

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

Applying Grey Relational Analysis to the Study of Natural Causes of Marine Incident in the International Harbors in Taiwan

劉中平 Chung-Ping Liu¹

梁金樹 Gin-Shuh Liang²

朱經武 Ching-Wu Chu³

摘 要

探討海事事故天然致因將有助於降低各港因天然因素引發之海事事故的肇事率。因天然致因無法被人類全然窺知，因而具有灰色特性，故本文運用灰色系統理論中的灰色關聯分析方法，建立了港口水域船舶事故主要天然致因的關聯分析模型。該模型既可為我國水上安全宏觀管理提供依據，也可為特定港口的安全管理提供依據。本文之研究結果，對於避免和減少港口事故的巨大經濟損失具有一定的意義與貢獻。

關鍵字：海事事故、事故致因、灰色關聯分析。

ABSTRACT

That explore the natural causes of marine accident is helpful in reducing the possibility of marine accident in each harbor. The natural causes cannot be entirely known by humans, so they fit in with the grey characteristics. Based on Grey System Theory, this paper establishes an analysis model of the accident's natural causes on port vessels accident. According to the analysis using the model, this paper finds out the natural causes of the port vessels accident and the scientific basis of administration. The results of our research can significantly avoid and reduce the heavy loss of the port vessels accident.

Keywords: Marine Accident, Accident's causes, Grey Relational Analysis

¹ 國立台灣海洋大學航運管理研究所博士候選人 (E-mail: ntouimt@ms78.url.com.tw)。

² 國立台灣海洋大學航運管理研究所教授 (E-mail: gsliang@mail.ntou.edu.tw)。

³ 國立台灣海洋大學航運管理研究所教授 (E-mail: cwchu@mail.ntou.edu.tw)。

壹、前言

本研究於整理台灣國際商港近 9 年(1992~2000)來的海事事故初始資料後，發現此期間所發生之海事事故總件數高達 2586 件，年平均 287.33 件，平均發生率高達 0.3620%，且發現海事之船舶事故發生地點，其位置多以離港口十浬內之範圍居多。

「航運安全相關法規與海事資料之分析研究」^[1]、「我國海域及商漁船海難事故調查研究」^[2]、「航安業務之現況及研擬改進措施研究」^[3]、「台灣地區海上交通安全體系之研究(一)－建立台灣地區港埠交通安全體系之研究」^[4]的研究結果，以及「運輸安全白皮書(二)－海運安全篇」^[5]的論述裡，都指出探究各港水域發生海事事故致因之航安研究課題甚為重要，因影響海事事故之致因可區分為人為及天然兩大類，為聚焦研究主題，故本文僅以天然致因為探索對象。

過去在探討我國國際商港海事事故相關議題之諸多文獻裡，大致可歸納成五大研究領域：海上安全研究^[6-15]、海難救助及責任^[16-26]、海事調查^[2,27-38]、海難事故分析^[39-43]、海事事故分級^[44-46]。在此五大研究領域的研究成果中，以海事調查與海上搜索救助之這部份最為豐碩，但目前尚未有探討海事事故致因之研究。

然海事事故致因與船舶交通實態、航行環境條件、交通管理措施有密切相關，其所需之專業性、技術性較強，並受環境、地理、水文、氣象等多種複雜因素的制約。目前海事事故分析主要以事故案例分析和事故統計分析為多。海事調查便是我國航港行政管理部門對重大海事進行各項研究的主要方法，這也是國際公約的要求，但我國卻鮮少從中進行各港事故總況分析，並探尋和揭示海事事故發生原因及其影響因素，尋找整體事故的原因，從而提出減少和避免海事事故的措施與途徑。

因各港在海事事故調查方式不一，遂形成海事事故資料具有明顯差異，加上該資料之取得不易，使得國內商港海事事故致因資料處於鮮少與不明確的情況，而具有灰色特徵。故本文利用灰色系統理論中之灰色關聯分析進行事故分析，除了想增加透明度，做到定量有據、心中有數、監督有力的境界外；更期盼有助於將事故致因分析的方法朝向信息管理系統轉化，以提高工作效率。綜合言之，透過對各港事故總況分析，進而以灰色關聯分析探討海事事故發生的天然致因，並利用與海事事故關聯性較高的天然致因，推論各港在何種天然致因下較可能發生海事事故，以及蘊育面對重要天然致因用以減少和避免海事事故的措施，與提供航港安全管理人員使用定量分析研究海事事故的思路和方法，實為本文研究的主

要目的。

貳、灰色關聯分析

灰色系統理論(Grey system theory)為一信息區間分析的概念，它是由中國大陸學者鄧聚龍於 1982 年所創^[47]，該系統理論將信息分為白色、黑色、灰色等三類，白色為在一系統裡的信息是完全清楚的、黑色則表示對信息完全一無所知，而灰色的不確定性則是含括已知與未知的信息^[48-53]。灰色關聯分析(Grey Relational Analysis)為灰色系統理論的四大研究方法之一，此法為鄧聚龍於 1984 年所提出^[48,49,54]。灰色關聯分析主要是透過參數間關聯性的比較，來瞭解參數與實際理想變數間的關聯性，並透過部份不明確的條件，找出所需要的訊息，進而明瞭參數間的互動關係^[55]。由於海事事故具無法預知性，且其本身存有許多無法被人所能確實掌控的發生因素，亦即，它具有灰色信息特性，因此，本文將採用灰色關聯分析方法，作為研究海事事故天然致因的分析工具。

灰色關聯分析之主要作用為找出邊界予以劃清、鑑別效能、辨別模式、確認同構及分析主次；其原理為數量化之整體比較，也就是有測度之比較，不像距離空間之特性雖有測度但無整體性^[56]。於有關應用此法的相關文獻裡^[57-66]，吾人發現灰色關聯分析除了可應用的範疇不少外，也都能獲致相當不錯的分析結果。因此，採用灰色關聯分析將對於本研究將有很大之助益。

令 $x_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k), \dots, x_i(n))$ ，代表一個包含 n 個元素的信息序列，則滿足(1)式之信息序列的集合 X 稱為灰關聯因子空間(Grey Relational Factor Space)。

$$X = \{x_i | x_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)), n \geq 3, 0 \leq i \leq m, m \geq 2\} \quad (1)$$

令 $x_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(k), \dots, x_0(n))$ 與 $x_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k), \dots, x_i(n))$ ，分別代表 X 中之兩個信息序列， x_0 為參考序列， x_i 為比較序列，則 $x_0(k), x_i(k)$ 兩點之間的絕對距離 $\Delta_{0i}(k)$ 為：

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (2)$$

灰關聯係數 $\gamma(x_0(k), x_i(k))$ 可用來反映兩序列 x_0 與 x_i 在 $\Delta_{0i}(k)$ 的考量下，於第 k 位置之關係：

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k \Delta_{0i}(k) + \zeta \max_i \max_k \Delta_{0i}(k)}{\Delta_{0i}(k) + \zeta \max_i \max_k \Delta_{0i}(k)} \quad (3)$$

當 $x_0(k) = x_i(k)$ 時，則灰關聯係數 $\gamma(x_0(k), x_i(k)) = 1$ ，即表示該兩序列之關聯程度極高。

(3)式中之 $\min_i \min_k \Delta_{0i}(k)$ 為 $\Delta_{0i}(k)$ 的最小值、 $\max_i \max_k \Delta_{0i}(k)$ 為 $\Delta_{0i}(k)$ 的最大值，而 $\zeta \in [0,1]$ 則稱為分辨係數 (distinguishing coefficient)。 ζ 是用來削弱 $\max_i \max_k \Delta_{0i}(k)$ 數值過大而失真的影響，以提高灰關聯係數間差異顯著性；此外， ζ 僅會改變灰關聯係數 $\gamma(x_0(k), x_i(k))$ 相對數值的大小，一般而言，當各序列間或因素間之相關情形不明確時，取 $\zeta = 0.5$ 之效果較好^[54]。

至於灰關聯度 (Grey Relational Grade) $\gamma(x_0, x_i)$ 的計算方面，當求解灰關聯係數的數很多且訊息過於分散時，則對各參考因素採用均權，將其與參考序列的各灰關聯係數予以平均而得。灰關聯度之值介於 0 與 1 之間，若此灰關聯度愈趨近 1 時，則表示序列 x_i 對序列 x_0 的關聯程度愈高；反之，灰關聯度愈趨近 0 時，則表示序列 x_i 對序列 x_0 的關聯程度愈低。灰關聯度算式如下：

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \quad (4)$$

令 X 為灰關聯因子空間， γ 為從 x_i, x_0 到 $\gamma(x_0, x_i)$ 的灰關聯映射， Γ 為所有 γ 的集合，則 (X, Γ) 稱為灰關聯空間 (Grey Relational Space)。因此，在灰關聯因子空間 X ，及灰關聯空間 (X, Γ) 上，若有 $\gamma(x_0, x_j), \gamma(x_0, x_p), \dots, \gamma(x_0, x_q)$ 滿足：

$$\gamma(x_0, x_j) > \gamma(x_0, x_p) > \dots > \gamma(x_0, x_q) ,$$

$$\text{則 } x_j \succ x_p \succ \dots \succ x_q .$$

上述排列稱為灰關聯排序 (Grey Relational Order)，記為 $(j, p, \dots, q \succ)$ 。

參、各國際商港天然致因之灰關聯分析

因海事事務的發生是不可預知的，天然致因的生成亦無法為人類全然所知，且其出現情形又不屬於連續性、常態性或規律性的型態，以及在海事事務資料之曝光量不多的情況下，此種災變畸點的資料較不適用一般統計資料分析模式，反而適合以簡單運算的灰色理論來分析之。

3.1 建構天然致因評估之灰色關聯分析指標

本文於選取天然致因之灰色關聯分析指標方面，乃參酌專家學者的建議以及藉由審視海事事故原始致因資料之整理下，謹慎萃取出適用的天然致因分析指標，並將台灣四大國際商港於西元 1992~2000 年間有關海事事故原始資料彙整於表 1 至表 4 之可供進一步分析的次級資料，茲將各表內所考量之主要序列及其內涵意義扼要敘述於下：

1. 將各港海事事故件數設為參考列(x_0)，以了解各天然致因所組成的比較列($x_1 \sim x_{14}$)與 x_0 之相關強弱程度。
2. 根據我國中央氣象局對天空雲量狀況的定義為：碧雲 0.0~0.9、疏雲 1.0~5.9、裂雲 6.0~9.0、密雲 9.1~10.0。依據前述雲量狀況統計該各港各年之碧雲日數序列為 x_1 、疏雲日數序列為 x_2 、裂雲日數序列為 x_3 、密雲日數序列為 x_4 。
3. 統計該各港各年之霧日數(x_5)：係以能見度不及一公里之日數計之。
4. 統計該各港各年之雷暴日數(x_6)：有雷電現象之日數。
5. 統計該各港各年之強風日數(x_7)：風速單位為每秒公尺，為最大風速達每秒 10 公尺以上者。
6. 依據我國中央氣象局所提供各港之平均風速資料所組成之序列定義為 x_8 。
7. 依據我國中央氣象局所提供各港之平均雲量資料所組成之序列定義為 x_9 。
8. $\geq 10.0\text{mm}$ 之降水日數(x_{10})：降水量與蒸發量皆以公釐為單位，其降水日數則以降水量達 10.0 公釐者計之。
9. 日照時數以小時計數，日照率(x_{11})為日照時數與可照時數之比率。
10. 依據我國中央氣象局所提供各港之海平面平均氣壓資料所組成之序列定義為 x_{12} 。
11. 依據我國中央氣象局所提供各港之平均氣溫資料所組成之序列定義為 x_{13} 。
12. 依據我國中央氣象局所提供各港之相對溼度資料所組成之序列定義為 x_{14} 。

表 1 基隆港之歷年原始灰色關聯因子空間

基本資料所屬年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
海事事故件數(x_0)	187	134	110	82	117	114	101	109	118
碧空日數(x_1)	6	0	4	1	2	0	0	0	0
疏雲日數(x_2)	84	100	101	78	99	94	82	56	80
裂雲日數(x_3)	89	113	124	122	108	123	114	155	108
密雲日數(x_4)	187	152	136	164	157	148	169	154	178
霧日數(x_5)	9	2	0	4	2	3	5	7	10
雷暴日數(x_6)	15	20	9	3	9	15	24	17	7
強風日數(x_7)	25	11	21	15	19	15	15	14	12
平均風速(x_8)	3.0	2.7	2.6	3.1	2.9	2.8	2.9	2.8	2.5
平均雲量(x_9)	7.8	7.6	7.3	7.8	7.5	7.8	7.9	8.1	8.0
≥10.0mm 之降水日數(x_{10})	97	88	91	87	107	78	108	82	116
日照率(x_{11})	22.2%	26.3%	28.5%	25.5%	29.7%	28.1%	24.4%	24.1%	27.0%
海平面平均氣壓(x_{12})	1014.4	1014.7	1013.7	1015.5	1014.4	1014.8	1013.8	1013.4	1013.0
平均氣溫(x_{13})	22.2	22.7	23.0	22.2	22.4	22.5	23.7	22.9	22.8
平均相對溼度(x_{14})	78.3%	75.5%	75.4%	76.3%	76.7%	78.3%	77.0%	76.3%	78.2%

資料來源：中央氣象局、基隆港務局提供與本研究整理。

表 2 台中港之歷年原始灰色關聯因子空間

基本資料所屬年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
海事事故件數(x_0)	9	18	19	14	17	24	26	15	16
碧空日數(x_1)	19	28	31	35	31	28	15	19	15
疏雲日數(x_2)	158	189	166	176	190	182	175	143	168
裂雲日數(x_3)	126	96	119	103	97	111	109	147	117
密雲日數(x_4)	63	52	49	51	48	44	66	56	66
霧日數(x_5)	4	0	2	1	0	3	1	0	2
雷暴日數(x_6)	36	24	27	28	34	32	45	26	18
強風日數(x_7)	0	0	0	0	2	0	0	0	1
平均風速(x_8)	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	1.4	1.5	1.6	1.6
平均雲量(x_9)	5.8	5.4	5.4	5.4	5.2	5.3	5.8	6.1	5.9
≥10.0mm 之降水日數(x_{10})	50	33	40	32	36	47	61	38	45
日照率(x_{11})	40.0%	47.7%	47.2%	46.3%	48.0%	45.9%	42.7%	44.4%	48.1%
海平面平均氣壓(x_{12})	1013	1013.7	1012.6	1013.6	1012.7	1013.6	1012.8	1011.8	1011.3
平均氣溫(x_{13})	22.9	23.4	23.5	22.9	23.2	23.4	24.4	23.7	23.7
平均相對溼度(x_{14})	76.3%	74.8%	75.0%	74.3%	75.1%	75.6%	76.3%	74.9%	77.1%

資料來源：中央氣象局、台中港務局提供與本研究整理。

表 3 高雄港之歷年原始灰色關聯因子空間

基本資料所屬年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
海事事故件數(x_0)	123	119	121	124	136	152	150	158	116
碧空日數(x_1)	20	23	16	22	29	23	21	24	21
疏雲日數(x_2)	210	224	210	206	228	205	202	187	209
裂雲日數(x_3)	105	100	104	102	77	97	96	102	95
密雲日數(x_4)	31	18	35	35	32	40	46	52	41
霧日數(x_5)	0	0	0	0	0	4	1	0	7
雷暴日數(x_6)	16	11	18	10	22	19	30	27	22
強風日數(x_7)	5	1	7	1	3	1	4	3	3
平均風速(x_8)	2.0	2.2	2.2	2.2	1.9	2.2	2.1	2.1	2.2
平均雲量(x_9)	5	4.6	5.2	5.1	4.6	5	5.2	5.3	5.2
$\geq 10.0\text{mm}$ 之降水日數(x_{10})	41	24	39	34	23	38	52	51	36
日照率(x_{11})	43.5%	49.4%	46.4%	48.5%	50.0%	45.4%	46.8%	43.9%	45.4%
海平面平均氣壓(x_{12})	1012.8	1013.5	1012.5	1013.4	1012.5	1013.2	1012.5	1011.6	1011.4
平均氣溫(x_{13})	24.9	25.1	25.2	24.6	24.8	25.0	25.8	25.2	25.1
平均相對溼度(x_{14})	73.9%	73.3%	75.2%	74.7%	75.8%	78.0%	79.3%	77.5%	77.7%

資料來源：中央氣象局、高雄港務局提供與本研究整理。

表 4 花蓮港之歷年原始灰色關聯因子空間

基本資料所屬年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
海事事故件數(x_0)	23	21	24	13	19	12	13	24	8
碧空日數(x_1)	2	1	1	1	1	0	2	0	1
疏雲日數(x_2)	108	99	119	106	112	92	103	92	102
裂雲日數(x_3)	104	127	115	114	115	130	117	127	115
密雲日數(x_4)	152	138	130	144	138	143	143	146	148
霧日數(x_5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
雷暴日數(x_6)	17	11	12	16	12	12	28	14	10
強風日數(x_7)	15	25	13	10	7	4	8	7	5
平均風速(x_8)	2.4	3	2.5	2.4	2.2	2.1	2.3	2.2	2
平均雲量(x_9)	7.5	7.4	7.2	7.5	7.2	7.5	7.4	7.6	7.5
$\geq 10.0\text{mm}$ 之降水日數(x_{10})	45	28	39	47	39	35	53	40	50
日照率(x_{11})	31.0%	33.1%	33.9%	32.3%	34.4%	30.9%	32.5%	31.7%	32.5%
海平面平均氣壓(x_{12})	1014	1014.6	1013.3	1014.9	1014	1014.3	1013.7	1013.4	1012.6
平均氣溫(x_{13})	23.1	23.4	23.9	23.1	23.4	23.3	24.3	23.6	23.7
平均相對溼度(x_{14})	76.2%	74.6%	74.8%	77.8%	78.8%	80.6%	81.6%	79.8%	80.9%

資料來源：中央氣象局、花蓮港務局提供與本研究整理。

爲使表 1 至表 4 之各項評量指標值能夠一齊用於評比海事事故與天然致因的關聯性，本文遂採用灰生成之最大值生成公式 $x_i^*(k) = x_i(k) / \max_i x_i(k)$ ，將各項評量指標值加以轉換後，分別彙整於表 5 至表 8 中。

表 5 基隆港經最大值轉化後的灰關聯因子空間

基本資料所屬年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
海事事故件數(x_0)	1.0000	0.7166	0.5882	0.4385	0.6257	0.6096	0.5401	0.5829	0.6310
碧空日數(x_1)	1.0000	0.0000	0.6667	0.1667	0.3333	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
疏雲日數(x_2)	0.8317	0.9901	1.0000	0.7723	0.9802	0.9307	0.8119	0.5545	0.7921
裂雲日數(x_3)	0.5742	0.7290	0.8000	0.7871	0.6968	0.7935	0.7355	1.0000	0.6968
密雲日數(x_4)	1.0000	0.8128	0.7273	0.8770	0.8396	0.7914	0.9037	0.8235	0.9519
霧日數(x_5)	0.9000	0.2000	0.0000	0.4000	0.2000	0.3000	0.5000	0.7000	1.0000
雷暴日數(x_6)	0.6250	0.8333	0.3750	0.1250	0.3750	0.6250	1.0000	0.7083	0.2917
強風日數(x_7)	1.0000	0.4400	0.8400	0.6000	0.7600	0.6000	0.6000	0.5600	0.4800
平均風速(x_8)	0.9677	0.8710	0.8387	1.0000	0.9355	0.9032	0.9355	0.9032	0.8065
平均雲量(x_9)	0.9630	0.9383	0.9012	0.9630	0.9259	0.9630	0.9753	1.0000	0.9877
≥ 10.0mm 之降水日數(x_{10})	0.8362	0.7586	0.7845	0.7500	0.9224	0.6724	0.9310	0.7069	1.0000
日照率(x_{11})	0.7475	0.8855	0.9596	0.8586	1.0000	0.9461	0.8215	0.8114	0.9091
海平面平均氣壓(x_{12})	0.9989	0.9992	0.9982	1.0000	0.9989	0.9993	0.9983	0.9979	0.9975
平均氣溫(x_{13})	0.9367	0.9578	0.9705	0.9367	0.9451	0.9494	1.0000	0.9662	0.9620
平均相對溼度(x_{14})	1.0000	0.9642	0.9630	0.9745	0.9796	1.0000	0.9834	0.9745	0.9987

資料來源：本研究整理。

表 6 台中港經最大值轉化後的灰關聯因子空間

基本資料所屬年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
海事事故件數(x_0)	0.3462	0.6923	0.7308	0.5385	0.6538	0.9231	1.0000	0.5769	0.6154
碧空日數(x_1)	0.5429	0.8000	0.8857	1.0000	0.8857	0.8000	0.4286	0.5429	0.4286
疏雲日數(x_2)	0.8316	0.9947	0.8737	0.9263	1.0000	0.9579	0.9211	0.7526	0.8842
裂雲日數(x_3)	0.8571	0.6531	0.8095	0.7007	0.6599	0.7551	0.7415	1.0000	0.7959
密雲日數(x_4)	0.9545	0.7879	0.7424	0.7727	0.7273	0.6667	1.0000	0.8485	1.0000
霧日數(x_5)	1.0000	0.0000	0.5000	0.2500	0.0000	0.7500	0.2500	0.0000	0.5000
雷暴日數(x_6)	0.8000	0.5333	0.6000	0.6222	0.7556	0.7111	1.0000	0.5778	0.4000
強風日數(x_7)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000
平均風速(x_8)	0.9375	1.0000	0.9375	1.0000	1.0000	0.8750	0.9375	1.0000	1.0000
平均雲量(x_9)	0.9508	0.8852	0.8852	0.8852	0.8525	0.8689	0.9508	1.0000	0.9672
≥ 10.0mm 之降水日數(x_{10})	0.8197	0.5410	0.6557	0.5246	0.5902	0.7705	1.0000	0.6230	0.7377
日照率(x_{11})	0.8316	0.9917	0.9813	0.9626	0.9979	0.9543	0.8877	0.9231	1.0000
海平面平均氣壓(x_{12})	0.9993	1.0000	0.9989	0.9999	0.9990	0.9999	0.9991	0.9981	0.9976
平均氣溫(x_{13})	0.9385	0.9590	0.9631	0.9385	0.9508	0.9590	1.0000	0.9713	0.9713
平均相對溼度(x_{14})	0.9896	0.9702	0.9728	0.9637	0.9741	0.9805	0.9896	0.9715	1.0000

資料來源：本研究整理。

表 7 高雄港經最大值轉化後的灰關聯因子空間

基本資料所屬年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
海事事故件數(x_0)	0.7785	0.7532	0.7658	0.7848	0.8608	0.9620	0.9494	1.0000	0.7342
碧空日數(x_1)	0.6897	0.7931	0.5517	0.7586	1.0000	0.7931	0.7241	0.8276	0.7241
疏雲日數(x_2)	0.9211	0.9825	0.9211	0.9035	1.0000	0.8991	0.8860	0.8202	0.9167
裂雲日數(x_3)	1.0000	0.9524	0.9905	0.9714	0.7333	0.9238	0.9143	0.9714	0.9048
密雲日數(x_4)	0.5962	0.3462	0.6731	0.6731	0.6154	0.7692	0.8846	1.0000	0.7885
霧日數(x_5)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5714	0.1429	0.0000	1.0000
雷暴日數(x_6)	0.5333	0.3667	0.6000	0.3333	0.7333	0.6333	1.0000	0.9000	0.7333
強風日數(x_7)	0.7143	0.1429	1.0000	0.1429	0.4286	0.1429	0.5714	0.4286	0.4286
平均風速(x_8)	0.9091	1.0000	1.0000	1.0000	0.8636	1.0000	0.9545	0.9545	1.0000
平均雲量(x_9)	0.9434	0.8679	0.9811	0.9623	0.8679	0.9434	0.9811	1.0000	0.9811
≥ 10.0mm 之降水日數(x_{10})	0.7885	0.4615	0.7500	0.6538	0.4423	0.7308	1.0000	0.9808	0.6923
日照率(x_{11})	0.8700	0.9880	0.9280	0.9700	1.0000	0.9080	0.9360	0.8780	0.9080
海平面平均氣壓(x_{12})	0.9993	1.0000	0.9990	0.9999	0.9990	0.9997	0.9990	0.9981	0.9979
平均氣溫(x_{13})	0.9651	0.9729	0.9767	0.9535	0.9612	0.9690	1.0000	0.9767	0.9729
平均相對溼度(x_{14})	0.9319	0.9243	0.9483	0.9420	0.9559	0.9836	1.0000	0.9773	0.9798

資料來源：本研究整理。

表 8 花蓮港經最大值轉化後的灰關聯因子空間

基本資料所屬年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
海事事故件數(x_0)	0.9583	0.8750	1.0000	0.5417	0.7917	0.5000	0.5417	1.0000	0.3333
碧空日數(x_1)	1.0000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.0000	1.0000	0.0000	0.5000
疏雲日數(x_2)	0.9076	0.8319	1.0000	0.8908	0.9412	0.7731	0.8655	0.7731	0.8571
裂雲日數(x_3)	0.8000	0.9769	0.8846	0.8769	0.8846	1.0000	0.9000	0.9769	0.8846
密雲日數(x_4)	1.0000	0.9079	0.8553	0.9474	0.9079	0.9408	0.9408	0.9605	0.9737
霧日數(x_5)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
雷暴日數(x_6)	0.6071	0.3929	0.4286	0.5714	0.4286	0.4286	1.0000	0.5000	0.3571
強風日數(x_7)	0.6000	1.0000	0.5200	0.4000	0.2800	0.1600	0.3200	0.2800	0.2000
平均風速(x_8)	0.8000	1.0000	0.8333	0.8000	0.7333	0.7000	0.7667	0.7333	0.6667
平均雲量(x_9)	0.9868	0.9737	0.9474	0.9868	0.9474	0.9868	0.9737	1.0000	0.9868
≥ 10.0mm 之降水日數(x_{10})	0.8491	0.5283	0.7358	0.8868	0.7358	0.6604	1.0000	0.7547	0.9434
日照率(x_{11})	0.9012	0.9622	0.9855	0.9390	1.0000	0.8983	0.9448	0.9215	0.9448
海平面平均氣壓(x_{12})	0.9991	0.9997	0.9984	1.0000	0.9991	0.9994	0.9988	0.9985	0.9977
平均氣溫(x_{13})	0.9506	0.9630	0.9835	0.9506	0.9630	0.9588	1.0000	0.9712	0.9753
平均相對溼度(x_{14})	0.9338	0.9142	0.9167	0.9534	0.9657	0.9877	1.0000	0.9779	0.9914

資料來源：本研究整理。

3.2 各國際商港天然致因之實例分析

經由 3.1 小節建構十四項的灰關聯分析指標集後，為了解台灣四大國際商港所發生海事事故與天然致因之關聯性的高低，遂利用式(2)與表 5~表 8 所示之資料，求解各比較序列 $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{14})$ 與參考序列 (x_0) 之絕對距離 $\Delta_{0i}(k)$ ，其結果整理列於下述表 9 至表 12。

接著，利用表 9 至表 12 之資料去求得 $\min_i \min_k \Delta_{0i}(k)$ 與 $\max_i \max_k \Delta_{0i}(k)$ ，並各取相異的分辨係數，即 $\zeta \in \{0.1, 0.2, 0.3, \dots, 1.0\}$ ，一併帶入式(3)，以求得該兩序列之各項天然致因指標評估的灰關聯係數之後，再利用式(4)求取此四港之灰關聯度 $\gamma(x_0, x_i)$ ，進而依灰關聯排序原理，獲得台灣各國際商港海事事故天然致因關聯性評比，但計算結果呈現於不同的分辨係數 ζ 時，在各港所產生的排序結果並不相同，為欲較能公平客觀地顯示出各灰關聯評估指標與海事事故之關聯性，本文遂將此兩序列在相異 ζ 值下的各灰關聯度視為等權情況下，予以計算出其各綜合灰關聯度，並將整理展示於表 13 至表 16。

表 9 基隆港所生成的比較數列與參考序列之絕對距離表

$\Delta_{0i}(k)$	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
$\Delta_{01}(k)$	0.0000	0.7166	0.0784	0.2718	0.2923	0.6096	0.5401	0.5829	0.6310
$\Delta_{02}(k)$	0.1683	0.2735	0.4118	0.3338	0.3545	0.3211	0.2718	0.0284	0.1611
$\Delta_{03}(k)$	0.4258	0.0125	0.2118	0.3486	0.0711	0.1839	0.1954	0.4171	0.0658
$\Delta_{04}(k)$	0.0000	0.0963	0.1390	0.4385	0.2139	0.1818	0.3636	0.2406	0.3209
$\Delta_{05}(k)$	0.1000	0.5166	0.5882	0.0385	0.4257	0.3096	0.0401	0.1171	0.3690
$\Delta_{06}(k)$	0.3750	0.1168	0.2132	0.3135	0.2507	0.0154	0.4599	0.1254	0.3393
$\Delta_{07}(k)$	0.0000	0.2766	0.2518	0.1615	0.1343	0.0096	0.0599	0.0229	0.1510
$\Delta_{08}(k)$	0.0323	0.1544	0.2505	0.5615	0.3098	0.2936	0.3954	0.3203	0.1754
$\Delta_{09}(k)$	0.0370	0.2217	0.3130	0.5245	0.3003	0.3533	0.4352	0.4171	0.3566
$\Delta_{010}(k)$	0.1638	0.0420	0.1962	0.3115	0.2967	0.0628	0.3909	0.1240	0.3690
$\Delta_{011}(k)$	0.2525	0.1689	0.3714	0.4201	0.3743	0.3365	0.2814	0.2286	0.2781
$\Delta_{012}(k)$	0.0011	0.2826	0.4100	0.5615	0.3732	0.3897	0.4582	0.4150	0.3665
$\Delta_{013}(k)$	0.0633	0.2412	0.3822	0.4982	0.3195	0.3397	0.4599	0.3834	0.3310
$\Delta_{014}(k)$	0.0000	0.2477	0.3747	0.5360	0.3539	0.3904	0.4433	0.3916	0.3677

資料來源：本研究整理。

表 10 台中港港所生成的比較數列與參考序列之絕對距離表

$\Delta_{0i}(k)$	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
$\Delta_{01}(k)$	0.1967	0.1077	0.1549	0.4615	0.2319	0.1231	0.5714	0.0341	0.1868
$\Delta_{02}(k)$	0.4854	0.3024	0.1429	0.3879	0.3462	0.0348	0.0789	0.1757	0.2688
$\Delta_{03}(k)$	0.5110	0.0392	0.0788	0.1622	0.0060	0.1680	0.2585	0.4231	0.1805
$\Delta_{04}(k)$	0.6084	0.0956	0.0117	0.2343	0.0734	0.2564	0.0000	0.2716	0.3846
$\Delta_{05}(k)$	0.6538	0.6923	0.2308	0.2885	0.6538	0.1731	0.7500	0.5769	0.1154
$\Delta_{06}(k)$	0.4538	0.1590	0.1308	0.0838	0.1017	0.2120	0.0000	0.0009	0.2154
$\Delta_{07}(k)$	0.3462	0.6923	0.7308	0.5385	0.3462	0.9231	1.0000	0.5769	0.1154
$\Delta_{08}(k)$	0.5913	0.3077	0.2067	0.4615	0.3462	0.0481	0.0625	0.4231	0.3846
$\Delta_{09}(k)$	0.6047	0.1929	0.1545	0.3468	0.1986	0.0542	0.0492	0.4231	0.3518
$\Delta_{010}(k)$	0.4735	0.1513	0.0750	0.0139	0.0637	0.1526	0.0000	0.0460	0.1223
$\Delta_{011}(k)$	0.4854	0.2994	0.2505	0.4241	0.3441	0.0312	0.1123	0.3462	0.3846
$\Delta_{012}(k)$	0.6532	0.3077	0.2681	0.4614	0.3452	0.0768	0.0009	0.4212	0.3822
$\Delta_{013}(k)$	0.5924	0.2667	0.2323	0.4001	0.2970	0.0359	0.0000	0.3944	0.3559
$\Delta_{014}(k)$	0.6435	0.2779	0.2420	0.4252	0.3202	0.0575	0.0104	0.3945	0.3846

資料來源：本研究整理。

表 11 高雄港港所生成的比較數列與參考序列之絕對距離表

$\Delta_{0i}(k)$	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
$\Delta_{01}(k)$	0.0888	0.0399	0.2141	0.0262	0.1392	0.1689	0.2252	0.1724	0.0100
$\Delta_{02}(k)$	0.1426	0.2293	0.1552	0.1187	0.1392	0.0629	0.0634	0.1798	0.1825
$\Delta_{03}(k)$	0.2215	0.1992	0.2247	0.1866	0.1274	0.0382	0.0351	0.0286	0.1706
$\Delta_{04}(k)$	0.1823	0.4070	0.0927	0.1117	0.2454	0.1928	0.0648	0.0000	0.0543
$\Delta_{05}(k)$	0.7785	0.7532	0.7658	0.7848	0.8608	0.3906	0.8065	1.0000	0.2658
$\Delta_{06}(k)$	0.2451	0.3865	0.1658	0.4515	0.1274	0.3287	0.0506	0.1000	0.0008
$\Delta_{07}(k)$	0.0642	0.6103	0.2342	0.6420	0.4322	0.8192	0.3779	0.5714	0.3056
$\Delta_{08}(k)$	0.1306	0.2468	0.2342	0.2152	0.0029	0.0380	0.0052	0.0455	0.2658
$\Delta_{09}(k)$	0.1649	0.1148	0.2153	0.1775	0.0072	0.0186	0.0318	0.0000	0.2470
$\Delta_{010}(k)$	0.0100	0.2916	0.0158	0.1310	0.4185	0.2313	0.0506	0.0192	0.0419
$\Delta_{011}(k)$	0.0915	0.2348	0.1622	0.1852	0.1392	0.0540	0.0134	0.1220	0.1738
$\Delta_{012}(k)$	0.2208	0.2468	0.2332	0.2151	0.1383	0.0377	0.0496	0.0019	0.2638
$\Delta_{013}(k)$	0.1866	0.2197	0.2109	0.1687	0.1005	0.0070	0.0506	0.0233	0.2387
$\Delta_{014}(k)$	0.1534	0.1712	0.1825	0.1572	0.0951	0.0216	0.0506	0.0227	0.2456

資料來源：本研究整理。

表 12 花蓮港所生成的比較數列與參考序列之絕對距離表

$\Delta_{0i}(k)$	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
$\Delta_{01}(k)$	0.0417	0.3750	0.5000	0.0417	0.2917	0.5000	0.4583	1.0000	0.1667
$\Delta_{02}(k)$	0.0508	0.0431	0.0000	0.3491	0.1495	0.2731	0.3239	0.2269	0.5238
$\Delta_{03}(k)$	0.1583	0.1019	0.1154	0.3353	0.0929	0.5000	0.3583	0.0231	0.5513
$\Delta_{04}(k)$	0.0417	0.0329	0.1447	0.4057	0.1162	0.4408	0.3991	0.0395	0.6404
$\Delta_{05}(k)$	0.9583	0.8750	1.0000	0.5417	0.7917	0.5000	0.5417	1.0000	0.3333
$\Delta_{06}(k)$	0.3512	0.4821	0.5714	0.0298	0.3631	0.0714	0.4583	0.5000	0.0238
$\Delta_{07}(k)$	0.3583	0.1250	0.4800	0.1417	0.5117	0.3400	0.2217	0.7200	0.1333
$\Delta_{08}(k)$	0.1583	0.1250	0.1667	0.2583	0.0583	0.2000	0.2250	0.2667	0.3333
$\Delta_{09}(k)$	0.0285	0.0987	0.0526	0.4452	0.1557	0.4868	0.4320	0.0000	0.6535
$\Delta_{010}(k)$	0.1093	0.3467	0.2642	0.3451	0.0558	0.1604	0.4583	0.2453	0.6101
$\Delta_{011}(k)$	0.0572	0.0872	0.0145	0.3973	0.2083	0.3983	0.4031	0.0785	0.6114
$\Delta_{012}(k)$	0.0408	0.1247	0.0016	0.4583	0.2074	0.4994	0.4572	0.0015	0.6644
$\Delta_{013}(k)$	0.0077	0.0880	0.0165	0.4090	0.1713	0.4588	0.4583	0.0288	0.6420
$\Delta_{014}(k)$	0.0245	0.0392	0.0833	0.4118	0.1740	0.4877	0.4583	0.0221	0.6581

資料來源：本研究整理。

表 13 基隆港在相異 ζ 值所得之各港航安灰關聯度

$\gamma(x_0, x_i)$	$\zeta = 0.1$	$\zeta = 0.2$	$\zeta = 0.3$	$\zeta = 0.4$	$\zeta = 0.5$	$\zeta = 0.6$	$\zeta = 0.7$	$\zeta = 0.8$	$\zeta = 0.9$	$\zeta = 1.0$	綜合灰關聯度	排序
$\gamma(x_0, x_1)$	0.3034	0.3877	0.4525	0.5039	0.5459	0.5811	0.6110	0.6367	0.6592	0.6790	0.5360	12
$\gamma(x_0, x_2)$	0.3043	0.4280	0.5120	0.5738	0.6213	0.6591	0.6900	0.7157	0.7374	0.7560	0.5998	7
$\gamma(x_0, x_3)$	0.3955	0.5143	0.5904	0.6446	0.6855	0.7177	0.7437	0.7652	0.7833	0.7988	0.6639	2
$\gamma(x_0, x_4)$	0.3803	0.4931	0.5705	0.6268	0.6697	0.7036	0.7311	0.7538	0.7730	0.7893	0.6491	3
$\gamma(x_0, x_5)$	0.3546	0.4707	0.5451	0.5989	0.6403	0.6734	0.7007	0.7236	0.7431	0.7600	0.6210	6
$\gamma(x_0, x_6)$	0.3399	0.4598	0.5403	0.5989	0.6438	0.6794	0.7084	0.7325	0.7529	0.7703	0.6226	5
$\gamma(x_0, x_7)$	0.5783	0.6737	0.7331	0.7737	0.8035	0.8263	0.8442	0.8588	0.8709	0.8810	0.7844	1
$\gamma(x_0, x_8)$	0.2965	0.4190	0.5023	0.5636	0.6110	0.6488	0.6797	0.7056	0.7275	0.7463	0.5900	8
$\gamma(x_0, x_9)$	0.2554	0.3697	0.4511	0.5130	0.5620	0.6019	0.6350	0.6630	0.6869	0.7076	0.5446	9
$\gamma(x_0, x_{10})$	0.3529	0.4840	0.5672	0.6260	0.6702	0.7047	0.7326	0.7555	0.7748	0.7912	0.6459	4
$\gamma(x_0, x_{11})$	0.2280	0.3548	0.4450	0.5127	0.5654	0.6078	0.6425	0.6716	0.6963	0.7175	0.5442	11
$\gamma(x_0, x_{12})$	0.2788	0.3692	0.4410	0.4984	0.5451	0.5838	0.6164	0.6443	0.6684	0.6894	0.5335	13
$\gamma(x_0, x_{13})$	0.2358	0.3534	0.4372	0.5010	0.5514	0.5923	0.6263	0.6550	0.6795	0.7008	0.5333	14
$\gamma(x_0, x_{14})$	0.2878	0.3799	0.4526	0.5102	0.5569	0.5954	0.6278	0.6553	0.6790	0.6997	0.5444	10

資料來源：本研究整理。

1.基隆港之海事事故的主要天然致因分析

根據表 13 所示之基隆港海事事故天然致因綜合關聯度，依其關聯程度高低排序，其前五名主要的天然致因因素依次為「強風日數」、「裂雲日數」、「密雲日數」、「 $\geq 10.0\text{mm}$ 之降水日數」、「雷暴日數」。此研究結果顯示出基隆港常受到強勁的東北季風吹襲、多雨氣候、處在裂雲或密雲時海上能見度不佳的條件下，與管轄水域發生偶發性雷暴時，較易發生海事事故。同時，也隱含著一項令人深思的問題，即航海人員是否於此諸類情況下能夠採取正確的操船技能，以減輕天然致因所帶來的災害。

2.台中港之海事事故的主要天然致因分析

根據表 14 所示之台中港海事事故天然致因綜合關聯度，依其關聯程度高低排序，其前五名主要的天然致因因素依次為「 $\geq 10.0\text{mm}$ 之降水日數」、「雷暴日數」、「密雲日數」、「裂雲日數」、「碧空日數」。此研究結果顯示出台中港也常受到強勁的東北季風吹襲、多雨氣候、處在裂雲或密雲時海上能見度不佳的條件下，與管轄水域之偶發性雷暴氣候時，較易發生海事事故。此外，「碧空日數」的關聯性高居第五，其隱含著航行於該港水域之航海人員是否會因該港海上能見度瞬間轉變良好的情況下，而降低戒慎恐懼的航行心態，以致增加海事事故的肇事率。

表 14 台中港在相異 ζ 值所得之各港航安灰關聯度

$\gamma(x_0, x_i)$	$\zeta = 0.1$	$\zeta = 0.2$	$\zeta = 0.3$	$\zeta = 0.4$	$\zeta = 0.5$	$\zeta = 0.6$	$\zeta = 0.7$	$\zeta = 0.8$	$\zeta = 0.9$	$\zeta = 1.0$	綜合灰關聯度	排序
$\gamma(x_0, x_1)$	0.3758	0.5259	0.6139	0.6729	0.7156	0.7481	0.7738	0.7946	0.8118	0.8263	0.6859	5
$\gamma(x_0, x_2)$	0.3549	0.5008	0.5893	0.6500	0.6946	0.7289	0.7561	0.7783	0.7968	0.8124	0.6662	6
$\gamma(x_0, x_3)$	0.4406	0.5760	0.6548	0.7076	0.7459	0.7750	0.7980	0.8167	0.8321	0.8451	0.7192	4
$\gamma(x_0, x_4)$	0.4644	0.5850	0.6576	0.7073	0.7439	0.7721	0.7945	0.8128	0.8281	0.8410	0.7207	3
$\gamma(x_0, x_5)$	0.2275	0.3561	0.4434	0.5080	0.5582	0.5987	0.6320	0.6601	0.6841	0.7048	0.5373	13
$\gamma(x_0, x_6)$	0.5188	0.6442	0.7158	0.7626	0.7958	0.8208	0.8402	0.8557	0.8685	0.8792	0.7702	2
$\gamma(x_0, x_7)$	0.1836	0.2976	0.3800	0.4435	0.4945	0.5364	0.5717	0.6018	0.6278	0.6506	0.4788	14
$\gamma(x_0, x_8)$	0.3118	0.4487	0.5359	0.5980	0.6448	0.6817	0.7114	0.7360	0.7567	0.7743	0.6199	12
$\gamma(x_0, x_9)$	0.3518	0.4958	0.5830	0.6430	0.6873	0.7215	0.7487	0.7710	0.7896	0.8054	0.6597	7
$\gamma(x_0, x_{10})$	0.5737	0.6986	0.7637	0.8046	0.8329	0.8538	0.8700	0.8828	0.8933	0.9021	0.8075	1
$\gamma(x_0, x_{11})$	0.3096	0.4487	0.5382	0.6018	0.6496	0.6870	0.7171	0.7419	0.7626	0.7803	0.6237	10
$\gamma(x_0, x_{12})$	0.3343	0.4565	0.5383	0.5978	0.6433	0.6794	0.7087	0.7331	0.7536	0.7712	0.6216	11
$\gamma(x_0, x_{13})$	0.3697	0.4915	0.5714	0.6289	0.6724	0.7066	0.7343	0.7571	0.7763	0.7927	0.6501	8
$\gamma(x_0, x_{14})$	0.3411	0.4687	0.5516	0.6110	0.6561	0.6916	0.7203	0.7441	0.7640	0.7811	0.6329	9

資料來源：本研究整理。

3.高雄港之海事事務的主要天然致因分析

根據表 15 所示之高雄港海事事務天然致因綜合關聯度，依其關聯程度高低排序，其前五名主要的天然致因因素依次為「平均雲量」、「 $\geq 10.0\text{mm}$ 之降水日數」、「裂雲日數」、「平均風速」、「平均相對溼度」。此研究結果顯示出高雄港也易受到強勁的西南季風吹襲、常處在裂雲下之海上能見度不佳的條件、平均風速與管轄水域之平均相對溼度略高的情形下，較易發生海事事務。此外，「 $\geq 10.0\text{mm}$ 之降水日數」的關聯性高居第二，其隱含著航行於該港水域之航海人員是否會因突發性的傾盆大雨情況下，一時無法迅速提昇戒慎恐懼的航行心態，而喪失正確操船避難的時機，使得海事事務肇事率的增加。

表 15 高雄港在相異 ζ 值所得之各港航安灰關聯度

$\gamma(x_0, x_i)$	$\zeta = 0.1$	$\zeta = 0.2$	$\zeta = 0.3$	$\zeta = 0.4$	$\zeta = 0.5$	$\zeta = 0.6$	$\zeta = 0.7$	$\zeta = 0.8$	$\zeta = 0.9$	$\zeta = 1.0$	綜合灰關聯度	排序
$\gamma(x_0, x_1)$	0.5254	0.6649	0.7393	0.7863	0.8187	0.8426	0.8608	0.8753	0.8870	0.8967	0.7897	3
$\gamma(x_0, x_2)$	0.4356	0.5999	0.6892	0.7456	0.7846	0.8131	0.8350	0.8523	0.8663	0.8778	0.7499	11
$\gamma(x_0, x_3)$	0.4837	0.6311	0.7110	0.7620	0.7976	0.8238	0.8440	0.8600	0.8730	0.8838	0.7670	8
$\gamma(x_0, x_4)$	0.4921	0.6308	0.7074	0.7569	0.7917	0.8176	0.8377	0.8537	0.8668	0.8778	0.7632	9
$\gamma(x_0, x_5)$	0.1380	0.2385	0.3162	0.3787	0.4302	0.4736	0.5106	0.5427	0.5707	0.5955	0.4195	14
$\gamma(x_0, x_6)$	0.4313	0.5660	0.6458	0.6998	0.7390	0.7690	0.7927	0.8119	0.8278	0.8412	0.7124	12
$\gamma(x_0, x_7)$	0.2317	0.3573	0.4437	0.5082	0.5586	0.5993	0.6329	0.6612	0.6853	0.7062	0.5384	13
$\gamma(x_0, x_8)$	0.5497	0.6711	0.7388	0.7828	0.8139	0.8372	0.8552	0.8697	0.8815	0.8913	0.7891	4
$\gamma(x_0, x_9)$	0.5938	0.7095	0.7722	0.8123	0.8402	0.8609	0.8768	0.8894	0.8996	0.9082	0.8163	1
$\gamma(x_0, x_{10})$	0.5737	0.6905	0.7529	0.7932	0.8217	0.8432	0.8599	0.8733	0.8844	0.8937	0.7986	2
$\gamma(x_0, x_{11})$	0.4798	0.6320	0.7140	0.7659	0.8017	0.8279	0.8480	0.8639	0.8768	0.8874	0.7697	7
$\gamma(x_0, x_{12})$	0.4765	0.6136	0.6918	0.7433	0.7798	0.8072	0.8284	0.8455	0.8594	0.8710	0.7517	10
$\gamma(x_0, x_{13})$	0.5066	0.6450	0.7209	0.7696	0.8037	0.8289	0.8484	0.8639	0.8765	0.8869	0.7750	6
$\gamma(x_0, x_{14})$	0.5122	0.6570	0.7337	0.7820	0.8153	0.8397	0.8584	0.8731	0.8851	0.8950	0.7852	5

資料來源：本研究整理。

4.花蓮港之海事事務的主要天然致因分析

根據表 16 所示之花蓮港海事事務天然致因綜合關聯度，依其關聯程度高低排序，其前五名主要的天然致因因素依次為「疏雲日數」、「平均氣溫」、「平均雲量」、「平均相對溼度」、「海平面平均氣壓」。此研究結果顯示出花蓮港常受到強勁的颶

風侵襲、空氣裡平均相對溼度高達 78.3%、處在平均雲量較密的海上能見度不佳條件下，較易發生海事事故。但「疏雲日數」與「平均氣溫」分居前兩位，其隱含著航行於該港水域之航海人員是否會因該港常處於海上能見度不錯的情況下，而鬆懈應有的戒慎恐懼之航行心態，導致因強風吹向岸壁之波浪作用所生的湧浪，會增加海事事故的肇事率。

表 16 花蓮港在相異 ζ 值所得之各港航安灰關聯度

$\gamma(x_0, x_i)$	$\zeta = 0.1$	$\zeta = 0.2$	$\zeta = 0.3$	$\zeta = 0.4$	$\zeta = 0.5$	$\zeta = 0.6$	$\zeta = 0.7$	$\zeta = 0.8$	$\zeta = 0.9$	$\zeta = 1.0$	綜合灰關聯度	排序
$\gamma(x_0, x_1)$	0.3173	0.4441	0.5252	0.5836	0.6282	0.6638	0.6928	0.7170	0.7376	0.7553	0.6065	12
$\gamma(x_0, x_2)$	0.4395	0.5674	0.6441	0.6967	0.7352	0.7649	0.7884	0.8076	0.8236	0.8371	0.7105	1
$\gamma(x_0, x_3)$	0.3828	0.5242	0.6078	0.6648	0.7065	0.7386	0.7642	0.7851	0.8026	0.8174	0.6794	9
$\gamma(x_0, x_4)$	0.4183	0.5498	0.6263	0.6785	0.7170	0.7469	0.7708	0.7905	0.8070	0.8210	0.6926	6
$\gamma(x_0, x_5)$	0.1333	0.2326	0.3102	0.3728	0.4245	0.4680	0.5053	0.5375	0.5658	0.5907	0.4141	14
$\gamma(x_0, x_6)$	0.3629	0.4845	0.5617	0.6173	0.6597	0.6934	0.7209	0.7438	0.7632	0.7798	0.6387	10
$\gamma(x_0, x_7)$	0.2779	0.4218	0.5139	0.5791	0.6282	0.6666	0.6976	0.7231	0.7446	0.7630	0.6016	13
$\gamma(x_0, x_8)$	0.3624	0.5226	0.6169	0.6796	0.7245	0.7583	0.7846	0.8057	0.8231	0.8376	0.6915	7
$\gamma(x_0, x_9)$	0.4447	0.5612	0.6315	0.6804	0.7171	0.7459	0.7691	0.7883	0.8045	0.8184	0.6961	3
$\gamma(x_0, x_{10})$	0.3152	0.4608	0.5515	0.6148	0.6619	0.6984	0.7276	0.7516	0.7716	0.7886	0.6342	11
$\gamma(x_0, x_{11})$	0.4077	0.5402	0.6186	0.6723	0.7120	0.7428	0.7674	0.7876	0.8046	0.8189	0.6872	8
$\gamma(x_0, x_{12})$	0.4563	0.5609	0.6273	0.6749	0.7111	0.7397	0.7630	0.7823	0.7987	0.8128	0.6927	5
$\gamma(x_0, x_{13})$	0.4615	0.5742	0.6420	0.6894	0.7250	0.7529	0.7755	0.7942	0.8100	0.8234	0.7048	2
$\gamma(x_0, x_{14})$	0.4364	0.5581	0.6297	0.6792	0.7161	0.7451	0.7684	0.7877	0.8040	0.8179	0.6943	4

資料來源：本研究整理。

肆、結論與建議

因我國目前尚未建立海上交通事故統計制度，而無法確切妥善掌控海上安全實況。為此，交通部運輸研究所多次於相關計劃研究報告內容裡，皆指出有效掌握海上安全實況列為當前重要的海運安全課題之一，尤其應先進行海事資料之統計與事故因子分析的基礎性研究工作。

然海事事故是無法預知的，天然致因又無法全為人類所窺知，而具有灰色特性。基於此，本文遂透過灰色關聯性分析的研究方法，獲得主要影響台灣各國際

商港海事事故之五大天然致因，並驗證出其與實際情況相去不遠。同時，冀期此一研究發現將可藉以喚醒航港機構與船上航行人員對影響航安的天然致因更加重視，進而提升海上航行安全，從而降低海事事故發生率。此外，建議後續進行此類研究時，宜將複雜的海況資料予以納入分析指標內，以使結果更趨完善。

最後，建議我國之航港機關應於近期內建立重大交通事故之原因分析與追蹤制度，並適時舉辦海事人員之安全講習及訓練，亦建議其製作風險因子與事故次數及隱藏的危險因子，以使經由海上交通事故得以分析出海事事故與時間因子之相關性及危險因子。

參 考 文 獻

1. 交通部運輸研究所，「航運安全相關法規與海事資料之分析研究」，交通部運輸研究所出版，民國八十二年。
2. 姚忠義、郭長齡等，「我國海域及商漁船海難事故調查研究」，交通部委託中華民國船長公會研究計畫，民國八十二年。
3. 中華民國船長公會，「航安業務之現況及研擬改進措施研究」，交通部委託中華民國船長公會研究計畫，民國八十三年。
4. 葉名山等，「台灣地區海上交通安全體系之研究(一)－建立台灣地區港埠交通安全體系之研究」，交通部運輸研究所委託逢甲大學運輸工程與管理學系研究計畫，民國八十二年。
5. 張新立等，「台灣地區海上交通安全體系之研究(二)－建立海上交通事故分析系統之研究」，交通部運輸研究所委託交通大學運輸工程與管理學系之研究計畫，民國八十三年。
6. 中華海運研究協會，「兩岸交流與海上安全問題之研究」，行政院大陸委員會委託計畫，民國八十三年。
7. 中華海運研究協會，「海峽兩岸海上安全技術之研究」，交通部科技顧問室委託計畫，民國八十五年。
8. 交通部，運輸安全白皮書(二)－海運安全篇，交通部出版，民國八十八年。
9. 交通部，交通政策白皮書：運輸，交通部出版，民國九十一年。
10. 陳彥宏，「海上遇險事故鑑定技術之初步研究」，行政院國科會專題研究計畫成果報告，民國八十九年。
11. Fang, X. L., Wu, F. L., Nie, J. T., and He, H. G., "Comprehensive Evaluation

- Method of Marine Traffic System”, Journal of Dalian Maritime University, Vol. 25, No. Supplement, 1999, pp. 92-97.
12. Zhang, C. L., Xu, L.P., Cui, L. J., and Hu, K. F., “A Discussion on Researching Methods Concerning Human Elements in the Safety at Sea”, Journal of Dalian Maritime University, Vol. 26, No. 3, 2000, pp. 76-79.
 13. Weng, Y. Z. and Wu, Z. L., “Safety of the Navigation Environment System for the Port of Xiamen”, Journal of Dalian Maritime University, Vol. 27, No. 1, 2001, pp. 1-4.
 14. You, Q. W. and Xie, C. L., “The Discussion on Construction of the Shipping Safety Culture”, World Shipping, Vol. 25, No. 3, 2002, pp. 10-12.
 15. Luo, X., “The Hidden Dangers of Vessel in/out Port and Its Countermeasure”, World Shipping, Vol. 26, No. 2, 2003, pp. 27-28.
 16. 中華海運研究協會，「台灣海域及商港區域沈船移除責任之研究」，交通部委託研究計畫，民國九十一年。
 17. 祁敏，「我國海難救助制度之研究」，國立台灣海洋大學航運管理研究所碩士論文，民國九十一年。
 18. 陳彥宏，「電腦輔助海上搜索與救助之研究」，行政院國科會專題研究計畫成果報告，民國八十五年。
 19. 陳彥宏、趙榆生、紀嘉毅，「船舶海上遇險救援模擬之研究」，行政院國科會專題研究計畫成果報告，民國八十六年。
 20. 陳彥宏，「海上搜索與救助資訊整合之實證研究」，行政院國科會專題研究計畫成果報告，民國八十七年。
 21. 陳彥宏，「台灣海難搜救體系之分析與檢討」，運輸計劃季刊，第三十一卷第三期，民國九十一年，頁 635-662。
 22. 陳瑞豐，「海上搜救站選擇模式雛型建立之研究」，國立台灣海洋大學航運技術研究所碩士論文，民國八十五年。
 23. 銀柳生，「建立兩岸三地海難搜救合作之研究」，航運季刊，第二十卷第四期，民國九十二年，頁 59-79。
 24. 劉士元，「海上事故搜索救助系統雛形之研究」，國立台灣海洋大學航運技術研究所碩士論文，民國八十四年。
 25. Wang, Z., Lee, L., and Bao, S. M., “Salvage for Vessels and Survivors in Distress”, World Shipping, Vol. 25, No. 2, 2002, pp. 16-17.

26. Lee, M., "Analysis on Capability of Salvage and Rescue at Sea in China", *World Shipping*, Vol. 26, No. 3, 2003, pp. 15-16.
27. 周億華,「台灣地區海難案件沉船及擱淺船責任之研究」,國立台灣海洋大學航運管理研究所碩士論文,民國八十九年。
28. 洪掙論,「海難事故搜救處理與證據調查之分析研究」,中央警察大學水上警察研究所碩士論文,民國八十九年。
29. 郭俊良,「我國海事調查現況之研究」,國立台灣海洋大學航運技術研究所碩士論文,民國八十九年。
30. 陳彥宏等,「台灣地區海上交通安全體系之研究(三)－台灣海域海上搜索與救助現況調查與模擬分析之研究」,交通部運輸研究所委託海洋大學航海技術系之研究計畫,民國八十四年。
31. 陳彥宏,「船舶海上交通遇險事故之調查研究」,行政院國科會專題研究計畫成果報告,民國八十八年。
32. 張朝陽,「海事評議及海事調查之研究(上)」,船舶與海運,第七百八十一期,民國八十八年,頁 1-8。
33. 張朝陽,「海事評議及海事調查之研究(中)」,船舶與海運,第七百八十二期,民國八十八年,頁 1-8。
34. 張朝陽,「海事評議及海事調查之研究(下)」,船舶與海運,第七百八十三期,民國八十八年,頁 1-6。
35. 張鑑,「談海事評議兩級制度」,航運季刊,第十六卷,第四期,民國六十九年,頁 14-18。
36. 趙榆生,「台灣海域海上遇險事故之調查研究」,海運學報,第四期,民國八十五年,頁 49-72。
37. 蘇克明,「互動式海事調查資料庫之建構」,中央警察大學水上警察研究所碩士論文,民國九十年。
38. Zhang, T. B., "Some Points on the Strength of the Law Enforcement Personnel of Maritime Safety Administration", *World Shipping*, Vol. 25, No. 3, 2002, pp. 13-15.
39. 陳彥宏、張家榕,「散裝貨輪安全研究(一)－散裝貨輪全損海難風險分析」,海運學報,第十二期,民國九十二年,頁 77-92。
40. Xiong, Z. N. and Wu, Z. L., "Research on the Grey Incidence Analysis of Maritime Accidents", *Journal of Dalian Maritime University*, Vol. 27, No. 2, 2001, pp. 11-15.
41. Wang, F. W., Wu, Z. L., and Zheng, Z. Y., "Analysis and Preventing Measure of the

- Shipwreck”, *World Shipping*, Vol. 26, No. 1, 2003, pp. 9-11.
42. Song, Y., “Analysis on the Cause of Collision between Fishing Boat and Merchant Ship”, *World Shipping*, Vol. 26, No. 4, 2003, pp. 15-16.
 43. 陳彥宏、趙榆生、紀嘉毅，「我國搜救責任區內漁船海上遇險之研究」，第三屆水上警察學術研討會，中央警官學校，民國八十五年，頁 263-274。
 44. Qiu, Z. X., “Quantitative Determination of VTMS Levels”, *Journal of Navigation*, Vol. 45, No. 2, 1992, pp. 285-291.
 45. Huang, Y. P., Zheng Z.Y., and Wu Z. L., “Fuzzy Model for Quantitative Determination of Casualty Levels”, *Journal of Dalian Maritime University*, Vol. 23, No. 4, 1997, pp. 29-33.
 46. Wen, H., Fang, F., and Xiao, H. L., “The Redesign on the Accident Classification of Vessel Traffic Accident Statistical Regulations of PRC”, *World Shipping*, Vol. 26, No. 3, 2003, pp. 12-14.
 47. Deng, J. L., “The Control Problems of Grey Systems”, *Systems & Control Letters*, Vol. 5, 1982, pp. 288-294.
 48. Deng, J. L., “The Theory and Methods of Socio-economic Grey Systems”, Science Press, Beijing, China, 1984.
 49. Deng, J. L., “Contributions to Grey Systems and Agriculture”, Science and Technology Press, Taiyuan, Shanxi, China, 1984.
 50. Deng, J. L., “Grey Prediction and Decision”, Huazhong Institute of Technology Press, Wuhan, China, 1986.
 51. Huang, G.H., Baetz, B. W., and Patry, G.G., “Grey Fuzzy Dynamic Programming: Application to Municipal Solid Waste Management Planning Problems”, *Civil Engineering Systems*, Vol. 11, 1994, pp. 43-73.
 52. Huang, G.H., Baetz, B. W., and Patry, G.G., “A Grey Integer Programming: An Applicator to Waste Management Planning Under Uncertainty”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 83, 1995, pp. 594-620.
 53. Chang, N. B., Yeh, S. C., and Wu, G. C., “Stability Analysis of Grey Compromise Programming and Its Applications”, *International Journal of Systems Science*, Vol. 30, No. 6, 1999, pp. 571-589.
 54. Deng, J. L., “Introduction to Grey Systems”, *The Journal of Grey Systems*, Vol. 1, No. 1, 1989, pp. 1-24.

55. 鄧聚龍，灰色系統理論與應用，高立圖書有限公司，民國八十八年。
56. Hwang, J. H., "The Applications of Grey Theory on Test Items Selection", I-Shou University, Department of Information Engineering Press, 2001.
57. Bangchun, W., Zhishan, D., Hengxiu, W., and Shudong, Y., "Application of the Theory of Grey System to Fault Diagnosis of Rotating Machine, In: Diagnostics Vehicle Dynamics and Special Topics", Twelfth Binnial Conference on echanical Vibration and Noise, Presented at the 1989 ASME Design Technical Conference, Montreal, Que., Can., 1989, pp. 32-36.
58. Lee, C. J., Huang, Y. F., and Lin, G., "Evaluation Model of Heavy Machinery Dealer Service Performance", The 2002(7th) National Conference on Grey System Theory and Applications, 2002, pp. I-69~I-74.
59. Pan, C. L., Huang, Y. F., and Lin, G., "The Study of Grey Relational Analysis in the Selection of Excellent Construction Contractors", The 2002 National Conference on Grey System Theory and Applications, 2002, pp. III-13~III-20.
60. Stephen, Su Y. H. and Hede, Ma, "Fault Isolation in Grey Systems", International Test Conference Proceedings : NewFrontiers in Testing, Publ. by IEEE, 1988.
61. Tang, I. L., Chen, S.Y., and Chen, C. B., "Ranking Analysis in Mutual Fund Performance Based on Grey Relational Grade", 1998 Third National Conference on Grey Theory and Applications, Chang-Hua Taiwan, 1998, pp. 145-152.
62. Wang, Y. F., "Predicting Stock Price Using Fuzzy Grey Prediction System", Expert Systems with Applications, Vol. 22, No. 1, 2002, pp. 33-38.
63. Wen, K. L. and Wu, J. H., "On Distinguishing Coefficient & Relational Grade", The Journal of Grey System, Vol. 8, No. 1, 1996, pp. 11-18.
64. Wong, C. C. and Lai, H. R., "A New Grey Relational Measurement", The Journal of Grey System, Vol. 12, No. 4, 2000, pp. 341-346.
65. Wu, C. C. and Chang, N. B., "Grey Input - Output Analysis and Its Application for Environmental Cost Allocation", European Journal of Operational Research, Vol. 145, No. 1, 2003, pp. 175-201.
66. Wu, H. J. and Chen, C. B., "An Alternative Form for Grey Correlative Grader", The Journal of Grey Systems, Vol. 11, No. 1, 1999, pp. 7-12.