

108-077-2311  
MOTC-IOT-107-EAA001

# 物聯網技術應用於智慧港口 及碼頭作業之研究



交通部運輸研究所

中華民國 108 年 6 月



108-077-2311  
MOTC-IOT-107-EAA001

# 物聯網技術應用於智慧港口 及碼頭作業之研究

著者：林邏耀

交通部運輸研究所

中華民國 108 年 6 月

物聯網技術應用於智慧港口及碼頭作業之研究

著 者：林邏耀

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw) (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 108 年 6 月

印 刷 者：盈濤印刷品有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 5 冊

定 價：非賣品

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：物聯網技術應用於智慧港口及碼頭作業之研究			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 108-077-2311	計畫編號 107-EAA001
主辦單位：運輸工程組 主管：許書耕 計畫主持人：許書耕 研究人員：林暹耀 聯絡電話：(02)2349-6830 傳真號碼：(02)2349-0427			研究期間 自 107 年 2 月 至 107 年 12 月
關鍵詞：智慧港、物聯網、集群分析、區塊鏈			
摘要：  近年來新興港口快速建設，以及全球化港埠競爭越演越烈之環境下，傳統的港口也面臨亟待轉型的壓力，許多國際型港口紛紛投入數位化建設，並積極轉型為智慧港口。本研究蒐整國際之智慧港發展現況、資訊與通訊科技(ICT)、物聯網與區塊鏈等新興科技之應用案例，盤點目前全球智慧港口之發展及規劃脈絡，並就貨物運輸流程智慧化與運輸系統整合之發展趨勢，深入探討智慧港口之內涵。最後針對我國港口在國際上之競爭力進行初步評估，探究發展智慧港口現況與癥結，提出相關對策與建議，以作為港埠施政參考。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
108 年 6 月	68	非賣品	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**  
**INSTITUTE OF TRANSPORTATION**  
**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Application of Internet of Things Technology at Smart Ports and Terminal Operation			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER 108-077-2311	PROJECT NUMBER 107-EAA001
DIVISION: Transportation Engineering DIVISION DIRECTOR: S.-K. Hsu PRINCIPAL INVESTIGATOR: S.-K. Hsu PROJECT STAFF: L.-Y. Lin PHONE: (02)2349-6830 FAX: (02)2349-0427			PROJECT PERIOD FROM February 2018 TO November 2018
KEY WORDS: Smart port, IoT, Cluster Analysis, Blockchain			
<b>ABSTRACT:</b> With the rapid construction of emerging ports and the increasingly fierce competition in global port operations in recent years, traditional ports are facing the pressure of transformation, and many international ports have invested in digital construction and actively transformed into smart ports. This paper studies the development status of international smart ports, the applications of emerging technologies such as Information and Communication Technology (ICT), Internet of Things (IoT) and Blockchain, reviews the current development and planning context of global smart ports, and seeks to develop an in-depth understanding of the significance of smart ports for the development of intelligent cargo transportation processes and integration of transportation systems. Finally, the study offers a preliminary assessment of the competitiveness of Taiwan's ports in the international arena, explores the current situation and chokepoints in the development of smart ports, and proposes countermeasures and suggestions, to serve as a reference for port management.			
DATE OF PUBLICATION  June 2019	NUMBER OF PAGES  68	PRICE  Not for sale	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目錄

一、緒論 .....	1
1.1 研究緣起與背景 .....	1
1.2 研究目的與範圍 .....	1
1.3 研究方法 .....	2
1.4 研究流程與架構 .....	2
二、文獻回顧 .....	5
2.1 港口定位與變革 .....	5
2.2 智慧港口概述 .....	7
2.3 智慧港口的內涵、系統結構與功能 .....	8
2.4 智慧港口應用之技術 .....	10
2.5 小結 .....	11
三、全球主要港口智慧化之發展趨勢 .....	15
3.1 臺北港-RFID .....	15
3.2 中國大陸-全自動化碼頭 .....	16
3.3 新加坡港-智慧國家 2025 計畫 .....	20
3.4 鹿特丹港-港內航運聯網 .....	22
3.5 漢堡港-智慧港口-物流與能源 .....	24
3.6 其他新興科技之應用 .....	26
3.6.1 無人船 .....	26
3.6.2 區塊鏈 .....	27
四、我國發展智慧港口之探討 .....	29
4.1 港口競爭力分群探勘－以高雄港為例 .....	31

4.1.1 階層式與非階層式分群法.....	31
4.1.2 距離之選取.....	33
4.1.3 進行集群分析之工具—R 語言.....	37
4.2 不同觀察變數之情境分析.....	37
4.2.1 情境一：Drewry 港口連結度指標、裝卸量、年成長率.....	38
4.2.2 情境二：航運中心指標、裝卸量、年成長率.....	41
4.2.3 情境三：航線數、裝卸量、年成長率.....	45
4.2.4 情境分析小結.....	51
4.3 臺灣港口現況與港口智慧化推動情形.....	52
<b>五、結論與建議.....</b>	<b>57</b>
5.1 結論.....	57
5.2 建議.....	58
<b>參考文獻.....</b>	<b>61</b>

# 表目錄

表 2.1-1 港口定義彙整表 .....	5
表 2.1-2 The UNCTAD Three Generation Port Model .....	5
表 2.1-4 TRAINMOS II Five Generation Port Model.....	6
表 3.2-1 廈門、上海及青島港自動化發展規模一覽表 .....	19
表 3.2-2 107 年 6 月中國大陸交通運輸部公布智慧港口示範工程名單 .....	19
表 4.1 Drewry 期刊港口連結度指標(port connectivity index)排名 .....	29
表 4.2 ALphaliner 期刊 2017 年前 110 大貨櫃港口排名示意表 .....	30
表 4.2.1-1 情境一之處理後資料示意圖 .....	38
表 4.2.1-2 港口分群結果及智慧港發展之勾稽表 .....	40
表 4.2.2-1 新華-波羅的海國際航運中心發展指數.....	41
表 4.3-1 臺灣港務公司智慧港口 7 項行動方案 .....	52

# 圖目錄

圖 2.2-1 IMO 全球電子導航系統架構圖 .....	8
圖 2.5-1 物聯網架構圖與智慧港口應用項目 .....	13
圖 3.2-1 自動導引車(AGV)與自動跨載機(ASC)機具圖 .....	17
圖 3.2-2 新加坡大士碼頭(Tuas Terminal)一期建設 .....	18
圖 3.3-1 MPA 與 IBM 合作 SAFER 計畫之架構圖 .....	21
圖 3.3-2 新一代港口-大士港示意圖 .....	21
圖 3.4-1 鹿特丹港轉型智慧港之進程與創新生態系統圖 .....	23
圖 3.4-2 鹿特丹世界門戶港碼頭 (RWG) -馬斯弗拉克特港區擴建圖 .....	24
圖 3.4-3 貨櫃交換路線 (CER, Container Exchange Route) 示意圖 .....	24
圖 3.5-1 漢堡港智慧物流(smartPORT logistics)示意圖 .....	26
圖 3.6.2-1 馬士基區塊鏈平台 .....	28
圖 3.6.2-2 國際貨物運輸轉型數位化之示意圖 .....	28
圖 4.1.1-1 階層式分群示意圖 .....	32
圖 5.1.2-1 歐幾里得距離示意圖 .....	34
圖 5.1.2-2 歐幾里得距離與曼哈頓距離之差異 .....	35
圖 4.1.2-3 組間距離方法示意圖 .....	36
圖 4.2-1 4 變數相關分析示意圖 .....	38
圖 4.2.1-1 情境一階層分群圖 .....	39
圖 4.2.1-2 情境一分群結果二維散布圖 .....	39
圖 4.2.2-1 新華-波羅的海國際航運中心發展指數分類評價結果 .....	44
圖 4.2.2-2 情境二階層分群圖 .....	45
圖 4.2.2-3 情境二分群結果二維散布圖 .....	45
圖 4.2.3-1 全球港口散布圖 .....	46
圖 4.2.3-2 情境三全球航線階層分群圖 .....	47
圖 4.2.3-3 情境三全球航線分群結果二維散布圖 .....	47
圖 4.2.3-4 情境三亞洲區域航線分群階層圖 .....	48

圖 4.2.3-5 情境三亞洲區域航線分群結果二維散布圖 .....	48
圖 4.2.3-6 情境三遠歐航線分群階層圖 .....	49
圖 4.2.3-7 情境三遠歐航線分群結果二維散布圖 .....	49
圖 4.2.3-8 情境三越太平洋航線分群階層圖 .....	50
圖 4.2.3-9 情境三越太平洋航線分群結果二維散布圖 .....	50
圖 4.3-1 臺灣港務公司規劃智慧港口發展架構 .....	53
圖 5-1 智慧港口範疇與應用項目整理圖 .....	59



# 一、緒論

## 1.1 研究緣起與背景

臺灣係屬四面環海之海島國家，航運是國際物流中最主要的運輸方式，我國進出口貿易量藉由海運運輸就占了 99% 以上，因此，論定海運業是臺灣之經濟命脈絕不為過。全球化的潮流湧動，貨櫃航運助長了國際貿易的流通，而航運業與物流業者在眾多競爭下轉求效率之競爭趨勢，也促使全球國際港口的發展態勢有所變化。近年來受到航商營運問題如韓進 106 年 9 月倒閉、聯盟分合、油價波動、各國貿易保護策略、經濟發展與中美貿易戰等國際影響因素而起伏，全球化港務之競爭也越演越烈。中國大陸在推動一帶一路戰略下，在各貿易路線上新興港口快速建設，讓所有傳統港口皆面臨亟待轉型的壓力，尤其先前船舶大型化以及新能源船(LNG、LPG)持續蓬勃發展，也漸漸發酵衝擊著航運市場及港口之營運。

隨著國際航運市場的演變與鄰近國家港口的崛起，臺灣國際港口已然面臨國際樞紐港地位之鞏固與競爭，亟需重新盤點自我定位以及檢視與其他港口競合之優劣勢，進而提振我國港埠競爭力。高雄港係我國主要貨物之進出口港，但在國際之港口排名逐漸後退，在未來持續面對各國港口競爭力日漸茁壯之趨勢，其扮演亞太地區主要貨櫃樞紐港之地位也將遭到越來越激烈之挑戰。

海島國家一向非常重視港口之建設，但港埠已不再是扮演著過去待船來泊的被動角色，為滿足國際運輸在物流、貿易流、金流、資訊流各方面逐漸增長之需求，如何藉由智慧化科技輔助港口升級，是港口發展及提振競爭力之重要關鍵。全球主要港口多已積極思考轉型升級方向，並積極向資訊化、數位化、智慧化港口建設推進，以此構建差異化的價值與競爭優勢。

## 1.2 研究目的與範圍

本研究計畫目的與範圍係透過蒐整國際智慧港發展現況、發展趨勢以及規劃脈絡，以瞭解智慧港口之內涵，並從資訊與通訊科技(ICT)、物聯網等科技面相關技術，探討各國智慧港發展之項目，最後以本所數年來持續

建置之海運資料庫萃取相關資料，進行大數據分析與自我盤點，了解目前我國高雄港在不同檢視條件（連結度、航運中心指標、航線數等與裝卸量及成長率）下，以在國際港口在競爭力上之相對位置及立足點，進而提出我國發展智慧港之初步評估，以作為航港單位施政參考。

### 1.3 研究方法

本研究報告之主要研究方法包括文獻探討、案例探討、數據分析、分群方法、關聯分析，詳述如下：

1. 文獻探討：由於目前尚無對於智慧港口之統一定義，本研究透過廣泛蒐集 IMO(國際海事組織)、歐盟、各國及其海運學院與相關海事事業群(maritime cluster)針對智慧港口發展、交通部及所屬機關及中華航運學會之研究、文獻、學術期刊論文、博碩士論文及相關報告等，描繪智慧港口之輪廓及各國發展之規劃脈絡。
2. 案例探討：蒐集近年國內外發展智慧港口案例及項目，探討其發展之背景、策略與作法。
3. 數據分析與分群：透過本所海運資料庫進行數據分析，並以高雄港為例，在不同檢視變數下（包括裝卸量、成長率、國際期刊之連結度、航運中心指標，以及不同貿易路線之航線數），自我盤點高雄港在國際港口在競爭力上之相對位置及立足點。
4. 關聯分析：本研究重點蒐整國際智慧港發展現況、趨勢以及規劃脈絡之研究，並比較與我國發展之差異及可借鏡之處，並透過國際港口競爭力之分群，試圖找出其關聯性，歸納作為參考指標，進而提供我國發展智慧港之初步評估。

### 1.4 研究流程與架構

本研究工作重點包括文獻回顧與探討、全球主要港口智慧化之發展趨勢、我國發展智慧港口之探討、評估港口競爭力相關數據之分群分析、我國港口現況與智慧化推動情形等，流程與架構說明如下：

#### 1. 緒論

針對本研究進行研究緣起與背景、研究目的與範圍、研究方法，以及研究流程與架構進行說明。

## 2. 文獻回顧與探討

蒐集廣泛蒐集 IMO(國際海事組織)、歐盟、各國及其海運學院與相關海事事業群(maritime cluster)針對智慧港口發展之文獻，以瞭解發展智慧港口之重點與及內涵。在智慧港口應用之技術方面，探討由物聯網為基礎原理，於各國發展智慧港口所應用之新興科技及相關技術，並歸納發展智慧港口之應用設想。

## 3. 全球主要港口智慧化之發展趨勢

持續蒐集國際智慧港發展概況與相關案例，瞭解各國智慧港口之施作項目及發展趨勢。

## 4. 我國發展智慧港口之探討

透過數據分析及港口分群，了解我國港口在全球貿易航運上之定位及比較，並回頭檢視我國現階段規劃之項目與需求。

## 5. 結論與建議

依據前述所盤點資料與分析結果，綜整相關結論與建議，並提出我國發展智慧港口之可行方案。



## 二、文獻回顧

### 2.1 港口定位與變革

1923 年日內瓦公約定義了港口是為了服務從事國際貿易服務之遠洋船舶，1989 年海港法律詞典(Dictionnaire Juridique des ports maritimes)則定義港口是天然或人工打造之泊船處，直到 2001 年布魯塞爾-第二屆歐洲運輸白皮書將港口定義為物流供應鏈中轉換運輸模式的節點，顯見港口從原先僅作為泊船或或者服務船舶的定位，漸漸轉移為物流及貿易之重要樞紐。在 2011 年布魯塞爾-第三屆歐洲運輸白皮書則更明確納入了網絡核心之概念，視港口為一個全方位以及網路核心之物流平台。

表 2.1-1 港口定義彙整表

年份	約法	定義
1923	日內瓦公約	港口，是海港為了服務從事國際貿易服務之遠洋船舶
1989	海港法律詞典	港口是天然或人工打造之船舶泊位處
2001	布魯塞爾 第二屆歐洲運輸白皮書	港口是在物流供應鏈中轉換運輸模式的節點
2011	布魯塞爾 第三屆歐洲運輸白皮書	港口被視為一個全方位以及網路核心之物流平台

隨港口的功能不斷演變，聯合國貿易和發展會議(UNCTAD)在 1992 年出版的報告中<sup>[1]</sup>定義了前三代港口運作模式(如表 2.1-2)。

表 2.1-2 The UNCTAD Three Generation Port Model

Period of development	First generation	Second generation	Third generation
	Before 1960s	After 1960s	After 1980s
Main cargo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Break bulk cargo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Break bulk and dry/liquid bulk cargo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bulk and unitized containerized cargo</li> </ul>
Attitude and strategy of port development	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservative</li> <li>• Changing point of transport node</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansionist</li> <li>• Transport, industrial and commercial centre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Commercially oriented</li> <li>• Integrated transport centre/ logistic platform for international trade</li> </ul>
Scope of activities	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1—Cargo loading, discharging, storage, navigational service</li> <li>• Quay and waterfront area</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1+</li> <li>• 2—Cargo transformation; ship-related industrial and commercial services</li> <li>• Enlarged port area</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1+2+</li> <li>• 3—Cargo and information distribution; logistics activities</li> <li>• Terminals and distribbelt towards landside</li> </ul>
Organization characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Independent activities within port</li> <li>• Informal relationship between port and port users</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Closer relationship between port and port users</li> <li>• Loose relationship between activities in port</li> <li>• Casual relationship between port and municipality</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• United port community</li> <li>• Integration of port with trade and transport chain</li> <li>• Close relationship between port and municipality</li> <li>• Enlarged port organization</li> </ul>
Production characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargo flow</li> <li>• Simple individual service</li> <li>• Low value added</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargo flow</li> <li>• Cargo transformation</li> <li>• Combined services</li> <li>• Improved value added</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargo/information flow</li> <li>• Cargo/information distribution</li> <li>• Multiple-service package</li> <li>• High value added</li> </ul>
Decisive factors	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Labour/capital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technology/know-how</li> </ul>

資料來源：UNCTAD

在 1999 年出版之港口通訊(PORTS NEWSLETTER)第 19 期中「第四代港口」<sup>[2]</sup>中則指出，1990 年後出現了超越了以往前述三代型態之第四代港口，其中也對主要送貨物、活動範圍、組織特色、服務特性、發展特徵及成敗關鍵。

表 2.1-3 The UNCTAD Four Generation Port Model

	1st Generation	2nd Generation	3rd Generation	4th Generation
Period of development	Before the 60	After 60 years	After 80 years	After 80 years
key Loads	General Cargo and Bulk	General Cargo and Bulk	Loads Conteneizadas, unitised and bulk	Loads Conteneizadas, unitised and bulk
Attitude and the Port Development Strategy	Conservative points of interface modes of transport	Expansionist Transportation Center, Commercial and Industrial	Oriented Trade Center for Integrated Transport and Logistics Platform for International Trade	Facing the international market
Activities	Loading, Unloading, Storage, Navigation Services	Activities of a Generation Transformation of Cargo, Commercial and Industrial linked to Ship	Activities 1st and 2nd Generation Information Distribution and Freight, Logistics Activities	Activities 1st, 2nd and 3rd Generation Industrial Processing Zones Clusters or Port Charges - Industrial Business Networks
Characteristics of the Organization	Independent activities within the Port Information Relationship between the Port and its users	Close relationship between Porto and User Relations between the bit Integrated Activities in Port	Integrated Port Community Integration with the Port Trade and Transportation Network	Integrated Port Community Integration with the Port Trade and Transportation Network
Characteristics of Production of Service	Concentrated Loads in Flow Low Value	Load Flow Integrated Services Average Value	Flow and Load Distribution and Information Multiple services	Value-Added Services
Decisive factors	Labour and Capital	Capital	Technology and Know-How	Technology and Know-How

資料來源：UNCTAD

海上高速公路訓練計畫 (Train Motorways of the Sea, TRAINMOS II)在 Smart Cities and Intelligent Ports<sup>[3]</sup>中，則針對港口之作業方式、型態、運輸模式以及港口定位等特性，進一步勾勒出自 1940 年代以來，全球港口歷經演化與變革的五個世代(如表 2.1-4)。

表 2.1-4 TRAINMOS II Five Generation Port Model

第一代	第二代	第三代	第四代	第五代
-1940	1960	1980	2000	2020-
機械港	貨櫃港	電子化港口	國際港	智慧港
機械操作	自由區	國際化網絡	全球網絡	智慧型運輸系統港
人工作業	工業區	整合作業中心	港口社群	物流社群
-	免稅港	商業區	物流區	智慧城市
-	-	電子資料交換服務	複合運輸	智慧腹地
-	-	-	網路服務	多式聯運
-	-	-	-	永續港

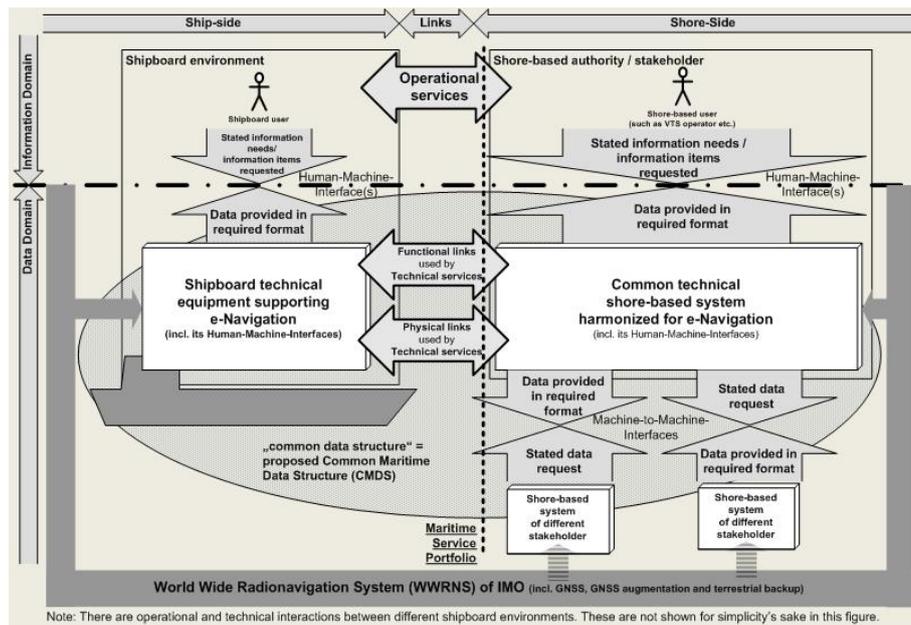
資料來源：TRAINMOS II

## 2.2 智慧港口概述

1994 年，智慧運輸系統世界大會首次提出智慧運輸系統（ITS）的概念，將先進的資訊技術、通訊技術、電控技術及電腦處理等技術綜合運用於整個交通運輸管理系統。港口作為交通系統的重要子系統，智慧港口的研究開始得到業內人士普遍關注。

巴黎創新評論(Paris Innovation Review)<sup>[4]</sup>提到，變得「智慧」意味著更具吸引力和競爭力，也代表花更少的錢，做更多的事情。綜觀過去，多數人認為建造一個港口區域足以吸引船隻，然而現在的趨勢已不能像過去一樣建造港口等待船隻來靠，港口若沒有明確的戰略、市場預測及相關情報，就無法承受國際競爭的壓力。透過物聯網、大數據、人工智慧和其他技術解決方案讓港口在物流及管理方面變得更加智慧化。如監控，數據蒐集和預測用於制定最佳決策、改善流程並使其更簡潔具效率。目前許多港口在科技上主要是應用於物流，如倉庫，流程和庫存管理多已實現了人工智慧和物聯網技術，以最佳化其連通性。但仍需要進行數位化改造，使港口變得更智慧的生態系統。港口權管單位必須擔任領導地位，而航商、貨主和相關海事事業群則扮演不可或缺之參與者。一些富有遠見的港口如新加坡港或鹿特丹港等，與擁有強大研發能力之事業群間向來關係密切，合力開創新的解決方案及新創事業。透過吸引世界各地最優秀的研究人員與相當多的資源來鞏固他們的港口專業、知識與海事等地位。

一些國際聯盟或組織如歐盟或聯合國之國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)目前亦沒有智慧港口的官方定義，目前僅由 IMO 透過制定智慧電子導航(E-navigation)之交換格式<sup>[5]</sup>，主要是透過一項電子導航策略實施計畫 (The e-navigation Strategy Implementation Plan, SIP)，通過電子方式統一蒐集、整合、交換、展示和分析船上和岸上的海事訊息，以加強靠泊及導航之相關服務。SIP 計畫預計 2019 年完成後，可提供統一之相關訊息與標準格式，以利海事相關行業設計滿足前述規範之解決方案以及相關產品與服務。



資料來源：IMO，E-Navigation

圖 2.2-1 IMO 全球電子導航系統架構圖

## 2.3 智慧港口的內涵、系統結構與功能

港口之功能在演化變革的過程中，現在化的訊息技術和管理方法是關鍵性的成敗因素，如電子資料交換(Electronic Data Interchange, EDI)與物聯網的發展，讓港岸間的訊息交流與數據流之傳達更加方便，也讓貨物運輸過程更為便捷。因此智慧港在近年來的概念多著重於訊息感知、資訊處理與共享之基礎上，推動港口在功能、技術與服務等面向之整合及創新，進而提升港口的綜合服務能力。

在智慧港口的內涵與系統結構<sup>[6]</sup>一文中，智慧港口的核心技術是物聯網，是通過 RDIF、紅外線感測器、全球定位系統以及掃描等感測設備，透過網路將物品連結起來並進行訊息之交換，以進行智慧化控管如識別、定位、監控與管理的一種網絡。而港口一向扮演物流供應鏈中轉樞紐，其轉型為智慧港口後之內涵應該包含以下幾個方面：

1. 基於客戶為中心的服務概念，並利用新一代資通訊技術，透過整合與系統化之方式進行經營管理。
2. 充分運用現代管理方法、資通訊和自動化技術，簡化流程並提高服務水準。
3. 建設的核心是基於物聯網技術，在透過信息感測、處理、整合和共享基礎上，進行戰略及相關計畫之決策。

4. 建設範疇應涉及碼頭泊位、集配、疏運以及腹地貨運管理。
5. 資源分配應更加合理充分，港口才具有永續發展之能力。

綜合上述，智慧港口能自動感測港口各種相關訊息，以及具備資訊處理的能力，並藉由平台系統進行資訊之整合與共享。因此可歸納出智慧港口應包含下列主要系統結構：

1. 感測  
以物聯網為基礎的技術，自動感知與蒐集船舶、貨物以及港口物流轉運節點之狀態等訊息，作為智慧化管理與分析決策的基礎。
2. 資料處理與整合  
將感知與蒐集之資料，進行數據清理後建立統整的資料庫，作為發布訊息與決策之基礎。
3. 訊息發布與共享  
將船舶、港口、岸肩、櫃場等訊息進行整合，透過平台即時發布、開放與共享，在資訊透明化的前提下，確保訊息的即時與可用性。
4. 決策支援  
經過數據處理、整合與分析後，做為港口管理/作業單位研擬經營與服務之策之支援。

智慧港口是以現代化基礎設施及物流設備為基礎<sup>[7]</sup>，以雲計算、大數據、物聯網、移動互聯網、智慧控制等新一代資訊技術，深度融合港口核心之運輸業務，透過感知港口週遭訊息，構建整合之智慧物流服務體系，實現港口資源的整合開發與資源分享，進而達成降低港口作業成本，提升港口服務水準、效率，以及海運產業鏈之效益的目標。總結智慧港口之功能應包含：

1. 強大的資訊感知能力：智慧港口的感知能力主要依靠前端傳感設備及通訊技術，動態即時採集進出港船舶、貨物及其他與生產運營相關（如能源監控、設備管理、倉儲管理等）的資訊。先進的現代化港口設施及自動化裝備是建立強大的感知體系和監控體系的基礎。
2. 完備的網路傳輸層：主要實現前端傳感設備與資料處理中心的資料傳輸和交換。通過通信網路、互聯網、無線資料網等網路技術，實現有線與無線的結合、專線與互聯網的結合，將前端傳感設備獲取的資訊資料傳輸至資料處理中心。

3. 高效的資料處理、分析能力：智慧港口應具備數據處理與管理中心，將前端設備所採集的資訊依據不同的類別和標準分類處理並建立統一的資訊資料庫，並利用數據分析技術進行深度挖掘和探勘。透過全縣管控，各使用者可依全縣允許範圍內，利用數據分析技術進行深度挖掘與創造增值服務，實現資源的整合與共用。
4. 智慧應用系統：根據實際需求，開發相應的智慧子系統，為港口自動化、智慧化管理提供技術支援與應用。如智慧門禁管理系統、電子商務系統、數據交換平台、港口運輸管理系統等。

## 2.4 智慧港口應用之技術

1995 年網際網路的崛起改變了人們的溝通方式，隨著技術發達將網路應用聯結在物體上，如透過電腦、手機及相關連接網路之設備等，進而發布指揮之動作，這便是物聯網應運而生的起源，也是網際網路之應用延伸。訊息之分享與交換，不再侷限於人與人之間，而是緊密結合了人、事、物之間之聯結。因此物聯網是另一種更為龐大的網絡，其在網路傳達路線之端點結合了各種感知設備與系統設施，透過物聯互通與應用整合，實現各種智慧化的應用。

物聯網的運作架構分為感知層、網路層與應用層。

1. 感知層是基於物聯網技術發展之最底層，其感測設備包含了各種感測器、RFID 等。感知層主要用來感測與控制末端物體其各種狀態之數據資料，並實現自動控制物體狀態之應用。
2. 網路層大多是 TCP/IP 網路或行動通訊網路，將感測資訊傳遞至應用層的應用系統，或者是上傳至雲端儲存等。其功能扮演了網路的整合、資料知傳輸、處理、雲端運算以及資訊交換平台等。
3. 最上層應用層則是結合各種資料分析技術，以及子系統重新整合企業因應不同的業務需求建置的應用系統。應用層是在現實中真正透過物聯網技術執行其相關應用服務的一環，涵蓋之應用領域相當廣泛，如環境監控、物流供應鏈、醫療照護、商業智慧與智慧城市的各種應用，包括近年蓬勃發展之智慧居家(Smart Home)、智慧建築

(Building Management)、智慧工廠(Smart Factory)，乃至於延伸到智慧交通運輸與物流等。

這三層之運作概念也呼應了雲端計算架構中之基礎設施即服務 (Infrastructure as a Service, IaaS)，平台即服務 (Platform as a Service, PaaS)，軟體即服務 (Software as a Service, SaaS)，因此各層環環相扣，除各司其職發揮各自之效能外，在應用層面也譜出了多重的衍伸應用服務，如前述之流程監控、智慧居家、智慧交通等。因此智慧在現階段的定義可推擬為：透過物聯網之新興科技，拉近人、事、物之間之距離，減少時間之耗費，以及繁瑣與人工之重複性程序（效率），以及持續創造產能（效能）。

## 2.5 小結

港口是扮演連結國內外經濟融入全球與國際貿易的樞紐，智慧港口的建設能夠實現碼頭運營智慧化、海運與物流的緊密合作、國際貿易便利化、金融交易普及化以及數據服務的商業化，除對我國港口在提升國際競爭力上有亟重要之意義，亦是各國紛紛投入的發展重點。如荷蘭海運白皮書<sup>[8]</sup>中，研擬了 2015-2025 年之海運策略，其策略側重於海事集群相關的領域，使得知識、經驗、實踐和創新能夠在整個海運集群內共享，進一步找到強化海事集群的整體解決方案，其中在創新的部分則提及智慧化港口之相關策略，包括更智慧化、有效地利用公路、鐵路和水路運輸，以減少交通擁堵；連接良好的腹地，塑造強大的物流樞紐；有效利用多式聯運，整合貨物運輸憑證；以及利用 IT 技術建立智慧化之系統以及物流訊息之整合平臺。

### 一、智慧港口之基礎技術與應用

總結智慧港口的基礎技術與應用可歸納為物聯網、大數據、人工智慧、裝卸自動化與電子資訊化平臺，茲分述如下：

1. 物聯網技術：在港口生產作業及運營管理方面較為典型的物聯網應用包括貨櫃電子標籤、港口設備運行狀態監控、工程設備資產管理、智慧能源管理系統等。因此物聯網可謂為智慧港口資料收集提供有力支援之基礎。
2. 大數據技術：是通過對海量資料進行資料分析，實現資料視覺化，利用分析結果進行資源優化配置。

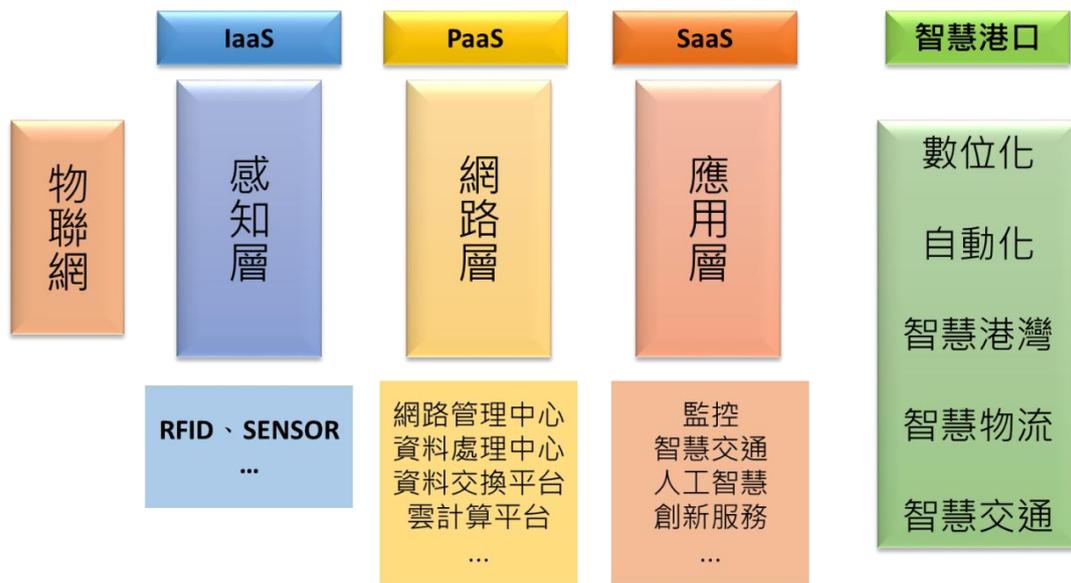
3. 人工智慧技術：在港口智慧設備調度、智慧場地計畫、智慧泊位計畫等港口生產作業系統中可廣泛應用。
4. 自動化港口裝卸設備：將先進的感測器、自動定位、機器視覺、遠端控制、設備智慧診斷與評估等技術應用於港口大型裝卸設備（如散貨碼頭的堆料機、取料機、貨櫃碼頭的堆場軌道吊、無人駕駛自動導引車等）使裝卸設備自動化和無人化，大幅提升碼頭效率。
5. 電子資訊化平臺：透過現代資訊技術，協調港口的資訊資源，利用海關、檢驗檢疫、海事、邊檢、港政、引航、企業等部門的資訊，建立港口共用的貿易與物流供應鏈平台，完成貨主、港口企業、監管部門、港口行政管理部門以及社會其他部門之間大量且即時地資訊傳遞，以更快捷之效率地完成船舶進出港、裝卸、集配、疏運、交易與支付等作業，並引領航港相關單位邁向數位化。

## 二、智慧港口之應用面向

推動人工智慧是以領先全球的 ICT 產業優勢為基礎，透過「研發服務」、「創新增值」、「創意實踐」、「產業領航」及「社會參與」等五大策略，打造由人才、技術、場域及產業構築而成的 AI 創新生態圈，並孕育 AI 新興產業應用<sup>[9]</sup>。其中「智慧交通」係智慧應用領域所涵括，因此智慧港口除扮演推動智慧運輸功能的關鍵角色之外，更是與國際接軌的重要領航者。智慧港口之設立主要除因應經濟全球化之大環境趨勢外，期藉由新興科技，提供更便捷、更智慧化之服務，以提高港埠在國際競爭力。然智慧港口尚無統一定義與架構，各國在智慧港之發展項目也依其各自之需求而有所差異，但其規劃之整體架構與脈絡皆朝向相同的目標：

1. 改善航港之安全、效率與永續。
2. 港口功能之創新與整合。
3. 提升港口之服務能力。

綜整本章文獻回顧，可將智慧港口所運用的技術大致歸納出幾種以物聯網技術作為基礎核心之延伸，如「感測，訊息蒐集、發布與共享，數據分析，人工智慧之運用，裝卸自動化，以及電子資訊化之整合平臺」，最後是統整之決策支援，以實現各種智慧化的服務。因此智慧港口之發展可整理為幾個面向：數位化、自動化、智慧港灣、智慧物流與智慧交通。



資料來源：本研究整理

圖 2.5-1 物聯網架構圖與智慧港口應用項目



## 三、全球主要港口智慧化之發展趨勢

隨著新興技術的快速發展，物聯網、大數據、雲端計算及人工智慧等技術逐漸成熟，港口之轉型以及在智慧層面的深化應用，已然成為全球趨勢。1994年在巴黎舉辦第一屆智慧運輸世界年會，首次提出智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)概念，為民生必需之「行」注入創新的活力，透過全球共襄盛舉之年會活動，各國之產、官、學、研界可交流分享其各自在 ITS 策略、規劃及建置、產品研發技術與經驗，智慧港口的相關研究也逐漸受到業內人士之關注，國際主要港口也紛紛投入相關建設與轉型。

### 3.1 臺北港-RFID

無線電射頻識別(RFID)之應用源自 1901 年義大利 Marconi 發明無線電通訊設備並在大西洋首度試驗成功地傳遞訊息，在第二次世界大戰期間英國應用 RFID 判定敵我方飛行載具。隨技術發展漸漸成熟，RFID 已在製造業、海空運輸物流、零售、資產管理、圖書館、食品衛生、票證及防偽等各產業導入應用。一些國際型機場(如杜拜、希斯洛)已應用 RFID 技術於保安全管理，包括行李追蹤、航空電子票證、出入境人與或檢查管制(身份識別、貨品追蹤)、後勤支援及倉儲管理。

臺北港在規劃之初，便朝興建自動化碼頭發展，碼頭全線配置現代化橋式起重機，後線櫃場則配置全自動化的軌道式門式機，不僅可降低人力需求，同時能大幅提升作業效率。在自動化作業方面，利用無線感知模組 IEEE802.15.4(ZigBee)開發車輛定位、自動報到、資料交換、工作指令下達等作業功能，透過設置有 ZigBee 掃描器的儲區報到點，來感應貨車的所在位置，調度作業的自動化程度，達成櫃場內作業自動化。

RFID 的部分則是應用於門禁管理系統。包括辨識駕駛身分，解決人車櫃資料的感測、傳送與驗證，建立可快速通關的全自動化門哨管理系統。其運作方式是透過在 4 個車道上設置了 RFID 讀取器，讀取車上駕駛人的 RFID 通行證資料，結合光學字元辨識系統 OCR 辨識車號與貨櫃號碼後，將資料即時比對查驗站後端之資料庫，系統在確認無誤後，將回傳可通行

之綠燈號誌訊號傳到前端的號誌系統，貨車不需要停車就能通關<sup>[10]</sup>。除此之外，臺北港也將 RFID 技術用於貨櫃之轉口押運，監控以及定位貨櫃在轉口的流程。藉由內建 RFID 的電子封條，只要貨櫃有任何異常時，就會將相關資訊顯示在系統上，因此透過科技之運用，就無須消耗額外之警衛人力查驗。而這些蒐集的資料在經過清理以及儲存後，未來還能作為決策支援基礎，例如統計進港與出港的感測記錄後就能統計港區內的人數、從流量計算尖峰時段進入貨櫃的數量，就能分析出適合臺北港尖離峰時段之貨車數目，進而提供航商及相關作業單位研擬最佳的貨櫃調度方式。

### 3.2 中國大陸-全自動化碼頭

傳統貨櫃碼頭係仰賴場內解櫃車於碼頭前後線作業提供貨櫃運輸服務，歐美地區為因應日漸高漲的人力成本，自 1990 年起開始將傳統人工作業的貨櫃碼頭導入全自動化作業。貨櫃碼頭自動化發展歷程係配合工業革命，由 19 世紀前人力搬運散雜貨碼頭，歷經 20 世紀之初傳統標準化貨櫃碼頭，到 20 世紀後期之半自動化貨櫃碼頭。在現今物聯網技術以及人工智慧的進展，早先的碼頭作業模式已慢慢取代為智慧化之全自動貨櫃碼頭<sup>[11]</sup>。茲分別說明如下：

#### 一、半自動化碼頭：

作業方法與傳統方式略有差異，係由拖車搭配場區之自動化門式機 (ARMG) 系統共同作業，經由櫃場管理系統(TOS, Terminal Operating System)作業自動分配工作。現場作業則是藉由網路傳送畫面，將現場情形透過攝影機將畫面直接傳送回中控，藉由中控室統一操作 ARMG 進行貨櫃之調度與裝卸。櫃場司機由辦公室之監控畫面，透過遠距遙控進行貨櫃吊升與卸放動作。

#### 二、全自動化碼頭：

係透過遠端遙控橋式起重機、自動導引車(Auto Guided Vehicle, AGV) 或自動跨載機(Auto Straddle Carrier, ASC)，以及自動化門式機相互搭配作業，橋式起重機將貨櫃直接卸放在具有導航系統之自動導引車上，經由埋設在地面之感應裝置(sensor)，將貨櫃運往櫃場管理系統指定之儲區，最後由自動化門式機將貨櫃移往指定櫃位儲放；裝船時則依反向程序操作。



資料來源：Kalmar global

圖 3.2-1 自動導引車(AGV)與自動跨載機(ASC)機具圖

全自動貨櫃碼頭具備「減少天候因素對碼頭作業的影響」、「場域無人化提高作業安全」、「降低勞動強度減少人為錯誤」及「降低人工作業成本」等優勢，目前全球前 20 大貨櫃港中，以荷蘭鹿特丹港（1993 年）Delta Terminal、Euromax、Maasvlakte II 及 Rotterdam World Gateway 碼頭與漢堡港（2002 年）CTA 碼頭率先導入 AGV 系統進行貨櫃碼頭前後線間運輸，美國洛杉磯港及長堤港亦於 2016 年陸續跟進。新加坡國際港務集團有限公司(PSA International Pte. Ltd, PSA)已於 Pasir Panjang 碼頭建置 ARMG，並與法國航商達飛輪船（CMA CGM）合資經營第三及第四期貨櫃中心，並規劃導入自動化作業系統；目前正在第一期建設中（總共 4 期）的大士碼頭(Tuas Terminal)，將導入遙控橋式起重機搭配 AGV 及 ARMG 進行全自動化作業，一期預定設置 20 席深水泊位，可容納超大型貨櫃船舶停泊與運作，目前 PSA 刻正與協力廠商協處自動化碼頭運作可能面臨的技術問題。釜山新港（BNCT）2015 年貨櫃裝卸量約 136 萬 TEU，現階段仍採人工跨載機作業搭配後線 ARMG，屬半自動化碼頭。

20 世紀末，全球許多排行頂端之港口(尤以中國大陸)皆著眼於未來趨勢與發展，並投入自動化貨櫃碼頭之建設。在中國大陸政府大力推行以及國內重工產業作為發展後盾之支持下，由中央政策開始著手主導於廈門港、上海港及青島港建置全自動示範碼頭。2014 年廈門遠海碼頭對 14 號泊位及 15 號部分泊位開始進行改造，建成國內第一座全自動化貨櫃碼頭。2015 年，上海港、青島港先後公開宣布開始規劃建設自動化貨櫃碼頭，引領著中國大陸貨櫃碼頭發展。分別說明如下：



資料來源：PSA

圖 3.2-2 新加坡大士碼頭(Tuas Terminal)一期建設

#### 一、廈門遠海

廈門港遠海貨櫃碼頭位於廈門港海滄保稅港區西區，係廈門遠海貨櫃箱碼頭有限公司營運，年設計吞吐量為 260 萬 TEU。為推動貨櫃碼頭自動化，在建設工程 2006 年 5 月開工後，於 2013 年變更設計，14 號泊位及 15 號部分泊位開始進行改造，並於 2016 年通過竣工驗收。

#### 二、上海洋山(四期)

上海港洋山四期位於東海大橋以南，年設計吞吐量為 630 萬 TEU，於 2012 年進行自動化評估，2014 年由經國家發改委核准後於同年 12 月 23 日正式開工，其建設部分在 2016 年底完成土建部分，2018 年底完成竣工驗收，預計 2019 年上海洋山港將會陸續增加設備，期再提升運行效率及吞吐量。自動化流程與相關機具於 2017 年底啟動測試營運作業。機具的部分包括遠端遙控之橋式機、AGV、門式機、TOS 系統等，是目前全球規模最大之自動化作業碼頭。

#### 三、青島前灣(四期)

青島港為全球第 7 大貨櫃港，址位於太平洋西岸中國青島市的大型港口集群，係由青島港舊（大港）港區、黃島油港區、前灣保稅港區和董家口港區等四大港區組成。舊港區位於青島市中心，目前僅

保留散雜貨、郵輪及內貿貨櫃裝卸，外貿貨櫃業務則集中在前灣港區。青島港於2013年10月就現地已有既有碼頭及後線傳統櫃場進行自動化作業之規劃，相關土建及機具採購於2014年起同步進行在2016年9月完工後，於2017年5月正式啟用。

表 3.2-1 廈門、上海及青島港自動化發展規模一覽表

項目		廈門遠海 (2016年3月啟用)	上海洋山四期 (2017年12月10日試營運)	青島前灣四期 (2017年5月啟用)
碼頭配置	岸線	583(1席)/1,508公尺(4席)	2,350公尺(7席)	670(2席)/2,088(6席)
	縱深	810公尺	平均500公尺	784公尺
	儲區形式	平行式(既有改建)	垂直式(新建)	垂直式(新建)
機具設備	橋式機	3部單吊雙小車(人工)；遠端遙控預計2017年底導入測試	初期16部遠端遙控雙吊雙小車；遠期26部	7部遠端遙控單吊雙小車
	AGV	18台AGV，空車時速約20公里，載重時速約10公里	初期80台AGV，空重車時速皆可達25km；遠期130台	38台AGV，空重車時速皆可達25km
	ARMG (自動化門機)	16部(7 ROW)	初期88部(10 ROW)； 遠期120部	38台(9 ROW)
作業效率	實際運作	每小時約28個動作	測試中	每小時約20個動作
投入成本	建設經費	6.58億RMB(含改建)	139.6億RMB(含土建)	40億RMB(含土建)
	回收年期	-	-	12-15年(滿載營運)

資料來源：臺灣港務股份有限公司

表 3.2-2 106年6月中國大陸交通運輸部公布智慧港口示範工程名單

序號	示範省份	項目	實施單位
1	遼寧省	大連港「壹港通」智慧物流跨界服務大平台示範工程	大連港集團有限公司
2	河北省	京津冀協同的「一鍵通」大宗乾散貨智慧物流示範工程	河北港口集團有限公司
3		港口企業危險貨物智能化安全管理示範工程	唐山港集團股份有限公司
4	天津市	京津冀港口智慧物流協同平台示範工程	天津港(集團)有限公司
5	山東省	港口物流電商雲服務平台示範工程	青島港國際股份有限公司
6	江蘇省	海江河全覆蓋的港口安全監管信息平台示範工程	江蘇省交通運輸廳港口局
7		江海聯運一體化全程物流供應鏈港口智慧物流示範工程	南京港(集團)有限公司
8	上海市	基於港口網絡的江海聯運智慧物流示範工程	上海國際港務(集團)股份有限公司
9	浙江省	港口企業危險貨物標準化程序化智能化管理示範工程	寧波舟山港股份有限公司
10	福建省	廈門國際航運中心港口智慧物流平台示範工程	廈門港務控股集團有限公司
11		省級港口危險貨物安全監管綜合服務平台示範工程	福建省港航管理局
12	廣東省	網際網路+港口物流智能服務示範工程	廣州港集團有限公司
13	安徽省	面向內河中小港口多式聯運智慧物流平台示範工程	安徽皖江物流(集團)股份有限公司

資料來源：中國大陸交通運輸部公開訊息

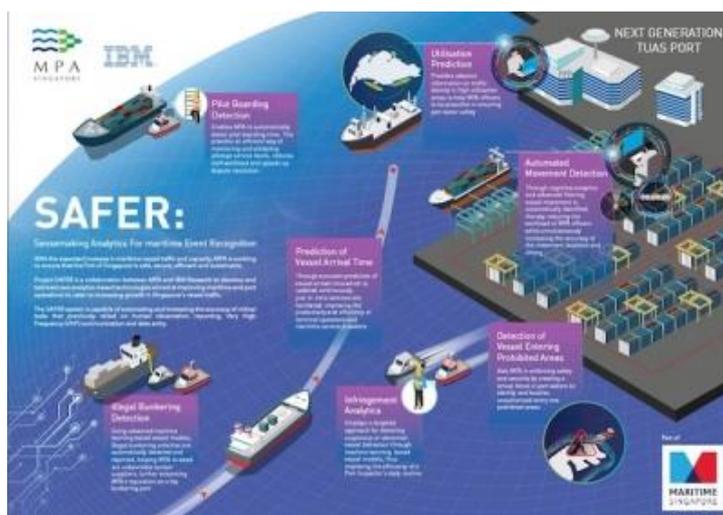
### 3.3 新加坡港-智慧國家 2025 計畫

新加坡係位於東南亞，同屬海島型國家，其土地狹小也缺乏天然資源，但透過優越的地理位置、港口的優勢以及運用科技之高生產力，積極投入發展海運服務及相關產業，如今已為全球頂尖之海運樞紐港。其政府十分重視和鼓勵科技企業創新，其相對優越的科創環境，使其成為吸引新興科技與技術產業人才的發展地。新加坡原以高效率的海關和便捷的進出口貿易流程著稱，在貨物通關和許可證申辦等方面，新加坡港運用網路平台系統先進訊息管理系統(TradeNet、PortNet、MarineNet)實現了高效的訊息管理，集合了政府部門、航商、物流、金融和法律等服務機構共同運作，另設有海事單一窗口，實現即時電子商務和一站式通關服務。

新加坡國際港務集團 (PSA Internation) 於 2018 年 4 月宣布推出全球性的共用貿易和供應鏈平台「CALISTA」。由於目前全球供應鏈流程存在許多效率改善之問題，尤其業者在數據資料方面缺乏統一性，在支付和保險方面也面對金融風險。透過 CALISTA 平台，協助海運業者能更好地處理貨物運載、貿易融資和規範，製造商將能直接掌握貨品動向，物流業者也能進而為客戶提供更具增值潛能的供應鏈方案，實為全球供應鏈邁向數位化的催化劑。新加坡財政部於 2017 年則宣布推出「互聯貿易平台」(Networked Trade Platform, NTP)，以整合原有的 TradeNet 及 TradeXchange 平台，目標是讓企業數位化和簡化貿易流程以提高生產力和競爭力，進而提升新加坡貿易中心的地位。該平台是把貿易商、物流服務公司、貨運公司和銀行等業者聚集在一起，讓貿易商可以直接取得各種企業對政府 (B2G)、企業對企業 (B2B) 的服務。未來在進出口貨物時，可透過平台申請進出口許可證、申報海關、安排和追蹤貨運、申請融資等手續，相關文件資料(如發票和許可證等)也以數位形式儲存在平台後端的資料庫可供隨時取得。

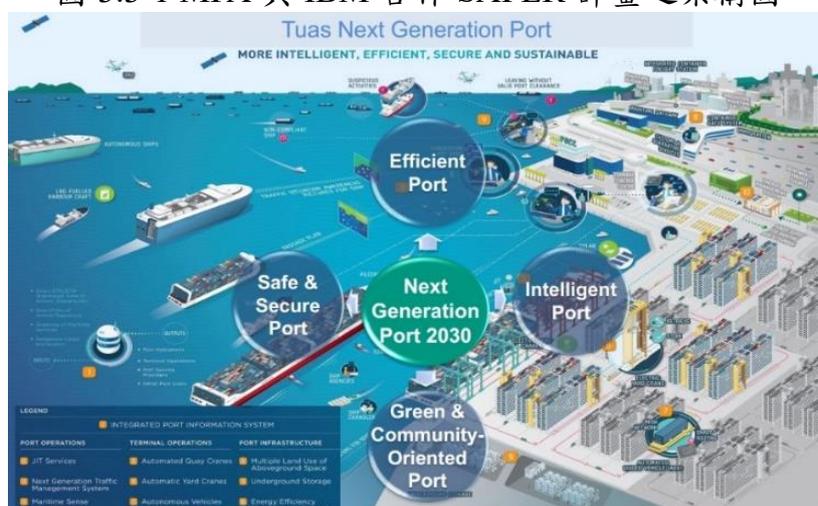
為維持在國際的重要海港運輸地位，新加坡致力於建造更有智慧的港口。2014 年，新加坡政府公布了「智慧國家 2025」十年計畫，是全球第一個智慧國家藍圖。其中「使數據、先進的通信與運算技術資本化」之戰略，將加強運用先進的互聯與運算技術，使數據分析成為一個企業在擬定營運及管理策略的強大工具。其三大內涵除了「提高收集、傳輸和分享資料的

水準」、「建置全國性的感測器網絡」外，第三項就是將新加坡港轉型成一個數據港。因此在推動港口數位化之策略中，新加坡海事及港務管理局(MPA)與 IBM 合作，共同建置港口和海上事件識別系統(Sense-making Analytics For Maritime Event Recognition, SAFER)，透過 7 個子系統來推動智慧港的雛型，其功能包括：港區內船舶自動監測、船舶燃料分析、船舶到港預測、泊位利用率監測和預測、領港登船監測、禁航區監測等。



資料來源：新加坡海事及港務管理局

圖 3.3-1 MPA 與 IBM 合作 SAFER 計畫之架構圖



資料來源：新加坡海事及港務管理局

圖 3.3-2 新一代港口-大士港示意圖

除了上述智慧港之應用外，新加坡也積極投入第四代貨櫃港(CP4.0)之建設，將運用互聯網、AI 等智慧技術，並整合操作介面與系統，創造更為安全、永續的自動化作業環境。新加坡積極建設大士港(Tuas)做為示範計畫，將整合新加坡目前四個港之貨櫃作業，把新加坡所有港口設施從中部商業

區移往西部工業區，總共分四階段為期 30 年之發展，並採納新科技提高生產力和效率。包括各類應用智慧化與自動化科技，如貨櫃自動存取系統、導入自動導引車與自動裝卸起重機進行貨物運輸，試驗性運用虛擬實境（VR）協助進行人員訓練，2017 年 8 月新加坡太平船務公司更進一步與 IBM 公司合作採用區塊鏈技術追蹤複合運輸之進度，期改善航運的經營效率、安全性和透明度。

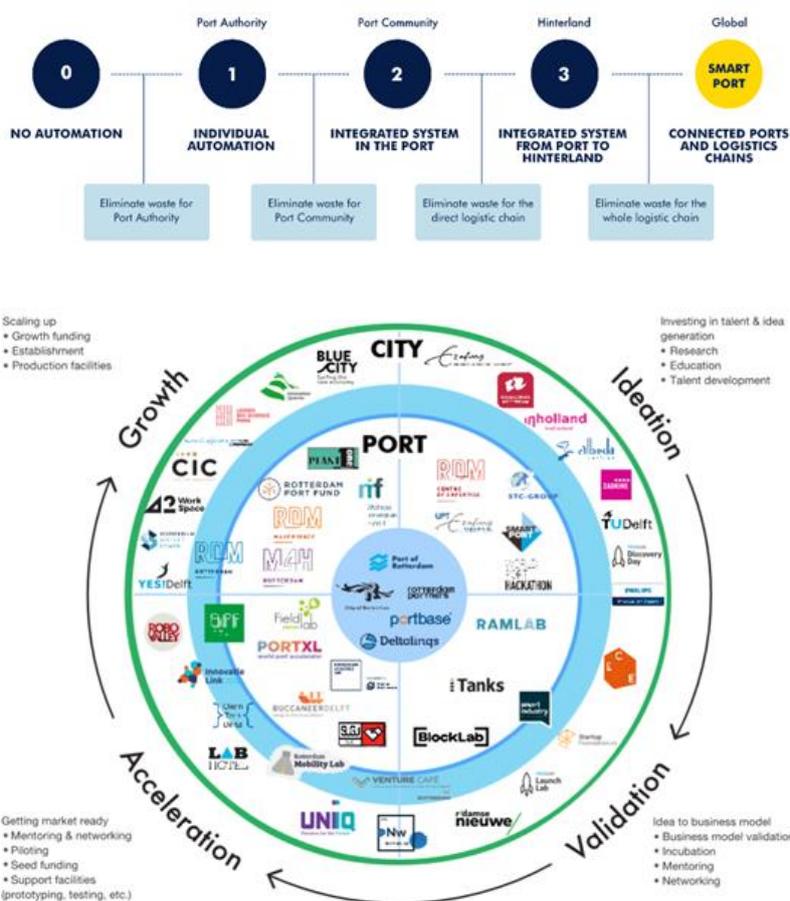
### 3.4 鹿特丹港-港內航運聯網

作為歐洲的最大港-鹿特丹港，一直是歐洲貨物海運的中心，也是亞洲貨物到達歐洲最重要的轉運港。鹿特丹港每年處理超過 4.61 億噸的貨物，並且為超過 14 萬艘船舶提供服務，然而如此龐大的運量，已不能依賴傳統的作業模式，亟需創造一個智慧的解決方案，也就是智慧港口之轉型。因此鹿特丹港務局(Port of Rotterdam Authority, PRA)與 IBM 公司已著手合作進行一項數位化計畫，利用物聯網技術，來改善港口經營環境。

首先是港口環境數位化，在長達 42 公里的港區土地與水域內(從鹿特丹市橫跨北海)，設置了大量的感應器，藉此蒐集許多數據，包括：潮汐、潮流、溫度、能見度、風速、風向、水位高度、可使用泊位及港區氣象等數據。IBM 公司則透過雲端物聯網技術連接數據並進行分析，並將其轉變成鹿特丹港管理層進行擬訂決策的參據。如減少船舶等待時間、協助判斷船舶最佳靠港、裝卸貨物的時機，挪出更多船席以供絡繹不絕的船隻停靠等等。在海氣象層面，可結合氣溫、風速、相對濕度、水位和潮汐潮流等資料，能讓港務管理單位能更精準地預測船舶在港內行駛之最佳時機，使船舶能夠在滿載的情況下，安全、便捷地出入鹿特丹港。其效益除可減少船舶等候進出港之時間 1 小時，也能節省了 8 萬美元成本費用，因此透過數位化之建設，可全面監控所有各種層面營運作業，並且讓流程執行變得更具效率。

鹿特丹港的目標是在 2025 年實現「港內航運連網」(Connected Shipping)，讓船隻可以彼此能連網溝通，自動航行進出港與停泊。除此之外，鹿特丹港將與 IBM、Axians、CISCO 展開長期的合作，來開發更多物聯網及人工智慧(AI)在智慧港口的創新應用。

2018年4月Alphaliner期刊揭露了鹿特丹港已經啟動了鹿特丹世界門戶港碼頭（Rotterdam World Gateway, RWG）<sup>[12]</sup>第二階段擴建的建設投標（如圖3.4-2。擴建計畫主要是往DP World運營的碼頭新增650米的深海碼頭和450米的駁船碼頭。除了碼頭之建造外，還包括新設船席之起重機軌道。RWG是一個由碼頭運營商DP World（杜拜）和四個全球航運公司，APL（新加坡），MOL（日本），HMM（南韓）和CMA CGM（法國），組成的國際聯盟共同營運的，是為未來擴展而設計APMT-2。

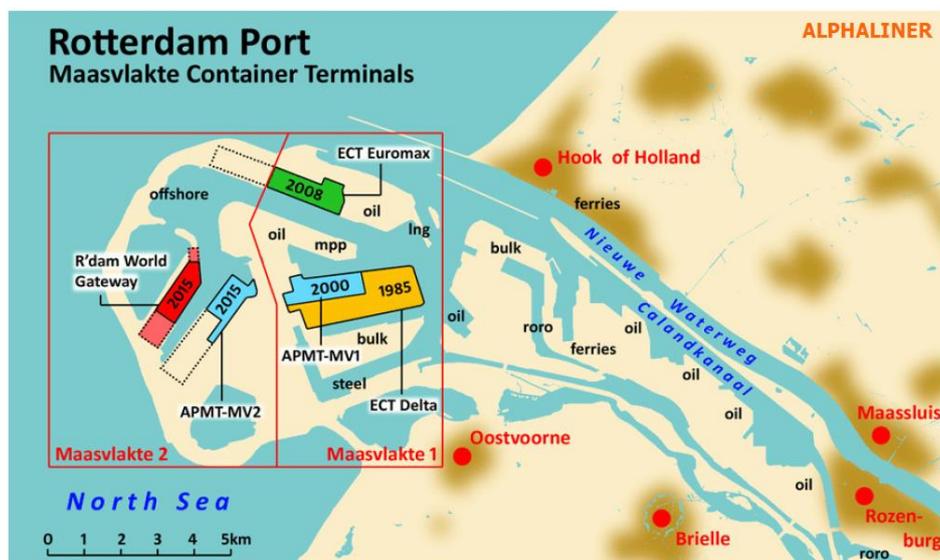


資料來源：鹿特丹港務局

圖 3.4-1 鹿特丹港轉型智慧港之進程與創新生態系統圖

而在整個馬斯弗拉克特左邊靠海的二期碼頭(Maasvlakte2)場域，將推出一個全新的先進系統—貨櫃交換路線或內部軌道(Container Exchange Route, CER)<sup>[13]</sup>。CER 連接 Maasvlakte 的貨櫃公司，並可最大限度地降低貨櫃交換的成本。這項計畫將改善其轉運貨物及儲存之腹地，並提升了鹿特丹作為貨櫃樞紐港的競爭力。CER 可連接港口碼頭的專用基礎設施，物流、IT System、空艙和儲放設施，也整合了貨櫃輸送的流程，使各種運輸工具

不再需要單獨聯繫作業。預計完成後在這個場域每年可交換超過 100 萬 TEU。



資料來源：Alphaliner

圖 3.4-2 鹿特丹世界門戶港碼頭 (RWG) -馬斯弗拉克特港區擴建圖



資料來源：鹿特丹港務局

圖 3.4-3 貨櫃交換路線 (CER, Container Exchange Route) 示意圖

### 3.5 漢堡港-智慧港口-物流與能源

國際港埠協會(International Association of Ports and Harbors, IAPH)是國際海事組織(IMO)下之一個非政府組織(Non-Governmental Organization, NGO)，並非以營利為目的。在持續努力之經營下，IAPH 已逐漸穩定地發展成為一個代表全球性港口聯盟(a global alliance of ports)的協會，該協會

橫跨 90 多個國家，共有 180 個港口會員以及 140 多個港口關係企業。此外，IAPH 的會員整體掌握了 60% 以上的全球海運貿易量，以及近 80% 的全球貨櫃運輸量，是為目前國際上最有影響力之港埠組織，並向聯合國主要機構(ECOSOC、IMO、UNCTAD、UNEP、ILO、WCO 等)提供專業諮詢的組織。IAPH 也定期舉辦年會，採雙年會方式輪流舉辦於美洲、亞太及歐非等三地區。

德國漢堡港與漢堡市的發展息息相關，亦是德國領先物流地區也是德國及北歐之工業發展重鎮，因此漢堡港週邊發展都可獲得良好的支持，使得漢堡港成為企業有吸引力的公司聚點。由於全球化之貿易流，各國競爭越來越激烈，必須滿足客戶不斷增長的需求，如果沒有完美的物流，就無法滿足需求。因此漢堡港務局(Hamburg Port Authority, HPA)非常確定地將效率視為漢堡港最重要的競爭因素，也開始著手利用較智慧的方法，將各種交通流及資訊流加以整合，並透過現代化 IT 技術及資通訊系統加速港口貨物裝載的運作效率，同時也致力思考使用再生能源及以節省資源的方式，成為港口永續發展之動力，以實現轉型為智慧港口的目標。

因此漢堡港官方在數年前便開始與國家經濟事務、交通與創新以及城市發展與環境等部門，合作發展轉型為智慧能源港口的概念，2015 年在漢堡舉行的第 29 屆國際港口協會 (IAPH) 會議中<sup>[14]</sup>，漢堡港務局宣布透過智慧化港口管理方案，達到港口兼顧經濟與生態之發展平衡點。其發展策略組成單元分為智慧能源(smartPORT energy)、智慧物流(smartPORT logistics)2 大部分：

- 一、智慧能源：主要為降低港口相關能耗與排汙，包括鼓勵再生能源的使用、降低傳統能源依賴、藉由資通工具發展提升效率等。
- 二、智慧物流：主要為增進港口經濟效率，融入全球供應鏈的一環。應用 IT 設施，從基礎設施(Infrastructure)、交通流(Traffic Flows)、貿易流(Trade Flows)三方面，促進港口運轉效率的最佳化。

在智慧物流的部分，係利用物聯網以及雲端計算之技術，進行港口內部與周邊之整合訊息，其項目涵蓋了資通訊之基礎建設、交通流、物流、港口監測等項目與各種智慧化應用之項目，如船舶及貨櫃車預計抵達時間、貨櫃車停車管控、虛擬倉庫、軌道門哨管理，其內涵相當於轉型為智慧港

口之整體規劃，其目標為更有效的管理及使用現有港口設施、在港口建設新智慧設施、資訊流最佳化以有效管理貿易流。



資料來源：漢堡港務局

圖 3.5-1 漢堡港智慧物流(smartPORT logistics)示意圖

## 3.6 其他新興科技之應用

### 3.6.1 無人船

由於感測器搭配通訊之技術進展，以及基於雲計算為基礎而衍生的演算法，在人工智慧技術問世後，大量無人駕駛的構想因應而生，包括無人機、無人車、無人巡航飛機以及無人船，因此無人駕駛船可說是應用 ICT 與人工智慧在海運運輸中最为前沿之例子。

無人駕駛較人工駕駛在安全、效率及成本上來得有優勢。德國保險巨擘安聯集團 (Allianz) 旗下安聯全球企業及特殊風險公司 (Allianz GlobalCorporate & Specialty UK, AGCS) 近年發布之安全及航運報告 (Safety and Shipping Report)<sup>[15]</sup> 指出，75% 以上之海上責任保險案件主因海上事故是人為錯誤的結果。目前，航運業所擁有的大量數據尚未充分利用，如果未來能更好地利用這些數據並加以分析，從中獲得即時的訊息與警報，將能有助減少事故。透過不間斷地進行數據分析，預測性的訊息能有效完成安全航行。

雷達和船舶辨識系統 (AIS) 是船舶在自主駕駛之重要相關訊息。而演算法、智慧軟體、圖像辨識，以及港口端之海氣象資訊及航道即時訊息則

是機器與人工智慧作出決策之驅動力。事實上，近年各國之航運產官學研界也積極投入海上自駕船舶研發計畫，如國際船舶認證組織 DNV GL 的研究人員，正在探索使用無人駕駛的電動船，以及運用在運輸貨物的可行性。知名車廠勞斯萊斯(Rolls-Royce)與 Google、英特爾等科技公司合作開發應用人工智慧之感測系統，運用無人駕駛常見之技術，如遠距離之衛星通訊、多重環境感測等，讓船舶能偵測海上氣象、流湧與船舶周圍之實物動態，以進行評估天候狀況、海象、周遭船舶動態，以及港口停泊狀況等航行資訊。再搭載自主路徑規劃、避險、自動轉向及調速等技術，在不久的未來將能實現安全遠距控制或自主航行之無人船航行計畫。

中國大陸海航科技集團發起了籌組「無人貨船開發聯盟」，其成員包括由中國船級社 (CCS)、美國船級社 (ABS)、挪威船級社 (DNVGL)、中國船舶及海洋工程設計院及上海船用柴油機研究所等，預計於 2021 年推出首艘無人貨船。全球最大航運公司馬士基(Maersk)也在 2018 年 4 月與 Sea Machines Robotics 合作建造的一艘 Winter Palace 冰級貨櫃船，其內涵包括電腦圖像辨識運算、雷射雷達 (LIDAR) 和感知軟體。除此之外，馬士基集團之拖輪公司 Svitzer 2017 年 6 月 20 日已在哥本哈根港完成了拖船 Svitzer Hermod 號之首次遠端操航。

無人船的研發仍處萌芽期，而未來勢必將對國際商港港埠作業產生衝擊，並徹底改變目前船、港口、人員以及貨物之結構性互動，因此我國應持續保持關注自駕船發展趨勢，並預先因應規劃涉及船舶進出港與港埠作業之管理與獎罰規範。

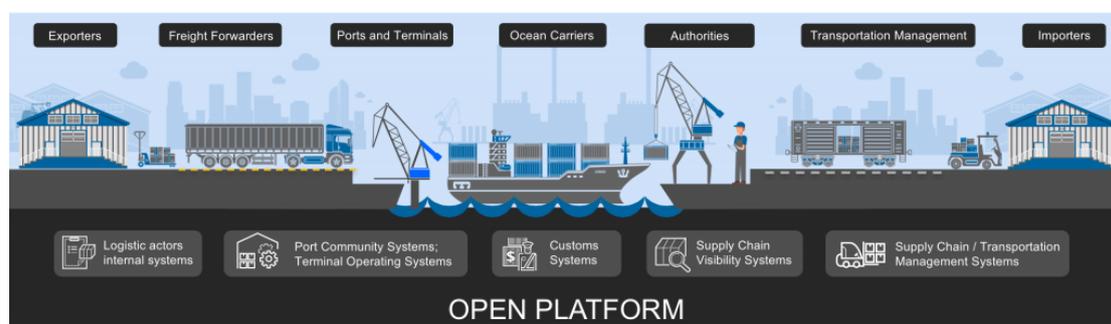
### 3.6.2 區塊鏈

區塊鏈最早源於中本聰(Satoshi Nakamoto)於 2008 年提出的概念<sup>[16]</sup>，運用區塊鏈之技術創造了比特幣 (BTC) 及其協議與軟體。區塊鏈的核心概念是一種分散式帳簿，其原理是透過共享帳本、加密技術、共識演算法以及智能合約等關鍵技術，以達成資料去中心化管理、無法竄改、透明稽核、快速交易與即時追蹤交易流程等優點<sup>[17][18][19]</sup>。

全球最大航運公司馬士基(Maersk)與 IBM 於 2018 年 1 月共同合作推出全球航運區塊鏈解決方案 TradeLens 區塊鏈平台。在整個國際貿易供應

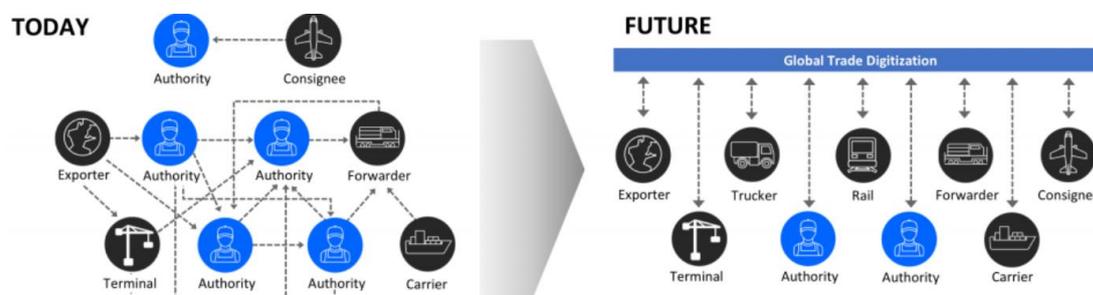
鏈上的所有利害關係人(stakeholders)，如貨主、航商、報關行、海關、港口管理單位、陸地運輸物流業者乃至收貨人，都可以利用這個平台，完成產官組織之業務流程及訊息交流，將過往冗長的貿易流程簡化。譬如，透過區塊鏈平台，貨主與收貨人可隨時追蹤貨物的情況，海關可提前獲取更完整的貨物到關資訊，提前為清關程序做準備；港口管理單位能運用這些資料，最佳化港口調度及泊位安排。該平台在 2018 年 8 月啟用後，目前全球約有超過 90 家企業、機構參與測試。

全球化經濟已帶來世界上快捷的交易網絡，然航運貨櫃運輸目前多以紙本文件進行物流契約及交易訊息之傳遞，並且依賴大量人工之驗證及審查程序。現階段已經有越來越多的港口運營商採用區塊鏈技術來簡化營運流程。2018 年 10 月，荷蘭鹿特丹港也宣布與荷蘭銀行 (ABNAMRO) 合作，推動區塊鏈測試計畫。同年 6 月，阿聯酋阿布達比港口的附屬公司 Maqta Gateway LLC 與比利時之安特衛普港推出了一項區塊鏈試辦項目 Silsal，該項目將進行測試，透過區塊鏈技術處理阿布達比港口到安特衛普港的國際文件，包括自動傳輸、識別與確認貨物等單據。



資料來源：馬士基官網

圖 3.6.2-1 馬士基區塊鏈平台



資料來源：馬士基官網

圖 3.6.2-2 國際貨物運輸轉型數位化之示意圖

## 四、我國發展智慧港口之探討

在全球化港務競爭越演激烈環境下，各國主要國際港口皆投入發展智慧港口，期運用智慧化科技協助港口轉型升級，以提升營運效率與競爭優勢，並維持國際上之競爭地位。在前章蒐整國際上主要港口發展智慧港口項目及趨勢後，應回頭自我審視國內港口目前在智慧化應用之發展現況，以及自我評估在國際港口中競爭之位置與立足點。

立足點係指我國港口相較國際上其他港口在各種比較基準下之位序以及競爭力的排名。各航運研究單位皆有其各自港口定義競爭力之指標，從貨櫃吞吐量、連結度、航線數、高端海運服務事業數量、港埠設施的擴增、裝卸設備效率與自動化程度、專用碼頭承租、集貨航網集匯、可停靠大型船舶之規模，乃至港埠定價如關稅減免、船舶停靠優惠等，其種類繁多皆為競爭力之代名詞，亦是航商考慮之項目。由於資料蒐集不易，許多還是非量化的數據，如關稅政策，就難以訂定比較的基準點，因此在國際上常採用的是可量化也容易蒐集到的數據-貨櫃進出口量。如海運期刊 Alphaliner 定期發布全球港口之排名，其名次序位排列係以港口進出貨櫃量為依據，定期以每 3 個月(1 季)公布前 30 大港口，每一年則公布全球前 100-110 大貨櫃港口之排名(每年公布的名次數量並非固定，2017 年公布的是前 110 名)。

表 4.1 Drewry 期刊港口連結度指標(port connectivity index)排名

Global ranking 4Q17 (3Q17)	Port	Region	Mainline services per week	Number of trade routes served	Connectivity Index score
1 (1)	Shanghai	Greater China	172	6	100.0
2 (2)	Ningbo	Greater China	163	6	94.8
3 (3)	Singapore	South East Asia	158	6	91.9
4 (4)	Busan	North Asia	101	6	58.7
5 (5)	Hong Kong	Greater China	87	6	50.6
6 (6)	Yantian	Greater China	85	6	49.4
7 (7)	Qingdao	Greater China	72	6	41.9
8 (8)	Port Klang	South East Asia	66	6	38.4
9 (12)	Shekou	Greater China	66	6	38.4
10 (9)	Kaohsiung	North Asia	64	6	37.2
11 (10)	Rotterdam	North West Europe	62	6	36.0
12 (11)	Antwerp	North West Europe	61	6	35.5
13 (18)	Colombo	South Asia	59	5	28.6
14 (13)	Savannah	East Coast North America	53	6	30.8
15 (21)	Jebel Ali	Middle East	52	5	25.2
16 (14)	Xiamen	Greater China	52	6	30.2
17 (16)	Guangzhou (Nansha)	Greater China	51	6	29.7
18 (25)	Algeciras	West Med	47	6	27.3
19 (15)	Le Havre	North West Europe	47	6	27.3
20 (17)	New York	East Coast North America	47	6	27.3

資料來源：Drewry Container Insight Weekly

除以貨櫃進出口量為排名依據外，期刊 Drewry 則是以連結度指數作為港口排名之依據<sup>[20]</sup>。該指數將全球貿易區域劃分為七個主要區域，並根據所服務的區域數量和每週主要航線的數量作為每個港口的連結度。其中涉及轉運的路線以及區域航線的部分皆不計算在內。

表 4.2 ALphaliner 期刊 2017 年前 110 大貨櫃港口排名示意表  
**Top 110 container ports in 2017**

Rank	Port Name	Country	2017 Mteu	2016 Mteu	% Growth
1 (1)	Shanghai	China	40.23	37.13	8.3%
2 (2)	Singapore	Singapore	33.67	30.90	8.9%
3 (3)	Shenzhen	China	25.21	23.98	5.1%
4 (4)	Ningbo	China	24.61	21.57	14.1%
5 (5)	Hong Kong	China	20.76	19.81	4.8%
6 (6)	Busan	S Korea	20.47	19.46	5.2%
7 (7)	Guangzhou	China	20.37	18.86	8.0%
8 (8)	Qingdao	China	18.30	18.01	1.6%
9 (9)	Los Angeles/Long Beach	USA	16.89	15.63	8.0%
10 (10)	Dubai	UAE	15.37	14.77	4.1%
11 (11)	Tianjin	China	15.07	14.52	3.8%
12 (13)	Rotterdam	Netherlands	13.73	12.39	10.9%
13 (12)	Port Kelang	Malaysia	11.98	13.17	-9.0%
14 (15)	Antwerp	Belgium	10.45	10.04	4.1%
15 (16)	Xiamen	China	10.38	9.61	8.0%
16 (14)	Kaohsiung	Taiwan	10.27	10.46	-1.9%
17 (17)	Dalian	China	9.70	9.58	1.2%
18 (18)	Hamburg	Germany	8.86	8.93	-0.8%
19 (19)	Tanjung Pelepas	Malaysia	8.38	8.28	1.2%
20 (20)	Laem Chabang	Thailand	7.78	7.23	7.7%
21 (21)	New York/New Jersey	USA	6.71	6.25	7.3%
22 (22)	Yingkou	China	6.28	6.09	3.1%
23 (23)	Colombo	Sri Lanka	6.21	5.73	8.3%
24 (26)	Jakarta	Indonesia	6.07	5.51	10.1%
25 (24)	Ho Chi Minh City	Vietnam	5.94	5.64	5.4%
26 (25)	Suzhou	China	5.88	5.63	4.5%
27 (27)	Bremerhaven	Germany	5.51	5.49	0.5%
28 (29)	Tokyo	Japan	5.05 <sup>est</sup>	4.73	6.6%
29 (30)	Valencia	Spain	4.83	4.73	2.1%
30 (32)	Manila	Philippines	4.82	4.52	6.7%
31 (31)	Lianyungang	China	4.72	4.69	0.6%
32 (33)	Nhava Sheva	India	4.71	4.52	4.3%
33 (35)	Haiphong	Vietnam	4.45	4.10	8.6%
34 (28)	Algeciras	Spain	4.39	4.76	-7.9%
35 (34)	Jeddah	Saudi Arabia	4.15	4.20	-1.1%
36 (38)	Piraeus	Greece	4.15	3.74	10.9%
37 (37)	Felixstowe	UK	4.05 <sup>est</sup>	4.02	0.9%
38 (39)	Savannah	USA	4.05	3.64	11.0%
39 (43)	Mundra	India	3.98	3.32	20.0%
40 (42)	Salalah	Oman	3.95	3.33	18.7%
41 (40)	Santos	Brazil	3.85	3.56	8.1%
42 (36)	Khor Fakkan	UAE	3.80 <sup>est</sup>	4.03	-5.7%
43 (41)	Surabaya	Indonesia	3.50 <sup>est</sup>	3.35	4.3%
44 (47)	Tanger Med	Morocco	3.31	2.96	11.7%
45 (48)	Vancouver (BC)	Canada	3.25	2.93	11.0%
46 (46)	Rizhao	China	3.22	3.01	7.0%
47 (44)	Marsaxlokk	Malta	3.15	3.08	2.1%
48 (52)	Ambarli	Turkey	3.12	2.78	12.3%
49 (55)	Incheon	S Korea	3.04	2.68	13.5%
50 (54)	Fuzhou	China	3.01	2.68	12.2%

資料來源：Alphaliner

## 4.1 港口競爭力分群探勘－以高雄港為例

在瞭解國際上智慧港口之趨勢，及其發展原由皆係為提高在國際上之競爭力後，應客觀地自我審視我國港口競爭力的狀況。本節試圖了解目前我國港口(以高雄港為例)在不同檢視條件(連結度、航運中心指標、航線數等與裝卸量及成長率)下，與國際港口在競爭力上之相對位置，最直接的方法採用集群分析法(Cluster Analysis)。

### 4.1.1 階層式與非階層式分群法

集群分析是多變量分析(Multivariate Analysis)中將資料精簡(Data Reduction)的一種技術，目的是由從海量且看似雜亂無規律之原始資料中，透過設定觀察變數層面進行數據探勘，並分離出幾個資料數量較少的群組，使得群組內的分子在設定變數之測量值皆很類似，而各群組間的差異在該變數中差異較大，將大量資料分成少數的同質性次群體(Homogeneous Subgroups)，以達到分類、分群的目標。集群分析也是機器學習(Machine Learning)中的非監督式學習(Unsupervised Learning)，其分群方法可分為階層式分群法(Hierarchical)與非階層式分群法(Nonhierarchical)。

#### 一、階層式分群(Hierarchical)

利用階層式之集群分析不需要預先設定分群組數，其概念是在分群中自然產生集群，是根據資料其變數之距離遠近所產生的分群結果。其分群原理分為由下往上聚合(agglomerative hierarchical clustering)，或是由上往下分裂之方式(divisive hierarchical clustering)，因此其呈現方式是樹狀結構圖。

##### (一) 聚合法(agglomerative hierarchical clustering)

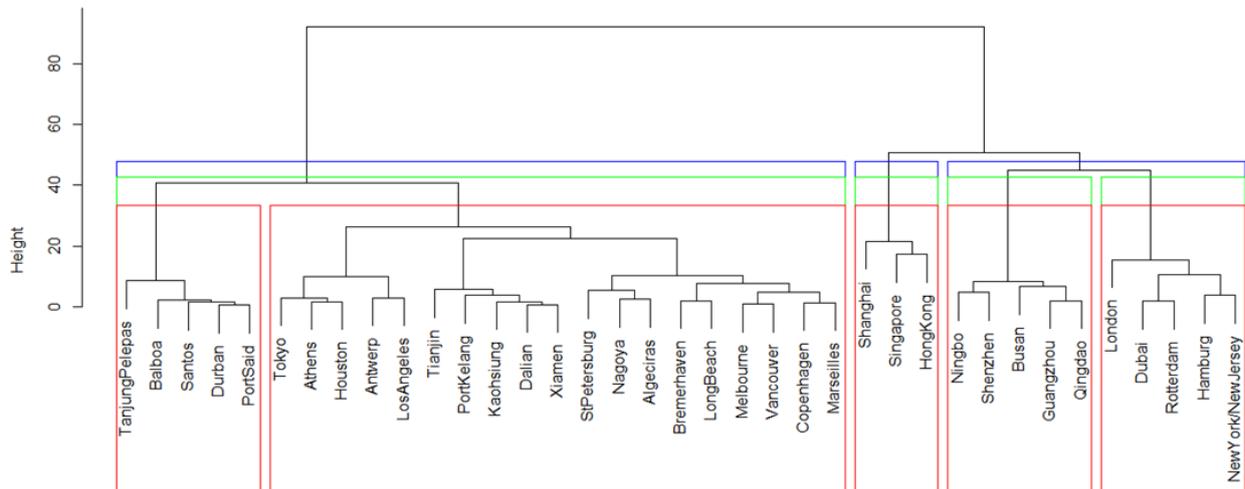
由樹狀結構的底部開始，將資料或分群逐次合併。起初將每一筆資料視成一個群組(cluster)，若有  $n$  筆資料，則可視成  $n$  個群組，並依底下演算法形成聚合樹：

1. 將每筆資料視成一個群組， $C_i, i=1$  to  $n$ 。
2. 找出所有群組間，距離最近的兩個群組  $C_i, C_j$ 。
3. 合併  $C_i, C_j$  成一個新的群組。
4. 若目前群組數量大於設定的群數，則重複前述步驟匯聚出更少的群組。

## (二) 分裂法(divisive hierarchical clustering)

由樹狀結構的頂端開始，逐次分裂分群。起初將所有資料視成一個群組 (cluster)，並依底下演算法形成分裂樹：

1. 將所有資料視成一個群組  $C$ ，內包含  $n$  筆資料  $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ 。
2. 找出所有的資料間，距離中心最遠的資料  $x_i$ 。
3. 將此筆資料自群組  $C$  分裂出來並形成子群組  $N$ ，剩餘群組稱為  $C_m$ 。
4. 計算剩餘群組  $C_m$  的每個資料點  $m$  與本身群組  $C_m$  距離(記為  $d(C_m, m)$ ) 與  $N$  距離(記為  $d(N, m)$ )。
5. 若  $d(C_m, m) > d(N, m)$ ，則將該資料點  $m$  併入新群組中。
6. 若目前的群組數量小於設定的群組數，則重複前述第 2-5 步驟，分裂出更多群數。



資料來源：本研究繪製

圖 4.1.1-1 階層式分群示意圖

## 二、非階層式分群(Nonhierarchical)

非階層式集群分析法不同於階層式分群法，係由最上或最下去分裂或聚合，而是就資料集依據各個資料樣本之間的距離遠近，直接將資料集切割成指定群數，達到分群之目的：使群內差異小、群間差異大。最常使用者為「K 平均數分群法(K-means Clustering)」。此方法主要目標是在大量資料中，快速找出具有代表性的資料點，這些資料點稱為群中心，再將相近的特徵邏輯分成  $K$  群，其目的是希望盡量減小每個群組中每一資料點與群中心的距離平方誤差 (square error)，使其群間誤差極大化。而同一分群裡需具有類似特徵，不同分群必須具有相異之區別特性，方能達到分群分類

之用意。其觀測值間之距離計算，公式如下：

$$\arg \min \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} \|x_j - \mu_i\|^2$$

式中，

$\mu_i$ ： $S_i$ 群體的平均數；

$x_j$ ：第 $j$ 個資料點；

$k$ ：分群的總群數；

$j = 1, 2, 3, \dots$  資料總筆數； $i = 1, 2, 3, \dots, k$ 。

此方法需要先設定群數，通常若分析之資料量較大(大數據)，多以採用「K 平均數法」較為方便，在效率方面表現較為出色。若資料量較小，則採用階層式分群較為適宜。

透過前述探討可以了解，集群分析係是一種將樣本觀察值進行分析後，將某些具有共同特性的觀測資料或樣本予以整合，並依相對距離的遠近進行歸類，將類似者聚集並分類為不同集群，使得集群分析的結果達到「群內差異最小、群間差異最大」的一種分析方法。簡言之，分群(Sequence)是將異質母體中區隔為較具同質性之群組。本章集群分析部分考量數據量之大小以及精確性，爰採用階層式分群法進行高雄港在不同檢視指標之全球港口競爭力分群。

#### 4.1.2 距離之選取

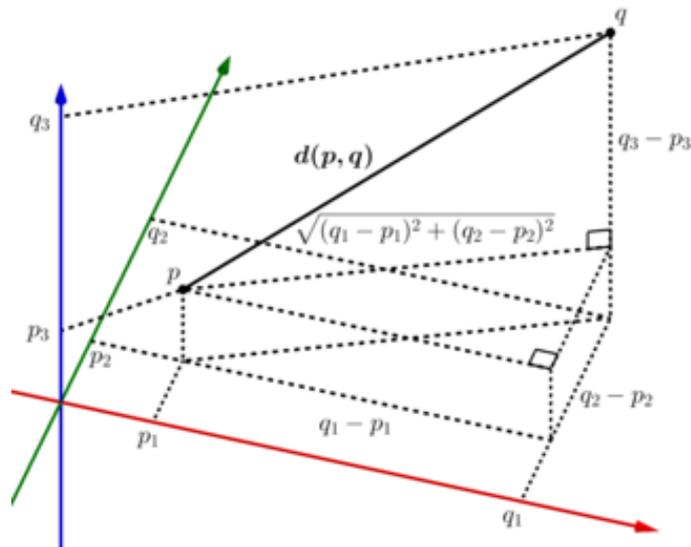
由於在階層式分群時常需要估算不同樣本之間的相似性之衡量(Similarity Measurement)，這時通常採用的方法就是計算各資料樣本間的相似量度(距離量度，distance measure)。因此分群的重要關鍵一環是距離的選擇，不同的距離選擇方法，也可能會造成不同的分群結果，而方法之選擇須就資料特性以及研究所需而訂定。又「距離」可分為「點間距離」和「群間距離」，本節將常用的距離量度方法分述如下：

##### 一、點間距離

係指群組內各資料點間之距離，以組間距離來判斷哪些資料放在同一群中，常用的有：歐幾里得距離(Euclidean Distance)、曼哈頓距離(Manhattan distance)、切比雪夫距離(Chebyshev Distance)、馬氏距離(Mahalanobis Distance)等。

(一) 歐幾里得距離(Euclidean Distance)：又稱歐式距離，係指中兩點間的直線距離，也是最直觀易於理解的一種距離計算方法。其假設是，若  $p$ 、 $q$  是歐式空間之兩個點， $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$  and  $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ ，其計算  $p$ 、 $q$  兩點間之公式如下：

$$\begin{aligned} d(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = d(\mathbf{q}, \mathbf{p}) &= \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2 + \dots + (q_n - p_n)^2} \\ &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}. \end{aligned} \tag{1}$$



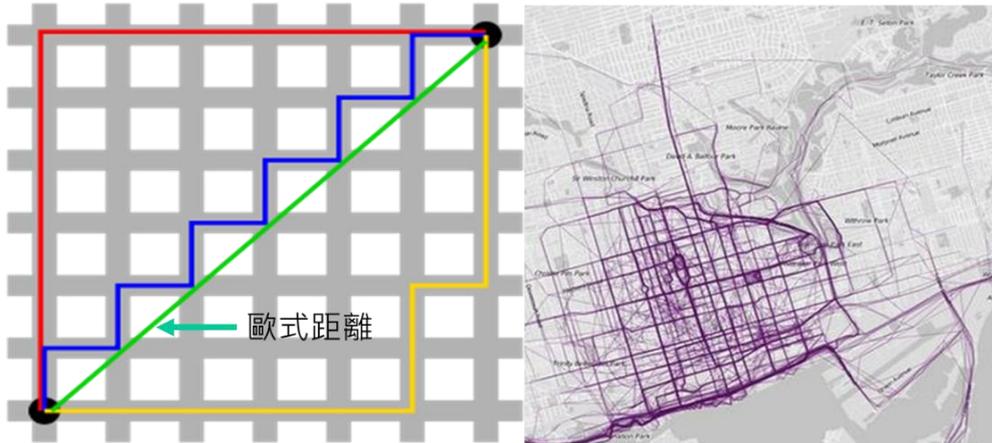
資料來源：維基百科

圖 5.1.2-1 歐幾里得距離示意圖

(二) 曼哈頓距離(Manhattan distance)：又稱計程車幾何(Taxicab geometry)或方格線距離，顧名思義係指由市區的一個十字路口開車到另一個十字路口，計算的是駕駛距離而非兩點間的直線距離，而這個實際駕駛距離稱為「曼哈頓距離」。在交通以及車流模擬中常用到此種距離算法。如圖 5.1.2-2，兩點間之直線距離係指歐式距離(綠線)，其於黃線、藍線及紅線則是不同之曼哈頓距離。

(三) 切比雪夫距離 (Chebyshev Distance)：又稱棋盤距離，若二個向量或二個點  $p$ 、 $q$ ，其座標分別為  $p_i$  及  $q_i$ ，其切比雪夫距離定義為其二個點之間各座標數值差的最大值，其公式如下：

$$D_{\text{Chebyshev}}(p, q) := \max_i (|p_i - q_i|).$$



資料來源：維基百科；本研究整理

圖 5.1.2-2 歐幾里得距離與曼哈頓距離之差異

在分群的概念中，距離最小的樣本群會先集結，之後迭代再找距離較大者集結，其中選取距離較重要且較常使用到的係以歐氏距離為主。考量觀察指標之資料特性，以及衡量高雄港競爭力之指標，並未加工設計人為判定之權重，本研究亦採用綜觀且直接明瞭的歐式距離為組內距離。

## 二、群間距離

各群組間的融合是找距離最接近的兩個群組，結合成新的一個群組，然而群組間的距離認定方式也有各種不同的計算方法，茲將介紹如下：

- (一) 單一聯結法 (Single Linkage)：又稱為最近法，定義係指其群組  $C_i$  至群組  $C_j$  任意 A、B 兩點間距離之最小值，做為組間距離。其公式為：

$$d(C_i, C_j) = \min_{a \in C_i, b \in C_j} d(a, b)$$

- (二) 完全聯結法 (Complete Linkage)：又稱最遠法，定義係以群組  $C_i$  至群組  $C_j$  任意 A、B 兩點間距離之最大值，做為組間距離。其公式為：

$$d(C_i, C_j) = \max_{a \in C_i, b \in C_j} d(a, b)$$

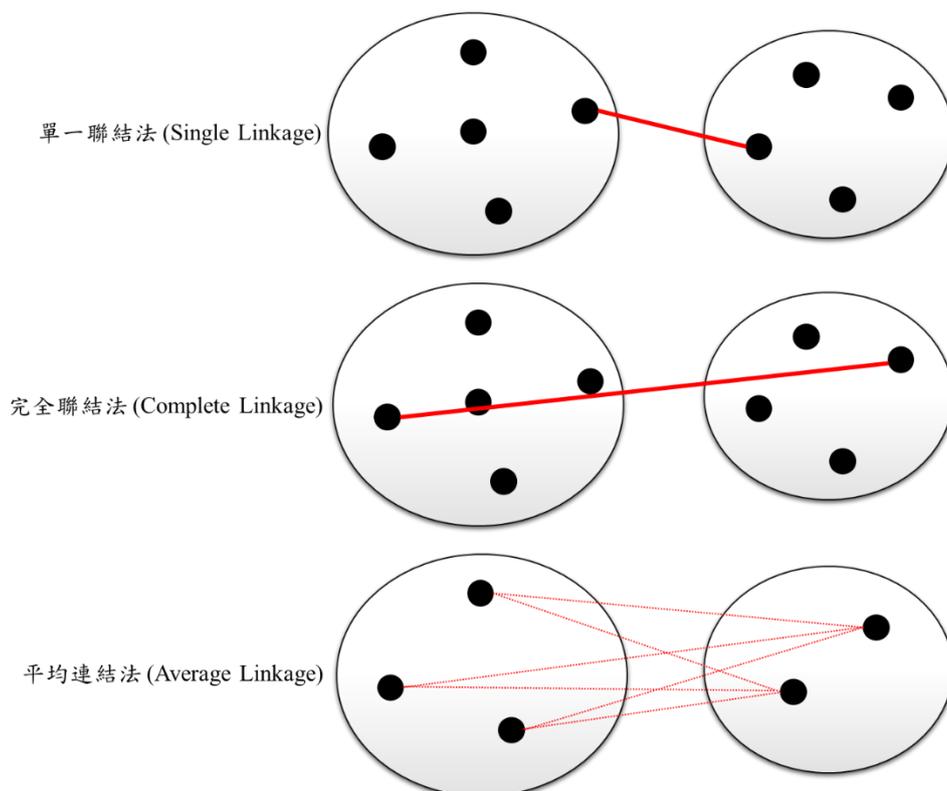
- (三) 平均法 (Average Linkage)：以群組  $C_i$  至群組  $C_j$  之中心點之距離，做為組間距離。 $|C_i|$  與  $|C_j|$  表示其群組內之資料數量，其公式為：

$$d(C_i, C_j) = \frac{\sum_{a \in C_i, b \in C_j} d(a, b)}{|C_i| |C_j|}$$

(四) 華德法(Wards Method)：又稱最小變異數法(minimum variance method)，其分群方式是先將每一個個體視為一個集群，然後將各集群依序合併，合併之順序完全視合併後集群之組內總變異數之大小而定。凡群內總變異數最小的個體則優先合併，換言之，愈早合併之個體表示其相似性愈高，而其分群效果則更容易收斂至「群內差異小、群間差異大」之效果。其中  $\mu$  為新群組的平均值，其公式為：

$$d(C_i, C_j) = \sum_{a \in C_i \cup C_j} \| a - \mu \|^2 \quad (2)$$

由於單一連結法以及完全連結法，容易導致形成單一個體群集，許多研究多係以平均連結法或華德法為主。而華德法則是以獲得一個最小的誤差平方和為「目標函數」(objective function)，從逐漸合併而成的集群數中，找出一個最能滿足目標函數的理想解。華德法在處理稍具離群或異常之點位功用較佳，其分群的效果也較好，也較適合本研究使用資料之特性，因此本研究採華德法之定義做為群間距離進行分群。



資料來源：本研究繪製

圖 4.1.2-3 組間距離方法示意圖

### 4.1.3 進行集群分析之工具—R 語言

在 4.1.1~4.1.2 節探討方法論後，接下來就是進行分群之實作。R 語言具有自由、免費、開放原始碼的特性，是一種非常適合資料分析的統計軟體工具，各界也廣泛使用於數學應用、資訊工程、生物統計與醫學統計等相關研究，本研究亦使用 R 語言來進行前述探討之階層式分群。使用套件包括 cluster 及 stats 來進行階層式分群以及非階層式(K-Means)，而考量精確度以及 K-means 方法係適用非常大量的數據分析，因此本研究主文係以階層式分群為主，而 K-means 則係為爾後進行機器學習中非監督式學習預留基礎，以利未來資料可更大量、更完全蒐集時進行人工智慧方面之分析。

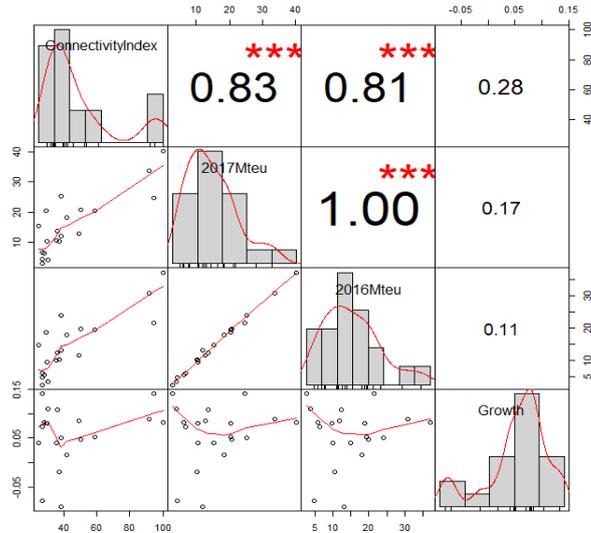
在繪圖與結果顯示部份，本文以 ggplot2 及 factoextra 等套件進行視覺化之顯示，本文亦採主要用於金融及財務方面進行風險分析常用之套件 PerformanceAnalytics，進行相關係數分析及呈現。另本文使用 Tableau 視覺化分析軟體完整呈現港口散布在全球地圖的情形，以及分群結果投射在二維圖之散布狀況。

## 4.2 不同觀察變數之情境分析

本節試圖了解目前高雄港在不同檢視條件下的立足點，以及其他國際港口在競爭力上之相對位置。分群所設定之觀察變數包括：2017 年港口裝卸量(TEU 數)、成長率、Drewry Connectivity Index、航運中心指標，分別資料來源為 Alphaliner、Drewry 及新華-波羅的海共同出版之 2018 國際航運中心發展指數報告<sup>[21]</sup>。

由於 Alphaliner 期刊公布的資料較為完全，包括 2016~2017 年前 100~110 大貨櫃港口之裝卸量及成長率，亦常做為衡量港口競爭力之指標。由於 2016 年及 2017 年貨櫃量資料，在多變量分析中有極高之重合性，相關係數趨近於 1(如圖 4.2-1)，又二者資料屬性類似僅年度上之分別，為避免重複計算貨櫃量之權重，本研究將 2016 年貨櫃量之變數剔除。

因此本節將以 2017 年前 110 大港口之貨櫃量與成長率，做為觀察變數基礎，再加上其他來源之資料進行多種資料融合，以此進行多變量及其觀察情境之集群分析。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2-1 4 變數相關分析示意圖

### 4.2.1 情境一：Drewry 港口連結度指標、裝卸量、年成長率

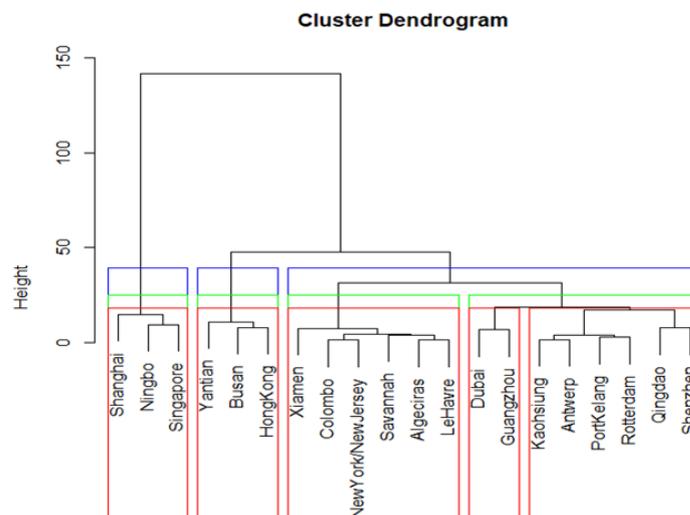
本情境係以 Drewry 港口連結度指標、2017 年港口裝卸量及年成長率做為觀察變數(如表 4.1 及表 4.2)，進行多變量分析之分群。由於分析前之先決條件是必須先進行資料預處理(即資料清理與融合)，而 Drewry 連結度指標僅列 20 個港口，因此在港口欄位進行資料內部融合 (inner join)交集後，進行分群之資料以 2017 年港口貨櫃裝卸量由上而下排序如表 4.2.1-1。

表 4.2.1-1 情境一之處理後資料示意圖

20174Q	20173Q	Port Name	Country	Mainline Services	Number of trade routes	CI	2017Mteu	2016Mteu	Growth
1	1	Shanghai	China	172	6	100	40.23	37.13	0.083
3	3	Singapore	Singapore	158	6	91.9	33.67	30.9	0.089
9	12	Shenzhen	China	66	6	38.4	25.21	23.98	0.051
2	2	Ningbo	China	163	6	94.8	24.61	21.57	0.141
5	5	HongKong	China	87	6	50.6	20.76	19.81	0.048
4	4	Busan	SKorea	101	6	58.7	20.47	19.46	0.052
17	16	Guangzhou	China	51	6	29.7	20.37	18.86	0.08
7	7	Qingdao	China	72	6	41.9	18.3	18.01	0.016
15	21	Dubai	UAE	52	5	25.2	15.37	14.77	0.041
11	10	Rotterdam	Netherland	62	6	36	13.73	12.39	0.109
6	6	Yantian	China	85	6	49.4	12.7	11.7	0.085
8	8	PortKelang	Malaysia	66	6	38.4	11.98	13.17	-0.09
12	11	Antwerp	Belgium	61	6	35.5	10.45	10.04	0.041
16	14	Xiamen	China	52	6	30.2	10.38	9.61	0.08
10	9	Kaohsiung	Taiwan	64	6	37.2	10.27	10.46	-0.019
20	17	NewYork/L	USA	47	6	27.3	6.71	6.25	0.073
13	18	Colombo	SriLanka	59	6	28.6	6.21	5.73	0.083
18	25	Algeciras	Spain	47	6	27.3	4.39	4.76	-0.079
14	13	Savannah	USA	53	6	30.8	4.05	3.64	0.11
19	15	LeHavre	France	47	6	27.3	2.88	2.52	0.141

資料來源：本研究整理

分群結果如圖 4.2.1-1~2，上海港、寧波港及新加坡港聚為一群，鹽田港、釜山港及香港為一群，而高雄港、安特威普港、巴生港、鹿特丹港、青島港與深圳港則為競爭力相當之一群。而投射在裝卸量與連結度指標之二維圖顯示(如圖 4.2.1-2)，上海港、寧波港及新加坡港遙遙領先在前，此與國際上對於競爭力排行之認知相符，而高雄港則落在中段。而深圳港雖然在裝卸量排行第三，但由於航線數不足，在連結度之則排行第 9 名，成長率之排行僅第 13 名，因此在綜合前述競爭力指標下之排行亦往後退。由於 Drewry 港口連結度指標僅以貿易區域數量與每週主要航線的數量合成，且個港口在貿易區域數量欄位中大致相同，因此本項情境僅適於以連結度面向作為衡量競爭力時適用，其參考程度稍低。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2.1-1 情境一階層分群圖



資料來源：本研究繪製

圖 4.2.1-2 情境一分群結果二維散布圖

透過統計軟體進行多變量分析後，僅能直觀地瞭解各港口在競爭力設定觀察變數下之分群情形，必須進一步去勾稽檢視各群組及其港口是否投入發展智慧港(截至 2017 年底)，以此瞭解其趨勢以及潛在的脈絡(如表 4.2.1-2)。

藉由圖 4.2.1-2 及表 4.2.1-2 顯示，經勾稽檢視關聯性後可發現，綜合競爭力指標排名較前位如上海港、寧波港、新加坡港、釜山港、鹽田港之港口，皆投入發展智慧港口，除了以上位計畫透過智慧國家或智慧城市之延伸，也有包含自動化、數位化以及智慧複合運輸等項目。由此可見，國際上重要港口，尤其前幾大之港口皆有投入發展智慧港口之現象，究其因主要係在全球化、船舶大型化等強烈競爭趨勢及轉型之壓力下，各國皆面臨必須提高港埠作業效率，以維持在國際上之競爭力以及鞏固現有之排行地位。

表 4.2.1-2 港口分群結果及智慧港發展之勾稽表

港口	分群	是否發展智慧港 (截至 2017 年底)	備註
Ningbo	1	是	理貨數據匯流平台，提單無紙化
Shanghai		是	無人港、自動裝卸
Singapore		是	智慧國家-金融中心、物流中心、數位通訊
Yantian	2	規劃中	鹽田「智慧港」示範工程
Busan		是	規劃「U-city」智慧城市，包括以智慧港為特色的釜山，半自動化碼頭
HongKong		否	僅初步建置智慧城市
Xiamen	3	是	全自動化、中央控制室
Colombo		否	-
NewYork/		否	-
NewJersey		否	-
Savannah		否	-
Algeciras		否	刻正發展物流鏈
LeHavre		否	-
Dubai	4	是	金融、旅遊、物流中心
Guangzhou		是	根據智慧港口建設理念，以先進數位化港口為建設目標進行中
Kaohsiung	5	規劃中	-

Antwerp	是	區塊鏈
PortKelang	否	僅與上港集團簽訂友好備忘錄
Rotterdam	是	港內航運聯網、貨櫃交換路線(CER)
Qingdao	是	自動化作業碼頭
Shenzhen	是	綠色智慧全球樞紐港，與香港共建國際航運中心

資料來源：本研究整理

#### 4.2.2 情境二：航運中心指標、裝卸量、年成長率

情境二係以新華-波羅的海著 2018 國際航運中心發展指數報告之國際航運中心發展指數、2017 年港口裝卸量及年成長率做為觀察變數，並以此進行多變量分析之分群。其中新華-波羅的海國際航運中心發展指數考量的衡量指標，包括港口條件、航運服務及綜合環境三大項一級指標，其項下都有各自之二級指標，指數之權重計算方式如表 4.2.2-1。

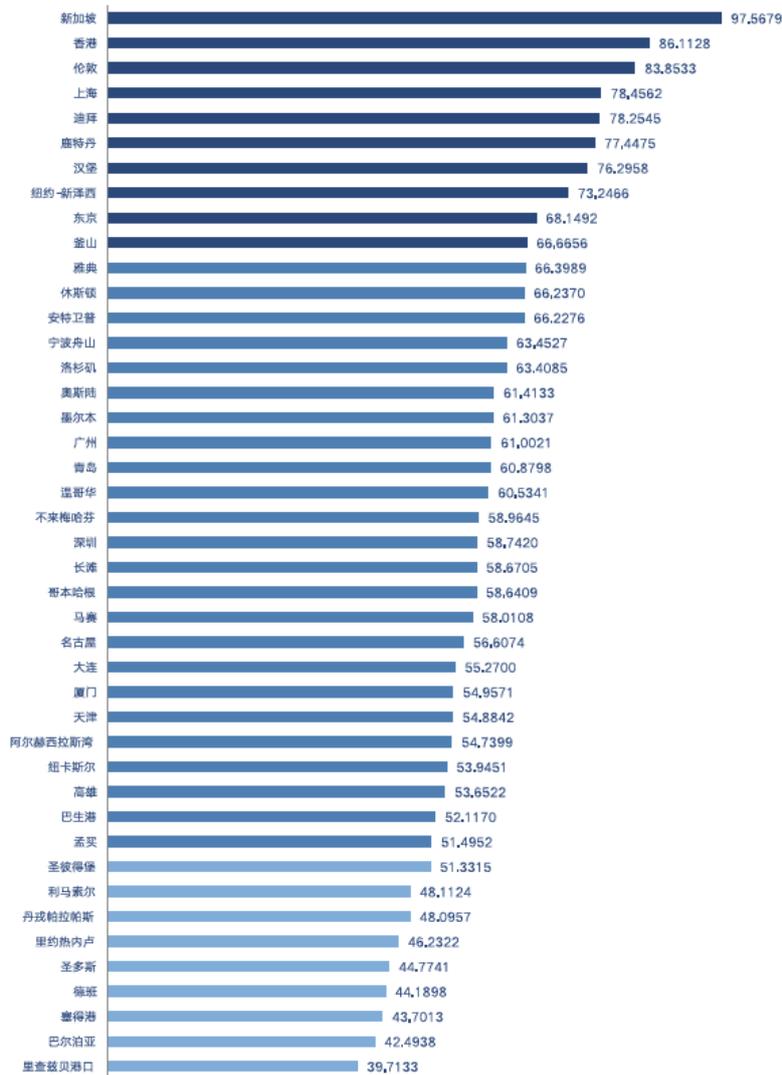
表 4.2.2-1 新華-波羅的海國際航運中心發展指數

一級指標	二級指標	說明
港口條件 權重：(0.2) 主要指港口城市基礎設施狀況及多種類貨物吞吐量現實規模。	貨櫃吞吐量	由水路進、出港區範圍並經裝卸的貨櫃數量。
	乾散貨吞吐量	經過水路運進、出港區範圍，並經過裝卸的乾散貨數量。
	液散貨吞吐量	經過水路運進、出港區範圍，並經過裝卸的液態散貨數量。
	橋吊數量	橋吊是碼頭上用於將貨櫃吊起進行裝卸作業的起重機，橋吊作業能力決定着一個碼頭的貨物吞吐能力。
	貨櫃泊位總長度	貨櫃泊位長度是指用於停靠船舶、進行貨櫃裝卸的泊位實際長度，包括固定的、浮動的各種型式碼頭的泊位長度。
	港口吃水深度	吃水深度，是指船舶在水中沉入水下部分的最深長度，不同船舶有不同的吃水深度。而同一船舶亦根據不同的載重量及所處水域的鹽度，而吃水深度有所不同。港口吃水深度是反映港口容納船舶載重量的重要指標。按照最深的貨櫃泊位的最深前沿水深統計。
航運服務	航運經紀服務	航運經紀掌握著大量船舶買賣信息，推動

<p>權重：(0.5)</p> <p>主要指港口城市航運服務水平狀況，核心體現航運中心通過服務手段在全球配置航運資源的能力。</p>		<p>船舶的快速交割，是航運中介服務業的主要內容。航運經紀依托運輸、保險、金融和貿易等行業的發展，以代理、經紀、諮詢等方式提供專業服務，是航運發展的潤滑劑。係以波羅的海交易所全球航運經紀會員分布情況為主，結合其他因素綜合評價。</p>
	船舶工程服務	<p>船舶工程服務主要包括為船舶製造、維修與質量檢測等方面所提供的服務。船級社作為提供船舶工程服務的重要機構，主要業務是建立和維護船舶與離岸設施建造提供相關技術標準。船舶工程服務以各港口城市擁有船舶公司數量為主，結合其他因素綜合評價。船舶工程公司專業領域為船舶工程、維修、測量、船舶分類界定等業務。</p>
	航運經營服務	<p>航運經營服務是指對船舶的經營管理服務，可以自營，也可以接受委托船舶進行經營。主要考量指標為船舶管理公司的數量，百強貨櫃公司以及乾散貨公司分支機構數量。</p>
	海事法律服務	<p>海事法律服務主要對於在海上或可航水域中造成船舶、財產賠償、損失分攤的特定關係，進行法律層面的問題解決。其中，國際海事仲裁作為航運法律服務的高端產業，是海運貿易的軟實力標誌。係從海事仲裁服務和律所合伙人兩個維度評測海事法律服務水平。</p>
	航運金融服務	<p>航運業作為資金密集型產業，在基礎設施、船舶制造等方面需要大量資金投入。航運金融對航運產業以及國際航運中心建設起著至關重要作用。航運金融服務主要包括船舶融資、航運保險、資金結算和航運金融衍生品四個部分。</p>
	船舶維修服務	<p>船舶維修服務以各港口城市能提供維修服務種類和數量(徹底檢修、普通修理、緊急修理等)為主，結合其他因素綜合評價。</p>

<p>綜合環境</p> <p>權重：(0.3)</p> <p>主要指港口城市航運發展的商業經濟環境與政策配套措施，是國際航運中心發展的重要條件。</p>	政府透明度	政府透明度是關於公開規則、計劃、流程和操作，使人們了解為什麼、怎麼樣、是什麼並且多少的概念。政府透明度可以確保公共官員、公務員、管理人員、董事會成員和商人行為是公開的和可以理解的，並對他們的行為進行報告，這意味着公眾可以追究其責任。這是防止腐敗最可靠的方法，有利於增加我們對這些關係到我們未來的人群和機構的信任。
	政府數字化管理	指政府在為公眾服務時，採用信息通信技術的能力和意願。能力是指政府對國家金融、基礎設施、人力資本、管理、行政和系統功能所提供的支持。而政府為了賦予公民權利而提供信息和知識的意願，是對政府履行承諾的證明。
	經濟自由度	指每個人都有控制他或她自己的勞動和財產的基本權利。在一個經濟自由社會，個人可以自由地工作，以任何方式生產、消費和投資，政府允許勞動力、資本和商品自由流動，避免強迫或約束自由超出必要的程度，保護和維護自由本身。
	關稅稅率	關稅稅率是指海關稅則規定的對課徵對象徵稅時計算稅額的比例。
	營商便利指數	營商便利指數從 1 到 189 為經濟體排名，第一位為最佳。排名越高，表示法規環境越有利於營商。該指數對世界銀行營商環境項目所涉及的 10 個專題中的國家百分比排名的簡單平均值進行排名。
	物流績效指數	綜合分數反映出根據清關程序的效率、貿易和運輸質量相關基礎設施的質量、安排價格具有競爭力的貨運的難易度、物流服務的質量、追蹤查詢貨物的能力以及貨物在預定時間內到達收貨人的頻率所建立的對一個國家的物流的認知。

資料來源：新華-波羅的海年國際航運中心發展指數報告 2018

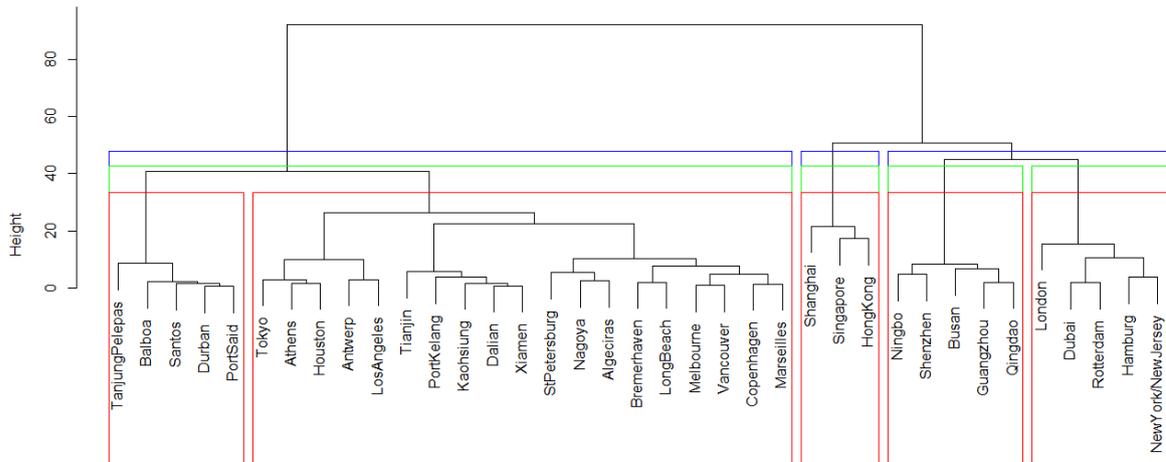


資料來源：新華-波羅的海國際航運中心發展指數報告

圖 4.2.2-1 新華-波羅的海國際航運中心發展指數分類評價結果

由於分群之觀察變數「國際航運中心發展指數」包含了航運服務業之發展，因此本情境係以國際航運中心之概念來詮釋其競爭力。分群結果如圖 5.2.2-2~3，上海港、香港及新加坡港是領先族群，而倫敦港、杜拜港、鹿特丹港、漢堡港以及紐約港則列為第二族群，而高雄港則因臺灣未有高端海運服務業，如倫敦香港之金融服務、海事法律仲裁等，因此國際航運中心發展指數分數較低，在多變量分析及分群後落到較為中後段之群組，在二維圖中亦顯示相同之結果。

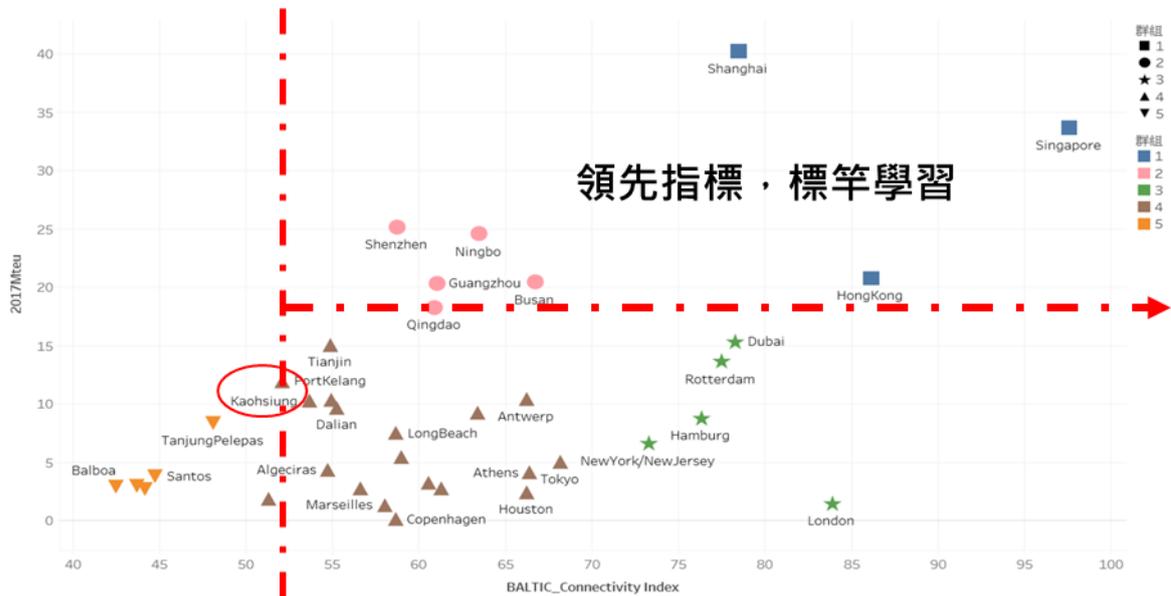
波羅的海指數、TEU數、成長率階層分群



資料來源：本研究繪製

圖 4.2.2-2 情境二階層分群圖

在情境二散布圖中越靠右方及上方的港口，代表綜合競爭力越高，如新加坡港、上海港、香港、漢堡港及鹿特丹港等，皆是競爭力公認數一數二之港口，目前也正積極轉型為智慧港口，因此情境一及情境二之結果，可參考將那些港口當作領先指標，並作為未來發展轉型國際航運中心之標竿學習對象。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2.2-3 情境二分群結果二維散布圖

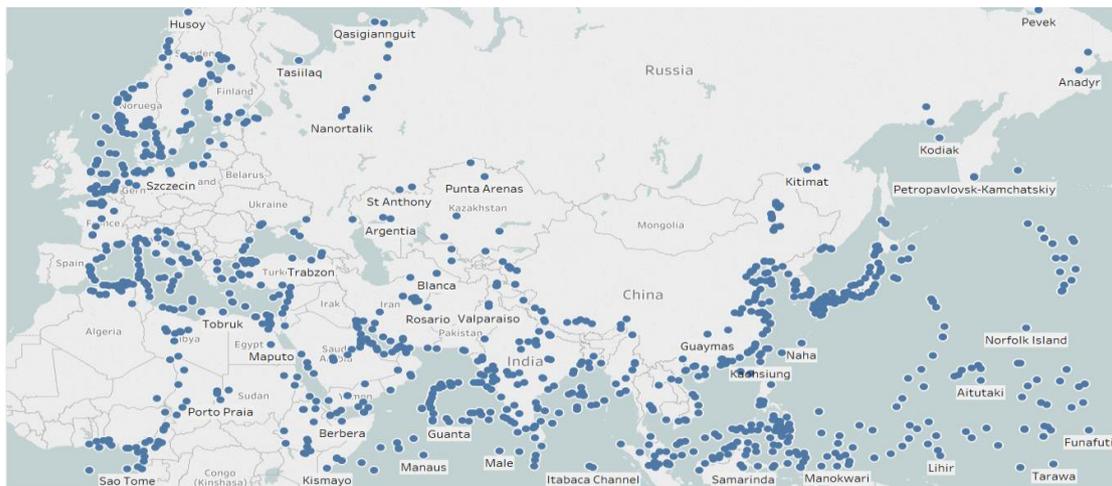
### 4.2.3 情境三：航線數、裝卸量、年成長率

情境三則進一步以本所建置之國際海運資料庫為基礎進行大數據分

析，資料使用係從共 14,565 條航線數，1,076 個港口數共 4,353,023 筆資料 (如表 4.2.3-1 及圖 4.2.3-1) 進行數據清理後，選取與其他變數同為 2017 年 Q4 之時間維度資料(如表 4.2.3-1)，再進一步以篩選出不同航線種類之航線數做為分析變數。航線類別包括全球航線、亞洲區域航線、遠歐航線及越太平洋航線共四種，再融合 Alphaliner 期刊統計資料之貨櫃港裝卸量及年成長率等資料。由於本情境使用之融合後資料量較大，可供進行分析之港口數也較多，因此本情境設定之分群皆分為 5 群，可用更細微之角度觀察高雄港在不同航線類別之競爭力之脈絡。

YEAR_Q	S_CODE	SERVICE	PARTICI	PORT_RC	DURATIO	SERVICE	SERVICE	AVG TE	TEU_MA	NUM_PA	NUM_VE	COMBIN	ROUTE	FE_COMI	FE_ROUT	AREA
季度	航線編碼	航線概要	聯營航商	靠泊港清單	總航行時	投入船隻	投入通能	平均船型	最大船型	參與航商	派船航商	洲級貿易	洲級主要	遠東有關	遠東有關	次區
2011Q2	L00001	AAA1/A/	Orient Ov	Singapore	28	3	11530	3843	4578	7	2	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; S				
2011Q2	L00001	AAA1/A/	Orient Ov	Singapore	28	3	11530	3843	4578	7	2	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; S				
2011Q2	L00001	AAA1/A/	Orient Ov	Singapore	28	3	11530	3843	4578	7	2	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; S				
2011Q2	L00001	AAA1/A/	Orient Ov	Singapore	28	3	11530	3843	4578	7	2	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; S				
2011Q2	L00001	AAA1/A/	Orient Ov	Singapore	28	3	11530	3843	4578	7	2	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; S				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00002	AAE1/AU	China Shi	Shanghai	63	8	32903	4112	4300	2	2	FE-NA; FE-NA; EA-E; EA-E; C				
2011Q2	L00003	AAN	China Shi	Qingdao	7	1	4051	4051	4051	1	1	FERG; FERG; FERG; FERG; CN				
2011Q2	L00003	AAN	China Shi	Qingdao	7	1	4051	4051	4051	1	1	FERG; FERG; FERG; FERG; CN				
2011Q2	L00003	AAN	China Shi	Qingdao	7	1	4051	4051	4051	1	1	FERG; FERG; FERG; FERG; CN				
2011Q2	L00003	AAN	China Shi	Qingdao	7	1	4051	4051	4051	1	1	FERG; FERG; FERG; FERG; CN				
2011Q2	L00003	AAN	China Shi	Qingdao	7	1	4051	4051	4051	1	1	FERG; FERG; FERG; FERG; CN				
2011Q2	L00004	AANA/AJ	ANL Sing	Yokoham	42	5	21581	4316	4578	3	3	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; TCN				
2011Q2	L00004	AANA/AJ	ANL Sing	Yokoham	42	5	21581	4316	4578	3	3	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; TCN				
2011Q2	L00004	AANA/AJ	ANL Sing	Yokoham	42	5	21581	4316	4578	3	3	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; TCN				
2011Q2	L00004	AANA/AJ	ANL Sing	Yokoham	42	5	21581	4316	4578	3	3	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; TCN				
2011Q2	L00004	AANA/AJ	ANL Sing	Yokoham	42	5	21581	4316	4578	3	3	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; TCN				
2011Q2	L00004	AANA/AJ	ANL Sing	Yokoham	42	5	21581	4316	4578	3	3	FE-ZA; FE-ZA; ZA; ZA; TCN				

資料來源：本所國際海運資料庫

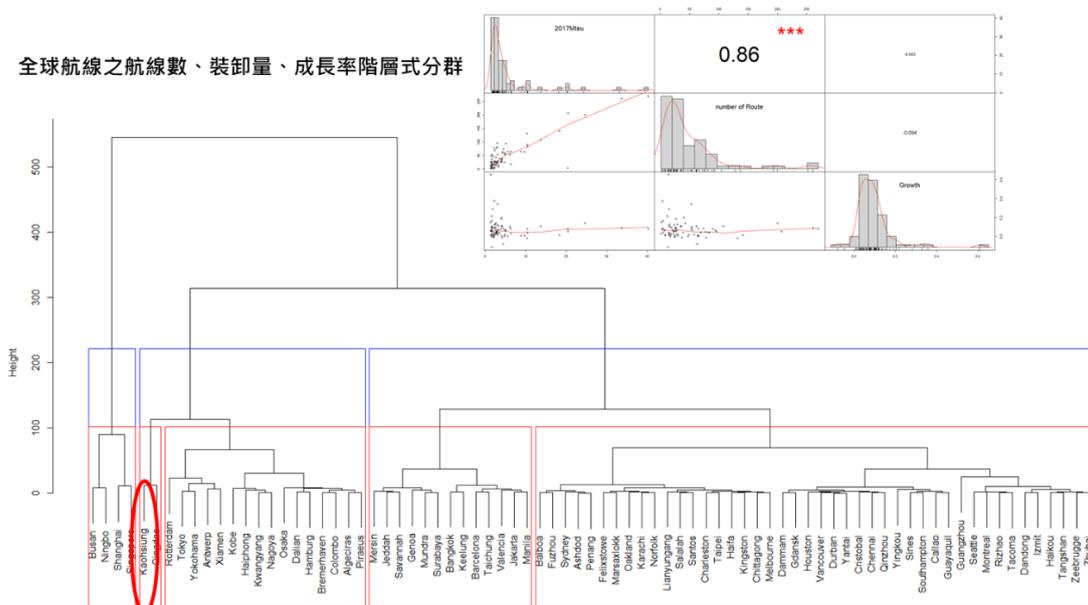


資料來源：本研究繪製

圖 4.2.3-1 全球港口散布圖

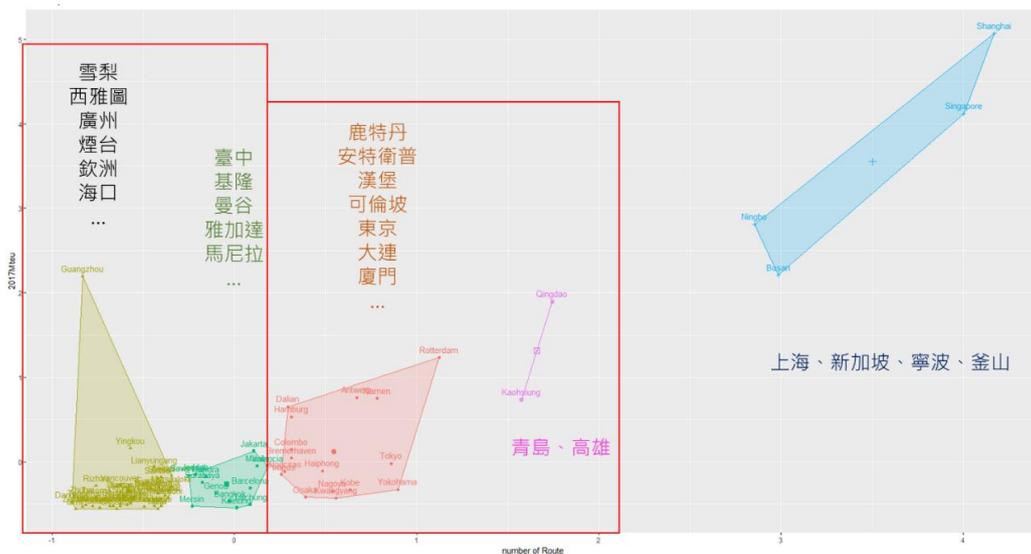
### 一、全球航線

以全球航線之港口航線數、裝卸量及成長率進行之分群結果如圖4.2.3-2~3，上海港、釜山港、寧波港及新加坡港為一群，高雄港及青島港則為一群，其後是鹿特丹港、安特衛普港、漢堡港、可倫坡港、東京港、大連港及廈門港等聚為一群，最後則是臺中港、基隆港、曼谷港等，以及雪梨港、西雅圖港、廣州港、煙台港等二群組。在相關係數分析中，港口之裝卸量與航線數有相當高的正相關，可驗證航線數除了代表與其他國家之在貿易上之連結程度外，亦能作為如裝卸量之競爭力衡量指標。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2.3-2 情境三全球航線階層分群圖

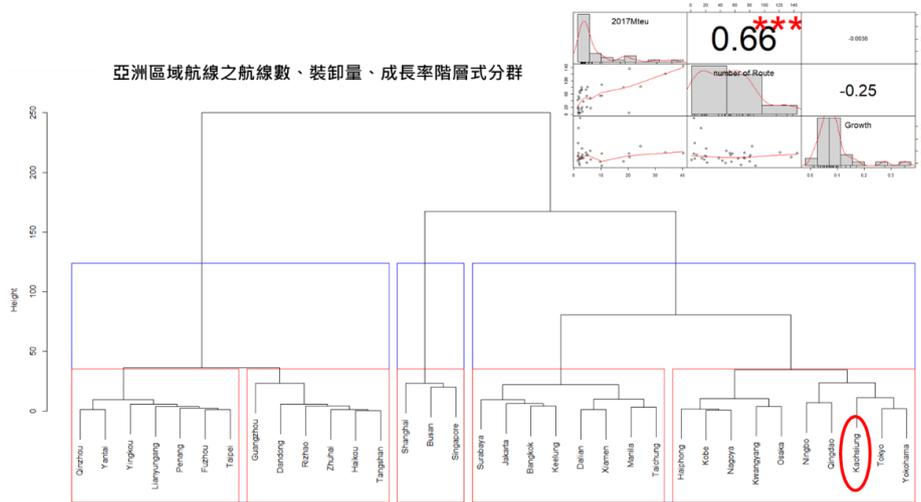


資料來源：本研究繪製

圖 4.2.3-3 情境三全球航線分群結果二維散布圖

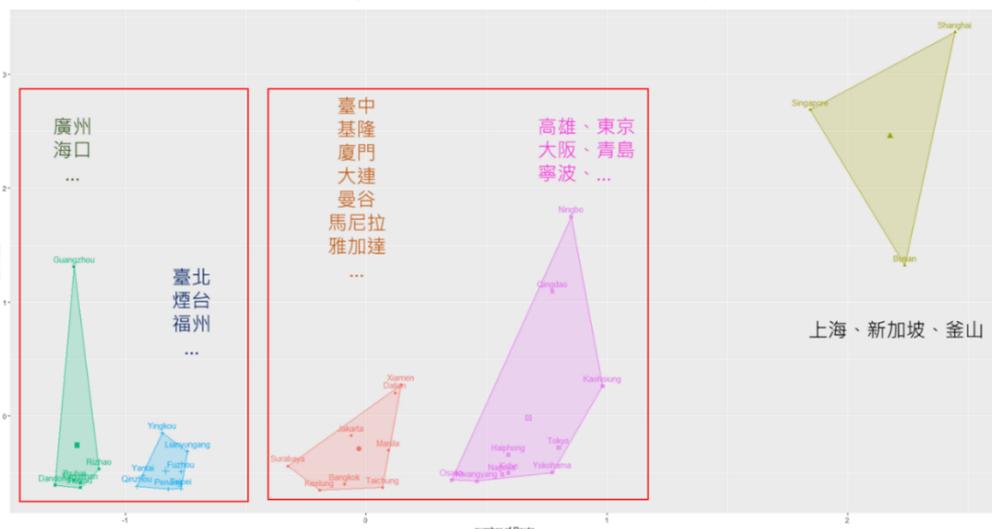
## 二、亞洲區域航線

以亞洲區域航線之港口航線數、裝卸量及成長率進行之分群結果如圖 4.2.3-4~5，上海港、釜山港及新加坡等港為領先群，但發現在亞洲區域航線之角度上，高雄港與東亞、東北亞及東南亞如東京港、大阪港、青島港、寧波港、海防港等之港口競爭力相當，而在前幾節常見之鹿特丹港、安特衛普港、漢堡港等則因未經營亞洲區域航線之業務，因此不在名單內。其後是臺灣之臺中港、基隆港，菲律賓之馬尼拉港與中國大陸之廈門、大連等港聚為一群。由此可見，與常因近鄰而競爭激烈之廈門港相比，高雄港在亞洲區域航線部分顯得占有優勢，或許未來可作為擴大優勢之基礎。然臺北港在亞洲區域航線的部分則較臺中港與基隆港顯得弱勢。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2.3-4 情境三亞洲區域航線分群階層圖

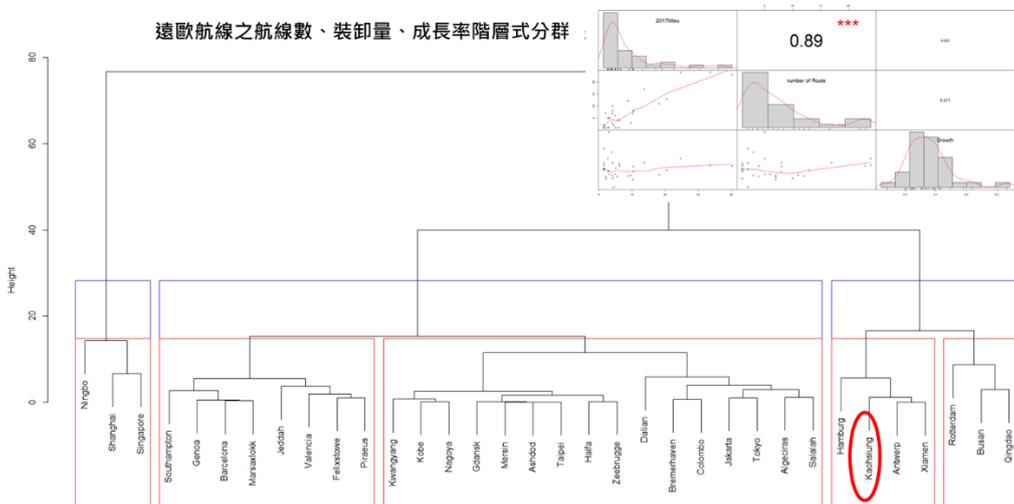


資料來源：本研究繪製

圖 4.2.3-5 情境三亞洲區域航線分群結果二維散布圖

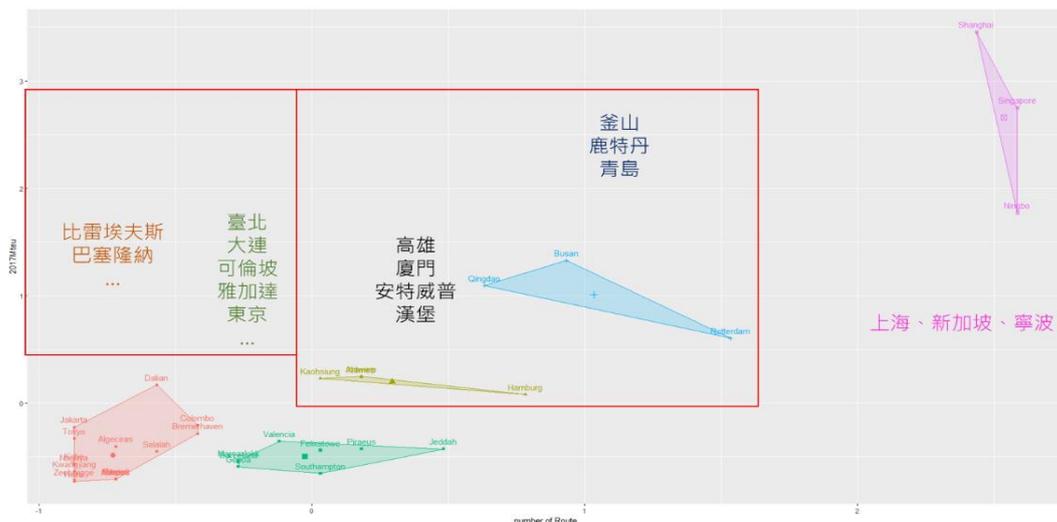
### 三、遠歐航線

以遠歐航線之港口航線數、裝卸量及成長率進行之分群結果如圖 4.2.3-6~7，上海港、新加坡港與寧波港為領先群，可發現寧波港在遠歐航線之競爭力較亞洲區域航線高。歐洲第一大港鹿特丹港與釜山及青島港為一群，而高雄港則與廈門港以及歐洲刻正發展區塊鏈技術之第二大港安特衛普及第三大港漢堡港列為一群，惟高雄港之航線數相對較少，顯見在遠歐航線之路線經營上較為弱勢。因此未來高雄港若欲提升港口進出貨量，可思考拓展經營遠歐線業務以補足缺口之策略，或是採並行擴大優勢之策略，與其他港口、航商合作，將高雄港做為遠歐航線之集貨樞紐港，並轉運至具優勢之亞洲區域航線。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2.3-6 情境三遠歐航線分群階層圖

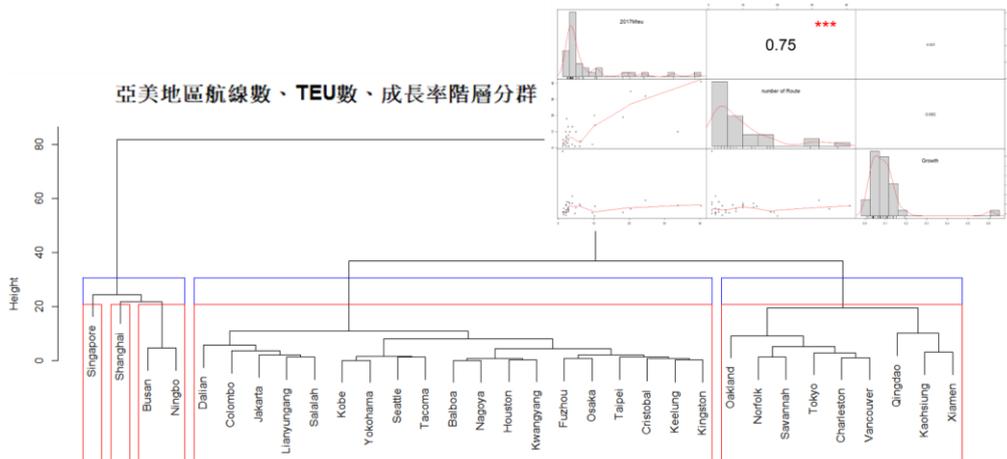


資料來源：本研究繪製

圖 4.2.3-7 情境三遠歐航線分群結果二維散布圖

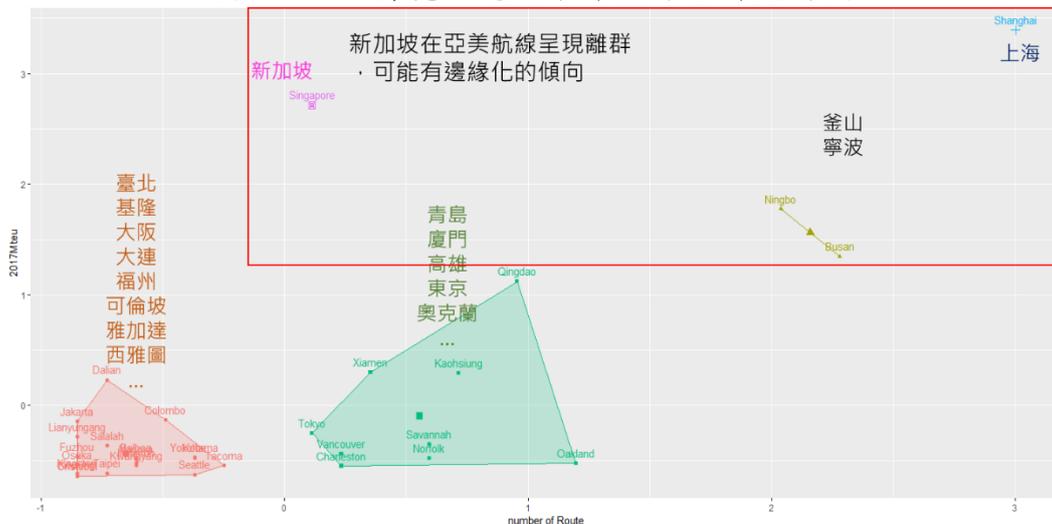
#### 四、越太平洋航線

以越太平洋航線之港口航線數、裝卸量及成長率進行之分群結果如圖 4.2.3-8~9，上海港不論在裝卸量、航線數及成長率上都屬前位，因此分群結果呈現遙遙領先之離群值，自身個體形成一群。其後是釜山港與寧波港為一群，高雄港則與青島港、廈門港、東京港、溫哥華港等聚為一群。其中值得注意的是，新加坡港在前述章節及各類航線之集群分析，皆與上海港、釜山港、寧波港等同為領先群，惟在越太平洋航線之分群出現了較大的落差離群，使自身形成一群，似顯新加坡港在越太平洋航線有邊緣化之傾向。相對而言高雄港之航線數較多，未來在越太平洋貿易部分似可與新加坡港及航商商談合作，尋找彼此有利基之航線轉運，達到雙贏之局面。



資料來源：本研究繪製

圖 4.2.3-8 情境三越太平洋航線分群階層圖



資料來源：本研究繪製

圖 4.2.3-9 情境三越太平洋航線分群結果二維散佈圖

#### 4.2.4 情境分析小結

由於衡量競爭力之指標多樣化，僅用單一指標檢視競爭力固然直觀簡易，但難以從一個客觀的角度綜觀整體樣貌。本文透過不同競爭力觀察變數之前提下，已進行多變量分析，透過數據探勘及分群方法，探討我國高雄港在國際上之位置。其結論摘述如下：

##### 一、Drewry 期刊-港口連結度排行指標：

係以貿易區數量及每週航線數合成簡易之綜合指標，列入的皆為全球國際港口，惟僅列前 20 大港口，其集群分析結果較適用於以港口連結度為基礎來觀看整體競爭力。但與其他資料來源進行內部融合後，以港口為主要欄位之整體資料數量較少，且 Drewry 港口連結度之指標產出過程較簡單，爰其參考程度較低。未來 Drewry 期刊若增加資料之數量與維度後，本類別分析將更完整。

##### 二、新華-波羅的海國際航運中心發展指數：

國際航運中心發展指數係新華社與波羅的海交易所共同召集專家學者參考多面向所擬定，其整合指標較多面向且完善，主要係以發展成為國際航運中心之評核分數為基礎，可做為一項具公信力及說服力之綜合競爭力指標，參考程度相當高。

##### 三、本所國際海運資料庫-航線數：

1. 上海港、新加坡港、釜山港及寧波港不論在何種航線上皆為領先群組，此與國際上之認知符合。高雄港緊追其後，依不同航線類別，大致上與鹿特丹港、安特衛普港、青島港、廈門港及漢堡港等列為競爭力相當之群組。
2. 就資料顯示，高雄港無論何種航線似與中國大陸港口有高關聯度，可能隱含競爭力與其有高依存度，這部分須就更詳細的航線、貨物起迄及靠港資料進行細部分析。
3. 就航線數來看，高雄港表現良好皆位居中段以前，尤以在亞洲區域航線及全球航線，但在遠歐航線上較為弱勢。另新加坡港在越太平洋航線上出現離群狀態，航線數也較少。

4. 未來高雄港提升貨量之策略，可朝補足缺口之方向，拓展經營成長空間較多之遠歐線業務；或採擴大優勢之策略，加強擴張亞洲區域航線之版圖，亦或採取雙管併行之策略，與其他東南亞如新加坡港以及航商聯盟合作，商談航線互補並尋找彼此具利基優勢之航線轉運，創造節省成本與提高效率之雙贏。至於係採補足缺口、擴大優勢或併行之策略，需進一步就財務及各航線細部之貨量起迄資料進行更細膩之分析。
5. 目前基礎變數-裝卸量係以 Alphaliner 統計之全球港口資料為主，其資料維度係各港口一週年之裝卸總量，若資料能細分為航線別，其分析結果將更為精確。

### 4.3 臺灣港口現況與港口智慧化推動情形

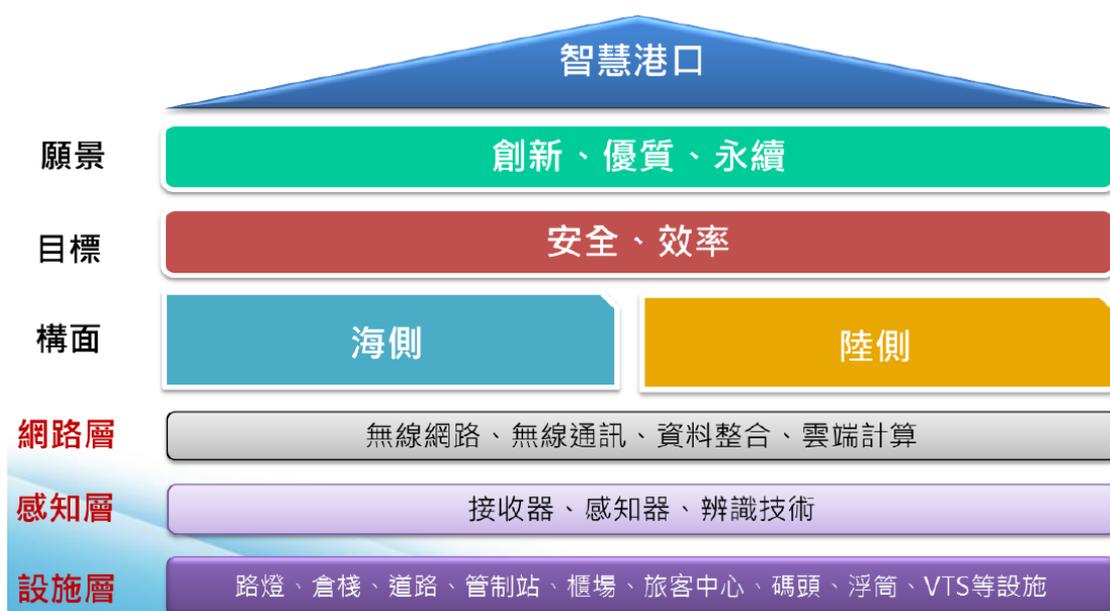
智慧港口的發展，能增進港口營運效率與競爭優勢，隨著物聯網技術的推廣應用，身為全國國際商港管理單位之臺灣港務公司，將智慧港口列為臺灣現代港口建設的目標及發展方向，並刻正推動 Trans-SMART 計畫，在追求安全、效率及環保三大目標下，由智慧港灣、智慧港埠、智慧觀光及智慧運籌四大構面，帶動臺灣港群朝智慧化轉型。計畫就港口海側的港灣作業及陸側的棧埠作業進行系統性檢視，歸納出可應用科技來優化的目標，擬定智慧港口發展的 7 項具體行動方案(Action Plan)，其各行動方案之目標與內容如表 4.3-1。

表 4.3-1 臺灣港務公司智慧港口 7 項行動方案

行動方案名稱	目標	內容
船舶操航智能輔助系統	降低港灣事故發生率	1. 劃設智慧安全航道，進行航行監控及防撞預警，提升船舶航行安全。 2. 因應未來無人船靠泊需求，建立長期資料庫。
物聯網海氣象即時系統	提供操航即時資訊，強化劇烈氣象預警及應變	1. 利用海流儀等感測設備即時掌握港口風力、波浪、海流、潮位等資訊，透過智能分析針對異常狀況提供警示。 2. 強化港口於劇烈天氣下的應變能力，同時可因應未來服務無人船入出港所需之資訊。
港灣智能調度整合系統	提升港灣作業效率	1. 優化現行港棧、船舶動態等系統，串聯及整合航港有關單位之港灣作業。

		2. 透過大數據分析、人工智慧提供自動化船席指泊、拖船調派等智能港灣服務，提升碼頭使用及港口作業效率。
海事機器人	提高水下作業安全與效率	解決潛水人員潛水時間之限制，可提高水下工作之作業安全與查驗效率，並可大幅提升水下影像之公信力。
智慧監控管理系統	提升港區監控效能、強化安全	1. 提升港區 CCTV 監視設備，經由感測、影像辨識等技術，透過智能分析自動判斷港埠現場狀態，並針對異常情形即時提供警示及追蹤。 2. 讓港務管理人員即能主動掌握港口各區現況，以提升港埠管理效率、強化港口整體安全。
港區智慧交通陸運系統	降低港區交通時間及停等廢氣排放	串聯櫃場派車資訊及車輛 GPS 定位，並以 APP 軟體提供港區壅塞情形、停等時間，讓港區業者可彈性調整交領貨時程，達到減少車輛交通時間及停等廢氣排放，降低港區空氣汙染。
自動化貨櫃碼頭	提升櫃場作業安全與效能	高雄港洲際二期第七貨櫃中心係以自動化碼頭標準進行規劃設計，未來碼頭營運商可依需求導入自動導引車(AGV)、遠端遙控裝卸機具等自動化設備，來提升整體安全與效能。

資料來源：臺灣港務公司



資料來源：臺灣港務公司

圖 4.3-1 臺灣港務公司規劃智慧港口發展架構

臺灣港務公司提出 Trans-SMART 計畫擘劃我國智慧港藍圖，並以 7 項行動計畫打造創新、優質、永續的現代化港口，然經盤點各國智慧港口發展項目以及臺灣港口智慧化推動現況後，可歸納出幾項問題癥結，以及亟需考量的議題與方向，總結如下：

#### 一、航港作業流程上：

##### 1. 數位化未完全

許多文件及流程仍為紙本交付及人工處理，影響整體港口作業流程及效率。

##### 2. 電子資料交換(EDI)應擴大實施

由於國際上先進港口多已落實 EDI 交換艙單、貨單、物流與關務相關文件，並整合了完成 B2B 及 B2C 之電子商務系統功能，而當前許多資料庫系統僅作為儲放數據、查詢及產出報表階段，尚未能將前揭資料進行整合、運用與分析，未來應擴大實施，以利接軌國際在航港作業流程自動化、系統化以及文件數位化之趨勢。

##### 3. 強化資訊整合，促進海運鏈間資訊共用

由於資料平台與各資料蒐集之子系統分散建置，未來難以進行資料整合介接，尤以跨部會之資料與平台無法共享整合，業者也難以便捷的使用資料進行增值服務。因此未來可比照新加坡港建置全球性共用貿易供應鏈平臺「CALISTA」，以促進貿易交流以及協助航商能更有效率地處理貨物運載和貿易融資等事項，另一方面貨主可接掌握貨品動向，物流業者也能提供加增的供應鏈方案。除此之外，新加坡港推出的「互聯貿易平台(Networked Trade Platform, NTP)」也值得借鏡，可讓貿易商、物流服務公司、貨運公司和銀行等相關之海運事業群聚簡化貿易流程，並透過平台整合之力量促進各行業邁向數位化，以提高生產力和競爭力。

##### 4. 關貿網路系統安裝軟體需收費，且資料取得需另收費申請

預報貨物資訊系統已於 104 年上線，並將訊息格式轉換為 XML，以方便資料傳輸交換，惟軟體費用高昂，取得資料亦須外加傳輸費用，未考量未來數位化及智慧應用，應提供開放源或設置平台交換資料。

#### 二、智慧港口建置層面：

##### 1. 規劃建置智慧港口成本相當高昂，但效益難以估計。

由於港口是航港作業與海運產業之匯合樞紐，其建設發展與願景皆屬數十年規劃，因此在制定相關策略及行動方案過程，可循荷蘭海運白皮書擘劃 2025 年港口發展之案例，針對未來之各行業與政府

機關之需求進行檢視，研擬適合我國智慧港口發展之整體規劃，並定期滾動檢討後，以此進一步展開航港作業與港口智慧化之綱要計畫與行動方針。

2. 數位化的基礎尚未紮實，物流、貿易、金流、資訊流需整合。

當前國際貿易涉及關稅、貿易與交通等跨部會業管，亟需由更上位的角度進行跨部會與各行業之溝通協調與統整。

3. 以永續經營為前提，提出未來港口發展之洞見。

由於港口屬百年建設，在面臨全球貿易與國際港口競爭日趨激烈之浪潮下，智慧港口之轉型應兼顧高效率、財務可行及環境永續之角度，並結合新興科技創新應用，以此提高我國港口競爭力，並鞏固臺灣港群在國際上之樞紐地位。



## 五、結論與建議

自 IBM 在 2008 年 11 月美國紐約發布「智慧地球：下一代領導人議程」之主題報告後，其中所提出的「智慧地球」理念已將新一代的資通訊技術(ICT)應用，透過物聯網、感測化、雲端計算與大數據分析等技術，鑲嵌進我們的生活之中。以人為本之「智慧城市」與「智慧交通」也因應而生，智慧港口之發展更是引起世界各國之關注，並紛紛爭相投入發展並力求數位轉型。

本研究透過蒐整國際間之智慧港發展現況案例與發展趨勢，包括應用 ICT、物聯網與區塊鏈等新興科技之案例，並釐清目前全球智慧港口之發展及規劃脈絡，以瞭解智慧港口之內涵。在盤點國際上主要港口發展智慧港口項目及趨勢後，透過大數據分析方法針對我國高雄港在國際上之競爭力分群進行初步評析，並自我檢視國內港口目前在智慧化應用之發展現況，探究發展智慧港口現況與癥結，提出以下的結論與建議。

### 5.1 結論

1. 物聯網是新興科技之基礎，透過萬物智慧聯網及資料處理，進而衍生出智慧化的創新服務與應用。如透過感測器、RFID 等蒐集資料(感知層)，經過資料倉儲及運算(網路平台層)，創造相關之服務(應用層)。
2. 智慧港口需亦要經過數位化的基礎建設，以及資料傳輸、處理、倉儲及運算，始能進到智慧化應用之階段。
3. 智慧港口在國際上尚無統一定義，各國在智慧港之發展項目也依其各自之需求而有所差異，惟其規劃之整體架構與脈絡皆朝向相同的目標：「改善航港之安全、效率與永續」、「港口功能之創新與整合」及「提升港口之服務能力」。
4. 我國欲發展智慧港口可歸納為數位化、自動化、智慧港灣、智慧物流及智慧交通等五大面向。其中數位化則是智慧港口最重要之基礎，也是後續應用自動化、人工智慧、區塊鏈等技術中不可或缺之一環。預計在未來隨 5G 技術普及後，各行業將如雨後春筍般地陸續進行數位化之轉型，如貨櫃航商能加速與港口

及物流業之連結，因此各港口資訊系統已然成為航港發展邁向數位化最重要的關鍵。

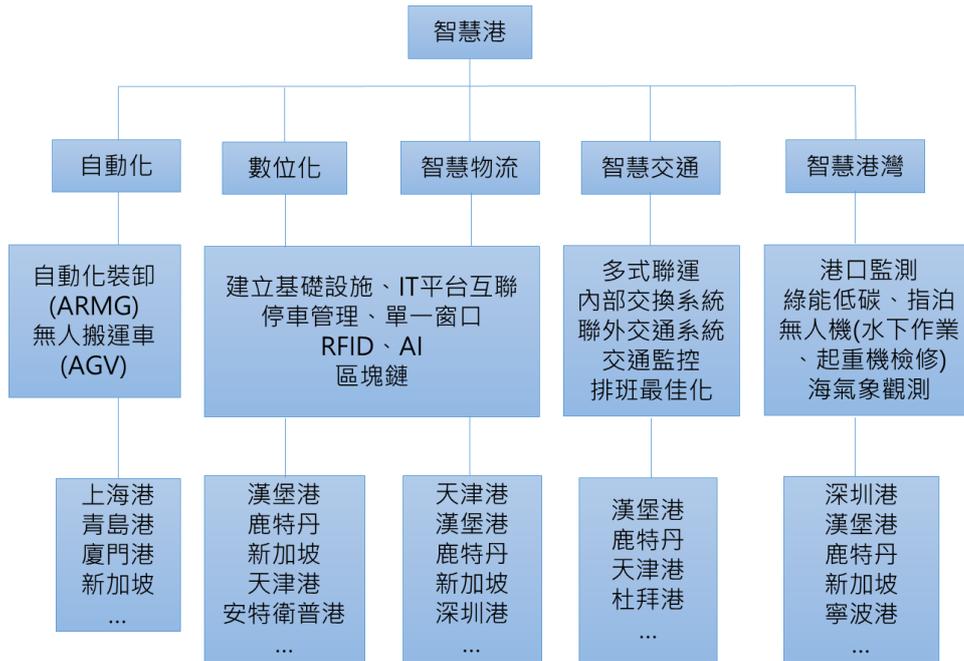
5. 區塊鏈技術可大幅改善我國貨櫃運輸與物流作業仍高度依賴人工與紙本文件之狀況，可提供相關海運產業鏈高安全性及減少耗時之流程作業與控管。
6. 全球主要標竿港口如上海港、新加坡港等多早已投入智慧港口之建設，而與高雄港競爭力相當之港口如安特衛普、鹿特丹與漢堡港等皆也刻正投入發展智慧港口，爰發展智慧港是維持港口在國際競爭力之一種方法。
7. 未來高雄港提升貨量之策略，可朝補足缺口之方向，拓展經營成長空間較多之遠歐線業務；或採擴大優勢之策略，加強擴張亞洲區域航線之版圖，亦或採取雙管併行之策略，與其他東南亞如新加坡港以及航商聯盟合作，商談航線互補並尋找彼此具利基優勢之航線轉運，創造節省成本與提高效率之雙贏。

## 5.2 建議

1. 考量發展智慧港成本較高，部分項目涉及跨部會之溝通等因素，可思考從數位化與自動化之基礎開始紮根，建議項目有：
  - (1) 運用區塊鏈技術串接貨主、航商、政府單位等海運產業鏈之作業流程，以及相關文件及資訊流，建議未來可朝貨櫃運輸及其相關實體物流供應鏈方面，嘗試開發導入區塊鏈技術以進行跨國及跨業別之數位資訊交換，透過無縫連接各關係方之資訊，達成即時物流追蹤與簡化繁瑣之交易流程，以提昇營運效率與水準。
  - (2) 強化資訊整合，促進海運鏈間資訊共用。如以新加坡港作為標竿學習對象，建立貿易與物流供應鏈之平臺，並透過平台整合之力量簡化貿易流程並促進各行業邁向數位化，以提高生產力和競爭力。
  - (3) 擇試辦場域辦理自動化碼頭之示範計畫，自動化碼頭之技術已趨近成熟，在高雄港第七貨櫃中心尚在建置，其招商與港口之建設進度在國際上也獲得較多關注，或可藉此機會辦理自動化碼頭之示範計畫，並以此行銷國際。
2. 借鏡荷蘭 2015-2025 海運白皮書之推廣過程，建議邀集海運事業群及相關單位研商需求及未來發展方向，透過跨部分及企業之

溝通協調凝聚共識，以此擘劃適合我國涵蓋航港智慧化與扶植產業發展之智慧港口整體規劃，以及永續經營與未來港口發展之洞見與方案。

3. 本所海運資料庫可做為持續觀察我國港口在國際上競爭力與航運市場趨勢之重要工具，建議應持續蒐整到更詳細之資料，以利後續可朝不同之航線、年期、貿易區等指標進一步進行相關議題分析與研究。



資料來源：本研究整理

圖 5-1 智慧港口範疇與應用項目整理圖



## 參考文獻

1. UNCTAD, 1992, Port Marketing and the Third Generation Port, TD/B C.4/AC.7/14, UNCTAD, Geneva. Op. cit. 2, p. 23.
2. UNCTAD, 1999, PORTS NEWSLETTER , N19, 9-10.
3. TrainMoS II, Smart Cities and Intelligent Ports. 2013, march, 4 to 12.
4. Paris Innovation Review, What is a smart port?, 2017.
5. IMO, Maritime Safety, E-navigation, <http://www.imo.org/en/OurWork/safety/navigation/pages/enavigation.aspx>, 2019.
6. 包雄關，智慧港口的內涵與系統結構，中國航海，第 36 卷第 2 期，2013 年 6 月。
7. 張文傑，邢軍，智慧港口發展趨勢研究，第 54 卷第 2 期港工技術 2017 年 4 月。
8. Ministry of Infrastructure and Water Management, The Dutch Maritime Strategy 2015-2025, 2015.
9. 科技部，「我國的 AI 科研戰略」報告，106 年。
10. 辜雅蕾，iThome，臺北港導入 RFID 建置門禁管理系統 完成貨櫃通關全程自動化，民國 100 年。
11. 臺灣港務股份有限公司，廈門、上海及青島港貨櫃碼頭自動化作業考察報告書，106 年。
12. Alphaliner Newsletter 17, 2018.
13. RPA, CER , Container Exchange Route, <https://www.portofrotterdam.com/en/doing-business/port-of-the-future/innovation/container-exchange-route-cer>, 2017.
14. IAPH, IAPHHAMBURG2015, 29th World Ports Conference, <https://www.iaph2015.org/conference/smartport/>, 2015.
15. Allianz GlobalCorporate & Specialty UK, 2018, Safety and Shipping Report 2018.
16. Satoshi Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, [www.bitcoin.org](http://www.bitcoin.org), 2008.
17. Don Tapscott, Tapscott, Alex, Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin and Other Cryptocurrencies Is Changing the World, Portfolio, 2016.
18. 區塊鏈信任遊戲，科學人，107 年。

19. 國家發展委員會，應用區塊鏈技術發展智慧物流之效益分析，106年。
20. Drewry, Size isn't everything, Drewry Container Insight Weekly, 2017.
21. 新華社，波羅的海交易所，國際航運中心發展指數報告 2018，107年。