

最近の GEONET について

1. 運用状況

2009年4月現在、全国で1240点の電子基準点を運用している。アンテナは全点、国際的なGPS観測で標準となっているチョークリング型に統一されている。GPS受信機については複数機種が混在しており、Trimble 5700が1075点、Trimble NetRSが140点、Topcon Legacy-Eが25点となっている。観測データはほとんどの点で1秒値をリアルタイムで取得しているが、離島・山岳地域では30秒値を3時間毎に取得している点が17点ある。観測データの欠測率は、2007年度は0.46%だったが、2008年度は0.37%となり、順調に推移している。

受信環境の悪化や局所的な変動等により電子基準点の効用に問題が生じた場合、移転を行う。2009年度は青森県の「西目屋」、「平内」、福島県の「福島川内」を移転済みで、現在、北海道の「新得2」、福島県の「相馬2」、東京都の「練馬」、静岡県「御前崎」の移転を進めている。

2. 最近の地殻変動

地殻変動の検出能力を向上させるため、研究者の努力によって新しい解析戦略が開発され、それに基づく日々の座標（F3解）が2009年4月より公開された。24時間分の観測データ（30秒値）をIGS最終暦を用いて解析ソフトウェアBernese ver.5によって解析したもので、大気遅延量推定の扱いや解析時の固定座標の与え方等に改良が施され、精度が向上している。

この結果、大気の不均質による誤差や、年周変動が改善され、従来は見えにくかった1cm以下の水平地殻変動も捉えることができるようになった。例えば、富士山周辺では2008年後半から富士山を挟む北東-南西の複数の基線で、わず

かに伸びの傾向が見られる（図1）。この結果は10月5日の火山噴火予知連絡会に報告されたが、「富士山の真下でマグマが蓄積し、圧力が高まっていることの流れ。富士山が活火山であることがあらためて確認できた」と評価された。

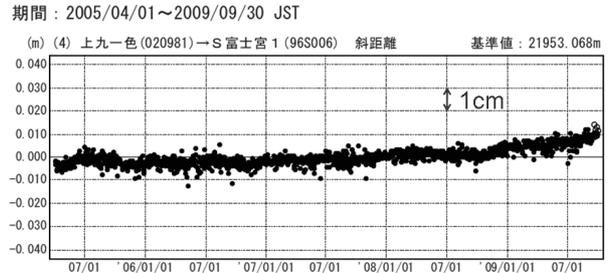


図1. 富士山周辺の基線長変化（報道発表資料「平成21年9月の地殻変動について」より）

3. 2009年度のシステム更新

ハードウェアの経年変化に対応するとともに、来るべきGNSS時代にも目を配り、電子基準点の更新を進めている。平成20年度補正予算では受信機360点及び電源強化283点を、また平成21年度予算では受信機90点及び電源強化88点を実施する。受信機は近代化GPSの信号（L2C、L5）にも対応できるものとして、競争入札の結果、Topcon NET-G3が選定された。結果的にはGalileoにも対応しているが、アンテナ更新は今後の予定である。また、平成21年度補正予算により、災害時の通信確保のための通信二重化や電子基準点の電源強化が認められている（図2）。

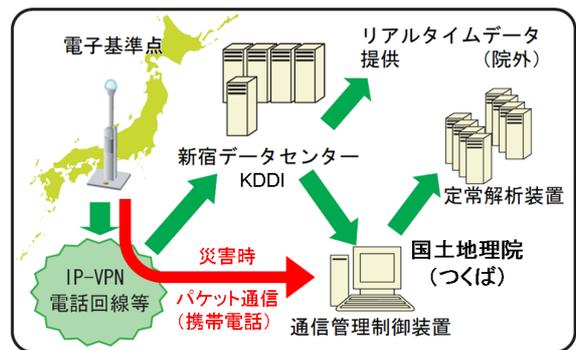


図2. 通信二重化のイメージ

4. リアルタイムデータ配信形式の変更

今年度更新する受信機のデータ転送には、従来の受信機固有フォーマットに換えて、共通フォーマットである Binex (Binary Exchange Format) を採用する。これは GPS、GLONASS 等のリアルタイムデータを交換するためのフォーマットで、米 UNAVCO (GPS 大学連合) が開発したメーカーに依存しない仕様である。円滑な移行のため、リアルタイムデータ配信機関、民間事業者との調整を進めている。

フォーマット変更の利点としては、データの圧縮率が高く、次世代 GNSS による衛星数増加にも対応可能になること、また今後受信機の機種が変更されても配信システムの変更が不要となることがあげられる。ただし、受信機は一度に更新できないので、当面、複数フォーマットが混在することになる。

なお、現行のリアルタイムデータ配信機関である社団法人・日本測量協会の配信期間が平成 22 年 3 月 31 日で終了するので、対象を民間企業に拡大して次期配信機関を公募した。その結果、平成 22 年 4 月 1 日から 5 年間の配信機関として、引き続き日本測量協会が選定された。

5. 将来計画

受信機の耐久年数は 10 年程度で、また 1240 点と多数あることから、その更新は計画的に進める必要がある。現在 GPS の L1 及び L2 信号を観測しているが、GPS の近代化政策により新たに L5 帯の信号も送信される。また L2P コードは 2020 年には使用できなくなる予定である。一方、ロシアは GLONASS の近代化を進め、欧州や中国も新しい測位衛星を開発中である。日本でも GPS の補完機能を持つ準天頂衛星を開発している。衛星数の増加は、測位の効率化に

メリットがあり利用者の関心も高い。位置情報の基盤である電子基準点には、次世代 GNSS への対応が要請される。以下、当面の更新計画の概要を述べる。

- L2P コードが廃止される 2020 年までに、現行の GPS 受信機及びアンテナの更新を完了させる必要がある。2009 年度は 450 点について L2C、L5 (及び Galileo) に対応した受信機に更新する。来年度以降も、毎年 80 点程度、最新型の受信機への更新を続けたい。L5 受信にはアンテナ更新も必要だが、場合によっては測量成果の改定が必要になるので、なるべく短い期間でアンテナ更新を終えることが望ましい。
- Galileo の E1、E5a 信号、準天頂衛星の C/A、L1C、L2C、L5 信号については、衛星系の違いによる系統誤差について十分検証を行った上で、対応を進める。
- その他の GNSS についても、長期的に安定運用され、対応受信機が出回り、一般利用者のニーズが見込める場合は、対応を検討する。なお、いずれの施策においても、必要性和費用対効果を厳しく吟味することは当然である。

6. まとめ

電子基準点は、本格的な設置から 15 年を迎え、GPS 測量や高精度リアルタイム測位を支える基準点として、地震・火山活動の予測や研究に必要な地殻変動のセンサーとして、我が国の位置情報の基盤となった。今、GEONET は GNSS 連続観測システム (GNSS Earth Observation System Network) への進化を始めている。

国土交通省国土地理院測地観測センター
衛星測地課長 辻 宏道

GNSSトレンド

1. はじめに

最初のGPS（試験）衛星打ち上げは1978年であった。それに対抗して当時のソ連は1982年にグロナスの打ち上げを開始したが、その後の展開は必ずしも順調ではなかった。実質的にGPSが測位衛星としての独占的地位を占めてきたのである。2000年代に入りGPS、グロナスの近代化計画が策定され、欧州のガリレオ、中国の北斗など全世界測位衛星系の計画が発表された。さらに地域測位衛星系としてインドのIRNSS、日本の準天頂衛星(QZSS)などが計画進行中である。これらの新しい衛星系それぞれの特性や測位符号などはすでにいろいろなところに発表されているのでそちらに譲り⁽¹⁾、ここでは新しいGNSSの全体的な状況と測量利用への方向性を述べる。

2. 各衛星系の現在の進行状況

まず、各衛星系を測量に利用する立場から、注目点と特徴を概観しておこう。これからの衛星測位の目指す方向は測位精度改善もさることながら、むしろ信頼性、頑強性に力点がある。

利用側で注意すべきことは、ある衛星系専用に作られた受信機は、例外なしに他の衛星系では動作しないことである。併用するにはそれぞれの衛星系の測位符号、航法データに対応したハード/ファームウェアを併設、内蔵することが必要である。

2.1 GPS近代化

GPS近代化の要点は、

L2波の一般開放(ブロックⅡR-M衛星)

一般用L5波の増設(ブロックⅡF衛星)

L1にL1C増設(ブロックⅢ衛星)

などである。

2.2 グロナス近代化

これまでの設計寿命3年のグロナス衛星に代えて寿命7年のグロナスMを配備中である。ついで新一般用波L3搭載、寿命10年のグロナスKを準備中である。新L3波はガリレオE5b波周波数でCDMA(Code Division Multiple Access、符号分割)方式を採ることを予定している。

さらに2020年ころを目途に、現在の周波数分割方式(FDMA, Frequency Division Multiple Access)を、GPS等と同一のL1、L5波によるCDMA信号に変更することを予定している。

2.3 ガリレオ

一般用信号はL1、E5b、L5の三波で、それぞれにはGPS-L1Cと同一形式の測位符号が載せられる。より正しくはGPS-L1Cがガリレオの信号形式に倣ったものである。

すでに試験衛星GIOVE A/B(Galileo In-Orbit Validation Element)が稼働中で、B号機には時計として世界最初の宇宙用水素メーザーが搭載され、順調に機能していることを注目すべきである。試験を兼ねた本衛星4機の打ち上げは2011年ころに延期された。それらの打ち上げに使うロシア、ソユーズの発射設備を、フランスの基地ギアナ(南米)に建設中である。

2.4 北斗/コンパス

5静止衛星と30周回衛星からなる。周回衛星の一部は地球同期傾斜軌道(QZSSと同類の軌道)をとり中国国土上空での可視性を改善する。全体の完成は2015年から20年の間となっているが、東アジア地域のみは2010年から12年に稼働するとのことである。

一般用信号はL1、E5b、L5の周波数にあり、CDMA方式である。来年あたりからICD(Interface Control Document、信号規格書)が順次発表される予定である。

表 各衛星系の一般用測位信号周波数

グロナスL3がCDMAとなったときの推定

衛星系	機数	L1/E1,E2 1575.42 MHz =154×10.23 MHz	L2 1227.6 MHz =120×10.23 MHz	E5b 1207.14 MHz =118×10.23 MHz	L5/E5a 1176.45MHz =115×10.23 MHz	稼働予定
GPS	28前後	○	○	×	○	L5完成は2017年
GLONASS	24-26	CDMA稼働開始	×	○(L3)	CDMA稼働開始	2020年ころ
GALILEO	実働27	○	×	○	○	2013年
北斗/COMPASS	35	○	×	○	○	極東は2010年?
IRNSS	7(S帯に測位信号)	×	×	×	○	2012年
準天頂衛星	1	○	○	×	○	2010年度中
利用可能衛星数		115前後*	29前後	86-88*	122前後*	

*:グロナスが参入したとしたときの推定

2.5 地域測位衛星

a) IRNSS(インド)

3 静止衛星と 4 地球同期傾斜軌道衛星からなり、後者は大離心率の長楕円軌道を取りインド上空の滞在時間を長くする。2006年に正式開発が始動し、2012年に運用開始を予定している。

特徴的な事はこの衛星系の測位信号周波数で、L5とS帯の2492.08MHzを使うことである。

b) 準天頂衛星

準天頂衛星についても詳細は別途広報されているのでそれに譲る。2010年夏にまず1機を打ち上げる。1機の場合、日本の天頂付近に来る時間帯は1日に約4分ずつ早くなり、半年で昼間と深夜に交代する。

測位信号周波数はGPSと同じL1、L2、L5で、測位符号には現GPSとは別の米国当局が制定したGNSSシリーズを使う。データ伝送用にガリレオの商用信号帯E6にLEXが設けられる。

QZSSに関連して2006年に打ち上げられたETS-8(きく8号、静止衛星)のことを述べる。この衛星は通信実験とともにQZSSの準備として測位実験も目的とし、1595.88MHz(=156×10.23MHz)と2491.005MHz(=243.5×10.23MHz)の二波を発信する。前者はグロナスの現L1-FDMA周波数域より少し低く、後者はインドIRNSSの周波数に近い。

2.6 各衛星系の全体的な特徴

a) ワイドレーン搬送波

表に示した各衛星系の測位信号周波数から、L2は将来的に少数派となる。測量のバイアス決定におけるワイドレーン搬送波は、L2-L5の組よりもE5b-L5の組の方が若干、有利である。

b) 高信頼航法データ

ガリレオの全一般用周波数とGPS、QZSSのL1Cでは、チェック機能と誤り訂正能力を備えた航法データが搭載される。信頼性、頑強性の強化である。CDMA化グロナスと北斗/コンパスの情報はないが、何等かの対応をするであろう。

c) パイロット信号

GPS、QZSSのL1CとL5、ガリレオ、北斗/コンパスの全ての一般用信号では、搬送波のコサイン成分(Q: Quadrature)に航法データの無い信号を載せ、高精度の擬似距離、搬送波位相測定を実現する。これも基本的に頑強性強化である。

CDMA化グロナスも、恐らく同じことをするであろう。GPS、QZSSのL1-C/A、L2Cにはパイロットはない。GPS-L1の場合は軍用Mコードと並立させるための制約があるものと思われる。L2Cにはパイロット的に扱うことができる信号(CLコード)を準備してあるが、やや変則的な感がある。QZSSは信号形式をGPSに倣った結果として、同じことになっている。

d) 10 cm 級放送軌道情報

ガリレオの放送軌道情報精度は 0.5 m が設計仕様となっている。これまでの試験衛星等による結果は約 0.2 m を実現している。GPS はブロックⅢで同等の精度を目指す。

グロナス、QZSS の現状、目標は 1.5～3 m 程度である。

e) 同一周波数衛星は相互に妨害し合う

いまの GPS で、たとえば PRN-1 衛星を受信するチャンネルでは、そのとき上空にある他の GPS 衛星の電波は妨害波となるのである。その妨害度は実質的には僅かで、観測データのゆらぎで数%の増加程度である。

表のように同一周波数の衛星系が増加すると、それらの電波は特定衛星受信チャンネルには雑音となる。その増加量は数 10%となる。現実には都市雑音等が大きいいため、実質的には問題は少ない。しかし、使える衛星は極力有効利用しなければ、僅かとはいえ雑音増加の被害を受けるだけになるのである。

3. 新 GNSS による測量

測量への新 GNSS の寄与は、

- 多衛星系による可視性改善
 - 高精度軌道情報(当座は GPS、ガリレオ)
 - 低感度セミコードレス受信不要
 - 多種類のワイドレーン
- などであって、これにより、
- 高速バイアス決定、確実な初期化
 - 長距離 OTF-RTK
 - 観測時間短縮、精度改善

が可能となる。

新 GNSS の一般用 3 周波数測位信号の最大受益者は測量である。一般単独測位、DGNSSS は、新 GNSS になっても L1 一波が中心であろう。専門家

用高精度単独測位、DGNSSS でも、L1、L5 の二波で十分である。

- 多衛星系による多周波数測量では、
- 前項 e)により多衛星系使用を推奨
- しかし、同 d)により軌道精度に注意
- パイロット信号利用を推奨
- 多周波数アンテナの損失、位相に注意
- 衛星系間の座標、時刻系の校正
- 多衛星系併用受信機必要
- などに留意しなければならない。

4. C 帯測位衛星の検討

1998 年ころより欧州、米国で、C 帯電波 (5 GHz 帯、波長約 6 cm) を測位に利用する検討が行われてきた。進行中のガリレオには C 帯が割り当てられているが、当座は衛星管理に部分的に使われるだけである。いま、欧州で検討されている C 帯測位では、

- 5019.86 MHz (≠整数×10.23 MHz) 一波
- 一般用全世界測位システム
- 局所的政府用測位電波配信

を考えている。C 帯測位電波の特質は、紙数の制約のため理由を説明できないが、結果だけを述べると、

- 電離層誤差が L1 の 1/10
- ドップラー速度精度 3 倍
- 豪雨のとき電波減衰あり
- 受信アンテナサイズ 1/3
- アンテナ位相誤差やや改善
- 都市雑音電波障害等がかなり減少
- マルチパスやや改善
- バイアス決定性能やや劣化
- 衛星送信電力は 10 倍

などで、上記電離層誤差低減が主因となって一波単独測位に顕著な精度改善が期待できる。こ

れを一波測量に利用すると、基線距離 30 km 以上でも電離層誤差を十分小さく保つことができる。ただし、C 帯一波による OTF-RTK は困難であり、長距離測量ではやはり複数波電離層補正が必要である。C 帯と L 帯によるイオンフリーは原理的には何の支障もないが、C-L 帯併用受信アンテナの損失、位相特性、サイズなどに懸念がある。イオンフリーと OTF-RTK には C 帯域における複数波が望ましい。

IRNSS、ETS-8 に使われる 2490 MHz 電波では、上記「C 帯測位電波の特質」の各項の数字を、

10 → 2.5、 3 → 1.6

に読み替えばよい。

5. おわりに

現在進行中の新 GNSS に対して、測量の立場では、「どのような作業に使うか」によって、どの衛星系といくつの周波数を使うかを的確に判断しなければならない。2.6 項 e) の件と各衛星系それぞれの軌道情報精度とを見比べて選択する必要がある。多周波数受信アンテナの損失（受信感度低下）と位相の問題も注意しなければならない。多衛星系、多周波数データ伝送経費も重要な視点である。電子基準点の将来像を策定するにも、同じことをより厳密に評価しなければならない。

C 帯と S 帯については今後の展開が必ずしも明確ではないが、その動向に注意すべきである。とくに C 帯は、カーナビや携帯電話のような閉じた、しかし巨大な利用形態には相当な利益が見込まれる。

紙数の関係で、理論の裏付けを省略し結果だけを述べたところが多く、お分かり難かったこととお詫び申し上げます。ご質問等があれば筆者までお寄せいただきたい。

6. 文献、参考ホームページ

(1) たとえばつぎの書物があるが、同書では出版年次の関係で、北斗/コンパス、グロナスの情報が古い。

土屋 淳、辻 宏道：GNSS 測量の基礎、2008 年 3 月：日本測量協会

URL：以下の二つのページは米国の GNSS 関連雑誌であって、各衛星系に関する論文、資料等、さらに C 帯の論文もリンクを含めて多数見ることができる。これら二誌のページを随時参照することを推奨する。ただし、時間経過とともに内容更新されることに注意されたい。

<http://www.gpsworld.com/>

<http://www.insidegnss.com/>

日本測量協会技術顧問 土屋 淳

平成 21 年 10 月 15 日

リアルタイム測位推進協議会講演



.....

■■電子基準点データ配信機関の公募について

1. 電子基準点データ配信機関の公募に関する公示

平成21年8月10日

国土地理院長 小牧 和雄

国土地理院では、全国に設置した電子基準点(約1200点)から取得したリアルタイムデータ(以下「データ」という。)を、公正かつ広く社会において活用するため、民間にデータを解放している。データの配信に当たっては、電子基準点リアルタイムデータ配信機関(以下「配信機関」という。)1者を定め、配信機関と協定を締結し、データを配信している。

現在、配信機関となっている法人との協定が平成21年度末で終了することから、下記の資格要件を満たし、全電子基準点のデータについて配信機関となることを希望する者に対して、企画提案書の提出を要請するものである。

2. 企画提案書の提出

業務の名称：電子基準点リアルタイムデータ配信

履行期限：平成22年4月1日から平成27年3月31日まで

標記業務の企画提案書に基づく選定の参加について関心がありますので、関係資料を提出します。

平成21年9月11日

国土地理院長 小牧 和雄 殿

日本測量協会 会長 村井 俊治

*関係資料(業務体制、システム仕様、5年間の事業計画と収支計画、配信業務規程等)

3. 企画提案書ヒアリング

9月15日 於国土地理院測地観測センター

4. 選定通知書

平成21年9月30日

日本測量協会 会長 村井 俊治 殿

国土地理院長 小牧 和雄

平成21年9月11日付で貴社から提出された次の業務の企画提案書を特定し、貴社を電子基準点リアルタイムデータ配信機関に選定しましたので通知します。

5. 平成21年10月5日 配信機関の決定について公示

電子基準点リアルタイムデータ配信機関の決定について

平成21年8月10日に公募を行った電子基準点リアルタイムデータ配信機関については、審査の結果、下記のとおり決定したのでお知らせします。

配信機関名 社団法人 日本測量協会

.....

