

速度分布の特性よりみた道路交通流の解析

ANALYSIS OF ROAD TRAFFIC FLOW BASED ON THE CHARACTERISTICS OF SPEED DISTRIBUTIONS

高 田 弘*

By Hiroshi Takata

1. ま え が き

道路の設計，計画あるいは交通の管理，規制に関する諸問題を解決するために行なわれる交通調査は従来台数（交通量，出入台数，滞留台数等）のみの調査，またはOD調査が主体であったが，最近これと併行して交通流の速度特性に関する調査がしばしば行なわれるようになった。

道路上を車がいかに流れるか，またはいかに流すかという点を前提として考えるならば，道路交通流はその量的な性格のみならず，速度に関する特性を明らかにして始めてその実態を把握できるものであろう。

しかし道路交通流の速度特性に関する調査（実測）および実測結果の解析は従来必ずしも統一された方法と理論にもとづいて行なわれていないのが実状であり，それらの基本的な性格についても不明確なまま論議されているように思われる。

本研究では交通流の速度および速度分布に関する特性を最も基本的に考察するため，それらの測定方法，速度の時間分布および空間分布の性格を検討するとともに，これまであまり着目されなかった走行車の瞬間速度の変動という性格を考慮に入れて交通流の実態を明らかにしようと試みたものである。

すなわちまず，

- a. 速度の時間分布と空間分布の基本的関係
- b. 速度および速度分布の測定方法に関する問題
- c. 走行車の速度変動が交通流の特性におよぼす影響

以上の各事項についてそれぞれ解析を行ないそれらの理論的な諸関係を考察し，あわせておもに国道1号，16号における実際の交通流測定結果による裏づけを行なったものである。

また定常速度という新しい概念を導入し，これと従来測定された速度特性との関係を明らかにし，特に交通流内で行なわれる追越現象との相関について検討を加えたが，この結果，交通流の数量的表現の基準として交通密度，およびこれに対応する速度の空間分布を考慮することは交通現象を表現するのに好都合であり，また理論的にも取り扱いやすいことを明らかにすることができたのみならず，各種の速度特性に関する測定結果を共通の場で

比較論議するための理論的足がかりを提示することができたものと思う。

2. 速度および速度分布の測定

(1) 速度の測定

道路交通流の速度特性に関する調査（実測）はその目的に応じて従来いろいろな器材を用いて各種の方法で行なわれて来たが，それらの相互関係については十分明らかでない点が多く，むしろ不統一に各方法が採用されている。これらをその測定される速度の性格あるいは測定場所という面から分類するとつぎのようになる。

a) 走行車の速度測定（車上測定） 試験車を使用しある区間を走行した場合の区間速度または走行中の速度変化を速度分類計，スピードメーター，タコグラフ等によって測定し特定目的に供するほか，その時の交通流全体の速度特性をも類推しようとするものである。

b) 特定地点の地点速度測定 交通流がある一地点を通過する際の地点速度を通過車全部について実測し，その地点あるいはこれに類似した一定区間の速度特性を求めるものでレーダースピードメーターによる実測はこれに当たるが，連続（隔時）撮影による地上写真の利用や，記録計を使用した場合も速度計算のための基準区間を微小にとれば地点速度と見なされる。

c) 特定区間の区間速度測定 プレートナンバー法等によって一定区間における各車の進入進出時刻を測定し，この区間の区間速度を求めるもので，その間における各車の速度変動は無視されることになる。

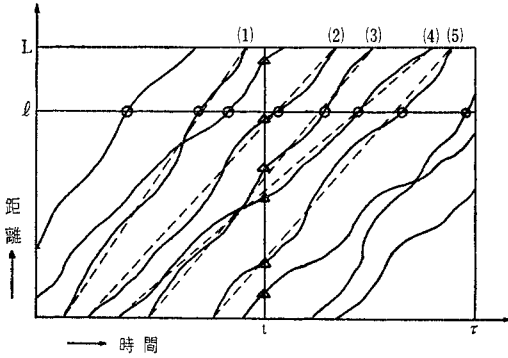
d) 区間内にある車の瞬間速度測定 航空写真を利用して特定道路区間の隔時撮影を行ない，撮影時隔とその間の車の移動距離とから区間内走行中の各車についてその速度を求めるもので撮影時隔が微小であれば瞬間的な速度と見なすことができる。b.が特定地点の通過速度であるのに対して，これは特定瞬間の速度でその位置（地点）とは無関係である。したがって両者とも同じく瞬間的な速度であるが，前者を**地点速度**，後者を**瞬間速度**として区別することにする。

(2) 時間分布と空間分布

速度の測定結果は平均速度または速度分布として表現されることが最も多いが，図-1は上記の各種の測定法によって求められたいろいろな速度の特定の性格を示す

* 正会員 防衛大学校陸上防衛学教室 助教授

図-1 時間-距離図



ものである。すなわち走行中の車の速度は絶えず変動しているため、ある車の走行軌跡はこの時間-距離図では実線で示すような曲線として表わされる。したがって一地点 l で通過車の速度を測定すれば図に (○) で示す各速度が求められ、またある瞬間 t に区間 L 内にある車の瞬間速度を測定すれば (△) で示すものが求められる。これに対して区間 L の進出入時刻から求められた区間速度は点線で示すような勾配に相当し、この区間の終点で τ 時間にわたって観測すれば (1)~(5) 車が集計されることになる。

このようにして求められた結果から平均速度または速度分布を計算すれば、これらはそれぞれつぎのように表現される。

- a. 地点 l における時間平均速度および地点速度の時間分布
- b. 時間 t における空間平均速度および瞬間速度の空間分布
- c. 区間 L における平均区間速度および区間速度の時間分布

すなわち今、地点 l および時間 t で測定した速度 v をそれぞれ $v_1 \sim v_c$ の各クラスに分類し、クラスごとの台数を地点の場合 $q_1 \sim q_c$ 、時間の場合 $k_1 \sim k_c$ とする。これを

$$v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_c$$

$$q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_c$$

$$k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_c$$

として示すと、

$$Q = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^c q_i \dots (1)$$

$$\bar{v}_t = \frac{1}{\tau Q} \sum_{i=1}^c v_i q_i \dots (2)$$

$$K = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^c k_i \dots (3)$$

$$\bar{v}_s = \frac{1}{KL} \sum_{i=1}^c v_i k_i \dots (4)$$

ただし、 τ : 測定時間
 L : 測定区間長

- Q : 交通量
- K : 交通密度
- \bar{v}_t : 時間平均速度
- \bar{v}_s : 空間平均速度

また速度の時間分布、空間分布はそれぞれつぎの~に示される。

$$g_{ti} = \frac{q_i}{Q\tau} \dots (5)$$

$$g_{si} = \frac{k_i}{KL} \dots (6)$$

ただし、 g_{ti} : 時間分布における速度 v_i なる車の比率
 g_{si} : 空間分布における速度 v_i なる車の比率
 このように時間分布は地点の通過交通量に対応し、空間分布は区間内の交通密度に対応する。もちろんある一地点における道路施設の効率という面から通過量と速度を問題にするならば、交通量と時間分布が対象となるが、交通流そのものの性格からいえば、むしろ交通密度および空間分布の方が重要な意義を持っている。

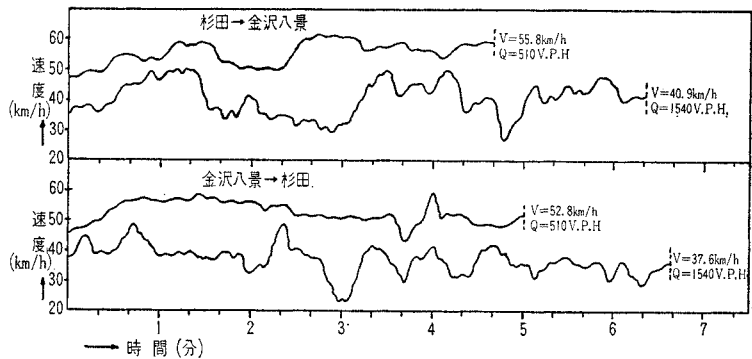
つまり交通流内を走行する各運転者にとって、自己の速度を調節し、流れに適応させるための基準となるのは決して一つの地点における交通量の要素ではなく、走行中に運転者の体験する対向車線および自車線の交通密度的な要素であって、この意味から交通流の理論的解析の足掛りとして交通密度または速度の空間分布がより重要な意義を持つものと思われる。

3. 走行車の速度変動と区間速度

同じ構造の道路区間が十分長く続く場合でも、そこを走る車の瞬間的な速度は絶えず変動を続けている。これは微細な道路条件の変化(たとえば路面の凹凸)および運転者個人による自然変動のほか、そこを走る他の車の影響つまり交通条件の変化にもとづくもので、これについては特につぎのような原因が考えられる。

- a. 前車に接近する過程における変速
- b. 前車に追従走行中における変速
- c. 追越および被追越に起因する変速
- d. 対向車とのすれ違いによる変速

図-2 速度の時間変動に関する実測結果(国道16号)



これらの原因が総合されて走行中の車はかなり複雑な速度変動を示すことになる。図-2 は国道 16 号のほぼ道路条件一定の区間をえらび、交通量 510 V.P.H. および 1540 V.P.H. の時間にそれぞれ走行した結果を示すもので、瞬間速度は常に変動を続けており、特に交通量の多い場合には細かい速度変動の多いことがうかがえる。

この測定は小型乗用車を使用し車輪の回転数をトランジスター カウンターによって 1 秒ごとに記録し、これを速度に換算したものである。

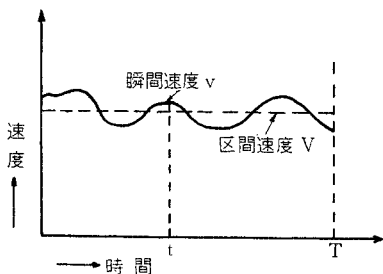
そこでまず道路条件一定の区間 (L) について交通量一定の時間にこの路線を走行する 1 台の車に着目する。この車が区間 (L) を走るに要する時間を T とすれば

$$V = \frac{L}{T} \dots\dots\dots(7)$$

ただし、V: 区間速度

しかしこの車の瞬間速度は前述のように変動するからこれを区間内のある一地点で測定した場合(地点速度)、またはある一瞬間に測定した場合(瞬間速度)にはそれらは必ずしも V に等しくない。今この車の瞬間速度について走行時間に応じた変動を考えて見る(図-3)。

図-3 速度の時間変動



この場合任意の一瞬間に測定されたこの車の瞬間速度は一種の確率変数と見ることができる。したがってその密度関数を $\phi_V(v)$ とすればその平均および分散はつぎのように示される。

$$\int_0^{\infty} v \phi_V(v) dv = \frac{1}{T} \int_0^{\infty} v T \phi_V(v) dv = \frac{L}{T} = V \dots\dots\dots(8)$$

$$\psi^2(V) = \int_0^{\infty} (v - V)^2 \phi_V(v) dv \dots\dots\dots(9)$$

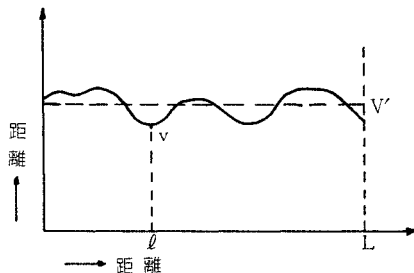
ただし、 $\phi_V(v)$: 区間速度 V なる車の速度変動(時間変動)に関する密度関数

$\psi^2(V)$: 区間速度 V なる車の速度変動(時間変動)の分散

したがってこの車の区間速度 V は区間内を走行するこの車の速度を任意の一瞬に測定した場合、つまり瞬間速度の期待値に等しい。

つぎにこの車の地点速度の変化を距離に対応して考え

図-4 速度の地点変動



て見る。つまり各地点ごとに地点速度を測定したものとする(図-4)。この場合任意の一地点で測定された地点速度 v もまた一種の確率変数と見ることができ、当然それは $\phi_V(v)$ とは異なる。これを $\phi_{V'}(v)$ として示す。

この平均および分散は

$$V' = \int_0^{\infty} v \phi_{V'}(v) dv \dots\dots\dots(10)$$

$$\psi^{2'}(V) = \int_0^{\infty} (v - V')^2 \phi_{V'}(v) dv \dots\dots\dots(11)$$

ただし、 $\phi_{V'}(v)$: 区間速度 V なる車の速度変動(地点変動)に関する密度関数

$\psi^{2'}(V)$: 区間速度 V なる車の速度変動(地点変動)の分散

V' および $\psi^{2'}$ はこの車の地点速度を区間内の任意の一地点で測定した場合における測定値の期待値および分散を示し V' は V とは異なりこれを直接測定することはむずかしい。

すなわち航空写真を利用して走行車の瞬間速度を測定するような場合は V, ψ^2 に対応し、従来よく行なわれているように区間内のある一地点で地点速度を測定する場合は V', $\psi^{2'}$ に対応する。

今この両者の相関について考察して見る。この車が $v \sim v + dv$ なる速度でこの区間内を走行した距離は

$$VT \phi_{V'}(v) dv = vT \phi_V(v) dv \dots\dots\dots(12)$$

$$\therefore \phi_{V'}(v) dv = \frac{v}{V} \phi_V(v) \dots\dots\dots(13)$$

したがって、

$$V' = \int_0^{\infty} v \phi_{V'}(v) dv = \frac{1}{V} \int_0^{\infty} v^2 \phi_V(v) dv = \frac{1}{V} \{V^2 + \psi^2(V)\} = V \{1 + \lambda^2(V)\} \dots\dots(14)$$

ただし、 $\lambda(V)$: 速度の時間変動の変動係数 = $\frac{\psi(V)}{V}$

すなわち、この車の時間に関する速度変動の変動係数が大きいほど、地点速度の期待値は瞬間速度の期待値に比較して大である。

また、

$$\int_0^{\infty} \phi_V(v) dv = \int_0^{\infty} \frac{V}{v} \phi_{V'}(v) dv = 1$$

なる関係より

$$V = \frac{1}{\int_0^\infty \frac{1}{v} \phi_V(v) dv} \dots\dots\dots(15)$$

つまり区間速度 V は区間内における各地点の地点速度 v の調和平均である。

4. 速度の空間分布

上述の理論では特定の車のみを問題にしたが、つぎに多くの車について速度を実測し統計的資料を求めるような場合について考え、まず瞬間速度の空間分布に関し、走行車の速度変動という特性を考慮に入れて検討する。

今区間 (L) における瞬間速度の空間分布を表現するためにつぎの記号を使用する。

- $g_s(v)$: 瞬間速度の空間分布に関する密度関数
- \bar{v}_s : 瞬間速度についての空間平均速度
- σ_s^2 : 瞬間速度の空間分布の分散
- $G_s(V)$: 区間速度の空間分布に関する密度関数
- \bar{V}_s : 平均区間速度 (空間平均)
- ω_s^2 : 区間速度の空間分布の分散

区間速度の空間分布という考え方はやや理解しにくい点もあるが、区間内を走行する車はその瞬間速度のほかにもその区間を通じた平均速度 (区間速度) を個有値として持つものと考えればよい。

換言すれば、式(8)に示すように区間速度 V は瞬間速度 v の平均値であるから、車の速度変動が全くなくすべての車はその区間内をこの平均速度で定速走行しているものと考えれば、この時の瞬間速度の空間分布はすなわち区間速度の空間分布となる。

そこで

$$g_s(v) = \int_0^\infty G_s(V) \phi_V(v) dV \dots\dots\dots(16)$$

なる関係があるから、

$$\begin{aligned} \bar{v}_s &= \int_0^\infty v g_s(v) dv = \int_0^\infty G_s(V) \int_0^\infty v \phi_V(v) dv dV \\ &= \int_0^\infty V G_s(V) dV = \bar{V}_s \dots\dots\dots(17) \end{aligned}$$

すなわち空間分布を考えるとその平均値は瞬間速度の場合も区間速度の場合も等しく、これは当然のことであろう。

つぎにこれらの分布形の一般的な性格を明らかにするためそれぞれ平均値のまわりのモーメントを求めておく。

まずある1台の車の速度の時間変動に関しては、

$$m_n(V) = \int_0^\infty (v - V)^n \phi_V(v) dv \dots\dots\dots(18)$$

ただし、 $m_n(V)$: 瞬間速度の期待値 (区間速度 V) まわりの n 次のモーメント

もちろん

$$m_0 = 1, m_1 = 0, m_2 = \psi^2(V) \dots\dots\dots(19)$$

つぎに測定された各車についての瞬間速度の空間分布を考えると、

$$\mu_n = \int_0^\infty (v - \bar{v}_s)^n g_s(v) dv \dots\dots\dots(20)$$

ただし、 μ_n : 空間平均速度 \bar{v}_s まわりの n 次のモーメント

速度変動の場合と同じく

$$\mu_0 = 1, \mu_1 = 0, \mu_2 = \sigma_s^2 \dots\dots\dots(21)$$

式(16)、式(20)の関係より

$$\begin{aligned} \mu_n &= \int_0^\infty G_s(V) \int_0^\infty (v - \bar{v}_s)^n \phi_V(v) dv dV \\ &= \int_0^\infty G_s(V) \int_0^\infty (v - V + V - \bar{V}_s)^n \phi_V(v) dv dV \\ &= \sum_{r=0}^n \binom{n}{r} \int_0^\infty (V - \bar{V}_s)^{n-r} G_s(V) \\ &\quad \times \int_0^\infty (v - V)^r \phi_V(v) dv dV \\ &= \sum_{r=0}^n \binom{n}{r} \int_0^\infty (V - \bar{V}_s)^{n-r} m_r(V) G_s(V) dV \dots\dots\dots(22) \end{aligned}$$

この式をさらに変形すると、

$$\begin{aligned} \mu_n &= \int_0^\infty (V - \bar{V}_s)^n m_0(V) G_s(V) dV \\ &\quad + \binom{n}{1} \int_0^\infty (V - \bar{V}_s)^{n-1} m_1(V) G_s(V) dV \\ &\quad + \sum_{r=2}^n \binom{n}{r} \int_0^\infty (V - \bar{V}_s)^{n-r} m_r(V) G_s(V) dV \\ &= r_n + \sum_{r=2}^n \binom{n}{r} \int_0^\infty (V - \bar{V}_s)^{n-r} m_r(V) G_s(V) dV \dots\dots\dots(23) \end{aligned}$$

r_n は区間速度の \bar{V}_s まわりの n 次のモーメントを示し、つぎのように表わされる。

$$r_n = \int_0^\infty (V - \bar{V}_s)^n G_s(V) dV \dots\dots\dots(24)$$

μ_n について2次のモーメントを考えると、

$$\mu_2 = r_2 + \int_0^\infty m_2(V) G_s(V) dV \dots\dots\dots(25)$$

前述の記号を用いて、

$$\sigma_s^2 = \omega_s^2 + \bar{\psi}^2 \dots\dots\dots(26)$$

ただし、 $\bar{\psi}^2$: この区間内における各車の速度変動分散の平均値

もし2次のモーメント (分散) のみに限定して論議するならばつぎのようにしてこの関係を求めることもできる。

$$\begin{aligned} \bar{\psi}^2 &= \int_0^\infty G_s(V) \int_0^\infty (v - V)^2 \phi_V(v) dv dV \\ &= \int_0^\infty G_s(V) \left[\int_0^\infty v^2 \phi_V(v) dv - V^2 \right] dV \\ &= \int_0^\infty G_s(V) \int_0^\infty v^2 \phi_V(v) dv dV - (\omega_s^2 + \bar{V}_s^2) \end{aligned}$$

しかるに式(16)より

$$\int_0^{\infty} v^2 \phi_V(v) G_s(V) dV = v^2 g_s(v)$$

したがって

$$\bar{\psi}^2 = \int_0^{\infty} v^2 g_s(v) dv - (\omega_s^2 + \bar{V}_s^2)$$

$$= (\sigma_s^2 + \bar{v}_s^2) - (\omega_s^2 + \bar{V}_s^2) = \sigma_s^2 - \omega_s^2$$

すなわち瞬間速度と区間速度の分散の差は各車がこの区間を走行中における速度変動の分散の平均値に等しく走行中の速度変動がはげしいほど両者の差は大である。

5. 速度の時間分布

従来行なわれている観測のように区間内のある一地点を通過する各車についてそれらの地点速度を測定し、その時間分布を求める場合に関して検討してみる。

空間分布の場合と同じようにこれらについてつぎのような記号を使用する。

- $g_t(v)$: 地点速度の時間分布に関する密度関数
- \bar{v}_t : 地点速度に関する時間平均速度
- σ_t^2 : 地点速度の時間分布の分散
- $G_t(V)$: 区間速度の時間分布に関する密度関数
- \bar{V}_t : 平均区間速度 (時間平均)
- ω_t^2 : 区間速度の時間分布の分散

この場合距離に関する速度変動について求めた期待値 V' を対象として $G_t(V')$, \bar{V}_t' または $\omega_t'^2$ のようにその分布を問題にするならば、地点速度 v とこの速度 V' との関係は空間分布における瞬間速度と区間速度 V の関係と全く同様に求めることができるが、実際に測定される区間速度はあくまで V であって V' はいわば仮空の概念であるからここでは地点速度と区間速度 V というやや性格の異なる両者の相関について考察する。

まず時間分布と空間分布との関係については地点速度 $v \sim v + dv$ の範囲では次の関係を仮定してよいであろう。

$$vKG_s(v)dv = Qg_t(v)dv \dots\dots\dots(27)$$

またよく知られた関係として

$$Q = K\bar{v}_s \dots\dots\dots(28)$$

したがって

$$g_t(v) = \frac{v}{\bar{v}_s} g_s(v) \dots\dots\dots(29)$$

これより

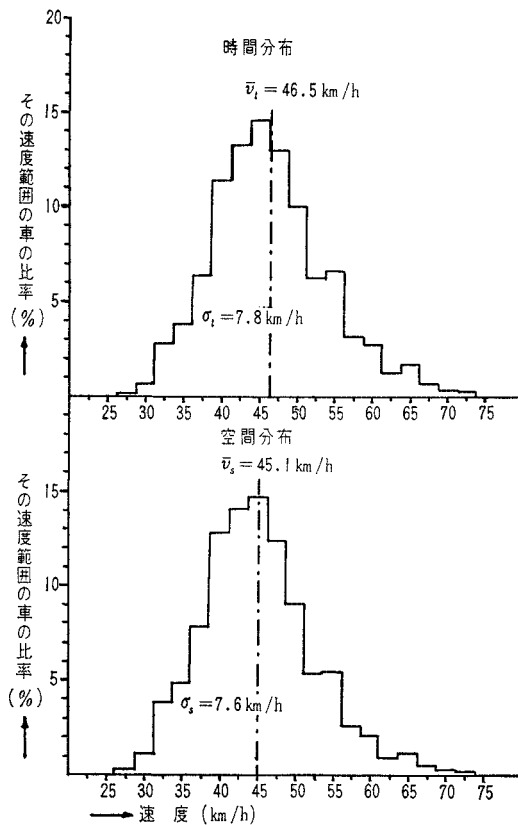
$$\bar{v}_t = \int_0^{\infty} v g_t(v) dv = \frac{1}{\bar{v}_s} \int_0^{\infty} v^2 g_s(v) dv$$

$$= \frac{1}{\bar{v}_s} (\bar{v}_s^2 + \sigma_s^2) = \bar{v}_s + \frac{\sigma_s^2}{\bar{v}_s} \dots\dots\dots(30)$$

これは 1952 年 J.G. Wardrop 氏によって求められたものと同じ結果で、つまり時間平均速度と空間平均速度の差は空間分布の分散に依存することを示したものである。

図-5 は国道 16 号において同時に時間分布と空間分布を測定した結果を 2.5 km/h ごとに区分したヒストグ

図-5 時間分布と空間分布 (国道 16 号, 乗用車)



ラムとして示したもので、このように平均速度にくらべて空間分布の分散の小さい交通流においては両者の差はあまりはなはだしくはない。

つぎに区間速度の場合については区間内における各車の速度変動を Smooth Out して考えるだけで、地点(瞬間)速度の場合と全く同様の関係が成立するから、

$$G_t(V) = \frac{V}{\bar{V}_s} G_s(V) \dots\dots\dots(31)$$

したがって式 (30) と同じようにして

$$\bar{V}_t = \frac{1}{\bar{V}_s} \int_0^{\infty} V^2 G_s(V) dV = \bar{V}_s + \frac{\omega_s^2}{\bar{V}_s} \dots\dots(32)$$

また \bar{v}_t と \bar{V}_t の関係について式 (32), (26) より

$$\bar{v}_t = \bar{V}_s + \frac{\sigma_s^2}{\bar{V}_s} = \bar{V}_s + \frac{\omega_s^2}{\bar{V}_s} + \frac{1}{\bar{V}_s} \int_0^{\infty} \psi^2(V) G_s(V) dV$$

$$= \bar{V}_t + \frac{\bar{\psi}^2}{\bar{V}_s} \dots\dots\dots(33)$$

この関係はつぎのようにして求めることもできる。すなわち、

$$g_t(v) = \int_0^{\infty} G_t(V) \phi_V'(v) dV \dots\dots\dots(34)$$

これより、

$$\bar{v}_t = \int_0^{\infty} v g_t(v) dv = \int_0^{\infty} G_t(V) \int v \phi_V'(v) dv dV$$

$$= \int_0^{\infty} V' G_t(V) dV$$

しかるに、式(14)、(31)の関係があるから、

$$\begin{aligned} \bar{v}_t &= \int_0^\infty V(1+\lambda^2)G_t(V)dV \\ &= \bar{V}_t + \int_0^\infty \frac{v^2(V)}{V} G_t(V)dV \\ &= \bar{V}_t + \frac{1}{\bar{V}_s} \int_0^\infty v^2(V)G_s(V)dV = \bar{V}_t + \frac{\bar{v}_s^2}{\bar{V}_s} \end{aligned}$$

すなわち空間分布の場合と異なり地点速度の時間平均は区間速度の時間平均と等しくなく、その差は空間的に見た場合の速度変動分散の平均値に依存する。

つぎに空間分布の場合と同じようにそれぞれの分布形について平均値まわりのモーメントを考えて見る。

まず地点速度の時間分布については、

$$\mu_n' = \int_0^\infty (v - \bar{v}_t)^n g_t(v) dv \dots\dots\dots(35)$$

ただし、 μ_n' ：時間平均速度 \bar{v}_t まわりの n 次のモーメント

式(30)、(20)の関係を利用してこれを計算すると、

$$\begin{aligned} \mu_n' &= \frac{1}{\bar{v}_s} \int_0^\infty \left(v - \bar{v}_s - \frac{\sigma_s^2}{\bar{v}_s} \right)^n v g_s(v) dv \\ &= \frac{1}{\bar{v}_s} \sum_{r=0}^n (-1)^{n-r} \binom{n}{r} \left(\frac{\sigma_s^2}{\bar{v}_s} \right)^{n-r} \\ &\quad \times \int_0^\infty (v - \bar{v}_s)^r v g_s(v) dv \\ &= \frac{1}{\bar{v}_s} \sum_{r=0}^n (-1)^{n-r} \binom{n}{r} \left(\frac{\sigma_s^2}{\bar{v}_s} \right)^{n-r} (\mu_{r+1} + \bar{v}_s \mu_r) \dots\dots\dots(36) \end{aligned}$$

つぎに区間速度については、

$$r_n' = \int_0^\infty (V - \bar{V}_t)^n G_t(V) dV$$

ただし、 r_n' ：区間速度 V の \bar{V}_t まわりの n 次のモーメント

式(32)、(24)の関係を考慮して前と同じく計算すると、

$$r_n' = \frac{1}{\bar{V}_s} \sum_{r=0}^n (-1)^{n-r} \binom{n}{r} \left(\frac{\omega_s^2}{\bar{V}_s} \right)^{n-r} (r_{r+1} + \bar{V}_s r_r) \dots\dots\dots(37)$$

そこで式(36)、(37)よりおのおの σ_t^2, ω_t^2 を求める。

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 = \mu_2' &= \frac{1}{\bar{v}_s} \left\{ \left(\frac{\sigma_s^2}{\bar{v}_s} \right)^2 (\mu_1 + \bar{v}_s \mu_0) \right. \\ &\quad \left. - 2 \left(\frac{\sigma_s^2}{\bar{v}_s} \right) (\mu_2 + \bar{v}_s \mu_1) + \mu_3 + \bar{v}_s \mu_2 \right\} \end{aligned} \dots\dots\dots(43)$$

しかるに式(21)より

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 &= \frac{1}{\bar{v}_s} \left\{ \left(\frac{\sigma_s^2}{\bar{v}_s} \right)^2 \bar{v}_s - \frac{2(\sigma_s^2)^2}{\bar{v}_s} + \mu_3 + \bar{v}_s \sigma_s^2 \right\} \\ &= \sigma_s^2 \left\{ 1 - \left(\frac{\sigma_s}{\bar{v}_s} \right)^2 \right\} + \frac{\mu_3}{\bar{v}_s} \dots\dots\dots(38) \end{aligned}$$

区間速度についても同様にして

$$\omega_t^2 = \omega_s^2 \left\{ 1 - \left(\frac{\omega_s}{\bar{V}_s} \right)^2 \right\} + \frac{r_3}{\bar{V}_s} \dots\dots\dots(39)$$

すなわちいずれも空間分布の3次のモーメントが関係する。

6. 空間分布の測定

空間分布の測定は航空写真を利用すれば簡単にできるが、通常の測定は地上で時間分布を対象として行なわれるので、ここではこのような測定結果より空間分布を求める場合の諸問題について考察する。

上記のように空間分布は時間分布にくらべて理論的に取り扱いやすい性格を持ち、たとえば \bar{v}_t と \bar{V}_t の関係および σ_t^2 と ω_t^2 の関係が式(33)および式(39)からわかるようになり複雑なものであるのに反して \bar{v}_s と \bar{V}_s の関係および σ_s^2 と ω_s^2 の関係は式(17)、(26)からわかるように簡単なものである。これは区間速度そのものが走行時間を基準として求められており、地点速度とは異質のものであるため、この意味から区間速度の空間分布という概念を導入すればこれらの関係をよく説明しうるものと思われる。

まず区間速度の測定にはそれらの車の区間走行所要時間が測定されるから、今 τ 時間にわたって通過車の走行時間 T が測定されたものとするれば交通密度 K は

$$K = \frac{n}{\tau L} \int_0^\infty T H_t(T) dT = \frac{Q}{L} T_{av} \dots\dots\dots(40)$$

ただし、 $H_t(T)$ ：区間走行所要時間 T の分布を示す密度関数

n ： τ 時間内の観測台数

$$Q = \frac{n}{\tau}$$

T_{av} ：区間走行所要時間の平均値(時間平均)

これより

$$\bar{V}_s = \frac{Q}{K} = \frac{L}{T_{av}} \dots\dots\dots(41)$$

また式(31)の関係より

$$G_s(V) = \frac{\bar{V}_s}{V} G_t(V) = \frac{T}{T_{av}} G_t(V) \dots\dots\dots(42)$$

ただし、 T ：区間速度 V なる車の区間走行所要時間
つぎに分散 ω_s^2 については式(32)より

$$\omega_s^2 = \bar{V}_s (\bar{V}_t - \bar{V}_s) = \frac{L^2}{T_{av}} \left\{ \left(\frac{1}{T} \right)_{av} - \frac{1}{T_{av}} \right\} \dots\dots\dots(43)$$

ただし、 $\left(\frac{1}{T} \right)_{av}$ ：区間走行所要時間の逆数の平均値
 $\left(= \frac{\bar{V}_t}{L} \right)$

このように空間分布は走行所要時間を基準として計算することができる。

また地点速度の時間分布として測定した結果から、瞬間速度の空間分布を求めるには式(29)より

$$\bar{v}_s = \frac{1}{\int_0^\infty \frac{1}{v} g_t(v) dv} = \frac{1}{\left(\frac{1}{v} \right)_{av}} \dots\dots\dots(44)$$

したがって

$$f_s(v) = \frac{1}{\bar{v}} \left(\frac{1}{v} \right)_{av} g_t(v) \dots\dots\dots (45)$$

ただし、 $\left(\frac{1}{v} \right)_{av}$: 地点速度の逆数の平均値(時間平均)

また

$$\sigma_s^2 = \bar{v}_s(\bar{v}_t - \bar{v}_s) = \frac{1}{\left(\frac{1}{v} \right)_{av}} \left\{ \bar{v}_t - \frac{1}{\left(\frac{1}{v} \right)_{av}} \right\} \dots\dots\dots (46)$$

もし瞬間速度の空間分布に正規性を仮定するならば空間平均速度まわりの3次のモーメント(μ_3)は0となり式(38)を利用することにより、時間分布が測定されておればそれらの計算結果から直接 \bar{v}_s, σ_s^2 を求めることもできる。すなわちまず式(38)より

$$\sigma_t^2 = \sigma_s^2 \left\{ 1 - \left(\frac{\sigma_s}{\bar{v}_s} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (47)$$

これを变形して

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 &= 3\sigma_s^2 + \bar{v}_s^2 - \left(\bar{v}_s + \frac{\sigma_s^2}{\bar{v}_s} \right)^2 = 3\sigma_s^2 + \bar{v}_s^2 - \bar{v}_t^2 \\ &= 3(\bar{v}_t \bar{v}_s - \bar{v}_s^2) + \bar{v}_s^2 - \bar{v}_t^2 \\ &= 3\bar{v}_t \bar{v}_s - 2\bar{v}_s^2 - \bar{v}_t^2 \end{aligned}$$

これをといて

$$\begin{aligned} \bar{v}_s &= \frac{1}{4} (3\bar{v}_t + \sqrt{\bar{v}_t^2 - 8\sigma_t^2}) \\ &= \frac{\bar{v}_t}{4} \left\{ 3 + \sqrt{1 - 8 \left(\frac{\sigma_t}{\bar{v}_t} \right)^2} \right\} \dots\dots\dots (48) \end{aligned}$$

これより \bar{v}_t, σ_t^2 がわかれば \bar{v}_s を計算する事ができる。

また

$$\bar{v}_t - \bar{v}_s = \frac{\bar{v}_t}{4} \left\{ 1 - \sqrt{1 - 8 \left(\frac{\sigma_t}{\bar{v}_t} \right)^2} \right\} \dots\dots\dots (49)$$

したがって

$$\begin{aligned} \sigma_s^2 &= \bar{v}_s(\bar{v}_t - \bar{v}_s) \\ &= \frac{\bar{v}_t^2}{16} \left\{ 3 + \sqrt{1 - 8 \left(\frac{\sigma_t}{\bar{v}_t} \right)^2} \right\} \left\{ 1 - \sqrt{1 - 8 \left(\frac{\sigma_t}{\bar{v}_t} \right)^2} \right\} \\ &= \frac{\bar{v}_t^2}{8} \left\{ 1 - \sqrt{1 - 8 \left(\frac{\sigma_t}{\bar{v}_t} \right)^2} + 4 \left(\frac{\sigma_t}{\bar{v}_t} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (50) \end{aligned}$$

表-1 は国道1号の直線平坦部分で各種の交通密度の場合について速度分布を実測した結果のうち、直接式(44), (46)の方法によって求めたものと、上記の方法によって時間分布の計算結果から求めた \bar{v}_s, σ_s^2 を比較したもので、空間平均速度は式(48)によって計算したものと実測値とはかなりよく一致しているが、分散については計算値の方がほとんど大きくなっている。これは式(38)からわかるように空間分布の3次のモーメント μ_3 が正の値をとることを意味し、これは交通流内を走行する小数の特に高速の車の影響が分布に表われているものと思われる。

ただこれらの差異はきわめて微小であるから実用的にはむしろ $\sigma_t = \sigma_s$ として十分であろう。

表-1 空間分布の計算(国道1号実測結果より)

実 測 値						計 算 値	
Q (VPH)	K (VPK)	\bar{v}_t (km/h)	σ_t^2 (km/h) ²	\bar{v}_s (km/h)	σ_s^2 (km/h) ²	\bar{v}_s (km/h)	σ_s^2 (km/h) ²
743	15.3	49.9	68.9	48.5	67.4	48.5	70.6
874	17.9	50.4	86.5	48.8	81.0	48.5	90.6
870	19.2	46.5	56.3	45.3	53.3	45.2	57.5
1120	24.4	47.3	53.3	46.1	54.8	46.1	54.6
1283	28.7	46.1	62.4	44.7	60.8	44.7	64.4
1425	34.5	42.4	46.3	41.3	43.6	41.3	47.3
1586	36.8	43.9	37.2	43.1	34.8	43.0	37.8

7. 定常速度と追越回数

これまで区間速度について各種の考察を行なったが、その区間長がいかに長くてもそれが有限であるかぎり、その道路交通条件に対してその車の区間速度は定常的なものとはいえない。すなわちある希望速度を持つ特定の車を考え、その車が同じ道路区間を同じ交通密度のときに数回往復したとしても、各区間速度は必ずしも等しくなく、おのおの違った値をとるのが普通であり、希望速度の高い車が必ず区間速度も早いものとは限らない。

これに対して今道路条件不変の無限に長い区間を考えこの区間における瞬間速度の変化を時間の関数と見ると

$$v = v(t)$$

そこで

$$U = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \dots\dots\dots (51)$$

このような仮空の速度を考え、この U をその道路、交通条件におけるその車の定常速度と呼ぶことにする。

定常速度についてはこれまでの区間速度の理論において区間長(走行時間)を無限大に考えただけであるから全く同じようにしてつぎのような諸関係が求められる。

$$\bar{U}_s = \int_0^\infty U F_s(U) dU = \bar{v}_s = \bar{V}_s \dots\dots\dots (52)$$

$$\psi^2(U) = \int_0^\infty (v - \bar{U}_s)^2 \phi_U(v) dv \dots\dots\dots (53)$$

$$\bar{\psi}^2 = \sigma_s^2 - \bar{V}^2 \dots\dots\dots (54)$$

ただし、 \bar{U}_s : 定常速度の空間平均

$F_s(U)$: 定常速度の空間分布に関する密度関数

$\phi_U(v)$: 定常速度 U なる車の速度変動を示す密度関数(定常状態)

$\psi^2(U)$: $\phi_U(v)$ に関する分散

σ_s^2 : 定常速度の空間分布の分散

$\bar{\psi}^2$: 定常状態における瞬間速度変動の分散の平均値(空間平均)

$$\text{すなわち } \bar{\psi}^2 = \int_0^\infty \psi^2(U) F_s(U) dU$$

このようにして定義された定常速度およびその分布は瞬間速度や区間速度の場合と異なりつぎのような性格を持つものと仮定してよいであろう。

a. 交通流内を走行している各車はその道路、交通条

件に応じて必ずそれぞれ一つの定常速度を個有値として持っている。

- b. その道路において自由走行時の定常速度の早い車はその道路の交通容量以下の交通量(密度)の場合やはり早い定常速度を持つ。すなわち $K=0$ で U_0 なる定常速度を持つ車が $K=K$ で U なる定常速度を持つとすれば

$$\int_0^{U_0} F_{s0}(U_0) dU_0 = \int_0^U F_s(U) dU \dots\dots\dots(55)$$

ただし、 $F_{s0}(U_0)$: 自由走行時の $F_s(U)$ を示す。

- c. その道路の交通量(密度)が容量に達すると追越が完全にできなくなるので $\rho_s^2=0$ となる。

このうち特に速度の分布と追越回数の関係についてはすでに星埜博士によってその基礎的考え方が示されているが、瞬間速度として測定された速度分布の分散はその中に速度変動に起因する速度のパラッキをあわせ含んでおり、交通容量に達した場合にもその分散は決して0になるものではなく分散の残存値が観測されるはずである。

これに対し定常速度のパラッキは必ず追越に直接関係するもので c. の仮定のように $\rho_s^2=0$ の状態をもってその道路の可能容量ということができよう。このことは速度が区間速度として測定された場合についても同様にいえることで区間が有限である限り、区間速度の大小がそのまま追越に直結するとは限らない。

したがって今ある区間 (L) で交通密度 K の場合単位時間当たりに行なわれる全追越回数 NL はつぎのように計算される。

$$NL = LK^2 \int_0^\infty F_s(U_i) \int_0^{U_i} (U_i - U_j) F_s(U_j) dU_j dU_i \dots\dots\dots(56)$$

ただし、 N : 単位時間、単位距離当たり全追越回数
もし $F_s(U)$ がつぎに示すように正規分布として表わされるならよく知られているように単位時間単位距離当たりの全追越回数は簡単に計算することができる。

$$F_s(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\rho_s} \exp\left(-\frac{(U - \bar{U}_s)^2}{2\rho_s^2}\right) \dots\dots\dots(57)$$

式 (56) より

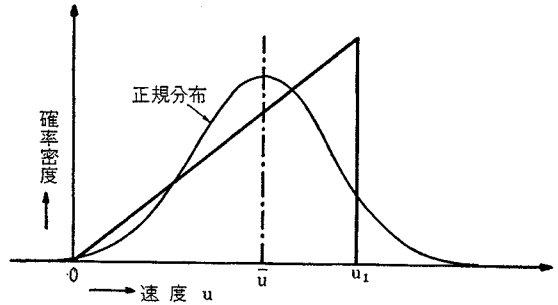
$$N = K^2 \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}\rho_s} \exp\left(-\frac{(U_i - \bar{U}_s)^2}{2\rho_s^2}\right) \times \int_0^\infty (U_i - U_j) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\rho_s} \exp\left(-\frac{(U_j - \bar{U}_s)^2}{2\rho_s^2}\right) dU_j dU_i = \frac{K^2}{\sqrt{\pi}} \rho_s \dots\dots\dots(58)$$

しかし $F_s(U)$ の形は各車の速度変動 $\phi_U(v)$ の形のいかんによって左右されるので瞬間速度の場合と異なり、かなり複雑なものであるうし、またもちろん正規性があるとは考えられない。

ただ追越回数 N のみを問題にする場合には正規性が

なくても式 (58) によって計算した結果が十分実用的精度を持つことをつぎのように直接的な方法で立証して見よう。すなわち極端な場合として図-6 に示すように定常速度の分布を三角形で仮定して見る。

図-6 三角分布



$$f(u) = \alpha u \quad (0 \leq u \leq u_1) \dots\dots\dots(59)$$

ただし、 $f(u)$: 速度 u の分布を示す密度関数
 α : 定数

まず

$$\int_0^{u_1} f(u) du = \int_0^{u_1} \alpha u du = 1$$

なる関係より

$$\alpha = \frac{2}{u_1^2} \dots\dots\dots(60)$$

また

$$a = \int_0^{u_1} u f(u) du = \int_0^{u_1} u^2 \alpha du = \frac{u_1^3}{3} \alpha = \frac{2}{3} u_1 \dots\dots\dots(61)$$

さらに

$$\sigma^2 = \int_0^{u_1} (u - a)^2 f(u) du = \int_0^{u_1} u^2 f(u) du - a^2 = \frac{1}{4} \alpha u_1^4 - a^2 = \frac{1}{18} u_1^2$$

$$\therefore u_1 = 3\sqrt{2}\sigma \dots\dots\dots(62)$$

ただし、 a : 平均速度

σ^2 : 速度分布の分散

したがって追越回数 N は

$$N = K^2 \int_0^{u_1} f(u) \int_0^u (u - v) f(v) dv du = K^2 \alpha^2 \int_0^{u_1} u \int_0^u v(u - v) dv du = K^2 \alpha^2 \int_0^{u_1} \frac{u^4}{6} du = \frac{1}{30} K^2 \alpha^2 u_1^5 = \frac{2}{15} K^2 u_1 \dots\dots\dots(63)$$

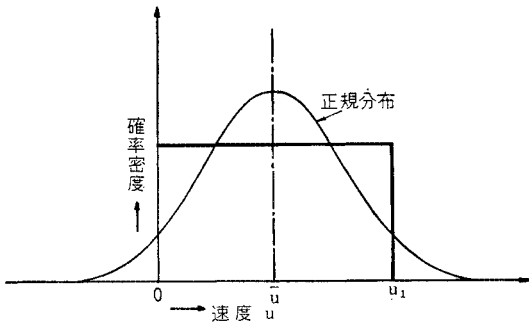
式 (62) を代入して

$$N = \frac{2\sqrt{2}}{5} K^2 \sigma \dots\dots\dots(64)$$

すなわちもしこの分布形に正規性があるものとして、式 (58) を用いて計算しても計算結果の誤差はわずか 0.2% にすぎない。

さらに極端な場合として図-7のような矩形分布を考
え前と同じような手法で全追越回数を計算するとつぎの
結果が得られる。

図-7 矩形分布



$$N = \frac{1}{\sqrt{3}} K^2 \sigma \dots\dots\dots (65)$$

したがってこのような極端な場合でも同じ分散と平均
を持つ正規分布として式(58)で計算した結果との誤差
は約2%である。

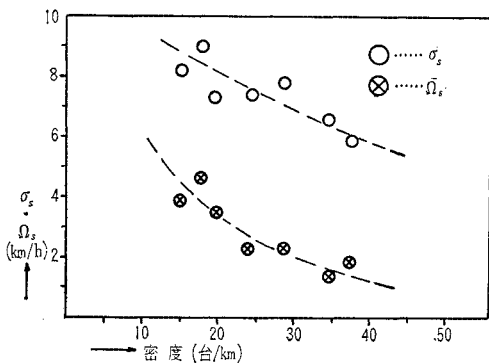
実際の定常速度の分布はこれらにくらべるとより正規
分布に近いことはもちろんであるから実用的には定常速
度分布の分散のみを知らば、式(58)より実際に行なわ
れる追越回数を十分の精度で知ることは可能である。

また逆にある区間内において単位時間に行なわれた追
越回数を知らばこれから式(58)を用いて定常速度の分
散 σ_s^2 を類推することもできる。

図-8に示す瞬間速度の分散 σ_s^2 は表-1の結果を四
角化したもので同時に測定地点を中心とした区間(1km)
で行なわれた追越回数を実測し、これより σ_s を逆算し
たものである。なおこの測定はいろいろの交通密度の時
間をえらんで、各1時間あて実測した資料の中から車種
構成の類似したものを抽出したものである。

この結果によれば $\sigma_s^2 - \sigma_s^2$ すなわち走行車の速度変
動に関する分散の平均値はその道路の実用容量に対応す
る交通密度の付近で最大値を示し、可能容量に近づくに
つれて次第に減少することがわかる。

図-8 σ_s, Ω_s 実測結果 (国道1号)

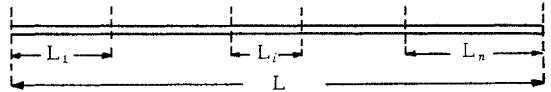


8. 道路条件の異なる区間についての計算

最後に区間(L)をさらに道路条件の異なる小区間
 $L_1 \sim L_n$ に分割し、それらのおのおのについて瞬間(地
点)速度や区間速度の分布が測定された場合、これらと
全区間Lに関する速度分布との関係について考察する。

今区間(L)が図-9に示すようなn個の小区間より
なるものとし、これまで使用した各記号に区間のNoを
示すサフィックスをつけてその小区間の速度特性を表現
する。

図-9 道路区間 L_i



たとえば

$$V \rightarrow V_i \quad g_s(v) \rightarrow g_{si}(v) \quad \bar{v}_s \rightarrow \bar{v}_{si}$$

したがってこのサフィックスのないこれまでの記号は
全区間(L)の速度特性を表わすものとする。

もちろん

$$L = \sum_{i=1}^n L_i \dots\dots\dots (66) \quad T = \sum_{i=1}^n T_i \dots\dots\dots (67)$$

そこで今つぎのように仮定する。

$$Q_i = Q \quad (i=1 \sim n) \dots\dots\dots (68)$$

すなわち各小区間の交通量はすべて相等しいと**した**も
のでこの場合各小区間ごとの交通密度 K_i は、

$$K_i = \frac{Q_i}{\bar{v}_{si}} = \frac{Q}{\bar{v}_{si}} \dots\dots\dots (69)$$

また

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L} K_i = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L} \cdot \frac{Q}{\bar{v}_{si}} \dots\dots\dots (70)$$

したがって

$$\bar{v}_s = \frac{Q}{K} = \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\bar{v}_{si}}} \dots\dots\dots (71)$$

同じく、式(17)より

$$\bar{V}_s = \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\bar{V}_i}} \dots\dots\dots (72)$$

つぎに区間速度Vなる車が各区間を走行した場合の
各小区間速度を $V_i (i=1 \sim n)$ とすれば、全区間につい
ての速度変動は次式のように表わされる。

$$\phi_V(v) = \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} \phi_{V_i}(v) \dots\dots\dots (73)$$

また

$$LK \frac{T_i}{T} G_s(V) dV = L_i K_i G_{si}(V_i) dV_i \dots\dots\dots (74)$$

式(28)より

$$G_s(V) dV = \frac{T}{T_i} \cdot \frac{L_i}{L} \cdot \frac{\bar{v}_s}{\bar{v}_{si}} G_{si}(V_i) dV_i \dots\dots\dots (75)$$

これらの関係および式(16)を利用して全区間(L)

についての瞬間速度の分散 σ_s^2 を計算すると

$$\begin{aligned} \sigma_s^2 &= \int_0^\infty (v - \bar{v}_s)^2 g_s(v) dv = \int_0^\infty v^2 g_s(v) dv - \bar{v}_s^2 \\ &= \int_0^\infty G_s(V) \int_0^\infty v^2 \phi_V(v) dv dV - \bar{v}_s^2 \\ &= \int_0^\infty G_s(V) \int_0^\infty v^2 \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} \phi_{V_i}(v) dv dV - \bar{v}_s^2 \\ &= \int_0^\infty G_s(V) \left[\sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} \{ \psi_i^2(V_i) + V_i^2 \} \right] dV - \bar{v}_s^2 \\ &= \int_0^\infty \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L} \cdot \frac{\bar{v}_s}{\bar{v}_{si}} \{ \psi_i^2(V_i) + V_i^2 \} G_{si}(V_i) dV_i - \bar{v}_s^2 \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L} \cdot \frac{\bar{v}_s}{\bar{v}_{si}} (\bar{\psi}_i^2 + \bar{V}_{si}^2 + \omega_{si}^2) - \bar{v}_s^2 \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L} \cdot \frac{\bar{v}_s}{\bar{v}_{si}} (\sigma_{si}^2 + \bar{v}_{si}^2) - \bar{v}_s^2 \dots \dots \dots (76) \end{aligned}$$

さらに区間速度の空間分布についての分散 ω_s^2 を求めるためまずある1台の車について速度変動の分散 $\psi^2(V)$ を求める。

$$\begin{aligned} \psi^2(V) &= \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} \int_0^\infty (v - V)^2 \phi_{V_i}(v) dv \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} \int_0^\infty (v - V_i + V_i - V)^2 \phi_{V_i}(v) dv \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} \{ \psi_i^2(V_i) + (V_i - V)^2 \} \dots \dots (77) \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} \bar{\psi}^2 &= \int_0^\infty \psi^2(V) G_s(V) dV \\ &= \int_0^\infty \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} \{ \bar{\psi}_i^2(V_i) + (V_i - V)^2 \} G_s(V) dV \\ &= \int_0^\infty \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L} \cdot \frac{\bar{v}_s}{\bar{v}_{si}} \psi_i^2(V_i) G_{si}(V_i) dV_i \\ &\quad + \int_0^\infty \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} (V_i - V)^2 G_s(V) dV \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L} \frac{\bar{v}_s}{\bar{v}_{si}} \bar{\psi}_i^2 \\ &\quad + \int_0^\infty \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} (V_i - V)^2 G_s(V) dV \dots \dots (78) \end{aligned}$$

この式の右辺第2項は各車が区間(L)を走行した場合、各小区間ごとの区間速度の変動に関する分散の平均値を示すものである。これを

$$\bar{\xi}^2 = \int_0^\infty \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T} (V_i - V)^2 G_s(V) dV \dots \dots (79)$$

とすれば、式(26)、(76)、(78)より

$$\omega_s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L} \frac{\bar{v}_s}{\bar{v}_{si}} (\omega_{si}^2 + \bar{V}_{si}^2) - (\bar{V}_s^2 + \bar{\xi}^2) \dots \dots (80)$$

として表わされる。

なお各小区間の定常速度についてそれぞれ空間平均を \bar{U}_{si} 、空間分散を ω_{si}^2 として示すともちろん

$$\bar{U}_s = \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\bar{U}_{si}}} \dots \dots (81)$$

また単位時間に全区間において行なわれる全追越回数
は近似的に

$$NL \approx \sum_{i=1}^n L_i \cdot \frac{K_i^2}{\sqrt{\pi}} \omega_{si} \dots \dots (82)$$

これより全区間についての定常速度の分散を類推すると

$$\begin{aligned} \omega_s^2 &\approx \frac{N}{K^2} \sqrt{\pi} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L} K_i^2 \omega_{si}}{\left(\frac{Q}{L} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\bar{v}_{si}} \right)^2} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\bar{v}_{si}^2} \omega_{si}}{\frac{1}{L} \left(\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\bar{v}_{si}} \right)^2} \dots \dots (83) \end{aligned}$$

9. あとがき

今回の研究では走行車の速度変動という特性を考慮に入れて速度分布、あるいは追越等に関する道路交通流の基本的な諸問題に関して検討を試みたが、交通密度および空間分布の重要性、または時間分布との基礎的諸関係についてはかなり明らかにする事ができたものと思う。

ただこれらの理論の上に立って道路交通流に関する具体的諸問題を解決するような例を提示するまでには至らなかったが、将来交通調査の方法が統一され交通流の実態が同一の基盤に立って議論されるような方向に発展してゆくための基礎的役割を果たしうるものと思じる。

なおこのような面から道路交通流の解析を進めるには走行車の速度変化あるいは交通流測定器材そのものにより一層の改良発達が望まれることを付記しておく。

最後に本研究に当たりご指導を載いた名大毛利正光教授および終始ご協力とご指導を載いた防衛大学岸 尚助教授に対し心から感謝する次第である。

参考文献

- 1) Bureau of Public Roads : Highway Capacity Manual, pp. 27~45, 1950
- 2) J.G. Wardrop : "Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research", Proc. of the Institution of Civil Engrs, June 1952
- 3) 星 埜 和 : 道路交通量と走行速度の調査および両者の相互関係について、第6回日本道路会議論文集, pp. 613~616, 1961
- 4) 高速道路調査会 : 交通現象に影響をおよぼす諸要因について、1964
- 5) 高田 弘・岸 尚 : 走行速度の変動を考慮した道路交通流の基本性格について、第19回土木学会年次学術講演会概要, V, pp. 9-1, 1964
- 6) 宮本正三・高田 弘・栗本 譲 : 道路および交通条件の自動車走行速度と交通量におよぼす影響について、第7回日本道路会議論文集, pp. 929~934, 1963
- 7) 宮本正三・高田 弘 : 道路走行車の Acceleration Noise について、第7回日本道路会議論文集, pp. 954~956, 1963
- 8) 宮本正三・高田 弘 : 道路交通量と走行速度の調査および両者の相互関係について、第6回日本道路会議論文集, pp. 616~619, 1961

論文集への討議について

論文集編集委員会では、論文集に掲載した全論文に対しての討議を受付けておりますので、討議をされる方は下記の要項をご参照のうえ論文集編集委員会へてご提出下さい。

記

1. 討議は論文集掲載全論文を対象とします。
2. 討議の受付は論文集掲載後6ヵ月以内とします。
3. 討議原稿を提出するときは学会原稿用紙に必要事項を記入のうえ論文集編集委員会へてご提出下さい。
4. 討議原稿の取扱いは論文集編集委員会にご一任下さい。
5. 討議に関する問合せは論文集編集委員会へご連絡下さい。

昭 和 40 年 度 土 木 学 会 論 文 集 編 集 委 員

委員長	村上 永一	副委員長	栗津 清藏	委員	津野 和夫	委員	長谷川 鏡一
委員	阿部 康夫	委員	大神 月隆	委員	堤 権一	委員	堀口 孝嘉
委員	秋山 政敬	委員	角田 直和	委員	榎 東一	委員	松本 原克
委員	伊藤 蕃行	委員	工藤 林一	委員	遠山 尾義	委員	宮村 上博
委員	石原 研而	委員	小佐々 木道	委員	永永 井増	委員	村 森都
委員	板倉 忠興	委員	佐武 正雄	委員	永倉 正一	委員	都 持永
委員	池田 康平	委員	沢口 昌利	委員	南 部 特一	委員	山 山 口 村
委員	岩井 彦二	委員	白 石 成 慶	委員	中 西 沢 野	委員	山 山 内
委員	江崎 一博	委員	鈴木 根	委員	西 野 文	委員	山 山 内
委員	尾坂 芳夫	委員	曾				
委員	仲橋 昭光						
委員兼幹事	西 協 威 夫						

昭和 41 年 1 月 15 日 印刷
昭和 41 年 1 月 20 日 発行

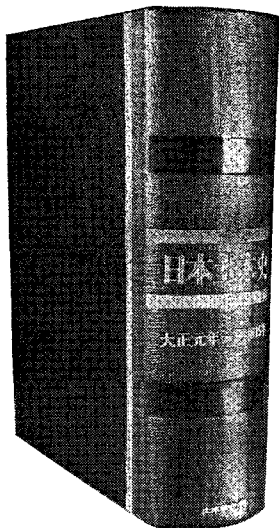
土木学会論文集 第 125 号

定価 150 円 (千 20 円)

編集兼発行者 東京都新宿区四谷一丁目 社団法人 土木学会 羽 田 巖
印刷者 東京都港区赤坂溜池 5 株式会社 技 報 堂 大 沼 正 吉

発行所 社 団 法 人 土 木 学 会 振替東京 16828 番
東京都新宿郵便局区内 新宿区四谷一丁目 電話 (351) 代表 5138 番

好評発売中！



日本土木史

—大正元年～昭和15年—

土木学会編

日本土木史編集委員会がその総力を結集して企画編集にあたった日本土木史（大正元年～昭和15年）が完成しました。

本書は、昭和11年に刊行した「明治以前日本土木史」および「明治工業史土木編」の続編として刊行したもので、大正元年から昭和15年までの30年間の土木の歴史を20項目にまとめ、前の土木史ではふれられなかった、軍事土木や建設機械をはじめ水理学、応用力学、土性・土質力学、測量、土木材料、コンクリート、土木教育、学協会史などの新項目をとり入れ、総ページは1770ページ、図410葉、表500点、写真150枚を数えるほう大なもので執筆にあたった方は180余名です。

本書はただ単に日本の土木の歴史書ではなく、今後何度も開かれなければならない生きた資料集成です。図書館・学校・各会社にはぜひ備えておかなければならない本ですのでご希望の方は学会へお申込み下さい。

体裁：B5判 8ポ横一段組み 本文1770ページ 図410葉、表500点、
写真150枚余 上製箱入革製豪華製本

定価：12000円（個人会員に限り割引特価あり。詳細はお問合わせ下さい）

送料学会負担

内容見本申込次第送付

(TEL 351・5130 編集課直通)

←申込先→ 土木学会

東京都新宿区四谷一丁目
振替東京16828番

MARUI

短時間 厚さ及び構造物の弾性係数が判定 できる

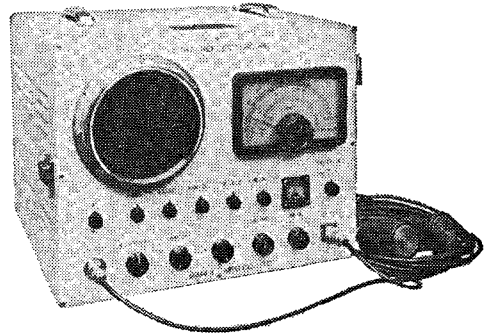
- ① 時間の節約になります (時代に即応)
- ② 正確な判断の参考資料となります
- ③ 無破壊で常に測定出来ます

用途

- 型枠取除き判定 (経済助力となる)
- グム・コンクリート等の品質管理
- 道路隧道の厚さ及びボイドの判定
- コンクリートの経年変化・強度の推定等

営業品目

セメント・コンクリート・土質・アスファルト
水理各試験機・無破壊試験器・計量器・各種材料試験機



超音波反射測定器



株式会社

丸井製作所

本社 大阪市城東区蒲生町4-10番地
電話 大阪 931-3541番(代表)
東京出張所 東京都港区西新橋3-9-5(吉田ビル)
電話 東京 431-7563番

最も良い最も経済的なコンクリートを造る...

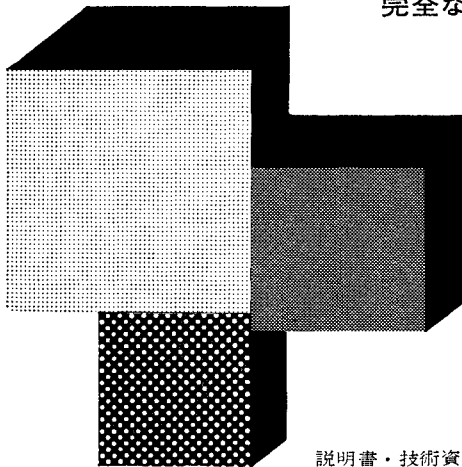


完全な保証 — ポゾリスは、品質の絶対保証、現場に即応したテクニカルサービス、絶ゆまざる研究を続けております。

ポゾリスの御使用により所要の強度とワーカビリティが得られますから工事が仕様書通り行われていることを保証されます。

ポゾリス物産株式会社

本社 東京都港区赤坂丹後町10 電話 東京 562-8811(代)
東京営業所 東京都港区赤坂丹後町10 電話 東京 562-8811(代)
大阪出張所 大阪市東区北第3-7(松瀬ビル) 電話 大阪 202-3294(代)
仙台営業所 仙台市東二番丁6-8(富士ビル) 電話 仙台 23-1631
名古屋出張所 名古屋市中区新栄町1-6(朝日生命館) 電話 名古屋 24-2285
札幌出張所 札幌市白石区中央6-51(白石ビル) 電話 札幌 85-5121(代)
二本木出張所 新潟県中頸城郡中郷村(日曹内) 電話 中郷 51 (代)
高岡出張所 高岡市向野本町300(日曹内) 電話 高岡 3-2001
福岡出張所 福岡市天神町1-10(西日本ビル) 電話 福岡 75-7471

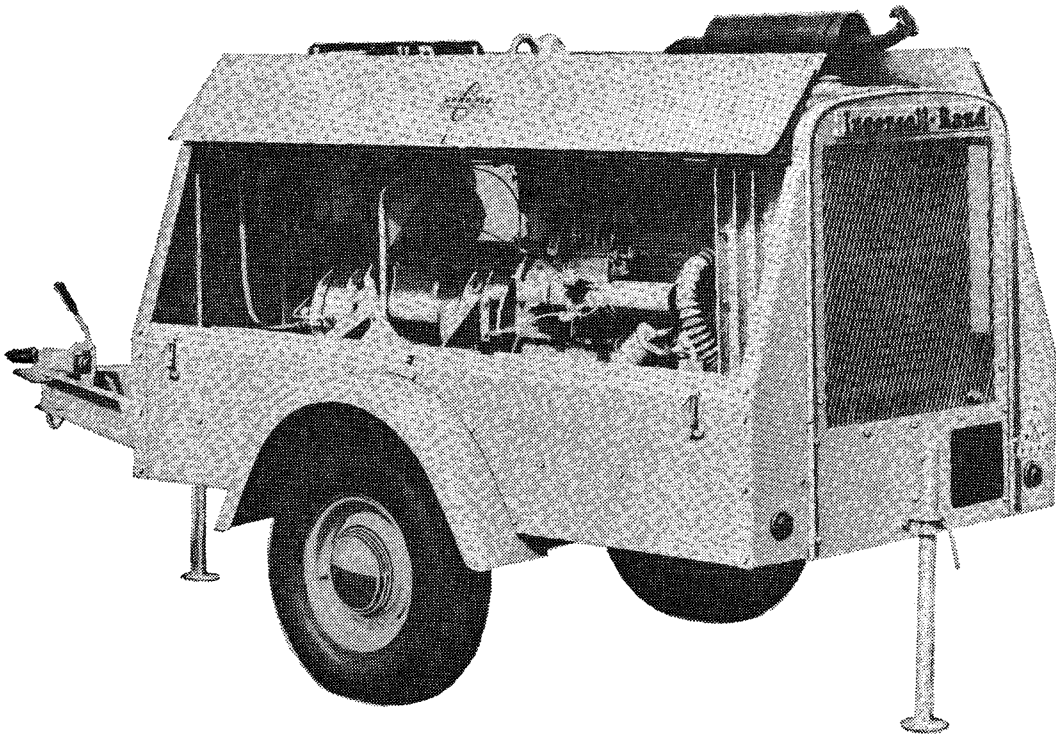


説明書・技術資料
をご請求ください

日曹マスタービルダース株式会社



インガソール・ランドのポータブルコンプレッサー



ジャイロフロー（回転式）とスパイロフロー（スクリュー式）どちらも伝統ある **IR** のマークが高性能を保証します。

- 操作、保守は極わめて簡単
- 効果的な噴油冷却方式
- 無段階容量調節装置
- 運転は平静で、脈動、振動は殆んどありません
- 各種容量・型式（2輪・4輪付）のものが一貫生産されているので、用途に最適のものが扱えます。アフターサービスも完璧です



世界最大のコンプレッサー、ポンプ、ツール総合メーカー

Ingersoll-Rand

日本インガソール・ランド株式会社

東京都港区青山北町4丁目21番地(西本ビル) Tel: (403) 6571~5
 大阪支店 大阪市西区京町堀1丁目156(中谷ビル) Tel: 大阪 (443) 4750-4795
 Cable: INGERSOLL TOKYO Telex: TK 2929 INGERSOL

主要営業品目

往復動コンプレッサー、ポータブルコンプレッサー、送風機および遠心コンプレッサー、軸流回転式コンプレッサー、穿岩機類、空気・電動各種工具とホイスト、往復動ポンプ他各種ポンプ類、蒸気及び水力タービン、ガス・エキスパンダー、蒸気復水器、真空装置、特殊冷凍機器、各種鉱山用機械、バルブ・製紙用機械装置、各種ガスエンジン、特殊用ディーゼルと蒸気エンジン

■ カタログ御請求下さい。

昭和三十七年五月二十八日
 昭和四十一年一月二十五日
 行刷郵便物認可
 (毎月一回)
 (二十日発行)

木
 学
 会
 論
 文
 集
 第一二五号

一
 価
 百
 五
 十
 円