

# 衛星測位の基礎と最新動向

久保 信明

本稿では、社会インフラになりつつある衛星測位の概要について紹介します。具体的には、世界の測位衛星の動向、衛星測位の基礎、国産の準天頂衛星の動向、宇宙利活用分野における大学間の連携について紹介します。

キーワード：衛星測位、GPS、GNSS、準天頂衛星、宇宙技術の利活用

## 1. はじめに

GNSS (Global Navigation Satellite System) とは人工衛星からの電波を利用して、自身のアンテナの位置を求めるシステムのことで、今ではスマホに代表されるように、さまざまな身近な機器に使われています。GPS (Global Positioning System) は米国の測位衛星をさし、GNSS は米国だけでなく世界各国の測位衛星の総称です。著者は1998年に電機メーカーに入社し4年後に大学へ転職しましたが、GPSを利用した着陸システムの研究開発に携わることができました。あれから20年ほど経てようやく実際の飛行場で導入されつつあります。スマホからカーナビや船舶、飛行機のナビゲーションまで幅広く対応しているのがGNSSの魅力といえます。今後低軌道衛星を活用した測位衛星の活用も議論されており、GNSSに代わる世界的な測位システムはでてこないだろうと予想されます。手持ちのスマホでも周囲が開けていれば数mの絶対位置精度を容易に得ることができます。昨今では、米国、ロシアだけでなく、複数の国が測位衛星を打ち上げるようになり、また廉価版の高精度受信機もでてきたため、cm級の高精度測位が一気に世の中に広まる可能性があります。本稿では、世界の測位衛星の動向、衛星測位の基礎、国産の準天頂衛星（日本が開発運用し、東アジア付近で高仰角に長く滞在する特徴のある測位衛星）の動向、宇宙利活用分野における大学間の連携について紹介します。

## 2. 世界の測位衛星の動向

図1に2021年7月29日の6時34分頃(UTC)に、東京から可視であった世界の測位衛星のスカイト(空

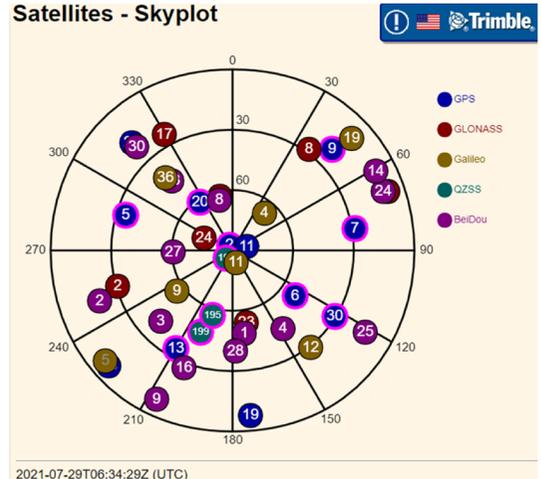


図1 世界の測位衛星

表1 各国の衛星測位システムの状況

国名とシステム名		運用状況
米国	GPS	31機で運用中 (Global)
ロシア	GLONASS	23機で運用中 (Global)
欧州	GALILEO	22機で運用中 (Global)
中国	BeiDou	44機で運用中 (Global)
日本	QZSS	4機で運用中 (Regional)
インド	NAVIC	7機で運用中 (Regional)

を見上げたときに水平線より上に見える衛星の仰角と方位角を示したものを示しました。インドのNAVICという測位衛星がない理由は、NAVICが世界的にみて浸透しておらず、採用している受信機が極めて少ないためです。青色が米国のGPS衛星、赤色はロシアのGLONASS衛星、黄土色がヨーロッパのGalileo衛星、緑色が日本のQZSS衛星、紫色が中国のBeiDou衛星です。表1に、2021年7月現在の各国の衛星測位システムの状況を示しました。軍用目的でない信号形式を仕様書でオープンにすることで、一般企業が受信機を開発でき、異なる国のシステムをできるかぎり多く利用して、位置結果を算出します。空に見える衛

くぼ のぶあき  
東京海洋大学学術研究院海事システム工学部門  
〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6  
nkubo@kaiyodai.ac.jp

星が多いほうが、障害物の多い都市部の環境では、測位精度の改善が大きく期待できます。

運用状況に Global と示したのは、世界中で測位ができるように運用していることを意味しています。たとえば日本の準天頂衛星システム (Quasi-Zenith Satellite System: QZSS) は、現時点でアジア・オセアニア地域をサービス範囲としているため、Regional な衛星と呼ばれています。数でみると中国が近年多くの衛星を打ち上げており、米国は 20 年以上 30 機程度の GPS 衛星を運用しています。日本は 2023 年度に 7 機体制となります。1 例として GPS 衛星の運用情報は WEB サイト [1] で参照することができます。衛星測位のインフラは上記で述べた各国の測位衛星のほかに、測位衛星の管制をつかさどるコントロールセグメント、われわれユーザが実際に利用するユーザセグメントの大きく三つに分けられています。

衛星測位システムの今後ですが、今後も改良された測位衛星の打ち上げを計画している国もあり、よほどの経済危機でもなければ、10 年以上ゆるやかな発展がみられると思います。さらに 20~30 年後も衛星測位技術は、重要な測位インフラとして利用が継続されるのではと予想します。位置情報の利活用の側面で見ると、高精度測位の低コスト化やさまざまな移動体の自律化の機運の高まりなどにより、広がりを見せていく可能性があります。

### 3. 衛星測位の基礎

#### 3.1 衛星測位における誤差要因

表 2 に衛星測位システムの精度を決める誤差要因を示しました。この表は代表的な GPS のものを利用しています。細かい数値はおおよその値とと考えてください。このうち、各国が運用し SIS-URE (Signal-In-Space User Range Error) として表現される部分は表の上から二つとなります。衛星の時計や位置を管理するのは、それら衛星を運用している国になります。誤差要因の 3 番目と 4 番目の電離層と対流圏の遅延量は、ユーザ側の受信機でモデルを利用してある程度推定できます。6 番目の受信機ノイズは、避けられない誤差で、白色雑音の振る舞いをするものです。衛星測位の観測値には、コードと搬送波位相というものがあり、コードで距離を測定する場合は数 10 cm、搬送波位相の測定値を利用する場合は最善で数 mm の精度を得ることが可能です。5 番目のマルチパスはアンテナの周囲環境による電波伝搬に依存するものです。表に書いている数値は、周囲の開けたオープンスカイを仮定していま

表 2 精度を決める誤差要因 (GPS の例)

誤差要因	潜在的な誤差の大きさ (m)
衛星時計誤差	1 m 未満
衛星位置誤差	1 m 未満
電離層遅延量	2-10 m (天頂)
対流圏遅延量	2.3-2.5 m (天頂)
マルチパス	1 m / 1 cm (コード/搬送波)
受信機ノイズ	数 10 cm / 数 mm (コード/搬送波)

す。ビル街や高架下の環境になると、マルチパスによりコードの精度は劣化します。また衛星測位特有の DOP (Dilution of Precision) と呼ばれる指標値があり、衛星の配置が天空上で偏ると、測位精度が劣化する側面にも注意する必要があります。

次に、測位手法の方式についてみていきます。衛星測位には、大きく分けて四つの測位方式が存在します。以下に四つの手法の概要を説明します。

#### 3.2 単独測位

単独測位とは、最も基本的な測位手法で、その名のとおり、一つの受信機単独で位置を推定します。GNSS で一般的な二つの観測値のうち、コードによる測定距離を利用します。それぞれの衛星より放送される軌道情報を元に、衛星位置や衛星の時計誤差を推定し、あとは距離情報から電離層や対流圏分の遅延量も考慮し、自身の位置と時計誤差を推定します。さまざまな誤差が存在し、求められる位置が 1 点にはならないため、位置推定には統計的手法が用いられ、その一つが最小二乗法です。計算の元となる要素に誤差があることを前提とし、それら誤差をできるだけ小さくするように繰り返し演算をして、自身の位置を少しずつあるべき場所にずらしながら求める手法です。この手法で、オープンスカイであれば、普通のスマホでも数 m でアンテナ位置を推定することが可能です。単独測位のイメージを図 2 に示しました。

四つの測位衛星を示していますが、3 次元の位置を推定するために四つ必要な理由は、受信機内部の時計誤差を同時に推定するためです。なお、異なる衛星測位システムを利用して計算する場合は、それら測位衛星で管理されている衛星のシステム時刻に常にバイアスがあるため同時に推定する必要があります。必要な最低衛星数が異なるシステムごとに 1 機増えます。

#### 3.3 DGNSS

DGNSS とは、ディファレンシャル GNSS と呼ばれており、ユーザの位置を求める際に、近くの基準点の情報を利用して測位精度を高める手法です。図 3 にイメージを示しました。単独測位と同様で、コードによ

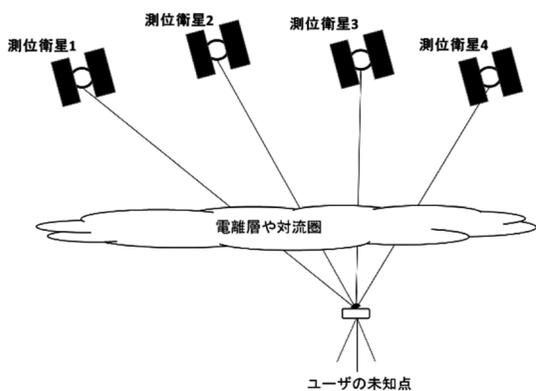


図2 単独測位のイメージ

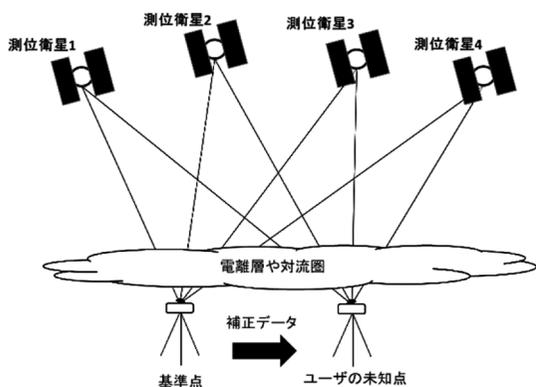


図3 DGNSのイメージ

る測定距離を利用します。基準点から送信されるデータは補正データと呼ばれ、基準点の観測値です。それと、基準点の精密位置も合わせて放送することで、ユーザは基準点の3次元位置とDGNS方式で推定した3次元ベクトルを足して、自身の相対位置を推定します。DGNSでは、あくまでも基準点からユーザまでの3次元のベクトルを推定していることに注意してください。この手法で、オープンスカイであれば、廉価受信機でほぼ1m未満で自身のアンテナの位置を推定することが可能です。

### 3.4 RTK

RTKは、Real-time Kinematicと呼ばれ、DGNSとの違いは位置推定に搬送波位相を利用している点です。搬送波位相測定値は搬送波の位相そのものを追尾しているため、非常に高精度な目盛りをもっています。たとえばGPSのL1帯の場合、1.57542 GHzの中心周波数のため、1波長は約19 cmで、その波長の100分の1くらいの細かさで出力可能です。RTKには、アンビギュイティ決定という処理が必要で、搬送波位相

のもつ整数分のアンビギュイティ（搬送波位相の整数バイアス）を特定することにより、mmレベルの位置精度を取得できます。ここでは技術的な詳細は省略しますが、図3の基準点とユーザ側の受信機の情報より、二重位相差という新しい観測値を生成し、衛星側と受信機側の最もやっかいな時計誤差を消去しています。そのため、基準点とユーザの基線長が20~30 kmを超えてくると残存する電離層や対流圏の誤差を低減することが課題となります。RTKの良い点は、搬送波位相のアンビギュイティさえ正しく推定することができれば、都市部のマルチパス環境でもcm級の精度を得ることができる点です。

### 3.5 PPP

PPPはPrecise Point Positioningと呼ばれ、昨今注目されている高精度単独測位技術です。RTKと違い、基準点からの補正データを受信する必要はなく、衛星を経由してGNSSの精密暦やクロックを受信することで自身の位置を推定する手法です。電離層遅延量の推定に時間を要しますが、15~30分程度で10 cm未満の精度を得ることができます。また、PPPでも搬送波位相のアンビギュイティを解く方式がでてきており（衛星ごとの搬送波位相のバイアスを放送する）、その場合水平精度は数cm程度になります。なお、ユーザの位置付近のローカルな電離層遅延量を与えることで、収束時間を1分未満にする方法もあり、各国で実用化へ向けた開発が進んでいます。

### 3.6 市販GNSS受信機の現状

現在の市販GNSS受信機は上述のさまざまな測位方式に対応するべく開発されており、DGNSやRTKはデフォルトで組み込まれていることが多いです。図4に示したように、GNSSによる位置精度は測位環境に応じて大きく変化する短所があります。たとえばトンネル内では電波が届かないため、測位はできません。また都市部の中でも高層ビルや高架が多い場所では、測位精度が大きく低下します。これらの課題に対応すべく、開発競争がなされており、最近の受信機は都市部でも利用できる測位衛星が増加したことにより、高層ビル街を除くと8~9割以上の確率でRTK解を出力できるものも多いです。受信機による内蔵測位エンジンの性能差があるといえます。またスマホでの測位では、自動車の中に入ると測位ができないものもありましたが、最近のスマホでは当たり前のように測位できます。この理由としては、信号レベルの低い場所でも受信機内の信号追尾を継続できる技術が進化したことがあります。さらに、測位演算部のフィルターも年々



オープンスカイ



住宅街



都市部



トンネル

図 4 GNSS の測位環境

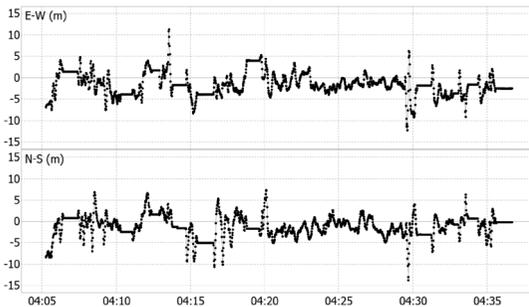


図 5 都市部自動車移動中のスマホの測位精度

改良されており、車内のダッシュボードにスマホを置いて、周囲がある程度開けていれば数 m レベルの位置精度がでていることを確認しました。図 5 に自動車のダッシュボードにスマホを設置し、移動中にスマホから出力される緯度経度の測位精度を評価した結果を示しました。経路は東京海洋大学の越中島校舎より千葉県浦安市の新浦安駅付近までの約 30 分となります。道幅は比較的広く途中に高層マンションなどがあり、高架下も数回通過しています。精度評価の基準となる精密位置は RTK の結果をベースに作成したもので基本は cm レベルとなります。スマホを適当に車内に設置した状態でも緯度経度方向ともに標準偏差は約 2.5 m でバイアスも少なく、カーナビなどのマップマッチング処理を行わなくてもどの道路にいるかの判別が容易であることがわかります。

本節で説明した内容は文献 [2] で詳細を読むことができます。衛星測位を専門とする大学院生には文献 [3] をすすめます。

## 4. 準天頂衛星の動向

### 4.1 準天頂衛星の特徴

準天頂衛星システム (QZSS) は初号機が 2010 年に

打ち上げられもう 11 年が経過しており、これまで大きな問題なく運用されています。初号機はもうじきリプレースされる予定です。2017 年にはさらに 3 機が打ち上げられ、現在 4 機体制で運用されています。2023 年度には 3 機が追加され 7 機体制となり、日本全土で準天頂衛星のみでの測位が可能となります。準天頂衛星は、GPS と互換性が高いため、あたかも GPS 衛星の一つとして利用できます。また軌道がユニークで日本上空を長時間滞在するため、都市部などの測位では準天頂衛星の有無で性能に差がでるといえます。以下では、測位補完と測位補強の側面および cm 級測位の広がりについて紹介します。なお、準天頂衛星の公的な情報は WEB サイト [4] をご覧ください。一般ユーザーから専門家まで、非常に有用な情報が更新されています。

### 4.2 測位補完

測位補完とは、GPS 衛星のみを利用する場合に対して、利用できる衛星が増加することによる効果を意味します。特に日本付近では、仰角が長時間高いため都市部で極めて有利であり、私自身も多くの実験で実感しています。都市部において cm 級の高精度測位にも大きく寄与しており、たとえば東京の丸の内周辺を自動車で行ったときに cm 級の測位ができる割合が、GPS のみでは全経路の 20~30% 程度で、準天頂衛星を付加することで 40~50% 程度になることも多々あります。

### 4.3 測位補強

測位補強とは、測位誤差を補正する手法のことで、準天頂衛星よりサブメータ級と cm 級の補正データがすでに放送されています。cm 級の補正データが無料で衛星より放送されている国はほかにはありません。表 3 に準天頂衛星より放送されている補強サービスの概要を示しました。詳細については、WEB サイト [4] を参照してください。一番上の SLAS の S は Sub-meter のことで、この補強信号を受信することで、開けた場所であれば 1 m 未満の精度を得ることができます。2 番目の CLAS の C は Centi-meter のことで、この補強信号を受信することで、開けた場所であれば数 cm の精度をおよそ 1 分以内に得ることができます。測位方式でいうと、PPP と RTK の中間に位置します。この補強信号を送信する信号が L6 帯であり、少し手の込んだ受信機が必要ですが、2021 年 7 月時点で、小型の CLAS 対応の受信機が 3 社より販売されています。最後の MADOCA PPP は PPP がベースの測位方式で試験的に補強信号が送信されています。準天頂衛星の信号を受信できるエリアであれば、10 cm 未満の精

表3 準天頂衛星の補強サービス

名称 (送信信号)	おおよその 精度	サービス範囲
SLAS (L1S)	1 m 程度	日本全土
CLAS (L6D)	10 cm 未満	日本全土
MADCOA PPP (L6E)	10 cm 未満 (収束後)	日本+アジア・ オセアニア

度を出せるものです。

#### 4.4 cm 級測位の幅広いユーザへの浸透

これまで一部企業や研究者だけで利用されていた cm レベルの位置決定が、幅広いユーザに広がりつつあります。廉価かつ RTK の性能の優れた市販受信機が世の中にでてきたためです。また、上述のように日本の測位衛星である準天頂衛星から cm レベルを補強するデータが送信開始されたこともあります。アプリケーションの例を挙げると、cm レベルの精度を必要とする建造物のモニタリングシステムや、土木建設現場での cm レベルでの移動体の管理、農機の自動運転または自動運転支援、ドローンによる正確な農薬散布、そして自動車の運転支援などです。ここ数年、精密な道路上での 3D 地図生成が多くの企業によって日本中で行われており、RTK は必須の要素技術です。2019 年には、携帯電話のキャリア大手である NTT ドコモとソフトバンクが RTK の基地局サービスを開始すると発表しすでに利用できます。国内ユーザにとっては、cm 級測位が一気に広まる可能性がさらに高まったといえます。準天頂衛星の無料の補正サービスを利用した実証事業が 2018 年より毎年実施されています。さまざまな分野における活用が検討されており、ぜひ詳細について WEB サイト [5] をご覧ください。

#### 5. 宇宙利活用分野における大学間の連携

これまで衛星測位の基礎を紹介してきましたが、最後に GNSS を含めた宇宙利活用分野での人材育成の取り組みについて紹介します。2012 年に東京大学の柴崎亮介教授と慶應義塾大学の神武直彦教授に声をかけていただき、宇宙インフラ利用の人材育成を個別大学だけでなく大学間で連携して実施することとなりました。当時、文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費に 2012 年から 2014 年にかけて採択されたことで後押しされました。これまで個別分野の専門家が自分のやれることを推進してきましたが、宇宙インフラから社会基盤サービスの個別の技術までわかり、かつそれをシステムとして組み合わせて、サービスを設計、実現、運営できる人材が求められていました。同時に、宇宙

インフラをいろいろなサービスの共通バックボーンとして捉え、その視点から宇宙インフラのあるべき姿についても構想・計画できる人材です。東京大学・東京海洋大学・慶應義塾大学と海外大学・パートナー企業などとの連携により国際人材育成プログラムを立ち上げ、それを支える教材群を開発・整備しました。GNSS 関連では、マルチ衛星マルチ周波数対応のオープンソース GNSS 受信機、世界的に定評のある RTKLIB [6] などです。ケースメソッドによる宇宙インフラの利用システム教育などを実施し、大学院修了者（修士と博士）を 3 大学で合わせて毎年 10 名送り出せるプログラムの実現を目標とし、達成しました。2013 年度、2014 年度においては、国内 3 大学と複数海外大学での実験的な教育・演習に毎年 30 名以上参加することができました。この活動により以下のようなリアルプロジェクトを学生らが自発的に立ち上げました。これらプロジェクトについて、毎月教員講義と合わせて学生による進捗発表を実施しました。

1. 携帯電話や測位衛星を利用して災害危険区域の住民に警報を効率的・効果的に届けるシステム
2. GNSS 屋内外シームレスな測位情報サービスとそのビジネス検討プロジェクト
3. 携帯電話のログ解析により人々の分布や移動状況を把握して災害対応などを支援するシステム
4. 衛星や UAV を用いて災害対応のための情報収集・解析を支援するシステム
5. 位置・時刻認証プロジェクト（次世代衛星測位サービス）

上記の五つのプロジェクトについて少し詳細を説明します。携帯電話や測位衛星を利用して災害危険区域の住民に警報を効率的・効果的に届けるシステムはまさに、準天頂衛星の現在の目玉のサービスとなっています。基本は、気象庁がリアルタイムに出す災害情報がベースとなりますが、携帯電話の通信サービスが途絶えて利用できない方々のスマホなどにも迅速に情報が届くという意味では、この衛星を利用するアラートシステムは極めて重要だと考えられます。学生らは、実際に横浜市で実験を行い、擬似的に発生させたアラート情報が、準天頂衛星を介して、自身のスマホで受信できるかどうかの屋外テストなどを実施しました。屋内外シームレス測位は、まだこれという屋内測位手法が確立していない状況ですが、二子玉川のデパート内において、慣性計測装置 (IMU: Inertial Measurement Unit) や WiFi、気圧センサなど利用できるセンサをすべて準備し、どのような精度で人間の位置を把握でき

るかの検証を繰り返し実施しました。最近引き継がれているプロジェクトでは、工場内の位置管理を超広帯域無線 (UWB: Ultra Wide Band) で行う実証実験も行っています。UWB は、以前は高価で容易に利用できるものではなかったですが、最近スマホでも対応するようになり、見通しの良い場所だと、精度も 10 cm 未満を安定して出せるため、注目されているセンサの一つとなります。携帯電話のログ解析については、すでにロケーションマインドという会社が東京大学の柴崎亮介教授の研究室発のベンチャー企業として立ち立ちしており、昨今、社会的にも非常に重要な位置を占めている人流解析などの技術を保有しています。衛星や UAV を用いて災害時に情報収集・解析を支援するシステムについては、現在山口大学の長井正彦教授らが主メンバーとなり、近年増加している土砂崩れの衛星 SAR 画像や実際に UAV を飛ばして取得した画像による分析およびそれらを支援するシステムの構築を目指しています。最後の位置・時刻認証プロジェクトは、次世代の衛星測位サービスでも重要な部分を占めています。これまでわれわれは、衛星測位の信号に対して基本的に悪さをする人はいないという前提で話をしてきました。しかし、これからさまざまなアプリケーションにおいて自動運転・航行支援などで利用されるようになると、意図的に干渉波を出したり、さらにひどくなると欺瞞信号を出したりする人がでてこないと言い切れません。位置情報での課金などの話になると、一般ユーザでも自身の位置を騙したくなるかもしれません。たとえばこのような欺瞞信号に対する対処方法は、受信機メーカーだけでなく、衛星を開発する側である国レベルでも議論されており、さまざまな対処方法が施されていくことが予想されます。現在上述のロケーションマインド社の技術顧問である Dinesh Manandhar 東京大学客員准教授やわれわれのような GNSS を専門とするいくつかの国内の研究室で対策手法の研究開発や実証実験が継続して行われています。

上記の 3 年間の人材育成プログラムを終了後、引き続き文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費に採択され、2015 年度から 2017 年度にかけて、発展させた宇宙インフラ利用の人材育成の取り組みを 3 大学+アルファの大学で実施しました。これらプログラムに参加した学生の中には、宇宙技術や宇宙ビジネスに関連する企業や研究機関に就職した学生も多くいます。

さらに 2018 年度から 2020 年度にかけては、上述のメンバーに加えて、超小型衛星の第一人者である東京大学の中須賀真一教授を中心とするメンバーで、「社会

サービスデザインに基づく持続的な宇宙利用連携研究教育拠点 (IS4D) の構築」という題目で、研究拠点の構築を目指しました。2020 年度末で本プログラムを無事終了し、現在は関連する企業の方々を加えて、宇宙サービスイノベーションラボという名称の技術組合を発足させたところです。この技術組合では、事業・知見ニーズをもつ大学発スタートアップや大学研究室と、技術・事業化ニーズをもつ大企業や公共団体のマッチングと当該技術・事業のインキュベーションを行います。発足メンバーは、上述の構成員が中心となっています。

## 6. まとめ

本稿では、現在の衛星測位の概要、測位方式や補正情報報して準天頂衛星の特徴と cm 級測位の広がりについてまとめました。合わせて文部科学省より支援いただき実施してきた宇宙技術の利活用分野での人材育成について紹介しました。高性能な廉価受信機の出現と複数の国による測位衛星の運用によって、一般ユーザでも cm レベルの精度を利用できる時代に確実になってきました。世界中どこでも無償で 3 次元の位置と速度そして正確な時計を提供できるインフラは、今後 10~20 年のスパンでも、衛星測位以外ではあらわれにくいと考えられます。最近では、多数の低軌道衛星群も世界的に検討されており、それら低軌道衛星を利用した測位も注目されています。

今後の課題や方向性を大きく二つ挙げました。一つ目は衛星測位には電波の届かない環境では測位できないという大きな弱点があります。また高層ビル街などのマルチパス環境では想定した性能がでないこともあります。そのため、衛星測位の限界を正確に知り、依存しすぎないことが重要です。昨今では、干渉波や欺瞞信号といった新たな問題も顕在化しつつあります。また、衛星測位が利用できない場面では、ほかのセンサ (たとえば IMU や速度センサ、最近では Lidar やカメラとも) と協調する技術開発も極めて重要です。二つ目は、たとえば自動車の自動運転や鉄道の位置把握などで利用する場合は、高精度だけでなく高信頼なアプリケーションでの応用となります。精度や利便性だけでなく衛星測位が出力する位置を保証する方法や手段についての検討が重要になるでしょう。

## 参考文献

- [1] U.S. Coast Guard Navigation Center, GPS Constellation Status, <https://www.navcen.uscg.gov/?Do=c>

- onstellationstatus (2021年7月29日閲覧)
- [2] 久保信明, 『衛星測位と位置情報』, 日刊工業新聞社, 2018.
- [3] P. Misra and P. Enge, Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance, Ganga-Jamuna Press, 2001. (日本航海学会 GPS 研究会訳, 『精説 GPS—基本概念・測位原理・信号と受信機—』, 松香堂書店, 2010.)
- [4] 内閣府, 「みちびき (準天頂衛星システム) ウェブサイ  
ト」, <https://qzss.go.jp/> (2021年7月29日閲覧)
- [5] 内閣府, 「みちびきを利用した実証事業ウェブサイト」, <https://qzss.go.jp/ex-demo/index.html> (2021年7月29日閲覧)
- [6] 高須知二, RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, <http://www.rtklib.com/> (2021年7月29日閲覧)