

An Application of Process Capability Indices in Swimming Teaching

製程能力指標在游泳教學的應用

蘇榮基 陳坤盛
台灣國立勤益技術學院

賴素玲
台灣國立體育學院

Jung Chi SU Kuen Suan CHEN
National Chin-Yi Institute of Technology, TAIWAN

Su Lin LAI
National College of Physical Education and Sports, TAIWAN



Abstract

Process Capability Index was an effective and convenient instrument to measure process capability and achievement. Based on the process capability indices, the researchers attempted to apply such index in teaching of swimming. After several corrections, the Swimming Teaching Index $S_{NI} = \frac{U-M}{(M-F_{0.315})/3}$, and the Swimming Teaching Gathering Effect Index = P x L were developed. Moreover, five swimming coaches in Taichung area were studied to verify the validity and reliability of the index.

摘要

製程能力指標是衡量製程能力與績效的有效且方便的工具，許多統計學家和品質工程師投入了製程能力指標的研究，使其能準確的衡量出製程能力與績效。本文即是以製程能力指標為基礎經適度修正成教會游泳指標 $S_{NI} = \frac{U-M}{(M-F_{0.315})/3}$ ，並據以發展游泳教學總績效指標 = P x L，最後以台灣的台中市一處游泳池的五位游泳教練為例，探討驗證本文所發展的指標。

前言

游泳是有益身心健康、男女老少咸宜的全身活動，加上台灣四面環海，又屬亞熱帶氣候，實施水上活動的季節較長，且室內溫水游泳池林立的諸多條件下，廣受大眾喜愛。蘇榮基等(1977)指出游泳運動的好處實在很多：一、從健康的觀點來看(1) 游泳是最好的全身運動，能使全身均衡發展、發育。(2) 水有浮力而且是柔軟的，從事游泳運動時發生運動傷害的機會最少。(3) 對受傷的人而言，游泳是很好的復健運動。(4) 游泳對治療氣喘、心律不整效果不錯(尤新吉，1993；姜茂盛，1983；陳和睦，1993；廖朝輝，1988)。二、從安全

考量，游泳能培養自衛能力，增加水上安全的保障。根據調查，意外事故的死亡率從1966年起已高居台灣十大死亡原因之第三位，其中「溺水」事件佔的比例驚人(晏涵文等，1986；楊武英，1995)。三、從休閒及運動方面來看(1) 游泳不需要伴，容易從事。(2) 運動時間很經濟(3) 國內外許多旅遊據點，都與水有關，會游泳才能享受旅遊的樂趣。(4) 適合各年齡層從事。(5) 游泳是最好的消暑良方(吳萬福，1979；陳和睦，1993)。

游泳運動好處這麼多，所以無論是台灣各大專院校體育課程學生選修游泳的情況或台灣各地泳池暑假期間泳訓班報名參

加的情形，都非常的踴躍，以台灣的台北市YMCA（基督教青年會）萬華、永吉兩會所為例，每年均有逾萬人參與（巫昌陽，1992），可見其盛況。

在台灣暑假期間開設的泳訓班大多採小班制教學，人數約8～15人，每一期約十天（各泳池自訂），收費約1800元～2500元（新台幣）間，因報名情況踴躍，對經營者來說，是不錯的收益。不過泳訓班也潛藏著一些問題，最常為人詬病的是教練素質良莠不齊的問題，因此就造成某個游泳池因為教練教的不好，很多人不願去報名，而某個游泳池的教練，因為教的好，很多人都爭相報名的情形。因此，教練的好壞對泳訓班的業績有很大的影響，但似乎缺乏評估泳訓班游泳教練教學品質好壞的研究。因此本文擬參考目前許多產業評估績效的製程能力指標，針對游泳的教學效果，建立一套評估模式與方法，提供給教練本身或業者參考，期能有助於泳訓班業績的提昇及游泳教練教學效果的改善。

教會游泳績效指標

（一）教會游泳指標的訂定

製程能力指標（Process Capability Indices）是用來評估產品的製程能力與績效的有效工具，目前已普遍的應用在許多的自動化製造業，半導體製造或封裝製程，用來衡量製程能力與績效是否達到要求。許多統計學家和品質工程師投入製程能力指標的研究，使其能更準確的衡量出製程能力與績效，並適用於評估各種產業之製程能力績效。例如 Kane（1986），Chan et al.（1988），Chou & Owen（1984），Boyles（1991，1994），Pearm et al.（1992），Chen（1997,1998）等，這些研究提供了一套完整的產品製程能力評估方法。

製程能力指標（Process Capability Indices）雖已普遍的應用在許多的行業，以評估其製程能力與績效，但鮮少應用於體育教學，本文即是利用製程能力指標的觀念，針對泳訓班的教學效果，建立一套評估模式與方法。

在台灣，經營泳訓班的業者中，有一些業者的口碑不錯，其中較有系統的如YMCA，其游泳教練除需具有泳技的基本條件外，尚需經過約半年的游泳教學訓練和實習才有資格擔任。另外YMCA也發展一套泳訓班結業級數證書制度，即每期泳訓班結業，教練必須以YMCA自行發展的10個等級評量表，對每位學員的游泳能力進行評量。這種制度特別是對青少年、兒童層級的學員或其家長，提供了一個學習效果好壞的參考數據。因此，YMCA的游泳教學受到台灣不少泳訓班業者的肯定和推崇，甚至模仿。然而，隨便以救生員充當教練的業者也有，當然不能說救生員擔任教練就不好，只是以沒有教學專業的人員來擔任教練其教學品質堪虞。

對泳訓班業者來說游泳教練教學品質的好壞，對業者業績及學員學習效果也有很大的影響，上述YMCA所發展的泳訓班結業級數證書制度，其實可視作評估游泳教練教學效果的簡略方式，只是太過粗糙，不夠客觀。因此，本文擬建立一套評估游泳教練的教學效果模式與方法，提供給教練本身或業者參考，期能有助於泳訓班業績的提昇及游泳教練教學效果的改善。

本文要建立游泳教練的教學效果評估模式是以小班制（8～15人），10天的教學為一期的泳訓班為研究對象。要建立游泳教練的教學效果評估模式，首先需要定義一個評量游泳教學效果的標準，考量游泳的特性，本文以會不會游泳為評量教學效果的標準。會游泳是以YMCA泳訓班結業級數證書的第四級所規定的成績為評量會不會游泳的依據。

以每一位教練來說，同一個時期可能會有幾個班的課要教，而在同一個班則會有幾個學員。為了提昇教學效果，應設定一個合理的檢驗教練教會游泳的標準時間以做為規範，期望每一個學員均能在標準時間內學會游泳，考慮學員的性別、學習能力等因素，可以訂出教練教會游泳時程的合理時間上限U，這個上限可能是教練的自我要求或是管理者所訂定的，其單位以天計算，一般可以一期的游泳訓練天數為準，以台灣的泳訓班為例，大部分是以10天的教學時間為一期，即可以訂定 $U = 10$ 天。假設T代表學員從不會游泳學到會游泳所花費的實際時間，由於每個學員從不會游泳學到會游泳所花費的實際時間不盡相同，因此很顯然的T是一個隨機變數（random variable）。因為T係代表學員學會游泳的天數，在相同的學習能力條件下，學員學會游泳的天數愈短，則表示教練的教學效果愈佳。當T的值愈小代表其教學效果愈好，就品質管理的角度而言，這種品質特性是屬於望小型的（smaller-the-best）。因此本文引用Bothe（1999）及Montgomery（1996）所提出適合評估望小型品質特性的指標 S_I 來評估游泳教練教學效果時程的績效是否符合應有的水準，這個教學效果時程績效指標的定義可以表示如下：

$$S_I = \frac{U - \mu}{\sigma}$$

其中 μ 為X的平均數， σ 為X的標準差。指標的分子部分為 $(U - \mu)$ 是以教練之平均教會游泳時間與教會游泳的時間上限U之差來衡量教練之平均教會游泳的能力， $(U - \mu)$ 之值愈大表示其平均教會游泳的能力愈強。而指標 S_I 的分母部分為教練教會游泳時間的標準差（ σ ），通敘標準差（ σ ）愈小表示教練教會游泳的時間愈穩定，此時教會游泳績效指標值（即 S_I 值）愈大。根據以上討論，指標 S_I 能合理的反應出教練教會游泳的績效。

假設教練在教會游泳時間上限內（游泳課程結束前）把學員教會游泳的比率為 p ，則 $p = P(T \leq U)$ 。令 $Z = (T - \mu) / \sigma$ 則 Z 服從標準常態分配，且教練如期教會游泳率 p 與指標 S_I 的關係可表示如下：

$$p\% = P(T \leq U) = P\left(Z \leq \frac{U - \mu}{\sigma}\right) = F_Z(S_I)$$

其中 F_Z 為隨機變數 Z 的累積分配函數，在常態的假設下（即 T 服從平均數為 μ 的標準差為 σ 的常態分配），則 $P\% = \Phi(S_I)$ 其中 Φ 為標準常態累積分配函數。根據這項關係式，當指標值愈大時則教練如期教會游泳率也愈高，反之當指標值愈小時則教練如期教會游泳率也愈低，因此這個教會游泳績效指標能充分的反應教練如期教會游泳率。事實上，教練教會游泳率 p 是教會游泳指標 S_I 的函數，且具有一對一的數學關係。圖 1 即為其函數圖形，從圖 1 中可以明顯的看出，教練教會游泳率 p 是教會游泳指標 S_I 的嚴格遞增函數，當教會游泳指標 S_I 值愈小時教練教會游泳率 p 愈小，而當教會游泳指標 S_I 值愈大時教練教會游泳率 p 愈大， p 越大代表教練教會學員游泳的人數比率越高。

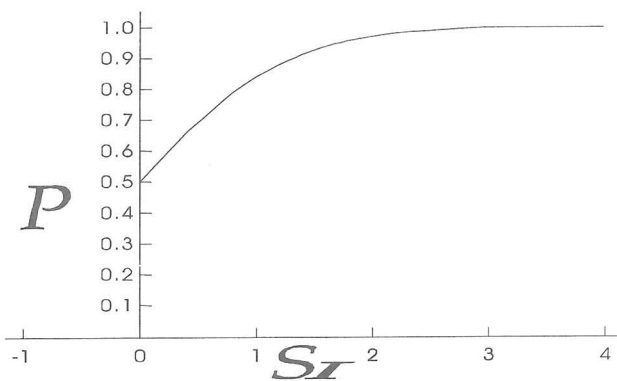


圖 1. 教會游泳率 p 與 S_I 的函數關係圖

根據教練教會游泳率 p 是教會游泳指標 S_I 的一對一的數學函數關係，我們只要能計算出教練的 S_I 值，則便能根據指標 S_I 值很快便能估出其如期教會游泳率 p 。表 1 即為各種指標 S_I 值所對應的如期教會游泳率 p 。當 S_I 值於表 1 沒有列出時，則於一般的統計學或品質管理的書籍之附錄的標準常態累積分配表即可很容易的換算出如期教會游泳率 $p = \Phi(S_I)$ 。

表 1. 各種 S_I 值所對應的如期教會游泳率 p 。

S_I	p	S_I	p	S_I	p
0.0	0.50	1.0	0.84	2.0	0.98
0.1	0.54	1.1	0.86	2.1	0.98
0.2	0.58	1.2	0.88	2.2	0.99
0.3	0.62	1.3	0.90	2.3	0.99
0.4	0.66	1.4	0.92	2.4	0.99
0.5	0.69	1.5	0.93	2.5	0.99
0.6	0.73	1.6	0.95	2.6	1.00
0.7	0.76	1.7	0.96	2.7	1.00
0.8	0.79	1.8	0.96	2.8	1.00
0.9	0.82	1.9	0.97	2.9	1.00

雖然如期教會游泳率亦可由每個教練教會游泳時程上限內，學員學會游泳的人數除以其所教的學員總人數而得，然而當教練如期教會游泳率 $p\%$ 愈高時則需要愈大的樣本大小 (sample size) 才能較精確的估算出其值。舉例而言，假設某教練之如期教會游泳率 $p = 95.55\%$ ，若樣本數太小 (假設 $n = 10$) 則其較接近的估算值為 90% 與 100%，兩者的誤差均不小。而若以教會游泳績效指標值來估算如期教會游泳率則不須有很大的樣本大小即可估出很精確的如期教會游泳率值。

(二) 教會游泳指標的修正

以上所談的教會游泳績效指標與教會游泳率間的一對一數學關係，係引用 Bothe (1999) 及 Montgomery (1997) 所提出適合評估望小型品質特性的指標 S_I 的理論推導而來，已成功的在許多領域中得到驗證；然而本文中游泳教學的實例，由於教學期間是一期十天，若學員十天之內沒有學會，則教練把該學員實際教會天數的資料就無法得知，如此不但套用指標 S_I 的公式即有困難，且資料常呈非常態分配。

參考 Chen and Pearn (1997) 有關非常態分配之製程能力指標的研究，本文泳訓班游泳教學的例子，在非常的假設下，指標 S_I 可以重新修正為 S_{NI} ，其定義可以表示如下：

$$S_{NI} = \frac{U - M}{(M - F_{0.315}) / 3}$$

其中 $F_{0.315}$ 是百分之 0.315 分位數， M 是中位數

事實上，本文是以中位數 M 取代指標 S_I 中的平均數 μ ；且以 $(M - F_{0.315}) / 3$ 取代標準差 σ ，如此得到新指標 S_{NI} 。這是因為在非常態的假設下 $P(X < \mu - 3\sigma)$ 之值不再是百分之 0.315 且統計量 S 並不穩定。另外，特別是母體為偏態分配時，以中位數 M 來評定比平均數 μ 更為合理。

游泳教學效果載評估指標

根據教會游泳指標 S_I 和教會游泳率 p 的數學關係，當某一位教練教會游泳指標 S_I 愈大時，表示該教練在愈短的時間即可教會學員游泳；而教會游泳率 p 愈大時，則表示教練在一定的時限 教會學員游泳的人數愈多，所以當某一位教練的教會游泳指標 S_I 和愈大時，其教會游泳率 p 也會愈大，教會游泳指標 S_I 和教會游泳率 p 兩者有一對一的對應關係。因此當教會游泳指標 S_I 愈大或教會游泳率 p 愈高的情況，我們可以說這位教練有較好的教學效果。但是單憑教會游泳指標 S_I 或教會游泳率 p 來評定一位游泳教練整體的教學效果，似乎仍嫌不足，游泳教學效果的評定除教會學員游泳與否外，應當也要把距離的因素列入其中較為客觀，因為教練除了要教會學員游泳且學員游的距離也要遠，這樣才代表教練教學的成效好、品質好，所以除了教會的比例要高，同時也希望學員會游的平均距離要遠。因此本研究擬再增加距離方面的評估參數，即學員在一期泳訓班結訓時所能游的距離當做另一個參數。在定義這個游泳教學效果的總評估指標之前，首先介紹教練教會學員游泳的平均距離如下：

$$L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$$

其中 D_i 表示學員 i 所能游的距離，

$$\text{再令 } I_i = \begin{cases} 1 & \text{表示第 } i \text{ 個學員已學會游泳} \\ 0 & \text{表示第 } i \text{ 個學員還未學會游泳} \end{cases}$$

則很顯然的當 $I_i = 0$ 時， D_i 也等於 0，若以學員平均學習效果的角度來評估教練的教學效果，則游泳教學效果的總評估績效可以定義如下：

$$\text{績效} = P \times L$$

$$\text{其中 } P = \left(\frac{1}{n} \right) \times \left(\sum_{i=1}^n I_i \right)$$

很顯然的評估游泳教練的游泳教學績效，可由兩方面同時評估，第一為學會比率，第二為會游的平均距離，由於指標 S_I 與 P 成正比關係，因此本文以 S_I 取代 P 重新定義載評估指標如下：

$$Perf_N = (S_I) \times L$$

而由指標 $Perf$ 中可以很顯然看出，當教會比例 P 愈高或是平均會游的距離愈長，其指標值愈大，因此這個指標可以合理的反應教練的績效。

在非常態的條件下，此總評估指標可以重新表示如下：

$$Perf_N = (S_{NI}) \times L$$

Chang and Lu (1994) 提出計算和中位數的方法，事實上這是建立在以樣本百分位數來估算母體百分位數的方法。應用這個方法我們可以獲得總評估指標的百分位數的預估值，因此可以表示如下：

$$Perf = (S_{NI}) \times L,$$

$$\hat{S}_{NI} = \frac{U - \hat{M}}{(\hat{M} - \hat{F}_{0.315}) / 3},$$

$$\hat{F}_{0.135} = X_{(R_1)} + \left\{ \left[\frac{0.135n + 99.865}{100} \right] - R_1 \right\} (X_{(R_1+1)} - X_{(R_1)}),$$

$$\hat{M} = X_{(R_2)} + \left\{ \left[\frac{n+1}{2} - R_2 \right] \right\} (X_{(R_2+1)} - X_{(R_2)}),$$

其中 $R_1 = ((0.135n + 99.865) / 100)$ 且 $R_2 = ((n+1) / 2)$ 這裡的 $()$ 為高斯符號，即 (R) 代表小於或等於 R 的最大整數，而 $X_{(i)}$ 則是代表第 i 個順序統計量。

實例探討

為了說明上述評估模式與方法的應用，本文以台灣的台中市某游泳池為例，該游泳池在 2001 年暑假對附近中、小學生舉辦了一系列的游泳夏令營，該夏令營共聘請了 5 位游泳教練，為了評估這 5 位游泳教練的教學績效，該游泳池蒐集並記錄了 2001 年暑假中 5 位游泳教練的開課成果，由於均以 10 天的教學時間為一期，因此可以訂定 $U = 10$ 天。游泳池蒐集並記錄了 5 位游泳教練所教授的每一學員學會游泳的實際天數，並整理成表 2，為避免因年齡差距過大而影響教學效果評估的客觀性，故本文只選擇學員年齡在 11 歲至 16 歲的班進行探討。這五位游泳教練的教學資料及評估詳如表 2。

表 2. 台灣的台中市某游泳池五位游泳教練教學資料及評估。

類別	教練A	教練B	教練C	教練D	教練E
人數	21	21	10	19	20
中位數(M)	9	9	9	8	8.5
$F_{0.135}$	7	6	7.01	7	6
$(M-F_{0.135})/3$	0.67	1	0.66	0.67	0.83
L	15.67 ³	14.81 ⁴	14 ⁵	15.89 ²	17.55 ¹
S_{NI}	1.49 ³	1 ⁵	1.52 ²	1.49 ³	1.81 ¹
$Perf_N$	23.34 ³	14.81 ⁵	21.28 ⁴	23.68 ²	31.77 ¹

- 註： 1. 人數係表示該教練所教的學員人數。
 2. 中位數 (M) 係表示該教練教會學員游泳天數的中位數。
 3. 類別 L、 S_{NI} 及 $Perf_N$ 等數值右上值代表其順位。

由表2可看出這五位游泳教練游泳教學效果總評估指標的順序依序為教練E、D、A、C、B。這代表教練E在愈短時間教會學員游泳方面及一期結束後，學員會游的距離方面兩者的整體表現最佳，教練D次之，再來為教練A、教練C和教練B。

但若單純以教會學員游泳的績效來看，顯然也是教練E的表現最好，因為其教會學員游泳指標 S_{NI} 為最高的1.81，其次是教練C、教練A、教練D及教練B，另一方面若以一期結束時學員會游的距離來看，顯然也是教練E的表現最好，其教會的平均距離是17.55m，其次依序分別為教練D、教練A、教練B、教練C的15.89m、15.67m、14.81m、14m。

從上面這個實例來說，泳訓班業者可按照教練的教學績效好壞做為續聘的參考，以建立泳訓班的好口碑；當然也可以根據每位教練的績效好壞，適度給予獎勵，對教練也會有正面的激勵作用。

結 語

績效指標已廣泛並有效的應用在許多產業和領域，但在教育的領域方面，特別是體育教學，卻仍不常見。本研究的教會游泳指標，是由績效指標經適度的修正所發展出來的，籍由此指標的建立，及其所延伸的總績效評估指標，相信可成功的提供泳訓班業者、學員及教練本身參考。

參考文獻

- 尤新吉 (1993)。公立游泳池經營管理。國民體育季刊，第二十二卷，第一期，86-89 頁。
- 巫昌陽 (1992)。臺北市 YMCA 游泳教室成人消費行為之研究。桃園：國立體育學院體育研究所碩士論文 (未出版)。
- 李勝雄 (1994)。游泳教學策略。臺灣省學校體育，第四卷，第四號，6-10 頁。
- 吳萬福 (1979)。游泳教學的探討。大專體總 68 年度學術研討會，286-297 頁。
- 武育勇 (1994)。游泳教學設計。國民體育季刊，第二十三卷，第三期，166-174 頁。
- 姜茂盛 (1983)。游泳基本動作與訓練之研究。中華民國游泳協會，65-67 頁。
- 晏涵文等 (1986)。國小教師「安全教育及急救研習會」之評價研究。健康教育，第五十八期，28-35 頁。
- 陳和睦 (1993)。游泳池的經營管理。國民體育季刊，第二十二卷，第一期，76-85 頁。
- 楊武英 (1995)。從安全的角度來看水上救生班的價值。體育學院論叢，第五卷，第二期，47-59 頁。
- 廖朝輝等 (1988)。日本游泳訓練理論與實際之探討。中華體育學會會刊，65-75 頁。
- 蘇榮基、羅龍飛 (1997)。蛙、捷泳在不同對象教學的探討。大專體育，第 32 期，99-102 頁。
- Bothe, D. R. (1999). A Capability Index for Multiple Process Streams. *Quality Engineering*, 11(4), 613-618.
- Boyles, R. A. (1991). The Taguchi capability index. *Journal of Quality Technology*, 23, 17-26.
- Boyles, R.A. (1994). Process capability with asymmetric tolerances. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 23, 615-643.
- Chan, L. K., Cheng, S. W., & Spiring, F. A. (1988). A new measure of process capability: Cpm. *Journal of Quality Technology*, 20(3), 162-175.
- Chang, P. L., & Lu, K. H. (1994). PCI Calculations for Any Shape of Distribution with Percentile. *Quality World, Technical Supplement September*, 110-114.
- Chen, K. S., & Pearn, W. L. (1997). An application of non-normal process capability indices. *Quality and Reliability Engineer International*, 13, 355-360.
- Chen, K.S. (1998). Incapability index with asymmetric tolerances. *Statistica Sinica*, 8, 253-262.
- Chou, Y. M., & Owen, D. B. (1984). On-sided confidence regions on the upper and lower tail areas of the normal distribution. *Journal of Quality Technology*, 27(2), 150-158.
- Kane, V. E. (1986). Process capability indices. *Journal of Quality Technology*, 18(1), 41-52.
- Pearn, W.L., Kotz, S., & Johnson, N.L. (1992). Distributional and inferential properties of process capability indices. *Journal of Quality Technology*, 24, 216-231.
- Montgomery, D. C. (1996). *Introduction to Statistical Quality Control*. New York: John Wiley & Sons.

連絡人：

蘇榮基

服務機關：台灣國立勤益技術學院

職稱：副教授兼體育室主任

電話：886-0928-903653

傳真：886-04-23938809

E-mail：sujj@chinyi.ncit.edu.tw