

# 宇宙機のフォーメーションフライト

## 1. はじめに

宇宙機のフォーメーションフライトとは、複数の宇宙機による編隊飛行のことで、単一の宇宙機では実現が困難な長基線を実現できるという利点があり、立体視、長焦点距離の望遠鏡の実現、電波方探、レーザ干渉計など多様なミッションが考えられている。またアメリカの F6 計画のように宇宙機の機能を複数機に分散させて適応的なミッションの実現をめざす例もある。本稿では、このようなフォーメーションフライトの現状について、簡単に紹介することにしたい。

## 2. 地球周回軌道でのフォーメーション

一般に宇宙機は地球の周りを周回しており、この軌道周回の周期が等しければ宇宙機間の相対距離はある範囲内に収まっている。このとき宇宙機はフォーメーションフライトを行うことができ、最も簡単には同一軌道に複数の宇宙機を配置することで達成される (In-track)。さらに各宇宙機の離心率や傾斜角などを微小量だけ変化させることでより変化に富むフォーメーションが可能になる。基準となる宇宙機の軌道が円軌道である場合には、基準となる宇宙機を中心として円を描くようなフォーメーションも実現でき、GCO (General Circular Orbit) やレコード盤軌道と呼ばれている。In-track と GCO の概念図を図 1 に示す。

このような宇宙機のフォーメーション軌道の設計には、宇宙機の相対位置の時間発展を表す状態遷移マトリクスを用いる場合が一般的であり、基準軌道が楕円軌道のフォーメーションにおいても一般的な状態遷移マトリクスが導出されている。さらに、地球の重力ポテンシャルのひずみである  $J_2$  項の影響によって、フォーメーション軌道がしだいに乱れていくことが知られているが、この  $J_2$  項の影響を考慮した状態遷移マトリクスや、それに基づくフォーメーションの初期値の補正も提案されている<sup>(1)</sup>。

## 3. 周回軌道でのフォーメーションの例

基準となる宇宙機の軌道が円軌道である場合には、In-track と GCO では、外乱の影響を無視すれば宇宙機間の相対距離は一定に保たれる。そのため望遠鏡ミッションのように相対距離を一定に保つ必要がある場合には都合がよい。JAXA と大阪大学、名古屋大学などで計画されている FFAST は、GCO を利用して 20m の焦点距離の X 線望遠鏡を実現するプロジェクトである。地球を周回する略円軌道ですでにフォーメーションの実現された例では、わが国の ETS-VII のほか、フランスの Essaim (2004 年打上げ)、ELISA (2011)、ドイツの TerraSAR-X (2007) と TanDEM-X (2010)、スウェーデンの Prisma (2010) などがある。Essaim、ELISA は電波源の方向探知、TerraSAR-X と TanDEM-X は合成開口レーダの干渉による高度情報取得を目的としている。また基準となる宇宙機の軌道が楕円軌道である場合のフォーメーションも検討されており、ESA (欧州宇宙機関) の計画する Proba-3 では遠地点側で太陽観測ミッションを行い、近地点側で軌道制御を行う計画である。

## 4. その他のフォーメーション

まだ実現はしていないが、地球を周回する宇宙機以外でもフォーメーションが考えられている。たとえば、ESA/NASA の計画している重力波検出プロジェクトである LISA では、地球の公転軌道上で地球より  $20^\circ$  離れた点を中心として 3 機の宇宙機で GCO を形成する。宇宙機間の距離を 500 万 km として、レーザ光の送受信間隔のきわめて長いレーザ干渉計を実現し、その干渉縞から重力波を検出する計画である。

さらにラグランジュ点回りのフォーメーションの例もある。太陽と地球のように中心となる天体が二つあって一方が他方の回りを公転しているときに、中心天体からの重力と遠心

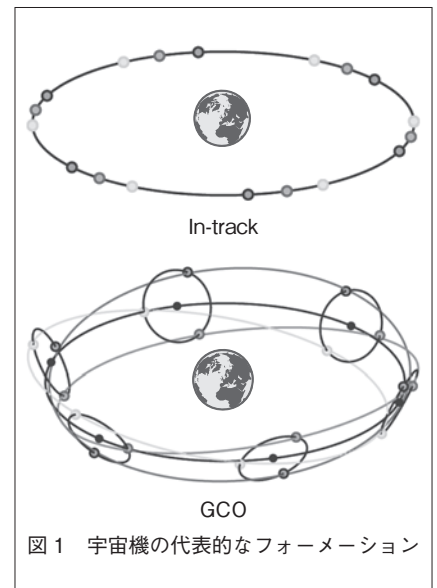


図 1 宇宙機の代表的なフォーメーション

力のつり合う点が 5 点あり、ラグランジュ点 ( $L_1 \sim L_5$ ) と呼ばれている。たとえば太陽-地球系では、地球から見て太陽と反対側 150 万 km のところにラグランジュ点  $L_2$  があるが、 $L_2$  点回りの軌道は熱的に安定しており、つねに天球の半分を観測可能なので、多くの観測ミッションが提案されている。このうちフォーメーションによる観測として、NASA の TPF-I では複数の宇宙機による赤外領域の観測を行い、地球型惑星の直接検出を目的としている。

## 5. おわりに

フォーメーションフライトでは、複数の宇宙機の協調制御や高精度な相対位置検出が必要となる。多様かつ高性能なミッションを達成できる可能性があるが技術的に解決すべき課題も多く、現在も研究開発がさかんに行われている状況である。

(原稿受付 2012 年 10 月 11 日)

〔山田克彦 名古屋大学, 吉河章二, 島 岳也 三菱電機 (株)〕

## ●文 献

- (1) 山田克彦・島 岳也・吉河章二, 進行方向に距離を保つ宇宙機の編隊飛行における相対運動の解析, 日本航空宇宙学会論文集, 57-662 (2009), 123-130.