

全台掩星總動員

2004 年 2 月 21 日小行星掩星事件

陳文屏（中央大學天文所、物理系）整理、撰稿

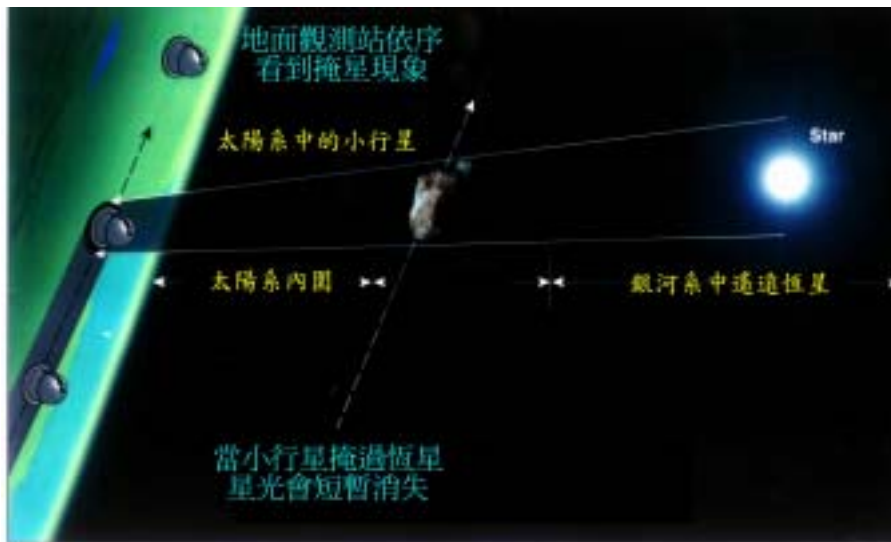
1858 年法國天文學家 A. Laurent 發現了編號 51 號名為「內魔煞」(Nemausa) 的小行星，其直徑約只有 150 公里，原是不起眼的小天體。但在 2004 年 2 月 22 日星期天凌晨（國際標準時 2 月 21 日），這顆太陽系中的成員掩過銀河系一顆恆星，雖然小行星與恆星相距遙遠，彼此沒有關係，但因為同時通過我們視線，小行星暫時遮住了恆星，使星光如眨眼般變暗又變亮，形成有趣的天文景象。

此掩星事件由日本天文學家佐藤勳博士 (Dr SATO Isao) 預測之後，由中央大學木下大輔博士 (Dr Daisuke Kinoshita) 推動，原來主要目的在測試「中美掩星計畫」的觀測系統，但後來決定聯絡其他天文台進行觀測。於是大夥在 2 月 21 日（週六）晚上開始動員，於周日清晨正式聯合觀測。加入觀測的天文團隊由南到北包括墾丁天文台、成功大學、鹿林天文台、中央大學、臺灣師範大學、臺北天文教育館，以及中央研究院。各團隊人員請參見文末。

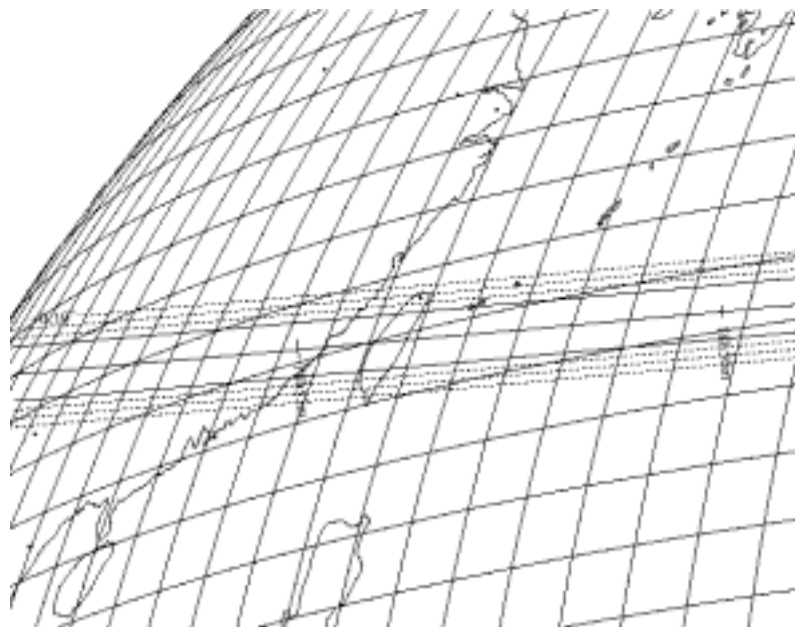
掩星的原裡與日食相似。當陽光照耀月球，向著太陽的一面總是明亮，另一面則黑暗，而由於光以直線行走，因此在月亮的背面形成圓柱陰影區。若地球恰巧行走進陰影區，便看不到太陽，形成日食。同樣的道理，當小行星遮住來自遠方恆星的光線便發生掩星事件。由於小行星繞日運動加上地球自轉，使得小行星的影子隨時間劃過地球表面（如圖一）。圖二為從太空觀看此次掩星之示意圖，可看到陰影行進的軌跡從西而東，中心線通過臺灣中部，掩星發生時間在國際標準時 2 月 21 日 18:55。由於內魔煞大小只有約 150 公里，南北方向的陰影長度不足以涵蓋整個臺灣，造成北部與南部可能皆無法看到掩星現象，而只有位於中部的鹿林天文台能觀測到。陰影沿東西向運動的時間，則決定了掩星時間的長短，這次事件最長（沿直徑方向）不到 8 秒鐘。被掩過的恆星為 HIP 079407 (RA 16:12:20.4747, DEC -13:44:19.087 J2000)，亮度約 8.8 等。小行星 (51) Nemausa 當時則約 11.9 等，所以當恆星完全被遮掩住時，便只剩下小行星的亮度，也就是會有 3.2 等的亮度下降。

小行星與彗星等小型天體，由於本身沒有太多重力擠壓加熱等過程，因此它們有如活化石般保留了太陽系形成至今的歷史，對於它們的研究有助於我們瞭解太陽系的演化與動力過程。這些小型天體距離太陽遙遠，以致反光微弱，造成觀測困難。而影響反射光強弱的因素，除了距離，還包括小行星大小（反射面積）以及表面反射率，故只從反光強弱並無法直接估計小行星的大小。目前除了少數距離地球近的天體可以發射雷達進行測量以外，為了估計小行星大小，通常結合可見光波段的反射光，以及小行星自行發熱的長波輻射資料。這些常需使

用昂貴、甚至放在太空的微波或紅外儀器。相比之下，觀測掩星雖受時間、地點、天候的限制，但卻廉價得多，技術上也容易執行。



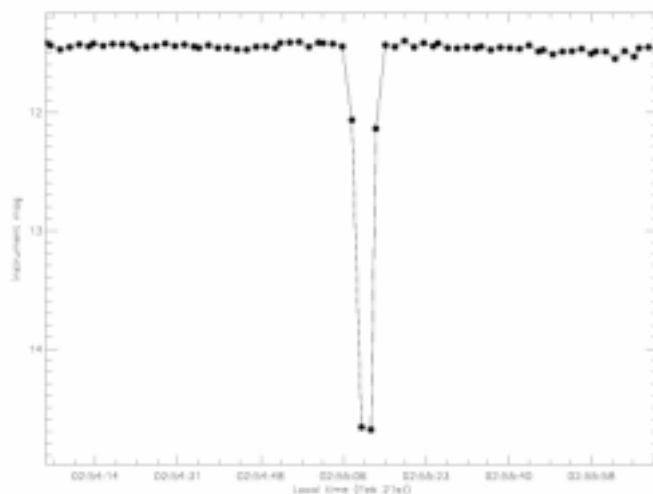
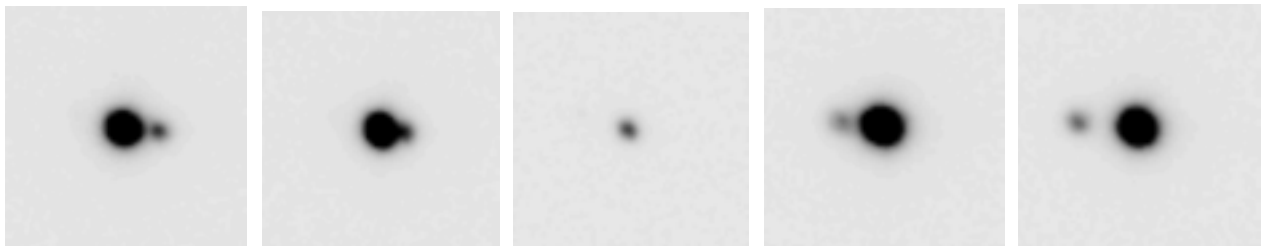
圖一：小行星掩星示意圖。當小行星運行到我們與恆星之間，星光被遮住，便發生掩星事件。



圖二：51 Nemausa 掩過 HIP 079407 的預測陰影路線。圖中除了經緯度以外，中央的橫實線代表陰影的中心線，可看出通過臺灣中部，上、下實線表示陰影範圍；虛線表示預測結果不同程度的標準誤差。

鹿林天文台一公尺望遠鏡觀測結果

圖三顯示鹿林天文台一公尺望遠鏡 (LOT) 觀測的結果。在影像部分，由左到右為時間順序，可清楚看到內魔煞小行星由右到左（也就是大約由西向東）遮住 HIP 079407，此時只剩下小行星的亮度，之後又恢復。LOT 當時配掛新近購置之 PI 1300B 相機，採用高靈敏度、大尺寸 CCD 偵測器（2048X2048 像元），但為了快速取樣，觀測時選取局部讀出，以增快取樣速度。



圖三：(a) 鹿林一公尺望遠鏡取得之掩星前後部分影像，可看到小行星從右到左，遮掩住恆星後繼續運動。曝光時間為一秒鐘，每一幅影像曝光時間一秒鐘，讀出時間約 2 秒多。(b) 影像經過分析後所取得之光變曲線，可明顯看出掩星造成之亮度變化。圖中橫軸為中原標準時間，縱軸為儀器星等（亮度向上為增加）。

LOT 的觀測者陳安貞回憶當晚觀測掩星的情形：

掩星發生當天的上半夜天氣狀況還是不好的，原來以為沒有機會拍到掩星，還是一邊等候一邊在網路上查資料，因為天冷隨手打開身邊的電熱器，大概是負

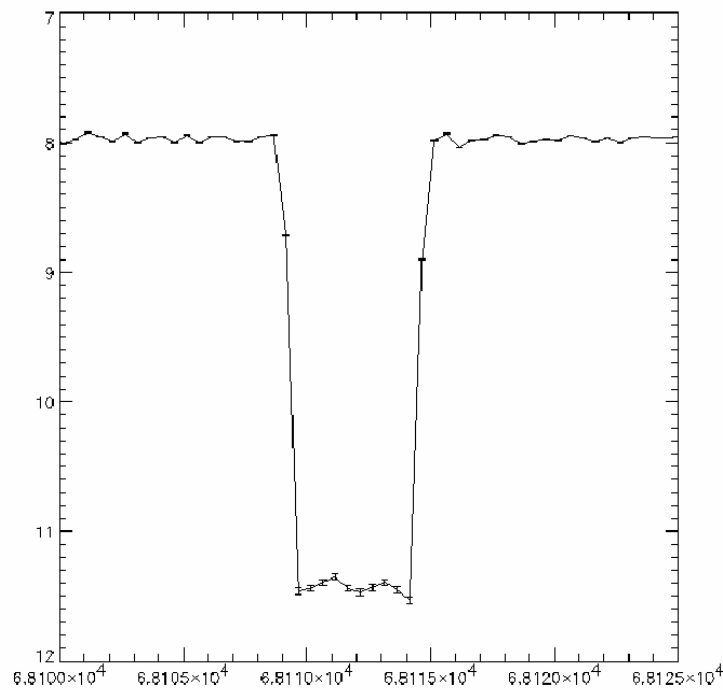
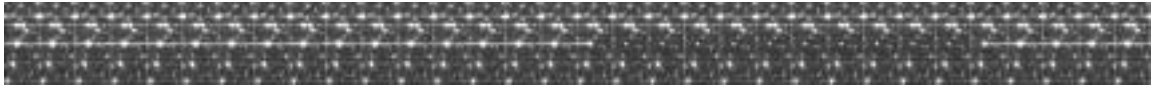
荷過大，就跳電了。先打電話給林宏欽台長問他怎麼辦，台長要我們找杜進全大哥處理，隨杜大哥到控制中心外的鐵皮屋時，赫然發現雲已經開了，只是風還是很大。跳電的區域是二樓並不會影響三樓的圓頂跟望遠鏡，於是開始準備觀測，先將望遠鏡轉到目標天區，未曾拍過掩星的我們還先拍 BVR 的影像，後來打電話請教台長，台長教我們先把 CCD 換成 fast mode，然後拍攝區域可以盡量縮小，以減少 readout 時間，增快取樣速度。按照指示設定完後，就讓望遠鏡以 sequence 的模式連續曝光記錄掩星事件，看著一幅一幅影像讀出，視相度明顯不穩定，雖然如此還是可以看見小行星緩緩接近被掩的恆星，再慢慢離開。因為軟體會自動調整對比，所以當時我們並不知道有觀測到恆星變暗的情況，師大的傅老師打電話來詢問的時候，我們還回答他沒拍到，後來中研院的汪仁鴻學長處理過才確定有拍到掩星。不過到現在我還是覺得如果當時可以把曝光時間再調短些、曝光區域再小些，得到的資料就更好了。

鹿林天文台 TAOS 望遠鏡觀測結果

圖四為「中美掩星計畫」(TAOS) 的其中一台望遠鏡所拍攝。TAOS 的科學目標在於偵測古柏帶天體的掩星事件，因此設計了 CCD 相機光度快速測量的軟、硬體。這次小行星掩星亮度下降程度大，掩星時間長達數秒，適合用來測試 TAOS 系統。TAOS 使用 Spectral Instruments 公司之 SI 800 電子相機，採用高靈敏度 2048X2048 CCD 晶片。一般 CCD 相機取得影像的方式乃將快門打開，曝光後快門關閉，接著把感光造成的電子一次全部讀出。對於 2048 乘以 2048 個像元的晶片而言，就有超過 4 百萬個數字需要讀出，因此相機必須有高速而穩定的控制電路。例如 LOT 原來使用的 AP-8 相機只有 1024X1024 個像元，雖然晶片感光性能良好，但由於控制系統屬於舊的設計，每讀出一幅影像需要將近 40 秒。如前所述，目前 LOT 使用的 PI 1300B 共有 2048X2048 個像元，讀出整幅影像時間卻只要約 3 秒鐘。

直徑數公里的古柏帶天體，掩星時間只有零點幾秒鐘，TAOS 為了取得這麼快速的光度資料，採取不同的讀出方式。也就是在觀測時相機快門保持開啟，讀出電子訊號則不採取全部一次讀出的方式，而改採特殊的「間歇讀出」技術，也就是每讀出幾行像元後，停止一段期間，這段期間就相當於曝光，讓電子累積。這樣持續「停止 讀出 停止 讀出...」的過程，可取得極高速 (< 0.1 秒) 的光度資料。這樣取得的影像造成每顆星形成系列影像，並有拖線現象，看起來有如「拉鍊」般，故 TAOS 團隊稱這樣的影像為「拉鍊影像」。圖四 a 影像中央的亮星就是被掩過的恆星，可看到掩星造成亮度明顯變暗，之後再恢復亮度。這次觀測每次讀出 64 行像元，採用 0.5 秒取樣時間，所以長達 5 秒多鐘的整個掩星過程，其光變曲線得以清楚解析 (如圖四 b)。

值得一提的是，事件當晚由鹿林天文台助理杜進全先生就近協助，中央研究院溫志懿博士乃透過微波網路從臺北遙控兩台望遠鏡同步觀測（也就是指向同樣天區，同時開始取資料），成功完成遠距觀測測試，對於中美掩星計畫團隊測試儀器與軟體有很大意義。有關此次掩星觀測的技術資料，請參閱 <http://taos.asiaa.sinica.edu.tw/announce/ann040223.html>



圖四：(a) TAOS 望遠鏡取得影像之一小部分（原影像包含非常多恆星），可看到圖中央的恆星影像消失，只剩下小行星，之後恆星又出現。(b) 為分析所得之光變曲線，橫軸為時間（從當日零時算起的秒數），縱軸則為儀器星等。

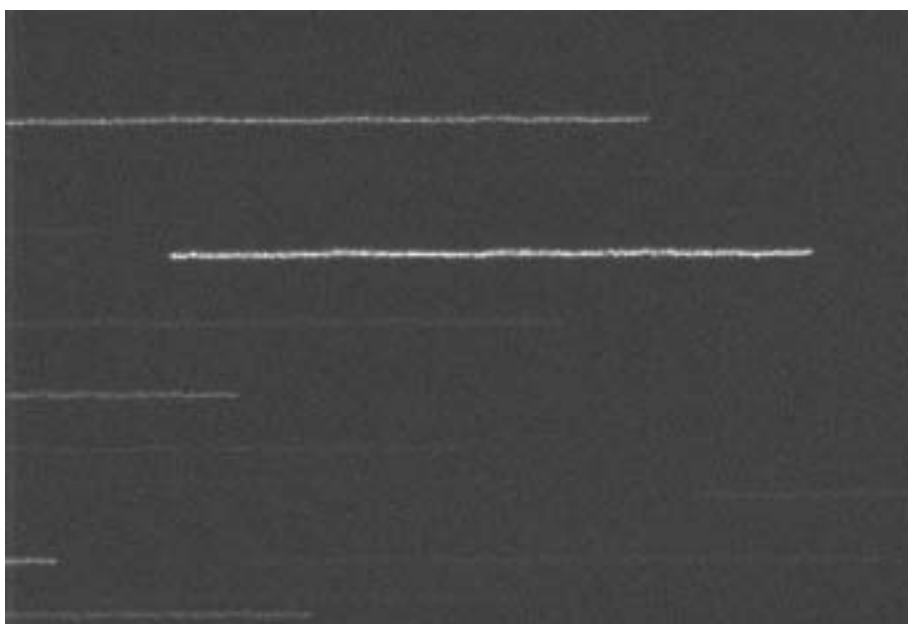
TAOS 觀測者溫志懿記錄當晚觀測的情形：

我從臺北透過網路遙控鹿林的兩台望遠鏡。天空直到事件前才變得晴朗，但是東方地平附近仍然有雲。由於目標星位於天蠍座，仰角低，飄動的雲層使得自動對焦的指令發生困難。經過幾次嘗試，TAOS-B 望遠鏡對焦成功，但是 TAOS-A 則一直無法找到最佳焦點，因此雖然我實際操作兩台望遠鏡同步觀測，皆成功取得資料，但是 TAOS-A 的影像卻是失焦的。我一共取得約 50 分

鐘 (2:40 am 到 3:30 am) 的拉鍊影像，隨後則拍了一些曝光時間 1~5 s 不等的影像。我將檢查 TAOS-A 系統無法對焦的原因

臺灣師範大學校區天文台觀測結果

師大團隊使用兩組儀器，一組為 35 公分反射鏡，配備 SBIG ST-10 XME CCD 相機與 Johnson R 濾光片，另一組為 300mm f/2.8 鏡頭，配備 Watec Neptune-100 real-time CCD 與 DV，利用人工電話對時。觀測時天氣狀況良好，事後檢查影像，可以看到小行星從目標恆星下方通過，確定並未發生掩星事件。圖五為師大校區的資料，受限於 CCD 相機讀出速度，採取「漂流法」曝光，也就是將望遠鏡追蹤關閉，任由星像在影像中拖線，如此沿著拖線方向便是星體的光變曲線。受限於 CCD 視野不夠大，共取得兩次漂流影像，時間分別為 2004/02/21 18:55:04 18:55:44 (UT) 以及 18:56:47 18:57:24 (UT)，DV 則在 2004/02/21 18:40:00 19:05:00 (UT) 完整記錄。



圖五：臺灣師範大學天文台觀測時將望遠鏡追蹤裝置關閉，使星體影像拖線，如此可以取得星體亮度隨時間快速變化的訊息。

臺北市立天文教育館天文台觀測結果

天文館團隊使用 45 公分反射鏡，配備 DV 作為記錄器，利用 NTP 對時。當晚天空狀況良好，從當地時間 2:45 起觀測到 3:10，並沒有發生掩星事件。

天文館觀測者張桂蘭記錄當晚觀測情形：

2/21 恰逢週六，林宏欽的造訪以及天空狀況突然轉好，促使陶蕃麟組長和我決定留下來參與這次的小行星掩星觀測。因第一觀測室觀測用電腦恰好故障，無法使用 ST-7E CCD，故最後決定採用數位攝影機紀錄。經過 NTP Clock 標準時間校正後，將數位攝影機前置焦長 15mm 的目鏡，然後接在 GOTO-45 公分反射式望遠鏡主鏡後方。從 2/21 晚間 10 點開始，經過數度測試視野大小、亮度對比等條件後，我們決定不將目標星放在視野中央，目的是為了保留目標星附近另一顆 9.6 等的鄰星，以作為目標星亮度變暗是否為大氣擾動影響的判別對照標準。於 2/22/2:45 開始至 3:10 截止連續錄影，於觀測當時與觀測之後再度檢測錄影帶資料，都沒有發現目標星的亮度有因小行星掩星而變暗的狀況，因此確定沒有觀測到掩星事件。

中央大學校區天文台觀測結果

中央大學校區觀測者木下大輔記錄當晚觀測情形：

經由助理們協助，我們使用 15 公分折射鏡配置彩色即時 CCD 相機 (Watec, Inc., 每秒產生 30 幅影像) 進行觀測。天空狀況在中天附近尚可，但地平附近有厚重雲氣，尤其目標星位於南天，正是校園內光害最嚴重的方向，因此尋找目標星有困難。我們將 CCD 相機與另一台家用 SONY 攝影機串連，之間則連接「時間產生器」(Time Generator) 以精確記錄影像取得的時間。我們利用電話報時，以手動方式校準時間，估計誤差小於 0.5 秒。由於此望遠鏡已久未使用，事件前張智威便發現望遠鏡的指向與追蹤有問題，並試著調整。我在 16:30 (UT) 也就是掩星發生前兩小時打開遮罩後，張智威和我試著觀測亮星以校準望遠鏡指向。但由於 CCD 相機視野只有 2 角分，加上望遠鏡指向與追蹤仍不理想，我們沒有來得及在事件前找到目標星。直到事件後 10 分鐘我們才成功對準亮星，找到望遠鏡與 CCD 的光軸。很不幸我們因此沒有取得任何掩星資料。

成功大學校區天文台觀測結果

成功大學校區觀測者陳炳志記錄當晚觀測情形：

成功大學團隊所使用的觀測系統是將低光度 NTSC CCD (Watec Neptune 100, 每秒 30 幅影像) 結合成大天文台之 11 公分折射式望遠鏡，使用 IEEE1394 即

時數位化擷取與 GPS 定時的紀錄電腦，這套系統由團隊成員王璽鈞所開發，將用於本年度紅色精靈的遠距觀測，有非常高的時間精確度，極限星等可達 9.2 等，適合掩星觀測。當晚十二點前，我唐達元便完成所有系統功能確認，包含赤道儀指向定位、記錄電腦操作與時間精度等等，為了確保記錄電腦不會有問題，我們同時使用了一部時間解析度到秒級的 DV 做同步錄影。在掩星預測時間前卅分鐘，開始將目標星置於畫面中央，並且在我們的紀錄電腦中，設定在預定時間前一分鐘自動由 GPS 訊號啟動開始記錄，記錄時間為 5 分鐘，並且即時監看，在預測時間範圍內，現場肉眼與事後記錄資料分析皆沒有觀測到明顯的掩星光度變化。成大團隊在該期間內的錄影記錄已轉成 MPEG 檔置於 <http://www.phys.ncku.edu.tw/ckuo/gallery/images/185515-20s.mpeg>，影片從 18:55:15 UT 開始記錄，中央的星即為 HIP 079407。

墾丁天文台觀測結果

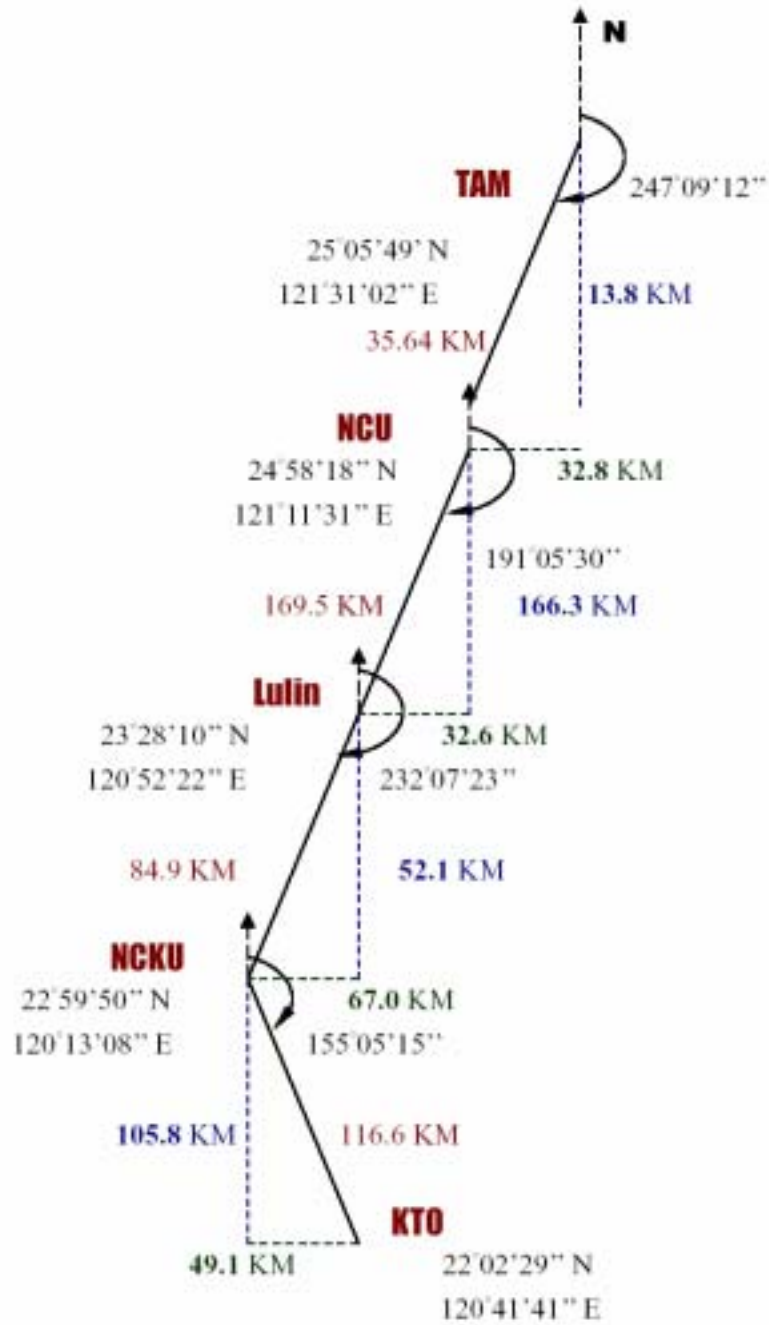
墾丁天文台使用 Meade 16 吋反射鏡配備 ST-7E CCD 相機。掩星當晚天氣不佳，未能取得資料。

檢討

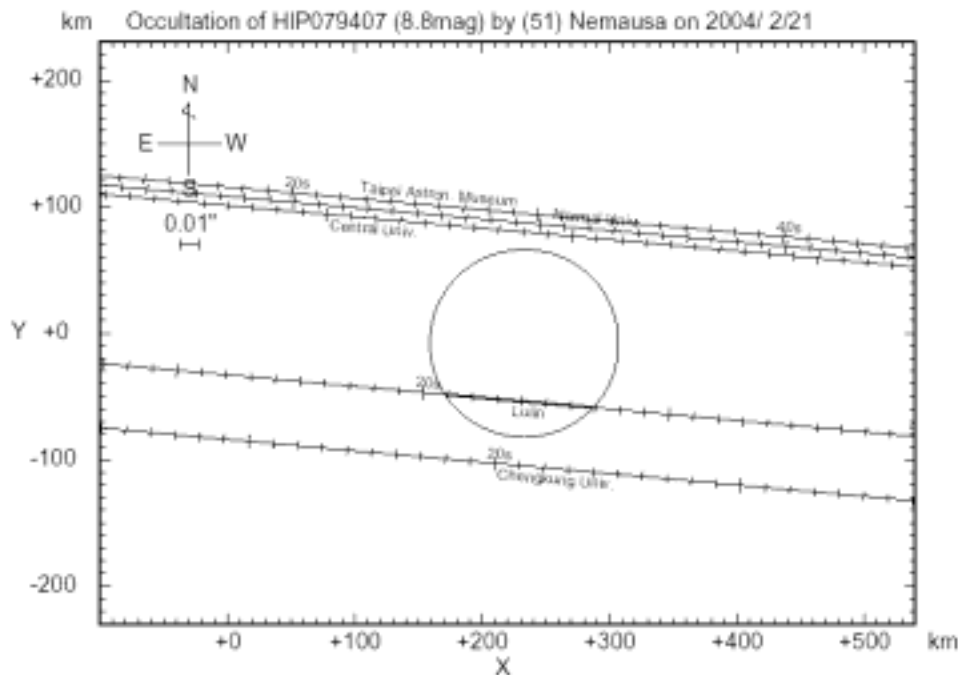
這次聯合觀測整合國內、外合作，參與的天文台縱貫本島南北（圖六），利用不同儀器與觀測方法為此天文事件留下記錄。佐藤博士事後整理各天文台觀測結果，得到這次掩星的實際陰影路線如圖七。掩星當晚月相只有 3%，適合觀測，事件當時天氣愈往北部愈好，除了鹿林天文台的 TAOS 望遠鏡以及 LOT 成功取得資料外，其餘各地則因為在陰影範圍之外，皆未能記錄到掩星。預測的陰影移動速度 19.6767 km/s，TAOS 的資料顯示掩星維時 6.25 +/- 0.50 秒，也就是小行星在掩星方向的投影大小為 123 公里。LOT 的資料受限於時間解析力不夠，只得到維時 < 9 秒的結果，與 TAOS 測量相符。台南與台北皆沒有看到掩星現象，也與預測相符，顯示天文學家對於 Nemausa 所知的大小與軌道有很好的精確度。

若此次在中部地區能有比較密集的觀測點，便能測量不同地點掩星的時間與長短，進而直接測量到小行星的大小，並估計其形狀，做出科學貢獻。這次聯測成功，對於日後類似全島的觀測有很大幫助。

觀測站座標與距離差值圖



圖六：參與觀測 2004 年 2 月 21 日小行星 Nemausa 掩星之各天文台坐標與直線距離，由北到南包括臺北（TAM 臺北市立天文教育館，與臺灣師範大學）、中壢（中央大學）、鹿林天文台、臺南（成功大學），以及屏東墾丁天文台。[繪圖：梁旭]



圖七:51 Nemausa 在 2004 年 2 月 21 日掩過 HIP 079407 的實際陰影路徑
除了鹿林天文台，其他觀測點並未發生掩星事件。[繪圖：I. Sato]

觀測團隊人員：

中央研究院 — 溫志懿、汪仁鴻、金升光
 臺北天文教育館 — 陶蕃麟、張桂蘭、林宏欽
 臺灣師範大學 — 傅學海、莊孝爾、廖克權
 中央大學 — 木下大輔、張智威、陳文屏
 鹿林天文台 — (中美掩星計畫) 杜進全 + TAOS 團隊
 (鹿林一公尺望遠鏡) 陳安貞、洪子隆
 成功大學 — 陳炳志、唐達元
 墾丁天文台 — 馬學輝

預測此次掩星事件的網站：

http://www.asteroidoccultation.com/2004_02/0221_51_2384.htm

此次掩星聯測的新聞稿與動畫資料可參見：

http://www.astro.ncu.edu.tw/contents/faculty/wp_chen/wp_chen/news2004.02.23.htm

有關掩星觀測的參考網站：

http://www.asteroidoccultation.com/SBP_OccEquip.htm

<http://occsec.wellington.net.nz/videotime/ccdtiming.htm>

<http://www.lunar-occultations.com/iota/iotandx.htm>

v.040322