



利用EAS阵列 寻找天体源算法研究

南云程、陈松战

2017-1-17@昆明

中科院高能物理研究所



主要内容

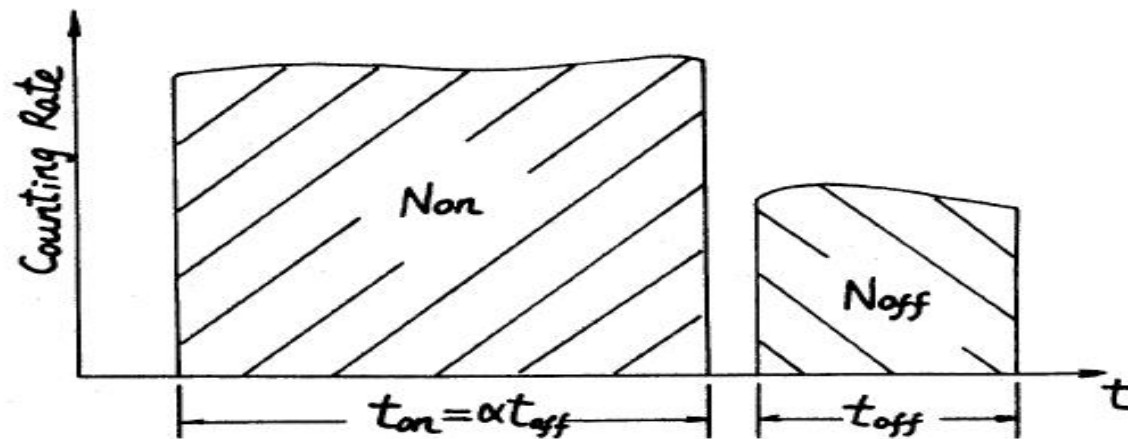
- 研究动机
- 研究方法
- 研究成果
- 总结



■ 研究动机



统计显著性



有源信号的估计值： $N_s = N_{on} - N_b = N_{on} - \alpha N_{off}$;

其中 $\alpha = T_{on}/T_{off}$

N_s 的显著性是有无信号的重要判据！



显著性估计方法-经典法

AS γ , ARGO-YBJ实验

■ 方差估计法：

$$S = \frac{N_{\text{on}} - \alpha N_{\text{off}}}{(N_{\text{on}} + \alpha^2 N_{\text{off}})^{1/2}} \quad (5)\text{或}(9)$$

$$S = \frac{N_{\text{on}} - \alpha N_{\text{off}}}{[\alpha(N_{\text{on}} + N_{\text{off}})]^{1/2}}$$

■ 李马公式(17)：

$$S = 2^{1/2} \left\{ N_{\text{on}} \ln \left[\frac{1 + \alpha}{\alpha} \left(\frac{N_{\text{on}}}{N_{\text{on}} + N_{\text{off}}} \right) \right] + N_{\text{off}} \ln \left[(1 + \alpha) \left(\frac{N_{\text{off}}}{N_{\text{on}} + N_{\text{off}}} \right) \right] \right\}^{1/2}$$

- Ref : APJ , 272:317-314,1983



权重法

■ 方差估计：

$$S = \frac{\sum_i \omega(\text{non}_i - \alpha \text{noff}_i)}{\sqrt{\sum_i \omega^2(\text{non}_i + \alpha^2 \text{noff}_i)}} \qquad S = \frac{\sum_i \omega(\text{non}_i - \alpha \text{noff}_i)}{\sqrt{\sum_i \omega^2 \alpha(\text{non}_i + \text{noff}_i)}}$$

ARGO-YBJ实验

■ 李马公式：

$$S = \sqrt{2} \left\{ N_{\text{on}}^{\text{eff}} \ln \left[\frac{1 + \alpha}{\alpha} \left(\frac{N_{\text{on}}^{\text{eff}}}{N_{\text{on}}^{\text{eff}} + N_{\text{off}}^{\text{eff}}} \right) \right] + N_{\text{off}}^{\text{eff}} \ln \left[(1 + \alpha) \left(\frac{N_{\text{off}}^{\text{eff}}}{N_{\text{on}}^{\text{eff}} + N_{\text{off}}^{\text{eff}}} \right) \right] \right\}^{1/2},$$

$$N_{\text{on}}^{\text{eff}} = \frac{(\sum_i w_{\text{on},i})^2}{\sum_i w_{\text{on},i}^2}, \quad N_{\text{off}}^{\text{eff}} = \frac{(\sum_i w_{\text{off},i})^2}{\sum_i w_{\text{off},i}^2}$$

Milago实验



最大似然法

HAWC 实验

$$P(N; \lambda) = \frac{\lambda^N e^{-\lambda}}{N!}$$

有源: $\lambda = nb + ns \cdot p(\theta)$

无源: $\lambda = nb$

$$\log \mathcal{L}(\vec{\theta} | \vec{N}) = \sum_i^{\text{fbins}} \sum_j^{\text{ROI}} (N_{ij} \log \lambda_{ij} - \lambda_{ij})$$

$$TS = -2(\log \mathcal{L}_0 - \log \mathcal{L}_1)$$

$$S = \sqrt{TS}$$



开方量方法

ARGO-YBJ实验

$$Q^2 = \sum_i^{ROI} \left(\frac{Non_i - \lambda_i}{\sigma_i} \right)^2$$

有源: $\lambda = nb + ns.p(\theta)$, 无源: $\lambda = nb$

$$TS = Q_0^2 - Q_1^2$$

$$S = \sqrt{TS}$$



研究动机

■ 显著性估计的方法：

经典法，权重法，最大似然法，开方量法。

■ 研究动机：

- 检验其准确性及适用条件！
- 比较其优越性！

为LHAASO相关数据分析提供参考！



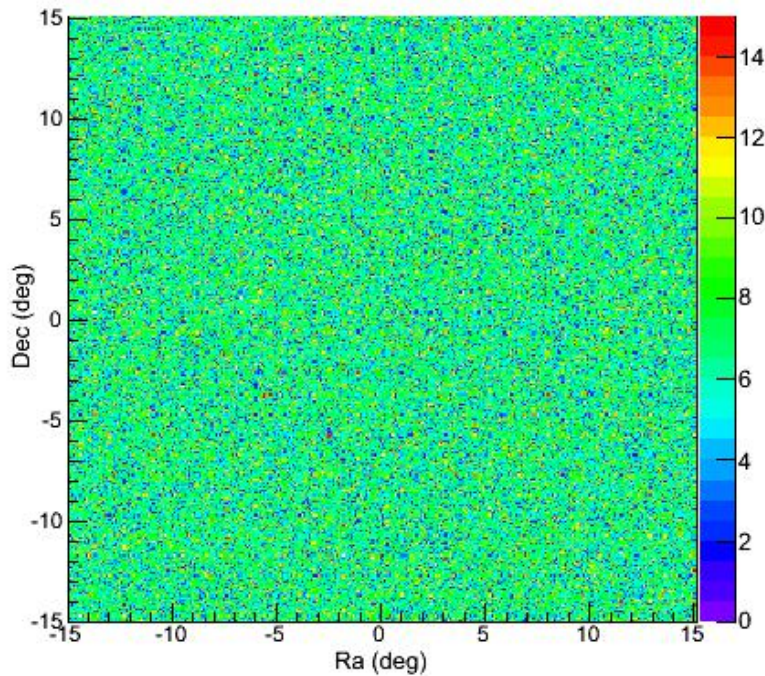
■ 研究方法



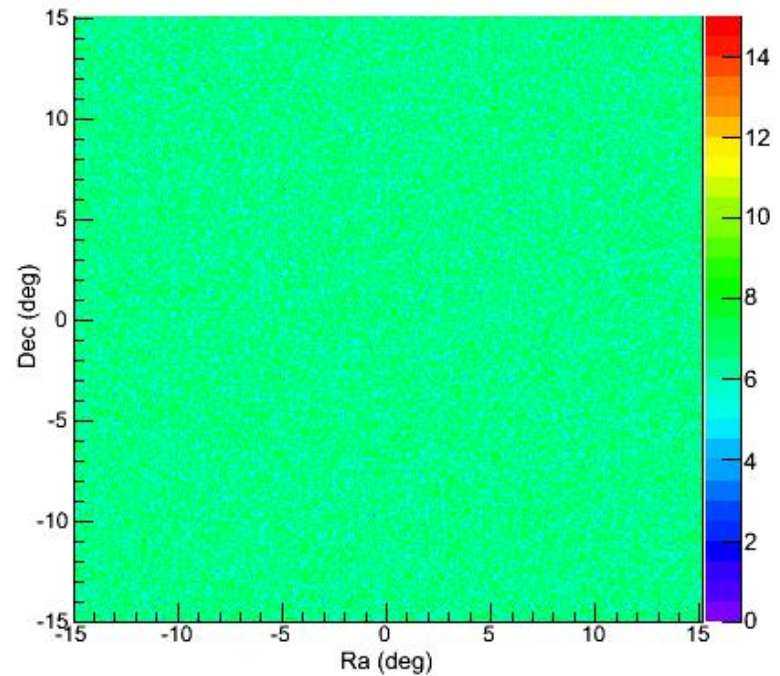
Toy MC模拟

- 使用Toy MC抽样Non和Noff (或Nb) 天图
- 然后计算显著性

Non天图



Nb天图





准确性和优越性估计方法

■ 准确性：

- 方法：Non天图无源，比较S分布与标准正态分布。
- 判断条件：差别 $<20\%$ 。

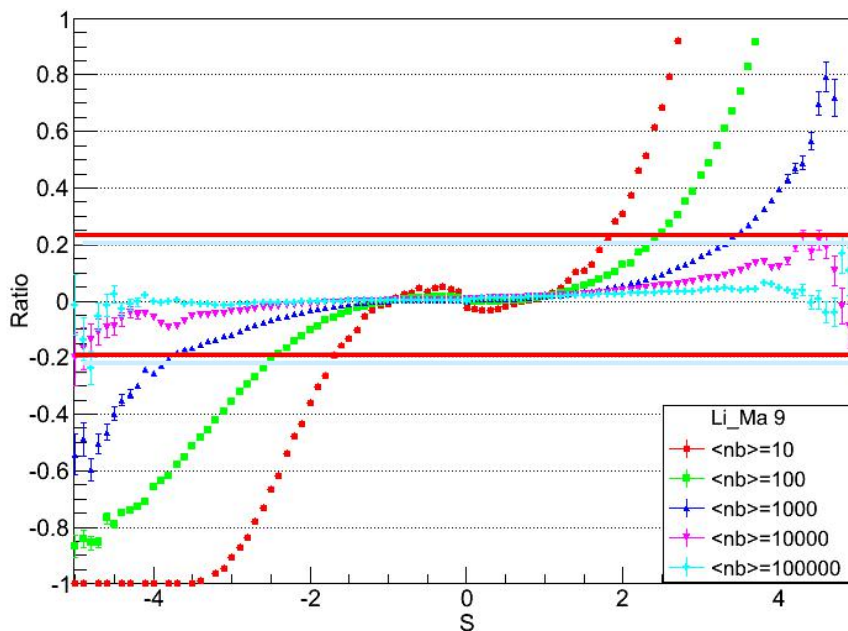
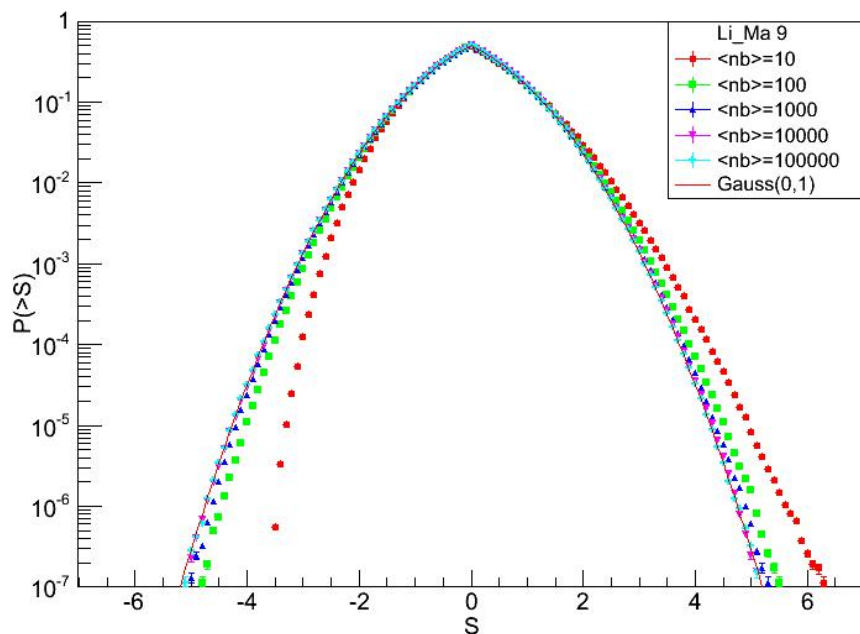
■ 优越性：

- 方法：Non天图加源，比较加源位置处S大小。



准确性估计方法

■ 经典法：公式(9), ($\alpha=0.1$)

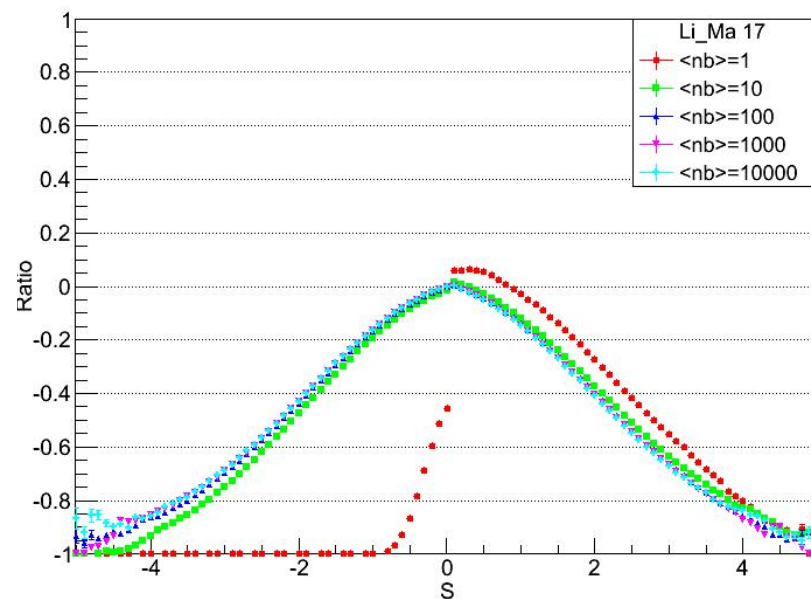
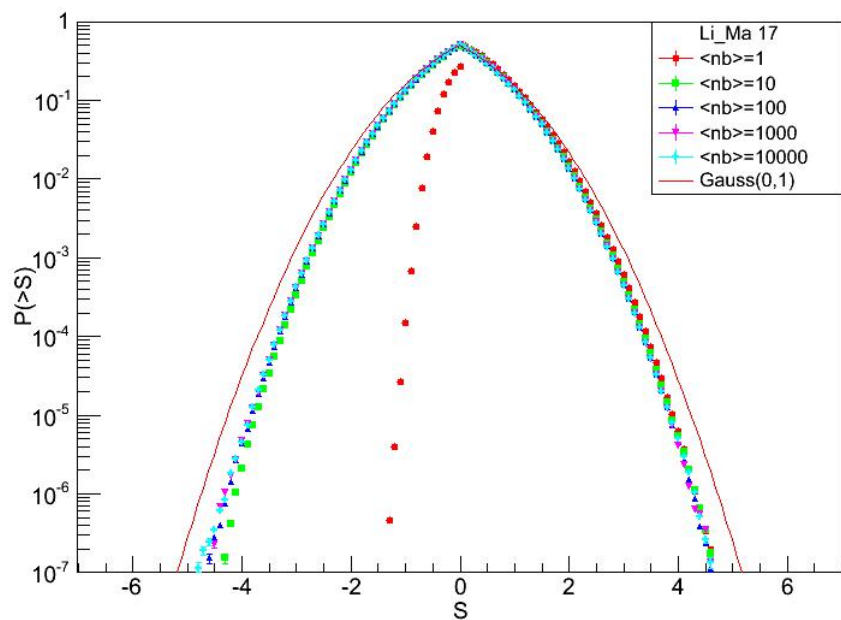


结论：当计算正/负显著性时， $\langle nb \rangle$ 均大于10000；



权重法

- 公式(17), ($\alpha = 0.1$), 高斯权重

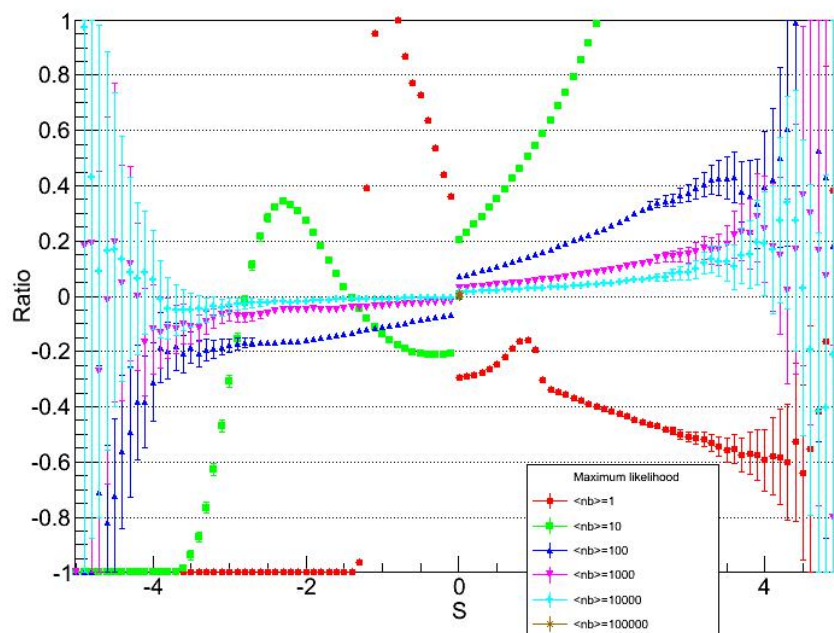
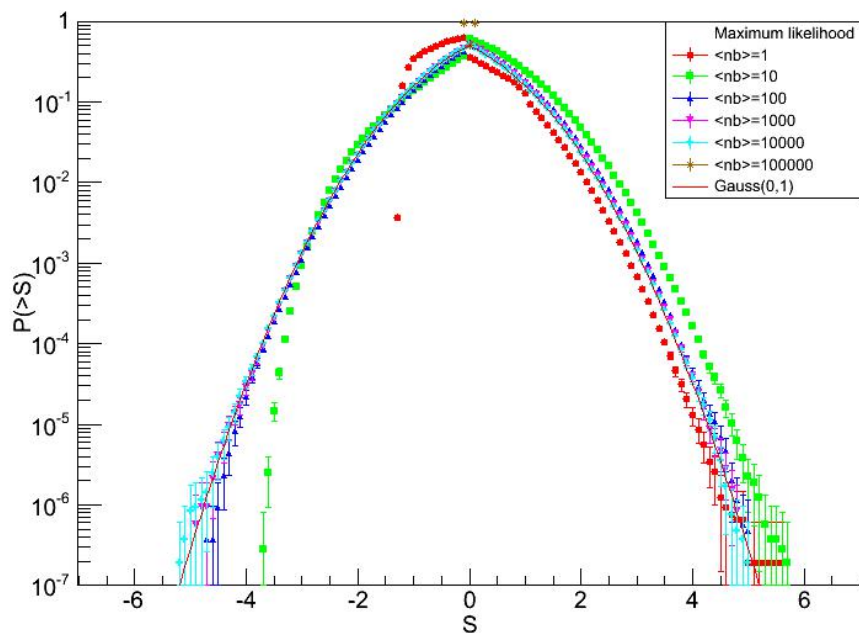


结论：无法直接使用



最大似然法(二维)

■ 其中 $\alpha=0.001$

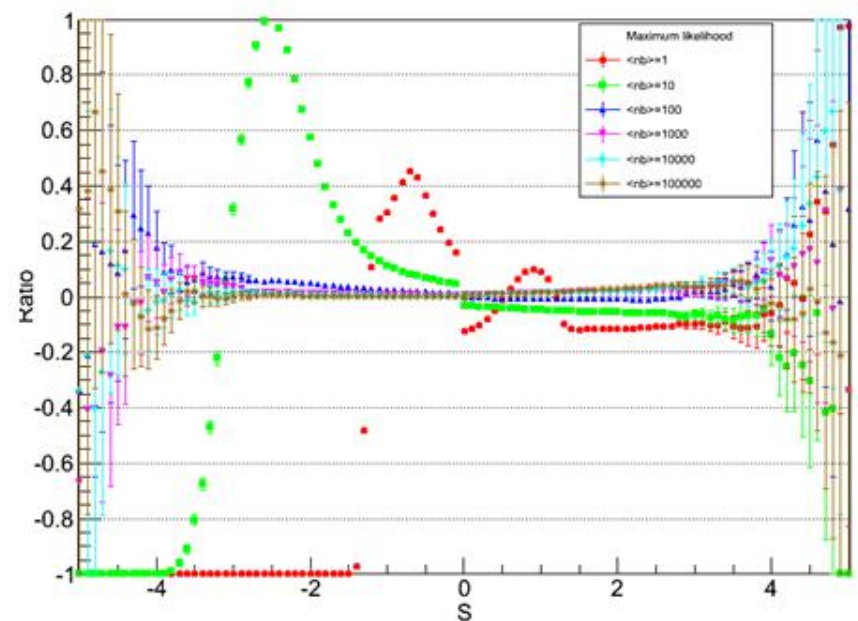
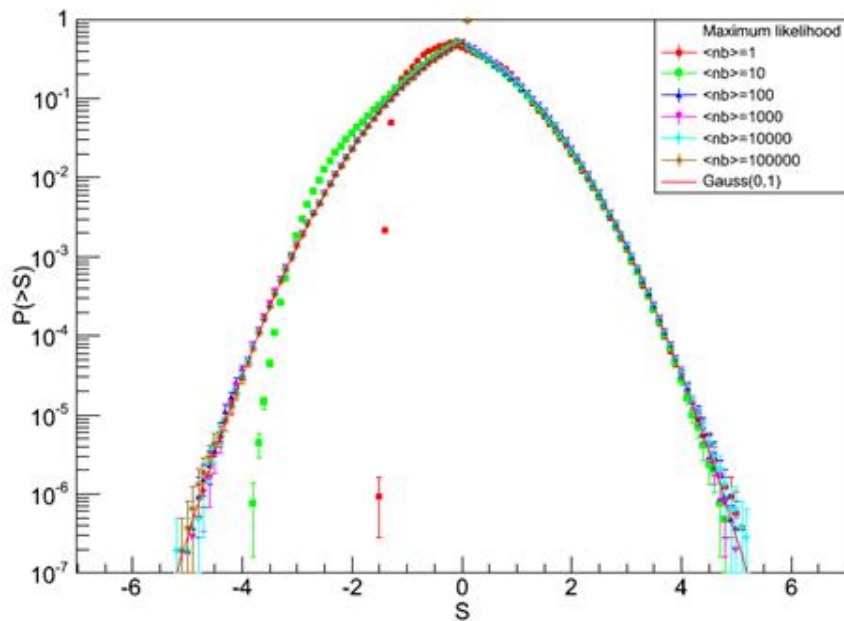


结论：当计算正/负显著性时， $\langle nb \rangle$ 均大于1000！



最大似然法(一维)

■ 其中 $\alpha=0.001$



**结论：当计算正/负显著性时， $\langle nb \rangle$ 分别大于1/100！
明显优于二维结果！**



■ 研究成果

各种方法的使用条件

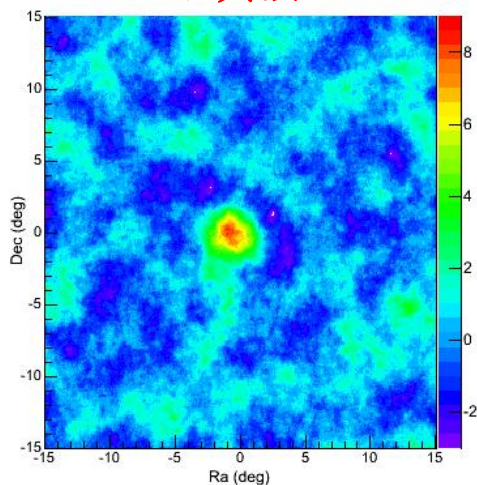
方法	α	说明:	$S < 0, nb$ 范围	$S > 0, nb$ 范围
经典法	0.1/ 0.01/ 0.001	李马公式5	≥ 100000	≥ 10000
		李马公式9	≥ 10000	≥ 10000
		李马公式17	≥ 100	≥ 1 ≥ 10 ≥ 100
权重法		李马公式5	≥ 100000	> 10000
		李马公式9	> 10000	> 10000
		李马公式17	不适用	不适用
最大似然法		2D分bin	不适用 ≥ 100000 ≥ 1000	不适用 ≥ 100000 ≥ 1000
		1D分bin	不适用 ≥ 100 ≥ 100	不适用 ≥ 100 ≥ 1
开方量方法		σ : 李马公式9	> 10000	> 10000



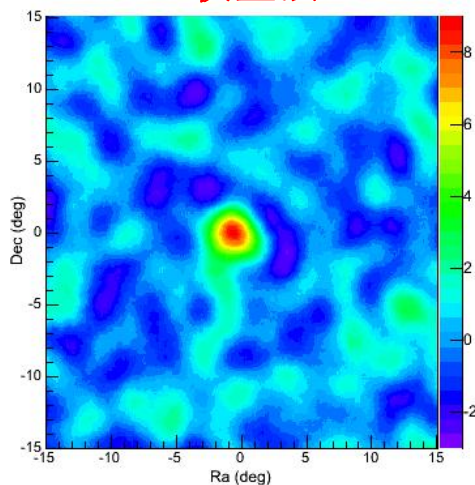
各种方法优越性比较

■ 分别加入辐射源和缺失源，结果如下：

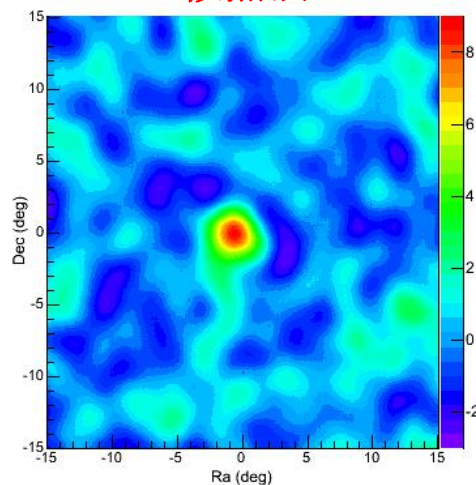
经典法



权重法



似然法



■ 与经典法相比：

- 权重法：提高了约9.7%；
- 最大似然法：提高了约11.0%；
- 开方量方法：提高了约10.8%。

10%



实验数据情况

■ EAS阵列所研究的天体源包括：

辐射源：GRB(秒时标),AGN(天时标),
Binary(天,月,年时标),
SNR(稳定源),
PWN(稳定源).

缺失源：日影和月影(年,月时标).

Nb范围:
 $1 \sim > 10^8$



应用

显著性估计

- 在背景数比较少时：如GRB

经典法李马公式：准确、使用方便！

一维最大似然法：显著性略高，但需 $N_b > 100$, $\alpha \ll 0.1$ ！

- 在背景数比较多时 (> 10000) :

权重法：使用方便

开方量法

最大似然法 (需 $\alpha \ll 0.1$)

当需拟合源的扩展度时

- 一维最大似然法、开方量法！



总结

- 检验了各种显著性估计方法，发现Milagro采用的加权方法无法直接使用，明确给出各种显著性估计方法的适用条件。
- HAWC目前采用的最大似然法需 $\alpha \ll 0.1$ ，提出了改进措施，提高其适用范围。
- 针对不同天体源，给出了算法推荐。