

トランジット惑星探しの歴史

成 田 憲 保

〈国立天文台 太陽系外惑星探査プロジェクト室 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉
e-mail: norio.narita@nao.ac.jp

太陽型星の周りを公転する最初の系外惑星の発見¹⁾から15年余りが経ち、系外惑星の研究は近年ますます盛んになってきている。なかでも、トランジットを起こす系外惑星（トランジット惑星）に関する研究は、この10年あまりで急速に深まってきた。それぞれの詳細なサイエンスについては今後の各特集記事に任せることとし、トランジット惑星をめぐる特集の初回として、本稿では系外惑星のトランジットを探す研究について、その歴史と基礎的な事柄をまとめていきたい。

1. トランジット惑星探しの古い歴史

惑星の軌道がたまたま主星の前を通過するトランジット^{*1}という現象は、系外惑星に対してだけでなく、もともと太陽系においても水星や金星が太陽の前を通過する現象として知られていた。この太陽系における水星と金星のトランジットを初めて予測したのは、17世紀の天文学者ヨハネス・ケプラーである。その後、特に金星のトランジットについては、太陽と地球の距離（1天文単位）を正確に求めるといふ科学的興味²⁾のもと、18世紀や19世紀に国際チームによる観測が行われたという記録も残っている。

では太陽以外の恒星に対してトランジットする惑星の存在を考え、その観測を最初に提案したのは誰だろうか。近年の系外惑星探査に関する論文の引用文献をたどって行き着くのは、カリフォルニア大学バークレー校のオットー・シュトルーベ氏が1952年に発表した“PROPOSAL FOR A PROJECT OF HIGH-PRECISION STELLAR

RADIAL VELOCITY WORK³⁾”という提案である。この文献は、タイトルが示すとおり高精度な視線速度観測によって惑星探索を行うことを提案したものだが、同時に系外惑星による恒星の食の可能性にも言及している。その提案の趣旨は以下のようなものである。

周期が非常に短い連星系が存在するのだから、周期が1日程度の巨大惑星が存在してもおかしくないだろう。例えば木星質量の10倍の惑星がその周期で公転していれば、現在（1952年）の視線速度測定技術でも発見が可能である。そしてそのような系においては、惑星による食が起こることもあるだろう。その場合、分光観測に比べて暗いターゲットまで観測できるのが測光の有利な点である。

このようにシュトルーベ氏は、現在ではホットジュピターとして知られる短周期の巨大惑星の存在を想定し、そのような惑星に対してなら視線速度による系外惑星の発見や、惑星による食（eclipse）を探すこともできるだろうと述べてい

^{*1} 視直径（見かけの大きさ）の小さいものが視直径の大きなもの前を横切る場合に通過（transit）という言葉が使われ、逆に視直径の大きなものが小さなもの前を通る場合には遮蔽（occultation）という言葉が使われる。また、食（eclipse）はある天体によって背後の天体の一部または全部が隠されるときに用いられるため、上記のどちらの場合にも使われる。

る。これは当時としては斬新過ぎるアイデアだったかもしれないが、実はホットジュピターはトランジットを起こす幾何学的確率がかなり高いため、ホットジュピターが多数存在することがわかった現在からしてみると、非常に的を射た提案だったと言える。実際に最初のホットジュピターが発見されたのは40年以上後のことだが、1952年の段階でこのような提案がなされていたことは驚きである。

では次に、“トランジット”(transit)を用いた系外惑星の探索(トランジットサーベイ)を初めて提案したのは誰だろうか。ADS^{*2}で文献検索ができるもののうち最も古いものは、コーネル大学のフランク・ローゼンブラット氏による1971年の“A Two-Color Photometric Method for Detection of Extra-Solar Planetary Systems”⁴⁾という論文である。この論文では、恒星の周辺減光係数が色(波長)によって異なることに着目し、系外惑星のトランジットライトカーブの形が色によって若干異なることから、2色の光度計を備えた複数の望遠鏡を用いた系外惑星のトランジットサーベイを提案している。しかし、主に当時の測光精度や装置性能の不足により、この提案によってすぐにトランジットサーベイが実現することはなかった。

このトランジットサーベイの可能性をさらに検討し実現していったのが、現在NASAのケプラー計画の研究代表者であるウィリアム・ボルツキ氏である。彼らは1984年に地上望遠鏡を用いたトランジットサーベイによる系外惑星の検出可能性を見積もり、少なくとも13,000個以上の星を同時にモニタリングすれば木星型惑星を発見できる可能性があること、トランジットサーベイによって地球型惑星を発見するには宇宙望遠鏡が必要であることなどを論じている⁵⁾。

ボルツキ氏らは、その後宇宙望遠鏡による地球型惑星のトランジットサーベイを目指した検出器の開発に取り組み、1992年にはケプラーの前身である宇宙望遠鏡計画“FRESIP (FRequency of Earth-Size Inner Planets)”をNASAに提案した。しかしこの提案は実現可能性への懸念から不採択となり、その後1994年、さらにケプラー計画と名前を変えて1996年、1998年にも提案されたが、長らく不採択のままであった。これらの経緯はケプラー計画のホームページでボルツキ氏によって詳しく語られている^{*3}。そして現在大きな成果を挙げているケプラー計画は、実に5度目となる2000年の提案によるものである。

2. ライトカーブからわかる物理量

さて、ここでいったん話題を変えて、トランジットのライトカーブを観測することでどんな物理量がわかるのかについて解説しておきたい。図1は、系外惑星のトランジットを観測者(地球)から見た様子を模式的に表したものである。惑星が図1の左から右へ動いているものとして、AからEまでがトランジットの全体であり、AからBの時間を“ingress”、DからEの時間を“egress”と

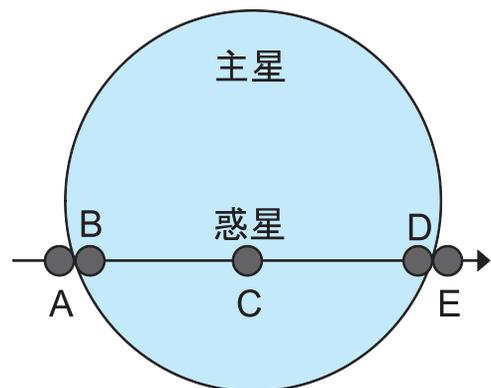


図1 系外惑星トランジットの模式図。

*2 The SAO/NASA Astrophysics Data System: <http://ads.nao.ac.jp/>

*3 ケプラー計画ホームページ: <http://kepler.nasa.gov/Mission/QuickGuide/history/>

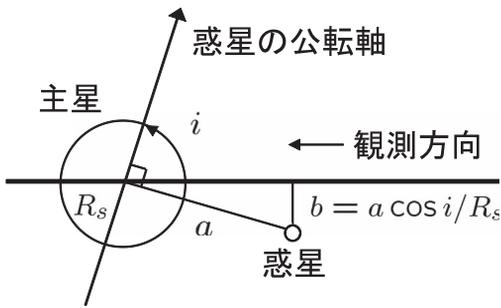


図2 トランジットライトカーブにかかわるパラメーターの模式図。

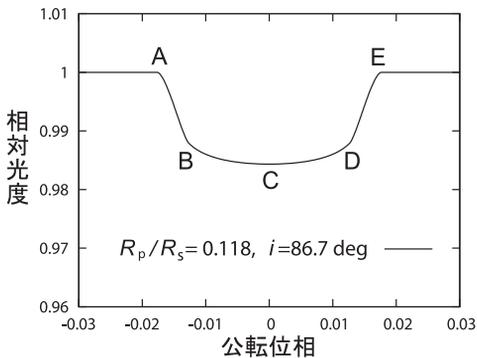


図3 HD209458bのパラメーターを用いたライトカーブ。

呼ぶ。

トランジットのライトカーブを描くためには、主星と惑星の半径比 R_p/R_s 、軌道長半径と主星の半径の比 a/R_s 、地球から見た惑星の軌道傾斜角 i (あるいはトランジットの衝突係数 b)、恒星の周辺減光係数 u_1, u_2 などをパラメーターとしたシミュレーションや解析公式が必要となるが、数学的に正確な初めての解析公式はアメリカのカイセー・マンデル氏とエリック・エイゴル氏によって2002年に発表された⁶⁾。図2は上記のパラメーター R_s, a, i, b の関係を示すため、トランジットの

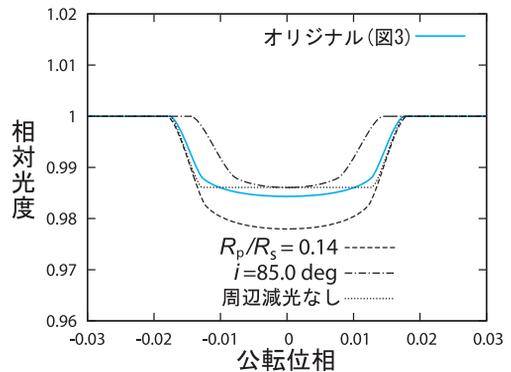


図4 パラメーターを一つずつ変えた場合のライトカーブ。

様子を横から見た場合の模式図である。その後、日本の太田泰弘氏らのグループ^{*4}やオランダのアルバロ・ギメネツ氏によって一部に近似を用いた^{*5}いくつかの解析公式も発表されている^{7),8)}。

図3は具体的なライトカーブの例として、後述する最初に発見されたトランジット惑星HD209458bのパラメーターを用いてプロットしたライトカーブである。図3中のA-Eは、図1のA-Eに対応している。ここで用いたパラメーターの値は、 $u_1 = 0.29, u_2 = 0.35, R_p/R_s = 0.118, i = 86.7$ である。そして図4は、ライトカーブのそれぞれのパラメーターに対する依存性を示すために、パラメーターを少しずつ変えてプロットしたものである。

なお、このようなトランジットライトカーブを手軽に描くために、筆者が作成したライトカーブ簡易作成用プログラム (Windows, Mac, Linux用) が日本トランジット観測ネットワークのホームページ^{*6}で公開されているので、アマチュア天文家の方など興味をお持ちの方はご活用いただき

^{*4} 太田氏らによるライトカーブの解析公式は第3回特集記事で紹介されるロシター効果の解析公式の論文に含まれている。

^{*5} マンデル氏とエイゴル氏による公式は近似のない解析解であるのに対し、太田氏やギメネツ氏の公式は一部に近似を使っている。著者の方で両者の値を比較したところ、ingressとegressの際に 10^{-6} のオーダーで若干の差異がある以外は丸め誤差の範囲で一致していた。そのため、 10^{-6} 程度の精度のデータを扱わない限り、どの解析公式を使っても実質的な差はない。

^{*6} <http://www.geo.titech.ac.jp/lab/ida/transit/pukiwiki/index.php>

たい。

トランジット観測ができることの最大の特長は、何とんでも惑星の大きさと軌道傾斜角がわかるという点である。系外惑星探索の主流となっているドップラー効果を用いた視線速度法では、惑星の最小質量（視線方向の有効質量）のみがわかり、軌道傾斜角の不定性のために惑星の真の質量はわからなかった。トランジットを起こす惑星に対しては、トランジットと視線速度観測を組み合わせることで、惑星の真の質量、半径、密度などがわかり、公転している惑星がガス惑星なのか、あるいは岩石惑星なのかといった内部構造についての知見が得られる。このようにトランジット惑星の内部構造を調べる研究の詳細は、本特集の生駒大洋氏の記事をご覧ください。

3. 視線速度法からのトランジット惑星の発見

前述のように多数の恒星をモニターする本格的なトランジットサーベイは長い間実現しなかったが、最初のトランジット惑星HD209458bの発見は1999年に別の方法論によってなされた。それは、1995年以降系外惑星の発見方法の主流となっていた「視線速度法」（あるいはドップラー法）によって発見された惑星に対し、惑星が主星の前を通るだろう時間帯を狙って測光観測で追観測するという方法である。この最初の発見は、1999年に当時ハーバード大学の大学院生だったデイヴィッド・シャルボノー氏らによってなされた⁹⁾。

では、この発見法にはどのくらい実現可能性があったのだろうか。系外惑星のトランジットが起こるためには、たまたま惑星の軌道が主星の前面を通らなくてはならない。そのトランジットが起こる幾何学的確率は、だいたい主星の半径(R_s)を

惑星の軌道長半径(a)で割った値となる。そのため、典型的なホットジュピターとして軌道長半径が0.05天文単位の惑星を考えると、およそ10%の確率でトランジットすることになる^{*7}。1999年当時、視線速度法ではすでに10個程度のホットジュピターが発見されており、その点に着目したシャルボノー氏らの初めてのトランジット惑星の発見は、なされるべくしてなされた大発見と言えるだろう。

この発見以降、トランジット惑星の発見方法としては後述するトランジットサーベイによる発見のほうが主流となりつつある。しかし、視線速度法のフォローアップによって発見されたトランジット惑星系は、トランジットサーベイによって発見された惑星系よりも明るい主星をもつものが多く、派生したサイエンスの観測に大きな発展をもたらした。例えば、最初に発見されたHD209458bに対しては、この惑星系に関連した論文が実に400編以上も出版されている。

ほかにこのような方法論で発見されたトランジット惑星としては、HD149026b¹⁰⁾、HD189733b¹¹⁾、GJ436b¹²⁾、HD17156b¹³⁾、HD80606b¹⁴⁾、HD97658b¹⁶⁾などがあり、このうち2つの惑星（HD149026bとHD17156b）は、もともとすばる望遠鏡による視線速度観測で佐藤文衛氏らによって発見されたものである。

また、日本ではアマチュア天文家の方々の協力を受けた「日本トランジット観測ネットワーク」が設立されており、すばる望遠鏡や岡山天体物理観測所などで視線速度法によって発見された惑星のトランジットフォローアップなど、数々のキャンペーンが実施されている。こうした取り組みについては、本特集第2回の渡部潤一氏の記事をご覧ください。

*7 太陽の半径が大雑把に0.005天文単位（より正確には0.004649天文単位）であることを覚えておくと計算がしやすくなる。

4. 地上トランジットサーベイの黎明期

4.1 最初のトランジットサーベイの成功

最初のトランジット惑星の発見以降、前述した多数の星をモニターしてトランジット惑星を探す「トランジットサーベイ観測」が、地上の広視野望遠鏡で開始された。この分野で先駆的な役割を果たしたのが、もともと銀河中心方向のマイクロレンズ現象のサーベイを行っていた OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) である。

OGLEはチリのラスカンパナス観測所の 1.3 m 望遠鏡を用いて、2001年にトランジット探索キャンペーンを行った¹⁷⁾。このキャンペーンでは視野角 35分×35分で約52,000個の恒星の明るさをモニタリングし、その中から59個のトランジット惑星候補を選びだした。この中で最初にトランジット惑星と確認されたのがOGLE-TR-56bである¹⁸⁾。その後数年間の視線速度による追観測を経て、OGLEチームによってこれまでに合計7個のトランジット惑星が発見された。

だが、このOGLEのトランジットサーベイで問題となったのは、この惑星候補の主星がV等級で16等程度と非常に暗かったため、視線速度での追観測が非常に難しかった点である。また、高精度な測光観測も難しかったため、本当は惑星ではないのに惑星のトランジットのように見えてしまう“false positive” (偽検出) の混入も数多くあった^{*8)}。この中から本物のトランジット惑星を探し出していくという作業は、非常に地道でたいへんなものだったに違いない。

4.2 日本でのトランジットサーベイ

OGLEがトランジット惑星の発見に成功したのとほぼ同時期に、日本でもトランジットサーベイが行われていたことにここで触れておきたい。日本で最初のトランジットサーベイは、2002年と2003年にすばる望遠鏡のSuprime-Camを用いて行われたもので、山田 亨氏、浦川聖太郎氏らによって観測・解析が行われた¹⁹⁾。また、福井曉彦氏らは名古屋大学のMOA (OGLEと同じ重力マイクロレンズサーベイを行っている) のアーカイブデータを用いたトランジットサーベイを行っていた。

残念ながらこれらのサーベイではトランジット惑星の発見には至っていないが、日本でも早い段階から先駆的な仕事がなされていたことを記しておきたい。

5. 地上トランジットサーベイの発展

次にトランジットサーベイからの惑星発見に成功したのは、デイヴィッド・シャルボノー氏らが中心となったTrES (Trans-Atlantic Exoplanet Survey)グループで、2004年に初めてのトランジット惑星TrES-1^{*9)}を発見した²⁰⁾。TrESグループのサーベイはすでに終了しているが、2011年9月までに5個のトランジット惑星を発見している。

その後2006年には三つのトランジットサーベイグループが新しいトランジット惑星の発見を発表した。その中の一つであるXOプロジェクト²¹⁾は、ハワイのハレアカラに設置された2台の20 cm望遠鏡を中心に、アマチュア天文家グループの協力を受けて行っているユニークなトラ

^{*8)} false positive の最も多い例としては、食が恒星の端をかすめるタイプの食連星で“grazing eclipsing binary”と呼ばれる。このような場合には高精度測光観測をすると、減光がU字型でなくV字型になる。ほかには、恒星の背景に食連星があるような複雑な場合も存在している。いくつかの地上トランジットサーベイグループが報告した統計によると、測光精度が低いトランジットサーベイで発見されたトランジット惑星候補の多くが実際には食連星であり、だいたい9割程度が偽検出であったと言われている。

^{*9)} 系外惑星の名前は主星の名前にbをつけたものがほとんどだが、TrESグループだけはbをつけないものが惑星の名前にとされている。

ンジットサーベイである。XOプロジェクトは、公転周期が短い上に軌道離心率が大きく、惑星の軌道が大きく傾いている巨大ガス惑星XO-3b²²⁾を含めて、2011年9月までに5個のトランジット惑星を発見している。

その他の二つのグループは、現在地上望遠鏡によるトランジットサーベイの2強として知られており、一方はヨーロッパ（特にイギリス）を中心としたSuperWASP (Wide Angle Search for Planets)²³⁾で、もう一方はアメリカ（ただし研究代表者はハンガリー出身）を中心としたHATNet (Hungarian Automated Telescope Network)²⁴⁾である。

SuperWASPグループは、キャノン製の広視野レンズ(200 mm)を8台搭載した超広視野望遠鏡を、カナリア諸島ラパルマと南アフリカ天文台の2か所に設置している。この広視野レンズは1つで視野角7.8度×7.8度（約60平方度）の空をカバーし、1枚の撮影で約480平方度をカバーする。この超広視野望遠鏡によって、全天のV等級で15等以下の恒星をくまなくモニターするのがSuperWASPの目標とされている。そしてSuperWASPは2011年9月現在、60個以上のトランジット惑星を報告している（研究会のみで発表されたものを含む）。

一方のHATNetは、キャノン製の広視野レンズ(11 cm)を6台搭載した超広視野望遠鏡を、アメリカのハワイ、アリゾナとイスラエルの3か所に設置している。こちらの広視野レンズは一つで視野角8度×8度の空をカバーし、かつ地球の経度方向に望遠鏡を複数配置するという手法を取っており、HATNetでは同じ視野をほぼ24時間観測できる体制を整えている。

このプロジェクトは研究代表者のガスパー・バコス氏が大学学部生だった1999年から開始され、バコス氏がハーバード大学に移ってから現

在の体制となっている。HATNetからは2011年9月現在、30個以上のトランジット惑星が報告されており、さらに2009年からは南半球のオーストラリア、ナミビア、チリの3か所に、北天のシステムをアップグレードした望遠鏡が設置され、HAT-Southプロジェクトも開始されている。

これらの地上トランジットサーベイグループの成功によって、2006年以降トランジット惑星の発見数は年々増え続けている^{*10}。また、トランジットという現象を上手く利用して、トランジット惑星の派生的な情報を得ることが可能であるため、トランジットの派生的なサイエンスの研究も急速に深まっていった。本稿ではそれらのサイエンスについては詳しく触れないが、そのような派生的に求められる物理量や情報については、今後の特集第3回の記事をご覧ください。

6. 宇宙トランジットサーベイの躍進

地上トランジットサーベイに続いて、トランジット惑星探しにまさに革命を起こしたのは宇宙からの専用望遠鏡によるトランジットサーベイである。

世界で初めてのトランジット惑星探しの宇宙望遠鏡は、前述したケプラーではなく、フランスの宇宙機関CNESとヨーロッパの宇宙機関ESAが中心となって打ち上げたコロ(CoRoT)であった。コロは口径27 cmの宇宙望遠鏡で、恒星表面の振動を観測する星震学とトランジットによる惑星探しを両立して行うことを目的とした計画となっている。

コロは2.8度×2.8度の視野をもっていて、星震学とトランジット惑星探して視野を半分ずつ使い、さらに半年ごとに視野を変えて二つの領域を交互に観測するという方式を取っている。これにより、V等級で12等から15.5等あたりの約20万個の恒星に対してトランジット惑星探しが行われ

*10 <http://exoplanet.eu/catalog-transit.php>

ている。

コロは2006年12月27日に打ち上げられた後、当初の2.5年という計画を大きく延長し、2013年までの観測を目指して現在も運用されている。2011年9月現在、コロは20個以上のトランジット惑星を報告している（研究会のみで発表されたものを含む）。後述するケプラーに比べると視野の広さや精度などでやや劣るものの、トランジットをするやや大きな地球型惑星（スーパーアース）として初めてとなるCoRoT-7bを発見する²⁵⁾など大きな成果をあげている。

一方のケプラーは口径95 cmの宇宙望遠鏡で、2009年3月6日に打ち上げられた。これは前述したボルッキ氏らによって2000年にNASAに提案され採択されたものが、ついに実現した計画である。ケプラーは打ち上げから運用終了まで基本的に同じ視野をずっと観測し続けるという点でコロと大きく異なっている。

ケプラーは地球より小さな惑星サイズまで検出できる測光精度を持ち、運用期間は3.5年以上とされているため、周期が1年程度の地球サイズの惑星までトランジットで発見することができる。つまり、まさに第2の地球と呼べるような太陽—地球のような惑星系のトランジットを検出することが目標とされている。

2011年9月現在、公式には21個の惑星がケプラーによって発見されている。その中には、CoRoT-7bのようなスーパーアースKepler-10b²⁶⁾や、6個の惑星がトランジットする惑星系Kepler-11²⁷⁾、映画スターウォーズに登場するタトゥイーンのように連星を公転する惑星Kepler-16b²⁸⁾などがあり、すでに非常に面白い惑星系がいくつも発見されている。

しかし、実はこの数は惑星質量の制限まで行われた一部のものではなく、ケプラーは2011年2月に1,235個のトランジット惑星候補を発表し²⁹⁾、さらに2011年9月には500個以上の惑星候補の発見を研究会で発表している。しかも、これ

らはまだ最初の4カ月分+ α のデータの結果でしかないため、今後の全運用期間での発見数は膨大なものになることが予想されている。今後はより周期の長い、第2の地球と呼べるような惑星の発見が待ち望まれている。

7. トランジット惑星探しの将来計画

本稿ではこれまでのトランジット惑星探しの歴史を振り返ってきたが、現在はついに地球サイズ程度の惑星まで発見される時代になってきている。そしてケプラーによる観測が進めば、まさに太陽—地球のような惑星系の存在も確認されるかもしれない。では、ケプラーによってもうトランジット惑星探しは終わりとなるのだろうか？

その答えは「No」である。

今この分野の研究者たちの興味は次の段階、すなわち発見された惑星がどのような環境にあるのかを調べる研究、特に生命居住可能領域（ハビタブルゾーン）と呼ばれるような領域に惑星が発見された時に、そこに生命の痕跡を探索しようという研究へと向かっている。

この点において、コロとケプラーで発見されるトランジット惑星は、観測対象の恒星が太陽系から遠く離れた暗いものがほとんどであるため、その後の分光観測などによる惑星の詳細なフォローアップに向いていないという弱点がある。つまり、例えケプラーで第2の地球と呼べるような惑星が見つかったとしても、そういうものがあるということはわかるものの、その惑星を詳細に調べることはかなり難しいということである。

系外惑星に存在するかもしれない生命の痕跡を探るといった研究では、より太陽系の近傍にある恒星の惑星発見が重要である。そのため、トランジット惑星探しの次の計画としては、特に太陽系近傍の恒星に特化したトランジットサーベイが立案されている。この節ではそういったこれからのトランジット惑星探しについて紹介しよう。

まず、今後のトランジット惑星探しの研究には

二つの流れがある。一つは、特に太陽系に近い（だいたい15パーセク以内）のM型星を狙ったトランジット惑星探すと、全天の明るい恒星（太陽型星やM型星も含む）に対するトランジット惑星探しである。これらはどちらも生命居住可能領域にある地球型惑星の発見を大きな目標として掲げている。

太陽系近傍のM型星に特化したトランジットサーベイとしては、MEarth（筆者は「エムアース」と最初読んでいたが、プロジェクトの人たちによると「マース」と読むらしい）が早い段階からそのような惑星探しを開始している。

マースは複数台の望遠鏡で太陽系近傍のM型星を別々にモニターし、トランジットのような減光が起こったらマイクロレンズサーベイで行われているようなアラートを発して、集中的にそのM型星を観測するという手法を取っている。この方法によって、マースのグループはM型星を公転する地球型惑星として初めてのトランジット惑星GJ1214bを2009年に発見した³⁰⁾。

筆者らのグループでも、ハワイ大などのグループと共にK型晩期星やM型星に特化したトランジット惑星探しを開始しているので、そうした取り組みについては第4回の特集記事をご覧ください。

次に全天の明るい恒星のトランジットサーベイ計画としては、アメリカのMITを中心としたテス(Transiting Exoplanet Survey Satellite: TESS)とESAを中心に検討されているプラトー(PLANetary Transits and Oscillations of stars: PLATO)などが挙げられる。

どちらもまだ実施が確定したわけではないが、テスはNASAのExplorer Missionの候補に選ばれており、プラトーはESAのCosmic Visionの候補に選ばれていて、どちらも計画の策定が進んでいる。日本に同様の計画がないことは残念だが、テスには日本の研究者も一部参加している。

以上に挙げたような計画で太陽系近傍のトラン

ジット惑星探しが行われ、特に生命居住可能領域にある地球型惑星が発見されれば、それらはTMTやSPICAなど次世代の大型望遠鏡での絶好の追観測ターゲットとなるはずである。

今後もぜひ新しい惑星発見のニュースをお待ちいただきたい。

謝 辞

本稿の執筆に際し、本特集の実施を提案して下さった柏川伸成・天文月報編集長と、図の作成に協力してくれた平野照幸氏に深く感謝いたします。また、トランジット惑星にまつわる研究を紹介するために、本文中でお名前を出させていただいたすべての方の功績に感謝いたします。

本特集は4回にわたって連載される予定であり、お忙しい中で執筆を引き受けていただいたすべての執筆者の方々に御礼申し上げます。天文月報読者の皆様には、今後もぜひ本特集記事をご拝読いただければ幸いです。

参考文献

- 1) Mayor M., Queloz D., 1995, *Nature* 378, 355
- 2) Halley E., 1716, *Phil. Trans. Roy. Soc. London* XXIX, 454
- 3) Struve O., 1952, *Observatory* 72, 199
- 4) Rosenblatt F., 1971, *Icarus* 14, 71
- 5) Borucki W. J., Summers A. L., *Icarus* 58, 121
- 6) Mandel K., Agol E., *ApJ* 580, L171
- 7) Ohta Y., Taruya A., Suto Y., *ApJ* 690, 1
- 8) Giménez A., *A&A* 450, 1231
- 9) Charbonneau D., Brown T. M., Latham D. W., Mayor M., *ApJ* 529, L45
- 10) Sato B., et al., 2005, *ApJ* 633, 465
- 11) Bouchy F., et al., 2005, *A&A* 444, L15
- 12) Gillon M., et al., 2007, *A&A* 472, 13
- 13) Barbieri M., et al., 2007, *A&A* 476, L13
- 14) Moutou C., et al., 2009, *A&A* 498, L5
- 15) Fossey S., et al., 2009, *MNRAS* 396, L16
- 16) Howard A., et al., 2011, *ApJ* 730, 10
- 17) Udalski A., et al., 2002, *Acta Astronomica* 52, 115
- 18) Konacki M., Torres G., Jha S., Sasselov D., *Nat* 421, 507
- 19) Urakawa S., et al., 2006, *PASJ* 58, 869
- 20) Alonso R., et al., 2004, *ApJ* 613, L153
- 21) McCullough P.R., 2006, *ApJ* 648, 1228
- 22) Johns-Krull C., et al., 2008, *ApJ* 677, 657
- 23) Collier Cameron A., et al., 2007, *MNRAS* 375, 951
- 24) Bakos G. Á., et al., 2007, *ApJ* 656, 552
- 25) Leger A., et al., 2009, *A&A* 506, 287
- 26) Batalha N. M., et al., 2011, *ApJ* 729, 27
- 27) Lissauer J. L., et al., 2011, *Nat* 470, 53
- 28) Doyle L. R., et al., 2011, *Sci* 333, 1602
- 29) Borucki W. J., et al., 2011, *ApJ* 736, 19
- 30) Charbonneau D., et al., 2009, *Nat* 462, 891

Studies for Transiting Exoplanets: A Brief Introduction

Norio NARITA

*National Astronomical Observatory of Japan,
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan*

Abstract: Transiting exoplanets have now become one of the most active research topics in the field of astronomy. We review a brief history of studies for transiting exoplanets.