

# 臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學科

作品名稱：以  $H\alpha$ 、K-Line、UV、Soft X-ray 波段太陽影像

試求太陽光球層之上的徑向較差自轉

得獎獎項：地球與太空科學科第二名

候補代表：第一名

學 校：高雄市立中山高級中學

作 者：蘇妙變、馬鈺婷

## 作者簡介



蘇妙變(圖左)、馬鈺婷(圖右)

高雄市立中山高中三年級學生

我們一進到中山高中，很幸運的遇到了現任於中山高中的陳月妹地科老師，以及校友廖家賢學長。他們的耐心指導，讓我們能對地球科學做更進一步的探討與研究。未來，我們將不斷地廣泛涉獵和學習最新的知識，更希望我們能夠繼續朝這個方向邁進！

# 以 H $\alpha$ 、K-Line、UV、Soft X-ray 波段太陽影像

## 試求

### 太陽光球層之上的徑向較差自轉

## 摘要

本研究以網路上 Soft X-ray、UV195 Å、K-Line、H $\alpha$  波段太陽影像上黑子、光斑經度位置的逐時變量，試求太陽自光球層以上各層是否有越高層轉速越慢的現象？

經試用數種方法求大量黑子、光斑位置，最後以省時，且誤差減小的“由 PhotoShop 軟體讀出黑子、光斑在圖檔中位置，於 EXCEL 軟體中套用日面座標公式”，以 Peter Meadows 的黑子定位程式抽樣對驗，來求其經緯度值。

結果：在任何緯度，光球層以上各層轉速不同（徑向較差自轉現象），但並非越高層越慢，而是在大部分緯度處其各層間速度變化呈

光球層  $\xrightarrow{\text{(加速、同速或減速)}}$  色球層  $\xrightarrow{\text{(減速)}}$  色球-日冕過渡區  $\xrightarrow{\text{(加速)}}$  日冕低層

的快慢交替現象。

**關鍵詞：**徑向較差自轉、色球層、日冕層

# **Derive Radial Differential Rotation on Photosphere using $H\alpha$ , K-Line, UV, and Soft X-ray Solar Images**

## **Abstract**

This paper derives the characteristic of the rotation velocity above sun photosphere and tries to find how the velocity varies when the height increases using the deviation of longitude at time instant for dark or light sunspots of the Soft X-ray, UV195 Å, K-Line,  $H\alpha$  solar images obtained from web.

After try-and-errors, we find out the optimal method to locate enormous sunspots, that is to read out sunspot location first in GIF or JPEG files by Adobe PhotoShop, then utilize the formulae of heliographic coordinates in MS/Excel. The latitude and longitude are obtained by Peter Meadows' sunspots location formula at alternately sample test.

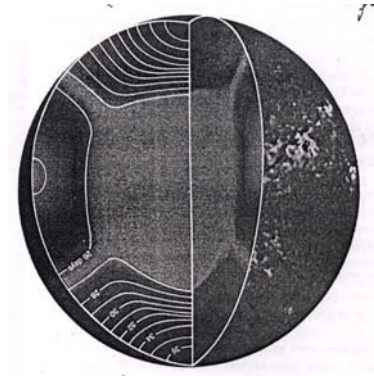
The results tell that rotation velocities are different at each layer above photosphere independent of latitude (i.e. the phenomena of differential rotation). Furthermore the rotation velocity isn't the higher sphere, the slower speed, as generally expected, but the velocity between each sphere becomes the following regulations :

- (a) There is no regulation between photosphere and chromosphere.
- (b) It is slower in chromosphere than in transition zone.
- (c) It is faster in transition zone than in low layer of corona.

**Keywords:** radial differential rotation, chromosphere, corona

壹、研究動機與目的：

高一天文實驗擔任小助教的我們，每次練習時，看到太陽黑子位置天天不同，知道太陽也有自轉現象，又從右圖—<sup>[14]</sup>知道，太陽赤道地區轉速較快，越高緯度轉速越慢，另外，還看到由日震觀測得到的太陽從表層(光球層)越往內部，自轉速率越快<sup>[14]</sup>，讓我們聯想到：**是否由光球層往上經色球層到日冕層的自轉會漸慢呢？**



圖一 太陽較差自轉示意圖<sup>[14]</sup>

貳、研究所用到的軟硬體

Microsoft Excel 2000 試算表軟體、繪圖軟體 (Adobe Photoshop 5.0、Ulead Photo Impact 6.0)、10 cm 太陽面經緯度圖、網路上所提供的太陽影像、Mr. Peter Meadows 掃描器。

參、介紹

一、太陽結構與輻射簡介

平日我們肉眼所見的太陽是光球層的部分(請看圖二太陽模型<sup>[30]</sup>)，從光球層往內依次為對流層→輻射層→核心，往外依次為色球層→日冕層。一般所稱的太陽半徑指的是核心到光球層，赤道處半徑約 696000 km。若以溫度定義光球層、色球層範圍(表一<sup>[8]</sup>)，則在溫度極小值處為光球層與色球層分界處，那麼光球層厚約 500 km，色球層頂約 2200 km<sup>[8]</sup>，2200 km之上溫度急速上升處為色球層過渡到日冕層，再上去是日冕層(圖三)<sup>[8]</sup>。



圖二 太陽模型圖<sup>[30]</sup>

太陽輻射能源來自核心核融合反應產生，其輻射以電磁波形式向四面八方傳遞，每層有從最短波的  $\gamma$  射線到最長波的無線電波；光球層溫度平均約 6000K，其輻射能量最強的波段為可見光，波長範圍 4000~7000 Å。整個可見光波段之色球輻射強度，其量級只有光球的  $10^{-4}$ ，所以色球平時是看不見的，但在色球發射譜線(如 H $\alpha$  和 CaII 的 H 和 K 線)所在波長非常窄的波段中，色球的輻射強度可以超過光球輻射強度，這樣，在色球發射線波長處用非常窄的單色光(△

<i>h</i> (km)	$\tau_{500}$	<i>T</i> (K)			
2543	0	447000	605	7.02 - 5	4420
2298	3.71 - 8	141000	555	1.46 - 4	4230
2290	3.97 - 8	89100	-515	3.01 - 4	4170
			450	1.02 - 3	4220
			350	5.63 - 3	4465
			250	2.67 - 2	4780
			150	1.12 - 1	5180
2070	3.77 - 7	7940	100	2.20 - 1	5455
2050	4.30 - 7	7660	50	4.40 - 1	5840
2016	5.20 - 7	7360	0	9.95 - 1	6420
			-25	1.68 + 0	6910
			-50	3.34 + 0	7610
			-75	7.45 + 0	8320

表一 太陽低層大氣模型部分資料<sup>[8]</sup>

$\lambda < 1 \text{ \AA}$ ，通過波寬約  $0.5 \text{ \AA}$ ）就可在非日蝕期就

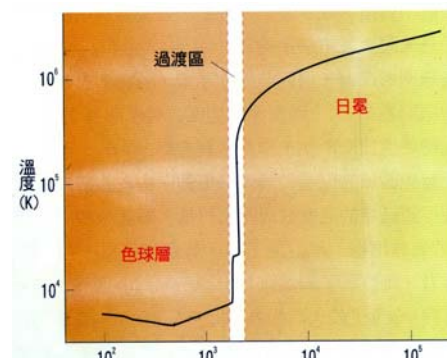
可在非日蝕期間對太陽進行單色光觀測，所看到的的就是色球層。而 CaII 的 K 線波長  $3933 \text{ \AA}$ ，H 線波長  $3968 \text{ \AA}$ ，氫離子的 H $\alpha$  譜線波長  $6563 \text{ \AA}$  [8]。

日冕是太陽最外層大氣，由於密度非常小，輻射能量非常弱，日冕底部亮度只有  $10^{-6} I_0$ （日面中心輻射強度），在日心距  $5R$  處，亮度下降到  $10^{-9} I_0$ ，地球海平面處白天天空亮度約為  $10^{-2} \sim 10^{-3} I_0$ ，日全食時，天空亮度降到約為  $10^{-9} I_0$

以下，這時，才可以用肉眼看到日冕。用 X 光和 EUV（超紫外線）波段觀測日冕，可以不受下層光球強輻射的干擾，能夠拍攝到整個日冕結構。 [8]

由此，以 H $\alpha$  和 CaII 的 K 線（即題目中的 K-Line）所拍的太陽影像代表色球層的影像；以 X 光和 EUV（超紫外線）波段所拍的太陽影像代表日冕層的影像 [8]。

而 X-ray 有 Soft X-ray 和 Hard X-ray，兩者波長不同，本研究所用的是 Soft X-ray（簡稱 SXT）波段的太陽影像，SXT 波長  $1 \sim 100 \text{ \AA}$ （表二） [8]。觀測日冕所用的 EUV 波段，衛星使用數個波長分別做觀測，本研究只選波長  $195 \text{ \AA}$  的 UV 太陽影像做分析。



圖三 太陽大氣層的高度 [9]

表二 電磁輻射波譜 [8]

波 段	波 長 范 圍
γ 射线	$\lambda < 2.5 \text{ pm}$
硬 X 光	$0.0025 \text{ nm} \leq \lambda < 0.1 \text{ nm}$
软 X 光	$0.1 \text{ nm} \leq \lambda < 10 \text{ nm}$
远紫外(EUV)	$10 \text{ nm} \leq \lambda < 150 \text{ nm}$
紫外(UV)	$150 \text{ nm} \leq \lambda < 300 \text{ nm}$
可见区	$300 \text{ nm} \leq \lambda < 750 \text{ nm}$
红外(IR)	$0.75 \text{ } \mu\text{m} \leq \lambda < 1000 \text{ } \mu\text{m}$
射电	$\lambda \geq 1 \text{ mm}$

## 二、各波段影像資料簡介

（一）影像來源、圖檔格式與大小、取材時間(表三)

波段	全名	圖檔來源	圖檔格式	圖檔大小 (pixel)
H $\alpha$	氫離子發射譜線	BBSO 網站 <a href="http://www.bbso.njit.edu">http://www.bbso.njit.edu</a>	JPEG	2032*2032 、681*681
K-Line	CaII (鈣離子) 的 K 發射譜線	BBSO 網站 <a href="http://www.bbso.njit.edu">http://www.bbso.njit.edu</a>	JPEG	921*921



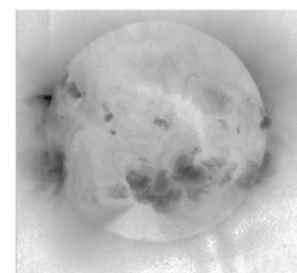
UV195 Å	Extra Ultra Violet (超紫外線或稱遠紫外線)	SOHO 網站 <a href="http://soho.nascom.nasa.gov">http://soho.nascom.nasa.gov</a>	GIF	1024*1024
X-ray	Soft X-ray (軟 X 射線)	Yohkoh 網站 <a href="http://isassl.solar.isas.ac.jp">http://isassl.solar.isas.ac.jp</a>	GIF	528*528
ARMaps	Active Region Maps	Hawaii 網站 <a href="http://www.solar.ifa.hawaii.edu">http://www.solar.ifa.hawaii.edu</a>	GIF	650*800
Visble	<b>MDI</b>	BBSO 網站 <a href="http://www.bbso.njit.edu">http://www.bbso.njit.edu</a>	JPEG	1001*1081
選取影像時間：2001.08~2001.11				

## (二) 各波段影像特性與個別處理介紹

### 1. SXT 的影像

#### (1) 影像以假色顯現的原因：

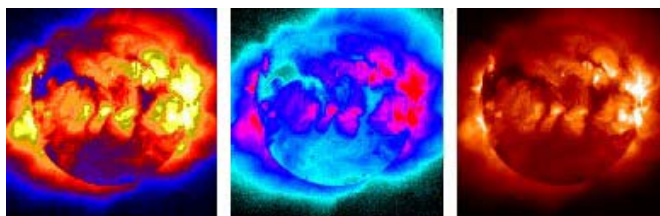
SXT 原始檔的影像顏色，原本在 Yohkoh 網站上呈現橘紅色，後來發現所取的圖片顏色卻是灰白色(圖四<sup>[32]</sup>)，在疑惑下，利用 e-mail 請教天文學家 Dr. David Alexander 後得知：如由 [http://www.lmsal.com/YPOP/ProjectionRoom/color\\_samples.html](http://www.lmsal.com/YPOP/ProjectionRoom/color_samples.html) 所得的 SXT 波段影像，附予不同顏色於圖片(圖五<sup>[32]</sup>、圖六<sup>[32]</sup>、圖七<sup>[32]</sup>)中，每種色彩所強調的部位將有所差異，且特別明顯，藉此能方便觀測所要瞭解的太陽活動現象。



圖四 SXT 白光太陽影像

#### (2) 影像選取時間間隔的決定：

原本希望時間間隔 ( $\Delta t$ ) 越短越好，且有固定  $\Delta t$  的影像，但此網站所提供的影像  $\Delta t$  較不一定，所以在時間方面就從網路所提供的圖片，每天取 1~2 幅圖。



圖五 SXT 假色像

圖六 SXT 假色像

圖七 SXT 假色像

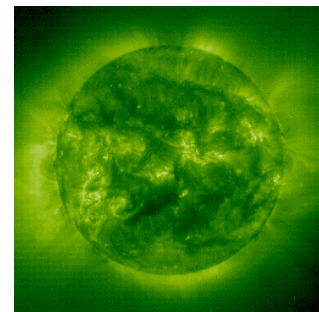
#### (3) 檔案的命名：

找定影像後，直接從網路上把圖片存入硬碟，在檔案命名方面，取原

檔名的前半部，加 **SXT** 而成。如原檔名  
(20011207\_071122\_20011207\_165403)，前半部 (20011207\_071122)  
表示此圖是西元 2001 年 12 月 7 日 7 時 11 分 22 秒所拍攝的；而後半  
部 (20011207\_165403) 則是在西元 2001 年 12 月 7 日 16 時 54 分 3  
秒時，Yohkoh 網站存檔的時間。

## 2. UV 的影像

影像變化劇烈、刺眼，難取點：  
與其他波段較不同之處，是此波段影像變化劇烈，影  
像採虛擬色－鮮綠色顯示 (圖八<sup>[29]</sup>)。爆發處的光斑  
非常難取中心，圖片顏色又刺眼，難以拿捏量點，取  
點困難重重。

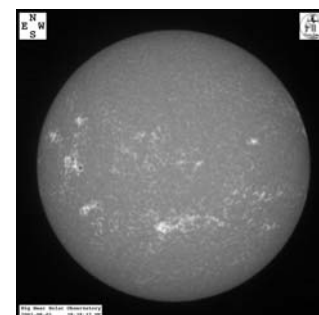


圖八 UV195 Å 太陽影像

## 3. K-Line 的影像

(1) 黑子位置較易判斷：

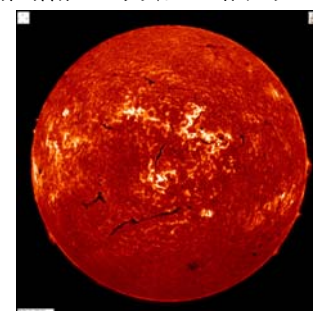
因 **BBSO** 網站提供的 **K-Line** 影像是黑  
白的 (圖九<sup>[31]</sup>)，變化沒有其他波段的來得  
劇烈，取點的判斷就容易多了；圖片一天一  
幅。



圖九 K-Line 影像圖

(2) 時間關係未使用全球日震觀測網的觀測資料

原本要採用周定一教授熱心提供我們時間間隔 30 分鐘一幅的  
2000 年 7 月 **k-line** 影像圖，但是因為該時  
段沒找到其他波段的短時間間隔拍攝之影  
像，所以我們只好改採 **BBSO** 提供的 **k-line**  
影像，這是對周教授非常抱歉的地方。



圖十 H $\alpha$  影像圖<sup>[26]</sup>

## 4. H $\alpha$ 的影像

(1) 圖片檔案分成兩種，其影像檔提供情況：

**FTP-Archive** 的一天一幅，**Global  
High-Resolution H-alpha Network** 提供  
18:00~24:00 的圖，每半小時一幅。

(2) 黑子或光斑位置判斷也不容易：

半小時一幅的圖，因為沒有經過修  
改、壓縮，所以圖片可看出臨邊昏暗效應  
現象 (圖十四)，但不容易判斷黑子的位  
置，所以利用網路(**BBSO**)提供的套太陽  
面經緯度圖片及 **ARMaps** 來判斷，使誤差



圖十一 套有日面經緯度  
的 **ARMaps**



降到最低。

H $\alpha$  影像雖比 SXT 或 UV 的好觀察、判斷，但橘紅色影像圖看久容易視覺疲勞，還好 Photoshop 繪圖軟體有顯示位置 (x, y) 的功能，讓我們能精確量出黑子位置。

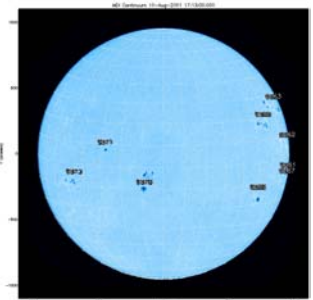
## 5. ARMaps

初次看到 ARMapas (圖十<sup>[26]</sup>) 影像中有太陽黑子，我們以為它就是光球層的影像圖。網站上所提供的 ARMapas 張張都套著太陽面經緯度圖，每群黑子都有編號，圖的下面還有每群黑子的位置數據，我們非常高興，就把 ARMapas 的數據當成光球層的代表數據。但是，後來發現書上說 ARMapas 是太陽活動區 (Active Region) 圖，有時稱為活動中心的，或者形象地叫做太陽風暴，它包含許多不同的但卻互相聯繫的現象：黑子、譜斑、日珥、日冕活動和耀斑，在某種意義上說，活動區是太陽活動的基本單位，也是太陽磁性最持久的和看得見的表現形式。大致說來，全部太陽黑子，和耀斑都出現在活動區內，活動區也是對地球高層大氣有強烈影響的軟 X-ray、遠紫外和紫外輻射的緩變分量的源原<sup>[7]</sup>。所以 ARMaps，並不能代表光球層，它只是將光球層的部分包含在內罷了。因此，我們必須另外尋找能代表光球層的影像，找到了 MDI 的影像。

## 6. MDI 的影像

### (1) 確定 MDI 影像代表光球層

MDI 的影像 (圖十二<sup>[33]</sup>) 也是由 SOHO 衛星所拍，因為原文寫著「The most prominent solar features are the sunspots on the solar photosphere. This is very much how the Sun looks like in the visible range of the spectrum.」<sup>[22]</sup>，所以，我們將 MDI 影像代表光球層，



圖十二 MDI 影像圖

但是，很不放心，又寫信問 BBSO 的 Mr. John Varsik

(varsik@bbso.njit.edu)，Mr. John Varsik 第二天就回信告訴我們：「MDI 白光影像代表光球層。」

### (2) MDI 影像上黑子、光斑位置可直接讀取

因為 MDI 影像圖上已套有太陽面經緯度圖，而距報告截止日已近，所以直接在電腦螢幕上讀取黑子的日面經緯度位置，這是和測量其他波段影像圖上黑子光斑位置方法不同之處。

## 三、太陽的較差自轉

就如圖一所顯示的，以及許多書中所寫的：「太陽赤道附近自轉一周約需 25 天，中緯度區自轉一周約需 27.5 天，高緯度區則需約 33 天。」像這樣的在某層上因緯

度不同而自轉速率不同稱為「緯向較差自轉」。

而如太陽在直徑方向，有每層自轉速率不同的現象，則存在「徑向較差自轉」。

#### 四、會合週期與恆星週期

太陽在自轉，地球傾斜著繞太陽公轉，所以從地球上看到太陽自轉，必須考慮地球本身的運動。例如黑子由太陽盤面中線移動，又回到盤面中線的時間稱為會合週期（**S**），而太陽本身真正自轉一圈的時間稱為恆星週期（**P**）<sup>[3]</sup>。

$$S = 365.25 \div \text{太陽自轉角速率} (\omega)$$

$$P = (S \times 365.25) / (S + 365.25)$$

#### 肆、研究過程、數據處理與結果

我們的研究分三個階段，根據第一階段的研究結果討論後，修改成第二階段的；再根據第二階段的研究結果，討論後修改成第三階段的。

##### 一、最初的研究方式

###### （一）取得各波段太陽影像和黑子的描繪

同學分頭在網路上找出五個波段 **SXT**、**UV195 Å**、**K-Line**、**H $\alpha$** ，和 **ARMaps** 的逐日太陽影像圖，時間有約 10~15 天的、或一個多月的。

###### （二）印出直徑約 10 cm 的太陽影像

為了配合直徑 10cm 的太陽面經緯度圖，先把下載來的 **K-Line**、**H $\alpha$**  和 195 埃的影像圖列印幾張出來，測量太陽盤面的長、寬還差幾公分才有（10×10）cm<sup>2</sup>，在電腦上修改到太陽盤面盡量接近（10×10）cm<sup>2</sup>，再列印出來。

###### （三）測量

觀察每日影像，選較顯眼，且連續出現好幾天的黑子做為觀測對象，自行標點，再用傳統的方式，找適合當日的太陽面經緯度圖套疊測量，四人交叉測量再求平均。而 **SXT** 和 **ARMaps** 則利用網站提供的黑子位置經緯度數據（當時誤將 **ARMaps** 當作光球層的代表影像）。

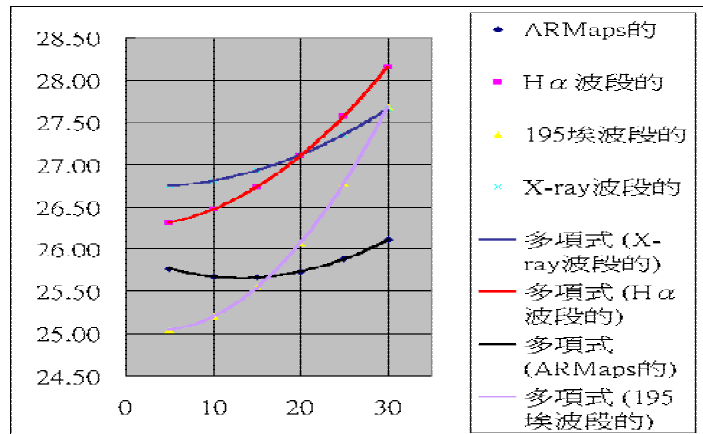
###### （四）數據處理

1. 依每張影像所標的時間換算成第 **X** 天（換算方法請見附件一）。
2. 將數據(換算天數，相對經度位置)輸入 **Excel**，繪 **X**、**Y** 散佈圖，做線性回歸，所得斜率即為該緯度處之會合角速率，紀錄如表四（以 **H $\alpha$**  波段其中一群黑子為例）。

表四 H $\alpha$  波段某群黑子位置、角速率數據表

觀測日期	觀測時間	換算天數 第 x 天	相對經度 位置 (度)	緯度位置 (度)	平均緯度 (度)	會合角速率 (度/天)	Po	Bo
2001/3/24	00:00	0						
2001/3/25	08:58	1.37	-9	-4	-3	14.56	-25.7	-6.87
2001/3/26	00:01	2	-19	-4			-25.7	-6.87
2001/3/27	03:01	3.13	-33	-4			-25.79	-6.83
2001/3/28	00:11	4.01	-44	-2			-25.87	-6.79
2001/3/29	00:04	5	-64	-1			-25.95	-6.74

3. 我們嘗試用 Excel 中各類型趨勢線來尋找緯度和會合自轉角速率、會合週期、恆星週期的關係，像是緯度取一次方、正弦函數平方，以對數、指數、多項式等，各種迴歸嘗試。試過幾個波段的作圖經驗得知，緯度正弦函數平方和角速率、會合週期、恆星週期以二次多項式曲線繪圖的結果，點和趨勢線會變得比較接近。



圖十三 橫座標是緯度正弦函數平方值，縱座標是會合週期，單位是(天)。藍線是 X-ray 的，紫線是 195 埃的，紅線是 H $\alpha$  的，黑線是 ARMaps 的。

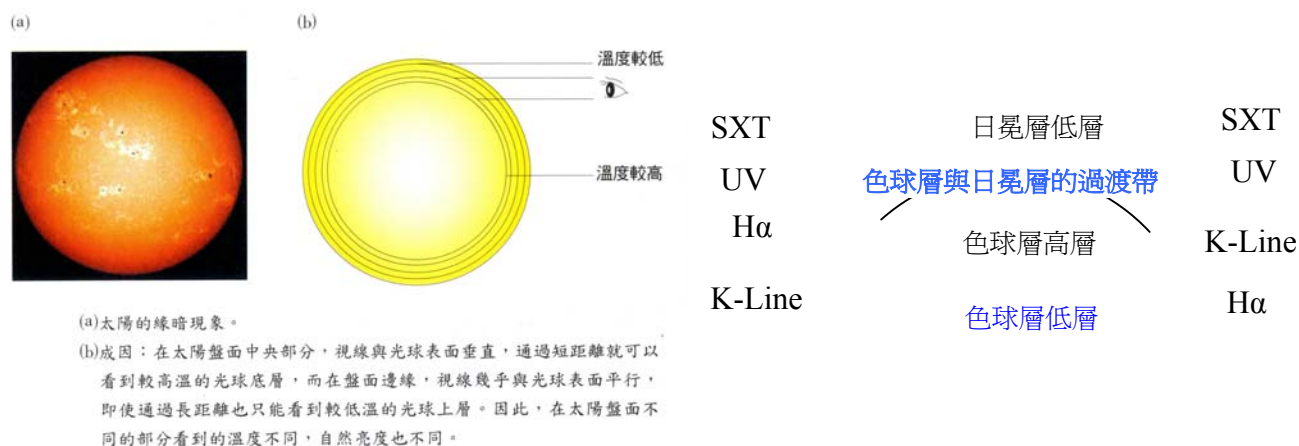
4. 接下來，將各波段分別代入緯度假設值（5°、10°、15°、20°、25°）取「緯度和會合週期二次多項式關係」，繪製成圖十三，我們的實驗，要求的是「太陽越高層大氣是不是自轉越慢？」所得結果有沒有符合我們的假設呢？因此，首先要確定哪個波段代表的高度？

### （五）要如何得知各波段所代表的高度呢？

由電磁波譜表（表二）<sup>[8]</sup>，和太陽大氣溫度對高度圖（圖三）<sup>[9]</sup>。我們必須先將波長轉換成溫度，利用韋恩定律  $\lambda_{\max} \approx 0.29/T$ ；（ $\lambda_{\max}$ ：天體單位面積、單位時間輻射能量最高值時，所對應的電磁波波長；T：天體表面溫度。）<sup>[10]</sup>我們將波長代入韋恩定律，轉換成溫度，再於圖三內插求 195 埃和 SXT 波段的高度。

圖三色球層中，溫度有高有低，那麼代表色球層的 K-Line 和 H $\alpha$  兩個波段，誰高？誰低？太陽的可見光到遠紫外光都呈現出臨邊昏暗，當波長大於 1600 Å 則產生臨邊昏暗；對於波長短於 1600 Å 的情況正好相反，會呈現臨邊增亮<sup>[7]</sup>。K-Line 和 H $\alpha$  波段的波長均長於 1600 Å，都在有臨邊昏暗效應的層次內，理應溫度高的在下，溫度低的上，因此，K-Line 的影像層在下，H $\alpha$  的在上；不過，目前，尚無能力自己推算他們所在高度是幾 km。

圖十四 臨邊昏暗效應說明圖<sup>[9]</sup>



爲了希望求出 K-Line 影像和 H $\alpha$  影像所在的高度數值，繼續尋找到表一，得到他們所代表的高度。將以上所算出的各波段溫度，和內插求得及找到的高度數值，整理如下表（表五）（在下一頁），由臨邊昏暗效應推理的 K-Line 影像和 H $\alpha$

影像所在的高度，和表一查出的不同，目前還不知哪一個的對？綜合三個方法所得到的各波段高度畫如右上簡圖（圖十四），

表五 各波段溫度－高度－代表層資料表（高度值爲從光球層底起算）

波段	波長 (Å)	溫度 (K)	高度 (km)，代表層 (由臨邊昏暗效應推得)	高度 (km)，代表層 (由表一推得)	高度 (km)，代表層 (由圖三內插得)
SXT	1 ~100	約 $2.9 \times 10^7 \sim 2.9 \times 10^5$			3070~可能高達 $10^7$ ，日冕層低層
UV	195	約 148718			3250，色球－日冕過渡區
K-Line	3934	約 7372	色球低層	2020，色球高層	
H $\alpha$	6563	約 4419	色球高層	605，色球低層	
MDI	6768	4285		560，光球層高層	
Visible	4000~7000	7250~4143			

(六) 原來的預期結果：光球層之上，高度越高的自轉越慢（徑向較差自轉）；所以藍線應該高高在上（縱座標是會合週期，數值越大表示自轉速率越慢，越慢的在越上面），接下來是紫線，再下去是紅線，從圖十三來看，色球層的(紅線— $H\alpha$  的)比色球—日冕過渡區（紫線—UV 的）慢，此不符合我們的假設；而日冕層（藍線—SXT 的）比色球—日冕過渡區慢，倒是符合我們的推理；但 SXT 的橫切過  $H\alpha$  的，即色球層的竟和日冕的有交叉，這也不合我們的假設。

結果是出來了，但卻覺仍有不足之處，於是，我們又做了以下檢討：

## (七) 檢討

### 1. 數據不夠多：

統計所需的數據至少要 30 組以上，而我們除了 ARMaps(以為是能代表光球層的黑子圖)和 SXT 波段的有 30 組數據之外，其餘 UV、 $H\alpha$ 、K-Line 波段的都未量出那麼多組數據。

### 2. 誤差的問題：

K-Line、UV、 $H\alpha$  影像圖中的量測點由人為決定，短波段影像中黑子、光斑變化劇烈，點的選取判斷很困難，很難看出今天的這個黑子，到了明天跑到哪個位置了；加上 SXT 和 ARMaps 的數據，經過比對發現，和圖上確實位置有點出入。

又因每張 K-Line、UV195 Å、 $H\alpha$  的圖只能處理到接近 10×10 公分，套疊太陽面經緯度圖時，無法完全吻合。

由於第一次做的結果不如預測，檢討起來，一致認為問題出在取樣和測量的不夠精準，知道我們的缺失後，計劃往更精密、更充實的數據挑戰，將 90 年暑假所做加以改進：縮小影像間隔時間（短波段的黑子影像才好追蹤，比較不會誤判），增加各波段的數據，再來探討看看有沒有符合預測。為了盡量減少誤差，我們再度展開摸索試探的路程。

## 二、重做實驗：

(一) 再次利用網路，尋找各波段太陽影像圖，同樣的，要以影像圖中黑子或光斑經度位置的逐時變量來求其自轉速率。而不同之前所做的是，這次每張圖的時間間隔愈短愈好，方能判斷黑子是否為同一顆。因太陽不是剛體，是個電漿體，而愈短波段的黑子影像變化越為劇烈(尤其是在日冕層，更是劇烈)，所以要判斷是否為同一顆黑子非常不易，且所採用的圖片一定得多，才有夠多的數據，統計結果才有代表性。

(二) 尋找  $H\alpha$ 、k-line、SXT、UV195 Å 以及光球層圖片的網站，看看網站提供的時間能不能 4 個波段相互配合，以方便之後的比較分析。在這尋找過程中，耽擱相當長的時間。為了不浪費時間，開始嘗試寫信給天文網站(如：



<http://www.ips.gov.au/> 、 <http://www.bbso.njit.edu> 、  
[http://sec.noaa.gov/solar\\_images/index.html](http://sec.noaa.gov/solar_images/index.html) 、  
<http://sohowwww.nascom.nasa.gov/> 、 <http://www.lmsal.com/sxt>

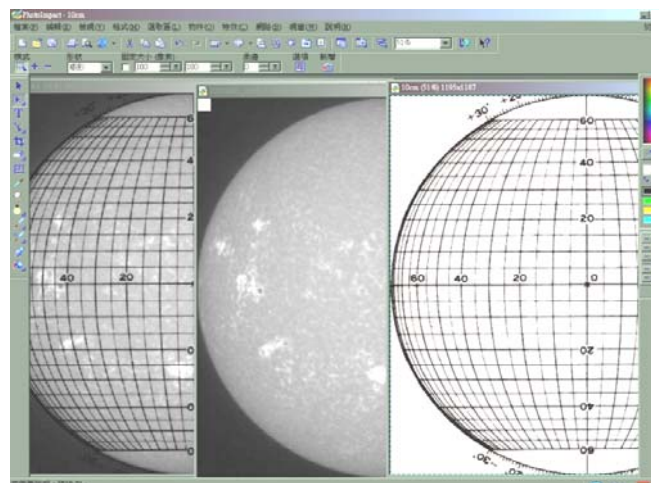
等)，希望他們能提供我們寶貴資訊、圖片來源(希望能給予原始檔，使求出來的數據更精確)，以減短我們在網海裡尋找圖片的時間。有些不是沒回信，就是碰壁，但幸運的還是接到了 Yohkoh 等網站的回信，感謝他們提供我們一些資訊、圖片之類的資料，在往後的日子裡，對研究的內容或許許多專有名詞有疑問時，我們也都會寫信前去詢問，也都得到相當滿意的答覆（如附件 X），這種尋找資源的方式，我們想應該也是這次做科研的收穫之一。

（三）好不容易找到 2001 年 8 月~2002 年 1 月在各波段（ $H\alpha$ 、K-Line、 $195\text{\AA}$ 、SXT 波段）都有短時間間隔圖；其實我們本來想，若圖和圖之間間隔的時間盡量縮短，是否測量出來的數據會精準些？但是後來發現，間隔時間太相近反而看不出亮點的移動，在取點上就會不太方便，也不夠準確，尤其像是 SXT 或是 UV 的圖片，光斑的變化相當劇烈，根本就尋不到點在哪裡，所以後來間隔時間稍微加長。

（四）由於 ARMaps 為光球層以上，統合各層的黑子活動區域圖，且套有太陽面經緯度圖及各活動區的編號，我們就根據它的編號當作各波段黑子的辨認依據。

（五）大工程－處理圖片和測量方法

若能直接在電腦上讀取黑子位置經緯度，一來可以節省列印，二來可以避免人為套量時，將太陽面經緯度圖固定在太陽圖片上可能發生錯動而產生的誤差。



◀ 圖十五  
掃描太陽面經緯度圖  
→套疊在太陽影像上  
→透明化太陽面經緯度圖

起先，利用繪圖軟體 PhotoImpact 可使圖片重疊且透明化的功能，將經緯度直接套用在圖片上，便可在電腦上直接讀取黑子的位置。

但此方法最大的缺點就是，有些波段的圖片疊起來並不清晰，不易判斷，像是紫外線的圖片加上經緯度之後變得很亂，看不清楚它的光點在哪裡，嚴格一點來說，只有黑白的 k-line 影像圖比較適合這種測量的方法，但是今天我們並

不是只有 K-Line 一種波段，而是有五種不同的波段。於是，我們又遇到瓶頸了，必須另尋求更好的方法，不過我們把這種方法作為日後使用其他程式計算黑子位置時的檢核依據。

所以我們不斷在想，應該有專門在計算經緯度的公式或軟體，否則天文網站如何提供我們數據，天文學者如何做最精密的計算呢？開始翻閱許多書籍，希望能從中獲得答案，我們也寫信給天文學者，希望能再提供我們寶貴的意見。

因太陽影像接近正圓形，我們想利用高二學到的二次曲線方程式，由太陽面經緯度圖求出：太陽面上各點與經度、緯度的關係，但此方法行不通，因每條經線的“ $c$ ”(半徑)大小都不同。

### 三、尋找新的方法

英國業餘天文學家 Mr. Peter Meadows 在網路上提供的黑子位置計算程式，原來也不適用於我們這些北點方位角全已轉正的太陽影像圖，若用他的原程式（適用於影像北點方位角未轉正）算出來的數據是錯的。而 Mr. Peter Meadows 竟於我們提出問題後第二天，就將程式改變設計寄過來（如附件三），讓我們能量已調整方位的影像上黑子位置，實驗至此，非常敬佩海內外的天文學家，每個都博學而熱心地指導我們。

不過，因為此時我們也有了能同時大量計算黑子或光斑位置的方式（下一段起將要提到的方法），因此就將 Mr. Peter 的程式當作檢查新方法算出來的結果對與否的依據。

我們的新方法，是引用廖先生的（如附件四）<sup>[1]</sup>，使用 Excel 試算表軟體，參考書上所列出來的日面座標公式，將圖片中黑子的位置換算成實際太陽黑子的位置。（例如：表十一）

### 四、影像預先處理

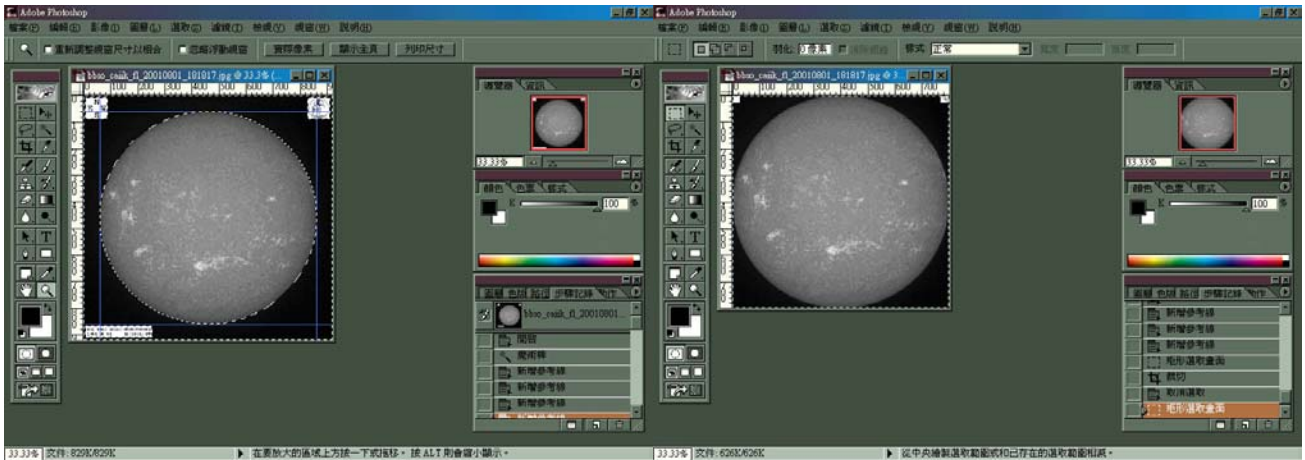
#### 1. 影像選取時間間隔的決定：

原先以為每張圖的時間間隔愈短愈好，才能判斷黑子是否為同一顆，但後來觀察發現，間隔時間太相近反而看不出黑子的移動，所以每天取 1~2 幅圖。

#### 2. 以 ARMaps 上所標的黑子編號當作各波段黑子的辨認依據，利用 Photoshop 找出圖片中光斑所在的位置，舉例說明如下(以 k-line 圖片為例)：

(1) 在 Photoshop 中開起從網路上下載的圖檔，以 容許度為 32 的情況下點選魔術棒，使太陽的邊緣被整個選取起來。

- (2) 緊接著在上下左右新增參考線，意思就是讓圖片的邊緣剛好切到太陽的最上、最下、最左和最右方(如圖十六 A)。
- (3) 選取參考線所圍成的方形，將 k-line 圖片上不需要的部分裁剪掉(如圖十六 B)。
- (4) 另存新檔。

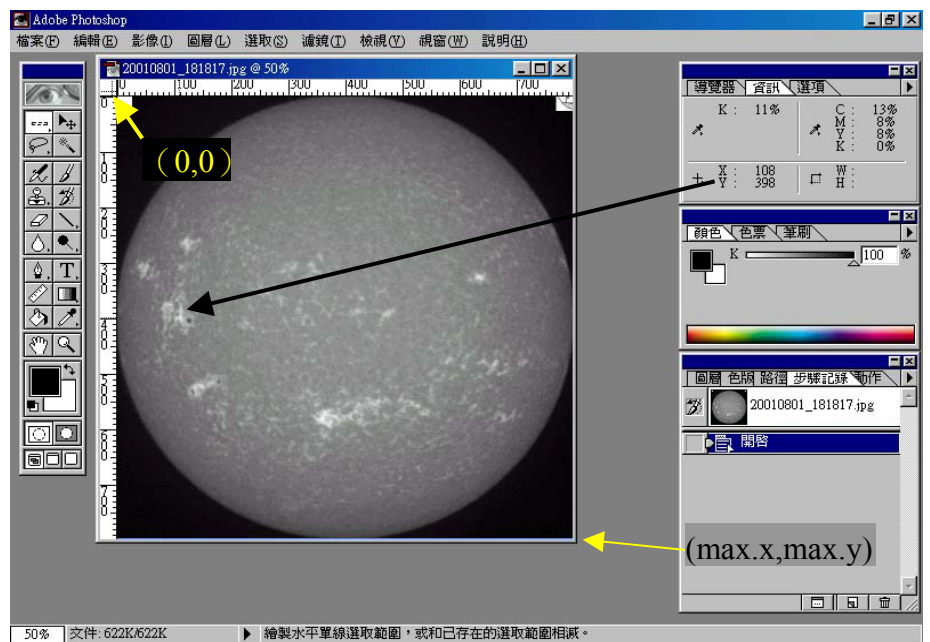


圖十六 A 新增參考線，選取區域的上、下、左、右

圖十六 B 裁切參考線圍承的矩形區域

## 五、讀取黑子在圖片上的座標值

1. Photoshop 自訂為圖的左上角為(0,0)像素（如圖十七），右下角則為 x 和 y 的最大像素，即最左上方的 x 和 y 為 (0,0)，而最右下角為 (798,798)，也就是這張圖片的大小。所以說，以圖片上看，太陽的中心座標就是 (798/2,798/2) 像素了；再將 (798/2,798/2) 轉換為 (0,0)，而一開始(0,0)的地方就是 (-798/2,798/2)。



圖十七 量取黑子或光斑位置示意圖

2. 使用魔術棒（容許度：32）選取黑子（獲包圍黑子的光斑），將游標移到黑子的位置（單位都是 pixel），Photoshop 則會顯示游標的位置是在圖片上 (x, y) 的地方。

## 六、轉換成座標值



我們將 Photoshop 所顯示的黑子座標值 (x, y) 以及最大值(即裁切後的圖檔大小)、拍攝時間輸入 Excel，再運用廖先生的程式運算成太陽面的經緯度，爲了數據的精確度，利用英國天文學家 Mr. Peter Meadows 所提供的修正程式，抽樣代入幾個數據，來核對“廖

表六 套日面座標等公式求黑子或光斑位置舉例

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
	編號	YY	MM	DD	hh	mm	ss	max.x	max.y	location.x	location.y	sun.lambda	B	l	x'	y'	r	t
1	9557	2001	8	1	1	21	24	392	387	148	286	128.875	-22.66	-15.43	-48	-93	104.21	-15
3	9561	2001	8	1	1	21	24	392	387	46	251	129.821	25.26	-47.57	-150	-58	160.64	-11
4	9562	2001	8	1	1	21	24	392	387	22	185	131.733	-20.67	24.20	-174	9	174.21	-8
5	9563	2001	8	1	1	21	24	392	387	38	121	133.380	25.18	5.50	-158	73	173.84	-6
6	9557	2001	8	2	1	5	25	392	391	185	285	128.875	-13.59	-52.23	-11	-90	90.17	-17
7	9561	2001	8	2	1	5	25	392	391	77	255	129.821	14.53	40.33	-119	-60	133.05	-11
8	9562	2001	8	2	1	5	25	392	391	58	186	131.733	-12.15	-8.42	-138	10	138.33	-8
9	9563	2001	8	2	1	5	25	392	391	65	125	133.380	13.87	83.03	-131	71	148.77	-6
10	9564	2001	8	2	1	5	25	392	391	319	162	133.648	-10.16	-68.48	123	34	127.48	74
11	9566	2001	8	2	1	5	25	392	391	26	147	134.672	23.91	24.59	-170	49	176.78	-7
12	9557	2001	8	3	1	2	13	390	393	229	284	128.875	5.19	-63.59	34	-88	93.87	15
13	9561	2001	8	3	1	2	13	390	393	119	225	129.821	17.02	-65.10	-76	-29	81.17	-11
14	9562	2001	8	3	1	2	13	390	393	95	188	131.733	7.05	-17.38	-100	9	100.36	-8
15	9563	2001	8	3	1	2	13	390	393	101	128	133.380	18.20	-9.59	-94	69	116.31	-5
16	9564	2001	8	3	1	2	13	390	393	349	158	134.672	-24.06	69.86	154	39	158.74	75
17	9566	2001	8	3	1	2	13	390	393	58	149	134.672	16.90	6.90	-137	48	145.00	-7
18	9557	2001	8	4	1	1	27	388	391	269	281	128.875	24.70	-63.09	75	-86	113.73	13

先生的程式”所計算出來的數據有無明顯的差異。

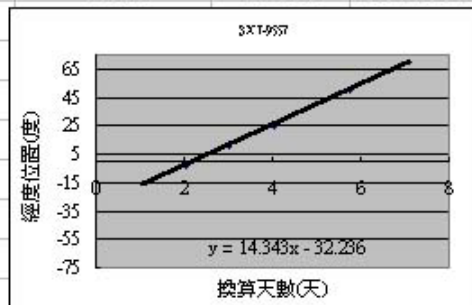
因爲，Mr. Peter Meadows 的程式一次只算一個黑子位置，每算出一個黑子位置就必須登錄一次，這樣時間較不經濟，而廖先生的只要將由 Photoshop 所量到的黑子位置與影像大小，輸入到 Excel，在 Excel 中每欄下指令，一口氣就能把每個黑子或光斑位置算成日面座標位置。所以，我們主要還是用廖先生的方法，因爲可在 EXCEL 的表中同時算出我們要的數據，不需花太多時間在數據的登錄上。

這樣一來，雖然比上次直接列印再量，來得精準（因爲影像處理軟體 Photoshop 的精確度是，若讀錯一個 pixel，誤差最大將近 4"），又能省紙、省墨。不過，我們在引用廖先生的方法時，因爲有時候某些欄位會奇怪的忘了套公式，一沒檢查到，就跑出錯誤數據來，所以在處理數據的過程中，我們還必須利用不同的方法來進行核對的工作，以保障我們數據的精確度，方法則是用上面所提到的—（英國天文學家 Mr. Peter Meadows 所提供的修正程式）和（我們自己在電腦上套量經緯度圖來測量的方法），抽樣代入幾個數據，來核對以“廖先生的方法”算出來的數據有沒有出差錯。

這次除了測量方法的改變之外，我們的數據也從十幾組的數據擴大到每個波段一百組左右。求出黑子或光斑位置，再算出每群黑子或光斑處之自轉會合角速率與標準誤，例如表七。

表七 以線性回歸求出每群黑子或光斑處之會合自轉角速率，並求出標準誤差。

SXT- 9557							
觀測日期	觀測時間	換算天數	經度位置	緯度位置	平均緯度	角速率	標準誤差
2001/7/31	00:00:00	0					
2001/8/1	01:21:24	1.06	-15.43	-22.66	-22.00	14.343	1.386538
2001/8/2	01:05:25	2.05	-3.44	-21.24			
2001/8/3	01:02:13	3.04	10.65	-20.61			
2001/8/4	01:01:27	4.04	24.18	-20.48			
2001/8/5	18:17:39	5.76	49.69	-22.23			
2001/8/6	01:01:21	6.04	56.22	-22.84			
2001/8/7	02:39:12	7.11	69.87	-23.97			



為了比較各層轉速，我們要找出用什麼方式來做圖比較？會合自轉角速率和緯度之間存在什麼關係？為何前輩要取緯度正弦函數平方和角速率的線性回歸式？我們嘗試用 Excel 中所提供的各種迴歸趨勢線，由趨勢線公式的相關係數平方和公式中各項係數（表八）來決定要用哪一種方式做圖比較各層的轉速。

表八中 $\omega$ 是會合自轉角速率 (deg/day)； $\phi$  是緯度 (deg)； $\text{abs}(\phi)$  是緯度的絕對值，其意義為將太陽兩半球的數據合起來比較。我們以各波段的 $\omega - \phi$ 、 $\omega - \text{abs}(\phi)$ 、 $\omega - \sin(\text{abs} \phi)$ 、 $\omega - ((\sin(\phi))^2)$  來做圖，圖中一次、二次曲線趨勢線的公式： $y = a + bx + cx^2$ 、 $y = a + bx$ 。

$$y = a + bx + cx^2$$

$$y = a + bx$$

$a$  為赤道處會合自轉角速率，單位(deg/day)； $b$  和  $c$  為隨緯度的變化率

表八 各波段嘗試各種迴歸方式之係數表

SXT	y	x	a	b	c
$\omega - \phi$	$\omega$	$\phi$	12.987	- 0.0022	0.0006
			13.09	-0.0073	
$\omega - \text{abs}(\phi)$	$\omega$	$\text{abs}(\phi)$	13.875	0.0176	-0.0014
			14.17	-0.0271	
$\omega - \sin(\text{abs} \phi)$	$\omega$	$\sin(\text{abs} \phi)$	13.876	1.0872	-5.0252
			14.175	-1.6055	
$\omega - (\sin(\phi))^2$	$\omega$	$(\sin(\phi))^2$	13.885±0.737	0.2771	-14.979
			14.007	-3.1228	

UV195	y	x	a	b	c
$\omega - \phi$	$\omega$	$\phi$	13.081	- 0.0024	0.0003
			13.16	-0.0019	



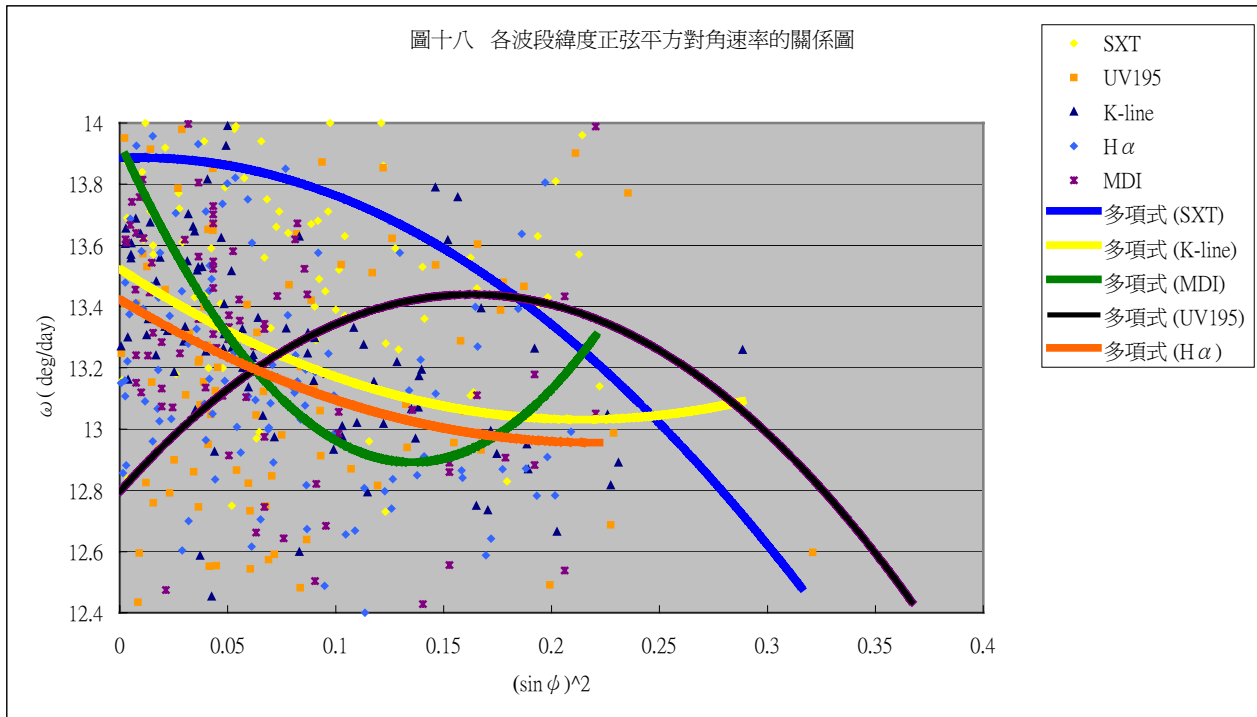
$\omega - \text{abs}(\phi)$	$\omega$	$\text{abs}(\phi)$	12.559	0.0691	-0.0016
			12.935	0.0142	
$\omega - \sin(\text{abs } \phi)$	$\omega$	$\sin(\text{abs } \phi)$	12.569	3.9415	-5.3419
			12.919	0.8941	
$\omega - (\sin(\phi))^2$	$\omega$	$(\sin(\phi))^2$	<b>12.806±0.678</b>	<b>7.6287</b>	<b>-23.762</b>
			13.065	1.0556	

<b>K-Line</b>	y	x	a	b	c
$\omega - \phi$	$\omega$	$\phi$	13.445	8.00E-05	-0.0006
			13.227	-3.00E-05	
$\omega - \text{abs}(\phi)$	$\omega$	$\text{abs}(\phi)$	13.667	-0.0346	0.0004
			13.598	-0.0219	
$\omega - \sin(\text{abs } \phi)$	$\omega$	$\sin(\text{abs } \phi)$	13.677	-1.9761	1.2611
			13.607	-1.3133	
$\omega - (\sin(\phi))^2$	$\omega$	$\sin(\phi)^2$	<b>13.524±0.518</b>	<b>-4.5992</b>	<b>10.744</b>
			13.452	-2.284	

<b>H<math>\alpha</math></b>	y	x	a	b	c
$\omega - \phi$	$\omega$	$\phi$	13.365	0.0004	-0.0007
			13.194	0.0004	
$\omega - \text{abs}(\phi)$	$\omega$	$\text{abs}(\phi)$	13.415	-0.0079	-0.0004
			13.487	-0.0203	
$\omega - \sin(\text{abs } \phi)$	$\omega$	$\sin(\text{abs } \phi)$	13.406	-0.3228	-1.7736
			13.492	-1.2036	
$\omega - (\sin(\phi))^2$	$\omega$	$(\sin(\phi))^2$	<b>13.423±0.661</b>	<b>-4.2441</b>	<b>9.6381</b>
			13.371	-2.3857	

<b>MDI</b>	y	x	a	b	c
$\omega - \phi$	$\omega$	$\phi$	13.618	0.0082	-0.0013
			13.309	0.0062	
$\omega - \text{abs}(\phi)$	$\omega$	$\text{abs}(\phi)$	14.299	-0.1052	0.002
			13.923	-0.0439	
$\omega - \sin(\text{abs } \phi)$	$\omega$	$\sin(\text{abs } \phi)$	14.286	-5.9281	6.3882
			13.942	-2.6381	
$\omega - (\sin(\phi))^2$	$\omega$	$(\sin(\phi))^2$	<b>13.978±0.957</b>	<b>-17.053</b>	<b>62.624</b>
			13.625	-4.5196	

a 為常數項（即太陽赤道地區自轉角速率），b 為一次項的係數、c 為二次項的係數，b 和 c 代表變化率，若為一次式則 b 為梯度；若為二次式，則 b、c 為彎曲度（變化率）。



以 UV、SXT、Hα 波段和 MDI 所做出的數據，以  $\omega - (\sin(\phi))^2$  的二次式相關係數較大；K-Line 則以  $\omega - \text{abs}(\phi)$  和  $\omega - \sin(\text{abs} \phi)$  的二次式的相關係數一樣大。不管緯度如何處理，所作趨勢線的相關係數都以二次式較大，既然，大部分的波段都以  $\omega - (\sin(\phi))^2$  的相關係數最大，故以其為主作圖比較（如圖十八），並求出其極值，列如表九、十五。

表九 各波段緯度正弦函數平方二次回歸曲線的緯度正弦平方與會合角速率極值

<b>SXT</b>	a	b	c	max-x	max-y
$\omega - (\sin(\phi))^2$	<b>13.885</b>	0.2771	-14.979	<b>0.009</b>	<b>13.88628</b>
	14.007	-3.1228			
<b>UV</b>	a	b	c	max-x	max-y
$\omega - (\sin(\phi))^2$	<b>12.806</b>	7.6287	-23.762	<b>0.161</b>	<b>13.41829</b>
	13.065	1.0556			
<b>K-Line</b>	a	b	c	max-x	max-y
$\omega - \text{abs}(\phi)$	13.667	-0.0346	0.0004	0.087	12.91878
	13.598	-0.0219			
$\omega - \sin(\text{abs} \phi)$	13.677	-1.9761	1.2611	0.157	12.90288
	13.607	-1.3133			
$\omega - (\sin(\phi))^2$	<b>13.524</b>	-4.5992	10.744	<b>0.214</b>	<b>13.0318</b>
	13.452	-2.284			
<b>Hα</b>	a	b	c	max-x	max-y

$\omega - (\sin(\phi))^2$	<b>13.384</b>	-3.9288	9.3139	<b>0.211</b>	<b>12.96969</b>
	13.333	-2.1431			
<b>MDI</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>max-x</b>	<b>max-y</b>
$\omega - (\sin(\phi))^2$	<b>13.978</b>	-17.053	62.624	<b>0.136</b>	<b>12.81708</b>
	13.625	-4.5196			

表十 以二次多項式迴歸緯度正弦平方與各波段會合自轉角速率的極值

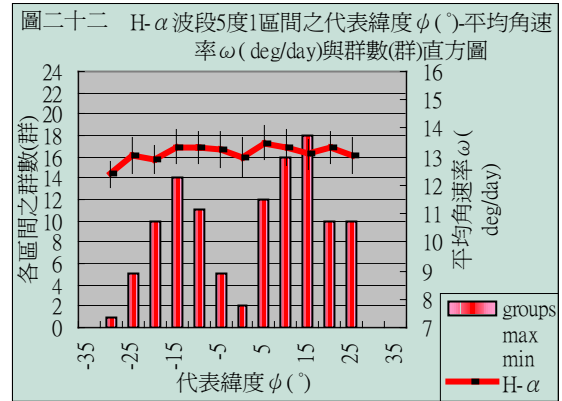
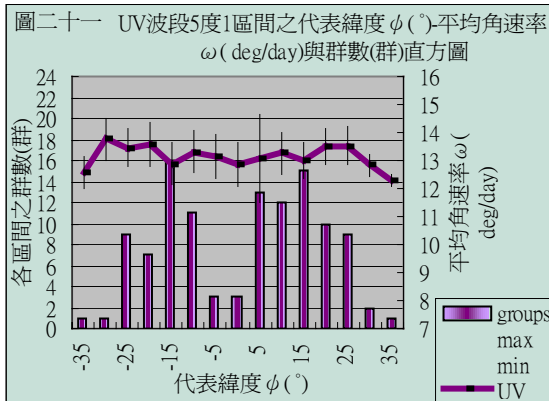
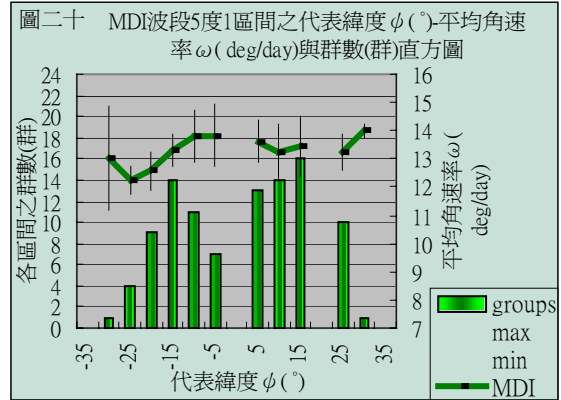
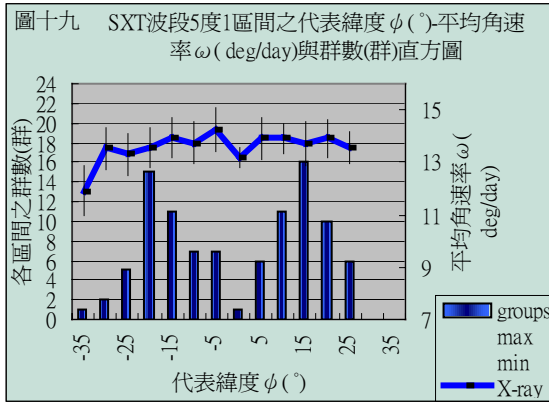
波段	Max.x	$\phi$ (緯度) (deg)	Max.y (deg/day)
<b>SXT</b>	0.009	7.71	13.89
<b>UV</b>	0.161	34.51	13.42
<b>K-Line</b>	0.214	40.86	13.52
<b>H<math>\alpha</math></b>	0.211	40.51	12.97
<b>MDI</b>	0.136	31.44	12.82

但是縱使相關係數再大，也都離“1”有一段距離，R 連 0.5 都不到，而且許多觀測點未落於趨勢線上，那麼，前輩如何比較呢？他們用緯度分區的方式<sup>[11,13,16]</sup>，要幾度一個區間來比才是最恰當呢？依照史特吉斯（Sturges）提出的公式<sup>[6]</sup>，根據觀察次數（測定次數 n）計算組數 k，其公式為： $k=1+3.32 \log n$ ，為便於計算平均數與標準差，組數常取 5 或 10 的倍數。

表十一 分區試算表

波段	群數	應分得的區間數	黑子或光斑出現的最高緯度和最低緯度	每個區間的緯度間隔
SXT	99	7.64	26.78~ (-34.37)	8.01
UV	127	7.98	37.28~ (-34.51)	8.99
K-Line	109	7.76	29.81~ (-28.73)	7.44
H $\alpha$	116	7.85	27.21~ (-26.69)	6.87
MDI	102	7.67	27.67~ (-28)	7.26
平均				7.10

由以上計算，決定把緯度取每 5 度一個區間，求各區間的平均會合自轉角速率  $\omega$ ，每個區間的緯度以中間值當代表，如  $-2.5^{\circ} \sim 2.5^{\circ}$ ，其代表緯度為  $0^{\circ}$ 。求出各波段的區間緯度對平均會合角速率關係圖與直方圖，如圖十九~圖二十三；另將 5 個波段的合在一起比較，如圖二十四、圖二十五。



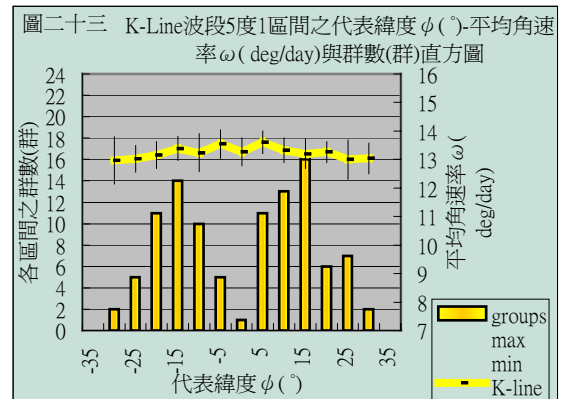
從圖十九~圖二十三的直方圖能看出緯度 15 度附近黑子或光斑出現次數最多，因此，仿 H. Balthasar, M. Vazquez and H. Wohl 的修正公式<sup>[17]</sup>再稍加修改成二次多項式，以求緯度 15 度處之會合自轉角速率，其修正公式為

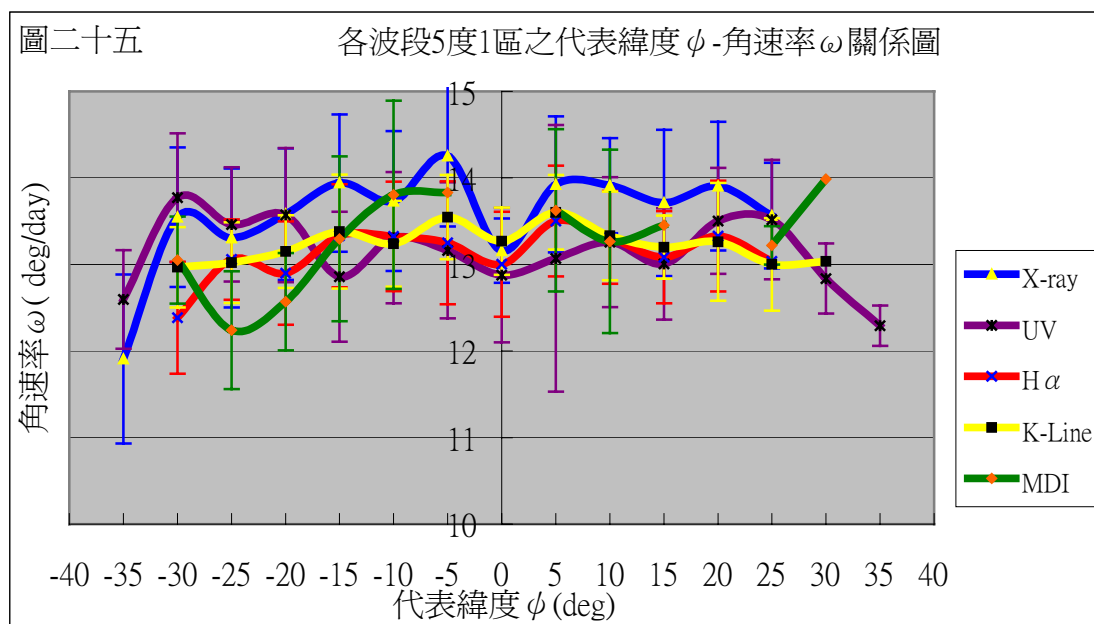
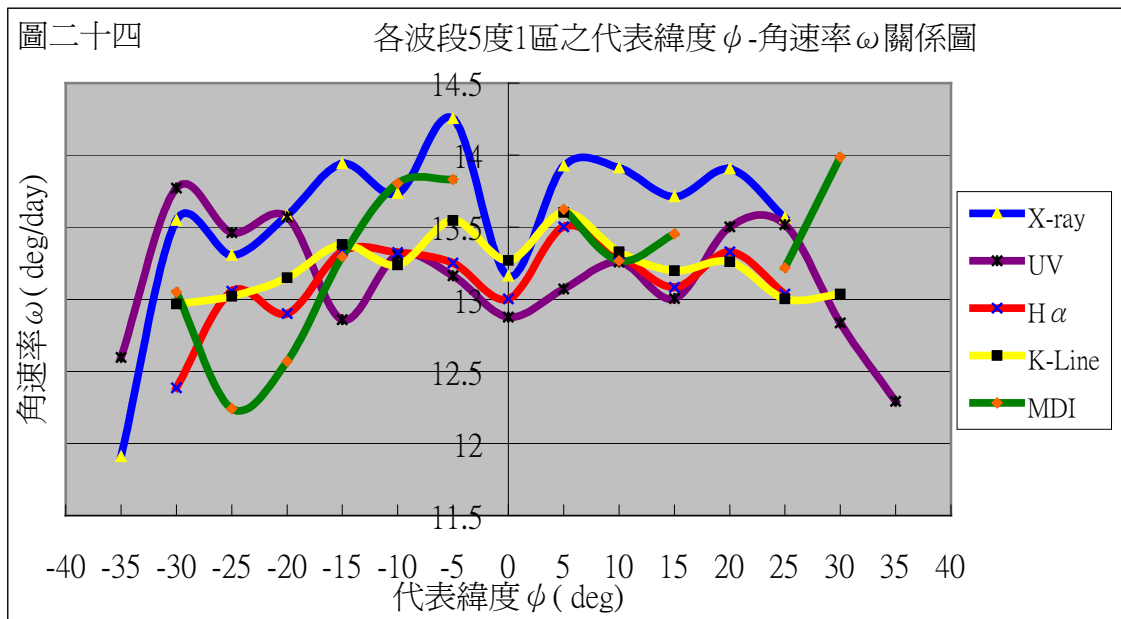
$$\omega(\phi) = g + h(\sin^2 \phi - \sin^2 15^{\circ})$$

我們把它以二次多項式呈現成

$$\omega(\phi) = g + h(\sin^2 \phi - \sin^2 15^{\circ}) + l[(\sin^2 \phi - \sin^2 15^{\circ})]^2$$

求出的 g 值即為緯度 15 度處之會合自轉角速率。係數數據如表十二。





表十二 緯度 15 度處之會合自轉角速率

SXT	y	x	g	h	l
$\omega - (\sin^2(\phi) - \sin^2(15^\circ))$	$\omega$	$\sin^2(\phi)$	<b><math>13.836 \pm 0.749</math></b>	-1.7346	-14.917
		$-\sin^2(15^\circ)$	13.798	-3.1219	
UV	y	x	g	h	l
$\omega - (\sin^2(\phi) - \sin^2(15^\circ))$	$\omega$	$\sin^2(\phi)$	<b><math>13.209 \pm 0.7115</math></b>	4.43	-22.682
		$-\sin^2(15^\circ)$	13.137	1.6906	
K-LINE	y	x	g	h	l
$\omega - (\sin^2(\phi) - \sin^2(15^\circ))$	$\omega$	$\sin^2(\phi)$	<b><math>13.264 \pm 0.485</math></b>	-3.1598	10.744
		$-\sin^2(15^\circ)$	13.299	-2.284	



<b>H-ALPHA</b>	y	x	g	h	l
$\omega - (\sin^2(\phi) - \sin^2(15^\circ))$	$\omega$	$\sin^2(\phi) - \sin^2(15^\circ)$	<b>13.182±0.555</b>	-2.9529	9.6381
			13.211	-2.3857	
<b>MDI</b>	y	x	g	h	l
$\omega - (\sin^2(\phi) - \sin^2(15^\circ))$	$\omega$	$\sin^2(\phi) - \sin^2(15^\circ)$	<b>13.158±0.744</b>	-7.7912	57.016
			13.347	-3.9848	

## 伍、討論

由於各資料所推理得到的 K-Line 和 H $\alpha$  代表層高度不同，在此，先以 K-Line 代表層高於 H $\alpha$  的，來討論我們的結果。

- 一、各種趨勢回歸所得的係數（表八），其中 **a** 項代表赤道地區的自轉角速率，以 MDI（光球層高層）的最快，但從圖二十來看，MDI 的赤道地區並無數據，所以表八的 MDI 之 **a** 項僅是外推的結果。其速率從快到慢依次為 SXT（日冕低層）→K-line（色球高層）→H $\alpha$ （色球低層）→UV（色球-日冕過渡區）；對照圖二十四，由快到慢的順序卻是 K-line→SXT→H $\alpha$ →UV；所以，結果是

色球低層→色球高層→色球-日冕過渡→日冕低層

快                  慢                  快

- 二、五度一區間之代表緯度對平均角速率圖（圖十九~圖二十三）中，可清楚發現四個月的數據，黑子、光斑均集中落在南北緯 5~25 度之間，所以取這段緯度範圍來討論應比較有代表性。五個波段中 K-line、H $\alpha$  的平均角速率隨緯度沒有大的變化，然而 MDI、SXT、UV 變化卻較明顯，尤以 MDI 為甚，但 MDI 的數據是直接讀取電腦螢幕中套有日面經緯度圖的 MDI 影像中黑子位置而得，日面經緯度每 5 度 1 格，讀圖的誤差可能在 0.5~1 度，此可由表八 MDI 的誤差量看出，各波段之中以 MDI 的誤差量最大，達 0.957；所以這次測量得到的 MDI 數據可信度應較差。

- 三、緯度 15 度處的各波段自轉速率由表十二中 g 值來看，速率由快到慢依次為 SXT、K-line、UV、H $\alpha$ 、MDI；即結果是

光球高層→色球低層→色球高層→色球-日冕過渡→日冕低層

快                  快                  慢                  快

再對照圖二十四、二十五的緯度 15 度處，其速率是 SXT 最快，UV 最慢，但北半球 15 度處的 K-line、H $\alpha$ 、UV 非常接近，而 MDI 竟比 K-line、H $\alpha$ 、UV 快；

光球高層→色球低層→色球高層→色球-日冕過渡→日冕低層

慢                  快                  慢                  快

南半球 15 度處，K-line、H $\alpha$ 、MDI 幾乎黏在一起。結果是

光球高層→色球低層→色球高層→色球-日冕過渡→日冕低層

(  $\omega$  同 ) 慢 快

再看圖十八，在橫軸約 0.06，即緯度約 1.5 度處，UV、H $\alpha$ 、MDI 的會合自轉角速率幾乎相同，而表十二中 UV、H $\alpha$ 、MDI 三波段的  $g$  值依次相差均在  $2 \times 10^{-2}$  量級。回頭看表十，H $\alpha$ 、MDI 的高度非常接近，以太陽赤道半徑 696000 km 來看，高度差 45 km 實可視為同一層，所以，H $\alpha$ 、MDI 的會合自轉角速率若相同，是容易理解的。

四、從圖二十四來看，黑子或光斑出現最多的 5~25 度，SXT 在北半球 5~20 度自轉速率高高在上，其餘四個波段有高有低；在南半球 5~15 度，也是 SXT 的高高在上，其餘情況相似。

五、當求緯度正弦平方與會合角速率的關係時，取二次多項式趨勢線的係數最大（表八），並非一次式的，我們猜前輩大部分都以一次式關係來比較，可能是他們的數據以取依一式的相關係數最大？

六、從緯度正弦平方與會合角速率的關係圖（圖十八），因為橫座標是緯度正弦平方，無法一眼看出究竟在哪個緯度的角速率最快，所以算出表十，似乎 SXT 的較合理（在緯度 7.7 度處，會合自轉角速率極大值 13.89deg/day），對照圖二十四，確實南北緯 5~10 度的平均會合角速率呈現最大值。表十中其他波段的會合自轉角速率極大值都在很少黑子或光斑出現的緯度區，由這種算法要觀察極大值的結果還不如從圖二十四、二十五來看較直接。

七、綜合以上，以赤道和緯度 5 度、緯度 15 度處來比徑向自轉的結果是：

光球高層→色球低層→色球高層→色球-日冕過渡→日冕低層

慢 快 慢 快

北緯 10 度處結果

光球高層→色球低層→色球高層→色球-日冕過渡→日冕低層

(  $\omega$  同 ) 快

南緯 10 度處結果

光球高層→色球低層→色球高層→色球-日冕過渡→日冕低層

(  $\omega$  同 ) 慢 快

北緯 20~25 度處結果

光球高層→色球低層→色球高層→色球-日冕過渡→日冕低層

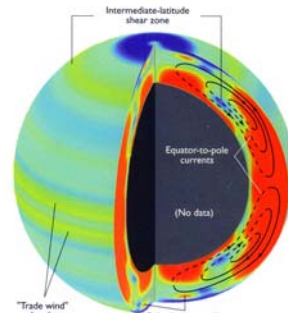
慢 (  $\omega$  同 ) 快 (快 $\rightarrow\omega$ 同 )

南緯 20~25 度處結果

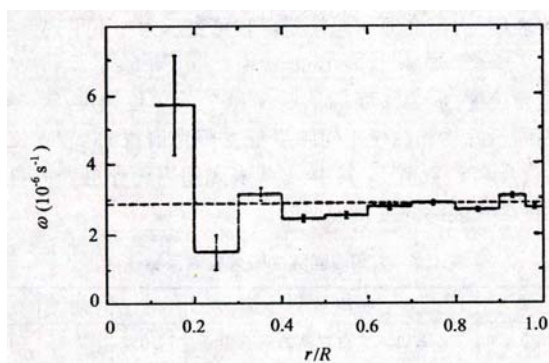
光球高層 $\rightarrow$ 色球低層 $\rightarrow$ 色球高層 $\rightarrow$ 色球-日冕過渡 $\rightarrow$ 日冕低層

快 (快 $\rightarrow\omega$ 同) 快 ( $\omega$ 同 $\rightarrow$ 慢 )

八、緯度正弦平方對角速率圖(圖十八)中,可看出 SXT、H $\alpha$ 、K-line、MDI 均隨著緯度的升高(橫軸值 $>0.2$ 的為外推結果,可不討論),角速率漸趨變慢,但 UV 的卻隨緯度增加。就 K-line 和 H $\alpha$  來看,呈現相當平穩的趨勢, K-Line 的角速率比 H $\alpha$  快,也就是說色球高層快於色球低層,所以就色球層的變化來看,與我們一開始的假設相反。在緯度近 25 度處之後(往高緯度) SXT 不再是最快的,反變成是 UV 的,但相差不大,由圖二十五的誤差量來看,有待增加數據來確定是否在緯度 $>25$ 度之後變成色球-日冕過渡帶確實快於日冕低層?



圖二十六 太陽表層存在的寬平行帶,帶與帶間轉速不同,案藍色比亮藍色速率快了 10%。



圖二十七 太陽赤道處隨深度轉速比較圖

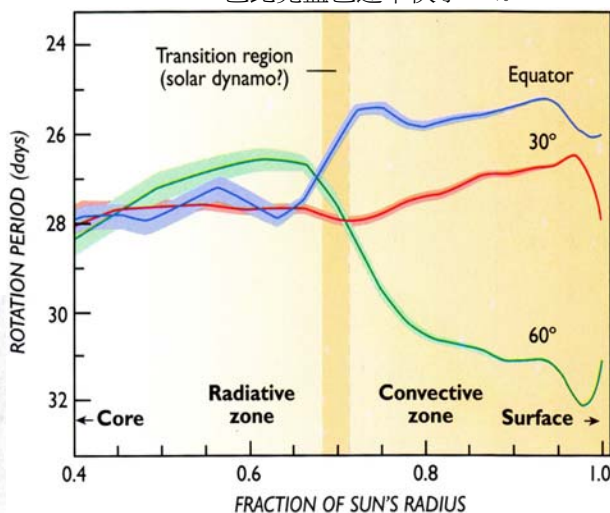


Figure 16. Internal rotation rates of the Sun at latitudes of 0°, 30°, and 60° have been inferred using data from the Michelson Doppler Imager (MDI) aboard the SOHO spacecraft. Just below the convection zone, the rotational speed changes markedly. Shearing motions along this interface may be the source of the Sun's magnetism.

圖二十八 太陽在緯度 30、60 度與赤道處隨深度自轉週期圖<sup>[13]</sup>

九、圖二十四 SXT 大多比 UV 快,而且

快得很明顯,最大值超過 1 deg/day。在緯度 0 度時各波段代表層的角速度均比 5 度處明顯低降。我們的結果顯現,各波段(各層)均有緯向較差自轉,從赤道向北半球、南半球往高緯度,每個波段的平均角速率都隨緯度呈現高低高低的波浪圖形,有約 5~10 度的快 $\rightarrow$ 慢 $\rightarrow$ 快 $\rightarrow$ 慢的波浪交替現象,且大致呈現向高緯平均逐漸減速的情況。在徑向自轉比較會合自轉角速率上,大部分緯度處有

色球層 $\rightarrow$ 色球日冕過渡帶 $\rightarrow$ 日冕低層

減速 加速

的結果,和我們的假設不同,我們原以為越高層轉速越慢,結果是快慢快慢的交替。

- 十、對於緯向較差自轉實驗結果和以前所知（緯度越高，轉速越慢）不同，深覺疑惑，當看到圖二十六<sup>[13]</sup>時，才知原來以前有人研究出類似的結果，只是原來我們書看得不夠多而不知。
- 十一、圖二十四所顯現的，若不考慮圖二十五的誤差棒的重疊，在每個緯度地區各層高高低低的，時而色球層快於色球—日冕過渡帶，時而較慢，對照圖二十七<sup>[8]</sup>，太陽自光球層以內赤道處的徑向較差自轉，我們可以發現它也是快慢交替，在深度  $0.6\sim 0.7R$  處幾乎不存在徑向較差自轉，在  $0.3R\sim$  光球層之間的徑向較差現象不大。再從圖二十八<sup>[13]</sup>來看，太陽內部緯度  $60^\circ$  處的徑向較差現象很明顯，在  $0.4\sim 0.7R$  之間增快， $0.7R\sim$  光球層慢下來。赤道處只在  $0.7R$  處急速加快，之後維持比  $0.4\sim 0.65R$  之間還快的速率自轉。緯度  $30^\circ$  處只在近光球層處明顯減速，其餘  $0.4\sim 0.95R$  之間幾乎沒有較差自轉。
- 十二、太陽南北方位角經轉正的太陽影像上“太陽表面黑子或光斑的經緯度位置”測量、計算法，以 PhotoShop 軟體量完，轉換單位後，代入英國 Peter 天文學家所寫的修正程式，所得數據較穩定，只是，它只算到整數位（太陽上  $0.1^\circ \doteq 1215 \text{ km}$ ）；在 EXCEL 中代公式的所算出來的可到小數第 6 位，但我們只取到小數第二位。
- 十三、原來熾熱的太陽，整個是那麼的活躍，裡裡外外，在徑向、緯向都有較差自轉。太陽物理學告訴我們：太陽的自轉在高速、低速帶間，確是黑子形成區。<sup>[13]</sup>

## 陸、檢討

- 一、我們在各波段求出的數據誤差量都比前輩研究的<sup>[12][15][17][19]</sup>大（表八、表十二），我們再三交叉檢查後，分析原因在：因為研究的影像變化非常劇烈，黑子或光斑位置不易確定。赤道地區和緯度  $15^\circ$  地區會合自轉角速率的誤差依大到小排序（表八、表十二），其順序恰好和影像變化程度成正比，影像變化越激烈的，誤差越大（MDI 的除外）。
- 二、前輩測量色球自轉速率以出現日數四天以上的鈣斑、絲線當目標追蹤其位置，絲線比黑子或光斑細小，定位比較準，所以他們的誤差量較小<sup>[19]</sup>，這是我們應該學習的地方。UV 波段的或許還因所取的有些圖片像素較小，導致原數據的誤差較大，但經過重覆幾次測量後，也把誤差降到最低。在處理中也出現同一天不同時段所量出的數據，由於時間間隔太近，而黑子的移動太小，使數據在合併上造成誤差，這也是測量的問題所在。
- 三、由於為了配合繪圖軟體讀圖功能，在光球層資料方面，不知國內也能提供數位影像，以為都是觀測的手繪圖，擔心要回影印的觀測圖後，掃描時間要很長，會趕不及報告，而以所找到的 MDI 影像來分析，其代表層太接近色球層，自轉差異不明顯，此為光球層代表方面的缺失。日後，將把台北天文科學教育館 2001 年 8 月的太陽觀測數位影像圖，和中央氣象局 2001 年 9~11 月的手繪太陽觀測圖掃描成數位影像，分析後加入探討。

四、等 MDI 影像資料分析後顯現不如預期結果，再向國內研究機構申請回白光觀測圖已來不及掃描和讀圖分析，此一為本研究的缺失之一。

五、MDI 影像中黑子的位置最清楚、最好判斷，可是因其套著日面經緯度圖，我們在爭取時間的情況下，直接在電腦螢幕中讀出其位置，結果顯現的誤差量最大（表八、表十二），所以，比較起來，還是應該用 Photoshop 讀出位置後，轉換單位，輸入 Excel 來算，應該會比較準確，更何況這種套公式在 EXCEL 中求日面位置座標數據的方法不管北點方位角有沒有轉正均可用，不過最好先了解日面座標的原理，才有能力隨時發現出狀況的欄位，而加以修正。

六、從所推算出的 K-Line、H $\alpha$  所在高度差（表十），和太陽半徑比起來應可視為同一層，且由其黑子或光斑位置離日心距離的不同，所觀察到的其實不同天的黑子可能在該層的不同深度，所以，或許我們可以把這二個波段的數據合為一個，當作色球層的代表。

七、實驗結果發現，此研究將 MDI 的當光球層代表不恰當，因它的高度過於接近色球層，光球層的可能仍以白光影像來分析較適當。

## 柒、結論

一、每個波段觀測圖所代表的太陽層次都有緯向較差自轉的現象（從赤道往高緯度，緯度不同，自轉速率就不同）。

二、自光球層以上，確實存在徑向較差自轉（在大部分緯度，不同層，轉速不同）。

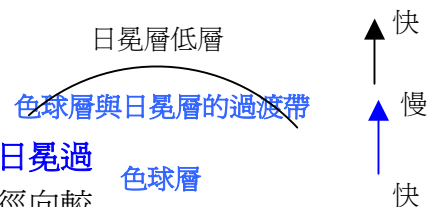
大部分緯度處（赤道，南北緯度 5 度、15 度，南緯 10 度）呈現

色球層→色球日冕過渡帶→日冕低層

減速

加速

的結果；而南緯 20 度、北緯 25 度往高緯度，色球日冕過渡帶→日冕低層的自轉會合角速率呈現減速現象；徑向較差自轉所呈現的快慢交替現象與我們的假設不合。



三、K-Line 和 H $\alpha$  波段代表層高度接近，數據或許可以合起來當色球層的代表。

四、本研究在光球層代表上採用 MDI 影像的數據不適當，因其距 H $\alpha$  的高度太近。

五、太陽南北方位角經轉正的太陽影像上“太陽表面黑子或光斑的經緯度位置”測量、計算法，以 PhotoShop 軟體量完，轉換單位後，以日面座標公式、科卜勒公式…等代入 Excel 中求位置的方法，將會是不管太陽北點方位角有沒有轉正，都經濟實用，且非常方便於大量資料處理的方法。

六、太陽非常活躍，裡外在緯向、徑向均有較差自轉的現象，推理和太陽強磁場產生有密切關係。



## 捌、展望

- 一、研究資料在光球層部分，增加白光影像的來分析；增加 Hard X-ray 的波段資料分析。
- 二、本研究只取 2001 年 8 月到 11 月的太陽影像檔，每個波段的黑子只有一百群左右，未來將會增加黑子的群數，以提升數據的準確性。
- 三、將黑子分類，把黑子的變化情形加入討論。
- 四、考慮太陽大氣中子午環流。
- 五、再研究 3D 製圖技術，將結果以 3-D 圖呈現。
- 六、由圖二十五，誤差棒的部份重疊，我們不知以各層、各緯度的會合自轉角速率之上下限來看，誤差多少以內和重疊多少才算有差異，因此，將再以統計推定來合角速率快慢比較結果的可信度。

## 玖、誌謝

研究過程中，遇到許多困難，承蒙本校地科老師、學長、物理老師熱心指導，與國內天文教授等專家的長途電話及網路傳真指導、提供免費程式與太陽影像；國外天文學家的提供免費程式、太陽影像與網路傳真回答疑問；另外學校校長、教務主任、電腦老師、設備組長等的行政快速支援，家長、同學、導師、師長們的勉勵，在此致萬分感謝！

## 拾、參考資料及其他

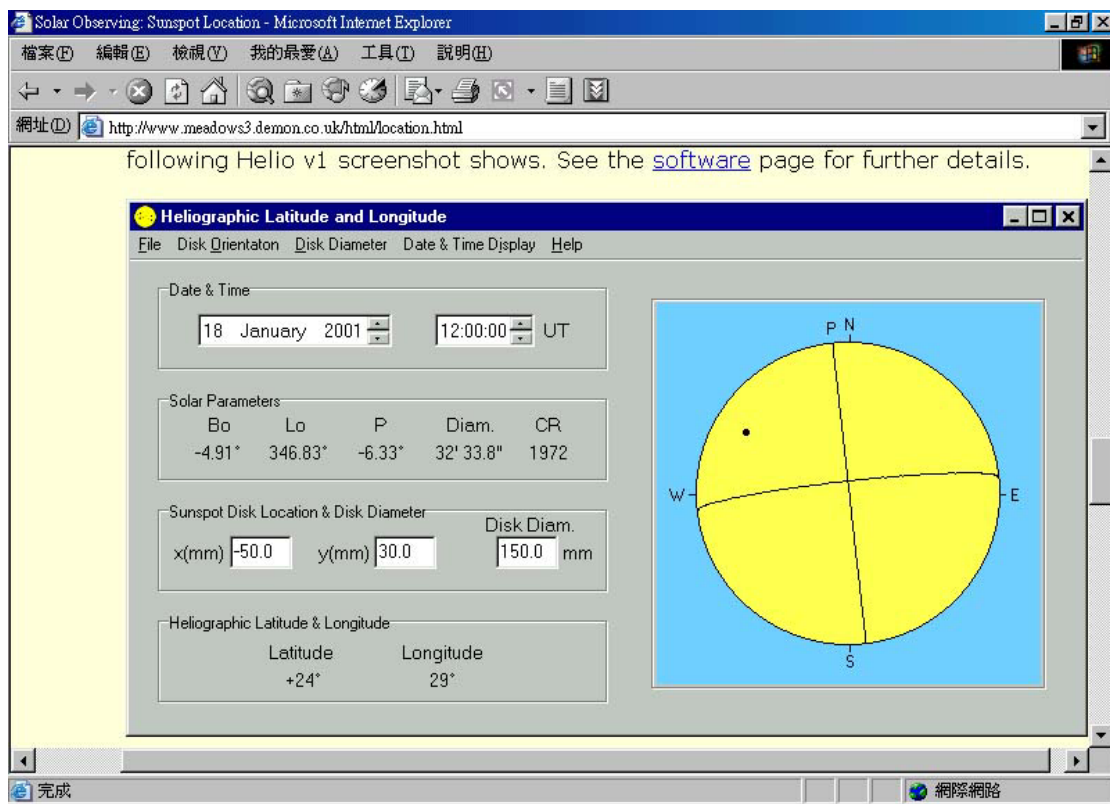
- [1] 周定一，1998，“星星也有黑子嗎？”，天文會刊第一卷，第三期，pp.11~14。
- [2] 傅學海，1991，“太陽與宇宙”，科學月刊第二十二卷，第一期，pp.48~49。
- [3] 傅學海，2002，“太陽自轉的實驗”，天文網路虛擬學習館研習營講義。
- [4] 張越程等，1998，“太陽黑子的告白”，高雄市第三十八屆中小科學展覽作品，地球科學科，高中組，p.10，p.17
- [5] 台北市立天文科學教育館，“天文年鑑 2001”，台北市立天文科學教育館，pp.52~60，p.239。
- [6] 白清錫，“品質管制之統計方法”，第四版，中華民國品質管制學會發行，pp.18~20、pp.29~27，1986。
- [7] 李宗偉、蕭興華，“普通天體物理學”，初版，新竹，凡異出版社，pp.164~183、pp.193~211，1996。
- [8] 林元章，“太陽物理導論”，第一版，北京，科學出版社，pp.1~27、p.75、pp.78~82、pp.249~311、pp.313~390、pp.454~531，2000。
- [9] 陳文屏，“高級中學地球科學三年級下學期用書”，初版，台南，南一書局，pp.56~59，2002。
- [10] 臺灣師範大學科學教育中心，“高級中學基礎地球科學全一冊”，第十一版，國立編

譯館，pp.137~139，1994。

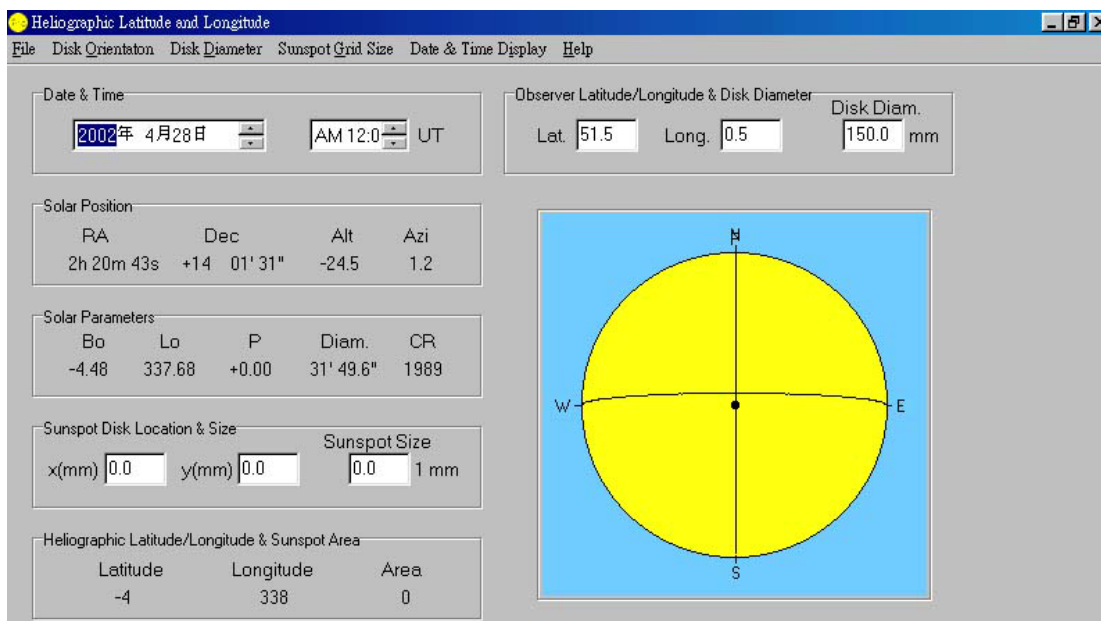
- [11] 廖家賢，2002，日面經緯度座標求法在 EXCEL 中的使用，初版。
- [12] Antonucci, E., Azzarelli, L., Casalini, P., and Cerri, S.:1987, Solar Phys. 112,143
- [13] Beatty, Petersen and Chaikin, The New Solar System , Cambridge university Press , 4th ed. 1999.
- [14] Beatty, Petersen and Chaikin, The New Solar System , Cambridge university Press , 1th ed. 19xx.
- [15] D. R. Japaridze and M. Sh. Gigolashvili, 1992, Investigation of the Solar Differential rotation by Hydrogen Filaments in 1976-1986, Solar Physic, 141, 267
- [16] Duffett-Smith, Peter , Practical Astronomy with your calculator , Cambridge university Press , 3rd ed. 1988 ,4~9、16、78~95
- [17] H. Balthasar, M. Vazquez and H. Whol, 1986, Differential rotation of sunspot groups in the period from 1874 through 1976 and changes of the rotation velocity within the solar cycle, Astron. Astrophys.,155, 87
- [18] K.P. Seidelmann (ed), Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, U.S. & H.M., Mill Valley, CA., 1992,
- [19]Maurizio Ternullo, 1987, The Old Calcium Plages Differential rotation Latitudinal profile : Its Gross and fine structure evolution with the Solar cycle, Solar Physic, 112, 143
- [20] Smart, W,M, Text Book of Spherical Astronomy, 6th ed. Cambridge University Press,
- [21] U.S. & H.M. Nautical Almanac Office, Astronomical Almanac, U.S. & H.M. Nautical Almanac Office, 2000.
- [22] U.S. & H.M. Nautical Almanac Office, Astronomical Almanac, U.S. & H.M. Nautical Almanac Office, 2001.
- [23] [http://cse.ssl.berkele.edu/hessi\\_epo/html/k12who.htm](http://cse.ssl.berkele.edu/hessi_epo/html/k12who.htm)
- [24] [http://cse.ssl.berkele.edu/hessi\\_epo/html/newsmain.htm](http://cse.ssl.berkele.edu/hessi_epo/html/newsmain.htm)
- [25] [http://home.kimo.com.tw/shpao5824/sun\\_spot.htm](http://home.kimo.com.tw/shpao5824/sun_spot.htm)
- [26] <http://kukui.ifa.hawaii.edu/ARMaps/Archive/2001/>
- [27] [http://milkyaway.phy.ncu.edu.tw/project\\_class/sun/surface.html](http://milkyaway.phy.ncu.edu.tw/project_class/sun/surface.html)
- [28] [http://milkyaway.phy.ncu.edu.tw/project\\_class/sun/struct.html](http://milkyaway.phy.ncu.edu.tw/project_class/sun/struct.html)
- [29] <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/CDScds017.gif>
- [30] <http://star2000.uhome.net/sun.htm>
- [31]<http://www.bbso.njit.edu>
- [32] <http://www.lmsal.com>
- [33] <http://www.meadows3.demon.co.uk/html/software.html>
- [34] <http://www.medcoc-ias.u-psud.fr>

## 附件一

英國業餘天文學家 **Mr. Peter Meadows** 所設計的太陽黑子位置計算程式



Meadows 特地為我們的研究，而修正的黑子位置計算程式。



## 附件二

利用日面經緯度座標公式求黑子或光斑位置，於計算表中各欄計算方式說明

### Data 工作表中各欄說明

欄位	欄位名稱	變數/公式	註解	單位
A	編號	輸入變數	黑子群的編號	
B	YY	輸入變數	年	
C	MM	輸入變數	月	
D	DD	輸入變數	日	
E	hh	輸入變數	時	
F	mm	輸入變數	分	
G	ss	輸入變數	秒	
H	max_x	輸入變數	圖檔寬度	像素(pixel)
I	max_y	輸入變數	圖檔高度	像素(pixel)
J	location_x	輸入變數	黑子水平位置	像素(pixel)
K	location_y	輸入變數	黑子垂直位置	像素(pixel)
L	sun_lambda	=Kepler!N2	顯示當時的太陽位置	度(degree)
M	B	=Calculation!S2	黑子的日面緯度	度(degree)
N	L	=Calculation!T2	黑子的日面經度	度(degree)
O	x'	=J2-H2/2	原點位移至中心後的 location_x	
P	y'	=-K2+I2/2	原點位移至中心後的 location_y	
Q	R	=SQRT(O2^2+P2^2)	黑子的極座標長度	像素(pixel)
R	theta	=DEGREES(ATAN2(P2,O2))	黑子的極座標方位角	度(degree)
S	Lo1	=kepler!O2*Q2/((H2+I2)/4)	黑子離盤面中心的視角	度(degree)

註：「變數/公式」中僅列出第二列的儲存格內容，其餘橫列則複製第二列內容且相對參照各列的列數。

例如：R 欄在第三列的內容為「=DEGREES(ATAN2(P3,O3))」、Q 欄第 33 列為「=SQRT(O33^2+P33^2)」

### Calculation 工作表中各欄說明

欄位	欄位名稱	公式	註解	單位
G	JD	=DATEVALUE(CONCATENATE(Data!B2,"/",Data!C2,"/",Data!D2))+TIMEVALUE(CONCATENATE(Data!E2,":",Data!F2,":",Data!G2))	儒略日 (Julian Day)	日
H	JC(1900)	=(G2-2415020)/36525	儒略世紀 (Julian century)	
I	omega	=74+(22+84*H2)/60	太陽赤道昇交點的經度	度 (degree)
J	sun_lambda	=kepler!N2	太陽的視黃經	度 (degree)
L	B0	=-DEGREES(ASIN(SIN(RADIANS(I2-J2))*SIN(RADIANS(7.25))))	太陽盤面中心點的緯度	度 (degree)
M	P(設定用)	=DEGREES(ATAN(-COS(RADIANS(J2))*TAN(RADIANS(23.442)))+ATAN(-COS(RADIANS(I2-J2))*TAN(RADIANS(7.25)))) 或 =0 (若圖檔的北點方位角已歸零)	設定太陽盤面北點方位角的角度	度 (degree)
N	Theta	=Data!R2	黑子的極座標方位角	度 (degree)
O	Lo1	=Data!S2	$\rho_1$	
P	appdiam	=kepler!O2	太陽視半徑	度 (degree)
R	P-theta	=M2-N2		

欄位	欄位名稱	公式	註解	單位
S	B	=DEGREES(ASIN(SIN(RADIANS(L2))*COS(RADIANS(Q2))+COS(RADIANS(L2))*SIN(RADIANS(Q2))*COS(RADIANS(R2))))	黑子的日面緯度	度 (degree)
T	L	=DEGREES(ASIN((SIN(RADIANS(Q2))*SIN(RADIANS(R2)))/COS(RADIANS(S2))))	黑子的日面經度	度 (degree)

### Kepler 工作表中各欄說明

欄位	欄位名稱	公式	註解	單位
H	D	=Calculation!G2-2444239.5+1		天數
I	N(deg)	=MOD(H2*360/365.2422,360)		度
J	M(rad)	=RADIANS(MOD(I2+278.83354-282.596403,360))		弧度
K	eccentricity	=0.016718	日地軌道離心率	
L	E	=J2+K2*SIN(L2)		
M	v(deg)	=2*ATAN(SQRT((1+K2)/(1-K2))*TAN(L2/2))		
N	sun.lambda	=MOD(DEGREES(M2)+282.596403,360)	視黃經，太陽在黃道上的經度	
O	appdiam	=0.533128*(1+K2*COS(M2))/(1-K2^2)*60/2	太陽視半徑	

### 計算黑子或光斑日面經緯度座標方法原理說明

藉由日面座標系統(Heliographic coordinate system)，我們可以利用經緯度表示黑子在太陽表面上的位置。但是我們從網路上擷取下來的太陽畫面皆已被數位化，所以需要將黑子在圖檔中的位置換算成實際在太陽表面的經緯度。換算方式敘述如下：

- 將觀測日期與時間轉換成儒略日(參考 Calculation 工作表 G 欄)  
由於 Microsoft Excel 以循序序列值儲存日期與時間，所以西元 1900 年 1 月 1 日 0 時 0 分 0 秒為序列值 1、西元 1900 年 1 月 1 日 0 時 0 分 1 秒為日期序數 1.0000115740740740741、... 其餘依此類推，有效小數 20 位。從《Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac》<sup>[18]</sup>我們查到西元 1900 年 1 月 1 日 12 時 0 分 0 秒的儒略日為 2415020.0，因此我們得到換算儒略日的換算公式：  

$$JD = \text{時間序數} + 2415020.0 - 1.5$$
此運算式與美國海軍天文台介紹儒略日的網頁 (<http://aa.usno.navy.mil/data/docs/JulianDate.html>) 上所試算的結果相同。(參照 Calculation 工作表 G 欄)
- 由 JD 計算觀測時的太陽的視黃經(sun\_lambda)與太陽的視直徑(appdiam)，根據[Peter, 1981, §42、§43]<sup>[16]</sup>得到 sun\_lambda 的計算公式：
  - Epoch<sub>1980</sub> 是我們計算太陽位置的起點，所以先將觀測時的儒略日(JD)減掉 Epoch<sub>1980</sub> 的儒略日，得到這兩天的差值 D。(參照 Kepler 工作表 H 欄)
  - 將 D 乘上 360 且除以 365.242 得到太陽在正圓形軌道上的位置 N。若 N 超過 0 度到 360 度這個範圍，則加上或減掉 360 的倍數以得到同位角。(參照 Kepler 工作表 I 欄)
  - 將 N 加上太陽分別在 Epoch<sub>1980</sub> 時的平均黃道經度(278.833540 degrees)以及西元 1980 年春分點的平均黃道經度(282.596403 degrees)以得到平近點角 M(The mean anomaly)，調整 M 值為 0 度與 360 度之間的同位角。(參照 Kepler 工作表 J 欄)
  - 接著利用 Johannes Kepler 所設計的 Kepler 方程式( $E - e \sin E = M$ )找出偏近點角(eccentric anomaly)，此處的 e 是日地軌道的離心率、E 與 M 皆以換成弧度以進行



計算。由於 Kepler 方程式非一般的代數方程式，我們利用網際網路搜尋引擎 Yahoo! 找到了計算這個方程式的網頁

<http://www.btinternet.com/~kburnett/kepler/kepler.html>

在 Microsoft Excel 以重複參照儲存格的方式實作疊代演算法(iterative algorithm)，設定重複計算 100 次之後，於是得到 E 的近似解。(參照 Kepler 工作表 L 欄)

(5) 接著用  $\tan \frac{v}{2} = \tan \frac{E}{2} \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$  找出真近點角 v(the true anomaly)，並將 v 由弧度換成

角度(degree)。(參照 Kepler 工作表 M 欄)

(6) 將真近點角 v 加上西元 1980 年春分點的平均黃道經度則得到太陽在觀測時間所在的視黃經(sun\_lambda)。(參照 Kepler 工作表 N 欄)

(7) 太陽在觀測時的視角半徑 appdiam(單位：視角度)，可由

$appdiam = appdiam_0 \frac{1+e \cos v}{(1-e)^2}$  得到。其中 appdiam<sub>0</sub> 是日地距離等於軌道的半長

徑(semi-major axis)時的太陽視直徑，約 0.533128 度。(參照 Kepler 工作表 O 欄)

### 3. 計算出觀測時的 B<sub>0</sub>

根據[Peter, 1981, §37]<sup>[16]</sup>得到 B<sub>0</sub>的計算公式

$$B_0 = \sin^{-1} \{ \sin(\Omega - \text{Sun\_lambda}) \sin(I) \}$$

$$\Omega = 74^\circ 22' + 84'' T_{1990} \dots \dots \dots$$

$$T_{1990} = (\text{JD} - 2415020) / 36525$$

T<sub>1990</sub> 是觀測日期距離 Epoch 1900 的儒略世紀

(參照 Calculation 工作表 H、I、J、L 欄)

### 4. 選定黑子位置，紀錄該影像檔的寬與高(max.x、max.y)、黑子的位置(location\_x、location\_y) (參照 Data 工作表 J、K 欄)

### 5. 將黑子在影像檔中的座標換算成在日面經緯度座標系統

在 GIF 或 JPEG 圖檔格式中的座標系統是屬於 right-down orthogonal coordinate system，原點在整張圖的左上方，X 軸往右為正向、Y 軸往下為正向，黑子在圖檔上的位置為(location\_x, location\_y)、圖檔的高度為 max\_y、圖檔的寬度為 max\_x。(參照 Data 工作表 H、I 欄)

但是在[Peter, 1981, §37]<sup>[16]</sup>中，則是假設觀測者將太陽影像投影在一

直角座標系統(right-up orthogonal coordinate system)，並且取圖檔正中央為原點，黑子在此座標系統的位置設為(x, y)，單位：pixel。

根據以上所述，我們得到以下這兩個座標系統之間的轉換公式。

$$(x, y) = (location\_x - \frac{\max\_x}{2}, -location\_y + \frac{\max\_y}{2})$$

接著，再換成極座標系統(參照 Data 工作表 O、P、Q、R、S 欄)

$$\rho_1 = \frac{appdiam}{diskdiam} \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\rho = \sin^{-1} \left( \frac{2\rho_1}{appdiam} \right) - \rho_1$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{x}{y} \right)$$

appdiam 是太陽在天球上的視直徑(單位: degree)、diskdiam 是太陽在圖片上的直徑(單位: pixel),  $\rho_1$  是平面上黑子到太陽盤面中心的距離的視角距離(單位: degree),  $\rho$  是黑子在球面上到太陽盤面中心的距離(單位: degree)。  
由於我們所使用的衛星影像, 均已將太陽北點方位角校正為 0, 故設定  $P$  為 0。另外,  $L_0$  也設定為 0, 以計算黑子的絕對經度。計算公式如下:

$$B = \sin^{-1}[\sin(B_0)\cos(\rho) + \cos(B_0)\sin(\rho)\cos(P - \theta)]$$

$$L = \sin^{-1}\left(\frac{\sin(\rho)\sin(P - \theta)}{\cos(B)}\right) + L_0$$

$B$ 、 $L$  即為黑子在太陽上的經緯度。(參照 Calculation 工作表 L、Q、R、S、T 欄和 Data 工作表 M、N)

6. 從圖檔中取得的每一群黑子的編號、觀測時間與日期、選定的黑子中心位置、當日圖檔大小...等數據輸入至 Microsoft Excel 中的工作表(參照 Data 工作表中的 A 欄至 K 欄)。每一筆記錄佔一橫列。第 1 列標記各欄名稱, 由第 2 列開始記錄黑子的資訊。各欄位置放運算式或需要用到的常數與變數, 並且僅在同一橫列中跨欄、跨工作表互相參照運算。如此一來, 即可同時將大量黑子位置, 從圖檔中的直角座標轉換為日面座標系。

### 附件三 請教天文學家的信

#### 一、有關 **SXT** 波段研究過程中，請教網站上的天文學家問題之 e-mail

日期:	Fri, 26 Apr 2002 10:56:12 -0700
寄件者:	"David Alexander" <alexander@lmsal.com>
組織:	LMSAL
收件者:	"ricky322.tw" <ricky322.tw@yahoo.com.tw>
主題:	Re: please tell me...

Hello Ricky,

The complicated name for the image is computer generated and helps us keep tabs on when the image was taken and processed:20011207\_071122\_20011207\_16543 means the image was taken on

7 Dec 2001 (20011207) at 07:11:22 (hours, minutes, seconds) universal time (or Greenwich Mean Time) and was put into our system on 7 Dec 2001 (20011207) at 16:54:03.

As for the changing colors. This is usually just to have a better contrast between faint and bright structures. The images are showing the distribution of X-rays on the Sun and so there is no "real" color (see

[http://www.lmsal.com/YPOP/ProjectionRoom/color\\_samples.html](http://www.lmsal.com/YPOP/ProjectionRoom/color_samples.html))

Hope this helps.

David



#### 二、遍尋不著 2001 年 8 月連續光球層影像的求救信

To whom concerns:

We are the students of Kaohsiung Chung-San Senior High School. We look forward to getting the novel images; the global view of photos for sun, taken by visible from August 01/2001~August 31/2001.Thank you very much.

Sincerely!

Rick

I am sorry, but we do not have any data for your dates easily accessible.

We do have about a month's worth of current solar images on our FTP site at: <ftp://ftp.sunspot.noao.edu/realtime-images/archive/>

#### 三、請問太陽影像去哪裡尋找



作者問:

I need these solar images. I research motive from The New Solar System pages 24s

of this book, figure 18, read the sun from form layer( light ball layer) to inner part, rotate the velocity quicker, whether it is from the light ball layer upward through the chromospheres layer arrive corona of the sun layer of rotate meeting slow?

專家答: [richard@ips.gov.au](mailto:richard@ips.gov.au)

Hi Nicola,

We can only give you a limited number of images.... there is so much data. You will need to tell us which times are important for you.

Best Wishes

Richard Thompson

作者問:

Hi, I'm a student from Taiwan.

Due to my research about sunspot action, It is necessary to analysis images of sun in varied wavelength.

All I need is from Jan to Dec in 2000 or 2001 with interval less than an hour between each images.

Would you tell me how and where to get those images?

Thx for your help.Nicola

專家答: [richard@ips.gov.au](mailto:richard@ips.gov.au)

Hi Nicola,

Thanks for your email. We have Hydrogen Alpha images from Culgoora Solar Observatory. We can give you some images but the data volume is huge. So you would have to specify some particular times of interest.

Best Wishes

Richard Thompson

專家問: [richard@ips.gov.au](mailto:richard@ips.gov.au)

Hi Nicola,

We can only give you a limited number of images.... there is so much data. You will need to tell us which times are important for you.

Best Wishes

Richard Thompson

作者答:

All I need is from April to Dec in 2001 with interval less than an hour between each images.

Thx for your help .

Nicola

專家答: [richard@ips.gov.au](mailto:richard@ips.gov.au)

Hi Nicola,

That is still way to much data to fit onto a CD. We could supply about a day of images on a CD.

Best Wishes

Richard Thompson

作者問:

Hi, I am a senior student from Taiwan.

Because I and classmates approach sun action with many electromagnetic radiation. I want the 2000 year of prime pictures which are hourly. Where is FTP? Entering FTP, need ID password?

Thank you very much!!

專家答: [Hubertus Woehl <hw@kis.uni-freiburg.de>](mailto:Hubertus.Woehl<hw@kis.uni-freiburg.de>)

Here is my first answer:

You may download the available images directly with your WWW-Browser from our institute WWW-pages: [www.kis.uni-freiburg.de](http://www.kis.uni-freiburg.de) or my personal WWW-pages: see below !

There is no password necessary, for non-commercial usage just give a reference to the source. For commercial usage ask about the rights of the images !

I hope this information is useful for you.

Best regards,

H.Woehl.

作者問:

Hi, I'm a student from Taiwan.

Due to my research about sunspot action, It is necessary to analysis images of sun in varied wavelength.

All I need is from Jan to Dec in 2000 or 2001 with interval less than an hour between each images.

Would you tell me how and where to get those images?

Thx for your help.Nicola

專家答: [John Varsik <varsik@bbso.njit.edu>](mailto:John.Varsik<varsik@bbso.njit.edu>)

The FTP site is at: <ftp.bbso.njit.edu>.

The user name is "anonymous". The password is your e-mail address.

The images for 2000 are found in /pub/archive/2000. There is a directory for each day of the year. For example, 15 December is located at:/pub/archive/2000/12/15.



The hourly images are in gzip compressed FITS format.

Best regards, John Varsik

作者問:

I can't found hourly h-alpha images at <http://fits.gsfc.nasa.gov/software.html>.

Please say carefully. Does it belong to the catalog .Thank you very much!!!!

Best regards,

Nicola

專家答: [John Varsik <varsik@bbso.njit.edu>](mailto:varsik@bbso.njit.edu)

Dear Nicola,

I did not say the images were at the Goddard site. Software to read the images is at Goddard. The images are here!

To reiterate:

The images are at <ftp://ftp.bbso.njit.edu/pub/archive/2000> and the directories reachable from there.

The software to read the images is at: <http://fits.gsfc.nasa.gov/software.html>

The FTP site is at: [ftp.bbso.njit.edu](ftp://ftp.bbso.njit.edu). There is also a link to the FTP site on our web page. Click on "FTP-Archive".

If you use a regular FTP client program, the user name is "anonymous".

The password is your e-mail address.

The images for 2000 are found in /pub/archive/2000. There is a directory for each day of the year. For example, 15 December is located at: /pub/archive/2000/12/15.

The hourly images are in gzip compressed FITS format. FITS is a standard file format for astronomical data.

Best regards,

John Varsik

作者問:

Hi, I'm a student from Taiwan.

Due to my research about sunspot action, It is necessary to analysis images of sun in varied wavelength.

All I need is from Jan to Dec in 2000 or 2001 with interval less than an hour between each images. Would you tell me how and where to get those images?

Thx for your help. Nicola

專家答: [Larry Combs <Larry.Combs@noaa.gov>](mailto:Larry.Combs@noaa.gov)

Dear Nicola,

We do not have images of the cadence (interval less than one hour available for your request. I am not sure what observatory would be able to provide that data for

you. You can find images from Jan through Dec 2000 on our web site at [http://sec.noaa.gov/solar\\_images/index.html](http://sec.noaa.gov/solar_images/index.html) that are collected at varied times of day. You might check a few other sites like: The National Solar Observatory at Sacramento Peak, N.M. at <http://www.sunspot.noao.edu/> or The Big Bear Solar Observatory (BBSO) located in Big Bear Lake, Ca. <http://www.bbsso.njit.edu/>

Hope this helps.

Regards

Larry Combs

作者問:

Hi, I'm a student from Taiwan.

Due to my research about sunspot action, It is necessary to analysis images of sun in varied wavelength.

All I need is from Jan to Dec in 2000 or 2001 with interval less than an hour between each images.

Would you tell me how and where to get those images?

Thx for your help.Nicola

專家答: [Luis Sanchez Duarte <lsanchez@esa.nascom.nasa.gov>](mailto:lsanchez@esa.nascom.nasa.gov)

Dear Nicola,

All we have available is a 96 minute cadence of intensity images taken by MDI. These are in FITS format and can be obtained using the SOHO archive interface (see <http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/>).

You are welcome to download them if you think are suitable for what you want to do. If you have any problem with the archive, just let me know.

作者問:

Hi, I'm a student from Taiwan.

Due to my research about sunspot action, It is necessary to analysis images of sun in varied wavelength.

All I need is from Jan to Dec in 2000 or 2001 with interval less than an hour between each images.Would you tell me how and where to get those images?

Thx for your help.Nicola

專家答: [Kirk Borne <borne@rings.gsfc.nasa.gov>](mailto:borne@rings.gsfc.nasa.gov)

Hi Nicola. Look here for solar images :

<http://umbra.nascom.nasa.gov/sdac.html>

<http://www.gong.noao.edu/>

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

<http://www.lmsal.com/solarsites.html>

<http://www-istp.gsfc.nasa.gov/>

Kirk Borne

作者問:

Hi, I am a senior student from Taiwan .

Because I and classmates approach sun action with many electromagnetic radiation. I want the 2000 all year of prime pictures which are hourly. Where is FTP? Entering FTP, need ID or password ?

Thank you very much!!

專家答: [Randy Fear <rf@bbso.njit.edu>](mailto:rf@bbso.njit.edu)

Hi

Sorry I have not gotten back to you until now, I have been out of town for the last two weeks. I am not quite sure what you are asking for. Daily full disk images can be obtained by going to our website <http://www.bbso.njit.edu/> clicking on FTP-Archive then on archive then year, month and day. There are jpeg and gzipped fits format images which can be downloaded. Hourly images are not available for download.

Randy Fear

Big Bear Solar Observatory

四、請教一些有關 ARMaps 的問題



作者問:

Hi !

I get some image from ARMaps Web, but find out there is a little difference between image and sunspot location data.

Would you tell us how do you choose the sunspot center and measure sunspot location in heliographic coordinate system.

THX!

^^

專家答: "barry labonte SRP" <labonbj1@labontes-pc.jhuapl.edu>

To: [cruel\\_blackwing@yahoo.com.tw](mailto:cruel_blackwing@yahoo.com.tw)

The page at

<http://www.solar.ifa.hawaii.edu/ARMaps/armaps.html>

has the explanation of the difference between the sunspot positions in the table and on the plot. The plot is for later in the day, and the Sun has rotated about 9 degrees. We are glad you like our plots.

五、請教有關 K-Line 波段的問題

作者問:

Hello ^^

I'm a student in senior high school from Taiwan.

I have some question....

CaII (K-Line) belongs to Chromospheres or Transition region?

There are some books said that is Chromospheres, but the others said Transition....

Thx for you to read this letter, Wing.

專家答: John Varsik" <varsik@bbso.njit.edu>

What kinds of books are talking about MDI? For example.

Probably the best book about the SOHO MDI is: The SOHO Mission edited by Fleck, Domingo and Poland.

Published by Kluwer in 1995. The same articles appear in Solar Physics Vol. 162.

Is MDI means Michelson Doppler Imager?

Yes.

Is it continuous spectrum image?

The MDI operates in the Ni I 6768 angstrom line. This is a photosphere line, so the images look similar to a continuous spectrum image.

Best regards,

John Varsik

BBSO



作者問:

How could we know the height about K-Line and H-alpha?

thank you very much ^^

Best Wishes,

Wing

專家答: John Varsik" [varsik@bbso.njit.edu](mailto:varsik@bbso.njit.edu)

This is not a simple question. I will try to explain it as simply as possible, but the real details of how spectral lines are formed are very complex.

Inside a star, the radiation is emitted by atoms and reabsorbed.

In a dense high-pressure gas there are processes that work at all wavelengths. If you could measure the spectrum inside the star you would find it to be continuous, with no lines. As the

gas gets less dense as you reach the outside of the star, the processes that work on the continuous spectrum become less effective, and the light can escape to space without being

reabsorbed. We call the region where this happens the photosphere.

Even though these continuous processes are less effective, the light can still be absorbed in the spectral lines.

In other words, the gas is more opaque in the line than in the continuum, and so when the light in the line finally escapes from the star it is coming from a higher altitude than the light in the continuum.

Most of the time, the light from a part of an absorption line is determined only by the local conditions where the light was able to escape to space. This is called "local thermodynamic

equilibrium" or LTE. However, often the conditions elsewhere also play a role in determining when the light can escape.

This is called "non-LTE".

Basically, what we mean by the height of formation of a spectral line is the height at which most of the radiation can escape to space rather than be absorbed and re-emitted. Strictly speaking,

This idea requires LTE. Because there is a transition possible at a given spectral line, the gas is more opaque at the wavelength of the line than at other wavelengths nearby, so the height of formation is higher in the line than in the continuum. In general, the height of formation increases as you go from the continuum to the wings of the line and into the core of the line. The relationship between the height of formation and the wavelength in the line depends on the physics of that particular line.

Some lines are more complicated than others. Most of the weak photospheric lines can be safely treated as LTE. However, in the strong lines non-LTE processes are usually important. In particular the formation of the K line is complex and is non-LTE.

However, detailed numerical models can show that different parts of the K-line are generally formed at different heights in the solar atmosphere, and the inner parts of the line are formed at different heights in the chromospheres. The models also indicate exactly what those heights are.

I hope this is some help. Best regards,

John Varsik

BBSO

作者問:

Hi,

I'm a student in Taiwan.

I have a question...

K-Line and H $\alpha$ , Which is higher on Chromosphere?



And how to know the height?

THX

Best wishes

Wing.

專家答: **Therese Kucera** <[terry.kucera@gsfc.nasa.gov](mailto:terry.kucera@gsfc.nasa.gov)>

Hi.

There is a discussion of the heights shown by the Hydrogen Alpha and Calcium II K lines at

[http://www.sunspot.noao.edu/PR/CaK\\_Ha\\_expl.html](http://www.sunspot.noao.edu/PR/CaK_Ha_expl.html)

Yours truly,

Terry Kucera

SOHO Science Team

六、請教有關 MDI 波段的問題

作者問:

Hi...^^

Can MDI image represent Photosphere?

THX...,Wing.

專家答: **John Varsik** <[varsik@bbso.njit.edu](mailto:varsik@bbso.njit.edu)>

The Ca II K line (393 nm) is a chromospheres line.

The MDI "white light" image is representative of the photosphere.

John Varsik

BBSO

## 評語

- 1.光球層之下的徑向較差自轉為已知的現象，本研究充分應用不同波段的太陽影像，嘗試證明光球層之上也同樣具有相似現象，故相當具有創意。
- 2.研究群對於自己未熟習的新知識，能自動利用網路求助於國內外相關的專家與學者獲得即時解惑。自動自發的研究精神和態度，值得稱道。
- 3.由旋轉機制造成此徑向較差自轉尚有待加強，英文表達能力上有待加強。