

# HSC SSP で銀河を究めよう

嶋作一大 (東大)

HSC とは？

SSP とは？

HSC SSP とは？

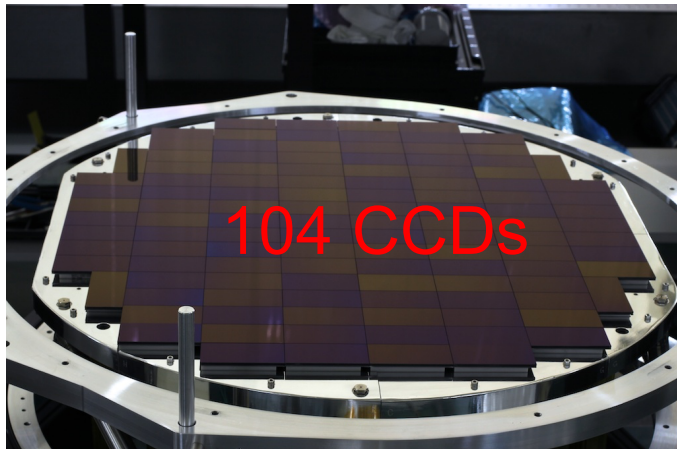
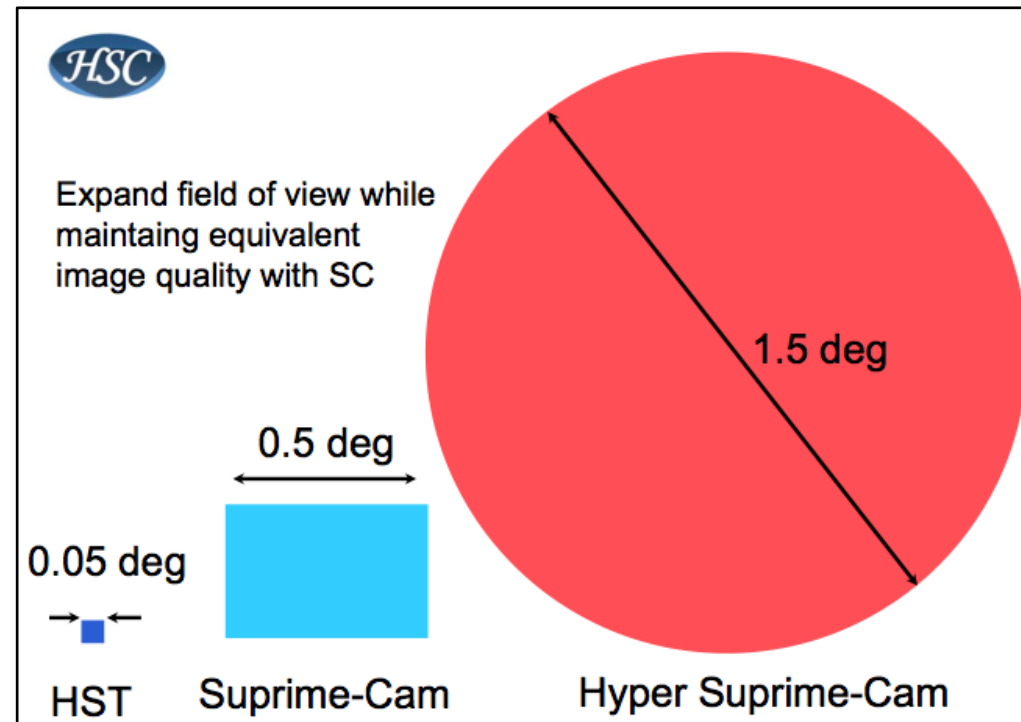
HSC SSP の銀河サイエンス

HSC SSP に参加するには

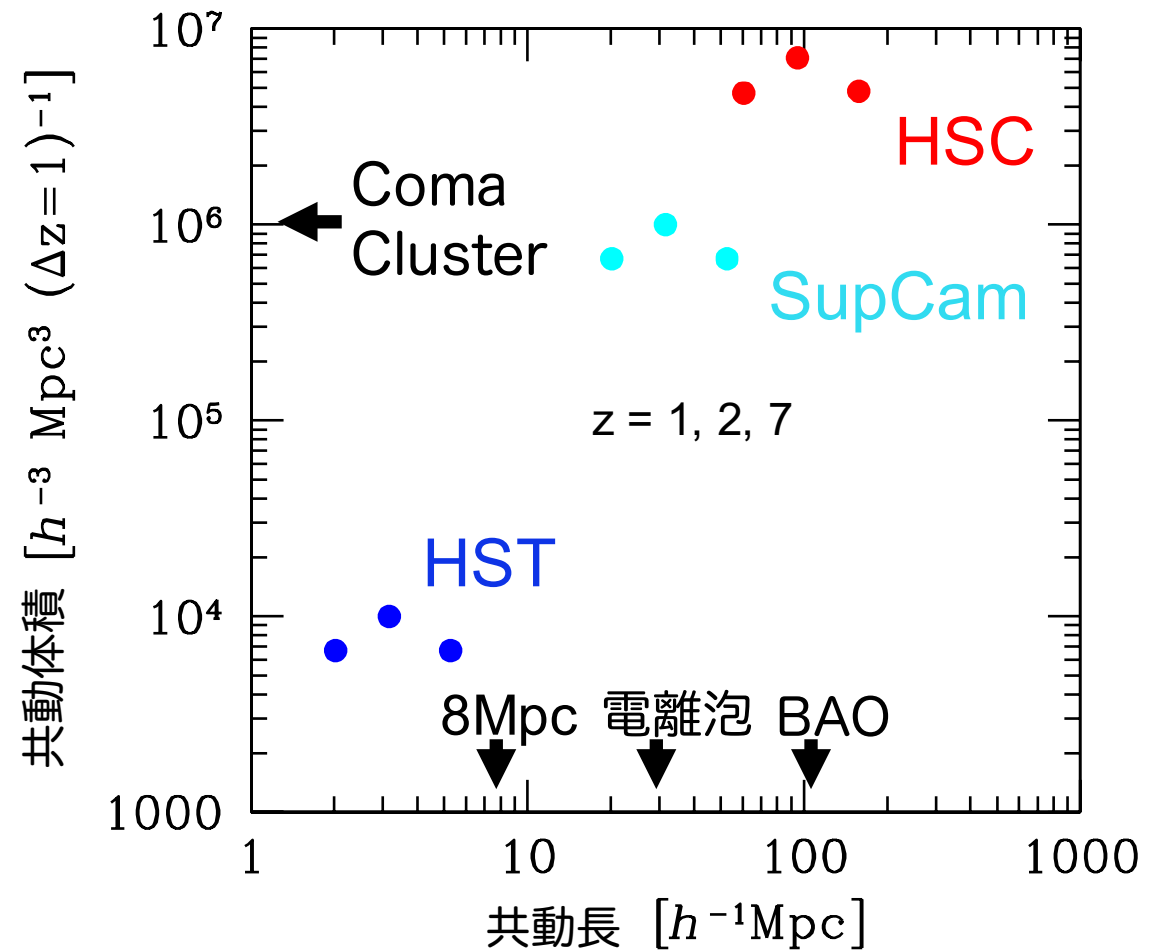
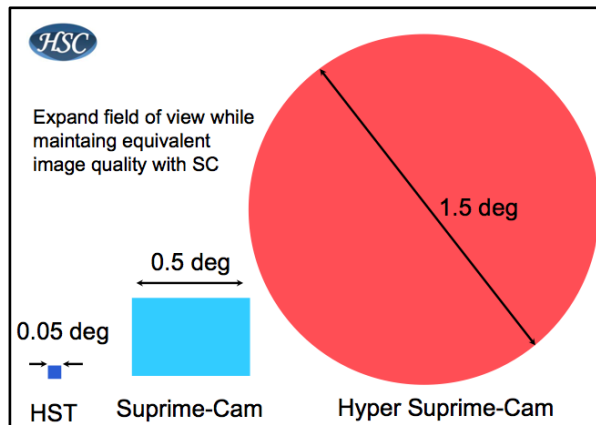
# Hyper Suprime-Cam



Hyper Subaru Prime-focus Camera



# 1視野に対応する共動長と共動体積



HSC とは？

SSP とは？

HSC SSP とは？

HSC SSP の銀河サイエンス

HSC SSP に参加するには

# すばるプロポザルの3カテゴリー

---

|           |      |
|-----------|------|
| ノーマル      | 5夜   |
| インテンシブ    | 40夜  |
| 戦略枠 (SSP) | 300夜 |

# Subaru Strategic Program

---

すばる望遠鏡「戦略枠」とは、他の追従を許さないユニークな観測装置（またはその組み合わせ）を用い、個人または個別グループの研究課題を超えて、長期にわたるまとまった観測を行うもので、これによってすばる望遠鏡の成果を世界により強く発信するとともに、当該分野でサイエンスのリーダーシップを確立することを目的とするものである。(すばるウェブより)

## All Japan で歴史的観測

[過去のSSP]

SEEDS (系外惑星探査、田村元秀ほか、120夜)

FastSound (宇宙論、戸谷友則ほか、40夜)

HSC とは？

SSP とは？

**HSC SSP とは？**

HSC SSP の銀河サイエンス

HSC SSP に参加するには



# HSCを300夜使う広域サーベイ

## Wide-field imaging with Hyper Suprime-Cam: Cosmology and Galaxy Evolution

*A Strategic Survey Proposal for the Subaru Telescope*

PI: Satoshi Miyazaki (NAOJ)

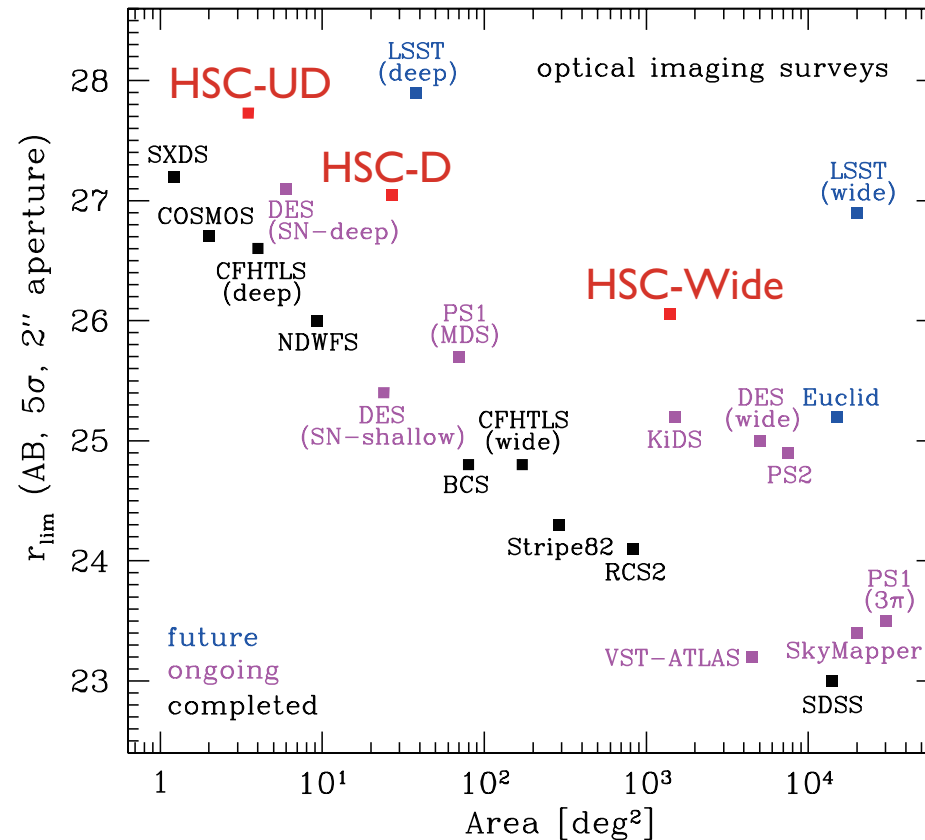
Co-PI: Ikuru Iwata (NAOJ)

**The HSC collaboration team**<sup>1</sup>: S. Abe<sup>(1)</sup>, H. Aihara<sup>\*(2),(3)</sup>, M. Akiyama<sup>(4)</sup>, K. Aoki<sup>(5)</sup>, N. Arimoto<sup>\*(5)</sup>, N. A. Bahcall<sup>(6)</sup>, S. J. Bickerton<sup>(3)</sup>, J. Bosch<sup>(6)</sup>, K. Bundy<sup>†(3)</sup>, C. W. Chen<sup>(7)</sup>, M. Chiba<sup>†(4)</sup>, T. Chiba<sup>(8)</sup>, N. E. Chisari<sup>(6)</sup>, J. Coupon<sup>(7)</sup>, M. Doi<sup>(2)</sup>, M. Enoki<sup>(9)</sup>, S. Foucaud<sup>(10)</sup>, M. Fukugita<sup>(3)</sup>, H. Furusawa<sup>†(5)</sup>, T. Futamase<sup>(4)</sup>, R. Goto<sup>(2)</sup>, T. Goto<sup>(11)</sup>, J. E. Greene<sup>(6)</sup>, J. E. Gunn<sup>†(6)</sup>, T. Hamana<sup>†(5)</sup>, T. Hashimoto<sup>(2)</sup>, M. Hayashi<sup>(5)</sup>, Y. Higuchi<sup>(2),(5)</sup>, C. Hikage<sup>(12)</sup>, J. C. Hill<sup>(6)</sup>, P. T. P. Ho<sup>\*(7)</sup>, B. C. Hsieh<sup>(7)</sup>, K. Y. Huang<sup>†(7)</sup>, H. Ikeda<sup>(13)</sup>, M. Imanishi<sup>(5)</sup>, N. Inada<sup>(14)</sup>, A. K. Inoue<sup>(15)</sup>, W.-H. Ip<sup>(1)</sup>, T. Ito<sup>(5)</sup>, K. Iwasawa<sup>(16)</sup>, M. Iye<sup>(5)</sup>, H. Y. Jian<sup>(17)</sup>, Y. Kakazu<sup>(18)</sup>, H. Karoji<sup>(3)</sup>, N. Kashikawa<sup>(5)</sup>, N. Katayama<sup>(3)</sup>, T. Kawaguchi<sup>(19)</sup>, S. Kawanomoto<sup>(5)</sup>, I. Kayo<sup>(20)</sup>, T. Kitayama<sup>(20)</sup>, G. R. Knapp<sup>(6)</sup>, T. Kodama<sup>(5)</sup>, K. Kohno<sup>(2)</sup>, M. Koike<sup>(5)</sup>, E. Kokubo<sup>(5)</sup>, M. Kokubo<sup>(2)</sup>, Y. Komiyama<sup>(5)</sup>, A. Konno<sup>(2)</sup>, Y. Koyama<sup>(2)</sup>, C. S. L. Lam<sup>(2)</sup>, D. Lang<sup>(6)</sup>, A. Leauthaud<sup>†(3)</sup>, M. J. Lehner<sup>(7)</sup>, K.-Y. Lin<sup>(7)</sup>, L. Lin<sup>(7)</sup>, Y.-T. Lin<sup>†(7)</sup>, C. P. Loomis<sup>(6)</sup>, R. H. Lupton<sup>†(6)</sup>, F. S. Lykawka<sup>(21)</sup>, K. Maeda<sup>(3)</sup>, R. Mandelbaum<sup>†(22)</sup>, Y. Matsuda<sup>(5)</sup>, K. Matsuoka<sup>(13),(23)</sup>, Y. Matsumoto<sup>(12)</sup>, S. Mineo<sup>(2)</sup>, T. Morikawa<sup>(2)</sup>, H. Miyatake<sup>(6)</sup>, R. Momose<sup>(2)</sup>, A. More<sup>(3)</sup>, S. More<sup>(3)</sup>, T. J. Moriya<sup>(3)</sup>, T. Morokuma<sup>(2)</sup>, H. Murayama<sup>(2)</sup>, K. Negami<sup>(24)</sup>, T. Nagao<sup>†(23)</sup>, S. Nagataki<sup>(23)</sup>, Y. Naito<sup>(2)</sup>, K. Nakajima<sup>(2)</sup>, F. Nakata<sup>(5)</sup>, H. Nakaya<sup>(5)</sup>, T. Namikawa<sup>(2)</sup>, C. C. Ng<sup>(4)</sup>, T. Nishikawa<sup>(3)</sup>, H. Nishioka<sup>(7)</sup>, A. J. Nishizawa<sup>†(3)</sup>, K. Nomoto<sup>(3)</sup>, M. Oguri<sup>†(3)</sup>, A. Oka<sup>(2)</sup>, K. Okada<sup>(7)</sup>, S. Okamoto<sup>(2)</sup>, J. Okumura<sup>(23)</sup>, S. Okumura<sup>(27)</sup>, Y. Okura<sup>(5)</sup>, Y. Ono<sup>(2)</sup>, M. Onodera<sup>(28)</sup>, K. Ota<sup>(23)</sup>, M. Ouchi<sup>†(2)</sup>, S. Oyabu<sup>(22)</sup>, P. A. Price<sup>(6)</sup>, R. Quimby<sup>(3)</sup>, C. E. Rusu<sup>(2),(5)</sup>, S. Saito<sup>(29)</sup>, T. Saito<sup>(3)</sup>, Y. Saitou<sup>(30)</sup>, M. Sasaki<sup>(4)</sup>, T. Shibuya<sup>(5)</sup>, K. Shimasaka<sup>(3)</sup>, A. Shimono<sup>(3)</sup>, S. Shinogi<sup>(2)</sup>, M. Shirasaki<sup>(2)</sup>, J. D. Silverman<sup>(3)</sup>, D. N. Spergel<sup>\*(6),(3)</sup>, M. A. Strauss<sup>†(6)</sup>, H. Sugai<sup>(5)</sup>, N. Sugiyama<sup>(2),(3)</sup>, D. Suto<sup>(2)</sup>, Y. Suto<sup>\*(2)</sup>, K. Tadaki<sup>(2)</sup>, M. Takada<sup>†(3)</sup>, R. Takahashi<sup>(31)</sup>, S. Takahashi<sup>(5)</sup>, T. Takata<sup>(5)</sup>, T. T. Takeuchi<sup>(12)</sup>, N. Tamura<sup>(3)</sup>, M. Tanaka<sup>(5)</sup>, M. Tanaka<sup>†(3)</sup>, M. Tanaka<sup>(4)</sup>, Y. Taniguchi<sup>(13)</sup>, A. Taruya<sup>(2)</sup>, T. Terai<sup>(5)</sup>, Y. Terashima<sup>(13)</sup>, N. Tominaga<sup>(32)</sup>, J. Toshikawa<sup>(30)</sup>, T. Totani<sup>(23)</sup>, M. Tsai<sup>(1)</sup>, E. L. Turner<sup>\*(6)</sup>, Y. Ueda<sup>(23)</sup>, K. Umetsu<sup>(7)</sup>, Y. Urata<sup>†(1)</sup>, Y. Utsumi<sup>(5)</sup>, B. Vulcani<sup>(3)</sup>, K. Wada<sup>(33)</sup>, S.-Y. Wang<sup>(7)</sup>, W.-H. Wang<sup>(7)</sup>, T. Yamada<sup>(4)</sup>, Y. Yamada<sup>(5)</sup>, K. Yamamoto<sup>(34)</sup>, H. Yamanoi<sup>(5)</sup>, C.-H. Yan<sup>(7)</sup>, N. Yasuda<sup>†(3)</sup>, A. Yonehara<sup>(35)</sup>, F. Yoshida<sup>†(5)</sup>, N. Yoshida<sup>(2)</sup>, M. Yoshikawa<sup>(36)</sup>, S. Yuma<sup>(2)</sup>

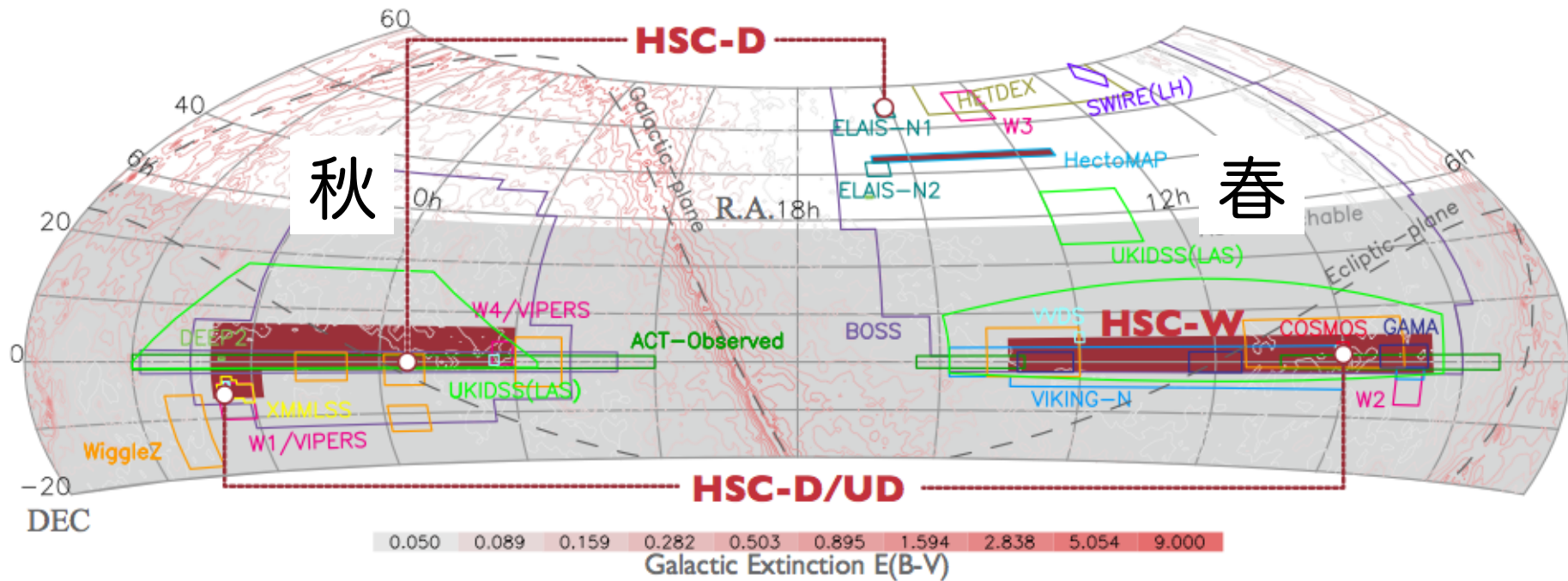
(1) NCU, Taiwan (2) Tokyo (3) Kavli IPMU (4) Tohoku (5) NAOJ (6) Princeton (7) ASIAA (8) Nihon (9) Tokyo Keizai (10) NTNU, Taiwan (11) DARK, Copenhagen (12) Nagoya (13) Ehime (14) NNCT (15) Osaka Sangyo (16) Barcelona (17) NTU, Taiwan (18) Chicago (19) Tsukuba (20) Toho (21) Kinki (22) CMU (23) Kyoto (24) Las Vegas (25) KIAA, China (26) Hosei (27) JSGA (28) ETH (29) Berkeley (30) GUAS (31) Hirosaki (32) Konan (33) Kagoshima (34) Hiroshima (35) Kyoto Sangyo (36) JAXA

# サーベイデザイン

| Layer     | Area<br>[deg <sup>2</sup> ] | # of<br>HSC fields | Filters & Depth                      | Comoving volume<br>[h <sup>-3</sup> Gpc <sup>3</sup> ] | Key Science                                  |
|-----------|-----------------------------|--------------------|--------------------------------------|--|--|
| Wide      | 1400                        | 916                | <i>grizy</i> ( $r \simeq 26$ )       | $\sim 4.4$ ( $z < 2$ )                                 | WL cosmology, $z \sim 1$ gals, clusters      |
| Deep      | 27                          | 15                 | <i>grizy</i> +3NBs ( $r \simeq 27$ ) | $\sim 0.5$ ( $1 < z < 5$ )                             | $z \lesssim 2$ gals, reionization, WL calib. |
| Ultradeep | 3.5                         | 2                  | <i>grizy</i> +3NBs ( $r \simeq 28$ ) | $\sim 0.07$ ( $2 < z < 7$ )                            | $z \gtrsim 2$ gals, reionization, SNeIa      |



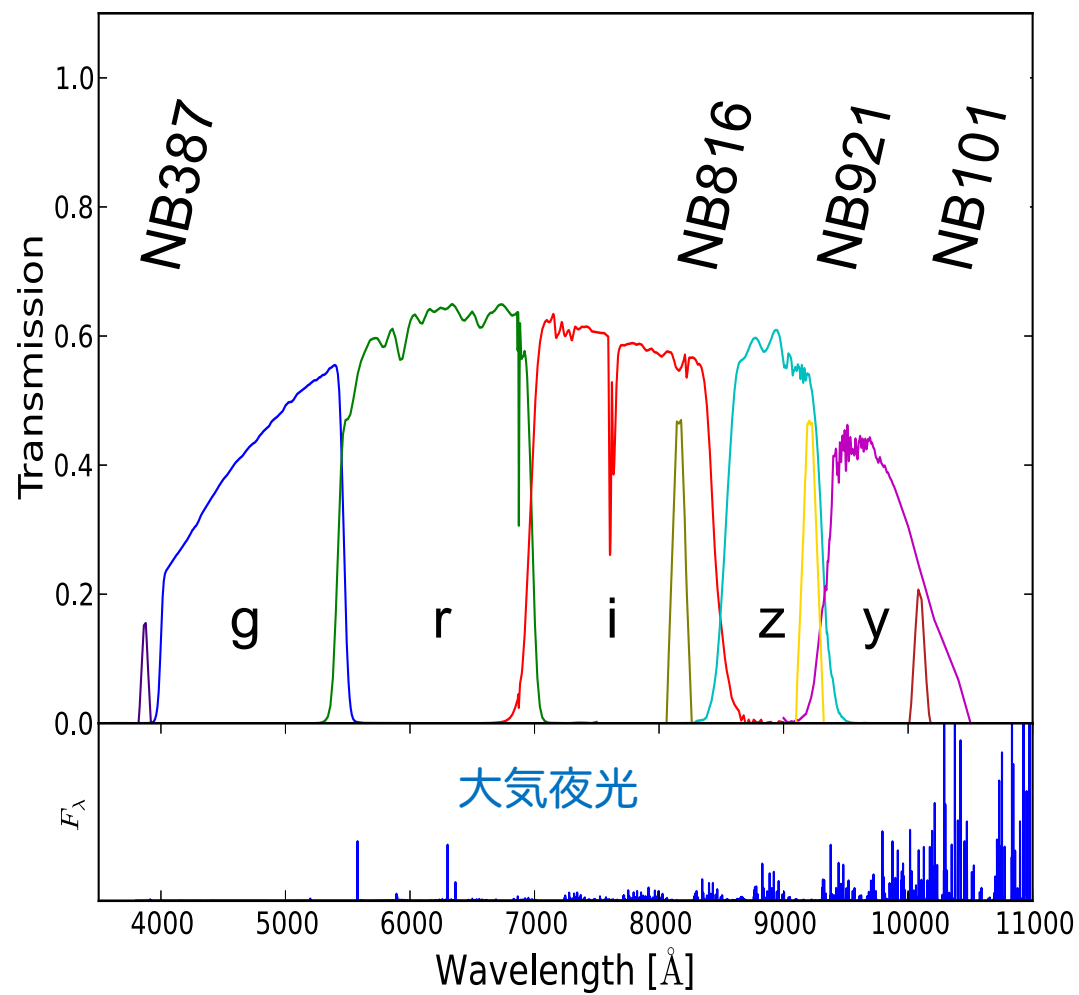
# サーベイ天域



他の撮像プロジェクトとのシナジー

- CLAUDS (D 4): CFHT U
- Arizona (D 2): UKIRT/WFCAM J,H,K
- SPLASH (UD 2): Spitzer/IRAC ch1,ch2

# 狭帯域フィルター



| 名称    | z(Ly $\alpha$ ) |
|-------|-----------------|
| NB387 | 2.2             |
| NB816 | 5.7             |
| NB921 | 6.6             |
| NB101 | 7.2             |

# 画像とカタログ

---

Pipeline team が提供

- ・ 整約済みの画像
- ・ マルチバンドカタログ

各サイエンスワーキンググループが提供

- ・ photometric redshifts
- ・ 特定の天体種族のカタログ (eg, clusters, LAEs)

→ 古澤さんの講演

# 過去の栄光

---

## (1) Sloan Digital Sky Survey

口径2.5m専用望遠鏡による米日独他の撮像分光サーベイ  
よく整備された「サーベイポリシー」  
4,700 refereed papers (“SDSS”)  
210,000 citations (“SDSS”)

## (2) Suprime-Cam

HSC の前身  
Subaru Deep Field, Subaru/XMM-Newton Deep Field  
220 refereed papers (“Suprime-Cam”)  
6,600 citations (“Suprime-Cam”)

HSC とは？

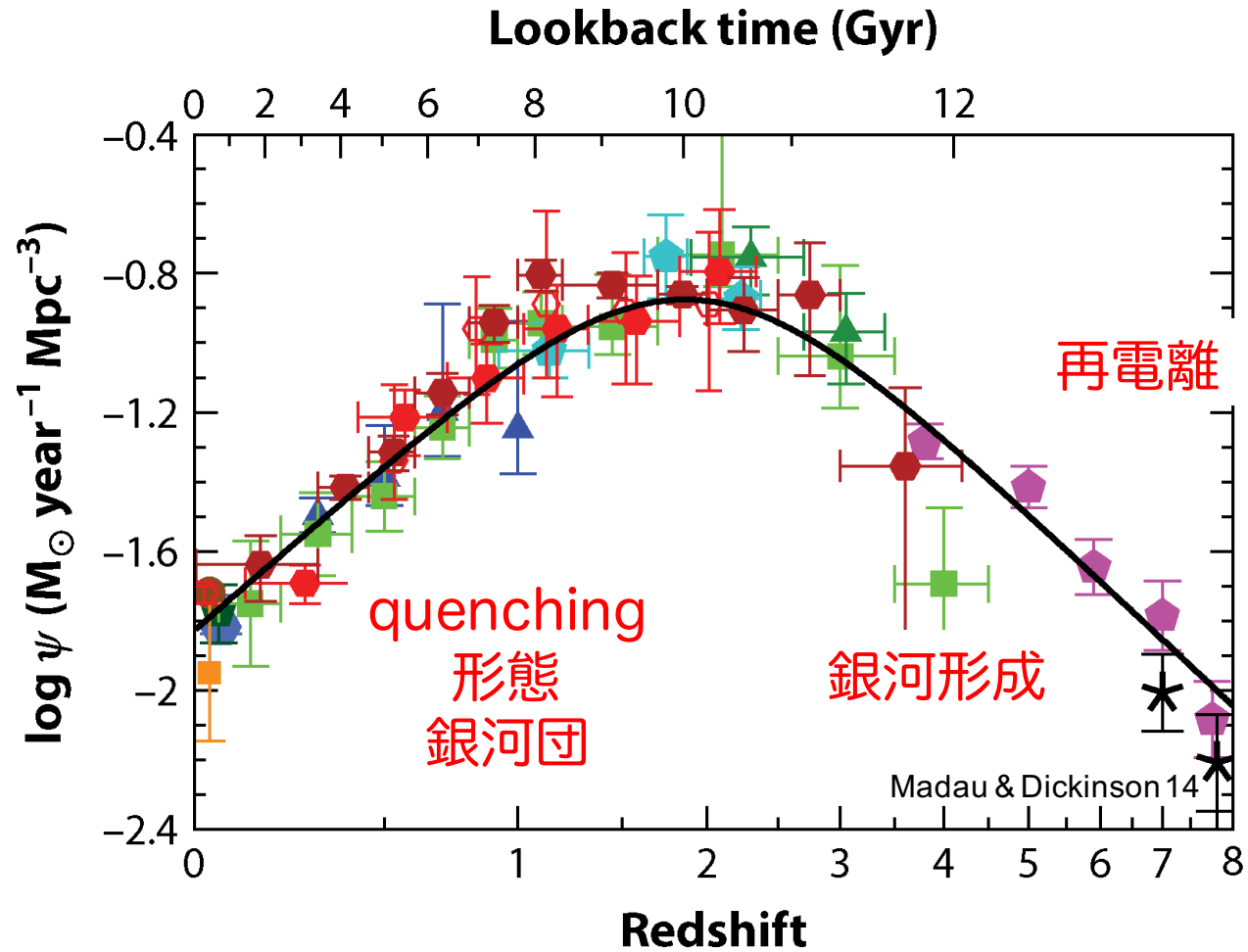
SSP とは？

HSC SSP とは？

**HSC SSP の銀河サイエンス**

HSC SSP に参加するには

# どの時代を調べるか？





# 検出される銀河の数

---

|       | $z < 2$  | $2 < z < 7.3$ |          | QSOs                      |
|-------|----------|---------------|----------|---------------------------|
|       |          | LBGs          | LAEs     |                           |
| Wide  | $2.2e+7$ | $1.9e+7$      |          | 10000<br>( $z \sim 4-7$ ) |
| Deep  | $7.7e+5$ | $2.2e+6$      | $2.1e+4$ | 2000<br>(9割 $z < 1$ )     |
| UDeep | ?        | $1.4e+6$      | $1.8e+4$ | ?                         |

# 銀河サイエンス

---

## ■プロポーザルに書かれているサイエンス

### Galaxy evolution at $z < 2$ (成熟期)

- Relationship between galaxies and dark haloes
- Physics of growth, quenching, and mass assembly
- Galaxy evolution in clusters of galaxies

### Galaxy evolution at $z > 2$ (形成期)

- Relationship between galaxies and dark haloes
- Nature of LAEs and LABs
- Quasars and AGNs (SMBHs, dark haloes, environments, host gals)

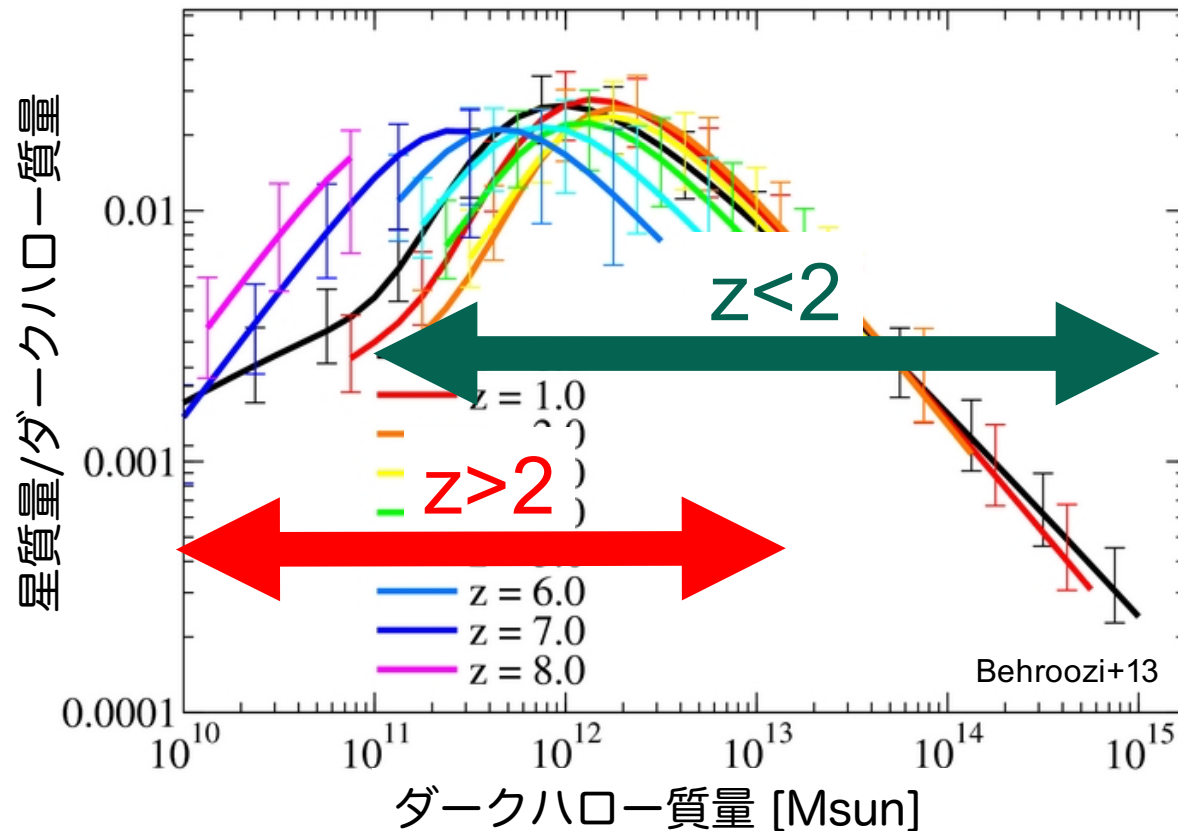
### Cosmic reionization

- Epoch and topology
- Sources

■参加者が自由にサイエンスを発案、実行してよい

■他の装置や望遠鏡での追観測 (PFS, Keck, ALMA, TMT, ...)

# 銀河とダークハローの関係



独立に、幅広い範囲で  $M_h$

- weak lensing ( $z < 2$ )
- clustering (all  $z$ )

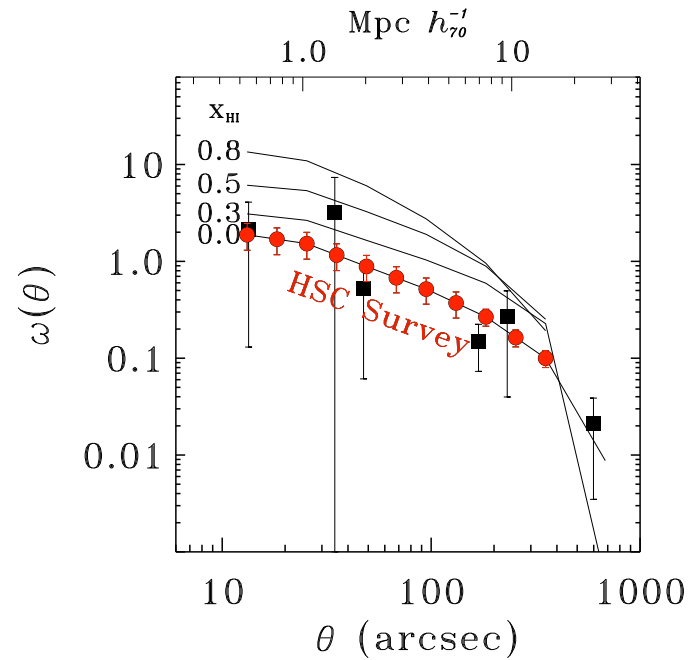
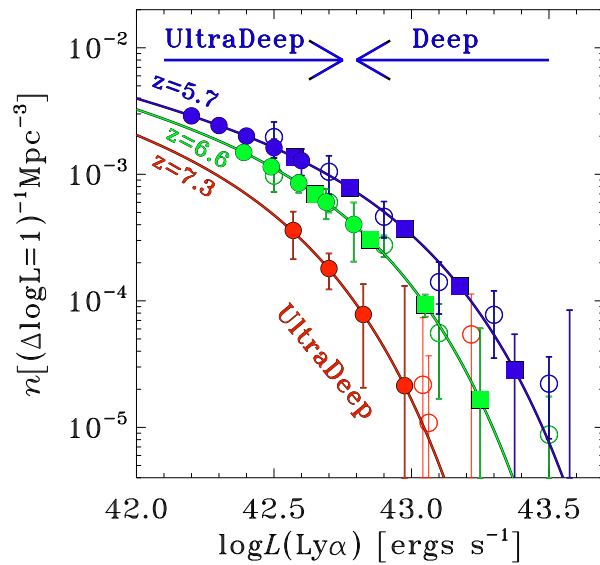
$M_{\text{star}}$  以外の物理量

- SFR, 形態...

特定の銀河種族

- LAEs, LABs, ...

# 宇宙再電離



## 再電離時期の推定

- LAEs LF, clustering
- それ以外の方法

## 電離源

- 明るい銀河の性質
- AGN

HSC とは？

SSP とは？

HSC SSP とは？

HSC SSP の銀河サイエンス

HSC SSP に参加するには

# “Collaboration Policy”

---

10ページの文書 (誰でも読める)

## 参加権

- Japanese astronomers
- Faculty and long-term staff members at Princeton or ASIAA
- Executive Board に特別に認められた個人
- External collaborators

## データアクセス権

## 論文の著者になる権利

## サイエンスの宣言から論文投稿まで

- 始める前にプロジェクトとして宣言
- 誰でも宣言できる
- 既存プロジェクトへの参加も可能
- PhD thesis プロジェクトの保護 (競合の禁止)
- 現在184プロジェクト

# HSC SSP に参加するには

---

日本の研究者なら誰でも参加可能

現在200名

## Log in to hscsurvey.pbworks.com

This wiki is a private wiki for HSC SSP survey. Researchers in Japan/Taiwan/Princeton are eligible for membership. When you request access, please use an institutional email for verification, and write your name and affiliation in the Message box.

Email/username

Password

☒ Remember me

Log in

[Forgot your password?](#)

Not a member?

Request access

To get in touch

[Contact the workspace  
owner](#)





# 限界等級

| Layer | Filter | Exp.<br>(# of epochs)  | Lim. mag.<br>( $5\sigma$ , $2''$ ) | Moon<br>phase | Requirement(s)                          | Main scientific driver(s)                                   |
|-------|--------|------------------------|------------------------------------|---------------|---|---|
| Wide  | $g, r$ | 10 min (3)             | 26.5, 26.1                         | dark          | photometry                              | photo- $z$ , low- $z$ ( $z \lesssim 2$ ) gals, QSO          |
| Wide  | $i$    | 20 min (6)             | 25.9                               | dark          | seeing ( $\lesssim 0.7''$ )             | WL, low- $z$ gals, QSO                                      |
| Wide  | $z, y$ | 20 min (6)             | 25.1, 24.4                         | grey          | photometry                              | photo- $z$ , clusters,<br>$z \sim 1$ gals, $z \sim 6-7$ QSO |
| Deep  | $g, r$ | 2 hrs (10)             | 27.5, 27.1                         | dark          | cadence                                 | SNeIa   |
| Deep  | $i$    | 3 hrs (10)             | 26.8                               | dark          | seeing ( $\lesssim 0.7''$ ),<br>cadence | WL calibration, SNeIa                                       |
| Deep  | $z, y$ | 3 hrs (10)             | 26.0, 25.3                         | grey          | cadence                                 | low- $z$ gals, SNeIa, QSO                                   |
| Deep  | $N387$ | 2 hrs ( $\simeq 10$ )  | 24.8                               | dark          | photometry                              | $z \simeq 2.2$ LAEs & LBGs                                  |
| Deep  | $N816$ | 2 hrs ( $\simeq 10$ )  | 25.3                               | grey/dark     | photometry                              | $z \simeq 5.7$ LAEs   |
| Deep  | $N921$ | 4 hrs ( $\simeq 10$ )  | 25.1                               | grey/dark     | photometry                              | $z \simeq 6.6$ LAEs   |
| UD    | $g, r$ | 10 hrs (20)            | 28.1, 27.7                         | dark          | cadence                                 | high- $z$ ( $z \gtrsim 2$ ) gals, SNeIa                     |
| UD    | $i$    | 20 hrs (20)            | 27.4                               | dark          | cadence                                 | high- $z$ gals, SNeIa, QSO                                  |
| UD    | $z, y$ | 27 hrs (20)            | 26.8, 26.3                         | grey          | cadence                                 | high- $z$ gals, SNeIa, QSO                                  |
| UD    | $N387$ | 20 hrs ( $\simeq 10$ ) | 26.1                               | dark          | photometry                              | $z \simeq 2.2$ LAEs & LBGs                                  |
| UD    | $N527$ | 15 hrs ( $\simeq 10$ ) | 26.5                               | dark          | photometry                              | $z \simeq 3.3$ LAEs & LBGs                                  |
| UD    | $N718$ | 10 hrs ( $\simeq 10$ ) | 26.0                               | dark          | photometry                              | $z \simeq 4.9$ LAEs   |
| UD    | $N816$ | 15 hrs ( $\simeq 10$ ) | 26.4                               | grey/dark     | photometry                              | $z \simeq 5.7$ LAEs   |
| UD    | $N921$ | 20 hrs ( $\simeq 10$ ) | 26.1                               | grey/dark     | photometry                              | $z \simeq 6.6$ LAEs   |
| UD    | $N101$ | 25 hrs ( $\simeq 10$ ) | 24.8                               | grey/dark     | photometry                              | $z \simeq 7.3$ LAEs   |

# 銀河の数の詳細

$z < 2$

| $z$ | 0.65'' (kpc) | HSC-Wide                |                         |                  | HSC-Deep                |                         |                  |
|-----|--------------|-------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|
|     |              | Vol (Gpc <sup>3</sup> ) | $\log M_*^{\text{lim}}$ | $N_{\text{gal}}$ | Vol (Gpc <sup>3</sup> ) | $\log M_*^{\text{lim}}$ | $N_{\text{gal}}$ |
| 0.1 | 1.2          | 0.1                     | 8.2                     | 0.4M             | 0.001                   | 8.7                     | 7.2k             |
| 0.3 | 2.9          | 0.5                     | 8.9                     | 2.2M             | 0.008                   | 9.3                     | 38.3k            |
| 0.5 | 4.0          | 1.0                     | 9.4                     | 4.4M             | 0.019                   | 9.8                     | 71.8k            |
| 0.7 | 4.6          | 1.6                     | 9.8                     | 6.0M             | 0.029                   | 10.1                    | 94.4k            |
| 0.9 | 5.1          | 2.6                     | 10.0                    | 8.8M             | 0.049                   | 10.2                    | 137.3k           |
| 1.2 | 5.4          | 3.9                     | 11.5                    | 0.1M             | 0.073                   | 10.4                    | 166.2k           |
| 1.5 | 5.5          | 4.5                     | 11.6                    | 23k              | 0.083                   | 10.6                    | 145.7k           |
| 1.8 | 5.5          | 4.8                     | 11.8                    | 1k               | 0.090                   | 10.8                    | 108.9k           |

$z > 2$

| sample            | BX/BM <sup>a</sup> | $u$ -drop <sup>a</sup> | $g$ -drop     | $r$ -drop     | $i$ -drop     | $z$ -drop     | $y$ -drop <sup>b</sup> |
|-------------------|--------------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|
| redshift          | $2.3 \pm 0.5$      | $3.0 \pm 0.5$          | $3.8 \pm 0.5$ | $5.0 \pm 0.5$ | $5.9 \pm 0.5$ | $6.8 \pm 0.5$ | $7.8 \pm 0.3$          |
| $N_{\text{UD}}$   | 900k               | 220k                   | 240k          | 50k           | 11k           | 700           | 2                      |
| $N_{\text{D}}$    | 800k               | 98k                    | 1.1m          | 200k          | 17k           | 99            | 0                      |
| $N_{\text{W}}$    | -                  | -                      | 17m           | 1.9m          | 38k           | 4             | -                      |
| $M_{\text{UD}}^c$ | -18.0/ -17.0       | -18.3                  | -18.2         | -19.0         | -19.9         | -20.6         | -21.6                  |
| $M_{\text{D}}^c$  | -19.5              | -20.8                  | -18.8         | -19.6         | -20.7         | -21.6         | -24.1                  |
| $M_{\text{W}}^c$  | -                  | -                      | -19.8         | -20.6         | -21.6         | -22.5         | -                      |

| narrowband                         | NB387           | NB527           | NB718           | NB816 <sup>b</sup> | NB921 <sup>b</sup> | NB101 <sup>b</sup> |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| redshift                           | $2.18 \pm 0.05$ | $3.33 \pm 0.06$ | $4.90 \pm 0.08$ | $5.71 \pm 0.10$    | $6.57 \pm 0.11$    | $7.30 \pm 0.07$    |
| $N_{\text{UD}}$                    | 4.0k (120)      | 6.3k (150)      | 2.3k (70)       | 3.9k (60)          | 1.7k (30)          | 39 (0)             |
| $N_{\text{D}}$                     | 9.0k (730)      | -               | -               | 8.6k (90)          | 3.2k (20)          | -                  |
| $L(\text{Ly}\alpha)_{\text{UD}}^a$ | 0.9             | 0.7             | 2.2             | 1.5                | 2.5                | 6.8                |
| $L(\text{Ly}\alpha)_{\text{D}}^a$  | 2.7             | -               | -               | 4.1                | 5.3                | -                  |