

群集の流動と事故

新井 邦夫*・丸井 信雄*

要 約

関東大地震時の状況や、現在の複雑な都市機構に過密人口を有する東京の状況から、来るべき大地震には、群集事故が多発するであろうと予想する。

今日までに発生した群集事故の概観から、極めて高密度な群集塊の生因と、将棋倒しの力学的機構を明らかにする必要性が生じ、それらのモデルを提案した。

提案された第1のモデルは、群集が流出入する空間の面積、出入口の幅、および流出入量で群集密度の時間変化を表現している。

第2の将棋倒しモデルによる計算に従えば、群集列における人間の間隔が60cmあれば、将棋倒しは生起しない。後ろから人が倒れ込んできた時、先頭の人が支えられる人数は、せいぜい平地で7人、階段では4人であることがわかった。

1 はじめに

関東大震災直後に発行された雑誌類を通読すると、次に示すような描写が極めて多いことに気付く。

「丁度その日は土曜日で、白木屋の内部は女のお客で一杯でした。その人達は悲鳴をあげてわめき叫びながら、なだれをうって階段を転び下りました。……三階におりた時、大地のゆれ方は烈しくなりました。あたりにいた人達はほとんど将棋倒しにたおれました。私もとても立っていられないので両手をついて腹這いながらさべるようにして二階に下りました。二階は逃げ場に迷ったお客でまっ黒でした。……小さな入口から幾千の人が出てしまうまでには可なり時間がかかりました」(少女の友 大正12年10月号)

「(丸ビル内で)今にも倒潰するかと思われたので、手探りでドアを引き開けて廊下へ逃れ出ると、同じ思いの人々で廊下は一杯であった。……階段は人々の潮で身動きも出来なかった。殆んど足が階段につかずに、一足飛びに雪崩れ落ちるように一階の十字路へ吐き出された時は、地下室から、これも恐怖に色をなくした男女の群れが必死の勢いで上ってきた」(時事新報 大正12年12月号)

「公園も危いというので避難者は先を争って走る。その間を荷物の車がごろごろと通る。誰しも自分の身が大切だから病人だとして用捨はしません。人を突き転がして自からの安全を希う殺気立ったなかを担架を運ぶのは容易のことではありませんでした」(主婦の友 大正12年10月号)

「橋の上に衝突して押潰され踏み倒され、橋より落ちて大河に沈むもあり、欄干に押し付けられて絶息するあり、宛然白兵戦のそれに似て、物凄しとも恐ろしとも更に形容の言葉もなく、此処に命を殞すもの又幾許なるかを知らない」(関東震災写真帖 大正12年)

「鉄道は漸く無賃乗車の運転を始めた。……その混雑は筆にも紙にも記す事はできぬ程であった。……列車の屋根や窓の外までぎっしり鈴生りになる。……浦和では屋根から振り落されて12名も死んだ」(時事新報 大正12年12月号)

このような大混乱の中で、多数の人々が群集によって圧死させられたであろうことを想像する時、火災が激烈であったために、死因の判別が不可能で、群集による圧死者の実数をつかみ得なかったことは、人間として、せめてもの救いであったのかもしれない。

この貴重と言うにはあまりにも悲惨な歴史的教訓を生かし、来るべき次の大地震時には、同じ混乱とそれによ

* 東京都立大学都市研究センター・工学部

る大量死をあくまで防止することが、関東大震災で不慮の死をとげられた人々に対する我々の責務であろう。しかしながら、それは決して容易ではない。なぜなら、利便さの追求によって極めて複雑になった大都市の交通、通信等物理的機能の地震による停止は、おそらく、安倍（1977, p.19, p.84）の言うただでさえ盛大な「群集の機会」や「競争動因」をさらに急激に増長させるであろう。そして、その結果、たとえ関東大地震の時のような大火災に起因する大パニックが発生しなくても、小規模の群集事故がいたる所で発生するに違いないと考えられるからである。

以上の観点に立つ筆者等は、過去に発生した群集事故を概観・整理し、大事故の起因となる群集密度と将棋倒しについて考察してみた。

2 過去の事例と問題点

「人波がくずれたのは発売が開始された直後。わきの方にいた高校生のグループが突然、一番前の方に割り込もうとし、早くから並んでいた子供達から……非難の聲が上がり、押し合いになった。窓口から約10m離れたグループの1人がよろめき、つぎつぎに将棋倒し。……『苦しい』『助けて』『押すな』。ちびっ子ファンのカン高い悲鳴があるが人波にはばまれて、ガードマンも警官もすぐには近づけない」（読売新聞 1979年3月29日）
これは甲子園球場で、11名の負傷者を出した事故の様子を記した新聞記事の一筋である。1961年以後、大量死こそ出てはいないものの、この種の群集事故は毎年必ずどこかで発生し（年間5～25件）、それによる負傷者数は多い時には年間145名（1973年）にものぼっている（警察庁, p.1197）。

次に今日までに10名以上の死者を出した4件の事故について、新聞雑誌等から読み取れる概要を示そう。

1) 弥彦神社事件（1956年1月1日、死者数・124、負傷者数・94）

今日までに最も大量の死者を出した事故である。拝殿前2500m²の広場から帰ろうとする5～6千人と、これから詣でようとして参道を神殿に向かって進行中の群集とが幅3mの拝殿門付近で押し合いとなり、あたかも長柱が座屈するように、群集塊が崩れ、大量の死傷者を出した。群集の衝突であったこと、深夜でしかも事故発生直前に停電したこと、拝殿門前6mには階段（幅8m、長さ8m、高さ2m）があったこと等、全ての悪条件が重なった群集事故と考えられる。体験者によると、群集の中心では「身動きも出来ず」、「身体がふわっと浮いたと思ったら人の波の上を吹き飛ばされるようにして階段の下にたたきつけられ」、「転がりあってできた人間の山の高さは2m以上もあった」という。

2) 京都駅事件（1934年1月8日、死者数・76、重傷者数・48）

午後10時頃、第3ホームにおいて、約5千人が海兵団入団者を見送りしている際、階段上方での転倒者をきっかけに、群集雪崩が発生した。「憲兵・警官が駆け上り、必死となって追戻そうとしたが、群集は続々と押し寄せるばかり、『人が死んだ。あとへさがれ!』の声とともに群集は殺気立ち、各所でなぐり合いが始まった」という。

3) 皇居事件（1954年1月2日、死者数・16、負傷者数・65）

参賀がピークに達した午後2時頃、石橋において規制用にはられたロープに近い参賀者が、うしろからの圧力のために、「腹が痛い」「助けてくれ」と悲鳴を上げはじめた。ロープを上げて通過させようとした所、どっと群集が殺到し、1人の婦人がつまづいて倒れたのをきっかけに将棋倒しとなったものである。参賀者の中に居た1人の医師と、数名の米兵の献身的呼びかけにもかかわらず、死傷者搬出に協力する人は少なく、ほとんどは無関心に前を急ぐのみであったという。

4) 横浜体育館事件（1960年3月2日、死者数・12、負傷者数・14）

歌謡ショーを見るために館外に6～7千人の群集が集まっていた。幅約3mの狭い入口から20人毎に区切って整然と入場が始まった直後、横からの割り込みをきっかけに大混乱となり、将棋倒しとなった。入場整理に当たった学生によると、「ぼくの上に20人ぐらいが折り重なってきた。息がつまり、ハラワタが出そうだった。やっと立ち上ったとき、ぼくの下の子の中学生は死んでいた」という。

これらの事件に共通する、群集事故へのプロセスは、

- 1) 出入口や通路に、その疎通能力以上の群集が集まり整理が不可能になると、極めて高密度な群集塊が出来。
- 2) その群集塊が、外部からさらに圧力を受けると、最も弱い部分で破壊し、いわゆる将棋倒しが発生する。

戸川によれば、1m²当り10～12人で四周から体圧が加わりはじめ、13人になると急に呻きや悲鳴をあげるものが多くなるという。そして彼は、電車内で最大値17.8/m²人を観測した。憲兵等が階段を駆け上った京都駅事件を除き、ここにあげた例も含め、ほとんどの群集事故において、このような高密度の群集塊の存在が認められる。例えば、1956年1月15日、大阪で発生した事故（死者数・1、負傷者数・9）では、行列にまぎれ込んだねずみすら踏み殺されていたというし、1967年4月23日、同じ大阪での事故（死者数・1、負傷者数・27）では、造幣局の花見に続々と押しかけた人々を幅約3mの閉められた門前にかまえた約30人の警官が支え切れなく

なる程高密度になった。

このような群集塊が、先頭近くの年少者や老人・あるいは和服でゲタバきの婦人みたいに支持力の小さな人から転倒することによって、破壊へ移行する。例えば、二重橋事件での死者16名の年齢構成は、男子・8才，11才，70才，女子・7才，12才，26才，31才，40才，49才，52才，53才，54才，59才，64才，64才，76才であった。死者の多くは身体に砂利がめり込んでいたというから、恐らく、これらの人々は転倒者の最下部付近に位置していたと考えられる。

そして、事故発生の初期に、その態様が後方にうまく伝わらないような、夜間や、階段では、男子成人をも死へ導びく大量死となる。弥彦事件では、男子87名が死亡し、そのうち43名が20才から40才であったし、京都事件での同じ数字は、男子69名のうち、36名であった。

以上の概観から、大地震に際し、群集事故が起きないような避難対策を立案するためには、極めて高密度な群集塊、および、将棋倒しの成因条件を知ることが、とにかく必要な作業であると知れる。

3 群集密度

流動する人間の数に着目した既存の群集流解析法（日本建築学会）によって、群集塊密度の時間変化を調べることは不適當であるので、新しく次のようなモデルを提案する。

群集密度モデル

ある空間に群集が出入りしている時、そこにおける群集の密度は出入りする群集の流動量、空間面積および出入口の大きさによって規定されると考えられる。とすれば、面積 A (m²) なる空間に存在する人数を N (人) とし、そこへの流入量、流出量をそれぞれ I (人/m/分)、 Q (人/m/分) と定義することによって、時間 t に関して次の連続式が成立する。

$$\frac{dN}{dt} = B_1 I - B_2 Q \dots\dots\dots(1)$$

ここに B_1 、 B_2 はそれぞれ流入口、流出口の幅 (m) である。

密度を ρ (人/m²) であらわせば、当然

$$N = A \cdot \rho \dots\dots\dots(2)$$

である。

流出量は、群集密度と群集速度の積である (プシュカレフ) から、速度と密度との間に関数関係が成立すれば、流出量を密度で表現することができ、好都合である。このような発想からなされた多くの観測において、一般に密度の増大と共に速度が減少する傾向の存在が認められている (岡田等, p.29)。この傾向をあらわす実験式

は大別して一次式とべき乗式とに分かれるが、後者は後の計算が比較的たやすいかわり、速度 0 近傍で、観測値と計算値との間の矛盾を克服できない。ここでは一次式が成立するものと仮定する。したがって、流出量は次のようにあらわされる。

$$Q = -a \cdot \rho \cdot (\rho - b) \dots\dots\dots(3)$$

ただし a 、 b は定数である。

以上の3式から次のような微分方程式が得られる。

$$\frac{d\rho}{\rho^2 - b \cdot \rho + \frac{B_2 I}{B_2 a}} = \frac{B_2 a}{A} dt \dots\dots\dots(8)$$

$t = 0$ の時、 $\rho = \rho_0$ 、 $t = t$ の時、 $\rho = \rho_t$ なる境界条件を与え、(4) 式の両辺を積分すると、左辺分母の判別式の付号および ρ_0 の値によって解は次のように求められる。

1) $\Delta = b^2 - \frac{4 B_2 I}{B_2 a} > 0$ の時

$$\rho_t = \alpha - \frac{\sqrt{\Delta}}{\frac{\rho_0 - \beta}{\rho_0 - \alpha} \cdot \exp\left[\frac{B_2 \cdot a \cdot \sqrt{\Delta}}{A} t\right]} - 1 \dots\dots(5)$$

ただし、 $\alpha = \frac{b - \sqrt{\Delta}}{2}$ 、 $\beta = \frac{b + \sqrt{\Delta}}{2}$

この曲線の形状は、

a) $\beta < \rho_0 \leq b$ の時、 $\rho_t > \rho_0$

ただし、 $t \leq \frac{A}{B_2 a \sqrt{\Delta}} \ln\left\{\frac{\rho_0 - \alpha}{\rho_0 - \beta} \cdot \frac{\alpha}{\beta}\right\}$

b) $\rho_0 = \beta$ の時、 $\rho_t = \beta$

c) $\alpha < \rho_0 < \beta$ の時、 $\rho_t < \rho_0$

ただし、 $t \rightarrow \infty$ なる時、 $\rho_t \rightarrow \alpha$

d) $\rho_0 = \alpha$ の時、 $\rho_t = \alpha$

e) $\rho_0 < \alpha$ の時、 $\rho_t < \rho_0$

ただし、 $t \rightarrow \infty$ なる時、 $\rho_t \rightarrow \alpha$

2) $\Delta = 0$ の時、

$$\rho_t = \frac{b}{2} - \frac{A(2\rho_0 - b)}{B_2 a(2\rho_0 - b)t - 2A} \dots\dots\dots(6)$$

この曲線の形状は、

a) $\frac{b}{2} < \rho_0 \leq b$ の時、 $\rho_t > \rho_0$

ただし、 $t \leq \frac{4A(b - \rho_0)}{B_2 a b(2\rho_0 - b)}$

b) $\rho_0 = \frac{b}{2}$ の時、 ρ_t は不安定

c) $\rho_0 < \frac{b}{2}$ の時 $\rho_t > \rho_0$

ただし、 $t \rightarrow \infty$ なる時 $\rho_t \rightarrow \frac{b}{2}$

3) $\Delta < 0$ の時

$$\rho_t = \frac{b}{2} + \frac{\sqrt{-\Delta}}{2} \cdot \frac{2\rho_0 - b + \sqrt{-\Delta} \tan kt}{\sqrt{-\Delta}(2\rho_0 - b) \tan kt} \dots\dots\dots(7)$$

ただし, $k = \frac{B_2 a \sqrt{-D}}{2A}$

又 $0 \leq t < \frac{\pi}{k}$

この曲線の形状は,

a) $\frac{b}{2} \leq \rho_0 < b$ の時,

$$t \rightarrow \frac{1}{k} \arctan \left[\frac{2\sqrt{-D}(b-\rho_0)}{b(2\rho_0-b)-D} \right]$$

なる時 $\rho_t \rightarrow b$

b) $\rho_0 < \frac{b}{2}$ の時,

$$t \rightarrow \frac{\pi}{k} + \frac{1}{k} \arctan \left[\frac{2\sqrt{-D}(b-\rho_0)}{b(2\rho_0-b)-D} \right]$$

なる時 $\rho_t \rightarrow b$

以上によって、流入量 I が時間的にいかなる変化をしても、密度が b より小さい範囲でありさえすれば、群集密度の時間変化を追うことが可能になった。

一方、避難対策を立てるためには、一般的に、次の3点が大いに知りたい問題であろう。

- 1) 群集の流入が止まった後、設定されたある密度になるまでの時間はどれ程か？
- 2) 群集流動の滞留が起きない条件は何か？
- 3) 群集の流入があった時、設定されたある密度になるまでの時間はどれ程か？

第1の要求は、危険空間からの避難時間や、空間の群集密度を安全な値まで落とすための所要時間を知りたい時に生じる。この場合(5)式において、 $I=0$ 、 $t=T$ 、 $\rho_t = \rho_T$ とすればよいから、

$$T = \frac{A}{B_2 ab} \ln \left[\frac{\rho_0}{\rho_0 - b} \cdot \frac{\rho_T - b}{\rho_T} \right] \dots\dots\dots(8)$$

なる関係が得られる。

群集の滞留を決しておこさせない条件をあらかじめ知りたい時に生じる第2の要求は、 ρ_t が時間につれて b から離れるようにすれば満足される。したがって、1)のc)・d)・e)より、

$$\left. \begin{aligned} \frac{B_1}{B_2} I &< \frac{ab^2}{4} \\ \rho_0 &< \frac{b + \sqrt{b^2 - \frac{4}{a} \cdot \frac{B_1}{B_2} I}}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

を満たすような B_1 、 B_2 、 I および ρ_0 の組み合わせを考えればよいことになる。(9)式の条件を図-1に示した。

第3の要求は次のような場合に生じる。すなわち、たとえ群集の滞留が発生したとしても、それが一時的であれば事故につながる可能性は小さいが、密度がある危険な限界を越えて長時間続くと考えられる場合には、事故の発生を覚悟しなければならない。そして、可及的すみ

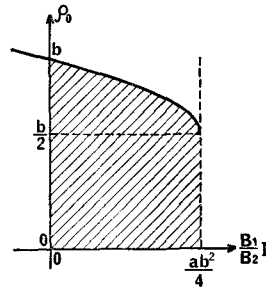


図-1 群集流動に危険な渋滞
が起らない条件

やかに、群集の流向を変えたり、群集整理の為の人員配置等、対策の手を打たねばならない。つまり、群集に対応する為の時間より、現在の密度から危険密度に到達するまでの時間が早いか遅いかが重要な問題となる。このような場合の為に、(7)式において、 $t=T$ の時、 $\rho_t = \rho_T$ として、 T について解くと、

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{1}{k} \arctan \frac{2\sqrt{-D}(\rho_T - \rho_0)}{(2\rho_T - b)(2\rho_0 - b) - D} \\ \text{ただし } \rho_0 &\geq \frac{b}{2} \\ T &= \frac{\pi}{k} + \frac{1}{k} \arctan \frac{2\sqrt{-D}(\rho_T - \rho_0)}{(2\rho_T - b)(2\rho_0 - b) - D} \\ \text{ただし } \rho_0 &< \frac{b}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

を得る。

蛇足ながら、(8)~(10)式では $I(t) = \text{const}$ を仮定している。

以上の各式から数値解を得るには、まず a および b を推定しておく必要がある。先に述べたように、これらの定数は、群集密度と群集速度の関数関係から得られる。今までに提案されたいくつかの実験式(岡田等 p. 31)では、 $a \approx 1.5 \sim 3.5$ 、 $b \approx 2.5 \sim 5.5$ が採用されている。事故につながる群集流に、通常生じし得る流れから得たこれらの値を盲目的に用いることは良策ではないと考えられる。なぜなら、本来群集密度と群集速度の関係を一本の線であらわすことは極めて困難であるのだし(岡田等 p. 28)、又、 $5 \sim 6$ 人/ m^2 の流れが最も流れとして能率的であり、岡田等 (p. 29) が整理した実測値によると 6 人/ m^2 でも約 0.4 m/sec の速度を有する事実が存在するからである。

ここでは、岡田等の示した図をもとに、 $a = a$ 、 $b = 10$ として、数値解を求めてみた。

[数値例]

1) 面積 $1,000$ m^2 、出口幅員 5 m の空間に $5,000$ 人が居る。その人数を 1% にまでさげるにはどれ程の時間が必

要か？

解，(8)式に， $A=1,000$ ， $B_2=5$ ， $\rho_o=5$ ， $\rho_T=0.05$ を代入すると， $T=5.88$ 分を得る。

2) イ) 入口の幅員が10mの所に，毎分80人/mの流入が見込まれる。渋滞が起きないように流出させるには，出口の幅員をどれ程にすればよいか？ ロ) 又出口を5mにした時，流入直前の出口付近の密度がどれ程になると危険になるか？

解，(9)式において， $a=9$ ， $b=10$ ， $I=80$ ， $B_1=10$ から，イ) $B_2 > 0.36 \cdot B_1$ ，又ロ) $B_2=5$ とし， $\rho_o < 7.7$ 。

3) 入口の幅員25m，出口の幅員2m，面積1,200m²なる空間に，毎分80人/mの流入がある。密度が7になると危険だとし，流入が始まってからそれまでの時間はどれ程か？ 又出口の幅員を2mにした時，流入を40人/mとした時は，それぞれどうなるか？

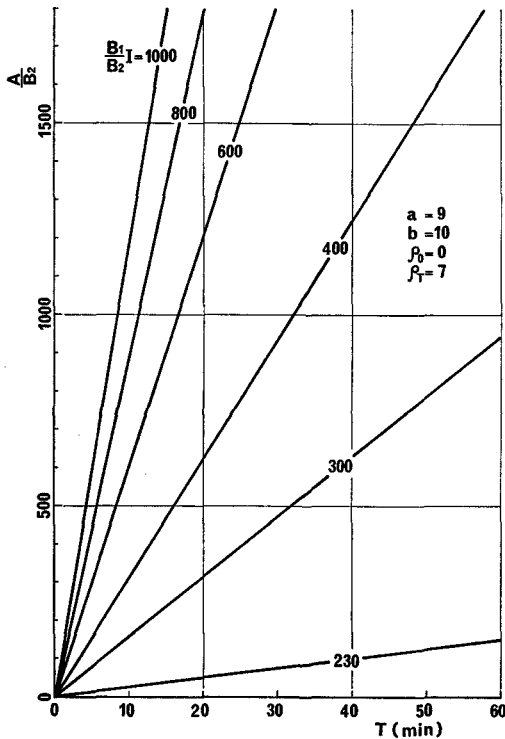


図-2 危険密度(7人/m²)に達するまでの時間と流入量および空間条件の関係

解，(10)式を目視的に明らかにするために，図-2を用意した。これは，(10)式において， $a=9$ ， $b=10$ ， $\rho_o=0$ ， $\rho_T=7$ とした時， T ， $\frac{A}{B_2}$ ，および $\frac{B_1}{B_2} I$ の関係を示してある。

イ) $B_1=25$ ， $B_2=4$ ， $A=1,200$ ， $I=80$ より，

$$\frac{A}{B_2}=600, \frac{B_1}{B_2} I=1,000 \therefore T \approx 5 \text{分}$$

ロ) $B_1=25$ ， $B_2=4$ ， $A=1,200$ ， $I=80$ より，

$$\frac{A}{B_2}=300, \frac{B_1}{B_2} I=500 \therefore T \approx 7 \text{分}$$

ハ) $B_1=25$ ， $B_2=2$ ， $A=1,200$ ， $I=40$ より

$$\frac{A}{B_2}=600, \frac{B_1}{B_2} I=500 \therefore T \approx 8 \text{分}$$

4 将棋倒し

群集列における将棋倒しは，イ) 何かにつまずくかして倒れた人に，後続の人が連鎖的につまずく場合か，ロ) 列の後ろから寄りかかってきた何人かを先頭の人を支えられなくなった場合に発生する。足もとに前方から力を受けたと考えられる前者と，身体上部に後方から力を受ける第2の場合とは，力学的現象としては同じである。ここでは将棋倒しが，後ろからの寄りかかきの結果発生するとして考えてみる。

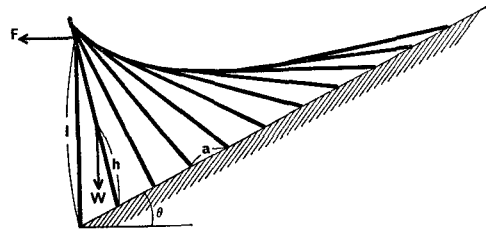
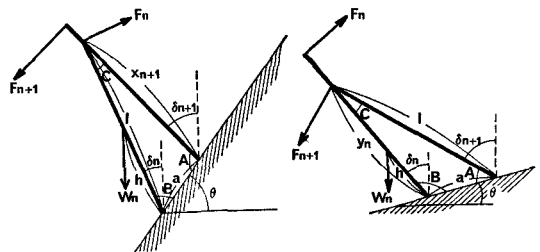


図-3 将棋倒しのモデル



a) $l^2+a^2-2al^2 \cos B < l^2$ の時 b) $l^2+a^2-2al \cos B > l^2$ の時

図-4 隣接する棒に作用する力

問題の第1は，図-3に示したように，何本かの棒が倒れかかってきた時に，先頭の棒の頭部が受ける荷重を知ることである。その水平荷重に注目すると，隣り合った棒に作用する力の関係は，頭部の位置関係の相異によって次のように求められる(図-4参照)。

1) $l^2+a^2-2al \cos B < l^2$ の時

$$F_n = \frac{x_{n+1}}{l} F_{n+1} \cdot \cos(\delta_{n+1}-\delta_n) + \frac{hW}{l} \sin \delta_{n+1} \dots (1)$$

ただし、

$$x_{n+1} = \{l^2 + a^2 - 2al \sin(\theta - \delta_n)\}^{1/2}$$

$$\delta_{n+1} = \theta - \arccos\left\{\frac{1}{x_{n+1}} \cos(\delta_n - \theta)\right\}$$

$$\delta_0 = 0$$

2) $l^2 + a^2 - 2al \cos B > l^2$ の時

$$\delta_n \leq \frac{\pi}{2} \text{ のとき,}$$

$$F_n = \frac{y_n}{l} F_{n+1} \cos(\delta_{n+1} - \delta_n) + \frac{hW}{l} \sin \delta_{n+1} \dots (2)$$

$$\delta_n > \frac{\pi}{2} \text{ のとき,}$$

$$F_n = F_{n+1} \cos(\delta_{n+1} - \delta_n) - W \cos \delta_{n+1}$$

ただし、

$$\delta_{n+1} = \delta_n + \arcsin\left\{-\frac{a}{l} \cos(\theta - \delta_n)\right\}$$

$$y_n = l \cos(\delta_{n+1} - \delta_n)$$

$$-\left[a^2 - l^2 \{1 - \cos^2(\delta_{n+1} - \delta_n)\}\right]^{1/2}$$

$$\delta_0 = 0$$

以上は、人間の身長 (l) も重さ (W) もそして重心の

位置 (h) も互いに等しいことを前提とし、斜面の傾斜角 (θ) と、人間同志の間隔 (a) が与えられた時の、任意の寄りかかり人数 (n) と、先頭の人を受ける水平荷重 (F_n) との関係を示したものと考えることができる。

図-5に、 $W=60\text{kg}$, $l=130\text{cm}$, $h=110\text{cm}$ とした時の計算結果をプロットした。これは、体重60kgで、身長170cm位の人の中上部に荷重が作用すると考えた結果である。又 $\theta=0.46$ は階段を $\theta=0.12$ はランプウエーを想定している。

さて、階段の1段毎に1人が居る場合を想定した線 ($\theta=0.46$, $a=33.5$) に注目してみよう。先頭の人を受ける水平荷重 F は、倒れかかりが1人の場合は10kg程度にすぎないが、人数が増すと共に増大し、10人では230kg程度になる。しかしながら、それから後は、人数の増加はほとんど影響しない。

同じ階段で、さらに人がつまった場合 ($\theta=0.46$, $a=67$) は、8人までは1段1人の時より水平荷重は小さいが、それ以上に人数が増すと急激に増大し、20人で約500kgにも達する。

一方、2段毎に1人立っている場合 ($\theta=0.46$, $a=$

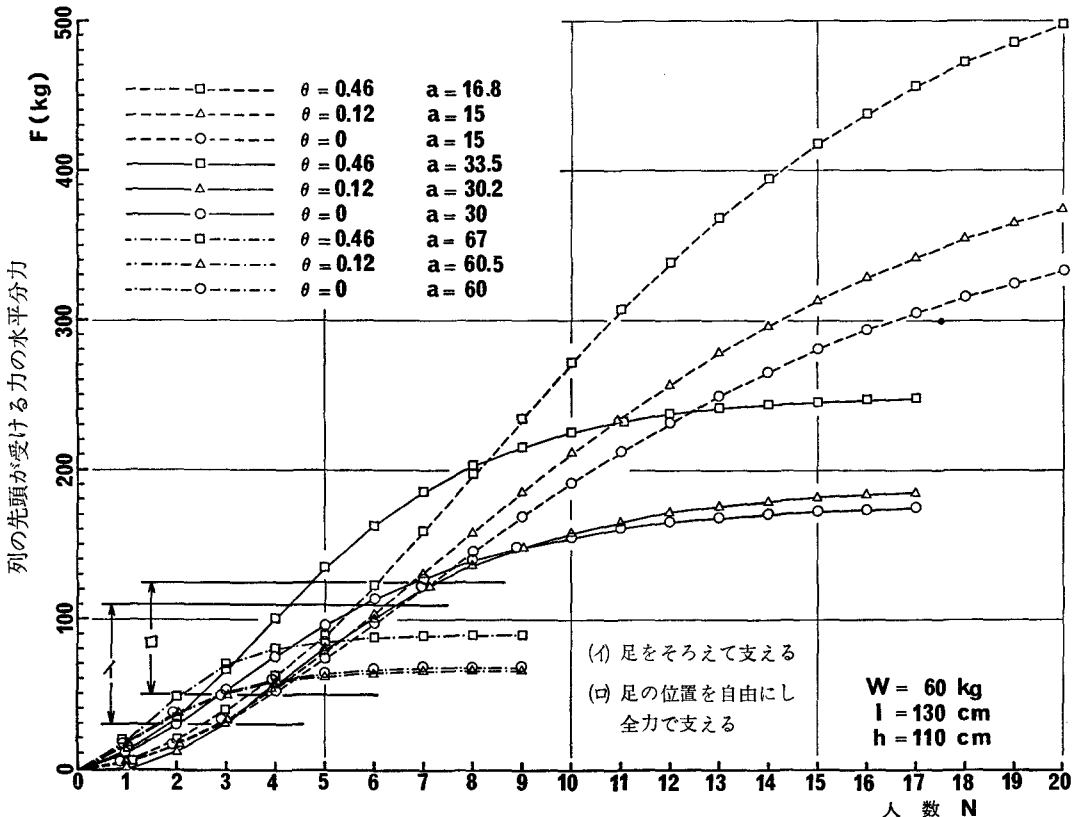


図-5 倒れ込む人の数とそれによって受ける力の関係

67) は、3人までは1段1人の場合より大きな水平荷重を受けるが、その後は、人数が増してもたかだか90 kg程度になるにすぎない。

平地 ($\theta = 0$) の場合の水平荷重は、人数が少ない時は階段のそれとほぼ同じで、人数が増すと、差が広がり、だいたい階段のそれの70~75%程度となる。ランプウェー ($\theta = 0.12$) における水平荷重の変化傾向は、階段よりむしろ平地のそれに類似している。

問題の第2は、以上によって計算された荷重に対して、先頭の人々がどれ程まで耐えられるかを知ることである。松下等 (1957) は、垂直平面に加わる人間力を種々の場合について測定した。その結果に基づく、60 kg の体重を有する人の前面又は背面で壁を押す力は、

- イ) 足をそろえた場合 30 kg~110 kg
 ロ) 足の位置を自由にした場合 50 kg~125 kg

と推定される。この力を背面からの水平荷重に対する抗力とし、図-5を用いて、支え得る人数を求めると、次のようにまとめることができる。

人間の間隔 (水平距離 cm)	イ) 足をそろえた場合	ロ) 足の位置を自由にした場合
平地		
15	2~6	3~7
30	1~5	2~7
60	1~	2~
階段		
15	2~5	3~6
30	1~4	2~4
60	1~	2~

単位は人数である。この表から次のようなことが言えよう。

- a) 体力の弱い人の場合、足のふんばりがきかないと、1~2人を、又たとえ足のふんばりがきいても2~3人を支えられるにすぎない。一方、体力の強い人の場合には、前者のほぼ2倍以上の人数を支えることができる。
 b) 間隔が60 cmあれば、体力の強い人の場合、何人倒れ込んできても、支えきれぬ可能性が強い。しかも、これだけの間隔があれば、後方からの倒れ込みを回避する余裕があるとも考えられるので、何人もが連鎖的に倒れ込むいわゆる将棋倒しの可能性は薄い。
 c) 平地の群集列の中で約2 m (30 cm×7人) 以上の長さの群集が倒れ込むような状況が生まれたら、極めて危険な状態である。
 d) 階段では、3~4段上の人までを支えるのが限界である。

5 おわりに

大地震に伴う人身事故として群集事故の可能性を指

摘し、未然に防止する為の方策が立てられるよう、群集密度の時間変化モデルを提案し、将棋倒しの機構を静力学的に明らかにした。

密度のモデルを用いれば、群集流動のネックとなる空間の条件から、規制すべき流入量を定めることができるし、逆に、与えられた流入量を安全に通過させるようなネックの物理量を知ることができる。

将棋倒しのモデルによる計算に従えば、群集列を構成する人間の間隔が60 cm以下になると将棋倒しの危険が生じる。そして、先頭の人々が支えられる人数はせいぜい平地で7人、階段では4人までである。

最も恐ろしいことは、群集密度の高まりによって生じる集団異常心理であるから、群集事故防止策の第1は、なんといっても群集を構成する各個の心理制御である。おそらく、それは群集中に適当な空間を保持することによって確保されると考えられる。

本論の結論に従えば、グループ避難に関して次のような方法が群集事故防止の為に有効であろう。

1. グループを10人程度の小グループに分割する。
2. 小グループの先頭には、知力、体力共最も優れた者が立つ。
3. 群集流動に渋滞が発生したら、特に小グループ先頭者はしゃがみ込むなどして前のグループとの間に数十cm以上の空間を確保する。

ひるがえって、筆者等自身が異常時に群集にまぎれ込んだ状況を想像すると、本論文をあらわした今なお、冷静さを失なわぬとは確信できない。厚顔無恥にも、自らの専門領域を逸脱し、かかる問題を考えたのも、ひとえに筆者等自身の心構えを確立しておきたかったからである。その意図を寛容に理解いただき、批判賜われれば幸である。

謝 辞

考察に際し、宇井正和氏 (震災予防研究グループ) に貴重な御討議をいただいた。心より御礼申し上げます。又、資料整理と、図面の清書は吉野節子嬢にお世話になった。記して厚く御礼申し上げます。

文 献 一 覧

- 安倍北夫
 1977 「入門心理学」大日本図書
 岡田光正, 吉田勝行, 柏原土郎, 辻正矩
 1977 「建築と都市の人間工学」鹿島出版会
 警察庁
 1977 「戦後警察史」警察庁
 戸川喜久二
 1972 「群集と密度」『都市計画』No.73, pp.17~19

日本建築学会

1960 「建築設計資料集成」日本建築学会

プシュカレフ, ジュパン (月尾嘉男訳)

1977 「歩行者のための都市空間」鹿島出版会

松下清夫, 和泉正哲

1957 「建築物に加わる外力及び荷重に関する資料

(その6)(人間力の測定に就いて-A)」日本建

築学会論文報告集 No. 56, pp. 22~29

FLOW OF PEOPLE CROWDS

Kunio Arai and Nobuo Marui

Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

Comprehensive Urban Studies, No. 14, 1981, pp. 13-20.

In the event of a strong earthquake in a large city like Tokyo, it is possible to predict that overcrowded conditions would cause heavy loss of life and personal injuries at places where crowds would stampede to escape the devastated area.

In the present paper two mathematical models are proposed in relation to crowd flows. One of the models enables us to know the temporal change in number of people in an area where crowds are coming and going. Therefore, by means of this model, it is possible to obtain numerical solutions of, for example, the maximum possible inflow of persons per unit of time short of overcrowded conditions into a given area or the minimum effective width of an entrance through which flow a given in-flow of people would pass.

According to the results of calculations provided by another proposed model for the successive toppling of people, it became known that the maximum number of persons whom one person could support without falling down himself, might be less than 7 on a flat surface and 4 on stairs.