

大きな変化を迎える衛星測位システム —Multi GNSS (複数衛星測位システム) の時代へ—

衛星を利用した測位システムは、高精度に地球上の位置を把握できる仕組みとしてさまざまな産業分野で使われている。現在の民生利用の中心は米国のGPS（全地球測位システム）であるが、今後は日本の準天頂衛星システムなども加わる。本稿では、衛星測位の全体像、衛星測位の高精度化や利用エリアの拡大が産業分野や社会にもたらす効用について概説する。

GPSの仕組み

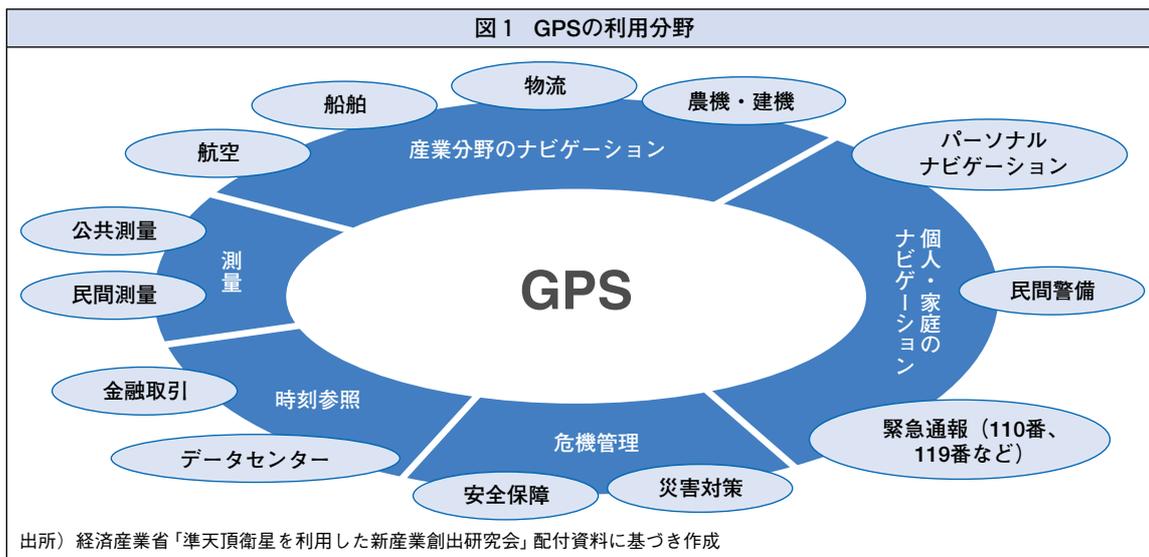
いまではカーナビゲーションなどで日常生活に広く浸透しているGPSであるが、その原理やルーツについてあまり詳しくは知られていない。まずそれらについて簡単に紹介しておく。

GPSはGlobal Positioning Systemの略で、米国によって運用される衛星測位システムであり、地球上の受信機の位置を緯度・経度・高さとして取得するための仕組みである。6つの軌道面上に4個ずつ、24個のGPS衛星がある（このほか予備の衛星がある）。GPS受

信機はこの衛星からの信号を受信して、信号に記された時刻と受信時刻との時間差に光速を掛けて衛星との距離を求める。3つの衛星を使えば受信機の位置（緯度・経度）が分かり、4つの衛星を使えばそれに加えて高度が分かる。

人工衛星が発している信号は実のところ時刻情報であり、標準時に対する誤差がナノ秒（1ナノ秒は10億分の1秒）単位という正確性を持っているため、非常に正確な時計としての活用が可能である。

GPS受信機は、携帯電話やカーナビゲーションをはじめ数多く販売されており、GPSか



野村総合研究所
コンサルティング事業本部
ICT・メディア産業コンサルティング部
上級コンサルタント

丸田 哲也（まるたてつや）

専門は衛星測位システムや地理情報システム、
地理空間情報、位置情報の活用や普及など



ら取得した位置情報を用いたサービスは日常生活で普通に使われている。

図1にGPSの主な利用分野をまとめる。最も身近な利用分野は自動車や携帯電話のナビゲーションサービスであろう。野村総合研究所（NRI）も、携帯電話やスマートフォン（多機能な携帯電話）を対象としたナビゲーションサービス「全力案内！」を提供している

（図2参照）。このほかにも、図1に示すように高精度な位置測量、航空機や船舶の位置把握など幅広い分野で活用されている。

このようにさまざまな分野で活用されているGPSは、もともと軍事目的で開発されたものである。GPSの開発は1970年代に始まり、実際に運用が開始されたのは1978年である。その時点ではGPSは軍事利用に限定されていた。その後、レーガン政権やクリントン政権のもとで民生利用への開放が進み、かつ無償で利用できるという現在の状況に至っている。これを反映して、当初は国防総省の所管であったGPSも、現在では国防総省や運輸省など9省庁の関係省庁会議のPNT EXECOM (National Space-Based Positioning, Navigation, and Timing Executive Committee) によって運用が行われている。

民生利用のサービスで使われているGPS衛星の信号は、軍事利用されている信号に比べ



図2 未来型携帯ナビ「全力案内！」

て精度が低い。また利用者が取得できる位置情報の精度は米国政府などが保証したのではなく、一種のベストエフォート型のサービスとして認識する必要がある。このため、カーナビゲーションではGPSのほかに角速度を検知するジャイロセンサーも使って正確性を担保している。また、鉄道の運行は従来の信号システムに基づいており、GPSは付加的な運転支援サービス的手段に限定されているのが現状である。

GPSからMulti GNSSへ

GPSを含めて、人工衛星を利用して位置情報を取得する仕組みは、一般的には衛星測位システムまたは衛星航法システム（Global Navigation Satellite System：GNSS）と呼ばれている。現在、GPS以外に衛星測位システムを国や地域で独自に構築しようとする動きが世界中で広まりつつある。

表1 世界の衛星測位システムの構築状況(補強システムを含む)

国・地域	名称	概要
米国	GPS	運用中。全世界をカバー。
欧州	Galileo	構築中。全世界をカバー。2011年10月20日に最初の実用衛星2機を打ち上げ。
ロシア	GLONASS	運用中。全世界をカバー。以前は軍事利用中心であったが、最近は民生利用に広く開放。
中国	Compass/BeiDou(北斗)	構築中。全世界をカバー。2000年から打ち上げが始まり、2015~2020年の間に運用開始の予定。
インド	IRNSS/GAGAN	構築中。インド周辺をカバー。2014年までに運用開始の予定。
日本	準天頂衛星システム	構築中。太平洋アジア周辺をカバー。第1号機「みちびき」は2010年9月に打ち上げ。2010年代後半までに4機体制の予定。

出所) 衛星航法システムに関する国際委員会「Current and Planned Global and Regional Navigation Satellite Systems and Satellite-based Augmentations Systems」および報道などに基づき作成

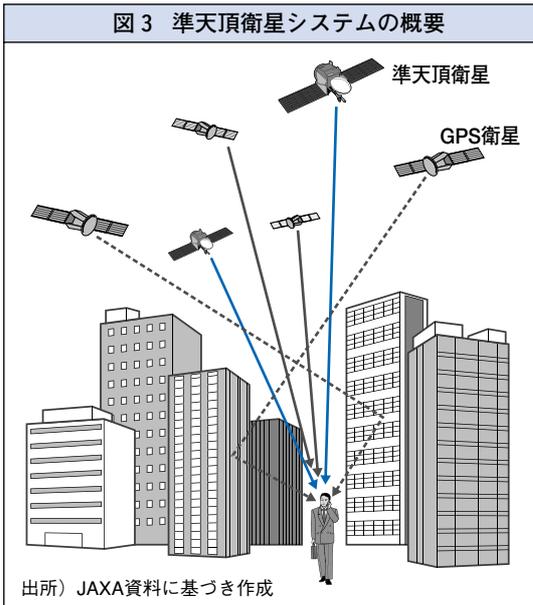
表1に、衛星測位システムの構築状況を示す。この表に示すように、2010年代に入り、衛星測位システムの構築が急速に進んでいることが分かる。その結果、米国のGPSとロシアのGLONASSのみが利用可能という現状から、2020年頃にはさらに別の衛星測位システムも利用できる状況に変わる。このような複数の衛星測位システムが共存する環境をMulti GNSSと呼ぶようになってきている。衛星測位は将来、GPSからMulti GNSSに移行するというのが関係者の基本認識である。

複数の国や地域が衛星測位システムに取り組むようになった背景には、衛星測位システムが国家の安全保障や経済活動に欠くことのできない存在になったことがあげられる。国民の生命に関わる分野でも、近年では携帯電話による110番や119番通報の際の位置情報通知にGPSが使われるなど、衛星測位システムが果たす役割は大きい。

一方、世界で幅広く使われているGPSは、

あくまでも米国が管理・運用する単一のシステムである。大規模な故障による障害発生の可能性は否定できず、米国の都合により利用が制限される可能性もないとはいえない。また、妨害電波を発生して位置情報の精度を意図的に下げることが技術的には可能であり、米国では具体的な事案も発生している。従って、民生用の信号を利用する限り、位置情報に対して高い信頼性を求める分野ではGPSは十分な性能を有していないといってよいだろう。GPSへの一極依存に対する懸念は米国政府自身も認識しており、その解決策としてMulti GNSSによるバックアップ体制の構築も検討されている。

バックアップとしてのMulti GNSSを実現するためには、センサーの共通化や運用の連携など国際協調が欠かせない。近年では国際連合に「衛星航法システムに関する国際委員会」(International Committee on Global Navigation Satellite Systems: ICG) が設置



され、表1に示した日本を含む各国間での連携が進みつつある。

日本の準天頂衛星システム

日本が構築を進めている準天頂衛星システムもMulti GNSSの一翼を担うものである。

一般的な静止衛星の仰角（地平線からの角度）が40度から50度程度であるのに対し、準天頂衛星は日本のほぼ真上を衛星が通過するため、仰角は70度以上を見込める。そのため、準天頂衛星からの信号を受信することにより、山間部やビルの谷間など、GPS信号が届きにくい環境下でも衛星測位が可能になる（図3参照）。

準天頂衛星は、日本だけでなくオーストラリア上空にも及ぶ軌道を描くため、日本の上空に位置する時間が限られている。日本の上

空に常に最低1個の準天頂衛星が来るようにするためには、同一軌道上に最低3個（バックアップを含めて4個）の衛星が必要とされている。

準天頂衛星システムは、宇宙航空研究開発機構（JAXA）のほか、関係7機関による共同開発が進められている。2010年9月11日には第1号機の「みちびき」の打ち上げに成功し、実用化に向けたさまざまな実験が行われている。

2011年9月30日には、2010年代後半までにバックアップも含めた4機体制、将来的には他の衛星測位システムに頼らない持続測位が可能な7機体制を目指すこと（「実用準天頂衛星システム事業の推進の基本的な考え方」）が閣議決定された。

Multi GNSSの効果

以上、日本の準天頂衛星システムも含め、近年のMulti GNSSに関する動向について整理してきた。では、このような変化は国民生活や企業活動、行政にどのような効果をもたらすであろうか。

最も大きなポイントは、従来のGPSに比べて衛星測位の品質向上が見込めることである。具体的には次の3点である。

①衛星測位が可能な場所の拡大

山間部やビルの谷間などでは、空を見通せる範囲が狭いため、衛星信号を捕捉する機会が見晴らしの良好な場所と比べて少ない。

Multi GNSSによって衛星の数が増えれば、見晴らしの悪い場所でも衛星測位を行う機会が増える。

②測位精度の向上

衛星測位は、原理的には4個の衛星から信号を受信することによって高度を含めた位置情報を取得することが可能である。しかし、大気の影響などによる誤差が出ることもあるので、測位精度を向上させるためにはなるべく多くの衛星から信号を受信することが欠かせない。Multi GNSSによる人工衛星の増加は、受信可能な衛星の数を増やし、より正確な位置の割り出しを可能にする。

③信頼性の向上

GPSは軍事目的のシステムを民間に開放するというスタンスであるため、衛星から発信される情報の確からしさ（信頼性）は必ずしも明確ではない。従って、鉄道の運行制御のように人の生命に関わる分野などでは、GPSを利用しても参考情報程度の位置付けにとどまってきた。これに対して準天頂衛星システムは信号精度の信頼性が高いとされている。各種の実証実験を通じて信頼性の水準が明らかになれば、信頼性の観点からGPSが導入されていなかった分野でも衛星測位の導入が進む可能性がある。

以上の3つの品質向上により、表2に示すような新たな利用分野が見込めることになる。従来からのGPSを利用した位置情報サービスに加えて、ロボットや交通、権利確認な

ど新たな衛星測位の利用分野が創出されることには大きな意味がある。しかも、それらは民生利用といっても産業分野が中心である。従って、企業の業務の効率化や高度化、新規事業創出に大きな影響を与えることが予想されるのである。

Multi GNSSによる新たな市場創出への期待

準天頂衛星システムを含めたMulti GNSS環境の構築によって、日本国内では数兆円の経済効果が期待できるといわれている。では、そのための市場の創出に当たってどのような取り組みが官民にとって必要になるであろうか。Multi GNSSによるメリットを享受するためには、衛星の運用にとどまらず、その情報を活用するための仕組みが必要である。そのためには以下の2つがポイントになる。

①Multi GNSS対応ハードウェアの普及

ハードウェアの観点からは、仕様が異なる複数の衛星測位システムに対応できる受信機が必要である。特に、今後さまざまなソリューションのインタフェースの中心となるスマートフォンへの対応が重要である。これは実際に始まっている。あまり知られてはいないが、2011年10月に発売された米国Apple社のiPhone4Sは、GPSに加えてGLONASSの信号も受信できるようになっている。

②精度の高い地図の整備

地図の整備も現状では十分ではない。政府が整備する高精度の地図は25,000分の1程度

表2 Multi GNSSによって期待される新たな活用分野と活用方法

	活用分野	活用方法
位置情報	スマートフォン向け次世代位置情報サービス	時空間認証技術を生かし、トランザクションに応じた比較的高額のクーポンの発行など、新しい位置情報サービスの展開。
	時空間認証	物流時の動産担保や通行課金など、イベント発生時の時刻や位置の情報の高い信頼性が求められる分野への展開。
	交通(自動車、鉄道、船舶など)	高い信頼性を生かした、鉄道信号システムへの全面的な導入や自動車自動操縦などへの展開。
	ロボット	日本の準天頂衛星システムを活用したロボットの正確な遠隔または無人操作。現在、準天頂衛星システムと平行して開発が進むIMES(屋内測位の基盤)と併せて活用することにより、屋内外のシームレスな精密移動を可能にする。
	権利確認	精度要件などとのバランスを考慮する必要があるが、土地の境界画定作業の負担軽減に寄与。特に今後活性化が期待される森林管理など林業分野での活用が期待される。
	農林水産業	農地集約・大規模化に伴う農作業ロボットの導入など、農作業の効率化に寄与することが期待される。また、従来は苦手とされてきた山中での衛星測位が可能となり、森林管理・林業分野における業務改善にも寄与。
時刻情報	金融取引	最先端の高頻度取引における遅延監視やトランザクション管理のための正確な時刻情報源。欧米ではこの目的でのGPSの活用が進んでおり、日本ではビルの谷間などでの時刻情報源として準天頂衛星システムの利用が期待される。
	クラウド・ビッグデータのトランザクションとネットワークの管理	クラウド環境下での複数データセンター間の時刻情報同期。特にビッグデータ活用におけるトランザクション管理のための正確な時刻情報源として期待される。ネットワーク遅延の精密監視手段としても活用可能。
その他	防災	日本の準天頂衛星システムに搭載される簡易な通信機能を活用し、緊急津波警報などの防災情報を提供。

の縮尺が中心であり、この縮尺では最高で1 m程度の解像度を持つ衛星測位の結果を表現するのに十分ではない。あらためてMulti GNSS時代における地図のあり方について議論が求められるだろう。

以上の仕組みが整備されることによって新たなサービスが創出されることが期待される。そのサービスは日本にとどまらず、アジア太平洋地域をはじめ世界への展開を図るべきであろう。特に準天頂衛星の軌道がアジア

太平洋地域に及んでいることから、それらの地域での効果は大きいと思われる。

海外へのサービスの展開に際しては、準天頂衛星システムの利用によって生み出されるサービスや技術、地図の整備なども含め、Multi GNSSの活用に必要な要素をフルセットとして展開することが有効である。次ページ以降の3つの特集論文では、このような新市場の創出に向けて参考となる事例が紹介されている。 ■