

平成26年度国立天文台研究集会開催報告書

平成27年4月30日

国立天文台長 殿

代表者	氏 名	(ふりがな) こうのこうたろう		
		河野孝太郎 		
	所属・職	東京大学大学院理学系研究科・教授		
	電話	0422-34-5029	E-mail	kkohno@ioa.s.u-tokyo.ac.jp
研究集会名	The 3 rd workshop on Large Aperture Mm/submm Telescopes in the ALMA Era			
開催期間	平成27年3月10日 ～ 平成27年3月11日			
開催場所	国立天文台三鷹 コスモス会館会議室			
参加人数	80名			
研究集会の概要	ALMAの初期科学運用が開始され、興味深い成果が続々と報告されているが、その中で、ALMAで詳しく観測・研究すべき重要なターゲットを見いだすためのサーベイ観測（空間方向のサーベイに加え、波長方向・周波数方向のサーベイも含む）の重要性はますます高まっている。Herschel衛星やSouth Pole Telescope (SPT) など地上・スペースからの大規模な掃天観測の結果を基にしてALMAでの大きな成果につながった例は枚挙に暇がない。我が国においても、野辺山やASTE、Mopraなど、国立天文台が共同利用運用を行うミリ波サブミリ波単一鏡へのコミュニティからの期待も高まっている。 こうした現状を踏まえ、今後10年～20年のスケールで、ALMA/SPICA/TMT/SKA時代にマッチした、次世代のミリ波サブミリ波サーベイを実現するための方向性として、我々は大口径ミリ波サブミリ波単一鏡計画を提案し、その検討を進めている。本研究集会は、ALMAやHerschel等を含む既存のミリ波サブミリ波望遠鏡での最新の科学成果とその動向、各国で検討・推進されているミリ波サブミリ波単一鏡計画や関連する機器開発・技術開発の現状を俯瞰すると共に、今後10年スケールでのロードマップや関連する機関間での国際協力の可能性などについて議論することを目的に行われた。 研究会は2日間にわたって行われ、合計80名（参加者名簿に名前が書かれていない参加者も含めればそれ以上）の参加があり、コスモス会館会議室は満員の盛況であった。6件の基調講演と17件の招待講演が中心であったが、2件の一般講演（2件とも海外からの申し込み）も受け付けた。現在進みつつ有る・もしくは検討されている次世代大型ミリ波サブミリ波望遠鏡計画、すなわち LMT, GLT, CCAT, SST, 及び我々が提案するLSTが一堂に会する研究会となった。時間等の制約から、それ以外は全てポスター発表とせざるを得なかったが、そのポスター発表も14件の申し込みがあった（最終的に発表があったのは12件となった）。その中には、CEA-Saclayのdetector開発部門トップであるLouis Rodriguez氏によるポスター発表も含まれている。講演は無かったが、ESOのscience directorであるRob Ivison氏も参加し、会議を通して様々な視点からの意見を述べて頂いた。また、LMT計画を推進しているUMASSのMin Yun氏により、ワークショップの成果を総括する講演が行われた。プログラムは次の通りであった。			

研究集会の概要 (続き)	■ Session 1. Introduction “Goals of this workshop”, Kotaro Kohno (UTokyo) “ALMA and large single dish telescopes”, Tetsuo Hasegawa (NAOJ) ■ Session 2. Existing/future missions and science “The South Pole Telescope (SPT)”, Joaquin Vieira (U. Illinois) “Large Millimeter Telescope (LMT)”, David H. Hughes (INAOE) “Possible science cases of transient sources in mm/submm: GRB orphan afterglows and fast radio bursts”, Tomonori Totani (UTokyo) ■ Session 3. Future/existing missions and science (extragalactic/cosmology/time-domain/synergies with Subaru, SKA) “Green Land Telescope”, Satoki Matsushita (ASIAA) “CCAT”, Gordon Stacey (Cornell Univ.) “A 30m Sub/millimeter Survey Telescope (SST) and cluster-SZ science”, Sunil Golwala (Caltech) “Large Submillimeter Telescope (LST)”, Ryohei Kawabe (NAOJ) “CO/[CII] Tomography with the LST”, Yoichi Tamura (UTokyo) “Subaru-HSC/Gravitational wave objects”, Masaomi Tanaka (NAOJ) “SKA and cosmology”, Keitaro Takahashi (Kumamoto Univ.) “Towards radio surveys of massive black holes”, Toshihiro Kawaguchi (NAOJ) “Deep Impact: Molecular Gas Properties under strong ICM Pressure”, Bumhyun Lee (Yonsei Univ.) ■ Session 4. Future/existing missions and science (ISM, star-formation) “Astrochemistry” Satoshi Yamamoto (UTokyo) “NRO 45m Galactic Plane Survey”, Tomofumi Umemoto (NAOJ) “Molecular clouds and star formation”, Kengo Tachihara (Nagoya Univ.) “Magnetic fields in star forming regions”, Fumitaka Nakamura (NAOJ) “The Link Between Submillimeter and Infrared Spectroscopy of the ISM: GMTNIRS”, Soojong Pak (Kyung Hee Univ.) ■ Session 5. Future/existing missions and science (Black holes, galaxies) “Event Horizon Telescope (EHT)”, Mareki Honma (NAOJ) “Local/low-z galaxies”, Kazuo Sorai (Hokkaido U.) ■ Session 6. Technologies for future large telescopes “Use of Image Horn for Multi-beam Antenna Optics”, Junji Inatani (NAOJ) “Kinetic inductance detectors for mm-submm wave astronomy”, Akira Endo (Delft Univ. of Technology) ■ Session 7. Synergies with other wavelengths “SPICA: Large Infrared Telescope in Space”, Hiroshi Shibai (Osaka Univ.) “WISH”, Toru Yamada (Tohoku Univ.) “TAO”, Mamoru Doi (UTokyo) ■ Session 8. Summary “Workshop summary”, Min S. Yun (U. Massachusetts) discussion adjourn
研究集会の成果	本研究集会を行った事による成果は、以下のようにまとめられる。 (1) 現在稼働しているミリ波サブミリ波望遠鏡による多様な科学的成果の把握： ALMAや野辺山45m鏡による最新の成果はもちろん、SPTでのミリ波サブミリ波サーベイにより、個々の銀河の研究から、SZ効果を使った銀河団サイエンス、また、宇宙背景放射の偏波観測や、その「前景」にあたる銀河との相互相関による宇宙論的研究まで、ミリ波サブミリ波望遠鏡による最新の成果について、その豊かさを確認することができた。また、口径50mの大型ミリ波望遠鏡LMT（現時点では32m）についても、建設が進み、いよいよ科学観測が開始されており、ASTE望遠鏡でも活躍したAzTECカメラや3mm帯の超広帯域受信機RSRによる、まだオープンになっていない最新成果を把握することができた。 (2) 検討・推進中の次世代大型ミリ波サブミリ波望遠鏡計画の現状把握：今回のワークショップでは、次世代大型のミリ波サブミリ波望遠鏡計画として主要なものが一堂に会する、極めて重要な機会となった。Cornell大学のG. Stacey教授に

研究集会の成果
(続き)

よるCCAT25mサブミリ波望遠鏡計画の説明では、Chainantor山頂での優れた大気条件を活かし、引き続き350 μ mなど短波長側でのサイエンス開拓を目指していること、また、そこでは、赤方偏移したさまざまな原子からの微細構造線がフロンティアになること、一方で計画実現のため、あらゆる可能性を検討していること、などの説明があった。CaltechがCCATパートナーシップから離脱して新たに構想中の30mサブミリ波サーベイ望遠鏡(SST計画)については、その責任者であるS. Golwara教授から計画についての説明を初めて、かつじっくりと聞くことができた。斬新な望遠鏡設計思想と、それに基づく意欲的な観測装置群についての説明に加え、SZサイエンスをはじめとするミリ波サブミリ波帯での多色広域サーベイの重要性が強調された。SPTの意欲的な拡張計画についても、また、Green Land TelescopeやEvent Horizon Telescope (EHT) など現在計画中・および進行中のミリ波VLBIにフォーカスした将来計画についても、進捗状況を把握することができた。EHTでの初期成果とALMAをphase upして組み合わせる観測への準備の進捗も興味深いものであった。

(3) 日本で検討しているLarge Submillimeter Telescope (LST)計画の紹介：我々は、これまでも、過去のワークショップを通して、野辺山45m鏡やASTE10m鏡の成果を踏まえたその後継装置として、35mから50m級の大型ミリ波サブミリ波望遠鏡構想をコミュニティに説明・議論する場を持ってきた。今回は、そうした議論、および、さまざまな科学のおよび技術的検討を踏まえて口径を50mとし、名称もLSTと改めた計画として、はじめてコミュニティに計画の全貌と最新の検討状況を詳しく説明・議論する機会となった。ESO Science Directorとして参加したRob Ivison氏からは、現在、ESOでALMAおよびE-ELTの次に位置づけられる計画の候補として、大型ミリ波サブミリ波望遠鏡の可能性があると、その検討のため、ワーキンググループを組織しており(ALMA-EUのproject scientistであるLeonardo Testi氏がchair)、2015年の秋を目処に報告書をまとめる予定であること、などの状況についての説明があり、その上で、日本が提案しているLST計画は、ESOが考えている次世代大型ミリ波サブミリ波望遠鏡構想との整合性が高く、非常に注目しているとの表明があった。上記(1)

(2)の成果とあわせ、日本で構想する次世代大型ミリ波サブミリ波望遠鏡の意義や重要性が各国に伝わる重要かつ非常にタイムリーな機会となったことは、この研究会の大きな成果として特筆すべきであろう。

(4) LSTをはじめとする次世代大型ミリ波サブミリ波望遠鏡で狙うべき重要な未解明課題と研究の開拓：今回、ミリ波サブミリ波の研究者のみならず、理論研究者や、他の波長での観測研究を行う研究者にも講演を依頼し、各分野でどのような重要未解明課題があり、そこでミリ波サブミリ波広域サーベイが果たすべき役割について、多様な観点からの提案をして頂いた。近傍銀河/銀河団、銀河面サーベイや星生成領域の広域サーベイ(偏波観測を含む)に基づく星生成過程の解明、スペクトル方向のサーベイに基づく物質循環・星間化学進化過程の解明など、従来から議論されている重要課題に加え、今回、ミリ波サブミリ波帯でのtime domain scienceについて、非常に幅広い検討と議論を行うことができたことは、本研究会最大の成果の一つといっても過言ではない。ガンマ線バーストの基本的な物理過程や、中性子星の合体過程、また、階層的構造形成の中における巨大ブラックホールの進化過程の解明などの重要問題に切り込む上で、特にLST計画ではじめて実現するような深く広く、かつ、cadenceの高いミリ波サブミリ波サーベイが本質的な役割を果たし得ることが明らかになった。また、すばる望遠鏡HSCでの時間変動天体探査の経験を踏まえた、ミリ波サブミリ波帯での時間変動天体探査への示唆や重力波天体の多波長対応天体探査における重要性なども指摘された。この他、宇宙再電離期に至る時代でのダストに覆われた天体の系統的な探査がLSTの性能によりはじめて可能になること、また、赤方偏移10を越えるような時代での星形成活動について、ミリ波サブミリ波帯でのGRB残光とそれを光源とした分光により、極めてユニークな情報が得られることも強調された。

研究集会の成果 (続き)	(5) 次世代大型ミリ波サブミリ波望遠鏡とその観測装置を実現するための技術動向の把握：大型かつ高精度なアンテナの実現に加え、広域サーベイを実現するための広い視野をいかに実現し、その視野をいかに活用して観測装置を設計・実現するか、という技術基盤についても、その最新動向を理解することができた。この波長帯の連続波検出器については、TESとMKIDが特に代表的であるが、単純な大面素化の観点ではMKIDに高い将来性が認められる一方で、単位周波数帯域あたりに運ぶことのできる情報量の多さという観点ではTESも依然として高いポテンシャルを持っており、こうした技術をそれぞれ更に追求・発展させていくことの重要性が認識された。 (6) 他波長での計画との親和性の理解：ミリ波サブミリ波で数10平方度～数100平方度の深いサーベイをはじめて実現することを目指したLSTをはじめとする諸計画は、HSCが稼働を開始したすばる望遠鏡はもちろん、SKAやWISHなどの次世代計画とも高い親和性を持つ。また、ダストに隠された宇宙の全貌を明らかにする上でのSPICAとの親和性はもちろん、サブミリ波からテラヘルツ帯での観測性能を持つ装置としての側面も明らかになったTAO計画との連携の可能性についても、理解が大きく前進したと考えている。
その他参考 となる事項 (希望事項も 含む)	研究会のプレゼンテーション・ファイルは、以下のホームページにまとめられ、公開されている。 http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/~ytamura/WS/LSTWS2015/ この研究会は国立天文台のご理解・本研究経費のご支援により実現した。会場を含めた本研究会への国立天文台によるサポートに深く感謝する。