

Mission Concept Studies for the 2020 Decadal Survey



Origins Space Telescope ミッションへの参加

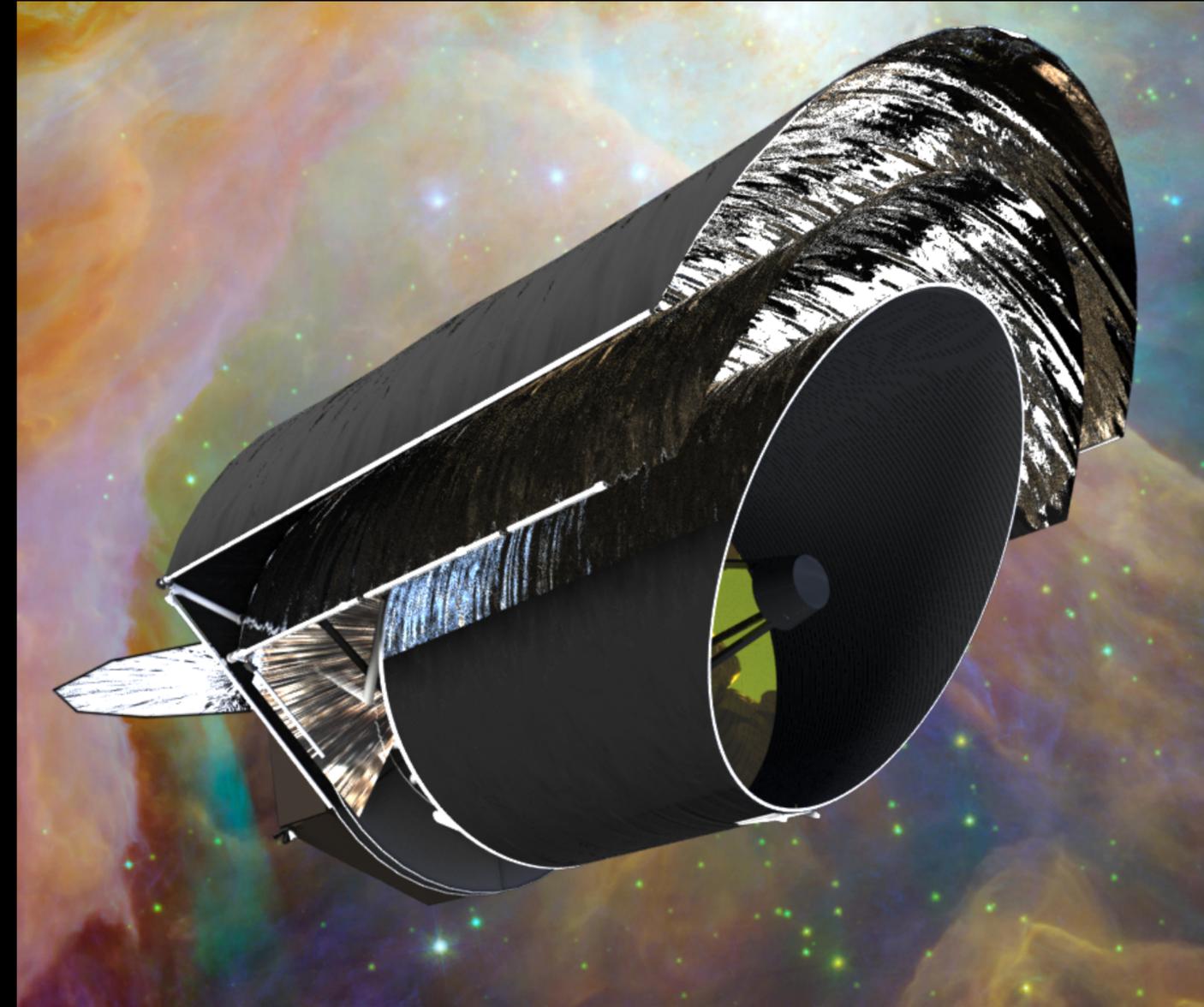
Itsuki Sakon (U Tokyo)

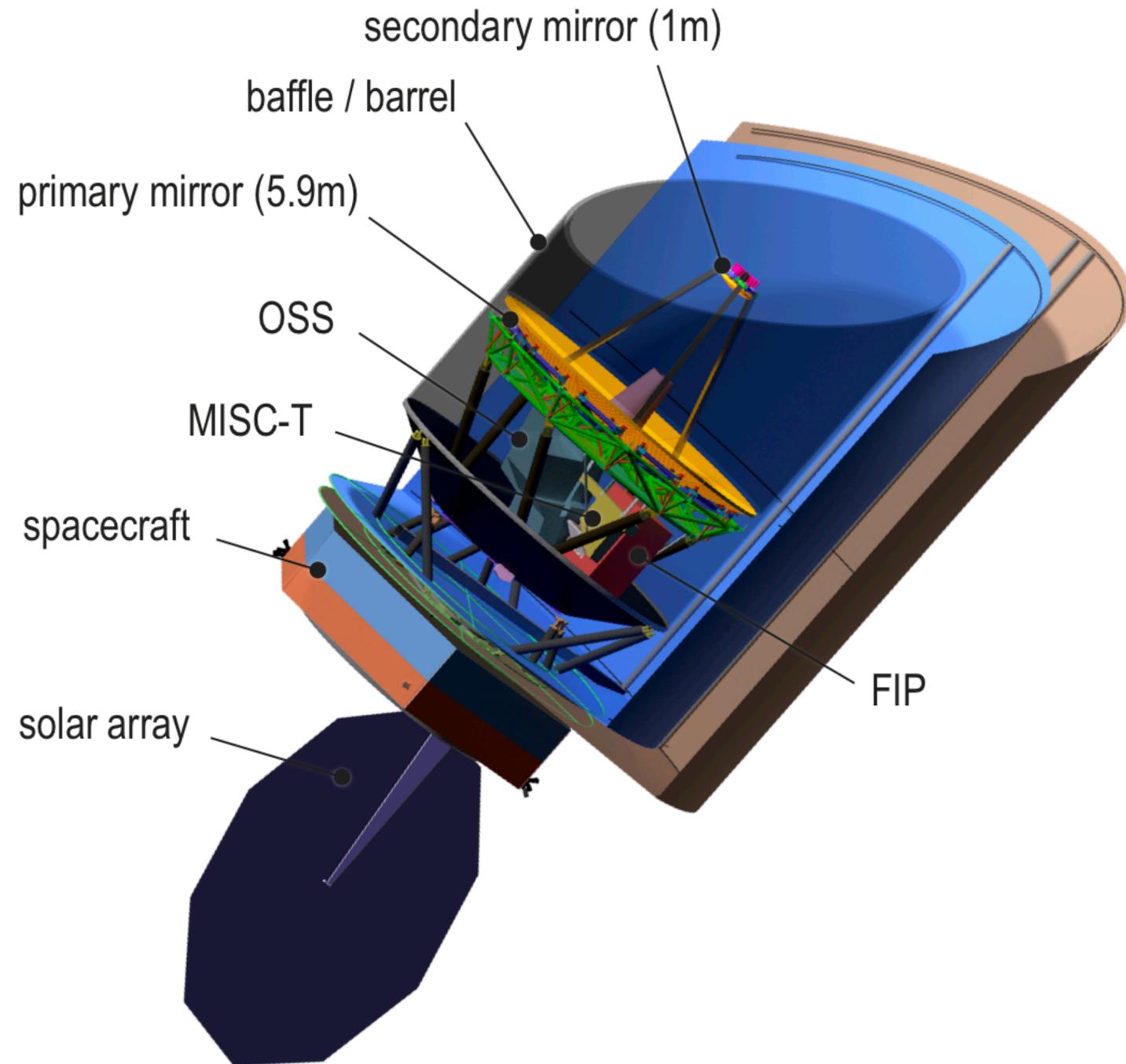
Origins/MISC Team

Origins Science and Technology Definition Team

<http://origins.ipac.caltech.edu>

- ★ **x1000 more sensitive than anything before**
- ★ **5.9m aperture non-deployed cold aperture (4.5K)**
- ★ **Low-risk development, testing, and deployment**
- ★ **3 orders of magnitude in wavelength coverage:
2.8-588 μm**





Origins: Spitzer-like minimal deployable design

wavelength coverage: 2.8-588 μm

Telescope:

diameter: 5.9 m

area: 25 m² (=JWST area)

diffraction-limit: 30 μm

temperature: 4.5 K

Cooling: long life cryo-coolers

Agile Observatory for surveys: 60" per second

Launch Vehicle:

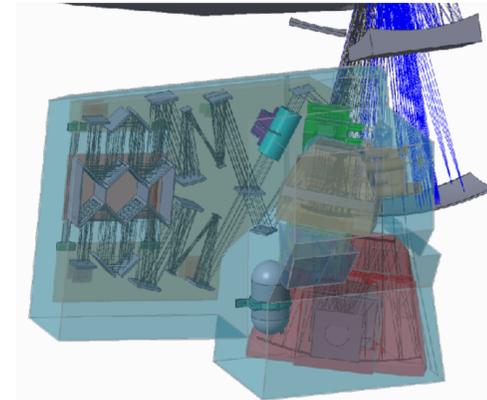
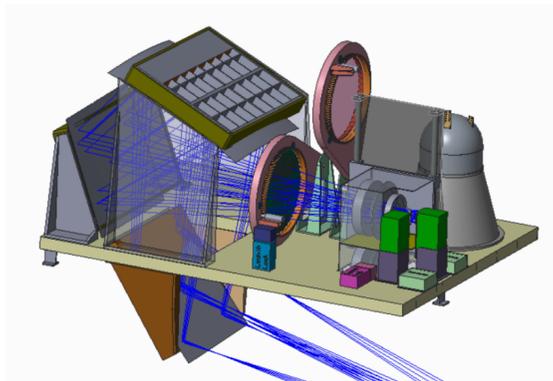
Large, SLS Block 1, Space-X BFR

Mission: 10 year propellant, serviceable

Orbit: Sun-Earth L2

OSS: Origins Survey Spectrometer

- 25-588 μm $R \sim 300$, survey mapping
- 25-588 μm $R \sim 43,000$, spectral surveys
- 100-200 μm $R \sim 325,000$, kinematics

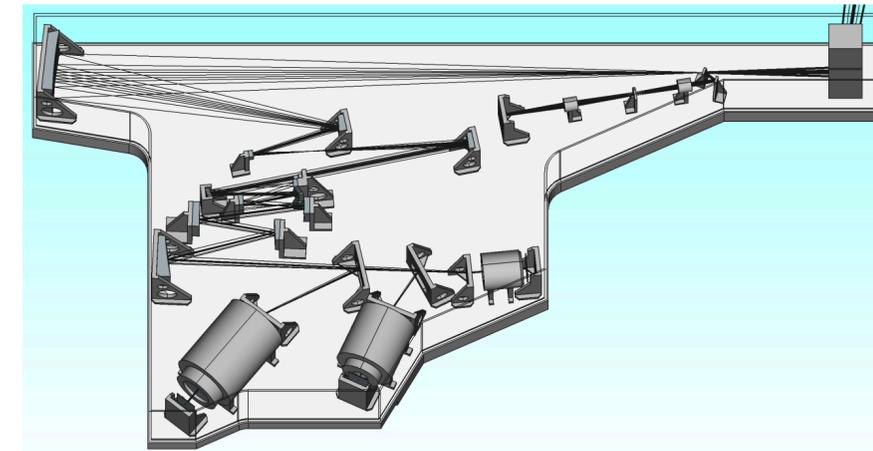


FIP: Far-infrared Imager Polarimeter

- 50 or 250 μm , Large area survey mapping
- 50 or 250 μm , polarimetry

MISC-T: Mid-Infrared Spectrometer Camera Transit

- Ultra-Stable Transit Spectroscopy
achieved by **Densified Pupil Spectroscopy** (Matsuo et al. 2014, 2016)
- 2.8-20 μm $R \sim 50-295$



GOPIRA2030s White Paper

Participation in Origins Space Telescope Mission

(Origins Space Telescope ミッションへの参加)

At the conclusion of a 3.5 year, the Origins Science and Technology Definition Team (STDT) recommended to the Decadal Survey a concept for Origins with a 5.9m diameter telescope cryocooled to 4.5 K and equipped with three baseline scientific instruments: the mid-infrared Spectrometer and Camera (MISC), the Far-IR Imager Polarimeter (FIP), and the Origins Survey Spectrometer (OSS). The science goal of Origins is to trace the history of our origins from the time when dust and heavy elements permanently altered the cosmic landscape to present-day life. JAXA has participated in the Origins' STDT activity through the whole and has led the conceptual study of MISC in collaboration with NASA Ames. This project aims **to achieve Japan's hardware contribution to the Origins Space Telescope through MISC instrument and to enable Japanese Astronomers to pursue Origins' science goals as a member of the Origins team** once the Origins is endorsed in the 2020 Decadal Survey.

Principle Investigator (プロジェクト代表者)

Name: SAKON, Itsuki

Affiliation: University of Tokyo

E-mail address: isakon@astron.s.u-tokyo.ac.jp

Co-investigator and his/her role (プロジェクト共同提案者とその役割)

ROELLIG, Thomas L. (NASA Ames) Co-Instrument Lead, MIR detectors

ENNICO-SMITH, Kimberly (NASA Ames) Co-Science Lead

MATSUO, Taro (Nagoya University) Development and testing of densified pupil spectrometer

ENYA, Keigo (ISAS/JAXA) Development of key technologies based on heritage of SPICA/SCI

WADA, Takehiko (ISAS/JAXA) Development of MIR detector and readout technologies

INAMI, Hanae (Hiroshima University) Science Investigation (extragalactic)

TAKAHASHI, Aoi (NAOJ) Science Investigation (exoplanet), Development of DM technology

GREENE, Thomas (NASA Ames) Testing of densified pupil spectrometer and MIR detectors

BURGARELLA, Denis (Aix-Marseille University) Science Investigation (extragalactic)

2030年代将来計画検討 White Paper (WP) 評価結果

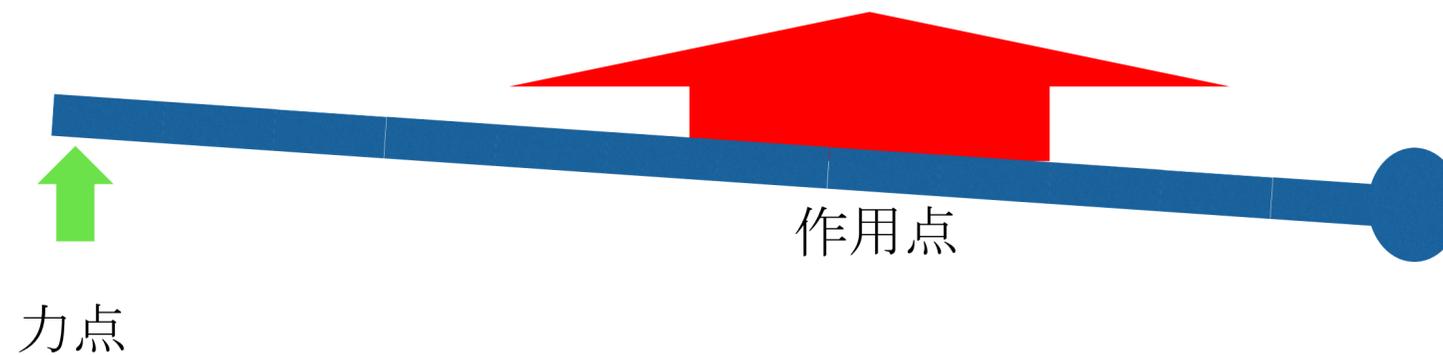
総評

本計画は、US decadal survey の大型計画候補の一つで、口径**5.9m** というこれまでにない大口径冷却望遠鏡を用いた中間、遠赤外線ミッションへ、日本が装置開発で参加をする計画である。サイエンスは、銀河形成から惑星形成、系外生命探査など幅広い重要テーマを掲げており、推進を期待するコメントが多い。技術面での検討は、日本担当部分の**MISC**の開発検討状況は非常に進んでいる印象で、**SPICA** 開発などのヘリテージの活用などが具体的に書かれており評価できる。しかし、**装置の供給とはいえ極めて大きなコストが必要となり**、**JAXA** の宇宙開発の枠組みを含めた検討が必要である。また、人的にも十分な資源が投入できるか不安であり、コミュニティ拡大の努力と工夫が必要である。**JAXA** 側にも、責任を持つ組織が必要となるが、この点をどう立ち上げるかなどの検討が必要である。期待される科学的成果に関しては、具体的な説明が乏しく独自性が明瞭ではないとのコメントが多い。**SPICA** や**JWST** と重複する部分が多いので、これらと比べたときの違いを明確に示すことが必要である。

評価項目	A.科学価値 /費用	B.フィージ ビリティ	C.コミュニテ ィの大きさ	D.科学や技 術の将来性	E.国際競争 力
評価者1	5	4	3	5	5
評価者2	5	2	3	4	5
評価者3	3	4	4	4	4
評価者4	3	4	3	5	5
評価者5	3	4	3	3	4
評価者6	4	4	3	4	3
評価者7	3	4	4	4	4
評価者8	4	4	3	5	3
平均	3.75	3.75	3.25	4.25	4.125

国際フラッグシップミッションへのハードウェアを通じた貢献の意義

- バス部、ミッション部(望遠鏡、観測装置)全体でチームを構成
- **MISC**と望遠鏡、他の観測装置(**OSS, FIP**)との間で、常にインターフェースを設けながらミッションを推進
- コンポーネントレベルでの日本技術のインプットの機会に適時手を挙げられる(日本の技術の売り込み)
- あらゆる点で国際的に最先端の技術の土俵に身をおかざるを得ない(最先端の技術の可視化)
- 全ての観測装置に対して、適切なコンタクト先を持ち、最新の情報共有が可能
- **MISC**だけでなく、**OSS, FIP**を用いた、サイエンス検討に、ゲストオブザーバーではなくチームとして参加可能
- 日本の国際プロジェクトにおける実績 (→ 他の日本の独自ミッションへの重要なリターンとなる)



装置MISCを通じた貢献

・日本の独創的装置デザイン(Densified Pupil Spectrometer; baselineに採用)

コスト：437MUSD^{*注} x (1- α) [α ; NASA/Amesの担当割合。特に検出器開発を想定。]

注：Total cost 6.7BUSDの6.5%に相当。現時点でOriginsミッションのコスト見積もりに含有された上でDecadal Committeeに提出

2030年代将来計画検討 White Paper (WP) 評価結果

総評

本計画は、US decadal survey の大型計画候補の一つで、口径5.9m というこれまでにない大口径冷却望遠鏡を用いた中間、遠赤外線ミッションへ、日本が装置開発で参加をする計画である。サイエンスは、銀河形成から惑星形成、系外生命探査など幅広い重要テーマを掲げており、推進を期待するコメントが多い。技術面での検討は、日本担当部分のMISCの開発検討状況は非常に進んでいる印象で、SPICA 開発などのヘリテージの活用などが具体的に書かれており評価できる。しかし、装置の供給とはいえ極めて大きなコストが必要となり、JAXA の宇宙開発の枠組みを含めた検討が必要である。また、人的にも十分な資源が投入できるか不安であり、コミュニティ拡大の努力と工夫が必要である。JAXA 側にも、責任を持つ組織が必要となるが、この点をどう立ち上げるかなどの検討が必要である。期待される科学的成果に関しては、具体的な説明が乏しく独自性が明瞭ではないとのコメントが多い。SPICA や JWST と重複する部分が多いので、これらと比べたときの違いを明確に示すことが必要である。

評価項目	A.科学価値 /費用	B.フィージ ビリティ	C.コミュニテ ィの大きさ	D.科学や技 術の将来性	E.国際競争 力
評価者1	5	4	3	5	5
評価者2	5	2	3	4	5
評価者3	3	4	4	4	4
評価者4	3	4	3	5	5
評価者5	3	4	3	3	4
評価者6	4	4	3	4	3
評価者7	3	4	4	4	4
評価者8	4	4	3	5	3
平均	3.75	3.75	3.25	4.25	4.125

評価者Dの全体へのコメント

- 現行の政府予算システム

「ASA, ESA, JAXA ではミッションの開発フェイズに対して、Point of No return と呼ぶ、経営的な立場で見て、そのミッションの開発を最後まで進めるという最終決定を行うフェイズに大きな違いがある。

「日本では、一度始めた事業は、通常最後まで行うことを前提としており、予算が事項化された後での引き返しは、計画のターミネーションという取り扱いになり、後々に厳しい影響が残る結果となる。

「ESA の場合は、比較的この時期が早い」が、「NASA の場合は、Phase-C の時点でこの判断を行うことになって」いる。

「フラグシップミッションの観測装置の一つを日本が担うと言うことを考える場合は、現行の政府予算システムに対して、どのような方針で解決するかを前もって考えておく必要がある。

予算に対する考え方から、国際旗艦ミッションへの参加が制限されることになれば、日本の天文学の科学技術水準の国際的土俵での可視化が難しくなりガラパゴス化が進行。

「人類のミッション」に対して国際的な責任ある分担を持つことを諦めざるを得なくなる。

これは天文学の社会的な役割の一つである、技術boundaryの拡張を阻害し、技術リソースの先細りを引き起こす。

「政府の予算の考え方自体に変更を突きつけるものですから、それなりのステップとリードタイムが必要」を承知の上で、国際機関ミッションへの参加の道筋を作る必要がある。

評価者Dの全体へのコメント

「大学レベルの参加を考える場合でも、日本であればJAXAの作業は必ず発生し、かつそれほど小さな作業では終わりません。」

「NASA, ESA のミッション開発では、必要なDocument 要求もJAXA ミッションと比較してケタ違いに大きく、これに対応する仕事にかかるメーカーコストもそれなりに大きくなる。

Originsは、JWSTの反省に基づき、コスト評価は極めて慎重に実施。

MISC装置が占める、437MUSDはそれを踏まえた上での見積もりとなっている。

NASA Goddard Space Flight Center's (GSFC's) Cost Estimating, Modeling and Analysis (CEMA) Office, under the direction of the GSFC Office of the Chief Financial Officer (CFO), parametrically derived Origins life-cycle mission cost estimates. GSFC's Resource Analysis Office (RAO) independently derived a mission cost estimate using a top-down parametric model. The CEMA and RAO estimates are consistent to within the estimated uncertainties. Based on directions from NASA HQ SMD, the Origins team assumes:

- Mission start, Phase A, is in 2025
 - All mission-enabling technologies will be advanced to TRL 5 at the beginning of Phase A and to TRL 6 by mission PDR
 - The Origins Technology Development Plan describes how the required technologies will be matured to TRL 5 prior to Phase A, and fully accounts for the cost of this effort. Pre-Phase A technology maturation costs are not included in the mission cost estimates presented here.
 - The cost of technology maturation from TRL 5 to TRL 6 is included in the Phase A and Phase B mission cost estimates given below and maturation to TRL-6 will be completed by PDR.
 - SLS Launch Vehicle cost is \$500M in real year (RY) dollars.
- The CEMA-estimated total cost of the Origins Space Telescope mission, Phases A through E, is 6.7BUSD (CY 2020) at the 50% Confidence Level (CL) and 7.3BUSD (CY 2020) at the 70% CL.

Table 1

Origins Space Telescope Mission-Level Cost Estimate (\$M)						
WBS	Description	Phase A	ACEIT Summary (Sum is statistical, not arithmetic)			
			50% CL	70% CL	50% CL	70% CL
			Phases B/C/D	Phases B/C/D	Phase E	Phase E
1.0	Project Management	17	281	329		
2.0	Systems Engineering	11	281	329		
3.0	Safety and Mission Assurance	2	161	188		
4.0	Science/Technology	106	132	132		
5.0	Payload	21	2,677	3,149		
5.1	Mid-Infrared Spectrometer Camera (MISC)		437	516		
5.2	Origins Survey Spectrometer (OSS)		595	707		
5.3	Far-Infrared Imager Polarimeter (FIP)		495	594		
5.4	Telescope		890	1,031		
5.5	Cryogenic Payload Assy Integration and Test (I&T)		256	296		
6.0	Spacecraft	21	1,318	1,521		
6.1	Spacecraft (without Sun Shield and Cryocoolers)		864	997		
6.2	Cryocoolers		220	265		
6.3	Sun Shield		47	53		
6.4	Spacecraft IT& (Sunshield and Cryocoolers)		215	250		
7.0	Mission Operations System (MOS)	15	122	142	480	563
9.0	Ground System(s)	13	281	329		
10.0	Systems Integration and Test	6	281	329		
8.0	Launch Vehicle/Services ROM		500	500		
Subtotal (\$M)	Total Phase A (BY20)	211				
	Total, Phases B/C/D (BY20)		6,037	6,481		
	Total, Phase E (BY20)				480	563
	Low Range Total (50% CL), Phases A-E (BY20)	211	6,037		480	
	Low Range Total (50% CL), Phases A-E (RY)	247	7,700		753	
	High Range Total (70% CL), Phases A-E (BY20)	211		6,481		563
	High Range Total (70% CL), Phases A-E (RY)	247		8,899		881
TOTAL, PHASES A-E (\$B)						
					50% CL	\$6.7 (BY20)
						\$8.7 (RY)
					70% CL	\$7.3 (BY20)
						\$10.0 (RY)

Hardware Elements (Parametrically Estimated)

Table 1 shows the WBS cost breakdown in CY 2020 dollars and Real Year (RY) dollars. The mission costs in RY dollars are 8.7BUSD at the 50% Confidence Level (CL) and 10.0BUSD at the 70% CL, which includes the launch vehicle cost of 500MUSD RY

The total cost estimated for the MISC instrument throughout the Phases A-E (i.e., 437MUSD) shares only 6.5% of the total mission cost (i.e., 6.7BUSD [CY 2020]). Since the MISC instrument has been studied by JAXA in collaboration with NASA Ames during the Origins STDT, further negotiation between NASA and JAXA will likely lead to partnership agreements and a part of the cost for the MISC instrument is needed to be covered by JAXA in order to achieve Japan's hardware contribution to Origins.

2030年代将来計画検討 White Paper (WP) 評価結果

総評

本計画は、US decadal survey の大型計画候補の一つで、口径5.9m というこれまでにない大口径冷却望遠鏡を用いた中間、遠赤外線ミッションへ、日本が装置開発で参加をする計画である。サイエンスは、銀河形成から惑星形成、系外生命探査など幅広い重要テーマを掲げており、推進を期待するコメントが多い。技術面での検討は、日本担当部分のMISCの開発検討状況は非常に進んでいる印象で、SPICA 開発などのヘリテージの活用などが具体的に書かれており評価できる。しかし、装置の供給とはいえ極めて大きなコストが必要となり、JAXA の宇宙開発の枠組みを含めた検討が必要である。また、人的にも十分な資源が投入できるか不安であり、コミュニティ拡大の努力と工夫が必要である。JAXA 側にも、責任を持つ組織が必要となるが、この点をどう立ち上げるかなどの検討が必要である。期待される科学的成果に関しては、具体的な説明が乏しく独自性が明瞭ではないとのコメントが多い。SPICA や JWST と重複する部分が多いので、これらと比べたときの違いを明確に示すことが必要である。

評価項目	A.科学価値 /費用	B.フイー ジ ビリティ	C.コミュニ ティの大き さ	D.科学や技 術の将来性	E.国際競争 力
評価者1	5	4	3	5	5
評価者2	5	2	3	4	5
評価者3	3	4	4	4	4
評価者4	3	4	3	5	5
評価者5	3	4	3	3	4
評価者6	4	4	3	4	3
評価者7	3	4	4	4	4
評価者8	4	4	3	5	3
平均	3.75	3.75	3.25	4.25	4.125



How does the universe work?



How did we get here?



Are we alone?



Discovery of new phenomena

Herschel 2-D surveys are confusion limited...
Origins/OSS surveys are NOT:

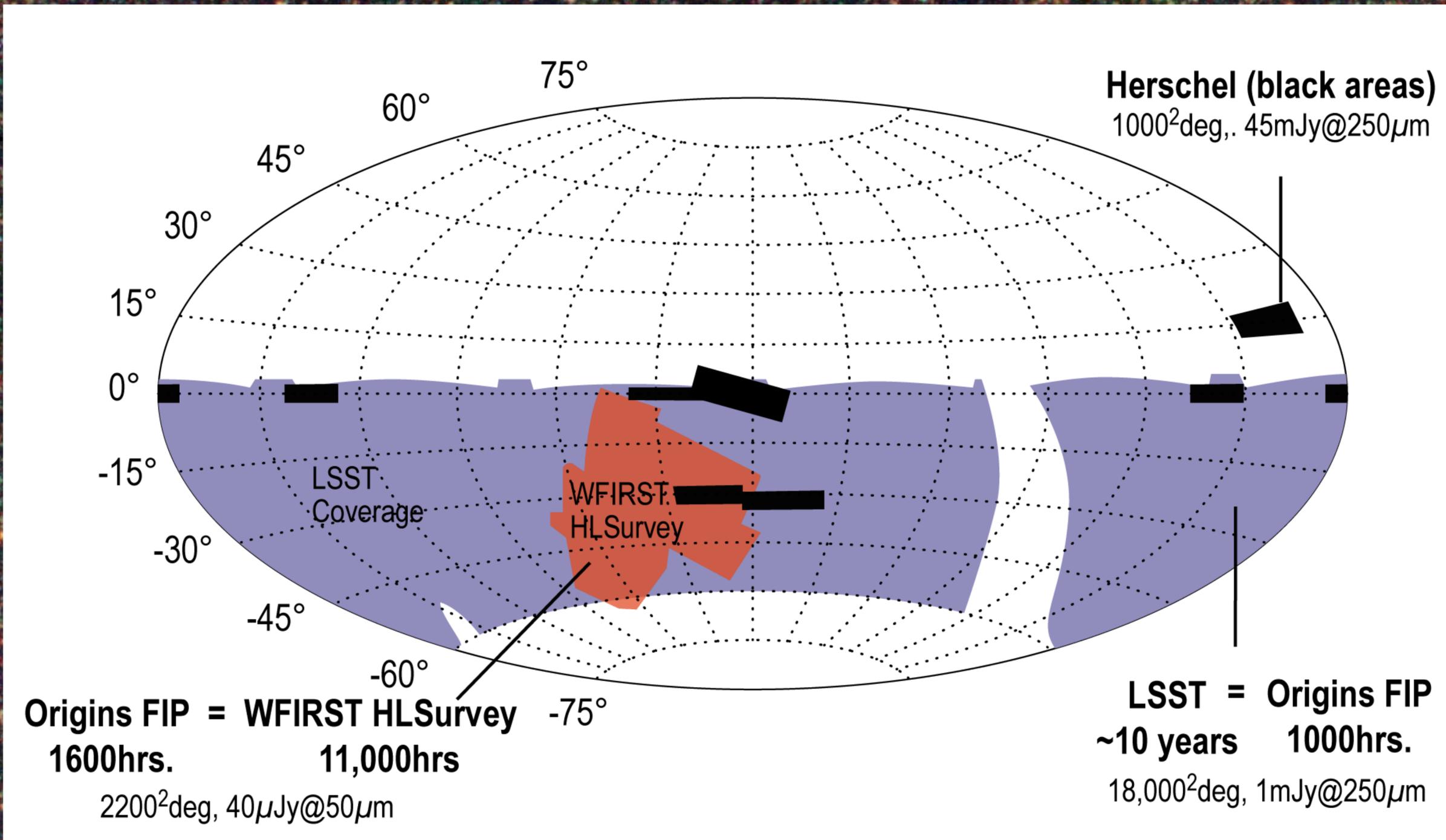


“Infrared SDSS”
Millions of galaxies $z < 8$
Over a few sq. degrees
In a ~2000hour blind survey



3.6°

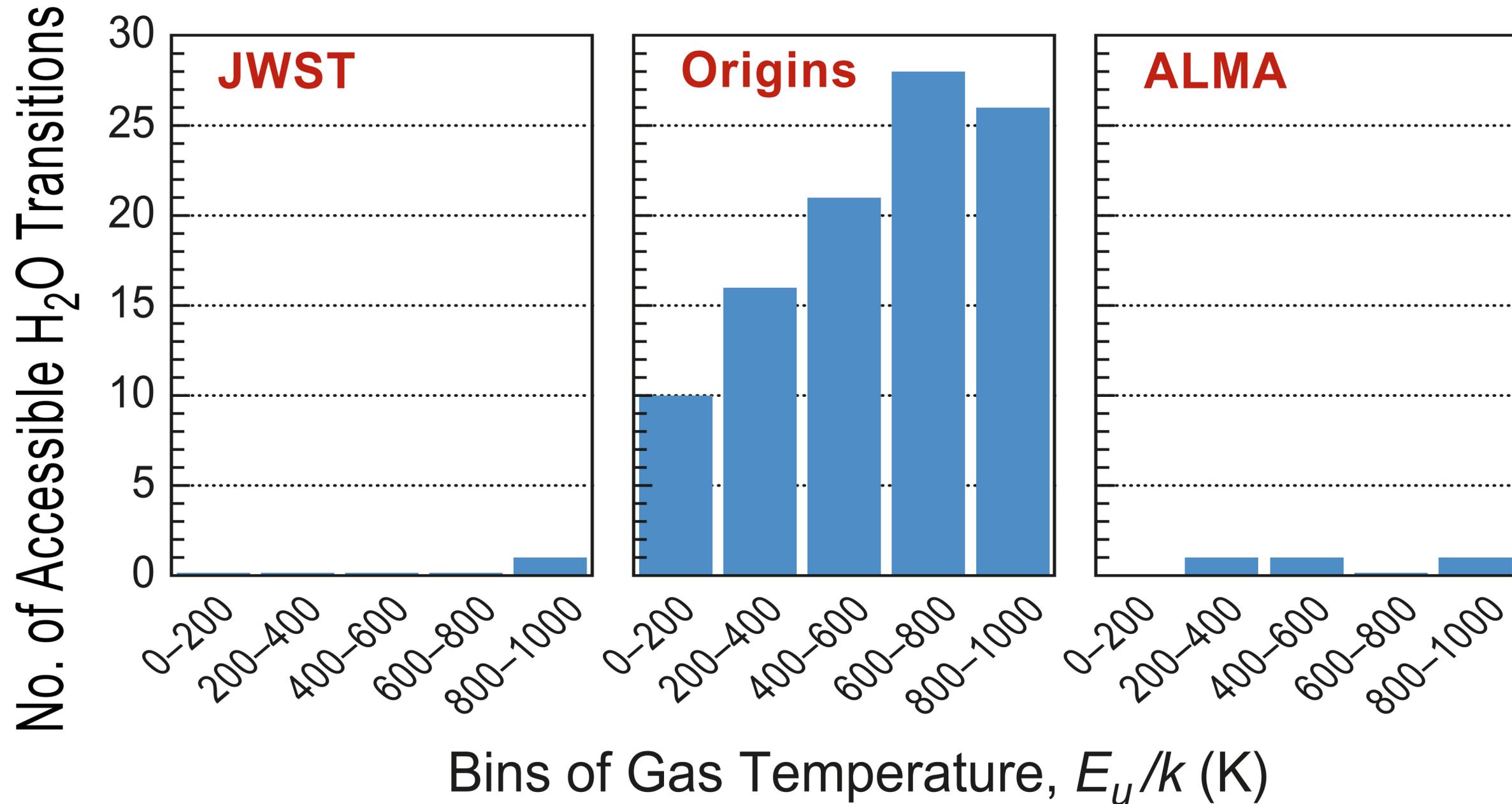
Origins/FIP Surveys: Billion Galaxies!



Origins provides dust and star-formation rate to complement stellar masses from LSST+WFIRST-HLS
Origins can survey the same areas as WFIRST and LSST in much less time and at complementary wavelen



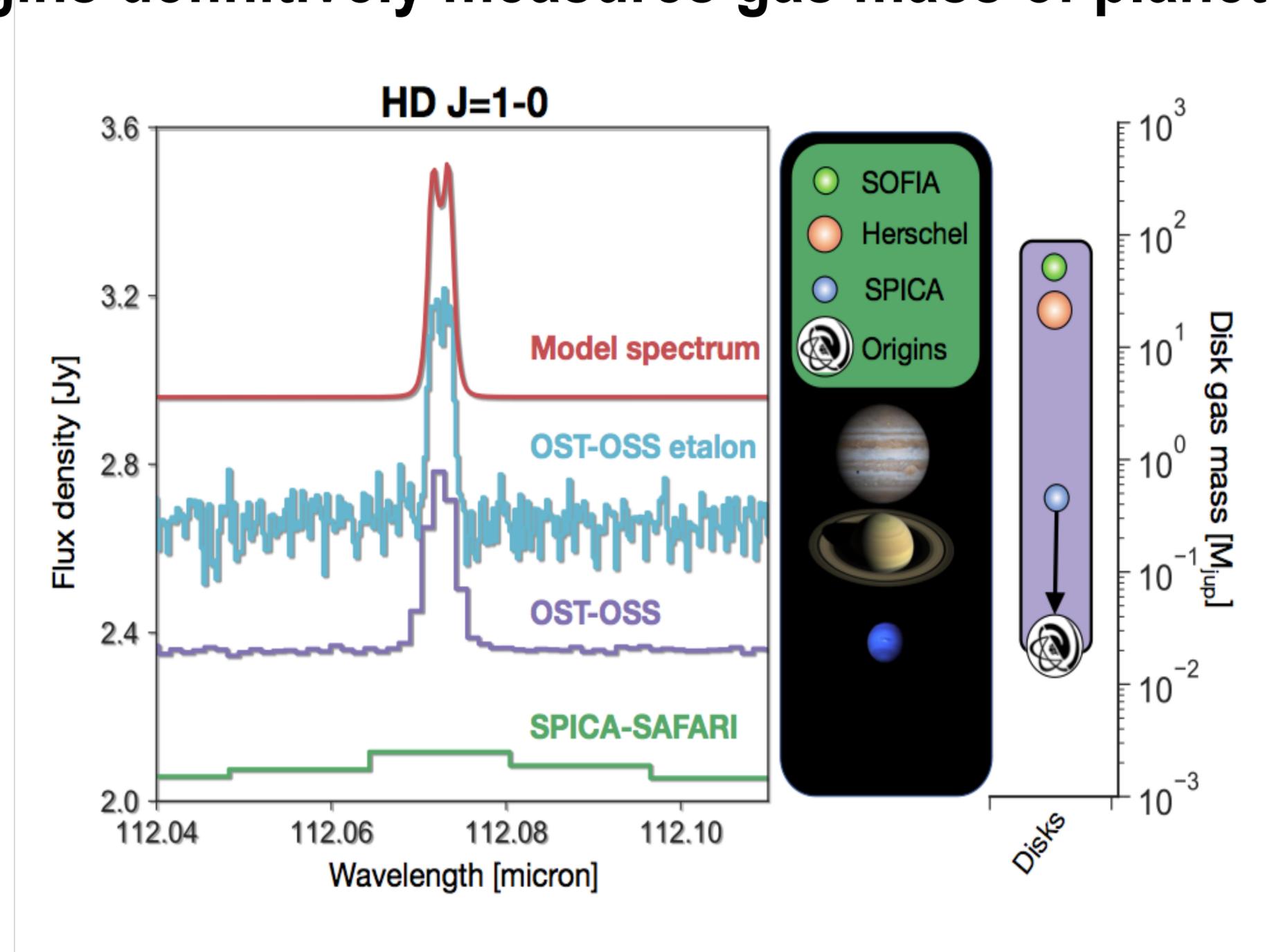
Origins Uniquely Follows the Trail of Water



- Origins will detect the rotational spectrum of water <1000K above ground state in >1000 planet-forming disks
- Origins will make the definitive statement on the disposition of water as stars and planets are assembled



Origins definitively measures gas mass of planet forming disks



Origins is the only observatory capable of spectrally resolving the HD line with sufficient sensitivity.
→ The fundamental transition of HD at $112\mu\text{m}$ can be a reliable optically thin tracer of the gas mass



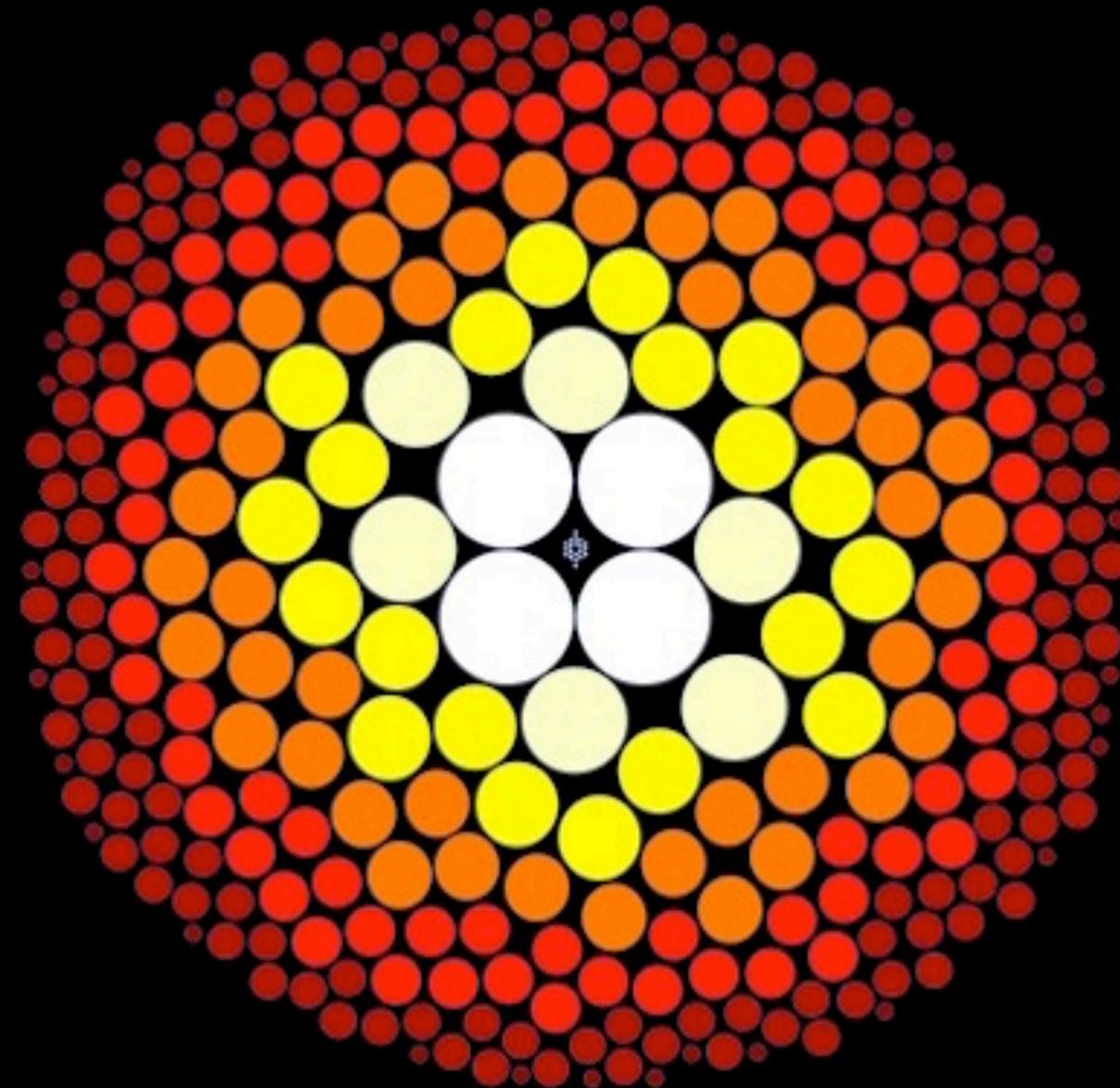
Searching for life in Transiting Exoplanets





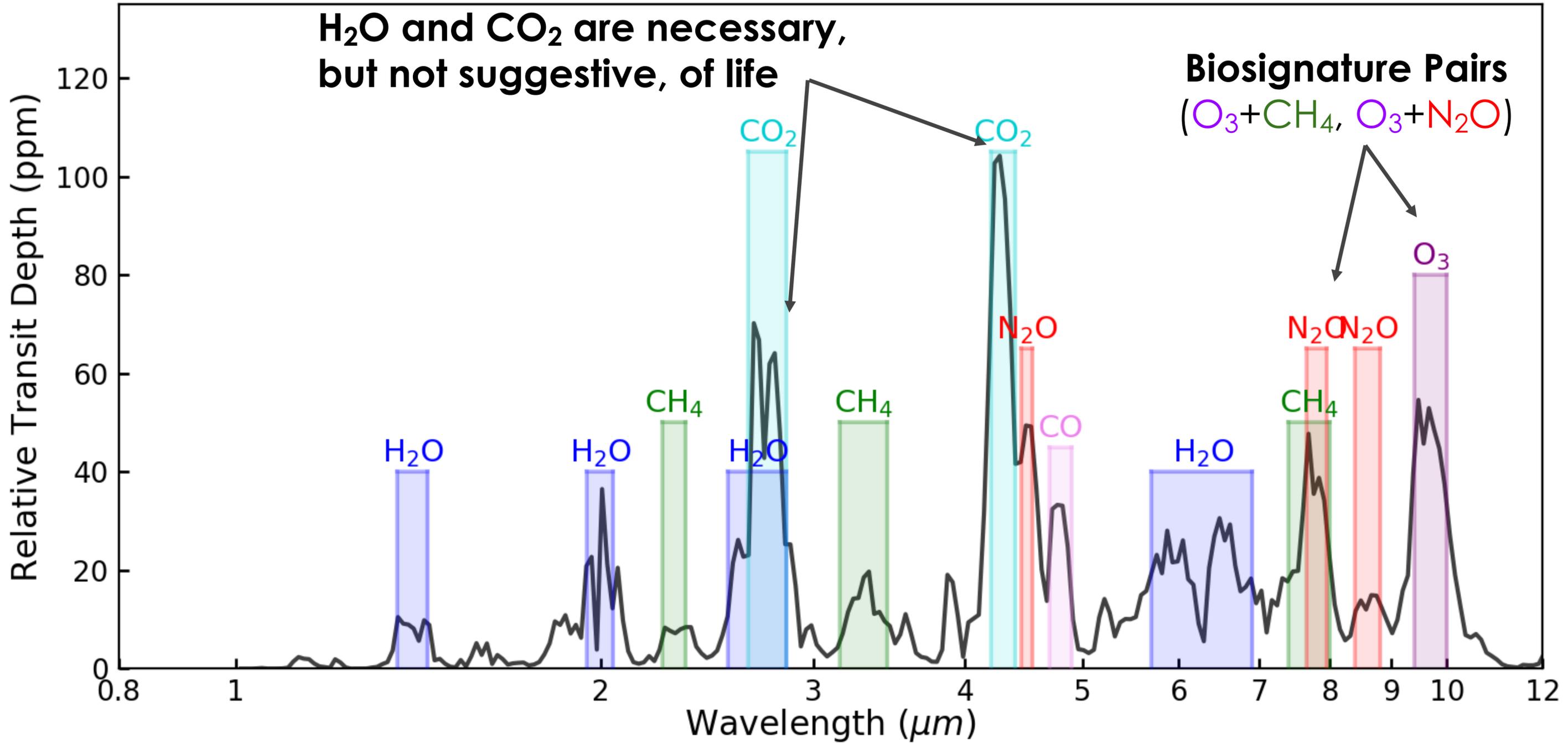
Why M and K Dwarfs?

- M and K dwarfs are **common**
 - 75% of stars within 15 pc are M dwarfs
- Rocky planets are **common**
 - Expect to detect about a dozen HZ exoplanets transiting mid-to-late M dwarfs within 15 pc
 - Four such planets are already known (TRAPPIST-1d,e,f and LHS-1140b)
- Advantages of small (rocky) planets transiting M dwarf stars
 - **Larger transit depths**
 - **Closer habitable zones (5 – 100 days)**
 - **Increased transit probability in HZ**





Origins MISC-T: IR wavelengths rich in biologically interesting molecules





60 Transits (Per Telescope) of Earth, M8 star, Kmag=9.85, R=100

