

船舶における群集の避難シミュレーション

運輸省船舶技術研究所 勝原光治郎

1. はじめに

船舶の安全に関する国際条約である SOLAS 条約では、1994 年 9 月のエストニア号の事故を契機として、1995 年の改定で設計の初期段階で避難解析をすることが義務付けられた。そこで、これに対処するため筆者らは避難行動の実船実験を行い、その結果に基づいて人間の挙動を集団心理によるものとした人間モデルをつくった。乗客各人が環境を認識し判断し行動するマルチエージェントのシミュレーションプログラムを作成し、実船実験結果を再現することができた。

このモデルでは集団心理のパラメータによって各人の避難経路が定まるとするものであるが、そのパラメータの数値は自明ではないので、数多く変化させ、最悪ケースから最適ケースまでの避難行動の幅を知ることが本モデルの特徴である。

例え同一施設であっても人々の心理状態によって避難経路は異なる。例えば、船内の他の甲板に知人達がいるとか、前日パーティーで乗客同士の交流があったとか、あそこは採光がなく少し陰気であるとか、リーダーシップを発揮する性格の人の部屋がどこそこにあるとか、現場には種々の心理的要因の発生する可能性がある。

従来の避難シミュレーションのほとんどは同一施設であれば、同一の避難結果を与えている。それは心理を無視して待ち時間最小とか、最短経路選択とかで人間の行動を扱っているためである。避難行動の多様性を表現するためには心理的なヒューマンファクターを考慮に入れる必要がある。

人間の挙動は、一般的に観察すれば、個人的考えで行動しているもの、2者の関係で行動しているもの、そして集団で行動しているものに分けて捉えられる。避難行動はそのうちの3番目の集団行動と本研究では見た。

なお、避難時の究極の状況はパニックであるが、ここで考えている状況は人々の異常心理ではなく、理性的心理状態を保持して行動している状態である。

一般の群集行動とか、他の状況での避難行動とかに本モデルを直ちに使うことはまだ検討していない。21世紀の人間工学では、人間の心理が数値化され、シミュレーションされると思われるので、その一試論として提案する。なお、本稿は文献(1)を抜粋加筆したものである。講演では大型旅客船のシミュレーション例も示す。

2. 実船実験の概要

避難行動の実船実験を平成6年12月、平成7年7月および平成8年7月に運輸省航海訓練所練習船「青雲丸」(5,044 総トン)で東京港接岸中合計8回行った。実験では3層の甲板を使用し、被験者全員の避難場所を最上階の甲板とした(図1)。垂直方向の避難経路は船尾階段、中央階段および船首階段の3つである。下から上の甲板に上るこれらの階段によって避難経路を各々ルート1、ルート2、ルート3と呼ぶことにする。多人数の収容される場所は居室、食堂、第一教室である。

被験者は年齢19~20才の海員学校の学生で、平成6年は126名(男子122名、女子4名)、平成7年は76名(男子73名、女子3名)、平成8年は83名(男子80名、女子3名)であった。

被験者には実験開始前に通常の作業着や靴に加えヘルメットやゼッケンを着用させ、避難時には走ったり押し

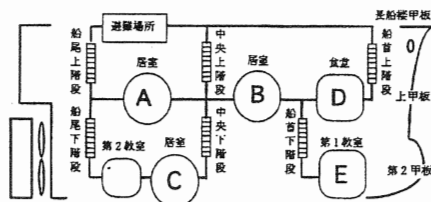


図1 船内避難空間

表1 初期の人の配置

| 実験番号 | 居室A | 居室B | 居室C | 食堂D | 第1教室E | 合計 | 配置 |
|------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|----|
| H6-1 | 47 | 39 | 40 | 0 | 0 | 126 | 居室 |
| H6-2 | 26 | 26 | 26 | 24 | 24 | 126 | 分散 |
| H6-3 | 18 | 18 | 18 | 17 | 17 | 88 | 分散 |
| H7-1 | 24 | 26 | 26 | 0 | 0 | 76 | 居室 |
| H7-2 | 15 | 15 | 16 | 15 | 15 | 76 | 分散 |
| H7-3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76 | 76 | 集中 |
| H8-1 | 27 | 28 | 28 | 0 | 0 | 83 | 居室 |
| H8-2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 83 | 83 | 集中 |

たりしないように予め指示した。初期位置に被験者を配置した後、一斉に避難させ避難場所に集合させた。被験者の初期配置は就寝時、休憩時及び講義時間などを想定し、表1に示すように居室配置、分散配置、集中配置などとした。また通路のドアは全て開け放して置いた。

観測は、階段・出口・通路等での人の流れを約25台のビデオカメラを設置して行った。実験室でこのテープを分析した。避難時間は経路別に15秒時間間隔の避難人数推移として求めた。(図5左図)

また、図2のように避難する人々の経路は左右に分かれる分岐点が存在することが確認された。これは個々人がばらばらに行動しているのではない証拠である。

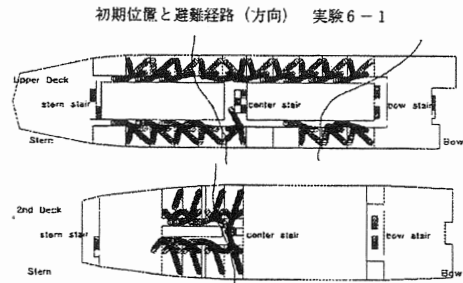


図2 避難経路の分岐

3. シミュレーションモデル

(1) 空間のネットワークモデル化

まず、船内避難行動空間を図3のようにノード・パス・スペースで構成するネットワークで記述する。ノードはその点でのX、Y座標と流出速度(人/sec)を、パスにはその長さ(m)を、スペースにはその空間の最大収容可能な人数(人)を属性として与える。人はノードを越えるとき経路選択の判断をし、その方向に移動する。歩行速度は一定値を与えられているので、現実の歩行を模擬するために人の移動には流出速度と密度の制限が加えられる。

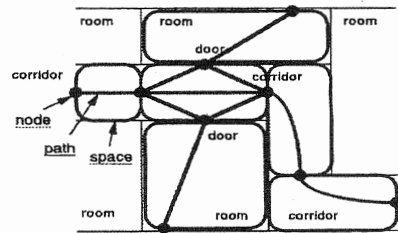


図3 ネットワーク

流出速度と人間の密度は制限値までは制約なしで歩行できるが、制限値に達すると制限値に制約され、滞留が起こる。

ネットワークのすべてのノードから避難場所に至るあらゆる経路を予め分岐プログラムで計算しておく。

(2) 集団心理モデル

人の経路選択判断モデルは、次の通りである。

- 1) 避難場所への早期到着願望がある。
- 2) 自甲板からの情報は視覚、聴覚、嗅覚等を使ってすべて把握できる。
- 3) 他甲板については、心理上で想像するだけである。
- 4) 集団心理が支配的である。
- 5) 人のタイプ(大人、子供、老人、障害者などに分類)で歩行速度、行動開始時間が異なる。

ここで心理量として、階段から先集合場所までの想像上の距離を想像距離と名付けると、図4のように各人は集合場所に至るすべての経路について、(自甲板上の歩行時間) + (自甲板上の滞留待ち時間) + (他甲板の想像上の距離を歩く時間) を計算し最も小さい値をとる経路を選ぶことになる。そして、集団心理の仮定から他甲板の想像上の距離は心理的に同一集団で同一の値をとる。このことは心理的変数を少なくし計算を著しく簡便にする。

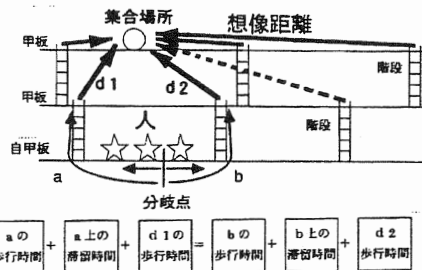


図4 経路選択モデル

図4から分かるように、経路選択のネットワークは各甲板毎つまり、心理的同一シチュエーション毎に組み立てる必要がある。簡単のため、ここでは全員を同一心理集団とみなした。

4. 計算結果と実験結果の比較

図5に実験と計算の結果の比較を示す。左側が実験結果、右側が計算結果である。パラメータは選択されたルート番号およびそれらの合計である。すべてのケースについて左右が一致している。とりわけ、居室配置の(A), (D), (G)、次いで分散配置の(B), (C), (E)がよい一致を示している。

分散配置の場合の問題点は、最下層の第2教室という奥まった場所から出て上の中層甲板に入った人たちの経路の選び方が、それ以前に中層甲板にいた人たちと異なっているということである。つまり想像距離が異なり、心理的集団として異質であることであった。これは想像距離を変えて繰り返し行ったコンピュータ計算で分かった。

集中配置の場合、(F), (H)に見られるようにルート3のピークが計算の方が後ろにずれることである。これはシミュレーション画面を見ていて分かることであるが、ルート2に多数が向かっているとき実験では早めにルート3を選択する人があらわれるのに、計算ではルート2の階段が渋滞し始めてからルート3が選ばれ出している。これは現実には人々はこんなに多くの人々がルート2を選ばず滞留するに違いないと判断したと思われる。つまり、計算には人々の予見能力が組み込まれていないためである。

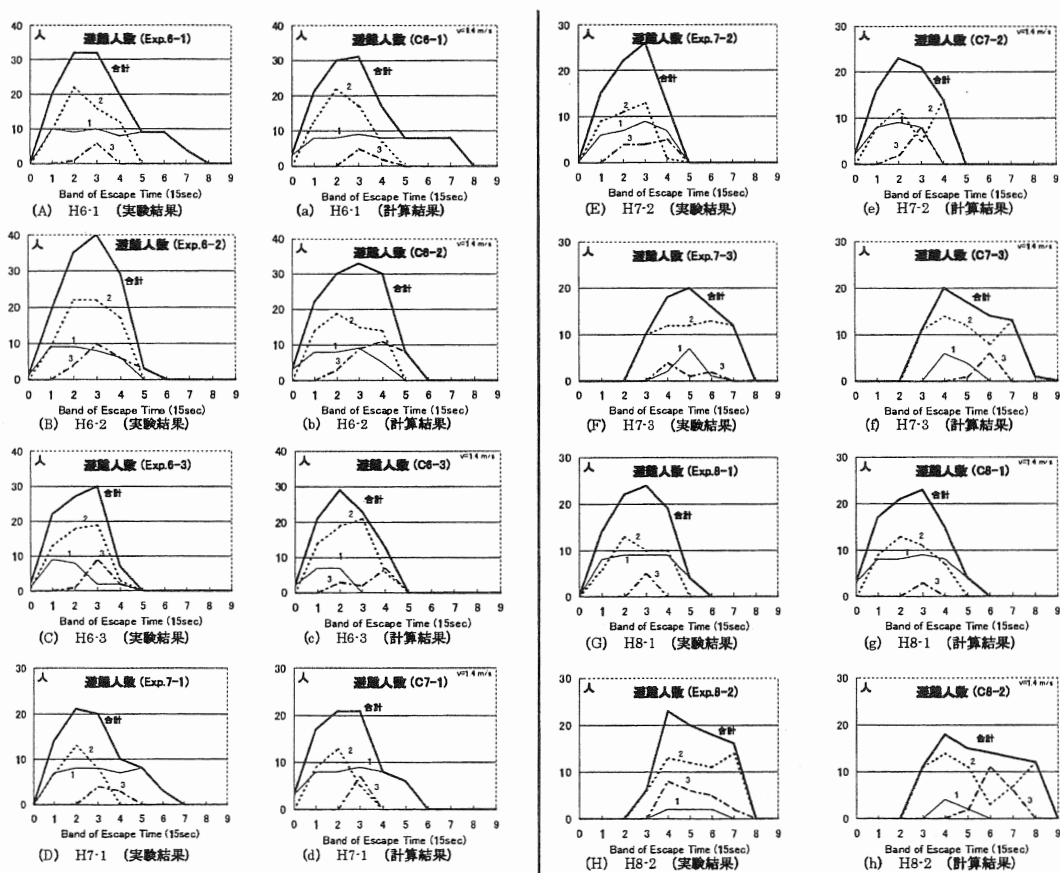


図5 実験結果と計算結果の比較

現状ではこれらの問題を解決するに至っていない。しかし、多少粗いがシミュレーション計算は実験結果の

状況を再現でき、妥当性が確かめられたといえる。

5. 安全解析と最適設計

本人間モデルおよびシミュレーションが実験によって確かめられたので、次にその利用例を示そう。本シミュレーションではCRT画面上で滞留が少なくなるように避難空間を最適設計できるが、ここでは省略し、避難誘導経路も最適設計できることを示そう。

青雲丸を例にする。乗客180人が居室にいる場合を計算する。図4から階段6個なので想像距離は6個だがこのうち独立なのは3個である。なぜなら経路選択に効くのは経路の差分だからである。最下層中央階段からの想像距離(50mとする)と船尾階段(50+VDaとする)の選択を決めるVDa、中層甲板の中央階段(50+VDb)・船尾階段(50)・船首階段(50+VDc)の選択を決める2つの変数VDb、VDcの3つである。これらを変化させると、図6のようになる。最下層甲板階段から出る想像距離VDaの影響は小さいので、中層甲板の階段から出る独立の想像距離VDbとVDcをXY軸とし、Z軸に総避難時間を示す。3つのプラトー部分の間が崖になった谷3つという地形を想起させる。谷が合流した部分に最低値がある。これが総避難時間最小のケースである。

また、プラトー部分は各々の階段にすべての人が集まってきた場合で幅の狭い階段に対応したプラトーで最大の総避難時間となっている。

避難誘導経路の最適設計としては総避難時間が最小となるように避難経路を決めるとよい。このケースのときすべてのルートの避難が同時に終わっている(図7)。つまり、乗客を各ルートにうまく配分したのである。

最大総避難時間は最悪ケースである。この最大と最小の間に心理的要因の影響は入る。避難安全を評価するにはこの両極端の数字を押さえる必要がある。

6. まとめ

船舶での乗客の避難行動を集団心理と仮定する人間モデルを作り、シミュレーションを実行し、実験結果を再現することができた。設計に活用できることを示した。すべての人が必ずしも集合場所へ至る目的意識で行動していないことは容易に想像できるが、その集団としての行動は本モデルで記述できると考えられる。

参考文献：1) 勝原光治郎他：ヒューマンファクターを考慮に入れた船舶での避難行動シミュレーション 安全工学 Vol. 38 No. 6 pp. 443-449 1999年12月 2) 山田常圭：建物の火災安全シミュレーション技術の概観 シミュレーション第6巻第2号 pp2-10 昭和62年7月 3) 勝原光治郎・亀山道弘・宮田修・高杉喜雄・阪根靖彦：船上の避難行動のシミュレーション-I. , 日本航海学会論文集, 第96号, pp 283-293, 1996年3月 4) 勝原光治郎・亀山道弘・宮田修：船上の避難行動のシミュレーション-III. , 日本航海学会論文集, 第100号, pp. 199-207, 1999年3月

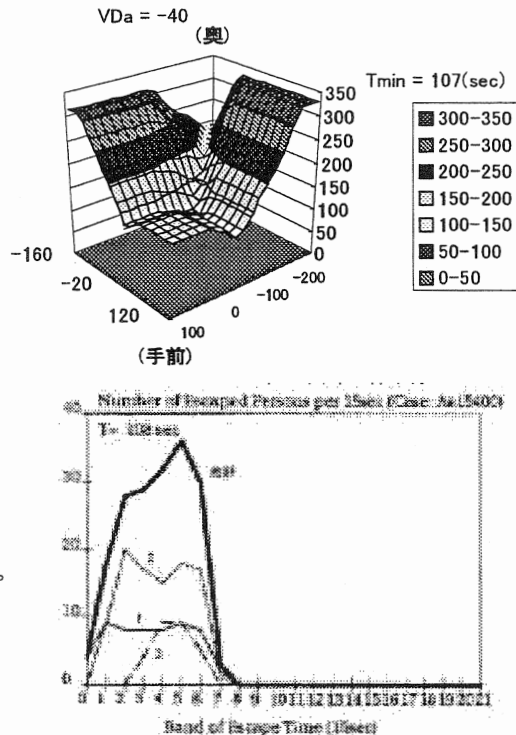


図7 最小総避難時間ケースの避難時間曲線