

明るい天体上空に浮遊する

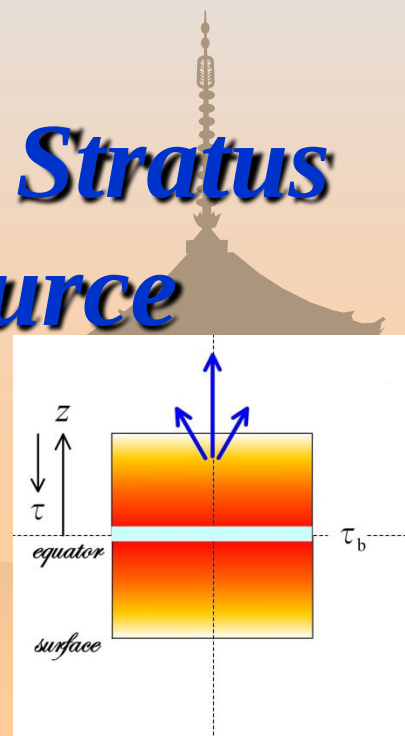
層雲中での輻射輸送

球状光源、円盤状光源、降着円盤の場合

*Radiative Transfer in a Floating Stratus
Irradiated by a Luminous Source*

Basics and Applications

福江 純 @ 大阪教育大学





降着円盤上空は薄曇り？

❁ 目的:

- 超臨界降着円盤はもちろん標準降着円盤の場合でも、
降着円盤上空は常にクリアというわけではなく、円盤コロナや円盤風や降着ガスなどのため、しばしば希薄なガス物質が存在しているだろう。
- 光源と観測者の間にガス雲があると、
- (1) 散乱などによって光源の像がぼやけたり、
- (2) 吸収再放射によって光源のスペクトルが変化する、
- など、観測面でいろいろな影響が出てくると予想される。





幾何学的に薄い層雲

❁ 目標:

➤ 今回、光源周辺に幾何学的に薄い層雲が存在していると想定して、光源に照らされた層雲中の輻射輸送を解き、光源の像やスペクトルを調べた結果を報告する。

➤ 組み合わせ:

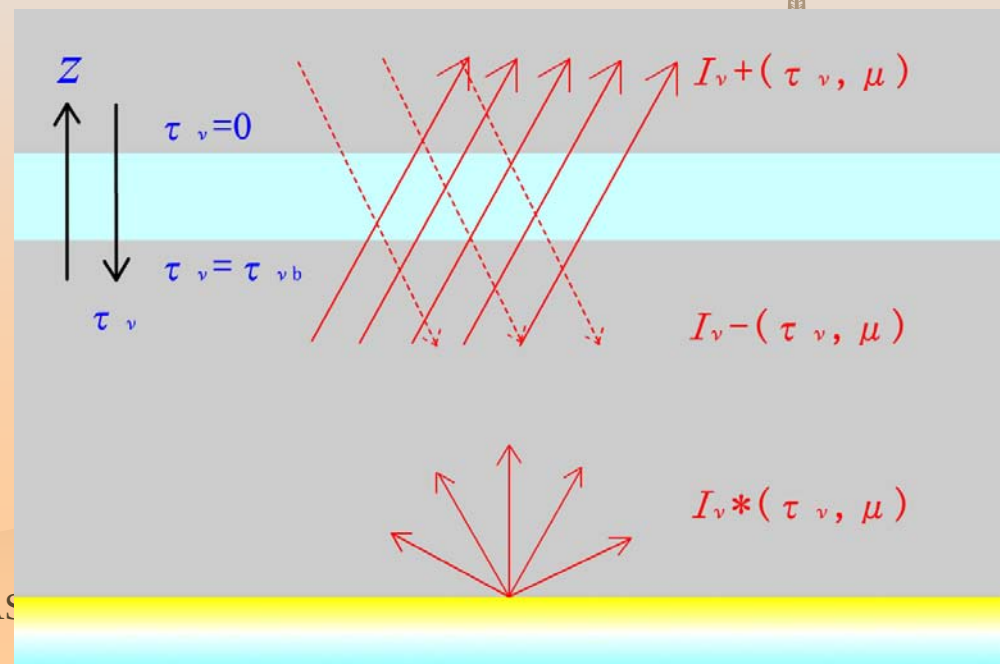
➤ 光源 > 球状天体

➤ 円盤状天体

➤ 標準降着円盤

➤ 層雲 > 平板状

➤ 球殻状





基礎方程式と境界条件

- 平行平板大気
- 光学的厚みは有限 τ_{vb}
- エディントン近似
- RE/LTE
- 等温(鉛直方向)
- ε_ν は一定

$$\mu \frac{dI_\nu}{d\tau_\nu} = I_\nu - \frac{1}{\kappa_\nu + \sigma_\nu} \frac{j_\nu}{4\pi} - (1 - \varepsilon_\nu) J_\nu,$$

$$\frac{dH_\nu}{d\tau_\nu} = \varepsilon_\nu J_\nu - \frac{1}{\kappa_\nu + \sigma_\nu} \frac{j_\nu}{4\pi},$$

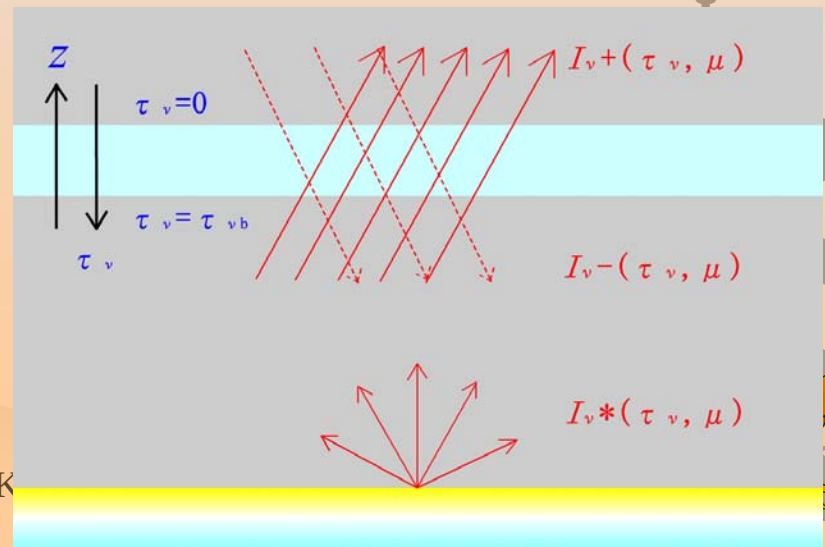
$$\frac{dK_\nu}{d\tau_\nu} = \frac{1}{3} \frac{dJ_\nu}{d\tau_\nu} = H_\nu,$$

$$\varepsilon_\nu = \frac{\kappa_\nu}{\kappa_\nu + \sigma_\nu}.$$

- 境界条件: 光源の照射

$$I_\nu^-(0, \mu) = 0,$$

$$I_\nu^+(\tau_{vb}, \mu) = (1 - A_\nu) I_\nu^*,$$





解析解 $I_{\nu}^{+}(0, \mu)$

❁ 散乱のみの場合

$$I_{\nu}^{+}(0, \mu) = (1 - A_{\nu}) I_{\nu}^{*} e^{-\tau_{\nu b} / \mu} + \frac{2 + 3\mu}{4 + 3\tau_{\nu b}} \left(1 - e^{-\tau_{\nu b} / \mu} \right) (1 - A_{\nu}) W I_{\nu}^{*} - \frac{3\tau_{\nu b}}{4 + 3\tau_{\nu b}} e^{-\tau_{\nu b} / \mu} (1 - A_{\nu}) W I_{\nu}^{*},$$

❁ A_{ν} : 表面アルベド

❁ W : 希釈因子

❁ I_{ν}^{*} : 光源の輝度

B_{ν} : 再放射黒体輻射

❁ 吸収もある場合

$$I_{\nu}^{+}(0, \mu) = (1 - A_{\nu}) I_{\nu}^{*} e^{-\tau_{\nu b} / \mu} + B_{\nu} (1 - e^{-\tau_{\nu b} / \mu}) + \frac{(1 - \varepsilon_{\nu}) C_1}{1 + \sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \mu} \left[1 - e^{-(1 + \sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \mu) \tau_{\nu b} / \mu} \right] + \frac{(1 - \varepsilon_{\nu}) C_2}{1 - \sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \mu} \left[1 - e^{-(1 - \sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \mu) \tau_{\nu b} / \mu} \right],$$

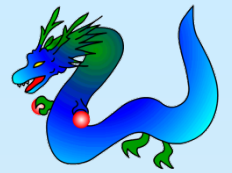
$$C_1 = -\frac{1 - \frac{\varepsilon_{-}}{\varepsilon_{+}} e^{-\sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \tau_{\nu b}}}{\varepsilon_{+} - \frac{\varepsilon_{-}^2}{\varepsilon_{+}} e^{-2\sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \tau_{\nu b}}} B_{\nu} - \frac{\frac{\varepsilon_{-}}{\varepsilon_{+}} e^{-\sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \tau_{\nu b}}}{\varepsilon_{+} - \frac{\varepsilon_{-}^2}{\varepsilon_{+}} e^{-2\sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \tau_{\nu b}}} (1 - A_{\nu}) W I_{\nu}^{*},$$

$$C_2 = -\frac{\left(1 - \frac{\varepsilon_{-}}{\varepsilon_{+}} e^{-\sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \tau_{\nu b}} \right) e^{-\sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \tau_{\nu b}}}{\varepsilon_{+} - \frac{\varepsilon_{-}^2}{\varepsilon_{+}} e^{-2\sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \tau_{\nu b}}} B_{\nu} + \frac{e^{-\sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \tau_{\nu b}}}{\varepsilon_{+} - \frac{\varepsilon_{-}^2}{\varepsilon_{+}} e^{-2\sqrt{3\varepsilon_{\nu}} \tau_{\nu b}}} (1 - A_{\nu}) W I_{\nu}^{*},$$

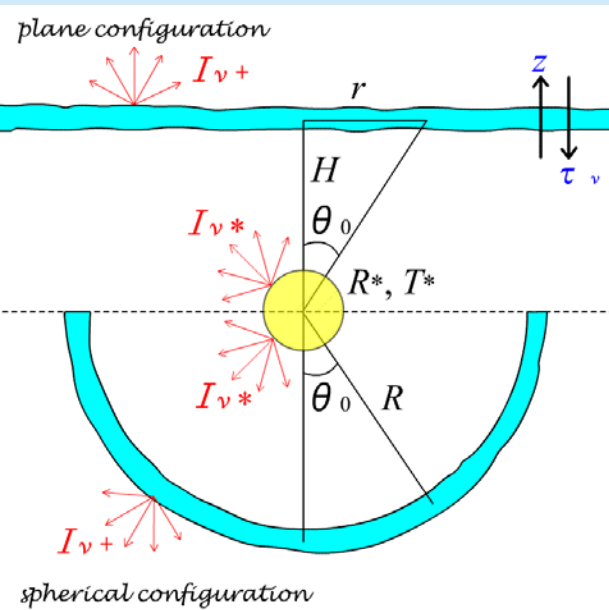
$$\varepsilon_{+} = 1 + \frac{2}{3} \sqrt{3\varepsilon_{\nu}},$$

$$\varepsilon_{-} = 1 - \frac{2}{3} \sqrt{3\varepsilon_{\nu}}.$$





球状光源＋平板状層雲 拡散イメージ

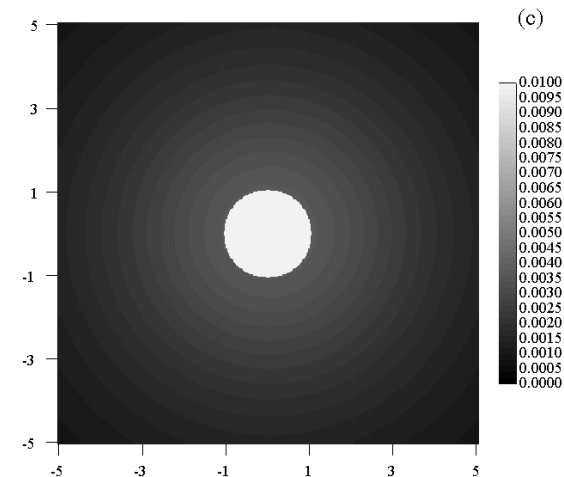
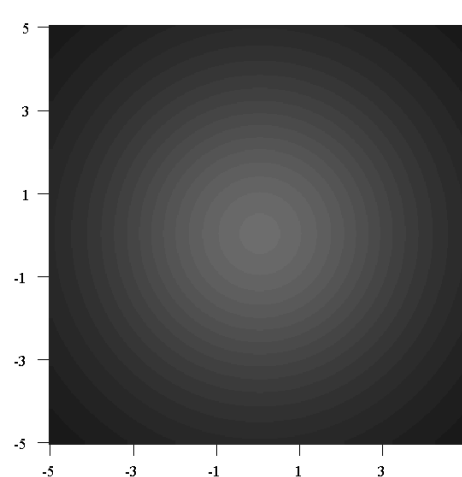
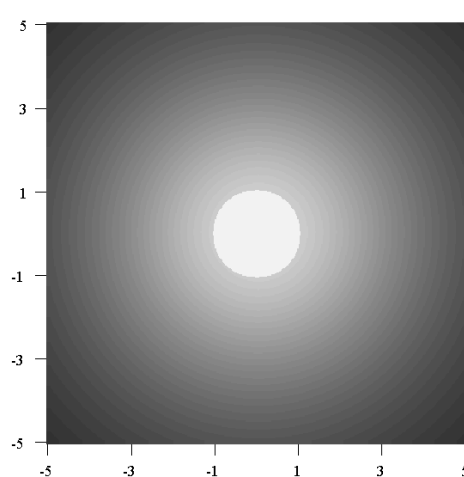


$$I_v^+ / [(1 - A_v) I_v^*]$$

$$H = 5R_*$$

$$\mu = 1$$

$$\tau_{vb} = 1, 10, 0.3$$





球状光源＋平板状層雲

放射スペクトル



青細線: 光源

青破線: 光源(減光)

赤破線: 再放射

一点鎖線: 散乱光

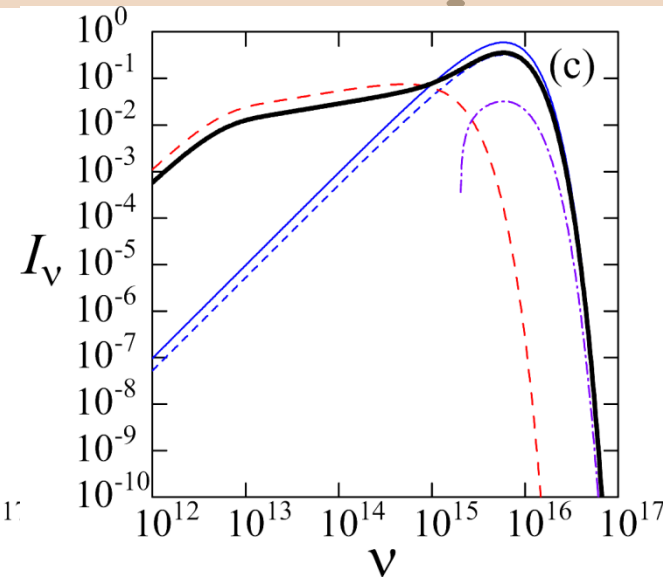
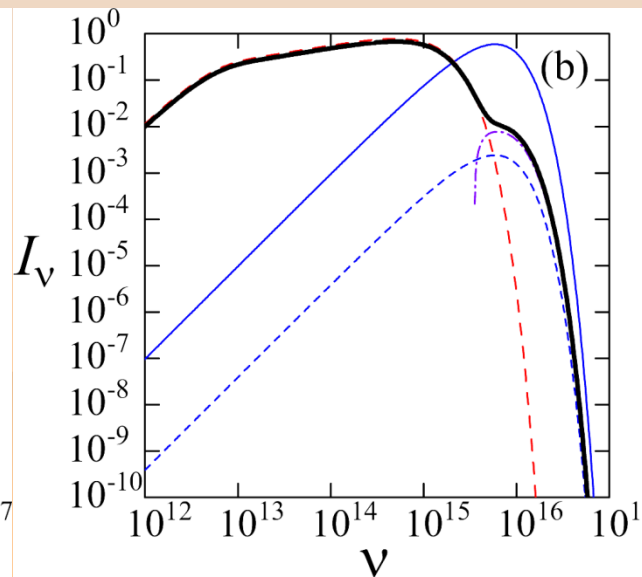
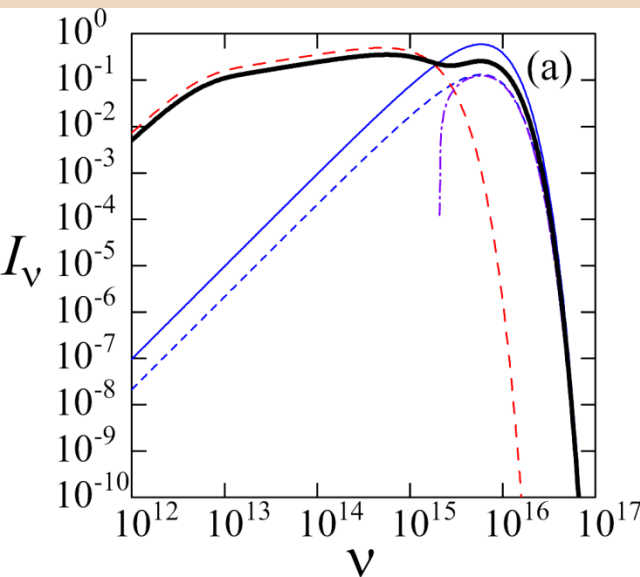
黒太線: 全成分

$$I_{\nu}^{+}(0, 1)$$

$$T_{*} = 10^5 \text{ K}, A = A_{\nu} = 1/2$$

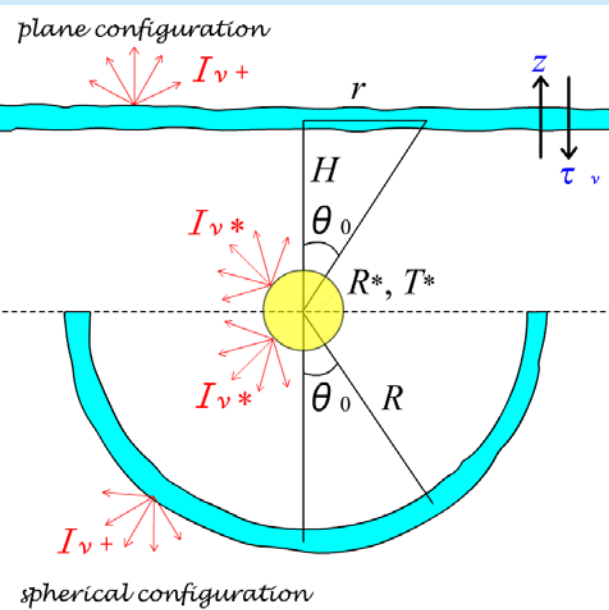
$$H = 5R_{*}, 10^4 R_{*}$$

$$(\tau_{\nu b}, \epsilon_{\nu}) = (1, 0.5), \\ (5, 0.5), (0.1, 0.5)$$





球状光源＋球殻状層雲 拡散イメージ

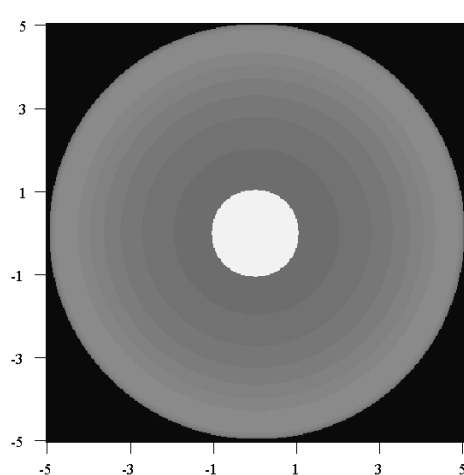


$$I_v^+ / [(1 - A_v) I_v^*]$$

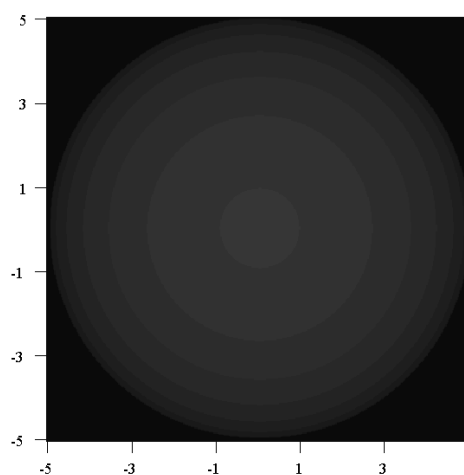
$$R = 5R_*$$

$$\mu = 1$$

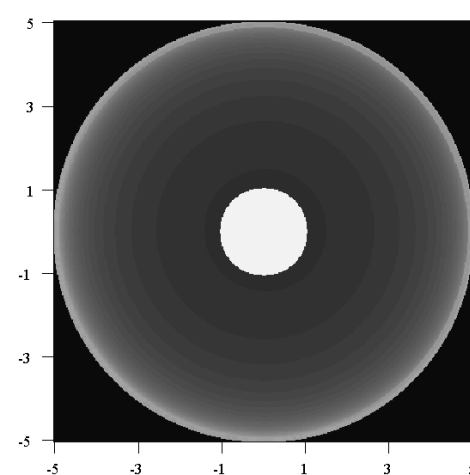
$$\tau_{vb} = 1, 10, 0.3$$



(a)



(b)



(c)



球状光源＋球殻状層雲

放射スペクトル



青細線: 光源

青破線: 光源(減光)

赤破線: 再放射

一点鎖線: 散乱光

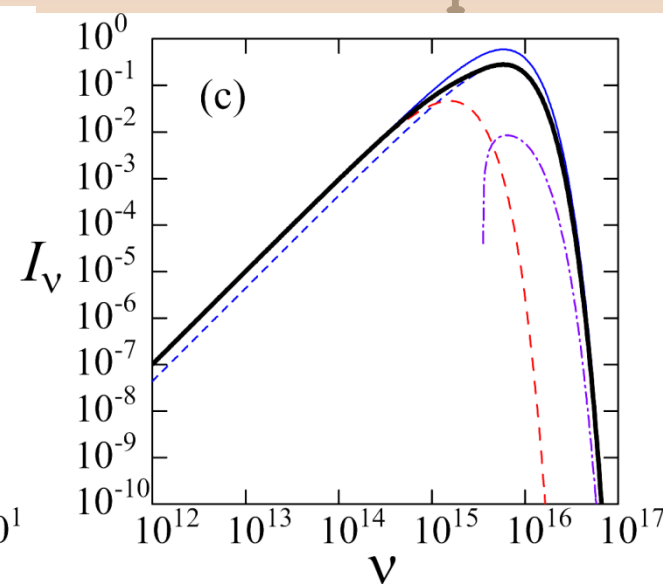
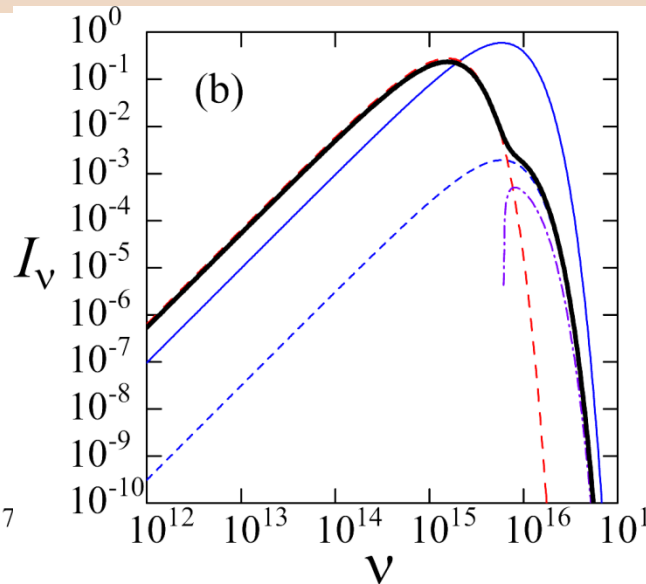
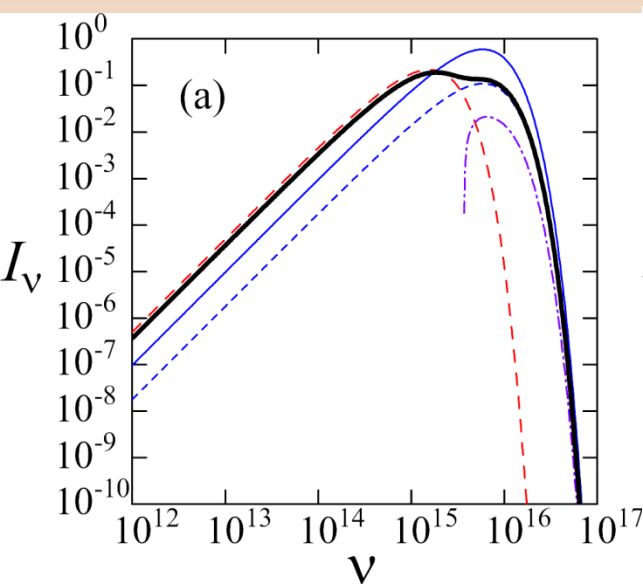
黒太線: 全成分

$$I_{\nu}^{+}(0, 1)$$

$$T_{*} = 10^5 \text{ K}, A = A_{\nu} = 1/2$$

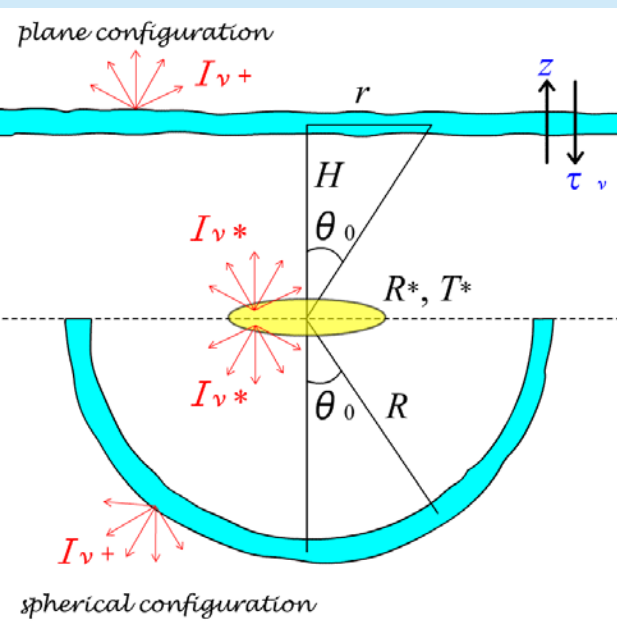
$$R = 5R_{*},$$

$$(\tau_{\nu b}, \epsilon_{\nu}) = (1, 0.5),$$
$$(5, 0.5), (0.1, 0.5)$$





円板状光源＋平板状層雲 拡散イメージ

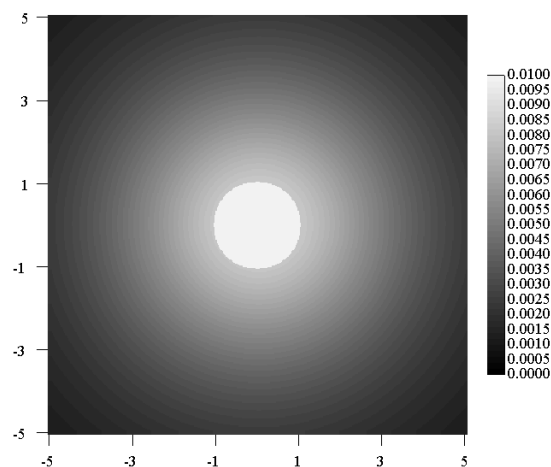


$$I_v^+ / [(1 - A_v) I_v^*]$$

$$H = 5R_*$$

$$\mu = 1$$

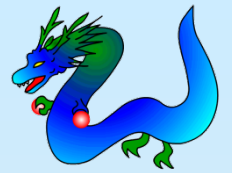
$$\tau_{vb} = 1$$





円板状光源＋平板状層雲

放射スペクトル



青細線: 光源

青破線: 光源(減光)

赤破線: 再放射

一点鎖線: 散乱光

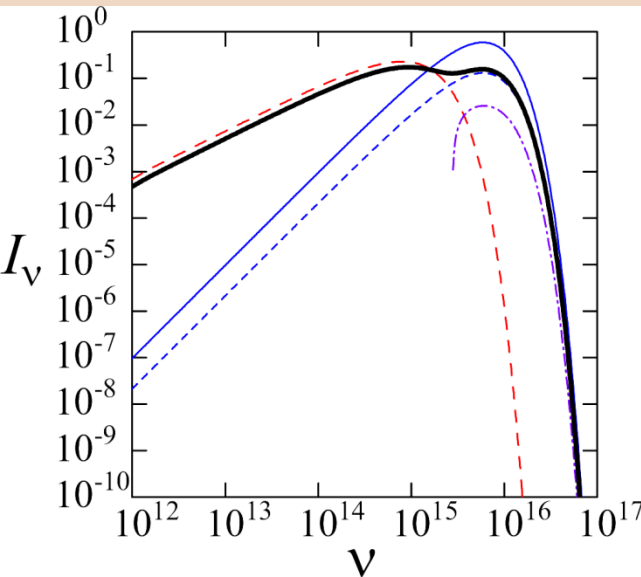
黒太線: 全成分

$$I_{\nu}^{+}(0, 1)$$

$$T_{*} = 10^5 \text{ K}, A = A_{\nu} = 1/2$$

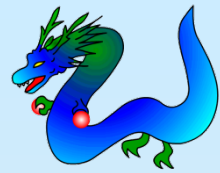
$$H = 5R_{*}, 10^4 R_{*}$$

$$(\tau_{\nu b}, \epsilon_{\nu}) = (1, 0.5)$$

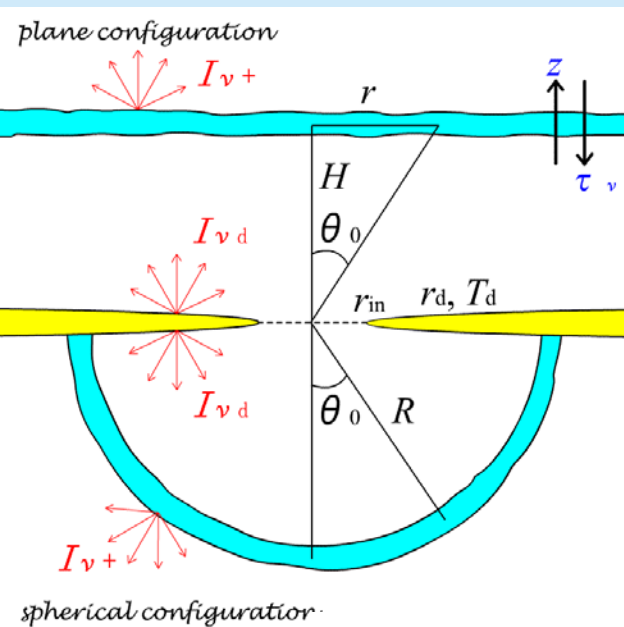




標準降着円盤＋平板状層雲



拡散イメージ



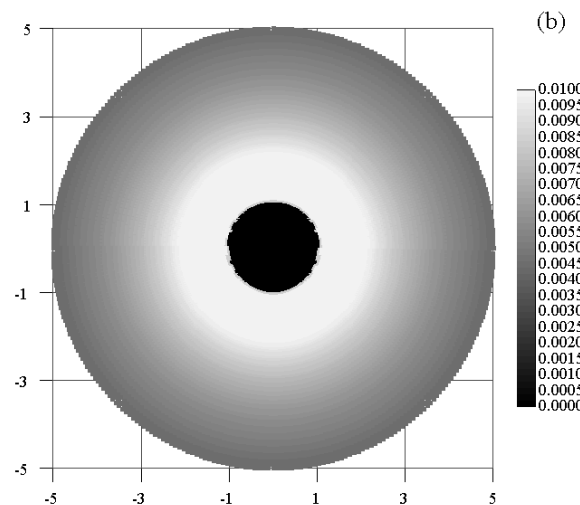
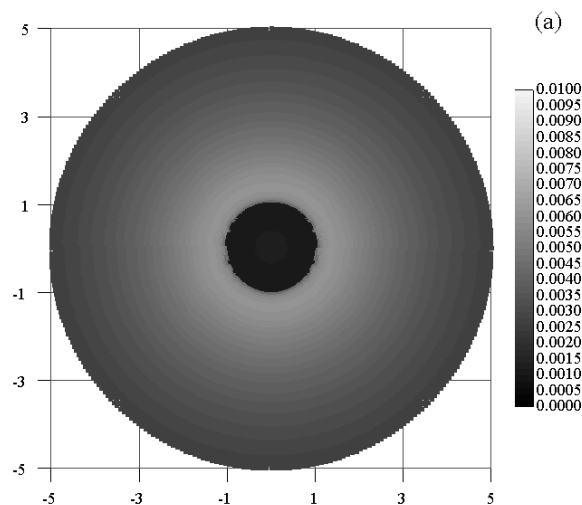
$$I_v^+ / [(1 - A_v) I_v^*]$$

$$H = 5r_{in}$$

$$T_{in} = 10^5 \text{ K}$$

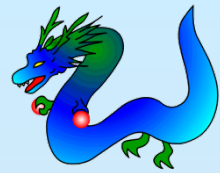
$$\tau_{vb} = 1, 0.1$$

$$10^{15} \text{ Hz}$$

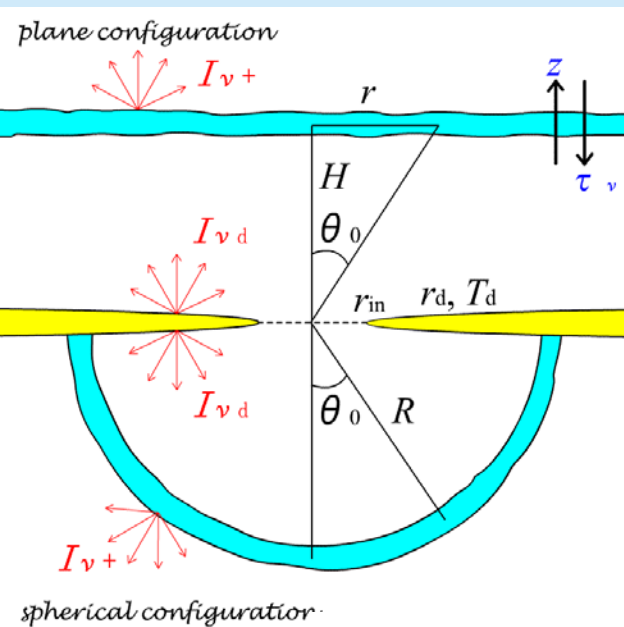




標準降着円盤＋平板状層雲



拡散イメージ



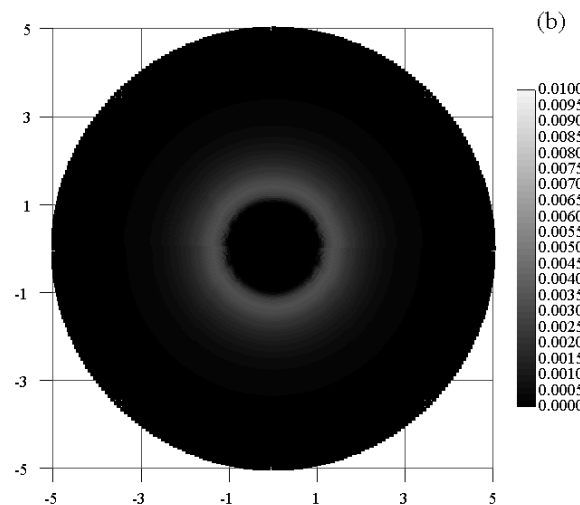
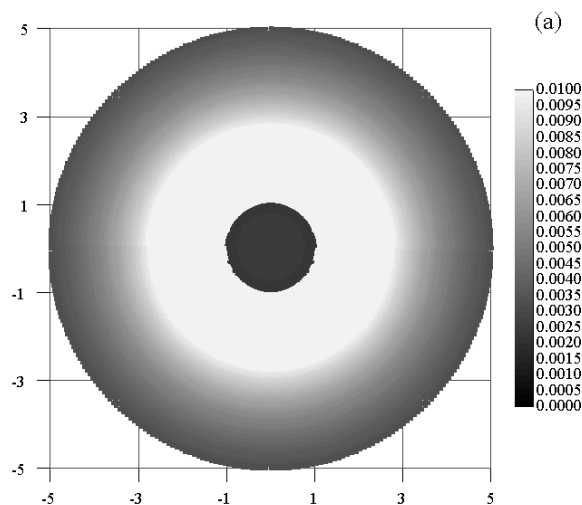
$$I_v^+ / [(1 - A_v) I_v^*]$$

$$H = 5r_{in}$$

$$T_{in} = 10^5 \text{ K}$$

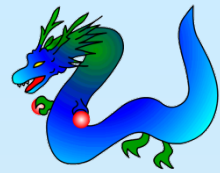
$$\tau_{vb} = 1$$

$$10^{15.5} \text{ Hz}, 10^{16} \text{ Hz}$$





標準降着円盤＋平板状層雲



放射スペクトル

青破線: 光源(減光)

$$I_{\nu}^{+}(0, 1)$$

赤破線: 再放射

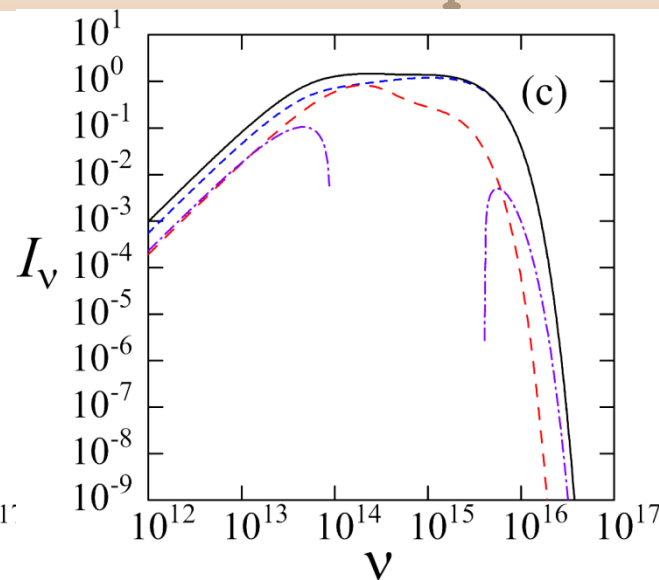
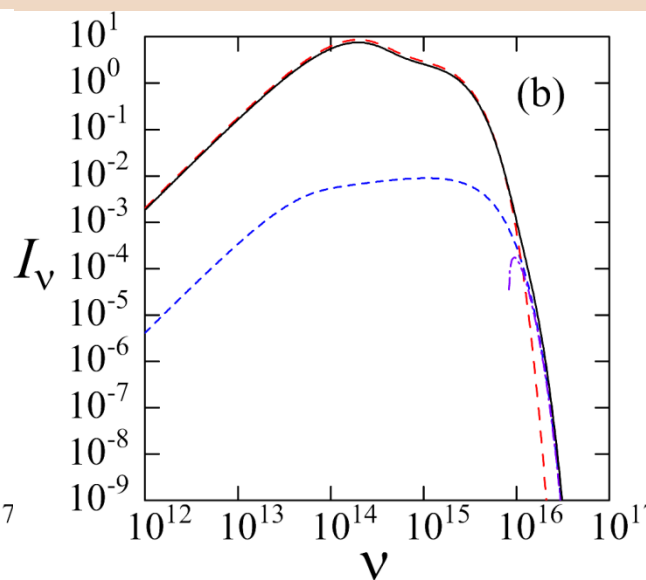
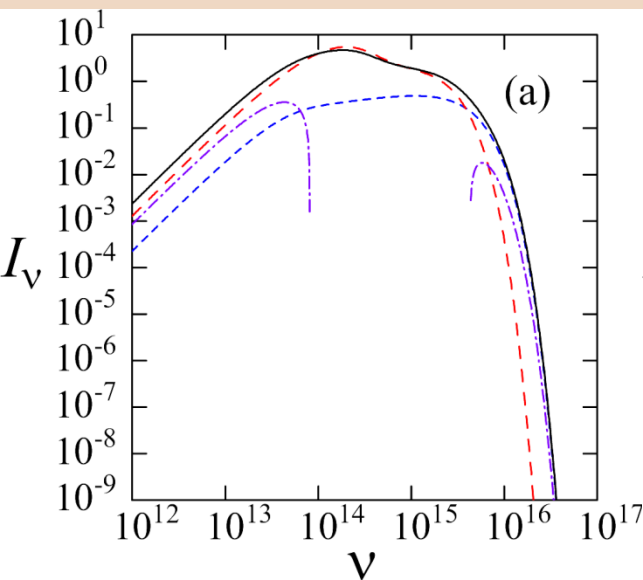
$$T_{\text{in}} = 10^5 \text{ K}, A = A_{\nu} = 1/2$$

一点鎖線: 散乱光

$$H = 5r_{\text{in}}, 10^3 r_{\text{in}}$$

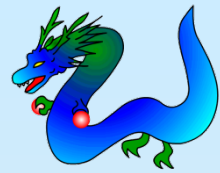
黒太線: 全成分

$$(\tau_{\nu b}, \epsilon_{\nu}) = (1, 0.5), (5, 0.5), (0.1, 0.5)$$

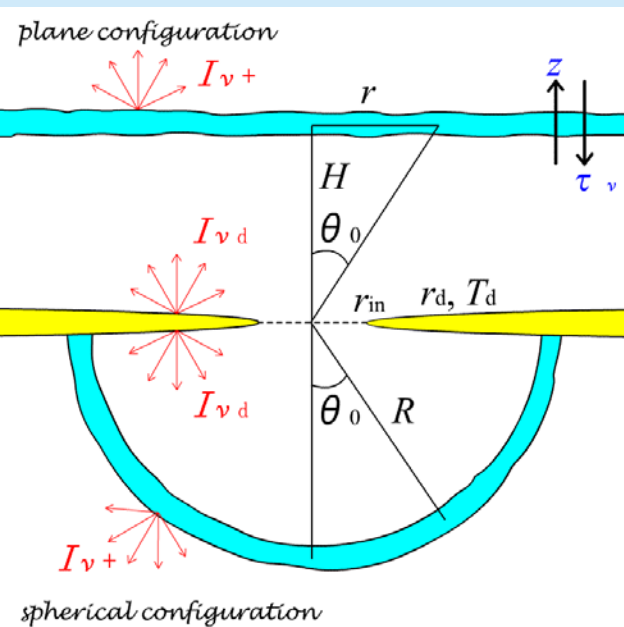




標準降着円板＋球殻状層雲



拡散イメージ

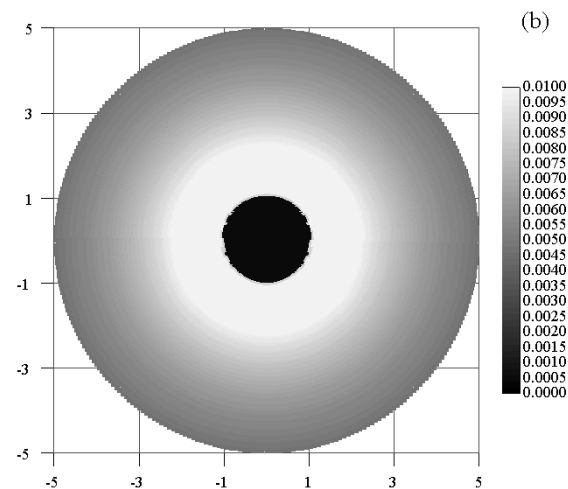
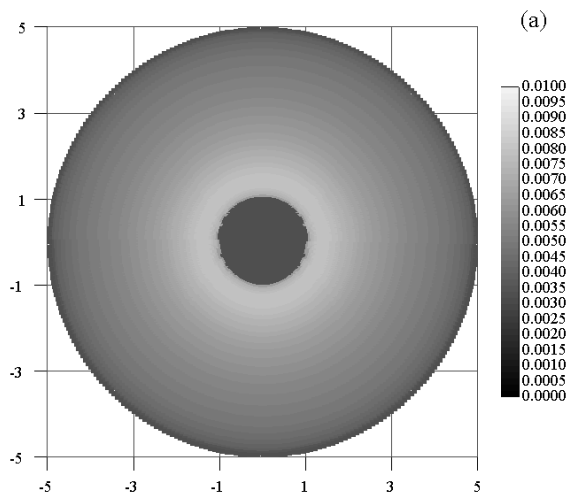


$$I_v^+ / [(1 - A_v) I_v^*]$$

$$R = 5r_{in}$$

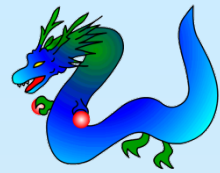
$$T_{in} = 10^5 \text{ K}$$

$$\tau_{vb} = 1, 0.1$$
$$10^{15} \text{ Hz}$$





標準降着円盤＋球殻状層雲



放射スペクトル

青破線：光源（減光）

$$I_{\nu}^{+}(0, 1)$$

赤破線：再放射

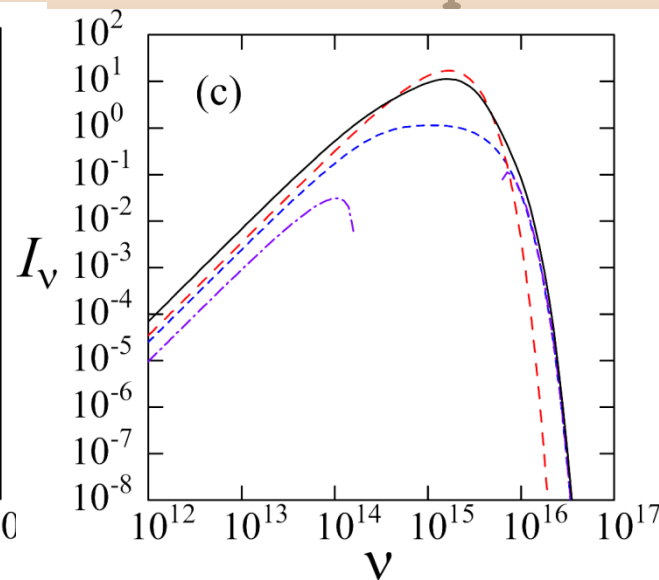
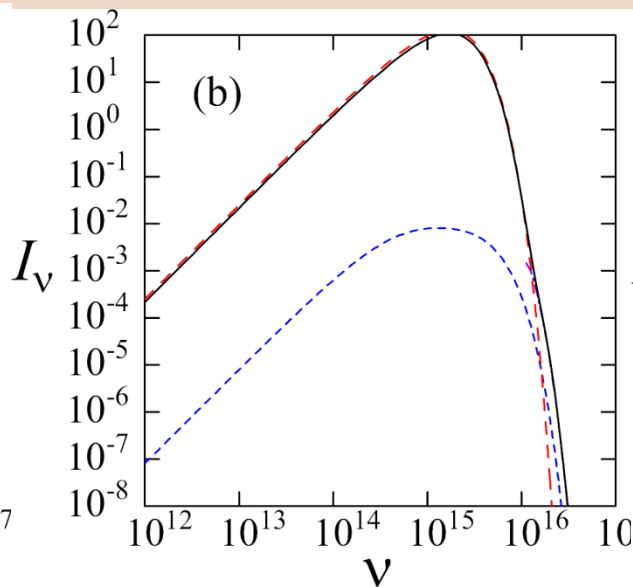
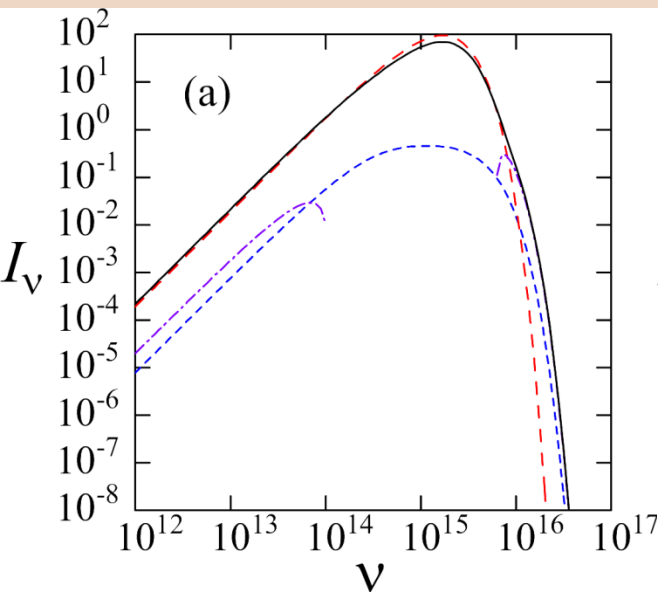
$$T_{\text{in}} = 10^5 \text{ K}, A = A_{\nu} = 1/2$$

一点鎖線：散乱光

$$R = 100 r_{\text{in}},$$

黒太線：全成分

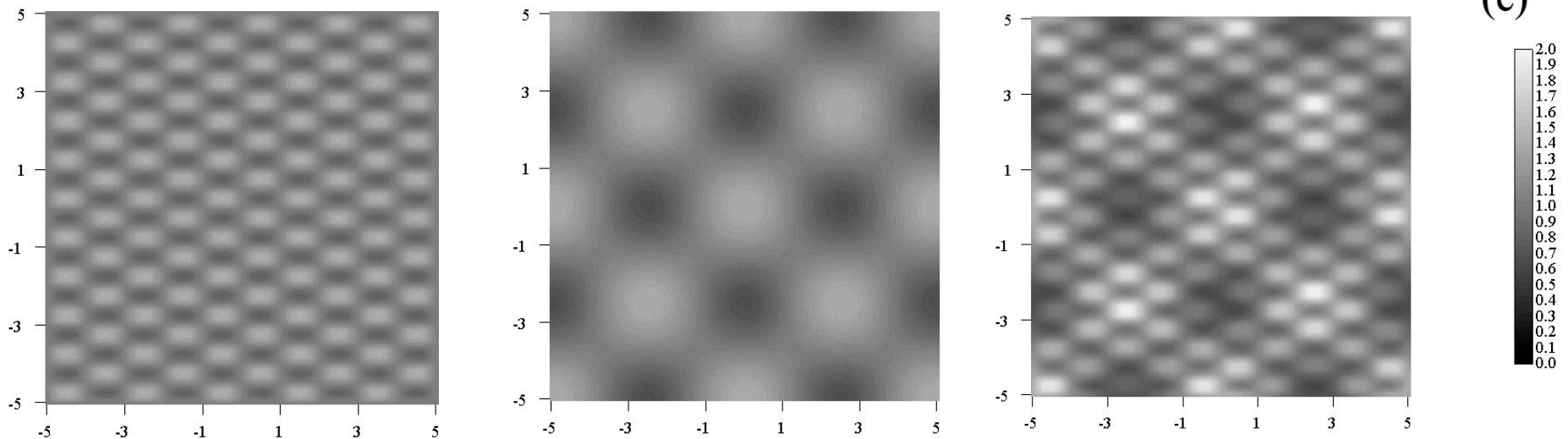
$$(\tau_{\nu b}, \epsilon_{\nu}) = (1, 0.5), \\ (5, 0.5), (0.1, 0.5)$$





まとめ

- ❁ 層雲による散乱は光源のイメージに多大な影響を与える
- ❁ とくに $\tau_{vb} \sim 1$ あたり
- ❁ 層雲による再放射は光源のスペクトルを変える
- ❁ 例: $S_v \propto v^{1/3}$ パートなど





今後の課題

- ✿ 角度 μ 依存性
- ✿ εv 依存性
- ✿ 光源の形状
- ✿ 層雲の形状、非一様性
- ✿ 静止した浮遊層雲
- ✿ ↓
- ✿ 運動する層雲

レイレーン法を用いた計算



(c)

