

平成27年度国立天文台研究集会開催報告書

平成28年4月1日

国立天文台長 殿

代表者	氏 名	(ありもと のぶお)		
		有本 信雄 		
	所属・職	ハワイ観測所・教授		
	電話	+1.808.934.5964	E-mail	arimoto@naoj.org
研究集会名	早期型銀河における星形成活動の終息メカニズムの解明			
開催期間	2016年3月7日 ～ 2016年3月9日			
開催場所	八ヶ岳高原ロッジ・八ヶ岳高原音楽堂			
参加人数	33名 (国内16名、国外17名)			
研究集会の概要	本研究集会は、「早期型銀河における星形成活動の終息メカニズムの解明」を主たる目的として、八ヶ岳高原音楽堂にて国内外の33名の研究者によって平成28年3月7日～9日の三日間に渡って開催された。参加者の中には野辺山宇宙電波観測所の3名、総研大生7名が含まれる(参考資料として研究集会のプログラムの抜粋を添付する)。 主な討議内容 - 研究会のメインテーマを楕円銀河の祖先である早期型銀河の遠方から近傍までの進化とした。宇宙における星生成史を見渡すと、赤方偏移が$z \sim 1.6$で銀河の星形成率は最大となり、その後は、星形成率が徐々に減少に転じたことが分かる。この時代の銀河は星形成銀河と既に星形成を終えて静的(受動的)に進化している銀河とに分かれ、星形成銀河は銀河星質量が大きいもののほど星形成率が高いという明瞭な相関が見られ、これらの銀河は星形成主系列銀河と呼ばれるようになった。いっぽう、この時期にはすでに質量の大きな銀河の大多数は静的に進化しており、なぜ、星形成がこの時期に短いタイムスケールで終息するのか、そのメカニズムの解明が銀河進化研究における最大の争点となっているが、本研究集会では、この謎の解明に取り組んだ。 三日間の集会では、通常の研究会で行われるようなセッション別にテーマを設定することなく、近傍銀河の構造、恒星の末期進化、遠方銀河の星形成活動とその終息メカニズム、遠方銀河における星間ガスの特質、QSO、銀河形成などの議論を行った。更に、野辺山観測所での研究成果を披露する講演も行った。 また、総研大生を初めとする銀河研究を行っている大学院生・ポスドクといった若手研究者が将来のメンターとなるべき人物と出会い、そのキャリアパスを形成する良い機会を提供すべく、野辺山宇宙電波観測所のポスドク、総研大生に参加を呼びかけ、口頭発表、ポスター発表の機会を設けた。			

研究集会の成果

銀河の星形成は星間ガスが無くなれば停止する。従って、星形成停止のメカニズムとは星間ガスを使い尽くすか、吹き飛ばす物理過程ということになる。それには、星間ガスが銀河団高温ガスによって剥ぎ取られる過程（ラム庄）、他の銀河の衛星銀河となった際に剥ぎ取られる過程（satellite/environment quenching）、銀河の質量が臨界を超えて成長した際にガスが消費され尽すか、吹き飛ばされる過程（mass quenching）などが考えられよう。SDSSによる近傍銀河の観測では、低質量銀河ではsatellite quenchingが卓越し、大質量銀河ではmass quenchingによって星形成が終了している様子が見られる。また、銀河の形態が星形成の停止を引き起こすのではなく、星形成の停止が銀河の形態を決めているように見られる。一方、星形成銀河のうち、星形成を停止するのは大質量でコンパクトな銀河であるという観測も得られている。星形成銀河の形態に着目すると、 $z=1\sim3$ の銀河では、星の分布はスムーズであるのに対して、星形成領域はクランプ状に中心領域を離れて分布しているという共通の特徴がある。これらの銀河は回転する円盤銀河であり、遠方の銀河ほど速度分散が大きくなる。これは遠方ほどガスが増えていることを示唆する。ALMAによる観測では、星形成銀河の分子ガス量は $z\sim2.5$ で約60%、それ以降近傍になるにつれてガスの量は単調に減少する。ガスはクランプ状に分布しているから、いわゆるToomreのQ値は高くなり、ガス円盤は不安定となる。大きな星形成クランプのトルクによって、円盤内では中心に向けた流れが発生する。これが中心域でバルジを形成し、バルジの形成に伴い星形成が終息するという描像が得られる。このとき、中心部で星形成が進行して、ガスが消費されると、外部からガスが流入し、再び中心部で星形成が始まり、ガスを消費するという具合にこの過程を繰り返してバルジが成長すると考えられよう。これらの銀河では、星形成のタイムスケールが10億年程度と短い。従って、観測される多量のガスを説明するには外部からのガスの流入が必要である。星形成銀河は主系列に沿って、バルジも銀河質量も成長し、銀河がある臨海質量を超えるまでに成長すると、「何らかの原因」で星形成活動が停止する。大質量でバルジが卓越している銀河では、外向きのガスの噴き出し（アウトフロー）がALMAで観測されている。このアウトフローがAGNに起因するのか、星形成・超新星爆発による銀河風であるのかは、研究者の間で見解が一致しなかった。本研究集会での議論から、大質量銀河での星形成の停止はmass quenchingが原因であり、それにはクランプ状のガスが中心域に落下してバルジを形成する過程が関与することが明らかになった。しかしながら、なぜ銀河質量が臨界値を超えると星形成が終息するのか、その直接の原因はまだ謎である。

$z\sim1.6-3.3$ にある星形成銀河の星間ガスの物理特性についても報告があり、これらの銀河では高いガス密度、高い電離光子密度、硬い電離輻射（若い星からの）を反映しているためか、星間ガスの特性が近傍の銀河とは異なることが明らかにされた。近傍の星形成銀河では銀河星質量、星形成率、金属量の間に関連的な関係が存在していることが示唆されているが、遠方銀河では星間ガスの物理状態を反映してか、そのような普遍的な関係は成立していないことが示された。

研究集会の成果 (続き)	(成果報告続き) 銀河団とは単一のダークマターハローに内包されるもの、原始銀河団とは複数のダークマターハローを持つ銀河集団と定義することができる。本研究会では$z \sim 2.5$という最遠方の銀河団と原始銀河団の発見が報告された。銀河団中心にある銀河は星形成活動が低いが周辺にある銀河では星形成が維持されている、従って、銀河団における星形成の停止は中心部から外側に向かって伝播するという示唆があったが、周辺銀河は銀河団に落ち込んだばかりである可能性があるという指摘があり、見解の一致は見られなかった。また、星形成銀河の特徴は銀河団とフィールドでその違いが見られないという報告もあった。銀河団銀河の質量関数を調べると、近傍から$z < 0.7$まで質量の大きな端での関数に変化が見られない、即ち、大質量銀河はそれより遠方($z > 1$)で既に形成されてしまっているという興味深い結果も報告された。 銀河考古学では、すばる・HSCによる観測で渦状銀河M81系における銀河相互作用による若い星の形成の様子や、超巨大ハロー構造の形成、銀河系バルジのRR Ly r型変光星の運動学的特徴からこれらの星はバルジではなく銀河系ハローに属する可能性があること、超低光度矮小銀河の星は10億年以下の短い期間に生まれていること、また、星を作れなかった矮小銀河が多数存在する可能性があることなどが報告された。 この他、星の進化の晩期にあたる熱パルス漸近分枝星の進化の検証を$z \sim 2$の銀河のスペクトルエネルギー分布から直接行うことが出来るという議論があったが、これらの銀河内部にどれだけのダスト(星間吸収)があるかによって結果が左右されることが明らかとなり、決め手には欠ける
その他参考 となる事項 (希望事項も含む)	