交通流状態の表現

(1) 車両分布パターンのエントロピーによる定量化

図-2に示すように、任意の区間 L に存在する n 台の車両分布をある時刻における空間配列事象として捉える。このとき、非渋滞領域において i 番目の車両の車頭距離 D_i ($i=1, 2, \dots, n$) が確率事象であること、相互に関連のない独立事象としてみれば、車両分布パターンのエントロピー H_n は、式 (1) で表現される。

$$H_n = - \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{L} \log_2 \frac{D_i}{L} \quad (\text{bit}) \quad (1)$$

ここに、 H_n : 車両分布パターンのエントロピー、 D_i : i 番目の車両の車頭距離 (m)、 L : 対象区間長 (m)、 n :

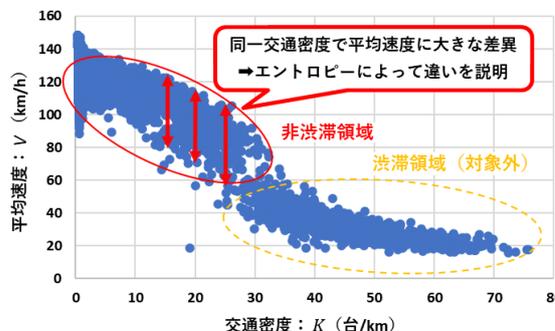


図-1 K-V 相関からみる本研究の着眼点

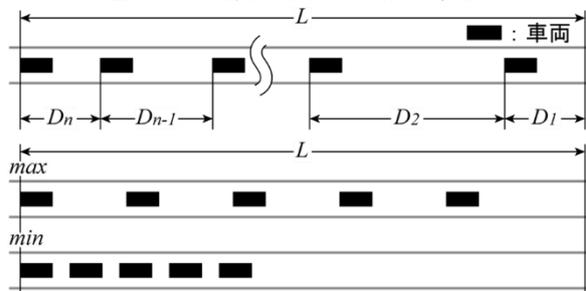


図-2 車両分布パターンのエントロピー計測の模式図

対象区間内の車両の台数 (台) を表す。

次に、図-2 の下段に示すような極端な 2 つの状態を考える。まず、全車両が等間隔で並んでいる状態、すなわち全車両の車頭距離が等しい場合に車両分布パターンのエントロピーは最大値をとる。これを H_n^{max} とすると、 H_n^{max} の状態は式 (2) で表現される。

$$H_n^{max} = - \log_2 \frac{1}{n} = \log_2 n \quad (\text{bit}) \quad (2)$$

一方、全車両が 1 つの車群を形成する状態、すなわち全車両の車頭距離が最小状態の場合に車両分布パターンのエントロピーは最小値をとる。これを H_n^{min} とすると、1 台を除く全車両が最小車頭距離 D_j となり、 H_n^{min} の状態は式 (3) で表現される。

$$H_n^{min} = - \frac{L - D_j(n-1)}{L} \log_2 \frac{L - D_j(n-1)}{L} - (n-1) \frac{D_j}{L} \log_2 \frac{D_j}{L} \quad (\text{bit}) \quad (3)$$

(2) 車両分布パターンのエントロピーの基本的性質

車両分布パターンのエントロピーによる交通流状態の比較にあたっては同一交通密度条件下におけるエントロピーの違いに着目することが重要である。ここで、交通密度を K とし、さらに、同一交通密度条件下における H_n^{max} と H_n との差をとることで、異なる交通流

状態を区別することが可能である。これを車両分布パターンのエントロピーの相対値 H_n^{rel} とすると、 H_n^{rel} は式 (4) で表現される。

$$H_n^{rel} = H_n^{max} - H_n \quad (\text{bit}) \quad (4)$$

このとき、同一交通密度条件下で H_n^{rel} の値が大きくなるほど、 H_n^{min} の状態に近づき、より密な車群を形成する状態を示している。これを用いることで交通流状態の“質”を定量的に把握することができる。

3. 分析内容

(1) データ概要

関越自動車道(上り線)花園 IC 本線合流直後に位置する車両感知器パルスデータを使用する。対象は2009年の休日5日間、明暗や天候、渋滞の影響がない日中の4時間とし、追越車線の交通流状態に着目して分析を行う。

(2) エントロピー算出条件

車両感知器パルスデータから得られる個々の車両の通過時刻と地点速度を扱うことから、直接的に区間情報を計測することはできない。そこで、集計分析条件として、時間単位は1分間、対象区間長 L は1000m、個々の車両の走行速度は変化しない、後続車が先行車に追いつく場合には最小車頭距離15mで追従状態に入ると仮定する。なお、交通密度が低い時間帯は精度の安定性に欠けるため6台/km以上を対象とする。

(3) 定式化

対象区間長 L 内の車両の速度を推定するために空間平均速度を推定する線形型の式 (5) を以下に示す。

$$\bar{V}_s = \alpha K + \beta H_n^{rel} + C \quad (\text{km/h}) \quad (5)$$

ここに、 \bar{V}_s :空間平均速度(km/h)、 α, β :パラメータ、 K :交通密度(台/km)、 H_n^{rel} :エントロピー相対値(bit)、 C :定数項を表す。

4. 分析結果

(1) エントロピー相対値による交通流状態の可視化

前章の定式化より、得られた重回帰式は以下の式 (6) である。本稿では、2009/4/26 の一例を示す。

$$\bar{V}_s = -1.23K - 4.43H_n^{rel} + 133.30 \quad (6)$$

パラメータは5%有意であり、決定係数は0.61とある程度の精度である。

重回帰式より求められる回帰平面と交通密度、エントロピー相対値、平均速度を軸とした3次元グラフを図-3に示す。図中の赤字で示している時刻は、代表例として同一交通密度(14台/km)のときのエントロピー相対値の動きを確認したものである。エントロピー相対値が0.42~1.15bitと分布しており、同一交通密度でもエントロピー相対値が異なることから交通流状態の質的差異があることが定量的に分かる。

(2) エントロピー相対値の感度分析

エントロピー相対値の有効性を検証するために得ら

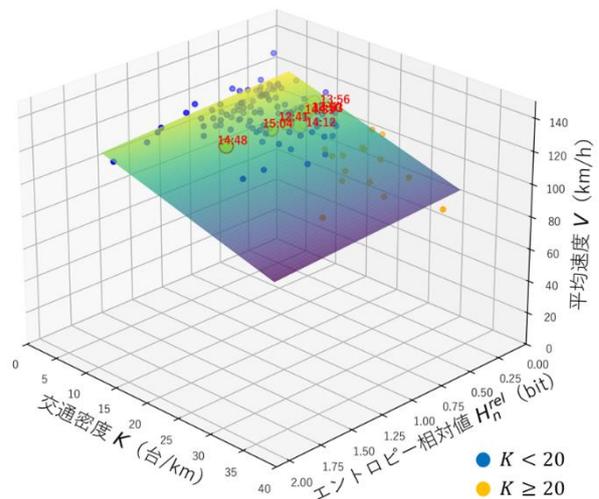


図-3 エントロピー相対値による交通流状態の可視化

表-1 速度に対するエントロピー相対値の影響

		エントロピー相対値 H_n^{rel}						
		0.50bit	0.75bit	1.00bit	1.25bit	1.50bit	1.75bit	2.00bit
交通密度 K	10台/km	119km/h	118km/h	117km/h	115km/h	114km/h	113km/h	112km/h
	15台/km	113km/h	112km/h	110km/h	109km/h	108km/h	107km/h	106km/h
	20台/km	106km/h	105km/h	104km/h	103km/h	102km/h	101km/h	100km/h
	25台/km	100km/h	99km/h	98km/h	97km/h	96km/h	95km/h	94km/h
	30台/km	94km/h	93km/h	92km/h	91km/h	90km/h	89km/h	88km/h
	35台/km	88km/h	87km/h	86km/h	85km/h	84km/h	82km/h	81km/h
	40台/km	82km/h	81km/h	80km/h	79km/h	77km/h	76km/h	75km/h

れた重回帰式からエントロピー相対値を0.50~2.00bit、交通密度を10~40台/kmの範囲で感度分析する。

結果を表-1に示す。エントロピー相対値が0.50bitと2.00bitのときを比較すると同一交通密度条件下で空間平均速度が約7km/h低下することが確認できた。これにより、交通流状態の質的差異が走行性能に影響を及ぼしていることが示唆される。ここから、従来の交通密度だけでは説明できなかった速度変動について、エントロピー相対値を用いることで、交通流状態の“質”を定量的に説明できる可能性が示唆される。

5. おわりに

本研究では、高速道路において、同一交通密度でも平均速度が異なる理由を交通流状態の“質”を説明するエントロピーによって定量的に捉えることができた。また、感度分析により交通流状態を説明するエントロピーが速度に影響を及ぼしていることを確認した。加えて、幾つかの仮定条件を含んでいるが、地点データである高速道路の車両感知器パルスデータを用いて分析することが可能であることを示した。

謝辞

多大なるご指導をいただいた株式会社道路計画の野中康弘客員教授に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 岩崎洋一郎, 定方希夫: エントロピーによる道路交通流情報, オペレーションズ・リサーチ, Vol.33, No.8, pp.408-416, 1988.
- 2) 岩崎洋一郎, 定方希夫: エントロピーを用いた道路交通流制御用情報, オペレーションズ・リサーチ, Vol.38, No.7, pp.358-364, 1993.