

明治大学先端数理科学インスティテュート「現象数理学研究拠点」
共同研究集会 開催報告書

流体ゲージ理論の応用による、銀河の力学構造の解明に向けての数理的研究

講演成果報告

- ① 神部理論に期待する 従来の研究で考察から漏れていた星間空間に存在するガスおよびダストの効果を明確にしたもので、宇宙の謎を解き明かす大きなカギを与えるもので、本理論の現状と更なる発展、新たな適用を伺える本研究会の意義は大きい
萩原一郎（明治大学/東京科学大学名誉教授）
- ② 流体流れ場に存在するゲージ場について Gauge fields existing in fluid flow fields
神部 勉（明治大学／元東大教授、元 IUTAM 日本代表）
- ③ 銀河ダークマター現象は力学的効果である： 重力場と流体ローレンツ力場 の共存
神部 勉（明治大学／元東大教授、元 IUTAM 日本代表）
- ④ 神部理論による回転銀河の数値的研究：
従来のダークマター仮説は、質量密度分布を過大に評価している
橋口真宜（明治大学 MIMS 客員研究員）
- ⑤ 宇宙におけるパターン形成と数理科学： 星などの形成過程の力学を数学の立場から説明し
他の問題や観測的制約を含む多角的な検討の重要性を述べた
関坂歩幹（明治大学）
- ⑥ 雑感：
既存の理論に新しいものは何も足していない、エレガントな理論で、
これは科学におけるオッカムの剃刀、という原則にかなっている
佐藤 駿（SACO 合同会社 代表 元東工大教授）

① 神部理論に期待する

萩原一郎（明治大学/東京科学大学名誉教授）、

惑星の速度は太陽から遠ざかるに従い減少し、無限遠ではゼロになるというケプラーの法則では、最近明らかになった事実、銀河の外辺部のハロー領域の星たちが秒速 250 kmの超高速で運動していることの説明はつかない。そのため重力を生ずる未知のダーク・マターの存在を仮定する説があるが、そのような物質は未だ発見されていない。神部先生は、アインシュタインの相対性原理をより詳細に検討することで天体やガスに作用する力を求め、回転速度の理論値と実際の観測値の一致を示された。これは、従来の研究で、考察から漏れていた星間空間に存在するガスおよびダストの効果をも明確にしたもので、宇宙の謎を解き明かす大きなカギを与えるものと言える。本理論の現状と更なる発展、新たな適用を伺える本研究会の意義は大変大きいものであると述べた。

②神部勉（明治大学／元東大教授、元 IUTAM 日本代表）、 流体オイラー方程式の一般解と潜在的な流体ゲージ場

**③神部勉（明治大学／元東大教授、元 IUTAM 日本代表）、
銀河ダークマター効果の力学的側面—重力と流体ローレンツ力、二つの異なる物理場の相互
作用効果—：**

**④橋口真宜（エイチエム工学教育研究所／明治大学）、 神部理論による回
転銀河の数値的研究：**

**⑤関坂歩幹（明治大学）、
宇宙におけるパターン形成と数理科学：**

**⑥佐藤俊（SACO 合同会社/元東京工業大学教授）、
雑感：ダークマター研究への質問及びコメント**

⑦総合討論（講演後、メールなどで寄せられた意見等含む）：

1) ・講演②に対し

米国ペンシルベニア大学数理生物学センター所長の森洋一郎教授から「先生の理論を研究室で再現できますでしょうか」などの質問があった。

2) 研究集会終了後、カリスマ予備校物理講師でもあり著名な SF 作家でもある方とその友人から「神部理論はとても面白い。DARK MATTER、DARK ENERGY の同定は、宇宙物理学の研究課題として全世界の実験物理学者/理論物理学者が凌ぎを競っている分野で

す。当然 国も日本なら JAXA・米国なら NASA・EU なら LHC 機構等、研究予算が配分されこの宇宙分布 (DARK MATTER/DARK ENERGY) 地図作成に躍起となっていますね。この神部先生が自分の理論を世界に問うのであれば、まず日本で DARK MATTER 存在を前提に多方面に宇宙探査 PROJECT を進めている東大の国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構 村山齊教授に戦いを挑むべきだと思う。あるいは、佐藤勝彦さん、早稲田大学で宇宙線観測装置 (DARK MATTER 検出) CALET の代表研究者鳥居祥二さんにも送れば反応あるかもしれません」などの意見が寄せられた。そして、神部先生の文献が要求されたので、次の3つの文献を送った。

- 1) T. Kambe and M. Hashiguchi, *“Unlocking Galactic Mysteries: Relativistic Insight into Orbital Hyper-Speeds and DarkMatter in Gas-Rich Galactic-Halos”*, *Global Journal of Science Frontier Research, A: Physics and Space Science* (2023).
- 2) T. Kambe, *“Relativistic insight into dynamic structure of spiral galaxies: Gravity, fluid-Lorentz-force, and dark matter effect”*, *WSEAS Transactions on Systems* 24, 675-690 (2025).
- 3) 神部 勉, 橋口 真宜,
“銀河のダークマター効果の物理的・力学的メカニズム：未知の物質の存在を想定せず”,
シミュレーション Vol.44 No.3 「最先端研究」 (2025年9月) .

② Gauge fields existing in fluid flow fields

神部勉 (明治大学/元東大教授、元IUTAM日本代表)

流体流れ場に存在するゲージ場について

----- 流体オイラー方程式の一般解と潜在的な流体ゲージ場

ゲージ場は流体の流れ場にも存在する。それを最初に指摘したのは、2021年の研究 Kambe [1] である(第1章序論、d節およびe節)。しかし、元々の最初の研究は2013年の論文 [2] で、オイラー方程式の回転性 (*i.e.* $\nabla \times v \neq 0$) の一般解の中にゲージ場が存在している。本記事では、圧縮性の完全流体の流れ場において、ゲージ場がどのように特定されたか、という時間的経緯を振り返ってみよう。

論文[2]では、圧縮性完全流体の速度の3-ベクトル $v(t, x)$ (\in 'Rot-F') に対して、一般的な表現が与えられている。すなわち、 $v(t, x)$ は、次のオイラーの運動方程式、

$$\rho D_t v = -\nabla p, \quad D_t \equiv \partial_t + v \cdot \nabla, \quad (1)$$

を満足する回転性 (*i.e.* $\nabla \times v \neq 0$) の流れ場 $v(t, x)$ (\in 'Rot-Field') である。

この 'Rot-Field' の解は、作用原理から導出されたものである。その作用原理のラグランジアンには、流れ場の表現に、回転特性を明示的に与えるために新しい項が加えられていた。この新しい項は 座標系の並進と回転の両方に関して、「ゲージ対称性」を持っているので、ゲージ場と呼ばれる。

回転性流れ場では Helicity H が次式で定義される:

$$H \equiv \int v \cdot (\nabla \times v) d^3x$$

この研究[2]では、non-zero のヘリシティ $H (\neq 0)$ を持つ回転流の一般的な表現を与えたのみならず、それに加えて、より基本的な目的が追求されていた。すなわち、作用原理の下で、空間座標(x^ν)の関数として表現されるオイラー的記述と、流体粒子座標 (α^ν)を独立変数とするラグランジュ的な記述の、2つの記述形式の等価性を確立することであった。

これら2つの記述形式間の等価性を確立するにあたり、オイラー的記述において4つの独立した自由場 f_μ ($\mu = 0, 1, 2, 3$) が導入された。([3]、および[6]の §1d を参照)。これは、オイラー的記述の場が、オイラーの運動方程式を満足する流れ場の記述において、自由度を持つことを意味する。しかし、それには制約が有って、4つの自由場は

$$f_\mu = \partial_\pi \Psi, \quad \mu = 0, 1, 2, 3, \quad (2)$$

の形の 特定のポテンシャル形式をとるといふ、制約が有る。

特定の関数形式により、これらの場からの寄与は、作用原理では、面積分に変換され、面積分上の値は変分ゼロなので、変分原理から導出されるオイラー・ラグラ

す表現において、non-zeroの寄与を与える ([1], § 6 (a) 参照)。

実際、4つの自由場を持つ流れ場の運動方程式は、変分解析の過程を経て4つの自由場が最終的な寄与をしないため、ラグランジュ記述の方程式と同じオイラーの運動方程式に帰着する。つまり、4つの自由場は存在するが、最終的には、現実に姿を現わさない。しかし、後の講演で説明するように、4つの自由場は無駄な存在ではない。むしろ、それらは状況を一変させる Game-Changer の役割を果たす。この一見奇妙な側面は、流体ゲージ理論 [5] の構成において重要な鍵となる。

回転特性を明示的に与えるためにラグランジアンに追加された新しい項は、前述のようにゲージ対称性を持つ。したがって、4つの自由場 f_μ はゲージ場と呼ぶことができる。次の講演では、場の表記「 f_μ 」を別の表記「 a_μ 」に置き換える。これは、電磁気学のゲージポテンシャル「 A_μ 」に類似した重要な物理的役割を果たすためである。ここでは、流体力学における対応する変数場には小文字の「 a_μ 」を用いる

文献

(GJSFR A = Global Journal of Science Frontier Research, A: Physics and Space Science

- [1] T. Kambe, Fluid gauge theory, *GJSFR-A* **21** (4), 113 (2021).
- [2] T. Kambe, A new representation of rotational flow fields satisfying Euler's equation of motion of an ideal compressible fluid, *Fluid Dyn. Res.* **45**, 015505 (16pp) (2013).
- [3] T. Kambe, Variational formulation of ideal fluid flows according to gauge principle, *Fluid Dyn. Res.* **40**, 399 (2008).
- [4] T. Kambe, New perspectives on mass conservation law and waves in fluid mechanics, *Fluid Dyn. Res.* **52**, 1 (2020).
- [5] T. Kambe, Fluid gauge theory, *GJSFR-A* **21** (4), 113 (2021).

Note: Mathematical aspect of the Euler's equation of motion 「数理的側面」

General representation of rotational flow field [2] has been derived from the Action S:

Action S for the non-relativistic rotational flow fields:

$$S \equiv \int dV^3 \left[\int \rho \left(\frac{1}{2} v^2 - \epsilon \right) dt - \int (\rho D_t \psi + \rho D_t \langle U, Z \rangle) dt \right]$$

The second part S_2 is responsible for the gauge field:

$$S_2 = - \iint \rho D_t \Psi \, dV^3 \, dt, \quad \Psi \equiv \psi + \langle U, Z \rangle \quad \partial_\mu = (c^{-1} \partial_t, \partial_k) \\ = - \iint (j^\mu a_\mu) \, dV^3 \, dt, \quad \rho D_t = j^\mu \partial_\mu, \quad j^\mu = (\rho c, \rho v^k)$$

Euler's Equation of Motion is derived from the exact form of a_μ , i.e. $a_\mu = \partial_\mu \Psi$:

$$\mathcal{A} \equiv a_\mu \, dx^\mu = d\Psi \quad (\text{exact differential form})$$

All exact forms are closed. The Euler's equation of motion is closely related to this exact form, which is the "Poincaré's Lemma".

This is the **mathematical aspect** of the Euler's equation of motion 「数理的側面」 !!!

③ 銀河ダークマター現象は力学的効果である： 重力場と流体ローレンツ力場の共存

神部勉(明治大学/元東大教授、元 IUTAM 日本代表)

渦巻き銀河の重力場の中に豊富に存在するガス雲が、高速の軌道回転運動するとき、流体運動に潜在するゲージ場が励起される。その結果、流体ローレンツ力が励起され、重力と結合して、二つの物理的な加速度場が生じる。それは新しい相対論的力学のメカニズムで、それらの相互作用効果が、銀河ダークマターの現象として現れる。

本研究の斬新な点 New Innovative points of the present study

1. 流体流れ場には、ゲージ場が存在する。それは流体ゲージ理論によって、理論体系化され、流体 Lorentz 力場の場が生じる。
2. 流体ゲージ理論が相対性理論に組み込まれ、相対論的流体力学として体系化され、その理論体系が銀河の回転運動の力学的側面の解析に適用される。
3. 天文観測データが 153 体の銀河群に対して得られ、それらから抽出された銀河の力学法則が知られている。本研究の相対論的流体力学の理論から予言される力学法則がそれらをよく説明することが出来る。その理論的予言の一つは、銀河の周辺部の運動が Non-Keplerian である、という事実である。
4. 理論解析の斬新な点は、Hilbert の Action principle による相対論的流体力学の導出、および銀河力学への流体 Lorentz 力の適用である。
5. 一般相対性理論の Field equation、 $G_{\alpha\beta} = \kappa c T_{\alpha\beta}^{(mech)}$ と同じ形の方程式が、Hilbert の Action principle を Fluid Gauge Theory に適用しても導かれた。
6. Galactic dark matter effect が、Gravity 力と流体 Lorentz 力との結合した効果として、物理的に説明できる
7. Gravitational charge が 2 であることが、Hilbert の Action principle を Fluid Gauge Theory に適用して得られた。
8. 従来のダークマター仮説は、質量密度分布を過大評価に導く。
9. 相対論的流体力学の運動方程式から、重力と流体ローレンツ力の2つの力の共存する場の定常状態のバランス方程式が得られた。動径成分の定常的なバランス方程式(1)と、重力ポテンシャルを支配するポアソン方程式(2)、および新たに導入した流体ゲージ場の方程式(3)の、3方程式の連立の偏微分方程式系が導かれた。その方程式系において、回転銀河の動径方向に対する空間 2 階の単一の常微分方程式が導かれ、境界値問題に帰着された。これを、銀河の回転速度の観測値を使って、数値積分によって解を求めた。
10. 銀河の周辺部で観測されている高速軌道運動は、流体 Lorentz 力が現実の銀河空間で物理的に作用している事を直接的に物語っている。

この研究は2023年に発表され、2025年12月に、*International Best Researcher Award* を受賞。
本研究は、T. Kambe & M. Hashiguchi の共著論文で次の学術誌に発表された。

Global Journal of Science Frontier Research, A: Physics and Space Science (2023)

*“Unlocking Galactic Mysteries: Relativistic Insight into Orbital
Hyper-Speeds and Dark Matter in Gas-Rich Galactic-Halos”*

この研究は次の一般相対性理論に拡張された流体力学によってformulationがなされた：

T. Kambe (2025) : *Relativistic insight into dynamic structure of spiral galaxies:
Gravity, fluid-Lorentz-force, and dark matter effect,*
WSEAS Transactions on Systems 24, 675-690.

本講演は、Preprint

“arXiv-2026_Relativistic study of dynamical aspects of galactic Dark-Matter effect,
and interpretation by a combined action of Gravity and Fluid-Lorentz-Force.pdf”

として、次のサイトに upload されている：

<https://www.researchgate.net/profile/Tsutomu-Kambe/publications>

そのタイトルとアブストラクトは

**Relativistic study of dynamical aspects of galactic Dark-Matter effect, and
interpretation by a combined action of Gravity and Fluid-Lorentz-Force**

by Tsutomu KAMBE and Masanori HASHIGUCHI

Based on the theory of general relativity, physical and dynamical mechanisms are investigated for rotating galaxies surrounded with abundant gas clouds. On the basis of fluid dynamics extended to relativistic theory, the dynamical balance within each galaxy has been investigated as a combined action of the gravity and a new *force effect*. The latter *force effect*, called *fluid-Lorentz-force*, is areal physical effect caused by the high-speed motion of gas clouds in galactic space.

The dynamical mechanism proposed by the present formulation shows an excellent match with the observed finding of McGaugh, Lelli & Schombert (2016). This matching implies that the present approach has captured an essential aspect of the galactic dark-matter-effect. In the galactic space, the strength of gravity force becomes weaker as the distance r from the galactic center increases, while the new physical effect, i.e. the *fluid-Lorentz-force* acting inward, grows in magnitude towards the halo as r increases. The two forces switch their roles effectively to keep the orbital velocity nearly constant. This results in maintaining the orbital motion at very high speeds of 50 ~ 250 km/sec observed in the halo.

Existence of the *fluid-Lorentz-force* is not contradicting with the concept of the theory of general relativity. This is a novel approach to the galactic dark-matter-effect observed in spiral galaxies.

The hyper speeds observed in the galactic halos give a true evidence that the fluid-Lorentz-force is working in real galactic space.

④ 橋口真宜(明治大学)

神部理論による回転銀河の数値的研究

成果報告

神部理論から相対論的流体力学の運動方程式が導かれ、重力と流体ローレンツ力の2つの力の共存する場の定常状態のバランス方程式が得られた。その動径成分の定常的なバランスの方程式(1)と、重力ポテンシャルを支配するポアソン方程式(2)、および新たに導入した流体ゲージ場の方程式(3)の、3方程式の連立の偏微分方程式系が導かれた。その方程式系において、球対称性を仮定することで、問題は、回転銀河の動径方向に対する空間2階の単一の常微分方程式の境界値問題に帰着された。これを複数の銀河について、銀河の回転速度の観測値を使って、数値積分よってに解を求めた。

従来、回転銀河における回転速度の観測値はケプラー速度では説明できないので、ダークマターという物質の質量を導入するダークマター説の仮定が必要と考えられていたが、その仮定なしでも、本理論は、回転速度の観測値を力学的に説明し得るという結果を得た。

本研究で導出した常微分方程式は、神部理論に球対称性を仮定して得られ、ゲージポテンシャル解から得られる密度分布は正となり、理論的に妥当な結果が得られた。一方、神部理論で仮に軸対称性を仮定しても同様な常微分方程式を出すことができ、ゲージポテンシャル解が得られることは予備計算で確かめた。ところが、その場合には密度が負になるという結果が得られて、こちらは理論的には妥当とは言えない結果となる。

我々はこの計算を行った後に初めて知ったことであるが、ガンマ線の対消滅を研究する東京大学戸谷友則教授が「銀河のハロー領域のダークマターは球対称分布をしている」と発言しており、我々の球対称の仮定はそれと矛盾していない。

ダークマターのハロー構造に関する密度分布に関して NFW モデルがあるが、これは中心でカスプ特異点を持つ。一方、Brownstein モデルという中心に特異性を持たない密度分布が提案されている。我々は6個の銀河の密度を調べた結果、いずれも Brownstein モデルの分布形がよくフィットすることが分かった。

しかし、天の川銀河に対する Brownstein モデルの数値と比較したところ、今回の理論から得られる密度は、いずれの銀河も数十分の一のオーダーで低い数値でもよいことがわかった。この結果は、現在のダークマター研究では、重要な結果と思われる。

我々が調べた銀河については、重力のみの平衡から得られる、ダークマター仮説の密度は、我々の理論の流体ゲージ力の求心力効果を考慮した密度分布と比べて過大評価していることがわかった。

現在のダークマター説は、流体ゲージ力の求心力効果を、ダークマター質量による効果として誤認して、密度分布を過大評価していると考えられる。

⑤ 関坂歩幹(明治大学)

宇宙におけるパターン形成と数理科学

本講演では、2018年、2019年に採択されたMIMSプロジェクト「パターン形成理論を用いた惑星系形成の数学解析」「修正重力理論と宇宙流体のパターン形成の研究」により得られた結果を中心に、非線形効果を数学的に取り込んだジーンズ不安定性から生じるダイナミクスについて報告を行った。ジーンズ不安定性は星間ガスが自己重力と内部圧力の均衡状態が崩れ、太陽などの恒星へと遷移することを説明する定性的な理論である。

このとき「銀河系や惑星系が持つ回転運動が生じるのか」という問題にたいして、外力として与えられるニュートン重力ポテンシャルの対称性より、ジーンズ不安定性では回転運動が生じないことが中心多様体理論を用いて示される。近年、Jackiw-Piにより提唱されたChern-Simons修正重力理論を用いて銀河の回転曲線問題を説明する試みなどがある。この理論はアノマリーなどの素粒子理論、弦理論由来の重力理論で、相対性理論を補正する形でダークマター・ダークエネルギーの存在を仮定しないモデルである。この理論を基にジーンズ不安定性を考慮する際に回転ブラックホールの影響を導入すれば、回転運動が生じることがわかった。

しかしながら、ダークマターやダークエネルギーの存在問題は、重力レンズ、銀河団などの大規模構造や膨張宇宙などと密接に関係している。そのためChern-Simons修正重力理論の数学的、物理的妥当性を検証することは容易ではなく、ブラックホールの影響で銀河の回転運動が生成されると直ちに結論付けることもできない。

本講演では、星などの形成過程の力学を数学の立場から説明し、他の問題や観測的制約を含む多角的な検討の重要性を述べた。

上記のように、宇宙におけるパターン形成問題は、宇宙物理学だけでなく、数学・数理科学全般で重要かつ興味深い問題を多く含む。

⑥ 佐藤 駿 (SACO 合同会社 代表 元東工大教授)

雑感

ダークマター研究へのコメント

神部先生の理論は宇宙を記述する方程式の決定版である、と実感した。

理由は、新しいモノは何も持ち込まずに、銀河の運動を説明した点。新しいのは流体ローレンツ力の導入である。流体ローレンツ力は古典的な流体力学に一般相対論で書き換えたさいに加わった項。いずれも既存の理論で新しいものは何も足していない、エレガントな理論である。これは科学における、オッカムの剃刀、という原則にかなっている。神部理論が学会主流に認められるにはどうしたらよいか考えた。

現在、銀河系単独であるがこれを銀河団にも適用できないか。調べてみるとダークマターでは説明できない現象がある。銀河団の衝突問題、これは目に見える物質（宇宙ガス）と重力の中心とがずれている問題。重力中心はダークマターがあるとされる。銀河団が衝突すれば流体の渦が激しく乱れ、再構成される。このとき流体ローレンツ力で重力のずれが生じるのではないか。神部理論によれば流体ローレンツ力は流体の渦から発生する。

他にもダークマターでは説明できない現象がある。銀河団における重力レンズ効果、宇宙の大規模構造はダークマターの存在で説明されているが神部理論を使って説明できる可能性がある。

これらの検証には莫大な観測データとの突合せが必要で時間がかかる。神部理論が世界の宇宙、天文科学者に 1 日も早く認知されてこの目で神部理論が花開く日を目撃したいと念じている日々である。

以上、神部先生の講演に関する雑感とする。