

地殻変動を加味した RTK補正データの配信手法

○伊田 裕一^{1,2}, 池田 将平^{1,2}, 野村 宏利^{1,2}, 近藤 徹^{1,2}, 大西 健広^{1,2}

¹ソフトバンク株式会社

²ALES株式会社

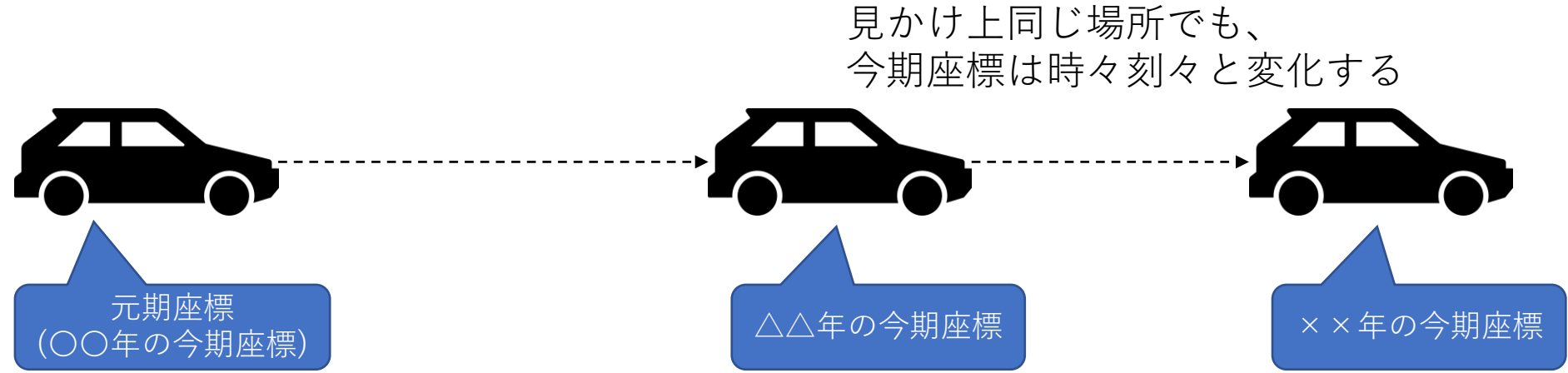
目次

- 背景
- ソフトバンク/ALESにおける地殻変動補正手法
- 実環境での検証結果
- まとめ
- 謝辞

背景

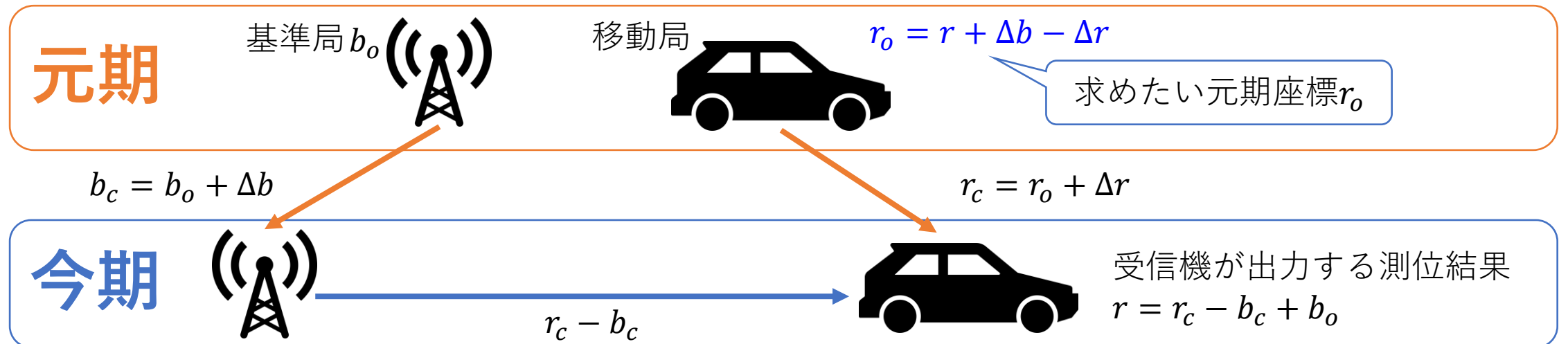
地殻変動の測位への影響

- 地殻変動により、異なる時期に同じ位置で測位すると求まる座標(今期座標)が変化する
- 地殻変動による定常的な座標変化の影響を除外するため、今期座標を元期座標に変換して、使用することが多い



RTK測位で元期座標を求めるには？

- 移動局の元期座標を算出するには、
基準局と移動局の地殻変動量の差分を補正する必要がある
※地殻変動量の算出には、国土地理院提供の地殻変動補正パラメータを用いる



基準局今期座標 b_c 、基準局元期座標 b_0 、移動局今期座標 r_c 、移動局元期座標 r_0
 基準局の元期から今期までの地殻変動量 Δb 、移動局の元期から今期までの地殻変動量 Δr

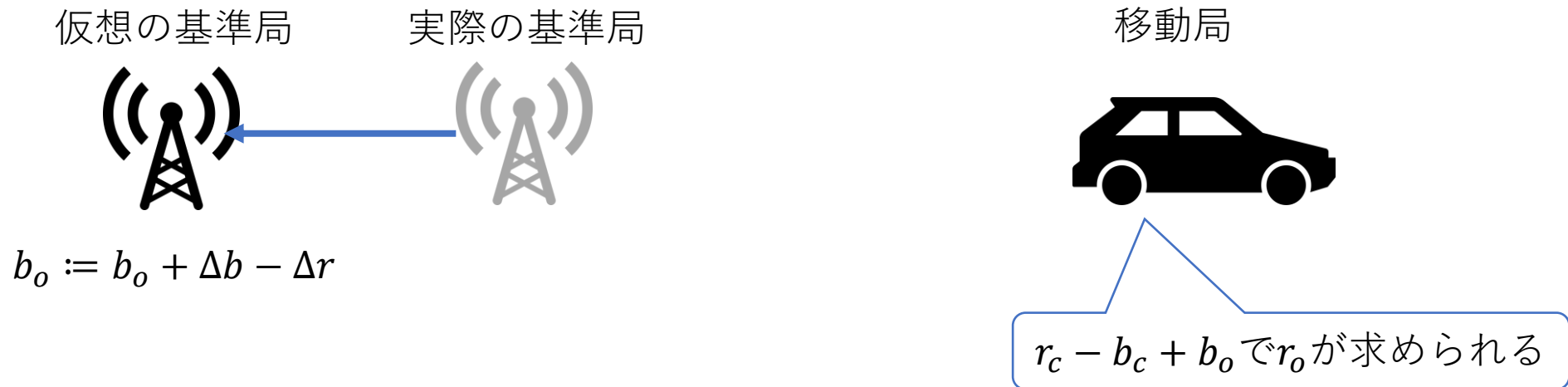
移動局側では地殻変動補正は困難

- 国土地理院が公開している地殻変動補正パラメータを自動で取り込み、適用できる受信機は限られている
- 受信機側ではなく、RTK補正データを配信する側での対応が適している

次頁以降で配信側で行う方法を示す

リアルタイム元期座標測位方法 (1/2)

- 配信する基準局の座標(ARP:Antenna Reference Point)を移動局の地殻変動量分だけ予め補正する方法がある



リアルタイム元期座標測位方法 (2/2)

- 移動局が移動する場合、移動局の地殻変動量が変化するので、配信するARPも変化させる必要がある
→受信機はstationIDが更新された時のみARPを更新すると思われる

①stationIDの更新無しにARPのみを更新した場合：

新規のARPは無視されると思われる

②stationIDとARPの両方を都度更新した場合：

更新の度に整数値バイアスを再推定する必要があり、Fixが維持できなくなる

➤**いずれも不採用**

ソフトバンク/ALESにおける 地殻変動補正手法

地殻変動補正を観測データに含める手法(1/2)

通常のRTKで配信する搬送波位相の式は

$$L_B^k = \rho(x^k, b_c) + \dots$$

k :衛星番号, x^k :衛星 k の座標

$\rho(\cdot)$:幾何学的距離を求める関数(煩雑のためサニャック効果は無視するものとする)

※実際にはクロックバイアス、対流圏遅延、電離圏遅延、整数値バイアス等がそれぞれ含まれるが、本筋とは関連しないため記載を省略した

である。

元期座標を求めるには測位結果に $\Delta b - \Delta r$ を加えればよいことから、基準点位置を $-\Delta b + \Delta r$ ずらした位置の観測値を配信すればよい。

すなわち地殻変動補正を加味した搬送波位相の式を \hat{L}_B^k とすると

$$\hat{L}_B^k = \rho(x^k, b_c - \Delta b + \Delta r) + \dots$$

となる。

地殻変動補正を観測データに含める手法(2/2)

$$\hat{L}_B^k = \rho(x^k, b_c - \Delta b + \Delta r) + \dots \doteq \rho(x^k, b_c) - e^{kT}(-\Delta b + \Delta r) + \dots = L_B^k + e^{kT}(\Delta b - \Delta r)$$

である。ただし、 $e^k = \frac{x^k - b_c}{|x^k - b_c|}$

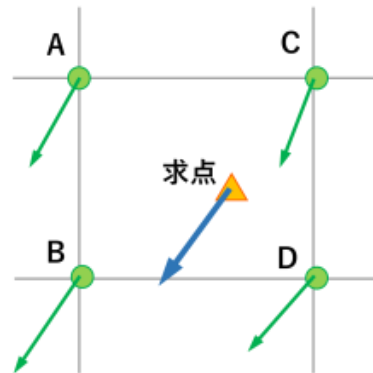
よって、地殻変動補正を加味する場合は補正量 $e^{kT}(\Delta b - \Delta r)$ を加えて $L_B^k + e^{kT}(\Delta b - \Delta r)$ を配信する

→ **地殻変動補正を観測データに含めることで
配信サーバー側のみの対応で移動局の元期座標を求めることが可能**

補正手法に関する補足

- 使用している地殻変動補正パラメータ及び地殻変動量の算出方法は以下の通りである
 - 地殻変動補正パラメータ
定常時地殻変動補正サイト (<https://positions.gsi.go.jp/cdcs/>)
 - 算出方法
バイリニア補間

近接する4つの格子点を使用。



https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/chikakuhendo_background.html

実環境での検証結果

検証実施地点

- 地殻変動補正の空間勾配が大きい静岡県東部で検証を実施
 - 検証地点は、①丹那、②十国峠の2か所



①丹那

②十国峠

地理院タイルに検証場所及び2023/7の地殻変動補正パラメータから算出した地殻変動ベクトルを追記

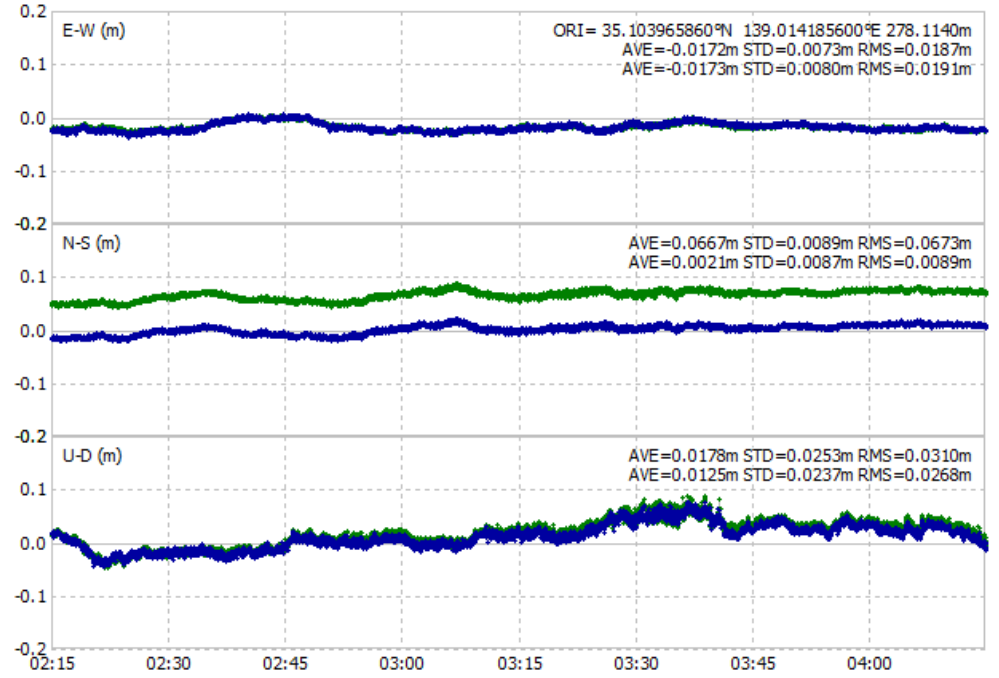
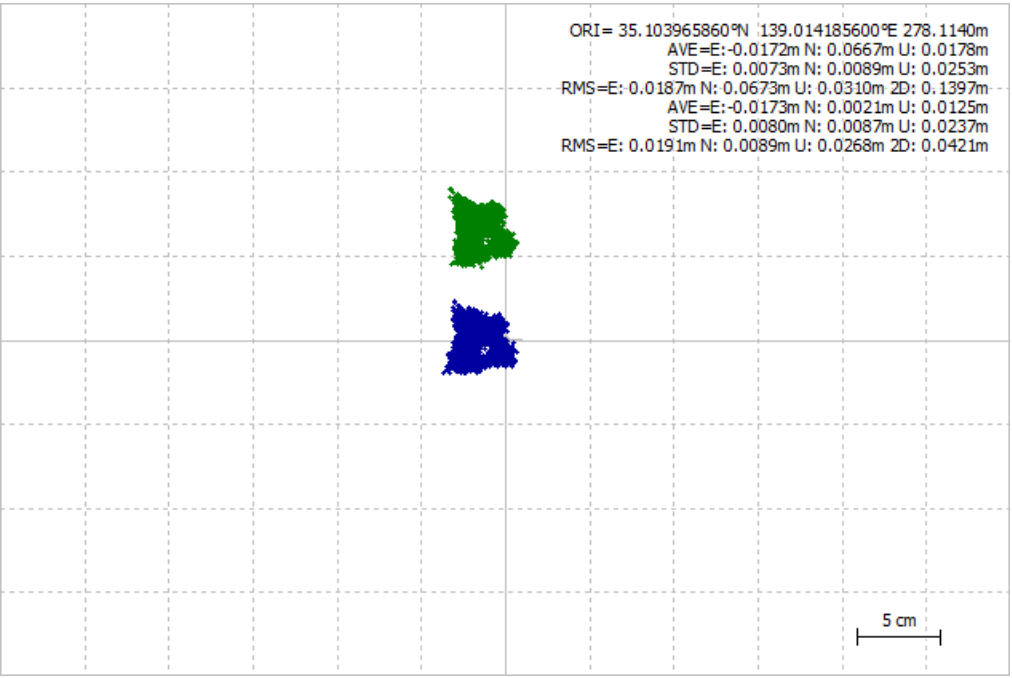
測位条件

- 測位期間：2時間
- 受信機：u-blox F9P
- 衛星システム：GPS+GLO+GAL+QZS+BDS
(補足：ソフトバンクの補正情報はBDSも対応)
- 使用した補正データ：
地殻変動補正無、地殻変動補正有

※かなめ測量高島様が後処理で求めた座標を真の位置として評価

①丹那の測位結果の比較

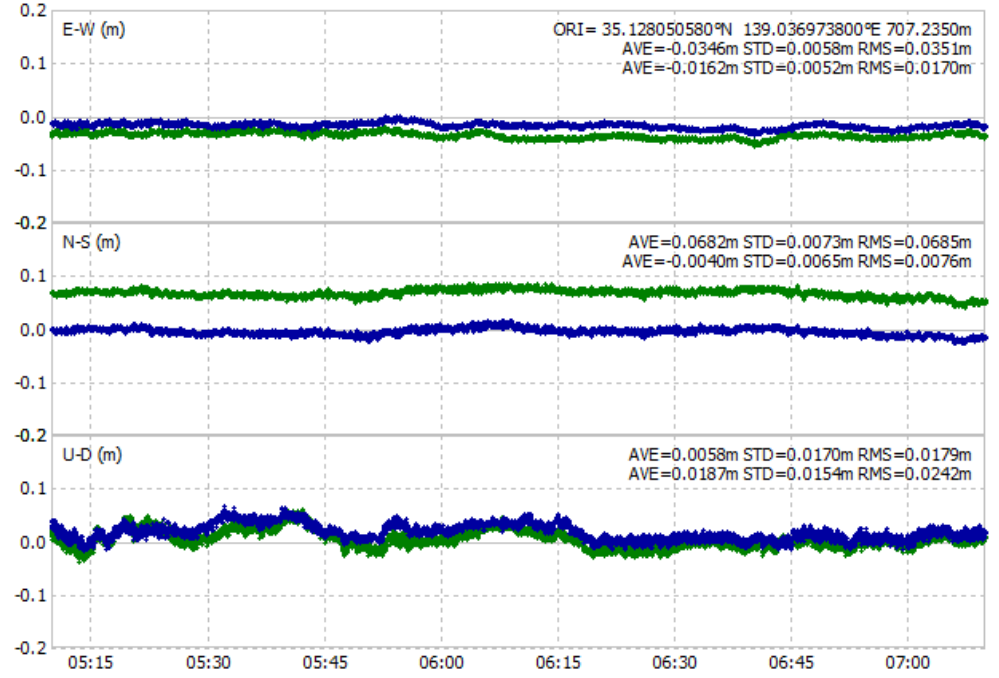
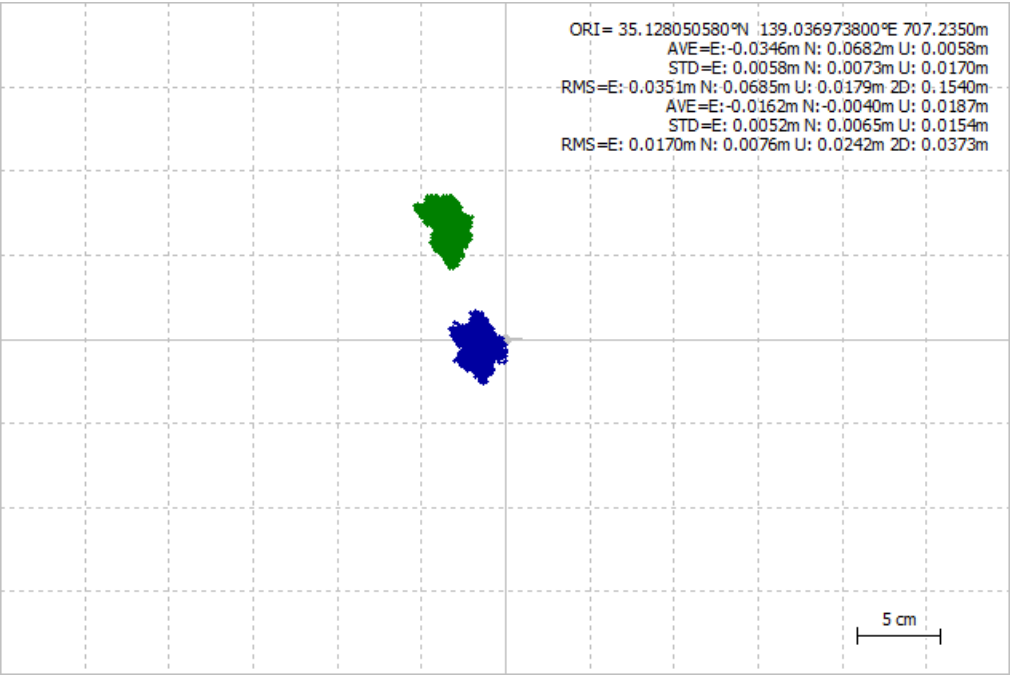
- 地殻変動補正無(緑)と地殻変動補正有(紺)の結果を比較
- 測位結果が真の位置に近づいたため、**有効に機能しているといえる**



※原点(=真の位置) は測量士に解析いただいた座標

②十国峠の測位結果の比較

- ①丹那の結果と同様に測位結果が真の位置に近づいたため、有効に機能しているといえる



※原点(=真の位置) は測量士に解析いただいた座標

補足

- 当初、高さ方向に、
 - ①丹那(楕円体高 約280m)では4cm程度(受信機の測位結果が測量結果より4cm高い)
 - ②十国峠(楕円体高 約710m)では15cm程度(受信機の測位結果が測量結果より15cm高い)のオフセットが生じていた
- 当初リファレンスとした測量結果：湿潤対流圏遅延推定が入っていないソフトを利用
一般的な受信機内：同推定が入っている
残念ながら標高差が大きいかつ高湿度であったため、オフセットが生じていた。
- 湿潤対流圏遅延推定有で再計算いただき、推定有(ZTD+GRAD)で得られた座標をリファレンスとした。

楕円体高(m)	①丹那	②十国峠
推定無	278.086	707.090
推定有(ZTD)	278.103(+0.017)	707.228(+0.138)
推定有(ZTD+GRAD)	278.114(+0.028)	707.235(+0.145)

カッコ内の値は推定無との差分(m)

まとめ

- 配信する補正データに地殻変動補正を含めることで移動局の元期座標を求める手法を確立した
- ソフトバンク/ALESでは、同手法を用いた自動運転等の移動体測位で元期座標を求めるニーズに貢献しうるサービスを全国で展開済み

謝辞

データ取得実施地点の元期座標を求めるにあたっては
かなめ測量株式会社 高島様(測量士)にご協力いただきました。
この場を借りて改めて深く感謝申し上げます。

EOF