

# 江戸時代後期の 日本の天文学

～太陽系天文学が科学観を変えた時代～

上原 貞治  
(KEK素核研)

2018.2.8 史料室談話会  
(編集版)

# イントロダクション ～時代背景～

# 日本の歴史的な天文学とは？

## 日本の伝統的天文学（平安時代～江戸時代）

- 天体観測・記録 — 彗星、新星、流星雨、低緯度オーロラなどの天変
  - 占い、治世の評価 **日本には世界有数の天文記録の保管**
- 太陽・月の動き： 戦国時代以前は、日月食にほぼ限られる

## — 暦学(カレンダー作り) = 未来(来年)の天文予報

地球から見た太陽と月の動きを理論計算 太陽太陰暦の作製

→ 国家、国民の業務、生活の為に公表

### 和暦(太陰太陽暦)の作り方ルール

- ・各月の1日は**新月**の(瞬間を含む)日であること
  - ・**冬至**は11月にあること
  - ・24節気のうちの中気(冬至、大寒、雨水、春分、…と約30日ごとにかかる)を含まない月を**閏月**とすること
- これによる(暦日)月日の配置を、**前年までに計算して出版**すること。また、**24節気、新月、満月、日食、月食**の起こる日を記載すること

日食は計算で予想できるので天変ではない。しかし、日食の日は、天皇は伝統的に休業した

予報が外れて突然日食が起こると、宮中に迷惑がかかり、民間人にもバレ、暦学者の権威が落ちた

# 日本の暦学は科学か？

- 江戸時代は、 **Yes**  
 渋川春海(安井算哲)(17世紀後半)は、**観測をして、  
 良い暦法を採用した (実証と改良) 貞享暦制定(1685)**  
 彼以前の日本の暦学者は、中国(唐)で開発された公式通りに  
 計算していただけ (科学者らしくない)。
- 但し、江戸時代前半までは、ほぼ「現象論」のみ  
 見た目の太陽、月の動きが再現できさえすればよい



角川映画

天動説でも地動説でもかまわない(座標変換のみ)  
 月や惑星の軌道が円の組み合わせだろうが楕円だろうが、  
 式が三角関数だろうがn次関数だろうが、観測と許容誤差の範囲なら気にしない

**「究極の現象論」としての科学 (物理学になっていない)**

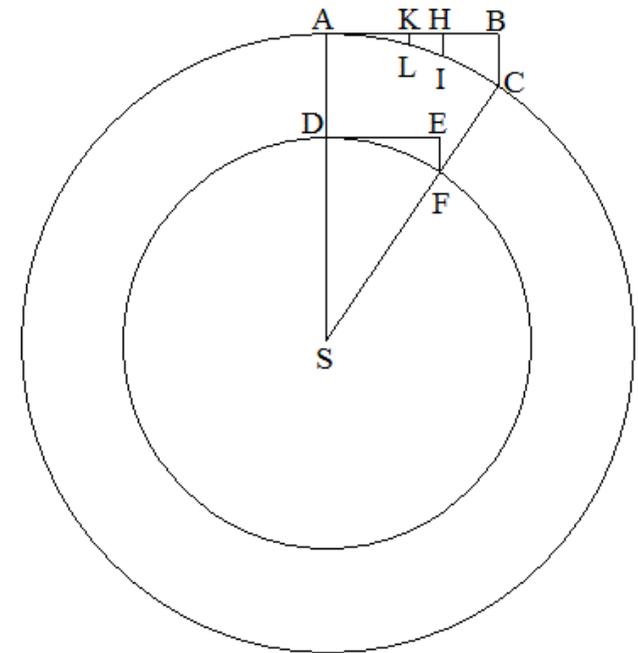
# ヨーロッパではコペルニクスの転回

天動説vs地動説論争@ヨーロッパ 16c-17c  
ガリレオ、ケプラー 神学論争

月や惑星の運動の説明が、  
ニュートン力学+万有引力で可能

地動説: 質量の大きな太陽の  
静止系に慣性系を設置する  
合理性がある

←物理学による意味の付加  
(近代科学の始まり)



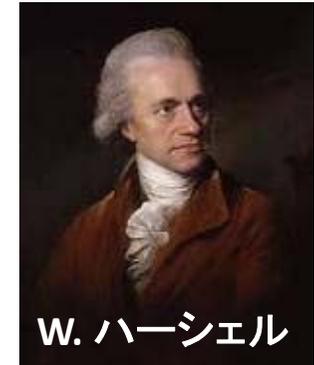
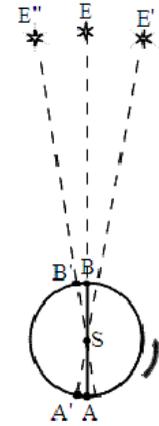
ケプラーの第3法則(後出)は、  
万有引力による落下で説明可能!

# 18世紀のヨーロッパと日本

ヨーロッパ近代科学の怒濤の進歩始まる

天文学研究が、現代的なパラダイムに移行

- ・光行差の発見 ブラッドリー(1728) → 地動説の物理的実証
  - ・天王星の発見 W・ハーシェル(1781) 太陽系の拡大
  - ・銀河系の形 W・ハーシェル(1785) 恒星宇宙の3D構造
- \* 距離の実測は、19世紀になってから(恒星の年周視差)



W. ハーシェル

同じ時代の日本では…

・ 18c後半 蘭学の勃興

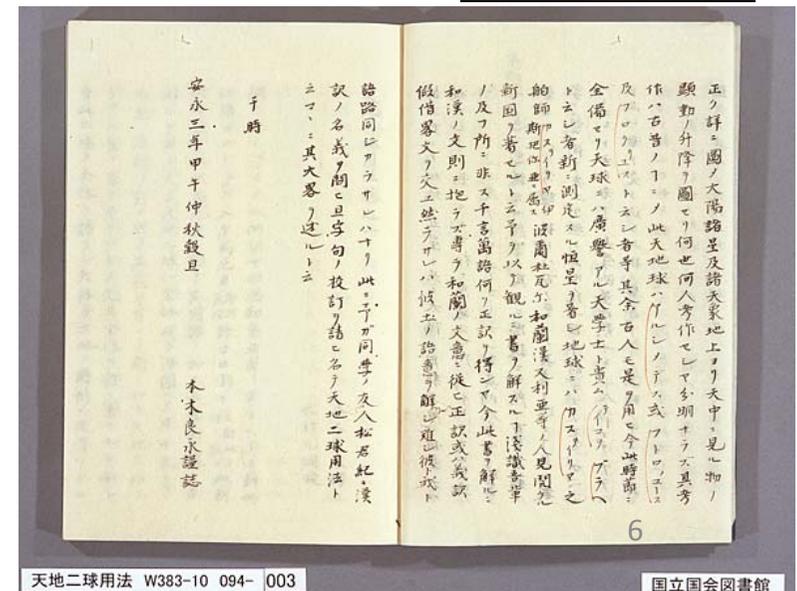
杉田玄白、前野良沢の人体解剖観察(1771)

平賀源内「エレキテル」(1776)

本木良永 初めて「地動説」を和訳本で紹介

『天地二球用法』(1774)

今回扱うのは、蘭学発展期の日本  
(1780~1820年代)



# 日本における科学観の革命的变化 (太陽系の天文学が先導)

暦学＝究極の現象論だった →

惑星運動や恒星への関心

ケプラーの法則には根拠があるはず (間重富)

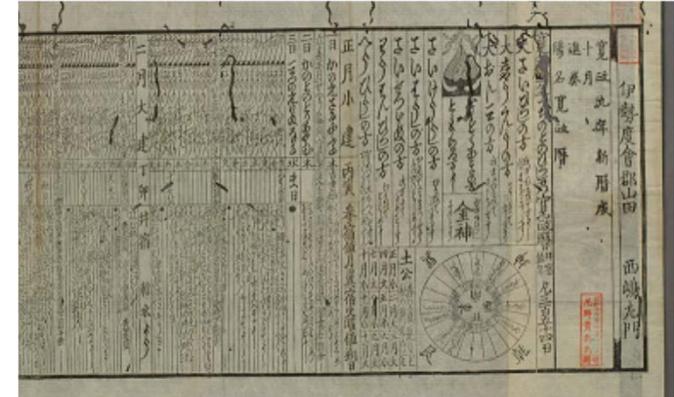
恒星の分布: 球面ではなく3D的散布? (山片蟠桃)

→ 真の宇宙の法則への関心

暦法の改良(公式改暦 江戸時代に4回)

貞享暦、宝暦暦 (東洋暦法) → 寛政暦(1798)、天保暦 (ケプラー運動) 早稲田大学蔵

計算公式:改良するなら、真の宇宙の法則にもとづく理論が望ましい



寛政暦(寛政12(1800)年用)

日本人がこれに気がついた時代 (1780~1810年代)

日本の自由な時代の雰囲気、蘭学の勃興も一因。ただし、自然の見方は朱子学(格物致知、窮理)が中心。西洋の実証科学的哲学 (F. ベーコン~ガリレオ~ニュートン~ヘーゲルなど)を理解したわけではない

(1) ケプラーの第3法則の独立発見 (by麻田剛立)

(2) 日本初の天王星の観測・編暦プロジェクト (by幕府天文方)

# ケプラーの第3法則の独立発見 (by麻田剛立)

# ケプラーの第3法則

太陽系のすべての惑星について、  
軌道半径(半長径)の3乗／公転周期の2乗＝一定

ヨハネス・ケプラーが1619年に発見

我が国では、

西洋から直接的に伝わる以前に麻田剛立が独立に発見した、

といわれている。

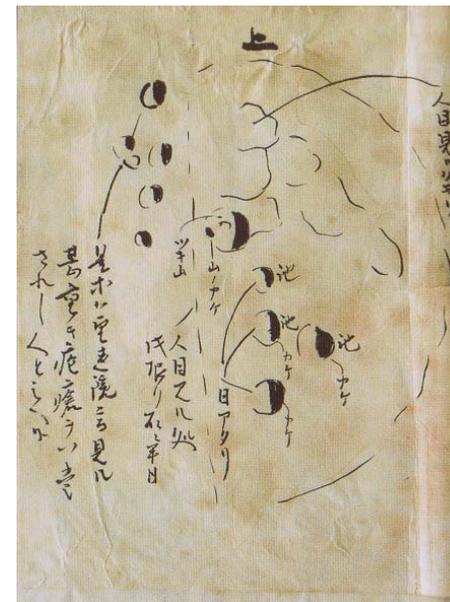
# 麻田剛立(1734-99)とは

- 豊後国(大分県国東半島) 出身
- 脱藩して大坂に移住。民間の医学者、暦学者

- 日本の近代的天文学の祖

中国伝来の暦学を広く(西洋起源系を含む)を研究した。蘭学者ではない。  
さらに独自の新しい暦算法を追求。官暦にない日食の予報に成功。

- 観測や機器にも長じた
- 優秀な弟子を育成した
  
- 晩年、弟子らを通じて蘭学情報に触れた

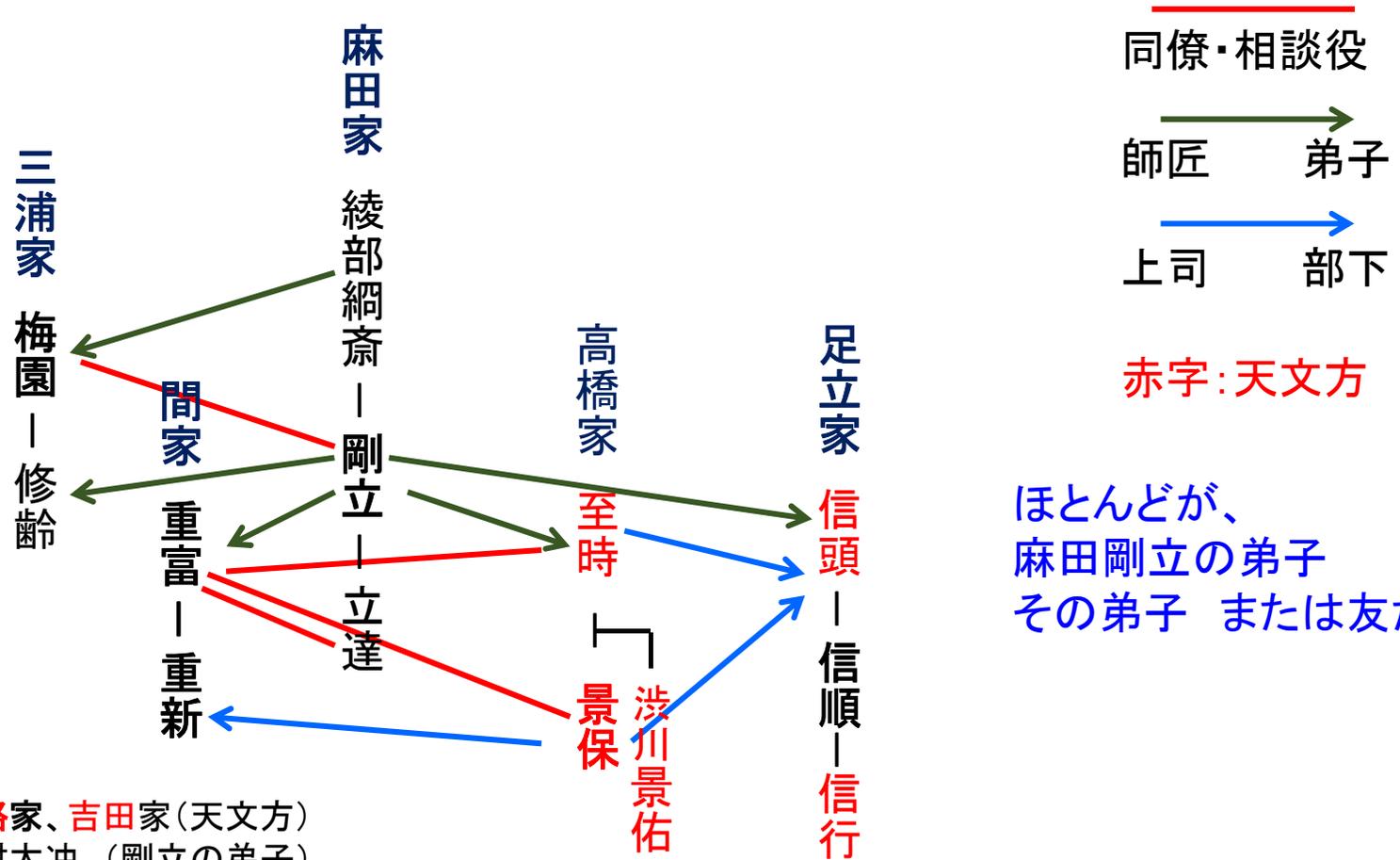


麻田剛立の月面観測図  
(安永7(1778)年頃  
杵築市立図書館蔵)

大分県先哲叢書

末中、宮島、鹿毛『麻田剛立』より

# 麻田家・高橋家・他系図



他の関係者: **山路家**、**吉田家**(天文方)  
 西村太冲 (剛立の弟子)  
 伊能家(測量・星図) 忠敬(至時、重富の弟子・部下) - 忠晦(孫、信順の同僚)  
 馬場家(通詞) 為八郎(志筑忠雄の弟子) - 佐十郎貞由 (幕府から指名) 青地林宗(貞由の弟子)  
 幕府関係 堀田正敦(上司、若年寄) 間宮林蔵(特命探検家)  
 懐徳堂・大坂商人関係 中井竹山・履軒、升屋・山片蟠桃、木村兼葭堂 (剛立、重富、梅園の仲間)  
 蘭方医家関係 杉田玄白・伯元、前野良沢、小石元俊、大槻玄沢、橋本宗吉 (間重富の仲間、弟子)  
 司馬江漢 (画家、蘭学者。自由人)

# 麻田剛立はケプラーの第3法則を独立発見したか？

麻田本人による直接的な記録は無し → 客観的な判定は困難

## 事実(文献によって疑いなし)

- ・麻田剛立はケプラーの第3法則を知っていた、それを弟子に告げた
- ・弟子がこれを麻田の創案と信じていた
- ・彼等は、ケプラーの第3法則を研究に利用した

## 独立発見説に有利な状況:

弟子＝信頼できる共同研究者(高橋、間)  
の一級資料に書かれている  
「ラランデ暦書管見」など。

高橋至時  
『ラランデ暦書管見』  
(1803-04)→  
『洋学 下』岩波書店

麻田の発見は、寛政の初年(元年＝1789)とされる。当時、  
流布していた和書、漢籍に、ケプラーの第3法則の記載なし  
当時、西洋語を読める者は麻田グループにいなかった  
※同法則の和書初出: 志筑忠雄『暦象新書』(1798)がとされる

麻田は系統的な蘭学研究をしていない

第二冊一十八葉 一千二百二十四章  
此篇ハ五星ノ一周自乗ノ比例ト本天半径ノ再自乗ノ比例  
ト相同ジキヲ論載ス。コレ曾テ麻田剛立翁ノ考ル所ノ術ニ  
シテ、暗ニ此篇ノ意ト相符ス。奇ト云ベシ。  
此篇ノ標題左ノ如シ。  
De Vierkanten der onloopstijden 自乗 zyn als de Teerlin-  
gen der afstanden. 之ニ 一周之日時 者 如 再自乗

## 麻田剛立はケプラーの第3法則を独立発見したか？(続き)

### 独立発見説に不利な状況:

当時、志筑忠雄は同法則をすでに知っていた。元オランダ通詞『暦象新書』の著者  
その草稿が早期に存在。「動学指南」ほか(現在、行方不明)

とにかく蘭書とオランダ通詞は日本に存在した

誰かから口頭で聞いた可能性。これが無いことの証明は原理的に不可能

麻田らは、ある程度の西洋の天文知識を知っていた

地動説、舶来の望遠鏡、蘭書の内容

通詞、商人などオランダ関係のコネクション

※ケプラーの第3法則はずっと専門知識で、一般的事項とはレベルが違うが

彼らは当時、地動説での惑星運動の研究をしていなかった

だから、自力でのケプラーの第3法則の着想は状況的に困難だろう

(たまたま)オランダルートで教えてもらったのだろう・・・ わからないけど。

# 唯一の直接的文献「麻田翁五星距地之奇法」

## 成立背景：不明

内容、状況から 1795～99頃の成立か  
論理、数値とも正確。麻田あるいはその直接の  
弟子が書いたものと推定

## 内容：

### 0. 天動説、地動説の両論併記（全体を通じて）

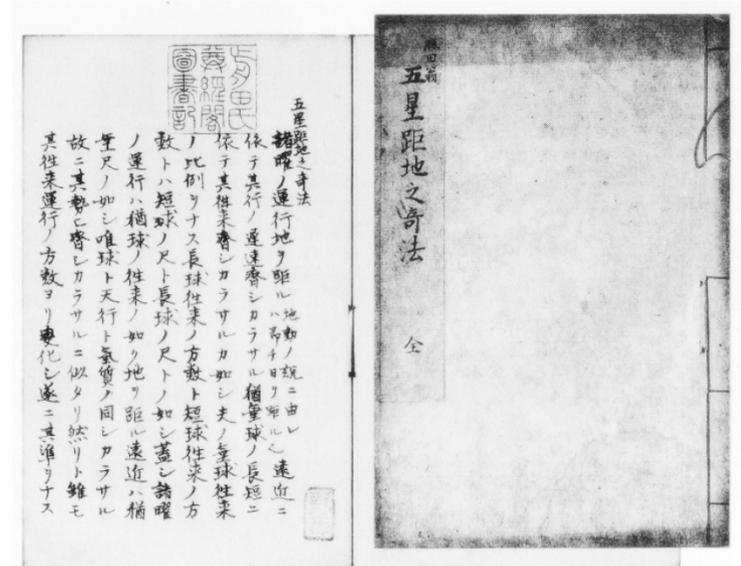
### 1. 惑星の周期の法則と振り子の周期との類似性 ＝間重富「天行方数諸曜帰一之理」を紹介

### 2. 太陽系天体のグループ分け。本法則が成り立つ天体の範囲

- (1) 5惑星（水金火木土星）と地球（天動説では太陽）＝太陽を中心とする
- (2) 月のみ＝地球を中心とする
- (3) 木星の4衛星＝木星を中心とする

### 3. 五星距地之奇法＝ケプラーの第3法則の提示

5惑星の公転周期の数値を提示。その $2/3$ 乗を計算し、それが軌道半径であると指摘。



「麻田翁五星距地之奇法」

尊経閣文庫蔵

\*  $2/3$ 乗　――　2乗をして立方根をとること

# 当該文献内容の考察

其性乘運行ノ方數ヨリ變化シ遂ニ其準ヲナス  
 ニ至テハ天行球行俱ニ同キ所ロアルカ如シ故  
 ニ數ノ自乘開方ヨリ變化シ來ルモノハ皆著明  
 ノ巨數ニシテ其數ノ實測ニ近キモノハ必ス直  
 數トナリ未タ其真ヲ得サルモノハ實測ト相離  
 ル必ス遠シ紛々タル細數交リ出テ、崇リテ真  
 假ノ間ニナスノ類ニハ非ス蓋シ日ト五星ト俱  
 ニ地ヲ心ニ地動ノ説ニ由レハ地トストスル故其本  
 天半徑ヲ得ル俱ニ一法ニヨル然シ月ハ全ク  
 地ニ屬ス環行スル由テ之ヲ觀レハ月ノ地ト  
 カ如故ニ地トノ比例又自ラ一法トナル其開乘  
 ノ易簡ニシテ最モ奇ナルモノハ木星ノ四小星

金星一周天、日〇周満タス、一六〇一五二一余、自乘之  
 立方開之、得〇七二二三三五、即本天半徑、  
 水星一周天、日〇周満タス、二四〇八五余、自乘之  
 立方開之、得〇三七八七一、即本天半徑、  
 右ハ唯其法ヲ記スノミ細尾ノ數ヲ必トセス、

日一周天、地動ノ説ニ由レハ為一  
 日本天半徑、地動ノ説ニ由レハ為一  
 或ハ水星ヲ用テ一トシ土星ヲ用テ一トスル  
 モ其法皆同シ  
 土星一周天、日二九周四二七余、合伏ヨリ合  
 分秒ト日ノ平行トヲ用シ、自乘之、立方開之、得  
 ア之ヲ得ル下四星亦同シ、次輪心地心ヲ距ル  
 九五三〇四二、即本天半徑、數ナリ地動ノ説ニ  
 ヲレハ星日  
 木星一周天、日一十一周八五六〇余、自乘之、方立  
 開之、得五一九九四七、即本天半徑、  
 火星一周天、日一周八八〇七三余、自乘之、立方開  
 之、得一五二二六五、即本天半徑、

天体のグループ分け:

月と5惑星の間には、同じ比例のケプラーの法則が  
 成り立たないことを指摘

(地動説では)月は地球の衛星であり、惑星とは違うから。  
 地動説の理解と優越にもとづく記述

公転周期の数値:

麻田剛立著「実験録推歩法」(1786)の数値から導出  
 同様に、軌道半径の測定値の導出も可能

「麻田翁五星距地之奇法」  
 の数値提示部

大分県先哲叢書『麻田剛立』

# 公転周期の数値の導出

## 実験録推歩法からの数値

A: 毎日平行(平均日々運動)、B: 次輪周毎日平行(太陽に対する見かけの角速度)  
 C: 日本輪周毎日平行(近点年に対応する角速度)、D: 歳周(太陽年)  
 E, E': 次輪半径: 次輪(小円の軌道)半径の本天半径(公転軌道本体)に対する比

公転周期:  $P = 360 \text{度} \div A \div D$  (外惑星)、 $P = 360 \text{度} \div (B+C) \div D$  (内惑星)  
 軌道半径(地球軌道の大きさとの比):  $R = 1/E$  (外惑星)、 $R = E'$  (内惑星)

表 1: 「実験録推歩法」の数値による「麻田翁五星距地之奇法」の数値の再現

惑星	実験録・ 毎日平行 A (度/日)	実験録・ 次輪周毎日 平行B (度/日)	公転周期 P (年)	奇法・ 公転周期	実験録・ 次輪半径 E, E'	軌道半径 R (A.U.)	奇法・ 公転周期 の 2/3 乗
土星	0.03350063		29.421747	29.4217 余	0.10426	9.5914	9.53042
木星	0.08313480		11.856010	11.8560 余	0.192948	5.1827	5.19947
火星	0.52407501		1.8807366	1.88073 余	0.65495	1.5268	1.52365
地球				1.0		1.0	1.0
金星		0.61650866	0.6152195	0.61521 余	0.722485	0.722485	0.72335
水星		3.10669903	0.2408543	0.24085 余	0.385	0.385	0.38711
実験録・日本輪周毎日平行			---	C = 0.98559765 度/日			
実験録・歳周			---	D = 365.2423054 日			

# 実験録推歩法(1786)の数値の原典

惑星の数値： 漢籍『曆象考成上下編』から  
 太陽の数値： 麻田オリジナル・消長法から

## 曆象考成上下編

西洋ティコ・ブラーへ流の天動説 → イエズス会士系  
 → 清王朝で編纂 (ケプラーの若い頃の天文学)

## 麻田翁奇法：公転周期の計算方法が古いまま

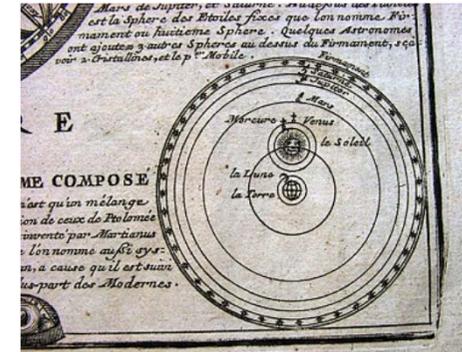
$1/P = 1/T - 1/S$   $P$ : 公転周期、 $S$ : 会合周期、 $T$ : 地球の1年の日数  
 $T$ : 公転周期の基準に**太陽年**を採用 (黄道座標静止系) --  
 ティコの時代の天動説の流儀 (ニュートン的には間違い)  
 ニュートン流なら恒星年を使う (絶対静止系 = 慣性系)

## ニュートン理論には基づいていない

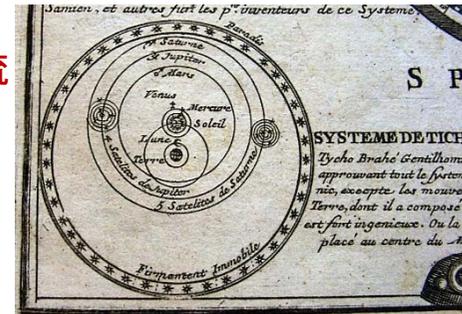
以上、天動説 → 地動説 の変換さえできれば  
**蘭学はいらない！**

ヨハネス・ケプラーと同じ状況

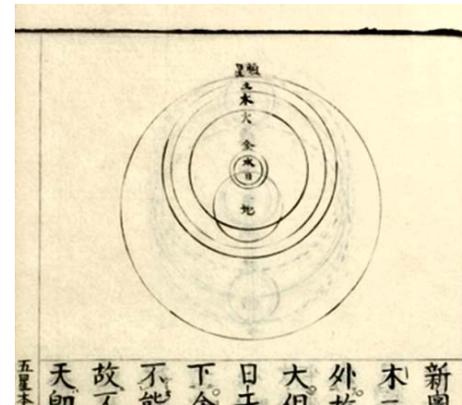
複合系



ティコ流



J. Chiquet, "Le Nouveau et Curieux Atlas Geographique et Historique" (1719)より 角田玉青氏蔵



『曆象考成上編』卷九 早稲田大学蔵

# 麻田に動機を与えた人？三浦梅園(1723-89)

三浦梅園（江戸時代、我が国「最強」の自然哲学者）

- ・麻田剛立と同郷（豊後） 若い頃、  
剛立の父に師事

天文現象は、梅園自然哲学(条理学)の  
実証の場である

(現代の素粒子論と宇宙観測の関係と同じ文脈)

宇宙全体を統一する「気」の理論

天文学では、一貫して麻田剛立の教えを請う

2人は、生涯、「非常に濃密な関係」にあった



# 三浦梅園著『贅語』の記載

『贅語』「天地帙」 —— 宇宙モデルによって自分の自然哲学を検証

(1)「天地帙上」「天地訓」「連環図」

地球中心の見方と太陽中心の見方の対応を示した

(天動説→地動説の座標変換) しかも、両者の見方が同時に成立するとした

(2)「天地帙上」「日月 第四」

ティコ流の天動説で、天体の運動の起源を自己の「気と象」の哲学で説明。

「恒星のどれも等しくととのった運動も、諸惑星のそれぞれ固有の運動も、統一するゆえんがあるのだ。」(現代語訳:吉田忠) **全惑星と恒星の運動の統一**

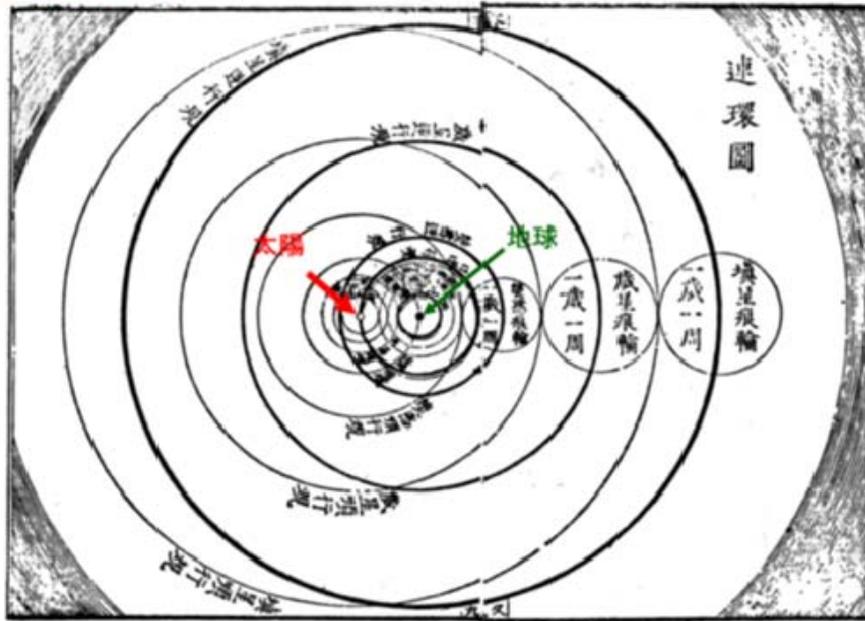
(3)「天地帙下」「辰体 第五」

天体の公転の角速度が外側へいくほど小さくなっていることと、その動力的説明

「幾層にも重なった天球からなる空間を地球から観察すれば、東方への運行の勢力は次第に相殺されて弱まり、ついには恒星に至る」

月→惑星→恒星 「気」による(すべての天体に西向きの日周運動)の力と  
「象」による(天体固有の公転運動)の運動の摩擦で、  
遠くの天体ほど、公転が負けて角速度が遅くなる

連環圖



「三浦梅園、日本の名著、中央公論社(『贅語』、評論)より

是以前星之齊運諸辰之各法亦有所統也故日月順逆周天周地燦處則動植以發收而應日月水處則潮汐以盈虛而應月

月中有翳天下疑之既有疑者亦必有作其說詩人者當我爲徐吳刺茂佳七賢合

雙語一 天地映上

以南北而爲冬夏象之活行也故之爲順行又謂緯行日乘西行之輪以周地是以其軸常守以成東西以東西而爲晝夜象之死行也故之爲逆行又謂經行天地正具而圓輪軸斜見規矩日者陽象之主月者陰象之宗

『贅語』「日月 第四」より

「梅園全集」

層天之解

一、天麻圓、日... 者其法專用黃極猶漢之謂赤極當漢順帝時多祿某者定九重天當明正德中歌白泥者置二差之天爲十有一天當萬曆中地谷者出廢其二天是層層天之沿革也蓋自地數以爲之七層者其立以高卑分以周天東行疾爲下以緩爲上故月之周天則二十七

日餘而水星而金星而太陽皆三百六十五日餘而火星一年三百二十一日餘而木星十一年三百十三日餘而土星二十九年一百五十五日餘而恒星游子六推自崇禎癸未上距帝魯甲子四千二十年得差五十七度獲二萬五千七百三十五年得一周天皆不解乘除姑記大槩夫地守中而天成外於

語一 天地映下

日光而不知... 白亦有晦朔弦望人皆知太北辰星之繞日而不知餘辰之繞日知餘辰之繞日而不知踰地者之精不同於不踰地者之窺西人仰其行止順逆之行於本天上而認歲輪而認軌跡軌跡實是環日之正規本天者就西轉而成耳矣自地載天言之月爲最下而至日水金日日圍於影言水星至近至太白至月至地至熒惑至歲至填自地者出持入轉自日者出景入影辰在景中紫紫相重星在影中燦燦相竝故層層之間自地而觀則運勢漸殺而至衆星自日而觀則日軸輪金水載月地以運三辰之大輪以輓衆星天中若夫謂天殼皮瓊如蔥頭皮而星月堅凝于其中

三三三

『贅語』「辰体 第五」より

# 梅園の宇宙モデルの起源

「陰と陽の対称性」の自然哲学： 東洋哲学を基礎にした梅園の独創

天動説→地動説への変換：

軌道半径と公転角速度の関係：

恒星の歳差を公転だとする(間違っ)考え方： 西洋天動説起源・漢籍經由

天体運動の動力的説明： 東洋哲学を基礎にした梅園の独創

(東洋哲学(朱子学)では、天体運動について定説は確立されず)

## 麻田は『贅語』を読んだか

「天地訓」は校閲を頼まれ返書も書いた → **間違いなく読んだ**

「天地帙」の終わりのほうで、麻田の観測・コメントが名指しで引用

「麻田剛立は、.....と言っている」

義理堅い二人の性格からみて、できる限りの校閲が行われただろう

# 「梅園理論」と「麻田理論」の背景のつながり

時期的に一致：「贅語」の校閲依頼、「実験録推歩法」成立は、いずれも1786年  
同じ基礎理論：天動説→地動説の変換 について議論

動機にも共通点 **歳差モデル** の研究

歳差：地球自転軸のすりこぎ運動で、天の赤道と黄道の交点（春分点、秋分点）  
が約26000年の周期で回転移動する現象

## 2人は「歳差の理由」をそれぞれ推論した

梅園： **惑星運動と歳差運動の統一**

→「歳差は恒星の公転運動」である。（漢籍経由の西洋天動説）

麻田： **麻田消長法**（歳差の周期で、太陽年の長さなど複数の「定数」が時間変化）  
歳差の起因は、太陽の軌道の形と関係？



**歳差が恒星の公転運動であってはちょっと困る？**

# 麻田の考え(推論)

とりあえず、**歳差の原因の究明** がしたい

とりあえず、梅園説を正しいと仮定して

1. 軌道半径と公転周期の関係 — — **数値的法則を探索**
2. 法則を見つけて、歳差周期に適用すれば、恒星天までの距離が得られる
3. 恒星までの距離を実測し(年周視差の観測)、検証  
→ 梅園理論を数値的に検証できる可能性

(試算) 歳差にケプラーの第3法則を適用 → 恒星天までの距離は860a.u.  
→ 年周視差は4' (この大きさがあったなら、当時の技術でも測定可能。)

麻田剛立、1789年頃、ケプラーの第3法則(麻田翁五星距地之奇法)を発見

麻田は、1792年に日暮れから夜明けまで複数の恒星の赤経の精密測定をしている(精度2'以下。ただし、年周視差を導出したかは不明)

**麻田は、上の1. 2. 3. をそのまま実行したのではないか。**

# 山片蟠桃「夢の代」にみる麻田の考え

「夢の代」「天文 第一」の十一(1802~05に初稿?)

「蓋月天ヨリシテ七曜ノ天各自ニ右行ス。月ノ十三度ヨリ、日ノ一度ヨリ、火木土ノ三星ダン\ノニ自行減ジテ、恒星モ亦少シノ自行アラザルヲ得ザルナリ。コレ六十八年ニ一度ノ歳差ナルモノハ、恒星ノ自行ニシテ、 . . . (中略) . . . コレモ亦シカラズンバアルベカラズ。コノヲ以テ麻田先生、消長ノ法ヲ立ル」。

(概要)

軌道半径と公転角速度の遅速の関係

恒星の固有運動＝歳差の存在 ほか、



麻田消長法の根拠



山片蟠桃像(兵庫県高砂市)  
大阪大学より

前段は「贅語」にある「梅園説」であって、麻田本来の考えではない

麻田が、「梅園説」を動機にして自分の「歳差理論」の検討をした、  
と蟠桃に告げたのか？

# この段のまとめ

五星距地之奇法＝ケプラーの第3法則を、麻田剛立は知っていた。  
はたして、独創で発見か？

「麻田翁五星距地之奇法」の数値は、自著に起源  
地動説を消化

→「五星距地之奇法」の内容は、自力で完結

着想のきっかけのソース：  
三浦梅園の「贅語」

天動説→地動説の変換

軌道半径と公転角速度の関係 と その力学的説明

両者の研究内容の関連の状況証拠あり：

**結論： 独立発見の可能性が高い**  
**少なくとも、蘭学ルートに頼る必要性はない**

参考文献・出典： 上原 <http://seiten.mond.jp/gosei-c.pdf>

また、麻田剛立の伝記がいろいろ出ているので、興味を持たれた方はぜひご覧下さい

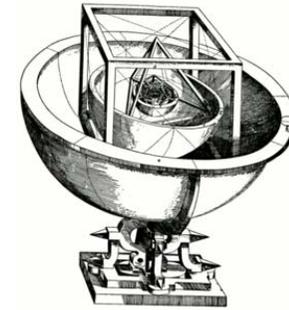
# 日本初の天王星の観測・編暦 プロジェクト (by 幕府天文方)

# 天王星発見のインパクト@洋の東西

古来、惑星は5つ。地動説では地球を足して6つ。  
これだけだろう、とする「理論」すらあった。

西洋:ケプラーの正多面体理論 正多面体は5つ。惑星は6つ  
(惑星軌道の隙間に、多面体をはめ込む)

東洋:五行説 木火土金水 —— そのまま惑星名



J. Kepler "Mysterium Cosmographicum" より

## 1781.3.13: W.ハーシェル 天王星の偶然かつ想定外の大発見

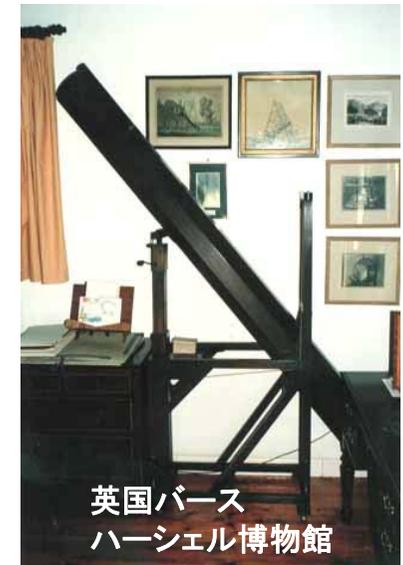
日本では、安永10年

この時、ウィリアム・ハーシェル42歳 麻田剛立47歳、間重富24歳

新惑星の情報は日本にどのように伝わったか？

日本人は、新惑星(天王星)をどのように捕らえ、扱ったか？

日本人(幕府天文方)は、ハーシエルの発見の43年後  
天王星の観測を行った



英国バース  
ハーシェル博物館

# 日本での天王星観測までの歴史

今までの古文獻研究により、以下のことがわかっている

**幕府天文方関係** 吉田忠、渡辺敏夫、荻原哲夫氏の研究等から 上原が年表作成

1807 間重富、蘭書 J.Buijs “Natuurkundig Schoolboek”(1800版)から、天王星 (Uranus)を初めて知る。(判明している日本最古の天王星の記録)

1813 足立信頭、馬場貞由 抑留中のロシア人を訪問。足立らは天王星について知っていた。(ロシア人ゴロヴニンの記録 『日本幽囚記』)

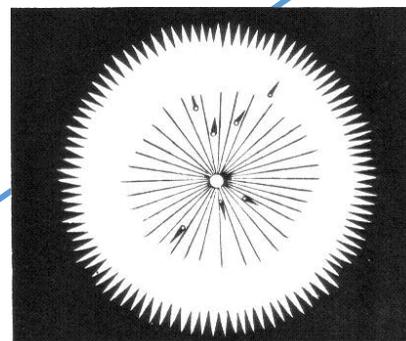
1822 天文方(山路) オランダ人に天王星の今年の位置を質問

1824 渋川景佑 英国航海暦を見、間重新に天王星観測を指示

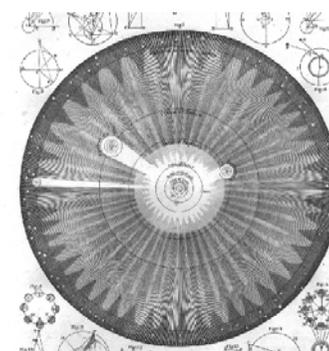
1824 足立信順 日本初の天王星観測

1825頃? 足立信順『由刺奴斯表(ユラヌス表)』

1826 間重新 天王星観測



広瀬周伯「三才窺管」巻の上  
江戸科学古典叢書38(恒和出版)より



## 民間の和書関係

1808序 広瀬周伯『三才窺管』 7惑星?を含む西洋書起源らしき図  
(新惑星のコメントはなし。つくば市谷田部の偉人)

1813~1820年 菅茶山『筆のすさび』巻一 「6惑星の説」

参考: "Elements of Astronomy including the Solar System with the new discovered Planet the Georgium Sidus" 図C.Cooke より London (ca.1788) 28

NATUURKUNDIG  
SCHOOLBOEK.

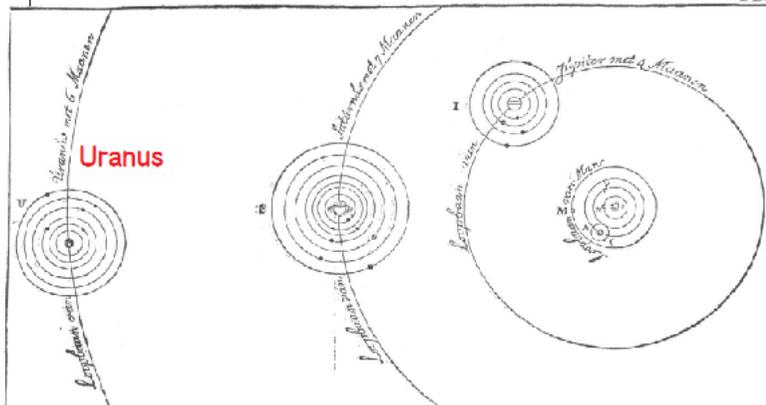
IN VIER DEELTJENS.

DOOR

JOHANNES BUIJS.

AAN WIEN DE UITGEOOFDE DUBBELE GOUDEN  
MEDAILLE IS TOEGEWZEN.

deeze beweegen zich, naar het ons toefchijnt, dan eens van het oosten naar het westen, dan van het westen naar het oosten, dan eens stil staande, enz.; ontleenen hun licht alleen van onze Zon, dus donker op zich zelven; draagende de naamen, door de oude Sterrekundigen haar gegeven, van *Mercurius*, *Venus*, *Mars*, *Jupiter*, *Saturnus*, en de onlangs ontdekte *Uranus*, en, uit hoofde hunner dwaalend fchijnenden loop, die van Planeeten, dat is Dwaalsterren. — Cometen zijn sterren, welke in lang-



J.Buijs “Natuurkundig Schoolboek” (1800)  
Googlebooks 図は東北大学蔵より

間重富は、オランダ通詞・馬場為八郎から本を借りた

對曰其理詳ナルヲ知ラス吾アムステルダムノ觀念  
其器ヲ具ス其臺架高クテテ垣上ニ見然レテ南  
ヲ張リタルヤ否ハ  
山路問曰「ユラニ星ハ今年何處ニアルヤ」  
對曰予知ラス星學書中ニ從テ本々ハ  
條原曰磁石ハ直南北ヲ指テ其偏度ハ何ノ理ルヤ  
對曰其偏度ハ  
梅ニ距離ニヨルト云々本地ノ所在ヨリテ偏度ニ多

「和蘭商客対話」  
渋川景佑「曆学聞見録」卷四  
国立天文台蔵

# 天王星の観測とは？

## 天文方の観測 —— 天球上での位置観測（赤道座標の測定）

星の南中時に測定（観測地の子午線通過）

・（他の天体との）南中時刻差 → 赤経差

1時間 →  $15^\circ \times (\text{約}366/365)$ （対恒星自転周期）

・南中高度 → 赤緯

= 南中高度 - ( $90^\circ$  - 観測地の北緯)

## 必要条件:

- ・ 知識 天王星の発見ニュース  
天王星の明るさ(答え: 約5.7等)  
概略位置の予報（答えは、天体暦にある、あるいは自分で計算）  
周辺の恒星位置データと観測用星図（恒星表、あるいは精密星図）
- ・ 望遠鏡 小さい望遠鏡でOK。肉眼で位置測定は無理
- ・ 位置観測技術（望遠鏡を使う測定は、当時はプロでも経験不足）

## 幕府天文方にとって、どれも難題 —— 科学プロジェクトとして進めた

たとえば、情報収集班、理論班、計算実務班、観測機器班、星図班、観測班、総指揮

20年ほどかかった（1800～1820年代）

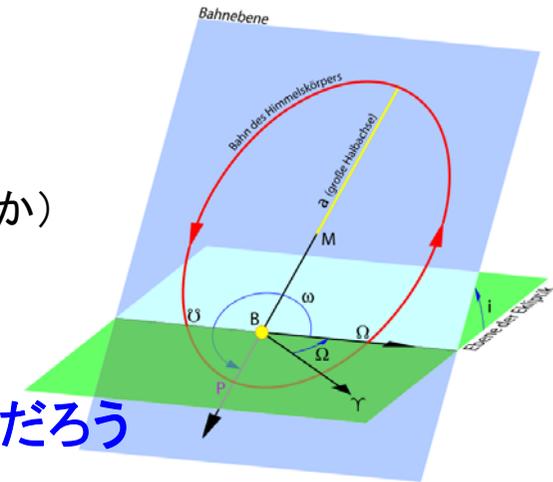
# 天王星の位置予報計算とは？

惑星位置の計算理論: 高橋至時の遺法・新修五星法(1802) (2体ケプラー運動)

インプットとして、惑星の楕円軌道要素 6変数 が必要

- a. 楕円の大きさや形      軌道半長径(周期でも可)、離心率
- b. 軌道平面と近日点の方向      昇交点黄経、近日点黄経、軌道傾斜
- c. 軌道上の位置      元期平均黄経 (ある時点で、どこにあったか)

全部わかれば、地球から見た位置予報が計算できる



- 天王星の6軌道要素の全てを知るには時間がかかったらう

オランダ人から直接聞く機会はなかったらしい

洋書は購入可能(オランダ人や通詞のアルバイト。意外と規制が緩かった)

「軌道要素」Wikipedia

教科書、百科事典、一般向け年鑑類では、せいぜい a.しか載っていない

天文学専門書なら b.も

c.が載っているのは、専門家の研究論文くらい (あるいは天体暦か観測の数値から逆算する)

1822年の時点で、天文方 山路 がオランダ人に天王星の位置を質問

まだ、彼等は正確な予報を持っていなかったらしい

6要素のうち b. c. の一部が把握できていなかったと推定される

# 天王星の位置予報(英国航海暦)

52

MAY 1824.

IV.

## 英国航海暦に位置予報(計算結果)有り

毎年出版の冊子。1年分の惑星位置予報を掲載。

(天文年鑑や理科年表に同じ。ただし3年前に出版)

船旅に1~2年かかるから

\*オランダ航海暦には、天王星の位置予報は載っていなかった

渋川景佑、

1824年に英国航海暦を見て、間重新に観測を指示

Anglia(英国)

「文政甲申(7年)初春臣景佑偶暗厄里亞航海暦ニ新緯星 Uranus(天王星)

烏刺奴斯ノ経緯度南中時分等精細ニ書載スルヲ見得タリ 其諸数ヲ重新ニ授与シテ其南中ノ諸数ヲ測驗セシム」

同年5月(陽暦)足立信順が観測に成功 (わずか3カ月後)

たぶん、↑は「1824年用」英国航海暦だった(未確定)

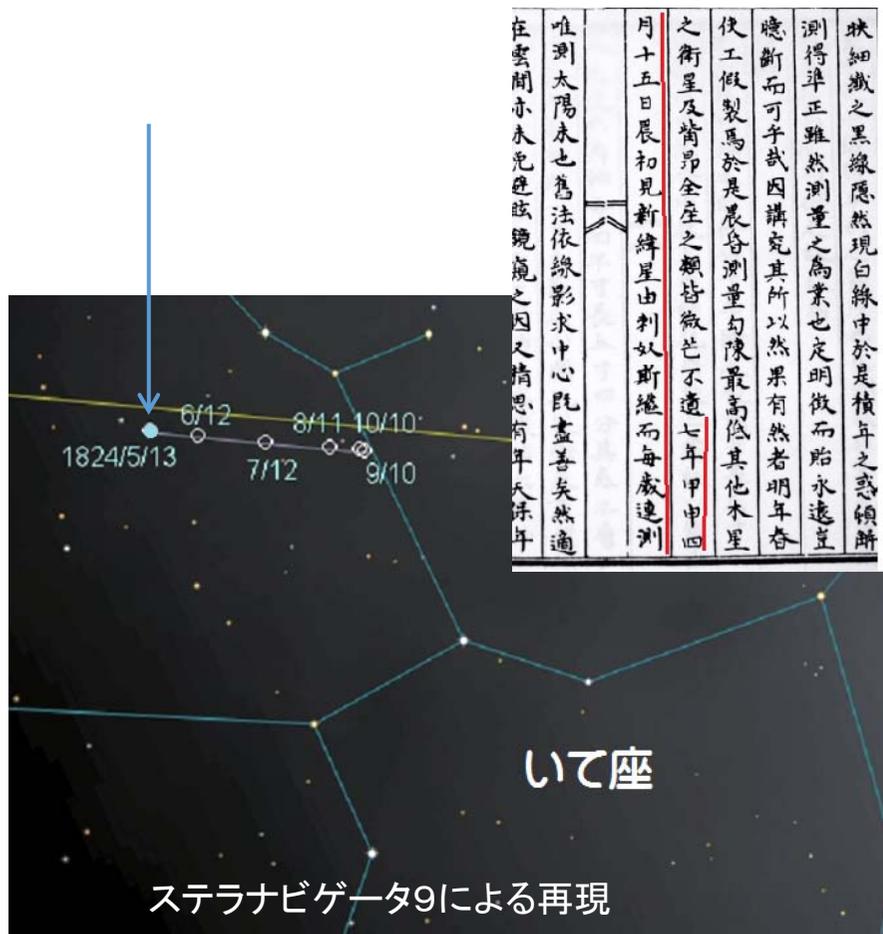
Days	Heliocentric		Geocentric		Declin.	Rt. Asc. in Time	Passage Merid.
	Long.	Lat.	Long.	Lat.			
	S. D. M.	D.M.	S. D. M.	D.M.	D.M.	H. M.	H. M.
<b>MERCURY.</b>							
Gr. Elong. 10°.							
1	4. 16. 20	7. 0 N	1. 29. 52	2. 17 N	22. 22 N	3. 49	1. 14
4	5. 1. 31	6. 45	2. 4. 17	2. 29	23. 27	4. 7	1. 21
7	5. 15. 17	6. 8	2. 8. 5	2. 32	24. 11	4. 23	1. 26
10	5. 27. 48	5. 15	2. 11. 15	2. 27	24. 35	4. 37	1. 28
13	6. 9. 14	4. 14	2. 13. 44	2. 13	24. 41	4. 48	1. 27
16	6. 19. 46	3. 8	2. 15. 33	1. 50	24. 31	4. 56	1. 24
19	6. 29. 36	2. 1	2. 16. 38	1. 19	24. 6	5. 1	1. 17
22	7. 8. 52	0. 54 N	2. 17. 0	0. 39 N	23. 28	5. 3	1. 6
25	7. 17. 43	0. 11 S	2. 16. 40	0. 8 S	22. 39	5. 2	0. 53
28	7. 26. 15	1. 13	2. 15. 44	1. 0	21. 43	4. 58	0. 38
31	8. 4. 36	2. 13	2. 14. 21	1. 52	20. 42	4. 53	0. 20
<b>VENUS.</b>							
1	11. 13. 11	3. 23 S	0. 17. 14	1. 37 S	5. 17 N	1. 6	22. 32
7	11. 22. 43	3. 22	0. 24. 32	1. 35	8. 3	1. 33	22. 36
13	0. 2. 15	3. 15	1. 1. 51	1. 30	10. 44	2. 1	22. 41
19	0. 11. 48	3. 2	1. 9. 10	1. 22	13. 16	2. 29	22. 45
25	0. 21. 23	2. 44	1. 16. 30	1. 13	15. 37	2. 58	22. 50
<b>MARS.</b>							
1	6. 21. 35	0. 50 N	5. 24. 36	1. 48 N	3. 48 N	11. 43	9. 7
7	6. 24. 24	0. 45	5. 24. 30	1. 33	3. 36	11. 42	8. 44
13	6. 27. 14	0. 40	5. 24. 52	1. 18	3. 15	11. 43	8. 21
19	7. 0. 6	0. 35	5. 25. 39	1. 5	2. 43	11. 46	8. 0
25	7. 2. 59	0. 29	5. 26. 48	0. 52	2. 4	11. 50	7. 40
<b>JUPITER.</b>							
1	3. 16. 28	0 11 N	3. 7. 13	0. 10 N	23. 26 N	6. 31	3. 57
7	3. 16. 58	0. 11	3. 8. 15	0. 10	23. 23	6. 36	3. 38
13	3. 17. 28	0. 12	3. 9. 21	0. 11	23. 19	6. 41	3. 20
19	3. 17. 58	0. 13	3. 10. 29	0. 11	23. 14	6. 46	3. 1
25	3. 18. 27	0. 13	3. 11. 40	0. 12	23. 9	6. 51	2. 42
<b>SATURN.</b>							
1	1. 26. 37	2. 4 S	1. 25. 5	1. 52 S	17. 15 N	3. 33	0. 59
7	1. 26. 50	2. 3	1. 25. 51	1. 51	17. 26	3. 36	0. 39
13	1. 27. 4	2. 3	1. 26. 37	1. 51	17. 38	3. 39	0. 18
19	1. 27. 17	2. 3	1. 27. 24	1. 50	17. 48	3. 42	23. 64
25	1. 27. 30	2. 2	1. 28. 17	1. 50	17. 59	3. 45	23. 33
<b>GEORGIAN. 天王星</b>							
1	9. 13. 2	0. 23 S	9. 15. 35	0. 24	22. 56 S	19. 8	16. 31
11	9. 13. 9	0. 23	9. 15. 35	0. 24	22. 57	19. 8	15. 52
21	9. 13. 16	0. 23	9. 15. 22	0. 24	22. 59	19. 7	15. 12

日付 黄道座標 赤道座標 南中時刻  
英国航海暦"Nautical Almanac"1824年用  
渋川景佑が1824年に見たのがこれかは未確定

# 2人が天王星の観測に成功(1人目)

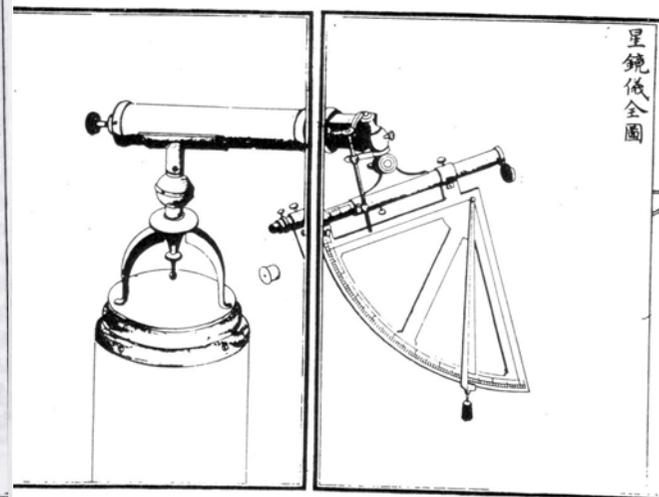
1824年 足立信順の観測 (江戸)

観測装置と観測状況 (いて座の南中シーズン始めですんなり捕らえている)



其本未考驗之由載在儀說畧曰予午線儀之制固  
 小遠鏡頗有意於製新儀信順乃繼其意而大成焉  
 門人高橋至時間重富等憾目窺之不及小星或用  
 製于午線儀其測太陽用遊眩鏡月星則目窺而已  
 星鏡子午線儀者足立信順所創製也初藤田安彰  
 星鏡子午線儀  
 映細織之黑線隱然現白線中於是積年之惑頓解  
 測得準正雖然測量之為業也定明微而殆永遠豈  
 臆斷而可乎哉因講究其所以然果有然者明年春  
 仗工假製焉於是晨昏測量勾陳最高低其他木星  
 之衛星及背昂全座之類皆微芒不遺七年甲申四  
 月十五日辰初見新緯星由刺奴斯繼而每歲連測  
 唯測太陽未也舊法依線影求中心既盡善矣然適  
 在雲間亦未克遊眩鏡窺之因又精思有年天孫年

其本未考驗之由載在儀說畧曰予午線儀之制固  
 小遠鏡頗有意於製新儀信順乃繼其意而大成焉  
 門人高橋至時間重富等憾目窺之不及小星或用  
 製于午線儀其測太陽用遊眩鏡月星則目窺而已  
 星鏡子午線儀者足立信順所創製也初藤田安彰  
 星鏡子午線儀



『寛政曆書』卷二十三、「星鏡子午線儀」  
望遠鏡:長さ1尺1寸、直径6分5厘

(D~20mm、f~300mmの小望遠鏡)

「(文政)七年甲申四月十五日辰初見  
新緯星由刺奴斯繼而每歲連測」  
新惑星ユラヌス

毎歳連測 (翌年以降も、シーズンを通じて、追跡した。当時は南中は、5~9月だけ)



TAFREEL VAN ONS ZONNE-STELZEL, bevattende de Middellijnen der PLANETEN, derzelver betrekkelijke hoogrootheden, middelbare affanden tot de Zon, halve groote asen der loopkringen; uitmiddelpuntigheden, omloopstijden en de affanden en omloopstijden der SATELLIETEN. — NB. De mijlen, in deze Tabelle voorkomende, bevatten 2280 toifes, of 4302,56 meeters. — Men vergelijke de kaart van ons ZONNE-STELZEL.

I. HOOFD-PLANETEN.

Naamen der Hoofd-Planeten.	Betrekkelijke rangen der Planeten, ten opzichte der Aarde.	Middelbare affanden der Planeten tot de Zon, in mijlen.	Derzelver middel-lijnen in mijlen uitgedrukt.	Derzelver hoogroothed met de maat der Aarde vergeleken.	Halve groote asen van haare loopkringen, in eenheden van den halven grooten as van den loopbaan der Aarde.	Betrekking van de uitmiddelpuntigheid van eiken loopbaan, tot derzelver groote as.	Omloopstijden der Planeten in dagen, tiende, honderdste en duizendste deelen van deszive.	Middelbare helling van haare loopkringen op den loopkring der Aarde, in graaden van de nede verdeling.	Duuring van de omwenteling om den as van elke Planet, voor zo verre zulks bekend is.	Afflating den as tot de den evenagti-
De ZON.	Beheerscheresse van ons stelsel.		319,314	1448000 maal groter					dag. uur. min.	nog niet
MERCURIUS.	Beneden- binnen Planeten, ten opzichte der Aarde.	13,299,782	1,166	16 maal kleiner	0,387,100	0,205,513	87,969	7° 00' 00"	25 10 00	enkelemaal
VENUS.		24,851,885	2,748	18 kleiner	0,723,332	0,006,885	224,701	3° 23' 35"		twiiflagtig.
De AARDE.	Boven of buiten Planeten, met betrekking tot de Aarde.	34,357,480	2,864	50 maal kleiner	1,000,000	0,016,814	265,256	5° 8' 49"	0 23 56	Als 333 tot
De MAAN.		86,324	782		37,322	27 7 43	gen van DEL.			
MARS.	Omlings ontdekt.	52,350,240	1,490	4½ maal kleiner	1,523,693	0,093,088	686,980	1° 51' 00"	1 0 39	niet gena
CERES.		56,246,891		to. nog toe onkeer.	2,765,870	0,078,872	1,679,840	10° 36' 52"		o
PALLAS.		95,689,316		tot nog toe onkeer.	2,791,000	0,246,300	1,703,700	34° 50' 40"		o
JUPITER.		178,692,550	31,111	1474 maal groter	5,202,778	0,048,077	4,332,602	1° 19' 00"	0 9 56	Als
SATURNUS.		327,748,790	29,647	1030 maal groter	9,538,785	0,056,223	10,759,077	2° 39' 55"	0 10 16	Als
URANUS.		655,602,600	12,410	83 maal groter	19,183,475	0,046,683	30,689,000	0° 46' 25"	o	o

天王星の軌道データのある Jacob de Gelder の蘭書↑

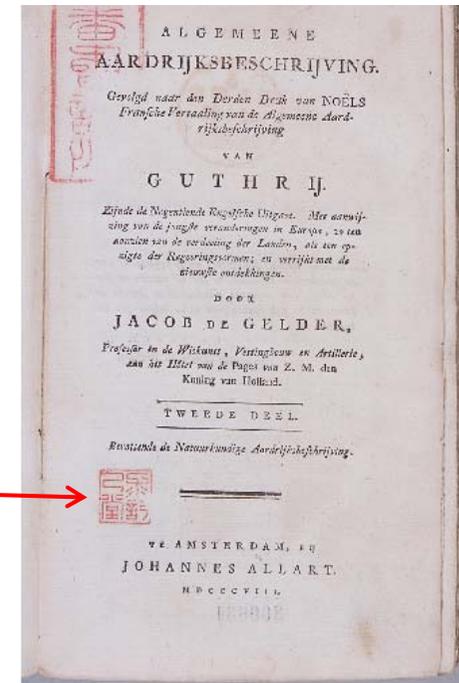


間重新による天王星観測  
1826.6.1 - 9.16

図1 間重新の「文政九年丙戌 烏刺奴斯 (ウラヌス) 諸数並圖」  
「伊能忠敬研究」51より(大阪歴史博物館 羽間文庫蔵)

同書扉頁 →

高橋景保  
蔵書印



Jacob de Gelder "Algemeene Aardrijksbeschrijving" (1808)  
国立国会図書館蔵

# 日本での天王星——1827年以降

1827 渋川景佑 1828年用英国航海曆を入手・和訳

1828 シーボルト事件勃発 翌年 高橋景保獄死。高橋家取りつぶし

1831 足立家 親子二股で 後継天文方 昇格を 目指す

足立信頭 —— 高橋景保の 後釜 を狙う (年功序列)

足立信順 —— **天王星編曆をひっさげる (能力主義)**

**この段階で天王星の編曆がほぼ完成していたはず**

1835 足立信頭が天文方になる (信順は嗣子なので後継できる)

信頭の興味は彗星の軌道計算 この年ハレー彗星接近

天王星がない！

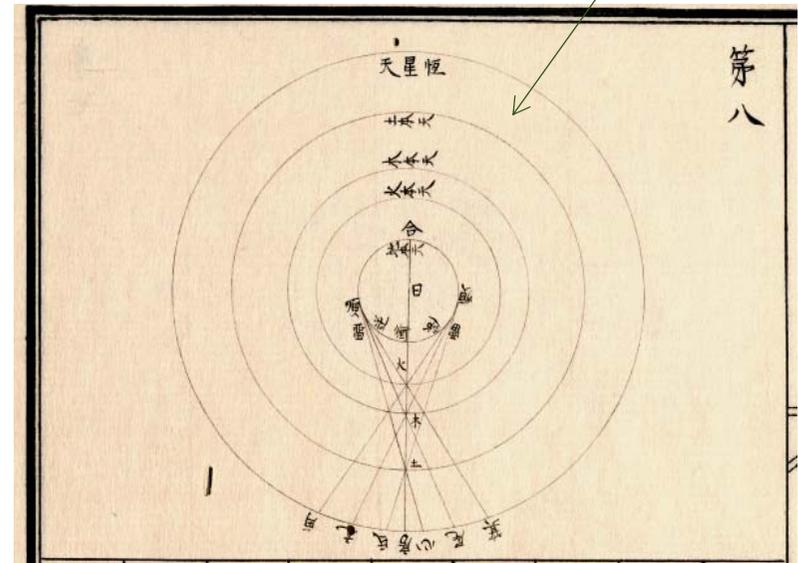
**天王星の観測、編曆は沙汰止みか**

**1832年以降、天王星の話題は彼等から**

**出ていない模様**

1841 足立信順 没 (信頭より先に亡くなった)

1842 天保曆制定 (天王星については、まったく  
記載なし)(施行は1844から)



# 天王星プロジェクトの放棄(1840年代)

## 民間和書関係:

1836頃 帆足万里『窮理通』 科学書 天王星とその衛星のデータ  
(J. de Gelder 前述表の和訳)

1851 川本幸民『気海観瀾広義』 天王星の紹介  
(J. Buijsの前述理科教科書の改訂版の和訳)

## 1840年代以後、天王星は、一般向け知識となる

民間人が洋書を読む時代。英国航海暦にはとても勝てない

→ 天王星の位置が官暦に載っていても、たいして価値はない

天王星の精密観測と軌道計算はたいへんな労力

幕府の努力価値の喪失によって頓挫か

そのころのヨーロッパ: 天王星の精密観測～予報からのずれを発見(1810～20頃)

計算でさらなる新惑星の存在を予言 → 海王星の発見(1846)

精密観測の質的転換による新発見のパラダイム

# この段のまとめ

日本において、天王星観測・編暦計画は、1800～1830年代における先端科学プロジェクトであった。

・材料集めには苦労したようだが、観測は順調にすすんだ。計算方法も確立。

景保、景佑の洋書収集、足立信順の天才、伊能忠晦の星図完成

・軌道と編暦計算の公表はしなかった 労力に見合わないと判断してやめた？

背景：精密観測・解析の質的な学問価値に気づけなかった

日本人の限界？ 時代のせい？

1800～10年代は、ロシアの脅威を、幕府での蘭学振興に利用できた

1840年代以降の英国の脅威(清：アヘン戦争)では、洋学の軍事利用が現実化

→ アカデミズムが動かされる（幕府は洋学知識の独占を図るが時すでに遅し）

大砲、製鉄技術の開発など、幕府、諸藩それぞれ西洋に対抗策

→ 開国、幕府の弱体化、幕末の動乱へ

参考文献・出典： 上原 著作@日本ハーシェル協会 デジタルアーカイブ

<http://www.ne.jp/asahi/mononoke/ttnd/herschel/archive-j.html>

# 全体のまとめ

江戸時代の日本人の理学研究：

現象論、宇宙の真理探究 とは何か？

伝統理論、合理主義とは

独創、知識の移入とは

アカデミズム、科学プロジェクトとは

応用科学、民生科学とは

国家、社会の要請とは

江戸時代後期の日本天文学が、  
現代に通じる何らかの見方をあたえている  
ことは間違いない。

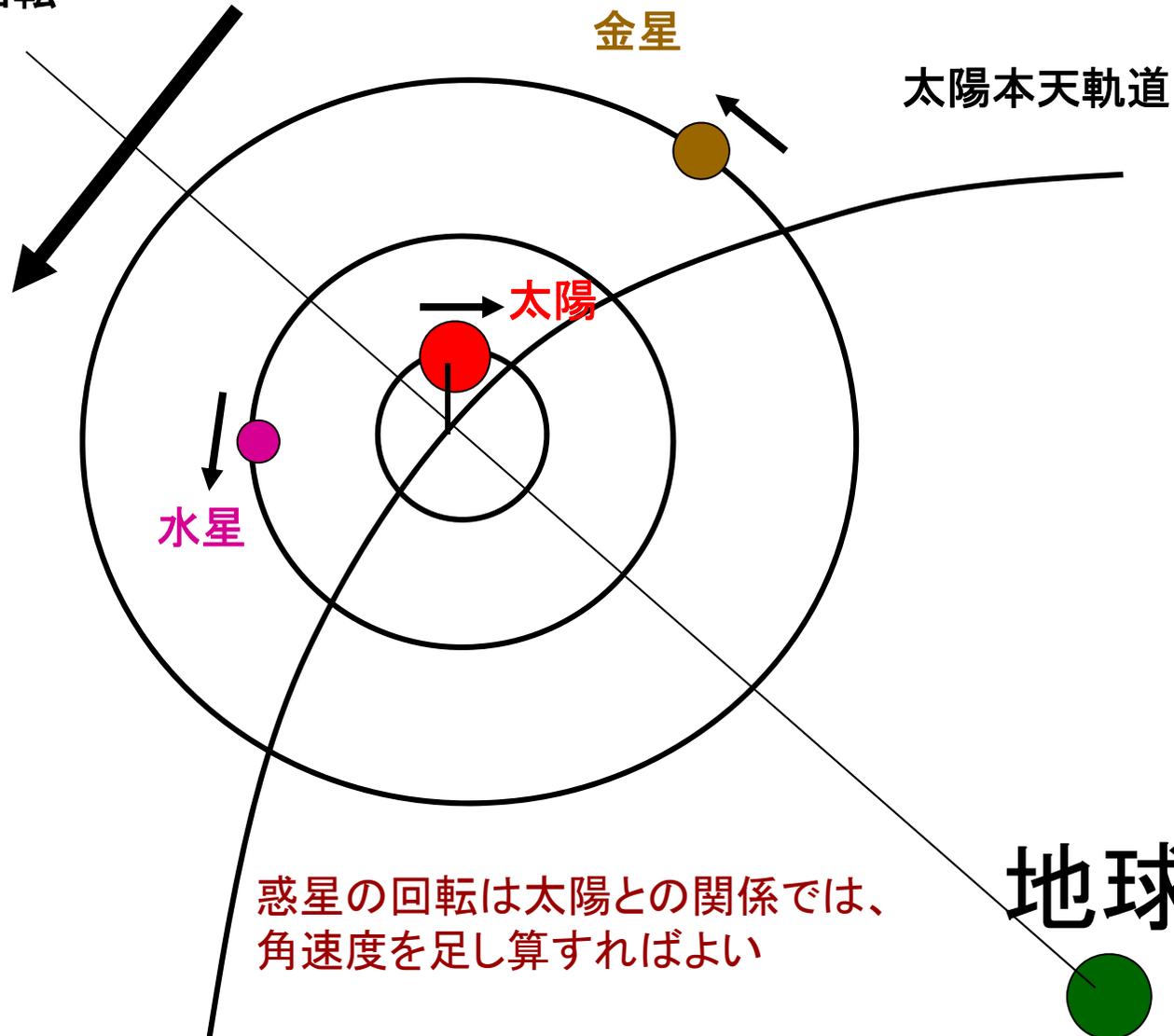
## お聴き下さりありがとうございました

# 天動説→地動説変換(1)

## 内惑星の太陽中心公転周期

$$P = 360 \text{度} \div (B+C) \div D \quad (\text{内惑星})$$

基準の回転



惑星の回転は太陽との関係では、  
角速度を足し算すればよい

# 天動説→地動説変換(2)

## 惑星軌道半径(観測値)のデータ

実験録推歩法の次輪半径 ( $E, E'$ ) ほぼそのもの (解釈だけ変更):

≡次輪半径(周天円半径) / 本天半径

惑星の惑う動きの大きさに対応

外惑星: 次輪半径を1天文単位とすれば、太陽中心説の円軌道と等価  
本天半径が惑星の軌道半径

$$E = 1/R \quad \rightarrow \quad R = 1/E$$

内惑星: ティコの体系では、太陽の周りを公転

本天半径 = 太陽の本天半径と同じ = 1天文単位

次輪半径が惑星の軌道半径と等価

$$E' = R/1 \quad \rightarrow \quad R = E'$$