

第二届太阳观测及台站运行研讨会

天文高分辨技术在太阳观测中的应用

金振宇

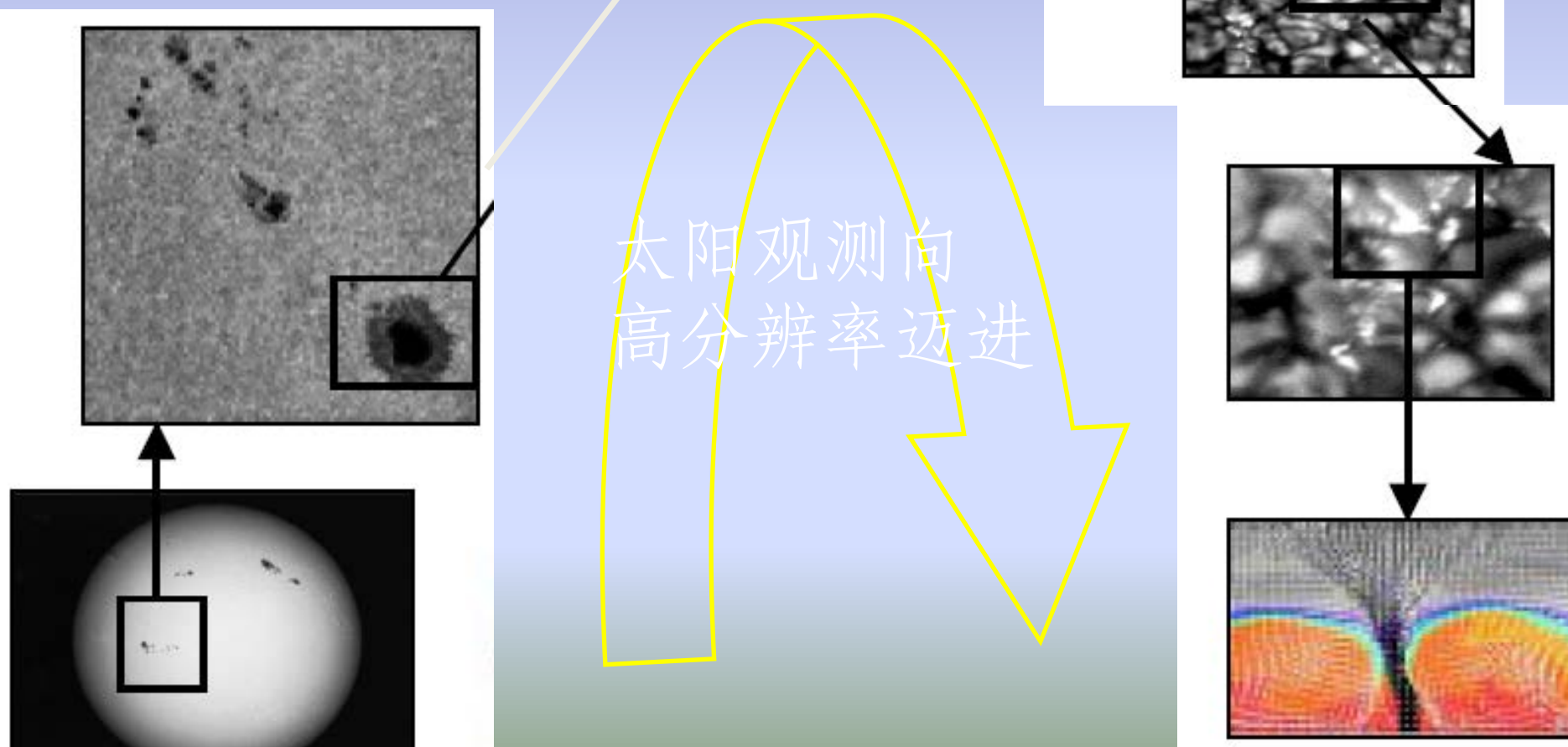
云南天文台抚仙湖太阳观测基地

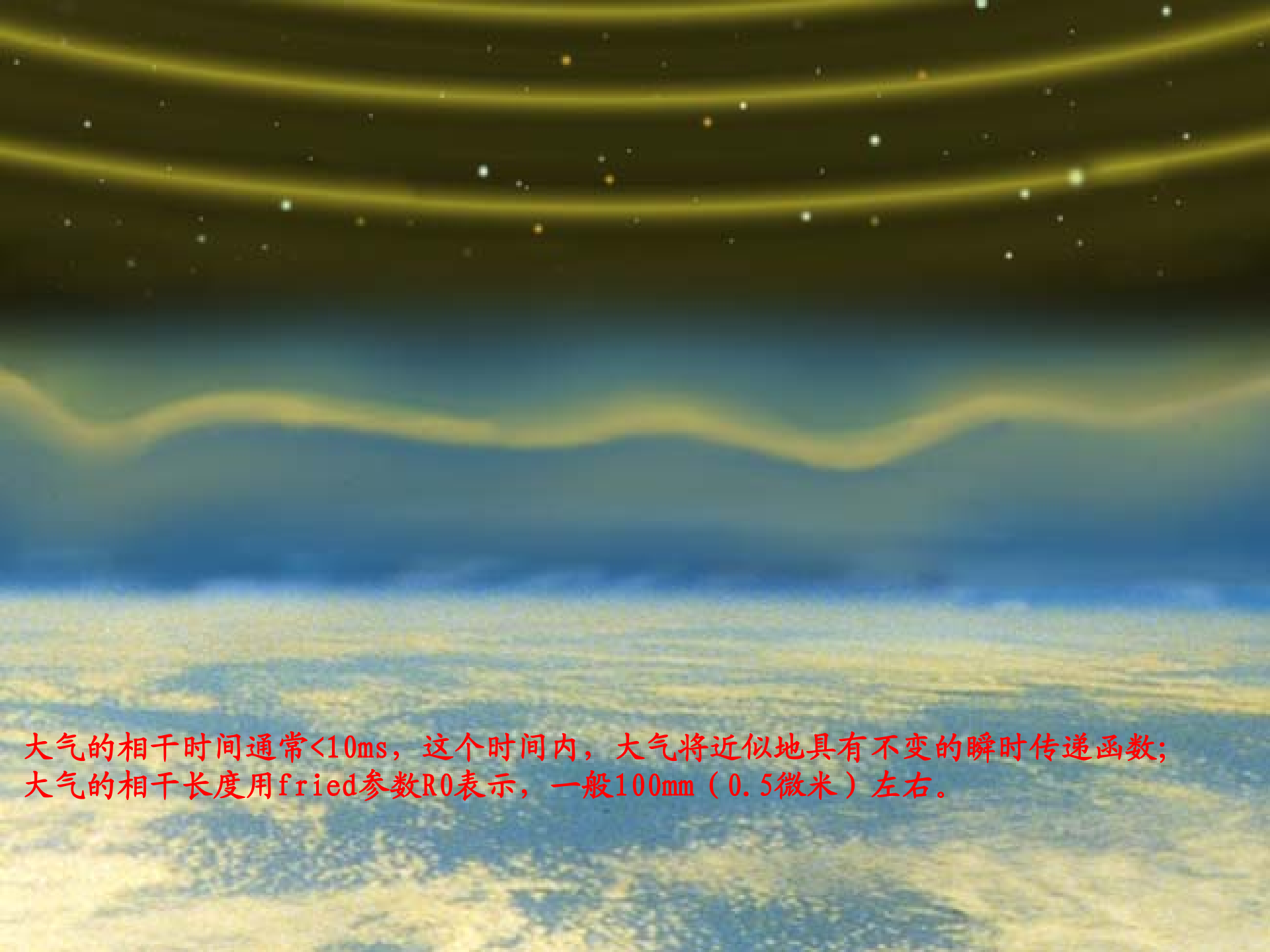
高空间分辨率的太阳观测

- ❖ 太阳大气中的各种物理过程和结构都具有很小的内禀时空尺度
- ❖ 太阳物理研究中最重要方向
 - ➔ 太阳大气的流场、速度场和磁场观测
 - ➔ 高空间分辨率
 - ➔ 高时间分辨率
 - ➔ 高偏振精度

太阳磁场基本结构的挑战

- ❖ 太阳大气光子平均自由程
 - 磁场基本结构数十公里量级，要求地基优于0.1角秒空间分辨率
 - 现存设备尚不能同时满足高时空分辨率和磁场灵敏度的需求





大气的相干时间通常 $<10\text{ms}$ ，这个时间内，大气将近似地具有不变的瞬时传递函数；大气的相干长度用fried参数 R_0 表示，一般 100mm （ 0.5 微米）左右。

天文高分辨观测技术

- 自适应光学技术

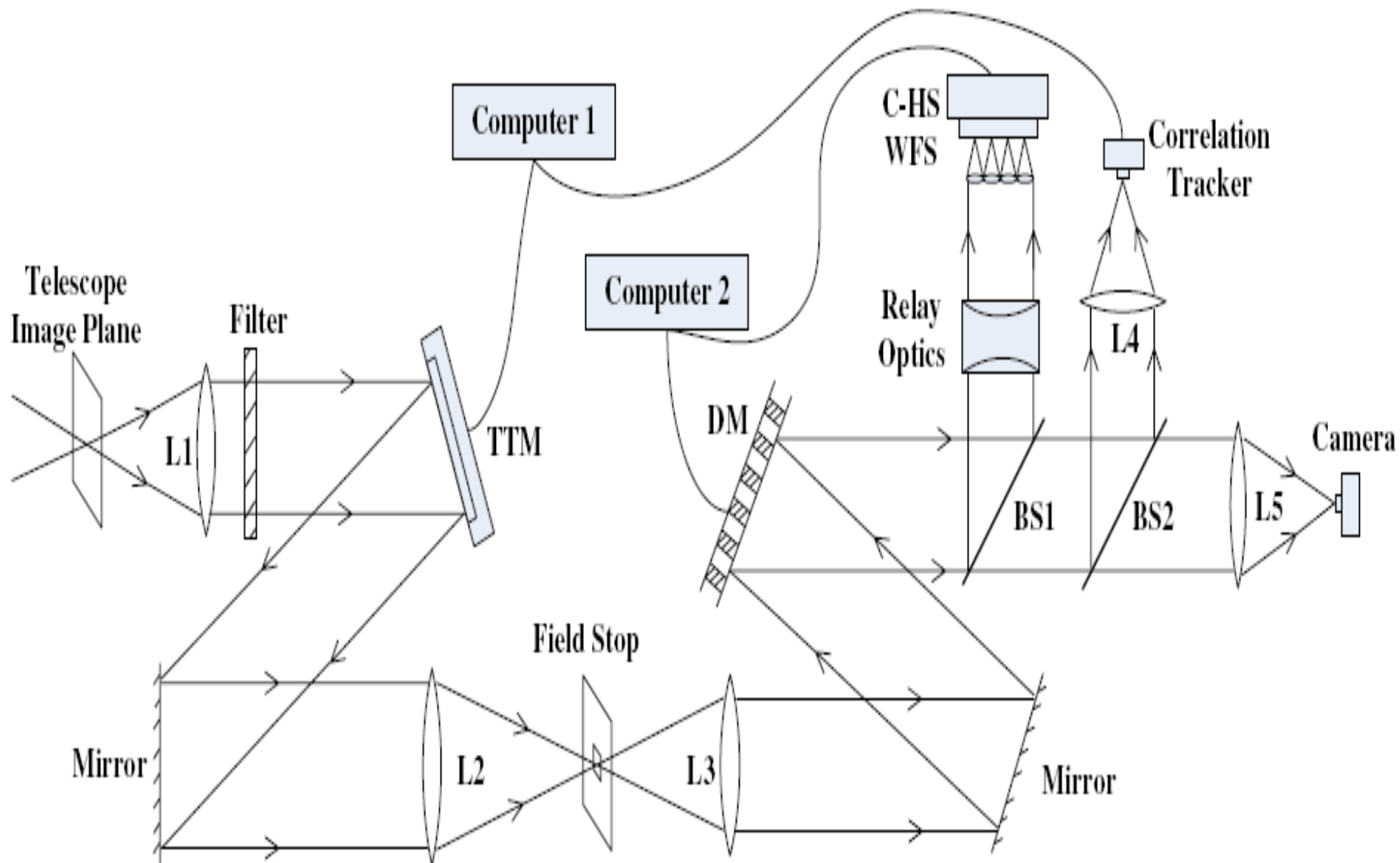
- 实时进行波前探测和修正从而实现实时高分辨观测。
- 优点：
 - 实时重建
 - 可实现光谱等低信噪比的高空间分辨率的观测
- 缺点：
 - 技术复杂、实现难度大
 - 目前还不能实现完美的高分辨观测

- 高分辨图像重建技术

- 估计大气-望远镜系统的瞬时或统计PSF(或OTF)，利用逆卷积技术实现高分辨观测
- 优点：
 - 设备简单，容易实现
 - 可进行大视场的高分辨观测
- 缺点：
 - 计算复杂，实时观测困难
 - 很难进行低信噪比的观测

目前通常会采取AO+高分辨重建的模式进行观测

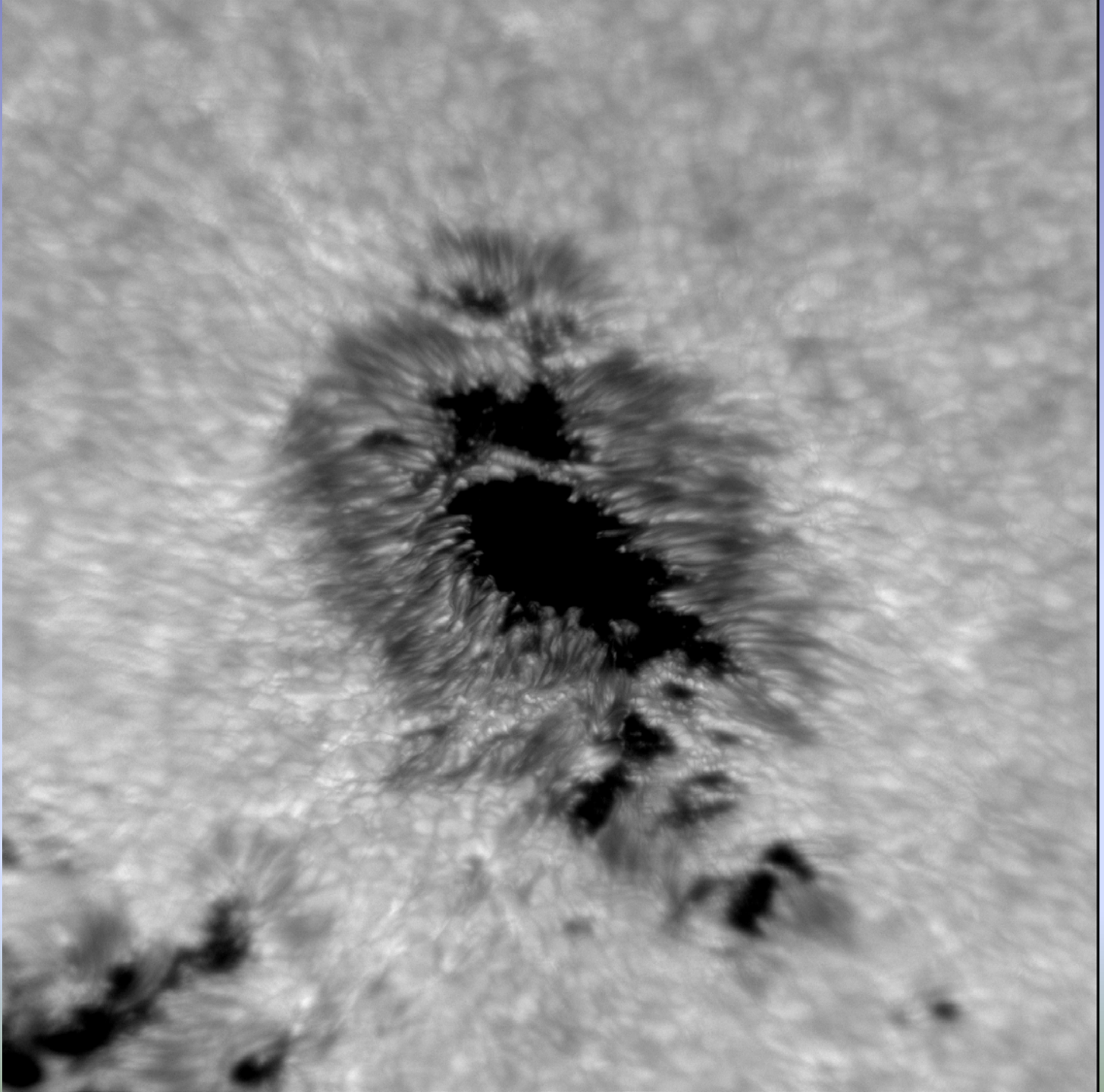
自适应光学系统



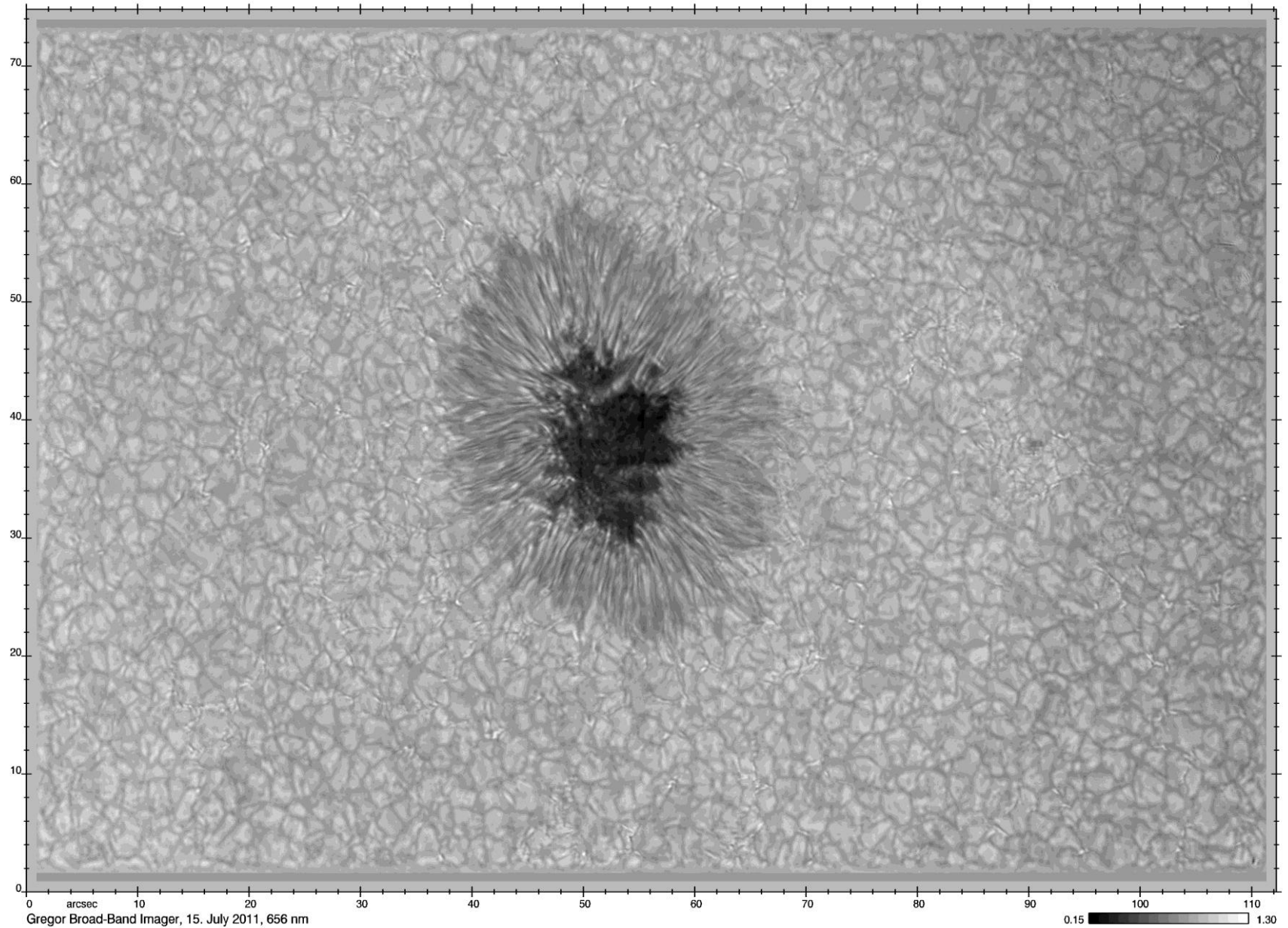
自适应光学在太阳观测中的应用

- 2000年以前：进行尝试
 - SVST：口径50cm，19单元自适应系统
 - McMath-Pierce 太阳望远镜：37单元自适应系统
 - 南京大学太阳塔：19单元自适应系统
- 2000年—至今：逐步成为标准设备
 - 瑞典太阳望远镜：37单元自适应系统
 - NST：口径1.6m，97单元自适应系统(目前已改造为307单元自适应系统)
 - Gregor：口径1.5m，196单元自适应系统
 - NVST：36单元实验系统，(正在研制127单元系统)
- 未来：CGST、ATST、EST等望远镜的必备设备

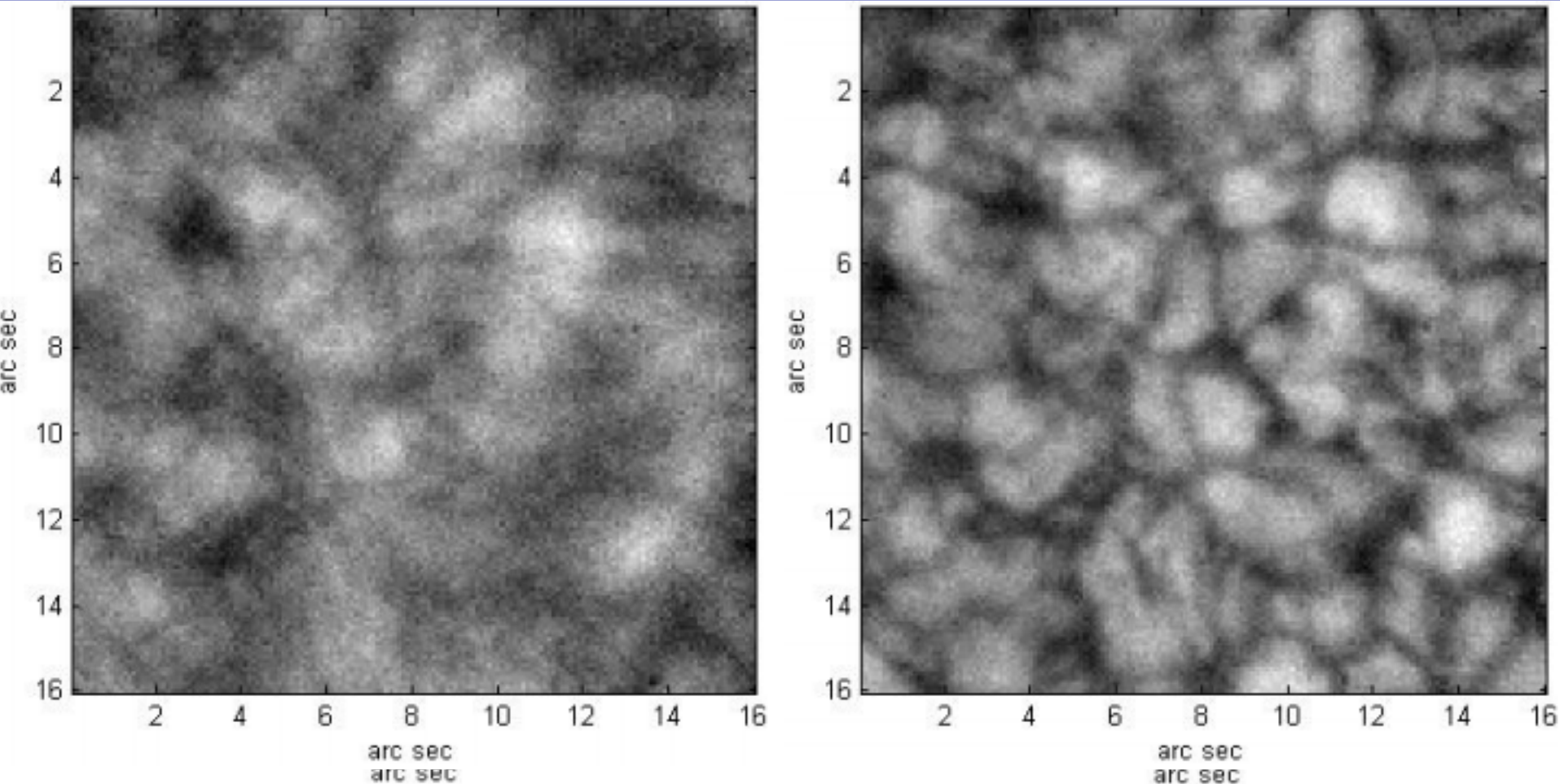
NST自适应观测结果



Gregor观测结果



国内自适应观测实验结果



太阳塔37单元实验系统

各波段图像对比 (20130616. 15. 13)

(FoV: 40" * 48")

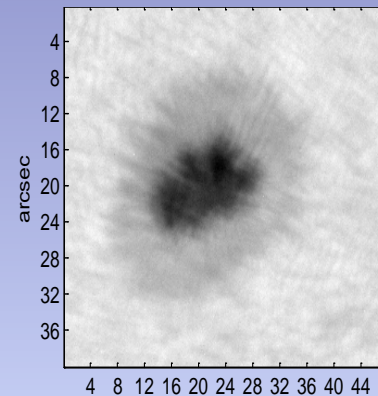
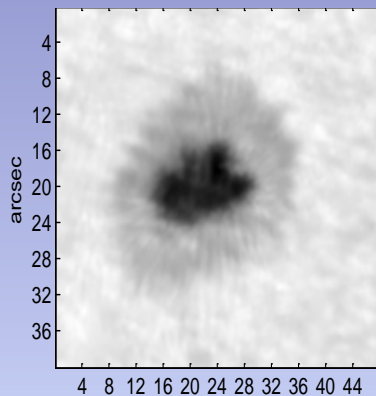
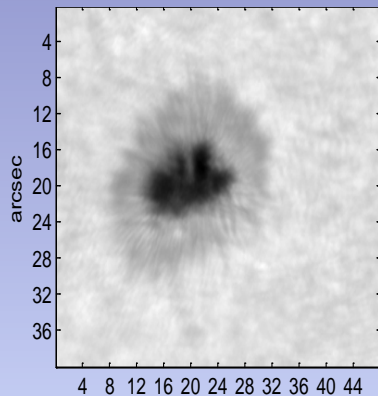
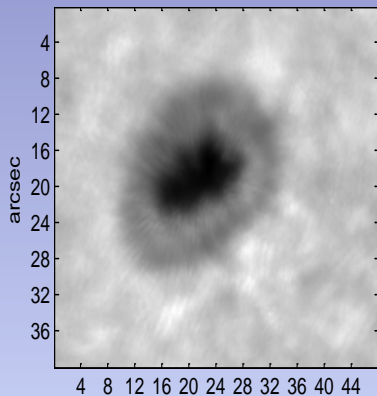
4305.2Å

7057.9Å

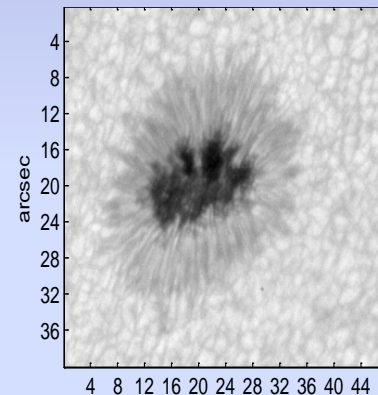
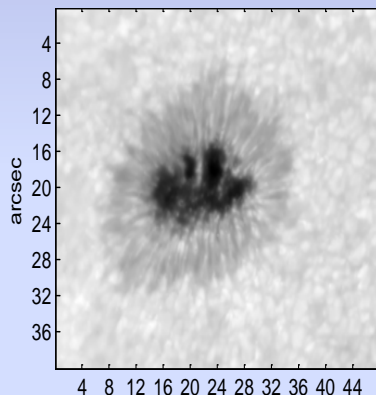
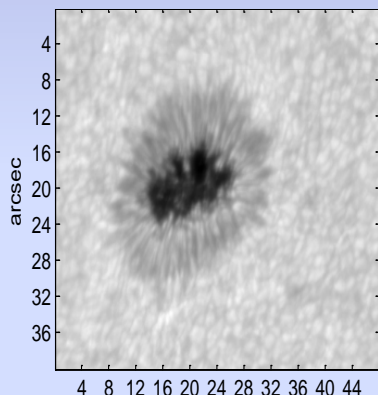
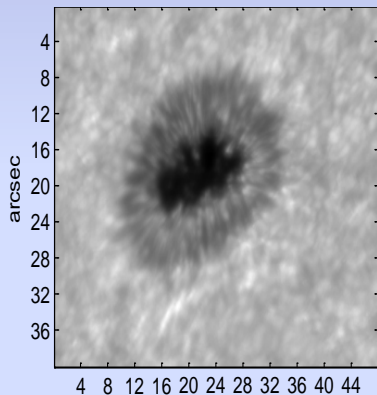
10830.0Å

15648.1Å

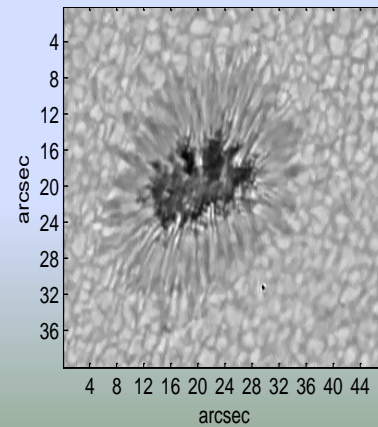
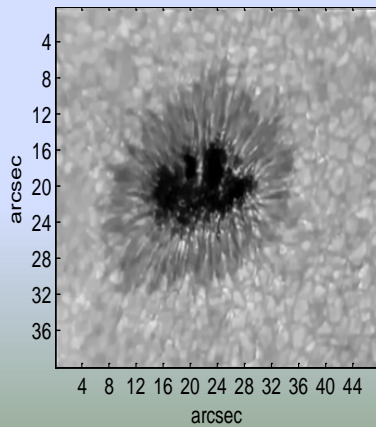
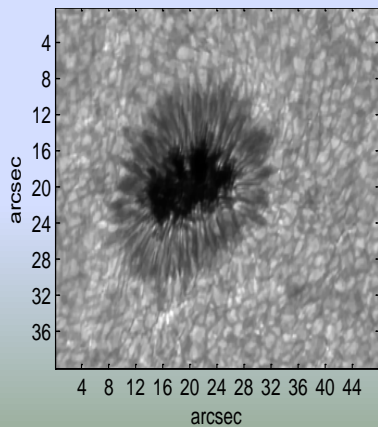
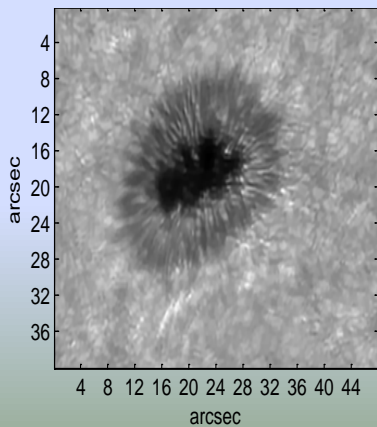
开环



闭环



重建



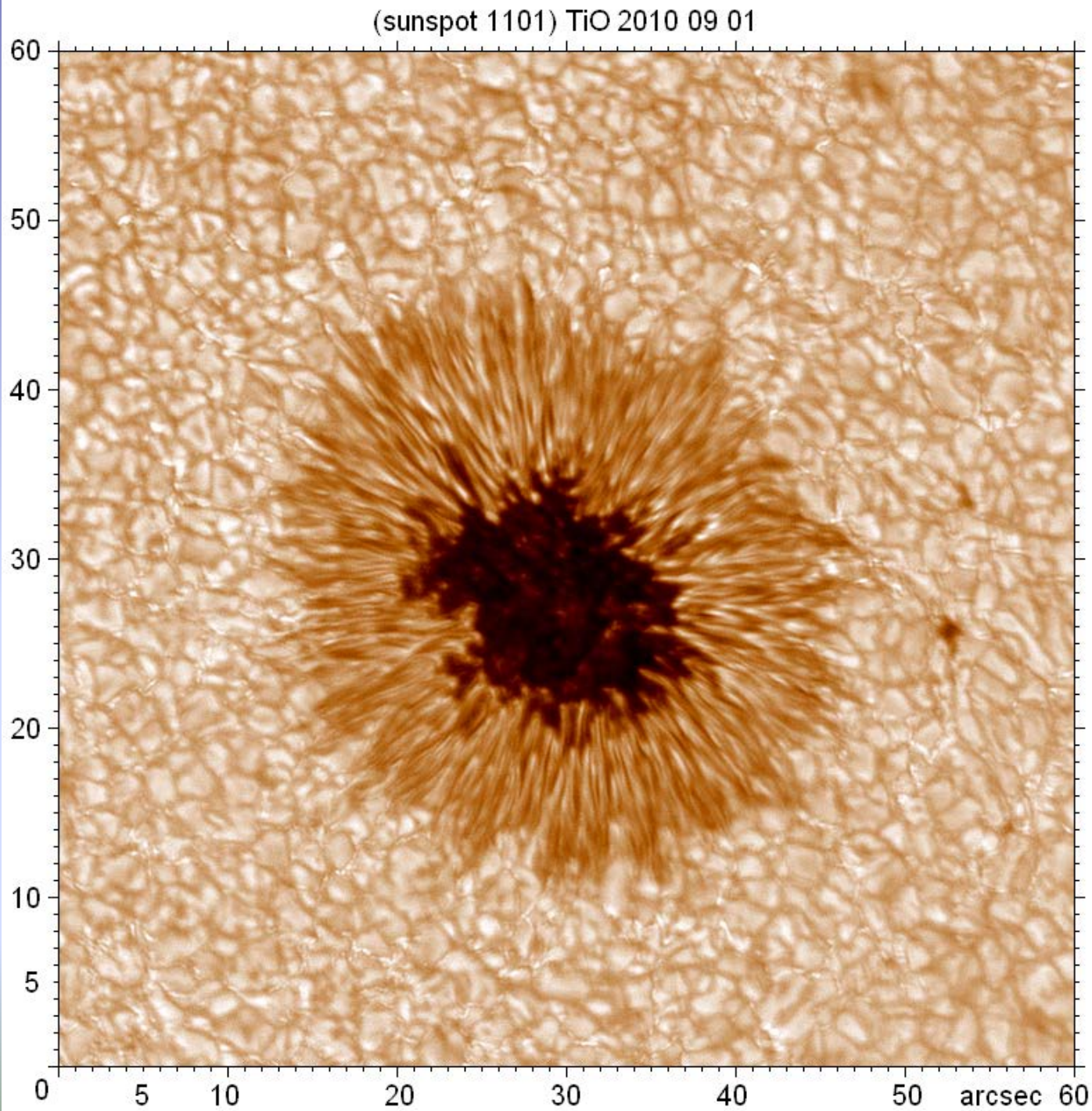
自适应光学技术的缺陷

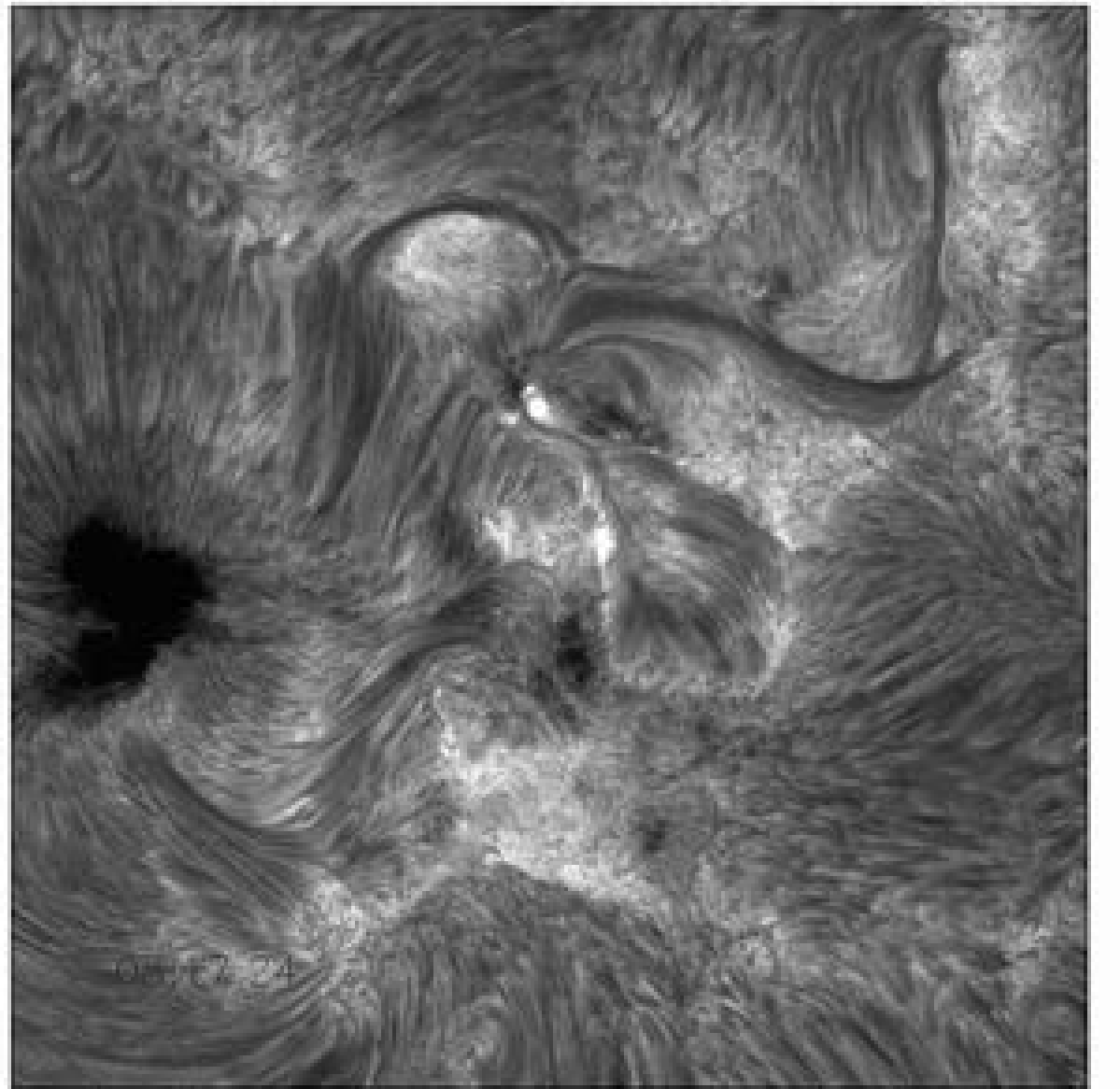
- 等晕区限制—多层共轭自适应(MCAO)
- 波前探测误差--SHWFS
 - 高阶像差探测能力不足
 - 倾斜测量探测误差
 - 视宁度
 - CCD噪声
 - 太阳等面源的相关误差
- 波前改正误差
 - 相干时间
 - 变形镜改正能力
- 系统误差—波前探测器和变形镜不在出瞳位置

高分辨率重建技术

- 统计重建：
 - 斑点干涉术：目标斑点图的功率谱的统计
 - 斑点掩模法(重谱法)：对目标斑点图的重谱进行统计，通过相位递推重建目标相位
- 解卷积：估计瞬时大气—望远镜PSF对目标进行重建
 - 基于波前探测
 - 基于PSF估计—盲消卷积
 - Phase-Diversity(相位差法)

高分辨重建过程





0" 10" 20" 30" 40" 50" 60" 70" 80" 90" 100" 110" 120"
0" 10" 20" 30" 40" 50" 60" 70" 80" 90" 100" 110" 120"

H α , 6562.8Å, flare, 2012.10.26

- 高分辨重建技术的应用范围
 - 无自适应的望远镜的高分辨观测
 - 自适应校正后的后处理
- 直接应用高分辨重建的问题
 - 实时性不够
 - 信噪比差
 - 对视宁度有一定的要求
 - 不适合于大口径望远镜($D > 2\text{m}$)

太阳观测中的高分辨重建技术

- 自适应系统后的高分辨重建：
 - 瑞典太阳望远镜：斑点掩模法和PD(相位差法)
 - NST:斑点掩模法
 - Gregor:斑点掩模法
- 无自适应系统的高分辨重建
 - 抚仙湖太阳塔
 - DOT

太阳观测中的高分辨重建技术

- 太阳光球和色球的观测
 - 光球的高分辨观测比较成熟
 - 色球的高分辨观测的主要难点：
 - 光子数少，信噪比低，影响高分辨重建效果
 - 色球的有些现象(耀斑等)变化快于统计重建的时间分辨率
 - 线心、线翼只能采用切换观测模式
- 太阳磁场的高分辨观测
 - 偏振状态和线心线翼的切换观测影响磁场测量精度
 - 光子数少，信噪比低，影响高分辨重建效果
- 光球和色球(磁场)的同步观测可以解决信噪比影响重建效果的问题

总结

- 未来主要采用的高分辨观测模式
 - MCAO+PD(或斑点掩模法)
 - 多通道同步观测
 - 基于并行计算技术的实时高分辨重建
- 磁场的高空间分辨率观测技术
- 光谱的高空间分辨率重建技术

非常感谢！请您多提宝贵意见