

マキシマム ザ ホルモンのライブのダイナミクスから探る大質量星の内部構造と進化



マキシマムザ遼介君

〈モナッシュ大学物理天文学科 Monash University, Clayton, VIC3800, Australia〉

現代の宇宙物理学において、大質量星は中心的な役割を果たしている。その大質量星の内部構造は長年、様々な形で研究されてきたが、直接の観測が難しいことからなかなか進んでいないのが現状である。本論文では、マキシマム ザ ホルモンのライブ会場のダイナミクスを直接観測することで大質量星の内部構造及び進化を探ることができるという新説を提唱する。本研究をきっかけに、マキシマム ザ ホルモンのライブから宇宙の真理を解き明かすことを目指す。

1. 序 論

現代の宇宙物理学において大質量星はその存在感を増している。2002年に小柴昌俊氏がノーベル物理学賞を受賞したことで有名な、史上初めて太陽系外から検出されたニュートリノは、大質量星が最期に起こす超新星爆発から放出されたものである¹。また、2015年に稼働を開始して以来、歴史に残る成果を上げ続け2017年のノーベル物理学賞受賞に繋がった重力波天文学も、その観測対象は大質量星の成れの果てである中性子星やブラックホールなどのコンパクト星である^{2,3}。他にもX線連星やガンマ線バーストなど、大質量星由来と思われる天文現象は数々見つかってきており、大質量星の構造及び進化をきちんと理解することが急務となっている。

恒星の内部構造及びその進化は、過去1世紀以上に渡って宇宙物理学の中心的な研究対象の一つであった。特に太陽や太陽と同程度の質量をもつ星に関しては、その豊富な観測データのおかげもあり内部構造や進化についての理解は非常に進んでいる。一方、太陽の10倍以上の質量を持つような大質量星に関しては絶対数が少ないこと、近

傍に存在しないこと、寿命が短いことなどから詳細な観測データが乏しい。特に、恒星内部を探る際に重要な役割を果たす星震学を用いた研究が困難なのが現状である。

本論文では日本ロック界における星（スター）であるマキシマム ザ ホルモン（以下ホルモンと呼ぶ）のライブ会場におけるダイナミクスが大質量星の内部構造と酷似していることに注目する。異なる2つの分野の双対性を用いて別の問題に落とし込む手法は物理学においてよく取られる手法である。例えばブラックホールの力学的性質が熱力学の法則と似ていることが見出されたブラックホール熱力学や、ある種の共形場理論と量子重力理論の双対性を用いて複雑な量子凝縮系の計算を古典的な計算に落とし込むことを可能にしたAdS/CFT対応などが有名である。今回提唱するホルモン/大質量星対応を発展させることで、今後ホルモンのライブ会場で得られる詳細なデータから大質量星内部でも起こるとされる様々な物理現象に対する知見が得られるはずである。以下、筆者が過去のホルモンライブと恒星内部の物理との相関についていくつかの事例を紹介していく。



図 1. マキシマム ザ ホルモンのライブの様子。(写真はマキシマム ザ ホルモン公式ホームページより引用⁴⁾)

2. 密度・温度構造

恒星は質量によらず、基本的に表面から中心に向かうにつれ星を構成するガスの密度・温度が増していく。これは、星が自身の重さのせいで潰れようとする重力と、物質が熱を持ち潰れまいとする圧力との釣り合いが取れた静水圧平衡と呼ばれる状態にあるためである。中心部は非常に高温になるため元素の核融合反応が起き、大量のエネルギーが生成される。このエネルギーは中心から徐々に外側に向かって伝搬し、やがて表面から光として放出され我々の目に届く。

ライブ会場もまた、恒星内部と極めて似た密度・温度構造をしている。バンドによらず、多くの場合、会場の前方に向かうにつれ人の密度・温度が高くなる傾向がある。最前列、すなわち演奏するバンドに最も近い部分にいる客は後方にいる客よりも人と人との距離が近く、音楽に反応して体を動かす人が多い「温度が高い」状態にある。星内部では核融合反応によってエネルギーが生成されるのと同様に、ライブではバンドが奏でる音楽及びパフォーマンスが大量のエネルギーを生成し、そのエネルギーはステージ上から後方の客に至るまで伝搬していく。

このように、恒星の内部構造とバンドのライブ

会場における密度・温度の階層構造は定性的に似ていることがわかる。恒星は一般にその質量が大きいほど表面温度が高く、放出するエネルギーも高いことが知られている。ライブ会場においては、バンドの人気や実力が星で言う質量に対応すると考える。人気のあるバンドや実力が高いバンドは、人気のないバンドに比べライブでの客の運動量＝「温度」が非常に高い。また、単純にライブに参加する客の数＝「質量」も大きい。本論文で対象としている大質量星を研究するにあたって、この対応を用いると「人気・実力が高いバンド」すなわち「大スター」に注目する必要があることがわかる。以下、数ある大スターの中でもホルモンのライブ（図 1）が飛び抜けて大質量星に類似していることを示していく。

3. 対流層

3.1 対流とモッシュ

太陽程度の質量をもつ低質量星と呼ばれる種類の星と、太陽の 10 倍以上の質量を持つような大質量星では内部構造が大きく異なると考えられている。特に、中心部で生成されたエネルギーがどうやって外側に伝搬されるかが定性的に異なる。星内部でエネルギーが中心から外へ伝搬される方法として主に 2 種類あると考えられている。一つは、エネルギーを光に乗せてバケツリレーのように隣へ順に渡していく輻射輸送と呼ばれる方法と、もう一つはガスが直接動き上下にシャトルランするような形で運ぶ対流と呼ばれる方法である。特に、対流現象は味噌汁の中などで観察できる身近な現象である。大質量星中心部で生成されるエネルギーは非常に大きいため中心付近は激しく対流していると考えられている（図 2）。これを対流コアと呼ぶ。対流コアの外側ではエネルギーは輻射で運ばれており、ガスはそれほど大きく動いていない。この外側の層を輻射層と呼ぶ。

ホルモンのライブ会場でも同様の構造が見られる。星の中心に対応するライブの最前列付近では、

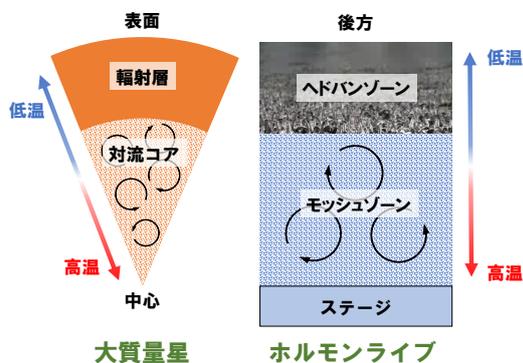


図 2. 大質量星の内部構造とホルモンのライブ会場の模式図。

腹ペコ（注：ホルモンのファンのことを「腹ペコ」と呼ぶ）同士の位置が激しく入れ替わるモッシュと呼ばれる現象がしばしば見られる。モッシュには、人が円を描くように走り回るサークルモッシュや、空隙の中心に向かって大勢の人が走り込み体当たりし合うウォール・オブ・デスなどいくつか種類があるが、いずれも大規模な集団的運動を伴う。また、それぞれのまとまりはモッシュピットと呼ばれ、同時にいくつもモッシュピットが形成されたり何度も消えたりできたりを繰り返すこともある。ライブ中では最もエネルギー生成率が高い人気曲のサビ中にモッシュピットの数が激しさが増す傾向が過去のデータから得られている。このモッシュに見られる腹ペコ達の集団的運動は大質量星中心部の対流コアでのガスの運動と極めて似ており、本研究の着想のきっかけとなったものである。

この対流コアの相対的な大きさは質量の大きい星ほど大きいと考えられている。太陽の 10 倍程度の星では対流コアの大きさは星全体の 40%程度であるが、太陽の 100 倍程度の大きさになると星の大部分（90%以上）が対流する。ホルモン以外のバンドでも日本のライブシーンでは頻繁にモッシュピットは形成される。これは日本人のお祭り好きな精神と密接に関連していると考えられる。

しかし、多くの場合モッシュは前方 10–30%の領域でのみ発生し、後方に行くに従ってモッシュ発生率は著しく減っていく。つまり、星で言う対流コアと外側の輻射層の二層構造が完全に実現されている。一方、ホルモンのライブでは会場はかなり後方に至るまで一様にモッシュが発生することが多い。筆者が参加した 2017 年の Monster Bash では、丘の上から大局的なデータを取っていた共同研究者によると（筆者は前方で局所的なデータを取っていた）会場全体がヘドバン及びモッシュを行っていたことが報告されている。これは星で言うと 100 太陽質量の星でしか実現しないものであり、いかにホルモンの「質量」が大きいかを示している。

また、対流は一般に大きなスケールから小さなスケールまで様々な運動があることが多い。ホルモンのライブでは、モッシュのような比較的大きいスケールの対流に加えて、もっと小さなスケールでの対流もしばしば見受けられる。例えば、人気曲「恋のスペルマ」の曲中に腹ペコが行う手を交互に回す運動が挙げられる。比較的大きい会場では手を回しながらモッシュに似た集団運動も見られるため、大小様々なスケールの流れが入り混じる複雑な乱流構造を観察することができる。

3.2 対流・モッシュの物理

ここで対流の発生条件について詳しく見ていこう。星の内部の対流は以下の安定性条件が破られた場合に起こるとされる。

$$\nabla_{\text{rad}} < \nabla_{\text{ad}} \quad (1)$$

ここで、 ∇_{rad} と ∇_{ad} は

$$\nabla_{\text{rad}} \equiv \left(\frac{d \ln T}{d \ln P} \right)_{\text{rad}} \quad (2)$$

$$\nabla_{\text{ad}} \equiv \left(\frac{d \ln T}{d \ln P} \right)_{\text{ad}} \quad (3)$$

のように表され、前者は恒星内部の実際の温度分布に対する微分、後者は断熱変化に対する微分として定義される。この条件は提唱者にちなんで Schwarzschild（シュヴァルツシルト）条件と呼ばれている⁵。若干複雑に見えるが、端的に言えば

輻射輸送というメカニズムによって運べるエネルギーよりも大きなエネルギーが運ばれてきた場合、対流が起こるのである。これはホルモンのライブの場合にも当てはまる。ホルモンの曲中ではパフォーマンスによって生み出されたエネルギーが腹ペコ達に伝わる際に大きく分けて2種類の反応がある。一つはホルモンのライブに特徴的な、大勢でのシンクロしたヘッドバンギング（通称ヘッドバン）である。曲のAメロやBメロなどの曲調が比較的落ち着いている段階では腹ペコ達がシンクロヘッドバンをすることでステージから客席後方までエネルギーが輸送される。しかし、サビなどの爆発的に大量のエネルギーが生み出される局面ではヘッドバン程度ではエネルギーの行き場が足りず、モッシュなど大きなスケールの運動を行うことでそのエネルギーが解放、輸送されるのである。この安定性は式で

$$\nabla_{\text{head-bang}} < \nabla_{\text{song}} \quad (4)$$

と表すことができ、ここでは「モッシュ安定性条件」と呼ぼう。

屋内部では、様々な元素が核融合により合成され、層状の構造をしていることがある。重たい元素は下に沈み、軽い元素は上に残り、化学組成の勾配ができる。このような構造をしている場合、一般に対流は発生しづらくなる。なぜなら重たい元素を上を持ち上げる必要があり、さらに大きなエネルギーが必要だからである。この効果を含めた対流安定性条件は例えば理想気体の場合には

$$\nabla_{\text{rad}} < \nabla_{\text{ad}} + \nabla_{\mu} \quad (5)$$

のように表される。右辺第二項は

$$\nabla_{\mu} \equiv \left(\frac{d \ln \mu}{d \ln P} \right)_s \quad (6)$$

で定義され、化学組成が対流を阻害する効果に対応するものである。この条件は提唱者にちなんでLedoux（ルドゥー）条件と呼ばれる⁶。ホルモンが行うライブの会場でも様々な種類の客がいる。腹ペコと呼ばれるホルモンのコアなファン、ライトなファン、じっくり音楽を聞きたい客、とりあえ

ず暴れたい客等々。多くの場合、前方のモッシュが起きやすい領域は腹ペコ及び暴れたい客で占められているため、組成の違いは現れず、モッシュ安定性条件は前述のもので十分である。しかし、フェスや対バンの場面ではその限りではない。フェスや対バンの場合は、次に控えるバンドのコアなファンが場所取りのために前方に待機していたりすることでモッシュが発生しづらくなる場合がある。この特に顕著な例として、2017年にPerfumeが主催し筆者も参加した大阪城ホールでのPerfume FESが挙げられる。このときは、アリーナ内での立ち位置がゾーンにより分けられており、区画の割り振りは抽選で決まっていた。一つ一つのゾーンは比較的狭く、極めて近距離にPerfume、ホルモン両方のファンが混在していた（筆者は重度の腹ペコである上にPTA=Perfumeファンクラブ会員でもある）。そのため、普段であればモッシュが発生していたような局面でも、ロックに不慣れなPerfumeのファンとモッシュ慣れている腹ペコ達との勾配がある影響でモッシュが発生しなかったのである。しかし、ライブ終盤になると一部のゾーンでは大きなモッシュが発生していたという。これは、ホルモンがファンではなかった人をそのパフォーマンスで「ぶっ生き返した」ことによって組成勾配を凌駕したことに他ならない。このように様々なフェスや対バンで多くの客をぶっ生き返してきたからこそ、現在のホルモンの巨大なファンベースができあがったのであろう。（注：モッシュは危険なので他者に強要すべきではなく、実際にその会場でも筆者がいたゾーンでは比較的女性が多かったため周囲に配慮しモッシュは起こさなかった。モッシュせずともぶっ生き返された客が数多くいたことはライブ後に聞こえてくる人々の会話から明らかであった）この効果を含めた新たなモッシュ安定性条件は

$$\nabla_{\text{head-bang}} < \nabla_{\text{song}} + \nabla_{\text{rockimpo}} \quad (7)$$

と表すことができ、これを「ぶっ生き返す条件」と呼ぶことにする。

3.3 子午面環流とクラウドサーフィン

これまで紹介してきた対流は、一部の層でのみ起こる局所的な現象であった。しかし、回転している星などではそれに加えて星全体を巡る大局的なガスの流れがあると考えられている。このような流れを子午面環流や Eddington-Sweet (エディントン・スウィート) 環流などと呼び^{7,8}、実際に太陽内部ではそのような流れがあることが観測されている。太陽の場合は表面から浅い部分でしかそのような環流は起きていないが、場合によっては赤道から極、そして星の奥深くまで潜って赤道から出て来るような流れも考えられる。

このような大局的な環流はライブ会場でも見られる。曲が最も盛り上がっている時、一部のファンは群衆の上に身を投げ出し、下にいる客がその人間を手で前方まで送る光景が見られる事がある。この行為は一般にダイブやクラウドサーフィンと呼ばれる(注:多くのフェスやライブハウスでダイブは禁止されている。以下はダイブが禁止されていない会場での話である)。クラウドサーフィンした客は、大抵の場合最前列に到達した時点で警備員に引き摺り下ろされ、ステージ前から会場横を回って後列に戻される。しかし曲の盛り上がりが続いている限り、そのような人間は再びダイブをして前に進み、ぐるっと後列に戻されるという行動を続けるのである。この流れはまさに恒星内部で起きている子午面環流とそっくりである(図3)。

4. 冷却過程

恒星中心部の領域では核融合反応によって大量のエネルギーが供給されると同時に、ニュートリノと呼ばれる粒子が大量に生成される。ニュートリノとは、原子や電子などよりもはるかに小さく、他の物質とほとんど相互作用しない素粒子である。物質と相互作用しないため、周りのガスをかき分けてゆっくり上に進むのではなく、生成されたそばから光速で星の外にスカスカ抜けていく。この

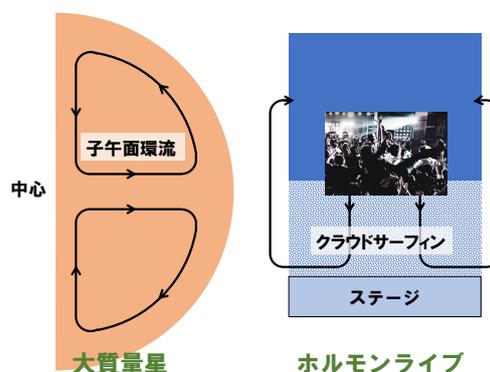


図3. 子午面對流とクラウドサーフィンにおける流線の比較。

過程はニュートリノ冷却などと呼ばれる。

筆者の経験上、ホルモンのライブ会場では身動きがほとんど取れない状態になる。ライブが始まる何分も前から特にステージ付近はおしくらまんじゅう状態になっており、ひとたび音楽が鳴り始めると身動きを取れないどころか息をすることさえままならないほどに人の密度は高まる。このような状況でも腹ペコ達は皆必死にヘドバンをするための空間をこじ開けたり、モッシュの際には大勢でスペースを空けるのである。こういう中でライブ中に横向きや前方に向かって移動するのは困難を極める。しかし、しばしば前方の高密度領域で体力が尽きたために後ろに抜けようとする人が見受けられる。後ろに向かおうとする人には他の客は優しく道を空けて通してくれるため、こういう人は比較的短時間で最後方まで抜けられることが多い。これはまさに、物質と相互作用せずに光の速さで星内部から抜けていくニュートリノのようである。

このように、ホルモンのライブの客が常に激しく熱く盛り上がりながらも、体力が尽きた人・持ち物を落とした人・靴紐がほどけた人などに対して思いやりを忘れず、互いに優しく接することができるのはホルモンメンバーの人柄の良さ、そして教育の賜物である。ホルモンによる腹ペコへの

教育の一端は、Youtube の動画「『恋のスペルマ』”FES 等における LIVE のノリ方講座”」⁹ などに見られる。

5. 恒星進化

5.1 赤色超巨星とライブ終盤

星は生まれて以来中心で核融合反応を続け、何千万年ものあいだ光り輝く。その明るさや寿命は星の質量やその他の性質によってまちまちで、またその生き様も多種多様である。星が生まれてから次第に性質を変え、そして死に至る一連の流れを宇宙物理学では「星の進化」と呼んでいる。

本論文で注目している大質量星は、大雑把に二つの進化段階を経験することが知られている。まずは、星の一生のうちおよそ九割を占める「主系列」と呼ばれる段階である。太陽を含め、空に輝く星の大半は主系列星である。主系列星は中心で水素を燃やす（核融合する）ことでエネルギーを放出している。これまで紹介してきた中心部に対流コアがあって外側に輻射層があるような構造は、大質量の主系列星の特徴である。この状態が数千万年続いた後に中心で燃料となる水素が枯渇すると、一瞬だけ縮んだ後、星の半径は急激に数百倍に膨張し「赤色超巨星」と呼ばれる状態に移行する。赤色超巨星では、中心部に炭素、酸素、ネオン、マグネシウムなど、次々と重い元素が合成されていく。宇宙物理学では、水素とヘリウム以外の元素をまとめて「金属」や「メタル (metal)」と呼ぶ風習があるため、宇宙物理学の言葉を用いると赤色超巨星の中心部はメタルで埋め尽くされていることになる。さらにメタルの量は最期まで増え続ける。一方で外層は主系列星のような輻射層はなくなり、星全体が激しく対流しているような状態になっている。この時、星はその名の通り赤い色をしており、真っ赤に燃えながら最後の数百万年を突っ走るのである。

主系列段階の大質量星とホルモンのライブ会場の類似点については前章までで詳しく述べてきた。

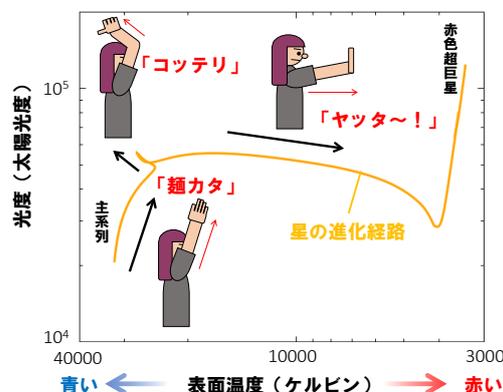


図 4. 太陽の 15 倍の質量を持つ星の HR 図上の進化経路 (オレンジ色の線)。星の進化経路と恋のおまじないとの類似点を図示してある。

しかし、主系列段階から徐々に星が成長し、赤色超巨星になる一連の過程と似た現象もホルモンのライブに見ることができる。ホルモンの音楽はポップでキャッチーなメロディを散りばめながら、激しく重厚な「メタル」を基調としている。そのため客も「メタラー」を自称する者が多い。ライブの終盤を迎えた頃には会場の前方部はこのようなメタラー達で埋め尽くされ、またもともとメタラーでなかった客もぶっ生き返される者が続出し会場全体のメタルの量がどんどん増加していく。その結果、会場最後方までモッシュの輪が広がることもある。これはまさに、大質量星が進化の終盤を迎える赤色超巨星の構造と完全に一致している。

5.2 HR 図上の進化とあの動き

宇宙物理学では、上記のような星の進化を図示する際にヘルツシュプルング・ラッセル図 (Hertzsprung-Russell diagram、略して HR 図) と呼ばれる図を用いることが多い。HR 図の横軸は星の表面温度 (色に対応する)、そして縦軸は星の明るさを表す。基本的に星が生まれた (水素を燃やし始めた) 頃は HR 図の左の方、すなわち色が青い領域に位置する。水素を燃やしている間はゆっくりと右上の方へ向かうように明るさと温

度が変化していく。そして、水素が枯渇すると左上に動いた後に急激に右の方、すなわち色が赤い方へと進む。この急激な膨張段階はヘルツシュプルング・ギャップ期と呼ばれる。十分に赤くなった後は、赤色超巨星として明るさが増減するため、HR 図で言うと上下に動く。このように大質量星はその一生の間に明るさや色など、大きく姿を変えるのである。

図4に一般的な大質量星のHR 図上の進化の軌跡を図示してある（オレンジ色の線）。この軌跡にもまたホルモンのライブ特有の動きとの類似点が見受けられる。それは、ホルモンが必ずライブ終盤に行く定番の「恋のおまじない」である。恋のおまじないとは、ホルモンのリーダーであるナヲさんのかけ声に合わせて会場にいる全員が強制参加で行う集団行事である。まず「麺カタ！」に合わせて両手を合わせ頭上に突き上げる。そして両手の親指を立てながら後ろに反って「コッテリ〜」。最後に「やったー！」に合わせて全員で前に手をパーにして突き出すという三段階である。この一連の動作においての手の動きだけを横から注目すると、大質量星のHR 図上の軌跡と一致していることがわかる。恋のおまじない以降は会場のテンションは最高潮に達し、モッシュも激しく行われる。つまり、恋のおまじないは、ライブ前半から中盤の主系列段階と終盤の赤色超巨星段階を繋ぐ、ライブにおけるヘルツシュプルング・ギャップを体現する儀式だったのである。そして、その後の赤色超巨星段階の上下動は「膾ジャンプ」などで再現されている。

5.3 超新星爆発とライブの終わり

赤色超巨星になった星は数百万年の間、中心でメタルを燃やし続けることで明るい状態を維持する。しかし、核融合が進んで鉄を生成し始めると、それ以上の核融合反応は起こせなくなりついに燃料が枯渇してしまう。そうなった星はもう輝くことができなくなり、重力崩壊を起こした後に巨大な爆発を起こすことが知られている。この爆発は超

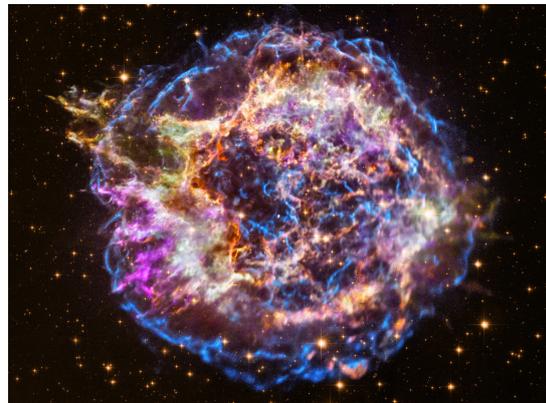


図5. 超新星爆発の残骸（Cassiopeia A）。X線と可視光の画像が合成されている。X-ray: NASA/CXC/RIKEN/T. Sato et al.; Optical: NASA/STScI

新星爆発と呼ばれ、何千万光年も先まで見えるほど明るく輝く（筆者の専門は超新星爆発である）。超新星爆発によって、星の中心部で生成された炭素や酸素などのメタルも含めた星の大半が吹き飛ばされ、宇宙の彼方へと散っていく（図5）。大質量星はこのように華麗に一生を終えるのだが、宇宙全体で見ればこれで終わりではない。超新星爆発によって吹き飛ばされたメタルやガスがまた別の場所で集まって凝集し、新たな星として生まれ変わるのである。次世代の星は前世代に合成された炭素や酸素などのメタルを多く含むため、地球のような惑星を作ることができ、人類のような生命を宿すこともできる。こうして星屑から次の星を生み出していくことで、宇宙はずっと輝き続けているのである。

ホルモンのライブもまた、いつまでも続くわけではなく必ず終わりを迎える。ライブ終了直前では前方に集まったメタラー達の密度は最高潮に達する。そして、最後の曲が終わると客は爆発するように一気に会場の外、そしてそれぞれの次の行き先へと一気に散り散りになる。この様子はまるで超新星爆発のようである。これでライブ自体は終わりなのだが、ホルモンの歩みはこれでは終わ

らない。ライブでぶっ生き返された腹ペコ達は家族や友人に、そして SNS 等を通じて世界へとその興奮を発信していく。その口コミによって新たな腹ペコが生み出され、次なるライブにまたさらにたくさんの腹ペコ達が集まる。こうして大きな「星」を作り上げていくのである。ホルモンの輝きはまだまだ続く。

6. ま と め

本論文では大質量星の構造及び進化過程が、マキシマム ザ ホルモンのライブ会場のダイナミクスと類似していることを様々な角度から紹介してきた。本研究を進めていく中で、温度・密度構造、対流、冷却過程、進化など、多くの点で偶然とは思えないほど酷似していることが分かった。このような類似点が具体的にどのように相関しているかを詳しく研究していくことで、それぞれの物理過程についてさらなる理解が進むはずである。また、本論文で紹介しきれなかった相関もまだ存在する。例えば、2012年に「Master of Territory～俺たちにマスはある～」というライブにおいて、現代で言うソーシャルディスタンスを取った形式のライブが開催されている。筆者は参加できていないため実際の環境はわからないが、本論文で紹介したような温度構造や対流構造とは全く異なる構造だったと想像される。このようなライブは恒星ではなくむしろ中性子星や白色矮星など、縮退圧で支えられている星に対応すると考えられる。ホルモンが展開する数々の奇抜なライブによって本研究も無限に広げられる可能性を秘めていることがわかる。

現状では星の内部を直接観測したり、星の内部を再現するような実験を行ったりすることができないため、大質量星の恒星進化理論を裏づけることが困難であった。しかし、「ホルモンのライブ会場」という「地上の星」の存在が確認されたことで宇宙物理学の重大なブレイクスルーに繋がることが大いに期待される。この貴重な機会を逃さ

ないためにも、宇宙物理学者を含めたくさんの人の腹ペコ化を推進していくことが重要である。科学の発展のためにも、ホルモンには熱いライブをこれからもどんどん繰り広げて頂きたい。

謝 辞

本研究はマキシマム ザ ホルモンが提供する楽曲、ライブの感動、カラオケで得られる爽快感などに支えられている。今回、このような表現の場を提供していただいたマキシマム ザ ホルモンのメンバーの皆さん、スタッフの方々に深く感謝の意を表したいと思います。また、本論文の推敲を手伝ってくれた弟、ジュンノスケはんにも深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Hirata T., et al., 1987, Phys. Rev. Lett., 58, 14
- 2) Abbott B.P., et al., 2016, Phys. Rev. Lett., 116, 6
- 3) Abbott B.P., et al., 2017, ApJ Letters, 848, 12
- 4) <http://www.55mth.com>
- 5) Schwarzschild K., 1906, Gottinger Nachr., 41
- 6) Ledoux P., 1947, ApJ, 105, 305
- 7) Eddington A.S., 1929, MNRAS, 90, 54
- 8) Sweet P.A., 1950, MNRAS, 110, 548
- 9) <https://www.youtube.com/watch?v=Nw8624J0s5Y>

**Revealing the internal structure and
evolution of massive stars through
Maximum the Hormone gigs**

Maximum the Ryosuke-kun

*School of Physics and Astronomy, Monash Uni-
versity, Clayton, VIC 3800, Australia*

Abstract: The structure of massive stars and its evolution has been one of the central topics of astrophysics in the past decade. However, the detailed physics of the internal structure of stars are difficult to confirm due to the paucity of direct observations. In this paper I propose a new methodology of studying massive star evolution through observations of the dynamics in gigs held by a Japanese rock band “Maximum the Hormone”. By carefully studying the physics of gigs by rock stars, we can deepen our understanding of the nature of massive stars in the Universe.