

系外惑星と小惑星の観測による 人類の他惑星への移住可能性の検討

もし天2018 M877 (バナナ銀河)

小林鞠乃(横浜市立横浜サイエンスフロンティア高校3年) 松下奈津子(私立女子学院高校3年) 吉本有秀(北海道函館中部高校3年) 城基駿(鹿児島県立楠高校2年)

研究について

○研究動機

近年、探査機を飛ばさない方法で地球外(系外惑星)の観測が行われている。それともなう系外惑星への移住や小惑星の持つ資源の研究を参考に、自分たちで系外惑星や小惑星を観測し、観測から分かることによって人類が移住できる環境なのかどうか調べようと考えた。

○系外惑星とは

太陽系以外の恒星(自ら光る星)の周りを回る惑星のこと。2019年2月現在までに約4000個発見されている。例:トランプスト1(図2)

○小惑星とは

太陽系に属している惑星・準惑星以外で、彗星のように尾やコマを持たない天体のこと。例:イトカワ(図3)、リュウグウ、ベンヌ

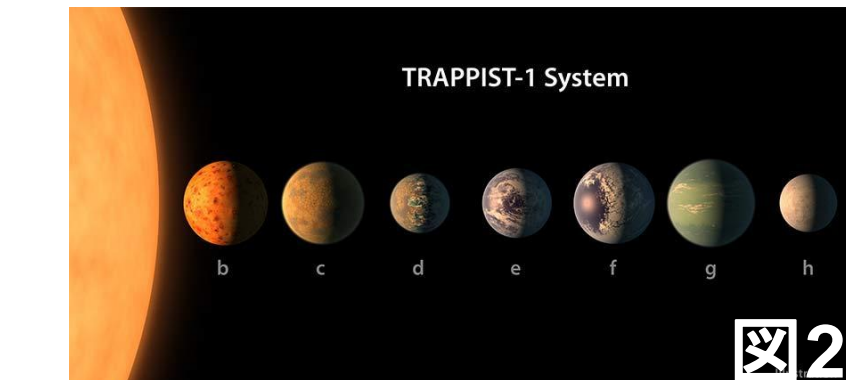


図2

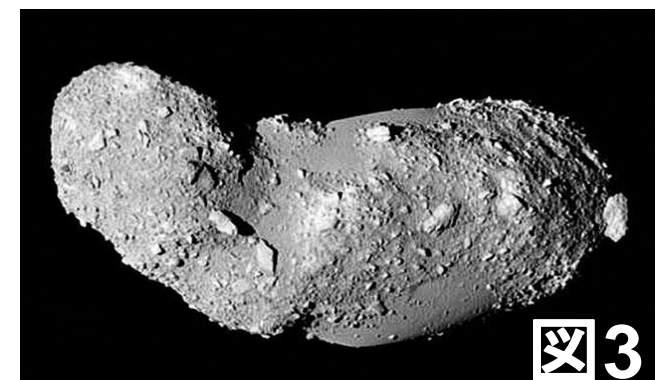


図3

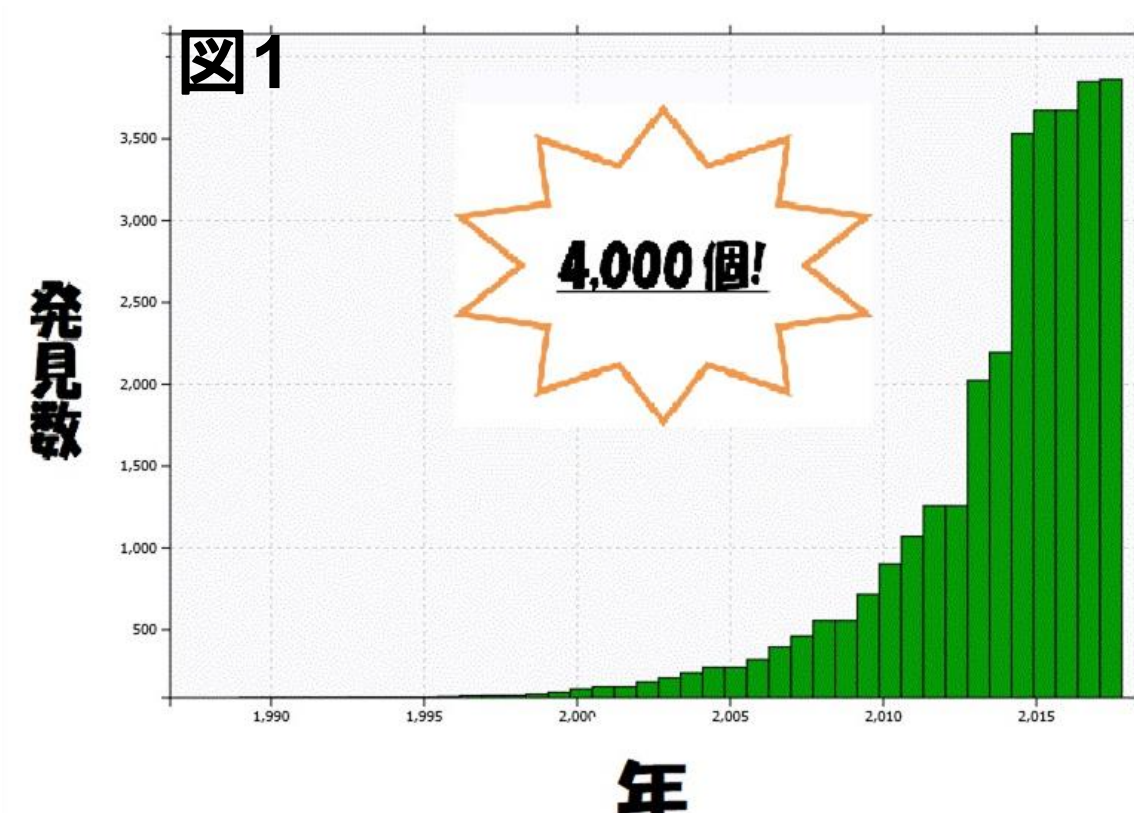


図1

研究方法

○使用望遠鏡

観測には、仙台市天文台のひとみ望遠鏡を使用(図4)。系外惑星、小惑星はどちらも自ら光らない天体なので、それらを直接見ることは難しい。→恒星の直前を観測する系外惑星や小惑星が横切れば、それらの存在を知ることが出来る。

図4:仙台市天文台ひとみ望遠鏡



①系外惑星のトランジットの観測

系外惑星がその主星の恒星を横切るトランジットを観測することにより(図5)、その系外惑星の存在だけでなく、大きさ、公転周期なども知ることができる。

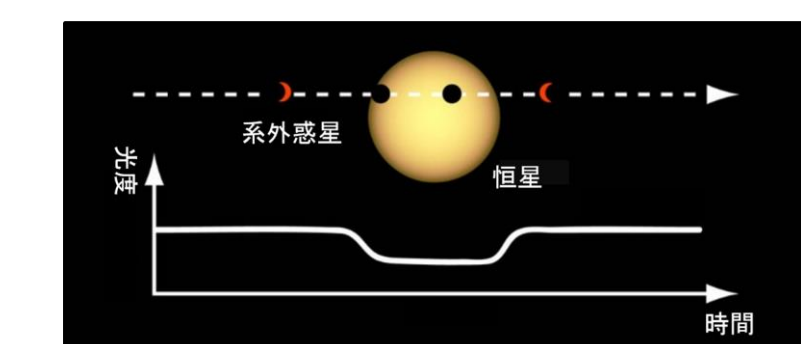


図5:トランジットの仕組み

①ひとみ望遠鏡での観測から得られる数値	減光率 (手前の惑星が奥の恒星を隠す時に、恒星から届く光が減る割合)	トランジット時間(図5)	
②実測値から直接求められる物理量	惑星の半径	惑星の公転周期(1周期分観測が出来た場合)	
③アーカイブから得られる数値	惑星の質量	恒星の明るさ(等級)、スペクトル型(恒星をその発光の明るさで分類したもの)	惑星の軌道半径
④②と③から計算できる物理量	重力 (惑星の質量、半径より)	惑星の表面温度 (恒星の明るさ、スペクトル型、軌道半径より)	

○表面温度を求める式(下記の3つの式より求めます)

$$T^4 = \frac{S_2(1-A)}{4\sigma\zeta} \quad S_2 = \left(\frac{L}{L_\odot}\right) \times \left(\frac{1}{r_{(AU)}}\right)^2 \times S_\odot \quad m_1 - m_\odot = -2.5 \log_{10}\left(\frac{L}{L_\odot}\right)$$

T=表面温度 S₂=恒星のエネルギー A=アルベド(光の反射率) L=恒星の光度 L_⊙=太陽光度 r_(AU)=惑星の半径 S_⊙=太陽定数 m₁=等級 m_⊙=太陽等級
σ=ステファン・ボルツマン定数=5.67 W²/m²K⁴ ζ=温室効果

【観測惑星決定の経緯】

○求められる条件

- もし天期間中にトランジットが観測できる→公転周期が3日以内の系外惑星を検索
- ひとみ望遠鏡で十分な明るさで観測できる
- 観測時の高度が14度以上(30度以上が望ましい)
- 減光率が2%以上

○積分時間の計算

積分時間・・・写真を撮る時にシャッターを開けておく時間のこと

	等級	積分時間(s)	S/N
ひとみ望遠鏡の限界	17.8(V)	300	30
	↓ -1.54	↓	↓ ×2.5 (17.8-16.26) ×3
観測したい天体(積分時間を300秒に)	16.26(L)	300	369
	↓	↓ ÷3.69	↓ ÷3.69
観測したい天体(S/Nを100に)	16.26	81.3	100

・S/N...signal/noise。積分時間を長くするとS/Nの値は大きくなり、その分高精度な写真を撮ることが出来る。

・ひとみ望遠鏡の性能では、100の明るさ(S)に対して誤差(N)が2より大きくなってしまふと、その2%の減光率がトランジットによるものなのか誤差によるものなのか見分けがつかないため、S/Nの理論上の最低値は100÷2=50だが、余裕を持ってS/Nは100以上とした。

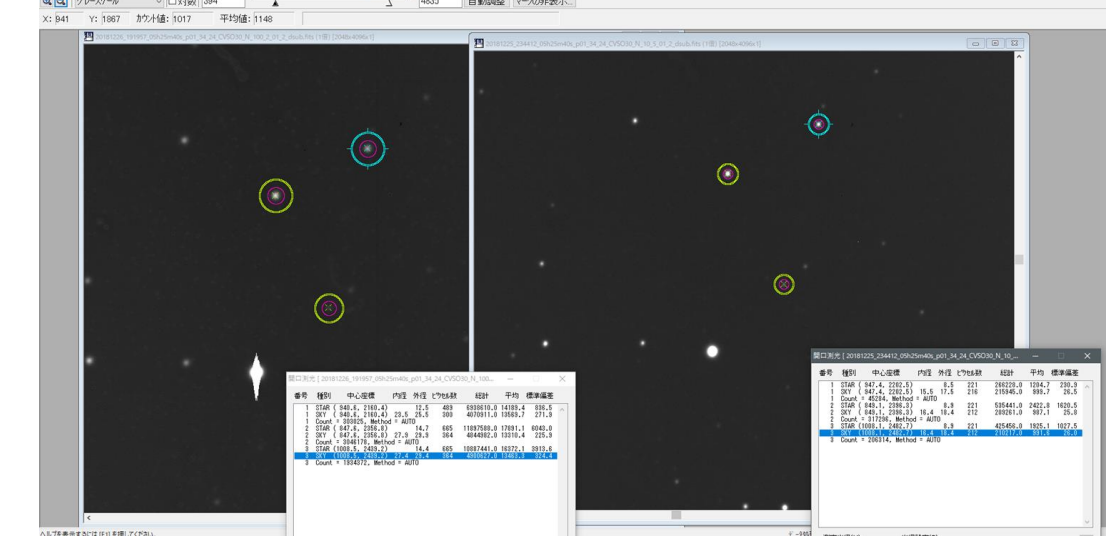
・積分時間の長短に関わらず同じ時間の読み出し時間(40秒)が必要になるため、積分時間が短いと読み出し時間の割合が高くなり、時間ロスが生じる。また、トランジット観測は撮像の間隔が短い方が時間分解能が上がる。時間のロスが少なく、トランジット観測に十分な時間分解能を持っていて、減光を識別するのに十分なS/Nとなる積分時間として、120秒を設定した。

日時	隠す天体(系外惑星) 隠される天体(恒星)	観測方法
2018/12/25	CVSO30 b	雲量を見計らい、雲の影響を受けない最長の露出時間を決定した。40秒、80秒、120秒の3通り。
2018/12/26	CVSO30 (16.26等)	
18:04-20:04	CVSO30 b	測光ソフトMakaliを使い(図6)、トランジット予報の前中後複数回に渡り、恒星(隠される天体)を測光。
2018/12/26	HAT-P-19b	
18:25-21:15	HAT-P-19 (12.9等)	

↑表1:トランジット予報と観測方法について

観測したい天体CVSO30の観測される明るさは、いろいろな条件で変化するので、近くに写っている他の星を比較星として、相対的な明るさの変化を調べた。念のため、2つの星を比較星として用いた。相対的な明るさは、CVSO30の明るさを比較星の明るさで除算して求めた。

図6:測光ソフトMakaliを用いた測光の様子→



②小惑星による恒星食の観測

恒星が小惑星が前を横切る(図7)ことによって減光した時刻とその予報時刻とのずれを観測することによって、小惑星の軌道の精度を高めることが出来る。星食をしたドゥレーション(期間)を求める。

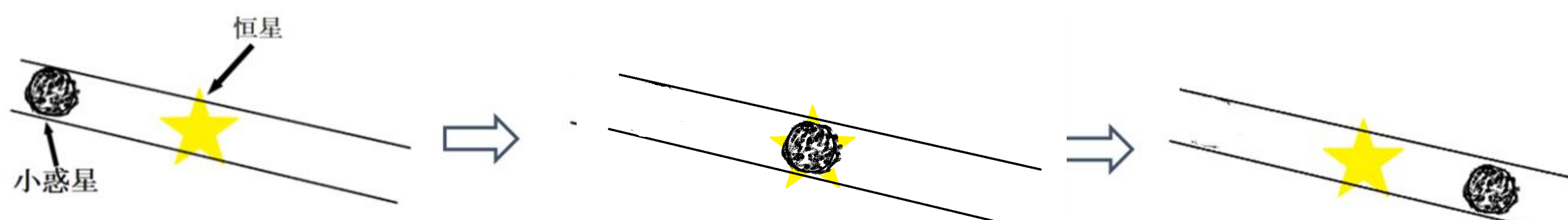
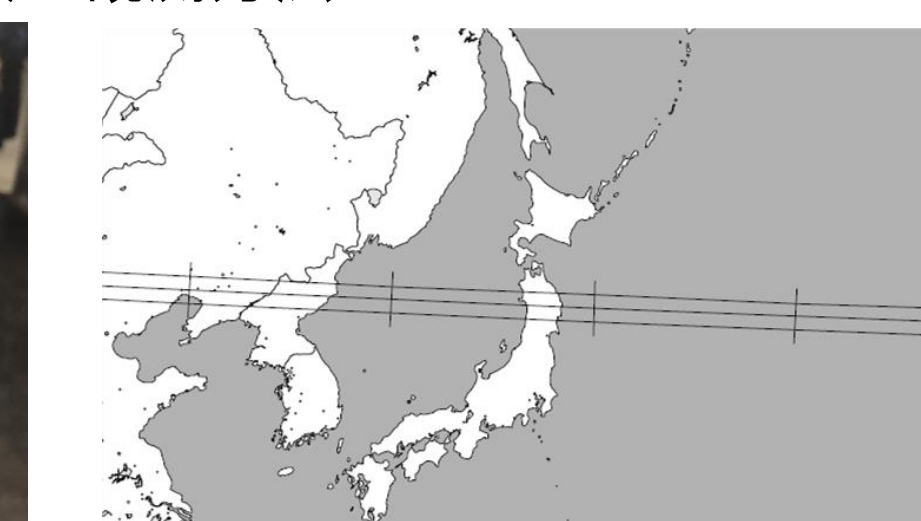
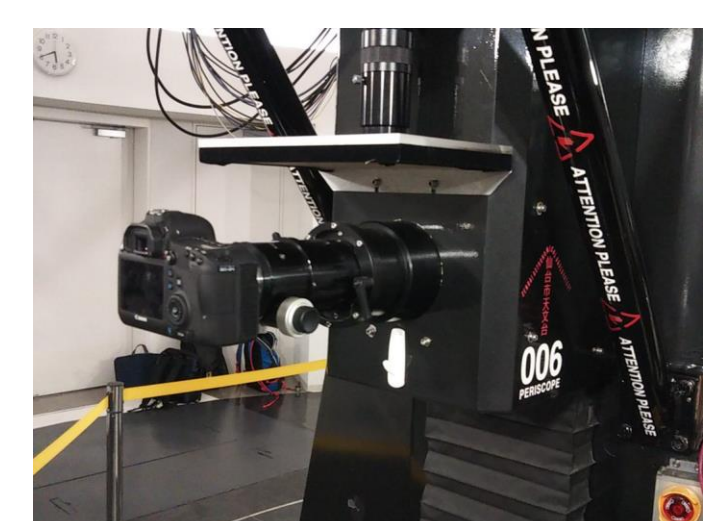


図7:恒星食の仕組み

日時予報 by Edwin Goffin氏 (前後20分程度)	隠す天体(小惑星) 隠される天体(恒星)	観測方法
2018 dec 25 13h56.5m U.T.	334Desiderata PPMX 3034417	ひとみ望遠鏡の眼視用ナミス焦点に、一眼レフカメラEOS6Dを取り付け、予報の時間を含めた前後10分間、動画を撮影。動画の音声にはインターネット時報を入れて、正確な時間を記録した。(図8,9)
2018 dec 25 14h13.6m U.T.	365Corduba TYC 0120-00697-1	
2018 dec 26 15h35.7m U.T.	90Antiope PPMX 50181254	

表2:恒星食予報と観測方法について



観測当日(12/26)は仙台でPPMX50181254の完全食が観測できる予報だった。(図10)

図8:望遠鏡に取り付けられたカメラ 図9:使用した一眼レフカメラ 図10:星食予報地図

結果

予報された時刻に観測対象の天体を狙ってしたが、悪天候のため観測が十分に出来なかった。雲の切れ間を狙って積分時間を少なくして、観測天体を観測した。小惑星による恒星食の観測は全く出来なかった。

①トランジット観測

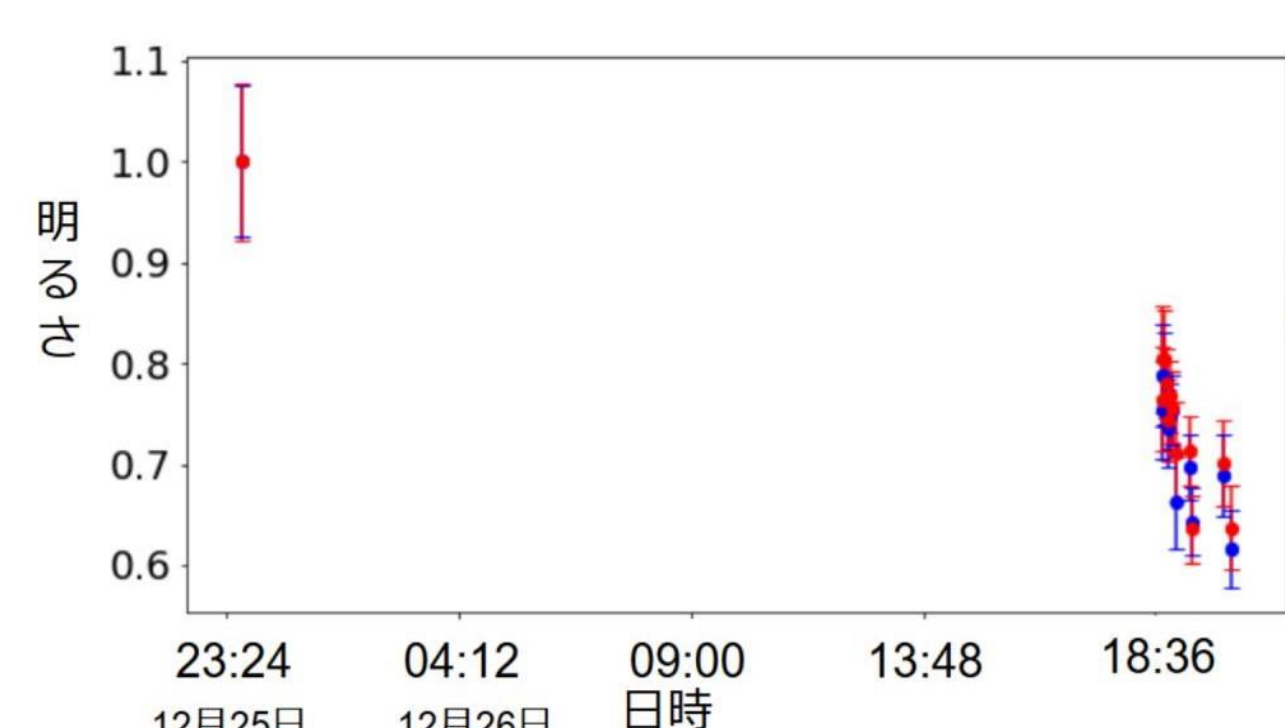
観測が少してきた1天体(CVSO30)においては辛うじてトランジットと思われる減光が観測できた。(グラフ1)※トランジットしていない時の相対的な明るさを1とした。

左の点ではトランジットしていない予報、右の点ではトランジットしている予報で、実際に明るさに差があることがわかる。

しかし、実際の減光率は、先行研究を使い予測した2%を大幅に上回り最大で38%だった。

②小惑星による恒星食観測

悪天候により観測する天体は写らなかったが、ピント合わせの際は晴れており、月面の画像が得られた。(図11)



グラフ1:CVSO30の観測での減光率



図11:ピント合わせの時に得られた月面画像

考察

○観測

- トランジットについて、先行研究の観測結果よりも大きい減光が見られた。
- 先行研究の観測値の減光率:2%
- 観測時の減光率:最大で38%

考えられる原因→データの不足(天候の関係で、トランジットしていない時の恒星の元の明るさを一回しか測定できず、それを基準のデータとして使うには不十分だった)、車のライトがドーム内に映り込んだ可能性、月が雲で見えたり見えなかったりして、ドーム内の明るさが変化しただけの可能性

○移住可能性の検討

今回の観測では、重力、温度の面で移住可能性の検討に必要な値(トランジットの正確な時間、惑星の半径)を求めることが出来なかった。

そこで、文献(exoplanet.eu)より今回観測した恒星(CVSO30)の等級と惑星(CVSO30b)の軌道半径を調べ、計算で惑星の表面温度を求めたところ、2095K(1822°C)となった。また、惑星の半径と質量(いずれも文献値)より重力は地球の4.2倍程度と分かった。→地球の環境と比較してみても、CVSO30bに移住するのは難しい。

○今後、移住の条件をより多角的に考えるためにあると良い条件

- 惑星大気
 - 大気は人類が生きていくにあたって必須である。惑星が恒星の前を通り過ぎるとき、恒星からの光は一瞬だけ大気を通過するので、その一瞬で分光観測をすれば、大気中の存在元素を調べることが出来る。
 - ※分光観測...天体からの光を波長ごとに分けて、スペクトル(赤から紫までの虹の色)を取得する観測。原子や分子はそれぞれ特定の波長(色)の光を吸収するため、連続スペクトルの中に黒い線が見えたら黒い線があるところの波長だけを吸収する物質があるということになる。
- 惑星自体の自転周期
 - 惑星のある面が自転によって近づく・遠ざかる、という動きをドップラー法によって観測できる。対象の天体が必ずしも球体であるとは限らないため自転周期も一樣でない可能性はあるが、人間の生活周期を考える上でも惑星の公転周期を知ることは必要である。
 - ※ドップラー法...天体の運動による遠近の差にドップラー効果を用いることで天体の存在や動きを観測する観測方法。

画像出典

- 図1:exoplanet.eu
- 図2:nasa.gov/press-release/nasa-telescope-reveals-largest-batch-of-earth-size-habitable-zone-planets-around
- 図3:jaxa.jp/article/special/hayabusa_sp3/index_j.html
- 図5:nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/transit-light-curve.html
- 図10:sendaiuchukan.jp/asteroid/prepre18.html#Mar

もしも君が社の都で天文学者になったら...2018

主催:東北大学理学研究科天文学専攻
共催:仙台市天文台、宮城教育大学、東北大学学際科学フロンティア研究所
後援:宮城県教育委員会、日本学術振興会ひらめき☆ときめきサイエンス