

開闊水域的船舶避碰措施^{*}

The Vessel Actions to Avoid Collisions in Open Sea

蔡奇呈^{*}、張建仁^{**}、陳志立^{***}

摘要

本研究係採用賽局理論之完全訊息動態賽局，分析與歸納開闊水域中，互見與能見度受限制等情況的避碰措施。依據避碰規則，將互見情況分為五種碰撞的空間情勢，能見度受限制情況則有八種空間情勢；各種空間情勢再依碰撞的緊急性分為碰撞危機與逼近情勢等兩種時間階段。二十六種時空情境皆採用擴展式表示法建構模式，再以逆向歸納法分析模式，進而歸納出明確避碰措施。最後，本研究將上述的研究成果彙整出兩船在各種時空情境的明確避碰措施，以供航海者運用。

關鍵詞：避碰規則、完全訊息動態賽局、逆向歸納法。

ABSTRACT

The game theory with the dynamic game of complete information is adopted to analyze and induce vessel actions to avoid collisions under sight of one another and restricted visibility conditions in the open sea. According to *the Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972*, also named as the COLREGS, the sight of another condition can be categorized into five kinds of spatial situations; while the restricted visibility condition is categorized into eight kinds of spatial situations. Different spatial situations are further categorized into collision risk and close-quarters time stages by the emergency. Thereafter, the

^{*} 本文是行政院科技部專題研究計畫(NSC 100-2221-E-019-053-)之部分成果，承蒙經費補助，謹此致謝。

^{*} 蔡奇呈 Chi-Cheng Tsai，國立臺灣海洋大學系統工程暨造船學系博士班學生。

^{**} 張建仁 Jen-Ren Chang，國立臺灣海洋大學系統工程暨造船學系教授，國立臺灣海洋大學工學博士。

^{***} 陳志立 Chih-Li Chen，國立臺灣海洋大學商船學系副教授，國立臺灣大學工學博士。E-mail: clchen@mail.ntou.edu.tw

extensive form representation is used to construct the model and then backwards induction is adopted to obtain the clear avoid collision actions for each of twenty-six scenarios. Finally, those results with different spatial situations and time stages are summarized for the navigators.

Keywords: COLREGS, Dynamic game of complete information, Backwards induction.

壹、緒論

1972 年國際海上避碰規則公約(Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972, COLREGS；簡稱避碰規則)係以公約之約束力，確保相關人員對於避碰責任(responsibility)的認知，並對於航行規則、號燈與號標等提供一致性之規範[1]，據以達成國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)之宗旨。避碰規則之落實主要在於船旗國對於該國籍的船舶與航行員之責任要求，例如聯合國海洋法公約(United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS)中有關無害通過權(innocent passage)之規定[2]；其次，則是航海人員訓練、發證及航行當值標準國際公約(International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, STCW)對於航行員基本學識之要求。近年來，則將此責任要求由船旗國擴大至沿海國與港口國等，如 IMO A.1085(28)有關避碰規則之修正案，即督促各會員國在自我稽核機制之架構下確認該國確實遵守避碰規則[3]。

具體而言，避碰規則之功能有二：其一，碰撞發生前，作為航行員避免碰撞的指導原則，除了避免碰撞事故發生，更積極地避免碰撞危機(risk of collision)與逼近情勢(close-quarters situation)等階段的出現[4,5]；其二，碰撞發生後，作為海事法庭上分攤碰撞責任的依據[7]。然而，航行員通常需要在相對短的時間內，根據當時的環境，作出避碰措施；海事法庭則在相對長的時間裡，由法官、海事專家等針對碰撞發生過程，仔細地推敲，並且審慎地參酌避碰規則，據以研判在該情勢下的正確措施[8]。簡言之，避碰規則係偏重於責任分攤，而不是提供航行員明確的避碰措施。

若以航行員的角度審視避碰規則，則其具有條款間的衝突與模稜兩可等問題[7,9,10]。條款間的衝突係指當兩船相遇且具有碰撞危機時，一船因不同條款的規定，必須同時承擔讓路與直航的責任(obligation)；模稜兩可則可分為兩部分，其一是未能具體地提出明確的避碰措施，其二則為均以如環境許可(if circumstance admit)或及早(in ample time)等模糊的字眼，而無法提供清晰的參考依據。據此，是否可透過一套方法論解決此等問題，即為本研究之初始動機。

避碰過程中，需要兩船的協調(coordinated)行動[8]，然由於避碰規則具有衝突與模稜兩可等問題，導致不同航行員對於規則的解釋不一致[9]；此外，由模擬實驗可發現[11,12]，儘管避碰規則已明確規定迎艏正遇情勢(head-on situation)各自朝右轉向，但仍有航行者採取朝左轉向；而其他碰撞情勢亦呈現類似的現象。此即引發下列有趣的問題，若本船屬於直航船，而讓路船不採取明確避碰措施時，應如何行動？若持續等待讓路船之行動，而導致兩船進入逼近情勢階段，則應該如何採取避碰措施？此外，若兩船航行在能見度受限制的情況下，則不存在有讓路船與直航船的避碰責任，那麼，又該如何避免逼近情勢階段的發生？事實上，避碰過程係屬於兩船在持續地觀察對方意圖，且擬使用避碰措施的互動過程。其中，各種碰撞情勢在碰撞危機與逼近情勢等時間階段應如何定義？且彼此間避碰責任該如何劃分？又其避碰措施為何？上述皆為本研究欲解決的問題。

探討避碰規則的相關文獻，概分為兩類，其一係以個人的航海經驗，對避碰規則提出改善的建議[7,8,9,10]，然缺乏客觀的準則；其二，係以賽局理論(game theory)的完全訊息靜態賽局(static game of complete information)分析避碰規則 [13]，但是靜態是指同時採取行動，而忽略避碰過程是在觀察對方意圖且有次序地選擇行動，再者，其僅討論讓路船採取行動的階段，未進一步考慮兩船在後續時間階段之均衡解。另外，為降低人為因素之干擾，相關的避碰研究則是研發自動避碰撞系統[14,15]，然該等系統之開發係著重於量化計算，欠缺避碰規則推理資料庫之建立，而本研究成果將可補足之。

本研究以分析與歸納明確的避碰措施為主要目的。首先依照避碰規則，分別界定兩船在互見與能見度受限制等情況的空間關係。其中，互見情況分為追越、被追越、迎艏正遇、右舷交叉相遇、左舷交叉相遇等五種情勢(situation)；而能見度受限制情況則分為追越、正橫前、正橫與正橫後、被追越等，再考量其右舷與左舷，共分為八種情勢。上述情勢均採用碰撞的四個階段(four stages in a collision situation)，來界定時間關係[4,5,16]。重要的是，在避碰過程中兩船可透過目視或雷達之輔助，得知對方的相關資訊與意圖，且為有次序地選擇行動，故本文採用賽局理論的完全訊息動態賽局(dynamic game of complete information)[17,18,19]建構模式，再透過逆向歸納法(backwards induction)歸納獲得均衡解，即明確的避碰措施。

貳、理論背景

首先就避碰規則之內容作簡介，說明各條款之適用範圍，以此界定本研究之研究範圍；其次，依據避碰規則之適用範圍，討論碰撞(空間)情勢與碰撞的四個(時間)階段等概念，即兩船在空間與時間的關係；最後，則說明完全訊息動態賽局的模式建構及模式分析。

2.1 避碰規則簡介

依據 2013 年 IMO A.1085(28)決議案，新增第六章遵守公約規定之確認(Part F. Verification of Compliance with the Provisions of the Convention)，避碰規則共有六章 41 條規則。本研究目的係分析與歸納明確的避碰措施，因此，後續分別簡介第一章總則(Part A. General)與第二章操舵與航行規則(Part B. Steering and Sailing Rules)等有關避碰責任與避碰措施之規定。

第一章第二條責任(Rule 2. Responsibility)之目的係在確保相關人員對於避免碰撞之認知，亦即，若違反後續條款規定之義務(obligation)，則須承擔其發生的後果之責任；其次，則說明背離規則規定之條件，即特殊環境與急迫危險(immediate danger)。第二章則依能見度情況，分為第一節船舶在任何能見度情況下之措施(Section I. Conduct of Vessels in any Condition of Visibility)、第二節船舶互見時之措施(Section II. Conduct of Vessels in Sight of One Another)以及第三節船舶在能見度受限制時之措施(Section III. Conduct of Vessels in Restricted Visibility)。

由避碰規則之章節可知，其主要以能見度作為分類準則。進一步審視其相關規則發現，有關避碰責任與避碰措施之條款，另可依照水域、碰撞情勢、船舶種類等進行分類，如圖 1 所示。本研究範圍在討論其他水域，即開闊水域，兩動力船在互見與能見度受限制情況下之避碰措施。

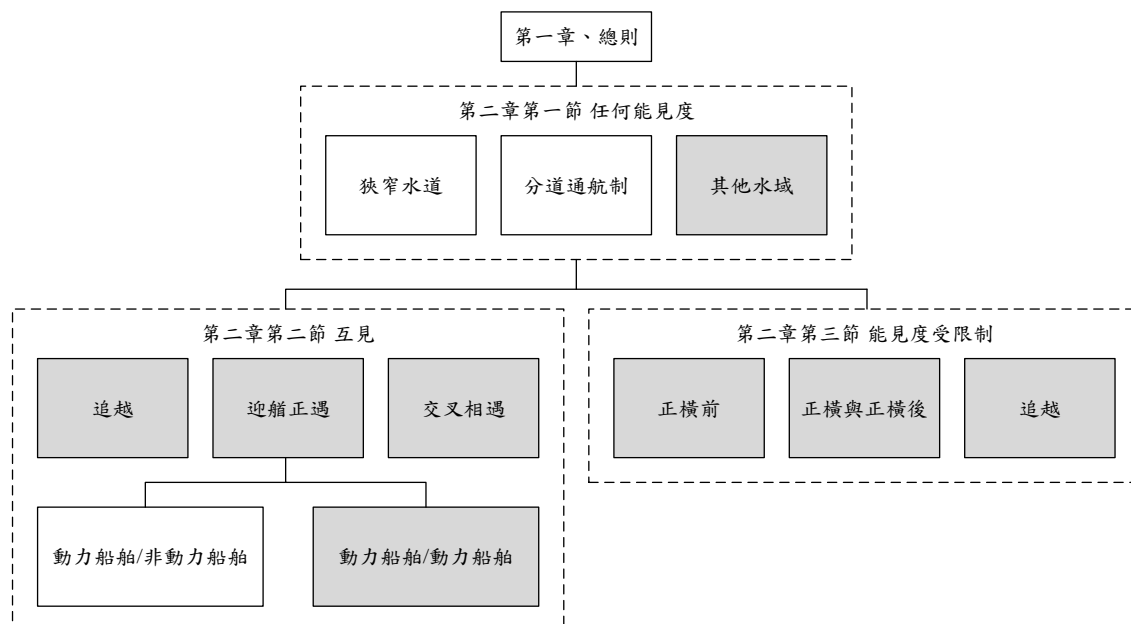


圖 1. 避碰規則適用範圍示意圖

2.2 碰撞的空間情勢

碰撞情勢即兩船相對方位所構成的空間關係。依照避碰規則，在互見的情況下，由兩船的相對方位分為追越、被追越、迎艏正遇、右舷交叉相遇以及左舷交叉相遇等五種情勢；能見度受限制情況下，則依追越、正橫前、正橫與正橫後、被追越等再考量其右舷與左舷，共八種情勢。其中，由於避碰規則之模稜兩可，導致航行員對於碰撞危機與逼近情勢之認知具不一致性[7]，碰撞案例或航海實務常出現讓路船猶豫不決，或者等待直航船先採取避碰措施等情況，因此，本研究除追越、右舷交叉相遇等情事外，另增加被追越以及左舷交叉相遇等情勢，使本文之適用性更為廣泛。此外，必須提醒的是能見度受限制情況下的追越與被追越等情勢，僅表示兩船所呈現的碰撞情勢，而與第十三條追越之避碰責任規定無關，其原因為第十三條的適用範圍是互見情況。

碰撞的空間情勢，即兩船的相對方位與避碰責任之關係，彙整如圖 2 與表 1。圖 2 係以他船在中心船的相對方位而言。其中， 067.5° 與 292.5° 兩點為中心船追越他船之臨界點；當互見情況兩船呈現迎艏正遇情況(區域 C)，由於規則係以相反航向或幾乎相反航向規範，一般係以船艏左右 5° 為準[20]；同理，當能見度受限制時，正橫即以其前後 5° 劃分，由於第十九條將正橫與正橫後分為一類，據此，正橫前與正橫與正橫後之界線，依右舷與左舷分別為 085° 與 275° 。

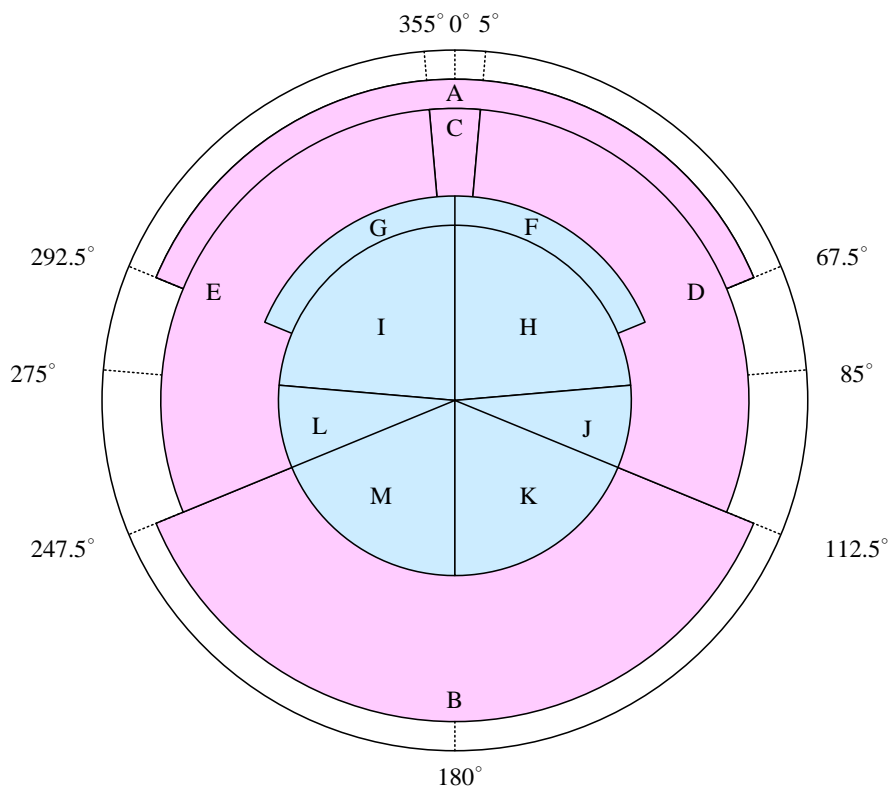


圖 2. 兩船相對方位示意圖

表 1. 相對方位與避碰責任歸納表

能見度	碰撞情勢	他船相對方位	區域
互見	追越	292.5°~067.5°	A
	被追越	112.5°~247.5°	B
	迎艏正遇	355°~005°	C
	右舷交叉相遇	005°~112.5°	D
	左舷交叉相遇	247.5°~355°	E
能見度 受限制	右舷追越	000°~067.5°	F
	左舷追越	292.5°~000°	G
	右舷正橫前	000°~085°	H
	左舷正橫前	275°~000°	I
	右舷正橫後	085°~112.5°	J
	右舷被追越	112.5°~180°	K
	左舷正橫後	247.5°~275°	L
	左舷被追越	180°~247.5°	M

2.3 碰撞之四個時間階段

避碰規則之目的，除避免碰撞，更積極地避免碰撞危機或逼近情勢等時間階段的發生[5]。雖避碰規則在第五條、第七條、第八條、第十二條、第十四條、第十五條、第十八條、第十九條等條款提及碰撞危機(risk of collision)，另在第八條、以及第十九條等條款提及逼近情勢(close-quarters situation)，但其均未加以定義之。過去的判例中，數位海事法官曾試圖解釋碰撞危機與逼近情勢等名詞，但其多以開放式的問題(*it is open to argument what is meant...*)，或者難以定義(*it is very difficult to define...*)總結[4,5]。值得一提的是，碰撞危機與逼近情勢等係屬於時間上的關係[4]，且隨著時間的消失而提高碰撞的可能性(possibility)[6]。因此，Cockcroft 與 Lameijer[16]即以第十七條直航船之措施(action by stand-on vessel)為基準，提出碰撞的四個階段，據以釐清兩船在時間上逼近的情況。

碰撞的四個階段為兩船的時間關係，分為自由行動、碰撞危機、逼近情勢與緊迫危險等四個階段[16,21]。其定義如下：

1. 自由行動(free to manoeuvre)階段：兩船距離尚遠，避碰規則未生效。
2. 碰撞危機(risk of collision)階段：兩船已明顯感受到碰撞危機，但此時由單船採取明確的避碰措施即可避免進入後續階段或碰撞發生。
3. 逼近情勢(close-quarters situation)階段：當兩船均未採取避碰措施，則在時間上已逼近至兩船均必須採取明確的避碰措施，才能避免碰撞發生。必須說明的是，一旦兩船已逼近至此階段，均不能免除前一階段所應承擔的避碰責任。

人的選擇所構成的行動計劃，即為策略(strategy)；每個參與人的最佳策略組合，即為均衡(equilibrium)。相關要素與其在本研究中的定義歸納如表 2。另外，賽局理論中，依照參與人對於其他參與人之相關資訊是否完全了解？分為完全訊息(complete information)與不完全訊息(incomplete information)；又依照參與人的行動選擇是否同時？可將賽局分為動態(dynamic)與靜態(static)。由於避碰過程中，兩船航行員對於避碰規則、兩船可選擇的行動以及採取行動後的狀態等，均完全地了解，故屬於完全訊息；而航行員亦可透過目視或雷達等，得知對方的行動選擇，有次序而非同時採取行動，則屬於動態。因此，本研究採用完全訊息動態賽局作為分析方法。

表 2. 賽局理論構成要素與其在本研究中之定義歸納表

構成要素	定義	本研究
參與人(player)	決策主體，以最大化個人支付為目的。	兩動力船舶
行動(action)	可供參與人選擇的項目。	左轉(p)、直航(s/o)、右轉(s)
支付(payoff)	反應每個參與人行動選擇的函數。	1 與 0 分別表示安全與危險； ϵ 為違反規定的懲罰值。
訊息(information)	有關此賽局的資訊，包括參與人類型、行動、支付等。	兩船的行動、支付、避碰規則等。
策略(strategy)	基於其他參與人的選擇所構成的行動計劃。	先行動船的策略有 {p, s/o, s} 等 3 種；後行動船則有 {p p p, p p s/o, p s/o s...} 等 27 種。
均衡(equilibrium)	每個參與人的最佳策略組合。	安全且符合避碰規則規定之策略組合。

2.4.1 模式建構

其模式建構方式係採用擴展式表示法(extensive form representation)，由左至右，透過節點(node)表示參與人選擇的時間點與訊息，分為初始節(initial node)、決策節(decision node)以及終點節(terminal node)。其次，枝(branch)則表示可供參與人選擇的項目。其中，終點節係為反應參與人行動選擇的支付，表示賽局結束。此外，完整的賽局中具有數個由初始節與決策節構成的子賽局(subgame)；擴展式表示的建構方式如圖 4 所示。

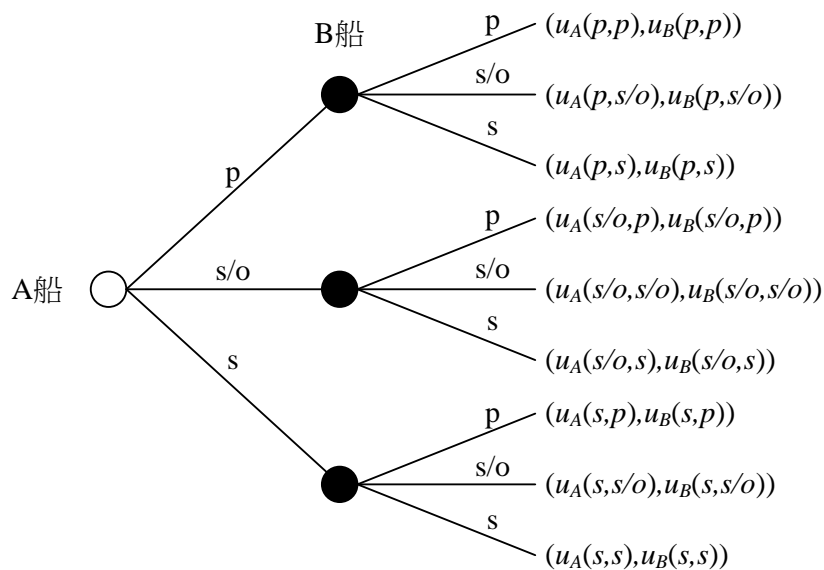


圖 4. 擴展式表示方式示意圖

以船舶避碰為例，初始節表示先行動船選擇行動的時點，其可選擇朝左轉向(p)、直航(s/o)、朝右轉向(s)；後行動船在觀察先行動船之行動後，亦有三種行動可供選擇；兩船選擇完畢後，即為支付，表示賽局結束。

2.4.2 模式分析

完全訊息動態賽局係以擴展式表示建構模式，並採用逆向歸納法分析與歸納均衡解，獲得之均衡解稱為子賽局精煉納許均衡(sub-game perfect Nash equilibrium, SPNE)，其性質為：每個參與人最佳策略的組合，並且為參與人之間無自利動機偏離的解。逆向歸納法係由終點節往回推的分析過程，直到初始節。分析過程係以最大化個人支付為原則，可透過下列兩式進行之。

$$\max_{a_2 \in A_2} u_2(a_1, a_2)$$

$$\max_{a_1 \in A_1} u_1(a_1, R_2(a_2))$$

分析過程係由支付往回推，由後行動船在假設先行動船分別選擇朝左轉向(p)、直航(s/o)、朝右轉向(s)等三個子賽局中，選擇最大化個人支付的行動；而先行動船則在假設後行動船在各子賽局之最佳行動中，選擇最大化個人支付的行動，從而獲得最佳行動組合，即子賽局精煉納許均衡解。

參、互見情況之避碰措施

為分析互見情況之避碰措施，首先釐清兩船之碰撞情勢與碰撞的四個階段等空間與時間的關係；其次，以右舷交叉相遇情勢為例，分析與歸納碰撞危機與逼近情勢等兩階段之避碰措施。

3.1 互見情況之碰撞情勢與碰撞的四個階段

互見情況之碰撞情勢，如圖 2 與表 1，分為追越(區域 A)、被追越(區域 B)、迎艏正遇(區域 C)、右舷交叉相遇(區域 D)以及左舷交叉相遇(區域 E)。以上述空間情勢，依序探討碰撞危機與逼近情勢等時間階段的避碰措施。其中，碰撞危機階段係單船採取行動可避免碰撞發生，逼近情勢階段則需兩船均採取行動。後續以右舷交叉相遇情勢為例分別說明之。

3.2 右舷交叉相遇情勢—碰撞危機時間階段

右舷交叉相遇即他船的相對方位在中心船之 $005^{\circ}\sim 112.5^{\circ}$ (圖 2 的區域 D)，此情勢適用第八條避碰措施、第十五條交叉相遇、第十六條讓路船之措施、第十七條直航船之措施等條款之規定；而碰撞危機階段，係指單船採取避碰措施，即可解除碰撞危機。模式建構與分析過程，係由中心船先採取行動，他船在觀察到中心船的行動之後，選擇行動。

模式建構，由左至右的節點分別為先行動的中心船、後行動的他船以及終點節的支付；兩船均有朝左轉向(p)、直航(s/o)、朝右轉向(s)等三種選擇。支付係反應兩船行動選擇之函數，其包含兩船行動後的狀態，即安全與危險，輔以違反避碰規則之懲罰值(ϵ)，其為一介於-1 至 0 的值，目的在於當一船選擇違反規則的行動但兩船行動後的狀態為安全時，其支付將介於安全與危險之間，即 0 與 1 之間。其中，根據第八條、第十五條、第十六條、第十七條之規定，懲罰值之設定如下：中心船違反規定的行動為朝左轉向或直航。他船違反規定的行動包括：當中心船選擇朝左轉向，他船直航或朝左轉向；當中心船直航，他船朝左轉向或直航；當中心船朝右轉向，他船朝左轉向或朝右轉向。模式建構如圖 5。

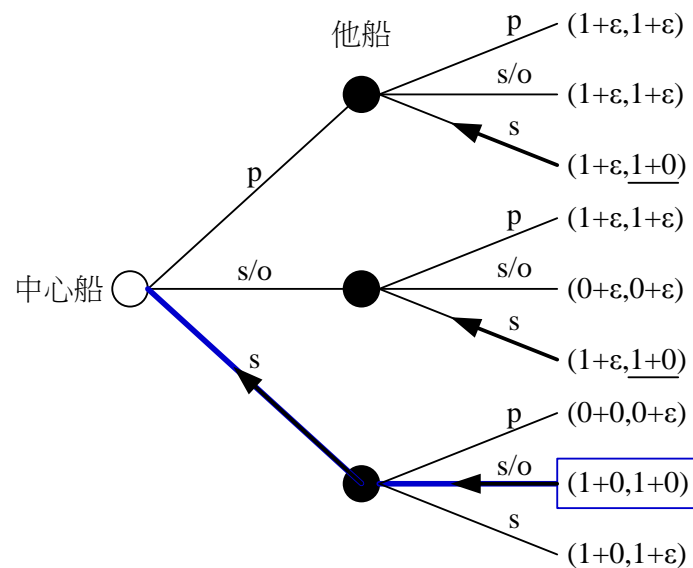


圖 5. 右舷交叉相遇情勢—碰撞危機階段之模式建構與分析示意圖

模式分析係採用逆向歸納法，由終點節往回推。即他船在假設中心船選擇朝左轉向(p)的子賽局中，選擇最大化個人支付的行動，由於 $(1+0) > (1+\epsilon)$ ，因此他船將選擇朝右轉向(s)；假設中心船選擇直航(s/o)，因 $(1+0) > (1+\epsilon) > (0+\epsilon)$ ，他船將選擇朝右轉向(s)；假設中心船選擇朝右轉向(s/o)，他船將選擇直航(s/o)。爾後，中心船在他船的三個最佳選擇中，最大化個人支付，即 $(1+0) > (1+\epsilon)$ ，選擇朝右轉向(s)。由此獲得子賽局精煉納許均衡(SPE)： $\{s, s|s/o\}$ ，即先行動之中心船朝右轉向，後行動之他船直航，獲得支付 $(1+0, 1+0)$ 。

3.3 右舷交叉相遇情勢—逼近情勢時間階段

逼近情勢階段，兩船均必須採取明確的避碰措施，方可解除碰撞危機。其中，交叉相遇應援用的條款包括：第八條避碰措施、第十五條交叉相遇、第十六條讓路船之措施、第十七條直航船之措施。

模式建構過程，由左至右的節點分別為先行動的中心船、後行動的他船以及終點節的支付。懲罰值之設定，概因兩船在前階段均未採取明確之避碰措施，避碰責任隨時間延續，不得免除，所以兩船在此賽局開始前均含有 ϵ 。當中心船選擇朝左轉向或直航，將增加懲罰值；無論中心船選擇何種行動，他船選擇朝左轉向或直航將增加懲罰值。後續採用逆向歸納法獲得子賽局精煉納許均衡解 $\{s, s|s\}$ ，即中心船朝右轉向，他船亦朝右轉向，獲得 $(1+\epsilon, 1+\epsilon)$ 。其模式建構與分析如圖 6 所示。

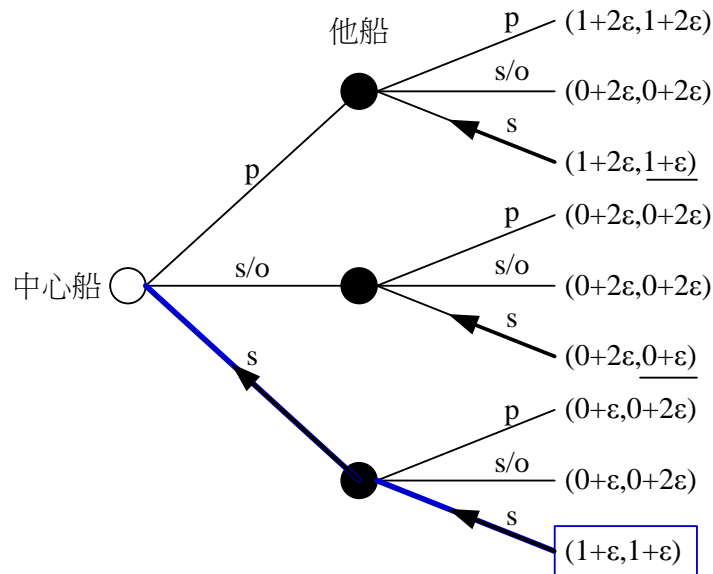


圖 6. 右舷交叉相遇情勢—逼近情勢階段之模式建構與分析示意圖

3.4 小結

本節係針對互見情況中，依據兩船之空間與時間關係，透過完全訊息動態賽局建構模式，並採用逆向歸納法分析與歸納，據以獲得均衡解，即明確的避碰措施。輔以圖 2 之說明，結果歸納如下與表 3：

- **碰撞危機階段：**

1. 追越情勢，區域 A，中心船可選擇左轉或右轉；
2. 除追越情勢外，當他船在 355° 至 112.5° 之間，區域 C 與 D，中心船應朝右轉向；
3. 112.5° 至 355° 之間，區域 B 與 E，中心船則應直航；
4. 若為大型船舶或操縱性能較差的船舶等需要在較早時間採取行動者，在區域 A 與 B，可採取左轉或右轉；當他船在 247.5° 至 112.5° 應朝右轉向。

- **逼近情勢階段：**

1. 追越情勢，區域 A，中心船應朝左或朝右轉向；
2. 除追越情勢外，即他船 247.5° 至 112.5° ，區域 C、D 與 E，中心船應右轉。

表 3. 互見情況兩船之避碰措施歸納表

碰撞情勢	他船相對方位	區域	碰撞危機		逼近情勢	
			中心船	他船	中心船	他船
追越	292.5°~067.5°	A	左轉	直航	右轉	左轉
			右轉		左轉	右轉
追越	112.5°~247.5°	B	右轉	左轉	右轉	左轉
			左轉	右轉	左轉	右轉
迎船正遇	355°~005°	C	右轉	右轉	右轉	右轉
交叉相遇	005°~112.5°	D	右轉	直航	右轉	右轉
交叉相遇	247.5°~355°	E	右轉	右轉	右轉	右轉

肆、能見度受限制情況之避碰措施

依序說明能見度受限制情況之碰撞情勢與碰撞的四個階段，即兩船在空間與時間之關係；其次，以右舷追越情勢為例，分析與歸納碰撞危機與逼近情勢階段之避碰措施。

4.1 能見度受限制情況之碰撞情勢與碰撞的四個階段

根據第十九條船舶在能見度受限制時之措施的規定，主要分為八種空間關係，如圖 2 與表 1，即右舷追越(區域 F)、左舷追越(區域 G)、右舷正橫前(區域 H)、左舷正橫前(區域 I)、右舷正橫後(區域 J)、左舷正橫後(區域 L)、右舷被追越(區域 K)以及左舷被追越(區域 M)等。其中，追越與被追越係兩船之碰撞情勢，與避碰責任無關，且不適用第十三條追越之規定。此外，由於能見度受限制無讓路船與直航船關係，因此將兩船均視為讓路船。

4.2 右舷追越情勢—碰撞危機階段

模式建構，由左至右的節點分別為先行動的中心船、後行動的他船以及終點節的支付；兩船均有朝左轉向(p)、直航(s/o)、朝右轉向(s)等三種選擇。支付之懲罰值係以第十九條之規定，不應對正橫前的船舶朝左轉向，不應對正橫或正橫後的船舶方向轉向。模式建構與分析如圖 7 所示。其具有 4 個子賽局精煉納許均衡解，包括 {p, s|s|p}、{p, s|s|s/o}、{s, s|s|p} 以及 {s, s|s|s/o} 等，即中心船朝左轉向，他船朝右轉向，獲得支付(1+0,1+0)，或者中心船朝右轉向，他船朝左轉向或直航，獲得支付(1+0,1+ε)。

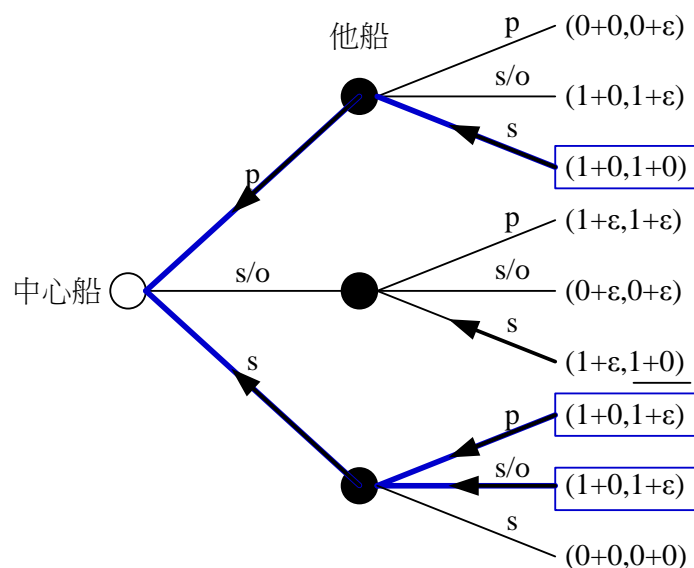


圖 7. 右舷被追越情勢—碰撞危機階段之模式建構與分析示意圖

4.3 右舷追越情勢—逼近情勢階段

逼近情勢階段，兩船均必須採取明確的避碰措施，方可解除碰撞危機，而能見度受限制情況即依據第十九條能見度受限制之規定。

模式建構過程，由左至右的節點分別為先行動的中心船、後行動的他船以及終點節的支付。懲罰值之設定，概因兩船在前階段均未採取明確之避碰措施，避碰責任隨時間延續，不得免除，所以兩船在此賽局開始前均含有 ϵ 。此外，依據規定不應對正橫前的船舶朝左轉向，不應對正橫或正橫後的船舶方向轉向。

採用逆向歸納法獲得子賽局精煉納許均衡解 $\{p, s|s|p\}$ 以及 $\{s, s|s|p\}$ ，即中心船朝左轉向，他船亦朝右轉向，獲得 $(1+\epsilon, 1+\epsilon)$ ；或中心船朝右轉向，他船朝左轉向，支付為 $(1+\epsilon, 1+2\epsilon)$ 。其模式建構與分析如圖 8 所示。

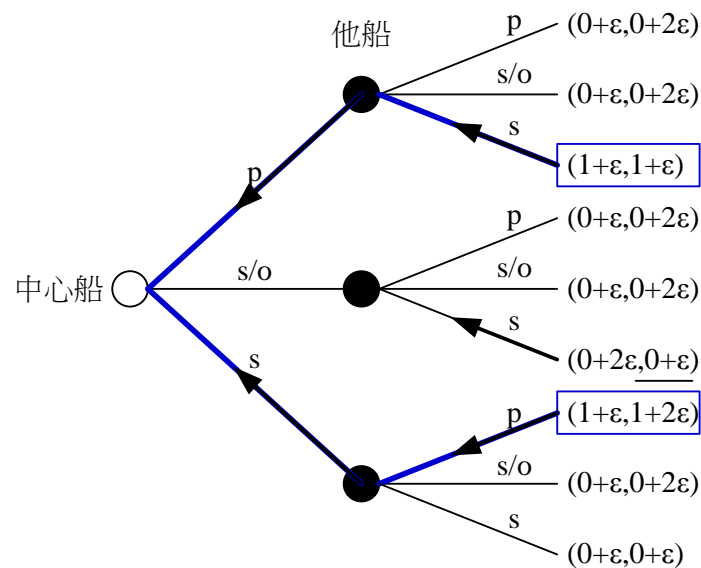


圖 8. 右舷被追越情勢—逼近情勢階段之模式建構與分析示意圖

4.3 小結

本節係針對能見度受限制的情況，分析與歸納明確的避碰措施。由於不具讓路與直航關係，將兩者均視為讓路船。透過完全訊息動態賽局建構模式，並採用逆向歸納法分析與歸納避碰規則，據以獲得均衡解。結果輔以圖 2，歸納如下與表 4。

● 碰撞危機階段

1. 追越情勢，區域 F 與 G，中心船應朝左或朝右轉向；
2. 除追越情勢外，當他船在 180° 至 085° 之間，區域 H、I、L 與 M，中心船應朝右轉向；
3. 當他船在 085° 至 180° ，區域 J 與 K，中心船應朝左轉向，此結果與一般認為應能見度受限制時應朝右轉向之認知不同。

● 逼近情勢階段

1. 追越情勢，區域 F 與 G 等，中心船應朝左或朝右轉向；
2. 他船在 180° 至 085° 之間，區域 H、I、L 與 M，中心船應朝右轉向；
3. 當他船在 085° 至 180° ，區域 J 與 K，中心船應朝左轉向，與一般認為應能

見度受限制時應朝右轉向之認知不同。

表 4. 能見度受限制情況兩船之避碰措施歸納表

碰撞情勢	他船相對方位	區域	碰撞危機		逼近情勢	
			中心船	他船	中心船	他船
右舷追越	000°~067.5°	F	左轉	右轉	左轉	右轉
			右轉	左轉或直航	右轉	左轉
左舷追越	292.5°~000°	G	左轉	直航或右轉	左轉	右轉
			右轉	左轉	右轉	左轉
右舷正橫前	000°~085°	H	右轉	右轉	右轉	右轉
左舷正橫前	275°~000°	I	右轉	右轉	右轉	右轉
右舷正橫後	085°~112.5°	J	左轉	右轉	左轉	右轉
右舷被追越	112.5°~180°	K	左轉	右轉	左轉	右轉
左舷正橫後	247.5°~275°	L	右轉	右轉	右轉	右轉
左舷被追越	180°~247.5°	M	右轉	左轉	右轉	左轉

伍、結論與建議

為分析避碰規則有關開闊水域中互見與能見度受限制等之規定，以歸納明確的避碰措施，本研究依照兩船之空間與時間關係，採用完全訊息動態賽局與逆向歸納法，據以獲得均衡解，歸納結果如表 3 與表 4 所示。值得一提的是，在能見度受限制的情況下，當他船在相對方位085°至180°(圖 2 區域 J 與 K)，中心船應左轉向，此等結果與一般認為在能見度受限制應朝右轉向之認知不同。

參考文獻

1. Acar, U., Ziarati, R. and Ziarati, M., 2011, An Investigation into COLREGS and their Applications at Sea, Safe Return to Port—Bridge Conference 2011, Satakunta University of Applied Science, 40-47, 2011.
2. Plant, G., 1996, The Collision Avoidance Regulations as Regulator of International Navigation Rights: Underlying Principles and their Adequacy for the Twenty-first Century, Journal of Navigation, 49(3), 377-393.
3. IMO, 2013, Resolution A.1085(28) Amendments to the Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972, adopted on 4 December 2013.
4. Healy, N.J. and Sweeney, J.C., 1998, the Law of Marine Collision, Cornell Maritime Press.
5. Gault, S., 2003, Marsden on Collisions at Sea, thirteenth edition, Sweet & Maxwell Ltd.
6. Sturt, R., 1991, The Collision Regulations, Lloyd's of London Press Ltd.
7. Stitt, I.P.A., 2002, The COLREGS – Time for a Rewrite? Journal of Navigation, 55(3), 419-430.

8. Perkins, C. and Redfern, T. , 1996, Requirements for Coordination and the Application of an Automatic Collision Avoidance System, *Journal of Navigation*, 49(2), 129-135.
9. Taylor, D.H., 1998, Rules and Regulations in Maritime Collision Avoidance: New Directions for Bridge Team Training, *Journal of Navigation*, 51(1), 67-72.
10. Weber, H., 1995, Clarification of the Steering and Sailing Rules of the COLREGS, *Journal of Navigation*, 48(2), 289-292.
11. Lin, B., 2006, Behavior of Ship Officers in Maneuvering to Prevent a Collision, *Journal of Marine Science and Technology*, 14(4), 225-230.
12. Kemp, J., 2009, Behaviour Patterns in Crossing Situations, *Journal of Navigation*, 62(3), 443-453.
13. Cannel, W.P., 1981, Collision Avoidance as a Game of Co-ordination, *Journal of Navigation*, 34(2), 220-239.
14. Statheros, T., Howells, G. and McDonald-Maier, K., 2008, Autonomous Ship Collision Avoidance Navigation Concepts, Technologies and Techniques, *Journal of Navigation*, 61(1), 129-142.
15. Tam, C.K., Bucknall, R. and Greig, A., 2009, Review of Collision Avoidance and Path Planning Methods for Ships in Close Range Encounters,” *Journal of Navigation*, 62(2), 455-476.
16. Cockcroft, A. N. and Lameijer, J. N. F., 1996, A guide to the collision avoidance rules: International Regulations for Preventing Collisions at Sea, fifth edition, Oxford: Butterworth-Heinemann,.
17. Friedman, J.W., 1990, *Game Theory with Applications to Economics*, Oxford University Press.
18. Gibbons, R., 1992, *A Primer in Game Theory*, Harvester Wheatsheaf.
19. Rasmusen, E., 1994, *Games and Information: an Introduction to Game Theory*, Cambridge.
20. 鄭中義、吳兆麟，2000，船舶避碰決策，大連海事大學出版社。
21. 趙勁松、王逢辰，1999，船舶避碰學原理，大連海事大學出版社。