

氷衛星内部海における テイラー柱の計算

神戸大学理学部惑星学科

流体地球物理学教育研究分野

中澤 恵人

はじめに

- 氷衛星 (icy satellite / ice moon) : 表面を氷に覆われた衛星, または, 主に H_2O の氷で構成された衛星の総称.
 - ▶ 例: エウロパ, ガニメデ, エンセラダスなど
- 液体の H_2O を含む層 (内部海) が存在するものもあり, 内部海には海洋循環がある.
- 内部海循環の駆動要因
 - ▶ 初期熱や放射性元素による, 底面(ケイ酸塩コア)からの加熱
 - ▶ 潮汐加熱
 - ▶ 氷の生成・消滅による塩分フラックス
 - ▶ 氷の氷点が圧力に依存することによる, 氷殻直下の温度勾配 など

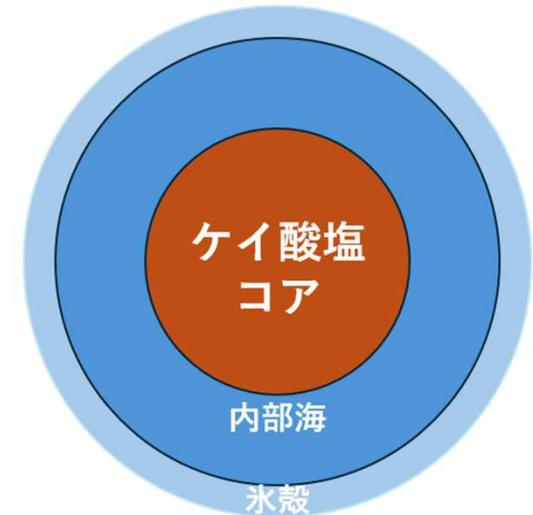


図: 内部海を持つ氷衛星の模式図

はじめに

- 氷衛星 (icy satellite / ice moon) : 表面を氷に覆われた衛星, または, 主に H_2O の氷で構成された衛星の総称.
 - ▶ 例: エウロパ, ガニメデ, エンセラダスなど
- 液体の H_2O を含む層 (内部海) が存在するものもあり, 内部海には海洋循環がある. **どのような海洋循環がある?**
- 内部海循環の駆動要因
 - ▶ 初期熱や放射性元素による, 底面(ケイ酸塩コア)からの加熱
 - ▶ 潮汐加熱
 - ▶ 氷の生成・消滅による塩分フラックス
 - ▶ 氷の氷点が圧力に依存することによる, 氷殻直下の温度勾配 など

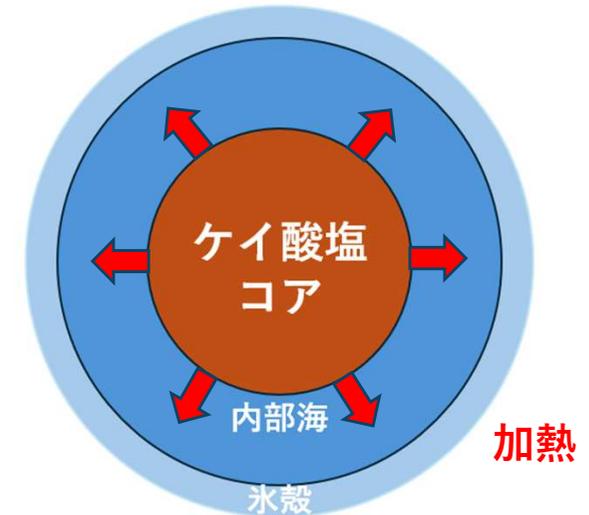


図: 内部海を持つ氷衛星の模式図

テイラー柱とは

- 回転の影響で、流体の流線がどこを切っても同じ断面である『金太郎飴』のような構造を持つ。
- 運動が回転軸方向に一様。
- 特に回転する球殻流体の場合、右図のようになる。

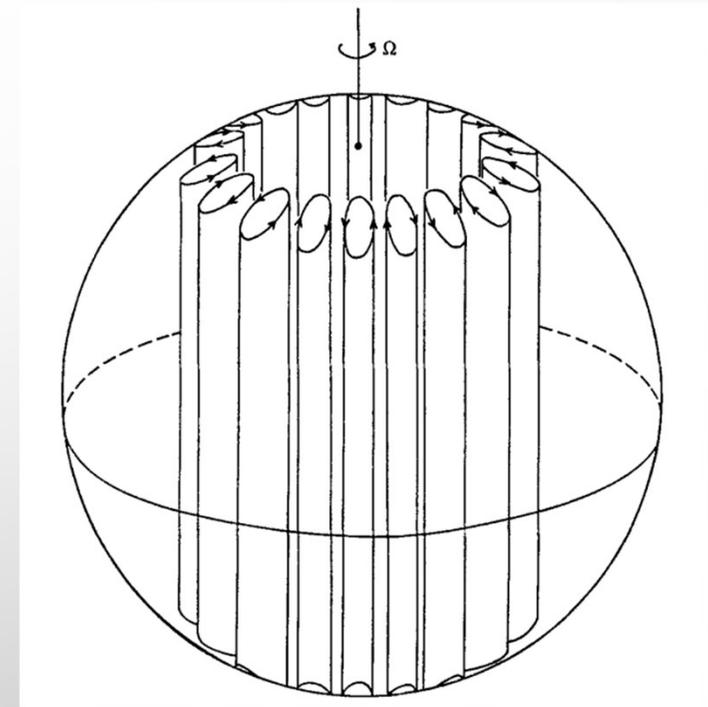


図: 回転球殻におけるテイラー柱(Busse, 1970)

先行研究の紹介

Bire et al. (2022) の研究

- 研究内容：底面加熱による氷衛星の海洋循環の研究
- 計算する座標系：デカルト座標系
 - 球殻ジオメトリを、直方体の箱として近似

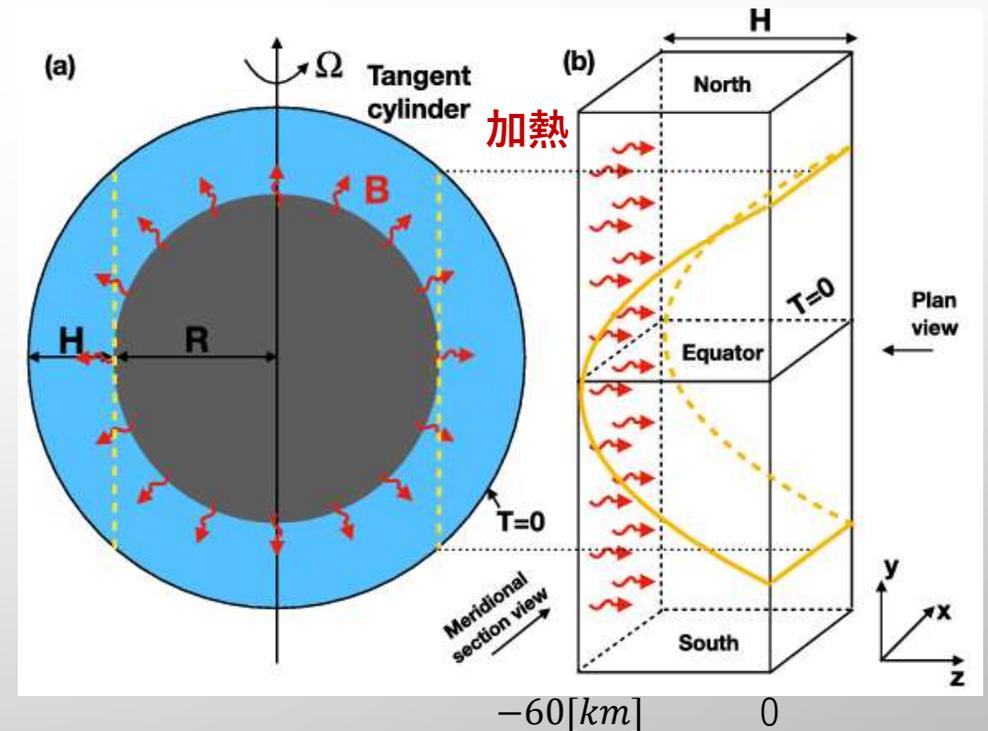


図: 氷衛星の内部海モデル(Bire et al.,2022)

先行研究の紹介

Bire et al. (2022) の研究

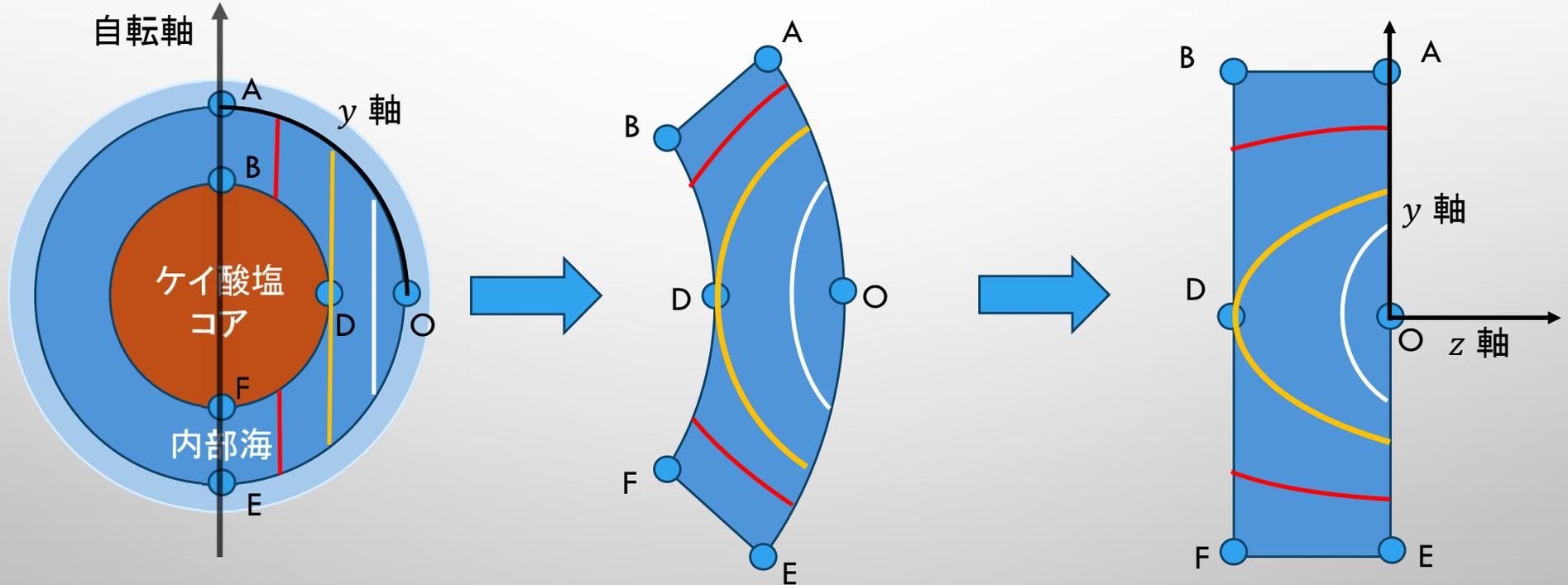


図: 球殻ジオメトリからデカルト座標系への近似. 黄・赤・白の線は, 自転軸に平行な線.

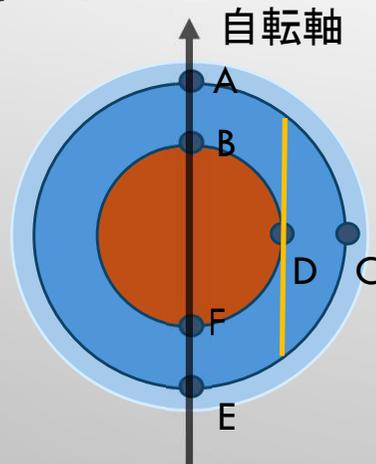
実験設定

項目	パラメータ	本研究	Bire et al. (2022)
共通の設定(エンセラダスを想定)			
計算領域 (x)	Lx	$0 \text{ km} \leq x \leq 50 \text{ km}$	
計算領域 (y)	Ly	$-395 \text{ km} \leq y \leq 395 \text{ km}$	
計算領域 (z)	Lz	$-60 \text{ km} \leq z \leq 0 \text{ km}$	
自転角速度	Ω	$7.3 \times 10^{-5}/\text{s}$	
衛星半径	R	251km	
重力加速度	g	0.1 m/s^2	
底面加熱	Q	10 W/m^2	
初期温度	T	$T = 0$ (擾乱あり)	
初期流速	u	$\mathbf{u} = \mathbf{0}$	
温度の緩和時間	τ	$\tau = 2 \times 10^6/\text{s}$	
項目	パラメータ	本研究	Bire et al. (2022)
異なる設定			
格子間隔	$\Delta x, \Delta y, \Delta z$	2 km	0.3 km ← 高解像度
動粘性係数	ν	0.89 m ² /s	0.02 m ² /s
時間刻み	Δt	100 s	?

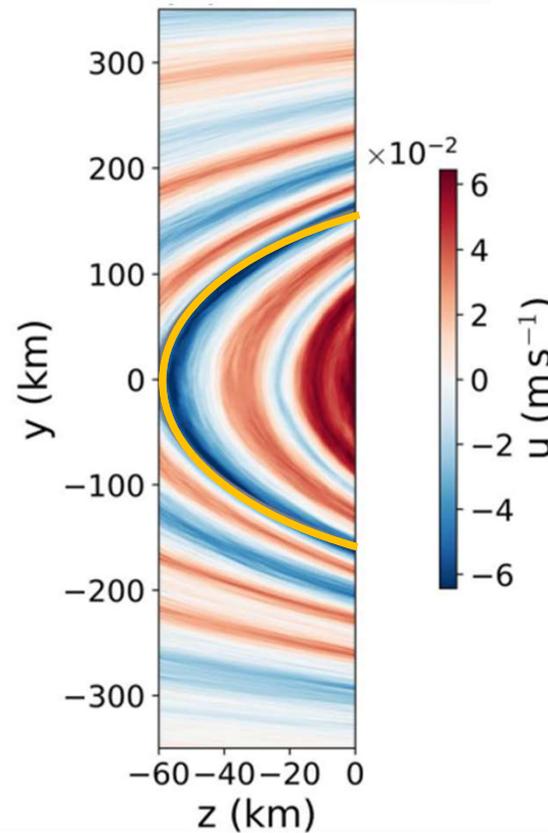
研究結果・考察

●東西風分布

- ▶ 低緯度でのテイラー柱を再現できていると考えられる.
- ▶ 中~高緯度帯では, 先行研究と比較して流速が小さい.



先行研究



本研究

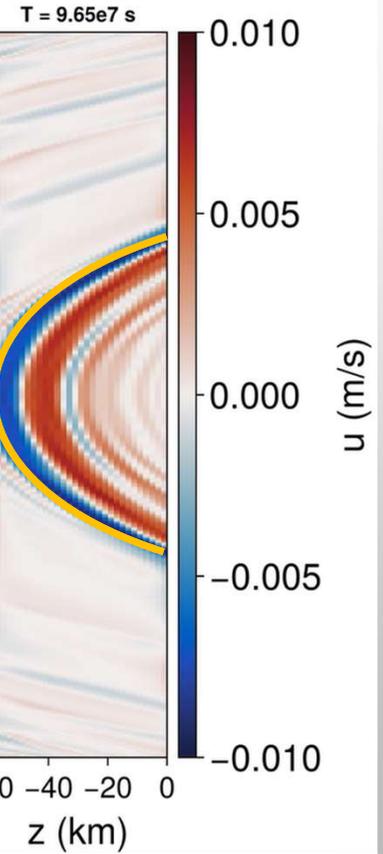


図: 子午面断面での東西風速度 u (m/s)

研究結果・考察

● 温度分布

- 底面($z = -60$ [km])付近に暖水が生じ, $z = 0$ [km] 方向に上昇する様子が見えた.
- 先行研究と比べ, 領域全体の温度が低くなる傾向が見られた.

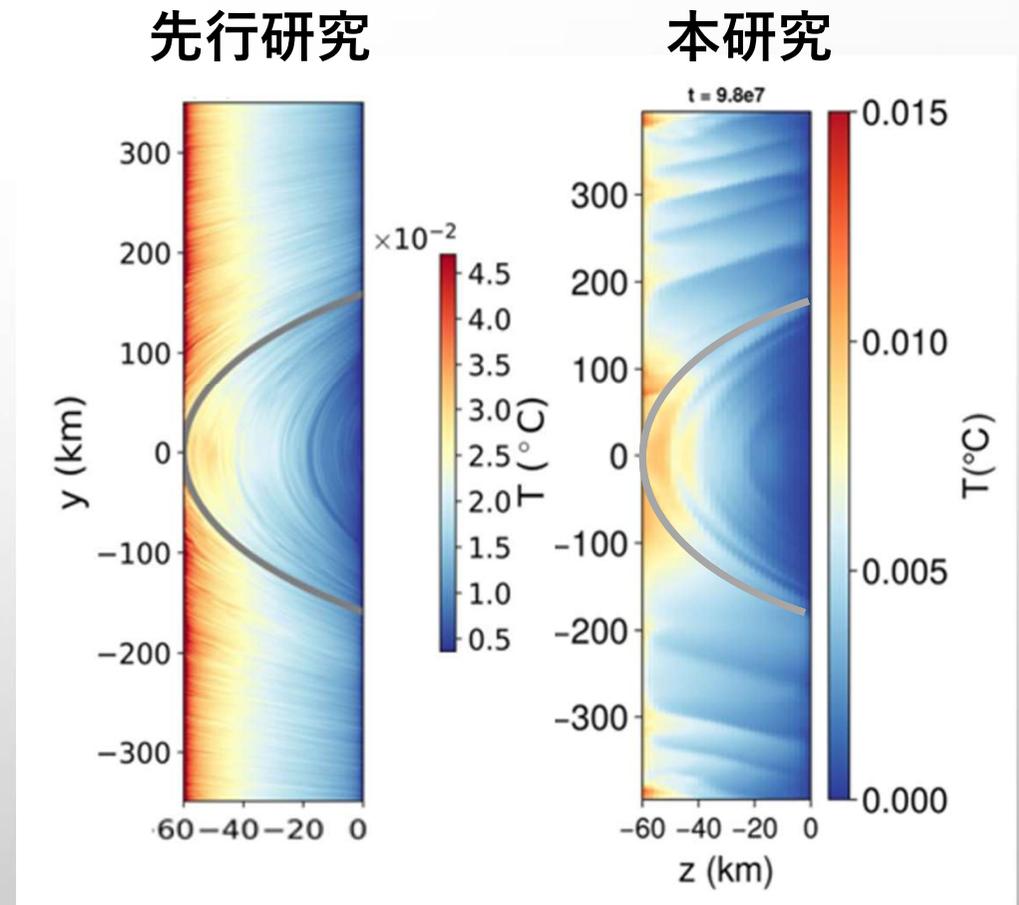


図: 子午面断面の温度分布 T (°C)