

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2016.z1.03

TAOSII 进展及光变曲线的资料库建立

黄钟凯^{1,2}, 张智威², 金大元², 王祥宇²

(1. 台湾“中央大学”天文研究所, 桃园 32001; 2. 台湾“中央研究院”天文及天文物理研究所, 台北 11529)

摘要: 海王星外自动掩星普查计划 (Transneptunian Automated Occultation Survey, TAOSII) 为搜寻柯伊伯带天体 (Kuiper Belt Objects, KBOs) 的掩星计划, 将会于墨西哥国家天文台建造三座 1.3 m 望远镜来探索这类天体。KBOs 密度低且距离远, 发生掩星几率低, 因此在仪器上使用了广角相机配上 COMS 的感光元件, 以 20 Hz 频率曝光时, 可同时监控 10 000 颗目标星, 将掩星事件的可观测几率大幅提升。于正式观测开始前, 将利用物理上绕射的原理产生光变曲线, 借此了解各参数, 如: 光谱型态、KBO 尺寸、KBO 远近、亮度等是如何影响光变曲线的起伏, 以帮助我们决定各参数设定的范围。之后再将光变曲线以三个参数宽度、深度和中央上升表示, 制成资料库。目前已制作完成第一个测试资料库, 未来预期将运算最佳化, 以更快的速度建立更完备的资料库。

关键词: 柯伊伯带; 柯伊伯带天体; 掩星; 衍射

中图分类号: P125 **文献标识码:** A

1 引言

柯伊伯带天体 (KBO) 是远在 40 AU 外的天体, 这些天体之所以重要, 是因为它们离太阳系中心较远, 较不易受到内部大质量天体的重力影响, 而保存较久远的太阳系历史。但这些天体因为距离远而且尺寸小, 太阳反射光量也因此较少, 要利用望远镜直接观测不太可行。TAOSII 计划即是利用 3 台望远镜同时捕捉当 KBO 掩盖背景恒星时所产生的绕射阴影, 这个方式能够间接观测到 KBO。对于在 43 AU 上, 0.5 km 直径的 KBO, 当它遮盖住某颗 G0V 光谱型态、视星等为 15 mag 的恒星, 其亮度的变化约是 5%~10% 原始亮度。这少量的亮度变化借由良好的光学系统设计及电子元件转换效率, 即可被探测到。

2 TAOSII 介绍

海王星外自动掩星普查计划 (TAOSII) 为第二代搜寻 KBO 的掩星计划, 预计使用 3 台口

通讯作者: kevinhuang@asiaa.sinica.edu.tw

径皆为 1.3 m 的望远镜，其光学焦距为 $F/4$ ，每单位毫米约为 $40''$ 。3 座望远镜皆会放在墨西哥的 Observatorio Astronomico Nacional (OAN)，此处的晴夜率高，平均每年有 250 d 的晴夜可观测，背景天空亮度够暗，见图 1 a)，V 波段背景深度达 21 mag。电子感光元件 CIS113 由 e2v 公司制作，有极低的暗电流 (5 e/s) 及够快的读取速度 (20 Hz)，每片 CMOS 尺寸为 4608×1920 , $16 \mu\text{m}$ ，在每一台望远镜上将装设 10 片，可用像素可达 80 M，见图 1 b)。

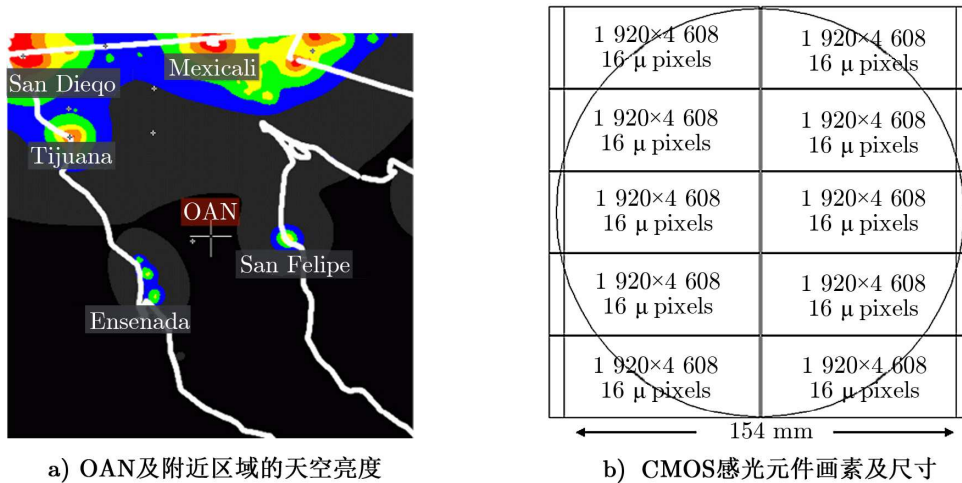


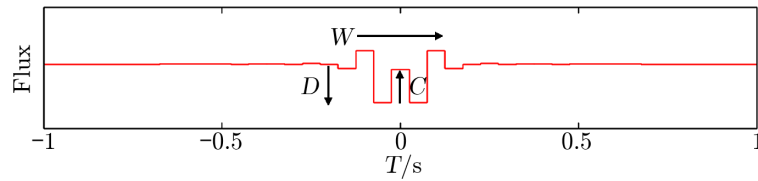
图 1 TAOSII 台址的天空亮度及感光元件

3 搜寻方式

TAOSII 利用掩星的方式搜寻 KBO，且是一种盲掩星 (blind occultation)，我们无法得知事件的发生地点、发生时间、持续时间，以位于 43 AU 上的物体发生掩星时为例，掩星的时间约为 200 ms，为了解如此短的时间内的微小亮度变化，更短的曝光时间是必要的。TAOSII 将以 50 ms 的曝光速度同时搜集大约 10 000 颗恒星的亮度变化，再将这亮度变化的光变曲线量化成 3 个参数：宽度 (W)、深度 (D)、中央上升 (C) (见图 2)，将这三项参数送进建立好的资料库中做匹配 (Matching)，寻找最佳的 KBO 参数。另外，因为 TAOSII 拥有三台望远镜，彼此皆有 100~200 m 的间距，这可有效降低错判率。

如此的分析方式，产生一个庞大且详细资料库就是首要任务，我们使用 Nihei 等人^[1]的公式进行参数修改以符合 TAOSII 的需求，为了方便以下讨论，这里将能够改变光变曲线的参数分三大类：第一类为已知的 (Known)，包含了快门速度、观测日期、所用的滤镜、背景恒星光谱型态、视星等、角距 (elongation)，这类又可拆分为固定参数 (见表 1)，和非固定参数 (见表 2)；第二类是随机的 (Random)，包含 KBO 距离 (a)、KBO 尺寸 (d)、Impact Parameter (b)、Time Offset (o)，这类是无法预测的，是含有 KBO 信息在里头的一类，也是这项计划最大目标；最后一类则是可观测的 (Observable)，即是量化后光变曲线的三个参

数——宽度 (W)、深度 (D)、中央上升 (C)。TAOSII 目标即是要从可观测的 (Observable) 参数回推出这些随机的 (Random) 参数。



注: 光变曲线利用宽度 (W)、深度 (D) 和中央上升 (C) 3 个参数描述。

图 2 光变曲线示意图

表 1 已知的固定参数

| 固定参数 | 设定值 |
|------|--------|
| 快门速度 | 20 Hz |
| 曝光时间 | 0.05 s |
| 滤镜 | 全波段滤镜 |

表 2 已知的非固定参数

| 非固定参数 | 参数范围 | 测试时所使用的参数 |
|-------|-----------|------------------|
| 观测日期 | 一年中每一天 | 春分点 |
| 光谱型态 | F, G, A | G0V |
| 视星等 | 13~16 mag | 15 mag |
| 距角 | 120°~240° | 180°(opposition) |

4 资料库建立

这段将分成三节叙述, 分别为: 了解参数特性、决定参数范围、产生资料库, 可参照图 3。最后我们将产生一个测试资料库。

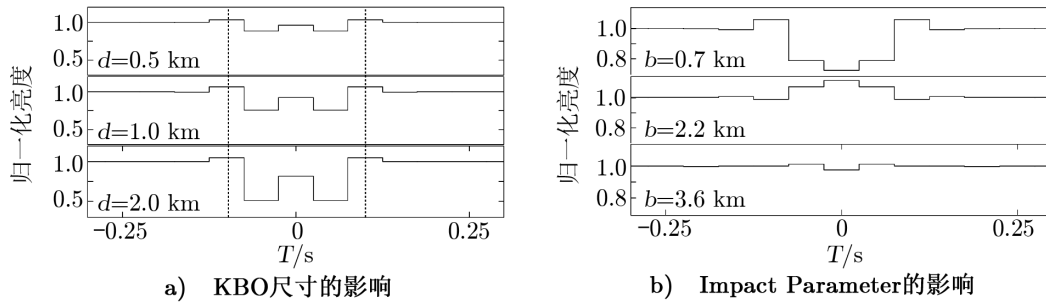


图 3 资料库建立的流程图

4.1 了解参数特性

我们对每一项参数都做了操纵变因的测试, 以便我们知道各项参数是如何影响光变曲线的, 这里列举出随机的 (Random) 参数之中的两项参数: KBO 尺寸 (d) 及 Impact Parameter (b), 展示这两项是如何影响光变曲线的, 见图 4。KBO 尺寸 (d) 会影响掩星的遮挡情形, 尺寸越大的 KBO 遮挡较多, 因此深度较深, 值得注意的是在数个千米的尺度范围内, 其宽度

不怎么变化, 在绕射发生时, Fresnel Scale 提供了一个大小 $F = \sqrt{\lambda a/2}$, 对观测目标 KBO 来说, 距离 a 为 43 AU, 观测波长为 600 nm, F 即是 1.4 km, 也就是在数千米的尺度下光变曲线的宽度 W 大约为定值。另一项参数 Impact Parameter (b) 指的是望远镜在掩星阴影上所划过的线和阴影中心的距离, 在图 4 b) 比较图可看出当 Impact Parameter 越大, 亮度变化也越小, 当 Impact Parameter 大到约为 3.6 km 后, 即几乎无法造成影响。



注: a) 中光变曲线的其他参数为 $g0v$, 43 au, 15 mag, $b = 0$ km, $o = 0$ s; b) 中光变曲线的其他参数为 $g0v$, 43 au, 15 mag, $d = 1$ km, $o = 0$ s。

图 4 KBO 尺寸及 Impact Parameter 影响光变曲线

4.2 决定参数范围

对于每项参数有了了解, 则可开始决定各项参数范围。表 3 给出各项随机参数的范围和范围内取点的数量。

表 3 随机 (Random) 参数之范围

| 随机参数 | 范围 | 参数点数量 |
|------------------|--------------------|-------|
| KBO 直径 | 0.5~30 km | 52 |
| KBO 距离 | 27~1 000 AU | 104 |
| Impact Parameter | -0.5~+0.5 Ω | 41 |
| Time Offset | -0.025~+0.020 s | 10 |

4.3 产生资料库

在正式观测前, TAOSII 预计建立的完整资料库将含 10 000 组光变曲线。这里一组指的是一个光谱型态搭配一星等、一个距角, 加上一个随机的 (Random) 参数范围; 这样的一组, 每个望远镜将有 2×10^6 条光变曲线, 3 台望远镜共有 6×10^6 条光变曲线。目前, 我们已经产生了第一组测试光变曲线, 在未将其参数化前大小约为 40 GB, 参数化后大小可降至 5 GB, 对于产生 10 000 组的光变曲线, 以花费 3 个月以下的时间为考量, 目前还须对公式做些改进。

5 总结与展望

TAOSII 利用 KBO 发生掩星时所产生绕射的光变曲线, 将其量化为 3 个参数宽度 (W)、深度 (D)、中央上升 (C) 后, 来判断 KBO 的尺寸及距离, 将这 3 个参数在建立好的资料库中进行匹配, 越详细的资料库能匹配越好的最佳解。当然, 建立资料库所花费的时间及资料库大小也是需要考虑的。产生资料库之前, 已对各项参数做了个别的分析, 以确定参数的范围及参数点数量。现今第一组资料库已经建立完成并正在测试匹配结果, 之后将对公式做最佳化调整, 预期让整个资料库的建立时间压缩在 3 个月内。而 TAOSII 的第一台望远镜计划在 2016 年年底可供使用, 我们会在这台望远镜上安装测试用的感光元件 CIS107 进行光学系统的测试以及熟悉望远镜和相机操作, 预计 3 台望远镜正式开始运作的时间将会在 2017 年下半年, 在此之前, 建成及完备资料库是一项重大任务。

参考文献:

- [1] Nihei T C, et al. A.J, 2007, 134: 1596

TAOSII Progress and Building the Simulated Light Curves Database

HUANG Chung-Kai^{1,2}, ZHANG Zhi-Wei², KIM Dae-Won², WANG Shiang-Yu²

(1. Graduate Institute of Astronomy, "Central University", Taoyuan 32001; 2. Institute of Astronomy and Astrophysics, "Academia Sinica", Taipei 11529)

Abstract: Transneptunian Automated Occultation Survey (TAOSII) is the cooperation project which is aimed at searching for the small Kuiper Belt Objects (KBOs). Three 1.3-m telescopes is built at Observatorio Astronomico Nacional (OAN) in Mexico to discover these objects in the outer part of solar system. The small KBOs density is low and the distance is far which make the occultation event quite rare. To make detectable event rate become higher, we use a wide field camera with COMS sensor and 20 Hz exposure cadence to observe 10 000 targets simultaneously. Before observation, we follow the diffraction principle to make synthetic light curves database. It helps us to decide that how to set the range and bin size of event parameters. The width, depth and central rise signal of the light curves will be calculated and stored in to the database. Now, we already generated the first testing database. In the future, we are going to optimize the calculation to make more comprehensive database with faster speed.

Key words: kuiper belt; kuiper belt objects; occultation; diffraction