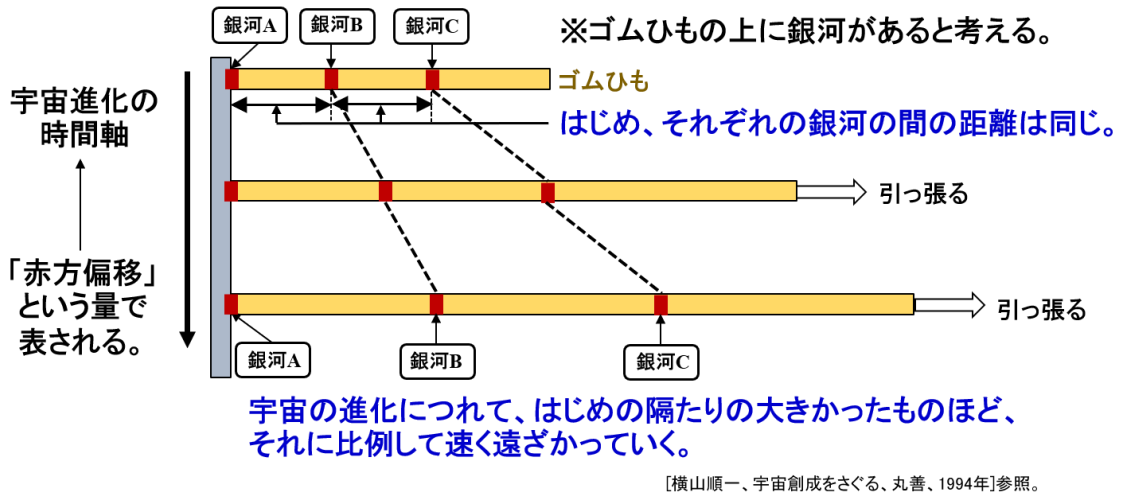
令和８年１１月１１日

人工ニューラルネットワークを用いた宇宙膨張率の観測データ解析による宇宙膨張の歴史の推定に関する研究

福島大学大学院共生システム理工学研究科宇宙論研究室の橋本勇輝さん（博士後期課程３年、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム［SPRING］生、筆頭著者）、馬場一晴教授等の学術論文が世界的に権威のある国際学術誌“Journal of Cosmology and Astroparticle Physics（JCAP）”に掲載されました。本研究では、機械学習の手法である人工ニューラルネットワーク（ANN）を用いて、宇宙の膨張率に関する観測データを解析することにより、宇宙膨張の歴史を推定し、標準宇宙論モデルを検証しました。この研究成果は、福島の地から世界最先端の宇宙論研究を発信する好例となっています。

＜研究内容＞

宇宙論とは、アインシュタイン博士が 1915 年に完成した一般相対性理論を含む物理学の基礎理論に基づいて、宇宙がどのよう始まって、そしてどのように進化してきたのか、を明らかにする学問です。1929 年、エドウィン・ハッブルによって、遠方の銀河が地球からの距離に比例した速度で我々から遠ざかっていることが発見されました（図 1）。



・宇宙の膨張率「ハッブルパラメータ」：遠ざかる度合いを表す量。

・「加速膨張」：遠ざかる度合いがより大きくなっていく宇宙膨張。

図１　膨張する宇宙を再現する思考実験の概念図

20 世紀の末になり、明るく輝く超新星の観測から、現在の宇宙は加速的に膨張していることが明らかにされました。これは、未だ正体が不明の暗黒エネルギーと呼ばれるエネルギーにより、万有引力をしのぐ反発力が生じていることが原因であると考えられています。

暗黒エネルギーの最も自然な候補として、一般相対性理論でその存在が予言される宇宙項Λ（定数）が考えられます。また、銀河の回転運動の観測から、光で輝かない暗黒物質と呼ばれる未知の物質が銀河に存在することも明らかにされています。

従来、標準宇宙論モデルとして、暗黒エネルギーが宇宙項であり、運動の速度が比較的小さい冷えた暗黒物質（CDM）が存在する「ΛCDM モデル」が考えられています。この理論モデルは、様々な宇宙論的観測や宇宙の大規模構造の形成理論と整合しています。しかしながら、近年、超精密な宇宙論的観測によって、ΛCDM モデルでは説明できないような観測結果も発表されてきました。例えば、一般相対性理論における宇宙項 Λ は定数です。一方、近年の Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) の観測は、宇宙の進化につれて時間変化する暗黒エネルギーを示唆しています。そのため、ΛCDM モデルを検証する研究が盛んに行われています。

そこで我々は、ハッブルパラメータと呼ばれる宇宙の膨張率（宇宙の膨張の度合い）を、赤方偏移と呼ばれる宇宙の時間進化を表す量の関数として表すことを試みました。このハッブルパラメータの進化を考察することで、観測データから宇宙論モデルを検証することが可能となります。

特に、宇宙時計法と呼ばれる過去の宇宙膨張率を測定する方法によって観測されたデータ点を用いて、人工知能の一種である人工ニューラルネットワーク（ANN）の手法を駆使し、ハッブルパラメータを赤方偏移の関数として再構成することに成功しました。結果として、解析上の不確かさの範囲では、ΛCDM モデルは観測データと整合的であることを明らかにしました。

本研究で構築した人工ニューラルネットワークによるハッブルパラメータを構成する手法は、宇宙論モデルを観測的に検証するための新しい枠組みの一つと考えられます。

この研究成果は、2026 年 9 月、宇宙論および宇宙素粒子物理学の分野で最も

高い評価を得ている国際学術誌の一つである「Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)」に掲載されました。本論文は、福島大学宇宙論研究室の博士後期課程の大学院生と教員、並びに日本学術振興会外国人特別研究員（Sanjay Mandal さん、2026 年 6 月まで同研究室に所属）との共著論文です。以上のことから、今回の論文は福島大学発の独自の宇宙論研究の成果となります。

＜書誌情報＞

題名：Testing ΛCDM with ANN-reconstructed expansion history from cosmic chronometers
著者名：Yuki Hashimoto, Kazuharu Bamba and Sanjay Mandal
掲載学術誌名：Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 09(2026)巻, 146 (32 ページ)
DOI: https://doi.org/10.1088/1475-7516/2026/09/146
※オープンアクセスの論文です。
[e-print arXiv: 2604.22372 [astro-ph.CO]]

（お問い合わせ先）
共生システム理工学類教授　馬場一晴
電　話：024-503-3263（研究室），024-548-5213（理工支援室）
メール：bamba@sss.fukushima-u.ac.jp
宇宙論研究室 URL: https://bamba.sss.fukushima-u.ac.jp/index.html

人工ニューラルネットワークを用いた宇宙膨張率の観測データ解析による宇宙膨張の歴史の推定に関する研究

第208回福島大学定例記者会見

2026年11月11日

国立大学法人 福島大学 Fukushima University

発表者氏名：馬塲　一晴，橋本 勇輝

福島大学大学院共生システム理工学研究科
共生システム理工学専攻
宇宙論研究室

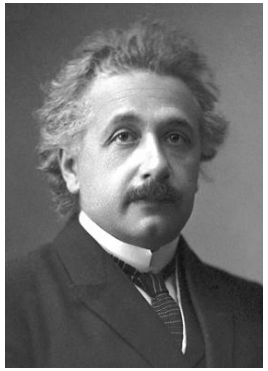
宇宙論研究室ホームページ：https://bamba.sss.fukushima-u.ac.jp/index.html

発表概要

- 福島大学大学院共生システム理工学研究科宇宙論研究室の橋本勇輝さん（博士後期課程3年、JST次世代研究者挑戦的研究プログラム [SPRING] 生、筆頭著者）、馬場一晴教授等の学術論文が世界的に権威のある国際学術誌“Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)”に掲載されました。

- 本研究では、機械学習の手法である人工ニューラルネットワーク（ANN）を用いて、宇宙の膨張率に関する観測データを解析することにより、宇宙膨張の歴史を推定し、標準宇宙論モデルを検証しました。

この研究成果は、福島の地から世界最先端の宇宙論研究を発信する好例となっています。

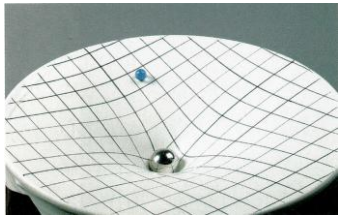


Dr. Albert Einstein

一般相対性理論

アインシュタイン（1915年）

ノーベル賞のホームページ
[https://www.nobelprize.org/]
より引用。



[三浦 登 他（著）、物理、東京書籍（株）、2012年]より引用。

「重力」：時間と空間（4次元時空）の曲がり具合

宇宙の進化を支配する力



Dr. Edwin Powel Hubble

[NASA 提供]

ハッブル-ルメートルの宇宙膨張の法則（1929年）

[二間瀬敏史、なっとくする宇宙論、講談社、1998年]
より引用。

現在の宇宙の加速膨張と標準宇宙論モデル

- Ia型超新星の観測

  ⇒ 20世紀の末、現在の宇宙は加速膨張していることが明らかにされた(「暗黒エネルギー問題」)。

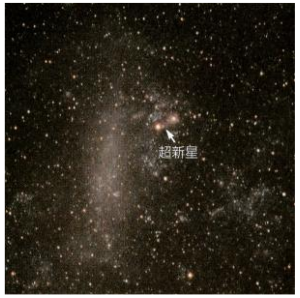


2011年ノーベル物理学賞

- 銀河の回転運動の観測

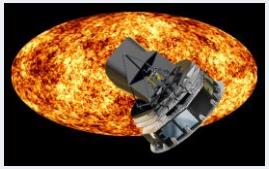
  ⇒ 光で輝かない「暗黒物質」と呼ばれる未知の物質の存在が明らかにされている。

大マゼラン雲の超新星 1987A



[磯崎行雄、江里口良治 他(著)、地学、啓林館、2013年]より引用。

標準宇宙論モデル(ΛCDM)



[http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2009/05/Planck_to_observe_the_CMB]より引用。

① **暗黒エネルギー** ⟶ 宇宙項Λ(定数) [68.3%]

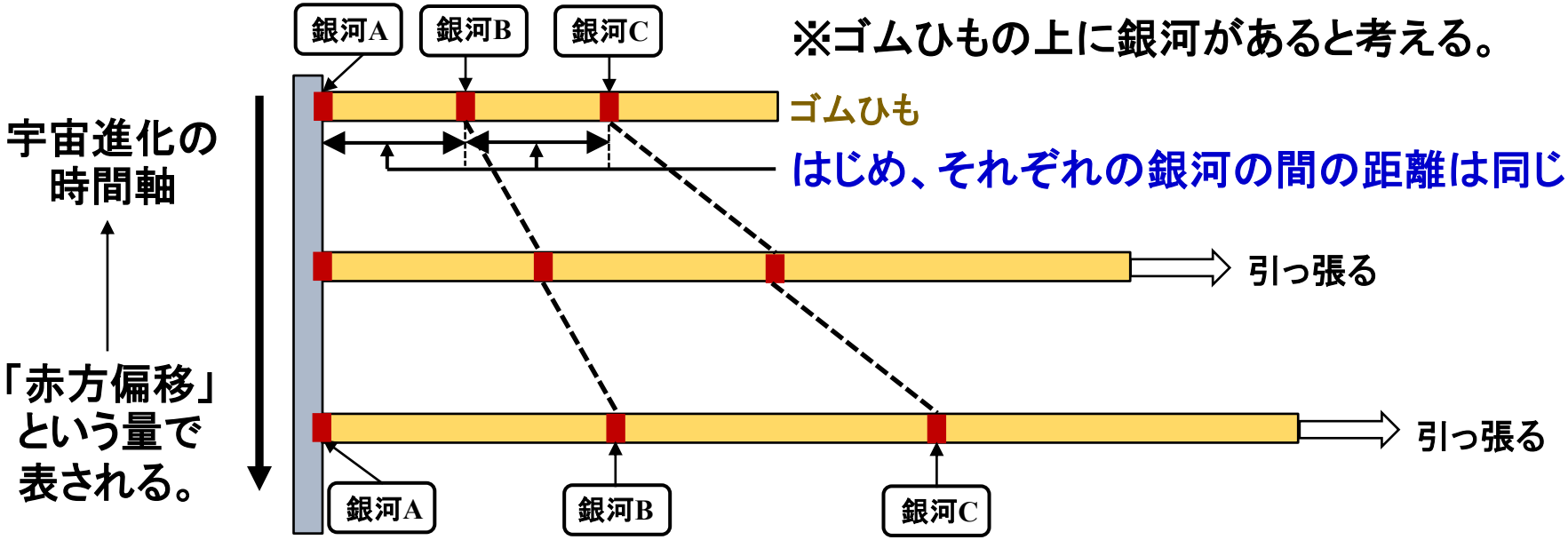
② **暗黒物質** ⟶ 運動の速度が比較的小さい冷えた暗黒物質(CDM) [26.8%]

③ **普通の物質(バリオン)** [4.9%]

Planck 衛星による宇宙マイクロ波背景放射の観測

[N. Aghanim *et al.* [Planck], Astron. Astrophys. **641**, A6 (2020)]

膨張する宇宙を再現する思考実験の概念図



宇宙の進化につれて、はじめの隔たりの大きかったものほど、
それに比例して速く遠ざかっていく。

[横山順一、宇宙創成をさぐる、丸善、1994年]参照。

・宇宙の膨張率「ハッブルパラメータ」：遠ざかる度合いを表す量。

・「加速膨張」：遠ざかる度合いがより大きくなっていく宇宙膨張。

本研究の目的と結果

＜目的＞

宇宙の膨張率（ハッブルパラメータ）を、宇宙の時間進化を表す量（赤方偏移）の関数として再構成し、ΛCDMモデルを検証する。

- 近年、超精密な宇宙論的観測によって、ΛCDMモデルでは説明できないような観測結果も発表されてきました。そのため、ΛCDMモデルを検証する研究が盛んに行われています。

（例）一般相対性理論における宇宙項Λは定数です。一方、近年のDark Energy Spectroscopic Instrument (DESI)の観測は、宇宙の進化につれて時間変化する暗黒エネルギーを示唆しています。

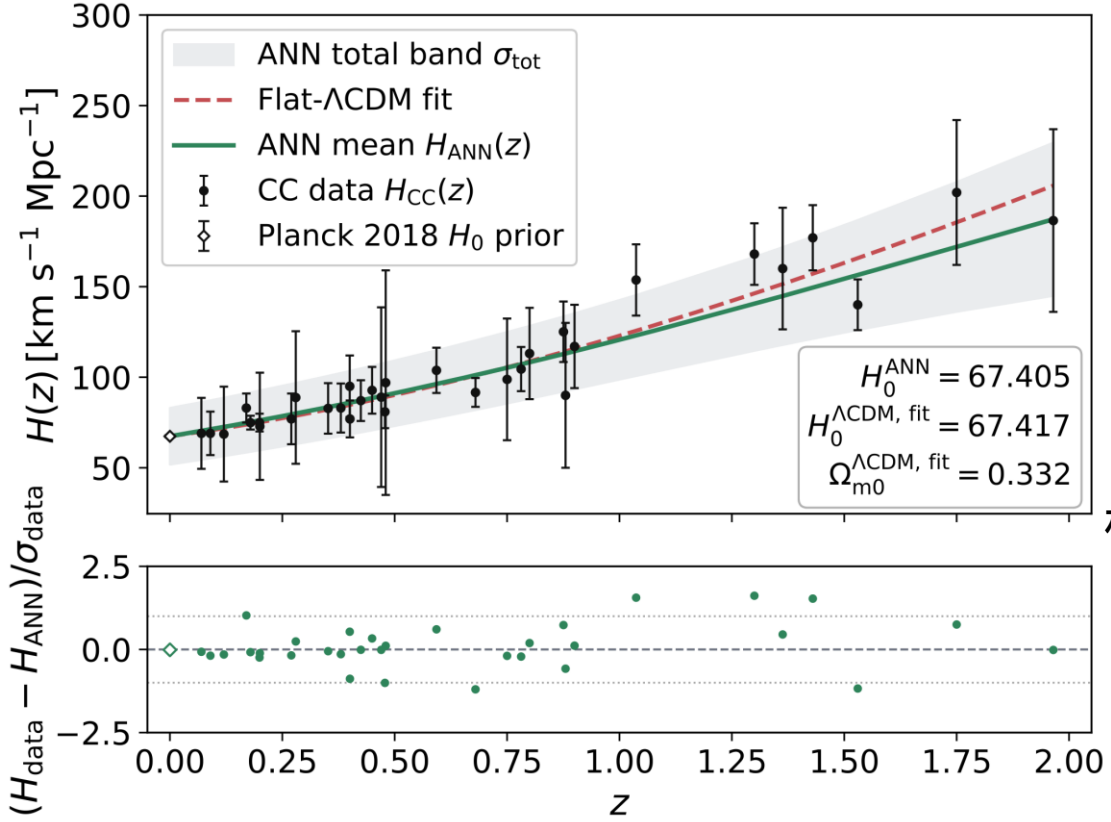
＜新たに発見した結果＞

- 宇宙時計法と呼ばれる過去の宇宙膨張率を測定する方法によって観測されたデータ点を用いて、人工知能の一種である人工ニューラルネットワーク（ANN）の手法を駆使し、ハッブルパラメータを赤方偏移の関数として再構成することに成功しました。

結果として、解析上の不確かさの範囲では、ΛCDMモデルは観測データと整合的であることを明らかにしました。

解析結果：宇宙膨張史の再構成

縦軸：ハッブルパラメータ（宇宙の膨張率）



観測結果と理論モデルとの比較

黒点：宇宙時計法による観測データ

緑線：ANNによる再構成

赤破線：ΛCDMモデルの比較曲線

横軸：赤方偏移（宇宙の時間進化）

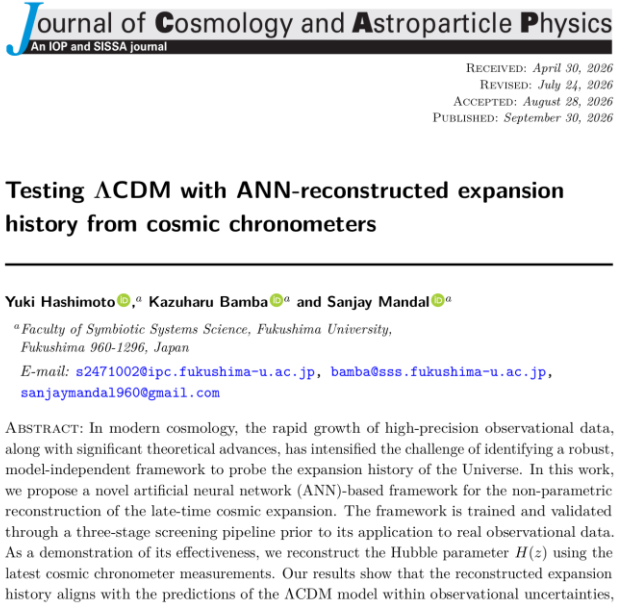
再構成されたハッブルパラメータはΛCDMモデルでの予言と一致することが示された。

[Y. Hashimoto, K. Bamba and S. Mandal, JCAP **09**, 146 (2026)]
[https://doi.org/10.1088/1475-7516/2026/09/146]より引用。

本研究の成果

- この研究成果は、2026年9月、宇宙論および宇宙素粒子物理学の分野で最も高い評価を得ている国際学術誌の一つである「Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)」に掲載されました。

題名：Testing ΛCDM with ANN-reconstructed expansion history from cosmic chronometers
著者名：Yuki Hashimoto, Kazuharu Bamba and Sanjay Mandal
掲載学術誌名：Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, 09(2026)巻，146（32ページ）
DOI: https://doi.org/10.1088/1475-7516/2026/09/146
※**オープンアクセスの論文です。**
[e-print arXiv: 2604.22372 [astro-ph.CO]]



Journal of Cosmology and Astroparticle Physics
An IOP and SISSA journal

Received: April 30, 2026
Revised: July 24, 2026
Accepted: August 28, 2026
Published: September 30, 2026

Testing ΛCDM with ANN-reconstructed expansion history from cosmic chronometers

Yuki Hashimoto,[a] Kazuharu Bamba[a] and Sanjay Mandal[a]

[a] *Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University, Fukushima 960-1296, Japan*

E-mail: s2471002@ipc.fukushima-u.ac.jp, bamba@sss.fukushima-u.ac.jp, sanjaymandal960@gmail.com

Abstract: In modern cosmology, the rapid growth of high-precision observational data, along with significant theoretical advances, has intensified the challenge of identifying a robust, model-independent framework to probe the expansion history of the Universe. In this work, we propose a novel artificial neural network (ANN)-based framework for the non-parametric reconstruction of the late-time cosmic expansion. The framework is trained and validated through a three-stage screening pipeline prior to its application to real observational data. As a demonstration of its effectiveness, we reconstruct the Hubble parameter $H(z)$ using the latest cosmic chronometer measurements. Our results show that the reconstructed expansion history aligns with the predictions of the ΛCDM model within observational uncertainties, thereby supporting the robustness and reliability of the proposed approach.

Keywords: Machine learning, Statistical sampling techniques, dark energy theory

ArXiv ePrint: 2604.22372

JCAP09(2026)146

[https://doi.org/10.1088/1475-7516/2026/09/146]より引用。

本研究の波及効果

- 本研究で構築した人工ニューラルネットワークによるハッブルパラメータを構成する手法は、宇宙論モデルを観測的に検証するための新しい枠組みの一つと考えられます。

⇨ 本論文は、福島大学宇宙論研究室の博士後期課程の大学院生と教員、並びに日本学術振興会外国人特別研究員（Sanjay Mandalさん、2026年6月まで同研究室に所属）との共著論文です。



今回の論文は福島大学発の独自の宇宙論研究の成果となります。