



TITLE:

# Long time supernova simulation and search for supernovae in Super-Kamiokande IV( Abstract\_要 旨 )

AUTHOR(S):

Mori, Masamitsu

---

CITATION:

Mori, Masamitsu. Long time supernova simulation and search for supernovae in Super-Kamiokande IV. 京都大学, 2021, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2021-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k23004>

RIGHT:

( 続紙 1 )

|  |  |    |      |
|--|--|----|------|
| 京都大学   | 博士 ( 理学 )  | 氏名 | 森 正光 |
| 論文題目   | Long time supernova simulation and search for supernovae in Super-Kamiokande IV<br>長時間超新星爆発計算とSuper-Kamiokande IVにおける超新星爆発探索 |    |      |
| (論文内容の要旨)  |  |    |      |
| <p>大質量の星の寿命が尽きると、極端に多くのエネルギーを放出する(重力崩壊型)超新星爆発を起こすが、その爆発機構が未だに未解明である。特に、どのような親星が爆発し、そして爆発後に残る中性子星もしくはブラックホールがどのような性質を持つかが注目されている。数十秒間を渡り、超新星爆発由来のニュートリノが1987年に初めて観測されて以来、ニュートリノが爆発機構に深く関わっていることが確認され、様々な理論モデルが構築されている。ただし、その殆どが爆発の最初の1秒間しか計算していない一方、より長い時間スケールにおけるニュートリノ放出が親星と中性子星の情報を持っていると考えられている(シミュレーション問題)。これに加え、1987年の観測はデータ量が少なく、光学的な観測により銀河の超新星爆発が100年に数個しか起こらないと指摘されているため、世界中のニュートリノ実験が爆発事象を探し続けている(観測問題)。</p> <p>本論文は、上記の問題を対象にし、超新星爆発の物理を理論的な観点と実験的な観点の双方からの研究を発表している。理論の側面では、長時間のシミュレーションを構築し、次の超新星観測から物理モデルのパラメーターへ制限を掛けるようなフレームワーク構築を報告している。森氏は、公開のシミュレーション計算を拡大・最適化したことにより、星の重力崩壊開始から20秒間後まで計算可能な超新星爆発シミュレーションを実現し、その妥当性を証明している。これは、爆発を起こすための人為的な手法を導入することなく、一貫した計算になっていることが注目すべき点である。そしてこの計算手法を用い、9.6太陽質量のある親星の爆発によるニュートリノ放出とそのエネルギーの時間発展を計算し、地球上の観測までの予測を報告している。複数の親星をシミュレーションした結果、無事爆発に成功した40個の内3個を20秒まで計算・比較し、中性子星の質量によりニュートリノの放出違いも議論していることから、将来の超新星解析における長時間計算の利点とその展望も明らかにしている。</p> <p>このモデルを用い、森氏が上記の観測問題に着目し、スーパーカミオカンデ実験において超新星爆発探索も行なった。詳細な解析を行い、近距離で爆発が起こった際に使用可能なデータを増加するための新しい解析条件を確立した。そしてより離れている爆発を探すため、当実験で初めて機械学習を使った解析を開発し、邪魔となる背景事象を削減しながら、100kpcまでの検出感度を保つことを証明している。2008年から2018年までのデータを解析し、候補1個が出たが、徹底的解析を行なった結果、超新星爆発由来のものである確立が低いと指摘し、銀河内の超新星爆発レートに対して90%の優位度で年に0.29個しか起こらないと報告している。</p> <p>以上のことから森氏の研究は、超新星爆の物理において重大な課題となっている爆発機構の解明への大きな貢献であり、将来の観測からの超新星モデルへのフィードバックを掛けるための大きな一歩であることが言える。まとめると、本論文は、超新星爆発から観測までの長時間シミュレーションを新しく開発し、それを元にスーパーカミオカンデ実験において超新星爆発探索を新しい手法で行なった研究結果について報告している。</p> |  |    |      |

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、超新星爆発の長時間シミュレーション計算と、スーパーカミオカンデ実験で行なった超新星爆発探索の最新結果について報告している。天文学と素粒子物理学におけるニュートリノ研究の重要な課題として重力崩壊型の超新星爆発機構の解明が挙げられる。解明するには、1987年に初めて超新星爆発をニュートリノで観測した観測以外に他の観測が必要であり、そして観測を爆発機構に繋げる理論モデルも重要である。現在のシミュレーション計算では超新星爆発を再現する手法が様々あるが、その殆どが最初の1秒間までしか計算せず、数十秒間も継続すると知られているニュートリノ放出を追っていないことから、観測との比較は困難である。森氏の研究は、この弱点を補うことを目的にし、長時間のニュートリノ放出を計算する新しいシミュレーションを開発している。また、その予測を元にスーパーカミオカンデ実験における探索条件を更新し、探索感度を向上させることである。

本論文では森氏は、超新星爆発の概念とその理論的な背景を紹介し、現行のシミュレーション計算の問題点を説明している。そして、今回の研究が採用している計算手法とその裏にある物理過程を詳しく説明し、長時間のニュートリノ放出計算を実現するための工夫を丁寧に記述している。そのシミュレーション結果の精査を経、妥当性を検証した上、20秒間までのニュートリノ放出予測と地球上の観測期待について報告している。森氏の研究は、他の計算と違い、星の崩壊開始から長時間の進化まで一貫した手法で且つ人為的な手を加えずに計算していることは注目に値する。主に一個の親星を議論の対象としているが、複数の親星のモデルも用意し、正しく爆発する40個の内3個を20秒間まで追い、ニュートリノの長時間発展を比較している。これにより爆発後にできる中性子星の質量とニュートリノとの関係を示し、本研究の最終目的である観測と物理モデルの比較例を挙げている。結果としては、銀河中心付近で1.4太陽質量のある中性子星を残す爆発が起こった場合、スーパーカミオカンデ実験では凡そ1800個のニュートリノ事象が観測されると予測している。

論文の後半では森氏は、スーパーカミオカンデ実験を紹介し、それにおける超新星爆発探索の手法について説明している。特に、今回の探索において背景事象とそれを低減するための手法を詳細に記述した上、100%の検出効率を100kpcまで保つことを証明している。また、銀河中心で爆発が起こった場合、より多くの情報を得るため、スーパーカミオカンデ実験の全体積における解析条件を新しく設立した。そして、2008年から2018年の全データを解析した結果、超新星爆発の優位な信号がなかったため、100kpcまでの距離で超新星爆発レートが90%の優位度で一年に0.29個以下であることを指摘している。

残念ながら、本研究は超新星爆の機構解明まで至らなかったが、それに近づく大きな一歩であることが言える。本論文も今後の展望について議論しており、将来実験の観測予測と今回開発したモデルの応用について説明している。これで森氏の理解の深さもその研究の重要性も読み取れる。上記のことから森氏の研究は、超新星物理にもスーパーカミオカンデ実験にも大きな貢献である。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和3年2月10日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、森氏は多くの質問にも的確に解答した。その結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 2021年2月10日以降