

以生物武器嚇阻中國之軍事經濟分析

A Military Economic Analysis of Using Biological Weapons to Deter China

曾偉君 *Tseng, Wei-Chun*

中興大學應用經濟系助理教授

Assistant professor of Department of Applied Economics,

National Chung Hsing University

黃思蘋 *Huang, Shi-Ping*

中興大學應用經濟系碩士，現任職財政部公職

M.S., national Chung Hsing University,

Currently employed at the Department of Finance.Economics

摘要 / Abstract

許多研究認為若是在台灣單獨對抗中國的情況下，戰敗是遲早的事。目前中國的整體經濟實力約是台灣的五倍，且差距日漸擴大；而台灣的軍事投資以向外軍購為主，不具備使經濟成長的效果，因此若欲以大幅提高傳統武器軍事投資占國民所得之比重，做為軍事安全的唯一手段，則將犧牲經濟成長，導致與中國整體經濟實力差距加速擴大的惡性循環。因此本文探討以生物武器作為嚇阻工具，應用 Stauermann 的重複序列賽局衝突模型，套用台灣與中國的經濟實力，並加入戰損，計算兩岸發生戰爭的可能性，區別和平與戰爭的範圍。

我們發現以生物武器嚇阻中國是可能成功的。此結果或可作為我方尋求其他安全手段，例如兩岸談判或強化台美日軍事對話，的一個籌碼。

Taiwan and China have some subtle relationships. The trades and investments between Taiwan and China have been increasing significantly since 1980s. However, China never gives up using forces to attack Taiwan. So people in Taiwan live on a knife-edge between peace and war. The military strength is proportional to the Economic strength. China's economy is about five times of Taiwan's, and the gap is increasing. Purely relying on the tradition weapons is not sufficient to protect Taiwan. Biological weapons are powerful and hard to be uncovered. Taiwan has the necessary biological, medical, and scientific technologies to develop and deploy biological weapons. Thus this thesis applies game theories to investigate the possibility of using biological weapons to deter China and to maintain the peace. The games used are a basic sequential game, a sequential game with asymmetric information, and Peter Stauvermann's repeated sequential game conflict model. Taiwan's GDP and China's GDP are adopted to evaluate the possibilities of war and peace. Attritions are incorporated into the model to make the model more realistic. Both tradition wars and biological wars are simulated. We found that in many situations, the tremendous loss of the biological war can deter the ambition of the relatively strong party, China, to start a war. Using biological weapons to maintain peace is feasible. This results can help Taiwan on the negotiations with China even Taiwan does not develop biological weapons, as long as Taiwan is able to develop such weapons secretly and in no time.

關鍵詞：生物武器；衝突模型；序列賽局；戰損；嚇阻；戰略安全

Keywords: biological weapons, collaboration model, sequential games, attrition, deterrence, strategic security

壹、前言

禽流感是最近引起全世界關注的重大危機，歐盟各國於 2005 年 8 月 26 日針對預防禽流感召開會議，商討對策，英國醫學專家發出強烈警告，呼籲應把禽流感疫情擴散之虞列為「國家緊急事態」。他們說目前最重要的是必須擬訂一套全面性的合作策略，防範在一九一八年禽流感大流行造成的全面性恐慌和傷害重覆發生。當時流感肆虐時，造成四千萬人死亡，人數比第一次世界大戰還多。單在英國，即有四分之一的人口喪生。此外部分專家亦警告，如果病毒可以人傳人，數以千萬的民眾可能因此而死亡，災情可能和一九一八年暴發的流行性感冒一樣嚴重，全球的經濟甚至可能因此陷入谷底，成為一九三零年代經濟大蕭條以來程度最深的災難。世界衛生組織的專家說，如果禽流感病毒變異到可在人類中傳播，那麼可能會有高達 5000 萬的人死於該種病毒。著名的國際事務(*Foreign Affaire*)期刊，罕見地以紅標題，並刊載公衛專家 Osterholm¹ 等之 4 篇文章來探討，科學界最著名的科學(*Science*)及自然(*Nature*)期刊亦聯名發表禽流感的最新研究發展，如 Check²、Ferguson 等³、Le 等⁴、以及 Holmes 等。⁵

回顧 2003 年 SARS (嚴重急性呼吸道症候群) 於亞洲的大流行，全球有三十多個國家受到波及，總共有八千多人被感染，死亡人數約有七百七十人，使亞洲經濟成長減緩 2%，相當於一年八千億美元的經濟損失，主要是大家害

¹ Osterholm MT, "Preparing for the next pandemic," *Foreign Affaire*, Vol.84 (2005), p.24-37.

² Check E, "Avian flu special: Is this our best shot?," *Nature*, Vol.435 (2005), p.404-406.

³ Ferguson NM, Cummings DAT, Cauchemez S, Fraser C, Riley S, Meeyai A, Iamsirithaworn S, Burke DS, "Strategies for containing an emerging influenza pandemic in Southeast Asia," *Nature*, Vol.437 (2005), p.209-214.

⁴ Le QM, Kiso M, Someya K, Sakai YT, Nguyen Le, Q. Mai, Maki Kiso, Kazuhiko Someya, Yuko T. Sakai, T. Hien Nguyen, TH, Nguyen KHL, Pham ND, Ngyen HH, Yamada S, Muramoto Y, Horimoto T, Takada A, Goto H, Suzuki T, Suzuki Y, Kawaoka Y, "Avian flu: Isolation of drug-resistant H5N1 virus," *Nature*, Vol.437 (2005), p.1108.

⁵ Holmes EC, Taubenberger JK, Grenfell BT, "Heading off an influenza pandemic," *Science*, Vol.309 (2005), p.989.

怕外出，使商店、旅遊、餐廳、旅館等的生意一落千丈所致⁶，而禽流感病毒的危害可能遠甚於 SARS。以現在全球人口的密集度以及交通運輸的發達，病毒的傳遞是無國界的，且基因轉變的角度時常快到人類來不及反應。

而這些還只是天然發生的傳染病，生物武器的殺傷力，不容小覷。殷天爵⁷指出最新的發展就是基因改造過的生物武器。1990 年代澳洲小鼠實驗證實基因改造過的病毒，使小鼠完全喪失抵抗力。1991 年美國紅外線衛星偵測到蘇聯試射的洲際飛彈不像往常一般旋轉，而且進入大氣層還減速以降溫。而核彈頭內部溫度即使高達攝氏 100 度也不會引爆，顯示蘇聯已有戰略生物武器。而近兩年，美國⁸及法國先後改變核武戰略，將以核武對付生化武器，這些都驗證生物武器的威力強大。

鑑於台海兩岸動輒得咎的不穩定關係，些微的風吹草動便使台灣內部之經濟、社會產生波動，中國視台灣為中國權力擴張的一個重要關鍵，台灣也是強權競爭的重要籌碼；以中國的廣大領土且優於台灣數倍以上的整體經濟實力的威脅下，兩岸的不平衡發展速度令人驚訝。美國國防部的評估報告中亦指出，台灣若無適當軍售支持，台海兩岸的戰略均勢至 2006 年後，將由中共取得領先。且一旦戰事發生，美軍是否真會派兵援助台灣將不得而知，如果一味期盼美國未來在台海衝突時能「做什麼」，台灣的安全其實是缺乏保障的。為求將來穩定和平的生存，台灣必須尋求自保的方法。

許多研究認為若是在台灣單獨對抗中國的情況下，戰敗是遲早的事。目前中國的整體經濟實力約是台灣的五倍，且差距日漸擴大；而台灣的軍事投資以向外軍購為主，不具備使經濟成長的效果，因此若欲以大幅提高傳統武器軍事投資占國民所得之比重，做為軍事安全的唯一手段，則將犧牲經濟成長，導致與中國整體經濟實力差距加速擴大的惡性循環，終究導致失敗。既然依靠傳統武器不足以防衛台灣，迫使台灣必須尋求足夠嚇阻中國攻擊的工具，捍衛目前及將來穩定和平的生存。大量毀滅武器威力大，更重要的是其殺傷同樣人數所需之成本遠比傳統武器低廉，因此是值得我們考慮的方向。然而大量毀滅武器

⁶ 徐明達，《禽流感大戰疫》(台北：時報出版社，2005 年)，頁 148。

⁷ 殷天爵，《拒絕毀滅-大規模毀滅性武器預防與因應》(台北：時英出版社，2005 年)，頁 198。

⁸ 丁樹範，「美國導彈防衛與核武態勢評估對中國核武政策影響」，《問題與研究》，第 44 卷第 3 期 (2005 年 5、6 月)，頁 93。

中，核武研發易曝光而遭阻撓，化武次之，唯有生物武器最容易秘密研發生產。且台灣具有所需之生物醫學及科技，例如，最高等級之第四級生物實驗室是研究最危險的病毒及細菌所必需的設備，全世界僅有不到兩打這種等級的生物實驗室，而台灣很早即已擁有。引發本文探討以生物武器作為嚇阻工具的動機。

生物武器係指具感染性的細菌、病毒等微生物，侵入生物體後，會以幾何級數繁殖，最後摧毀其生命。生物武器利用未知的恐懼，利用傳染病原的大量散佈能力，達到某種目的，所造成的不只是有形的人類動物的傷亡，更造成無形中未知的恐慌。在戰爭中，生物武器用以傷害人畜、摧毀農作物、破壞生態環境，造成對方廣大地區傳染病的流行，大面積農作物壞死，形成嚴重的感染區，限制敵軍機動能力，進而達到削弱敵軍戰力、造成心理恐慌、癱瘓其戰爭潛力的戰略目的。此種武器製造過程易隱藏，所需經費較少，且致病性強又容易釋放，被稱為窮人的原子彈⁹，尤其潛伏期時無法以人體感官察覺出來，是種恐怖又具毀滅性的嚇阻工具。

五角大廈的一篇秘密報告中，揭露出台灣因為多年來外交孤立，導致軍事科技的老化與欠缺演練，面對中國的戰機、彈道飛彈和巡弋飛彈都顯得相當脆弱¹⁰，故台灣在面臨台灣海峽安全情勢中招架能力有限，產生若干關鍵弱點；在自然資源匱乏、戰略空間狹小、經濟命脈薄弱、軍事力量有限、政治立場複雜、國防科技不足的情況下，甚至在面臨經濟發展與國防兩難的窘境下，台灣選擇了逐年降低國防支出，中國之國防支出金額卻是逐年增加。

台灣龐大的國防支出仍無法與中國相比較，目前官方顯示的國防支出中，中國之國防支出已是台灣的三倍，若依照美國估計，還原中國隱藏的部分，其國防支出將高達台灣之十倍；且台灣因政治因素，在國際上的地位逐漸邊緣化，外交孤立連帶使台灣國防安全受到影響，缺乏軍事盟國與軍購武器的限制是台灣在國防上遇到最大的困難，若持續與中國進行傳統武器的軍備競賽，對台灣而言並無優勢，是否能尋求成本低廉且有用的嚇阻工具以彌補台灣之不足，是本研究的主要目的。

⁹ Judith Miller、Stephen Engelberg、William Broad, *Germs: Biological Weapons and America's Secret War* (NY: Simon & Schuster, 2001).

¹⁰ 林正義，「台灣安全與美國：行政部門 V.S. 國會」，《國防政策評論》，第 1 卷第 1 期（2000 年秋季），頁 49。

國防報告書中指出，台灣的防衛作戰構想為「根據有效嚇阻、防衛固守之戰略構想，控制空、制海、地面防衛作戰，發揮三軍聯合作戰戰力：以資電先導、遏制超限、聯合制空、制海，確保地面安全，擊滅犯敵之指導，建立小而精、反應快、效率高之精準打擊戰力，以達成有效嚇阻之目標」¹¹。本文循此戰略構想，研究發展生物武器作為嚇阻工具的潛力分析，探討是否以此達成「有效嚇阻、防衛固守」之目標。

具體而言，本研究之目的如下：1.藉由競爭成功函數(contest success function)所設計戰爭獲勝的機率公式套用在序列賽局(sequential games)的模型，評估台灣「生物嚇阻」戰略的可行性。2.擴大賽局模型，計算戰爭所造成的戰損，並以軟體程式計算出最優策略。3.依據 Peter Stauvermann¹²的衝突模型(conflict model)，結合台海雙方實際經濟實力，計算和平與戰爭的可能性，並研究不同武器所造成的戰損對和平均衡的影響，估算台灣與中國和平的均衡範圍。4.研究以「生物武器嚇阻中國」之可行性，主要達成「有效嚇阻」的目的作為政策選擇之用，並非為發動生物戰爭而進行研究。

根據研究目的，本文將以賽局理論評估台灣以生物武器嚇阻中國以求得和平的可行性；賽局理論所探討的是在某一情況下，一群決策者所面臨的問題，假設與賽者在理性的情況下，基於求得最大利益所作的決策，應用序列賽局(sequential games)模型作為本研究之主要分析工具，計算研究以兩種毀滅程度不同的生物武器對抗中國的可行性，並考慮納入戰爭所造成的傷亡以致經濟的倒退，進而推算雙方的戰損，以軟體程式計算出戰爭與和平之結果。

但實際上發展生物武器牽涉國際反擴散規範，也涉及 911 事件後國際社會對防止大規模毀滅性武器擴散的嚴重關切與高度共識。台灣是否發展生物武器，除從經濟角度分析外，亦受國際政治、區域穩定、兩岸情勢、國內民意等多重因素的綜合影響。因此本文排除上述因素的考量，單從經濟成本角度分析。

¹¹ 《中華民國九十一年國防報告書》(台北：中華民國國防部，2002年7月)，頁47。

¹² Peter Stauvermann, "Why Is There So Much Peace?," *Defence and Peace Economics*, Vol.13:1 (2002), p.61-75.

貳、兩岸軍事經濟態勢

據前國防部副部長林中斌（武器專家）說，「中共早已經在導彈、巡戈飛彈、軍事衛星、潛水艇等方面佔盡優勢，2005年時台灣將失去戰機、戰艦、電子戰的優勢，到2010年~2015年時中共有能力閃電攻擊台灣，並可以立刻使台灣屈服。」且如楊志恆所言¹³中共引進新式武器後，主要將之部署東南沿海，亦即台灣對面。因此，以台灣經濟現況與兩岸軍備競賽事實，若依靠傳統武器欲單獨與大陸軍力抗衡，永遠不能取得平衡，而且會拖垮了台灣的經濟，如表1，依據財政部國庫署公佈之1999年至2003年的支出項目可知，國防支出由1999年的22.61%降至九十年的14.7%，在經濟發展與社會福利方面的支出是逐年上升，顯示台灣欲以經濟及社福發展為重的意念。

近年來台灣空軍購進許多新武器系統，可是後續的武器維持經費卻無維持一定的成長速度，國防經費大多用於人事費用（如表2），人員維持費的成本高於軍事投資及作業維持費，即台灣沒有足夠的經費購買先進武器，或即使有先進武器，卻無足夠的成本作維護與更新，在質化、精化的軍備革新中，是很大的問題。

參、生物武器威力大且隱匿性高

生物武器之所以稱為窮國的毀滅性武器是因為其生產容易、成本低，只須有生物細菌的培養室加上現今快速發展的生物科技，既可生產各種抗生素和疫苗，又可生產任何一種病原體，造價遠比核子武器便宜，又可製成威力逼近核子武器的戰劑（如表3），在無防禦的情況下，生物武器可比美小型核武，甚至造成更嚴重的效果。

依據美國國會1989年通過之生物武器法案（The Biological Weapon Act）所訂：生物武器係指具感染性的細菌、病毒等微生物、以及其產生之毒素或供投遞的載具，可能影響環境、污染飲水、食物或其供應的設備，進而引起人、

¹³ 楊志恆，「中共跨世紀軍備發展策略分析」，《全球政治評論》，第5期（2004年1

動物、植物或其他生物體疫病者¹⁴。其運用病菌、活生物及其所產生的毒素，能夠使人們大量患病死亡，或者使食物來源（農作物、牲畜）受病菌感染，無法食用或飲用，以削弱敵人戰鬥力量，同時無法以人類器官感覺或普通偵檢器材偵檢出來，只能利用生物實驗室細菌培養化驗方法來鑑定，且一旦遭受戰劑感染至有病徵出現，會有幾天的潛伏期，若暴露在等量生物戰劑之下，人們受感染的程度將因人而異，因此一旦使用生物武器，可能會產生相當大的下風危害區域。

從遠古的歷史研究過去，會發現利用細菌消滅敵人的戰略自古已存在，早在 1346 年，韃靼人就曾利用彈射機將感染病菌的屍體射進敵陣中，造成歐洲鼠疫大流行，多達兩千五百萬人死亡。自此，生物武器便走向戰爭中。

2001 年 10 月以前，生物戰相對於其他傳統武器戰爭出現的次數是少之又少，一般人以為生物戰不會出現在周遭，應有的防護自然不足，但自九一一事件後，美國又遭受恐怖組織使用炭疽病毒威脅，生物武器又開始受世界重視。生物武器雖不會像核子武器和高能炸彈那樣破壞建築物，但是它可以在短時間內令一座生機勃勃的城市變成一座死城，其特點有四：

- 一、致病性強、傳染性大：人或牲畜吸入或接觸到少量的細菌孢子，便足以感染，在缺乏防護及嚴密的隔離下，很容易傳播、蔓延，引起傳染病流行。
- 二、容易釋放：散佈後能在空氣中生存一段時間透過氣溶膠、牲畜、植物、信件等釋放傳播，容易大量生產。
- 三、有潛伏期：潛伏期最短的至少也有三至六小時，一般是三到四天，通常潛伏期的症狀不明顯，難以及時發現，且不易取得人為的抗體。
- 四、生產容易、成本低：這是生物武器又被稱為窮國的氫彈之原因，以現今快速發展的生物科技，既可生產各種抗生素和疫苗，又可生產任何一種病原體，製造成本較其他毀滅性武器（例如：核子武器等）低。

月)，頁 71。

¹⁴ WHO Group of Consultants. Health aspects of Chemical and Biological and Weapons, Geneva: World Health Organization; Alibek K, Handelman S. Biohazard. New York, 1999: 98-109.

表 1 中央政府四年財政支出 單位：億元

項 目	88 年		88 年下半年及 89 年		90 年		91 年	
	金額	%	金額	%	金額	%	金額	%
歲出總額	11,639.89	100.0	22,301.45	100.0	16,370.79	100.0	15,521.62	100.0
1.一般政務支出	1,345.69	11.56	2,349.29	10.5	1,784.91	10.90	1,623.23	10.5
2.國防支出	2,631.66	22.61	3,432.82	15.39	2,442.48	14.92	2,252.53	14.5
3.教育科學文化支出	2,026.69	17.41	3,676.35	16.49	2,663.18	16.27	2,670.25	17.2
4.經濟發展支出	1,725.52	14.82	3,564.18	15.98	2,806.48	17.14	2,912.04	18.8
5.社會福利支出	1,575.88	13.54	4,110.23	18.44	3,002.85	18.34	2,623.27	16.9
6.社區發展及環境保護支出	192.60	1.65	396.27	1.78	234.35	1.43	234.33	1.5
7.退休撫卹支出	1,292.72	11.11	1,953.95	8.77	1,413.09	8.64	1,242.88	8.0
8.債務支出	802.62	6.90	2,495.84	11.19	1,600.57	9.78	1,522.40	9.8
9.一般補助及其他支出	46.52	0.4	322.53	1.46	422.88	2.58	440.69	2.8

說明：1. (1) 88 年度、88 年下半年及 89 年度為審定決算數。

(2) 90 年度為含追加減預算之總預算數。

2. 依新修正預算法第十二條規定，政府會計年度由七月制調整為曆年制，爰 89 年度預算數係依法以十八個月編製，期間自 88 年 7 月 1 日至 89 年 12 月 31 日。

3. 支出總額不包含債務還本。

資料來源：財政部國庫署、行政院主計處、<http://www.mof.gov.tw/default.asp>。

單位：億元

表 2 2003 年度台灣各軍種人員、作業及軍事投資費比例

軍(兵)種	項 目		人員維持費	軍事投資費	作業維持費	總額及占國防預算比例
	總金額	占全軍之比例				
陸軍	總金額		751	94	170	1,015
	占全軍之比例		52.61%	18.03%	29.83%	38.81%
海軍	總金額		219	99	109	427
	占全軍之比例		13.97%	19%	19.29%	16.32%
空軍	總金額		203	138	133	474
	占全軍之比例		13.53%	26.33%	23.44%	18.12%
聯勤司令部	總金額		54	83	4.8	141.8
	占全軍之比例		3.85%	15.89%	0.85%	5.42%
後備司令部	總金額		24	9.0	4.2	37.2
	占全軍之比例		1.69%	1.72%	0.74%	1.42%
憲兵司令部	總金額		56	5	3.3	64.3
	占全軍之比例		3.91%	0.96%	0.58%	2.45%
聯參及直屬單位	總金額		150	94	87	331
	占全軍之比例		10.44%	18.07%	15.28%	12.65%

資料來源：中華民國九十二年國防報告書，頁 107。

表3 核武、化武、生武及傳統武器效果之比較 單位：人

彈頭類型	無防禦情況下		有防禦情況下	
	死亡	受傷	死亡	受傷
傳統武器(1公噸高能炸彈)	5	12	2	6
化學武器(300公斤沙林毒氣)	200-3,000	200-3,000	20-300	20-300
生物武器(30公斤炭疽孢子)	20,000-80,000	--	2,000-8,000	--
核子武器(20,000噸)	40,000	40,000	20,000	20,000

NOTE 假設 1：一公噸高能炸彈瞄準一個平均人口密度 30 人/公頃的大城市。
 假設 2：傳統武器與核子武器的事先防禦，會使傷亡減少二倍，而化學武器及生物武器的事先防禦則能夠使傷亡減少十倍。

資料來源：Steve Fetter, "Ballistic Missiles and Weapons of Mass Destruction," *International Security*, Vol.16:1(1991 Summer), p.27¹⁵.

觀察生物戰的歷史資料，可將其發展分為以下三階段：

第一階段：第一次世界大戰之前到結束，這個階段所研製的生物戰劑，僅是幾種人畜共患的致病細菌，生產規模較小，施放方法簡單，主要派秘密人員去污染敵方水源、食物或飼料，例如德國曾在第一次世界大戰中，使用馬鼻疽桿菌感染羅馬尼亞的幾千頭牲畜。

第二階段：三十年代至七十年代，這個階段生物武器發展的特點一戰劑種類增多、生產規模擴大，主要施放方式是用飛機佈灑帶有生物戰劑的媒介物，擴大攻擊的範圍，這一時期是歷史上使用生物武器最多的年代，七十年代，日軍在中國東北建立生物武器生產中心，對中國軍民進行慘無人道的細菌生物戰；五十年代以美國為首的聯合國軍隊在北韓使用生物武器，同時像英國、德國等國也開始研製生物武器

¹⁵ Steve Fetter：粗略的估計使用四種武器於人口稀少的大城市，有防禦和無防禦情況下的傷亡估計，若使用於人口密集的大城市（例如：開羅、德黑蘭），其傷亡會是表 2.1 估計結果的十倍，（台灣與北京人口密度相當於此）。估計結果顯示，一個相對小型的核武彈頭(20 公斤)是一公噸傳統武器毀滅能力的 10,000 倍，是神經毒氣等化學武器的 10-100 倍，但與未防禦的生物武器效果相差不遠，故生化武器被歸類為「大量毀滅性武器」，尤其是生物武器，例如炭疽病毒（或其他致命病原體）能夠殺死和核武一樣多的人，即使它無法推毀任何一棟建築物。

及其防護措施，在研製試驗中不斷地發生事故。

第三階段：始於七十年代中期，其特徵是生物科技迅速發展，特別是 DNA 重組技術的廣泛應用，不但有利於生物戰劑的大量生產，而且可依照生物戰的需求開發新戰劑，使生物武器進入基因武器的階段，進而再次引起國際間的重視。

而美國疾病管制局亦將病毒或細菌依傳染力大小、致死率等分為 ABC 三個等級，茲列如表 4：

表 4 重大生物戰劑分級表

A 級	特性：極易散播或容易人與人之間傳染具高度致死率可能引起大眾恐慌或社會崩潰
種類	炭疽 Anthrax (<i>Bacillus anthracis</i>) 肉毒桿菌毒素 Botulism (<i>Clostridium botulinum</i> toxin) 鼠疫桿菌 Plague (<i>Yersinia pestis</i>) 天花 Smallpox (<i>variola major</i>) 兔熱病 Tularemia (<i>Francisella tularensis</i>) 病毒性出血熱 Viral hemorrhagic fevers (例如：伊波拉病毒、馬堡病毒、拉薩病毒)
B 級	特性：適合散播、中等致病率及低致死率
種類	布魯氏桿菌 Brucellosis (<i>Brucella</i> species) 產氣梭狀桿菌 Epsilon toxin of <i>Clostridium perfringens</i> 食物安全威脅 (沙門氏菌症、大腸桿菌、痢疾桿菌) Food safety threats (e.g., <i>Salmonella</i> species, <i>Escherichia coli</i> O157:H7, <i>Shigella</i>) 馬鼻疽病 Glanders (<i>Burkholderia mallei</i>) 類鼻疽 Melioidosis (<i>Burkholderia pseudomallei</i>) 鸚鵡病 Psittacosis (<i>Chlamydia psittaci</i>) Q 型熱 Q fever (<i>Coxiella burnetii</i>)

蓖麻毒素 Ricin toxin from *Ricinus communis* (castor beans)
腸毒素 Staphylococcal enterotoxin B
斑疹傷寒 Typhus fever (*Rickettsia prowazekii*)
腦炎 Viral encephalitis (alphaviruses
[e.g., Venezuelan equine encephalitis, eastern equine encephalitis,
western equine encephalitis])
水安全威脅 Water safety threats
(e.g., *Vibrio cholerae* 霍亂弧菌, *Cryptosporidium parvum* 隱孢子蟲)

C 級 特性：有效性、生產及散播容易、有致死率的可能性

種類 立百病毒 (Nipah virus)
漢他病毒 (hantavirus)

資料來源：美國疾病管制局生物恐怖主義的工具/疾病
(<http://www.bt.cdc.gov/agent/agentlist.asp>)。

但生物武器也有其侷限性，受氣象、地形等多種因素的影響，烈日、風雪都會影響生物武器的使用效果，而且使用時不易控制，使用不當會危害己方部隊人員，且生物戰劑進入人體到發病均有一段潛伏期，短的幾小時，長的數天以上，不能立即讓人員戰力消失，如果在這期間內可察覺並採取措施，造成的危害效果便大打折扣，可減輕其危害，此外若預防注射、平時衛生狀況保持良好，都可減輕或防止生物武器所造成的傷害。

再者，病毒是人類的宿敵，遠在人類的祖先尚未出現在地球之前，病毒就已經存在，它會在無垠的時間裡大量地繁殖¹⁶，本研究蒐集出傳染病史上重大死亡人數估計如表 5：

¹⁶ Joseph B. McCormick、Susan Fisher-Hoch，何穎怡譯，《第四級病毒，Level 4: virus hunters of the CDC》(台北：商周出版，2002年)。

表 5 歷史上重大傳染病死亡人數估計

疾 病	感染人數	死亡 人數	當時人口 (時間)	推算應用於 現今中國效果	備註
鼠疫 (黑死病)	--	2500 萬	1 億 (14 世紀歐洲)	32500 萬	--
流感	--	2000 萬	17 億 (1918-19 年)	1539 萬	2 年
天花病毒	1500 萬	200 萬	36 億(1970 年)	72 萬	每年
愛滋病	500 萬(新增)	300 萬	60 億(2003 年)	65 萬	每年

資料來源：WHO (世界衛生組織) <http://www.who.int/csr/disease/smallpox/en/>。

由實證觀之，傳染病的流行如同小型生物武器般，可造成數十萬、數千萬甚至更嚴重的死亡災情，但值得深思的是，感染力及死亡率逐年下降，科技及醫藥的進步，使得人們有更嚴謹的防護制度，即使如同愛滋病這種無疫苗的傳染病，人們也都有了警戒心，而且，傳染病的時效是長期的，讓人類在恐慌中做出非理性的行為，所造成的影響，不僅僅是眾多生命的結束，更可能引起人類心理的邪惡。在 911 事件後，紐約時報記者 Judith Miller、Stephen Engelberg、William Broad 寫了「細菌戰(Germs)」這本書¹⁷，道出美國生化武器之祕，整理如表 6：

¹⁷ Judith Miller、Stephen Engelberg、William Broad，齊思賢譯，《細菌戰，Germs》(台北：時報文化出版企業股份有限公司，2002 年)。

表6 生化攻擊

菌種	爆發時間	詳情及結果
SEB、VEE、Q型熱	1962年古巴飛彈危機	預計於古巴重要城鎮、港口及軍事基地，是為美國馬歇爾計畫（估計可造成古巴全部人口的1%，約七萬人死亡），結果計畫未行，但美國首度認為細菌作戰計畫大有可為。
炭疽熱	1979/4	位於俄羅斯史佛洛夫斯克市，起因於蘇聯發展細菌武器基地爆炸意外，顯示蘇聯公然違反生物武器公約，發展攻擊性細菌武器。
沙門氏桿菌	1984/9/17	由拉金尼什教派發動於美國奧勒岡州達勒斯鎮，為美國本土第一次遭受大規模細菌恐怖攻擊。
炭疽熱、鼠疫、天花、免熱病等病毒	1988年春季	發生於哈薩克鹹海中的復興島，因蘇聯史佛洛夫斯克市科學家利用小島進行病毒開放空間測試，復興島成為全球炭疽熱戰劑最大墳場。
肉毒桿菌、炭疽熱、梭狀芽胞桿菌	1991/9	於伊拉克「哈坎」工廠，證實伊拉克的設備足以生產七百四十億劑致命肉毒桿菌細菌戰劑
炭疽熱、肉毒桿菌	1991/9/15	由伊拉克總統海珊下令，用於沙烏地阿拉伯盟軍駐紮地，顯示伊拉克擁有強大生化武器，美軍備戰不足，恐爆發慘重傷亡。
神經毒氣	1991年美軍轟炸伊拉克軍火庫後	於沙烏地阿拉伯聯軍駐紮地，美國軍方隱瞞波灣戰爭期間接觸過生化武器，事實證明美國數千人及數萬名聯軍受到感染。
結合仙人掌桿菌毒素炭疽熱	1992年研發成功	顯示蘇聯已經研發出全世界最厲害毒性最強的炭疽熱菌種。
沙林神經性毒氣	1995/3/19	由日本奧姆真理教發動，於東京地下鐵月台釋放毒氣，美國政府首度重視恐怖份子的生化攻擊議題。
西尼羅河式病毒	1999/8/8	發生於紐約市皇后區北部，造成六十二人罹病，七人死亡，數百萬隻鳥類受感染，顯示美國公共醫療體系對疫情反應迅速，但疾病管制及預防中心卻未能及時檢測出病毒種類。

資料來源：Judith Miller、Stephen Engelberg、William Broad，齊思賢譯，2002年，《細菌戰，Germs》，時報文化出版企業股份有限公司，頁76。

由上表可知，於 1972 年簽定的生物武器公約因為無強制約束力，以及生物武器效力的吸引，使公約流於形式，美國更於 2001 年提出反恐怖主義預算一百億美元，其中包括提升細菌武器防禦體系二十八億美元、訓練生化攻擊緊急應變人員六億八千三百萬美元、保護政府設施兩億六百萬美元及研究病原體研發新疫苗三億八千一百萬美元。將來生物武器的競賽不知是否會超越核武競賽，但可以證實的是，越來越多國家投入生武的行列，如：前蘇聯、伊拉克及南非許多科學家致力於研發足以造成大規模傷亡的病原體...等，由於人性使然，生物武器的擁有國只會增加，不會減少。

須注意的是，生物武器是雙刃劍，細菌病毒不會識別敵我。如何在實務上防止生物武器反噬，是重要的議題。在實務上防止生物武器反噬，辦法主要有 Pearson¹⁸提及的藥物及疫苗。以伊波拉病毒為例，雷巴抗病毒素即有相當效果。以禽流感及流感大流行為例，世界衛生組織¹⁹指出，幾種抗病毒藥物在預防及治療上有效。其中克流感 (Tamiflu) 及瑞樂莎 (Relenza) 是世界各國儲備存的主要的抗病毒藥物。而 Enserink²⁰指出，疫苗是最有效的方式。因此，一國可在發展戰劑的同時，研發生產儲備足量的針對性藥物及疫苗，以防止生物武器反噬。

肆、賽局理論與嚇阻

「嚇阻」在近代戰略中為主要的重點，嚇阻可以是一項政策目標、一項戰略、一種準則或是一個現象²¹，將行動中每種過程的利益都計算出來，從中選擇，以最小的風險達最大的效果²²。在近代核武的衝擊下，嚇阻理論成為主要

¹⁸ Pearson, G., 1998, "The Threat of Deliberate Disease in the 21st Century," in "Biological Weapons Proliferation: Reasons for Concern," *Courses of Action* (Washington, D.C., USA: The Henry L. Stimson Center), Report No.18, p.11-38.

¹⁹ WHO, 2005, "global influenza preparedness plan: The role of WHO and recommendations for national measures before and during pandemics." By Department of Communicable Disease Surveillance and Response, Global Influenza Program, World Health Organization web site.

²⁰ Enserink M., "Pandemic vaccine appears to protect only at high doses," *Science*, Vol.309 (2005), p.996.

²¹ Patrick Morgan, *Deterrence: A Conceptual Analysis*, (2nd edition, 1983), p.20.

²² Henry A. Kissinger, 胡國材譯，《核子武器與外交政策》(台北：黎明，1982)，頁 125。

的研究議題，冷戰期間，美蘇兩強各擁有強大的核子武器，及優秀的軍事專家，雙方的對峙狀態使全人類一直籠罩在全面性核子大戰的恐怖陰影中，幸運的是，雖然雙方曾有數次瀕臨爆發的邊緣，但是最後卻都及時達成妥協，使得人類能夠免於遭到核子戰爭的浩劫，強化了嚇阻的重要性²³。

至目前為止，學者針對生物武器擴散的問題做了許多防範之研究，但卻尚未有人研究生物武器嚇阻的問題。Aron²⁴認為核子武器的出現對於國際關係的互動模式產生相當大的影響，因其巨大的破壞力與殺傷力，核武擁有國在使用上會相當自制與小心。Bull²⁵指出，核武出現後，戰爭的角色產生很大的轉變，戰爭不再是國家政策的工具而是國家政策錯誤的表現。林長盛及牛銘實²⁶認為中共發展核子武器是為了嚇阻美軍介入台海衝突。而相同的觀點回到同樣是毀滅性武器的生物武器上，雖然其不具巨大的破壞力，但卻有足夠的殺傷力，基於風險的考量，使用者會相當保守，對於台灣和平的需求應有相當的貢獻。

賽局理論自八十年代開始，逐漸成為經濟學一種重要研究方法，透過其理論，可解釋選擇的過程。賽局理論是一種分析工具，它研究「怎樣以數學模型模擬理性決策者之間的衝突與合作」²⁷。賽局理論應用於決策的範圍相當廣泛，舉凡經濟學、政治學、法學、社會學都有相當的學術研究，以政治經濟為例，現代政治學試圖以數學模型模擬選舉過程、候選人的策略、立法過程、國際關係以及其他政治、經濟發展過程。

將賽局理論應用於嚇阻之研究，有1930年代Frederik Zeuthen對經濟戰爭的研究、1947年由John von Neumann和Oskar Morgenstern二位教授所著之「博弈理論與經濟行為」²⁸，和二次大戰後Thomas C. Schelling²⁹之國際談判，其所

²³ Jurg Martin Gabries, *World and Theories of International Relations* (London: Macmillan Press, 1994), p.96-97.

²⁴ Aron, Raymond, 1968, "The Anarchical Order of Power," in Stanley Hoffmann eds., *Condition of World Order* (New York: Simon and Schuster), Ch2.

²⁵ Bull, Hedley, *The anarchical Society* (New York: Columbia University Press, 1977), p.178-194.

²⁶ 林長盛及牛銘實，「論中共嚇阻美軍介入台海衝突的軍事準備及其影響」，《中國大陸研究》，第46卷第6期（2003年11、12月），頁64。

²⁷ Roger B. Myerson, *Game Theory: Analysis of Conflict* (1992).

²⁸ John Von Neumann and Oskar Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*,

提出的危機邊緣政策(Brinkmanship)：理性的雙方不會鋌而走險，為賽局的一種均衡狀態，其重要原則為：提出可信的威脅，最後結果可能引發戰爭，雙方都會嚴重受創。Harvey and Todd³⁰用賽局理論(game theory)研究政府面對恐怖組織危脅時，政府所作的回應。

國內學者將賽局理用應用於解釋兩岸之間關係，在1979年以前，許多學者認為兩岸處於零和賽局(zerosum game)，1979年後，中國改變以往高度敵對的態度，使得兩岸關係進入另一個階段，改以非零和賽局(nonzerosum game)中相當具有代表性的「囚徒困境」(Prisoner's Dilemma)遊戲理論的觀點，來分析台海兩岸的關係。包宗和(1993)以「僵持遊戲(deadlock game)」與「囚徒困境 (prisoner's dilemma game)」來解釋台海兩岸關係近四十年來的演變，探討中國與台灣為何在一場囚徒困境遊戲中遍離正常的理性選擇，理論的核心內容是研究各種相互依賴的決策過程。因此，以合理策劃相互依存戰略為主題的賽局理論，必然成為基本的分析工具³¹。

但迄今未有人將賽局理論用於兩岸生武嚇阻談判方面，台灣採用生武嚇阻是否能夠獲得和平？Waltz³²在書中分析表示：國家不會願意冒大風險來獲得較小的利益。戰爭仍然是可能的，但是勝利所需付出的代價太大，會使國家放棄嘗試的念頭。若一國可以計算出其所承擔的風險遠大於可能的收益，國家的攻擊意圖就變得很小³³。台灣建立生物武器嚇阻戰略是要表現出充分的能力與可信度，為了維護和平的決心要大於中國武力犯台的決心，若能使中國認知到這一點，他們的攻擊行為便不會發動。

2nd (Princeton: Princeton University Press, 1947).

²⁹ Thomas C. Shelling, *The Strategy of Conflict* (Harvard University Press, 1980).

³⁰ Harvey E. Lapan and Todd Sandler, "To Bargain or Not to Bargain: That is The Question," *The Political Economy of Terrorism*, Vol.78:2 (1988), p.16-21.

³¹ Peter C. Ordeshook, *Game Theory and political Theory* (1986).

³² Waltz, Kenneth N., *Theory of International Politics* (New York: Random House, 1979).

³³ Kenneth N. Waltz., *Theory of International Politics* (New York: Random House,1979).

伍、衝突模型的應用

本文引用了 Peter Stauvermann 改變的 conflict model，引用經濟理論改變模型，區別和平與戰爭的條件，模型中亦引用賽局理論，理論為完全訊息的序列賽局，其理論如下：

假設世界上有 i、j 兩國，i 國發動戰爭，其獲勝所得為 y_i^w ，戰爭獲勝的所得依據戰爭獲勝的機率 p^i ；同理，若 j 國發動戰爭，其獲勝所得為 y_j^w ，戰爭獲勝的機率為 p^j ，兩國的軍備投資 g_i 及 g_j ，和國內生產 $a_i k_i$ 及 $a_j k_j$ 而定，故 $y_i^w = p^i(g_i, g_j)(a_i k_i + a_j k_j - g_i - g_j)$ ，意含預期 i 國發動戰爭且獲勝可獲得兩國的國內生產減去耗盡的軍備投資，而和平的所得為原來 i 國的國內產量： $y_i^p = a_i k_i$ ；若 j 國發動戰爭，則 $y_j^w = p^j(g_i, g_j)(a_i k_i + a_j k_j - g_i - g_j)$ ，意含預期 j 國發動戰爭且獲勝可獲得兩國的國內生產減去耗盡的軍備投資，和平的所得為原來 j 國的國內產量： $y_j^p = a_j k_j$ 。

其兩國的效用函數如下：

$$U_i = \begin{cases} U_i^p = a_i k_i, & \text{if } ..g_i = g_j = 0(\text{peace..occurs}) \\ U_i^w = p^i(g_i, g_j)(a_i k_i + a_j k_j - g_i - g_j), & \text{if } ..g_i > 0 \text{..and / or..} g_j > 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$U_j = \begin{cases} U_j^p = a_j k_j, & \text{if } ..\text{peace..occurs} \\ U_j^w = p^j(g_i, g_j)(a_i k_i + a_j k_j - g_i - g_j), & \text{if } ..\text{a..war..occurs} \end{cases} \quad (2)$$

根據 Grossman and Kim(1995)的定義，兩國皆為戰爭與和平的風險中立者，其獲勝機率為：

$$p^i(g_i, g_j) = \begin{cases} 0, & \text{if } g_i = 0, g_j > 0 \\ \frac{\theta g_i}{\theta g_i + g_j}, & \text{if } g_i > 0 \\ 1, & \text{if } g_i > 0 \vee g_j = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$p^j(g_i, g_j) = 1 - p^i(g_i, g_j) = \frac{g_j}{\theta g_i + g_j} \quad (4)$$

式中 $\theta \in \mathfrak{R}^+ \setminus \{1\}$ ，表兩國武器效力的相對大小，若 $\theta < 1$ ，則 i 國的武器相對較 j 國弱。將原賽局模型引用為台灣與中國模式，兩國為 Stackelberg 的序列賽局(sequential game)。

應用在台灣與中國方面，本研究蒐集兩方的 GDP 進行驗證，檢驗台灣與中國的均衡點落在戰爭或和平的範圍。

表 7 為台灣與中國整體 GDP 的比較，以十億美元為單位，假設台灣的 GDP 為 $a_i k_i$ ，中國的 GDP 為 $a_j k_j$ ，由表中數據可知，中國的 GDP 大約為台灣的四至五倍，且中國經濟成長的速度高於台灣，在八 0 年代時，正值台灣在經濟發展的高峰時期，以台灣領土及資源小於中國許多倍的情況下，兩國 GDP 比仍能達到 40% 以上，但在九 0 年代開始，中國經濟顯然成長速度大於台灣，由 1994 年的 45%，逐年降至 2003 年的 20%，雙方的經濟比值本文整理如表 7：

表 7 國內生產毛額(GDP) 單位：十億美元

年別 (period)	中華民國 (R.O.C.) ($a_i k_i$)	中國大陸 (P.R.C.) ($a_i k_i$)	GDP 比 ($a_i k_i / a_i k_i$)
1986	75.4	295.5	0.25516
1987	101.6	321.2	0.31631
1988	123.1	400.9	0.30706
1989	149.1	449.3	0.33185
1990	160.2	388.8	0.41204
1991	179.4	406.9	0.44089
1992	212.2	483.0	0.43934
1993	224.3	601.1	0.37315
1994	244.3	542.5	0.45032
1995	264.9	700.2	0.37832
1996	279.6	816.5	0.34243
1997	290.2	898.2	0.32309
1998	267.2	946.3	0.28236
1999	287.9	991.4	0.29040
2000	309.4	1080.7	0.28630
2001	281.2	1175.7	0.23918
2002	281.9	1266.1	0.22265
2003	286.2	1409.9	0.20299

資料來源：行政院主計處第三局，國民所得統計摘要，94年3月，頁43。

<http://140.111.1.22/moecc/rs/pkg/tedc/bank/niaa/ch2.htm>

說明：各國貨幣兌換所用匯率係根據國際金融統計（國際貨幣基金）之平均匯率。

以上表為基準，若台灣與中國皆採用傳統武器對抗，兩國的武器效力趨近相同， θ 趨近於 1，現假設 $\theta=0.9$ 檢視台灣與中國的和平均衡範圍：

$$0.32173 \leq \frac{a_i k_i}{a_j k_j} \leq 2.89737$$

表示兩國 GDP 的比值只要大於 0.32173 且小於 2.89737，即為和平的範圍。但依上列數據顯示，兩國因為 GDP 的懸殊，台灣的經濟逐漸處於弱勢，而使經濟比值落於戰爭的範圍內，若台灣持續以傳統武器對抗中國，中國極有可能以武力攻擊台灣，且大獲全勝，台灣能享受現今的和平，至今仍未發生戰爭，評估是由於兩岸戰力仍未相差懸殊，且因台灣關係法的制衡，靠著美國的支援維持邊緣的和平。

以上所述是以實際數據套用在模型中所作的實證，但分析中少了一個最重要的部分：凡戰爭必會產生人員與物資的傷亡與毀滅，即使獲得勝利的一方，所接受的已不是戰爭前完好無缺的地區，而是必須付出重建受到攻擊損毀的傾倒建築的代價，亦或因戰爭死亡的人力資源，以及重建所必須付出的成本。故本研究擬加入戰損來討論之，假設戰爭後會造成 α 倍的 GDP 損失 ($0 < \alpha < 1$)³⁴，則兩國效用函數改變為：

$$U_i = \begin{cases} U_i^P = a_i k_i \\ U_i^W = p^i(g_i, g_j)(a_i k_i + a_j k_j - g_i - g_j - \alpha(a_i k_i + a_j k_j)) \end{cases} \quad (5)$$

$$U_j = \begin{cases} U_j^P = a_j k_j \\ U_j^W = p^j(g_i, g_j)(a_i k_i + a_j k_j - g_i - g_j - \alpha(a_i k_i + a_j k_j)) \end{cases} \quad (6)$$

³⁴ 根據 Steve Fetter(1991)的估計，武器的殺傷力效果：核子武器 > 生物武器 > 化學武器 > 傳統武器，故 α 值隨使用武器不同而不同，最壞的結果是相互毀滅，故 $0 < \alpha < 1$ 。

並可求解出最適軍事支出及戰爭勝利後的所得：

$$g_i^* = \frac{(1-\alpha)(a_i k_i + a_j k_j)(\sqrt{\theta} - 1)}{2(\theta - 1)} \quad (7)$$

$$g_j^* = \frac{(1-\alpha)(a_i k_i + a_j k_j)(\theta - \sqrt{\theta})}{2(\theta - 1)} \quad (8)$$

$$y_i^{w*} = \frac{(1-\alpha)(a_i k_i + a_j k_j)(\sqrt{\theta} - \theta)}{2(1-\theta)} \quad (9)$$

$$y_j^{w*} = \frac{(1-\alpha)(a_i k_i + a_j k_j)(1 - \sqrt{\theta})}{2(1-\theta)} \quad (10)$$

在加入戰損後的情況下，戰爭仍發生於 $y_i^w - y_i^p > 0$ 或 $y_j^w - y_j^p > 0$ 的情況下，求出和平範圍為：

$$\frac{\theta - \sqrt{\theta} - \alpha\theta + \alpha\sqrt{\theta}}{\theta + \sqrt{\theta} + \alpha\theta - \alpha\sqrt{\theta} - 2} \leq \frac{a_i k_i}{a_j k} \leq \frac{1 + \sqrt{\theta} - 2\theta + \alpha - \alpha\sqrt{\theta}}{1 - \sqrt{\theta} - \alpha + \alpha\sqrt{\theta}} \quad (11)$$

以下分析加入戰損之後不同武器對抗下，產生的結果。

一、傳統武器 VS 傳統武器

若台灣與中國仍然採用傳統武器對抗，兩國的武器效力趨近相同，以表 3 為基礎，1 公噸的高能炸彈可造成一個平均人口密度 30 人/公頃的城市 5 人死亡，12 人受傷，若使用於似德黑蘭(10583 人/平方公里)等人口密集城市，則傷亡會是其估計的十倍，即 50 人死亡，而台灣與中國的重要城市人口密度大約和德黑蘭相同，故可推測各種武器使用於兩岸重要城市的傷亡人數，若再估計建築物的毀損及重建所須付出的代價，中國發言人指出，「兩岸開戰的損失是巨大的，但經濟最壞是倒退到 2000 年，絕不會倒退二十年。」意謂中國不放棄武力犯台的絕心，現依照 GDP 的減少來評估戰損，2003 年雙方 GDP 加總

約為 57 兆 (新台幣)，而 2000 年雙方 GDP 加總約為 45 兆 (新台幣)，則戰損 α 約為 0.2，因傳統武器威力相近，故 θ 趨近於 1，現假設 $\theta=0.9$ 、 $\alpha=0.2$ ，重新檢視台灣與中國的和平均衡範圍：

$$0.24182 \leq \frac{a_i k_i}{a_j k_j} \leq 3.87171$$

表示加入戰損後，和平的均衡範圍擴大了，只要兩國的 GDP 比值大於 0.24182 且小於 3.87171，即為和平的範圍。

雖然加入戰損的結果，兩國交戰的可能性降低了，但兩國因經濟比值不斷下降，戰損只是延緩了戰爭發生的時間，對岸未顧及戰損而發動攻擊的可能性仍然存在，因此，在考量安全因素下，台灣必須尋求武器效力更大的種類，以達嚇阻戰略的效果，若尋求毀滅性武器的保護，在雙方均擁有毀滅性武器的情況下，雙方均不敢輕舉妄動，而種類的選擇，核子武器的威力是毀滅性武器之首，但在成本及技術的考量下，以下以生物武器分析之。

二、生物武器 VS 生物武器

台灣既然使用生物武器對抗中國，同理中國亦可能擁有使用生物武器統一台灣的能力，此情況下，武器威力相當， θ 亦趨近於一，但雙方使用生物武器的後果會使雙方損失非常慘重，戰損加大，根據 Steve Fetter³⁵(1991)所估計，30kg 炭疽的致死率在未被預料的情況下，為傳統武器的 4000 倍~16000 倍，雖不致於造成建築物的傾倒或毀損，但會造成許多人員的傷亡，影響未來戰後的重建及生產力降低，不利經濟發展，依總合供需模型(AS-AD model)可看出總體經濟的減少。

傳統戰後總供給減少，導致總產出減少，若發生物武器相互攻擊的情況下，傷亡人數大幅增加，造成勞動力大幅下降，總供給總左移，均衡總產出減少至，鑑於中國發言人表示，兩岸一旦發動戰爭，經濟將會倒退回 2000 年的

³⁵ Steve Fetter, "Ballistic Missiles and Weapons of Mass Destruction," *International Security*, Vol.16:1 (1991, Summer), p.5-42.

經濟水準，戰損估計約為 $\alpha = 0.2$ ，而生物戰的戰損必然大於傳統武器的戰爭，因此我們進行戰損與和平之敏感性分析，估計戰損 α 值為 0.3~0.6 的各個數值時，可能發生戰爭的機率。

由於雙方武器威力相當， θ 趨近於一，故將設定 $\theta = 0.9$ ， α 為 0.3~0.6，結果是百分之百在和平的範圍內，也就是說，生物武器成功地阻止了雙方發動戰爭的念頭。由於損失太過慘重，雙方在衝突之前必須考量許多狀況，衡量戰後與戰前的經濟情況，戰爭被視為最不必要的行動，台灣在擁有生物武器的保障下，成功地嚇阻了中國可能的攻擊。

也由於戰損的逐步擴大，雙方發動戰爭所必須付出的代價越大，戰爭的可能性就越小，調整和平均衡，吾人可以發現，和平的範圍會隨著戰損的擴大而增大，如表 8，在理性遊戲者的角色下，雙方決策者會選擇對自己最有利的決策，而避免發動戰爭。

雙方以生物武器作為作戰的重點武器，假設武器效力相當， $\theta = 0.9$ ，且 α 數值為 0.3~0.6，以軟體程式將實證資料代入求解可得出目前台灣的軍事支出明顯不足，表 9 顯示出目前台灣的國防支出占 GDP 的比率正逐年下降中，但是本文所驗證出的結果為，台灣的最適軍事支出應高於目前的三至四倍，印證了前國防管理學院院長，現任立委，帥化民所言，最適軍事支出應該至少要維持在 GDP 的 3.5%。而中國的最適支出反而是縮減為台灣的二分之一倍，顯示出，中國擁有多於台灣四至五倍的 GDP 總值，經濟力量比台灣雄厚，且台灣並無意圖反攻大陸，中國僅須支出基本維護國家安全的國防支出即可，國防支出的壓力遠小於台灣。

表 8 戰損與和平之敏感性分析

戰損比例 (α)	和平均平衡範圍
$\alpha=0$	$0.32173 \leq \frac{a_i k_i}{a_j k_j} \leq 2.89737$
$\alpha=0.2$	$0.24182 \leq \frac{a_i k_i}{a_j k_j} \leq 3.87171$
$\alpha=0.3$	$0.20539 \leq \frac{a_i k_i}{a_j k_j} \leq 4.56767$
$\alpha=0.4$	$0.17103 \leq \frac{a_i k_i}{a_j k_j} \leq 5.49561$
$\alpha=0.5$	$0.13857 \leq \frac{a_i k_i}{a_j k_j} \leq 6.79473$
$\alpha=0.6$	$0.10787 \leq \frac{a_i k_i}{a_j k_j} \leq 8.74342$

資料來源：本研究

這些結果顯示，生物武器的發展與應用，短期間帶給兩岸人民和平共處的希望，但就長期而言，中國經濟與台灣經濟成長若持續以不平衡的速度發展，往後仍會繼續拉大雙方的經濟實力，長久的未來，生物武器的嚇阻是否真能帶給台灣和平的生活，本研究就行政院主計處所統計的歷年 GDP 來衡量歷年來台灣與中國雙方的經濟比率，再以經驗法則預估未來雙方的經濟比率趨勢。

表9 國防預算占國內生產毛額比率

項目 年度	87	88	89	90	91	92
國防預算額度 (單位：億元)	2,747	2,631	3,433	2,442	2,252	2,425
佔 GDP 比率	3.23%	3.06%	2.76%	2.6%	2.3%	2.4%

資料來源：財政部國庫署，<http://www.nta.gov.tw/nta.asp>。

可以得知，2000年以前，台灣與中國的經濟比率至少都維持在0.25以上，中國礙於台灣的經濟實力，即使雙方只存在傳統武器，都會因為經濟力量的抗衡，而處於均衡的狀態，但2000年後，中國的經濟實力逐年上漲，漸漸拉大了雙方的經濟實力差距，預估數年後，即使在生物武器嚇阻的保護下，台灣仍會落到被中國攻擊且無力反擊的情況，必須藉由生物武器的緩衝，繼續研發嚇阻工具以確保台灣人民的安全。而核子武器的毀滅性最能達到嚇阻的效果，但核武發展的困難在於，不易隱藏，一旦發展即被發現而被國際社會阻止，且成本較高，當前的目標，就是有了初步維持和平的武器，再研究未來的軍事計畫與發展方向。並尋求其他其他安全手段，例如兩岸談判或強化台美日軍事對話。

陸、結論

自1996年台海危機之後，中國飛彈能力已被視為台灣的主要威脅來源，中國現有東風系列短、中、長程、洲際彈道飛彈約七百餘枚，其中「東風十五號」(M-9型)部署於江西樂平地區，前進(預備)陣地則分布江西、福建一帶地區；「東風十一號」(M-11型)改良型飛彈部署於福建，射程均可涵蓋台灣全島，所述地區飛彈部署完全針對台灣，且數量不斷增加。

中國的飛彈部署影響台灣的經濟、社會甚劇，尤其心理震撼意義遠較實質

上的震盪為大，特別以 2004 年藉由公投法發動的全民公投，更是因為中國將飛彈瞄準台灣，而發起的防禦性公投，雖然公投最後沒有通過，且國家也不放棄購置防禦性武器，使台灣仍將受到軍購的暫時保護，但因台灣的情形較為特殊，對外軍購又受到中國多方阻擾與壓迫，美國對台軍售仍會顧忌造成與中國關係惡化，損及其整體亞太戰略利益，更遑論其他國家對台灣的軍售必然會有所保留。軍售是否真符合台灣安全所需也是一大問題，傳統武器的應用短期內或許能夠嚇阻中國的軍事行動，但並非具有非常強大的毀滅性，且是否能夠維持長久的嚇阻效果並不樂觀，相較於中國是核子武器擁有國，台灣以傳統武器作為嚇阻戰略選擇與應用，將必須承擔高風險被攻擊的危險。

現階段危害台灣生存安全及發展最大的威脅就是中國軍力不斷擴張及武力犯台的野心，近年來中國除國防經費倍數成長外，軍事演練亦時有所聞，同時對岸並運用威脅利誘策略對台灣進行統戰攻勢，對台灣國防安全產生嚴重威脅。一般的觀念，先進精良的武器就等於有堅強的防護，但在享受高品質武器的防護下，同樣必須付出高額的代價。以台灣中、短期情況而言，國內政經情勢發展與快速變化，公共政策取向及關注的轉變已影響到國家總資源的分配，為求國家整體均衡發展，預算分配之優先順序與比重應依當前之需要予以重新調整。

國防預算係確保國家安全之必要支出，國防預算的編列是依據敵情威脅、地理環境、國家資源、國內經濟、政治環境與社會文化等主、客觀因素為考量依據，面對中國持續擴張軍備、連年國防經費巨幅增長與犯台敵意未消之際，基於國家安全與兩岸軍力平衡的考量，對於國家安全的投資，不能再以單純的經濟報酬率為唯一衡量；在考量國家整體資源有限，以及衡量國家安全與各項政事發展兼籌並顧之前提下，國防預算編列，應有一合理且能夠負擔的比例。經濟發展與國防支出之間的資源應用出現排擠的問題，面對中國強大的武力威脅，本研究求出國防支出的最適規模，在經濟及社會福利發展的重要性逐漸提高時，同時國防支出已低於維護安全的最適支出，現階段應重新檢視各項預算的應用與績效，計算出最有效率的支出組合。

如同本研究的驗證顯示，在未加入戰損前，和平均衡的範圍很小，戰事可

說是一觸即發，在加入戰損之後，和平均衡的範圍擴大了，雙方必須要計算戰時所付出的成本及戰後復原的代價，發動戰爭，便成了需要多重思考的行動。若再進一步擴大戰損的嚴重性，因為雙方皆使用生物武器，假設其威力可殺死數十萬人，若再搭配傳統武器的攻擊，甚至增加生物戰劑的劑量，便可能產生殺死數百萬人的目標，一場戰爭造成數十萬甚至數百萬人的喪生，不僅使戰事發生國家產生嚴重的浩劫，更波及世界地球村的每個國家，故衝突國家不會隨便輕舉妄動，中國對於「武力攻擊台灣」一說，也會有所顧忌。

由於本文為國防有關議題，主要定位為跨國性的國防關係研究，資料涉及國家國防機密，必須面對跨國性資料取得的困難及國家保密防諜的限制，且因兩岸在政治、文化及學術環境的差異性，故無法取得詳細資料，而且現今中國仍為共產極權體制，所以國防支出這種極機密的核心資料不可能完全對外透明，即使是政府當局對外公佈的資料，可信度也不盡然高，本研究採取的是官方公布的資料，至於對岸是否有隱藏或保留則不在本研究考慮範圍之內。

而武器資料方面更涉及國際條款的限制，生物武器的發展及研究限制頗多，資料的蒐集顯得困難，尤其生物武器效果的資料非常缺乏，使得戰損估計有點粗糙，除已公開化的數據以外，本研究亦參考了相關民間團體資料，諸如紐約時報記者於 911 事件後所寫的關於美國境內所遭受到的生化武器攻擊的文章，以及研究 1918 流感事件病毒的科學家所寫的病毒相關書籍等，除了可以豐富官方檔案資料動態性之不足外，更可以作為相對於官方政策論述的一個分析藍本，對於本研究的資料補充，有相當的助益。

本研究僅涉及台、中雙方的賽局探討，但實際情況仍須考慮到世界地球村的問題，至少美國擔任維護世界安全的重要角色，未來若台海兩岸發生武力攻擊，美國是否介入則是一大考量因素，再者，亞洲大國日本是否會有所行動亦可加入探討。

就美國的觀點，中共進犯台灣，從戰略的層次，代表美軍在西太平洋維護權力均衡的勢力遭到侵蝕。為保持美國的信譽，美國將被迫強硬回應，否則必承受容許中國以武力對付美國長期友邦，卻未受懲罰所可能產生的政治衝擊，造成美國與區域內國家的關係緊張。就經濟的觀點，台灣是美國的第八大

貿易夥伴及第六大出口市場，雙方具有非常大的貿易利益，影響所及，甚至會擴展到與全球其他國家的經濟穩定。故第三國家對兩岸事務的關切必採取極重視的態度，納入第三方之多方賽局可為後續研究的重點。

我們得到結果是：在許多情況下以生物武器嚇阻中國是可能成功的。基於台灣之科技水準及生物武器研發之隱匿性(故短期 1 至 2 年內即可能發展完成)。隱含即使我方未發展生物武器，上述結果仍可作為我方尋求其他安全手段，例如兩岸談判，或如蔡明彥³⁶建議的強化台美日軍事對話，的一個籌碼。

在與中國相較的情形下，台灣是弱小且被孤立的一方，沒有確定的國家地位，沒有充足的自然資源，不管是選擇傳統武器或是生物武器，最大的目的是希望能夠藉武器達到嚇阻中國的目的，最低限度是要使其放棄改變現狀的武力攻擊的企圖與行為，而維持在和平的基礎上。當然，最具嚇阻作用的武器不外乎核子武器，只是受限於核子武器的成本及隱密性，生物武器生產容易、成本低，只須有生物細菌的培養室加上現今快速發展的生物科技，既可生產各種抗生素和疫苗，又可生產任何一種病原體，因此，藉由生物武器的有效嚇阻下，中國與台灣會減少與降低摩擦、衝突甚至是戰爭發生的機會，毀滅性武器可能降低戰爭發生的機會。

然而，如前言所述，台灣是否發展生物武器，除從經濟角度分析外，亦受國際政治、區域穩定、兩岸情勢、國內民意等多重因素的綜合影響。一旦台灣決定發展大規模毀滅性器，勢必引發國際社會強大壓力，反而會壓縮台灣國際活動空間，並被視為衝擊區域與國際安全的舉動。因此，只要其他安全機置運作順暢，例如，陳世民³⁷提及的美國持續重視西太平洋軍事佈署，以及美日及台灣間有較堅實之軍事對話及運作，再配合國軍的兵力部署，及戰略規劃的提升；生物武器的研發，將可望永遠只是台灣手中的一個選項，而非行動。

³⁶ 蔡明彥，「日美同盟之發展與抉擇：兼論台灣因應策略」，《全球政治評論》，第 4 期 (2003 年 10 月)，頁 113。

³⁷ 陳世民，「美國亞太駐軍的戰略調整與台海安全」，《全球政治評論》，第 9 期 (2005 年 1 月)，頁 96。