

# 月測位衛星放送歴の設計と性能評価

## Design and Analysis of Broadcast Ephemerides for Lunar Navigation Satellites

須藤雄哉 海老沼拓史 曾布川璃音  
Yuya Suto Takuji Ebinuma Rion Sobukawa  
中部大学  
Chubu University

### 1. はじめに

JAXA の LNSS (Lunar Navigation Satellite System) を始め、NASA の LCRNS (Lunar Communications Relay and Navigation System) や ESA の Moonlight LCNS (Lunar Communication and Navigation Services) など、将来の月探査ミッションにおける基盤技術となる月測位衛星システムの整備が計画されている。これらは、LunaNet と呼ばれる国際的な枠組みの中で、相互運用性を確保しながら開発が進められている。

LunaNet が提供する測位サービスは LANS (Lunar Augmented Navigation Service) と呼ばれており、AFS (Augmented Forward Signal) という測位信号を月面および月近傍のユーザに提供する。GPS と同様に、LANS からは衛星の放送歴 (broadcast ephemeris) などを含む航法メッセージが放送されるが、その詳細な仕様はまだ検討中であり、確定していない。

本研究では、LunaNet で検討されている放送歴の候補を調査し、その生成手法や軌道誤差などの評価を実施した。

### 2. 放送歴の生成

月測位システムの基本的な構成は GPS と類似しているものの、衛星の軌道は大きく異なる。ほぼ円軌道の GPS に対して、月測位衛星の軌道には ELFO (elliptical lunar frozen orbit) と呼ばれる楕円軌道が採用されている。さらに、月の重力ポテンシャルや、地球や太陽など月以外の天体による摂動の影響を強く受ける。そのため、GPS の放送歴のように、ケプラー軌道と数個の補正項でモデル化することは難しい。

このような月測位衛星の放送歴の候補として、基準となるケプラー軌道の補正項にチェビシェフ多項式を用いる手法が提案されている。チェビシェフ多項式は、滑らかな関数を少ない項数で高精度に近似できる最良近似の性質を持ち、限られたビット数の航法メッセージの中に高精度な放送歴を埋め込むのに適している。

本研究では、チェビシェフ多項式を用いた放送歴を、次のステップで生成している。

- 高精度な月衛星軌道モデルから生成された予測軌道に対して、放送歴の基準時刻における接触軌道要素を最小二乗法で求める。
- 接触軌道要素から計算されるケプラー軌道と予測軌道との差分を、ケプラー軌道の衛星位置における局所座標系に対する位置および速度差分に変換する。
- 局所座標系の各軸における位置および速度差分をチェビシェフ多項式で近似する。

### 3. 性能評価

図 1 に、RTN (radial, tangential, normal) 局所座標系における予測軌道とケプラー軌道との位置差分の例を示す。ここで、月測位衛星の軌道は、長半径 6540km、離心率 0.6、軌道傾斜角 56.2° の ELFO である。予測軌道の生成には、 $36 \times 36$  の月重力ポテンシャル、地球および太陽の重力加速度、太陽輻射圧を含む月衛星軌道モデルを用いている。なお、予測軌道のスパンは GPS と同様に 2 時間とした。

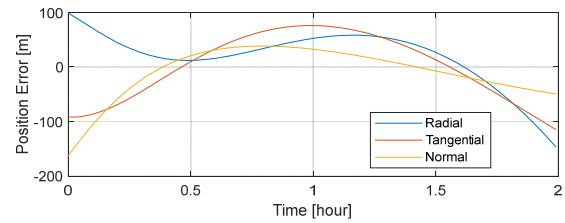


図 1：予測軌道とケプラー軌道の位置差分

図 1 に示すケプラー軌道と予測軌道との差分をチェビシェフ多項式で近似した際の近似誤差を図 2 に示す。ここで、衛星位置の近似誤差を 10cm 以下にするために必要な多項式の次数は 11 であった。なお、多項式近似のために使用した位置差分データの時間間隔は 30 秒としている。

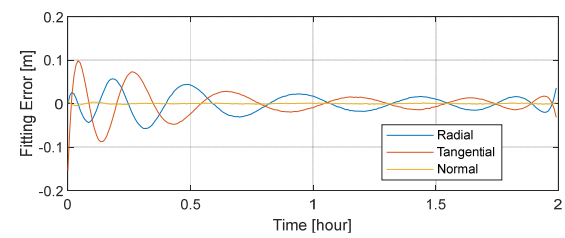


図 2：チェビシェフ多項式による近似誤差

### 4. まとめ

本研究では、月測位衛星の放送歴の生成手法の検討および軌道誤差の評価を実施した。今後は、航法メッセージのビット数に収めるための適切な多項式の次数や、予測軌道のスパン、量子化誤差などを考慮した近似誤差の評価を行う計画である。

なお、本研究は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構宇宙戦略基金事業 JPJXSSF24ME13001 の助成を受けたものである。