



# 低色球矢量磁场测量

报告人：白先勇

合作者：邓元勇、苏江涛、腾飞

# 提纲

- 研究背景
- 仪器简介
- 定标方法
- 数据处理
- 结论讨论

# 一、研究背景

- 上个世纪，基于塞曼效应的光球磁场测量技术(光谱和滤光器型磁像仪)和反演方法(辐射转移方程的数值解和解析解)逐步发展成熟
- 色球的偏振测量技术和反演方法还是一个难题(测量原理：塞曼+汉勒效应、弱偏振信号的测量、非局部热动平衡下的反演方法等)
- 已开展的色球矢量磁场观测
  1. 低色球(Na D1 589.6 nm 和 Mg b2 517.3 nm)
  2. 高色球(He I 1083.0 nm)

## 二、仪器简介

### 三通道磁像仪

	Mg I	Fe I	Fe I
线心波长 (nm)	517.3 (低色球)	524.7 (光球)	525.0 (光球)
半宽 (nm)	0.010	0.005	0.005
朗德因子	1.75	2	3
视场	3.2' × 3.2'		
像元分辨率	0.1875" × 0.1875"		

# 三、定标方法

## 滤光器型磁像仪磁场测量定标方法对比

方法	理论定标 <i>Ai G.X. (1982)</i> <i>Hagyard (1988)</i>	速度场定标 <i>Wang J.X. (1985)</i>	经验定标 <i>Jefferies (1989)</i>	非线性最小二乘拟合定标 <i>Su J.T.(2004)</i>	交叉定标 <i>Berger(2002)</i>	Look-up Table <i>Liu Y. (2002)</i>	有限点反演方法 <i>Borrero (2010)</i>
纵场	是	是	是	是	是	是	是
横场	是	否	否	是	否	否	是
区别	固定位置，弱场近似，线性定标						反演矢量磁场

# 定标方法之517.3 nm谱线研究

- Pablo (1988) 给出谱线的原子模型
- Lites (1988) 利用非局部热动平衡下的解析解反演Stokes光谱，反演出狭缝的矢量磁场，认为两条或多条色球谱线同时反演比一条谱线反演矢量磁场更准确
- Qu (1997) 提出基于数值解逐层反演的方法，可以得到三维磁场形态
- Briand (2001) 给出Stokes参量的强度图和纵向磁图，结论为Stokes各个参量都有明显的偏振信号，遗憾的是没有对线偏振进行分析
- Deng (2012) 基于光谱仪型磁像仪数据反演出矢量磁场

# 定标方法之解析解

连续谱源函数:  $S_C = B_\nu(\tau) = B_0(1 + \beta_0\tau)$

吸收线源函数:  $S_L = B_0(1 + \beta_0\tau) + Ae^{-\alpha\tau}$  色球温度上升

$$I = B_0 + A + \mu B_0 \beta_0 (\eta_I + 1) [(\eta_I + 1)^2 + d] / \Delta - A \alpha \mu (\eta'_I + 1) [(\eta'_I + 1)^2 + d] / \Delta'$$

$$Q = -\mu B_0 \beta_0 [(\eta_I + 1)^2 \eta_Q + (\eta_I + 1)(\rho_U \eta_V - \rho_V \eta_U) + R \rho_Q] / \Delta$$

$$+ A \alpha \mu [(\eta'_I + 1)^2 \eta_Q + (\eta'_I + 1)(\rho_U \eta_V - \rho_V \eta_U) + R \rho_Q] / \Delta'$$

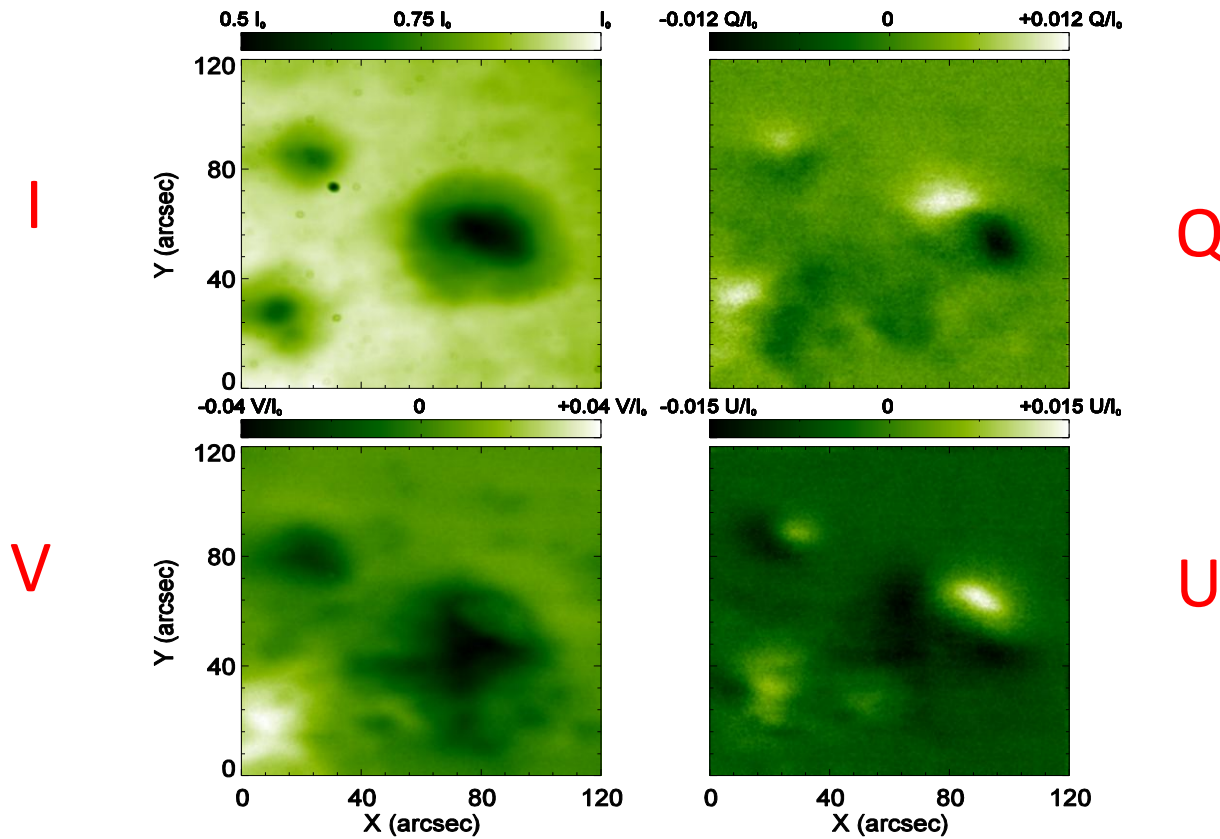
$$U = -\mu B_0 \beta_0 [(\eta_I + 1)^2 \eta_U + (\eta_I + 1)(\rho_V \eta_Q - \rho_Q \eta_V) + R \rho_U] / \Delta$$

$$+ A \alpha \mu [(\eta'_I + 1)^2 \eta_U + (\eta'_I + 1)(\rho_V \eta_Q - \rho_Q \eta_V) + R \rho_U] / \Delta'$$

$$V = -\mu B_0 \beta_0 [(\eta_I + 1)^2 \eta_V + R \rho_V] / \Delta + A \alpha \mu [(\eta'_I + 1)^2 \eta_V + R \rho_V] / \Delta'$$

目前517.3 nm主要用于活动区观测，反演时不需要考虑汉勒效应

# 三、数据处理



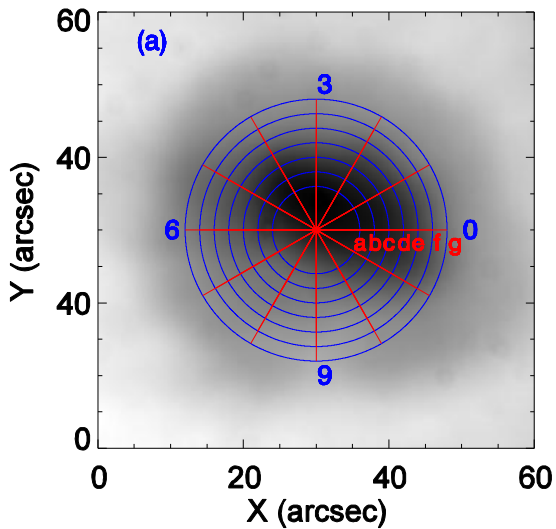
NOAA11117

波带位置:  $-0.012 \text{ nm}$

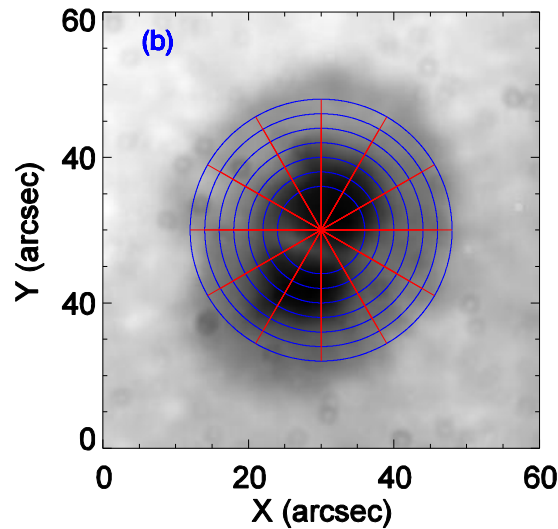
扫描范围,  $-0.02 \text{ nm}$ 至 $+0.02 \text{ nm}$ , 步长 $0.001 \text{ nm}$ , 共40个点



# 数据处理之样本



NOAA 11117

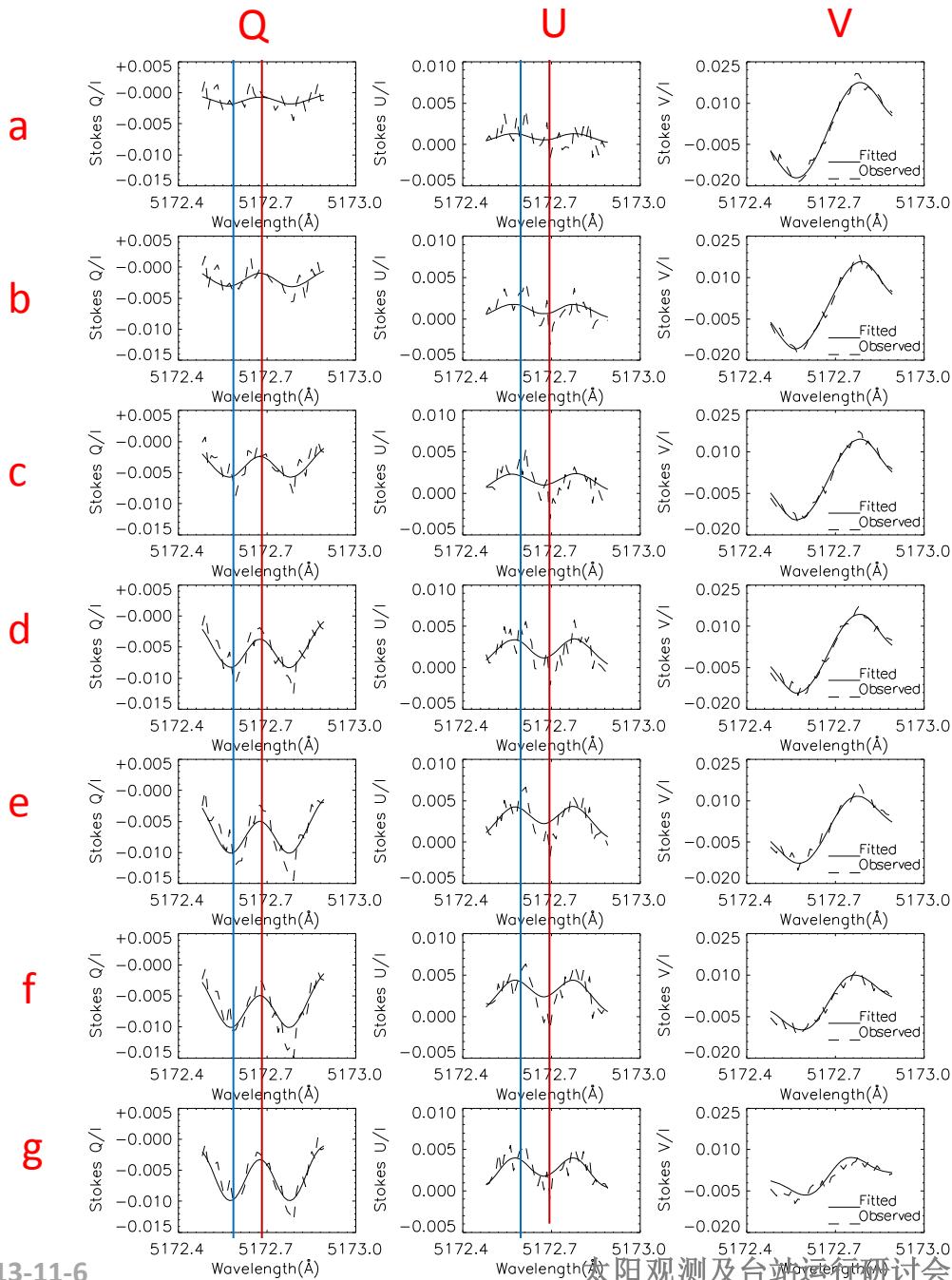


NOAA 11236

$$12 \times 7 \times 2 = 168$$

光谱点: 40

样本: 168



# 拟合的结果

(辐射线0上的7个点)

实线：拟合值

虚线：观测值

红色竖线：线心

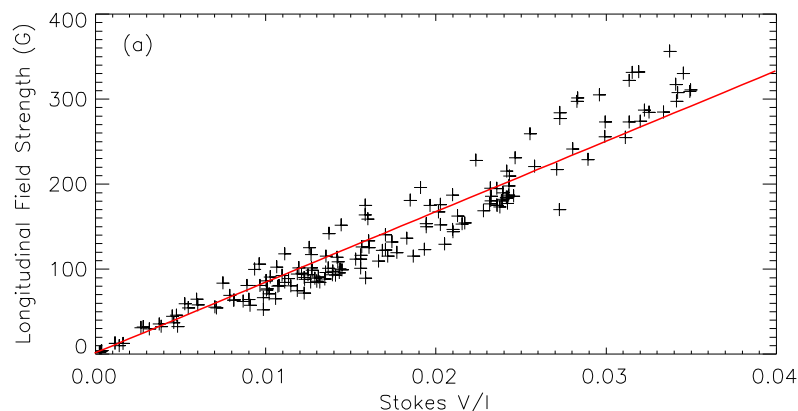
蓝色竖线：-0.012nm

线偏振在线心比较弱

线偏振灵敏点在线翼

# 数据处理之定标系数

纵场强度

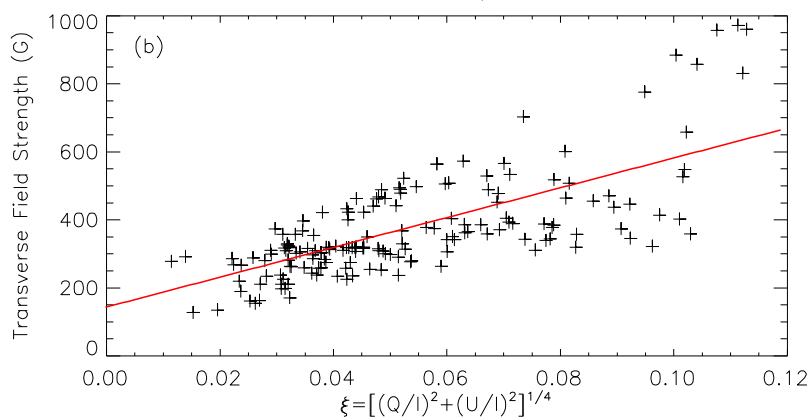


弱场近似:

$$B_{\parallel} \propto V \left( \frac{\partial I}{\partial \nu} \right)^{-1}$$

$$B_{\perp} \propto (Q^2 + U^2)^{1/4} \left( \frac{\partial I}{\partial \nu} \right)^{-1/2}$$

横场强度



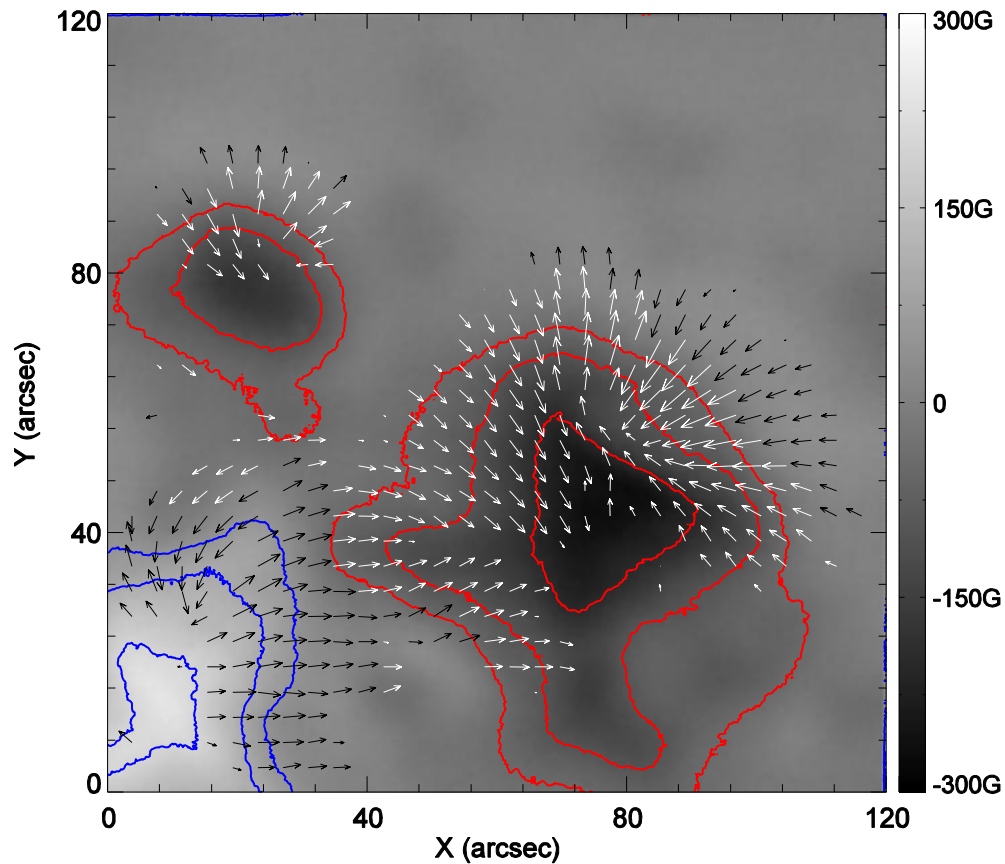
波带位置: -0.012 nm

$$B_L = 8300 \times \frac{V}{I}$$

$$\left( \left( \frac{Q}{I} \right)^2 + \left( \frac{U}{I} \right)^2 \right)^{1/4}$$

$$B_T = 140 + 4390 \times \left( \left( \frac{Q}{I} \right)^2 + \left( \frac{U}{I} \right)^2 \right)^{1/4}$$

# 数据处理之矢量磁图



波带位置:  $-0.012 \text{ nm}$     横场大于300G

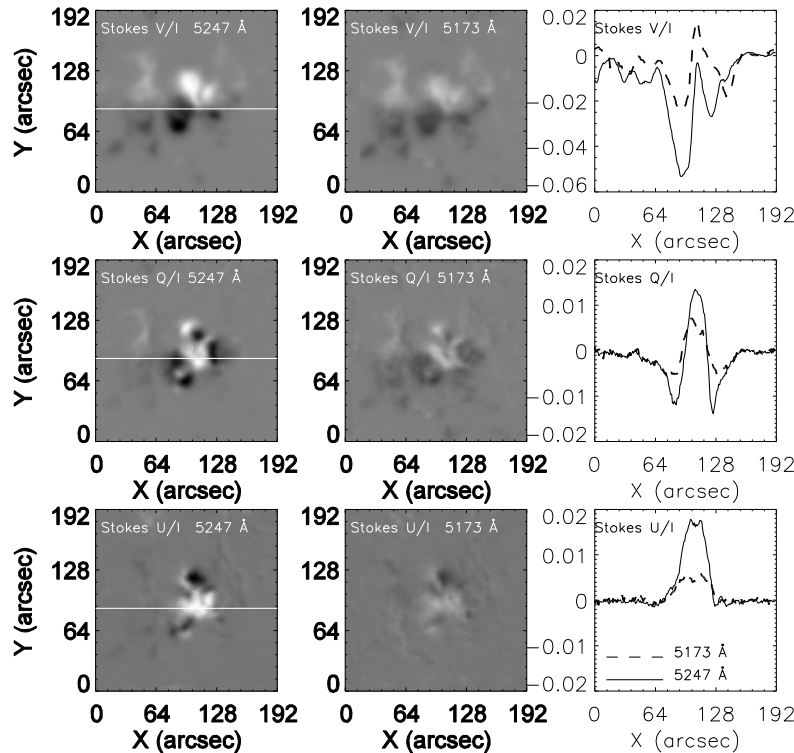
# 五、结论

1. 所有的Stokes参量都有明显的信号(与Briand (2001)结论一致)
2. 线偏振在线心比较弱，圆偏振和线偏振最佳灵敏度位置距线心0.012nm附近
3. 弱场近似下，单一波长纵场定标线性关系成立，横场定标线性关系不理想，横场精确定标需要更多的光谱信息

Bai, X.Y., Deng Y.Y., and Su J.T., Solar Physics, 2013,282,405-418

# 讨论之偏振测量

- 色球塞曼裂距小，偏振信号弱，叠加帧数要多



$$\nu_B = g_L \frac{e\lambda B}{4\pi m_e} \sqrt{\frac{m}{2kT}}$$

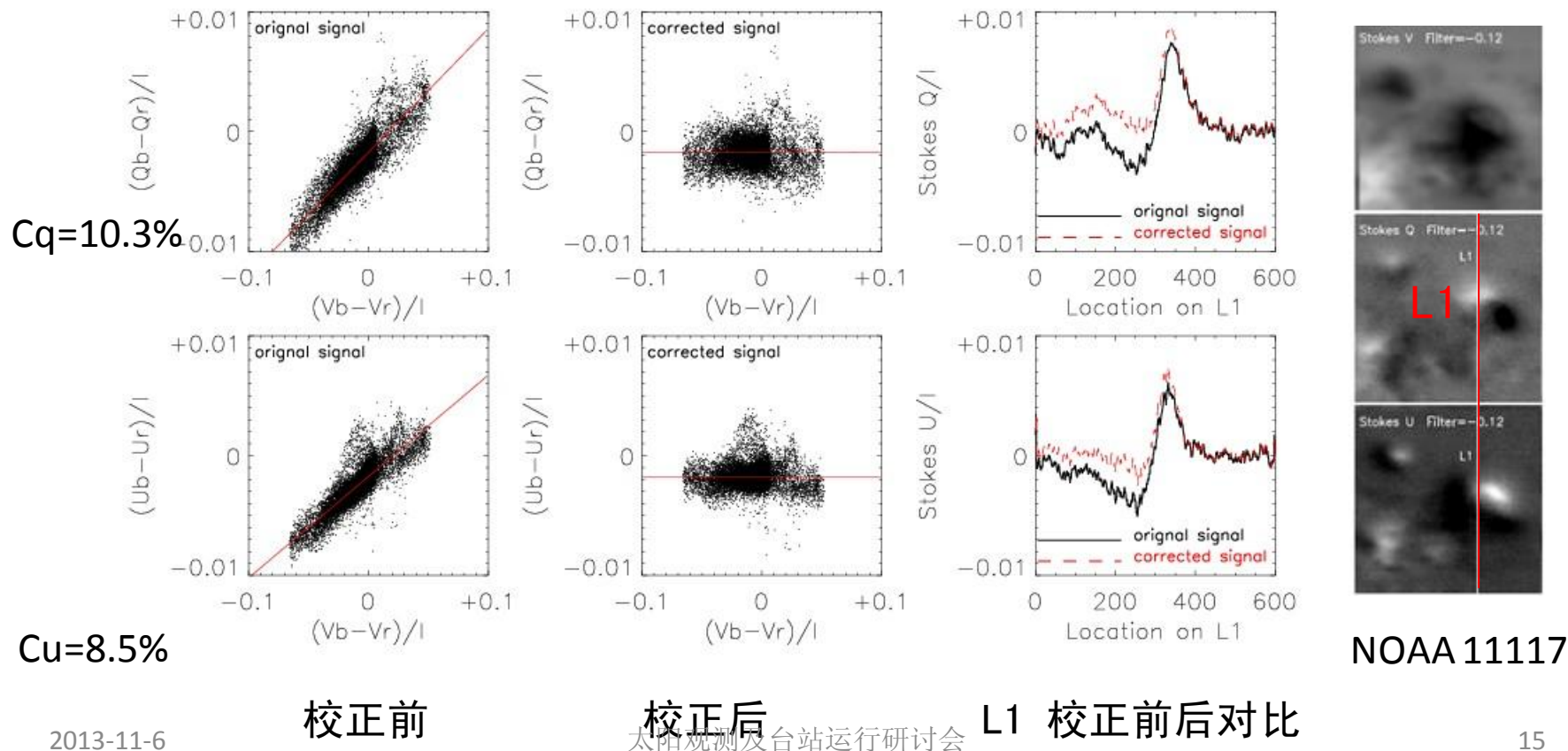
灵敏度最佳的位置，  
524.7 nm 的偏振信号  
约是517.3nm的2  
倍

左：光球524.7 nm 中：低色球517.3 nm 右：白色实线的偏振信号对比

# 讨论之偏振测量

- 为提高偏振测量精度，兰红两翼相减，消除仪器的交叉串扰（主要考虑V到Q、U的串扰）

$$Q_B - Q_R = C_q(V_B - V_R)$$



# 讨论

- 反演方法：

- 1、上面用到的解析解，并不能真实反映非局部热动平衡，结合辐射转移方程和统计平衡方程采用数值解可以更真实的描述非局部热动平衡
- 2、相同的偏振数据，反演得到的磁场强度依赖于大气模型、反演方法

- 总结

- 1、低色球磁场测量需要高偏振测量精度的望远镜和磁分析器，需要长积分时间获得高信噪比数据，需要非局部热动平衡下的反演方法
- 2、滤光器单一波长磁场定标不理想，特别是横场；光谱仪视场小，成像时间分辨率差；两维实时光谱仪或光纤阵列望远镜既成像又成谱或许可以解决此矛盾





谢谢！