

小仏トンネルの交通流の測定と解析

Measurement and Analysis of Traffic Flow at Kobotoke Tunnel

高木 相

東北大学名誉教授

Tasuku Takagi

Professor Emeritus, Tohoku University

キーワード: 交通流、小仏トンネル、渋滞

連絡先: 〒981-0952 仙台市青葉区中山5-2-20

E-mail: tasuku@sirius.ocn.ne.jp

1. はじめに

道路交通流は単なる物理現象ではない。これまでの専門書あるいは研究論文はすべて物理現象として解析してきたが、その研究でも説明できないことが多く、諦められて今日に至っている。

筆者は道路交通流にはドライバーは前車と自車の間かく(車頭距離: X)を刺激として眼で受け取り、速度(V)を感覚的にコントロールしているという解釈から、Weber-Fechnerの法則が成立することを発見した。これに基づいて解析をした結果、ほとんどすべての現象が明快に説明されることを明らかにした[1]。

以下、後述の解説に必要な事項を[1]より抽出しておく。それはCritical Speed V_β の発見とその意義の解説で十分である。このためには道路交通流におけるWeber-Fechner Lawから述べる必要がある。

2. 道路交通流における Weber-Fechner Law と Critical Speed V_β

2. 1 Weber-Fechner Law

眼は外界の映像を定量化して観察する機能を持つ。すなわち、これは刺激にほかならない。Weberは綱や棒の長さ(L)の変化量(ΔL)の

認知の実験を行い、認知のスレシヨールドは $\Delta L/L$ で定まることを発見した。

Fechnerはこれを定式化して、スレシヨールドを ΔS として

$$\frac{\Delta L}{L} = k\Delta S \quad (1)$$

なる式を導出した。 k は定数である。

(1)式を積分すれば、対数関係であるから、これを指数関数で表せば

$$L = L_0 e^{kS} \quad (2)$$

と書ける。

Fechnerは、認知は感覚的で、目測は眼への刺激にほかならないとして、感覚量 S は刺激の対数に比例するという事実をみいだした。これをFechnerはWeberの法則としたが、これが今日のWeber-Fechner Lawである。本文では都合によって(2)式の表現をもちいる。

2. 2. 自動車運転における Weber-Fechner Law

自動車の運転に於いて、車間距離 X に入る刺激でありドライバーは速度を感覚量として受け取っているとの解釈から車頭距離 X と速度 V の関係はこの法則に基づいていることを多くの測

定データから両者には例外なく指数関数関係が成立することを見出した。すなわち、この関係は

$$X = X_0 e^{\beta V} \quad (3)$$

とかける。ここに X_0 は $V=0$ (車列が停止) の時の車頭距離である。

※ ドライバーは車間距離を見ているのであるが、ここでは計測の都合上車頭距離としている。大型車の混在の影響はとくに交差点の考察にあたっては無視できない。本研究[1]では全くこの影響を無視している。

(3) 式は交差点の存在、障害の有無にかかわらずいかなる場合でも成立することから、交通流は決して複雑ではなく理論的・定量的に解析できることが分かった次第である。

2. 3 Critical Speed V_{β}

(3) 式で $V_{\beta}=1$ となる V をここで V_{β} とする。よって V_{β} は

$$V_{\beta} = \frac{1}{\beta} \quad (4)$$

である。ここで β は道路の状態によって決まる定数である。路面がよく走りやすい道路では β の値は小さい。測定例では、一般国道で0.085、団地などの道路で0.14、高速道では0.06~7 である。

V_{β} は次のような意味を持つ。すなわち、

- V_{β} は渋滞と層流 (乱れのない流れ) の境界の速度である。その意味で **Critical Speed** と定義した。

$V > V_{\beta}$: 非渋滞流れ

$V < V_{\beta}$: 渋滞流

- $V = V_{\beta}$: (3) 式から $X = eX_0 \approx 2.7X_0$ となる。この状態は車間距離が最も狭い状況でスピード

の僅かな変動で渋滞に陥る。 X_0 は理論的には $V=0$ の時の車頭距離であるが、道路上では長期間完全停止状態は存在しない。この値は道路によ

って違いがあるので、統計的に (3) 式を近似して $V=0$ での値を推定することが求められるが、大体平均15mとしてよい。よって

$$eX_0 \approx 40m \quad (5)$$

である。経験的にこの値は道路による違いはないとしてよい。

3. 渋滞を避ける交通流制御の原理

図3. 1に上り勾配による車列の速度変化のモデル図を示す $V > V_{\beta} \rightarrow V = V_{\beta}$ 、 $X \rightarrow eX_0$ となる特別の場合)。



図3. 1 勾配による車列のスピード変化

$V < V_{\beta}$ となれば渋滞に入る。これを避ける原理は単純である。 $V < V_{\beta}$ とならないようにすればよい。そのためには上流の車流を制限すればよい、ということになる。これが渋滞解消の原理である。

しかし、現実にはそう簡単ではない。上流の車流制限は簡単であるが、その影響が他の渋滞を招くことになる。この原理は道路ネットワークの問題としては極めて重要な研究課題である。

3. 小仏トンネルの交通流の観測

3. 1 ビデオ観察と測定データ

ビデオ解析から得られたデータを表1、2に示す。

表1 高雄側

Ttav(s)	Vtav(m/s)	X(m)
2.767216	18.59772	51.46393
	66km/h	

表2 相模湖側

Ttav(s)	Vtav(m/s)	X(m)
3.865556	36.50379	141.1074
	130km/h	

suffix 'tav' は total average (全平均)

(T: 車頭時間、V: 速度、X: 車頭時間)

表1、2からトンネルでの車流停滞の様子を数値的に知ることが出来る。高雄側では平均車頭時間 (T_{tav}) が2.8秒程度であったが、相模湖側では3.8秒以上で約1秒の差があったことがわかる。このように T_{tav} に注目すれば、明らかに両者に大きい差がある。もし、両者が同じ程度なら渋滞はないとしてよい (両者を同時にウオッチしていれば、非渋滞時間帯では必ず同じ値になるはずである)。

3.2 トンネル前後の車流の比較

流量は時間あたりの台数で表される。例えば1分 (60秒あたりの台数 N₆₀) は

$$N_{60} = \frac{60}{T_{av60}} \quad (6)$$

と計算される。ここに T_{av60} は60秒間の total average を意味する。しかし科学的研究においてはこのような取り扱いでは一般性を欠くので筆者は1秒あたりとして定義する。すなわち、

$$\text{流量: } N_1 = 1/T \quad (7)$$

と定義している。Tは一台ごとの車頭時間の測定値である。そして実用的検討では T_{av60} (60秒間平均)、5分間 (300秒) 平均 T_{av300} などを用いる。このようなデータ処理で表3のような比較検討が可能になる。

表3 高雄側、相模湖側 車両通過台数

	/1秒	/1分	/5分
	1/T _{av1}	60/T _{av60}	300/T _{av300}
高雄側	0.36	19.76	108.4
相模湖側	0.25	10.0	75.9

表3を見ると高雄側から相模湖側に流れる自動車流に大きい差があることがわかる。すなわち、例えば5分間のデータを見てみると、高雄側では100台異常通過しているのに対して、相模湖側で

は75台程度しか通過していないことがわかる。両者測定時間が約2時間の差があるが、この間に車流が大きく変化する余地がない状況下であったことからこの時間差の影響はほとんどないと考えてよいと考えられる。

4. トンネル内車流の推定

4.1 トンネル内フローのモデル

表3のようなことがどうして起こるのかを考察しなければならない。高雄側のフローと相模湖側のフローの差はトンネルのせいであることは明らかである。しからば、トンネルの中はどうなっているのか、出口はどうなっているのか、何故トンネルに入る (向かう) 高雄側のフローと相模湖側のフローに大きい差があるのか。これをモデル的に図で表すと図4.1のようになる。

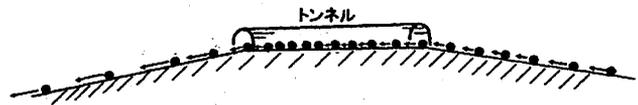


図4.1 トンネルとその前後のフローのモデル

トンネルにはいるとドライバーは何らかの圧力をうけて緊張する。経験的に、この緊張は速度の低下をもたらす。つまり、図4.2に示すような傾向がある。ことは多くのドライバーが認めている。



図4.2 トンネル内の車流

4.2 トンネル内の車流のt-sダイアグラム —交差点との比較—

t-sダイアグラムとは車の走行軌跡群を時間 (t) —2次元空間 (Space) 上で記述して車群の動きを可視化する表示法である。これによって小仏トンネルの交通流を記述してみると図4.3のようになければならないことになる。太い矢印の傾斜は速度を表す。トンネルの中ではひどい渋滞である。トンネルを出たところで速度

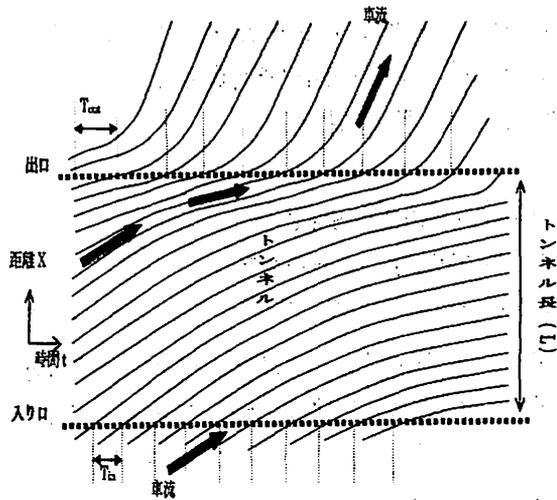


図4. 3 トンネル内車流のt-sダイアグラム

は大きくなる。この現象が通常の道路での渋滞の解消と異なる。通常の渋滞解消は図4. 3のようなt-sダイアグラムで表されるが、トンネルの場合はトンネルの中では渋滞の解消が起こりにくいようである。一般道路の渋滞が解消するときは前の車の速度が上がると、次の車はそれに追従して動くので、動き出す車の位置は後ろ（上流）に移動する。しかしトンネルではすべて同じ位置（トンネルの出口）で速度をあげるなのでトンネル内での渋滞は、入口の交通流が少なくならない限り、解消することはない。通常の道路での渋滞は図4. 4のように先頭から順次後方へ向かって時間とともに解消する（図4. 4は交差点赤信号で出来る停止車列を例としている。これは一般の渋滞の極限のモデルと考えている。なお、車の軌跡は直線として単純化しているが一般性を失うことはない。[1]のFig. 8-4を転載）。

図4. 4 で(I)は青信号でそのまま通過、(II)は赤信号次々に停止、(III)は青信号で次々に発車する軌跡を描いている。停止、と発車で軌跡が変化する。この変化点を繋いだ線をショックウェーブという。WS_t (停止時) と WS_f (発進時) がそれである（これが交わる時点で停止車列はなくな

る）。

図4. 3のトンネル出口ではショックウェーブは出口にできる（出口で水平；図には示していない）。これに対して図4. 4では発進時のショックウェーブWS_fは時間とともに後ろに伝播してやがてWS_tと交わり、ショックウェーブは消滅する。

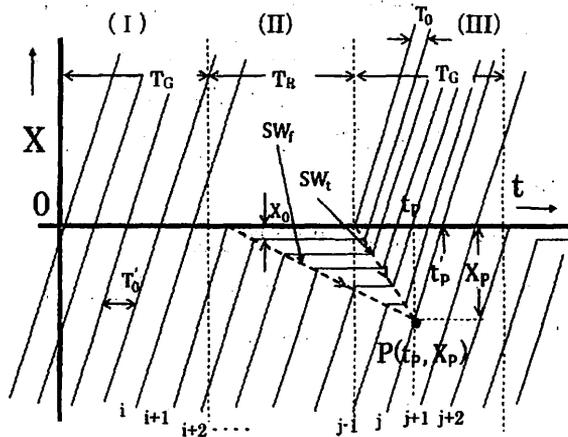


図4. 4 交差点 t-s ダイアグラム ([1]の Fig. 8-4 を転載)

トンネルの特徴はショックウェーブがトンネルでは入口の交通流の減少による消滅を待たなければならないことにあると考えればトンネルが渋滞の原因になることの解釈が合理的に可能となる。

5. 結言

以上小仏トンネルの渋滞の調査解析から、トンネル特有の性質が明らかになった。この事からトンネルが主な原因となる渋滞の対策（交通流制御法）を具体化する必要がある。

文献

- [1] Tasuku Takagi: Scientific Study of Road Traffic Flow, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH
- [2] Tasuku Takagi, Masanari Taniguchi, Shousuke Suzuki: Weber-Fechner Law in Road Traffic Flow, SICE Annual Conference, Akita, Aug. 2012