

原因不明事故の原因推定法について

海上安全研究領域 旅客安全・バリアフリー研究グループ 金湖富士夫

1. まえがき

現在 IMO (国際海事機関) MSC (海上安全委員会)において、FSA(Formal Safety Assessment)によるバルクキャリアの安全性の議論が活発になされている。その場では、日本によるFSAと英国主導で欧州諸国が実施しているFSAの2つが真向から対峙している。その理由の1つは、それらで使用されている海難データは双方ともLMIS(Lloyds Maritime Information Service)によるデータを使用していながら、それぞれが算出したリスクが大きく異なっていることである。この主な原因は、原因不明な事故の原因推定にある。

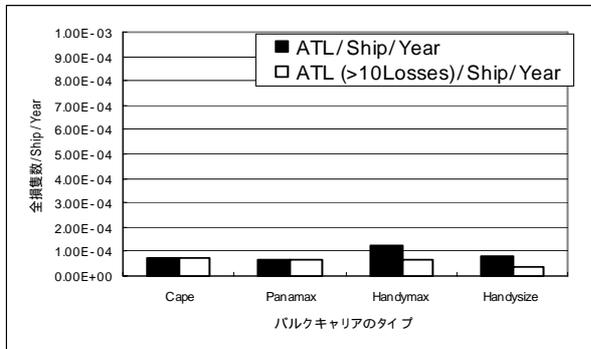
本報告ではそれらの違いを乗り越えるべく開発した原因不明事故の原因推定法の概要を紹介し、それをバルクキャリアの原因推定に用いた結果を示す。

2. 問題点

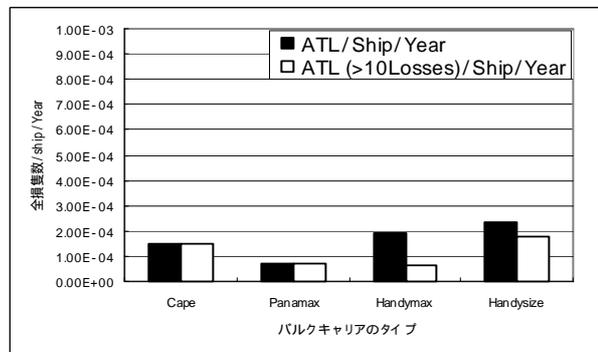
英国は、MSC76会議の前に提出予定の提案文書の草稿を各国に送付し、その中でLMISのデータを用いてバルクキャリアの原因不明事故はすべてハッチカ

バー関連事故であり、特に青波の垂直荷重によるハッチカバー損傷が危険であるため、ハッチカバー強度の強化が必要であると主張してきた。その根拠は図1にあるバルクキャリアの主要な事故原因であるハッチカバー関連事故および船側損傷との明確に原因が判明している事故の全損事故数と全損事故のうち人命損失(死者および行方不明者を含む)が多数の事故数のグラフの形(バルクキャリア大きさ別グループ毎:

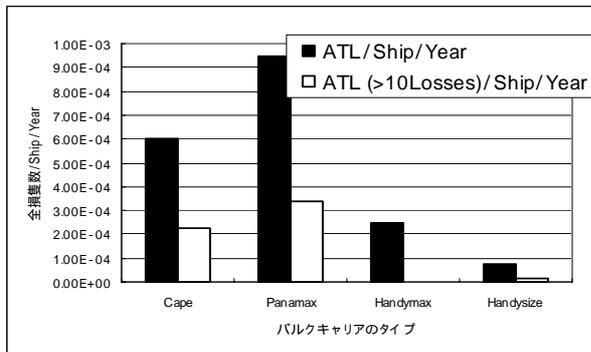
Cape Size型、Panamax型、Handymax型、Handysize型)が、原因明確なハッチカバー関連事故の形と原因不明事故を全てハッチカバー事故とした場合とがよく似ているという定性的なものである。しかし、このような原因推定法はきわめて感覚的なものであり、科学的に正当化されるとは言い難く、データの解釈の仕方で全く異なる主張が生まれ合意形成の障害となる。結果として政治的に力の大きな方の意見が通ることとなる。原因明確な船側損傷事故および原因不明事故を全て船側損傷に帰した同様のグラフを図1(c)、(d)に示す。それらの形も良く似ていると主張しても感覚的には受け入れられると言えよう。



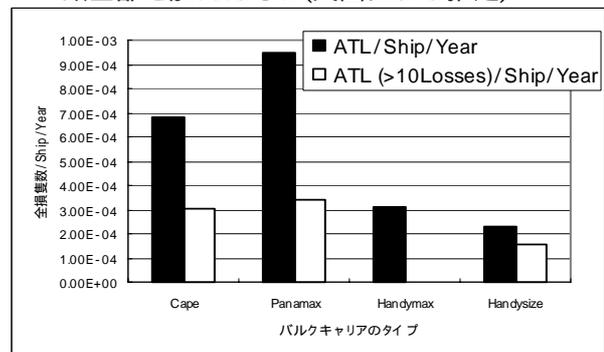
(a) 明確なハッチカバー関連事故



(b) 明確なハッチカバー関連事故に原因不明事故全部を加えたもの(英国による推定)



(c) 明確な船側損傷事故



(d) 明確な船側損傷事故に原因不明事故全部を加えたもの

図1 恣意的なバルクキャリア事故原因推定

3. 手法概要

事故原因の種類が複数あり、原因の種類毎に、原因明確な事故がそれぞれの種類につきある件数存在するが、原因不明の事故があり、それらの原因の特定は不可能とする場合、原因明確な事故件数と不明な事故件数から、真の事故件数を確率的に予測することが可能である。

この問題は以下のようにモデル化される。

事故の原因が数種類あり、それぞれの事故は死者・行方不明者の多い重大事故と、それほど死者・行方不明者が多くない事故とに分けられ、原因不明になる確率は、原因に拠らず事故の重大さによって変わると仮定する。得られている情報は、原因が明確である事故において、重大な事故、重大でない事故、原因不明な事故において、重大事故の総数、および重大でない事故の総数および各事故の死者・行方不明者である。このような情報があった場合、各原因における重大な事故数、重大でない事故数、死者・行方不明者数の最も確からしい値をどのように求めることができるか。

以下に、このようにモデル化し、ベイズの定理を使用して、得られている情報から、それらの値の確率密度関数を求める方法を示す。得られた確率密度関数から各種の事故の件数、死者・行方不明者数の点推定(平均値)を行うことができる。

3.1 原因別重大さ別の事故発生件数

以下のような記号の定義を行う。

- m : 事故の種類数の総数
- n_{ki-F} : 明確な事故 i で重大事故の件数(実現値: N_{i-F})
- n_{ki-L} : 明確な事故 i で重大でない事故の件数(実現値: N_{i-L})
- n_{u-F} : 原因不明の事故で重大事故の件数(実現値: N_{U-F})
- n_{u-L} : 原因不明の事故で重大でない事故の件数(実現値: N_{U-L})
- t_{i-F} : 事故 i で重大事故の件数の真値(実現値: T_{i-F})
- t_{i-L} : 事故 i で重大事故の件数の真値(実現値: T_{i-L})
- n_{k-F} : 明確な事故 i で重大事故の総件数(実現値: N_{k-F})
- n_{k-L} : 明確な事故 i で重大事故の総件数(実現値: N_{k-L})
- n_{T-F} : 重大事故の総件数
- n_{T-L} : 重大でない事故の総件数
- n_T : 事故の総件数
- 重大事故で原因が明確になる確率: p_{FK}
- 重大事故で原因が不明になる確率: $1-p_{FK}$
- 重大でない事故で原因が明確になる確率: p_{LF}
- 重大でない事故で原因が不明になる確率: $1-p_{LF}$

Bayesの定理により式(1)が成立する。

式(1)を変形し、整理しなおすと式(2)のようになり、事故の種類が m 個あり、それらが重大事故および重大でない事故に分類される場合の事故の重大さ毎の各種事故発生件数の確率密度関数が得られる。

3.2 原因別重大さ別の人命損失数

以下のような記号の定義を行う。

- $n_{u-F}(i)$: 原因不明かつ重大な事故で、原因 i に割り当てられる件数(実現値: $N_{U-F}(i)$)
 - $n_{u-L}(i)$: 原因不明かつ重大でない事故で、原因 i に割り当てられる件数(実現値: $N_{U-L}(i)$)
 - $A_{U-F}(j)$: 原因不明かつ重大な事故($j=1, N_{U-F}$)
 - $A_{U-L}(k)$: 原因不明かつ重大な事故($k=1, N_{U-L}$)
 - $F(A_{U-F}(j))$: 事故 $A_{U-F}(j)$ の死者・行方不明者数
 - $B \left(\bigcap_{i=1}^m (n_{U-F}(i) = N_{U-F}(i)) \bigcap (n_{U-L}(i) = N_{U-L}(i)) \right)$: 原因不明事故の数の組合せ i を実現する事故 $A_{U-F}(j)$ および $A_{U-L}(k)$ の組合せより構成される集合
 - $b(i)$: 集合 B に属する i 番目の要素
- とすると、 $b(i)$ は式(3)のようになる。

4. バルクキャリア事故の原因推定への応用

3章で得られた事故の種類および重大さ毎の事故発生件数および人命損失数の確率密度をバルクキャリア原因不明事故の原因推定へ応用する。得られた結果を表1、2および図2に示す。それらより、英国の主張は確率的にほとんど根拠がないことが明白である。

5. まとめ

原因不明事故の合理的な原因推定法が得られた。また、これをバルクキャリアの事故に適用した結果は、英国の主張を覆す面で有効であり、MSC76で英国はハッチカバー強度強化に言及しなかった。これより、本手法はFSAの施行において合意形成に有効であることが確認されたと言えよう。

なお、本研究は、日本財団の助成事業として(社)日本造船研究協会のRR-S702で、また、同協会と海上技術安全研究所との共同研究で実施されたものである。

参考文献

- 1) 平成 14 年度 S702 報告書, 日本造船研究協会, 2003
- 2) JAPAN: Estimated number of casualties caused by hatch cover failures and those caused by side shell failures and fatalities in them of bulk carriers, MSC76/INF.17

表 1 バルクキャリア原因別事故および人命損失数

	ハッチカバー関連事故			船側損傷	原因不明事故	合計
	垂直荷重による損傷	閉鎖不良等によるハッチカバー喪失	他原因			
重大事故発生件数	0	3	4	9	10	26
非重大事故発生件数	6	1	11	139	3	160
人命損失数	2	110	134	249	269	764

表 2 バルクキャリア原因別事故および人命損失数の推定値

	ハッチカバー関連事故			合計	船側損傷	合計
	垂直荷重による損傷	閉鎖不良等によるハッチカバー喪失	他原因			
事故発生件数	6.6	6	17.7	30.3	155.7	186
人命損失数	15.4	163.2	200	378.6	385.4	764

求めたい情報(原因明確な各種事故の重大さ別件数、原因不明事故の重大さ別件数下における各種事故の重大さ別件数(真値)の確率)

$$P\left(\prod_{i=1}^m(n_{i-F} = N_{i-F}) \prod_{i=1}^m(n_{i-L} = N_{i-L}) \mid \prod_{i=1}^m(n_{ki-F} = N_{ki-F}) \prod_{i=1}^m(n_{ki-L} = N_{ki-L}) \cap (n_{U-F} = N_{U-F}) \cap (n_{U-L} = N_{U-L})\right) = \frac{P\left(\prod_{i=1}^m(n_{ki-F} = N_{ki-F}) \prod_{i=1}^m(n_{ki-L} = N_{ki-L}) \cap (n_{U-F} = N_{U-F}) \cap (n_{U-L} = N_{U-L})\right)}{P\left(\prod_{i=1}^m(n_{i-F} = N_{i-F}) \prod_{i=1}^m(n_{i-L} = N_{i-L})\right)} \cdot P\left(\prod_{i=1}^m(n_{i-F} = N_{i-F}) \prod_{i=1}^m(n_{i-L} = N_{i-L})\right) \quad \dots(1)$$

既知の情報(原因明確な各種事故の重大さ別件数、原因不明事故の重大さ別件数)が得られる真値(各種事故の重大さ別件数)の取り得る組合せの確率

各種事故の重大さ別件数の確率密度関数

$$P\left(\prod_{i=1}^m(n_{i-F} = N_{i-F}) \prod_{i=1}^m(n_{i-L} = N_{i-L}) \mid \prod_{i=1}^m(n_{ki-F} = N_{ki-F}) \prod_{i=1}^m(n_{ki-L} = N_{ki-L}) \cap (n_{U-F} = N_{U-F}) \cap (n_{U-L} = N_{U-L})\right) = \frac{\prod_{i=1}^m C_{N_{ki-F}} \prod_{i=1}^m C_{N_{ki-L}}}{\sum_{N_{1-F}=N_{k1-F}}^{(N_{k1-F}+N_{U-F})} \dots \sum_{N_{m-1-F}=N_{km-1-F}}^{(N_{km-1-F}+N_{U-F}-\sum_{j=1}^{m-2}(N_{j-F}-N_{kj-F}))} \sum_{N_{1-L}=N_{k1-L}}^{(N_{k1-L}+N_{U-L})} \dots \sum_{N_{m-1-L}=N_{km-1-L}}^{(N_{km-1-L}+N_{U-L}-\sum_{j=1}^{m-2}(N_{j-L}-N_{kj-L}))} \prod_{i=1}^m C_{N_{ki-F}} \prod_{i=1}^m C_{N_{ki-L}}} \quad \dots(2)$$

$$b(i) = \underbrace{(A_{U-F}(K_1^1), A_{U-F}(K_2^1), \dots)}_{\text{事故原因 1 に割当てられる原因不明の重大事故}} \underbrace{(A_{U-F}(K_1^*), A_{U-F}(K_2^*), \dots)}_{\text{事故原因*に割当てられる原因不明の重大事故}} \underbrace{(A_{U-F}(K_{N_{U-F}(m)}^m)}^m)}_{\text{事故原因 m に割当てられる原因不明の重大事故}} \underbrace{(A_{U-L}(L_1^1), A_{U-L}(L_2^1), \dots)}_{\text{事故原因 1 に割当てられる原因不明の重大でない事故}} \underbrace{(A_{U-L}(L_1^*), A_{U-L}(L_2^*), \dots)}_{\text{事故原因*に割当てられる原因不明の重大でない事故}} \underbrace{(A_{U-L}(L_{N_{U-L}(m)}^m)}^m)}_{\text{事故原因 m に割当てられる原因不明の重大でない事故}} \quad \dots(3)$$

各種事故の重大さ別人命損失数の確率密度関数

$$P\left(b(i), b(i) \in B \left(\prod_{i=1}^m(n_{U-F}(i) = N_{U-F}(i)) \prod_{i=1}^m(n_{U-L}(i) = N_{U-L}(i)) \mid \prod_{i=1}^m(n_{ki-F} = N_{ki-F}) \prod_{i=1}^m(n_{ki-L} = N_{ki-L}) \cap (n_{U-F} = N_{U-F}) \cap (n_{U-L} = N_{U-L}) \right)\right) = \frac{\prod_{i=1}^m C_{N_{ki-F}} \prod_{i=1}^m C_{N_{ki-L}}}{\sum_{N_{1-F}=N_{k1-F}}^{(N_{k1-F}+N_{U-F})} \dots \sum_{N_{m-1-F}=N_{km-1-F}}^{(N_{km-1-F}+N_{U-F}-\sum_{j=1}^{m-2}(N_{j-F}-N_{kj-F}))} \sum_{N_{1-L}=N_{k1-L}}^{(N_{k1-L}+N_{U-L})} \dots \sum_{N_{m-1-L}=N_{km-1-L}}^{(N_{km-1-L}+N_{U-L}-\sum_{j=1}^{m-2}(N_{j-L}-N_{kj-L}))} \prod_{i=1}^m C_{N_{ki-F}} \prod_{i=1}^m C_{N_{ki-L}}} \quad \dots(4)$$

$$= \frac{\prod_{i=1}^m \prod_{j=0}^{N_T - \sum_{j=0}^{i-1} N_{U-F}(j)} C_{N_{U-F}(i)} \cdot \prod_{i=1}^m \prod_{j=0}^{N_T - \sum_{j=0}^{i-1} N_{U-L}(j)} C_{N_{U-L}(i)}}{\dots}$$

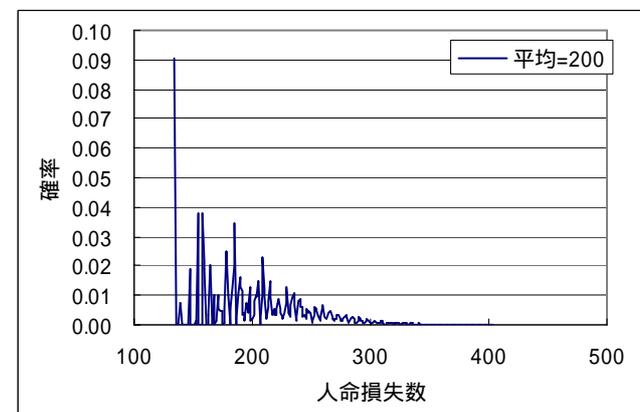
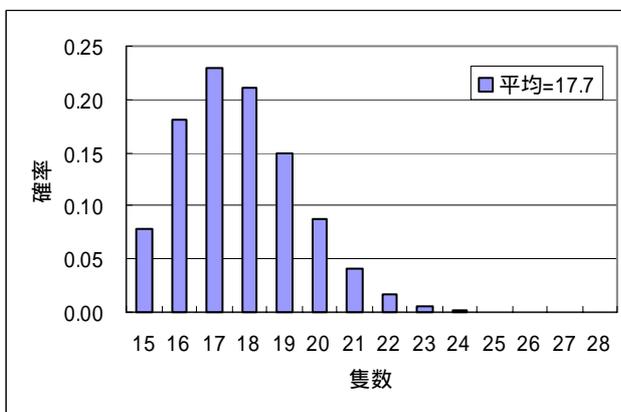
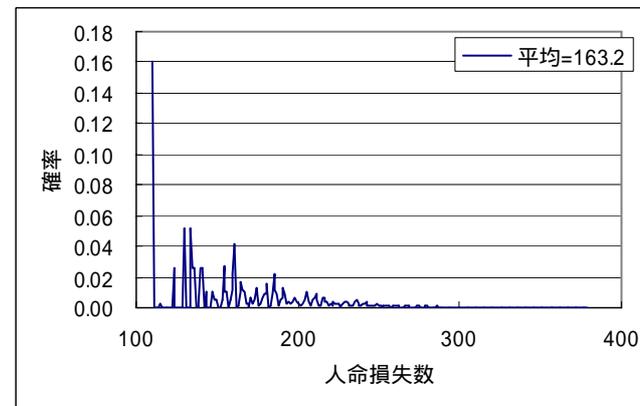
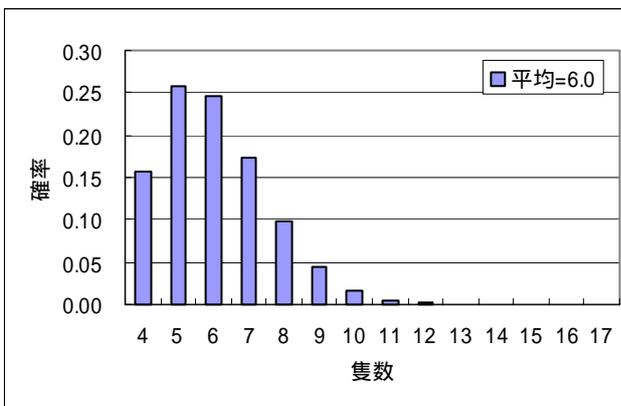
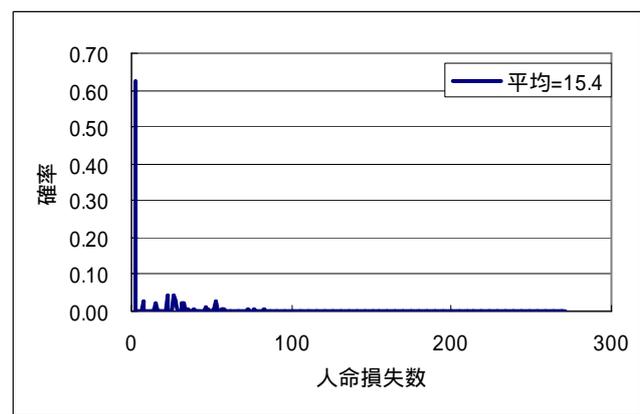
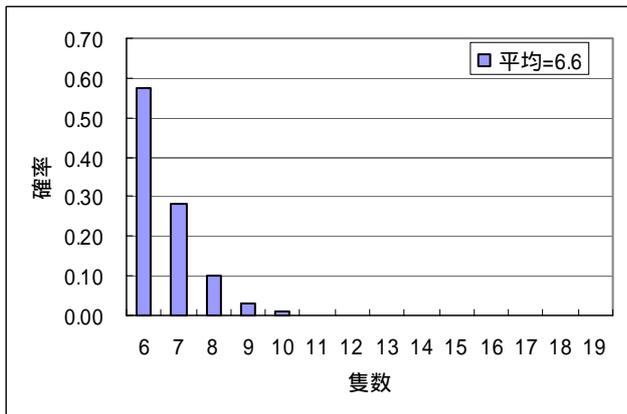
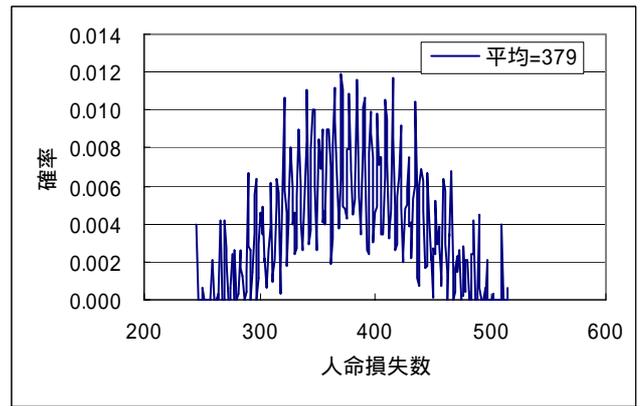
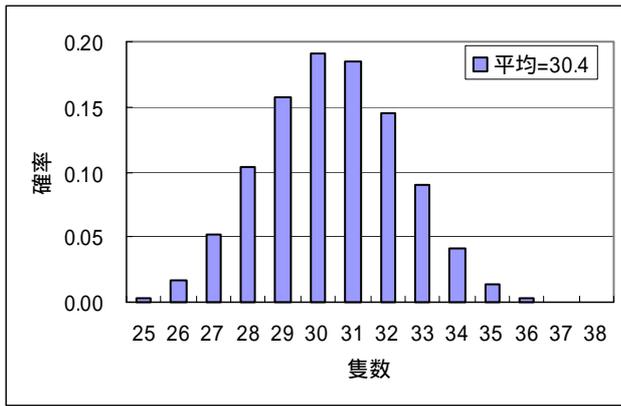


図2 ハッチカバー関連事故における発生件数および人命損失数推定値の確率密度関数 (バルクキャリアー全タイプ)