屋外 3 次元空間における高精度衛星測位の適用範囲拡大のための技術開発
Technical Development for Applicable Area Expansion of GNSS Precise Positioning

測地観測センター　多田直洋・大中泰彦[1]・宮川康平[2]・酒井和紀[2]・古屋智秋[3]・鎌苅裕紀[4]・山尾裕美[2]・檜山洋平[5]・畑中雄樹[6]
Geodetic Observation Center　Naohiro TADA, Yasuhiko ONAKA, Kohei MIYAGAWA, Kazuki SAKAI, Tomoaki FURUYA, Yuki KAMAKARI, Hiromi YAMAO, Yohei HIYAMA and Yuki HATANAKA

要　旨

上空が建物等で遮られる都市部ビル街等で，GPS や準天頂衛星システム「みちびき」等の GNSS を用いて測位を行う際，上空を遮る建物等により反射・回折した品質の悪い信号（マルチパス）の影響を受け，測位精度が悪化してしまう．そこで国土地理院では，上空視界が開けておらず高精度衛星測位が困難な地域において，その適用範囲を拡大することを目的に，上空視界情報の利用及び測位信号の品質検定によりマルチパスの影響を取り除く手法の開発に取り組んできた．開発した手法は「上空写真法」,「ドップラー法」,「3 次元建物法」及び「ドップラー速度法」である．

開発した各手法を神戸市内での GNSS 定点観測により検証した結果，上空視界が一定以上開けている場所において，得られる座標の精度が向上することを確認した．中でも上空視界情報を利用してマスクを作成し，衛星の選択を行う上空写真法と 3 次元建物法が効果的であった．マスクに求められる精度については，マスクにずれを与えて適用し，その効果が確保できるずれの範囲を評価した結果，全方位角平均で仰角のずれが 15°程度以下ならば，概ねマスクの適用による測位結果の改善が期待できることがわかった．また，リアルタイム測位で実用性が高いと考えられた 3 次元建物法について，3 次元建物情報からマスクを作成するのに必要な位置座標の推定を組み込むよう手法の改良を実施した．改良を踏まえ神戸市内においてリアルタイム測位を模した検証を行い，衛星可視率 55%以上でマルチパス軽減手法の適用により測位結果は安定して改善した．これら評価結果から各手法の長所・短所を整理し，測位環境に応じた手法の適用指針としてまとめた．

1. はじめに

各国における GNSS（Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム）の整備に伴い，複数の異なる衛星システムを用いて測位を行うことにより，これまで上空視界が制限され，測位に必要な衛星数が確保できなかった地域において，衛星数の問題が解決し，衛星測位の適用範囲拡大が可能となる環境が実現した．そのため，国土地理院では平成 23 年度から平成 26 年度にかけて，国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な国土管理のための複数の衛星測位システム（マルチ GNSS）による高精度測位技術の開発」を実施し，マルチ GNSS を活用するための技術開発を行ってきた．これにより，異なる衛星系からの信号を統合的に解析することが可能になった．

しかし，大都市ビル街等上空視界が大きく制限された場所では未だ問題があった．それは衛星からの信号が，建物等で反射・回折して受信されることによる測位精度の悪化である（図-1）．測位精度の悪化を防ぐためには，上空視界情報等を利用して，品質の悪い信号を自動的に選択し，除去することが必要である．

このため，国土地理院では平成 27 年度から平成 29 年度にかけて，国土交通省総合技術開発プロジェクト「3 次元地理空間情報を活用した安全・安心・快適な社会実現のための技術開発」（以下「3 次元総プロ」という．）の一環として，「屋外 3 次元空間における高精度衛星測位の適用範囲拡大のための技術開発」を実施した．本稿では，都市部ビル街等で衛星測位を実施する際に誤差の要因となるマルチパスを軽減するための手法の調査・選定，アルゴリズム開発，手法の検証結果，検証結果から得られた手法の適用指針について報告する．

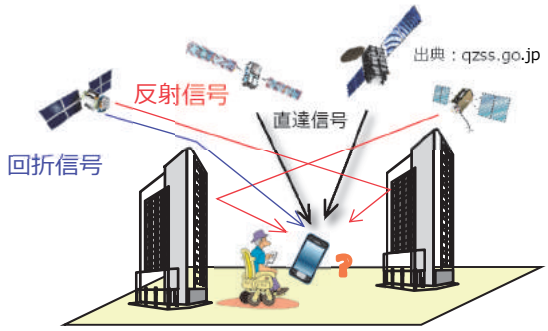

図-1　ビル街等で測位を行う際に問題となるマルチパス（反射・回折した信号）のイメージ

現所属：[1] 九州地方測量部. [2] 測地部. [3] 内閣府. [4] 北陸地方測量部. [5] 国土交通省. [6] 地理地殻活動研究センター

2. マルチパス軽減手法の選定・開発

まず平成 27 年度に，マルチパス軽減手法について，先行研究の調査を行った．先行研究の結果からマルチパス軽減の効果，長所・短所，また開発した成果をオープンソースとして公開する観点から既存の特許の有無を調査の上，開発する手法の選定を行った．選定した手法は以下の 4 つである．

・上空写真法
・ドップラー法
・3 次元建物法
・ドップラー速度法

選定した手法についてアルゴリズムを開発し，マルチパス軽減効果について検証を行うこととした．以下で各手法の仕組みについて説明していく．なお，ドップラー速度法については，検証用に開発したプログラムに改善すべき箇所があることが判明したため，本稿では評価結果の報告を割愛する．

2.1 上空写真法

上空写真法は観測点の上空を魚眼レンズカメラで撮影し，得られた写真から，建物等の遮蔽物に覆われた領域（以下「遮蔽領域」という．）を判別することで，遮蔽領域に位置する衛星からの信号を除去する手法である（Suzuki et al., 2011）．

この手法の手順としては，撮影した写真（写真-1）に対して，魚眼レンズの歪みや方位を補正し，遮蔽物と上空部に分ける二値化作業を行うことでマスクを作成する（図-2）．この一連の作業で生成されるマスクは，方位角ごとに上空と遮蔽物の境界部の仰角を記したものである（図-3）．このマスクファイルを観測データに適用し，遮蔽領域に位置する衛星からの信号を除去することで，測位精度を向上させるものである．この手法は一連の手順のとおり，観測以外に写真の撮影，レンズの歪みや写真の方角の補正等，GNSS 観測以外の作業が発生する．また，夜間等写真撮影による上空と建物の識別が困難な場合には手法適用は困難と考えられる．

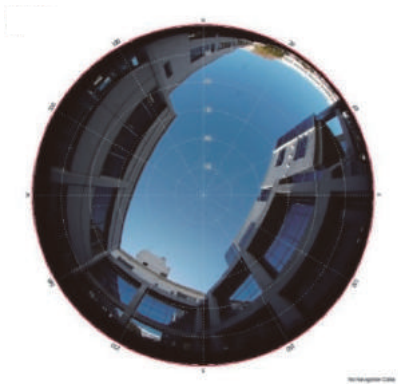

写真-1　魚眼レンズカメラで撮影した観測点上空の例

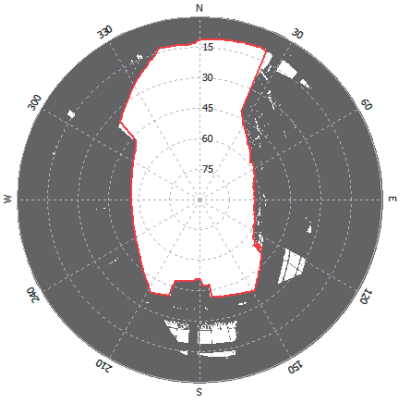

図-2　上空写真を加工してマスクを作成する例
（写真の方位・レンズの歪みを補正）

```
% Elevation Mask
% AZ(deg) EL(deg)
     0.0    12.0
     2.0    11.8
     3.0    11.7
     4.0    11.8
     5.0    11.7
     6.0    11.5
     8.0    11.3
     9.0    11.4
    10.0    11.2
    12.0    11.0
    15.0    10.9
    16.0    10.8
    18.0    10.6
    20.0    10.5
```

図-3　作成したマスクファイルの例

2.2 ドップラー法

ドップラー法は，GNSS 観測データに含まれる，ドップラー観測値を用いて信号の品質検定を行う手法である．先行研究からは，測位信号の搬送波位相を利用した手法が示された．この手法は異なる周波数間の位相変化量の差を用いて，基準局と観測局の 2 点間で電離層遅延の影響を取り除いた搬送波位相マルチパス誤差変化量を算出し，信号の品質検定を行う手法である（池田・佐田，2013）．

本研究では調査結果を踏まえ，サイクルスリップの影響を受けにくいドップラー観測値の位相差を用いた手法への改良を行った．ドップラー観測値の位相差を用いた計算式は以下で表される．

$$D_{ub}{}^{L1L2}(t) = D_{ub}{}^{L1}(t) - D_{ub}{}^{L2}$$

$$= \left|\left(D_u{}^{L1}(\mathrm{t}) - D_b{}^{L1}(\mathrm{t})\right)\frac{c}{f_{L1}} - \left(D_u{}^{L2}(\mathrm{t}) - D_u{}^{L2}(\mathrm{t})\right)\frac{c}{f_{L2}}\right|$$

ここで D はドップラー観測値，c は光速，f は信号の周波数，u は観測局，b は基準局を表す．観測局と基準局の間でドップラー観測値の一重差をとること

で，軌道誤差，衛星時計誤差，大気・電離層遅延量は基線長が短い場合に相殺される．さらに異なる周波数間で差をとることで，距離成分と受信機時計誤差の影響が相殺され，搬送波位相に相当するマルチパス・熱雑音が抽出できる．本手法を適用する利点は，上空視界情報を利用せず，観測データに含まれる情報のみを利用してマルチパスを軽減できることである．しかし，本手法の適用には，観測局と基準局で同時観測を行うこと，そしていずれの受信機においても 2 周波数以上に対応した受信機を使用することが必要となる．本研究においては国土地理院構内で実施した試験観測から得られた，測位信号の SNR（信号雑音比）の劣化が見られた上空の領域におけるドップラー観測値の位相差の平均値を基に，閾値を 1.5 cm と設定した．

2.3 3 次元建物法

3 次元建物法は 3 次元建物情報（図-4）を用いて観測点上空の視界状況を把握し，遮蔽領域に位置する衛星からの信号を除去する手法である．3 次元建物情報から図-5 で表されるような観測点の上空視界を把握することで，上空写真法と同様，方位角ごとに上空部と遮蔽部の境界部分の仰角が記されたマスクファイル（図-3）を生成し，観測データから遮蔽領域に位置する衛星からの信号を除去する手法となる（Miura et al., 2014）．

この手法を適用する上では，観測地域における 3 次元建物情報の整備が不可欠である．なお，道路標識や信号，樹木等，3 次元建物情報に含まれていない遮蔽物の影響は除去できない．また，3 次元建物情報を用いて上空視界情報を取得するためには観測点の位置情報が必要となる．

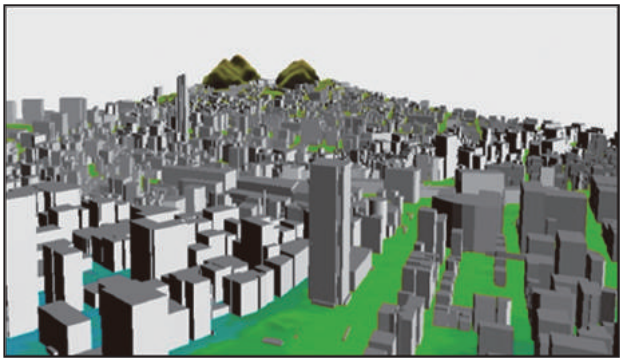

図-4　3 次元建物情報の例

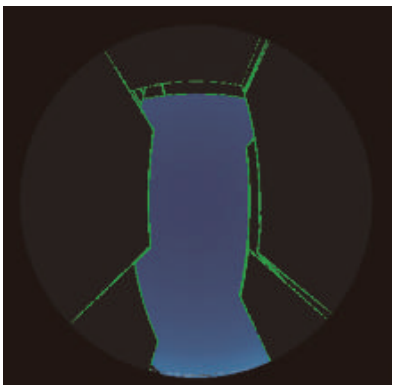

図-5　3 次元建物情報から上空視界状況を取得した例

2.4 ドップラー速度法

本手法は 2.2 節で述べた，ドップラー法と同様ドップラー観測値を用いる手法だが，ドップラー観測値の位相差の品質検定ではなく，速度を使用する手法である．ドップラー観測値から求めた速度成分を前エポックの Fix 解に積算して現エポックの適当と考えられる Float 解を算出する．この Float 解を初期値として与えてアンビギュイティを解くことで，より短いエポックで Fix 解を推定する．なお，前エポックの Fix 解を使用するため，解析の初期段階で Fix 解が得られない場合の導入は困難であると考えられる（Kubo, 2009）．本手法は検証にあたり，衛星軌道ファイルを変更することにより解析できない現象の発生やプログラムのコンパイル環境によって異なる結果が得られるなどの問題が発生し，開発プログラムが発展途上であること，また利用できる衛星が他の手法と異なり，同じ条件での比較ができないことから，本稿では評価結果を割愛する．

3. 都市部での検証（定点観測）

アルゴリズムの開発を行った各マルチパス軽減手法について検証を行うため，神戸市内の 3 次元建物情報が存在する地域において，GNSS 定点観測を行った．観測点は上空の遮蔽される方向や遮蔽物の種類などの遮蔽状況に応じて選出し（図-6，表-1），さらに各地域において遮蔽される度合いに応じて 4 地点を選点した（図-7）．事前に近傍の公共基準点座標が公開されている観測点から，トータルステーション（以下「TS」という．）を用いた地上観測によって各観測点の座標値を求めた．直接 TS で視認が出来ない場合は，上空視界が良好な場所にネットワーク型 RTK を用いて，方位標となる後視点と TS による地上測量を行う器械点を設置して観測を行った（図-8）．地上観測から得られた座標値を「真値」と仮定し，3 次元建物情報から上空視界情報の取得及び Fix 解（以降，Fix 解とは 2.4 節で述べたものと異なり，真値から水平方向に 10 cm 以内で得られた Fix 解と

する.）の判定に使用した.

表-1　各観測地域の遮蔽状況

地点名	遮蔽状況
大倉山	南側に樹木の遮蔽あり
89309 （公共基準点）	西側に遮蔽あり
湊川公園	南側に遮蔽あり
大倉山住宅	東側と南側の両方に遮蔽あり

図-6　神戸市内での観測地域の選出

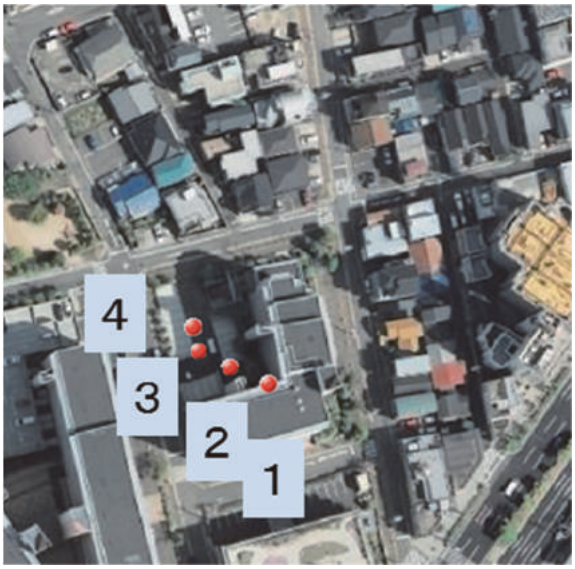

図-7　観測地域「大倉山住宅」で選点した観測点

図-8　定点観測における地上測量の配置

平成 28 年 12 月 21 日，22 日，平成 29 年 1 月 12 日，13 日の 4 日間にかけて，各観測点において 12 時間の GNSS 連続観測を実施した．観測時間は，上空の天頂付近に準天頂衛星がいる時間を考慮して選定された．なお，平成 28 年度実施の観測のため，準天頂衛星は初号機のみを使用した．観測から得られたデータに対して各マルチパス軽減手法を適用して，近傍の電子基準点「神戸中央（950356）」との基線解析を実施した．解析には国土地理院が開発したマルチ GNSS 対応基線解析ソフトウェア「GSILIB」を使用した．解析設定は表-2 のとおりである．

表-2　定点観測の GSILIB での解析設定

項　目	スタティック	キネマティック
Positioning Mode	Static	Kinematic
Frequencies	L1+L2+L5	
L2 Code Priority	L2P(Y)	
Solution Type	Forward	
Elevation Mask	15°	
Ionosphere Correction	Broadcast	
Troposphere Correction	Saastamoinen	
Satellite Ephemeris	Broadcast	
Navigation System	GPS，GLONASS，Galileo，QZSS（QZSS は初号機のみ使用）	
Integer Ambiguity Resolution Method	LAMBDA	
Integer Ambiguity Resolution Strategy	Continuous	Instantaneous

検証の結果，極端に上空が大きく遮蔽された点で 3 つの手法を適用したケース及び上空が樹木で大きく覆われた観測点で 3 次元建物法を適用したケースを除き，3 つの手法を適用することで，測位結果は

向上した．同じ観測点でも時刻により測位結果の向上の度合いには大きな差が生じた．これは上空の衛星数や衛星配置が関連していると考えられる．ここではその一例として写真-3 で示される上空視界状況における結果を示す．この観測点においては，いずれのマルチパス軽減手法を適用した場合においても，Fix 率（全エポックの解に占める Fix 解の割合）は大きく改善した（図-9）．改善効果は上空視界情報を利用して信号の選択を行った上空写真法と 3 次元建物法で大きく，受信した信号の品質検定により信号の選択を行ったドップラー法で低い結果となった．ドップラー法の改善効果が低い原因は，ドップラー観測値の閾値の設定（本研究においては 1.5cm）に問題があることが可能性として挙げられる．測位環境によらず一律の値を設定したことにより，品質の悪い信号が除去されず残っていたケースが見られた（図-10 右側円で囲われた部分）ほか，品質の良い信号が一部欠損しているケースも見られた．

写真-2　定点観測の様子（大倉山住宅）

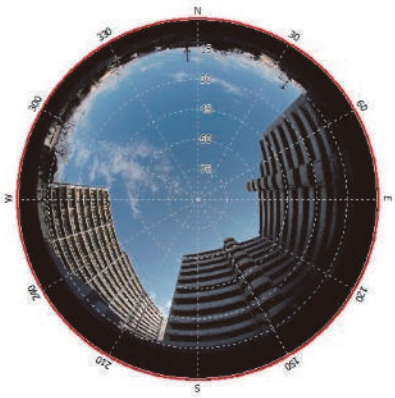

写真-3　図-9 の観測結果が得られた観測点の上空写真（大倉山住宅）

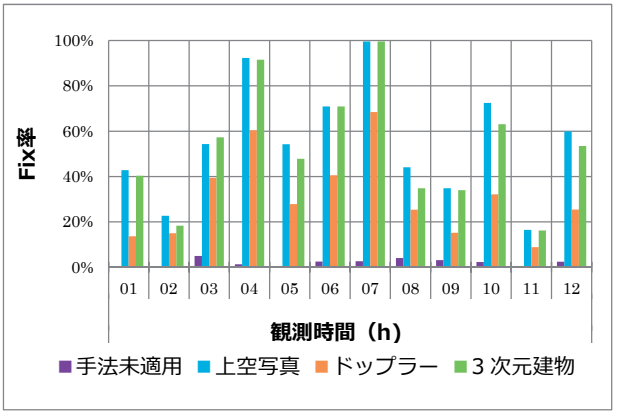

図-9　定点観測に各手法を適用した結果の例（大倉山住宅，キネマティックの結果）

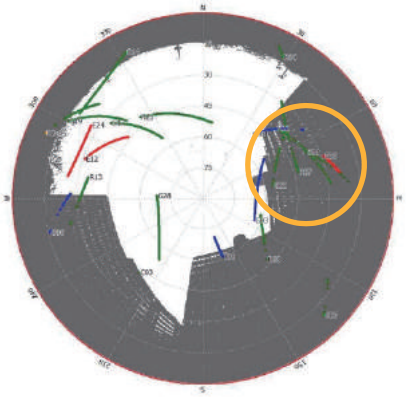

図-10　ドップラー法を適用した観測データに上空写真によるマスクを重ねた結果

4. マスクに要求される精度の評価

比較的良好なマルチパス軽減効果が得られた上空写真法と 3 次元建物法だが，両者共に上空の遮蔽領域をマスク処理することで，信号を除去する手法であるため，マスクの精度が測位結果に影響すると考えられる．このため，マスクを使用する際に必要となる精度について，3 章で使用した上空写真法により作成したマスクを真のマスクと仮定して，ずれを与えたマスクを適用して検証を行った．

マスクに与えるずれは以下の想定される誤差要因を踏まえて決定した．

・マスクを作成する地点と観測点の高さ方向のずれ
・写真中心が天頂方向から傾いたことによるずれ
・マスクの方位のずれ
・精度の低い 3 次元建物情報を用いた場合のずれ

以上を踏まえて，付加する誤差は以下の 5 通り選定した．

・全方位角に対する一律の仰角バイアス
・天頂方向へ傾きを与えた事によるバイアス
・方位角方向への回転
・方位角の間隔の間引き（デフォルトは 1°刻み）
・仰角マスク値を粗い分解能に丸める

これらのずれを真のマスクに対して−20°から+20°まで 1°刻みで与えて付加した．なお天頂方向への傾きの回転軸は方位角 0°−180°，45°−225°，90°−270°，135°−315°の 4 種類とした．

評価には真のマスクとずれを与えたマスクの仰角のバイアスの全方位角の平均（以下「平均仰角バイアス」という.）を用いた．平均仰角バイアスは以下の式で表される．

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(el_i - el_{i,0}\right)^2}$$

$$N = \frac{360}{\Delta Az}$$

ここで，$el_{i,0}$ は方位角 Az_i の真のマスクファイルの仰角，el_i はずれを与えたマスクファイルの仰角である．

ずれを与えたマスクを適用した場合の Fix 率が，手法未適用の場合と比較して向上するかを検証した．Fix 率を平均仰角バイアスの値ごとに評価した結果，平均仰角バイアスが 15°程度を超えると,手法未適用の場合と比較して，Fix 率が向上するサンプルの割合が大きく減少する傾向が見られた（図-11）．このことから，マルチパス軽減効果が期待できるマスクの平均仰角バイアスの範囲は，概ね 15°以下と考えられる．

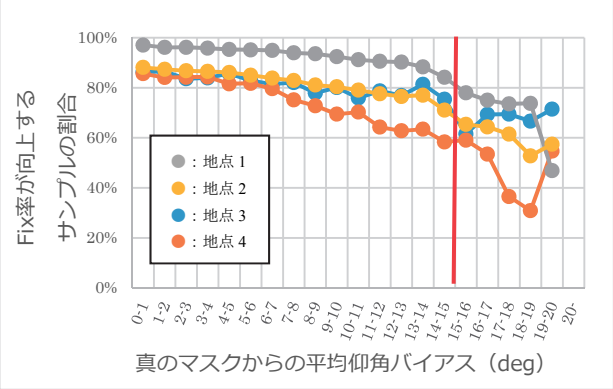

図-11　マスクの要求精度の評価結果

5. 3 次元建物法の改良

上空写真法は上空写真の撮影，魚眼レンズの歪みや方位の補正の作業が必要となる．そのため 3 章で述べた定点観測のような静止観測のデータに対しては実用的だが，移動体測位等，リアルタイムで上空視界が逐一変化する測位においては，時刻毎に観測以外の作業が発生してしまうため，実用的とは言えない．したがって，リアルタイム測位においては 3 次元建物法がより実用的と考えられる．しかし，3 次元建物情報の使用に当たっては，3 次元建物情報から観測点の上空視界を把握するための位置座標が必要だが，実際には測位の前にそれは分からない．3 章の検証は，手法自体の効果を評価するため，この点を無視し，予め地上観測から得た座標値を用いて手法を適用した，いわば最良の条件で 3 次元建物情報から上空視界が得られたと仮定したものである．現実的な測位で 3 次元建物法を用いるには，概略の位置座標を事前に推定する必要がある．

そこで，図-12 で表される測位とマスク作成のイタレーションのアルゴリズムを組込むことで適切と考えられる位置座標の推定を行い，推定した座標値を用いて 3 次元建物情報からマスクを作成するよう 3 次元建物法を改良した．なお，イタレーションの途中で推定された座標値が建物内に入った場合は，イタレーションを中断する処理を加えている．

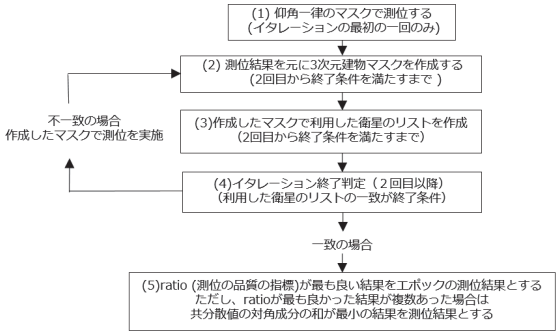

図-12　改良した 3 次元建物法のアルゴリズム

改良した 3 次元建物法を適用した結果，概略座標値に地上観測値を用いた理想的な場合と比較すると Fix 率が劣る結果となったが，マルチパス軽減手法未適用の場合と比較すると Fix 率は大きく改善した（表-3）．このことから，改良した手法については理想的な座標値を適用した場合には劣るものの，相応のマルチパス軽減効果があると考えられる．

表-3　改良した 3 次元建物法のアルゴリズムと他手法の適用結果の比較

	改良した 3 次元建物法	地上観測値適用	手法未適用
Fix 率	57.8 %	84.5 %	19.5 %
RMS[E-W]	0.0121 m	0.0126 m	0.0159 m
RMS[N-S]	0.0057 m	0.0070 m	0.0079 m
RMS[U-D]	0.0409 m	0.5148 m	0.5159 m

写真-4　検証を行った観測点の上空写真

6. 手法の改良を踏まえた検証（多地点観測）

3 次元建物法の改良を踏まえ，様々な上空視界状況に応じて各手法の効果の比較を行うため，多地点観測による検証を実施した．この観測は選点された静止観測点を次々に巡りながら一連の観測を行い，移動中及び静止観測点における静止観測中の 1 秒サンプリングの GNSS 観測データを取得するものである．コースは図-13 で表される街区の周囲を巡る歩行者の移動を想定したものである．静止観測点には高いビルや商店街，住宅密集地が存在する街区を中心に様々な遮蔽条件のものを公共基準点や定点観測点等から 23 点選点した．

平成 28 年 12 月 26 日から 27 日にかけて，23 点の静止観測点を回るコース 1 周（図-13）の観測を，衛星配置を変えるため，時間帯をずらして 3 セット行った．途中，静止観測点では 5 分間静止して観測を行った．解析は測位で実際に使われることを想定して，電子基準点「神戸中央（950356）」との RTK，観地域近辺に仮想基準点を設置したネットワーク型 RTK，精密単独測位により行った．使用した周波数は 1 周波及び 2 周波である（ドップラー法の検証は手法の性質上 2 周波のみ実施）．なお，観測は平成 28 年度に実施したものであるため，準天頂衛星は初号機のみを使用した検証となっている．

写真-5　多地点観測の様子

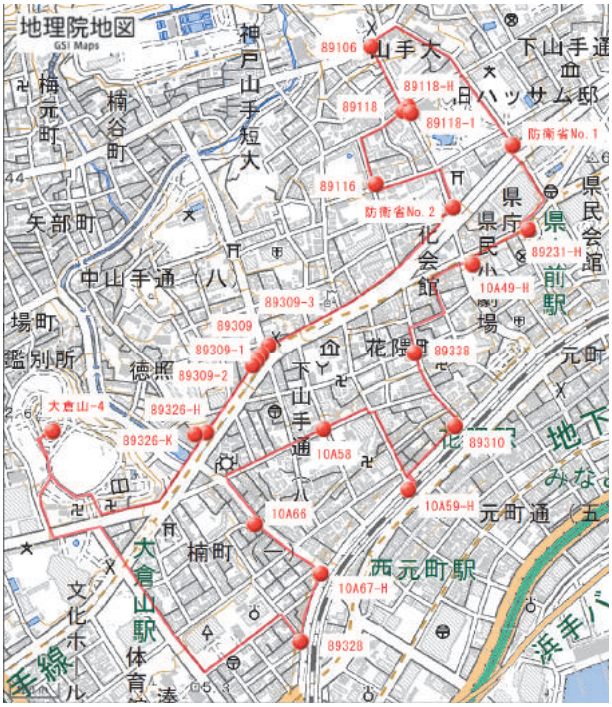

図-13　多地点観測のルート（赤線）と静止観測点（赤丸）

多地点観測で得られた移動中の観測データに各手法を適用し，解析を実施した．移動中の観測は真値が分からないため，地図上に測位結果をプロットした．いずれの手法においても上空が開けている地点では測位結果は歩道上にプロットされたが，ビル等の遮蔽物の付近では測位結果にばらつきがみられた．特に高層ビル街では数十から最大数百 m のはずれ値が多発した．本稿では代表例として 3 次元建物法を適用した 2 周波 RTK の結果を示す（図-14，15）．

図-14　3 次元建物法を適用した多地点観測結果の全体図
●:Fix 解　●:Float 解　●:Single 解
（電子基準点「神戸中央」との 2 周波 RTK）

図-15　3 次元建物法を適用した多地点観測結果の一部
●:Fix 解　●:Float 解
（電子基準点「神戸中央」との 2 周波 RTK）

多地点観測のうち，各観測点における静止観測では，3 章の検証と同様，予め地上観測で得た座標値を Fix 解の判定に使用した．また，上空視界に応じた評価の指標として，図-16 で表される衛星可視率を利用した．

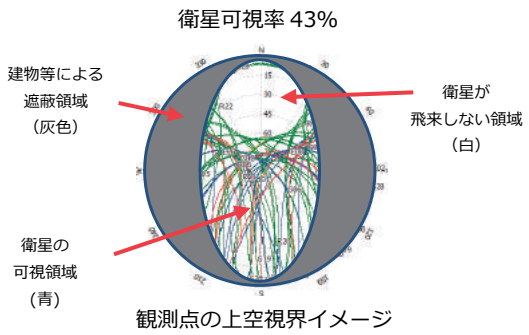

図-16　衛星可視率のイメージ
上空視界のうち建物等による遮蔽領域（灰色）と衛星が飛来しない領域（白）を差し引いた，衛星からの信号が直接届く領域（青）の割合

静止観測点での Fix 率による評価結果は図-17 で表される．衛星可視率が 55%未満の観測点では，観測点や手法によって Fix 率は大きく異なる結果となった．これは衛星数や衛星配置が影響を与えている可能性がある．衛星可視率が 10%程度と著しく低い点においてはいずれの手法を適用しても改善は見られなかった．一方，衛星可視率が 55%以上の観測点においてはマルチパス軽減手法の適用により Fix 率が概ね 80%以上となった．このことから衛星可視率が 55%以上の観測点ではマルチパス軽減手法の適用による Fix 率の改善効果は高いと考えられる．衛星可視率が 55%に満たない観測点については Fix 率の改善効果が低いケースの割合が増えるが，改善効果が高いケースもあり，改善効果は上空の衛星の数や配置に依存すると考えられる．また，適切な位置座標を推定してマスクを適用するよう改良した 3 次元建物法を多地点観測に適用した際に，手法の計算コストが膨大となることも確認された．歩行者の測位端末（スマートフォン等）での利用を想定したリアルタイム測位等への実装に向けては測位計算のリアルタイム性に課題がある．

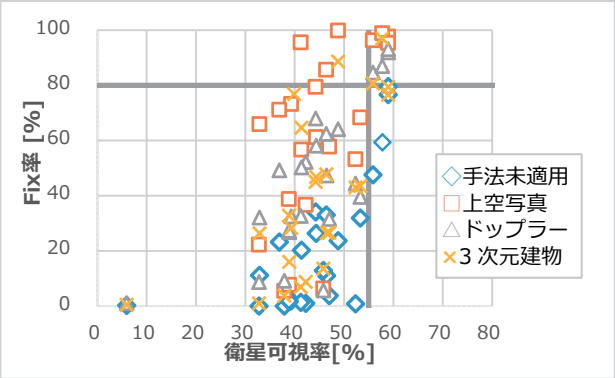

図-17　多地点観測の衛星可視率に対する Fix 率の結果

7. マルチパス軽減手法の適用指針

検証の結果を踏まえて，各マルチパス軽減手法をどのような場合に適用するかの指針について記す．

まず，上空の衛星可視率に着目する．衛星可視率が 55%以上となる場合，もしくは，上空視界率は 55%未満だが，衛星の数や配置の条件を調べ，条件が十分に満たされる場合は，マルチパス軽減手法を適用することで衛星測位が可能と判定する．条件が満たされない場合は手法を適用した衛星測位は困難と判定する．なお，衛星測位が可能と判定するための衛星の数や配置（DOP 等）の条件については今後の研究により決定する必要がある．

衛星測位が可能であると判定できる場合，まず 3 次元建物法の適用を検討する．測位を行う地域において 3 次元建物情報の整備がされているか，また上空に 3 次元建物情報に未記載の遮蔽物がないかを確認する．この条件に合う場合は 3 次元建物法を適用する．条件を満たさない場合は，上空写真を撮影して写真による上空と建物の判別が出来る時間帯か否かで判定する．日中等，上空写真法の適用が出来る場合は上空写真法を，そして夜間等の場合はドップラー法を適用する（図-18）．

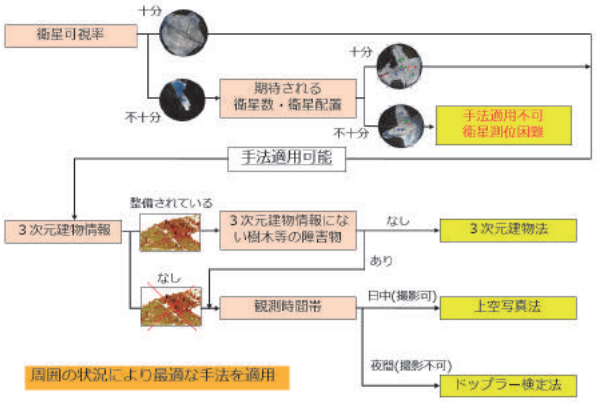

図-18　マルチパス軽減手法の適用指針

8. まとめ

本研究では都市部ビル街等，上空がビル等で大きく遮蔽された地域において，GNSS による高精度測位の適用範囲拡大を目的として，測位誤差の原因となるマルチパスを軽減させるため，3 つのマルチパス軽減手法を選定し,アルゴリズムの開発を行った．

都市部ビル街において手法の検証として，12 時間の GNSS 観測を行い，マルチパス軽減手法を適用した結果，上空写真法と 3 次元建物法で改良効果が比較的高い結果となった．ドップラー法は，遮蔽域からの信号の未除去や品質の良好な信号の除去が見られた．このことから，ドップラー観測値の閾値の設定に課題があると考えられる．

結果が良好となった 2 手法は上空視界情報からマスクを作成するものであり，マスクの精度が測位結果に影響を与えると考えられるため，マスクの要求精度について評価を行った．その結果，マスクの平均仰角バイアスが概ね 15°以内ならばマスクの適用による測位結果の改善が期待できると考えられる．

3 次元建物法は GNSS 観測以外の作業が不要なため，リアルタイムでの移動体測位等への適用可能性が高いと考えられるが，そのためには 3 次元建物情報からマスクを作成するために使用する観測点の概略座標を自動的に推定する手法が必要である．本研究では，測位とマスク作成のイタレーションによって適切な座標値を求めるアルゴリズムを開発し，3 次元建物法の改良を試みた．改良した手法を定点観測データに適用したところ，座標値に地上観測から得られた理想的な値を用いる場合と比較すると劣る結果となったが，マルチパス軽減手法を用いない場合と比較すると，Fix 率は大きく改善した．

改良した手法を都市部におけるリアルタイムでの移動体測位を模した多地点観測に適用したところ，他の 2 手法と同様に，上空の衛星可視率が 55%以上の地点であれば測位結果が安定して改善することを確認できた．ただし，この手法は開発したマスク更新のイタレーションの計算コストが膨大であり，歩行者の測位端末（スマホ等）での利用を想定したリアルタイム測位等への導入には課題が残る結果となった．

最後に，本研究は平成 29 年度をもって終了したが，開発した手法の利用に向けては未だ課題が複数残っている．開発したマルチパス軽減手法の基本的な手法や，検証結果，検証から得られた手法の適用する際の指針等本研究の成果については，別途公開する予定となっている．これにより他機関による研究開発を促すことで，高精度な衛星測位の普及につながることを期待する．

（公開日：平成 30 年 11 月 30 日）

参 考 文 献

Fukuzaki, Y., K. Sakai, Y. Hiyama, T. Furuya, Y. Onaka, and K. Miyagawa (2017): Development of Multipath Mitigation Methods to Improve GNSS Positioning Accuracy under Urban Environments, Proceedings of the 9th Multi-GNSS Asia Conference, 18-20.

池田隆博，佐田達典（2013）：静止時の高精度測位における GPS と GLONASS を用いた衛星選択効果に関する研究，土木学会論文集 F3，69，2，I98-I109.

Kubo, N. (2009): Advantage of velocity measurements on instantaneous RTK positioning, GPS Solutions, 13, 4, 271-280.

Miura, S., S. Hisaka, and S. Kamijo (2014): GPS positioning with multipath detection and rectification using 3D maps, Int. J. Automotive Engineering, 5, 1, 23-29.

Suzuki, T., M. Kitamura, Y. Amano, and T. Hashizume (2011): Multipath mitigation using omnidirectional infrared camera for tightly coupled GPS/INS integration in urban environments, Proceedings of the 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 2914-2922.