

マイヨール博士の京都賞受賞

観山正見

〈広島大学学長室特任教授，神戸大学大学院理学研究科惑星科学研究センター特命教授〉

本年の京都賞・基礎科学部門（受賞対象分野：地球科学・宇宙科学）の受賞者はミシェル マイヨール（Michel Mayor）博士に決まった。博士はジュネーブ大学名誉教授である。博士の受賞は、関連の研究者としてたいへん喜ばしいことである。この文章では、彼の研究の意義と将来性を展望したい。

1. 受賞理由

受賞理由を京都賞のHPを見ると、以下のようなものである。

『【太陽系外の惑星の発見による新たな宇宙像の展開への多大な貢献】太陽系以外の惑星を見いだすという天文学の長年の基本的問題に対して、分光装置の開発などの一連の観測技術の向上により、初めて太陽型恒星の周りを公転する系外惑星を発見することで答えを与えるとともに、系外惑星の多様な姿を明らかにして新たな研究分野の開拓に大きく貢献した。』（京都賞HPより引用）

正に、マイヨール博士は、人類長年の夢であった太陽系外の惑星発見に最初に成功した天文学者である。1995年に発表された論文は、当時大学院生であったクロ博士との共著であり、それは後述べるように天文学・宇宙物理学分野に、大きな新たな流れを作った。

2. 発見当時の驚き

1995年当時、私の専門であった星・惑星形成の分野では、電波や赤外線望遠鏡による若い星の周りの円盤（原始惑星系円盤）の観測結果が続々と報告された時代で、私も数年前から観測グループを組織して、野辺山宇宙電波観測所45 m鏡で、原始惑星系円盤の観測に参加していた。惑星系の形成の母体である円盤から、系外の惑星系の形成過程を、観測や理論的に調べていた。そこにもたらされたのが、ペガサス座51番星に惑星発見の報であった。質量が木星の半分以上にもかかわらず、その公転周期は4日程度という奇妙な惑星であった。最初に疑問に思ったのは、「なぜ、ペガサス座51番星なのか？その星はどんな星なのか？」であり、公転周期が4日で、中心星からの距離がわずか0.05 AUしかないのに、「惑星は蒸発しないのか？」という疑問であった。また、理論屋の私には、「太陽系と全く異なる惑星がどのように形成されたのか？」と頭を殴られた感じであった。

当時、国立天文台の構内では、この発見の噂でもちきりで、ある高名な先輩先生からは、「君たち太陽系形成論の京都グループの影響で、4日の公転周期の惑星なぞ探さなかったのだ」と文句を言われて、びっくりしたり、「形成理論のせいではないだろう」と憤慨したりもした。

ペガサス座51番星はどんな星かと調べると、太陽によく似た普通の星で、その星からの距離は近いが、計算するとかろうじて蒸発せずに惑星は存在することもわかった。博士たちは、どうしてこの星に注目して観測したのか、そしてどんな方法で？と謎も残った。

3. 地道な観測と最先端の観測装置

すぐさま論文をむさぼり読んだ。まずわかったことは、マイヨール博士たちは140以上の恒星について視線速度の変化を観測していて、その中にペガスス座51番星があったことだ。さらに、その視線速度の変化の観測能力たるや、当時でも毎秒13 mまで変化が計測でき、対象の星の速度は、秒速60 mの振幅で揺れていた。光速は毎秒 3×10^8 mであるから、速度分解能は、7桁以上の精度があるということだ。そして、その精度と分解能の安定性は、ヨードセル法という巧妙な方法と、約5千本の吸収線を使った統計処理によって実現できたことを知った。

マイヨール博士たちの成功は、決して幸運ではなく、自ら開発した最先端レベルの観測装置を用いて、多数の天体を地道に観測した結果であったのだ。彼らが確かに幸運だったのは、惑星発見に疑問を呈する議論も当時はあったが、すぐに検証観測が実施されて、発見の事実が確立したことであった。

4. 最初の系外惑星発見の意義

この発見により天文学は大きな転機を迎えた。彼らの発見の前には、中性子星周りに惑星を発見したという大誤報があったこともあり、博士たちはたいへん慎重に観測結果を精査し、確信をもって発表し評価を確立したことには高い価値がある。しかし何と言っても重要な点は、その後の多数の惑星発見を導いたことだ。今や数千もの太陽系外の惑星候補が見つかっている。1995年に博士たちの最初の発見があったからこそ、多くの天文学者がそれまで以上に系外惑星探査を目指した結果である。その後、惑星をもつ恒星がたいへん多いことや、さまざまな形態の惑星が存在することもわかった。これは惑星形成論に大きな進展をもたらしたと同時に、さらに、大きな謎も示すこととなる。とにかく、星・惑星系の形成論に大きな貢献を残した。

次に、マイヨール博士の発見は、木星のような巨大ガス惑星であったと考えられるが、当然「第二の地球」の発見に向けて、研究者の大競争を引き起こした。地球のようなハビタブルな惑星（水が液体で存在し、適当なエネルギー源があって、生命を育む環境を有した惑星）を発見し、そこに生命の存在を確認したいという研究意欲をかき立てた。しかし、対象はたいへん小さいので大きなチャレンジであるが、巨大な地上望遠鏡の建設が始まり、生命の痕跡を探るさまざまな宇宙ミッションも計画されている。私は建設中のTMT（30 m望遠鏡）が完成すると、地球外生命の存在を確認できると予言する楽観論者の一人でもある。系外惑星発見は、大型観測装置開発の原動力となった。

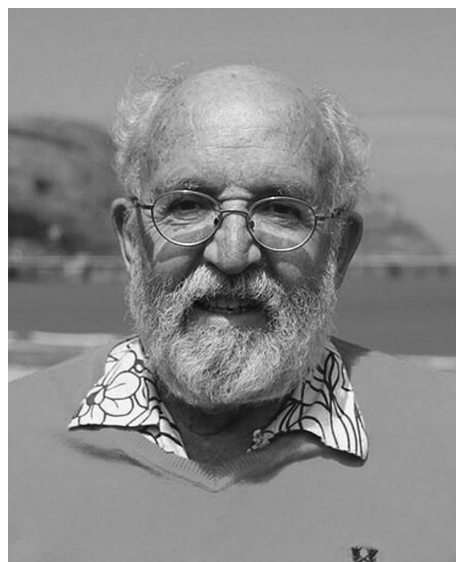
そして、新しい学問分野、つまり、宇宙における生命を研究するアストロバイオロジーという研究分野を生み出した。宇宙物理学、惑星科学、生物学、生理学、分子科学などを融合した宇宙における生命誕生の謎を解き明かそうという学際領域研究分野である。それは、地球にいかにして生命が生まれたのか、太陽系には地球以外に生命が存在するのか、太陽系外の惑星系に生命の存在を発見してその生体を分析するなどの試みを含む。自然科学研究機構には平成27年度より、アストロバイオロジーセンター(ABC)が発足した。新たな学問分野が芽吹いた。

博士のこのたびの受賞は誠におめでたいことで、その発見は、天文学にとっては今世紀の科学をリードする重要テーマを提供できた祝砲である。同時に、新たな学問分野へのチャレンジ開始の号砲でもある。

太陽系外惑星発見の マイヨール博士が京都賞受賞

今年の京都賞（基礎科学部門）は、太陽系外惑星の発見者として著名なジュネーブ大学名誉教授ミシェル・マイヨール博士（Dr. Michel Mayor, Professor Emeritus, University of Geneva）が受賞されることになりました。授賞式は2015年11月10日に開催予定で、それに引き続き、11日に受賞者の講演会、12日には研究者対象のワークショップがいずれも京都国際会館で開催されます。

受賞にあたって、マイヨール博士から本誌向けにメッセージをいただきましたので、ここに掲載いたします。



Credit : Sian Prosser RAS

Extrasolar Planets: A Domain of Research Still in Its Infancy

Looking back on the last twenty years of amazing discoveries in that new domain of astrophysics, what did we learn? We have a first idea of the incredible diversity of planetary systems. We already have first estimates of the occurrence rate of planets in a fair domain of periods, planetary masses, correlation between occurrence rate and host star metallicity. We also have many multiplanetary systems with planets belonging to resonant dynamical systems. For several planets we can estimate the bulk density thanks to the combined Doppler and photometric data of transiting planets.

This short inventory could give the impression that most of first order characteristics of planetary systems have already been discovered or understood. This is far of my own feeling.

We only begin to have low resolution spectra of planetary atmospheres thanks to measurements done on existing 8-m class telescope or in space with the HST or Spitzer satellites. The coming soon 20–40 m class telescopes or JWST will offer unique opportunities to considerably enlarge the number of planets with spectra determined by transit spectroscopy.

With all the recently commissioned imagers on large telescopes, the era of planetary imagery is in front of us. Here in Japan, I do not have to emphasize the outstanding contribution of ALMA in our understanding of planetary formation.

The synergy between planetary transits and Doppler spectroscopy permits the determination of the bulk density of exoplanets. The observed radii-mass relation for low mass planets seems indicate that rocky planets exist with masses as large as 5 Earth-mass.

Already the harvest of ground-based experiments (HAT, WASP,…) and space missions (COROT, Spitzer, Kepler) is exceptional. But looking in the literature you can immediately notice that most detailed studies concern a quite limited sample of bright stars hosting planets.

This situation should drastically change on the coming decade with space missions focused on detection and/or characterization of low mass planets orbiting bright stars of the solar vicinity. At least four space missions will contribute to that search: TESS, CHEOPS, JWST, PLATO. In addition, the GAIA astrometric mission should reveal a huge number of gaseous giant planets. The need for radial velocity follow-up of all the interesting targets detected by these instruments will be huge. The role of precise Doppler measurements using large telescope is certainly not at an end.

Obviously part of that scientific agenda will be devoted to the search of signatures of life on rocky planets located in the habitable zone of solar-type stars. In advance of the future experiments having the sensitivity to get spectra of these very tiny planets, we must establish a list of interesting targets hosted by bright stars.

And we do not have to forget the «unexpected». Ten years ago, doing Rossiter–MacLaughlin measurements, who anticipated the existence of retrograde orbits of some hot-jupiters or with very inclined prograde planetary orbits? A challenge for the orbital evolution of these planets on tight orbits.

This list is certainly not exhaustive and only concerns a few observational questions or opportunities.

太陽系外惑星：いまだ揺籃期にある研究領域

過去20年の天体物理学の新しい研究領域における驚くべき発見を振り返ってみると、私たちは何を学んだといえるのでしょうか？ まずは惑星系が信じられないほどの多様性を示すことを理解したことです。公転周期や惑星質量のかなりの範囲に対して惑星が形成される割合についての最初の見積もりがすでに得られ、主星の金属量との相関も見積もられています。また、力学的に共鳴にある複数の惑星をもつ系も多数見つかっています。トランジット惑星のドップラー偏移と測光データを組み合わせることにより、いくつかの惑星については惑星総体としての密度を見積もることができています。

このように短くまとめると、惑星系の第一近似的な特徴の多くはすでに発見されたか、理解されたという印象を与えてしまうかもしれません。これはしかし私の感触とは全く異なります。

私たちは、既存の8 m級望遠鏡あるいはハッブル宇宙望遠鏡やスピッツァー望遠鏡による観測で、惑星大気の低分解能スペクトルをようやく得始めているに過ぎません。まもなく登場する20–40 m級望遠鏡やJWSTは、かなり多くの惑星についてトランジット中の分光観測によりスペクトルを得る機会を与えてくれるでしょう。

大型望遠鏡に最近搭載された撮像装置により、惑星の直接撮像の時代は目の前にあります。ここ日本においては、惑星形成の理解におけるALMAのずば抜けた貢献は強調するまでもないでしょう。

惑星のトランジット観測とドップラー分光観測の協同により、太陽系外惑星の全体の密度を決定することが可能になります。小質量惑星にみられる半径・質量の間の関係は、地球の5倍もの質量をもつ岩石惑星が存在することを意味しているように見えます。

すでに、地上の装置（HATやWASPなど）やスペースミッション（COROT、スピッツァー、ケプラー）はまれに見る成果を上げているといえます。しかし、文献を見れば、詳細な研究が行われているのは、惑星をもつ星のうちごく少数の明るいものに限られていることにすぐに気づくでしょう。

この状況は、太陽の近くの明るい星の周りがある小質量惑星を発見し、その性格づけを行うことに焦点をあてるスペースミッションにより、来たる10年で劇的に変わるに違いありません。少なくともTESS, CHEOPS, JWST, PLATOの四つのスペースミッションがその探査に貢献することでしょう。加えて、位置天文ミッションのGAIAは非常に多数の巨大ガス惑星を見つけることでしょう。これらの装置で検出された興味深い天体の視線速度を測定する追跡観測の必要性は非常に大きく、大望遠鏡を用いた正確なドップラー観測の役割は、終わりにあるわけでは決してありません。

明らかにこういった科学的な計画の一部は、太陽型星の周りのハビタブルゾーンに存在する岩石惑星における生命の兆候を探ることに向けられます。これらのとても小さな惑星のスペクトルを得ることができる感度をもった観測が今後進むなかで、私たちは明るい星の周りの興味深い観測対象のリストを作り上げていかなければなりません。

そして、「予期しない結果」が得られる可能性も忘れてはなりません。10年前、ロシター・マクローリン効果の測定を行う際に、星の自転に対して逆行していたりとても傾いた軌道をもっていたりするホットジュピターが存在することを、いったい誰が予期したのでしょうか？ これらは主星にしっかりとらわれた軌道をもつ惑星の軌道進化の理解に対する挑戦といえます。

ここで挙げたことは、決して網羅的ではなく、いくつかの観測上の疑問や観測手段に関するものだけであることを申し添えます。

〈訳：青木和光（天文月報編集委員長）〉