

高精度測位における準天頂衛星 (QZS) の効果について

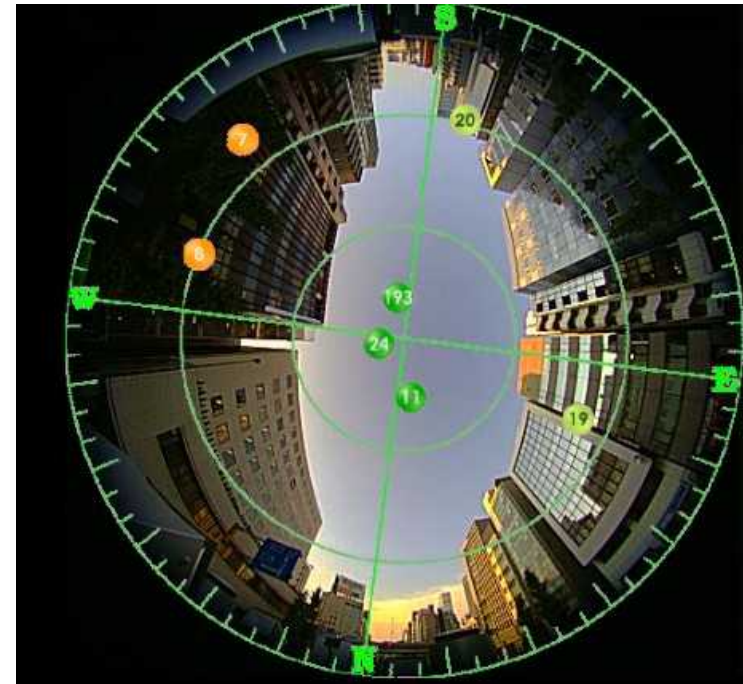
東京海洋大学

久保信明

白井友子

背景

- QZSの最大の特徴は、日本上空に長時間滞在することであり、この特徴がもたらす**高精度測位**への影響は大きいことが予想されていた
- 特に都市部において、**高仰角の衛星**が重要である点と、GPS+QZSによって**可視衛星数を確保**できる点に絞ってまとめた



都市部の天空写真ワンショット
193番が準天頂衛星

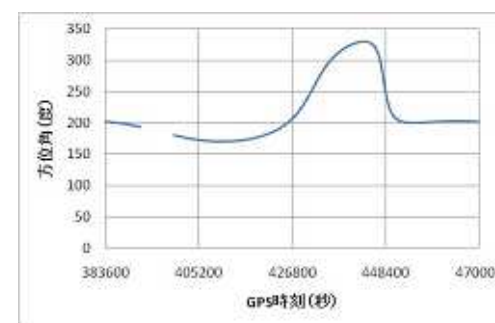
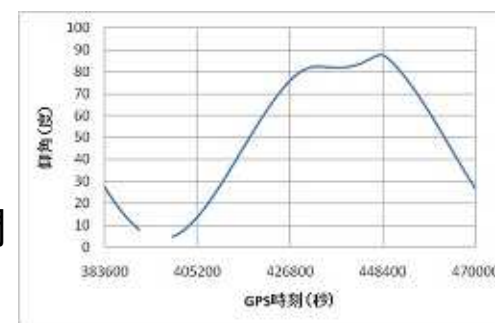
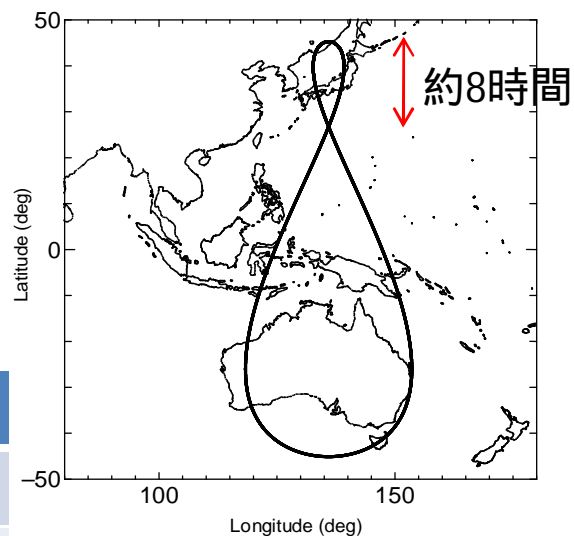
発表内容

- 準天頂衛星の概要
- 準天頂衛星の実データ(単独測位結果)
- ソフトウェア受信機での結果例
- 都市部でのRTKの性能
- 実験結果
- まとめ

準天頂衛星の概要

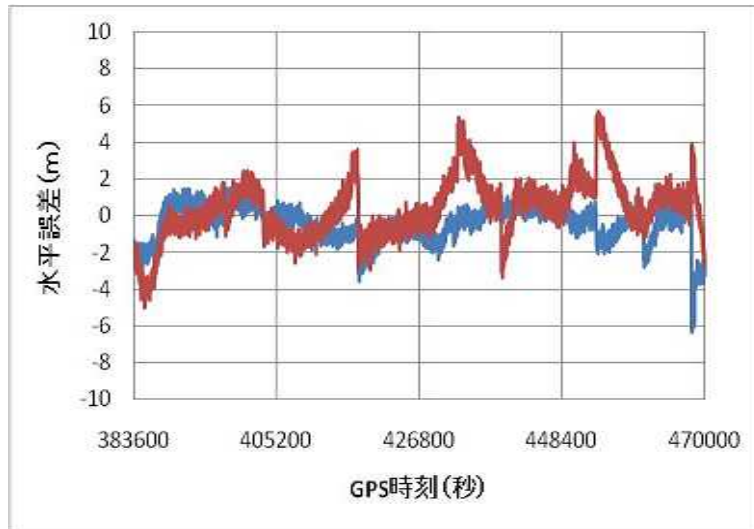
- 信号体系は基本的にGPSに準拠→受信機側の改修は非常に少ない
- 一部、LEX信号に独自のデータを放送

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]	24.0	24.0	24.0
受信電力[dBW]	-159	-160	-155

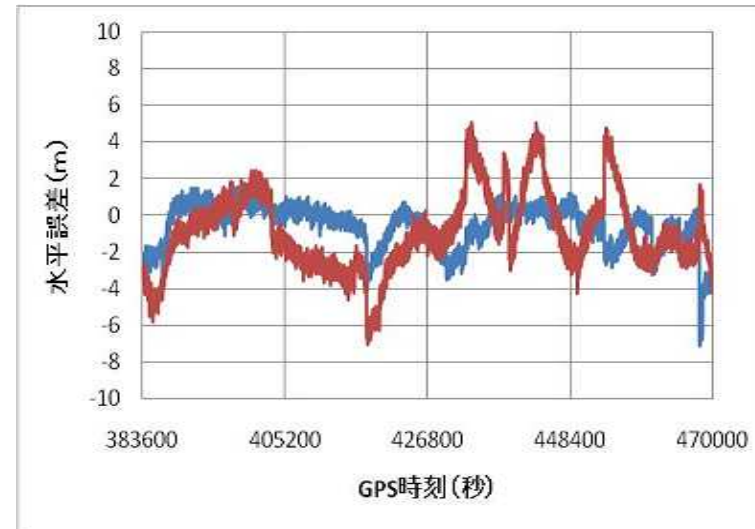


24時間の単独測位

(赤:緯度方向、青:経度方向)



GPSのみ
1 σ : 1.90m



GPS + QZS
1 σ : 2.44m

日時: 2011年1月13日から14日
場所: 東京海洋大学越中島校舎第4実験棟屋上
受信機: JAVAD DELTA
測位信号にアラートフラグ有 (2011年6月22日に解除)
エフェメリスはGPSは2時間で、QZSは1時間で更新されていた

移動体単独測位の利便性向上



単独測位の測位率

	GPSのみ	GPS+QZS
1回目 (29分間)	81.6%	89.8%
2回目 (18分間)	37.3%	84.1%
3回目 (27分間)	65.5%	77.9%
4回目 (30分間)	66.4%	73.8%
5回目 (25分間)	64.3%	70.3%

日時: 2011年1月12日の午前3時間程度

場所: 新宿西口方面の高層ビル街

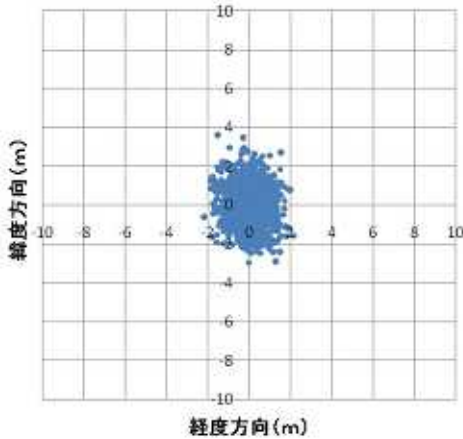
受信機: JAVAD DELTA

測位信号にアラートフラグ有 (2011年6月22日に解除)

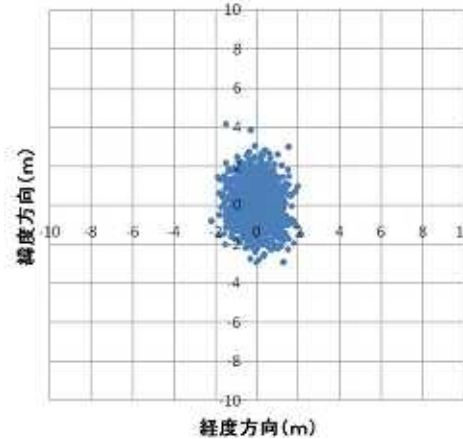
この実験時間帯のQZSは仰角80度前後

DGNSSの結果

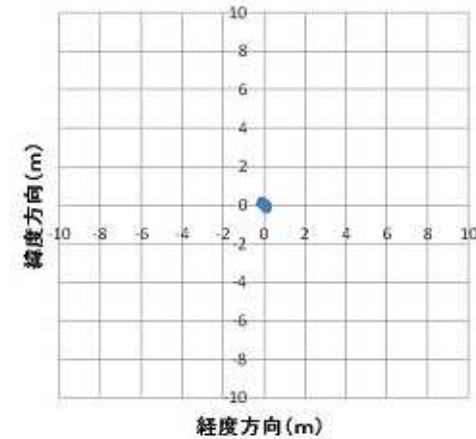
(同一アンテナより分配)



GPSのみ
 $1\sigma: 1.2\text{m}$



GPS + QZS
 $1\sigma: 1.3\text{m}$



GPS + QZS
(50秒スムージング)
 $1\sigma: 0.15\text{m}$

日時: 2012年12月12日の約10分
場所: 東京海洋大学越中島校舎第4実験棟屋上
受信機: ソフトウェア受信機
測位信号にアラートフラグ有 (2011年6月22日に解除)

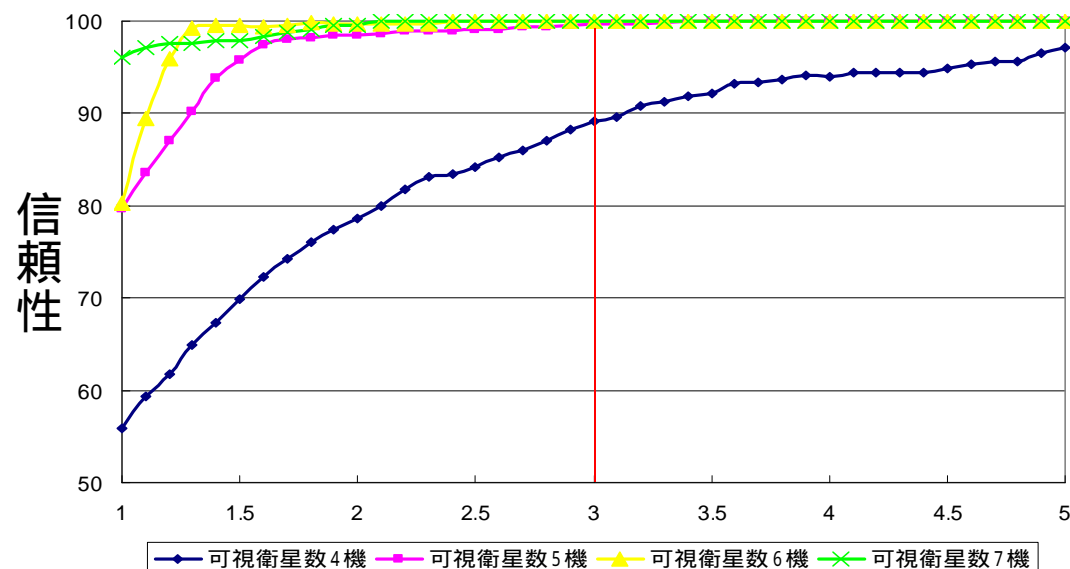
都市部における衛星の可視性

	4機未満	4機	5機	6機	7機	8機
割合	20.1%	16.2%	19.1%	18.6%	12.9%	13.1%

- 2005年に東京23区内を走行(12時間分)
- 2 - 3車線の比較的広い道路を走行
- 受信機はNovAtel OEM4
- L1の信号強度が30dBHz以上のものを利用

都市部でのRTKの性能

(利用衛星数との関係)



名古屋駅周辺のデータ
LAMBDA + Ratioテスト
Ratioテストの通常の閾値は3
信頼性は水平誤差1m以内

Ratioテストの閾値

- 可視衛星数が4機的时候は、FIX解を得たとしても1m以内の信頼性が90%に満たない
- 前のスライドより、都内走行で利用衛星5機以上は6割程度。丸の内や新宿等の高層ビル街だけに絞ると利用衛星5機以上は3割を切ってくる

都市部走行の実験結果

準天頂衛星の実データを追加することによる、
都市部移動体高精度測位への寄与を評価する

- 海洋大から丸の内 (2011/3/1)
- 月島から銀座 (2011/3/24)
- 三田から海洋大 (2011/8/10)
- 浅草寺から海洋大 (2011/8/10)

全ての実験での解析条件は統一

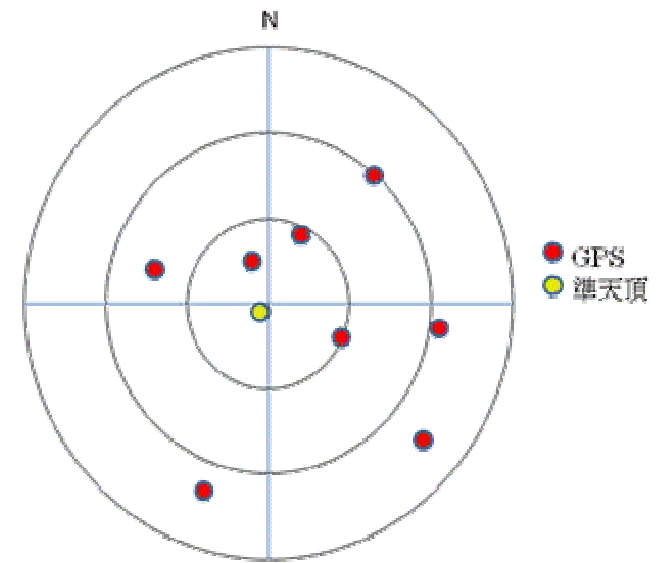
基準局場所: 東京海洋大学越中島校舎第4実験棟屋上
受信機: JAVAD DELTA
マスク角: 15度 最低信号強度: L1で30dBHz
あるべき信号強度によるチェックあり
RTKのアンビギュイテイ決定はLAMBDA+Ratioテスト
(Float解の計算でドップラー周波数による速度情報支援)

実験 (海洋大から丸の内)



黒枠部
分は2周

走行時間は約40分



衛星配置

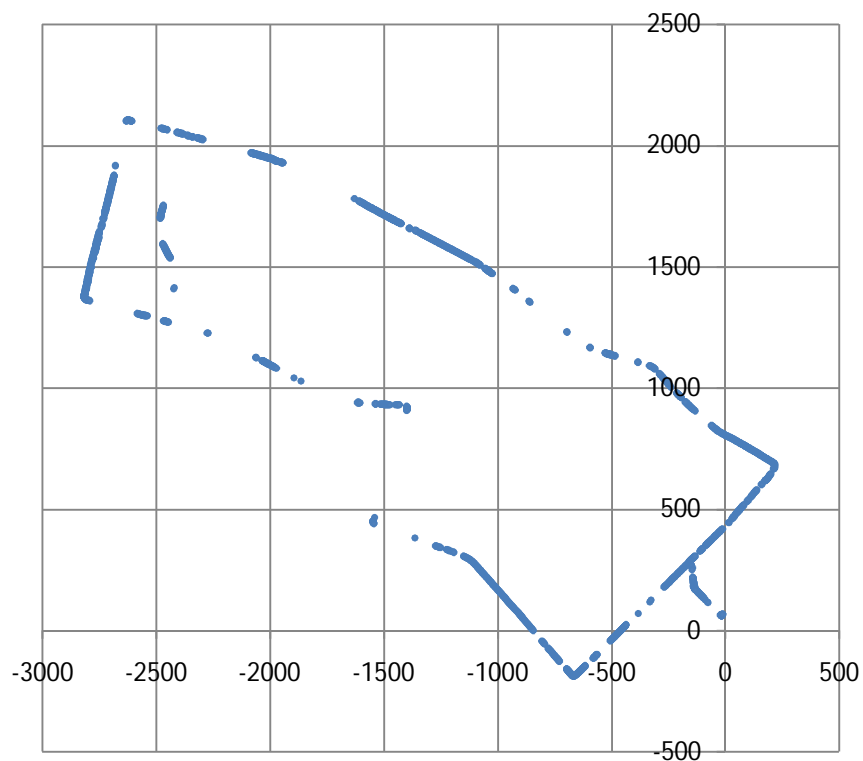
DGPSの測位率とRTKのFIX率 (RTKはRatio3以上)

トータルエポックは12768

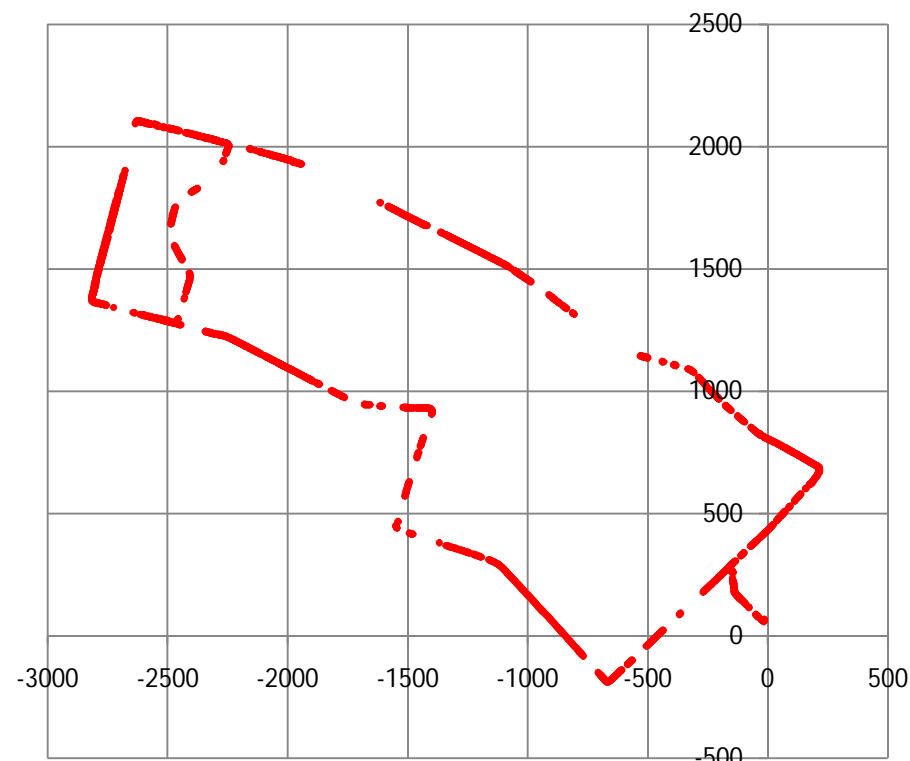
	GPS	GPS+QZS
DGPS	10401 (81.5%)	11960 (93.7%)
RTK	3444 (27.0%)	6670 (52.2%)
RTK (ドップラー支援あり)	5966 (46.7%)	8981 (70.3%)

GPS+QZSで衛星利用判断をパスし4衛星以上のトータル数は10867
GPSで衛星利用判断をパスし4衛星以上のトータル数は8699
RTKは2周波(L1+L2)を利用。GPSはL2P、QZSはL2C
ドップラー支援はLAMBDA法のFLOAT解をDGPS解ではなく、前のFIX解 +
ドップラーによる速度ベクトルで入力

水平プロット図での比較



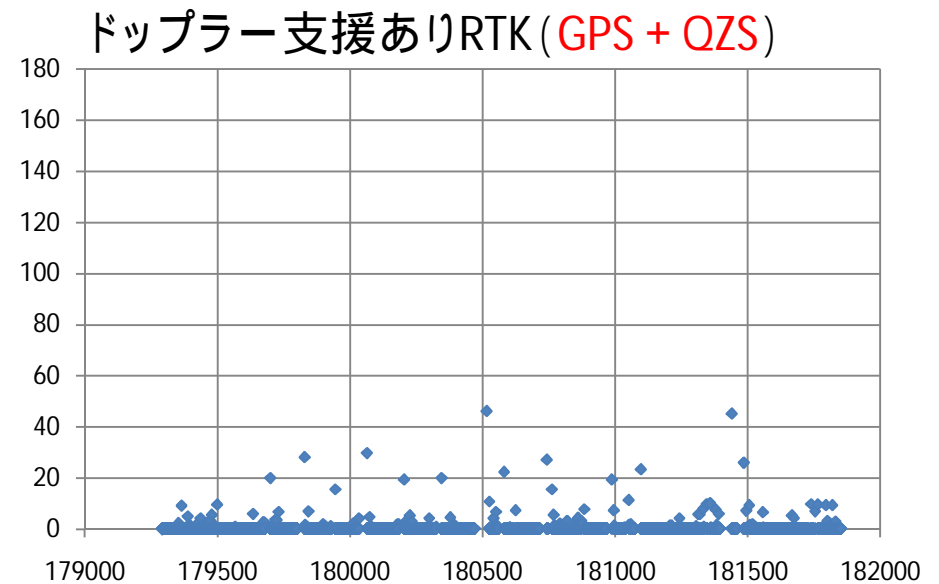
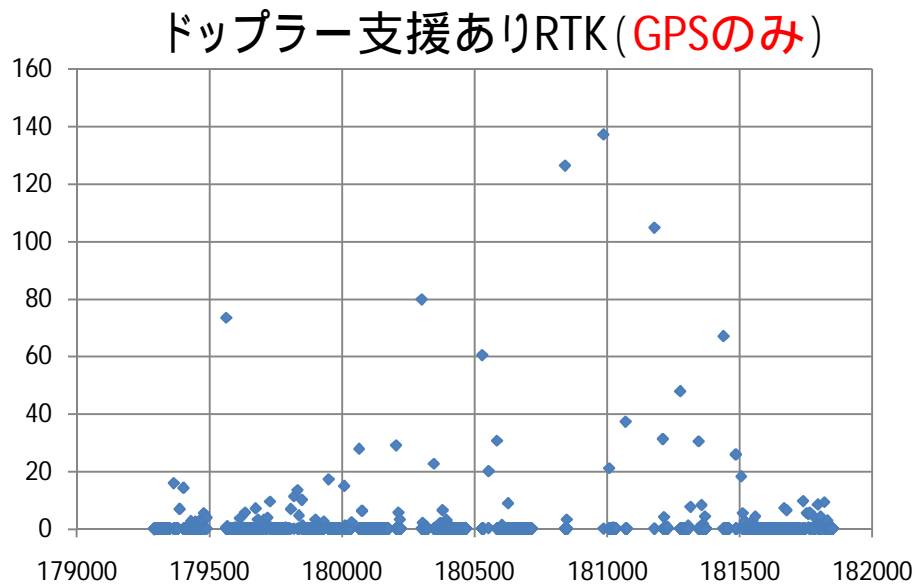
GPSのみのドップラー支援RTK



GPS + QZSのドップラー支援RTK

左上の高層ビル街における、RTKの利便性の改善度が大きい

FIXできない時間間隔のデータ (縦軸:秒 横軸:GPS時刻)



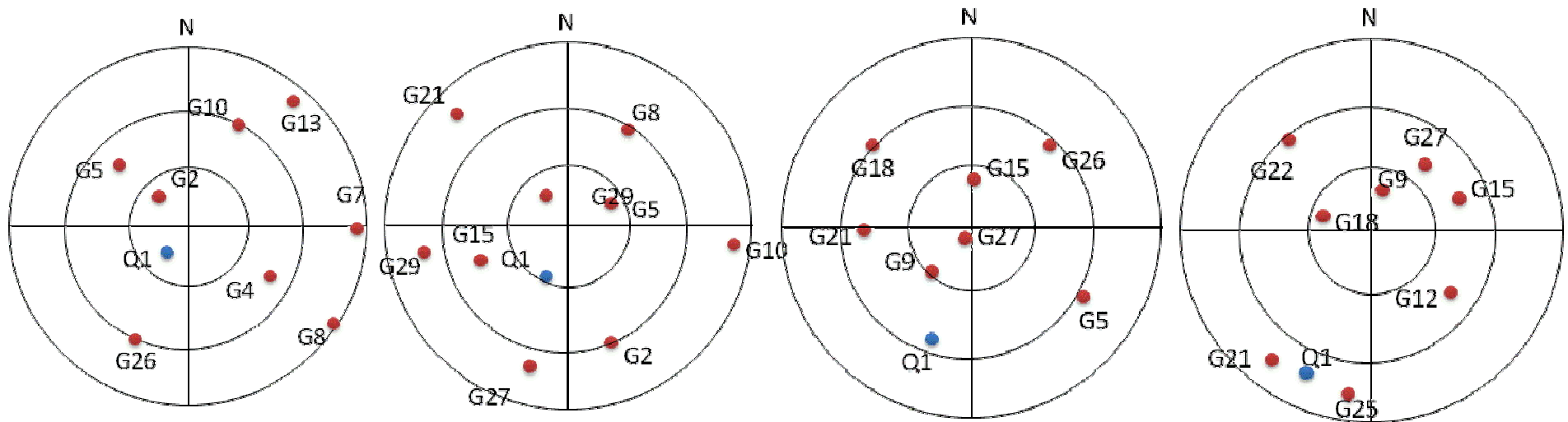
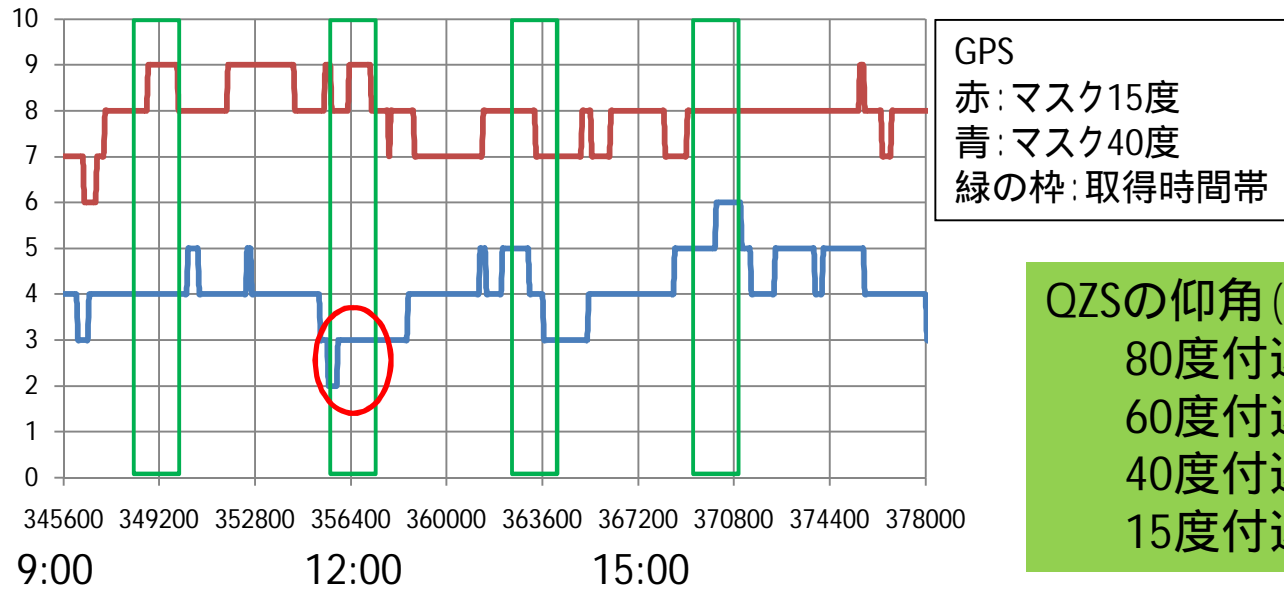
GPSのみでは最大で140秒間FIXなしの時間が続く。また1分以上が7回
GPS+QZSでは最大で45秒に短縮されている

実験 (月島から銀座)



- GPS+QZSの高精度測位において、時間推移の観点から、GPSの可視衛星数とQZSの仰角の変化によって、RTKの利便性がどのように変化するか調査
- 1周約20 - 25分前後を4回走行

GPSの可視衛星数とQZSの仰角



いくつかの条件での結果

(測位率はL1のコードDGPS、RTKはRatio3以上の割合)

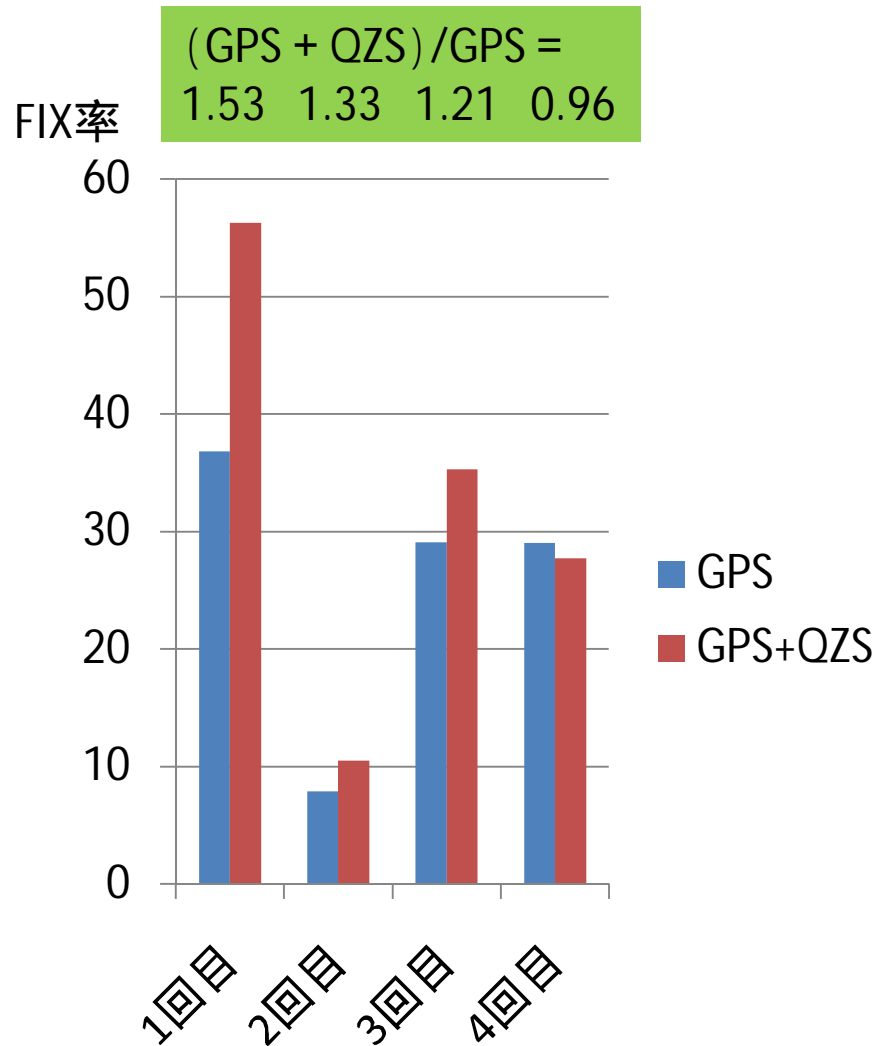
時間帯	測位率 (GPS/GPS+QZS)	RTK (GPS/GPS+QZS)	RTK(ドップラー支 援あり) (GPS/GPS+QZS)
#1 AM10:00 (QZS:80度付近)	95.0% / 98.6% (約23分)	36.8% / 56.3%	51.8% / 73.6%
#2 AM12:00 (QZS:60度付近)	83.6% / 94.6% (約19分)	7.9% / 10.5%	15.0% / 23.3%
#3 PM2:00 (QZS:40度付近)	93.1% / 96.7% (約21分)	29.1% / 35.3%	46.5% / 55.7%
#4 PM3:30 (QZS:15度付近)	94.7% / 95.5% (約25分)	29.0% / 27.7%	43.7% / 37.5%

* 2回目のFIX率が低下しているのは、前のスライドからもわかるようにGPSの40度以上の衛星数が少なく、配置が悪かった可能性が高い。

* 全体を通してミスFIXも数%程度に見えた

* DGPSはあるべき信号強度のチェックはなし

GPSとGPS+QZSでの比較



- FIX率で見ると、明らかにQZSの効果が見られた
- 2回目のFIX率が低下しているのは、GPSの可視衛星数が極端に少ないため
- **GPS+QZSのFIX率がGPSのFIX率の何倍か**をグラフの上に示したが、QZSの仰角の高いほうが高いことがわかる
- 最後の4回目(逆転現象)はQZSが15度前後の結果であり、低仰角の衛星がアンビギュイティ決定に悪さをすることを良くあることである
- QZSの軌道精度や時計精度が安定していないこともあるかもしれないが、短基線のRTK等ではその問題が出にくい

実験 (三田から海洋大)



	GPS	GPS+QZS
DGPS	7209 (60.1%)	9767 (81.4%)
RTK	1324 (11.0%)	2561 (21.3%)
RTK(ドップラー支援あり)	2069 (17.2%)	5237 (43.6%)

走行時間は約40分 5Hzで約12000エポック

実験 (浅草寺から海洋大)



走行時間は約35分
5Hzで10500エポック

	GPS	GPS+QZS
DGPS	7673 (73.1%)	8712 (83.0%)
RTK	1852 (17.6%)	3641 (34.7%)
RTK (ドップラー支援あり)	3096 (29.5%)	5499 (52.4%)

実際に車両ルーフに設置した魚眼カメラとの連動ソフト

まとめ

- QZSの観測データは、いずれの測位モードにおいても、GPSと同様にそのまま利用できた
- GPSの配置が通常の状態、準天頂衛星が70 - 80度以上付近に存在するとき、RTKの利便性は大幅に改善された(以下)
46.7→70.3 51.8 →73.6 17.2→43.6 29.5→52.4
- この解析でFIXと判断した解が実際の真値から1m以内に入っている確率は95%以上(50cm以内でも90%以上)。本実験よりも厳しい環境において実証済み
- 準天頂衛星が3機以上の体制になると、24時間いずれの時間帯でも上記以上の効果が十分期待できる
- 国際的にも初のRegional衛星の運用となったが、都市部での効果ははっきりと見られた