



自動車の走行燃料消費に関する考察

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 澤, 則弘, 林, 重信 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3472

自動車の走行燃料消費に関する考察

沢 則 弘*・林 重 信

Some Considerations on Traffic the Fuel Consumption Characteristics of Automobile

Norihiro Sawa and Shigenobu Hayashi

Abstract

To investigate in detail the influences of running mode in urban areas and atmospheric condition on the fuel consumption of automobile, the authors have made the some theoretical considerations and calculation on that, and then measured experimentally the amount of delivery ratio, fuel flow by changing the pressure and temperature in testing room.

As a result, it is found that the fuel consumption was principally due to the condition of running mode and that theoretical results on the influences of atmospheric condition correspond fairly well with those of experiments.

I. 緒 言

自動車の走行燃料消費量の実体を正しく把握することは、燃料経済の点のみならず、排出ガスの浄化対策や交通工学的観点からも重要な研究課題と思われる。とくに自動車の需要が拡がるにつれて使用地域による条件の多様化をもたらし、たとえば高・低温度のもとで運転(4°C~30°C)、高地での走行(標高≒400 m)などの機会が急増している。さらに、都市交通の混雑は経済速度での走行を困難とし、加速・制動またはアイドリング運転の占める割合が増加し、このため燃料消費率(km/lt)の低下を招いている。このように、自動車の使用条件は多岐にわたり、もはや定常運転特性の改善のみでは不十分となってきた。従って、ある基準状態における燃料消費から各種条件下の燃料消費を推定できるならば、走行燃料消費率の改善や搭載機関の特性を選定する場合などに極めて便利であり、経験的計画から脱することも可能かと思われる。従来、かかる試みも若干^{1)~4)}見受けられるが、いまだに不十分であり、不明点も多いようである。そこで、本報告では燃料消費に対する大気条件および走行条件の影響につき解析し、若干の実験結果と比較検討をしたので報告する。

II. 燃料消費に対する大気条件の影響

II・1 燃料流量(G_f)および空燃比(G_a/G_f)の変化

* 茨城大学工学部教授

高・低温下での運転や高地での走行に起因する大気条件の大幅な変化，機関の高性能化とエンジン・ルームの小型化による吸込空気温度の上昇など周囲条件の変化が著しい。

このため，とくに軽負荷運転での混合比 (G_a/G_f) は濃厚となり，燃焼状態が不調になることもあると云われている。しかし，その原因については空気密度の減少に起因すると考えているものの数値的には明らかにされていないようである。一般に気化器ベンチュリー部の負圧はベンチュリー部の流量係数，空気密度，流入速度の二乗に比例し，燃料流量はベンチュリー部の負圧，燃料の比重量の平方根，燃料ジェットの流量係数に比例するが，これら諸因子はいずれも大気条件の影響を受けるので，燃料流量も大気条件に左右されることが容易に推察される。

いま，機関に吸込まれる任意状態の空気 (G_a, γ_a, P_a, T_a) と基準状態 ($G_{a0}, \gamma_{a0}, P_{a0}, T_{a0}$) の空気によって生ずるベンチュリー部の負圧 ($\Delta P_a, \Delta P_{a0}$) は

$$\Delta P_a/\Delta P_{a0} = \left(\frac{C_{a0} \cdot \varepsilon_{a0}}{C_a \cdot \varepsilon_a} \right)^2 \cdot \left(\frac{\gamma_{a0}}{\gamma_a} \right) \left(\frac{G_a}{G_{a0}} \right)^2 \tag{1}$$

となる。なお，定常流実験によるとベンチュリー部の流量係数 ($C_a \cdot \varepsilon_a$) および燃料ジェットの流量係数 (C_f) は一定とならず，レイノルズ数 (R_e) の関数として，

$$\frac{C_{a0} \cdot \varepsilon_{a0}}{C_a \cdot \varepsilon_a} = \frac{\alpha R_{e0}^p}{\alpha R_e^p} = \left(\frac{\nu_a}{\nu_{a0}} \cdot \frac{\gamma_a}{\gamma_{a0}} \cdot \frac{G_{a0}}{G_a} \right)^p \tag{2}$$

$$\frac{C_f}{C_{f0}} = \left(\frac{\nu_{f0}}{\nu_f} \cdot \frac{\gamma_{f0}}{\gamma_f} \cdot \frac{G_f}{G_{f0}} \right)^q \tag{3}$$

で与えられる (図-1 参照)。したがって，燃料流量 (G_f) は

$$G_f/G_{f0} = \left(\frac{\nu_{f0}}{\nu_f} \right)^{\frac{q}{1-q}} \cdot \left(\frac{\gamma_f}{\gamma_{f0}} \right)^{\frac{1-2q}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\nu_a}{\nu_{a0}} \right)^{\frac{p}{1-q}} \cdot \left(\frac{\gamma_{a0}}{\gamma_a} \right)^{\frac{1-2p}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{G_a}{G_{a0}} \right)^{\frac{1-p}{1-q}} \cdot \left(\frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{4}$$

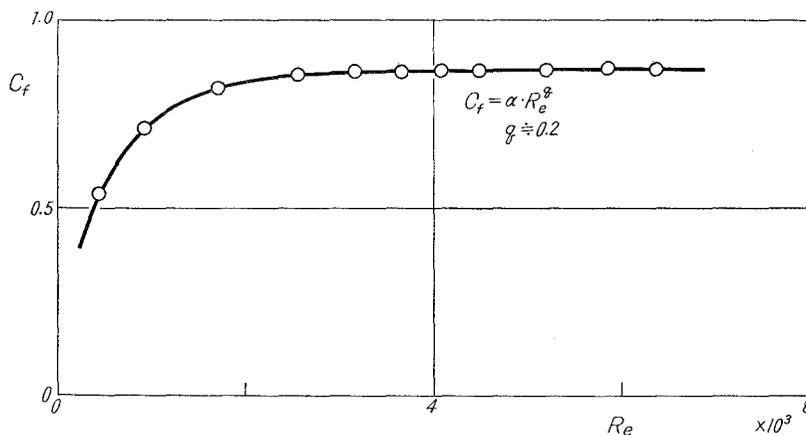


図-1(a) 燃料ジェット (No. 100) の流量係数

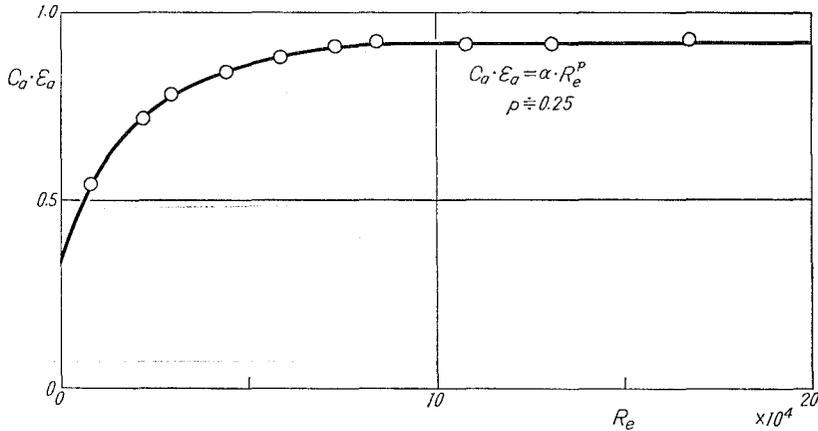


図-2(b) 気化器スロート部の流量係数

空燃比 (G_a/G_f) は

$$\frac{R}{R_0} \equiv \frac{G_a/G_f}{G_{a0}/G_{f0}} = \left(\frac{\nu_f}{\nu_{f0}}\right)^{\frac{q}{1-q}} \cdot \left(\frac{\gamma_{f0}}{\gamma_f}\right)^{\frac{1-2q}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\nu_{a0}}{\nu_a}\right)^{\frac{p}{1-q}} \cdot \left(\frac{\gamma_a}{\gamma_{a0}}\right)^{\frac{1-2p}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{G_{a0}}{G_a}\right)^{\frac{q-p}{1-q}} \cdot \left(\frac{\varphi_0}{\varphi}\right)^{\frac{1}{1-q}} \quad (5)$$

ここに φ は浮子室油面の設定高さ (h) による負圧の修正係数であり

$$\varphi = \left(1 - \frac{\gamma_f h}{\Delta P_a}\right)^{1/2} = \left(1 - \frac{\gamma_f h A^{2-p/2} \cdot \alpha (4/\pi)^{p/2}}{\gamma_a^p \cdot \nu_a^p \cdot G_a^{-2p}}\right)^{1/2} \quad (6)$$

となる。なお、 G_a : 吸込空気量 (湿り空気), G_f : 燃料流量, C_a : ベンチュリー部の流量係数, ϵ_a : 圧縮性修正係数, C_f : 燃料ジェットの流量係数, γ_f : 燃料の比重量, γ_a : 吸込み空気の比重量, P_a : 大気圧, T_a : 大気温度, ν_f : 燃料の動粘性係数, ν_a : 吸込み空気の動粘性係数で添字 0 は基準状態を表わす。

上式によると、燃料の動粘性係数 (ν_f) が小さく (燃料の温度が高く), 燃料の比重量が小さく (圧力が低く, 温度が高く), 吸込み空気量 (G_a) が多いほど燃料流量 (G_f) は増大し, 空燃比 (G_a/G_f) は濃厚になることがわかり, 経験的事実とよく符合している。

厳密には燃料の気化にもとづく混合気の温度降下の影響についても考慮する必要があるであろう (後述)。さらに比較的大きい空気清浄器を取り付け, 吹き戻した混合気が新気とともに再び吸込まれるような場合には, その影響をも考慮する必要が生ずる。すなわち, 供給燃料 (G_{ft}) のうち $Z \cdot G_{ft}$ の燃料が吹き戻し, 新気 (G_{at}) と完全混合のもとで再び吸込まれるものと考え, 吹き戻しのない場合の燃料流量と比較すると, (4) 式の誘導と同じ手法を用いて, (但し $\nu_f = \nu_{ft}$, $\gamma_f = \gamma_{ft}$),

$$\frac{G_{ft}}{G_f} = \left(\frac{\nu_{at}}{\nu_a}\right)^{\frac{p}{1-q}} \cdot \left(\frac{\gamma_a}{\gamma_{at}}\right)^{\frac{1-2p}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{G_{at} + ZG_{ft}}{G_a}\right)^{\frac{1-p}{1-q}} \cdot \left(\frac{\varphi_t}{\varphi}\right)^{\frac{1}{1-q}} \quad (7)$$

となる。ここに ν_{at} , γ_{at} は吸込混合気の動粘性係数, 比重量であり, 近似的には, $\nu_{at} = \nu_a$, $\gamma_{at} = (\gamma_a \cdot G_{at} + \gamma_f \cdot ZG_{ft}) / (G_{at} + Z \cdot G_{ft})$ と見做すことができるので, いま, $(G_{at} + ZG_{ft}) / G_a = 1$ と考えるとき, 燃料流量は吹戻しによって幾分増加し, 過濃混合気が生じることがわかる(図-2参照)。次に(4)~(5)式に含まれる諸因子の影響について個々に考えると,

(1) 燃料温度の影響

燃料の微粒化を助長させる手段として燃料を直接加熱することが考えられる。その例として流入空気重量 (G_a) を一定とし, 燃料として水を使用し, それを加熱した場合の燃料流量の変化を動粘性係数 (ν_f) について整理したのが図-3である。同図にはガソリンを使用した場合の実験値をも併記しているが, いずれも動粘性係数 (ν_f) の増加に伴って燃料流量 (G_f) はほぼ直線的に減少している。

また比重量の小さいガソリンの実験値が水の値よりも低い傾向を示している。これらは, 燃料流量 (G_f) が $(\nu_f / \nu_{f0})^{1/q} \cdot (\gamma_f / \gamma_{f0})^{1/(1-q)}$ に比例するという(4)式の結論と定性的によく符合している。

いま, 供試燃料ジェット No. 100 の指数 $q = 0.20$ (図-1参照) および水の動粘性係数 (ν_f) と温度との

関係を機械工学便覧より求め $(\nu_f / \nu_{f0}) = (T_a / T_{a0})^5$, 5°C を基準として燃料温度 (T_f) の空燃比 (R) におよぼす影響を(5)式から算出すると図-4に示すように燃料温度の増加に伴って, 燃料流量

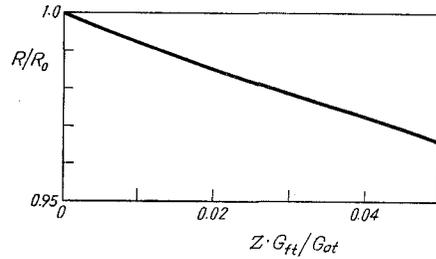


図-2 吹戻し燃料と空燃比

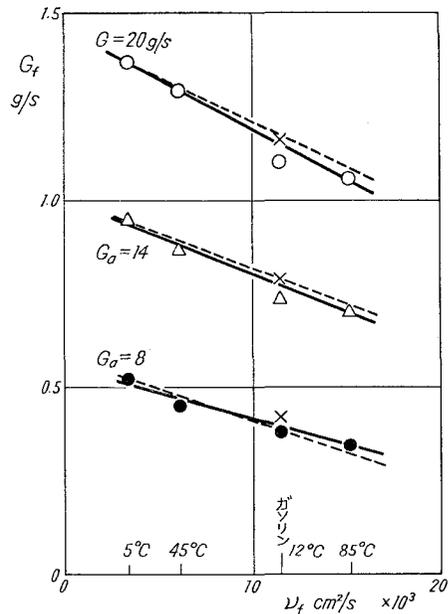


図-3 燃料温度と燃料流量

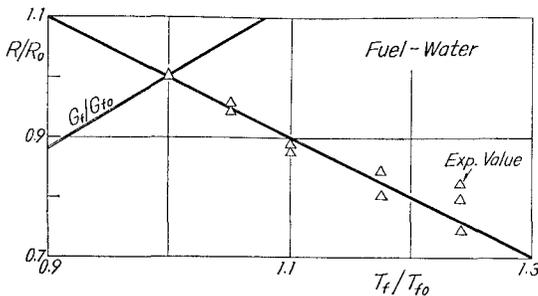


図-4 燃料温度と空燃比

は増大し, 空燃比は濃厚になることがわかる。同図には図-3の実験結果から求めた実験値(△印)をも併記しているが, 計算曲線上にほぼ揃っており, 定量的にも上述の考察が十分妥当なことがわかる。なお厳密には, 燃料流出による混合気の温度上昇, 燃料の気化の影響なども考慮する必要があるであ

ろう（とくに燃料としてガソリンを用いた場合）。

(2) 大気温度の影響

大気温度は燃料の温度と吸込空気の温度を規定する。したがって、(4), (5)式において、燃料の動粘性係数 (ν_f), 比重量 (γ_f), 吸込空気の動粘性係数 (ν_a), 比重量 (γ_a) および吸込空気重量 (G_a) に影響するので、燃料流量 (G_f) や空燃比 (G_a/G_f) も変動するであろう。なお、空気の動粘性係数は Sutherland の実験式から

$$\left. \begin{aligned} \frac{\nu_a}{\nu_{a0}} &= \frac{T_{a0}+107}{T_a+107} \cdot \left(\frac{T_a}{T_{a0}}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\gamma_{a0}}{\gamma_a} \\ \gamma_a/\gamma_{a0} &= (P_a/P_{a0})/(T_a/T_{a0}) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

で与えられる。これに対し、油類の動粘性係数は Meyer の実験式と同様に、

$$\mu_f/\mu_{f0} = (1+C_1 t_{a0}+C_2 t_{a0}^2)/(1+C_1 t_a+t_a^2)$$

で与えられ、比重量に関する実験式として

$$\gamma_f/\gamma_{f0} = \left\{1-0.00065(t_a-20)\right\} / \left\{1-0.00065(t_{a0}-20)\right\}$$

などが見受けられるが比重量 (γ_f) に対する温度の影響はごく小さいので無視し、動粘性係数 (ν_f) に関してはハンドブックの資料をもとにしてより簡単な実験式として

$$\nu_f/\nu_{f0} = (T_{f0}/T_f)^a \quad (9)$$

を求め (ガソリンの場合 $a \approx 5$)、この (8), (9) 式を (4), (5) 式に代入すると燃料流量 (G_f) および空燃比 (G_a/G_f) に対する大気温度 (T_a) の影響は次のように与えられる。(但し $P_a = P_{a0}$)

$$\frac{G_f}{G_{f0}} = \left(\frac{T_f}{T_{f0}}\right)^{\frac{a \cdot q}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_{a0}+107}{T_a+107}\right)^{\frac{p}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_a}{T_{a0}}\right)^{\frac{1+3p}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{G_a}{G_{a0}}\right)^{\frac{1-p}{1-q}} \cdot \left(\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)^{\frac{1}{1-q}} \quad (10)$$

$$R/R_0 = \left(\frac{T_{f0}}{T_f}\right)^{\frac{a \cdot q}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_a+107}{T_{a0}+107}\right)^{\frac{p}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_{a0}}{T_a}\right)^{\frac{1+3p}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{G_{a0}}{G_a}\right)^{\frac{q-p}{1-q}} \cdot \left(\frac{\varphi_0}{\varphi}\right)^{\frac{1}{1-q}} \quad (11)$$

しかるに、吸込空気量 (G_a) に対する温度 (T_a) の影響は、供試機関の種類にもより、正確に規定することが難しい。いま、J. C. Livengood による静的流入過程の解析結果と同様に体積効率が、大気温度に関係なく一定値を示すものと考えると

$$G_a/G_{a0} = (P_a/P_{a0}) \cdot (T_{a0}/T_a) \quad (12)$$

充填効率に対する実験式が適用できる場合には

$$G_a/G_{a0} = (P_a/P_{a0})^m \cdot (T_{a0}/T_a)^n \quad (13)$$

但し $m = 1.1 \sim 1.2$, $n = 0.6 \sim 0.9$ である。したがって (12) 式は (13) 式において $m = 1$, $n = 1$ の場合に相当するので、それを含めて、吸込空気量 (G_a) は (13) 式で与えられるものとする ($G_a/G_{a0} = 1$ の場合には $m = 0$, $n = 0$)、(13), (10), (11) 式から大気温度の影響は

$$G_f/G_{f0} = \left(\frac{T_f}{T_{f0}}\right)^{\frac{\alpha \cdot q}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_{a0}+107}{T_a+107}\right)^{\frac{p}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_a}{T_{a0}}\right)^{\frac{p(3+2n)-2n+1}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{14}$$

$$R/R_0 = \left(\frac{T_{f0}}{T_f}\right)^{\frac{\alpha \cdot q}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_a+107}{T_{a0}+107}\right)^{\frac{p}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_{a0}}{T_a}\right)^{\frac{p(3+2n)-2nq+1}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\varphi_0}{\varphi}\right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{15}$$

となる。上式から大気温度 (T_a) の空燃比 (R) に及ぼす影響を計算し、実験結果 (○, △印) と比較したのが 図-5 である。同図には給気のみを加熱した場合 ($a=0$) で、吸込空気量 (G_a) が温度に無関係 ($n=0$) のときを点線で、吸込空気量 (G_a) が (12) 式の関係で変化する場合 ($n=0.75$) を実線で示しており、さらに大気温度を変えた場合の影響

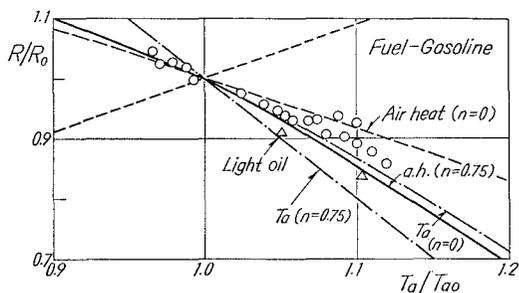


図-5 大気温度と空燃比

を一点鎖線 ($T_a(n=0.75)$ および $T_a(n=0)$) で併記してある。図によると、実験値は計算値よりも幾分高い値を示しているが、これは燃料の気化による混合気の温度低下を考慮していないためであり、石神氏²⁾の実験結果から燃料の気化率 (x) に関する実験式 $x=0.4(T_a-225)$ を作り、任意状態 (T_a) における燃料の気化による温度降下 (Δt_c) を求め、(15) 式における大気温度 (T_a) を補正し、空燃比 (R) を算出すると、 $T_a(n=0.75)$ および $T_a(n=0)$ の曲線は、給気加熱の曲線 $a.h.(n=0.75)$ および $a.h.(n=0)$ にほぼ一致し、実験値にかなりよく一致するようになる。したがって、(15) 式に燃料の気化による温度降下を考慮するならば大気温度の空燃料比 (R) に及ぼす影響を適確に知ることができるであろう。

なお、大気温度のみが変化した場合には乾燥空気と湿り空気 (添字 s) との関係は絶対湿度 (y) を用いると

$$\dot{r}_{as} = (1+y)\dot{r}_a, \quad G_{as} = (1+y)G_a$$

で与えられるので、吸込乾燥空気が (13) 式と同様に乾燥空気の分圧の m 乗に比例するものと仮定すると有効空燃比 (R) は

$$R/R_0 = \left\{ \frac{y_0(1+y)R_w/R_a}{y(1+y_0)R_w/R_a} \right\}^{\frac{1+2m(q+p)-2p}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{1+y_0}{1+y} \right)^{\frac{1}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{16}$$

で与えられる。また湿り空気量が (13) 式で与えられる場合には ($P_a=P_{a0}, T_a=T_{a0}$)

$$R/R_0 = \left\{ \frac{y_0}{y} \cdot \frac{(1+y)R_w/R_a}{(1+y_0)R_w/R_a} \right\} \cdot \frac{1+y}{1+y_0} \cdot \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^{\frac{1-2p}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{16'}$$

となる。

(3) 大気圧の影響

圧力の粘性係数に及ぼす影響については、油類の場合、 $\mu_p/\mu_1 = a^p$, ($a = 1.001 \sim 1.003$) の実験式が見受けられるものの、その影響はきわめて小さく、空気に対するものとして機械工学便覧の表から概算すると無視できる程度である。そこで大気圧の影響は、吸込空気の比重量 (γ_a) と吸込空気量 (G_a) にのみ作用するものと見做すならば、燃料流量 (G_f) および空燃比は (G_a/G_f) は

$$G_f/G_{f0} = \left(\frac{P_a}{P_{a0}}\right)^{\frac{2m(1-p)-1}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{17}$$

$$R/R_0 = \left(\frac{P_{a0}}{P_a}\right)^{\frac{2m(q-p)-1}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\phi_0}{\phi}\right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{18}$$

で与えられる (但し $\nu_f = \nu_{f0}$, $\gamma_f = \gamma_{f0}$, $\mu_a = \mu_{a0}$)。

次に、大気温度を一定とし ($T_a/T_{a0} = 1$)、実験室内圧力 (タンク内圧力) を変えた場合 ($\gamma_{f0}/\gamma_f = 1$, $\nu_{f0}/\nu_f = 1$, $T_a/T_{a0} = 1$) の実験結果と (18) 式において $m=0$ および $m=1.2$ ((12) 式が成立) とした場合の計算値を図-6 に比較しているが、この場合、吸込空気量に対して (13) 式の関係が成立する場合の方が実験値とよく一致している。以上燃料の温度、大気温度、圧力を別々に変えた実験結果と計算結果とがよく一致することが確認された。

すなわち、

$$G_f/G_{f0} = \left(\frac{T_f}{T_{f0}}\right)^{\frac{\alpha \cdot q}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_{a0}+107}{T_a+107}\right)^{\frac{p}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_a}{T_{a0}}\right)^{\frac{p(3+2n)-2n+1}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{P_a}{P_{a0}}\right)^{\frac{2m(1-p)-1}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{19}$$

$$\frac{G_a/G_f}{G_{a0}/G_{f0}} = \left(\frac{T_{f0}}{T_f}\right)^{\frac{\alpha \cdot q}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_a+107}{T_{a0}+107}\right)^{\frac{p}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_{a0}}{T_a}\right)^{\frac{p(3+2n)-2nq+1}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{P_{a0}}{P_a}\right)^{\frac{2m(q-p)-1}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\phi_0}{\phi}\right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{20}$$

が燃料流量 (G_f) および空燃比 (G_a/G_f) に及ぼす大気条件の影響を適確に表示することがわかる。

II.2 燃料消費率の変化

大気条件による燃料消費率 (b) の変化を求めようとするとき、正味馬力に対する大気条件の影響を知る必要がある。一般に点火時期と空燃比 (R) を適当に調節すれば図示馬力は吸込空気量に比例すをと見做すことができるが、摩擦損失が機関によって一定ではないので、正味馬力に対する大気条件の影響を正確に導くことは難かしく、数多くの出力修正式が提案されている。いま JIS D 1002 (1962) の出力修正式において、湿度の影響を省略すると

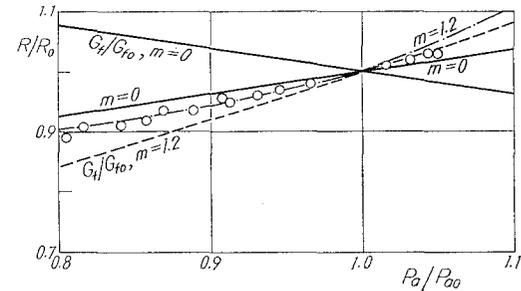


図-6 大気圧と空燃比

$$N_c/N_{c0} = (P_a/P_{a0})(T_{a0}/T_a)^{1/2}$$

となるので(19)式から燃料消費率 (b) は

$$b/b_0 = \left(\frac{T_f}{T_{f0}}\right)^{\frac{\alpha-q}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_{a0}+107}{T_a+107}\right)^{\frac{p}{1-q}} \cdot \left(\frac{T_a}{T_{a0}}\right)^{\frac{p(3+2m)-2(m-1)-q}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{P_{a0}}{P_a}\right)^{\frac{3-2q-2m(1-p)}{2(1-q)}} \cdot \left(\frac{\phi}{\phi_0}\right)^{\frac{1}{1-q}} \tag{21}$$

となる。なお上式の計算結果を図-7 に示しているが、標高が増し大気圧が低下し大気温度が低下するほど燃料消費率 (b) が悪化するという経験的事実をよく説明している。

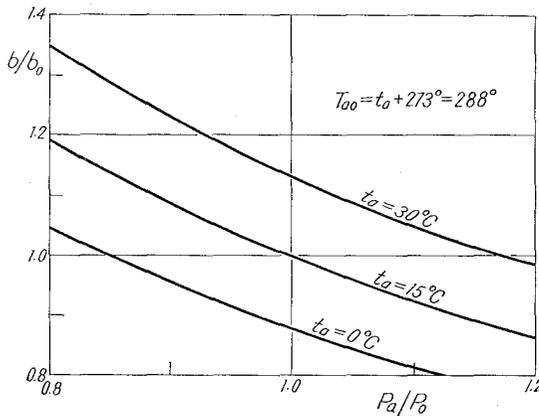


図-7 大気条件と燃料消費率

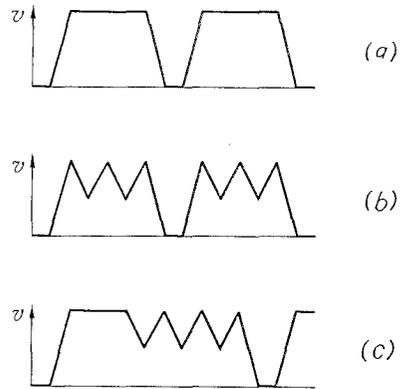


図-8 各種走行模型

III. 燃料消費に対する走行状態の影響

III・1 都市交通の走行模型と近似

都市交通の混雑に伴い走行状態も複雑多岐にわたっている。しかし、深沢氏の詳細な調査研究によると 図-8 に示すように郊外型 (a)、都市内型 (b) および近郊型 (c) の三種類に大別される。なお、郊外型 (a) や都市内型 (b) は近郊型 (c) の特殊な場合に属するので走行模型の基準を近郊型 (c) で代表させることとし、

走行状態の燃料消費に及ぼす影響について考察をすすめよう。使用する記号は 図-9 および次のとおりである。

L : 全走行距離, l : 距離, k : 燃料消費量 (cc/s), T : 全走行時間,
 t : 所要時間, m : 停止回数率 (= m'/L ; m' : 停止回数), ϵ : 停止時

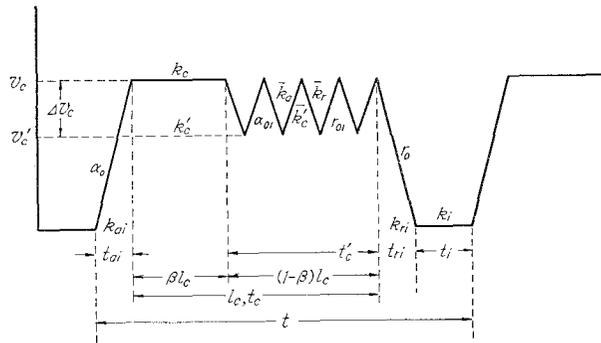


図-9 走行模型と記号

間率, v : 速度, α : 加速度, γ : 減速度, ϕ : 速度変動率 ($=1/2 \frac{\Delta v_c}{v_c}$), β : 定常走行率, g : 重力定数, μ : ころがり抵抗係数, μ_i : 空気抵抗係数, A : 車体の前面投影面積, θ : 路面の傾斜, v_a : 車体の対空気速度, G : 車体重量, $\phi = \Delta G/G$, ΔG : 回転部分担当重量, 添字 a は加速状態, r は減速状態, i はアイドリング状態, c は定速運転時の状態を表わす。

(1) 加速度 (α) および減速度 (γ)

発進時の加速度 (α) は一般に $\alpha = \alpha_0 e^{-\alpha t}$ で表わされるが, ここでは問題を簡単にするため $\alpha = \alpha_0 (= \text{const})$ の発進をし, 減速状態も同様に $\gamma = \gamma_0 (= \text{const})$ と仮定する。

(2) 加速運転および減速運転時の燃料消費 (k_{ai} , k_{ri})

加速運転時の所要トルク (T_e) と定常走行時の所要トルク (T_{es}) との割合は

$$\frac{T_e}{T_{es}} = 1 + \frac{1 + \phi}{g(\mu \cos \theta + \sin \theta + \mu_i \cdot A \cdot v_a^2/G)} \cdot \frac{dv}{dt} = 1 + \zeta \frac{dv}{dt} \quad (3.1)$$

となる。なお, 平坦路 ($\theta=0$) の場合には係数 (ζ) は

$$\zeta = (1 + \phi)/g(\mu + \mu_i \cdot A \cdot v_a^2/G) \quad (3.2)$$

である。したがって, 燃料の供給や加速状態が理想的であれば, 加速運転時と定常走行時の燃料消費量の割合は上式から得られる筈である。いま, 大道寺氏の研究から $\phi = \Delta G/G \cong 0.08$, $\mu = 0.01$, $\mu_i = 0.0025$ を日産セドリックをモデルとしてその諸元表から $G = 1500 \text{ kg}$, $A = 2.11 \text{ m}^2$ を採用し, 車速 $v_a = 0 \sim 60 \text{ km/h}$ につき計算すると $\zeta = 11.0 \sim 4.82$ となる。ここに係数 (ζ) は車速 (v_a) の関数である。しかし, 実際には加速運転時の燃料供給状態は理想的でなく, 変速ギヤの使用状態によっても燃料消費量は大幅に変わる。このため, 燃料消費量が定常走行時の約5倍の値を示している実験結果も見受けられる。そこで, アイドリング速度 (v_i) から一定速度 (v_c) までの加速時平均燃料消費量 (\bar{k}_{ai}) は

$$\bar{k}_{ai} = \frac{1 + \zeta}{v_c - v_i} \frac{dv}{dt} \cdot \int_{v_i}^{v_c} k_a \cdot dv = (1 + \delta \alpha_0) \frac{k_c + k_i}{2} \quad (3.3)$$

であらわされるものとする。したがって, δ は ζ の平均値として概略 $\delta = 8.0 \text{ s}^2/\text{m}$ となり, 加速度 (α_0) は $\alpha_0 = 1.0 \text{ m/s}^2$ 程度に見積られる。これに対し, 減速時の平均燃料消費量 (\bar{k}_{ri}) は定速時燃料消費量 (k_c) とアイドリング時燃料消費量 (k_i) との算術平均

$$\bar{k}_{ri} = (k_c + k_i)/2 \quad (3.4)$$

で与えられるものとする。さらに, 定速時燃料消費量 (k_c) は同一変速ギヤでは機関回転速度 (車両速度) に比例するものと見做すならば, 速度変動区間 ($(1 - \beta) l_c$, t_c) の平均加速度燃料消費量 (\bar{k}_a) は

$$\bar{k}_a = (1 + \delta_1 \alpha_{01}) \cdot (1 - \phi) \cdot k_c \quad (3.5)$$

となり, また平均減速度燃料消費量 (\bar{k}_r) は

$$\bar{k}_r = (1-\phi) \cdot k_c \quad (3.6)$$

となる。

III.2 平均燃料消費 ($F \cdot \text{km/lit}$) の算出

図-9 に示した走行模型において、全平均速度 (\bar{V}) および全平均燃料費 (F) は

$$\bar{V} = L/T = \frac{1-\varepsilon}{m} \cdot \frac{1}{t_{ai} + t_c + t_{ri}} \quad (3.7)$$

$$F = \bar{V} \left[\frac{\bar{k}_{ai} \cdot t_{ai} + \bar{k}_c \cdot t_c + \bar{k}_{ri} \cdot t_{ri}}{t_{ai} + t_c + t_{ri}} (1-\varepsilon) + k_i \cdot \varepsilon \right]^{-1} \quad (3.8)$$

で与えられる。したがって前節の仮定や、次の関係

$$\left. \begin{aligned} t_{ai} &= v_c / \alpha_0, & t_{ri} &= v_c / \gamma_0, & t_a &= 2\phi v_c / \alpha_{01}, & t_r &= 2\phi v_a / \gamma_{01} \\ t_c &= \frac{1-\phi\beta}{1-\phi} \cdot \frac{l_c}{v_c}, & t'_c &= \frac{1-\beta}{1-\phi} \cdot \frac{l_c}{v_c} = 2\phi n v_c (1/\alpha_{01} + 1/\gamma_{01}) \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

$$l_c = \frac{1}{m} - \frac{1}{2} v_c^2 (1/\alpha_0 + 1/\gamma_0), \quad n = \frac{1-\beta}{2\phi(1-\phi)} \cdot \frac{l_c}{(1/\alpha_{01} + 1/\gamma_{01}) v_c} \quad (3.10)$$

$$k_c \cdot t_c = \frac{k_c \cdot \beta \cdot l_c}{v_c} + 2k_c(1-\phi) \left\{ \frac{1-\beta}{2(1-\phi)} \cdot \frac{l_c}{v_c} + \phi \cdot \delta \cdot n \cdot v_c \right\} \quad (3.12)$$

を (3.7) および (3.8) 式に代入し、整理すると平均速度 (\bar{V}) は

$$\bar{V} = \frac{1-\varepsilon}{m} \left[(1/\alpha_0 + 1/\gamma_0) v_c + \frac{1-\phi\beta}{1-\phi} \left\{ \frac{1}{m v_c} - \frac{1}{2} (1/\alpha_0 + 1/\gamma_0) v_c \right\} \right]^{-1} \quad (3.12)$$

全平均燃料消費 ($F \text{ km/lit}$) の逆数は

$$\begin{aligned} 1/F &= m \cdot v_c \cdot k_c \left\{ \frac{1+k_i/k_c}{2} (1/\alpha_0 + \delta + 1/\gamma_0) + \frac{k_i}{k_c} \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} (1/\alpha_0 + 1/\gamma_0) \right\} \\ &+ \left\{ \frac{k_c}{v_c} - \frac{1}{2} m \cdot v_c \cdot k_c (1/\alpha_0 + 1/\gamma_0) \right\} \left\{ 1 + \frac{(1-\beta) \delta_1}{(1/\alpha_{01} + 1/\gamma_{01})} + \frac{k_i}{k_c} \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \cdot \frac{1-\phi\beta}{1-\phi} \right\} \end{aligned} \quad (3.13)$$

で与えられる。したがって、走行パターン (b) の場合には $\beta=0$ となるので

$$\begin{aligned} 1/F &= m \cdot v_c \cdot k_c \left\{ \frac{1+k_i/k_c}{2} (1/\alpha_0 + \delta + 1/\gamma_0) + \frac{k_i}{k_c} \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} (1/\alpha_0 + 1/\gamma_0) \right\} \\ &+ \left\{ \frac{k_c}{v_c} - \frac{1}{2} m \cdot v_c \cdot k_c (1/\alpha_0 + 1/\gamma_0) \right\} \left\{ 1 - \frac{\delta_1}{(1/\alpha_{01} + 1/\gamma_{01})} + \frac{k_i}{k_c} \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \cdot \frac{1}{1-\phi} \right\} \end{aligned} \quad (3.14)$$

走行パターン (a) の場合については $\beta=0$, $\phi=0$, $\alpha_{01}=\gamma_{01}$, $\delta_1=0$ となるので

$$\begin{aligned} 1/F &= m \cdot v_c \cdot k_c \left\{ \frac{1+k_i/k_c}{2} \left(\frac{1}{\alpha_0} + \delta \frac{1}{\gamma_0} \right) + \frac{k_i}{k_c} \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} (1/\alpha_0 + 1/\gamma_0) \right\} \\ &+ \frac{k_c}{v_c} - \frac{1}{2} m \cdot v_c \cdot k_c (1/\alpha_0 + 1/\gamma_0) \left\{ 1 + \frac{k_i}{k_c} \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \right\} \end{aligned} \quad (3.15)$$

なお、走行パターン (a) の場合については吉田氏の解析が見受けられるが、(3・15) 式では加速および減速運転時の影響が考慮されている。

いま、(3・13) 式において、日産自動車 KK のセドリック ($V_b=1500$ cc) を対称として、 $\alpha_0=\gamma_0=\alpha_{01}=\gamma_{01}=1.0$ m/s²、 $\delta=\delta_{01}=8$ s²/m とし、 k_i/k_c の値はアイドリング燃費を $k_i=0.0935$ cc/s、アイドリング機関回転数を $N=600$ r.p.m., 定常運転時の燃料消費率を $f=18$ km/lt と仮定し車速 (v_c) に応じて表-1 のように見積った。かかる条件のもとに、各因子 ($m, \epsilon, \phi, \beta, v_c$ など) を $m=0, 2 \times 10^{-4}, 5 \times 10^{-4}, 1.0 \times 10^{-3}$; $\epsilon=0, 0.1, 0.2$; $\beta=1.0, 0.5, 0$; $v_c=5.56, 8.38, 11.1, 13.9, 16.75$ m/s のように選んで、その場合の平均走行速度 (\bar{V} m/s) および平均燃料消費 (F km/lt) を計算し代表例につき整理したのが図-10 である。

図によると、 $\alpha_0, \gamma_0, \delta, k_i$ などの見積りが大きすぎたため、燃料消費 (F km/lt) の値は常識的な値よりもかなり小さいようではあるが、燃料消費 (F) の改善をはかるためには、停止回数率 (m)、停止時間率 (ϵ)、速度変動率 (λ)、変動回数 (n)、速度変動時間率 (β) および定速時燃費 (k_c)、アイドリング燃費 (k_i) を小さくすることが如何に重要であるかがよくわかる。ここで、 $m, \epsilon, \lambda, \beta$ は交通流の状態や運転技術に左右される因子であり、 k_c, k_i は機関性能や動力伝達機構、車両重量などに基因する性能値である。したがって、機関の燃料消費率の改善やアイドリング回転数を下げること

表-1

v_c (kmh)	v_c (m/s)	k_c (cc/s)	k_i/k_c
20	5.56	0.3080	0.3050
30	8.38	0.400	0.235
40	11.1	0.6166	0.1525
50	13.9	0.770	0.1225
60	16.75	0.9240	0.1015

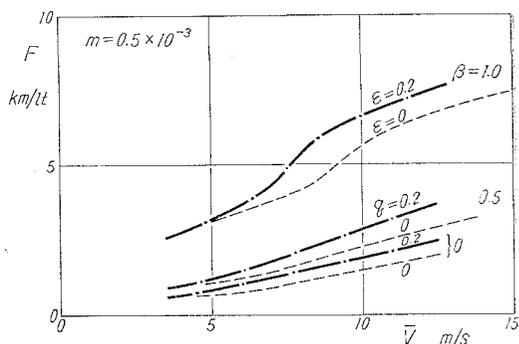


図-10(a) 走行燃料消費

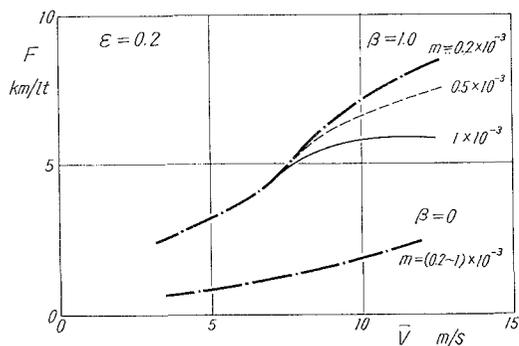


図-10(b) 走行燃料消費

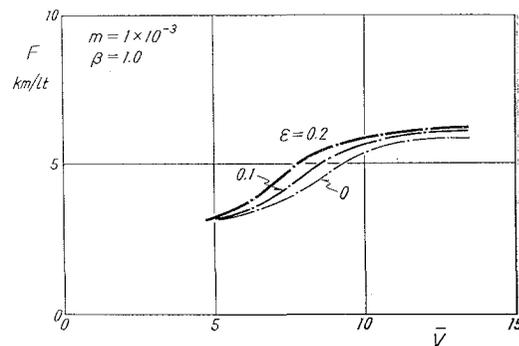


図-10(c) 走行燃料消費

が、重要となってくるのがわかる

IV. 結 言

以上、自動車の走行燃料消費量に及ぼす大気条件と走行状態の影響について、大まかな仮定のもとに若干の考察を試み、その定性的傾向を示した。その結果、走行燃料消費量はこれら諸因子の影影を大きく受けるので、定常運転状態や規準状態における機関性能の改善も重要ではあるが、かかる交通事情に対する改善が重要であり、さらに運転技術もかなり大きな因子であらうことが明らかになった。

終りにのぞみ、日頃御指導御鞭撻を賜わっている東京大学宇宙航空研究所浅沼強教授、北海道大学深沢正一教授、村山正助教授、数値計算にあたって種々御助言を頂いた本学奥田教海助教授に謝意を表する。

(昭和44年4月30日受理)

文 献

- 1) 吉田：自動車技術，**19**, 11 (S-40-11), 898.
- 2) 林：トヨタ技術，**15**, 3 (S-38-12), 18.
- 3) 深沢：自動車技術，**21**, 4 (S-42-4), 329.
- 4) 武田：法政大学工学部研究集報，**3** (S-41-2), 85.
- 5) 大道寺：自動車工学概論. 工学図書株式会社 (S-40-10).