

平成 22 年 5 月 27 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19540245

研究課題名（和文） 赤方偏移 $z \sim 2$ にある誕生直後の楕円銀河の星の種族とその起源研究課題名（英文） The Origin of Stellar Populations in Primeval Elliptical Galaxies at Redshift $z \sim 2$

研究代表者

有本 信雄 (ARIMOTO NOBUO)

国立天文台・光赤外研究部・教授

研究者番号：60242096

研究成果の概要（和文）：

すばる望遠鏡を用いて、非常に遠くにあり、きわめて明るい大質量楕円銀河の赤外線スペクトルを測定した。これまでの研究結果とは反対に、この 100 億年前の宇宙にある銀河は、現在の宇宙に存在する楕円銀河に大変よく似ている。本研究によって、これまで知られていた 100 億年の間に 100 倍も体積を増加させる楕円銀河が存在する一方、なぜ宇宙の初期に十分に成長した楕円銀河がすでに存在するのかという謎をさらに深めることになった。

研究成果の概要（英文）：

We have used the Subaru Telescope to take infrared spectra of a very distant, unusually bright, and massive elliptical galaxy. In contrast with previous studies, this galaxy appears to be similar to its cousins in the local Universe. Its size appears to be normal for its mass, and its velocity dispersion is consistent with its large size. This research deepens the puzzle as to how and why some elliptical galaxies seem to reach their full size very early in the evolution of the Universe while other, very compact ones increase in volume a hundredfold over time.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：楕円銀河、銀河形成、銀河進化、星の種族、星生成、矮小銀河、球状星団系

1. 研究開始当初の背景

楕円銀河は近傍宇宙で最大の銀河である。中性水素やダストが殆ど存在せず、星生成活動もあまりない。近傍の楕円銀河は静的に進

化しており、明るい楕円銀河はどれも一様に老齢で金属量の高い星からなる。楕円銀河は銀河団のように銀河が密集する環境に数多く存在し、近傍宇宙ではもっともありふれた銀

河であると言ってよい。けれども、このように普遍的な存在であるにも拘らず、楕円銀河がどのようにして誕生し、進化してきたかは未だに明らかでない。

代表的な階層構造形成論であるコールド・ダークマター・シナリオによれば、楕円銀河はダーク・ハローの連続的な集積・合体によって成長する。しかしながら、このシナリオには不定性があり、近傍宇宙 ($z \sim 0$) での銀河進化を再現することはできても、遠方宇宙での銀河進化についてはモデルによって描像が全く異なっている。それゆえ、楕円銀河の誕生の時期をこのシナリオだけからは断定することは出来ない。

楕円銀河の起源を解明するにはその形成現場を突き止めればよい。研究代表者等のこれまでの一連の研究から、 $z \sim 2$ 付近の宇宙が楕円銀河の形成現場ではないかとの予測はしていたが、この時期の銀河の研究には大きな困難があった。というのは $1.4 < z < 2.5$ の宇宙にある銀河は見つけにくいのである。それは可視光では赤方偏移の測定に使用できる輝線や吸収線で適当なものが存在しないからである。この現象は「赤方偏移砂漠」と呼ばれ、この時期の銀河の進化を理解するときに常に立ちはだかる壁であった。けれども、B, z, K という三種類のフィルターを組み合わせると銀河を撮像すると、 $1.4 < z < 2.5$ にある銀河をほぼ完全に抽出できることが E. Daddi (海外研究協力者) によって示され、「赤方偏移砂漠」にある銀河の研究が一気に進展することとなった。ただし、彼らが調べた領域は50平方分しかなく、銀河のバイアスの影響があるので統計的な考察は出来ない。そこで本研究代表者は E. Daddi, A. Renzini, X. Kong (海外研究協力者) 等と共同で $1.4 < z < 2.5$ にある銀河の系統的なサーベイを行った。これはすばる望遠鏡(可視域)とESOのNTT望遠鏡(近赤外)を用いて920平方分という非常に広い天域を観測して、銀河のバイアスの影響を十分にちいさくしたものであり、世界で初めての「赤方偏移砂漠」銀河の本格的な調査である。このサーベイは $1.4 < z < 2.5$ の宇宙では、星形成銀河 (sBzK銀河) と、静的に進化している銀河 (pBzK銀河) が共存していることを明らかにした(科学研究費、基盤 (C)、平成16-18年度、「楕円銀河の形成現場の直接的検証とその起源の解明」、有本信雄)。典型的なsBzK銀河の星質量は $M_* \sim 10^{11}$ 太陽質量、星形成率は $SFR \sim 190$ 太陽質量/年、星間吸収は $E(B-V) \sim 0.44$ である。つまり、sBzK銀河はダストに覆われて活発に星形成を行っている大質量銀河である。一方、典型的なpBzK銀河の星質量も $M_* \sim 10^{11}$ 太陽質量である。さらに、sBzK銀河もpBzK銀河も近傍の楕円銀河と同じ程度のクラスターリング (二体角度相関) を示し、なかでもpBzKは強いクラスターリングを示す。また、sBzK銀河とpBzK銀河

の個数密度はほぼ等しく、近傍の楕円銀河のおよそ半分である。つまり、sBzK銀河とpBzK銀河の個数密度を足すと近傍の楕円銀河とほぼ同じになる。すなわち、これらの観測結果から、sBzK銀河もpBzK銀河も共に楕円銀河の祖先であり、星形成を行っているsBzK銀河がなんらかの原因で星形成を終了すると静的に進化するpBzK銀河になると考えられる。つまり、pBzK銀河は誕生直後の楕円銀河であり、 $z \sim 2$ で初めて出現する。一方、sBzK銀河は形成途上の楕円銀河であり、 $z > 2$ でも多数存在すると推測される。これによって、「赤方偏移砂漠」こそが楕円銀河形成の現場であることが実証されたと言ってよい。

2. 研究の目的

本研究では $1.4 < z < 2.5$ にある静的に進化するpBzK銀河の近赤外線スペクトルから速度分散を測定して力学的質量を求め、4000 Å ブレーク強度、水素、鉄、カルシウム、マグネシウムなどの吸収線の強さを測定し、年齢、金属量、化学組成比を求め、 $z \sim 2$ にある誕生直後の楕円銀河がどのような星の種族から構成されているかを明らかにする。

pBzK銀河が巨大な楕円銀河であるかどうかは、速度分散を測定し質量を力学的に求める必要がある。速度分散を近傍の楕円銀河と比べることにより、巨大な楕円銀河に匹敵するのか、或いは、質量はまだ数分の一程度であり、これからも銀河質量の集積(アセンブリ)が起こるのかを明らかにする。

銀河の形成時期を決定するには水素のバルマー線の強度から星の年齢を求める事が不可欠である。年齢が正しく求められれば最初の星形成が起こった赤方偏移が明らかになり、銀河形成のシナリオに非常に強い制限を与えることができる。

一方、sBzK銀河については星質量とガスの金属量の関係が明らかになりつつあるが、 $z > 1.4$ にある銀河の星の金属量については何も分かっていない。近傍の楕円銀河はガスの無い銀河であり、直接に比較すべきは星の金属量や化学組成である。pBzK銀河のマグネシウム、鉄、カルシウムなどの吸収線の強さからこれらの元素の化学組成が明らかになり、遠方の楕円銀河の α / Fe 比を求める。 α / Fe 比は星形成がどれだけ続いたかを示す宇宙時計であり、誕生する前の楕円銀河で星形成がどのようなタイムスケールで行われたかが詳らかになる。

3. 研究の方法

本研究は誕生直後の楕円銀河と考えられるpBzK銀河の近赤外分光を行い、星の種族 (年齢、金属量、化学組成) と力学的質量 (速度分散) を求め、もともと遠方にある楕円銀河の性質を明らかにするものである。対象とな

るpBzK銀河は赤方偏移が $1.4 < z < 2.5$ という非常に遠方にあり、近傍の楕円銀河に対するような種族解析は不可能であると考えられている。しかしながら、観測装置と技術の発達は目覚しく、補償光学(AO)や近赤外多天体分光装置を使用すれば、すばる望遠鏡などの8-10mクラスの大型望遠鏡によってリーズナブルな観測時間で必要とするS/N比を達成することができる。本研究ではpBzK銀河の分光観測を(1)すばる望遠鏡と近赤外線多天体分光撮像装置MOIRCS、(2)VLT望遠鏡と近赤外面分光装置SINFONI+補償光学装置の組み合わせ、(3)すばる望遠鏡と多天体ファイバースペクトロメータFOSの組み合わせ、という三種類の方法で行う。(1)、(2)はともに似たような性能の装置であり、明るいpBzK銀河のJとHバンドでの分光を行う事ができる。(3)はAO装置と組み合わせることは出来ないが、代わりに同時に200程度の銀河のJとHバンドでの分光が可能であり、長時間の露出をかけることによって多数のpBzK銀河とsBzK銀河の性質を調べる事ができる。したがって、これらのアプローチは相補的なものである。

4. 研究成果

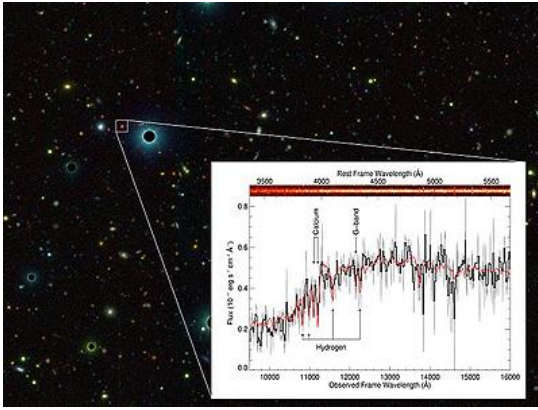
(1) 本研究の中でも特筆すべき成果は、遠方の宇宙にも近傍の楕円銀河に極めて良く似た銀河が存在するという新発見である。この成果は、すばる望遠鏡を用いて、非常に遠くにあり(赤方偏移 $z=1.8230$)、きわめて明るいpBzK銀河245025の赤外線スペクトルを取得することによって得られた。この銀河からの光は、現在の宇宙年齢の4分の1の時代に発せられ、100億年かかって地球に到達している。奇妙なことに、そして、これまでのいくつかの研究結果とは反対に、この100億年前の宇宙で発見された銀河は、近傍の楕円銀河にたいへん良く似ている。即ち、水素のバルマー吸収線強度から求めた星の平均年齢は、10~20億年、これは $z=2.5-4$ の時代にこの銀河が形成されたことを示唆し、近傍の楕円銀河の星の年齢をこの時代にまで遡ったときの年齢と一致する。また、星の総質量は $M_* \sim (3-4) \times 10^{11}$ 太陽質量と、これも近傍の巨大楕円銀河とほぼ同じである。この星の総質量は、星の速度分散と銀河の有効半径から求めたビリアル質量 $> 7 \times 10^{11}$ 太陽質量とも整合的であり、この銀河が星とダークマターから構成されていることを示唆する。

現在の宇宙で最も重い銀河は巨大楕円銀河と呼ばれる銀河種族である。2005年に、海外協力研究者であるE.Daddi等による、ハッブル宇宙望遠鏡を用いて行われた長時間

の撮像観測によって、天の川銀河近傍の楕円銀河に比べて、遠方の楕円銀河候補天体が同じ程度の質量のもので半分から5分の1程度の大きさしかないと言われた。これらの候補天体の大きさは約3000光年よりも小さく、我々の銀河系に比べてもずっと小さい。もし、この発見が正しいならば、遠方楕円銀河の星の密度は近傍の楕円銀河に比べて10倍~100倍も高いということになる。このような非常にコンパクトな遠方楕円銀河がどのようにして100億年の間に膨張し、現在の宇宙で観測される大きさになったのか、この謎の解明は本研究のメインテーマの一つであった。一方で、遠方楕円銀河の大きさの測定が正しいのかという疑問もあり、測定誤差や何らかの観測的なバイアスによって遠方楕円銀河が小さいという結果になっているのではないかという疑念もあった。

本研究では、最も質量の大きな遠方楕円銀河の候補を探し出すために、遠方宇宙に関する観測プロジェクトCOSMOSサーベイから、pBzK銀河を多数選び出し、その中でもっとも明るい銀河245025の近赤外スペクトルを、すばる望遠鏡に搭載した近赤外線多天体分光撮像装置(MOIRCS)で取得した。観測は装置の故障や、悪天候、天体が暗いという条件などで困難を極め、例外的に多数の観測夜数を必要とした。観測では星の年齢や化学組成を求めるために、水素や金属吸収線の強度を測定し、同時に、銀河がどれくらい大きいかを推定するために、星の速度分散を測定した。速度分散とは、星や銀河の運動速度がどのような範囲にあるかを表す量で、天体の質量を求めるための指標の一つである。質量が同じ天体の場合、より小さな銀河では、重力との釣り合いをとるために、銀河内の星は高速で運動する必要がある。銀河のスペクトルを取得し、スペクトル線の広がりを測定することによって星の速度分散を測定できる。さらに銀河の大きさと速度を組み合わせることによって銀河の質量を求めることができるのである。銀河の大きさはHST衛星の撮像データを使用した。

速度分散の測定に適した強いスペクトル線が、遠方銀河では赤方偏移のせいで赤外線に移動してしまうが、可視光よりも波長の長い赤外線での観測は非常に困難である。すばる望遠鏡と近赤外線多天体分光撮像装置(MOIRCS)は、広い視野に渡って多数の天体の赤外線スペクトルを一度に取得できるため、これらのスペクトル線を観測するための非常に強力な組み合わせである。



図の説明：pBzK 銀河 245025(COSMOS)の画像とすばる望遠鏡・MOIRCSの組み合わせで得られた近赤外スペクトル。

速度分散を用いた方法は、遠方楕円銀河の質量を測定するための比較的新しい手法である。初めてこのような測定についての論文が出版されたのはつい最近のことであるが(2009年)、この過去の研究では、半径およそ2500光年という非常にコンパクトな遠方楕円銀河が、秒速500kmという大きな速度分散を持ち、大きさと速度分散の関係が整合的であることが明らかにされた。しかしながら、この天体と同じような速度分散の値を持つ楕円銀河は近傍の宇宙には存在しない。同様の手法によって本研究で観測した銀河245025は秒速300km程度の、最初の測定が行われた銀河に比べて低い値を持っていることが明らかになった。この速度分散の大きさは、約19000光年というこの銀河の半径と整合的なものである。本研究のこの成果は、現在の宇宙で見られるものと変わらないほど大きな楕円銀河と、非常にコンパクトな楕円銀河とが、初期宇宙では共存していたということを示唆する。

既述したとおり、星の平均年齢は10~20億年と見積もられたが、金属量については太陽と同程度であるとする示唆しか得られなかった。この金属量値は近傍の巨大楕円銀河の場合と同程度であるが、その確認には今後のより高品質のスペクトルの解析を待つ必要がある。また、当初の目的の一つであった、マグネシウムやカルシウムといった α 元素と鉄との組成比はまだ得られていないが、本研究で得られた多数のpBzK銀河のスペクトルを合成することによって、平均的な値が得られると期待している。それによって、星生成のタイムスケールについての知見が得られるであろう。

異なる楕円銀河の種類がどのようにして形成され、進化してきたのかという謎は残るが、これらの2つの種類の楕円銀河がそれぞれどのくらいの割合で存在するのか、本研

究では多数のpBzK銀河の近赤外スペクトルを取得しているから、これらの分析が今後進めば、この謎を解くことが出来ると期待している。

(2) 本研究ではすばる望遠鏡とOHS / CISCOの組み合わせと、VLT望遠鏡とSINFONIの組み合わせによる、赤方偏移が $1.5 < z < 2.3$ にある星形成sBzK銀河の近赤外分光観測を行い、28のsBzK銀河のうち、14銀河について $H\alpha$ 輝線を検出し、そのうちの11銀河については、さらに $[NII] \lambda 6583$ 輝線を検出することに成功した。また、多波長の測光データを用い、これらの星形成銀河の星生成率、ガスの金属量、電離メカニズム、力学的質量を導出し、遠方宇宙におけるsBzK銀河の星質量-金属量関係、星質量と単位質量当りの星生成率との関係を求めた。その結果、これらの星形成銀河はその質量に対するガスの金属量の値が、既に近傍の渦状銀河のそれに匹敵していることを明らかにした。一方、単位質量当りの星生成率は近傍の渦状銀河のおよそ100倍である。つまり、これらの銀河での星生成活動はきわめて活発である。銀河の化学進化モデルと比較すると、sBzK銀河での星生成のタイムスケールは1億年程度、したがって、これらの銀河では非常に短いタイムスケールで活発に星形成が行われていることが分かる。ガスの金属量が既に近傍の渦状銀河とほぼ同じであることから、これらの銀河ではこれ以上の星生成活動が継続するとは考えにくい。これ以上にガスの金属量の高い渦状銀河は近傍では存在しないからである。すなわち、これらの銀河での星生成活動は今後なんらかの原因(たとえば、銀河風や活動銀河核)で終了するものと予測できる。その結果として、これらのsBzK銀河は静的に進化するpBzK銀河となり、最終的には近傍の楕円銀河に進化すると考えられる。

(3) 本研究ではVLT望遠鏡とSINFONIの組み合わせで、 $z \sim 1-3$ にある80個の星形成銀河の近赤外面分光を行った。これはこれまでに行われたこの種のサーベイの中では最大なものである。ただし、BzK銀河のみならず、様々な選択基準で選ばれた星形成銀河がこのサンプルには含まれている。これらの銀河の平均の赤方偏移は $z \sim 2$ 、星の総質量は $M_* \sim 3 \times 10^9 - 3 \times 10^{11}$ 太陽質量、典型的な星生成率は約72太陽質量/年であるが、遠方宇宙にある代表的な星形成銀河のサンプルであると考えてよい。この研究で得られた主な結果は以下のようなものである。

① $H\alpha$ 光度と等価幅から見積もると、これらの銀河ではダストによる吸収があり、その強さはHII領域と星領域とで約2倍程度の違いがある。これは近傍の星形成銀河でのダスト量とほぼ同程度のダストが星生成領域

に存在していることを示唆する。

② $z \sim 2$ にある大質量の星生成銀河の多くには局所的に大規模なガスの乱流運動が存在している。

③ $H\alpha$ 輝線と UV・可視光の連続スペクトルの表面輝度は不規則で非対称な分布を示している。しばしば、サイズが1キロパーセク程度の星生成クランプが存在する。それにも関わらず、ガスの運動には規則性が見られるものが多い。これはこれらの銀河のディスクの自転を反映したものであろう。

④ $H\alpha$ 輝線をもとにガスの運動を解析した結果、本研究で測定した銀河サンプルの3分の1は自転している渦状銀河であり、3分の1は相互作用しているか、合体途上の銀河、残りの3分の1はランダムに運動する星の速度分散で支えられている銀河であることが明らかになった。このうち、自転で支えられている銀河の速度-半径関係は近傍の渦状銀河と良く似ている。一方、ランダムに運動する速度分散の大きな銀河は、コンパクトで、質量が軽く、自転している銀河よりも小さな角運動量を持つ傾向がある。また、このタイプの銀河は様々な年齢の星で構成されているが、なかには、若い星を持ち、おそらくは誕生したばかりのガスの豊富な銀河と思われるものもある。

これらの結果は $z \sim 2$ にある星生成銀河の種類は多様であり、sBzK 銀河のように楕円銀河へと進化するもの、他の銀河のように渦状銀河になるもの、不規則銀河になるものなど、その後の銀河の進化過程が一律でないことを強く示唆する。

(4) $z \sim 2$ の銀河が近傍の銀河に進化する路すじをたどるには、 $z \sim 1$ の銀河の実態を明らかにすることが不可欠である。この目的のために、COSMOS サーベイの $z \sim 1$ の ERO 銀河の分類を、HST 衛星の高品質画像と、Spitzer 衛星の赤外線画像、地上からの測光データを用いて行った。ERO 銀河のサンプル数は約 5300 個である。これらの銀河を pBzK 銀河と同じように静的に進化している銀河（古い銀河）と、sBzK 銀河のように星生成を引き続き行っている銀河（若い銀河）とに分類したところ、その割合はほぼ同数であることが分かった。ただし、この割合は銀河の光度や色、赤方偏移によって変動し、若い銀河の割合は暗い銀河ほど、赤い銀河ほど、また、遠方の銀河ほど増えることを突き止めた。遠方の sBzK 銀河が ERO 銀河に進化してきていることを考えると、本研究の結果は、sBzK 銀河の数は $z \sim 2$ から $z \sim 1$ にかけて減少していること、そして、その減少する割合は質量の大きな銀河ほど大きいことを強く示唆する。つまり、星生成の停止は質量の大きな銀河ほど早く始まっていることが本研究からも明らかになったと言えよう

（銀河進化のダウンサイジング現象）。今後は赤方偏移を正確に求めて、古い ERO と若い ERO の比率が時代とともにどのように変化してきたか、さらに、銀河からガスが失われてゆく瞬間を捉えることが、楕円銀河の誕生の謎を解明するのに不可欠である。

(5) ERO 銀河の中には活動銀河核（超巨大ブラックホール）を含むものもある。近年、銀河と巨大ブラックホールとの共進化の可能性が議論され、ブラックホールは楕円銀河の進化・形成にも重要な役割を果たすと予想される。sBzK 銀河に於ける星生成の停止も、中心核に発生するブラックホールの影響によるものかもしれない。そこで、 $z \sim 1$ にある ERO 銀河に潜伏するブラックホールの比率を推測するために、Chandra X 線衛星で 288 個の ERO 銀河を観測した。結果は 14 個の ERO で X 線を検出した。これは約 5% の ERO がブラックホールを持つことを示す。これらブラックホールを持つ ERO 銀河の特徴を調べたところ、普通の銀河、ダストの多い星生成銀河、ガスの流入のある銀河などであることが分かった。これら ERO 銀河を $z < 1.4$ と $z > 1.4$ とに分けて、X 線強度の違いを見ると、遠方の ERO は X 線強度が強い、つまり、中心核の活動は次第に弱まっていることが強く示唆された。星生成も同じようにこの時期には活動度を下げており、この一致は銀河進化の観点から注目され、今後の更なる調査が必要である。

以上、本研究で得られた主要な成果を新しいものから初期のものにさかのぼる形で紹介した。これらの研究の積み重ねの結果、巨大な楕円銀河が既に $z \sim 2$ という遠方宇宙で存在するという本研究最大の成果が導かれたことを改めてここに記しておきたい。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 12 件）

- (1) M. Onodera, E. Daddi, M. Cappellari, N. Arimoto, A. Renzini 他 (22 名、5 番目), “A $z=1.82$ Analog of Local Ultra-Massive Elliptical Galaxies”, ApJL 715, L6-L11, 2010 (査読有)
- (2) Onodera, N. Arimoto, E. Daddi, A. Renzini, X. Kong 他 (8 名、2 番目), “A Wide Area Survey for High-Redshift Massive Galaxies. II. Near-Infrared Spectroscopy of BzK-selected Massive Star-Forming Galaxies”, ApJ 715, 385-405, 2010 (査読有)
- (3) M. G. Lee, H. S. Park, H. S. Hwang, N. Arimoto, N. Tamura, M. Onodera, “The

- Globular Cluster System of the Virgo Giant Elliptical Galaxy NGC4636. II. Kinematics of the Globular Cluster System”, ApJ 709, 1083-1099, 2010 (査読有)
- (4) H. S. Park, M. G. Lee, H. S. Hwang, N. Arimoto, N. Tamura, M. Onodera, “The Globular Cluster System of the Virgo Giant Elliptical Galaxy NGC4636. I. Subaru/Faint Object Camera and Spectrograph Spectroscopy and Database”, ApJ 709, 377-385, 2010 (査読有)
- (5) N. M. Foerster Schreiber, R. Genzel, A. Renzini, E. Daddi, N. Arimoto 他 (30名、28番目), “The SINS Survey: SINFONI Integral Field Spectroscopy of $z \sim 2$ Star-Forming Galaxies”, ApJ 706, 1364-1428, 2009 (査読有)
- (6) M. K. Barker, A. M. N. Ferguson, M. Irwin, N. Arimoto, P. Jablonka, “Resolving the Stellar Outskirts of M81: Evidence for a Faint, Extended Structural Component”, AJ 138, 1469-1484, 2009 (査読有)
- (7) X. Kong, G. Fang, N. Arimoto, M. Wang, “Classification of Extremely Red Objects in the COSMOS Field”, ApJ 702, 1458-1471, 2009 (査読有)
- (8) M. A. Campisi, C. Vignali, M. Brusa, A. Renzini, N. Arimoto 他 (10名、9番目), “On the Nature of Red Galaxies: the Chandra Perspective”, A&A 501, 485-494, 2009 (査読有)
- (9) S. Okamoto, N. Arimoto, Y. Yamada, M. Onodera, “A Suprime-Cam Study of the Stellar Population of the Ursa Major I Dwarf Spheroidal Galaxy”, A&A 487, 103-108 (査読有)
- (10) K. L. Shapiro, R. Genzel, N. Arimoto, E. Daddi, A. Renzini 他 (26名、13番目), “Kinometry of SINS High-Redshift Star-Forming Galaxies: Distinguishing Rotating Disks from Major Mergers”, ApJ 682, 231-251, 2008 (査読有)

[学会発表] (計3件)

- (1) S. Buehler, “The Galaxy Disk in Cosmological Context”, IAU Symposium No. 254, June 9-13, 2008, Copenhagen, Denmark
- (2) M. Onodera, “Discovery of an Evolved Galaxy Cluster at $z > 2$ ”, Panoramic View of Galaxy Formation and Evolution, December 11-16, 2007, Hayama, Japan
- (3) S. Okamoto, “The Star Formation History and Stellar Structures in the

Sextans Dwarf Spheroidal Galaxy”, Panoramic View of Galaxy Formation and Evolution, December 11-16, 2007, Hayama, Japan

[その他]

(1) ホームページ
<http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~arimoto/top.html>

(2) プレスリリース
http://subarutelescope.org/Pressrelease/index_2010.html#100520
http://subarutelescope.org/Pressrelease/2010/05/20/j_index.html
<http://subarutelescope.org/Pressrelease/2010/03/18/index.html>
http://subarutelescope.org/Pressrelease/2010/03/18/j_index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

有本 信雄 (ARIMOTO NOBUO)
 国立天文台・光赤外研究部・教授
 研究者番号：60242096

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし