

大型 EKBO (Quaoar、Ixion、2004DW) 的 自轉週期和表面顏色的測量

吳宇立、葉永烜

國立中央大學天文研究所

摘要

我們使用鹿林天文台的 LOT (Lulin One-meter Telescope) 一米望遠鏡，於 2003 年和 2004 年進行古柏帶天體 Quaoar、Ixion、2004DW 的觀測工作。我們嘗試找出 Quaoar 的自轉周期，由 PDM (Phase Dispersion Minimization) 法對 Quaoar 的 2003 年 R 波段資料求得的週期為 0.381 天。我們以兩種方法來測量 KBO 的顏色；第一種是用標準星校正求得，另一種則為在拍攝時選擇一系列 R-V-R-B-R 的拍攝方式。以序列拍攝法得到 Quaoar 的 $B-V=1.095\pm 0.037$ ， $V-R=0.612\pm 0.028$ 。Ixion 為 $B-V=1.299\pm 0.219$ ， $V-R=0.723\pm 0.157$ 。2004DW 為 $B-V=0.789\pm 0.033$ ， $V-R=0.427\pm 0.028$ 。我們也試著利用現有的觀測資料來檢驗可能的似彗活躍，但正如我們所預期的，我們無法在 Quaoar、Ixion、2004DW 的資料中找出似彗活躍或氣體包暈的可能。

The Rotation Period and Surface Colors of the Large EKBOs (Quaoar, Ixion, 2004DW)

Wu Yu-Li, Ip Wing-Huen

Institute of Astronomy, National Central University

Abstract

We have observed three bright Kuiper-belt objects (KBOs), Quaoar, Ixion, and 2004DW, with the 1-meter telescope at Lulin Observatory. The period of Quaoar is 0.381 days determined from the PDM method. For determining the surface color of our objects, we adopt two methods: (1) using standard star correction to obtain the extinction coefficient of each filter to correct the airmass effect and (2) R-V-R-B-R series exposure. With the series exposure method, we have determined the surface colors of Quaoar are $B-V=1.095\pm 0.037$ and $V-R=0.612\pm 0.028$. The results for Ixion are $B-V=1.299\pm 0.219$ and $V-R=0.723\pm 0.157$; those for 2004DW are 0.789 ± 0.033 and $V-R=0.427\pm 0.028$. We have investigated the cometary activity of the objects. We find no faint coma in our objects, Quaoar, Ixion and 2004DW.

關鍵字 (Key words)：古柏帶天體 (KBOs)、自轉週期 (rotation period)、表面顏色 (surface color)、Quaoar、Ixion、2004DW、似彗活躍 (cometary activity)

1. 續論

1.1. 什麼是EKBO (Edgeworth-Kuiper Belt Object)

從古以來我們所認知的太陽系邊界就不斷的在擴張，從最早肉眼可見最遠的行星土星 (Saturn) 的 10AU (1AU=太陽到地球之間的平均距離=149600000 公里)，到 1930 年發現的冥王星 (Pluto) 在近日點有 29.66AU 遠日點有 49.31AU，但之後的數十年間卻受限於觀測儀器和技術不再有新的進展。

1949 年愛爾蘭天文學家 Edgeworth 首先提出在冥王星之外可能有一區域為短週期彗星的來源，另外在 1951 年美國天文學家 Kuiper 則是提到有一個由小天體組成的環分佈在冥王星之外的廣大空間，由於 Kuiper 和 Edgeworth 先前的研究，因此天文學界把這個區域稱為古柏帶 (Edgeworth-Kuiper Belt)。

近年來高靈敏度的 CCD (charge-coupled device) 的快速發展，以及大型望遠鏡的啓用，使得觀測上有了重大的突破，1992 年 David Jewitt 和 Jane Luu 利用位於夏威夷 Mauna Kea 的 2.2 米望遠鏡率先找到第一個理論所預測的古柏帶天體 1992 QB1 其直徑約為 250 公里。從此之後更是在眾人的投入下相繼在海王星外找到許多微暗的小天體，不但在成員數目，大小和分類上都有很大的進展，到 2005 年 11 月已經發現超過 900 顆。現在我們已知冥王星和這些小天體都是外海王星族天體 (trans-Neptunian objects)，都是古柏帶 (Edgeworth-Kuiper belt) 的一員。

1.1.1 KBO 的分類

KBOs 在外海王星區域中的分佈並非是均勻的，我們可依其動力學特性上的不同而將其分為三大類，分別為典型 KBOs、共振型

KBOs、散射型 KBOs，我們簡介如下：

1.1.2 典型 KBOs

典型 KBOs (Classical KBOs) 的數量約佔所有已知 KBOs 的三分之二是最主要的族群，第一顆發現的 1992 QB1 即屬此類，其分佈範圍為半長軸 41.8 到 48AU 的區域並且有著較小的偏心率 ($e < 0.1$)，較大的半長軸確保其軌道不會受到海王星的重力影響，保有太陽系早期的型態。

1.1.3 共振型 KBOs

共振型 KBOs (Resonant KBOs) 指的是軌道和海王星有著共振關係的 KBOs，和典型 KBOs 相比共振型 KBOs 有著較大的偏心率和較大的軌道傾角，共振型 KBOs 佔 KBOs 總數的三分之一，其中數量最多的就是軌道鎖定在 39.4AU 和海王星呈 3:2 共振關係的 KBOs，最大的 KBO 冥王星便是其中之一，因此這種 3:2 共振的 KBOs 又被稱為小冥王 (Plutino)，除了 3:2 的共振關係外還有 4:3、2:1、5:2、7:4..... 等各種不同的共振關係，而這多種不同軌道共振的關係則是和太陽系形成時巨行星的徑向移動有關，當海王星移動時它的重力也會跟著推擠四周的微星體盤，就像鏟雪機一樣使共振數目越來越多 (Malhotra 1993、1995)。

1.1.4 散射型 KBOs

第三種類型則是散射型 KBOs (Scattered KBOs)，他特色是高偏心率和 high 傾角，分佈範圍可超過 100AU，而近日點以 Duncan 和 Levison 的模擬約在 35AU (Duncan & Levison, 1997)，散射型 KBOs 被認為是在太陽系形成的末期被天王星和海王星所彈射形成，現今所發現的散射型 KBOs 數量非常少，只佔了總數的

3%~4%，這主要來自於觀測上的初始偏差，因為有關太陽系小天體的巡天工作都集中在黃道面上，對於高傾角的觀測較為缺乏，再加上散射型 KBOs 的半長軸分佈較遠使得星體更暗都造成觀測上的困難，在對這些觀測偏差修正後，最好的估計為(Trujillo, Jewitt & Luu 2001)：典型 KBOs：散射型 KBOs：小冥王：2:1 共振型 KBOs = 1 : 0.8 : 0.4 : 0.07。

1.1.5 Centaurs

Centaur 在 1977 年首次被發現，它們是軌道介於木星族彗星和 KBO 之間的小天體，遠日點通常在木星到海王星之間，旅行於古柏帶到內行星之間。顏色和光譜的研究顯示了 Centaurs 和 KBOs 的相似性，也指向兩者有著相同的來源。而 Chiron 是其中最被廣範研究的，從 1990 年開始就有觀察到 Chiron 有類似彗星的彗髮 (coma) 結構 (Luu & Jewitt 1990, Meech & Belton 1990)，Luu 更在 2000 年用光譜觀測發現其表面含有水冰。其他 Centaur 如 Pholus 也有發現微弱的彗髮結構，這給了我們觀察因氣體噴發而改變表面特徵的可能性。

1.2. 直徑較大的 KBOs

大型 KBO 的科學意義在於將 Pluto 和之前發現的 KBO (100~600km) 之間搭起了一座橋樑，說明了之前依據大小分佈 (size distribution) 的外推是正確的。1000 公理級的 KBO 也大到足夠做更進一步的物理分析，如顏色、光譜、週期、反照率.....等，這也讓我們更容易了解 KBO 的來源和演化。

2. 觀測與資料處理

2.1. 鹿林山天文台

我們使用鹿林山天文台進行古柏帶天體的

觀測工作，鹿林天文台位在東經 120 度 52 分 25 秒，北緯 23 度 28 分 07 秒，高度為海拔 2862 公尺，鹿林山天文台的 LOT (Lulin one-meter telescope) 為國內目前最大口徑的望遠鏡，口徑為一米。觀測共使用兩種 CCD，分別為 AP8 和 PI1300B CCD，所使用的濾鏡為標準的 Johnson UBVRI 濾鏡組。

2.2. 資料處理分析

我們的觀測資料是利用美國國家光學天文台 (National Optical Astronomy Observatory; NOAO) 所發展的 IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) 來作資料處理。CCD 所讀出的影像為原始影像 (raw data)，包含了系統初始狀態造成的差異，所以我們必須先對觀測系統造成的誤差進行修正，分別為偏壓 (bias)、暗電流 (dark current) 和平場 (flat field)。經過這些修正後可得乾淨的影像，修正的公式如下：

$$cleanfram = \frac{rawframe - (DARKr - BIAS) - BIAS}{FLAT - (DARKf - BIAS) - BIAS}$$

其中 $DARKr$ 為和原始影像曝光時間相同的暗電流影像， $DARKf$ 為和修正平場影像曝光時間相同的暗電流影像，分母的 FLAT 已歸一化 (normalized)。

2.3. 光度分析

在 IRAF 中的標準測光方法有兩種，我們影像中的天區並非密近星場，所要測光的目標也不多，因此採用孔徑測光 (Aperture photometry)，孔徑測光是很直觀的把星點所佔範圍加以圈選並積分，再扣掉天光背景的貢獻後求得星點的流量，最後由流量求得儀器星等。

在量測觀測目標的星等亮度變化時我們需要一個比較的標準，來避免目標星的光度變化

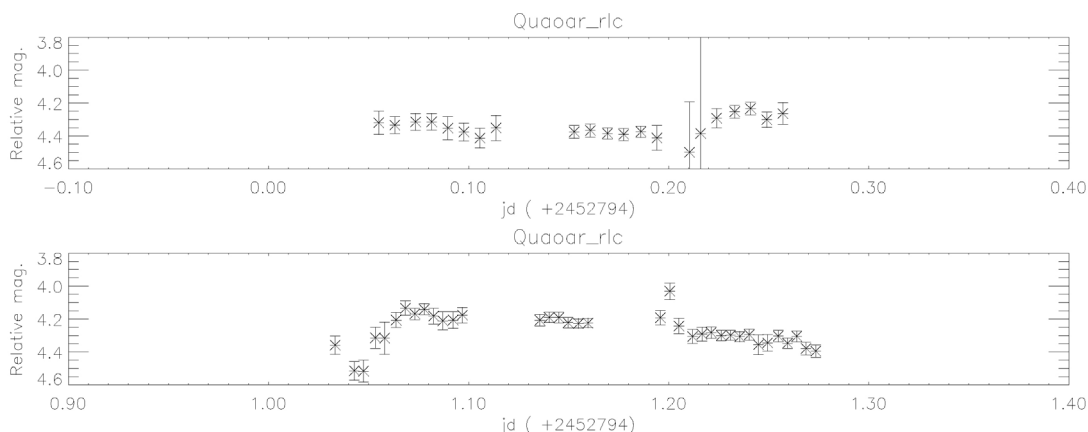


圖 1：由 2003 年 6 月份的 Quaoar 原始資料所求得的 R 波段光變曲線，共兩個觀測夜 57 個資料點。

是來自天氣的變動而不是自身的光變。因此選取目標視場中的任一顆星，只要不是變星便可以其為參考星，同一視則場可視為有著相同的天氣變化以及大氣消光，從而乎略天氣的影響，兩星相減求出的差值（也就是相對的變化），並和觀測時間作圖，便可得到隨時間變化的光變曲線，如圖 1。

3. 結果與討論

3.1. 尋找光變週期

我們嘗試用 Phase Dispersion Minimization (PDM) (Stellingwerf 1978) 來從光變曲線中找出 Quaoar 的自轉周期。這次由於天氣因素造成 Quaoar 的測光誤差較大，我們刪除了其中誤差大於 0.1 星等的資料點，用 PDM 的方法我們找到的周期為 0.381 天。

用 2003 年份的資料來看 Quaoar 的振幅為 0.19 星等。我們假設天體外型的不規則為 Quaoar 的主要光變原因，則光變曲線的振幅和主長軸有關，因此以主長軸 (major axis) a ，中間軸 (intermediate axis) 為 b 的三軸物體為例：

$$\Delta m = 2.5 \log(a/b)$$

在這裡我們假設物體的自轉軸垂直於我們的視線方向並沿著短軸 c (也就是以赤道對準我們)。以 Quaoar 為例，在 R 波段振幅為 0.19 星等，所以兩軸比 $a/b=1.19$ 。如果我們能持續觀

測 Quaoar，我們可以觀察到因為視線方向改變，而造成正對我們的自轉軸不同，進而引起的光變曲線外型上的改變。原則上我們可以利用這點來決定 Quaoar 真正的三軸比例。在這我們假設 Quaoar 為一橄欖球型的天體，則 $a=1.19:b=1:c=1$ ，可得 Quaoar 的三軸長為 $1250 \times 1050 \times 1050$ 公里。(Romanishin 2001)

J.L. Ortiz 利用位在西班牙的 Sierra Nevada 天文台對 Quaoar 進行觀測，一共有十四個觀測天，使用的是 1.5 米的望遠鏡，在沒有使用濾鏡的條件下，曝光時間是 100 秒和 300 秒，平均的大氣寧靜度為 1.8 角秒。J.L. Ortiz 找到 Quaoar 的自轉周期為 0.36831 ± 0.00001 天，振幅則為 0.133 ± 0.028 星等。雖然我們的觀測精度較低，資料點也比較少，但是得到的結果仍然和 J.L. Ortiz 的結果相近。(Ortiz 2003)

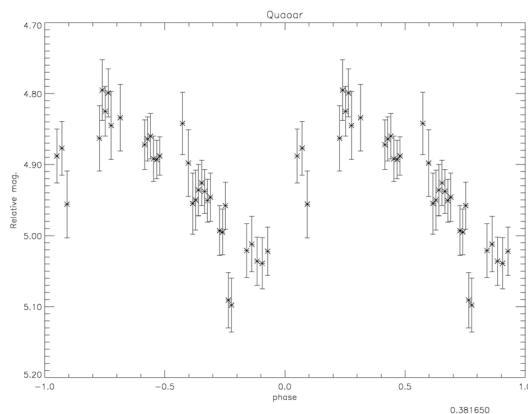


圖 2：2003 年六月份資料所求得的 Quaoar 相位圖，用 PDM 法找到的週期為 0.38165 天。

3.2. 顏色

鹿林山天文台在天氣良好的情況下大氣消光為理想的線性，利用擬合的消光曲線可以有效的將目標星在不同仰角時受到不同的消光影響修正，將其修正回大氣外儀器星等。

在修正完大氣質量後我們仍需檢查 CCD 的線性度。CCD 擁有很高的線性度，因此若 CCD 線性度檢查相差過大則大氣消光的線性擬合結果就不夠準確，不能被採納。我們用下列公式來檢查標準星等和儀器星等的關係：

$$M_{std} = C_1 + C_2 \times M_{ins}$$

其中 M_{std} 為標準星等； M_{ins} 為大氣外儀器星等； C_1 、 C_2 分別為截距和斜率。

表1：由表中可知不論在B、V、R波段的線性度都非常良好 (C_2 趨近於1)，這表示我們在大氣消光上的結果是可信的。

濾鏡種類	C_1	C_2
B	-3.72	1.01
V	-3.44	0.988
R	-3.028	0.985

Quaoar 本身並不發光，而是反射太陽光，因此在做顏色上的校正時必須選擇和太陽同為 G 光譜型的標準星，不同光譜型的標準星在標準 Johnson BVR 濾鏡上的流量也不同，必須要考慮色指數的修正項，但選擇同為 G 光譜型的標準星可省去這一步。

經過校正後可得 Quaoar 在 V 波段為 18.994 ± 0.12 星等， $B-V=0.916 \pm 0.301$ ， $V-R=0.882 \pm 0.134$ 。在 B-V 比起 V-R 上有著很大的誤差，這主要是因為 Quaoar 在 B 波段時太暗了，在 300 秒的曝光下 B 波段的星等誤差仍就高達 0.2 星等。

同樣的步驟在處理 2004DW 後，可得 2004DW 在 V 波段為 19.057 ± 0.044 星等， $B-V=0.565 \pm 0.074$ ， $V-R=0.324 \pm 0.059$ ，這批資料並沒有 G 光譜型標準星可供比對，因此我們用了不同光譜型的標準星分別檢視，發現不同光譜型標準星對色指數造成的差異約為 0.003

星等遠低於我們的觀測誤差。2004DW 的原始資料比 Quaoar 品質好，這時較大的誤差影響反而發生在大氣消光的線性擬合上，可能是標準星取樣太少，使擬合的準確度不夠。

因為 2004 年份 Quaoar 的觀測資料缺乏標準星供校正，因此我們用另一種方法來求得 Quaoar 的顏色，並且和之前所用的方法互相驗證。我們在拍攝時選擇一系列 R-V-R-B-R 的拍攝方式，也就是在兩個 R 波段的曝光中夾一個 V 或 B 波段的曝光，在計算顏色時我們將兩個相鄰的 V-R 值平均來除去光變曲線的影響，如此可得這系列的 V-R 和 B-V 值，而將整個晚上所求得的 V-R 和 B-V 加以平均則可求得 Quaoar 的平均顏色。

這種方法所得的 Quaoar 顏色為儀器星等求得的顏色，但各天文台所用的儀器和觀測條件都不相同，為了和他人的結果進行比較，我們必須把鹿林天文台 LOT 所得的色指數轉換成標準的色指數，在測光夜 (photometry night) 時，標準的 B-V 和 V-R 值可利用下列公式由儀器星等的 b-v 和 v-r 轉換求得(Daisuke et al. 2004)

$$(B - V) = 1.25(b - v) - 0.41$$

$$(V - R) = 0.99(v - r) + 0.03$$

最後我們得到的 $B-V=1.095 \pm 0.037$ ， $V-R=0.612 \pm 0.028$ 。這和 2003 年以標準星修正所求得的結果仍有些許差異，原因可能是這次觀測 V 波段和 B 波段取樣不足，而六月又是鹿林山天文台天候最不穩定的時期，取樣太少可能因為短暫的天氣變動而影響結果，另外由儀器星等所得的色指數和標準色指數之間的轉換要在測光夜的情況下才會準確，觀測當天的天氣狀況也許沒有達到測光夜的要求，這些都可能是造成兩筆資料差異的原因。

我們也用同樣的方法來處理 2004DW 和 Ixion 的資料，2004DW 的 $B-V=0.789 \pm 0.033$ ，

V-R=0.427±0.028，而 Ixion 的資料為 B-V=1.299±0.219，V-R=0.723±0.157。

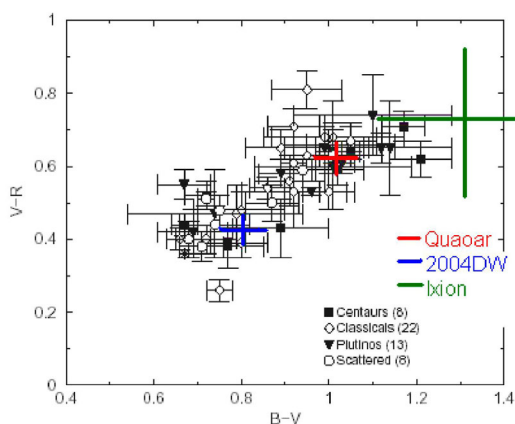


圖3：KBO顏色分佈圖；其中實心方形代表Centaur，菱形代表典型KBOs，實心倒三角代表小冥星型KBOs，圓形代表散射型KBOs，圖中紅色代表Quaoar藍色代表2004DW綠色代表Ixion以上均為序列拍攝法的結果。

我們將所求得的 KBO 顏色和其他人發表的結果相比較。在 ESO(European Southern Observatory) 的 KBO 光譜計劃中利用 VLT(Very Large Telescope)觀測了三個 Centaur 和五個 KBO，而 Quaoar 就是其中之一，由 Fornasier et al. (2004) 中可得 B-V=0.94±0.02，V-R=0.67±0.02，和我們的結果相比以 R-V-R-B-R 序列拍攝法求得的結果較接近。Boehnhardt et al.同樣也利用 VLT 對 Ixion 進行光譜研究得到 B-V=1.03±0.03，V-R=0.60±0.03，這樣的結果還是在我們的誤差之外，相比之下 B-V 的差異較大，而 Ixion 是這次觀測的三個 KBO 中最暗的，誤差範圍也明顯比其他兩個目標大。而有關 2004DW 的觀測資料就較為稀少，目前僅有 Rabinowitz et al. (2004) 中所得到的 V-R=0.37±0.04，和我們的資料相比

表2：以鹿林天文台LOT所得的資料和現今已有論文發表的結果進行比較（以上均為序列拍攝法的結果）

	B-V	V-R	資料出處
Quaoar	1.095±0.037	0.612±0.028	鹿林天文台LOT
	0.94±0.02	0.67±0.02	Fornasier et al.(2004)
Ixion	1.299±0.219	0.723±0.157	鹿林天文台LOT
	1.03±0.03	0.60±0.03	Boehnhardt et al. (2004)
2004DW	0.789±0.033	0.427±0.028	鹿林天文台LOT
		0.37±0.04	Rabinowitz et al.(2004)

可說是十分接近，都在誤差值內，可說是這次三個 KBO 顏色觀測中最成功的一個，可惜目前沒有 B-V 結果的發表，還不能全盤比對。參考以上幾篇論文的做法均採用 V-R-B-I-V 的序列拍攝，來減少因為自轉週期不同對顏色造成的影響。

ESO 在 2001 年啟動的計劃有著很大的野心，企圖對 KBO 的顏色進行統計找出其中的關係，並且對幾個較明亮的 KBO 進行光譜研究，這份計劃在今年夏天有了初步的成果，ESO 利用 8.2 米的 VLT 和 3.5 米的 NTT 加上先前 2002 年 Doressoundiram 等人的巡天成果，合計達 109 個 KBO，佔已知 KBO 的 1/8，已有足夠的樣本來得到初步的結論 Peixinho et al (2004)。但可惜的是該計畫的觀測截止於 2002 年 3 月份，因此並未包括本論文工作中的三個直徑千公里級的 KBO。

3.3. 尋找KBO的似彗結構

先前已經有針對 Centaur 中 Chiron 和 Pholus 的似彗結構的研究 (Hartman et al. 1990, Luu & Jewitt 1990)，因此我們也試著利用現有的關測資料來檢驗可能的似彗活躍 (cometary activity) 或氣體包暈 (halo)。

我們在各別單張的影像中並沒有發現異狀，但似彗結構很容易為背景的雜訊所覆蓋，所以第一步便是增加資料的訊噪比 (Signal to noise ratio)，我們選擇天氣良好的觀測夜的資料加以疊加，首先利用 IRAF 中的 imshift 把每幅影像中的星場校正至相同位置，再以 imcombine 選擇中位數進行疊加，來消去宇宙射線對影像的影響。但 KBO 的移動量和背景恆星的移動量並不相同，所以必需再對 KBO 的位置進行另外一次的校正和疊加。最後選擇星場中和 KBO 相鄰且星等相近的星為比較星，則由兩者的徑向

數值曲線 (radial profile) 可得如圖 4 與圖 5。

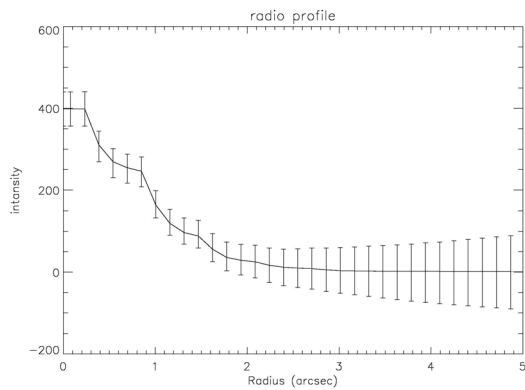


圖 4：Quaoar 以徑向強度 (intensity) 對外一圈一圈積分後所得的徑向數值曲線，總曝光時間為三個半小時，極限星等達 21.2 等，圖中已將 Quaoar 和場星歸一化，實線的部份代表場星，而誤差值則為 Quaoar 的誤差值，可以看出場星的徑向強度曲線落在 Quaoar 的誤差值內。

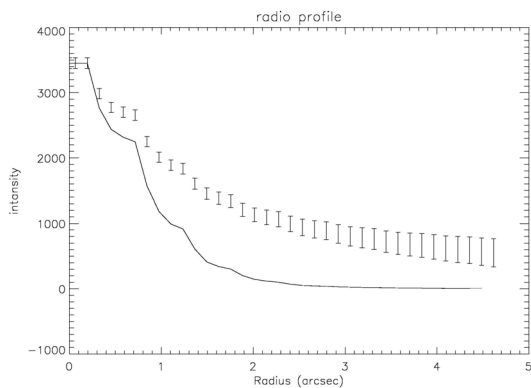


圖 5：我們以彗星 29P/S-W 做為對照組來和之前的結果比較，首先挑選可短間曝光的明亮彗星 29P/S-W，可以避免因追蹤彗星造成的場星拖線，再將彗星和場星依徑向強度積分可得徑向數值曲線，圖中已將彗星 29P/S-W 和場星歸一化，實線部份代表場星，而誤差值則為彗星 29P/S-W 的誤差值，很明顯的場星的徑向數值曲線落在彗星的誤差值外，可以看出彗髮結構確實存在。

就和我們預期的一樣，沒有探測到任何可能的彗髮或氣體包暈的存在，或者受限於儀器我們無法將它和背景分離出來。先前有被觀測到似彗活躍的 Chiron 以及 Pholus 的近日點都在 10AU 之內，觀測到似彗活躍的地點也都在近日點附近，而我們觀測的目標都是大型 KBO，不但其中幾個直徑超過 1000 公里且距離遙遠，這麼大型的天體和與太陽遙遠的距離都限制了他們本身氣體的逃逸。

事實上探測彗髮結構或氣體包暈會嚴重受到天空背景值的平整以及天空背景是否去除乾淨所影響，重點在於如何準確的標定星點位置加以疊加以及有效的降低天空背景值擾動所造成的誤差。Meech et al.2003 中提到，在拍攝 KBO 影像時應些微隨機移動目標星，而在校正星場位置後以中位數合併取得完整的天空背景版模，再以此標準天空背景版模減去每一幅影像中的天空背景，這時再開始進行疊加 KBO 的動作，疊加時要以 KBO 在影像中移動的痕跡計算出其移動方程式，接著用方程式倒推回去求每個時間點應該修正多少移動量，再將修正完的影像疊加完成，最後一步才是計算星點流量求取徑向數值曲線。而在我們的觀測資料中，並未隨機移動目標 KBO，因此就算用中位數疊加後仍因 KBO 在天空背景移過慢造成幾幅 KBO 的影像重疊而不能利用中位數完全踢除乾淨，無法做出良好的天空背景版模，不能在疊合前先去掉每一幅的背景值，只能等疊合完再一次扣除。而在對 KBO 進行疊加時，我們是以 apphot 對星點進行測光，以測光所得的中心點做為 KBO 的中心點，每幅影像都以相同方法求出 KBO 的中心點後再進行疊加，相較於 Meech 以 KBO 在天空的移動量回推再疊合的方法沒有預設中心點較不會為人為所影響。

4. 總結與未來展望

在本論文中我們利用位於鹿林天文台的 LOT 望遠鏡對幾顆較大較明亮的 KBO 包括 Quaoar、2004DW、Ixion 進行觀測，對它們的基本特性包括自轉週期、顏色還有似彗活躍進行研究，我們以 PDM 來求得 Quaoar 的自轉週期，由 PDM 所得的結果為 0.381 天，和 J.L. Ortiz 利用位在西班牙 Sierra Nevada 天文台 1.5 米望遠鏡觀測所得的 0.368 天想比，雖然我們的觀

測精度較低、觀測天數也比較少，但所得結果仍然相近。這也說明了鹿林天文台擁有不遜於國外天文台的觀測環境，能在學術研究上做出貢獻。我們也將在 KBO 顏色上的觀測結果和 ESO 在 VLT 的觀測所得進行比較，我們用兩種方法來得到 KBO 的顏色，一種是利用標準星校正求出 KBO 的顏色，第二種則為利用 R-V-R-B-R 的序列拍攝來求得 KBO 的顏色，由表討論可知除了在 B 波段因為逼近觀測極限的關係，星等誤差較大，但在 V-R 上的結果仍然使人滿意，其中用序列拍攝法所得的結果與 VLT 的觀測結果較為接近。最後則是似彗活躍的尋找，我們將 KBO 的徑向數值曲線和場星比較，但沒有發現類似 Centaur 在近日點時那種似彗活躍的結構。

其實一米望遠鏡在 KBO 上能做的有很多，Chad Trujillo 和 Mike Brown 用來進行 KBO 巡天的望遠鏡也不過 1.2 米，但也有很驚人的成就，而自動化是其中重要的一步。另外知道自己儀器的優勢所在，對比較亮的 KBO 的週期和顏色能進行一些統計的工作，相較於大型望遠鏡時間取得的困難，我們有著時間上的優勢，KBO 顏色的統計雖然數量已接近已知 KBO 的 1/8，但仍有努力的空間。比較可惜的是沒有接觸到 KBO 的光譜資料，受限於 KBO 較低的星等，必須大型望遠鏡才有辦法進行 KBO 光譜的研究，現今已取得光譜的 KBO 仍然很少，僅 19 個 KBO 和 15 個 Centaur 而已，相信未來在這方面的研究會更多。

參考資料

Boehnhardt, H.; Bagnulo, S.; Muinonen, K.; Barucci, M. A.; Kolokolova, L.; Dotto, E.; Tozzi, G. P. 2004, *A&A*, 415, L21
Daisuke, K.; Chen, C.-C.; Lin, H.-C.; Lin, Z.-Y.; Huang K.-Y.; Chang Y.-S.; Chen W.-P.;

2004, *JTAM*, 2, 70
Doressoundiram, A.; Peixinho, N.; de Bergh, C.; Fornasier, S.; Thebault, P.; Barucci, M. A.; Veillet, C. 2002, *AJ*, 124, Issue 4, 2279
Duncan, M. J.; Levison, H. F. 1997, *Science*, 276, 1670
Edgeworth K.E. 1943, *J. Br. Astron. Assoc.*, 53, 181
Fornasier, S.; Doressoundiram, A.; Tozzi, G. P.; Barucci, M. A.; Boehnhardt, H.; de Bergh, C.; Delsanti, A.; Davies, J.; Dotto, E. 2004, *A&A*, 421, 353
Hartmann, W. K.; Tholen, D. J.; Meech, K. J.; Cruikshank, D. 1990, *Icarus*, 83, 1
Jewitt, D.; Luu, J. 1993, *Nature*, 362, 6422, 730
Kuiper, G. P. 1951, New York: McGraw-Hill, edited by Hynek, J.A., 357, *On the origin of the solar system*
Luu, J. X.; Jewitt, D. C. 1990, *AJ*, 100, 913
Luu, J. X.; Jewitt, D. C.; Trujillo, C. 2000, *ApJ*, 531, Issue 2, L151
Meech, K. J.; Belton, M. J. S. 1990, *AJ*, 100, 1323
Meech, K. J.; Hainaut, O. R.; Boehnhardt, H.; Delsanti, A. 2003, *EM&P*, 92, Issue 1, 169
Malhotra, R. 1993, *NATURE*, 365, 819
Malhotra, R. 1995, *AJ*, 110, 420
Ortiz, J. L.; Gutierrez, P. J.; Sota, A.; Casanova, V.; Teixeira, V. R. 2003, *A&A*, 409, L13
Peixinho, N.; Boehnhardt, H.; Belskaya, I.; Doressoundiram, A.; Barucci, M. A.; Delsanti, A. 2004, *Icarus*, 170, Issue 1, 153
Rabinowitz, D.; Tourtellotte, S.; Brown, M.; Trujillo, C. 2004, *IAU Circ.*, 8295, 2, 2004DW
Romanishin, W.; Tegler, S. C.; Rettig, T. W.; Consolmagno, G.; Botthof, B. 2001, *AAS*, 33, 1031
Stellingwerf, R. F. 1978, *ApJ*, Part 1, 224, 953
Trujillo, C. A.; Jewitt, D. C.; Luu, J. X. 2001, *AJ*, 122, 457
Luu, J. X.; Jewitt, D. C. 2002, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 40, 63