

金牛 T 型星的發現— 探索恆星與行星的形成

楊哲安

高中自學生

壹、前言

金牛 T 型星(T Tauri stars)是以金牛 T 星(T Tauri)為原型的星種。超過半數的金牛 T 型星都帶有拱星盤(circumstellar disk)，這些帶盤的早期恆星，極有可能是孕育出早期太陽系的第一候選人。天文學家剛開始是因為不規律的亮度變化和強烈的色球譜線(chromospheric lines)、鄰近分子雲(molecular cloud)等特徵而將它們歸類成新的恆星種，在金牛 T 型星被定義的約三十年後，人們才首次拍攝到拱星盤的照片。本文章將重點放在金牛 T 型星分類(star classification)和拱星盤的研究進程，以此來闡述金牛 T 型星在太陽系演化研究中的特殊地位。

貳、金牛 T 型星的分類

一、分類的提出

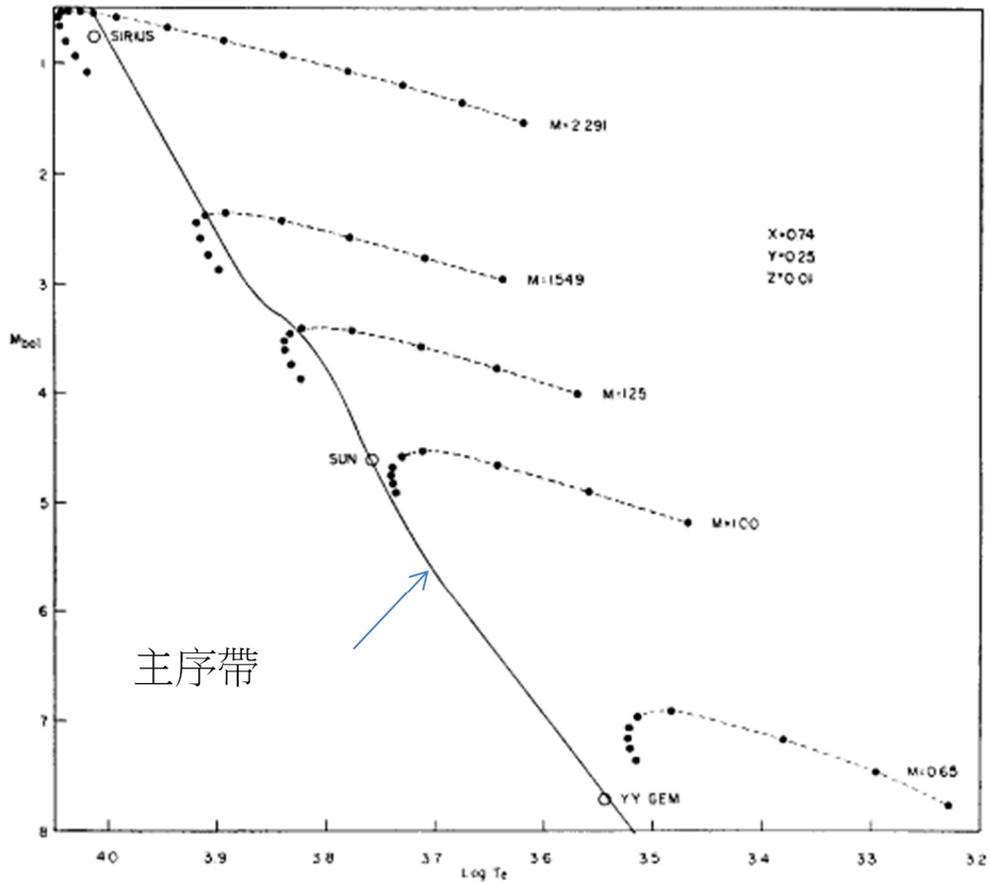
Joy (1945)提出金牛 T 型星代表一群特殊的不規則變星，並以金牛 T 星當作原型星。他針對 11 顆候選星的星等和光譜線進行探討，並歸納金牛 T 型星種具有下列的特性：

1. 不規律的星等變化，約 3 星等差。
2. 光譜種類為 F5-G5，擁有和太陽一樣，類似色球層的發射光譜，並對於 H 和 K 有較強的頻譜。
3. 低光度。
4. 四周會有亮或暗星雲。

新星種的發現引起人們的好奇心，但也帶著許多當時人們無法理解的物理現象。其中最關鍵的觀察是金牛 T 星有著低激發(excitation)和高密度的光譜特質。難道金牛 T 星會是剛誕生的恆星嗎？

二、前主序帶的預測與觀測

1950 年代天文學家開始對早期恆星的形成進行廣泛研究，Henyey 等(1955)嘗試運用理論，預測早期恆星進入主序帶的可能過渡路徑，他依照質量、氫與重元素比例，進行理論推導。他是第一位推導赫羅圖前主序帶曲線的天文學家，他的理論預測早期恆星位於主序帶上方，然後沿著水平方向朝主序帶移動，當要進入主序帶前，會突然下降，進入主序帶(如圖一所示)。

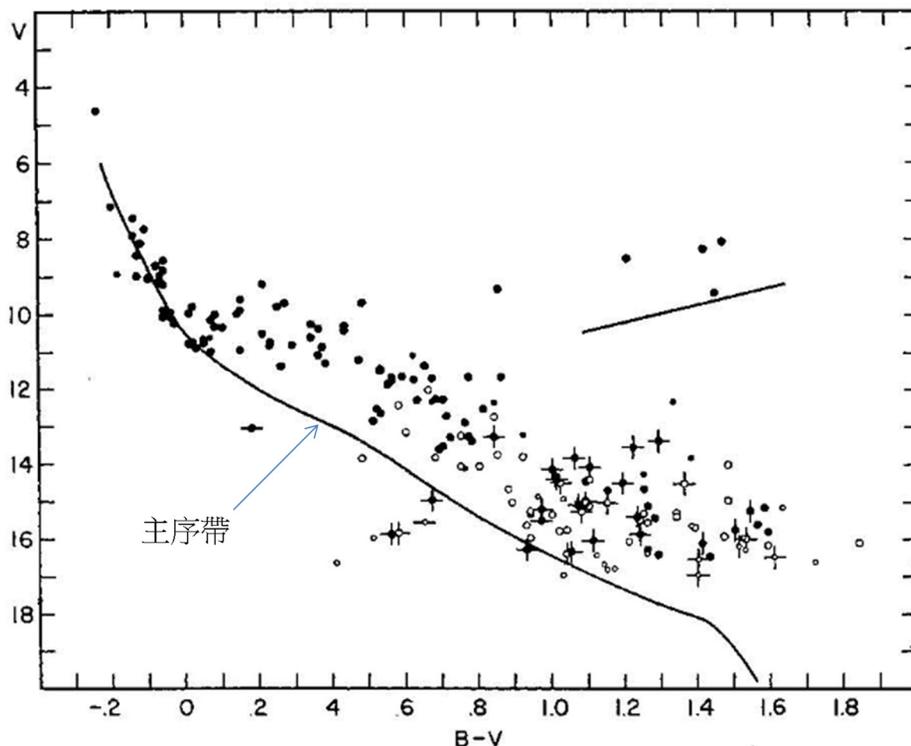


圖一、不同質量的早期星體之理論赫羅圖路徑(Henyey et al., 1955)

Heney 等人的理論很快地就獲得了觀測資料的驗證。Walker(1956)發表了對於年輕星團 NGC 2264 的赫羅圖觀測研究，他的研究是調查星團內 17 星等以上的恆星(如圖二)，被歸類是金牛 T 型星的昏暗恆星，自成一個近似水平序列在恆星主序帶上方，並突然下降進入主序帶，結果完全符合 Heney 的預測。

隨著完整理論與觀測的建立，天文學家開始理解宇宙存在著許多或大或小的早

期恆星，Strom 等(1975)將此類尚未長成恆星的星體稱為初期恆星體(Young Stellar Object, YSO)，其中金牛 T 型星就是質量少於兩倍太陽質量的初期恆星體。受限於當時天文觀測技術，初期恆星體的理論與觀測進展相當緩慢，因此接下來的研究大多集中在推導更完整的前主序帶理論(Hayashi et al., 1962)，或是觀測更完整的赫羅圖曲線，例如 Cohen 與 Kuhn(1979)調查了約五百顆金牛 T 型星。



圖二、年輕星團 NGC 2264 的觀測赫羅圖研究，顯示金牛 T 型星位於主序帶上方(Walker, 1956)

參、拱星盤

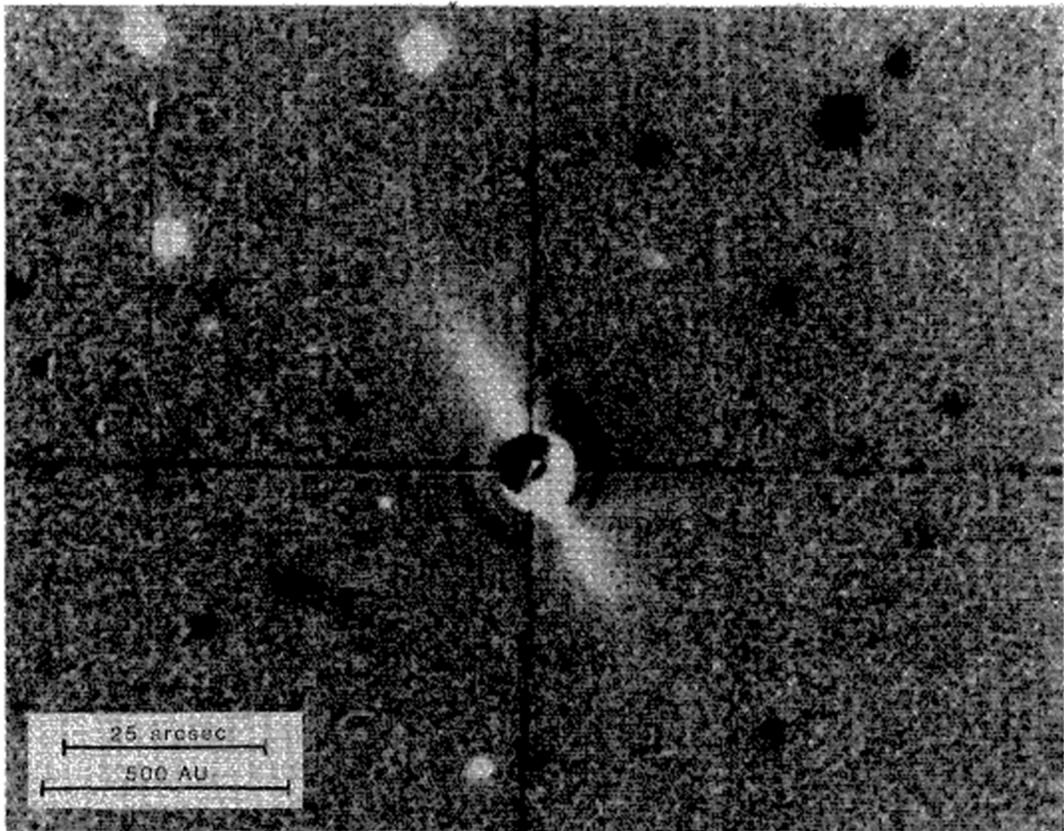
一、拱星盤的理論預測

停頓的初期恆星體研究在 1978 年獲得突破性進展。首先 Schulz 等(1978)觀察到恆星形成區 W3 與 M17 有偏振現象，接著 Elsässer 與 Staude(1978)根據在獵戶座星團的 Becklin-Neugebauer 物體(BN)上觀測到相同偏振現象，進而大膽提出了拱星盤理論，預測初期恆星體(YSO)可能被四周的星塵包圍，星塵構成扁平的盤狀物體，導致部分恆星光線經過時產生偏振現象。

二、拱星盤的實際觀測

這個推測一直未被觀測證實，直到 1984 年 Aumann 等(1984)發表了第一座紅

外線太空望遠鏡 IRAS 觀測的結果，提及到四顆星體極有可能擁有拱星殼層 (circumstellar shell)，並以其中一顆是位於主序帶上的織女一(Alpha Lyrae)為例，因為被偵測到非來自恆星本身過多的紅外線，源頭很可能是恆星四周被加熱的毫米級大小星塵。這個發現引起了 Smith 與 Terrile(1984)的興趣，他們立即使用有日冕儀(Coronagraphy)的地面望遠鏡來觀測其中一顆帶殼的恆星 - 繪架座 β (β Pictoris)，他們拍到了人類第一張恆星的拱星盤(如圖三)，直徑約 400 個天文單位，直接證明了有些恆星四周擁有拱星盤，極有可能孕育出行星，如同我們的太陽系一般。



圖三、人類第一次觀測到擁有拱星盤的年輕恆星(Smith & Terrile, 1984)

隨著拱星盤的存在被證明，同樣擁有過多紅外線的金牛 T 型星也被列為可能擁有拱星盤的星體。2011 年，阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列 (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) 在智利正式啟用，陸續為天文學家拍攝出多張清晰且不同視角的拱星盤。如今天文學家能夠更進一步去研究拱星盤的形成機制。

肆、結論

金牛 T 型星的原型星在 1852 年由 Hind 發現，直到 1945 年才由 Joy 確認為

一特殊星種，並開始引起眾多天文學家從理論預測與實際觀測兩方向進行深入研究。經過多年的努力，天文學家透過前主序帶理論與赫羅圖觀察，確認了金牛 T 型星是質量小於兩個太陽質量的初期恆星體，也因此確認了金牛 T 型星在恆星演化及太陽系形成扮演了重要角色。

隨著望遠鏡觀測技術進步，天文學家已經知道初期恆星體的過多紅外線現象，是來自圍繞它四周拱星盤吸收星體輻射所散發的能量。這種過多紅外線現象也在一些主序帶恆星被觀測到，但它是由恆星的

岩屑盤(debris disk)所造成。岩屑盤是恆星演化後期原行星盤殘留下來的剩餘物，類似於太陽系中的小行星帶(asteroid belt)和古柏帶(Kuiper belt)。

因此正要進入主序帶的金牛 T 型星被賦予了更重要的角色，來探討原行星盤是如何消散成岩屑盤，在這過程中是否已經有行星形成了，亦或是在這之後又會孕育出二代行星？這些恆星與行星演化的秘密，正等著好奇的人們，透過理論推導與實際觀測的工具來一一揭開。

參考文獻

- Aumann, H.H., Gilletti, F.C., Beichman C.A., DE Jong, T., Houck, J.R., Low, F.J., Neugebauer, G., Walker, R.G., & Wesseus, R.R. (1984). Discovery of a Shell around Alpha Lyrae. *The Astrophysical Journal*, 278, L23-L27.
- Cohen, M. & Kuhl, L.V. (1979). Observational Studies of Pre-main-sequence Evolution. *Astrophysical Journal*, 41, 743-843.
- Elsässer, H. & Staude, H.J. (1978). On the Polarization of Young Stellar Objects. *Astron. Astrophys.* 70, L3-L6.
- Hayashi, C., Hoshi, R., Sugimoto, D. (1962). Evolution of the Stars. *Supplement of the Progress of Theoretical Physics*, 22, 1-183.
- Heney L.G., LeLevier, R., & Levée, R.D. (1955). The Early Phase of Stellar Evolution. *Publication of the Astronomical Society of the Pacific*, 67, 396, 154-160.
- Joy, A.H. (1945). T Tauri Variable Stars. *Astrophysical Journal*, 102, 168-195.
- Smith, B.A., Terrile, R.J. (1984). A Circumstellar Disk around β Pictoris. *Science, New Series*, 226, 4681, 1421-1424.
- Schulz, A., Proetel, K., Schmidt, T. (1978). Optical Polarization Measurements in W3 and M17. *Astron. Astrophys.* 64, L13-L15.
- Strom, S.E., Strom, K.M., & Grasdalen, G.L. (1975), Young Stellar Objects and Dark Interstellar Clouds, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 13, 187-216.
- Walker, M.F. (1956). Studies of Extremely Young Clusters. I. NGC 2264. *Astrophysical Journal Supplement*, 2, p.365-387.
- MacGregor, M.A.(2020). A Planet Is Born. *Scientific American* 322, 6, 54-61 (June 2020)