自動車事故の一理論

高 橋 浩 一 郎*

ま え が き

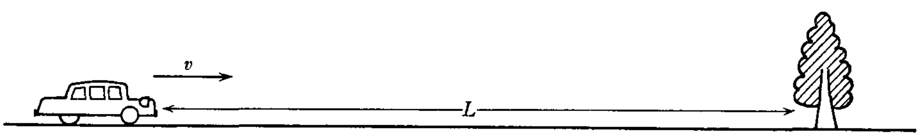
最近自動車の数が増し，交通事故がいちじるしく増加し，そのための死者数もばかにならない数字になってきているのは周知のとおりである．交通事故は一口にいえば広い意味での衝突現象であるが，それに関連する因子は非常に多くあり，たとえば気象状況なども影響する．もちろん，気象現象の影響はいろいろの形で現われ，事故防止の点では二義的な因子であろうが，いろいろの対策がすすむにつれその重要性が増してくるように思われる．

自動車事故については近頃多くの関心がもたれ，たとえば佐々木氏[1]の研究などもある．筆者もこの問題，とくに気象因子の影響に関心をもち，多少調べてみたが，そのためにはもう少し自動車事故の本質を考察しておく必要を感じてきた．そこで一つの試みとして自動車事故の単純化した物理的なモデルをつくり，どの因子がどのように効いてくるかを検討してみた．この問題はOR の一つのの応用例でもあるので，ここにその結果について少しく報告させて頂きたい．

自動車事故過程のモデル

いま，一つの自動車の問題に限定し，自動車が v なる速度で線上を進む場合を考える．第1図のように自動車の前方 L なる距離に障害物があり，これに衝突すれば事故になるとする．距離 L は線上の場所の函数である．この自動車は人間が操縦しており，刻々の L を観測し，速度 v を制限して衝突しないようにする．しかし，自動車には慣性があるので，制御には少しく時間がかかる．その関係はつぎのような式で与えられるものと仮定する．

$$\frac{dv}{dt}=\alpha\{v_s(t-\tau)-v(t-\tau)\} \tag{1}$$



第1図

上式中 v_s は，目標速度であり，距離 L に応じて定めるものとする．なお，人間が L を観測し，

* 気象庁　昭和 36 年 11 月 9 日受理

それに応じて制御に移るにはわずかながら時間がかかる．これを反応時間τとおく．この値は普通の状態では 0.2 sec の桁[2] である．また，式中αは自動車の性能によって定まる常数で，これが大きいほど早く制御できる．αの値は，1/2 sec の桁と思われる．

もちろん，この式は一つの仮定で正確には実際の場合とは違う．たとえばαが一定としているので，速度が大きくなると加速度がいちじるしく大きくなりうるが，実際には上限がある．しかしながら，この式は取扱いやすし，また定性的には自動車操縦の特性をあらわしているように思われるので，この式を用いることにする．

さて，いま自動車が速度v_0の場合，Lなる前方に障害物を認め，ブレーキをかけ，止めたとする．この場合の慣性により進む距離は(1)式より

$$S=\frac{v_0}{\alpha}(1+\alpha\tau) \tag{2}$$

となる．なお，実際の場合にはSはv_0の自乗に比例する方がよい近似であるが，現在の場合モデル的に考えており，定性的な結論をうるのには差支えないと思うので，このままで考察をすすめるものとする．そこで

$$S>L \quad \text{あるいは} \quad v_0>\frac{\alpha L}{1+\alpha\tau}=v_d \tag{3}$$

となるならば，衝突をして事故をおこすことになる．そこで速度v_dを危険速度と名付ける．しかるとき，事故をおこさないためには，速度vを常に危険速度より小さくしておかなければならない．

ところで(1)式を解けば，

$$v(t)=v_0e^{-\alpha t}+e^{-\alpha t}\int_0^t \alpha v_s(\xi-\tau)e^{\alpha\xi}d\xi \tag{4}$$

となる．この式において目標速度v_sは自由にきめられる量であるが，ふつうv_dに比例してとり，

$$v_s=\gamma v_d \tag{5}$$

とおき，係数γを1より小さくとるのが自然であろう．しかるとき

$$v(t)=v_0e^{-\alpha t}+e^{-\alpha t}\int_0^t \alpha\gamma v_d(\xi-\tau)e^{\alpha\xi}d\xi>v_d \tag{6}$$

が事故のおこる条件となる．上式中v_0は初期の速度である．

ところで，これをとくためには危険速度v_dが，時間または場所の函数として与えられなければならない．しかし，これは実際の場合には非常に複雑であり，簡単には与えられない．ただ，一般的にいってv_dは大きい場合もあれば，小さい場合もあり，また距離的にみて連続性もあろう．また，ほとんど場所の函数であるが，急に人がとびだしてきたり，前に自動車が走っていたり，いなかったりすることもあるので，時間も入ってくる．また(3)式からもわかるように運転手の特性，自動車の操縦性能にも関連する．これらを全部考慮しなければならないわけであるが，

ここでは便宜上，v_d は時間の連続函数であり，時間自己相関 $\rho(\bar{v}, t)$ 及び v_d の平均値と分散とできまる確率分布をもった統計量で与えられるとする．ここに $\bar{v}$ は平均の自動車の速度である．さらに，危険速度の標準備差を σ_0 とおき，$\overline{v_d}$ の κ 倍とする．すなわち

$$\sigma_0{}^2=\overline{v_d{}^2}-\bar{v}^2 \tag{7}$$

$$\sigma_0=\kappa\overline{v_d} \tag{8}$$

とおくことにする．

この仮定をして(4)式で計算される自動車の速度 $v(t)$ が $v_d(t)$ より大きくなる確率を求めれば，これが自動車が事故をおこす確率となる．

モンテ・カルロ法による検討

まずはじめに，モンテ・カルロ法によって検討してみよう．これには(1)式を差分方程式に直し，

$$v(t+\Delta t)-v(t)=\alpha\{v_s(t-\tau)-v(t)\}\Delta t, \tag{9}$$

あるいは

$$v(t+\Delta t)=v(t)+\alpha\{v_s(t-\tau)-v(t)\}\Delta t \tag{10}$$

とおく．つぎに危険速度 v_d のモデルをつくり，その Δt 時間ごとの値を与える．しかるとき(5)式の関係から v_s を求め，初期の $v(t)$ の値を適当に与えれば $v(t+\Delta t)$ が求められ，順次 v の値が t の函数として求められる．つぎにこれと同じ時刻の v_d の値と比較し，v が v_d より大きくなれば事故であるから，事故のおこる時刻がわかり，一つの事故のおきた時刻から，つぎの事故のおきるまでの時間を求め，その平均をとれば，事故をおこさないで走れる平均安全運転時間がきまる．あるいは各時間にそれに速度をかけて加え，平均をとれば，これが事故がおこるまでの平均走破距離になる．このようなことをパラメーターの値をいろいろと変え，非常に多くのモデルについて行えば，事故に関係する因子の影響が求められるであろう．

もっとも，正確には一度事故がおきると，自動車は必ず止るので，ここで取扱ったような方法は正しくない．現在の方法では事故の起る確率を大きく見積りすぎるであろう．しかし，初期の速度をどのようにとるかについてはっきりした根拠はないし，また，事故の起る確率が小さいときは，その影響は小さいので，現在のままでも定性的のことはいえよう．

さて，この方法での第1の問題はまず危険速度 v_d のモデルを作ることである．しかし，筆者にはその方の知識がほとんどないし，また実際に計算することも容易ではなさそうに思われるので，人為的なモデルをとることにした．すなわち，まず v_d のモデルとして札幌の日平均海面気圧をとり，980 mb を引き，その mb 単位を km/h とみなし，その時系列をもって危険速度の時系列のモデルと考えた．これは日平均気圧には持続性があり，日々の値の自由相関は 0.6 程度である．これは定性的にはわれわれが現在要求している乱数の系列の性質にあうからである．

蛇足かもしれないが，計算法を第1表に示そう．表中 t は経過日数であり，P はその時の札幌

の気圧である．これから 980 mb をひいた値を危険速度 v_d と考える．そして $t=1$ 日を自動車

第1表 モンテ・カルロ法による計算法

t	P 札幌地上気圧	v_d $P-980$ m	目標速度 v_s $0.8\,v_d(t-1)$	速度 v	加速度 v_s-v,	$\alpha\Delta t(v_s-v)$ $0.5(v_s-v)$
0	1004 mb	24 km/h	35.2 km/h	24.0 km/h	11.2	5.6
1	1009	29	19.2	29.6	−10.4	−5.2事故
2	1019	39	25.2	24.4	0.8	0.4
3	1021	41	31.2	24.8	6.4	3.2
4	1012	32	32.8	28.0	4.8	2.4
5	1011	31	25.6	30.4	−4.8	−2.4
6	1000	20	24.8	28.0	−3.2	−1.6事故
7	1009	29	16.0	26.4	−10.4	−5.2
8	1005	25	23.2	21.2	2.0	1.0
9	1011	31	20.0	22.2	2.2	1.1
10	1011	31	24.8	23.3	1.5	0.8
11	1014	34	24.8	24.1	0.7	0.4
12	1012	32	27.2	24.5	2.7	1.7
13	1009	29	25.6	25.9	−0.3	−0.2
14	1016	36	32.2	25.7	−2.5	−1.3

の場合には1秒と考える．つぎに目標速度は危険速度の 0.8 倍とし，反応時間は，1単位，すなわち，1秒かかるとし，したがって v_s は一つ前の v_d の値に 0.8 をかけたものとする．たとえば $t=1$ の v_d は 24 km/h×0.8=19.2 km/h である．なお，初期条件として $t=0$ における v を 24 km/h と考える．6列目の v_s-v は危険速度と速度との差であり，$\alpha\Delta t=\frac{1}{2}$ として，この値をかけると，これが速度変化となる．すなわち，$t=2$ の v の値は $t=1$ における 29.6 km/h に $-10.4\times\frac{1}{2}=-5.2$ km/h を加えた値 24.4 km/h となる．このようなことをくりかえしていけば速度 v の時間変化がわかる．つぎに同じ時刻の v_d と v の値をくらべてみると $t=1$, $t=6$ で v の方が v_d より大きくなっている．これが事故のおこる時刻である．このようにして長い標本で調べれば事故の起る確率が求められる．

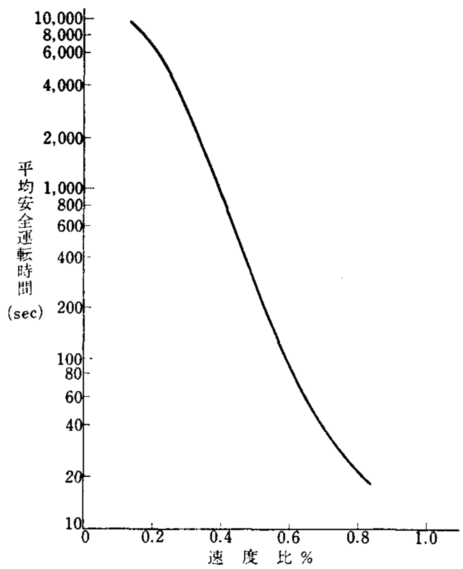
第2表 速度比と平均安全運転時間

γ	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	
a	17	50	130	359			sec
b			135	338	676	1352	
平均	17	51	128	348	676	1352	

つぎにいくぶん実際の場合に近づけて数値例をみてみよう．まずはじめに，1日を1秒程度に考え，$\tau=0$, $\alpha=1/2$ とおき，γ をいろいろかえた場合，事故なしで平均何秒走るかを計算してみると第2表のようになる．ただし a は 365 日ほどの値から求めた値，b は5年ほどの値から求めた値である．この値をみると，ほぼ γ が 0.1 へるごとに，平均事故時間は倍になることになる．

しかしながら速度が遅くなることは，同じ道路をはしる時，時間がかかるので現在の例で考えた危険速度の時系列は空間的に与えたと考えた方が適当である．すなわち平均安全運転時間は，表の値よりも大きく，γ の値で割る方が適当であろう．そうすると，この関係は第2図のようになる．これからわかるように，γ をわずかかえることは平均事故時間に大きな影響を与えること

になる．ただし，この値では $\gamma=0.2$ の時でも2時間も走れば事故になるので実際の例としてはほど遠く，定性的な結果をみる例として考えなければならない．



第2図

第3表 反応時間と事故率

反応時間 τ ＼ 目標速度比 γ		60	50	40%
0	0.1 sec	55	35	10%
1		60	40	15
2		60	45	20
3		60	50	20
4		60	50	25
5		60	60	30
6		65	60	30
7		65	60	30
8		65	60	30
9		65	60	30
10		65	60	35
11		65	60	35
12		65	60	40
13		70	60	45
14		75	60	45
15		75	60	45
16		75	60	45

つぎには反応時間 τ の影響を調べてみよう．このためには以上の例では不適当であるので少しく危険速度のモデルをかえた．すなわち，事故のおこるのはごく特別の場合であり，一般に v_d が急変するところである．そこで，台風が通った場合の毎時の気圧変化をとり，それがこのようなところの危険速度変化のモデルに相当すると考えた．そして，1時間を 0.1 秒程度と考え，α の値を 1/1 sec とおき，目標速度，反応時間を変えた場合事故のおこる率がどう変化するかを調べてみた．20 例ほどについて事故のおこる率を計算してみると第3表のようになる．

これから，当然予想されることではあるが，反応時間が遅くなれば，事故の数はふえてくる．しかし，その増加の模様は γ の値で違い，γ が大きいときはあまり変化しないが，小さい時は変化が大きい．また，反応時間が大きくなっても変化は小さくなるのがわかる．

事故発生確率の計算

前節の方法はわかりやすく，計算も簡単であるが，数値を正確に求めるには多くの計算量を要する．すなわち 0.1 sec ごとくらいに計算する必要があるので，1日の運転状況を計算するには 100 万回の計算を必要とし，1人で計算すると数ヶ月はかかるであろう．したがって，電子計算機などをつかわなければ無理である．

そこでつぎには解析的に取扱ってみよう．前の仮定によると，事故のおこる条件は $\Delta v=v_d-v$

の値が負になることであり，このようになる確率を計算するため，その平均値と分散を求めてみる．まず速度の平均を求めてみると

$$\overline{v(t)}=\overline{e^{-\alpha t}\int_{-\infty}^{t}\alpha\gamma v_d(\xi-\tau)e^{\alpha\xi}d\xi}=\gamma\overline{v_d} \tag{11}$$

となる．そこで

$$\overline{\Delta v}=\overline{v_d}-\bar{v}=\overline{v_d}(1-\gamma) \tag{12}$$

となる．分散はつぎの計算で与えられる．

$$\sigma^2{}_{\Delta v}=\overline{\Delta v^2}-\overline{\Delta v}^2$$

$$=\overline{\left\{v_d(t)-e^{-\alpha t}\int_{-\infty}^{t}\alpha\gamma v_d(\xi-\tau)e^{\alpha\xi}d\xi\right\}^2}-\overline{v_d}^2(1-\gamma)^2$$

$$=\overline{v_d^2}-2e^{-\alpha t}\int_{-\infty}^{t}\alpha\gamma\overline{v_d(t)v_d(\xi-\tau)}e^{\alpha\xi}d\xi+e^{-2\alpha t}\overline{\left(\int_{-\infty}^{t}\alpha\gamma v_d(\xi-\tau)d^{\alpha\xi}d\xi\right)^2}-\overline{v_d}^2(1-\gamma)^2$$

$$=\overline{v_d}^2+\sigma_0^2-2e^{-\alpha t}\int_{-\infty}^{t}\alpha\gamma\{\overline{v_d}^2+\sigma_0^2\rho(t-\xi+\tau)\}e^{\alpha\xi}d\xi+e^{-2\alpha t}\left(\int_{-\infty}^{t}\alpha\gamma\overline{v_d}e^{\alpha\xi}d\xi\right)^2$$

$$+e^{-2\alpha t}\overline{\left(\int_{-\infty}^{t}\alpha\gamma v_d'(\xi-\tau)e^{\alpha\xi}d\xi\right)^2}-\overline{v_d}^2(1-\gamma)^2.$$

ただし $v_d(\xi-\tau)=\overline{v_d}+v'(\xi-\tau)$ である．さらに脚注*の関係を入れることにより

$$\sigma_{\Delta v}{}^2=\overline{v_d}^2+\sigma_0^2-2\gamma\overline{v_d}^2-2\sigma_0^2e^{-\alpha t}\int_{-\infty}^{t}\alpha\gamma\rho(t-\xi+\tau)e^{\alpha\xi}d\xi$$

$$+\gamma^2\overline{v_d}^2+e^{-2\alpha t}\overline{\left(\int_{-\infty}^{t}\alpha\gamma v_d'(\xi-\tau)e^{\alpha\xi}d\xi\right)^2}-\overline{v_d}^2(1-\gamma)^2$$

$$=\sigma_0^2\left(1-2\int_0^{\infty}\alpha\gamma\rho(\xi-\tau)e^{-\alpha\xi}d\xi+\int_0^{\infty}\alpha\gamma^2\rho(\xi)e^{-\alpha\xi}d\xi\right) \tag{13}$$

すなわち，

$$\left.\begin{aligned}&\overline{\Delta v}=\overline{v_d}(1-\gamma)\\&\sigma_{\Delta v}{}^2=\sigma_0^2\left(1-2\int_0^{\infty}\alpha\gamma\rho(\xi-\tau)e^{-\alpha\xi}d\xi+\int_0^{\infty}\alpha\gamma^2\rho(\xi)e^{-\alpha\xi}d\xi\right)\end{aligned}\right\} \tag{14}$$

なを関係うる．

計算の便宜上 v_d の度数分布を正規分布とすれば，Δv の度数分布も正規分布となり，その値は $\overline{\Delta v}$, $\sigma_{\Delta v}$ の値が決まれば完全に決まる．したがってこれから事故のおこる確率が計算される

---

* $$\overline{\left(\int_{-\infty}^{0}v(\xi)e^{\alpha\xi}d\xi\right)^2}=\sigma^2\int_{-\infty}^{0}\int_{-\infty}^{0}e^{\alpha(\xi_1+\xi_2)}\rho(\xi_1-\xi_2)d\xi_1d\xi_2 \qquad \xi_1=\eta+\xi_2,\ d\xi_1=d\eta$$

$$=\sigma^2\int_{-\infty}^{0}d\xi_2\int_{-\infty}^{-\xi_2}e^{\alpha(\eta+2\xi_2)}\rho(\eta)d\eta$$

$$=\sigma^2\int_{-\infty}^{0}d\eta\int_{-\infty}^{0}\rho(\eta)e^{\alpha\eta+2\alpha\xi_2}d\xi_2+\sigma^2\int_0^{\infty}d\eta\int_{-\infty}^{-\eta}\rho(\eta)e^{\alpha\eta+2\alpha\xi_2}d\xi_2$$

$$=\sigma^2\int_{-\infty}^{0}\frac{\rho(\eta)e^{\alpha\eta}}{2\alpha}+\sigma^2\int_0^{\infty}\rho(\eta)\frac{e^{\alpha\eta-2\alpha\eta}}{2\alpha}d\eta=\sigma^2\int_0^{\infty}\frac{\rho(\eta)e^{-\alpha\eta}}{\alpha}d\eta$$

ことになる.

なお，正規分布を仮定すると v_d の値は負にもなりうる．実際には v_d の値は負になることはないので，これは矛盾のように思われる．しかし，実際の事故はとまっていても他の自動車がぶつかっておこることもあり，v_d が負になる確率をこのような事故のおこる確率に相当させれば一応矛盾はしない．また，σ_0 の値を適当にとれば v_d が負になる確率を極めて小さくすることができ，実際上は問題にならない.

これで一応 v_d の平均値と分散が計算できるが，さらにみやすくするため特別の場合として，

$$\rho(\xi)=e^{-\beta\xi} \tag{15}$$

とおくと

$$\left.\begin{aligned}\Delta v&=v_d(1-\gamma)\\ \sigma_{\Delta v}&=k\overline{v_d}\left\{1-\frac{2\alpha}{\alpha+\beta}\gamma\cdot e^{-\beta\tau}+\frac{\alpha\gamma^2}{\alpha+\beta}\right\}^{\frac{1}{2}}\end{aligned}\right\} \tag{16}$$

となる.

以上の計算で Δv の平均値と標準偏差が求められ，かつ正規分布を仮定しているので，Δv の分布曲線が求められることになる．そして，事故のおこる条件は $\Delta v<0$ であるから，このようになる確率を求めれば事故のおこる確率が計算される．これはつぎのようにして計算される.

すなわち

$$\overline{\Delta v}=(1-\gamma)\overline{v_d}=t\sigma_{\Delta v}=tk\overline{v_d}\left\{1-\frac{2\alpha\gamma}{\alpha+\beta}e^{-\beta\tau}+\frac{\alpha\gamma^2}{\alpha+\beta}\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{17}$$

を満足する t を求め，$\sigma=1$ の正規分布の表から求めればよい．参考までに t とそれに対応する確率を求めると第4表の如くである[3].

第4表　超過確率

t	確率	t	確率	t	確率	t	確率	t	確率
0.1	0.461	1.1	0.136	2.1	1.78×10^{-2}	3.1	9.5×10^{-4}	4.1	1.7×10^{-5}
0.2	0.421	1.2	0.115	2.2	1.39	3.2	6.6	4.2	1.1
0.3	0.382	1.3	0.057	2.3	1.07	3.3	4.5	4.3	0.71
0.4	0.350	1.4	0.081	2.4	0.84	3.4	3.2	4.4	0.45
0.5	0.308	1.5	0.067	2.5	0.62	3.5	2.1	4.5	0.29
0.6	0.274	1.6	0.054	2.6	0.47	3.6	1.35	4.6	0.17
0.7	0.242	1.7	0.045	2.7	0.35	3.7	0.95	4.7	0.11
0.8	0.212	1.8	0.036	2.8	0.26	3.8	0.67	4.8	0.06
0.9	0.184	1.9	0.029	2.9	0.19	3.9	0.44	4.9	0.03
1.0	0.158	2.0	0.023	3.0	0.14	4.0	0.26	5.0	0.03

なお，β の値は同じ道路なら自動車の速度によって変わってくる．そこで，一応の桁をみるという意味で

$$\beta=\bar{v}/\lambda, \qquad \overline{v_s}/\lambda=\gamma\overline{v_d}/\lambda \tag{18}$$

とおくことにしよう．λ は道路の特性により定まる常数である．しかる時

$$t=(1-\gamma)\div k\left\{1-\frac{2\alpha\gamma e^{-\gamma\frac{\overline{v_d}}{\lambda}\tau}}{\alpha+\frac{\gamma\overline{v_d}}{\lambda}}+\frac{\alpha\gamma^2}{\alpha+\frac{\gamma\overline{v_d}}{\lambda}}\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{19}$$

なる t を計算すれば衝突の確率が計算でき，t が大きければ衝突の確率は小さくなる．

つぎに各係数の影響を調べてみよう．

τ: これは人間の反応時間であり，これが大きなると t は小さくなるから事故の確率は大きくなる．これは当然予想されるところであるが，あとで数値例でみるようにその影響は特別大きくはない．

α: これは自動車の操縦性能をあらわす量で，これが大きいことは速度の変化が速いということ，いいかえればすぐに速度変化ができることで，これが大きいほど操縦性能はよいとみてよいであろう．この量が大きくなると t は小さくなり，事故は少なくなる．

$\overline{v_d}$ と λ: 共に道路の特性によって定まる量で，$\overline{v_d}$ と λ との比が事故に重要な関係があることは興味がある．この比が大きいと，t は小さくなり，事故が増加する．あるいは，平均の危険速度が大きくなると事故は増加し，また道路の特性の変化がはげしいとき事故が多くなるという事である．

γ: これは目標速度をどれくらいにするかということを示す因子で，γ が大きいという事は速度を大きくとることである．この量が大きくなると t は小さくなり，事故は多くなる．

なお，ここで注意すべきは α と β の比が事故に重要な一つの因子となることである．β が小さければ α を小さくとっても事故はそれほど増加しない．このことは，別の表現をすれば，道路の性能がよければ自動車の操縦性が多少悪くとも事故はおきないということである．以上の結果は常識的にも予想されるところであるが，次節で数値的に当ってみよう．

なお，もう一つ注意をしておきたい．現在の結果はある任意の時刻をとったとき，事故のおこる状態になっているかどうかという確率を計算したものであり，自動車が何時間，あるいは何キロ走れば事故がおこるかという確率とは別であることである．このような確率も原理的には計算できるはずであるが，現在のところ解析的にだすのは困難である．ただ，その時間の桁は t の値から計算される確率の逆数に，平均の同一速度継続時間をかければほぼ事故のおこるまでの平均時間が求められそうである．モンテ・カルロ法によればこの難点はさけられる．

数　値　例

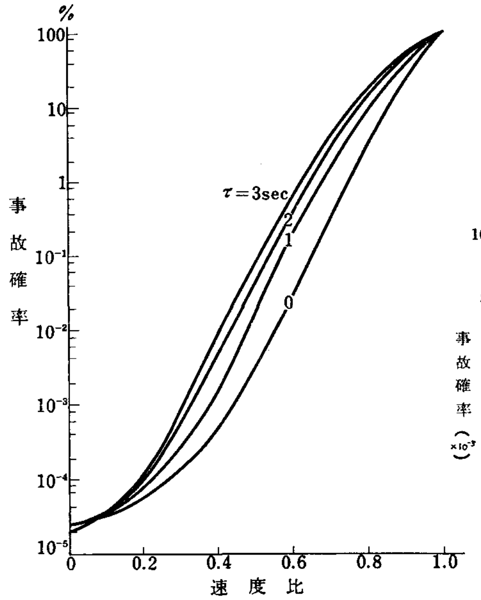
つぎに数値例をあげてみよう．いま $\tau=0.2\,\mathrm{sec}$，$\alpha=1/2\,\mathrm{sec}$，$\gamma=0.5$，$k=1/5$ とおき，β と危険率との関係を調べてみると第5表のようになる．

第5表　道路特性と事故確率

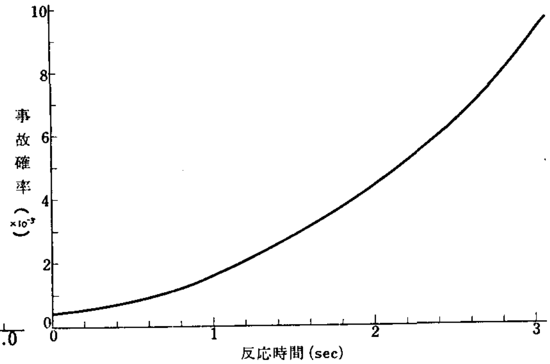
β	0	0.05	0.1	0.2	0.5	1	∞
t	5	4.37	3.98	3.58	3.04	2.85	2.5
危険率	2.5×10^{-5}	5×10^{-4}	2.8×10^{-3}	1.6×10^{-2}	1.3×10^{-1}	2×10^{-1}	0.62%

これから $\beta=0.1$ 辺りではそのわずかの変化により危険率は相当大きく変わることがわかる．すなわち，道路特性も事故には大きく影響をする．

つぎには $\alpha=\dfrac{1}{2\,\mathrm{sec}}$，$\beta=\dfrac{\gamma}{4\,\mathrm{sec}}$ とおき，τ, γ をかえた場合の事故のおこる確率を求めてみる



第3図　速度比と事故確率



第4図　反応時間と事故確率

と第6表のようになる．たとえば，$\gamma=0.4$，$\tau=0.2$ とすると事故のおこる確率は $5.6\times10^{-4}\%$ である．$\alpha=\dfrac{1}{2\,\mathrm{sec}}$ とおいてあるので，このことは $10/5.6\times10^{-6}=1.8\times10^{6}\,\mathrm{sec}=500$ 時間走ると1回事故をおこすということになる．第3図及び第4図は第5表の結果を図にしたものである．この数字は前のモンテ・カルロ法による例よりはずっと実際に近い．

第6表　目標速度，反応時間と事故確率

τ \ γ	0		0.2		0.4		0.6		0.8	
sec	t	w	t	w	t	w	t	w	t	w
0	5.00	2.5×10^{-5}	4.87	4.9×10^{-6}	4.40	4.5×10^{-4}	3.38	3.6×10^{-2}	1.78	3.8%
0.2	5.00	$2.5\times$ 〃	4.87	〃	4.35	$5.6\times$ 〃	3.24	$5.1\times$ 〃	1.67	4.8
0.4	5.00	〃	4.86	$5.0\times$ 〃	4.30	$7.1\times$ 〃	3.10	$9.5\times$ 〃	1.56	6.0
0.6	5.00	〃	4.85	$5.4\times$ 〃	4.25	$8.9\times$ 〃	3.00	$13.5\times$ 〃	1.48	7.0
1.0	5.00	〃	4.80	$6.5\times$ 〃	4.12	$16\times$ 〃	2.87	$20\times$ 〃	1.37	8.5
2.0	5.00	〃	4.75	$8.7\times$ 〃	3.91	$44\times$ 〃	2.59	$48\times$ 〃	1.20	11.6
3.0	5.00	〃	4.69	$10.0\times$ 〃	3.72	$92\times$ 〃	2.40	$84\times$ 〃	1.10	13.6

そして，この表から前にでた定性的の結論がさらに確められる．すなわち，目標速度と事故数の関係は非常に重要である．表からもわかるように，速度を増すと事故数はいちじるしく増加する．目標速度と危険速度との比 γ が 0.1 ますごとに 10 倍くらい変化することがわかる．

これに対し，反応時間 τ の変化による危険率の変化は比較的小さい．そして，$\gamma=0.4$ くらい

のときに一番変化が大きく，γ の大きいところでも小さいところでも変化は比較的小さいことは前にもとめた結論ともほぼ一致する．

結果の考察

多少重複のきらいはあるが，以上の計算結果から得られる結論をいくつかあげてみよう．

まず，事故に関係する因子はいろいろあり，その関係はなかなか複雑である．事故のおきる確率にもっとも大きくひびくのは，速度の定め方である．ふつう危険速度の 40% ぐらいを目標速度にとるのが実用的な速度であると思われるが，これが 10% 程度違っても事故のおこる確率は数倍も違う．

つぎに，道路の特性が事故に及ぼす影響を調べてみると，一口にいえば道路の特性の変化のはげしいところで事故がおこりやすいことを示している．なお，正確には，道路に関する因子を現在の立場からみると二つあり，一つは危険速度の平均と分散との割合，及び危険速度の空間相関である．前者はいわば道路がどの程度一様にできているかを表わす量であり，後者は道路特性の変化が道路のどれくらいの距離で変化するかをあらわす量である．そして，道路特性をあらわすもう一つの因子，平均の危険速度が事故に関係がないようにみえるのは注意すべきである．これは平均の危険速度が小さいところでは目標速度をおとすからであって，もし同一目標速度をとるなら，もちろん危険速度が小さいところで事故がおこりやすい．

つぎに事故のおこる確率に効く因子には，自動車の性能をあらわす因子 α がある．これが大きいほどいいかえれば，速度の変化が早くとれる自動車ほど事故はへることを示している．しかしその影響は一寸考えられるほど大きくない．ただ，ここで注意すべきは，α と道路特性に関する β の比が事故に重要な因子となることである．β が小さければ α を小さくしても事故はそれほど増加しない．この事は別の表現をすれば道路の性能がよければ自動車の操縦性能が多少おちても事故はおきないということである．

つぎに，操縦者の特性である τ は一般に大きければ，事故数は予想されるように増加する．しかし，その影響は案外小さい．

ただここで注意すべきは，この事は操縦者の特性がきかないということではない．目標速度の変化は，事故率に大きな影響がある．そして，目標速度は操縦者が判断して決めるのであるから，それに狂いがでてくれば事故の確率は相当に大きく変化する．第5表の例によるとかりに γ をほぼ 0.5 とし，その判断を 10% あやまったとしたとき，事故の確率は5倍程度も変化することになる．この点で，因子 α, τ も(3)式を通じ場合によれば相当に影響を及ぼすことは考えられる．

あとがき

この拙論に対し，編集委員の方から適切な注意があり，あとにのせる論文の紹介もあった(英

文の部分)．本来なら，それに従って全面的に書きかえるべきであったであろうが，時間がないという口実のもとに一部手を入れる程度にとどめてしまった．それは一つは本論の主旨には大体賛成して頂けたと思ったからである．御注意に感謝するとともに，お許しを願う次第である．

参 考 文 献

(1) 佐々木軍治，踏切事故の実態と対策，(1)，鉄道科学社(1958)
佐々木軍治，交通事故の実態と対策，**2**，(1958)，**3**，**4**，(1960)，**5**，(1961)，自動車技術会中部支部.

(2) 坪内和夫，人間工学，日刊工業新聞社，(1961)

(3) 伏見康治，確率論及び統計論，河出書房，(1943)

REFERENCES

1) Pipes, L. A.; "An Operational Analysis of Traffic Dynamics,". J. Applied physics, **24**, 274—281 (1953)

2) Chandler, R., Herman. R. and Montroll, E. W.: "Traffic Dynamics: Studies in Car Following," Opns. Res., **6**, 165—184 (1958)

3) Herman, R., Montroll, E. W., Potts, R. B. and Rothery, R. W.: "Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car Following," Opns. **7**, 86—106 (1959)

4) Chow, T. S.: "Operational Analysis of a Traffic-Dynamics Problem," Opns. Res., **6**, 827—834 (1958)

5) Kometani, E. and Sasaki, T.: On the Stability of Traffic Flow (Report I)," J. Opns. Res. Japan, **2**, 11—26 (1958)

6) Sasaki, T.: "On the Stability of Traffic Flow, (Report II)," J. Opns. Res. Japan, **2**, 60—79 (1959)

7) Kometani, E. and Sasaki, T.: "A Safety Index for Traffic with Linear Spacing," Opns. Res., **7**, 704—720

8) Kometani, E. and Sasaki, T.: "Dynamic Behavior of Traffic with a non-Linear Sacing-Speed Relationship," First International Synposium on the Theory of Traffic Flow. Dec. 7—8 (1956)

9) Gazis, D. C., Herman, R. and Potts, R.: "Car Following Theory of Steady State Traffic Flow," Opns. Res. **7**, 499—505 (1959)

10) Edie, L. C.: "Car-Following and Steady State Theory for Noncongested Traffic," Opns. Res. **9**, 66—76 (1961)