

PFSサイエンス検討班 の活動報告

高田昌広



Premises

- Please note the following premises for further discussion on the PFS project.
- The survey program by the PFS collaboration will be carried out after reviewing processes, under the Subaru Strategic Program framework. The PFS collaboration will include both the Japanese community and international community.
- PFS will become a Subaru common-use instrument, available to the entire Japanese community, once the instrument is completed.

これまでの経緯

- 2010年9月 – 11年1月: PFSメーリングリスト+WGsの立ち上げ & White Paperの執筆 (mainly led by the Japanese community)
- 2011年1月: 2010 Subaru Users' Meeting
- 2011年7月: PFS Collaboration Meeting (tennet, 理論懇に参加案内の呼びかけ)
 - Science WGs (Cosmology, Galaxy, Galactic Archeology) + Mailing Lists の立ち上げ; 日本+海外パートナー研究機関の研究者
- 2011年7月 – 12年1月: 各サインエス検討班でのfeasibility study
- 2011年10月: DENET国際会議 @IAP, France
- 2011年11月: PFS CoDR Preparation Meeting @Hilo
- 2012年1月: PFS Collaboration Meeting @Tokyo
- 2012年3月: PFS CoDR @Hilo

← 現在

PFS collaboration meeting, Jan 2012 @丸ビル



PFS Science WGs

- 日本の研究機関に所属する方ならどなたでも参加可能です！
 - メーリングリスト、wiki page (共同研究の documents, 過去の研究会・活動のアーカイブ)
- 一緒にSubaru PFS (+HSC) 計画・サーベイを成功させましょう！
- 興味のある方は高田までご連絡ください！

Science WGs & Mailing Lists

- Cosmology WG: Masahiro Takada (IPMU), Chris Hirata (Caltech), Jean-Paul Kneib (LAM)
- Galactic Archeology WG: Masashi Chiba (Tohoku U.), Judy Cohen (Caltech)
- Galaxy WG: Jenny Greene (Princeton), Kevin Bundy (IPMU), John Silverman (IPMU), Masami Ouchi (U. Tokyo)
- AGN WG: Tohru Nagao (Kyoto U.), Michael Strauss (Princeton)
- Mailing lists: pfs_survey@ipmu.jp (89 registrations as of Feb 27, 2012), pfs_cosmology, _galaxy, _agn, _ga@ipmu.jp
- Wiki page: <http://sumire.pbworks.com>



Jim Gunn
 David Spergel
 Michael Strauss
 Jenny Greene
 Rachel Mandelbaum
 Robert Lupton
 ...



Tim Heckman
 Chuck Bennet
 Rosie Wise
 Brice Menard
 Nadia Zakamska



All Japan



国際共同研究



Caltech



Richard Ellis
 Judy Cohen
 Chris Hirata
 Mike Seiffert
 Olivier Dore
 Dan Starn
 Lexi Moustakas



Yen-Ting Lin
 Tzu-Ching Chang
 Lihwai Lin
 Wei-Hao Wang



Olivier Le Fevre
 Jean-Paul Kneib



Raul Abramo
 Laerte Sodre

- 未だに参加したいなどの問い合わせがある(PFSの魅力)
- 国際共同研究の経験を積む絶好の機会(特に若い方!)
- PFS成功という共通の目標のもと、海外の研究者と協力・切磋琢磨

SWG Charge

- すばるPFSで可能になるユニークなサイエンスの洗い出し、その実行可能性(feasibility)の検討・検証
 - 宇宙論、銀河進化、銀河考古学
- 各サイエンスの成果が最大限達成されるようなサーベイデザインを検討
 - Boundary condition: すばる戦略枠の枠組み内で行う
- サイエンスゴールを達成するためのサーベイデザインへの Requirements の定義、またPFS装置仕様(fiber本数、分解能、Throughputなど)への Requirements の定義 (プロジェクトオフィス・装置開発グループとの密接な連携)

デザイン検討の活動(現状)

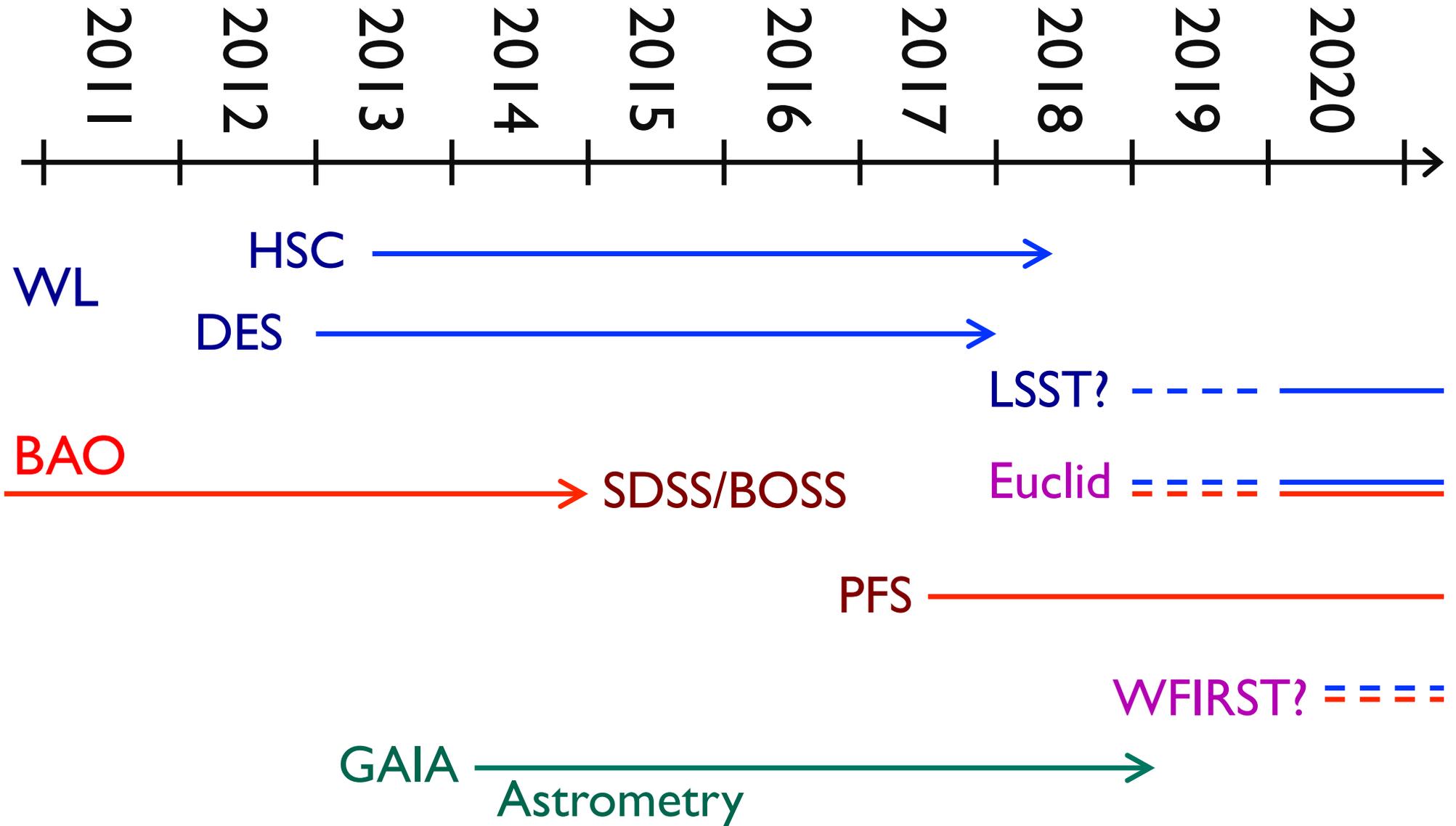
Scientific Program and Requirements

Richard Ellis & Masahiro Takada: Co-Chairs of PFS Survey Committee

Contents

1	Introduction	5
1.1	Purpose of Document	5
1.2	Background	5
1.3	The Prime Focus Spectrograph	6
1.4	Document Layout	6
2	Cosmology	7
2.1	Executive Summary	7
2.2	Cosmology Objectives	8
2.3	PFS Cosmology Survey	9
2.4	Scientific Requirements for PFS Cosmology Survey	26
	References	28
3	Galactic Archaeology	29
3.1	Executive Summary	29
3.2	Key Science Goals	29
3.3	Low-Resolution PFS surveys for Galactic Archaeology	32
3.4	Medium-Resolution PFS surveys for Galactic Archaeology	40
	References	44
4	Galaxy Survey	47
4.1	Executive Summary	47
4.2	Introduction	48
4.3	Scientific Goals of the PFS Galaxy Evolution Survey	49
4.4	Simulated Data	51
4.5	Survey Design and Target Selection	55
4.6	Requirements	64
	References	65
5	Science Requirements	69
5.1	Cosmology Science Objectives and Top Level Requirements	69
5.2	Galactic Archeology Science Objectives and Top Level Requirements	71
5.3	Galactic Archeology Science Objectives and Top Level Requirements	71
6	Outstanding Issues	75
6.1	Introduction	75
6.2	Technical Requirements	75
6.3	Planning the Survey	76
6.4	Data Reduction Pipeline	77
6.5	Legacy Value	77

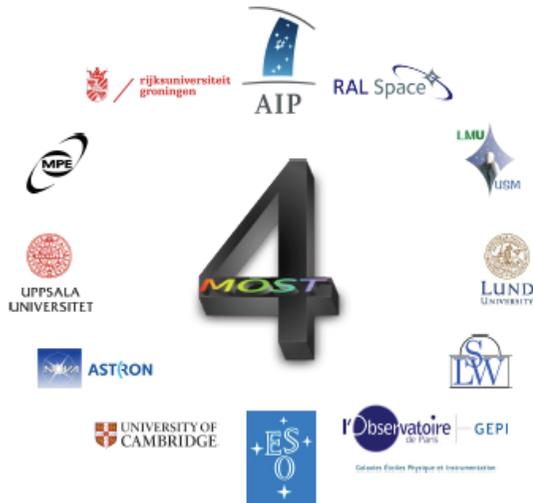
PFS: 絶好のタイミング



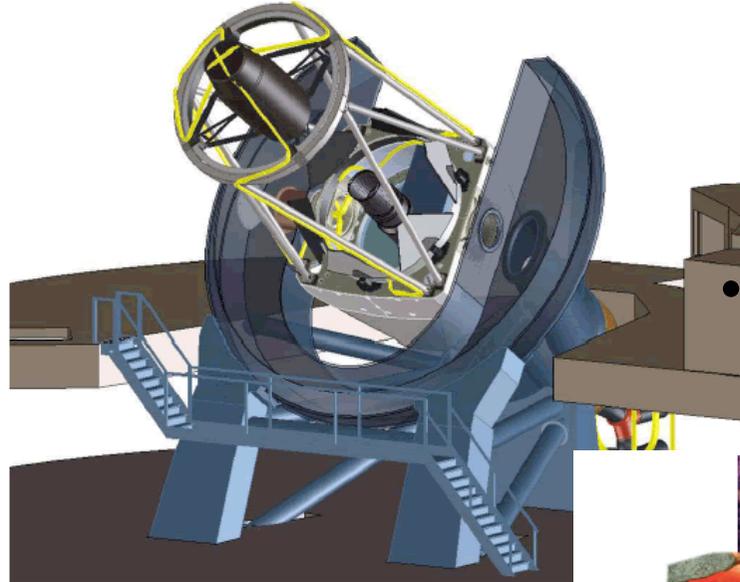
熾烈な国際競争

4MOST

4-meter Multi Object Spectroscopic Telescope
Proposal for a Conceptual Design Study for ESO

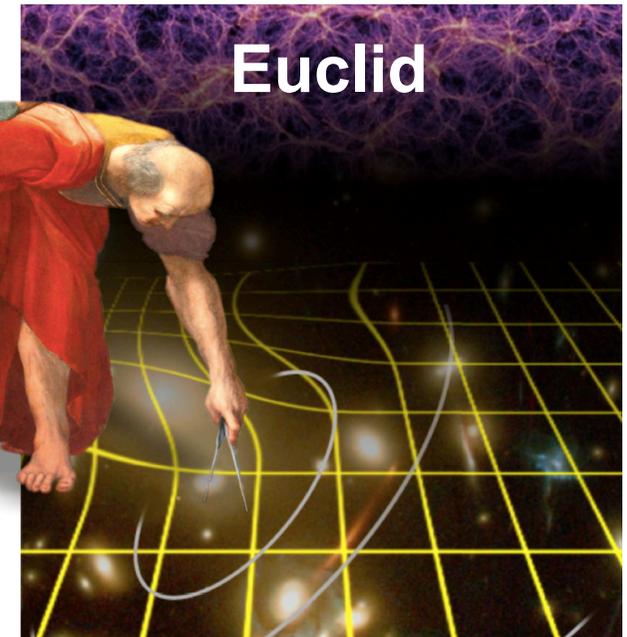
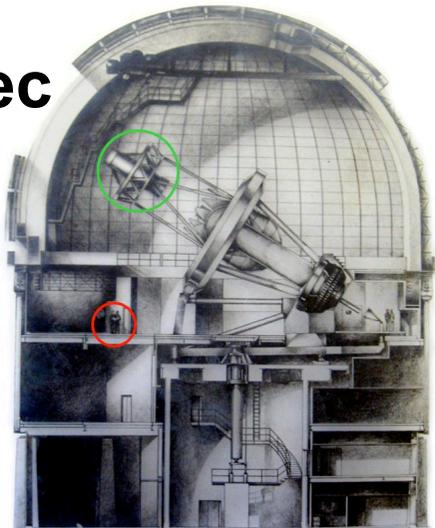


BigBOSS



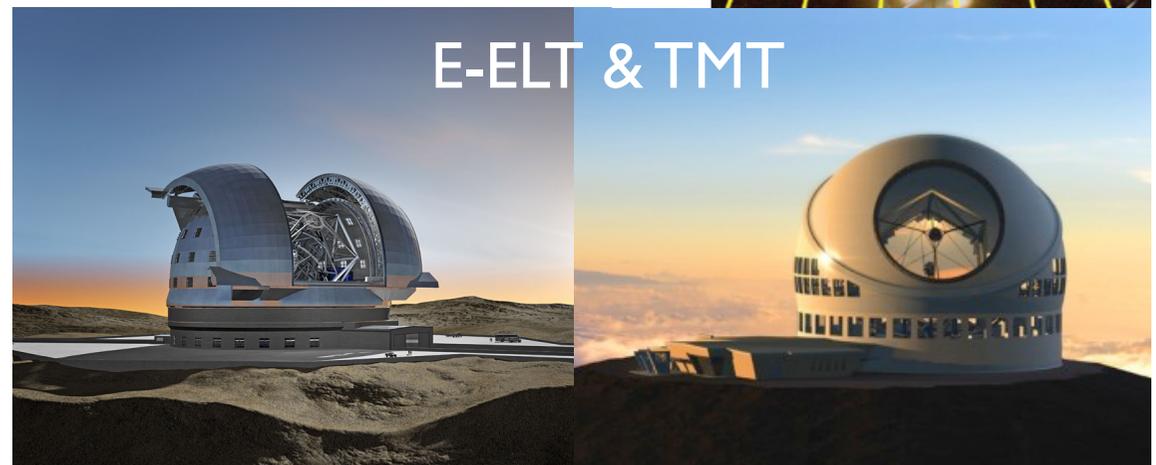
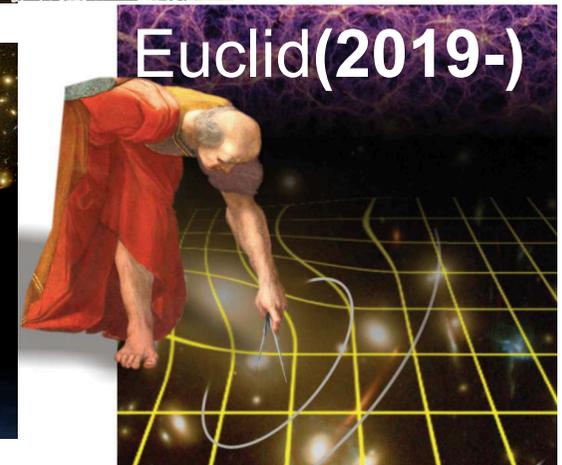
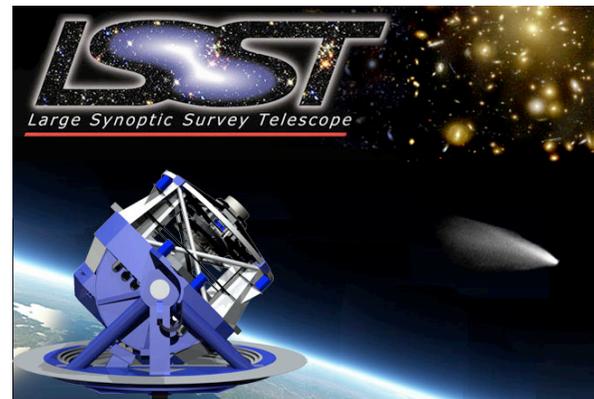
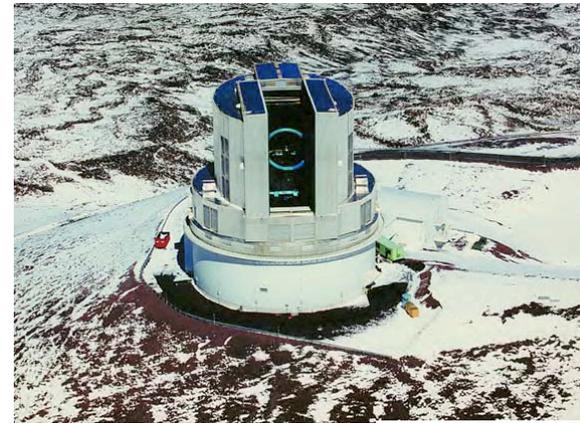
- 大規模撮像サーベイ計画を受け、大規模分光サーベイの必要性
- HSC+PFS: 究極の地上サーベイ

DESpec

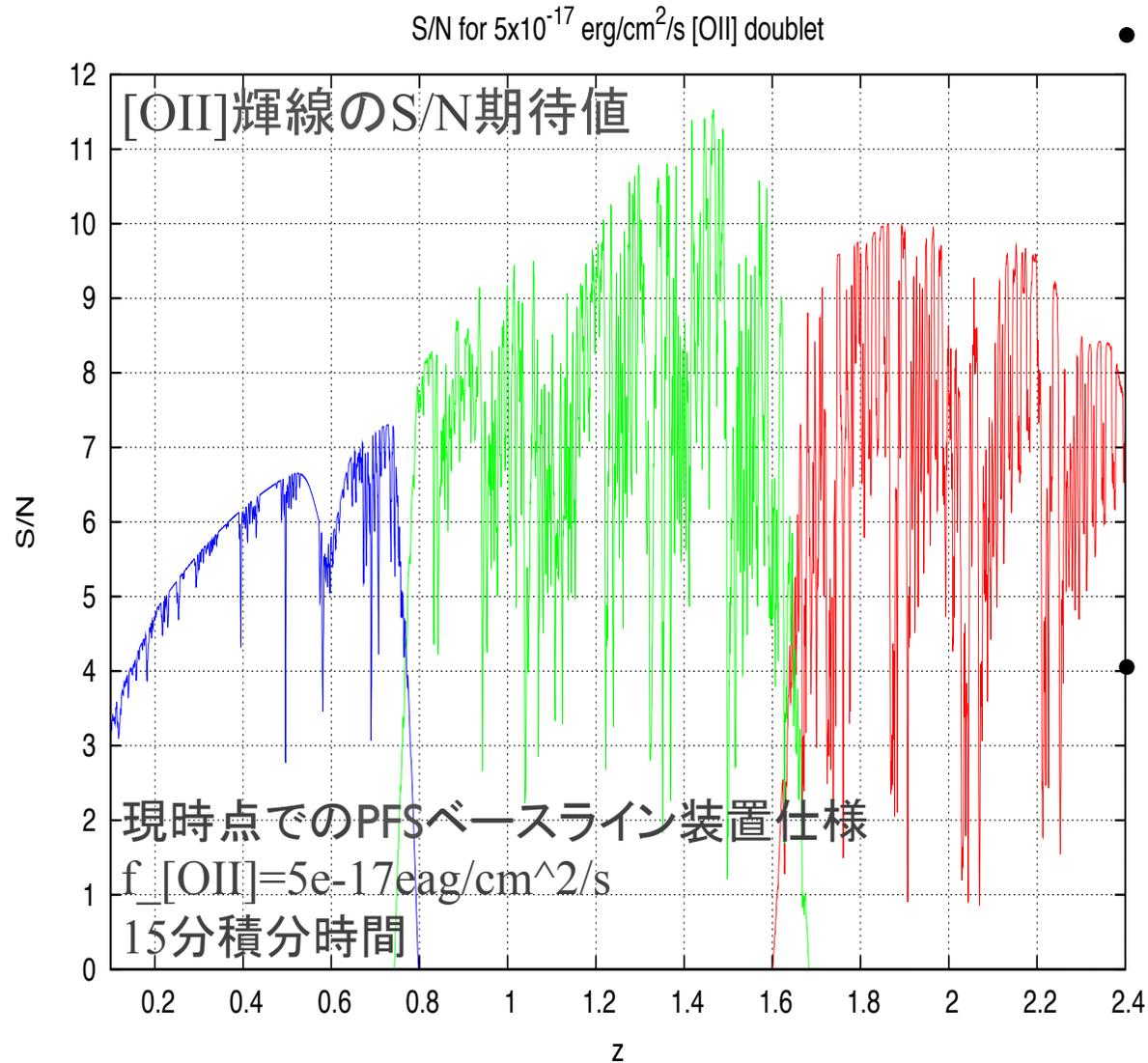


すばるの戦略

- HSC/PFS: 主焦点の特性を活かし、すばる望遠鏡が2020年代にもユニークな望遠鏡であり続ける – just like SDSS (2.5m) or CFHT (4m) vs. 8m tels now
- 様々なシナジー
 - GAIA (2013)
 - Euclid (2019)
 - LSST (2018 or 19? -)
 - WFIRST (???)
 - TMT& E-ELT (???)



PFS装置仕様



• 良く練られた設計仕様

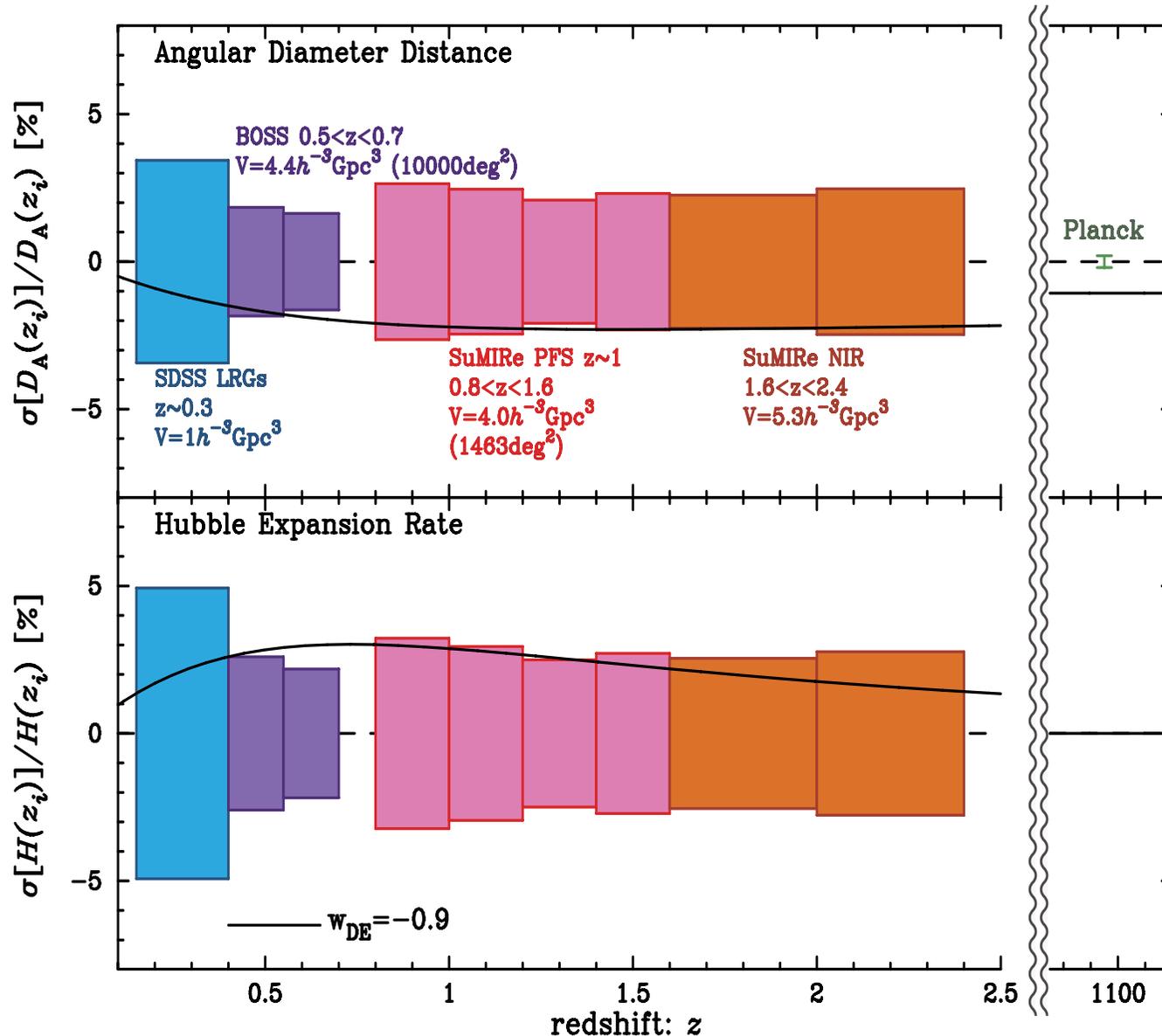
- 波長範囲 (380-1300nm)
- Resolving power: Blue (380-670nm; R~2000), Red (650-1000nm; R~3000), NIR (1000-1300nm; R~4000)
- 広い赤方偏移・様々なラインをカバーする

• 宇宙論の場合

- [OII]輝線銀河、ユニークな赤方偏移: $0.8 < z < 2.4$
- 15分積分でRed, NIRでほぼ様なS/N

→ 容易なターゲット銀河選定

PFS宇宙論サーベイ

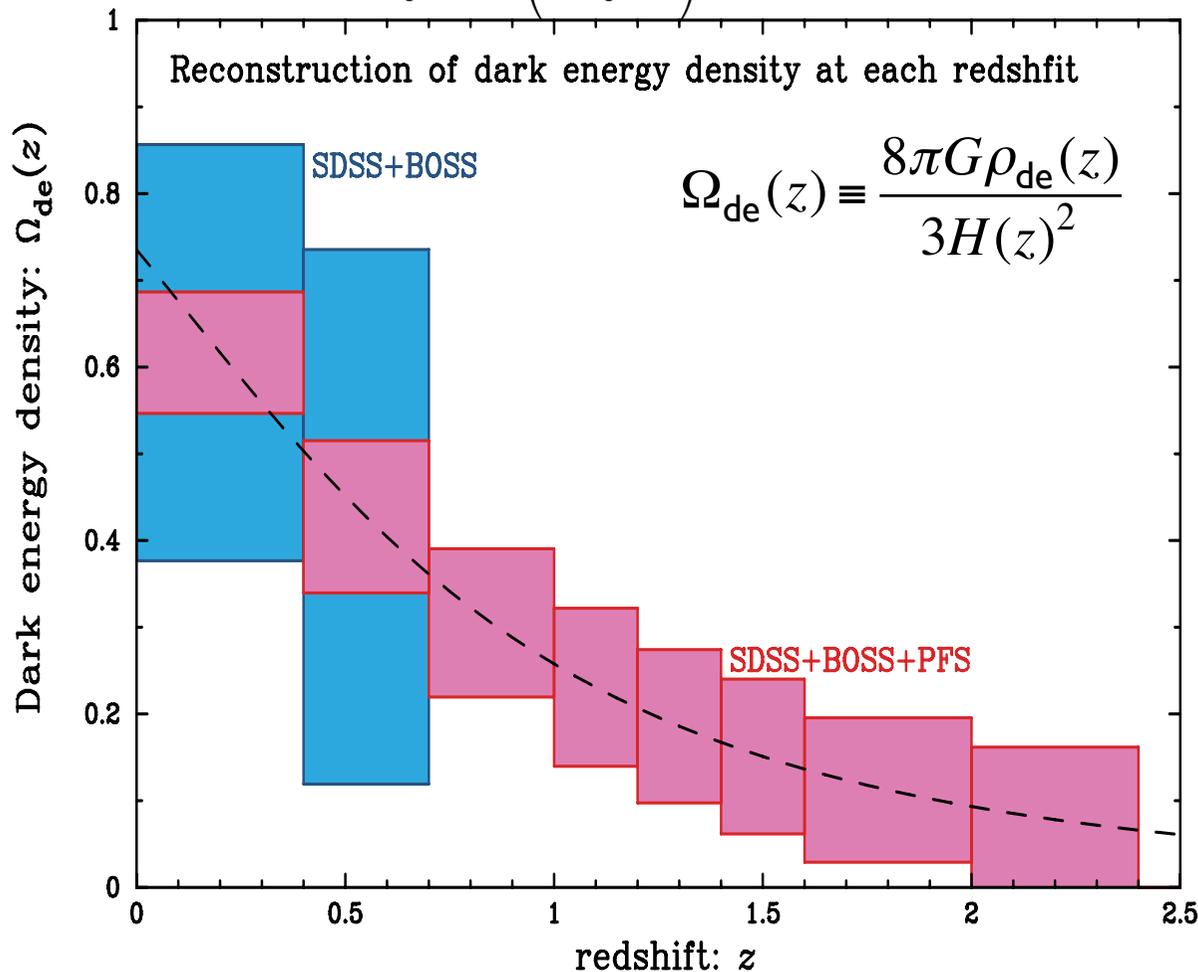


- ~ 100 clear nights
- ~ 1400 平方度 ($0.8 < z < 2.4$)
- $\sim 9 (\text{Gpc}/h)^3 = 2 \times \text{BOSS}$
- $\sim 4\text{M}$ redshifts
- $< 3\%$ $D_A(z)$ and $H(z)$ 測定
- SDSS BOSSと相補的
- 宇宙の曲率の決定精度: $|\Omega_K| < 0.3\%$
 - 初期宇宙モデル(インフレーション)を制限
- QSOサーベイとの連携 (~ 10 fibers per FoV)

PFS宇宙論サーベイ(続き)

$$H(z)^2 = H_0^2 \left[\Omega_{m0}(1+z)^3 - \frac{K}{H_0^2}(1+z)^2 + \frac{\rho_{de}(z)}{\rho_{cr0}} \right]$$

$$D_A(z) = \frac{\sqrt{|K|}}{H_0} \sinh\left(\frac{\sqrt{|K|}}{H_0} \chi\right); \quad \chi = \int_0^z \frac{dz'}{H(z')}$$



- PFSの広い赤方偏移範囲が、 $z \sim 2$ までのダークエネルギー密度の復元を可能にする(宇宙の減速膨張から加速膨張への過渡期を直接測定)
- 多様なDEモデルを制限
- SDSS+BOSSの制限を大きく改善!

宇宙論サーベイの要求事項

Science yield requirements	
Distance measurements	$\lesssim 3\%$ measurement of $D_A(z)$ and $H(z)$ in each of 6 redshift bins via BAO (0.8–1.0, 1.0–1.2, 1.2–1.4, 1.4–1.6, 1.6–2.0, and 2.0–2.4)
Dark energy reconstruction	$\lesssim 7\%$ measurement of $\Omega_{de}(z)$ in each of 6 redshift bins via BAO
Curvature	Measure Ω_K to $\lesssim 0.3\%$ via BAO
Growth of structure	$\lesssim 6\%$ measurement of the growth rate of structure in each of 6 bins via RSD
Galaxy catalog requirements	
Redshift range	$0.8 \leq z \leq 2.4$ ($0.8 \leq z \leq 1.6$ minimum)
Number density of galaxies	$\geq 2900 \text{ deg}^{-2}$
dN/dz of ELGs	$\bar{n}_g P_g > 1$ ($0.8 < z < 1.6$) or $\bar{n}_g P_g > 0.5$ ($1.6 < z < 2.4$) at $k = 0.1h/\text{Mpc}$
Total survey area	$\geq 1400 \text{ deg}^2$
Incorrect redshift fraction	$< 1\%$
Redshift precision, accuracy	$\Delta z / (1+z) < 0.0007$, 1σ ($\sigma_v < 200 \text{ km/s}$)
Survey geometry	Width > 7.5 degrees; ≤ 4 contiguously-connected survey regions
Survey implementation requirements	
Total nights	$\simeq 100$ clear nights
Lunar phase	Dark (1 of 2 visits) or age < 7 days (other visit)
Imaging survey	HSC <i>gri</i> data to ≈ 26 th magnitude AB (5σ)

- サイエンスゴール → サーベイデザイン → 装置仕様設計
- サイエンスと装置開発の密接な連携

Table 2.5: Level 2 Requirements

Wavelength coverage	$650 \leq \lambda \leq 1300\text{nm}$ ($650 \leq \lambda \leq 1000\text{nm}$ minimum)
Number of fibers	2400
Overhead	$< 0.2 \times$ the open-shutter time
Throughput	Average $> 22\%$ (red) or $> 24\%$ (NIR) Worst part of band, $> 20\%$ (red) or $> 18\%$ (NIR) (Excludes atmosphere, central obscuration + WFC vignetting, and fiber aperture effect.)
Fiber aperture factor	Encircled energy in fiber is $\geq 59\%$ (point source) or $\geq 45\%$ (galaxy, $r_{\text{eff}} = 0.3''$) (Equivalent to $0.8''$ FWHM seeing + $11 \mu\text{m}$ rms/axis additional aberration + $0.12''$ fiber offset.)
Spectrograph image quality	$\leq 14 \mu\text{m}$ rms per axis (excluding fiber geometric size, pixel tophat, and internal defocus due to thickness of red CCD)
Spectral resolution	Red: $R \sim 3000$; NIR: $R \sim 5000$ (to resolve out OH lines but limit read noise)
Stray light	Near OH lines: Lorentzian wings at $\leq 3 \times$ amplitude of perfect grating Diffuse: equivalent to $\leq 2\%$ of total sky brightness spread over detector
Read noise	≤ 3 (red) or ≤ 4 (NIR) e^- rms per pixel (If the NIR channel is not reset between exposures, $\leq 4\sqrt{2} e^-$ rms is acceptable.)
Sky subtraction accuracy	$< 1\%$ of sky background per 4-pixel resolution element

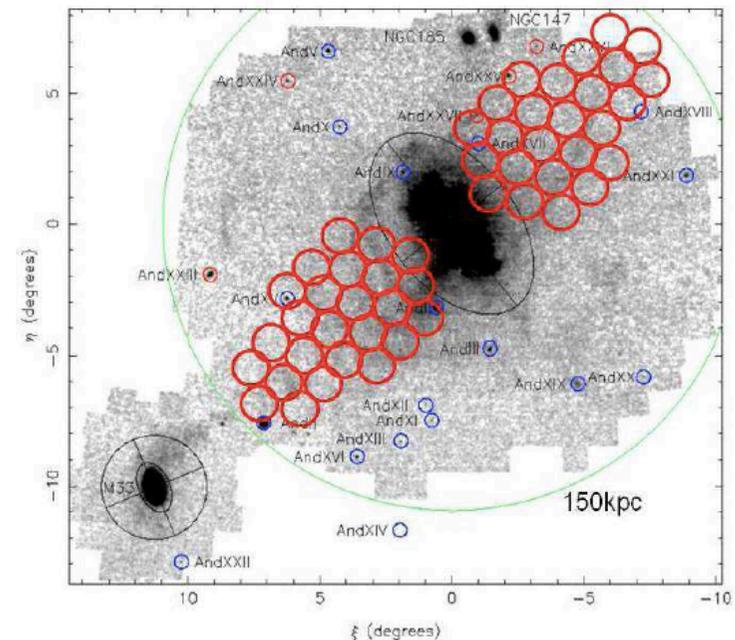
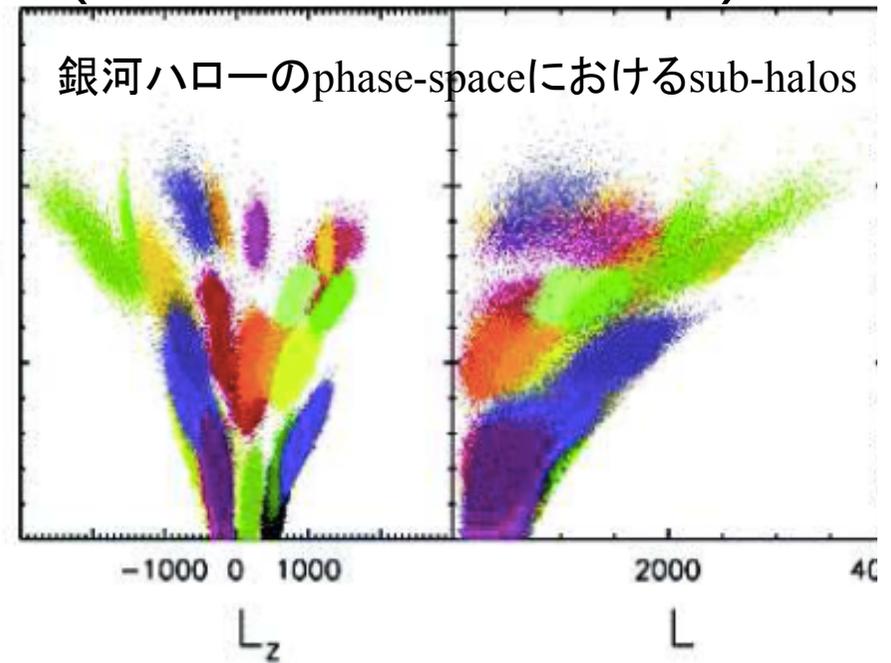
PFS銀河考古学サーベイ (Chair: M. Chiba)

- サイエンスゴール

- 天の川銀河、M31銀河の星の動力学構造(位置、速度)から銀河の起源を探る
- 小スケールにおけるCDM 構造形成モデルの検証

- 銀河考古学サーベイ

- Milky Way: ~70 nights
 - ~1M stars ($17 < V < 21.5$ mag), ~400 sq. degs
 - Gaia 衛星($V < 20$)と相補的
 - ~5km/s: a dense sampling of phase-space up to ~30kpc
- M31: ~30 nights
 - Radial velocity and metal abundance for RGB stars
 - 50 pointings; 5 hrs per pointing



銀河考古学サーベイの要求事項

Table 3.2: Summary of Galactic Archaeology Requirements

LR ($R = 2000-3000$)	For the Milky Way stars ($V < 21.5$) and M31 halo ($21.5 < V < 22.5$) Velocities to a few km s^{-1} , $[\text{Fe}/\text{H}]$ to ~ 0.2 dex $\lambda = 3800 \text{ \AA}$ to $1 \mu\text{m}$ incl. Ca II HK, Ca I, Mgb/MgH, CaT ~ 2400 fibers, $\sim 10^6$ stars, $\sim 455 \text{ deg}^2$
MR or HR ($R = 5000$ or ≤ 20000)	For the bright thick-disk and halo stars of the Milky Way ($V < 19$) Velocities to a few km s^{-1} (MR) or $\sim 0.5 \text{ km s}^{-1}$ (HR), $[\text{X}/\text{H}]$ (X=Mg, Si, Ca, Ti) to ~ 0.2 dex (MR) or ~ 0.1 dex (HR) $\lambda = 7100$ to 8850 \AA incl. CaT and α -element lines (MR) or $\lambda = 5330$ to 5620 \AA & 8480 to 9000 \AA (HR) ~ 1000 fibers, $\sim 10^5$ stars, $\sim 390 \text{ deg}^2$

- Medium- or high-resolution 分光器へのupgrade pathの重要性も検討、引き続き重要検討課題

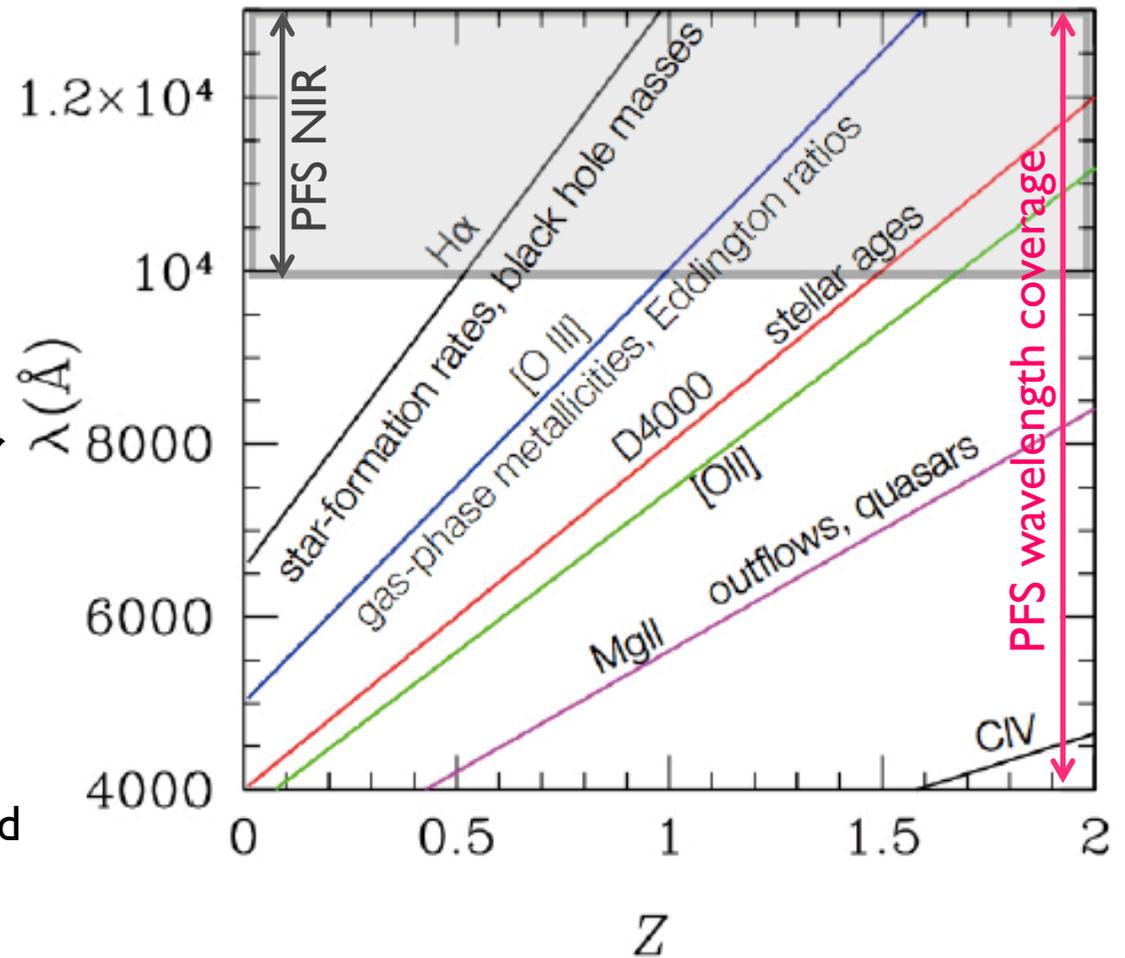
PFS銀河サーベイ (Chair: J. Greene)

- サイエンスゴール

- $1 < z < 2$ にある典型的な銀河の進化を解明
- BHとの共進化
- $2 < z < 7$ の星形成銀河の性質
- 宇宙の再イオン化過程

- 銀河サーベイ; ~100 nights

- NIR armによるユニークなサーベイ ($z \sim 2$)
- Synergy with HSC and SDSS
- $1 < z < 2$, $21 < J < 23.5$, 70nights, 16 sq. degrees ; a half million galaxies
- $2 < z < 7$; ~30 nights; 30,000 LBGs and LAEs; 3.5 sq. degrees
- Not affected by cosmic variance



PFS銀河サーベイの要求事項

Simulated spectra

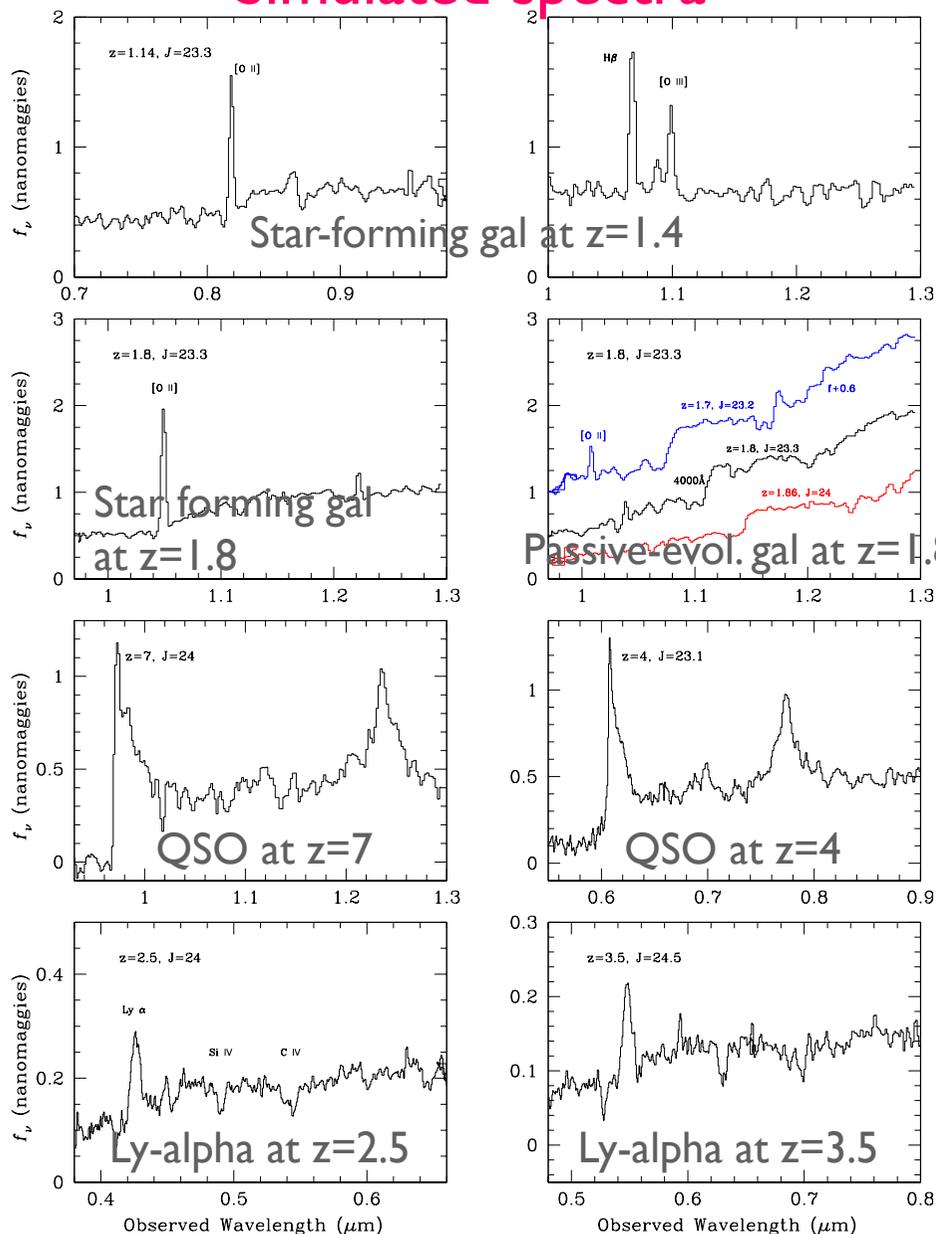


Table 4.4: Level 2 Galaxy Survey Requirements

Number of science fibers	1700
Field of view	1.3 deg.
Exposure time for flux limits	3 hrs
Fraction of resolution elements above flux limit	50%
Blue Arm	
Wavelength coverage (\AA)	3800-6700
Spectral Resolution, continuum	$R \approx 400$
5σ Flux limit, continuum	24.5 AB mag
Spectral Resolution, emission lines	$R \approx 1300$
5σ Flux limit, line ($\sigma_{\text{gas}} = 100 \text{ kms}^{-1}$)	$10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$
Red Arm	
Wavelength coverage (\AA)	6500-10000
Spectral Resolution, continuum	$R \approx 300$
5σ Flux limit, continuum	24.5 AB mag
Spectral Resolution, emission lines	$R \approx 1300$
5σ Flux limit, line ($\sigma_{\text{gas}} = 100 \text{ kms}^{-1}$)	$7 \times 10^{-18} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$
NIR Arm	
Wavelength coverage (\AA)	10000-13000
Spectral Resolution, continuum	$R \approx 300$
5σ Flux limit, continuum	24 AB mag
Spectral Resolution, emission lines	$R \approx 1300$ for line calculations
5σ Flux limit, line ($\sigma_{\text{gas}} = 100 \text{ kms}^{-1}$)	$8 \times 10^{-18} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$
Sky continuum	21.56 mag AB arcsec $^{-2}$ at 1μ at zenith
OH line brightness	16.6 mag AB arcsec $^{-2}$ at J -band at zenith
Systematic in sky subtraction $\delta\lambda$	0.01 pixel
Systematic in sky subtraction δ sky flux	1%
Overall Sky level determination	0.5%
Scattered light	> 21.56 AB mag

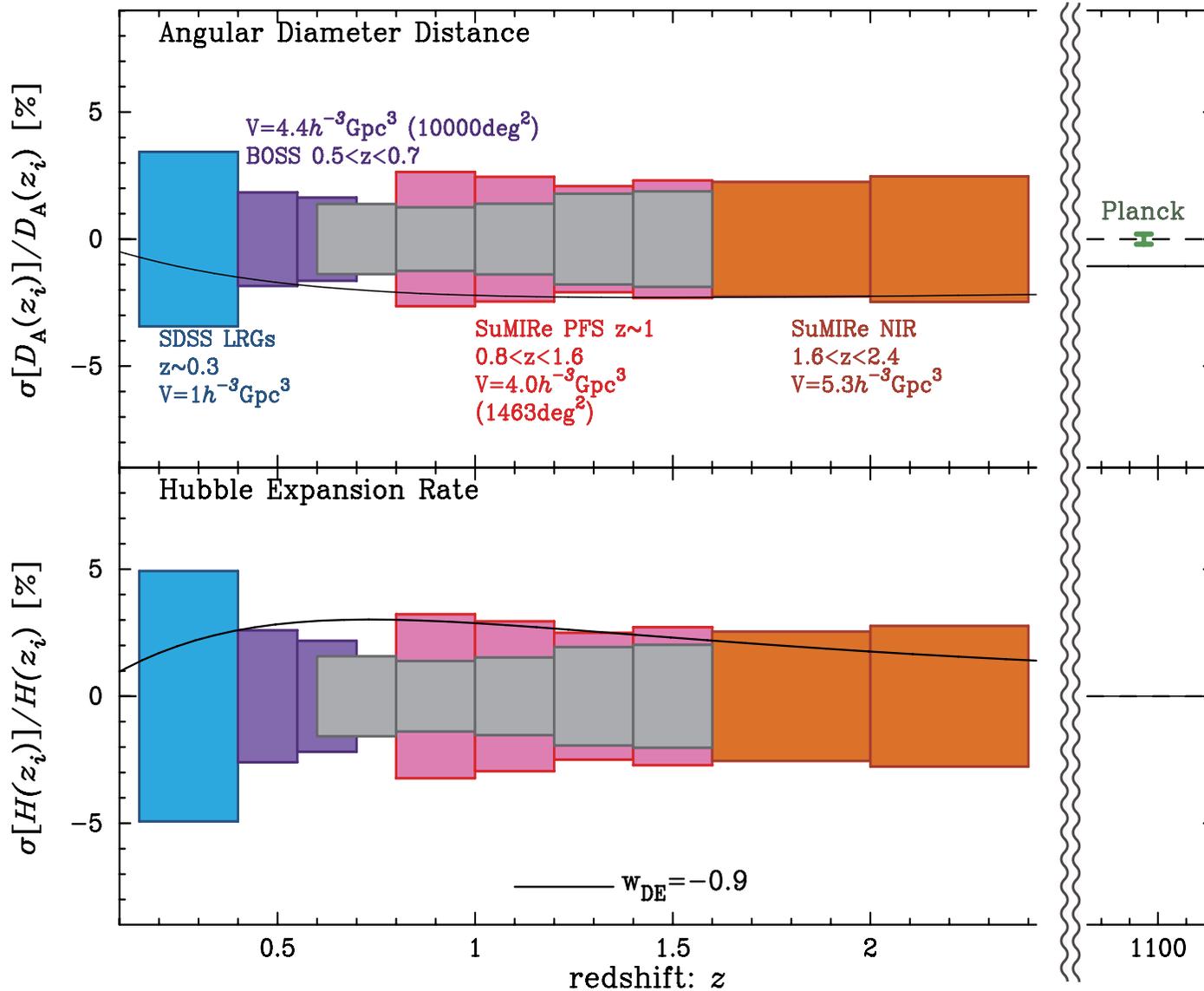
検討課題

- より密接なサイエンスと装置仕様設計の連携
 - サイエンスゴール → Top-level requirements → flow-down from the top-level requirements to individual instrument requirements
 - CoDR (Mar, 2012) → PDR (late 2012?) → CDR (??) → 製造
 - より強力なサイエンス → 資金獲得(US, ...)の調達
- Mid- or high-res. mode upgrade path (R~5000 – 20000, but with wavelength gap)
 - Multi-element alpha abundances の測定が可能
 - 科学的観点からの重要性の評価
 - どのように開発資金を獲得するか？
- より最適なサーベイデザインの検討
 - 各サイエンスの優先順位付け
 - Survey strategy; Gray vs. Dark nights, HSC vs. PFS scheduling in PFS era
- データ解析パイプラインの開発
 - 大規模サーベイにはデータ解析・カタログ管理は重要

まとめ

- HSC & PFS: すばるの強力な戦略
 - HSC と PFS 間の様々なシナジー (撮像 + 分光; e.g. SDSS)
 - TMT&LSSTの時代にもすばるがユニークな装置であり続ける
 - 将来計画とのシナジー; Euclid, LSST, TMT, ...
- PFSのベースライン仕様: 380 – 1300nm+Thpt+R
 - 極めてユニークなサイエンスを可能にする (4m級望遠鏡の追隨を許さない)
 - 宇宙論、銀河考古学、銀河進化をカバー
- HSC & PFS: *日本がリードする国際共同研究*
 - 国際共同研究の経験を積む絶好の機会
 - 今後の天文プロジェクトは益々国際化 (e.g. TMT)
 - どなたでも参加できます! (高田までご連絡ください)

競争力



- BigBOSS: LBLらが提案しているBAOサーベイ
 - Kitt Peak Tel (4m)
 - 500 nights
 - 14,000 sq. degrees
 - Endorsed by NOAO
- PFS (100nights) は BigBOSS (500nights) と同程度
 - BigBOSSは様々な楽観的な仮定を採用
- 8.2m Subaruの威力