

物理学特殊講義I(MC向け集中)
流体力学編

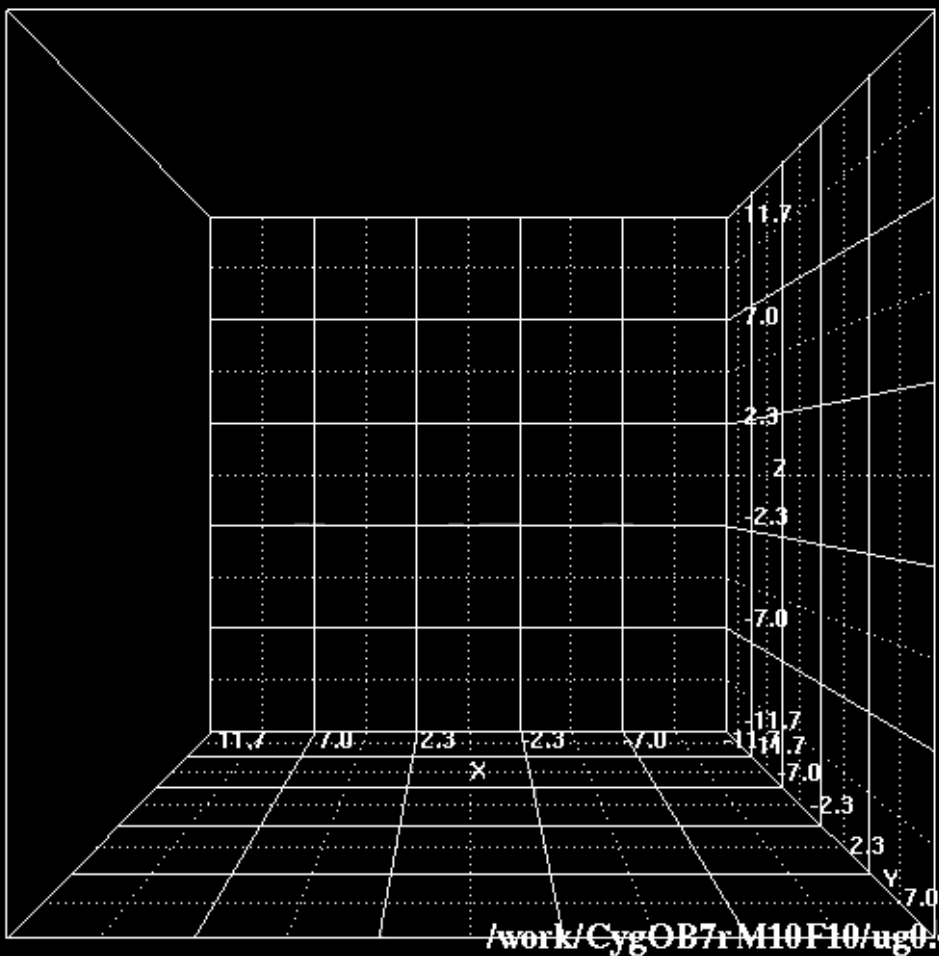
松本倫明(法政大学人間環境学部)

自己紹介

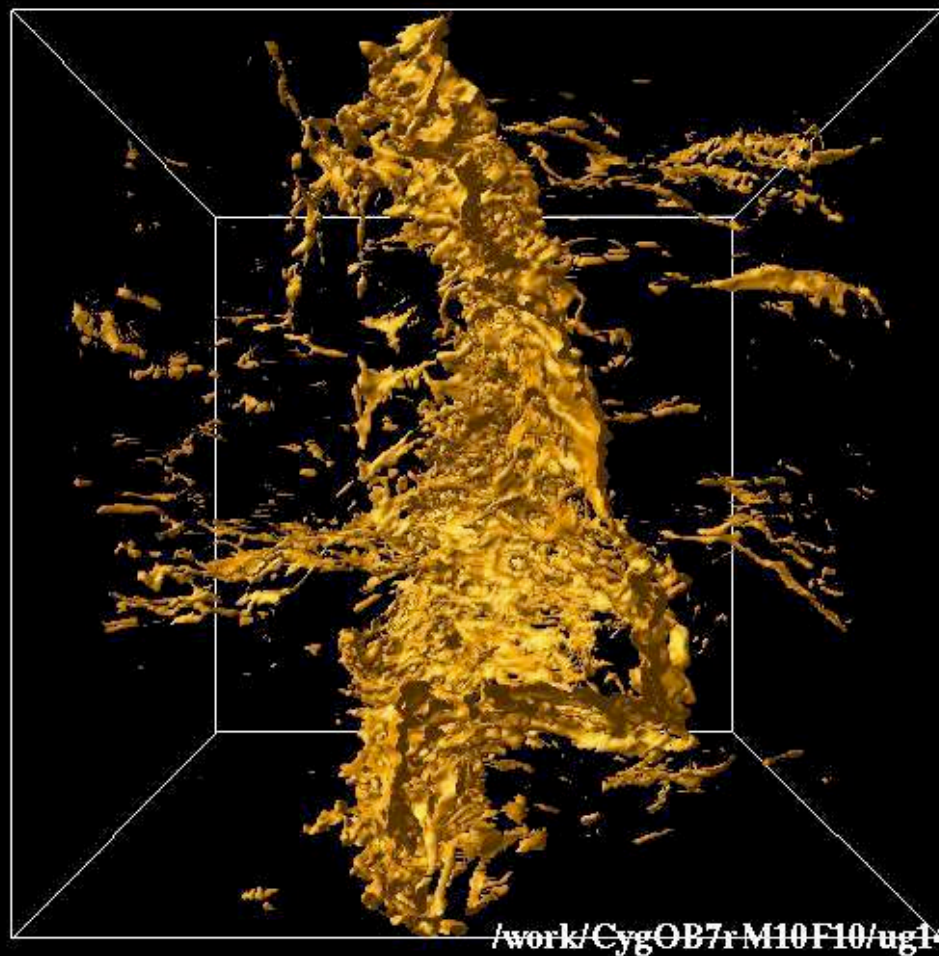
- 氏名: 松本倫明 (まつもとともあき)
- 所属: 法政大学人間環境学部
- 研究: 星形成の理論研究
- 手法: 数値シミュレーション・AMR・HD/MHD

乱流雲の衝突と星形成

Matsumoto+ 05

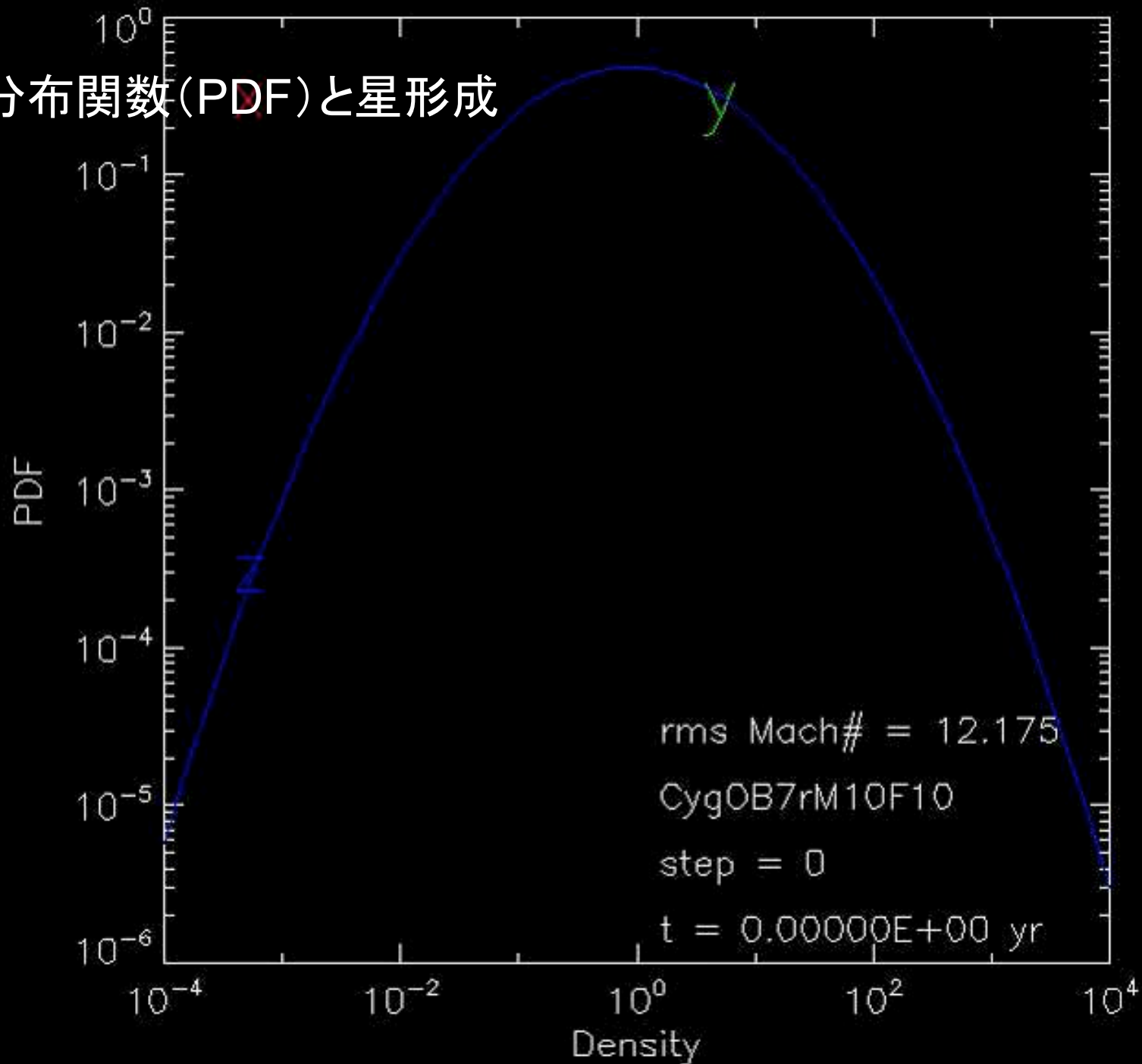


/work/CygOB7r-M10F10/ug0.

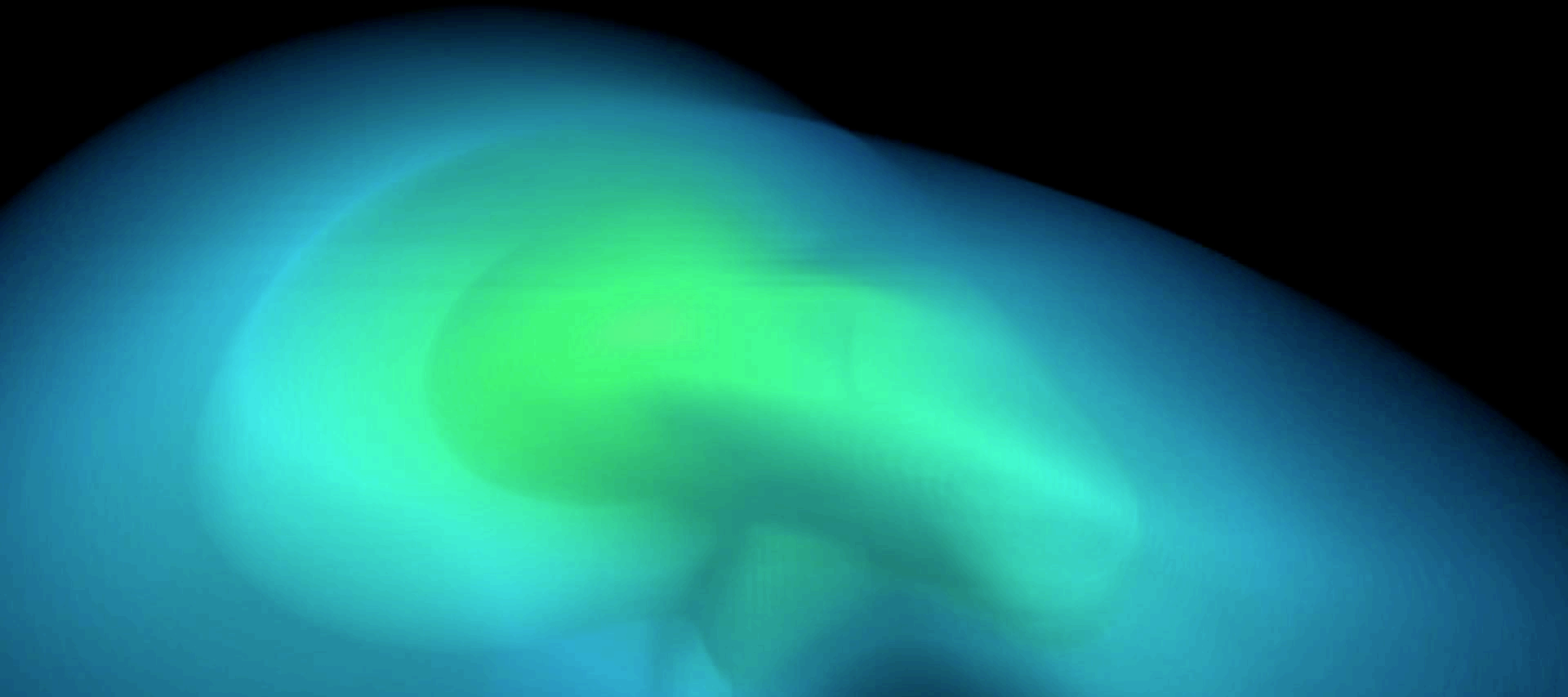


/work/CygOB7r-M10F10/ug14.

確率分布関数(PDF)と星形成



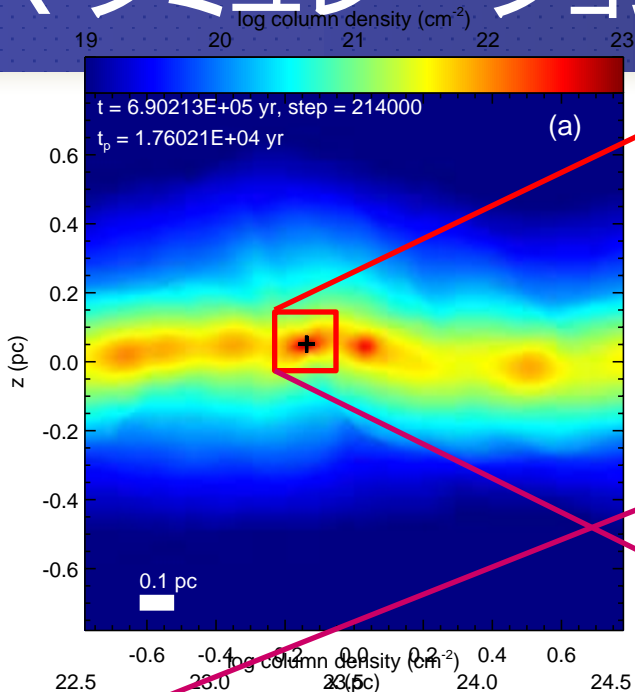
分子雲コアにおける三重星形成(詳細はコロキウムで)



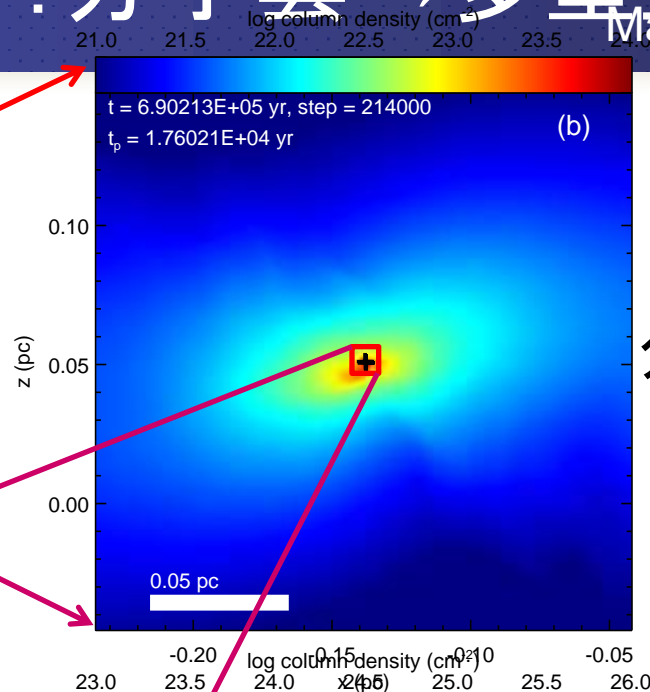
AMR シミュレーション: 分子雲 → 多重星

Matsumoto+ 15

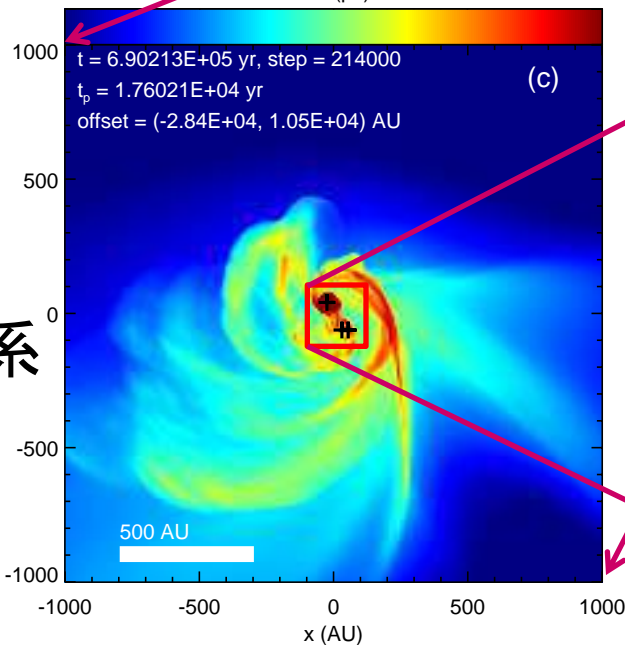
分子雲



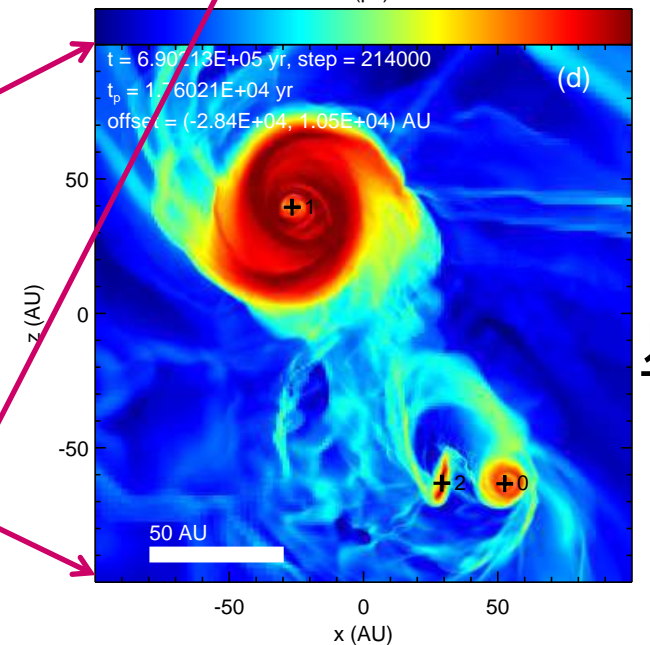
分子雲コア



多重星系
アーチ



星周円盤

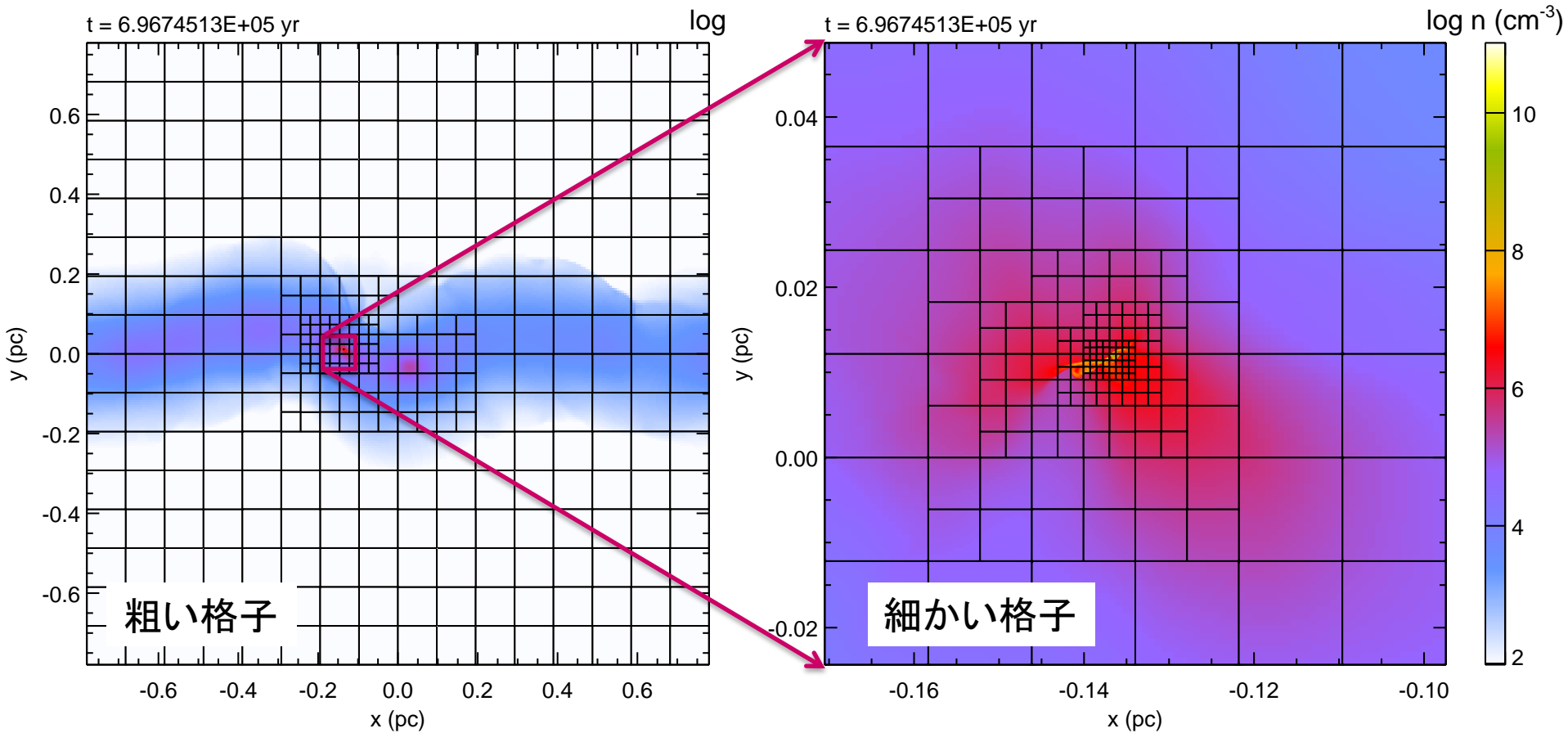


AMR法 (適合格子細分化法)

粗い格子と細かい格子を組み合わせ、ダイナミックレンジをかせぐ

分子雲

分子雲コア



内容

須佐さんからの指令：

来年度甲南で乱流と数値流体に関する集中講義をお願いできますでしょうか。一応大学院向けです。

その後の須佐さんからの指令

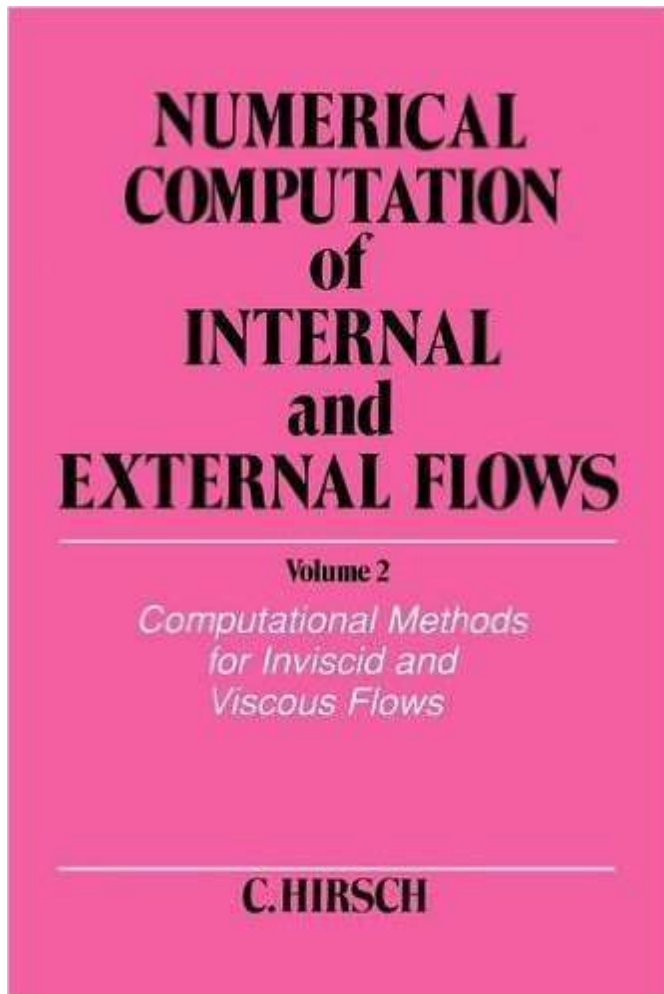
- 院生の講義なので**磁気流体**を含む**数値流体**の基礎の話
- その上で我々向けに**AMR**とか高度なスキームの話
- 各人ノートPCは手配できるので、**スフマート**の使いかたとか一部**演習**ぽく
- でも、それだと須佐研究室の院生だけが対象だよ
ね？！

講義の内容(結局こうなりました)

- 基礎編: 数値流体力学(CFD)の基礎 (11/25,26)
- 実践編: 磁気流体力学(MHD)へ拡張 (11/27)
- 発展編: AMR法の紹介 (11/28)

- プロジェクタとホワイトボードの両方を使います。
- 板書をノートテイクしてください。
- PCの実習もします。**使える講義**を目指します。
- わからないことは、いつでも質問してください。
- 資料はMy KONANにアップロードします。

お勧めのテキスト



Numerical Computation of Internal and External Flows, Computational Methods for Inviscid and Viscous Flows

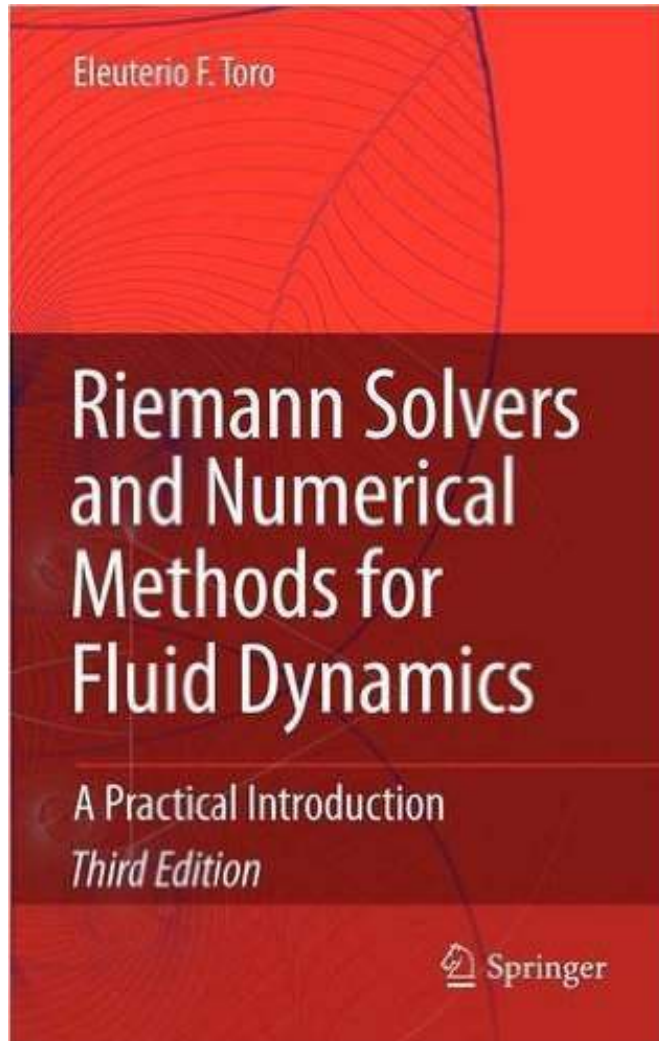
(Wiley Series in Numerical Methods in Engineering) (英語) ペーパーバック use pre formatted date that complies with legal requirement from media matrix –

1990/4

Charles Hirsch (著)

ピンク本と称される最強の教科書。
最強に分厚い。厚み4cm。

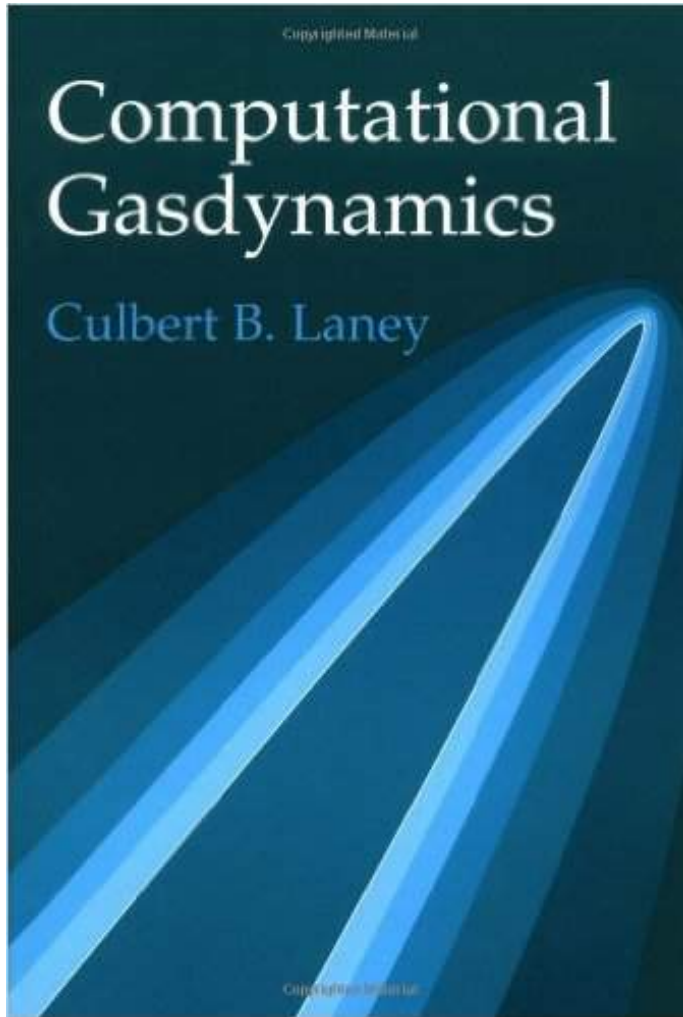
お勧めのテキスト



Riemann Solvers and Numerical Methods
for Fluid Dynamics: A Practical Introduction
(英語) ハードカバー use pre formatted date
that complies with legal requirement from
media matrix – 2009/4/27
Eleuterio F. Toro (著)

リーマン解についての教科書
HLL系が好きなよう。

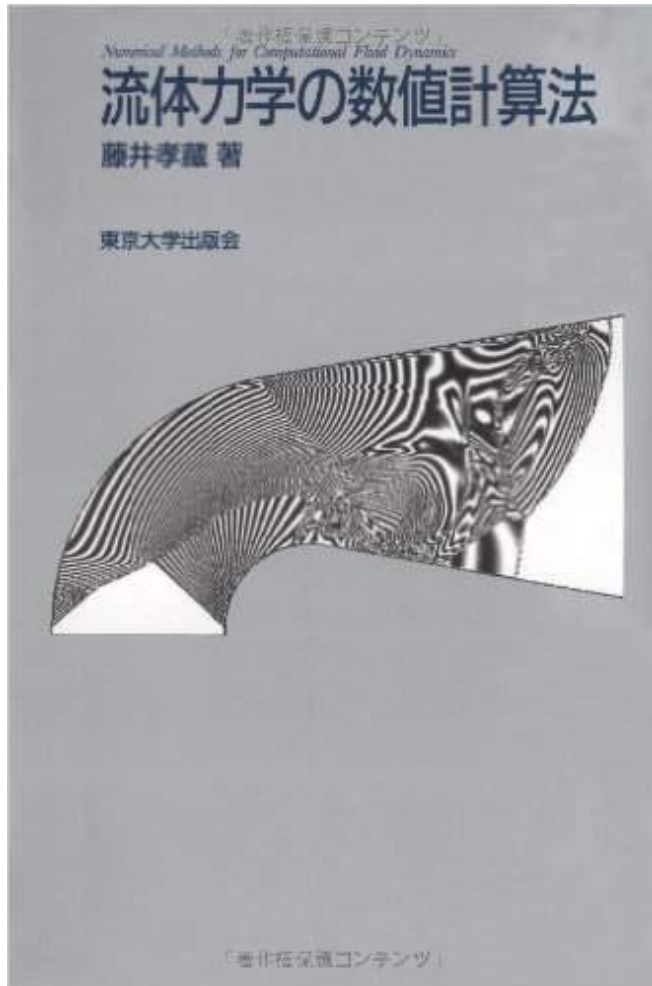
お勧めのテキスト



Computational Gasdynamics (英語) ペーパーバック use pre formatted date that complies with legal requirement from media matrix – 1998/6/13
Culbert B. Lan

あると嬉しいかな。

お勧めのテキスト



流体力学の数値計算法 単行本 use pre formatted date that complies with legal requirement from media matrix – 1994/4
藤井 孝蔵 (著)

日本語の圧縮性流体力学の数値解法で一番良い本。ただし説明が簡素。

お勧めのテキスト



シミュレーション天文学 (シリーズ現代の天文学) 単行本 use pre formatted date that complies with legal requirement from media matrix – 2007/8

富阪 幸治 (編さん), 花輪 知幸 (編集), 牧野 淳一郎 (編集)

政治的な理由により、お勧めする。

お勧めのテキスト



流体力学 2 (ランダウ=リフシッツ理論物理学
教程) 単行本 use pre formatted date that
complies with legal requirement from
media matrix – 1971/11
エリ・ランダウ (著), イェ・リフシッツ (著), 竹内
均 (翻訳)

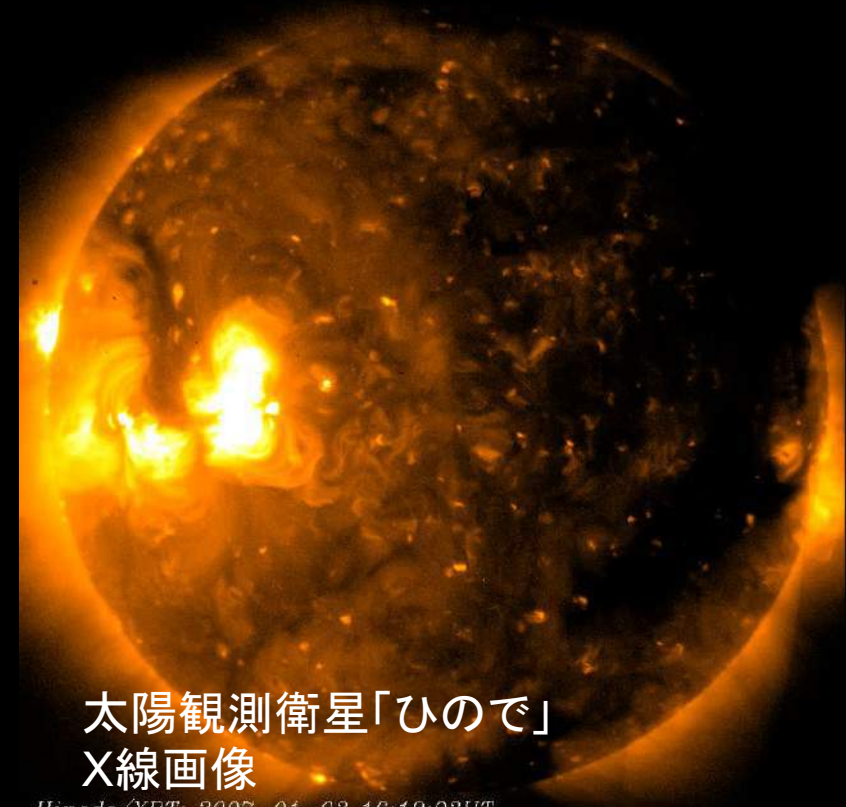
流体力学についていろいろ書いてある。
絶版になった。残念。

はじめに

**星は暗黒星雲
で生まれる。**

星雲(オリオン座大星雲)

恒星(太陽)



ハッブル宇宙望遠鏡
可視光線画像

太陽観測衛星「ひので」
X線画像

Hinode/XRT: 2007-01-03 16:19:03UT

水素



水素

集まる

A deep-field astronomical image showing a vast field of stars against a dark background. A prominent dark nebula, known as the 'Dark Black' star-forming region, is visible in the center. The stars are scattered throughout, with some appearing as bright points of light and others as faint specks. The overall scene is a rich, multi-colored stellar population.

「暗黒」星雲は光らない。

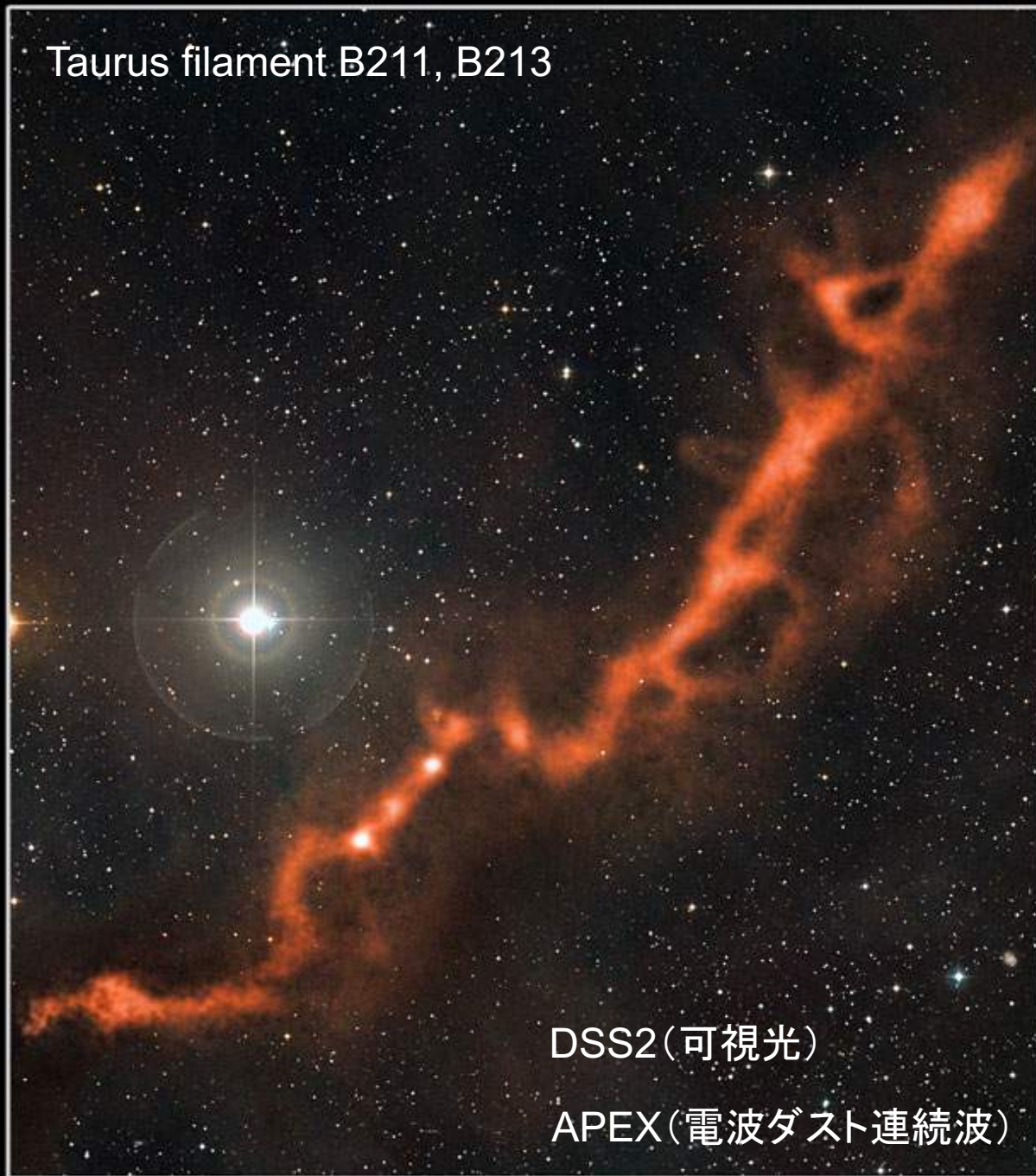
おうし座暗黒星雲の一部 IC2087付近、リング付近
Handbook of Star Forming regions

でも電波を放射する。



野辺山45m宇宙電波望遠鏡

Taurus filament B211, B213

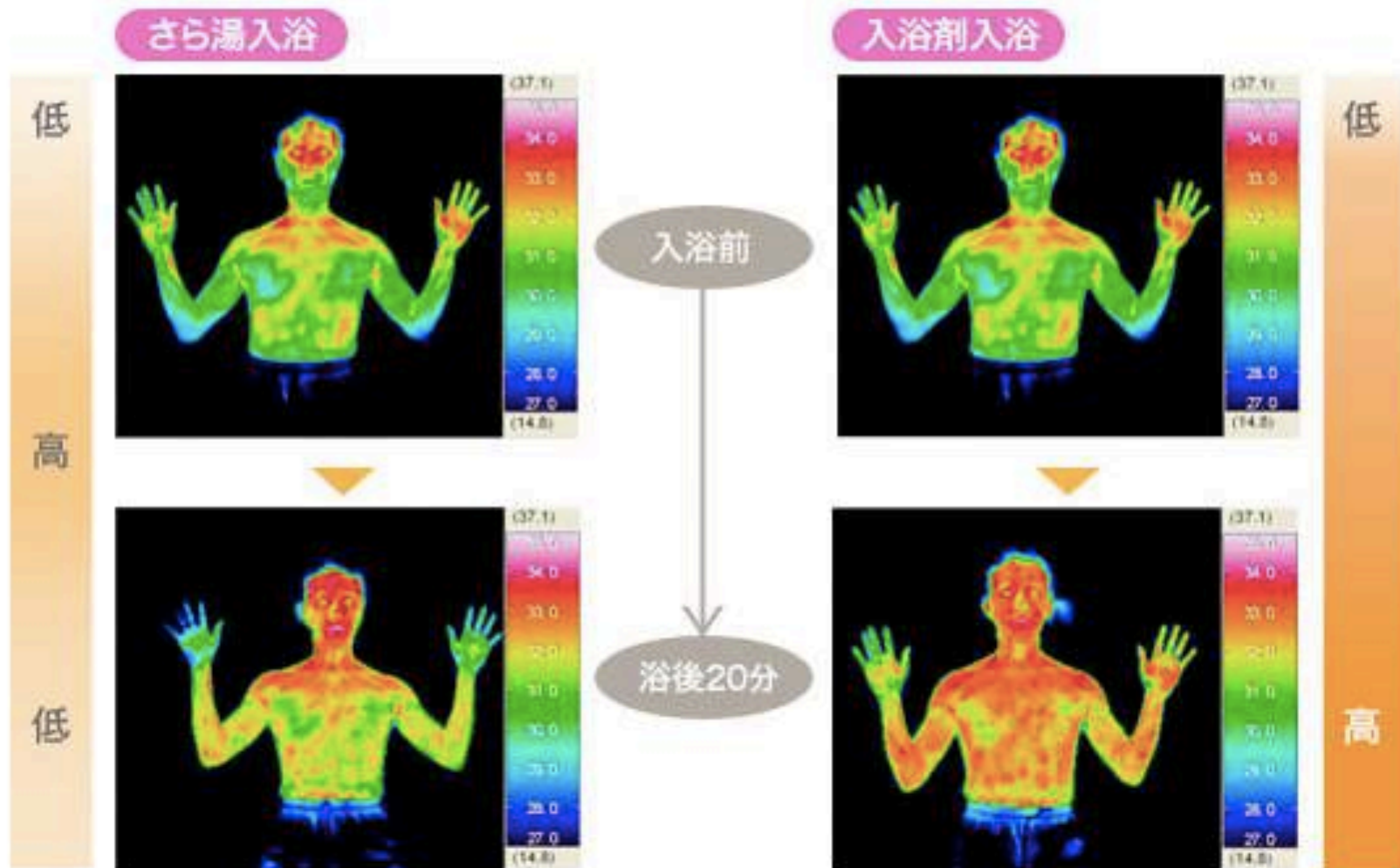


DSS2 (可視光)

APEX (電波ダスト連続波)

(例) ヒトは赤外線を放射する。

41°Cのお湯に5分間入浴後、皮膚表面温度を測定しました。

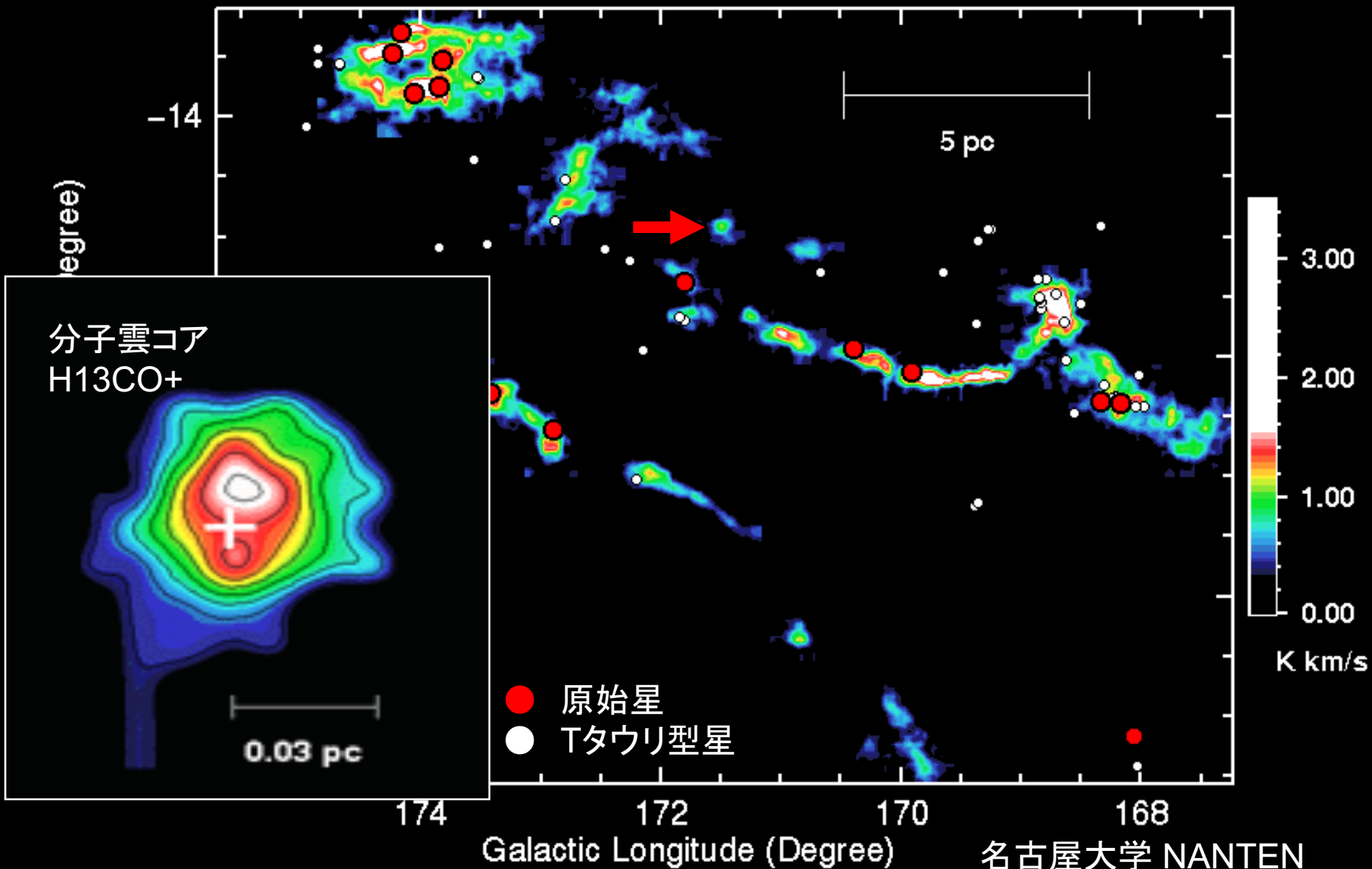


出典: バスクリン HP

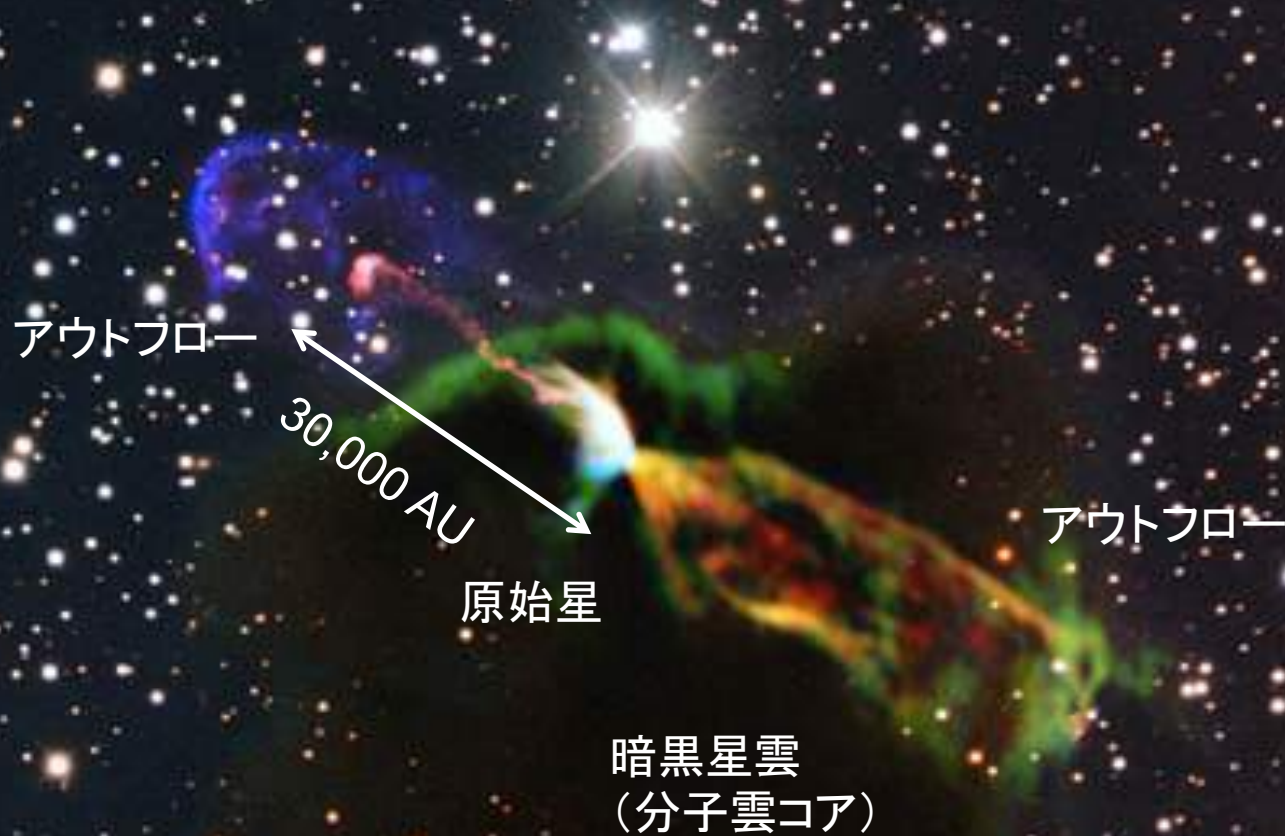
電波で見た暗黒星雲(分子雲)。

Integrated Intensity(K km/s)

Taurus C18O



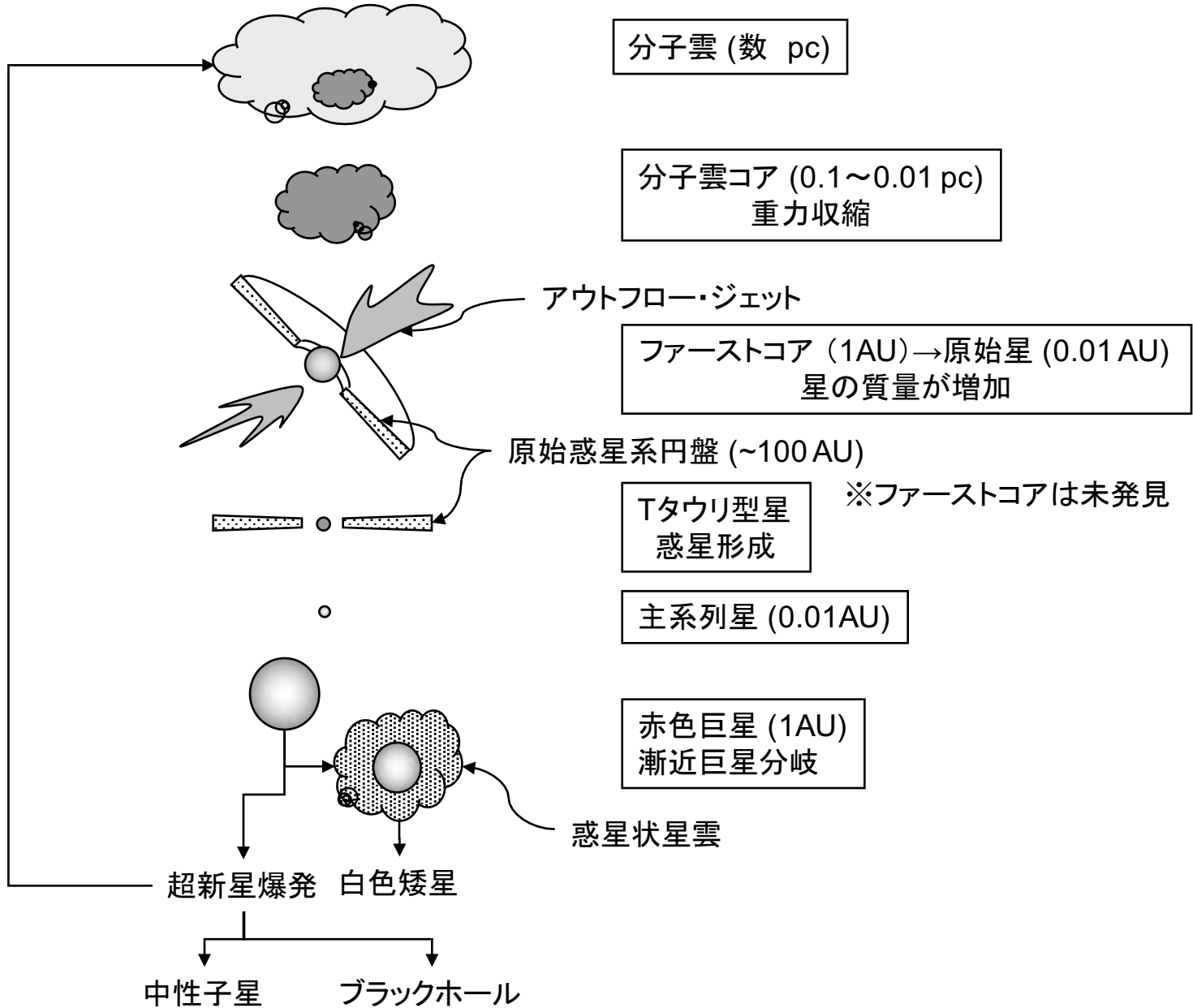
分子雲コアから生まれる原始連星



HH46/47

ESO 新技術望遠鏡、ALMA望遠鏡

恒星の一生まとめ



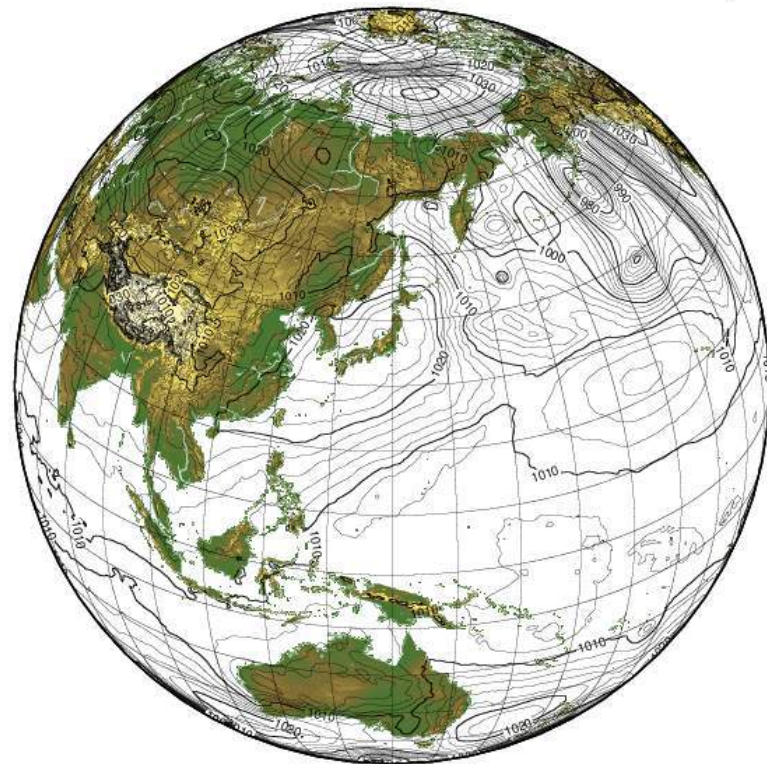
流体力学

流体 = ガス

壓縮性流体 vs 非壓縮性流体



GSM-TL959L60 2014.01.23.12UTC FT=000
(Valid Time: 01.23.12UTC)



出典: https://www.youtube.com/watch?v=XRJx1ba_6DE

壓縮性流体

$$\nabla \cdot \boldsymbol{v} \neq 0$$

超音速

非壓縮性流体

$$\nabla \cdot \boldsymbol{v} = 0$$

亜音速

出典: 気象庁

板書

圧縮性流体を使う人は

- ジェット機を作る人
 - ロケットを作る人
 - 爆弾を作る人
 - 天文学者
-
- 圧縮性の磁気流体力学(MHD)を使う人は...

偏微分方程式の分類

双曲型
$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

波動方程式
オイラー方程式(流体力学方程式)
→ 移流方程式
→ ダランベールの解

板書

放物型
$$\frac{\partial u}{\partial t} = k \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

熱伝導方程式

楕円形
$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \rho$$

ポアソン方程式
ラプラス方程式
静電場
重力場

偏微分方程式の分類

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \dots$$

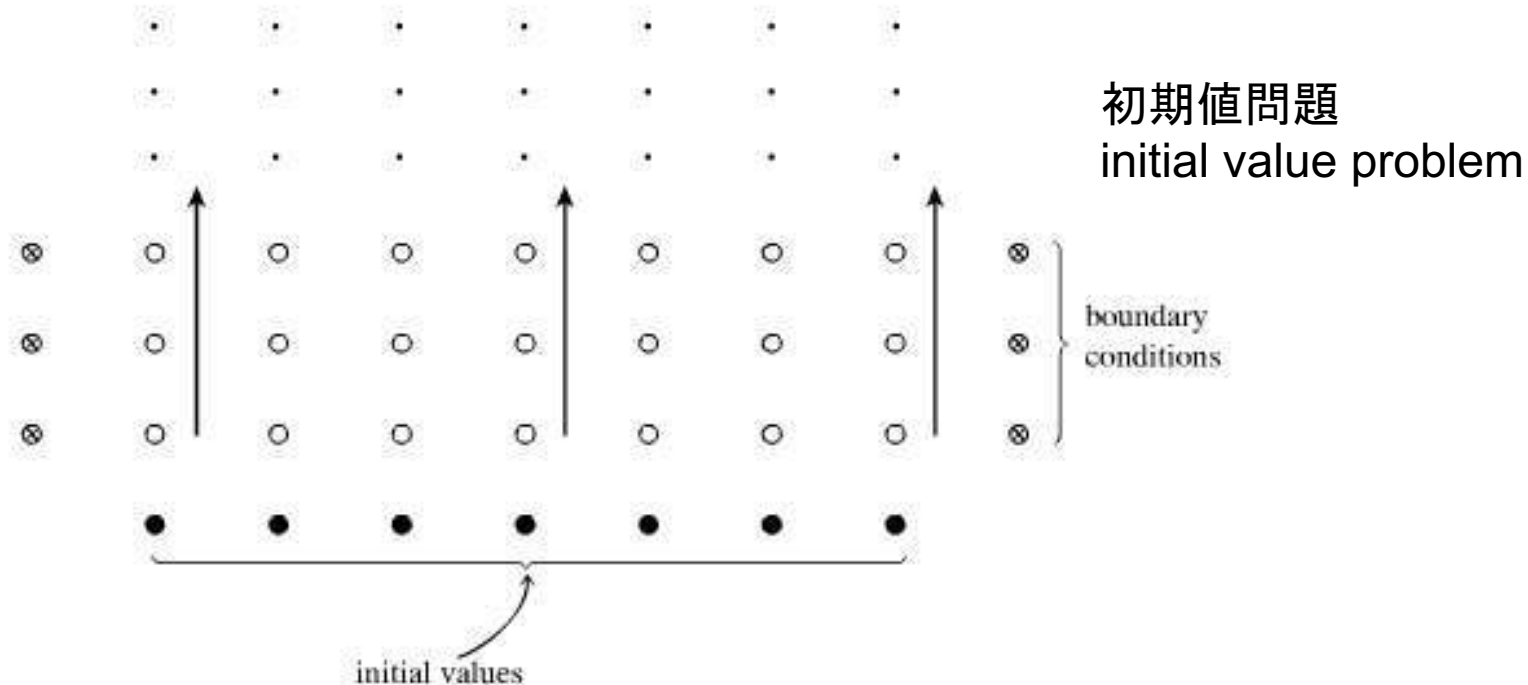
$$B^2 - 4AC = \begin{cases} > 0 & \text{hyperbolic PDE} \\ = 0 & \text{parabolic PDE} \\ < 0 & \text{elliptic PDE} \end{cases}$$

偏微分方程式の分類

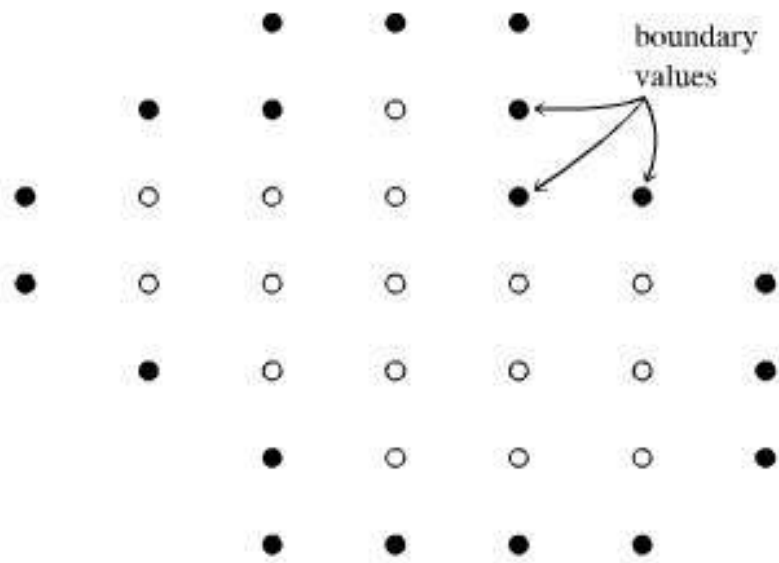
双曲型 $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$ 時間発展型 初期値問題
初期条件+境界条件

放物型 $\frac{\partial u}{\partial t} = k \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ 時間発展型 初期値問題
初期条件+境界条件

楕円形 $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \rho$ 境界値問題
境界条件



(a)



境界値問題
boundary value problem

出典: Numerical recipes

(b)

テキストへ

境界条件の種類

- 固定境界条件
 - ディリクレ条件 (値を指定)
 - ノイマン条件 (勾配を指定)
- 周期境界条件
- 自由境界条件
 - ノイマン条件: $du/dx = 0$ のとき
- 反射 (鏡像) 境界条件

板書

ロードマップ

線形移流方程式(線形波動方程式) スカラー・1次元・1次精度

$$\frac{\partial u}{\partial t} + c \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

オイラー方程式(流体力学)

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} = 0$$

高次精度化

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} = O(\Delta x^2) + O(\Delta t^2)$$

多次元化

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial z} = 0$$

MHD方程式

ローレンツ力を導入