

国土交通省総合技術開発プロジェクト H27～29年度
3次元地理空間情報を活用した
安心・安全・快適な社会の実現のための技術開発

資料 2-1

(1) 都市部での衛星測位の適用範囲拡大

都市空間の屋内外シームレス測位の実現に関する技術開発

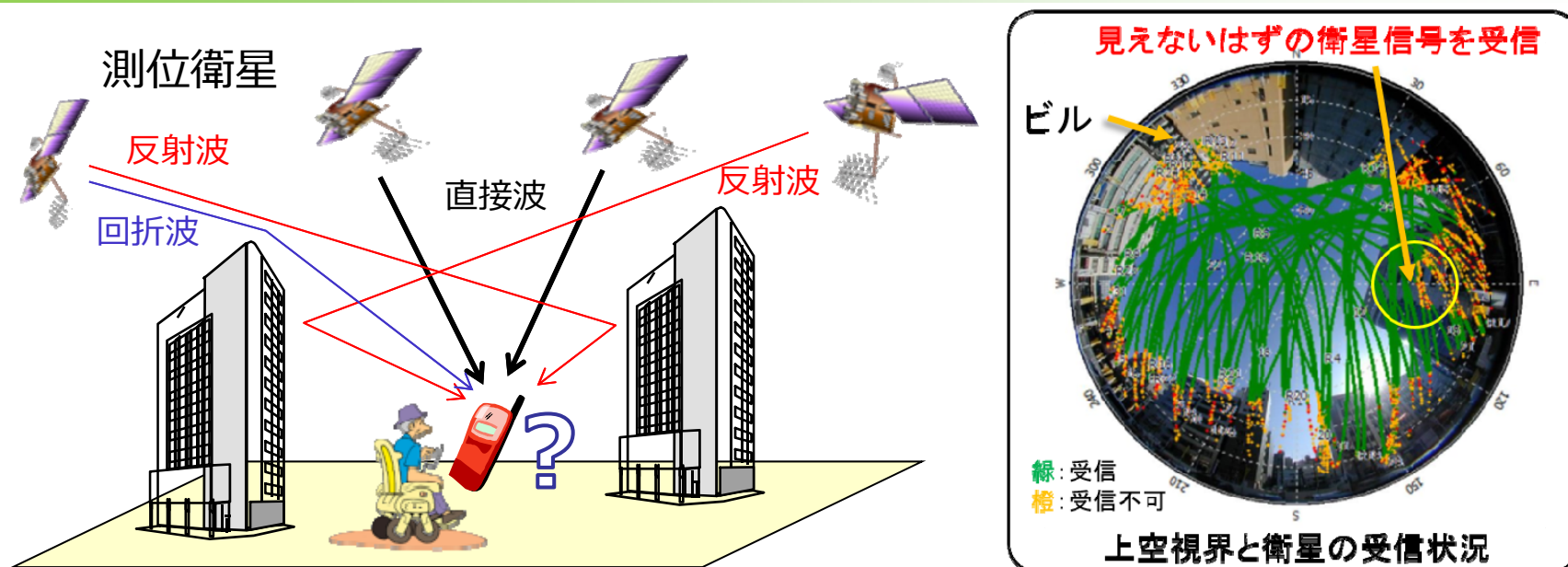
屋外3次元空間における高精度衛星測位の
適用範囲拡大のための技術開発

国土地理院 測地観測センター

平成30年3月

※ 本資料内の図やグラフは、最終精査中であり、その結果によっては
HP公開時に差し替える可能性があります

ビル街での測位の現状



ビル等による**反射波**や**回折波**（マルチパス）があると、**測位精度が低下**

様々な利用者がビル街で高精度な測位を行うには、
マルチパスの影響を軽減する手法が必要

目的

上空視界情報等を利用した**ソフトウェア的な対策**によりマルチパスの影響を軽減し、**高精度衛星測位の適用範囲の拡大**を図る₂

ビル街等の衛星測位が困難な環境で、より高精度な測位を行うため、観測される衛星の中から品質が良好な信号を自動で選択する等の手法

選定した手法

- 上空写真法：上空写真から生成したマスクファイルによる衛星選択
 - 効果：ドップラー検定法と比較し、Fix率、精度の改善効果は大、3次元建物法と同程度
 - デメリット：歪曲補正等の事前準備、現地での写真撮影が必要、夜間の撮影に不適
- 3次元建物法：3次元建物情報から生成したマスクファイルによる衛星選択
 - 効果：上空写真法と比較し、大部分の観測点で同程度の改善効果を確認、現地での事前準備が不要である点は優位
 - デメリット：3次元建物情報の事前準備が必要、効果が入力位置座標の精度に依存
- ドップラー検定法：ドップラー観測量に基づく位相差を用いた品質検定
 - 効果：通常の仰角マスク15度と比較し、比較的明確な改善効果を確認
 - デメリット：不可視衛星を排除しきれないケースがある、2周波観測が必要

これらに合わせて検証用プログラムを開発した

- 上空写真法：上空写真から生成したマスクファイルによる衛星選択
 - 上空写真の方位合わせ
 - 実用性がある装備（方位磁石）で上空写真の方位を合わせる場合、周辺の磁気に影響され、容易に $\pm 10^\circ$ 程度のずれが生じることがある
 - マスクファイル作成手法の簡素化
 - 上空写真に写る電線を消すよう加工したり、上空マスク作成の際のパラメータの調整などの簡素化が必要
- 3次元建物法：3次元建物情報から生成したマスクファイルによる衛星選択
 - 初期座標の推定方法の開発
 - 上空マスクを作成するために観測点の概略座標が必要
 - 3次元建物情報以外の障害物による影響
 - マルチパスが発生する地物についての情報が完全ではないため、上空写真法に比べてマルチパス誤差軽減効果が得られない可能性がある
- ドップラー検定法：ドップラー観測量に基づく位相差を用いた品質検定
 - 手法の改良
 - 除去すべきでない信号の除去や、除去すべき信号を除去しきれない場合がある

1. マスクファイル作成時の要求精度評価及び関連技術の開発

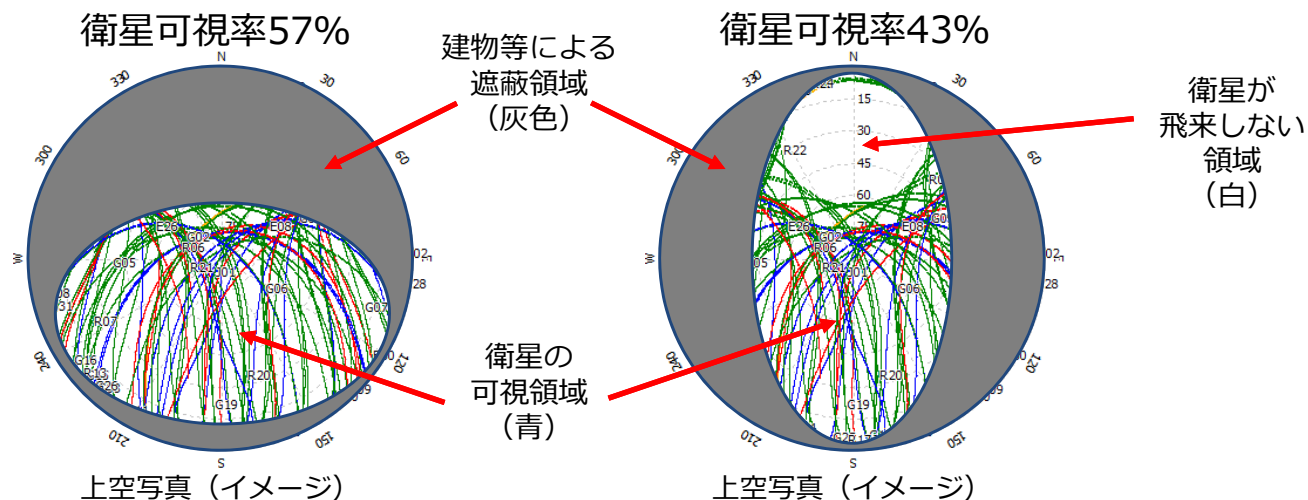
上空写真法や3次元建物法のアルゴリズム確立に向けて、その途中過程で生成するマスクファイルの要求精度の明確化及び、3次元建物法に必要な初期座標を推定する手法の開発を行う

2. リアルタイム測位を想定した検証

都市部において歩行者が測位端末を用いて移動すること（リアルタイム測位）を想定した検証を行う。

→ 各観測点の測位環境の指標として衛星可視率を利用

衛星可視率のイメージ



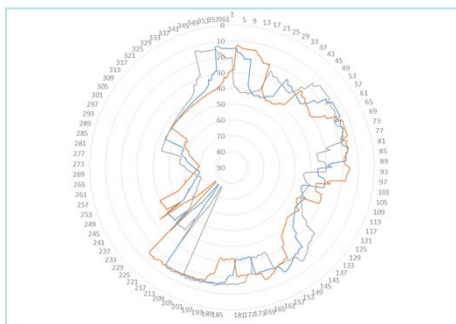
- 衛星可視率は、衛星が飛来しない領域を計算から除外した上で、衛星の可視領域の割合を計算する。
- 右図と左図の遮蔽領域は全く同じだが、衛星が飛来しない領域を計算から除外しているため、衛星可視率としては、左図の方が大きくなる。

上空写真法に必要な上空写真の要求精度（カメラの向きや傾き等）の評価

上空写真（マスクファイル）に誤差（傾き、回転、方位角と仰角の間引き）を与えた場合の、Fix率への影響を評価

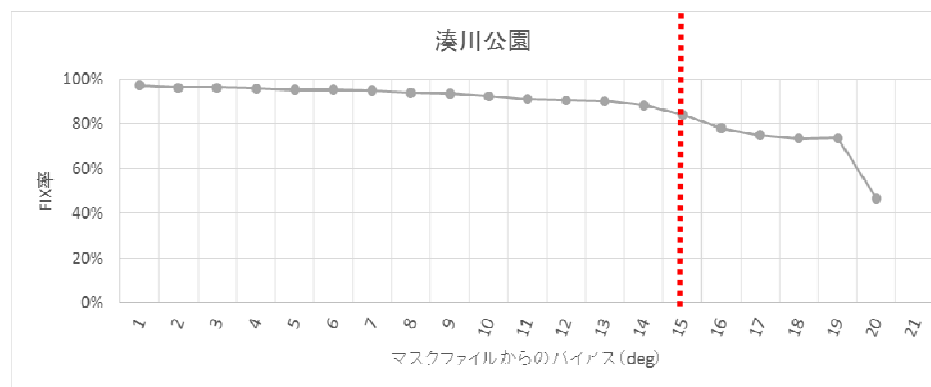
#	誤差付加	方法	想定誤差
1	方位角一律バイアス	真のマスクに対して全方位角に一律でオフセットを付加する。オフセットの付加量は -20° ~ 20° で 1° 刻み。	マスク作成場所と測位点の高さ方向誤差を模擬
2	天頂傾き	水平面内のある方位を軸として回転させる。回転軸は4種類（方位角 0° - 180° 、 45° - 225° 、 90° - 270° 、 135° - 215° ）とし、 -20° ~ 20° の 1° 刻み。	<ul style="list-style-type: none"> 写真中心が天頂方向から傾き誤差を模擬 マスク作成場所と測位点の水平面上の位置誤差を模擬
3	マスクファイルの回転	真のマスクファイルを方位角方向に回転させる。回転角は -20° ~ 20° の 1° 刻み。	マスクファイルの方位誤差を模擬
4	方位角間隔の間引き	方位角の設定値を間引き、 1° 間隔（現状）から 20° 間隔までを利用する。	精度の低い3次元建物情報を模擬
5	仰角マスク値の丸め誤差	仰角を 1° から 20 度まで丸めて利用する。現在の 1° 刻みを 20° まで丸める。	

マスクファイルの回転例



青 : 真のマスクファイル
 オレンジ : バイアス負荷 (+10)
 グレー : バイアス負荷 (-10)

マスクファイルの誤差とFix率

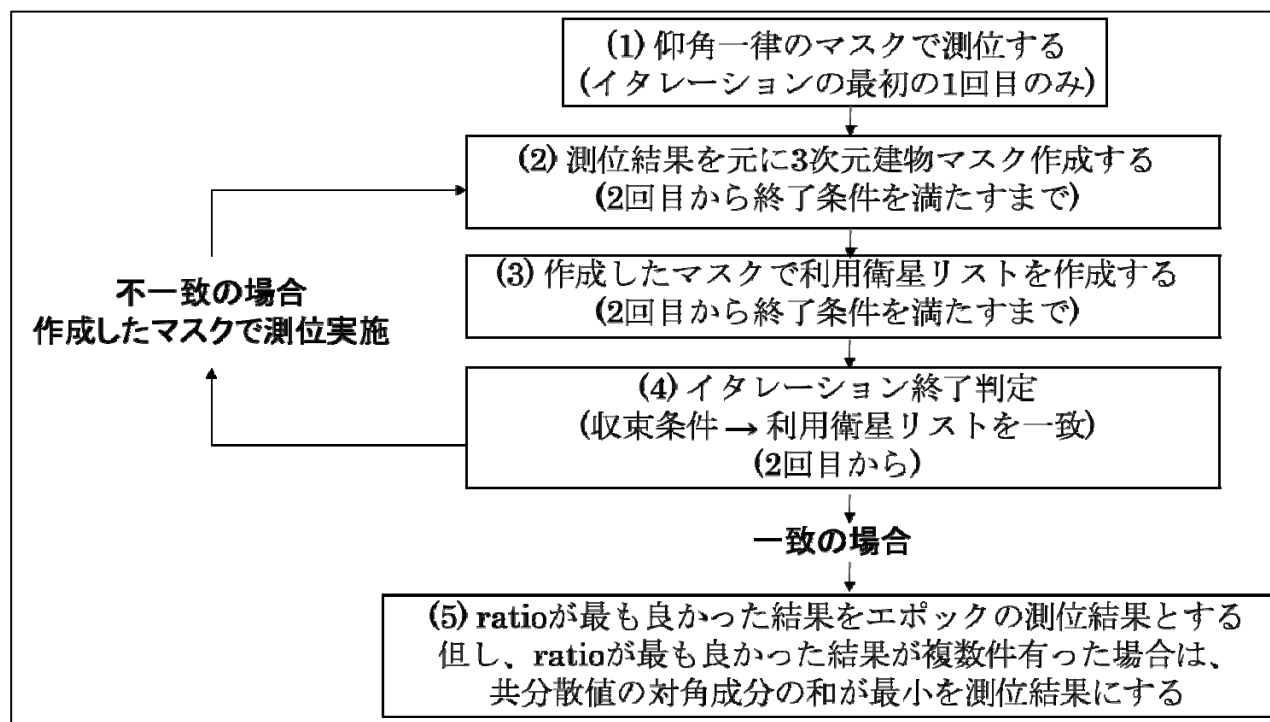


マスクファイルの誤差 (deg)

• マスクに 15° 程度の誤差がある場合でもFix率への影響は少ない

3次元建物法に必要な初期座標の推定手法等の開発

手法を適用せずに推定した座標値を入力位置座標として3次元建物法を適用する。その結果の座標値を入力位置座標として再度3次元建物法を適用する。これら一連の動作を繰り返して、マスクファイル（利用可能な衛星）に変更がなかった時点で処理を終了し、その時点の測位結果を最終解となるよう、3次元建物法を改良。



処理プロセス（全て同一エポック内で実施）

→以降の検証は、改良した3次元建物法で実施

GNSS測量を含むリアルタイム測位への応用

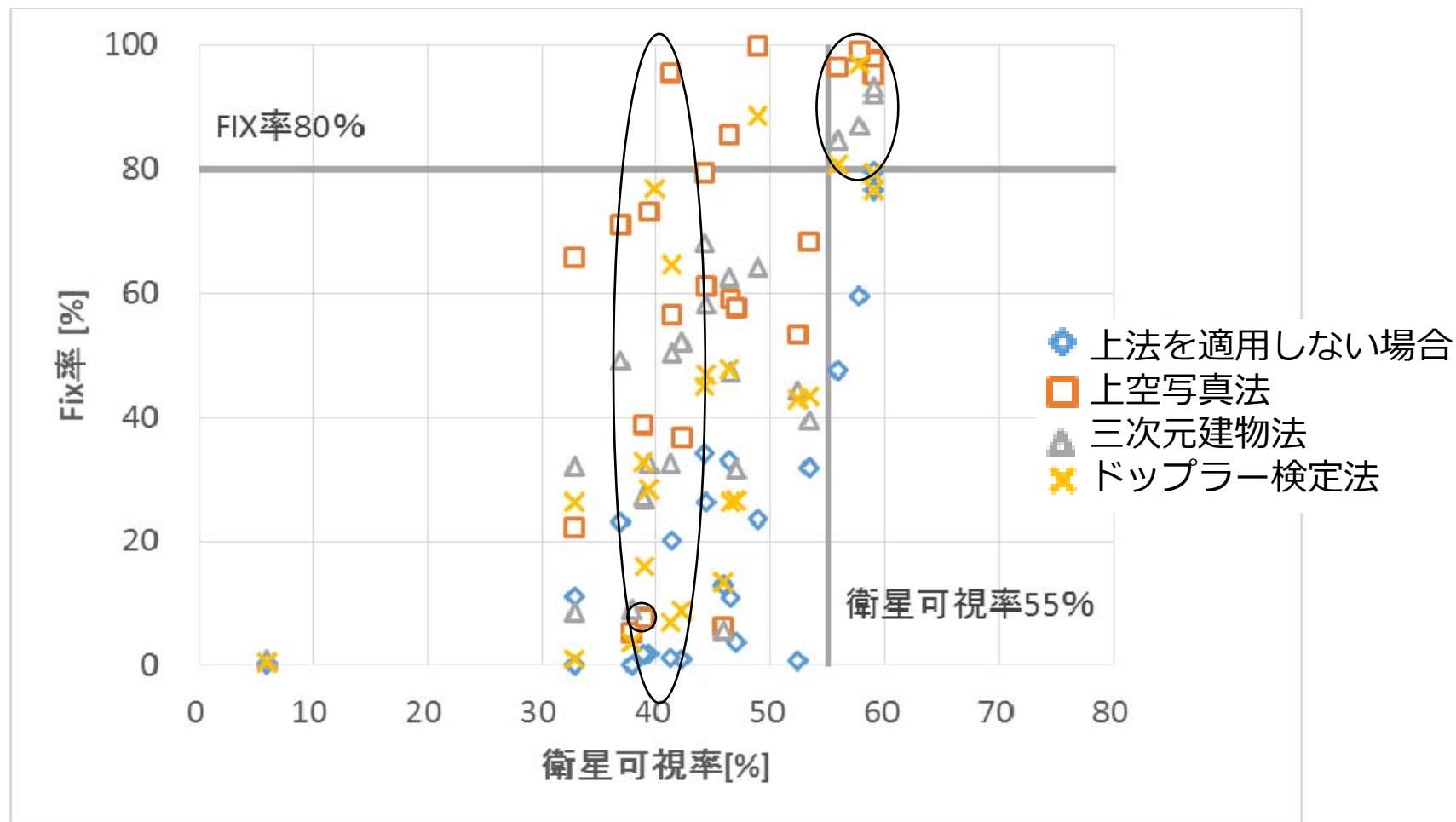
GNSS測量を想定した電子基準点との2周波解析だけでなく、歩行者が測位端末（スマホなどをイメージ）を用いて移動するリアルタイム測位を想定して、1周波解析やVRSによる測位を行い、評価。

利用周波数	解析方法	マルチパス軽減手法 (○:実施、×:非実施)			
		なし	上空写真	3次元建物	ドップラー
1周波	単独測位	○	○	○	×
	電子基準点とのRTK	○	○	○	
	VRS方式の後処理による解析	○	○	○	
2周波	電子基準点とのRTK	○	○	○	○
	VRS方式の後処理による解析	○	○	○	×



歩行観測の軌跡
(● : 5分間静止した位置)

観測日 : 2016年12月26-27日 観測場所 : 兵庫県神戸市三宮 観測機器 : JAVAD Delta-G3T、GrAntG3T
 衛星系 : GPS、QZSS、GLONASS、Galileo 解析ソフトウェア : GSILIB ver2.0.1
 評価時の真値 : 各観測点をTSにより地上測量した座標値



- 衛星可視率55%以上では（ほぼ）全ての手法でFIX率80%以上を達成
- 衛星可視率が同等（例えば40%程度）でも各手法の効果に大きく差が出ることがある

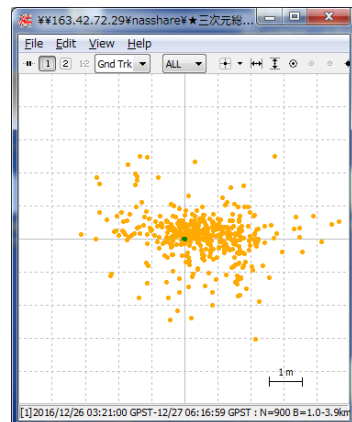
2周波RTKによる測位結果 (衛星可視率55%以上)

観測点514 (衛星可視率 : 55.9%)

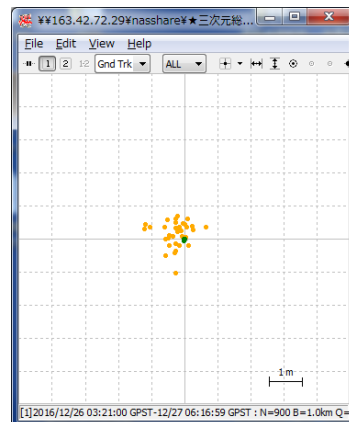
● : FIX解
● : FLOAT解



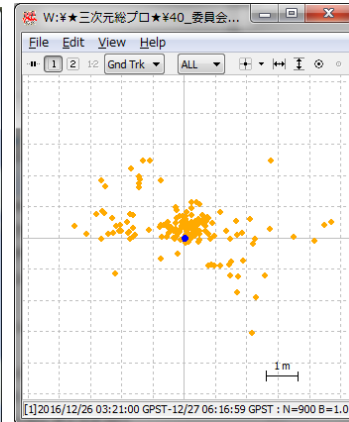
上空写真



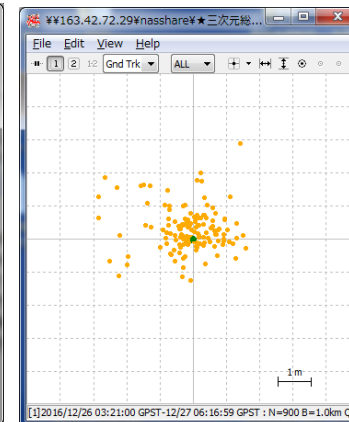
手法を適用しない場合
(FIX率 : 48%)



上空写真法
(FIX率 : 96%)



3次元建物法
(FIX率 : 81%)

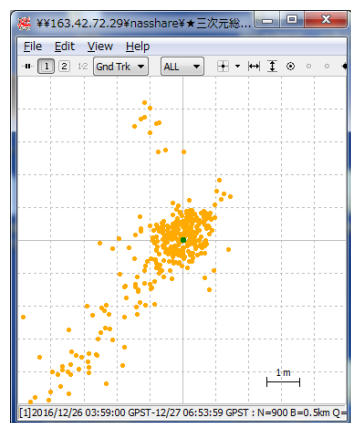


ドップラー検定法
(FIX率 : 85%)

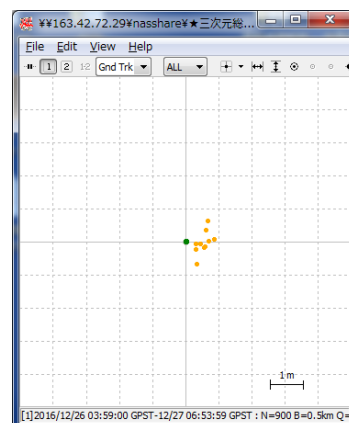
観測点518 (衛星可視率 : 57.7%)



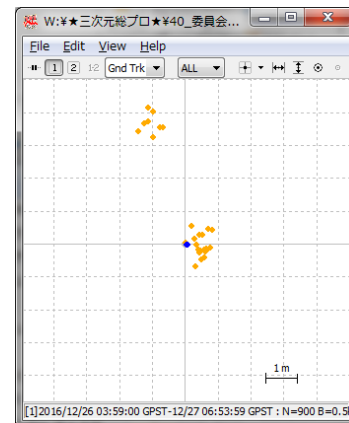
上空写真



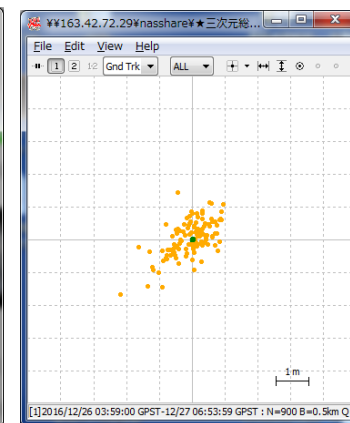
手法を適用しない場合
(FIX率 : 59%)



上空写真法
(FIX率 : 99%)



3次元建物法
(FIX率 : 97%)



ドップラー検定法
(FIX率 : 87%)

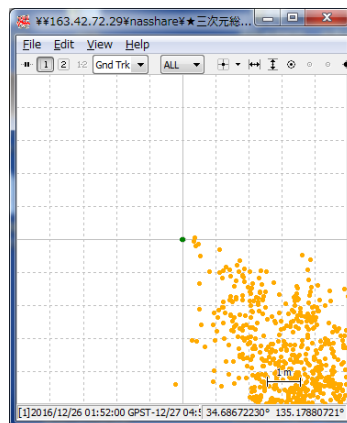
2周波RTKによる測位結果 (衛星可視率40%程度)

観測点505 (衛星可視率 : 41.2%)

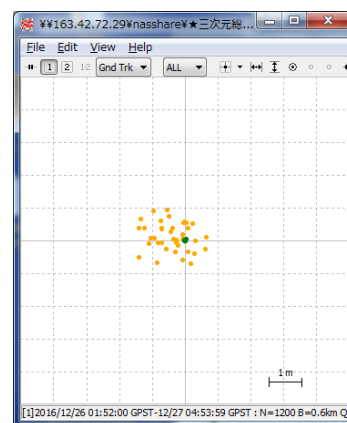
● : FIX解
● : FLOAT解



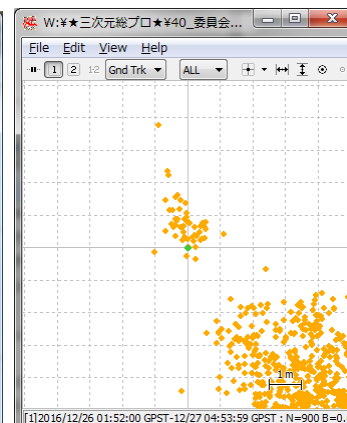
上空写真



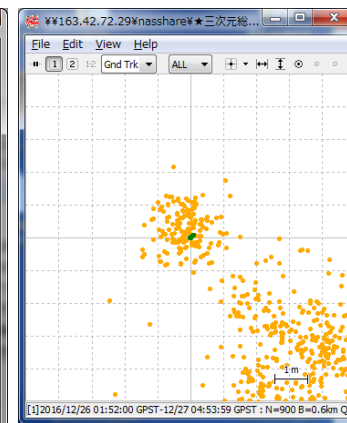
手法を適用しない場合
(FIX率 : 1%)



上空写真法
(FIX率 : 96%)



3次元建物法
(FIX率 : 7%)

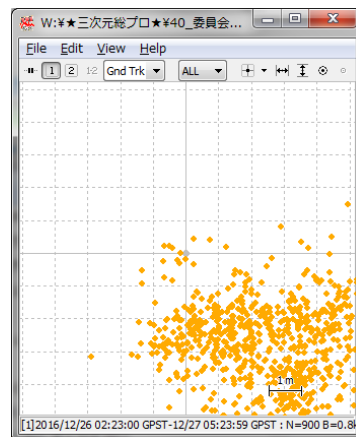


ドップラー検定法
(FIX率 : 33%)

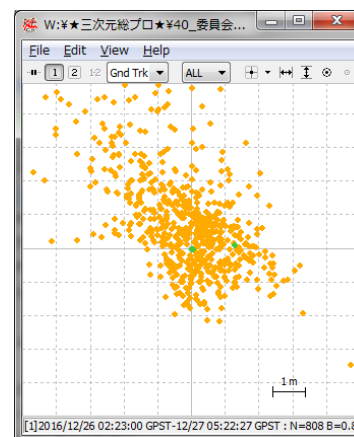
観測点508 (衛星可視率 : 37.9%)



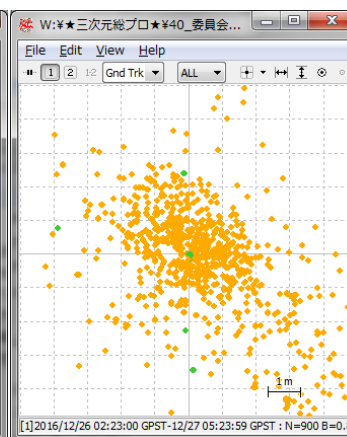
上空写真



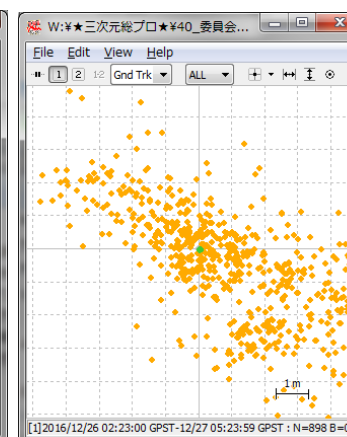
手法を適用しない場合
(FIX率 : 2%)



上空写真法
(FIX率 : 5%)



3次元建物法
(FIX率 : 4%)

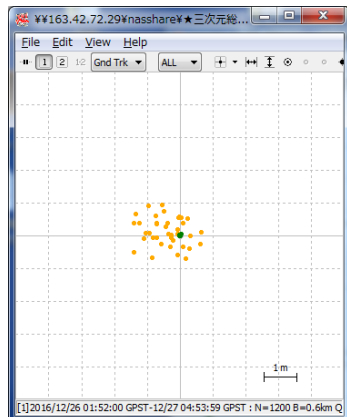


ドップラー検定法
(FIX率 : 9%)

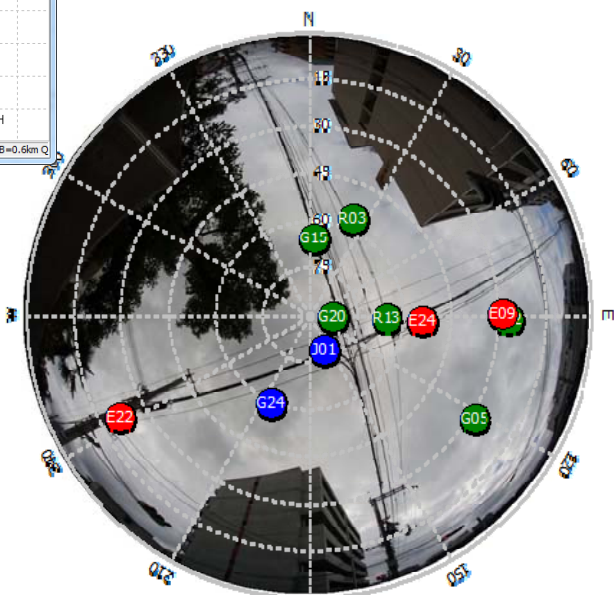
● 衛星可視率が同等でも、上空写真法の改善効果に大きな差がある

観測点505（衛星可視率：41.2%）

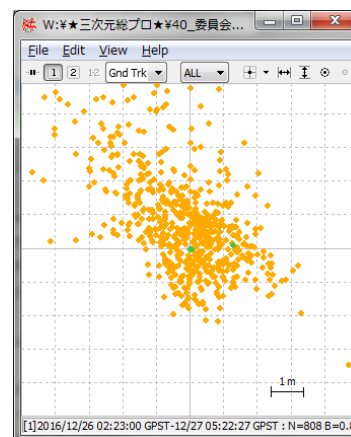
観測点508（衛星可視率：37.9%）



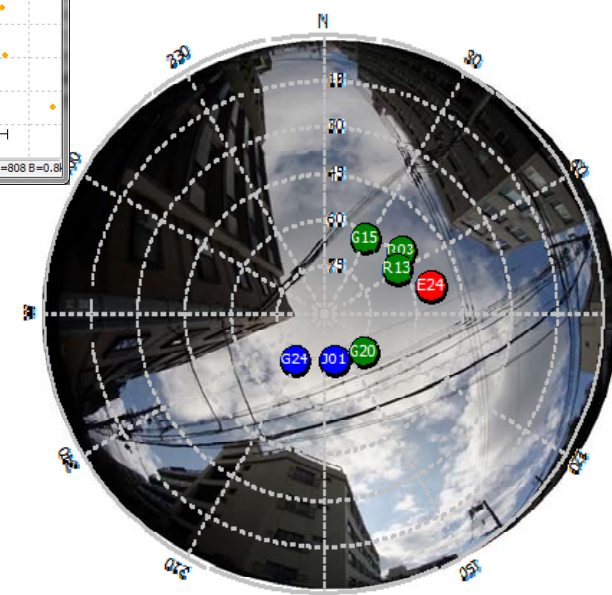
上空写真法
(FIX率：96%)



上空写真法で使した衛星の配置
(2016年12月27日 4:49UTC)



上空写真法
(FIX率：5%)

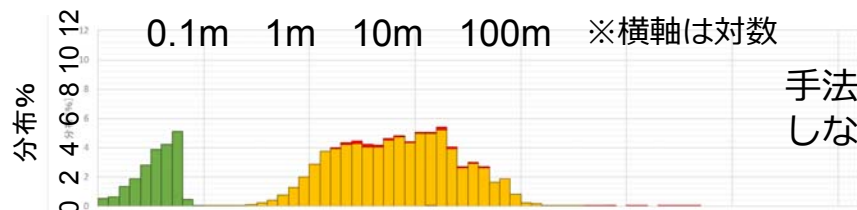


上空写真法で使した衛星の配置
(2016年12月27日 5:19UTC)

- 上空写真法による改善効果に差があった原因として、使用した衛星の数や配置に大きな違いがあったためと考えられる

電子基準点との2周波RTK

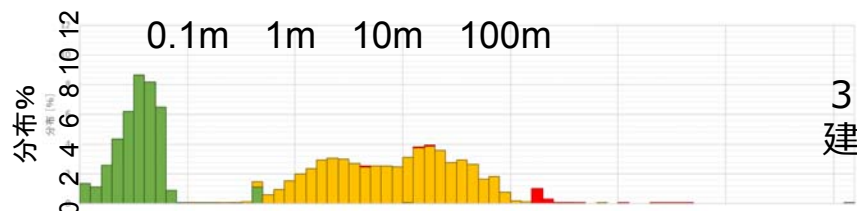
■ FIX
■ FLOAT
■ 単独測位



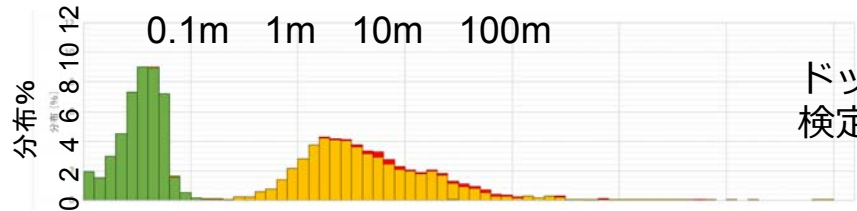
手法を適用
しない場合



上空写真法

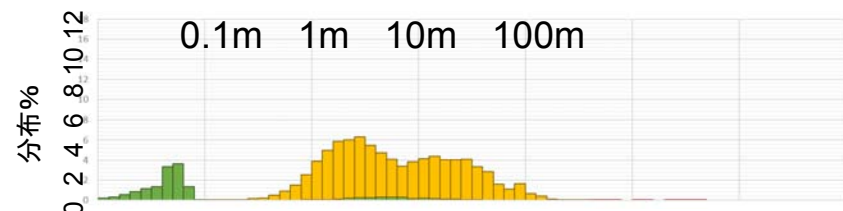
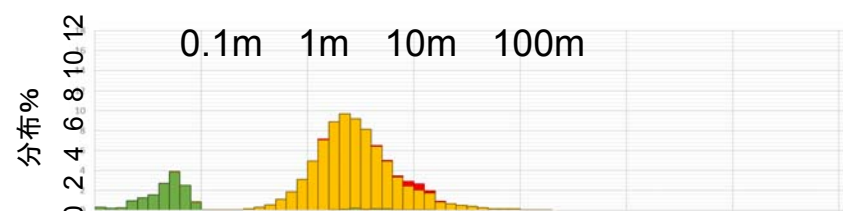
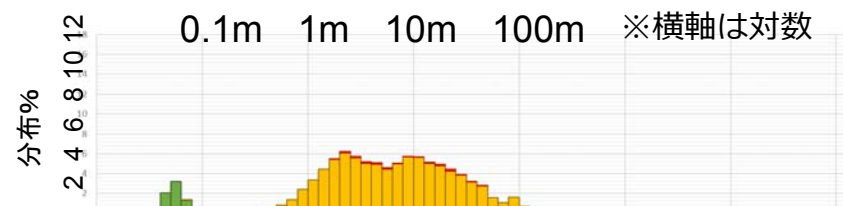


3次元
建物法



ドップラー
検定法

電子基準点との1周波RTK



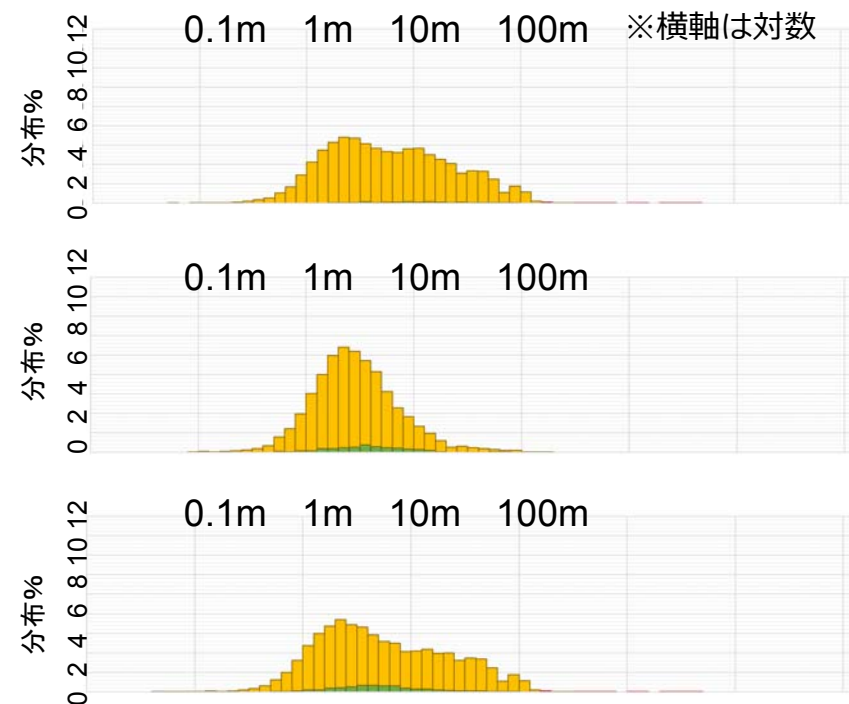
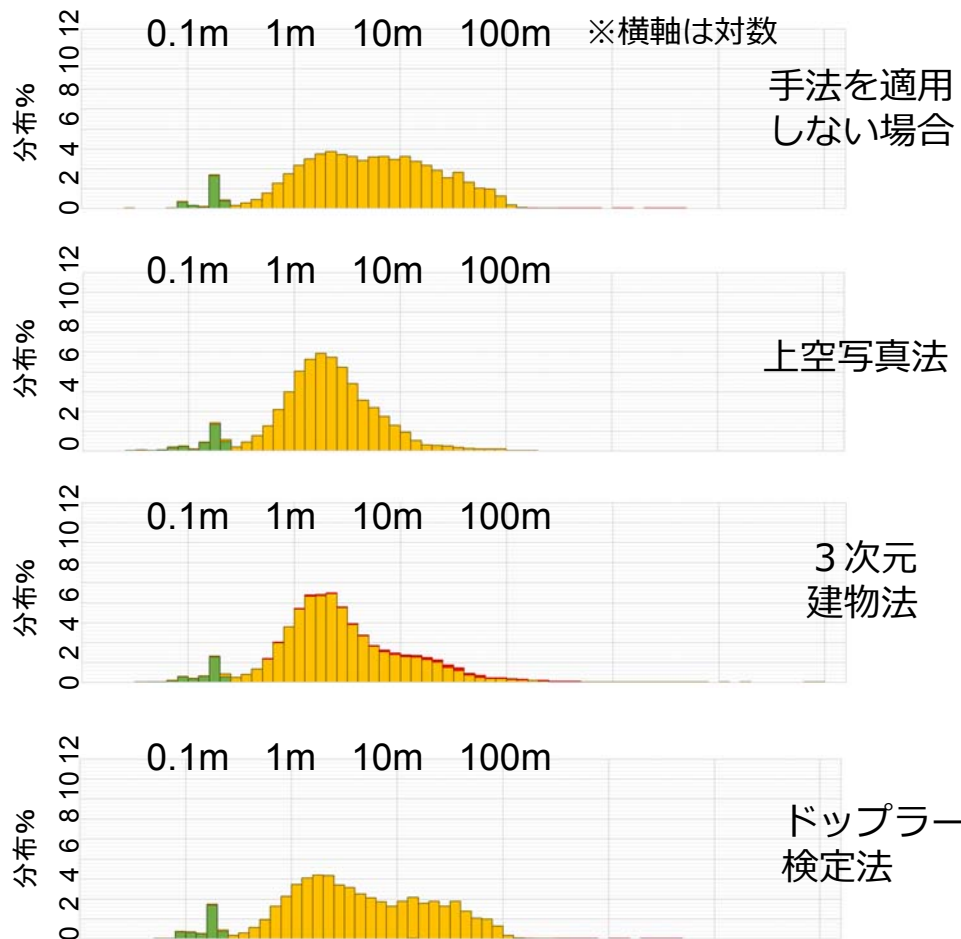
2周波のみ対応

- 2周波RTKでは、各手法を適用することで、精度に改善が見られる
- FIX解は真値から概ね0.1m以内となり、結果の指標として利用が可能
- 1周波RTKは、2周波RTKと比べて精度が改善しない

2周波VRS

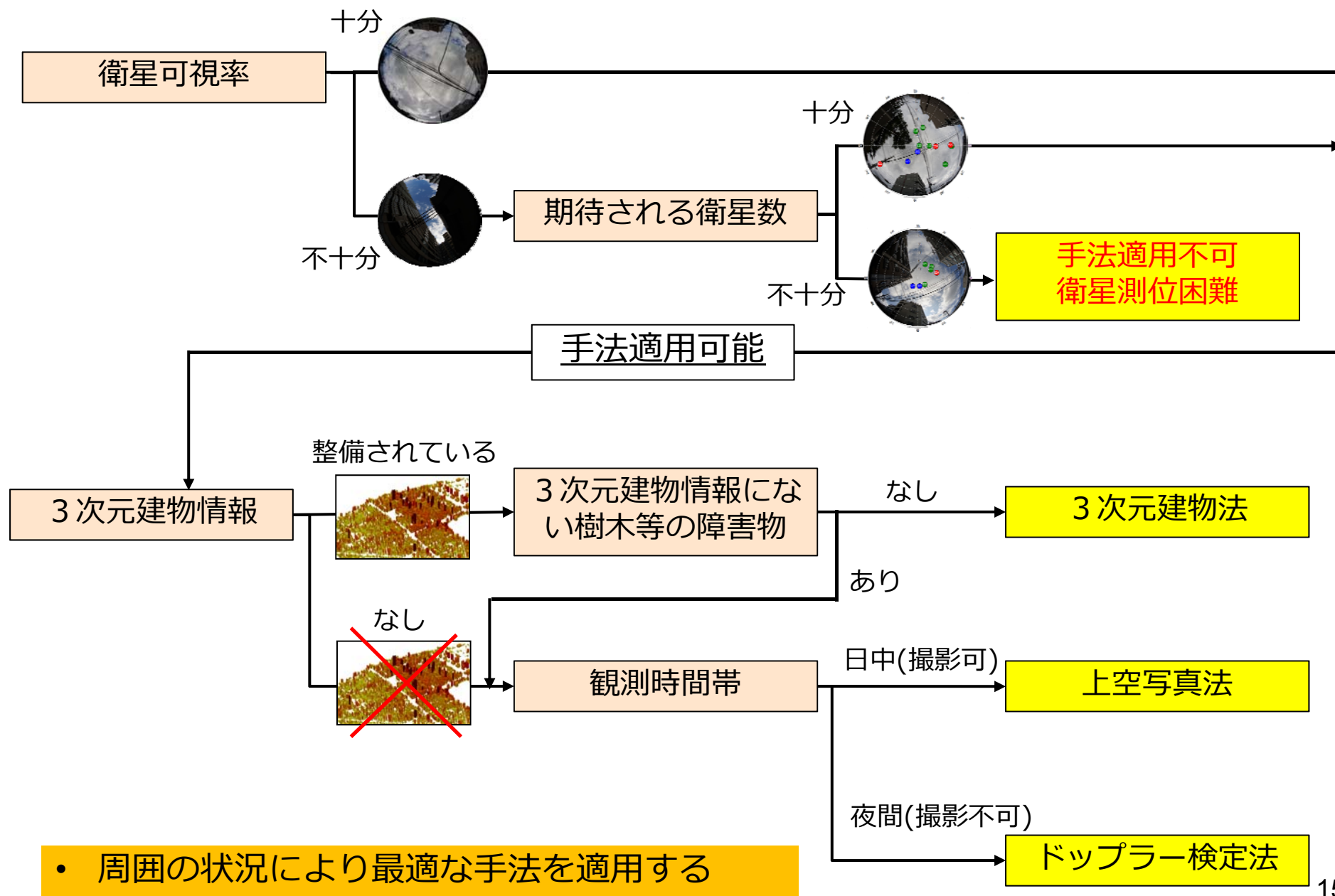
■ FIX
■ FLOAT
■ 単独測位

1周波VRS



2周波のみ対応

- 2周波VRS、1周波VRSともに、各手法の適用による改善効果が小さい



1. マスクファイル作成時の要求精度評価及び関連技術の開発

- マスクファイル作成時の要求精度評価及び関連技術の開発を行ったマスクの誤差は1.5°以内に納めることが望まれる

2. リアルタイム測位を想定した検証

- 手法の適用効果
上空写真法、3次元建物法 > ドップラー検定法 > 手法を適用しない場合
- 1周波測位でも改善はみられるが、実用的※なものとして2周波測位が必要
※ここでの「実用的」とは、Fix率が80%以上と定義
- 衛星可視率50~60%以上、あるいは衛星数が多いほど実用的
- VRSについては、RTKと比較して改善量が小さい
→準天頂衛星も利用可能とすることで向上が期待される
- 計算処理速度の向上が課題
研究結果を公開することで、民間事業者の技術開発につながる



3. ビル街における利用の想定

- 公共測量等への利用
ビル街等でGNSS観測を実施する場合、各手法を適用することで、衛星測位適用範囲の拡大につながり、精度向上や測位可能率の改善、作業の効率化につながる
- 歩行者の測位端末（スマホ等）を想定した適用
ビル街等で歩行者がスマホ等の測位端末を用いて位置情報を算出する際に、各手法を適用することで、測位精度の改善につながり、利用者の利便性が向上する。アルゴリズムを公開することで民間での実装や技術開発につながり、国の研究との循環を作れる
- 屋内測位（デバイス）との連携によるシームレス測位を考えていく上で
屋内測位と衛星測位との役割分担の目安を与えるものとなることが期待
- 屋内測位と衛星測位とリファレンスポイントの位置を高精度に与えることが期待