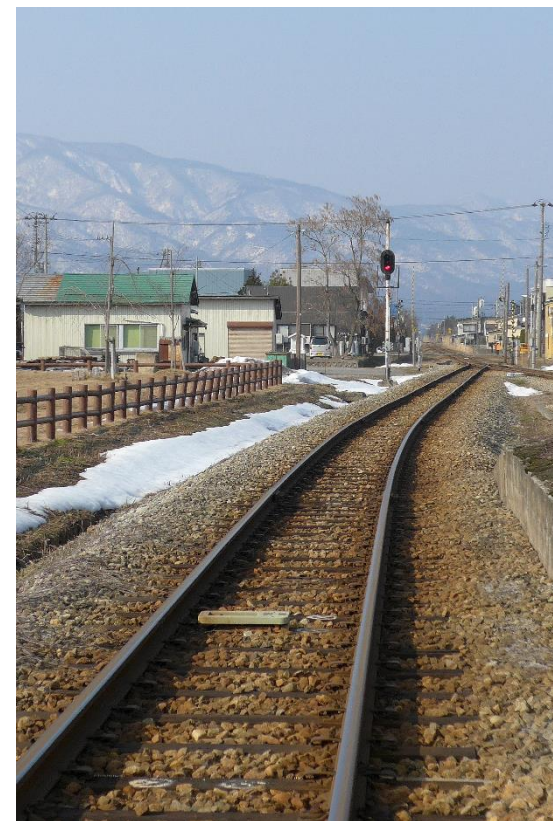


衛星測位による列車位置検知の 地上の定点を基準とする 測位精度評価手法の検討

交通システム研究部 主任研究員 山口 大助

はじめに

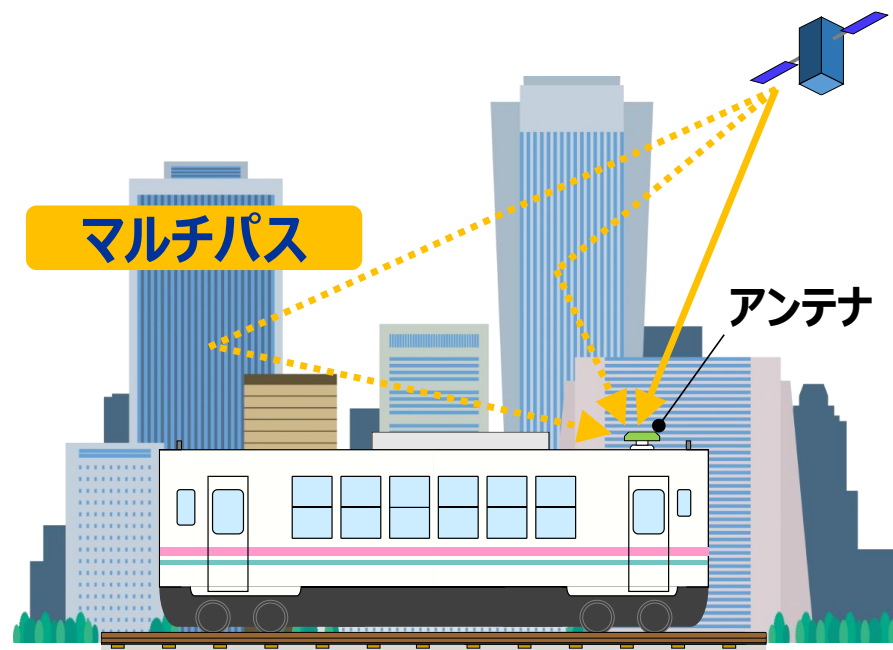
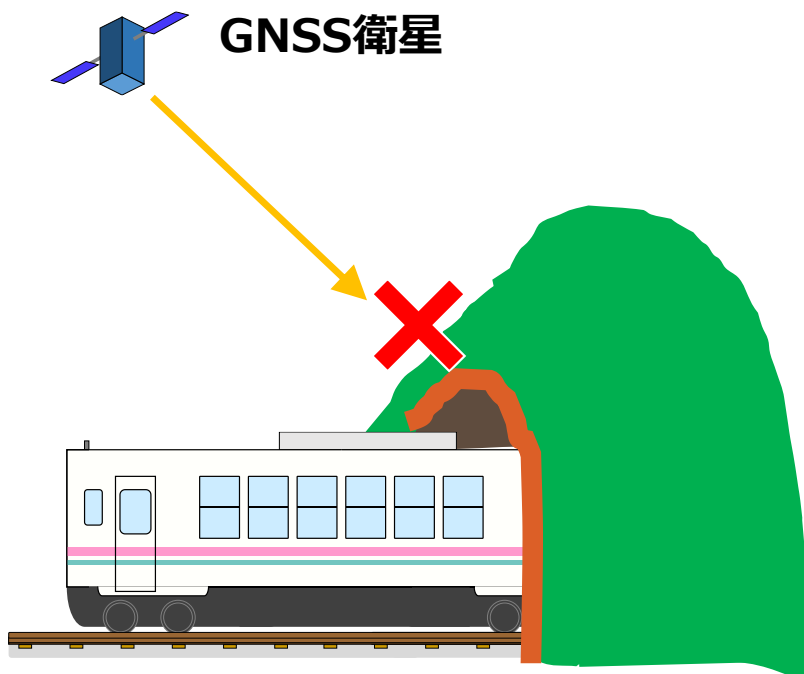
- 鉄道ではこれまで軌道回路や地上子を用いて列車の位置検知を正確に行う列車制御システムによって安全を確保
- 地方鉄道をはじめとする採算性の厳しい路線では、軌道回路のような地上主体の設備の維持や更新に係るコストが大きな負担
- 車上で列車の位置検知が可能な技術として、GPS等の衛星測位システム(GNSS*)への期待



GNSS*: Global Navigation Satellite System

はじめに

- 衛星測位の利活用にあたっては測位精度の事前評価が必要
 - 衛星からの電波の受信が難しい場所では測位不可
 - 高層ビル等が密集する場所では建物に反射した電波を受信すること(マルチパス)で測位精度の低下の懸念



衛星測位による列車位置検知の 地上の定点を基準とする測位精度評価手法

- 列車上で得た衛星測位結果が地上に対してどの程度の誤差を生じているかを評価する手法を提案
- 提案手法では下記の①～④を行う
 - ① 定点の設定及び定点での高精度測位の実施
 - ② 定点通過の検知
 - ③ 車上での衛星測位による列車走行位置の測定
 - ④ 時刻同期と測位誤差の算出

① 定点の設定及び定点での高精度測位の実施

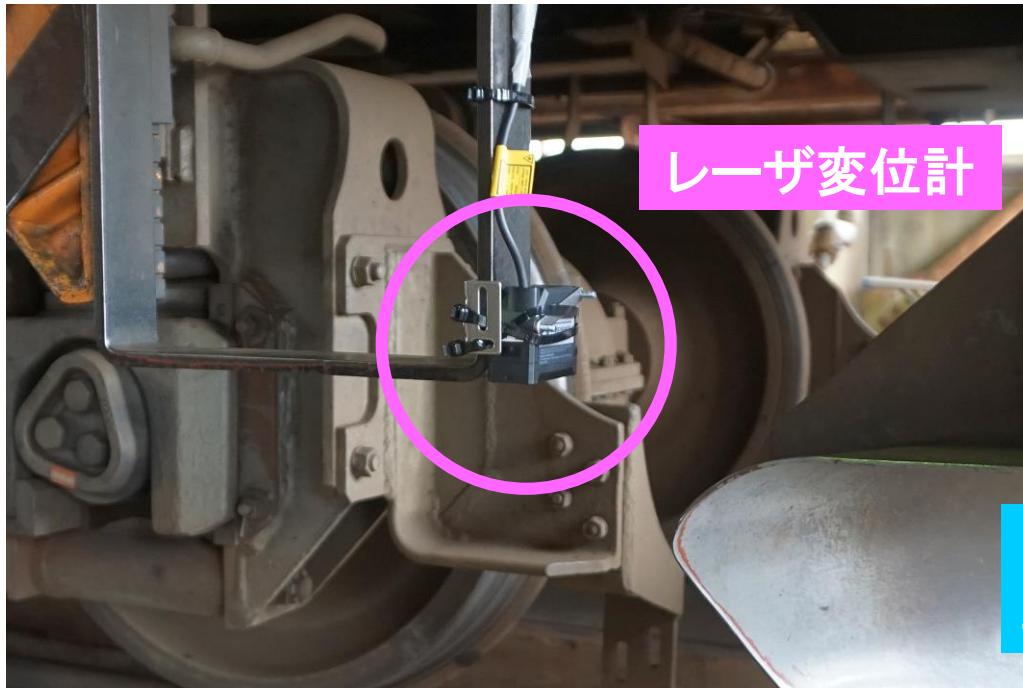
- 地上側で絶対位置を確実に測定できる箇所を定点として設定
- 定点において高精度測位を行い，定点の絶対位置を示す緯度と経度を事前 to 取得し，精度評価の基準とする
- 本発表では踏切の端を定点に設定

踏切端点(定点)での高精度測位の様子



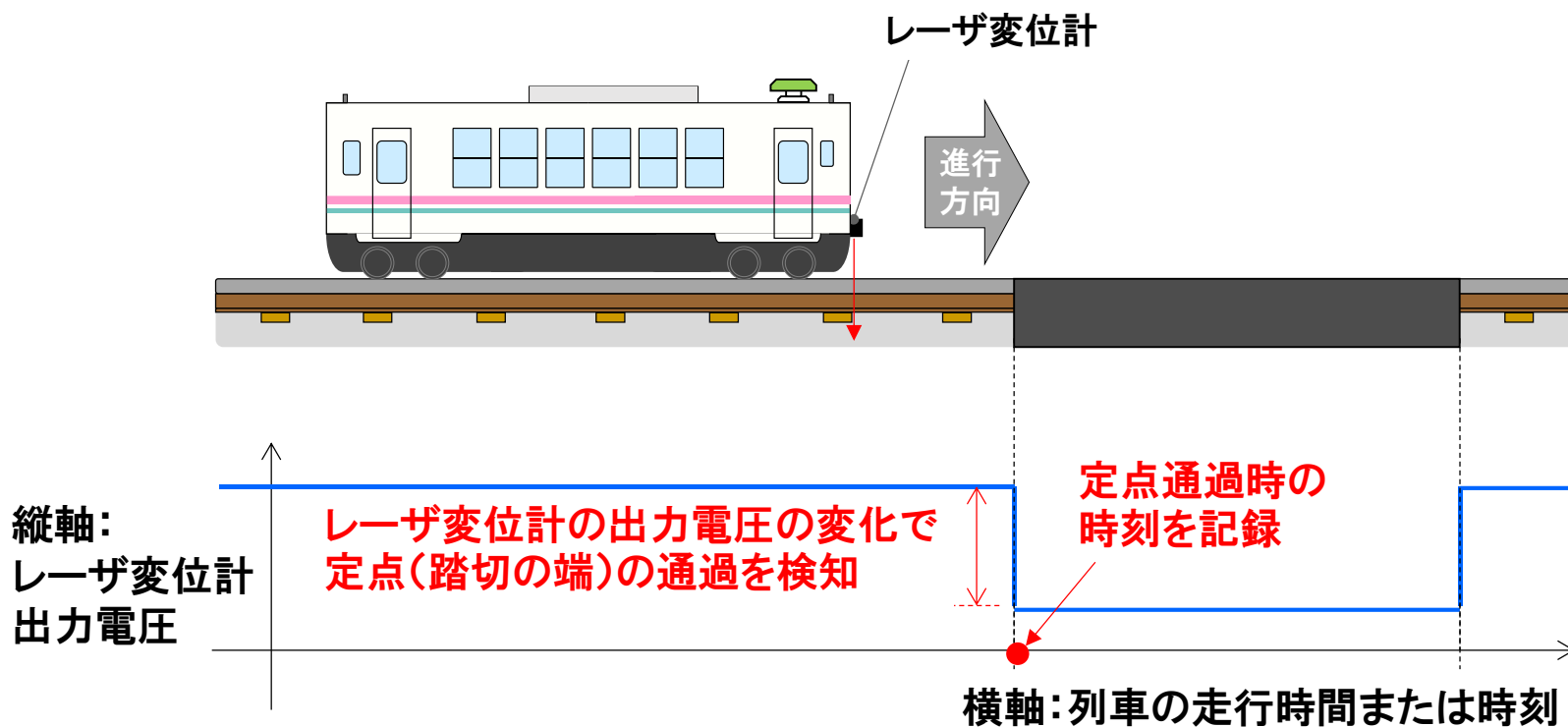
② 定点通過の検知

- 列車が定点を通過した瞬間を記録するため、レーザ変位計を走行中の車両～まくらぎ(またはバラスト)間の高さが測定できるように車両側に設置



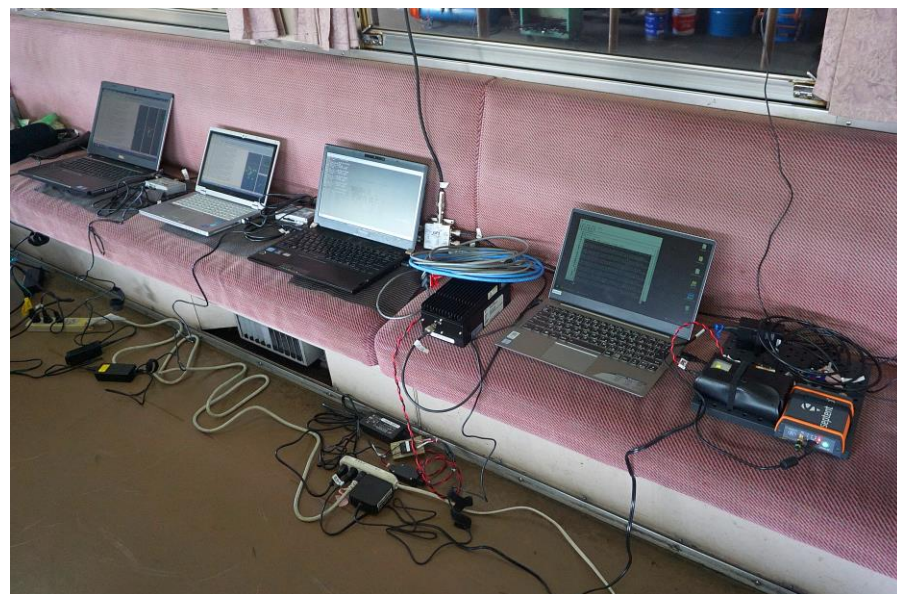
② 定点通過の検知

- 踏切通過中は車両～道路面(=レール頭頂面)間の変位を測定することになり, この変位の変化がレーザ変位計の出力の変化として出現し, 定点の通過を検知



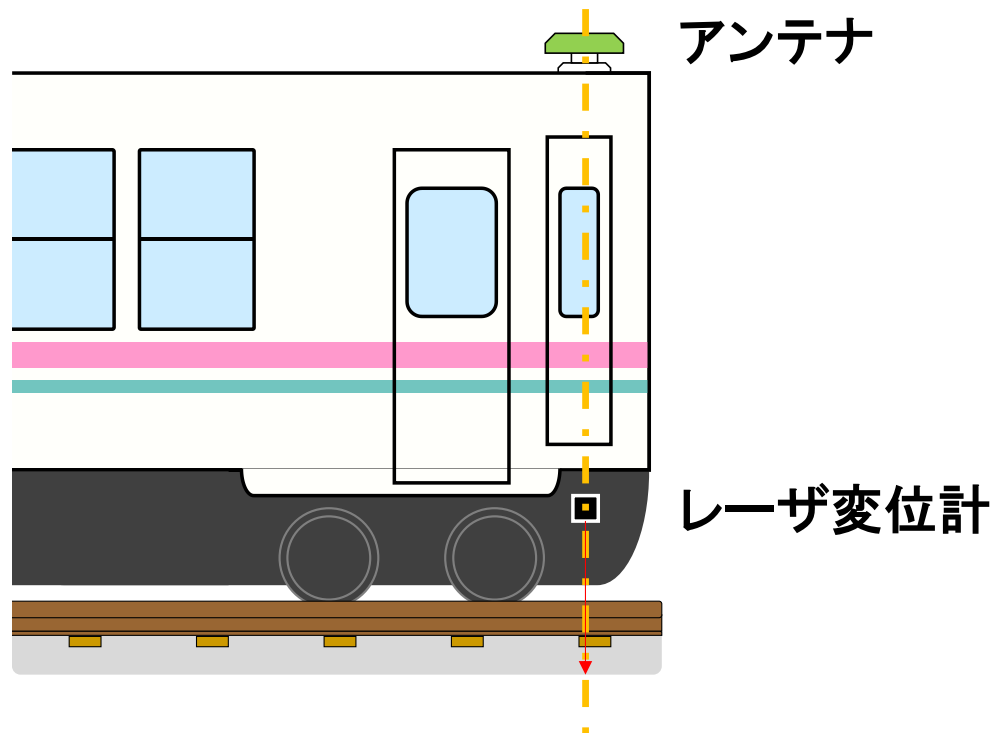
③車上での衛星測位による列車走行位置の測定

- 衛星測位によって列車走行位置を車上で逐次算出するため、
 - アンテナを可能な限り車両屋根上に設置
 - 受信した電波を利用して現在位置を算出する受信機及び受信機による測位結果を記録するパソコンを車内に設置



③車上での衛星測位による列車走行位置の測定

- 車上での測位結果はアンテナの取付位置に相当
- 測位精度の的確な評価のためにはレーザ変位計とアンテナの取付位置は線路長手方向において一致していることが理想

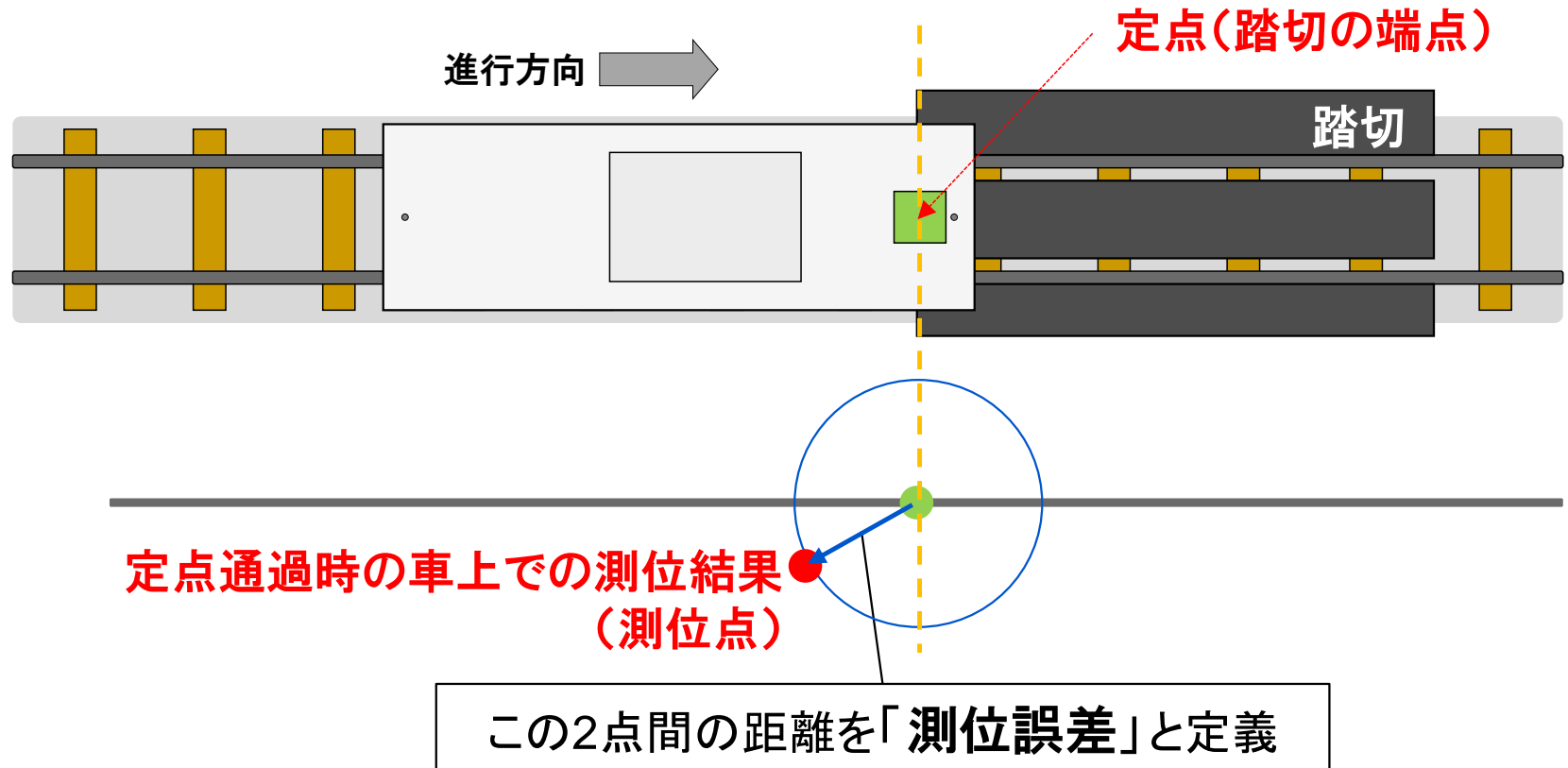


④時刻同期と測位誤差の算出

- 測位誤差を算出するためには列車が定点を通過したときの時刻の記録が必要
- レーザ変位計の出力と同時にUTC(協定世界時)の時刻も記録
- GNSSはUTCに同期するように運用されており, 車上での衛星測位の結果にもUTCの時刻を記録
- 両者の時刻の照合によって定点通過時点の車上側の測位結果(測位点)を抽出でき, 測位点と定点の間の距離を算出可能
- 提案手法ではこの距離を「測位誤差」と定義

「測位誤差の定義」

(④時刻同期と測位誤差の算出)



- 測位誤差の大きさによって地上の定点(基準)に対する車上側の衛星測位の精度を評価

提案手法の妥当性を検証する実験

- 2020年3月に実施
- 試運転列車が同一区間を2往復走行，測定回数は上りと下り合わせて4回

【機材の設置】

- レーザ変位計を乗務員室への入出時に使用するステップに固定
- アンテナを車両屋根上の車体幅に対してほぼ中央に設置
- 受信機とパソコンを車内に設置
- レーザ変位計とアンテナの離隔は線路長手方向において0.8m
→ レーザ変位計とアンテナの取付位置は線路長手方向において一致しているものと見なして測位誤差を算出

提案手法の妥当性を検証する実験

【定点での高精度測位】

- ネットワーク型RTK測位を利用し、踏切の端(下り方)において2本のレール間の中央付近で高精度測位を実施

【車上での衛星測位による列車走行位置の測定】

- 二つの条件I及びIIを設定し、異なる受信機を使用
 - 条件I: GPS, QZSSのほか、GLONASS(ロシア), Galileo(EU)の各衛星からの電波を利用した衛星測位(「マルチGNSS」)
 - 条件II: ネットワーク型RTK測位

測位誤差の算出結果

- 実験区間内の2箇所の踏切(踏切A及びB)を対象に, 車上の衛星測位データから測位誤差を算出

定点での
測位結果
(基準)

1往復目

2往復目

踏切 A		緯度			経度			測位誤差 [m]	速度 [km/h]
		度	分	秒	度	分	秒		
高精度測位		38	8	42.06592	140	2	22.22527	—	—
1回目	MGNSS	38	8	42.3177	140	2	22.299	7.968	58.5
	NRTK	38	8	42.28302	140	2	22.29387	6.899	
2回目	MGNSS	38	8	41.8836	140	2	22.1733	5.762	55.7
	NRTK	38	8	41.87212	140	2	22.16617	6.146	
3回目	MGNSS	38	8	42.4536	140	2	22.4148	12.814	59.5
	NRTK	38	8	42.51352	140	2	22.36747	14.229	
4回目	MGNSS	38	8	41.5497	140	2	22.0464	17.851	62.3
	NRTK	38	8	41.54662	140	2	22.06026	16.508	

MGNSS:条件I NRTK:条件II

衛星測位情報から得られた定点通過時の値

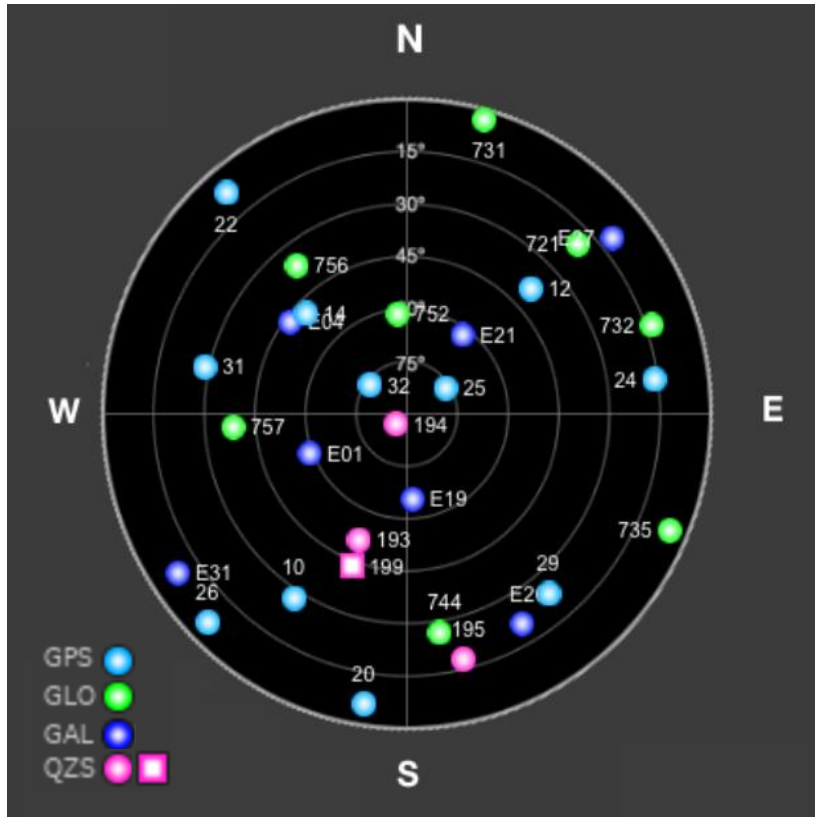
測位誤差の算出結果

- 各測定回ともに提案手法により測位誤差を算出できていることを確認
- 2往復目の方が測位誤差は大きい傾向が見られる

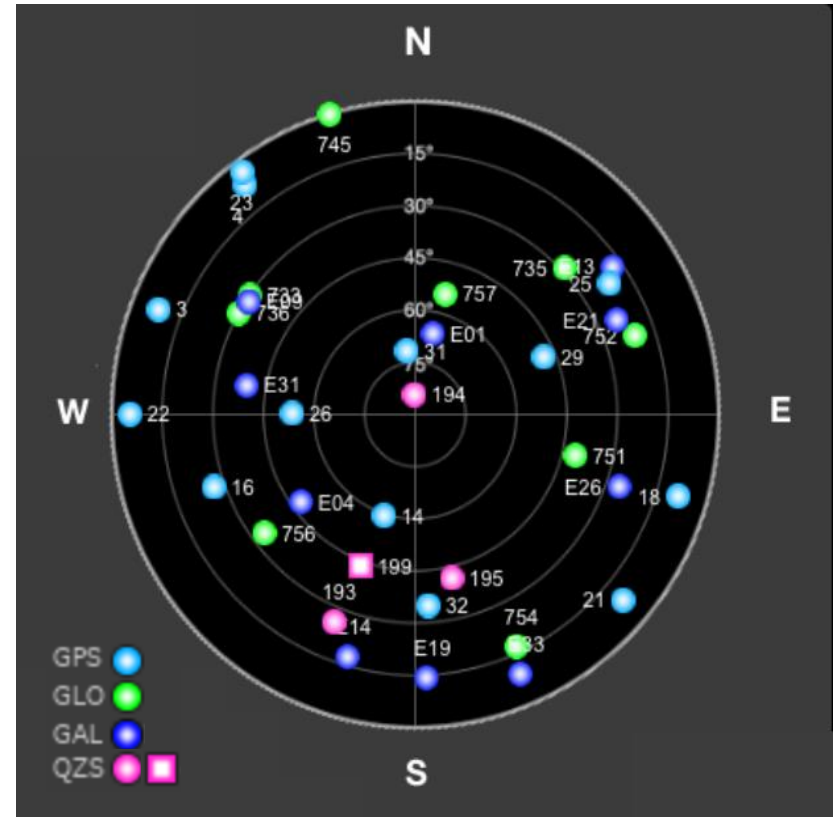
踏切 A		緯度			経度			測位誤差 [m]	速度 [km/h]
		度	分	秒	度	分	秒		
高精度測位		38	8	42.06592	140	2	22.22527	—	—
1回目	MGNSS	38	8	42.3177	140	2	22.299	7.968	58.5
	NRTK	38	8	42.28302	140	2	22.29387	6.899	
2回目	MGNSS	38	8	41.8836	140	2	22.1733	5.762	55.7
	NRTK	38	8	41.87212	140	2	22.16617	6.146	
3回目	MGNSS	38	8	42.4536	140	2	22.4148	12.814	59.5
	NRTK	38	8	42.51352	140	2	22.36747	14.229	
4回目	MGNSS	38	8	41.5497	140	2	22.0464	17.851	62.3
	NRTK	38	8	41.54662	140	2	22.06026	16.508	

測位誤差の算出結果

- 衛星配置の違いが測位誤差の傾向の違いに現れたか



1回目(10時台)

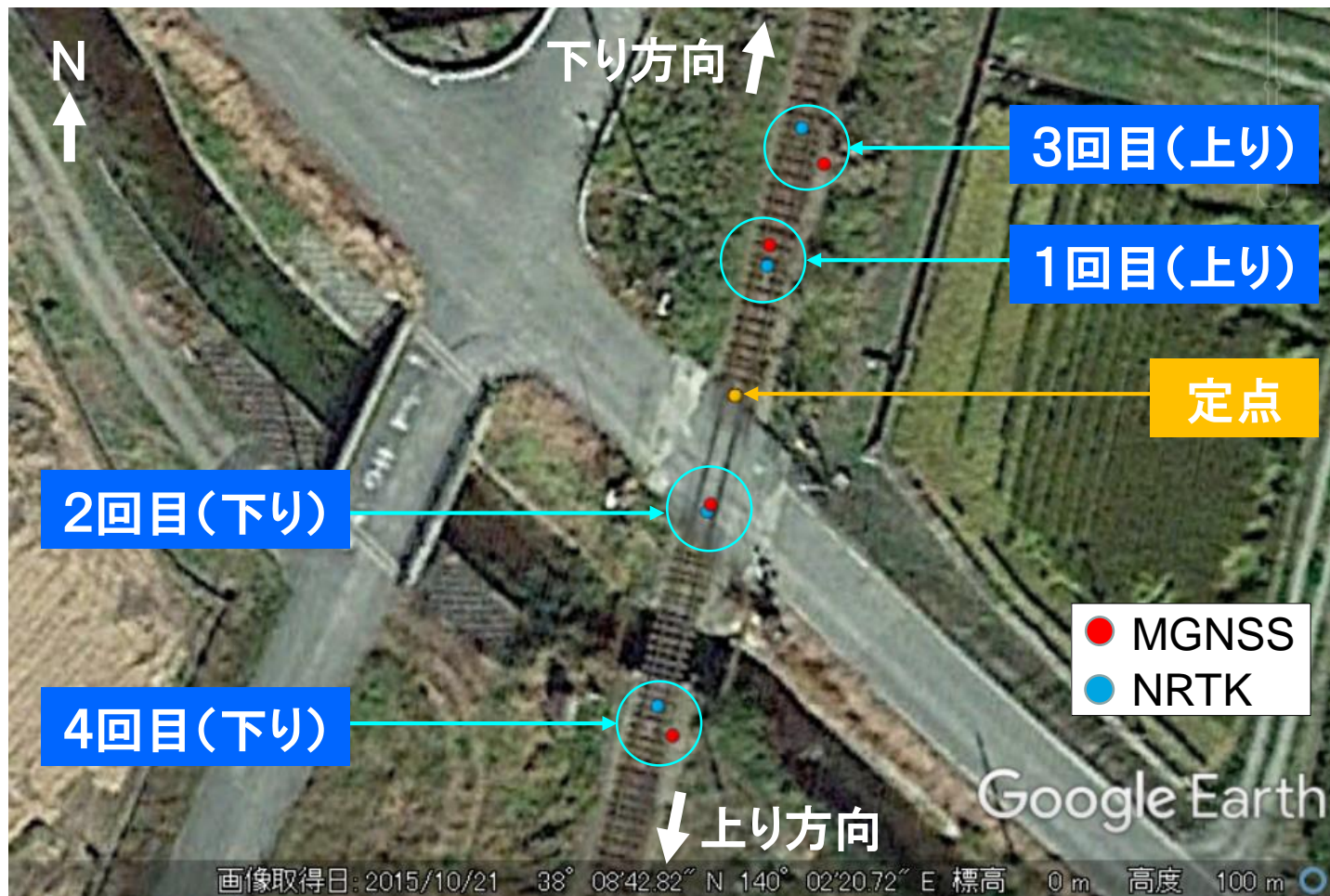


3回目(12時台)

測位結果のGoogle Earth上へのプロット

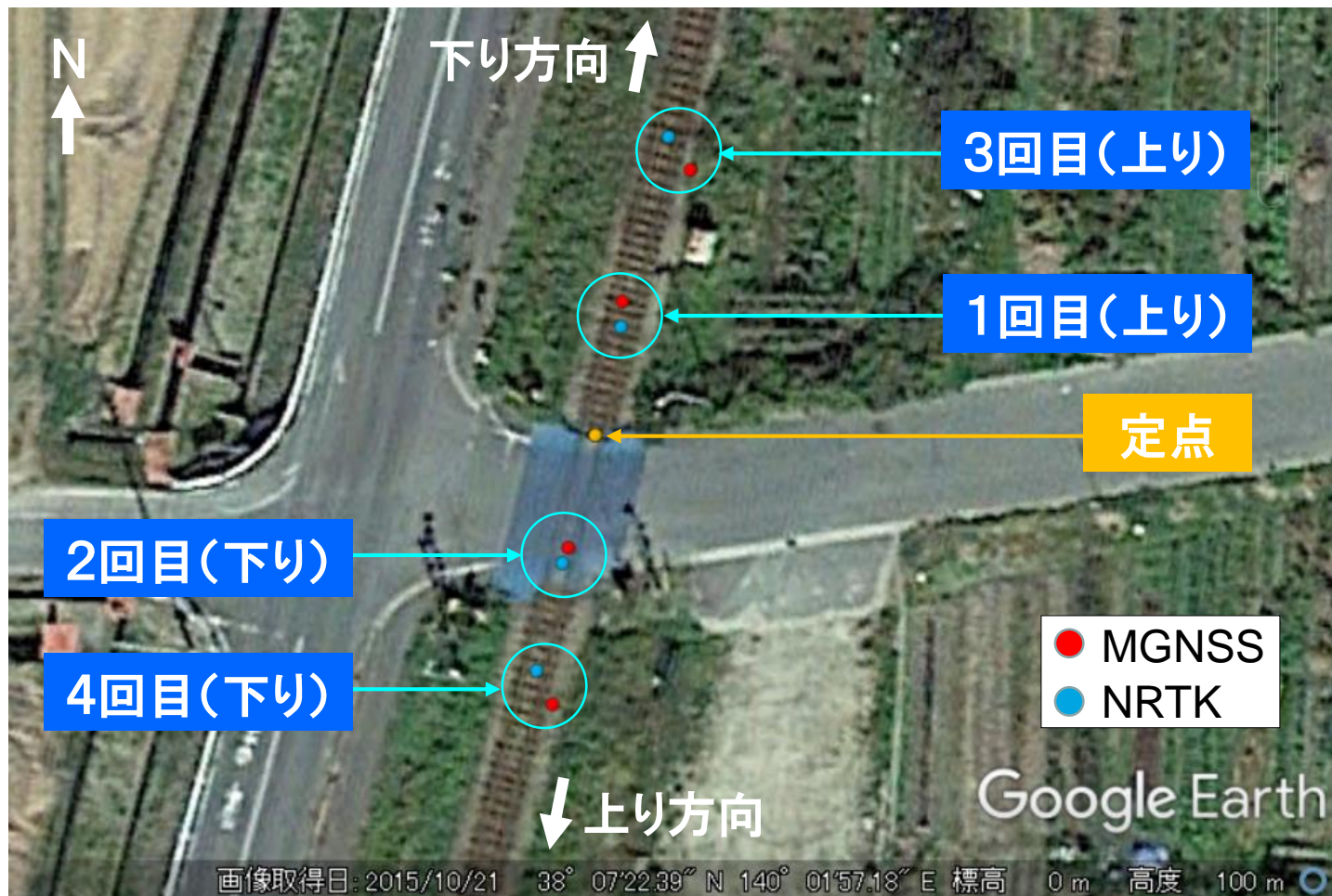
- 踏切A

★講演概要(冊子版)の図6に誤りがありました. 訂正しお詫びいたします



測位結果のGoogle Earth上へのプロット

- 踏切B



測位結果のGoogle Earth上へのプロット

- 車上での衛星測位の結果は列車の進行方向に対して定点よりも後方の位置を示しており、列車走行中の衛星測位の結果は実際の走行位置よりも後方の位置を示す可能性がある
- 言い換えると、これは列車が衛星測位の結果よりも実際には前方に位置することを指し、危険側となる
- 理由として...
 - 過去の測位結果等も活用して現在位置を算出する手法
 - 受信機とサーバの間の携帯電話回線等における通信遅延(条件IIのネットワーク型RTK測位)
 - 測定機器の時刻同期の遅れやデータ分析時の読み取りのズレ

おわりに

- 定点及び定点での高精度測位による精度評価の基準を設定し、定点通過検知と時刻同期に基づき定点に対する測位誤差を算出して、列車上で得た衛星測位結果が地上に対してどの程度の誤差を生じているかを評価する手法を提案
- 提案手法の妥当性を検証するため、実列車の走行による実験を実施したところ、提案手法に基づいて測位誤差が算出されていること、列車走行時間帯によって測位誤差の傾向に違いが見られることを確認
- 実験結果から、列車走行中の衛星測位の結果は実際の走行位置よりも後方の位置を示す可能性があることを示唆

おわりに

- 提案手法による測位精度評価について引き続き検討を進めていくほか、本稿で報告した実験での走行速度より更に高速域における提案手法の妥当性の検証についても検討を進めていきたい
- 衛星配置のほか、衛星の故障が測位結果に影響を及ぼすことも知られており、鉄道分野への衛星測位の利活用に係る衛星の健全性や信頼性の評価も必要と考えており、今後検討を進めていきたい

謝辞

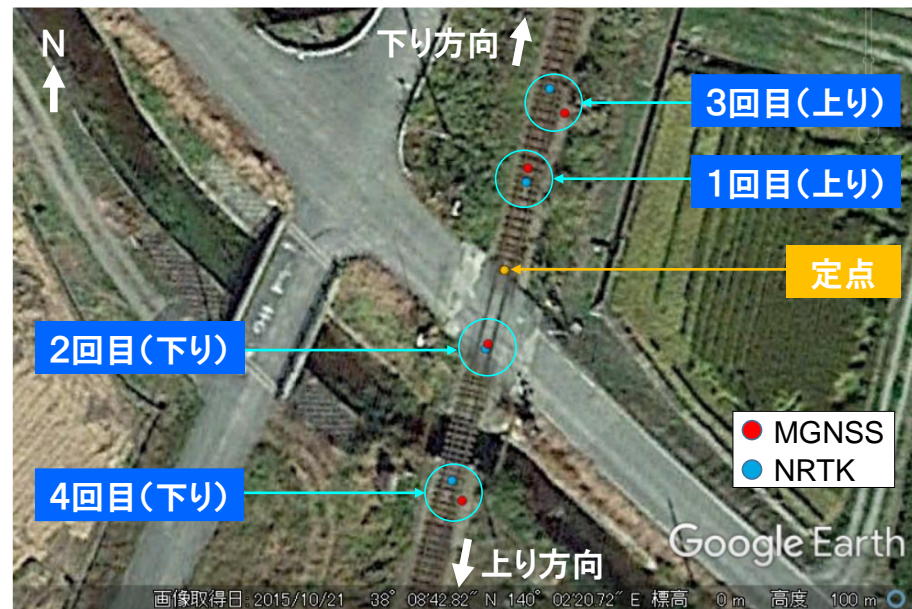
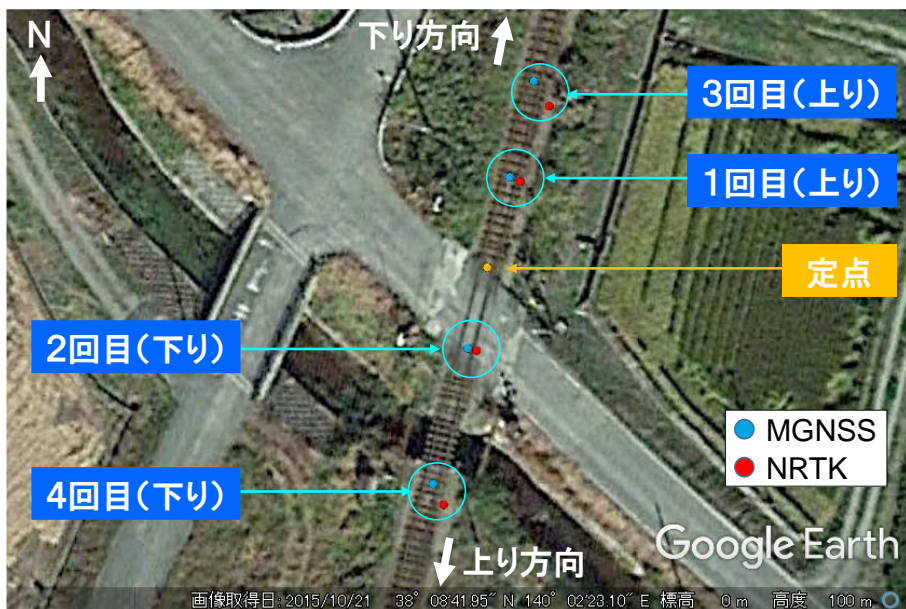
列車走行実験は山形鉄道株式会社のご協力を得て実施しました。ここに謝意を表します。

講演概要(冊子版)の図6について

講演概要(冊子版)の図6に誤りがありました。訂正しお詫びいたします。
なお、WEB公開版は「正」を掲載しております。

誤

→ 正



訂正箇所

- 「凡例」の誤記
- 「1回目(上り)」と「2回目(下り)」のプロット