KASI 창의도전 과제 (2019-2020)

A pathfinder telescope:

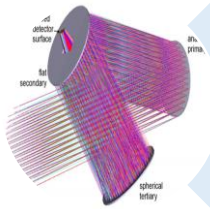
probing the Universe down to hitherto unexplored surface brightness levels

Jongwan Ko

KASI 한국천문연구원 Korea Astronomy & Space Science Institute

광학천문본부 은하진화그룹 **고종완**

I. 연구 요약 : Probing the Universe down to hitherto unexplored SB levels



1. 패스파인더 망원경 개발

- 국제 컨소시엄 구성
- Low Surface Brightness (LSB; μ_V > 28 mag arcsec^{-2}) 관측에 특화된 슈미트형 광시야($1.6^\circ \times 2.6^\circ$) 소형(지름 36cm) 망원경 개발



2. LSB 우주 측광탐사관측 수행

- Teide 천문대 (스페인, Tenerife) 설치
- SDSS Strip 82 영역 탐사관측 및 ~8000개의 은하단 정밀 관측
- LSB 천체 연구에 최적화된 관측 방법 개발



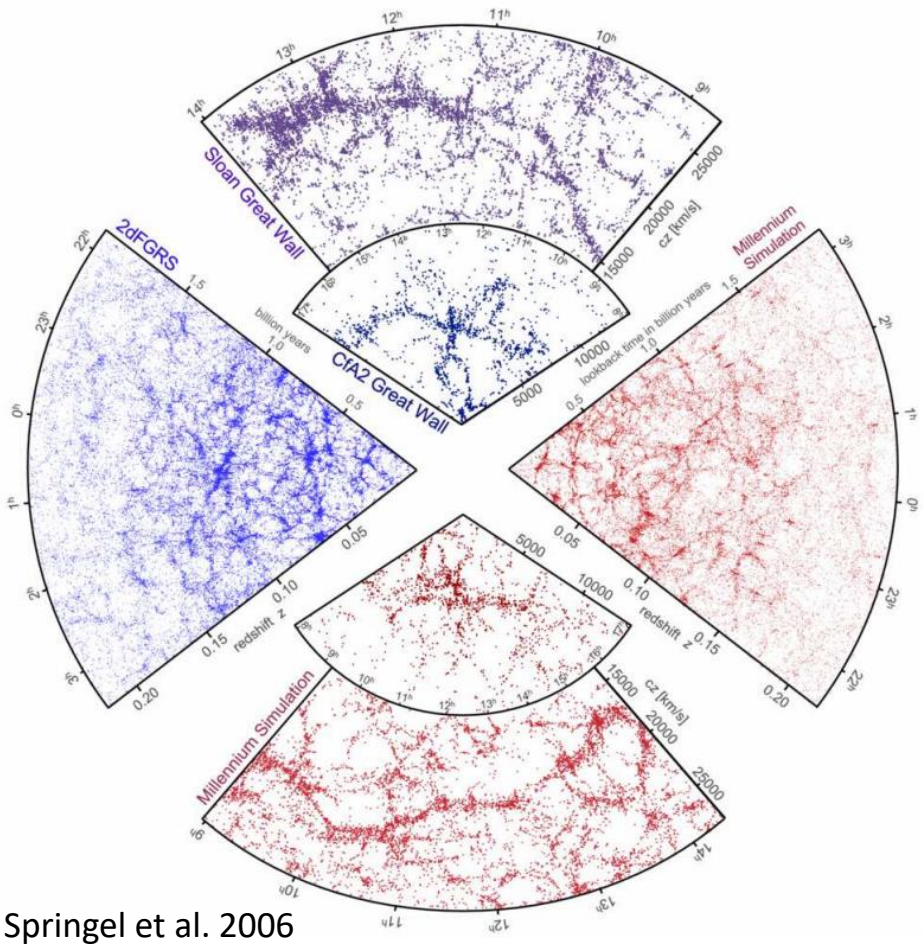
3. 은하와 은하단 형성 및 진화 연구

- 표준우주모형(LCDM) 유효성 검증
- 은하의 assembly history 추적을 통한 은하 형성 모델 규명
- 은하단 은하간 천체(Intracluster light) 및 ultra-diffuse galaxy 기원 연구

II. 연구의 필요성: why LSB?

◆ **표준우주모형(Lambda Cold Dark Matter model; LCDM)의 발전**

➢ 우주 물질 대부분은 차가운 암흑물질 (CDM)

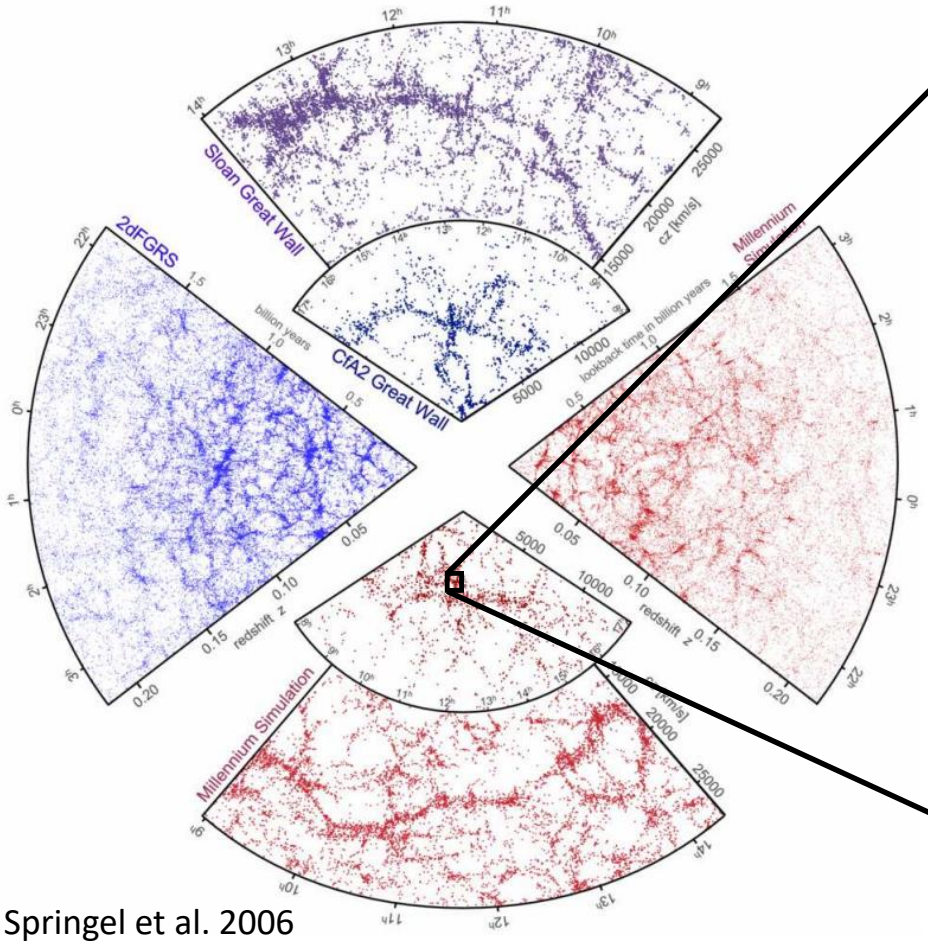


Springel et al. 2006

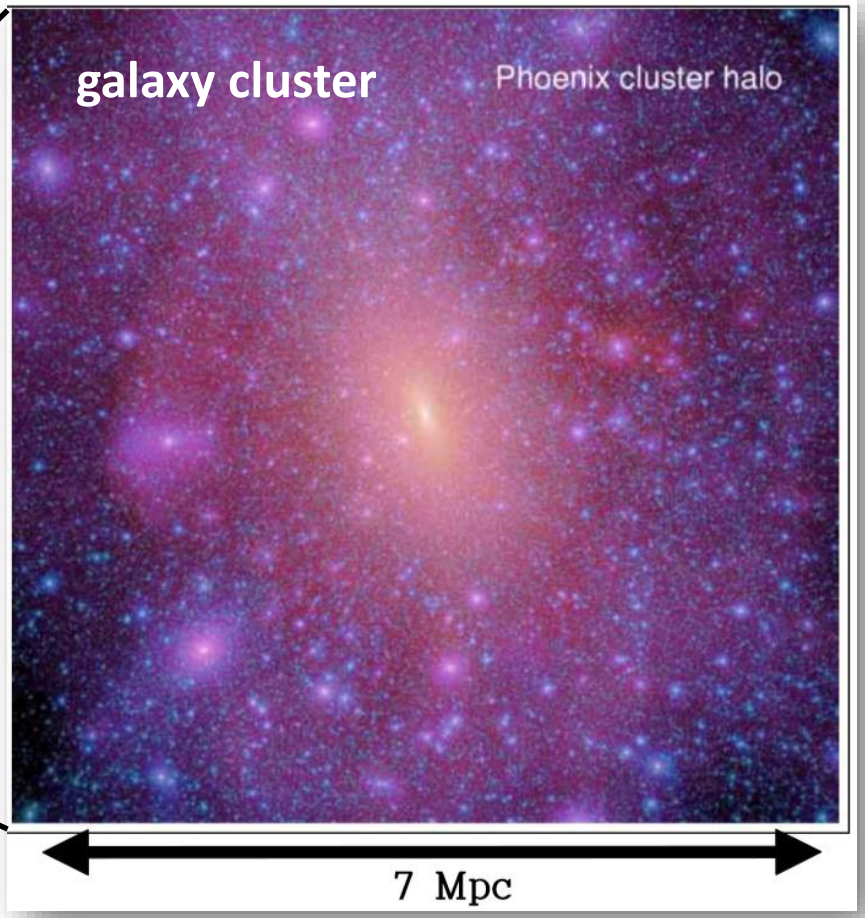
II. 연구의 필요성: why LSB?

◆ **표준우주모형(Lambda Cold Dark Matter model; LCDM)의 발전**

➢ 우주 물질 대부분은 차가운 암흑물질 (CDM)



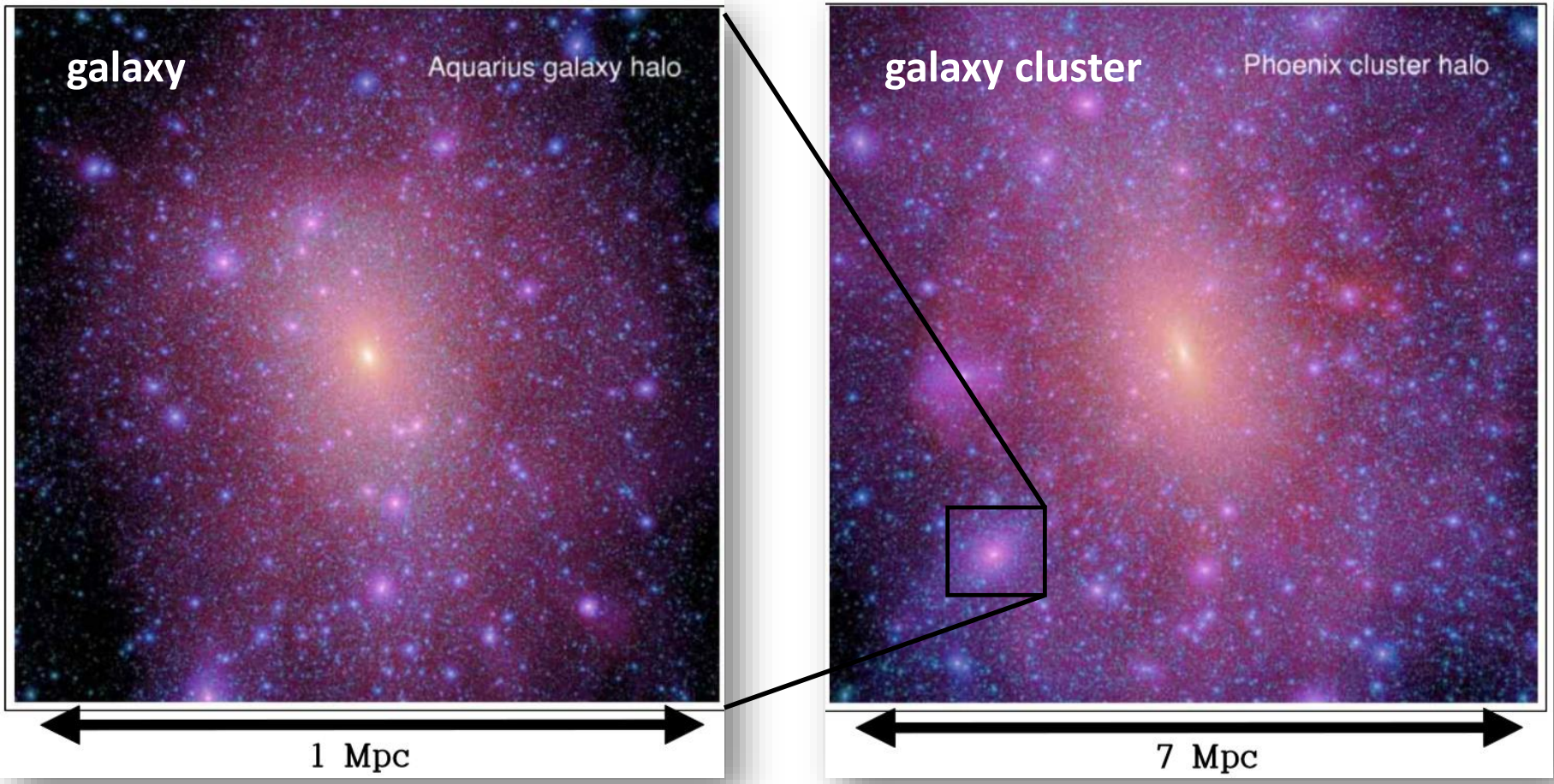
Springel et al. 2006



Ⅱ. 연구의 필요성: why LSB?

◆ **표준우주모형(Lambda Cold Dark Matter model; LCDM)의 발전**

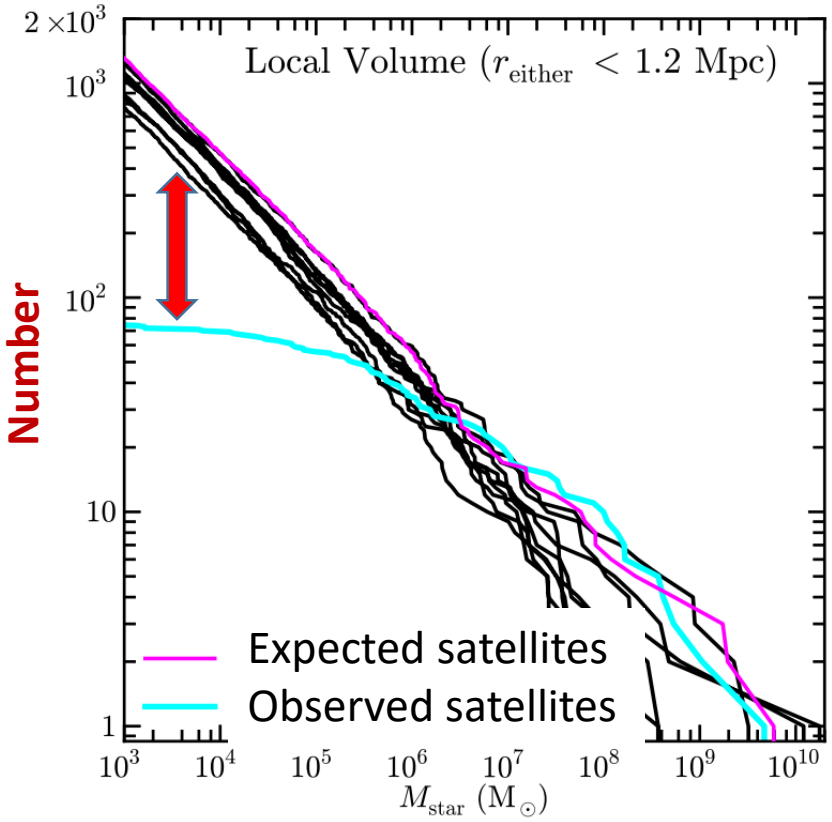
- ➢ 우주 물질 대부분은 차가운 암흑물질 (CDM)
- ➢ 은하와 은하단은 계층적 병합을 통해 진화 (hierarchical structure formation)



II. 연구의 필요성: why LSB?

◆ 표준우주모형의 한계와 문제점 (LCDM problems on small scales)

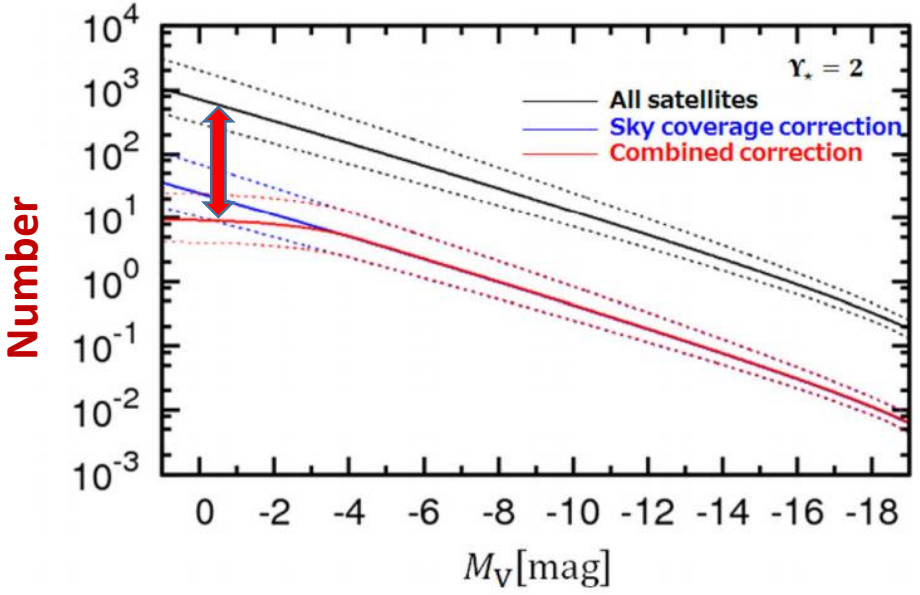
➢ ‘missing satellite problem’



MW+M31 pair simulation

Garrison-Kimmel et al. 2014

Subaru HSC-SSP survey



MW-size simulation

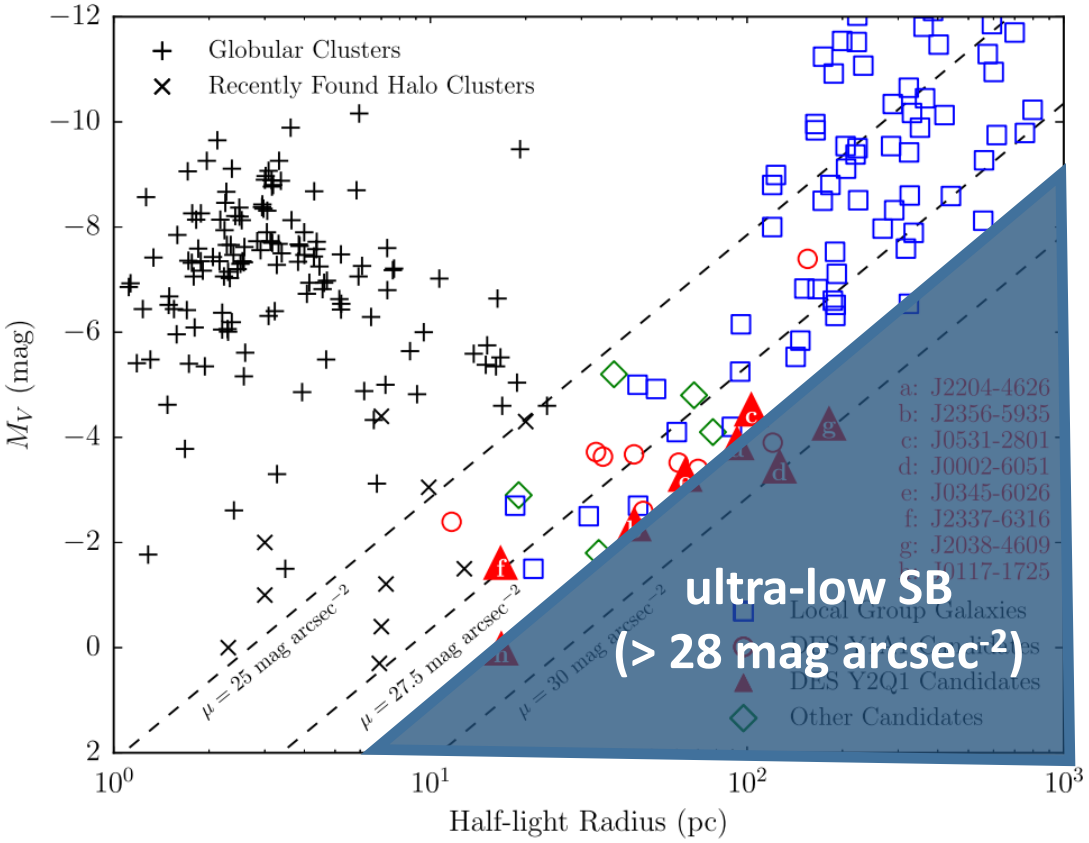
Homma et al. 2018

II. 연구의 필요성: why LSB?...1. LCDM 유효성 검증

◆ **표준우주모형의 한계와 문제점 (LCDM problems on small scales)**

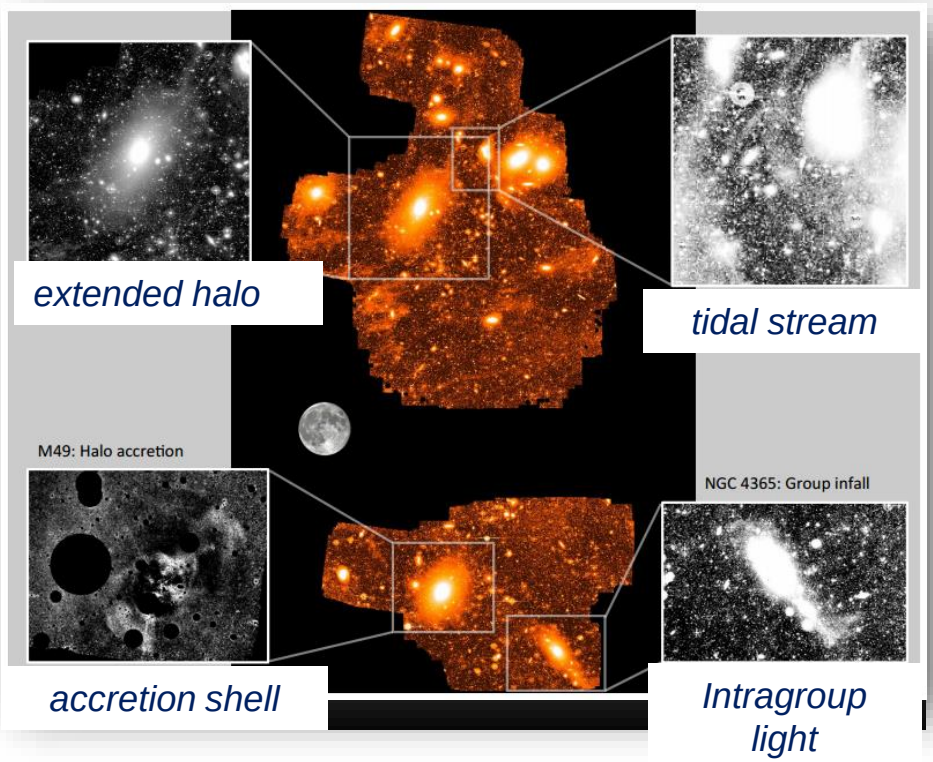
- ➢ A solution on the 'missing satellite problem'
  - ✓ Galaxy formation model …
  - ✓ Detection limit?

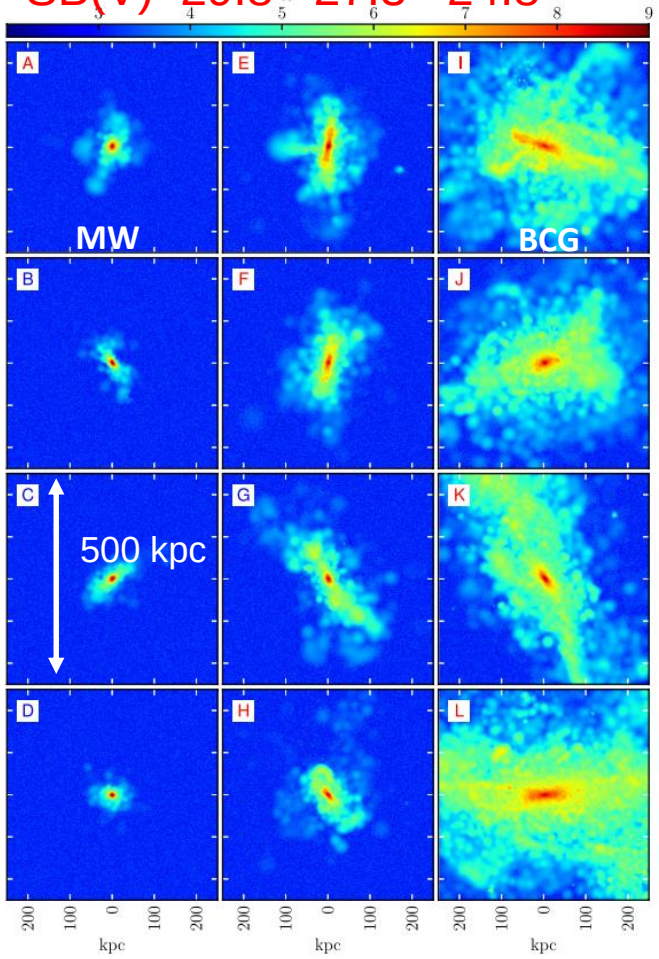
Drlica-Wagner et al. (2015)



II. 연구의 필요성: why LSB?...2. Formation history

~28 mag arcsec^{-2}





Cooper et al. 2013

Low SB …

→ **reflect the history of the interactions**

II. 연구의 필요성: why LSB?...3. UDG 기원 연구

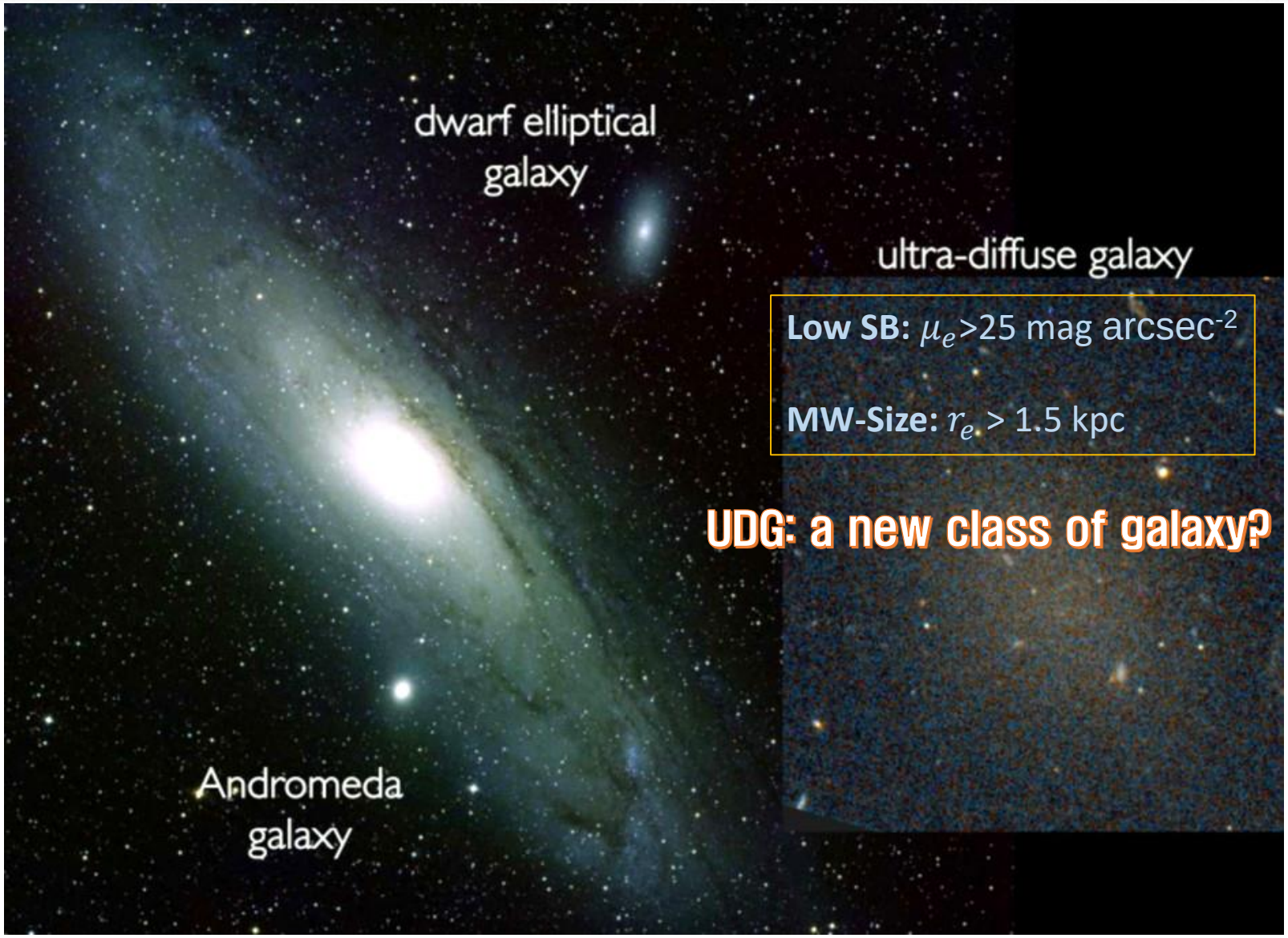
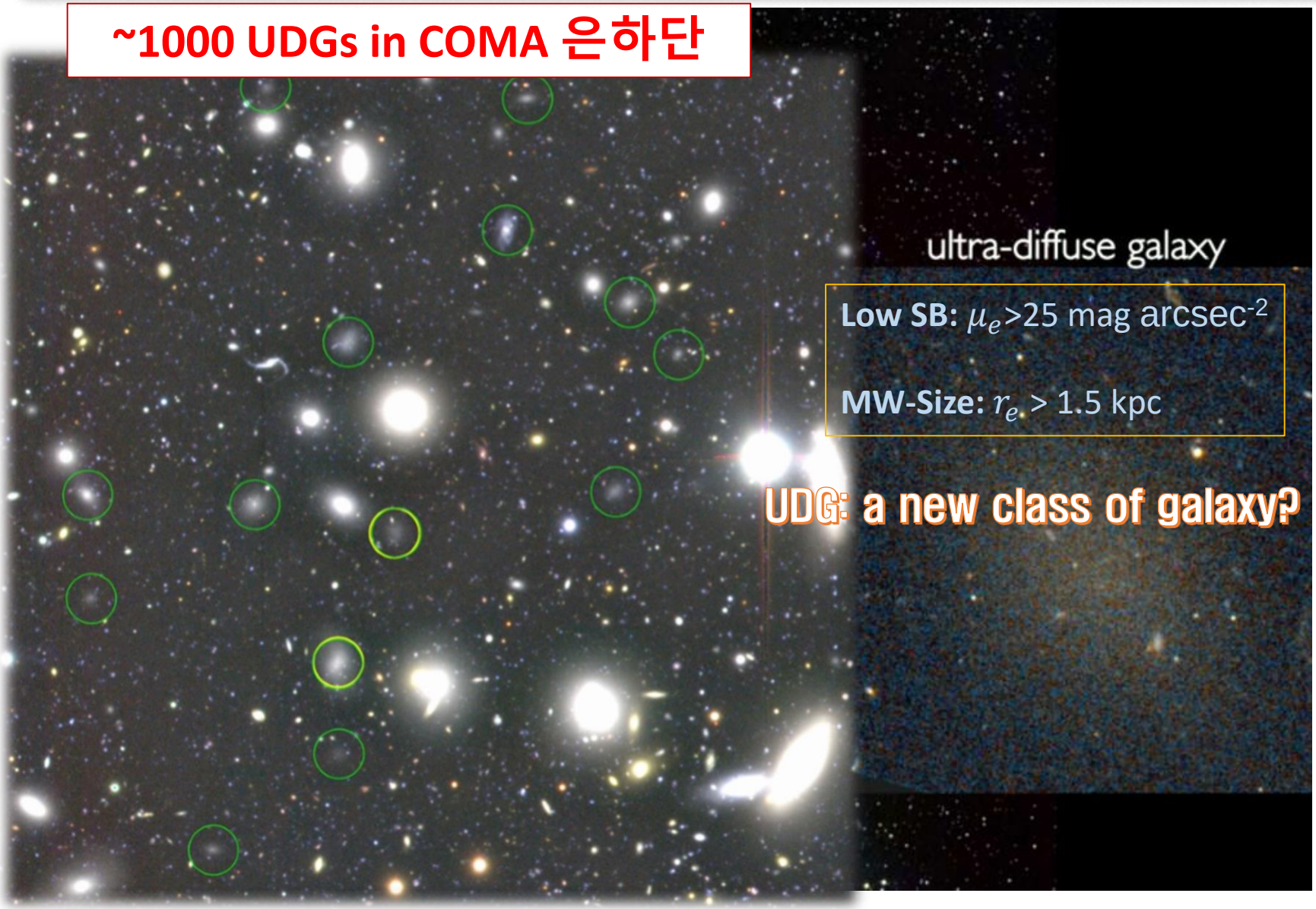


Image credit: Schoening/Harvey/van Dokkum/NASA/ESA Hubble Space Telescope

II. 연구의 필요성: why LSB?...3. UDG 기원 연구

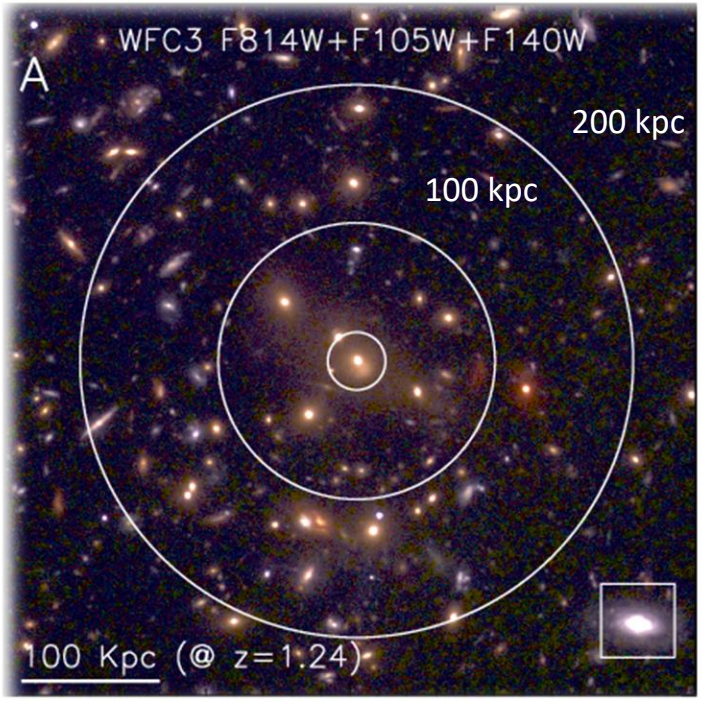
~1000 UDGs in COMA 은하단



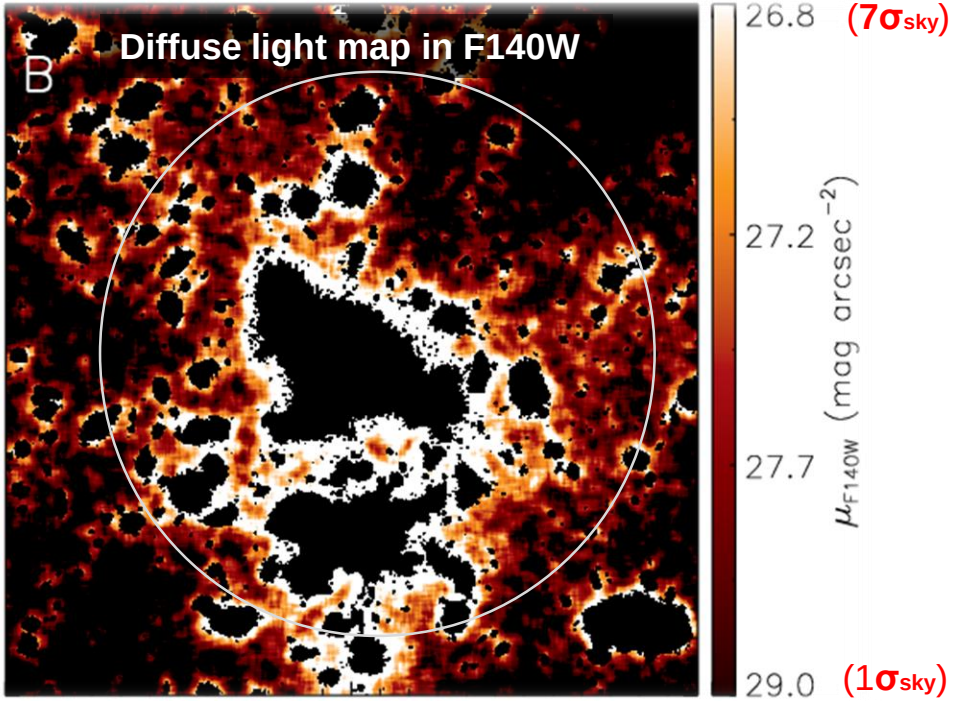
Koda et al. 2015

II. 연구의 필요성: why LSB?...4. ICL 기원 연구

Ko & Jee (2018)



Intracluster light (ICL) 분포



- ICL extended to ~200 kpc from the BCG
- This is the most distant galaxy cluster to date
- Contrary to previous studies, the **ICL is already exists significantly z>1**

II. 연구의 필요성: technical challenges

sky brightness:

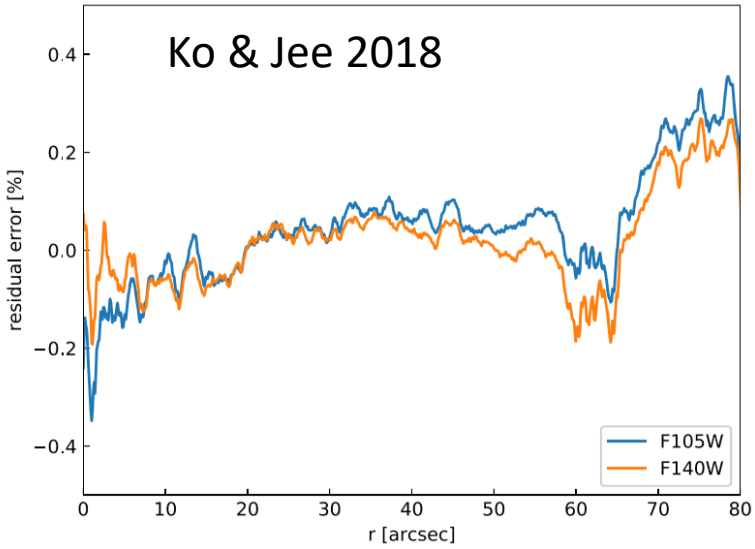
$\mu_V \sim 22$ mag arcsec^{-2}

→ ~1000배 어두운 대상 관측

internal reflections:

< 0.4% flat fielding error

→ **$\mu_V > 28$ mag arcsec^{-1}**



scattered and stray light:

all LSB detections can be spurious!

II. 연구의 필요성: technical challenges

sky brightness:

$\mu_V \sim 22$ mag arcsec^{-2}

→ ~1000배 어두운 대상 관측

internal reflections:

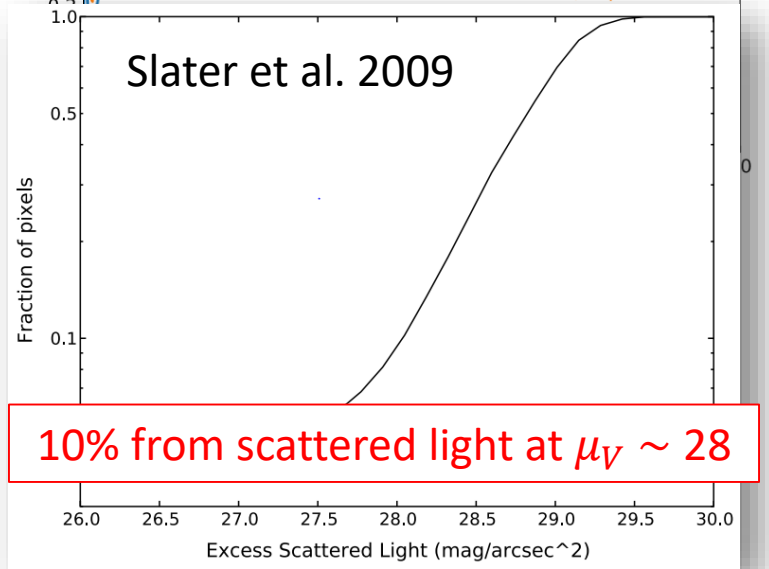
< 0.4% flat fielding error

→ **$\mu_V > 28$ mag arcsec^{-1}**



scattered and stray light:

all LSB detections can be spurious!



10% from scattered light at $\mu_V \sim 28$

II. 연구의 필요성: technical challenges

sky brightness:

$\mu_V \sim 22$ mag arcsec^{-2}

internal reflections:

< 0.4% flat fielding error

→ $\mu_V > 28$ mag arcsec^{-1}

scattered and stray light:

all LSB detections can be spurious!

Breakthrough

Long exposure
Low *f*-ratio (sensitive to SB)

Simple optics telescope
No lens
Accurate flat fielding

Control of systematics
Curved detector
(compact and isotropic PSF)

Key**: Low SB imaging is not usually limited by photon statistics or by spatial resolution. Instead, it is limited by imperfect **control of systematic errors

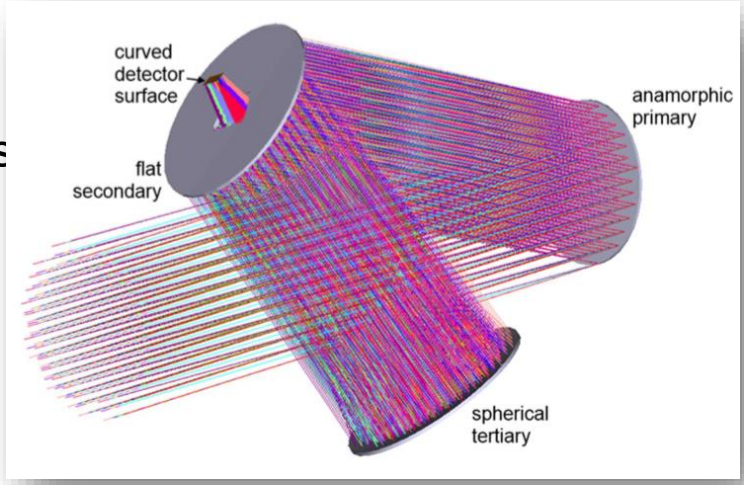
Ⅲ. 연구의 내용 및 방법

- **Pathfinder 프로젝트** 컨소시엄 구성:
  - 천문연
  - Observatoire de Paris (**OP) +** Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (**LAM)**
  - Instituto de Astrofísica de Canarias (**IAC)**

- 직경 36cm의 개선된 슈미트 망원경 (f-ratio~2.5) 설계: LAM+OP
- 초점면에서 휘어진 검출기 (curved CCD) 시제품 개발: LAM (with Teledyne E2V)
- 신소재(SiC) 비구면 반사 거울 개발 및 경통 제작: 천문연
- 망원경 조립, 정렬, 그리고 성능 검사: LAM+천문연
- drift scanning mode 관측: 천문연+OP+IAC
- 스페인 Tenerife에 위치한 Teide 천문대: IAC

III. 연구의 내용 및 방법

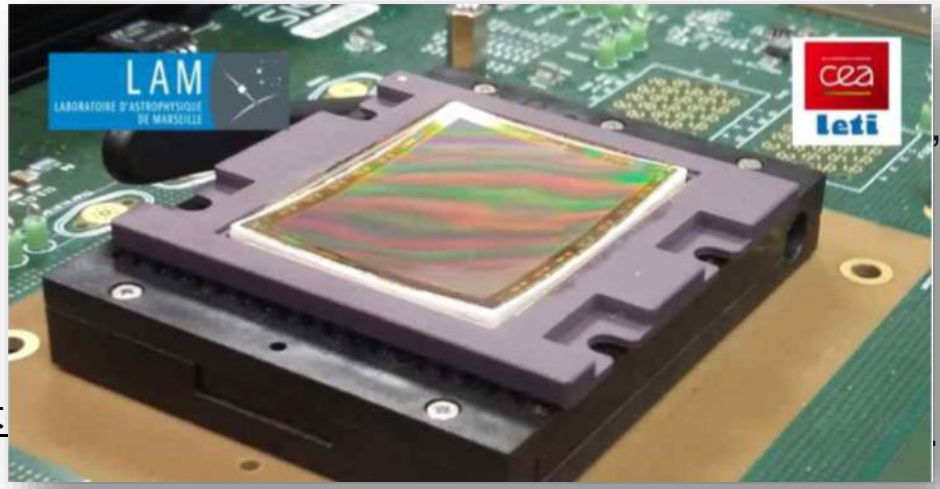
- **Pathfinder 프로젝트** 컨소시엄 구성:
  - 천문연
  - Observatoire de Paris (**OP) +** Laboratoire d'As
  - Instituto de Astrofísica de Canarias (**IAC)**

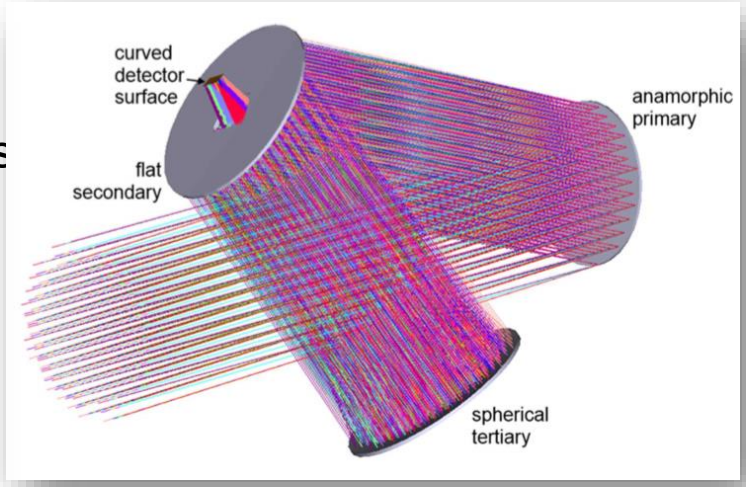


- 직경 36cm의 개선된 슈미트 망원경 (f-ratio~2.5)
- 초점면에서 휘어진 검출기 (curved CCD) 시제품 개발: LAM (with Teledyne E2V)
- 신소재(SiC) 비구면 반사 거울 개발 및 경통 제작: 천문연
- 망원경 조립, 정렬, 그리고 성능 검사: LAM+천문연
- drift scanning mode 관측: 천문연+OP+IAC
- 스페인 Tenerife에 위치한 Teide 천문대: IAC

III. 연구의 내용 및 방법

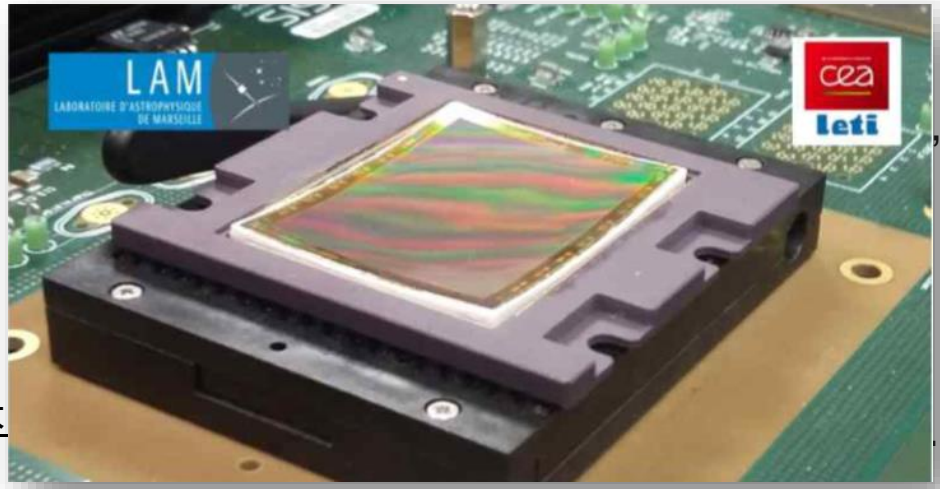
- **Pathfinder 프로젝트** 컨소시엄 구성:
  -
  - ’As
  -
-
- 초점면에서 휘어진 검출기 (curved CCD) 시제품 개발: LAM (with Teledyne E2V)
- 신소재(SiC) 비구면 반사 거울 개발 및 경통 제작: 천문연
- 망원경 조립, 정렬, 그리고 성능 검사: LAM+천문연
- drift scanning mode 관측: 천문연+OP+IAC
- 스페인 Tenerife에 위치한 Teide 천문대: IAC

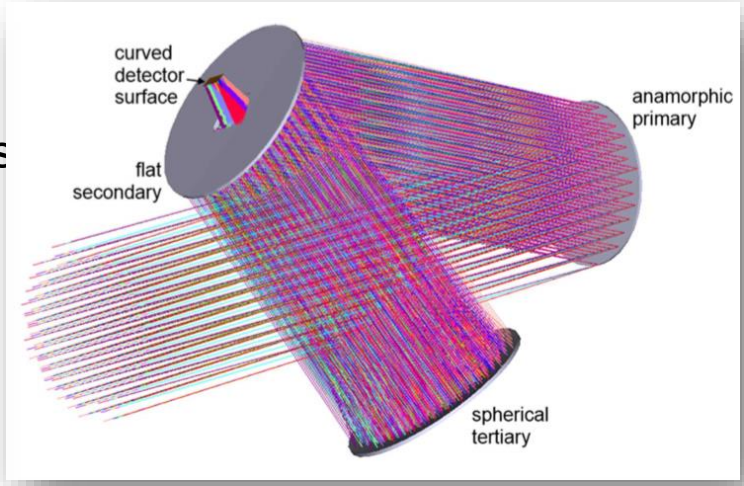


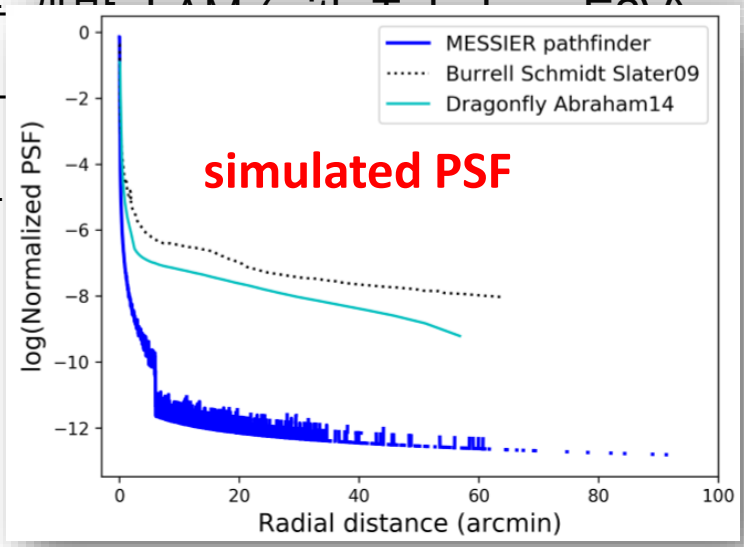


III. 연구의 내용 및 방법

- **Pathfinder 프로젝트** 컨소시엄 구성:
  -
  - ’As
  -
-
- 초점면에서 휘어진 검출기 (curved CCD) 시제품
- 신소재(SiC) 비구면 반사 거울 개발 및 경통 제작
- 망원경 조립, 정렬, 그리고 성능 검사: LAM+천문
- drift scanning mode 관측: 천문연+OP+IAC
- 스페인 Tenerife에 위치한 Teide 천문대: IAC

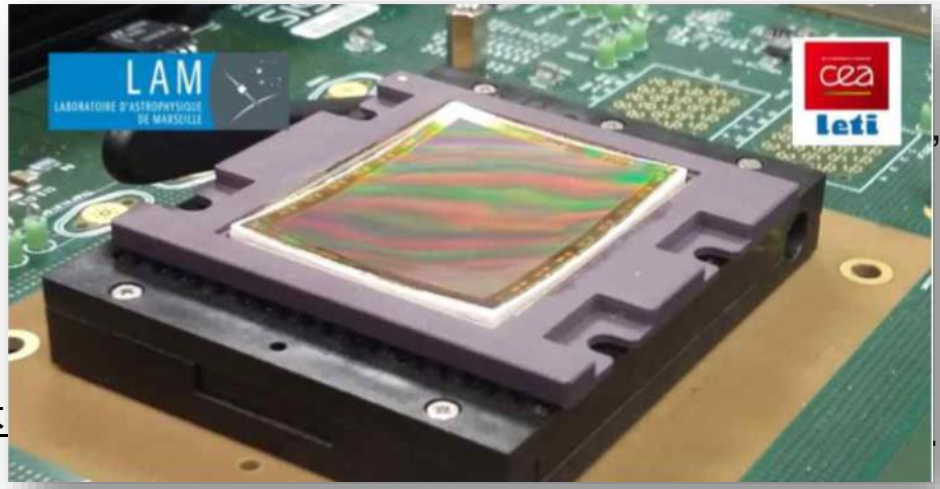


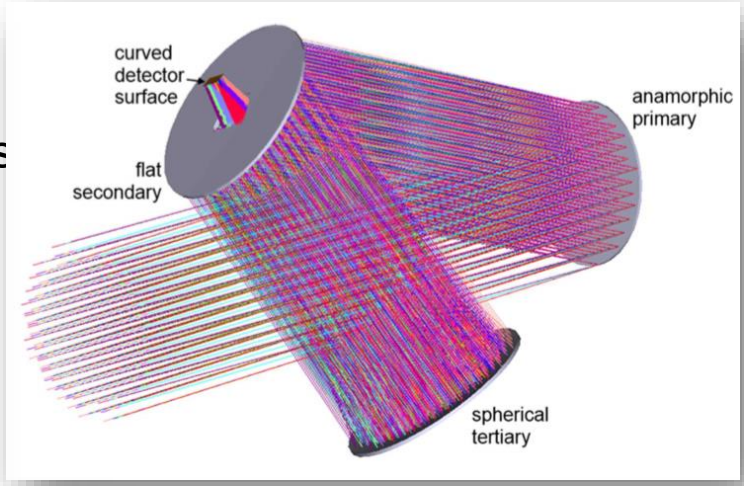


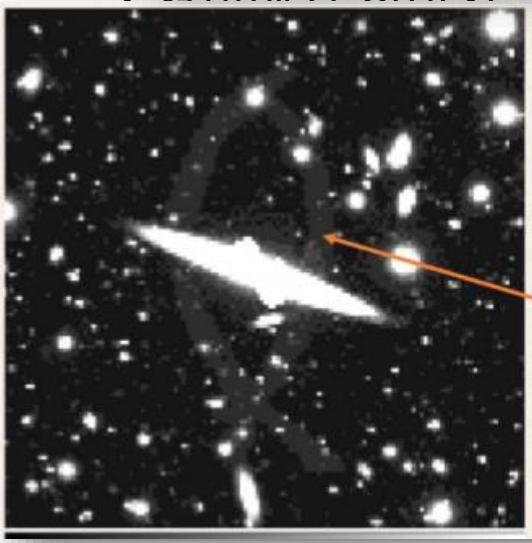


Ⅲ. 연구의 내용 및 방법

- **Pathfinder 프로젝트** 컨소시엄 구성:
  -
  - ’As
  -
- 진 .5)





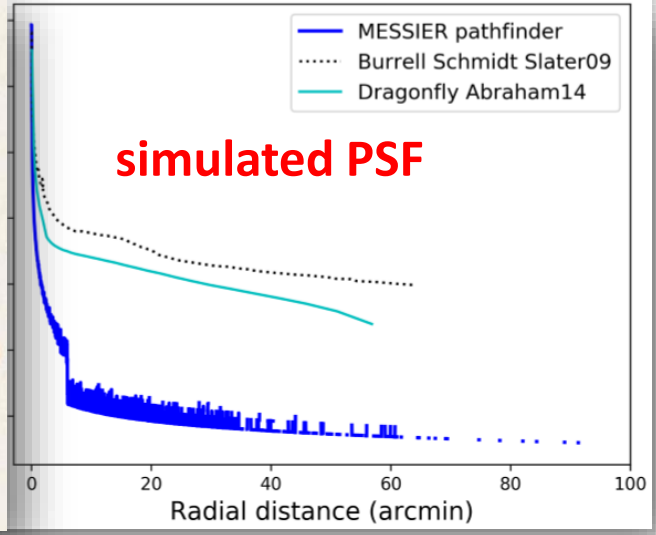


LSST g-band simulation

Total exp time: ~ 6 hr

Dimension of field: 5’x5’

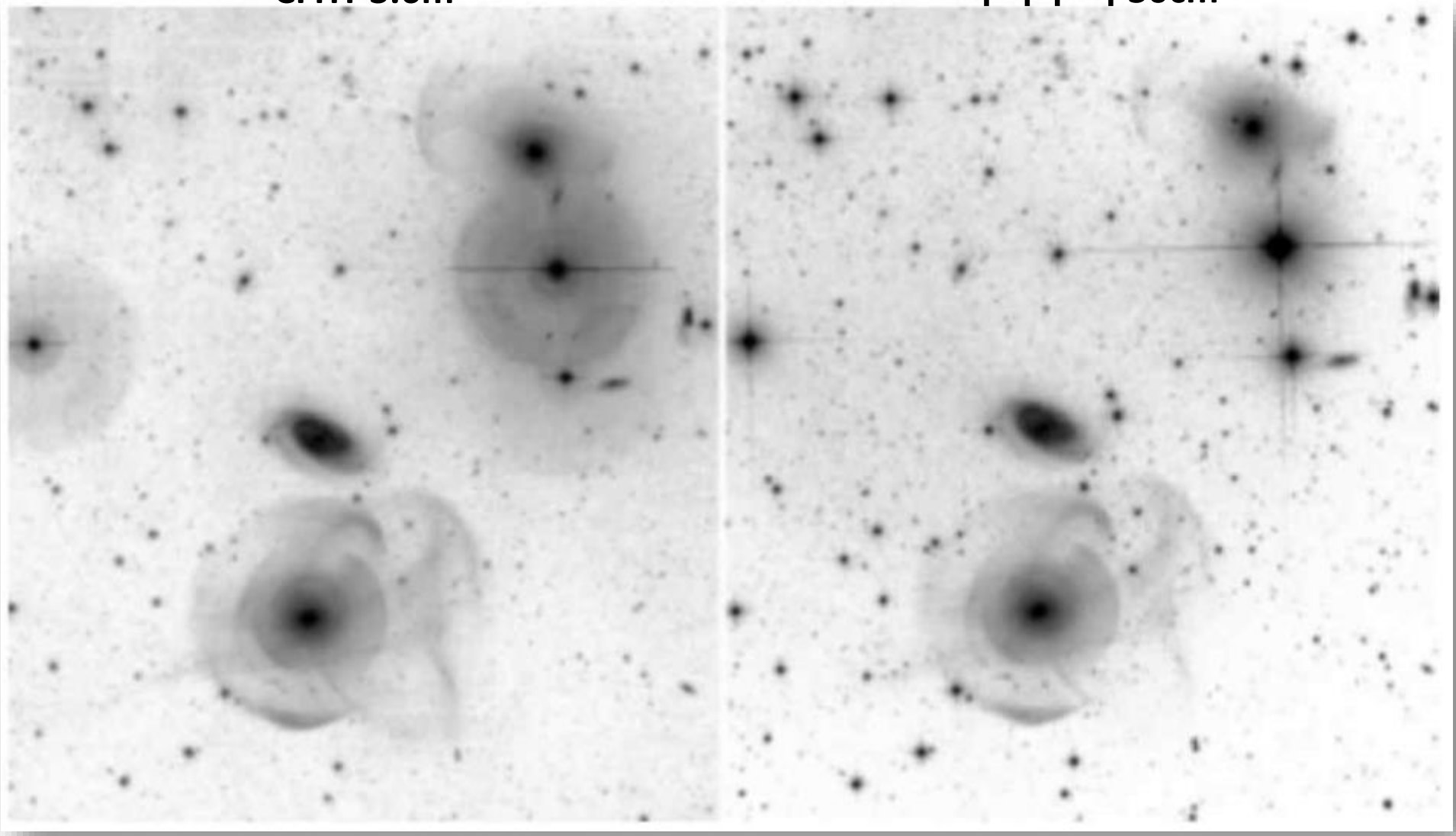
Brightness of arches: 29 mag/arcsec^2



III. 연구의 내용 및 방법: 가능성?

CFHT 3.6m

아마추어 30cm



Duc et al. 2015

Ⅳ. 연구성과의 기대효과

- 국제 **컨소시엄 구성**을 통한 **국내외 연구 교류 활성화**
- 최첨단의 망원경 개발 참여를 통한 기술 획득 및 **독자적 후속 망원경 개발**
- 현재 또는 미래의 대규모 측광탐사(예, LSST) 등과 차별화된 **- 연구 목표에 최적화된**

  - 고효율의 기기 및 관측 방법 개발
- **LSST와 GMT 시대 대비** 선행 연구
- **LSB 연구 분야 선도**할 수 있는 그룹으로 성장
- 기기 개발, 독자적인 관측 전략 및 현대 천문학의 근본적인 연구 주제를 아우를 수 있는 **연구 인력 양성**