

Study of Phobos' geological anisotropy: Implication for the co-evolution of resurfacing and orbital dynamics

○内田雄揮^{1,2}、豊川広晴^{2,3}、臼井寛裕² ¹ 東京大学、² ISAS/JAXA、³ 総合研究大学院大学

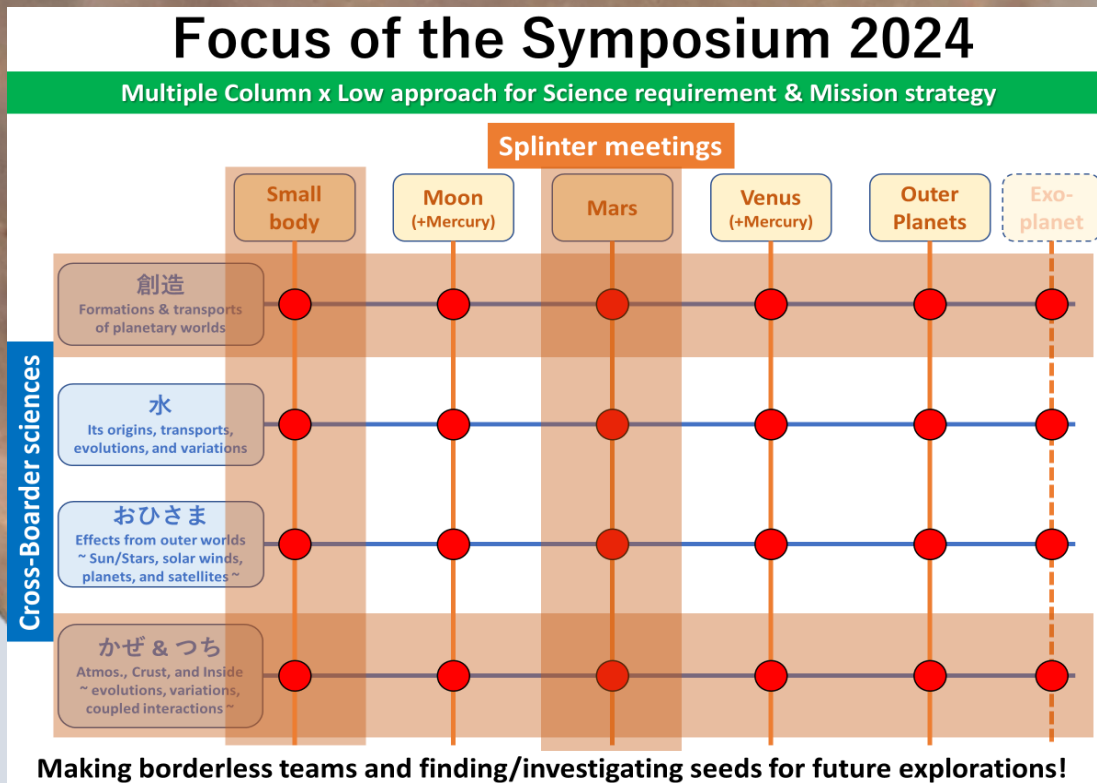
地球型惑星の衛星形成・進化的理論の一般化には、比較衛星研究が必要である。月と火星衛星はいずれも潮汐ロックを受けており、惑星の重力環境において複雑な表面更新をしてきた。本研究では、フォボスの地質異方性を調査することで、表面更新と公転様式の共進化に関する描像の解明を目指す。

まず、フォボス自転軸周りの表面更新の対称性とスティックニークレーター形成に伴う影響を調査するために、5つの領域を選択した。フォボス赤道から $\pm 30^\circ$ の低緯度領域について火星側(0°E)、反火星側(180°E)、先行半球側(270°E)、後行半球側(90°E)の $60^\circ \times 60^\circ$ 領域と、スティックニークレーター内側の計5領域についてクレーターカウントを行った。5つの領域についてクレーターサイズ頻度分布(CSFD)を求め、CSFDに見られる偏向点のうち最大のクレーター直径を「 D_{kink} 」とした。取得したCSFDデータに、単位時間・単位面積あたりのクレーター形成率に対応するCSFDモデルであるフォボスのクレーター生成関数をフィッティングすることで、直径1km以上のクレーター数密度を導出した。 D_{kink} を超える直径のクレーター数密度として $N_{\text{old}}(D>1\text{km}) [\text{km}^{-2}]$ 、 D_{kink} より小さい直径のクレーター数密度として $N_{\text{young}}(D>1\text{km}) [\text{km}^{-2}]$ を求めた。各調査領域に見られる D_{kink} から、表面更新の堆積層厚を推定した。さらに、経度 90° 毎の4分球に堆積した層厚の体積を求めた。4分球それぞれへの堆積層厚の体積 $[\text{km}^3]$ は4分球の面積 $[\text{km}^2]$ と、同じ経度に属する調査領域への表面更新の堆積層厚 $[\text{m}]$ の積として推定した。最後に4分球それぞれへの堆積層厚の体積の合計として、フォボス全球への表面更新堆積層厚の体積を計算した。

5領域のCSFDにおいて、Stickney以外の4つの調査領域ではいずれもキंकが確認された。堆積層厚、 $N_{\text{young}}(D>1\text{km})$ 、 $N_{\text{old}}(D>1\text{km})$ いずれも、先行半球側で最小、反火星側で最大を示した。フォボス全球への堆積層厚の体積は 90 km^3 であることが分かった。先行研究では、フォボスへの1次衝突の飛散物のうち80-95%がフォボスに再降着することが報告されている。そのため 90 km^3 のレゴリス堆積層は、スティックニークレーターが掘削した体積($50\text{-}120 \text{ km}^3$)の80-95%と整合すると考えられる。この整合はStickney形成時に放出された飛散物がフォボス全球に甚大な表面更新をもたらしたことの証拠となりうる。また、 $N_{\text{old}}(D>1\text{km})$ が先行半球側より後行半球側で大きいことから、Stickneyの形成に伴いフォボスの潮汐ロックが外れ、経度方向に 180° 回転した向きで再度潮汐ロックを受け直したことが考えられる。最後に、Stickneyの飛散物の最大のフラックスがフォボスの反火星側に衝突・堆積したことが示唆される。フォボスの表面更新と公転様式の共進化シナリオとして、Stickneyの形成に伴い潮汐ロックを外れ回転した期間に、現在の反火星側に対しStickneyの飛散物の最大のフラックスが衝突・堆積したことを提案する。

Study of Phobos' geological anisotropy: Implication for the co-evolution of resurfacing and orbital dynamics

Phobosの地質異方性から示唆される表面更新と公転様式の共進化



東京大学 大学院理学系研究科
地球惑星科学専攻 修士2年

内田雄揮^{1,2}

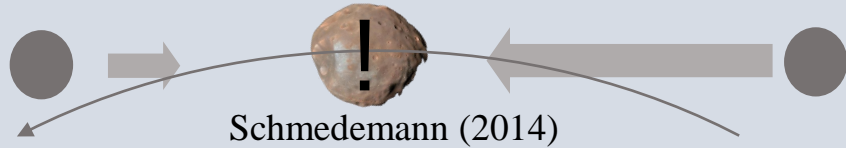
豊川広晴^{2,3}、臼井寛裕²

¹東京大学、²JAXA 宇宙科学研究所、
³総合研究大学院大学

背景：地質異方性として保持される複雑な表面更新

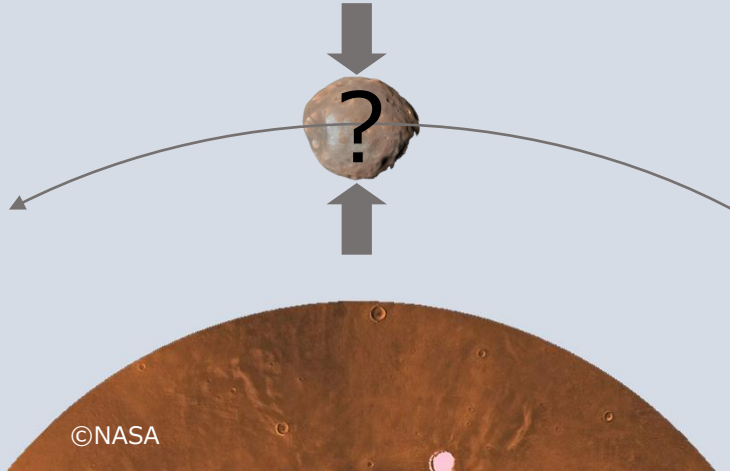
■ 潮汐ロックに起因する表層進化の異方性

- 観測されるクレーターは先行半球より後行半球で多い。：モデルと逆



➡ 経度方向への180°回転を示唆
Ramsley+Head (2021)

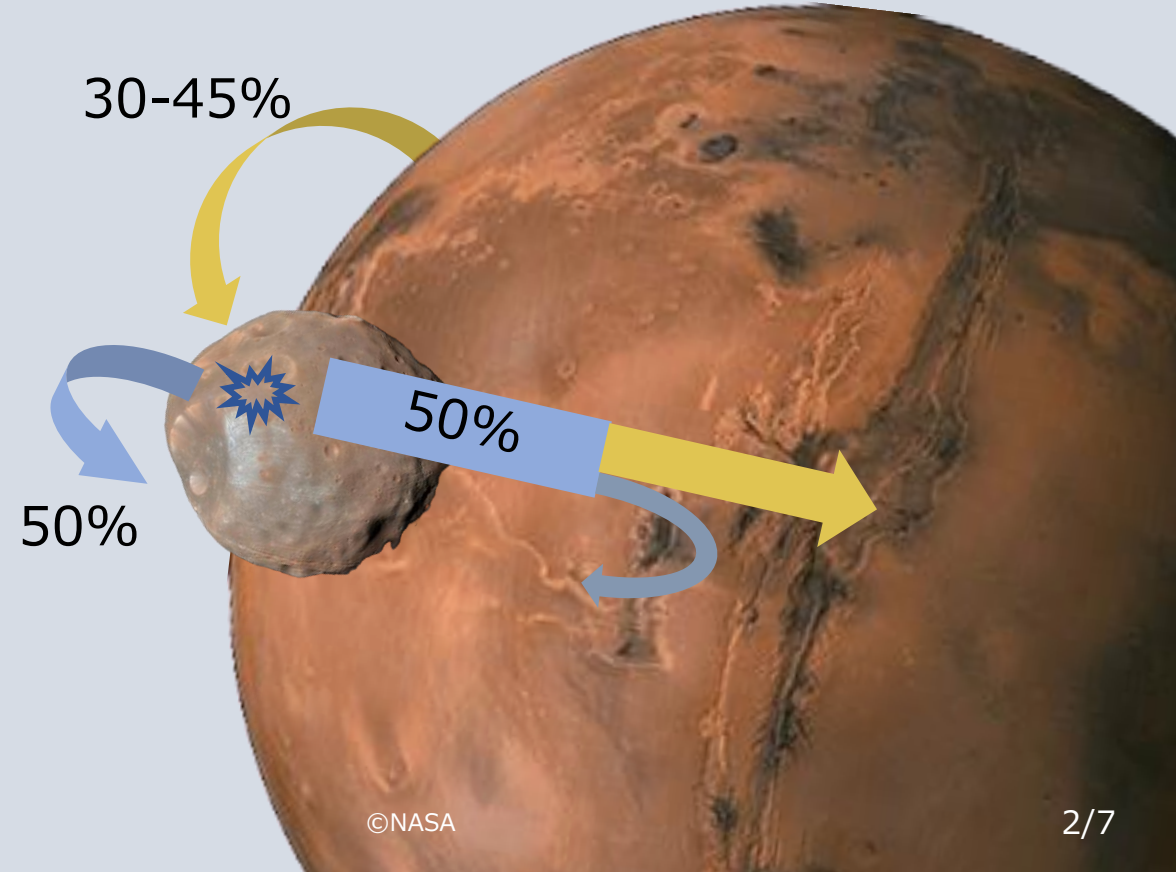
- 火星側と反火星側の異方性は不明



■ 天体衝突時の飛散物の火星周回後の再降着

飛散物の運動
全体の80-95%はPhobosに再降着

Ramsley+Head (2021)



手法: 地質異方性の解明に向けたアプローチ

■ 4つの調査領域と最大のクレーター (D~9km) Stickneyのクレーターサイズ頻度分布(CSFD) を調査

■ CSFDからクレーター数密度とクレーター消去を定量評価

- CSFDに現れる2つの傾きからクレーター数密度を算出

N_{old} : 大きなクレーターの数密度

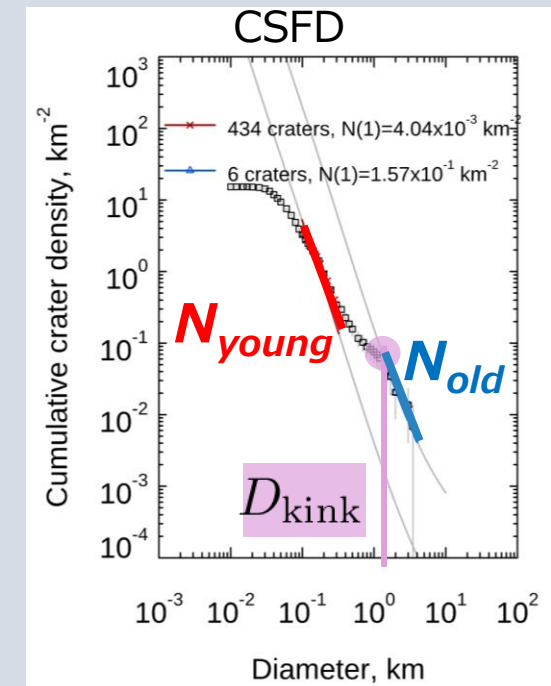
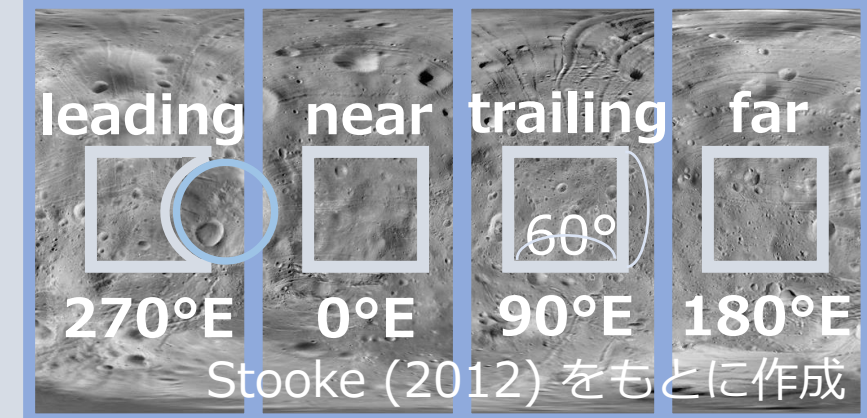
N_{young} : 小さなクレーターの数密度

- CSFDに現れる偏向点のうち最大のクレーター直径(D_{kink})のクレーターの深さ~レゴリス堆積層厚:

$$H_{blanket} = 0.036 \times D_{kink}^{1.014} \quad [m] \quad \text{Hiesinger+ (2002)}$$

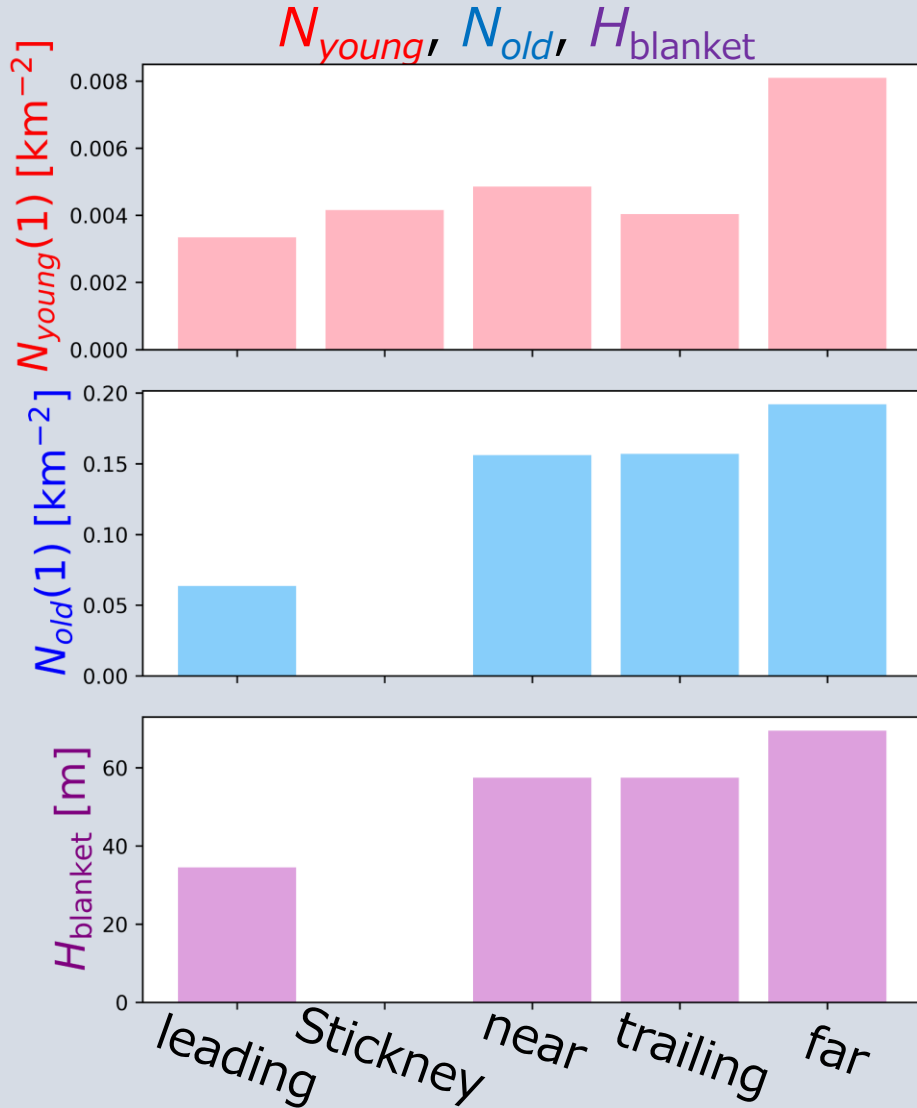
- 経度90°毎の4分球へのレゴリス堆積層の体積を算出:
調査領域の $H_{blanket}$ × 4分球の面積

5つの調査領域と経度90°毎の4分球



結果：各調査領域のクレーター数密度とレゴリス堆積層

5つの調査領域における



経度90°毎の4分球の面積と堆積層の厚み・体積

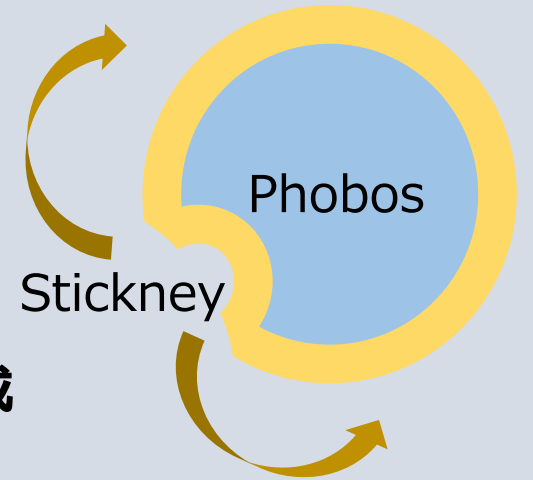
	leading	near	trailing	far
$H_{blanket}$ [m]	35	58	58	70
4分球の面積 [km ²]	382.5	440.5	386.7	434.7
4分球への堆積層厚の体積 [km ³]	13	25	22	30

- N_{young} , N_{old} , $H_{blanket}$ は far で最大
- N_{young} , N_{old} , $H_{blanket}$ は trailing が leading より大きい
- 全球への堆積層厚の体積の合計: 90km³

考察: Stickney形成に伴う表面更新と公転様式の共進化

■ Stickney飛散物の堆積を考慮した地質異方性

- Stickneyが掘削した体積は50-120 km³ M. Bruck Syal (2016)
- 飛散物のうち80-95%はPhobosに戻る Ramsley+Head (2021)



← 整合 → 全球へのレゴリス堆積層の体積 90km³

→ $H_{blanket}$ (レゴリス堆積層) はStickney飛散物によって形成

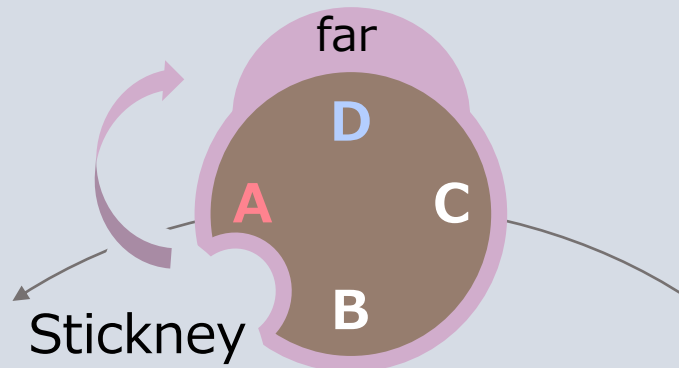
N_{young} は $H_{blanket}$ 堆積後に形成

N_{old} は $H_{blanket}$ 堆積前から形成

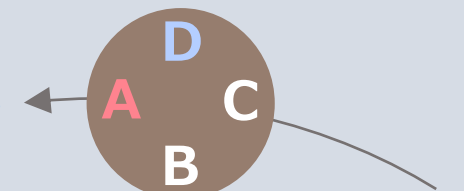
N_{young} , $H_{blanket}$ は far で最大

N_{old} , $H_{blanket}$ は trailing が leading より大きい

Ramsley+Head (2021)



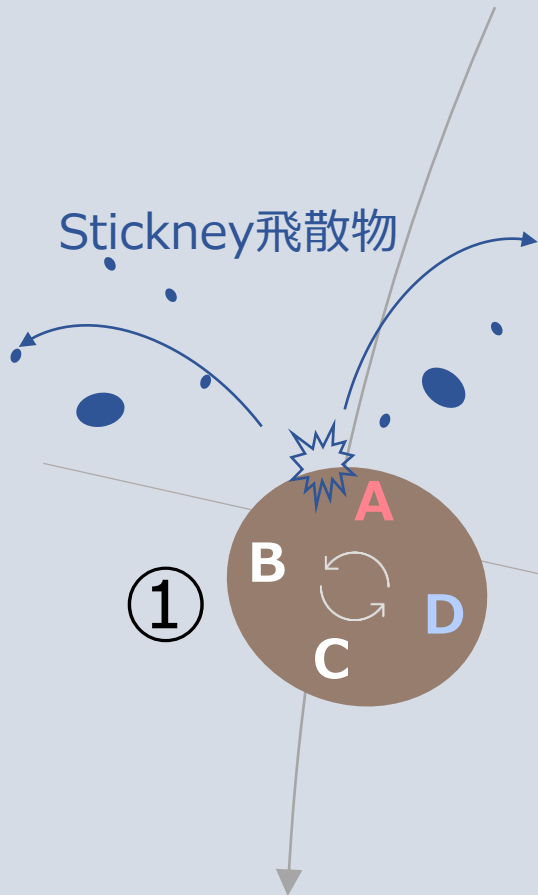
経度方向へ180°回転



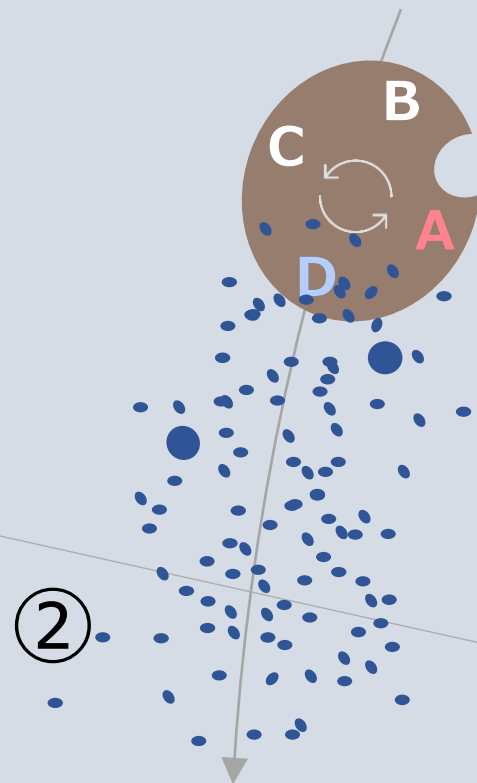
考察：表面更新と公転様式の共進化の描像

■ 最大のStickney飛散物フラックスによる far への衝突・堆積

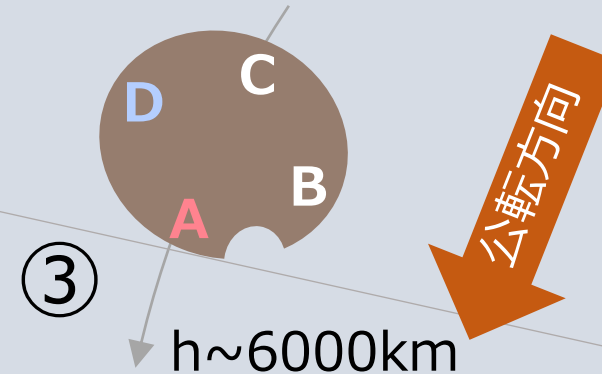
- ① Stickneyがtrailing (現在のleading、Side A) に形成。
Stickney飛散物が火星周回軌道に入る。



- ② 最大のStickney飛散物フラックスが
Side D の $H_{blanket}$, N_{young} を形成

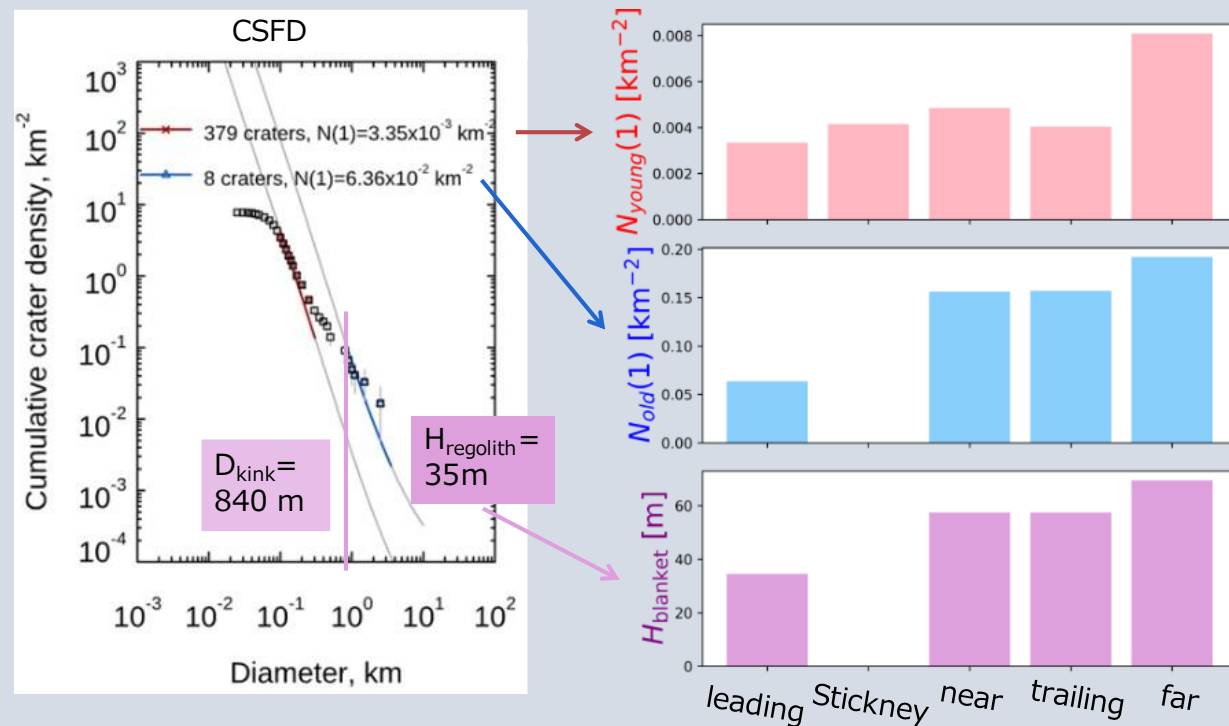
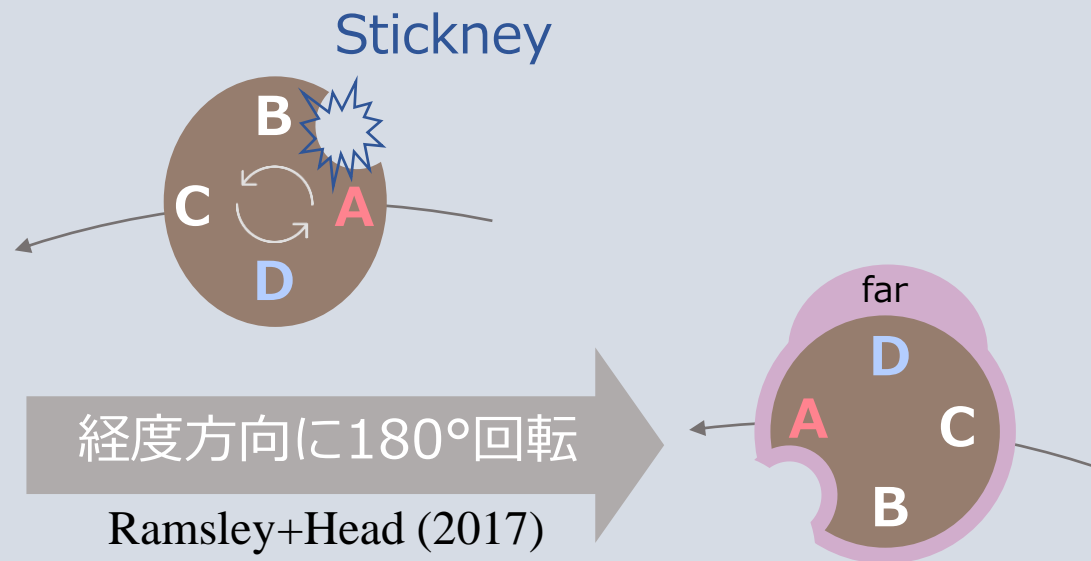


- ③ 現在のPhobosの向きに
再潮汐ロック。



まとめ: Stickney飛散物の堆積を考慮した地質異方性

■ Phobosの地質異方性の調査



■ PhobosはStickney飛散物が全球的に堆積

■ Stickney飛散物堆積層厚には異方性があり、反火星側で最大

■ Stickney形成の天体衝突に伴いPhobosは経度方向に180°回転