

超新星爆発におけるニュートリノスペクトルに対する

ニュートリノ集団振動の影響

利用者氏名(所属機関): 加藤ちなみ (東北大学)

利用カテゴリ XC-B/XC-Trial

本研究課題では、「超新星爆発におけるモンテカルロ法を用いたより現実的なニュートリノのエネルギースペクトルの構築」を大きな目的としていた。超新星爆発は、太陽の8倍以上の初期質量をもつ大質量星が進化の最後に起こす大規模な爆発現象であり、爆発を起こす前の星の内部構造や、爆発メカニズムなど、未だに多くの未解明な点が残されている。本研究では、爆発を起こすために必要な衝撃波の復活を助けるニュートリノの放出と伝搬に注目し、ニュートリノの現実的なエネルギースペクトルの構築にあたった。具体的には、主に「核子散乱を取り入れた重レプトン型ニュートリノのスペクトル構築法の考案」・「モンテカルロ法によるニュートリノ輸送計算コードのマルチフレーバー化」を行った。前者のテーマは、昨年度から引き続いて行っているテーマである。

① 核子散乱を取り入れた重レプトン型ニュートリノのスペクトル構築法の考案

ニュートリノは星の中心部で放出され、伝搬途中に多く存在する核子と散乱する。その散乱回数が非常に多いためニュートリノスペクトルに影響を与えることが知られている一方で、1回にやり取りするエネルギーが非常に小さいため超新星爆発の数値計算に取り入れるには様々な工夫が必要である。実際にこれまでの計算にも様々な近似を使って取り入れられてきたが、エネルギースペクトルの構築にはまだ問題がある。特に、数値計算ではニュートリノの分布関数を離散化して扱うが、その際のエネルギービン内の分布は人為的に指定する必要があり、どのような分布が現実的であるかは調査する必要がある。そこで、本研究では物理過程を扱うことに適しているモンテカルロ法を用いたニュートリノ輸送計算を行い、実際の超新星爆発計算で行われている離散化のプロセスを再現して、核子散乱を組み込む際にどのようなエネルギービン内の分布が最適であるかの調査を行った。具体的には、実際に超新星爆発計算で用いられている離散化を再現するために、ニュートリノ分布関数を更新する際にいくつかの人為分布に従って各エネルギービンでのサンプル粒子のエネルギー情報を更新する過程を通常のモンテカルロ輸送計算に追加した。今回は、3つの人為分布を用いた。具体的には、①ビン内の分布が一様であるフラット分布(flat)、②隣のエネルギービンとの中心値から予想される傾きに従う線形分布(linear+Ncons)、そして③エネルギービン内のエネルギー保存測を満たすように傾きを与える線形分布(linear+NEcons)である。まずは、0-300MeV のニュートリノエネルギーに対して 20 個のメッシュを導入し、爆発後 100ms の流体バックグラウンドに対して重レプ

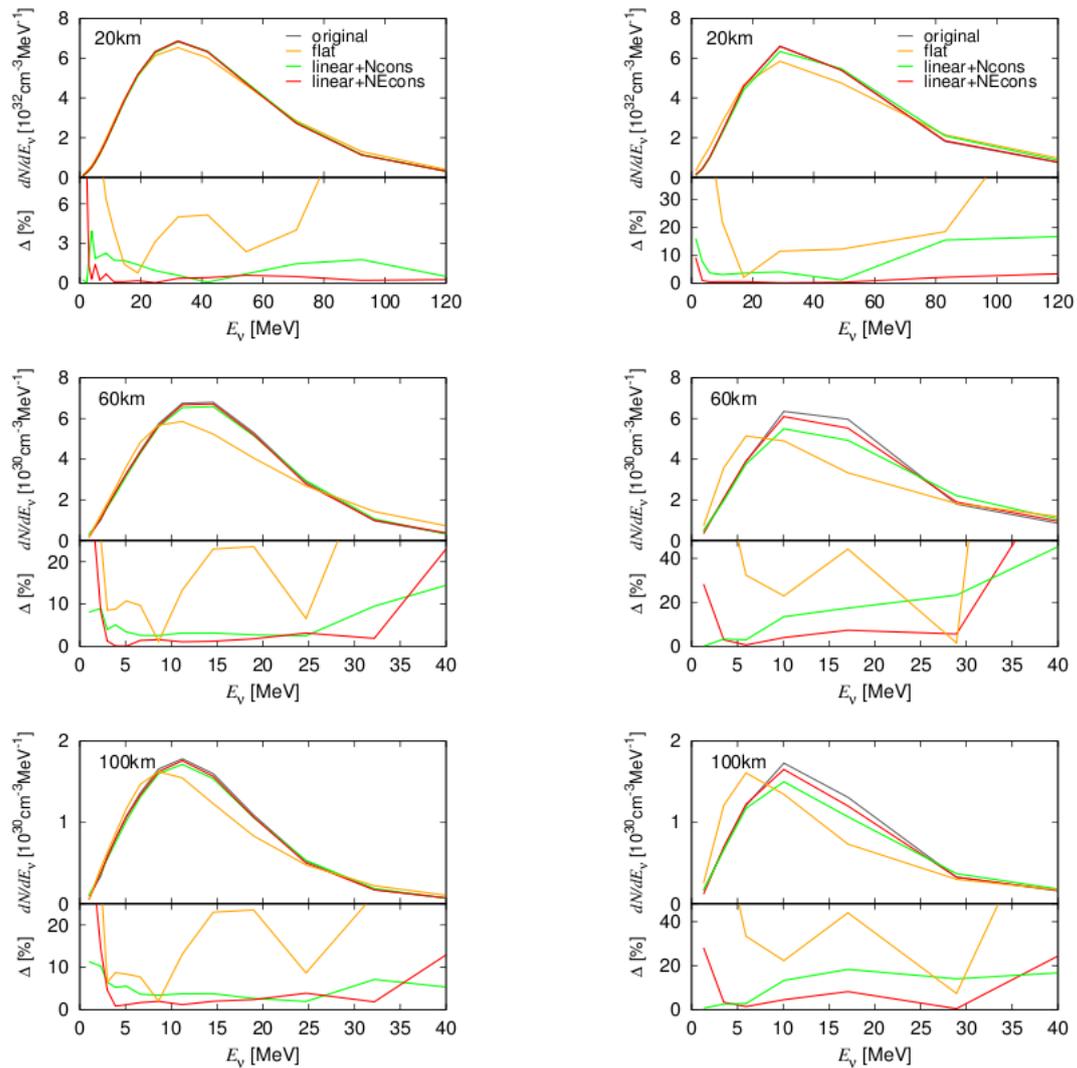


図1：人為的なエネルギービン内の分布を導入したニュートリノの定常計算で得られたエネルギースペクトル(上図)と元のスペクトルとの誤差(下図)。上から順に半径20km, 60km, 100kmの結果を示している。左図と右図は、それぞれ導入したエネルギーメッシュ数が10および20の場合である。

トン型ニュートリノの定常計算を行った。そして、元のエネルギースペクトルとどの程度ずれが生じるのかを人為分布ごとに調査した。結果として、①の分布の場合には20%以上の大きな誤差が見られたのに対して、②・③の分布では全エネルギー領域においても誤差が数%以下であり、よく元のスペクトルを再現できていることが分かった(図1の左図)。次に、10個にメッシュ数を減らした場合についても同様の計算を行ったところ、②の分布ではおよそ20%程度に誤差が大きくなったのに対し、③の分布ではまだ10%程度に誤差を抑えられていた(図1の右図)。これにより、メッシュ数が少ない計算を行う場合には、各エネルギービンでのエネルギー保存の

条件を課したほうが良いという結果が得られた。現在、これらの結果をまとめた論文を *Astrophysical Journal* に投稿中である。今後は、ここで得られた結果をもとにニュートリノ核子散乱を実際の爆発計算におけるニュートリノ輸送計算に組み込んで、爆発のダイナミクスなどへの影響を調査する予定である。

② モンテカルロ法によるニュートリノ輸送計算コードのマルチフレーバー化

ニュートリノと核子の散乱と同様に現状の超新星爆発計算において問題となっているのが、ニュートリノ集団振動の取り扱いである。これは、ニュートリノが伝搬途中で自身のフレーバーを変える現象の中で、特にニュートリノが多く存在する中心部におけるニュートリノ同士の相互作用で起こり、各フレーバーのエネルギースペクトルに大きな影響を与えられている。しかし、この集団振動のスケールは星の内部構造のスケールに対して非常に短く、星全体を扱う数値計算で同時に扱うことはほぼ不可能である。また、角度方向についても非常に細かいメッシュ(～1000以上)を与える必要があることを示唆する先行研究もあり、これまでにこの現象を正確に取り入れることに成功した研究はない。そこで、本研究では①と同じモンテカルロ法によるニュートリノ輸送計算コードを用いて、集団振動によるニュートリノスペクトルへの影響の調査を目的とした。現状のコードでは一つのニュートリノフレーバーに注目した輸送計算しか行うことができず、フレーバー間の遷移を行うニュートリノ振動を扱うことができないため、まず初めに現状のモンテカルロ輸送コードのマルチフレーバー化を行った。今後は、ニュートリノ振動をコード内に実装して、前述の目的に向かって研究を継続していく予定である。