

高精度測位技術の現状とその利用分野に関する調査 Investigation on the Current Situation of Accurate Positioning Technology and its Application

地理地殻活動研究センター 神谷 泉・小白井亮一
Geography and Crustal Dynamics Research Center Izumi KAMIYA, Ryoichi KOJIROI

要 旨

GPSに代わる、あるいはGPSを補完する測位衛星システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）等としてグロナス、ガリレオ計画、準天頂衛星計画、成層圏プラットフォーム計画、局所的な測位技術としてシュードライトを取り上げ、技術の状況を調査した。また、いつでも、どこでも高精度な測位が可能という条件下での測位技術の利用について調査した。

1. はじめに

地理地殻活動研究センターと地理調査部は、平成14～16年度の3年間において、特別研究課題「都市再生のための精密三次元空間データ利用技術の開発」を実施している。この研究課題は、大きく分けて2つの課題からなっており、それぞれの概要は次のとおりである。

- 1) 数値地図2500レベルの地盤高データである精密三次元空間データベースを整備し、データを提供すること
- 2) 都市域において、“高精度で、いつでも、どこでも”測位できる技術に関する調査及び検証実験等を行うこと

地理地殻活動研究センターでは、このうち2)の課題を担当している。

この課題について、平成14年度は、「研究目的の要件を満たす測位技術の調査」「当該測位技術の利用分野の調査」「最新のDGPSシステム（「スターファイヤー」や「オムニスター」など）の検証実験」「ハイブリッドシステム（GPS+ジャイロ）の検証実験」「ハイブリッドシステムを使った地理情報取得システムの基本設計」などを実施した。

本小論は、これら成果のうちのいくつかを報告するものである。具体的には、研究目的の要件を満たす測位技術の調査と測位技術の利用分野の調査で得られた結果を紹介する。

まず、“高精度で、いつでも、どこでも”という、研究目的の要件を満たす測位技術の調査においては、GPSを補完する衛星測位等の現状や課題、あるいは今後の計画について、現時点での情報をレビューした。このような情報は、都市域における今後の高精度測位を考察する上で出発点となるものであり、また測量技術者にとっても有用性の高いものである。このため、本小論の前半において、この調査結果に

ついて報告する。

一方、カーナビゲーションや地殻変動検出の例を挙げるまでもなく、GPSの利用は、その本来目的である「測位（ナビゲーション）」、そして測量分野において著しく普及している。さらに、最近の傾向としては特定の利用分野における利用の先進化とその普及だけではなく、利用分野自体の拡張も顕著である。そこで、測位技術の利用分野の調査においては、一般的な調査のほか、農業分野、ユビキタス分野、ナノテクノロジー分野、防災分野について、「各分野の市場規模や今後の展開」といった背景的な事柄から、「測位技術の利用の方向性やアイデア」といった利用の将来像に至るまでを、専門家へ聞き取りを交えつつ調査した。本小論の後半においては、この調査結果の概要について報告する。

2. 高精度測位技術の現状

都市域において、“高精度で、いつでも、どこでも”測位できる技術を調査するには、GPS以外、特にGPSを補完できるような衛星測位やそれに準じる技術の現状と将来計画を把握することが第一歩となる。

全地球をサービスの対象とした衛星測位（計画段階を含む）として、GPSのほかには、グロナス（ロシア）とガリレオ計画（欧州）がある。GPSを含め、このような全地球的な衛星測位システムは、GNSS（Global Navigation Satellite System）と呼ばれている。

衛星測位には、サービスの範囲が地域的なものも計画されている。準天頂衛星計画（日本）は、アジア・オセアニア地域を中心とした地域での利用を想定したものである。

衛星測位に準じる技術として、成層圏プラットフォーム計画（日本）、シュードライト（アメリカ）などが挙げられる。このうち、特にシュードライトについては、地上設置型のものであり、実用化されれば測位サービス全般へのインパクトは大きい。

今回の調査では、グロナス、ガリレオ計画、準天頂衛星計画、成層圏プラットフォーム計画、シュードライトについて、その概要や最近の動向などを調査した。以下に、この調査結果に基づいて、これらの技術や計画などを紹介する。

2.1 グロナス（GLONASS）

グロナス（GLONASS：GLobal NAvigation Satellite System）は、ロシア連邦国防省が運用す

るGNSSであり、当初は軍事目的で開発された。しかし、米ソ冷戦終了後の1995年にロシア連邦政府の決議により、民生用としても活用されることとなった。現在は、軍民両用のシステムとして運用されている。

ロシア連邦政府は、衛星の新規打ち上げや改良型の新衛星の開発に関して、それらを維持するための予算的な措置をとることをすでに固めているとされ、今後も進展が見込まれるGNSSとなっている。

2. 1. 1 これまでの経緯

グロナスの開発は、米ソ冷戦時代であった1970年代に旧ソ連軍によって始まったとされる。

旧ソ連は、1982年2月に国際電気通信連合、無線通信部門 (ITU-R) に対してグロナスで使用する周波数の申請を行った。そして、同年10月に第1号機が打ち上げられた。

グロナス整備の第一段階 (1983-1985年) では、軌道上に4~6個の衛星が配置されて、各種の試験や実験、さらにはシステムの設計の改善がなされた。

第二段階 (1986-1993年) には、軌道上に12個の衛星が配置されて、システムの初期運用が行われた。

第三段階 (1993-1995年) において、完全運用に必要な、合計24機の衛星 (21機が実運用、3機が予備配置) が配備された。1995年に、この配備が完了して、本格運用されるようになった。なお、衛星は大型ロケットにより一度に3機ずつ打ち上げられている。

ところが、グロナスの衛星の設計寿命は3年と短く、またロシアの財政事情から打ち上げの継続が困難となり、このため、この後徐々に稼働衛星数が減少した。1997年初めには稼働衛星が19機、1998年には12機となったといわれている。1998年12月と2000年10月に、それぞれ3機ずつ追加の衛星が打ち上げられた。しかし、2001年末までに1995年までに打ち上げられた衛星がすべて休止し、一時は正常稼働の衛星が追加打ち上げの6機までへと減少した。この後、2001年12月と2002年12月に、それぞれ3機ずつ追加の衛星が打ち上げられ、2003年最初の段階においては、10機程度の衛星が稼働することとなった。なお、同年11月現在、8機が正常稼働している (2003年12月に新たに3機打ち上げられ、2004年2月現在このうち2機が稼働し、合計10機が使用可能である)。

2. 1. 2 最近の動向

現在の衛星の打ち上げペースとその設計寿命では、正常稼働している衛星が数機から10機程度に限られ、グロナスだけでは十分な測位ができない状態に陥ってしまっている。このような状況を改善するために、2001年8月、ロシア連邦政府は、改良型の

グロナス衛星の打ち上げを含む、2002~2011年間のGNSS開発計画を策定した。

この計画では、設計寿命7年以上のグロナスM衛星 (GLONASS-M)、及び設計寿命10年以上でかつ小型化 (従来型の半分の重量) したグロナスK衛星 (GLONASS-K) を開発して打ち上げるとされている。これらの開発と打ち上げは順次行われ、まずは合計18機の従来型衛星とグロナスM衛星を配備し、その後合計24機のグロナスM衛星とK衛星の配備を目指すとしている。

当初、グロナスM衛星は2002年中に打ち上げられる予定であったが、その開発は遅れているようである。2003年の秋にも2つの従来型衛星とともにグロナスM衛星が打ち上げられる予定との報道もある。

グロナスK衛星については、2004年中に衛星の飛行テストが行われるとされており、2005年の打ち上げを目指している。

2. 1. 3 グロナス・システムの概要

グロナスの衛星は、24機配置された場合、軌道高度約19,000kmの64.8度の傾斜角を有する3つの軌道面に等間隔で配置することになっている。傾斜角が大きい (GPSの場合55度)、つまり極軌道により近いのは、高緯度地域での測位を考慮したためといわれている。

測位電波の周波数帯は、1250MHz付近と1610MHz付近の2つの範囲のものをを用いている。このうち周波数1610MHz付近の電波が全世界のユーザに無償で提供されている。グロナスに特徴的なのは、衛星の識別のために衛星ごとに異なる周波数の電波が送信されていることである。このため、搬送波による干渉測位をグロナスで行う場合、受信機側での処理が複雑になる。

グロナスのみによる、コードを使った単独測位の精度は、GPSよりも低く、水平位置精度で30~80m程度である。グロナスには、故意に位置測位の精度を劣化させる機能 (GPSのSA) はないとされている。

地上システムは、モスクワ近郊にあるシステム制御センター (SCC: System Control Center) とロシア全土の数カ所に配置された、監視・追跡・制御局 (TT&C: Telemetry, Tracking and Control Station) から成る。ここでは、衛星の運行状況の監視、衛星の軌道要素 (暦) の計算、そして制御コマンド、航法データなどの生成・送信が行われている。なお、グロナスの衛星軌道情報は、WGS-84ではなく旧ソ連独自の座標系で与えられるため、使用目的に応じて座標変換する必要がある。

2. 1. 4 GPSとの併用

グロナスの衛星数がかなり減少している現在、そ

れ単独で用いるよりも、GPSを補完した形での利用が注目されている。つまり、衛星捕捉数の面で障害のある「場所」や「時間帯」を最小限にするために、グロナスを使うのである。

高緯度の海上（北海）において、捕捉数とDOPについて、「GPSのみ」と「GPS+グロナス」の場合を比較調査した最近の事例がある（Thales GeoSolutions (2002)）。これによると、GPSのみの場合、4衛星以上という制限ぎりぎりの状態まで捕捉数が落ちるとともに衛星の幾何学的な配置も悪くなった時間帯が認められた。その一方で、グロナスを併用した場合には、24時間、7衛星より多く捕捉することが可能であると報告されている。

「GPSのみ」と「GPS+グロナス」の比較について、陸上でのキネマティック測位（車両に受信機を搭載した走行実験）で検証した事例もある（奥田邦春ほか（2002））。これによると、GPSのみの場合では測位率は73.2%だったのに対して、グロナスを併用すると、89.4%に向上するとされている。つまり、グロナスを併用することにより、建物等による衛星の遮蔽の影響を軽減できるのである。

グロナスを併用すると、測位精度も向上するとされる。例えば、干渉測位の場合で、両者を比べたとき、解析結果の標準偏差が0.6~0.7mmから0.3mm~0.6mmに向上したとの報告がある（藤井（2000））。コードを使った測位の精度も向上するとされている。

グロナスの場合、その軌道の特徴から、日本、欧州といった中高緯度地域に対して最適な飛行コースを取っている。このため、今後、新型の衛星群が計画どおりに配置されれば、測位に利用できる衛星数が飛躍的に増大すると考えられる。

2. 2 ガリレオ (GALILEO) 計画

ガリレオ計画は、欧州連合 (EU : European Union) と欧州宇宙機関 (ESA : European Space Agency) によって推進されている、ヨーロッパ独自のGNSS計画である。この計画は中世ヨーロッパの天文学者ガリレオ・ガリレイの名に因んで命名された。

ガリレオ計画は、GPS、グロナスとは異なり、完全な民生のシステムとして推進されており、自動車・船舶・航空機のナビゲーション、農業漁業開発、資源探査、救難救助など、幅広い用途での利用が考えられている。この計画の実現により、年間400億ユーロの経済効果と10万人程度の雇用創出が見込まれている。順調にいけば、2008年には実用に供される。

2. 2. 1 これまでの経緯

欧州連合によるGNSS計画は1994年にさかのぼる。この年の12月、GNSSへのヨーロッパの貢献に関する決議が採択された。これに基づき、GNSS-1

及びGNSS-2という2段階に分けて、今後GNSSを開発するという、欧州連合の戦略が確認された。

GNSS-1の段階では、EGNOS (European Geostationary Overlay Service) と呼ばれる、静止通信衛星を介した広域のGPSやグロナスの補正情報 (GPSでいうDGPSの補正情報) を送信するシステムを開発して実用に供することとし、そして次の段階であるGNSS-2において、欧州独自の衛星航法システムを開発することになったのである。

GNSS-1で開発されるEGNOSは、インマルサットなどの3機の静止通信衛星と地上局からなるシステムである。このシステムによって提供される補正情報を使うことで、GPS測位の精度が2m程度まで向上するとされている。2000年までにシステムのプロトタイプが完成して、このレベルでの精度で測位できることが確認された。2003年4月には、本格運用のためのシグナル転送テストが始まり、順調にいけば、2004年初頭には、EGNOSのサービス開始が見込まれている。

GNSS-2については1998年に具体化が進んだ。この年の1月、欧州連合は、「全欧州測位およびナビゲーション・ネットワークに向けて」と題する文書を公表し、同年3月、これが欧州連合閣僚理事会において採択された。この文書では、GNSS-1として、EGNOSが開発されている一方でGPS、グロナスともに本来軍用目的であり将来にわたっての継続性・安全性などの面に問題があることを指摘した。そして、GNSS-2では関係国との協力を模索しながら、欧州単独によってGNSSを開発することを確認した。

1999年2月、ついに「ガリレオ：新世代衛星ナビゲーションサービスへの欧州の参画」と題する文書がまとめられ、同年7月に欧州連合において決議された。このような過程を経て、「ガリレオ」と命名された、GNSS計画が世に出ることとなった。さらにこのとき、ガリレオ計画は次の開発段階と期間を経て実用化されることが決まった。

- 1) 概念設計段階 (Definition Phase) : 1999-2000年
- 2) 開発段階 (Development Phase) : 2001-2005年
 - ・宇宙、地上局、ユーザ各部分の詳細な確定
 - ・衛星、地上局の各部分の開発
 - ・システムの軌道上 (in-orbit) 確認
- 3) 配置段階 (Deployment Phase) : 2006-2007年
 - ・衛星の開発と打ち上げ
 - ・地上局の完成
- 4) 運用段階 (Operating Phase)
 - ・センターの運用、衛星更新、維持

1999年12月、ガリレオ計画の概念設計段階が開始され、2000年には欧州連合と欧州宇宙機関によって、さまざまな面（サービスの種類と範囲、システムの基本設計、開発計画、コスト評価、安全管理、他シ

システムとの競合など)における検討がなされた。この結果、2000年11月には、欧州連合による文書、同年12月には欧州宇宙機関による定義報告書(ESA Definition Report)が公表された。2001年4月、次の段階へ移行することが決定された。

この後、欧州連合は当初開発費として、5億5千万ユーロを予算計上したが、欧州各国の開発路線の対立、欧州連合の財政難、さらにはGNSSの主導権をめぐる米国との対立などのため、ガリレオ計画の行く先に不透明感が漂った。

2. 2. 2 最近の動向

上記の諸事情によりガリレオ計画の進捗が一時危ぶまれたが、2002年3月にバルセロナで開催された、欧州連合首脳会議において計画の推進が合意された。その後も引き続き関係各国間での調整が継続され、ついに2003年5月、ガリレオ計画を始動することに対して、欧州宇宙機関加盟15カ国は最終合意に達した。これを受けて、「ガリレオ共同事業体(Galileo Industries)」がミュンヘンに設立されることになった。また、これら各国の出資の分担割合も決まった。主要出資国は、ドイツ、イタリア、フランス、英国で、総開発費は、32~36億ユーロと見込まれている。

最近注目された動向として、ガリレオ計画への中国の参加がある。2003年9月、この参加について欧州連合と中国との間で基本的な合意に達し、同年10月には正式に調印された。報道によると、中国がガリレオ計画に約2億ユーロ投資することになったという。中国以外では、インドやイスラエルなどがガリレオ計画への参加を表明しているとされる。

2. 2. 3 衛星システムと測位サービス等の概要

ガリレオ計画の衛星や測位等サービスの概要については、概念設計での検討を経て提案されている。

衛星の配置については、それぞれ56度の傾斜角を有する3つの軌道面に総数30機(うち3機は予備)の衛星を等間隔で配置することになっている。各軌道面には9機の稼働機と1機の予備機を配する。軌道高度は約23,600kmの中高度(MEO: Medium Earth Orbit)である。衛星には、ナビゲーション関係機器(原子時計などのデリケートな機器を含む)と“捜索・救助(SAR: Search And Rescue, 後述)”のためのトランスポンダー(電波中継器)が搭載されている。

計画されている測位の精度は、提供されるサービス(後述)によって異なるが、コードを用いた場合、水平位置で4m程度と考えられている。また、3つの搬送波を使えるようすることで、干渉測位での初期化が非常に短時間に行えるとされている(TCAR: Three Carrier Ambiguity Resolution)。

他のGNSSとの関係を見ると、ガリレオ計画のシステムは、GPSやグロナスとは独立したものであるが、相互に互換性があり、相互運用が可能なことを目指している。したがって、都市部などにおいては、GPS、グロナスを補完するものとして活用できるだろう。なお、概念設計における衛星配置状況からすると、最低仰角を15度とした場合、ガリレオの衛星の最大可視数はほぼ9機であり、GPSのそれである8機と合わせると、最大17機の測位衛星を望めるようになると思われる。

ガリレオ計画では、今のところ、次の測位等のサービスを想定している。

(1) 公開サービス(OS: Open Service)

無償で利用できる測位や時刻同期のサービスである。一周波のコード測位の場合で15m程度(水平)、35m(垂直)、二周波の場合(電離層補正可)で4m程度(水平)、8m(垂直)の精度を想定している。カーナビゲーションや携帯電話の位置特定などに利用できる。なお、GPSとの併用により、二周波のコード測位で3~4m程度(水平)、6~8m(垂直)に精度が向上するとされる。

(2) 商用サービス(CS: Commercial Service)

商用サービスは、公開サービスに付加価値を付けたもので有償である。付加価値データ(暗号化されている)の利用やTCARを使った高精度測位(10cm以内の精度)などが可能とされる。

(3) 安全と生命に関わるサービス(SoL: Safety of Life Service)

航空機、船舶などのナビゲーション専用に使われるサービスであり、利用は制限される。航空機のアプローチ時など(Critical level)における測位精度は、水平、垂直でそれぞれ4m、8m程度とされる。外洋での航海時など(Non-critical level)では、水平位置で220m程度の精度で測位できる。このサービスとEGNOSを組み合わせることにより、より正確なナビゲーションができるとされる。

(4) 政府規制サービス(PRS: Public Regulated Service)

欧州連合と各国政府の制御下にある用途に対する、高いセキュリティ下での継続ある専用サービスである。具体的には、警察、緊急・救急、民生保護などの公共サービスや重要なエネルギー、運輸、電気通信などのサービスが該当する。測位精度は、水平、垂直でそれぞれ6.5m、12m程度とされる。

(5) 捜索・救助サービス (SAR/Galileo : Search And Rescue)

遭難に際して、遭難メッセージと応答メッセージをやり取りするシステムである。遭難信号の位置特定は、ガリレオ・システムの提供する信号とデータに基づく。

以上が2002年9月にまとめられた“Mission High Level Definition”で記述されたサービスの概要であるが、今後、プロジェクトの進捗にともなって変更されることも考えられる。

最後に、ガリレオ計画で使用が予定される衛星からの電波の周波数帯について紹介する。2000年の国際電気通信連合、世界無線通信会議(WRC, 1992年設立)の決定を踏まえてガリレオ計画には多くの周波数帯が割り当てられた。現在のところ、各測位サービスに対して、次のような周波数帯の割り当てが考えられている。

公開サービス (OS) : E5a-E5b帯 (1164~1215MHz) 及びL1帯 (1559-1591MHz)

商用サービス (CS) : E5a-E5b帯及びE6帯 (1260~1300MHz)

安全と生命に関わるサービス (SoL) : E5a-E5b帯及びL1帯

政府規制サービス (PRS) : E6帯及びL1帯

2. 3 準天頂衛星計画

2. 3. 1 概要

準天頂衛星システム (QZSS : Quasi Zenith Satellite System) は、3個の衛星を一組として運用し、日本及び同一経度帯のアジア・オセアニア地域の天頂付近 (高仰角) に常時1機以上の衛星が存在するようにしたシステムである。高仰角の衛星は、都市部において建物等による遮蔽を受け難く、高品質大容量の移動体通信 (数Mbps)、放送、GPS補強等の用途で有効と考えられている。

静止衛星の軌道面は赤道面に一致するが、これを45度程度傾けると、衛星の軌跡は、地上で8の字を描くようになる。この軌跡に3機の衛星を均等に配置すると、日本の主要地域では、常に70度以上の仰角の衛星が存在することになる (図-1)。これが、基本的な準天頂衛星の軌道であるが、遠地点を日本上空付近とする楕円軌道を採用することにより、衛星の日本上空の滞在時間を延ばすとともに、仰角を上げる案も有力である。地上軌跡は、南北非対称の8の字、あるいは涙滴型となる。非対称の8の字の場合、地上軌跡の交点付近で衛星の切り替えを行うことができ、通信での衛星の切り替えに特別な仕組みの必要がなくなる。なお、楕円軌道の採用は、南半球における利便性を犠牲にすることになる。

測位においては、衛星の遮蔽を避けるため、準天

頂衛星のメリットが高いが、通信 (特に移動体通信) においては、以下のようなメリットがある。①静止衛星 (東経130度の静止衛星で、東京での仰角48度) とくらべると、高仰角であり、衛星が遮蔽されにくい。②通常の極軌道衛星とくらべると、衛星追尾機構が簡素化できる (場合によっては、無追尾アンテナが利用できる)。③大気圏を通過するパスの長さが短くなるため、降雨による電波の減衰が少ない。④マルチパスの影響が少ない。

2. 3. 2 これまでの経緯と今後の予定

準天頂衛星システムは、日本経済団体連合会の提言「宇宙利用フロンティアの拡大に向けたグランド・ストラテジー」(2001年7月)に端を発し、総合科学技術会議が、「今後の宇宙開発利用に関する取り組みの基本」(2002年6月)において、「固定衛星通信の超高速化とともに、衛星を複数組み合わせ、質の高い移動体通信と測位情報の提供が可能となる準天頂衛星システムの開発・整備を、産官の連携の下に推進する。推進に当たっては、関係の産官から成るプロジェクトチームを設置し、新たなビジネス機会の創出による経済の活性化と、国民生活の質の向上を目指す。」との意見を提出したことにより、実現に向けて歩みだした。2002年11月には、産側の受け皿として、新衛星ビジネス(株)が発足した。官側は、文部科学省、総務省、経済産業省、国土交通省が担当する。

準天頂衛星システムの開発方式は、欧州連合のガリレオプロジェクトで用いられている官民共同開発 (PPP : Public Private Partner) 方式である。運用時においては、事業者が公共サービスの運営・管理を官側から委託されるPFI方式 (Private Finance Initiative) となる。官の分担範囲は技術開発、軌道上実証、技術開発の支援、民の分担範囲は事業化である。必要な経費は1,700億円と見込まれ、そのうち880億円を国が、残りを民間が負担する予定である。2004年度に、新衛星ビジネス(株)が事業化の判断を行う。仮に事業化しないと判断となった場合でも、官のみで測位専用の衛星を打ち上げるという選択肢は残る。衛星の打ち上げは、1号機が2008年度、2、3号機が2009年度前半の予定である。

2. 3. 3 測位への応用

準天頂衛星は、GPS衛星と同じ周波数、コードを用いることになっており、ファームウェアの修正のみで既存のGPS受信機を利用できると予想される。従って、天頂付近に常時滞在するGPS衛星が追加されるのと、ほぼ同じ効果を有する。可視衛星数の増加とともに、DOPの向上による測位精度の向上も見込まれる。また、準天頂衛星から補正情報等を放送

することができ、DGPS等に活用できる。

3次元建物データを使用した東京都千代田区を対象とした補足衛星数のシミュレーションが行われた(図-2)。道路面において4機の衛星を補足できる

割合は、準天頂衛星システムの導入により59%から82%に、キネマティック測位に必要な5機の衛星を補足できる割合は、33%から67%に向上すると予測された(総合科学技術会議2002b)。

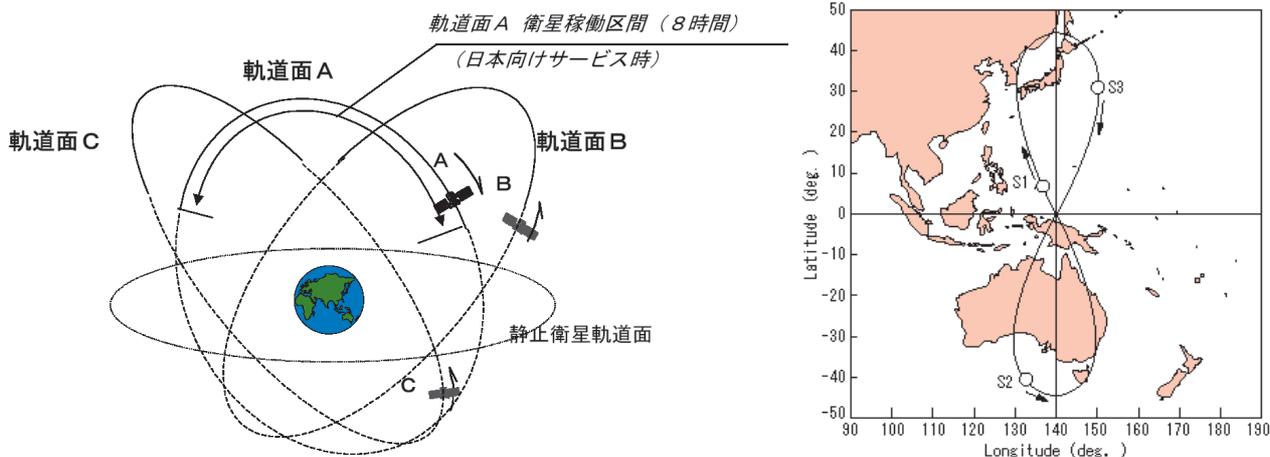


図-1 準天頂衛星の軌道(左)と地上軌跡(右)

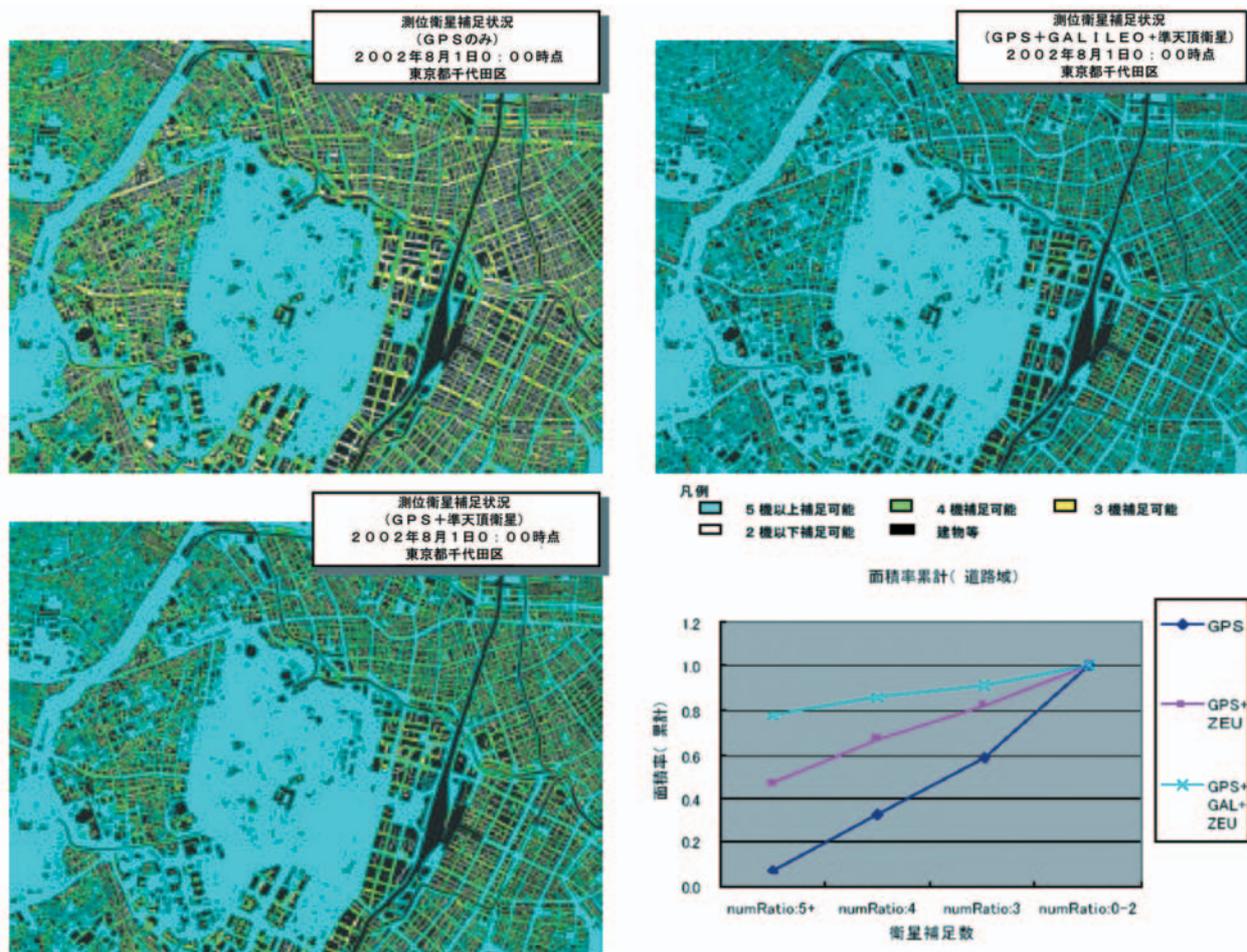


図-2 準天頂衛星の追加による測位可能地域のシミュレーション(総合科学技術会議2002b)

2. 4 成層圏プラットフォーム計画

2. 4. 1 概要

成層圏プラットフォーム（SPF：Stratospheric Platform）は、成層圏に滞留させる無人飛行船等の飛行体である。主として、通信・放送の中継基地としての利用が検討されている。成層圏（10～50km）は、その下の対流圏とは異なり、ジェット気流、雲、降雨、雷がなく、気温、風の変化が少ない。風が安定しているため滞留に有利であるとともに、昼間は常に晴天であるため、太陽電池による安定した電力供給が可能である。

成層圏に滞留させる飛行体としては、無人飛行船、ソーラープレーン（太陽電池を動力とする飛行機）、有人ジェット機が考えられている。ソーラープレーンは、成層圏の無人飛行に成功している（米国 AeroVironment社のHelios）が、そのペイロード（有効積載重量）は100kg程度までといわれている。一方、ペイロードの大きな有人ジェット機は、滞留時間が短く、有人飛行によるコストが問題となるほか、化石燃料を利用するため環境への悪影響が予想される（成層圏に直接硫黄や水蒸気を排出し、これがオゾン層を破壊する傾向があるといわれている）。従って、通信、放送、地球観測・監視などでの本格的な利用では、長期間の無人運用が可能で、ペイロードを1t程度まで増やすことができると予想されている無人飛行船が本命視されている。

高速通信について考えると、地上無線回線は、無線局どうしの見通しが必要であり、障害物及び地球曲率のため、通信範囲が限定される。一方衛星回線は、電波の減衰が激しく、指向性アンテナを用いる等、利用コストが高い。この中間に位置する成層圏のプラットフォームは、上記の問題をクリアできると考えられ、通信・放送が成層圏プラットフォームの最も重要な用途である。

成層圏プラットフォームは、衛星より安価であるとして予想され、また、需要の多いところからの配置、災害時等での機動的な配置が可能であり、この面において、衛星より有利である。

2. 4. 2 これまでの経緯と今後の予定

総務省と文部科学省は、平成10年度から連携して、成層圏プラットフォームの研究開発を行っている。プラットフォームの開発は宇宙航空研究開発機構（旧航空宇宙技術研究所）、搭載する通信・放送システムの開発は通信総合研究所と通信・放送機構が担当している。また、産学官の連携を図るために「成層圏プラットフォーム開発協議会」が設置されている。

図-3に、航空宇宙技術研究所（当時）が1999年に行ったフィージビリティスタディーによる成層圏飛行船の想像図を示す。本体は、複数のヘリウムガ

スのバックから構成される。上面に太陽電池を装着し、夜間の動力源として再生型燃料電池を備え、モータでプロペラを駆動することにより、一定の場所に滞留させる。全長245m、重量32t、ミッションペイロード約1t、許容消費電力は10kWと試算された。

平成15年8月、茨城県日立市の実験場で、成層圏飛行船のための軽量・高強度膜材及び成層圏到達のための構造技術の実証のため、無人飛行船（全長47m、無動力）の飛行実験が行われた。約2時間の飛行（到達高度16.4km）の後、海上での機体・機器の回収に成功した。

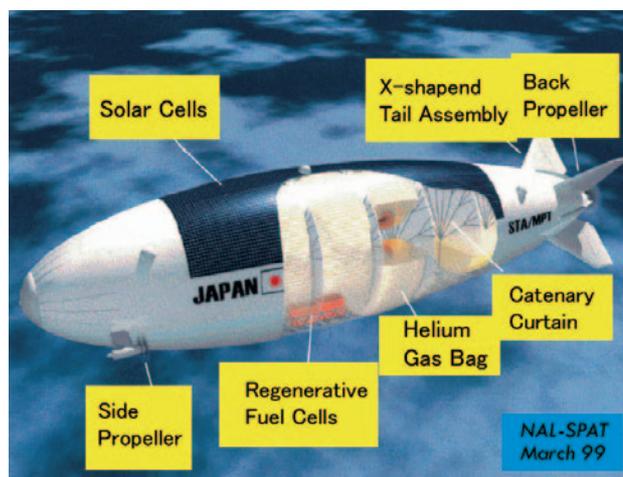


図-3 成層圏プラットフォームの概念図
（航空宇宙技術研究所による）

2. 4. 3 測位への応用

現在の成層圏プラットフォームプロジェクトは、ミッションとして通信・放送と地球観測をあげており、測位への利用は考慮されていない。技術的には、成層圏プラットフォームを準天頂衛星のようなGPSの補強システムとして利用することが可能であり、以下に、その概要を説明する。

まず、地上設置のシュードライト（次節参照）と比較すると、遠近問題が生じない点が有利である。マルチパスの影響はGPS衛星と同程度と考えられる。

成層圏プラットフォームを測位のための電波源として利用する場合、衛星による測位との最も重要な違いは、暦（電波源の位置）である。宇宙空間を飛行する測位衛星は、軌道が極めて安定しており、暦を頻繁に更新する必要がない。しかし、成層圏プラットフォームは、対流圏とくらべて安定しているとはいえ、風のある大気中を航行するので、突然の風を受ける可能性があり、位置が不安定である。高精度測位のためには、GPS等を用い、プラットフォームの位置を高い更新レートで決定し、ユーザに通知する必要がある。

配置する成層圏プラットフォームの数をなるべく

減らすため、例えば、高度20kmにおいて、最低仰角10度を満たすような配置案が検討されている(図-4)。しかし、このような配置では、プラットフォームから遠い場所では建物等による掩蔽が激しく、場所にもよるが、電波源の追加という意味が薄れる。

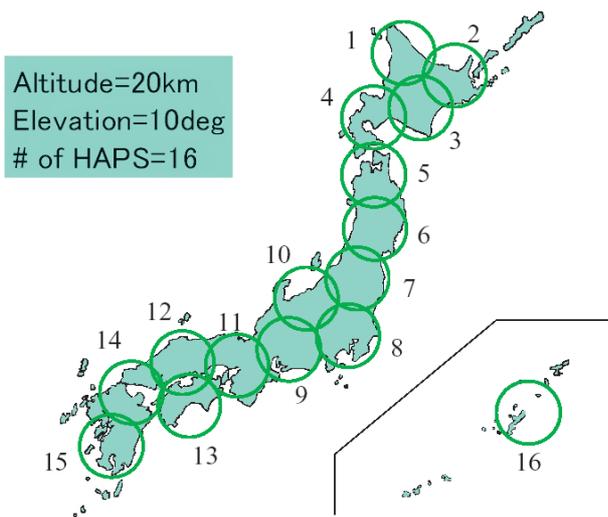


図-4 成層圏プラットフォームの位置例 (三浦龍, 2001)

2.5 シュードライト

2.5.1 概要

シュードライト (Pseudolite) は、GPS衛星と同じ仕様の信号を地上から送信する装置である。コード測位及び搬送波測位について、シュードライト単独、あるいはGPSとシュードライトを併用した測位が可能である。

シュードライトは、これまで、露天掘り鉱山等の十分な可視衛星数を得られない環境において、可視衛星数とDOPを確保し、確実に測位を実行するために利用されてきた。また、航空機の離着陸においては、航空機の下方にシュードライトを置くことができるため、地上のシュードライトと宇宙のGPS衛星で航空機を上下に挟むことができ、DGPSにおける鉛直方向の測位精度の向上が確認された(福島ほか, 2002, 2003)。これらは、GPS衛星を補完するためにシュードライトを利用した例である。一方、地下街等の閉鎖空間では、GPSが全く利用できないが、必要な数のシュードライトを配置すれば、シュードライトのみによる測位も可能である。

GPSの補完手段としてのシュードライトの特徴は、閉鎖空間も含め、必要な場所に必要な数を配置すれば、目的とする場所での測位が可能となる点にある。これに対し、準天頂衛星等は、少数の電波源を用いて測位可能確率を向上させる方法である。

現在国内において、屋外及び屋内での利用を想定した基礎的な研究が行われている。

なお、シュードライトにおいては、電離層遅延、対流圏の水蒸気遅延が問題とならない。

2.5.2 国土技術政策総合研究所における実験

2002年12月、歩行者ITSへの利用を前提としたシュードライトの測位実験が国土技術政策総合研究所で行われた(高精度測位社会基盤研究フォーラム, 2002; 小西勇介, 2002; YongCheol SUHほか2002)。実験の目的は、①ビル陰などGPS測位が難しい場所等におけるシュードライト技術の効果の検証、②シュードライトの送信出力がGPS衛星から送出される信号に与える影響の検証、③シュードライトの配置設計のための基礎データの収集、④GPS衛星とシュードライトとの組み合わせによる測位の評価であった。

GPS衛星の存在確率が高い南側に障害となる建物がある実験場所に、シュードライト送信機を5台(建物上に2台、地上に3台)設置した(図-5)。図中のBASEは、時刻同期に用いたGPSアンテナであり、各シュードライトに分配された。シュードライトからの信号の送信には、パルス方式(後述)が使用された。

受信側は、1つの2周波GPSアンテナを用い、これを、1周波シュードライト受信機(インテグリティノティス社IN2400 ROV; キネマティック測位として運用)、2周波GPS搬送波受信機(アシュテックZ-12 Extreme; RTK-GPSとして運用)、1周波GPS搬送波受信機(アシュテック社G-12; DGPSとして運用)、1周波GPSコード受信機(アシュテック社G-8; 単独測位として運用)に分配した。

建物による遮蔽域を通り高さ方向の変化のあるコースを移動する移動観測実験と、約12時間の静止観測実験を行った。

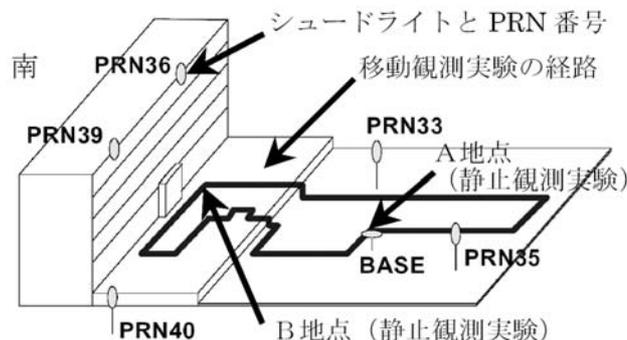


図-5 シュードライトの実験場所と配置図 (小西勇介, 2002に加筆)