３次元点群データを用いた天空図による衛星の可視性評価

フィールドテック　正会員　○福森　秀晃
日本大学　正会員　佐田　達典
フィールドテック　正会員　村山　盛行
タクモ　清水　哲也

１．はじめに

GPS 衛星等の可視性評価では、主に観測点まわりの半球空間（図－１参照）を展開した天空図が利用されている。天空図に周辺地物を投影すると、実空間に近い評価を行うことができる。

周辺地物を天空図で表現するには、図面から地物の方位角と仰角を求めて作成するものや魚眼レンズカメラによる撮影がある。しかし、図面から作成する場合、詳細に表現することは難しい。魚眼レンズカメラで撮影した画像は詳細に表現できるが、衛星の可視性評価をすべて目視で行うことになる。

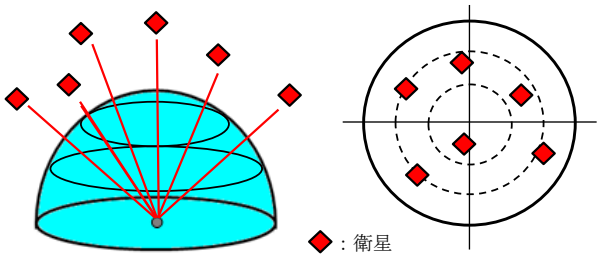
そこで、空間の詳細表現かつ衛星の可視性評価を自動判別できる方法を検討した。可視性評価の自動化は、位置情報を有していれば可能となる。双方の条件を満たすデータとして、3 次元レーザースキャナーで取得できる点群データに着目した。点群データは現地計測データのため、実空間を詳細に表現可能である。また、1 点 1 点が 3 次元位置情報を持つため、数値計算から可視性の自動判別が可能である。

点群データは、モデル化せずにそのまま天空図に投影することで、計測データに手間をかけて加工することなく、直接利用することができる。本稿では、点群データを利用した天空図を作成し、それによる衛星の可視性を評価した。

２．点群データについて

3 次元点群データは、3 次元位置情報（X，Y，Z）の他にも、レーザーの反射強度（Intensity）や写真計測を併用した際にはカラーデータ（RGB）の情報も付加することが可能である。

点群データはすべての点が前述の情報を持って空間に存在しているため、座標値から距離計算や位置関係を把握できる。また、カラーデータを利用したリアルな 3 次元空間を可視化することが可能である。



図－１　観測点まわりの半球空間と天空図

３．３次元点群データを用いた天空図

（１）点群データの利用

点群データは 1 点 1 点が位置情報を持つので、観測位置が決まると、観測位置を基準とした周辺点群への方位角、仰角を計算することができる。これを自動処理し、半球空間に投影することで天空図が作成できる。しかし、取得されている点群データの密度が低い場合、作成された天空図は建物などを十分に表現できない場合がある。そのため、点群データの密度を基準として天空図を作成する場合、点群密度によって天空図の解像度が制限されることとなる。

（２）天空図の解像度

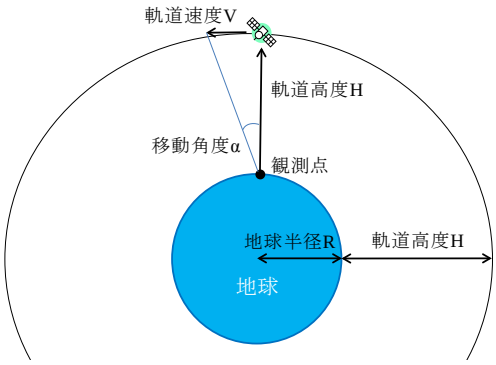
天空図を作成する目的は、衛星の可視性評価を行うことであるため、観測点から見た衛星の単位時間当たりの移動角度 α を基準として天空図を作成することとした。

移動角度 α を天空図の画素数とし（図－２参照）、GPS 衛星の軌道速度 V=3.85km/sec と軌道高度 H=20,200km より、衛星が天頂付近の場合の α を以下の式により求めた。α は衛星位置（観測点からの仰角）により異なる。

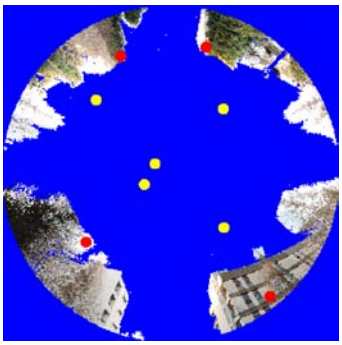
$$\alpha = \tan^{-1}\frac{V}{H} \qquad (1)$$

(1)式に代入して計算すると $\alpha \fallingdotseq 39''$ /sec となるが、30″ 単位での近似を行って $\alpha \fallingdotseq 30''$ /sec と設定した。衛星測位では通常、仰角 15° 以上の衛星を可視衛星として測位に利用するため、観測点の天頂方向を通過する軌道の場合、衛星は 150° 移動することになる。衛星が天空図

キーワード　衛星の可視性　天空図　3 次元点群データ　点群密度
連絡先　〒110-0016　東京都台東区台東 2-24-10　ST ビル 1F　株式会社フィールドテック　TEL03-6303-2662



図－２　移動角度算出の模式図



図－３　点群データによる天空図と衛星位置の図示
（黄色：捕捉衛星　赤：捕捉不可の衛星）

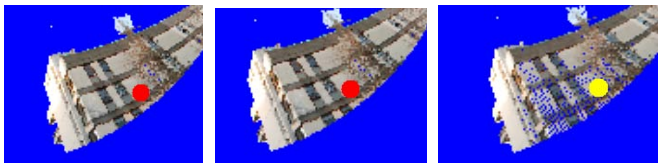
内で時間1秒あたりに1画素移動するように設定すると、上空可視範囲 150°（540,000″）を移動角度 30″/sec で除算するため 18,000×18,000 画素の天空図となる。これでは画像サイズが膨大になり、天空図の作成が困難であるため、本稿では衛星が時間 1 分で 1 画素動く設定とし、18,000 の 60 分の 1 の大きさである 300×300 画素で表現することとした。

（３）画素数と衛星の可視性の検証

筆者らは既存研究として、上記方法で作成された天空図を、RTK 測位の事前シミュレーションに適用することで有用性を検証している [1)]。その際、図－３のように高密度にデータが取得されている場所では、可視性の自動判別が正確にできたが、点密度が低い地点においては、本来は不可視となる衛星が点群データの隙間から可視衛星として判別されたケースがあった。そのため、シミュレーション時には目視による補正を加えた。

そこで、前項で設定した 300×300 画素の天空図において、地物が十分に表現されるには点群がどの程度必要なのかを検証した。

検証にあたり、以下の２つの条件を設定して、点密度の検証を行った。①撮影 に使用する点群データは観測位置から 5m 以上離れたものとした。②衛星が完全に隠れ



図－４　点密度と可視性判断の変化
（点間距離　左：5cm　中：10cm　右：15cm）

てしまうビルなどの建築物の点群を対象とし、樹木のような元々に隙間がある地物は対象としない。

実際の天空図において、どの程度点密度を減らした場合に衛星の可視の判別が変化するかを確認するため、図－３の画像右下に表示されているビル壁面のデータの点密度で考察した。ビル壁面の拡大図を図－４に示す。

観測位置とビルの位置は、水平距離で約 17m、斜距離で約 25m 離れている。このビルの壁面は、元の点群において隣接する点間距離が約 5cm で表現されている。このとき、衛星は不可視と判別されている。次に隣接する点間距離を 10cm に間引きをすると、衛星は不可視と判別されたが、一部壁面に隙間が確認されるようになった。更に 15cm に間引きをすると、壁面の隙間は更に目立つようになり、衛星も可視と判別されるようになった。今回の検証データは 3 パターンで行ったため、必要な点密度を断定することはできないが、最低でも点密度は 1 平米あたり 100 点以上の点群データが存在しないと可視性の評価が正しく判別できないと考えられる。

４．まとめと今後の展望

今回検証した内容は検証条件を設定して実際のデータから判別を行ったが、今後はこれらの条件を数式化し、観測位置と点群までの距離および点密度の関係性を明確にしていく必要がある。さらにその内容をプログラムに組み込み、空隙画素数の改善と衛星の可視性評価への影響について検証することが課題である。

点群データについては、航空レーザー計測などにより点群データの整備が進むと考えられる。点群データをそのまま利用することは、これまでの３次元データの活用の場面を広げる可能性があると考えられ、これらの点群データに他の情報を付加することも検討している。例えば地物の材質情報などを数値化し、衛星の可視性評価に加えてマルチパスの推定への応用も考えられる。

参考文献

1)福森秀晃、佐田達典他：移動体における RTK 測位の測位解予測手法に関する研究、土木情報利用技術論文集 Vol.19、pp.133-140、2010 年