

系外銀河による宇宙背景ニュートリノ崩壊光探索感度への影響

2022年度TCHoU workshop
素粒子構造研究部門セッション
2023年3月16日

武内勇司

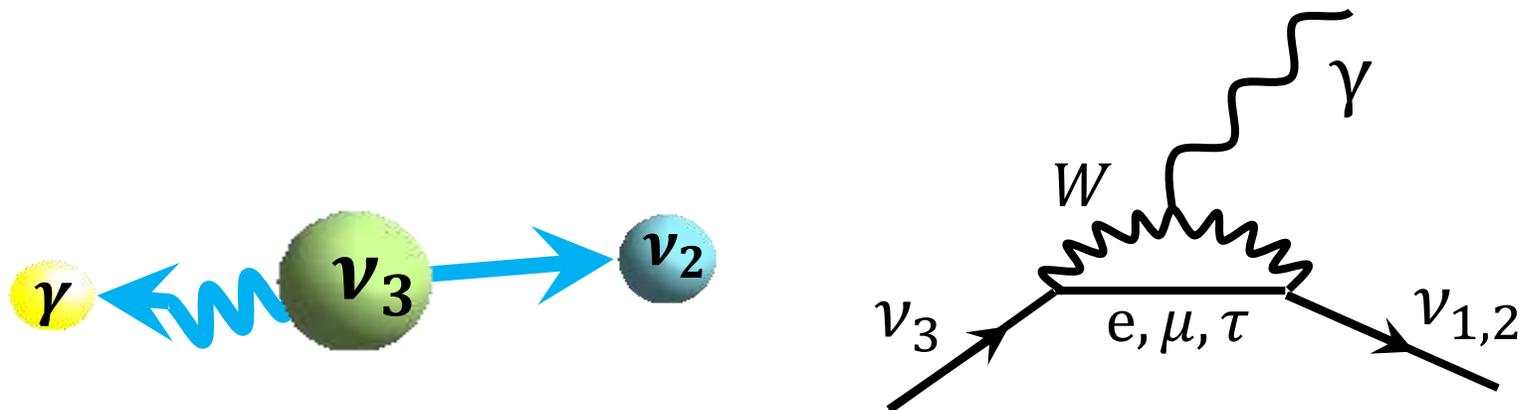
Tomonaga Center for History of the Universe,
University of Tsukuba

Neutrino decay

- Neutrino has three flavor and mass eigenstates: $(\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau)$ (ν_1, ν_2, ν_3)
- Heavier neutrinos can decay to lighter neutrinos **with photon**:

$$\nu_3 \rightarrow \nu_{1,2} + \gamma$$

- ✓ ν_3 Lifetime
 - ✓ Standard Model (SM) and Dirac neutrino assumptions : $\tau = O(10^{43})$ years
 - ✓ Several Beyond Standard models predict: $\tau = O(10^{14}) \sim O(10^{17})$ years
 - ✓ **Experimental lower limit from CIB meas.:** $\tau > O(10^{12})$ years



Neutrino Mass and Photon Energy

- From neutrino oscillation

$$- |\Delta m_{23}^2| = |m_3^2 - m_2^2| = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$

$$- \Delta m_{12}^2 = m_2^2 - m_1^2 = 7.65 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$

- CMB(Planck+WP+highL) and baryon acoustic oscillation (BAO) measurements constrain

$$- \sum m_i < 0.23 \text{ eV}$$

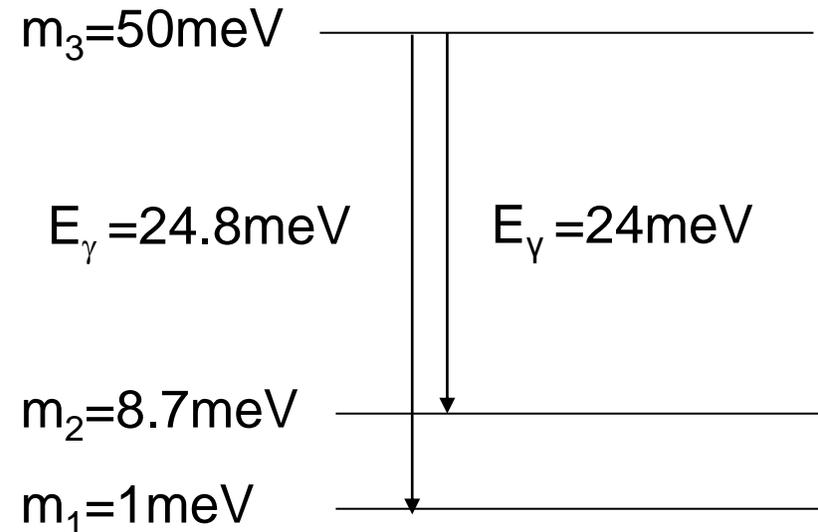
$$\rightarrow 50 \text{ meV} < m_3 < 87 \text{ meV}$$

If assume $m_3 \gg m_1$

$$\lambda_\gamma \sim 50 \mu\text{m}$$



$$E_\gamma = \frac{m_3^2 - m_2^2}{2m_3}$$



Cosmic Neutrino Background (CνB)

- Relic of neutrino decoupling few seconds after Big bang.
- Not yet directly observed.
- Density and Temperature of CνB are well predicted from CMB meas.

$$T_\nu = \left(\frac{4}{11}\right)^{\frac{1}{3}} T_\gamma = 1.95\text{K}$$

$$n_\nu = n_{\bar{\nu}} = \frac{n_\gamma}{2} \times \frac{3}{11} = 56/\text{cm}^3$$

Expected photon wavelength spectrum from CvB decays

Considering red shift of wavelength and lifetime, and CvB density as a function of $a = \lambda/\lambda_0$

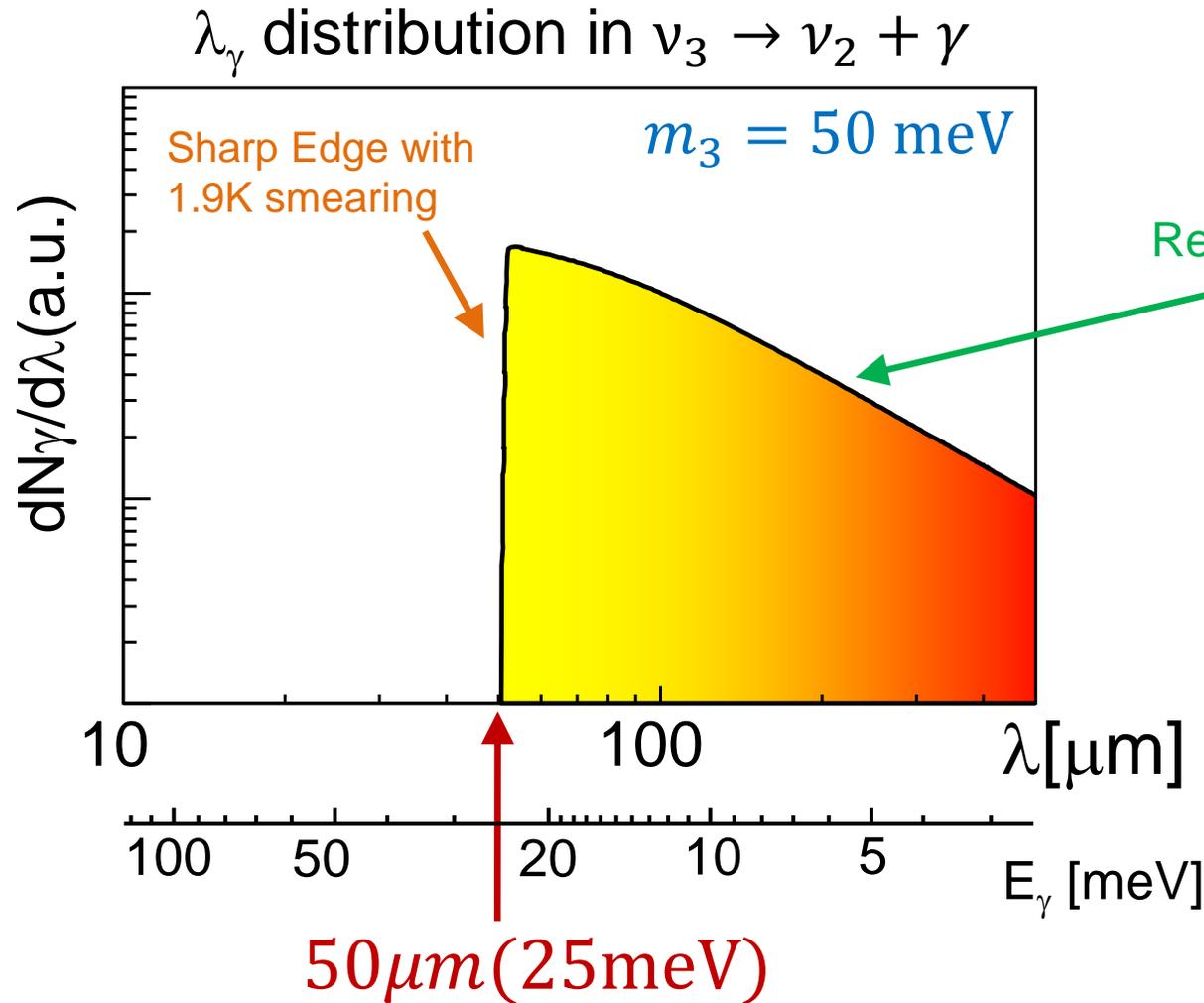
$$I_\nu(\lambda) = \frac{1}{4\pi\tau_\nu} \rho_{\nu,0} \frac{hc}{H_0} \left[\Omega_{m,0} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^3 + \Omega_{\Lambda,0} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

Also considering doppler shift from CvB relativistic F-D thermal distribution

$$f(\vec{p}, \lambda) = \frac{1}{\exp[pc / (k\lambda T_0 / \lambda_0)] + 1}$$

$$\rho_{\nu,0} = 110/cm^3, H_0=70km/s/Mpc, \Omega_{m,0}=0.3, \Omega_{\Lambda,0}=0.7, T_0 = 1.95K, \lambda_0 = 50\mu m$$

Expected photon wavelength spectrum from CνB decays



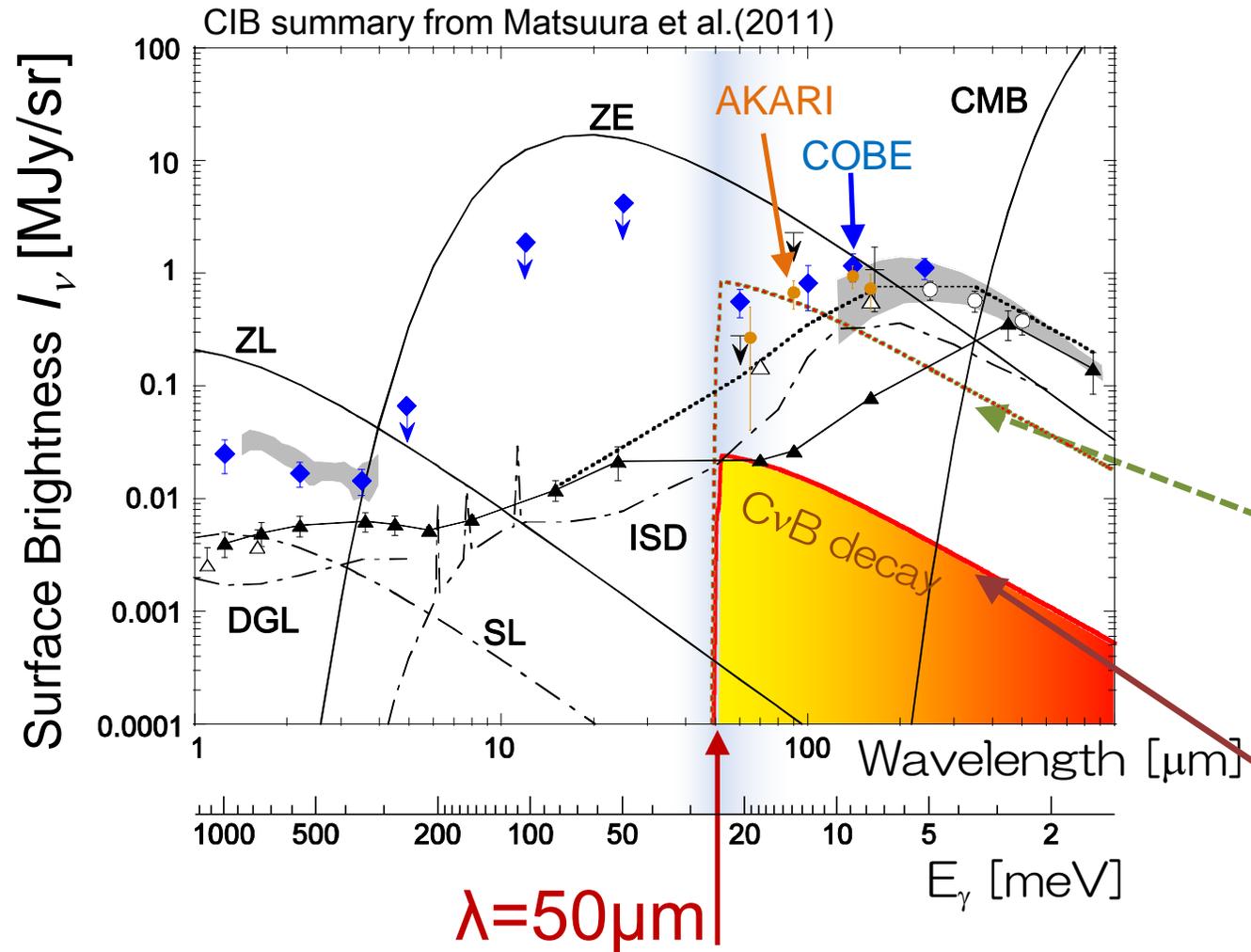
$$\left[\Omega_{\text{m},0} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^3 + \Omega_{\Lambda,0} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

テール部分の形状には Ω_Λ の時間依存性の情報が含まれる

Sharp edge indicates two body decay from a massive particle

➔ Decisive signature of CνB decay

CνB radiative decay and Backgrounds



at $\lambda = 50\mu\text{m}$

Cosmic Infrared Background (CIB)
 $I_\nu \sim 0.1\text{-}0.5$ MJy/sr

CνB Decay $m_3 = 50\text{meV}$

$\tau = 3 \times 10^{12}$ yrs
 $I_\nu \sim 0.8$ MJy/sr

Excluded by S.H.Kim et. al 2012

$\tau = 1 \times 10^{14}$ yrs
 $I_\nu \sim 25$ kJy/sr

黄道輻射はほぼ単一温度の黒体放射分布によくFit ($T \sim 270\text{K}$)
 次に問題となるのが系外銀河の積算光

extragalactic background light のモデル

参考文献

- Dominguez et al. 2010 doi:10.1111/j.1365-2966.2010.17631.x
- Andrews et al. 2018 doi:10.1093/mnras/stx2843

Strategy

- 赤方偏移 $z=0$ から銀河形成が始まる z まで銀河のスペクトルを z に応じて波長を $(1+z)$ 倍に赤方偏移させ, z に応じて強度を規格化して足しあげる。

それには

- 銀河のスペクトル(銀河の種類)
 - 銀河の数(z 依存性, 銀河の種類)
- の情報が必要

Dominguez 2010の extragalactic background light のモデル

銀河のカテゴリー

- Quiescent
- Star-forming
- Starburst
- AGN

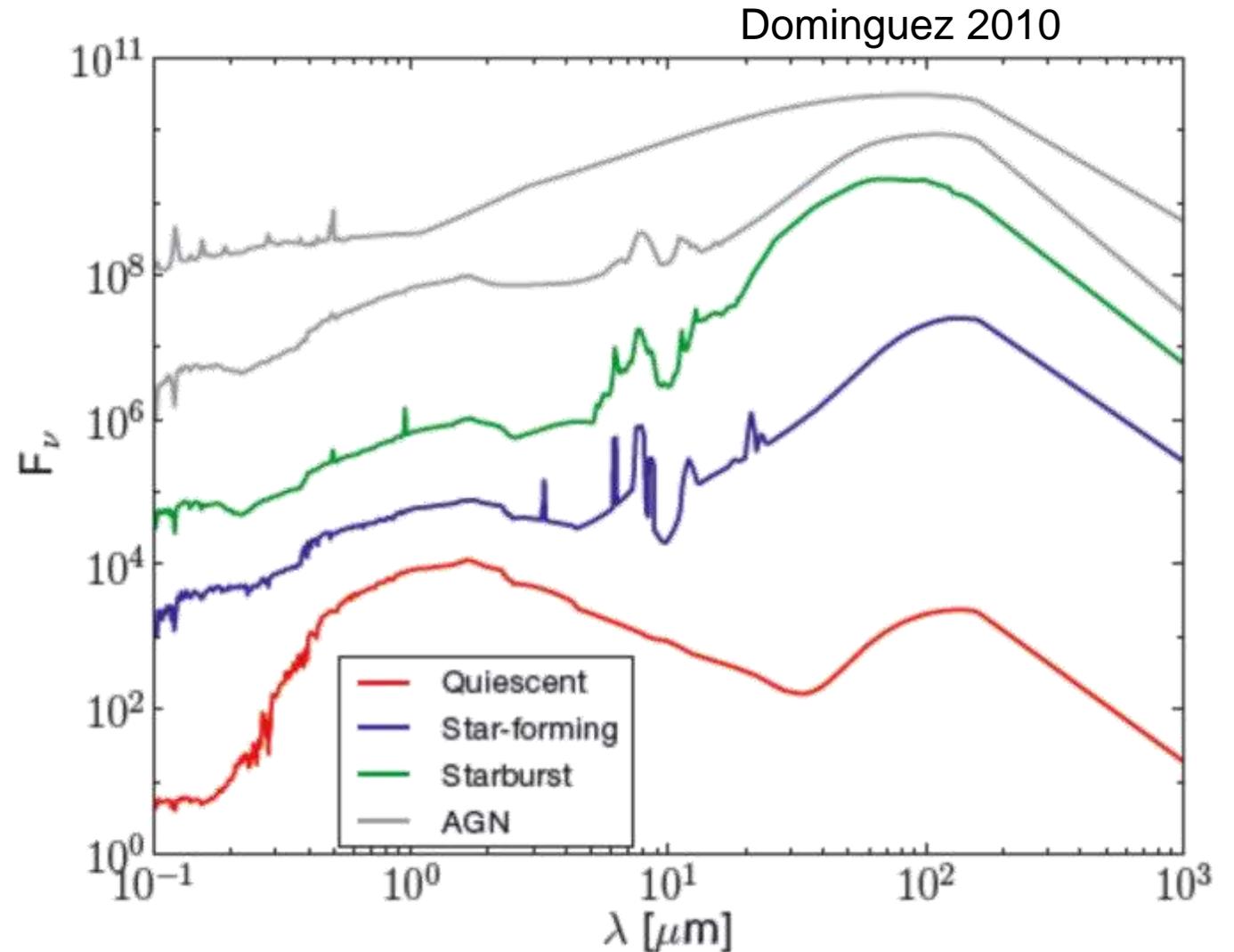
銀河の種類によって発光スペクトルは異なる

これらのスペクトルは、実際には近い銀河($z < 0.3$)からのサンプル

10 μ m付近の構造は PAH

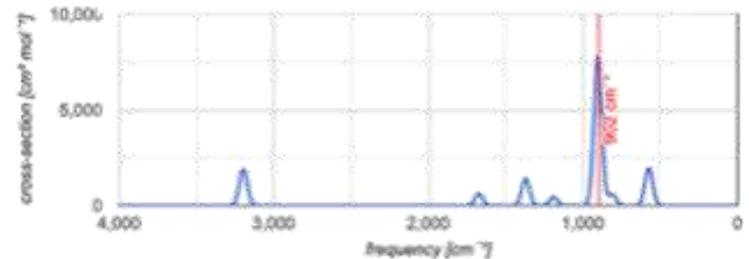
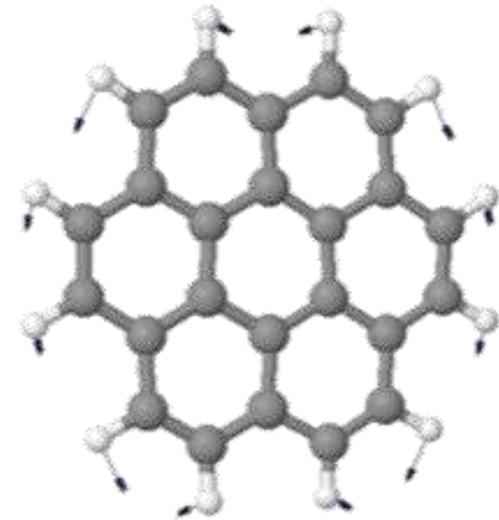
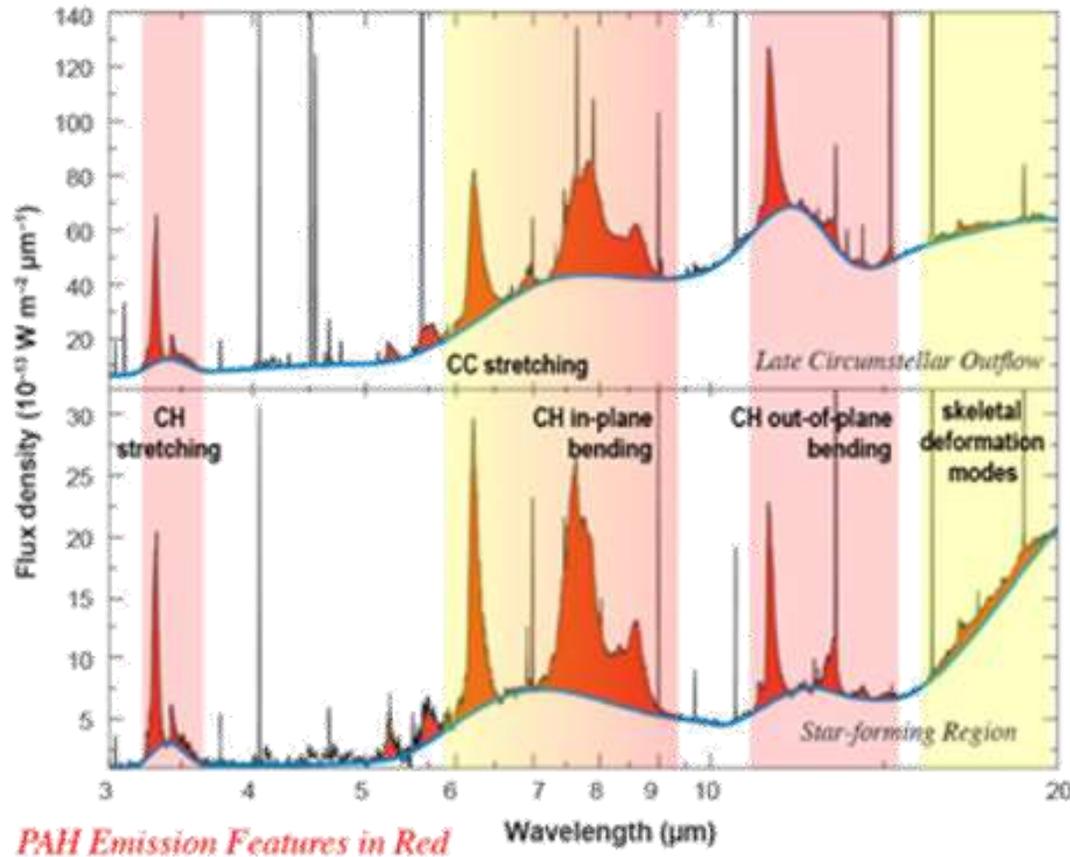
polycyclic-aromatic-hydrocarbon

多環芳香族炭化水素分子（ベンゼン環を複数個もつ化合物の総称）の作る発光スペクトル



PAH IR Spectrum

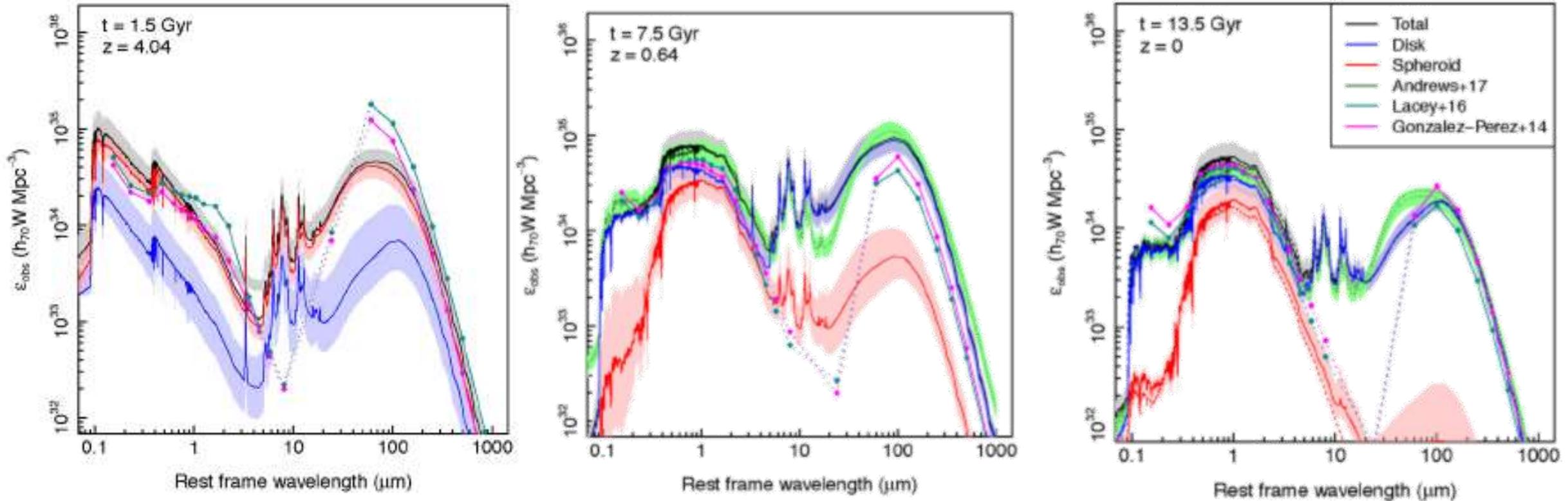
PAHdb website (www.astrochemistry.org/pahdb/)



$z > 4$ 以上の銀河では、PAH発光が $50 \mu\text{m}$ 域にスペクトル構造を作る可能性

Andrews 2018 の extragalactic background light のモデル

Andrews 2018



銀河のカテゴリー

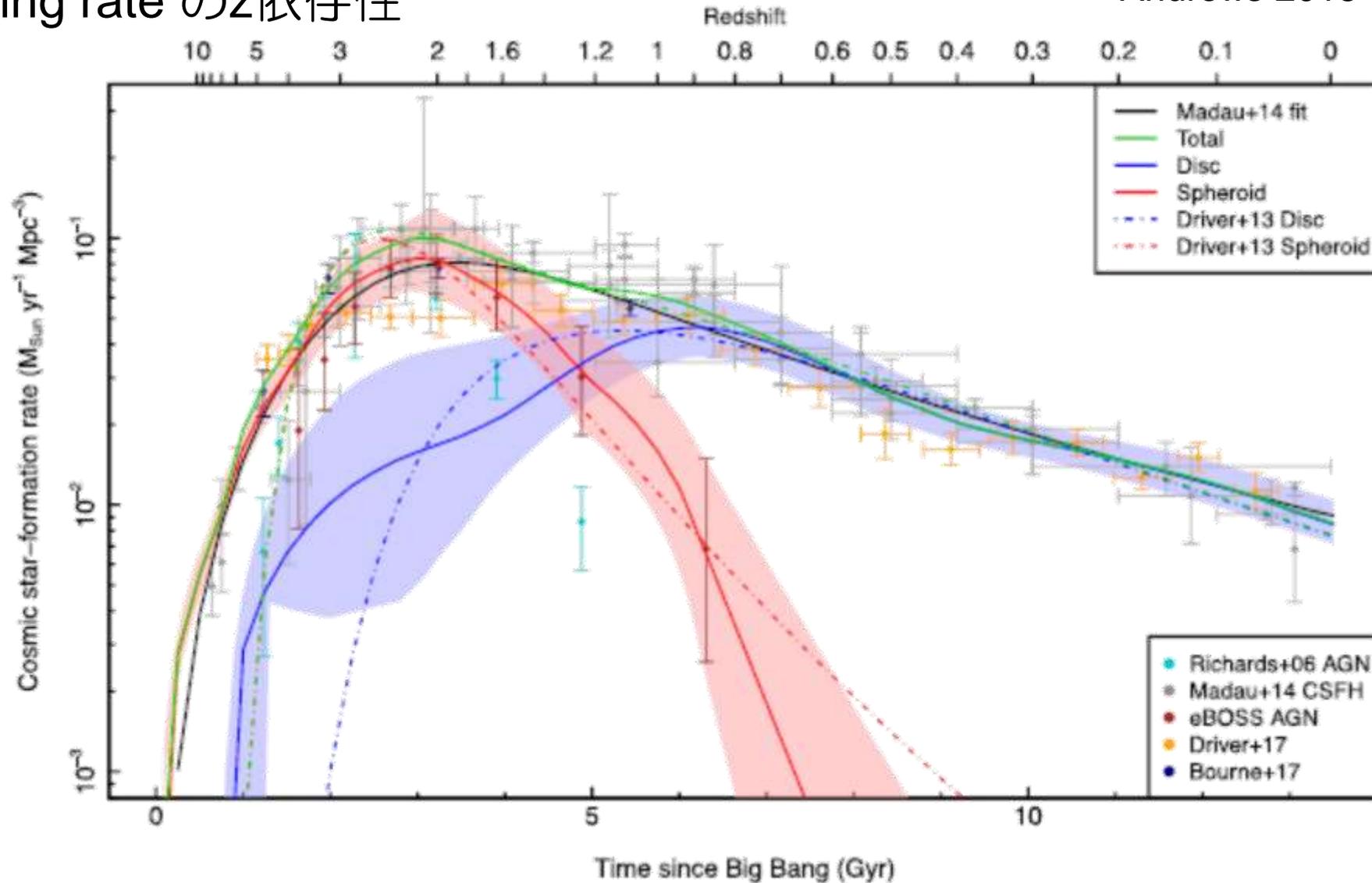
- Disk
- Spheroid

$z=4\sim 0$ の銀河発光モデル (それぞれの z での実測サンプルというわけではない)

extragalactic background light のモデル(Andrews 2018)

Star-forming rate のz依存性

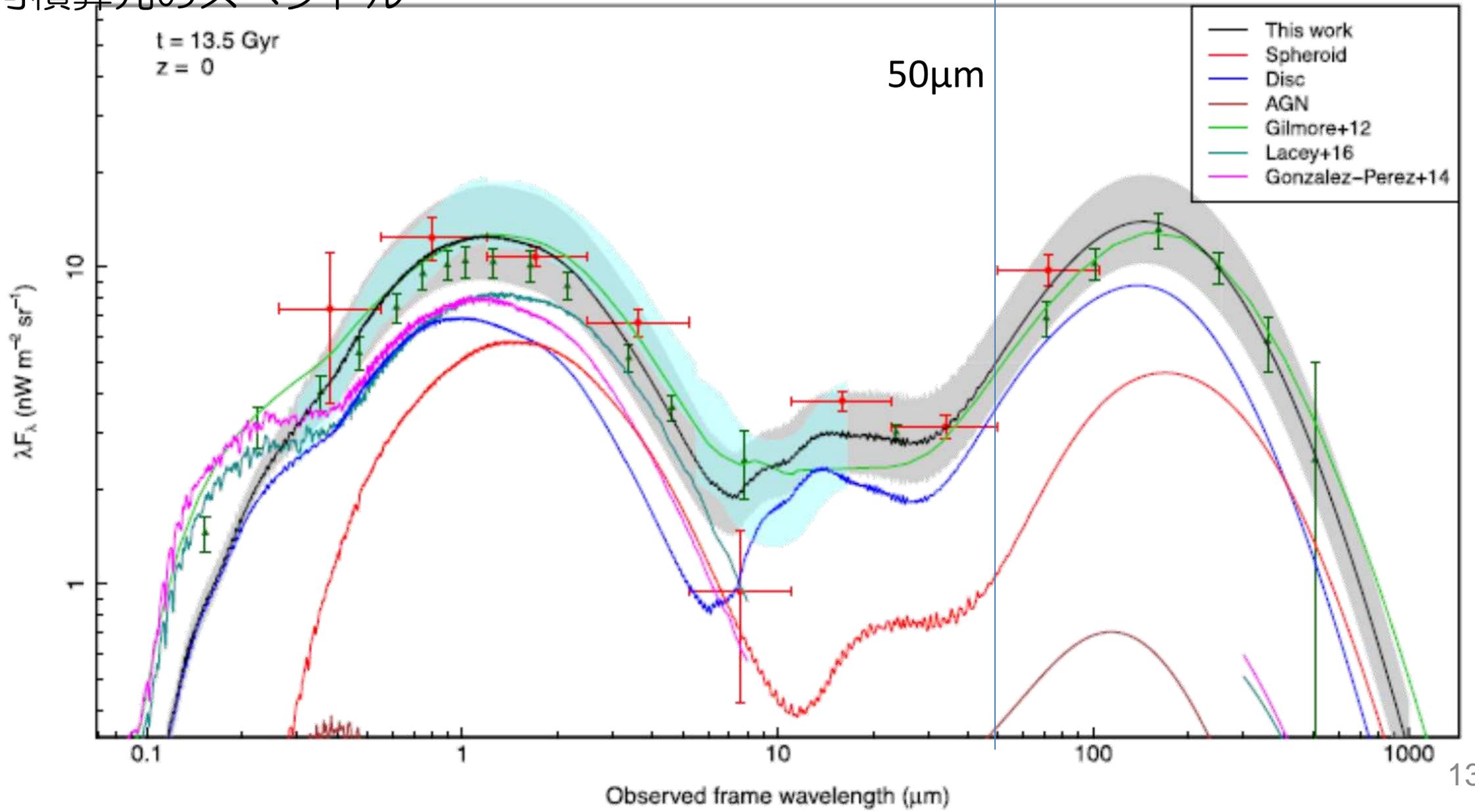
Andrews 2018

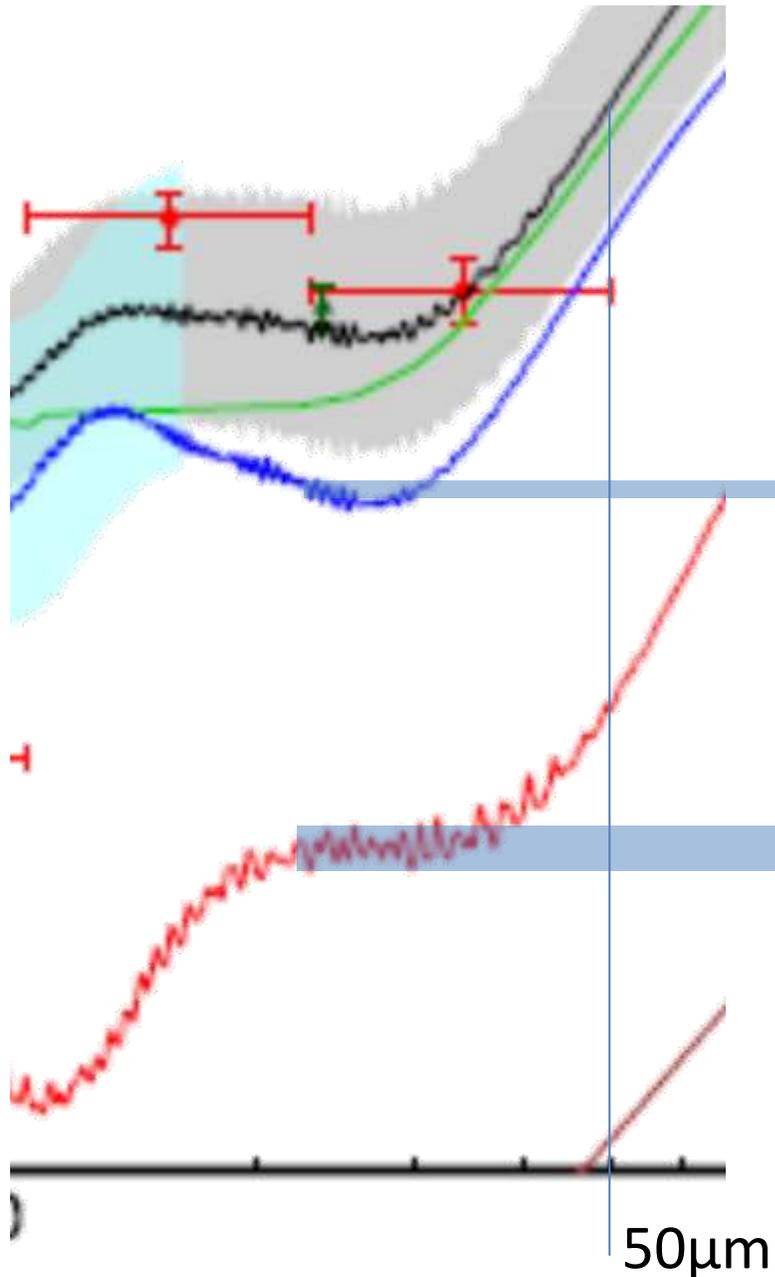


extragalactic background light のモデル(Andrews 2018)

銀河積算光のスペクトル

Andrews 2018





- 積算光に見える凸凹構造は積算する際の銀河の z が離散的であるため
- 実際には銀河が十分な数あれば z が連続分布を取り, 凸凹構造はもっと滑らかになると考えられる。
- Conservative な評価として論文中の積算光モデルにある凸凹構造の高さを到達感度評価用に使用する。

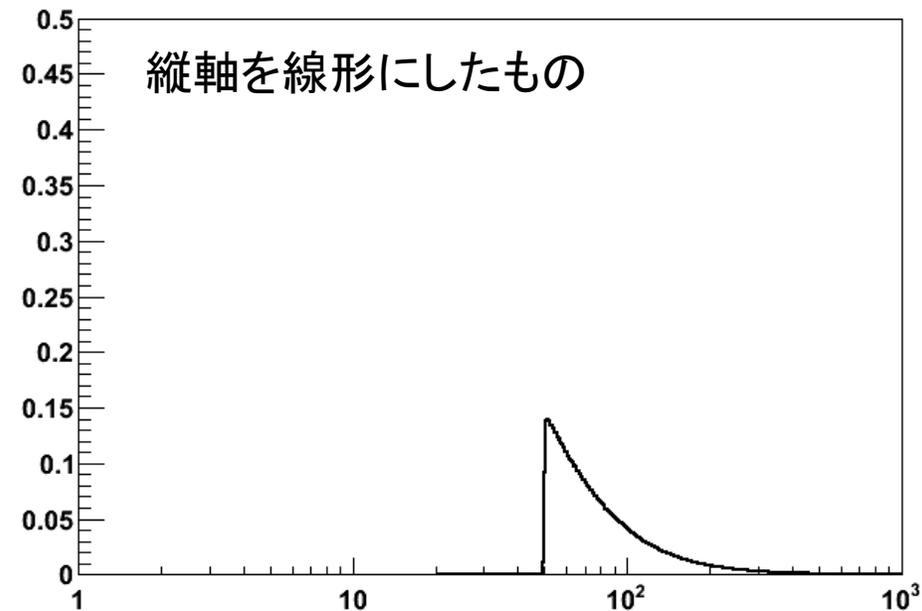
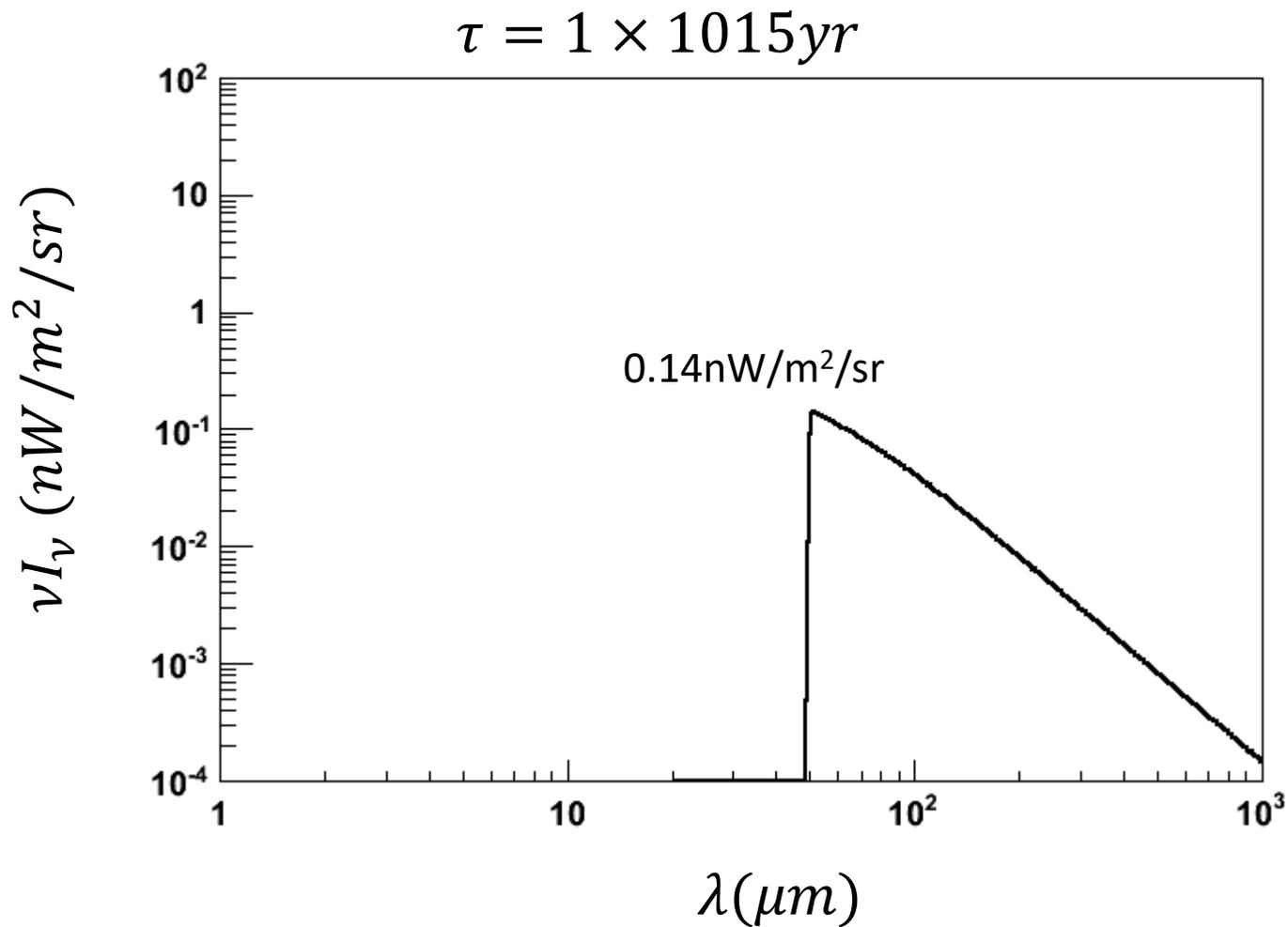
~0.1nW/m²/sr

diskは, 大きな z の寄与が少ないので
50 μ m域にはほとんど効かない。

~0.05nW/m²/sr

こちら50 μ m域には影響は少ないと思われるが
0.05nW/m²/sr を50 μ m域のスペクトル構造の
凹凸大きさをして評価

Expected photon wavelength spectrum from CνB decays



10¹⁵年寿命はEBL積算光には邪魔されずに測定可能

まとめ

- Andrews 2018 の銀河積算光モデルを仮定すると、宇宙背景ニュートリノ崩壊光の探索は、十分な統計量があれば、 10^{15} 年までの感度では系外銀河積算光には邪魔されない。
- 系外銀河積算光モデルの理解が進めば、 $50\ \mu\text{m}$ 域は更に長い寿命探索まで可能なくらい滑らかである可能性がある。
- 宇宙背景ニュートリノ崩壊光は、波長1%以下で急峻に立ち上がる階段関数的なスペクトルの特徴を持つ。観測機器の波長分解能が1%以下であれば、この特徴を使った探索が可能であり、更に長い寿命感度での探索も可能。