

台灣西部國際商港水域海難事故之分析

An Analysis of Marine Casualties of the International Commercial Port on the West Coast of Taiwan

徐國裕¹ Kuo-Yu Hsu
張運杰² Yun-Chieh Chang
周和平³ Ho-Ping Chou

摘 要

本文運用灰色關聯系統分析台灣西岸之基隆、台中、高雄三大國際商港水域之海難事故，並以其中較與航行安全有關者之碰撞、觸礁或擱淺、觸碰、火災或爆炸、機械故障與傾斜或傾覆等六項，以及海難事故類型與事故地點，採用灰色關聯矩陣運算及分析，探討出其相關性，以期作為改善台灣西岸港口水域海上交通安全之參考。

關鍵詞：海難事故、港口水域、灰色系統。

ABSTRACT

This research paper, based on the Gray Relational Analysis system, analyzes the marine casualties in the areas of three international commercial ports of Taiwan, including Keelung, Taichung and Kaohsiung harbor, with respect to different causes like collision; stranding/grounding, contact, fire/explosion, damage to machinery and list/capsize. The relationship between the types of marine casualties and accident sites is indicated by the Gray Relational Matrix and propose for the concerned parties in connection of improving the marine traffic safety in harbor area on the west coast of Taiwan.

Keywords : Marine Casualty, Harbor Area, Gray System.

¹高雄港引水人 / 海洋大學商船學系兼任講師 E-mail: ky.hsu@msa.hinet.net

²大連海事大學數理系教授

³海洋大學商船學系榮譽教授 E-mail: cmsdeans@mail.ntou.edu.tw

壹、前言

促進海上交通安全為各海運相關機構，尤其是國際海事組織（IMO）所戮力追求之目標。為實現海上安全，最有效之方法乃詳細調查過去海難事故之成因，並進行全面深入分析，從中找出相互之關聯，並採取相應之措施，儘可能減少和避免事故的再發生。然而海難事故的成因十分複雜，其中包括航行水域的自然條件與船舶因素（包括船舶條件及人員因素）等；為此，目前對於事故原因之分析則有定性分析與定量分析兩類，而定量分析則是現今研究交通事故的重點。

台灣西部三大國際商港及其附近水域之地理位置處於台灣海峽交通繁忙之水域，加以各類型船舶進出上述港口頻繁，事故之發生將影響交通之安全。本文就台灣西部三大國際商港近十年來所發生之海難事件，就其發生原因及其地理位置作定量分析，並為適用相關法規及管理上需求，將船舶大小以 G.T. 300 為分類，俾便於更詳細的事故分析比較，及有助於主管機關之航政監理。

貳、海難事故

國際海事組織（IMO）在其國際公約、大會決議、規則和指南等文件中對海難事故等名稱主要採用「Marine Casualty」，「Marine Incident」或「Maritime Casualty」等詞。例如，1997年11月27日通過的「海難事故調查章程」中，該章程則將「Marine Casualty」定義為：「海難事故（Marine Casualty）」係指導致下述任何後果之事件。

1. 因船舶營運或與船舶營運有關而引起之人員死亡或嚴重受傷（Serious Injured）；
2. 因船舶營運或與船舶營運有關而引起之船上人員失蹤（Member to be Missing）；
3. 船舶滅失（Vessel Loss）、推定滅失（Presumed Loss）或棄船（Abandonment）；
4. 對船舶材料損壞（Material Damage）；
5. 船舶擱淺或不能運轉之船舶（Disabling of a Ship）或船舶碰撞（Vessel Collision）；
6. 因船舶營運或與船舶營運有關而引起之材料損壞；
7. 因船舶營運或與船舶營運有關引起船舶損壞而造成環境損害。

同時世界各國亦為「海難事故（Marine Casualty）」作有多番的定義以及分類。例如，中國則對海難事故作了下列之定義與分類，海上交通事故是指船舶、設施發生下列事故。1. 碰撞、觸碰或浪損。2. 觸礁或擱淺。3. 火災或爆炸。4. 沉沒。5. 在航行中發生影響適航性之機件或重要屬具損壞或滅失。6. 其他引起財產和人身傷亡的海上交通事故。同時將船舶交通事故分為碰撞、擱淺、觸礁、觸損、浪損、火災、風災和其他事故等八個類別^[1]。

我國則是參考英國勞氏驗船協會，將海難發生之狀況分類及定義為：

- 1.碰撞：指船舶間之相互碰撞，而無論其在航行、錨泊或繫泊時；
- 2.觸礁或擱淺：指船舶觸及海底因坐在礁石或沉船者；
- 3.火災或爆炸：若因碰撞或擱淺而火災或引起之爆炸乃歸入碰撞或擱淺之類別。
- 4.浸水：指船舶遭遇惡劣天候而漏水或破裂而進水。
- 5.失蹤：指完全失去船舶或船員的消息。
- 6.機械故障：主機系統、推進器系統、舵機系統發生故障，而使船舶失去動力，或無法操縱者。
- 7.傾覆：指船舶因失去重心而傾覆者。
- 8.其他：凡不屬於上述類別之海難事故者，均歸之為此類。

表 1 各國對海難事故之分類表

國別組織	海 難 事 故 分 類
國際海事組織	沉沒、失蹤、火災與爆炸、碰撞、觸碰、擱淺、惡劣天候與次損、船體和機器損害等八類。
英 國	浸水、擱淺、碰撞與碰觸、翻覆及傾斜、火災及爆炸、機械損害、惡劣天候損害、船舶失蹤及其他等九類。
日 本	船舶碰撞、船舶與設施碰撞、擱淺或觸礁、遇難、沉沒、傾覆、火災、機損、傷亡、爆炸、妨害安全、妨礙航行和設施等損傷等十三類。
加 拿 大	碰撞、擱淺或觸礁、觸碰、撞擊、從上面進水沉沒、從下面進水沉沒、火災、爆炸、傾覆、冰損和其他等十一類。
中 國	碰撞、擱淺、觸礁、觸損、浪損、火災、風災和其他事故等八類。
台 灣	碰撞、觸礁或擱淺、火災或爆炸、浸水、失蹤、機械故障、傾覆和其他事故等八類。

參、灰色關聯分析原理

灰色關聯分析的基本思想是根據各序列曲線幾何形狀的相似程度來判斷其關聯性是否密切，曲線幾何形狀越接近，相應序列之間的關聯度就越大。因素序列與結果序列的關聯度有許多種，把因素序列與結果序列單純幾何形狀上的相似程度稱為「灰色絕對關聯度」，把諸因素序列相對於始點變化率的大小與結果序列相對於始點變化率的接近程度稱為「灰色相對關聯度」。將因素序列與結果序列幾何形狀的相似程度與因素序列和結果序列相對於始點變化速率綜合而成的關聯度稱為「灰色綜合關聯度」。

3.1 灰關聯空間^[3]

灰關聯空間是灰關聯分析的基礎，它是由為某特定主題所得到的因子集開始，經由因子空間、測度空間，然後發展至灰關聯空間。對於探討某特定主題 X 所得到之影響問題的因子集 P(X)，其內含之因子可以一序列 $x_i=(x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(m))$ 來表示， $x_i \in P(X)$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，且 $x_i(k)$ ， $k = 1, 2, \dots, m$ ，為因子序列所含元素。

接著對這些數據進行「灰關聯生成」，有關灰關聯生成的方法，常用的處理方式有：

1. **初值處理**：即以序列中的第一個元素來作為該序列元素之參考值的數據處理。

$$x_i^*(k) = \frac{x_i(k)}{x_i(1)} \text{-----} \quad (1)$$

2. **最大值處理**：即以序列中的最大值作為參考值的數據處理。

$$x_i^*(k) = \frac{x_i(k)}{\max_k [x_i(k)]} \text{-----} \quad (2)$$

3.2 灰關聯度

考慮在灰關聯空間中之因子集 P(X)裡的序列 $x_i=(x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(m)) \in X$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ， $x_i(k)$ ， $k = 1, 2, \dots, m$ ，在求灰關聯度之前我們首先定義「灰關聯係數」為，若為局部性灰關聯測度，即只有序列 $x_0 \in X$ 為參考序列，其他序列 x_i 為比較序列，則 $x_0(k)$ 與 $x_i(k)$ 的灰關聯係數為：

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (3)$$

其中， $\zeta \in (0, 1)$ 為辨識係數，一般取 0.5， $\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$ 為 $x_0(k)$ 與 $x_i(k)$ 之間差的絕差值。

$$\Delta_{\min} = \min_{\forall i} \min_{\forall k} \Delta_{0i}(k) = \min_{\forall i} \min_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)| \quad (4)$$

$$\Delta_{\max} = \max_{\forall i} \max_{\forall k} \Delta_{0i}(k) = \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)| \quad (5)$$

當灰關聯係數產生之後，我們可以根據式 (6) 得到兩序列之間的灰關聯度量測值：

$$\gamma(x_0, x_i) = \sum_{k=1}^m \beta_k \gamma(x_0(k), x_i(k)) \quad (6)$$

其中， β_k 為權重值，且 $\sum_{k=1}^m \beta_k = 1$ 。一般取相等權重值，即 $\beta_k = \frac{1}{m}$ ， $k=1, 2, \dots, m$ 。

3.3 灰色關聯矩陣理論

當研究分析對象序列（通常為母序列）與因素序列（通常為子序列）不止一個時，可將各母序列與各子序列對應的關聯度序列構成關聯矩陣。即設有 m 個母序列（結果）， $Y_1(t), Y_2(t), Y_3(t), \dots, Y_m(t)$ ，有 n 個子序列（影響因素）， $X_1(t), X_2(t), X_3(t), \dots, X_n(t)$ ， $t=1, 2, \dots, N$ 。N 為變量序列長度。若以 γ_{ij} 表示第 i 個母序列（結果）與 j 個子序列（影響因素）的關聯度，則：

$$[\gamma_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \gamma_{m1} & \gamma_{m2} & \cdots & \gamma_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

表示母序列(結果) $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_m$ 與子序列(影響因素) $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 之間關聯度矩陣,其中矩陣的每一行表示不同子序列因子(影響因素)對同一母序列因子(結果)的影響,每一列表示不同母序列因子(結果)對同一子序列因子(影響因素)的關聯。透過對關聯矩陣中各元素的比較,可以分析各影響因素與各結果的相互關聯,同時找出產生主要影響的原因,如此便可對影響因素進行優勢因素分析。

肆、海難事故之灰色關聯分析

目前用於海難事故分析之定量分析法主要有,一般統計分析與數理統計分析兩類,兩種方法雖然在海難事故定量分析工作上發揮了重要成效,但亦有其侷限性。統計各種原因導致事故的件數只能表示數值的絕對值,但沒有很好地反映出各類原因與事故發生的關聯程度;百分比分析在一定程度上反映了各類原因的重要程度,但提供的資訊尚不夠準確;而數理統計分析方法要求的樣本量要大,而且要求有較好的樣本分佈。

對於海難事故之分析以灰色系統理論而言,其在某種程度上克服了上述分析方法中不足之處,它不僅對樣本數據的數量要求不如上述各種方法多,而且對信息的準確度要求也不高。因此,在運用上述方法分析研究海難事故的同時,有必要運用灰色系統理論作為分析海難事故原因的補充,以使海難事故原因的定量分析工作進一步完善^[2]。

船舶事故原因調查分析的目的是為了把握船舶事故發生之規律性,即要找出船舶事故發生的起因,以及起因與船舶事故之間的內在關連性。而灰色系統理論能夠透過對系統獲得較少的信息,對系統進行較深入分析和研究,並求取一因素與船舶事故的密切程度,以獲得船舶事故之致因與航行安全之評估。

王鳳武等(2003),運用灰色關聯分析方法,建立了大風浪海損事故與其致因間的關聯矩陣,進行了事故原因的灰色關聯分析^[5]。黃志(2004),運用灰色關聯分析以建立海事種類與導致海事原因、船舶尺度大小、海事發生地理位置及海事發生時間的灰色關聯矩陣,對台灣海峽發生海事的特點及規律進行分析^[6]。劉中平等(2004),運用灰色關聯分析方法建立港口水域船舶事故主要天然致因的關聯分析模型^[8]。

伍、各港之灰色關聯分析

在上述文獻當中，有些對天然致因與船舶事故作灰色關聯分析，但天然致因中之天空晴朗度、風力強度、氣壓與氣溫等天然因素，只是影響船舶操縱之困難度，對於船舶航行安全及發生海損事件而言，並非具有相當之影響程度。因此，本文採用基隆、台中、高雄三港海域之 1993 年至 2004 年海難事故資料中與航行安全至為關切之碰撞、觸礁或擱淺、觸碰、火災或爆炸、機械故障與傾斜或傾覆等六種事故類型，就所有噸位船舶及 GT 300 以上船舶進行灰色關聯分析，至於

發生事故地理位置，仍依據各港彙報統計資料予以計算，在事故發生地理位置之統計資料上與總數存在差異，此乃大部分小船資料彙報不詳，港口統計或有不全但不影響分析。

5.1 基隆港海難事故種類之關聯分析

基隆港水域 1993-2004 年之海難事故統計資料如表 2 所示。今將其事故統計表中之全年數量為設定為母序列 $x_0(k_0)$ ，碰撞、擱淺或觸礁、觸碰、火災或爆炸、機械故障及傾斜或傾覆等為子序列 $x_1(k_1), \dots, x_6(k_6)$ ，即：

$$\begin{bmatrix} x_0(k_0) \\ x_1(k_1) \\ x_2(k_2) \\ x_3(k_3) \\ x_4(k_4) \\ x_5(k_5) \\ x_6(k_6) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{全年數量} \\ \text{碰撞} \\ \text{擱淺或觸礁} \\ \text{觸碰} \\ \text{火災或爆炸} \\ \text{機械故障} \\ \text{傾斜或傾覆} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 99 & 82 & 51 & 69 & 83 & 74 & 76 & 83 & 51 & 51 & 29 & 37 \\ 30 & 35 & 20 & 25 & 32 & 31 & 30 & 30 & 24 & 16 & 9 & 10 \\ 13 & 9 & 5 & 6 & 14 & 5 & 3 & 16 & 4 & 6 & 1 & 5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 5 & 0 & 1 & 0 & 6 & 3 \\ 8 & 4 & 3 & 4 & 4 & 4 & 12 & 4 & 5 & 7 & 2 & 4 \\ 43 & 32 & 23 & 25 & 33 & 32 & 23 & 29 & 16 & 20 & 11 & 13 \\ 4 & 2 & 0 & 9 & 0 & 0 & 3 & 4 & 1 & 2 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

表 2 基隆港之船舶海難事故統計

年 度	全年數量	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機械故障	傾斜或傾覆
1993	99	30	13	1	8	43	4
1994	82	35	9	0	4	32	2
1995	51	20	5	0	3	23	0
1996	69	25	6	0	4	25	9
1997	83	32	14	0	4	33	0
1998	74	31	5	2	4	32	0

表 2 基隆港之船舶海難事故統計(續)

年 度	全年數量	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
1999	76	30	3	5	12	23	3
2000	83	30	16	0	4	29	4
2001	51	24	4	1	5	16	1
2002	51	16	6	0	7	20	2
2003	29	9	1	6	2	11	0
2004	37	10	5	3	4	13	2

表 3 基隆港之船舶海難事故灰關聯度 (取相等權重)

灰 關 聯 度	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
γ_{oi}	0.7880	0.6645	0.4721	0.6306	0.8494	0.4990

再將總噸位 300 噸以下之船舶排除，進行海難事故之灰關聯分析，其海難事故統計資料如表 4 所示。

表 4 基隆港 G.T. 300 以上之船舶海難事故統計

年 度	全年數量	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
1993	54	28	7	1	2	14	2
1994	45	30	6	0	0	8	1
1995	24	16	2	0	0	6	0
1996	26	18	3	0	0	5	0
1997	41	27	10	0	0	4	0
1998	37	25	2	1	0	9	0
1999	38	26	3	3	0	6	0
2000	34	19	7	0	0	8	0
2001	22	14	0	1	2	5	0
2002	19	9	4	0	1	5	0
2003	13	5	0	6	0	2	0
2004	23	8	3	3	0	9	0

表 5 基隆港 G.T. 300 以上之船舶海難事故灰關聯度（取相等權重）

灰關聯度	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機械故障	傾斜或傾覆
γ_{0i}	0.8093	0.6510	0.4886	0.5052	0.7959	0.5152

由表 3 基隆港之船舶海難事故灰關聯度可以得知，基隆港水域之海難事故以機械故障（ $\gamma_{05} = 0.8494$ ）為主要相關連因素，其次為碰撞（ $\gamma_{01} = 0.7880$ ）以及擱淺或觸礁（ $\gamma_{02} = 0.6645$ ）。由表 5 基隆港 G.T. 300 以上之船舶海難事故灰關聯度可以得知，基隆港水域 G.T. 300 以上之船舶海難事故則以碰撞（ $\gamma_{01} = 0.8093$ ）為主要相關連因素，其次為機械故障（ $\gamma_{05} = 0.7959$ ）以及擱淺或觸礁（ $\gamma_{02} = 0.6510$ ）。

海難事故統計資料與事故發生地理位置之統計資料，如表 6 所示，運用灰色關聯矩陣理論計算方法計算，則可得各母序列與子序列，如下式（8）所示，其計算結果如表 7 所示。另外再針對 G.T. 300 以上之船舶進行相同運算，其資料及運算結果，如表 8 及表 9 所示。

$$\begin{array}{l}
 \text{母序列組為：} \\
 \left[\begin{array}{c}
 \text{船 席} \\
 \text{錨 泊 區} \\
 \text{港 口 內} \\
 \text{港 口 附 近} \\
 \text{沿 海} \\
 \text{公 海}
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{子序列組為：} \\
 \left[\begin{array}{c}
 \text{碰 撞} \\
 \text{擱淺或觸礁} \\
 \text{觸 碰} \\
 \text{火災或爆炸} \\
 \text{機 械 故 障} \\
 \text{傾斜或傾覆}
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \dots\dots\dots (8)$$

表 6 基隆港船舶海難事故種類與地理位置統計（依彙報統計資料）

地 理 位 置	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
船 席	16	0	9	1	4	0
錨 泊 區	16	1	0	0	4	0
港 口 內	12	1	0	4	7	2
港 口 附 近	4	3	0	0	0	2
沿 海	9	2	0	6	19	1
公 海	0	0	0	0	3	0

表 7 基隆港船舶海難事故種類與地理位置灰關聯係數($\zeta=0.5$)

地 理 位 置	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
船 席	0.7255	0.3814	0.7255	0.4370	0.4544	0.3814
錨 泊 區	0.5362	0.6810	0.4684	0.4684	0.5834	0.4684
港 口 內	0.9136	0.5751	0.4157	0.9328	0.5993	0.6271
港 口 附 近	0.9867	0.3978	0.6727	0.6727	0.6727	0.3978
沿 海	0.5333	0.6000	0.3333	1.0000	1.0000	0.5000
公 海	0.8605	0.8605	0.8605	0.8605	0.8668	0.8605

表 8 基隆港 G.T. 300 以上船舶海難事故種類與地理位置統計

地 理 位 置	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
船 席	15	0	1	9	4	0
錨 泊 區	16	1	0	0	4	0
港 口 內	10	1	0	0	6	0
港 口 附 近	3	2	0	0	0	0
沿 海	1	1	0	0	5	0
公 海	0	0	0	0	2	0

表 9 基隆港 G.T. 300 以上船舶海難事故種類與地理位置灰關聯係數($\zeta=0.5$)

地 理 位 置	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
船 席	0.8889	0.3333	1.0000	1.0000	0.6000	0.3333
錨 泊 區	0.6444	0.6905	0.4085	0.4085	0.8969	0.4085
港 口 內	0.9280	0.8529	0.4603	0.4603	0.5472	0.4603
港 口 附 近	0.9707	0.3766	0.7436	0.7436	0.7436	0.7436
沿 海	0.7365	0.6591	0.6744	0.6744	0.4579	0.6744
公 海	0.8788	0.8788	0.8788	0.8788	0.6541	0.8788

至於海難事故種類與地理位置之相關聯性，則由表 7 基隆港船舶海難事故種類與地理位置灰關聯矩陣得知，船席與碰撞及觸碰 ($\gamma_{11}, \gamma_{13}=0.725$) 較具關連性；錨泊區與擱淺或觸礁 ($\gamma_{22}=0.6810$) 較具關連性；港口內與火災或爆炸 ($\gamma_{34}=0.9328$) 較具關連性；港口附近與碰撞 ($\gamma_{41}=0.9867$) 較具關連性；沿海與火災或爆炸及機械故障 ($\gamma_{54}, \gamma_{55}=1.0000$) 較具關連性；公海與機械故障 ($\gamma_{65}=0.8668$)。

此外，G.T. 300 以上之船舶於基隆港水域之海難事故種類與地理位置之相關聯性，則可由表 9 G.T. 300 基隆港船舶海難事故種類與地理位置灰關聯矩陣得知，船席與觸碰及火災或爆（ $\gamma_{13}, \gamma_{14}=1.0000$ ）較具關連性；錨泊區與機械故障（ $\gamma_{25}=0.8969$ ）較具關連性；港口內與碰撞（ $\gamma_{31}=0.9280$ ）較具關連性；港口附近與碰撞（ $\gamma_{41}=0.9707$ ）較具關連性；沿海與碰撞（ $\gamma_{51}=0.7365$ ）較具關連性；公海與碰撞、擱淺或觸礁、觸碰、火災或爆炸及傾斜或傾覆（ $\gamma_{61}, \gamma_{62}, \gamma_{63}, \gamma_{64}, \gamma_{65}, \gamma_{66}=0.8668$ ）。

5.2 台中港海難事故種類之關聯分析

台中港海難事故統計資料如表 10 所示，經最大值處理及灰色關聯運算後，其灰關聯度，如表 11 所示。今再將 G.T. 300 以下之船舶排除，進行灰關聯分析，其統計資料及灰關聯度如表 12 及表 13 所示。

表 10 台中港之船舶海難事故統計

年 度	全年數量	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機械故障	傾斜或傾覆
1993	12	6	2	0	2	2	0
1994	19	10	5	0	1	1	2
1995	17	10	5	0	0	0	2
1996	18	11	4	0	0	1	2
1997	19	13	4	0	2	0	0
1998	27	15	4	0	6	0	2
1999	10	8	1	0	0	0	1
2000	28	20	5	0	2	0	1
2001	17	13	0	0	1	1	2
2002	20	17	1	0	1	1	0
2003	18	12	2	0	2	2	0
2004	14	9	0	4	1	0	0

表 11 台中港之船舶海難事故灰關聯度（取相等權重）

灰關聯度	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
γ_{0i}	0.859	0.693	0.445	0.582	0.560	0.570

表 12 台中港 G.T. 300 以上之船舶海難事故統計

年 度	全年數量	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機械故障	傾斜或傾覆
1993	9	6	1	0	0	2	0
1994	17	10	5	0	0	1	1
1995	13	7	4	0	0	0	2
1996	13	10	3	0	0	0	0
1997	12	8	3	0	1	0	0
1998	17	13	1	0	2	0	1
1999	8	6	1	0	0	0	1
2000	17	15	0	0	2	0	0
2001	9	9	0	0	0	0	0
2002	14	13	0	0	1	0	0
2003	14	11	1	0	1	1	0
2004	11	7	0	4	0	0	0

表 13 台中港 G.T. 300 以上之船舶海難事故灰關聯度 (取相等權重)

灰關聯度	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
γ_{0i}	0.8038	0.6021	0.4195	0.5808	0.4424	0.5067

由表 11 台中港之船舶海難事故灰關聯度可以得知，台中港水域之海難事故以碰撞 ($\gamma_{01} = 0.859$) 為主要相關連因素，其次為擱淺或觸礁 ($\gamma_{02} = 0.693$) 與火災或爆炸 ($\gamma_{04} = 0.582$)。由表 13 台中港 G.T. 300 以上之船舶海難事故灰關聯度可以得知，台中港水域 G.T. 300 以上之船舶海難事故以碰撞 ($\gamma_{01} = 0.8038$) 為主要相關連因素，其次為擱淺或觸礁 ($\gamma_{02} = 0.6021$) 與火災或爆炸 ($\gamma_{04} = 0.5808$)。今再將台中港水域之海難事故類型與事故地理位置進行灰關連矩陣運算，其情形如下所示。

表 14 台中港船舶海難事故種類與地理位置統計(依彙報統計資料)

地 理 位 置	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火 災 或 爆 炸	機 械 故 障	傾 斜 或 傾 覆
船 席	1	0	4	0	0	0
錨 泊 區	4	0	0	2	1	0
港 口 內	8	1	0	1	0	0
港 口 附 近	1	0	0	0	0	0
沿 海	1	0	0	0	0	1
公 海	1	0	0	0	0	0

表 15 台中港船舶海難事故種類與地理位置灰關聯係數($\zeta=0.5$)

地理位置	碰撞	擱淺或觸礁	觸碰	火災或爆炸	機械故障	傾斜或傾覆
船席	0.5714	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
錨泊區	0.7143	0.4167	0.4167	0.6250	0.6250	0.4167
港口內	1.0000	1.0000	0.3333	0.5000	0.3333	0.3333
港口附近	0.9524	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333
沿海	0.8696	0.7143	0.7143	0.7143	0.7143	0.3846
公海	0.9524	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333	0.8333

表 16 台中港 G.T. 300 以上船舶海難事故種類與地理位置統計

地理位置	碰撞	擱淺或觸礁	觸碰	火災或爆炸	機械故障	傾斜或傾覆
船席	1	0	4	0	0	0
錨泊區	4	0	0	2	1	0
港口內	6	1	0	0	0	0
港口附近	1	0	0	0	0	0
沿海	1	0	0	0	0	1
公海	1	0	0	0	0	0

表 17 台中港 G.T. 300 以上船舶海難事故種類與地理位置灰關聯係數($\zeta=0.5$)

地理位置	碰撞	擱淺或觸礁	觸碰	火災或爆炸	機械故障	傾斜或傾覆
船席	0.4773	0.4118	0.6364	0.4118	0.4118	0.4118
錨泊區	0.6000	0.3333	0.3333	1.0000	1.0000	0.3333
港口內	1.0000	1.0000	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333
港口附近	0.9545	0.7778	0.7778	0.7778	0.7778	0.7778
沿海	0.8077	0.6364	0.6364	0.6364	0.6364	0.4118
公海	0.9545	0.7778	0.7778	0.7778	0.7778	0.7778

至於海難事故種類與地理位置之相關聯性，則由表 15 台中港船舶海難事故種類與地理位置灰關聯矩陣得知，船席與碰撞及觸碰 ($\gamma_{11}=0.5714$) 較具關連性；錨泊區與碰撞($\gamma_{21}=0.7143$)較具關連性；港口內與碰撞及擱淺或觸礁($\gamma_{31}=1.0000$)較具關連性；港口附近與碰撞($\gamma_{41}=0.9524$)較具關連性；沿海與碰撞($\gamma_{51}=0.8696$)較具關連性；公海與碰撞($\gamma_{61}=0.9524$)。

此外，G.T. 300 以上之船舶於台中港水域之海難事故種類與地理位置之相關聯性，則可由表 17 G.T. 300 台中港船舶海難事故種類與地理位置灰關聯矩陣得知，船席與觸碰 ($\gamma_{13}=0.6364$) 較具關連性；錨泊區與火災或爆炸及機械故障 ($\gamma_{2i}=1.0000$) 較具關連性；港口內與碰撞及擱淺或觸礁 ($\gamma_{3i}=1.0000$) 較具關連性；港口附近與碰撞 ($\gamma_{4i}=0.9545$) 較具關連性；沿海與碰撞 ($\gamma_{5i}=0.8077$) 較具關連性

5.3 高雄港海難事故種類之關聯分析

表 18 高雄港之船舶海難事故統計

年 度	全年數量	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
1993	95	19	15	0	12	49	0
1994	87	26	13	0	9	39	0
1995	110	18	11	0	15	62	4
1996	123	31	7	0	15	66	4
1997	52	9	3	0	7	31	2
1998	105	20	10	0	8	66	1
1999	28	1	0	0	6	19	2
2000	165	49	11	0	28	77	0
2001	95	21	10	0	13	47	4
2002	97	17	9	1	19	46	5
2003	105	26	9	2	22	45	1
2004	98	25	7	1	18	46	1

表 19 高雄港之船舶海難事故灰關聯度（取相等權重）

灰關聯度	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
γ_{0i}	0.7950	0.7806	0.5542	0.8095	0.8899	0.6151

表 20 高雄港 G.T. 300 以上之船舶海難事故統計

年 度	全年數量	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
1993	21	9	2	0	1	9	0
1994	32	20	2	0	2	8	0
1995	23	9	1	0	2	9	2
1996	42	19	7	0	6	5	5

表 20 高雄港 G.T. 300 以上之船舶海難事故統計(續)

年 度	全年數量	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機械故障	傾斜或傾覆
1997	11	3	2	0	2	4	0
1998	19	10	1	0	1	6	1
1999	3	0	0	0	1	2	0
2000	50	33	4	0	4	9	0
2001	27	12	3	0	3	8	1
2002	26	11	2	1	3	6	3
2003	34	13	4	2	5	10	0
2004	28	12	4	1	5	5	1

表 21 高雄港 G.T. 300 以上之船舶海難事故灰關聯度 (取相等權重)

灰關聯度	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火災或爆炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
γ_{0i}	0.7889	0.7529	0.6091	0.7566	0.7052	0.6459

由表 19 高雄港之船舶海難事故灰關聯度可以得知，高雄港水域之海難事故以機械故障 ($\gamma_{05} = 0.8899$) 為主要相關連因素，其次為火災或爆炸 ($\gamma_{04} = 0.8095$) 與碰撞 ($\gamma_{01} = 0.7950$)。由表 21 高雄港 G.T. 300 以上之船舶海難事故灰關聯度可以得知，高雄港水域 G.T. 300 以上之船舶海難事故以碰撞 ($\gamma_{01} = 0.7889$) 為主要相關連因素，其次為火災或爆炸 ($\gamma_{04} = 0.7566$) 與擱淺或觸礁 ($\gamma_{02} = 0.7529$)。

表 22 高雄港船舶海難事故種類與地理位置統計(依彙報統計資料)

地 理 位 置	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火 災 或 爆 炸	機 械 故 障	傾斜或傾覆
船 席	5	1	4	2	1	1
錨 泊 區	2	0	0	0	1	0
港 口 內	18	4	1	6	4	0
港 口 附 近	3	3	0	0	1	0
沿 海	12	4	0	8	17	0
公 海	0	0	0	5	10	0

表 23 高雄港船舶海難事故種類與地理位置灰關聯係數($\zeta=0.5$)

地 理 位 置	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火 災 或 爆 炸	機 械 故 障	傾 斜 或 傾 覆
船 席	0.8870	0.8454	0.4316	0.8454	0.6389	0.4316
錨 泊 區	0.9295	0.8723	0.8723	0.8723	0.9721	0.8723
港 口 內	0.7193	0.7193	0.4740	0.9011	0.4675	0.3832
港 口 附 近	0.9919	0.4633	0.7455	0.7455	0.8171	0.7455
沿 海	0.6000	1.0000	0.3333	1.0000	1.0000	0.3333
公 海	0.5775	0.5775	0.5775	0.6586	0.6922	0.5775

表 24 高雄港 GT. 300 以上船舶海難事故種類與地理位置統計

地 理 位 置	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火 災 或 爆 炸	機 械 故 障	傾 斜 或 傾 覆
船 席	5	1	4	1	1	1
錨 泊 區	2	0	0	0	1	0
港 口 內	13	4	1	2	2	0
港 口 附 近	1	3	0	0	0	0
沿 海	6	2	0	1	3	0
公 海	0	0	0	2	1	0

表 25 高雄港 GT. 300 以上船舶海難事故種類與地理位置灰關聯係數($\zeta=0.5$)

地 理 位 置	碰 撞	擱淺或觸礁	觸 碰	火 災 或 爆 炸	機 械 故 障	傾 斜 或 傾 覆
船 席	0.7079	0.5946	0.5500	0.8462	0.6600	0.5500
錨 泊 區	0.9662	0.7857	0.7857	0.7857	0.7174	0.7857
港 口 內	1.0000	1.0000	0.4000	1.0000	0.6000	0.3333
港 口 附 近	0.8266	0.4681	0.7333	0.7333	0.7333	0.7333
沿 海	0.8563	0.9167	0.4783	0.9167	0.5238	0.4783
公 海	0.7857	0.7857	0.7857	0.3667	0.7174	0.7857

至於海難事故種類與地理位置之相關聯性，則由表 23 高雄港船舶海難事故種類與地理位置灰關聯矩陣得知，船席與碰撞 ($\gamma_{11}=0.8870$) 較具關連性；錨泊區與機械故障 ($\gamma_{25}=0.9721$) 較具關連性；港口內與火災或爆炸 ($\gamma_{34}=0.9011$) 較具關連性；港口附近與碰撞 ($\gamma_{41}=0.9919$) 較具關連性；沿海與擱淺或觸礁、火災或爆炸及機械故障 ($\gamma_{5i}=1.0000$) 較具關連性；公海與機械故障 ($\gamma_{65}=0.6922$)。

此外，G.T. 300 以上之船舶於高雄港水域之海難事故種類與地理位置之相關聯性，則可由表 25 G.T. 300 高雄港船舶海難事故種類與地理位置灰關聯矩陣得知，船席與火災爆炸 ($\gamma_{14}=0.8462$) 較具關連性；錨泊區與碰撞 ($\gamma_{21}=0.9662$) 較具關連性；港口內與碰撞、擱淺或觸礁及火災爆炸 ($\gamma_{31}=1.0000$) 較具關連性；港口附近與碰撞 ($\gamma_{41}=0.8266$) 較具關連性；沿海與擱淺或觸礁及火災或爆炸 ($\gamma_{51}=0.9167$) 較具關連性；公海與碰撞、擱淺或觸礁、觸碰及傾斜或傾覆 ($\gamma_{61}=0.7875$) 較具關連性。

陸、結論

由台灣三大國際商港海難事故之灰色關聯分析，可以看出 G.T.300 以上之船舶其主要之海難事故類型為碰撞，而且在各種地理位置與海難類型之灰關聯矩陣分析中，亦可以看出三大港之港口附近均以碰撞為主要關聯事項，為此台灣三大國際商港在港口水域預防海難事故發生措施方面，仍應以防止碰撞為首要考量。

此外，在分析所有噸位之船舶時，基隆港、高雄港則是以機械故障為主要海難事故類型，G.T.300 以上之船舶則以碰撞為主，因此，小型船舶在預防海難事故發生之措施方面，則是以增強機件保養為首要考量事項。至於台中港，無論大小船舶，海難事故皆以碰撞為主。

至於發生事故地點，船席及港口水域皆以碰撞、擱淺較有關聯。高雄港船席分析中顯示與火災較有關聯，此亦反應事實。在事故地點之區分方面，港務局之資料僅對海難地點區分成，船席、錨泊區、港口內、港口附近、沿海及公海等區域；但無明確之距離劃分；海事事故地點的彙報亦不明確；因此，建議港務機關應對海難事故之發生地點加以明確定位清楚。

參考文獻

1. 吳兆麟，「海事調查與分析」，大連海運學院出版社，大連，1993。
2. 吳兆麟、朱軍，「海上交通工程」，第二版，大連海事大學出版社，大連，2004。
3. 鄧聚龍，「灰色系統基本方法」，華中理工大學出版社，武漢，1987。
4. 武力平、吳兆麟，「海損事故原因的灰色關聯分析」，大連海事大學學報，第 20 卷第 1 期，第 36-42 頁，1994。
5. 王鳳武、吳兆麟、鄭中義，「大風浪海損事故的灰色關聯分析」，大連海事大學學報，第 29 卷第 4 期，第 31-34 頁，2003 年 11 月。

6. 黃志，「台灣海峽海損事故的灰色關聯矩陣分析」，**中國航海**，2004 年第 4 期，上海，2004。
7. 劉中平、梁金樹、蘇育玲、朱經武，「台灣管轄水域之航行安全性分析」，**航運季刊**，第十四卷第三期，第 1-20 頁，2005 年 9 月。
8. 劉中平、梁金樹、朱經武，「應用灰關聯分析於台灣地區國際商港海事事故天然致因之研究」，**航運季刊**，第十三卷第三期，第 95-114 頁，2004 年 9 月。
9. 鄭中義，「港口船舶事故主致因的灰色關聯分析與航行危險度的灰色評估」，大連海事大學碩士學位論文，大連，1996。
10. 基隆、台中、高雄三港海難事故統計報告，1993-2004 年。