

完全空乏型CCDの開発と Hyper-Suprime

宮崎 聡

国立天文台

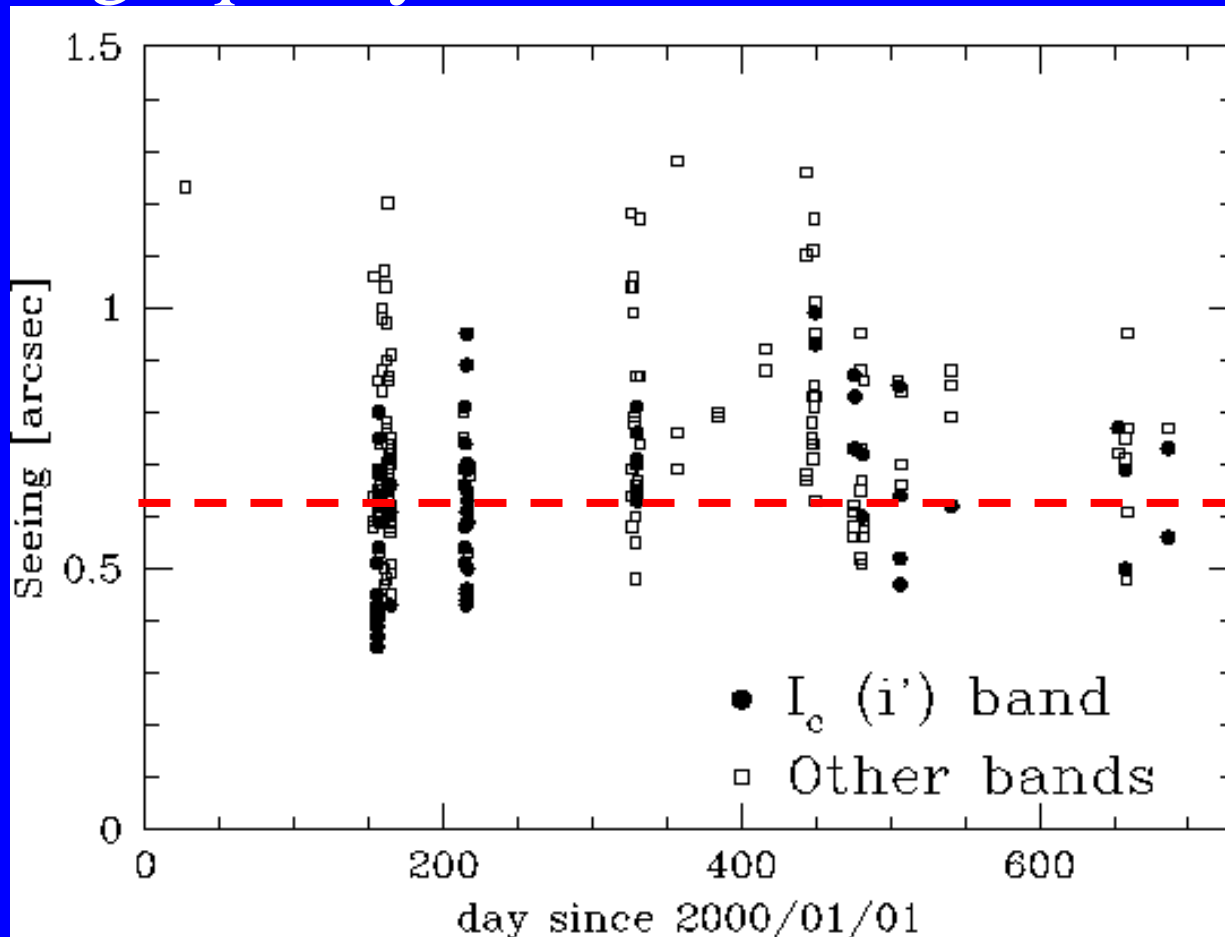
Where are we ?

(1) Survey Speed

| Camera | A [m ²] | Ω [deg ²] | A Ω | First Light |
|---------|---------------------|------------------------------|------------|-------------|
| SDSS | 3.83 | 6.0 | 22.99 | May-98 |
| UH8K | 9.59 | 0.25 | 2.40 | Sep-95 |
| CFH12K | 9.59 | 0.375 | 3.60 | Jan-99 |
| Suprime | 51.65 | 0.256 | 13.17 | Jul-99 |
| MegaCam | 9.59 | 1.0 | 9.59 | (Fall-02) |
| VISTA | 11.33 | 2.0 | 22.67 | (Spring-04) |
| LSST | 37.40 | 7.1 | 265.54 | (~ 2010) |

Where are we ?

(2) Image quality

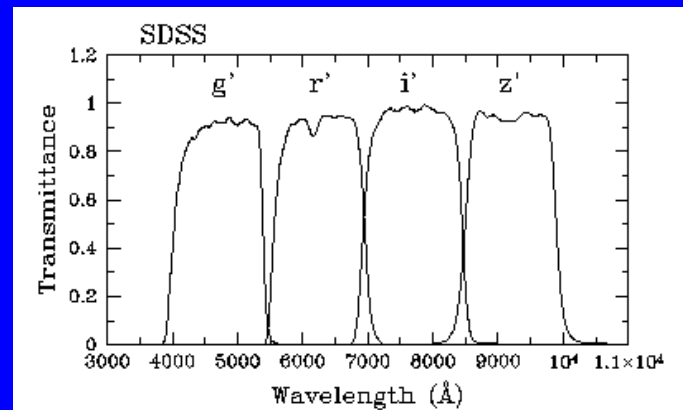
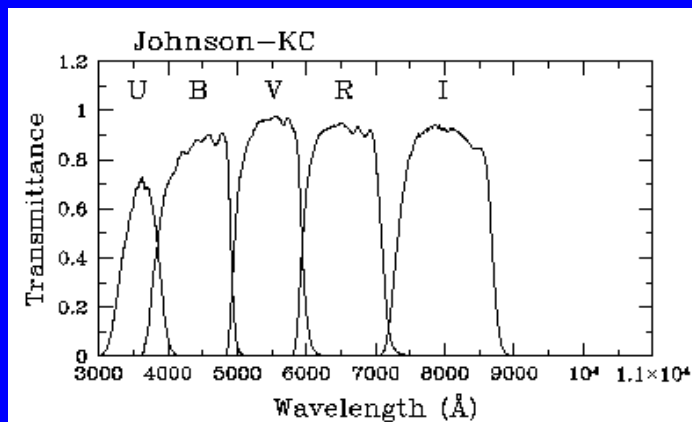


0.61 in I
0.69 all

Where are we ?

(3) System throughput

| Band | B | V | R | i' | z' |
|-----------|------|------|------|------|------|
| Mirror | 0.91 | 0.90 | 0.89 | 0.86 | 0.90 |
| Corrector | 0.85 | 0.92 | 0.93 | 0.92 | 0.85 |
| CCD | 0.61 | 0.75 | 0.84 | 0.85 | 0.54 |
| filter | 0.88 | 0.97 | 0.94 | 0.96 | 0.93 |



現状整理すると

- Sub-arcsec seeing用カメラの中では世界一のサーベイ能力を持つ
- すばるの共同利用時間の約3割がSuprime-Camで使われている
- 競合するカメラが次々と設計、開発中
 - Mega-Cam
 - VISTA
 - LSST
- Upgradeを考えるのは自然

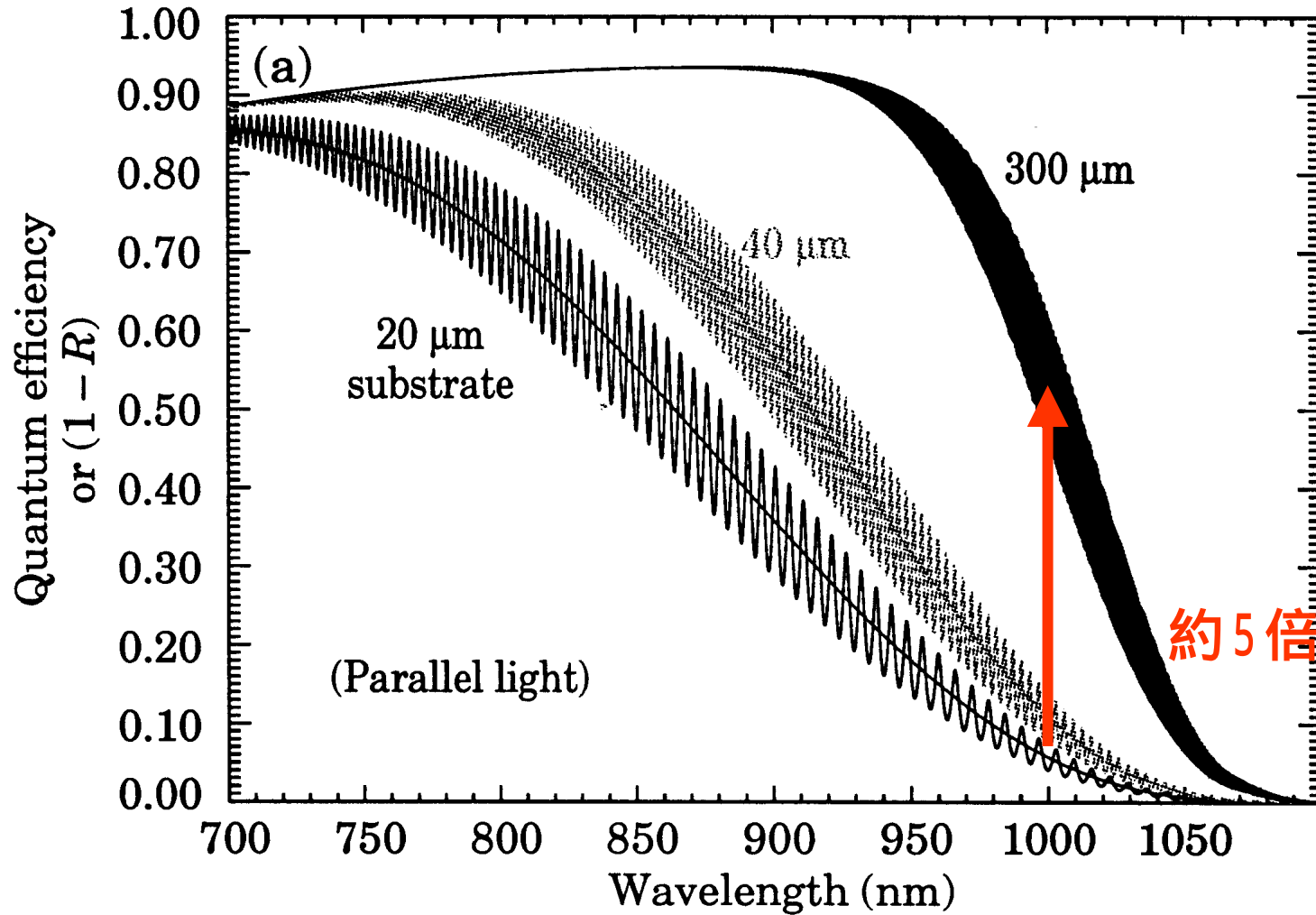
Suprime-CamのUpgrade

- 赤側量子効率の改善 (とlow cost化)
 - 完全空乏型CCD $1\mu\text{m}$ で5倍
- さらなる広視野
 - 新型補正光学系 $\Omega = \pi \text{ deg}^2$
 - Hyper-Suprime
 - LSST完成の2010年より前に投入

完全空乏型CCDとは

- 光子がCCDで検出されるためには、電場がかかっている空乏層で吸収され、電子-ホール対を作らなければならない。
- 赤側の量子効率、光子が空乏層を透過してしまうために低下する。
- 空乏層を厚くすれば量子効率は改善する。

完全空乏型CCD



完全空乏型CCDの作り方

- 厚い空乏層は不純物濃度が高いシリコンを使うと得られる。
- N型シリコンは最新技術である中性子照射法を用いると極めて高い不純物濃度を達成できるようになった。
- このN型シリコンでCCDを作ればよい。
 - LBNLで最初に試みられた。

完全空乏型CCD

- メリット

- 量子効率の改善
- フリンジの減少
- Thinningすることなく裏面照射化ができる

- デメリット

- ホールがキャリアーになるので、移動速度が遅い
- ただし、500 kHz程度の読み出しを使う天文観測では問題にならない(はず)

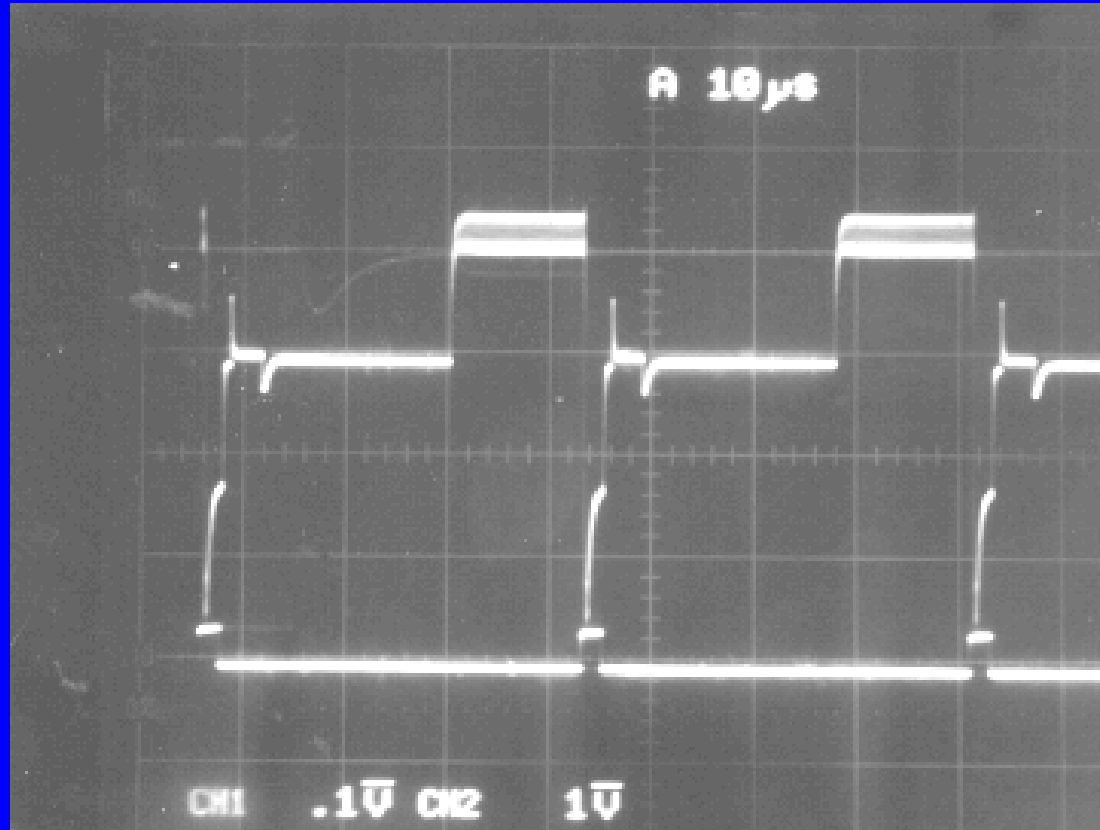
Subaru-Hamamatsu collaboration

- R&D of fully depleted CCD
 - Small proto-type 1024 x 256 (24 micron pixel)

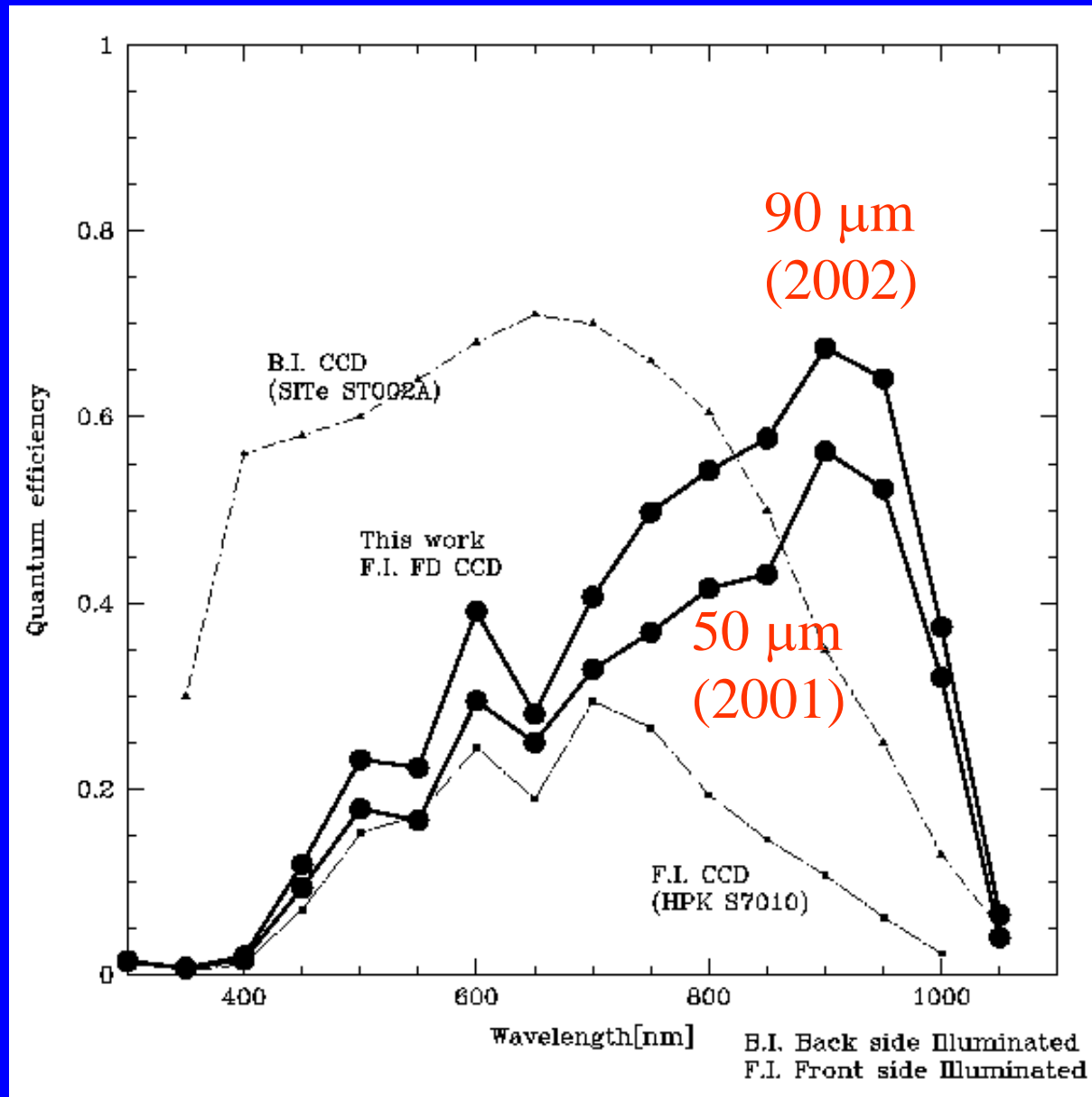


Subaru-Hamamatsu Fully depleted CCD

- 出力信号
 - キャリアーがホールだから極性が逆

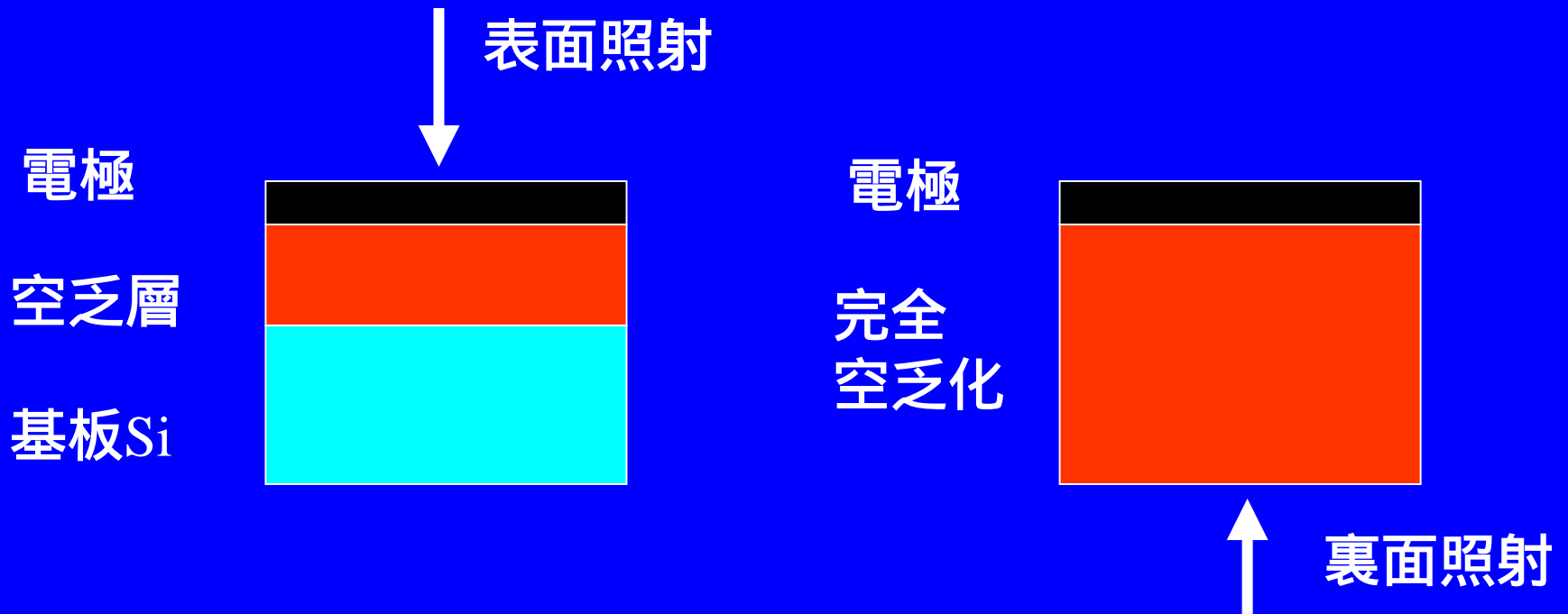


- QE measured at Mitaka CCD detector lab

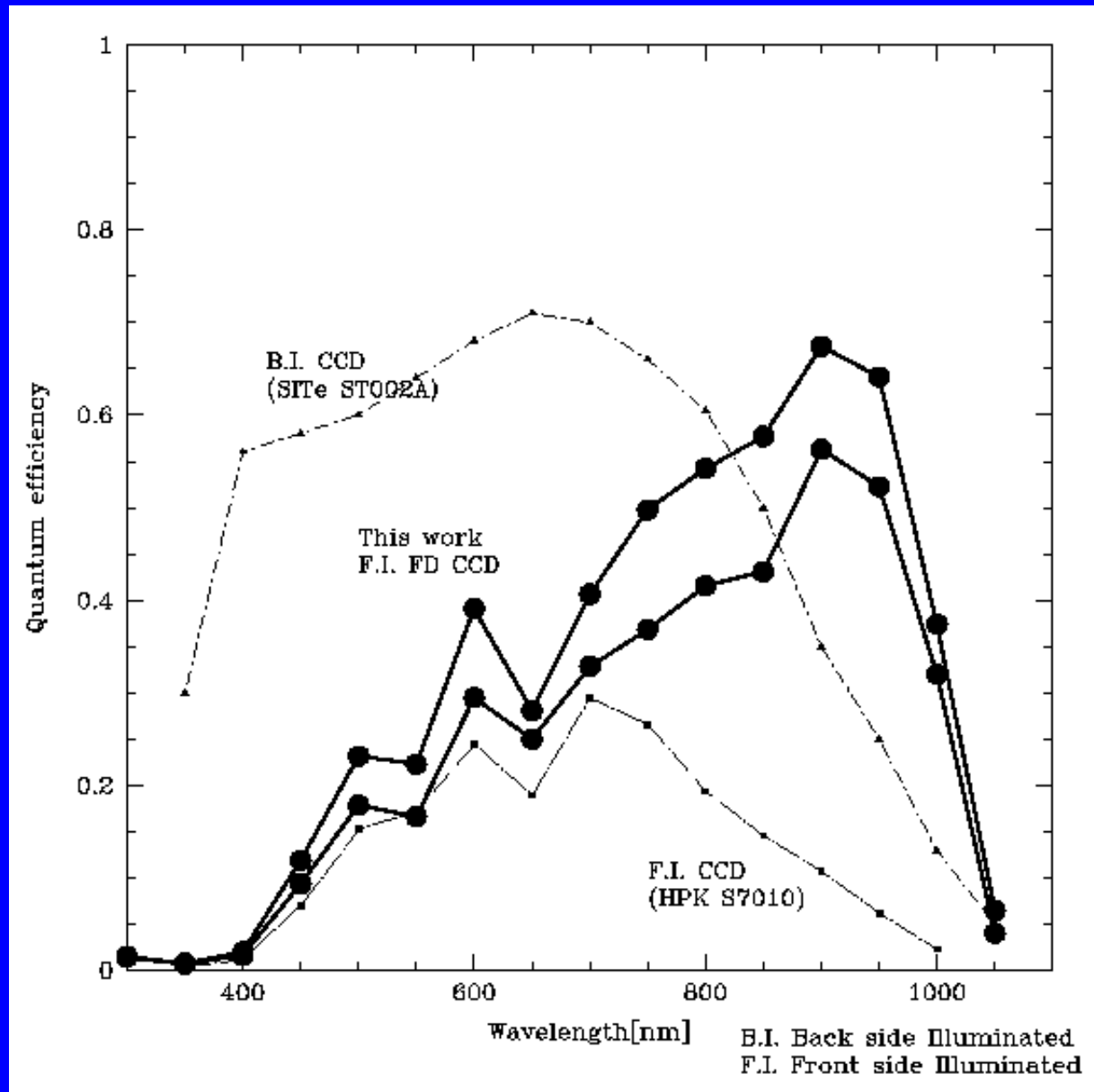


裏面照射化

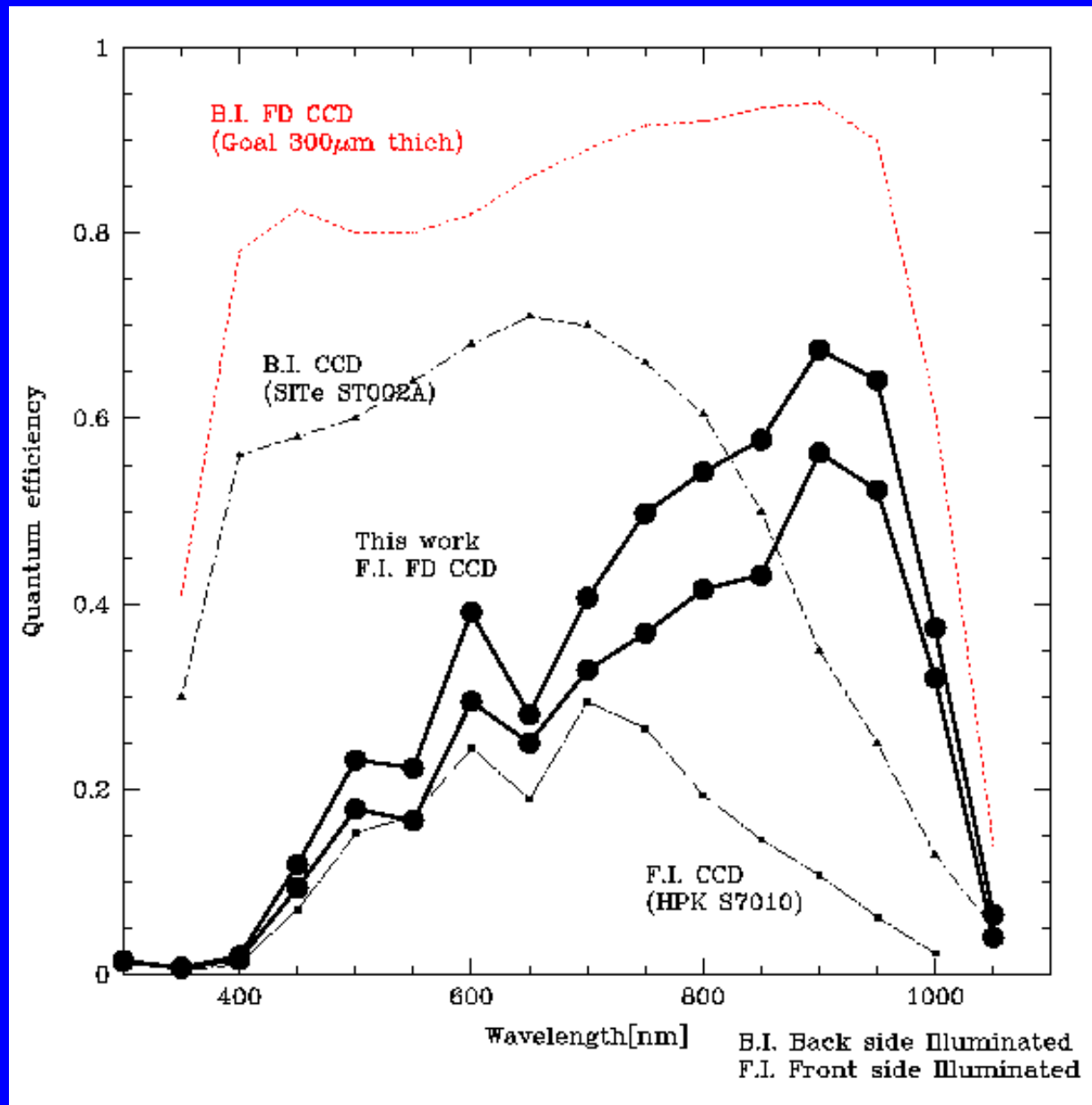
- 青側感度を改善するには裏面照射にする
- 完全空乏化ができればThinningをする必要がない → コストを下げても大量生産できる



- QE measured at Mitaka CCD detector lab



- QE measured at Mitaka CCD detector lab



仲間が増えました

- 京大 阪大のX線天文グループが今年度よりFDCCDプロジェクトに参加
- FDCCDは高いエネルギーのX線まで止められる
 - 30 keVで約10 %の量子効率を目指す
 - ぎんが衛星のエネルギー領域での撮像
 - 名大がsuper mirrorの開発を進めている
 - NeXT?
- 共同で2k2kもしくは2k4kのFDCCDの開発を2、3年を目処に目指す
- 現行Suprime、FOCASのCCDの置き換え

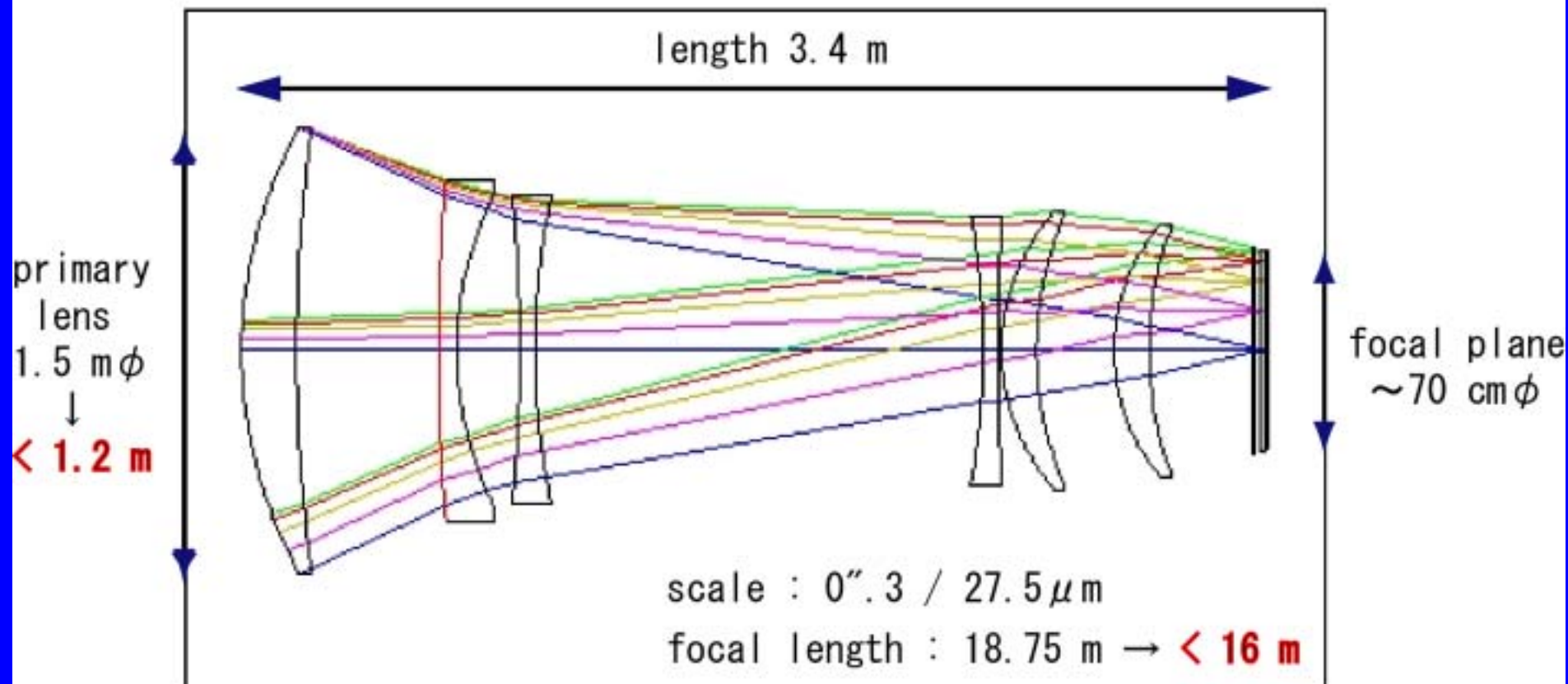
さらなる広視野化

- で、どのくらい？
- 現Suprime 30分角
- 当時実現できそうなことをやった
 - 現在の利用率の高さは設計時は多分想定していなかった
 - LBG (Steidel), LAE (Hu), Weak lensing(Tyson)
TypeIaSN(Perlmutter)などの先駆的な仕事により大望遠鏡による広視野撮像がブームになった
- どのくらい広く出来るか、まあとにかく検討してみよう

新型補正光学系の デザインコンセプト

- 視野角 : 2 deg $\pi \text{ deg}^2$ (0.5 deg)
- 像質: $d_{80\%} = 0''.3$ (0''.22)
- 設計波長: 550 nm < λ < 1100 nm (400nm < λ)
- 大気分散補正系はつけない
- 像面湾曲を許す
- 多少のケラレは許す
- 現補正系の設計者 武士氏に検討を依頼

Latest Design by Dr. Takeshi



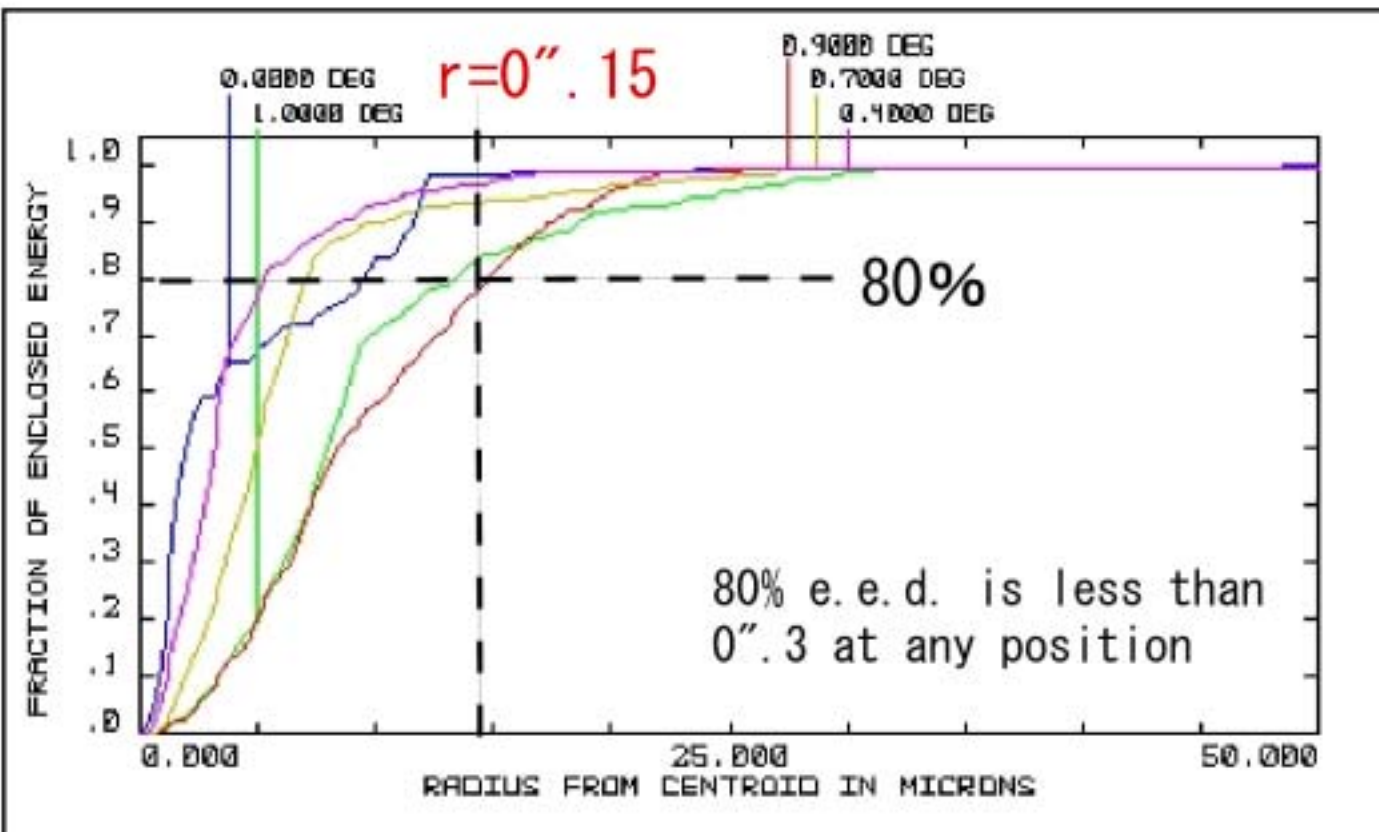
scale : 0".3 / 27.5 μ m
focal length : 18.75 m \rightarrow < 16 m

LAYOUT

PFC.7353
THU JUL 25 2002
TOTAL LENGTH: 3408.67091 MM

CONFIGURATION 1 OF 1

Encircled energy distribution @ 550 nm



GEOMETRIC ENCIRCLED ENERGY

PFC.7353
THU JUL 25 2002
WAVELENGTH: 0.550000 MICRONS
DATA HAS BEEN SCALED BY DIFFRACTION LIMIT.

CONFIGURATION 1 OF 1

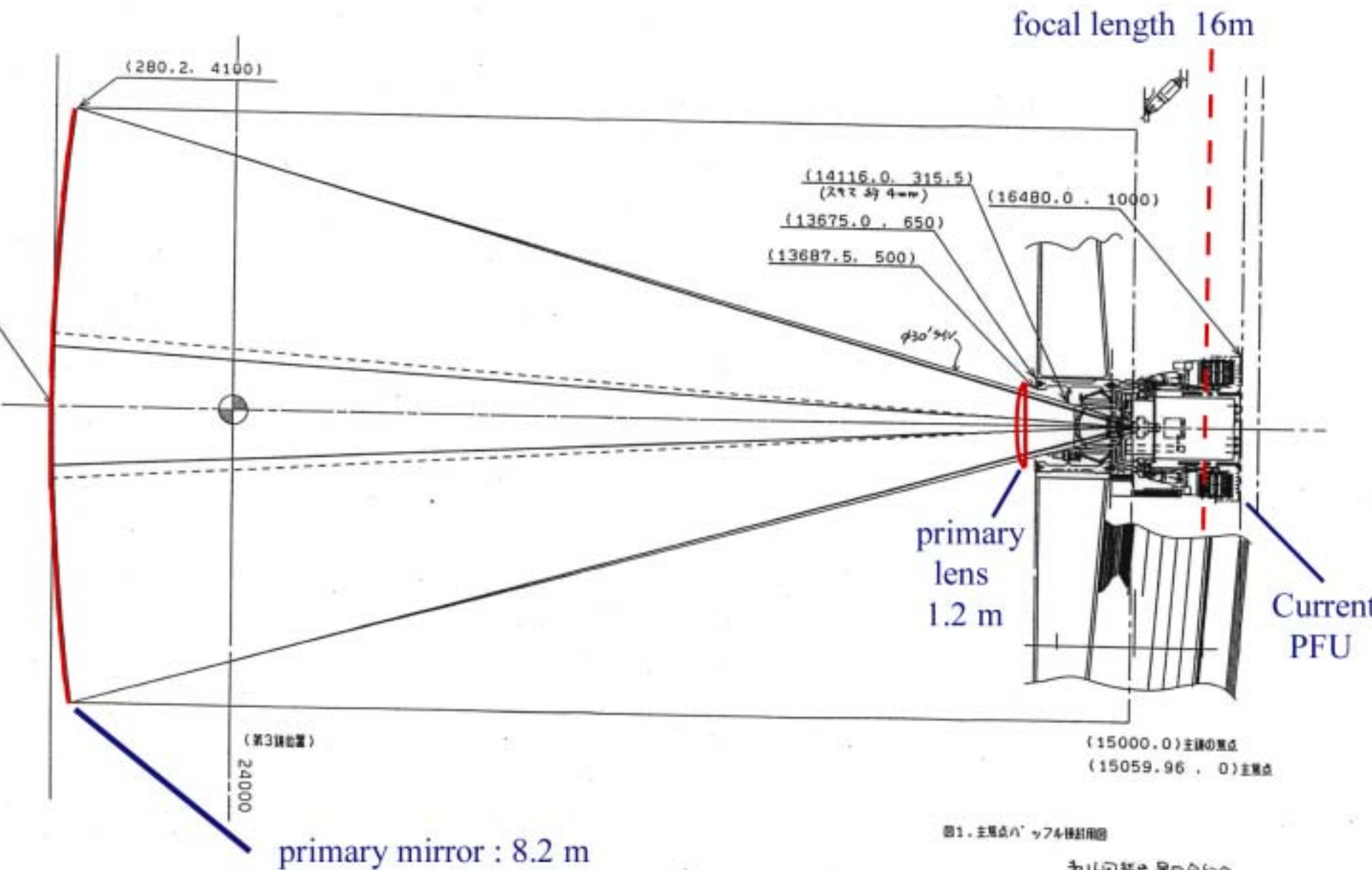


図1. 主鏡点ハッパ4機配置図

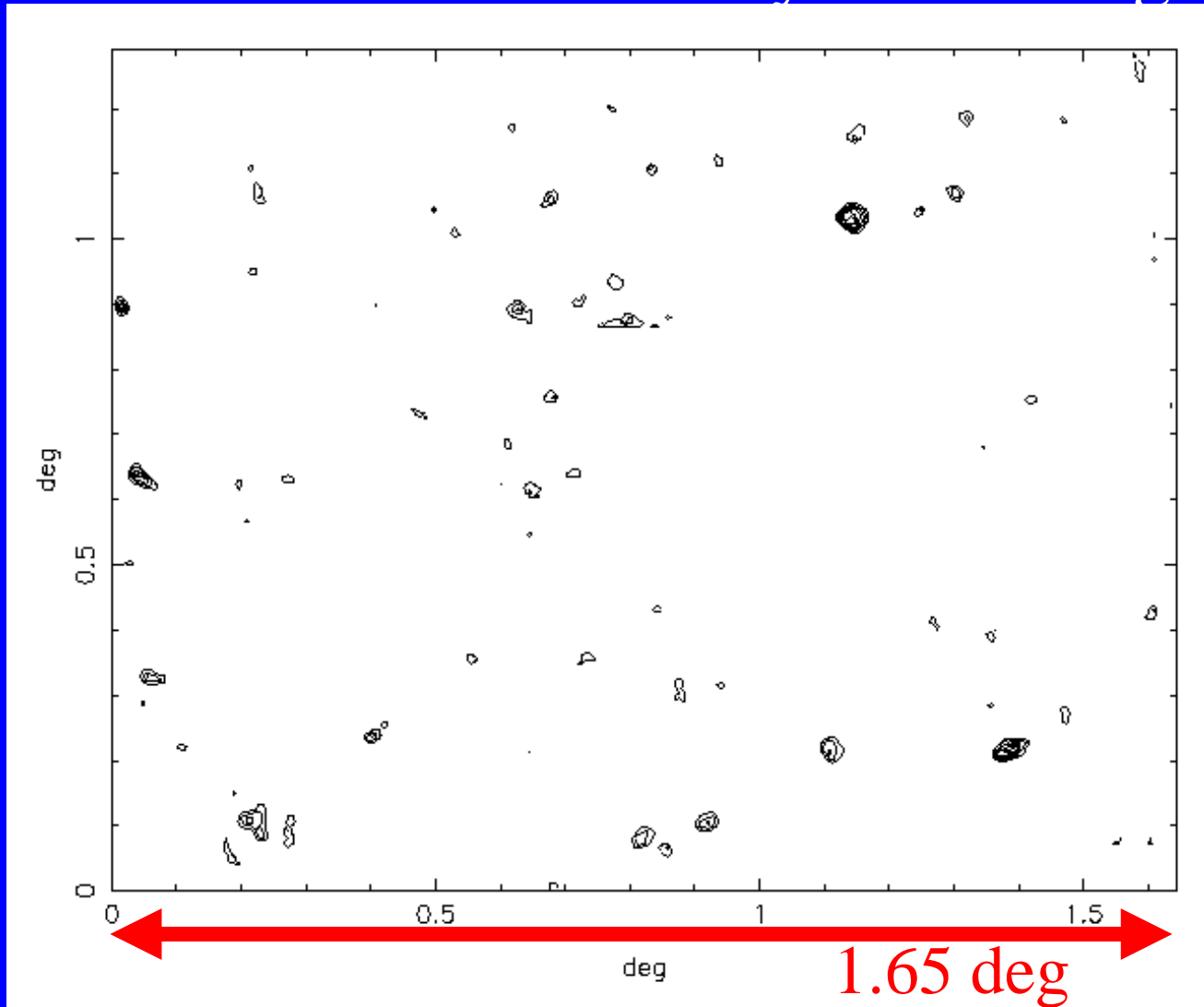
市16回製造 運用中 行会

検討課題

- 補正系デザインのさらなる検討（武士）
 - 第一レンズの直径1.2m以下
 - ピクセルスケールは現在と同じくらいにする
- CCD 約200個が必要（宮崎, 鎌田）
 - 歩留まりコストを下げる 完全空乏型CCDの実現必須
- 約400 chの出力（中屋）
 - 高速で信頼性の高い読み出しエレクトロニクス
 - Analog VLSI化等新しい技術にチャレンジする必要がある
- 大型の冷却系、機械系検討（小宮山）

So, what for ? One example

- Dark matter halo survey via lensing



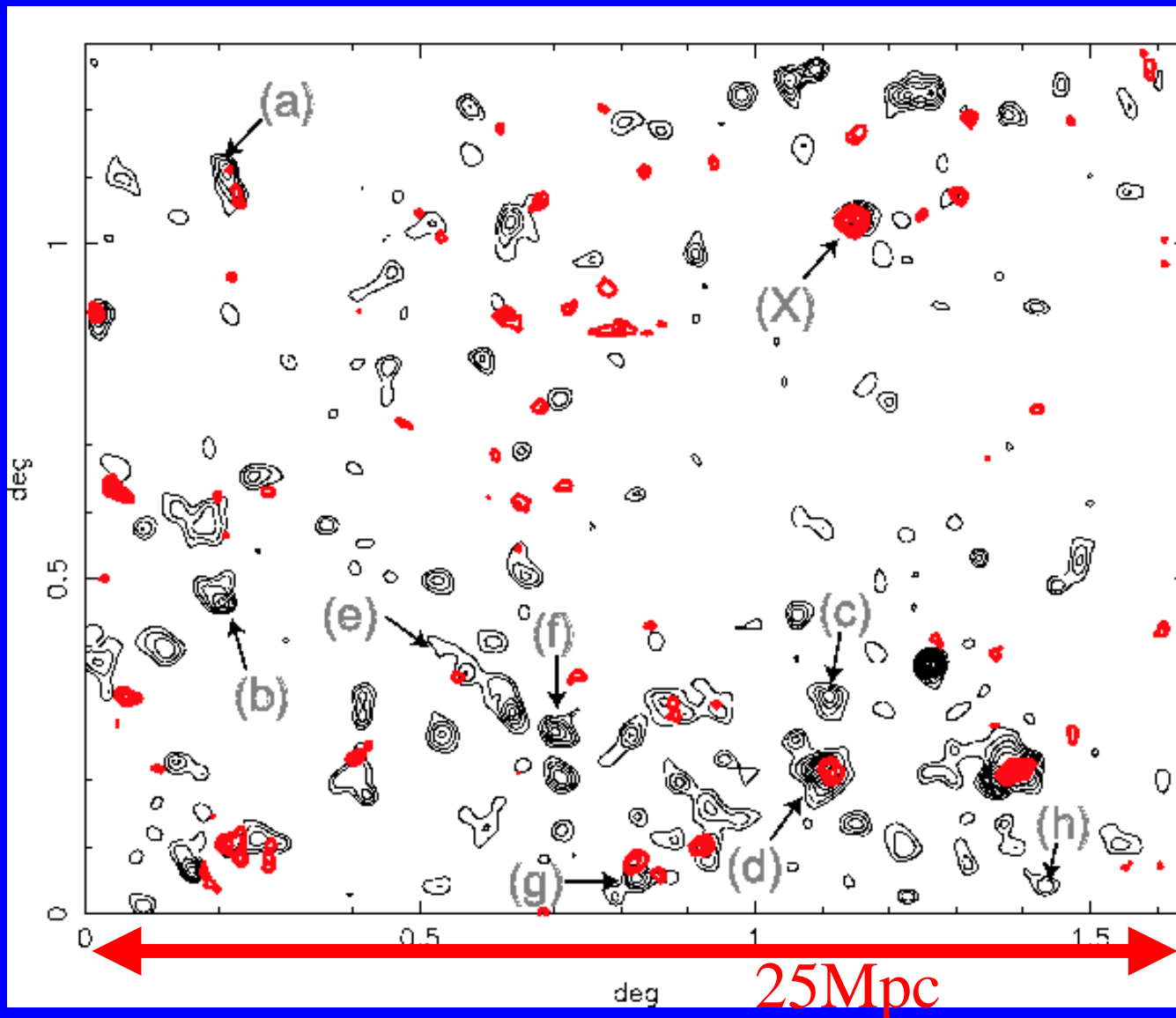
Mass map
(S/N > 3)
 $\sim 10^{14} M_{\text{solar}}$
 $\varnothing_{\text{Halo}}$

2.1 deg²

9視野
R 30min

(Miyazaki
et al. 2002
in press)

Dark matter halo survey



光との
相関も
結構
よい

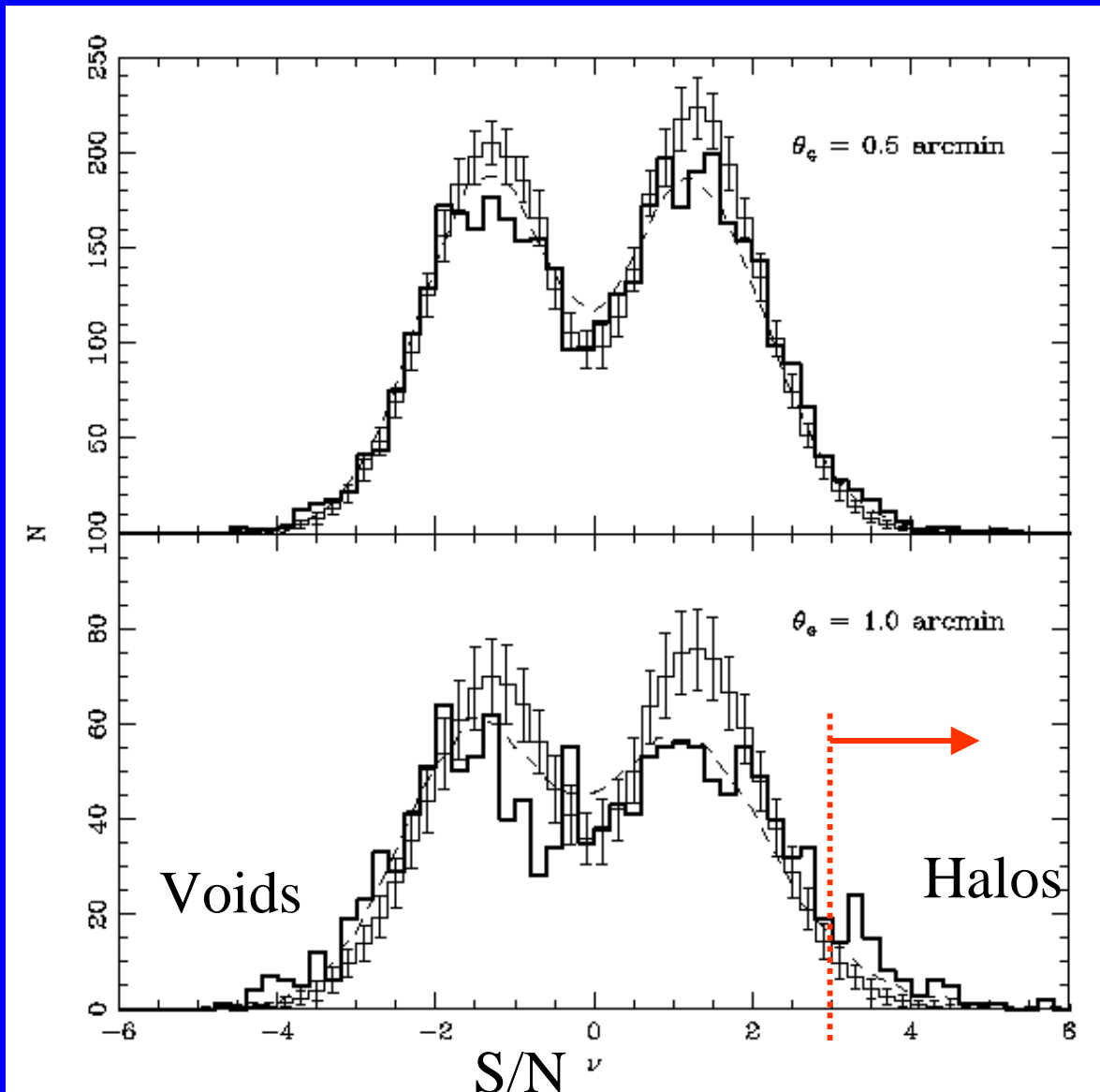
(Miyazaki
et al. 2002
in press)

Lens Cluster (X)



New cluster
 $Z = 0.4$

Dark matter halo count

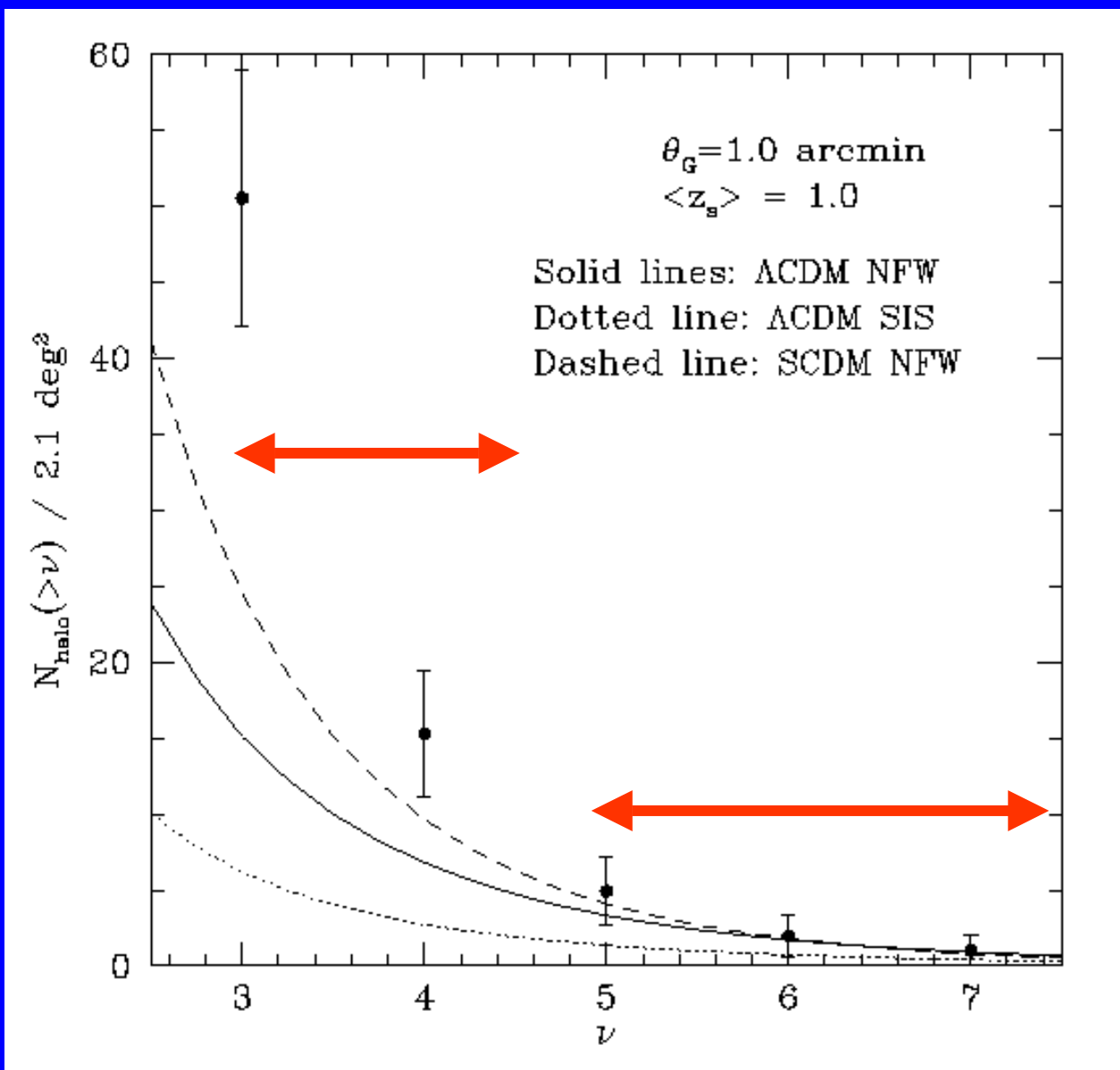


ピーク分布

S/N > 3だと
約3割が
Spurious halos

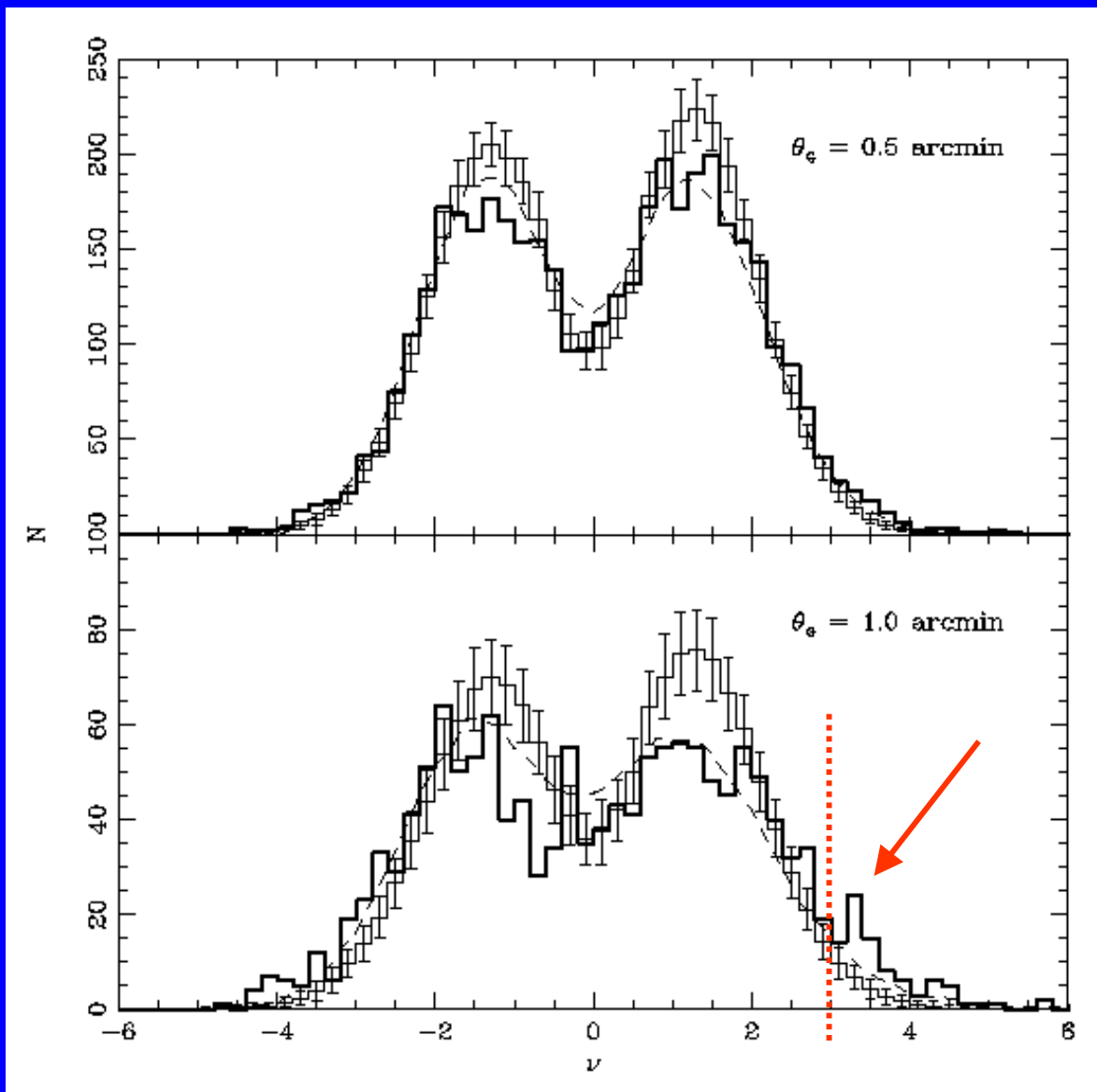
(Miyazaki et al. 2002 in press)

Dark matter halo count



S/Nが高いところではCosmologyにあまりよらずHalo profileにのみ依存する

Dark matter halo count



このような
スパイク
を見ている
Cosmic
varianceの
影響が大きい
ことを示唆

(Miyazaki et al. 2002 in press)

Cosmic Varianceを評価するには

- 100 Mpcより大きい構造の存在が知られている
- Dark energyの一形態-- quintessence – は数100 Mpcの大きさのclumpを作られている
- これくらいの大サイズの領域をカバーしないと宇宙論的意義のあるサーベイとはいえない

広さに直すと

- 1 deg = 15.5 Mpc at $z = 0.5$ (flat universe)
- 10 deg x 10 deg \rightarrow 155 Mpc x 155 Mpc
- Cosmic Varianceを評価するには最低でも10程度の領域は観測する必要がある
- 100 deg² x 10 fields \rightarrow 1,000 deg²

1,000 deg² Survey

暗夜の半分を使い 'BVRi'z' で撮像すると、、、

| | |
|---------------|----|
| Hyper-Suprime | 6年 |
|---------------|----|

| | |
|-------------|------|
| Suprime-Cam | 100年 |
|-------------|------|

Hyper-Supprime-South

全天サーベイも
いつかはやるべき

TAO

まとめ

- Hyper-Suprime 2008年完成を目指す
- Multi color deep survey 1000 deg²
- All Sky survey $R < 24.5$
 - 21世紀のパロマチャート 変光情報付き
 - 人類の知的遺産
 - 30m望遠鏡時代のカタログ
 - 全天をカバーするにはHyper-Suprime-Southが必須