

近傍銀河M82に現れた赤化の大きな Ia型超新星SN 2014Jの偏光特性



川端 弘治(広島大)

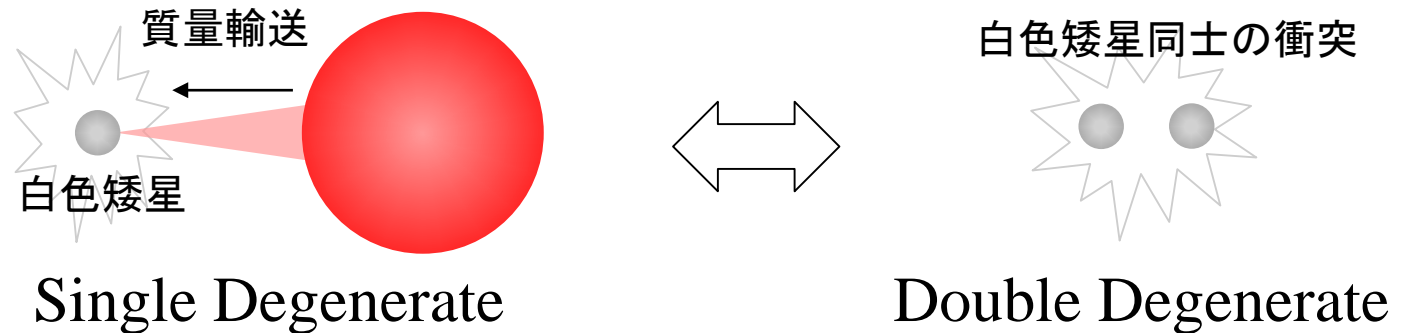
秋田谷洋(広島大)、山中雅之(甲南大)、伊藤亮介、森谷友由希、宇井崇紘、川端美穂、森健彰、高木勝俊、上野一誠(広島大)、前田啓一、野上大作(京都大)、野本憲一、鈴木尚孝(東京大)、田中雅臣(国立天文台)、千代延真吾、原尾達也、松井理紗子、宮本久嗣、永江修、大橋佑馬、大杉節、小松智之、先本清志、佐藤久之、田中祐行、浦野剛志、吉田道利、胡田奈那、深沢泰司、神田優花、高田紘司、中岡竜也、植村誠(広島大)、笹田真人(京都大)、中屋秀彦、山下卓也、福井暁彦、泉浦秀行、黒田大介、柳澤顕史(国立天文台)、中島亜紗美(名古屋市科学館)、新井彰、本田敏志(兵庫県立大学)、橋本修(県立ぐんま天文台)、河合誠之(東工大)、松本桂、増本一成(大阪教育大)

Submitted to ApJL, arXiv 1407.0452



● (通常の) Ia型超新星と偏光

チャンドラセカール限界質量に(ほぼ)達した白色矮星
 における熱核暴走→個体差が少ない→標準光源



偏光観測：光球面(～爆発による放出)が球対称か
 どうかのプローブ

これまでのIa型超新星の偏光観測

→連続光の偏光は $\sim 0.3\%$ 以下 →爆発は球対称
 (吸収線部は $0.5-1.5\%$ の偏光 → 元素分布は非軸対称)

● Ia型超新星のカラーと系外銀河の星間吸収

カラーが赤いIa型超新星 mildly/highly-reddened SNe Ia

→ 吸収量から導出される R_V 値($=A_V/E_{B-V}$)が小さい

1.3 – 2.6 (Phillip+ 2013) \Leftrightarrow \sim 3.1 (我々の銀河)

この特異な吸収の起源は？

➤ 超新星そのもののカラーの固有差？

➤ (爆発が速いものほど赤い Foley & Kasen 2011)

➤ 星周ダスト？ (特異なダスト or 多重散乱 Goober 2008など)

➤ 母銀河の星間ダスト？ (特異なダスト？)

そもそも我々が知っている系外銀河の星間吸収 (ダスト) の情報は依然限られている。

● 本研究の目的

- ・ 強い赤化を受けたIa型超新星の連続観測
(可視～近赤外測光・分光・偏光)
- ・ Ia型超新星を無偏光光源として利用

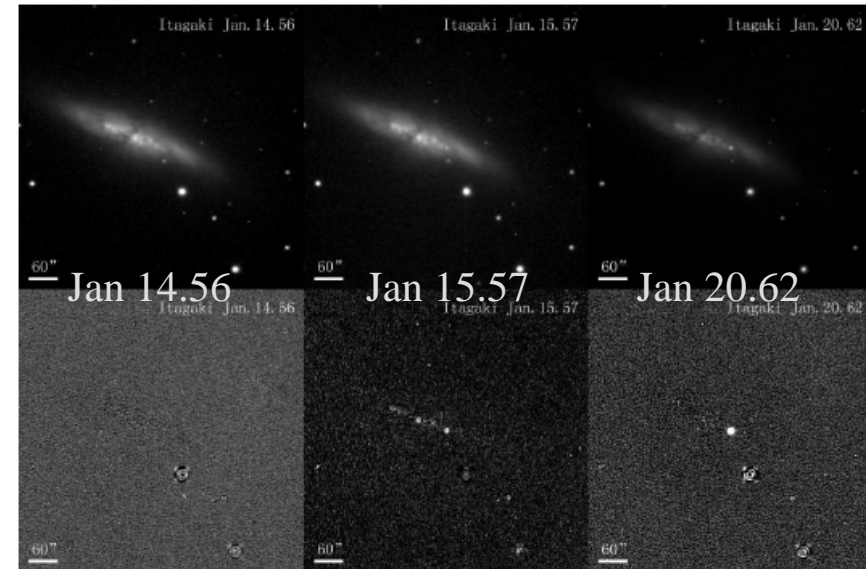
※過去に強い赤化($E_{B-V} > 0.5 \text{ mag}$)を受けた超新星 で偏光観測が行われた例は3例(近赤外まで含めると1例) SNe 1986G, 2006X, 2008fp のみ

近傍での新たな観測(高精度・長期間)

- 赤化の原因の特定
- 我々の銀河の星間偏光との比較
星間／星周ダストの性質

● 超新星 SN 2014J

- Jan 21.805(UT) 発見
(爆発から約一週間後)
- 母銀河 M82 ($d \sim 4\text{Mpc}$)
- この四半世紀で最も近くに現れたIa型



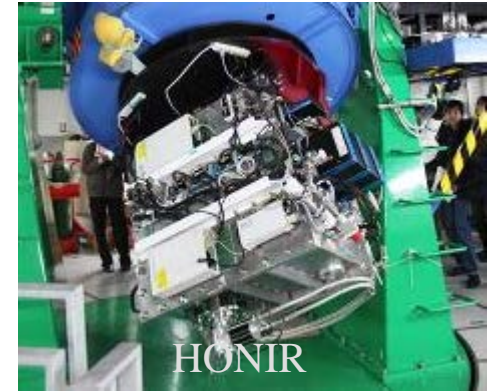
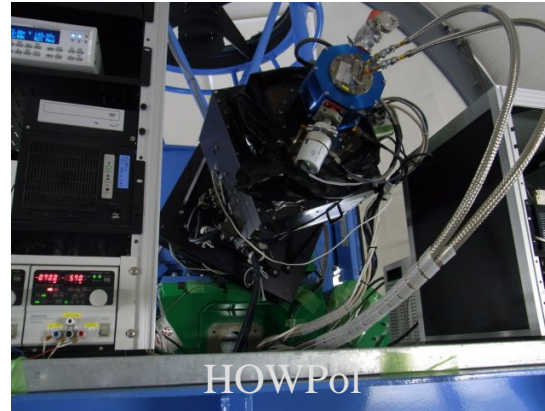
M82銀河とSN 2014J (板垣氏撮影; Zheng+ 2014)

強い赤化 ($E_{B-V} \sim 1.3$) SN 1986G: 4Mpc, 2006X: 16Mpc、2008fp: 26Mpc

→ 赤化の原因 / 星周・星間ダストの研究の好対象

先行研究: 増光期光度曲線モデル (Goobar+ 2014; Zheng+ 2014), 親星システム (Kelly+ 2014)、系外銀河の星間物質・星周物質 (Amanullar+ 2014; Foley+ 2014; Welty+2014; Patat+ 2014; Telesco+ 2014)

観測

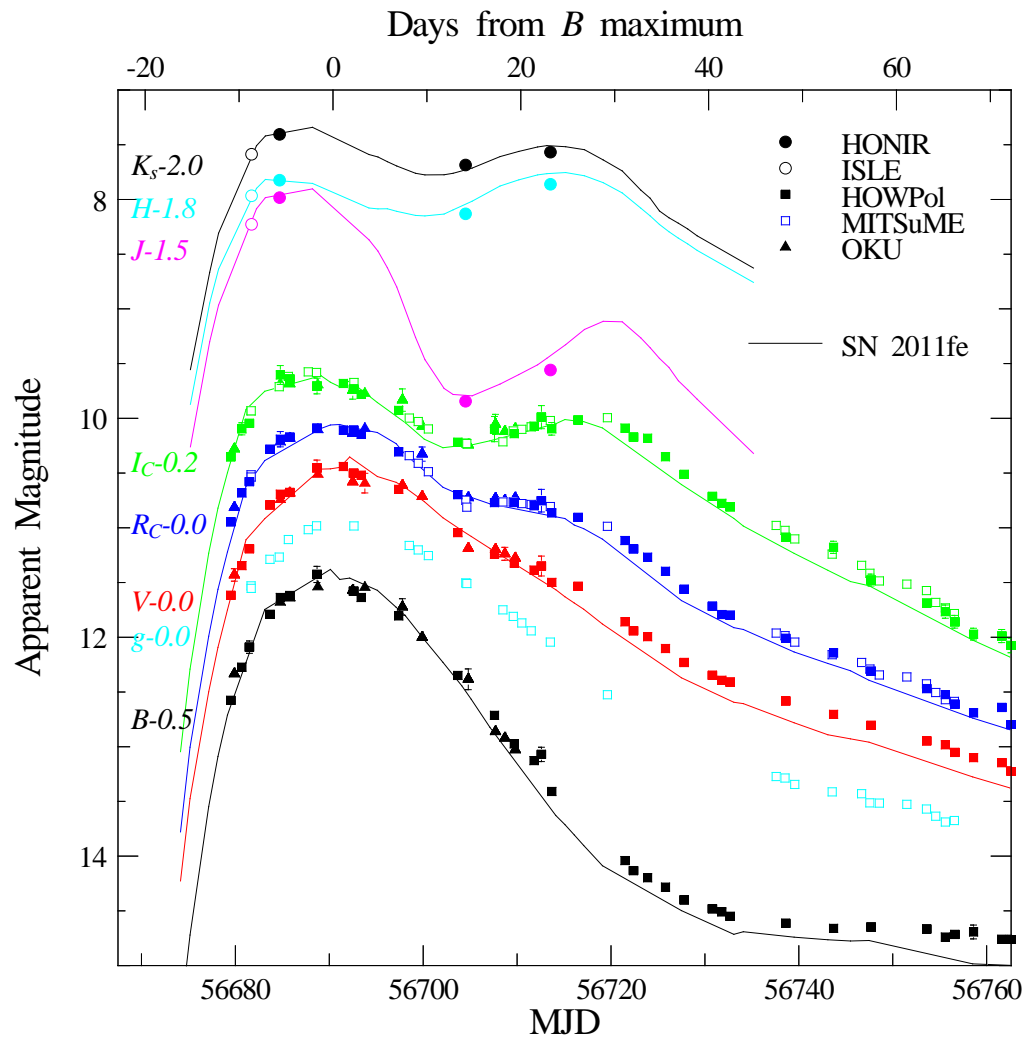


広島大学1.5mかなた望遠鏡 + HONIR / HOWPoi
可視近赤外測光(BVRI-JHK)・分光、及び偏光撮像
Jan 22 – mid March (偏光観測は5晩)

ちょうどHONIRの偏光モードが立ち上がったところだった

国立天文台岡山 0.5m+MITSuME(g' RI)
+ 国立天文台岡山 1.88m+ISLE(JHK)
大阪教育大学0.51m+CCD(BVRI)

光度曲線



$$\Delta m_{15}(B) = 1.02 \pm 0.05 \text{ mag}$$

$$M_{B_{\max}} = -19.26 \pm 0.26$$

$$M_{V_{\max}} = -19.42 \pm 0.25$$

$$E_{B-V} = 1.37, R_V = 1.4$$

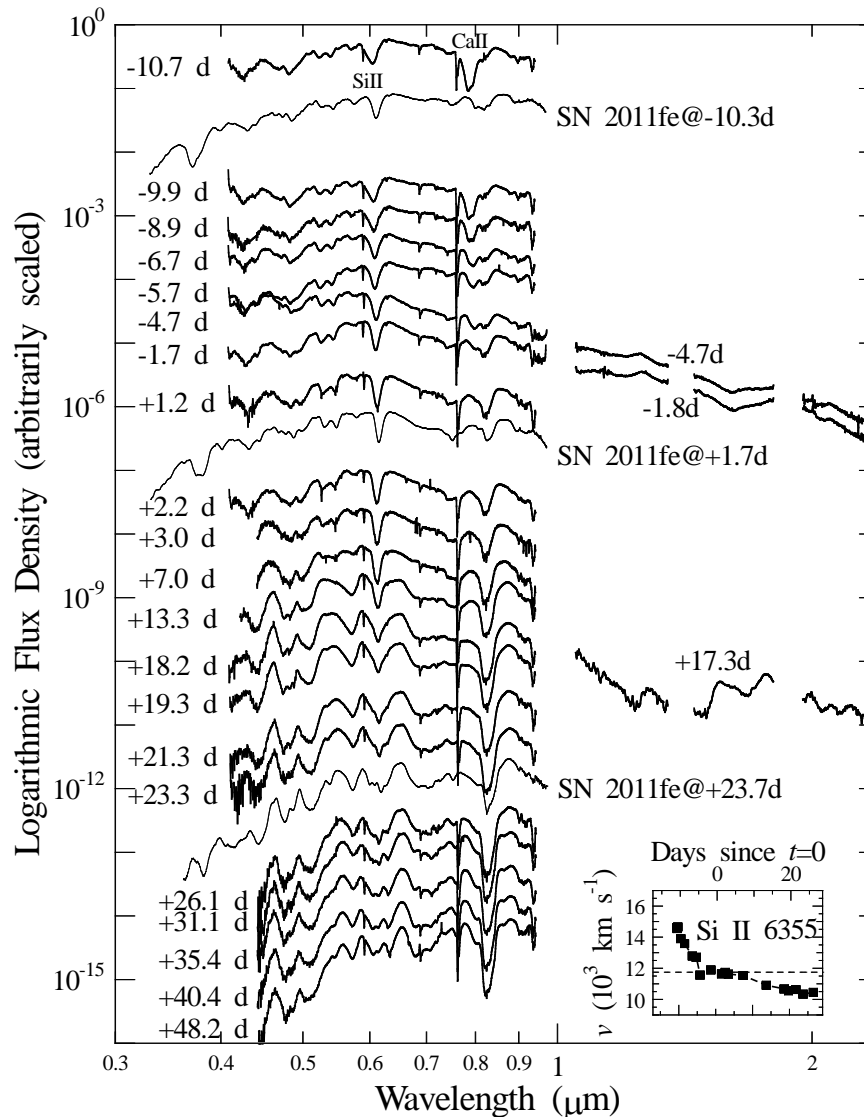
(Amanullah+ 2014)

$$m-M = 27.95 \pm 0.21$$

(Sakai & Madore 1999)

光度曲線やカラーは
通常のIa型

● スペクトル



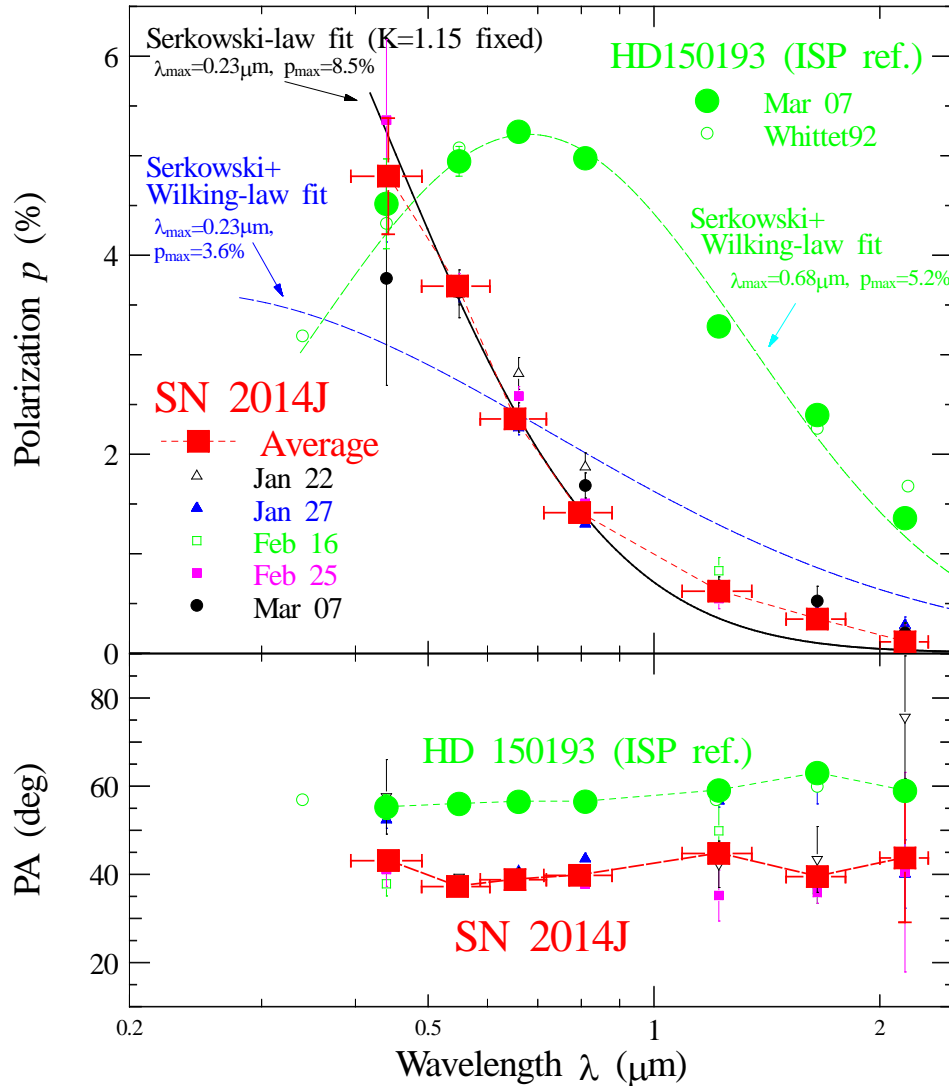
初期 (<-5d)
C II 6580やO I 7774が見られない

Ca II IR triplet に秒速2万キロ超の高速成分

極大時のSi II 6355速度
-11,750 ± 300 km/s
→ Normal と HV の中間

ただし、 Δm_{15} -corrected M_{Vmax} と E_{B-V} の関係は HVグループ (Wang+ 2009)

● 偏光 1

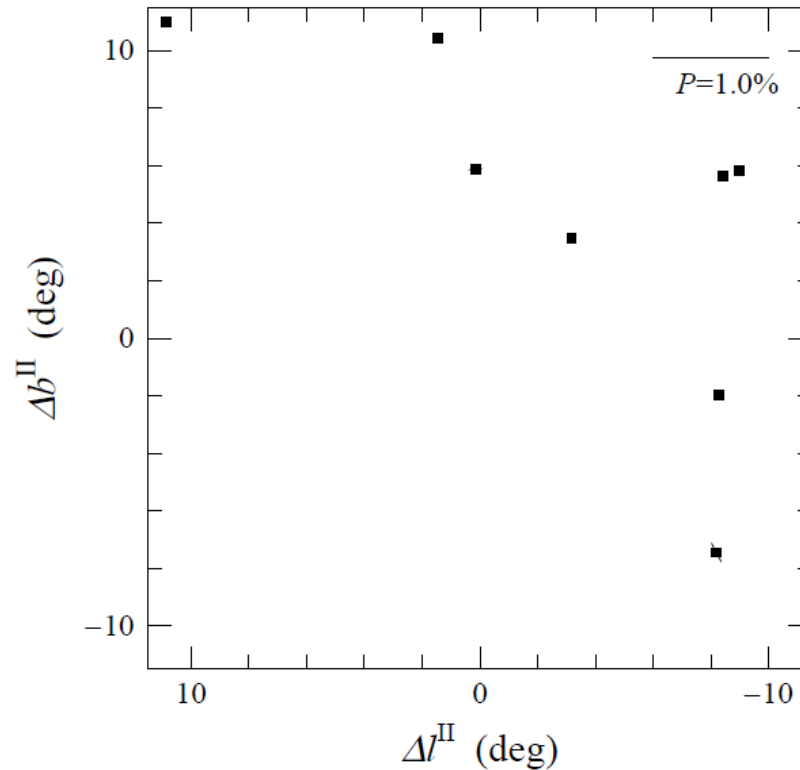


青側ほど偏光度が
高くなる波長依存性
(Bバンド 4.8%)

偏光方位角は波長
によらず一定
(dust lane方向)
(Ohyama+ 2002)

5晩で実質的な
変化なし
(-11d~+33d)
Na I D線にも変化
なし
→ 星間ダスト起源

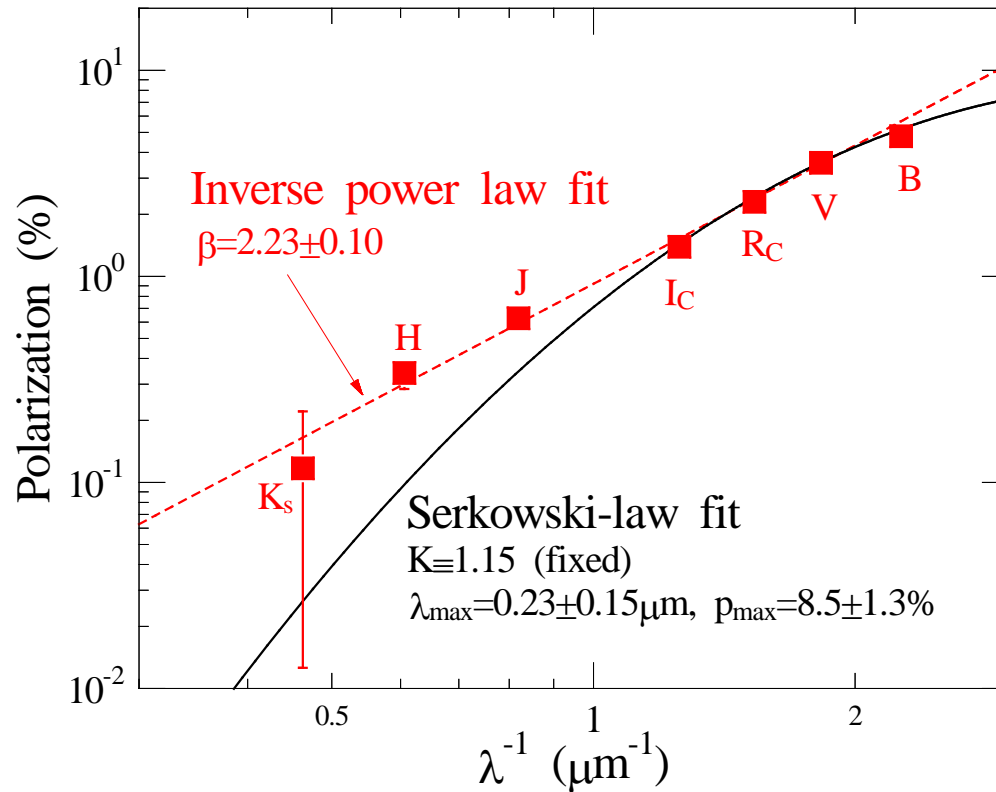
● 天の川銀河 (MW) の星間偏光の可能性は…



全天偏光カタログより
 10° 以内の恒星の偏光
 ベクトルをプロット
 Heiles (2000)

無し

● 偏光2： 近赤外域



可視光も含め、inverse-power law で合う
 (For MW $\beta = 1.5 - 2.0$, Nagata+ 1990 など)

● 星間偏光: 経験則

- Serkowski law

$$p(\lambda) = p_{\max} \exp \left[-K \ln^2 \left(\frac{\lambda_{\max}}{\lambda} \right) \right]$$

- Wilking law

$$K = (1.66 \pm 0.09) \lambda_{\max} (\mu\text{m}) + (0.01 \pm 0.05)$$

- Serkowski–Whittet law

$$R_V = (5.6 \pm 0.3) \lambda_{\max} (\mu\text{m})$$

- Mie theory (for cylindrical grain)

$$\lambda_{\max} \sim 2\pi a_{\text{eff}}(n-1).$$

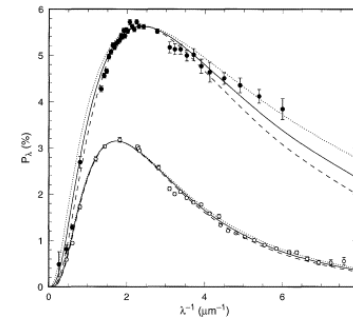
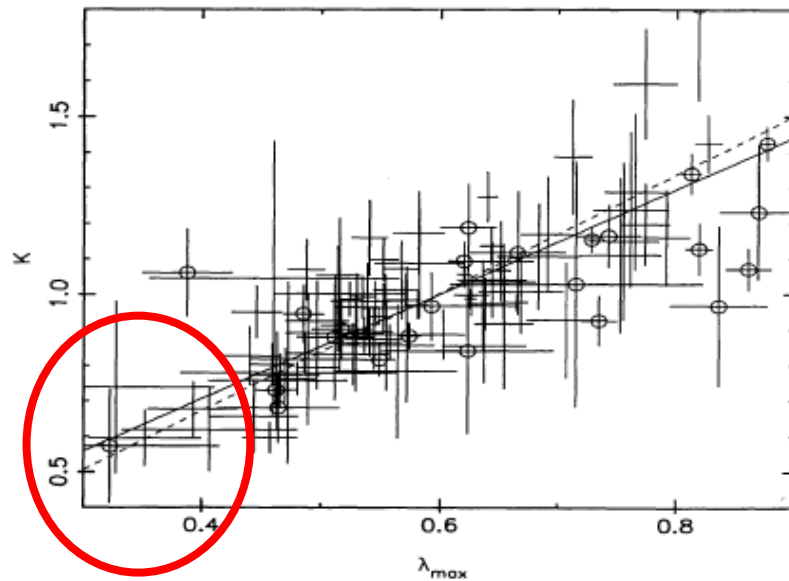


Figure 4.7. Interstellar linear polarization curves for two stars with different values of the wavelength of maximum polarization. Top: HD 204827 (full circles, $\lambda_{\max} = 0.42 \mu\text{m}$); bottom: HD 99872 (open circles, $\lambda_{\max} = 0.58 \mu\text{m}$). Observational data are from Mathis et al (1999) and references therein. Also shown are empirical fits based on the Serkowski law: VIR-optimized fit (broken curve); VUV-optimized fit (dotted curve); compromise fit (dash-dotted curve).



Wilking law

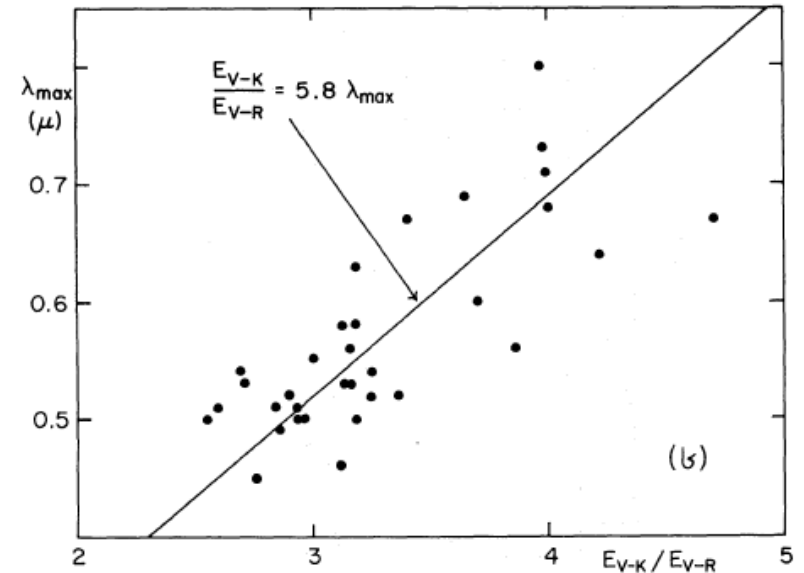


Whittet+ (1992)

$$K = (1.66 \pm 0.09)\lambda_{\max}(\mu\text{m}) + (0.01 \pm 0.05)$$

λ_{\max} と K が比例
(K が大 \rightarrow 偏光ピーク鋭い)

Serkowski-Whittet law



Serkowski+ (1975)

$$R_V = (5.6 \pm 0.3)\lambda_{\max}(\mu\text{m})$$

λ_{\max} と R_V が比例
(R_V がダストサイズに依存)

● 議論: M82の星間ダストの性質

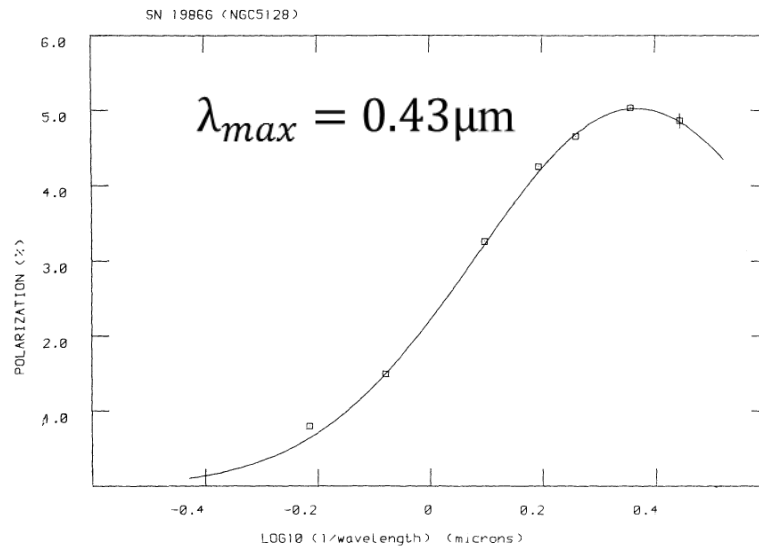
- ・ SN 2014J: $\lambda_{\max} < 0.35 \mu\text{m}$
→ ダスト半径が小さい ($a < 0.1 \mu\text{m}$)
- ・ 天の川銀河の星間偏光を表す経験則のうち、
Winking law は(明らかに)破たん
- ・ Serkowski-Whittet law は割と合うようだ

$$R_V = (5.6 \pm 0.3) \lambda_{\max} (\mu\text{m})$$

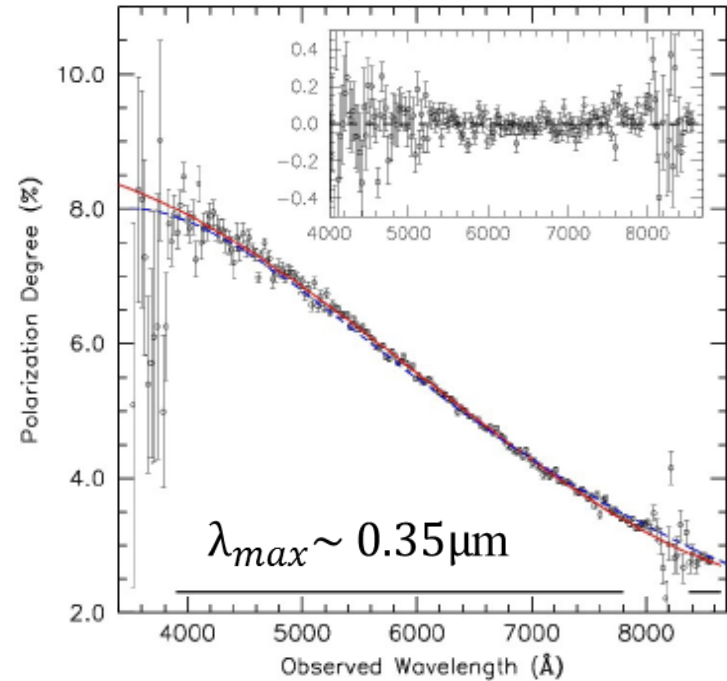
R_V が小さいこととコンシステント

- ・ 強い赤化を受けた超新星 (SNe 1986G, 2006X) と
似た偏光の波長依存性
 - ・ **偏光を引き起こす星間ダストのサイズが小さい
(ただしサイズ分布は)**
-
-

●他の強い赤化を受けたIa型超新星の偏光観測



SN 1986G (Hough+ 1987)



SN 2006X (Patat+ 2009)

MWの典型値 $\lambda_{max} = 0.54 \pm 0.06\mu\text{m}$ に比べ有意に小さい

●まとめ

- ・ M82に現れた、最近傍の強い赤化を受けたSN 2014Jの可視近赤外偏光観測を行った
- ・ 光度曲線・スペクトルは、通常型と高速膨張型との中間的な特徴を示した
- ・ 青側ほど高い偏光度を示した
 - ダスト半径が小さい($a < 0.1 \mu\text{m}$)
- ・ 赤化を受けたIa型超新星で普遍的な R_V 問題(MWの典型値に比べ小さい)は、吸収を引き起こす星間ダストのサイズが小さいことで説明可能
 - MWの星間ダストは例外的に大きい？