

周惑星円盤と衛星系形成

- ・ 衛星系形成のレビュー
- ・ 周惑星円盤の形成・構造の数値流体計算

谷川 享行

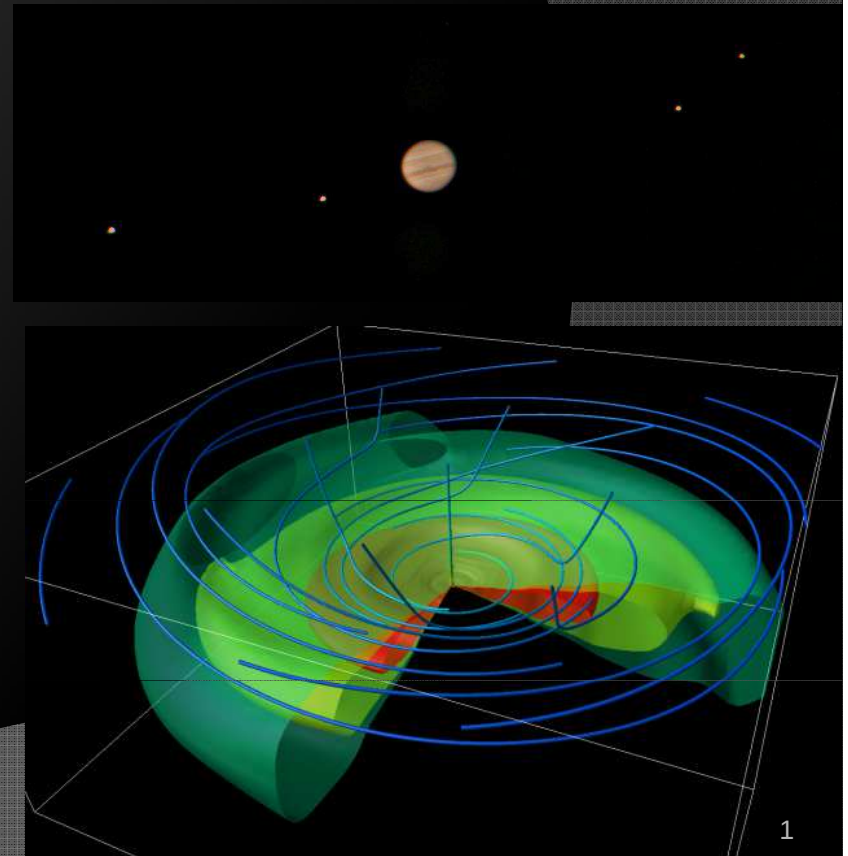
産業医科大学 医学部

町田 正博 (九大理)
大槻 圭史 (神戸大理)
丸太 有希人 (九大理)

Tanigawa, Ohtsuki, Machida 2012, ApJ, 747, 47

Tanigawa, Maruta, Machida 2014, ApJ, 784, 13

谷川、大槻、町田、2011, 遊星人, 20, 262



巨大ガス惑星周りの衛星系

- 巨大ガス惑星周りに普遍的に存在
- 規則衛星 と 不規則衛星 に分類
 - 規則衛星:
 - 質量では全衛星の大部分
 - ほぼ円軌道・惑星赤道面
 - → 周惑星円盤からの形成を示唆

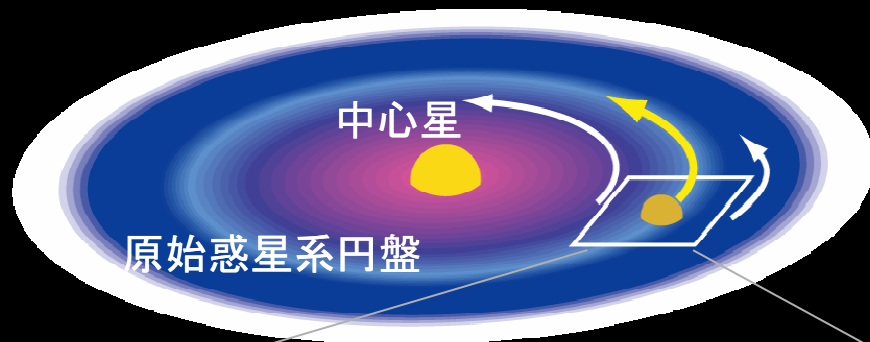
Jupiter and Galilean satellites



Courtesy of Y. Ueda

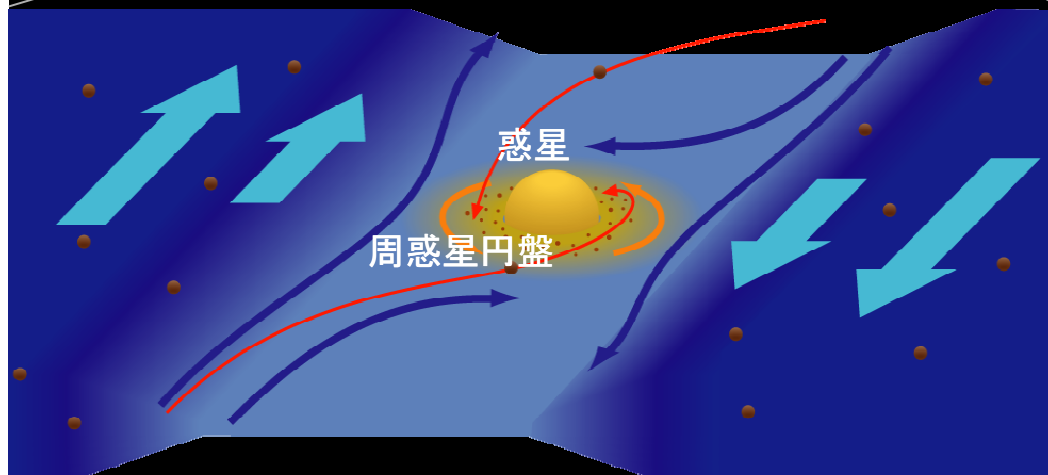


原始惑星系円盤中における 周惑星円盤



原始惑星系円盤中における
ガス惑星形成

- ガス降着
- 周惑星円盤
- 規則衛星

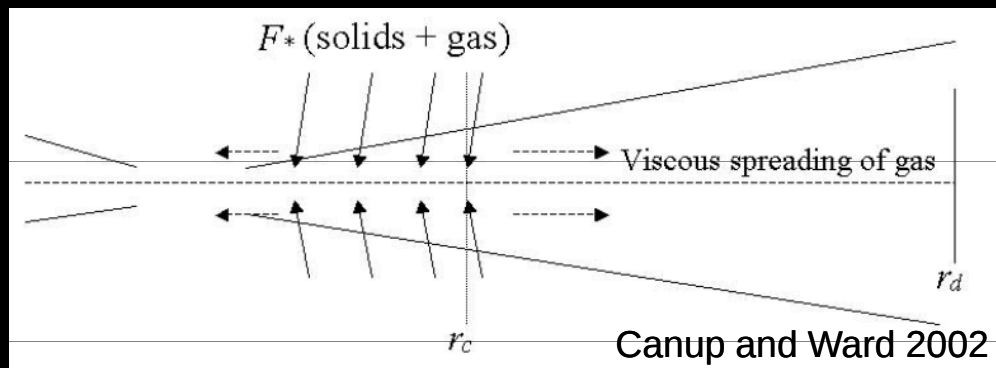


Jupiter and Galilean satellites

2つの衛星形成モデル

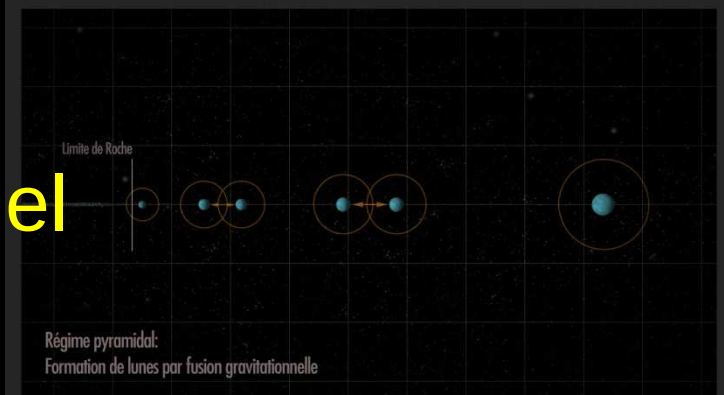
◎ Gas-starved disk model

- Canup and Ward 2002, 2006



◎ Spreading particle-disk model

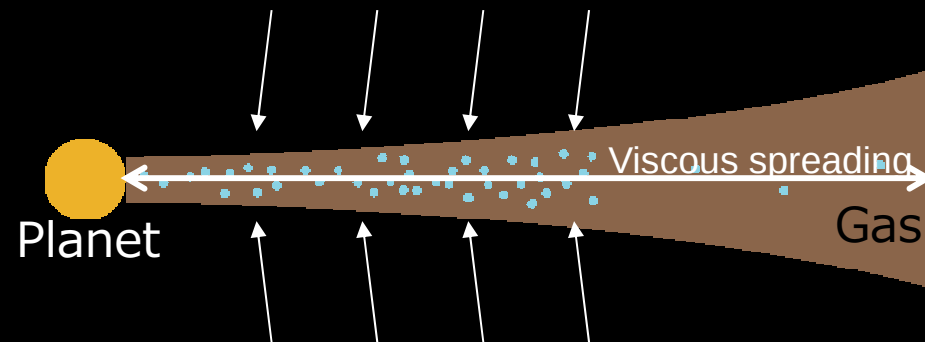
- Crida and Charnoz 2012



Naissances de lunes dans les anneaux | Régime de formation

Gas-starved disk model

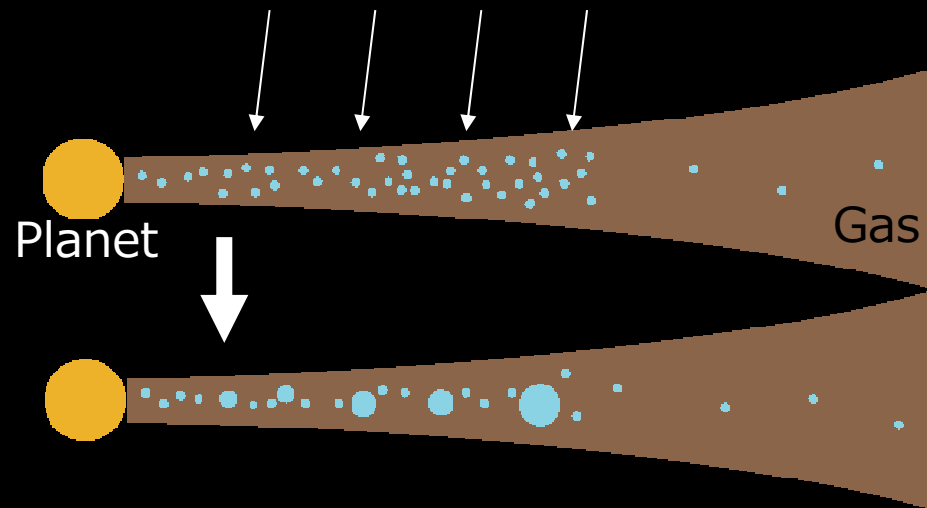
Canup and Ward 2002, 2006



Steady mass supply

Gas-starved disk model

Canup and Ward 2002, 2006

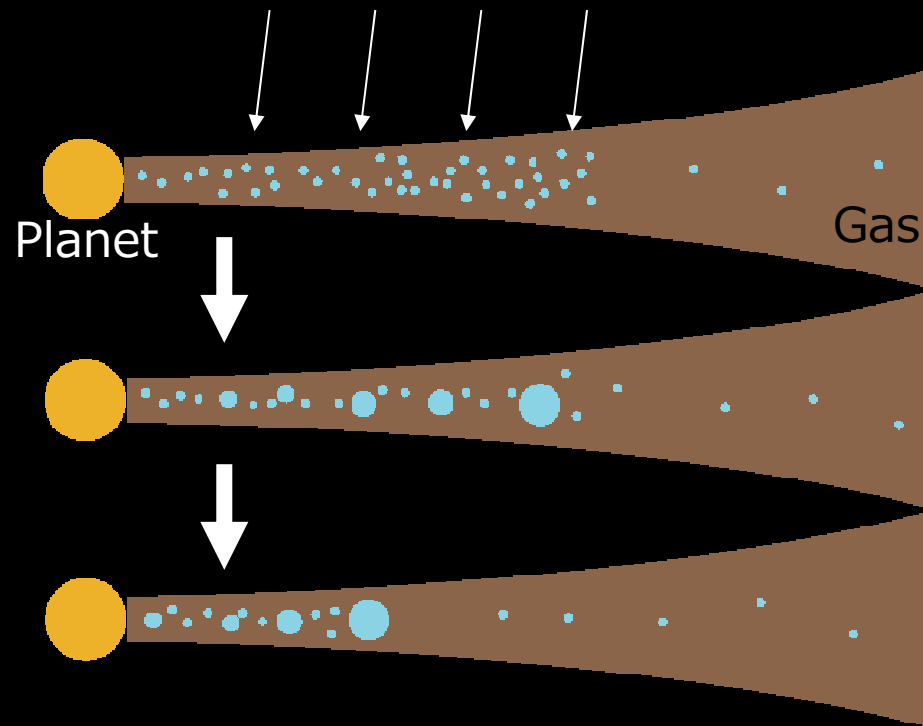


Steady mass supply

Growth from outside

Gas-starved disk model

Canup and Ward 2002, 2006



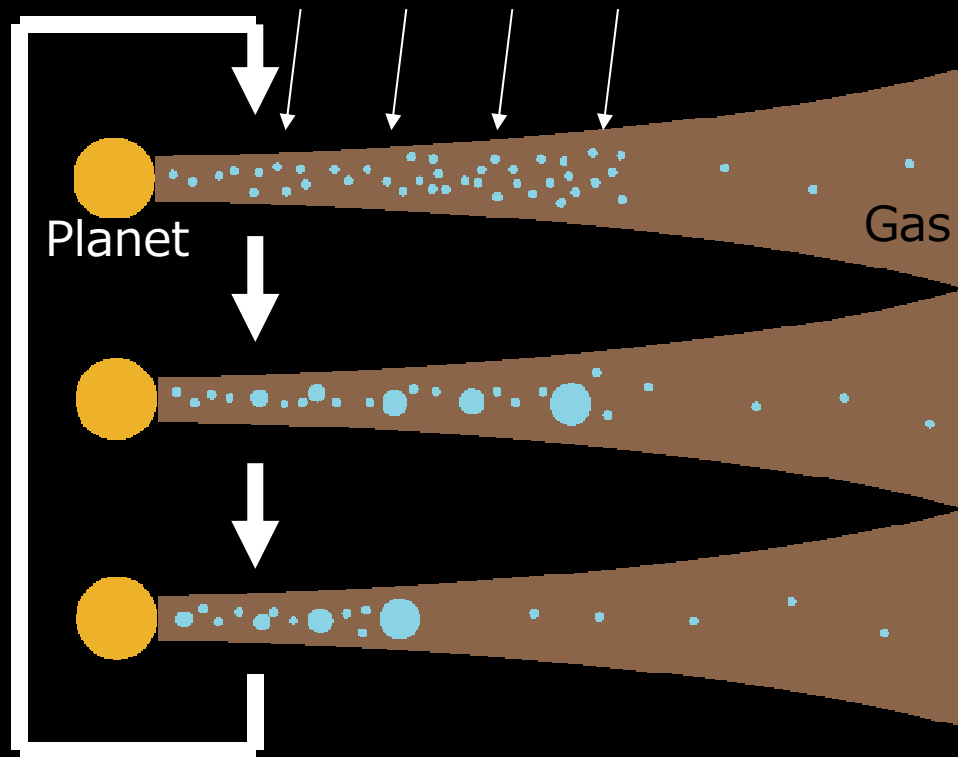
Steady mass supply

Growth from outside

Larger satellites move inward
Inner objects are swept

Gas-starved disk model

Canup and Ward 2002, 2006



Steady mass supply

Growth from outside

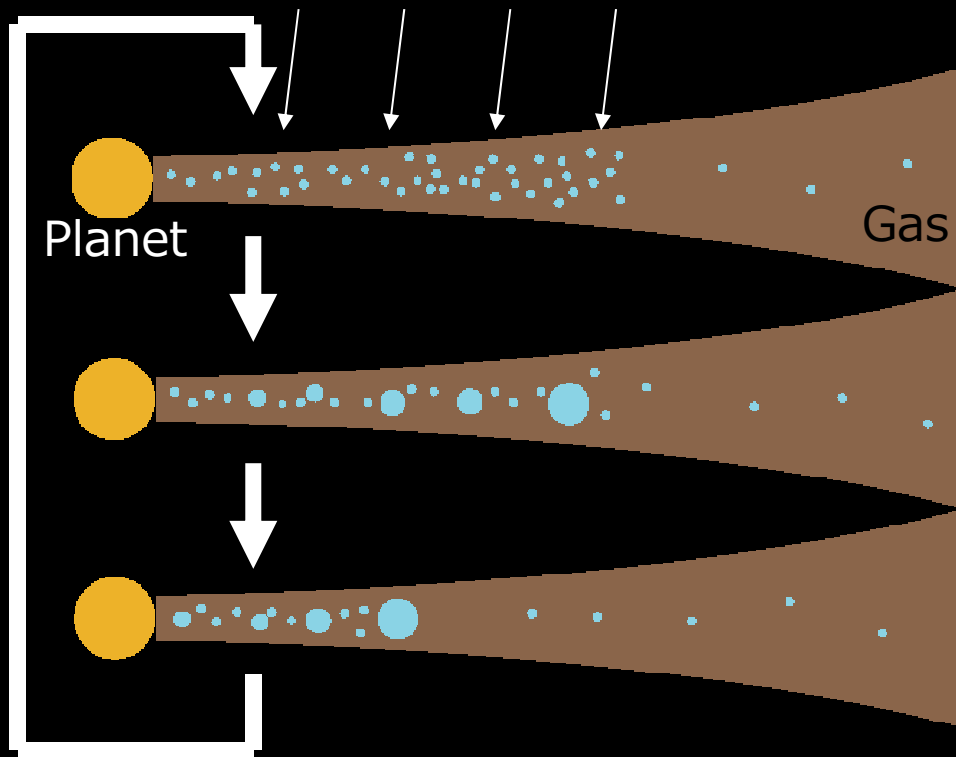
Larger satellites move inward
Inner objects are swept

Continue until the mass supply terminates.

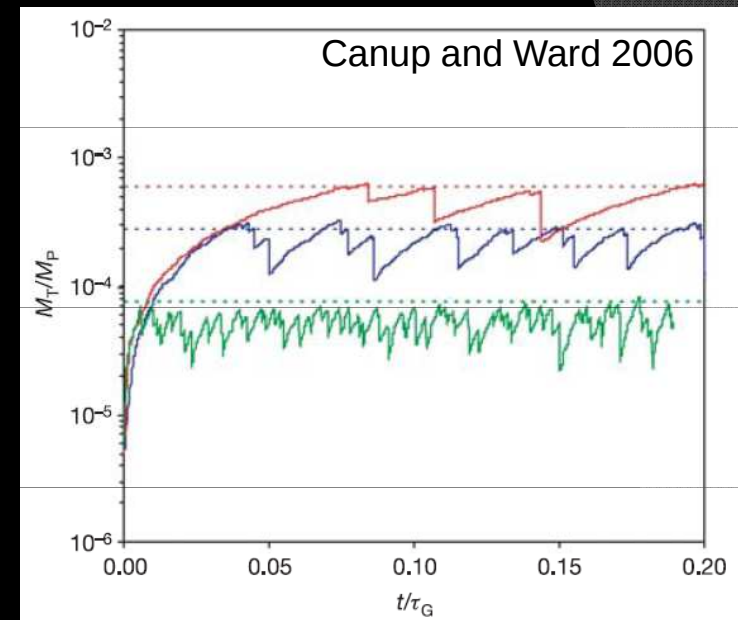
Current satellites are the last generation of this cycle

Gas-starved disk model

Canup and Ward 2002, 2006



Total mass of satellites / planet mass



Size (mass) is automatically determined
by the balance between growth and fall

数値流体計算:

原始惑星系円盤からの降着流

数値計算手法

◎ 3次元多重格子法

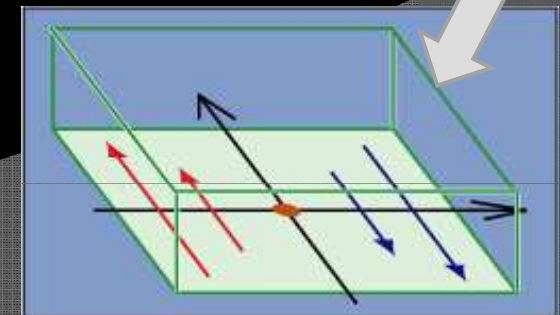
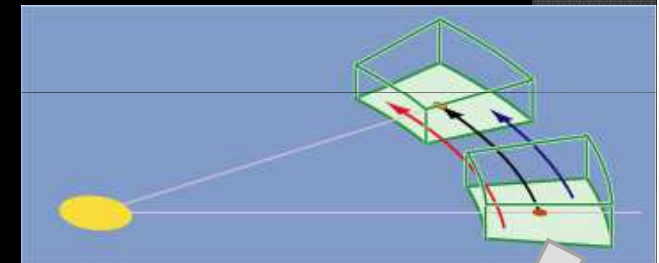
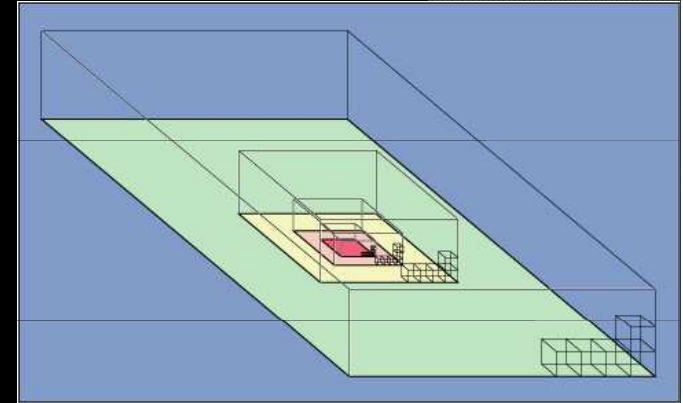
- 数値計算領域 $24h \times 24h \times 6h$
 - (h は原始惑星系円盤の典型的厚み)
- 格子数 : $(64 \times 64 \times 16) \times 11 \text{ levels}$
 - 実効的格子数 : $65536 \times 65536 \times 16384$
 - 最小格子間隔 : $0.00037h$
 - 現在の木星半径の約 $1/4$ (at 5AU)

◎ 局所近似計算

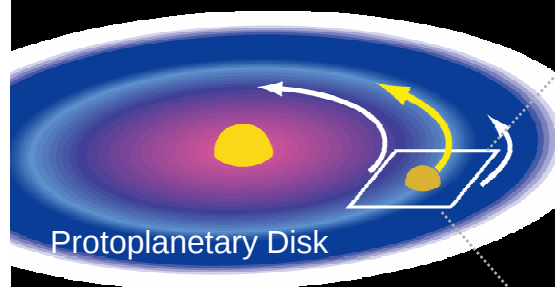
◎ 等温非粘性流体

◎ 惑星近傍の取り扱い :

- 重力弱半径 : $0.0007h$
- 惑星へ降着したガスは系から除去



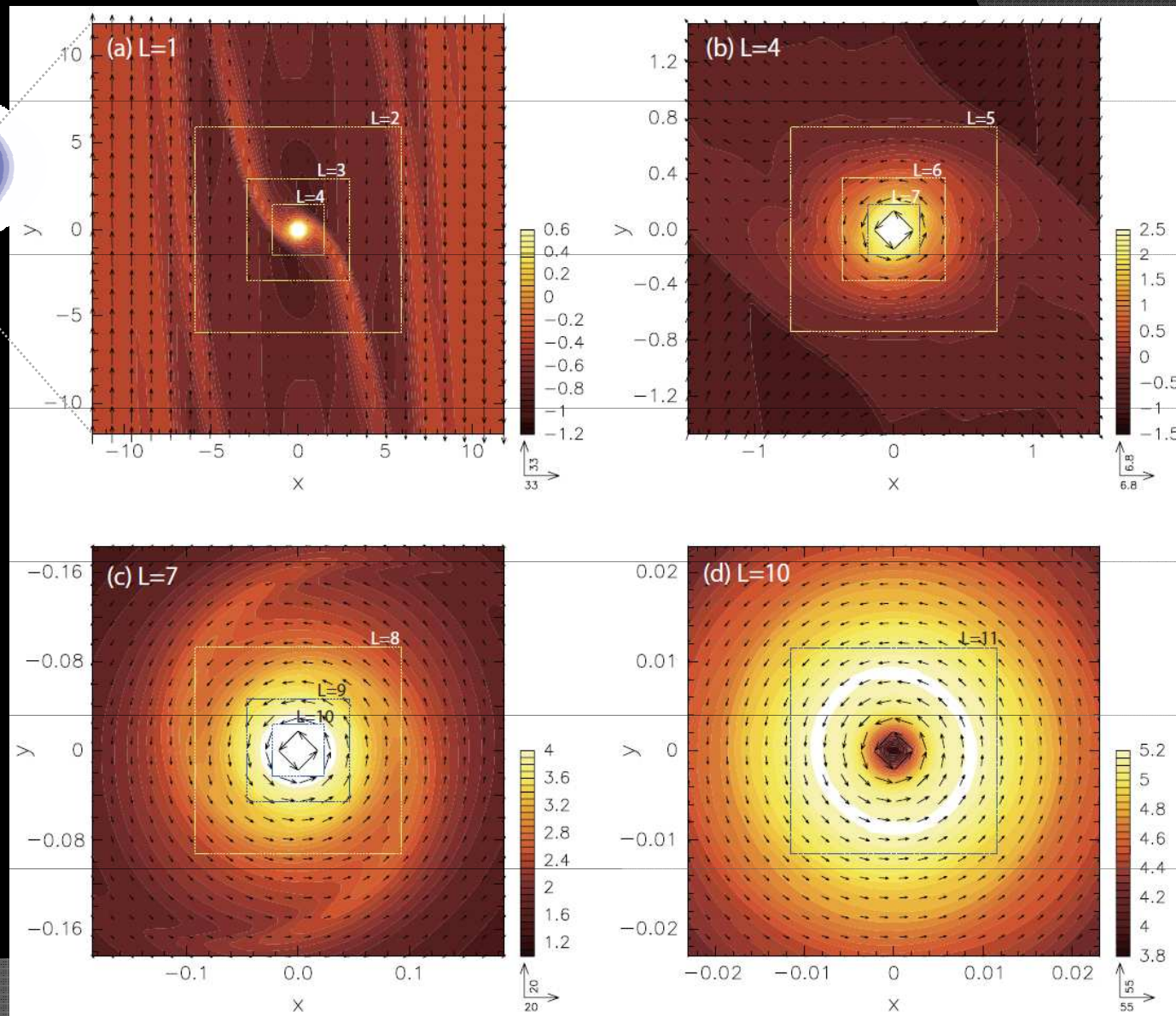
中心面における流れ



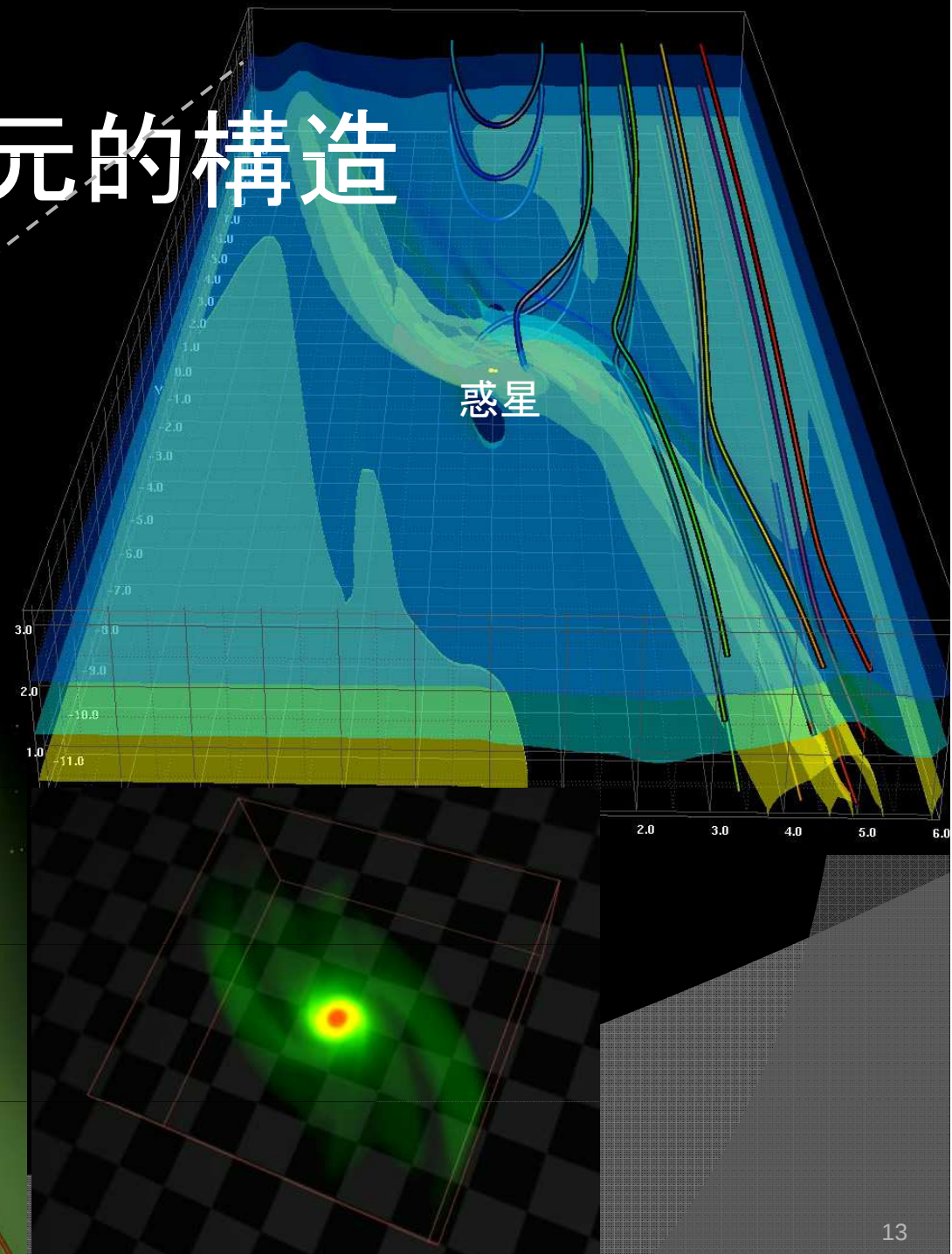
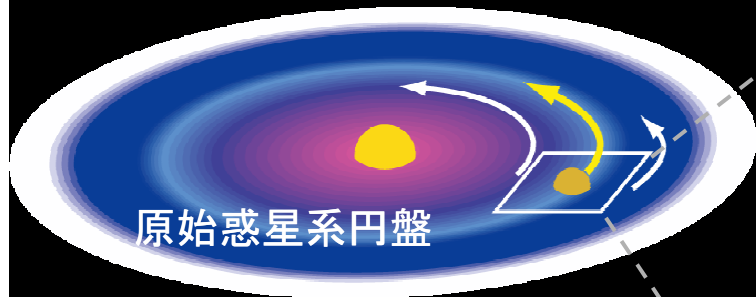
ヒル半径の十分外から
十分内側まで解像



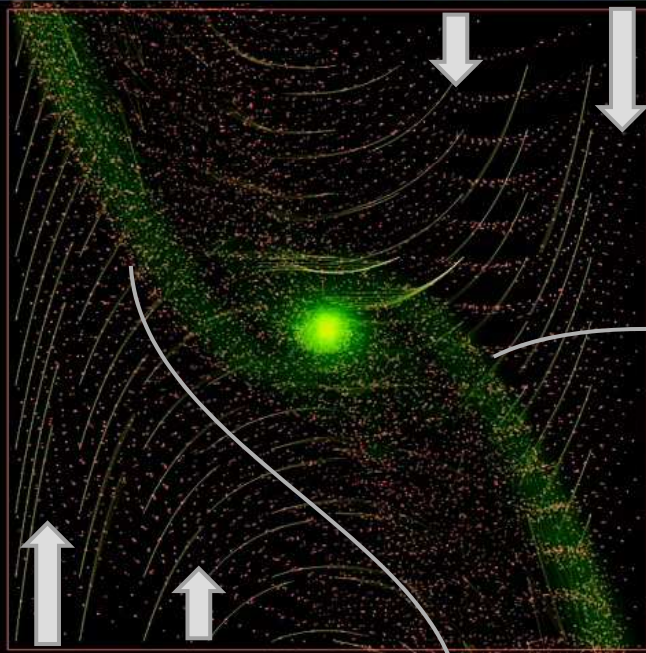
原始惑星系円盤の中で
周惑星円盤が形成する
様子を初めて分解



降着流の3次元の構造



Visualization by T. Takeda
(Vasa Entertainment)

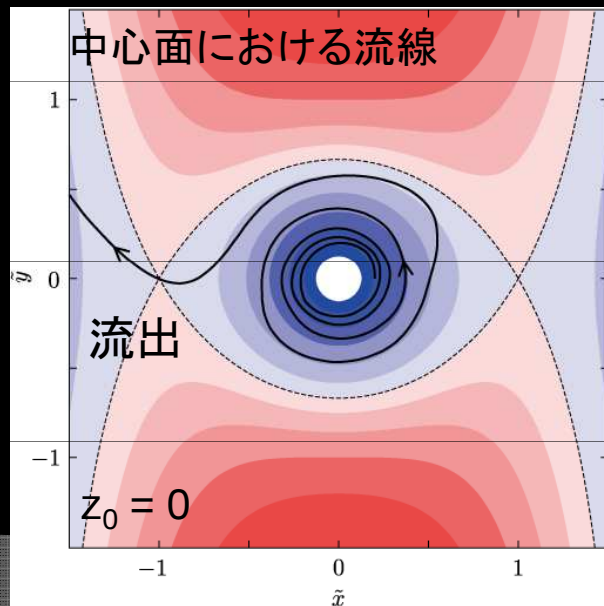


Shock surface

laminar flow

High altitude:
→ Fall and accretion

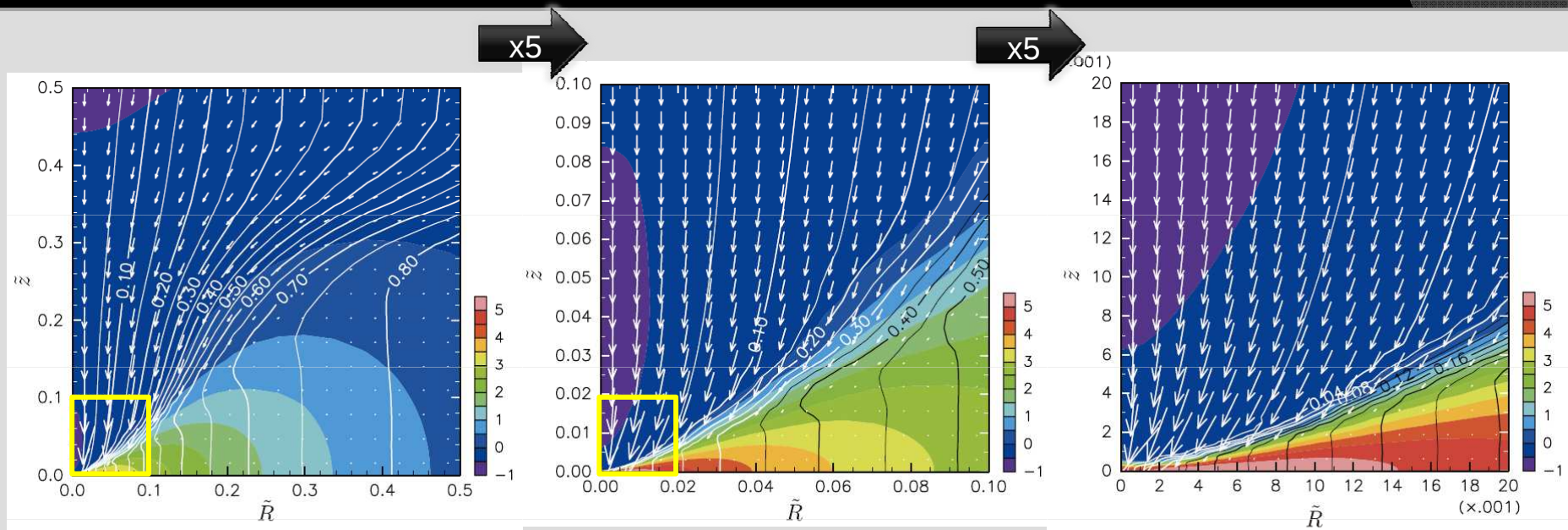
Shock surface



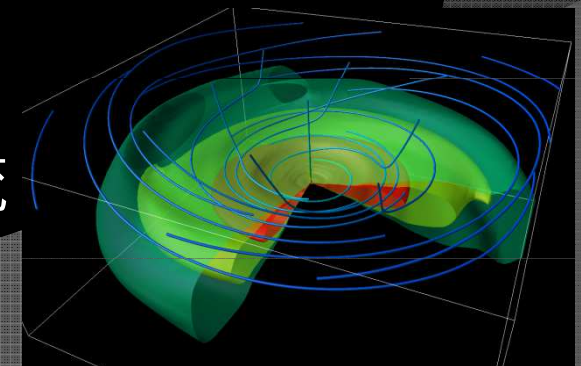
Circumplanetary disk

Midplane:
→ No accretion!

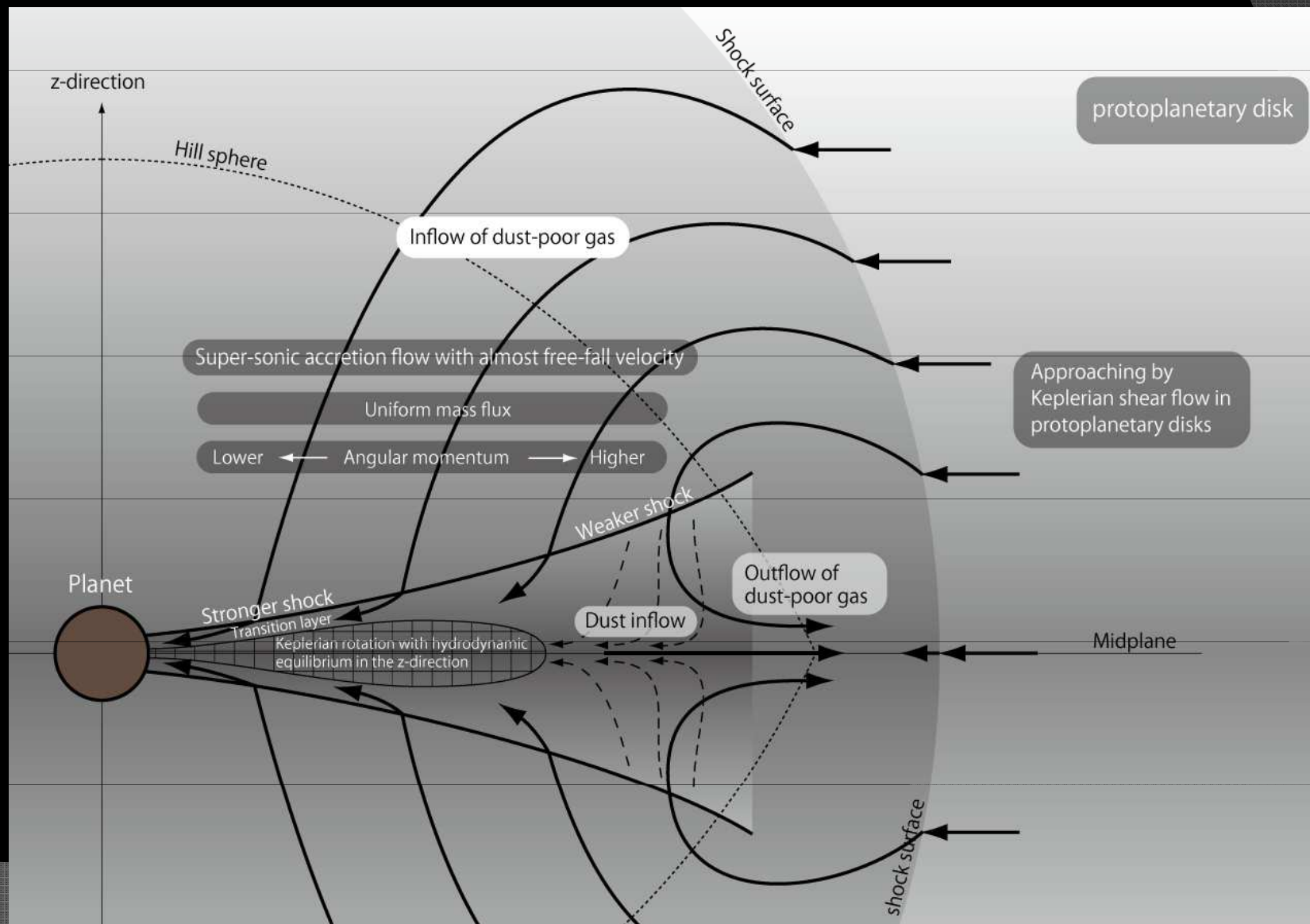
円盤鉛直断面図(回転角平均)



- ◎ 内部は明確な円盤構造
 - 静水圧平衡、ケプラー回転
- ◎ 上空から高速（ほぼ自由落下）な降着流
- ◎ 円盤表面で衝撃波



周惑星円盤への降着流の描像



まとめ

- ◎ 衛星系形成：2つの有力モデル
 - Gas-starved model
 - Spreading particle-disk model
- ◎ 周惑星円盤構造（原始惑星系円盤から周惑星円盤へのガス降着）
 - 3次元多重格子法数値流体計算
 - 2つの衝撃波を経由
 - 惑星重力圏に進入時と周惑星円盤表面への降着（落下）時
 - 中心面付近は降着（流入）できない