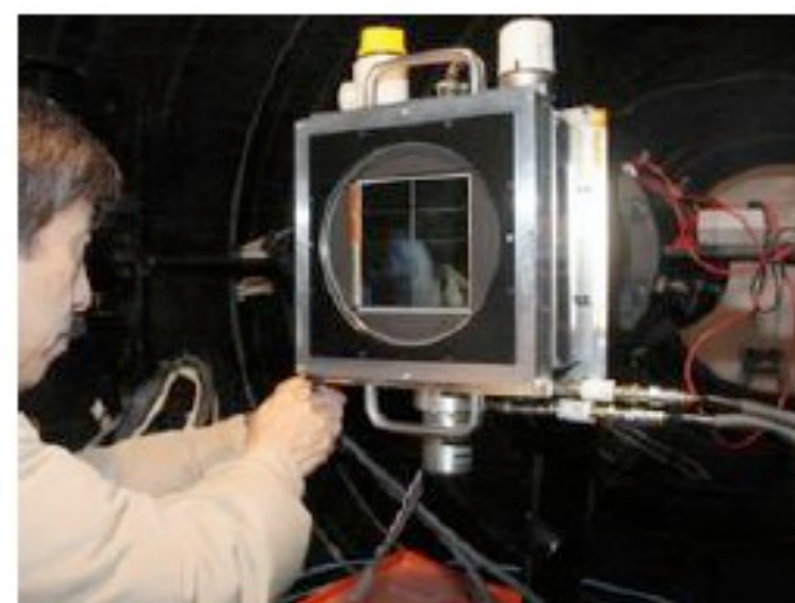


# 木曾観測所105cmシュミット望遠鏡

超広視野カメラKWFCによる大規模プロジェクト観測:

銀河面変光星探査と超新星探査



諸隈 智貴 (東京大学・天文学教育研究センター)

+ 木曾観測所

+ KWFC開発メンバー



木曾観測所  
(長野県木曾郡木曾町)

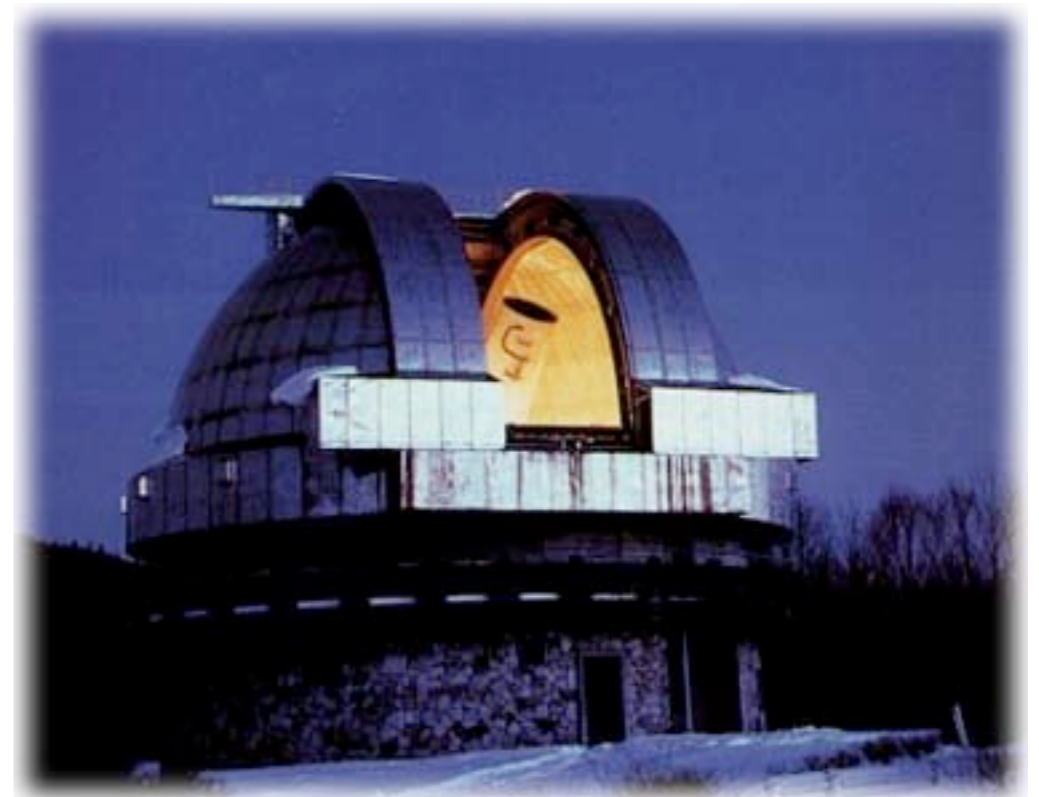
天文センター  
(東京都三鷹市)

しなの

あずさ

官用車

# 木曾観測所



- 長野県木曾郡木曾町
- 東経137度37分42秒 北緯35度47分39秒 標高1130m
- 土居守所長、小林尚人副所長 (スタッフ全13名)
- 宿泊施設: 寢室、食堂
- 105cmシュミット望遠鏡(可視光、赤道儀)、1974年初観測
- 現稼働カメラ: 2kCCD (視野 50分角 x 50分角)
- 年間300晩以上を共同利用観測に
- 活発なアウトリーチ活動

<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/>

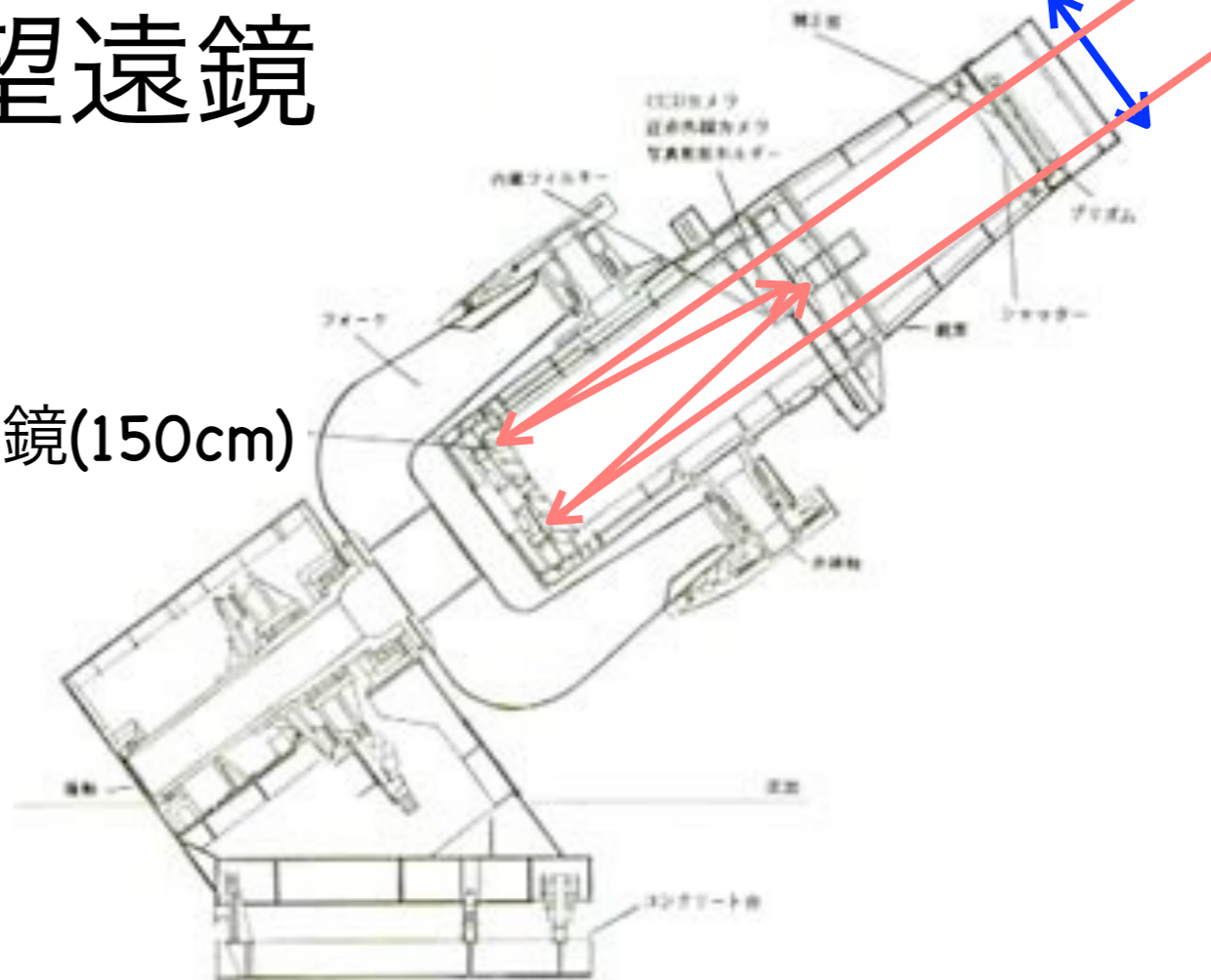


# 105cmシュミット望遠鏡

補正板 105cm



主鏡(150cm)



## 世界第4位(補正板の大きさ)のシュミット望遠鏡

望遠鏡	補正板 [cm]	主鏡 [cm]	焦点 距離 [cm]	F 比	視野 [deg]	Plate [cm]	Scale	Location	国	高度	Year
Alfred-Jensch	134	203	410	3.0	3.4 × 3.4	24 × 24	50.3	Tautenburg	ドイツ	331	1960
Samuel Oschin	122	183	307	2.5	6.6 × 6.6	36 × 36	67.2	Mt. Palomar	USA	1706	1948
UK Schmidt	122	183	307	2.5	6.6 × 6.6	36 × 36	67.2	Siding-Spring	オーストラリア	1131	1973
<b>Kiso Schmidt</b>	<b>105</b>	<b>150</b>	<b>330</b>	<b>3.1</b>	<b>6.0 × 6.0</b>	<b>36 × 36</b>	<b>62.5</b>	<b>木曾</b>	<b>日本</b>	<b>1130</b>	<b>1974</b>
ESO Schmidt	102	162	306	3.0	5.5 × 5.5	-	67.4	Cerro La Silla	チリ	2400	1969
Jurgen Stock	102	152	301	3.0	5.5 × 5.5	29 × 29	68.5	Llano del Hato	ベネズエラ	3600	1976
Kvistaberg Schmidt	102	135	300	3.0	4.6 × 4.6	24 × 24	68.8	Kvistaberg	スウェーデン	33	1964
BAO 1m Schmidt	102	132	213	2.1	4.1 × 4.1	16 × 16	96.8	Brurakan	アルメニア	1397	1960
Uccle Schmidt	84	117	210	2.5	-	-	98.2	Uccle	ベルギー	105	1958
Hamburg Schmidt	81	122	240	3.0	5.5 × 5.5	25 × 25	86.2	Calar Alto	スペイン	2160	1955
Baker-Schmidt	81	91	300	3.7	-	-	68.8	Bloemfontein	南アフリカ	1387	1950
Baldone Schmidt	80	120	240	3.0	4.8 × 4.8	24 × 24	85.9	Baldone	ラトビア	75	1967

# 105cmシュミット望遠鏡の視野(6度角×6度角)



ハッブル宇宙望遠鏡  
(2.4m)



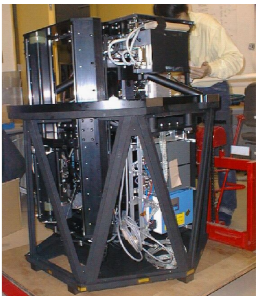
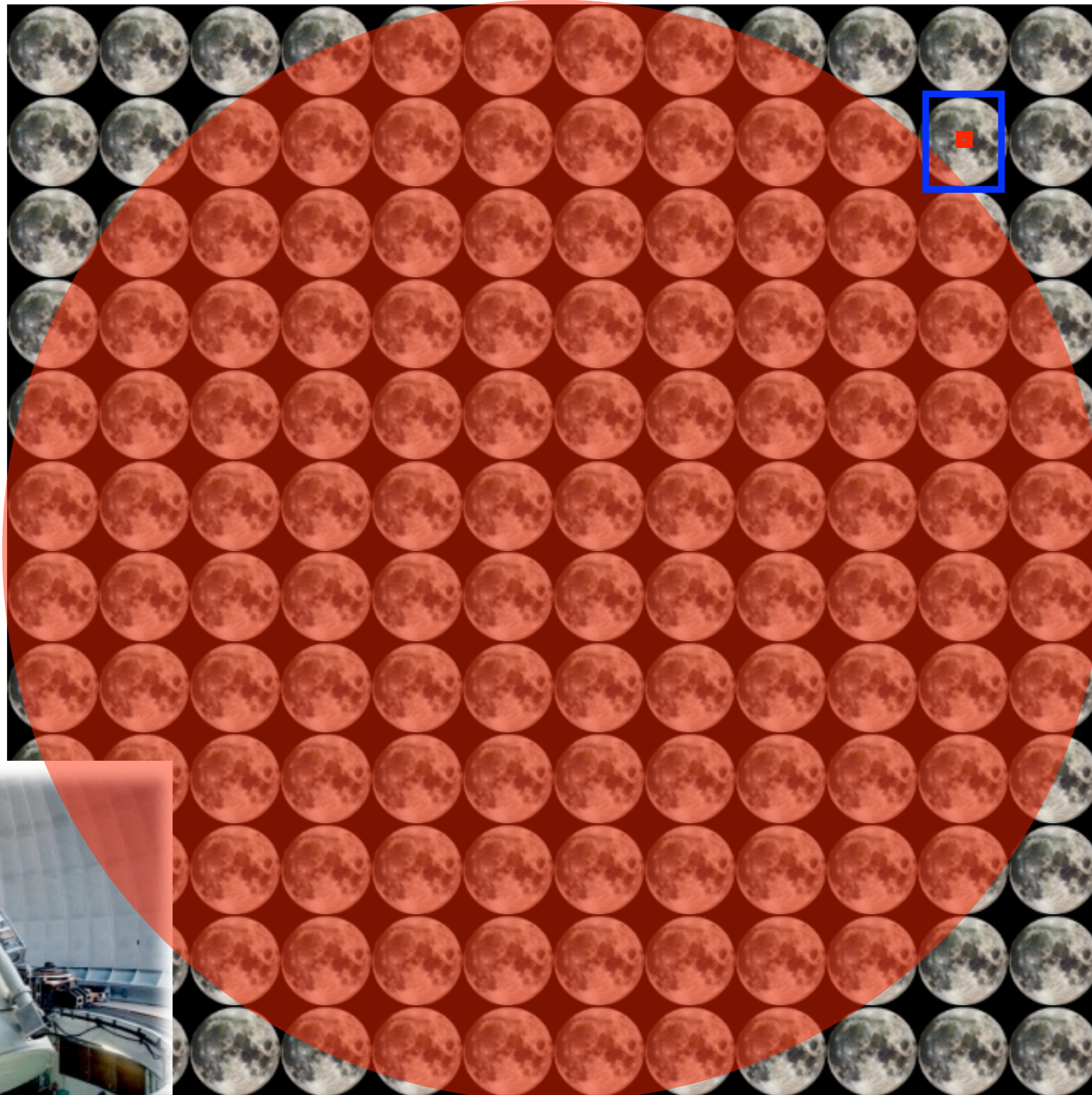
30分角



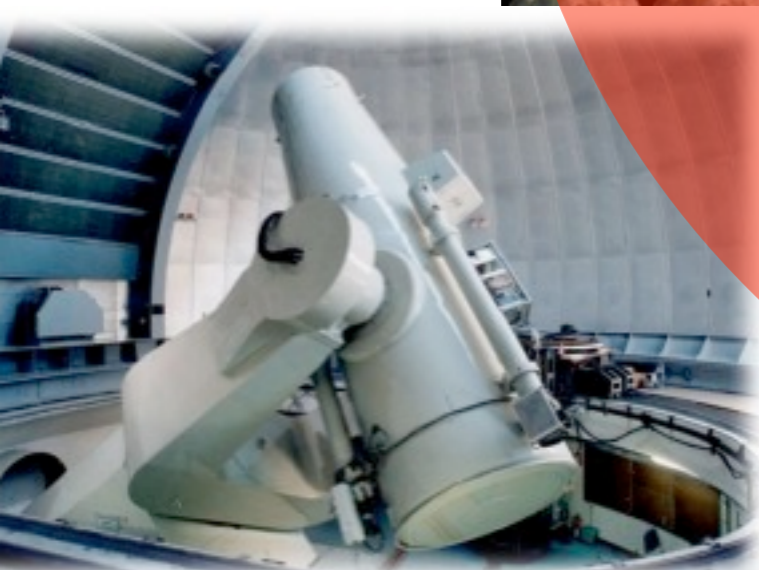
すばる望遠鏡(8.2m)  
Suprime-Cam

望遠鏡	補正板 [cm]	主鏡 [cm]	焦点 距離 [cm]	F 比	視野 [deg]	Plate [cm]	Scale	Location	国	高度	Year
Alfred-Jensch	134	203	410	3.0	3.4 × 3.4	24 × 24	50.3	Tautenburg	ドイツ	331	1960
Samuel Oschin	122	183	307	2.5	6.6 × 6.6	36 × 36	67.2	Mt. Palomar	USA	1706	1948
UK Schmidt	122	183	307	2.5	6.6 × 6.6	36 × 36	67.2	Siding-Spring	オーストラリア	1131	1973
Kiso Schmidt	105	150	330	3.1	6.0 × 6.0	36 × 36	62.5	木曾	日本	1130	1974
ESO Schmidt	102	162	306	3.0	5.5 × 5.5	-	67.4	Cerro La Silla	チリ	2400	1969
Jurgen Stock	102	152	301	3.0	5.5 × 5.5	29 × 29	68.5	Llano del Hato	ベネズエラ	3600	1976
Kvistaberg Schmidt	102	135	300	3.0	4.6 × 4.6	24 × 24	68.8	Kvistaberg	スウェーデン	33	1964
BAO 1m Schmidt	102	132	213	2.1	4.1 × 4.1	16 × 16	96.8	Brurakan	アルメニア	1397	1960
Uccle Schmidt	84	117	210	2.5	-	-	98.2	Uccle	ベルギー	105	1958
Hamburg Schmidt	81	122	240	3.0	5.5 × 5.5	25 × 25	86.2	Calar Alto	スペイン	2160	1955
Baker-Schmidt	81	91	300	3.7	-	-	68.8	Bloemfontein	南アフリカ	1387	1950
Baldone Schmidt	80	120	240	3.0	4.8 × 4.8	24 × 24	85.9	Baldone	ラトビア	75	1967

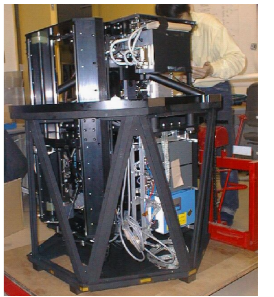
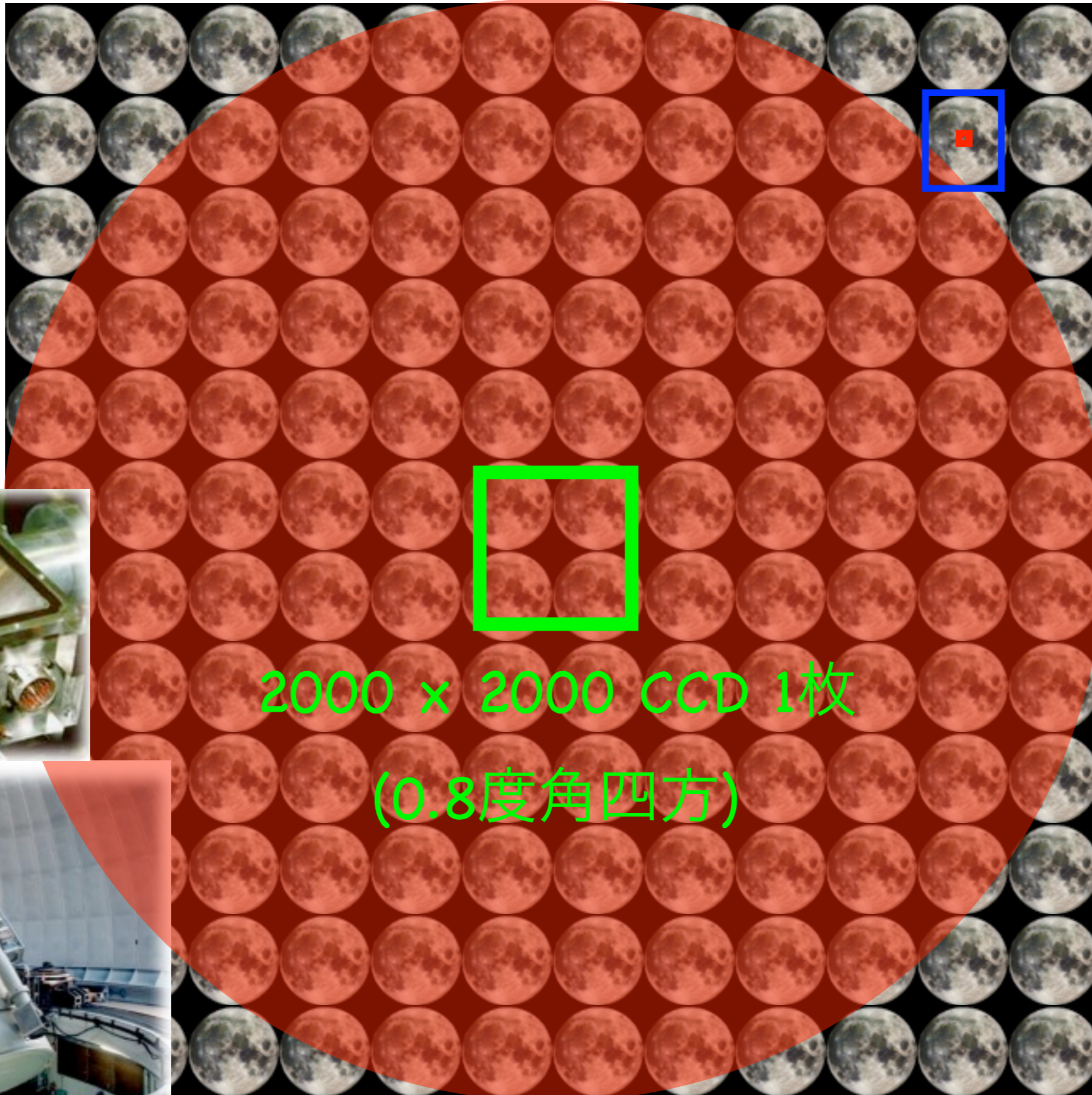
# 105cm シュミット望遠鏡



6度角



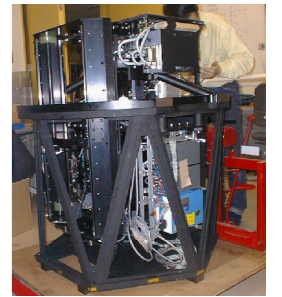
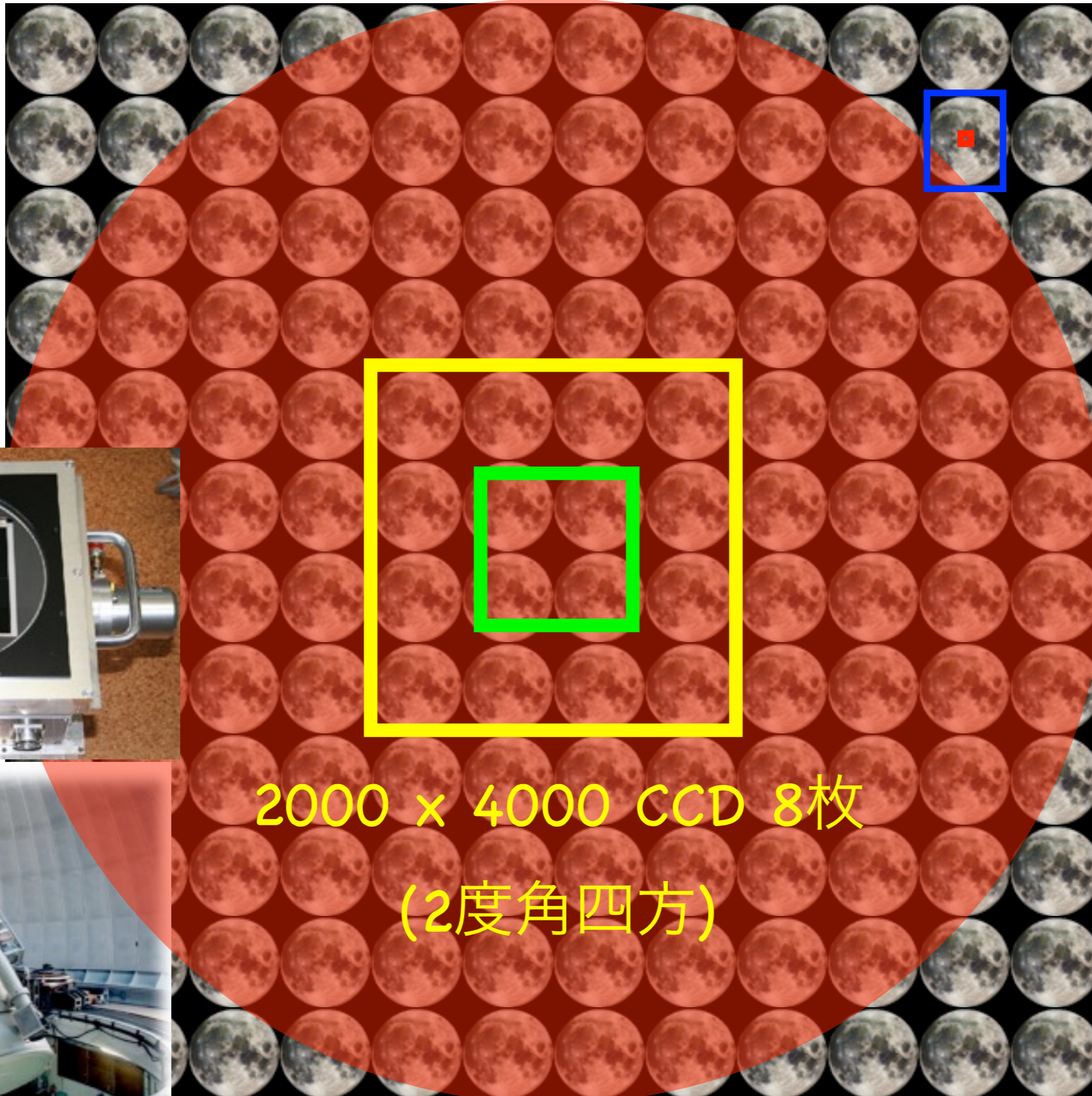
# 105cm シュミット望遠鏡 + 2kCCD



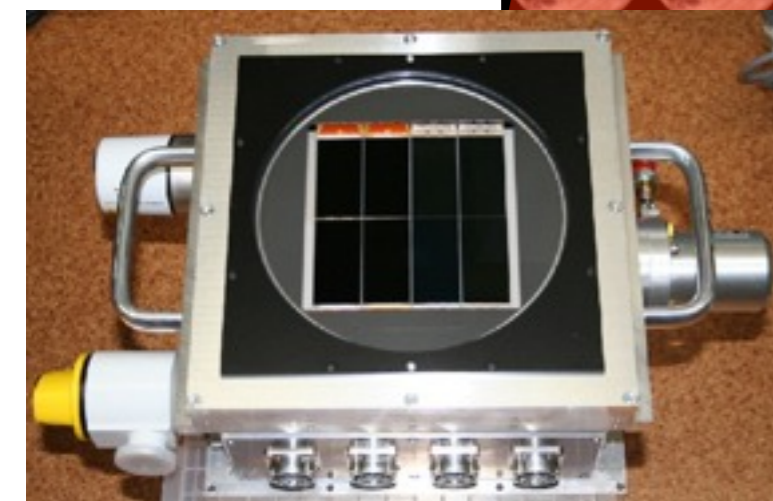
6度角



# 105cm シュミット望遠鏡 + KWFC



6度角

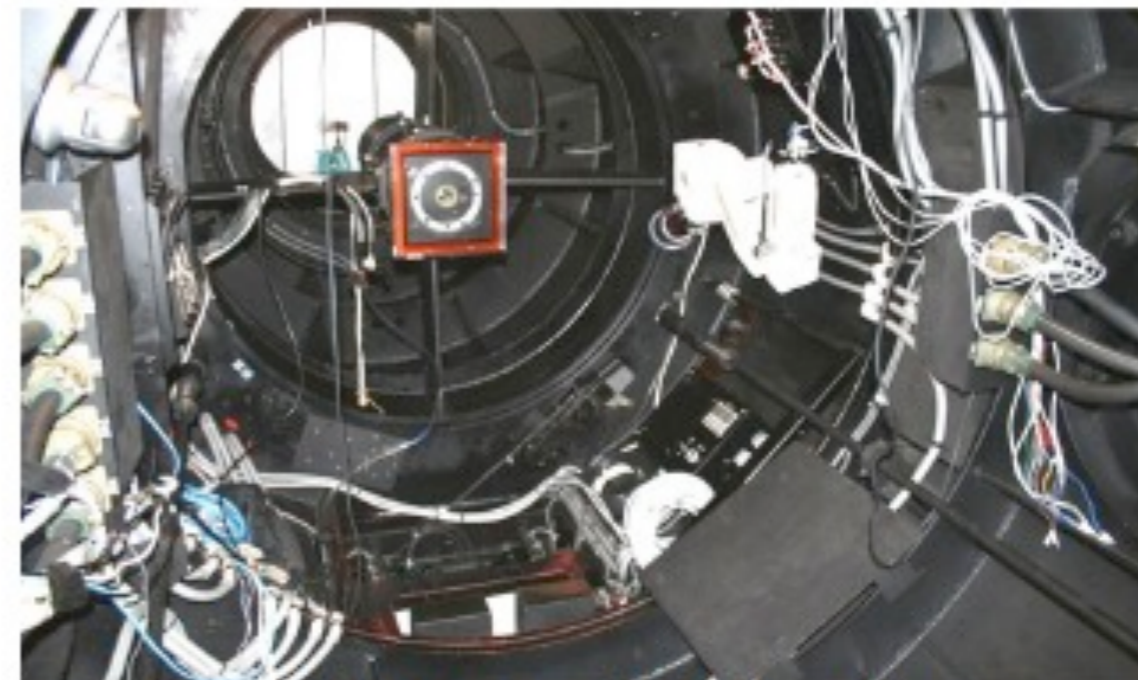




# 超広視野カメラ Kiso Wide Field Camera (KWFC)

- 6度角直径のシュミット焦点を生かしたい
- 超広視野カメラ
- 視野: 2度角 × 2度角 (4平方度)
- 8枚の2k × 4k CCD (4 MIT + 4 SITE)
- 独自開発(PI: 酒向)の読み出し回路
- Kiso Array Controller (KAC)
- 産業用ロボットアームを用いた

フィルター交換機構

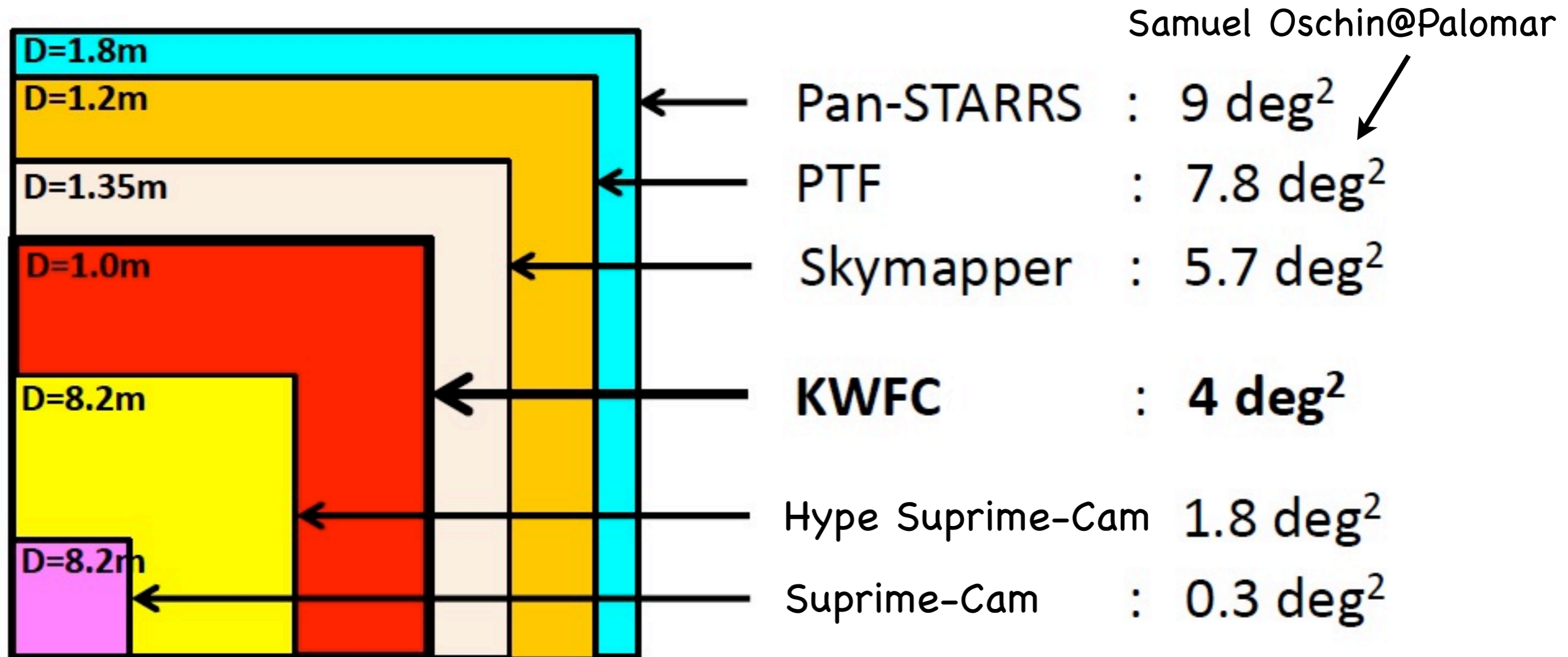


シュミット望遠鏡焦点部とロボットアーム



KWFCで取得した画像  
BVR3色合成

# Kiso Wide Field Camera (KWFC)



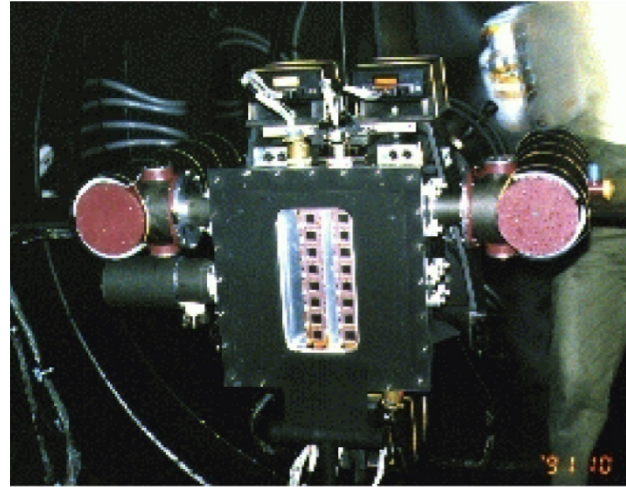
KWFCは世界最大級の広視野カメラ

©酒向さん

# 木曾からすばる、SDSSへ、再び木曾へ...

モザイクCCDカメラ1号機

木曾シュミット

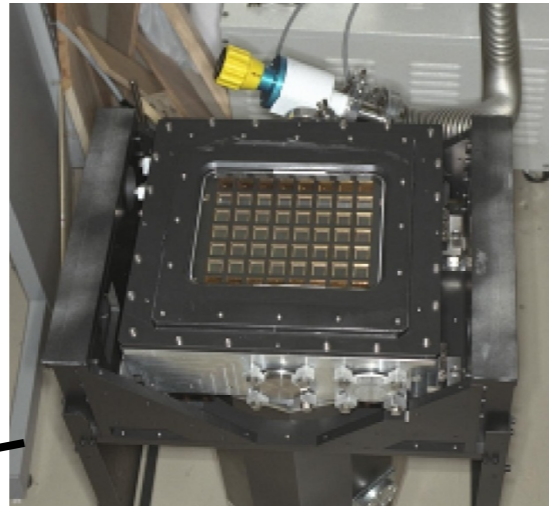


1991

モザイクCCDカメラ2号機

ラスカンパナス 1m

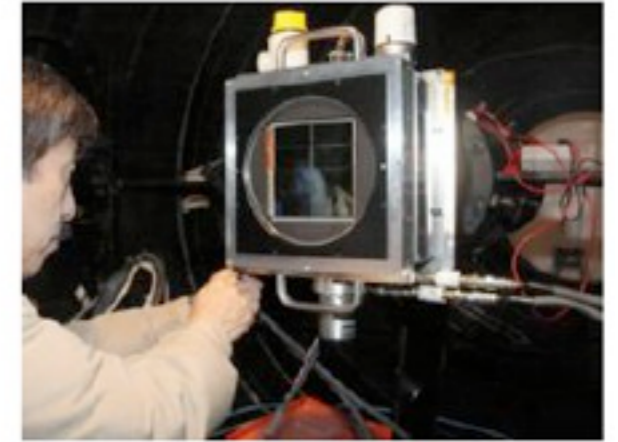
ウィリアムハーシェル4.2m



1994

KWFC

木曾シュミット



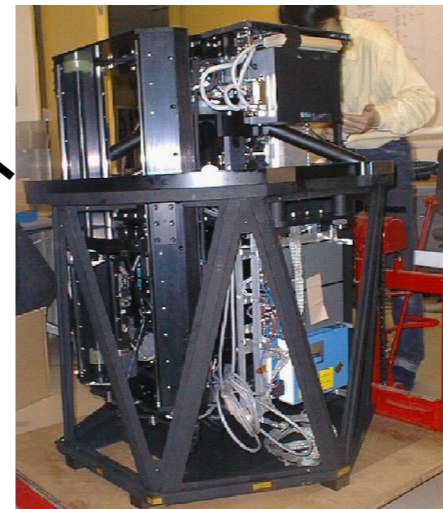
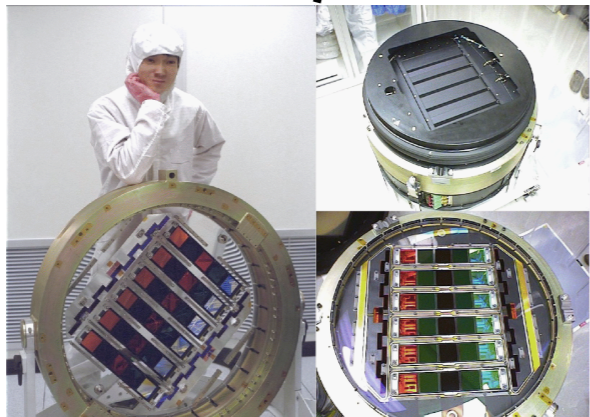
2010



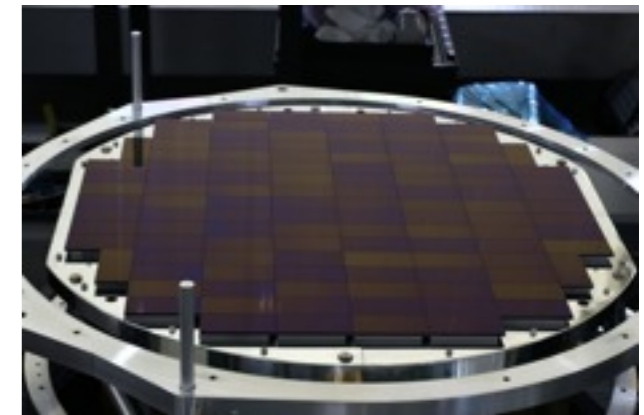
2012

1998 1999

SDSS 2.5-m imager  
2000x2000x30,  
2000x400x24



8.2m Subaru Suprime-Cam  
(2000x4000x8)

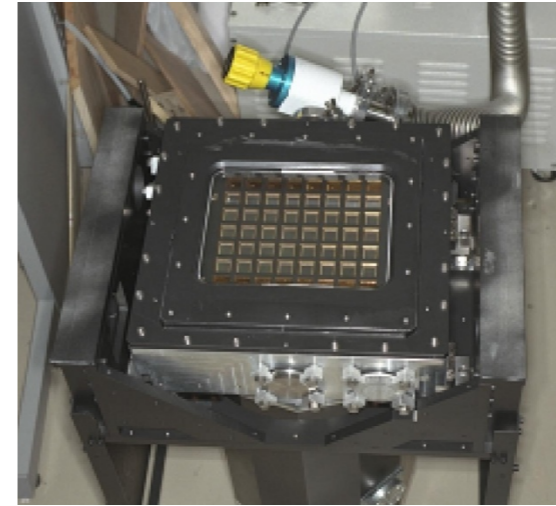


8.2m Subaru  
Hyper Suprime-Cam  
(2000x4000x116)

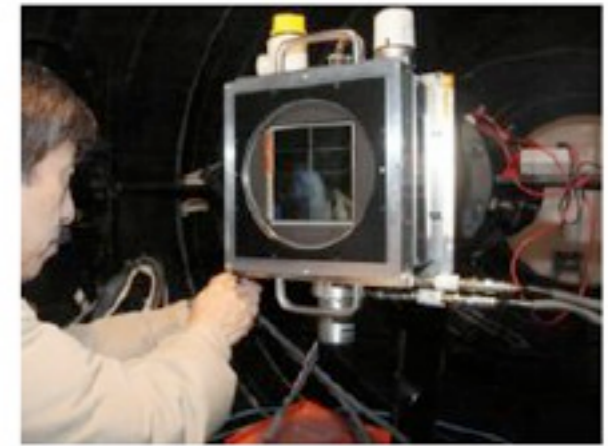
# 木曾からすばる、SDSSへ、再び木曾へ...

- 大型望遠鏡の時代

- 8-10m級が世界に約10台
- 30m級望遠鏡建設へ



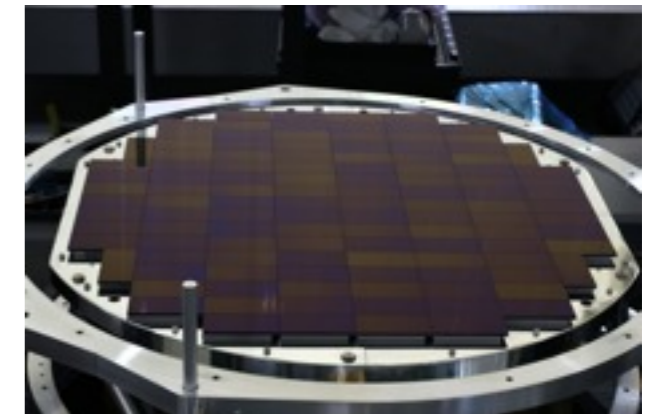
モザイクCCDカメラ2号機



木曾/KWFC

- 中小口径望遠鏡の意義が見直されつつある

- フットワークの軽さ: 突発現象への対応
- 望遠鏡時間の占有: KWFCでの大規模観測



Subaru/Hyper Suprime-Cam

- Suprime-CamのCCDをKWFCで使用 (cf. PTFのカメラはCFHTの12k)
- 土居所長: モザイクCCDカメラ、SDSS、Suprime-Cam
- 諸隈: Suprime-CamでD論、Hyper Suprime-Cam開発PD、KWFC超新星観測

# 木曾観測所大規模プロジェクト(大規模観測課題)

世界と互角に戦える超広視野カメラが完成

--> 大きな時間を割いて大規模なサーベイ観測を

## ○ 銀河面サーベイ (KISOGP)

- PI: 松永典之 (東京大学・木曾観測所)
- 目的: 銀河面の変光星および新星・矮新星の探査を行い、  
銀河系の構造の解明を目指す。



## ○ 超新星サーベイ (KISS)

- PI: 諸隈智貴 (東京大学)
- 目的: 超新星の爆発機構や親星の性質を探るべく、  
超新星爆発直後(数時間, ショックブレイクアウト等)の  
光の検出に重点を置いたサーベイを行う。

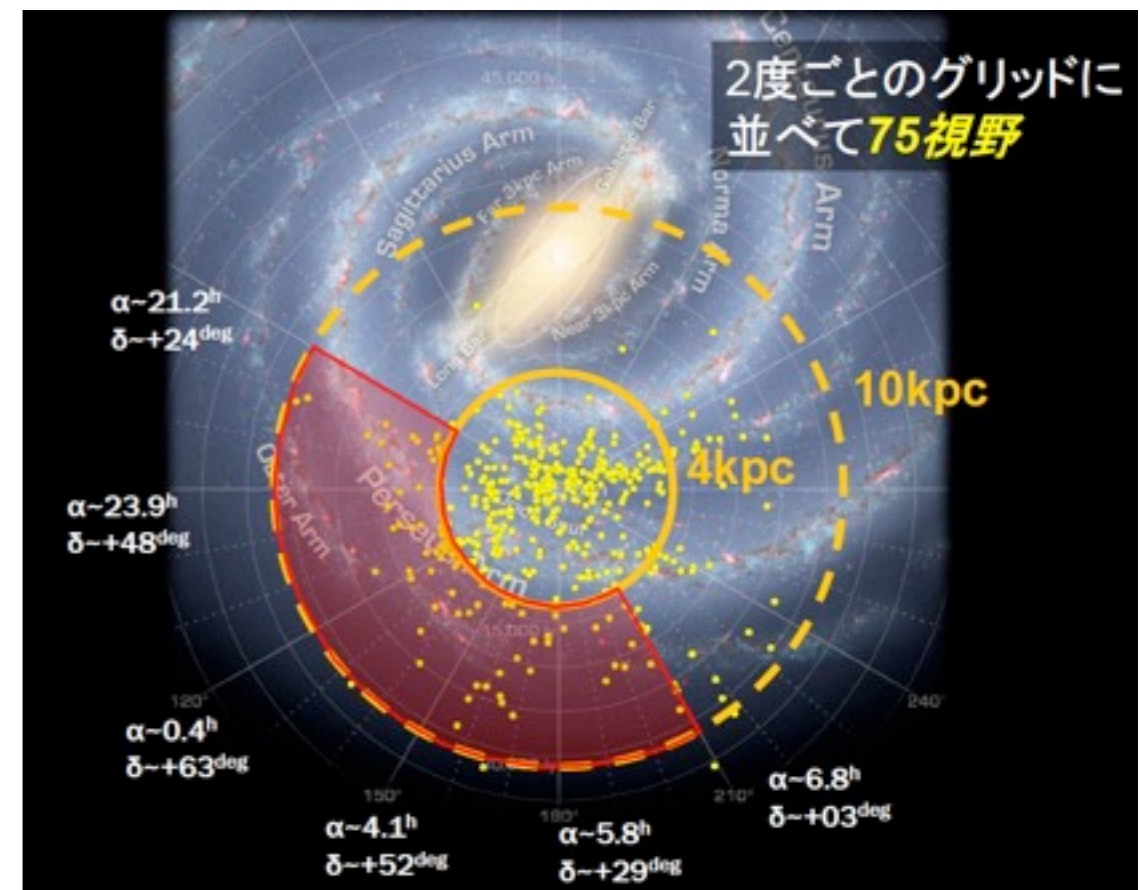


# 銀河面サーベイ

## KISOGP = KWFC Intensive Survey Of the Galactic Plane

銀河面の変光星、および新星・矮新星を探索して、銀河系の構造を調べる。

- 銀河面に沿って銀経60-210度を観測: 75視野 = 2度角 × 150度角 = 300平方度
- 3年間で45回の反復観測
  - 南天(銀河中心方向)はいくつか大きなサーベイ (VISTA/VVVなど)
  - 北天で最も深く広いサーベイを
- Iバンド(0.8um): 10等級 < I < 18等級
- セファイド変光星(~2個/平方度)、  
その他変光星、新星、矮新星、小惑星など



既知の古典的セファイド約500個の分布 (DDOデータベース)

<http://www.astro.utoronto.ca/DDO/research/cepheids/>

背景: (c) GLIMPSE project (2008)

# セファイド変光星探査

セファイド変光星: 脈動変光星

## 周期光度関係

周期 --> 光度 --> 距離

### 「標準光源」

- KWFC大規模観測では  
銀河系の構造解明を目指す
- 宇宙の距離はしごの一つとして使われてきた

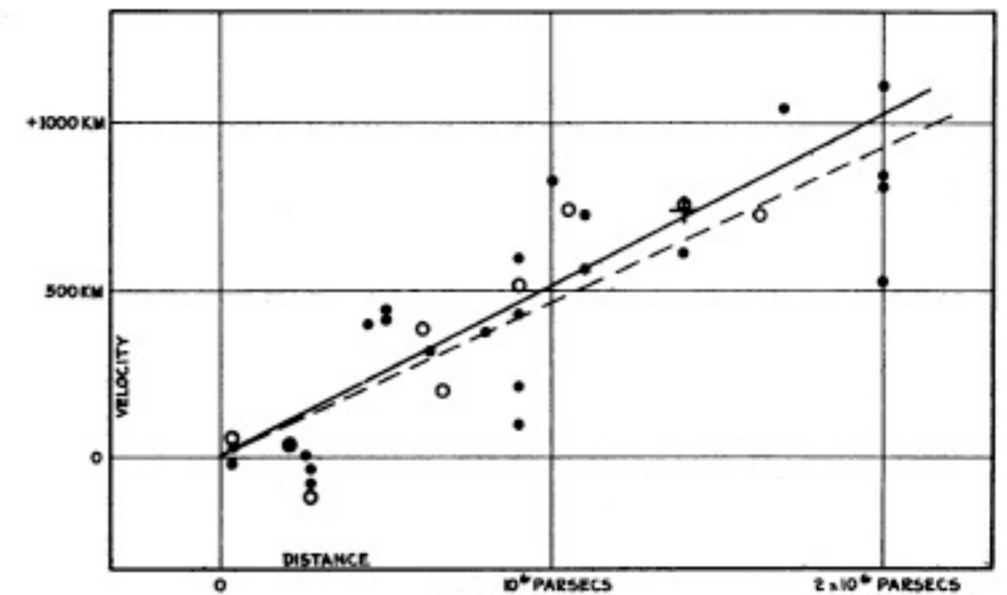


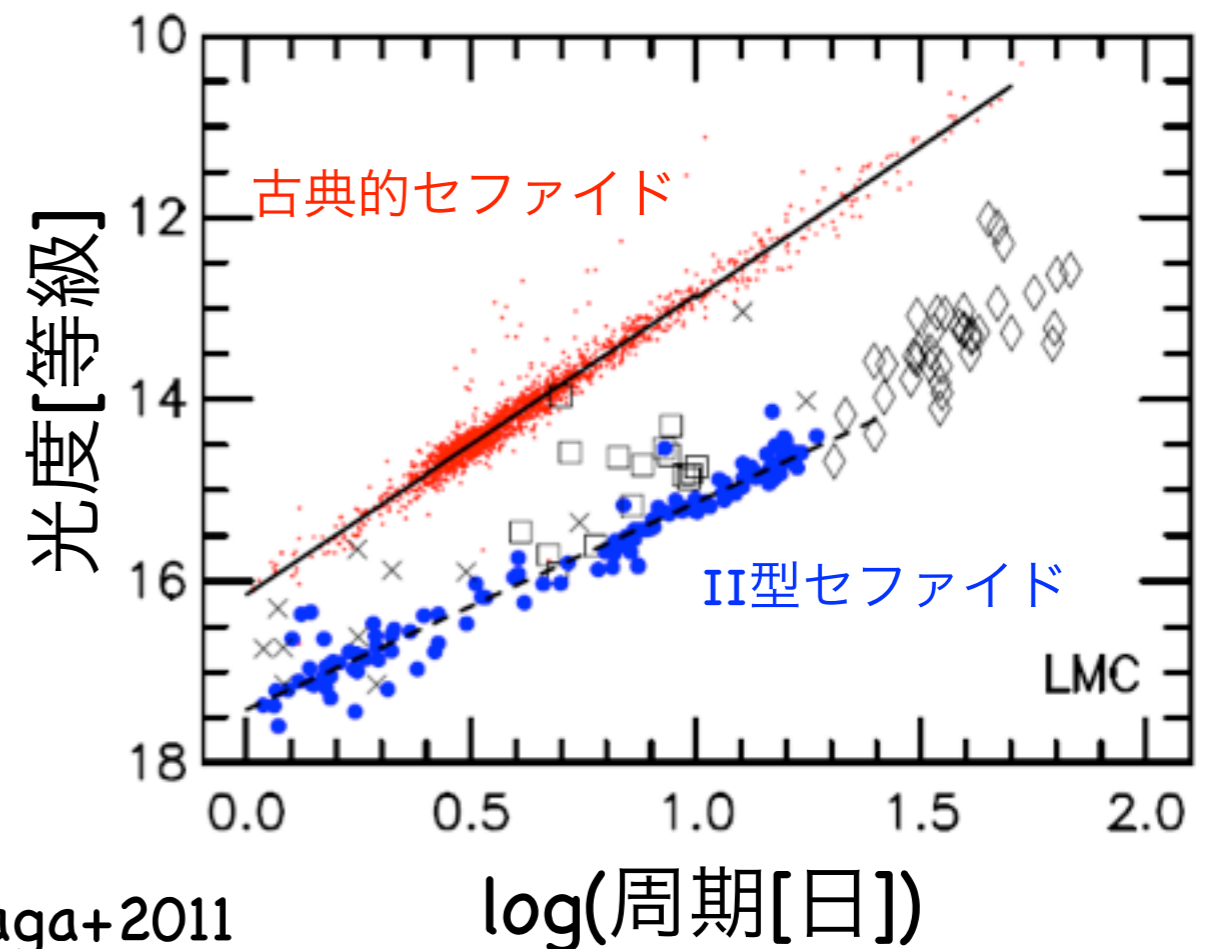
FIGURE 1  
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

Radial velocities, corrected for solar motion, are plotted against distances estimated from involved stars and mean luminosities of nebulae in a cluster. The black discs and full line represent the solution for solar motion using the nebulae individually; the circles

Edwin Hubbleによる宇宙膨張の発見

estimated individually.

Source: Edwin Hubble, PNAS



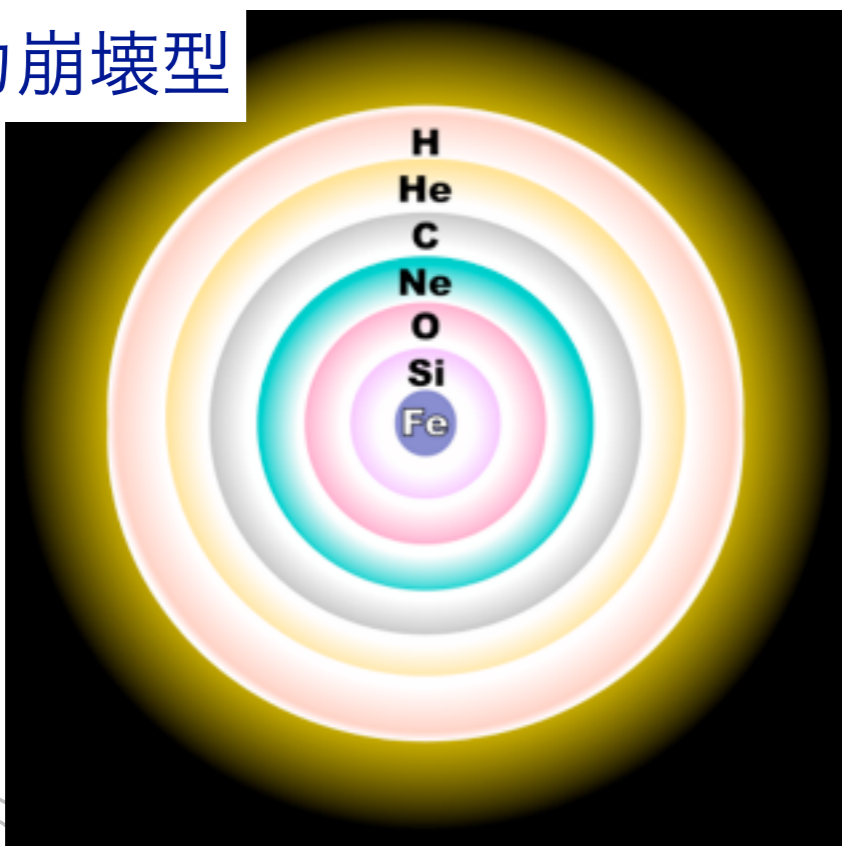
# 木曾超新星サーベイ

KISS = Kiso SuperNova Survey

- Ia型超新星 (Type Ia Supernova, Thermonuclear Supernova)
  - 宇宙論: 赤方偏移 $z \sim 1.5$ まで
  - 親星: Single Degenerate? Double Degenerate?
- 重力崩壊型超新星 (Core-Collapse Supernova)
  - 星形成史
  - 親星



重力崩壊型



Ia型@白色矮星連星系





# 木曾超新星サーベイ

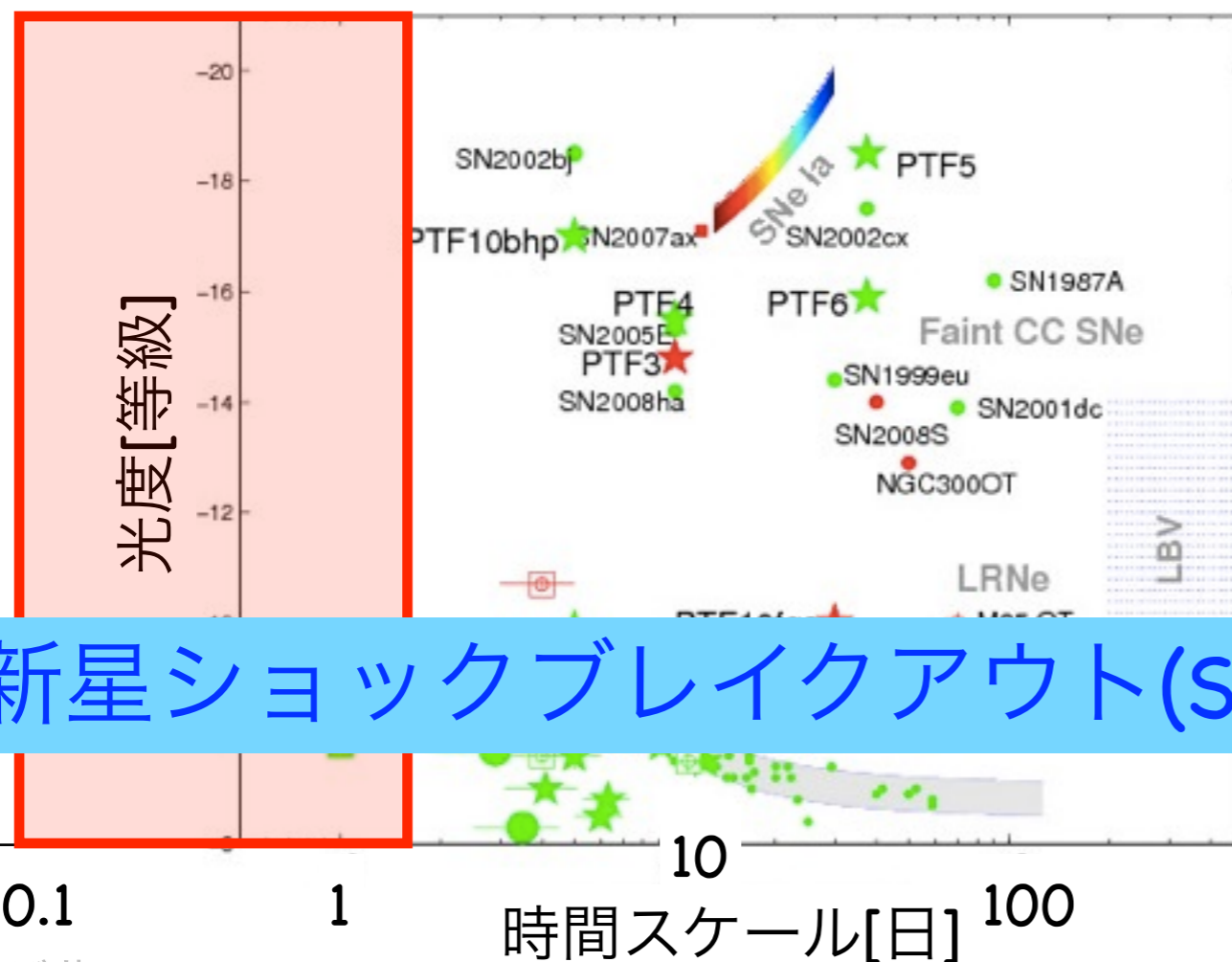
KISS = Kiso SuperNova Survey



超新星爆発: 1銀河あたり数100年に1度の割合

--> 一度にたくさんの銀河を観測する必要

--> 広い視野の望遠鏡+カメラが必要



SN 1987A@大マゼラン雲(d=48.5kpc)

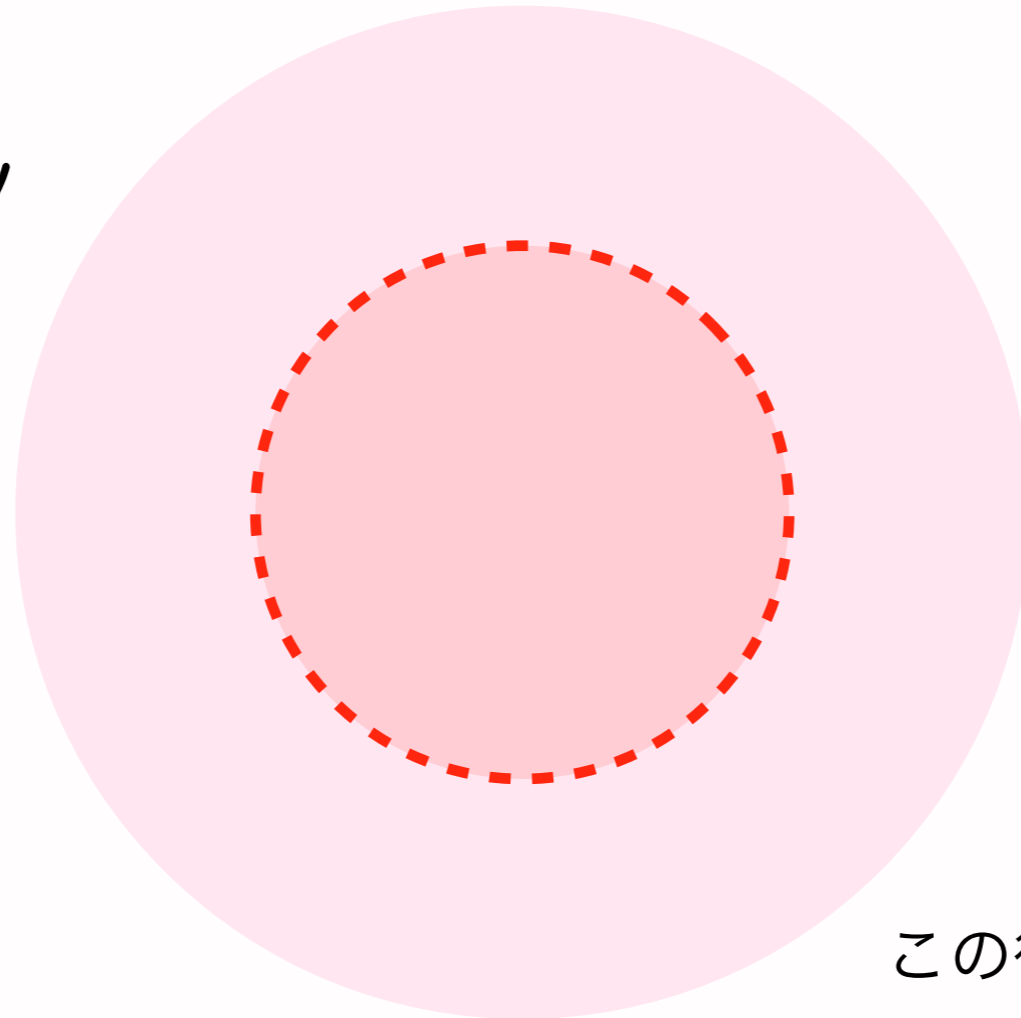
超新星ショックブレイクアウト(Shock Breakout)

# 超新星 Shock Breakout

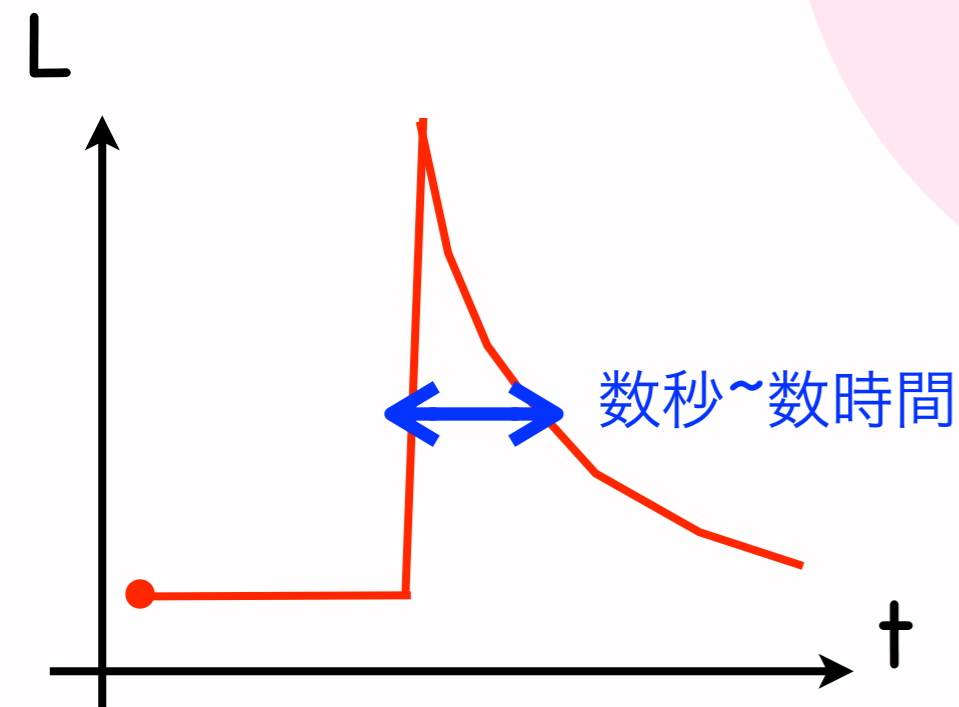
重力崩壊後、中心部で衝撃波

--> 衝撃波が星表面を通過する際に、非常に明るく輝く

quasi-blackbody  
 $T \sim R^{-3/4} E^{1/4}$



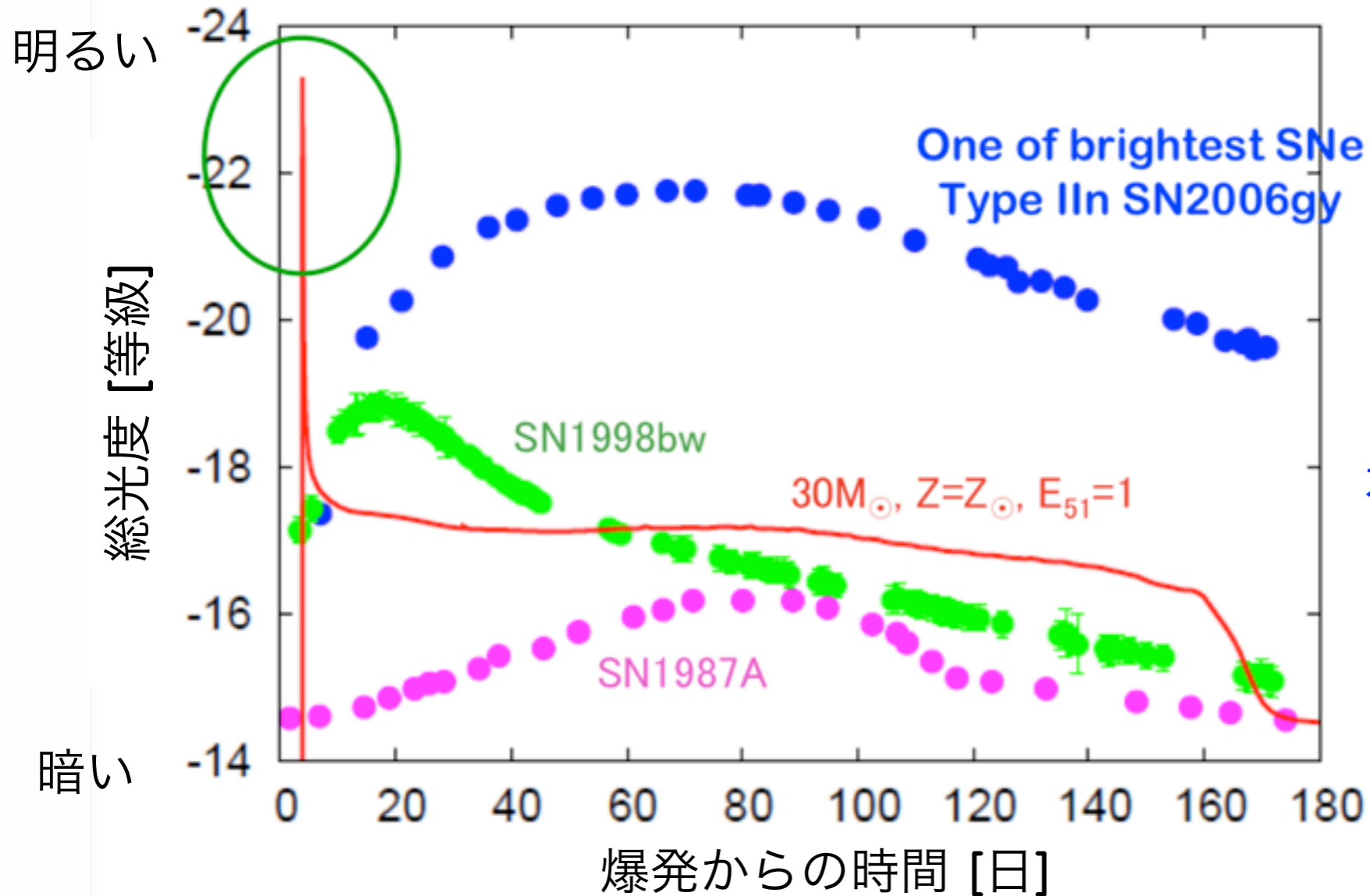
この後のplateau phase (~>週)が  
これまで見えている“超新星”



# 超新星 Shock Breakoutは非常に明るい

SN 2006gy (z=0.02: Smith+2008, Kawabata+2009)

-  $M_R \sim -22$  ( $M(^{56}\text{Ni}) \sim 15M_{\odot}$  or CSM interaction)



- X線 ~ UVにピーク
- 継続時間が数時間
- > 観測例はわずか3例

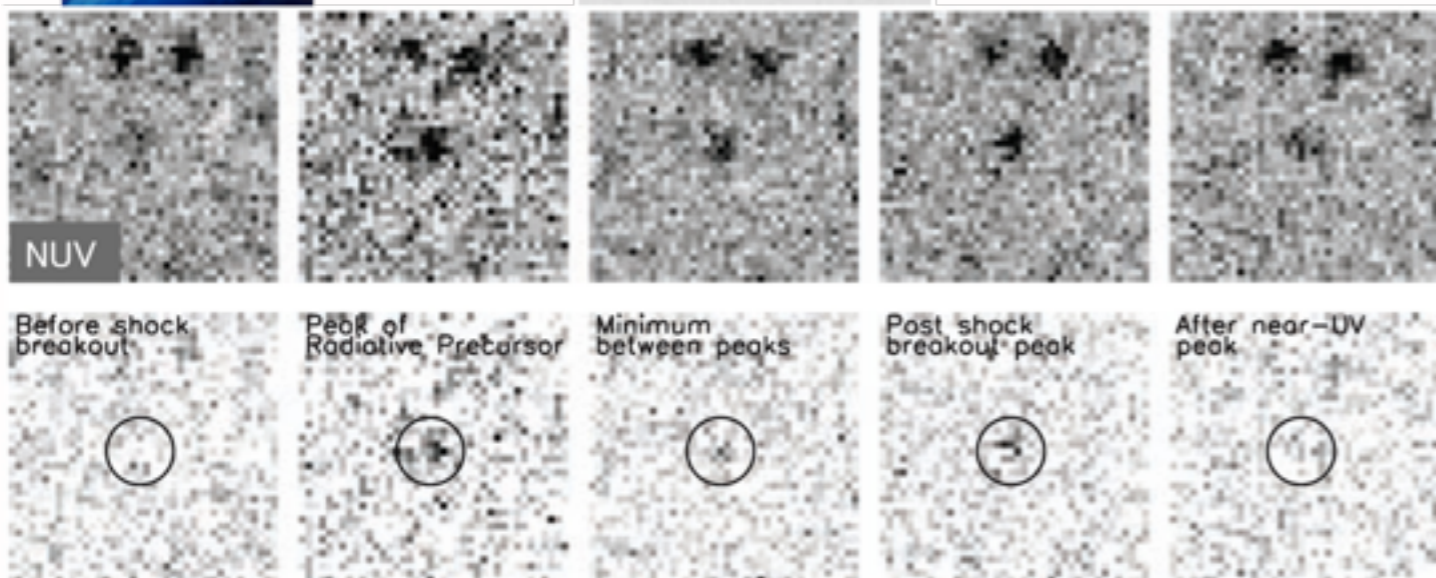
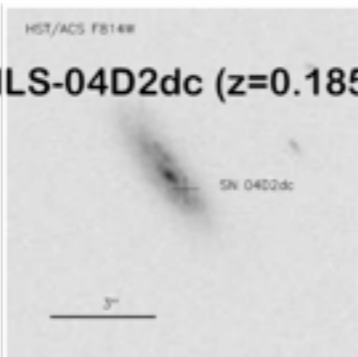
木曾シュミット望遠鏡/KWFC

- 可視光での初検出
- 精度の高い観測で親星の性質を議論

8m級望遠鏡なら赤方偏移1を超えるものでも検出可能 --> 星形成の歴史

すばる/Hyper Suprime-Camでのサーベイ

木曾とすばるの相補性

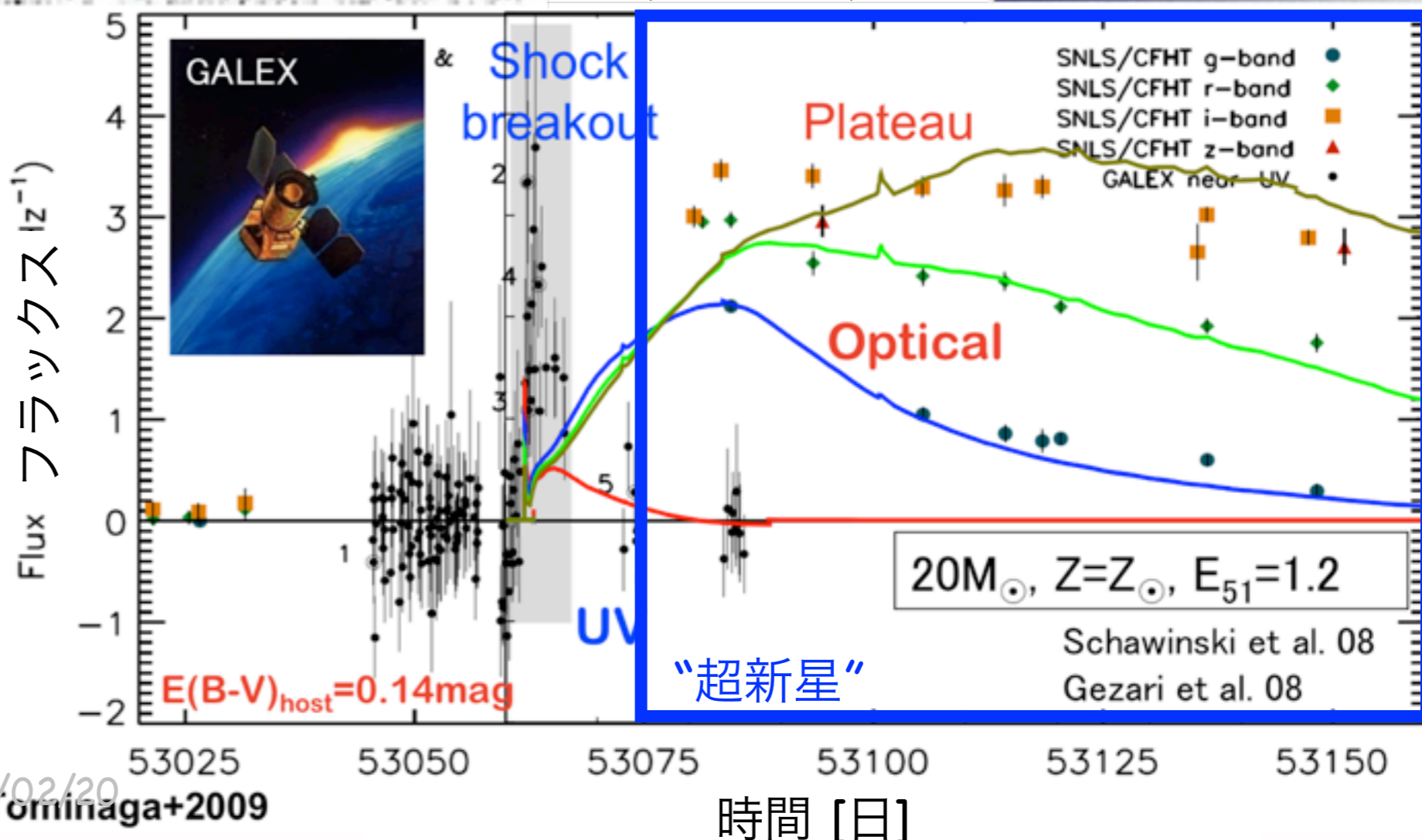


25日

# 検出例@紫外線

SNLS-04D2dc@z=0.19

GALEX衛星による  
偶然の観測



# 木曾超新星サーベイ

KISS = Kiso SuperNova Survey



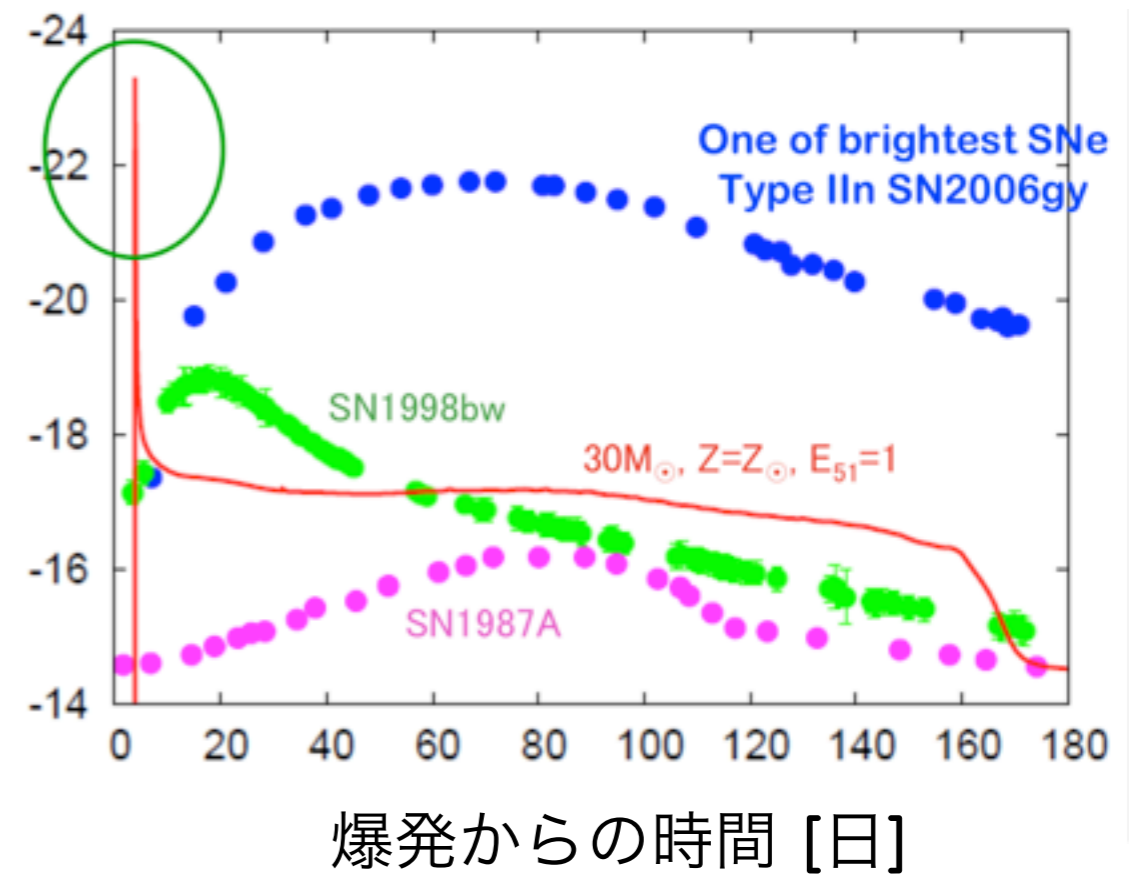
超新星の爆発機構や親星の性質を探るべく、

超新星爆発直後(<数時間)の光の検出に

重点を置いたサーベイを行う。

- 1時間おきに同じ領域を3-5回
- 1日100平方度、同じ視野を毎日観測
- 1ヶ月あたり: ~数10個の超新星(距離~200Mpc)
- 数年で1個のshock breakout検出(?)

総光度 [等級]



# まとめ

- 木曾シュミット望遠鏡(105cm)は1974年初観測以来、  
共同利用望遠鏡として定常的に運用
- モザイクCCDカメラの開発は、すばる望遠鏡の広視野カメラ、SDSSへ
- 新超広視野カメラKWFCを開発、4平方度の視野を達成
- KWFCを用いた大規模観測を2012/04より開始
  - 銀河面変光星探査: セファイド変光星を用いた銀河系構造の解明
  - 超新星探査: 超新星爆発直後の観測による親星、爆発機構の解明