

衛星測位の利用可能性評価シミュレーションによる準天頂衛星とスードライトの評価 * Assessment of Pseudolite and QZSS with Location Quality Assessment System *

小西勇介**・徐庸鉄***・袴田知弘****・柴崎亮介*****

By Yusuke KONISHI**・Yongcheol SUH***・Tomohiro HAKAMATA****・Ryosuke SHIBASAKI*****

1. 研究の概要

近年、GPSを代表とする人工衛星を利用した測位技術の普及によって、多くの位置情報利用分野が生まれ増えつつきている。また測位環境に対するニーズの増大に伴って、ヨーロッパのGalileoや日本の準天頂衛星などの新しい測位衛星の実用化や、スードライト（擬似衛星）などの新技術に関する研究開発が盛んに進められている。

一方で、このような衛星測位においては、3次元測位を行うために少なくとも4つ以上の基地局からの信号が受信できる必要がある。そのため、特に都市域においては、ビルによる遮蔽によって生じる可視衛星数の減少や可視衛星の配置劣化、さらにはマルチパスの影響などによって、精度の劣化や利用可能範囲の縮小が避けられない状況にある。

*キーワード：GPS，GNSS，測位，シミュレーション

**非会員，工修，東京大学 大学院

工学系研究科社会基盤工学専攻 博士課程

(東京都目黒区駒場4-6-1，

TEL:03-5452-6417，E-mail:niko@iis.u-tokyo.ac.jp)

***学生員，工修，東京大学 大学院

工学系研究科社会基盤工学専攻 博士課程

(東京都目黒区駒場4-6-1，

TEL:03-5452-6417，E-mail:suh@iis.u-tokyo.ac.jp)

****学生員，工学，東京大学 大学院

工学系研究科社会基盤工学専攻 修士課程

(東京都目黒区駒場4-6-1，

TEL:03-5452-6417，

E-mail:hakamata@iis.u-tokyo.ac.jp)

*****正会員，工博，東京大学

空間情報科学研究センター

(東京都目黒区駒場4-6-1，

TEL:03-5452-6412，

E-mail:shiba@skl.iis.u-tokyo.ac.jp)

そこで著者共が所属する東京大学柴崎研究室では、特に市街地における任意の衛星測位環境について、その利用可能性を評価可能なシミュレーションシステム：LoQAS (Location Quality Assessment System) の開発を行っている。本論文では、このLoQASを利用して、新しい測位環境として期待されている準天頂衛星とスードライトの整備による衛星測位の利用可能性の改善に関して評価を行った。

2. LoQAS

(1) LoQASの概要

LoQASは、衛星軌道モデル、信号伝播モデル、および3次元地図モデルから構成されている。

図-1にLoQASの概念を示す。

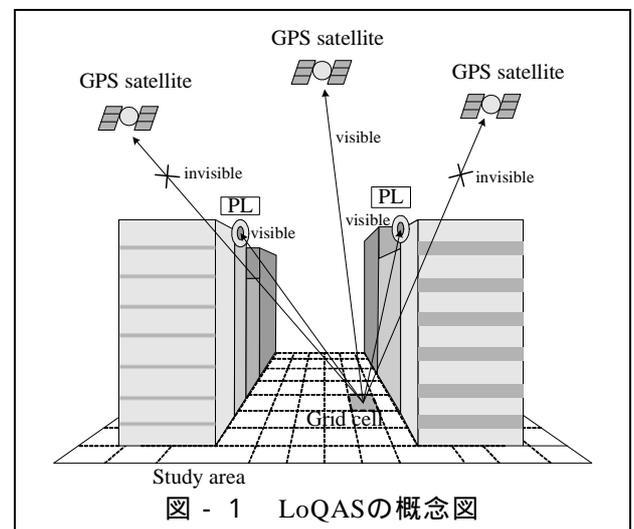


図-1 LoQASの概念図

ある時刻においてある場所に存在する受信機によって捕捉可能な測位衛星の個数と分布を推定するためには、以下の情報が必要である。

- ・ 測位衛星の位置座標
- ・ 測位衛星から受信機までの信号伝播モデル
- ・ 3次元地図データ

すなわち、測位衛星からの信号が受信機によって受信可能かどうかは、信号伝播モデルによ

る測位衛星から受信機までの信号伝播経路の推定と、3次元地図データを利用した隠蔽判定によって推定可能である。

以下で、LoQASを構成するそれぞれのモデルに関して簡単に説明する。

(a) 衛星軌道モデル

インターネットで配布されているケプラー軌道要素 (YUMA , もしくは NORAD two-line element set) から、ケプラーモデルに基づいた軌道計算により、測位衛星の位置を推定する。

(b) 信号伝播モデル

電波伝播モデルとして最も単純な無指向・減衰なし・マルチパスなしのモデルを用いた。特に非常に大きな誤差要因とされているマルチパスに関しては、今後取り扱う予定である。

(c) 3次元地図モデル

本研究では、三菱商事株式会社が販売を行っているDiaMap™を3次元地図として利用した。本論文で利用した新宿西口付近の3次元地図データを図 - 2 に示す。



図 - 2 利用した3次元地図 (新宿西口付近)

(2) LoQASによる計算結果例

図 - 3 にLoQASによる計算結果の一例を示す。

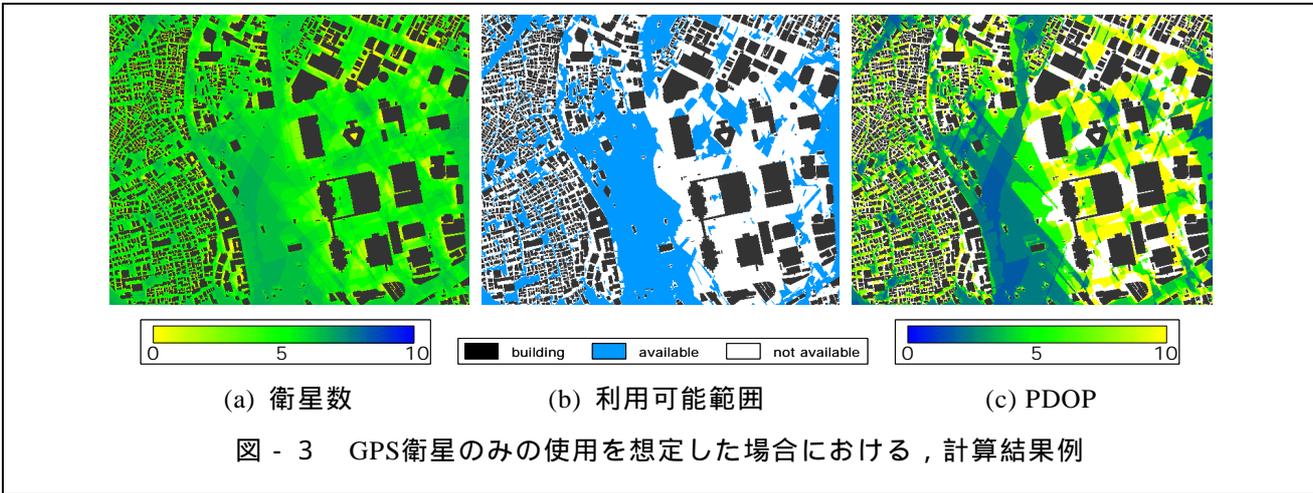


図 - 3 GPS衛星のみの使用を想定した場合における、計算結果例

これは、GPS衛星のみを利用する場合を想定した場合における、可視GPS衛星数、GPS測位利用可能範囲、および衛星配置の指標であるPDOP値について、新宿西口付近の東西1,100m、南北900mの領域について計算を行い上空から見た図を表示したものである。

このように、LoQASを利用したシミュレーションによって、可視衛星数や利用可能範囲、DOP値などを計算することが可能であり、都市域における衛星測位の利用可能性を定量的に推定・評価することが可能である。

3 . 準天頂衛星に関する評価

(1) 準天頂衛星とは

準天頂衛星 (Quasi-Zenith Satellite System : QZSS) とは、日本において提案されている新しい民生用人工衛星であり、特に通信や測位の用途で大きな期待を集めている。現在、国や企業などを中心に企画・研究・開発が進められている段階である。

準天頂衛星の軌道は、衛星がちょうど日本の天頂付近で長く留まるように設計されている。この軌道上に複数の衛星を適切に配置することで、日本全土において天頂付近に常に衛星が見えるような環境が実現されるため、通信や測位の分野で非常に大きな効果が期待されている。

そこで本論文では、この準天頂衛星が整備されることによって、測位環境、特に測位の利用可能な範囲がどれだけ改善されるかについて、LoQASによるシミュレーションで評価を行った。

(2) シミュレーション結果

準天頂衛星の軌道構成としていくつかの提案がなされているが、本論文では、軌道傾斜角45度、離心率0.099の軌道に3機の衛星が配置されているものとして評価を行った。

GPS衛星のみを使用する場合と、GPS衛星と準天頂を併用する場合の、利用可能範囲の違いについて、LoQASによるシミュレーション結果を図-4に示す。

(3) 考察

図-4より、準天頂衛星の併用によって、特にビルの谷間における利用可能範囲の改善が見られることが分かる。図-4に示した結果において、建物以外の領域に対して測位が利用可能な領域が占める面積の割合を表-1にまとめた。この表からも、準天頂衛星を併用することによる測位利用可能範囲の改善がよく分かる。

表-1 測位利用可能範囲率

時刻	GPSのみ	GPS + 準天頂
00:00	42.3%	76.9%
03:00	70.1%	89.8%
06:00	74.9%	88.6%
09:00	59.2%	81.3%

このように、準天頂衛星の整備によって測位の利用可能範囲がどの程度改善され得るのか、ということについて定量的な評価を行うことができた。

4. スードライトに関する評価

(1) スードライトとは

スードライト(擬似衛星: Pseudolite = Pseudo-Satellite)とは、いわば地上に設置したGPS衛星のようなものであり、GPS衛星とほぼ同一の信号を、同一の周波数帯の電波に乗せて伝送する。受信機は、GPS衛星とスードライトの双方からの信号を受信し、GPS測位と同様の原理で測位を行う。

この技術により、GPS衛星からの信号が十分に届かないような場所でも、スードライトを設置することによって測位精度や利用可能性を改善することが可能になると期待されている。また、スードライトの信号を用いた測位はGPS測位とほぼ同一の原理によって実現されているため、既に広く普及し低価格化が進んでいる従来のGPS受信機のハードウェアをほぼそのまま流

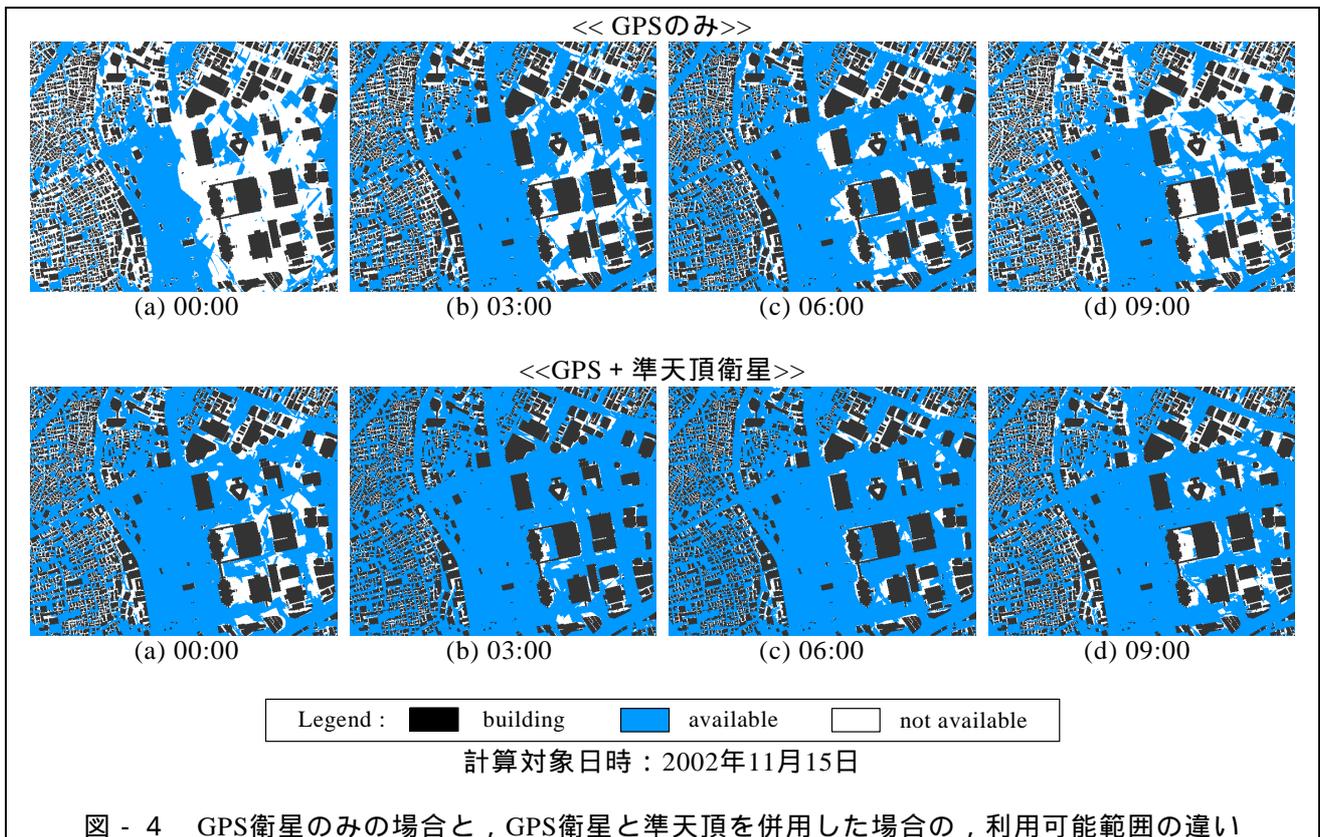
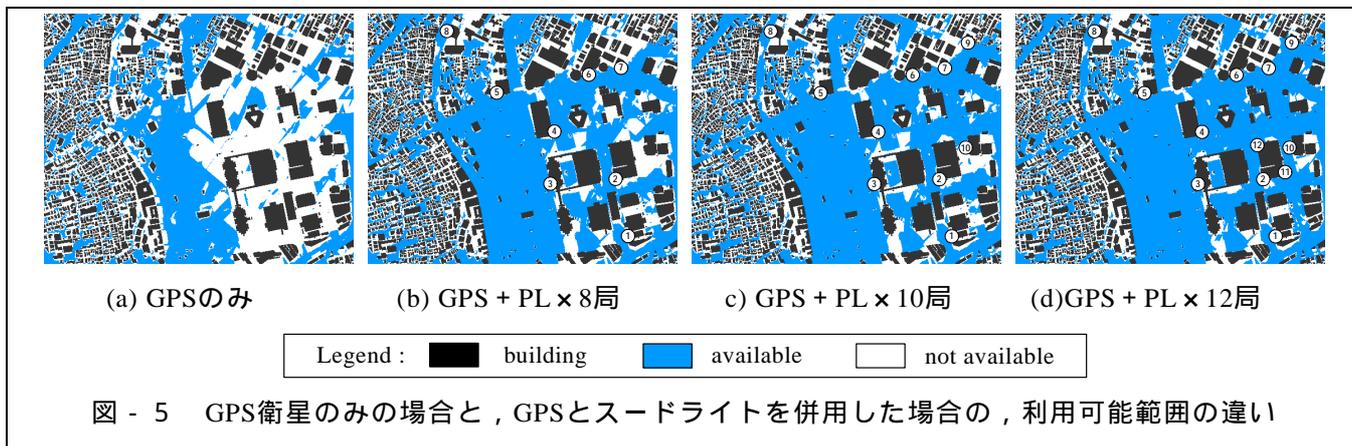


図-4 GPS衛星のみの場合と、GPS衛星と準天頂を併用した場合の、利用可能範囲の違い



用できるという利点がある。このような背景の中，日本でもスードライトを社会基盤として整備しようという期待が高まってきており，研究が進められているところである。

しかしながら，スードライトを社会基盤として整備していくためには，その整備によって測位精度や利用可能性がどの程度改善されるのかを評価する必要がある。

そこで本論文では，スードライトを整備することによる測位の利用可能範囲の改善に関して，LoQASを用いたシミュレーションにより評価を行った。

(2) シミュレーション結果

GPS衛星のみを使用する場合と，GPS衛星と合わせてスードライトを8局，10局，12局併用する場合の，利用可能範囲の違いについて，LoQASによるシミュレーションを行った。結果を図-5に示す。

(3) 考察

図-5から明らかかなように，スードライトの設置局数を増やすにしたがって，測位利用可能範囲が改善される。図-5に示した結果において，建物以外の領域に対する利用可能範囲の面積比は，GPS衛星のみを使用する場合38.5%，スードライトを8局併用する場合64.4%，10局併用する場合66.3%，12局併用する場合70.2%となっている。

このように，スードライトの設置によって利用可能範囲がどの程度改善され得るのか，ということについて定量的な評価を行うことができ

た。

5. 結論と今後の課題

LoQASを利用することによって，今後想定される未知の測位環境によって現状の測位環境がどのように改善されるのかについて，定量的な考察を加えることが可能になった。本論文でも，このLoQASを用いて，準天頂衛星およびスードライトという，GPSの補完技術として近年期待を集めている技術について，その整備効果を定量的に評価することができた。

今後の課題としては，まず，LoQASによるシミュレーション結果そのものを評価するための実証実験を早急に行う必要がある。また，LoQASの改善点としては，衛星測位において大きな誤差要因となっているマルチパス（測位信号の反射）について，その挙動と影響を推定できるような改良を施すということが挙げられる。さらに今後，主に信号伝播系のシミュレーションを行うLoQASと，受信機内部のシミュレータを組み合わせることで，衛星測位研究分野に今までにない新たな視点を持ち込めるのではないかと考えている。

参考文献

- 1) B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins : GPS - Theory and Practice, Fifth revised edition, SpringerWienNewYork, 2001
- 2) H. S. Cobb : GPS Pseudolites : Theory, Design, and Applications, A Ph.D. dissertation, Stanford University, 1997