

# IMO 暫定避難解析指針案の概要及び今後の課題

企画部 国際基準協議グループ 太田 進  
(海上安全研究領域 危険物輸送・防災研究グループ)

## 1 はじめに

2002 年 2 月に開催された国際海事機関 (IMO) 第 46 回防火小委員会 (FP 46) において、旅客船のための暫定避難解析指針案<sup>(1)</sup>が策定された。この指針案には、概略解析 (Simplified evacuation analysis) と詳細解析 (Advanced evacuation analysis, Microscopic analysis を改称) の方法が示されている。ここでは、詳細解析を中心に指針案の概要を紹介するとともに、今後の課題について述べる。

## 2 暫定指針案作成の経緯

旅客船においては従来より、当該階段を通過する各階からの避難者の人数を求め、これに適当な係数を掛けることにより当該階段を同時に通過するであろう人数を推定した上で、一人当たり 1 cm 以上の幅を持たせることが要求されてきた<sup>(2)-(4)</sup>。

1994 年 9 月に発生したエストニア号の転覆事故を契機として、IMO にはエキスパートパネル (Panel of Experts) が設置された。そして、様々な安全対策が検討された後、1995 年の SOLAS 条約締約国会議において損傷時復原性等の要件を含め、SOLAS 条約の様々な規則が改正された<sup>(5)</sup>。その結果、国際航海に従事する ro-ro 旅客船については、前述の要件に加えて、設計の初期段階で避難解析 (Evacuation analysis) を実施し、実行可能な限り混雑が排除されていること及び避難経路配置には十分な柔軟性が確保されていることを示すことが義務付けられた (c.f. SOLAS 条約第 II-2 章第 28-1 規則第 3 項。改正 SOLAS 条約第 II-2 章第 13 規則第 7.4 項)。この規則は 1999 年 7 月 1 日以降建造される ro-ro 旅客船に適用されている。

この規則の他にもエキスパートパネルでは避難に関して以下の事項が検討された<sup>(5)</sup>：

- (1) 防火扉にはくぐり戸があることを避難者が知らないため、遠隔制御で閉鎖する防火扉

が避難者に閉じこめられたような感覚を与えること

- (2) 避難解析における総退船時間 (全員が海上まで脱出する時間) を 60 分以内にする
- (3) 避難解析において高齢者や移動制約者を考慮すること
- (4) 避難解析では Simulating model が最も良い結果を与えるであろうこと
- (5) 自らの安全確保のため乗客が果たすべき役割に関すること (乗船時の出口の確認、避難に関する指示への注意、非常時の子供の世話等)
- (6) 飲酒により避難が困難になること

前述の規則で要求される避難解析を統一的に実施するため、IMO は ro-ro 旅客船の避難解析に関する暫定指針<sup>(6)</sup>を作成した。この暫定指針では、エキスパートパネルで検討された事項のうち、「(2)総退船時間の規定」が取り入れられた。

その後、IMO 防火小委員会では、ro-ro 旅客船に限らず、旅客船の設計段階で避難解析を実施することは安全上望ましいとの考えに基づき、FP 46 において、「新造及び現存旅客船のための暫定避難解析指針案」(以下、「暫定指針案」と呼ぶ。)<sup>(1)</sup>を作成した。この暫定指針案は、詳細解析を含むこと、詳細解析においては、移動制約者もある程度は考慮していることなどから、エキスパートパネルで検討された事項のうち「(3)移動制約者の考慮」や「(4) Simulating model」について、一部配慮したものになっていると言える。なお、この案は、2002 年 5 月に開催される第 75 回海上安全委員会 (MSC 75) において採択され、暫定指針となる予定である。本稿執筆時点においては MSC 75 は開催されていないが、若干の記述の追加に関する提案はあるものの<sup>(7)</sup>、解析方法の内容に係る提案は無いため、少なくとも解

析方法の内容は大きく変わることなく、暫定指針として採択されると推定される。

### 3 暫定指針案の概要

#### 3.1 全体構成

暫定指針案<sup>(1)</sup>の構成は以下の通り。

MSC Circular 本文：位置付け等

Annex 1：暫定概略解析指針

Appendix 1：総移動時間 (Travel time) の計算方法

Appendix 2：適用例

Annex 2：暫定詳細解析指針

Appendix：詳細解析による総移動時間の決定方法

Annex 3：避難シミュレーションツール評価のための暫定ガイド

#### 3.2 暫定概略解析指針の概要

暫定概略解析指針に沿って解析を実施する際には、避難に要する時間を以下の三種類に分けて考える。

A：避難開始までの時間 (Awareness time)

T：集合場所への総移動時間 (Travel time)

E+L：生存艇への乗り込み時間 (Embarkation time) 及び進水時間 (Launching time)

各時間の関係は図1の通り。

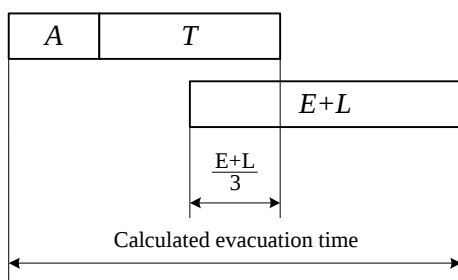


図1 概略解析における各時間の関係

図に示した通り、乗艇及び進水の時間  $E+L$  の  $1/3$  は総移動時間  $T$  と重複すると考える。避難開始までの時間  $A$  はケースに応じて決められている値である。乗艇及び進水の時間  $E+L$  は実規模の試験時における値等を用いても良いが、こうした値が無い場合は30分として良い。よって、実際に計算すべき値は、総移動時間  $T$  である。総退船時間 (Calculated evacuation time) が許容値を超える場合は、避難経路配置の改善を要すると判断する。

総移動時間  $T$  の計算においては、まず、避難者は部屋から部屋に面する廊下に出たと仮定する。その際の単位面積当たりの人数が  $3.5 \text{ person/m}^2$  を超えると、その場所は混雑している、即ち、設計変更が望ましいと判断する。初期の移動速度と流出係数、即ち単位時間・長さ当たりの最大通過人数は、避難者の密度、即ち単位面積当たりの人数に応じて図2に示す値を用いる。

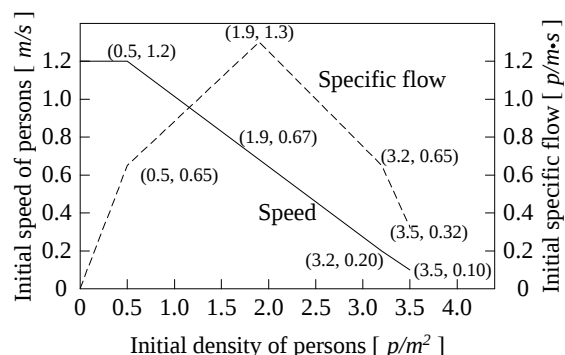


図2 歩行速度及び流出係数と避難者密度との関係  
特定の点 (扉、階段入り口等) を通過した後の移動の速さは、その場所の流出係数に応じて図3に示す値を用いる。

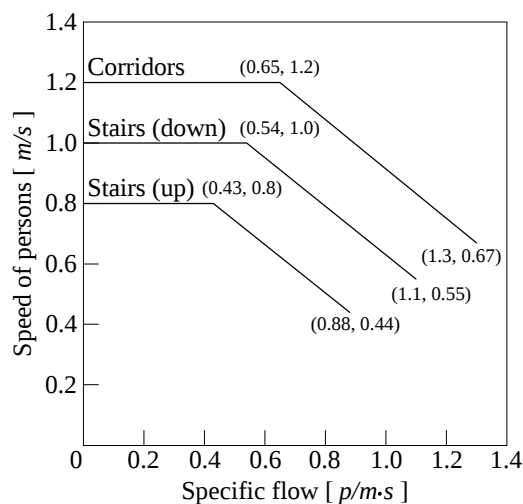


図3 流出係数と歩行速度との関係

ある地点に到達する単位時間当たりの人数とそこを通過する単位時間当たりの人数の差が  $1.5 \text{ person/sec}$  を超える場合、その場所では「有意な混雑」があると判定される。

上記の方法により、各場所から集合場所まで移動するのに要する時間を計算し、その最大値を  $t_l$  とする。 $t_l$  に安全係数を乗じた値が総移動時間  $T$  である。計算は表1に示す4ケースについて行う。

表 1 計算条件

| 名称     | 避難者の初期配置 | 避難開始時間 A | 総移動時間<br>安全係数 |
|--------|----------|----------|---------------|
| Case 1 | C-1      | 10 min   | 2.3           |
| Case 2 | C-2      | 5 min    | 2.3           |
| Case 3 | C-1      | 10 min   | 1.6           |
| Case 4 | C-2      | 5 min    | 1.6           |

Case 1 及び Case 2 は避難経路図通りに避難する場合、Case 3 及び Case 4 は一部の避難経路が使えない、または、機能が制限される場合である。表において C-1 及び C-2 は、それぞれ火災安全設備コード（FSS Code）第 13 章<sup>(4)</sup>にある Case 1 及び Case 2（A.757(18)<sup>(5)</sup>のそれに同じ。）で規定される避難者の初期配置を意味する。この初期配置では、居住区域の各室の避難者の数は、各室の最大人数（maximum capacity）に基づき計算される。そのため、解析の際の避難者の総数が船舶の総定員を超えることがある。この場合、船舶の総定員に合わせて、各室の人数を減じて避難者の初期配置を決定する。前述の方法で  $t_i$  を計算し、表に示した安全係数を掛ければ総移動時間  $T$  が得られる。総移動時間  $T$  に表 1 に示した避難開始までの時間  $A$  を加え、さらに生存艇への乗り込み及び進水に要する時間  $E+L$  の  $2/3$  を加えれば、総退船時間が得られる。

解析は Case 1 及び Case 2 を先に実施し、集合場所まで避難するのに最も時間がかかる主垂直区域<sup>注 1</sup>を明らかにする。Case 3 では Case 1 の当該主垂直区域について、Case 4 では Case 2 の当該主垂直区域について、次のどちらか一つを条件として計算する：

選択肢 1：当該主垂直区域の階段の容量（幅）が半分になったとする。

選択肢 2：当該主垂直区域の避難者の半数は、隣接する主垂直区域に入った後、その垂直区域を通過して集合場所に移動したとする。

Case 3 及び Case 4 は、避難経路配置が柔軟性を有することを確認すべきことが規則で要求されていることに呼応するものである。

いずれかのケースにおいて、総退船時間が最大許容時間より長い場合は、設計変更その他の措置が必要と判断する。最大許容時間は、ro-ro 旅客船及び主垂直区域の数が 3 以下の旅客船では 60 分、主垂直区域が 4 以上の ro-ro 区域を有しない旅客船では 80 分である。

### 3.3 暫定詳細解析指針の概要

詳細解析とは、いわゆる避難シミュレーションを用いた解析である。暫定指針はシミュレーションの条件及び結果に基づく判断方法を示すものであり、シミュレーション用のモデルを特定するものではない。しかし、暫定指針では、後述の通り、各避難者の移動速度や反応時間を個別に与えるため、避難者個々の動きを計算するモデル、いわゆる個体モデルを用いる必要がある。他にも、各避難者の動きを記録できること、各人の意志決定方法は共通の規則（アルゴリズム）によることが要求される。また、計算における時間刻みは 1 秒以下とする。解析においては、煙や熱が乗客や乗員の行動に及ぼす影響は無視し、船舶の傾斜や動揺は考慮せず、家族連れの実行動も考慮しない（c.f. 暫定指針案 3.2.5 節参照）。

退船に要する時間は、図 4 に示す通り、以下の二種類に分けられる。

$T$ ： 反応を含む集合場所への総移動時間（Travel time）

$E+L$ ： 生存艇への乗り込み時間及び進水時間

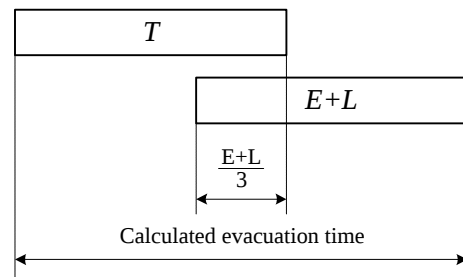


図 4 詳細解析における各時間の関係

乗艇及び進水の時間  $E+L$  は、概略解析の場合と同様であり、既定値は 30 分である。

計算条件は概略解析の場合と同様に 4 ケースであり、各ケースにおける人員の初期配置及び行動は以下の通りである。なお、以下の方法で定めた乗客及び乗員の総数が船舶の総定員を超える場合は、乗客の数を総定員まで減ずることは概略解析の場合と同様である。

Case 1：各客室には定員分の乗客がいて、集合場所に移動すると仮定する。乗員の  $2/3$  は居室から、 $1/6$  は業務区域から集合場所に移動すると仮定する。乗員の  $1/12$  は非常部署配置についていると仮定し、解析では考慮しない。乗員の  $1/12$  は最初集合場所において、乗客とは逆

向きに移動して客室に向かい、その後集合場所に移動すると仮定する。

Case 2：公室には定員の 3/4 の乗客がいて、集合場所に移動すると仮定する。乗員の 1/4 は非常部署配置についていると仮定し、解析では考慮しない。乗員の 1/4 は最初集合場所にいて、乗客とは逆向きに移動して客室に向かい、その後集合場所に移動すると仮定する。乗員の 1/2 は乗客と同様に集合場所に移動するものとし、初期配置は公室、業務区域、居住区域にそれぞれ当該乗員の 1/3 ずつと仮定する。これらのケースでは、全ての避難経路は使用できると仮定する。乗組員の一部が集合場所から乗客と逆

向きに移動して客室に向かう行動を仮定したのは、規則により、避難解析においては乗員が乗客とは逆向きに移動する場合も考慮すべきことが定められているためである。なお、概略解析では、乗員の逆行は安全係数により考慮するとの立場をとっている。

Case 3 及び Case 4 では、避難者等の初期配置及び行動は Case 3 は Case 1 と、Case 4 は Case 2 と同じであるが、概略解析の場合と同様に、避難経路に関しては、前述の選択肢 1 または選択肢 2 のどちらかの条件で計算する（c.f. 3.2）<sup>注2</sup>。

乗客及び乗員は、ケースの別によらず、計 12 のグループに分類される。各グループの人数の割合及び移動速度の範囲は、表 2 に示す通りとする。

表 2 乗客及び乗員の分類、割合、移動速度範囲

|                                              |      | Walking Speed [ m/s ]<br>(The speed along the inclined stairs) |      |             |      |           |      |
|----------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------|------|-------------|------|-----------|------|
|                                              |      | Flat terrain                                                   |      | Stairs down |      | Stairs up |      |
|                                              |      | Min.                                                           | Max. | Min.        | Max. | Min.      | Max. |
| Population groups - passengers               |      |                                                                |      |             |      |           |      |
| Females younger than 30 years                | 7 %  | 0.93                                                           | 1.55 | 0.56        | 0.94 | 0.47      | 0.79 |
| Females 30-50 years old                      | 7 %  | 0.71                                                           | 1.19 | 0.49        | 0.81 | 0.44      | 0.74 |
| Females older than 50 years                  | 16 % | 0.56                                                           | 0.94 | 0.45        | 0.75 | 0.37      | 0.61 |
| Females older than 50, mobility impaired (1) | 10 % | 0.43                                                           | 0.71 | 0.34        | 0.56 | 0.28      | 0.46 |
| Females older than 50, mobility impaired (2) | 10 % | 0.37                                                           | 0.61 | 0.29        | 0.49 | 0.23      | 0.39 |
| Males younger than 30 years                  | 7 %  | 1.11                                                           | 1.85 | 0.76        | 1.26 | 0.50      | 0.84 |
| Males 30-50 years old                        | 7 %  | 0.97                                                           | 1.62 | 0.64        | 1.07 | 0.47      | 0.79 |
| Males older than 50 years                    | 16 % | 0.84                                                           | 1.40 | 0.50        | 0.84 | 0.38      | 0.64 |
| Males older than 50, mobility impaired (1)   | 10 % | 0.64                                                           | 1.06 | 0.38        | 0.64 | 0.29      | 0.49 |
| Males older than 50, mobility impaired (2)   | 10 % | 0.55                                                           | 0.91 | 0.33        | 0.55 | 0.25      | 0.41 |
| Population groups - crew                     |      |                                                                |      |             |      |           |      |
| Crew females                                 | 50 % | 0.93                                                           | 1.55 | 0.56        | 0.94 | 0.47      | 0.79 |
| Crew males                                   | 50 % | 1.11                                                           | 1.85 | 0.76        | 1.26 | 0.50      | 0.84 |

個々のグループにおける各避難者の移動速度は、その範囲内で一様に分布していると仮定する。表において階段における移動速度は、傾斜面に沿った速度である。乗客の一部は移動制約者( Mobility impaired )と仮定されるが、こうした乗客のモデル化の方法については言及されていない。

移動開始までの時間 ( Response time. 以下、「反応時間」と呼ぶ。 ) は、乗客や乗員のグループによらず、表 3 の通りとする。

表 3 反応時間

| Case            | Response time [ sec ] |      |
|-----------------|-----------------------|------|
|                 | Min.                  | Max. |
| Case 1 & Case 3 | 420                   | 780  |
| Case 2 & Case 4 | 210                   | 390  |

流出係数は 1.33 person/m とする。

仮定した分布に基づき、反応及び歩行速度を特性として与えられた各乗客及び乗員を所定の条件下で配置し、計算を実施することにより、各乗客及び乗員が集合場所に到着するまでの時間を求める。各人が集合場所に到着するまでの時間 ( 反応及び移動時間 ) の最大値を総集合時間 ( Total assembly time )  $t_A$  と呼ぶ。同一のケースであっても、総集合時間  $t_A$  は、反応及び歩行速度を特性として与えられた乗員及び乗客の配置により異なる。各ケースについて、計算は少なくとも 50 回実施する。即ち、少なくとも 50 の総集合時間  $t_A$  を求める。そして、 $t_f$  は、総集合時間のうち 95 % ( 100 回の計算であれば 95 の総集合時間 ) がこれより小さくなる値とする。概略解析では、 $t_f$  に安全係数を掛けることにより総移動時間  $T$  を求

めたが、詳細解析では、時間により安全余裕を見込む。Case 1 及び Case 2 では 600 秒、Case 3 及び Case 4 では 200 秒を  $t_f$  に加えた時間を求め、その最大値を総移動時間  $T$  とする。

総移動時間  $T$  に生存艇への乗艇及び進水の時間  $E+L$  の  $2/3$  を加えた時間が、最大許容時間、即ち、ro-ro 旅客船及び主垂直区域の数が 3 以下の旅客船では 60 分、主垂直区域が 4 以上の ro-ro 区域を有しない旅客船では 80 分より大きければ、その船は設計変更その他の何らかの措置を講じる必要があると判断する。

以上の他にも、暫定指針案では、解析に用いるモデルの記述の方法、モデルの検証用の計算例等にも言及している。

### 3.4 暫定指針案に関する今後の予定

暫定指針案の内容に様々な問題があることは IMO 防火小委員会も認識しており<sup>(8)</sup>、IMO 防火小委員会は、当面の会議の議題には予定していないが、作業計画には「避難解析」を残し、暫定指針案については、再度審議する予定である。

## 4 暫定避難解析指針案の問題点

### 4.1 概略解析と詳細解析

暫定避難解析指針案は、Case 3 及び Case 4 については解析の例が無いまま作成された。そのため、今後この指針案に基づく解析が実施されれば、概略解析の方法や計算条件も修正される可能性がある。

入力プログラムを含むデータの受け渡し方法が十分に開発されていれば、概略解析と比較して、詳細解析は必ずしも実施により多くの労力を伴うものではない。一方、概略解析により得られる情報は、詳細解析によるそれと比較して格段に少なく、船舶の設計ツールとしては、今後詳細解析が主流になることは明らかである。そのため、以下では詳細解析についてのみ述べる。

### 4.2 局所的な避難の評価指標の欠如

詳細解析に関する暫定指針の問題点としては、まず、局所的な避難性状を評価する手段として不十分であることが挙げられる。

暫定指針では、総退船時間に基づいて設計変更等

の措置の要否を判断するが、総退船時間は評価指標の一つに過ぎず、SOLAS 条約第 II-2 章の当該規則でも、一義的には、「実行可能な限り混雑を排除すること」を要求しており、今後は「局所的な混雑」を評価指標とする必要がある。

### 4.3 避難が制約を受けるケース

暫定指針案では、避難経路配置の柔軟性を確認する手段として、Case 3 及び Case 4 を導入した。これらのケースにおける総退船時間が問題となる場合には、設計者は当該主垂直区域または隣接する主垂直区域の階段の幅を広げることになる。すると、例えば集合場所（生存艇乗艇場所）が船尾付近に配置されている船で、船首近傍の主垂直区域からの避難に最も時間がかかる場合、暫定指針案を満たすためには、その隣の区画、即ち船首から二番目の主垂直区域の階段幅を広げることが考えられる。しかし、こうした設計が、安全上効果的とは考え難い。こうした問題の原因は、総退船時間に基づき避難経路配置を評価していることと、避難経路配置の柔軟性を評価するためのケースが少ないことである。

避難経路配置の柔軟性を評価するためのケースは、安全上は多数設定することが望ましいが、解析に要する手間の問題もあり、ケースの数と内容（解析の際の条件設定）は今後の課題である。

### 4.4 解析条件の統一性

暫定指針案は、各国で避難解析を実施する際の条件を可能な限り同じにするために作成された。よって解析の条件は可能な限り特定することが望まれるのに対して、各避難者の移動速度及び反応時間の設定方法は、詳細には規定されていない。具体的には、水平な通路、階段の登り、階段の下りのそれぞれの移動速度の関係は規定されていない。そのため、例えば、各グループについて定められている範囲内であれば、水平歩行は速いが階段の歩行は遅いといった避難者を含めて解析することも可能である。また、移動速度と反応時間の関係についても同様の問題があり、歩くのは速いが避難開始は遅いといった避難者を含めて解析することも可能である。解析の条件の統一の観点からは、今後こうした詳細も規定することが望まれる。

## 5. 避難解析に係る今後の課題

避難シミュレーションに関する研究は、従来当所でも実施しており、解析の経験も積み重ねつつある。当所の避難シミュレーションモデル<sup>(9)</sup>、<sup>(10)</sup>は個体モデルであり、避難者毎に歩行速度及び反応時間を設定することは容易である。当所の避難シミュレーションモデルを用いて暫定指針案に沿った解析を実施するには、通路や階段の幅との関係における追い越しやすれ違いの際のモデルについて研究する必要がある、今後の課題である。

国際航海に従事しない我が国の旅客船（内航旅客船）は、居住区域を主垂直区域に区分することを要求されていない。そのため、内航旅客船に暫定指針案を適用するには、最大許容時間の設定方法について検討を要する。他にも、前述の移動速度や反応時間の設定方法等、細かな解釈を要する点は多く、今後の課題である。また、暫定指針案の見直しも、今後の課題である。

## 6. おわりに

今般 FP 46 において暫定指針案について審議する機会を得た。国際基準の策定における技術的支援は当所の役割の一つである。今後、基準の策定及び規則の実施には、より高い技術を要することが明らかであり、こうした業務の重要性は増すと考えられるため、尽力する所存である。

暫定指針案の検討に際して貴重なご意見を賜った Mario Dogliani 氏をはじめとする FP 46 避難解析 WG 各位、本稿の作成に際しご助言をいただいた当所勝原光治郎氏、吉田公一氏、宮崎恵子氏他、関係各位に感謝します。

## 参考文献

- (1) IMO, FP 46/16 ANNEX 2 - Draft MSC Circular - "Interim Guidelines for Evacuation Analyses for New and Existing Passenger Ships", 2002
  - (2) 船舶安全法関係規則解釈集（船舶検査心得）、船舶設備規程（付属書 4）「旅客船の避難経路を構成する階段の幅の計算基準」、成山堂書店、2000
  - (3) IMO, Assembly Resolution A.757(18), "Standards for the Calculation of the Width of Stairways Forming Means of Escape on Passenger Ships", 1993
  - (4) IMO, International Code for Fire Safety Systems (FSS Code) Chapter 13, "Arrangement of Means of Escape", 2000
  - (5) IMO, MSC 66/2/2, MSC 66/2/2/Add.1, MSC 66/2/2/Add.2, MSC 66/2/2/Add.3 "Decision of Other IMO Bodies - Outcome of the 1995 Conference of Contracting Governments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974", 1995
  - (6) IMO, MSC/Circ.909, "Interim Guidelines for a Simplified Evacuation Analysis on ro-ro Passenger Ships", 1999
  - (7) IMO, MSC 75/10/1, "Fire Protection - Evacuation analysis for passenger ships and high-speed craft", Submitted by the United Kingdom, Germany and the International Council of Cruise Lines (ICCL), 2002
  - (8) IMO, FP 46/16 "Report to the Maritime Safety Committee", 2002
  - (9) 勝原光治郎 他、「シミュレーションによる旅客船の避難安全評価」、第 1 回海上技術安全研究所研究発表会、2001
  - (10) Katsuhara M. et al., "Escape Analysis of Ship by Multi-Agent Simulation Using Model of Group Psychology", Proceedings of Traffic and Granular Flow '01, 2001
- 注 1：国際航海に従事する旅客船（旅客定員 13 名以上の船舶）は船首尾方向に原則 40 m 以下毎に防火仕切りで区域を分けることが要求されており、この区域を「主垂直区域（Main vertical zone）」という。
- 注 2：詳細解析では、「集合場所まで避難するのに最も時間がかかる主垂直区域」は、「集合場所まで避難するのに最も時間がかかる避難者がいる確率が最も高い主垂直区域」と読み替える必要があるが、暫定指針案ではそのように記述されていない。今後修正を要する。