

Optical Observations of Supernovae and Transients

超新星爆発・突発天体の光学観測

Masaomi Tanaka

(National Astronomical Observatory of Japan)

田中雅臣

- **Optical Observations of Supernovae**
- **Current Status of Transient Survey**
- **KISS: Kiso Supernova Survey**
- **Synergy with Gravitational Astronomy**

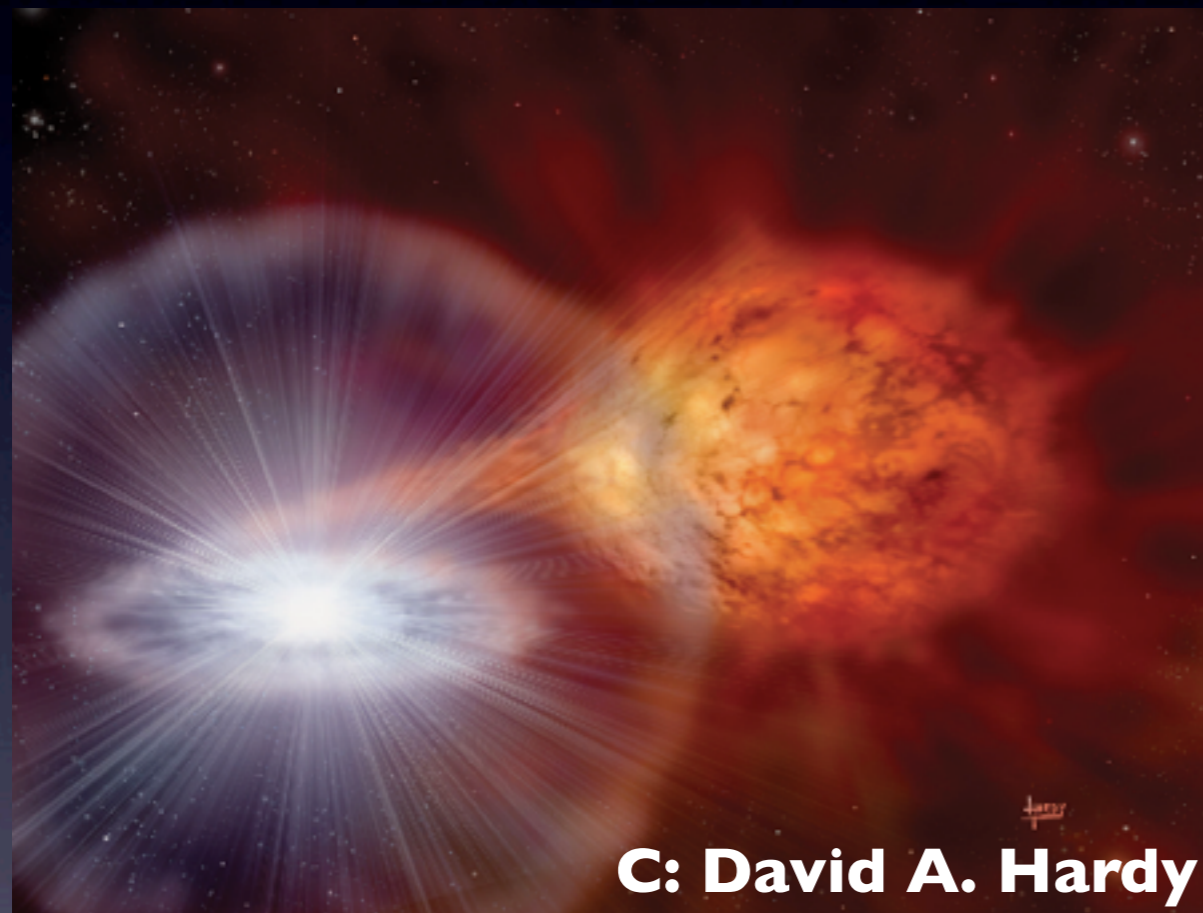


Supernova



- **End point of stellar life**
- **Origin of elements**
 - Stellar nucleosynthesis
 - Explosive nucleosynthesis
- **Huge kinetic energy**
 - Injection to ISM
 - Cosmic ray acceleration
- **Gravitational wave source**
- **Neutrino source**
 - SN 1987A (in LMC)

Thermonuclear supernovae



**C+O white dwarf with
~Chandrasekhar mass**

Nuclear energy

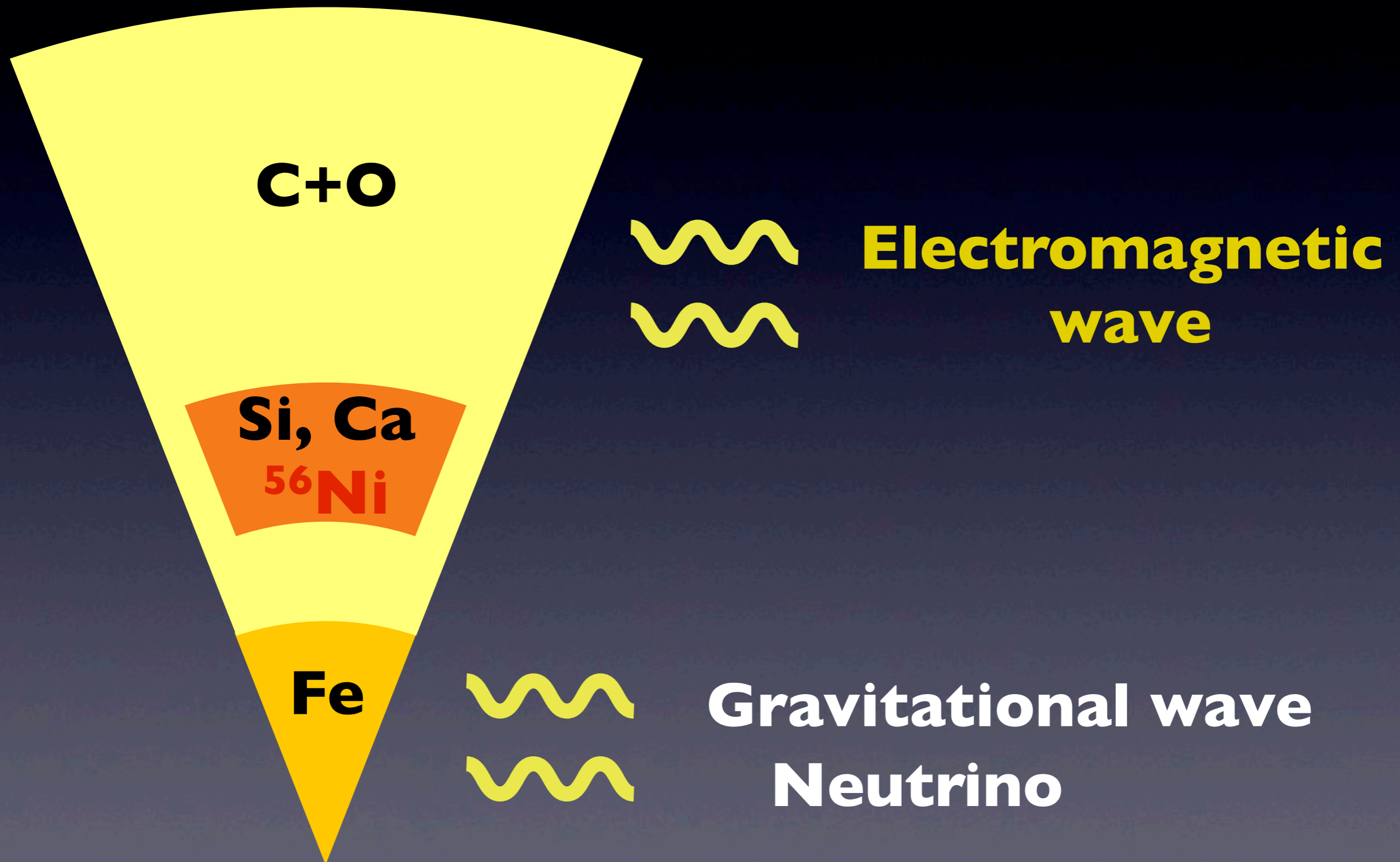
Core-collapse supernovae



Massive star collapse

Gravitational energy

Message from Core-collapse Supernovae



Magnitude

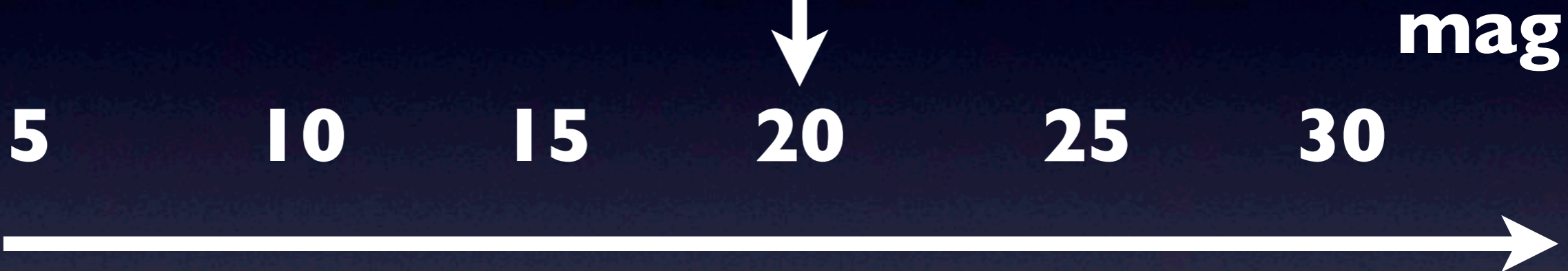
$$m = -2.5 \log_{10}(F_\nu) - 48.6$$

$$= -2.5 \log_{10} \left(\frac{F_\nu}{3631 \times 10^{-23} \text{ erg s}^{-1} \text{ Hz}^{-1} \text{ cm}^{-2}} \right)$$

SN

NS-NS merger

@ 200 Mpc



imaging

eye

1m 2m

8m

space

spectroscopy

1m 2m

8m

space

世界のおもな光学赤外線望遠鏡

口径 (m)	呼び名[分類*1]	焦点種別*2	所属；設置場所	標高 (m)	竣工 年*
16.2 (8.1×4)	超大型望遠鏡 VLT[IF]	Cs 13, Ns 15, Cd	ESO ; Cerro Paranal, チリ	2 635	1998, 2000
14.1 (10×2)	ケック Keck I&II [IF, M]*4	Keck I (Cs/Ns : 15 & 25), Keck II (Cs/ Ns : 15 & 40)	WMKO ; Mauna Kea, 米	4 123	1993, 1996
11.8 (8.3×2)	巨大双眼望遠鏡 LBT[IF]	P 1.4, Ns 15	アリゾナ大など ; Mt. Graham, 米	3 050	2005, 2006
10.4	カナリー大型望遠鏡 GTC [M]*4	Cs/Ns 15	IAC ; ORM, スペイン	2 400	2009
9.2	南アフリカ大型望遠鏡 SALT[M]*5	P 4.2	南ア天文台 ; Sutherland, 南ア	1 767	2004
9.2	ホビー・エバリー HET[M]*5	P 4.7	MacDonald Obs. ; Mt. Fowl- kes, 米	2 026	1996
8.2	すばる	P 1.87*6, Cs 12.2, Ns 12.6 & 13.6	国立天文台 ; Mauna Kea, 米	4 139	1999
8.0	ジェミニ北 Gemini North*7	Cs 16	Gemini Obs. ; Mauna Kea, 米	4 200	1999
8.0	ジェミニ南 Gemini South*7	Cs 16	Gemini Obs. ; Cerro Pachon, チリ	2 737	2002
6.5	バーデ(マゼラン 1)	Cs 15, Ns 11	OCIW ; Cerro Manqui, チリ	2 282	2000
6.5	クレイ(マゼラン 2)	Cs 15, Ns 11	OCIW ; Cerro Manqui, チリ	2 282	2002
6.5	MMT*8	Cs 5.4 & 9 & 15	Steward Obs. ; Mt. Hopkins, 米	2 606	2000
6.0	大型経緯台望遠鏡 BTA	P 4, Ns 30	Special Ap. Obs., ロシア	2 070	1976
6.0	LZT (Large Zenith Telescope)	P 1.5	Liquid Mirror Observatory, カナダ	395	2003
5.08	ヘール Hale	P 3.3, Cs 9 & 16 & 30	Palomar Obs. ; Mt. Palomar, 米	1 900	1948
4.2	ディスカバリーチャンネル 望遠鏡	P 2.3, Cs 6.1	Lowell ; Happy Jack, 米	2 361	2012
4.2	ハーシェル WHT	P 2.8, Cs 10.9, Ns 11.1	ING ; ORM, スペイン	2 370	1987
4.1	南天望遠鏡 SOAR	Cs 16, Ns 16	CTIO ; Cerro Pachon, チリ	2 738	2004
4.0	可視赤外線サーベイ望遠 鏡 VISTA	Cs 3	ESO ; Cerro Paranal, チリ	2 600	2008
4.0	ブランコ Blanco	P 2.87, Cs 8 & 14.5 & 30	CTIO ; Cerro Tololo, チリ	2 399	1974
4.0	LAMOST	F 5	中国科学院国家天文台 ; 興隆 (天文台), 中国	950	2010
3.89	イギリス・オーストラリア AAT	P 3.3, Cs 8 & 15, Cd 36	AAO ; Siding Springs, 豪	1 164	1974
3.81	メイヨール Mayall	P 2.7, Cs 8 & 28.5, Cd 160	NOAO ; Kitt Peak, 米	2 064	1973
3.8	英国赤外線 UKIRT[IR]	Cs 9 & 35, Cd 20	JAC ; Mauna Kea, 米	4 194	1979
3.67	AEOS	Cd 200, Ns 32	空軍研究所 ; Hale Akala, 米	3 058	1997
3.58	ガリレオ TNG	Ns 11	イタリア ; ORM, スペイン	2 370	1998
3.58	新技術望遠鏡 NTT	Ns 11	ESO ; La Silla, チリ	2 375	1989
3.58	カナダ・フランス・ハワイ CFHT	P 3.8, Cs 8 & 36, Cd 110	CFH Corp. ; Mauna Kea, 米	4 200	1979
3.57	ESO 3.6 m	Cs 8 & 35	ESO ; La Silla, チリ	2 400	1977
3.5	ウィーン WIYN	Cs 13.7, Ns 6.3	WIYN Inc. ; Kitt Peak, 米	2 096	1994
3.5	アパッチポイント 3.5 m	Ns 10	ARC ; Apache Point, 米	2 788	1993
3.5	マックス・プランク MPI 3.5 m	P 3.48 & 3.93, Cs 10 & 35, Cd 35	MPIfA ; Calar Alto, スペイン	2 168	1985
3.5	スターファイア Starfire 3.5 m	Cd 90, Ns 5.6	Kirtland 空軍研究所, 米	91	1997
3.05	シェーン Shane	P 5, Cs 17, Cd 36	Lick Obs. ; Mt. Hamilton, 米	1 283	1959
3.0	NASA の赤外線望遠鏡 IRTF[IR]	Cs 37, Cd 120	NASA ; Mauna Kea, 米	4 160	1979

>8m telescope
~ 14

>3m telescope
~ 40

日本のおもな光学赤外線望遠鏡

口径 (m)	所 属	設置場所	焦点種別と F 値*1	標高(m)	竣工年*2	備 考
8.2	国立天文台ハワイ観測所	米国マウナケア	P 1.87, Cs 12.2, Ns 12.6 & 13.6	4 139	1999	すばる
2.0	兵庫県立大学西はりま天文台	兵庫県佐用町	Cs & Ns 12, Ns 5	436	2004	なゆた
1.88	国立天文台岡山天体物理観測所	岡山県浅口市	N 4.9, Cs 18, Cd 29	370	1960	
1.8	名古屋大学太陽地球環境 研究所	ニュージーランド・ マウントジョン	P 3	1 031	2004	MOA
1.6	北海道大学大学院理学研究院	北海多名寄市	Cs & Ns 12.6	161	2011	ピリカ
1.5	県立ぐんま天文台	群馬県高山村	Cs & Ns 12	875	1999	
1.5	広島大学東広島天文台	広島県東広島市	Cs & Ns 12.2	503	1994	かなた
1.5	情報通信研究機構	東京都小金井市	Cs 18	84	1988	
1.4	名古屋大学理学部	南アフリカ・サザーランド	Cs 9.9	1 761	2000	IRSF, 赤外線用
1.3	京都産業大学神山天文台	京都府京都市	Cs & Ns 10	162	2009	荒木
1.3	宇宙科学研究所	神奈川県相模原市	Cs & Ns 18	115	1988	赤外線用
1.3	仙台市天文台	宮城県仙台市	Cs & Ns 10	165	2008	ひとみ
1.13	阿南市科学センター	徳島県阿南市	Cs 9.7	15	1999	
1.1	銀河の森天文台	北海道陸別町	Cs & Ns 8	369	1998	りくり
1.05	みさと天文台	和歌山県紀美野町	Cs 8	430	1995	
1.05*	東京大学木曾観測所	長野県木曾町	F 3.1	1 130	1974	シュミット望遠鏡
1.05	石垣島天文台	沖縄県石垣市	Cs & Ns 12	197	2006	むりかぶし
1.04	東京大学アタカマ天文台	チリ・アタカマ	Cs 12	5 640	2009	miniTAO
1.03	鳥取市さじアストロパーク	鳥取県鳥取市	N 4.3, Cs 6.7	397	1994	
1.01	美星天文台	岡山県井原市	Cs 12	420	1993	
1.0	鹿児島大学	鹿児島県薩摩川内市	Cs 12	550	2001	
1.0	美星スペースガードセンター	岡山県井原市	Cs 3	420	2001	
1.0	富山市天文台	富山県富山市	Cs & Ns 8	150	1997	
1.0	かわべ天文台	和歌山県日高川町	Cs 10	90	1995	
0.95	綾部市天文館 (パオ)	京都府綾部市	N 5, Cs 13.5	80	1995	
0.91	国立天文台岡山天体物理観測所	岡山県浅口市	Cs 13	370	1960	
0.9	姫路市宿泊型児童館 「星の子館」	兵庫県姫路市	N 5, Cs 16	71	1992	あさひララ
0.81	にしわき経緯度地球科学館	兵庫県西脇市	N 5, Cs 15	80	1993	
0.8	名古屋市科学館	愛知県名古屋市	Cs 10	45	2011	
0.75	栃木県子ども総合科学館	栃木県宇都宮市	N 4, Cs & Ns 10.7	110	1988	
0.75	日原天文台	島根県津和野町	N 3, Ns 12	255	1985	
0.75	北軽井沢駿台天文台	群馬県長野原町	P 3, Ns 12	1 111	1984	
0.65	県立ぐんま天文台	群馬県高山村	Cs 12	875	1999	
0.65	名古屋市科学館	愛知県名古屋市	N 5, Cs 13	44	1985	
0.65	京都大学飛驒天文台	岐阜県高山市	F 16	1 275	1972	屈折
0.6	東北大学	福島県飯館村	Cs 12, Cd 24	614	1999	
0.6	久万高原天体観測館	愛媛県久万高原町	Cs 8	620	1992	
0.6	兵庫県立大学西はりま天文台	兵庫県佐用町	Cs 12	436	1990	
0.6	ダイニックアストロパーク天究館	滋賀県多賀町	N 5, Cs 15	215	1987	
0.6	京都大学大宇陀観測所	奈良県宇陀市	Cs 8	389	1987	
0.6	京都大学飛驒天文台	岐阜県高山市	N 5.5, Cs 20	1 275	1960	
0.6	京都大学飛驒天文台	岐阜県高山市	Cs 53.7	1 275	1979	DST

8m: 1

2m: 1

1-2m: 22

How to discover supernovae

Galaxy survey

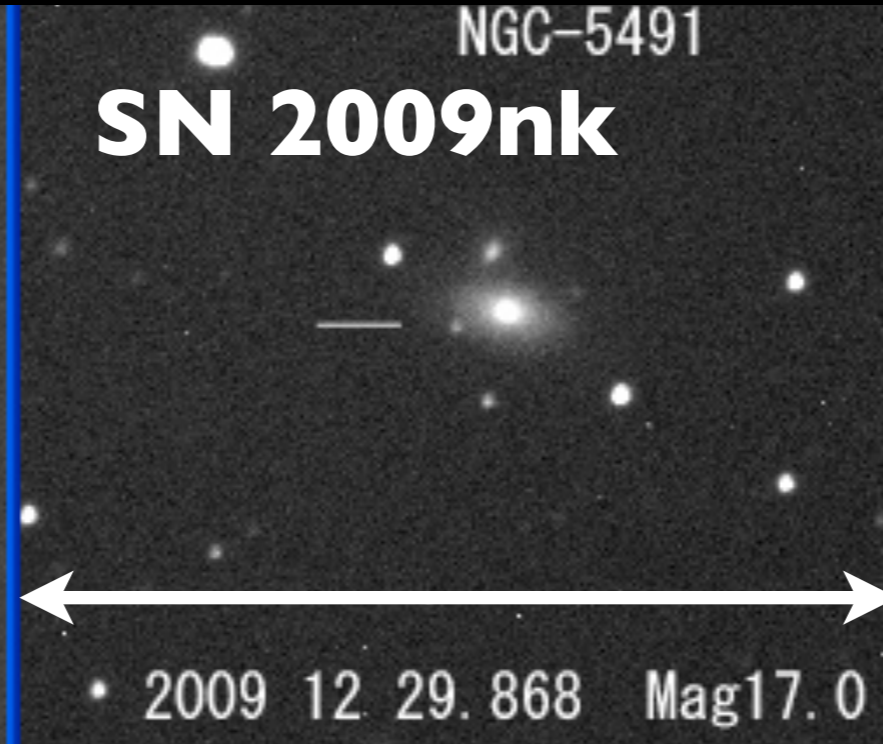
Blank field survey

SN rate: 1 / 100 yr / galaxy

100 galaxies => 1 / 1 yr

30,000 galaxies => 1 / 1 day

Galaxy survey



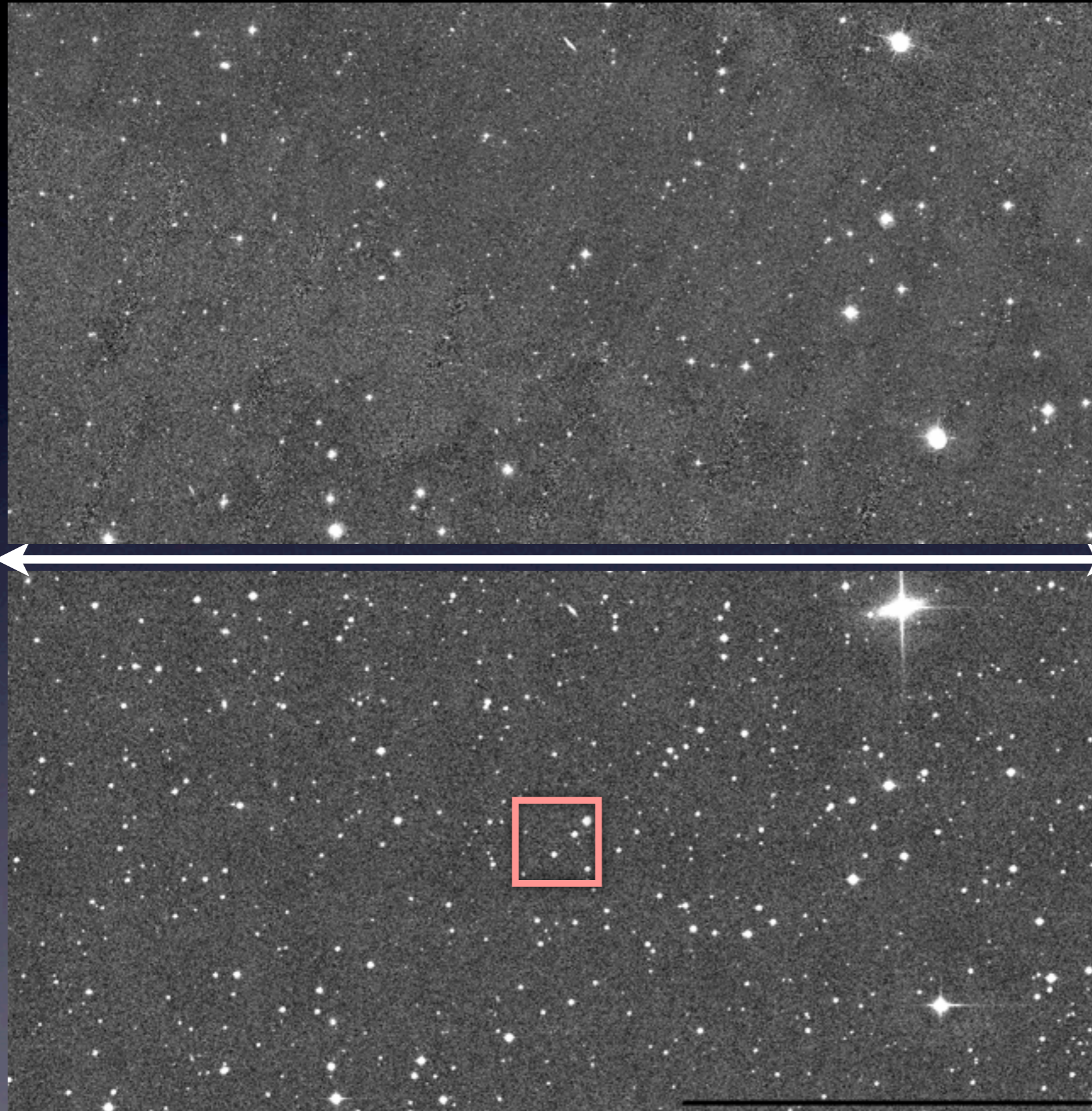
~ 10 arcmin



LOSS
Lick observatory
supernova survey
(75 cm)

CHASE
Chilean Automatic
Supernova Search
(50 cm x 4)

Blank field survey

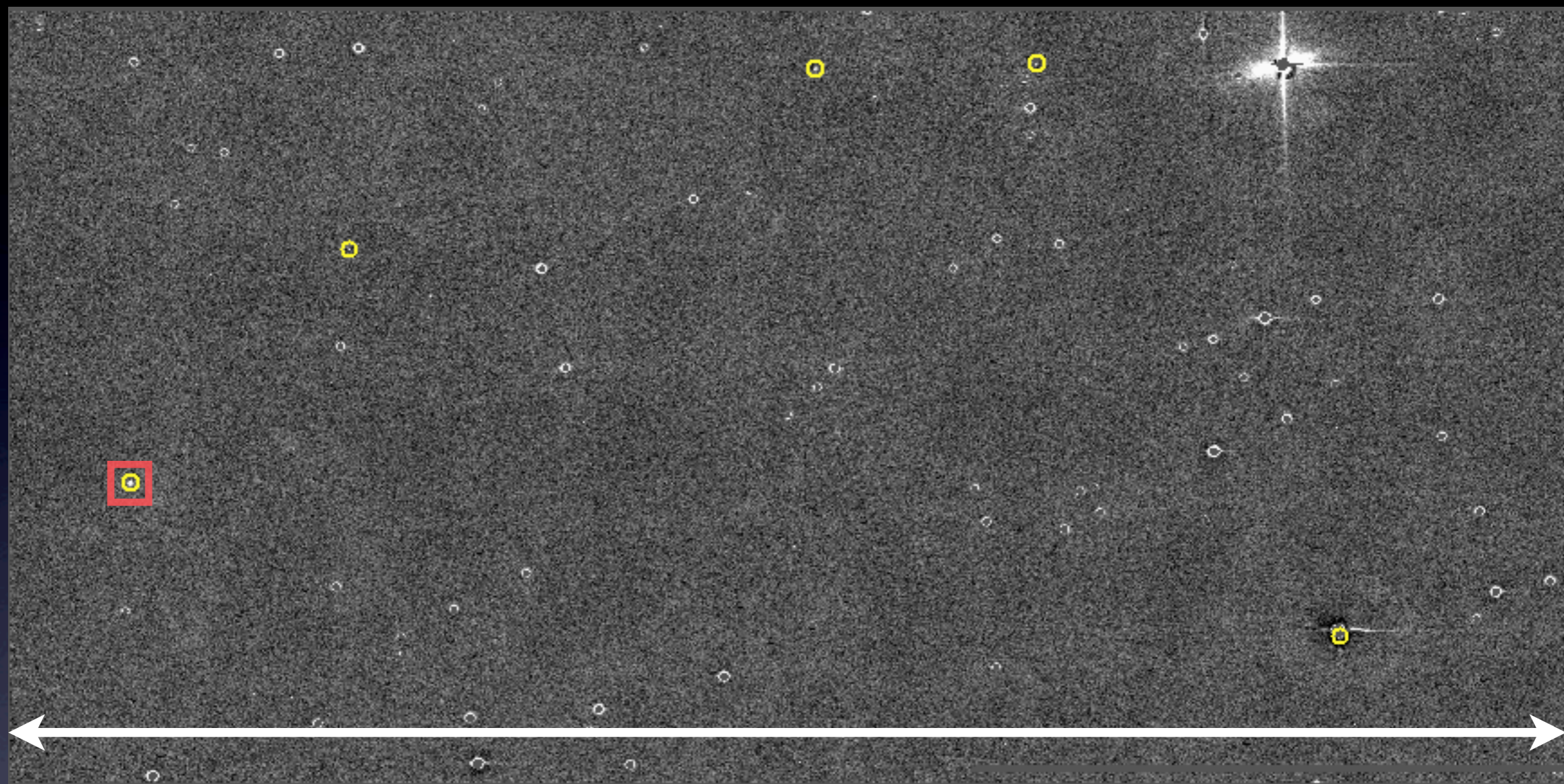


Before

1 deg

After

KISS:
Kiso supernova survey
東京大学木曾観測所
シュミット望遠鏡 (1m)



1 deg



KISS:
Kiso supernova survey
東京大学木曾観測所
シュミット望遠鏡 (1m)

Follow-up observations

**Imaging
(photometry)**

Spectroscopy

Optical light curve

10^9 Lsun

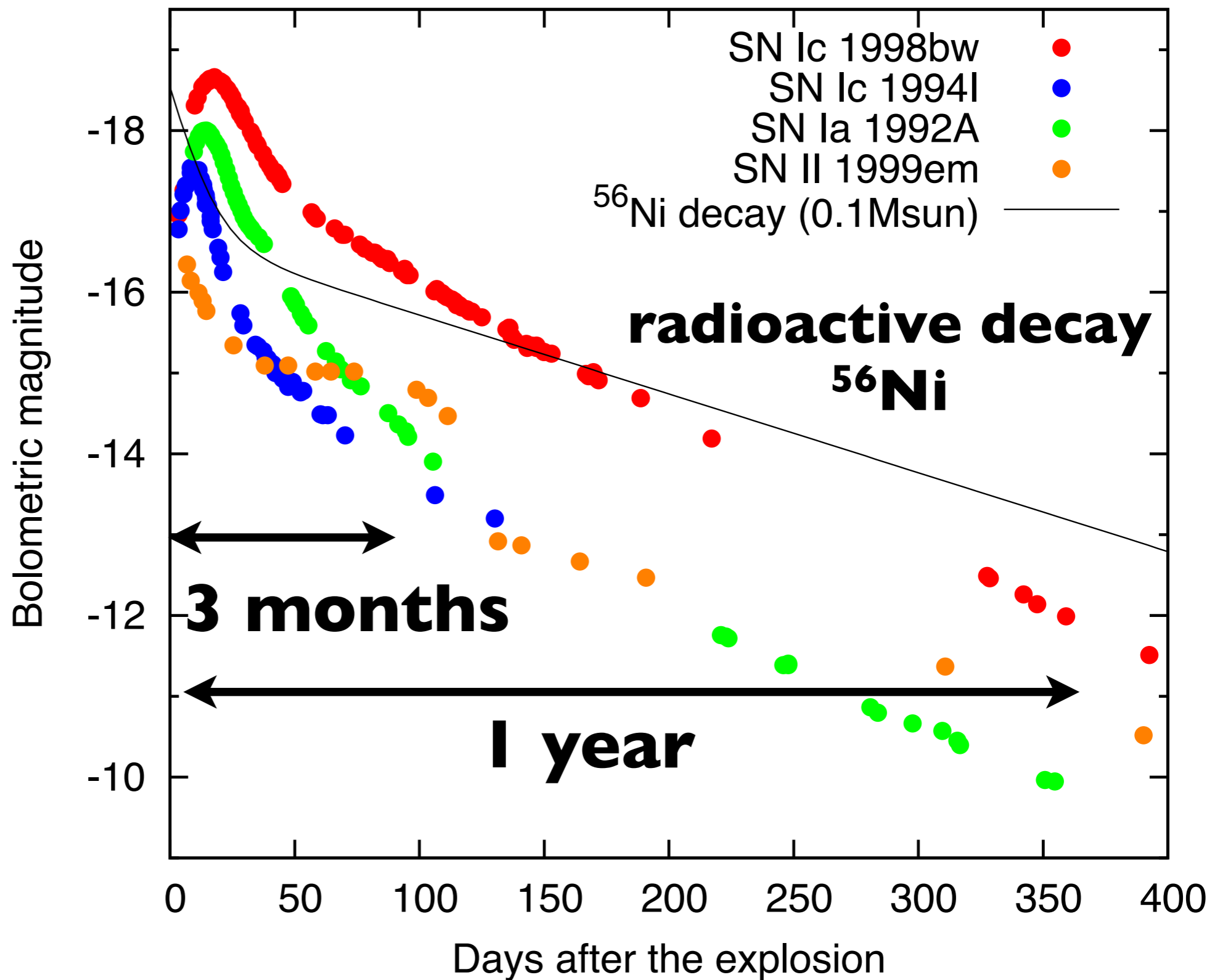
10^8 Lsun

10^7 Lsun

γ -ray



optical



Extragalactic SN @ 30 days

$$V \sim 5,000 - 10,000 \text{ km s}^{-1}$$

$$R \sim 2 \times 10^{15} \text{ cm} \sim 0.001 \text{ pc}$$

$$\theta \sim 10^{-6} \text{ arcsec @ 30 Mpc}$$

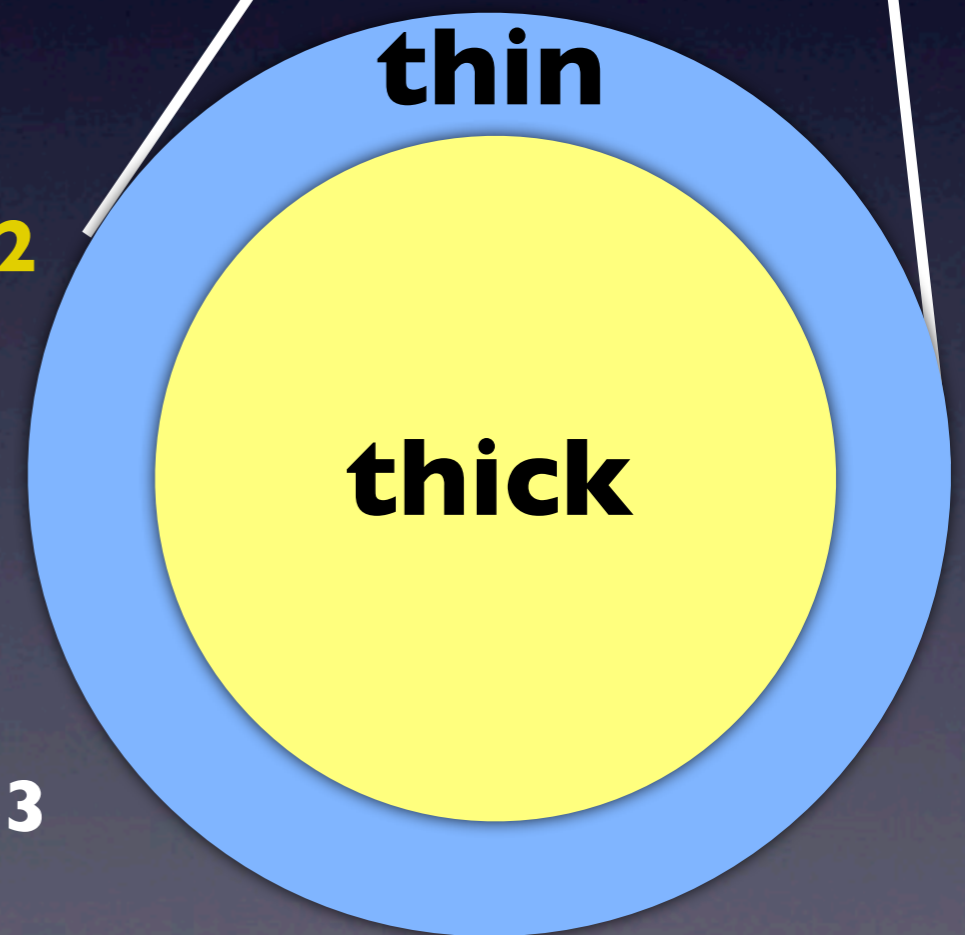
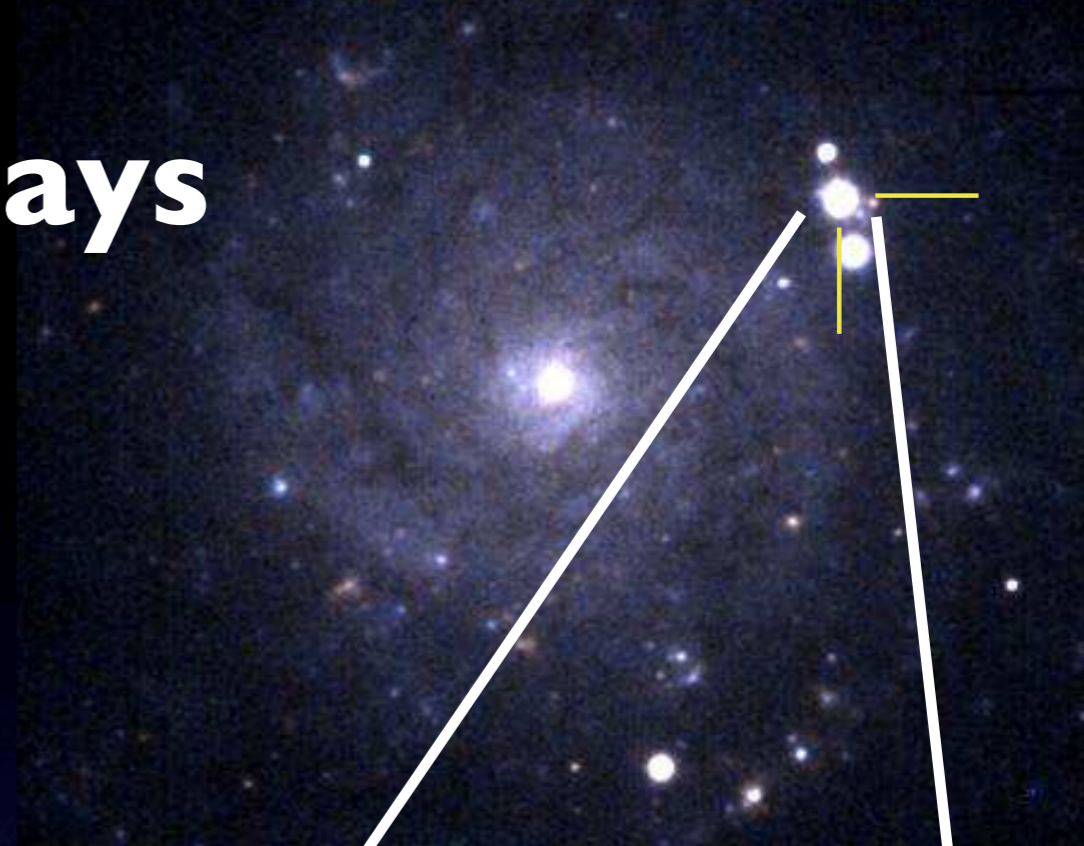
$$\tau \sim n_e \sigma R \sim 10^2 (t/10 \text{ days})^{-2}$$

$$L \sim 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$$

$$T \sim 5000 \text{ K}$$

$$\rho \sim 10^{-15} \text{ g cm}^{-3} \quad n_e \sim 10^8 \text{ cm}^{-3}$$

@ photosphere



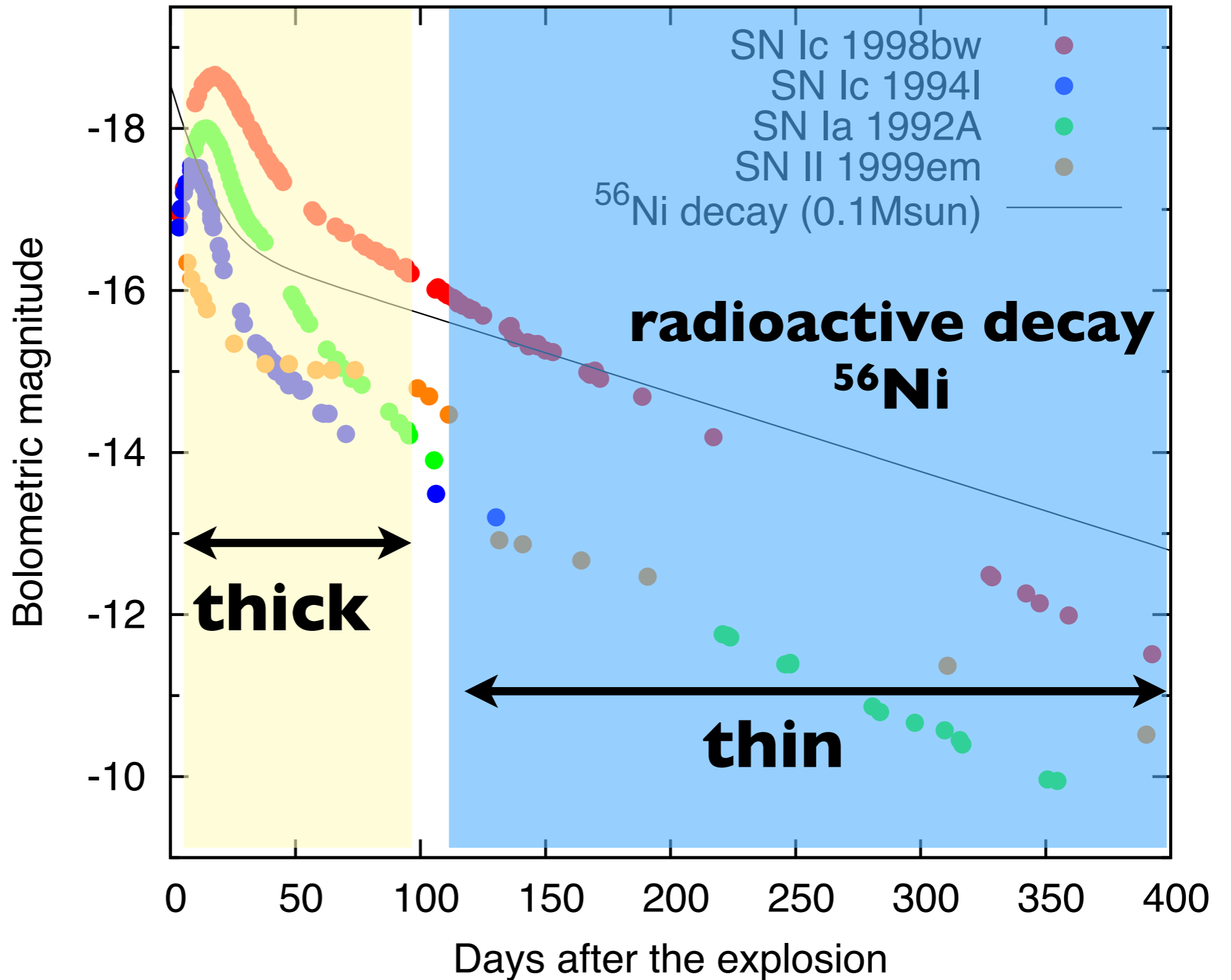
**Diffusion
timescale**

**Radioactive
timescale**

10^9 Lsun

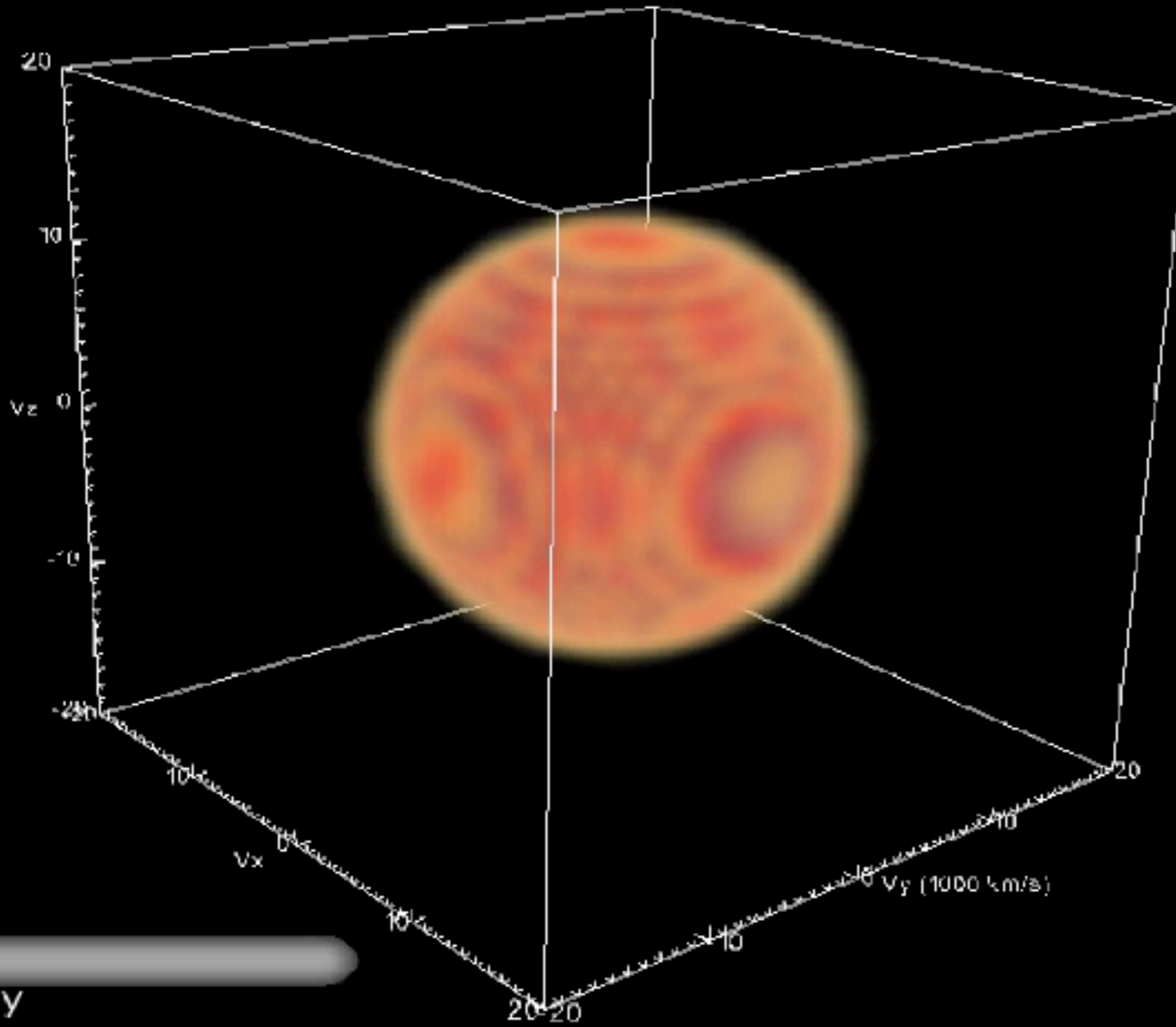
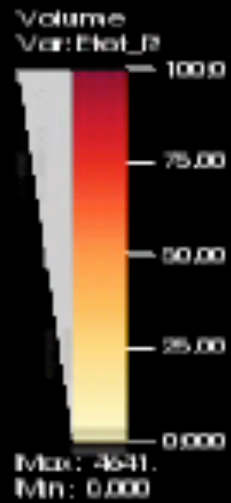
10^8 Lsun

10^7 Lsun



3D radiative transfer simulation

at homologous expansion phase



Time = 5.2 day

MT in prep.

Radiative Transfer in Supernovae

Explosion

Nucleosynthesis

^{56}Ni

Other elements

Gamma-ray

ionization/
excitation

Absorption
Optical

Escape

gamma-ray
light curve
and spectra

Absorption/scattering

Optical
light curve

Spectra
(+polarization)

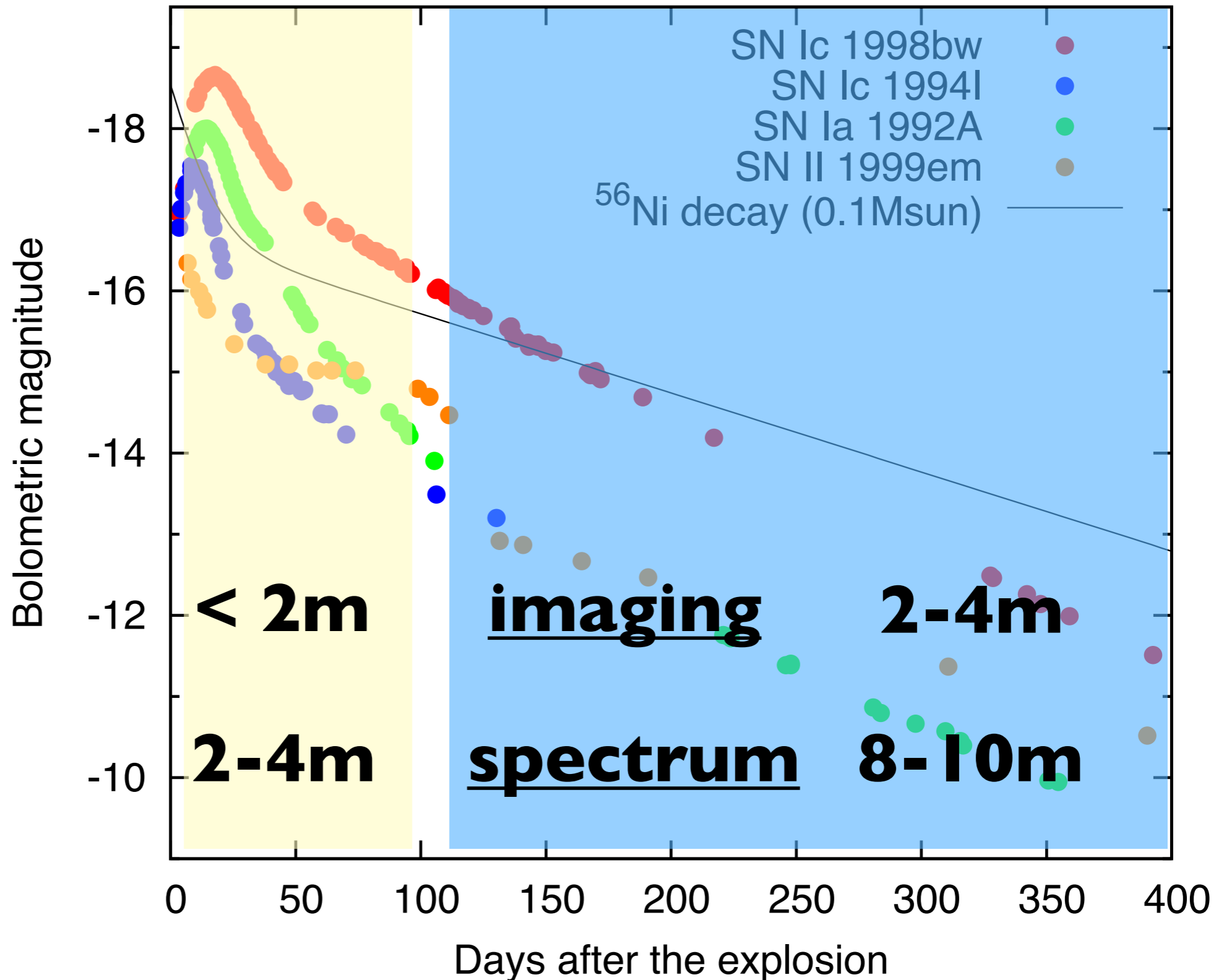
Diffusion timescale

Radioactive timescale

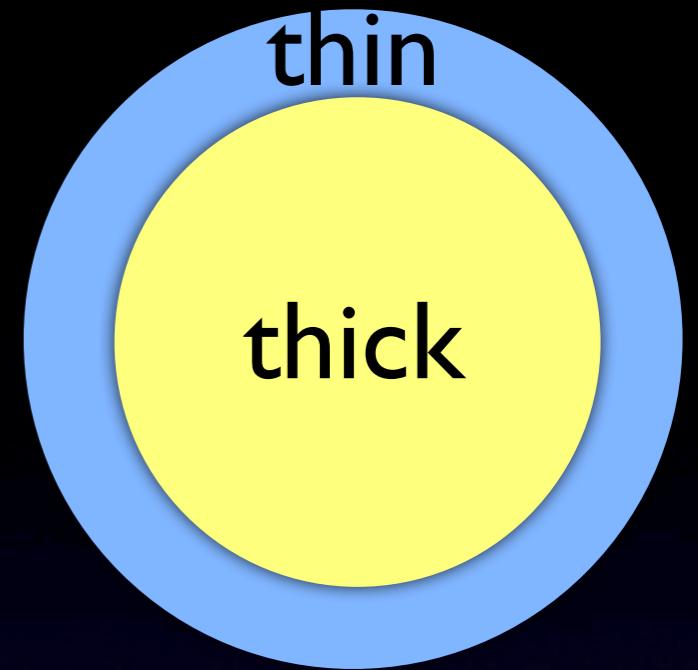
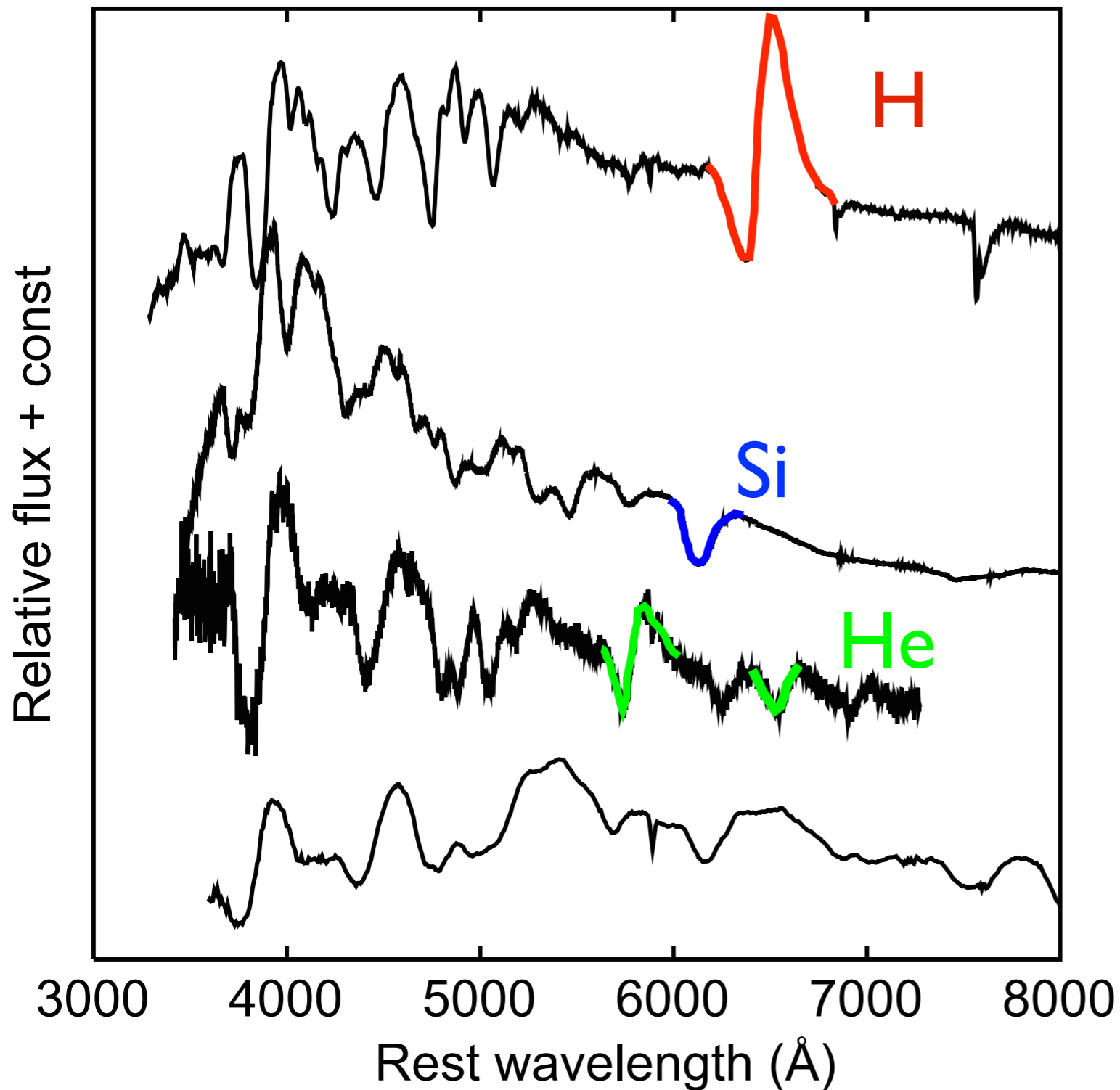
$10^9 L_{\text{sun}}$

$10^8 L_{\text{sun}}$

$10^7 L_{\text{sun}}$



Optical spectra



Type II: Hydrogen

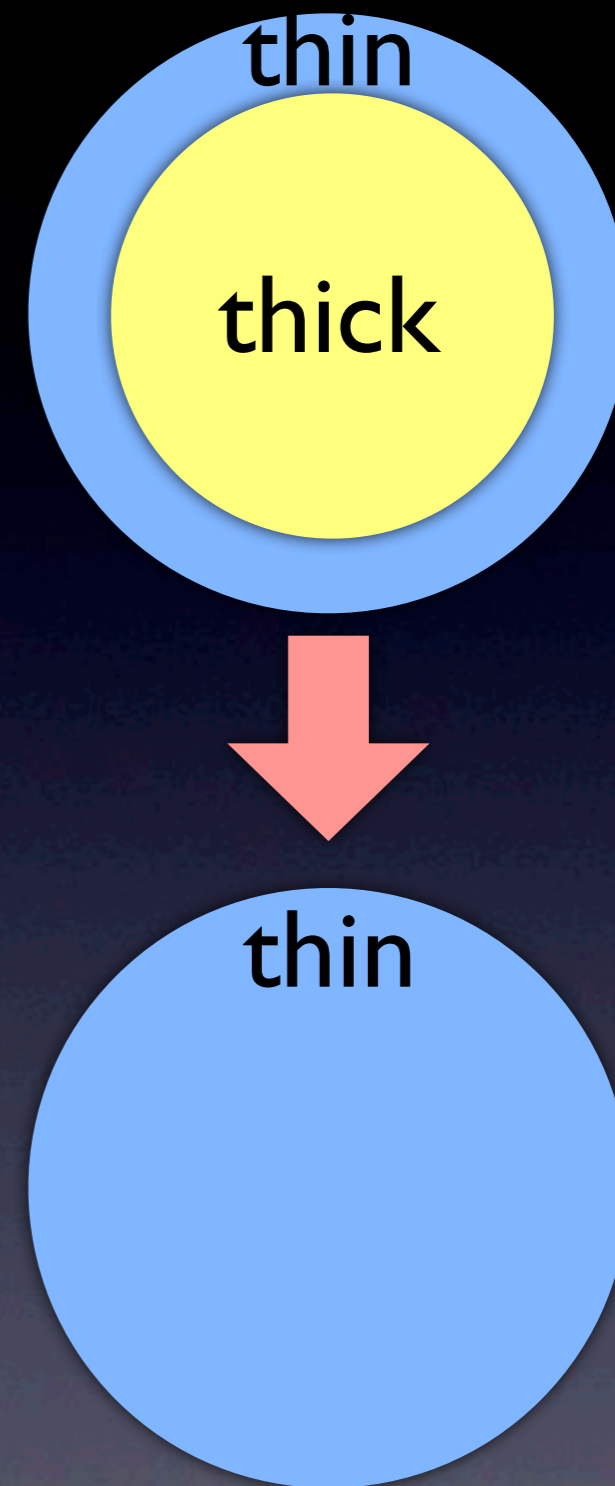
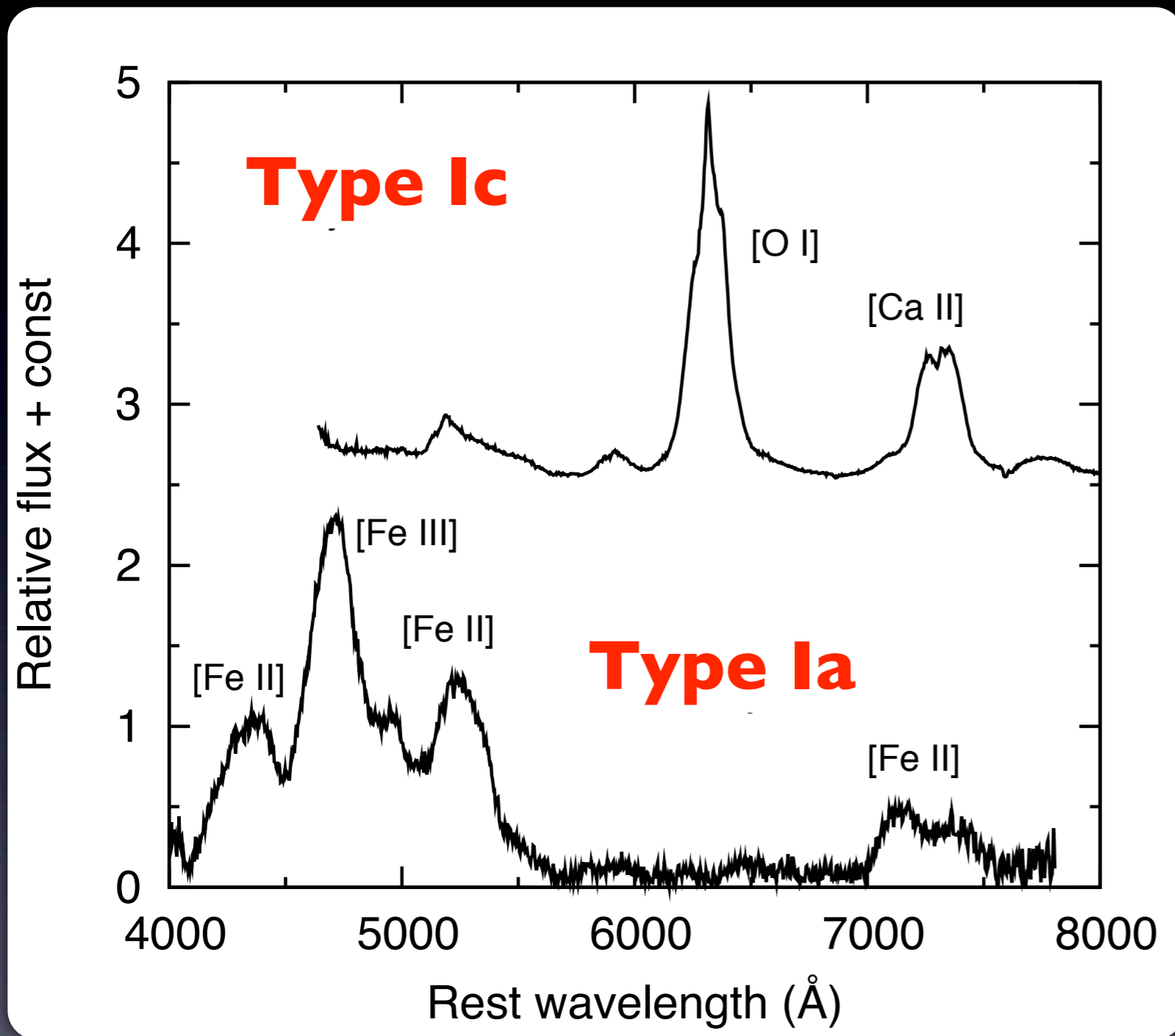
Type I: No hydrogen

Ia: Strong Si

Ib: Strong He

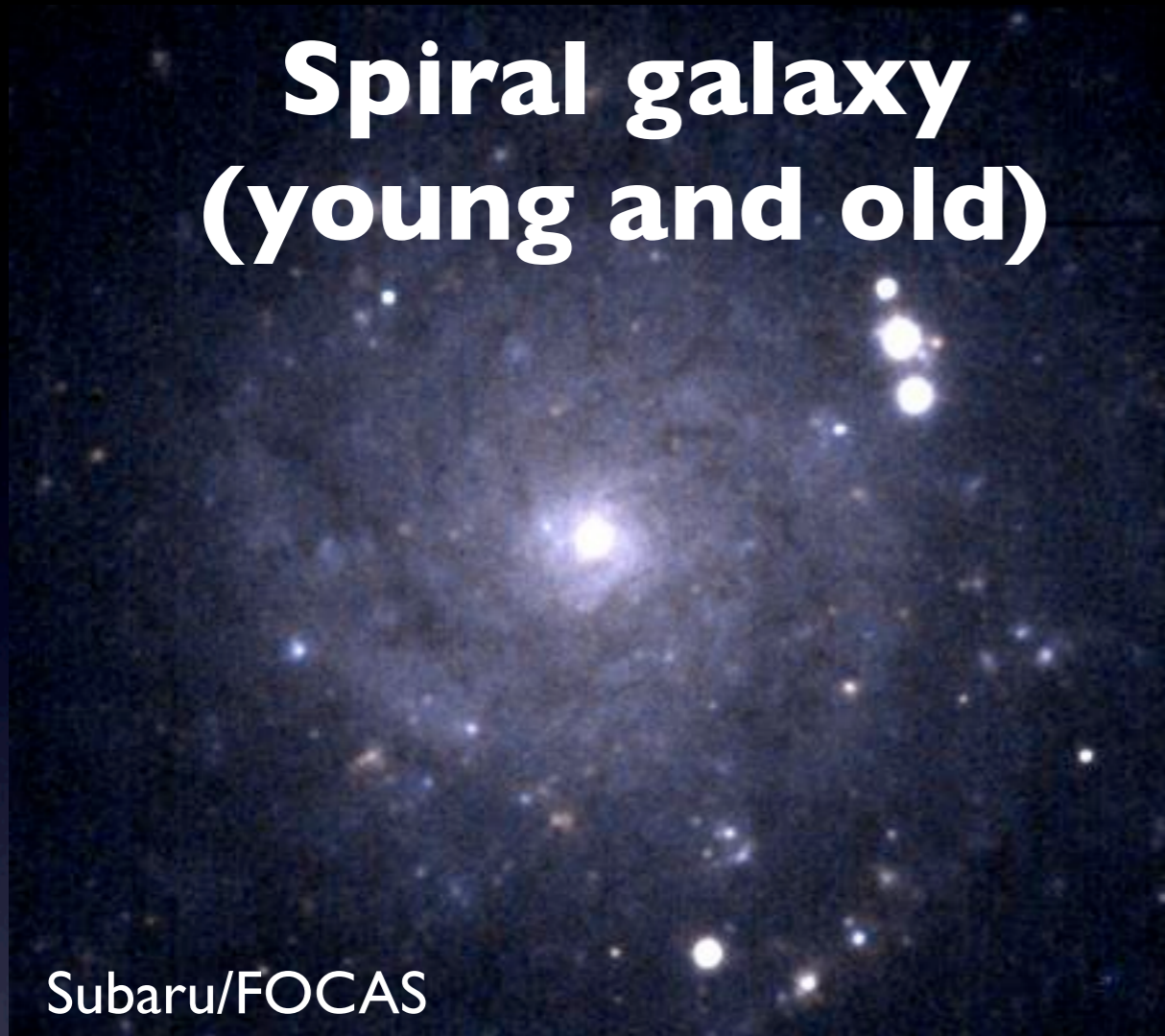
Ic: No strong Si/He

Supernova @ 1 yr



Type Ib, Ic, II : Strong Oxygen
Type Ia : Strong Fe

**Spiral galaxy
(young and old)**



Subaru/FOCAS

Type Ia Ib, Ic, II

**Elliptical galaxy
(old)**



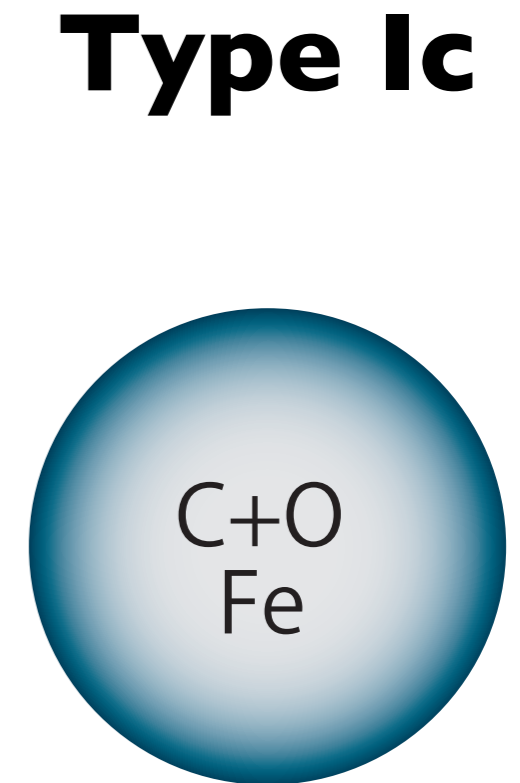
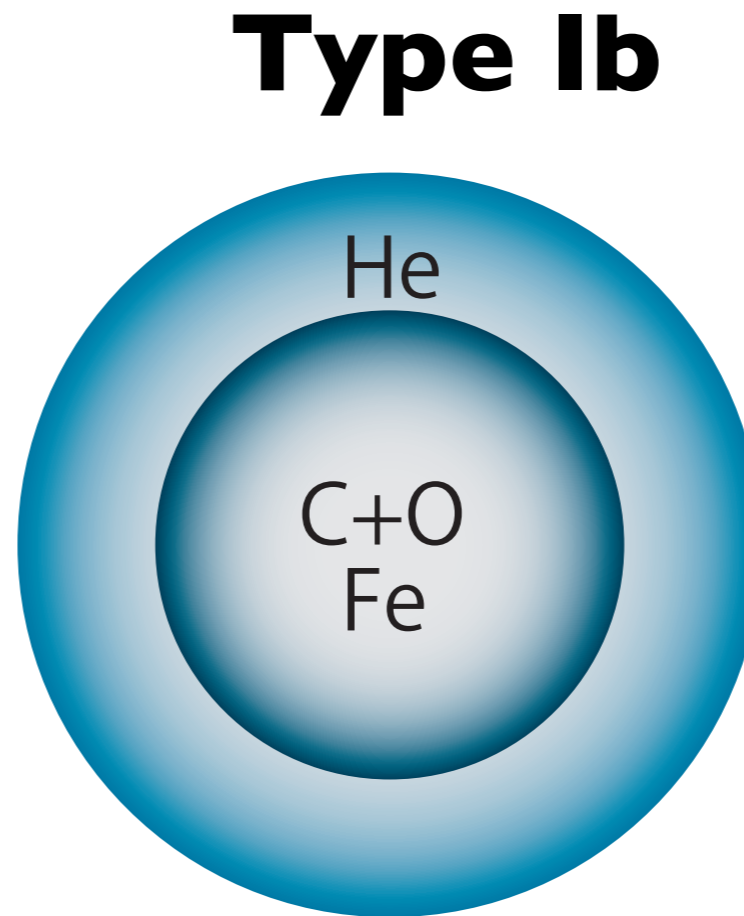
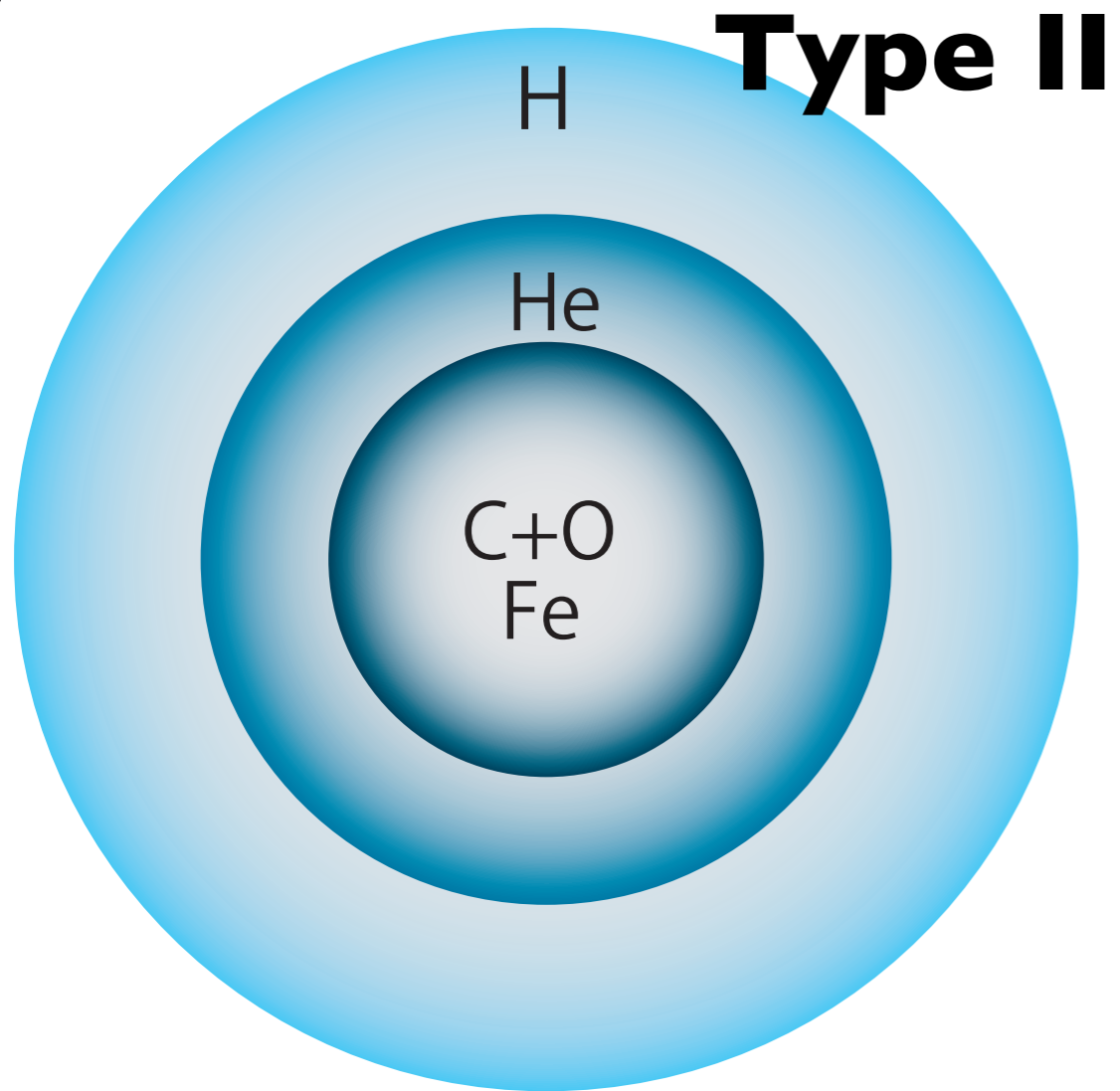
NASA, Swift

Type Ia

Type Ib, Ic, II : Massive star

Type Ia : Old star

Progenitor of core-collapse supernovae

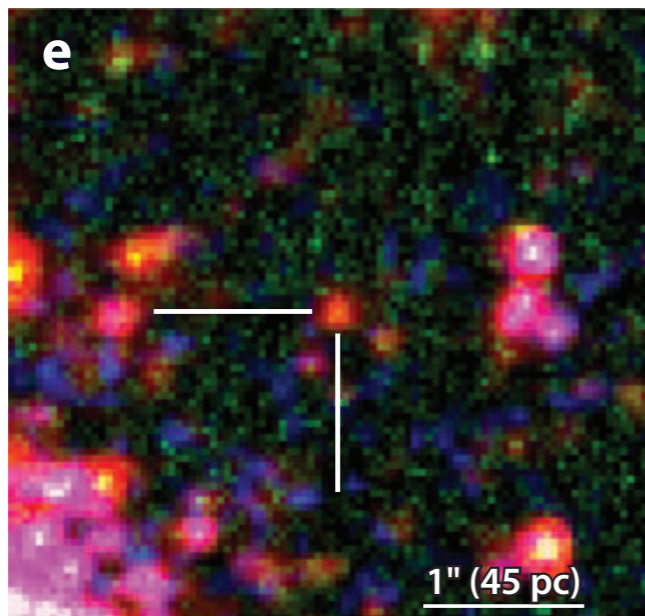


red supergiant
R ~ 500-1000 R_{sun}

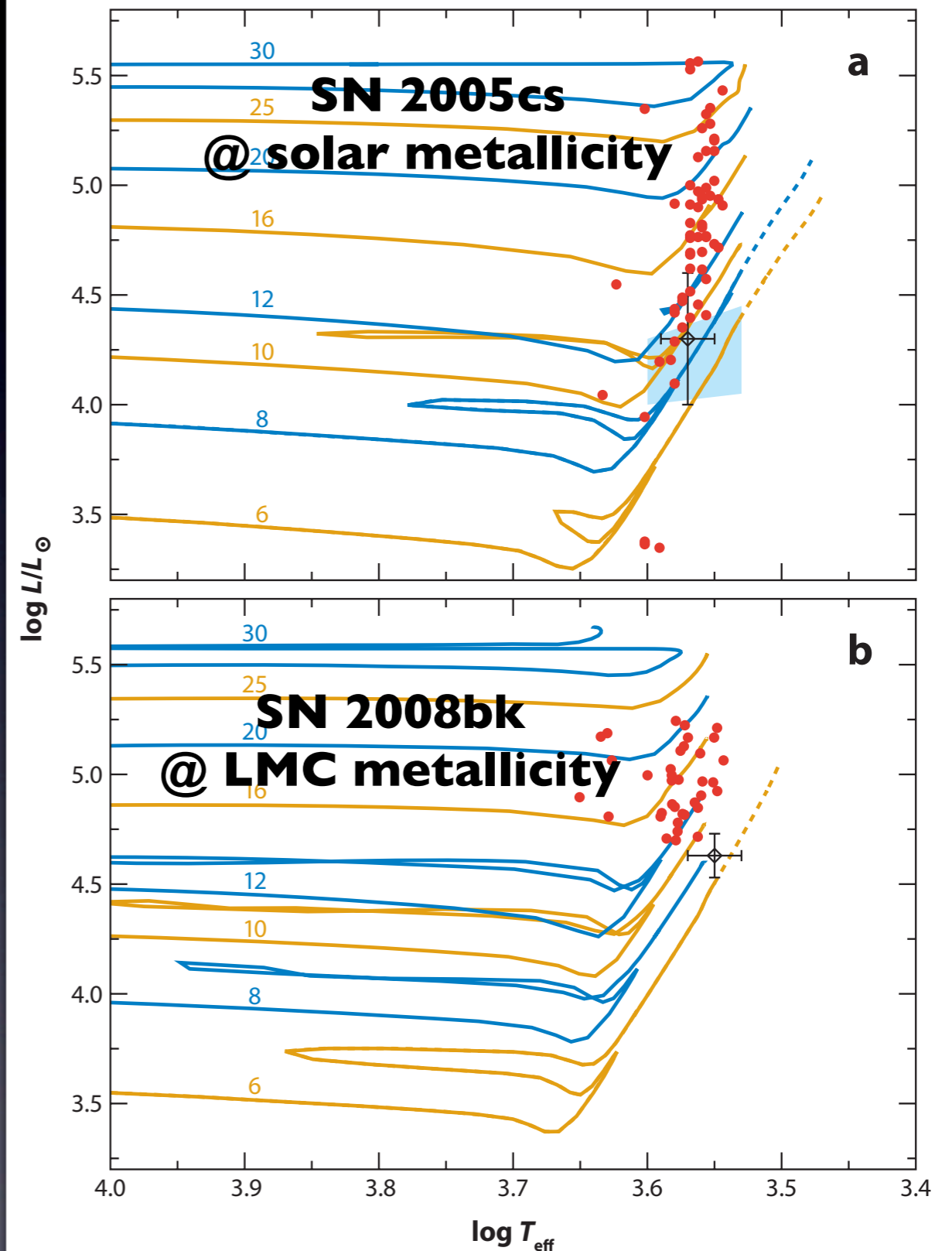
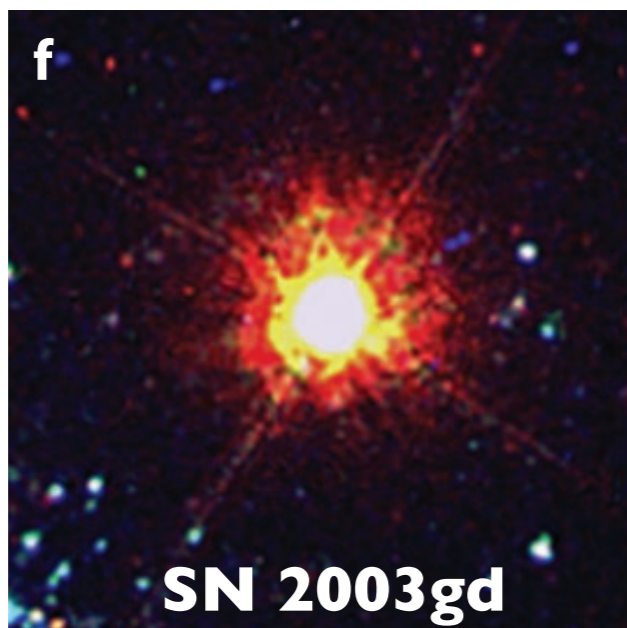
Wolf Rayet star
R ~ 1-10 R_{sun}

Pre-explosion image with Hubble Space Telescope

WFPC2 F300W, F606W, F814W



ACS HRC F435W, F555W, F814W



What we know / **don't know**

Core-collapse Thermonuclear

Type II/Ib/Ic

Type Ia

mechanism??

Progenitor

Massive star

WD(s) in binary

binary??

companion??

Elements

H, He, O, Mg
(progenitor)

Fe, Si
(explosive)

rare elements??

Fe production

~0.1 Msun

~0.6 Msun

Kinetic E

$10^{49} - 10^{52}$ erg

10^{51} erg

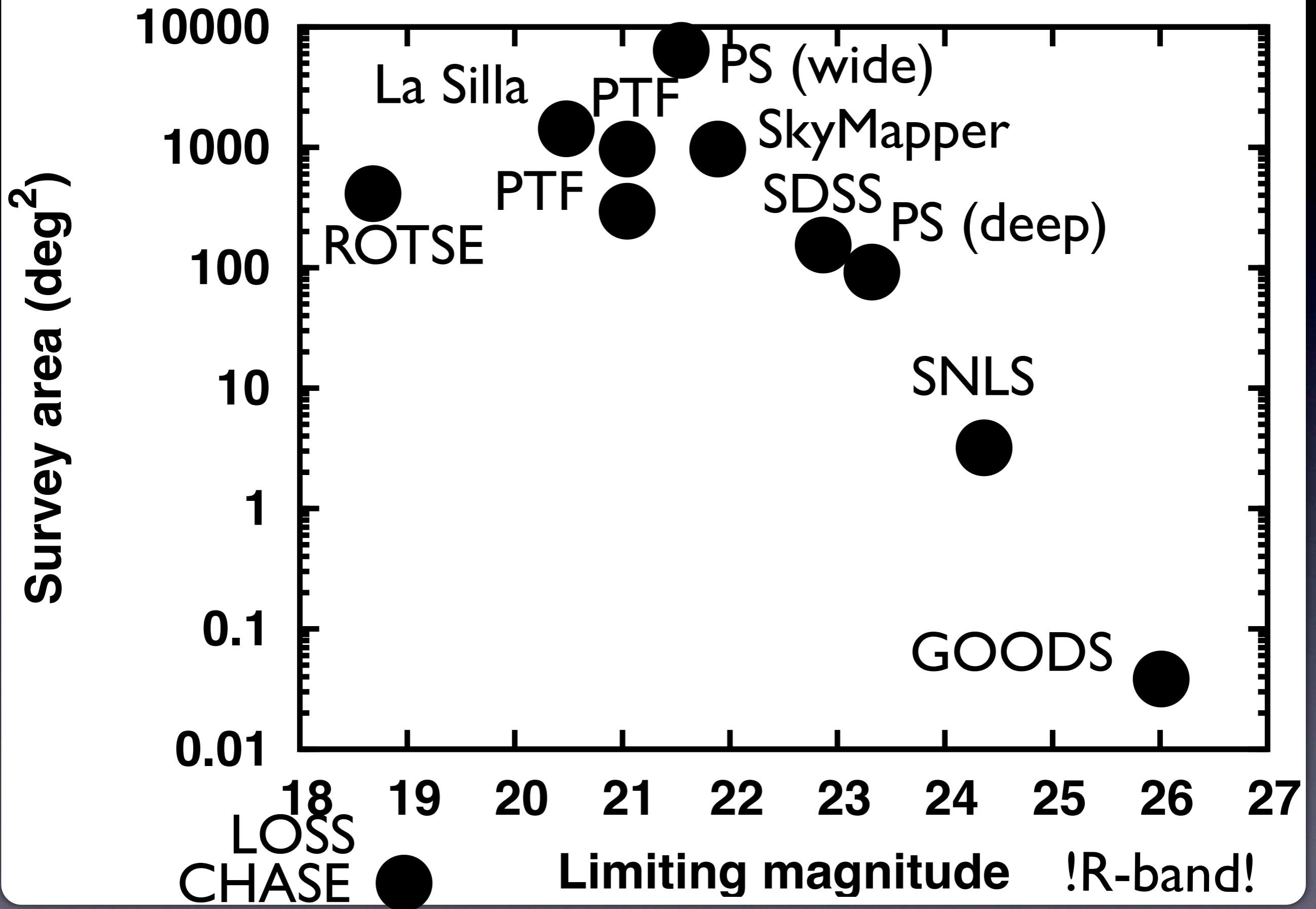
why??

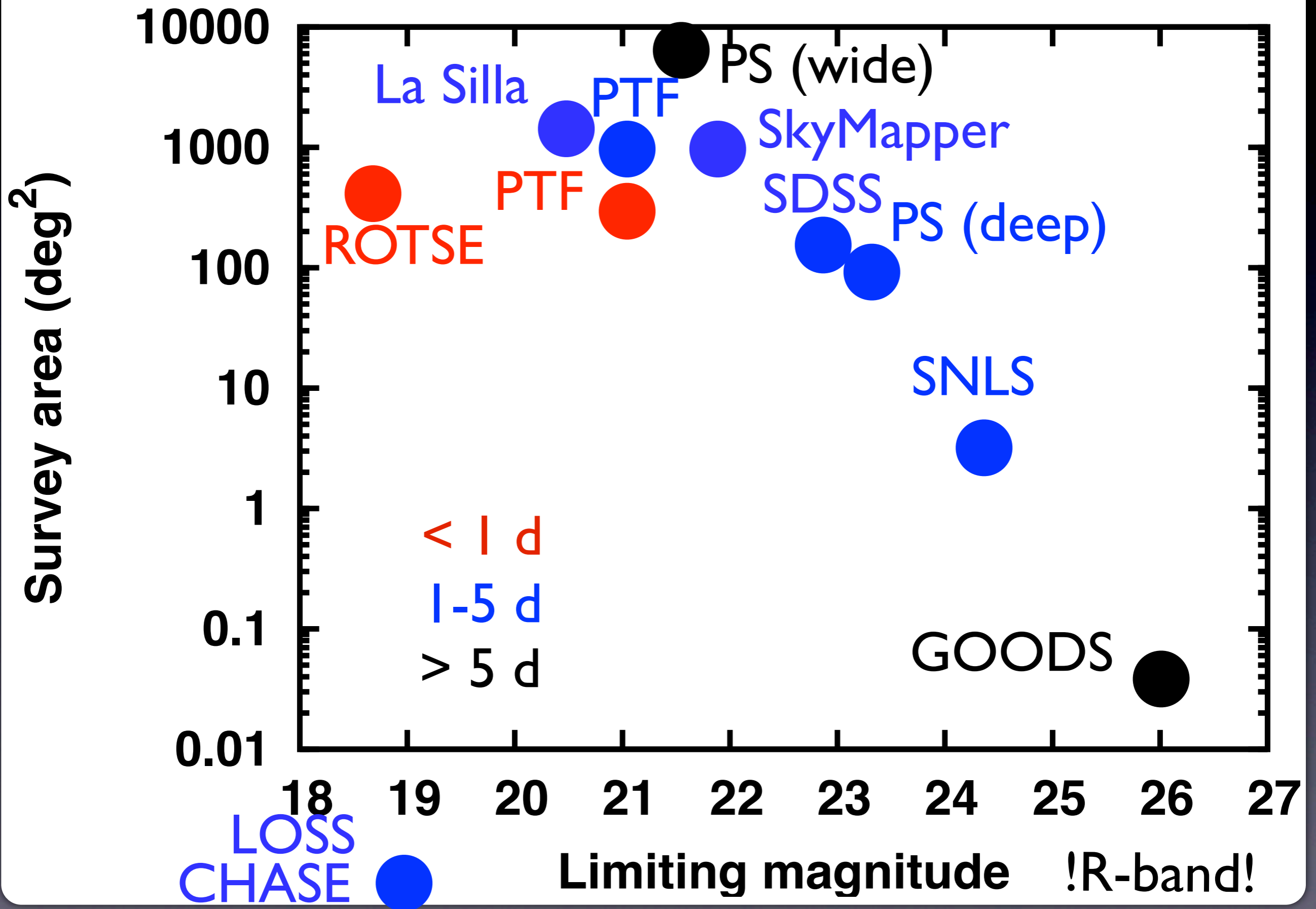
- **Optical Observations of Supernovae**
- **Current Status of Transient Survey**
- **KISS: Kiso Supernova Survey**
- **Synergy with Gravitational Astronomy**

Transient Survey

Survey	Diameter (m)	FOV (deg ²)	Depth (R mag)	Area/day(deg ²)
LOSS	0.76	0.01	19	1000 galaxy
ROTSE-III	0.45	3.42	18.5	450
PTF	1.26	7.8	21	1000
Pan-STARRS	1.8	7	21.5	6000
SDSS-II	2.5	1.5	22.6	150
SNLS	3.6	1	24.3	2
GOODS	2.5 (HST)	0.003	26	0.04
SkyMapper	1.3	5.7	22	--
Subaru/HSC	8.2	1.75	26.5	3.5
Kiso	1.05	4		

(partly taken from Rau et al. 2009, PASP, 121, 1334)





PTF

Palomar Transient Factory



- **Palomar 1.2m Schmidt telescope (P48)
@ Palomar/California**
- **FOV: 9 deg²**
- **Depth: 20-21 mag**
- **Rapid follow-up
with 1.5m (P60)
and 5m (P200)**



P48 (1.2m)



P200 (1948!) (5m)

C: Bettmann/CORBIS

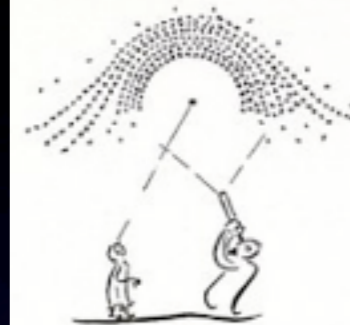


パロマーの巨人望遠鏡

(上)

D. O. ウッドベリー 著

関 正雄・湯澤 博・成相恭二 訳



二十世紀、新時代の天文学の発展は、望遠鏡の進化とともにあった。その基礎を築いたヘル(1868-1938)は、資金・材料集めや技術上の様々な困難を乗り越え、次々と巨大望遠鏡の建設を進めた。本書

には彼の尽力で始められ、アメリカの人材・技術力を結集して作られたパロマーの二百インチ望遠鏡の物語が記される。(全2冊)



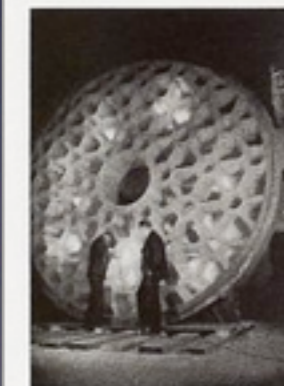
青 942-1
岩波文庫

パロマーの巨人望遠鏡

(下)

D. O. ウッドベリー 著

関 正雄・湯澤 博・成相恭二 訳



200インチ望遠鏡の計画ははじめて6年、心配された反射鏡の巨大ガラス盤もようやく出来、ヘルを中心に巨人望遠鏡建設の準備は着実に進められる。しかし、建設地の選択、ガラス盤の輸送、望遠鏡の取り付けなど、残された課題は多く、科学者、技術者をはじめとするひとびとの努力は並み大抵のものではなかった。(全2冊)



青 942-2
岩波文庫

Observing strategy

SUMMARY OF MAIN PTF EXPERIMENTS

Experiment	Exposure % of total	Cadences	Filter
5DC	41	5 days	<i>R</i>
DyC	40	1 minute–3 days	<i>g, R</i>
Orion	11	1 minute	<i>R</i>
Full Moon	8	...	H α

Rau+09



PTF + GALEX
Shock breakout

PTF + JVLA
Tidal disruption
50 deg²
1 hr cadence, 21 mag

5-day cadence (5DC)

Active: 2700 deg²

Total: 8000 deg²
(Rau+09, Law+09)

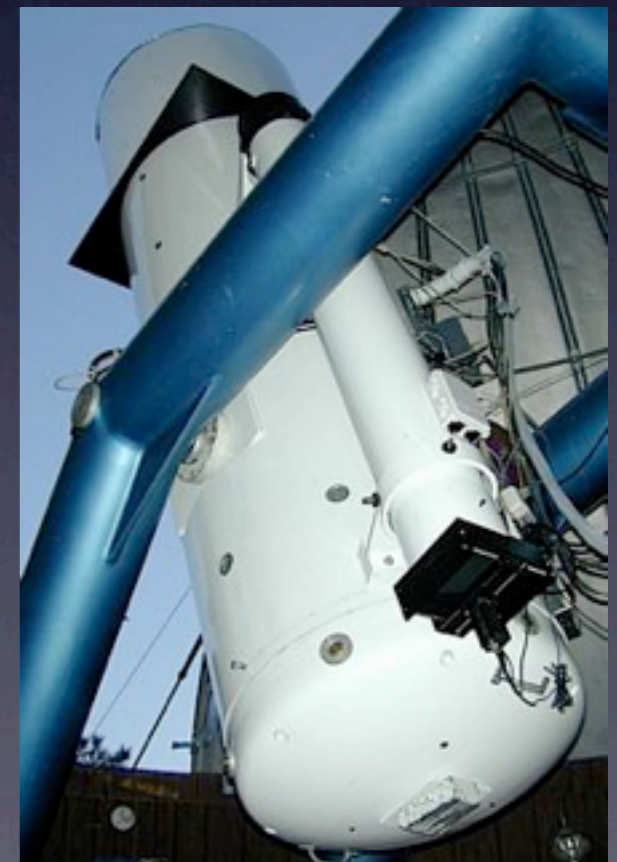
Dynamic cadence

(DyC)

~300 deg² in 2 hr
(Kasliwal+07)

Catalina Real-Time Transient Survey

- **0.7m @ Arizona (Catalina)**
0.5m @ Australia (Siding Spring)
1.5m @ Arizona (Mt. Lemmon)
- **FOV: 8 deg² (but 2.5 arcsec/pix)**
- **Area: 2000 deg²/day
(30,000 deg² total)**
- **Cadence: 30min -**
- **Depth: 19-20 mag**



Pan STARRS

- **1.8m @ Hawaii**
- **FOV: 7 deg²**
- **Area/Cadence**
 - **3pi: 4 visits/yr**
 - **Medium deep (80 deg²): 3 days**
- **Depth: 20 mag (3 pi)**
 - **23 mag (medium deep)**

2010-

<http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/>



La Silla/QUEST Survey

- ESO 1m Schmidt telescope @ Chile
- **FOV: 10 deg² (QUEST camera)**
- **Area: 1500 deg²/day
(20,000 deg² total)**
- **Cadence: 2-3 days**
- **Depth: 20-21 mag**

2009 - (2014)

http://www.pessto.org/pessto/feeder_surveys.html



PESSTO

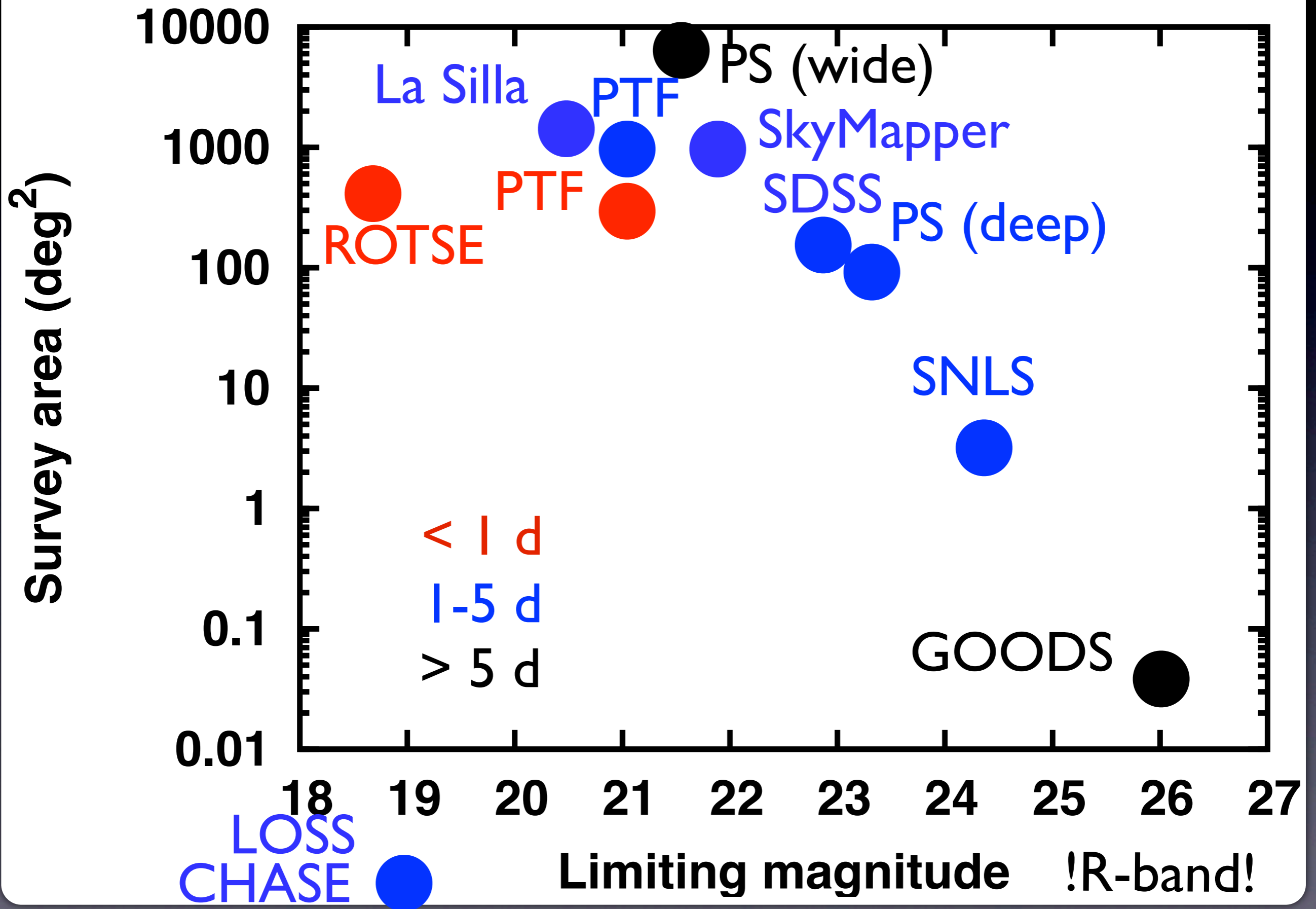
Public ESO Spectroscopic Survey of Transient Objects



- **Spectroscopic survey**
- **ESO 3.6m NTT @ Chile/La Silla**
- **90 nights/9 months**
- **5 years from 2012 Apr**
- **Targets fed by**
 - **La Silla/QUEST, Pan STARRS, and CHASE**

https://psweb.mp.qub.ac.uk/pesstowiki/index.php/Main_Page

<http://www.pessto.org>



- **Optical Observations of Supernovae**
- **Current Status of Transient Survey**
- **KISS: Kiso Supernova Survey**
- **Synergy with Gravitational Astronomy**

Kiso observatory (1974~)

Altitude: 1130m



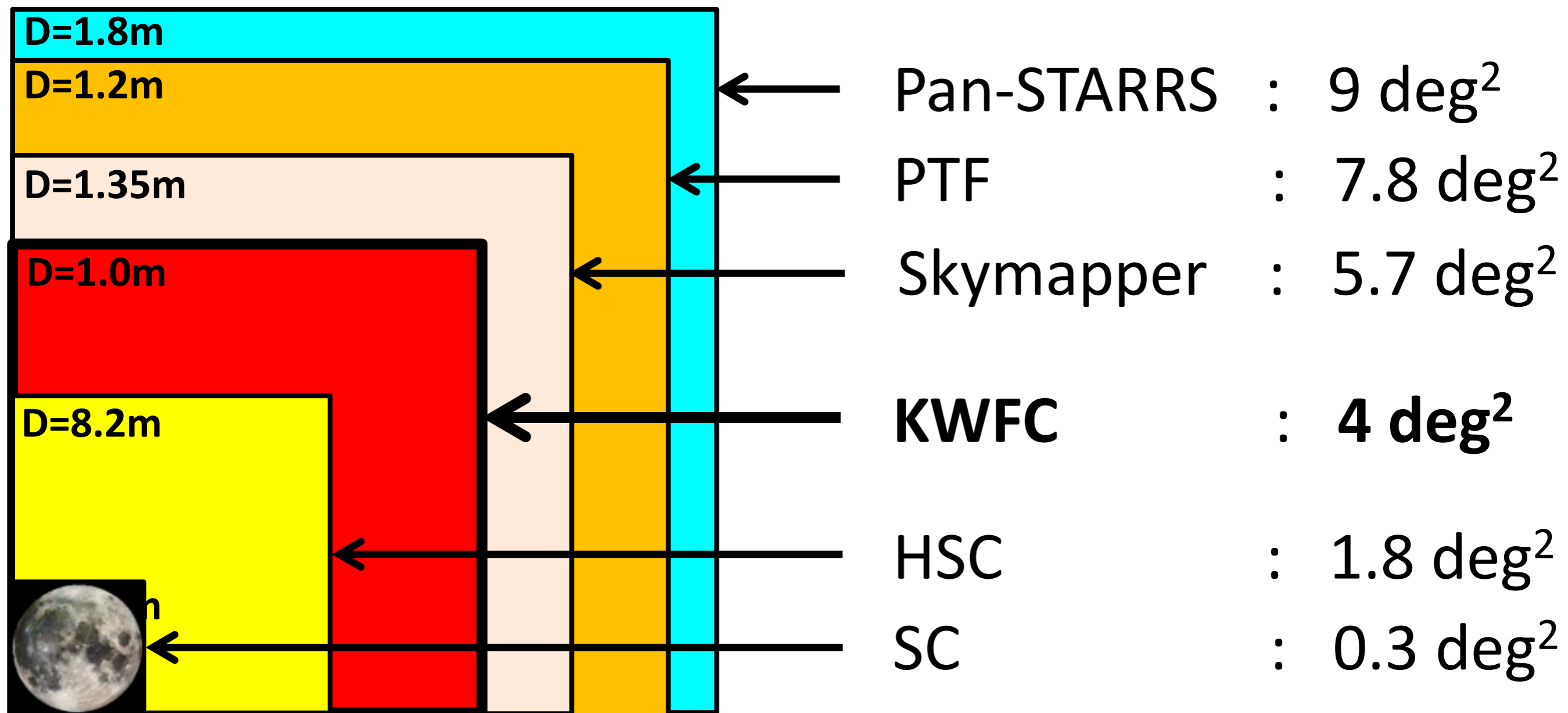
1.05m Schmidt Telescope

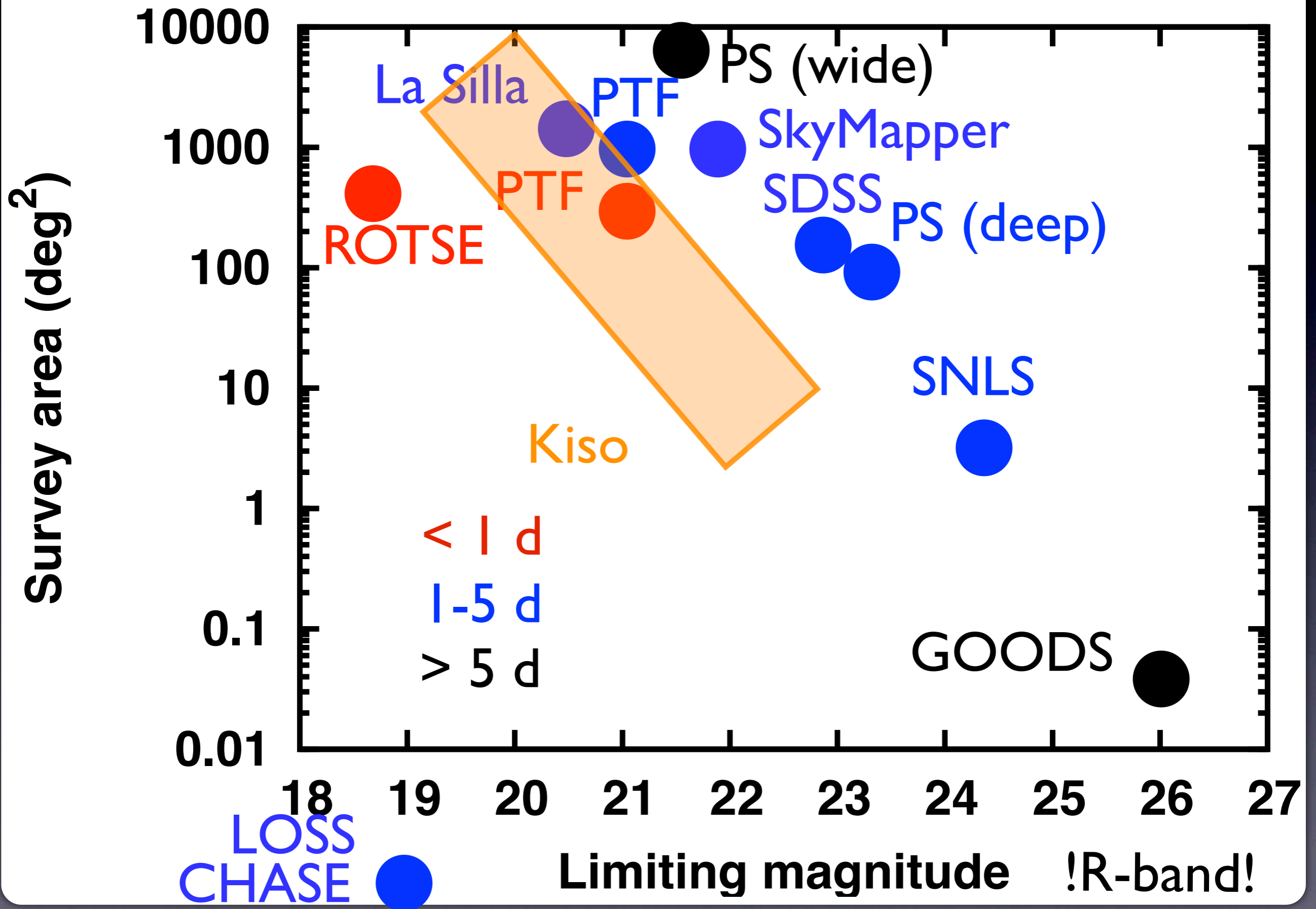


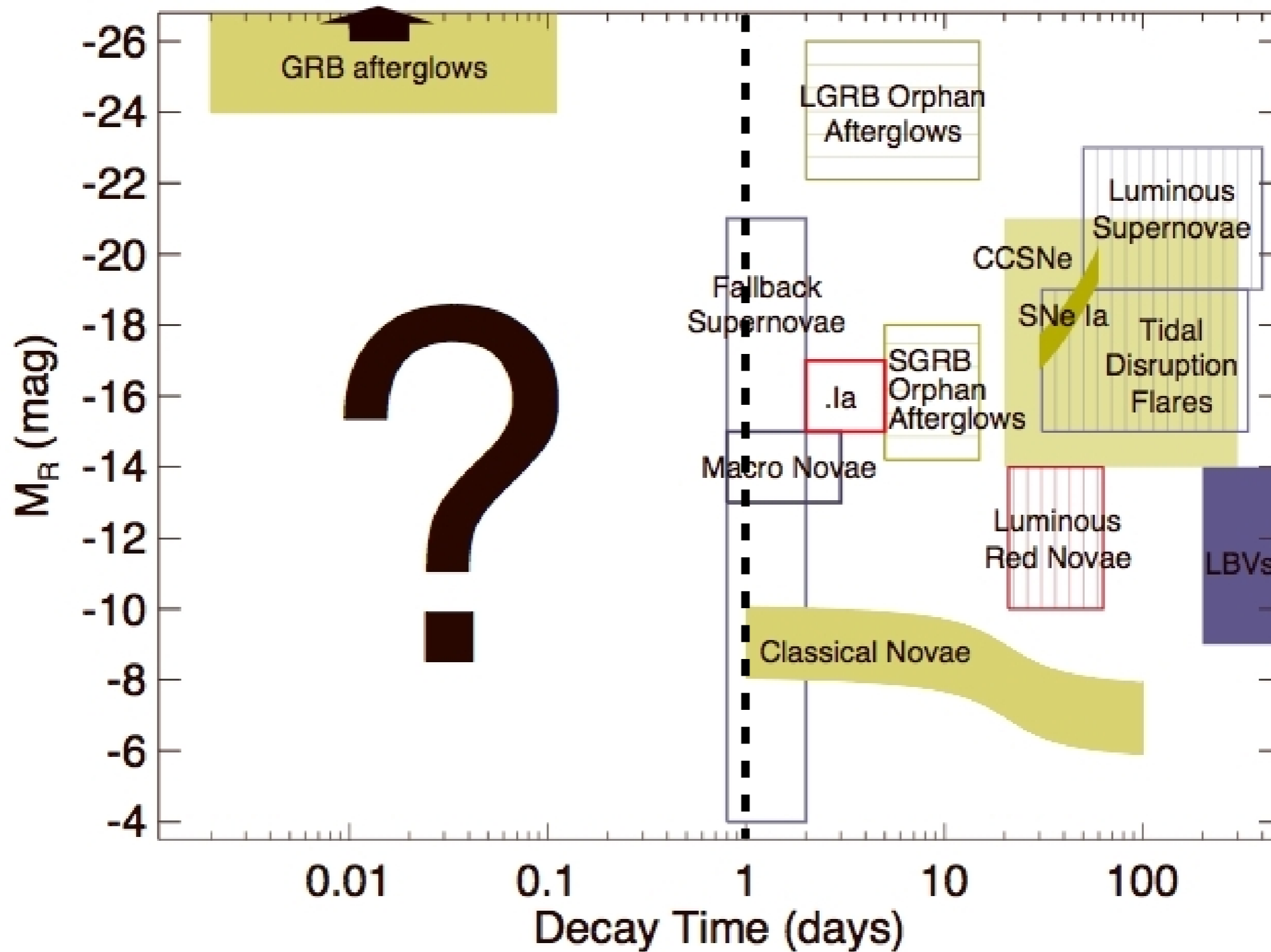
KWFC = Kiso Wide Field Camera

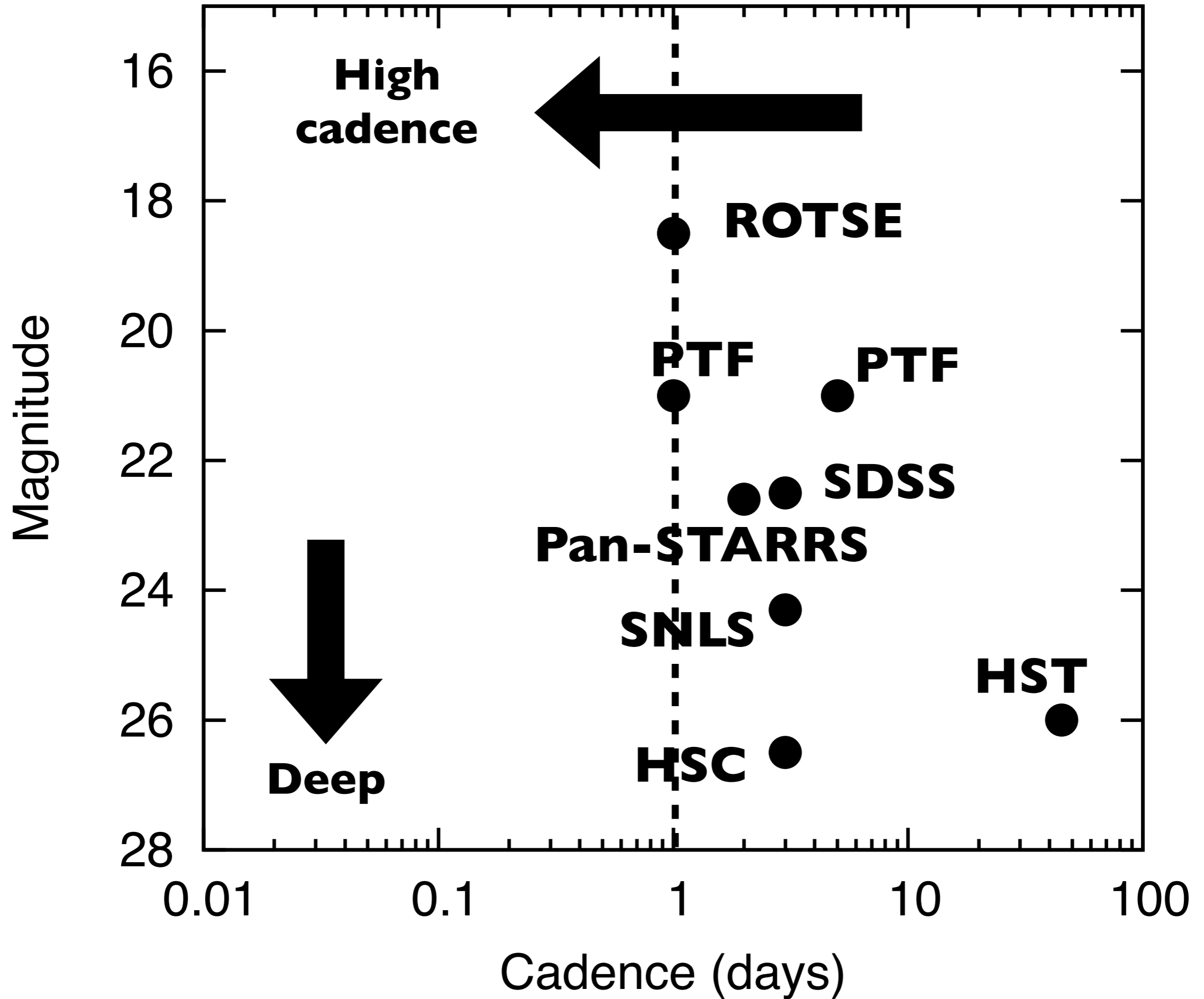
2012 April -
(4k x 2k chip) x 8
1 arcsec/pix

Slide from Shigeyuki Sako









SN shock breakout

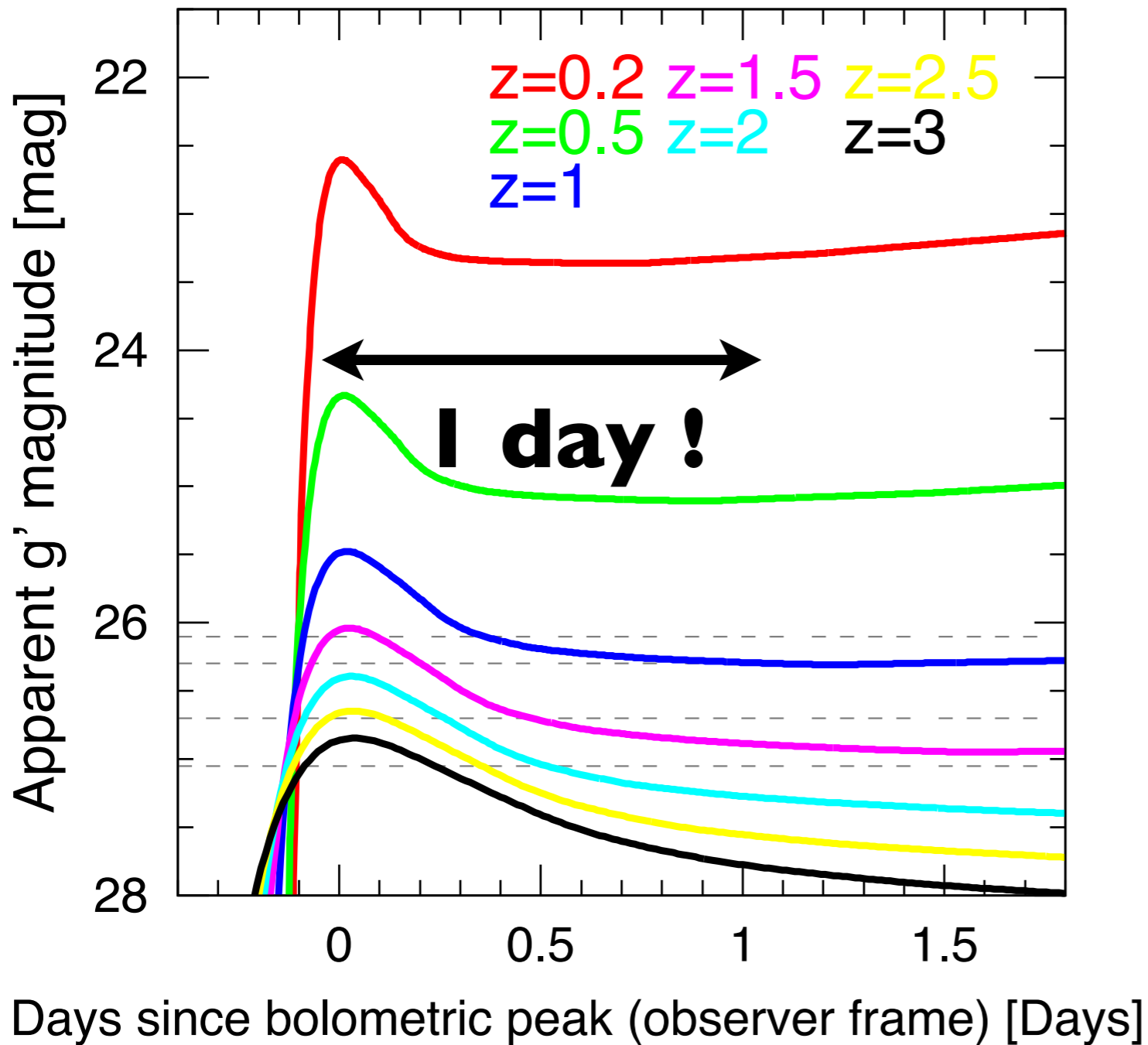
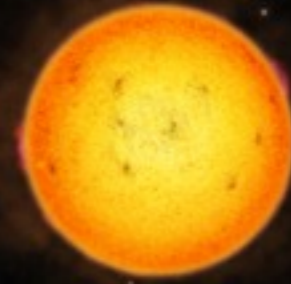
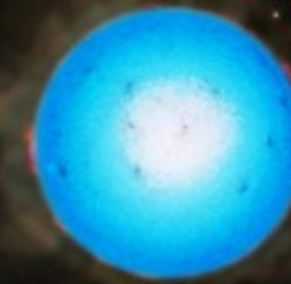


Figure from N. Tominaga

progenitor star



Breakout



> a few days

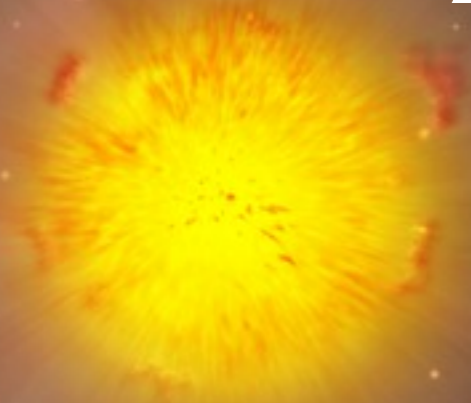


Figure from T. Morokuma

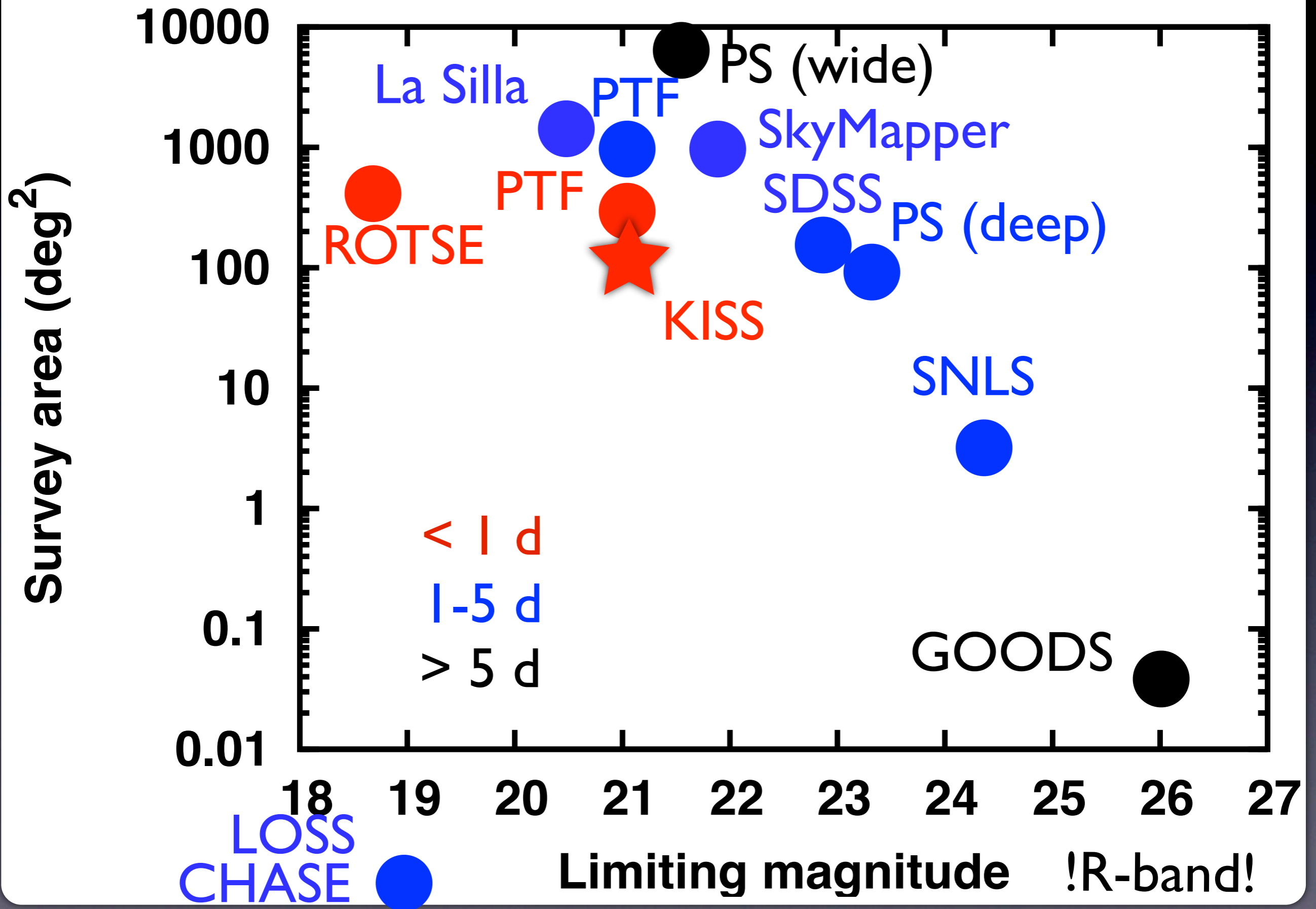
KISS: KIso **S**upernova **S**urvey

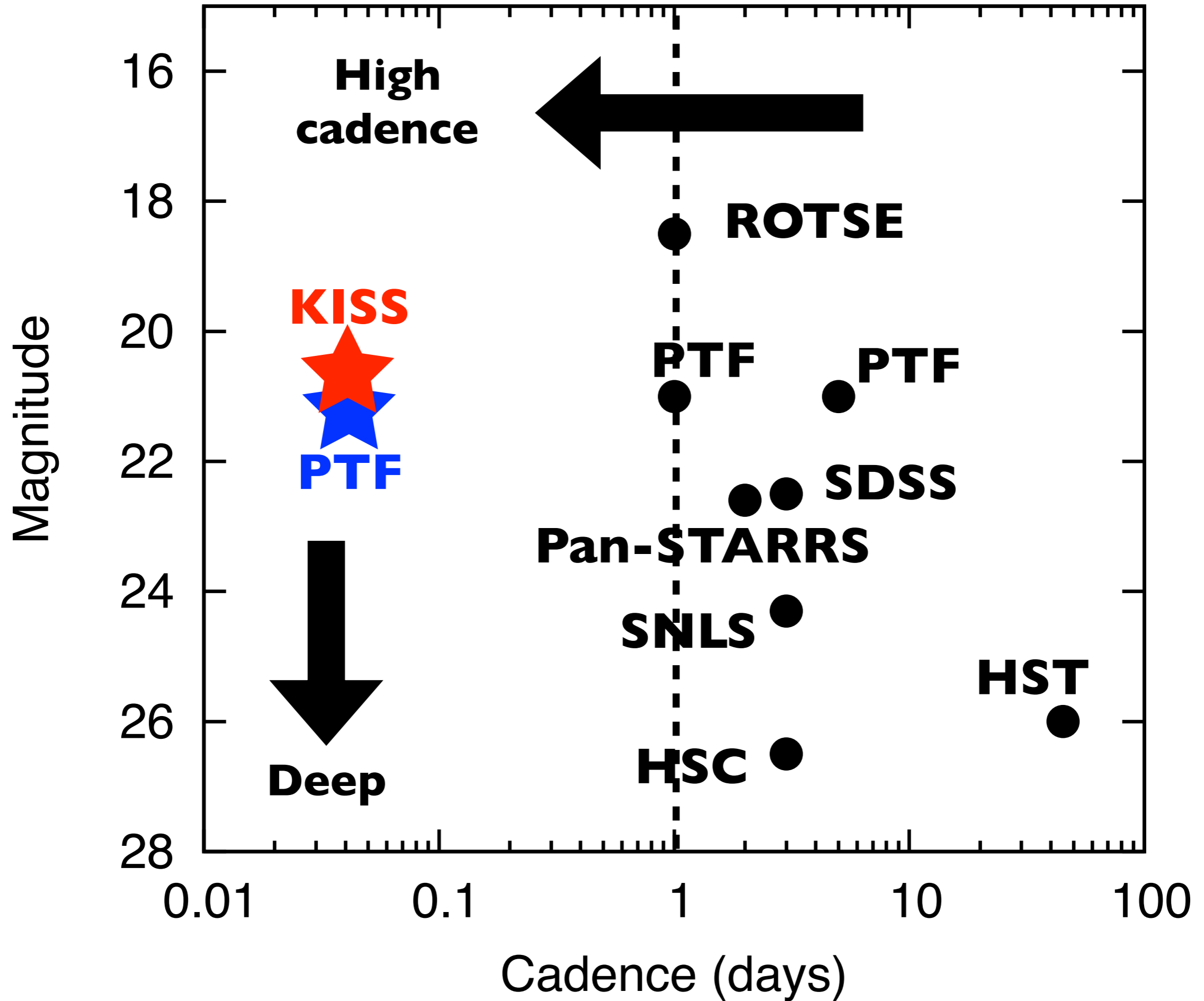
- **Extremely high cadence**
 - **1-hr cadence**
 - **3 min exposure**
 - **~ 21 mag in g-band**
 - **~50-100 deg² /day**
 - **High SFR field (within $z=0.05$, 30-100 Msun/yr)**

PI: Tomoki Morokuma (Univ. Tokyo)

2012/04: Dry run -

2012/09: Main survey -





Astronomy within 200 Mpc

($z < 0.05$)

($d < 6 \times 10^{26} \text{ cm}$)

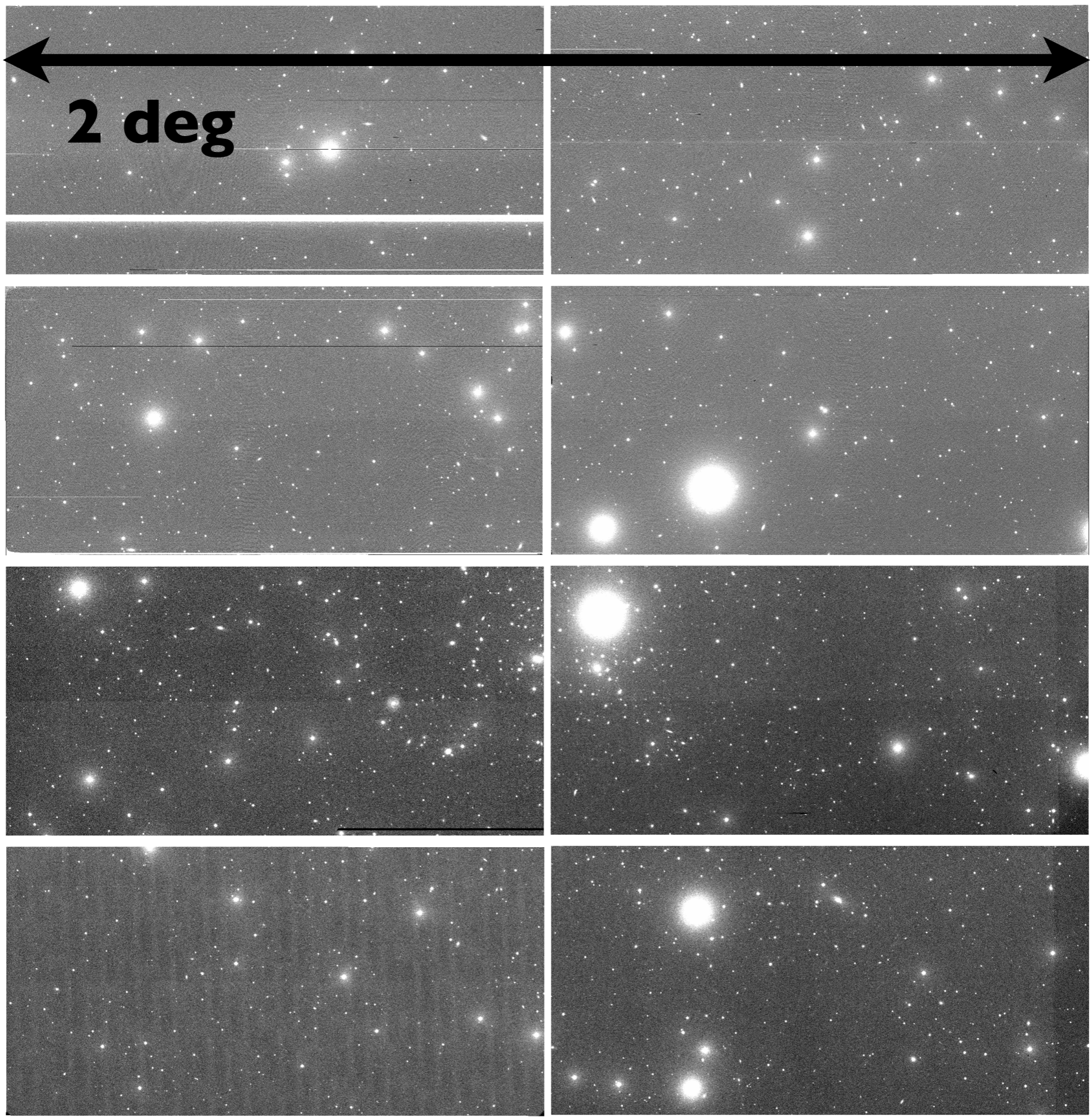
$21 \text{ mag} \sim 10^{-28} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$

$\Rightarrow \sim 10^{26} \text{ erg s}^{-1} \text{ Hz}^{-1} (@ 200 \text{ Mpc})$

$\Rightarrow \sim 5 \times 10^{40} \text{ erg s}^{-1} (@ 5 \times 10^{14} \text{ Hz})$

Figure from KAGRA webpage

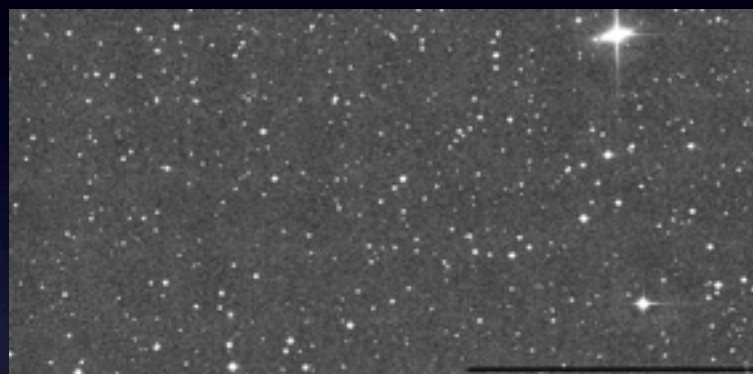
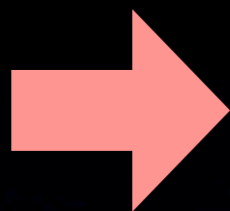




Kiso observatory



KISS pipeline



standard reduction

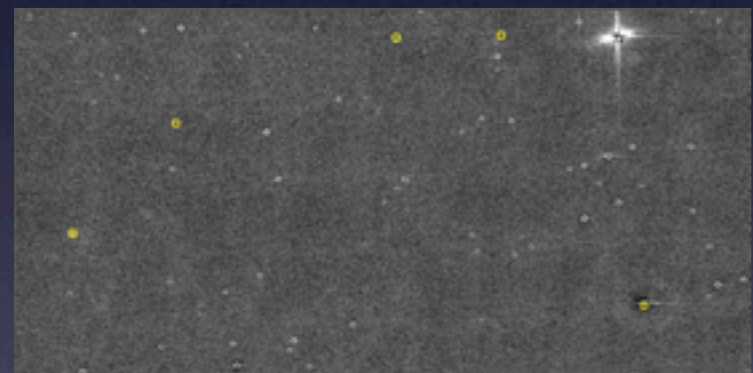


image subtraction

source detection

< 10 min

~ 50GB/day

cut-out images

Ref

New

Sub

KISS database

source
info

Tokyo

cut-out images

Ref

New

Sub

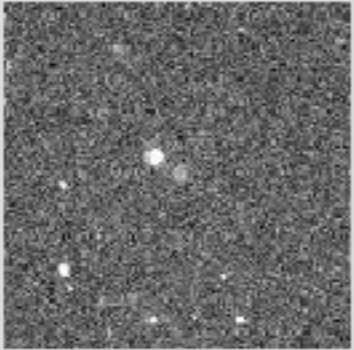

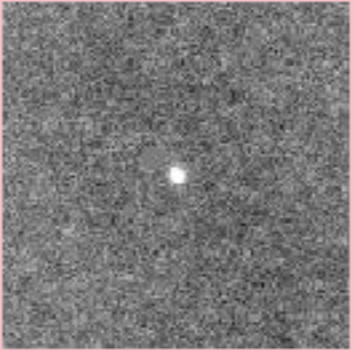

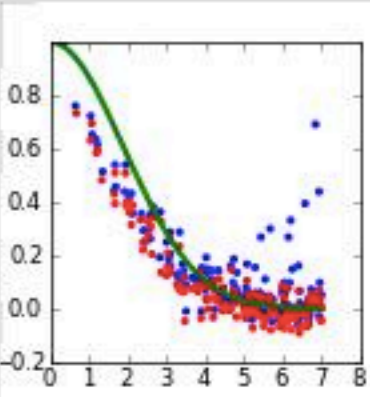

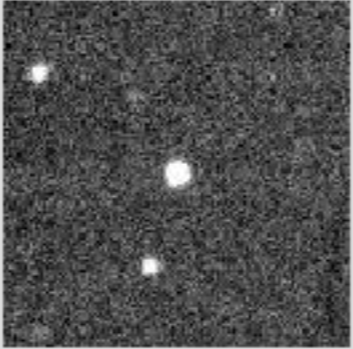
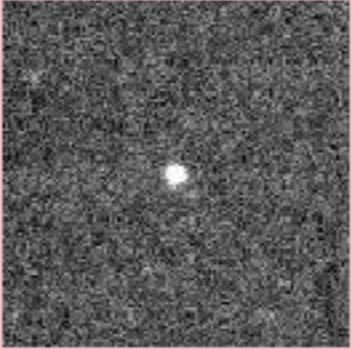
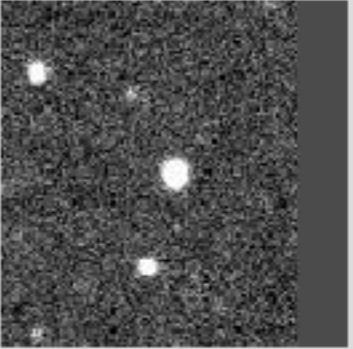
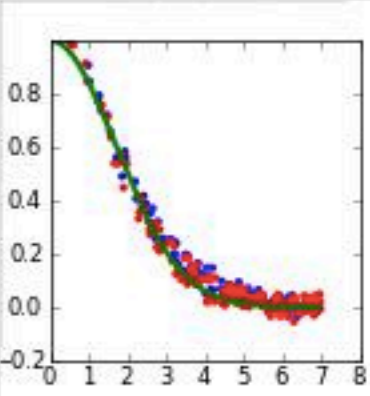
KISS database

source
info

KISS interface



Realtime check
Amateur astronomers

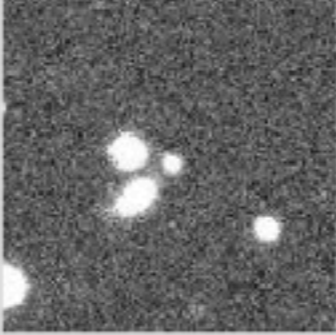
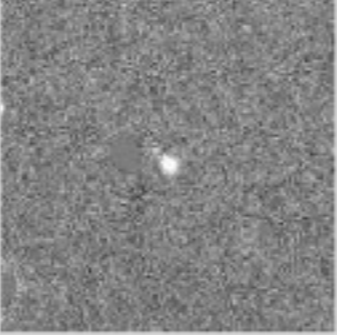
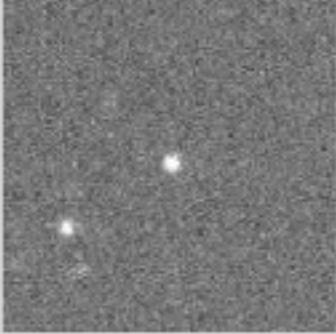
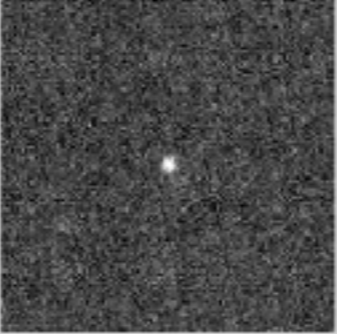
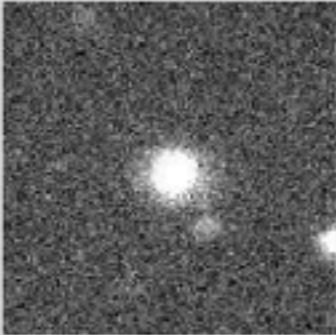
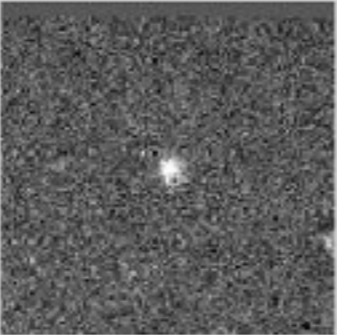
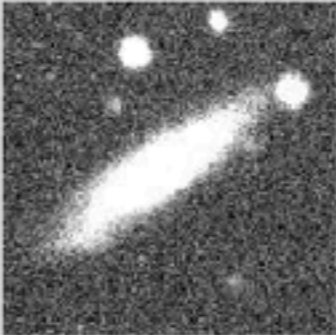
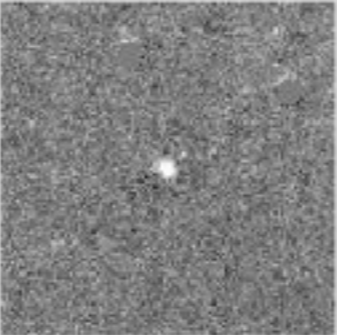

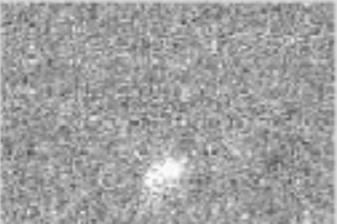
No	Request	FitsID	Reference	New	Subtracted	Previous	Profile
			(2' x 2')	(2' x 2')	(2' x 2')	(2' x 2')	7pix
1	source ID 669371 <input type="button" value="submit"/>	2012-11-18 KSFJ0753+3116 0022406_0					
	<input type="button" value="unbookmark"/>	score <input type="button" value="0"/> <input type="button" value="1"/> <input checked="" type="button" value="2"/>					
2	source ID 669258 <input type="button" value="submit"/>	2012-11-18 KSFJ0804+4030 0022404_0 KISS12r					
	<input type="button" value="bookmark"/>	score <input type="button" value="0"/> <input type="button" value="1"/> <input checked="" type="button" value="2"/>					



Realtime check
by **amateur astronomers in Japan**
and KISS members

18 SNe (and SN candidates) so far

KISS Supernova List

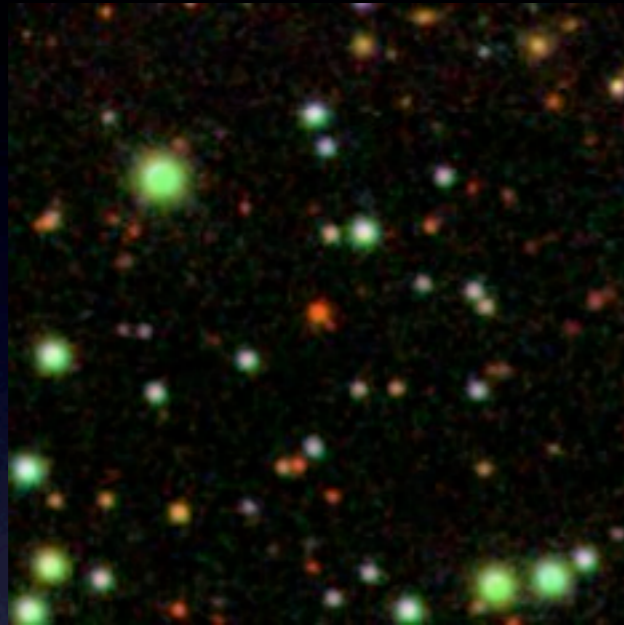
	SN	Date	Image (New/Sub)		RA	Dec	Alias/Type
<input type="button" value="submit"/>	KISS12q	2012-10-21			03:12:52.15	-00:12:12.2	LSQ12fmx Ia
<input type="button" value="submit"/>	KISS12p	2012-10-13			01:27:14.62	+00:52:24.9	
<input type="button" value="submit"/>	KISS12o	2012-10-12			23:49:05.45	+00:22:54.9	
<input type="button" value="submit"/>	KISS12n	2012-10-11			03:16:31.53	-00:28:03.3	LSQ12fhh II
<input type="button" value="submit"/>	KISS12m	2012-10-07			23:43:34.40	+00:34:07.3	PTF12izc Ia

Initial Results (half a year)

- **18 SN candidates
(consistent with expectation)**
 - **3 IAU SNe**
 - **3 overlap with PTF,
2 with La-Silla QUEST, 2 with CRTS**
- **No shock breakout candidates**
- **Other variable sources**
 - **Rapid flare (with ~1 hr duration)**
 - **AGNs, variable stars**

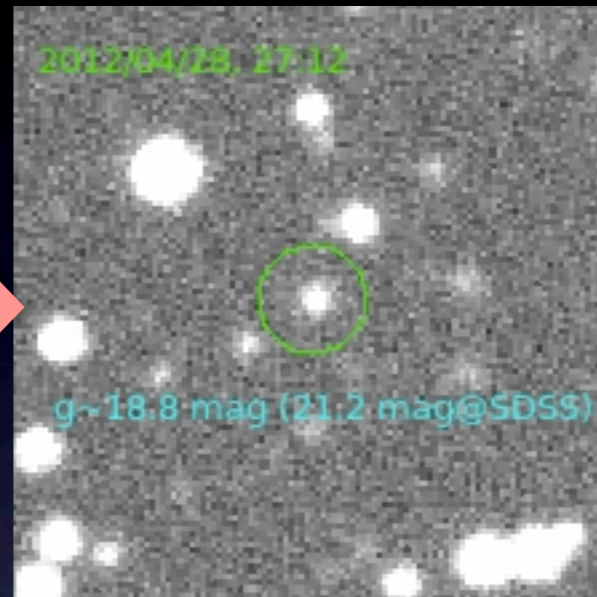
Rapid flare

SDSS

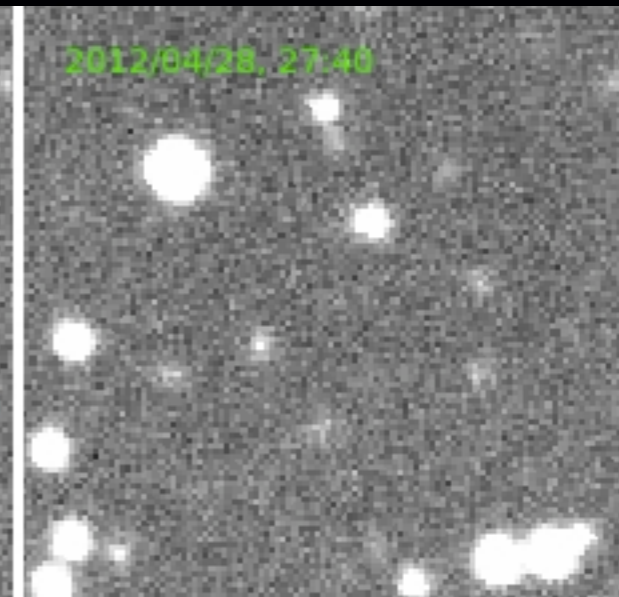


2012/4/28

27:10

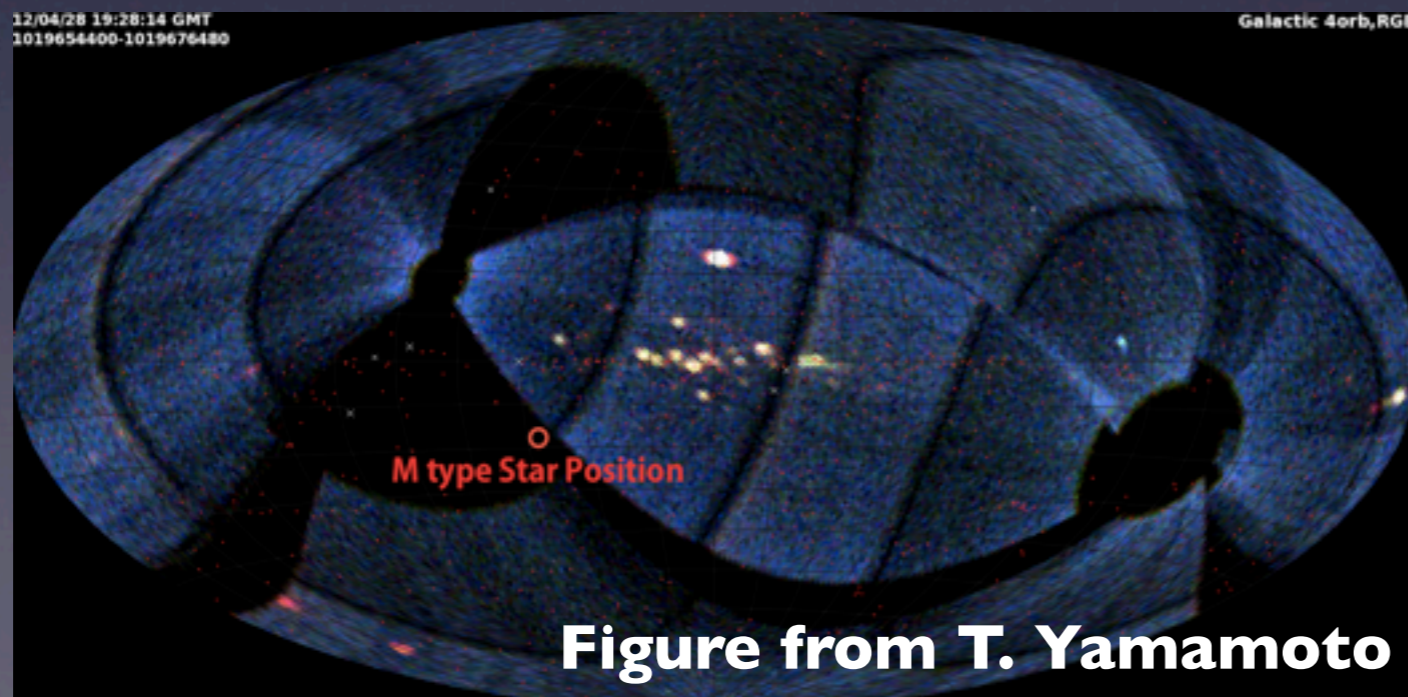


27:40



**Flare
by factor of 10**

**Faded
in 30 min**



**Synergy
with MAXI**

Figure from T. Yamamoto

KISS: KIso **S**upernova **S**urvey

- **Extremely high-cadence survey**

- **1-hr cadence**

- **3 min exposure**

- **~ 21 mag in g-band**

- **~50-100 deg² /day**

- **100 nights / year**

- **Initial results**

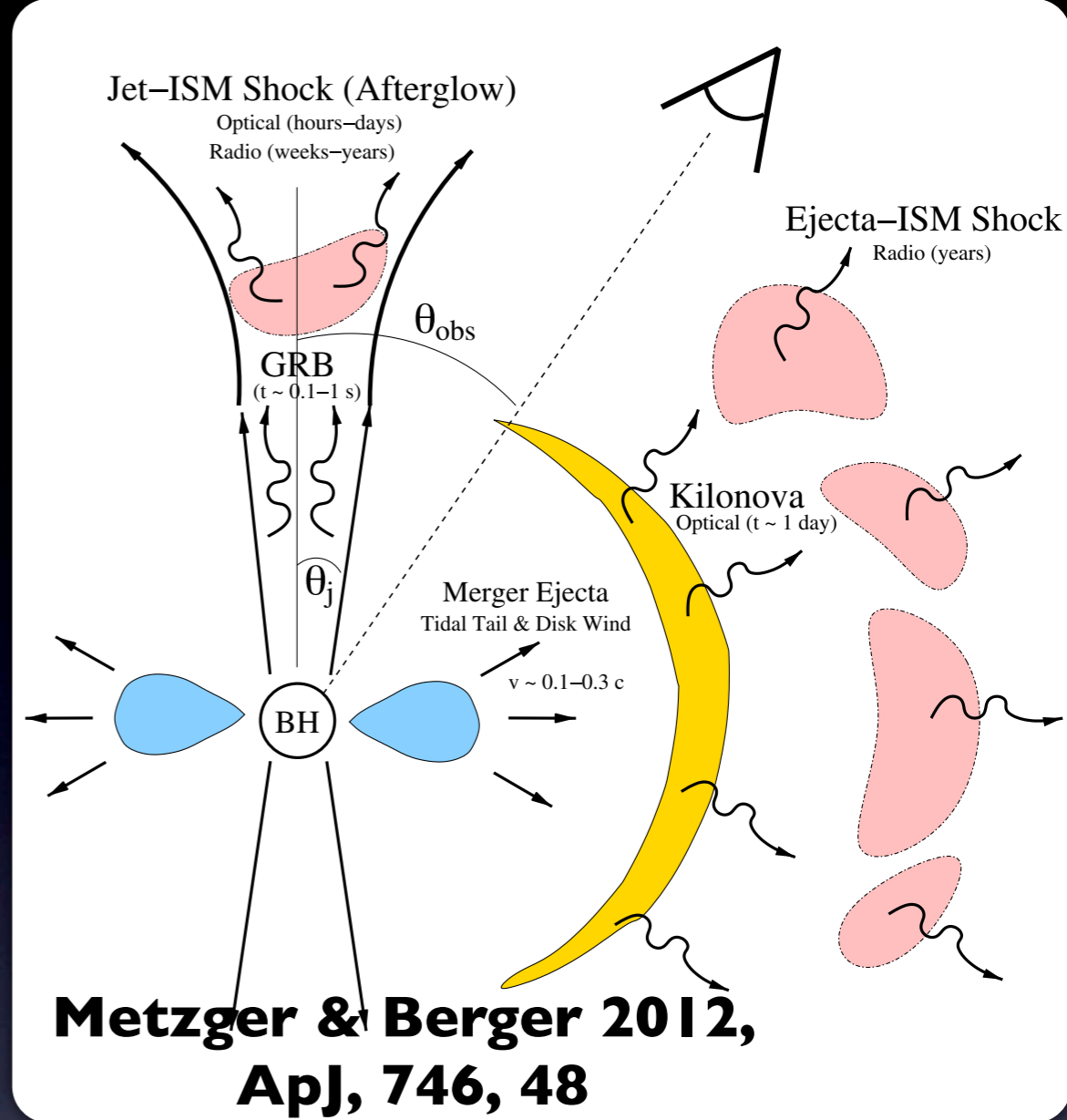
- **18 SN candidates,
but no SN shock breakout**



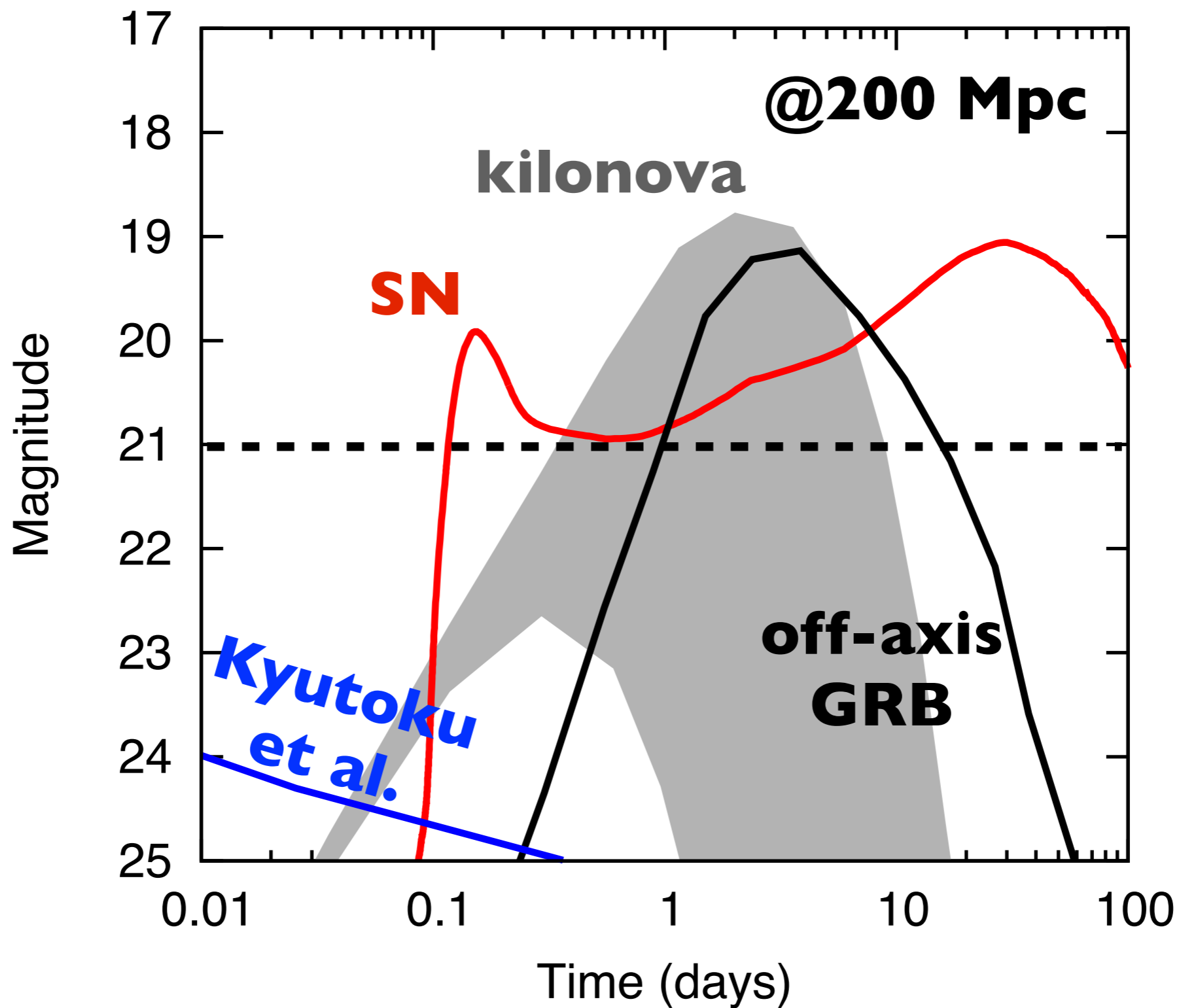
- **Optical Observations of Supernovae**
- **Current Status of Transient Survey**
- **KISS: Kiso Supernova Survey**
- **Synergy with Gravitational Astronomy**

EM signature from NS-NS merger

- On-axis short GRB
 - very rare
- Off-axis radio emission
 - delayed (~ 1 yr)
 - no guarantee of association
- “kilonova” (macronova)
 - could be common if r-process occurs



What about BH-NS merger?
(=> this workshop)



**kilonova within 200 Mpc
is detectable if occurs in FOV**

Strategy

GW-triggered search

**Rapid follow-up
after GW alert**

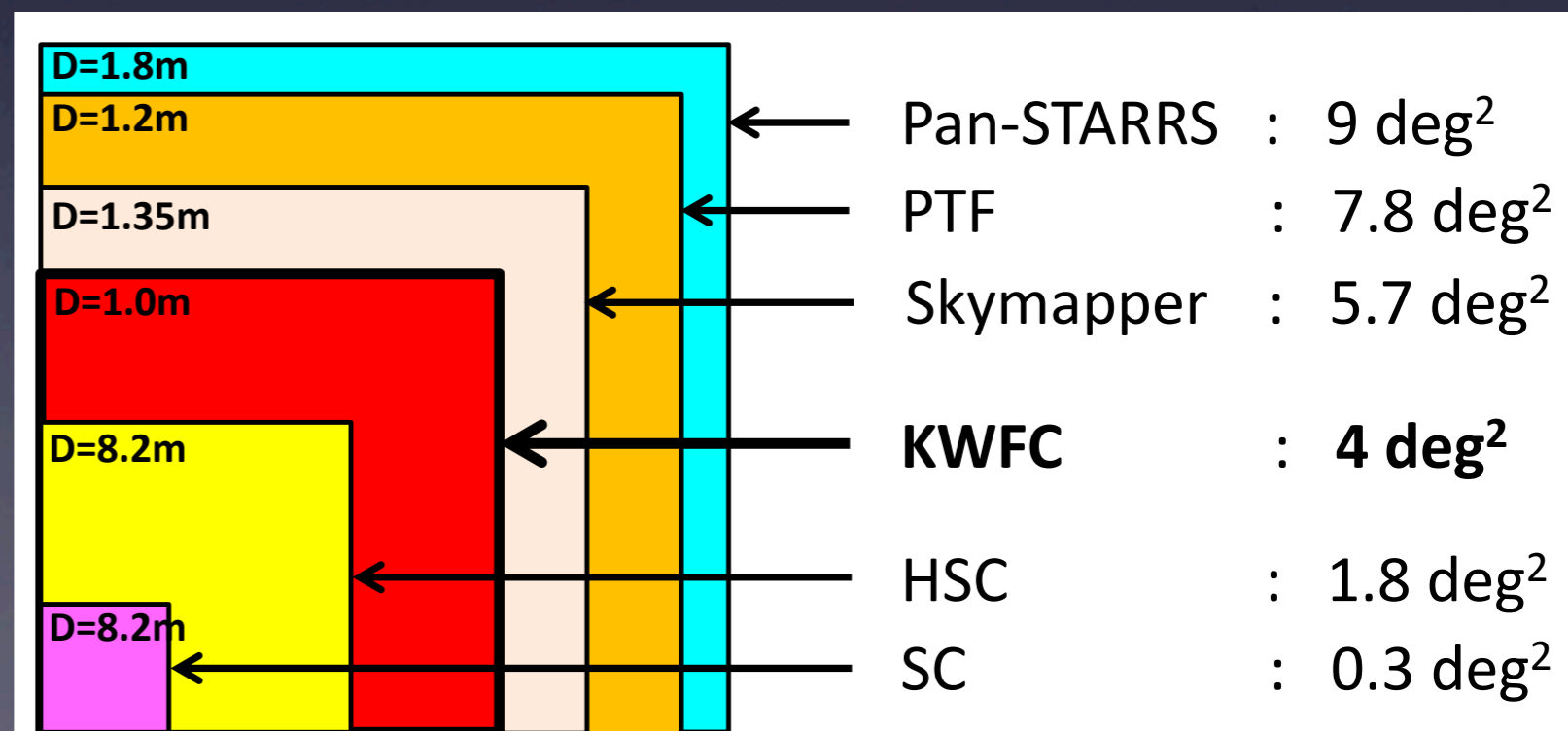
EM-triggered search

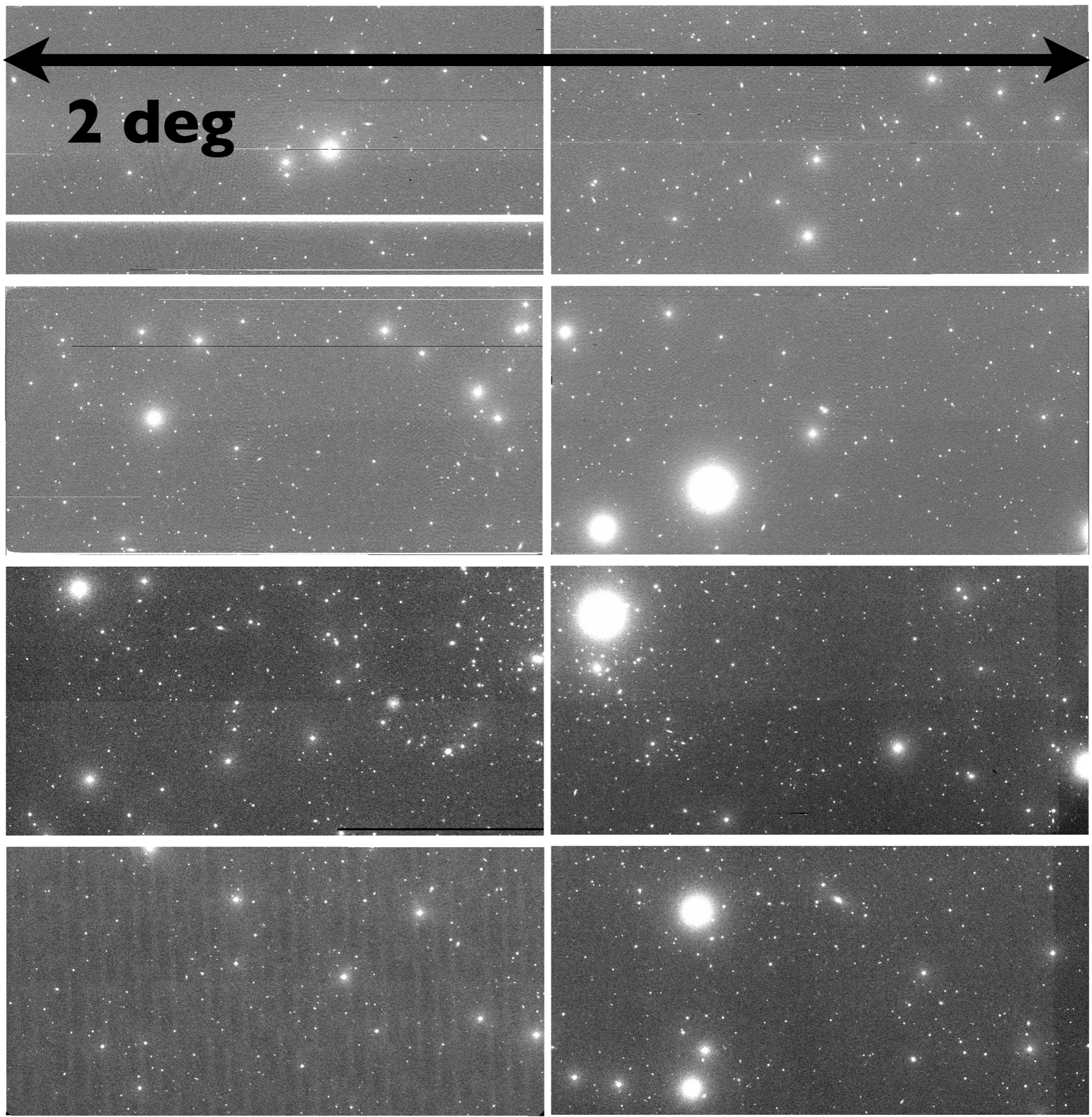
**Blind EM transient
survey**

GW-triggered search

- **Quick communication**
- **Localization with $\sim 10\text{-}100 \text{ deg}^2$**
 - **Rapid follow up with wide field (survey) telescope**
 - **Many non-associated detections \Rightarrow check only around known galaxies??**

**~ 500 galaxies/ 10 deg^2
($< 200 \text{ Mpc}$)**

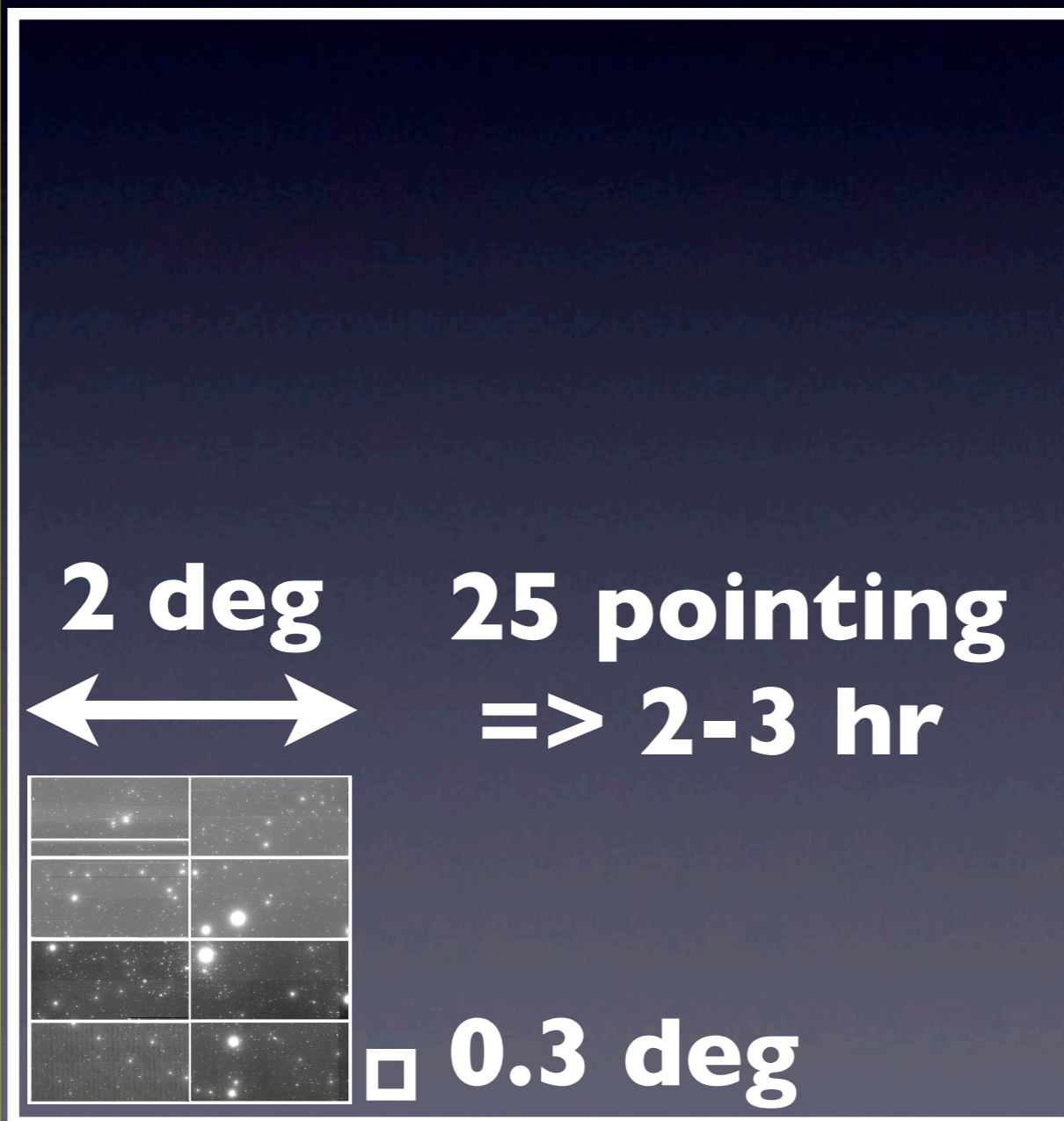




GW alert error box

10 deg x 10 deg
(for example)

6 deg

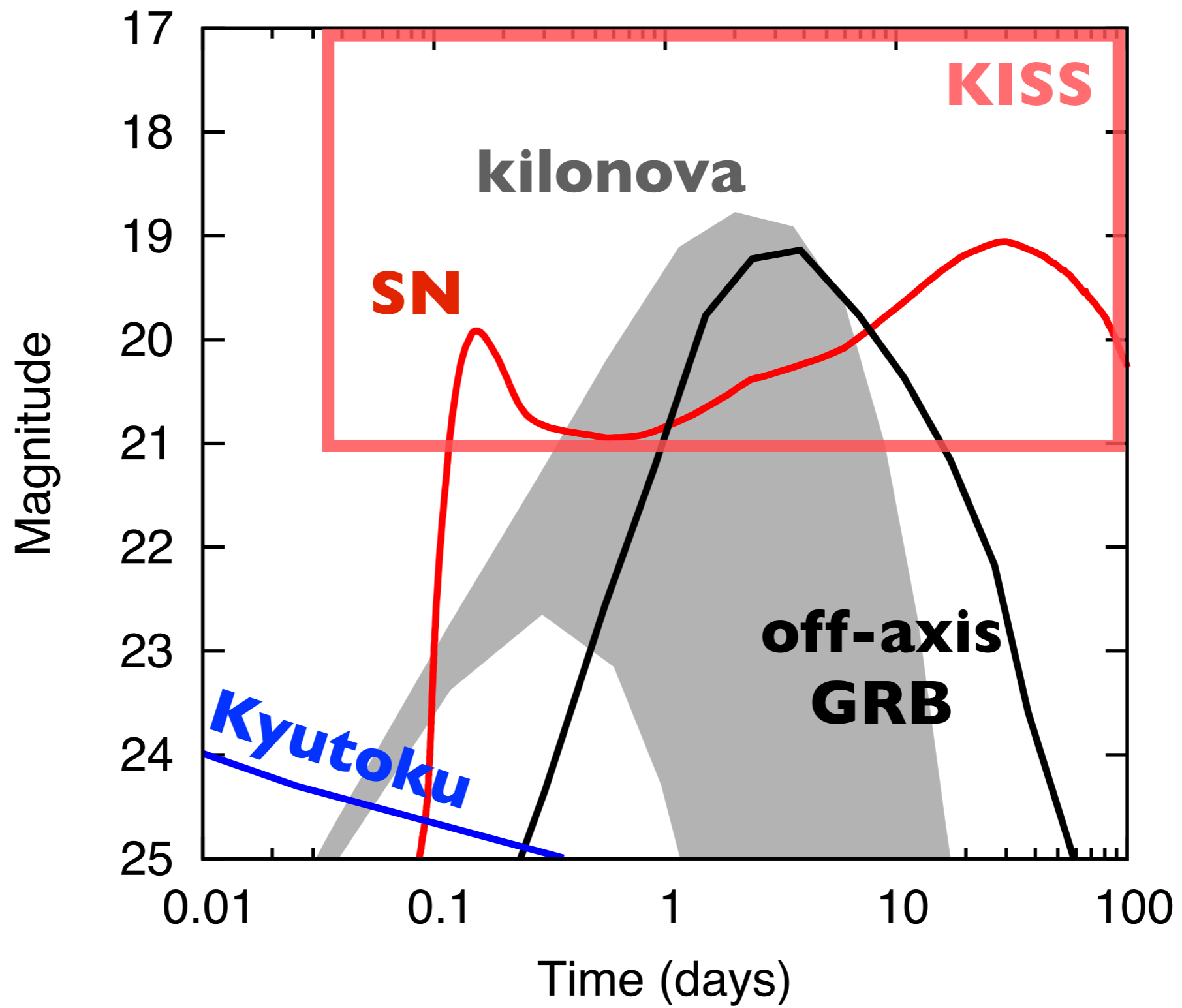


EM-triggered search

- **High cadence: ~ 1 hr**
- **Wide field: > a few deg²**

We are already doing this :-)

- **Extremely low probability**
 - 10-100 events/yr/all sky
 - ~0.03 events/yr/100 deg²
- **Bad timing determination (~ 1 hr)**



Future plan for GW+EM astronomy

- **Before KAGRA**

- **Blind high-cadence survey**
(small detection rate, ~ 0.03 /yr)
- **System update for rapid response**
- **Remote/automatic observations**

- **After KAGRA**

- **Rapid follow up triggered by GW alert**
Only possible with $>$ a few deg^2 FOV telescope
(**Kiso observatory is unique facility in Japan**)

GW-EM astronomy: strategy

GW triggered search

EM triggered search

Localization 10-100 deg²

Extremely low rate

**Rapid response of
wide field (survey) telescope**

Already started

**What is the best approach?
(now and 5 yrs later)**

Optical Observations of Supernovae and Transients

超新星爆発・突発天体の光学観測

- **Optical Observations of Supernovae**
- **Current Status of Transient Survey**
- **KISS: Kiso Supernova Survey**
- **Synergy with Gravitational Astronomy**

まとめにかえて

- **What is critical feature of NS-NS merger?**
重力波のエラーボックス内に何かが検出されても、
それが**NS-NS merger**であると断定できるか？
(参考：tidal disruption / orphan GRB)
- **Spectroscopic feature**
- **Typing? (e.g., NS-NS, NS-BH)**
- **EM radiation transfer for NS-NS merger**
 - **Opacity list for r-process elements? (青木さん?)**
 - **Luminosity and duration => observing strategy**
 - **What about NS-BH?**