

I-570 フェイド＝アウェイ・ファンクション

—— 倒壊した建物のなかに閉じ込められた負傷者の状態表示 ——

東京都立大学工学部 正会員 塩野 計 司

1. はじめに

倒壊した建物での救助作業 (Search and Rescue, SAR) の成否は、瓦礫にうもれた人々の生存状況にかかっている。生存者がいなくなれば、その災害現場でのSARは、第一義的な目的をうしなう。

合理的かつ効果的なSARを行うためには、倒壊した建物のなかでの、人々の生存状況を知ることが先決になる。この報告では、SARを展開する方針の策定に寄与することを目的として、倒壊した建物内にとり残された負傷者の健康状態を記載する方法を開発した。

2. アニメーション・スコア (Animation Score, AS)

倒壊した建物に閉じ込められた人の健康状態を、1 (健康) と 0 (死亡) のあいだの点数で表し、この点数をアニメーション・スコアと呼んだ。ひとつのASの値によって、一人の人間の健康状態が表される。ASは一種の被害点数であるが、その値は時間とともに変化する。

ASには、つぎのような特徴がある：

- (1) 死亡の「メカニズム」との関連で：組織の破壊・出血・脱水など、死亡の原因になる事象の強さと、ASの低下の幅が関連する。
- (2) 死亡という「現象」との関連で：倒壊した建物内に閉じ込められた人が、その環境下で、水・食料の補給や、医療的な措置をうけずに生きつづけられる時間と、ASの値が関連する。

3. フェイド＝アウェイ・ファンクション (Fade-Away Function, FAF)

建物の倒壊にまきこまれた人の健康状態が劣化する原因には、つぎの2つがある：

- (1) 瞬時的な原因：建物の倒壊による衝撃
組織の破壊や出血をもたらす；ASの不連続な低下として現れる。
- (2) 継続的な原因：環境的な要因 (気温、空気の汚染、瓦礫の重さなど)
脱水などによる消耗をもたらす；ASの連続的な低下として現れる。

ASの変化を、つぎのような関数で表した：

$$a(t) = a_0 \cdot (1 - t/F_0)^n$$

ここに、

a：AS (アニメーション・スコア)

t：建物の倒壊からはかった時間 ($t \leq F_0$)

a_0 ：閉じ込められた時点でのAS；瞬時的な原因によるASの低下を δa とすると

$$a_0 = 1 - \delta a$$

F_0 ：建物の倒壊による衝撃をうけずに閉じ込められた人 ($a_0 = 1$) が、水・食料・医療などの供給なしに、生き続けられる時間

n：継続的な原因によるASの低下の特徴を決める係数

倒壊した建物のなかでの健康状態の変化は、閉じ込められた人の年齢・性別や、地震まえの健康状態によっても左右される。これらの要因による影響は、 F_0 と n の与え方によって調節する。

4. 救出記録からのFAFの誘導

FAFを誘導する方法には、つぎの2つが考えられる：

- (1) 医学的な知識にもとづく方法：閉じ込められた人の、負傷や衰弱の程度に注目し、「あと、どれだけ生きられるか」を評価する。
- (2) 災害記録を利用した、現象論的な方法：過去の地震のさいに、倒壊した建物から搬出された人々の生存状況を、時間をおって調べた記録がある。搬出された人々の生存率の時間的変化に注目し、インバージョン的にFAFを決める。

この報告では、(2)の方法によってFAFを導いた。救出された人々の生存率が、倒壊した建物のなかに閉じ込められた人々の生存率に等しいものと仮定して F_0 を求めた。 n の値は、仮に0.4に固定した(どのような値にしても、他のパラメータへの影響はない)。ASの初期分布(建物が倒壊した直後)は、正規分布(平均 μ (AS)、標準偏差 σ (AS))になるものと仮定した。救出の記録は、表-1に示した3つの地震からとった。

三つの被害事例から導かれた、 F_0 、 μ (AS)、 σ (AS)の最適値を表-1に示した。1985年メキシコ地震での記録(搬出された人の生存率)は、2つのピークをもつASの初期分布によって説明されている⁴⁾。

三つの地震で被害をうけた建物は、煉瓦(唐山)、切石(南イタリア)、鉄筋コンクリート(メキシコ)である。したがって、最適パラメータと建物種別の関係は、つぎのようにまとめられる：

- (1) 瞬時的な原因(瓦礫からのインパクト)によるASの低下度は、鉄筋コンクリート(以下、RCと書く)のばあい、大きなものと小さなものの2つに分かれる；そのあいだに、煉瓦と切石のばあいはいる。

- (2) 瞬時的な原因の影響を受けず(負傷せず)に閉じ込められた人が、倒壊した建物のなかで生存できる時間(F_0)は、煉瓦と切石に比べ、RCのほうが長い。

つぎに、最適パラメータの値の大小を、被害を受けた建物の種別(被害態様)との関連で考えてみた：

- (1) 倒壊のさいに落ちてくる瓦礫(部材)の寸法は、煉瓦・切石にくらべRCの方が大きい；また、煉瓦・切石のばあいには、建物のなかが瓦礫で埋めつくされるが、RCのばあいには、落下した部材のあいだに空間がのこるという違いがある。したがって、RCの倒壊では、ひとたび落下物にあたれば、即死にちかい状況(μ (AS)=0.15)がおこる；しかし、部材のあいだの空間に、大したけがもせず、閉じ込められるだけ(μ (AS)=0.95)という可能性もたかい。これに対し、煉瓦・切石の倒壊では、ほとんどの居住者が瓦礫にあたり、ある程度のけがをするが、瓦礫があまり大きくはないために、即死するほどの大けがをする可能性はひくい(μ (AS)=0.6)。以上のように考えれば、建物の種類べつの μ (AS)の値(その順序)には説明がつく。
- (2) RC建物では、瓦礫の寸法が大きいために、倒壊しても、内部に間隙がのこりやすい。したがって、RCのばあいには、煉瓦や切石のばあいよりも、1)空気の循環がよい、2)瓦礫におし潰されない、などの理由により、長い時間にわたって生存できる条件がある。このように考えれば、RCでの F_0 の値(200時間)が、煉瓦・切石での値(144時間・120時間)を上回ったことが説明できる。

表-1 最適パラメータ

地 震	μ (AS)	σ (AS)	F_0
1976年唐山 ¹⁾	0.6	0.2	144
1980年南イタリア ²⁾	0.6	0.3	120
1985年メキシコ ³⁾	0.15, 0.95	—	200

文 献 1)Sheng, C.Y. (1987): Journal of Trauma, 27, 1130-1135. 2)de Bruycker et al. (1983): Bull. of WHO, 61, 1021-1025. 3)Krimgold, F. (1988): Proc. of 9th WCEE, VII, 693-696. 4)Shiono, K. and F. Krimgold (1989): Proc. of International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, July 10-12, Baltimore, Maryland, USA, P260-P280.