

Type Ia Supernova Survey w/ WISH

諸隈 智貴 (NAOJ)

Contents

1. Ia型超新星とは?
2. Ia型超新星を用いた宇宙論の問題点と
解決策
3. WISH Ia型超新星 cosmology
4. WISH Ia型+重力崩壊型超新星 rate
5. まとめ

Contents

1. Ia型超新星とは?

2. Ia型超新星を用いた宇宙論の問題点と
解決策

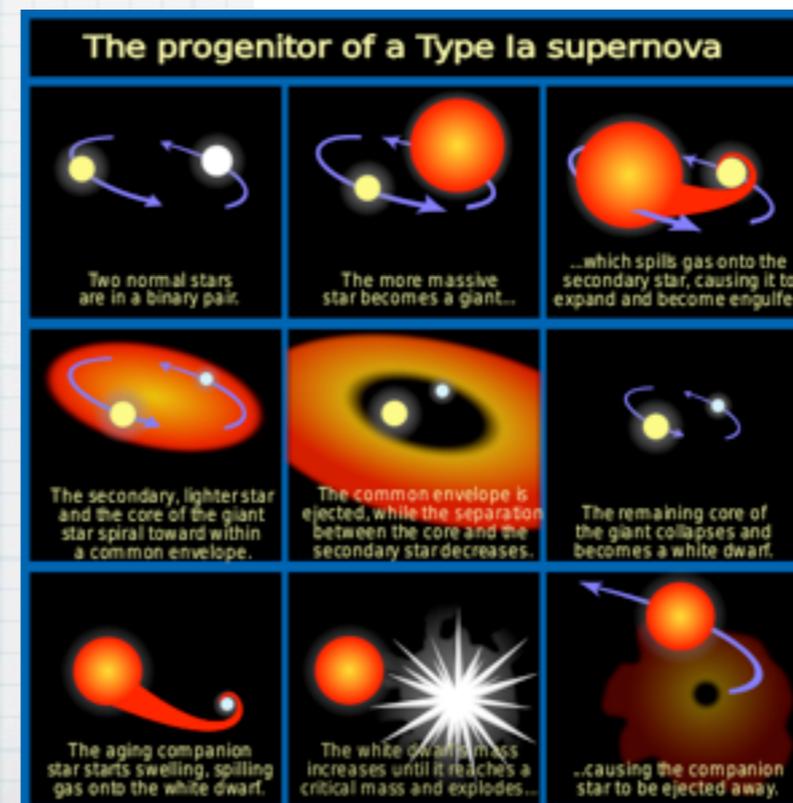
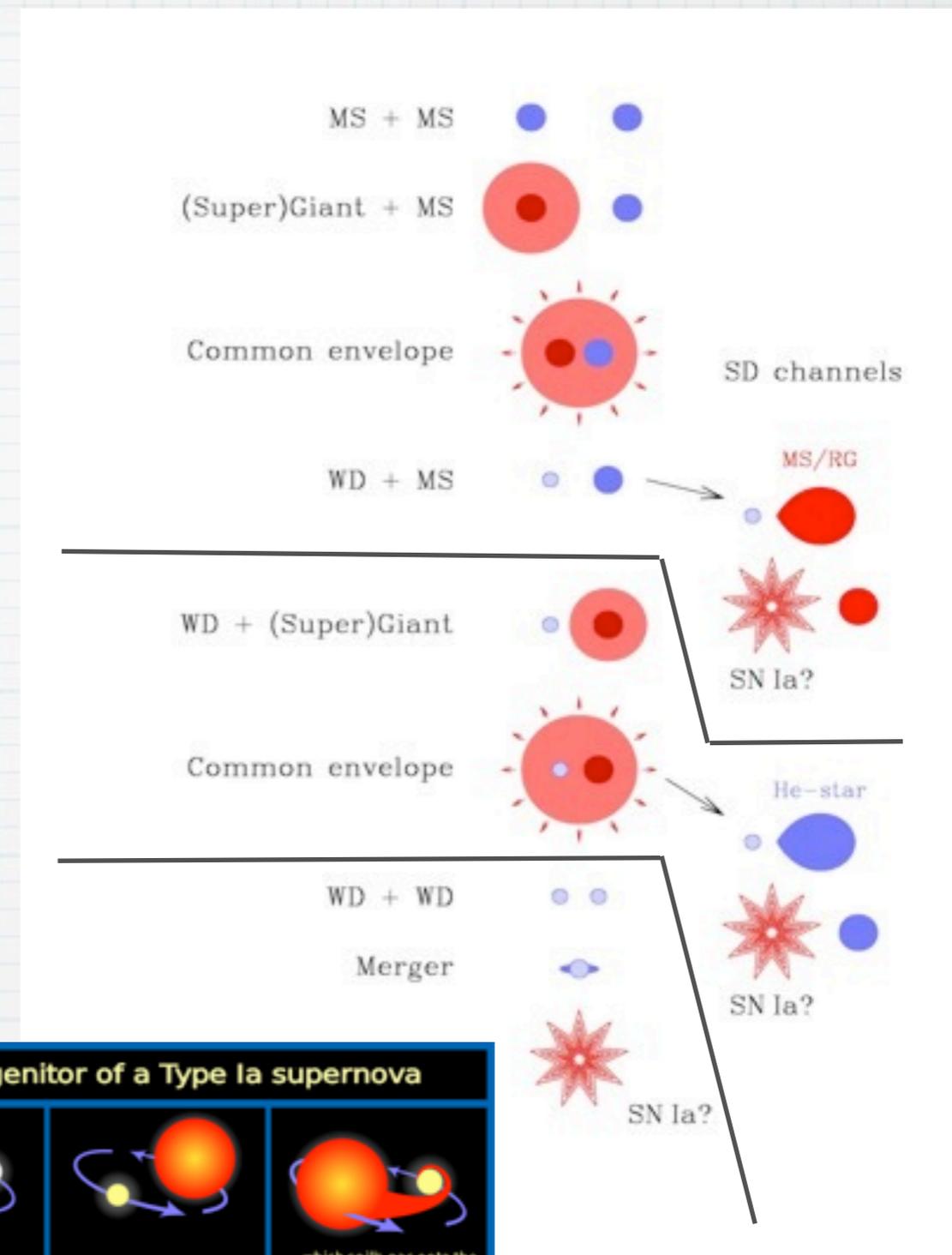
3. WISH Ia型超新星 cosmology

4. WISH Ia型+重力崩壊型超新星 rate

5. まとめ

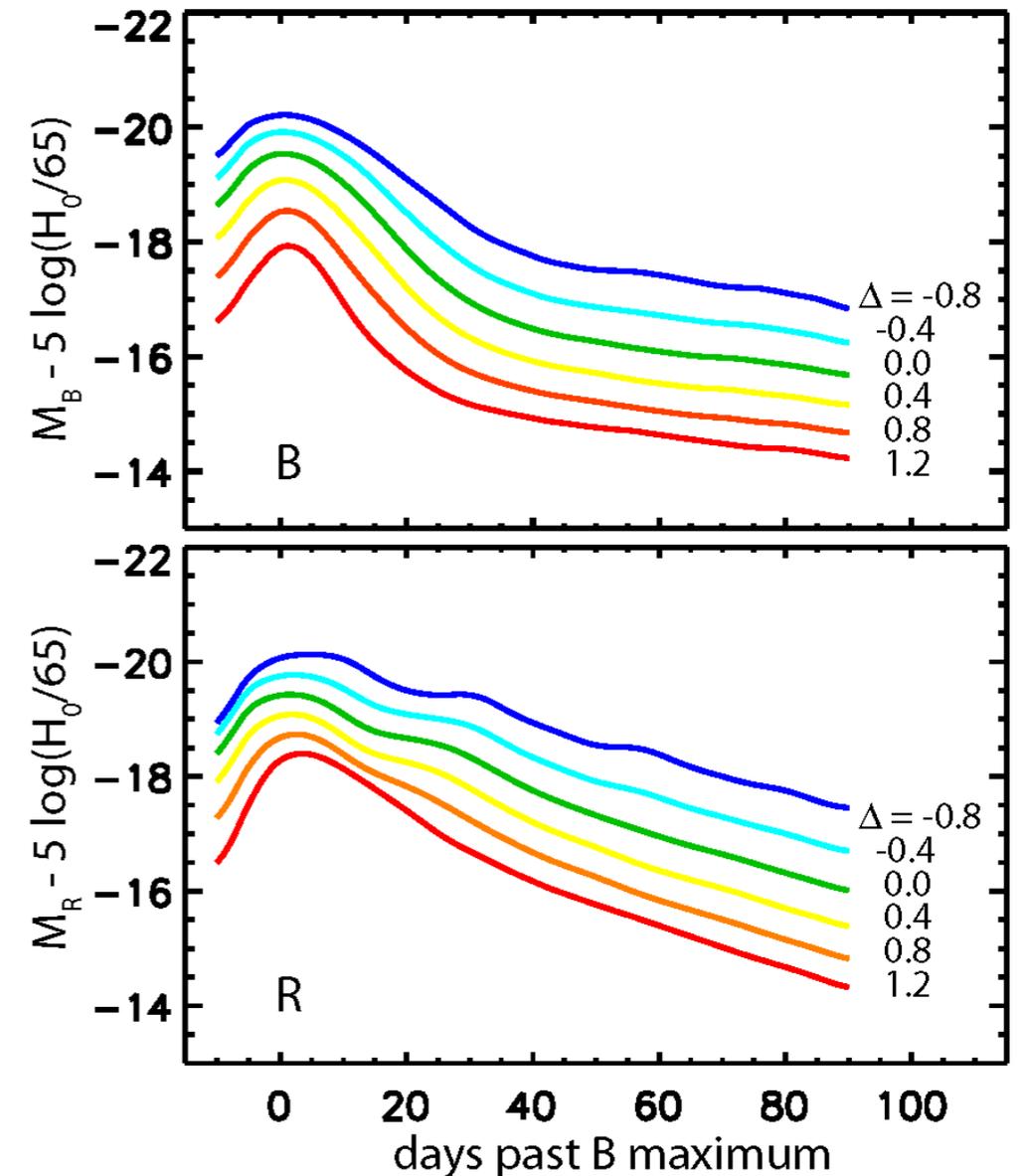
Type Ia Supernova

- + 白色矮星の連星系。
- + 伴星は主系列星? 赤色巨星? (single degenerate) 白色矮星? (double degenerate)
- + 伴星からの質量降着? 白色矮星同士の衝突・合体?
- + チャンドラセカル質量に達すると、熱核反応が暴走、爆発する。
- + standard(izable) candle



Type Ia Supernova

- + 非常に明るい。 $M_B = -19.3 \text{ mag}$
 - 遠方 ($z > 1$) でも観測可能
- + 光度曲線の形が似ている
 - Δm_{15} , stretch, Δ などの光度曲線を表すパラメータと最大光度に良い相関
 - 明るい超新星ほどゆっくり暗くなる。
- + すべての銀河タイプで発生
 - 重力崩壊型超新星は星形成銀河のみ
- + 宇宙膨張測定



Jha et al. 2002

Contents

1. Ia型超新星とは?

2. Ia型超新星を用いた宇宙論の問題点と
解決策

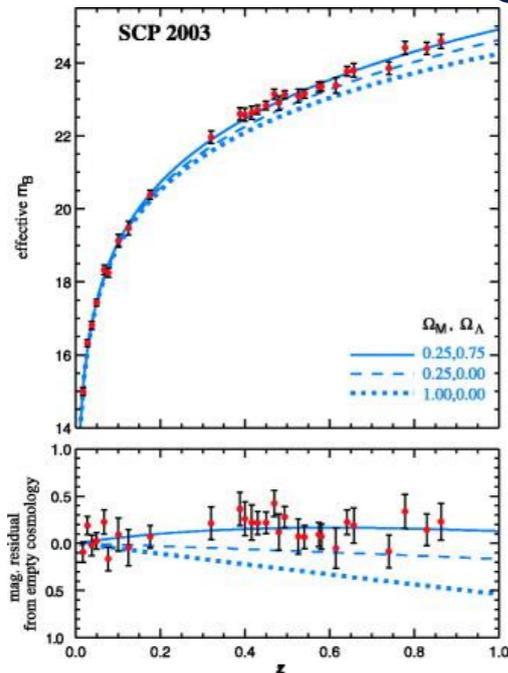
3. WISH Ia型超新星cosmology

4. WISH Ia型+重力崩壊型超新星rate

5. まとめ

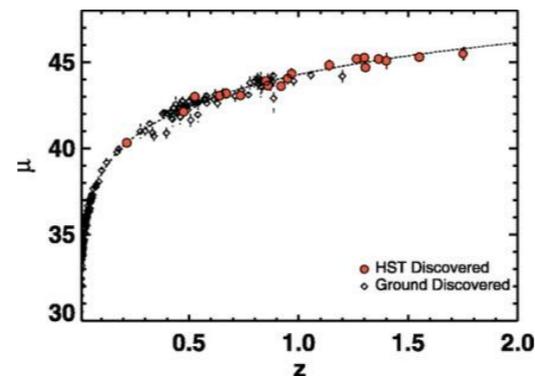
Type Ia Supernova Cosmology

Supernova Cosmology Project (SCP)

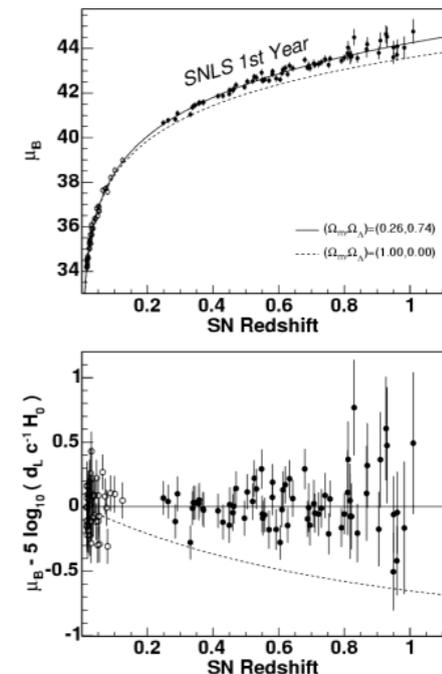


Knop et al. 2003

High-Z Team



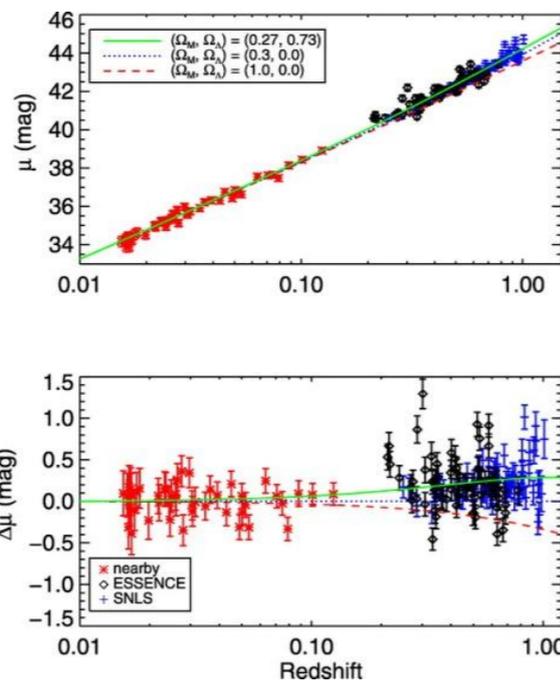
Riess et al. 2004



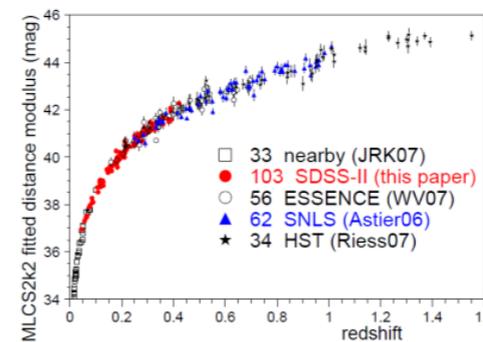
Astier et al. 2006

Supernova Legacy Survey (SNLS)

ESSENCE Supernova Survey



Wood-Vasey et al. 2007



SDSS-II Supernova Survey

Kessler et al. 2009

Type Ia Supernova Cosmology

+ advantage

- 最大光度(=luminosity distance)の分散が小さい
- 宇宙の幾何学だけに基づく宇宙(加速)膨張の直接測定
- luminosity distance - redshift relation
- 銀河や銀河団と比べて単一種類の天体なので単純
- $0 < z < 1.5$ の広いredshift範囲で観測可能

+ disadvantage

- dust extinction
- evolution, metallicity依存性
- 高精度な測光が必要
- Malmquistバイアス
- K-correction
- 重力レンズ効果による増光

statistical/systematic errors

	#	z	omega-m	omega-l	w
Knop+03 (SCP)	+11 ~50 (total)	0.36-0.86	+0.07-0.06 +/-0.04 (*1)	-0.06+0.07 +/-0.04 (*1)	+0.15-0.20 +/-0.09 (*2)
riess+04 (High-Z Team)	+16 ~157 (total)	0.2-1.6	+0.05-0.03 (*3)	-0.03+0.05 (*3)	+0.13-0.19 (*4)
Astier+06 (SNLS)	+71 +44 nearby	0.15-1.01	+/-0.042 +/-0.032 (*5)	+/-0.042 +/-0.032 (*5)	+/-0.090 +/-0.054 (*6)
Wood-Vasey+07 (ESSENCE)	+60	0.15-0.70	+0.033-0.020 (*7)	-	+0.09-0.09 +/-0.13 (*8)
Kowalski+08 (Union Sample)	+~10 nearby 307 (total)	0.1-1.6	-	+0.027-0.029 +0.036-0.039 (*9)	+0.059-0.063 +0.063-0.066 (*10)
Kessler+09 (SDSS-II SN)	+103 288 (total)	0.04-0.42	+/-0.019 +/-0.023 (*9)		+/-0.07 +/-0.11 (*9)

(*1): flat universe, $w=-1$ を仮定

(*2): $w=\text{constant}$ を仮定, +CMB+galaxy redshift distortion

(*3): flat universe, $w=\text{constant}$ を仮定

(*4): +CMB+LSS

(*5): flat Λ CDM

(*6): flat universe, $w=\text{constant}$, +BAO

(*7): +BAO

(*8): +SNLS SNe Ia

(*9): flat, Λ CDM universe

(*10): +BAO+CMB

Type Ia Supernova Cosmology

+ advantage

- 最大光度(=luminosity distance)の分散が小さい
- 宇宙の幾何学だけに基づく宇宙(加速)膨張の直接測定
- 銀河や銀河団と比べて単一種類の天体なので単純
- $0 < z < 1.5$ の広いredshift範囲で観測可能

+ disadvantage

- dust extinction
- evolution, metallicity依存性
- 高精度な測光が必要
- Malmquistバイアス
- K-correction
- 重力レンズ効果による増光

systematic errorの素になる

universal SN Ia color?

dust extinction

$$A_v = R_v \times E(B-V)$$

universal extinction law?

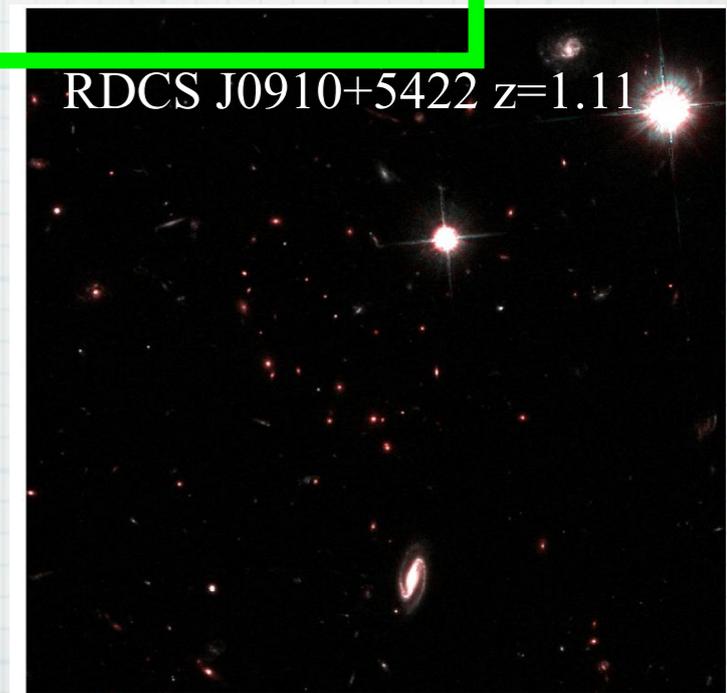
dust extinction correction

- + 最大のsystematic error
- + 統計errorとコンパラ
- + 「超新星固有の色」と「dustによるreddening」が縮退



1. dustの影響が小さい静止系でなるべく長い波長で観測したい
NIRでの超新星サーベイ

2. dustの影響が小さい環境の超新星を観測したい
- 楕円銀河超新星サーベイ
 - HST/ACSでの $z > 1$ 銀河団サーベイ (Dawson+2009)



Carnegie Supernova Project (CSP)

- + low- z ($z < 0.1$)
 - 100個のIa型, 100個のII型
 - Swope 1-m: 可視近赤外の多色測光
 - Dupont 2.5-m: 分光

- + high- z ($0.2 < z < 0.7$)
 - 75個のIa型
 - Magellan 6.5-m: 近赤外の測光
 - 可視は他のプロジェクトから:

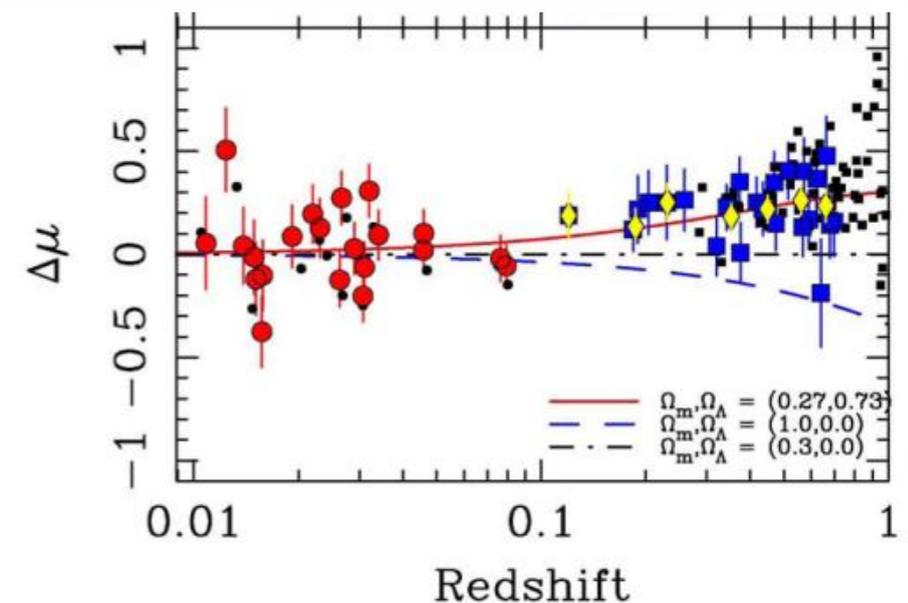
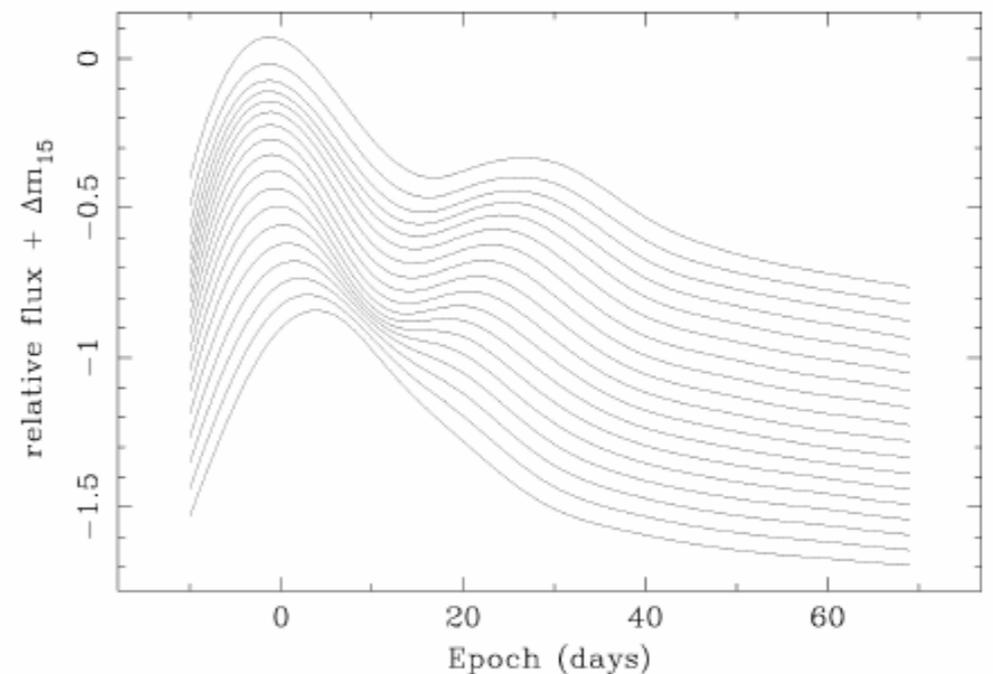
SDSS, SNLS, ESSENCE

I-band Hubble diagram

- これまではrest-frame UBV
- systematic errorの解消へ:
 - dust extinction, K-correction

I-band lightcurve template

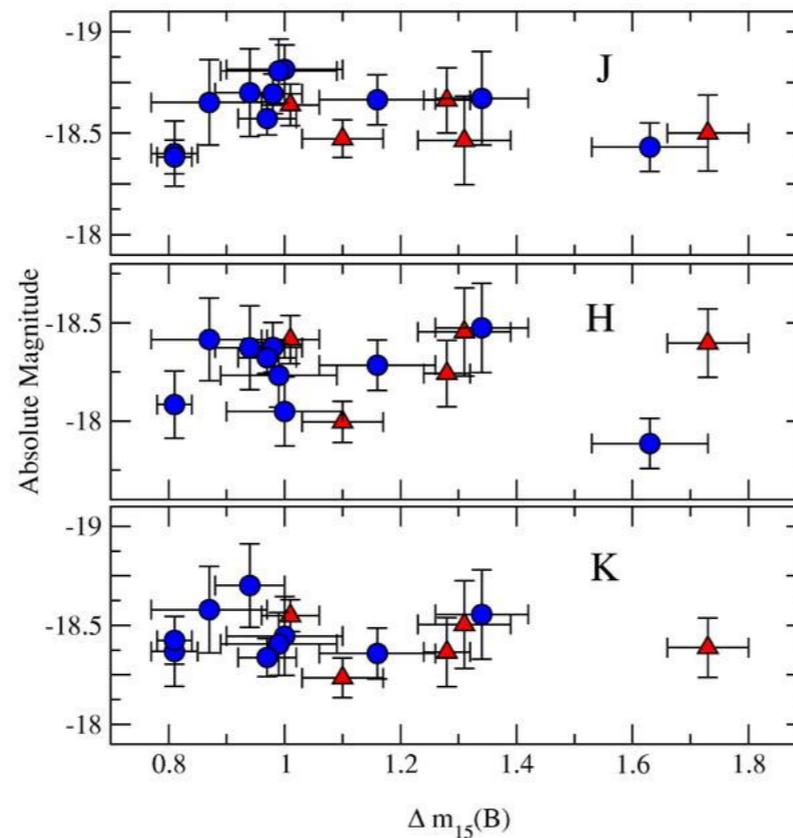
GLOEs i templates



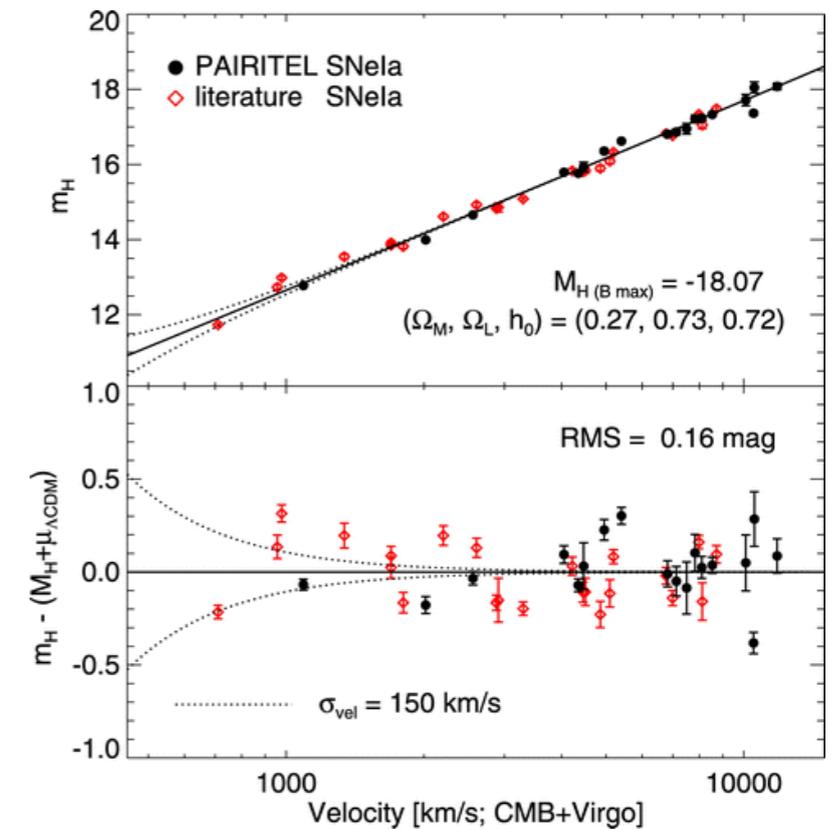
Rest-frame NIR observation

光度曲線の形に対する最大光度の依存性がなくなる。

--> 補正の必要なし



Krisciunas et al. 2004



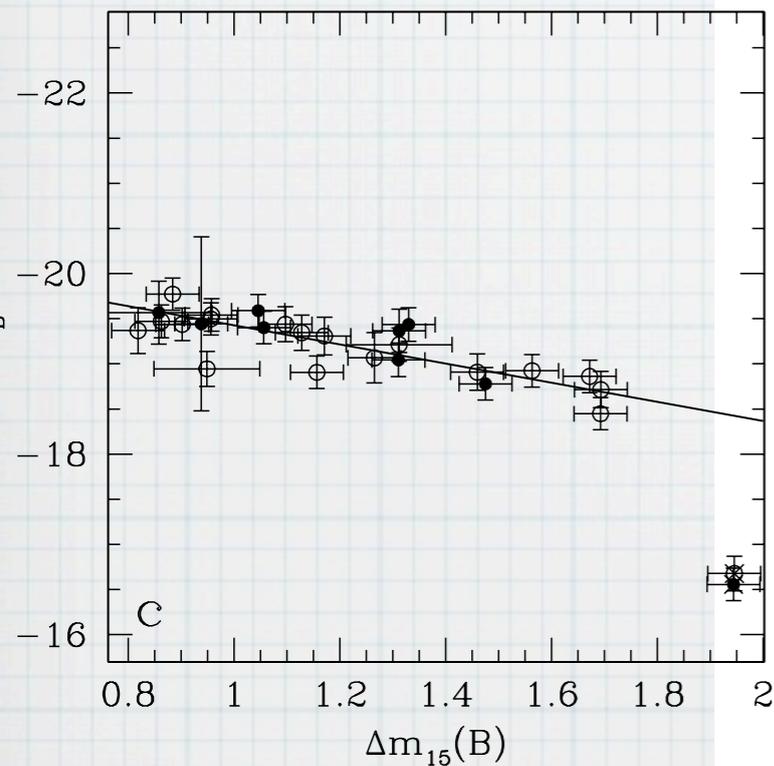
Wood-Vasey et al. 2008

Rest-frame NIR observation

光度曲線の形に対する最大光度の依存性がなくなる。

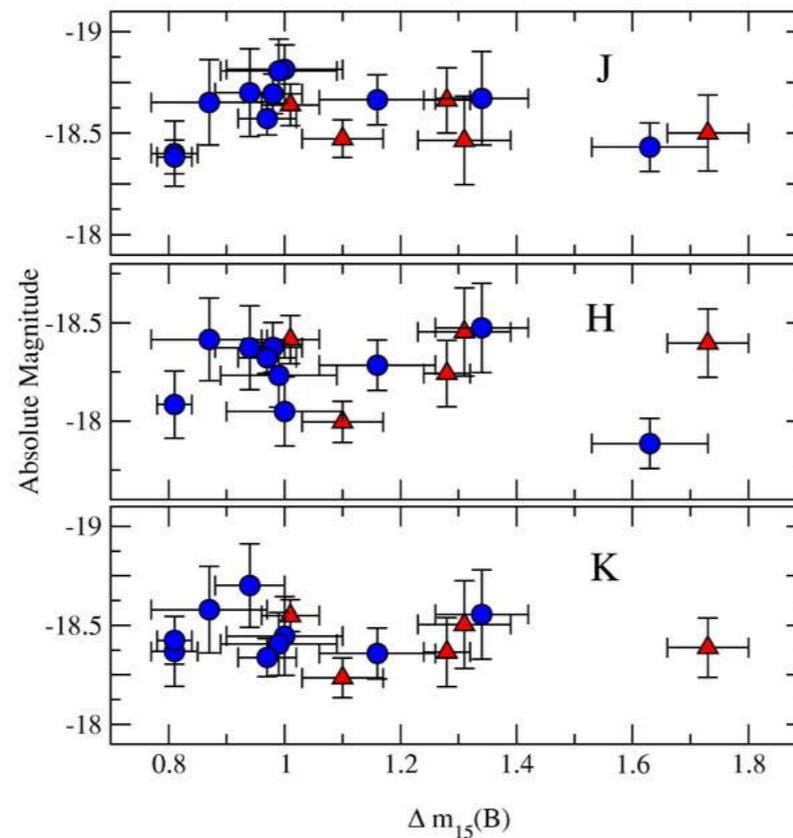
--> 補正の必要なし

rest-frame 可視

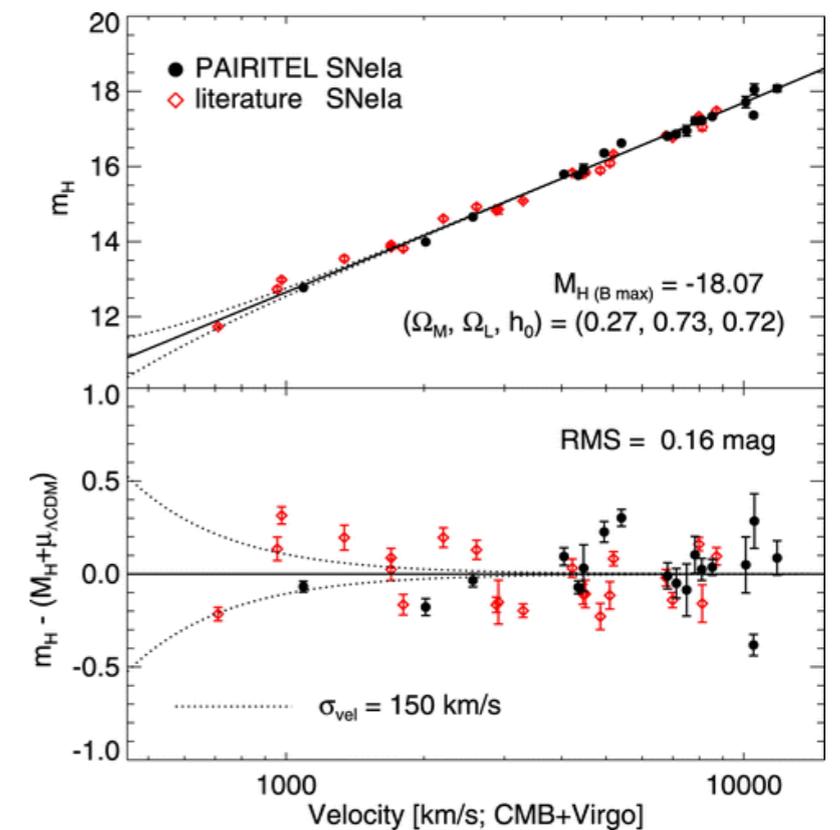


Altavilla+2004

rest-frame 近赤外



Krisciunas et al. 2004

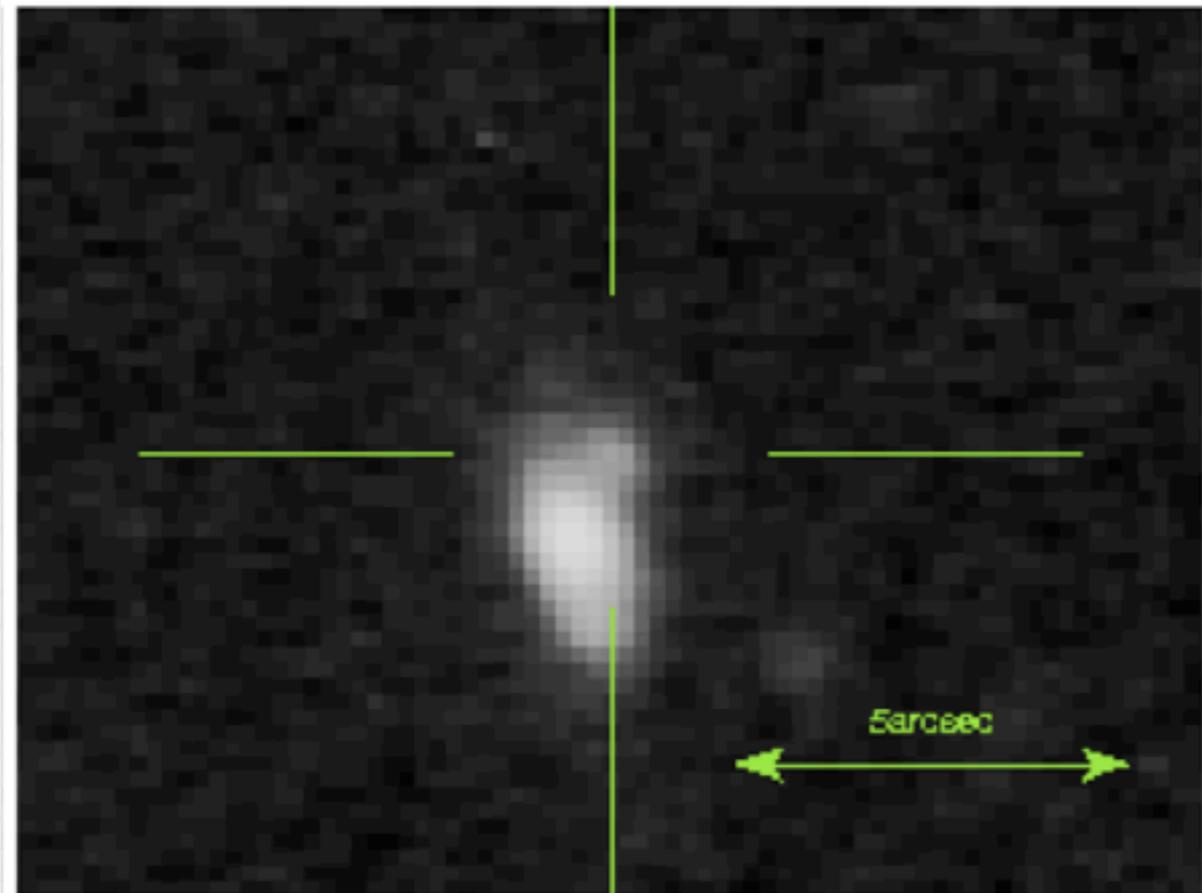


Wood-Vasey et al. 2008

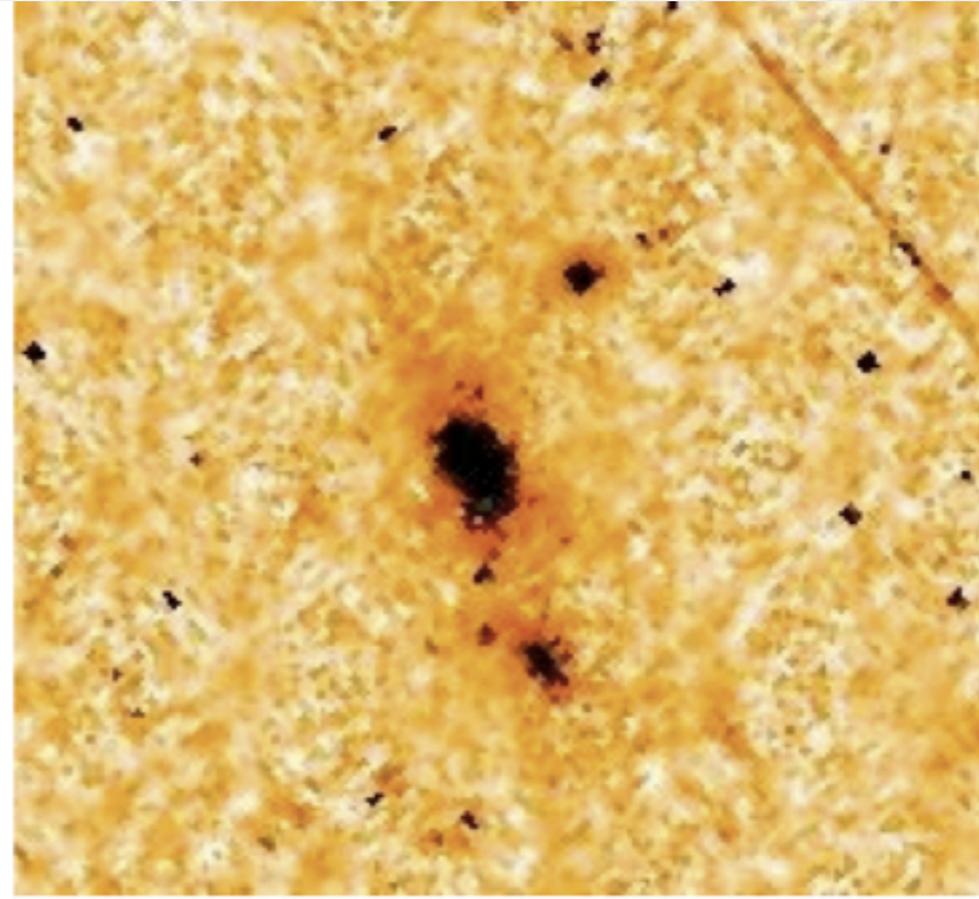
Contents

1. Ia型超新星とは?
2. Ia型超新星を用いた宇宙論の問題点と解決策
3. WISH超新星サーベイ
4. 重力崩壊型超新星サーベイ
5. まとめ

Space-based observations for SNe



すばる1時間弱の積分



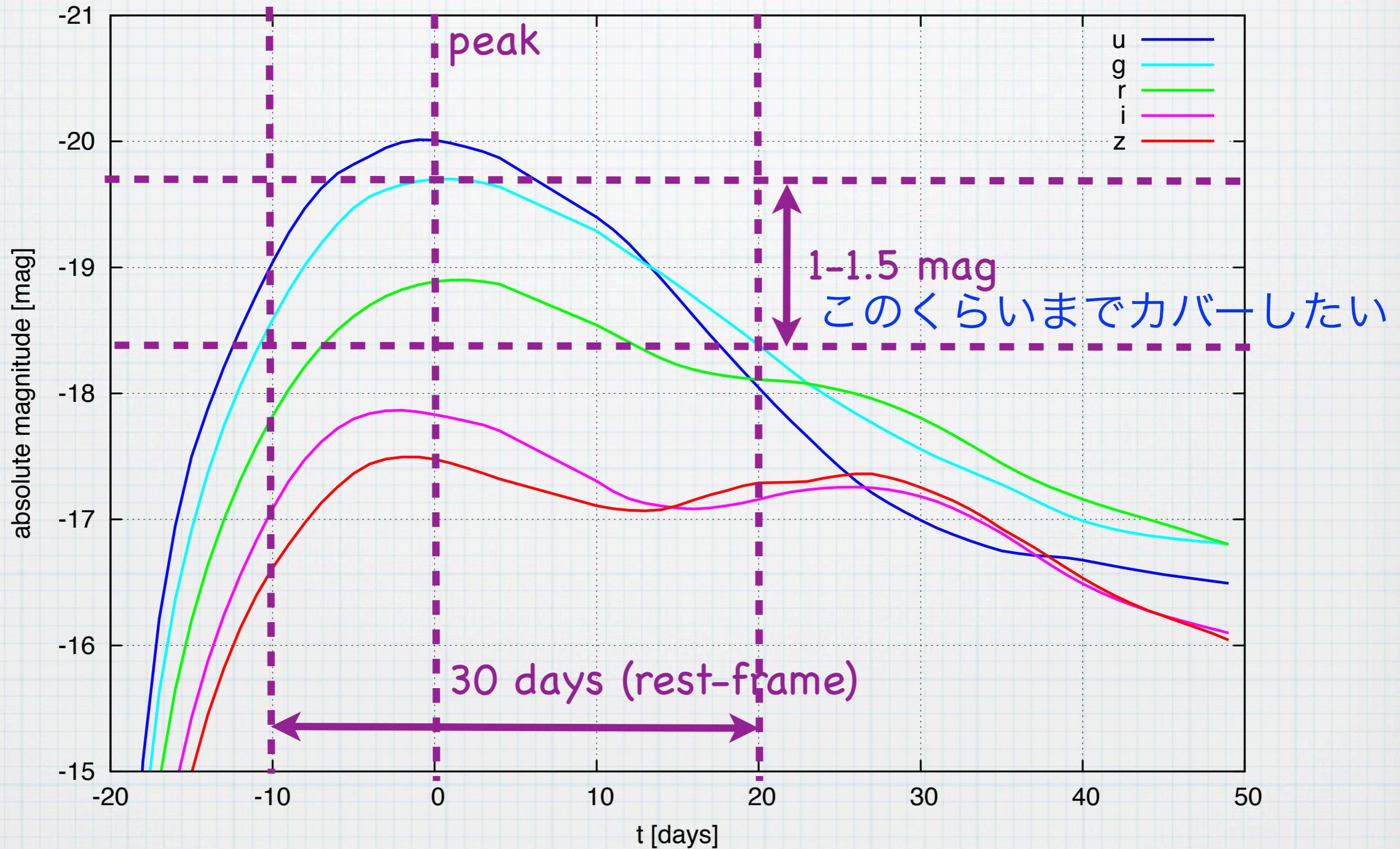
HST約15分の積分

宇宙望遠鏡

- 超新星のような点源の観測に向く
- 天気のファクターを考慮する必要がなく、超新星のようなタイミングが重要な観測に向く

SN Ia light curves

SN Ia light curves (Hsiao template)



WISH SN Survey Strategies

- + Ultra-Deep Survey (UDS)
 - 3-4バンドで28 mag AB
 - 何回に分けてとるか?
 - 最低N=5回
 - 間隔は5days@rest x (1+z)
 - ~10days@z~1程度

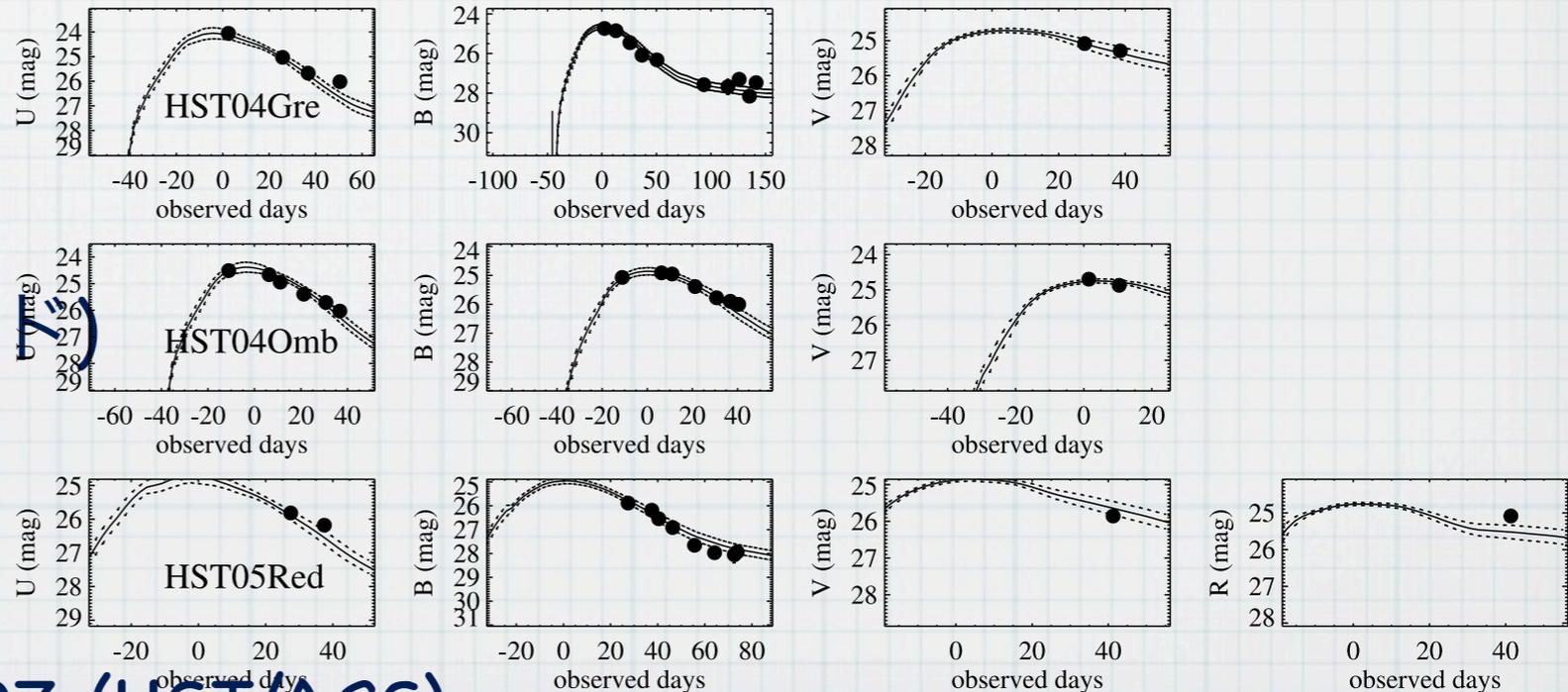
N	限界等級	1 mag margin
1	28.0	27.0
2	27.6	26.6
5	27.1	26.1
10	26.8	25.8
20	26.4	25.4

- できればrolling searchでN~20回

- N↑だと浅くなる

- visibilityとも深く関係。

- multi-band (最低3バン



Riess+2007 (HST/ACS)

WISH SN Survey Strategies

N	限界等級	1 mag margin	band (main)	band (color)	z_max
5	27.1	26.1	set3-f0,f1,f2,f3 set4-f0,f1,f2,f3	set3-f4,f5 set4-f4,f5	3.0
10	26.8	25.8	set3-f0,f1,f2 set4-f0,f1,f2,f3	set3-f3,f4,f5 set4-f4,f5	2.2
20	26.4	25.4	set3-f0,f1,f2 set4-f0,f1,f2,f3	set3-f3,f4,f5 set4-f4,f5	2.0

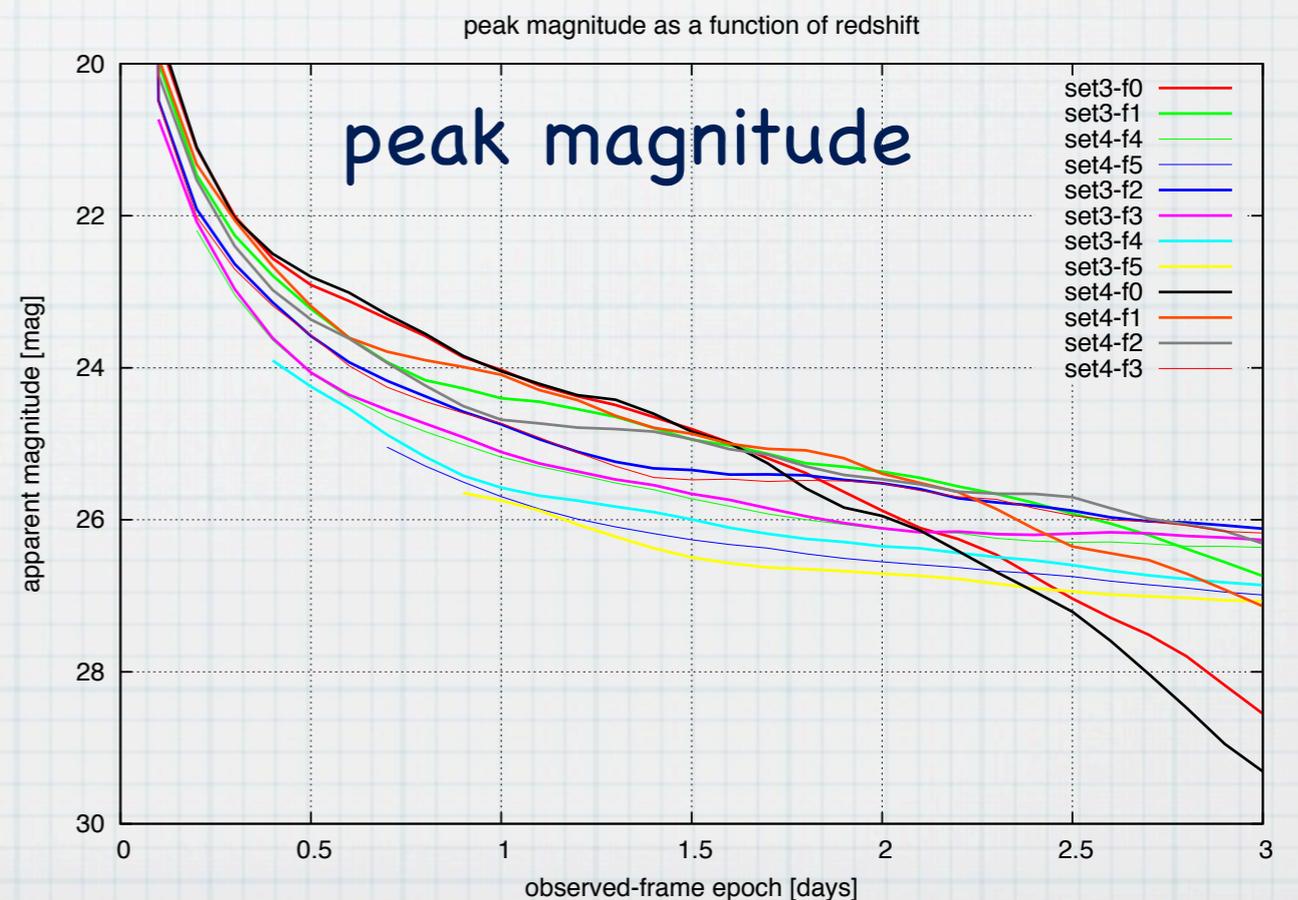
N=20はvisibilityを考えると、何年かに分ける必要?

rest-frame 可視が観測波長へ

意外と暗くならない

the higher-z, the better
と思えば↑となる。

が、そうでない考え方もある。



WISH SN Survey Strategies

+ rest-frame B-band ("as high-z as possible"): $\text{color}(B-R)$ の

ためにさらに長波長での測光が必要

- 分光ID: WISH/地上AO(8m, TMT)
- N=5回で $1.0 < z < 3.0$ (set3-f0,f1,f2,f3, set4-f0,f1,f2,f3)
- ~ 3 SNe Ia [$\text{day}^{-1} \text{deg}^{-2}$] ($z > 1.5$ は2個) \leftarrow 不定性大
 \rightarrow peakをおさえようと思うと実質15 days分。
- 44 deg^2 で2000 SNe Ia (~ 1200 SNe Ia @ $1.5 < z < 3.0$)

WISH SN Survey Strategies

+ rest-frame I/i-band

- 分光ID: 可視分光でOK, highest-zはNIR(WISH or AO)分光
- N=5回で $0.2 < z < 2.2$ (set3-f0,f1,f2,f3 or set4-f0,f1,f2,f3)
 - ~ 2.5 SNe Ia [$\text{day}^{-1} \text{deg}^{-2}$]
--> peakをおさえようと思うと実質10 days分。 80 deg^2 で2000 SNe Ia
- N=10回で $0.2 < z < 1.6$ (set3-f0,f1,f2,f3 or set4-f0,f1,f2,f3)
 - ~ 1.5 SNe Ia [$\text{day}^{-1} \text{deg}^{-2}$]
--> peakをおさえようと思うと実質10 days間隔 x 6回分。 22 deg^2 で2000 SNe Ia

+ rest-frame H-band

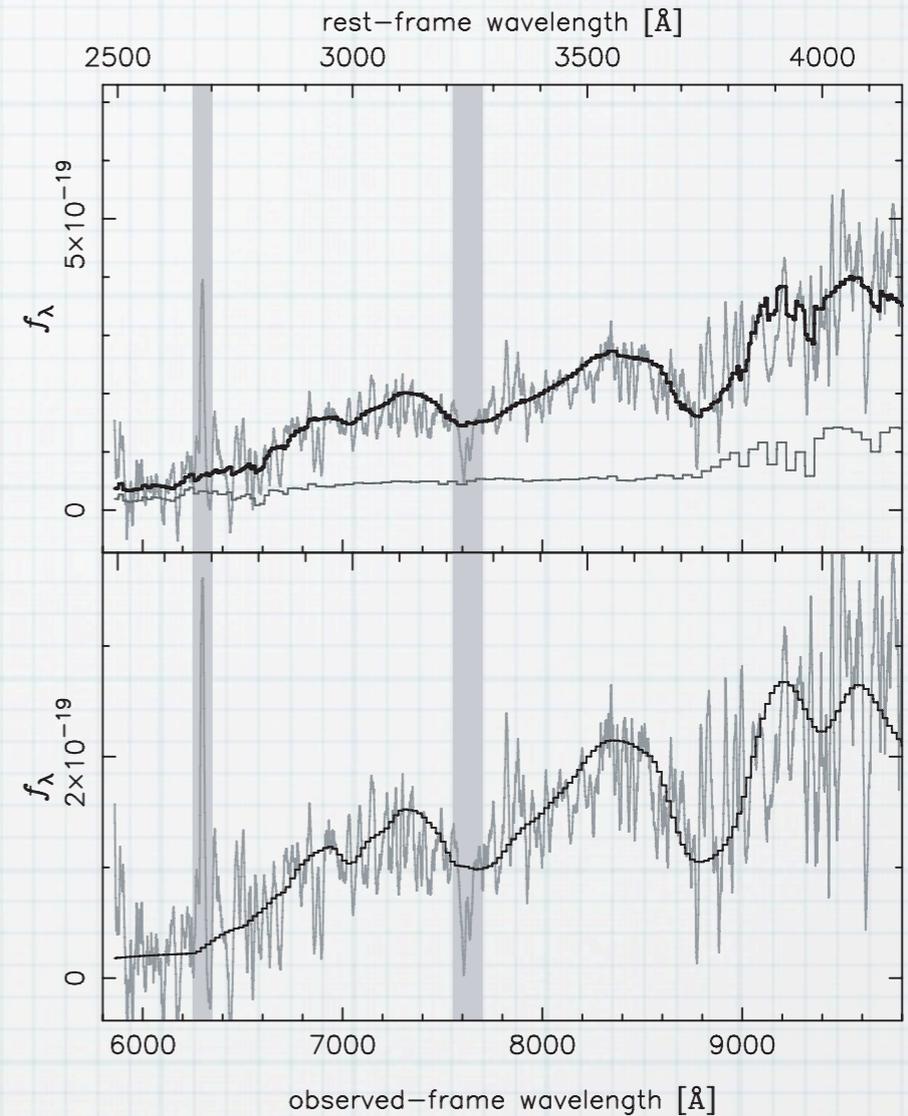
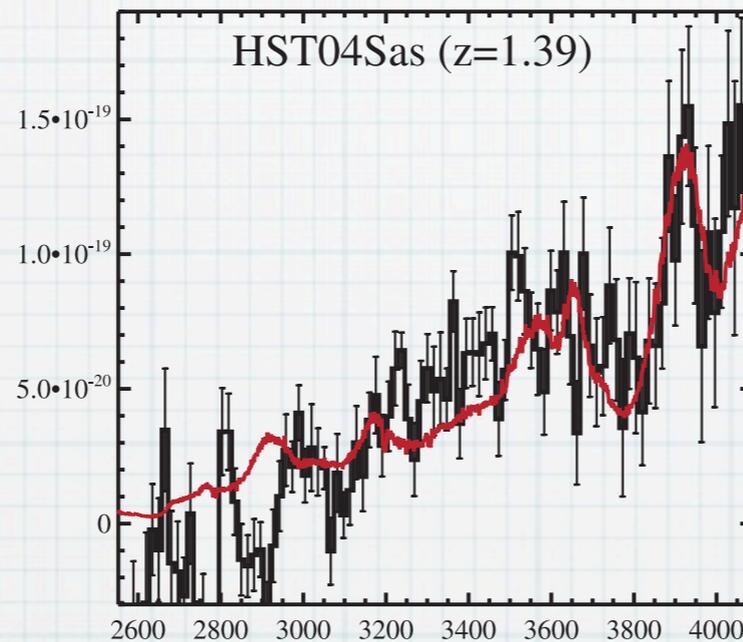
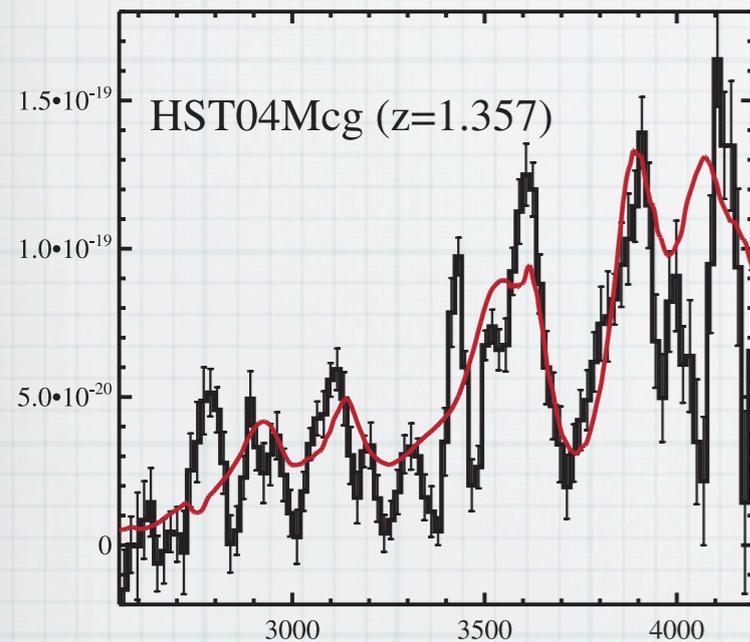
- 分光ID: 可視分光でOK, highest-zはNIR(WISH or AO)分光
- N=5回で $0 < z < 1.4$ (set3-f2,3,f4,f5 or set4-f3,f4,f5)
 - ~ 1.2 SNe Ia [$\text{day}^{-1} \text{deg}^{-2}$]
--> peakをおさえようと思うと実質10 days分。 167 deg^2 で2000 SNe Ia
- N=10回で $0 < z < 1.0$ (set3-f2,3,f4,f5 or set4-f3,f4,f5)
 - ~ 0.5 SNe Ia [$\text{day}^{-1} \text{deg}^{-2}$]
--> peakをおさえようと思うと実質10 days間隔 x 6回分。 67 deg^2 で2000 SNe Ia

最遠の超新星スペクトル

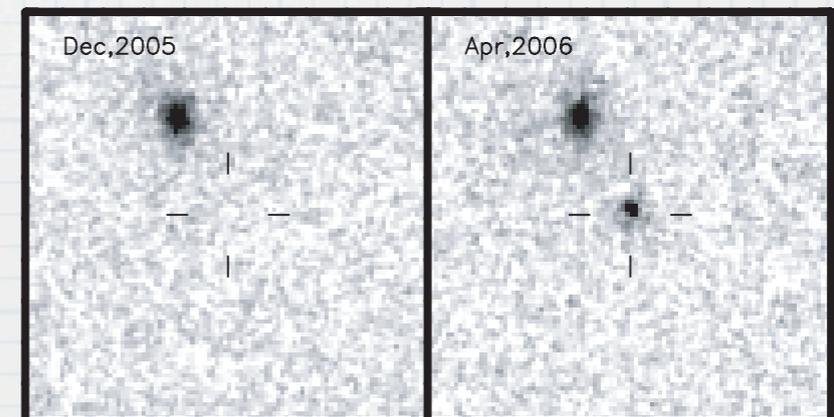
Riess+2007

HST/ACS grism, $\sim 15000?$ sec

$z=1.36, 1.39$



Morokuma+2010
Subaru/FOCAS, 22800 sec
 $z=1.35$



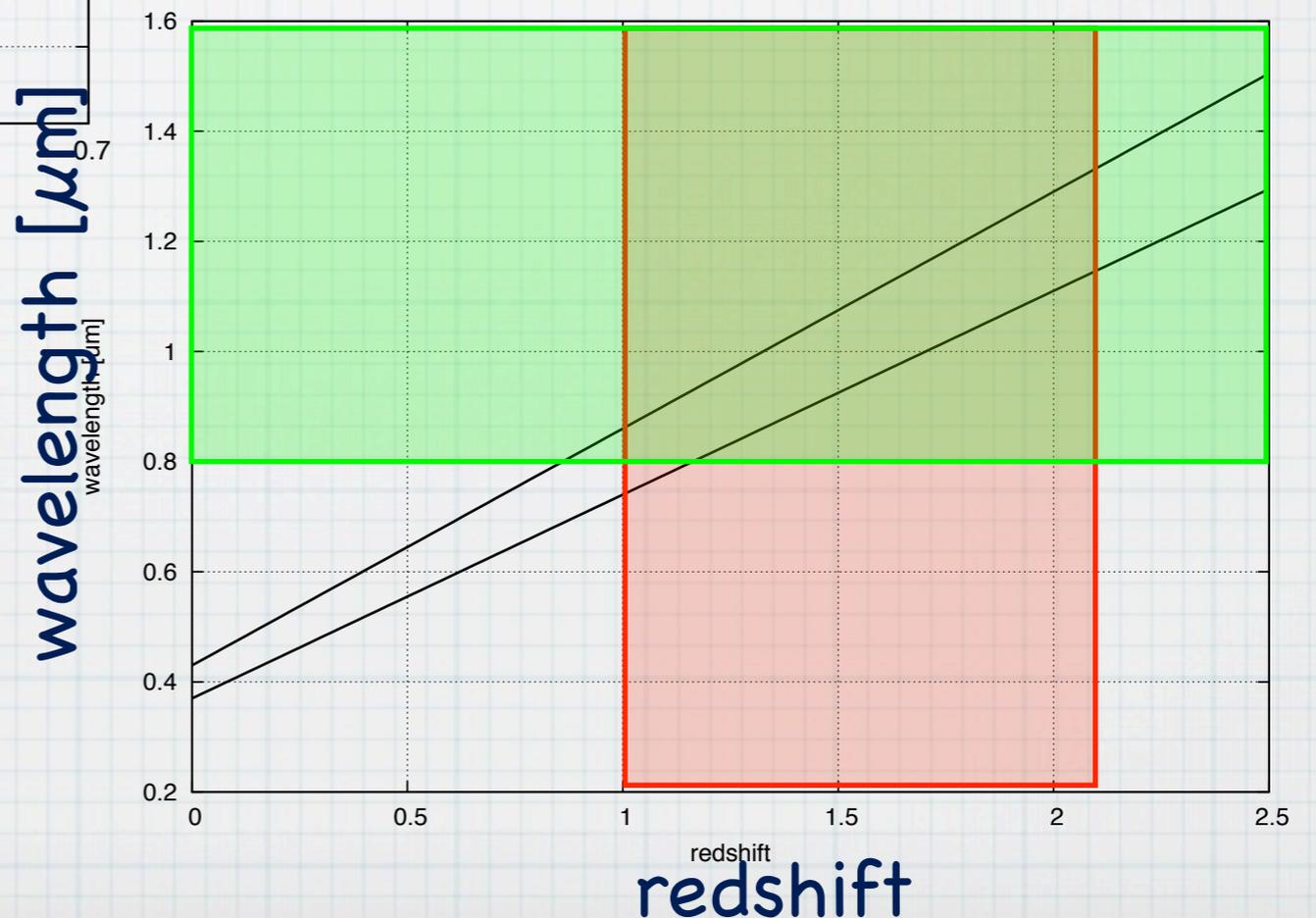
HST/ACS images

WISH grism spectroscopy for SNe



- 0.8-1.6 μm くらいをカバーしたい
- $z < 1$ は地上可視でOK
- $1 < z < 1.5$ も地上可視で観測可能(Riess+2004, Morokuma+2010)だが夜光が強クギリギリ。
- 天気のこととも考えると、 $z > 1$ はスペースからベター(+地上からAO分光)

- + $R \sim 50-100$ 程度でOK
- + 限界等級は?
- + backgroundを考慮して波長範囲を最適化する必要?



Contents

1. Ia型超新星とは?
2. Ia型超新星を用いた宇宙論の問題点と解決策
3. WISH Ia型超新星cosmology
4. WISH Ia型+重力崩壊型超新星rate
5. まとめ

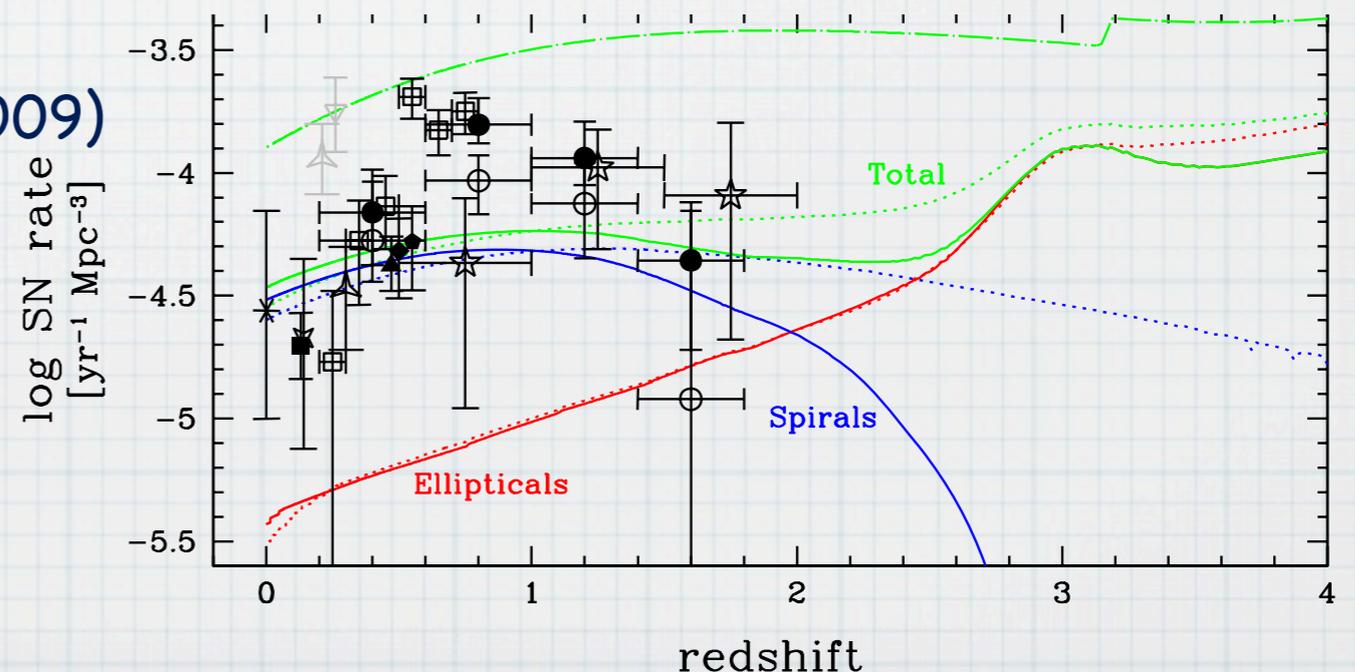
SN rate (Ia & Core-Collapse)

+ Ia

- 親星(progenitor system)さえわかっていない。
- single degenerate and/or double degenerate
- [SN Ia rate]
 - = [母銀河星質量に比例する成分] + [母銀河星形成率に比例する成分]
- SN Ia母銀河の詳細な性質: metallicity, 星質量、星形成率 (Sullivan+2006)
- delay time distribution: 星形成からIa型超新星爆発までの遅延時間 (Totani+2008など)
- 連星系の伴星の直接探査 (Ihara+2007), 白色矮星連星系探査(SPY; Napiwotzki+2001)
- metallicity effect: **high-z Ia型超新星rate** (Kobayashi & Nomoto 2008), **$z > 1.5$ で増?減?**
- **dusty (missing) fraction**

+ core-collapse

- **IIn (very bright) SN at $z > 2$** (Cooke+2009)
- **dusty SN search?**
- **重力レンズで増光された超新星**
($z > 2$; Stanishhev+2009)



Contents

1. Ia型超新星とは?
2. Ia型超新星を用いた宇宙論の問題点と解決策
3. WISH Ia型超新星cosmology
4. WISH Ia型+重力崩壊型超新星rate
5. まとめ

まとめ

- + Ia型超新星を用いたcosmologyはsystematic error ~ statistical errorの時代
- + **dust extinction**を避けた観測が必要。その一つのやり方がNIRでのサーベイ。
- + 超新星観測には宇宙望遠鏡が適している。
- + WISH UDSはうまくスケジュールをすれば~**2000天体のIa型超新星**を発見。
- + WISHには専用望遠鏡の強みがある。
- + strategyは3つ考えうる。観測バンドは最低3つ。cosmologyの観点では、**rest-frame I-band**が観測時間、redshift範囲の観点からベスト(?)
 - rest-frame B-band: 今と同程度のsystematic errorを許せば、 $1.0 < z < 3.0$
 - rest-frame I-band: systematic errorを有意に減らせる。 $0.2 < z < 2.2$
 - rest-frame H-band: 同上。 $z < 1.4$
- + **$0.8-1.8\mu\text{m}$** で**grism**分光をしたい。 $z < 1$ は地上可視でOK。
- + 同じデータからSN rateもおもしろいこと($z > 1.5$ SN Ia rate, IIn rate, dusty fraction)ができそう
- + Subaru/HSCなどの可視望遠鏡とスケジュールをうまく調整できると、photo-z精度(タイプ分類も含めて)向上により分光観測時間を減らせる。