

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2016.z1.01

从 PTF/iPTF 到 ZTF: 简介和 台湾“中央大学”的参与

饶兆聪

(台湾“中央大学”天文研究所, 桃园 32001)

摘要: 简介了在时域天文学内的主要计划——帕洛玛瞬变现象工厂 (Palomar Transient Factory, PTF), iPTF 和下一代的 Zwicky Transient Facility (ZTF) 计划, 它们所使用的望远镜和所配备的 CCD 相机。也简介了台湾“中央大学”在加入 PTF/iPTF 后的一些科学研究和产出, 包括利用 PTF/iPTF 资料对在仙女星系内的超长周期造父变星、疏散星团 NGC663 内的 Be 星和小行星自旋的研究成果。

关键词: 时域天文学; 变星; 小行星

中图分类号: P128 **文献标识码:** A

1 简介帕洛玛瞬变现象工厂

帕洛玛瞬变现象工厂 (Palomar Transient Factory, 简称 PTF) 是一个由加州理工学院 (California Institution of Technology) 所主导的时域巡天计划^[1, 2]。PTF 主要的目标是寻找、侦测和发现不同种类的瞬变现象天体, 这包括了各种类型的超新星爆发。PTF 计划主要的巡天观测是依靠坐落在帕洛玛天文台内的一台 48 寸广角望远镜, 也称为 P48 望远镜。这台望远镜现在配备了一台由 11 片 CCD 所构成的广域相机 (原本是有 12 片 CCD, 但有一片 CCD 在 PTF 计划开始时就已损坏), 所形成的视野 (field-of-view) 大约有 7.3 平方度。而这台相机内每个像素所对应的大小是 1.01"。为了增加每晚的观测效率, 这台相机只配备了 R, g 和 H α 的滤镜, 而每天晚上的观测只使用一片滤镜 (但大部分的观测主要是用 R 滤镜)。同样地为了增加观测效率, 每次曝光的时间大部分时候都设为 60 s。每晚拍摄到的影像都会作出即时的影像处理, 并利用影像对减的方法来寻找和侦测新的瞬变现象天体。而这些新发现的候选瞬变现象天体, PTF 团队将会利用其他在 PTF 网络内的望远镜来作进一步的追踪观测, 以确定这些候选瞬变现象天体的类型。这些望远镜包括了 4 m 到 10 m 级的望远镜 (如帕洛玛天文台内的 P200 望远镜和凯克望远镜) 来做光谱的观测, 以及其他较小的望远镜来做多波段光

通讯作者: 饶兆聪, cngeow@astro.ncu.edu.tw

变曲线的后续追踪观测。这其中以坐落在帕洛玛天文台内的 60 寸望远镜，称为 P60 望远镜，作为主力的后续追踪望远镜。这台 P60 望远镜配备了一般的 $2\,000 \times 4\,000$ CCD 相机，而整台 P60 望远镜的观测完全地自动化^[3]。PTF 从 2009 年到 2012 年的观测资料目前已经公开，但公开的资料只包括从 P48 望远镜所取得的影像资料和相关的目录。图 1 显示了 PTF 所公开在 R 波段的资料。这图显示了 PTF 在第二次的公开资料 (data release 2, DR2) 在 R 波段所观测的天区和观测次数。PTF 对银河系盘面的观测比较少或甚至没有，因为 PTF 初期的主要观测目标是系外的瞬变现象天体。

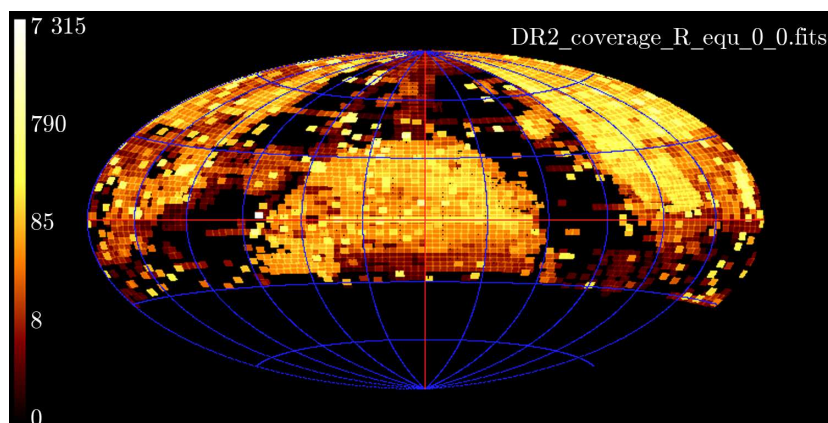


图 1 PTF 在 R 波段的全天覆盖图和每个天区的观测次数^[4]

整个帕洛玛的瞬变现象巡天计划可分为三个阶段。第一个阶段是为期四年 (2009—2012) 而已结束的 PTF 计划。第三个阶段是属于下一代的时域巡天计划，称为 Zwicky Transient Facility (ZTF, 2017—2020+)。而衔接 PTF 与 ZTF 的计划是第二个阶段的 intermediate PTF，也称为 iPTF。PTF 和 iPTF 所使用的望远镜和 CCD 相机，如 P48 和 P60，几乎是一样。所不同的是组成的成员研究机构 (和经费来源) 有些不一样。到了 ZTF 时代，在 P48 望远镜的相机将会被一台更大视野的 CCD 相机所取代。这新一代的大视野相机将会由 16 片 $6\,000 \times 6\,000$ 的 CCD 所构成。为了维持和 PTF/iPTF 一致的影像品质，这些 CCD 的像素将维持在 $1.01''$ ，而所形成的视野将会达到 47 平方度。这台大视野的 CCD 相机将使用和 PTF/iPTF 一样在 R 和 g 波段的滤镜，而影像的读出时间可望达到低于 20 s。至于曝光时间，ZTF 将设为 30 s。结合大视野的 CCD 相机和较短的曝光时间，ZTF 可利用 P48 望远镜在每小时内观测 3 750 平方度的天区，或是 3π 的天空可望在 8 h 内观测完成。这对于时域和时序天文学的研究是不可多得的利器。此外，在 ZTF 时代 P60 望远镜的相机将会由一台低分辨率 ($R \approx 100$) 的 IFU (Integral Field Unit) 光谱仪，称为 SED Machine^[5, 6]，所代替。

PTF/iPTF 计划从 2009 年开始，至今已发表了超过 100 篇的学术论文，也发现了相当多的超新星和瞬变现象天体，以及一些新类型的超新星和瞬变现象天体。比如在 2013 年 Singer 等人^[7]发现了新型而拥有相对论效应的瞬变爆发天体，或是 PTF 第一次观测到爆发后才数小时的 Ia 型超新星 SN2011fe，从而提供了 Ia 型超新星是由碳-氧型白矮星爆发而来的

强力证据^[8]。除了超新星和瞬变现象天体, PTF/iPTF 的时序资料对其他时序天体 (如变星和小行星) 的研究也有相当大的帮助。

2 台湾“中央大学”的参与和初步的科学研究成果

台湾“中央大学”天文研究所在 2012 年经由“探高计划”(计划主持人为天文研究所的叶永焯教授) 加入了 PTF 计划, 并全程参与了 iPTF 计划。台湾“中央大学”天文研究所在 PTF/iPTF 计划内的科学研究目标包括了变星和小行星。第 2 章将简介在这两方面的初步科学研究成果。我们也打算在未来数年即由“探高-II 计划”加入 ZTF 计划。

2.1 寻找在仙女星系内的超长周期造父变星

超长周期造父变星 (ultra-long period Cepheids, 简称 ULPC) 是周期长于 80 d 的造父变星。它们通常都被排除在造父变星周光关系的定义或使用上。但在 2009 年, Bird 等人^[9]提出 ULPC 和一般的造父变星遵循不同的周光关系。而且 ULPC 也比一般的造父变星更亮, 它们或许可以用来提高测量哈勃常数的准确度。为了测试 ULPC 在测量星系距离上的应用, 我们利用 PTF 的资料来寻找仙女星系内的 ULPC, 并找到 8 颗 ULPC 的候选星。之后我们使用 P60 望远镜和鹿林天文台的 1 m 望远镜来对这些候选星做 VI 波段的后续观测, 从而确定只有两颗候选星是 ULPC。对这两颗 ULPC 的分析我们发现, ULPC 并非理想的“标准烛光”, 所以它们不是用来测量哈勃常数的理想方法。我们在这方面的研究经已发表, 细节可参考 Ngeow 等人的文章^[10]。

2.2 寻找在疏散星团 NGC 663 内的 Be 星

因为在疏散星团内的成员星都有相同的年龄, 我们可利用在疏散星团内的 Be 星来研究 Be 星的年龄分布。因为 Be 星会有 H α 的发射线, 我们可利用 PTF 的 H α 资料来寻找它们。我们先用一个年轻的疏散星团 NGC 663 来寻找在这星团内的 Be 星。除了 PTF 的 H α 资料, 我们也结合其它不同的资料, 如 2MASS 和 PPMXL, 来确定所寻找到的 Be 星是属于 NGC 663 的成员星。我们除了能够找到已知在 NGC 663 内的 Be 星外, 也找到 4 颗新的 Be 星。这部分工作的细节可参考文献[11]。

2.3 寻找超快速自旋小行星和小行星自旋的研究

因为“瓦砾堆”结构的关系, 直径大于 150 m 的小行星都会有大约 2.2 h 的自旋周期下限。利用 PTF/iPTF 的时序资料和后续的观测, 我们的团队发现了第二颗自旋周期比 2.2 h 下限还要快的小行星^[12]。这类小行星被称为超快速自旋小行星, 而找到的这第二颗超快速自旋小行星的自旋周期和直径分别为 1.29 h 和约 0.6 m。这发现证明了并非所有的小行星都属于“瓦砾堆”的结构, 因而对了解小行星的内部结构有很大的帮助。此外, 利用在 PTF/iPTF 资料内已知的小行星, 我们也分析了大约 300 颗小行星的自旋周期分布。我们分析的结果显示小行星的自旋周期分布并非如预测般会偏离麦斯威尔 (Maxwellian) 分布 (如因为 YORP 效应), 而是类似麦斯威尔的分布^[13]。

3 总结和展望

未来的数年将会是时域天文学的黄金年代。在南半球有 LSST (Large Synoptic Survey Telescope) 约于 2020 年开始常规的巡天观测，而在北半球类似 LSST 的巡天计划将会是 ZTF。这对时域天文学的研究将会是个非常重要的里程碑。值得一提的是重力波源，如刚发现的 GW150914^[14]，须有在可见光波段内的后续追踪观测以了解他们的特性，而像 LSST 和 ZTF 这类大视野的时域巡天计划将会是对重力波源研究的一大利器。

参考文献：

- [1] Law N M, Kulkarni S R, Dekany R G, et al. *PASP*, 2009, 121: 1395
- [2] Rau A, Kulkarni S R, Law N M, et al. *PASP*, 2009, 121: 1334
- [3] Cenko S B, Fox D B, Moon D S, et al. *PASP*, 2006, 118: 1396
- [4] <http://www.ptf.caltech.edu/>
- [5] Ben-Ami S, Konidaris N, Quimby R, et al. *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV. Proceedings of the SPIE*, 2012, 8446: 844686
- [6] Ritter A, Ngeow C C, Konidaris N, et al. *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 2014, 43: 209
- [7] Singer L P, Cenko S B, Kasliwal M M, et al. *ApJL*, 2013, 776: L34
- [8] Nugent P E, Sullivan M, Cenko S B, et al. *Nature*, 2011, 480: 344
- [9] Bird J C, Stanek K Z, Prieto J L. *ApJ*, 2009, 695: 874
- [10] Ngeow C C, Lee C H, Yang T C, et al. *AJ*, 2015, 149: 66
- [11] Yu P C, Lin C C, Chen W P, et al. *AJ*, 2015, 149: 43
- [12] Chang C K, Waszczak A, Lin H W, et al. *ApJL*, 2014, 791: L35
- [13] Chang C K, Ip W H, Lin H W, et al. *ApJ*, 2014, 788: 17
- [14] The LIGO Scientific Collaboration & the Virgo Collaboration, arXiv:1602.03840, 2016

From PTF/iPTF to ZTF—An Introduction and Involvement of the “Central University”

NGEOW Chow-Choong

(Graduate Institution of Astronomy, “Central University”, Taoyuan 32001)

Abstract: The Palomar Transient Factory (PTF, 2009—2012) and the intermediate Palomar Transient Factory (iPTF, 2013—2016), are dedicated wide-field synoptic sky survey projects that utilizes the fully robotic 48-inch Schmidt telescope (also known as the P48 Telescope) located at the Palomar Observatory (CA, USA). A wide-field mosaic camera, consists of twelve

2 000 × 4 000 CCDs (however, one of the CCD is out-of-function), is equipped on P48 for the surveys carried out by both PTF and iPTF. These CCDs have a pixel scale of 1.01 arc-second per pixel, together with wide-field capability of P48 Telescope, providing a total field-of-view (FOV) of about 7.26 degree-squared for a single PTF/iPTF image. Nominal exposure time for PTF/iPTF images is 60 seconds, with majority of them observed in R-band, as well as in the g-band and H-alpha filters, that can reach to a depth of 20.5 mag (in R-band with a 3- σ detection). PTF and iPTF data was reduced and processed independently with a transient detection pipeline (aimed for quick discovery of transients) and a dedicated automatic data reduction and calibration pipeline hosted at the Infrared Processing and Analysis Center (IPAC). The main goals for PTF and iPTF include the detections of transients (such as supernovae) in the local Universe and pursue for new discoveries with dedicated and well-designed experiments, hence the cadence carried out in PTF and iPTF varies from 90 seconds to few days. Time-series data from PTF and iPTF not only has been used for the search of transients, but also in the studies of other time-domain phenomena such as variable stars and asteroids. Successor of PTF/iPTF project is the Zwicky Transient Facility (ZTF, 2017—2020+), at which a new ultra wide-field CCD (with FOV of ~ 47 degree-squared) will be installed on the P48. Together with a new fast-readout controller, the 3π sky can be scanned in 8 hours with ZTF.

Since 2012, the Graduate Institution of Astronomy at Taiwan “Central University” (IANCU) has joined and participated in PTF/iPTF under the TANGO Project, and anticipated to join the ZTF under the TANGO-II. Our scientific interests within the PTF/iPTF/ZTF Consortium include studies of asteroids and variable stars. In this work, we provide an introduction and overview of the PTF/iPTF and ZTF Projects, as well as present several scientific highlights, based on the work carried out at IANCU, by using the PTF/iPTF data.

Key words: time-domain astronomy, variables stars, asteroids