

運用簡群演算法求解國軍地面部隊補充兵營部署選址問題之研究



撰稿人：黃友隆、李建璋

摘 要

近年來，隨著柔性演算技術的演進，許多學者透過各種演算技術求解各類型問題，提供決策者做為決策參考依據，本研究試圖對國軍地面部隊補充兵機構部署選址問題，透過柔性演算技術，當預判戰事發生時，針對各級部隊戰損狀況，運用科學的方法，求解如何選出較佳的補充兵機構開設位置及如何分配各作戰部隊兵員補充之母體機構，以更有效的進行兵員補充分配。基此，本研究參考覆蓋設施選址問題，考量滿足各主戰部隊戰損需求與補充兵機構兵員補充能力，同時追求最大化的徵用設施使用效能，以建構國軍地面部隊補充兵機構部署選址的最佳化模型。

關鍵字：補充兵機構、設施選址、簡群演算法

壹、前言

中華民國108年國防報告書指出，臺灣所處位置為印太區域地緣戰略關鍵位置，為印太區域和平穩定之關鍵力量，面對中共積極擴張印太區域影響力之戰略發展目標下，更顯我國在印太區域戰略角色的重要性。¹

我國現行戰略態勢主要係採取以弱擊強的守勢作戰方式，而守勢作戰重點是在必須形成有利的戰略持久態勢，因此，戰場經營是至關重要的成功關鍵，而戰場經營其內容包括軍事動員整備、三軍兵力與武力部署、前進基地與後勤設施配置等，²然而人為軍隊組成之重要因素，人亦是作戰成敗之關鍵，掌握全般戰耗及動員補充狀況，互作戰全程，策擬妥切兵員補充政策，依作戰任務及階段提出兵員補充之判斷、申請，使作戰全程兵力不虞匱乏，方可維持地面作戰部隊兵力，是支援持久守勢作戰能否達成之關鍵。

補充兵營(Reserve personnel reinforcement Battalion, RB)是戰時國軍維持兵力最基礎單位，維持戰力不可或缺的堅實後盾，故本研究希望藉由更多面向及科學化的評估方法，建構國軍地面部隊補充兵機構部署選址的最佳化模型。

一、研究動機

國軍兵員補充多為各縣市後備指揮部補充兵機構之工作，實務上，各補充兵機構皆由各單位自行實施作戰地區現地勘查，決定後交付作戰區或作戰分區權責單位核定，而後即納入

作戰計劃實施，此方法往往衍生下列問題：

各補充兵機構選址決策，往往僅由各單位獨自逕行參謀作業，缺乏於作戰區或作戰分區年度計畫中進行討論，縱向或橫向研討不足，不利於全局最佳化的決策生成。

各補充兵機構開設，選址僅憑業管人員單就經驗及便利性進行規劃，後由權責主官核定，未深入考究實際兵員補充時效。

補充兵機構位置選定，缺乏科學化之量化工具輔助決策，其結果易受人為因素或各縣市補充兵營的本位思考而影響。

基此，結合科學化的系統方法，針對補充兵營部署選址問題，能更客觀真實的考量兵員補充距離及時效，進而求取全局最佳解，提供決策者更佳的決策參考依據，為本研究的研究動機之一。

其次，筆者前於縣市級後備指揮部服務，除前述問題外，另各補充兵機構執行兵員補充作業時，均以行政區域內之作戰部隊兵員為主；跨區過境兵員補充，須由作戰區或作戰分區預判戰損後，管制過境所在縣市補充兵機構實施兵員補充，也就是說，各縣市主要在於補充同縣市內地面作戰單位兵員戰損補充，造成地面作戰單位明明較臨近B補充兵營，惟因跨縣市，兵員補充仍須優先由同縣市之A補充兵營進行補充，造成兵員補充距離長，相對延長兵員補充時效，影響戰力恢復時效。為此，先期規劃個地面作戰部隊適當之補充兵營，更有效的分配各補充兵營選址地點，從而進行各補充兵源的覆蓋問題，以便就近、快速的補充地

1 中華民國 108 年國防報告書

2 國防大學 106 年 國軍聯合作戰要綱



面作戰部隊兵員需求。

因此，補充兵營部署選址最佳化決策，除前述動機一，運用科學化的衡量方式部署選址外，另考量各地面作戰部隊如何最適分配各補充兵營進行兵員補充，為本研究主要研究動機之二。

二、研究目的

兵員補充機構區分補充兵群、營、連、隊、外島兵員錢運接收站及人員複補中心，分別由後備指揮部開設補充兵群、營、連，負責地面部隊兵員戰耗補充，戰時循動員體系，申請獲得兵員；海軍由地區後支部開設兵員補充隊，負責各地區艦艇戰耗兵員補充與集中儲備（陸戰隊開設編組同地面部隊）；空軍提出需求由縣市後備指揮部檢討編成開設補充兵營、連，負責辦理補充兵、待命人員之補充；外島開設兵員前運站及兵員接收站負責外島部隊戰耗補充；人員複補中心負責執行執行國軍傷患健癒及逃亡、失蹤歸隊人員之接收、複訓複補、分配等工作。³

本研究主要以執行地面部隊兵員補充之補充兵機構部署選址研究為主，餘海軍、空軍、外島及複補中心等補充兵機構，因補充兵運送多需至固定設施實施補運（如港口、醫院等），空軍則是運送至固定機場設施位置，考量限制因素較為固定，故不納入研究範圍。

而相較地面部隊兵員補充，除考量各補充兵機構對應區域內、外地面作戰部隊補充覆蓋

問題，另也須考量部署位置對於各地面作戰部隊之間的距離、設施建物結構、交通條件及通信覆蓋能力等狀況；由此可知，僅單就業管參謀作業或主官決策難免顧此失彼，尤其對於補充兵機構部署選址的相關研究仍缺乏完整分析與探討，更遑論進行優化之研究，故有其必要基於各項因素對於覆蓋問題提出數學模型，進行國軍戰時地面部隊補充兵機構選址部署之優化。

設施選址及覆蓋問題在作業研究領域中較難在多項式的時間內求解，屬於NP-hard的問題，由於複雜度及現實問題的高度限制，求解會消耗許多時間與計算成本，近年來，多數採用進化式演算法求解，使選址及覆蓋問題能在多項式的要求條件下，於時間內求得近似最適解。

近年來在電腦運算能力持續進步，進化式演算法是此類組合問題有效最佳化的重要方法，其中簡群演算法(Simplified Swarm Optimization, SSO)是清華大學葉維彰教授在2009年提出，⁴是國內近年持續發展的進化式演算法，其操作簡單（調整參數少）、運算效率高（收斂速度快），已受學界廣泛應用在各種最佳化問題上，並且在部分最佳化求解結果研究顯示，SSO與常用的基因演算法(Genetic algorithm, GA)及粒子群演算法(Particle Swarm Optimization, PSO)相較可獲得品質更好的解，⁵基此，本研究採取SSO做為求解補充兵營選

3 國防部 102 年 國軍人事戰備教則（草案）。

4 Yeh, W.-C. (2009). A two-stage discrete particle swarm optimization for the problem of multiple multi-level redundancy allocation in series systems. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 9192-9200.

5 Lai, C.-M., Yeh, W.-C., & Chang, C.-Y. (2016). Gene selection using information gain and improved simplified swarm optimization. *Neurocomputing*, 218, 331-338.

址最適解問題的演算法。

綜合以上說明，本研究提出下列研究目的：

- (一)提出優化國軍地面部隊補充兵營部署選址之數學模型。
- (二)運用簡群演算法為基礎發展適合求解國軍地面部隊兵員補充最佳化組合。

三、研究限制

本研究議題探討國軍戰時地面部隊補充兵機構部署選址，受限軍事議題限制，為免涉及軍事機密，驗證本研究所提出之數學模型及求解所需給定資料集，係依據準則及相關文獻推估所得，再以隨機方式產生，所產生資料符合合理範圍，且不涉及機密。

四、研究流程

配合研究動機與研究目的，本研究先進行國軍準則、計劃及國內、外有關設施選址相關文獻進行探討，建立地面部隊補充兵機構選址之參考屬性，其次，確認研究議題，建構兵員補充覆蓋之兵力分配最佳化模型，最後運用簡群演算法求解，依據研究結果，提出管理意涵與建議，提供補充兵機構部署選址之決策參考依據。

貳、文獻探討

本章首先定義補充兵機構的範圍及任務，再透過設施選址、覆蓋問題模型等文獻整理，作為發展模型之依據，最後探討簡群演算法的求解方法及運用。

一、補充兵機構

依據國防部頒訂人事戰備教則(草案)規範，兵員補充之目的首在使戰時人員供應不

輟，適質(兵科、專長)、適量(人數)、適時滿足作戰部隊需求，有效達成全般任務遂行。

兵員補充機構區分：

- (一)補充兵群、營、連、隊。
- (二)外島兵員前運與接收站。
- (三)人員複補中心。

各補充機構任務與編組：

- (一)後備指揮部開設補充兵群、營、連，負責地面部隊兵員戰耗補充；地區指揮部成立補充兵群，負責補充兵營之管理、人員接收、訓練、編組與分配作業；以地區指揮部及所屬縣市後備指揮部動員編成，群、營連。
- (二)海軍開設兵員補充隊，負責開設召集事務所與應召員分配運用及支援各地區艦艇戰耗兵員補充與集中儲備，作業容量比照後備指揮部補充兵營。
- (三)空軍開設補充兵營，負責補充兵、待命人員之補充、分配、管理與訓練，作業容量比照後備指揮部補充兵營。
- (四)外島兵員前運與接收站，由受補防衛部(聯兵旅)編成補充兵群、營實施運補及接收補充之兵員。
- (五)人員複補中心負責國軍傷患健癒及逃亡、失蹤歸隊人員之接收、複訓複補、分配等工作，編組以作戰區內補充兵群之幹部為基幹開設，人員接獲歸建後即行分類編組，並於廿四小時內移撥補充兵群(營、連、隊)，概以分配至原單位為原則。

基於前述，可知海軍、空軍、外島及複補中心等補充兵機構，因補充兵運



送需至固定設施實施補運(如港口、醫院等)，空軍則是運送至固定機場設施位置，考量因素較為單純，故本研究不納入研究範圍，主要以執行地面部隊兵員補充之補充兵機構選址研究為主。

二、設施選址

組織策略佈局、營運、成本及績效等因素，與其所選的設施位置息息相關，如為提高供貨率、減少運輸距離及庫儲成本，組織設址位置可鄰近供應商，藉以達成需求，因此正確的選址決策有助於達成其策略目標。簡言之，最佳之設施選址位置對組織具有重要的策略影

響，此決策常涉及組織提供資源及不可逆的特性(Mount, 1990)。

設施選址問題(Facility location problem, FLP)係國外學者Weber於1909年提出，以倉儲位置對應所有顧客求解送貨總距離最小化，據以決定倉儲位置，⁶其後眾多學者在研究領域陸續提出多種FLP的模型，包含製造業、運輸業、物流業、零售業、醫院、辦公處所、學校、消防設施及航空業等，持續受到廣泛討論與研究，⁷並由學者陸續提出多種求解設施選址問題的模型(彙整如表1所示)。

從表1可知，不同領域的FLP問題因需求

表1 設施選址相關文獻表

作者(年代)	領域	目標函數定性因素	內 容
Narula & Ogbu (1979)	醫療衛生	距離最小	病患於地方醫院轉診地區醫院，求解距離最小化。
Barros, Dekker, & Scholten (1998)	廢棄物管理	距離影響成本最小	建築業廢棄物回收站設置，求解距離最短以實現成本最小化。
Costa, França, & Lyra Filho(2011)	電信業	成本最小	電信系統中繼站設置網路流通，求解成本最小化。
Li, Chu, Prins, & Zhu(2014)	產銷	開設最少	最大限度減少廠庫開設，求解開設最少化。
Heginbotham et al. (2015)	災害防救	運輸條件 設施容量 距離 開設成本	建構救援物流系統，求解多項條件因素。
Stimers & Lenagala (2017)	軍事	距離 道路網 通訊覆蓋	斯里蘭卡作戰基地選址，透過GIS地理系統及AHP選擇因素求解。
Sennaroglu & Celebi (2018)	軍事	距離 運輸安全 軍事風險	土耳其軍事機場選址，求解多項軍事準則因素。
Gunawan, Putra, Sukandari, Suharyo, & Susilo (2018)	軍事	設施安全 交通條件 設施容量	印尼海軍建立後勤物流設施選址，求解多項條件因素。

資料來源：本研究整理

6 Weber, A. (1909). Ueber den standort der industrien (Vol. 2). Рипол Классик.

7 Klose, Andreas, & Drexl, A. (2005). Facility location models for distribution system design. European Journal of Operational Research, 162(1), 4-29.

未盡相同，往往產生不同類型的選址模型，從早期的單一求解距離、成本、風險最小，逐漸演進求解多項準則效益最大，並多以距離、交通條件、設施容量及基礎設施等定性因素，其中對於軍事單位部署選址領域追求不盡相同，指揮官或決策者關注能否持續、有效的維持軍事單位戰力及生存能力。國外學者有關軍事設施選址屬性多以道路條件、設施空間、設施間距離、設施安全性、運輸條件及通信覆蓋等為考量因素，其中求解距離最小化(間接使成本、時間最小)為最多研究均會考量之重要屬性。

本研究透過文獻，疏理有關軍事設施選址問題相關屬性，並對照國軍人事戰備教則(草案)準則要求，補充兵營開設位置選定以常備部隊堅固RC建築物為主，隱蔽、掩蔽、交通狀況良好，且有足夠之機動、疏散空間與適切之容量為原則，與前述國內、外學者針對有關設施選址目標函數屬性雷同，其中有關建築物屬性及其設施容量具固定要求標準，而安全性(隱蔽、掩蔽、疏散空間)、交通條件則屬於可規劃之戰術作為，可操作之影響較少，故本研究著重在於補充兵營部署選址位置可以最短距離(即兵員補充時間短)為主要考量屬性。同時針對人員補充，單位與單位間聯絡實為重要之

因素，爰參考國外學者針對斯里蘭卡軍事基地選址及印尼海軍建立物流設施選址等研究之通信覆蓋距離(能力)，亦納入補充兵營部署選址考量屬性。

綜合以上文獻，本研究主要以參考距離及通信範圍做為補充兵營部署選址問題(Reserve personnel reinforcement Battalion Location Problem, RBLP)主要之衡量屬性，整理摘要如表2所示。

以下就設施選址屬性分別說明：

距離：補充兵運補至各受補作戰單位間之距離，影響運補的效率，而其作戰單位之位置係依據作戰計畫，故而補充兵營應配合各作戰單位部署分配實況，選取適當位置開設，以利最大化運補效率。

通信範圍：通信效能會因為地表的地形起伏而有所影響，尤其我國城市密集影響，補充兵機構部署選址位置可通信的距離，是為上、下指揮管制及平行協調至關重要的因素。

在設施選址相關研究中，另有針對覆蓋問題實施研究，國外學者在高速公路網路節點中，選定警察駐點位置求解派遣人力最小化，同時要求警察人力部署之間必須規範一定之距離。⁸後續學者試圖研究在不確定的機率網路中，有關旅行時間和數據相關問題下，部署有

表2 設施選址屬性表

屬性	定義	單位
距離	補充兵營部署位置至各受補地面作戰單位之距離。	km
通信範圍	選定設施可實施無線電通信聯絡之距離。	km

資料來源：本研究整理

8 Hakimi, S. L. (1965). Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Operations Research*, 13(3), 462-475.



限數量的軍隊和警察部隊，最大化的覆蓋關鍵設施數量。⁹ 基此，覆蓋問題即是將問題區分成集合覆蓋問題及最大覆蓋問題等類型，目標是用最少的資源覆蓋指定之位置，本研究依此概念發展補充兵營部署設施選址數學模型，進而最大化滿足各地面作戰單位戰耗補充效能。

三、簡群演算法

簡群演算法(SSO)相較線性規劃係屬於柔性運算的求解方法，為群體智能的進化式演算法，在進化式演算領域中是一個較為新興的演

算法。該演算法操作容易、運算效率高及使用廣泛。SSO提出至今已被運用於冗餘配置、資料探勘和護理管理等研究領域，並有良好的求解品質，證明對於求解最佳化問題的效能。¹⁰

SSO與眾多柔性演算方式相同，求解過程有其特定的更新機制，對於產生下一代解的方式是經由本身至今最佳的解 $pBest$ 、最佳的解 $gBest$ 、解本身及產生1個隨機解而構成，求解過程中保持解群體的多樣性(參數符號說明如表3)。

表3 參數與符號說明

$Nvar$	變數的數量。
N	群體的數量。
$Niter$	迭代的次數。
$F(X)$	表示解 X 的適應函數值。
$pBest$	區域最佳解。
$gBest$	全域最佳解。
x_j	表示第 t 次迭代，第 i 組解的第 j 個變數， $j=1, 2, \dots, Nvar$ ， $i=1, 2, \dots, Nsol$ ， $t=1, 2, \dots, Niter$ 。
x^t	$x^t (x_{1,1}^t, x_{1,2}^t, \dots, x_{Nvar}^t)$ 表示第 t 次迭代，第 i 組解， $i=1, 2, \dots, Nsol$ ， $t=1, 2, \dots, Niter$ 。
p	$p = (p_{1,1}, p_{1,2}, \dots, p_{Nvar})$ 表示迄今第 i 組的區域最佳解， $i=1, 2, \dots, Nsol$ 。
G	$G (g_1, g_2, \dots, g_{Nvar})$ 表示迄今的痊癒最佳解。
ρ^t	$\rho^t (\rho_{1,1}^t, \rho_{1,2}^t, \dots, \rho_{Nvar}^t)$ 表示第 t 次迭代，第 i 組隨機數向量， $i=1, 2, \dots, Nsol$ ， $t=1, 2, \dots, Niter$ 。
L	$L (l_1, l_2, \dots, l_{Nvar})$ 表示變數的下界，即 $l \leq x_j$ 。
U	$U (u_1, u_2, \dots, u_{Nvar})$ 表示變數的上界，集 $x_j \leq u$ 。
c, c, c, c	$c + c + c + c = 1$ ，分別表示 $pBest$ 、 $gBest$ 、在求解空間中的隨機變數與解本身 4 種結果之機率區間。
C, C, C	$C = c$ ，更新的解本身之機率區間的設定參數， $C = c + c$ ，更新到 $pBest$ 之機率區間的設定參數， $C = c + c + c = 1 - c$ 更新到 $gBest$ 之機率區間設定參數。

9 Sathe, A., & Miller-Hooks, E. (2005). Optimizing location and relocation of response units in guarding critical facilities. *Transportation Research Record*, 1923(1), 127-136.

10 賴智明、徐冠中，109 年運用簡群演算法與層級分析法解決國軍野戰後勤設施選址問題。危機管理學刊，17(1), 43-54.

SSO的更新機制獨特，在求解過程中由本身至今獲得最佳的解($pBest$) $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ij})$ 、所有解中全域的最佳解($gBest$) $G = (g_1, g_2, \dots, g_j)$ 、解本身與1個亂數 x 所構成，藉由隨機數 ρ 與內建參數 C_w 、 C_p 、 C_g 的關係，求取下一代解。如此的更新機制使SSO能夠跳出區域最佳解，進而執行全域搜索，以有效保持解群體多樣性，並充分運用區域搜索機制增強脫離局部最佳的能力。SSO的更新數學模式，如下說明：

$$x_{ij}^{t+1} = \begin{cases} x_{ij}^t & \text{if } \rho_{ij}^t \in [0, C_w) \\ p_{ij} & \text{if } \rho_{ij}^t \in [C_w, C_p) \\ g_i & \text{if } \rho_{ij}^t \in [C_p, C_g) \\ x & \text{if } \rho_{ij}^t \in [C_g, 1) \end{cases} \quad (1)$$

更新機制(1)中的 C_w 、 C_p 、 C_g 分別表示下一代解更新到自身解、 $pBest$ 、 $gBest$ 與亂數解等參數， x_{ij}^t 表示第 t 次迭代，第 i 組解的第 j 個變數， ρ_{ij}^t 係介於 $[0, 1]$ 之間的隨機數， x 則是變數 j 於合理區間範圍內的隨機值。若 $0 \leq \rho_{ij}^t \leq C_g$ 成立，此變數值就由 $gBest$ 相對應的 g_i 取代；而若 $0 \leq \rho_{ij}^t \leq C_g$ 成立，則變數值就由 $pBest$ 相對應的 p_{ij} 取代；而 $C_g \leq \rho_{ij}^t \leq C_p$ 成立，則變數值會保留；當 $C_w \leq \rho_{ij}^t \leq 1$ 成立，則由隨機變數值 x 取代原變數值，藉此演算規則增加解的多樣性，避免落入區域最佳解中。

SSO最早是運用於求解串聯系統中多層、多級冗餘分配問題，後續開發學者於2014年結

合重複正交陣列試驗、初始群體及SSO，求解混合組件的串、並聯冗餘分配問題。在資料探勘領域，亦有學者提出混合數據挖掘的改良SSO，藉以協助K調和平均演算法(K-harmonic means, KHM)跳脫區域解，以提升求解的品質。¹¹在工業管理領域，國內學者提出SSO應用於智慧工廠中霧計算系統的部署，以整數規劃模型使部署最小化。¹²

在軍事設施選址方面，國內學者運用MAHP結合SSO兩階段求解軍事後勤設施選址問題，基於整數規劃模型，目標使被徵用設施的平均效用最大化，並提出運用非支配排序技術的多目標SSO，使用模糊層級分析法計算定性目標權重，同時提出3種修復機制，藉以提高搜索效率及解的多樣性，驗證結果比其他多目標演算法在於時間與品質上表現更佳。¹³參考前述學者研究，本研究將以SSO作為求解RBLP數學模型之演算方法。

參、模型建構

本章主要建構戰時補充兵機構設施選址問題之數學模型，首先說明問題及條件限制，接續進行符號介紹，再實施模型及屬性內容說明，最後逐項說明目標函數及限制式條件。

一、研究條件限制

本研究受限軍事議題限制，驗證模型及求

- 11 Huang, C.-L., & Yeh, W.-C. (2014). A new K-harmonic means based simplified swarm optimization for data mining. In 2014 IEEE Symposium on Swarm Intelligence (pp. 1-5). IEEE.
- 12 Yeh, W.-C., Lai, C.-M., & Tsai, J.-Y. (2019). Simplified swarm optimization for optimal deployment of fog computing system of industry 4.0 smart factory. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1411, p. 12005). IOP Publishing.
- 13 Lai, C.-M., Chiu, C.-C., Liu, W.-C., & Yeh, W.-C. (2019). A novel nondominated sorting simplified swarm optimization for multi-stage capacitated facility location problems with multiple quantitative and qualitative objectives. Applied Soft Computing, 84, 105684.



解所需評估屬性相關給定資料，係依據國軍準則、文獻內容推估合理範圍，再以隨機方式產生，所生資料未涉及國軍軍事機密，並屬合理範圍。

為滿足防衛作戰時兵員戰耗補充需求，使地面作戰單位人員補充無虞，本研究提出戰時地面部隊補充兵營設施選址最佳化模型，選址模型有以下限制及特性：

- (一)需求可被滿足：補充兵機構開設具有足夠能量，可滿足準則需求量。
- (二)開設人力有限：因地區及縣市指揮部有其人員編制及任務編組，故開設補充兵機構時，人力有其上限限制。
- (三)選址安全考量：開設補充兵機構考量其安全性，任兩個機構位置將有適當之距

離。

二、模型符號說明

國軍地面作戰單位為旅級單位(Regiment level Unit, RU)，作戰基礎為營級單位(Battalion level Unit, BU)，戰耗補充須由各縣市後備指揮部選定適切設施、地點開設有限數量補充兵營(RB)，用以支援、滿足責任區域內旅作戰單位RU戰耗補充，再由RU分配補充人力至各營級單位BU，或由鄰近的補充兵營BR直接對營級單位BU進行戰耗補充。本研究設定代號RU為各旅級預備隊或預備陣地位址，BU為營級指揮所或預備隊位址，RB為各縣市補充兵營開設位址，相關模型符號定義說明如下(如表4所示)：

表4 模型符號定義

Nbu	受補營級單位的總數
Nru	旅級戰耗補充分配單位
Nrb	補充兵營開設總數
I	營級單位 BUs 的集合， $I = \{1, 2, \dots, Nbu\}$
J	旅戰耗補充分配 RUs 的集合， $J = \{1, 2, \dots, Nru\}$
K	補充兵營 RBs 之集合 $K = \{1, 2, \dots, Nrb\}$
bu_i	第 i 個營級單位
ru_j	第 j 個戰耗補充分配點
rb_k	第 k 個補充兵營
c_j, c_k	表示 ub_j 、 rb_k 可有效通信覆蓋的距離
dis_{ij}	從 ru_j 到受補單位 bu_i 的距離
dis_{jk}	從 rb_k 到受補單位 ru_j 的距離
dis_{ik}	從 rb_k 到受補單位 bu_i 的距離

S	此為各單位之間可控制的距離
a_j	第 j 個旅戰耗補充兵分配單位的兵力數量
b_k	第 k 個補充兵營兵力補充數量
d_i	各營的兵員補充需求
x_{ij}	$= \begin{cases} 1, & \text{如果營級單位 } i \text{ 被旅補充單位 } j \text{ 補充}, \forall i \in I, j \in J \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
y_{ik}	$= \begin{cases} 1, & \text{如果營級單位 } i \text{ 被補充兵營 } k \text{ 補充}, \forall i \in I, k \in K \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
z_{jk}	$= \begin{cases} 1, & \text{如果旅補充單位 } j \text{ 被補充兵營 } k \text{ 補充}, \forall j \in J, k \in K \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
B	指揮部可供開設補充兵營之總人力

三、模型說明

依前述原則建構數學模型，區分目標式及限制式如下：

$$\text{Min } f = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \text{dis}_{ij} x_{ij} / c_j + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \text{dis}_{jk} z_{jk} / c_k + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \text{dis}_{ik} y_{ik} / c_k \quad (2)$$

subject to

$$\sum_{j \in J} x_{ij} + \sum_{k \in K} y_{ik} = 1, \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = \min \left[1, \sum_{k \in K} z_{jk} \right], \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} d_i x_{ij} \leq a_j, \forall i \in I, j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} a_j z_{jk} + \sum_{i \in I} d_i y_{ik} \leq b_k, \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (6)$$

$$\text{dis}_{ij} x_{ij} \leq S \quad (7)$$

$$\text{dis}_{ik} x_{ik} \leq S \quad (8)$$

$$x_{ij}, y_{jk}, z_{ik} \in \{0, 1\}, \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (9)$$



方程式說明如次：

目標函數(2)求部署位置間距離最小及通信覆蓋最大。

限制式(3)確保BU只會對應1個RU或RB。

限制式(4)確保每個使用到的RU兵員只受補1個RB。

限制式(5)確保RUS的BUS需求不超過RUS能量。

限制式(6)確保RBS的RUS及BUS需求不超過RBS能量。

限制式(7)(8)確保補充兵運補距離不超過可控制距離。

限制式(8)確保開設所有RBS人力需求最大不超過上限B。

限制式(9)所有決策變數為二元變數。

以上求解所運用資料，將參考國軍準則及實際可能情況，在合理範圍內隨機產生相關屬性資料集，不涉及軍事機密，再帶入本研究數學模型求解最佳化。

肆、求解方法及資料分析

本章運用SSO演算法進行文獻探討出之設施選址屬性進行參數的設定，再將資料集導入數學模型，求解，最後分析相關資料，進而提供決策建議。

一、求解過程

本研究採用SSO作為計算基礎，而SSO係基於粒子群演算法(Particle Swarm Optimization, PSO)變化而來，用以改善PSO對於離散性問題部分不足而產生，故希望運用其對於離散問題的求解能力，發展一個適合求解國軍地面部隊補充兵營部署選址之演算方式。

SSO計算初始會如同PSO一樣，首先產生一群粒子，每個粒子則代表一組解，透過目標函數公式決定各個解集合內粒子組成的好壞，本研究問題在追求目標函數最小化，所以當解帶入函式之適應值越小，代表獲得越好的品質的解。

本研究試算範例所採用資料令 bu_i 表示第 i 個營級單位， $i=1,2,\dots,Nbu$ ；令 ru_j 表示第 j 個旅級分配單位； $j=1,2,\dots,Nru$ ，令 rb_k 表示第 k 個補充兵營， $k=1,2,\dots,Nrb$ ；令 dis_{ij} 表示營級單位 i 到其所負責實施兵員補充之旅級分配單位 j 之間的距離；令 dis_{jk} 表示旅級分配單位 j 到補充兵營 k 之間的距離；令 dis_{ik} 表示營級單位 i 到到補充兵營 k 之間的距離。

以下簡單舉例說明SSO演算步驟及流程，包括解編碼步驟、計算適應函數值及解更新方式等，試算範例假設距離矩陣如表5所示，相關說明如次：

Ex1：假設區域內要選定2個預選位置來部署1個補充兵營($Nrb=2$)，需負責2個旅級兵員分配單位，每個旅級分配單位選定兩個預選位置($Nru=4$)，每個分配單位各要負責3個營級單位($Nbu=6$)，所有營級單位都必須有分配單位或補充兵營進行戰耗兵員補充。以下以本問題為基礎，簡單說明演算過程。

假設，第5個營級單位之兵員補充數，係由第3個旅級兵員補充分配單位進行，而開設的是第1個補充兵營提供能量，則距離加總為 $dis_{53}+dis_{31}=12.11+22.18=34.29$ 。後續並將分別加上各點通信覆蓋距離，帶入適應函數進行計算，後段將進行進一步計算說明。

本計算以圖1為例，說明國軍地面部隊補

表 5 試算範例資料集

dis 公里	ru_1	ru_2	ru_3	ru_4	rb_1	rb_2
bu_1	13.34	10.07	15.89	20.15	28.90	30.01
bu_2	12.15	13.11	17.91	18.82	29.77	31.20
bu_3	9.86	14.23	16.22	19.24	26.12	29.03
bu_4	18.33	15.62	10.23	8.95	28.11	22.97
bu_5	17.45	16.81	12.11	10.12	28.32	27.81
bu_6	19.41	16.93	9.55	10.86	27.78	26.32
rb_1	21.11	20.68	22.18	23.38	--	--
rb_2	22.64	24.14	21.57	21.66	--	--

資料來源：本研究隨機生成

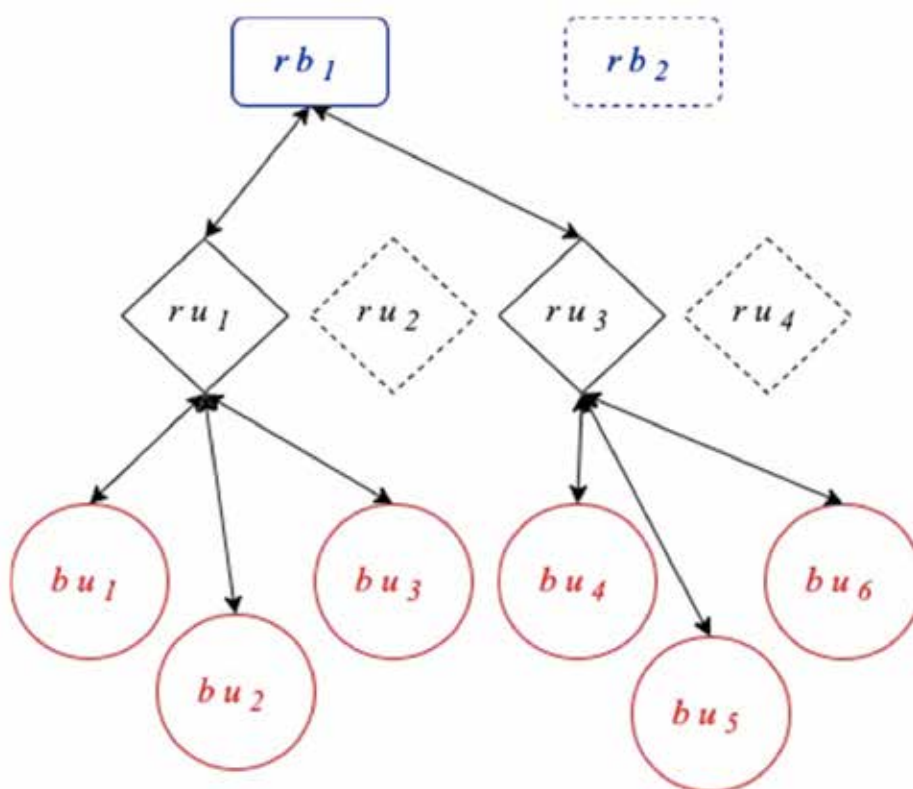


圖1 補充兵機構網路層級圖



充兵營開設部署示意，虛線為選擇後未開設之設施位置，實線為選定開設之部署位置。由圖可知，補充兵營開設及其負責補充之關聯，營級單位依任務、作戰進程、戰耗及人員日報表向旅級分配單位提出人員補充需求，旅級分配單位彙整所屬單位補充需求，逕向補充兵機構提出申請，故依開設部署實況由補充兵營 rb_i 提供旅級分配單位 ru_j 補充人力，再由旅級分配單位 ru_j 分別對所屬單位 bu_k 進行人力補充。

二、簡群演算求解

SSO求解演算開始時，會在解的範圍空間產生1群粒子，每個粒子是就是1組解，演算過程中影響演算效能與效率的重點在於解的編碼，編碼方式則取決於問題的性質。SSO與其他進化式演算法相同，每組解 $X_i=(x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,Nbu*2})$ 是以向量方式形成， $i=1, 2, \dots, Nsol$ ($Nsol$ 是解的總數)，向量長度即為 $Nbu*2$ ，向量中的任1元素 x_{ij} ， $j=1, 2, \dots, Nbu$ ，是1個介於 $[1, Nru]$ 之間的隨機整數，用來表示支援相對應營級單位的旅級補充兵接收分配單位。 x_{ij} ， $j=Nbu+1, Nbu+2, \dots, Nbu*2$ ，是介於 $[0, Nbr]$ 之間的隨機整數，用來表示補充兵營與履及分配單位的相對應，其中如果數值為0代表沒有選定開設該位置。

接續沿用圖2的問題說明編碼，範例的解可以表示為 $X_i=(1,1,1,1,1,1;1,1,13,3,3)$ ，括弧中第1個元素 $x_{i,1}=1$ 係指 bu_1 營級單位由 rb_1 開設之補充兵營進行兵員補充，第2個元素 $x_{i,2}=1$ 表示 bu_2 營級單位由 rb_1 開設之補充兵營進行兵員補充，餘以此類推；第7個元素 $x_{i,7}=1$ 表示 bu_7 營級單位由 ru_1 開設之補充兵營進行兵員補充，第10個元素 $x_{i,10}=3$ 係指 bu_{10} 營級單位由 bu_3 開

設之補充兵營進行兵員補充，餘以此類推。

本研究為補充兵營開設部署問題，因現行開設位置涉及軍事議題，因此部署情況及數量以隨機方式生成，以此作為初始解的編碼方式，以下說明初始解生成之步驟：

Step1:設定可控距離 S 之值，找出 dis_{ik} 距離矩陣中大於 S 公里的集合，計算營級單位與旅級分配單位之間距離，從集合中找出最短距離的組合。

Step2:確認 rb_k 能量可以滿足 bu_i 兵員補充需求，若超出補充能量，則於集合中挑選最短距離之補充兵營支援。

Step3:找出 dis_{ik} 距離矩陣中小於等於 S 公里的集合，從中將最短距離之點設為直接支援屬性。

Step4:以挑選的補充兵營及旅級分配單位做為解編碼生成初始解。

本研究在求解目標函數最小化，根據編碼所生成的解集合，必須要帶入目標函數公式評估解的優劣，求解適應值越小，代表解的品質越好。因本研究模型設定多項條件限制式，容易產生不可行解，為避免不可行解的產生，因此針對不可行解加入相對應的懲罰值，以便驅使更新解朝向可行解區域收斂。相關違反限制條件情形，透過前述公式(5)~(8)檢視有無違反限制條件，若違反限制條件，則以下列公式(10)~(15)給予懲罰值。

$$P1 = \max \left[0, \left(\sum_{i \in I} d_i x_{ij} \right) - a_j \right] \quad (10)$$

$$P2 = \max \left[0, \left(\sum_{j \in J} a_j z_{jk} + \sum_{i \in I} d_i y_{ik} \right) - b_k \right] \quad (11)$$

$$P3 = \max \left[0, \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} v_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} v_{ik} \right] \quad (12)$$

$$v_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{if } dis_{ij} \leq S, \forall i \in I, j \in J \\ dis_{ij} - S, & \text{其餘則為} \end{cases} \quad (13)$$

$$v_{jk} = \begin{cases} 0, & \text{if } dis_{jk} \leq S, \forall j \in J, k \in K \\ dis_{jk} - S, & \text{其餘則為} \end{cases} \quad (14)$$

$$F(X) = \begin{cases} f(X), & \text{如均未違反限制式(5)~(8)} \\ f(X) + (P1 + P2 + P3) * \lambda, & \text{其餘則為} \end{cases} \quad (15)$$

公式(10)違反限制式(5)能量限制，以P1表示超出量。

公式(11)違反限制式(6)能量限制，以P2表示超出量。

公式(12)違反限制式(7)(8)距離限制，以P3表示超出量。

公式(13)表示營級單位i與旅分配單位j超出的距離，未超出限制時則為0。

公式(14)表示旅分配單位j與補充兵營k超出的距離，未超出限制時則為0。

函數(15)表示當目標函數違反限制式(5)~(8)即啟動懲罰機制， λ 給予一個極大的懲罰係數103，如無違反限制式，則適應值等於目標函數值。

Ex2：相同以表5距離矩陣進行範例計算目標函數，本範例帶入初始解編碼為 $X_i=(1,1,1,1,1,1;1,1,13,3,3)$ ，可控距離給定30公里，並納入隨機假設各點通信覆蓋距離(如表6)計算適應函數值。

表6 試算範例通信覆蓋距離資料集

通信覆蓋距離	ru_1	ru_2	ru_3	ru_4	rb_1	rb_2
	23	21	24	22	27	24

資料來源：本研究整理

經目標函數式計算，可得 $f(X_i)=4.47$ ，計算是如下：

$$f(X_i) = \left(\frac{21.11}{27} + \frac{22.18}{27} \right) + \left(\frac{13.34 + 12.15 + 9.86}{23} + \frac{10.23 + 12.11 + 9.55}{24} \right) = 4.47$$

適應函數值計算結果進行限制條件檢查無違反限制式條件，再依公式(15)計算適應函數

$$f = 4.47 + (0+0+0) * 10^3 = 4.47。$$

當初始解集合求得適應函數後，SSO將啟動下1代解的更新機制，由自身最佳解 $pBest$ 、群體最佳解 $gBest$ 、與隨機亂數解所成，保持多樣性的解群體，並依據公式(1)進行每代解的更新機制。

三、隨機資料集求解

本研究未免涉及地面部隊編制數量及部署分配相關軍事議題，故以隨機資料進行模型測試，目的在增加數量問題，已驗證SSO演算法

的效能及數學模型的驗證，以利後續實際套用軍事參數求解時，可獲得最佳化的部署配置。本問題的複雜性，取決於補充兵營備選開設數量、旅級分配單位備選開設數量及營級受補充單位數量，故將此3項之數量隨機變化生成，做為計算求解之資料集，如表7所示。

本問題設定受補之營級單位分別為10、20、30個，等3組，旅級分配單位數量依表7公式(7.1)生成，補充兵營數量表7公式(7.2)生



表7 隨機問題設置資料集

參數	數值	
Nbu	$= (10, 20, 30)$	
Nru	$= \begin{cases} (2, 3), & \text{if } bu = 10 \\ (4, 6), & \text{if } bu = 20 \\ (6, 8), & \text{if } bu = 30 \end{cases}$	(7.1)
Nrb	$= \begin{cases} (1, 2), & \text{if } bu = 10 \\ (2, 3), & \text{if } bu = 20 \\ (3, 5), & \text{if } bu = 30 \end{cases}$	(7.2)
c_j	=隨機生成 $[5, 40]$ 間整數，數量 Nru 個。	
c_k	=隨機生成 $[5, 40]$ 間整數，數量 Nrb 個。	
a_j	=800，數量為 Nru 個。	
b_k	=隨機生成 $[1600, 2400]$ 間整數，數量為 Nrb 開設數。	
d_i	=第 i 個營級單位需求，隨機生成 $[50, 150]$ 間整數。	

資料來源：本研究整理

成，可控距離 S 給定20公里，為跨越臺灣西半部各縣市行政區域距離之概略平均數。經計算驗證，可有效獲得補充兵營選定及分配受補之旅、營級單位需求解集合，為利有效說明解集合結果。本研究接續採20個營級單位為之結果為例，以圖2示意並接續說明相關研究分析建議。

由圖2可知，以20個營級單位求解，經演算後獲得解集合 $X_i = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 1, 1, 1, 1, 0, 3, 4, 4, 4, 0, 6, 6, 6, 6, 6, 6, 0, 6)$ ，從解集合可以得知：

- (一)每個營級單位都有分配到負責的兵力補充權責單位，而其中營級編碼5及19，因為距離及通信覆蓋範圍的關係，若以補充兵營直接進行人力運補，可以獲得

較佳的效能，好比由補充兵營直接對單位的預備隊等單位可以直接進行補充，亦或者旅級分配單位可以由其所屬預備隊來擔任，變化其兵力補充的覆蓋問題。

- (二)另可由解集合看出，模型可以針對複數的選址中，求解出適當的開設位置建議，由圖3可以看出，補充兵營選定3個開設的位置，經求解建議僅開設編碼1及3兩個位置，可以有效模擬單一縣市或多個縣市開設補充兵營時，可協助求解選定建議開設之部署位置，以滿足作戰部隊兵員補充需求，未必如現行規範必須優先由同縣市補充兵營進行補充，而可以利用實際部署情形分配較適當的

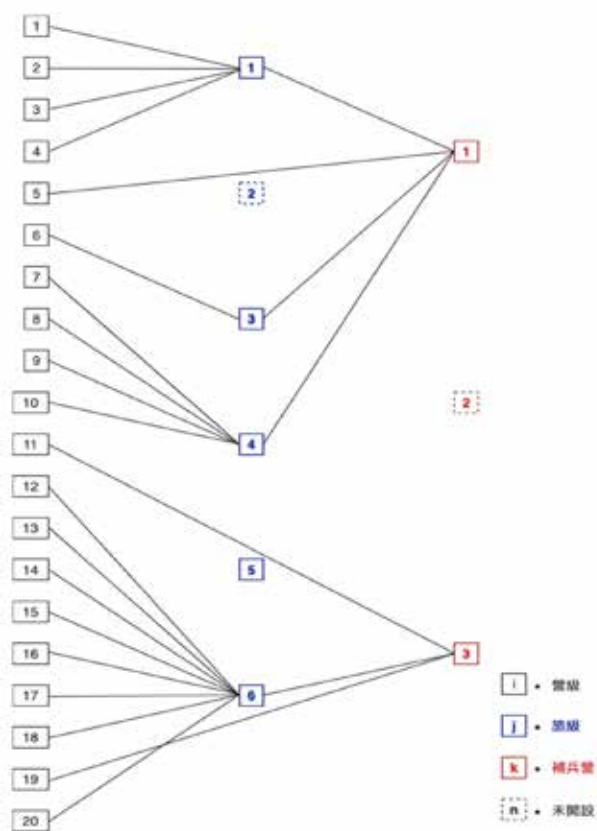


圖2 隨機問題解集合示意圖

單位執行兵力補充的作業，打破縣市的行政區域劃分，而是實際結合戰鬥地境來執行兵力補充任務。

因此，有關地面部隊補充兵營部署選址問題，初始透過參謀進行場地的選定，結合聯合兵種旅、營級已知的戰術部署現況，完成相對距離、通信覆蓋範圍資料集彙整，經由數學模型進行最佳化的求解，提供決策層級去考量，最後進行決策指導，必然可以獲得更好的決策品質，同時因應戰況的演進，倘若選定的位址遭受破壞或其他因素無法部署，亦可透過數學模型，即刻重新求解最佳的部署位置，可有效協助決策者下令各層級變換至最佳的位置，持

續維持兵力補充能量，最大化的維持作戰能力。

最後，本研究考量之屬性資料集僅有運補距離及通信覆蓋範圍，模型實際運用時，參謀、決策者或決策群體，可結合自身軍事所學、軍事素養及未來戰爭型態之不同，增加考量的屬性，再予以納入模型考量，此點建議將於次一章節建議說明。

伍、結論與建議

本章首先將說明相關研究貢獻，接續針對研究參數提供建議方向及決策參考，最後提出人力補充未來研究方向等相關事宜。

一、研究貢獻

本研究探討國軍地面部隊兵員補充基礎單位補充兵營之部署選址問題，探究相關研究領域除國軍人事戰備教則(草案)稍有提及相關能量、規則及設置規範外，查找國內、外文獻鮮少有相關對此領域之研究，然而我國國防主採守勢作戰，持久態勢對我國戰略至關重要，因此能更有效率提升兵員戰耗補充效率，實具價值，故本研究透過建立數學模型，提供各級決策人員、參謀參考決策之建議，以填補以往僅就參謀作業、決策人員僅圖上研究，單就作業方便即選定補充兵營部署位置之問題，此為本研究貢獻之一。

其次，為能多加考量更多複雜屬性，納入選址求解問題，本研究提出以柔性演算方式，進行求解補充兵營部署選址問題，透過SSO演算法對於離散問題之求解能力，亦驗證了可以於複雜情形下求出可行之解，並提供決策者決策參考，為本研究另一貢獻。



二、後續運用建議

實務上，現行國軍地面部隊補充兵營部署選址，指揮權責主要係由後備指揮部為主體，以各縣市後備指揮部為人員補充之主要執行機構，現行位置選定多以便利性為主，多數未與作戰區及作戰分區針對作戰任務進行探討。本研究建立之數學模型，除距離屬性外，亦加入通信覆蓋距離為決策屬性之一，此模型亦可依照指揮官的指揮藝術、個人素養、各相關幕僚的專業及針對作戰敵可能行動等因素，增列決策屬性，例如設施對於攻擊抵抗力、運輸交通條件、風險值及隱(掩)避等屬性，納入模型計算。試想在兩點同樣交通距離情況下，上山路線與下山路線、道路寬度也都會影響運輸的速度，依靠群體討論，建立更多有意義的決策屬性，有助於群體決策過程，並有助決策者進行最終決策之參考依據。

基於前述，由於各屬性度量單位不同，將影響運算求解之意義，故資料集可先行實施正規化(Normalization)，正規化的用意，將原始資料的數據按比例縮放於[0,1]區間中，且不改變其原本分佈，藉以正確的將資料及進行有意義的計算，而不會因為單位的落差影響計算的正確性。各屬性值可求取最大化，正規化採用公式(16)，而距離屬性值係求取最小化，正規化可採用公式(17)。另數據正規化除了可將不同度量屬性資料合併計算，亦有助於加快了梯度下降求解最優解的速度，同時讓不同維度之間的特徵在數值上有一定的比較性，藉此提高求解精度。

$$X_{nom} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \in [0,1] \quad (16)$$

$$X_{nom} = 1 - \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \in [0,1] \quad (17)$$

學理上，在於求解此類選址問題，尚有分支界定法、拉格朗日鬆弛法及基因演算法(Genetic Algorithm ,GA)、蜂群演算法(Artificial Bee Colony ,ABC)、蟻群演算法(Ant Colony Optimization ,ACO)、粒子群演算法(PSO)及模擬退火演算法(Simulate Anneal Arithmetic ,SAA)等各種進化式演算法。後續如國軍引進模型計算求解國軍地面部隊補充兵營部署選址或相關選址等議題時，亦可嘗試SSO或其他演算方法，進行求解，進而提供決策參考。

三、未來研究

本研究主軸在於探討如何選定補充兵營開設位置，在最短時間內最佳化提供地面部隊兵員補充之效能及效率，是兵員補充軍事作業研究中重要的研究議題之一，然而檢視兵員補充效能上有許多注意事項，本研究尚有許多研究問題可進一步探討，為能更貼近現實需求，以下提出未來研究之建議：

國防部後備指揮部職司我國軍動員下令主要任務，負責管理國軍退除役人員資料建檔等相關工作，依國軍人事戰備教則規範，兵員補充除本研究所探討補充兵機構部署外，針對部隊作戰進程補充之優先順序，亦是建立科學化數學模型進行分配套討研究之方向及議題。

如前點所述，國軍退除役人員資料建檔內容，係我國軍針對後備人力專長選員一大重要

的資訊，戰耗人力補充亦有一重點在於針對作戰部隊所需要的專長進行補充，在複雜的作戰演進過程下，何項專長應優先補充哪個單位？何項高專人力應優先補充？亦可建立數學模型進行求解指派，以順應作戰情勢危急時，可以提供決策群體科學化的決策參考。

對應各作戰地區、地形等形態之不同，作戰部隊部署兵種及專長亦有差別，因此對於各地區補充兵營應召集之專長亦應有所區隔，例如某地區主要軍種為裝甲部隊，然而補充兵營礙於人口屬性，各種專長均有，然而是否能否滿足該區域之專長需要，且各縣市人口分布落差懸殊，依臺灣這樣的腹地，是否仍應以縣市區分個補充兵營的權責？可否縣市打破行政區域的分隔線，以實際兵力部署情形作為補充兵營部署，也是重要的研究議題。

以上未來研究建議，係筆者身為國軍後備部隊幹部及人事作業人員，將持續於軍旅中持續探究之問題，期能精進國軍人事戰備效能，為固守我國家人民與主權盡上一份綿薄心力。

參考文獻

一、英文文獻

1. Barros, A. I., Dekker, R., & Scholten, V. (1998). A two-level network for recycling sand: a case study. *European Journal of Operational Research*, 110(2), 199-214.
2. Costa, A. M., Franca, P. M., & Lyra Filho, C. (2011). Two-level network design with intermediate facilities: an application to electrical distribution systems. *Omega*, 39(1), 3-13.
3. Gunawan, K., Putra, I. N., Sukandari, B., Suharyo, O. S., & Susilo, A. K. (2018). Location Determination of Logistics Warehouse facility using Fuzzy Multi Criteria Decision Making (FMCDM) Approach in Western Sea Sector of Indonesia. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(3), 1597-1604.
4. Hakimi, S. L. (1965). Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Operations Research*, 13(3), 462-475.
5. Heginbotham, E., Nixon, M., Morgan, F. E., Heim, J. L., Hagen, J., Li, S., ... Shlapak, D. A. (2015). The US-China military scorecard: Forces, geography, and the evolving balance of power, 1996-2017. Rand Corporation.
6. Huang, C.-L., & Yeh, W.-C. (2014). A new K-harmonic means based simplified swarm optimization for data mining. In 2014 IEEE Symposium on Swarm Intelligence (pp. 1-5). IEEE.
7. Klose, A. (1999). An LP-based heuristic for two-stage capacitated facility location problems. *Journal of the Operational Research Society*, 50(2), 157-166.
8. Klose, Andreas, & Drexl, A. (2005). Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*, 162(1), 4-29.
9. Lai, C.-M., Chiu, C.-C., Liu, W.-C., & Yeh, W.-C. (2019). A novel nondominated sorting simplified swarm optimization for multi-stage capacitated facility location problems with multiple quantitative and qualitative objectives. *Applied Soft Computing*, 84, 105684.
10. Lai, C.-M., Yeh, W.-C., & Chang, C.-Y. (2016). Gene selection using information gain and improved simplified swarm optimization. *Neurocomputing*, 218,



- 331-338.
11. Li, J., Chu, F., Prins, C., & Zhu, Z. (2014). Lower and upper bounds for a two-stage capacitated facility location problem with handling costs. *European Journal of Operational Research*, 236(3), 957-967.
 12. Mount, S. M. (1990). Strategic facility planning as a component of the business plan. *Industrial Development*, 1, 879-882.
 13. Narula, S. C., & Ogbu, U. I. (1979). An hierarchical location-allocation problem. *Omega*, 7(2), 137-143.
 14. Sathe, A., & Miller-Hooks, E. (2005). Optimizing location and relocation of response units in guarding critical facilities. *Transportation Research Record*, 1923(1), 127-136.
 15. Sennaroglu, B., & Celebi, G. V. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160-173.
 16. Stimers, M., & Lenagala, S. (2017). The Analytic Hierarchy Process in GIS-Driven Military Operation Base Selection: A Case Study in Sri Lanka. *Journal of Defense Management*, 7(1), 2-11.
 17. Tragantalerngsak, S., Holt, J., & Ro, M. (1997). Lagrangian heuristics for the two-echelon, single-source, capacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 102(3), 611-625.
 18. Weber, A. (1909). *Ueber den standort der industrien* (Vol. 2).
 19. Wichapa, N., & Khokhajaikiat, P. (2017). Solving multi-objective facility location problem using the fuzzy analytical hierarchy process and goal programming: a case study on infectious waste disposal centers. *Operations Research Perspectives*, 4, 39-48.
 20. Yeh, W.-C. (2009). A two-stage discrete particle swarm optimization for the problem of multiple multi-level redundancy allocation in series systems. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 9192-9200.
 21. Yeh, W.-C., Lai, C.-M., & Tsai, J.-Y. (2019). Simplified swarm optimization for optimal deployment of fog computing system of industry 4.0 smart factory. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1411, p. 12005). IOP Publishing.
- ## 二、中文文獻
1. 國防大學. (2007). 國軍聯合作戰要綱.
 2. 國防部. (2003). 國軍人事戰備教則(草案).
 3. 國防部. (2019). 中華民國 108 年國防報告書.
 4. 賴智明, & 徐冠中. (2020). 運用簡群演算法與層級分析法解決國軍野戰後勤設施選址問題. *危機管理學刊*, 17(1), 43-54.

作者簡介

黃友隆中校

陸軍官校專91年班、步校正規班100年班、國防大學管理學院資源管理及決策研究所107年班、國防大學戰爭學院戰略班110年班。曾任排長、連長、作戰官、人參官、科長。現任國防部後備指揮部科長。

李建璋上校

國防管理學院正期81年班、國防管理學院戰略班102年班。曾任助教、人事官、連長、教育參謀官、教官、主任教官。現任國防管理教育訓練中心主任教官。