

① 次世代赤外線衛星SPICAの安定多様体を用いたハロー軌道への軌道設計

背景

SPICA ミッション

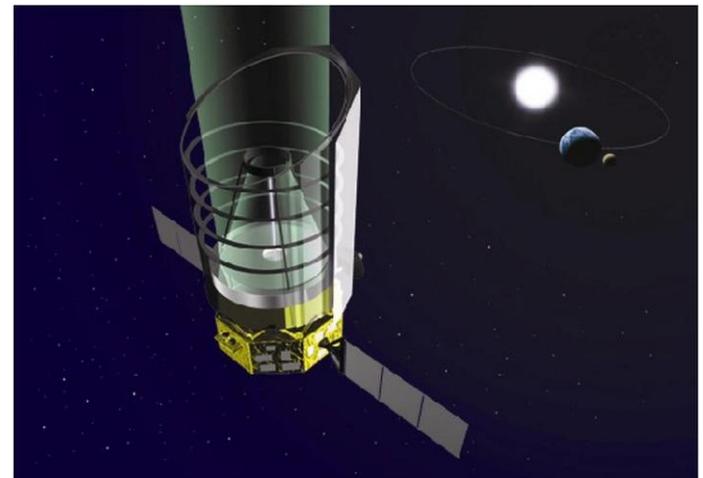
次世代赤外線天文衛星SPICA

(Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics)

<ミッション目的>

原始銀河など宇宙初期に誕生したばかりの天体からの放射は、赤方偏移によって赤外線～サブミリ波領域に偏っている。

- ・銀河の誕生と進化
- ・星と惑星系の誕生と進化
- ・物質の進化



背景

SPICA ミッション

<高感度・高分解能>

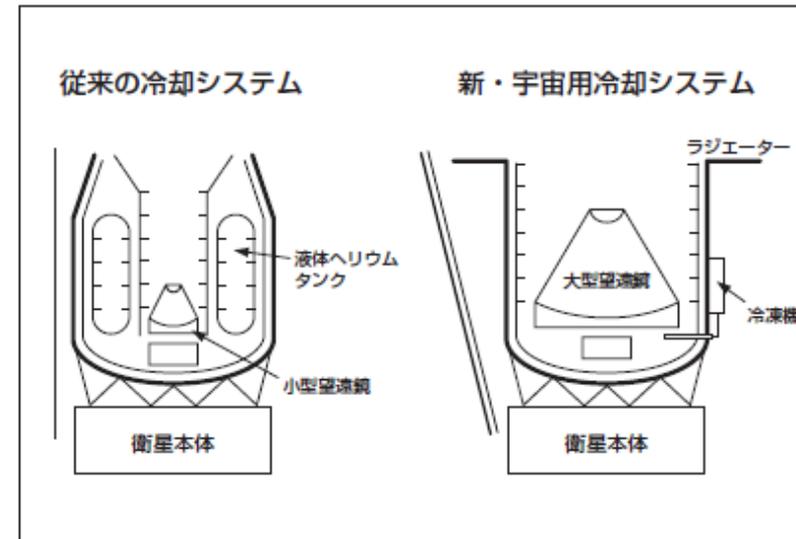
液体ヘリウムではなく、打ち上げ後宇宙空間で放射により望遠鏡を冷却(絶対温度5K)



巨大タンクが不要



大望遠鏡の搭載(口径3.5m)



<ノミナル軌道>

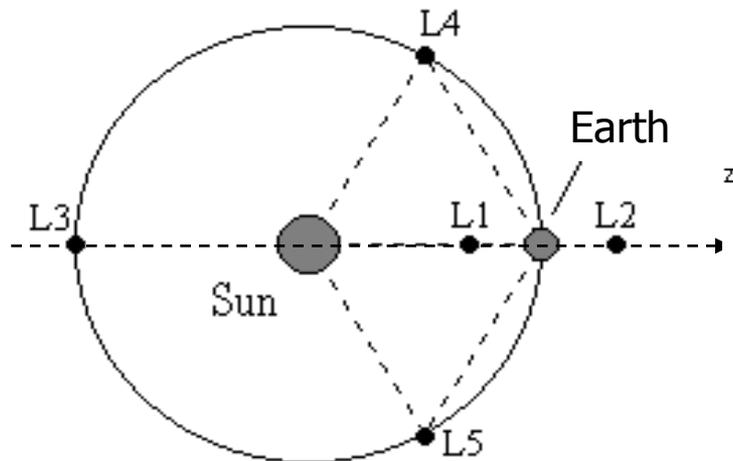
2018年にH2Aロケットで種子島から打ち上げ、
太陽-地球系L2のハロー軌道に投入して飛翔観測(地球から約150万km)
ミッション期間=5年

三体問題のダイナミクス

SPICA ミッション

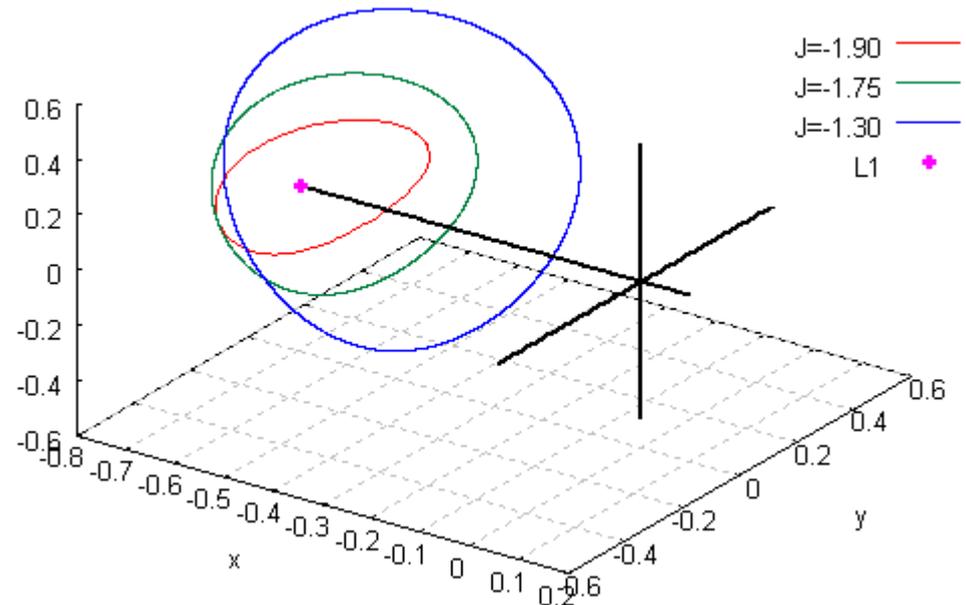
<ラグランジュ点>

二つの天体(例えば太陽と地球)の重力と宇宙機に作用する遠心力が釣り合う点



<ハロー軌道>

ラグランジュ点近傍の周期軌道



なぜ太陽-地球系L2ハロー軌道か？

SPICA ミッション

1. 放射冷却が効果的

地球近傍周回衛星より、赤外線衛星の大敵である熱源の地球から遠く、かつ太陽と地球がほぼ同じ方向になるため、熱遮断設計が容易

2. 観測可能な領域が広い

ある時点における観測不能領域が「太陽-地球」方向を中心とする特定の方向のみに限られ、広範囲の観測領域を得られる

3. 蝕の問題を回避

太陽-地球系L2ハロー軌道は地球の影に隠れない



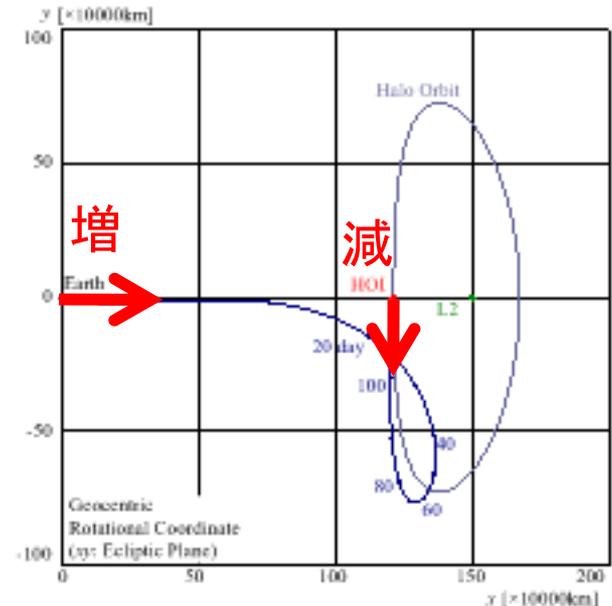
WMAPやハーシェル、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡もL2ハロー軌道に

ハロー軌道への遷移軌道

従来の遷移軌道設計手法

出発・到着の位置(境界条件)をパラメータとして、
出発・到着時の速度増分(ΔV)を求めるシューティング法

- ~~目的地到着時にクリティカルな運用
(減速マヌーバやその為の姿勢変更)~~



ハロー軌道への遷移には、到着時の減速が
不要となるStable Manifoldの利用

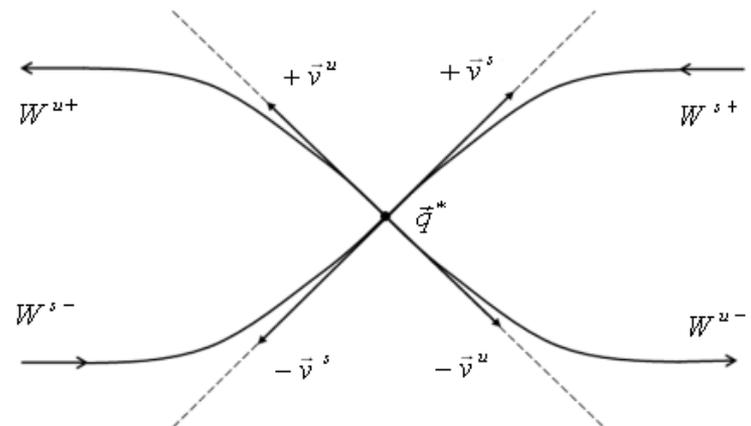
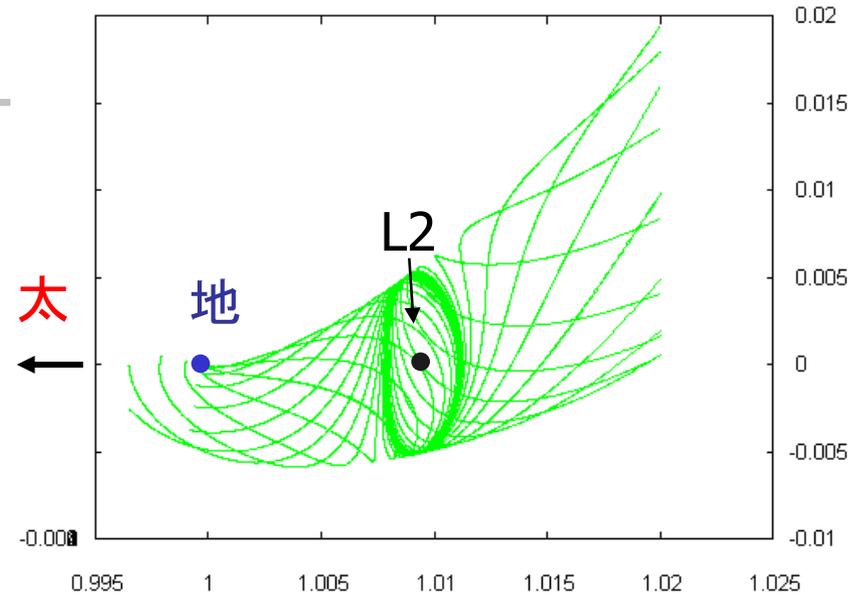
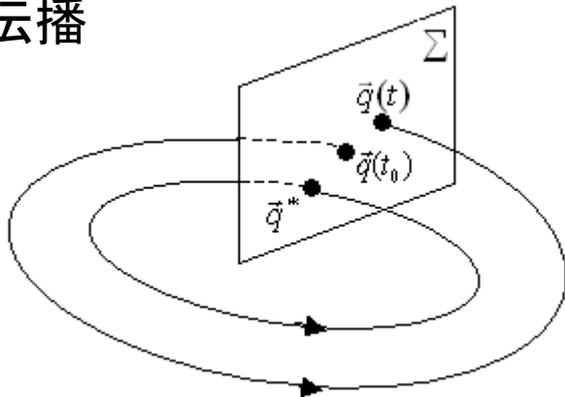
Stable Manifold

<特徴>

三体問題の力学的特性から、自動的に(減速無しで)ハロー軌道に収束する軌道群

<生成法>

ハロー軌道を基準として1周させた時の状態遷移行列の安定固有ベクトル方向に逆伝播

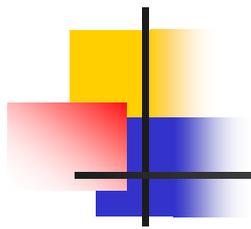


目的



- i. Stable Manifoldを用いたハロー軌道遷移が可能か？
 - ・射点、打ち上げ軌道の制約と整合するか？
(種子島の場合：近地点高度300km & 赤道面傾斜角 30°)

- ii. 打ち上げ機会の拡大

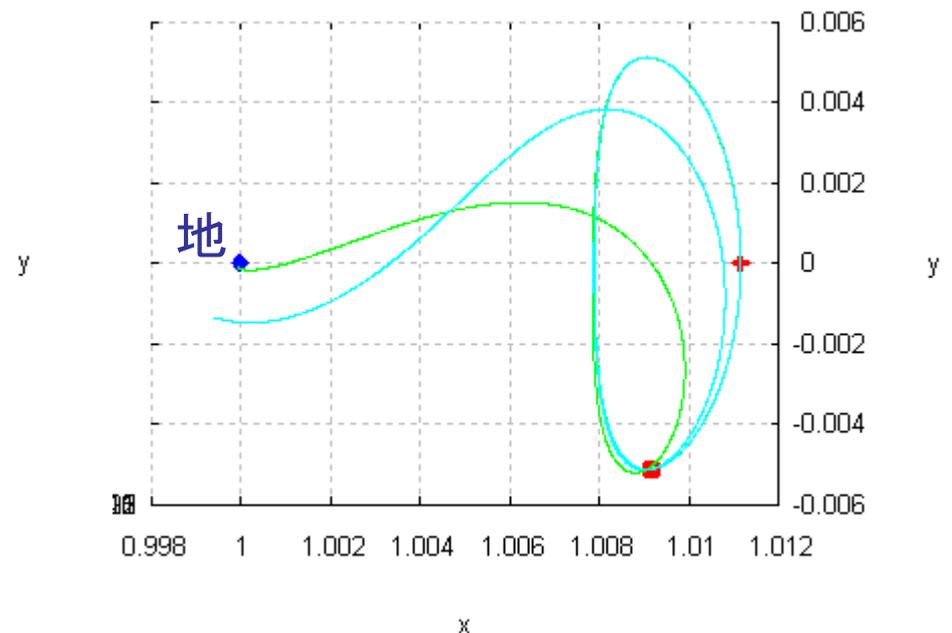
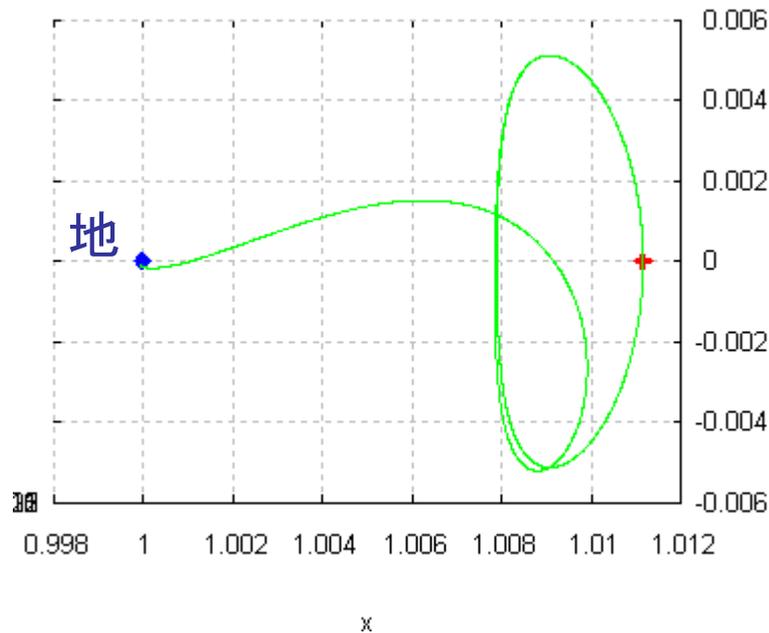


i. Stable Manifoldを用いたハロー軌道遷移が可能か？

Stable Manifoldを用いたハロー軌道遷移が可能か？

Stable Manifoldの近地点特性

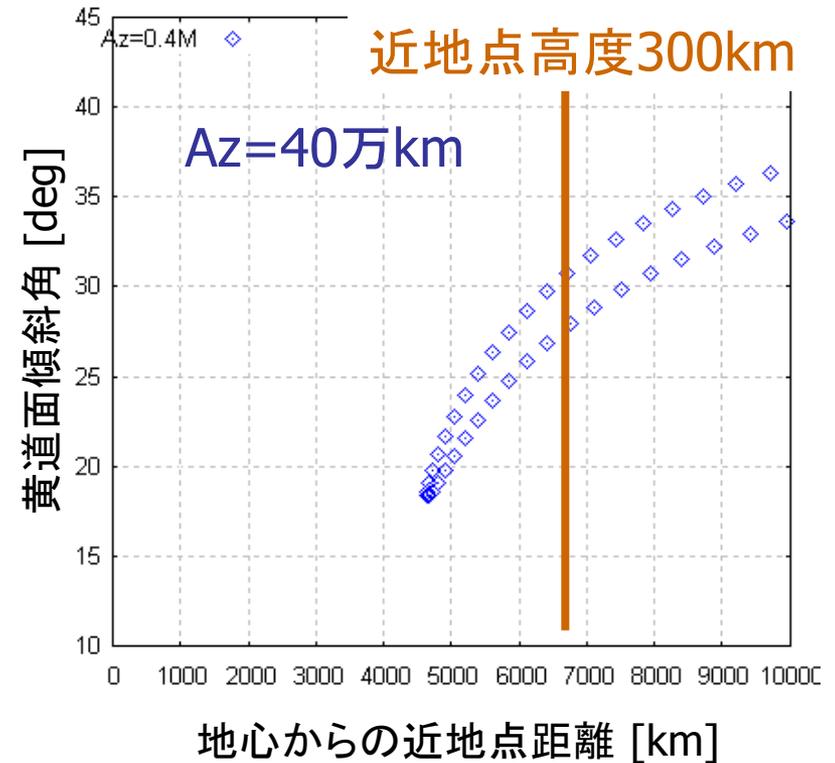
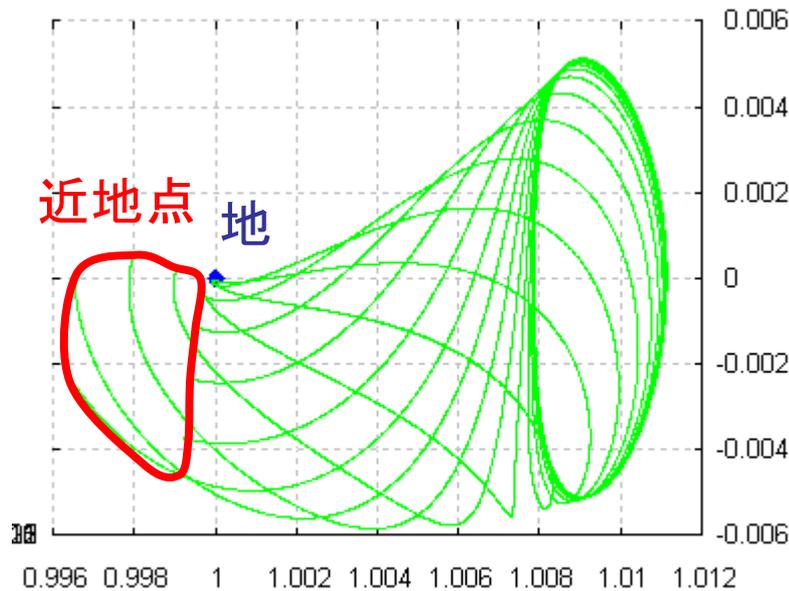
＜ハロー軌道から逆伝播させて調査＞



Stable Manifoldを用いたハロー軌道遷移が可能か？

Stable Manifoldの近地点特性

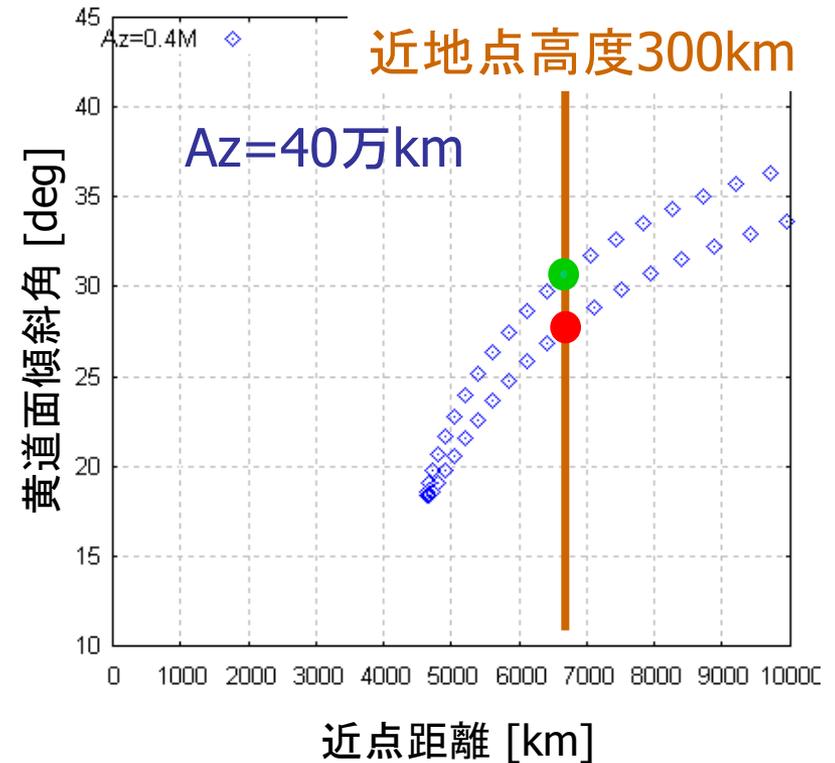
＜ハロー軌道から逆伝播させて調査＞



Stable Manifoldを用いたハロー軌道遷移が可能か？

射点・打ち上げ軌道の制約と整合(例:種子島)

<Fast & Slow transfer>

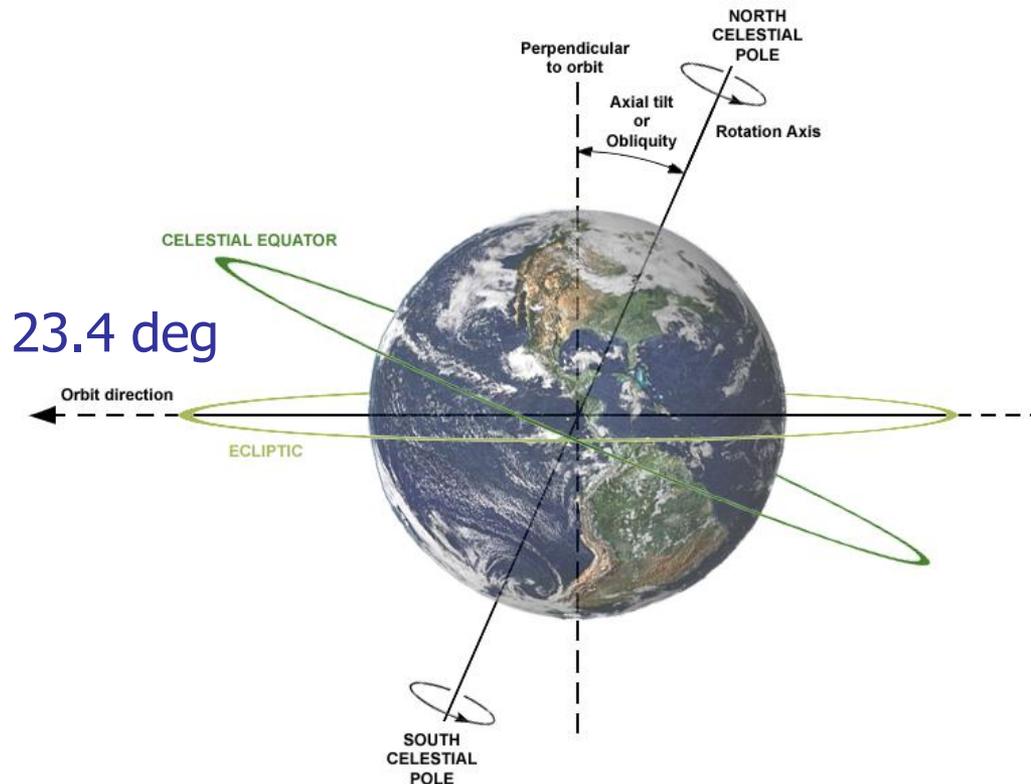


近地点高度が300km(地心距離が約6700km)になる解は2つ存在

Stable Manifoldを用いたハロー軌道遷移が可能か？

射点・打ち上げ軌道の制約と整合(例:種子島)

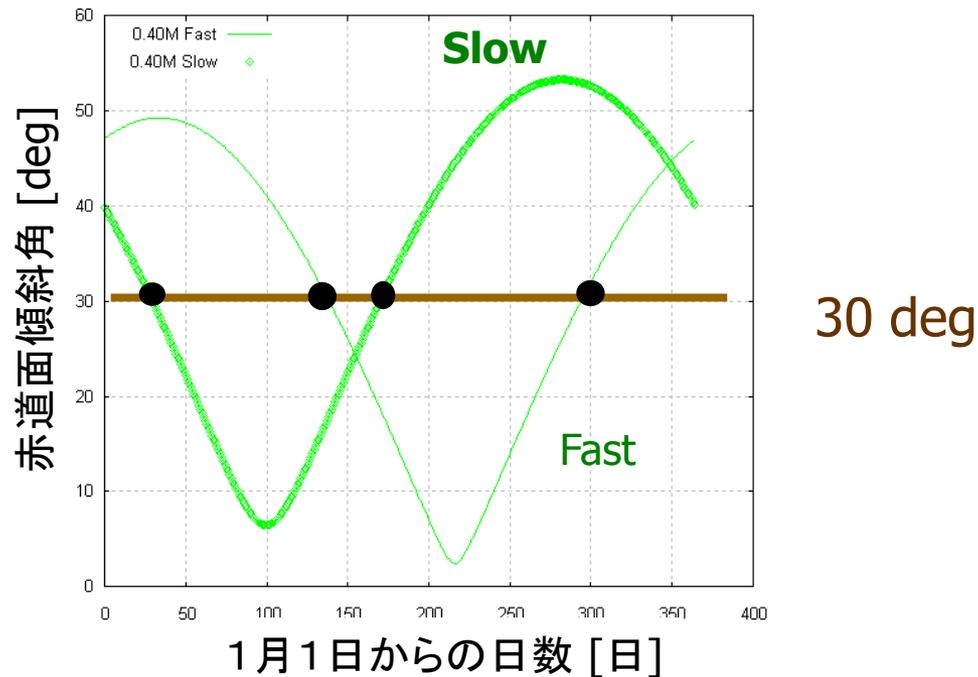
〈黄道面傾斜角 → 赤道面傾斜角〉



Stable Manifoldを用いたハロー軌道遷移が可能か？

射点・打ち上げ軌道の制約と整合(種子島)

<打ち上げウィンドウ>



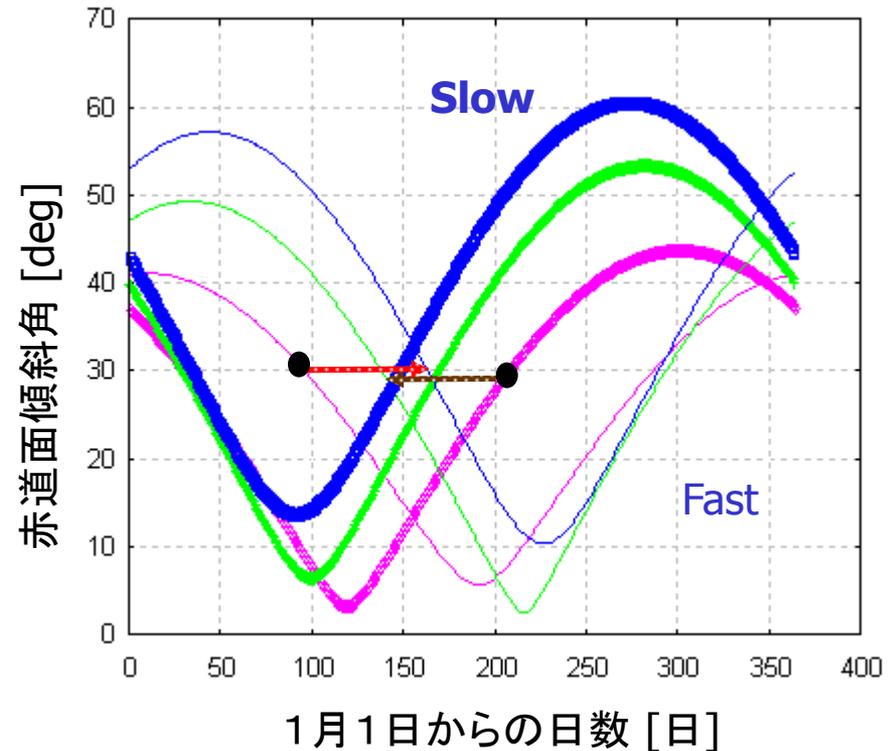
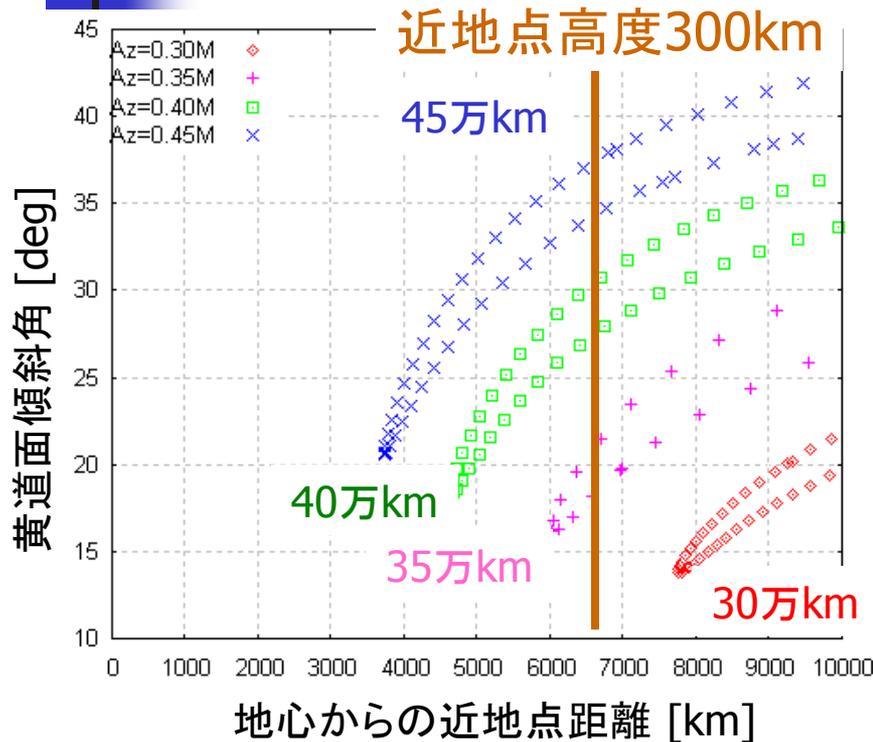
種子島打ち上げを想定した場合、赤道面に対して傾斜角30度で Stable Manifoldに投入する機会は年4回 (Fast & Slow transferで)



ii. 打ち上げ機会の拡大

打ち上げウィンドウの拡大

ハロー軌道の大きさを変更して

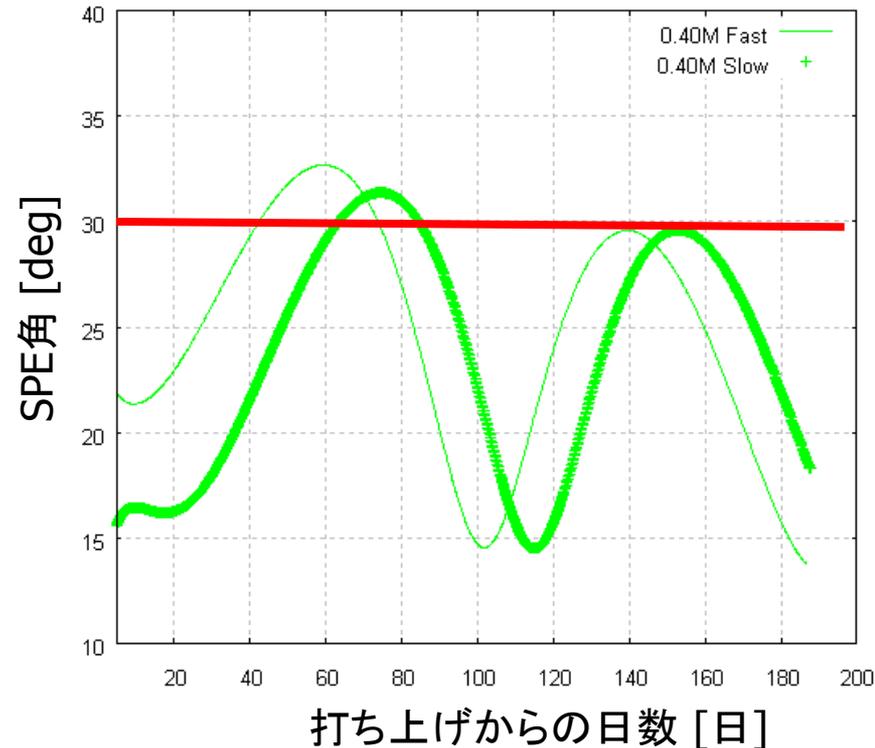
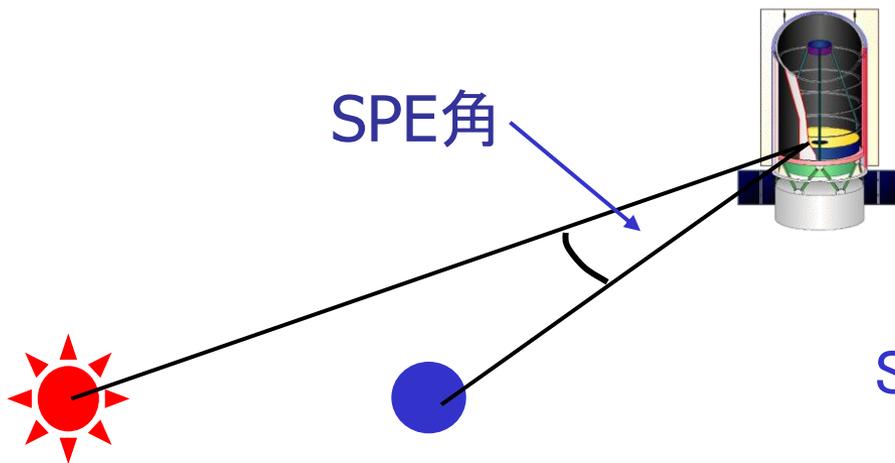


ハロー軌道の大きさを変えることで、打ち上げウィンドウが拡大

ハロー軌道の大きさを変えることの問題点

SPICAミッション要求

- ・観測上の強い制約は無い
- ・太陽電池パドル、ハイゲンアンテナの指向方向の制約から、Sun-Probe-Earth (SPE) 角に制約がある(30° 以内)



SPE角 < 約33度 (今後の検討)

結論

1. 種子島打ち上げを想定した場合、太陽-地球系L2ハロー軌道への遷移にStable Manifoldの利用が可能
2. 投入するノミナルのハロー軌道の大きさを変えることにより打ち上げウィンドウが拡大
3. SPE角は 30° よりやや大きくなる

今後の課題

1. 準ハロー軌道を使用した打ち上げ機会の拡大
2. SPE角の緩和(ミッション期間中に蝕がないリサージュ軌道の利用)

