

# Andrea Ghez 教授と巨大ブラックホール： ノーベル物理学賞受賞によせて

西山正吾

〈宮城教育大学 〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 149〉

e-mail: shogo-n@staff.miyakyo-u.ac.jp

カリフォルニア大学ロサンゼルス校のアンドレア・ゲズ（Andrea M. Ghez）教授が、ラインハルト・ゲンツェル（Reinhard Genzel）教授、ロジャー・ペンローズ（Roger Penrose）名誉教授とともに、2020年ノーベル物理学賞を受賞された。彼女は女性として4人目の、物理学賞受賞者である\*1。彼女の研究者としての経歴をたどり、巨大ブラックホールに関する研究を解説する。また現在進行中である彼女のグループとの共同研究を紹介する。

## 1. 挑戦と批判

「最初のプロポーザル（観測提案）は採択されなかった。」アンドレア・ゲズはよくこの話をする\*2。

マサチューセッツ工科大学を卒業し、カリフォルニア工科大学でPh.D.の学位を取得。ハッブルフェローを経てカリフォルニア大学ロサンゼルス校（UCLA）に着任後、2000年、35歳で教授となる。そして2020年、55歳にして、ロジャー・ペンローズとラインハルト・ゲンツェルとともに、ノーベル物理学賞を受賞した。女性として4人目のノーベル物理学賞受賞。どこから見ても輝かしいキャリアである。

しかし彼女は楽しそうに、プロポーザルを落とされた経験を話す。審査員は厳しかった。「あなたの提案する手法はうまくいかない。」「もしうまく機能したとしても、何も見えない。」ノーベル賞につながる研究の最初の一步、銀河系中心の画像を撮影したいというプロポーザルは、このよう

に却下された。同僚に観測時間を分けてもらえたおかげで、やっとスタートを切ることができた。「この研究を進める中で、何度『それは無理だ』と言われたことか。」厳しい批評を受け続けたプロジェクトが、彼女に大きな栄誉をもたらした。



図1 アンドレア・ゲズ（Andrea Ghez）（Credit: Elena Zhukova/University of California）.

\*1 ことさら性別を誇張すべきではない、と考える読者が多いかもしれない。しかしゲズはずっと、科学を志す女性のロールモデルになりたいと述べている。なのであえてここでは強調しておく。最終章参照。

\*2 The Bakerian Lecture: <https://royalsociety.org/science-events-and-lectures/2016/03/bakerian-lecture/>



1995年から1997年の3回の観測結果を、ゲズのグループは公表した [2]。たった3回の観測、2年という期間だけで、90個もの星の固有運動が検出できる！すでにこの時点で、 $10^{12} M_{\odot} \text{pc}^{-2}$  という Sgr A\* の密度の下限値が得られている。

### 加速度の検出

1998, 1999年のデータを加えた研究が Nature に発表された [3]。ここで初めて、巨大ブラックホールの重力による「加速度」を検出した。

これまでは直線的な固有運動をもとに、統計的に研究が進められてきた。しかし星の加速度が検出できると、話は変わる。重力源は加速度ベクトルの方向にあるはずだ。少なくとも二つの星のベクトルを測定できれば、その交点に重力源がある。

重力源の位置がわかれば、ひとつの星の運動だけで重力源の質量（の下限値）を計算できる。この時点で重力源の存在領域を  $0.005 \text{ pc}$  にしぼり、その質量を約300万太陽質量と導いた [3]。

### 補償光学と視線速度

スペックル観測の場合、画像上の星の位置は常に変動する。分光するための光を通すスリットの上に、都合良く位置するとは限らない。

大気ゆらぎの影響をリアルタイムで補正する技術が、「補償光学」である。補償光学では、ガイド星と呼ばれる明るい星を使って大気ゆらぎの影響を測定し、小さな鏡を変形させ、大気通過前の光の状態に近づける。このようにして星の位置を固定し、広がりを抑えることができれば、高い解像度を維持したまま分光観測ができるようになる。

初めてのスペクトルは、2002年6月に得られた [4]。実はこの時、S0-2は Sgr A\* のほぼ近点を通過していた。S0-2の3次元速度の測定値は、なんと秒速6,600 kmを超える！いかに Sgr A\* の重

力が大きいか、実感できる数字である。

### レーザーガイド星システム

補償光学を用いて銀河系中心を観測する時、ガイド星が暗い、という悪条件がある。これを解決するために、「レーザーガイド星システム」を導入した。この装置はレーザーを打ち上げ、明るい人工星をつくる。この星を観測すれば、より正確に大気ゆらぎを測定できる。実際にレーザーガイド星と補償光学を使って観測すると、星の明るさのピークは2倍近くまで向上した [9]。その結果、2008年の時点でS0-2の軌道の約80%をカバーし、軌道内の質量を約400万太陽質量と推定できるようになった [6]。

スペックル観測、補償光学、そしてレーザーガイド星システム。このような技術的な進展があり、ブラックホールの研究が遂行できた。今回のノーベル賞は、上記の技術的な要素も高く評価されている点を付け加えておきたい。

### 新しい謎

「価値ある研究は、あまたの新たな問いを生み出す。」ゲズ、ゲンツェルらによって見出された謎をいくつか紹介する。なぜ巨大ブラックホールの近くに若い星があるのか？ 超高速度星との関係は？ Sgr A\* のフレア機構は？ 中間質量ブラックホールはあるのか？ ガス雲が Sgr A\* に飲み込まれる（G2騒動）？ 天文学者は今日も忙しい。

## 4. ブラックホールと物理理論の検証

2018年、16年に1度の、S0-2と Sgr A\* との近接。ハワイにはしとすと、ラニーニャによる雨が降り続く。キラウエア火山が噴火した、忘れもしない5月3日\*4。8月にはハリケーン Lane がハワイ島を襲う\*5。ああ、錆び地球\*6。

「一般相対性理論は、巨大ブラックホール（ら

\*4 そう、あれは夜の観測を控えてハレポハクで寝ていた時でした。

\*5 すばる望遠鏡の保守を担う皆様、本当にありがとうございます。

\*6 この時の気持ちをあらわす、いい言葉が見つかりました [10]。

しき) 天体近傍の時空を記述できるのか?) 2018年の最接近時, S0-2を測定すると, 重力赤方偏移や横ドップラー効果による, 波長のずれが検出されるはずだ。私たちはすばる望遠鏡を使ったモニター観測を行い, 2016年にすでに視線速度が1,000 km/sを超えていることを確認していた [11]. Keck望遠鏡とGemini望遠鏡を使ったUCLAグループとの共同研究により, 2018年の最接近時に一般相対論効果を検出できた [1]<sup>\*7</sup>. (でもさらにデータの精度を向上させたい [12].)

なぜまだ, S0-2を観測し続けるのか? それは銀河系中心が, 地球上では実現できない実験室だから。地球から約2万6,000光年(8 kpc)のかなた, 巨大な質量のすぐ近く。時空は大きく歪んでいる。物理法則は, 時間と空間を超えて不変なのか [13]? ゲズは, そして私たちは, 重力理論を含む物理法則の検証を目指す。

## 5. 女性科学者のロールモデルとして

「月に立つ最初の女性宇宙飛行士になる!」アポロの月面着陸を見た4歳のゲズは, 家族にそう宣言した [14]. 両親はそんな彼女を支え続けた。

自分の人生に大きな影響を与えた人として, 高校の化学の教師を挙げる。その教師は, ゲズが教えを受けた唯一の女性理科教師だった。数学と科学が好きな高校生のゲズにとって, 彼女の存在が, 激励が, 大きな励みになった (UChicago News)。

「できることを自ら証明しなきゃ。それが彼女たち (girls and young women) を勇気づけることになるんだから<sup>\*8</sup>。」ゲズの受賞は, 多くの人にとって, 宇宙に興味をもつきっかけになるだろう。また彼女の存在が, 言葉が, 強い後押しになるに違いない。科学者としてのキャリアはまだまだ続く。S0-2があと2周ほどするころ, 「ゲズにあこがれた」という受賞者が現れるかもしれない。

## 謝辞

天文月報編集委員の松田有一さんに, この記事を書く機会をいただきました。コメントをいただいた長田哲也氏, 酒井彰子氏, 古賀優香氏, 齋田浩見氏にもお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Do, T., et al., 2019, Science, 365, 664
- [2] Ghez, A. M., et al., 1998, ApJ, 509, 678
- [3] Ghez, A. M., et al., 2000, Nature, 407, 349
- [4] Ghez, A. M., et al., 2003, ApJ, 586, L127
- [5] Ghez, A. M., et al., 2005, ApJ, 620, 744
- [6] Ghez, A. M., et al., 2008, ApJ, 689, 1044
- [7] Ghez, A. M., et al., 1993, AJ, 106, 2005
- [8] Ghez, A. M., et al., 1990, SPIE, 1237, 249
- [9] Ghez, A. M., et al., 2005, ApJ, 635, 1087
- [10] ジェミシン, N. K., 2020, 第五の季節 (東京創元社)
- [11] Nishiyama, S., et al., 2018, PASJ, 70, 74
- [12] Saida, H., et al., 2019, PASJ, 71, 126
- [13] Hees, A., et al., 2020, Phys. Rev. Lett., 124, 081101
- [14] <https://www.pbs.org/wgbh/nova/blackhole/explorer.html> (PBS' NOVA) (2020.12.08)

<sup>\*7</sup> この場を借りて, 観測とスケジューリングでお世話になったすばる望遠鏡の皆様にお礼申し上げます。特に吉田所長, Pyoさん, 美濃和さん, Ji-Hoon Kimさん, 三枝悦子さん, ありがとうございます。

<sup>\*8</sup> 原文は “The most important thing you can do to encourage girls and young women into science is to show them that it's possible [14].”