

令和4年度  
収穫調査へのリモートセンシング技術  
の導入検証等委託事業  
報告書

令和5年3月

林野庁



# 目 次

<b>1</b>	<b>事業の背景、目的、内容</b> .....	<b>1</b>
1.1	事業の背景と目的.....	1
1.2	事業の内容.....	2
1.2.1	検討委員会の設置・運営.....	2
1.2.2	高精度 GNSS 受信機による周囲実測の精度検証.....	2
1.2.3	計測手順の整理、マニュアルの作成.....	2
1.3	実施体制と検討委員会.....	3
1.3.1	実施体制.....	3
1.3.2	検討委員会.....	3
1.4	検証条件の設定.....	5
1.4.1	検証機種を選定.....	5
1.4.2	検証する測位方式を選定.....	5
1.4.3	本事業で用いた機種と測位方式.....	6
1.4.4	検証区域設定の考え方.....	8
<b>2</b>	<b>検証区域の設定</b> .....	<b>9</b>
2.1	検証区域の概況.....	10
2.1.1	検証区域Ⅰ（中木山国有林 114 林班へ <sub>1</sub> , へ <sub>3</sub> 小班）の概況.....	10
2.1.2	検証区域Ⅱ（大平 156 林班に 1 小班）の概況.....	12
<b>3</b>	<b>高精度 GNSS による測位精度の検証</b> .....	<b>14</b>
3.1	開放地における測位精度.....	14
3.2	森林調査における測位精度.....	15
3.2.1	測位座標および水平誤差の経時的安定性.....	15
3.2.2	全測点における計測座標の精度.....	18
3.2.3	全測点の計測座標の正確度.....	20
3.2.4	後処理キネマティック（PPK）測位による水平誤差.....	22
<b>4</b>	<b>森林調査における計測面積の精度検証</b> .....	<b>23</b>
4.1	GNSS 計測による面積誤差率の評価.....	23
4.1.1	単独測位・SBAS・CLAS.....	24
4.1.2	ネットワーク型 RTK.....	25
4.1.3	無線 RTK.....	25
4.2	数値実験による GNSS 計測の面積精度評価.....	26
<b>5</b>	<b>検証結果のまとめと考察</b> .....	<b>28</b>
5.1	高精度 GNSS 受信機による計測座標の精度.....	28
5.2	高精度 GNSS 受信機による計測面積の精度.....	30

6	周囲実測の効率化に向けた検討 .....	32
7	GNSS 受信機による周囲実測の功程 .....	33
8	収穫調査における高精度 GNSS 活用の手引き .....	34
	参考文献 .....	35
	用語説明 .....	36
	<b>巻末資料</b> .....	<b>37</b>
	巻末資料 (1) 検証地の林況等：検証区域Ⅰ 中木山国有林 114 林班 .....	38
	巻末資料 (2) 検証地の林況等：検証区域Ⅱ 大平国有林 156 林班 .....	40
	巻末資料 (3) 水平誤差の時系列変化および軌跡 .....	42
	巻末資料 (4) 全測点における水平誤差 .....	47
	巻末資料 (5) 機種別・測位方式別の測位誤差の分布 .....	57
	巻末資料 (6) 機種別・測位方式別の面積精度の検証（区域対比図） .....	61

# 1 事業の背景、目的、内容

---

## 1.1 事業の背景と目的

国有林野事業においては、人工林資源の充実を背景として、国産材の安定供給体制の構築に貢献するため、地域の需要に対応しながら立木販売や間伐等の森林整備の結果得られる素材の販売により国有林材の安定的な供給を進めていくこととしており、今後、収穫調査量も増大していく見込みとなっている。

収穫調査は、国有林における立木の販売等に向けて区域の標示と実測、立木の樹種、本数、材積、品質等の計測・調査を行うものであり、調査の公正性・客観性を担保しつつ、ICT機器を用いたリモートセンシング技術を活用し、その効率化・省力化を図っていくことが課題となっている。

ICT機器を用いたリモートセンシング技術の導入については、これまでも UAV 空撮画像の活用や地上型 3D レーザスキャナ等を用いた立木調査の精度検証等を行い、これらの技術を活用した調査手法の導入の検討を進めているところである。

このうち、GNSS 受信機を用いて人工衛星から位置情報を取得して収穫調査の区域を計測する方法については、山地の森林内という環境下での、従来の受信機の計測精度のバラつき（1m～10m 強）を踏まえ、これまで、「測定面積は原則として 1ha 以上」等の条件下で使用することとしているが、最近になり、新しい高精度 GNSS 受信機が比較的安価に利用できるようになった。

高精度 GNSS 受信機は、2 周波以上の電波を利用することで人工衛星からの電波が電離層を通過する際に生じる誤差の補正情報を受信し、あるいは、電子基準点からの補正情報を準天頂衛星「みちびき」を通じて受信することにより、上空が十分開けた場所では計測精度が大きく向上することが明らかになっている。

今後は、これらの高精度 GNSS 受信機を収穫調査においても活用していくことが期待されるが、上空が樹木に覆われ地形による制約もある山地の森林内での計測精度等に関するデータは未だ少ない現状にある。

このため、本事業では、収穫調査へのリモートセンシング技術のさらなる導入を進める観点から、高精度 GNSS 受信機を用いた森林内での区域計測の位置や面積の精度を検証するとともに、計測の方式や手順を整理し、これらを活用していくためのマニュアルの作成等を行うことを目的とした。

## 1.2 事業の内容

---

### 1.2.1 検討委員会の設置・運営

学識経験者等による検討委員会を設置し、事業内容について指導及び助言を受けた。委員については、森林計測、森林経営計画及びGNSS測量等に関する学識経験者等の5名で構成し、検討委員会を令和4年10月及び令和5年2月に開催した。

### 1.2.2 高精度GNSS受信機による周囲実測の精度検証

#### (1) 検証条件の設定

高精度GNSS受信機による周囲実測の検証について、「検証機種」、「検証方法」、「検証箇所」の考え方を整理し、検討委員会における検討を踏まえて実施した。

#### (2) 精度検証

精度検証は、i)GNSS受信機で計測した座標値の正確度、ii)計測した面積の正確度について、既知の基準点からトータルステーションにより計測した座標値や面積を真値と仮定して実施した。

検証区域は、面積規模、立木密度、地形等の変化を含むように設定した。

#### (3) 周囲実測の効率化に向けた検討

精度検証等を行った計測手法について、国有林の作業環境等を考慮して作業効率、導入コストなどを総合的に検討し収穫調査への導入に適した手法等を提案した。

#### (4) 高精度GNSS受信機による周囲実測の功程の整理

周囲実測の効率化に向けた検討を行うため、検証箇所において測位方式毎の測位に要した時間等を取りまとめ、測位方式の区分毎に計測に要した功程を取りまとめ比較整理した。

### 1.2.3 計測手順の整理、マニュアルの作成

収穫調査への導入に適した手法等について、計測手順を整理し、森林管理局署の職員等を対象とした「収穫調査における高精度GNSS活用の手引き」を作成するとともに、オンライン説明会を開催した。

#### (参考) 高精度GNSSとは

2018年11月、準天頂衛星「みちびき」による高精度な測位信号の送信サービスが開始された。みちびきから送られる複数周波の信号(L1,L2)を受信することで、測位信号が電離層を通過する際の誤差が補正される。「2周波GNSS受信機」は、上空が開けた場所ではサブメータ級の精度が期待され、造林地の計測などで使用され始めている。

2020年11月末には国内の電子基準点からの補正信号を「みちびき」で送信(L6)する「センチメータ級測位補強サービス(CLAS)」の本格運用が開始され、山地の通信圏外であっても、上空が十分開けた場所では測位精度の飛躍的な向上が期待される。

他方、GNSS受信機による測位は、上空が十分に開けていない場所や電波を反射する障害物がある場所では、誤差が大きくなりやすい。山地の森林では、樹木や地形による開空率の制約や電波の反射など受信環境の制約があり、測位精度の検証が課題となっている。

## 1.3 実施体制と検討委員会

### 1.3.1 実施体制

本事業は一般財団法人日本森林林業振興会に委託して実施した。  
事業実施体制は、表 1-1 のとおりである。

表 1.1 実施体制

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">             総括責任者 中村 毅 (本部)           </div>				
担当事項	調査設計・分析	UAV撮影画像解析	トータル ステーション測量	GNSS計測
担当者 (所属)	坂井 敏純 (本部) 黒木慶次郎 (本部) 千葉 幸弘 (本部) 高野 一隆 (本部) 永野 慎吾 (青森)	高嶋 伸二 (前橋) 藤原 敏栄 (本部)	竹谷 幸久 (青森) 後藤 良寛 (秋田) 青山 和史 (青森)	坂井 敏純 (本部) 黒木慶次郎 (本部) 千葉 幸弘 (本部) 浪岡 保男 (本部) 藤原 敏栄 (本部) 高野 一隆 (本部) 若林 潤 (前橋)

### 1.3.2 検討委員会

本事業の実施に当たっては「令和4年度収穫調査へのリモートセンシング技術の導入検証等検討委員会」(以下「検討委員会」という。)を設置し、技術的指導及び助言を受け、検証方法、検証結果の分析評価を行った。委員には、森林計測、森林経営計画及びGNSS測量等に関する学識経験者を含む。

#### (1) 検討委員会委員

表 1.2 検討委員会委員

氏名	所属
沢田 治雄	公益財団法人 国際緑化推進センター 理事長
瀧 誠志郎	森林総合研究所 林業工学研究領域 収穫システム研究室 主任研究員
松岡 真如	三重大学大学院 工学研究室 准教授
古川 邦明	岐阜県立森林文化アカデミー森林技術開発・支援センター兼森林研究所
平川 素行	元 会計検査院 審議官

## (2) 検討委員会における検討事項

本格的な調査に着手する前に第1回検討委員会を開催して、調査方法や留意点等について専門的な見地から検討を行った。また、事業成果が見通されてきた時点で第2回検討委員会を開催し、調査結果の分析やとりまとめ方針等について検討を行った。検討委員会における具体的な検討内容は以下のとおりである。

表 1.3 検討委員会における検討事項

回数	開催時期	主な検討内容
第1回	令和4年10月13日	<ul style="list-style-type: none"><li>・全体計画及びスケジュール、実施体制等</li><li>・検証箇所の選定</li><li>・検証方法（測位方式）の選定</li><li>・精度の検証方法等</li></ul>
第2回	令和5年2月2日	<ul style="list-style-type: none"><li>・調査結果の分析結果と評価</li><li>・計測手順、計測手引きの内容</li><li>・報告書のとりまとめ方針等</li></ul>

(検討委員会における主な意見等)

### 【第1回】

- ・リモートセンシング技術の導入を進めていくうえでGNSS受信機の活用は重要。調査結果からGNSSメーカーに森林・林業におけるニーズが伝えられるとよい。
- ・高精度のGNSS受信機への期待が大きい中で、森林内での計測精度を示すデータは未だ少ない。CLAS方式の森林内での計測精度なども新しい知見になる。
- ・平地の上空が開けた場所で計測して精度を検証し、次に山地の森林内で計測して精度の違いを比較するとよい。
- ・検証を進めていく中で、どのような条件の場合に誤差が出やすくなるか等の分析ができるとうい。
- ・森林調査の現場で用いることを考えると、短時間で良い精度が出る測位方法が期待される。

等

### 【第2回】

- ・今回の調査結果を見ると、2周波以上のGNSS受信機は従来の受信機に比べて森林内でも精度が向上しており、興味深いデータが得られたと思う。
- ・114林班と156林班でネットワーク型RTK等の精度向上の程度が異なった原因をどう見るべきか、立木の高さや太さの違いが影響するのか等は引き続き検証が必要。
- ・GNSS計測の精度管理について、どのように考えるのか。例えば誤差率の基準があればよいとも思うが、森林内で行う通常のGNSS計測では真値の座標はわからないため誤差率の把握が難しい。
- ・本事業で行ったような計測精度の検証を常に行うのは難しいだろうが、事例を積み重ねて収穫調査でも活用できるようになるとよい。
- ・本事業で得られたデータや知見は、民有林で高精度GNSSを活用していくうえでも非常に参考になる。

等



## 1.4 検証条件の設定

---

森林内における GNSS 計測であることを念頭に、林内における衛星信号の受信状況やインターネット等の通信環境を踏まえ、現地作業の効率性と実用可能性を検討する必要がある。このため、第1回検討委員会での検討を経て検証する機種や測位方式を選定し、その有効性を確認することを基本に、以下のとおり検証を実施することとした。

### 1.4.1 検証機種の選定

本事業で用いる高精度GNSS受信機の機種については以下の観点を考慮して選定した。

- 1) 測位精度の向上が期待される2周波以上使用可能なマルチGNSS受信機から複数の機種候補を選定する。
  - ① 2周波GNSS受信機  
上空が開けた場所ではサブメータ級の精度が期待され、造林地の計測等ではすでに活用されている。
  - ② CLAS対応受信機  
センチメートル級測位補強サービス(CLAS)の対応受信機で、山間地の通信圏外であっても上空が十分開けている場所では測位精度の飛躍的な向上が期待される。
- 2) 導入コストを考慮し、最新機種で数十万円程度までの価格帯の機種候補を選定する。
- 3) 山間地での森林調査ならびに作業環境に配慮し、操作性や可搬性に優れた機種候補を選定する。

### 1.4.2 検証する測位方式の選定

本事業で用いるGNSS測位方式については、以下の観点を考慮して選定した。

- 1) 調査林分の条件（インターネット圏外・圏内）に応じた測位方式の候補を選定する。
  - <インターネット圏外で使える方式>
    - ・ 単独測位・SBAS・CLAS
    - ・ PPK（後処理補正）
    - ・ 無線 RTK
  - <インターネット圏内で使える方式>
    - ・ ネットワーク型 RTK
- 2) 導入コストや利用のしやすさを考慮して選定する。
  - ・ RTK を行う場合、恒久的な固定局や通信設備を要しない方法を検討する。
  - ・ 森林内で森林管理局署職員等が測定することを考慮し、比較的簡易に操作・測定できる方式を中心に検討する。

### 1.4.3 本事業で用いた機種と測位方式

本事業で用いる GNSS 受信機、調査林分の条件（インターネット圏外・圏内）に応じた測位方式を選定し、これらを検証することとした。具体的には以下のとおりである。

#### 1) インターネット圏外で使える測位方式

- ① 単独測位・SBAS・CLAS → 全機種で実施（受信機 1 台）
- ② PPK 測位 → 1 機種で実施（受信機 2 台）
- ③ 無線 RTK 測位 → 無線対応 1 機種で実施（受信機 2 台）

#### 2) インターネット圏内で使える測位方式

- ネットワーク型 RTK → 2 機種で実施した。（受信機 1 台）

表 1.4 検証に使用した測位方式と GNSS 機種

機種	機能の特性	インターネット圏外			インターネット圏内
		単独測位 SBAS/CLAS	PPK	無線 RTK	ネットワーク型 RTK
<b>【高精度 GNSS】</b>					
DG-PRO1	2 周波 GNSS	○	○		○
TK-1LT	2 周波 GNSS	○			○
GG-2	2 周波 GNSS	○		○	
Cohac ∞ Ten	CLAS 対応 GNSS	○			
QZR-SP	CLAS 対応 GNSS	○			
<b>【比較用 GNSS】</b>					
モバイルマップパー50	1 周波 GNSS	○			
Map64csj	1 周波 GNSS	○			



図 1.5 GNSS 受信機による測位  
高さ約 2m のポール先端にアンテナを取り付け、各測点で一定時間計測を行う。



図 1.6 精度検証に用いた GNSS 受信機

右から順に

2 周波 GNSS 受信機

DG-PRO 1 (ビズステーション社製)

TK-1 LT (竹谷商事社製)

GG-2 (ギョロマン社製)

CLAS 対応 GNSS 受信機

Cohac ∞ 10 (コア社製)

QZR-SP (JPS 社製)

【本事業で用いた測位方式の説明】

(1) 単独測位・SBAS・CLAS

① 単独測位～SBAS (2 周波 GNSS 受信機等)

2 周波 GNSS 受信機で測位を行うと、単独測位から SBAS へと自動的に移行する。SBAS(Satellite-Based Augmentation System)は静止衛星の補強信号を用いて測位誤差を補正するシステムの総称であり、既知点の座標の測位誤差から観測点の測位座標の誤差を補正する方法 (DGPS 測位) の一つである。

② 単独測位～SBAS～CLAS (CLAS 対応 GNSS 受信機)

CLAS 対応 GNSS 受信機で測位を行うと、単独測位から SBAS、SBAS から CLAS へと自動的に移行する。CLAS(Centimeter Level Augmentation Service)は日本の「センチメートル級測位補強サービス」のことである。国内電子基準点からの補正情報を準天頂衛星「みちびき」から送信することで、上空が開けた場所での精度はcm級を実現している。

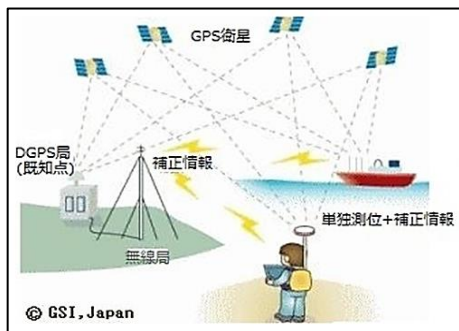


図 1.7 DGPS 測位

出典：GNSS を使用した測量のいろいろ (国土地理院)

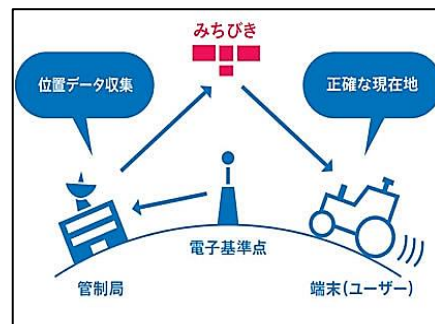


図 1.8 CLAS の概念図

出典：みちびき (準天頂衛星システム) (内閣府)

## (2) PPK 測位

PPK 測位（後処理キネマティック測位）は、GNSS 計測で一定時間記録したデータを後から電子基準点のデータ等を用いて補正する方式である。

## (3) 無線 RTK 測位

RTK(リアルタイムキネマティック)測位とは、移動局と基準局を無線又はインターネットで繋ぎ、移動局において衛星からの信号と基準局からの信号をリアルタイムで解析して観測点の計測精度を高める方式である。

無線 RTK は、移動局と基準局を無線(例：920MHZ、250mW、林内で約 500m 到達)で繋いで精度向上を図る方式である。無線 RTK を実施するには、対応する GNSS 受信機を用いる。出力の大きさに応じて、基準局用受信機について総務省地方総合通信局で「無線局登録」が必要である（電波利用料（例：400 円／年）が発生する）。

## (4) ネットワーク型 RTK 測位

ネットワーク型 RTK 測位とは、移動局の観測点での測位情報について、インターネットで最寄りの電子基準点の測位情報を用いた補正情報等（有料の配信サービス）を受けて精度の向上を図る方式である。インターネット圏内で利用できる。

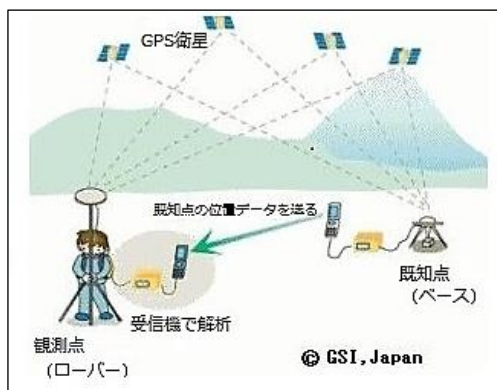


図 1.9 RTK-GPS 測位

出典：国土地理院

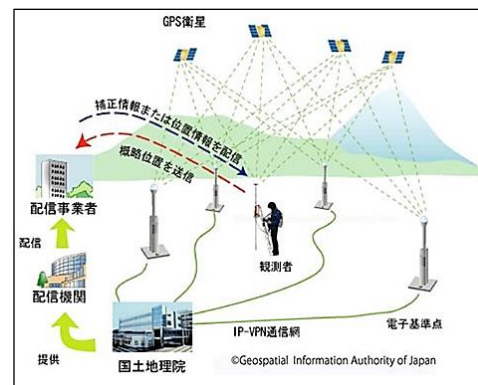


図 1.10 ネットワーク型 RTK-GPS 測位

出典：国土地理院

### 1.4.4 検証区域設定の考え方

本事業で用いた測位方式である上述の「単独測位・SBAS・CLAS」、「PPK」、「無線 RTK」、「位置情報サービスを用いたネットワーク型 RTK」が全て実施可能な場所（インターネット圏内）を検討し、検証区域として設定することとした（詳細は第 2 章参照）。

## 2 検証区域の設定

GNSS計測の測位精度を検証するためには、前章で述べたように、山間地におけるインターネット環境および測位方式を考慮した上で、様々な測位方式を実施することが可能な検証区域を設定する必要がある。また、収穫調査の区域計測でGNSS機器を使用することを考慮し、検証対象地は主伐期を迎えたスギ人工林で次の点を満たす個所を検討した。

- ① 検証区域は2ha程度のまとまりを有するとともに、分割して小区画を設定できること
- ② 検証区域には、多様な地形や立木密度の異なる個所等を含むこと
- ③ 様々な測位方式を用いたGNSS計測が検証できること

その結果、林野庁関東森林管理局群馬森林管理署管内（安中市内）の国有林を検証区域に設定した（表2.1、図2.1）。

表 2.1 調査対象地

国有林名	林小班	樹種	林齢
中木山	114 へ <sub>1,3</sub>	スギ	54
大平	156 に <sub>1</sub>	スギ	62

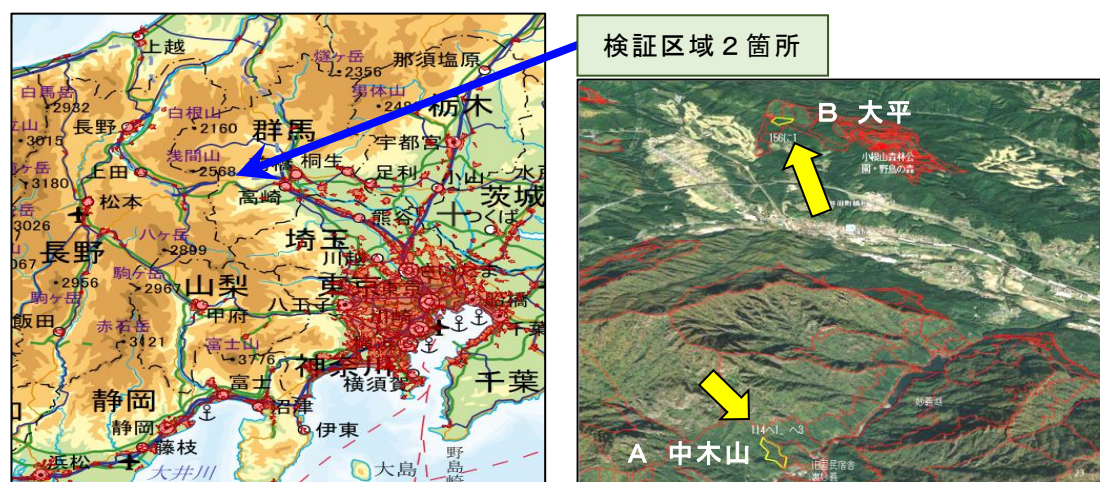


図 2.1 検証区域 2 林分の場所

A : 中木山国有林 114 林班へ<sub>1,3</sub> 小班

B : 大平国有林 156 林班に<sub>1</sub> 小班

## 2.1 検証区域の概況

### 2.1.1 検証区域 I（中木山国有林 114 林班へ<sub>1</sub>、へ<sub>3</sub> 小班）の概況

検証区域 1 は、主伐期を迎えたスギ人工林内（樹高 15～23m）に、立木密度の変化（600 本～1200 本/ha）、地形の変化（谷底、尾根、中腹等）を持たせて設定した。軽井沢の電子基準点から約 9 km の位置にあり、インターネットの圏内である。

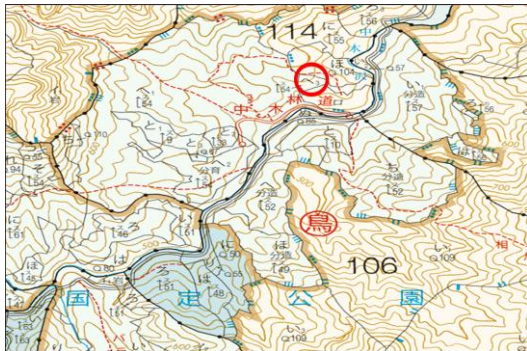


図 2.2 検証地 114 林班スギ 54 年生  
○検証林分の位置



図 2.3 検証地 114 林班の周囲測量  
赤枠はトータルステーションによる測量成果

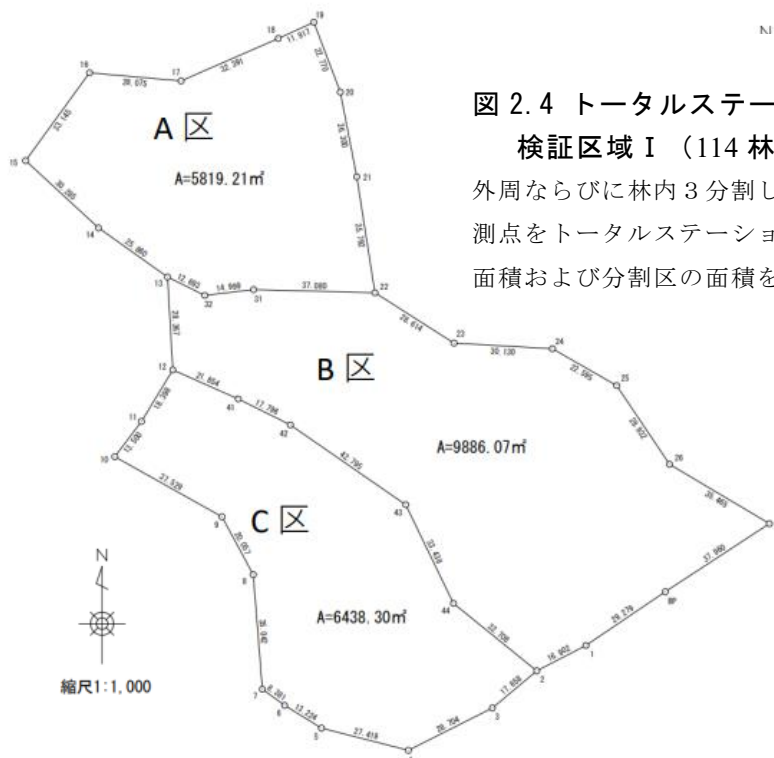


図 2.4 トータルステーションによる  
検証区域 I（114 林班）の測量成果  
外周ならびに林内 3 分割した分割線のすべての測点をトータルステーションで測量した。全体面積および分割区の面積を図中に示した。

全体面積 22143.58 m<sup>2</sup>  
A 区 5819.21 m<sup>2</sup>  
B 区 9886.07 m<sup>2</sup>  
C 区 6438.30 m<sup>2</sup>

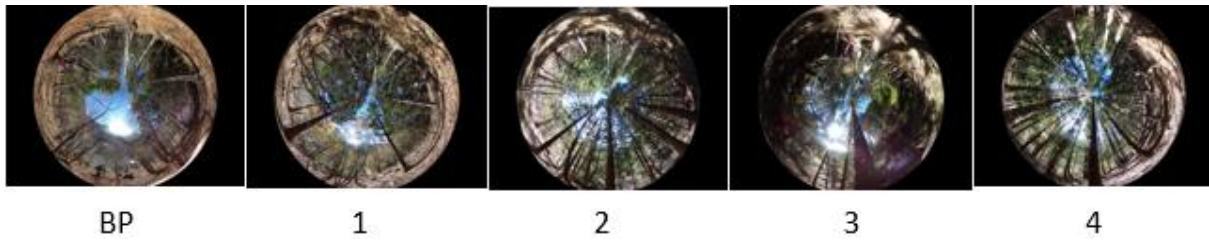


図 2.5 検証区域 I における測点の開空状況  
 上記 5 測点のみ例示したが、全測点 34 箇所撮影した全天空写真を  
 巻末資料（1）に、図 2.5 付図として掲載した。



図 2.6 検証区域 I の微地形および林分概況(114 林班)

全測点 34 箇所の地形や林況を巻末資料（1）に図 2.6 付表として掲載した。

## 2.1.2 検証区域Ⅱ（大平国有林 156 林班に 1 小班）の概況

検証区域Ⅱは、主伐期を迎えたスギ人工林内（樹高 24～30m）に地形の変化（谷底、尾根、中腹等）を持たせて設定した。立木密度は 631 本/ha、軽井沢の電子基準点から約 9 km の位置にあり、インターネットの圏内である。

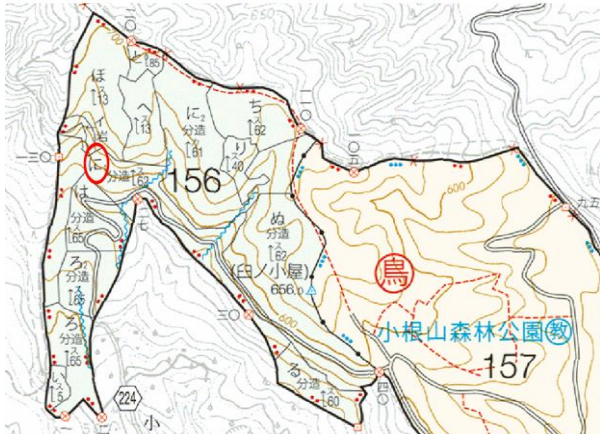


図 2.7 検証林分（スギ 62 年生）の位置

○ 検証林分



図 2.8 156 林班の検証区域

トータルステーション測量（赤枠内）

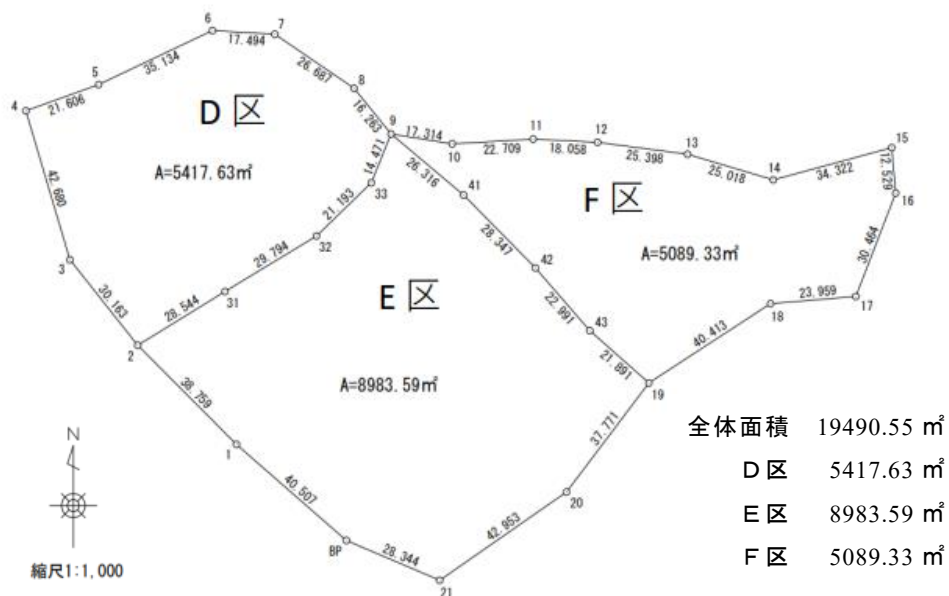


図 2.9 トータルステーションによる検証区域Ⅱ（156 林班）の測量成果

外周ならびに林内 3 分割した分割線のすべての測点をトータルステーションで測量した。全体面積および分割区の面積を図中に示した。





図 2.10 検証区域Ⅱにおける測点の開空状況

上記 5 測点のみ例示したが、全測点 28 箇所撮影した全天空写真は巻末資料（2）に、図 2.10 付図として掲載した。



図 2.11 検証区域Ⅱの微地形および林分概況（156 林班）

全測点 28 箇所の地形や林況を巻末資料（1）に図 2.11 付表として掲載した。

### 3 高精度 GNSS による測位精度の検証

#### 3.1 開放地における測位精度

東京東北部三等三角点（二ノ橋）において、2周波GNSS（DG-PRO1RWS）、CLAS対応GNSS（QZR-SP）による計測を行い、三角点の基準点成果と比較し、上空が開けた解放地における測位精度を検証した。その結果、三角点からの水平誤差は2周波受信機で63cm、CLAS受信機で4cmであり（表3.1.1、図3.1.1）、上空が開けた場所であれば、それぞれセンチメートル級、サブメートル級の測位精度を得られることが確認された。なお、各測位方式で5分間連続計測による測位座標の「揺らぎ」を見ると（図3.1.2）、CLAS受信機の変動範囲が狭く、安定して正確度が高いことがわかる。



測位精度検証地点（江東区二ノ橋）

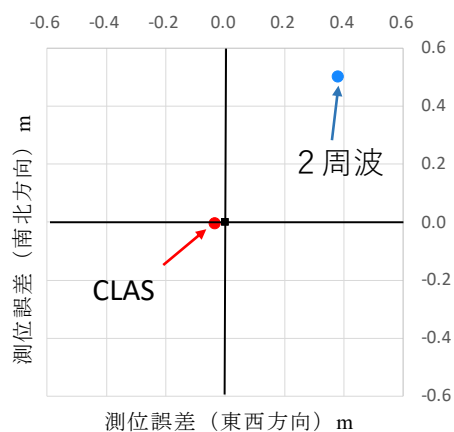


図 3.1.1 開放地での測位精度の検証  
約 10 秒間の平均測位誤差を示す。  
三角点位置を座標 (0, 0) とした。

表 3.1.1 機種別の測位誤差

機種	東西方向 (m)	南北方向 (m)	水平距離 (m)
2周波 GNSS	0.379	0.501	0.63
CLAS 対応 GNSS	-0.036	-0.006	0.04

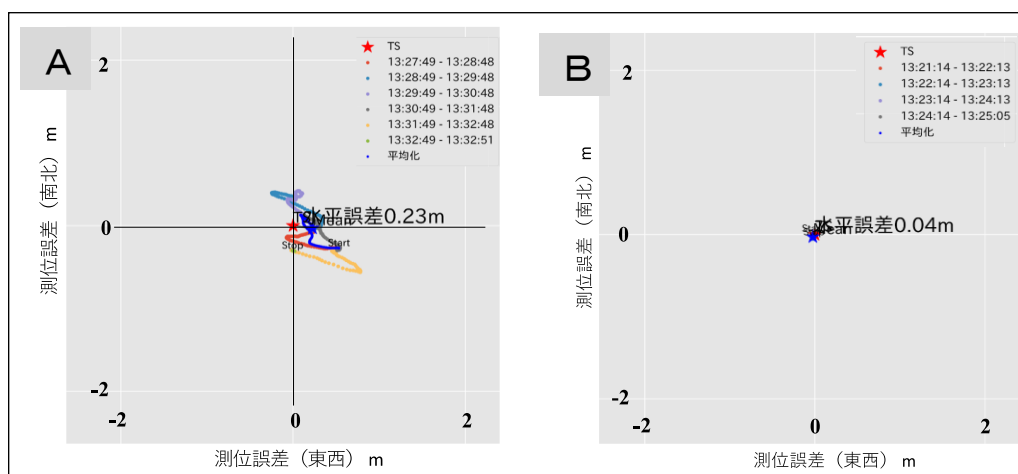


図 3.1.2 検証地点（三角点）における測位座標の軌跡

三角点を原点とし、5分間連続計測した1分経過後の測位座標の「揺らぎ」を示す。

A : 2周波 GNSS      B : CLAS 対応 GNSS

## 3.2 森林調査における測位精度

森林における GNSS 計測の測位精度を検証するため、特定の測点で得られる測位座標の安定性（経時的な変化）を確認するとともに、既知の測位座標（真値）に対する誤差の大きさを確認する必要がある。そのため、森林内における測位精度の評価として、以下の計測方法で精度検証を行った。

- 1) 主要測点における計測座標の水平誤差の経時変化（5 分間）の分析  
連続計測して得られるデータ（GNSS 受信機から測位結果として出力されるデータ）を分析して経時的な水平誤差の変動を分析する。検証区域Iの主要測点で、5 分間の連続計測で得られる測位座標から水平誤差を算出・分析した。
- 2) 全測点における計測座標（約 10 秒間の 10 回計測平均座標）の水平誤差の分析
  - ① 単独測位・SBAS・CLAS
  - ② ネットワーク型 RTK
  - ③ 無線 RTK
- 3) 主要測点において PPK（後処理キネマティック）処理した座標の水平誤差の分析  
約 15 分間のデータを後処理ソフトを用いて解析した。

### 3.2.1 測位座標および水平誤差の経時的安定性

測位座標は、衛星信号の受信状況や衛星配置等によって時々刻々変化する。また測点の地形や林況の影響も受けると考えられる。そのため、森林で GNSS 測量を行う際は、測点に立った後しばらく間をおいて、衛星からの受信状況が安定してから測位を行うことが推奨されている。實際上、どの程度の待機時間が必要であるか実情を把握し、GNSS 測位座標の安定性を理解しておく必要がある。

そこで、測位座標の変動状況を把握するため、検証区域I（114 林班）の 34 測点のうち、谷底や尾根など、特徴的な微地形の 5 測点（表 3.2.1、図 3.2.1）を対象に、5 分間の連続計測を行い、水平誤差（トータルステーションの測量座標を真値とする）の変動を分析した。

表 3.2.1 連続計測を実施した検証区域 I の 5 測点

測点番号	位置
BP	緩斜面下部
13	主谷底部
19	尾根北
22	中腹南
43	緩斜面南

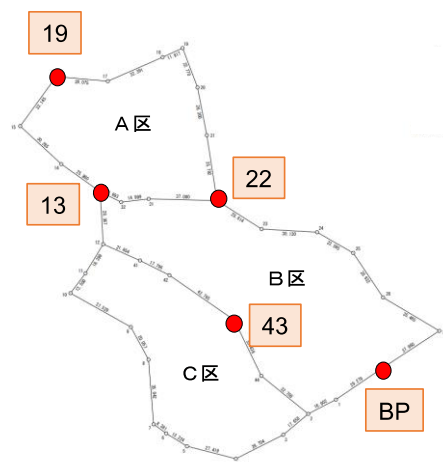


図 3.2.1 連続計測のために設定した 5 測点  
検証区域 I の 5 測点（BP, 13, 19, 22, 43）で  
5 分間連続計測を実施した。

2周波GNSS(DG-PRO1RWS)とCLAS対応GNSS(QZR-SP)で連続計測して得られた平均座標の水平誤差について、約5分間の経時変化を図3.2.2～図3.2.3に示した。

2周波GNSS(緑)、CLAS対応GNSS(紫)とも計測開始から約1分間は安定しない傾向が見られた。

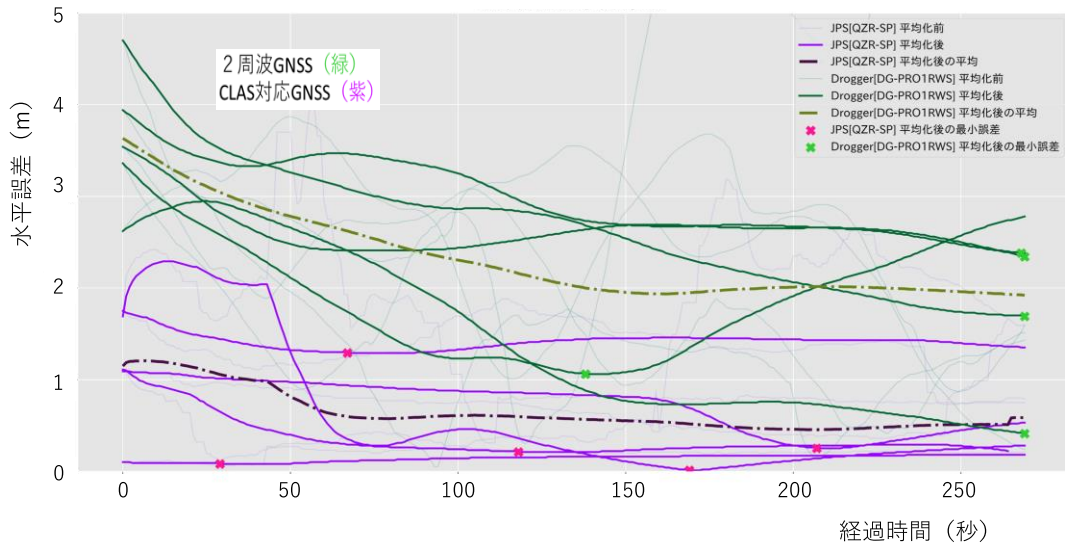


図 3. 2. 2 水平誤差の時系列変化

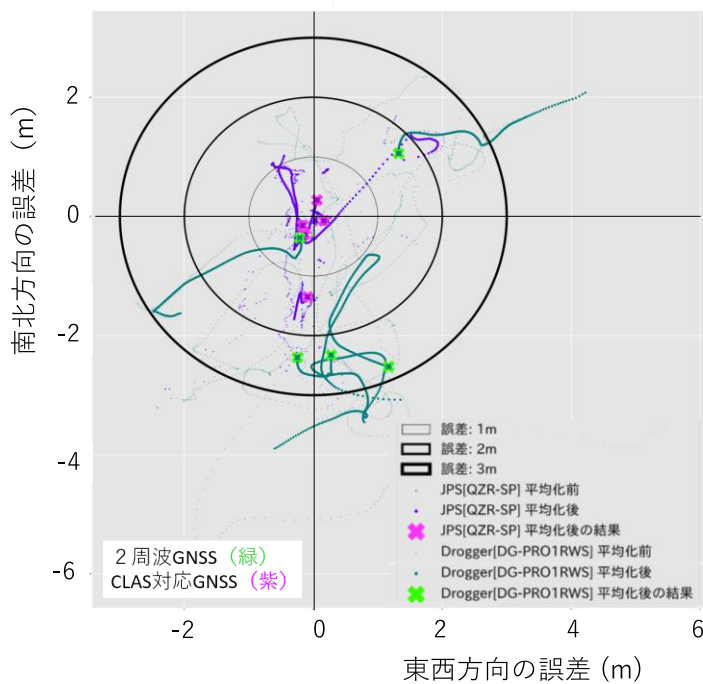


図 3. 2. 3 水平誤差の軌跡

5測点 (BP, 13, 19, 22, 43) の各測点において、水平誤差の経時変化ならびに真値を中心とする測位座標の軌跡を得ており、その結果を巻末資料(3)に掲載した。

主要5測点において、5分間連続計測データから、1分経過後以降のデータの平均座標とトータルステーションで計測した座標値（TS座標値：真値と仮定）の水平誤差を表3.2.2と図3.2.4に示す。

水平誤差は2周波GNSS受信機で平均1.92m(0.42m～2.78m)、CLAS対応GNSS受信機で平均0.47m(0.18m～1.35m)であり、連続計測平均座標ではCLAS対応GNSS受信機の精度が2周波GNSS受信機を上回った。

表 3.2.2 5分間連続計測による平均座標の正確度（TS座標値との水平誤差）

(単位：m)

機 種	測点 BP	測点 13	測点 19	測点 22	測点 43	平 均
	主谷下部	谷底	尾根北	尾根中腹	緩斜面	
2周波 GNSS DG-PRO1	2.34	2.78	1.69	2.38	0.42	1.92
CLAS 対応 GNSS QZR-SP	0.33	0.28	0.18	1.35	0.22	0.47

注：5分間連続計測データ(NMEA)から、1分経過以降のデータの平均座標を求め、TS座標(真値)との水平誤差の平均値を算出した。

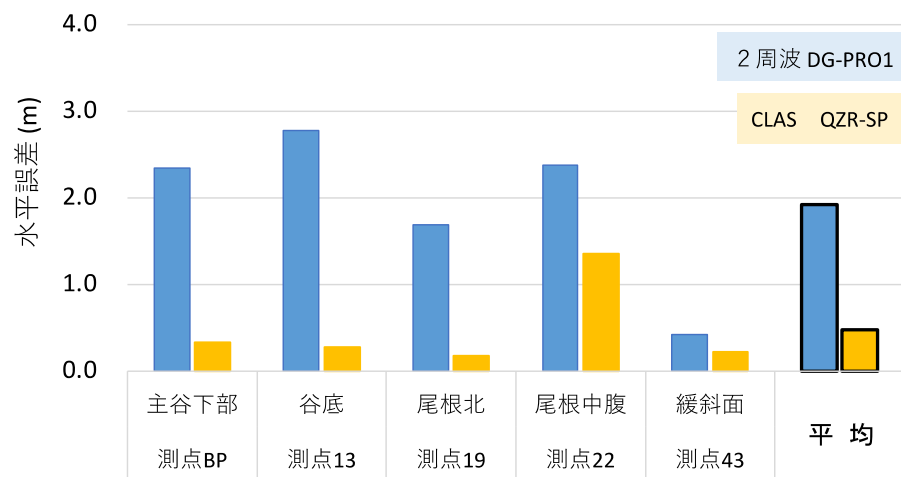


図 3.2.4 5分間連続計測による平均座標の正確度（TS座標値との水平誤差）  
表 3.2.2 を図化したものである。

### 3.2.2 全測点における計測座標の精度

114 林班の検証区域 I（34 測点）と 156 林班の検証区域 II（28 測点）において、以下の GNSS 計測方法<sup>\*</sup>（以下「通常の GNSS 計測方法」という。）計測を行い、得られた計測座標とトータルステーションによる計測座標値（TS 座標値：真値と仮定）との水平誤差を分析した。その結果は、次のとおり。

※計測方法  
各測点到着後約 1 分間経過後に計測を開始し、携帯端末画面の現在地の揺れ、PDOP、2DRMS 値が小さくなったタイミングで 10 秒ほど計測し平均座標（10 回平均値）を取得した。CLAS や RTK では fix 値が得られない場合でも約 3 分を目途に平均座標（10 回平均値）を取得した。

#### ① 単独測位・SBAS・CLAS

2 周波：検証区域 I で平均 1.82m(0.05～6.20m)、検証区域 II で平均 2.14m(0.27～6.36m)  
CLAS 対応：検証区域 I で平均 2.03m(0.20～6.73m)、検証区域 II で平均 1.69m(0.19～6.19m)

1 周波：検証区域 I で平均 3.20m(0.11～10.59m)、検証区域 II で平均 3.93m(0.60～12.35m)

#### ② ネットワーク型 RTK

2 周波：検証区域 I で平均 0.47m(0.01～2.90m)、検証区域 II で平均 1.42m(0.04～5.82m)

#### ③ 無線 RTK

2 周波：検証区域 I で平均 1.31m(0.33～3.78m)、検証区域 II で平均 2.20m(0.48～4.04m)

機種別・測位方式別の全測点における計測座標の水平誤差の最小値、最大値、平均値を図 3.2.5 および表 3.2.3 に示す。

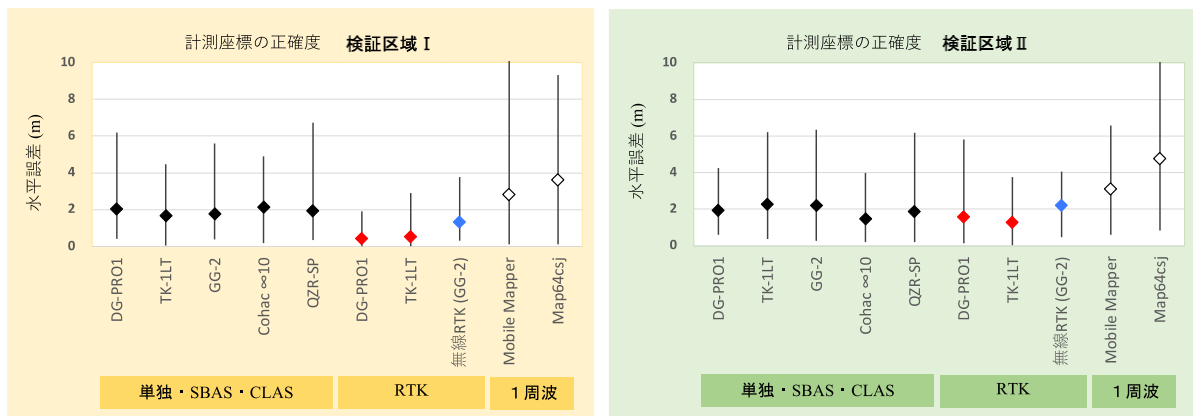


図 3.2.5 機種別の計測座標正確度（TS 座標値との水平誤差）

（線の下端が最小誤差、上端が最大誤差、◇が平均誤差である）

表 3.2.3 計測座標の正確度（TS 座標値との水平誤差）～機種別

測位方式	機種名	検証区域Ⅰ（114林班）			検証区域Ⅱ（156林班）		
		最小	最大	平均	最小	最大	平均
①単独測位・SBAS・CLAS	DG-PRO1	0.42	6.20	2.04	0.61	4.25	1.94
	TK-ILT	0.05	4.47	1.66	0.36	6.21	2.27
	GG-2	0.39	5.58	1.76	0.27	6.36	2.21
	Cohac ∞10	0.20	4.91	2.12	0.19	3.99	1.49
	QZR-SP	0.35	6.73	1.94	0.22	6.19	1.88
②ネットワーク型RTK	DG-PRO1	0.01	1.92	0.41	0.14	5.82	1.56
	TK-ILT	0.01	2.90	0.52	0.04	3.75	1.28
③無線RTK	無線RTK (GG-2)	0.33	3.78	1.31	0.48	4.04	2.20
(比較用) 1周波GNSS	Mobile Mapper	0.11	10.59	2.80	0.60	6.57	3.10
	Map64csj	0.12	9.31	3.60	0.82	12.35	4.76

次に、通常の GNSS 計測方法で得られた主要 5 測点の座標の水平誤差について、2 周波 GNSS 受信機と CLAS 対応 GNSS 受信機で比較した結果を図 3.2.6 の B に示す。

図 3.2.6 の A と B を比較するとわかるように、一定時間の連続計測の平均座標を算出することにより、CLAS 対応受信機では測位精度の向上が見られた。2 周波受信機についても同様に精度向上が認められる測点もあるが、測点によって必ずしも精度向上となっていない場合もある。本事業では、検証区域が 2 林分のみであり地域性や林況による影響が考えられるほか、GNSS 計測の季節あるいは計測時間帯などによる衛星配置も影響すると考えられる。

A：5分連続計測平均座標の水平誤差（図 3.2.4 を再掲）

B：通常の GNSS 計測方法で得られた測位座標の水平誤差

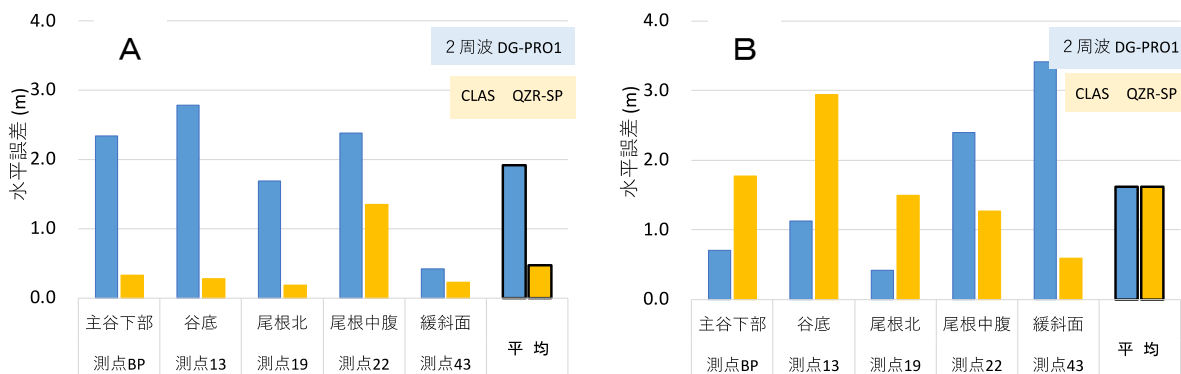


図 3.2.6 平均座標値の水平誤差

### 3.2.3 全測点の計測座標の正確度

検証区域ⅠおよびⅡでトータルステーションによる測量で得られた座標値（測位方式に応じて今期座標等に変換）を真値と仮定して、各測位方式、各受信機の測位座標と真値との水平誤差（X座標、Y座標、真値からの水平距離）を算出した。以下、(1)～(3)には、計測結果の一部の図を例示し、すべての図については巻末資料(4)に掲載した。

#### (1) 単独測位・SBAS・CLAS

##### 【計測方法】

測点到着後1分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測(10回平均値を採用)した(通常の計測方法)。

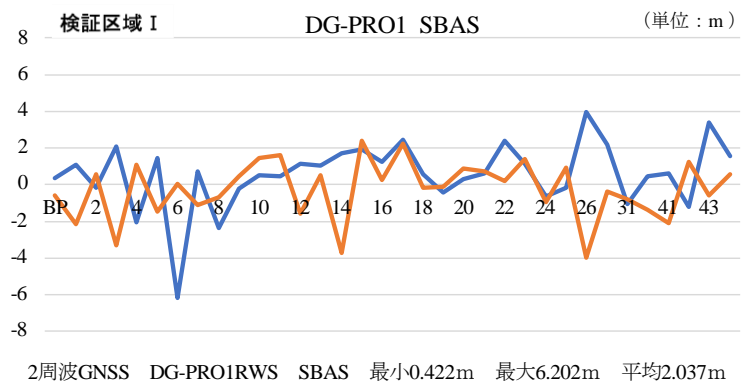


図 3.2.7 DG-PRO1 SBAS

横軸は測点番号、— X座標、— Y座標

#### (2) ネットワーク型 RTK

##### 【計測方法】

ネットワーク型 RTK は、携帯電話会社の高精度位置情報サービスによる電子基準点データ(元期座標)からの補正情報をインターネットを通じて利用しながら測位を実施した。測点到着後1分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値等を確認しつつ計測(10回平均値を採用)した。

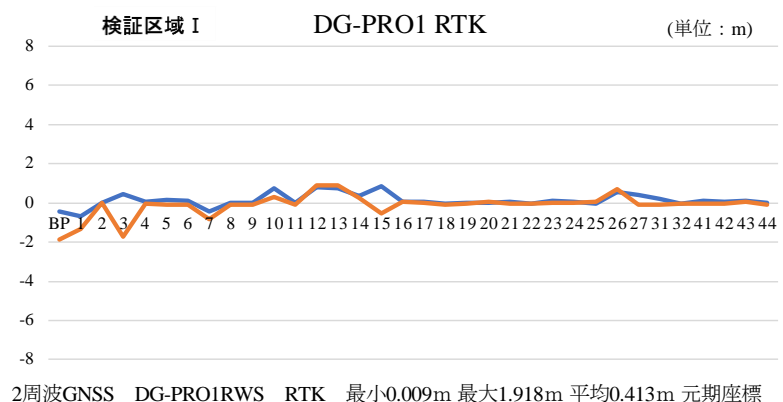


図 3.2.8 DG-PRO1 RTK

横軸は測点番号、— X座標、— Y座標



### (3) 無線 RTK

#### 【計測方法】

無線 RTK は、現地の比較的開空度の高い道沿い等に基準局として GG-2 (1 台) を置き、単独測位・SBAS で計測した今期座標を基準座標とした。移動局は無線で基準局と通信して RTK 測位ができることを確認した。

基準局設置から約 3 分後に、移動局は最初の測点へ移動、測点到着後 1 分ほど経過してから計測を開始し、座標の揺れや指標値等を確認しつつ計測 (10 回平均値を採用) した。



図 3.2.9 道沿いに設置した基準局

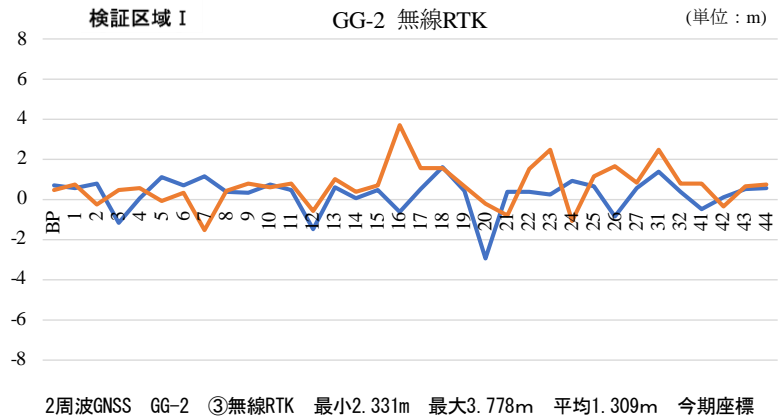


図 3.2.10 GG-2 無線 RTK  
横軸は測点番号、— X 座標、— Y 座標

次に、それぞれの検証区域における全測点のトータルステーション計測座標値を 0 とし GNSS 計測の水平誤差を XY 座標で表した図の一部を図 3.2.11 に例示し、すべての図については巻末資料 (5) に掲載した。

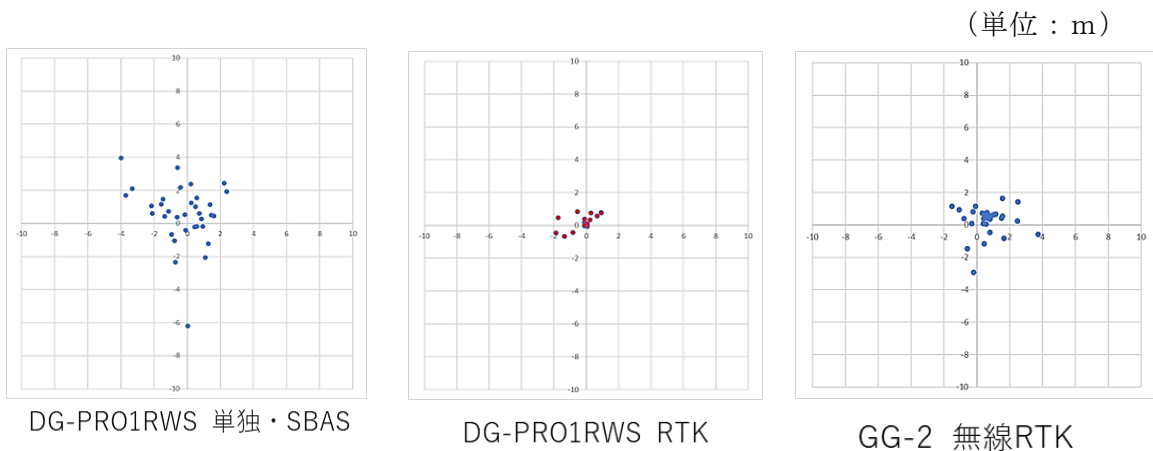


図 3.2.11 全測点における計測座標の水平誤差(検証区域 I)の例  
34 測点のトータルステーション計測座標を 0 とし、GNSS 計測座標を図示した。

### 3.2.4 後処理キネマティック（PPK）測位による水平誤差

検証区域 I に設置した基準局での連続計測（約 100 分）と並行して移動局（各測点）で主要 5 測点を 15 分計測し RAW データを取得した。電子基準点との後処理補正により現地基準局の座標を算出し現地基準局との後処理補正により移動局（各測点）の座標を取得した。

その結果、トータルステーションで計測した座標値と PPK で計測した座標値の水平誤差は平均 1.39m (0.66~3.55m)であった。

【機種：DG-PRO1RWS 解析ソフト：Drogger Processor】

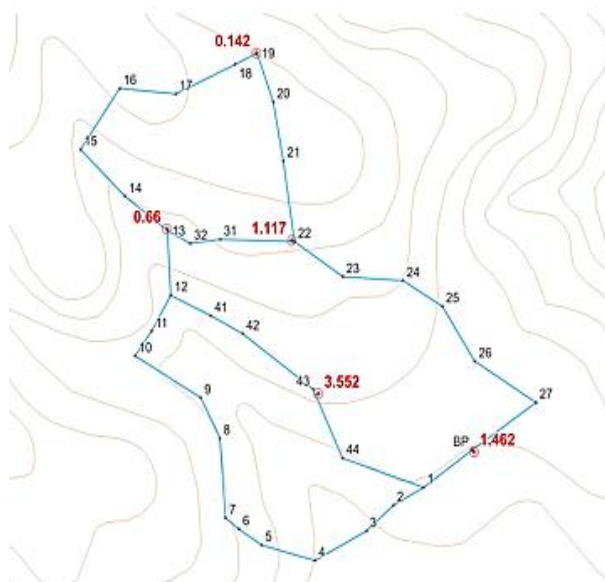


表 3.2.4 PPK で得られた座標の水平誤差

測点番号	地形	水平誤差 (m)
BP	緩斜面下部	1.462
13	主谷底部	0.660
19	尾根北	0.142
22	中腹	1.117
43	緩斜面	3.552
平均誤差		1.387

図 3.2.12 主要 5 測点の位置

## 4 森林調査における計測面積の精度検証

---

区域面積の精度評価の指標として、いわゆる「コンパス測量」では閉合誤差（閉塞公差）が用いられるが、GNSS 計測では計測される座標から区域面積が計算されるため閉合誤差が使えず、代替指標として、面積誤差（あるいは面積誤差率）を測量精度の評価として用いることができる（松岡 2018）。

そこで本事業では、**検証区域 I**（114 林班、34 測点）および**検証区域 II**（156 林班、28 測点）において、トータルステーションで計測した面積を真値と仮定して、通常の GNSS 計測（18 ページ参照）で得られた区域面積から、**面積誤差率**を比較分析して、計測精度を評価することとした。

面積誤差率の比較分析にあたっては、対象区域の面積の広さ、区域の形状、測点間隔等が、面積誤差率に影響を及ぼすことを考慮し、検証区域 I および II をそれぞれ 3 つに分割した区画の面積を算出・比較した。（図 2.4 及び図 2.9 参照）

また面積の大小や区域形状の違いが面積誤差率に及ぼす影響を、より一般化して評価するため、測点ごとの計測座標が持つ測位誤差の大きさをランダムに変化させる数値実験（モンテカルロシミュレーション）により、面積精度の評価を行った。

### 4.1 GNSS 計測による面積誤差率の評価

検証区域 I および II において、トータルステーションで計測した面積（TS 計測面積）を 100%と仮定し、機種別・測位方式別に GNSS で計測した区域面積の比率（%）を表 4.1.1 に示す。計測区域の対比図は巻末資料（6）に掲載した。

表 4.1.1 計測面積の正確度（TS 計測面積との比率）～機種別

（単位：％）

測位方式	機種名	検証区域Ⅰ（114 林班）				検証区域Ⅱ（156 林班）			
		全区 Ⅰ	A 区	B 区	C 区	全区 Ⅱ	D 区	E 区	F 区
		2.21ha	0.58ha	0.99ha	0.64ha	1.95ha	0.54ha	0.90ha	0.51ha
①単独測位・SBAS・ CLAS	DG-PRO1	99.28	98.67	100.71	97.64	100.55	101.33	99.28	101.97
	TK-1LT	98.35	96.31	100.48	96.92	101.32	102.21	99.80	102.87
	GG-2	98.04	95.69	98.38	99.63	100.34	99.80	99.94	99.23
	Cohac ∞10	97.59	96.63	97.22	99.03	100.93	100.48	100.00	103.05
	QZR-SP	100.53	99.27	100.80	98.00	99.24	100.70	99.21	97.70
②ネットワーク型 RTK	DG-PRO1	100.28	100.39	100.28	100.19	100.85	101.68	100.03	100.41
	TK-1LT	99.86	98.24	99.76	100.32	99.72	102.77	97.65	99.86
③無線 RTK	GG-2	100.13	102.41	98.90	99.97	99.31	96.81	100.22	100.35
[比較用] 1 周波 GNSS	モバイルマッパー50	98.36	96.07	100.06	97.88	100.30	96.27	101.02	102.95
	Map64csj	100.88	101.49	99.44	102.55	104.70	102.65	108.82	99.83

以下、測位方式ごとの面積誤差率を整理した。

#### 4.1.1 単独測位・SBAS・CLAS

通常の GNSS 計測方法の面積誤差は概ね 2%以内。ただし小面積や細長い区域では 3～4%になる場合（18 件のうち 3 件）があった。比較用の 1 周波 GNSS では誤差率の最大値が 4～8%になる場合があった。

（1）全区域面積 検証区域Ⅰ=2.21ha、検証区域Ⅱ=1.95ha に対する面積誤差率

2 周波： 検証区域Ⅰで 0.72～1.96%、検証区域Ⅱで 0.34～1.32%

CLAS： 検証区域Ⅰで 0.53～2.41%、検証区域Ⅱで 0.76～0.93%

1 周波： 検証区域Ⅰで 0.88～1.64%、検証区域Ⅱで 0.30～4.70%

（2）分割区面積（6 区（A 区～F 区）0.51～0.99ha）に対する面積誤差率

2 周波：計測事例 18 件の面積誤差率の平均 1.57%（0.06～4.31%）

1%未満 8 件、1%台 4 件、2%台 3 件、3%台 2 件、4%台 1 件であった。

CLAS：計測事例 12 件の面積誤差率の平均 1.50%（0.00～3.37%）

1%未満 7 件、2%台 3 件、3%台 2 件であった。

1 周波：面積誤差率の平均 2.50%（0.06～8.82%）

#### 4.1.2 ネットワーク型 RTK

面積誤差率は概ね 1 % 以内であった。ただし小面積や細長い区域では 2 % 台になる場合 (12 件のうち 2 件) があった。

#### 4.1.3 無線 RTK

面積誤差率は概ね 1 % 以内であった。ただし小面積や細長い区域では 2 ~ 3 % になる場合 (6 件のうち 2 件) があった。

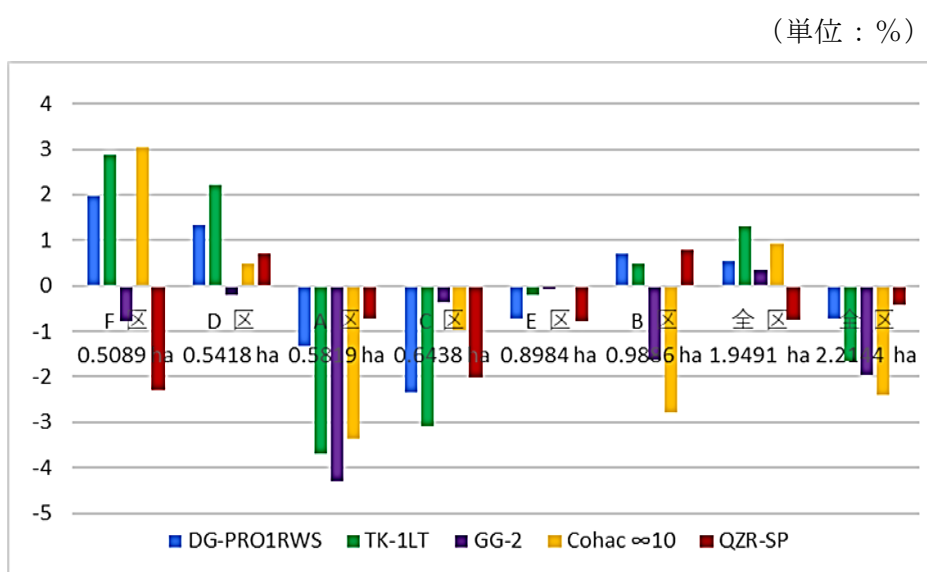


図 4.1.1 面積誤差率 (単独測位・SBAS・CLAS)

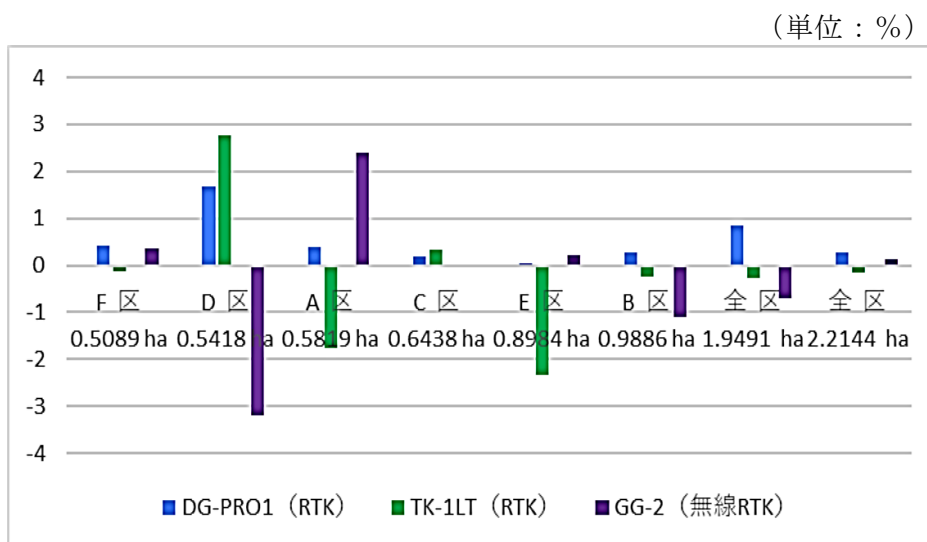
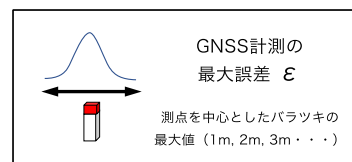


図 4.1.2 面積誤差率 (ネットワーク型 RTK、無線 RTK)

## 4.2 数値実験による GNSS 計測の面積精度評価

GNSS 計測の精度は、計測時間帯や季節による衛星配置の違い、あるいは計測地点の地形条件等によって、不規則に変化する。GNSS 受信機で同じ測点を繰り返し計測すると、計測誤差が大きい場合や小さい場合があります。そこで、こうした不規則な計測誤差がランダムに生じると仮定して、そうした測点ごとの誤差が面積計算にどのように影響するか、モンテカルロ法による数値実験を行った。

GNSS 受信機の性能や通信環境等によって計測誤差の振れ幅（最大誤差）が異なるため、最大誤差を 1m、2m、3m・・・のように変化させ、各測点における計測誤差をその範囲内でランダムに変化させる（図 4.2.1 参照）計算を 1,000 回繰り返した。



最大誤差  $\epsilon$  の範囲内で、計測値をランダム変動させる面積誤差率の数値実験  
(モンテカルロシミュレーション、反復回数1,000)

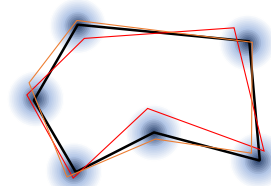


図 4.2.1 計測誤差をランダムに変化させる数値実験のイメージ

### (1) シミュレーション結果の概要

GNSS 計測の最大誤差が 1~10m へと大きくなると、図 4.2.2 に例示したように、対象区域の形状の揺らぎが大きくなり、1000 回繰り返し計算で得られる面積誤差率の出現頻度のバラツキも大きくなる。

当然のことながら GNSS 計測の最大誤差が大きいほど面積誤差率が大きくなる。言い換えると、GNSS 計測の最大計測誤差が大きくても、『運が良ければ』面積誤差が小さくなるかもしれないが、ほとんどの場合、面積誤差は大きくなるはずである。

したがって GNSS 計測の最大誤差が小さくなるように、測位方式や計測環境に十分留意して、各測点を計測する必要がある。

### (2) 区域面積が小さいほど面積誤差率は大きい

GNSS 計測による計測誤差は、各測点の計測で常に生じるものである。調査区域の面積の大小とは無関係であるので、各測点の計測誤差が同じだとすると、区域面積が小さいほど面積誤差率は大きくなる。

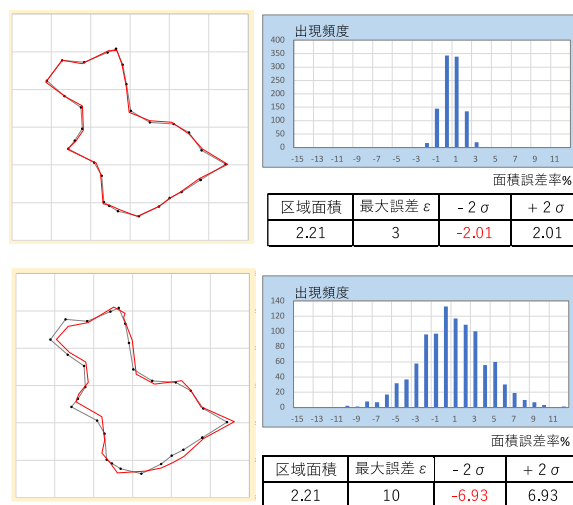


図 4.2.2 1000 回繰り返しで得られる面積誤差率の出現頻度 (例)

上段：GNSS 計測の最大誤差を 3m とした場合  
下段：GNSS 計測の最大誤差を 10m とした場合

検証区域 I（全体面積=2.21ha）を小区画に分割して、GNSS 計測の最大誤差=5m と仮定して数値実験を行った。表 4.2.1 に示すように、計測面積が小さいほど面積誤差率は明らかに大きくなる。したがって、GNSS の計測誤差が同じだとしても、計測面積が小さい場合は面積誤差が大きくなることに注意する必要がある。

表 4.2.1 計測区域面積で変化する面積誤差率

区域面積 (ha)	測点数	最大面積誤差率 (%)	最小面積誤差率 (%)	面積誤差率 (%)
2.21	28	5.16	-5.17	3.20
1.57	23	7.28	-7.55	4.75
0.99	17	9.94	-9.98	6.37
0.64	15	11.98	-10.89	8.05
0.58	12	13.05	-12.35	8.59

GNSS 計測の最大誤差を 5m と仮定して、1000 回繰返し数値実験を行った。

### （3）対象区域の形状によって面積誤差率が変わる

調査区域の形状によって面積誤差率は変化する。対象区域の形状が細長く、帯状あるいは短冊状の区域では、面積誤差率が大きくなることに注意が必要である。また対象区域に部分的に狭い箇所がある場合も、そうした部分で同様に誤差率が大きくなる。

### （4）設定する測点間隔による面積誤差率への影響

測点間隔を長くすれば現地作業が効率化されるという発想をしがちであるが、測点間隔を長くすると、図 4.2.3 に示すように面積誤差率は大きくなる。

この数値実験は、区域面積 4ha とした計算結果であるが、区域面積が小さければ、面積誤差率はさらに大きくなる。衛星信号の受信状況が良好でないような林地では、GNSS 計測誤差が 6m や 8m のように大きくなりがちである。区域面積が狭い、形状が細長いといった調査区域では、測点間隔を短くするような配慮が必要である。

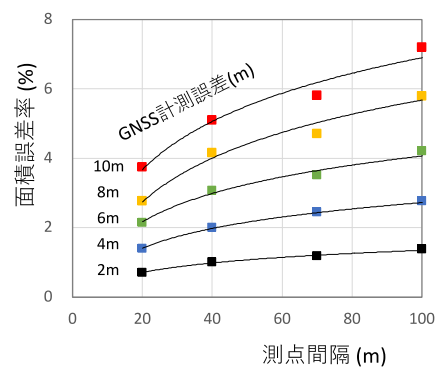


図 4.2.3 測点間隔によって変化する面積誤差率

## 5 検証結果のまとめと考察

### 5.1 高精度 GNSS 受信機による計測座標の精度

上空が開けた平地での高精度 GNSS 受信機による計測座標の水平誤差は、第 3 章の図 3.1.1 (P14) に示したように、2 周波 GNSS 受信機で 63 cm とサブメータ級、CLAS 対応 GNSS 受信機で 4 cm とセンチメータ級の精度であった。

他方、上空が十分に開けていない場所や電波を反射する障害物がある場所では、誤差が大きくなりやすく、山地の森林では、樹木や地形による開空率の制約や電波の反射など受信環境の制約があることから、今回、測位精度の検証を実施した。

群馬県安中市内の国有林 2 箇所（検証区域 I、検証区域 II）において、各測点をトータルステーションで計測した座標を真値と仮定し、GNSS 受信機で計測した座標の水平誤差を測位方式別にまとめ、表 5.1 に示す。

同一林分であっても測点によって、測位誤差は数 cm 程度から数 m まで比較的大きく変化するが、測位方式ごとに見ると、特に 1 周波 GNSS の測位誤差が大きいことがわかる。

表 5.1 山地林内の通常計測の水平誤差

(単位：m)

測位方式	検証区域 I (114 林班) での水平誤差	検証区域 II (156 林班) での水平誤差
① 単独測位 SBAS・CLAS		
2 周波 GNSS	平均 1.82 (0.05～6.20)	平均 2.14 (0.27～6.36)
CLAS 対応 GNSS	平均 2.03 (0.20～6.73)	平均 1.69 (0.19～6.19)
1 周波 GNSS	平均 3.20 (0.11～10.59)	平均 3.93 (0.60～12.35)
② ネットワーク型 RTK		
2 周波 GNSS	平均 0.47 (0.01～2.90)	平均 1.42 (0.04～5.82)
③ 無線 RTK		
2 周波 GNSS	平均 1.31 (0.33～3.78)	平均 2.20 (0.48～4.04)

また検証区域 I の主要 5 測点において、5 分間連続計測した平均座標の水平誤差と通常計測における水平誤差を表 5.2 に、15 分連続計測した RAW データを後処理 (PPK) して得られた計測座標の水平誤差を表 5.3 に示す。



表 5.2 主要測点における連続計測と通常計測の水平誤差の対比

測位方式	水平誤差（連続計測）	水平誤差（通常計測）
2周波 GNSS	平均 1.92(0.42～2.78)	平均 1.62(0.42～3.42)
CLAS 対応 GNSS	平均 0.47(0.18～1.35)	平均 1.61(0.59～2.94)

注：5分連続計測の1分経過後の平均座標の水平誤差と、通常のGNSS計測方法（10回平均座標）で得られた測位座標の水平誤差を対比した。

表 5.3 PPK 処理による水平誤差

測位方式	水平誤差 (m)
2周波 GNSS	平均 1.39 (0.66～3.55)

注：検証区域 I の主要 5 測点で 15 分連続計測したデータの  
後処理(PPK)により得られた座標の水平誤差

#### 【まとめ】

- ・ 森林内を含め 2 周波以上の GNSS の計測精度は 1 周波 GNSS よりも向上している。
- ・ RTK（ネットワーク型または無線）が成功すれば精度はさらに向上、または最大誤差が小さくなった。
- ・ CLAS 対応 GNSS では 1 分経過後の 4 分間の平均座標をとると精度がさらに向上した。
- ・ PPK（後処理）については、精度は比較的高いが、1 測点あたり 15 分以上の計測を要するなど、通常の計測方法よりも、5 倍の時間がかかった。

#### 【考 察】

以上の結果から、森林調査において活用できる測位方式は、表 5. 4 に示す 3 つの方式を調査林分の条件に応じて選択することが効果的・効率的と考えられる。

表 5.4 調査林分の条件に応じた測位方式

インターネットの状態	圏 外		圏 内
測位方式	①単独測位・SBAS・CLAS	②無線RTK	③ネットワーク型RTK

## 5.2 高精度 GNSS 受信機による計測面積の精度

高精度 GNSS 受信機による森林内の計測面積の精度は次のとおり。

### ① 単独測位・SBAS・CLAS

高精度 GNSS 受信機の通常計測の面積誤差率は概ね 2 % 以内。ただし小面積や細長い区域では 3 ~ 4 % になる場合 (18 件のうち 3 件) があった。(比較用の 1 周波 GNSS では誤差率の最大値が 4 ~ 8 % になる場合があった。)

### ② ネットワーク型 RTK

面積誤差率は概ね 1 % 以内であった。ただし小面積や細長い区域では 2 ~ 3 % になる場合 (12 件のうち 2 件) があった。

### ③ 無線 RTK

面積誤差率は概ね 1 % 以内であった。ただし小面積や細長い区域では 2 ~ 3 % になる場合 (6 件のうち 2 件) があった。

表 5.4 全区域の面積誤差率

(単位 : %)

測位方式	検証区域 I (2.21ha)	検証区域 II (1.95ha)
① 単独測位 SBAS・CLAS		
2周波 GNSS	平均 1.44 (0.72~1.96)	平均 0.74 (0.34~1.32)
CLAS 対応 GNSS	平均 1.47 (0.53~2.41)	平均 0.85 (0.76~0.93)
1周波 GNSS	平均 1.26 (0.88~1.64)	平均 2.50 (0.30~4.70)
② ネットワーク型 RTK (2周波 GNSS)	平均 0.21 (0.14~0.28)	平均 0.57 (0.28~0.85)
③ 無線 RTK 2周波 GNSS	0.13	0.69

注 : ( ) 内は面積誤差率の範囲

表 5.5 分割区(A~Fの区域)の面積誤差率

(単位 : %)

測位方式	面積誤差率	面積誤差率の範囲
① 単独測位 SBAS・CLAS		
2周波 GNSS	平均 1.57	0.06 ~ 4.31
CLAS 対応 GNSS	平均 1.50	0.00 ~ 3.37
1周波 GNSS	平均 2.50	0.06 ~ 8.82
② ネットワーク型 RTK (2周波 GNSS)	平均 0.88	0.03 ~ 2.77
③ 無線 RTK 2周波 GNSS	平均 1.22	0.03 ~ 3.19

## 【まとめ】

- ・森林内であっても2周波以上のGNSSの計測精度は1周波GNSSより向上している。
- ・RTK（ネットワーク型または無線）が成功すれば精度はさらに向上する。
- ・高精度GNSSの通常計測の面積誤差は概ね2%以内。ただし小面積や細長い区域では3～4%になる場合があった。

## 【考 察】

今回、2周波GNSS受信機やCLAS対応GNSS受信機を用いて山地の森林内で測位精度の検証を行ったところ、従来の1周波GNSS受信機に比べて精度の向上が明らかとなった。これらの機器を適切に用いることができれば、収穫調査の周囲実測に十分活用できるものと考えられる。

他方、GNSS計測では、小面積や細長い区域では面積の誤差率が大きくなる場合がある（例：3～4%等）。このため、座標の揺れや指標値が小さくなっていることを確認しながら計測する、測点をこまめにとる等に留意する。

特に、標準地では調査結果を全林に面積倍率で拡大することから、注意が必要と考える。その対策としては、例えば、精度を高める次の測位方法も検討することが望ましい。

- ・RTK測位を実施する。
- ・CLAS対応受信機で3～4分連続計測して平均座標を求める。

なお、林況等によってGNSS計測の測位精度が期待しがたい場合などは、GNSS計測以外の計測方法も検討することが望ましい。

- ・地上レーザ計測による標準地調査（標本ライン調査）では、標準地の区域実測が不要である（レーザ計測データからPC上で区域を設定し正確な面積を計測できるため）。
- ・コンパス測量等の実施。

## 6 周囲実測の効率化に向けた検討

精度検証等を行った計測手法について、測位の安定性や作業効率、計測に伴う機能、可搬性、耐久性、導入コストなどを総合的に考慮し、収穫調査への導入に適した機器や測位方式を検討した。

その結果、今回検証した2周波以上のGNSS受信機は、既存の1周波GNSS受信機に比べ、精度が向上しており、測位の安定性が認められ、可搬性等も問題ないと考えられた。導入コストについても、数十万円までとなっており、従前の高性能GNSS機器（例：百万円以上）よりも低くなっている。

測位方式については、調査林分の条件に応じて、次の3方式から選択することが効果的と考えられる。

- (インターネット圏外) ①単独測位・SBAS・CLAS、②無線RTK  
 (インターネット圏内) ③ネットワーク型RTK

これら測位方式やGNSS受信機を適切に運用することにより、収穫調査の周囲実測を効率的に行うことができるものと考えられる。

表6.1 今回の検証に用いた機種の特徴

機種	特徴
DG-PR01RWS	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アプリの機能を簡素にして無料とし、精度の維持、低コストを実現。</li> <li>・国土地理院の1級測量機登録済み。</li> <li>・背景地図はGoogle Map、国土地理院基本図、航空写真がデフォルトで設定。</li> </ul>
TK-1LT	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モバイルGISアプリ(有償)で林小班界と等高線など背景地図の利用が容易。</li> <li>・計測区域の画面表示、その場での面積計算、測点補正などが可能。</li> <li>・PDOP、2DRMS等の指標も画面表示され、出力可能。</li> </ul>
GG-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2台用いることで無線RTKが実施できる。</li> <li>・モバイルGISアプリ(有償)で林小班界と等高線など背景地図の利用が容易。</li> <li>・指標の表示・出力、計測区域の画面表示、面積計算などが可能。</li> </ul>
Cohac∞10	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CLAS対応受信機。上空が開けた場所ではcm級の測位精度。</li> <li>・連続計測の平均座標を採用すれば林内でも2周波以上の精度が期待できる。</li> <li>・導入コストは2周波受信機よりやや高い。</li> </ul>
QZR-SP	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CLAS対応受信機。上空が開けた場所ではcm級の測位精度。</li> <li>・連続計測の平均座標を採用すれば林内でも2周波以上の精度が期待できる。</li> <li>・導入コストは2周波受信機よりやや高い。</li> </ul>

注1：ネットワーク型RTKでは有料の高精度位置情報配信サービスを利用する。

注2：無線RTKでは、無線出力強度によって、基準局用受信機の「無線局登録」が必要であり、所要の電波利用料金(例：400円/年)が発生する。

注3：機種によって、有料アプリの追加コストがかかる場合がある。

## 7 GNSS 受信機による周囲実測の工期

周囲実測の効率化に向けた検討を行うため、検証箇所において測位方式毎の測位に要した時間を取りまとめ測位方式の区分毎に計測に要した工期を以下の表のとおり示す。工期は、林況、地形、傾斜等により相当異なるため、ここで示す工期はあくまでも参考の人工数である。

今回の計測では、コンパス測量の人工数に対して GNSS 受信機による計測は、約 1/2 以下の人工数で計測できた。これは、GNSS 受信機による測位は、コンパス測量の機器に比べ、三脚の備付、前後の見通しの確保のための刈り払いに要する時間が少なくなることが挙げられるほか、コンパス測量は 3 名（測量手、ポールマン、刈払手）が基本であるが、GNSS 計測の場合は、計測自体は基本的に 1 名で実行できる※ことから、人工数が少なくなった。

※ 実際の収穫調査では、計測作業以外の作業として、測点の設置作業、区域の表示作業があることから、単独行動にはならない。

表 7.1 現地計測に要した人工数

検証箇所	区域 面積 (ha)	周囲長 (m)	所要人工数 (人・日)				
			単独・ SBAS	単独・ CLAS	無線 RTK	ネットワー ク型 RTK	コンパス
検証区域 I	2.2144	724.69	0.19	0.20	0.26	0.16	0.56
検証区域 II	1.9491	628.55	0.20	0.22	0.30	0.18	1.30

注) 1 人工数算出に使用した受信機及び測位方法

DG-PRO1RWS : 単独・SBAS

DG-PRO1RWS : ネットワーク型 RTK

QZR-SP : 単独・CLAS

GG-2 : 無線 RTK

2 測量に従事した人数（検証区域 I は刈り払い済みの箇所）

- ・ GNSS 受信機は測量手 1 名で実施
- ・ 検証区域 I は測量手 1、ポールマン 1 の 2 名による人工数
- ・ 検証区域 II は測量手 1、ポールマン 1、刈払手 1 の 3 名による人工数

## 8 収穫調査における高精度 GNSS 活用の手引き

本事業で実施した高精度 GNSS 受信機による測位精度の検証結果等を踏まえ、森林管理局署の職員等を対象とした「収穫調査における高精度 GNSS 活用の手引」を作成した。

内容として、調査対象林分の衛星信号の受信環境等に応じた測位方式の選定、各測位方式の計測手順、GNSS 計測の実際と留意点、測位データの処理方法等を取りまとめた。その概要については、森林管理局署の職員等を対象に令和 5 年 2 月 21 日にオンライン説明会を開催した。

### 手引の構成

#### 1 高精度 GNSS の概要

- (1) 高精度 GNSS とは
- (2) 森林内で用いる主な測位方式
- (3) 測位方式と通信環境

#### 2 GNSS 計測の実際

- (1) 事前の確認と準備
    - ア Google Earth 等による区域、地形、林相等の確認
    - イ インターネット環境等の確認
    - ウ 測位方式の決定と携行機器の確認
    - エ 測位方式選定に際しての留意事項
    - オ 測点の設定
  - (2) 各測位方式に共通する計測手順
  - (3) GNSS 受信機による測位とデータ取得の留意事項
    - ア 2m ポール等の活用
    - イ 経路等の画面表示
    - ウ 計測座標の揺れ
    - エ PDOP,2DRMS などの指標
    - オ 衛星数と取得データ数
  - (4) 各測位方式の計測手順の概要
    - ア 単独測位・SBAS・CLAS
    - イ 無線 RTK 法
    - ウ ネットワーク型 RTK 法
- (中 略)

#### 3 測位データの処理と活用

- (1) データ形式別の GIS 取込方法と面積計測
- (2) 複数回計測した測点データの整理
- (3) 位置ずれや歪みがないことの確認
- (4) 実測図等の作成

## 参考文献

---

- Brach, M. (2022) Rapid static positioning using a four system GNSS receivers in the forest environment. *Forests* 2022, 13(1), 45; <https://doi.org/10.3390/f13010045>
- Feng, T.ら(2022) Effects of canopy and multi-epoch observations on single-point positioning errors of a GNSS in coniferous and broadleaved forests. *Remote Sens.* 2021, 13(12), 2325; <https://doi.org/10.3390/rs13122325>
- 井貝紀幸 (2021) 森林内における RTK-GNSS 測定の水平誤差及びその低減に向けた受信機設定の検討. *日本森林学誌* 103:395-400
- Kaartinen, H.ら(2015) Accuracy of kinematic positioning using Global Satellite Navigation Systems under forest canopies. *Forests* 2015, 6(9), 3218-3236; <https://doi.org/10.3390/f6093218>
- 小林裕之ら (2022) 低コスト GNSS 受信機による森林内での測位正確度の検証. *日本森林学会誌* 104:1-9
- 国土地理院 (2020a) マルチ GNSS 測量マニュアル (案) 国土地理院技術資料 G1-No.18
- 国土地理院 (2020b) マルチ GNSS 測量マニュアル (案) 近代化 GPS、Galileo 等の活用. 解説国土地理院ホームページ. GNSS を活用した測定のいろいろ. (2023 年 2 月 10 日閲覧)
- 国土地理院ホームページ. セミダイナミック補正. (2023 年 2 月 10 日閲覧)
- 国土地理院ホームページ. ジオイドとは. (2023 年 2 月 10 日閲覧)
- 内閣府ホームページ みちびき (準天頂衛星システム) . (2023 年 2 月 10 日閲覧)
- 大島愛彦 (2021) 岐阜県における森林の測量・計測技術の普及に向けた取組. *森林技術* 948
- 林野庁 (2018) 「国有林における収穫調査等の効率化手法実践体制構築委託事業」報告. 林野庁北海道森林管理局十勝東部森林管理署 QGIS 参考マニュアル
- 松井尊大ら(2016) GNSS 受信機を用いた収穫調査の周囲測量についての考察. 東北森林管理局森林林業技術交流発表会.
- 松岡真如ら (2018) GNSS 測量で得られた面積の精度評価指標. *日本森林学誌* 100:193-20
- Tomastik, J.ら (2017) Horizontal accuracy and applicability of smartphone GNSS positioning in forests. *Forestry* 90: 187–198
- Thomas Purfürst (2022) Evaluation of Static Autonomous GNSS Positioning Accuracy Using Single-, Dual-, and Tri-Frequency Smartphones in Forest Canopy Environments. *Sensors* 2022, 22(3), 1289; <https://doi.org/10.3390/s22031289>
- Valbuena, R.ら (2010) Accuracy and precision of GPS receivers under forest canopies in a mountainous environment. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2010 8(4), 1047-1057.

### (本事業で使用した GNSS 受信機説明書等)

- |                |                            |
|----------------|----------------------------|
| ・ ビズステーション株式会社 | Drogger GPS アプリガイド         |
| ・ 株式会社竹谷商事     | TK-1 LT 操作説明書              |
| ・ 株式会社ギョロマン    | 高精度 GNSS GG-2/GG-2LT 操作ガイド |
| ・ 株式会社コア       | Cohac∞10 取扱説明書             |
| ・ 合同会社 JPS     | GNSS 受信機設定アプリ 操作説明書        |

## 用語説明

GNSS 全球測位衛星システム 衛星測位システム	<b>Global Navigation Satellite System</b> 元々は航空機・船舶等の航法支援用に開発されたシステムで GPS 衛星、地上管制局、利用者の受信機で構成される。利用者は4機以上の GPS 衛星からの距離を同時に知ることにより位置等を得ることができる。 注：6軌道面に衛星を30個配置すると地球の全域をカバー可。
GPS 全地球測位システム 衛星測位システム	<b>Global Positioning System</b> 米国国防総省が開発した人工衛星を利用した位置測定システムで GNSS の一つ。航空機・船舶、地上の車両等の受信者に三次元位置を与えるために使用される。 注：日本では初期から GPS を利用していたため、衛星測位システム全般を指してよぶことが多い。
QZSS 準天頂衛星システム	<b>Quasi-zenith Satellite System</b> 地域航法衛星システムであり、地上から高仰角で観測できる準天頂衛星を常に1機は見通せることができるようにするもの。日本は、H22年に実証のための初号機みちびき (QZS-1)を打ち上げ、H29年に3機を追加し、H30年から4機体制でシステム運用を開始している(注：2023年は7機体制となる予定)。 QZSはGNSSと併用して用いられる。
GIS 地理情報システム	<b>Geographic Information System</b> 地理空間情報(地点や区域の位置情報等)を管理・利用するシステム。
トータルステーション	トータルステーションとは、水平角と鉛直角を計測する経緯儀という器械に、測距儀の機能が内蔵された測量器械。
単独測位	GNSS 衛星から送信される衛星の位置や時刻などの情報を1台で受信し、4個以上の衛星から観測点の位置を決定するもの。誤差は約10m程度とされる。
SBAS 衛星航法補強システム	<b>Satellite-Based Augmentation System</b> GNSS の性能向上のためのシステムで、静止衛星の補助信号を用いて GPS などの衛星測位システムによる測位の誤差が補正される。誤差は上空が開けた場所でサブメータ級。
CLAS センチメータ級測位補強サービス	<b>Centimeter Level Augmentation Service</b> 電子基準点のデータを利用して補正情報を計算し、測位補強情報を準天頂衛星みちびきから送信するもので、誤差は上空が開けた場所でセンチメータ級。
RTK	<b>Real Time Kinematic</b> 移動する GNSS 受信機「移動局」と、事前に位置の分かっている GNSS 受信機「基準局」を無線又はインターネットで繋ぎ、移動局において衛星からの信号と基準局からの信号をリアルタイムで解析して観測点の計測精度を高める方式。



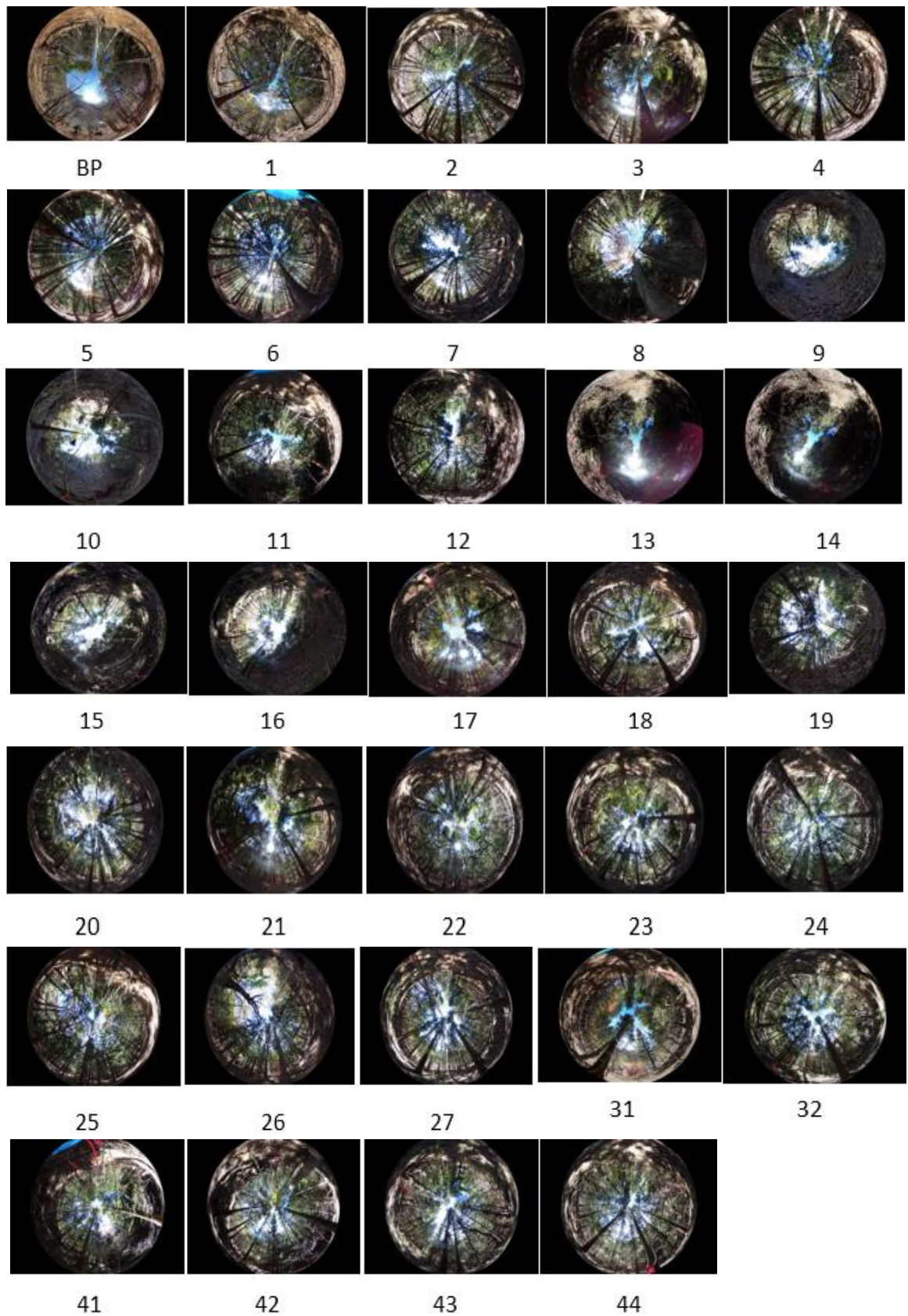
## 卷末資料

巻末資料（１） 検証地の林況等：検証区域Ⅰ 中木山国有林 114 林班

図 2.6 付表 各測点の開空率・地形・森林の状態（中木山国有林 114 林班）

測点	開空率%	地形	森林の状態	測点	開空率%	地形	森林の状態
BP	17.9	主谷下部、南向斜面	広葉樹	21	20.3	南向斜面	スギ林
1	13.6	主谷下部、南向斜面	スギ林	22	19.9	南向斜面	スギ林
2	22.3	主谷下部、南向斜面	スギ林	23	21.5	尾根	スギ林
3	17.5	主谷下部、南向斜面	スギ林 600本/ha 樹高19m	24	26.3	尾根	スギ林
4	18.8	谷底	スギ林	25	22.6	南東向斜面	スギ林
5	20.4	尾根	スギ林	26	26	南向斜面	スギ林
6	22.9	尾根	スギ林 1200本/ha 樹高15m	27	22.4	主谷下部、南向斜面	スギ林
7	24.3	尾根	スギ林 1200本/ha 樹高15m	31	14.8	平坦	スギ林
8	24.5	尾根	広葉樹	32	22.7	平坦	スギ林
9	23.6	谷底	スギ林	41	21.2	南向斜面	スギ林 600本/ha 樹高23m
10	23.6	谷底	スギ林	42	21.9	南向斜面	スギ林
11	19.7	南向斜面	スギ林	43	22.4	南向斜面	スギ林
12	19.8	東向斜面	スギ林	44	22.4	南向斜面	スギ林
13	19.4	谷底	スギ林				
14	15.7	谷底	スギ林	平均	21.6		
15	24	谷底	スギ林	最小	13.6		
16	26.2	西向斜面	スギ林	最大	26.3		
17	22.3	尾根	スギ林				
18	22.8	尾根	スギ林				
19	25.2	北向斜面	スギ林				
20	26.3	尾根	スギ林				

図 2. 5 付図 各測点の開空状況(中木山国有林 114 林班)

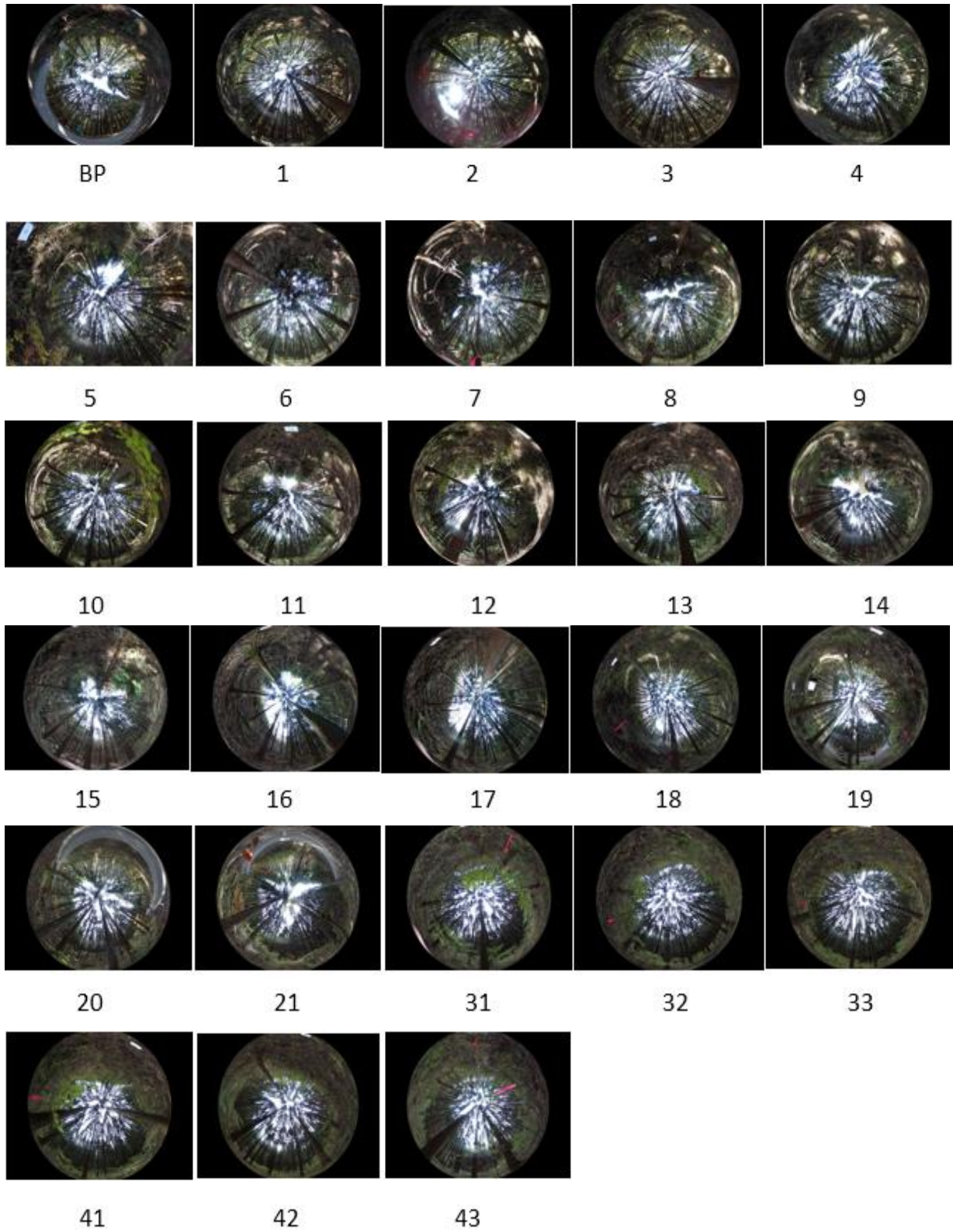


巻末資料（2） 検証地の林況等：検証区域Ⅱ 大平国有林 156 林班

図 2.11 付表 各測点の開空率・地形・森林の状態（大平国有林 156 林班）

測点	開空率%	地形	森林の状態	測点	開空率%	地形	森林の状態
BP	20.1	平坦	スギ林 道路脇	21	17.1	平坦	スギ林 道路脇
1	21.5	平坦	スギ林	31	18.4	西向斜面	スギ林
2	26.9	緩斜面	スギ林	32	19.5	西向斜面	スギ林
3	17.5	緩斜面	スギ林	33	19.1	南向斜面	スギ林
4	18.8	緩斜面	スギ林	41	18.3	南東向斜面	スギ林 樹高29m
5	20.4	南西向斜面	スギ林	42	18.8	南東向斜面	スギ林
6	22.9	南西向斜面	スギ林	43	19.6	南東向斜面	スギ林 樹高30m
7	19.3	南西向斜面	スギ林				
8	17.8	尾根	スギ林	平均	19.6		
9	19.7	尾根	スギ林	最小	16.6		
10	23.6	尾根	スギ林 樹高24m	最大	26.9		
11	19.8	南向斜面	スギ林				
12	16.6	南向斜面	スギ林				
13	17.9	南向斜面	スギ林				
14	17.8	南向斜面	スギ林				
15	18.5	谷上部	スギ林				
16	19.4	谷底	スギ林				
17	20.1	谷斜面	スギ林				
18	19.7	谷底	スギ林				
19	20.1	谷底	スギ林				
20	18.9	平坦	スギ林 道路脇				

図 2.10 付図 各測点の開空状況（大平国有林 156 林班）

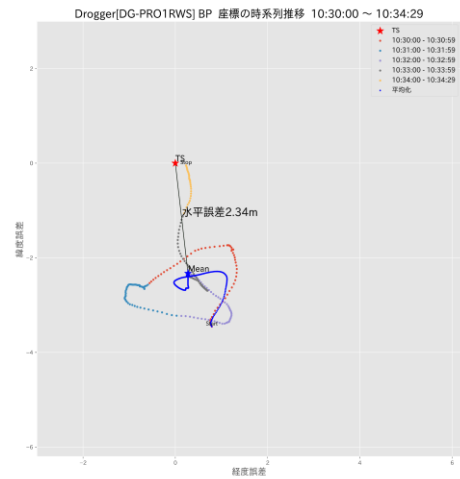
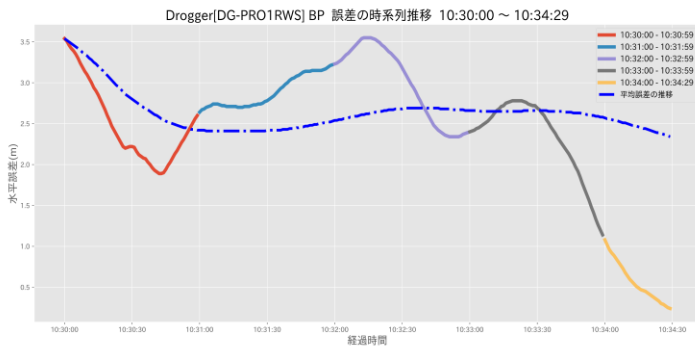


## 巻末資料（3）水平誤差の時系列変化および軌跡

### （1）主谷の下部（測点 BP）

#### 【2周波 GNSS】

平均座標の水平誤差 2.34m



#### 【CLAS 対応 GNSS】

平均座標の水平誤差 0.33m

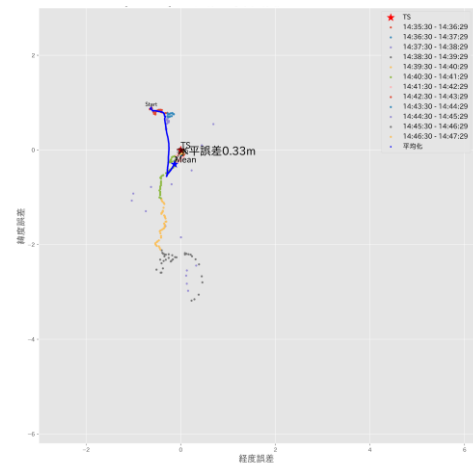
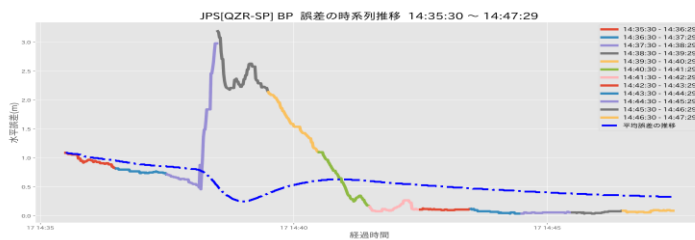
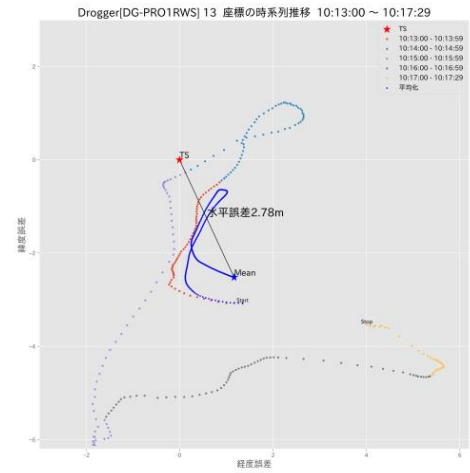
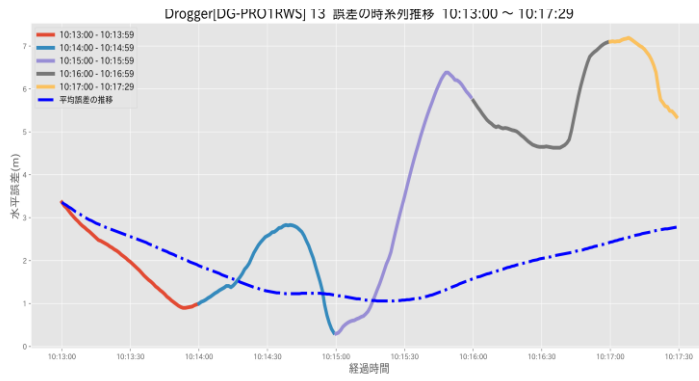


図 3.2.12 主谷の下部（測点 BP）における座標値の変化

(2) 谷底 (測点 13)

【2周波 GNSS】

平均座標の水平誤差 2.78m



【CLAS 対応 GNSS】

平均座標の水平誤差 0.28m

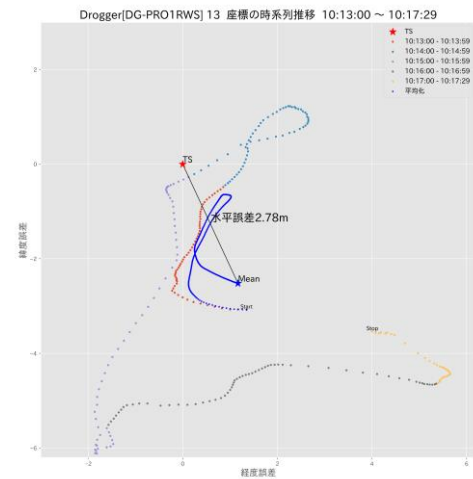
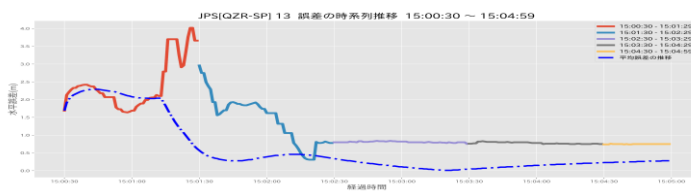
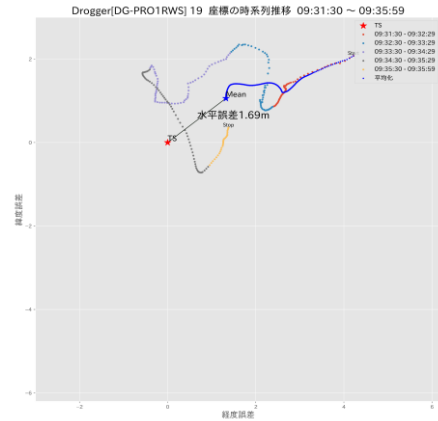
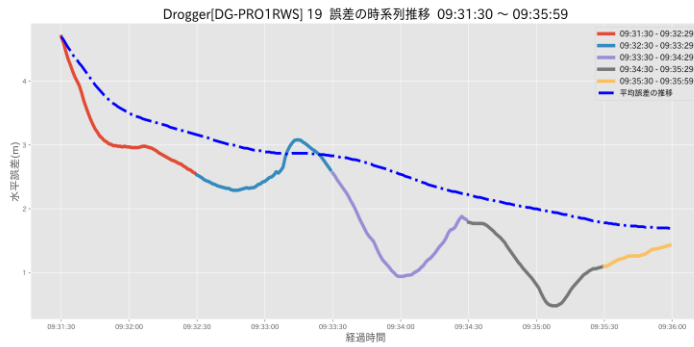


図 3.2.13 谷底 (測点 13) における座標値の変化

(3) 尾根付近 北斜面 (測点 19)

【2周波 GNSS】

平均座標の水平誤差 1.69m



【CLAS 対応 GNSS】

平均誤差の水平誤差 0.18m

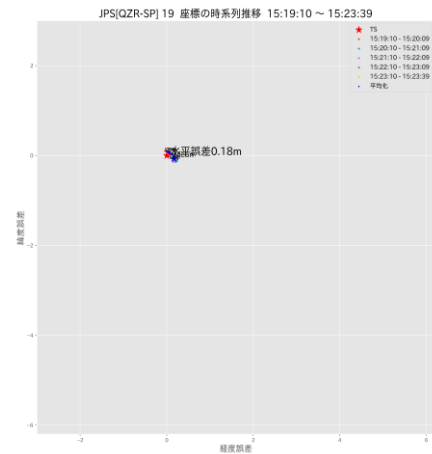
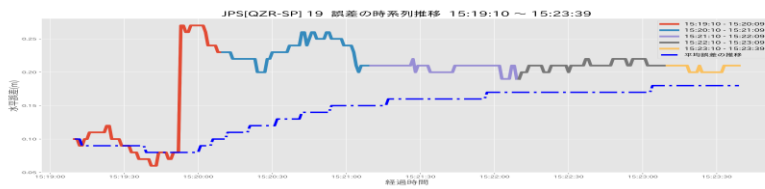


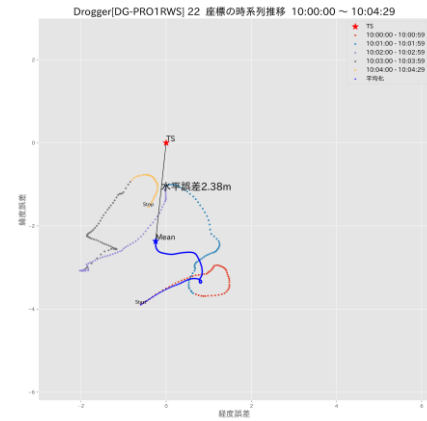
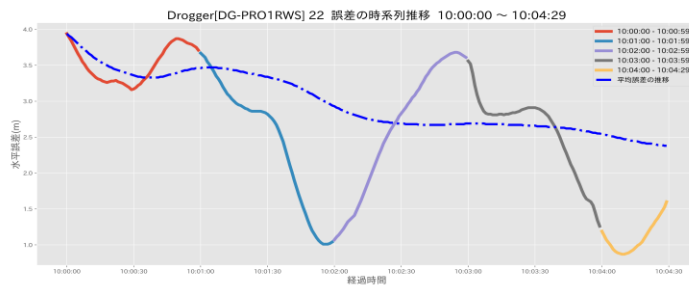
図 3.2.14 尾根付近 北斜面 (測点 19) における座標値の変化



(4) 尾根中腹・南向 (測点 22)

【CLAS 対応 GNSS】

平均座標の水平誤差 2.38m



【CLAS 対応 GNSS】

平均座標の水平誤差 1.35m

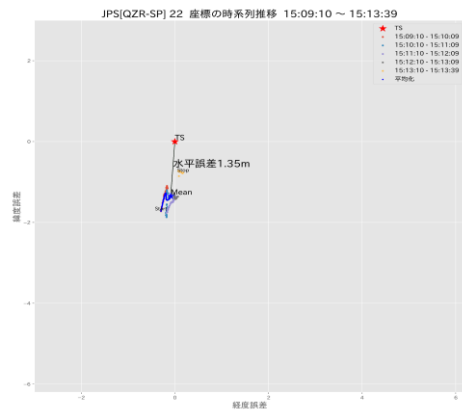
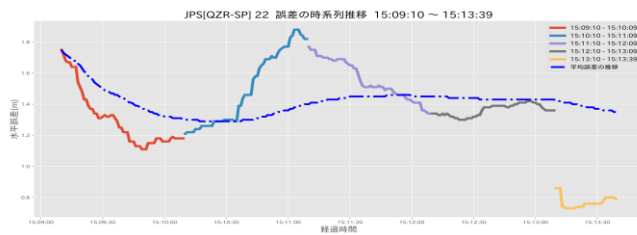
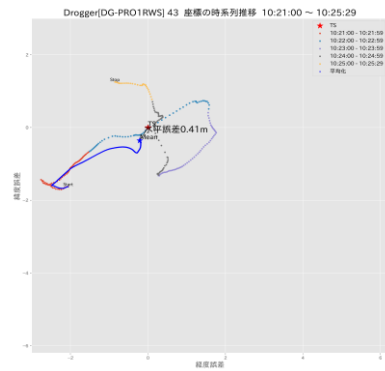
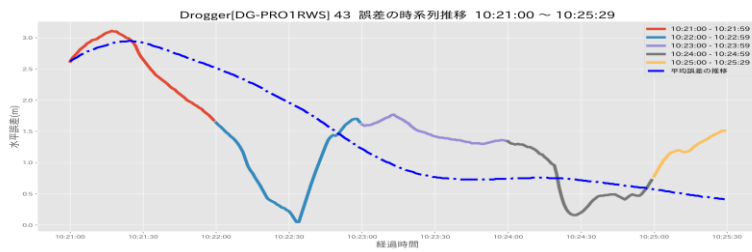


図 3.2.15 尾根中腹・南向 (測点 22) における座標値の変化

(5) 中腹 暖斜面 (測点 43)

【2周波 GNSS】

平均座標の水平誤差 0.42m



【CLAS 対応 GNSS】

平均座標の水平誤差 0.22m

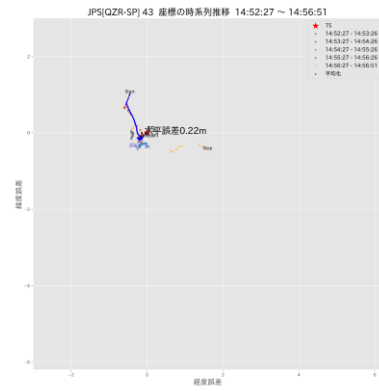
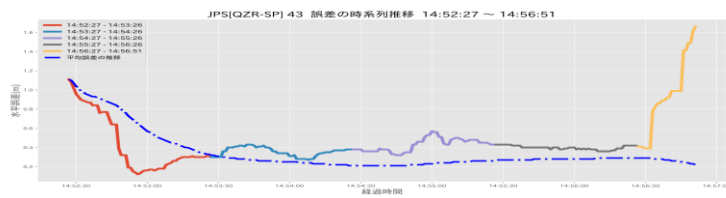


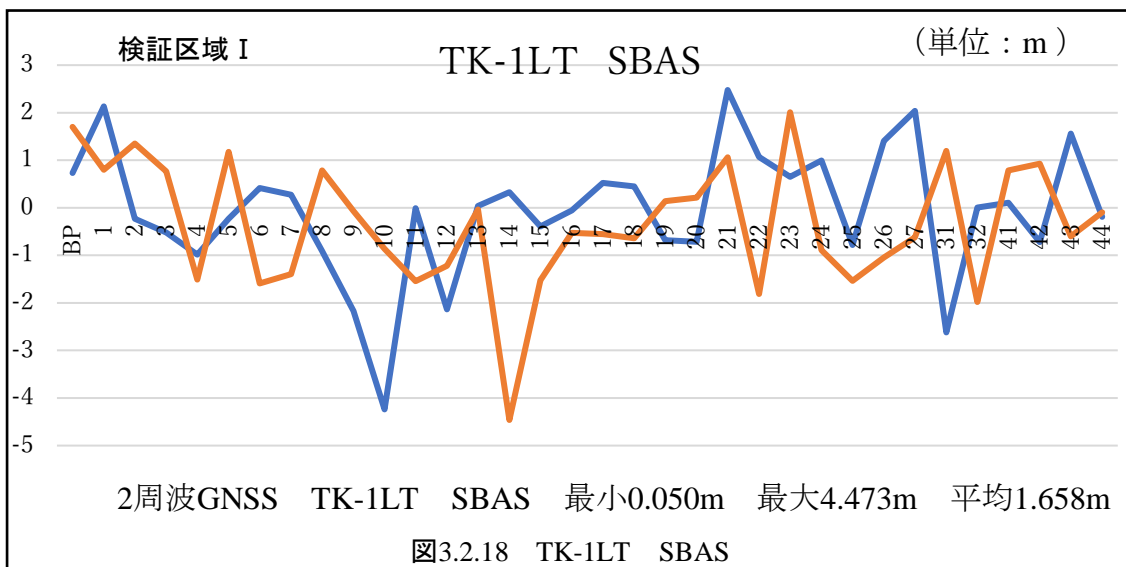
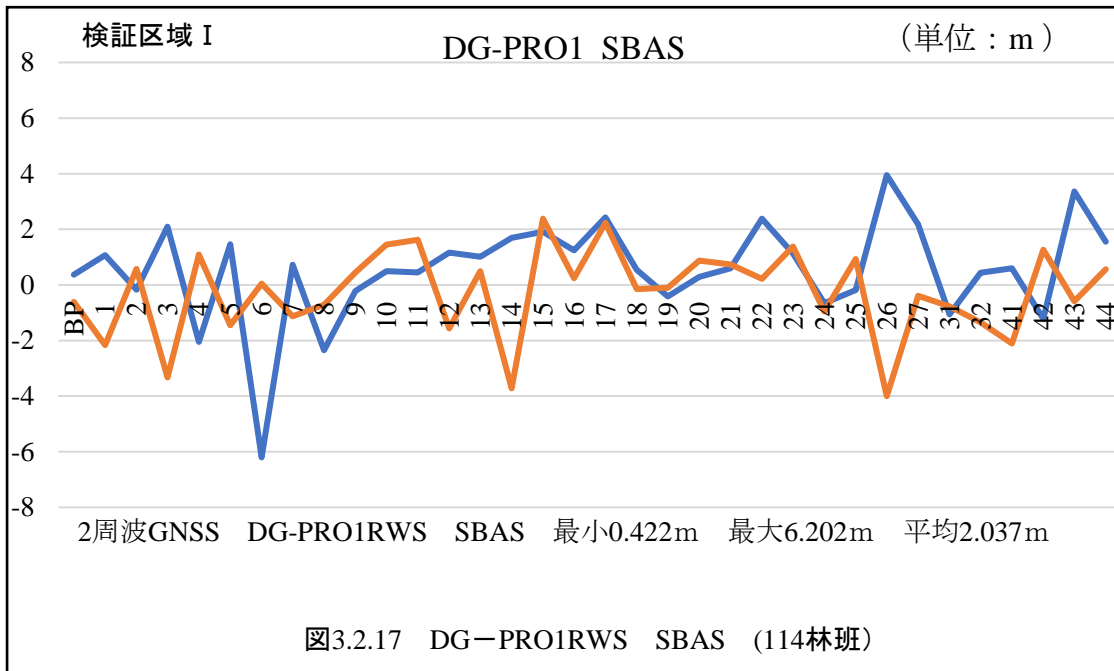
図 3.2.16 中腹 緩斜面 (測点 43) における座標値の変化

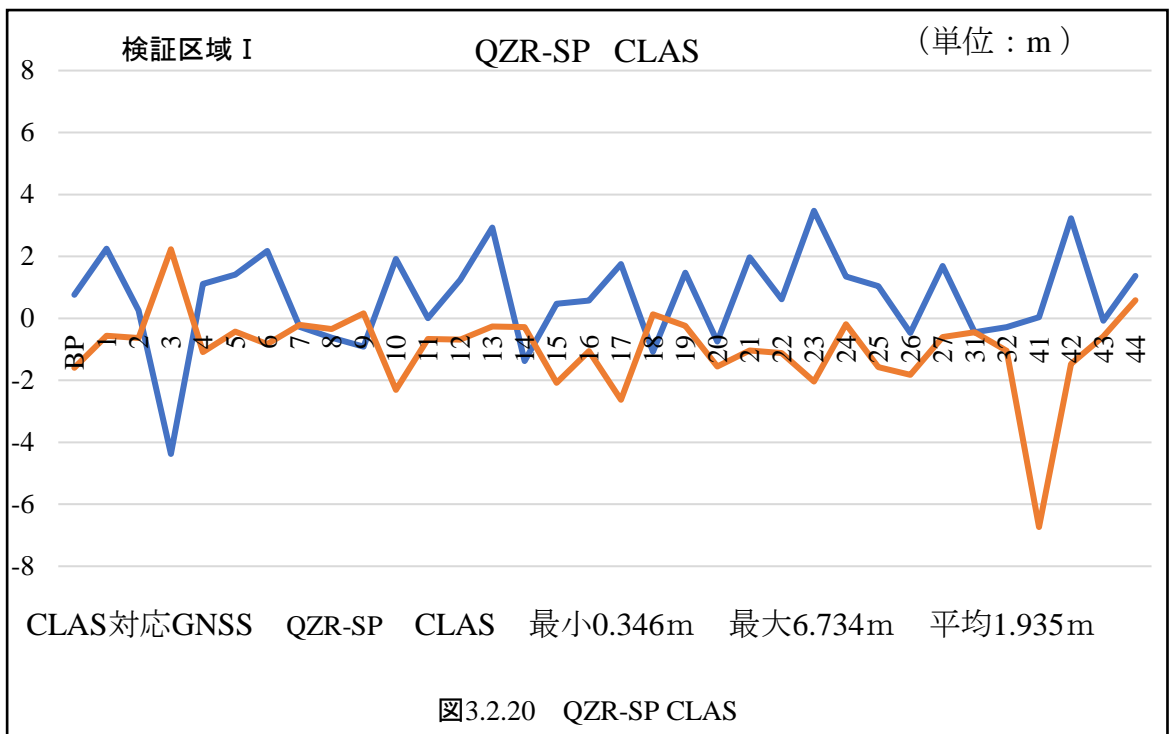
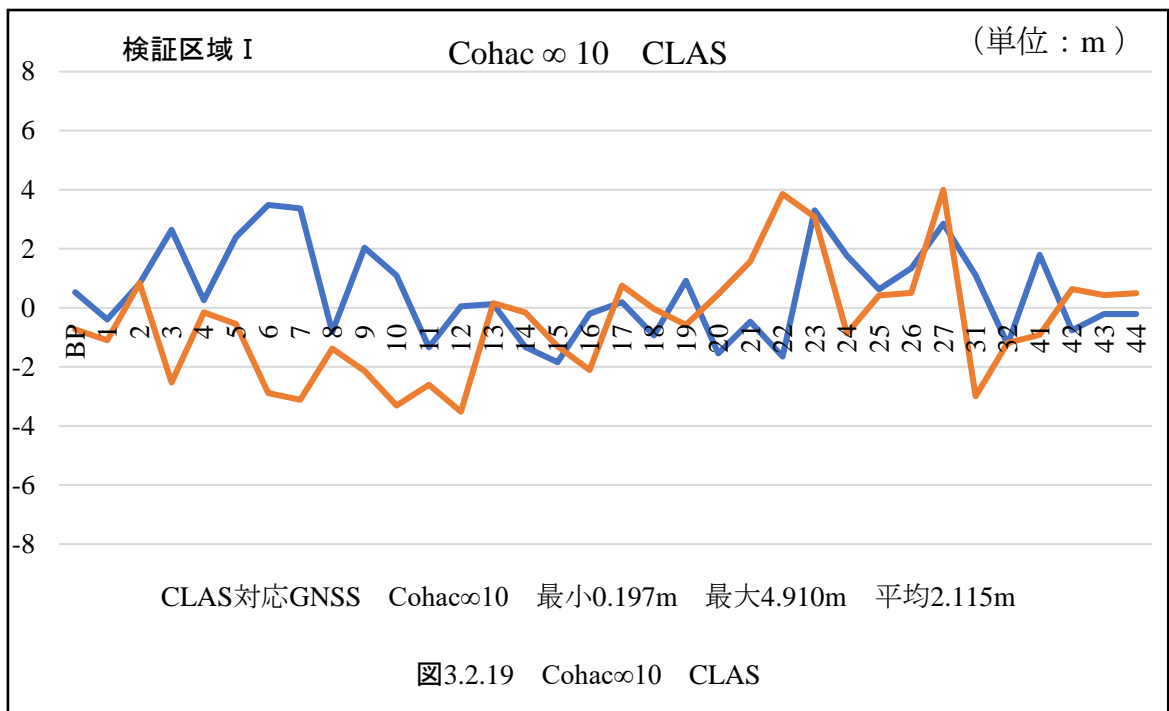
## 巻末資料（４）全測点における水平誤差

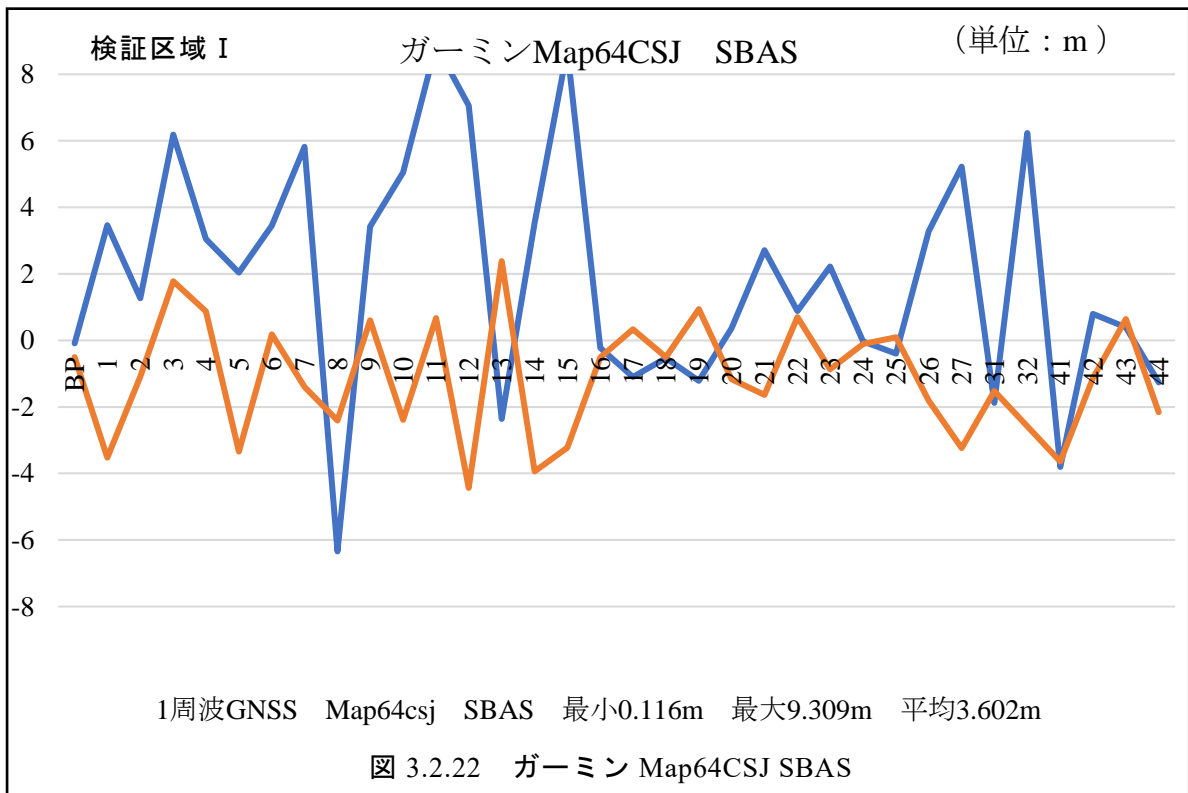
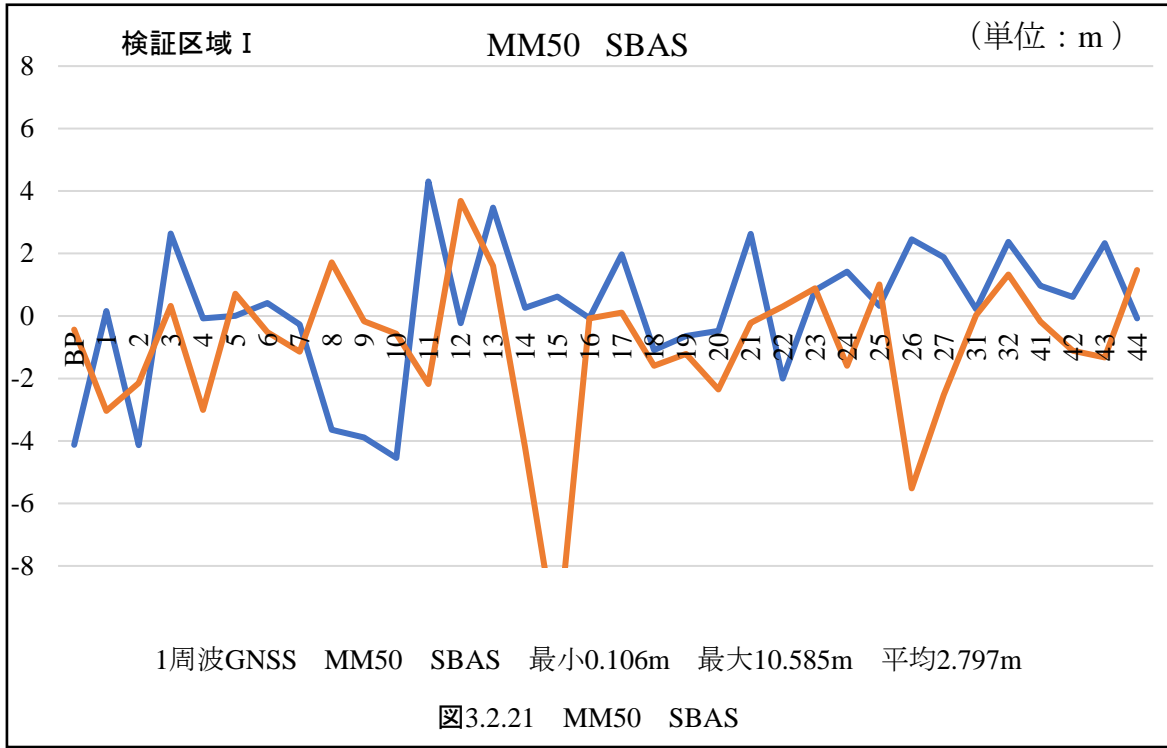
### （１）単独測位・SBAS・CLAS

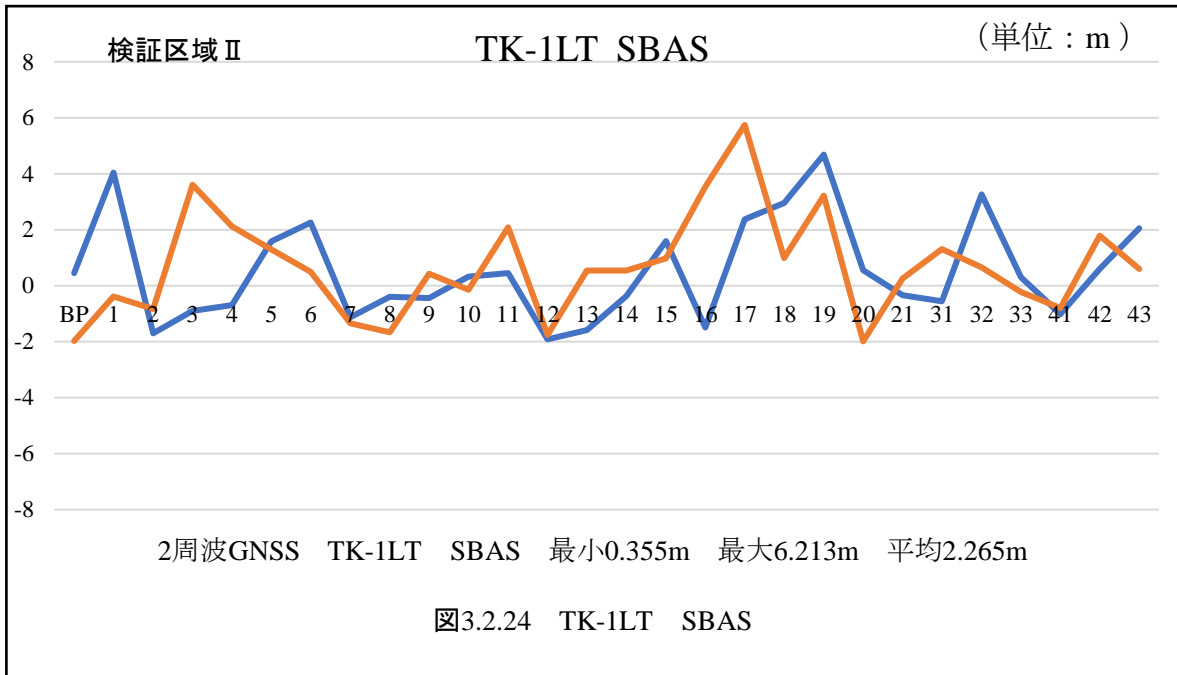
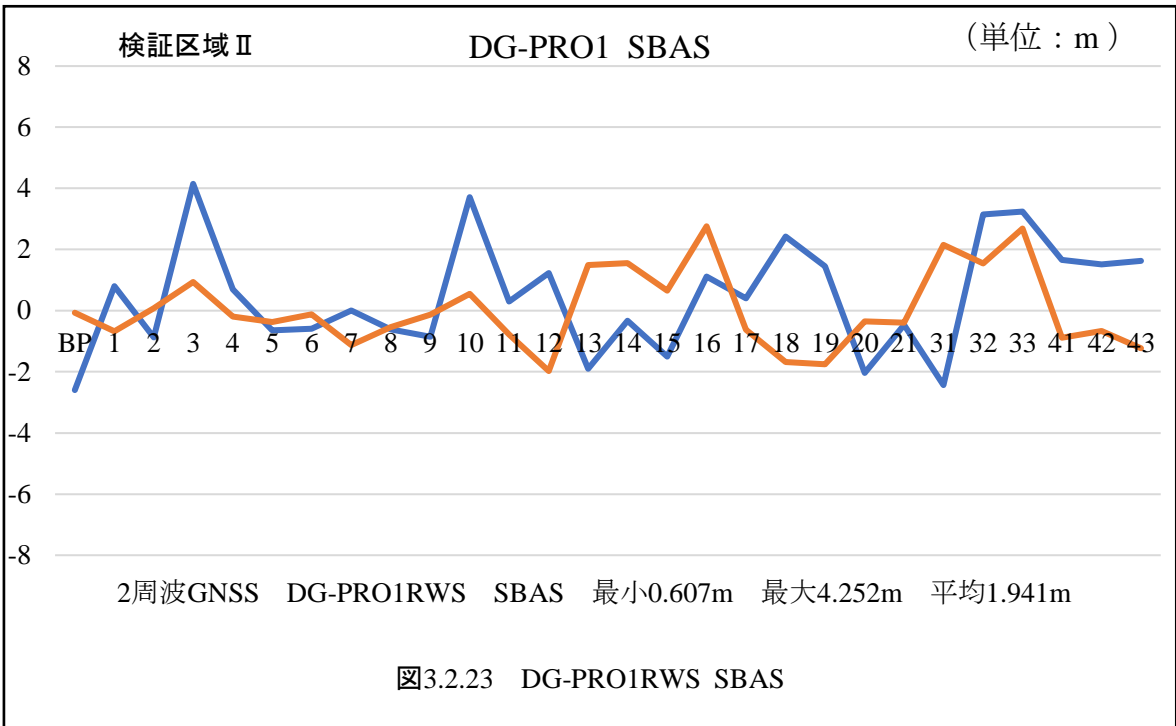
#### 【計測方法】

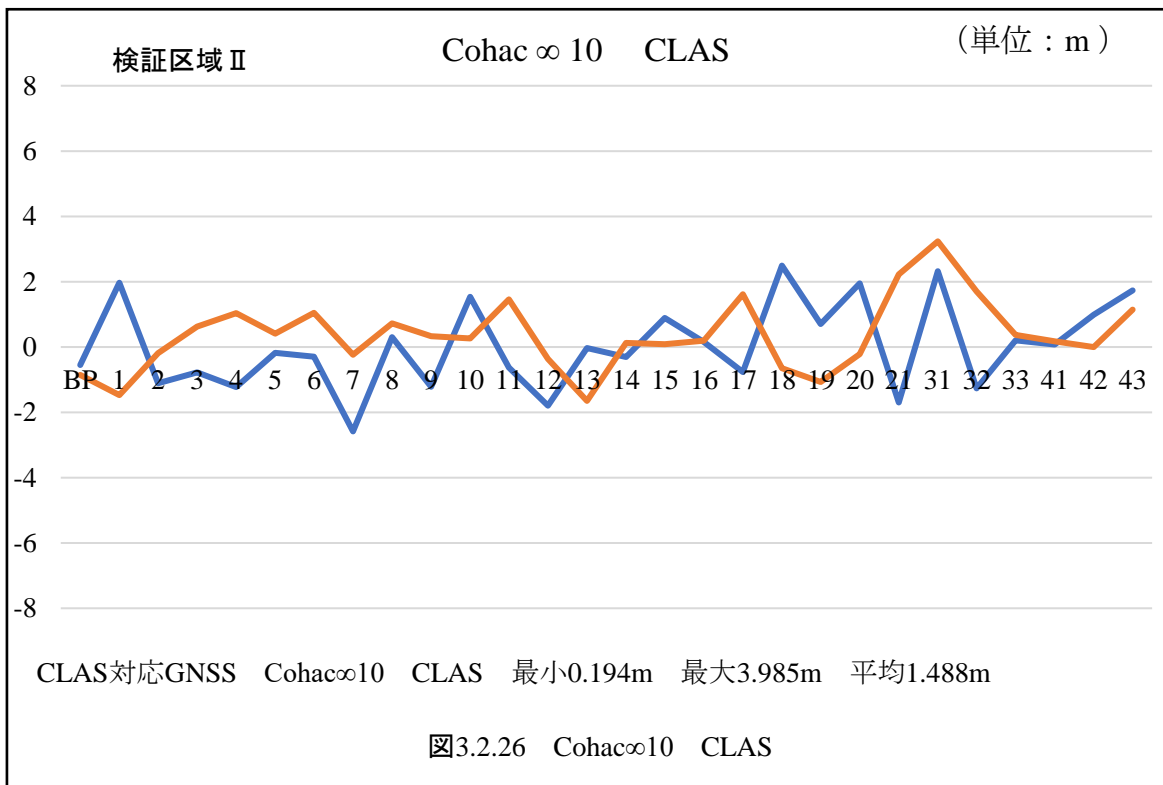
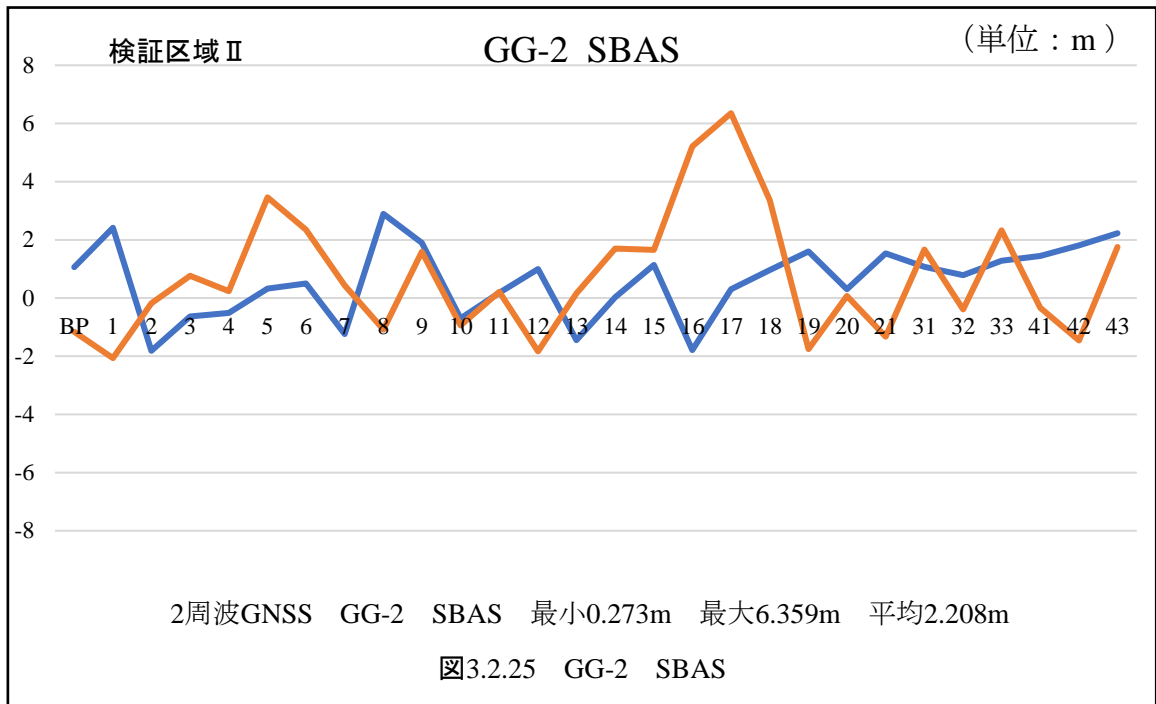
測点到着後1分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測（10回平均値を採用）した。

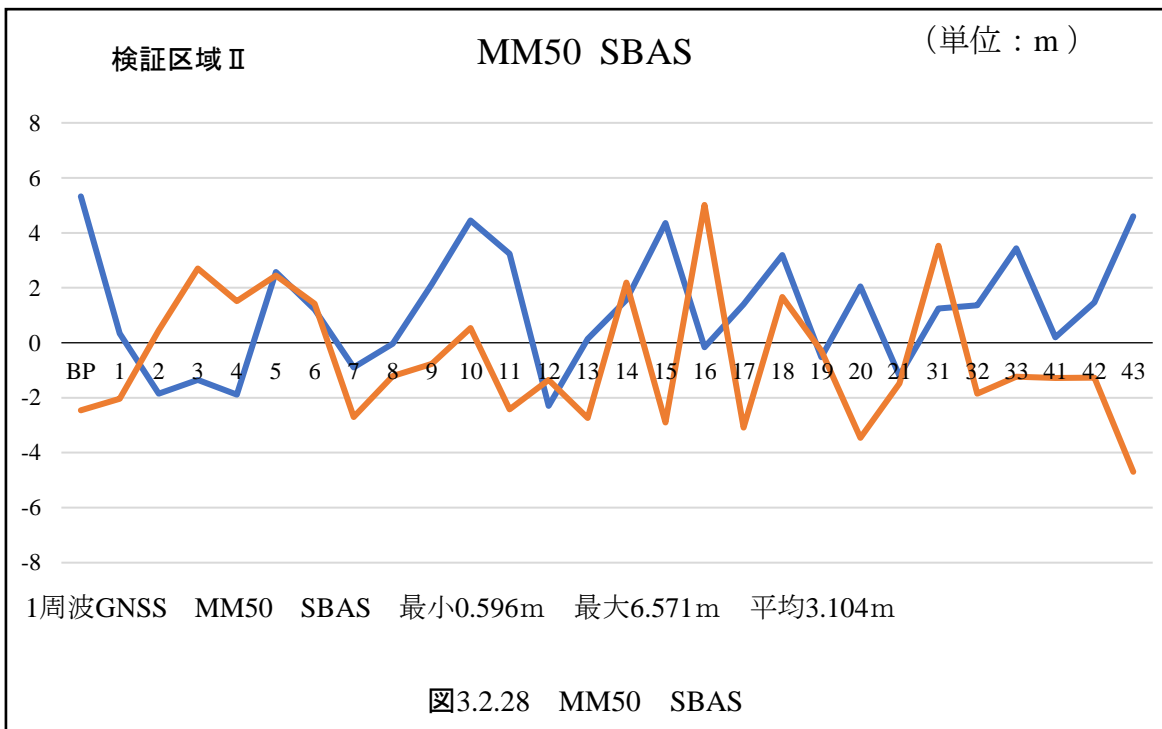
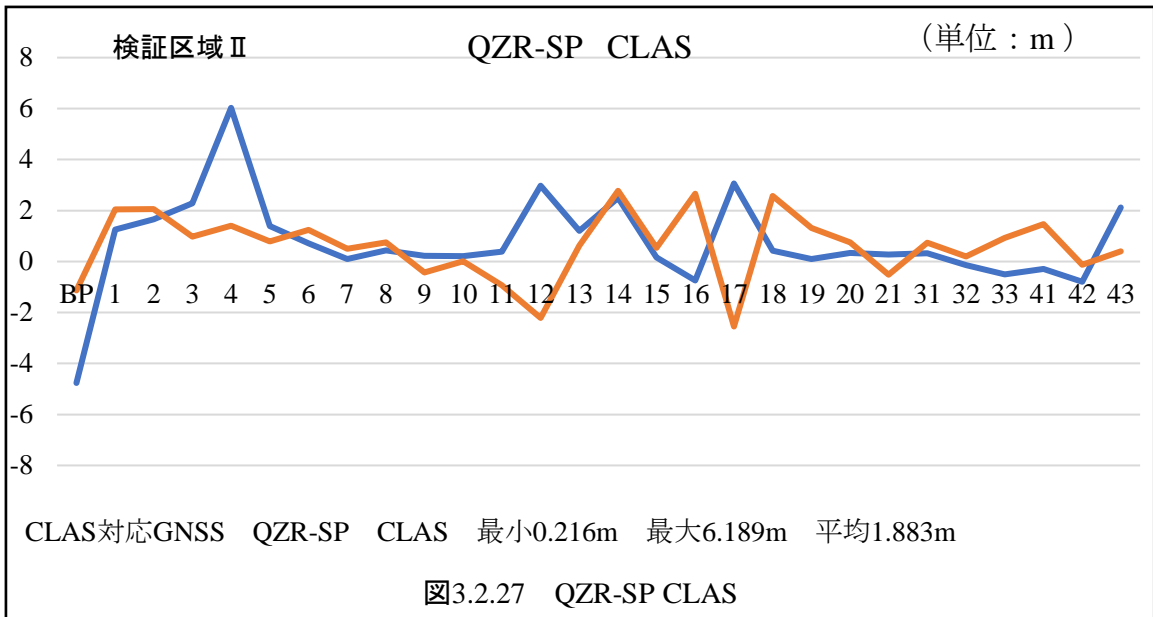




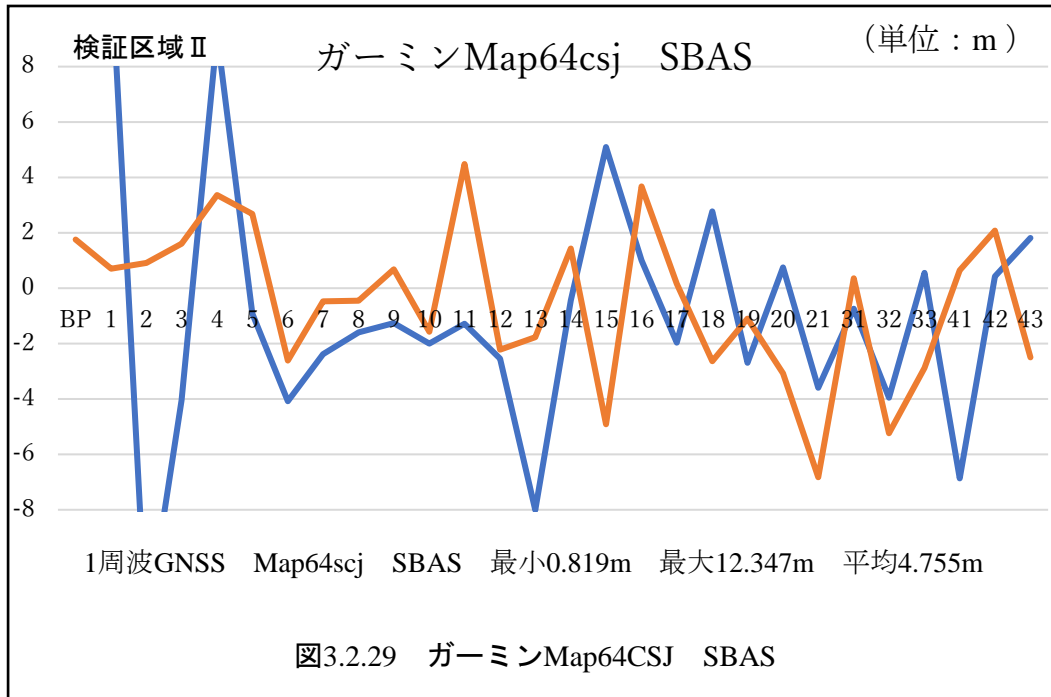








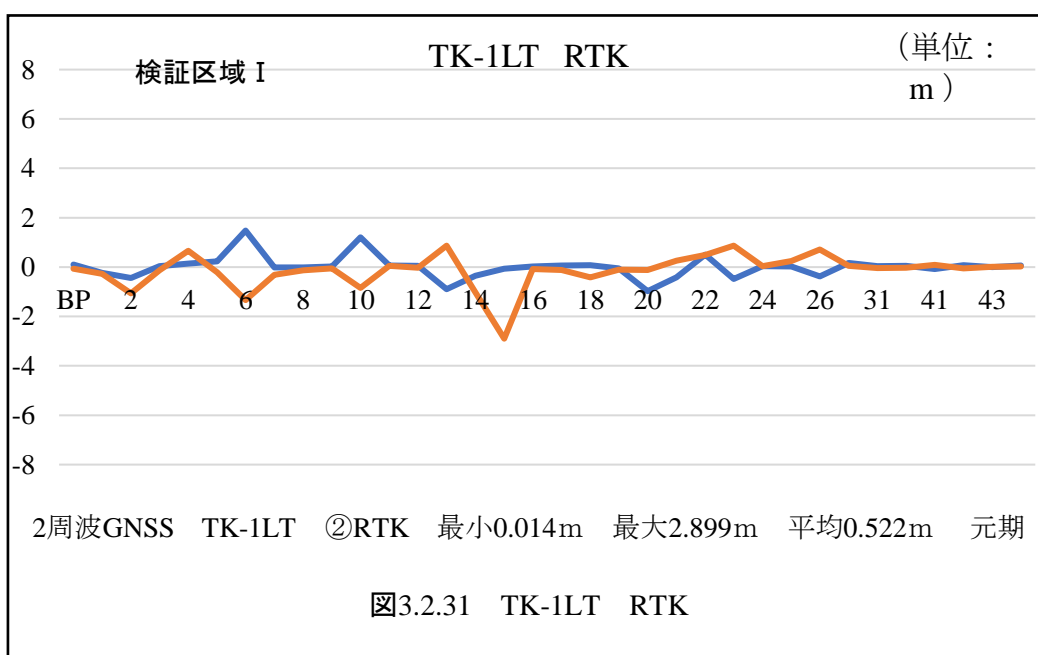
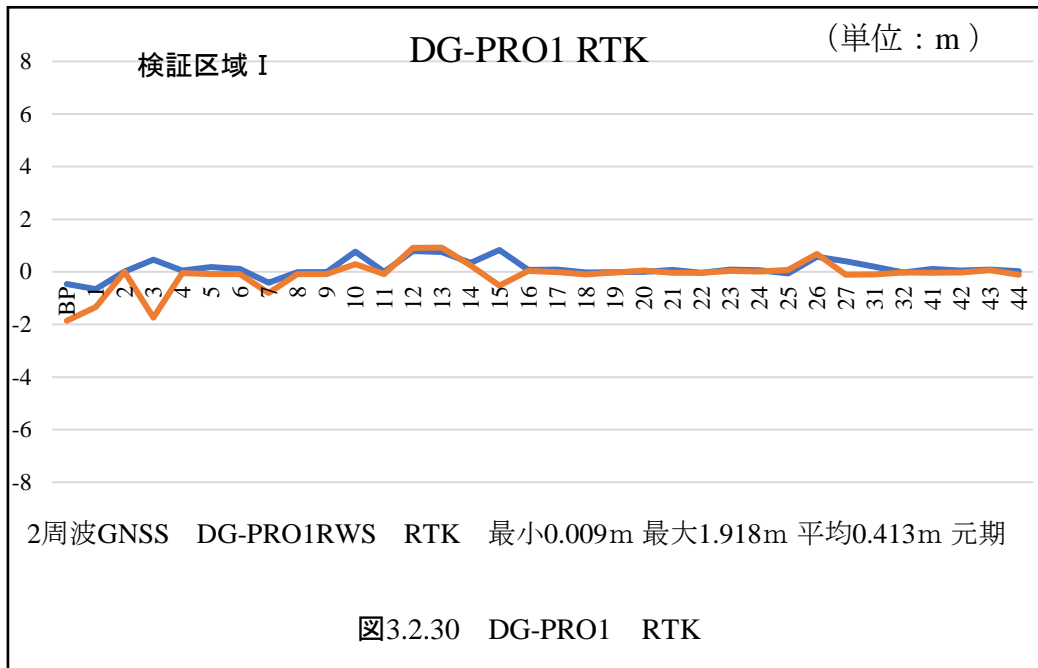


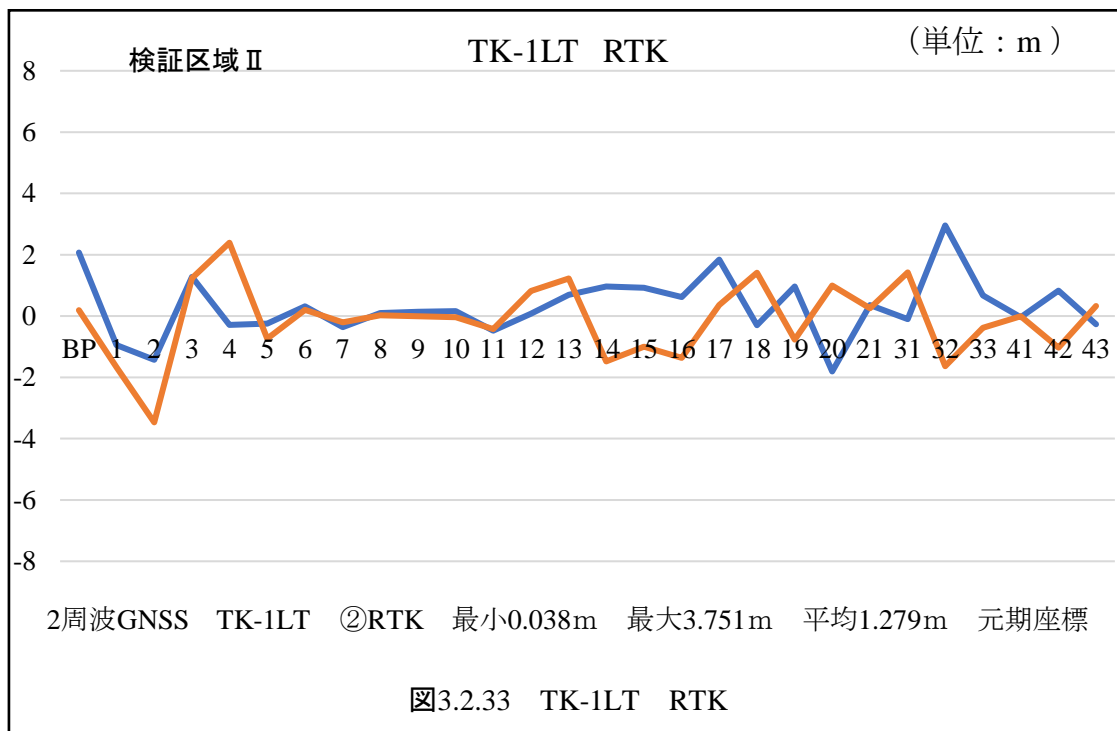
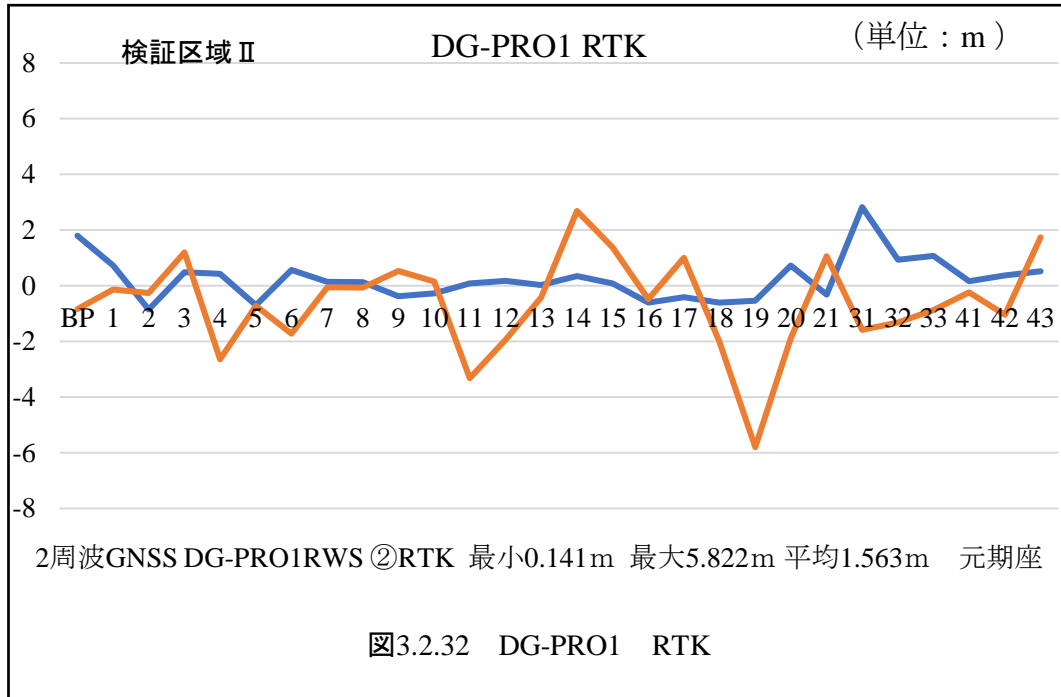


## (2) ネットワーク型 RTK

### 【計測方法】

- ① 測点到着後1分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測（10回平均値を採用）した。
- ② ネットワーク型 RTK は、携帯電話会社の高精度位置情報サービスによる電子基準点データ（元期座標）からの補正情報をインターネットを通じて利用しながら測位を実施した。

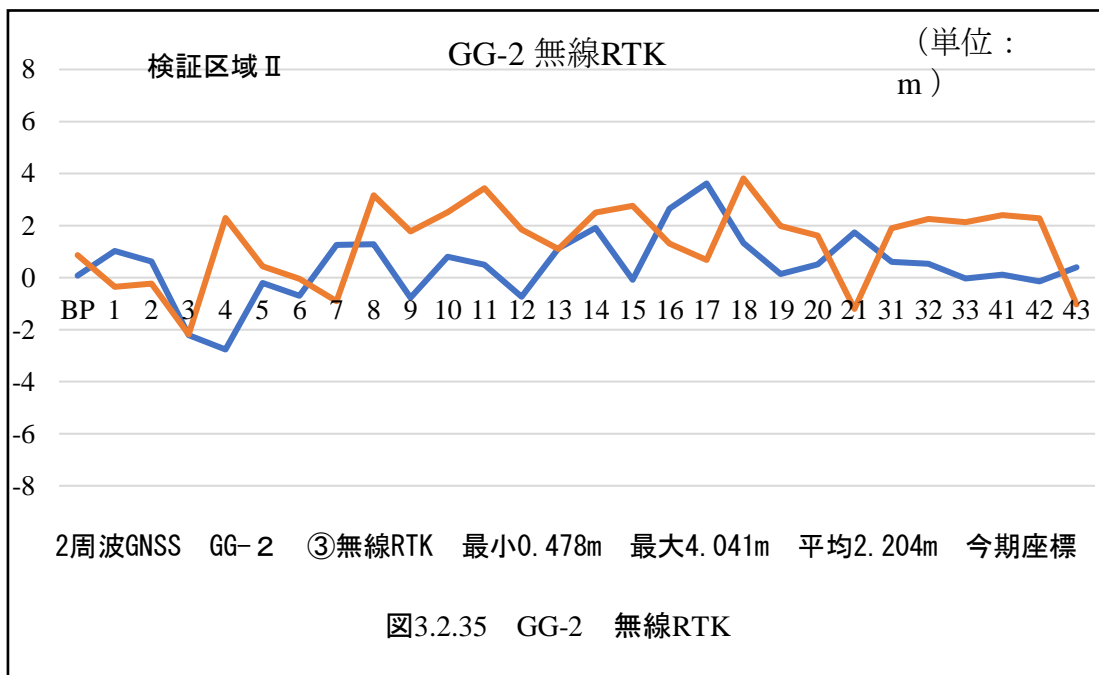
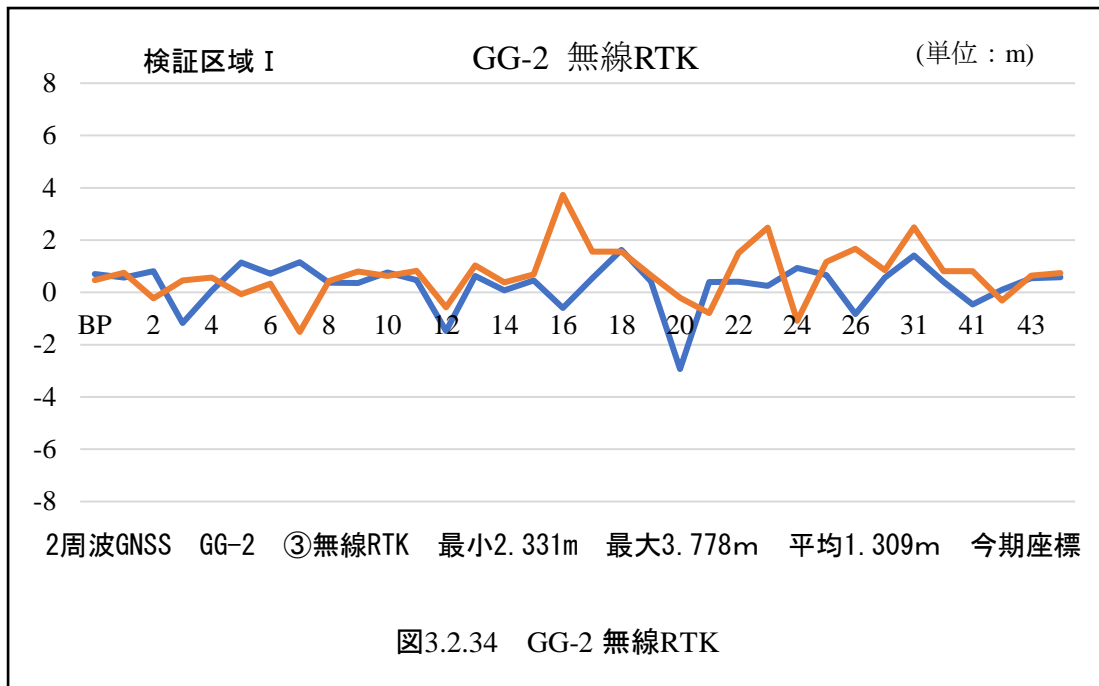




### (3) 無線 RTK

#### 【計測方法】

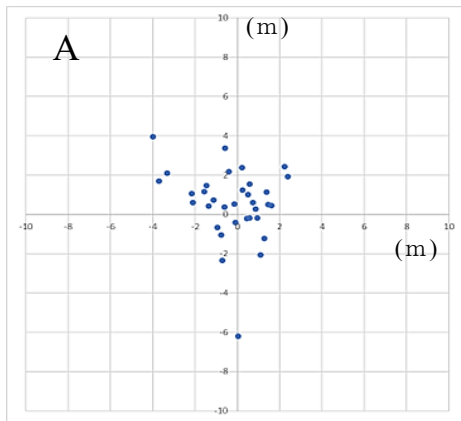
無線 RTK は、現地に基準局を置き、単独測位・SBAS で計測した今期座標を基準座標とした。移動局は無線で基準局と通信して RTK 測位を実施した。



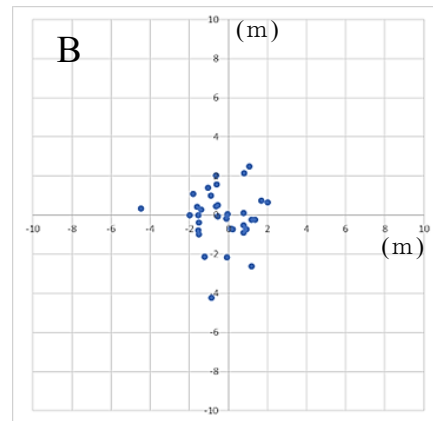
## 巻末資料（５）機種別・測位方式別の測位誤差の分布

以下、それぞれの検証区域における全測点のトータルステーション計測座標値（今期座標に変換）を 0 とし GNSS 計測の水平誤差を XY 座標（単位：m）で表したグラフを示す。

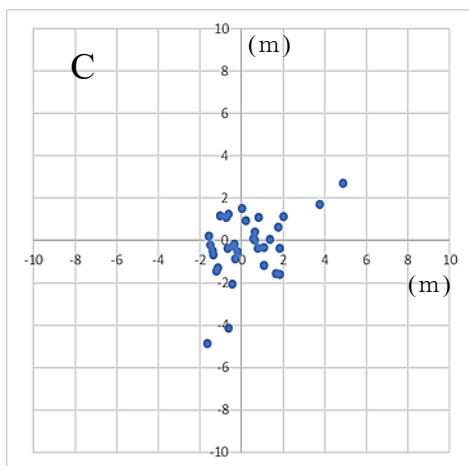
### （１）検証区域 I（34 測点） 【図 3.2-36】



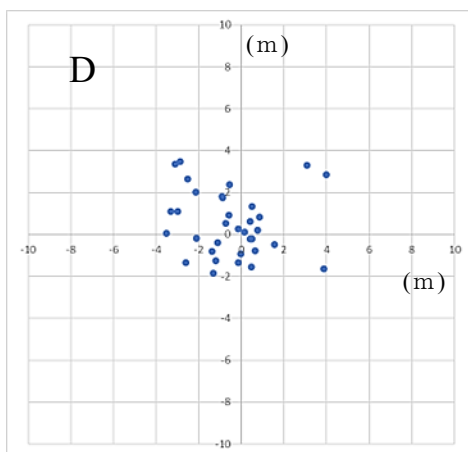
DG-PRO1RWS 単独・SBAS



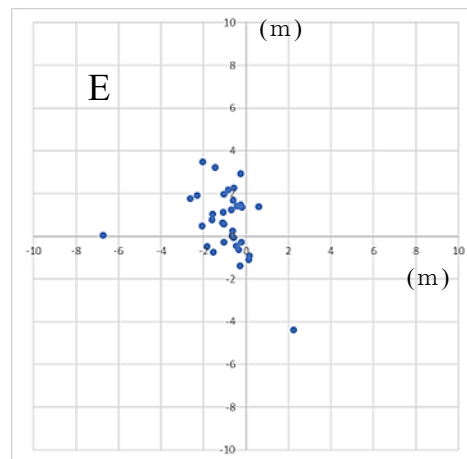
TK-1LT 単独・SBAS



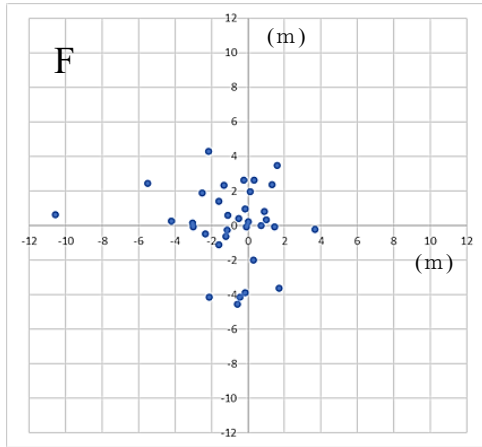
GG-2 単独・SBAS



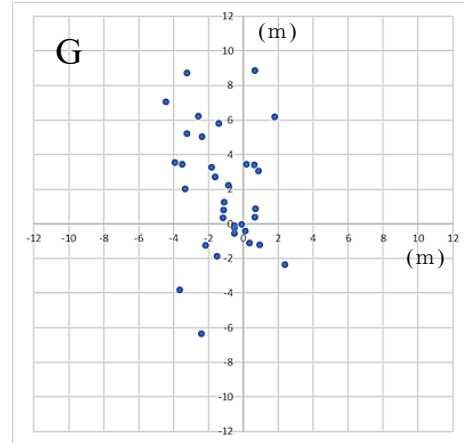
Cohac ∞10 単独～CLAS



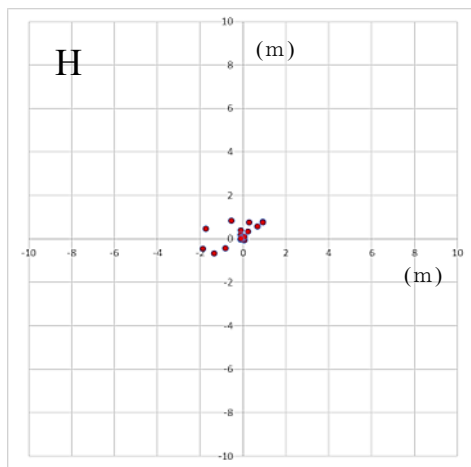
QZR-SP 単独～CLAS



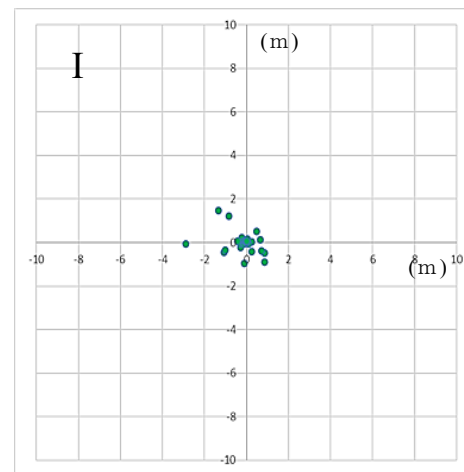
比較用 MM-50



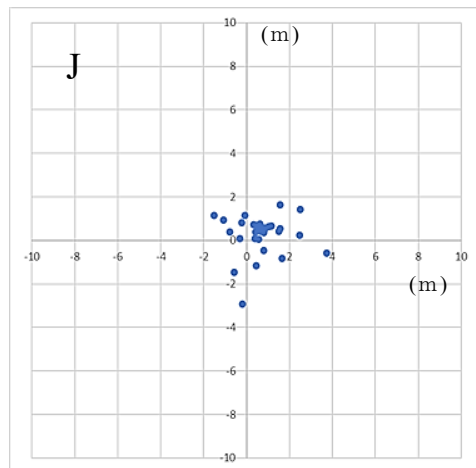
比較用 Map64csj



DG-PRO1RWS RTK

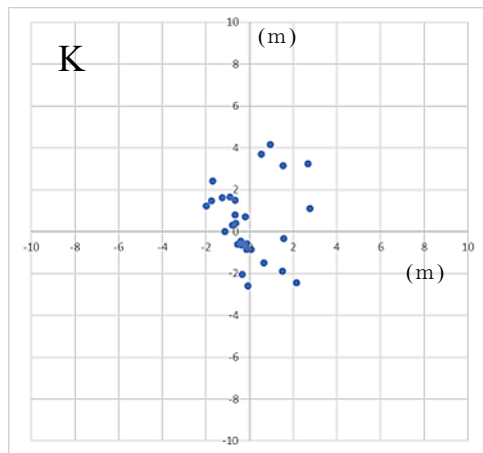


TK-1LT RTK

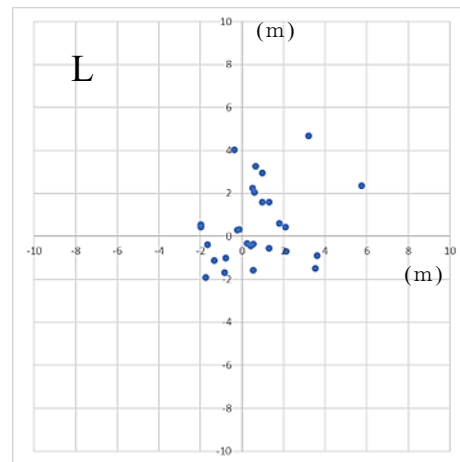


GG-2 無線RTK

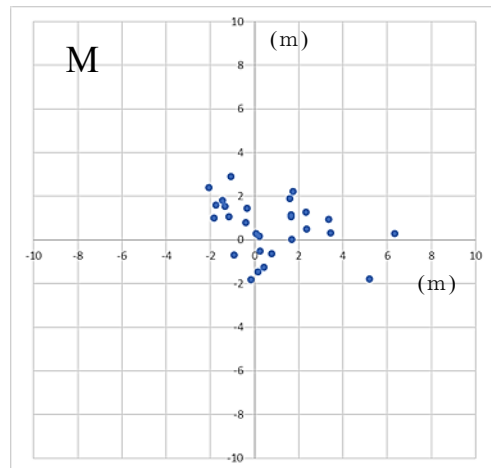
(2) 検証区域Ⅱ (28 測点) 【図 3.2.37】



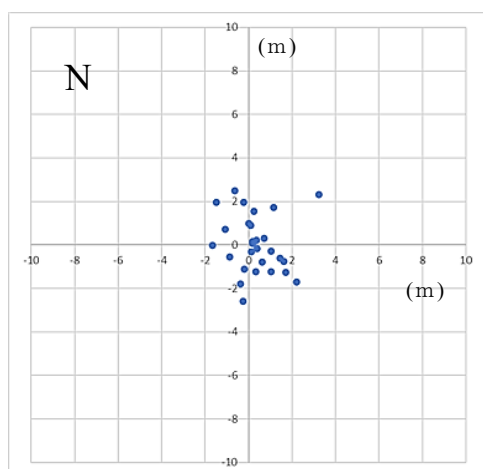
DG-PRO1RWS 単独・SBAS



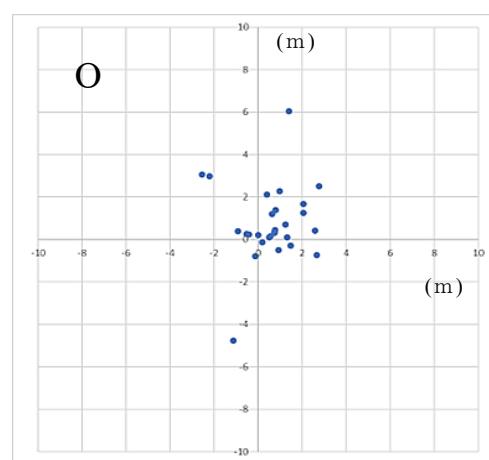
TK-1LT 単独・SBAS



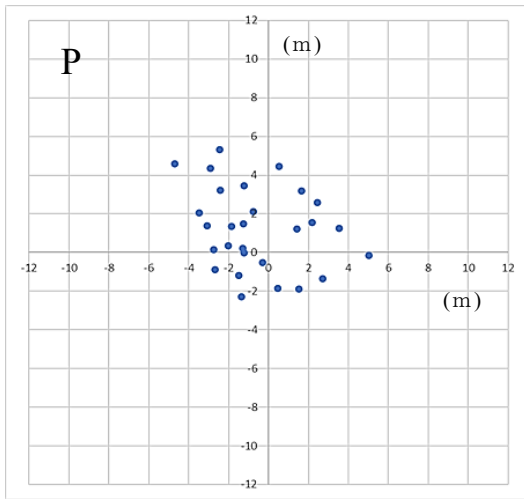
GG-2 単独・SBAS



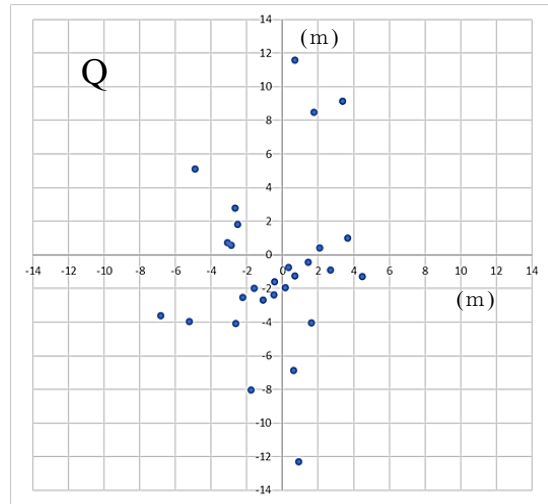
Cohac  $\infty$ 10 単独~CLAS



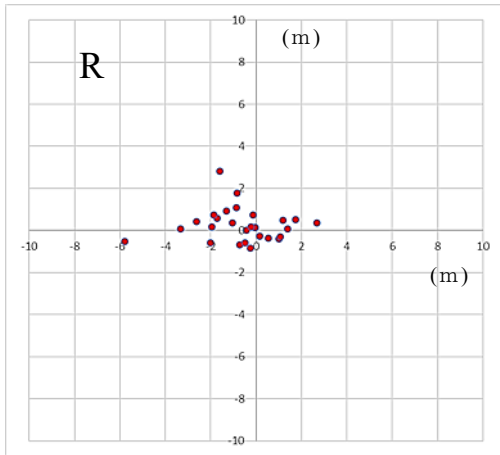
QZR-SP 単独~CLAS



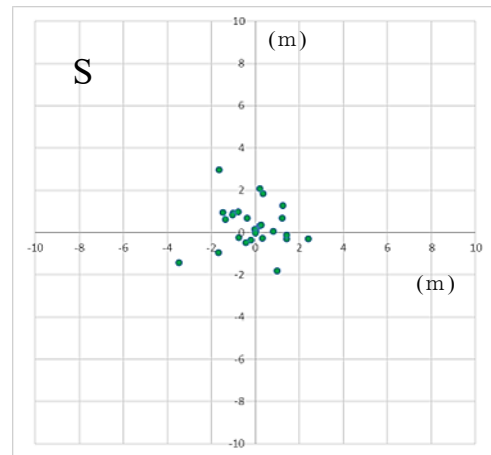
比較用 MM-50



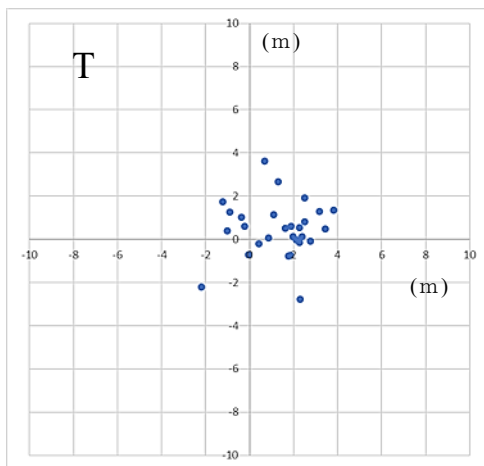
比較用 Map64csj



DG-PRO1 RTK



TK-1LT RTK



GG-2 無線RTK



## 巻末資料（6）機種別・測位方式別の面積精度の検証（区域対比図）

以下、それぞれの検証区域におけるトータルステーションの計測区域と GNSS 計測による計測区域の対比図を示す。

### （1）単独測位・SBAS・CLAS

#### 【計測方法】

測点到着後 1 分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測（10 回平均値を採用）した。

#### 検証区域 I

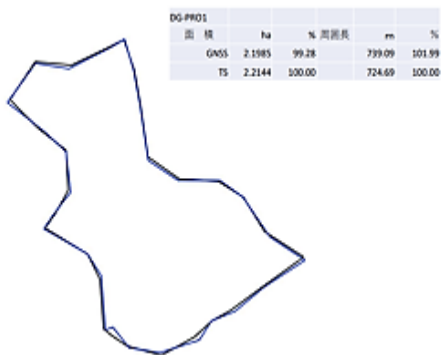


図 4.3.1 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS 単独・SBAS（青）とトータルステーション測量（黒）の対比

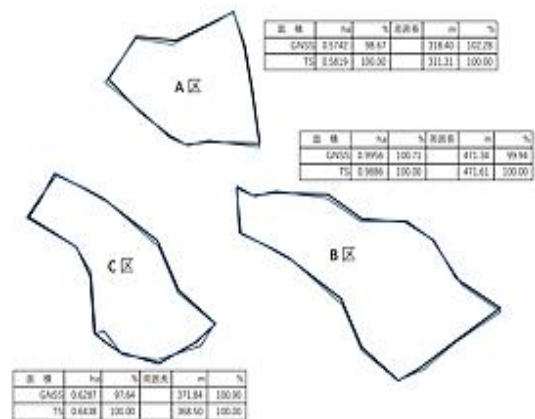


図 4.3.2 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS 単独・SBAS（青）とトータルステーション測量（黒）の対比

#### 検証区域 I



図 4.3.3 2 周波 GNSS TK-1LT 単独・SBAS（青）とトータルステーション測量（黒）の対比

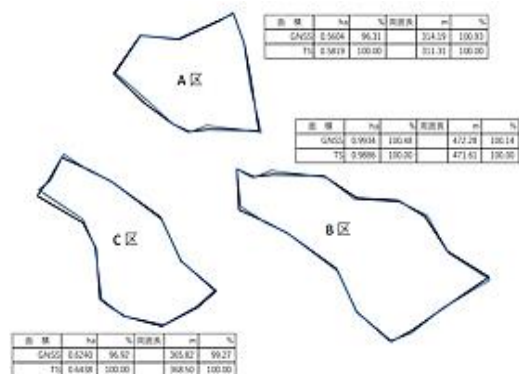


図 4.3.4 2 周波 GNSS TK-1LT 単独・SBAS（青）とトータルステーション測量（黒）の対比

検証区域 I

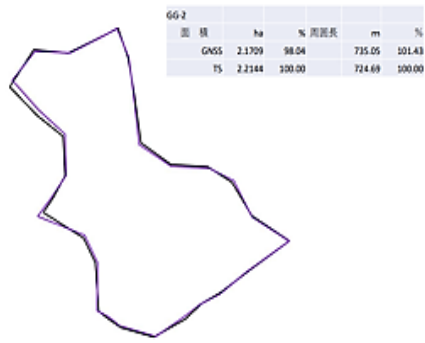


図 4.3.5 2 周波 GNSS GG-2 単独・SBAS (紫) とトータルステーション測量 (黒) の対比

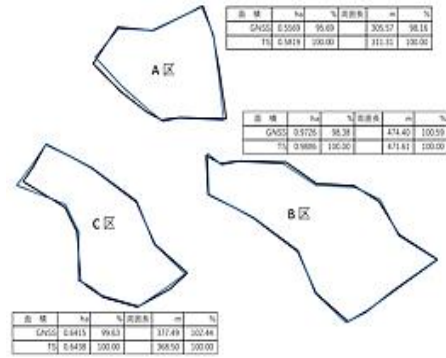


図 4.3.6 2 周波 GNSS GG-2 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

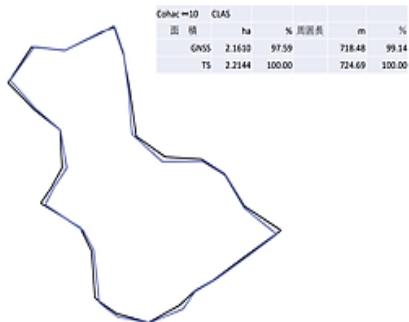


図 4.3.7 CLAS 対応 GNSS Cohac $\infty$  10 CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

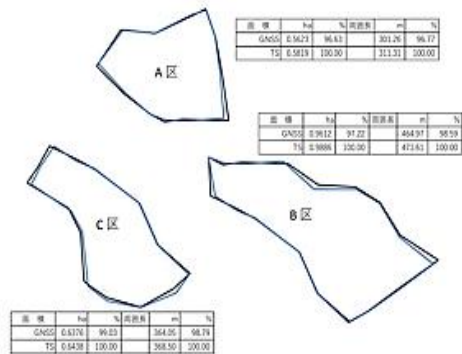


図 4.3.8 CLAS 対応 GNSS Cohac $\infty$  10 CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

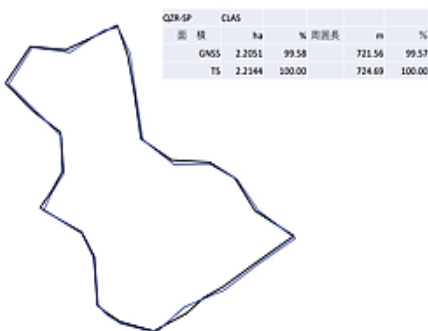


図 4.3.9 CLAS 対応 GNSS QZR-SP CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

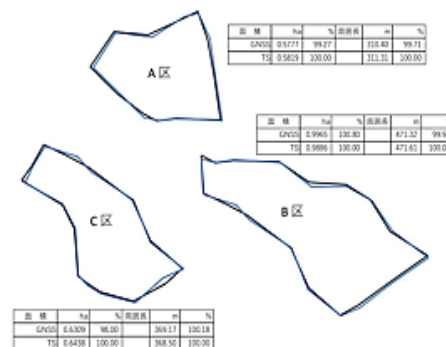


図 4.3.10 CLAS 対応 GNSS QZR-SP CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

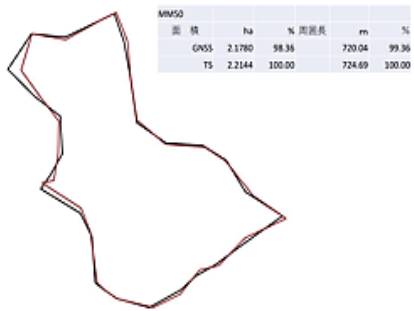


図 4.3.11 1 周波 GNSS MM50 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

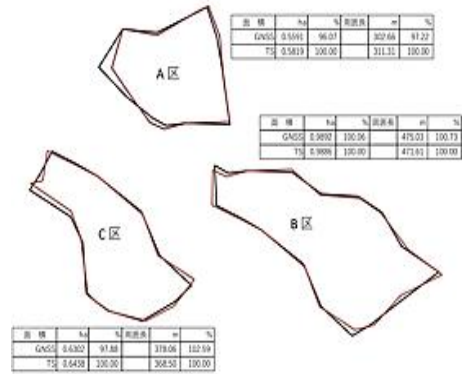


図 4.3.12 1 周波 GNSS MM50 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

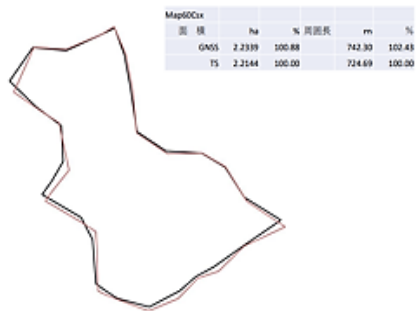


図 4.3.13 1 周波 GNSS ガーミン Map64scj(赤茶)とトータルステーション測量 (黒) の対比

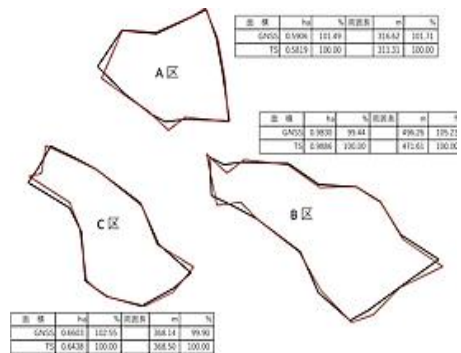


図 4.3.14 1 周波 GNSS ガーミン Map64scj (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

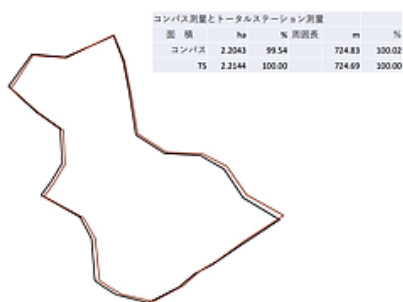


図 4.3.15 コンパス測量 (赤茶) トータルステーション測量 (黒) の対比



図 4.3.16 コンパス測量 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

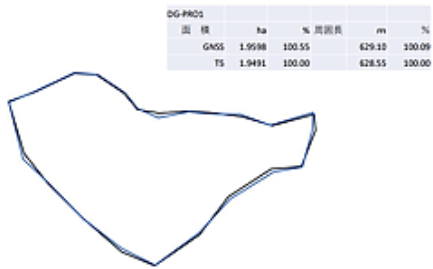


図 4.3.17 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

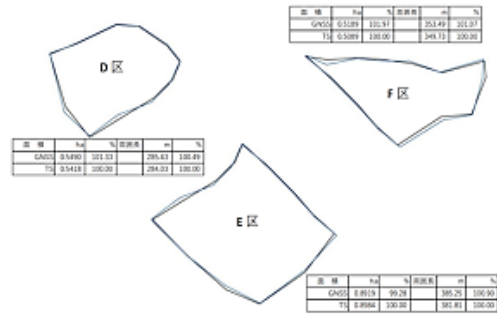


図 4.3.18 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

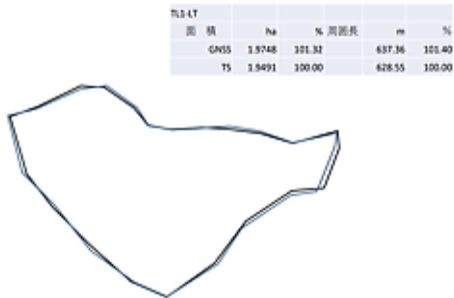


図 4.3.19 2 周波 GNSS TK-1LT 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

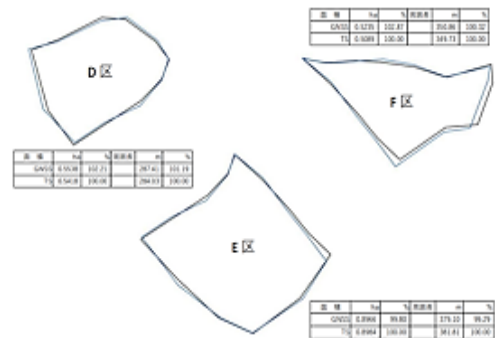


図 4.3.20 2 周波 GNSS TK-1LT 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

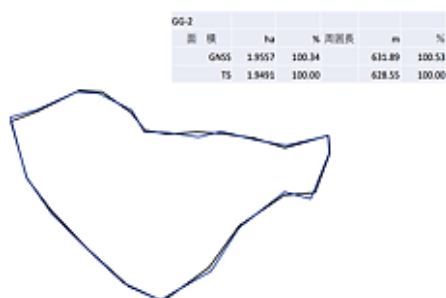


図 4.3.21 2 周波 GNSS GG-2 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

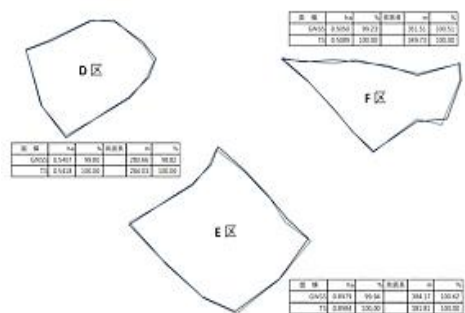


図 4.3.23 2 周波 GNSS GG-2 単独・SBAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

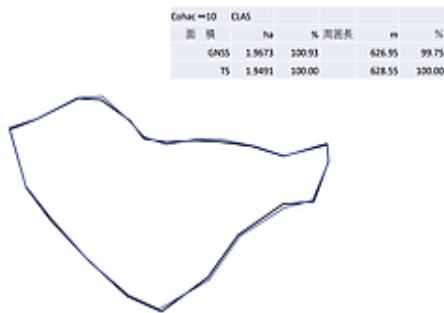


図 4.3.24 CLAS 対応 GNSS Cohac $\infty$ 10 CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比



図 4.3.25 CLAS 対応 GNSS Cohac $\infty$ 10 CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

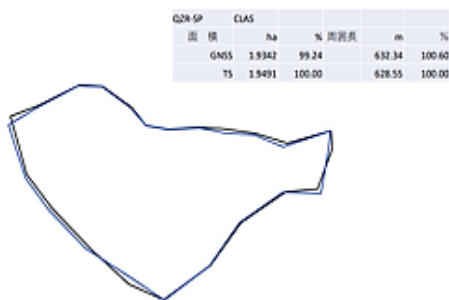


図 4.3.26 CLAS 対応 GNSS QZR-SP CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

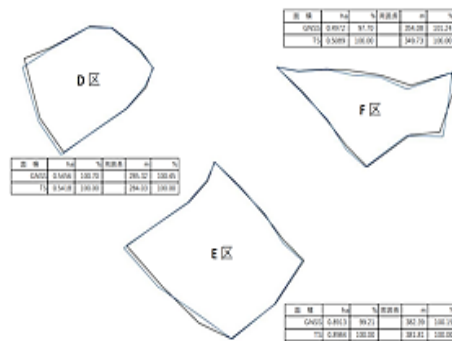


図 4.3.27 CLAS 対応 GNSS QZR-SP CLAS (青) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ



図 4.3.28 1周波 GNSS MM50 (茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

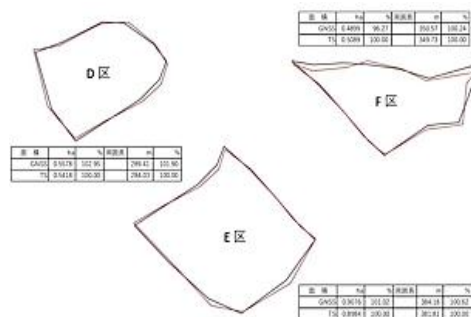


図 4.3.29 1周波 GNSS MM50 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

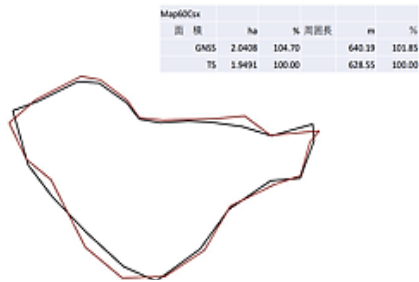


図 4.3.30 1周波 GNSS ガーミン Map64scj (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

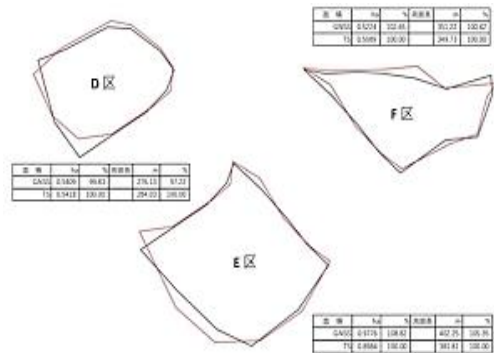


図 4.3.31 1周波 GNSS ガーミン Map64scj (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域Ⅱ

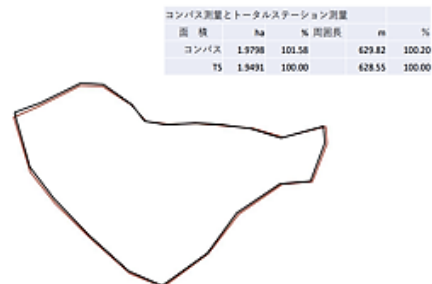


図 4.3.32 コンパス測量 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

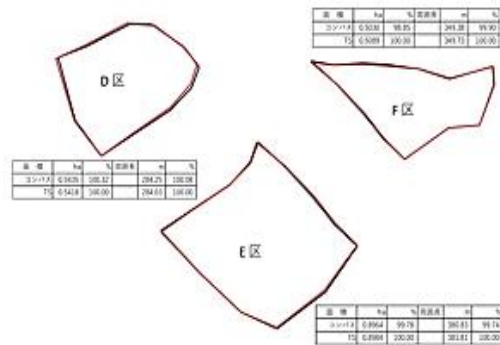


図 4.3.33 コンパス測量 (赤茶) とトータルステーション測量 (黒) の対比

## (2) ネットワーク型 RTK

### 【計測方法】

- ① 測点到着後 1 分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測（10 回平均値を採用）した。
- ② ネットワーク型 RTK は、携帯電話会社の高精度位置情報サービスによる電子基準点データ（元期座標）をインターネットを通じて利用しながら測位を実施した。

### 検証区域 I

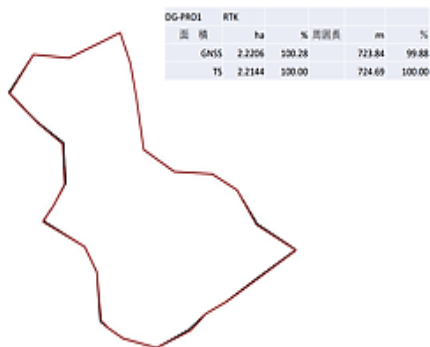


図 4.3.34 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

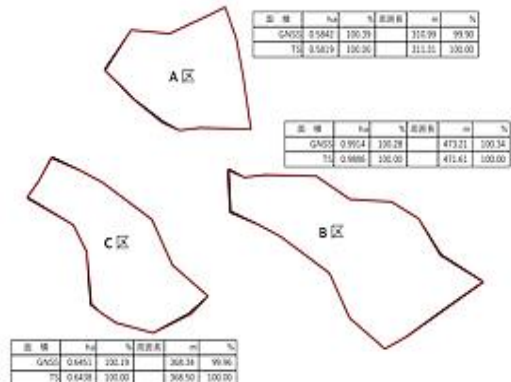


図 4.3.35 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

### 検証区域 I

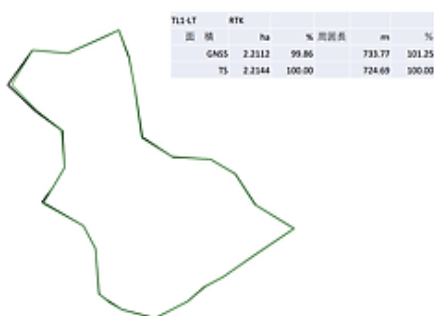


図 4.3.36 2 周波 GNSS TK-1LT RTK (緑) とトータルステーション測量 (黒) の対比

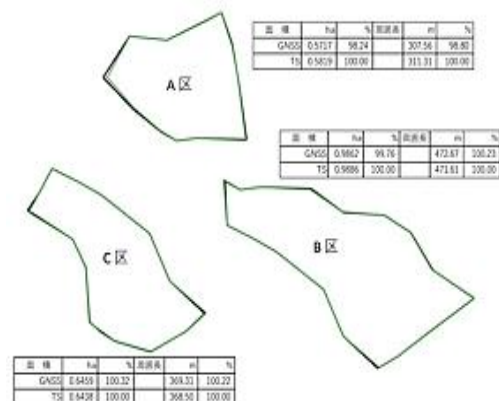


図 4.3.37 2 周波 GNSS TK-1LT RTK (緑) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 I

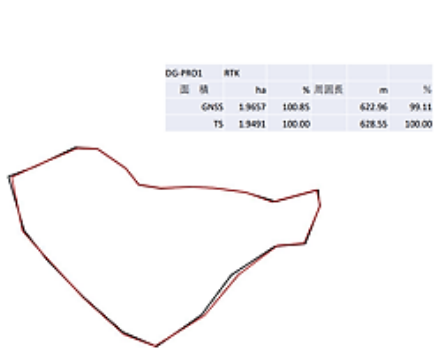


図 4.3.38 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

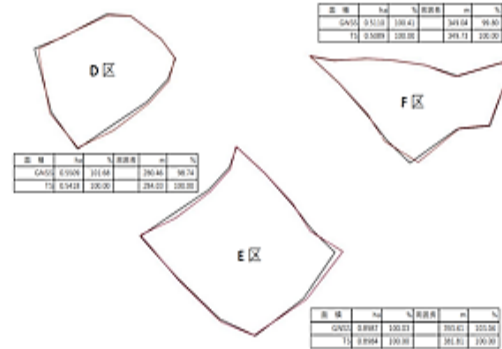


図 4.3.39 2 周波 GNSS DG-PRO1RWS RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

検証区域 II



図 4.3.40 2 周波 GNSS TK-1LT RTK (緑) とトータルステーション測量 (黒) の対比



図 4.3.41 2 周波 GNSS TK-1LT RTK (緑) とトータルステーション測量 (黒) の対比



### (3) 無線 RTK

#### 【計測方法】

- ① 測点到着後 1 分ほど経過してから計測を開始、座標の揺れや指標値を確認しつつ計測（10 回平均値を採用）した。
- ② 無線 RTK は、現地に基準局を置き、単独測位・SBAS で計測した今期座標を基準座標とした。移動局は無線で基準局と通信して RTK 測位を実施した。

#### 検証区域 I

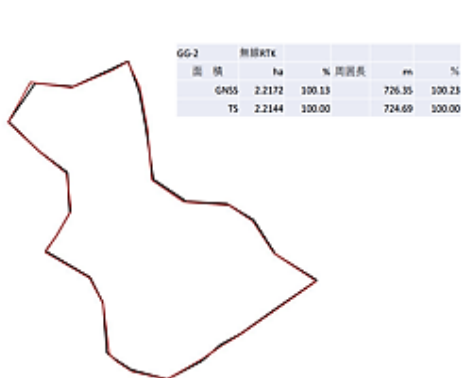


図 4.3.42 2 周波 GNSS GG-2 無線 RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

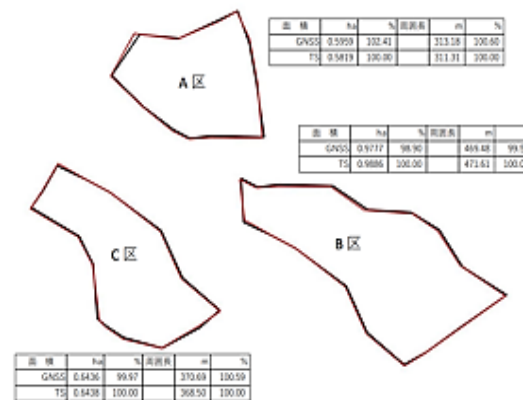


図 4.3.43 2 周波 GNSS GG-2 無線 RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

#### 検証区域 II

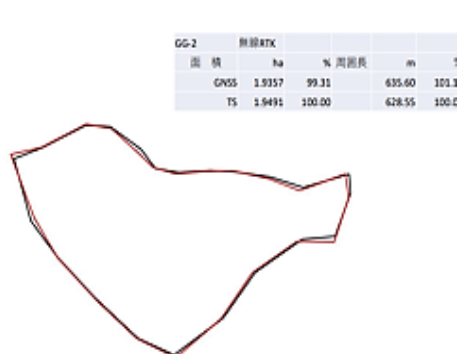


図 4.3.44 2 周波 GNSS GG-2 無線 RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

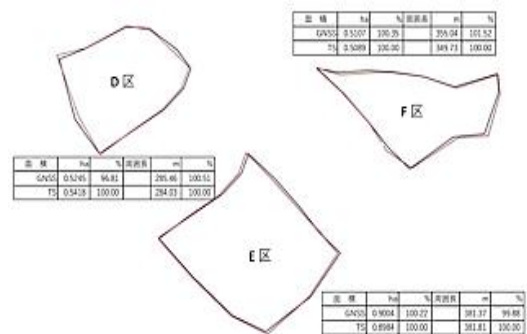


図 4.3.45 2 周波 GNSS GG-2 無線 RTK (赤) とトータルステーション測量 (黒) の対比

### (参 考) 開空率や指標値と計測座標の水平誤差の関係

開空率や指標値を横軸にとり、計測座標の水平誤差を縦軸にとったグラフを参考まで添付する。計測された開空率や指標値の範囲が狭く、これらのデータだけでは相関は不明である。

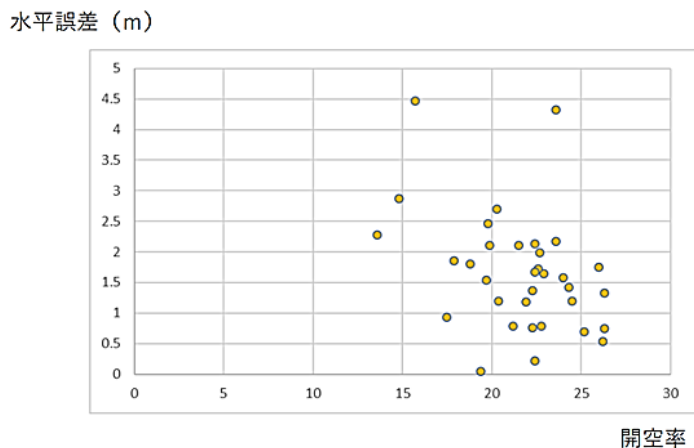


図 3.2.38 開空率と一座標の水平誤差との関係の例 (検証区域 I TK-1LT 計測例)

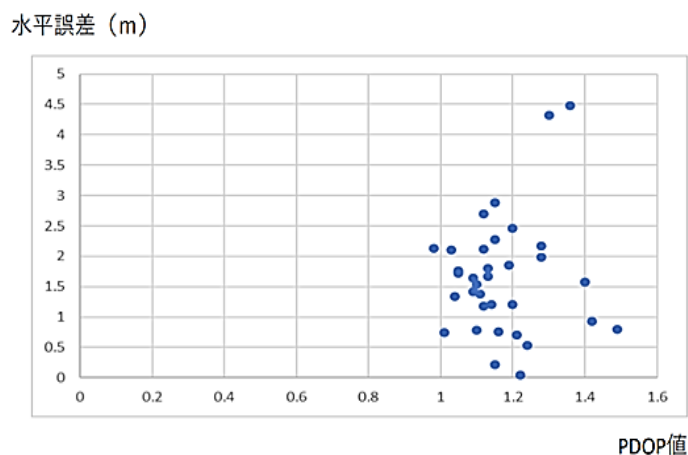


図 3.2.39 PDOP 値と位置座標の水平誤差との関係の例 (検証区域 II TK-1LT 計測例)

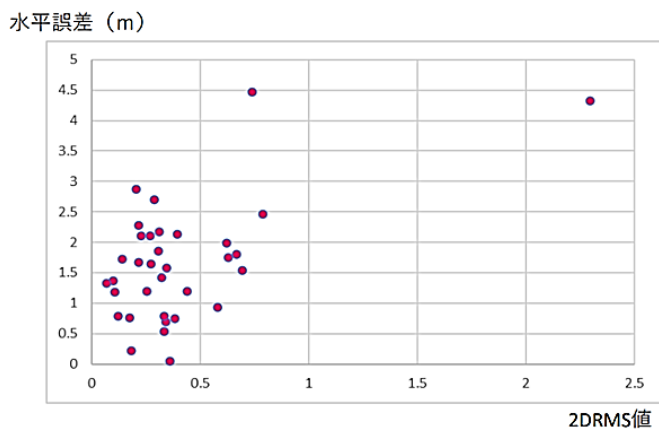


図 3.2.40 2DRMS 値と位置座標の水平誤差との関係の例 (検証区域 II TK-1LT 計測例)

令和4年度収穫調査へのリモートセンシング技術の導入検証等  
委託事業報告書

令和5年3月

業務受託：一般財団法人日本森林林業振興会

〒112-0004 東京都文京区後楽一丁目7番12号

TEL：03-3816-2471

担当：中村 毅