

太陽系外惑星系の公転周期関係について

石坂 千春 *

概要

公開されている太陽系外惑星のデータベースを使って、系外惑星系で公転周期が尽数関係にあるものを調べた。特定の尽数関係にある組が多く存在することが分かった。

1. はじめに

太陽系以外の惑星(「太陽系外惑星」、略して系外惑星)は2018年4月現在で、5000個以上、見つかっている(図1)。中には、太陽系のように複数の惑星が回っている系も少なくない。

ところで太陽系の場合、金星と地球の公転周期の比は8:13で、ぴったり整数比になっている。こうした整数比になっているものを「尽数関係」と言う。尽数関係は惑星どうしが重力的に影響しあう「共鳴」とも関係が深く、惑星軌道の安定性を判定する指標にもなる可能性がある[1]。

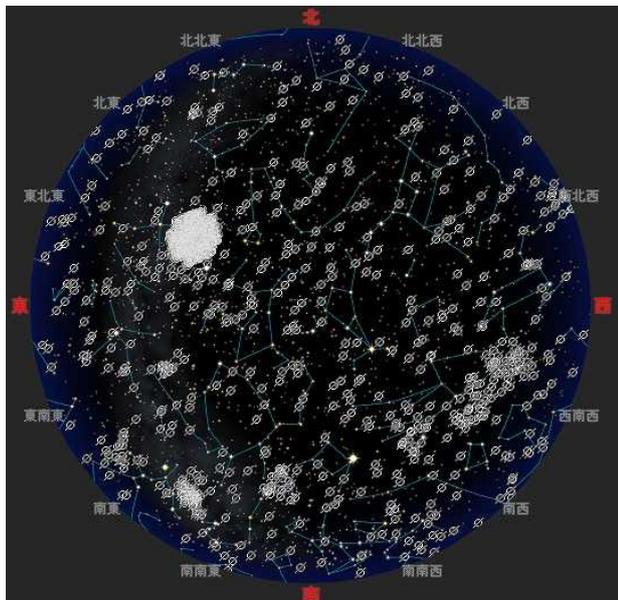


図1. 系外惑星系の分布(ステラナビゲータ10で作図した)。はくちょう座領域に密集しているのはケプラー衛星により発見されたもの。

では、太陽系以外にも、尽数関係にある惑星系はあるのだろうか? 公開されている系外惑星のデータベースを使って調べてみたので報告する。

なお、本稿は月刊うちゅう2018年6月号[2]に寄稿したものを元に再編したものである。

2. 方法

2-1. 系外惑星データベース

まずインターネット上で公開されている系外惑星のデータベースをダウンロードした。筆者は、パリ天文台の研究者が管理している <http://exoplanet.eu> を利用した。ここから太陽系外惑星のリスト「全てのカタログ」を CSV ファイルとしてダウンロードできる。

2018年3月28日にダウンロードした「全てのカタログ」には3,758個リストアップされていた。

このリストには恒星の名前、惑星質量、軌道周期、軌道要素、中心星の質量・光度・金属量・温度・赤経・赤緯・距離、それぞれの数値誤差、発見年、等、必要なデータが網羅的に記載されている。

このデータベースから複数の惑星が回っている系を選びだした。系外惑星は中心星名+アルファベット小文字で表され、発見順に b, c, d... と付いている。複数の惑星が回る系、つまり c 以上のアルファベットが付いている系は 616 あった。

なお、分析は全てエクセルを用いた。

2-2. データ処理

解析の方法を太陽系のデータ(表1)で説明する。

まず、それぞれの天体の公転周期を、一つ内側の天体の公転周期 p で割った比を求める(表1の3行目)。その逆数を分数表示にしたものが4行目、5行目は100と100 p をエクセルによって求めた最大公約数GCD(100,

*大阪市立科学館/中之島科学研究所

ROUND(100*p,-1)で割って整数比で近似したものである(ROUND関数は指定桁で四捨五入)。

分数表示と近似した整数比とで数値が違っているものもあるが、きれいな整数比になっている(尽数関係にある)組がいくつかあることが分かる。

前述のように、金星—地球は8:13の尽数関係であり、他に、木星—土星が2:5、天王星と海王星が1:2となっている。また、惑星ではないが、準惑星のケレスや冥王星についても、ケレス—木星が5:13、海王星—冥王星が2:3になっている。

表1. 太陽系天体の公転周期の比
(赤字はきれいな整数比で書けそうなもの)

天体名	公転周期 (年)	周期の 比	分数表 示	整数比
水星	0.2409	—	—	—
金星	0.6152	2.5538	9/23	5:13
地球	1.0000	1.6255	8/13	5:8
火星	1.8809	1.8809	42/79	10:19
ケレス	4.610	2.4510	20/49	2:5
木星	11.862	2.5731	7/18	5:13
土星	29.458	2.4834	31/77	2:5
天王星	84.021	2.8522	27/77	10:29
海王星	164.77	1.9611	26/51	1:2
冥王星	247.79	2.4834	2/3	2:3

3. 結果

複数の惑星が公転する 616 系外惑星系の、隣合う 934 組についてデータベースから抽出した公転周期のデータを解析した結果を示す。

周期比の頻度をまとめたものが表 2 および図 2 である。

表 2 および図 2 を見ると、公転周期の比が「2:3」もしくは「1:2」になっている組が突出して多いことが分かる。その他、特定の整数比が高頻度で存在している。

以下に、特記すべき周期比の組について、考察する。

3-1. 周期比 2:3

太陽系の海王星—冥王星と同じ関係である2:3の公転周期比は、楕円軌道の場合、会合の時に最も遠ざかるような配置にあれば、安定であることが分かっている。安定であるとは、つまり長期にわたって維持されるので、系外惑星系でも最も出現頻度が高く、前後の比率(1.45~1.55)を含めると74組あった。

どんぴしゃり2:3になっていたのは、Kepler-372 星系の惑星cとd(※Kepler*はケプラー宇宙望遠鏡が発見した惑星系。以下、K と省略)だったが、K372 星系の惑星の軌道離心率のデータがないので、海王星—冥王星のような共鳴関係にあるのかは不明である。

なお、K372は中心星の温度が太陽とほぼ同じ(おそらく太陽とよく似た恒星)なのに、cとdの公転周期がそれぞれ20日と30日なので、おそらく中心星に近すぎて、生命生存不可能な惑星だと思われる。

そのほか、「第2の太陽系」とも言えるような7つの惑星が回っているTRAPPIST-1系[3]で、dとe、eとfが2:3の関係にある。それぞれの公転周期は4日、6日、9日で「1年」が非常に短い、中心星の表面温度は2550Kしかなく、冷たい矮星なので、dもeもfも生命生存可能領域に入っている。

3-2. 周期比 1:2

2:3の関係に次いで多かったのが、1:2であった。

この「1:2」の関係は太陽系の天王星—海王星と同じ関係であるが、常に同じ場所で会合が起きるので、安定な場合もあれば、不安定な場合もある。それを反映しているのか、表2や図3では比が1.98付近は、ほとんど組が見つからない“空白領域”になっている。

3-3. 「10:17」および「10:19」

尽数関係とは言えないかもしれないが、周期比が1.7 前後の組も多かった。ここには3:5も含まれている。

また、地球—火星の関係でもある周期比 1.9 前後の組も比較的多いことが分かった。

3-4. 「5:8」および「8:13」

地球—金星の関係である「5:8」や「8:13」は前述してきた周期比に比べて頻度は高くなかったが、まったく無いわけではなく、1.55~1.65 の範囲に 48 組あった。

うち、K84e と f、K107c と d、K252b と c、K352b と c は尽数関係8:13 だが、いずれも生命が生存するには熱すぎる惑星であった。

4. まとめ

インターネット上で公開されている太陽系外惑星のデータを解析し、惑星どうしの公転周期が尽数関係(整数比)になっているものがないか調べてみた。

際立って多い公転周期比と、ほとんど見つからない公転周期比があることが分かった。

最も頻度が高かったのが2:3の尽数関係であった。

表2. 太陽系外惑星系の公転周期の比の頻度

周期比は 1.00 から 3.39 まで 0.01 刻みで集計している。水色でハッチを掛けているのは、頻度が0の組、ピンク色でハッチを掛けているのは頻度が比較的多い(10 組以上)あった周期比である。

比	件数										
1	1	1.2	2	1.4	4	1.6	4	1.8	3	2	7
1.01	1	1.21	0	1.41	3	1.61	7	1.81	2	2.01	4
1.02	0	1.22	0	1.42	3	1.62	5	1.82	4	2.02	8
1.03	0	1.23	0	1.43	5	1.63	4	1.83	4	2.03	5
1.04	1	1.24	1	1.44	2	1.64	3	1.84	3	2.04	14
1.05	0	1.25	3	1.45	2	1.65	6	1.85	6	2.05	7
1.06	0	1.26	6	1.46	9	1.66	4	1.86	6	2.06	5
1.07	0	1.27	1	1.47	2	1.67	7	1.87	4	2.07	6
1.08	0	1.28	1	1.48	8	1.68	3	1.88	3	2.08	3
1.09	0	1.29	3	1.49	4	1.69	6	1.89	5	2.09	3
1.1	0	1.3	0	1.5	4	1.7	12	1.9	4	2.1	4
1.11	0	1.31	1	1.51	19	1.71	3	1.91	11	2.11	3
1.12	0	1.32	0	1.52	10	1.72	6	1.92	4	2.12	2
1.13	0	1.33	4	1.53	6	1.73	6	1.93	4	2.13	4
1.14	0	1.34	5	1.54	8	1.74	6	1.94	7	2.14	5
1.15	0	1.35	2	1.55	4	1.75	0	1.95	3	2.15	8
1.16	0	1.36	3	1.56	4	1.76	3	1.96	3	2.16	7
1.17	2	1.37	4	1.57	6	1.77	4	1.97	1	2.17	6
1.18	0	1.38	2	1.58	2	1.78	6	1.98	0	2.18	7
1.19	1	1.39	3	1.59	9	1.79	3	1.99	1	2.19	7
比	件数										
2.2	5	2.4	2	2.6	2	2.8	3	3	2	3.2	1
2.21	2	2.41	1	2.61	1	2.81	6	3.01	0	3.21	0
2.22	6	2.42	4	2.62	1	2.82	0	3.02	2	3.22	1
2.23	1	2.43	2	2.63	2	2.83	2	3.03	3	3.23	0
2.24	1	2.44	1	2.64	0	2.84	4	3.04	1	3.24	1
2.25	2	2.45	5	2.65	2	2.85	2	3.05	2	3.25	2
2.26	6	2.46	1	2.66	2	2.86	2	3.06	0	3.26	0
2.27	2	2.47	3	2.67	1	2.87	1	3.07	0	3.27	1
2.28	1	2.48	2	2.68	5	2.88	1	3.08	0	3.28	1
2.29	2	2.49	4	2.69	0	2.89	2	3.09	3	3.29	1
2.3	3	2.5	3	2.7	2	2.9	1	3.1	2	3.3	2
2.31	3	2.51	0	2.71	1	2.91	1	3.11	1	3.31	1
2.32	3	2.52	4	2.72	3	2.92	1	3.12	1	3.32	0
2.33	4	2.53	2	2.73	4	2.93	2	3.13	0	3.33	0
2.34	5	2.54	3	2.74	2	2.94	5	3.14	1	3.34	1
2.35	4	2.55	3	2.75	2	2.95	1	3.15	2	3.35	0
2.36	1	2.56	3	2.76	4	2.96	0	3.16	1	3.36	0
2.37	1	2.57	5	2.77	0	2.97	1	3.17	2	3.37	0
2.38	4	2.58	0	2.78	2	2.98	1	3.18	2	3.38	1
2.39	2	2.59	3	2.79	3	2.99	0	3.19	0	3.39	1

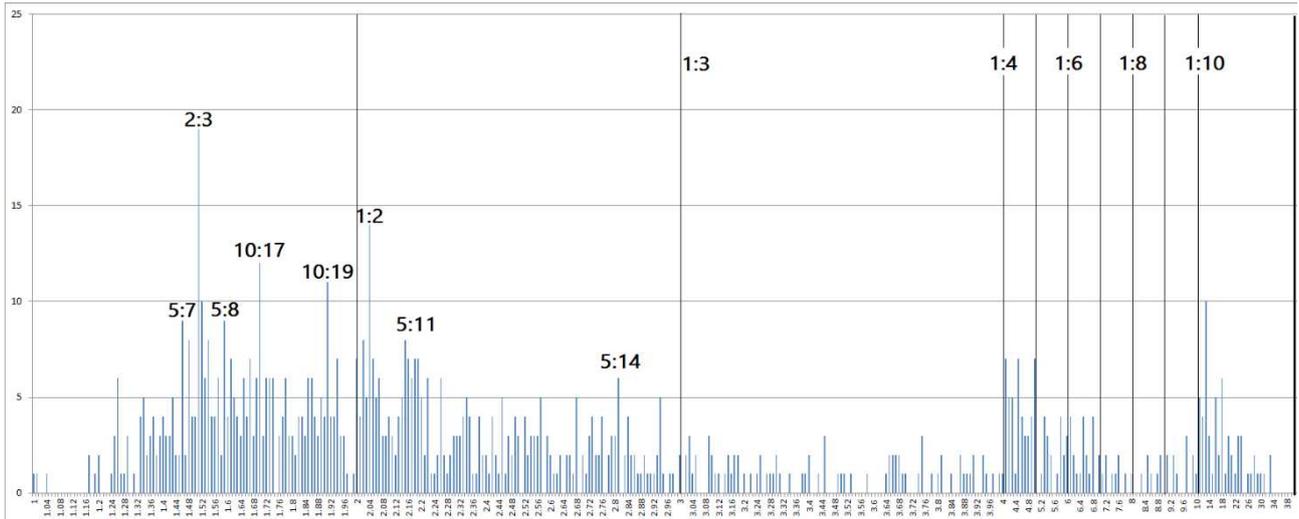


図2. 系外惑星系の公転周期比の頻度分布

一方、1:2の関係は多いとも言えるが、少ないとも言え、一意的な解釈は困難である。1.9~2.0を「2」に含めれば出現頻度が多いと言えるが、1.98のところは逆に組が見つかっていない。1:2の尽数関係が安定でもあり、不安定でもあることを反映しているものと思われる。今後、離心率や惑星の質量比等のデータとも比較し、1:2が実現している系の共通的な特徴を探ってみたい。

参考文献

- [1]石坂千春、大阪市立科学館研究報告21、p29 (2011)
- [2]石坂千春、月刊うちゅう35-3、p4(2018)