

# 原始重力波で探る素粒子右巻きニュートリノ

新潟大学大学院 数理物質科学専攻 博士前期課程 2 年 (助成時)

同上 博士前期課程 3 年 (現在)

奥井 恒

## 【研究目的】

ニュートリノ振動現象の発見により、ニュートリノに質量が存在することが確定した。素粒子標準模型では、ニュートリノ質量の存在を説明できないため、ニュートリノ質量を説明する新たな理論を解明することが現代物理学の最重要課題の1つである。右巻きニュートリノは、ニュートリノの極微な質量を説明するために導入される新粒子だ。本研究の目的は、素粒子「右巻きニュートリノ」の新たな探索方法を検証することである。

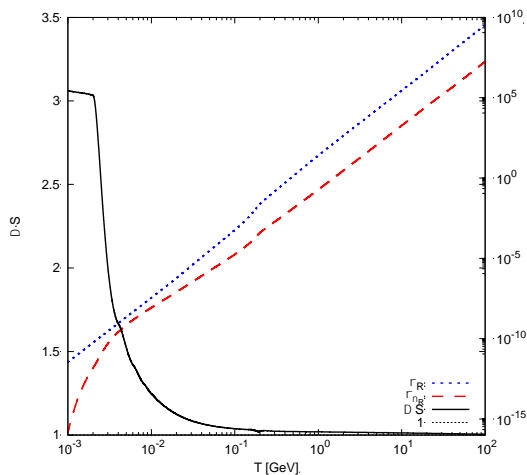
本研究では、特に GeV スケールの質量を持つ右巻きニュートリノに着目する。これは、 $\nu$ MSM(neutrino Minimal Standard Model)と呼ばれる模型[1,2]に登場する。この模型は、ニュートリノ質量、宇宙バリオン数非対称性、宇宙暗黒物質の起源を同時に解決することができ、かつ新たに導入した右巻きニュートリノが直接検出可能となる。直接検出を目的とする実験はこれまで実施されているが、右巻きニュートリノの存在を示す兆候は未だ発見されていない。右巻きニュートリノは相互作用が非常に弱く、直接探索するのが困難となるためである。そこで、我々は右巻きニュートリノが引き起こす宇宙論的な側面に注目する。右巻きニュートリノは自身の相互作用の弱さのために、非常に長い寿命を持つことができる。このような長寿命粒子が初期宇宙に存在し、それらが崩壊する場合、宇宙に付加的なエントロピーが生成されることがある。

重力波の発見に伴い、重力波物理学が急速に発展している。将来実験も計画されており、その目的の1つが原始重力波の検出である。原始重力波はインフレーションの量子ゆらぎにより生成された重力波であり、原始重力波が発見されればインフレーションが存在した大きな証拠となる。原始重力波は初期宇宙で生成され、宇宙の膨張則の影響を受けて発展する。発展の仕方は、重力波の周波数ごとに異なるため、重力波スペクトル(重力波の担うエネルギーの周波数依存性を見たもの)には宇宙の膨張則の影響が現れる。

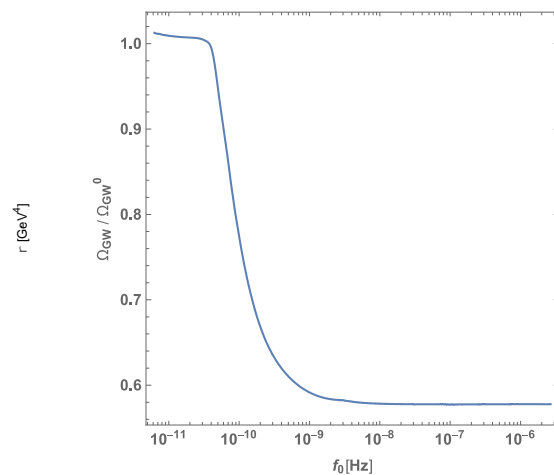
初期宇宙において付加的なエントロピー生成が起きる場合、宇宙の膨張則を変更し、さらに原始重力波スペクトルを修正する。この現象に着目し、右巻きニュートリノが原始重力波に与える影響を評価することで、重力波による右巻きニュートリノの新たな探索法を検証する。

## 【研究結果】

本研究では、初期宇宙における右巻きニュートリノの崩壊によるエントロピー生成が原始重力波スペクトルに与える影響について研究し、原始重力波による右巻きニュートリノの新たな探索法を検証した。原始重力波スペクトルには宇宙の膨張則の歴史が刻まれるという特徴があり、これまでのコライダー実験などでは困難だった初期宇宙の現象の痕跡を直接検証できる可能性がある。初期宇宙の現象の一つが、右巻きニュートリノによるエントロピー生成であり、今回の研究で、エントロピー生成の効果により、SKA などのパルサータイミングアレイ実験の観測周波数域である約  $10^{-10}$  Hz 以上の周波数域において、標準宇宙論の予言に対してスペクトルの減衰が起こりうるということがわかった。しかし、原始重力波の振幅は非常に小さいことが予想されており、SKA や LISA などの観測感度予測では、この現象を観測することは非常に困難である。今後数十年の発展が期待される重力波観測実験によって、実験の観測精度が向上し、重力波の精密測定が実現されれば、右巻きニュートリノのエントロピー生成のような初期宇宙の現象を重力波により検出することで、新物理の探索ができる可能性がある。なお、この成果の発表により「2019 年秋季大会 日本物理学会 学生優秀発表賞」を受賞した[3]。



(左図)：エントロピー生成比  $\Delta S$  とエネルギー密度の温度依存性の図。黒の実線がエントロピー生成比  $\Delta S = S / S_0$  (初期条件のエントロピーと生成されたエントロピーとの比)で、青の点線は標準模型粒子による輻射のエネルギー密度、赤の破線は右巻きニュートリノのエネルギー密度を表す。



(右図)：右巻きニュートリノのエントロピー生成を考慮した場合と標準模型の場合の重力波スペクトルの比を表す。(エントロピー生成がある場合を  $\Omega_{\text{GW}}$ 、標準模型の場合を  $\Omega_{\text{GW}}^0$  とした)である。エントロピー生成がある場合は、スペクトルが小さくなる。

## 【参考文献】

- [1] T. Asaka and M. Shaposhnikov, Phys. Lett. B 620 17 (2005)
- [2] T. Asaka, S. Blanchet and M. Shaposhnikov, Phys. Lett. B 631 151 (2005)
- [3] 2019 年秋季大会 日本物理学会学生優秀発表賞 受賞