

詫間キャンパス RTK 基準局の設置と公開

小野 安季良* 宮内 大輝**

Setting and Open of Takuma Campus RTK Base Station

Akira ONO and Taiki MIYAUCHI

Abstract

RTK (Real Time Kinematic) positioning is a satellite navigation technique used to enhance the precision of positioning obtained from GNSS such as GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou. RTK can establish centimeter-level positioning. In this paper, we located GNSS antenna for Takuma campus base station on the rooftop of the departmental building 1. Latitude and longitude of the station were determined by changing elevation angle and SNR that are used in RTK operation. We report that Takuma campus RTK base station was opened.

Keywords : RTK, GNSS, base station

1. 緒言

GNSS (Global Navigation Satellite System) は、全地球航法衛星システムで、GPS (米国)、Galileo (欧州)、GLONASS (ロシア)、BeiDou (中国)、そして日本の準天頂衛星システム「みちびき」QZSS などの総称である。

カーナビに代表される衛星を用いた位置測位は、さまざまな分野で応用されている。例えば、建設工事¹⁾、公共測量²⁾、災害調査やロボット制御³⁾などの分野である。

測位点で、GPS 衛星からの受信信号のみを用いる一般的な GPS 測位 (GPS 単独測位という) は、精度が数 m である。その原因は、測位点から GPS 衛星までの距離が遠いため、宇宙空間や大気圏内で発生するさまざまな物理現象によって、電波の到達時間に揺らぎが発生するからである。高精度測位を必要とする自動運転車両の分野の研究では、衛星測位に加えてカメラによる画像解析、レーダーなどによる情報とダイナミックマップを利用して、正確な位置を推定しながら自動走行を行なっている⁴⁾。

* 香川高等専門学校 通信ネットワーク工学科

** 香川高等専門学校専攻科 電子情報通信工学専攻

一方、平成 30 年 11 月に正式運用が開始された準天頂衛星システム「みちびき」からの GPS 補完信号と補強信号を受信すれば、好条件下において水平方向で静止 6cm、動態 12cm の測位精度が得られるという報告がある⁵⁾。「みちびき」は、その軌道が日本の真上を通過する軌道であるため、常に 3 機以上が日本上空から見え、山岳地帯やビルに囲まれた都市部でも高精度の測位が可能である。今後、GPS 衛星と「みちびき」を併用して測位することで、1m 以下の精度が期待されている。

ところで、現在、高精度衛星測位の代表的なものとして、RTK (Real Time Kinematic) 測位がある⁶⁾。これは、移動局での測位に、他の基準局で受信する衛星データを用いる相対測位の 1 種で、緯度と経度が正確に判明している基準局のデータを利用すれば、1cm 単位での正確な測位が可能となるものである。測位したい移動局とある程度、近距離にある基準局の双方で、共通の衛星の電波を受信すれば、GPS 単独測位の誤差要因である電波の到達時間の揺らぎを除去できるので、精度のよい測位が可能となる。

しかし、精度 1cm を達成できるのは、移動局が基準局から半径 10km 以内の場合である。また、できるだ

け近くの基準局を利用した方が測位精度は高くなる。RTKによる正確な測位は、基準局の正確な設置と運用により成り立ち、1つの街に1つの基準局があれば、日本全国で高精度なRTK測位が可能となる。

本研究の目的は、詫間キャンパスに誰でも利用できるRTK基準局（以下、詫間基準局と呼ぶ）を設置し、公開することである。2018年10月現在、基準局掲示板⁷⁾に登録されている基準局（オープン基準局）は31局しかなく、詫間キャンパスから一番近い基準局でも奈良先端科学技術大学院大学基準局（奈良県生駒市、以下、奈良基準局と呼ぶ）で、その直線距離は約200kmある。このため、基準局の設置にあたり、計算処理条件を変更しながら詫間基準局の緯度、経度を詳細に算出した⁸⁾。また、基準局として国土地理院の電子基準点を用いた場合でも、詫間基準局の緯度、経度を算出した⁹⁾¹⁰⁾。最後に、算出した位置情報で詫間基準局を公開したので報告する。

2. 測位の原理

GNSS衛星数は、表1の通りである¹¹⁾。測位計算では、受信できる衛星数が多く、それら衛星からの受信電界強度が強いほど高精度測位が可能となる。

表1 GNSS衛星数 (2018年3月時点)

測位衛星システム	運用状況
GPS (米国)	31機体制
GLONASS (ロシア)	24機体制
Galileo (欧州)	14機体制
BeiDou (中国)	15機体制

2.1. 単独測位の原理

GPSのみを用いた単独測位を考える。図1に示すように、受信点Pにおいて受信できる3機のGPS衛星を S_1, S_2, S_3 とし、これら衛星からの電波を受信点Pで同時に受信する。各GPS衛星からの電波の到達時間をそれぞれ t_1, t_2, t_3 とすれば、それぞれの衛星から受信点Pまでの距離 r_1, r_2, r_3 は次式で与えられる。

$$r_i = c \cdot t_i \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

ここで、 c は電波の速度である。また、各GPS衛星の座標（位置）をそれぞれ $S_1(x_1, y_1, z_1), S_2(x_2, y_2, z_2)$ 、および $S_3(x_3, y_3, z_3)$ とし、求めるべき受信点Pの座標を (x_0, y_0, z_0) とすれば、それぞれの距離は次式となる。

$$r_i = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2)$$

式(2)より、3元連立方程式を解けば、未知数 (x_0, y_0, z_0)

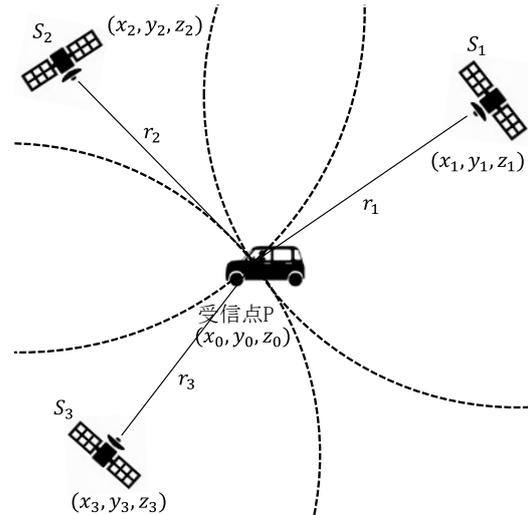


図1 GPS単独測位の原理

を求めることができる。理論的には3機の衛星で測位できるが、測位精度を高めるため、実用上は電界強度の強い6機程度の衛星からの信号を受信する必要がある。

2.2. RTK測位の原理

RTK測位は、リアルタイムに1cmの精度で正確に測位できる技術である。移動局で得られる衛星からの位置情報に加えて、図2に示すように、公開されている基準局で得られる衛星の位置情報を利用し位置補正する。これは、移動局と基準局が、同時に強い電界強度で受信できる衛星からの電波の位相差情報に基づいて行なわれる。また、情報配信には基準局のデータに外部からアクセスできるように、HTTPをベースとしたTCPプロトコルであるNTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) を用いる。基準局で観測したGNSSデータは、インターネット回線を通して情報配信局であるNTRIP Casterに送信される。移動局は、このNTRIP Casterにアクセスし、測位計算に利用する

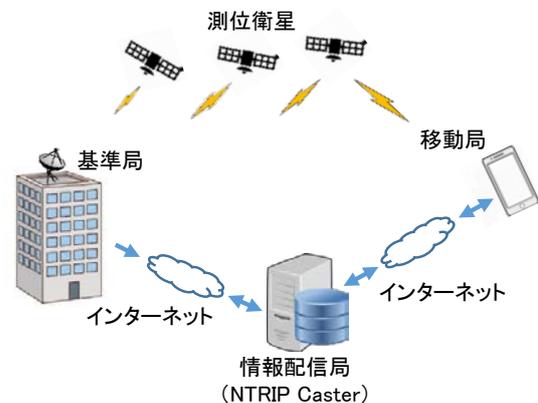


図2 RTK測位の原理

基準局の必要な衛星データを取得して位置補正する。

RTKの測位計算には、RTKLIB^{12,13)}を用いる。測位精度数cmを保障するFix解を得るまでに、Float解と呼ばれる時間経過とともにFix解に収束するまでの途中の解を得る。基準局と移動局との距離が長い場合や、基準局と移動局で受信状態のよい共通の衛星が少ない場合は、Fix解を導出するまでの時間が長くなり、Fix解が得られないこともある。

3. 実験方法

基準局を開局するには、設置場所における受信電波が強いこと、マルチパスの影響を受けないことが要求される。そのため、受信アンテナを見晴らしのよい詫間キャンパス第1学科棟屋上に設置した(写真1)。そして、受信データを同軸ケーブルで研究室内に引き込み、GNSSレシーバーでPCに取り込んだ。使用したGNSSアンテナはrTWI-ANT37TM-TNC00(Tallysman製)で、GPS、GLONASS、Galileo、BeiDouおよび、QZSSの各衛星に対応している。GNSSモジュールはNEO-M8Pモジュール(ユーブロックス製)で、GPS、GLONASS、BeiDouおよび、QZSSの各衛星に対応している。



写真1 アンテナ設置場所

情報配信局であるNTRIPCasterには、無償のサービスであるRTK2go(www.rtk2go.com)を利用し、基準局のGNSSデータを取得した。

新たに公開する詫間基準局の緯度、経度の設定には、現在公開されている基準局を利用した設定と国土地理院の電子基準点を用いた設定がある。本研究では、両方で緯度、経度を取得する。

各実験の観測時間は、15時から翌日15時とし、1秒間隔で86,400点の観測データを得た。

3.1. 単独測位による位置測定

単独測位による位置測定では、RTK測位との精度比

較の大きな目安とするため、GPS衛星のみを用い、仰角マスクを15°、SNRマスク40dBとして測定した。

3.2. 基準局を利用したRTK測位

RTK2goに登録された固定基準局は、移動局の単独測位によるデータの位置補正データを提供する。一般に、基準局が近いほど精度が上がり、RTK-GNSSによる測位精度は式(3)で与えられる。

$$1\text{cm} + 2\text{ppm} \times D \quad (3)$$

ここで、ppmは百万分率、Dcmは補正情報を得る基準局からの距離(基線長)である。例えば、D=10kmで精度3cm、D=20kmで精度5cmとなる。

実験開始時点で、全国で31のRTK基準局が登録されていた⁷⁾。このうち、公開されている基準局は23で、休止中が8である。詫間キャンパスから一番近くにある奈良基準局(表2)で取得したデータを位置補正データとして用いた。

表2 奈良基準局の緯度・経度

緯度	北緯 34.73211595°
経度	東経 135.7341747°
楕円体高 (m)	191.8914691

詫間キャンパスに設置したGNSSアンテナおよびGNSSモジュールは、GPSなど多くの衛星の電波を受信できるが、高精度なRTK測位を行なうには、受信状態の良好な衛星のみを用いて測位演算しなければならない。仰角が小さい場合、衛星の信号は、木による減衰で弱くなる。また、ビルなどが立ち並ぶ場所ではマルチパスによる影響が大きくなり、GNSS受信データ精度が落ちる大きな原因となる。しかし、あまり大きくしすぎると受信できる衛星数が減る。マルチパスや誤差を多く含む恐れのある衛星は、仰角マスクやSNRマスクでRTKLIBの演算対象から外しておく必要がある。実験では、まず、GPS衛星だけを受信する設定でSNRを40[dB]と固定し、受信する衛星の仰角のみを変化させて適正な仰角を得た。その後、仰角をその値に固定し、受信する衛星のSNRを変化させて高精度測位できるSNRを求めた。

そして、仰角とSNRを上記で得られた値に固定し、奈良基準局で受信可能なGPSとBeiDouによるRTK測位を行なった。

3.3. 国土地理院の電子基準点を利用したRTK測位

国土地理院は、全国に約20km間隔で約1,300箇所の電子基準点を設置している。電子基準点観測データ

提供サービス¹⁴⁾から、無償でRTK-GNSS測位用の補正情報を得ることができる。このデータ提供サービスを用いたRTK測位は、基準局を用いるRTK測位よりもより正確な位置を求めることができる。電子基準点として詫間キャンパスから一番近くにある三野電子基準点(香川県三豊市大見小学校)のデータを位置補正データとして用いた。三野電子基準点と詫間キャンパスの直線距離は約7.7kmである。電子基準点のデータ提供サービスはリアルタイムには利用できないので、詫間基準局での単独測位日の後日、国土地理院のサイトからその日の三野電子基準点の観測データをダウンロードした。実験日当日の三野電子基準点の緯度・経度を表3に示す。

表3 実験日当日の三野電子基準点の緯度・経度

緯度	北緯 34.21739399°
経度	東経 133.71506712°
楕円体高 (m)	52.3963

4. 実験結果

4.1. 単独測位による結果

図3(a)はGPS単独測位実験時のある時刻におけるGPS衛星からのSNRを、図3(b)はそのときのGPS衛星

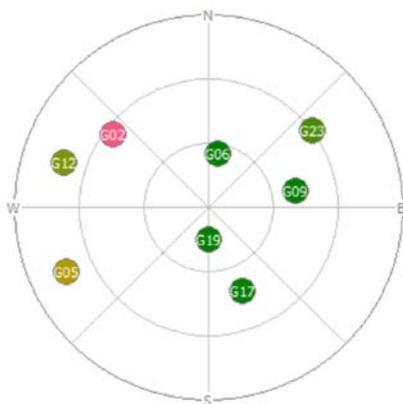
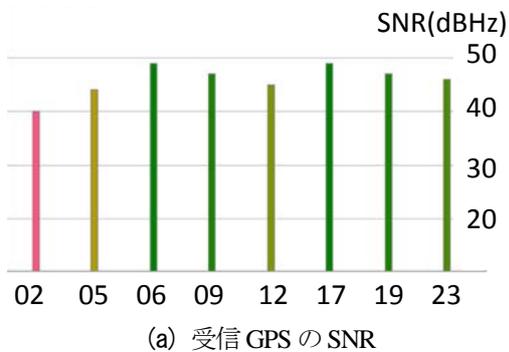


図3 GPS単独測位

星の配置を表している。図3(a)では横軸が受信できている衛星IDであり、ID番号02など8機の衛星からの電波を受信できており、そのうちSNRが40dB以上の衛星が7機あることを表している。また、GPS単独測位による全測位データを図4に示す。測位結果のばらつきは、測位精度を表している。ひと目盛りが1mであるので、GPS単独測位の測位精度は、緯度方向、経度方向ともに数mであることがわかる。

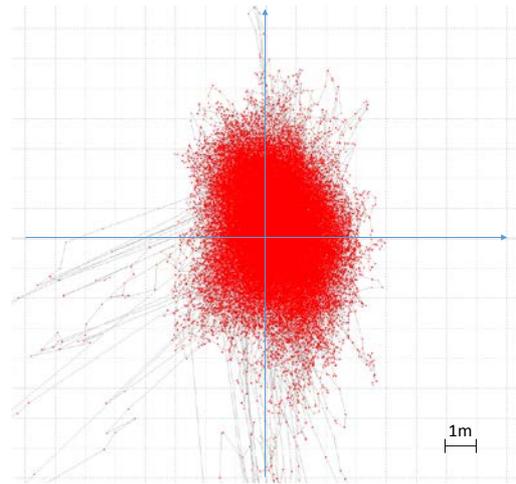


図4 GPS単独測位での測位値の変動 (H30.10.5)

4.2. GPS衛星のみを用いたRTK測位による仰角の設定

図5は奈良基準局を利用したGPS衛星のみによるRTK測位で、Fix解が得られた際の測位値の変動を示している。図5(a)~図5(d)は、SNRを40dBと固定し、仰角マスクを変化させた場合の結果である。この場合、移動局である詫間基準局は、見晴らしのよい屋上に設置しているので、木による減衰や建物のマルチパスの影響を受けにくく、仰角が小さい場合でも良好な結果が得られている。また、仰角マスクとFix率の関係を表4に示す。表4より、仰角マスクが10°の場合、Fix率が最も高くなるが、図5(b)よりFix解のばらつきが大きくなる。仰角マスクが15°の場合、10°の場合に比べてFix率が若干悪くなるが、図5(c)よりFix解のばらつきが小さいので、これ以降の実験では、仰角マスクを15°と設定する。

表4 仰角マスクとFix率 (SNR 40dB)

仰角マスク	5°	10°	15°	20°
Fix率 [%]	23.9	35.5	34.8	25.4

4.3. GPS衛星のみを用いたRTK測位によるSNR設定

仰角マスクを15°と固定し、SNRマスクを変化さ

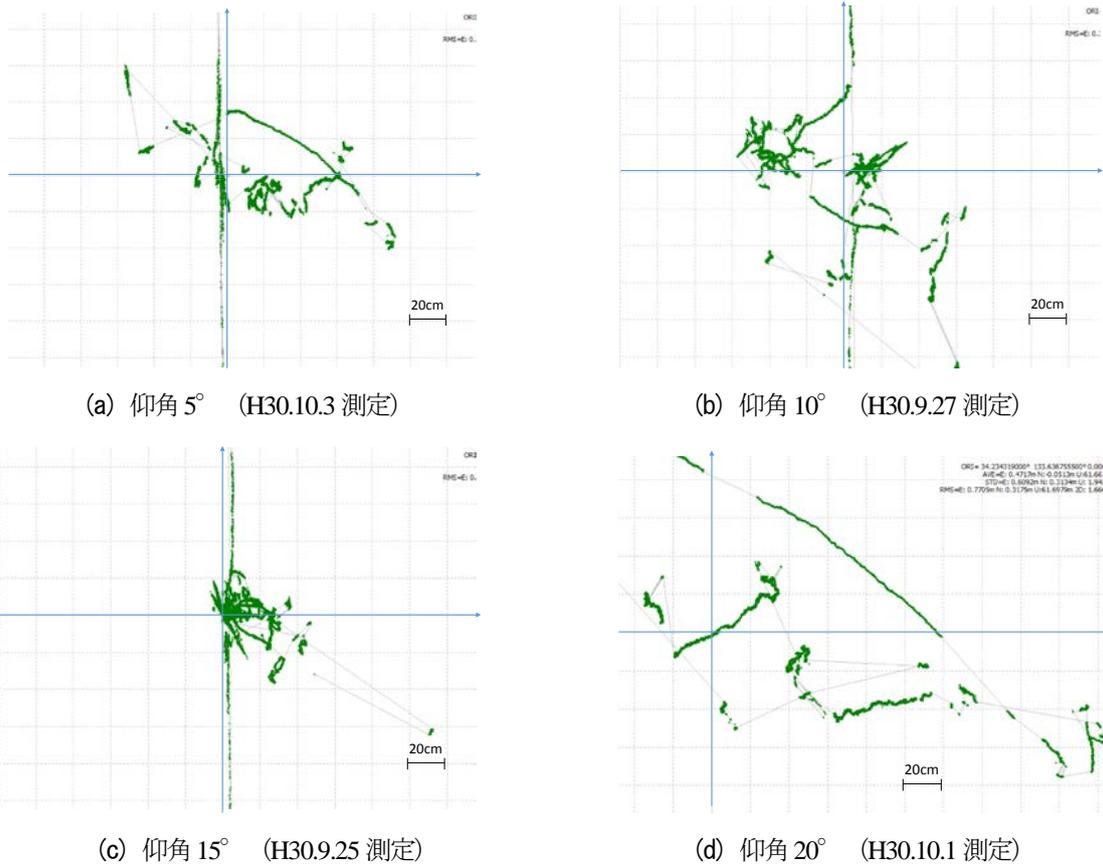


図5 GPS衛星のみを用いたRTK測位（仰角の設定）

せて奈良基準局を利用したGPS衛星のみによるRTK測位を行った。このときのFix解を図6に示す。図6(a)～図6(c)では一目盛り20cmで、図6(d)では一目盛り2mである。また、SNRマスクとFix率の関係を表5に示す。表5より、SNRを高く設定すると受信電界強度が強い衛星のデータを利用して測位計算が行なわれるので信頼度が高くなる。しかし、高くしすぎると、図6(d)に示すように測位結果が悪くなる。これは、位置補正に利用している奈良基準局と測位している詫間基準局の距離がおおよそ200km離れているので、しきい値をクリアする共通の衛星数が減ったためである。各局で受信している衛星のSNRは時間とともに変動するので、わずかにしきい値を超えて計算に利用している衛星のSNRがしきい値を下回るとその衛星が利用できなくなる。その場合、RTK測位解法の初期値がリセットされ、最初から方程式を解き直すことになる。そのため、Fix解を得たとしてもばらつきの大い測位結果を得た。

表5 SNRマスクとFix率（仰角15°）

SNRマスク[dB]	30	35	40	45
Fix率[%]	1.3	0.9	34.8	37.8

図6と表5の結果より、SNRを40[dB]と設定して以降の実験を進める。

4.4. 奈良基準局を利用したRTK測位の結果

これまでの測位結果より、仰角マスクを15°、SNRマスクを40[dB]と設定した。また、位置補正に利用している奈良基準局では、GPS衛星とBeiDou衛星を用いて測位計算しているのので、詫間基準局でも同じ衛星を利用して測位した。測位時間は、10月19日15時から3日間（72時間）、観測点259,200点とした。この実験でのFix率は11.6%であった。全Fix解の精度は、緯度方向に45m、経度方向に55mであるが、そのうち、Fix解が集中する付近の測位値の変動を図7に示す。図7において、四角で囲んだ範囲は、全Fix解のうち中心付近の94%を取り出したものである。この範囲のFix解は、28,273点あり、それらの緯度、経度の平均値を取った結果を表6に示す。

4.5. 国土地理院の電子基準点を利用したRTK測位

詫間キャンパスから最も近い三野電子基準点のGPSおよびQZSSの観測データを位置補正に利用する。このため、詫間基準局での単独測位でもそれらの衛星デ

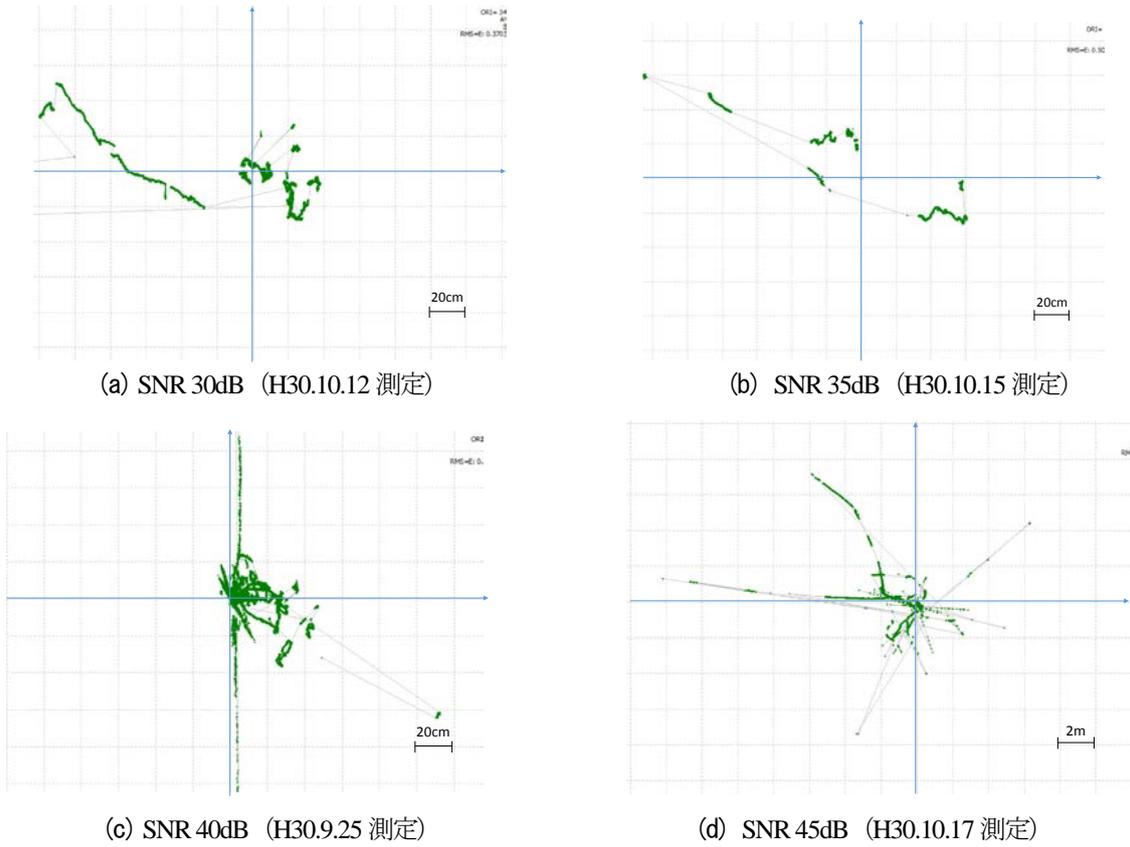


図6 GPS衛星のみを用いたRTK測位 (SNRの設定)

ータを受信した。単独測位日の後日、国土地理院のサイトからその日の三野電子基準点の観測データと航法データをダウンロードした。航法データは、電子基準

点の地殻変動を考慮したF3解である。そしてRTKLIBの後処理測位ソフトウェアRTKPOSTを用いて、詫間基準局で単独測位した緯度、経度を位置補正した。測定は、平成30年10月25日15時から24時間行なった。Fix解が得られた際の全測位値の変動を図8に示す。図8よりFix解の精度は緯度方向に約10cm、経度方向に約11cmであった。また、この実験でのFix率は86.6%であった。表7は、Fix解を得たときの測位結果の平均値である。

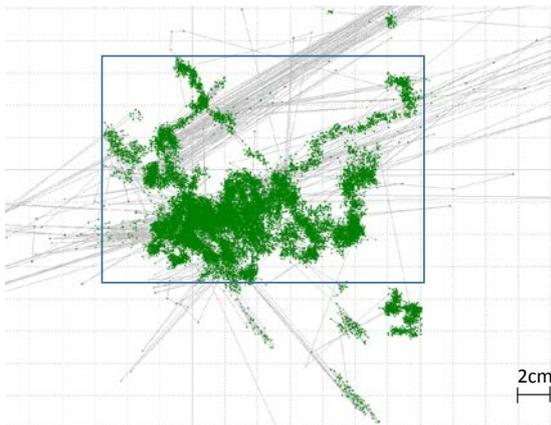


図7 奈良基準局を利用したRTK測位結果

表6 奈良基準局を利用したRTK測位により求めた詫間基準局の位置情報

緯度	北緯 34.23431879°
経度	東経 133.6367558°
楕円体高 (m)	61.99

詫間基準局の奈良基準局を用いたRTK測位結果(表6)と三野電子基準点データを用いたRTK測位結果(表7)を比較する。緯度は0.00000008°、距離にして8.8mm、

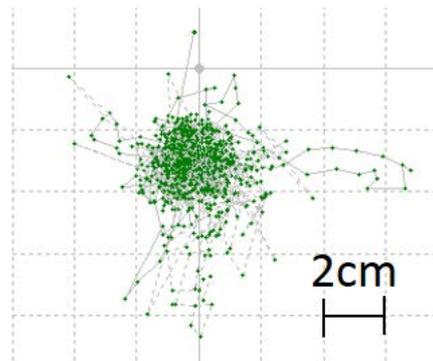


図8 電子基準点データを利用したRTK測位結果

表7 電子基準点データを利用した RTK 測位により求めた詫間基準局の位置情報

緯度	北緯 34.23431871°
経度	東経 133.6367554°
楕円体高 (m)	62.02

経度は0.0000004°，距離にして4.4cm，楕円体高3.0cmの差がある。奈良基準局と三野電子基準点は，それぞれ詫間キャンパスからの直線距離が約200km および約7.7kmである。式(3)を考慮すると，できるだけ近くの基準局（または電子基準点）のデータで位置補正した方がよい。このため，表7の結果を詫間基準局の位置情報とする。

一方で，奈良基準局を利用して RTK 測位して得られた詫間基準局の位置情報は，奈良基準局との距離を考えると非常に精度よく測定できているといえる。

5. 基準局の公開

データ配信用サーバである NTRIP Caster には RTK2go を用いた。詫間基準局で受信したデータを，使用した GNSS モジュール製作者社である ublox 社のデータ形式 u-blox でインターネット配信した。配信したデータは無償で，登録の必要もなく誰でも利用できる。図9は，善意の基準局掲示板の HP の一部である。研究などで高精度な位置測定を行ないたい場合は，この HP の情報を参考に詫間基準局を利用することができる。

広島市	オフィス小田	34.58215241	132.41432831	293.666
大阪府泉大津市	阪和豊中1	34.49393008	135.4266754	18.914
広島市	広島市立大学	34.44010454	132.41478372	232.728
香川県三豊市	香川県専修学校キャンパス	34.23431871	133.6367554	62.02
福岡県北九州市	計測検査株式会社	33.86638247	130.74818530	54.212

図9 善意の基準局掲示板 HP

6. 結言

本研究では，奈良基準局のデータおよび三野電子基準点のデータで RTK 測位を行ない，詫間基準局の位置測定を行なった。公開した位置情報は，電子基準点の地殻変動まで考慮した F3 解である。この詫間基準

局のデータは，インターネット回線を通して無償で登録の必要もなく誰でも利用できる。

今後の課題として，詫間基準局を用いて移動体の測位を行ない，単独測位と比較することなどが挙げられる。また，配信するデータを GNSS データの標準フォーマットである RTCM プロトコルで配信する予定である。

参考文献

- 1) 武石他，“重機土工におけるネットワーク型 RTK-GPS の有効性検討”，平成 21 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集，pp.131-134，2009
- 2) 国土地理院 i-Construction，“推進本部事務局公共測量における UAV 測量マニュアルと安全基準の概要”，写真測量とリモートセンシング，Vol. 55, No. 3, pp.210-216，2016
- 3) 神ノ門他，“Dual RTK-GNSS を用いた位置と向きの同時計測システム”，2018 年度精密工学会学術講演会講演論文集，pp.305-306，2018
- 4) 小山浩，柴田泰秀，“自動走行におけるダイナミックマップ整備”，システム制御情報学会誌，Vol. 60, No. 11, pp.463-468，2016
- 5) <http://qzss.go.jp/technical/system/16.html> (2018.10.10)
- 6) 土倉他，“都市部における GPS と BeiDou による統合 RTK 測位に関する研究”，信学技報，Vol. 116, No. 199, pp.23-26，2016
- 7) <http://rtk.silentsystem.jp/>, (2018.11.27)
- 8) 宮内大輝，“RTK 測位による詫間キャンパス基準局の位置情報測定”，平成 30 年度専攻科特別研究 I 中間発表会論文集，2018
- 9) 宮内大輝，小野安季良，“電子基準点データを利用した RTK 測位による詫間基準局の位置測定”，第 24 回高専シンポジウム in Oyama，2019
- 10) 宮内大輝，“RTK 測位に利用する基準局による測位精度の比較”，平成 30 年度専攻科特別研究 I 期末発表会論文集，2019
- 11) 内閣府宇宙政策委員会第 68 回会合資料 3
- 12) 高須知二，“RTK-GPS 用プログラムライブラリ RTKLIB ver. 2.2 の評価および応用”，日本地球惑星科学連合大会，D107-013(2009)
- 13) <http://gpspp.sakura.ne.jp/index.shtml> (2018.10.8)
- 14) <http://terras.gsi.go.jp/>, (2018.10.2)