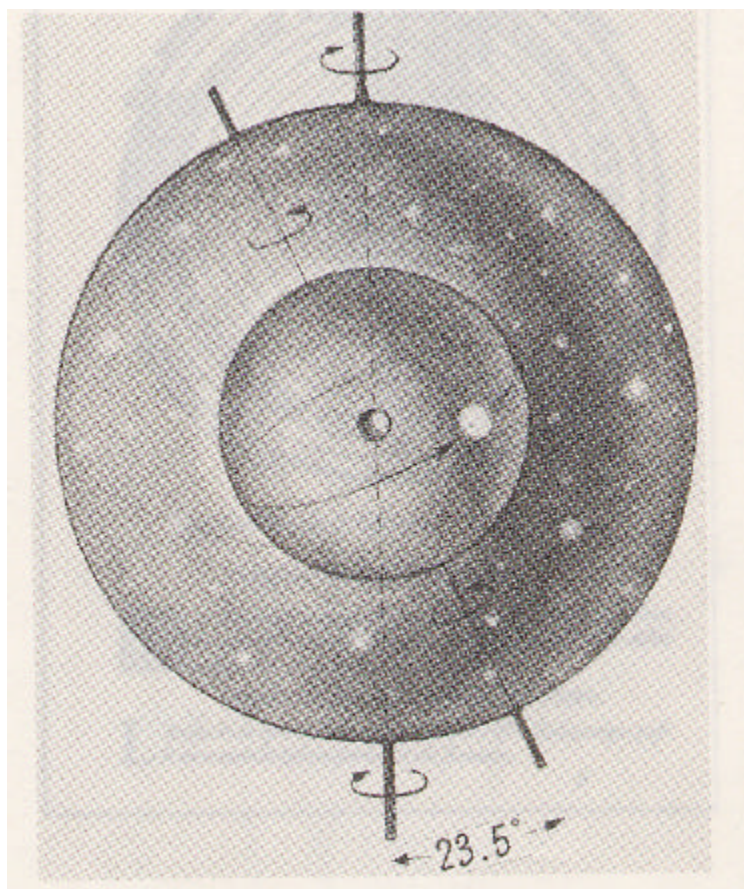


授業資料

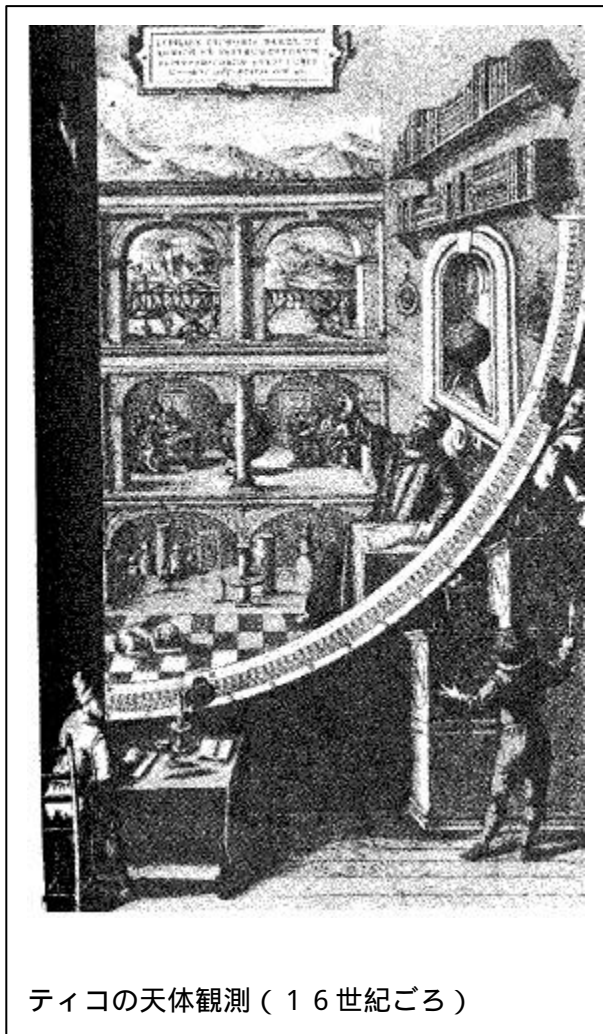
古代天文学



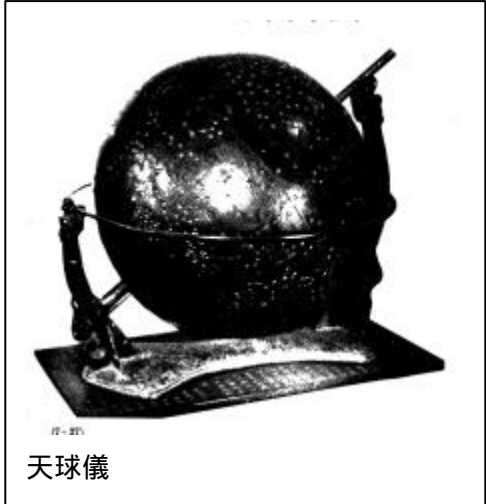
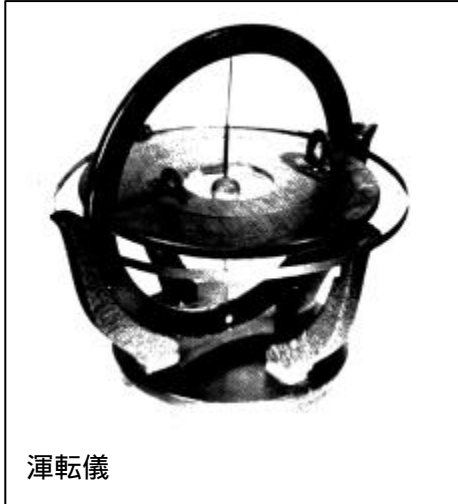
年 組

筑波大学教育研究科 1 年 中村友也

下の器具は、天体観測をするためのものです。



上の図は望遠鏡が発明される以前の天体観測をしている模様です。肉眼での観測は、16世紀ごろまで基本的な仕組みは変わりませんでした。どのように観測を行っていると思いますか？また、観測機器にどんな特徴があると思いますか？



当時の観測器具は、望遠鏡を発見するまでは精度を上げるための工夫はされてきたものの、紀元前から観測機器の仕組みが大きく変化することはなかったようです。15世紀には、肉眼による精度もよくなり、 $1/10^\circ$ の差まで測れるようになりました。

memo

プトレマイオス (A.D90 ~ 160 年ごろ活躍)

古代のもっとも偉大な天文学者と言われるギリシャ系エジプト人。その生涯に関する情報はほとんどないが、A.D120 年ごろエジプトにおいて観測をしていたという記録が残っている。その著作も多く、天文学の書である『アルマゲスト』や、世界の広範囲にわたる土地に関する情報を述べ、地球を平面に射影した『地理学』、光の屈折などを説明した『光学』、占星術書である『テトラビブロス』など、多種多様にわたっている。このように、彼の著作は多くの分野にわたっているため、万能の天才などとよばれている。



天動説について

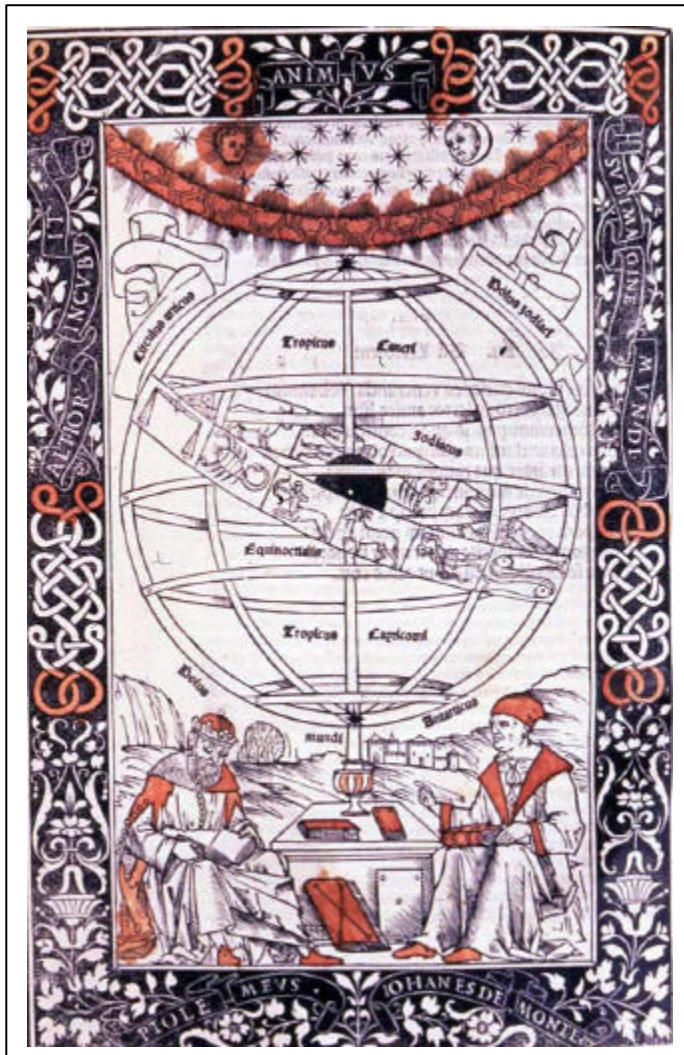
天動説とは、地球が中心にあり、太陽、惑星、恒星などが地球の周りを回転しているという考え方である。当時も地動説の考え方がなかったわけではないが、天動説の理論が宗教的なこと、当時の物理学的背景とよくあっていたために、広く受け入れられた。

MEMO

『アルマゲスト』

アルマゲストとは、元来《Mathematike syntaxis》(数学集成)と呼ばれていたが、その内容があまりにも見事だったために、いつからか《megiste》(最大のという意味)という最上級の形容詞をつけ始めた。これがアラビアに伝わり、「全ての」を意味する《al》をつけて、全ての偉大なる書を意味するアルマゲストとして今日伝わっている。

彼によって体系化された天動説は、宗教的な関係もあるが、15世紀まで破られることはなく、このことが彼の理論体系の正確さを物語っている。



問題

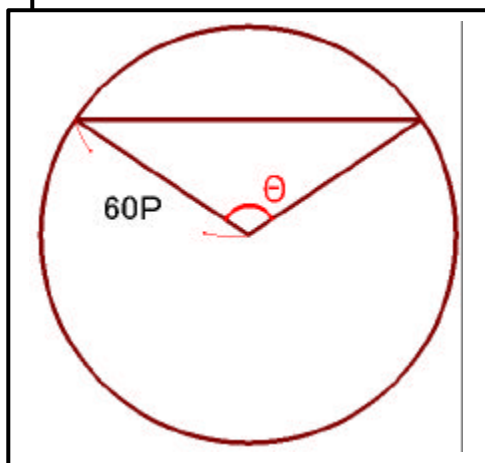
地面と垂直に立っている木がある。この木の高さを求めるために、地面に1 mの棒を立てて、影の長さを測ったら、棒の影が 20 cm、木の影が 3mだった。このときの木の高さを求めなさい。

半月のとき、月と太陽の であった。
このことから、地球から太陽までの距離は月までの距離の何倍であるといえますか？

上の2つの問題の違いは何だろう？

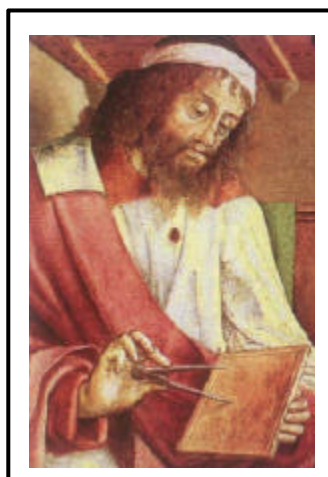
当時の時代背景

当時のギリシャにおいては、コンパス、直線を引くためのみの定木しか使うことができなかったため、分度器、物差しで角度、長さを測って弦の長さの表を埋めることはできなかった。また、彼は弦の表の作成には 60 進法が最適であると考えていたので、弦の表は 60 進法で数値が出されており、半径を 60^P （60 進法からこれは 1）として、弦の表をつくった。彼の数字のあらわし方は $1^P 2^3$ というもので、P とは parts という意味のもので、1 を 60 の部分に分けたということである。



ユークリッド原論

紀元前 4 世紀ごろ、ユークリッドという人が、それ以前の数学研究や成果を巧みに統合し、体系化した本である。古代ギリシャの数学集大成であるだけでなく、後々まで数学あり方などに大きな影響を及ぼした本である。



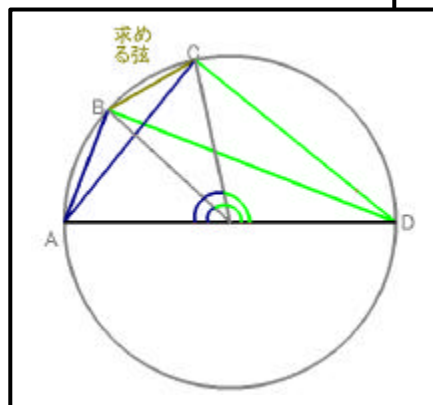
角度の考え方

分度器で角度を測れなかったので、正多角形を円に内接させて角度に対する弦の長さを考えた。

半径が与えられたときに、三角比を用いなくて一辺の長さを求めることができる正多角形をあげなさい。

2つの弦について

差の公式を使って、実際表を埋めてみよう。



問題

半月のときの太陽と月の角度差が 87° であった。このことから、月から太陽までの距離は地球から太陽までの距離の何倍であるといえますか？

弦の表

ια' Κανόνιον τῶν ἐν κυκλω εὐθειῶν

περιφερειῶν	εὐθειῶν			ἐξηκοστῶν			
Λ α α Λ	ο α α	λα β λδ	κε ν ιε	ο ο ο	α α α	β β β	ν ν ν
β β Λ γ	β β γ	ε λζ η	μ δ κη	ο ο ο	α α α	β β β	ν μη μη
γ Λ δ δ Λ	γ δ δ	λθ ια μβ	νβ ις μ	ο ο ο	α α α	β β β	μη μζ μζ
ξ ξ ο ο ο ο νδ κα							
ρος ρος Λ ροζ	ριθ ριθ ριθ	νε νς νζ	λη λθ λβ	ο ο ο	ο ο ο	β α α	γ μζ λ
ροζ Λ ροη ροη Λ	ριθ ριθ ριθ	νη νη νθ	ιη νε κδ	ο ο ο	ο ο ο	α ο ο	ιδ νζ μα
ροθ ροθ Λ ρη	ριθ ριθ ρκ	νθ νθ ο	μδ νς ο	ο ο ο	ο ο ο	ο ο ο	κε θ ο

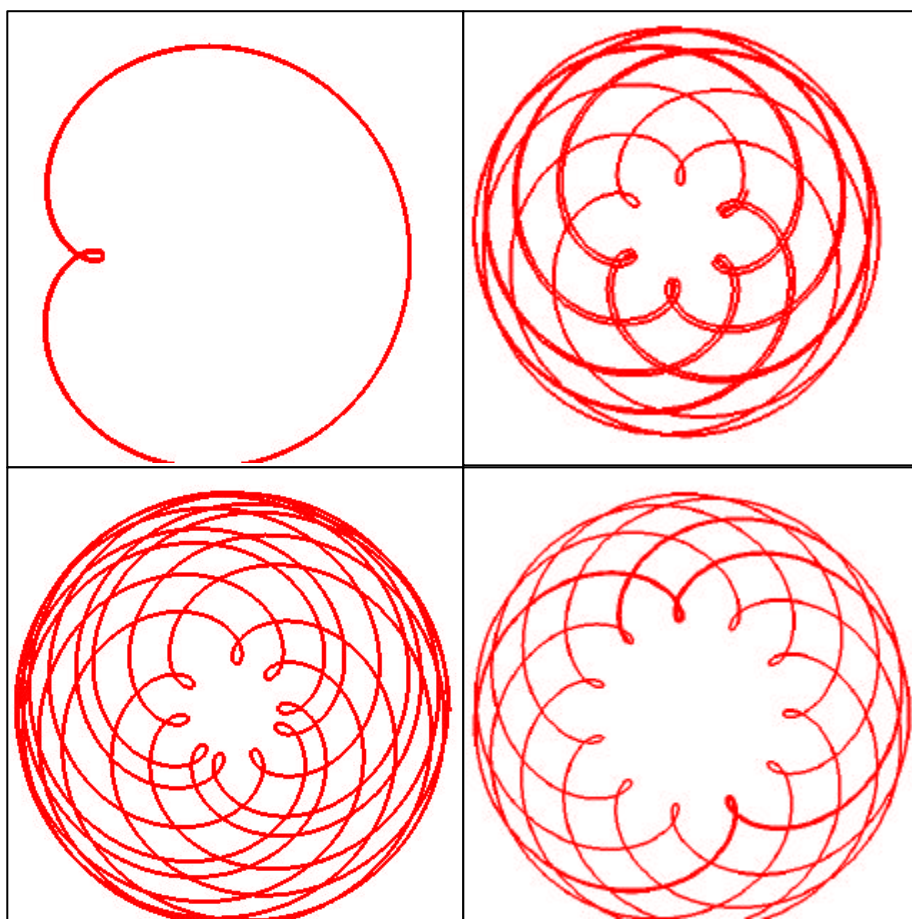
真	位	差の 360	真	位	差の 360
0° 30'	00° 31' 25"	00	29° 0'	29° 55' 27"	00
1 0	1 2 50	0 1	29 30	29 25 13	0 1
1 30	1 34 15	0 1	29 30	29 25 13	0 1
2 0	2 5 40	0 1	29 30	29 25 13	0 1
2 30	2 27 4	0 1	29 30	29 25 13	0 1
3 0	3 8 28	0 1	29 30	29 25 13	0 1
3 30	3 39 52	0 1	29 30	29 25 13	0 1
4 0	4 11 16	0 1	29 30	29 25 13	0 1
4 30	4 42 40	0 1	29 30	29 25 13	0 1
5 0	5 14 4	0 1	29 30	29 25 13	0 1
5 30	5 45 27	0 1	29 30	29 25 13	0 1
6 0	6 16 49	0 1	29 30	29 25 13	0 1
6 30	6 48 11	0 1	29 30	29 25 13	0 1
7 0	7 19 33	0 1	29 30	29 25 13	0 1
7 30	7 50 54	0 1	29 30	29 25 13	0 1
8 0	8 22 15	0 1	29 30	29 25 13	0 1
8 30	8 53 35	0 1	29 30	29 25 13	0 1
9 0	9 24 51	0 1	29 30	29 25 13	0 1
9 30	9 56 13	0 1	29 30	29 25 13	0 1
10 0	10 27 32	0 1	29 30	29 25 13	0 1
10 30	10 58 49	0 1	29 30	29 25 13	0 1
11 0	11 30 5	0 1	29 30	29 25 13	0 1
11 30	12 1 21	0 1	29 30	29 25 13	0 1
12 0	12 32 36	0 1	29 30	29 25 13	0 1
12 30	13 3 50	0 1	29 30	29 25 13	0 1
13 0	13 27 27	0 1	29 30	29 25 13	0 1
13 30	14 6 16	0 1	29 30	29 25 13	0 1
14 0	14 27 27	0 1	29 30	29 25 13	0 1
14 30	15 8 28	0 1	29 30	29 25 13	0 1
15 0	15 39 47	0 1	29 30	29 25 13	0 1
15 30	16 10 56	0 1	29 30	29 25 13	0 1
16 0	16 42 3	0 1	29 30	29 25 13	0 1
16 30	17 13 9	0 1	29 30	29 25 13	0 1
17 0	17 44 14	0 1	29 30	29 25 13	0 1
17 30	18 15 17	0 1	29 30	29 25 13	0 1
18 0	18 46 19	0 1	29 30	29 25 13	0 1
18 30	19 17 21	0 1	29 30	29 25 13	0 1
19 0	19 48 21	0 1	29 30	29 25 13	0 1
19 30	20 19 19	0 1	29 30	29 25 13	0 1
20 0	20 50 16	0 1	29 30	29 25 13	0 1
20 30	21 21 12	0 1	29 30	29 25 13	0 1
21 0	21 52 6	0 1	29 30	29 25 13	0 1
21 30	22 22 58	0 1	29 30	29 25 13	0 1
22 0	22 53 49	0 1	29 30	29 25 13	0 1
22 30	23 24 39	0 1	29 30	29 25 13	0 1

真	位	差の 360	真	位	差の 360
45° 30'	46° 24' 19"	00	68° 0'	67° 6' 13"	00
46 0	46 5 16	0 0	68 30	67 32 13	0 0
46 30	47 22 9	0 0	69 0	67 58 8	0 0
47 0	47 51 0	0 0	69 30	68 23 59	0 0
47 30	48 19 47	0 0	70 0	68 49 45	0 0
48 0	48 48 30	0 0	70 30	69 15 27	0 0
48 30	49 17 11	0 0	71 0	69 41 4	0 0
49 0	49 45 48	0 0	71 30	70 6 38	0 0
49 30	50 14 21	0 0	72 0	70 32 3	0 0
50 0	50 42 51	0 0	72 30	70 57 26	0 0
50 30	51 11 18	0 0	73 0	71 22 44	0 0
51 0	51 39 42	0 0	73 30	71 47 56	0 0
51 30	52 8 0	0 0	74 0	72 13 4	0 0
52 0	52 36 16	0 0	74 30	72 38 7	0 0
52 30	53 4 29	0 0	75 0	73 3 5	0 0
53 0	53 32 38	0 0	75 30	73 27 58	0 0
53 30	54 0 43	0 0	76 0	73 52 48	0 0
54 0	54 28 44	0 0	76 30	74 17 29	0 0
54 30	54 56 42	0 0	77 0	74 42 7	0 0
55 0	55 24 38	0 0	77 30	75 6 39	0 0
55 30	55 52 26	0 0	78 0	75 31 7	0 0
56 0	56 20 12	0 0	78 30	75 55 29	0 0
56 30	56 47 54	0 0	79 0	76 19 46	0 0
57 0	57 15 33	0 0	79 30	76 43 58	0 0
57 30	57 43 7	0 0	80 0	77 8 5	0 0
58 0	58 10 38	0 0	80 30	77 32 6	0 0
58 30	58 38 5	0 0	81 0	77 56 2	0 0
59 0	59 5 27	0 0	81 30	78 19 52	0 0
59 30	59 32 45	0 0	82 0	78 43 38	0 0
60 0	60 0 0	0 0	82 30	79 7 18	0 0
60 30	60 27 11	0 0	83 0	79 30 53	0 0
61 0	60 54 17	0 0	83 30	79 54 21	0 0
61 30	61 21 19	0 0	84 0	80 17 45	0 0
62 0	61 48 17	0 0	84 30	80 41 3	0 0
62 30	62 15 10	0 0	85 0	81 4 15	0 0
63 0	62 42 0	0 0	85 30	81 27 32	0 0
63 30	63 8 45	0 0	86 0	81 50 24	0 0
64 0	63 35 25	0 0	86 30	82 13 19	0 0
64 30	64 2 2 2	0 0	87 0	82 36 9	0 0
65 0	64 28 34	0 0	87 30	82 58 54	0 0
65 30	64 55 1	0 0	88 0	83 21 33	0 0
66 0	65 21 24	0 0	88 30	83 41 22	0 0
66 30	65 47 43	0 0	89 0	84 6 32	0 0
67 0	66 13 57	0 0	89 30	84 28 54	0 0
67 30	66 40 7	0 0	90 0	84 51 10	0 0

頁	姓	差の 1/100	頁	姓	差の 1/100
90 ^o 30'	85 ^o 13' 20"	0 ^o 0' 44" 8"	111 ^o 0'	100 ^o 3' 59"	0 ^o 0' 34" 34"
91 0	85 25 24	0 0 43 57	113 30	100 21 16	0 0 24 20
91 20	85 57 23	0 0 43 45	114 0	100 38 26	0 0 24 6
92 0	86 19 15	0 0 43 33	114 30	100 55 28	0 0 23 52
92 30	86 41 8	0 0 43 21	115 0	101 12 25	0 0 23 39
93 0	87 2 43	0 0 43 9	115 30	101 29 15	0 0 23 25
93 30	87 24 17	0 0 42 57	116 0	101 45 57	0 0 23 11
94 0	87 45 45	0 0 42 45	116 30	102 2 33	0 0 22 57
94 30	88 7 7	0 0 42 33	117 0	102 19 1	0 0 22 43
95 0	88 28 24	0 0 42 21	117 30	102 35 22	0 0 22 29
95 30	88 49 34	0 0 42 9	118 0	102 51 37	0 0 22 15
96 0	89 10 39	0 0 41 57	118 30	103 7 44	0 0 22 0
96 30	89 31 37	0 0 41 45	119 0	103 23 44	0 0 21 46
97 0	89 52 27	0 0 41 33	119 30	103 39 37	0 0 21 32
97 30	90 13 15	0 0 41 21	120 0	103 55 23	0 0 21 18
98 0	90 23 55	0 0 41 8	120 30	104 11 2	0 0 21 4
98 30	90 54 29	0 0 40 55	121 0	104 26 34	0 0 20 49
99 0	91 14 56	0 0 40 43	121 30	104 41 59	0 0 20 35
99 30	91 35 17	0 0 40 30	122 0	104 57 16	0 0 20 21
100 0	91 55 32	0 0 40 17	122 30	105 12 26	0 0 20 7
100 30	92 15 40	0 0 40 4	123 0	105 27 30	0 0 20 52
101 0	92 35 42	0 0 39 52	123 30	105 42 26	0 0 20 37
101 30	92 55 38	0 0 39 39	124 0	105 57 14	0 0 20 23
102 0	93 15 27	0 0 39 26	124 30	106 11 53	0 0 20 8
102 30	93 35 11	0 0 39 13	125 0	106 26 29	0 0 20 54
103 0	93 54 47	0 0 38 47	125 30	106 40 56	0 0 20 39
103 30	94 14 17	0 0 38 34	126 0	106 55 15	0 0 20 24
104 0	94 33 61	0 0 38 21	126 30	107 9 27	0 0 20 10
104 30	94 52 53	0 0 38 8	127 0	107 23 22	0 0 20 56
105 0	95 12 9	0 0 37 55	127 30	107 37 30	0 0 20 40
105 30	95 31 13	0 0 37 42	128 0	107 51 20	0 0 20 25
106 0	95 50 11	0 0 37 29	128 30	108 5 9	0 0 20 10
106 30	96 9 2	0 0 37 16	129 0	108 18 27	0 0 20 56
107 0	96 27 47	0 0 37 3	129 30	108 32 5	0 0 20 41
107 30	96 46 24	0 0 37 8	130 0	108 45 25	0 0 20 26
108 0	97 4 56	0 0 36 50	130 30	108 58 38	0 0 20 11
108 30	97 22 20	0 0 36 36	131 0	109 11 44	0 0 20 56
109 0	97 41 38	0 0 36 23	131 30	109 24 42	0 0 20 41
109 30	97 59 49	0 0 36 9	132 0	109 37 52	0 0 20 26
110 0	98 17 54	0 0 35 56	132 30	109 50 15	0 0 20 11
110 30	98 35 52	0 0 35 43	133 0	110 2 50	0 0 20 56
111 0	98 53 43	0 0 35 29	133 30	110 15 18	0 0 20 41
111 30	99 11 27	0 0 35 15	134 0	110 27 39	0 0 20 26
112 0	99 29 5	0 0 35 1	134 30	110 39 52	0 0 20 10
112 30	99 46 35	0 0 34 48	135 0	110 51 57	0 0 20 55

頁	姓	差の 1/100	頁	姓	差の 1/100
135 ^o 30'	111 ^o 5' 54"	0 ^o 0' 23" 40"	158 ^o 0'	117 ^o 34' 43"	0 ^o 0' 11" 51"
136 0	111 15 44	0 0 23 26	158 30	117 53 39	0 0 11 26
136 30	111 27 56	0 0 23 9	159 0	117 59 27	0 0 11 19
137 0	111 39 1	0 0 22 54	159 30	118 5 1	0 0 11 3
137 30	111 50 28	0 0 22 39	160 0	118 10 27	0 0 10 47
138 0	112 1 47	0 0 22 24	160 30	118 16 1	0 0 10 31
138 30	112 12 59	0 0 22 8	161 0	118 21 16	0 0 10 14
139 0	112 24 3	0 0 21 53	161 30	118 26 22	0 0 9 58
139 30	112 35 8	0 0 21 37	162 0	118 31 22	0 0 9 42
140 0	112 45 48	0 0 21 22	162 30	118 36 13	0 0 9 25
140 30	112 56 29	0 0 21 7	163 0	118 40 55	0 0 9 9
141 0	113 7 2	0 0 20 51	163 30	118 45 30	0 0 8 53
141 30	113 17 25	0 0 20 36	164 0	118 49 56	0 0 8 37
142 0	113 27 44	0 0 20 20	164 30	118 54 15	0 0 8 20
142 30	113 37 54	0 0 20 4	165 0	118 58 25	0 0 8 4
143 0	113 47 25	0 0 19 49	165 30	119 2 26	0 0 7 43
143 30	113 57 50	0 0 19 33	166 0	119 6 20	0 0 7 31
144 0	114 7 37	0 0 19 17	166 30	119 10 6	0 0 7 15
144 30	114 17 15	0 0 19 2	167 0	119 13 14	0 0 6 59
145 0	114 26 46	0 0 18 46	167 30	119 17 13	0 0 6 42
145 30	114 36 9	0 0 18 30	168 0	119 20 34	0 0 6 26
146 0	114 45 24	0 0 18 14	168 30	119 23 47	0 0 6 10
146 30	114 54 31	0 0 17 59	169 0	119 26 52	0 0 5 53
147 0	115 3 30	0 0 17 43	169 30	119 29 49	0 0 5 37
147 30	115 12 22	0 0 17 27	170 0	119 32 37	0 0 5 20
148 0	115 21 6	0 0 17 11	170 30	119 35 17	0 0 5 4
148 30	115 29 41	0 0 16 55	171 0	119 37 49	0 0 4 48
149 0	115 38 9	0 0 16 40	171 30	119 40 13	0 0 4 31
149 30	115 46 29	0 0 16 24	172 0	119 42 28	0 0 4 14
150 0	115 54 40	0 0 16 8	172 30	119 44 35	0 0 3 58
150 30	116 2 44	0 0 15 52	173 0	119 46 35	0 0 3 42
151 0	116 10 48	0 0 15 36	173 30	119 48 28	0 0 3 26
151 30	116 18 28	0 0 15 20	174 0	119 50 8	0 0 3 9
152 0	116 26 8	0 0 15 4	174 30	119 51 43	0 0 2 53
152 30	116 33 40	0 0 14 48	175 0	119 52 10	0 0 2 36
153 0	116 41 4	0 0 14 32	175 30	119 53 44	0 0 2 20
153 30	116 48 20	0 0 14 16	176 0	119 55 38	0 0 2 3
154 0	116 55 28	0 0 14 0	176 30	119 56 39	0 0 1 47
154 30	117 2 28	0 0 13 44	177 0	119 57 22	0 0 1 30
155 0	117 9 30	0 0 13 28	177 30	119 58 13	0 0 1 14
155 30	117 16 4	0 0 13 12	178 0	119 58 55	0 0 0 57
156 0	117 22 40	0 0 12 56	178 30	119 59 24	0 0 0 41
156 30	117 29 8	0 0 12 40	179 0	119 59 44	0 0 0 25
157 0	117 35 28	0 0 12 24	179 30	119 59 56	0 0 0 9
157 30	117 41 40	0 0 12 7	180 0	120 0 0 0	0 0 0 0

古代天文学



年 組

筑波大学教育研究科 1 年 中村友也

天動説

プトレマイオスの考え

地球が球形と思った理由

That the earth, too, taken as a whole, is sensibly spherical can best be grasped from the following considerations. We can see, again, that the sun, moon and other stars do not rise and set simultaneously for everyone on earth, but do so earlier for those more towards the east, later for those towards the west.

If the earth's shape were any other, this would not happen, as one can see from the following arguments. If it were concave, the stars would be seen rising first by those more towards the west; if it were plane, they would rise and set

simultaneously for everyone on earth; if it were triangular or square or any other polygonal shape, by a similar argument, they would rise and set simultaneously for all those living on the same plane surface. Yet it is apparent that nothing like this takes place. Nor could it be cylindrical, with the curved surface in the east-west direction, and the flat sides towards the poles of the universe, which some might suppose more plausible. This is clear from the following: for those living on the curved surface none of the stars would be ever-visible, but either all stars would rise and set for all observers, or the same stars, for an equal [celestial] distance from each of the poles, would always be invisible for all observers. In fact, the further we travel toward the north, the more³⁰ of the southern stars disappear and the more of the northern stars appear. Hence it is clear that here too the curvature of the earth cuts off [the heavenly bodies] in a regular fashion in a north-south direction, and proves the sphericity [of the earth] in all directions.

地球が明らかに球形であることは、地球上に住む全員が、同時に太陽、月、星、の出没を見るのではなく、東にいる人ほど早く、西にいる人ほど遅くなるという考察によって最もよく理解される。

もし、地球が違う形をしていたら、以下の考察で見られるように、このようなことは起こらないであろう。もし、地球が凹型であったならば、西にいる人の方が最初に星の出現を見るであろう。もし、平面であったならば、地球上の全員が同時に日の出、日没を見るであろう。もし、三角柱、四角柱、または他の多面体からなるとすれば、同じ平面に住む全ての人は、同時に日の出、日没をみるであろう。しかし、このようなことが起こらないことは明らかである。また、ありそうではあるが、東西の方向に側面が向いており、平面が宇宙の極に向いているような円柱もありえない。これは以下のことより明らかである。側面に住んでいる人にとって、永久に見えない星があり、星はいつも出没するか、両極から等しい範囲にある星は永久に見られないかであろう。実際、北へ近づけば、南の星は隠れていき、北の星がより見えるようになる。それゆえに、ある角度で、地球の曲率が天球を南北に切っていることが明らかなので、このことが、地球があらゆる方向に球状の曲率をもっていることを示している。

天動説を支持した理由

One can show by the same arguments as the preceding that the earth cannot have any motion in the aforementioned directions, or indeed ever move at all from its position at the centre. For the same phenomena would result as would if it had any position other than the central one. Hence I think it is idle to seek for causes for the motion of objects towards the centre, once it has been so clearly established from the actual phenomena that the earth occupies the middle place in the universe, and that all heavy objects are carried towards the earth. The following fact alone would most readily lead one to this notion [that all objects fall towards the centre]. In absolutely all parts of the earth, which, as we said, has been shown to be spherical and in the middle of the universe, the direction³⁸ and path of the motion (I mean the proper, [natural] motion) of all bodies possessing weight is always and everywhere at right angles to the rigid [these falling objects] were not arrested by the surface of the earth, they would certainly reach the centre of the earth itself, since the straight line to the centre is also always at right angles to the plane tangent to the sphere at the point of intersection [of that radius] and the tangent.

If the earth had a single motion in common with other heavy objects, it is obvious that it would be carried down faster than all of them because of its much greater size: living things and individual heavy objects would be left behind, riding on the air, and the earth itself would very soon have fallen completely out of the heavens. But such things are utterly ridiculous merely to think of.

[let us concede that] the densest and heaviest objects have a proper motion of the quick and uniform kind which they suppose (although, again, as all agree, earthy objects are sometimes not readily moved even by an external force). Nevertheless, they would have to admit that the revolving motion of the earth must be the most violent of all motions associated with it, seeing that it makes one revolution in such a short time; the result would be that all objects not actually standing on the earth would appear to have the same motion, opposite to that of the earth: neither clouds nor other flying or thrown objects would ever be seen moving towards the east, since the earth's motion towards the east would always outrun and overtake them, so that all other objects would seem to move in the direction of the west and the rear. But if they said that the air is carried around in the same direction and with the same speed as the earth, the compound objects in the air would none the less always seem to be left behind by the motion of both [earth and air]; or if those objects too were carried around, fused, as it were, to the air, then they would never appear to have any motion either in advance or rearwards: they would always appear still, neither wandering about nor changing position, whether they were flying or thrown objects. Yet we quite plainly see that they do undergo all these kinds of motion, in such a way that they are not even slowed down or speeded up at all by any motion of the earth.

前と同じような証明により、地球は斜めに移されたり中心から絶対的に出ることができないことが証明される。なぜなら、もし変位があれば、地球が中心以外の点を占めたとして生ずる事柄がすべて起こるだろう。現象自身によっても地球が世界の中心にあり、重い物体が地球に向かうことが明白である以上、中心に向かう傾向の原因を追求することは余計なことであろう。この事実は地球の球形が証明され、すでに述べたことによつて世界の中心を占め、本来の性質として重い物体が常に何処でも垂直に落下することを考えれば、容易に理解できる。表面でさまたげられなければ、中心への直線は地表の切平面に垂直であるから、重い物体はすべて中心に集まることは明白である。

もし、地球が他の重さをもった物体と同じように動くとしたら、その重さゆえに、全ての重い物体よりも早く落ちてしまうだろう。そして、生物や、他の重い物体を残して、空気以外の支えなしにまもなく宇宙の外に落ちてしまうだろう。

もし重い物体は与えられた衝撃を殆ど受けないことが事実であるにも拘らず、最も濃厚で重い物が固有な速い一定の運動をもつという人々の意見に同意したとしよう。そうすれば極めて少ない時間に非常に大きな回転をするから、回転によって地球はその周囲にある如何なる物体より一層速い運動をすることを認めねばならない。かくて地球上に支えられない物体は、常に地球と反対の運動をするように見えるであろう。そして雲、投げられた物体、飛ぶ動物は東へ行くことはないだろう。何となれば地球はこの方向では常に他を追い越すから、地球だけを除いて、他はすべて西に後退するように見えるだろう。

もしまた回転において大気が地球と同じ速さで動かされると言っても、大気に含まれる物体が同一の速さをもたないことは依然として事実である。或いはもしたた空気と一緒にいるかのように動いたとすれば、追い越すことも追隨することも起こらないで、すべてが停止して見えるだろう。そして飛んだり投げられたりしても、それらは前進しないか、決して遠ざかたりしないであろう。ところが実際には地球の運動が物体に後れも進みも生じてはいけないうように見える。

前と同じような証明により、地球は斜めに移されたり中心から絶対的に出ることができないことが証明される。なぜなら、もし変位があれば、地球が中心以外の点を占めたとして生ずる事柄がすべて起こるだろう。現象自身によっても地球が世界の中心にあり、重い物体が地球に向かうことが明白である以上、中心に向かう傾向の原因を追求することは余計なことであろう。この事実は地球の球形が証明され、すでに述べたことによつて世界の中心を占め、本来の性質として重い物体が常に何処でも垂直に落下することを考えれば、容易に理解できる。表面でさまたげられなければ、中心への直線は地表の切平面に垂直であるから、重い物体はすべて中心に集まることは明白である。

もし、地球が他の重さをもった物体と同じように動くとしたら、その重さゆえに、全ての重い物体よりも早く落ちてしまうだろう。そして、生物や、他の重い物体を残して、空気以外の支えなしにまもなく宇宙の外に落ちてしまうだろう。

もし重い物体は与えられた衝撃を殆ど受けないことが事実であるにも拘らず、最も濃厚で重い物が固有な速い一定の運動をもつという人々の意見に同意したとしよう。そうすれば極めて少ない時間に非常に大きな回転をするから、回転によって地球はその周囲にある如何なる物体より一層速い運動をすることを認めねばならない。かくて地球上に支えられない物体は、常に地球と反対の運動をするように見えるであろう。そして雲、投げられた物体、飛ぶ動物は東へ行くことはないだろう。何となれば地球はこの方向では常に他を追い越すから、地球だけを除いて、他はすべて西に後退するように見えるだろう。

もしまた回転において大気が地球と同じ速さで動かされると言っても、大気に含まれる物体が同一の速さをもたないことは依然として事実である。或いはもしたた空気と一緒にいるかのように動いたとすれば、追い越すことも追隨することも起こらないで、すべてが停止して見えるだろう。そして飛んだり投げられたりしても、それらは前進しないか、決して遠ざかったりしないであろう。ところが実際には地球の運動が物体に後れも進みも生じてはいけないうように見える。

プトレマイオスの定義

星は、永遠で神聖で普遍的なものを代表する存在であるが、それは地球の周囲を我々が見る通りの姿で**等速運動**をしている。その運動は、全ての運動の中で最も規則正しく完全なものである**円運動**である。しかし、星の中にも太陽、月、惑星などのように天空をいろいろ複雑な経路を描いて放浪しているものもある。しかし、それらも星も天体である以上、その崇高な身分にあった運動をしなければならない。それゆえ、そうした運動が完全な円運動にならないとしたら、それは完全な円運動の組み合わせとなっていなければならない。

惑星の運動という歴史的な問題についてプラトンが述べていることの中に、ギリシャ哲学者たちの3つの主要な貢献がある。それは、今日の物理理論に関する基礎になっているものである。

- 1、理論は一般に簡単な原理に基づかなければならない。
- 2、自然科学の理論は、例えば惑星の運動のような、現象の観察や測定の結果と一致していなければならない。さらに、我々が理論を作り上げる目的は、現象の一貫性を発見することであり、見かけ上の多様な規則性の奥に横たわる隠れた簡潔性を発見することである。我々が観測事実をまとめ上げるのには、数と幾何学の言葉が有用である。
- 3、複雑な現象を“説明”するということは、説明すべき現象と同じ特性を持つ物理モデルとか、幾何学的構造、他の数学的構造をなんとか開発したり、発明しようとしたりすることである。

太陽系のモデル化

プトレマイオスは、天動説によって太陽系の太陽と、月、5つの惑星を体系化することができた。彼の理論がこの後1500年間も利用されるようになったのは理由がある。すなわち、

- 1、この理論では、太陽、月、諸惑星の位置がかなり正確に予想できたこと。
- 2、ギリシャ初期の考えていた哲学的な思想とうまくあったこと。
- 3、太陽、月、惑星、恒星が我々の周りを回っているとする一般的な常識に訴える力を持っていたこと。

などがあげられる。

が、プトレマイオスの体系には、重大な欠点があった。それにより、プトレマイオスの体系が崩されるきっかけとなった。また、正しく天体の動きをモデル化していなかったために、年を追うごとに誤差が大きくなっていき、モデルを改正して、誤差を埋めていかなければならなかった。

プトレマイオスの体系の欠点は何であると思いますか？

地動説への転換

ニコラウス・コペルニクス（1473～1543）

コペルニクスは、優れた天文学者でもあり、数学者でもあったが、同時に**聖職者**としても、あるいは法律家、行政家、外交官、医者、経済学者としても才能を発揮し、尊敬を得た人であった。イタリアに留学した間に彼は過去の自然哲学者、天文学者たちの書物を勉強した。はじめは天動説に興味をもち、勉強していた彼だが、次第にその矛盾点に気づき始め、**太陽中心説**を考え出し、『**天球の回転について**』を著したが、彼は宗教によって弾圧されることを知っていたので、死の直前に至るまで出版することができなかった。

友人の説得により、ようやく出版を決意したものの、出版された年に彼はなくなってしまった。宗教により、その大発見が後々まで認められなかったのは、残念である。

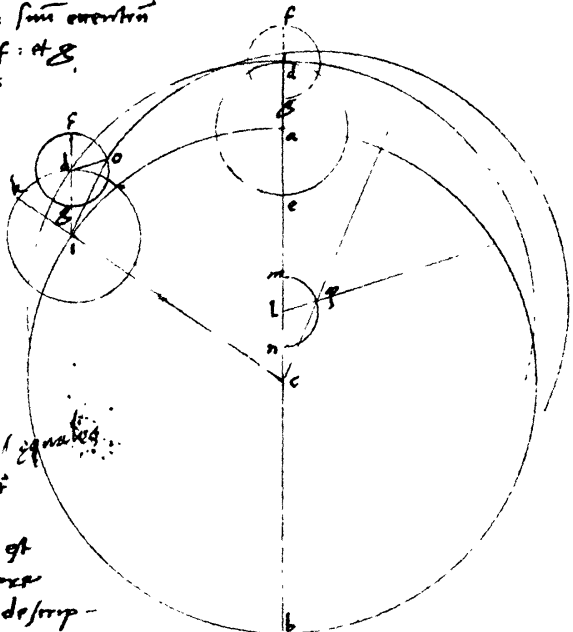


転換はどのように起こったのだろう。天動説と地動説はまったくの別物であるのだろうか？

memo

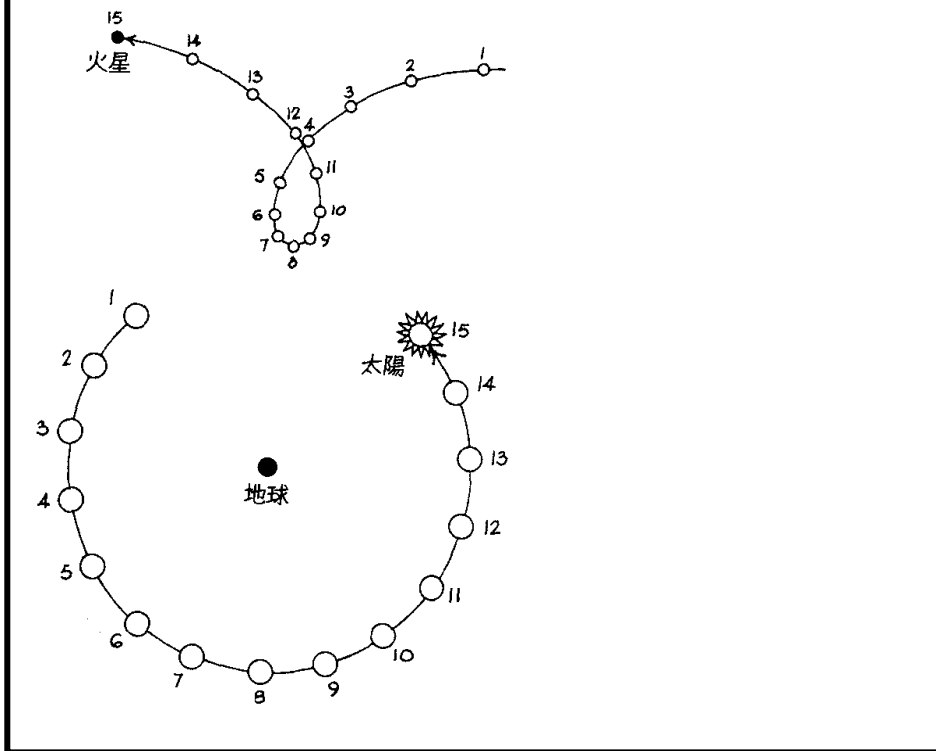
コペルニクスの地動説の図

que ipsi di fuerit equalis. si quae sunt eccentrica
 secundum distantiam cum equalem ipsi id est: et g.
 similitudine secundum g et c n distantias
 equalis. In terra si centrum terre
 iam emensum fuerit utrumque
 f o circumferentia scilicet arc sui
 epicycli, iam ipsum o no describit
 eccentrica q cui centrum in a c
 linea contingat: sed in ea que
 ipsi d o parallelus fuerit qualis
 est L p. Quod si etiam contingant
 o i et c p erunt et ipse equalis
 minores autem ipsi i f et c m et
 angulus d i o angulo d c p p v u
 primi Euclid: et pro tanto videtur
 Solis apogon in c p linea prodire
 ipsum a. Hinc etiam manifestum est
 p eccentrici epicycli idem contingere
 Quoniam in p pstante centro, qui descript
 serit d epicycli circa L centrum, centrum terre
 voluatur in f o circumferentia p dultis rotationibus: hoc est
 plus modico q fuerit annua revolutio. Sup inducet enim et quo amca
 alteram eccentricam prioris circa p centrum: accidant q proisus
 parte. Comq; tot modi ad eundem numerum sese conferant
 quis eorum habeat haut facile dixerim: nisi quod illa m-
 uerorum ac apparentium ppetua consonantia credere cogit
 eorum esse aliquem



Quanta sit secunda Solaris inaequalitatis differentia Cap 77
 Cum igitur iam visum fuerit: quod ista secunda inaequalitas
 prima ac simplicior. Nam anomaliam obliquitatis significari vel
 eius similitudinem sequeretur: certas habebimus eius differ-
 rentias, si no obstaret error aliquis observatorum pteritorum
 Habemus em ipam simplicem anomaliam anno Christi MDLXX
 secundum memoratorem grad clero scripta fere: et eius
 principium facta retrosum supputatione supposita fere
 annis ante Christum natum: et colliguntur anni MDLXX
 a quo p... ad nos usq
 in quo principium eccentricae maxime partem quae est
 quatuor q ex centro orbis esset 10000: nra vero, ut
 = a nobis

天動説から地動説への座標変換



この変換によって、地動説の考え方が正しいかもしれないという考えに至った。また、この地動説への考え方の変換によって、天動説では太陽系に周転円を100個ほど作らなければならなかった難解なものが、より簡潔に表せることとなった。しかし、宗教的な取り締まりなどが激化し、後々のガリレオなどは弾圧に苦しみながら、理論を広めていった。ニュートン(1642~1727)を持ってこの何千年も続いたこの2つの理論の闘争は終焉を迎えるのである。