

すばるPrime Focus Spectrograph (PFS) 国際共同研究プロジェクトについて

高田昌広・田村直之
(Kavli IPMU)

PFSの経緯: WFMOSからPFS

- ・ 参考：すばるUM <https://subarutelescope.org/Science/SubaruUM/>
- ・ 2005年 Gemini WFMOS計画提案
- ・ 2005年11月 Subaru/Gemini DE国際会議@コナ
- ・ 2006年 HSCプロジェクト始動（特定領域）
- ・ 2007年 IPMU発足（村山さん初代所長）
- ・ 2009年 Subaru UM WFMOS承認
- ・ 2009年2月 WFMOST Team B選択
- ・ 2009年5月 Gemini WFMOSキャンセル
- ・ 2009年 IPMU+Caltech+Princeton会合@東京
- ・ 2010年 内閣府FIRST交付金採択（PI: 村山さん）、HSC不足資金、PFS立ち上げ資金獲得、PFSプロジェクト発足
- ・ 2011年 Subaru UM PFS承認（PFSプロジェクトはすばる共同利用装置PFSをdeliverするという約束。リターンに大規模サーベイを行う）
- ・ … 現在に至る

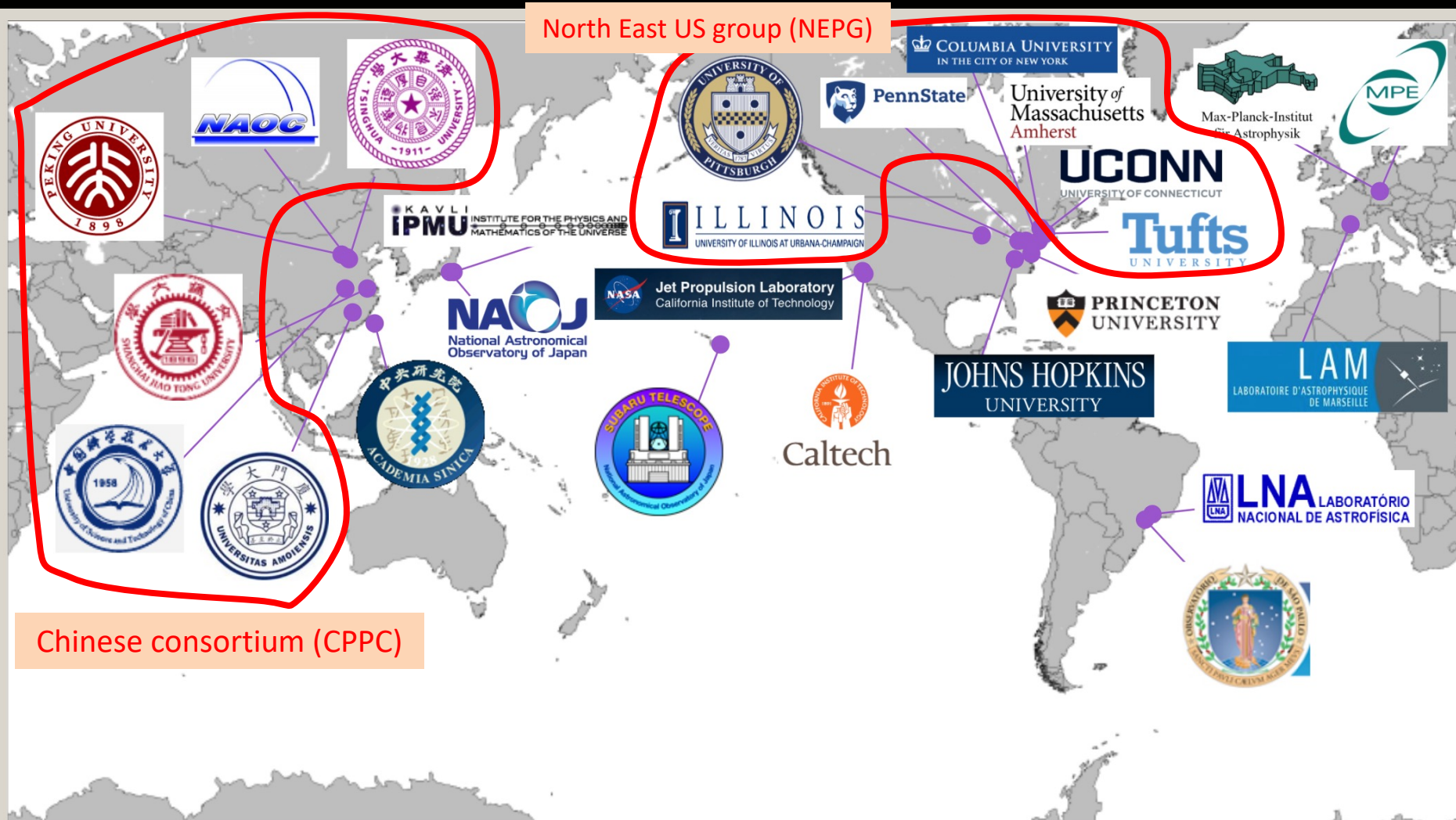
注：すばる主焦点（+HSC）の威力があつてのプロジェクトです

July 11, 2011
1st Collaboration Meeting

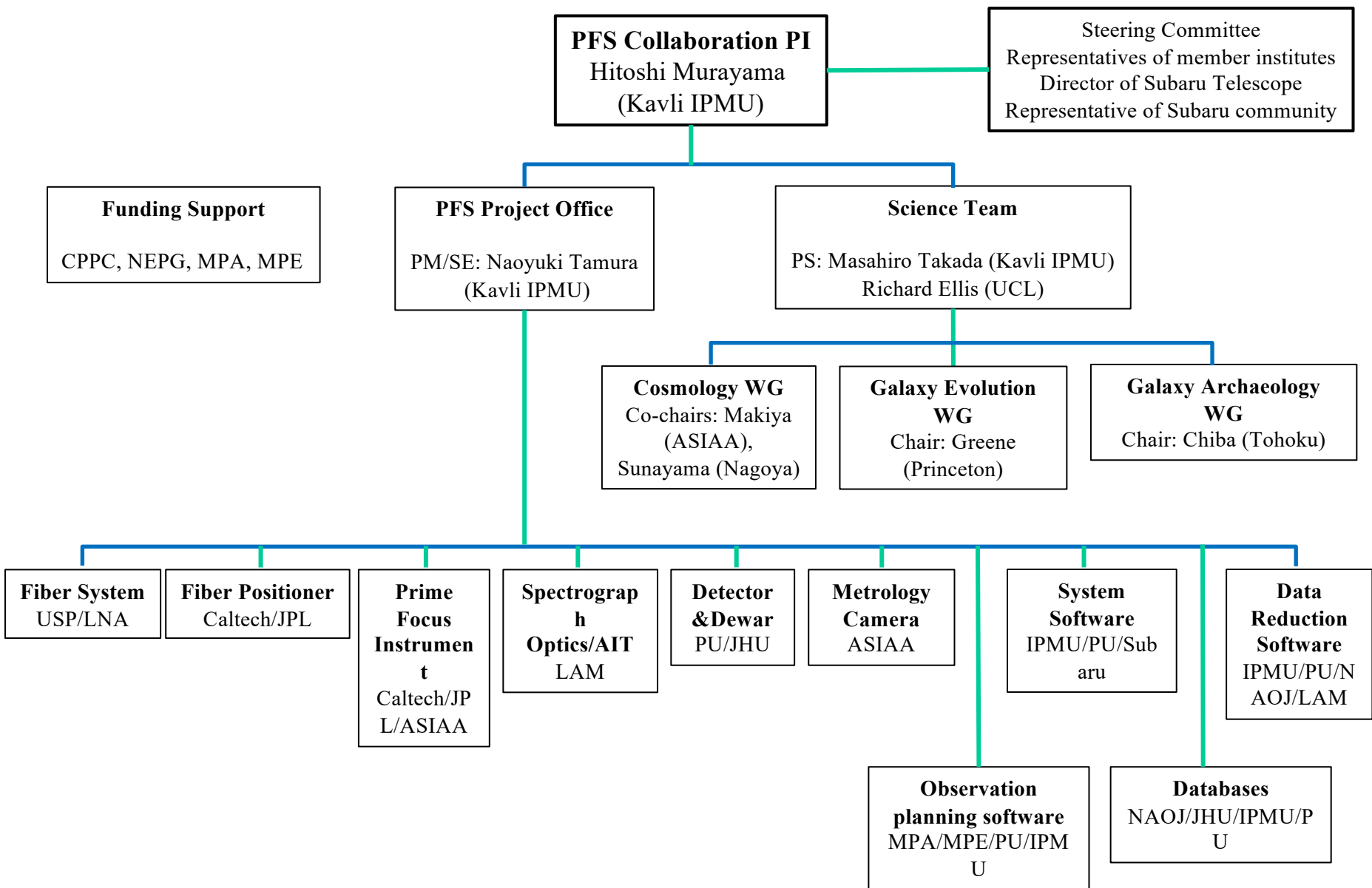


The *growing* PFS collaboration

Scientists & engineers in Japan & other 6 countries are co-working for instrument development & survey planning.

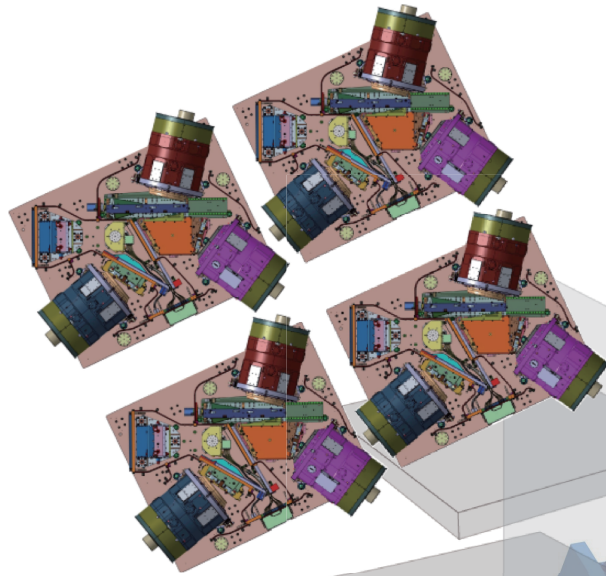


組織図



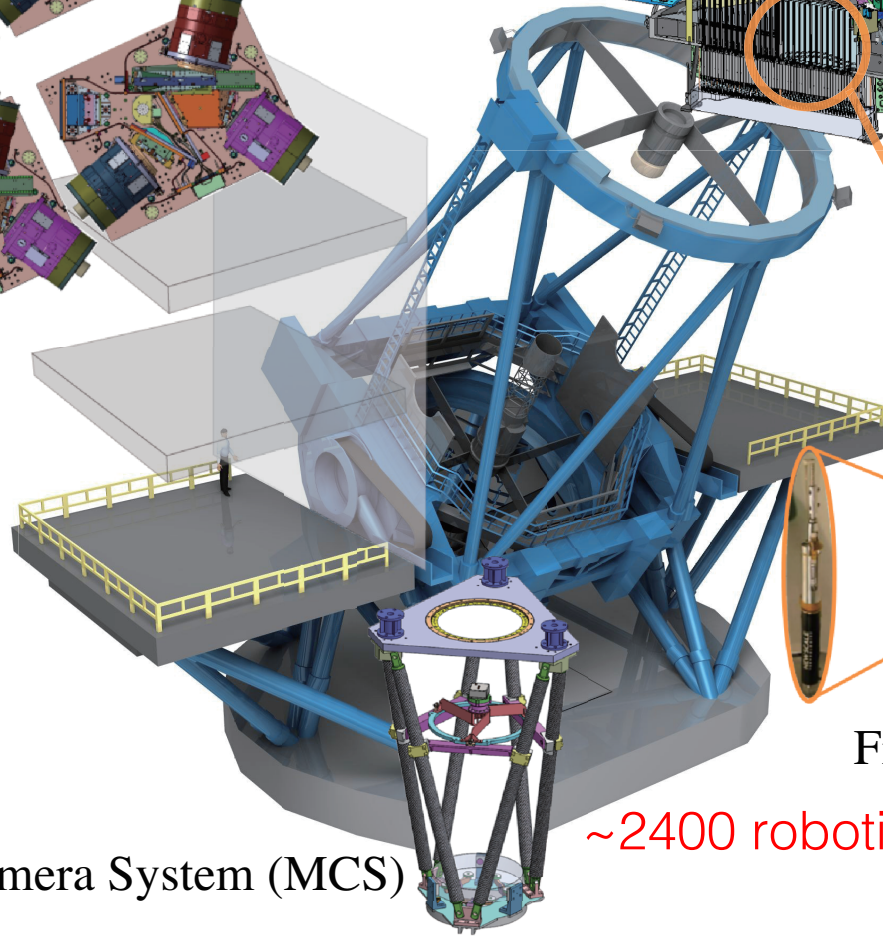
Prime Focus Spectrograph (PFS)

Spectrograph System (SpS)

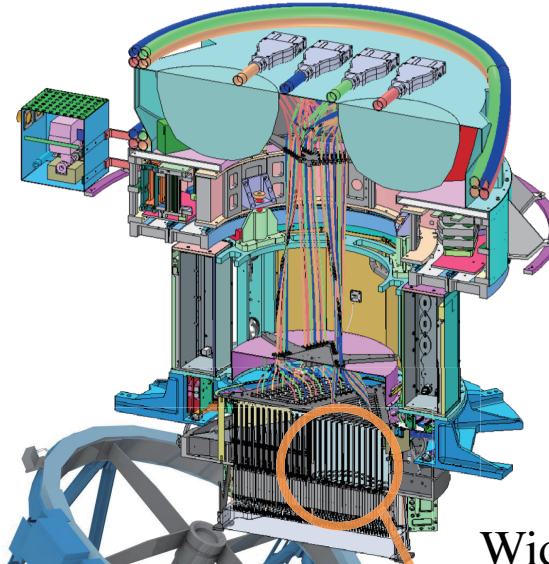


will be come a
Subaru-facility
instrument

Metrology Camera System (MCS)



Prime Focus Instrument (PFI)

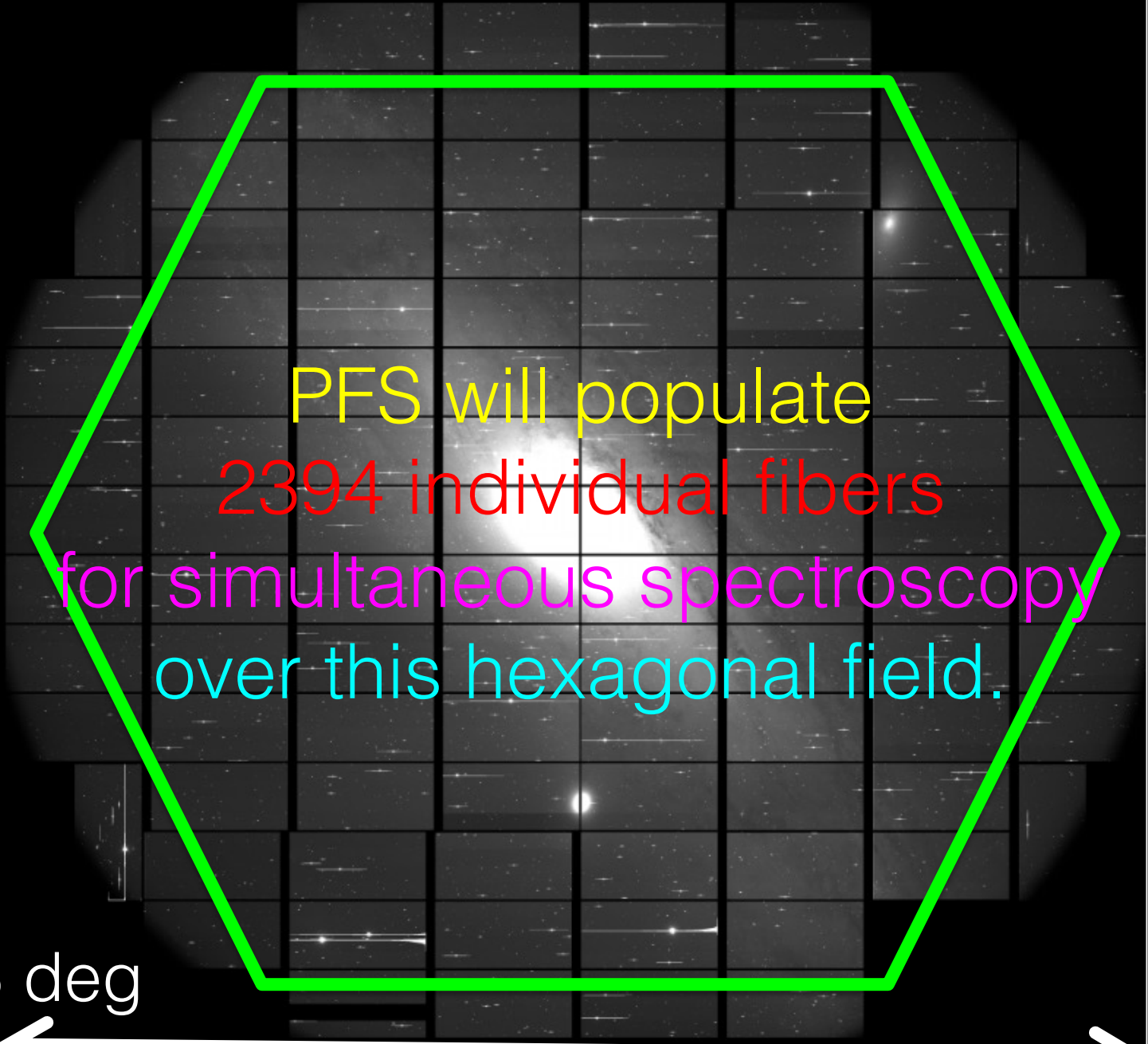


Wide Field Corrector



Fiber positioner "Cobra"

~2400 robotic positioners (fibers)



PFS will populate
2394 individual fibers
for simultaneous spectroscopy
over this hexagonal field.

~1.5 deg



Competition

	PFS	WEAVE	4MOST	DESI	MOONS
Telescope	Subaru (8.2m)	WHT(4.2m)	VISTA(4m)	Mayall (4m)	VLT (8.2m)
FoV	1.2 sq. deg.	2 sq. deg.	4 sq. deg.	7 sq. deg.	0.14 sq. deg.
Wavelength	0.38-1.26	0.4-1.0	0.4-0.885	0.36-0.98	0.64-1.8
Multiplex	2394	800	800 (low-R) 800 (high-R)	5000	1024 (512 for objects)
Resolution	R~2,000 (blue) R~3,000 (red) R~4,000 (NIR)	R~5,000 R~20,000	R~5,000 R~20,000	R~3,000-4,800	R~4,000-6,600 R~9,000 R~20,000
Fiber diameter	1.1"	1.3"	1.4"	1.45"	1.05"
Sci. op. start	2023	2021(?)	2023	2021	2023
Survey	~300nights	5yrs+5yrs	????	500 nights	????
Science	Cosmology GA Galaxy Evol.	GA Galaxy Evol.	Cosmology GA Galaxy Evol.	Cosmology GA Galaxy Evol.	Galaxy Evol. GA
Synergy	HSC TMT LSST/RST/Euclid	Gaia	Euclid eROSITA(X-ray) Gaia	Gaia LSST	Gaia E-ELT

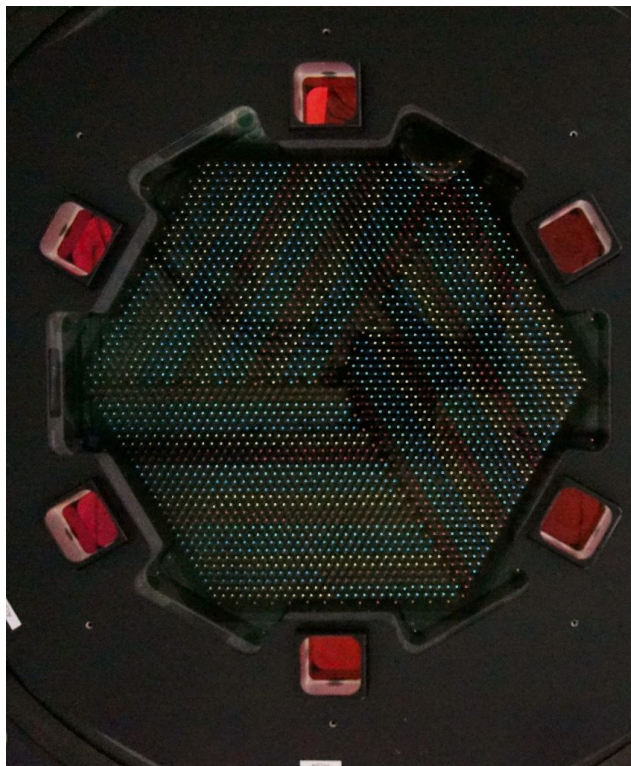
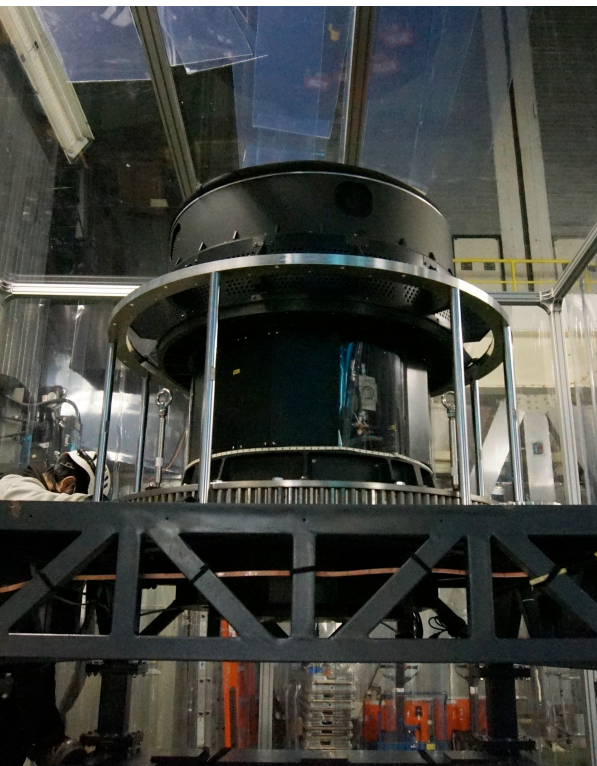
cf. Euclid (ESA): 1.2m, 2022-, Roman (NASA): 2.4m, 2026-, LSST (imaging): 6.5m, 2024-

国際共同研究に何が大事か？マネジメント

- ・ 組織・役割の明確化
 - PI: 村山さん、PM/SE: 田村さん、Science WG: 高田&Richard Ellis
 - Kavli IPMUが資金主要機関（~50%）なので、主導権は日本が握っている
- ・ MoU、共同研究ポリシーの文章化
 - 各パートナーとのMOU、すばる所長とのMOUなど
 - 日本研究機関、日本パスポートを持っている方はどなたでも参加
 - 海外のパートナー機関ではPIの数に上限。各PIに4人までのjunior scientists (PI=senior scientist with data rights)
 - 10年以上のプロジェクト（しかも今は準備期間）なので、気力、根気、忍耐、体力が必要、かつ楽観的に。（吉田さんのトーク参考）
 - 海外機関で活躍した若手研究者がnon-PFS機関に異動する場合のデータ権の取り決めなど
 - コミュニケーションの重要性（電話会議、F2F会議、wiki）。地理的不利
 - 英語での議論の重要性（IPMUがあったのは大きい）

We just had the collaboration meeting at Caltech for Dec 9-13, 2019





PFI (Prime Focus Instrument) of PFS at Subaru summit

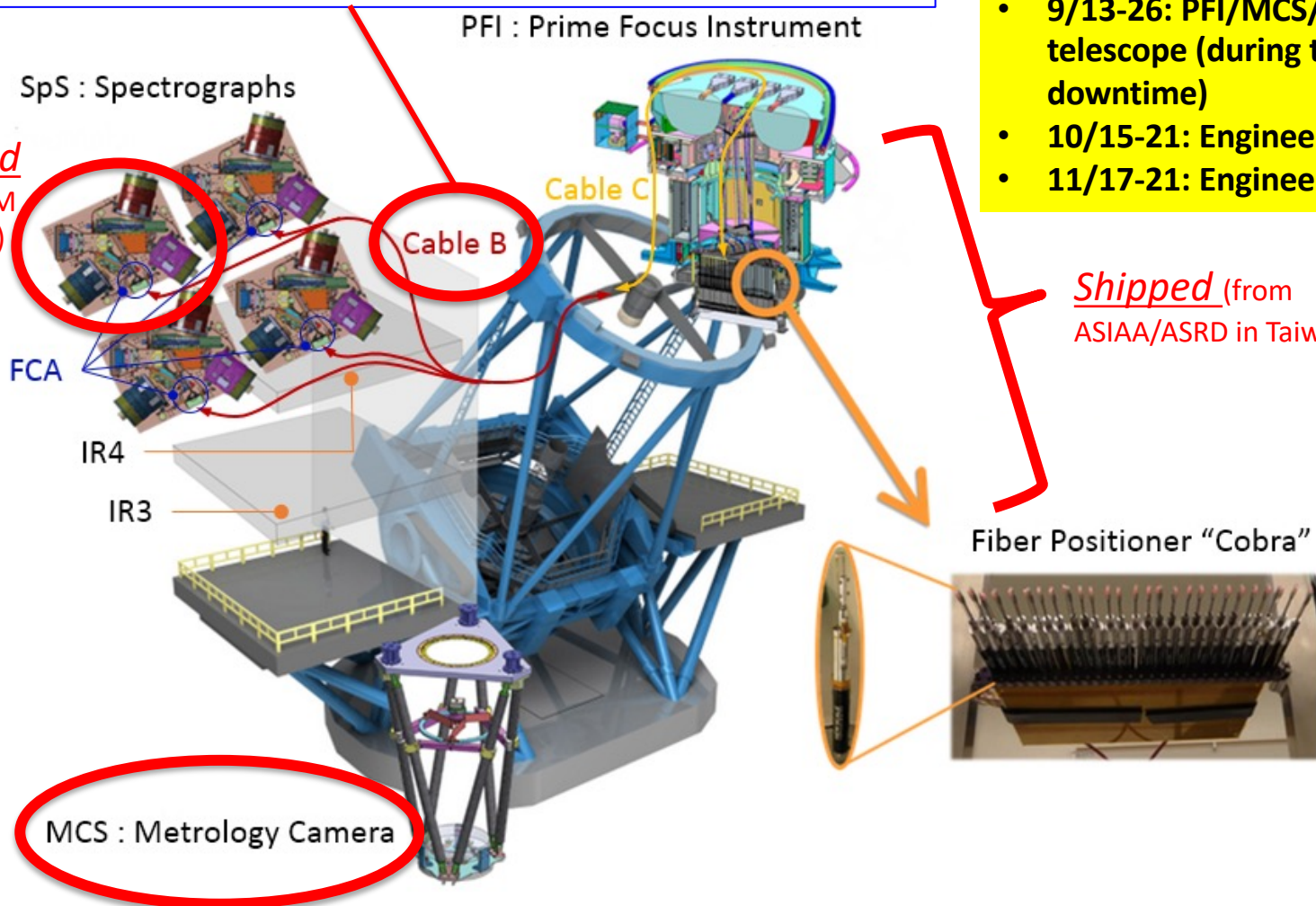
- 5/14: 輸送前レビュー (5/25 通過承認)
- 6/23: すばる山頂到着
- 7/15: PFI の POpt2 への搭載、取り外し試験
- 8/18-23: PFI を POpt2 に搭載した状態で、TUE Opt 階での三菱による試験

- 4 sub-cables (#1, #2, #3, #4) each of which connects a subset of fibers on PFI with a spectrograph module.
- The 1st one (Cable B#1) has been on the telescope since Feb 2021.
- The shipment of Cable B#2 has been approved on Aug 27 2021.

PFS はもうすぐいよいよ試験観測期に入ります

- 9/13-26: PFI/MCS/SM1 test on the telescope (during the telescope downtime)
- 10/15-21: Engineering observation
- 11/17-21: Engineering observation

Shipped
(from LAM
in France)



Shipped (from
ASIAA/ASRD in Taiwan)

Shipped (from ASIAA in
Taiwan)

<https://pfs.ipmu.jp/instrumentation.htm>

10分ほどお時間を頂き田村(*)の観点から・・・

- PFS の現在地
- お金がかなり足りなかった件。
- チームが個性豊かで大所帯な件。
- 若手・中堅が重要な職務を担っている件。
- コミュニティに向けて。

(*) 2010 年頃から PFS に携わり始め、プロジェクトが正式発足したのはシステムズエンジニアとして、2014年後半からはシステムズエンジニアを兼任しつつプロジェクトマネージャーとして PFS の開発に携わっています。

お金がかなり足りなかった件。

- Contingency 込みで約 \$20M の不足(PDR 当時)。
 - その後のコスト増を含めるともっと足りてなかった。
 - 「PFS 本当にできるのか？」という疑念との長い戦い。
- コストカットの努力は一通り尽くした。
 - Descope や deferred delivery も当然議論の中心だったが・・・
 - ・ かなりの痛みを伴うわりにコストが削れない。
 - ・ すばる + PFS の魅力を削ぎパートナーの参加動機を奪ってまで？
 - 総額の辻褄だけではない。途中の資金繰りも大いに問題。
- 「装置ファースト」で突き進むという決断。
 - まずは装置性能とスケジュール、その次に予算。
 - Steering Committee からの 100% の理解と支持のもとに。

怒涛の資金調達 → PFS is now fully funded!!

YYYY.MM	Event	US\$ to PFS construction
2014.09	MPA の加入	3.5M
2015.09	新学術科研費採択	~2M
2015.12	中国 PFS コンソーシアム(CPPC)加入	5.45M
2016.08	CPPC に1名追加加入	0.45M
2016.08	NSF MSIP 採択	~3M
2016.11	MPE の加入	1.5M
2017.04	アメリカ東部大学 PFS 連合(NEPG)の加入	3.2M
2020.07	Kavli IPMU 追加措置	0.9M
2020.07	CPPC, NEPG に1名ずつ追加加入	0.9M
2020.10	学術変革領域科研費採択	~2M
2021.04	Kavli IPMU 2021 年度 PFS 予算配分	~1.6M
2021.07	ASIAA, JHU, Princeton, Max Planck が US\$0.7Mずつの追加出資に合意(既に様々な形であった各機関からの追加出資の一環として)	2.8M

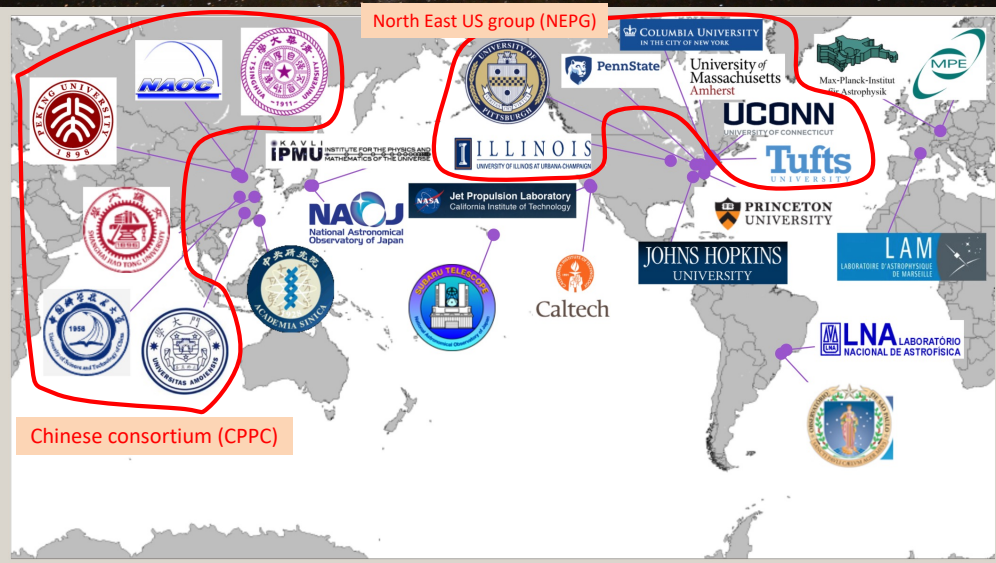
これは同時に壮絶な資金繰りと執行の歴史でもあります。

チームが「個性」豊かな大所帯である件。

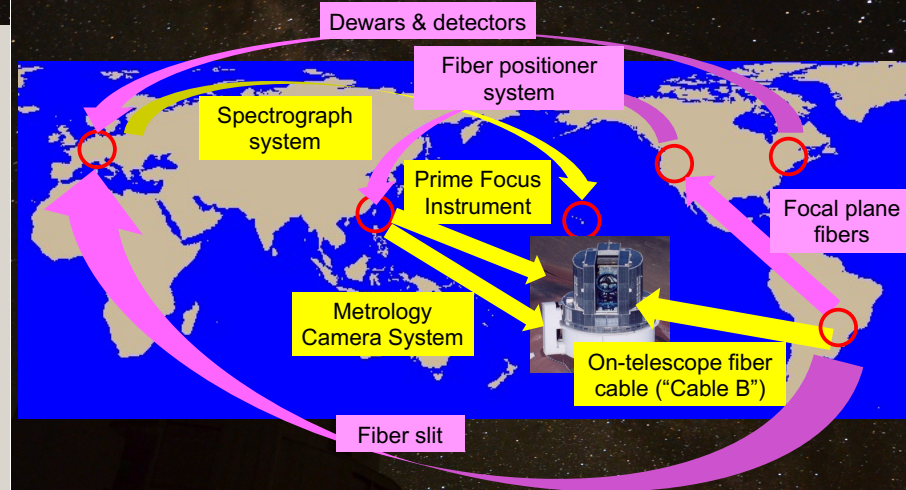
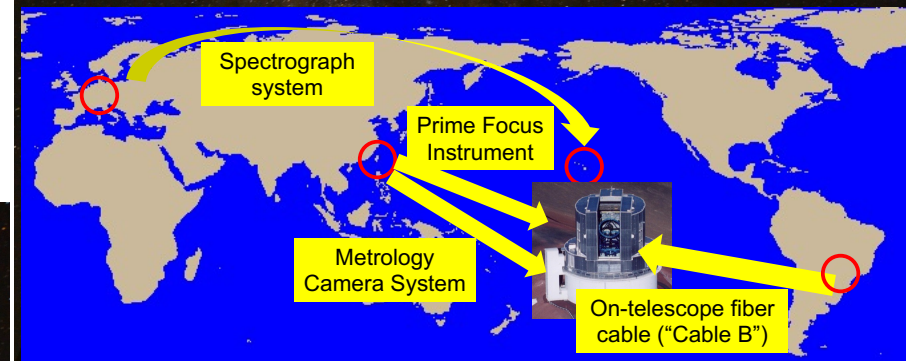
- 日本を含めた7か国。20以上の海外機関。
- 3か所で組み上げた4つのサブシステムをすばるに届け、コミッショニングする。

The growing PFS collaboration

Scientists & engineers in Japan & other 6 countries are co-working for instrument development & survey planning.



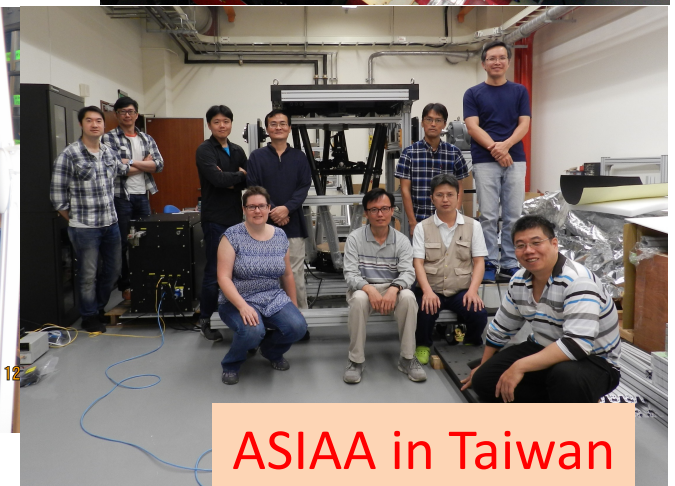
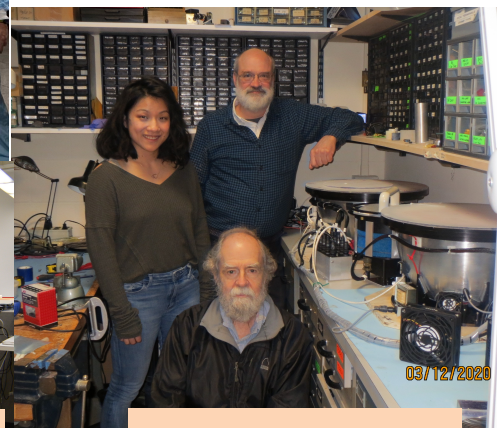
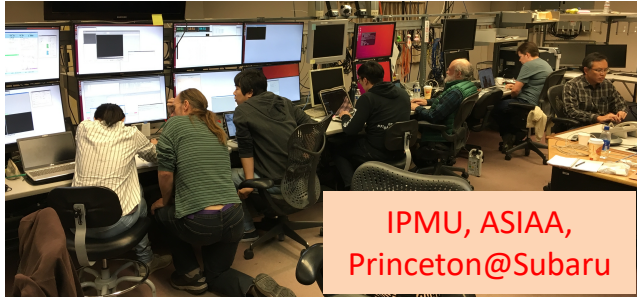
Logistics for PFS system integration



- Systems engineering is clearly the key.
- Parts/components/subsystem will be validated at each site before their delivery to other places for higher-level integration & finally to Subaru.

チームが「個性」豊かな大所帯である件。

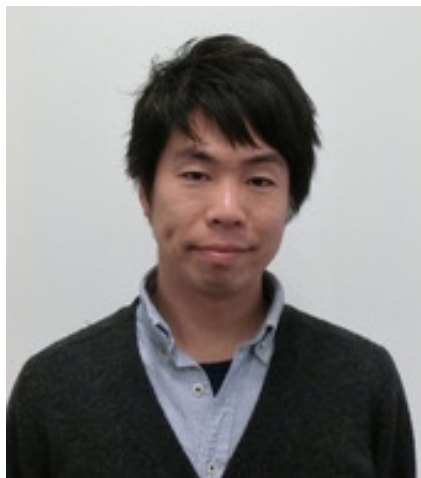
言葉も文化も、装置開発の実力も経験もそれへのアプローチや哲学も、
もちろん現地時間も・・・様々。



チームが「個性」豊かな大所帯である件。

- ひたすら「繋げ」ては、まとまって前に進む、の繰り返し。
 - 機会を作って、議論、議論、また議論。
 - 進捗共有、技術的課題、I/F 相談等はもちろん、財政・契約や意志決定や管理における formality の度合い、等々、題目は多岐にわたる。
 - 定例会議で足りなければ別途追加手配する。日本の深夜、早朝がほとんどだが、そんなことはどうでもよい。
 - できるだけ準備をして対話に臨む。
 - ただ話せばいいわけではない。なぜ今この話か、どこまで既知・既定で、未定は何かを明確にし、道筋をある程度作りつつも、場の流れには柔軟に対応する。
 - たかが英語、されど英語。常に「通じる」よりもっと上を徹底的に目指して。
 - 全ては表裏一体。
 - サイエンス、天文観測、要素技術、組上試験、I/F, トレードオフ、財政・契約・・・
 - 別の何かを語れる人が常に会議で同じテーブルにいる(諸刃の剣ではあるが)。
- いろんなことが起きます。。。。
 - もちろん、1mm でも先回りして手を打てるよう最善を尽くすべき。が、実際には非常に難しくうまくいかないことの方が多いのが現実(という気がする)。
 - いかに正しいリアクションを即座にするかが大事！
 - Formality と flexibility の適切なバランスも重要。

若手・中堅が重要な責任を担っている件。



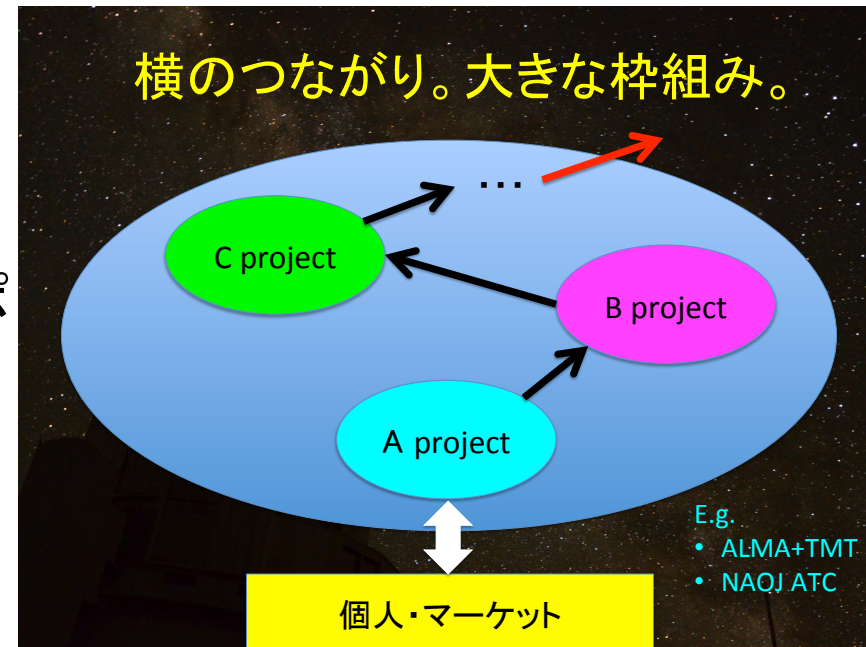
- (Left) Tomomi Sunayama
Cosmology WG co-chair
(Kavli IPMU →) 名古屋大学
- (Right) Ryu Makiya
Cosmology WG co-chair
(Kavli IPMU →) ASIAA

- (Left) Yuki Moritani
Commissioning work coordinator
(Kavli IPMU →) ハワイ観測所助教
- (Right) Kiyoto Yabe
Survey planning coordinator
Kavli IPMU



コミュニティに向けて。

- 「リード」してコミュニティに何が残るのか？
 - PFS が残ります。
 - PI, Project Scientist, Project Manager, Systems Engineer, Commissioning/survey planning coordinators ...
→ Gopira は PFS をリードしたコミュニティです。
 - サイエンスに、すばるの交渉のカードに、どんどん活用を！
- 人材育成・確保
 - プロジェクト間の横のつながり。
 - プロジェクトを超えた大きな枠組み作り？
- [参考]2017 年度光赤天連シンポ
“国際協力で実現させる2020年代の光学赤外線天文学”
田村 PFS プレゼン -- [Link](#)



PFS Science WG

- Science WG co-chairs: 高田, Richard Ellis (UCL)
- 3つのサイエンスの柱
 - **Cosmology WG**: ダークエネルギー、ニュートリノ質量。
Ryu Makiya (ASIAA), Tomomi Sunayama (Nagoya U.)
 - **Galaxy Evolution WG**: 銀河進化、銀河の性質。
Jenny Green (Princeton), Rachel Bezanson (U. Pitt),
Masami Ouchi (U. Tokyo/NAOJ), John Silverman (IPMU)
 - **Galactic Archaeology WG**: ダークマター、天の川銀河の起源・成り立ち。
Masashi Chiba (Tohoku U.), Judy Cohen (Caltech),
Rosemary Wise (JHU)
- PFSに参加している研究者：>400 scientists
- どなたでも参加できます

何が大事か？装置の威力、サイエンス

- ユニークな装置の威力（広視野、multiplex gain）
- やはりサイエンスが重要！
 - 海外の研究者が自分の資金を（日本の計画に）拠出しても参加したいと思えるサイエンス・プロジェクトか？
 - 10年以上持続するサイエンスか？（十分に分かりやすいか？）
 - 国際競争力、他の大型プロジェクトとの協奏性
- 現PFSサーベイの主要サイエンス
 - HSC+PFSによる相乗的サイエンス
 - 宇宙論（ダークエネルギー、ニュートリノ質量）、銀河進化、銀河考古学
 - 突出した、特定のサイエンス（宇宙論） vs. 多様なサイエンス
(参考：Simon White, [arXiv:0704.2291](https://arxiv.org/abs/0704.2291))
 - Science WG co-chairs (高田&Richard) の役割：機運、活動をキープし、様々なレベルの調整
 - 現活動：PFS-SSPプロポーザルを書き上げ、PFSチームが依頼した外部審査委員にレビューを依頼

現PFS-SSPプロポーザルのドラフト（サーベイ開始は2023年から）

DRAFT VERSION MAY 17, 2021

Preprint typeset using L^AT_EX style emulatepj v. 01/23/15

COSMIC EVOLUTION AND THE DARK SECTOR: A PFS SSP FOR THE SUBARU TELESCOPE

THE SUBARU PRIME FOCUS SPECTROGRAPH (PFS) COLLABORATION

The full author list is given in the Appendix

Draft version May 17, 2021

ABSTRACT

We propose a large-scale survey with PFS to address fundamental and important questions in the dark sector (dark matter and dark energy) with significant implications for cosmology, galaxy evolution and the origin of the Milky Way Galaxy. The unique wide-field and massively-multiplexed spectroscopic capability of PFS will maintain and strengthen Subaru's world-leading role in cosmology and astronomy for the next decade. Our experienced team of astronomers from Japan and the international community has developed an ambitious 360 night survey to be undertaken over 5 years which fully exploits the unique capabilities of PFS to address outstanding questions relating to the history and fate of the Universe as well as the physical processes and role of dark matter in governing the assembly of galaxies including our Milky Way. We commit to fully reducing the data from this landmark survey and making it available to the global astronomical community in a timely manner.

	Testing Λ CDM	Assembly history of galaxies	Importance of IGM
CO	• Nature & role of neutrinos • Expansion rate via BAO up to $z=2.4$ • PFS+HSC tests of GR	• PFS+HSC galaxy association • Absorption probes with PFS/SDSS QSOs around PFS/HSC host galaxies	• Search for emission from stacked spectra
GA	• Curvature of space: Ω_K • Primordial power spectrum	• Stellar kinematics and chemical abundances – MW & M31 assembly history	• dSph as relic probe of reionization feedback • Past massive star IMF from element abundances
GE	• Nature of DM (dSphs) • Search of MW dark halo • Small-scale tests of structure growth	• Halo-galaxy connection: M_*/M_{halo} • Outflows & inflows of gas • Environment-dependent evolution	• Physics of cosmic reionization via LAEs & 21cm studies • Tomography of gas & DM

何が大事か？資金難、資金繰り

- 2010年PFS発足当初、既に~\$10Mの資金不足（最終的には~\$20M程度の不足）：~\$80M計画
- 国際共同研究
 - MPA/MPE、Chinese PFS Participation Consortium、North-East Participation Consortium（北米の研究者）の参加
 - （おまけ）Hawaii IfA+EUのグループが、PFSサイエンスを軸にERCプロポーザルの提出を準備中。何度かPFSチームに打診
- 科研費の獲得
 - 2015-19 新学術研究領域（加速宇宙：代表 村山さん、PFS 高田）
 - 2020-24 学術変革領域研究（ダークマター：代表 村山さん、PFS 高田）
 - 分かりやすいサイエンス。入念な準備。
 - 文科省への働きかけ（すばる2）。
 - 奇跡的に資金をこれまで獲得できている

課題、コミュニティに期待すること

- 是非PFS-SSPに参加してください（HSCでお忙しいとは思いますが）
- サイエンスに興味のある方は沢山いる（競争&協力）
- Infrastructure貢献のマンパワー不足（PM/SE田村さん+PO）
 - 装置開発、パイプライン開発、試験観測だけでなく、サーベイ計画、観測の運用、カタログ作り（software infrastructure）も極めて重要
 - HSCの例：S19A HSC重力レンズ(銀河形状)カタログは、IPMUの大学院生 Xiangchong Li、宮武さん(名大)中心に作成
 - Kavli IPMU = 研究所、NAOJ=大学共同利用機関
 - サーベイで活躍した研究者をコミュニティが支援。次の計画に繋がる。例、欧米では DES, KiDSで活躍した研究者は無事研究職を得る（LSST, Euclid, Roman）
- PFS-SSPと共同利用の運用ルール作り
 - ファイバーシェアのルール
 - マルチメッセンジャー天文学時代のPFSの役割
- HSC+PFSのデータ、カタログのPDR（NAOJ田中賢幸さん）
 - 天文学のレガシー的データを提供（例：SDSS, Gaia）

すばるで光赤外コミュニティを盛り上げましょう！ 他の分野にもアピール (visible)

Publication of the Astronomical Society of Japan

MOST CITED

Cosmology from cosmic shear power spectra with Subaru Hyper Suprime-Cam first-year data

Chiaki Hikage et al.

Hikage, Oguri et al. 2019

Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 71, Issue 2, April 2019, 43,

<https://doi.org/10.1093/pasj/psz010>

We measure cosmic weak lensing shear power spectra with the Subaru Hyper Suprime-Cam (HSC) survey first-year shear catalog covering 137 deg² of the sky. Thanks to the high effective galaxy number density of ~ 17 arcmin⁻², even after conservative cuts such as a magnitude cut of $i < 24.5$ and photometric redshift cut of $0.3 \leq z \leq 1.5$, we obtain a high-significance measurement of the cosmic shear...

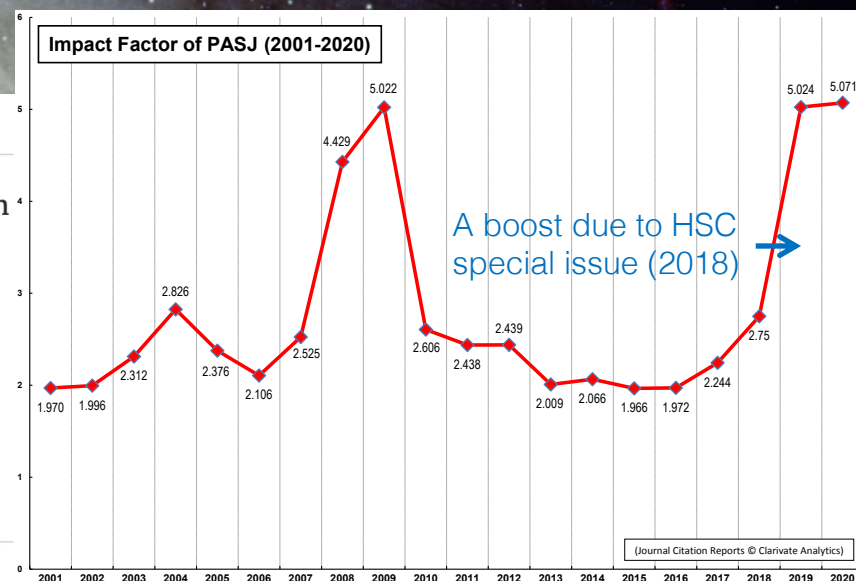
Second data release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program

Hiroaki Aihara et al.

Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 71, Issue 6, December 2019, 114,

<https://doi.org/10.1093/pasj/psz103>

This paper presents the second data release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program, a wide-field optical imaging survey using the 8.2 m Subaru Telescope. The release includes data from 174 nights of observation through 2018 January. The Wide layer data cover about 300 deg² in all five broad-band filters (grizygrizy) to the nominal survey exposure...



大型研究計画の進め方（個人的意見）

- ・ ボトムアップの議論で「2030年代のサイエンス」（日本版decadal survey）を決定しては？
 - 自分の波長、プロジェクトを忘れて、サイエンス主導で。
 - interdisciplinary (例：multimessenger, 惑星など)、ビックデータ、なども？
 - あるいは、天文学普遍的カタログを提供（例：Gaia）。
- ・ それを実現するための最適なプロジェクトを定義（波長、仕様、主導 vs. 部分参加）し、10年は全力で推進（予算、マンパワー）。他のプロジェクト、サイエンスはある程度我慢。
- ・ 主要サイエンス vs. 多様性
 - TMT = すばるの延長（Observatory + 多様のユーザー）
 - LHC: Higgs粒子, Kamiokande/IceCube: neutrino, KAGRA: 重力波
- ・ コミュニティ全体でハード、ソフト、サイエンスをサポート
 - 米国の例：National Labs. (LBNL, Fermilab, ...) がハード・ソフト、大学が人材輩出、サイエンス。LSST: SLAC (DOE) vs. 大学など
 - NAOJと大学の役割の差別化、連携が弱い？Win-win関係が確立しているか？
- ・ 光赤外：外から見ると魅力的（すばるの恩恵）。もっと飛躍できるか？