

2013. 1. 13 Paofits WS in 仙台天文台

# 太陽活動データベース画像を利用した ケプラーの第一法則を確認する 実習教材の開発と実践

1. 地球軌道の離心率を求める原理
2. 実習教材と授業の概要
3. 実習前後の認識の変化(アンケート結果)

**Paofits WG**

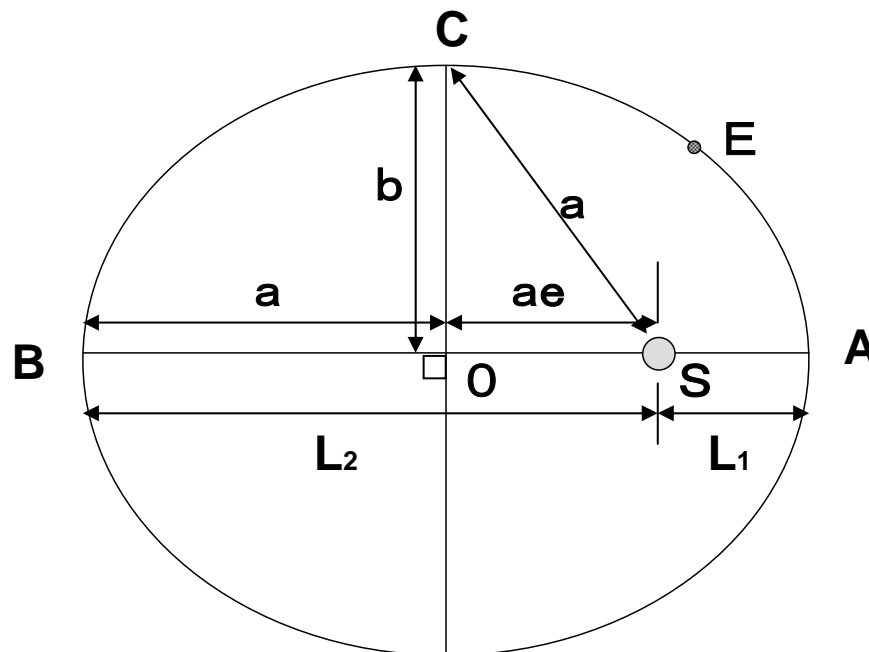
滋賀県立長浜北星高校

山村 秀人

## ケプラーの第一法則

- 惑星は太陽をひとつの焦点とする楕円軌道上を動く

S: 太陽  
E: 地球  
A: 近日点  
B: 遠日点



L<sub>1</sub>: 近日点距離  
L<sub>2</sub>: 遠日点距離  
a: 軌道の長半径  
b: 軌道の短半径  
e: 軌道の離心率

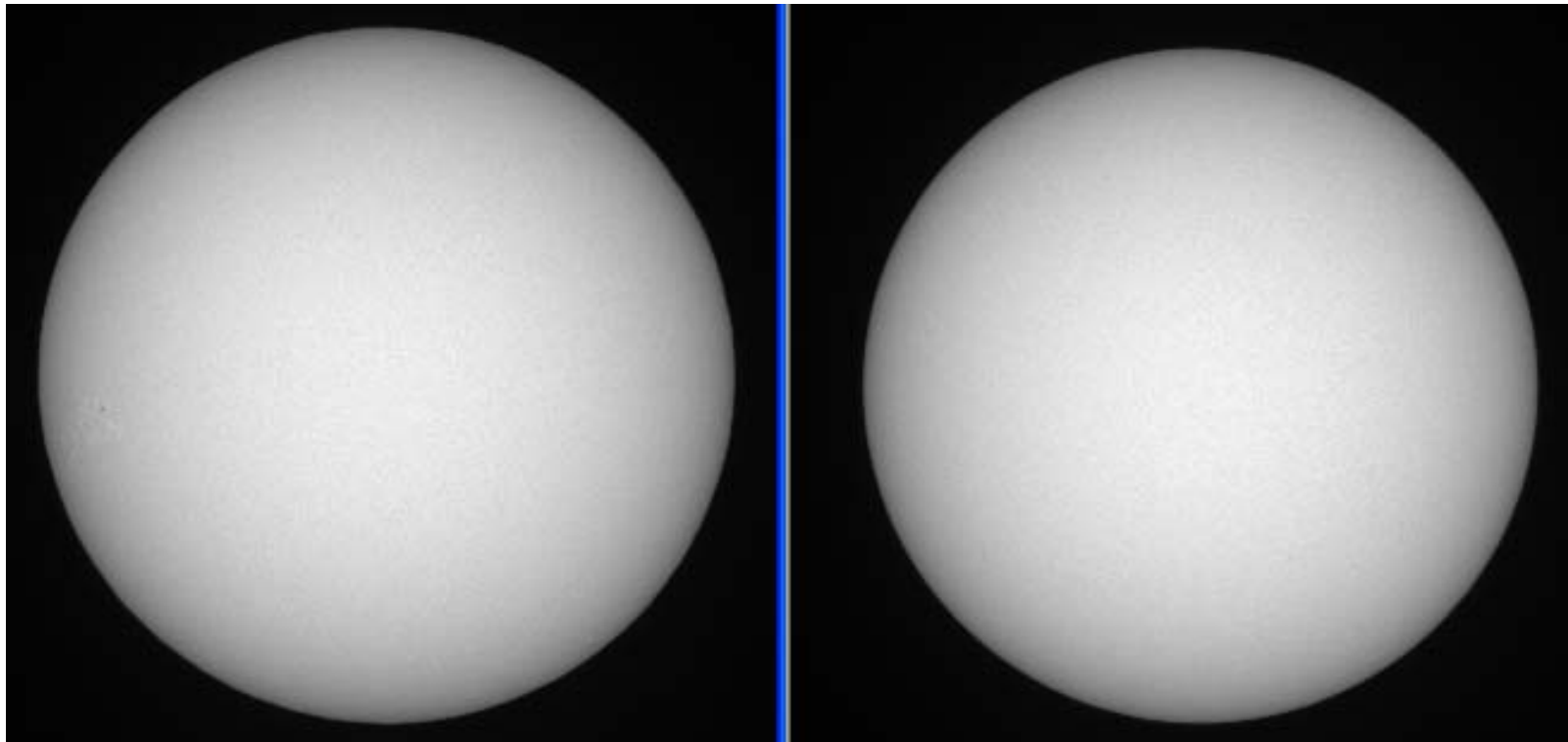
$$a = (L_2 + L_1) / 2$$
$$ae = (L_2 - L_1) / 2$$

離心率  $e = OS / OA = (L_2 - L_1) / (L_2 + L_1)$   
 $= (L_2 / L_1 - 1) / (L_2 / L_1 + 1)$

$e = 0$ : 円軌道  
 $0 < e < 1$ : 楕円軌道  
 $e = 1$ : 放物線軌道

# 光球の視直径の比較

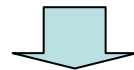
NAO10cm黒点望遠鏡による白色光太陽画像 (FITS)



2008年1月3日

2008年7月1日

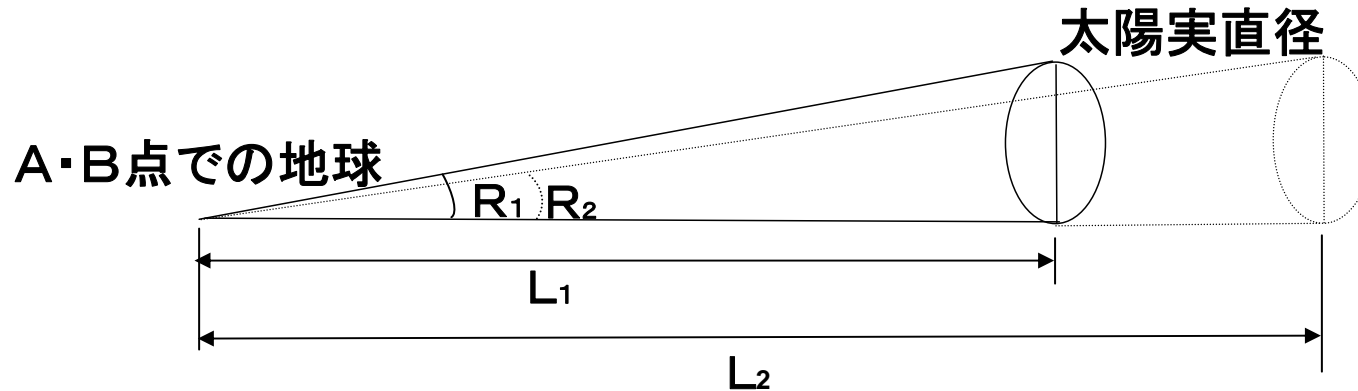
太陽の光球の大きさが変化する



地球太陽間の距離が変化している

1年を通して太陽の光球の大きさを調べる

# ・近日点と遠日点から見た太陽の視直径



見かけの大きさ(視直径)は距離に反比例するので

$$L2/L1 = R1/R2 \dots \dots \textcircled{1}$$

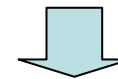
距離の比は視直径の逆比になる

視直径の比  $R1/R2 = L2/L1$  →

$$e = (L2 - L1) / (L2 + L1)$$

$$e = (R1/R2 - 1) / (R1/R2 + 1)$$

$R1, R2$  : 角度で表す光球の視直径  
FITS画像ではピクセル数で表すことができる。



地球の遠日点と近日点から太陽までの距離の比



地球軌道の離心率  $e$  <sup>4</sup>

# 実践授業の構成

3年選択授業 地球学（総合学科、工業系・商業系・普通系）  
 選択生 男子 16人 女子 7人 計23人

表 1. 本実習授業関連の授業構成

	内 容	形 式	場 所
1 時間目	惑星軌道とケプラーの法則 楕円と離心率	講義	普通教室
2 時間目	解析ソフトの使い方と測定方法 視直径の測定と測定データの入力	実習	P C 教室
3 時間目	視直径測定データの集約とグラフ化 離心率導出と考察の計算, 考察	実習	P C 教室
4 時間目	考察の振り返りと 実習のまとめ	実習 講義	普通教室

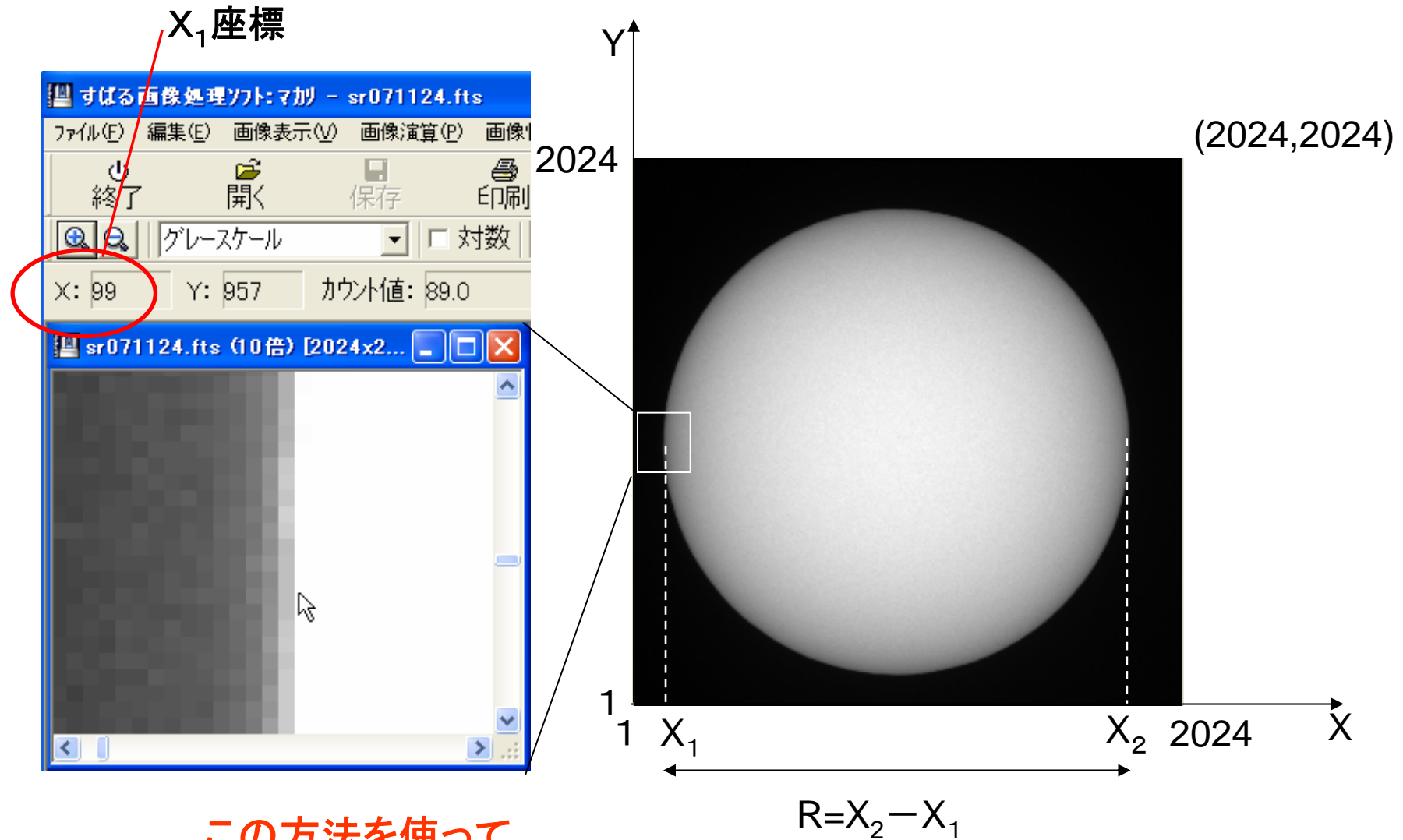
事前アンケート

事後アンケート

# 実習の流れ

1. 太陽画像のダウンロード←NAO太陽活動データベース
2. 光球の視直径の測定(1年3ヶ月間、10日毎、48画像  
1画像3回測定、23人で分担、6画像／1人)
3. 視直径測定値の集約・平均→グラフ化
4. 視直径の最大・最小値を求める
5. 離心率の導出(自動計算)
6. 考察(地球軌道の形)

## 2. FITS画像の座標を利用して視直径を求める



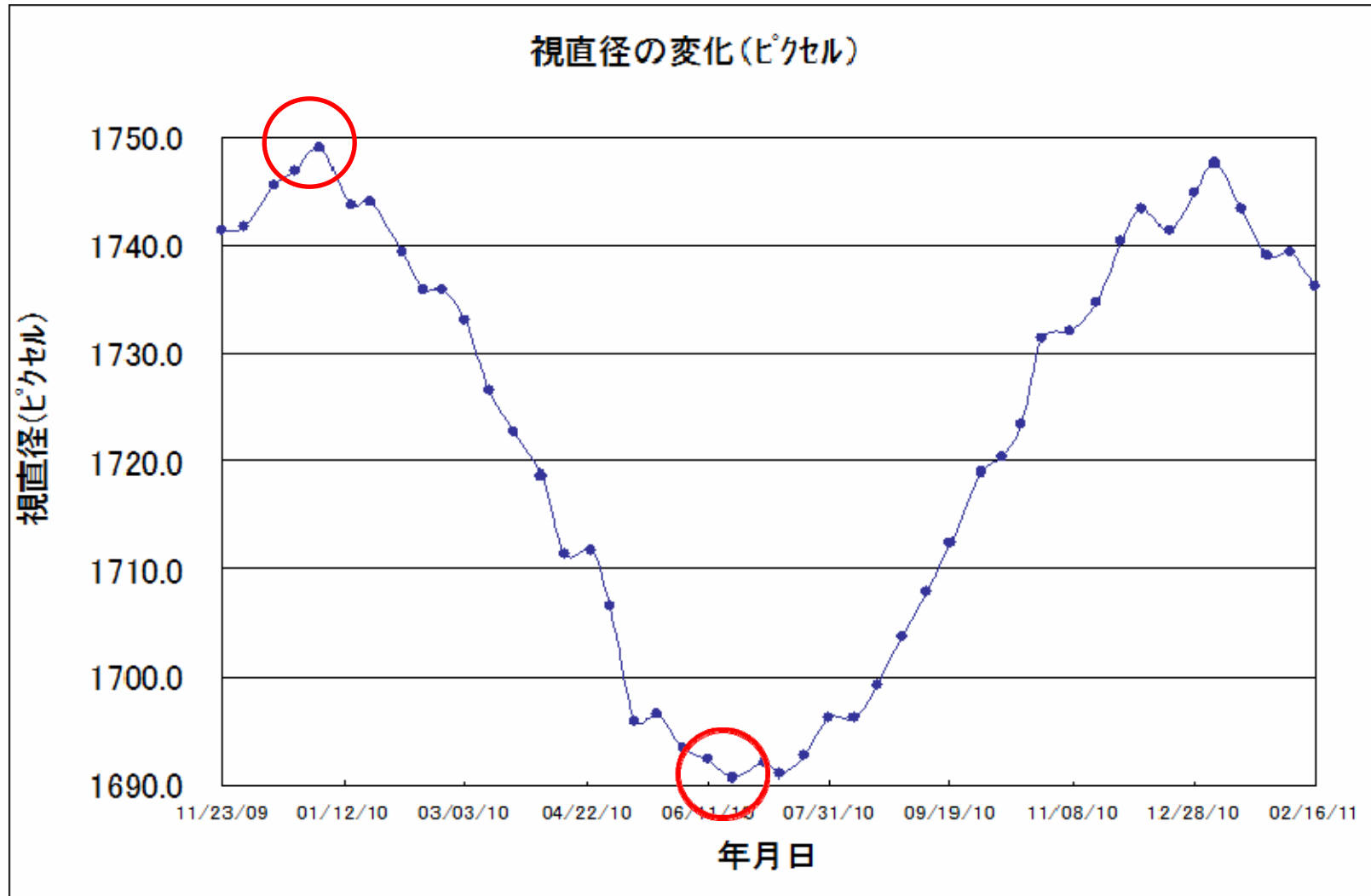
この方法を使って、  
1年間の光球視直径の変化を調べる

# 3. 視直径測定値データの集約

10日毎			観測日		測定者A			測定者B			測定者C			平均値
Y	M	D	DATE		X1	X2	Dp(X2-X1)	X1	X2	Dp(X2-X1)	X1	X2	Dp(X2-X1)	AveDp
2009	11	23	2009/11/23		A1			B1			C1			0.0
2009	12	3	2009/12/2		A2			B2			C2			0.0
2009	12	13	2009/12/14		A3			B3			C3			0.0
観測日			測定者A			測定者B			測定者C			平均値		
DATE			X1	X2	Dp(X2-X1)	X1	X2	Dp(X2-X1)	X1	X2	Dp(X2-X1)	AveDp		
2009/11/23			95	1837	1742	95	1837	1742	95	1835	1740	1741.3		
2009/12/2			87	1828	1741	111	1854	1743	112	1853	1741	1741.7		
2009/12/14			149	1894	1745	149	1893	1744	148	1896	1748	1745.7		
2009/12/23			102	1849	1747	102	1850	1748	103	1849	1746	1747.0		
2010/1/2			160	1909	1749	159	1909	1750	160	1908	1748	1749.0		
2010/1/15			200	1940	1740	196	1942	1746	197	1942	1745	1743.7		
2010/1/23			129	1870	1741	102	1849	1747	127	1871	1744	1744.0		
2010/2/5			89	1830	1741	87	1828	1741	90	1826	1736	1739.3		
2010/2/14			59	1795	1736	59	1796	1737	60	1795	1735	1736.0		
2010/2/21			232	1970	1738	234	1970	1736	234	1968	1734	1736.0		
2010/3/3			140	1875	1735	142	1869	1727	138	1875	1737	1733.0		
2010/3/13			89	1815	1726	88	1815	1727	88	1815	1727	1726.7		
2010/3/23			106	1829	1723	108	1828	1720	105	1830	1725	1722.7		
2010/4/3			185	1906	1721	186	1905	1719	187	1903	1716	1718.7		
2010/4/13			45	1757	1712	44	1756	1712	45	1755	1710	1711.3		
2010/4/24			126	1838	1712	125	1838	1713	127	1837	1710	1711.7		
2010/5/2			160	1866	1706	157	1865	1708	160	1866	1706	1706.7		
2010/5/12			239	1936	1697	243	1933	1690	236	1937	1701	1696.0		
2010/5/21			134	1831	1697	133	1831	1698	135	1830	1695	1696.7		



# 3. 太陽視直径の変化



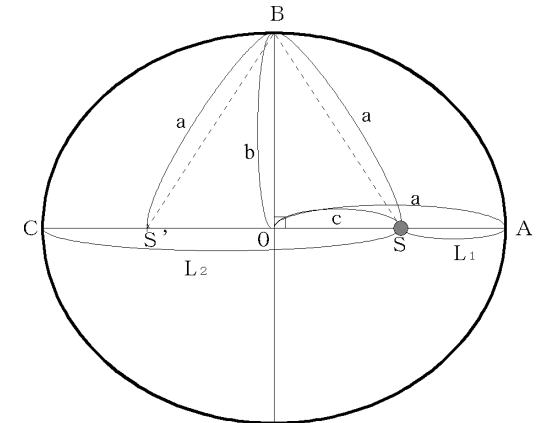
# 5. 離心率の導出結果

視直径の違い(ピクセル単位)					
最大値			最小値	差	%
1749			1691	58	3.3
			地球軌道の離心率 : e		
$R_1/R_2$	$R_1/R_2 - 1$	$R_1/R_2 + 1$	$(R_1/R_2 - 1)/(R_1/R_2 + 1)$		
1.0343	0.0343	2.0343	<b>0.0169</b>		
地球の軌道離心率は $e = 0.0167$ (理科年表より)					

# 考察の計算

## 考察の計算

	離心率: $e$	太陽地球間の平均距離: $a$	近日点距離: $L_1$	遠日点距離: $L_2$
	求めた値	1天文単位 $1.4960 \times 10^8 \text{km}$ (実際の距離)	$a - ae = a(1 - e)$	$a + ae = a(1 + e)$
考察(1)	0.0169	天文単位 1	天文単位 0.9831	天文単位 1.0169
	0.0169	km 1.496E+08	km 1.471E+08	km 1.521E+08



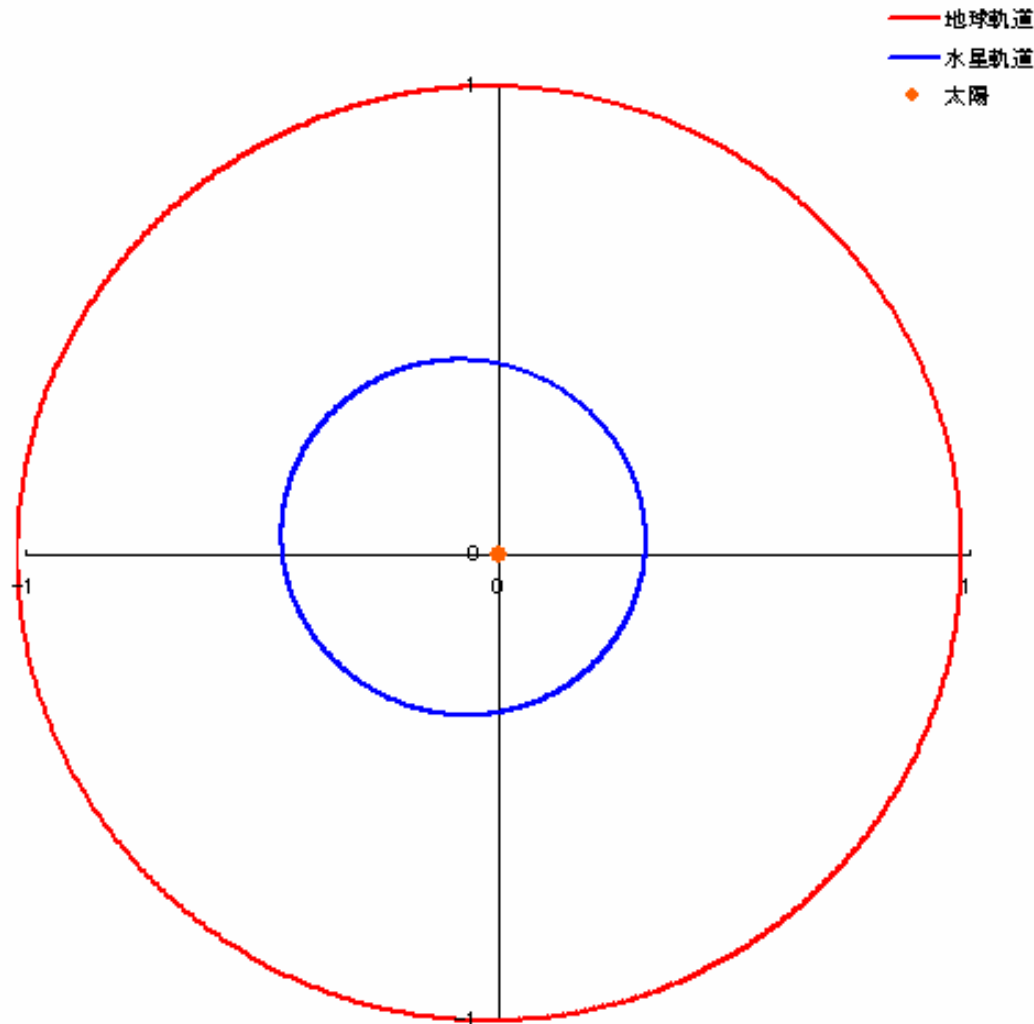
	離心率: $e$	太陽地球間の平均距離: $a$	長半径: $a$	短半径: $b$	aとbの差	
	求めた値	(2)10m (3) $1.4960 \times 10^8 \text{km}$ (実際の距離)	$a$	$b = a\sqrt{1 - e^2}$	$a - b$	
考察(2)	0.0169	m 10	m 10	m 9.99857	m 0.00143	mm 1.43
考察(3)	0.0169	km 1.496E+08	km 1.496E+08	km 1.496E+08	km 21365	地球直径の何倍 1.67

地球の直径 =  $1.28 \times 10^4 \text{km}$

# 地球と水星の軌道の比較

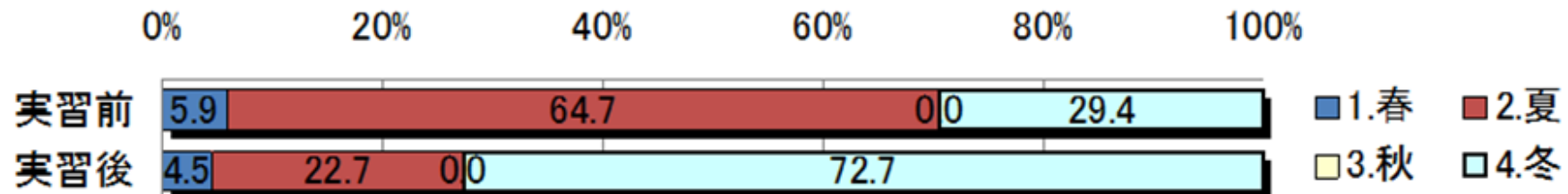
地球	離心率
e=	0.0169
水星	離心率
e=	0.2056

地球と水星の軌道の形  
(水星の軌道傾斜角 $7.0^\circ$  は考慮していない。数値は天文単位)

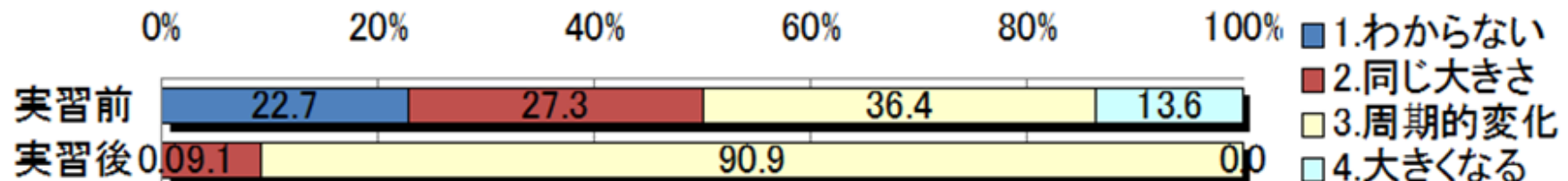


# 実習前後の認識

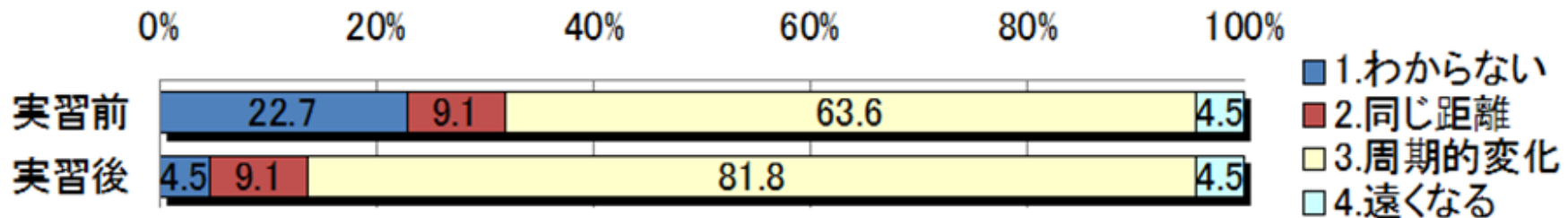
## I-2. 変化するとき、一番近い季節は？



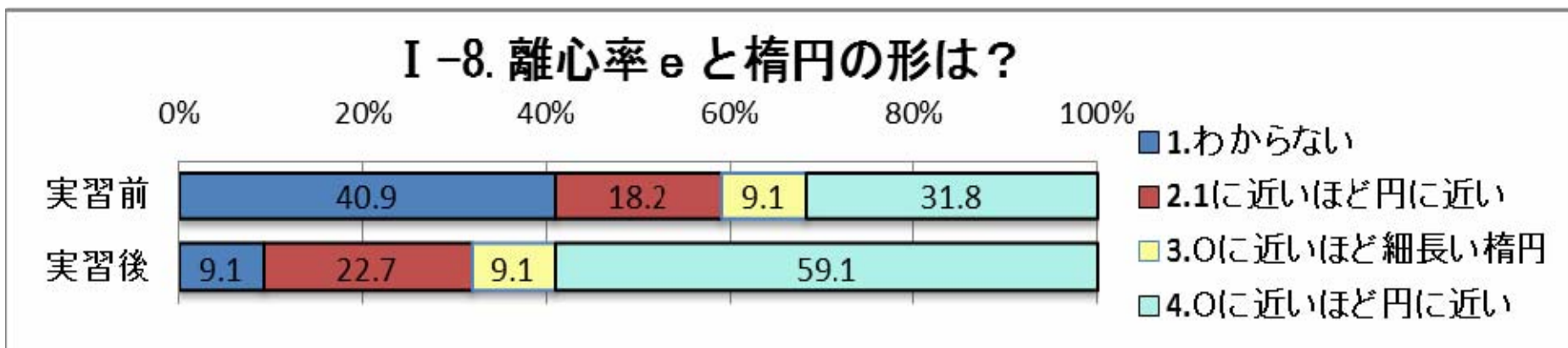
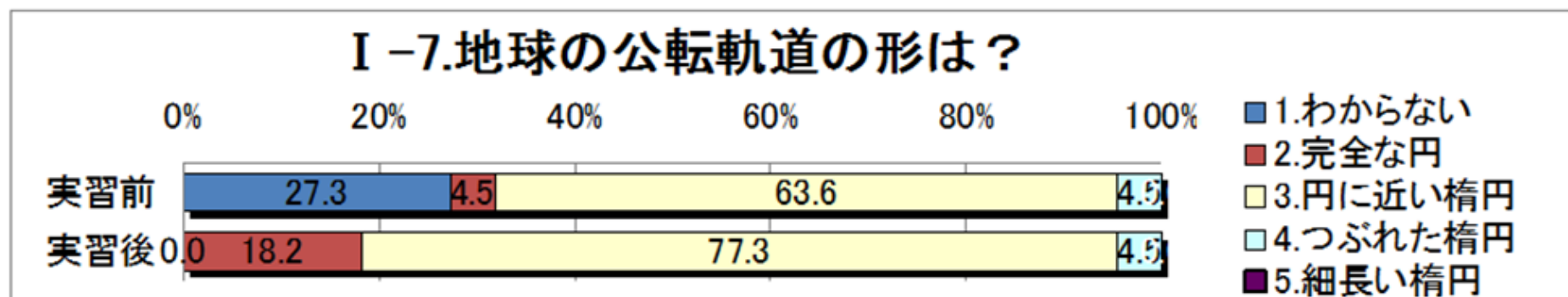
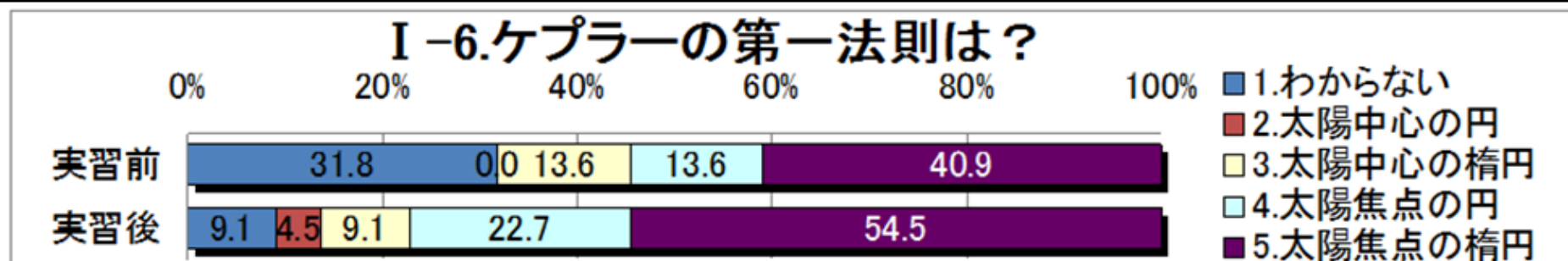
## I-4. 地球から見た太陽の大きさは？



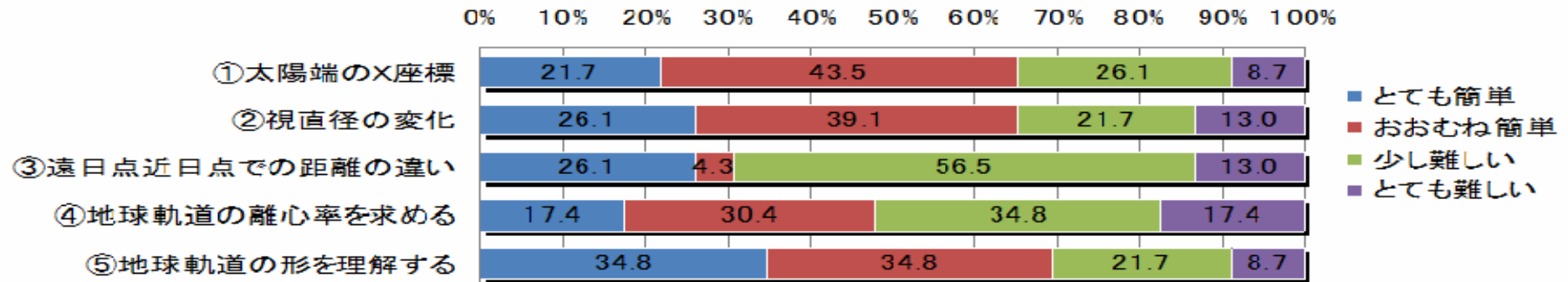
## I-5. 太陽地球間の距離は？



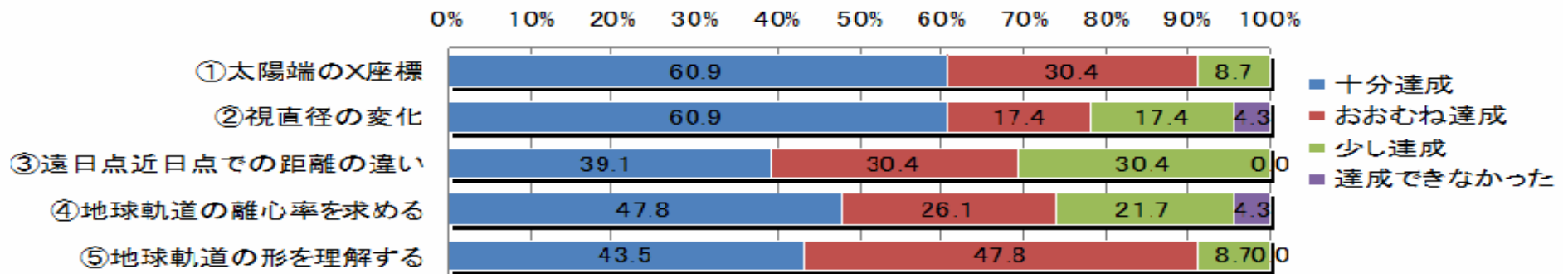
# 実習前後の認識



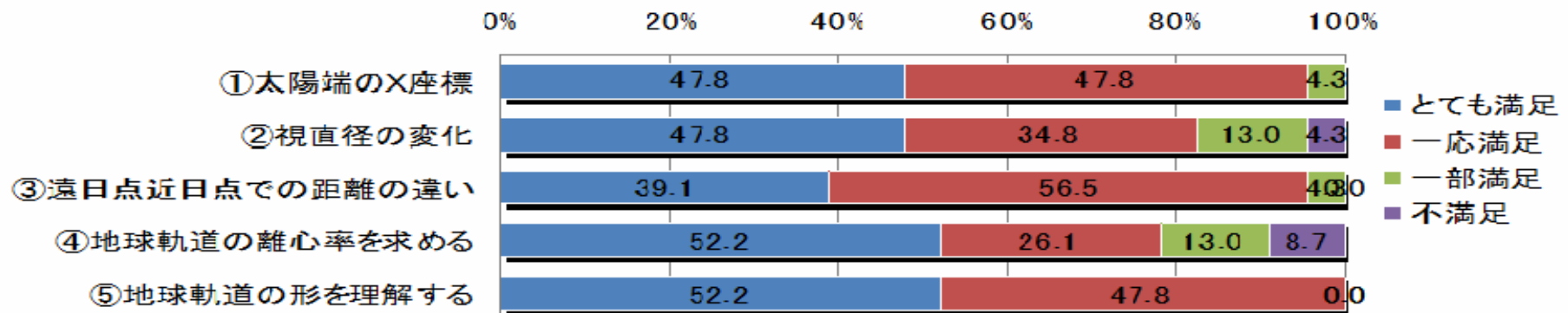
## Ⅱ-2 難易度



## Ⅱ-1 達成感



## Ⅱ-3 満足度



# アンケートのまとめ(この教材の学習効果)

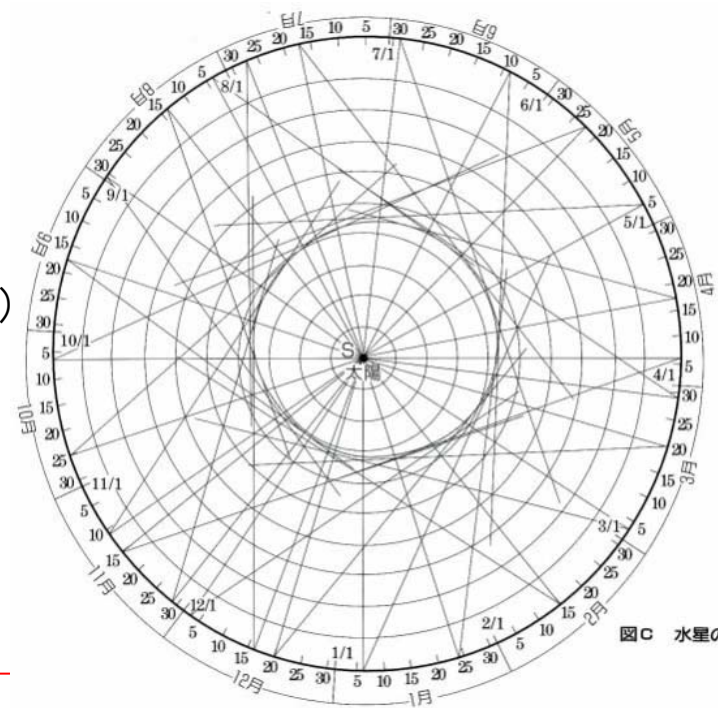
- ① 太陽活動データベースの画像から、精度良く地球軌道の離心率を求めることができた。
- ② 生徒は太陽の視直径や太陽地球間の距離の変化について理解を深めることができた。
- ③ 生徒はケプラーの第一法則、地球軌道の形、離心率と楕円軌道の形との関係について、理解を深めることができた。
- ④ 生徒は計算を要する項目については、難しいと感じているものの、その他の内容については60%を超える者が簡単と答え、実習後の達成感や満足度も80~90%と非常に高い値を示した。



# これまでのケプラーの第一法則を 確かめる実習教材

- (1) 公転周期の整数倍隔てた日の火星と太陽の位置(黄経)から火星軌道を作図する(数研出版)
- (2) 水星の最大離角の大きさと地球の位置から、水星軌道を作図する(第一学習社)

- ・与えられた数値から作図する
- ・地球軌道を円軌道としている



図C 水星の軌道

## この教材

- ・観測された太陽の画像を測定して、離心率を求める。  
(より、生に近いデータで観測的に)
- ・複雑な計算は自動計算に任せて、結果と考察から地球軌道について考えることができる。
- ・PC、情報通信netの活用