

第2章

交通流理論

2.1 概要

道路交通は、道路と自動車、歩行者、さらには路面電車等から成り立っているが、例えば高いビル窓から見下ろしたときのように個々の車両の行動の集積の流れとしてとらえた場合、目に留まる道路上の車群の運動にはある整然とした規則性が見られる。このような交通流から導き出される法則や理論は“交通流理論”と呼ばれている。

交通特性の解析により種々の交通現象を忠実に再現することができれば迅速な交通状況の把握や交通流予測にも役立つことから、交通流理論は交通管制においても非常に有用な考え方といえる。そのため交通工学の分野では、様々なアプローチによる交通流のモデル化についての研究が行われてきた。しかし、実際の交通現象は単に道路あるいは自動車というハードウェアのみによって定まるものではなく、社会の諸活動や習慣、運転者の行動や特性、他方では交通管制など運用の状況等の要因によっても影響を受けるため、単純な数理ベースの交通流モデルでは解明しきれないことが分かってきた。

現在は、コンピュータの発達とともに実際の車両挙動データや交通環境をパラメータとした交通流シミュレーションによる交通流解析等も盛んに行われており、交通流予測の高精度化や、渋滞解消による環境負荷低減などへの効果が期待されている。

2.2 交通流パラメータ

交通流とは道路上における車両の行動を個々の運動としてではなくこれらの集積である流れとしてとらえたものであり、交通流の状態を量的に表す変数を交通流パラメータという。主なものとして、交通量 Q 、交通密度 K 、速度 V の三つが用いられる。

2.2.1 交通量・交通密度・速度

(1) 交通量

ある特定時間内における特定地点の通過車両台数を交通量 Q という。道路断面における総通過車両台数を用いる場合には断面交通量と呼ばれる。車線別、車種別、方向別などの区分をして用いることもある。道路計画や利用度調査などを行うときには、1日の総通過車両台数や、混雑時の1

時間における通過車両台数に基づく日交通量や時間交通量が用いられる。

交通管制のためには、より短い時間、例えば1分、2.5分、5分などを測定時間にとり、単位時間当たりに換算した車両数をフローレート q という。

フローレート q [台/h] は、測定時間を T [h]、測定時間 T の間に通過した車両数を N [台] とすると、以下の式で表すことができる。

$$q = \frac{N}{T} \quad (2.1)$$

(2) 交通密度

特定道路区間内における単位距離当たりの存在車両台数を交通密度（以下、密度） K という。

密度 K [台/km] は、区間長を L [km]、その区間内に存在する車両数を N [台] とすると、以下の式で表すことができる。

$$K = \frac{N}{L} \quad (2.2)$$

(3) 速度

交通流における速度 V とは、車両の走行速度を集団の流れとしてみたものである。すなわち、交通流中の車両の走行速度にばらつきがある場合には、その平均値を用いなければならない。平均値としては、時間平均速度と空間平均速度の2種類が用いられる。

時間平均速度 \bar{V}_t : 特定地点を通過する車両の走行速度を時間的に平均したもの

空間平均速度 \bar{V}_s : ある時刻に特定道路区間内に存在する車両の走行速度を平均したもの

速度 v [km/h] をもつ車両の時間分布を $f_t(v)$ 、空間分布を $f_s(v)$ とすると、 \bar{V}_t [km/h] および \bar{V}_s [km/h] はそれぞれ以下の式で与えられる。

$$\bar{V}_t = \int_0^{\infty} v f_t(v) dv \quad (2.3)$$

$$\bar{V}_s = \int_0^{\infty} v f_s(v) dv \quad (2.4)$$

なお、本章ではある時刻における車両の速度を主に扱うため、以降、単に「速度 V 」と表記しているものは空間平均速度 \bar{V}_s を指すものとする。

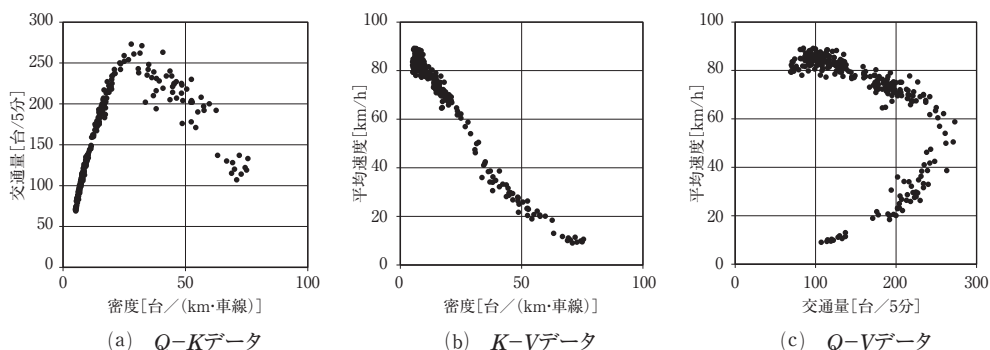
(4) 交通量・密度・速度の関係

交通量 Q 、密度 K 、速度 V の三つのパラメータの間には以下の関係が成り立つ。

$$Q = KV \quad (2.5)$$

式 (2.5) における三つのパラメータのうち、一般に、独立な変数は二つであり、さらに、個々の道路においてはそれぞれ固有の K - V 特性あるいは Q - V 特性が存在するので、パラメータのうちの一つが与えられると他の二つはこれらの関係式から推定することができる。

第 2.1 図に高速道路の標準的な道路区間における Q - K 、 K - V 、 Q - V の関係を表す実測データを示す。



第 2.1 図 Q-K, K-V, Q-V に関する実測データ (首都高速道路)

Q と K の関係において、K が小さい段階では K の増加とともに Q が比例して増加するが、K が過大となると、V の低下によってかえって Q は減少する。前者は非渋滞時における車両の走行状態に相当することから「自由流領域」と呼ばれ、一方、後者は渋滞時に相当することから「渋滞流領域」と呼ばれる。

K と V の関係において、K が小さいと、車両はほかの車両の影響を受けずに自由に走行できるが、K が大となるにつれて V が低下し、ついには混雑のために V がきわめて小さくなる。

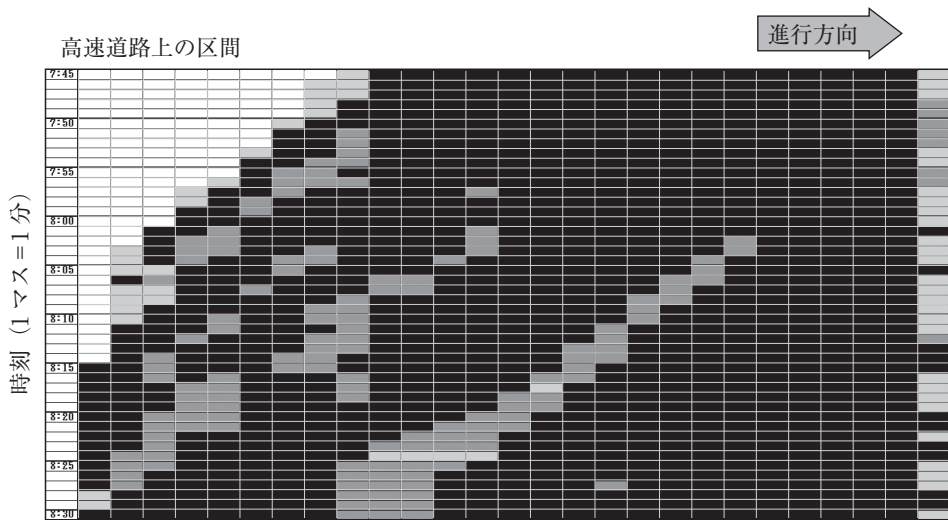
Q と V の関係において、自由流領域では V が大きく、Q の増加に対して V は減少するが、渋滞流領域では V の減少とともに Q も減少する。

2.2.2 交通容量

道路において単位時間に通過可能な車両の台数を交通容量という。道路の交通処理能力を示す最も基本的な量である。高速道路における交通容量とは、道路の線形、勾配、幅員など、道路の構造によって定まる道路条件および制限速度、車種構成など、車両や運転者によって定まる交通条件が与えられた場合、1 車線または道路断面における 1 時間に通過し得る車両の最大数を指す。日本において、道路の線形や勾配が理想に近い場合の高速道路の交通容量の観測値は、1 車線当たり 2200 [pcu/h] 程度である⁽¹⁾。ここで、pcu (passenger car unit) とは乗用車換算台数であり、様々な車種の台数を車種構成に関係なく、すべて乗用車であった場合の台数に換算した値を示す。

交通量が交通容量に達した場合の密度を臨界密度、速度を臨界速度という。このような交通状態では車線変更や追い越しが不可能になり、車両の速度分布は小さくなる。さらに交通容量を超えて車両が道路に流入すると、密度の増加と速度の低下を生じ、道路は渋滞状態となって交通流は不安定となる。

このような渋滞区間では速度変動が大きいため、密度が疎の部分と密の部分を生じ、さらにこの疎密波が下流側から上流側へ伝搬していく現象を生ずることがある。これをアコーディオン現象という。第 2.2 図は、高速道路上の特定区間 (例えば、数百 [m] ごとの区間) において、区間内に存在する車両の平均速度を 1 分ごとに計測したデータの一例であるが、疎密波が伝搬してゆく様子がよく示されている。



※各マスの色が濃いほど平均速度が低いことを表している。

第2.2図 高速道路におけるアコーディオン現象の例（首都高速道路）

2.2.3 車頭間隔

連続して走行する2台の車両前部の間の距離または時間間隔を、車頭間隔という。車頭間隔は、高速道路における追い越しや合流の際、運転者の判断基準となるパラメータのひとつと考えられる。

(1) 車頭距離

ある時刻に観測される車両前部の間の距離を車頭距離という。特定道路区間内に存在する通過車両 n [台] についての車頭距離をそれぞれ S_i [m] ($i = 1, 2, \dots, n$) とすると、密度 K は次式のように表すことができる。

$$K = \frac{n}{\sum_{i=1}^n S_i} \times 1000 \quad (2.6)$$

一般に、車両の速度が大きくなると密度 K は小さくなり、車頭距離は大きくなる。日本における速度と最小車頭距離の関係を求めた例⁽²⁾を第2.1表に示す。

第2.1表 速度と最小車頭距離の関係例⁽²⁾

速度 V [km/h]	10	20	30	40	50	60
車頭距離 h [m]	7.3	9.4	11.9	14.8	18.2	22.0
速度 V [km/h]	70	80	90	100	110	120
車頭距離 h [m]	26.3	31.0	36.1	41.7	47.7	54.2

近似式： $h = 5.7 + 0.14V + 0.0022V^2$ による。

(2) 車頭時間

特定地点を車両の前部が通過する時間差を車頭時間という。第2.3図に日本の高速道路で観測