

宇宙旅行シミュレーションによる時系列スケジューリング の可変性・柔軟性の許容範囲に関する考察

磯 本 征 雄

Abstract

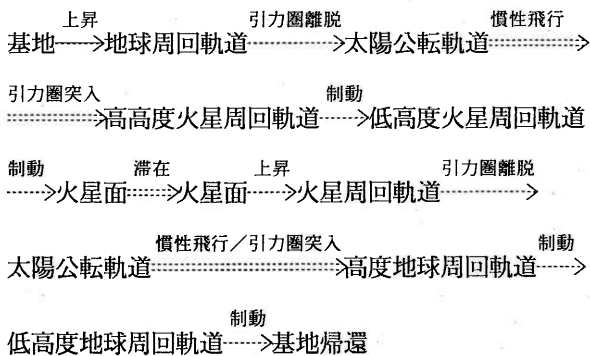
In this paper, with a computer simulation of space travel in the Solar System, the authors discuss a Mars travel schedule which is described as a series of rocket engine control. The model is defined as a series of works or events for space travel. The purpose of this work is to formulate a mathematical model of effective semiautomatic controls of rocket engine.

1. はじめに

本研究の動機は、宇宙旅行を題材とする“火星旅行シミュレーション・ゲーム”の半自動化を効果的に実現する数理モデルの定式化にある。宇宙船の軌道は、3元連立2階常微分方程式の数値解として算出される。この際にロケット・エンジン駆動のタイミングとその強さが、時系列スケジュールとして重要である。本研究では、こうした時系列スケジュールの可変性・可塑性に関して、宇宙旅行シミュレーションを事例に数理モデルを考察する。

2. 火星旅行シミュレーションのモデリング

始めに宇宙旅行の概要を述べておこう。火星旅行は、概ね次の順序で進行する：



矢印に付けられた説明は、その状態でのエンジン制御の内容である。

図1は、太陽を公転する地球と火星の軌道、及びその間を飛行する宇宙船の軌道を示す(実線楕円)。地球から火星へ、宇宙船は点線の軌道上を飛行する。この地球と火星の往復旅行には、次の4つの標準的コースがある：

- 火星長期滞在ルート (ホーマン楕円軌道)
燃料費が少ない。図1はほぼこれに相当。
- 金星重力利用ルート (スイングバイ)
時間が短く、火星滞在時間も少ない。

• 火星短期滞在ルート

火星に向け高速発進。火星滞在時間が少ない。

• マース・ダイレクト・プラン

貨物と人を別々に送る。1年強で往復。

ここでは、当面はホーマン軌道と火星短期滞在ルートをシミュレーションの対象にする。

さらに、火星旅行中に発生する次の様な異常事態を想定する：

- 未知の彗星、小惑星、流星を発見、軌道修正
- エンジントラブルで旅行行程の変更

これら事故への対応策も、ゲームを面白くする大切な要素である。

3. ゲームとしての設計思想と数理モデル

火星旅行での宇宙船の軌道は、3体問題の力学系として3元連立2階常微分方程式の数値解として計算される。この理解には高度な理論的知識を要するので、これに至る前段階の予備訓練用として、的当てゲーム、人工衛星の周回、宇宙船のドッキング、等々の21組のゲームを用意した。第2段階は月旅行であり、そして火星旅行へと進む。この過程で、宇宙旅行でのエンジン加速度の与え方が、段階を追って理解できる様にしてある。

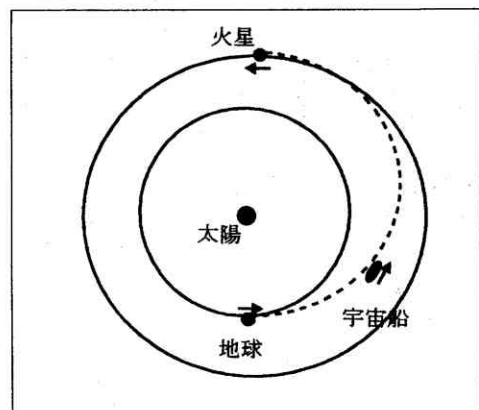


図1 地球から火星に向かう宇宙船の軌道

ゲームの要点は、宇宙船のエンジン加速度の与え方にある。エンジン制御は、次の様な語彙（位置、状況、操作）の組み合わせで決まる：

- E：位置の語彙
太陽引力圏、地球、火星
- C：状況に関する語彙
地上基地、引力圏、周回軌道、高周回軌道、低周回軌道、目標地点、火星滞在
- M：操作に関わる語彙
発進、上昇、慣性飛行、突入降下、着地、離脱、帰還

これらの語彙は、一群の数値を包括的に表す概念のファジィ集合とみなせる。火星旅行スケジュールは、ファジィ集合 $\{E, C, M\}$ の時間的並びと見れば、各々の語彙はラベルであり、時刻 t とその時点での加速度 $f_i(t)$ を台集合として、これらの可能性分布をメンバーシップ関数として解の存在区域を予め推測しておく。

宇宙旅行成功の可能性は、局所的な可能性分布 $p(i, t, f(t))$ を設け (i はスケジュール第 i 番目の制御を示す)、“燃料節約”、“時間節約”、“安全性重視”などの評価基準を指標にして、メンバーシップ関数の可能性分布から計算する。

宇宙船の加速度制御用パラメータの探索

本シミュレーションは、宇宙船の加速度 $f(t)$ の制御が、ゲームの面白さである。“ $f(t)=0$ ”の状態は、慣性飛行である。“ $f(t) \neq 0$ ”となった時に、宇宙船はこれまでの軌道を逸脱して新しい軌道に移る。星間旅行は、こうした関数の値を見つけ出す操作と等価である。

図1は、宇宙船が地球の引力圏を離脱して、しばらく太陽の引力による自由運動の後に火星に接近し、火星の引力圏に捉えられて火星の周回軌道に乗るまでに宇宙船の通った軌跡を示す。これが、宇宙船に関する微分方程式の特殊解の一つである。地球周回軌道から火星周回軌道へと乗り移る特殊解を見つけるには、ある程度の試行錯誤が必要であるが、無方針では無理があり、ある程度の論理的見通しをしなければならぬ。この観点においても、無数に存在する特殊解を数値解法で見つける作業の困難さを避けるために、前述の可能性分布のメンバーシップ関数を予め計算しておく必要がある。一連の宇宙旅行シミュレーション・ゲームの開発には、可能性分布のメ

ンバーシップ関数探索のソフトウェアの開発も考えている。

なお、宇宙旅行シミュレーションは、当然ながら時間と空間のサイズが現実の宇宙旅行とは全く異なる。そのためのスケール効果を考慮する必要がある。この議論は、ここでは割愛する。

4. 可能性分布のメンバーシップ関数

可能性分布を示すのメンバーシップ関数は、 $\{i, t, f(t)\}$ を台集合として、これによって決まる特殊解が火星旅行のためのサブゴール（周回軌道や火星接近など）を満たす可能性を値とする関数である。現段階では、様々な思考錯誤の結果を表形式で記録する方法を考えている。しかし、定式化の美しさを考えると、数式で抽象化した記述方法を考案するのが望ましいが、今後挑戦する課題である。

一般に、連立2次常微分方程式の解は、解析的には求まらず、数値計算で算出するしかない。本テーマでは、すべての解を数値計算で算出する。結局本研究では、特殊な目的に合った連立微分方程式の数値解を、効果的に算出する手法の発見方法が中心になる。

5. まとめ

宇宙は、観測や探査の対象から、人間の居住や産業の場へと変わりつつある。やがて、地上基地と宇宙船コックピット間で「周回軌道離脱」や「慣性飛行続行」などの通信が日常的になされるであろう。本研究では、そうした会話とその背後にあるシステム制御の定量的な変数を関連づけ、エンジンの自動制御と人の会話の数理的な関連性が明らかになると期待している。現在、的当てゲーム、宇宙船のドッキング、月旅行シミュレーション、火星旅行シミュレーションを取りあえずはデモンストレーション用に完成している。諸変数の特性を数値解析で明らかにして、これを宇宙旅行成功の可能性分布関数に結びつけることが、これからの課題である。

科学技術の進歩で、高度な制御を簡潔に表現する語彙が多くなった。本研究の目的の中には、こうした科学技術と言葉のギャップをファジィ理論で埋められるとの期待もある。