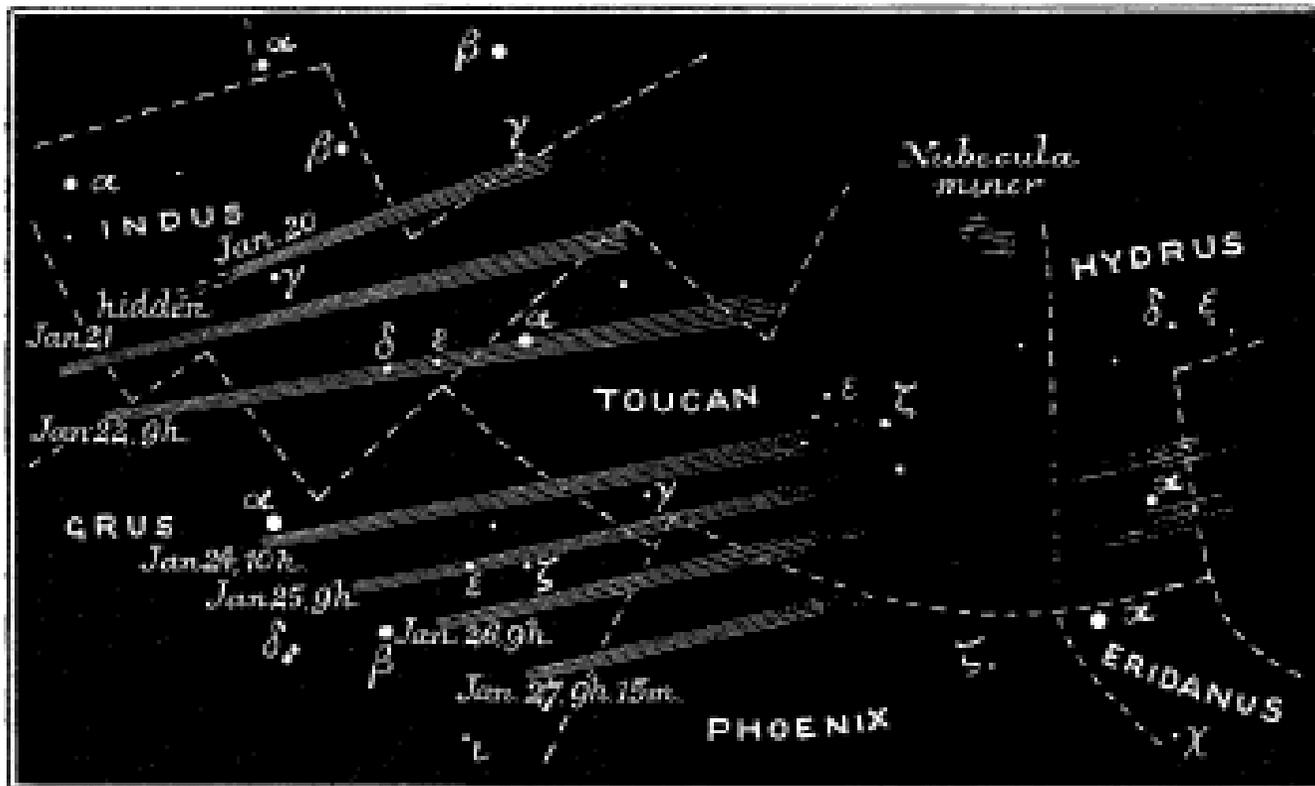


# 彗星の軌道計算について



# 1. 軌道計算の目的

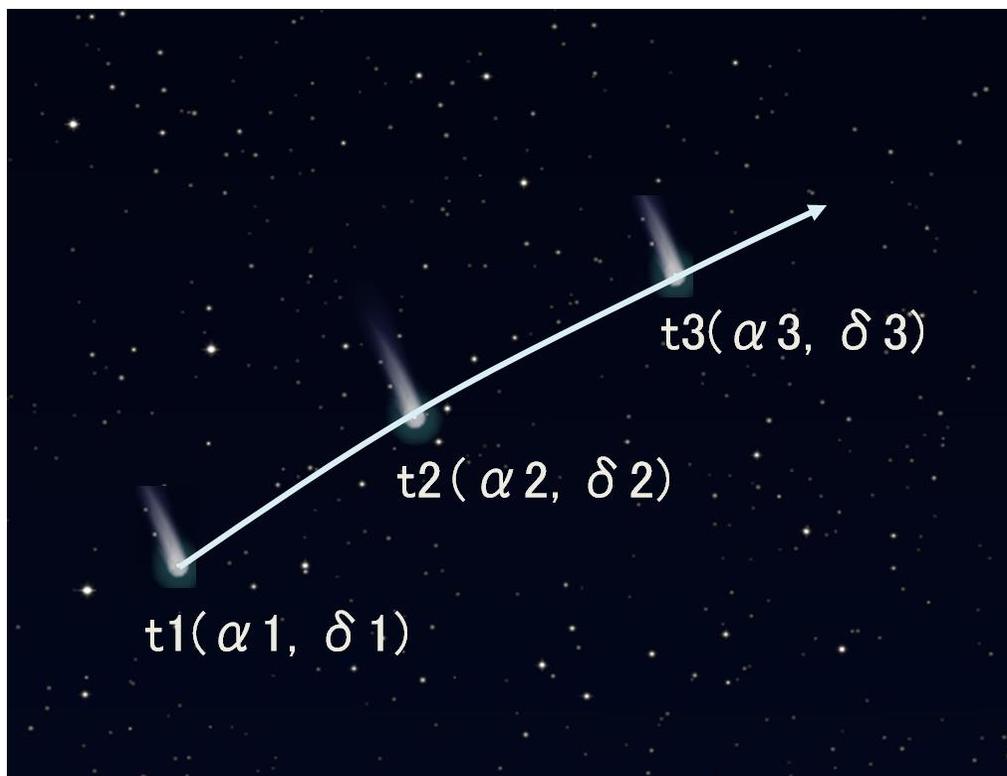
---

- ①初期軌道の計算
- ②軌道の改良
- ③周期彗星の身元調査(同定)
- ④周期彗星の精密軌道計算

# 1. 軌道計算の目的①

## □ 初期軌道の計算

- ・新彗星発見当初の位置観測を使用し、初期軌道を求める
- ・最低3個の観測があれば、軌道が計算できる
- ・「放物線軌道」が適用されることが多い



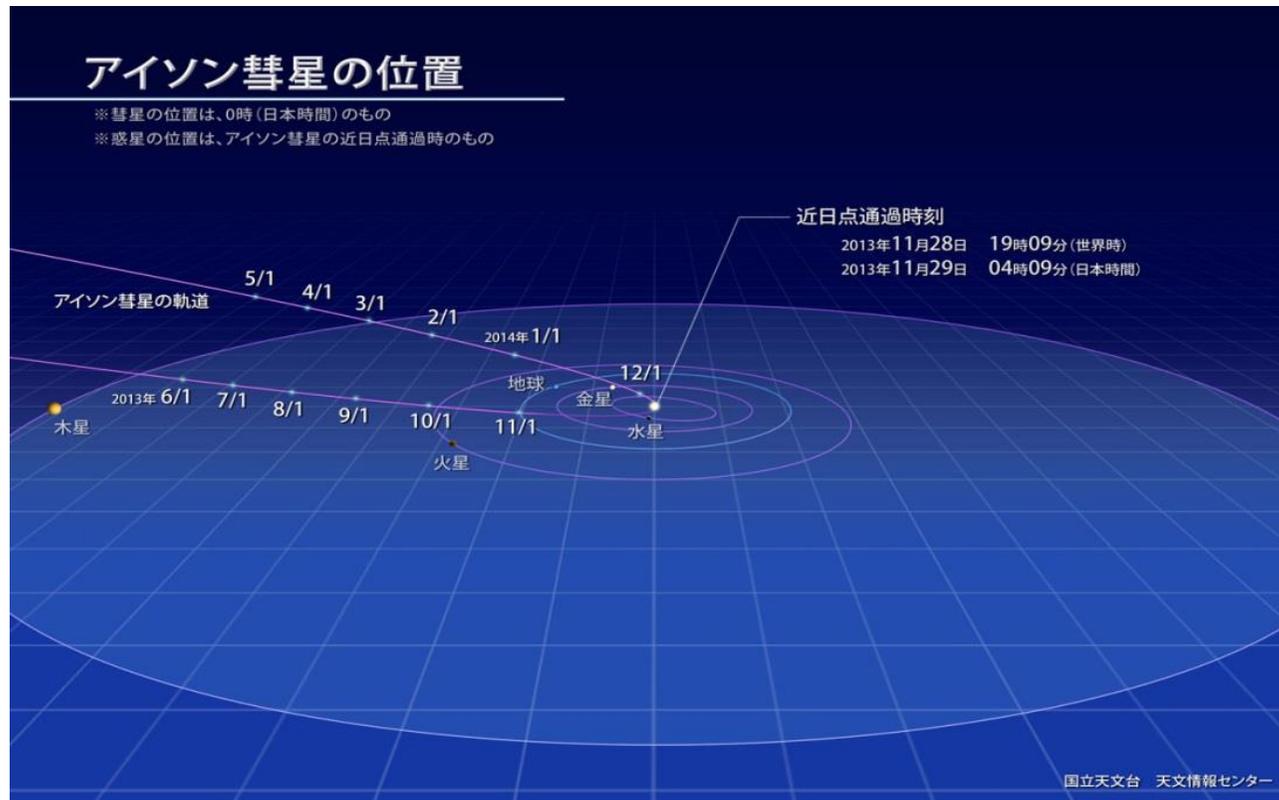
t1 : 発見観測  
t2, t3 : 追跡観測

t2-t1 ≐ 0.5日～2日  
t3-t2 ≐ 0.5日～2日

# 1. 軌道計算の目的①

## □ 初期軌道から判る事

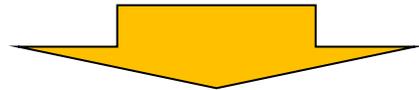
- ・彗星がどの方向に移動するか？
- ・彗星の旬(見ごろ)はいつか？
- ・どの程度太陽に近づくか？



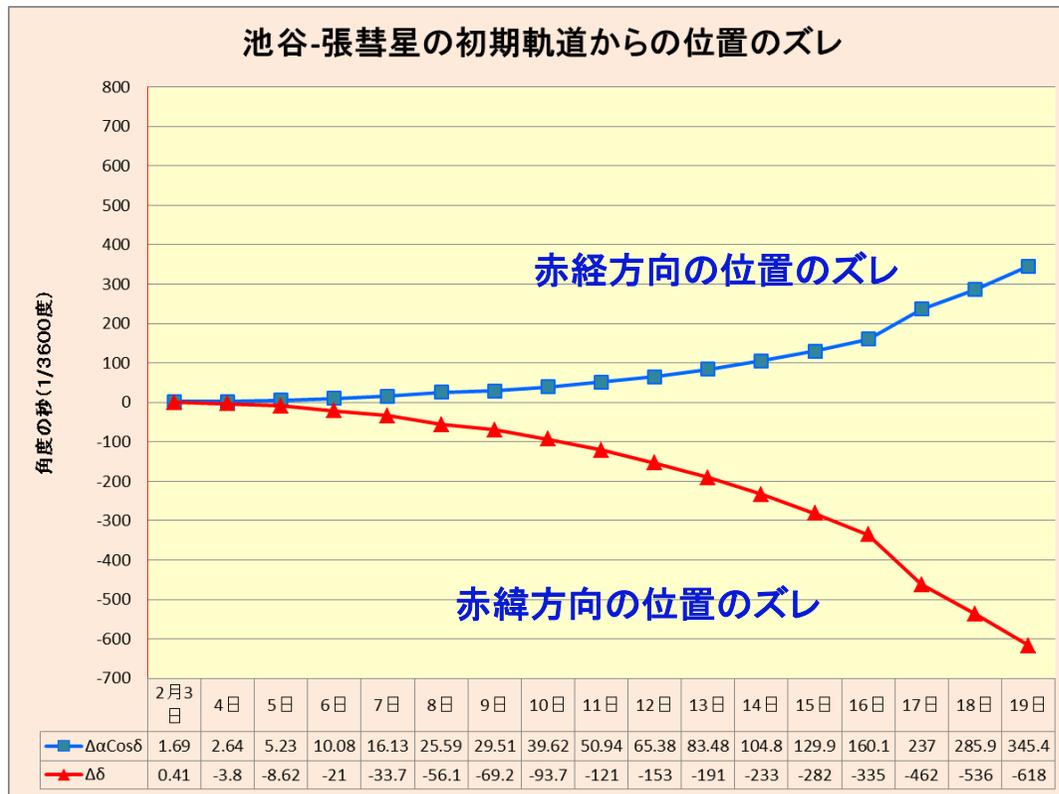
# 1. 軌道計算の目的②

## □ 軌道の改良

- ・初期軌道から求めた位置は、時間と共にズれていく



- ・長期間の観測にフィットする、精度の高い軌道を求める



- ・初期軌道はアーク1日の**放物線軌道**
- ・軌道改良の結果、**周期450年程の周期彗星**であることが判明

# 1. 軌道計算の目的③

## □ 周期彗星の身元調査(同定)

- ・過去に観測された彗星や小惑星との照合を行う
- ・古記録に記された彗星と同定される事も

### 池谷-張彗星の軌道の遷移(1)

軌道番号	近日点通過	前回の近日点通過	離心率	近日点距離	角度要素		
					$\omega$	$\Omega$	$i$
初期軌道	2002/3/8.912	—	1.0(仮定)	0.49127	19.237	111.715	26.341
改良軌道1	2002/3/18.9388	1552年	0.991207	0.50720	34.5777	93.4156	28.111

### 同定候補

1532 R1	1532/10/18.832	—	1.0(仮定)	0.51922	32.59	93.81	24.53
1661 C1	1661/01/27.381	—	1.0(仮定)	0.442722	33.015	86.562	33.450



### 池谷-張彗星の軌道の遷移(2)

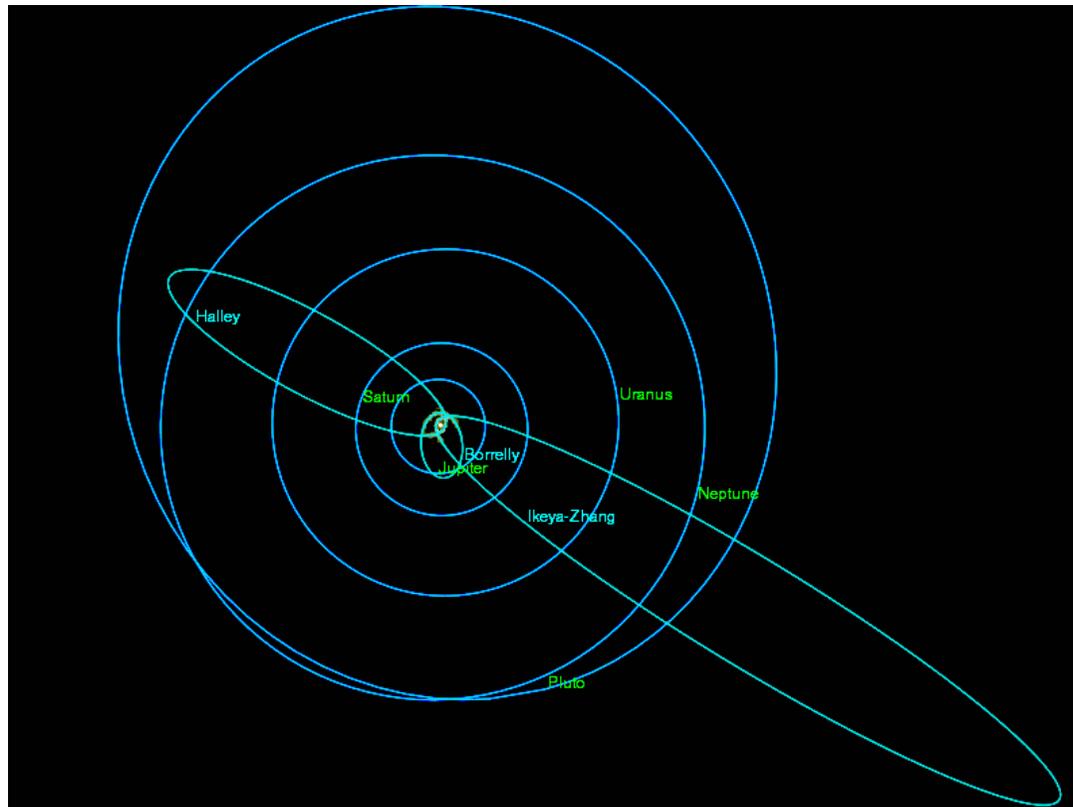
改良軌道2	2002/3/18.97967	1661年	0.990107	0.5070666	34.6686	93.369	28.1211
-------	-----------------	-------	----------	-----------	---------	--------	---------

# 1. 軌道計算の目的③

## □ 周期彗星の身元調査(同定) ～ その後

- ・池谷-張彗星と1661 C1彗星のリンク軌道を計算、同定が 成立する事を証明
- ・877年と1273年の彗星も、この彗星と同定できる事を発見
- ・最も長い周期(約400年)の彗星の誕生

(I. Hasegawa, S. Nakano , 2003, MNRS 343)

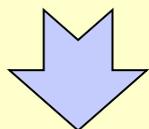


# 1. 軌道計算の目的④

## □ 周期彗星の精密軌道計算

- ・周期彗星の番号登録

- ・新周期彗星の回帰予報計算



- ・2回の回帰で観測されれば番号登録、軌道が確定

- ・ロストコメットの予報

- ・番号登録された彗星でも、行方不明になる事がある

- ・観測技術の発達

- ・軌道計算者の努力



ロストコメットの再発見へ

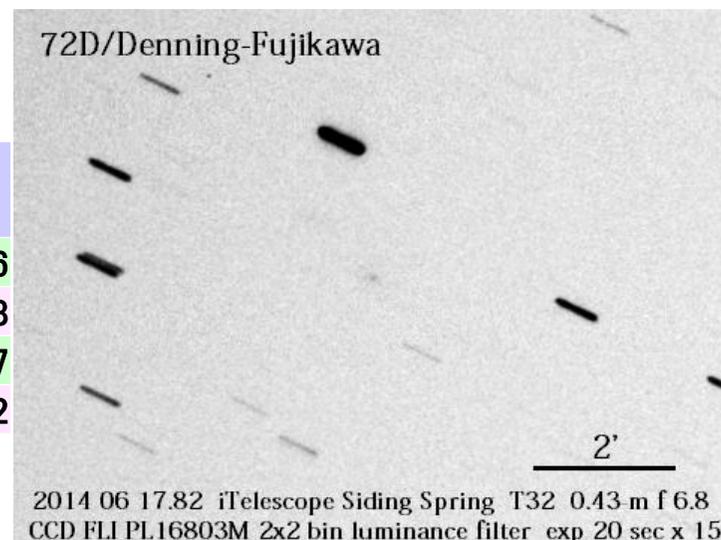
# 1. 軌道計算の目的④

## ロストコメットの検出例 ～ デニング-藤川彗星

発生年	出来事
1881年	デニングさんが発見、周期約9年の軌道が計算
1890年	回帰予定年、検出されず行方不明に
1978年	藤川さんが再発見、デニング-藤川彗星誕生
1987年	回帰予定年、検出されず、再び行方不明に(96年、05年も未検出)
2014年	日本の軌道計算者(のみ)が回帰予報計算 佐藤英貴氏が6月18日に16等級で再々発見 予報位置からのズレは僅か0.2度!

### 計算者毎の予報

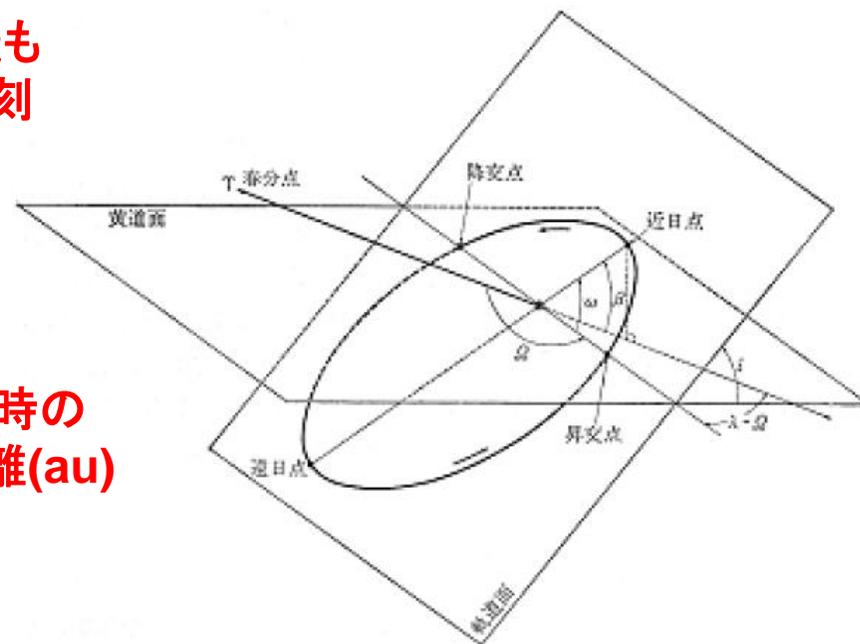
計算者	予報(近日点通過日)	$\Delta T$ (予報のズレ)
中野	2014/07/11.39402	0.2356
佐藤(裕久)-村岡	2014/07/11.41981	0.2098
木下(一男)	2014/07/11.48397	0.1457
小林	2014/07/11.36949	0.2602



## 2. 彗星の軌道要素

- 彗星の軌道は惑星の軌道と比べ大きさと形、そして傾きが大きく異なる
- 軌道の形状と傾きを決めるのが軌道要素
- 6個のパラメータで軌道が決まる

T	近日点通過時刻	→ 太陽に最も近づく時刻
Per i.	近日点引数	} 軌道の傾き(度)
Node	昇交点黄経	
Incl.	軌道傾斜角	
e	離心率	→ 軌道の形
q	近日点距離	→ 近日点通過時の太陽との距離(au)



※au:天文単位 (約1.5億Km)

※彗星の軌道は惑星の引力により時々刻々変化している。また、中にはロケット効果を示すものもある。精密な軌道には、次の要素が付加されることがある。

EPOCH(元期) : 軌道要素の時間的な起点

非重力係数 : A1, A2, A3 又は Y1, Y2, Y3

### 3. 軌道要素から判る事①

#### ■軌道の形

- 離心率( $e$ )  $< 1.0$  --- 楕円軌道
- $= 1.0$  --- 放物線軌道
- $> 1.0$  --- 双曲線軌道

#### ■近日点通過時刻(T)

- ・未来の日付であれば、彗星は太陽に近づく方向に移動

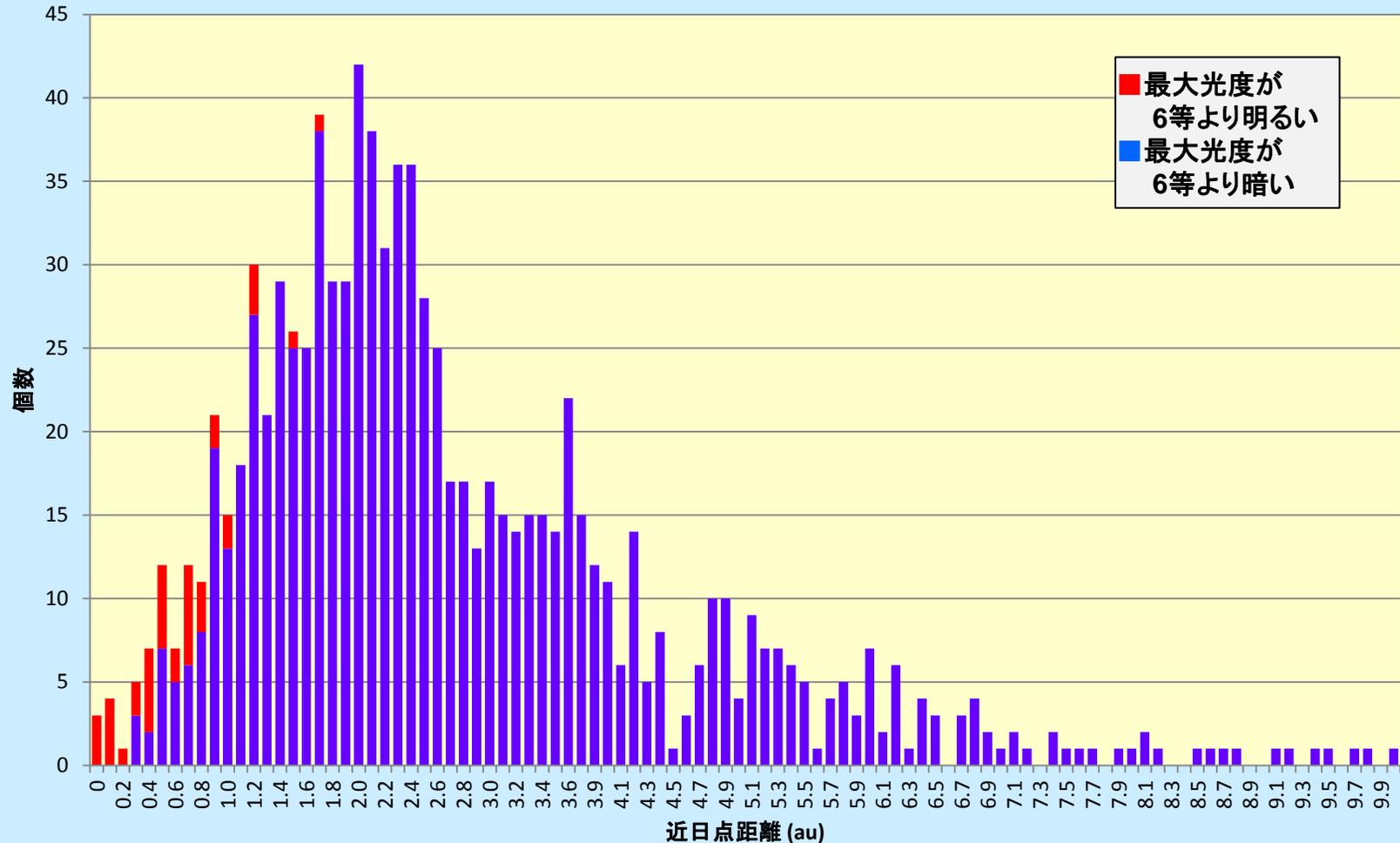
#### ■近日点距離(q)

- ・小さいほど太陽に接近、明るくなる可能性大

### 3. 軌道要素から判る事②

#### ■ 近日点距離の分布

1995年～2014年に出現した新彗星の近日点距離の分布



## 4.軌道計算を始めるには？

### ■軌道計算に必要なもの

- ・パーソナルコンピュータ
- ・軌道計算プログラム
- ・位置観測データ（詳細は付録3. に）

### ■軌道計算プログラム

優秀な軌道計算ソフト(フリーソフト)が公開され、誰でも手軽に軌道計算できる時代に

- ・「Find\_Orb」は高機能で世界中で使用
- ・「OrbitLife」(下元繁男氏作)は国内での愛用者が多い

### Find\_OrbとOrbitLifeの比較

計算ソフト	初期軌道の計算		軌道改良			リンク軌道		出力フォーマット	日本語対応
	放物線	楕円	観測の選択	摂動なし	摂動あり	非重力効果	相対論効果	MPC形式	
Find_Orb	○	○	○	○	○	○	○	○	×
OrbitLife	○	○	○	○	○	△	×	○	○

## 5.計算結果を報告する際の注意事項

### ■注意事項

#### ・単純ミス

離心率がマイナス

角度要素がマイナス又は360度以上、など

#### ・計算結果は妥当？

残差の系統的傾向(偏り)

非重力効果の適用限界(A1, A2の異常値)、など

#### ・報告フォーマットに適合しているか？

### ■報告先

詳細は付録2.

### ■報告フォーマット

詳細は付録2.

## 6.日本の軌道計算者

状況	1980年以降、多くのアマチュア天文家が軌道計算の分野に参入、そのうちの何人かは世界的な活躍をしている
背景	<ul style="list-style-type: none"><li>● 長谷川、古川、大石各先生の熱心な指導 長谷川先生の「天体軌道論(手書き)」は1969年に執筆開始、約100名が購読</li><li>● 中野、浦田両氏の大活躍</li><li>● パーソナルコンピュータ及びインターネットの普及</li></ul>

計算者	主な業績
佐藤 裕久	OAA彗星年表の編集長、C/2005 P3 (SWAN)の発見
下元 繁男	OrbitLife(軌道計算ソフト)の開発、OAA彗星年表の編集
木下 一男	HPで情報発信、彗星の軌道計算、小惑星の同定
村岡 健治	デヴィコ・スイフト彗星、テンペル・スイフト彗星の同定
小林 隆男	彗星の軌道計算、小惑星の同定
古田 俊正	小惑星の同定、天体写真家としても著名
市川 清孝	小惑星の同定、彗星の軌道計算
金田 宏	小惑星の同定、新星・小惑星の発見者としても著名

# 付録1. CBET/MPECの軌道要素の見方

①	C/2013 US10 (Catalina)				
②	Epoch 2015 Dec. 4.0 TT = JDT 2457360.5				
③	T 2015 Nov. 15.71852 TT				⑩ MPCW
④	q	0.8229452	(2000.0)	P	Q
⑤	z	-0.0003867	⑦ Peri. 340.36078	⑫ -0.90561683	⑫ -0.42047255
		+/-0.0000013	⑧ Node 186.14498	⑬ -0.28586388	⑬ +0.50885107
⑥	e	1.0003183	⑨ Incl. 148.87863	⑭ -0.31327304	⑭ +0.75118135
⑪	From 937 observations 2013 Aug. 14–2015 May 12, mean residual 0".4.				

① 彗星符号と彗星名

② 軌道の元期

③ 近日点通過時刻

④ 近日点距離

⑤  $1/a$ の逆数と平均残差

⑥ 離心率

⑦ 近日点引数

⑧ 昇交点黄経

⑨ 軌道傾斜角

⑩ 軌道計算者

⑪ 軌道計算に用いた観測数と観測期間  
及び平均残差

⑫～⑭ 角度要素 (⑦～⑨) の単位ベクトル

## 付録2.計算結果の報告方法

### ■報告先

- ・小惑星センター

<http://www.minorplanetcenter.org/iau/mpc.html>

- ・OAA

<http://www.oaa.gr.jp/~muramatu/>

### ■報告フォーマット

- ・外部フォーマット

MPCフォーマット(付録1.)が使用されることが多い

- ・内部フォーマット

国内では「NKフォーマット」の使用が良い、と思われる

```
0038 18670120.64903262 1.5753639493 0.8584339971 357.53813733 80.31591904 18.20371386 18670203. 0.30803839 -0.0032219452
P/Stephan-Oterma *1867B1 13.0 10 3.5 30G 258 1867-1981 1.25 d0.08 unpublsh 15k M_v 19810404(801)
0038 19040524.03874694 1.5875860450 0.8606177921 358.31766992 79.18131160 17.92506047 19040609. 0.30803839 -0.0032219452
P/Stephan-Oterma 13.0 10 3.5 30G 258 1867-1981 1.25 d0.09 unpublsh 15k M_v 19810404(801)
0038 19421219.09026733 1.5952898615 0.8609828718 358.29151623 79.28689509 17.90171925 19421227. 0.30803839 -0.0032219452
P/Stephan-Oterma 1942V1 13.0 10 3.5 30G 258 1867-1981 1.25 d0.09 unpublsh 15k M_v 19810404(801)
0038 19801205.16499005 1.5743555477 0.8599960334 358.18153338 79.19063769 17.98168454 19801117. 0.30803839 -0.0032219452
P/Stephan-Oterma 1980L2 13.0 10 3.5 30G 258 1867-1981 1.25 d0.08 unpublsh 15k M_v 19810404(801)
0038 20181110.97151104 1.5885872053 0.8593400854 359.58108619 77.99965752 18.35298332 20181118. 0.30803839 -0.0032219452
P/Stephan-Oterma 13.0 10 3.5 30G 258 1867-1981 1.25 d0.08 unpublsh 15k M_v 19810404(801)
```

# 付録3.位置観測データの入手方法

## ■小惑星センターのデータアーカイブ

概ね、1970年以降の位置観測データ

[http://www.minorplanetcenter.net/db\\_search](http://www.minorplanetcenter.net/db_search)

## ■IAUサーキュラー

1940年～1990年頃までの位置観測データ

## ■AJ(Astronomical Journal)

1900年以降の位置観測データ

## ■AN(Astronomische Nachrichten)

1800年代の位置観測データ

1955 March		THE ASTRONOMICAL JOURNAL				59
U.T.	R.A.	Decl.	Exp. (Min.)	Instr.	Comparison Stars	
1954						
Feb. 3.22081	4 01 40.96	+13° 34' 41".0	20	82 McD	Bord. +13°, 3 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> , 50, 53, 68.	
Feb. 4.17523	4 02 30.51	+13 39 32.5	20	82 McD	Bord. +13°, 3 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> , 60, 67, 68.	
Feb. 5.17232	4 03 23.71	+13 44 53.7	20	82 McD	Bord. +14°, 4 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> , 52, 55, 61(+)	
1955						
Comet 1955 c (Periodic Pans-Brooks)						
July 2.22604	18 38 30.89	+51 21 20.8	10	82 McD	Cat. +52°, 18 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> , 251, 267, 293.	
July 3.23268	18 37 08.48	+51 26 15.2	10	82 McD	Cat. +52°, 18 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> , 227, 234, 240.	
July 4.22951	18 35 46.38	+51 30 46.5	2	82 McD	Cat. +52°, 18 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> , 179, 184, 191.	
July 5.23264	18 34 23.80	+51 35 03.7	2	82 McD	Cat. +52°, 18 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> , 118, 144, 146.	
July 15.22257	18 20 14.91	+52 02 28.0	6	82 McD	Cat. +52°, 18 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> , 51, 97, 98.	
July 15.35069	18 20 02.65	+52 02 37.7	10	82 McD	Ibid.	
July 16.33264	18 18 39.64	+52 03 43.2	10	82 McD	Cat. +52°, 18 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> , 11, 16, 51.	
Aug. 14.12841	17 42 11.83	+50 39 36.7	18	24 Yk	Cat. +51°, 17 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> , 206, 210, 236.	
Aug. 14.14039	17 42 10.75	+50 39 33.3	16	24 Yk	Ibid.	
Aug. 17.17670	17 39 15.35	+50 19 13.2	18	24 Yk	Cat. +50°, 17 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> , 136, 139, 153.	
Aug. 17.19059	17 39 14.86	+50 19 10.5	18	24 Yk	Ibid.	
Aug. 19.30339	17 37 21.24	+50 04 06.9	18	24 Yk	Cat. +50°, 17 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> , 97, 116, 117.	
Aug. 19.31797	17 37 20.27	+50 03 59.1	20	24 Yk	Ibid.	
Aug. 20.30243	17 36 29.99	+49 56 39.6	18	24 Yk	Cat. +50°, 17 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> , 66, 97, 110.	
Sept. 1.11215	17 28 27.77	+48 18 18.4	20	24 Yk	Cat. +48°, 17 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> , 59, 68, 69.	
Sept. 1.12708	17 28 27.37	+48 18 11.6	20	24 Yk	Ibid.	
Sept. 9.12815	17 25 13.46	+47 02 56.5	12	24 Yk	Cat. +47°, 17 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> , 88, 97, 105.	
Sept. 15.13086	17 23 58.23	+46 05 48.5	16	24 Yk	Cat. +47°, 17 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> , 42, 68, 95.	
Sept. 28.09711	17 24 48.97	+43 43 47.0	5	24 Yk	Heis. +43°, 17 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> , 66, 101, 103.	
Sept. 30.11597	17 25 02.35	+43 32 40.3	16	24 Yk	Heis. +43°, 17 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> , 184, 113, 127.	
Oct. 1.06228	17 25 18.05	+43 24 14.5	4	24 Yk	Heis. +43°, 17 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> , 114, 129, 146.	
Oct. 2.06202	17 25 55.08	+43 04 23.6	16	24 Yk	Heis. +43°, 17 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> , 130, 131, 179.	
Oct. 7.06262	17 27 52.68	+42 15 40.6	16	24 Yk	Heis. +43°, 17 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> , 230, 195, 194.	
Oct. 11.05417	17 29 20.86	+41 47 23.6	16	24 Yk	Heis. +42°, 17 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> , 83, 84, 108.	
Oct. 12.09812	17 29 44.23	+41 28 11.3	16	24 Yk	Heis. +42°, 17 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> , 96, 123, 124.	
Oct. 22.00769	17 38 42.08	+39 43 29.6	6	24 Yk	Hyd. +39°, 40559, 561, 562.	
Oct. 26.02458	17 39 36.67	+39 40 16.5	16	24 Yk	Hyd. +39°, 40546, 542, 544.	
Oct. 28.03551	17 42 14.82	+39 11 12.2	16	24 Yk	Hyd. +39°, 40515, 545, 488.	
Oct. 31.02911	17 44 05.54	+38 55 49.4	16	24 Yk	Hyd. +39°, 40764, 726, 761.	
Nov. 4.02276	17 48 03.67	+38 26 34.6	16	24 Yk	Hyd. +39°, 40862, 683, 712.	
Nov. 9.05503	17 53 26.57	+37 51 53.8	8	24 Yk	Hyd. +38°, 38132, 100, 135.	