

準確度與精密度

Accuracy and Precision

史天元¹

摘 要

「準確度」與「精密度」，不僅是測量學之基礎觀念，更普及應用到與計量相關的多種領域。「準確度」為觀測值或估值，與真值間差異的比較，「精密度」則為觀測值相互間之關係。此一觀念似乎十分單純，但是究諸文獻，描述與理解卻有多元化之混淆。本文回顧相關重要教材與文獻，尤其是在測量學領域的，對此兩名詞之描述。並就不同理解方式，予以探討。本文目的不在於為最後之決議，但望能經由討論，逐漸消除教材與教學過程中的不一致性。本文具體建議：「當應用到一組測試或量測成果時，準確度包含偶然與系統兩部分」。

關鍵字：真實度、不確定度、誤差

ABSTRACT

“Accuracy” and “precision” are two fundamental concepts not only for surveying, but also for all measurement related fields. “Accuracy” is a measure for how close the observations or estimated values to the true value, while “precision” is the measurement of the agreement among observations. This looked simple concept has quite confusing descriptions in the literatures. In this study, the descriptions of “accuracy” and “precision” in some frequently referenced literatures are reviewed. Different interpretations to these descriptions are also explored. The aim of this writing is not to make a final decision to these conflicts, but to facilitate a discussion toward a unified educational content. This article recommends that the term “accuracy”, when applied to a set of test or measurement results, involves a combination of random components and a common systematic error or bias component.

Keywords: Trueness, Uncertainty, Error

¹ 國立交通大學土木工程系教授; email : tyshih@mail.nctu.edu.tw

前言

測量學是應用量測技術的一個學科，因此，觀測量、誤差、估值...等等基礎的量測觀念，亦為測量學之基礎。「準確度」與「精密度」，即為這些基礎觀念之一部分。以「測量學」教材為例，史惠順(1978)於第一章中介紹此一觀念，Wolf and Ghilani (2006)則在第三章中討論。考選部「公務人員高等考試三級考試」之「測量學」命題大綱中，在第一部分「測量學基本概念」第四項便是「誤差理論」，包含機率、誤差、與誤差傳播，「準確度」與「精密度」即屬於此一項之內涵。由此，可見此一觀念之基礎性。但是，檢視文獻中所有之描述，除中譯名詞之更迭與差異外，「準確度」與「精密度」究竟為何？似亦多有混淆之處。

「準確度」與「精密度」分別為"Accuracy"與"Precision"之中譯，雖然目前有多種其他翻譯，本文統一使用「準確度」與「精密度」。但是在引用文獻時，則以沿用該文獻內之名詞為原則。

在「準確度」(Accuracy)之科學使用中，包含「量測準確度」(Measurement Accuracy)與「分類準確度」(Classification Accuracy)。前者為本文探討主題，後者則與討論課題較無關聯，故而略之。

測量學教材中之描述

史惠順(1978)是測量學教學中，使用率十分高的一本教材，近年來雖然因測量儀器與技術之更新，導致該書已少有課堂應用為主要教材，但是仍然為相關學科教學與考試命題之重要參考文獻。在第一章中，1-6-3 節將"Accuracy"翻譯作「精確度」，"Precision" 翻譯作「精密度」。謹摘錄相關描述如下。

「精確度與精密度在中文之運用上一般極少注意其區分，常混為一談，實際上兩者各有所指，茲分述如下：

精密度(Precision)一般指緻細及謹慎之量測工作而言，諸如操作者之技能及所使用之儀器能影響到量測工作之精密度，故常指所用之方法為精密方法(Precise Method)或稱所用儀器為精密儀器(Precise Instrument)。

精確度(Accuracy)，係指最後量測所得之成果與真值間之差別，如稱「量得精確之成果，或稱該項量測其精度較高」。一般以中誤差(Mean Square Error)為所得成果精度衡量之標準。」

此一描述中，併用「精確度」與「精度」，雖未明言兩者相等，但是語意上確實有「精確度」等同「精度」之意。在爾後教材中，均使用「精度」一詞。然而，由於同時使用「精確度」與「精密度」兩個名詞，兩者之首末字均為相同，是否均可略稱為「精度」？或者，「精度」是總類名詞，下分「精確度」與「精密度」兩種分類？

如同史惠順(1978)在台灣測量學教材中之地位，陸國勝(1989)是由武漢測繪科技大學測量學編寫組制定之教材，由陸國勝(1961)改版修訂而成。該書之第六章為「誤差理論的基本知識」，所討論者為觀測誤差、偶然誤差的特性、評定**精度**的指標、誤差傳播定律、算數平均值及其中誤差、同**精度**觀測值的中誤差、等等。並未對「精確

度」或「準確度」與「精密度」有所區分，也未定義「精度」，而是直接使用「精度」此一名詞。

在英文教材中，Wolf and Ghilani (2006)及該書其他版本，屬於普及率較高者。近年來，台灣各國立大專院校測量學相關課程中使用率亦十分高，包含國立交通大學土木工程學系。在第三章中，就此兩名詞定義如下：

“Precision refers to the degree of refinement or consistency of a group of observations, and is evaluated on the basis of discrepancy size.”

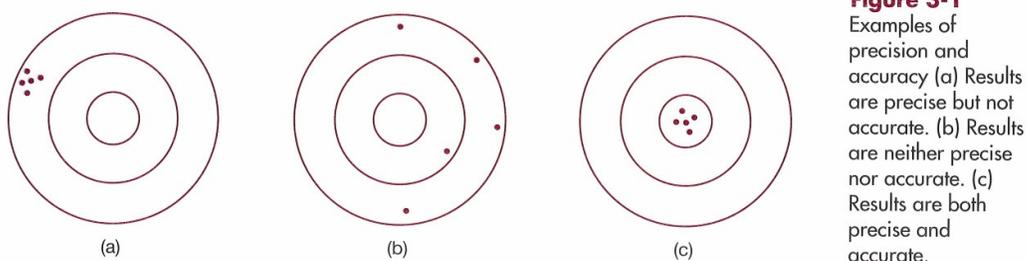
“Accuracy denotes the absolute nearness of observed quantities to their true values.”

其翻譯為，

「精密度為一群觀測量間之吻合度，由其間之較差大小評估。」

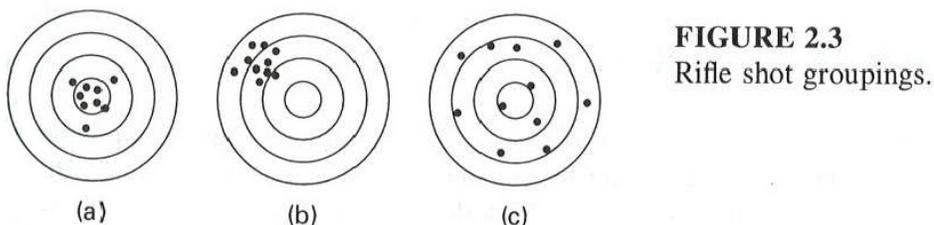
「準確度表示觀測量與真實量間之絕對接近程度。」

當分辨兩者之差異時，Wolf and Ghilani (2006)使用圖一之圖形。其中，左圖為不準確但是高精密度，右圖為準確且精密，中圖為精密度低且亦不準確。



圖一：Wolf and Ghilani (2006)圖 3-1，說明精密度與準確度

類似的文字與圖形，亦可見於 Anderson and Mikhail (2000)。其中差異在沒有使用圖一之(b)圖，相對的增加圖二之(c)圖，其文字解釋為「準確」但是彈著分散。



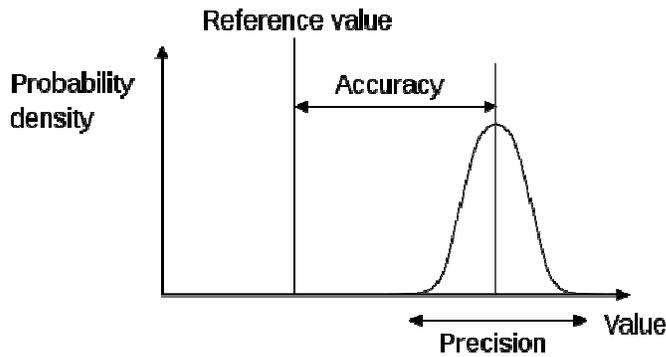
圖二：Anderson and Mikhail (2000) 圖 2.3，打靶圖

維基百科之描述

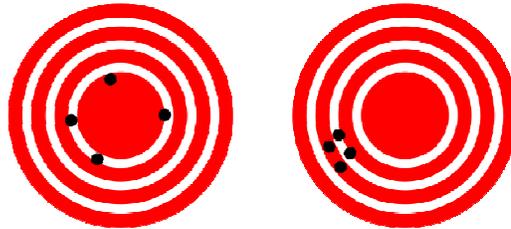
在維基百科中，有“Accuracy and Precision”詞條。引用計量學(Metrology)，Wikipedia (2013a)所描述者與 Wolf and Ghilani (2006)基本上相同。一量測系統之準確度為其量測量與真實量間之接近程度(The accuracy of a measurement system

is the degree of closeness of measurements of a quantity to that quantity's actual (true) value.)。一量測系統之精密度，又稱為重現度或重複度，為在相同條件下重複性量測其值之重複程度(The precision of a measurement system, also called reproducibility or repeatability, is the degree to which repeated measurements under unchanged conditions show the same results.)。

Wikipedia (2013a)也提到一個量測系統，「可以準確但是不精密，也可以精密但是不準確，或兩者皆是，或兩者皆非」。而其中差異在於系統誤差是否存在。更進一步，Wikipedia (2013a)描述一個量測系統當其準確且精密時為有效(A measurement system is designated valid if it is both accurate and precise.)。相關名詞包含偏差(bias)，為非隨機性 (non-random)或因與獨立變數不相關之因子所導致 (directed effects caused by a factor or factors unrelated to the independent variable)，以及具有隨機性之誤差(error)。在描述準確度與精密度時，Wikipedia (2013a)引用圖三、四，協助說明其間差異。

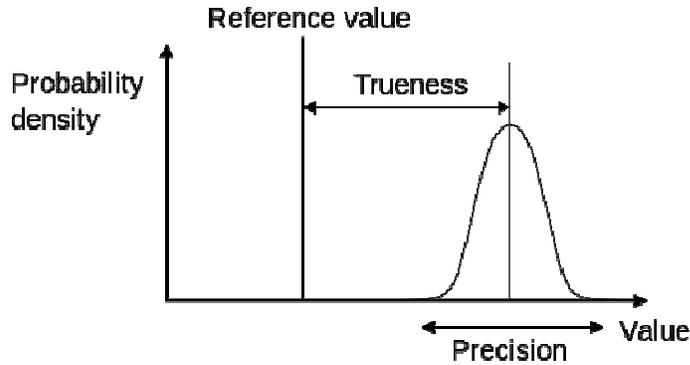


圖三：準確度與精密度(Wikipedia, 2013a)



圖四：高準確度與低精密度(左)、低準確度與高精密度(右)(Wikipedia, 2013a)

為能包含由不同領域出發之多種意見，Wikipedia (2013a)同時引用 IS05725 之內涵，其具體差異可由圖四說明，其間差異主要在於 IS05725 使用「真實度」(Trueness) 替代準確度。



圖五：準確度與精密度(Wikipedia, 2013a)

ISO5725 同時亦有與圖四相近之兩個打靶圖，但是其描述為「高準確度且優良真實度但低精密度(左)、低準確度且低真實度但高精密度(右)」(Wikipedia, 2013a)。

計量學相關描述

由於「準確度」、「精密度」，均為計量學中之基本觀念，測量學廣義上為計量學應用之一，故而檢視 JCGM(2008)之相關名詞定義。在詞條 2.13 為” measurement accuracy”，其定義為「量測量與真實量間之相近程度」(closeness of agreement between a measured quantity value and a true quantity value of a measurand)。在該定義之下有三個註解，註解一為「量測準確度不是一個量，而且並非以一個數值量值表示。一個量測量稱之為準確時，其量測誤差較小」(The concept ‘measurement accuracy’ is not a quantity and is not given a numerical quantity value. A measurement is said to be more accurate when it offers a smaller measurement error.)。註解二為「量測準確度不應使用為量測真實度，量測精密度不應使用為量測準確度，但這些觀念均相關」(The term “measurement accuracy” should not be used for measurement trueness and the term measurement precision should not be used for ‘measurement accuracy’, which, however, is related to both these concepts.)。註解三為「量測準確度有時理解為量測對象與量測值間之接近程度」(Measurement accuracy’ is sometimes understood as closeness of agreement between measured quantity values that are being attributed to the measurand.)。

JCGM(2008)中之相關詞條包含” measurement precision”等，供有意進一步查看者參考，本文不再贅述。但是綜合而言，依據 JCGM(2008)，「準確度」應該不是一個量，而且並非適合以一個數值量如中誤差表示。可以使用變方定理計算傳播者為具隨機性之誤差，所表示者為精密度。

張育唐、陳藹然(2011)以「準確度」、「精確度」為題，提出一份教材式的探討。其定義文字如下：

「準確度(Accuracy)是一個統計學上的念，指在每一次獨立的測量之間，其平均

與已知的數據之間的差距。若多次測量其平均接近於已知的數據（理論），我們可以相信數據「準確」，或是數據具有「高準確度」。反之，若多次測量其平均與已知的數據差距較大，表示實驗數據不準確，或準確度不高。準確度廣泛應用於各類學科，尤其是分析化學。一般而言準確度可以利用絕對誤差(absolute error)、相對誤差(relative error)等兩種方式表示。」

「當實驗數據很精準時，我們同時會要求實驗有高度的「再現性」，表示我們取得的實驗數據是可信的，也就是實驗數據需要具有高「精確度(precision)」。精確度同樣是一個統計學上的念，指各次獨立實驗數據之分佈的「集中程度」。通常多次測量的彼此之間的差距小，顯示精確度高；反之若多次測量彼此之間的差距較大，則此系列實驗不精確，即精確度低。在實驗數據呈現常態分佈的情況之下，精確度可以利用測量的樣品標準差(standard variation)、變異(variance)、變異係數(variance of coefficient)來度量。」

閱讀以上文字，首先可以發現中文譯名與測量學的不一致性。張育唐、陳藹然(2011)將「精密度」稱為「精確度」。其次，該文提出明確的計量方式。其基本精神，仍維持：準確度表示與已知值(真值)之接近程度，精確度(精密度)為量測值之相互接近程度。維持與 Wikipedia (2013a)相同之概念，張育唐、陳藹然(2011)繪製準確度與精確(密)度之組合圖如圖六。這四個圖其實為圖一、二之聯集，所欲傳達之基本觀念是「沒有系統誤差，便是準確度高」，故而一個量測系統可以不精密但是準確。



圖六：準確度與精密度(張育唐、陳藹然，2011)

討論

由圖一、二中幾個打靶圖觀察，圖一(a)與(c)、圖一(a)與(b)，其間之差異明顯為系統性偏差之是否存在。這一感覺由圖三更為確定，在圖三中，"Accuracy"所表示者其實正是系統誤差。所以，直接可以得到的意涵是：「準確度」等同「系統誤差」，而「精密度」等同「隨機誤差」的印象。在 ISO5725 中，情形其實相同，只是名詞更換。由於以「變方定理」(Covariance Law)描述其傳播者為隨機誤差，因此，測量學中所探討者實為「精密度」而非「準確度」。查閱 Wolf and Ghilani (2006)，介紹「準確度」與「精密度」之後，書中所有描述均為「誤差傳播」，使用之指標為中誤差(Standard Deviation)。由此推論，陸國勝(1989)書中所使用之「精度」一詞，亦實為「精密度」之略稱，因為「系統誤差」並未包含在傳播之內。

有關「精度」一詞之意涵，日文之對應名詞饒有參考價值。由 Wikipedia (2013b)，亦即日語版之維基詞條，”Precision”之日文為「精度」，”Accuracy”之日文為「正確度」。一般日文中，外來語以使用片假名為原則。但是，此處使用漢字，似乎表示此一觀念為日本在西方文化輸入前便已固有。而比較以「正確度」與「準確度」作為”Accuracy”之翻譯，似乎難分優劣。但若以 ISO5725 使用”Trueness”而言，「正確度」似乎更為妥切。

由上所述，可明確知道，就這些計量學的論點，「準確度」高是表現「系統誤差」小或不存在時，與「偶然誤差」無關。所以，**打靶中誤差為一公分、或是一百公尺，只要沒有系統性偏差，都一樣「準確」。**

這一理解，是否合乎中文中「準確」之傳統語意？是否應該是「系統誤差」與「偶然誤差」均小時，才可以稱之為「準確」？其實，此一問題並非僅存在於中文之中，在英文裡，Accuracy 一字源於拉丁文” accuratio”，表示” to take care of”，其字義在 Webster(1828)中包含” Exactness”與” Closeness”，在 Webster (1913) 中包含”The state of being accurate; freedom from mistakes, this exemption arising from carefulness; exact conformity to truth, or to a rule or model; precision; exactness; nicety; correctness.”。Precision 一字源於拉丁文” proecisio”，表示” a cutting off”，其字義在 Webster(1828)中包含”Exact limitation; exactness; accuracy”，在 Webster(1913) 中包含”The quality or state of being precise; exact limitation; exactness; accuracy; strict conformity to a rule or a standard; definiteness.”。咬文嚼字之後，似乎依然並不能描述「打靶中誤差為一公分、或是一百公尺，只要沒有系統性偏差，都一樣”accurate”」。有四面八方隨便開槍，但是只要沒有系統性偏差，便是「謹慎小心」所得的「準確」的語意道理嗎？

當然，某一特定科學之名詞應用，可以賦予文字與一般語意不同之涵義，或是某些特定的意涵。可是，回顧測量學需要「精度」指標之目的為何？應該是表現量測值與真值之接近程度。如果知道系統誤差，當然應該予以模型化、消除。而如果不知道或未曾消除，則包含在所使用之指標內。因此，測量學使用中誤差描述準確度 (Accuracy)，是一個方法，在沒有系統誤差時，準確度與精密度相同，在有系統誤差時，準確度與精密度近似，但是準確度的中誤差數值會大於精密度。以測角測距的網形平差為例，平差後所得中誤差指標包含偶然誤差與不知道的系統誤差。同樣的現象，亦存在水準網平差成果中。再次檢視史惠順(1978)與陸國勝(1993)之描述，精度是精確度(準確度)之意涵，中誤差同樣可使用在準確度與精密度之描述。一個量測系統，必須要精密，才可以精確(準確)。

結語

在知識的傳遞過程中，總存在者一致性與不一致性。因此，文獻中對「準確度」與「精密度」的認知差異，亦當然是可以想見的。但是若因此而導致學習者的困惑，則誠屬於遺憾。先不論打靶是否可以不精密但是準確，如果「系統誤差」，與「隨機誤差」已可清楚表達該項意涵時，為何要使用乖離一般語意的：「準確度」等同「系

統誤差」，「精密度」等同「隨機誤差」，重複描述呢？IS05725為國際標準組織的標準文件，其名稱為“Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results”(量測方法與成果之準確度(真實度與精密度))。IS015725與IS05725同名，是將取代IS05725的文件。根據ISO(2011)對“Accuracy”之定義：

closeness of agreement between a test result or measurement result and the true value
(測試或量測成果與真值之接近程度)

NOTE 1 In practice, the accepted reference value is substituted for the true value.

(註一：實務上，以受到接受之參考值為真值)

NOTE 2 The term “accuracy”, when applied to a set of test or measurement results, involves a combination of random components and a common systematic error or bias component.

(註二：當應用到一組測試或量測成果時，準確度包含偶然與系統兩部分)

NOTE 3 Accuracy refers to a combination of trueness and precision.

(註三：準確度為真實度與精密度之組合)

雖然 IS015725 尚未正式通過(Approval)成為標準，但若以其草案內涵而論，其認知已與史惠順(1978)與陸國勝(1993)之描述並無不同。值此之際，似乎合理的做法是回歸傳統之測量教學觀念，讓「打靶中誤差為一公分，比中誤差為一百公尺，準確」。精度是精確度(準確度)之意涵，中誤差同樣可使用在準確度與精密度之描述。一個量測系統，必須要精密，才可以精確(準確)。

後記

從教二十年來，誠惶誠恐，總覺得教學進展相較個人的學習成長遠為快速，對於因個人錯誤的理解而導致對學生錯誤知識的傳授，深感不安。「準確度」與「精密度」相關的認知，在個人學習過程中，因受教於史惠順(1978)，並未發生疑問。但是在教學歷程中改換教材後，多年來頗感迷惘。「準確度」與「精密度」的認知差異，相信已經導致學習者的困惑，由於國情以考試為導向，更可能已進而導致考試閱卷的差別性，誠屬遺憾。謹此建議，在學界尚未對此議題有共同之認知前，國家考試中應避免此議題相關之考題。

致謝

在本文編寫期間，承蒙香港理工大學土地測量及地理資訊學系陳永奇教授、中央大學太空及遙測研究中心陳良健教授、台灣大學土木工程學系韓仁毓教授、國土測繪中心劉正倫主任、工業技術研究院量測中心李瓊武博士，提出意見與指教，謹此深致謝意。但是，如果本文有任何謬誤，純屬作者本人學業不精、有所疏漏，謹此就教。

參考文獻

- 1.史惠順，1978。平面測量學(上冊)，國立成功大學。

- 2.陸國勝，1993。測量學，測繪出版社。
- 3.張育唐、陳藹然，2011。準確度(Accuracy)和精確度(Precision)，國科會高瞻計畫，
<http://case.ntu.edu.tw/hs/wordpress/?p=24512>，最近查詢：2013-06-16。
- 4.Anderson, J.M. and E.M. Mikhail, 2000. Surveying Theory and Practice, 7th ed., McGraw-Hill International Edition.
- 5.ISO, 2011. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results— Part 1: Introduction and basic principles, ISO TC 69/SC 6 N, Date: 2011-03-9, ISO/WD 15725-1, ISO TC 69/SC 6/WG 1. <http://standardsproposals.bsigroup.com/Home/getPDF/830>，最近查詢：2013-06-16。
- 6.JCGM, 2008. International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM), Joint Committee for Guides in Metrology.
http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2008.pdf，最近查詢：2013-06-13。
- 7.Webster, 1828 and 1913. Webster's Revised Unabridged Dictionary (1913 + 1828),
<http://machaut.uchicago.edu/websters>，最近查詢：2013-06-16。
- 8.Wolf, P.R. and C.D. Ghilani, 2006. Elementary Surveying, An Introduction to Geomatics, 11th edition, Pearson International Edition.
- 9.Wikipedia, 2013a. Accuracy and Precision, http://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy_and_precision，最近查詢：2013-06-13。
- 10.Wikipedia, 2013b. 正確度と精度,
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%AD%A3%E7%A2%BA%E5%BA%A6%E3%81%A8%E7%B2%BE%E5%BA%A6>，最近查詢：2013-06-13。