

氏 名 今井 弘二

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 986 号

学位授与の日付 平成 18 年 9 月 29 日

学位授与の要件 物理科学研究科 宇宙科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 A NEAR INFRARED SURVEY IN THE *AKARI* NORTH
ECLIPTIC POLE FIELD

論文審査委員	主 査 教授	有本 信雄
	教授	平林 久
	教授	松原 英雄
	助教授	片坐 宏一
	助教授	紀伊 恒男

論文内容の要旨

I present \mathcal{J} and K_S band galaxy counts and galaxy colors covering 750 arcminutes² in the deep *AKARI* North Ecliptic Pole (NEP) field, using the FLoridA Multi-object Imaging Near-ir Grism Observational Spectrometer (FLAMINGOS) on the Kitt Peak National Observatory (KPNO) 2.1 m telescope. The limiting magnitudes with a signal-to-noise ratio of three in the deepest regions are 21.85 and 20.15 in the \mathcal{J} and K_S bands respectively in the *Vega* magnitude system.

The \mathcal{J} and K_S band galaxy counts in the *AKARI* NEP field are broadly in good agreement with those of other results in the literature, however the counts show a characteristic change in the galaxy count slope in both the \mathcal{J} and K_S bands. The slope of the \mathcal{J} band galaxy counts per square degree per magnitude clearly changes at $\mathcal{J} \sim 19.5$ from $d(\log N)/dm = 0.39 \pm 0.02$ to 0.30 ± 0.03 , while the K_S band galaxy counts shows a clear ‘bump’ in the magnitude range $18.0 < K_S < 19.5$. The $B - K_S$ color distribution of the galaxy samples also shows an obvious change around the ‘bump’ magnitude of the K_S band counts. The number of faint blue samples in the magnitude range $18.5 < K_S < 19.5$ is significantly larger than that of $K_S < 17.5$ samples.

In order to find a clue to understand the origin of the change in \mathcal{J} and K_S band count slopes and the bluer trend at fainter magnitudes below the bump of K_S band counts, I also investigated the number counts of K -band selected high redshift galaxy populations: the extremely red objects (EROs), the B , z and K -band selected galaxies (BzKs) and the distant red galaxies (DRGs). I found that the number counts of both the passive EROs and the passive BzKs have shallower slopes at fainter magnitudes and turnovers at $K_S \sim 18.5$ and $K_S \sim 19.0$, respectively, while the number count of the star-forming BzKs is a single power-law with a steeper slope. The observed number counts of these passive populations are compared with a backward evolution model allowing the number density evolution. The pure luminosity evolution model without density evolution fails to explain the observed counts at faint magnitudes ($K_S > 17.0$), while the model with a negative density evolution is consistent with the observed counts of the passive populations.

Based on these results, I also investigated an evolutionary scenario of galaxy populations which can explain the observed K -band count by using three components (early-type, late-type and star-forming populations),

backward evolution model with type-dependent luminosity functions. I found that not only the ellipticals but also the spiral galaxy population has to follow the negative density evolution while the starburst population shows the strong positive density evolution.

Finally, the on-going NEP deep surveys at $2-26 \mu\text{m}$ with *AKARI* will provide us with new and critical pieces of information to verify and improve the galaxy evolution scenario discussed in this thesis.

論文の審査結果の要旨

本論文は北銀極天域(NEP)の近赤外銀河計数観測をもとに、宇宙進化の $z > 1$ の時期に楕円銀河の大部分が形成された事を明らかにしたものである。論文は第一章から第七章までで構成されており、第一章では赤外線天文衛星「あかり」の重点観測領域である NEP 領域の紹介と、銀河計数観測研究の歴史的な流れを特に近赤外での観測に主眼を置いて述べている。第二章では NEP 領域の観測とデータ処理についての詳細を述べ、第三章では J バンドと K_s バンドでの銀河計数観測の結果を、そして、第四章では遠方銀河の色の振る舞いについて述べている。本研究が対象としている遠方宇宙 ($z > 1$) にある銀河は近傍の銀河とかなりその様子が異なるのが、第五章ではその代表的な存在である ERO 銀河、BzK 銀河、DRG 銀河の三種類についての計数観測の結果について述べている。これらの結果と銀河進化モデルとを比較して、楕円銀河の形成について新しい知見をもたらしたのが第六章である。第七章は結論である。

JAXA (Japan Aerospace eXploration Agency) の赤外線天文衛星「あかり」は打ち上げ以来順調に 2-26 μm 波長域のデータを送り続けている。申請者は「あかり」の赤外線データは銀河進化の解明に突破口を開くであろうと考え、その先駆的な研究として NEP 領域の地上からの近赤外線観測に取り組んだ。観測は 2004 年 6 月 12-16 日にキットピーク天文台 (米国) の 2.1m 望遠鏡で行われ、750 平方分という広い領域について、もっとも深いところで J=21.85 等、K_s=20.15 等という限界等級を達成した。これは銀河の偏在 (バイアス) の弊害を避けるため十分広い領域であり、また暗い銀河を検出するに十分に深いデータであり、近赤外域における銀河計数観測に非常に有意義なデータを提供した。このデータに基づき申請者は NEP 領域の銀河計数が特異な振る舞いを示す事、すなわち、K_s バンドでの計数は $18.0 < K_s < 19.5$ で一時的に増加傾向が緩くなり、暗いところで再び急に増加する事を見出した。対応して J バンドの計数でも J~19.5 を境に増加が鈍る事を見つけた。 $z > 1$ にある銀河の J-K_s 色を考慮すると、この二つのバンドにおける計数データの変化は銀河の特徴的な進化に起因すると考えられる。これまでも、K バンドで類似の現象を示唆した研究もあったが、観測領域が極端に狭いか、限界等級ぎりぎりでは確認ができていない。このたびの申請者の研究はそれを確実なものとしたわけであり、観測的成果として高く評価できる。更に、J バンドによる銀河計数観測でこれほどまでに広く深く行った例はなく、今後の銀河研究に貴重なデータを提供した事も高く評価できる。

申請者はこの特徴的な銀河計数の振る舞いの原因を究明するために、 $z > 1$ にある新しい銀河種族の ERO、BzK、DRG のそれぞれを調べた。このうち、ERO は $z < 1.4$ にある非常に赤い銀河であり、星形成を行っているものと、星形成を終了して静的に進化しているものとある。BzK は $1.4 < z < 2.5$ にある銀河で ERO と同じように星形成を行っているものと、静的に進化しているものがある。DRG は $z \sim 2.5$ にある赤い銀河で大規模に星形成を行っているものである。本研究ではこれら銀河種族のうち静的に進化する ERO と BzK の計数は暗くなるほど傾きが緩やかになり、ERO は K_s~18.0 で BzK は K_s~19.0 を境に急激にその数が減少する事を明らかに示した。これに対して、星形成を行っている BzK のカウントの傾きは暗くなるほどより急になる。これにより、

既に星形成を終了している銀河は暗い等級における計数にはほとんど貢献しておらず、K_sバンドでの計数の一時的な変動に関与するのは星形成を行っている銀河である事を明らかにした。ERO や BzK、DRG についての多数のサンプルでその計数観測を行ったのは本研究が初めてであり、ここで得られた知見は $z > 1$ における銀河進化と様々な種族の銀河の本性を解明するのに基礎的な役割を果たすものである。

次に申請者は既存の銀河進化モデルをもとに、楕円銀河の星形成が宇宙初期に終了し、その後は星が進化する事によってのみ銀河の光度は減衰するという単純な光度進化モデルを構築し、NEP 領域の計数と比較した。その結果、もし銀河の個数密度が現在も過去も不変であると仮定すると、単純な光度進化モデルでは観測データを再現できないが、逆に、個数密度が昔ほど低いと仮定すると、静的に進化する ERO や BzK の計数をよく再現できる事を見出した。一方、星形成を行っている BzK の計数はこれらの銀河の個数密度が過去に遡るほど高かった事を示唆する。つまり、近傍宇宙に多数存在する楕円銀河を、 $z > 1$ にある静的に進化する ERO や BzK だけでは説明する事はできないが、 $z > 1$ にあるダストに覆われて大規模な星形成を行っている ERO、BzK がその後星形成を停止して静的に進化する銀河に加わると考えれば説明する事ができるのである。この事は $z > 1$ の時期に既に楕円銀河の大部分が形成されており、ERO や BzK が $1 < z < 2$ の時期に楕円銀河に進化する事を強く示唆したものと言えよう。申請者のもたらしたこのような知見が銀河進化の今後の研究に果たす役割は大きい。また NEP 領域でこれから得られる「あかり」のデータを用いた研究に及ぼす影響も大きい。それゆえに本論文が銀河進化の研究に果たす役割は大きなものがあり、その水準も国際的な域に達していると判断される。

平成 18 年 8 月 24 日に審査員全員が出席し公開の論文発表会を行った。まず申請者による論文内容の口頭発表を 40 分間行い、引き続き審査委員および一般聴講者による質疑応答を約 20 分、また審査員だけによる質疑応答をさらに約 20 分行った。申請者は研究の背景、目的・意義、観測手法や独自性・独創性、また研究結果の要点と新たな知見、その重要性などについて明確に説明した。質疑に対しては明快に受け答えした。その後、審査員のみによる審議を行い、その結果、論文の科学的な価値を十分に認められる事、共同研究ではあるが申請者の寄与によるものが大きい事を確認する事ができた。さらに申請者の天文学的に関する学識や力量も十分であることを認識し、また論文が明快な英文で書かれている事から、語学力についても問題ない事を確認した。以上の試験の結果、申請者は宇宙科学において、博士（理学）の学位を受けるに相応しい力量を持つものと認め、審査員全員一致により合格と判定した。