

Ia型超新星と星周物質

長尾崇史(D1, 京都大学)

「木曾広視野サーベイと京都3.8m即時分光によるタイムドメイン天文学の推進」研究会
2017/2/20-22@京都大学

(注)この写真(Cerro el plomo @Chile)は本研究とは一切関連がありません。ただ綺麗なので使ってます。

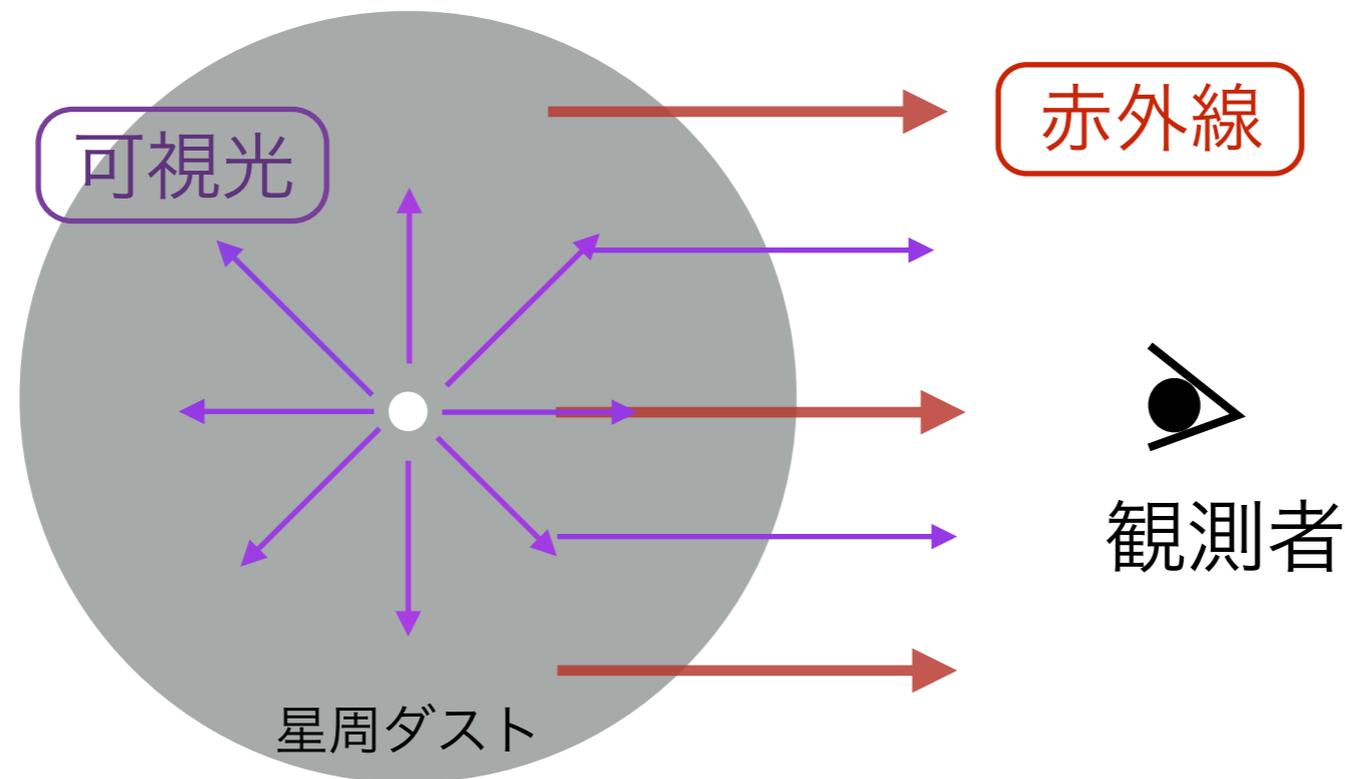
Tomo-e Gozen 超新星サーベイで できる2つのサイエンス例

(1) 星周ダストからの赤外線エコー：Ia型超新星の親星問題

T. Nagao, K. Maeda & M. Yamanaka 2017

(2) 星周ダストからの可視散乱光：Ia型超新星の特異な減光

T. Nagao, K. Maeda & T. Nozawa 2016

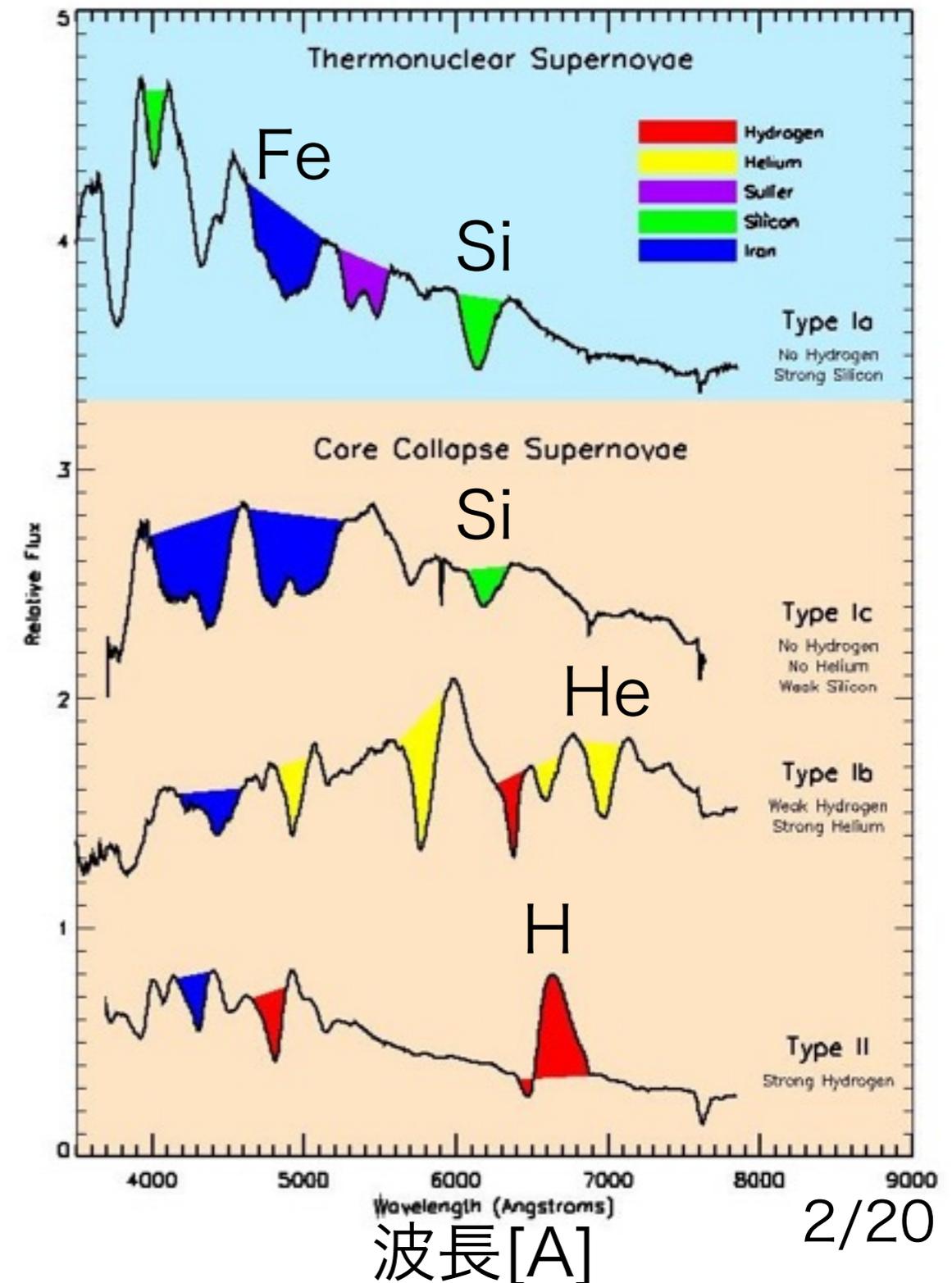
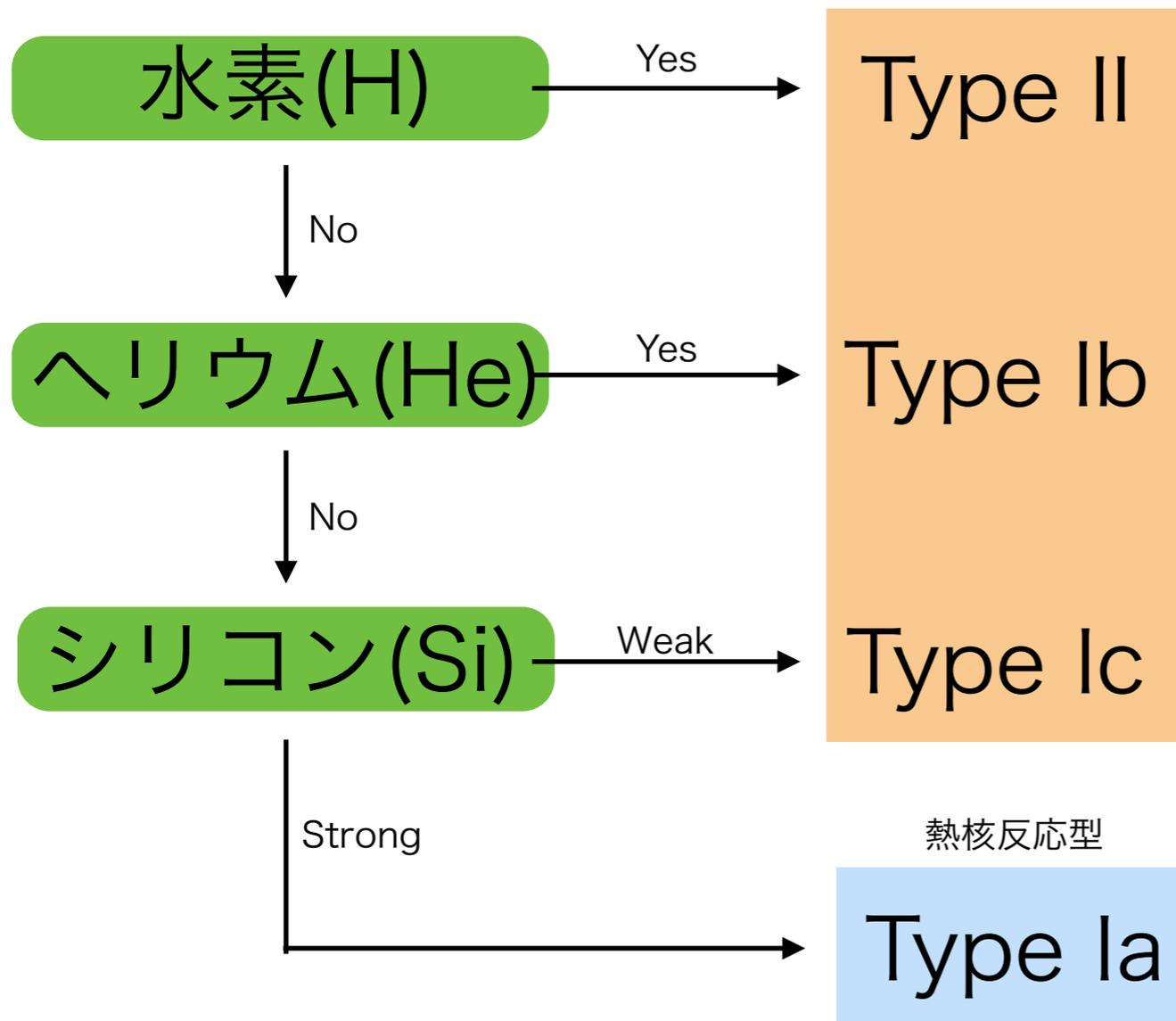


(1) 星周ダストからの赤外線エコー：Ia型超新星の親星問題

T. Nagao, K. Maeda & M. Yamanaka 2017

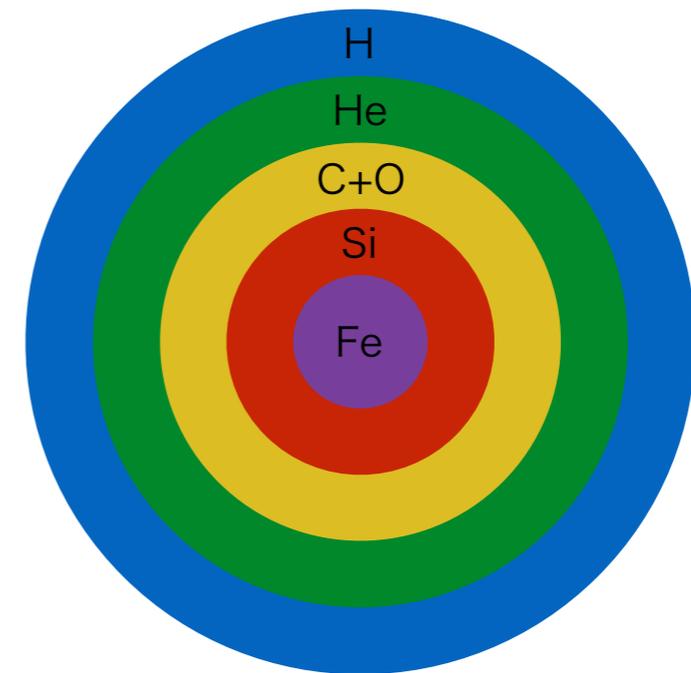
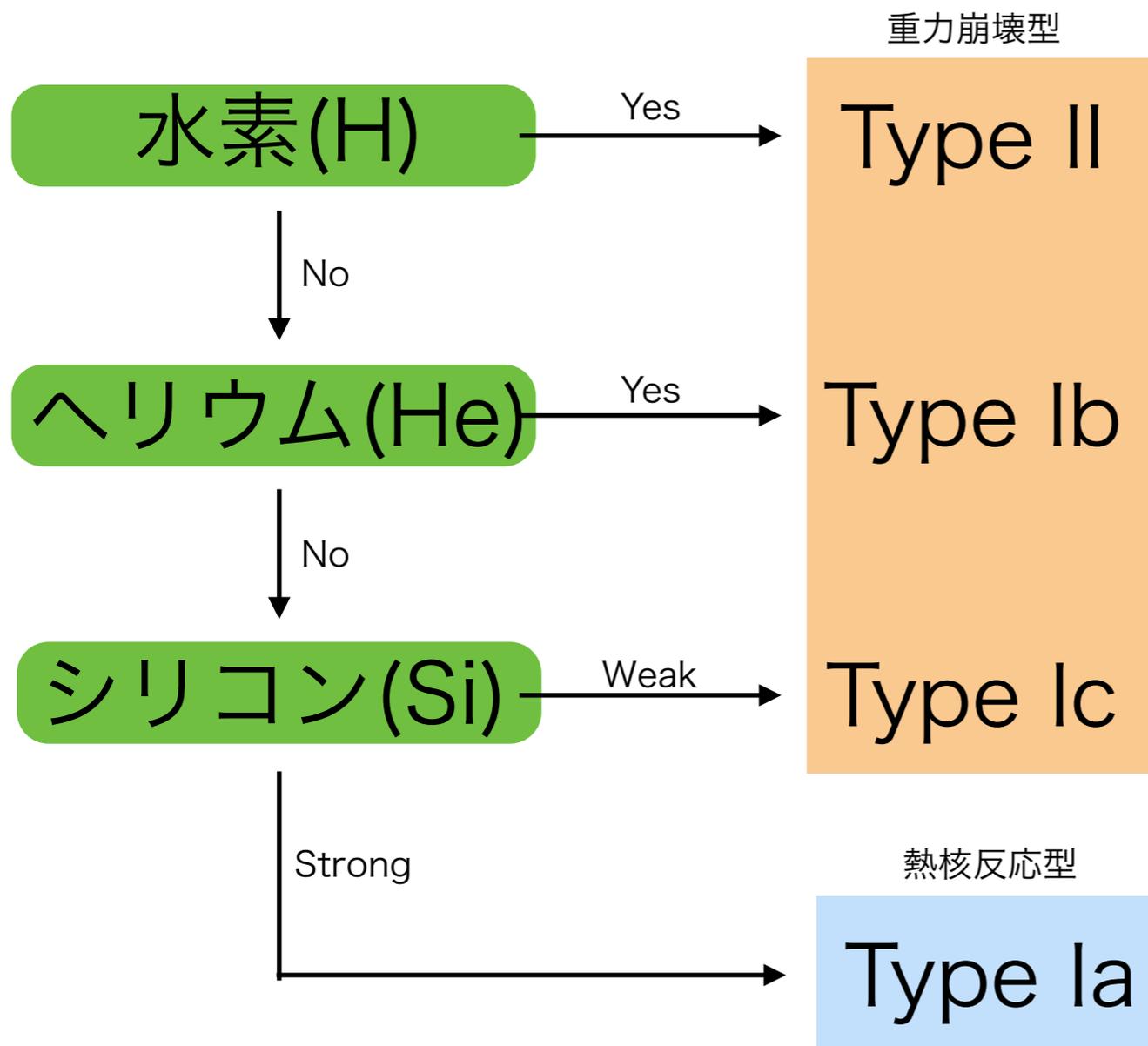
Ia型超新星とは？

スペクトル分類

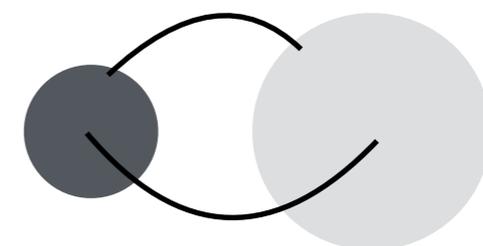


Ia型超新星とは？

スペクトル分類



大質量星



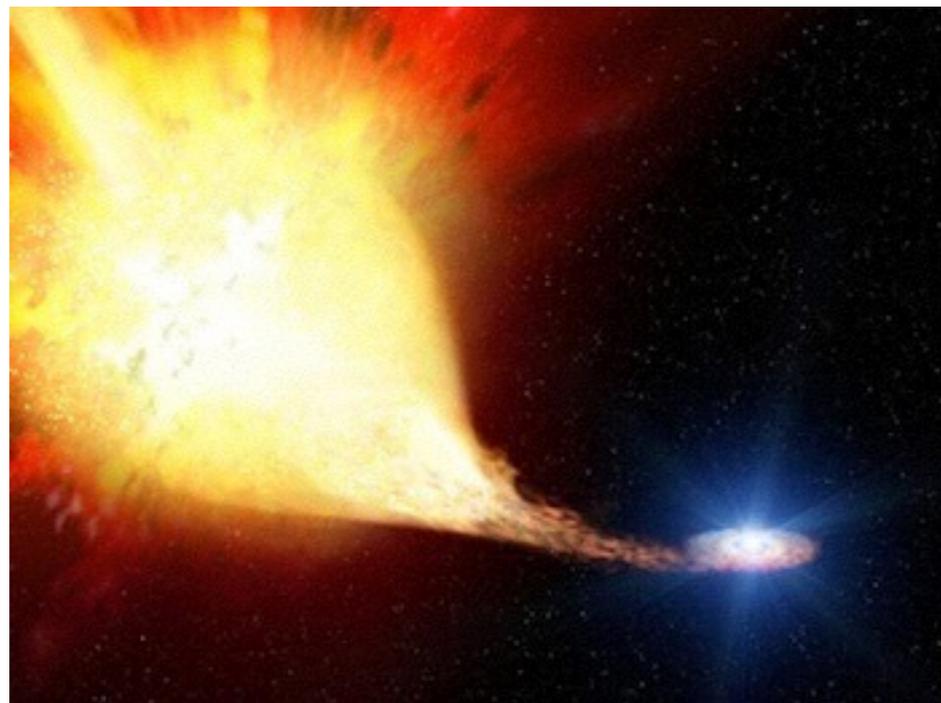
白色矮星

伴星

Ia型超新星の二つの親星モデル

Single Degenerate モデル

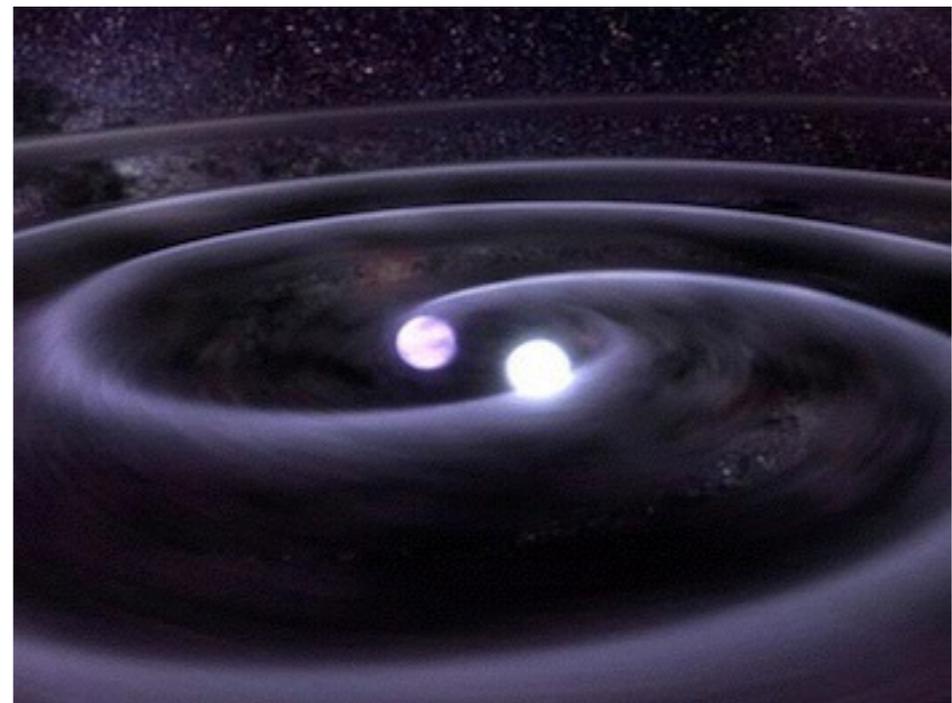
- ・ 伴星は主系列星、赤色巨星
- ・ 伴星からの質量輸送で火がつく
- ・ 比較的ダスティーな環境で爆発



© ESA and Justyn Maund (QUB)

Double Degenerate モデル

- ・ 伴星も白色矮星
- ・ 白色矮星同士の合体で火がつく
- ・ 比較的クリーンな環境で爆発



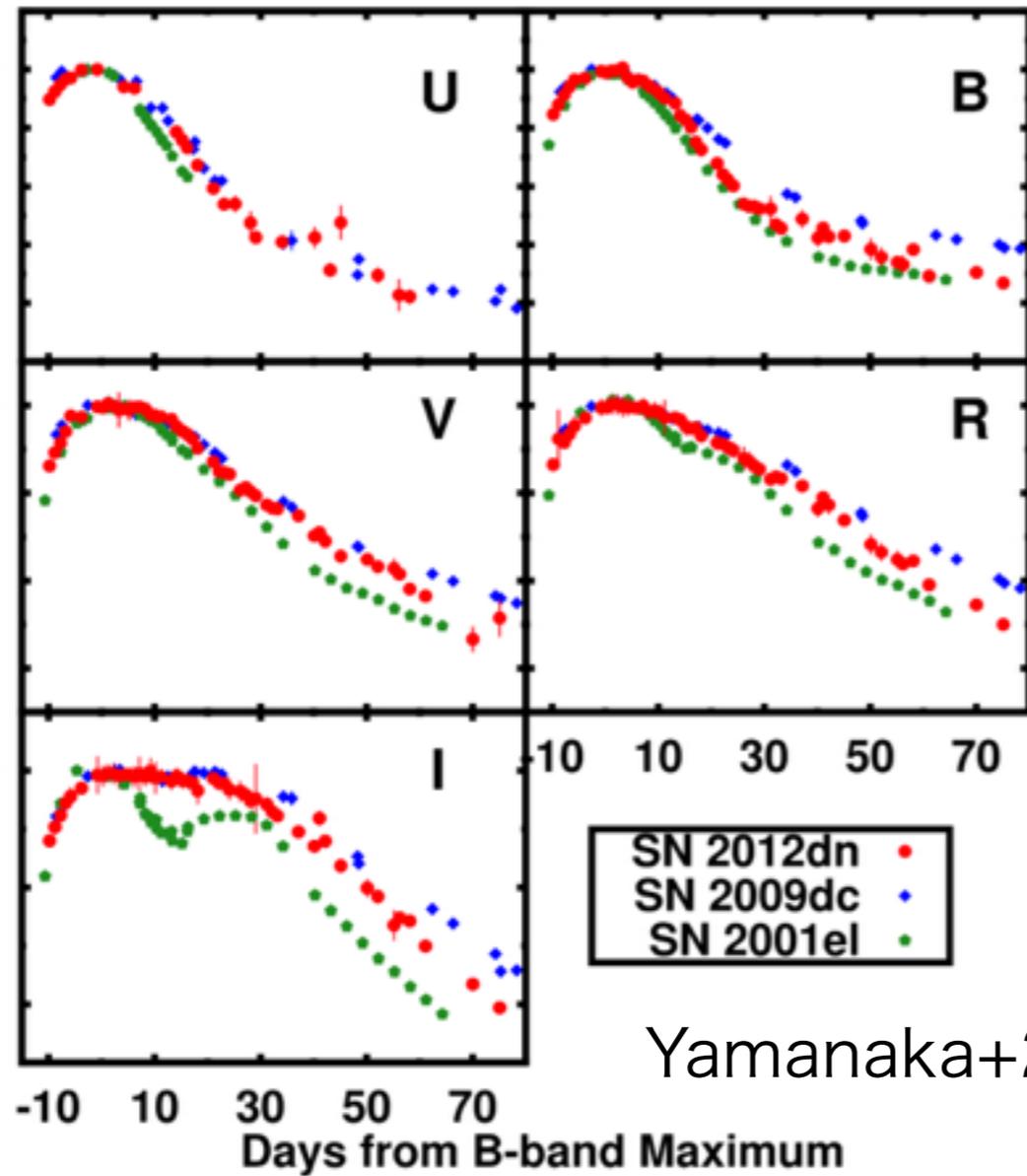
© NASA, Tod Strohmayer (GSFC) and Dana Berry (CXO)

overluminous Ia型超新星 2012dn

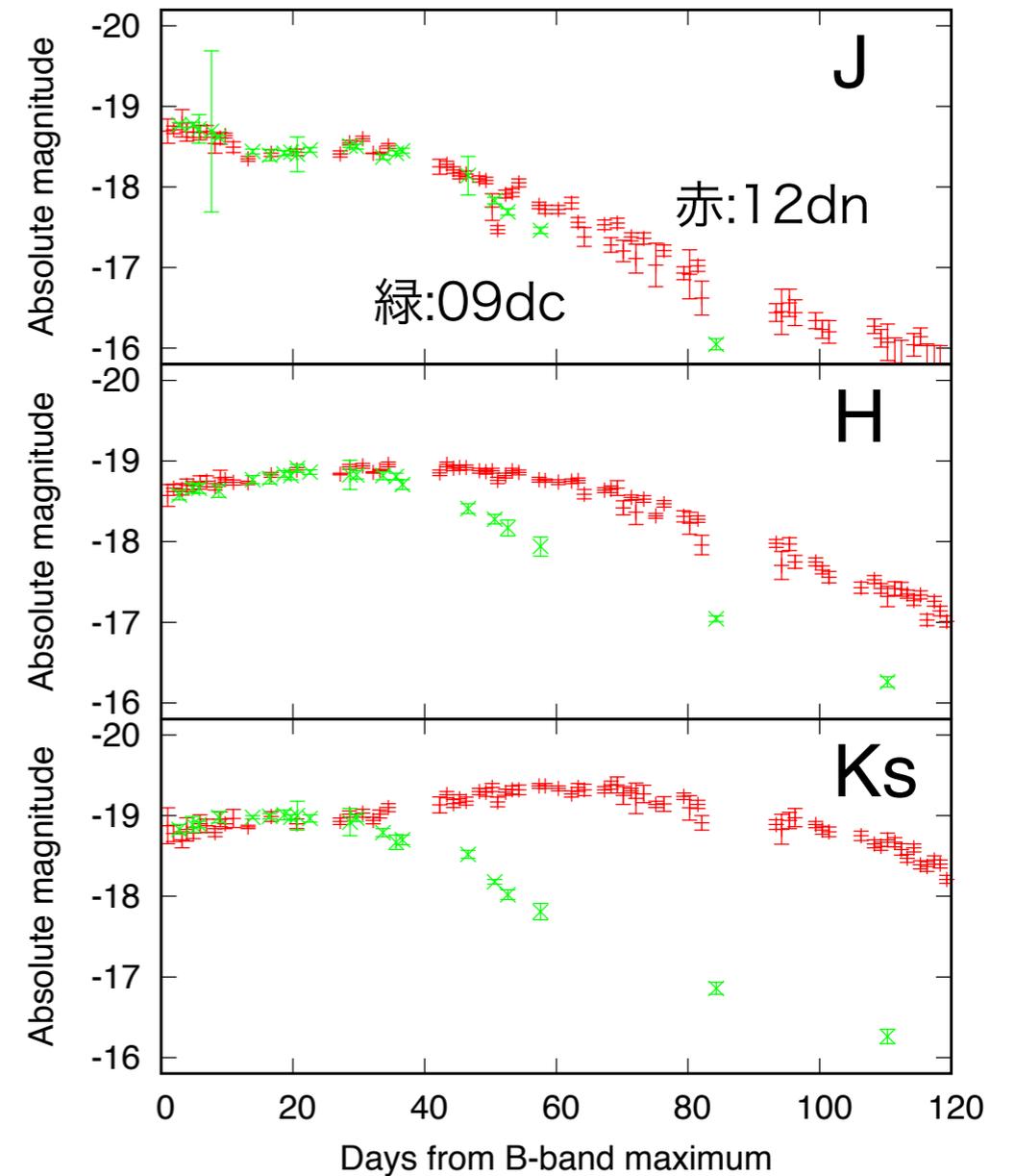
: 近赤外域に超過が観測

Yamanaka+2016

可視光

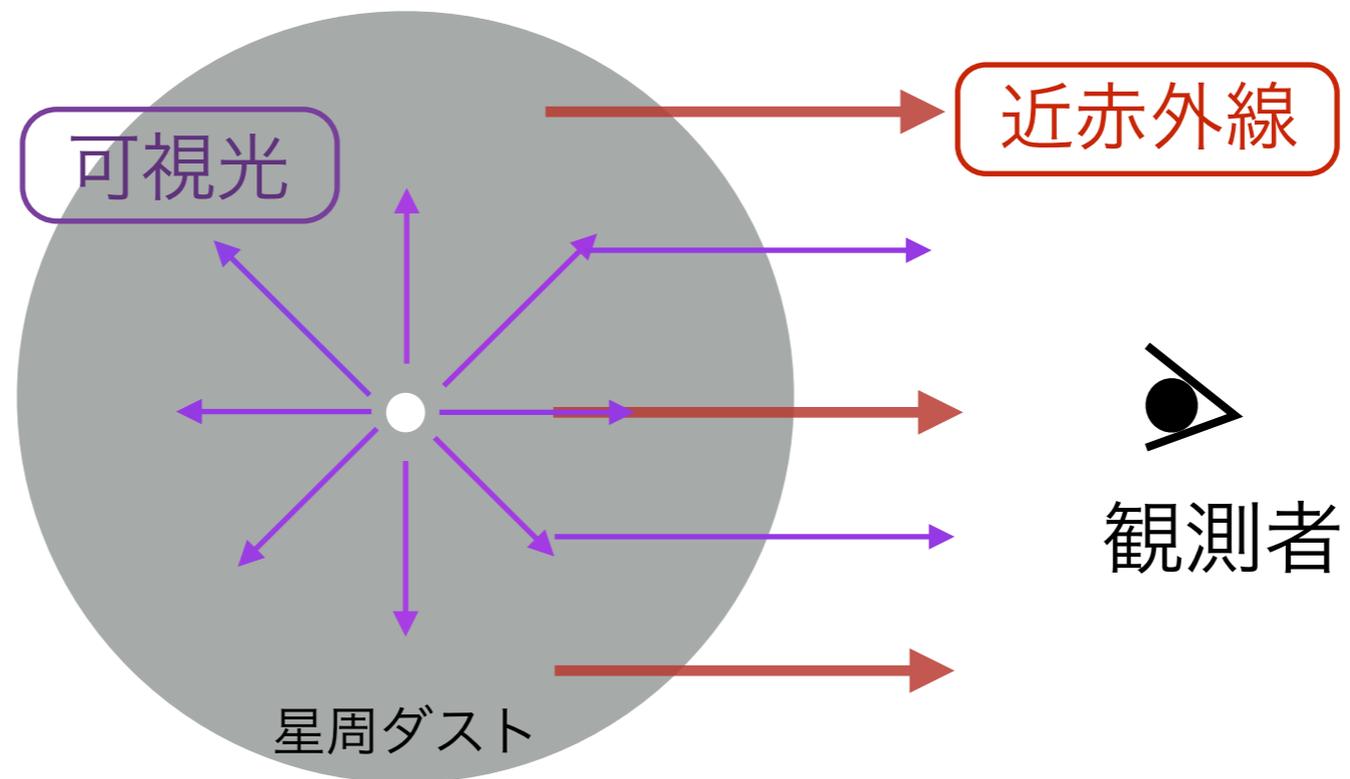


近赤外

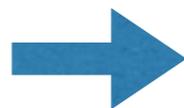


(注)超新星2009dcの光度曲線は0.5等だけ暗くしている

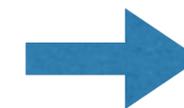
本研究の概略



星周ダストの
分布を仮定



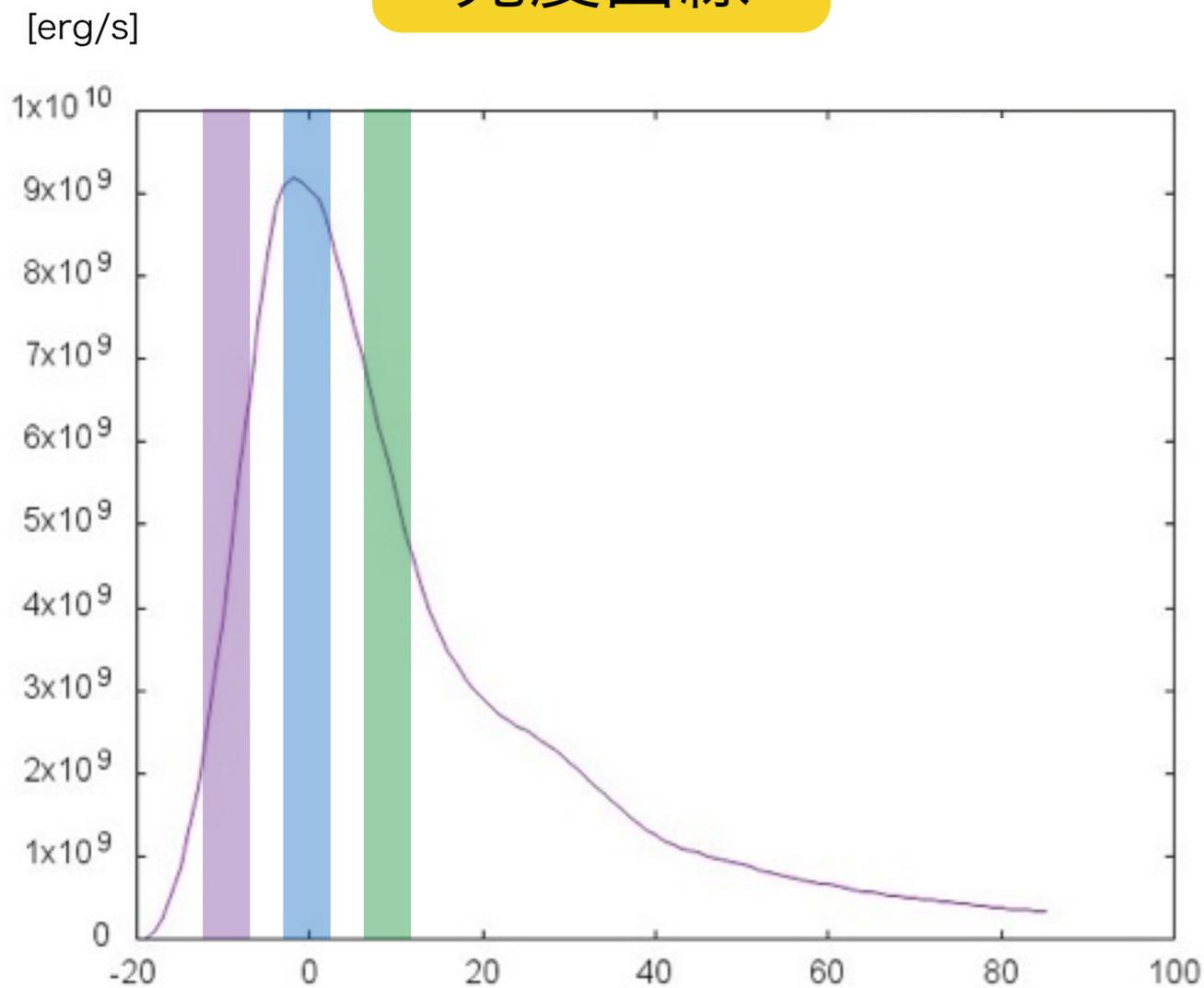
簡単なモデルを使い
赤外線エコーを計算



観測を再現する
分布を探す

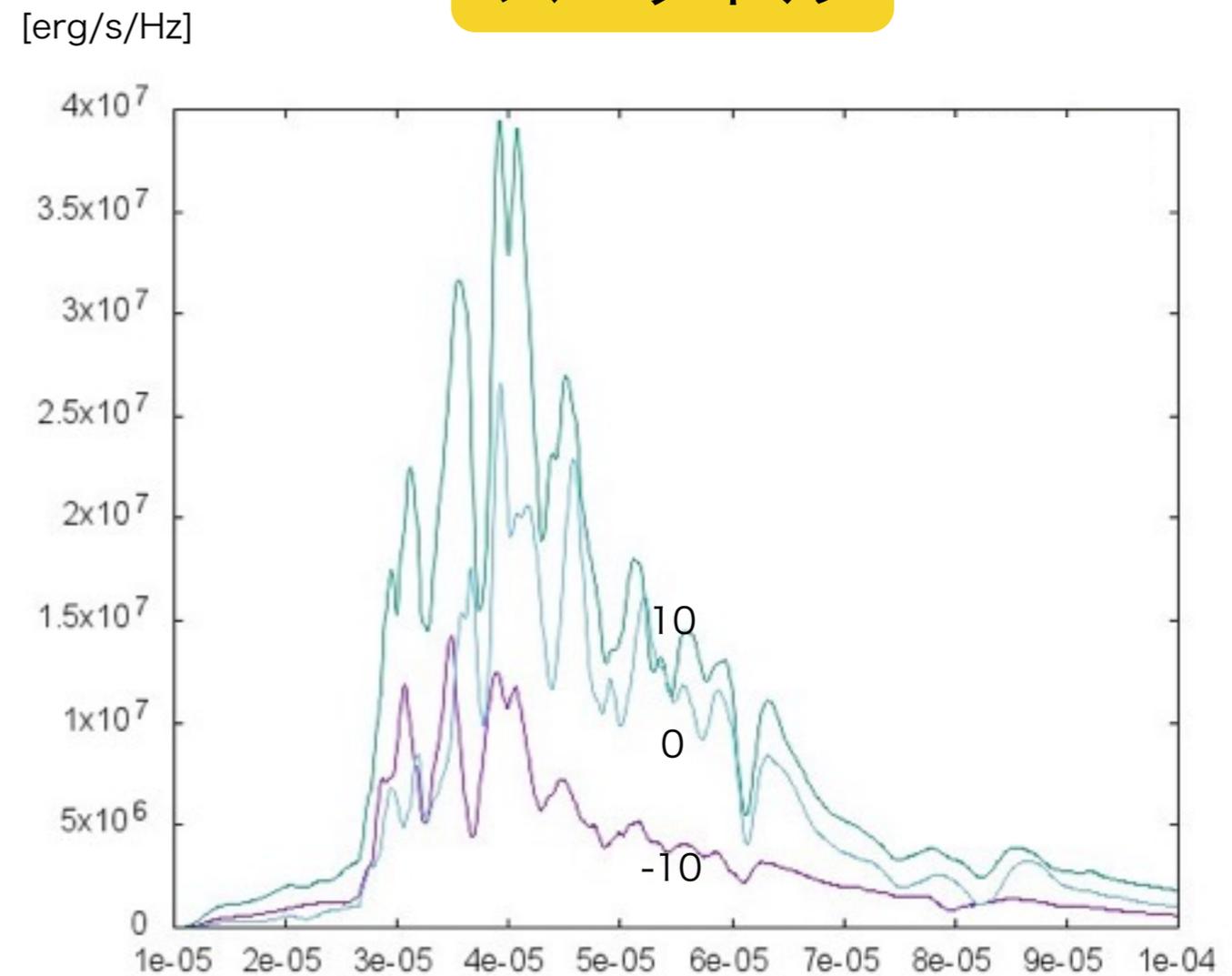
入射光：典型的なIa型超新星のテンプレート レート (Hsiao et al. 2007)

光度曲線



Bバンドピークからの時刻[日]

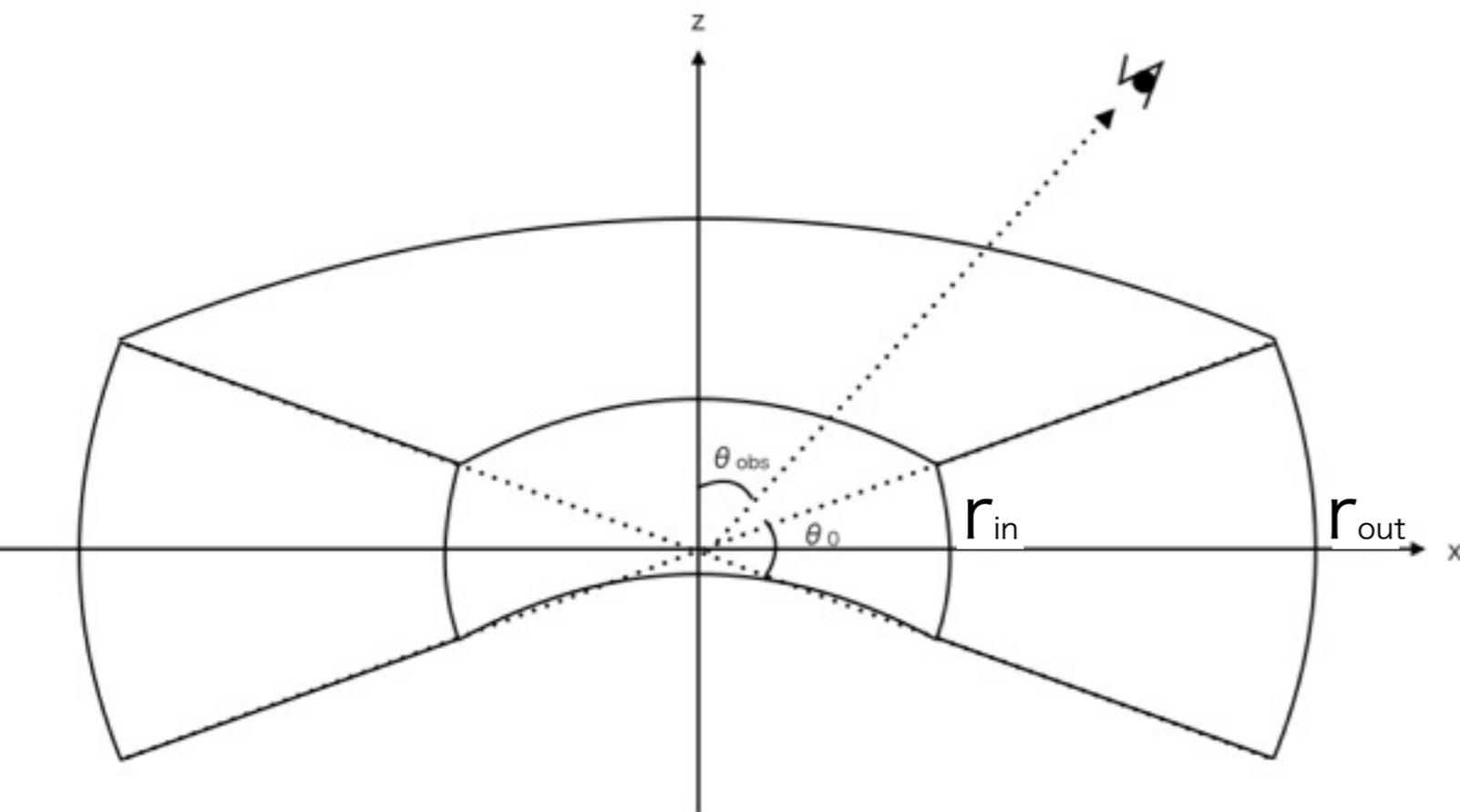
スペクトル



波長[cm]

星周ダストの分布

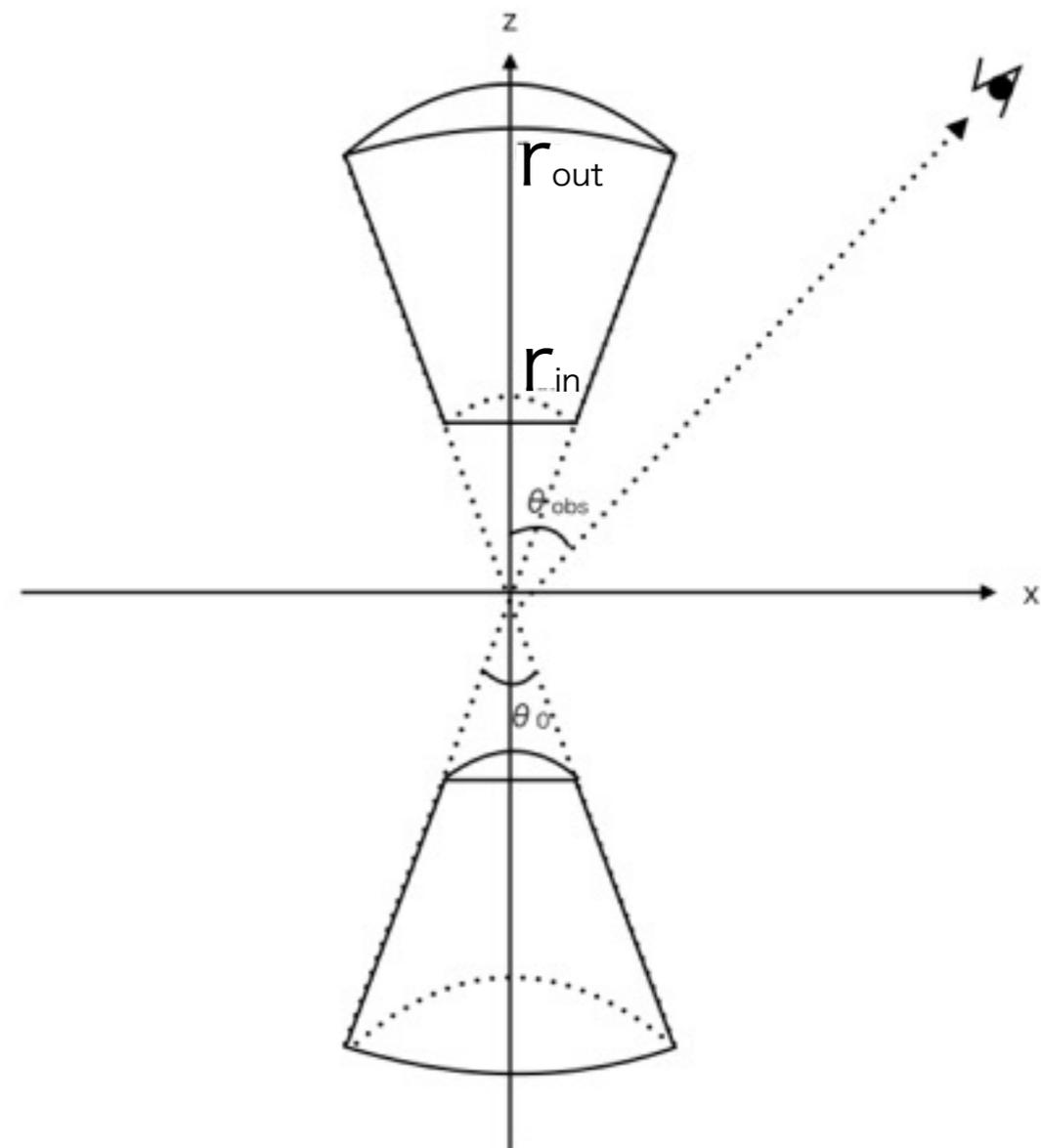
円盤モデル



密度分布 : $\rho \propto r^{-2}$

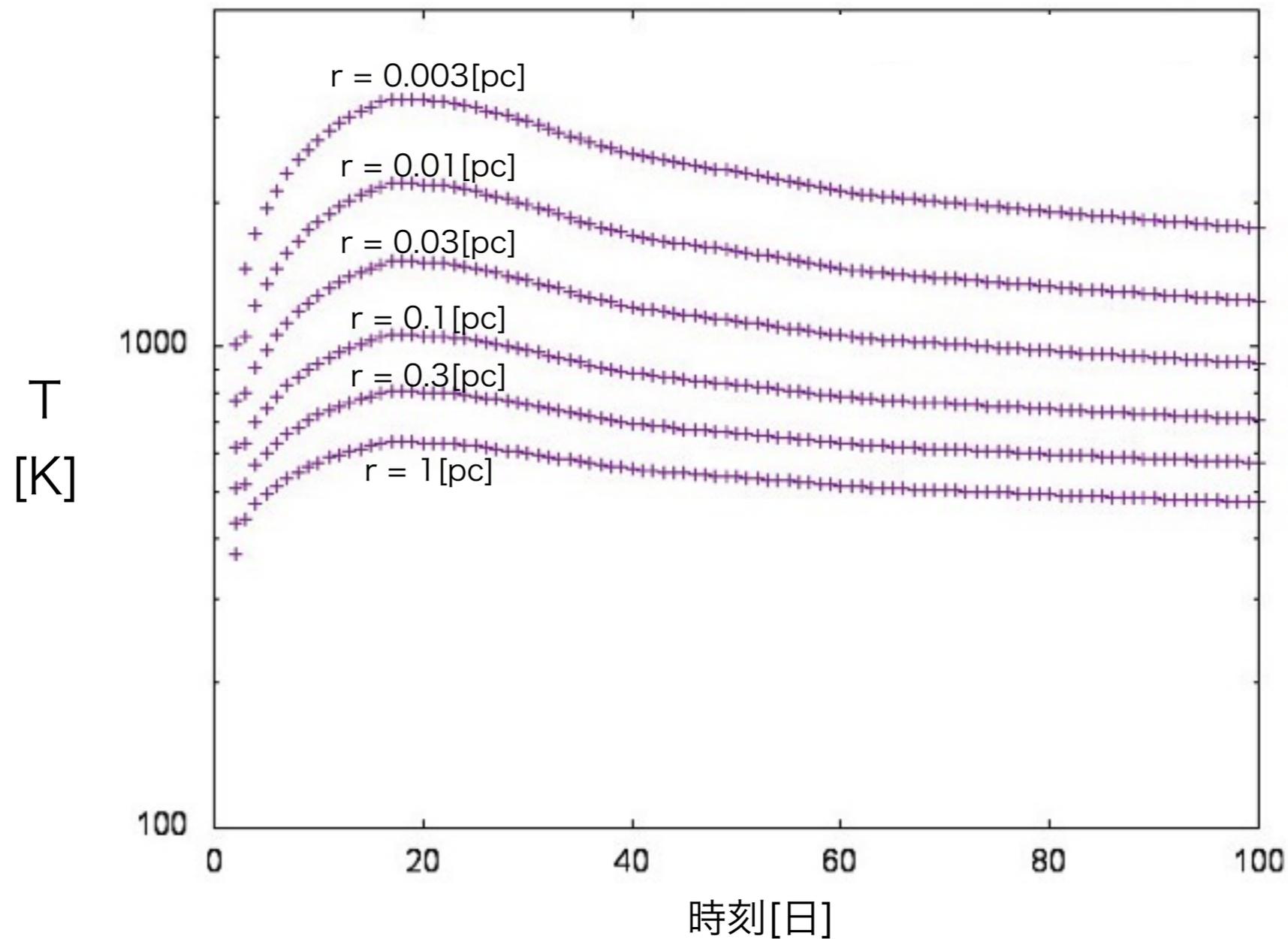
フリーパラメータ : $\rho_0, \theta_{obs}, \theta_0, r_{in}, r_{out}$

ジェットモデル

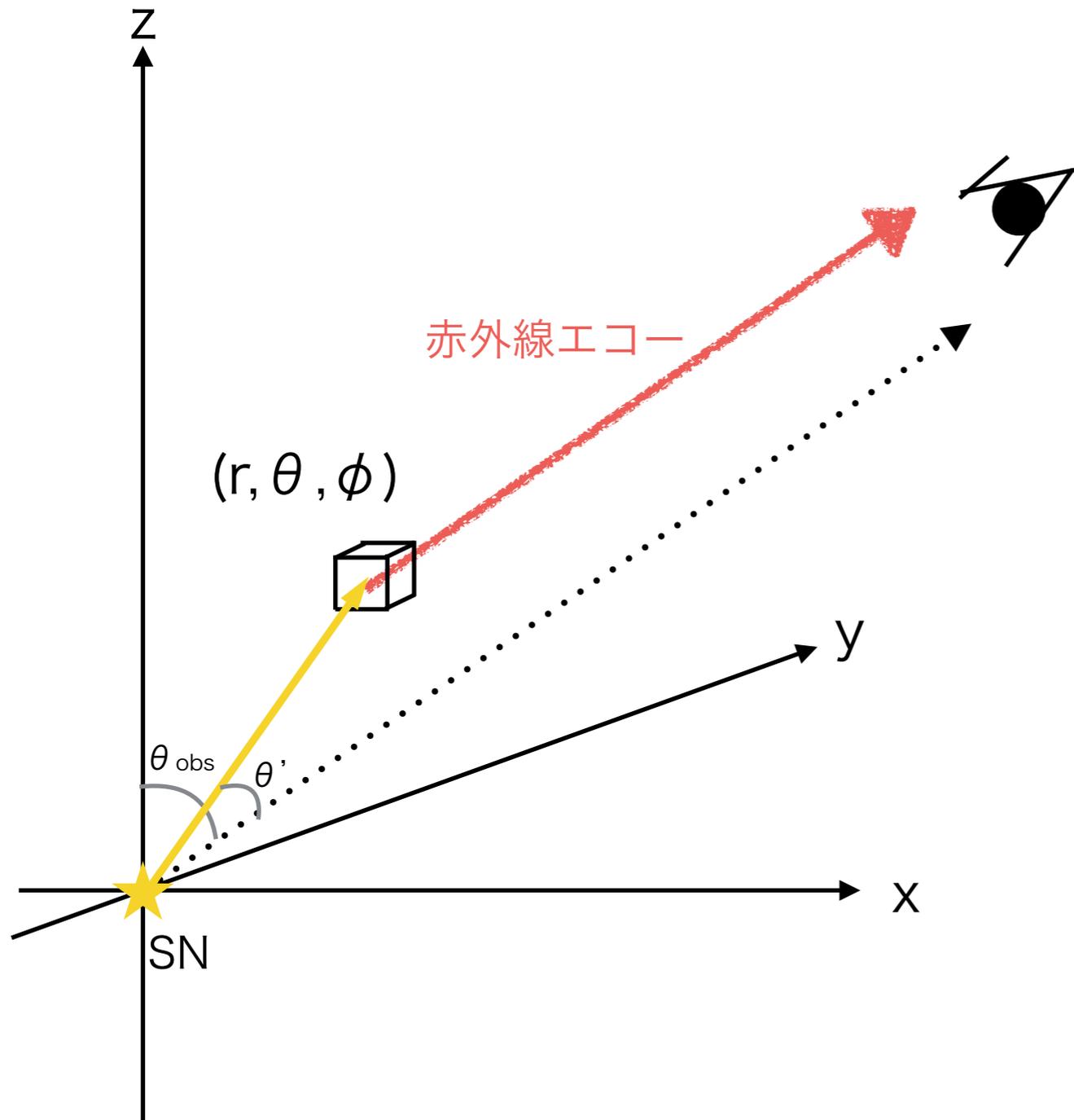


ダスト温度の時間進化

$$\frac{\int_0^\infty \kappa_\nu L_\nu d\nu}{4\pi r^2} = 4\pi \int_0^\infty \kappa_\nu B_\nu(T) d\nu$$



星周ダストからの赤外線エコー



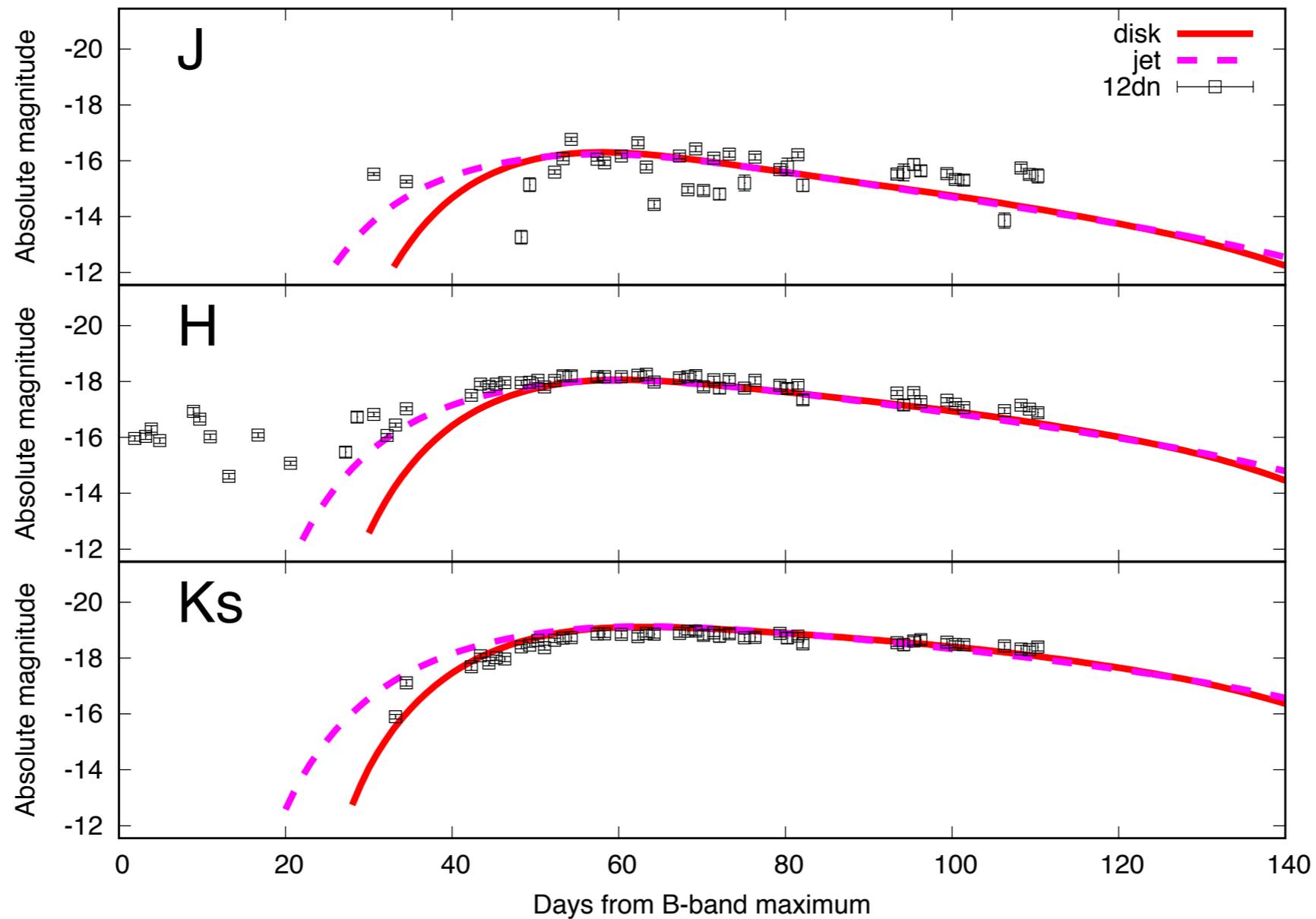
微小部分からの赤外線光度

$$4\pi\kappa_{\text{abs},\nu}B_{\nu}(T(t,r))\rho(r,\theta,\phi)r^2dr\sin\theta d\theta d\phi.$$

遅延時間(delay time)

$$\Delta t = \frac{r(1 - \cos\theta')}{c},$$

ベストフィットパラメータ



model	θ_0	r_{in} [pc]	r_{out} [pc]	θ_{obs}	$\rho_{dust}(r_{in})$ [g/cm ³]	$dM/dt(\text{gas+dust})$ [M _⊙ /yr]
disk	20	0.04	0.1	0	2.4E-22	1.2E-5
jet	20	0.04	0.1	90	7.1E-22	3.2E-6

(2) 星周ダストからの可視散乱光：Ia型超新星の特異な減光

T. Nagao, K. Maeda & T. Nozawa 2016

Ia型超新星は特異な減光を示す

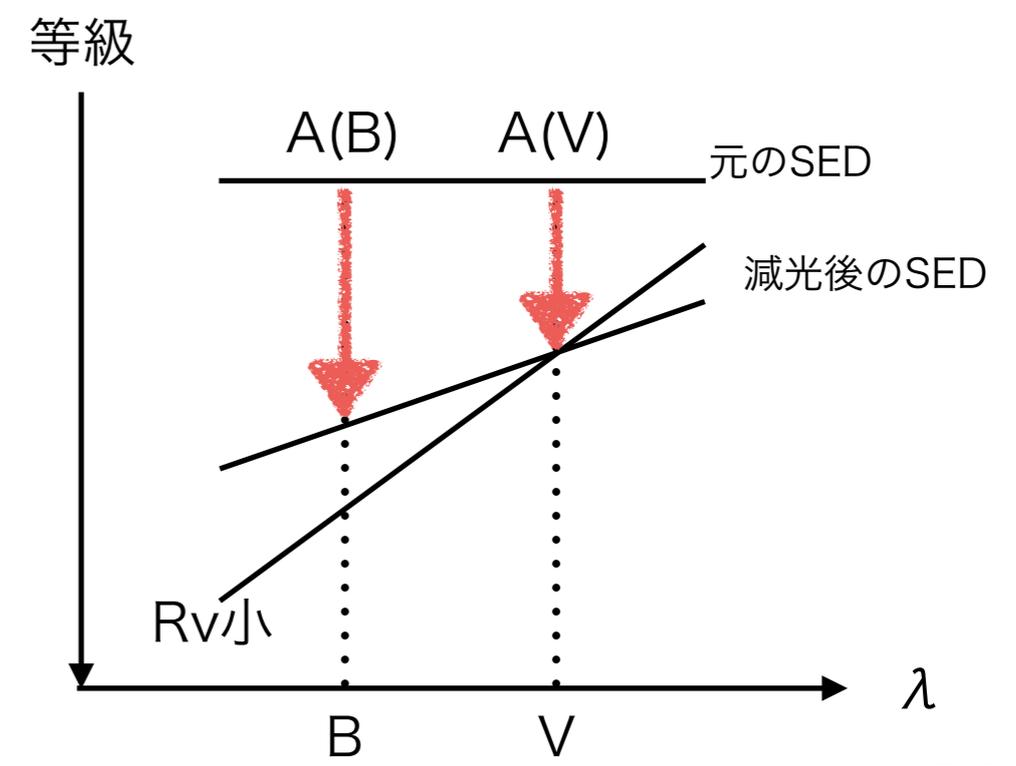
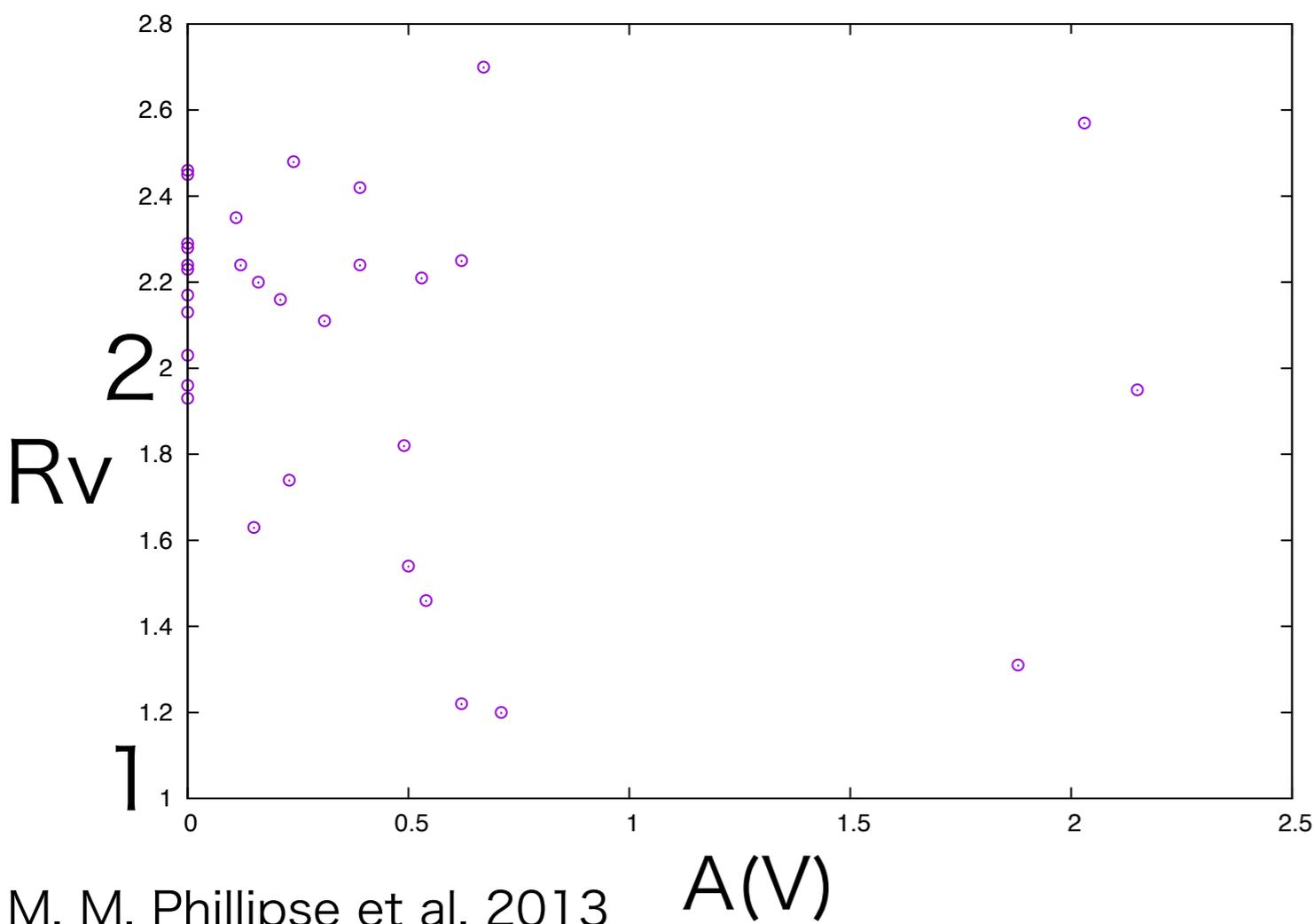
銀河系での減光, $R_V \sim 3$

Ia型超新星での減光, $R_V \sim 1-2$

$$R_V = \frac{A(V)}{E(B-V)} = \frac{A(V)}{A(B) - A(V)}$$

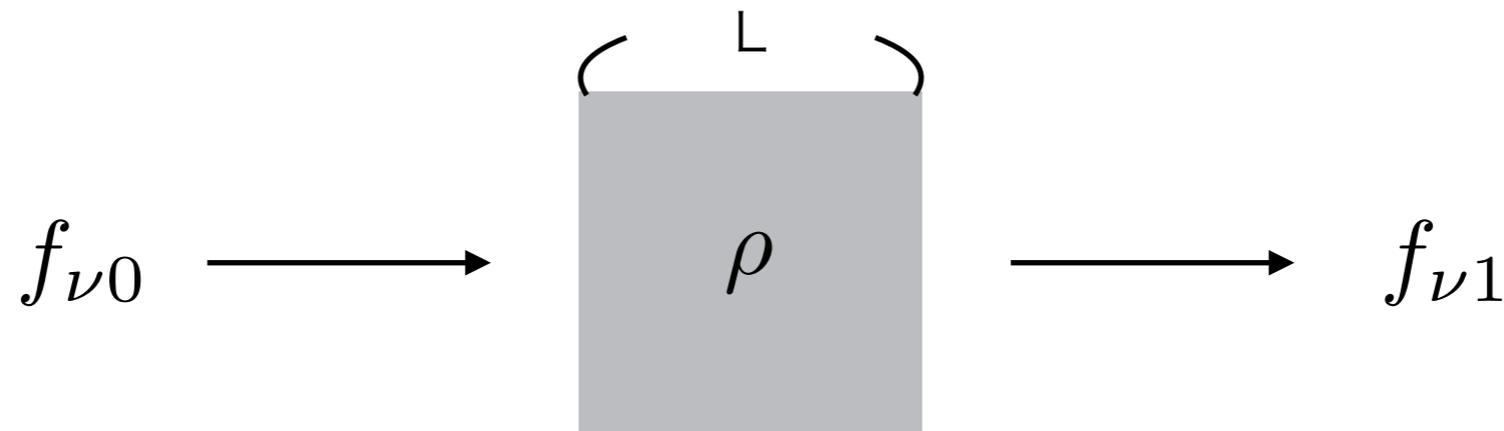
$A(V)$:Vバンドでの減光量

$$A(B) = \frac{1 + R_V}{R_V} A(V)$$



R_Vの値はどのように決まるのか？

仮定：一度散乱された光子は視線方向には戻って来ない
(single scatteringの場合)



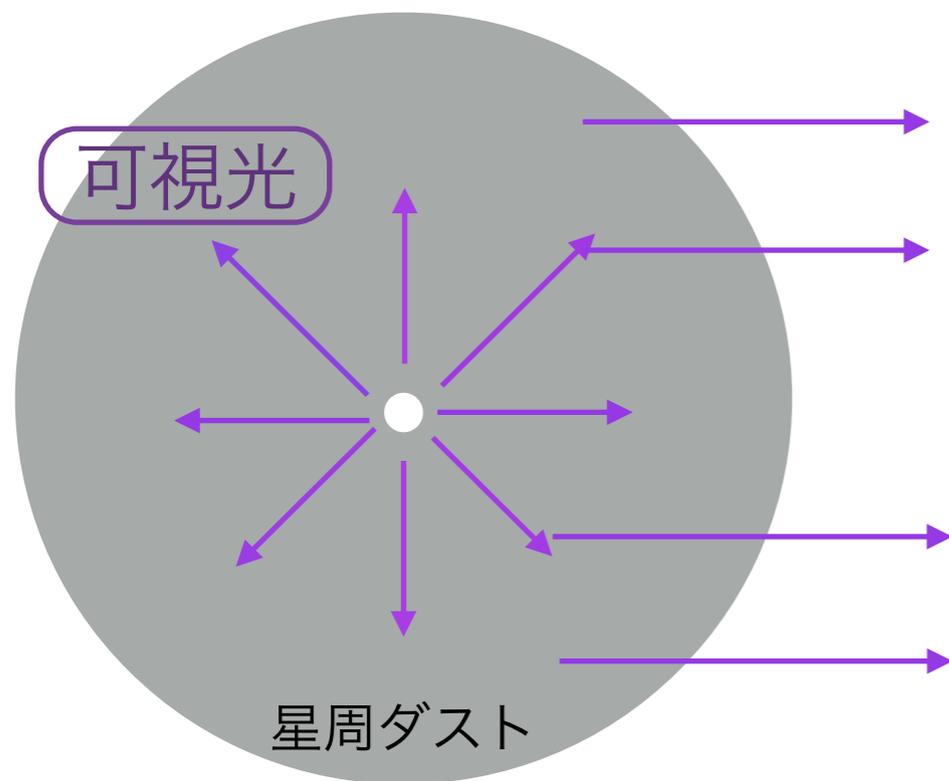
$$f_{\nu 1} = f_{\nu 0} \exp(-\kappa_{\text{ext}}(\nu)\rho L)$$

$$A(\nu) \propto \log(f_{\nu 1}/f_{\nu 0}) \propto \kappa_{\text{ext}}(\nu)\rho L$$

$$R_V = \frac{A_V}{A_B - A_V} = \frac{1}{\frac{\kappa_{\text{ext}}(B)}{\kappa_{\text{ext}}(V)} - 1}$$

銀河系のダストと異なるダスト？

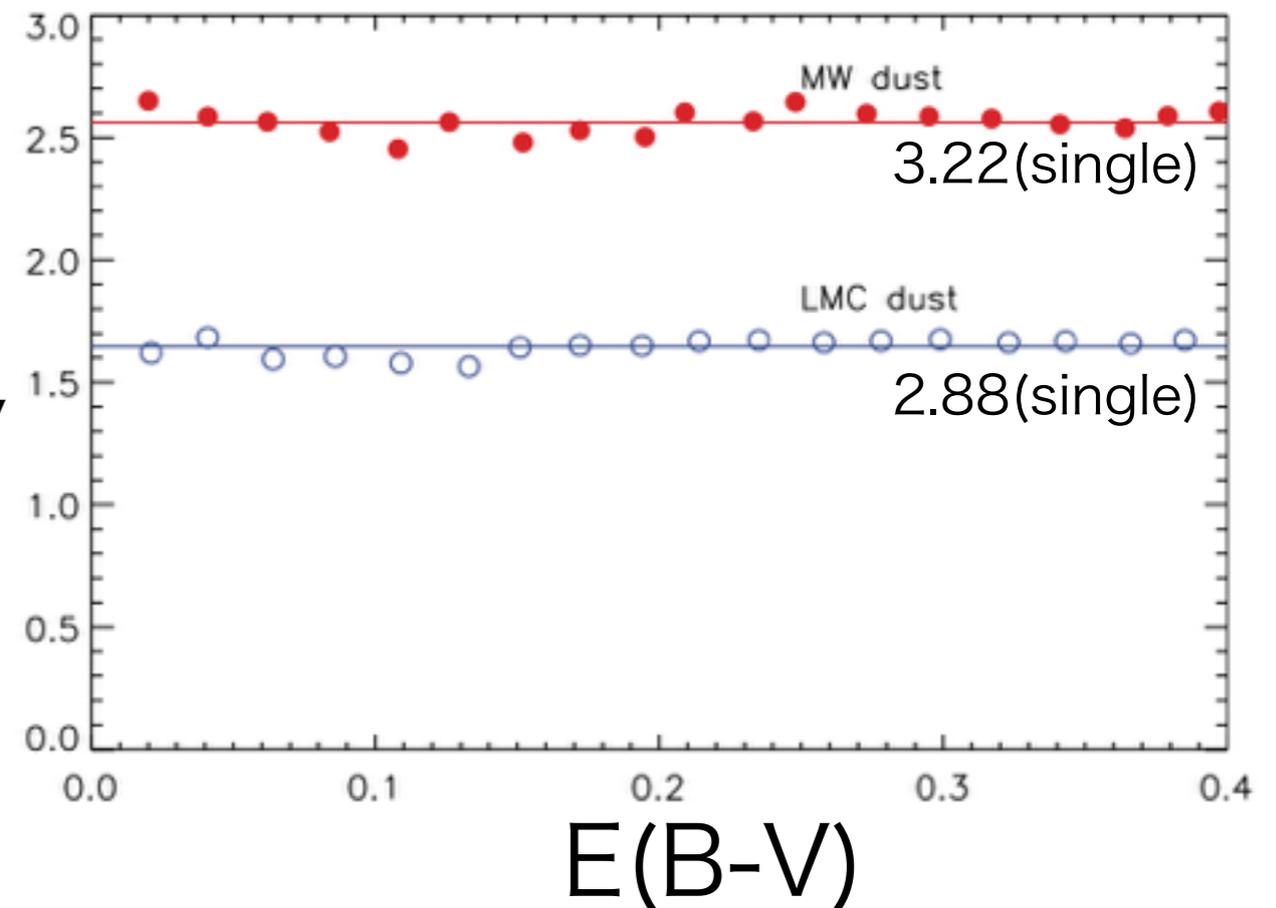
星周ダストによる多重散乱で小さなRv



定常光源、一様密度のダスト

観測者 R_v

Goobar 2008



波長が短い光ほど散乱回数が多く、走る距離が伸び、
吸収される確率が上がる→より赤くなる(小さな R_v)

これらの議論はダストの詳細に依らず、実現されるのか？

→ 様々なダストで計算

様々な光学特性を持つダストでの計算

以下の3つのパラメータを選んだ

$$r\kappa_{\text{ext}} = \frac{\kappa_{\text{ext}}(\text{B})}{\kappa_{\text{ext}}(\text{V})} \quad r\omega = \frac{\omega(\text{B})}{\omega(\text{V})} \quad \omega(\text{B})$$

κ : 減光係数、 ω : アルベド

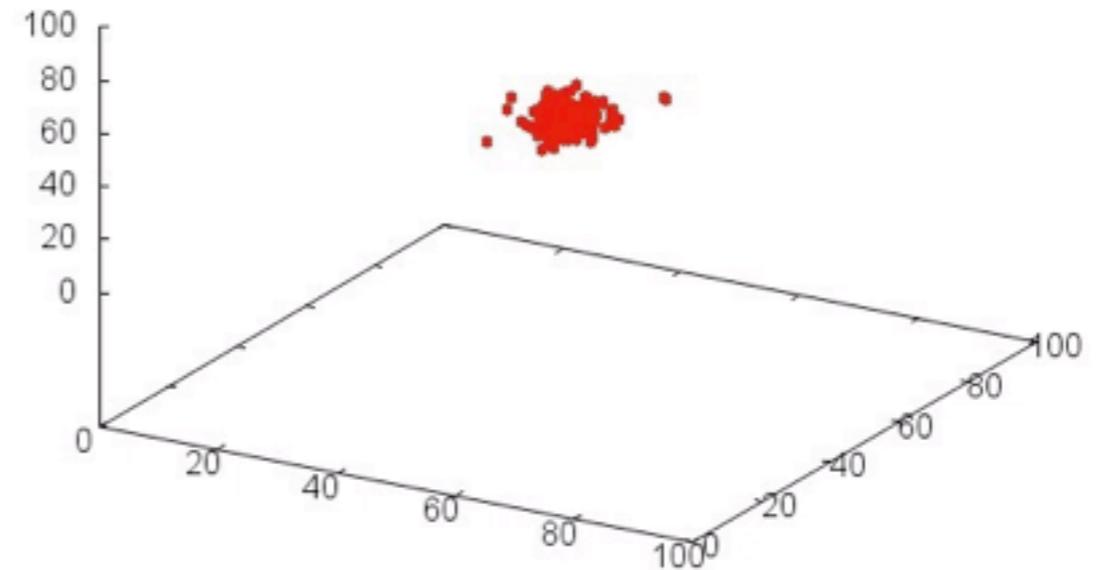
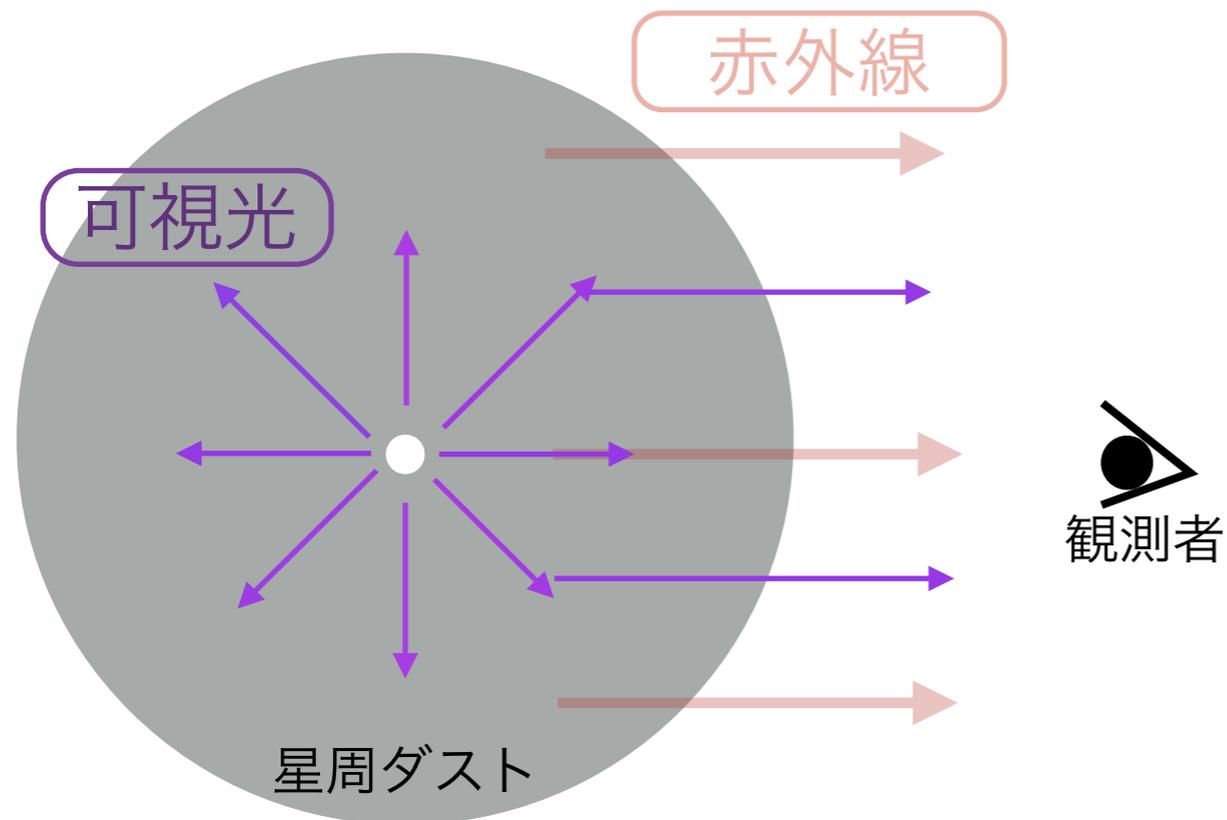
$$r\kappa = (1.2, 1.25, 1.3, 1.35, 1.4) \quad 5$$

$$r\omega = (0.9, 0.925, 0.95, 0.975, 1.0, 1.025, 1.05) \quad 7$$

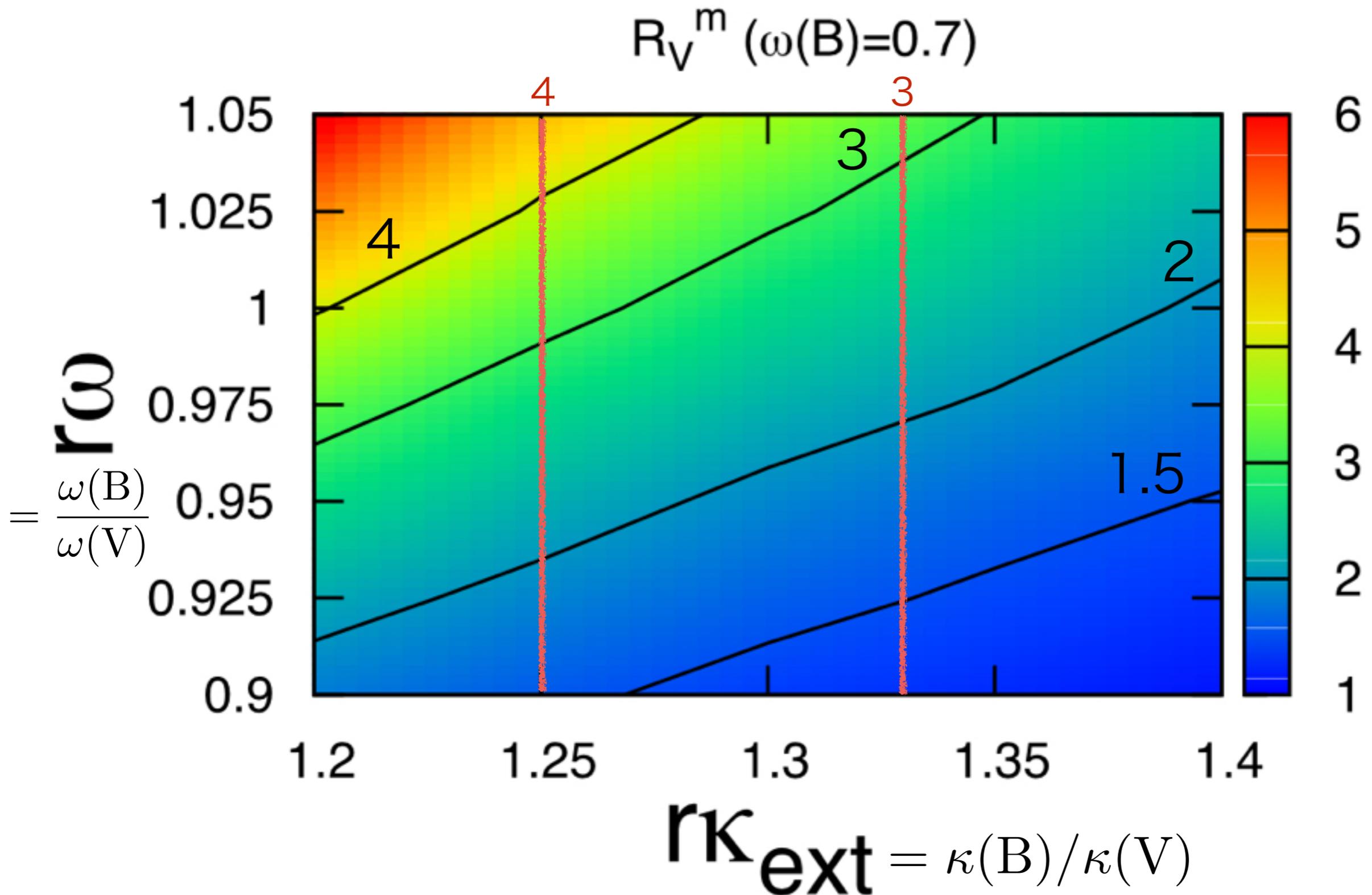
$$\omega(\text{B}) = (0.6, 0.7) \quad 2$$

in total, 70 dust models 14/20

方法：モンテカルロ口輻射輸送計算



結果： R_V の $r\kappa$, $r\omega$ and $\omega(B)$ への依存性



どのようなダストが大きな $r\kappa$ 、小さな $r\omega$ を持つか？

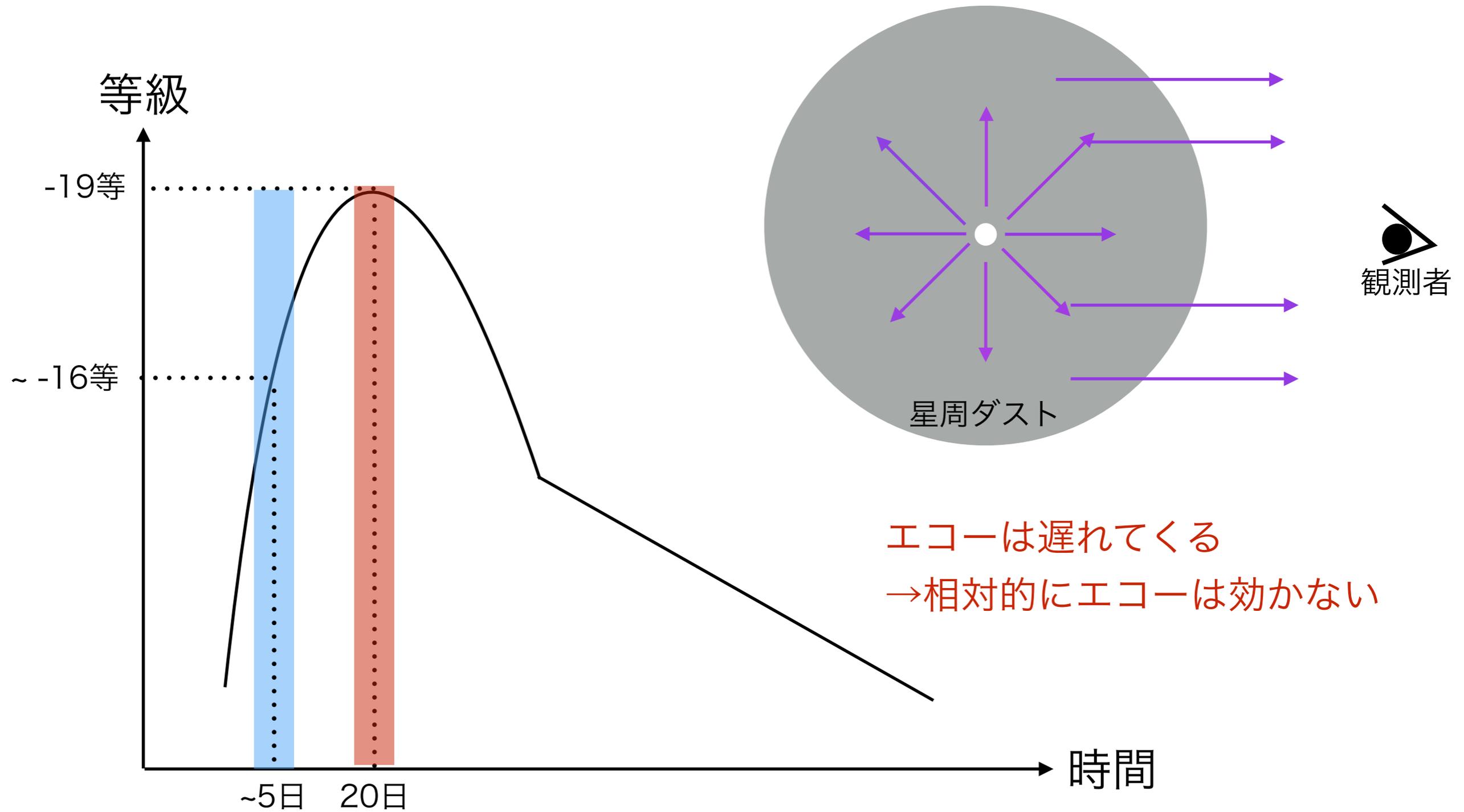
色々なダストモデルでの $r\kappa$ 、 $r\omega$ を計算した

- 種類：astronomical silicate, graphite → +小さな炭素ダスト
- 質量比：0.64:0.36 (MWモデル) → 1:0 ~ 0:1
- 粒子半径[μm]：0.005 ~ 0.25 → 最大サイズ 0.01 ~ 0.25
- サイズ分布： $\propto a^{-3.5}$ → -3.0, -3.5, -4.0

$r\kappa = \frac{\kappa_e(B)}{\kappa_e(V)}$ を大きく、 $r\omega = \frac{\omega(B)}{\omega(V)}$ を小さくするには、

小さなサイズのシリケートや炭素が必要である

この仮説を検証するには



Tomo-e Gozen超新星サーベイで 予想される候補天体の数

- ・ 研究(1)：星周ダストからの赤外線エコー：親星問題
 - ◆ overluminous SNe Ia($M_{\text{peak}} \sim -20$ 等)の発見個数
 - 18等がサーベイの限界等級(19等)になる距離：~250Mpc
 - $2000 \div 100 \div 4 = \sim 5$ 個/年 (20Mpcにnormal Iaが1個と仮定)
 - ◆ このうち、近赤外でエコーをフォローアップ観測できるものの数
 - 近赤外で-17等まで観測したい+かなた望遠鏡(18.5等 for 600秒, Jバンド)
 - ~150Mpcなら観測可能 → ~ 1 個/年 (3.8m→~2等深い→発見したすべて観測できる)
 - ◆ **たくさんoverluminous を見つけて欲しい→広く浅く観測して欲しい：今の仕様が良い**
- ・ 研究(2)：星周ダストからの可視散乱光：特異な減光
 - ◆ SNe Ia($M_{\text{peak}} \sim -19$ 等)の発見個数： ~ 120 個/年
 - ◆ 可視のフォローアップ：可視で-16等まで観測したい
 - かなた望遠鏡(~20等(B), ~21等(V))なので、発見したすべて観測できる
 - ◆ **爆発後~5日程度で観測したい→今の仕様が良い**

まとめ

・ 研究(1)：赤外線エコー

- ◆ Overluminous SN Ia 2012dn の赤外線超過を星周ダスト円盤からの赤外線エコーで説明できることを明らかにした
- ◆ Tomo-e Gozen超新星サーベイでは、年間に~5個程度候補天体が見つかる
- ◆ かなた望遠鏡ではこのうちの~1個、3.8m望遠鏡では~5個程度、今回のような研究を行うことができる

・ 研究(2)：特異な減光

- ◆ 粒子サイズの小さなシリケートや炭素ダストなら、多重散乱の効果で実効的にIa型超新星で観測されている特異な減光を説明できることを示した
- ◆ 実際に特異な減光の起源が多重散乱であるかどうか確かめるには爆発直後($t \sim -17$ 等)の時の減光を観測すれば良い
- ◆ Tomo-e Gozen超新星サーベイでは、年間に~120個程度候補天体が見つかる
- ◆ かなた望遠鏡を使えば、このすべての天体で爆発直後の観測ができる