

Title	超新星爆発におけるニュートリノ乱流の特性解明の数値シミュレーション
Sub Title	Numerical simulation of characterization of neutrino turbulence in supernova explosion
Author	小林, 宏充(Kobayashi, Hiromichi)
Publisher	慶應義塾大学
Publication year	2019
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2018.)
JaLC DOI	
Abstract	<p>太陽質量の約8倍以上の質量をもつ恒星の核融合が終焉すると、自己重力で収縮が起こり、星の中心（コア）は崩壊する。その収縮によるコア崩壊の反動で衝撃波を伴う爆発が起こると考えられている。そこでは、電子が陽子に捕獲されることによって生成されたニュートリノが、星の重力エネルギーの約99%を外側に運び去る。特に超新星コアでは、ニュートリノの平均自由行程は、コアサイズよりも十分小さくなるため流体近似が可能となる。</p> <p>これまで2次元計算が行われ、衝撃波内側で非一様なエネルギー集中により、衝撃波が非球対称に膨張・進行する爆発が数値計算で得られるようになった。一方、3次元計算ではエネルギーの順カスケードが支配的であり、爆発に至る衝撃波内側でのエネルギー集中が起こりづらく、爆発が起こりにくくなることがわかってきた。</p> <p>これまでの超新星の研究では、ニュートリノが左巻きのみというパリティ対称性の破れは考慮されてこなかった。通常の流体については、渦度方向には流れは誘起されないが、カイラリティをもつ素粒子については、そのカイラリティによるパリティ対称性の破れのために、渦度方向に粒子の流れが生成されることが知られており、カイラル渦効果 (CVE: chiral vortical effect) と呼ばれる。最近、ニュートリノのカイラル渦効果によって、超新星の流体力学的な時間発展が定性的に修正されることが見出された。</p> <p>そこで本研究では、エネルギーの順カスケードが支配的な3次元数値計算において超新星爆発を実現させるために、ニュートリノのパリティ対称性の破れを考慮した回転一様乱流計算を行った。その結果、回転が強くなるとエネルギーの逆カスケードにより密度や圧力の集中が起こり、対称性の破れから渦度方向へニュートリノが輸送され、その圧力勾配から渦度方向への速度が誘起されることがわかった。また、ヘリシティが密度に転換され、密度が増大することもわかった。</p> <p>After nuclear fusion reaction of a massive star having about 8 times heavier mass than the solar mass is completed, the core of the star contracts by the self-gravity and a core collapse occurs. It has been considered that the supernova explosion with a shock wave will take place by the bounce of the core collapse. In the core, left-handed electrons are captured by protons, and neutrons and left-handed neutrinos are generated. The neutrinos will carry about 99% gravitational energy of the star toward the outside of the star. The supernova core is approximated as fluid because mean free path of the neutrinos is short enough compared to the core size.</p> <p>In a two-dimensional simulation, it became clear that the shock wave asymmetrically expands and blasts by a non-uniform energy concentration behind the shock wave. Nevertheless, in three-dimensional simulations, it became difficult to explode with the observed explosion energy because the energy cascade from large scales to small scales is dominant and the cascade deconcentrates the energy.</p> <p>In previous studies, the feature that neutrinos have only left-handedness has not been considered. In the ordinal fluid, current is not induced in the direction of the vorticity vector. However, the fermions with parity violation generate the current parallel to the vorticity vector due to the difference of chemical potentials for right-handedness and left-handedness. This effect is so-called chiral vortical effect (CVE) for super-relative fermions, e.g., the neutral particles like neutrinos.</p> <p>Therefore, in this study, in order to realize the supernova explosion in the three-dimensional numerical simulation dominated by the forward cascade of energy, we performed rotating homogeneous turbulent flows considering breaking the parity symmetry of the neutrino. As a result, when the rotation becomes strong, density and pressure concentrate due to the inverse cascade of energy. Thus, the neutrinos are transported in the direction of vorticity, because the velocity in the vorticity direction is induced from the pressure gradient. We also found that helicity is converted to density and the density increases.</p>
Notes	
Genre	Research Paper

URL

https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2018000005-20180288

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

研究代表者	所属	法学部	職名	教授	補助額	300 (A) 千円
	氏名	小林 宏充	氏名 (英語)	Hiromichi Kobayashi		
研究課題 (日本語)						
超新星爆発におけるニュートリノ乱流の特性解明の数値シミュレーション						
研究課題 (英訳)						
Numerical simulation of characterization of neutrino turbulence in supernova explosion						
1. 研究成果実績の概要						
<p>太陽質量の約8倍以上の質量をもつ恒星の核融合が終焉すると、自己重力で収縮が起こり、星の中心(コア)は崩壊する。その収縮によるコア崩壊の反動で衝撃波を伴う爆発が起こると考えられている。そこでは、電子が陽子に捕獲されることによって生成されたニュートリノが、星の重力エネルギーの約99%を外側に運び去る。特に超新星コアでは、ニュートリノの平均自由行程は、コアサイズよりも十分小さくなるため流体近似が可能となる。</p> <p>これまで2次元計算が行われ、衝撃波内側で非一様なエネルギー集中により、衝撃波が非球対称に膨張・進行する爆発が数値計算で得られるようになった。一方、3次元計算ではエネルギーの順カスケードが支配的であり、爆発に至る衝撃波内側でのエネルギー集中が起こりやすく、爆発が起こりにくくなることがわかってきた。</p> <p>これまでの超新星の研究では、ニュートリノが左巻きのみというパリティ対称性の破れは考慮されてこなかった。通常の流体については、渦度方向には流れは誘起されないが、カイラリティをもつ素粒子については、そのカイラリティによるパリティ対称性の破れのために、渦度方向に粒子の流れが生成されることが知られており、カイラル渦効果 (CVE: chiral vortical effect) と呼ばれる。最近、ニュートリノのカイラル渦効果によって、超新星の流体力学的な時間発展が定性的に修正されることが見出された。</p> <p>そこで本研究では、エネルギーの順カスケードが支配的な3次元数値計算において超新星爆発を実現させるために、ニュートリノのパリティ対称性の破れを考慮した回転様乱流計算を行った。その結果、回転が強くなるとエネルギーの逆カスケードにより密度や圧力の集中が起こり、対称性の破れから渦度方向へニュートリノが輸送され、その圧力勾配から渦度方向への速度が誘起されることがわかった。また、ヘリシティが密度に転換され、密度が増大することもわかった。</p>						
2. 研究成果実績の概要 (英訳)						
<p>After nuclear fusion reaction of a massive star having about 8 times heavier mass than the solar mass is completed, the core of the star contracts by the self-gravity and a core collapse occurs. It has been considered that the supernova explosion with a shock wave will take place by the bounce of the core collapse. In the core, left-handed electrons are captured by protons, and neutrons and left-handed neutrinos are generated. The neutrinos will carry about 99% gravitational energy of the star toward the outside of the star. The supernova core is approximated as fluid because mean free path of the neutrinos is short enough compared to the core size.</p> <p>In a two-dimensional simulation, it became clear that the shock wave asymmetrically expands and blasts by a non-uniform energy concentration behind the shock wave. Nevertheless, in three-dimensional simulations, it became difficult to explode with the observed explosion energy because the energy cascade from large scales to small scales is dominant and the cascade deconcentrates the energy.</p> <p>In previous studies, the feature that neutrinos have only left-handedness has not been considered. In the ordinal fluid, current is not induced in the direction of the vorticity vector. However, the fermions with parity violation generate the current parallel to the vorticity vector due to the difference of chemical potentials for right-handedness and left-handedness. This effect is so-called chiral vortical effect (CVE) for super-relative fermions, e.g., the neutral particles like neutrinos.</p> <p>Therefore, in this study, in order to realize the supernova explosion in the three-dimensional numerical simulation dominated by the forward cascade of energy, we performed rotating homogeneous turbulent flows considering breaking the parity symmetry of the neutrino. As a result, when the rotation becomes strong, density and pressure concentrate due to the inverse cascade of energy. Thus, the neutrinos are transported in the direction of vorticity, because the velocity in the vorticity direction is induced from the pressure gradient. We also found that helicity is converted to density and the density increases.</p>						
3. 本研究課題に関する発表						
発表者氏名 (著者・講演者)	発表課題名 (著書名・演題)	発表学術誌名 (著書発行所・講演学会)	学術誌発行年月 (著書発行年月・講演年月)			
小林 宏充、山本直希、奥野喜裕	超新星中の中性ニュートリノ乱流におけるカイラル渦効果の数値計算	日本流体力学会年会	2018年9月			