

# 星ふる里の麓にて

## —銀河形成理論次の10年—

須 佐 元

〈立教大学理学部 〒171-8501 東京都豊島区西池袋 3-34-1〉  
e-mail: susa@rikkyo.ac.jp

去る3月29～31日の日程で、ぐんま天文台の麓にあるプラネットわらび荘において、第一世代天体の形成に関する理論的研究を行っている関東一円の有志による小さなインフォーマルワークショップ（日本語ではたぶん「合宿」）を企画し、行った。この拙文はその報告というか記録である。そもそもこの会は関東一円の、銀河形成に関連する理論研究者の有志で定期的に行っている通称「銀河フォーラム」の拡大版としてセットアップされたもので、その趣旨は過去10年にわたって目覚ましい発展を遂げてきた第一世代天体の形成論、銀河形成論の現状認識と、次のステップとしてどこを目指すべきかについて（アルコールの助けもかりながら）忌憚のない意見をディープに交わす、というものである（おごれるものは久しからず）。参加者は梅村雅之、佐藤潤一、中本泰史、廣居久美子（筑波大）、中村文隆、西 亮一、水澤広美（新潟大）、森 正夫（専修大）、北山 哲（東邦大）、大向一行、西合一矢、山田 亨（国立天文台）、須佐 元、牧 秀樹（立教大）、であった（敬称略）。

このような試みはいままで行ったことはなかったが、発表者が一向に発表時間を守らずに2～3倍話したうえ、非常に活発に議論が行われたため、深夜12時を過ぎても発表が続くという事態に陥るほどであり、非常に有意義な楽しいワークショップであった。

また二日目の午後にはぐんま天文台の見学に出かけ、濤崎智佳さんをはじめとするスタッフの

方々にお世話になった（そもそもこの文は濤崎さんのお勧めによって書くことになった）。以下はかなり筆者の私見、偏見の入ったサマリーである（ほかにも特に現在の大質量星形成やIMFに関する議論があったが多すぎるので割愛させていただく）。

### 宇宙で最初の星

いろいろな意味で最も注目されており、かつこの10年最も進展した研究対象はいわゆる種族 III 星、あるいは通称 **First Star** の形成論である。この理論は基本的に二つの流れに沿って進んできた。一つは現在の星形成理論でわかっている知見に沿う形で進展してきたし、もう一つはいわゆる大規模な宇宙論的な数値計算の一つの流れとして行われてきた。これらのアプローチでおよそ理解されていることは 1) **First Star** への質量の降着率は近所の星間空間で星ができる場合に比べ、1,000 倍以上大きい。2) 最初の星の元になる原始分子雲コア（分裂片）は、巨大（>100 太陽質量）であった可能性が高い、3) 原始組成のガスでも少し後の時代にできた原始分子雲コア（分裂片）は数十倍太陽質量の普通の大質量星くらいの重さであった、である。この3点は1→3の順に不確かさが増す結論であるが、おそらくそれほど間違っていないと思われる。世間では主に上記の1)と2)をとらえて「**First Star** は非常に重い」ということになっている（早期再電離などの状況証拠もあるが）。しかしながらよく注意すると、分かっ



某長老の発表時には怪しげな四字熟語が……。 「若者よ、かくあれ？」

ているのは星の元になるガスの分裂片が重く、かつその質量が迅速に中心の降り積もる、ということだけであり、本当の星の質量は分かっていない、というのがフェアな見方である。実際この問題を正しく調べようと思うと、角運動量輸送を正しく取り扱い、かつ輻射によるエネルギーの伝達を取り扱う必要がある。現在の星形成理論でも最も困難を伴う部分であり、多次元の輻射流体計算による研究が次のステップとなると考えられる。したがって誤解をおそれずに要約して言えば、この10年は **First Star** の形成論が現在の近傍の星形成の理論に追いつくために費やされた10年であり、これからの10年は現在の星形成理論でもよく分かっていない部分にチャレンジする新しいステップに進んでいく時代と考えられる。

### 「銀河の遠い祖先」の形成理論

これは宇宙論的な密度の凸凹が種となってできる最初の天体の形成論を指している。またこれらは前述の **First Star** のホストであったと考えられている。これに関してはおそらく世界的にほぼコンセンサスがあり、よく分かってきた対象であると考えられる（したがって次の10年にやることは多分—あまりない）。研究されてきた手法はさまざまで、オーダー評価的なものから詳細な3次



わらび荘前にて参加者の集合写真。きれいで感じのよい宿でした。

元数値計算までであるが、物理的結果は一口に言えば、「系の温度（ピリアル温度）がおよそ1,000度以上であれば十分に冷却して星が生まれる天体になる」ということである。詳細は省くが、これは最も重要な冷媒である水素分子が十分できるという条件に対応している。この結果から、宇宙論で期待される密度の凸凹の大きさを仮定すれば最初の天体は赤方偏移で20~30にでき、その質量はおよそ太陽の重さの100万倍、ということになる。またこれらの質量の小さな天体は重力が弱いために、最近示唆されているような宇宙の早期の再電離が起きると、ほぼ全部ガスが吹き飛ばされて、現在あるような小さい矮小銀河の直接の祖先となるとは考えにくいことも分かってきている。しかしながら、これらの天体が宇宙全体の化学史や電離の歴史にどのような寄与をしてきたかという点に関してはまだまだこれからの研究が必要である。

## そして銀河へ

前述の初期天体の形成理論に関してはかなり理論的描像が描けているが、それらがさらに寄り集まった大きな銀河がどのようにできてきたかについては、誤解をおそれずに言えば、理論的には残念ながらあまり質的な進展がない。これは単純に言えば前述の問題に比べて系が複雑であり、重要な物理を切り出すのが難しいということでもある。

むしろこの10年は観測が飛躍的に進歩し、 $z=10$ の銀河までもが見えるようになってきた時代であった。特に多波長の観測による形成期の銀河のさまざまな側面がとらえられるようになってきており、次世代の多くの観測計画でさらなる進展が期待される。これらのバラエティーに富んだ天体が理論的に第一世代の天体からどのように発展、進化してきたのかを明らかにすることが最も

大きな課題であろう。この問題は物理としては非常に豊かで多くの内容を含むために整理がたいへん困難な問題である。これらのすべてを包含するような数値計算の計画「天の川創成プロジェクト」が国立天文台を中心として提唱されている。私の意見としては、この種のプロジェクトにおいて、まず天の川といわずにその祖先（かもしれない）、ライマン輝線天体、SCUBA天体などのバラエティーに富んだ天体が、どのように宇宙論的初期条件から生まれてきたのか、ということに対する理論的な答えを得ることが先決である。

以上勝手なサマリーであるが、最後にいい加減なオーガナイズに文句も言わずにワークショップ（放談会？）に参加してくれた皆様、わらび荘のスタッフの方、ひと時の楽しい時間を過ごさせていただいたぐんま天文台のスタッフの皆様はこの場を借りて感謝させていただきたい。