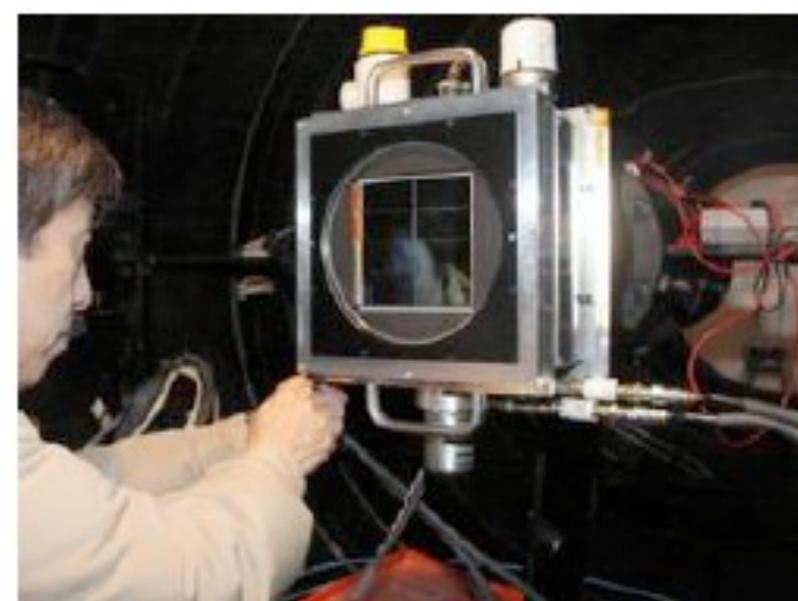


# 木曾観測所105cmシュミット望遠鏡

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



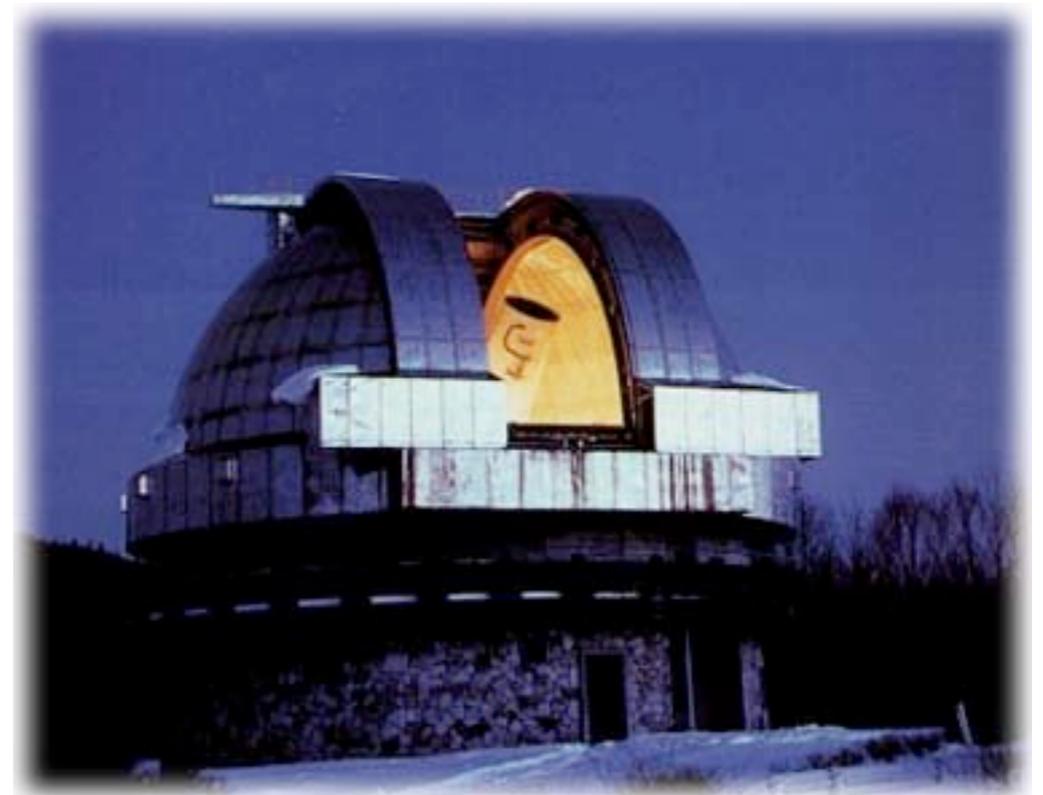
諸隈 智貴 (東京大学・天文学教育研究センター)

+ 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
- 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/>

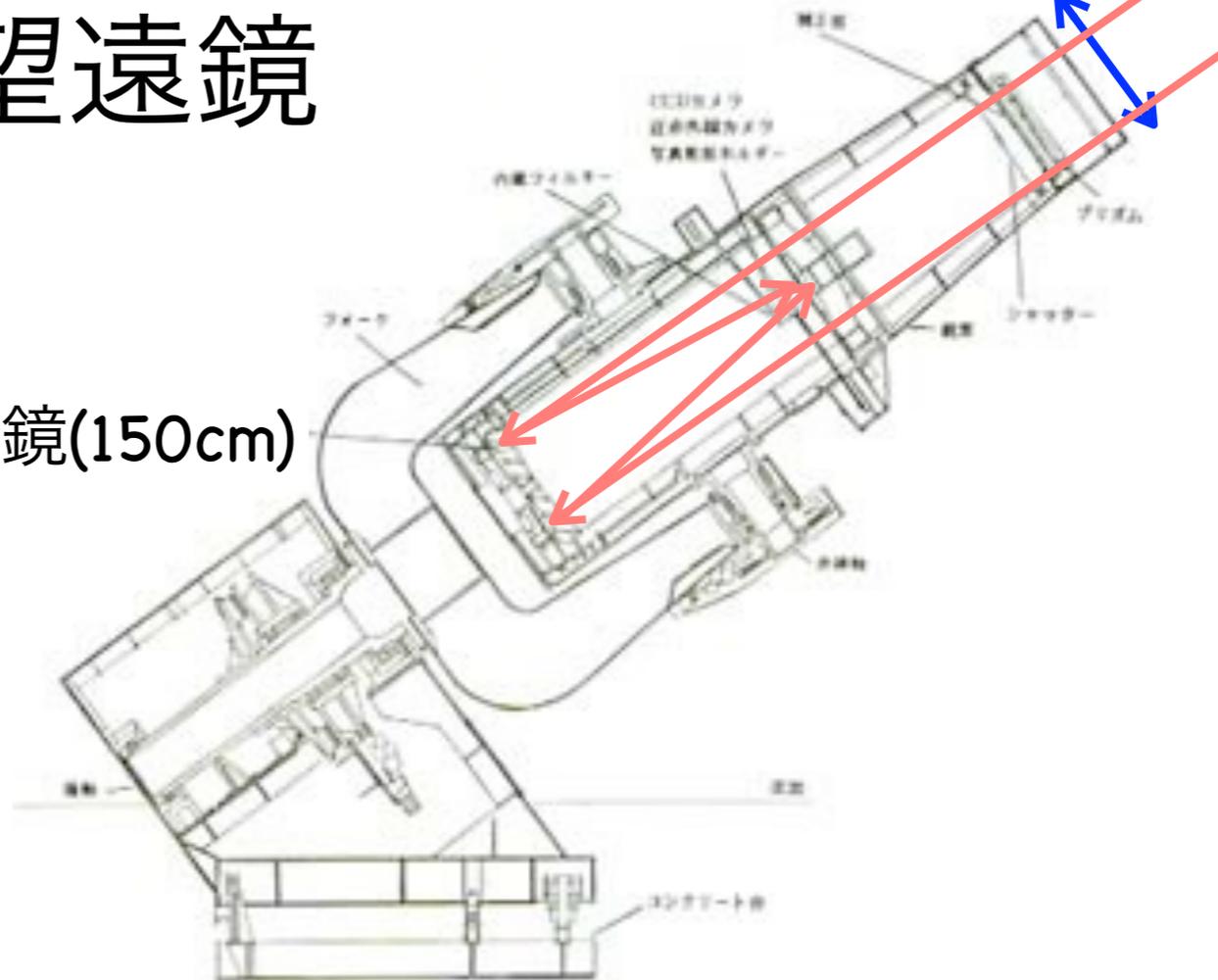


# 105cmシュミット望遠鏡

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<br>[cm] | 主鏡<br>[cm] | 焦点<br>距離<br>[cm] | F 比        | 視野<br>[deg]      | Plate<br>[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)



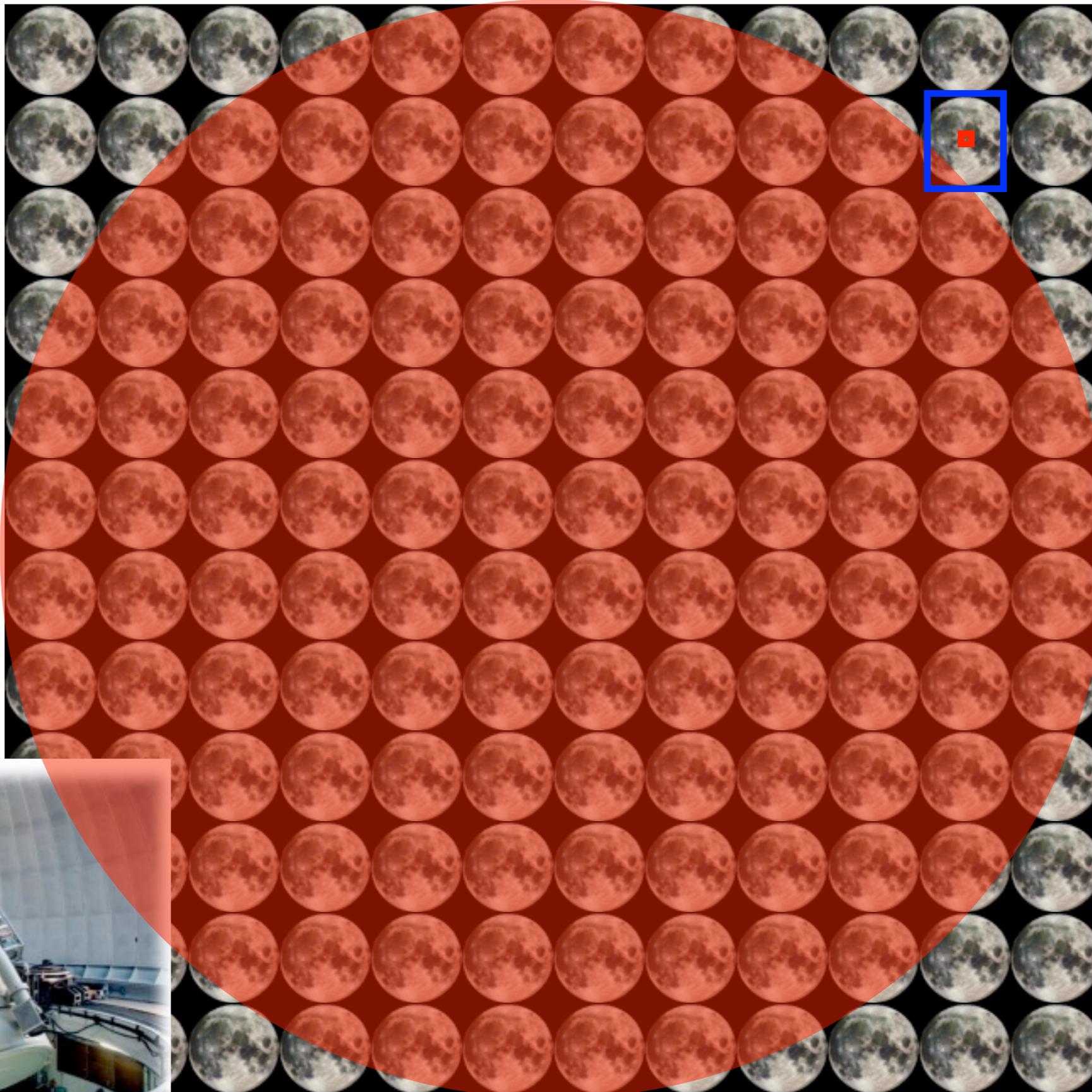
30分角



すばる望遠鏡(8.2m)  
Suprime-Cam

| 望遠鏡                | 補正板<br>[cm] | 主鏡<br>[cm] | 焦点<br>距離<br>[cm] | F 比 | 視野<br>[deg] | Plate<br>[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 |

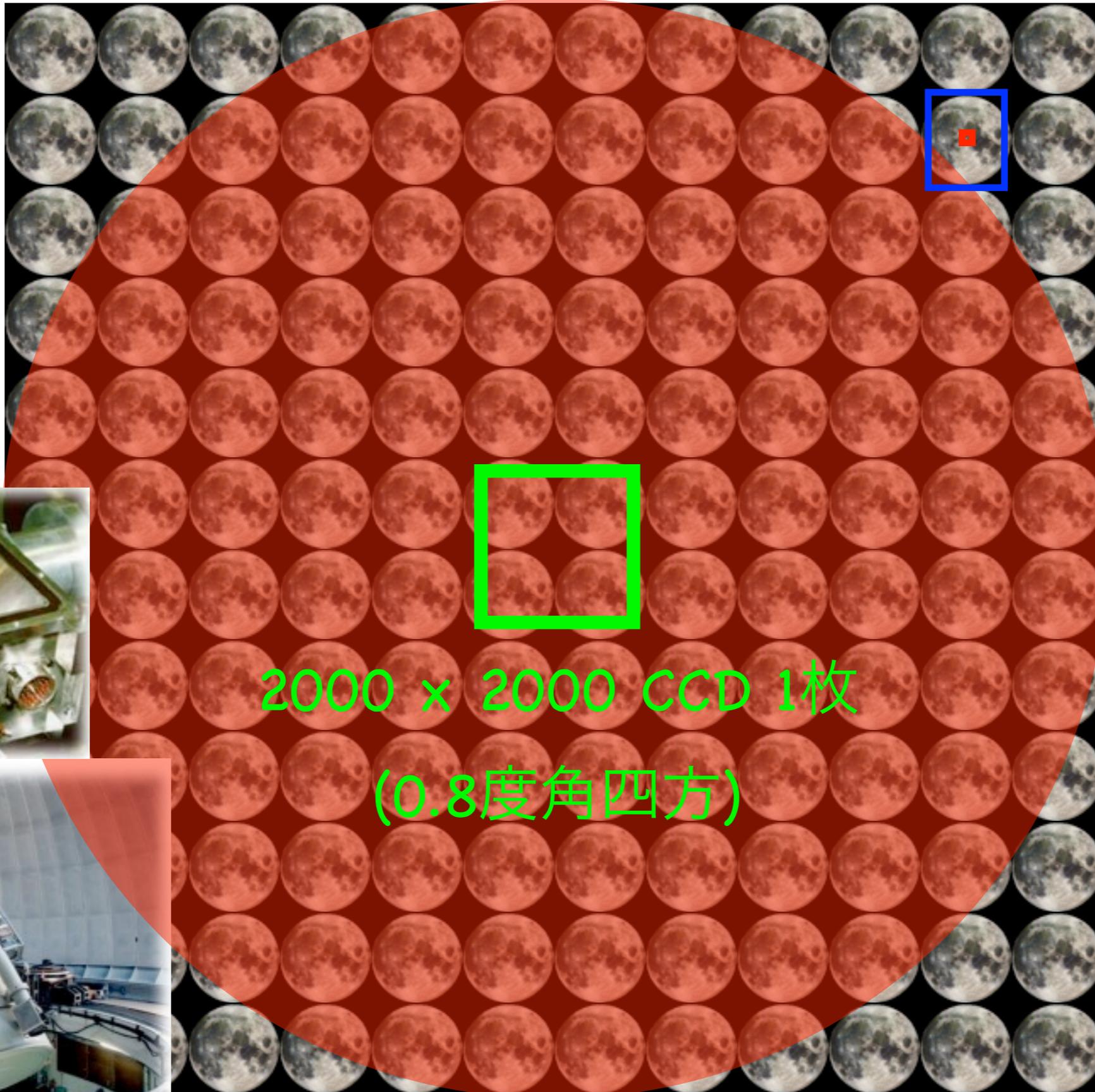
# 105cm シュミット望遠鏡



6度角



# 105cm シュミット望遠鏡 + 2kCCD

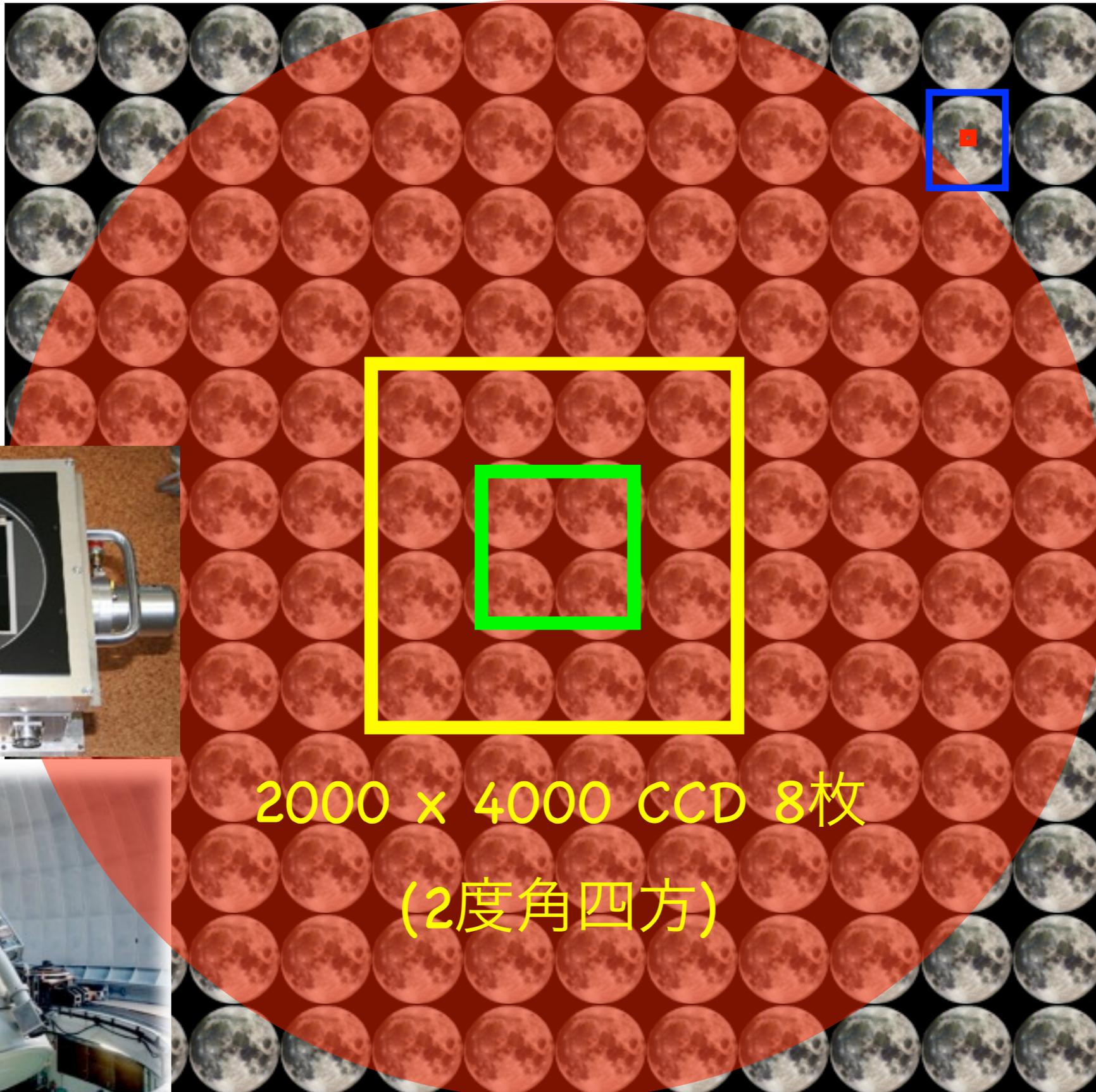


6度角

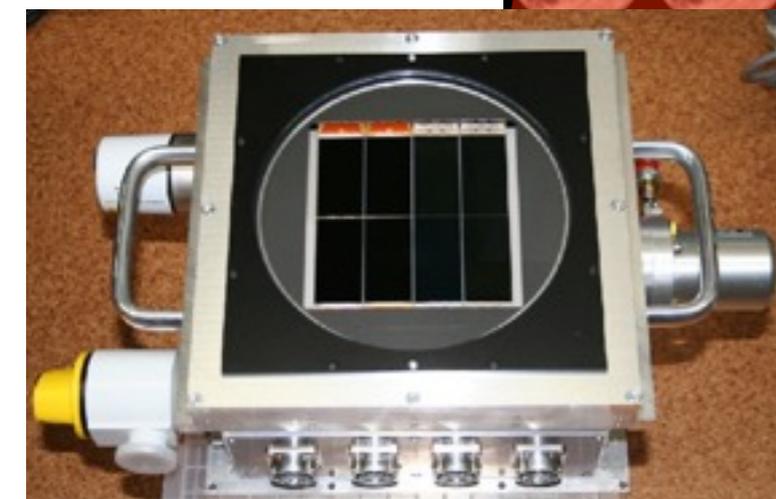
2000 x 2000 CCD 1枚  
(0.8度角四方)



# 105cm シュミット望遠鏡 + KWFC



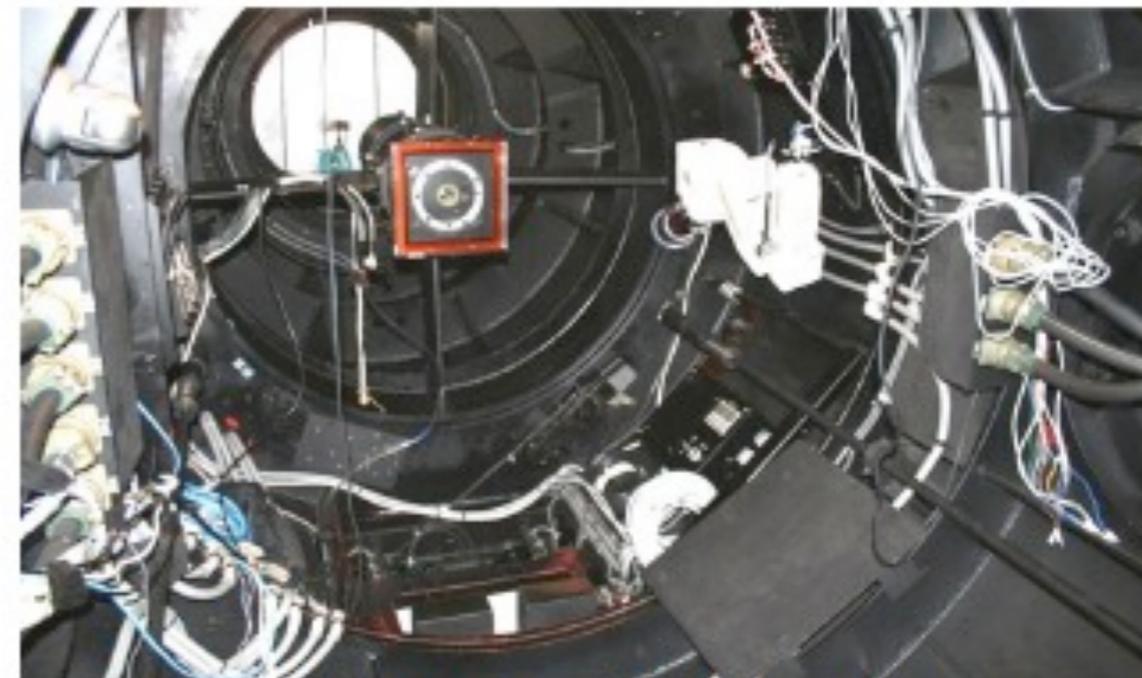
6度角



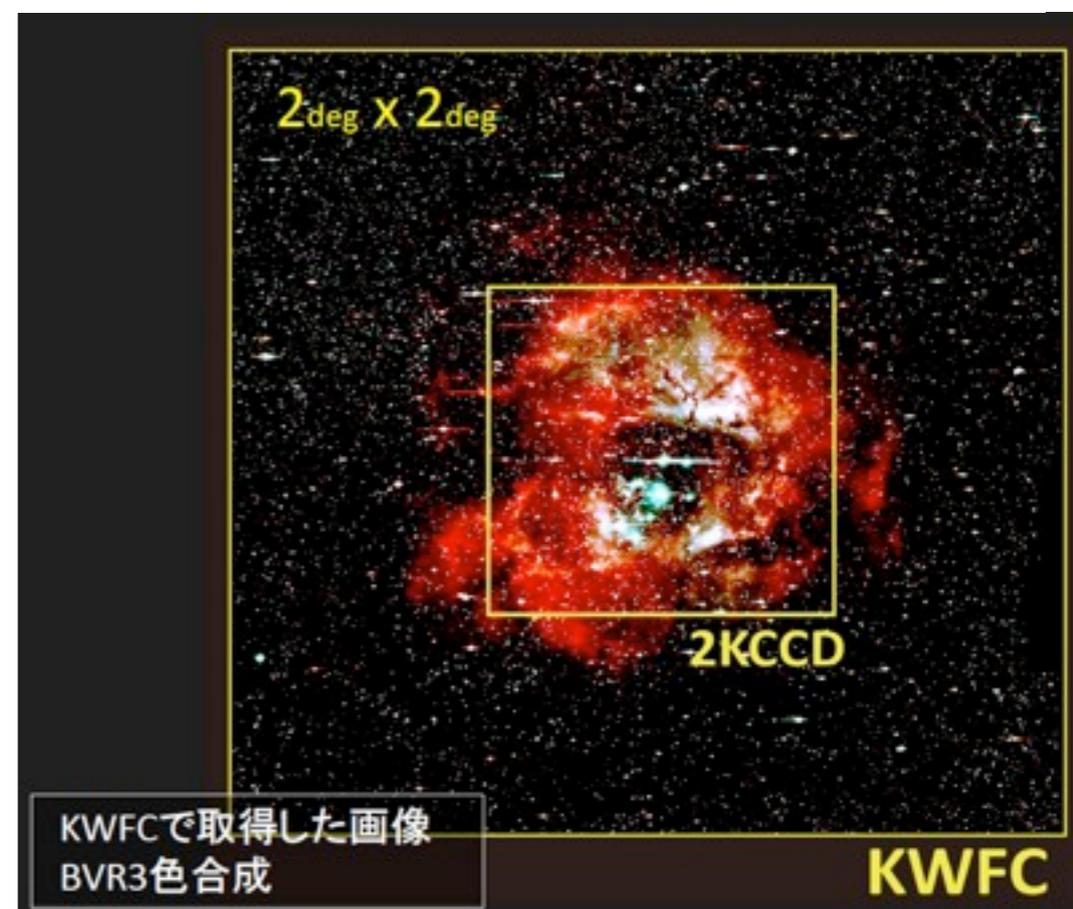
# 超広視野カメラ Kiso Wide Field Camera (KWFC)

- 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

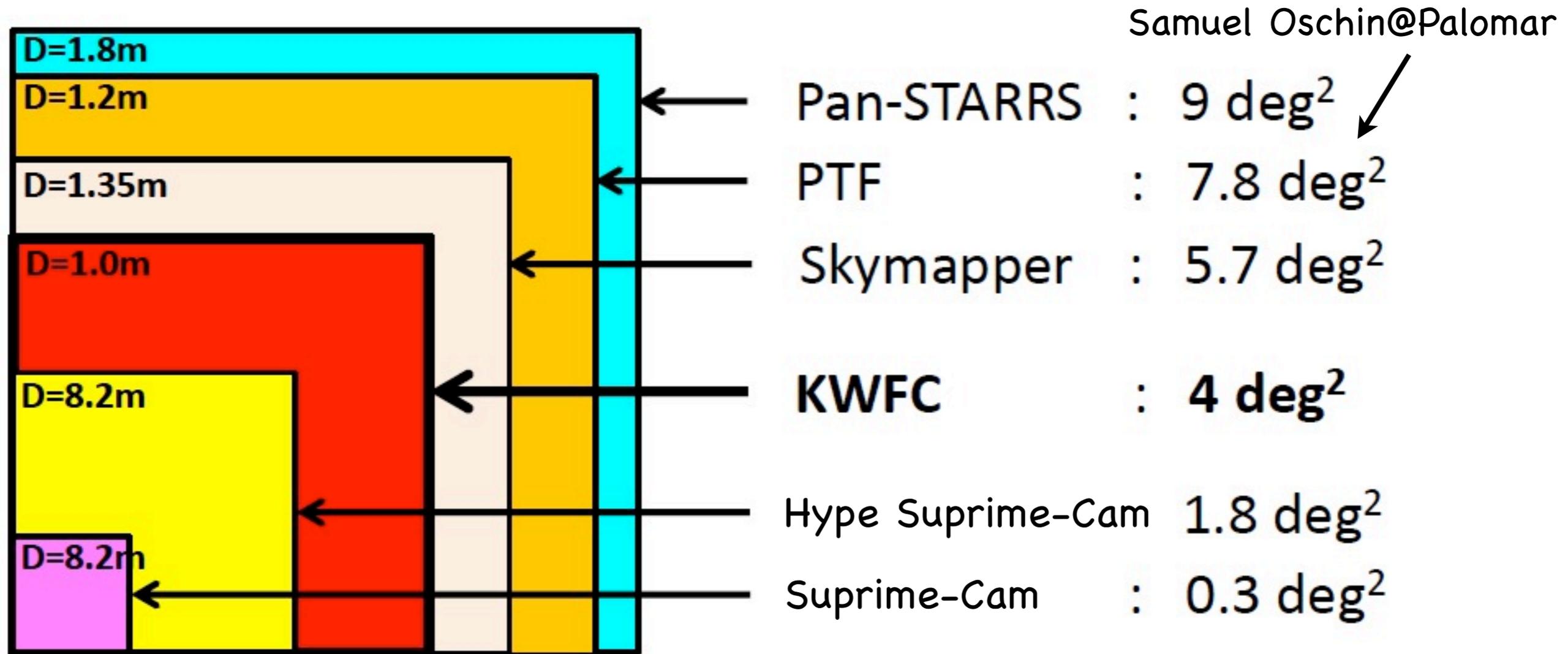
フィルター交換機構



シュミット望遠鏡焦点部とロボットアーム



# Kiso Wide Field Camera (KWFC)



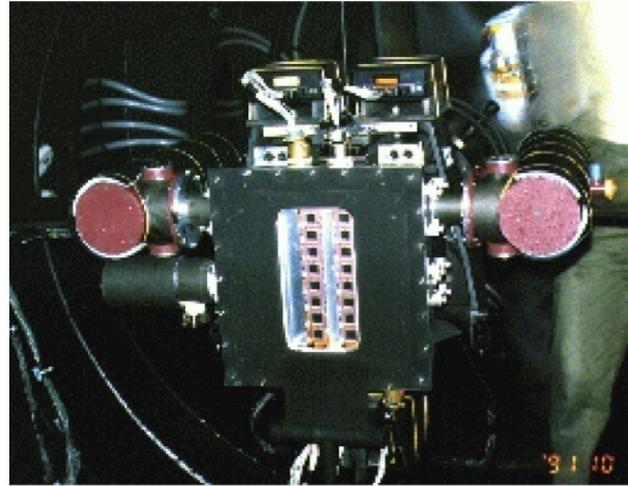
KWFCは世界最大級の広視野カメラ

©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

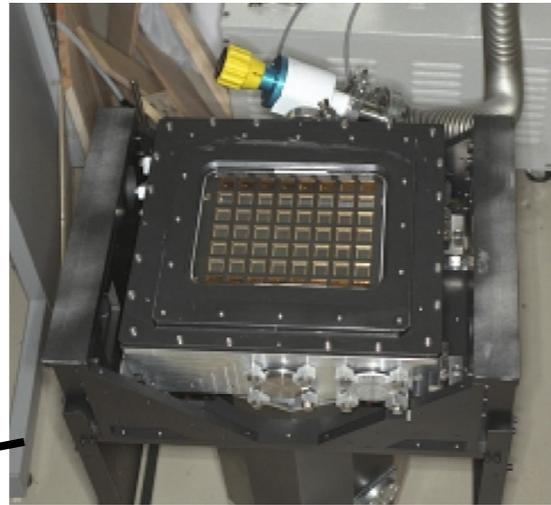


1991

モザイクCCDカメラ2号機

ラスカンパナス 1m

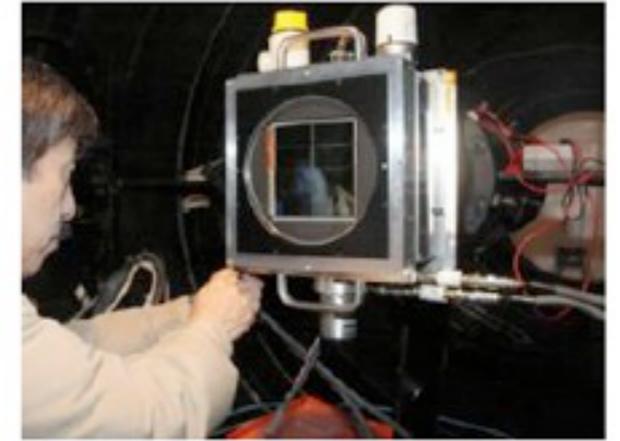
ウィリアムハーシェル4.2m



1994

KWFC

木曾シュミット



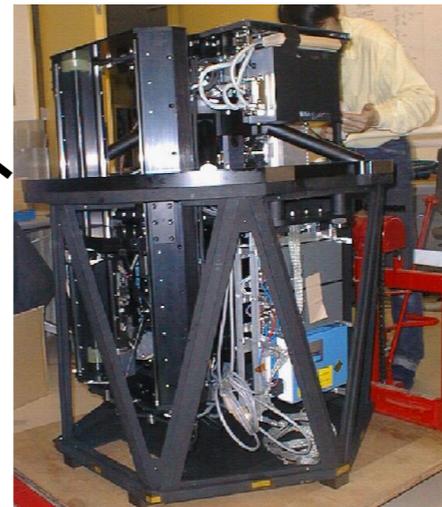
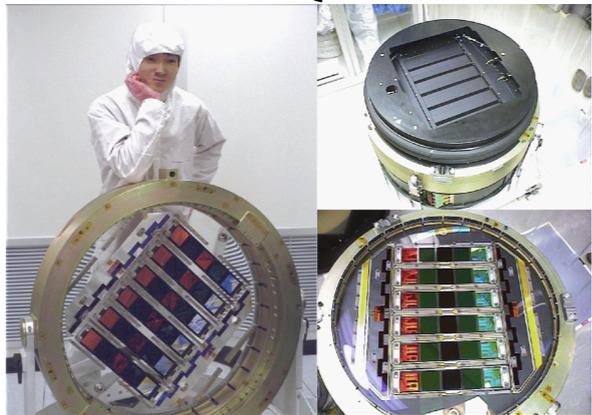
2010



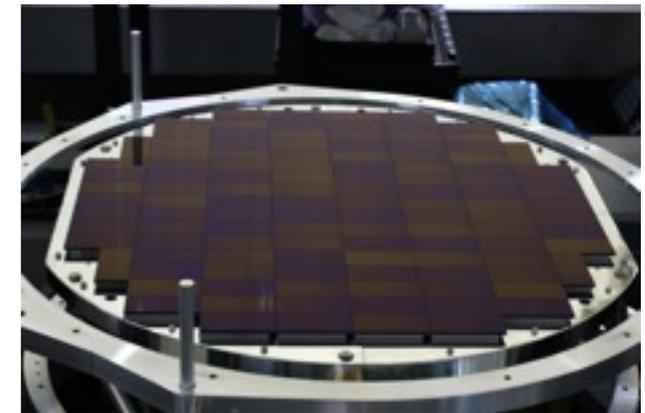
2012

1998 1999

SDSS 2.5-m imager  
2000x2000x30,  
2000x400x24



8.2m Subaru Suprime-Cam  
(2000x4000x8)

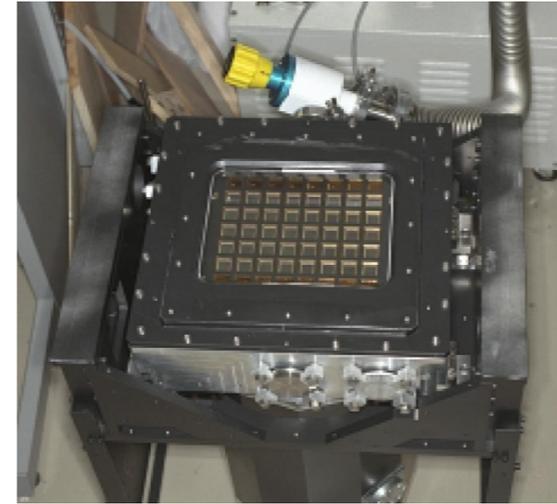


8.2m Subaru  
Hyper Suprime-Cam  
(2000x4000x116)

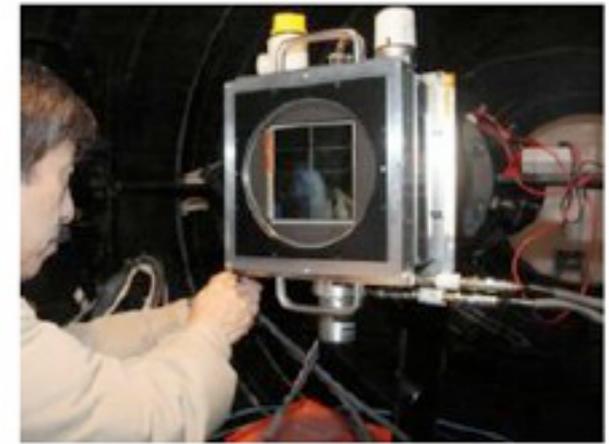
# 木曾からすばる、SDSSへ、再び木曾へ...

- 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



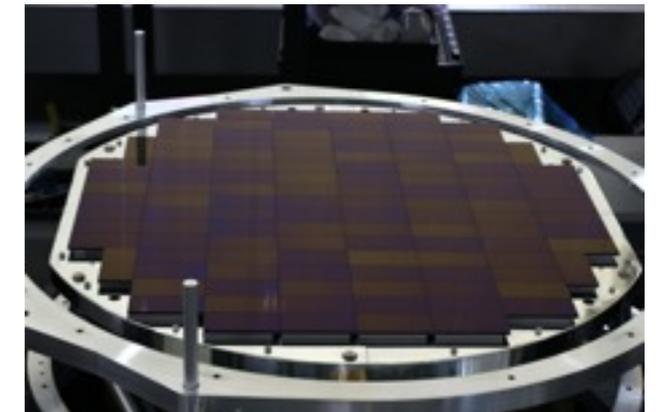
モザイクCCDカメラ2号機



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。

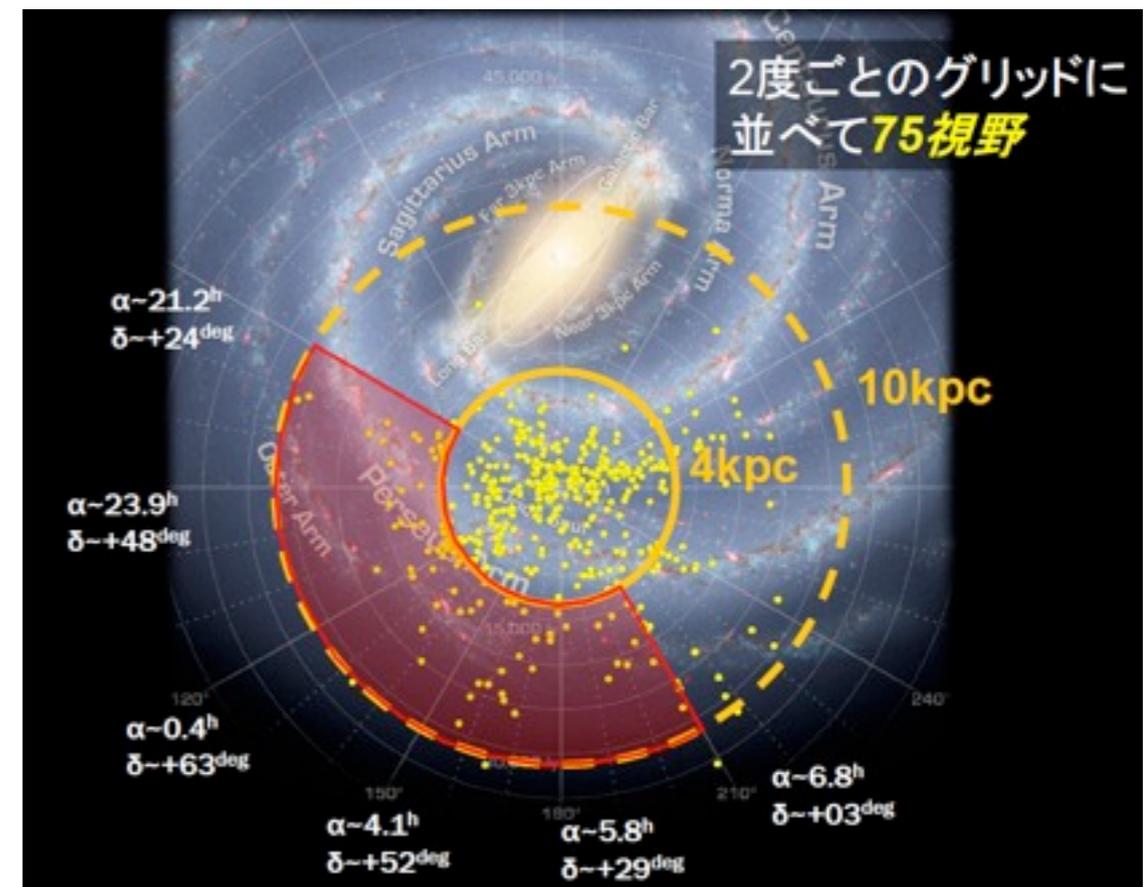


# 銀河面サーベイ

## 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

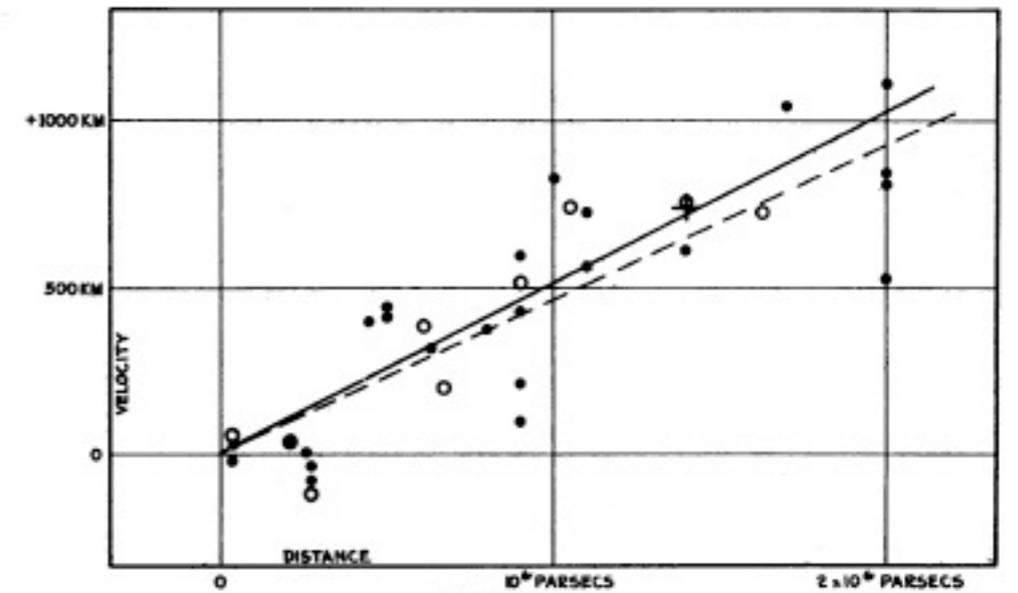


FIGURE 1

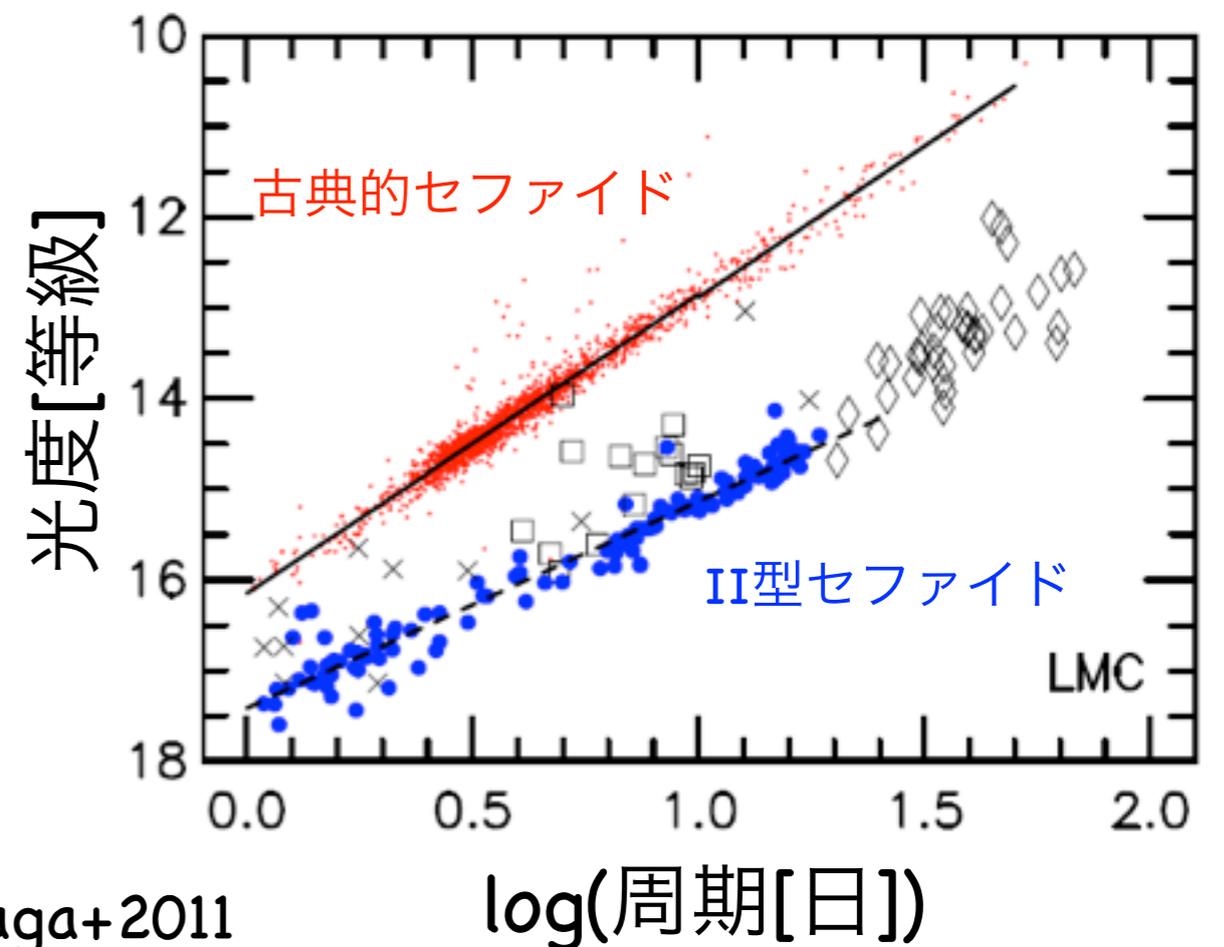
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

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



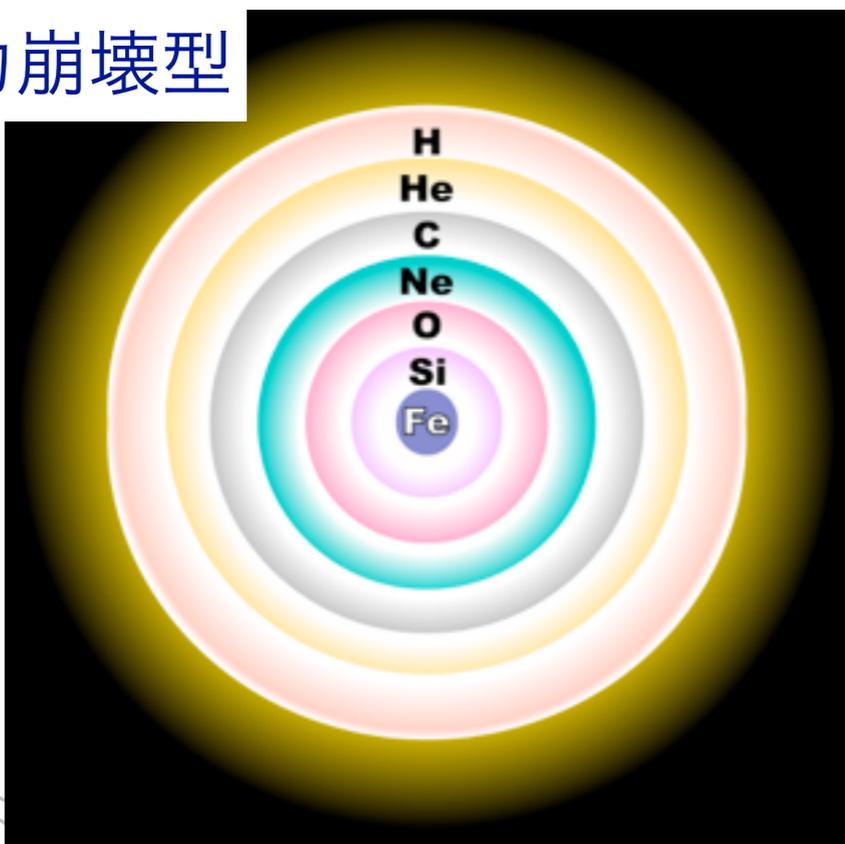
# 木曾超新星サーベイ

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

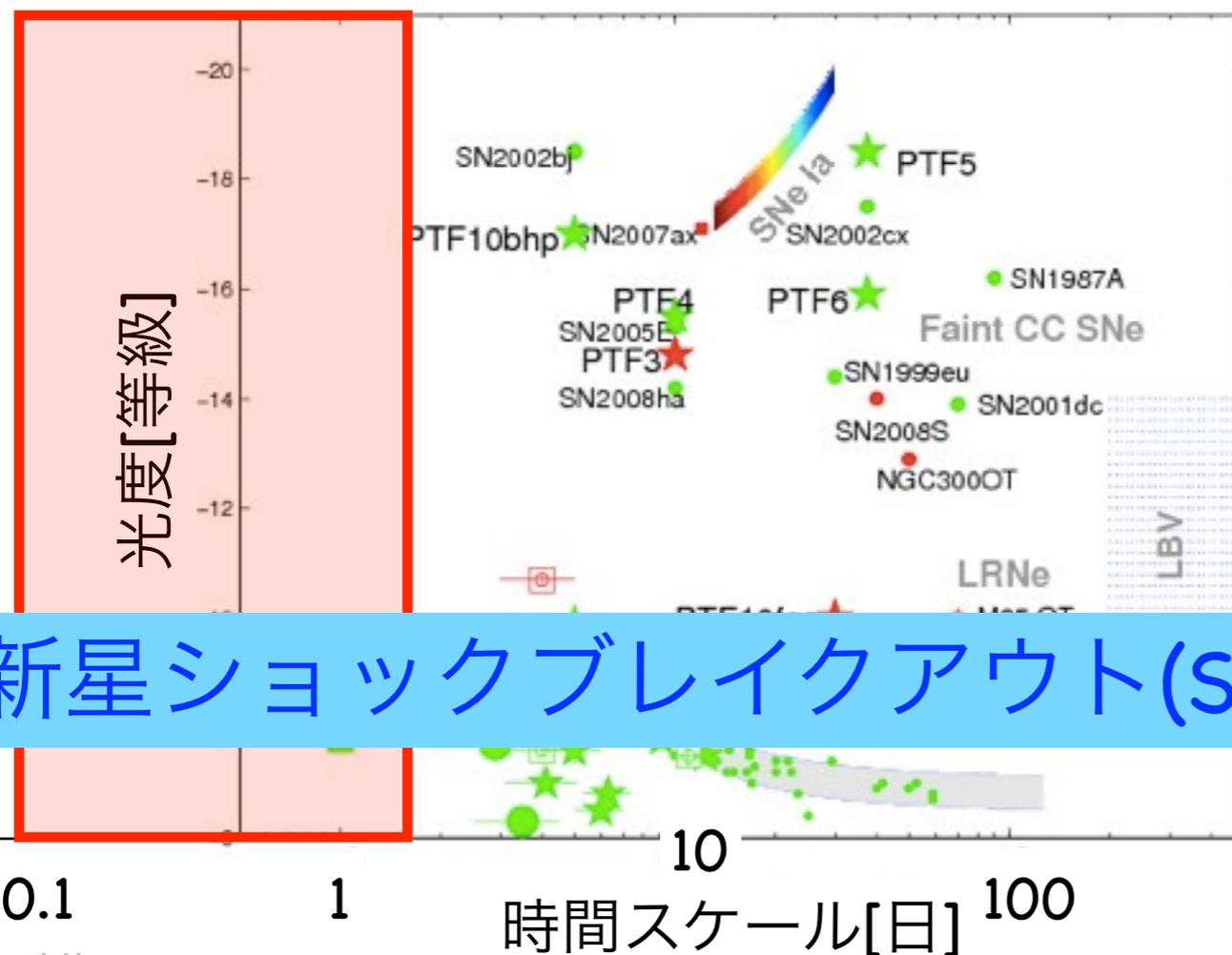
KISS = Kiso SuperNova Survey



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



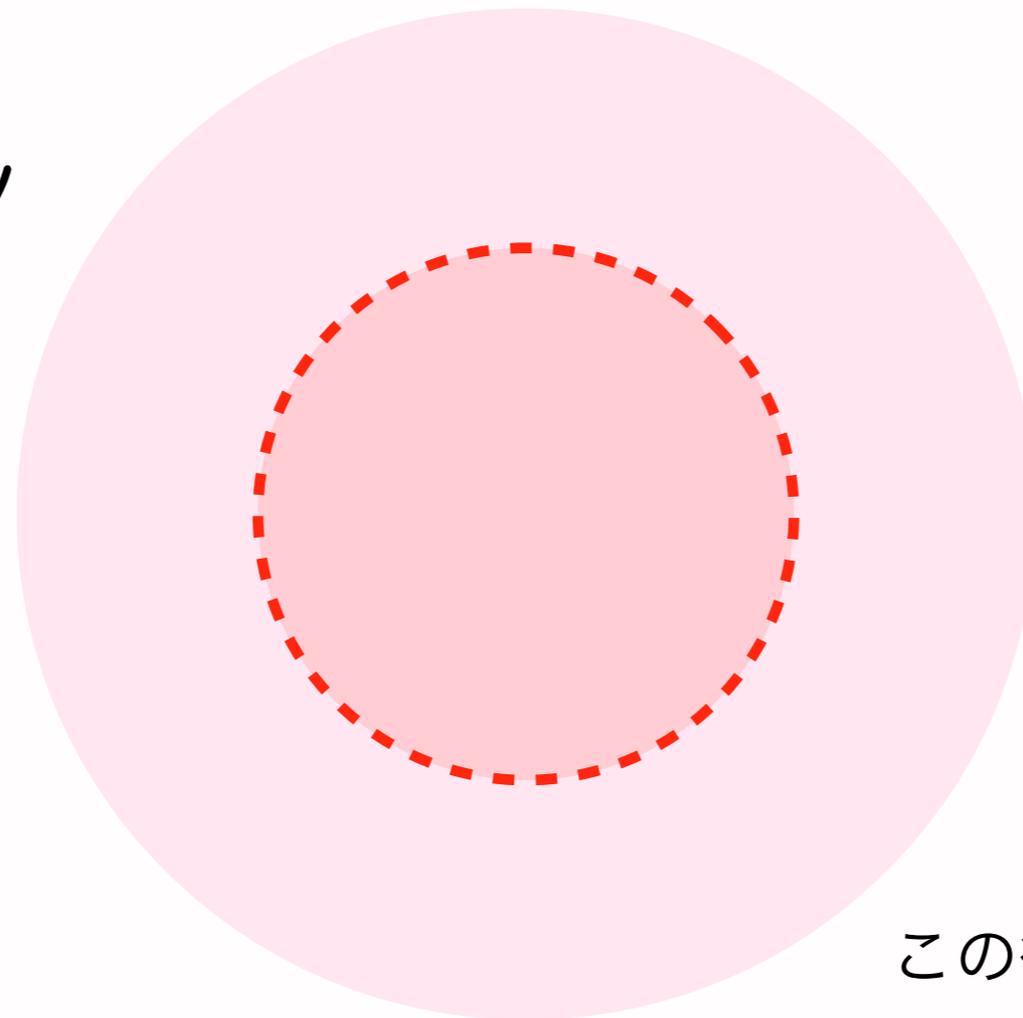
SN 1987A@大マゼラン雲(d=48.5kpc)

# 超新星 Shock Breakout

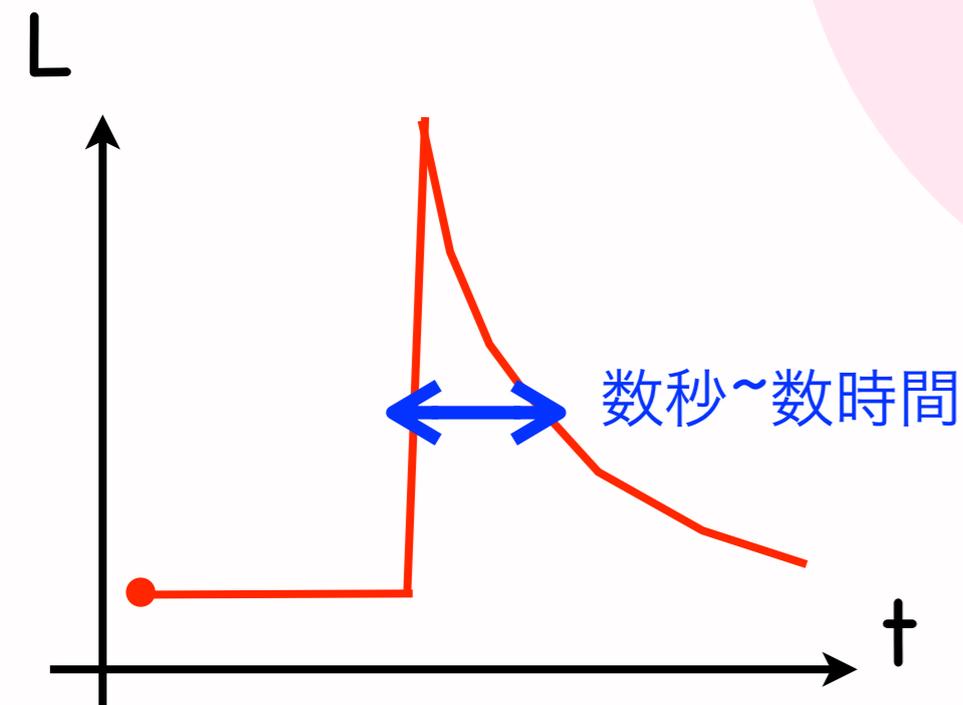
重力崩壊後、中心部で衝撃波

--> 衝撃波が星表面を通過する際に、非常に明るく輝く

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



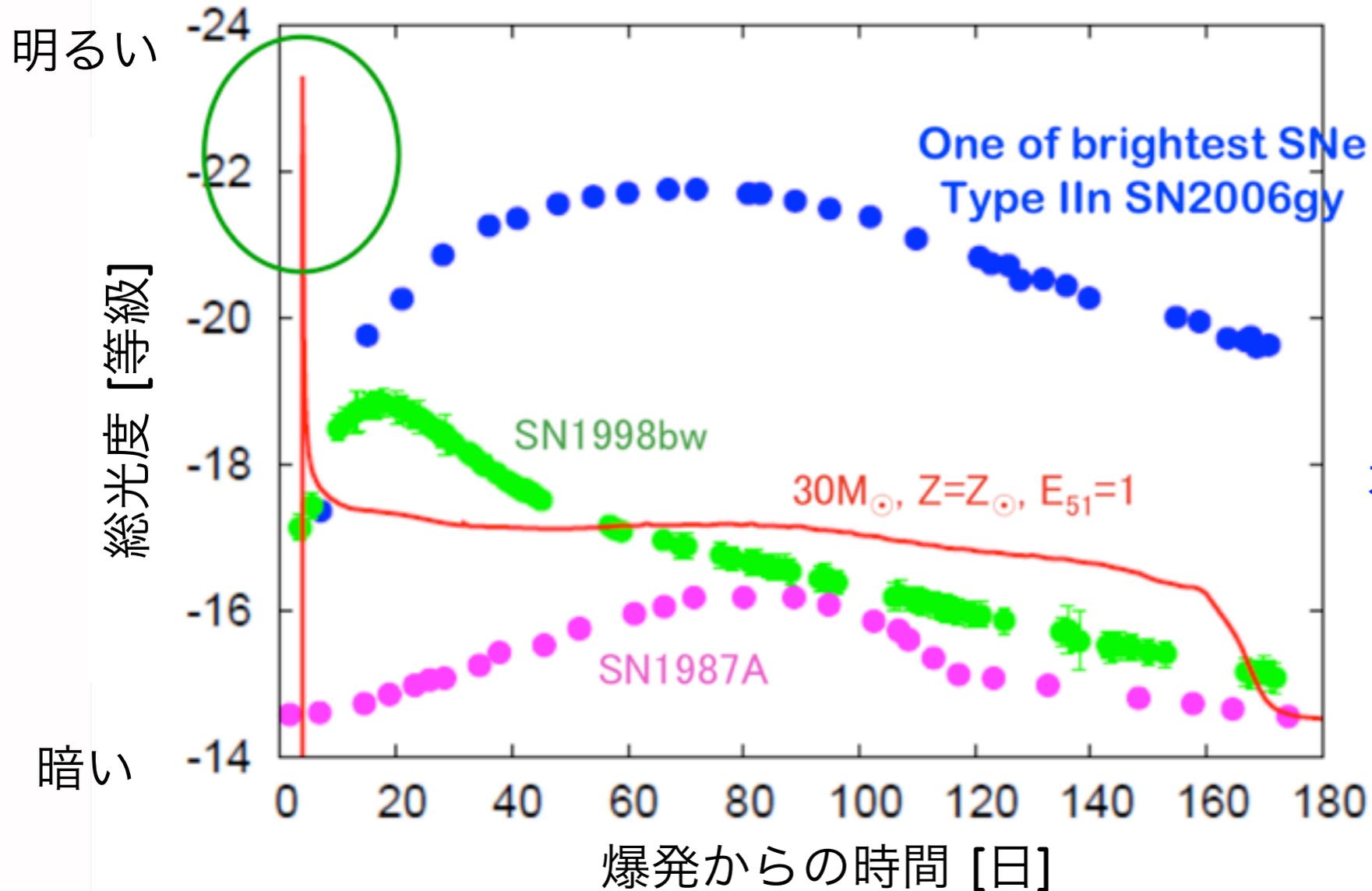
この後のplateau phase (~>週)が  
これまで見えている“超新星”



# 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

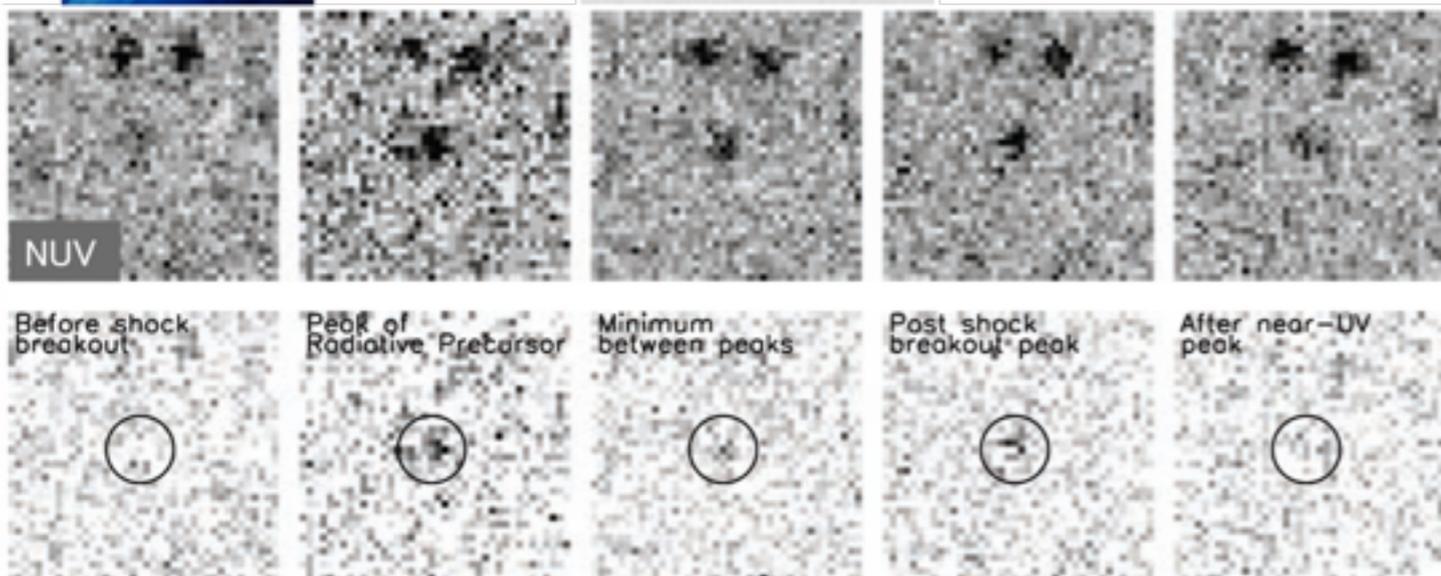
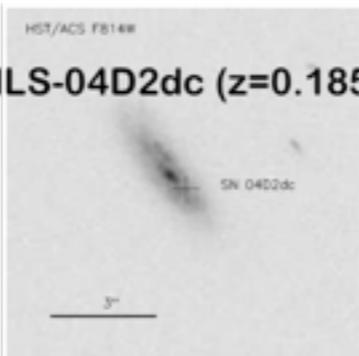
木曾シュミット望遠鏡/KWFC

- 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

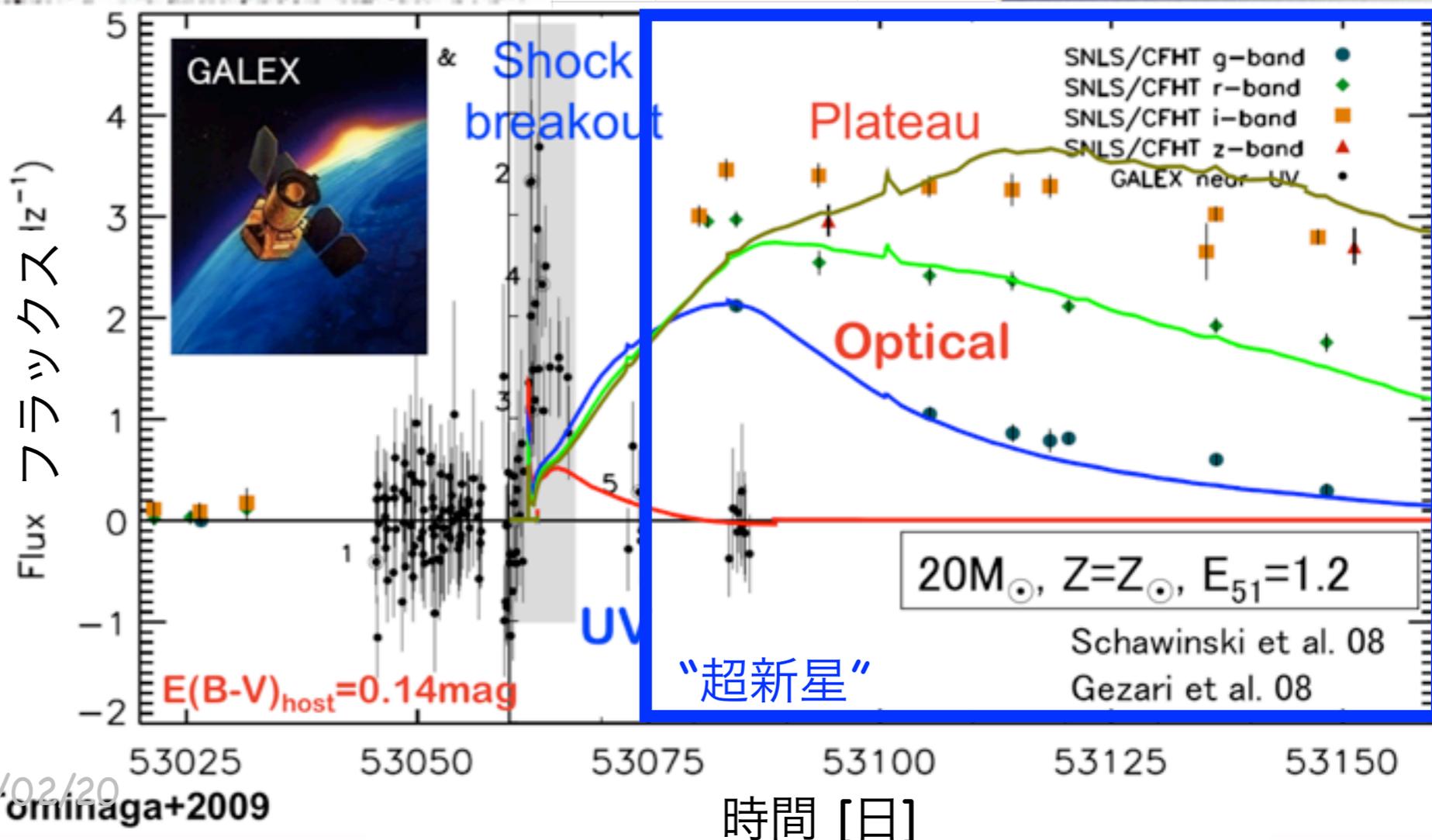
木曾とすばるの相補性



# 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



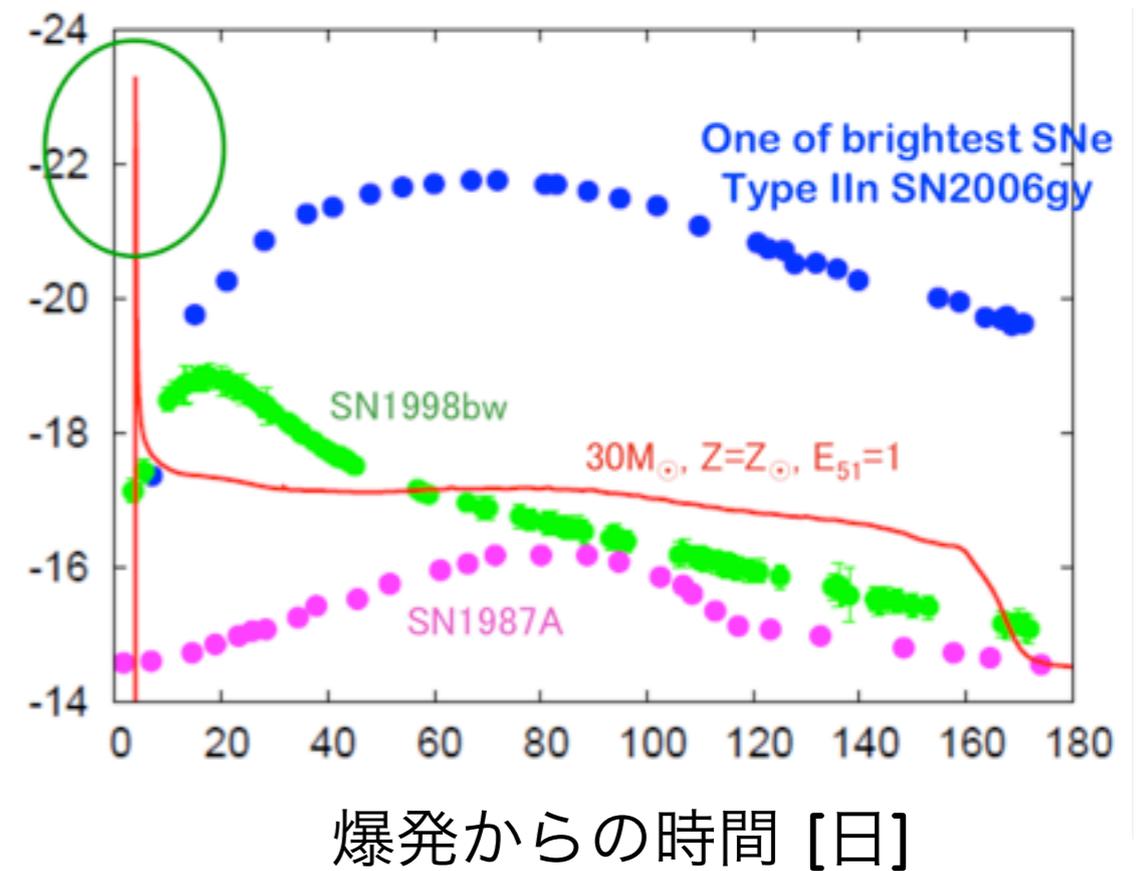
超新星の爆発機構や親星の性質を探るべく、

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