

1 概要

2011年12月にJAXA宇宙科学研究所理学委員会において火星大気散逸探査検討ワーキンググループが発足した。**火星を周回する2機のオービター**の観測によって、**二酸化炭素と水の行方を探る**ことをミッションの目的としている。

本研究では、この2機のオービターの火星周回軌道を設計することを主な目的としている。

2 軌道要求

オービターAに対する要求

- A1 | 近火点高度 150km 付近（低いほど好ましい）
- A2 | 遠火点高度 5000～7000km
- A3 | 近火点の太陽天頂角が90度以下である期間が
ミッション期間の2/3以上

オービターBに対する要求

- B1 | 遠火点高度4～6Rm ※ Rm = 3396 km（火星半径）
- B2 | 太陽風領域にいる期間がミッション期間の**75%**以上
- B3 | 遠火点において火星地方時12～15hをリムに見る期間が、
ミッション期間の75%以上

オービターA、Bの相対位置に対する要求

- C1 | オービターAがSZA<60度、高度300～800kmである時に、
オービターBが太陽風領域からオービターAの位置のクローズアップ
撮像を行う機会が、全ミッション期間中に100回以上あること
- C2 | C1の条件成立時にオービターBの撮像の視線方向とオービターAの
進行方向とのなす角が70度以上であること

3 軌道設計

オービターBに対する軌道要求のB2を例に設計手法を説明する。設計する変数は、**軌道6要素**（長半径、離心率、軌道傾斜角、昇交点経度、近点引数、元期近点離角）から元期近点離角を除いた5変数である。オービターは火星を周回する間にさまざまな摂動の影響を受けるが、本研究では、**J2摂動**（火星が回転楕円体であるために生じる摂動）のみを考慮した。J2摂動によって、昇交点経度、近点引数、元期近点離角の3変数が**時間に比例して単調増加、あるいは単調減少**する。それら3変数の変動の大きさに、長半径、離心率、軌道傾斜角が関与する。以上のことを利用して軌道設計を行った結果を図1から図3に示す。

表1 図1の検討に用いた値

考慮期間	1 火星年
近火点高度	500 km
遠火点高度	4 Rm
軌道傾斜角	40°

表2 最終的な存在頻度	
選定	存在頻度
良さそうな点 (グリーン)	86.0%
悪そうな点 (マゼンダ)	74.2%

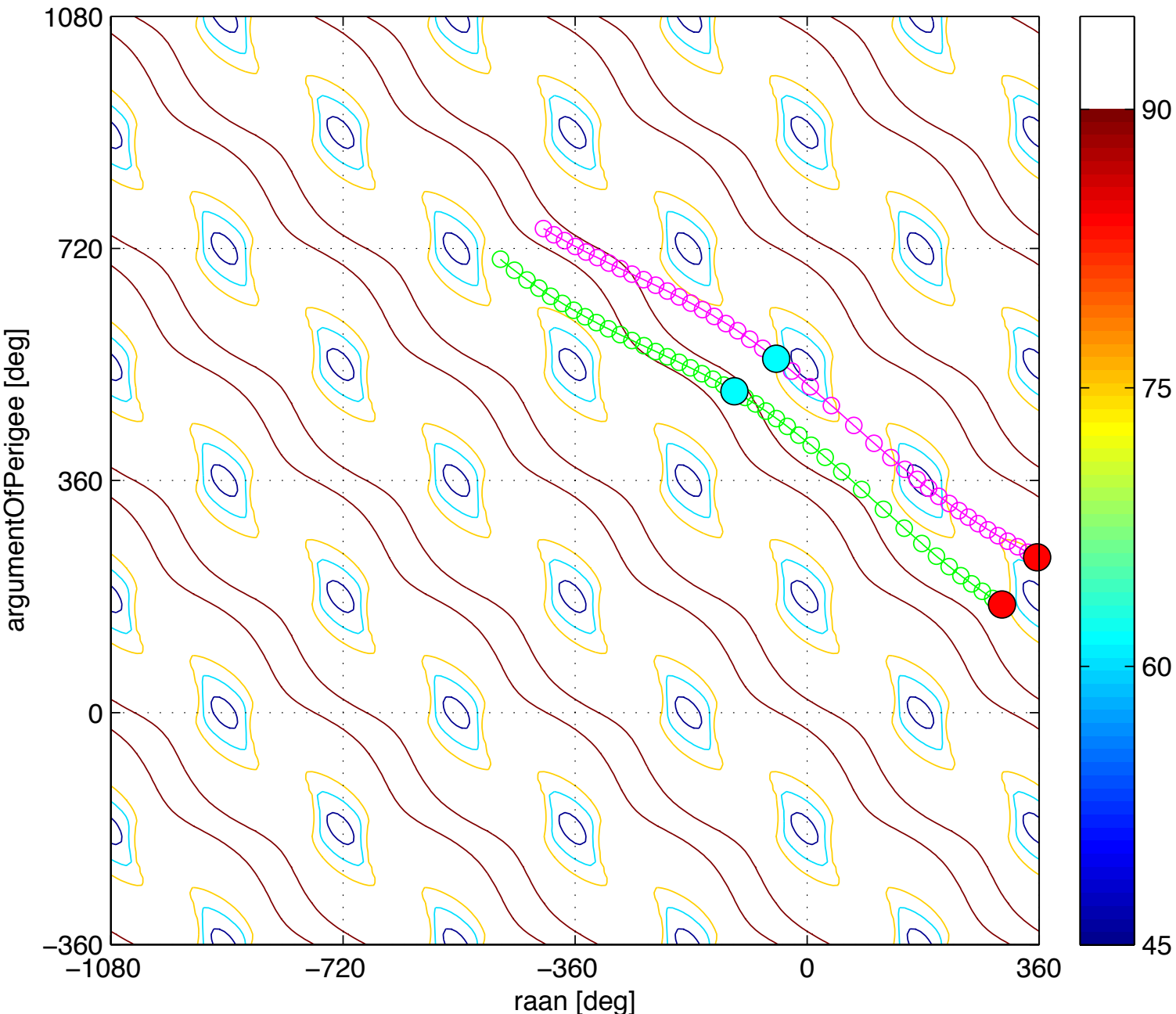


図1 昇交点経度と近点引数の変動

図1では、火星公転面基準瞬時の太陽方向固定慣性座標系における昇交点経度と近点引数を設計変数として横軸、縦軸に選び、要求B2を評価関数としてコンターで描いた。評価関数は、オービターが1周期中で太陽風領域に存在する時間をパーセント（以下、「存在頻度」と称す）で求めている。存在頻度はオービターの軌道要素が定まれば一意に決まる。グラフ中のグリーン、またはマゼンダの線と丸で描かれたオブジェクト（以下、「軌道プロファイル」と称す）はミッション期間中にJ2摂動によって時刻々変化するオービターの軌道要素の履歴を表している。赤丸がミッション開始時点、シアン色の丸がミッションが半分経過した時点をそれぞれ表している。

軌道プロファイルは、オービターの初期の軌道6要素を1組定めることで、1本だけ描くことができる。始点（赤丸）の位置は、昇交点経度と近点引数の初期値で決まり、それぞれの定義域の範囲内で自由に動かすことができる。また、軌道プロファイルの形状（向きと大きさ）はJ2摂動の変動の大きさに依存しており、始点の移動に伴ってその形状が著しく変化することはない。

図1の2つの軌道プロファイルは表1に示すミッション期間（考慮期間）と軌道要素の値を元にしている。図1を用いることでオービターの体験する存在頻度がミッション期間中でどのように変化していくかを視覚的に確認することができる。図1では、グリーンの軌道プロファイルはミッション期間通算での存在頻度（最終的な存在頻度）が高くなるように始点を選んだものであり、マゼンダの軌道プロファイルは最終的な存在頻度が低くなるように始点を選んだものである。

図1では、長半径、離心率、軌道傾斜角を固定していたが、これらの値を変動させた場合に軌道プロファイルの形状がどのように変化するかを調べた結果を図2に示す。図2では、軌道プロファイルの始点を原点に選び、近火点高度（暖色）を400kmから2000km、軌道傾斜角（寒色）を26度から154度までそれぞれ変化させた場合の軌道プロファイルの終点の位置を示している。

図2において、それぞれの近火点高度と軌道傾斜角の値において最終的な存在頻度の値がどうなるかを調べた結果を図3に示す。最終的な存在頻度は塗りつぶしコンターで示し、その値はカラーバーの値に対応する。

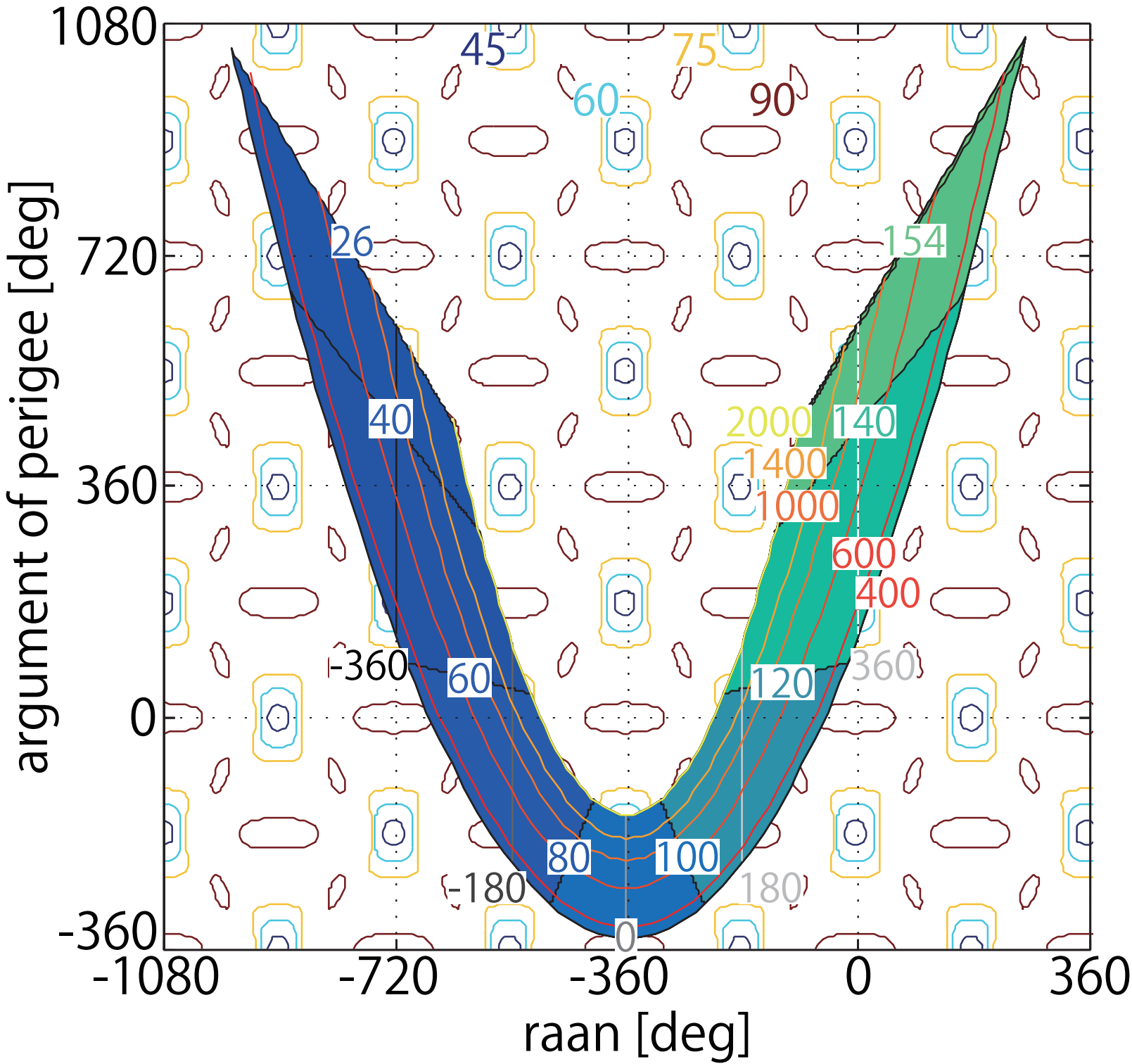


図2 軌道要素と軌道プロファイルの終点

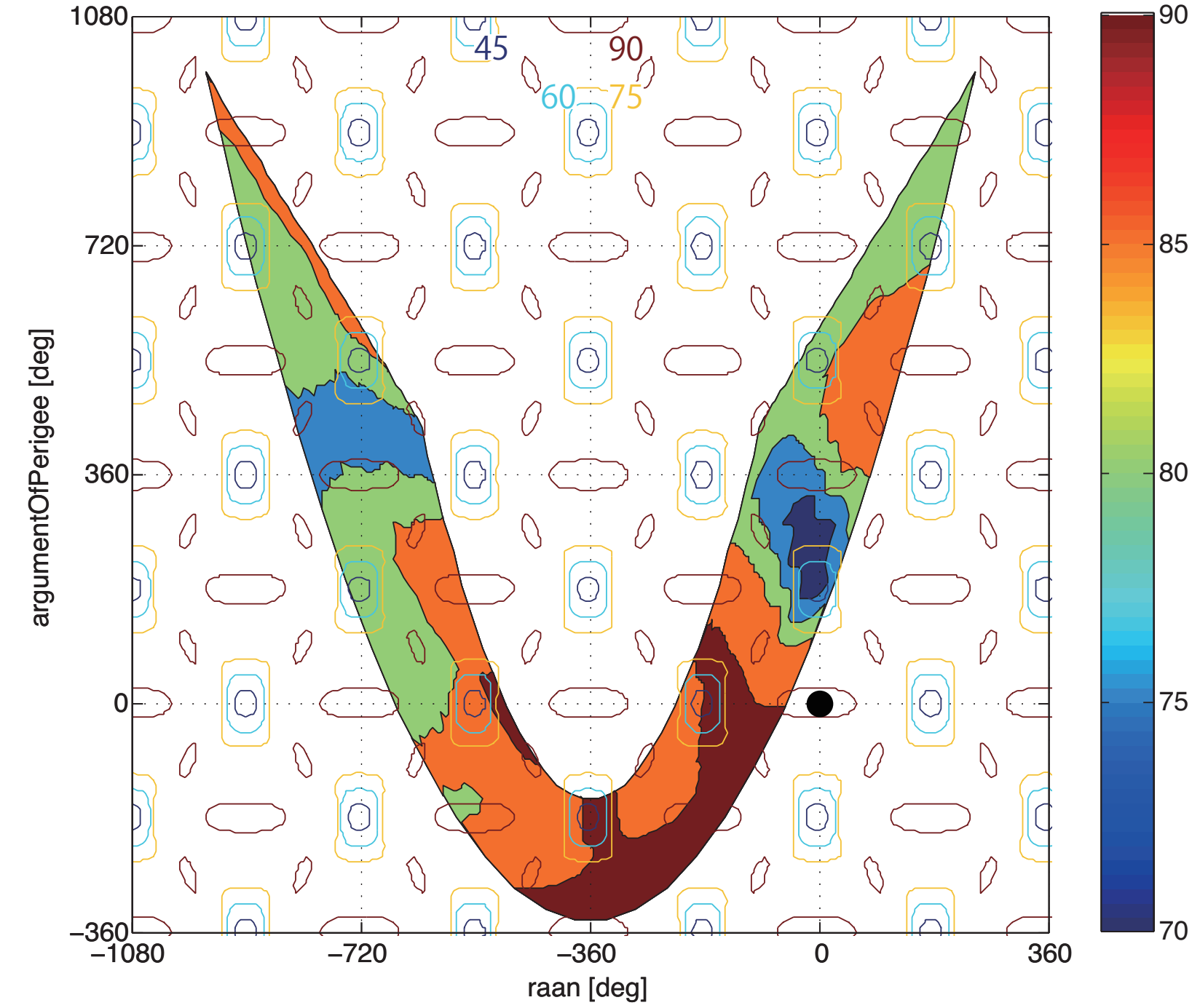


図3 最終的な存在頻度

4 結論

図1より、軌道要求を満たす昇交点経度と近点引数を視覚的に選択可能であることが示された。また、図2と図3からは**近火点高度と軌道傾斜角の軌道要求への依存性を視覚的に確認**することができた。軌道プロファイルの向きと大きさは軌道傾斜角に大きく依存しており、特に軌道プロファイルの向きがプラスX軸方向から45度、90度、135度、180度付近の値になる場合には、存在頻度の悪い領域を連続して通過してしまう可能性があるため、始点の位置に注意しなければならない。また、軌道プロファイルが短い場合には最終的な存在頻度の値の振れ幅が位置に依存して大きく変わり、長い場合には均されて80%付近の値になる傾向がある。

B2を例に説明したこの設計手法は、A3やB3にも応用が可能である。

5 課題

B2を例に説明したこの設計手法では、**軌道傾斜角が0度から25度、155度から180度までの範囲でうまく用いることができていない**。これは、火星公転面基準瞬時の太陽方向固定慣性座標系における昇交点経度と近点引数を設計変数に選んでいることが主な原因である。うまくいっていない軌道傾斜角の範囲における軌道設計が課題として残っている。