

# 避難時の人の流れと避難シミュレーション

宮崎恵子，勝原光治郎，松倉洋史（独立行政法人海上技術安全研究所）

## 1. はじめに

「船の中の人の流れ」には，平常時と非常時の場合がある．平常時の場合は船員・旅客の船内移動や乗下船の円滑化が必要という問題があり，非常時には自室待機や集合場所への避難及び救命具への乗組み・脱出の安全問題がある．

本稿では後者の「非常時の避難」の場合における人の流れについて，実験とシミュレーション計算による海上技術安全研究所の研究を紹介する．

## 2. 避難時の人の流れ

船舶の避難安全を確保するために，船舶の設備に関する要件<sup>1)</sup>と運航時の船員の対応に関する要件<sup>2)</sup>が与えられている．

船舶の設備要件は，脱出経路図に集約されている．脱出経路図では，通路，出入り口等を通過する最大人数によって，その幅が規定されている．1人あたり1cm以上の幅がなければならない．これは局所的な滞留が約1分以内に終わるべきことを意味しており，滞留が旅客のパニックを引き起こさないようスムーズな避難ができる通路が義務付けられていると解釈できる．また，集合場所の面積を定員分確保する等の規定もある．

一方，運航時の船員の対応要件では，非常事態において，人と船を守るため，船員の作業等を定めた非常配置表を作成することになっている．火災等が起こったときには，この非常配置表に従い，船長の指揮の下，各船員は消火作業にあたり，旅客は，自分の部屋や席に戻るよう指示される．火災の進展によっては，一部の旅客を移動させることもあり，その際は，船員による誘導がなされる．

さらに，船内にいることが危険となった場合は，人命を守るために船を放棄して，総員退船となる．このとき，基本的には，先の述べた脱出経路図に従った避難をするよう，旅客に案内されている．総員退船のときには，やはり船員の指示により，旅客は救命胴衣を着用し，救命艇等への乗艇場所等の定められた集合場所へ避難する．

非常事態における人の避難行動での着目点は，避難開始のタイミングと複数の経路があった場合の

経路の選択である．船内では，基本的には，船長の指揮下で避難がおこなわれるため，避難開始のタイミングは，船内放送等による船長指示並びにそれに従った船員の直接指示・誘導によって決まると考えてよい．火災場所等によっては脱出経路図通りに避難経路が使えない場合があるので，船員が臨機応変に集団区分をおこなって誘導順位を決めて順次避難させる方法も提案されている<sup>2)</sup>．脱出経路図の例を図1に示す．

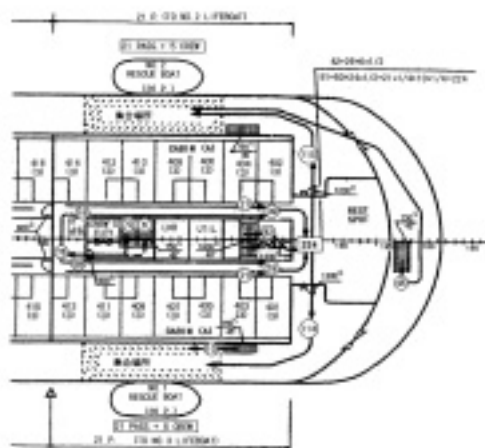


図1 脱出経路図の例

避難行動は事故が起きていても人々は通常の理性的振る舞いをしているケースが多く報告されている．人の流れをコントロールできるのはこの場合である．しかし，パニックに陥った事例もあり，パニック発生の条件は，次のように指摘されている<sup>3)</sup>．

脅威の認知，脅威切迫の認知，脅威そのものは制御不可能という認知，脅威は直ちに行動すれば回避できるという認知，の以上4つである．逆にこのような認知がなければパニックにはならない．パニックに陥ったときは十分に危険な状態であり，避難者の行動や船員の誘導による避難安全確保について論じるには，パニック状態ではない条件下でおこなうことが妥当であると考えられる．よって，この後述べる研究では，人々は通常の理性的精神状態にあるとの前提である．

### 3. 避難実験における人の流れ <sup>4),5)</sup>

海技研の実船実験によって、避難時にどのような人の流れが観測されたかを紹介する。なお、他に避難の実船実験は造船研究協会でも実施されている <sup>6)</sup>。

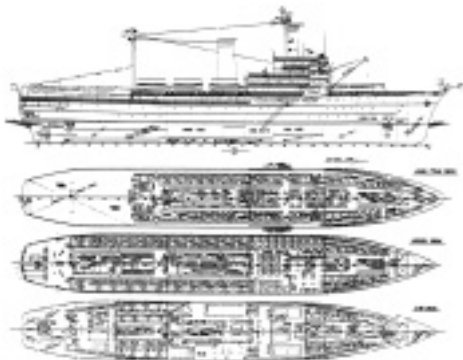


図2 青雲丸一般配置図

#### 3.1. 避難実験の概要

本避難実験は、平成6年12月、平成7年7月及び平成8年7月に、航海訓練所練習船「青雲丸」で東京港接岸中合計8回おこなった。青雲丸の一般配置図を図2に、主要目を表1に示す。

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3)。垂直方向の避難経路は船尾階段、中央階段及び船首階段の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

表1 青雲丸主要目

船名	練習船 青雲丸
総トン数	5044 (ton)
LOA×Bmid×D×d (m)	114.6×16.0×8.0×5.8(m)
乗船者数	256名
士官	34名
部員	42名
訓練生	180名

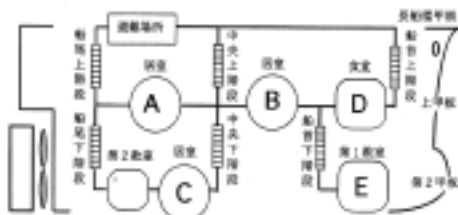


図3 船内避難空間

表2 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

難経路を各々ルート1、ルート2、ルート3と選ぶことにする。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歳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。

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夜間や昼間を想定し、表2に示すように居室配置、分散配置、集中配置等とした。また通路のドアは全て開け放して置いた。実験風景を図4に示す。観測は、階段・出口・通路等での人の流れを経路の各所に25台のビデオカメラを設置しておこなった。



図4 実船実験風景

#### 3.2. 実験結果

本避難実験では、各人はパニックにはならず理性的振る舞いをした。ビデオ画像を解析して、1人1人の各時刻の位置を求め、避難経路ごとの避難時間や避難方向等を調べた。滞留場所に差し掛かると滞留の列につく場合、回避して別ルートを取る場合等が観察された。

図5は、実験H6-1における避難経路の選択の状況を示している。初期位置の部屋のなかからドアを

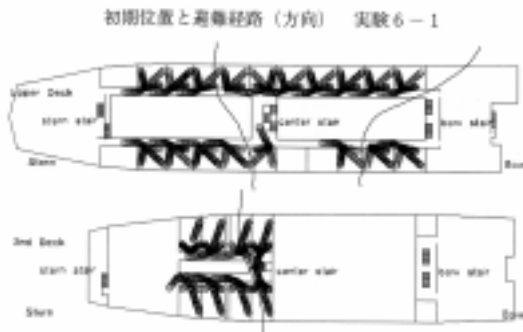


図5 避難経路の分岐

出てどちらの階段に向かうかを調べたものであり、避難方向の分岐の状況がわかる。各被験者の軌跡は交錯せず、右に行く集団と左に行く集団ができていく。このことは避難行動が後述する集団心理に基づいていることを示している。1人1人がばらばらに左右に入り乱れているなら個人行動をしていることになるがそうでないことを物語っている。

さらに、本避難実験では、通路、階段、出入口等の船内各箇所の歩行速度や流出係数についても計測をおこない、次に述べる避難シミュレーションの数値として用いている。データの詳細については、文献5を参照いただきたい。

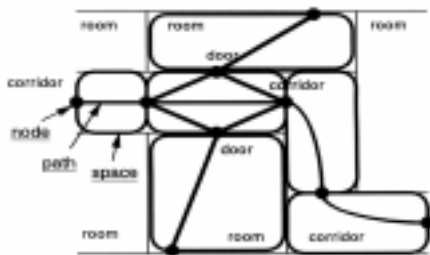


図6 ノード・パス・スペースのネットワーク

#### 4. 避難シミュレーション

以上、避難時の人の流れについて、避難実験も含めて述べてきた。一方、避難行動を模擬する避難シミュレーションは、建築や船舶をはじめとする交通工学の分野でも様々なものが開発されている。勝原らは、前述した避難実験も踏まえ、避難行動の多様性を表現するためには、心理的要因を取り入れる必要があると考え、集団心理等を取り入れ、船の避難における安全について検討できる避難シミュレーションを開発した<sup>7)</sup>。本避難シミュレーションの結

果については、実船実験による検証を実施しており<sup>7)</sup>、旅客船の避難安全評価に用いることのできるものとなっている。以下、この避難シミュレーションについて紹介する。

#### 4.1. 空間のネットワークモデル

まず、図6で示すようにノード・パス・スペースで構成するネットワークで船内避難行動空間を記述する。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面積を属性として与える。人は個体として扱われ、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。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。

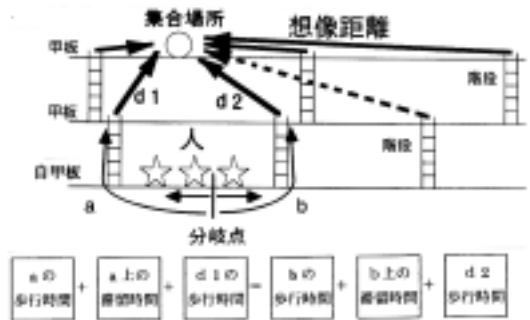


図7 集団心理による経路選択モデル

#### 4.2. 集団心理モデル

人間の避難行動を記述するときの最大の問題は経路の選択がどうおこなわれるかである。たと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等、現場には種々の心理的要因の発生する可能性がある。そこで避難行動の多様性を表現できるように心理的なヒューマンファクターを考慮に入れたモデルを作った。

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)他甲板の情報は、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、障害者等に分類)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7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7からわかるように、経路選択のネットワークは甲板毎、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。また、集団の構成員がとる経路を集団としてみると分岐する点が存在する。これは各人の軌跡が交錯しないということである。

### 4.3. 最適避難と最適避難経路

各階段の心理量を変化させ、各階段に配分される人数を変え、すべての階段ルートでの避難時間が同時に終わるようにすると、総避難時間が最小となる。これは、旅客を各ルートにうまく配分したからであ

る。これが避難時間最小という点での最適避難ケースである。またこのときの避難経路を一般配置図に書き込むと、これが避難時間最小という点での最適避難経路である。

最適避難経路を基に脱出経路図を描き、誘導員を配置することは、旅客の心理を当該最適避難ケースに強制することに他ならない。誘導は、集団心理の外からの強制であり、想像距離を固定することに相当する。

### 4.4. 避難シミュレーション実行例

本避難シミュレーションの実行例として、先に述べた実船実験のH6-1を例にして、図8に示す。上のグラフが実船実験、下のグラフはシミュレーションであり、15秒時間間隔の避難人数推移を避難経路別に示している。

さらに、実験H6-1を対象にして、避難時間が最短になるように避難経路の選択をおこなった場合の避難シミュレーションを実施し、その時の初期位置から避難経路の選択の結果を図9に示す。実船実験の図5に相当するものである。

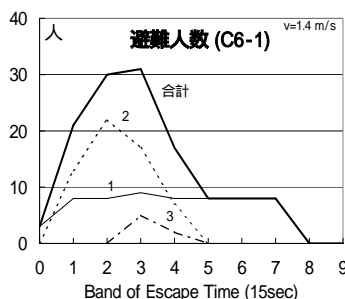
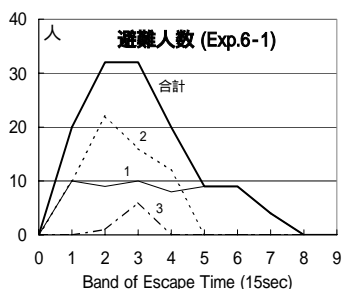


図8 実船実験とシミュレーション計算結果の比較(避難経路別の避難人数の推移)

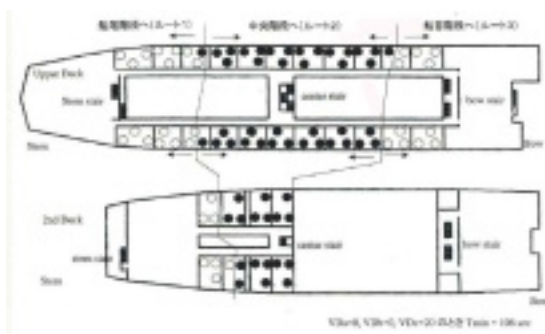


図9 最短避難時間の場合の避難経路の選択

### 5. 集団歩行のモデル化 - 車いす利用者との避難実験から

海技研では、旅客船のバリアフリー化のために、障害者・高齢者の避難における安全向上に関する研究を実施している。そこで、避難の一場面を想定し、直線通路内で、1人の車いす利用者を歩行者集団(30人)が追い越すという実験<sup>6)</sup>を平成13年11月に実施した。通路幅2~5mというこの実験の範囲では、歩行者と車いす利用者間で相互干渉はあったものの、避難行動への悪影響はなかった。また、周囲との関係で歩行者の意図・行動が決まるとして、次の5項目からなる車いす利用者の歩行者集団による追

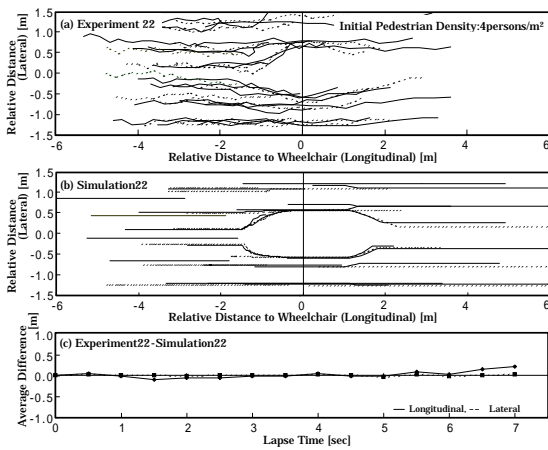


図 10 車いすに対する軌跡と位置差異

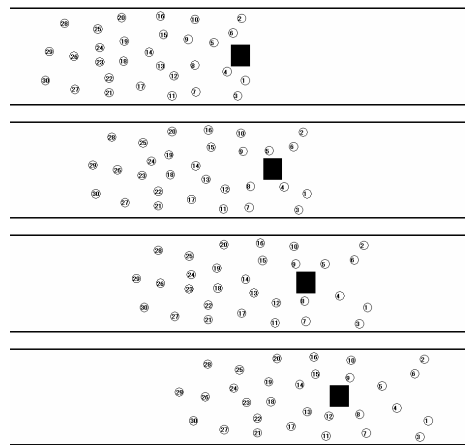


図 11 シミュレーション結果例(1.2秒毎)

い越し及び集団歩行を表すモデル<sup>9)</sup>を作成した。

- (1) 車いすとの相対距離による意図選択ルール
- (2) 進路変更ルール
- (3) 速度調整ルール
- (4) 回避行動ルール
- (5) 「希望」「予測」「修正」「実行」サイクル

本モデルを実装したシミュレーションプログラムを開発し、モデルの検証をおこなった。実験とシミュレーション結果の比較例を図 10 に示す。(a)(b)はそれぞれ実験とシミュレーションの車いすに対する軌跡をプロットしたものであり、(c)は実験とシミュレーション値の歩行者一人あたりの平均差異を、進行方向と左右方向についてプロットしたものである。両者は良好な一致を示しており、本集団歩行モデルは、妥当であると考えられる。

本モデルは、人間の認知活動を素直にモデル化したもので、扉、段差、階段等の直線通路以外での集団歩行モデルへの適用が容易であると期待できる。

また、車いす利用者周りの集団歩行のシミュレーション結果例を図 11 に示す。実験の観察とよく適合している。

## 6. おわりに

以上、避難時の人の流れについて、船舶設備規程、旅客船の手引き、実船における避難実験、避難シミュレーション、集団歩行シミュレーションを取り上げて述べてきた。

人の行動は外界情報を取得して心理を加味総合しておこなわれる。著者らは、人の内面性を扱うことで人の流れを解明しようとしており、本稿では、避難時の集団心理と想像距離概念、車いす利用者追

い越し時の「希望」「予測」「修正」「実行」サイクル等を紹介させていただいた。

## 参考文献

- 1) 運輸省海上技術安全局（現国土交通省海事局）監修，“船舶安全法関係規則解釈集”，成山堂書店，(2000)
- 2) 国土交通省海事局船員部労働基準課（現船員労働環境課）監修，“旅客船操練手引書（改訂版）”，成山堂書店，(2000)
- 3) 三上俊治，“パニックの回顧”，東洋大学社会学部紀要，20号，(1983)
- 4) 勝原光治郎ほか，“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，pp443-449，(1999)
- 5) 亀山道弘ほか，“船舶における避難行動シミュレーションの研究（第3報：実船実験に基づく避難要素の特性分析）”，船舶技術研究所平成8年春季（第67回）研究発表会講演集，pp.63-66，(1996)
- 6) 第43基準研究部会，内航船の救命設備設置基準に関する調査研究，平成9年度報告書，日本造船研究協会
- 7) 勝原光治郎ほか，“船上の避難行動のシミュレーション - ”，日本航海学会論文集，第96号，pp.283-293，(1996)
- 8) 宮崎恵子ほか，“車いす搭乗者と歩行者群集の避難実験”，日本航海学会論文集，第108号，pp.129-138，(2003)
- 9) 松倉洋史ほか，“群集による車いす搭乗者追い越し人間モデルの研究”，日本航海学会論文集，第108号，pp.139-147，(2003)