

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：11201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650145

研究課題名(和文)宇宙の過去を復元するデータマイニングと統計的因果推論の探求

研究課題名(英文)Reconstruction for History of the Universe with Statistical Causal Inference

研究代表者

花見 仁史 (Hanami, Hitoshi)

岩手大学・人文社会科学部・教授

研究者番号：00212150

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本補助金によって、X線、電波を含む追観測が実現できた。これにより、1)多波長深宇宙探査で検出した10万個の銀河データベースを再構築をし、2)多波長スペクトル解析から赤方偏移、星質量、星形成率、ダスト量を再導出し、3)星形成と銀河中心核(AGN)の活動性を赤外線-電波スペクトルで分離して、1000個の $z < 3$ の赤外線銀河を星形成銀河、AGN銀河、星形成+AGN銀河に再分類し、4)AGNのブラックホールへの質量膠着率を再導出し、5) $z < 0.8$ でのAGNによる星形成の抑制傾向などを明らかにした。一方、銀河の系統樹を再構築する統計的因果推論については、多波長データの誤差評価が今後の課題と残された。

研究成果の概要(英文)：With this grant, we could redevelop database of 0.1 billion galaxies detected with our deep-space multi-wavelength surveys in which their redshifts, stellar masses, star formation rates, and dust masses were re-derived from an analysis of their spectral energy distributions. We also reclassified ~1000 infrared galaxies into star-formation dominate, active galactic nuclei dominate, and their co-existing populations with their spectral energy distributions, and derive the accretion rates on to the central massive black hole for AGN galaxies in which the AGN tend to suppress star formation in the hosts. The existence of the AGNs and star-forming activities in these galaxies could be confirmed with the follow-up Chandra and JVLA observations. Even though we could obtain above astronomical understandings from new multi-wavelength data, we should still left statistical causal inference analysis due to the observational errors as future works.

研究分野：光赤外天文学

キーワード：多波長深宇宙探査 銀河形成 巨大ブラックホール 電波 ミリ波 遠赤外線 可視光 X線

1. 研究開始当初の背景

本研究提案者は、すばる望遠鏡によって得られた可視撮像スペクトルから赤方変位が得られた 10 万個の銀河データベースを作成していた。さらに、赤外線天体観測衛星「あかり」を用いて、系外赤外線背景放射の $>70\%$ を担うとされる明るい赤外線銀河のおよそ 1000 個をその中間赤外線スペクトルエネルギー分布の特徴から、星形成銀河、活動的中心核 (AGN) 銀河と星形成+AGN 銀河に分類し、銀河の構成要素である星、ガス、ダスト、中心核に潜むブラックホールなどの物理量である星質量、星形成率、ダストによる光の吸収量、活動的中心核の光度を導出し、以下のことを明らかにしつつあった。ア) 過去(高い赤方変位)の星形成銀河ほど、高い星形成率を示す。イ) 過去の活動的中心核銀河ほど、その中心核ブラックホールの活動性は高い。ウ) 星形成+AGN 銀河の星形成率は、赤外線光度が低い星形成銀河と比べても、抑制されている。しかしながら、主に、可視光と中間赤外線の観測データによるもので、星形成率や AGN の活動性についての不定性が残っていた。特に、中間赤外線での荒い空間分解能のために、慎重な重なる解析が必要であった。そこで、より信頼性の高い多波長域データを取得すべく、老骨にむちをうって、いくつかの追観測を計画して提案をしていた。

2. 研究の目的

本研究では、無作為割当、抽出を行なうことが本質的に困難な観測から得られた欠測データから、その選択バイアスの統計的調整をしつつ、宇宙の過去を復元することを可能にするデータマイニングと統計的因果推論の手法を探りたい。そのための具体的な事例としては、深・広視野・多波長域探査により検出された深宇宙の銀河について、その構成要素である星、ガス、ダスト、中心核に潜むブラックホールに関わる物理量を反映するスペクトルとともに、合体過程などの銀河の動力学状態を反映するが、定量化しにくい形態とを統計的に統合して推論を行うデータ融合によって、その進化の系統樹を復元することを目指した。

3. 研究の方法

天文学的成果の基盤部分は、初年度 2012 年度に発表でき、PASJ 論文にまとめた(以下の図を参照)。さらに、観測データの信頼性を向上させるために、何度も観測提案を出しても不採択つづきであったが、何とか本研究期間中に、ハーシェル遠赤外線天文観測衛星、チャンドラ X 線天文観測衛星、e-Merlin と JVLA の超大型干渉計電波望遠鏡による観測は実現することができた。この遠赤外線、X 線、電波まで広げた多波長観測データを用いて、すばる望遠鏡で得られていた 10 万個の

銀河のデータベースを再構成した。この再構成したデータベースを用いて、その銀河中心核と星形成への因果効果を調べた。スペクトル解析に、形態解析を融合させ、銀河の星-ダスト-ブラックホールの情報抽出がさらに効果的な統計的因果推論の手法を探った。

4. 研究成果

AGN と星形成自身のフィードバックが星形成を抑制するのであれば、星間物質の物理状態も影響を被っている可能性は大きい。特に、小さなダストや多環芳香族炭化水素 (PAH) は、紫外線や X 線などの高エネルギー放射や衝撃波によって破壊されやすいので、これらへのフィードバックの影響とその兆候の観測可能性が議論されている。実際、フィードバックによる PAH 破壊と解釈できそうな兆候は、我々のデータベース中の銀河でも示唆されている。しかし、この問題は AGN 成分の差し引きなどにより、AGN ダストトーラスモデルのみを AGN 赤外線スペクトルとした上での解析に依存するので、大きい光度のものはダストトーラス光度を過大評価し、PAH 光度を過小評価している可能性がある。一方、X 線、可視スペクトル、光度変動による AGN 候補天体の多くは、AGN 銀河あるいは、星形成+AGN 銀河に同定されることが分かった。AGN 統一理論によると、AGN の多様性はブラックホール周囲の降着円盤やトーラスの軸方向と視線方向との違いによるので、この AGN タイプによらずに中間赤外線が検出される事実は、AGN ダストトーラスからの中間赤外線放射がほぼ等方的であることを示唆している。これらの AGN 活動性は最終年度の MNRAS 論文にその一部がまとめられている。

また、星の元素合成を経た重元素から形成されるダストは銀河の星形成史の化石と見なせる。実際、 $z < 2$ の赤外線銀河では、時間とともに銀河中のダスト量は増加する傾向がある。したがって、銀河の内部構造が空間分解されるものについては、従来の可視光撮像画像を見直して、形態解析を進めた。しかしながら、可視光画像は星分布の情報しかわからないので、星間ガスの分布を調べるために、この可視光撮像画像と同程度の JVLA による電波観測を進めた。そのために、この電波データ解析とデータベースの更新に本研究の多くの時間を割くこととなったこともあって、統計的因果推論による銀河の系統樹の再構築は現在も試みている。また、光度の違いによる選択バイアスの評価も、観測誤差評価との対応を合わせた論文を準備中である。

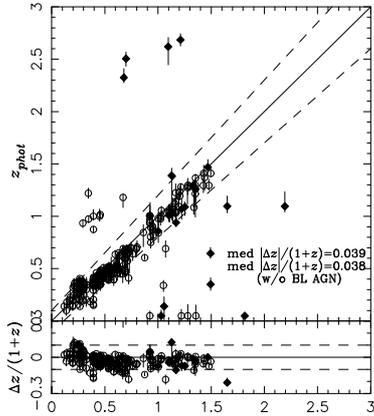


図 1 : スペクトル観測による赤方偏移と星成分のみの銀河モデルによる測光的赤方偏移 . ほとんどの銀河については、両者は一致する . 広がった巾輝線放射を示す活動的銀河核 (ダイヤモンド) でも、半数以上のものは、母銀河の星成分から放射が卓越するので、赤方偏移を再現できることが分かる .

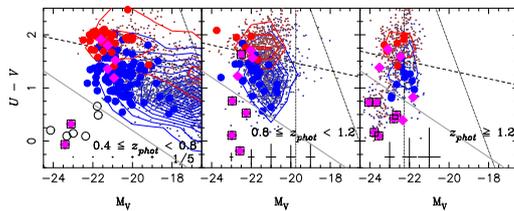


図 2 : すばる望遠鏡で検出された銀河の明るさと色 . 左から赤方偏移 $z > 1.2$, $1.2 > z > 0.8$, $0.8 > z > 0.4$. 大きなシンボルは赤外線銀河 .

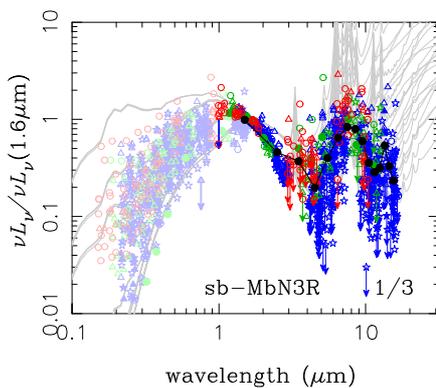


図 3a : 星形成赤外線銀河の静止系スペクトル ; 8μm の多環芳香族炭化水素からの放射と 10μm の珪素の吸収、及び 5μm 付近の星からの放射とダストからの放射との間の谷などの星形成活動の特色が見える . 曲線は星形成銀河の Siebenmorgen-Krugel によるダストスペクトルモデル (SK モデル) .

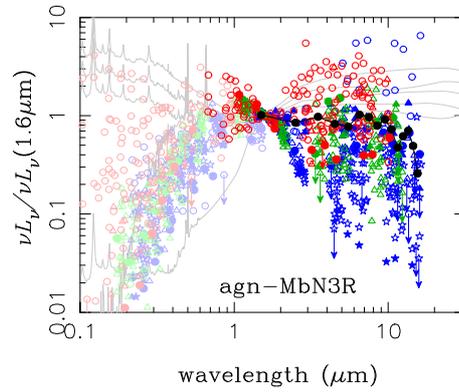


図 3b: 活動的中心核赤外線銀河の静止系スペクトル ; 曲線はトーラス状のダストにより覆われた銀河中心核のスペクトルモデル (ダストトーラスモデル) . このダストトーラスモデルは、図 3a の SK モデルで顕著であった 5, 8, 10μm 構造は見られない .

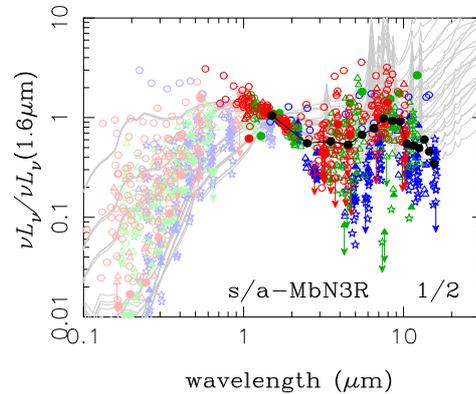


図 3c: 星形成+活動的中心核銀河の静止系スペクトラム ; 曲線は SK モデルとダストトーラスモデルの合成 .

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 8 件)

Akiyama, Masayuki;; ... ; Hanami, Hitoshi; , The Subaru-XMM-Newton Deep Survey (SXDS) VIII.: Multi-wavelength Identification, Optical/NIR Spectroscopic Properties, and Photometric Redshifts of X-ray Sources, PASJ, 査読有、印刷中、

Krumpe, M.; Hanami, H.; ; Chandra survey in the AKARI North Ecliptic Pole Deep Field - I. X-ray data, point-like source catalogue, sensitivity maps, and number counts, MNRAS, 査読有, 2015,

446,911-931

DOI: [10.1093/mnras/stu2010](https://doi.org/10.1093/mnras/stu2010)

Marios Karouzos¹,... [Hitoshi HANAMI](#), .
..... A Tale of Two Feedbacks: Star
Formation in the Host Galaxies of Radio
AGNs, 2014, ApJ, 査読有, 784, 137(23pp.)

DOI: [10.1088/0004-637X/784/2/137](https://doi.org/10.1088/0004-637X/784/2/137)

Díaz Tello, J.; Donzelli, C.; Padilla,
N.; Fujishiro, N.; [Hanami, H.](#); Yoshikawa,
T.; Hatsukade, B., Physical Properties,
Star Formation, and Active Galactic
Nucleus Activity in Balmer Break Galaxies
at $0 < z < 1$, ApJ, 査読有, 771,7(19pp.)

DOI: [10.1088/0004-637X/771/1/7](https://doi.org/10.1088/0004-637X/771/1/7)

White,G....[Hanami,H.](#),....;A deep ATCA 20
cm radio survey of the AKARI Deep Field
South near the South Ecliptic Pole, 2012,
MNRAS,査読有, 427, 1830-1846

DOI: [2012MNRAS.427.1830W](https://doi.org/2012MNRAS.427.1830W)

Nobuta, K.;...[Hanami,H.](#),他,Black Hole
Mass and Eddington Ratio Distribution
Functions of X-Ray-selected Broad-line
AGNs at $z \sim 1.4$ in the Subaru XMM-Newton
Deep Field, Astrophys.J., 査読有,
2012,761,143(22pp),

DOI: [10.1088/0004-637X/761/2/143](https://doi.org/10.1088/0004-637X/761/2/143)

[Hanami, H.](#);Ishigaki, T.;
Fujishiro, N.; Nakanishi, K.; 他 ,Star
Formation and AGN Activity in Galaxies
Classified Using the $1.6\mu\text{m}$ Bump and PAH
Features at $z = 0.4-2$, 2012,
Publ.Astro.Soc.Japan, 査読有,
64,
70(39pp), <http://pasj.asj.or.jp/>

DOI: [10.1093/pasj/64.4.70](https://doi.org/10.1093/pasj/64.4.70)

Takagi, T.;Matsuhara, H.;Goto, T.;
[Hanami, H.](#);他,The AKARI NEP-Deep survey:
a mid-infrared source catalogue,

2012,Astro.&Astrophys.,査読有,537,24,

DOI: [10.1051/0004-6361/201117759](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201117759)

〔学会発表〕(計2件)

[Hanami,H.](#), Unveiling Dusty Star
Formation and AGN Activities in high- z
LIRGs,**国際会議**” Transformational Science
in the ALMA Era: Multi-Wavelength Studies
of Galaxy Evolution, 2014.8.4,**シャーロット
ツピル, アメリカ**

[Hanami,H.](#), Star formation and AGN in
LIRGs at $z=0.4-2.0$,**国際会議**” Swinburne
Keck Science Workshop, 2012.3.28,**メルボ
ルン,オーストラリア**

〔その他〕

ホームページ:

Welcome to Red Galaxy Zoo,
<http://akari.hss.iwate-u.ac.jp/nc2/htdocs/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

花見仁史 (HANAMI HITOSHI)

岩手大学・人文社会科学部・教授

研究者番号: 00212150

(2)研究分担者

吉森久 (YAOSHIMORI Kyu)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号: 40322961