

## 投稿

## 密度のべき乗増加とブラックホール

## ～漫画「ブリーチ」における侂助の考察～

渡會兼也、荒井龍一（金沢大学附属高等学校）

## 1. はじめに

漫画を題材にした教材や課題は学生や生徒の興味や関心を喚起し、勉強に向かうエネルギーになる場合がある。筆者（渡會）は以前、ドラゴンボールの界王星の密度が中性子星と一致していることを本誌で紹介した[1]。今回は渡會が勤務校で夏休みに出した課題のうち、興味深いレポートがあったので紹介する。以下、2章と3章の文章は荒井（高校2年生）のレポートである。

## 2. 動機

少年漫画に「ブリーチ」なるものがあります[1]。簡潔にいうと正義の味方が悪い奴をやっつけるという話ですが、その登場人物に吉良イヅルっていうしょんぼりしたスネ夫みたいなやつがいます。で、そいつが使う武器(刀)が「侂助」。

この刀は一太刀浴びせると、切りつけられた物体の体積は変わらずに質量が2倍になるという特殊能力が備わっています。つまり二太刀で4倍、三太刀で8倍ですね。闘いの中で相手の刀とガンガンぶつけ合うとその分相手の刀がどんどん重くなるという寸法です。これは底が2の指数関数で質量が増えていくということです。ドラえもんのパイプイン事件[2]でもおなじみで指数関数の増加には凄まじいものがあります。これってもしかして史上最強じゃないでしょうか。

ちなみに質量増加の終着点ともいえるブラックホールはいつできるのでしょうか？僕は高校生なので、ブラックホールという名前は知っていても、そのもの自体についてはよく

わかっていませんでしたので、一から調べてみました。調べてみると「 Chandrasekhar 限界」「スーパーノヴァ」などなど平々凡々の僕の頭脳では消化不良になるようなワードが洪水のように流れてきました。何とか解説してみますとブラックホールは理論上太陽の10倍の質量を超えるような巨大質量の恒星が超新星爆発を起こした時に出現するらしいのです。さらに超新星爆発が起きるためには Chandrasekhar 限界（この値を上回ると電子の縮退圧が星の重力縮退圧に負けてしまい、星が星の形状を留められず、圧縮されていく）によって白色矮星が一度中性子性に変わって、そこから内部放射圧と重力収縮の関係がうまく行くと、やっとな超新星爆発が起きてくれます[3]。このようなややこしいステップを踏むことでしか、僕たちの世界でブラックホール生成されることはありません。しかし、要は物質が巨大な密度になればブラックホールはうまれます。それが現実で起こるのは前述のケースしかありえないということで、あのような難しいことを考えていたのですが、今僕たちの手元には最強の武器「侂助」があります。これで巨大な密度の物質（体積は変わらないわけですから）をつくれればいいのです。

## 3. 計算手順

アインシュタイン方程式を基にすると大体太陽をそのまま圧縮して半径3km以下になればブラックホールがうまれます。今回はこの密度( $1.8 \times 10^{16} \text{g/cm}^3$ )を超えたら物質がブラックホールになると仮定します。

ここでは典型的な日本刀を佗助で切りつける（叩く？）ものとします。日本刀の重量は850g~1400gなので1000gとしました。また、刀の体積は、長さ70cm、幅3cm、厚み1.5cmとして405 cm<sup>3</sup>とします。

ここでn回目に切りつけたあとの物体の質量を  $m_n$  とすると、

$$m_n = m_0 \times 2^n \quad (n \text{ は刀で叩いた回数})$$

となります。設定により体積  $V$  は変わらないので、n回目の密度  $\rho_n$  は、

$$\rho_n = \frac{m_0}{V} \times 2^n = \rho_0 \times 2^n$$

となります。あとは2の整数乗倍なので、最初の時点での物質の密度  $\rho_0$  が決まれば計算できます。今回は  $\rho_0$  に先ほど出てきた刀の質量と体積から2.47g/cm<sup>3</sup>を代入しました。

結果はなんと53回刃を交えるだけでブラックホールが生成されてしまいました！！・・・でもちょっと待ってください、これってつまりイズルはそれまでに相手を倒さなければ、突如現れた闇の狭間に敵もろとも自分も吸い込まれて相打ちとなってしまふということですよ。そもそも、ブラックホールにならなくても30回を超えればそこそこ強力な重力場が生まれているので闘いにくいことこの上ないはず。佗助は最強かと思っただが、実際は瞬間で相手を仕留めなければならぬ、使い勝手が相当悪い武器なのかもしれません。でも負けるな、頑張れイズル！ということで僕の考察を終わらせようと思います。

#### 4. 補足・追記

このレポートは著者の一人、渡會が勤務校で夏休みの宿題として物理選択者に出したものである。荒井のレポートは独創的で考察に優れていたので会員の皆様に紹介したく、投

稿させていただいた。以下、何点か補足したいと思う。

まず、佗助という刀は斬りつけた物体の質量を2倍にする、という時点でエネルギー保存則を満たしていないため、ここには目をつぶった上で補足する。

ブラックホールになるまでの斬りつける回数は、物体の始めの密度で決まる。彼の見積りでは密度が2.47g/cm<sup>3</sup>となり、理科年表で密度を調べると、ストロンチウム(2.54g/cm<sup>3</sup>)と同程度のを仮定していることになる[5]。鉄の密度は7.874g/cm<sup>3</sup>であるから、約3倍の密度ギャップが生じている。これは刀のサイズと質量の見積り段階での不定性に起因するものであろう。

佗助で物体を切っていくと、チャンドラセガール質量を超えた時点で、物体は電子の縮退圧で支えることができなくなり、重力崩壊を起こす。ゆえに、ある時点でサイズが急激に変化するはずであり、漫画の設定は成り立たなくなる。物体の密度が2.47g/cm<sup>3</sup>の場合、19回で白色矮星程度の密度(~10<sup>6</sup> g/cm<sup>3</sup>)になり、更に叩けば46回程度で中性子星(~10<sup>14</sup>g/cm<sup>3</sup>)になる。

ブラックホールの密度はシュバルツシルト半径の球を考えれば、ブラックホールの質量の2乗に反比例する[6]。太陽質量を持つ恒星質量ブラックホールの場合、シュバルツシルト半径内に太陽質量が詰まっているとすれば密度は1.77×10<sup>16</sup>g/cm<sup>3</sup>となる。もし、太陽質量の10倍を仮定すれば、密度はこの値から2桁下がることになる。したがって、実際に観測されているような恒星質量ブラックホールと同じ密度を作るとなれば47回となり、刃を交える回数は減る。ちなみに宇宙物理学におけるブラックホールの形成については通常、恒星質量ブラックホールは大質量星の超新星爆発で作られると考えられているが、今

回のように質量が小さなものを集めてブラックホールを形成するメカニズムについてはよくわかっていない。

ドラえものの道具「バイバイン」の話は数学の教材としても有名であり、アンサイクロペディア上にも『栗まんじゅう問題』としてまとめられ、詳しい考察がある[7, 8]。今回の侘助とバイバインとの違いは、栗まんじゅうの体積変化を考えるのに対し、今回の今回の問題は体積が変化しないところである。そういう意味で侘助は何度叩いても人に迷惑はかけない設定になっている。

## 5. まとめ

そもそも漫画だから…と言ってしまえばそれまでだが、もし、本当の世界ならば…を考えることは知的に楽しい作業である。他にも「走れメロスの速さ」を算出した生徒や、「名探偵コナンに出てくる特殊なシューズの威力」について考察した生徒もいた。これらの活動は主体的で、今まで勉強してきたことを応用し、想像力を働かせながら行なった作業であろう。生徒の中には、「自分で問題を作る（設定する）ことがこれほど難しいことだとは思わなかった。」という感想を書いた者もいた。こういった課題はどんな宿題よりも科学的な思考を養うために有効であると感じている。

## 文 献

- [1] 渡會兼也 天文教育 天文教育 2010 年 9 月号 Vol.22, No.5. P39-40  
 [2] 久保帯人 集英社『BLEACH』少年ジャンプのウェブページ  
<http://shonenjump.com/j/rensai/bleach/index.html>

[3] ドラえものの道具『バイバイン』に関するページ

[http://korokobo.michikusa.jp/u\\_uheei/dra\\_bai/page\\_01.html](http://korokobo.michikusa.jp/u_uheei/dra_bai/page_01.html)

[4] 図解相対性理論がみるみるわかる本 佐藤勝彦 PHP 研究所

[5] 理科年表 国立天文台編

[6] 例えば、Shapiro, Teukolsky Black Holes, White Dwarfs and Neutron Stars Wiley-VCH

[7] 栗まんじゅう問題

<http://ja.encyclopedia.info/wiki/%E6%A0%97%E3%81%BE%E3%82%93%E3%81%98%E3%82%85%E3%81%86%E5%95%8F%E9%A1%8C>

[8] 真鍋和弘 現代物理で考える「ドラえもんその後」

[http://izumi-math.jp/K\\_Manabe/doraemon/doraemon.htm](http://izumi-math.jp/K_Manabe/doraemon/doraemon.htm)

渡會兼也（金沢大学附属高等学校教諭）

荒井龍一（金沢大学附属高等学校 2 年）