

# 火星軌道計算法

## 及其表面色紋變化的分析

何耀坤

臺南市私立光華女中

今年下半年有了火星和地球的大接近，是詳細觀測火星面的難得機會。火星和地球遠離時其運行很慢，但是接近地球時如疾風迅雷，超越群星，又如妖星在夜空亮相。其光度在最遠時二等，接近時達負三等，有一百倍的光度變化。火星在遠方時，於拂曉前在東空，每天向東移動。開始接近地球時，反轉向西逆行，隨時由曉空之星轉為宵空之星。火星接近地球後暫時逆行，不久後轉為順行而慢慢遠離開。火星的運行如此多變，因為其軌道在地球外側，並且為橢圓軌道，在Kepler（1571～1630年德國天文學家）以前是被認為很難計算的。後來Kepler選擇火星為研究對象，導致他發現所謂Kepler三法則。

火星表面的斑紋和色彩變化是很微妙的，其五分之三部分呈紅橙色，其餘部分有淡暗紋，極少部分為白色和黃白色。若按照月球面而推測，淡暗都是海（是無水的旱海），明亮度大的地域是大陸或沙漠，兩極地白色部分稱極冠，暗色斑紋內部黃色或白色部以及稍明亮部分為島或高原。本文後半是根據各種物理觀測結果，分析火星表面的斑紋和色彩變化的原因和臆測，其正確判斷要靠巨大口徑的反射望遠鏡的慎重觀測才能結論，當然最後要等候人登陸後一切能得證明。

### 一、火星軌道的計算法

Kepler用觀測值直接計算火星的軌道，他假設地球軌道為圓形，從地球觀測火星之位置，將一公轉週期為一組，用數組製作火星軌道圖。如圖1，火星在A點，從地球

aA 方向觀測；等火星繞一週軌道後回到 A 點時地球上的在 a' 點，從 a'A 方向觀測。地球上的位置 a 和 a' 兩點能知正確，其觀測值也正確，火星公轉週期也有精密測定。那麼從 a 和 a' 向火星方向畫 aA 和 a'A，求其交點 A 就可得火星的正確位置。Kepler 用同樣方法作圖 B，C，D……最後成功於求算出火星軌道。

火星軌道的黃道夾角為  $1^{\circ}51'$ ，其昇交點在黃經  $49^{\circ}15'$  其正確值可從下式求算。

$$\text{黃道夾角 } i = 1^{\circ}51'0.1''20 - 2.430T + 0.0454T^2$$

$$\text{昇交點黃經 } \Omega = 48^{\circ}47'11''19 + 2775.57T - 0.005T^2 - 0.0192T^3$$

上式中 T 是所需的年為西曆 t 年時，以  $(t-1900.0)/100$  所求的數值。因為火星軌道的橢圓長半徑 a（平均距離）約為 1.52 天文單位，所以實際距離等於  $1.496 \times 10^8 \text{ Km} \times 1.52 = 2279 \times 10^8 \text{ Km}$ 。軌道的離心率 e 是 0.093，正確值如下。

$$e = 0.09331290 + 0.000092064T - 0.000000077T^2$$

e 是橢圓長半徑為 a，短半徑為 b 時，從  $e = \frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a}$  求得。至於橢圓的中心至焦點的距離，從 ae 可求算，如  $ae = 2.279 \times 10^8 \text{ Km} \times 0.09337$ ，是離 2128 萬公里地方有橢圓軌道焦點，太陽是其中一個焦點，所以火星的離心率在各行星中，算是非常大的（表 1）。因此近日點和遠日點的距離差是 ae 之兩倍，等於 4256 萬公里（於地球為 500 萬公里），所以投射火星面的日光量之比為 1:1.45，在近日點比遠日點增加 45%。同時火星的公轉速度，其平均為 24.2 Km/秒，在近日點為 26.6 Km/秒，在遠日點為 22.0 Km/秒，有很大的差。設平均距離時的公轉速度為 V，在近日點和遠日點的公轉速度各為  $V_p$  和  $V_a$ ，

$$\text{那麼 } V_p = V \times \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$$

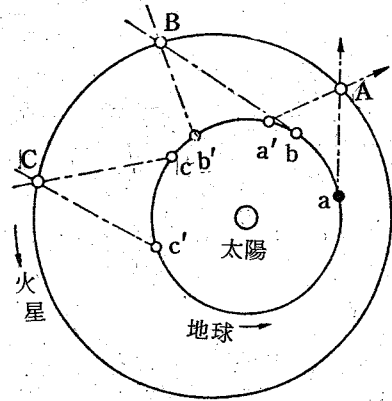


圖 1 火星軌道的作圖

表 1 各行星的離心率

|     |         |     |         |
|-----|---------|-----|---------|
| 水 星 | 0.20563 | 土 星 | 0.05568 |
| 金 星 | 0.00679 | 天王星 | 0.04721 |
| 地 球 | 0.01673 | 海王星 | 0.00857 |
| 火 星 | 0.09337 | 冥王星 | 0.25024 |
| 木 星 | 0.04843 | 月   | 0.05490 |

e 在 0 以上，1.0 以下時為橢圓

e = 1.0 時為拋物線

e 在 1.0 以上時，為雙曲線

$$V_a = V \times \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$$

火星的公轉週期為 687 日，火星和地球一日間各繞太陽的角度如下：

$$\text{火星} \cdots \cdots 360^\circ \div 687 (\text{日}) = 0.^\circ 524$$

$$\text{地球} \cdots \cdots 360^\circ \div 365 (\text{日}) = 0.^\circ 986$$

那麼兩星在一日間的角運動差如下：

$$0.^\circ 986 - 0.^\circ 524 = 0.^\circ 462$$

所以每天地球以此角速後之差而追火星，經  $360^\circ \div 0.^\circ 462 = 779.9 (\text{日})$ ，地球和火星再回到和出發時同一排列，稱會合週期。因此火星每隔 780 日（約二年二個月）週期反覆接近地球，是各行星中週期最長的。正式計算時，設會合週期為  $S$ ，地球和行星的公轉週期各為  $T_A$  和  $T_B$  時，可從下式求算。

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_B}$$

上式是外行星之計算式，若  $T_B$  為內行星的公轉週期時，

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_B} - \frac{1}{T_A}$$

表 2 各行星的會合週期

|     | 公 轉 週 期 | 會 合 週 期   |     | 公 轉 週 期    | 會 合 週 期   |
|-----|---------|-----------|-----|------------|-----------|
| 水 星 | 88 (日)  | 115.9 (日) | 土 星 | 29.40 (年)  | 378.1 (日) |
| 金 星 | 225 (日) | 583.9 (日) | 天王星 | 84.62 (年)  | 369.6 (日) |
| 火 星 | 687 (日) | 779.9 (日) | 海王星 | 165.25 (年) | 367.5 (日) |
| 木 星 | 11 年 86 | 398.9 (日) | 冥王星 | 250.44 (年) | 366.7 (日) |

## 二、火星表面的色紋變化

### 1 火星上的暗色斑紋

#### (1) 暗色部的真相

##### ① 暗色部非海洋

火星暗部沒有水面日光反射，色紋濃度和形色有季節變化。據光譜分析，火星大氣

沒有多量水蒸氣，所以暗部非海洋。

## ② 暗色部是否植物群落

雖然火星表面的斑紋及顏色濃淡有季節變化，相似地球上植物季節變化，但是據紅外線攝影，其斑紋濃厚而鮮明，沒有葉綠素的反射特性。暗色部如果是玄武岩等暗色岩盤，必會被砂塵掩沒，若是低等植物群落，可能會維持半永久的暗色部。據 1948 年 G. P. Kuiper 的火星斑紋光譜觀察，和 B. Lyot 所拍攝的照片比較研究，證明火星暗色部有類似地衣類 Lichen 的反射能。圖 2 中高等植物的反射光的光譜有水和葉綠素的光反射和吸收，但是低等植物有均一反射，和火星暗色部分相似。所以火星上的斑紋部也許是缺乏水分和葉綠素的低等植物所構成。火星上的 Syrtis Major 或 M. Acidalium 等部分，在破曉和黃昏時有許多雲霧產生，也許這些較大的暗紋地方是低濕地帶而有植物群。

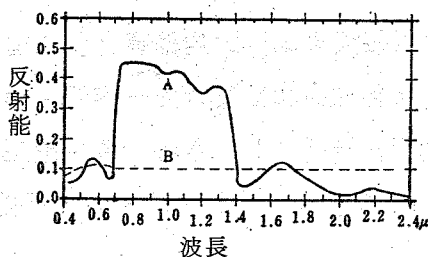


圖 2 比較高等植物（實線）和地衣類（點線）的反射能。

近年來對火星的物理觀測技術進步，尤其光譜觀測很精密，已知火星大氣很乾燥，氧氣只有地球的  $1/1000$  以下，因此火星上有生物之可能性很低。但是根據法國 Lyot 的後繼者 A. Dollfus 的偏光觀測，火星表面的暗紋偏光曲線在春秋季有很大的不同，可能火星上暗紋是由某種微生物所構成。圖 3 的 ○ 是北緯  $45^\circ$  附近的斑紋，● 是赤道附近的。

對這方面，蘇俄於 1947 年設宇宙植物學研究所，用極低溫、低濕度、氣溫激變條件下的植物及微生物生態研究。結論認為地球上的北極海沿岸或帕米爾高原山頂和谷，或撒哈拉沙漠的砂粒上的植物和微生物對環境的適應性相比，火星世界的寒冷、乾燥、稀薄大氣並非困難。在火星世界裏可能有生物雖然具有葉綠素，能吸收自紅外線至綠色光範圍波長能量，又能吸收大氣中水蒸氣並儲貯氧體在體內，所以認為火星上的暗紋由火星特有的高等植物構成（1955 年）。據日本宮本正太郎氏說明，火星上可分暗紋部和明亮部

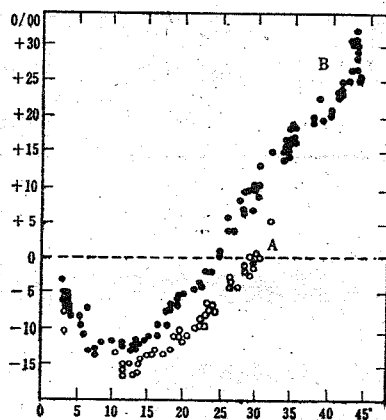


圖 3 火星暗紋部的偏光曲線和季節變化。（A. Dollfus）

如地球上的陸地和海洋。原始地殼冷卻凝固時輕又明色的花崗岩浮上面，重又暗色的玄武岩沈下，前者成陸地，後者成海底。那麼陸地部成高原，岩石風化成沙漠，大洋部分是低凹地而呈暗色。暗色部分低凹地吸收多量太陽能量成溫暖地域，成為適合生物生存的環境，以上問題今後必要從生物學方面更加探討。火星暗紋是否由植物或微生物構成，現在未有可靠的觀測事實能決定。

## (2) 暗紋部的色彩變化

火星世界從冬至春初時呈淡青灰色，春分時北極冠開始溶解，所產生的水蒸氣影響暗紋色彩。屆時極冠周圍出現深黑色環，同時附近斑紋呈綠色，這種綠色化情形漸漸南下，顏色變青綠。到初夏時綠化現象會越過赤道至南半球，暗色部的濃度達最高。入秋後綠色開始變淡，晚秋時呈褐色，冬至時再回復青灰色。（據 P. Lowell, G. Schiaparelli, E.M. Antoniadi）。多年來支持此說的人多，於 1925 年 W.H. Pickering 提出下列修正。火星從冬至春夏間的變色過程如上述，但是到晚夏時花紋褪色呈褐色或青灰色又淡化。過了秋分後綠色很快恢復，晚秋後褪色，冬季變青灰色。Pickering 假設植物說，提所謂極冠交替說如下。因為初夏火星面受北極的水蒸氣和日光，植物生長繁茂呈青綠色。到夏季時北極冠消失前，從極地流出的水蒸氣團越過赤道到南極附近，集積開始形成南極冠。從夏季至秋分間南極急速溶解，火星赤道附近至北半球一帶受強烈日射和乾燥，火星植物呈現夏枯現象。到秋分後就接受從南極冠來的水蒸氣，植物快速恢復。總而言之，火星斑紋的色彩變化極微妙，色彩的正確判斷困難。

## (3) 暗紋部的形狀變化

火星表面暗紋常有形狀和大小之變化，位置也稍有變動，形狀變化有下列四種類型。

### ① 季節變化

是完全的週期性變化，大部分火星上暗紋形狀變化屬於此型。例如阿基達里亞海（M. Acidalius）在春季呈吊鐘形，至夏至變最大，至秋季就收縮成五角形（圖 4），這事實可證明 Pickering 修正說的正確。其他如 Elysium 的變形，湖沼、泉之出沒，濃化，淡化都隨季節變遷而變動。

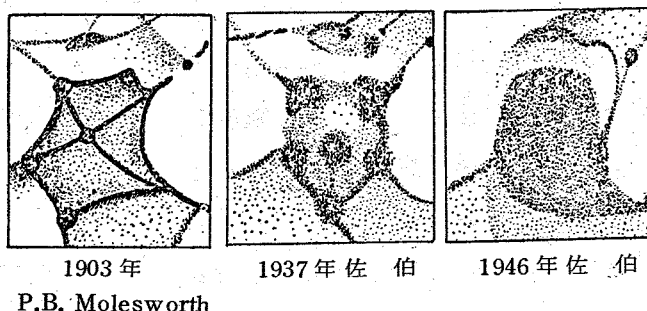


圖 4 阿基達里亞海的變化

### ② 非週期性連續變化

太陽湖 ( Solis Lacus ) 自 1877 年後三十年都呈橢圓形，但是自 1909 至 1911 年間呈瓢形，1913 年後再呈橢圓形，1924 年又呈瓢形，1926 至 1929 年間變曲玉形，1952 年再呈橢圓形，1954 年再呈曲玉形，1956 年至今呈橢圓形 ( 圖 5 )

### ③ 長年變化

1783 年瑪克利灣 ( Mar-garitifera S ) 西北岸有巨腕狀的 Hydaspis Sinus 灣向北突出，其先端伸到尼羅湖 ( Nilacus Lacus )，其後漸漸縮小，於 1909 年完全消失 ( 圖 6 )。又如子午線灣 ( Meridiani S. 又稱 Aryn 鈎甲 ) 又有如圖 7 的變化。

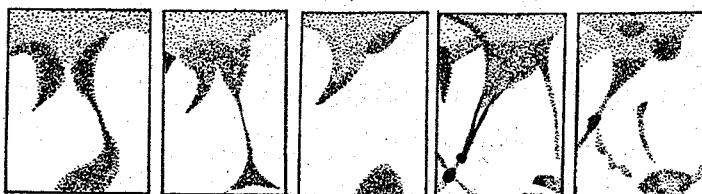
### ④ 突然變化

火星面偶而會出現新斑紋，原斑紋外形突然變化，又消失，或復原的現象，令人感覺火星世界是活的。例如火星面 Pambotic Lacus 湖平常是直徑約 200 公里圓斑，從 1905 年開始變大，到 1907 年變更大又濃 ( 圖 8 )，但二年後完全恢復原狀。又如卡龍三叉路 ( Trivium Charontis ) 的運河北端的大斑點，在 1946 年 2 月突然擴大，面積增兩倍大 ( 圖 9 )，兩年後 ( 1950 年 ) 恢復原狀。另有莫里斯湖 ( Moeris Lacus ) 在 1862 年很大呈不規則狀，但兩年後變橢圓，1873 年時淡化，1909 年時變濃橢圓形 ( 圖 10 )。綜合而言，所謂突然變化現象之中有些可能是雲霧之惡作



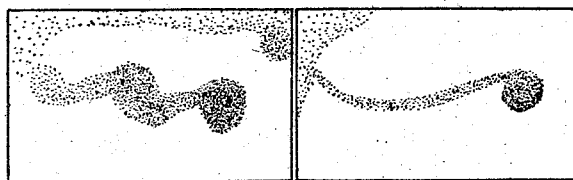
1877 ( Schiaparelli ) 1924 ( Antoniadi ) 1926 ( Antoniadi )

圖 5 太陽湖的變化

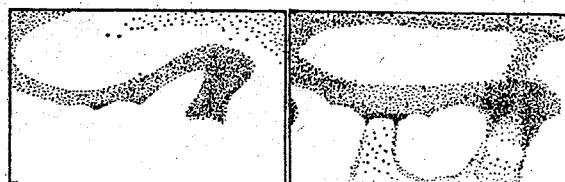


( 1858 年 ) ( 1864 年 ) ( 1905 年 ) ( 1937 年 ) ( 1937 年 )

圖 6 Hydaspis Sinus 的變化



( 1798 年 ) ( 1830 年 )



( 1862 年 ) ( 1909 年 )

圖 7 子午線灣的變化

劇，所以必須要慎重。

## 2 火星上的明斑

火星面的明斑可分為下列四種：

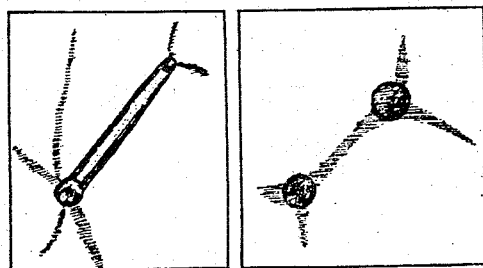
### (1) 沙漠

呈現明亮紅橙色光的火星廣大沙漠地帶，有時被覆黃色雲、白雲和霧，小部分呈橙和黃色，一般而言，這部分少有變化。在火星紅外光譜中有矽化合物的吸收線，可證明是沙漠。

A. Dollfus 曾經詳細觀測火星的沙漠地帶的明度，隨火星中央向周邊移動時的變光情形而求光度曲線(圖11)，發現相似褐鐵礦(Limonite)和針鐵礦(Goethite)。雖然從偏光觀測所得的偏光曲線，和針鐵礦不一致，但是和褐鐵礦細粉沉澱物完全一致。根據以上結果，火星沙漠由含氧化鐵的沙蓋覆是明顯的事實。

### (2) 圓形的大陸

火星面的Hellas，Argure，Elysium，Tempe等圓形白色部稱大陸或高原，平常呈黃白色。到早春和晚秋呈白色，有時反射銳光。火星在天亮時有白輝光，日出後光衰，中午時呈普通的白色，下午後漸漸增白，黃昏時再有白輝光。根據以上現象，火星面的圓形白色部



(1903年4月19日) (1907年7月31日)

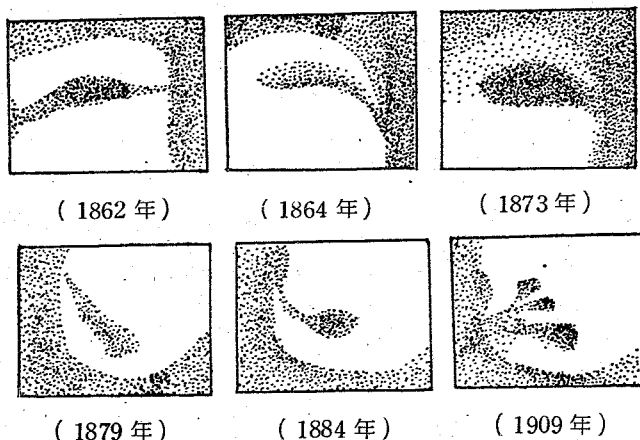
圖8 Pambotis Lacus 湖的變化



1937年6月(火星曆8月下旬)  
花山天文台 31cm 屈折

1946年2月(火星曆4月末)  
山本天文台 46cm 反射

圖9 卡龍三叉路的變化和蠟湖之出現



(1862年)

(1864年)

(1873年)

(1879年)

(1884年)

(1909年)

圖10 莫里斯湖的變化

分可假定為高原。因為高原氣溫低，拂曉和黃昏時有霧和霜，用紅外線觀測也可證明。雲和霜雖然其光輝有差，但是用大型望遠鏡攝影隨時能判別。如此在圓形大陸不斷有雲和霜，但到夏季雲霧消失呈現地面，在陸上有許多斑點和條痕。對這點來說，大陸和大沙漠基本上相同。日本的火星研究家宮本氏推論，大陸群在南半球夏季時會造成低壓帶。根據以上各點而論，火星上的圓形大陸比其他部分寒冷，是高原地帶。

美國加州大學噴射推進研究所的 J.B. Polack 等，利用 1963 年和 1965 年的水手號火星探測機 Mariner IV 接近火星時，作了各部分的雷達觀測，調查

其反射電波的強度隨火星自轉變換情形，和 Sagan 共同發表火星上的暗紋非低窪地，可能是高原的看法並提出如右表 3 數值。如果 Sagan 的新說對的話，從來的想法完全被推翻。Sagan 新說是否對，今後必根據各方面的物理觀測資料慎重考慮。

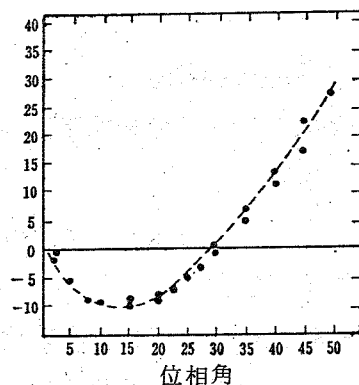
### (3) 白色小斑點

火星面上有白色小斑點並有銳光，以大型望遠鏡可見，最有名是 Nix Atlantica (Nix 是雪原)，其他如 Nix Hesperia, Nix Tanaica, Nix Cydonea, Nix Olympica, Moeris 湖, Nix

Moeris 等。這些白小斑點的特徵是有輝光，位置不變，所以可能是白雪或霜而常存在於特殊地域，這種情形好像非洲的高山頂年中都戴白雪。火星南北極冠溶解時也殘留白斑，可證明極地有高原和臺地。

### (4) 島 (Insula)

阿基達里亞海 (Mare Acidalium) 中部的 Sirennum 海，Cimmerium 海，Sabaens 灣等暗紋內部在夏季突然會出現黃色而明亮的斑點，E.M. Antoniadi 命名為島。假設火



..... 所謂火星沙漠的偏光曲線  
..... 褐鐵礦細粉的偏光曲線

圖 11 火星面明部的偏光曲線

表 3

| 火 星 暗 紋 名 稱       | 斜面的傾斜角        | 高 度  |
|-------------------|---------------|------|
| Deuteronilus      | $> 3^{\circ}$ | 6Km  |
| Niliacus Lacus    | $3^{\circ}$   | 15   |
| Ceraunius         | $> 4^{\circ}$ | 6    |
| Trivium Charontis | $2^{\circ}$   | 5    |
| Nepenthes         | $1^{\circ}$   | 4    |
| Moeris Lacus      | $3^{\circ}$   | 16.5 |
| Syrtis Major      | $4^{\circ}$   | 12   |
| Nodus Laocoontis  | $2^{\circ}$   | 7    |



星面的暗部花紋由植物群構成，那麼低窪地有丘陵地並有火星植物，混生不同種植物。若假設火星暗部斑紋是由暗色系統的岩石和沙構成，那麼島是被強風捲吹的砂塵沉留在低窪地，因此顯出黃斑。

綜合以上分析，火星面的花紋和色彩變化是微妙的，必須要使用大口徑的精良望遠鏡，和熟練人員的觀測，應避免隨便的判斷和臆測。

## 主要參考書籍

1. 佐伯恒夫著：最近の火星觀測（恒星社 1965）。
2. 佐伯恒夫著：火星とその觀測（恒星社）。
3. 火星通信：No 1 ~ 12。
4. C. S. Pittendrigh “Biology and Exploration of MARS” 1966。
5. 長谷川一郎：天體軌道論。
6. 長谷川一郎：天文計算入門。