〔研究ノート〕

飛行機事故の現象面的考察

山 本 喜 一

序　吉弘貴先生のこと

先生がお亡くなりになったのは一昨年10月でしたから，はや1年余りになります。直前の9月末の富山の学会に出掛けたいとの御意向を承っていた矢先だけに，本当に急なことで茫然としました。と申しますのも，私は本学への赴任を半年後に控えて，先生には特に御指導を仰がねばならない立場にあっただけに，途方に暮れたと申しても大袈裟ではありません。

先生と私とは，岐阜大で御一緒した時期もあったはずですが，私が岐阜大へ赴任した時には，先生は短大の方にお勤めでしたので，東松先生（現在朝日大教授）からお名前は折にふれて伺っていたものの，会議などでお会いする機会は全くありませんでした。ただ，一度だけですが，先生が東松先生の部屋へお立寄りになったとき，偶然その場に居合せてお話できたことがありました。明治の面影を宿しておられた風貌が，そのときの第一印象として今でも目の前に浮びます。伝え聞くところによりますと，本学でも先生は学生に対して非常に厳しく対処されていた由ですが，そのように気骨ある先生が一人減ったことは淋しい限りであり，学生のためにも残念だと思う次第です。

改めて先生の御冥福をお祈り致す次第です。

（昭和62年4月）

飛行機事故の現象面的考察

1. 飛行機事故の発生記録

一昨年8月の日航機の事故では，犠牲者が未曾有の多数に及んだことで我々は非常な衝撃を受けた。その際，人々は昭和41年の一連の事故（2月4日全日空機羽田沖に墜落，3月4日カナダ航空機羽田空港に着陸失敗，3月5日BOAC機富士山に墜落）を思い出して，その直後飛行機を利用することに対して，

事故が起ったのは，それだけ事故の起るポテンシャルが高まっているはずだから，まだ暫くは様子を見た方がよい

という声がある一方で，

事故のあとでは整備が特に念入りに行われるから，かえって大丈夫だ

という声もあったように思う。

因みに，昭和49年から一昨年の昭和60年までの12年間に世界で起った飛行機の大事故を，『交通年鑑』(交通安全協会編) より拾い上げてみると以下のようである。(軍用機，セスナ機の事故は除外した。また，乱気流，落雷に関するものは，記録の範囲が我が国の上空に限られているので，同様に除外した。)

昭和49年	1/31，3/3，4/23，4/27，9/8，9/15，11/20，12/1，12/5，12/22
昭和50年	4/4，6/25，7/31，8/4，8/20，12/17
昭和51年	1/1，9/10，9/20，10/14，11/29，12/25
昭和52年	1/14，3/28，5/27，9/27，11/20，11/21，12/4
昭和53年	1/1，2/11，3/1，3/3，3/25，4/21，9/25，11/15
昭和54年	3/29，5/25，8/4，8/15，10/17，10/31，11/26，11/28
昭和55年	1/21，2/27，3/14，4/27，8/20，8/26，11/19，11/21，12/21
昭和56年	6/23，7/20，7/27，8/23，9/15，10/10，12/1
昭和57年	1/13，2/5，2/9，3/20，7/9，8/11，8/26，9/13，9/17，9/29，10/17，10/17，12/9，12/25

昭和58年	1/16, 3/11, 3/11, 6/2, 9/1, 9/14, 9/23, 11/27, 11/29, 12/7
昭和59年	1/11, 8/5
昭和60年	1/18, 1/19, 1/21, 2/19, 6/24, 8/2, 8/12, 8/22, 12/12

2. 事故発生のモデル

この記録を現象面的に（事故の起った日時だけを考察の対象として）見るとき，どのようなモデルが当嵌まるであろうか。

前に挙げた二つの心理は，いずれも事故の起る可能性が時間の経過につれて変化することを前提としている。変化の有無を云々するためには，変化がないモデルを設定して，それが上の資料に当嵌まるか否かを調べればよい。

そのために，“事故の起る可能性に変化がない”ことを次のように理解してみよう。

> 時間の経過を同じ幅の小区間に細分するとき，各小区間で事故が起る確率は，それ以前の小区間で事故が起ったか否かに関係なく一定の値 p である。その際，p は非常に小さいから（大きくては大変である!!），各小区間で2回以上事故の起る確率は無視することにする。

以下，このモデルが当嵌まるかどうかを，以下**3**，**4**の二つの角度から調べてみることにする。

3. 一定期間内に起る事故の件数

考える時間区間を（0, T）とし，これを n 等分した小区間のうちのいずれかで k 回起る確率 P_k は

$$\mathrm{P}_k = {}_nC_k p^k(1-p)^{n-k} = \frac{n(n-1)(n-2)\cdots(n-k+1)}{k!}p^k(1-p)^{n-k}$$

$$= \frac{(np)^k}{k!}(1-p)^n \frac{\left(1-\frac{1}{n}\right)\left(1-\frac{2}{n}\right)\cdots\left(1-\frac{k-1}{n}\right)}{(1-p)^k}.$$

時間区間（0, T）における事故の平均回数は np で，これを λ とおくと，細

分数 n が十分大きく，p が十分小さいときは，k が $0, 1, 2, \cdots, 5$ とあまり大きくない範囲では

$$(1-p)^n = \left(1-\frac{np}{n}\right)^n = \left(1-\frac{\lambda}{n}\right)^n \fallingdotseq e^{-\lambda},$$

$$\left(1-\frac{1}{n}\right)\left(1-\frac{2}{n}\right)\cdots\left(1-\frac{k-1}{n}\right) \fallingdotseq 1, \qquad (1-p)^k \fallingdotseq 1$$

と近似して

$$\mathrm{P}_k \fallingdotseq \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

が得られる。（k は本来 0 から n までの可能性があるが，λ があまり大きくなければ

$$\begin{aligned}\mathrm{P}_0+\mathrm{P}_1+\mathrm{P}_2+\cdots+\mathrm{P}_5 &= e^{-\lambda}\left(1+\lambda+\frac{\lambda^2}{2!}+\cdots+\frac{\lambda^5}{5!}\right)\\ &\fallingdotseq e^{-\lambda}\cdot e^{\lambda}=1\end{aligned}$$

となって，P_k の近似としては十分である。）

いま，$(0, T)$ を 1 カ月として，各月の事故件数を調べてみると下の表が得られる。

事故件数	0	1	2	3	4～	計
月　　数	77	44	17	6	0	144
	(74)	(49)	(17)		(4)	

$$1\text{カ月の平均事故件数} = \frac{1\times44+2\times17+3\times6}{144} = \frac{96}{144} = 0.67$$

括弧内の数字は $\lambda=0.67$ とした $144\times\dfrac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$ の値（本稿末尾の数表参照）で，現実の値と非常によく適合しているといえる。

4. 事故の間隔

事故間隔を変量 T とみれば，我々の場合 94 個の T の実現値を観測しているわけである。

いま，一つの事故が起った時点を0とし，次に事故が起るまでの時間が t，すなわち $t<T<t+\varDelta t$ である確率 $\mathrm{P}(t<T<t+\varDelta t)$ を考えてみよう。時間区間（$0, t$）を n 等分して $\varDelta t=\dfrac{t}{n}$ と考えると，$t<T<t+\varDelta t$ は，事故が（$0, t$）の n 個の小区間では起らないで（$t, t+\varDelta t$）ではじめて起る確率であるから，

$$\mathrm{P}(t<T<t+\varDelta t)=(1-p)^n p=\left(1-\frac{np}{n}\right)^n\frac{np}{n}$$

$$=\left(1-\frac{\lambda}{n}\right)^n\frac{\lambda}{n}\fallingdotseq e^{-\lambda}\frac{\lambda}{n}=\frac{\lambda}{t}e^{-\frac{\lambda}{t}\cdot t}\frac{t}{n}.$$

ここで，$\dfrac{\lambda}{t}=\lambda'$ とおけば

$$\mathrm{P}(t<T<t+\varDelta t)\fallingdotseq\lambda' e^{-\lambda' t}\varDelta t .$$

これは事故間隔 T の密度関数が

$$p(t)=\lambda' e^{-\lambda' t}\qquad(t>0)$$

であることを示している。$\lambda=np$ は（$0, t$）における事故の平均回数であったから，$\lambda'=\dfrac{\lambda}{t}$ は単位時間における事故の平均回数を意味する定数である。

ここで，単位を1日にとって我々の資料の事故間隔を整理すると下のようになる。

事故間隔	0 ～	20 ～	50 ～	90 ～	150 ～	計
件　数	36	27	17	10	5	95
	(33)	(29)	(19)	(10)	(4)	

1カ月の事故の平均回数が0.67であるから，1日の事故の平均回数 λ' は $\dfrac{0.67}{30}=0.022$ である。従って最初の級間（0, 20）については，

$$\int_0^{20}\lambda' e^{-\lambda' t}dt=\Big[-e^{-\lambda' t}\Big]_0^{20}=1-e^{-0.44}=1-0.65=0.35,$$

$$95\times0.35=0.33$$

が理論的期待値（上の表の括弧内の数字）となる（$e^{-0.44}$ の値は数表の $\lambda=0.44$, $k=0$ の欄で読みとることができる）。以下同様に計算して比較する

ポアソン分布表

X がポアソン分布パラメーター λ に従うとき，$k=0,1,2,\cdots$ に対する確率 $P(X=k)=\lambda^k e^{-\lambda}/k!$ をもとめ数表化したものである。

$k \backslash \lambda$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
0	.905	.819	.741	.670	.607	.549	.497	.449	.407	.368	.223	.135	.082	.050
1	.090	.164	.222	.268	.303	.329	.348	.359	.366	.368	.335	.271	.205	.149
2	.005	.016	.033	.054	.076	.099	.122	.144	.165	.184	.251	.271	.257	.224
3	—	.001	.003	.007	.013	.020	.028	.038	.049	.061	.126	.180	.214	.224
4	—	—	—	.001	.002	.003	.005	.008	.011	.015	.047	.090	.134	.168
5	—	—	—	—	—	—	.001	.001	.002	.003	.014	.036	.067	.101
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.001	.004	.012	.028	.050
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.001	.003	.010	.022
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.001	.003	.008
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.001	.003
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.001

$k \backslash \lambda$	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
0	.030	.018	.011	.007	.004	.002	.002	.001	.001	—	—	—	—	—
1	.106	.073	.050	.034	.022	.015	.010	.006	.004	.003	.002	.001	.001	—
2	.185	.147	.112	.084	.062	.045	.032	.022	.016	.011	.007	.005	.003	.002
3	.216	.195	.169	.140	.113	.089	.069	.052	.039	.029	.021	.015	.011	.008
4	.189	.195	.190	.175	.156	.134	.112	.091	.073	.057	.044	.034	.025	.019
5	.132	.156	.171	.175	.171	.161	.145	.128	.109	.092	.075	.061	.048	.038
6	.077	.104	.128	.146	.157	.161	.157	.149	.137	.122	.107	.091	.076	.063
7	.039	.060	.082	.104	.123	.138	.146	.149	.146	.140	.129	.117	.104	.090
8	.017	.030	.046	.065	.085	.103	.119	.130	.137	.140	.138	.132	.123	.113
9	.007	.013	.023	.036	.052	.069	.086	.101	.114	.124	.130	.132	.130	.125
10	.002	.005	.010	.018	.029	.041	.056	.071	.086	.099	.110	.119	.124	.125
11	.001	.002	.004	.008	.014	.023	.033	.045	.059	.072	.085	.097	.107	.114
12	—	.001	.002	.003	.007	.011	.018	.026	.037	.048	.060	.073	.084	.095
13	—	—	.001	.001	.003	.005	.009	.014	.021	.030	.040	.050	.062	.073
14	—	—	—	—	.001	.002	.004	.007	.011	.017	.024	.032	.042	.052
15	—	—	—	—	—	.001	.002	.003	.006	.009	.014	.019	.027	.035
16	—	—	—	—	—	—	.001	.001	.003	.005	.007	.011	.016	.022
17	—	—	—	—	—	—	—	.001	.001	.002	.004	.006	.009	.013
18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.001	.002	.003	.005	.007
19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.001	.001	.002	.004
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.001	.001	.002
21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.001

と，この角度から見てもモデルが非常によく適合していることがわかる。

結論として，世界を股にかけて飛び廻っている人にとっては，航空機事故は，現象面で見る限り，何時突然的に起っても不思議はないと達観している

しか仕方がなさそうである。

5. あとがき

『交通年鑑』で昭和40年以降の事故発生年月日を調べてみると，昭和46年，47年，48年の3年間が前後の年度に比較して異常に多いのが目立つ。実際，昭和40年から60年までを一括して上述のような考察をしてみると，理論的期待値と現実の度数とはかなりはずれたものになる。もっとも，40年から45年までの6年間（$\lambda=0.81$）と，46年から48年までの3年間（$\lambda=2.36$）とを別々に扱えば，それぞれについては我々が扱った49年から60年までの間におけると同程度の一致が見られる。その異常な3年間は，現実には航空業界が飛躍的に発展した時期に当っており，それ故にこれら三つの時期はそれぞれを取巻く状況が異なる（同一の母集団からの標本ではない）と考えるべきであろう。

〈参考文献〉

竹内啓著：統計学の視点（東洋経済新報社）