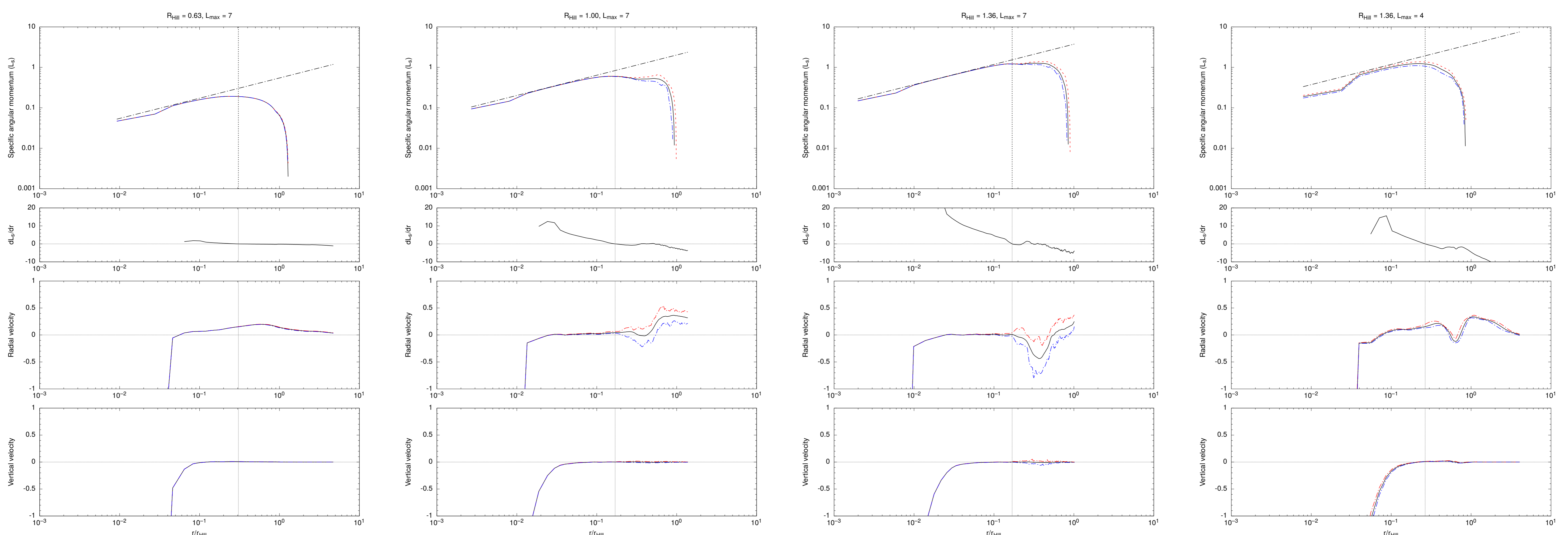
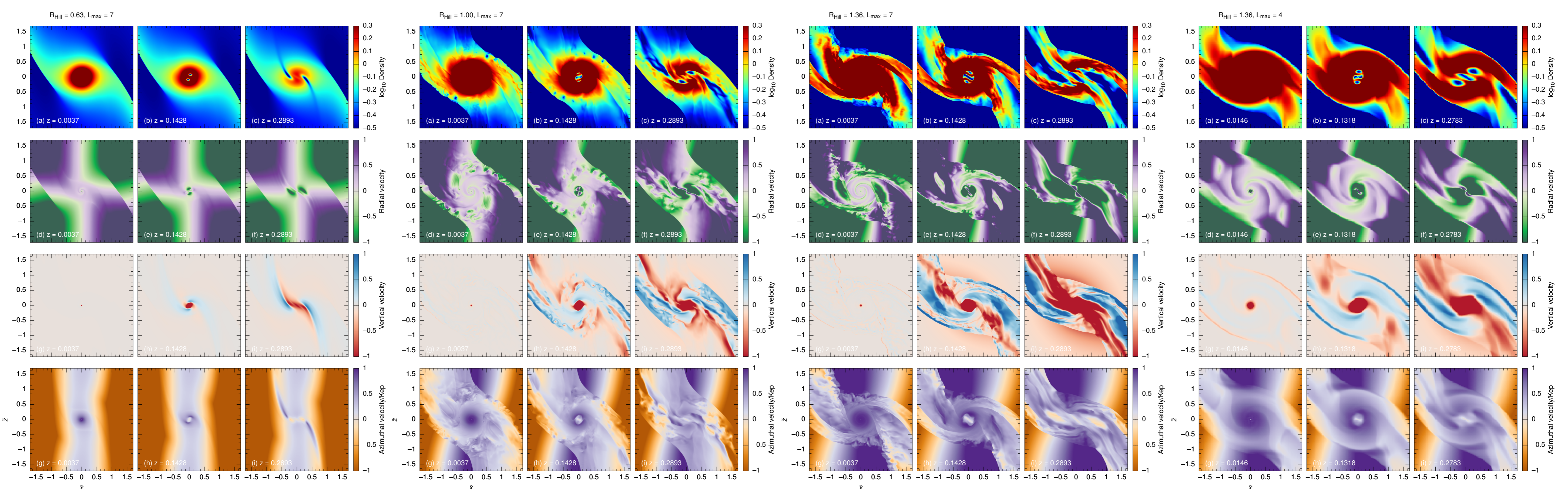


流体力学シミュレーションにおけるヒル圏外縁での乱流形成

波々伯部広隆 (国立天文台 / CfCA)

衛星形成の場である周惑星円盤近傍の流れ場を理解することは重要である。先行研究でも最大分解能が現在の木星半径と同程度までのシミュレーションが行われていた。しかし高解像度の範囲は木星のごく近傍だけに留まり、周惑星円盤を覆うほどではなかった。衛星形成の場として周惑星円盤を考えるためにはより広い範囲を高解像度で覆う必要がある。Tanigawa+2012 では原始惑星円盤のシア流が衝撃波面に阻まれて直接は降着できないことが示された。すなわち衝撃波面近傍の流れが周惑星円盤への質量降着の経路を決めており衝撃波面を高解像度で分解することは重要である。そこで、ヒル圏水平方向全体を木星半径の数倍で分解し流れの様子を観察した。支配方程式はMachida+2008と同一で、非粘性等温の系である。無次元ヒル半径を振ったところ、解像度が十分な場合には惑星座標に接触するセル(以下中心セル)の密度が一定の値に収束した。このときHillの小さい計算では周囲の流れ場も定常状態になるのに対して、Hillの大きい場合、木星軌道で数分の1木星質量から1木星質量程度、には中心セルの密度は一定の値に収束したものの、ヒル圏外縁から周惑星円盤近傍までの広い範囲の赤道面近傍で乱流的な流れ場となった。計算開始から目標値まで重力を強くしていく過程を観察すると、両方のラグランジュ点(L1, L2)で擾乱が生じ、成長していくということがわかった。また乱流的な流れ場になる場合にも惑星近傍には安定な流れが存在し、その領域が周惑星円盤であると見做すことができる。



基礎方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - \nabla \varphi_{\text{eff}} - 2\mathbf{z} \times \mathbf{v}$$

$$\varphi_{\text{eff}} = -\frac{1}{2}(3x^2 - z^2) + \frac{-3r_{\text{Hill}}^3}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$$r_{\text{Hill}} = \left(\frac{M_p}{3M_c} \right)^{1/3} r_p$$

スケールング

$$x = \tilde{x}/\tilde{h} \quad \rho = \tilde{\rho}/(\tilde{\sigma}_0/\tilde{h})$$

$$\tilde{h} = \frac{\tilde{c}_s}{\tilde{\Omega}_p} \quad \tilde{\Omega}_p = \sqrt{\frac{\tilde{G}\tilde{M}_c}{\tilde{r}_p^3}}$$

$$\tilde{p} = \tilde{c}_s^2 \tilde{\rho}$$

ρ : ガス密度,
 t : 時間,
 \mathbf{v} : 速度ベクトル,
 p : 圧力,
 φ_{eff} : 実効ポテンシャル,
 Ω_p : 惑星のケプラー角速度,
 \mathbf{z} : z方向単位ベクトル.
 M_p : 惑星質量
 M_c : 中心星質量
 r_{Hill} : ヒル半径
 h : 原始惑星系円盤のスケールハイト
 c_s : 等温音速
 * チルダは次元量を表す

グリッド表

level	imax	jmax	kmax	(xmin, xmax)	(ymin, ymax)	(zmin, zmax)
1	128	512	48	(0.00, 30.00)	(-60.00, 60.00)	(0.00, 11.25)
2	256	512	48	(0.00, 30.00)	(-30.00, 30.00)	(0.00, 5.63)
3	256	512	48	(0.00, 15.00)	(-15.00, 15.00)	(0.00, 2.81)
4	256	512	48	(0.00, 7.50)	(-7.50, 7.50)	(0.00, 1.41)
5	256	512	48	(0.00, 3.75)	(-3.75, 3.75)	(0.00, 0.70)
6	256	512	48	(0.00, 1.88)	(-1.88, 1.88)	(0.00, 0.35)
7	256	512	48	(0.00, 0.94)	(-0.94, 0.94)	(0.00, 0.18)

無次元最高分解能 : 3.66e-03

木星半径比最高分解能 : 2.1