

2016年度「宇宙と地球と人間」

講義資料 2

3. 古代・中世の天体観測
4. 望遠鏡による天体観測
5. 分光観測の発展
6. 検出装置(カメラ)の発達

東京学芸大学 自然科学系 宇宙地球科学分野 講師
西浦 慎悟 (にしうら・しんご)

3. 古代・中世の天体観測

天体「観測」とは何か？

- 天体観望：天体望遠鏡などを使って、天体の姿や色彩を鑑賞すること。
- 天体観察：天体望遠鏡などを使って、天体の姿や色彩の様子を詳しく見ること。
- 天体観測：天体望遠鏡などを使って、天体の姿や色彩を、調査することを前提に、詳しく客観的に記録すること。

天体から放射される「広い意味での」光を捕まえる作業

↓
実験室などで、研究者の都合に合わせて積極的に実験条件を変えることはできない。

現代の観測天文学

天体観測で得た情報を元に、宇宙や天体の実像を解明する学問分野。

* 観測天文学者とは、自分の都合を、天体の都合に合わせなくてはならない職業。

3. 古代・中世の天体観測

●天体観測のはじまり

眼視観測

・古代エジプト: 暦としてシリウスを観測(紀元前3000年頃)

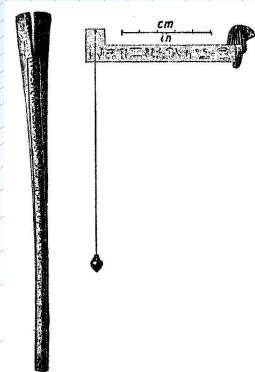
夜明け直前の東の空にシリウスが出現
→ ナイル川の氾濫の時期

ノーモン/グノーモンによる天体の運行の観測

↳ 地面に垂直に立てた棒

星座 → 星の並びを人に見立てた図(世界最古の星座?)

日時計 → 地面に棒を垂直に立て(ノーモン/グノーモン)、
一日や一年の太陽の動きによって、棒の影の長さ
や位置が変わることを利用する。



↑ エジプトで使用されて
いたノーモン

3. 古代・中世の天体観測

・古代メソポタミア(紀元前3000年以前?):

星座 → 古代エジプトから伝わった?
羊飼いや農夫が作った?

→ 後世、占星術に取り込まれた

暦 → 月の運行にもとづいた太陰暦(紀元前700年頃)。

・古代ギリシア(紀元前3000年以前?):

暦、星座 → 星座はギリシャ神話に取り込まれた

紀元前190年～紀元前120年: ヒッパルコス

・現代につながる星座の多くを決定した

・恒星を1等星から6等星に分けた

83年～168年(ローマ帝国の時代): プトレマイオス

・北天で見られる48星座をまとめた(「トレミーの48
星座」)。

・古代メソポタミア(紀元前720年頃)の月食の観測
資料を用いて、月の周天円の大きさを求めた。

「アルマゲスト」(数学全書、大全書)



↑ ヒッパルコス



↑ プトレマイオス

3. 古代・中世の天体観測

・古代アラビア地方:

暦(古代ギリシアの体系を受容)

兵士の視力検査

→ 二重星(ミザール、アルコル)が
二つに見えるか? 否か?

・マヤ文明(古典期:300年~900年頃):

暦 → 観測にもとづいた正確な暦を
使っていた。金星や火星の軌道も
計算していたと言われる。

・アステカ文明(1325年~1521年):

暦 → マヤ文明を
継承し、観測による
精密な暦を作製し
ていた。

アステカのカレンダー →



↑ 北斗七星(おおぐま座の尻尾部分)



↑ マヤの天文台

3. 古代・中世の天体観測

・古代中国(周:紀元前1046~紀元前256年頃):

暦 → 天体の運行を精密に観測

周:紀元前1046~紀元前256年頃

表圭:「表=ノーマン」、「圭=水平方向の目盛尺」

紀元前3世紀:「墨子」:ピンホールカメラ・曲面鏡の光学に
ついての記述あり。

・元:(1200年代後半)

郭守敬が巨大な表圭を作り、観測精度の向上を狙った。

↳ 明代以降「観星台」と呼ばれる



↑ 郭守敬



↑ 観星台の遺跡(中国河南省登封県)

← 溝に水をはって水平を、錘を垂らして
垂直を出し、天体の位置を0.2分角の
精度で測定するための観測装置。

「景符」=ピンホールカメラの原理で天
体を圭に映し出す機能も備えていた。

天体観測は暦を作るためのものであった。

3. 古代・中世の天体観測

● 中世の天体観測

眼視観測

→ 天体の運行(暦)から船の位置を知るための観測
宇宙を知るための観測ではなかった



← **アストロラーベ**: 太陽、月、惑星、恒星の位置測定・測量機器。天体の位置や種々の目盛り・線・数字などが刻まれている。発明者は不明、起源は西暦300年頃から紀元前150年頃まで遡る。

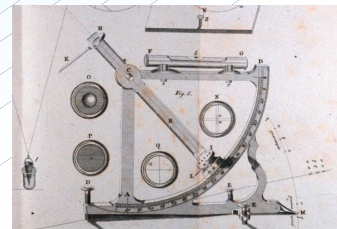
渾天儀 → : 天体の位置測定機器。複数の環状部分からなる。「アルミラ球儀」とも呼ばれる。古代人によって発明されたもので、プトレマイオスの著書に記述が残されている。



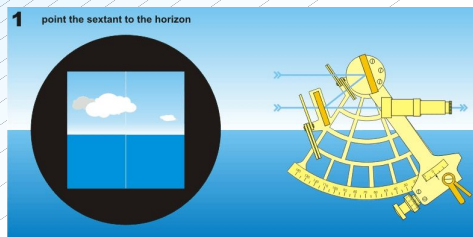
3. 古代・中世の天体観測

四分儀(象限儀)・六分儀・八分儀

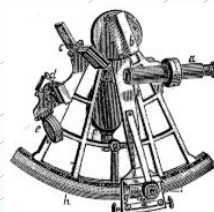
天体の高度を測定することで、自身の位置を知るための観測・測量器具。角度を測るための目盛りや定規、望遠鏡などが備わっている。



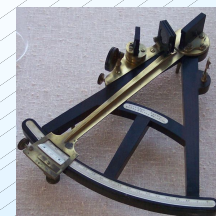
↑ 四分儀



↑ 海上で六分儀を用いて太陽高度を測定する



↑ 六分儀
1700年頃、ホール(英)が発明。



↑ 八分儀
1731年、ハドリー(英)が発明。

3. 古代・中世の天体観測

・ティコ・ブラーエの天体観測所(16世紀)

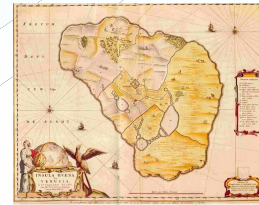


↑ティコ・ブラーエ

肉眼による最後で最大の
観測天文学者

各種観測・測定・測量器具、巨大な象限儀で精密な
天体観測を行い、「記録」した(画像はウラニボリ天文
台の巨大な四分儀)。↑

ウラニボリ天文台、後にはステル
ネボリ天文台を建設(画像は前者)。
→



↑デンマーク王フレゼリク
2世からヴェーン島の領有
を許される。



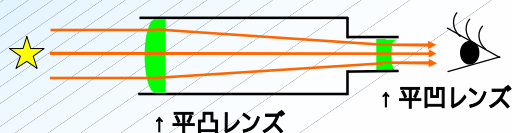
4. 望遠鏡による天体観測

●望遠鏡の登場(17世紀初頭)

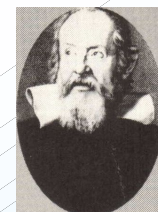
1608年：リッペルハイ(オランダ)による望遠鏡の特許申請。

屈折望遠鏡

ガリレオ式屈折望遠鏡



・天体像が上下左右
正しく映る。
・倍率を上げると、急激
に視野が狭くなる。

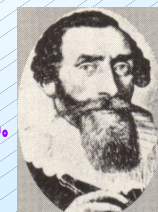


↑ガリレオ(イタリア)

ケプラー式屈折望遠鏡



・天体像が上下左右
逆に映る。
・倍率を上げても、それ
ほど視野が狭くならない。



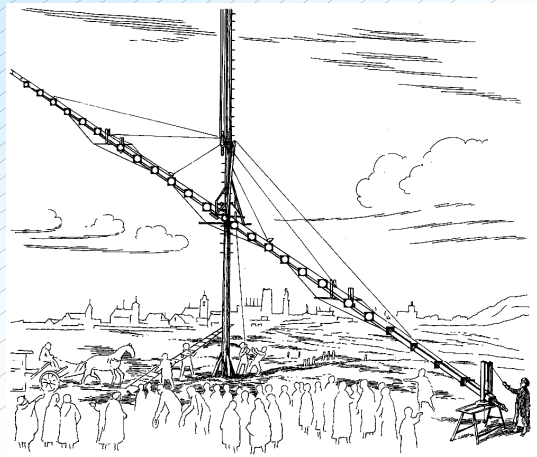
↑ケプラー(ドイツ)

色収差 波長によって光の屈折率が異なる(たとえば虹)ため、
波長(色)によってピントの合う位置が異なる現象。

4. 望遠鏡による天体観測

17世紀半ば 「色収差」克服の試み

→ 口径が大きくて、焦点距離が長い望遠鏡にする(空中望遠鏡、空気望遠鏡)。



1682年：ハレー彗星の核を観測し、その形状が楕円形であることを見出した。



↑ヘヴェリウス(ポーランド)

← ヘベリウスの空中望遠鏡(1673年?) 対物レンズ:直径20cm程度

鏡筒の長さ: 45.5m

大勢の助手が紐を引っ張って望遠鏡を動かし、天体を追尾する。

4. 望遠鏡による天体観測

・ オランダのコンスタンチン・ホイヘンスとクリスチャン・ホイヘンスの兄弟は、様々なサイズの空中望遠鏡を作製した。

(ホイヘンスはハイゲンズとも)

土星の衛星タイタンの発見

土星の「耳」が「環」であることを確認

・ フランスのカッシーニ(パリ天文台初代台長)は、空中望遠鏡で土星の衛星などを発見。

土星の衛星を四つ発見

土星の環のカッシーニの隙間を発見

木星の表面模様を観測し、その自転を確認

カッシーニの子孫は4代にわたって、パリ天文台の台長を務めた。

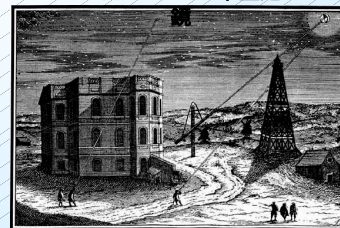


↑ジョバンニ・カッシーニ(フランス)



↑クリスチャン・ホイヘンス(オランダ)

↑揚水器に設置されたカッシーニの空中望遠鏡

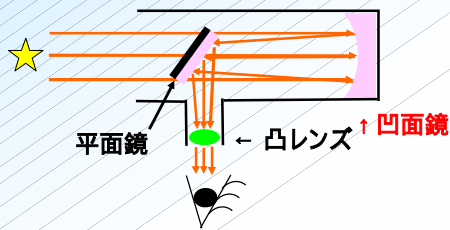


4. 望遠鏡による天体観測

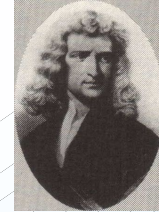
・もう一つの「色収差」克服の試み → 光を屈折させずに集める(17世紀半ば)

反射望遠鏡

ニュートン式反射望遠鏡



- ・色収差を抑えることが出来る。
- ・鏡が直ぐに曇ってしまい、長く持たなかった(銀製)。

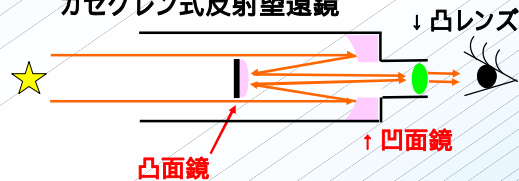


↑ ニュートン

長持ちする鏡が必要

→ 現在では真空中でガラスにアルミを蒸着させて作る(技術は20世紀に実現)。

カセグレン式反射望遠鏡



- ・撮影装置や分光装置を望遠鏡の底に取り付けられる(バランスが良い)。
- ・焦点距離を長くできる。

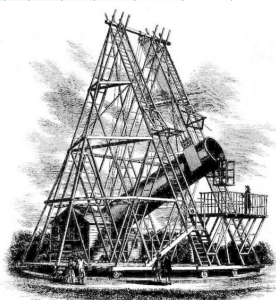
18世紀後半

4. 望遠鏡による天体観測

ウィリアム・ハーシェル(英): 大小様々な反射望遠鏡を作製。銀河系の星の分布図を作成し、その途中、16.5 cmの反射望遠鏡で天王星を発見する。



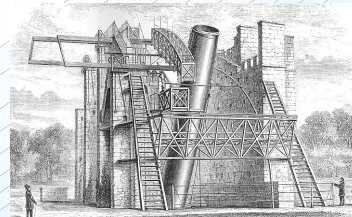
↑ ウィリアム・ハーシェル(英)



↑ 40フィート反射望遠鏡(口径:1.2m、長さ:12m)



↑ ウィリアム・パーソンズ[ロス卿](英)



↑ ロス卿の72インチ反射望遠鏡(口径1.8m、通称:パーソンズ・タウンのリヴァイアサン)

1845年

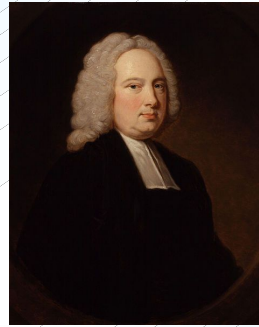
ウィリアム・パーソンズ(ロス卿:英): 産業革命を背景に、テコやギアを導入した、口径1.8mの反射望遠鏡を製作。交換用の鏡も準備された。

4. 望遠鏡による天体観測

● 地球の公転運動 ~ 光行差

1728年：ジェームズ・ブラッドリーが、地球の公転運動による年周視差の検出を目的とした観測中、地球の公転運動による**光行差**を発見。

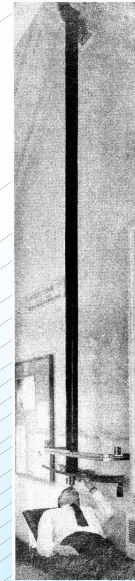
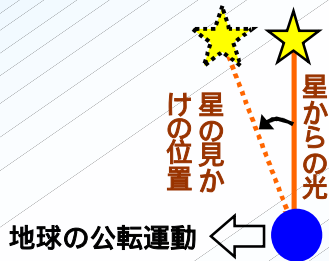
ロンドン郊外に天頂付近を観測するための望遠鏡を設置し、りゅう座 γ 星(ロンドンで天頂付近を通る)の位置測定を行う。



↑ ブラッドリー(英)

さらに約200個の恒星の測定から、共通した位置のズレの最大値、約**20.5秒角**を見出した。

地球の公転運動、即ち、地動説を直接的に支持する、初めての観測結果となる。



↑ ブラッドリーの天頂セクター

4. 望遠鏡による天体観測

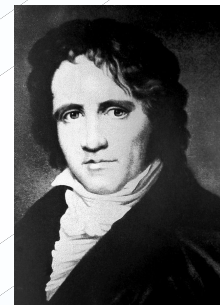
● 地球の公転運動 ~ 年周視差

16世紀後半：ティコ・ブラーエ(デンマーク)の肉眼観測では、**年周視差**を見出せなかった。→ **天動説**を支持

1838年：フリードリヒ・ヴィルヘルム・ベッセル(独)が、白鳥座61番星の**年周視差**を0.314秒角と算出。

フリードリヒ・ゲオルク・ヴィルヘルム・フォン・シュトゥルレーベ(露/独)が、こと座のベガの**年周視差**を0.26秒角と発表。

1839年：トーマス・ヘンダーソン(スコットランド)が、ケンタウルス座アルファ星の**年周視差**を0.76秒角と発表(算出はもっと前)。



↑ ベッセル(独)



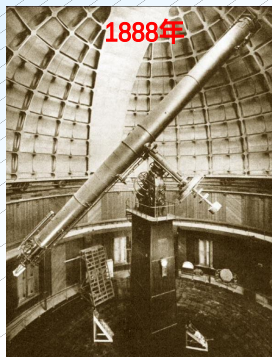
↑ シュトゥルレーベ(露/独)

4. 望遠鏡による天体観測

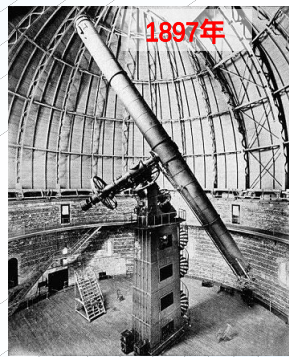
1729年 ホール(英:弁護士)が異なる屈折率を持つレンズを組み合わせることで、色収差を大きく減らした色消しレンズを発明する。→ 特許出願しなかった

1758年 ジョン・ドロンド(英)が色消しレンズを実用化し、特許取得した。

1766年 裁判となるが「発明を公益に供する人に特許権を与えるべき」との審決。 → 空中望遠鏡ではない屈折望遠鏡が発達、大型化が進む。



↑ リック天文台36インチ
(91cm) 屈折望遠鏡
米・カリフォルニア大学



↑ ヤーキス天文台40イン
チ(102cm) 屈折望遠鏡
米・シカゴ大学

ジェームズ・リック、チャールズ・T・ヤーキスの資金援助で天文台が建設された。

巨大なレンズを製造する技術の限界に達してしまい、これ以上大きな屈折望遠鏡を作ることが困難になった。



以降、巨大望遠鏡は反射望遠鏡の形で発達することになる。

● 巨大(反射)望遠鏡の登場 1917年

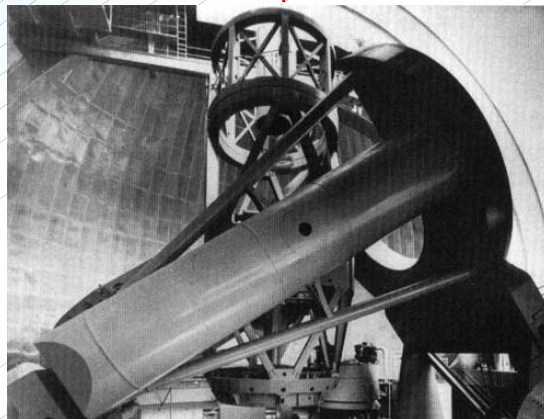


↑ ウィルソン山天文台100インチ
(2.5m) フッカー望遠鏡
米・カーネギー財団

4. 望遠鏡による天体観測

カーネギー協会とジョン・D・フッカー、ロックフェラー財団が、それぞれ資金援助した。

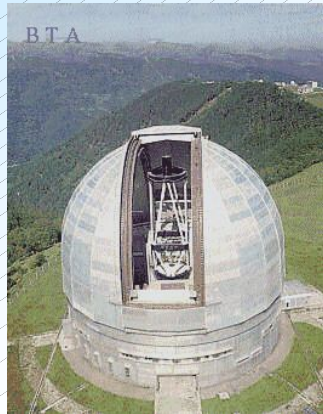
1948年



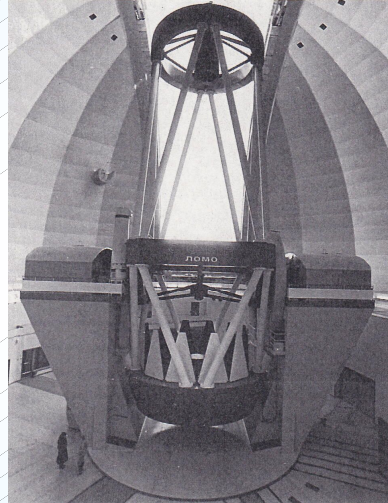
↑ パロマー山天文台200インチ(5.08m) 望遠鏡
米・カリフォルニア工科大学など

4. 望遠鏡による天体観測

1975年 ゼレンチュクスカヤ(ソ連) 6m反射望遠鏡(通称BTA)が完成。



↑ SAO (Special Astrophysical Observatory) 6.05m望遠鏡
旧ソ連・ゼレンチュクスカヤ



「BTA6」とも呼ばれる。完成当時は世界最大口径の望遠鏡だった。

5. 分光観測の発展

● 天体カタログの登場 話は18世紀半ばへ戻る

- ・ ハレー(イギリス) による1758年 - 1759年の彗星再出現の予言
→ 天体望遠鏡の普及により多くの天文家が彗星を探索

1758年12月25日： パリッチュ(ドイツ) が再来したハレー彗星を発見。

1759年01月21日： フランス海軍天文台の助手であったメシエが再来したハレー彗星を発見。これにより表彰されるが、直後にパリッチュによる彗星発見が知られ、誹謗中傷を受ける。→ 彗星の発見にのめりこんでいく



↑ パリッチュ(ドイツ)

彗星は恒星と違い、ボンヤリと広がった形状に見える。しかし、一部の星雲や星団も、同様な形状に観測される。

→ 彗星探索の障害となる約100個の「彗星と間違えやすい天体」をカタログにまとめた(メシエ・カタログ)

生涯に13個の彗星を発見 フランス科学アカデミーの会員、
「彗星の狩人」(ルイ15世)、勲章を授与(ナポレオン)

→ 以降、多くの研究者によって様々な天体カタログが作成される



↑ メシエ(フランス)

5. 分光観測の発展

● 星と星雲～天体カタログから～

星 = 光り輝く点像の天体

星雲 = ぼんやりと広がった雲状の天体



↑ M42(オリオン星雲)



↑ M56



↑ NGC 7293



↑ M63

● 17世紀後半

ファーガソン: 内部に星のある星雲と、星のない星雲がある

● 18世紀後半

ハーシェル: 大半の星雲は大きな望遠鏡で見ると星に分解できる → M56

一部の星雲は星と大気(輝く流体)からなる → NGC 7293

将来、星となる混沌とした物質 → M42

何百万もの星が合体した輝き → M63

これらの実体を理解するには、
まだ知識と技術が足りなかった

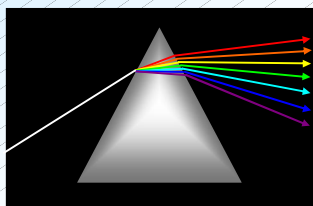
5. 分光観測の発展

● 分光学の誕生と発展

→ 光を色(波長)に分けて調べる学問 (1666年: ニュートン)

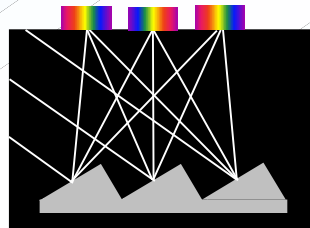
光の屈折、反射、回折・干渉といった性質を利用して色(波長)に分ける

光の「スペクトル」と呼ぶ



↑ プリズムによる分光

波長長い
↑
波長短い



↑ 回折格子による分光

1802年: ウォラストンが太陽スペクトル中に暗線を発見。



波長短い ←

→ 波長長い



↑ ウォラストン(英)

5. 分光観測の発展

1814年: **フラウンホーファー (英)** が25mm望遠鏡と頂角60度のプリズムを用いて、太陽スペクトル中の**暗線**を系統的に研究。

暗線の波長を測定し、名前を付けた。



波長長い ← D線(589nm, 590nm) F線(486nm) H線(397nm)
C線(656nm) Na Ca⁺
H⁺ (H α) H⁺ (H β)

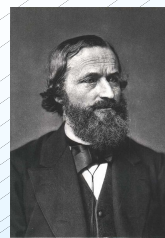


↑ フラウンホーファー

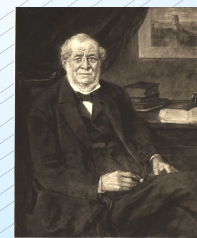
1860年: **キルヒホッフ (プロイセン)**、**ブンゼン (独)**

フラウンホーファー線が**元素などによる吸収線**であることを突き止めた。

スペクトルを調べることで、**天体に存在する物質を明らかにすることができる。**



↑ キルヒホッフ



↑ ブンゼン

5. 分光観測の発展

● フラウンホーファー

・ 月や惑星(金星など)のスペクトルは太陽のスペクトルと非常に似ている。

→ 月や惑星は太陽の光を反射して輝いている

・ 1等星(シリウスなど)のスペクトルは太陽のスペクトルとは異なっている。

→ 太陽とは温度が異なる恒星がたくさん存在する

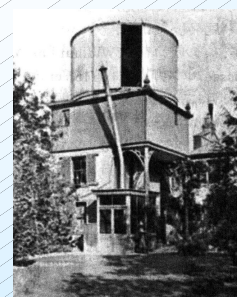
フラウンホーファー自身は、有能な望遠鏡職人でもあり、各地からの依頼に応じて、多くの天体望遠鏡を作製した。

● ウィリアム・ハギンス(英)

キルヒホッフの研究を知り、友人であるミラー(キングス・カレッジ化学教授)と共に、私設のタルスヒル天文台(英・ロンドン)の望遠鏡に分光器を取り付けて惑星や恒星のスペクトル観測を行った。



↑ ウィリアム・ハギンス



↑ タルスヒル天文台

5. 分光観測の発展

1863年：アルデバラン(おうし座)とベテルギウス(オリオン座)のスペクトル中に鉄(Fe)・ナトリウム(Na)・カルシウム(Ca)・マグネシウム(Mg)などを発見。
シリウス(大犬座)にナトリウム(Na)・マグネシウム(Mg)・水素(H)を発見。



1864年：惑星状星雲NGC 6543やM57のスペクトルが輝線のみ(H β 線と由来不明の2本)からなることを発見。

「全ての星雲は輝くガスからなる」

由来不明の輝線 → 星雲線の発見

ミラーを介してマックスウェルと知り合い、
ドップラー効果による輝線の遷移から、天体の運動を検出する。



← ハギンスの妻マーガレットは有能な写真技術者で、スペクトルの撮影装置や撮影方法など、多方面で協力した。

5. 分光観測の発展

● 恒星のスペクトル分類

1866年：セッキ(伊)が恒星のスペクトル进行分类する。

1918年～1924年：ハーバード・カレッジ天文台所長エドワード・ピッカリング(米)指揮の下、20万個以上の恒星スペクトルが分類、カタログ化される。

→ 「ヘンリー・ドレーパー(HD)・カタログ」

→ 多くの女性作業員が活躍し、多くの女性天文学者を輩出する。

キャノン：恒星のスペクトルは、その殆どが6種類程度に分けることができ、これは恒星の色を表わしている。

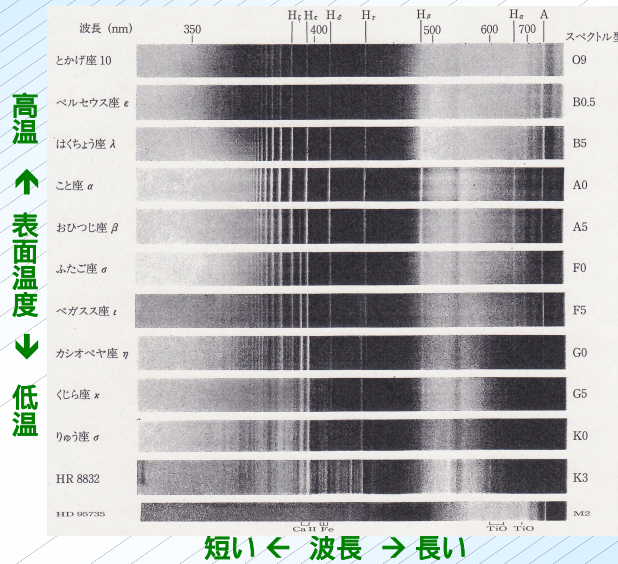
タイプ	色	温度(K)
O	青	29,000～60,000
B	青白	10,000～29,000
A	白	7,500～10,000
F	黄白	6,000～7,500
G	黄	5,300～6,000
K	橙	3,900～5,300
M	赤	2,500～3,900



↑ アニー・ジャンプ・キャノン(米)

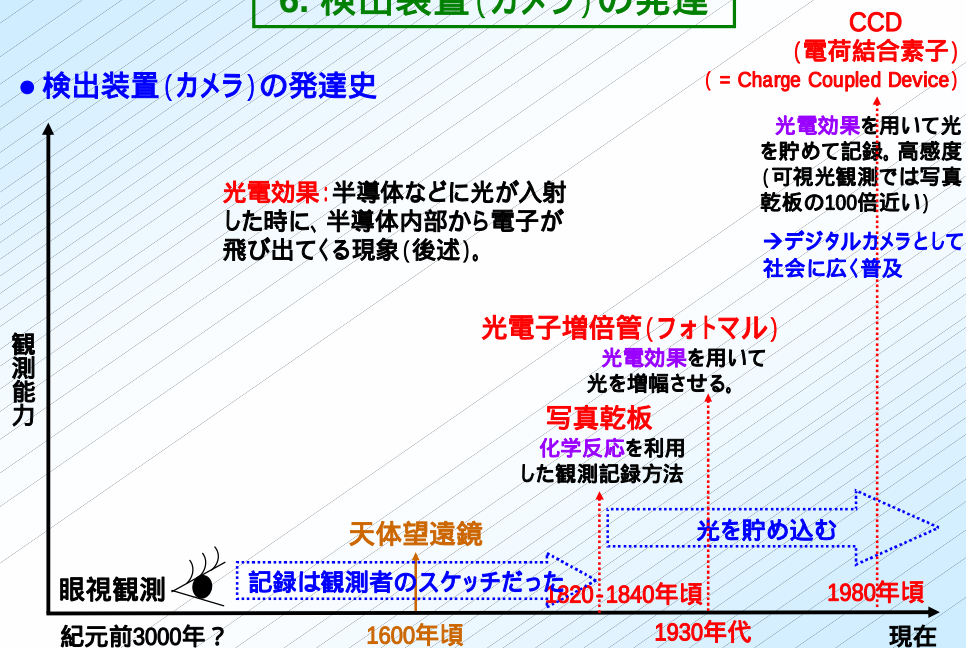
5. 分光観測の発展

- 恒星のスペクトル: 天文学における重要な基本情報、HR図導出の切欠となる。



6. 検出装置(カメラ)の発達

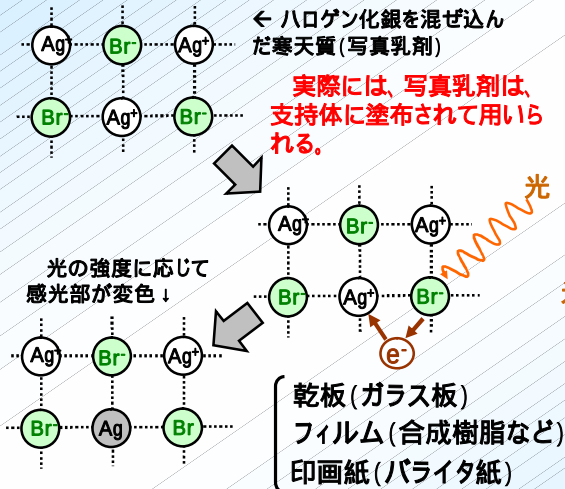
- 検出装置(カメラ)の発達史



6. 検出装置(カメラ)の発達

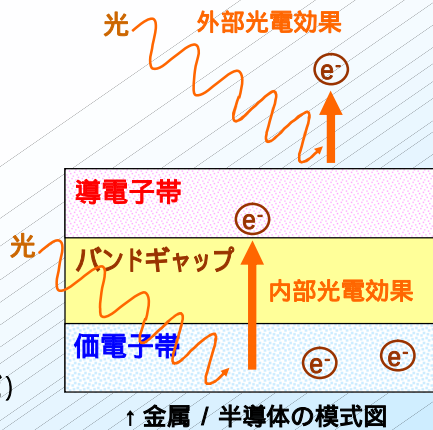
● 検出装置(カメラ)に関する諸原理

- 写真乾板の原理：化学反応を利用して、天体からの光を記録する。



- 光電効果：

半導体(や金属)に光を当てると、電子が励起される現象を**光電効果**と呼ぶ。この現象を利用して、天体からの光を記録する。



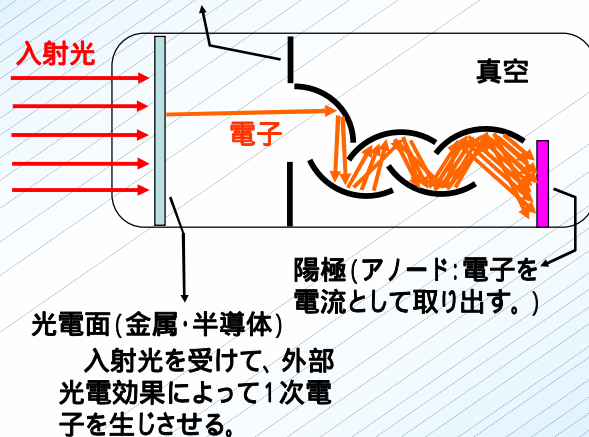
6. 検出装置(カメラ)の発達

● 光電子増倍管の原理

Photo-multiplier tube = PMT

外部光電効果によって生じた電子を、電界で加速・衝突を繰り返させることで増倍させて検出する。

集束電極(電子を加速させる)



← 光電子増倍管

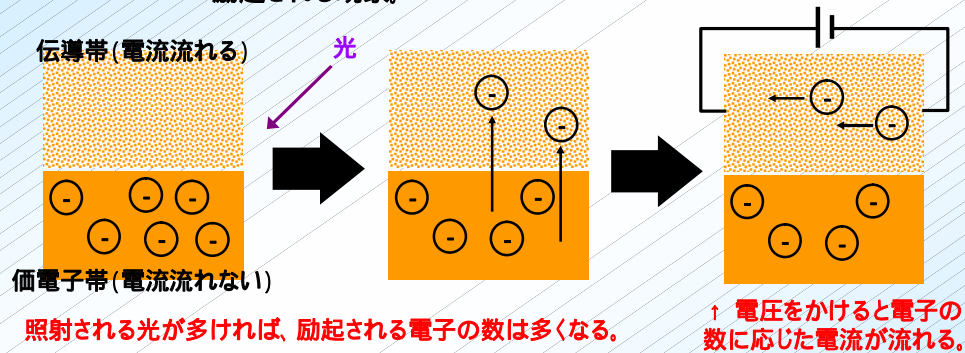


↑ スーパーカミオカンデの光電子増倍管

6. 検出装置(カメラ)の発達

● CCD/CMOSの原理

内部光電効果：金属や半導体に光が入射すると、価電子帯の電子が伝導帯に励起される現象。

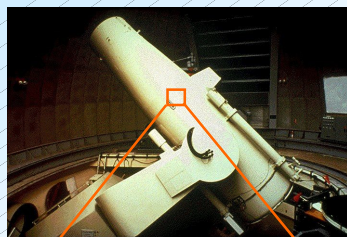


→ 光電効果で生じた電子を電流として読み取る

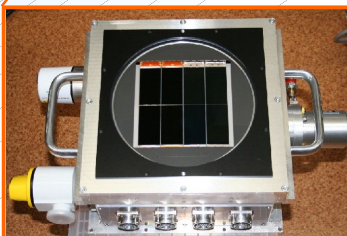
- ・ Charge-Coupled Device = **CCD** = 電荷結合素子
- ・ Complementary Metal-Oxide-Semiconductor = **CMOS** = 相補的金属酸化半導体

6. 検出装置(カメラ)の発達

● CCDカメラの例

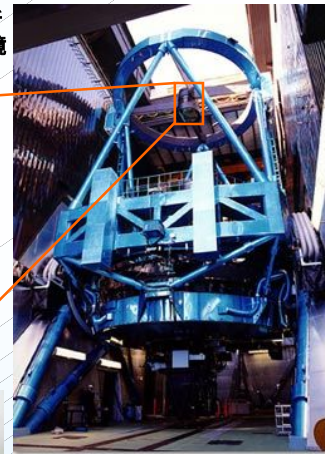


↑ 東京大学木曽観測所(長野県木曽郡木曽町)105cmシュミット望遠鏡

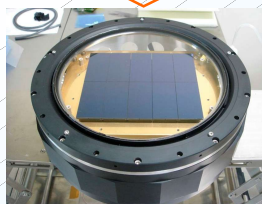


↑ Kiso Wide Field Camera = KWFC

国立天文台ハワイ観測所
(米・ハワイ)すばる望遠鏡
(口径8.2m) →



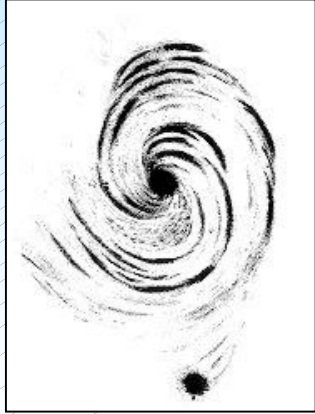
← すばる主焦点カメラ
(Suprime-Cam)



現在はHyper-Suprime-Cam
にグレードアップしている。

6. 検出装置(カメラ)の発達

● 子連れ銀河M51の観測例



↑ 1.8m鏡によるロス卿の
スケッチ



↑ 写真乾板



↑ 木曾105cmシュミット鏡
および2K-CCDカメラ

● 参考資料と引用文献など:

- 1) ティモシー・フェリス(野本陽代訳 1992年):『銀河の時代 宇宙論博物誌(上、下)』、工作舎
(画像: ガリレオ肖像、ケプラー肖像、ニュートン肖像)
- 2) 中山茂編(1982年):『現代天文学講座15「天文学史」』、恒星社
- 3) 海部宣男(2005年):『岩波講座 物理の世界7「望遠鏡 - 宇宙の観測」』、岩波書店
(画像: ノーモン、観星台)
- 4) 富山市天文台HP (<http://www.tsm.toyama.toyama.jp/tao/>)、画像: 渾天儀)
- 5) ワシントン州立大学 Dr. Worthey氏ホームページ (<http://astro.wsu.edu/worthey/>)、
画像: ウラニボリ天文台)
- 6) 吉田正太郎(1989年):『天文アマチュアのための望遠鏡光学・屈折編』、誠文堂新光社
(画像: ヘヴェリウスの150フィート空中望遠鏡、ブラッドリーの天頂セクター)
- 7) AstrosurfMagazine HP (<http://www.astrosurf.com/>)、リック36インチ屈折望遠鏡)
- 8) Special Astrophysical Observatory HP (<http://www.sao.ru/Doc-en/>)、画像: BTA6カラー画像)
- 9) 吉田正太郎(1988年):『天文アマチュアのための望遠鏡光学・反射編』、誠文堂新光社
(画像: BTA6モノクロ画像)
- 10) 東京大学木曾観測所HP (<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/>)、画像: M42、M56、NGC7293、
M63、105cmシュミット望遠鏡、KWFC、M51カラー画像)
- 11) 小暮智一(2009年):『恒星天文学の源流[1] 恒星分光の開幕期 その1』、天文教育, 21
(No.1), pp.43-51. (画像: フラウンホーファーによる太陽スペクトルのスケッチ)
- 12) 小暮智一(2009年):『恒星天文学の源流[2] 恒星分光の開幕期 その2』、天文教育, 21
(No.2), pp.60-69. (画像: タルスヒル天文台)

● 参考資料と引用文献など:

- 13) 国立天文台岡山天体物理観測所・大阪教育大学天文学研究室 制作 (1998年): “宇宙スペクトル博物館”, (画像: アルデラン・ベテルギウス・シリウス・M57のスペクトル)
- 14) 小暮智一 (2009年): “恒星天文学の源流[3] 恒星分光の開幕期 その3”, 天文教育, 21 (No.3), pp.51-59. (画像: マーガレット・ハギンス)
- 15) Seitter (1970年): “Atlas fur Objektiv Prismen Spektren, Bonner Spectral Atlas 1”, Ferd Dummeliers Verlag. (画像: 恒星のスペクトル)
- 16) 国立天文台HP (<http://www.nhao.go.jp/home.html>, 画像: すばる望遠鏡, すばる主焦点カメラ)
- 17) アストロアーツHP (<http://www.astroarts.co.jp>, 画像: すばる主焦点カメラ)
- 18) SEDSホームページ (<http://www.seds.org/>) (画像: ロス卿によるM51のスケッチ、写真乾板によるM51像)
- 19) Wikipedia (画像: マヤの天文台、アステカのカレンダー、アストロラーベ、四分儀、六分儀、八分儀、ヒッパルコス肖像、プトレマイオス肖像、北斗七星、郭守敬像、六分儀アニメーション、ティコ・ブラーエ肖像、ヴェーン島の地図、ティコの壁面四分儀、ヘヴェリウス、クリスチャン・ホイヘンス、カッシーニ、カッシーニの空気望遠鏡、ウィリアム・ハーシェル肖像、ハーシェルの40フィート反射望遠鏡、ウィリアム・パーソンズ[ロス卿]肖像、ロス卿の72インチ反射望遠鏡、ブラッドリー肖像、ベッセル肖像、シュトラーベ肖像、ヤーキス40インチ屈折望遠鏡、フッカー望遠鏡、パロマー200インチ望遠鏡、パリッチュ肖像、メシエ肖像、ウォラストン肖像、フラウンホーファー肖像、キルヒホッフ、ブンゼン、ウィリアム・ハギンス肖像、アニー・ジャンプ・キャノン、光電子増倍管、スーパーカミオカンデの光電子増倍管)