

移動体RTKにおける準天頂衛星 の効果について

東京海洋大学
久保信明

はじめに

- 目的と概要
- 可視衛星数とRTKの性能の関係
- 都市部生データ
- RTK測位シミュレータ
- 解析結果
- まとめ

背景と目的

- 都市部移動体におけるRTKは、利便性が非常に悪いことが知られている
- 主な理由→頻発するサイクルスリップ
→可視衛星数の不足
- 本研究→可視衛星数のRTKに対する影響
→RTK測位シミュレータの開発
→**実際の都市部生データを収集し利用**
→3周波(L1、L2+**L5**)での効果
→**QZS**が3機加わった場合の効果

可視衛星数 vs. RTKの性能

- 国土地理院データを利用(今年の7日分)
- 1エポックRTKの性能を評価
- 基線長は短基線の場合で数種類
筑波1 - 筑波2(0.3km) 市川 - 花見川(13.3km) 浜岡1 - 浜岡2(2.8km)
- アルゴリズムはLambda法と改良したHatch法
- 2周波及び1周波(Lambda法のみ)で評価

1エポックRTKは、アンビギュイティ決定に際し、
そのエポックの観測データのみしか利用できないことを意味する。

解析結果 (2周波)

LAMBDA: FIX rate every number of satellites

	Mask	5	6	7	8	9	10	11
0.3km	15 °	100	99.2	99.9	100	100	100	100
13.3km	20 °	75.6	88.6	94.7	97.7	99.2	100	

Modified Hatch: FIX rate every number of satellites

	Mask	5	6	7	8	9	10	11
0.3km	10 °	47.6	81.7	93.6	98.5	99.1	99.8	99.9
13.3km	10 °	19.7	63.7	92.0	97.0	98.6	98.7	99.6

FIX rate in all epochs

0.3km / 13.3km

LAMBDA: 99.9% / 90.5%

Modified Hatch: 96.0% / 94.1%

明らかに可視衛星数が多いほうが良いことがわかる

解析結果 (1周波)

LAMBDA: FIX rate every number of satellites

	Mask	5	6	7	8	9	10	11
0.3km	15 °	15.4	46.6	82.6	89.1	93.3	90.0	98.9
2.8km	15 °	5.8	22.4	55.9	73.8	91.1	94.9	98.9

FIX rate in all epochs

LAMBDA:

0.3km / 2.8km
75.3% / 54.6%

ここでも、明らかに可視衛星数が多いほうが良いことがわかる。
また、1周波になると、極端にFIX率が低下している。
以上より、都市部では可視衛星数が少なくなるため、高いFIX率を維持することが困難であることがわかる。

都市部における衛星の可視性

- 2005年に車で東京23区内を走行した時の生データ(12時間分)より、捕捉衛星とその信号強度を取得(L1で解析)。
- 使用受信機は2周波で高精度測位用のNovAtel社製OEM4受信機で、使用アンテナはNovAtel社製GPS702。

東京23区内での可視衛星数の割合(%)

	~ 4	4	5	6	7	8 ~
割合	20.1	16.2	19.1	18.6	12.9	13.1

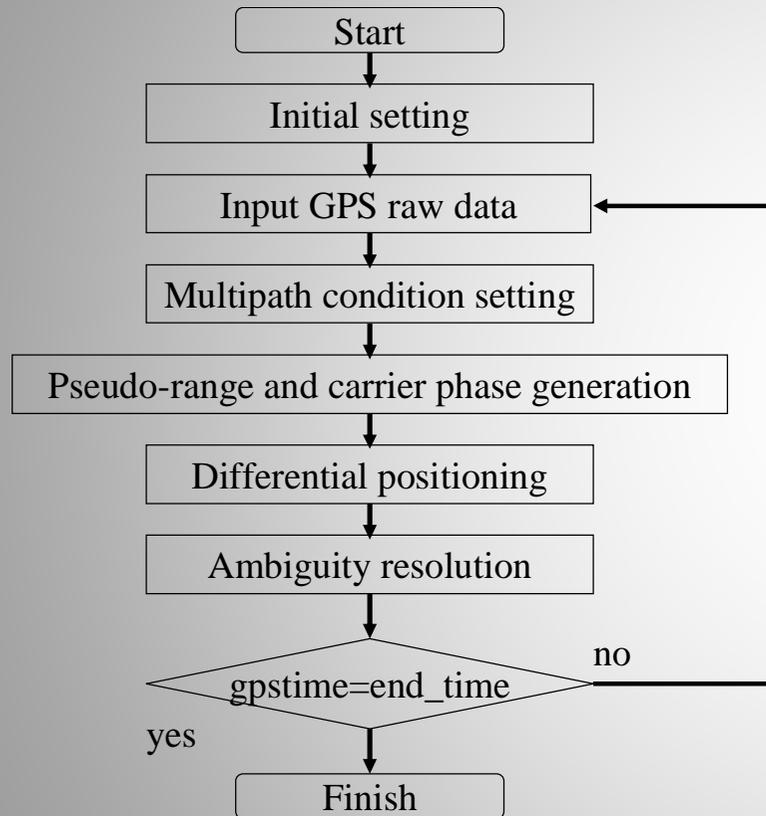
RTK測位シミュレータの開発

- 実際に移動体生データで、RTK測位はチェックできるが、真値を求めることが困難なため、**正確にFIX率等を算出することができない。**
- 測位シミュレータを用いれば、**新たな信号追加に、すぐに対応可能。**
GNSS近代化で、第3番目の周波数が追加される予定で、その効果を解析。
さらに、日本の準天頂衛星が3機追加された場合も解析。

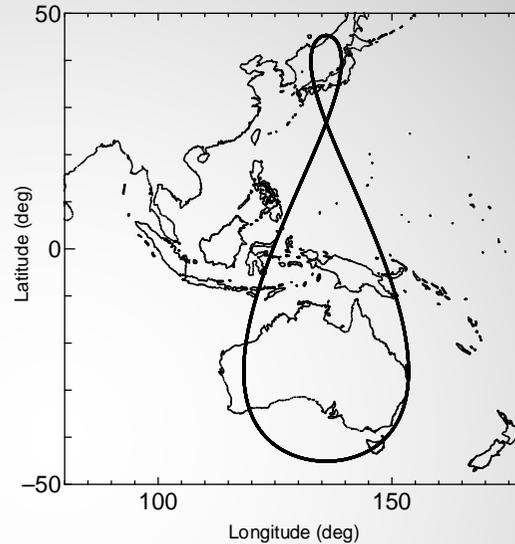


- 測位シミュレータ内での解析の手順は、**次のスライド参照。**
 - * アンビギュイティ決定手法は、先に述べたHatch法。
 - * **都市部環境を反映するために、衛星と信号強度は、生データを利用。**
 - * 疑似距離と搬送波位相の雑音誤差は、**生の信号強度に基づいて計算。**
 - * **都市部でのマルチパス統計データを利用し、人工的にマルチパスを発生。**
 - * **受信機内部の重要なパラメータも変更可能。**
 - * 特に、代表的なナローコリレータとストロボコリレータの2種類で解析。
 - * 追加する準天頂衛星の信号は、**GPSと同様。**

解析手順など



解析手順

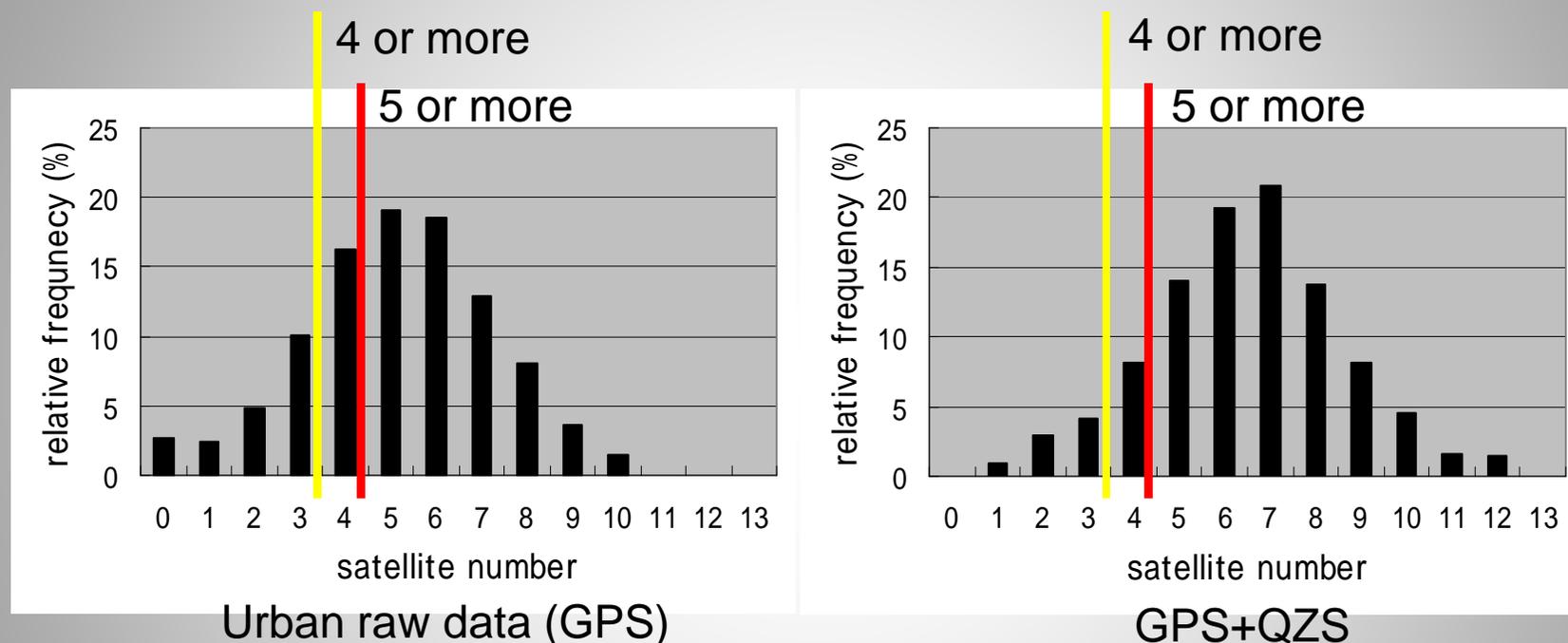


使用した
準天頂の軌道

衛星の代表的な信号パラメータ

周波数帯	L1	L2	L5
搬送波[MHz]	1575.42	1227.6	1176.45
チップ率[MHz]	1.023	1.023	10.23
バンド幅[MHz]	20	20	20
受信電力[dBm]	-158	-165	158

準天頂衛星3機による可視性向上



GPSのみの場合と比較すると、大幅に可視性が向上。準天頂衛星は、日本付近の上空を長時間滞在するため、GPSが3機追加された場合よりも効果が出ていると思われる。1エポックでのRTKに必要な可視衛星数は5個であるが、5個以上の可視率でみると、GPSのみの場合の64%から、準天頂衛星を3機追加したことにより84%まで向上。RTK測位の観点からみると、非常に有益。

解析シナリオ

- DGPS測位 (GPS、GPS+QZS:L1のみ)
- RTK (GPS:2周波 WLを利用)
- RTK (GPS:3周波 EWL→WLを利用)
- RTK (GPS+QZS:3周波 EWL→WLを利用)

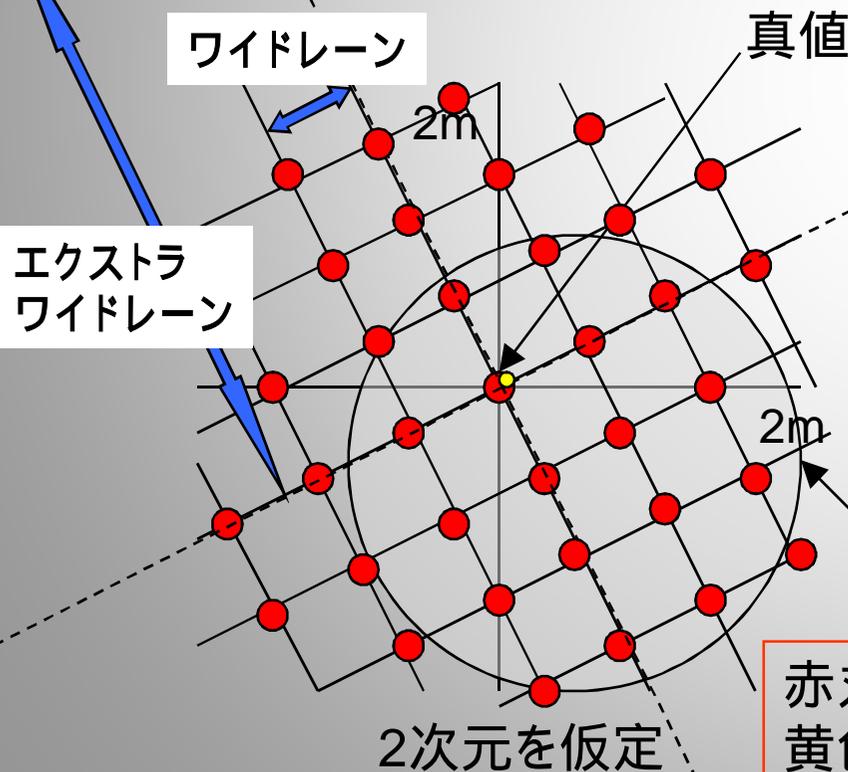
いずれの場合も、2種類のコリレータで解析

* 0.1chip ナローコリレータ

* 0.1chip (+0.2chip) ストロボコリレータ

マルチパス誤差とリアルタイム精密測位 (RTK) との関係

- RTK測位を実施するには、搬送波位相の整数値アンビギュイティを決定する必要があり、決定すると精度(数cm程度まで)が飛躍的に向上する。



もしDGPS測位結果が大きくずれていると、正しい候補が探索範囲に入らないことがある。探索範囲を大きくとりすぎると、計算が膨大になりかつ誤ったアンビギュイティを解く確率が大きくなる

・波長(左図の格子点同士の間隔)について
L1-L2(約86cm)→ワイドレーン(WL)
L2-L5(約5.8m)→extraワイドレーン(EWL)

通常DGPS測位による誤差分布

赤丸はWLのアンビギュイティ候補
黄色はEWLのアンビギュイティ候補

DGPS測位結果

(GPS: 34356epoch) Distribution of the absolute DGPS horizontal errors

Horizontal Errors (m)	0-1	1-2	2-4	4-6	6-10	10-
Strobe (%)	73.8	16.0	6.5	1.3	1.1	1.3
Narrow (%)	33.5	26.7	26.6	6.6	3.5	3.1

(GPS+QZS: 39704epoch) Distribution of the absolute DGPS horizontal errors

Horizontal Errors (m)	0-1	1-2	2-4	4-6	6-10	10-
Strobe (%)	72.2	17.8	6.2	1.4	1.1	1.3
Narrow (%)	39.0	27.0	24.5	4.8	2.6	2.1

Strobeの効果が出ていることより、30m程度以上のマルチパスを抑制することが大切であるのがわかる

RTKの性能評価に用いた基準

- アンビギュイティの決定率で性能を評価
- もし12時間のデータが存在する場合、1Hzで43200エポック存在するので、アンビギュイティの初期化は43200回行う。
- アンビギュイティの決定率は、全回数のうち、正しくFIXした回数の割合を計算。

$$\text{Ambiguity fix percentage} = \frac{\text{Correct Number}}{\text{Total Number}}$$

RTK測位結果

0.3km / 13.3km
 LAMBDA: 99.9% / 90.5%
 Hatch: 96.0% / 94.1%

Ambiguity Fix Percentage (GPS with L1 and L2 signals)

	1epoch Fix (%)	Wrong (%)	No-RTK (%)
Strobe correlator	40.0	22.8	37.2
Narrow correlator	24.5	38.4	37.2

Ambiguity Fix Percentage (GPS with L1, L2 and L5 signals)

	1epoch Fix (%)	Wrong (%)	No-RTK (%)
Strobe correlator	60.5/58.3	2.3/4.5	37.2
Narrow correlator	51.6/49.9	11.2/12.9	37.2

EWL / EWL and WL

Ambiguity Fix Percentage (GPS and QZS with L1, L2 and L5 signals)

	1epoch Fix (%)	Wrong (%)	No-RTK (%)
Strobe correlator	80.7/79.8	2.9/3.8	16.4
Narrow correlator	71.6/71.0	12.0/12.6	16.4

EWL / EWL and WL

まとめ

- 可視衛星数とRTKの性能の関係は明らかで、**可視衛星数が多いほど性能は向上。**
- 第3番目の周波数(L5)が追加されることにより、**マルチパス誤差の大きい場合**、RTKの性能が以前より大幅に向上。
- L5 + 準天頂衛星3機で、**可視衛星の数が2割ほど改善され、また1エポックでのFIX率も4割ほど改善された。**

準天頂衛星3機による可視性向上

東京23区内での可視衛星数の割合の向上

	~ 4	4	5	6	7	8 ~
GPS	20.1	16.2	19.1	18.6	12.9	13.1
					64%	
GPS+QZS	8.0	8.1	14.1	19.3	20.9	29.6
					84%	

GPSのみの場合と比較すると、大幅に可視性が向上。
準天頂衛星は、日本付近の上空を長時間滞在することから、GPSが3機追加された場合よりも効果が出ていると思われる。
1エポックでのRTKに必要な可視衛星数は5個であるが、5個以上の可視率でみると、GPSのみの場合の64%から、準天頂衛星を3機追加したことにより84%まで向上。
RTK測位の観点からみると、非常に有益であるといえる。