

【地学】

p349 連星とその質量

p384 ハッブル・ルメートル
の法則

【物理 2】

第3編 波

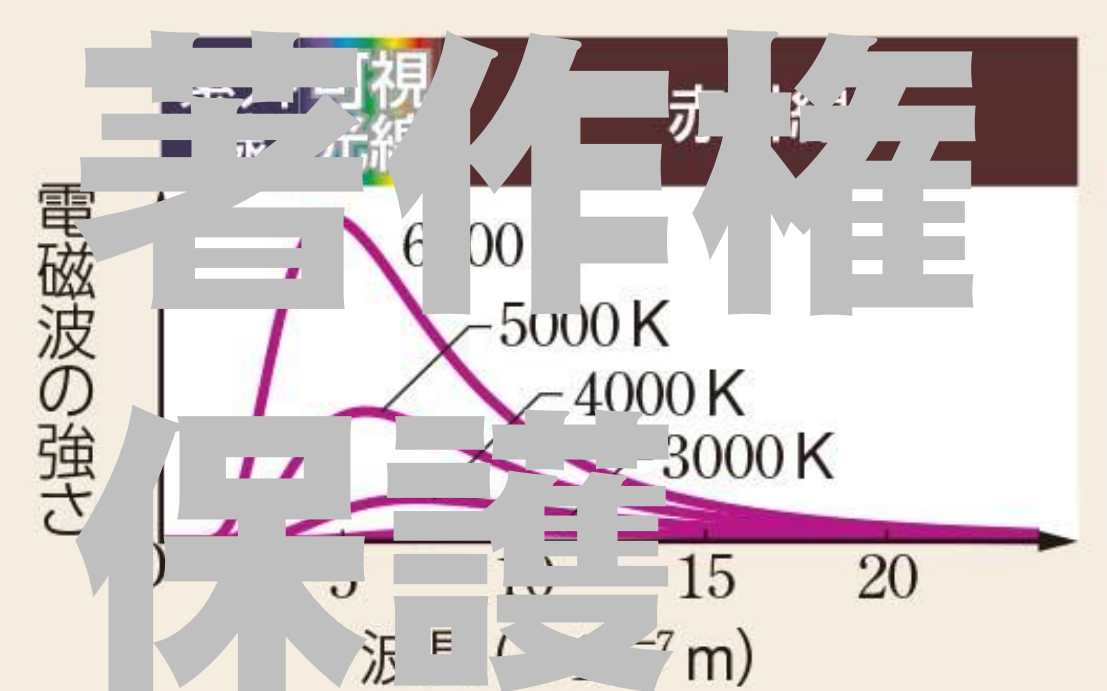
第2章 音

3 音のドップラー効果
に関連

～光のドップラー効果から
宇宙を探る～

①ドップラー効果と光の

恒星は、温度によって異なるが、幅広い波長域を連続的に含む光を出している。



① ドップラー効果と光の色

ここで、光のドップラー効果を考えると、

恒星が観測地点に近づく

- ▶ ドップラー効果により波長が縮み，短いほうにずれる（青方偏移）

恒星が観測地点に近づく

- ▶ ドップラー効果により波長が伸び，長いほうにずれる（赤方偏移）

波源(恒星)の進行方向



著作権
保護



① ドップラー効果と光の色

※波長のずれの大きさ $\Delta\lambda$ は、視線方向の
速さ v に比例する。



① ドップラー効果と

※恒星を構成する元素により輝線や暗線が現れることがあり、これが波長のずれの目安になる。



(a) 白熱灯 (連続スペクトル)



(b) 水素 (連続スペクトル)



(c) 水素 (吸収スペクトル)



(d) 水素 (吸収スペクトル)



(e) フラウンホーファー線 (吸収スペクトル)




(f) フラウンホーファー線 (吸収スペクトル)



② ドップラー効果で連星の存在を探る

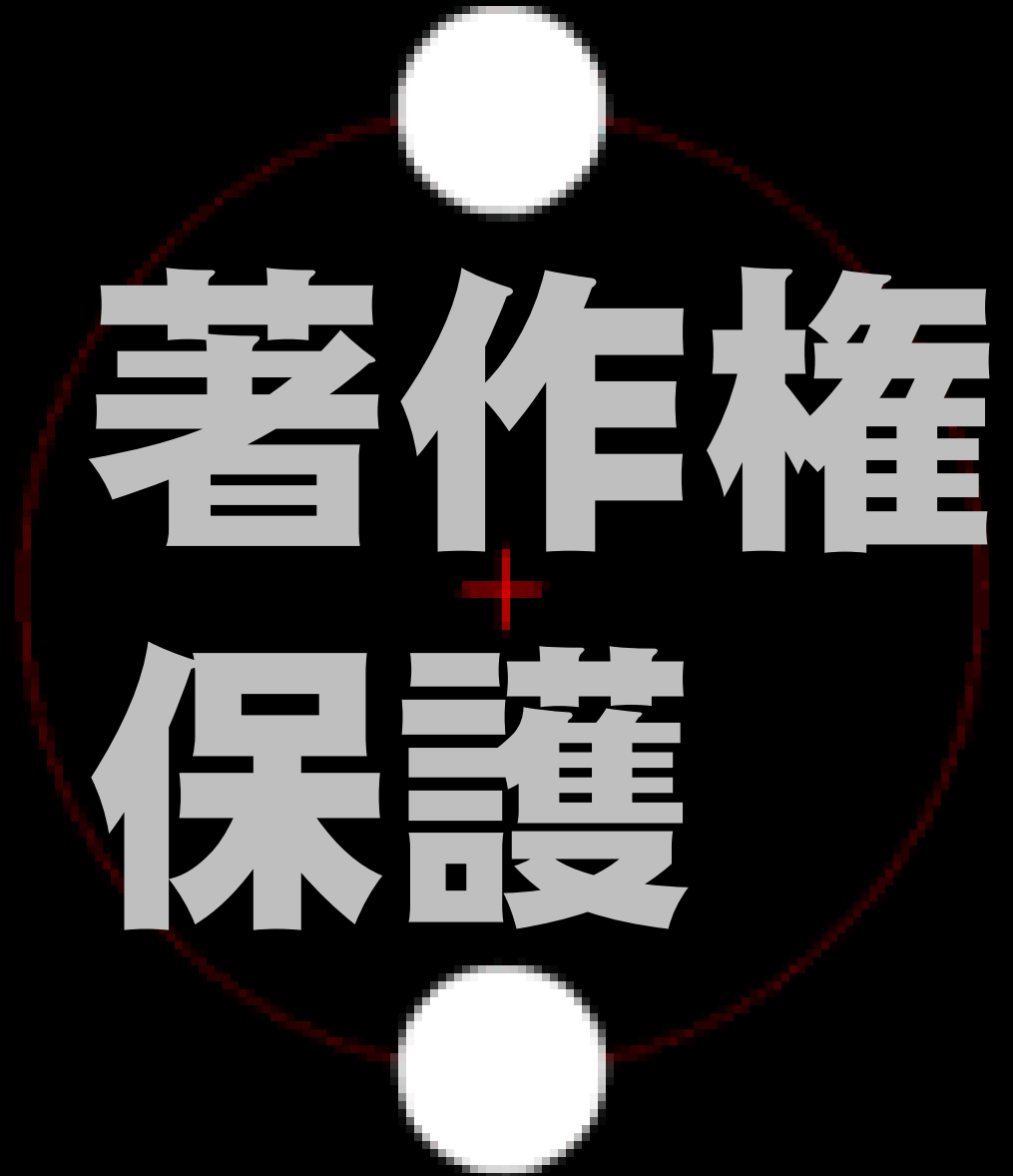
連星… 2つ以上の恒星が互いに共通重心のまわりを公転しているもの。
連星のうち、明るいほうを**主星**，暗いほうを**伴星**とよぶ。



著作権
+
保護

② ドップラー効果で連星の存在を探る

同じ質量の場合



② ドップラー効果で連星の存在を探る

質量に差がある場合

例) 冥王星とカロン



② ドップラー効果で連星の存在を探る

質量に大きな差がある場合

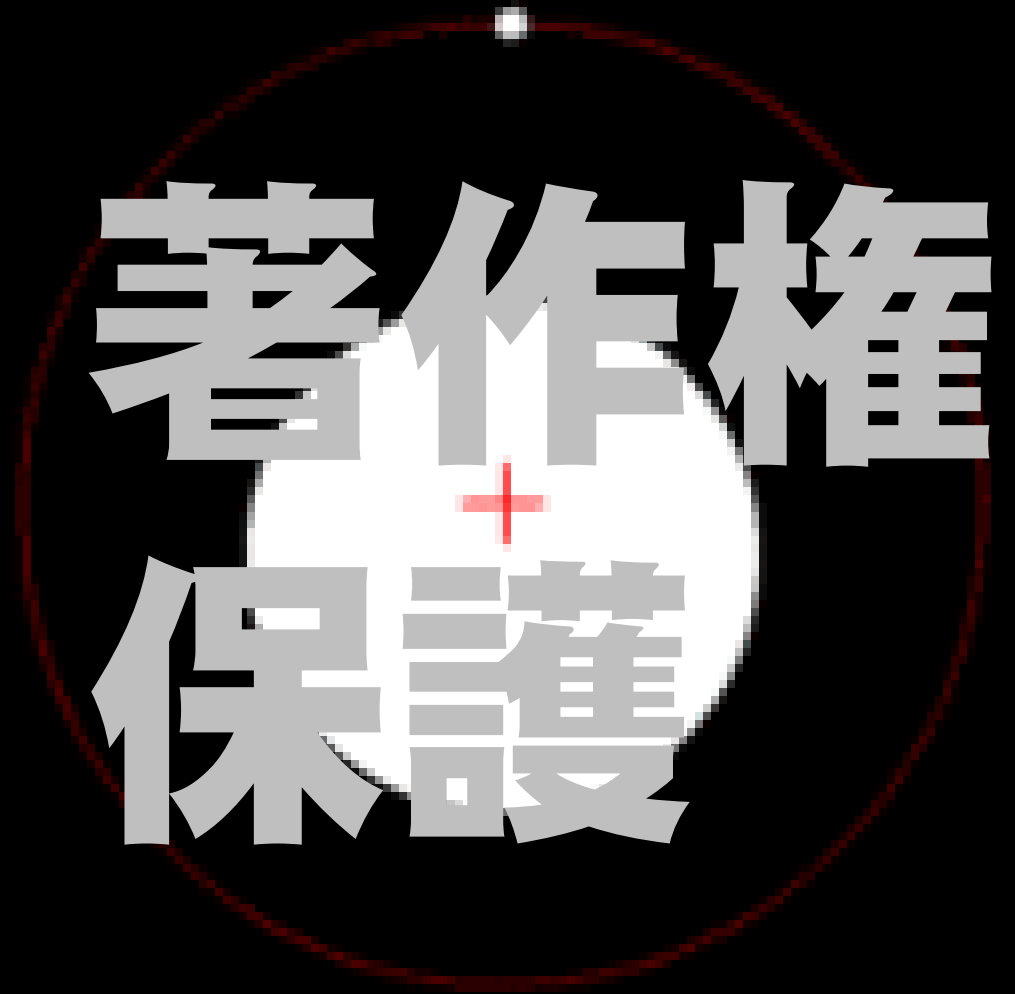
例) 地球と月



② ドップラー効果で連星の存在を探る

質量に非常に大きな
差がある場合

例) 太陽と地球



② ドップラー効果で連星の存在を探る
同じ質量で、離心率が大きな楕円の場合



著作権保護

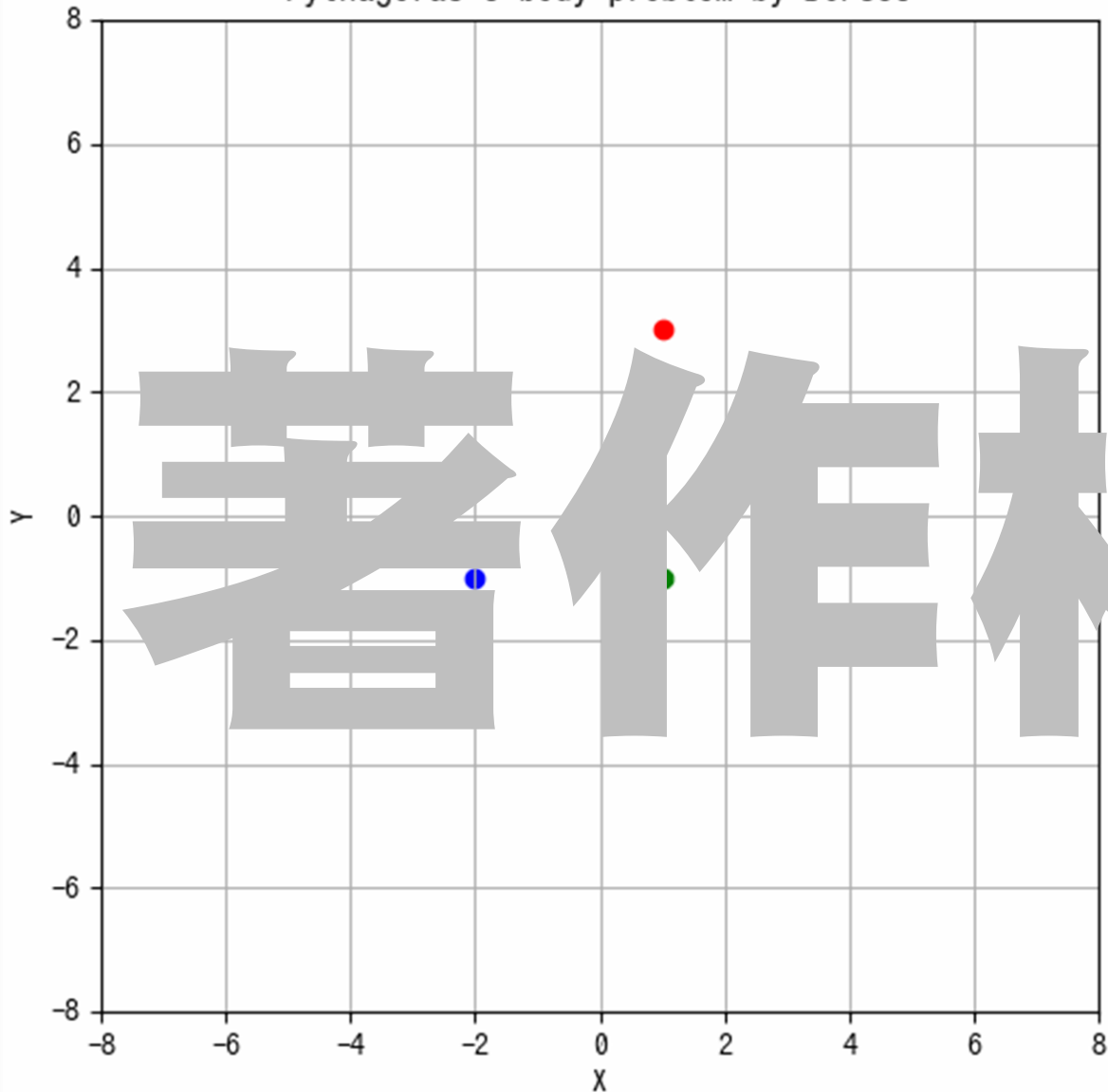
ちなみに… 三体問題

3つの物体の万有引力が相互作用する場合の運動がどのようなものを問う問題。

求める変数が18個あるのに対し，立てることのできる方程式は10個しかないため，求積的に解を求めることはできない。

ちなみに… 三体問題

Pythagoras 3 body problem by D0P853



著作権保護

.

.

.

ちなみに… 三体問題

三体問題をめぐる400年の
歴史の背景にある奥深い科学
世界を、数学史・科学史
とともに語り尽くす、最高に
スリリングな科学書

BLUE BACKS

三体問題

天才たちを悩ませた400年の未解決問題

著作権
保護

ちなみに… 三体問題

中国のSF作家、劉慈欣の
三体問題を題材にした話
題作。

とある三重星系には、生
きと滅びを繰り返す三体
星人が存在し、地球に接
近を試みる…



ちなみに… 三体問題

NETFLIXでドラマ化も
されてるよ

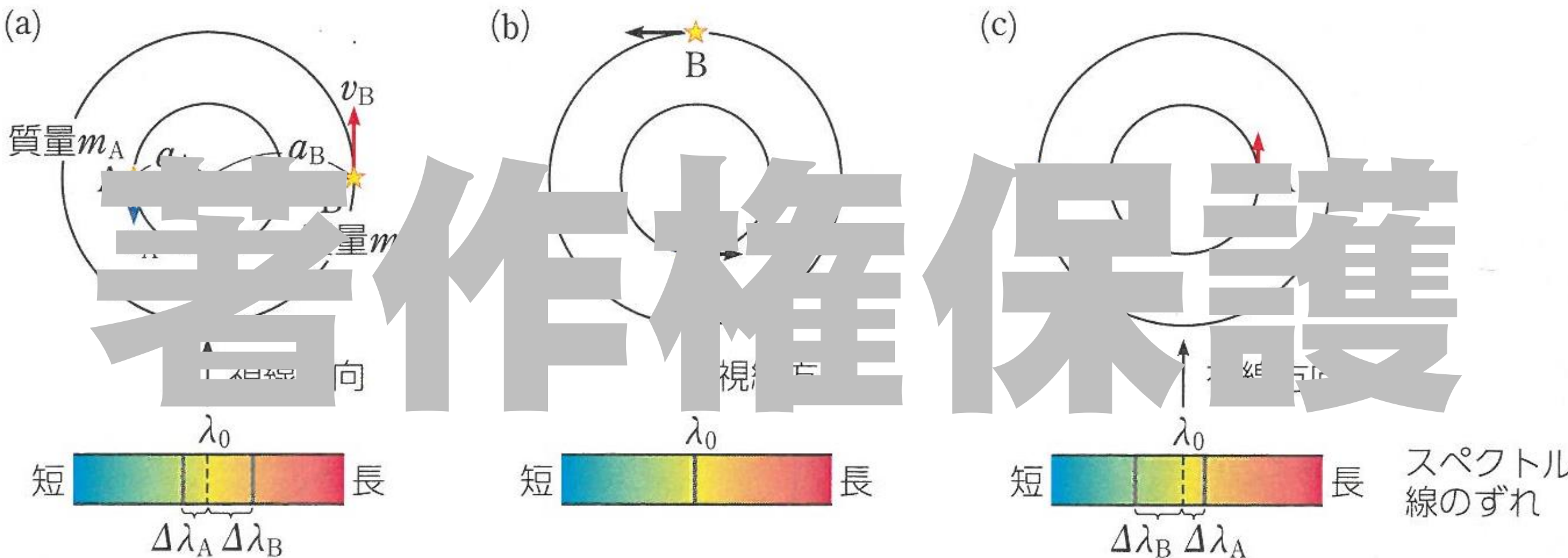


② ドップラー効果で連星の存在を探る

分光連星…望遠鏡では2つの恒星に識別できないが、スペクトル観測により連星と分かるもの

2

ドップラー効果で連星の存在を探る

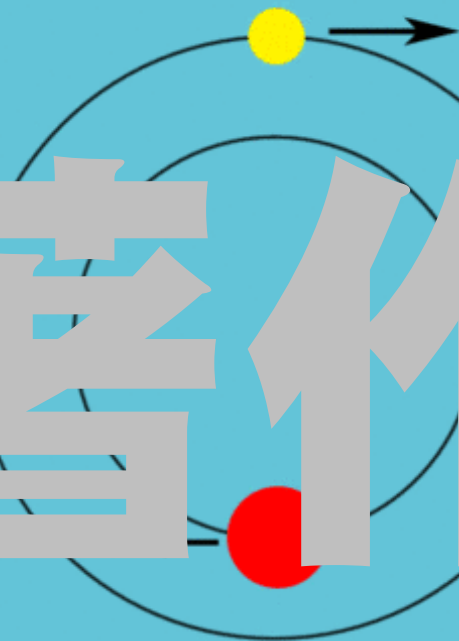


Aは青方偏移
Bは赤方偏移

波長の
ずれなし

Aは赤方偏移
Bは青方偏移

● A
● B



A B

A B

A B

blueshifted

Tangential motion

B A

B A

B A

A redshifted
B blueshifted



② ドップラー効果で連星の存在を探る

同じ周期だと，円運動の
中心から遠いほうが速い

$\Delta\lambda_A < \Delta\lambda_B$ なので，ドップ
ラー効果を考えると $v_A < v_B$

恒星Aが内側に
恒星Bが外側に
存在

$$(a_A < a_B)$$

③ ドップラー効果で宇宙の膨張を探る

銀河を観測すると、ごく近くの銀河を除いて、ほとんどの銀河の線スペクトルが赤方偏移している。

ドップラー効果では、波源が遠ざかると波長は長いほうにずれる。

エドウィン・ハッブル



③ ドップラー効果で宇宙の膨張を探る

▶ ハッブルは、赤方偏移がドップラー効果によるものと考え、ほとんどの銀河は地球から遠ざかっていると結論づけた！



著作権
保護

③ ドップラー効果で宇宙の膨張を探る

ハッブル
宇宙望遠鏡

著作権
保護

image: NASA, ESA

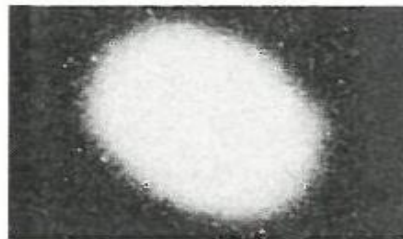
③ ドップラー効果で宇宙の膨張を探る

著作権保護

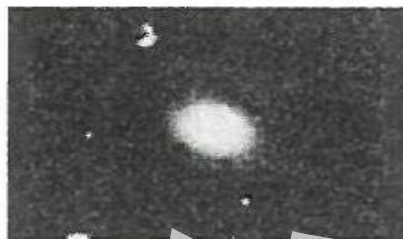
上：M51星雲

右：NGC6302惑星状星雲

おとめ座銀河団
(約 5900 万光年)



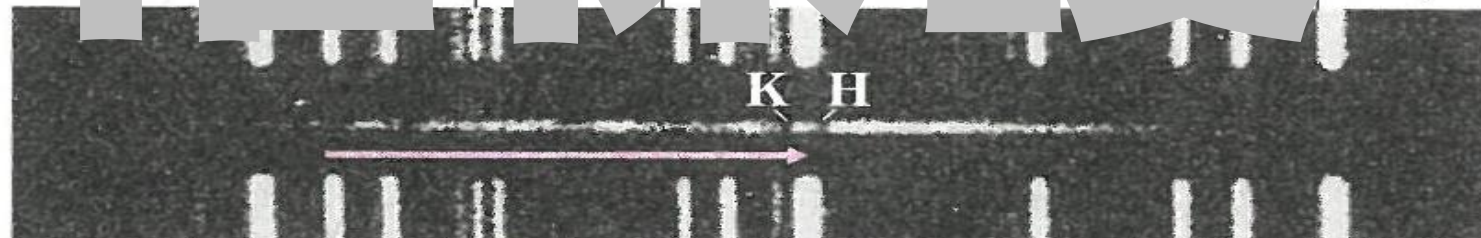
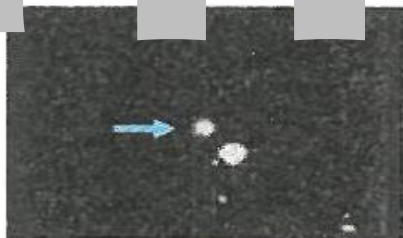
おおぐま座 I 銀河団
(約 7 億光年)



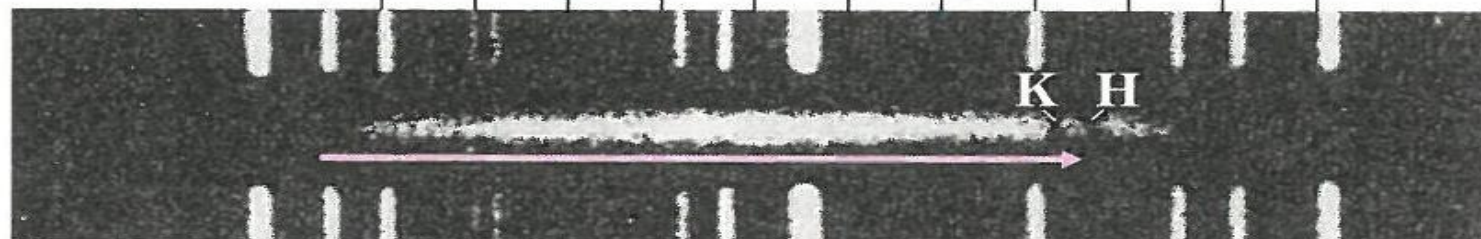
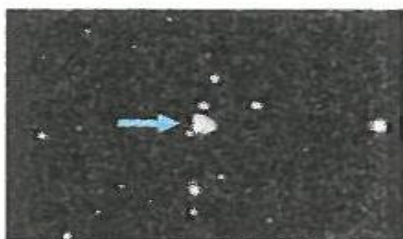
かんてい座 I 銀河団
(約 10 億光年)



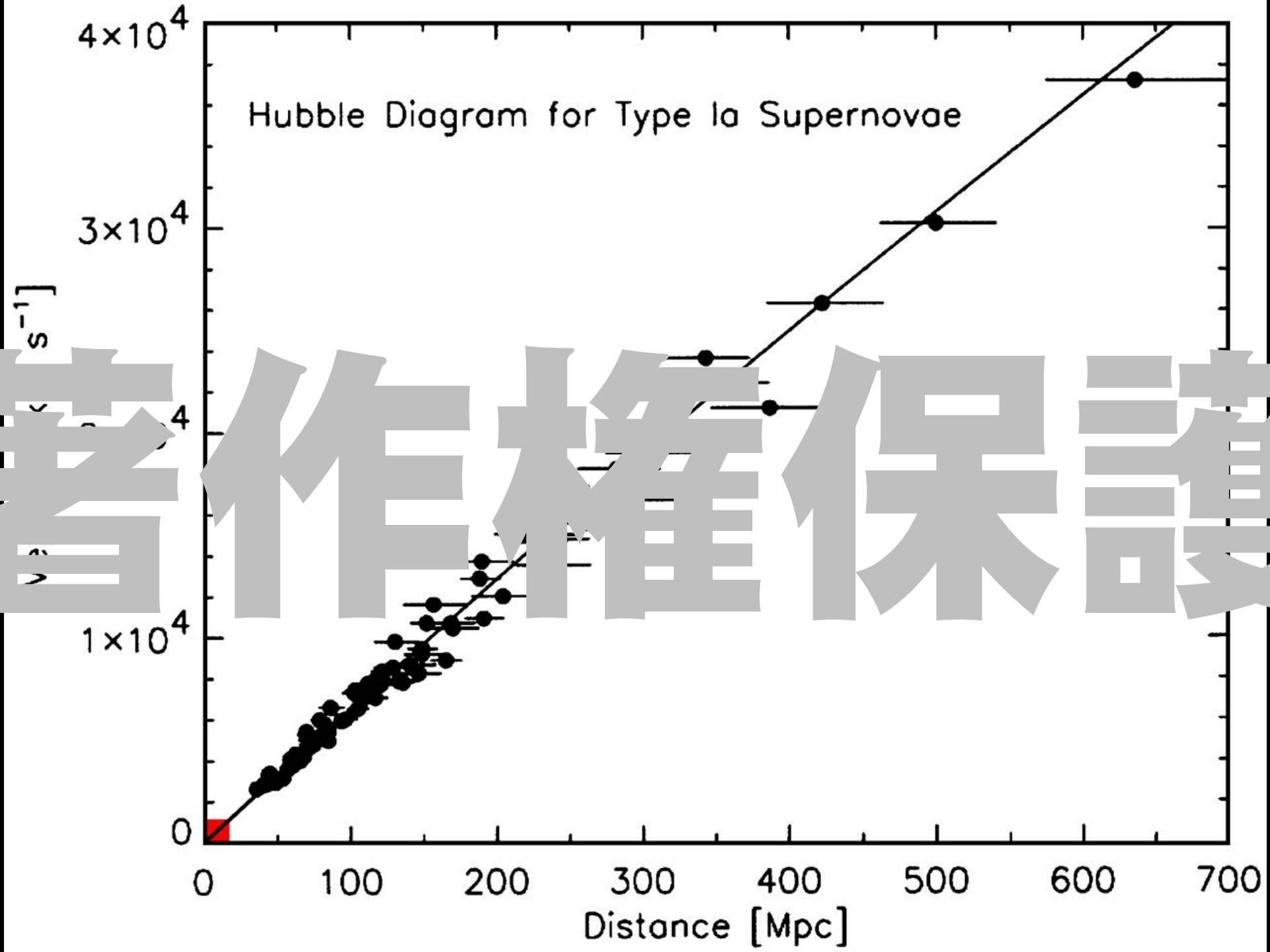
うしかい座銀河団
(約 18 億光年)



うみへび座 II 銀河団
(約 28 億光年)



著作権保護



③ ドップラー効果で宇宙の膨張を探る

その後ハッブルは、銀河の後退速度 v とその銀河までの距離 r の間に比例関係があることを発見した！



著作権
保護

③ ドップラー効果で宇宙の膨張を探る
《ハッブル・ルメートルの法則》
銀河の後退速度を v [km/s], その銀河までの
距離を r [メガパーセク]として,

$$v = Hr$$

※ H [(km/s)/メガパーセク]を
ハッブル定数とよぶ。

③ ドップラー効果で宇宙の膨張を探る

宇宙を十分大きなスケールで見ると、すべての方向で一様（宇宙には特別な方向や場所＝中心や端っこがない）と考えられ、これを宇宙原理という。

③ ドップラー効果で宇宙の膨張を探る

宇宙原理を受け入れると、ハッブル・ルメートルの法則が宇宙のどの場所でも成り立っていることになる。

すなわち宇宙は膨張しているということになる。

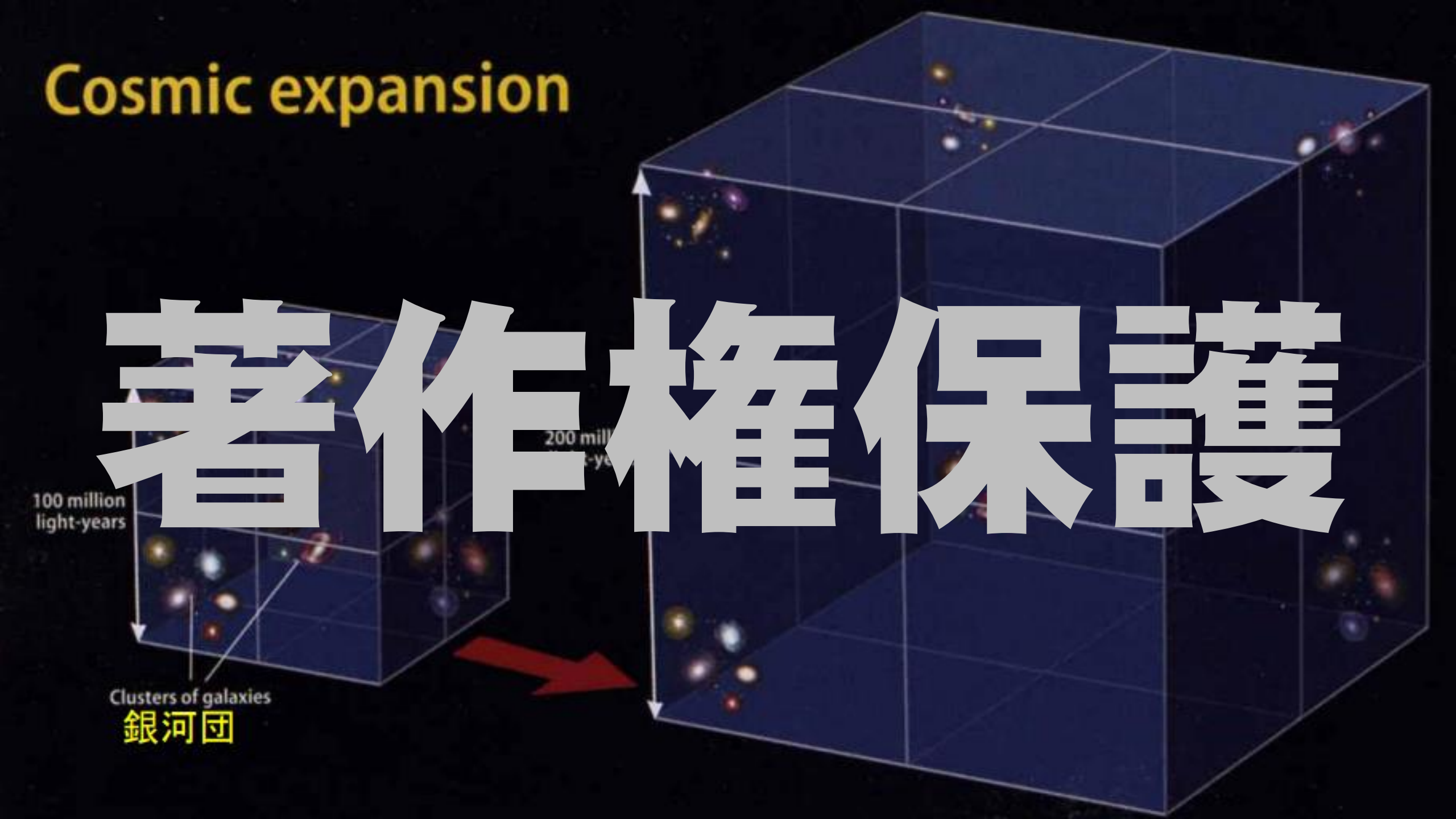
Cosmic expansion

著作權保護

100 million
light-years

200 mill
-ye

Clusters of galaxies
銀河團



③ ドップラー効果で宇宙の膨張を探る

ハッブル・ルメートルの法則より,

$$\frac{r}{v} = \frac{1}{H}$$

であるから, ハッブル定数Hの逆数は宇宙が誕生してからの時間を表し, 計算すると宇宙の年齢は約138億年と分かる。

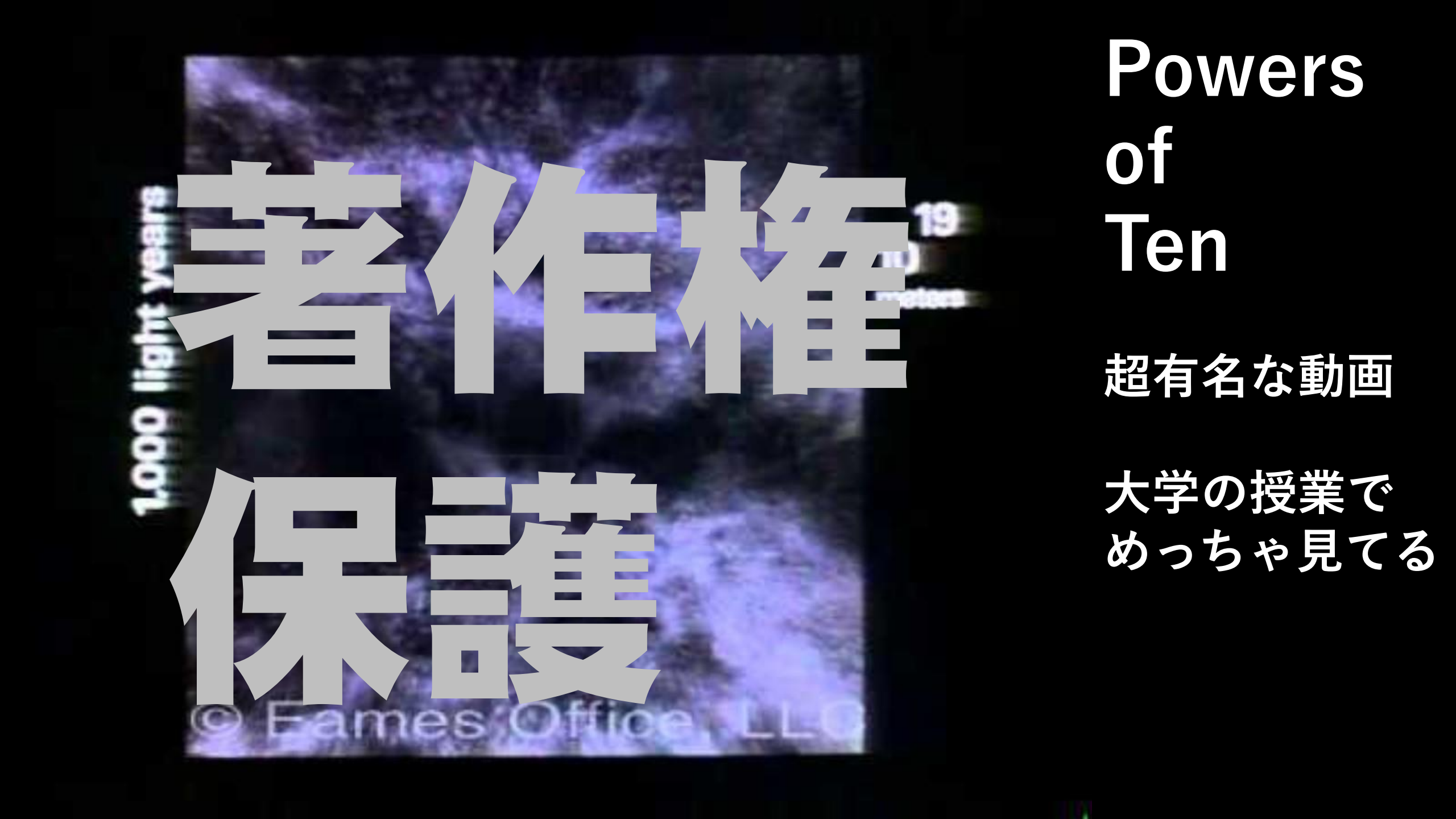
③ ドップラー効果で宇宙の膨張を探る

宇宙に年齢があるということは、宇宙最速の光を使っても、**観測できる範囲は半径138億年が限界**であることを意味する。

観測地点から半径138億年の球の表面（観測できる限界の地点）を**宇宙の地平線**という。

著作權保護





1,000 light years

著作権 保護

19 meters

© Eames Office, LLC

Powers
of
Ten

超有名な動画

大学の授業で
めっちゃ見てる

参考 分光連星の観測から軌道半径と質量 を計算する理論

訳わからんと思うけど、高校物理の範囲内
での話です。読んでみてね。