

3.3.2.4 UAVレーザ計測の展望

今回の検証で、UAV レーザの計測精度は問題なく使用できるレベルであった。森林内の境界点の識別に関しても、対空標識とその表面に反射素材を用いるなどの工夫をすることにより 20%程度の上空視界でも識別できることが分かった。

問題点としては、UAV の計測は条件が良ければ短時間の飛行で実施できるが、準備作業としての対空標識の設置に時間と労力が必要であった。また、飛行可能な時間が短いため、計測範囲が発着場所から半径 1km 程度になってしまうことと、森林の奥での計測はまだまだ難しいことが改めて確認された。

但し、UAV 機器の発展は日進月歩であり機材の軽量化とバッテリーの性能の向上により、航続距離・時間の問題はいずれ解決されると考えられる。

3.3.3 GNSS による計測の検証

1993 年に米国の GPS 衛星 24 基の初期配置が整い運用が開始されて以来現在では、GLONASS（ロシア）、Galileo（EU）、QZSS（日本）等で約 130 基の測位衛星が運用されている。当初はかなり高価であった受信機も、現在ではスマートフォン、カーナビゲーションに搭載されるほど普及している。

国内では電子基準点を活用した GNSS 連続観測システム（GEONET）が 1994 年より運用開始され衛星測位が一般的な測量手法として使用されるようになった。GNSS の観測方法は、スタティック、キネマティック、リアルタイムキネマティック（RTK）、ネットワーク型 RTK（VRS）等様々な方法があり、それぞれ観測時間や精度も異なっている。

国有林野の境界点は森林内に多く存在するため、GNSS での高精度な計測が困難な場所であるがそのような条件でも効率よく観測できる方法の検証を行った。

3.3.3.1 GNSS による検証地区一上空視界

下図（図 3.3-35）は今回の検証範囲内の境界点を、衛星写真を背景にプロットしたものである。境界点は南東から北西に連なる一つの測系（線）であり中間部分は奥深い森林になっていることが示されている。



図 3.3-35 GNSS の検証地区（安中市）

境界点の観測を GNSS で行う場合、上空視界が開けていることが必要であるが、国有林野の境界点は森林の中が多いため観測に適した場所を見つけることが難しい。起点付近は境界点の北側が開けており、広い道路に接している。終点側は細い林道沿いに存在するが、上空視界は狭い状態である。一方、先に記した通り中間部分は奥深い森林で GNSS での観測は困難であった。

通常 GNSS の観測では 15 度以上の上空視界を確保する必要がある。そのため、起点側①では問題ないが、終点側②はかなり上空視界が狭いため GNSS 観測が困難であることが予想される。このような状況下でも GNSS による観測ができるのか検証を行った(図 3.3-36)。



図 3.3-36 GNSS の観測点と上空視界

3.3.3.2 スタティック観測（静止観測）の検証

観測点は後にトータルステーションで境界点が観測できるように、起点側①と終点側②に各 2 点の基準点を設け観測を行った。観測方法はスタティック法で、電子基準点のみを既知点とする観測を行う。検証地区は電子基準点との距離が 10km を超えるため、2 時間以上の観測を行った。受信する衛星の設定は 6 個以上となるが、上空視界が悪く 6 個未満になると観測が停止するため、計算処理に必要な観測記録取得のために最小衛星数の設定は行わなかった。



図 3.3-37 GNSS による取付け点の観測（左：起点側、右：終点側）

なお、林野庁測定規程では電子基準点のみを既知点とするスタティック法では、1・2 級図根点のみ行うことができる。2 級図根点の標準点間距離は 500m だが、森林地域でこの距離を確保することは困難である。図 3.3-38 の通り、地形の関係で起点側①での観測距離は 250m（3 級図根点相当）、終点側②での観測距離は 50m（4 級図根点相当）しかとることができなかった。3・4 級図根点測量では上位の図根点を既知点とするため、付近に既設の図根点がない場合は、1・2 級図根点測量から行わなければならないことになる。

これを考慮すると、地形上の制約の多い森林地域では直接 3・4 級図根点測量を行うことは困難で、1・2 級図根点測量から行わなければならない、作業効率が極端に悪くなる。そこで、精度管理表で 1・2 級図根点測量の許容範囲を満たしていることを確認したうえで、3・4 級図根点測量相当の観測距離でも電子基準点のみを既知点とできるよう林野庁測定規程に注記すべきである。

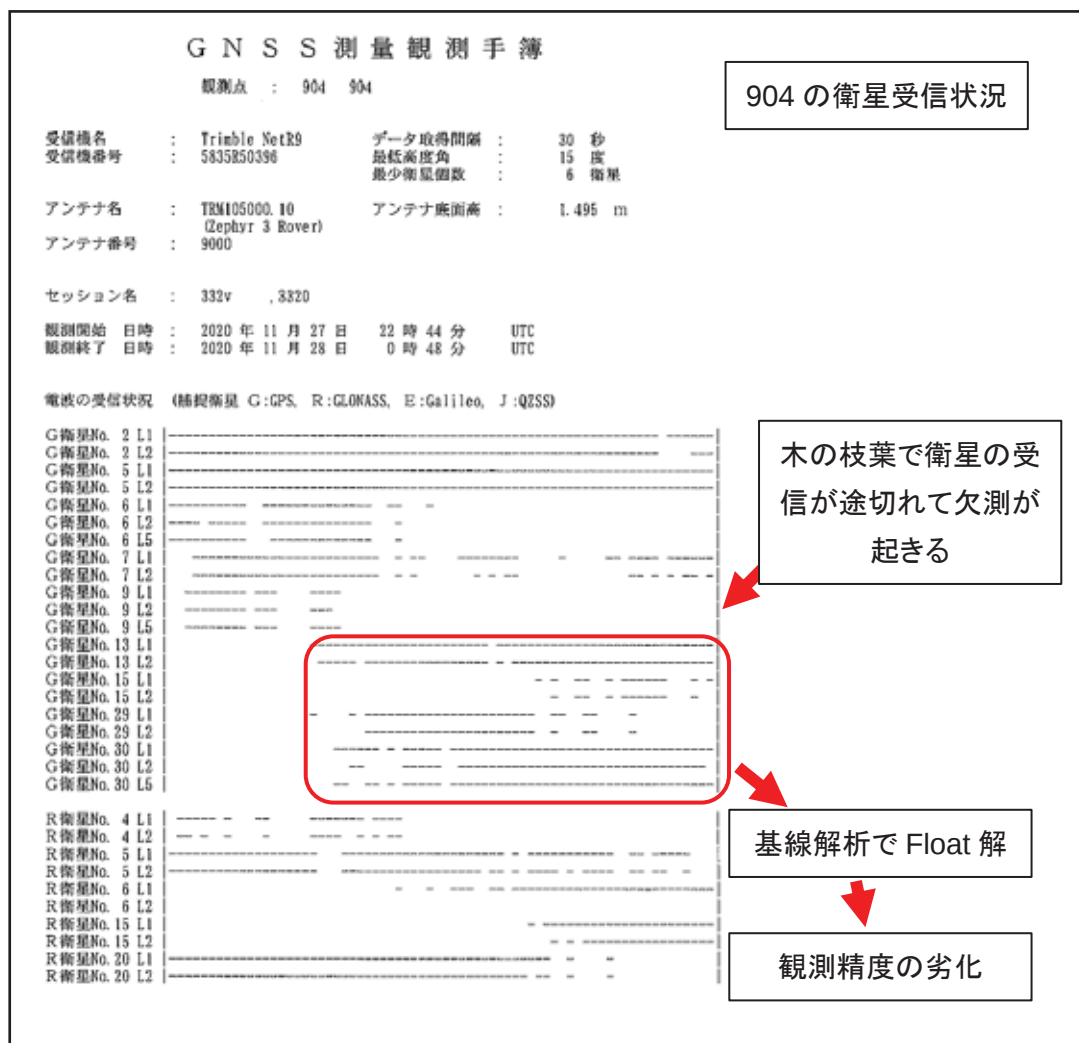


図 3.3-39 GNSS 観測手簿 (欠測の事例)

図 3.3-39 のように衛星の受信が途切れても、ある程度は基線解析プログラムで自動修正できるが、頻繁に発生すると基線解析の結果が Fix せずに Float してしまう。Float 解は標準偏差が制限値を超過した状態である (図 3.3-40)。使用したデータ数も、Fix した場合は使用データ数 4200 (図 3.3-41) と Float した場合の 1029 (図 3.3-41) と比較して 4 倍である。Float 解となった理由は解析に使用できるデータが少ないことが原因と考えられる。

Float した基線ベクトルは、精度が悪いので 3 次元網平均計算には使用できないが、Fix した基線ベクトルでも全てが良好というわけではない (表 3.3-4)。

G N S S 測 量 観 測 記 簿									
解析ソフトウェア		: Trimble Business Center - Japan Survey Lite Version 1.5.4.0							
使用した軌道情報		: 放送暦							
使用した楕円体		: G R S 8 0							
使用した周波数		: GPS & GLONASS & QZSS & Galileo L1,L2,L5							
基線解析モード		: Single							
セッション名		: 332v							
解析使用データ 開始		: 2020年11月28日		7時44分		JST			
終了		: 2020年11月28日		9時48分		JST			
最低高度角		: 15 度							
気圧		: 1013 hPa		温度		: 20 °C		湿度 : 50 %	
観測点 1: 955		群馬				観測点 2: 904		904	
受信機名 (No.)		: Topcon NETG5 (				受信機名 (No.)		: Trimble NetR9	
アンテナ名 (No.)		: TRM59800.80 GSI(				アンテナ名 (No.)		: TRM105000.10	
P C V 補正 (Ver.)		: 有り (08/05/07)				P C V 補正 (Ver.)		: 有り	
アンテナ底面高		= 0.000 m				アンテナ底面高		= 1.495 m	
起 点		:				終 点		:	
緯 度		= 36° 23' 43.24839"				緯 度		= 36° 19' 16.45808"	
経 度		= 139° 1' 0.17947"				経 度		= 138° 45' 7.04972"	
楕円体高		= 178.223 m				楕円体高		= 421.340 m	
座標値 X =		-3880368.029 m				座標値 X =		-3868561.650 m	
座標値 Y =		3371165.335 m				座標値 Y =		3392403.612 m	
座標値 Z =		3763698.733 m				座標値 Z =		3757219.963 m	
解析結果									
解の種類		: Float				バイアス決定比		: nan	
観測点	観測点	DX		DY		DZ		斜距離	
1	2	11806.379 m		21238.276 m		-6478.770 m		25148.149 m	
	標準偏差	1.398E-0		6.346E-1		3.759E-1		1.084E-0	
観測点	観測点	方位角		高度角		測地線長		楕円体比高	
1	2	250° 59' 23.16"		0° 26' 27.76"		25145.791 m		243.117 m	
2	1	70° 49' 58.12"		-0° 40' 0.38"					
分散・共分散行列									
		DX		DY		DZ			
DX		1.9531729E-000							
DY		4.2827523E-001		4.0275681E-001					
DZ		-3.9049685E-001		-3.1226078E-002		1.4131498E-001			
使用したデータ数		: 1029		棄却したデータ数		: 0		棄却率 : 0.0 %	
使用したデータ間隔		: 30 秒							

図 3.3-40 GNSS 観測記録簿-Float 解

G N S S 測 量 観 測 記 簿

解析ソフトウェア : Trimble Business Center - Japan Survey Lite Version 1.5.4.0
 使用した軌道情報 : 放送暦
 使用した楕円体 : GRS80
 使用した周波数 : GPS & GLONASS & QZSS & Galileo L1,L2,L5
 基線解析モード : Single

セッション名 : 332v
 解析使用データ 開始 : 2020年11月28日 7時14分 JST
 終了 : 2020年11月28日 9時24分 JST
 最低高度角 : 15 度
 気圧 : 1013 hPa 温度 : 20 °C 湿度 : 50 %

観測点 1: 955 群馬 受信機名 (No.) : Topcon NETG5 () アンテナ名 (No.) : TRM59800.80 GSI () PCV補正 (Ver.) : 有り (08/05/07) アンテナ底面高 = 0.000 m 起 点 : 緯 度 = 36° 23' 43.24839" 経 度 = 139° 1' 0.17947" 楕円体高 = 178.223 m 座標値 X = -3880368.029 m 座標値 Y = 3371165.335 m 座標値 Z = 3763698.733 m	観測点 2: 901 901 受信機名 (No.) : Trimble NetR9 アンテナ名 (No.) : TRM105000.10 PCV補正 (Ver.) : 有り アンテナ底面高 = 1.524 m 終 点 : 緯 度 = 36° 18' 50.95803" 経 度 = 138° 45' 49.12669" 楕円体高 = 432.637 m 座標値 X = -3869610.541 m 座標値 Y = 3391927.250 m 座標値 Z = 3756593.293 m
--	--

解析結果

解の種類 : Fix (L1, L2, L5) パイアス決定比 : 100.000

観測点	観測点	DX	DY	DZ	斜距離
1	2	10757.489 m	20761.914 m	-7105.441 m	24439.066 m
	標準偏差	2.754E-2	2.507E-2	2.711E-2	6.067E-3

観測点	観測点	方位角	高度角	測地線長	楕円体比高
1	2	248° 26' 24.97"	0° 29' 12.37"	24436.570 m	254.414 m
2	1	68° 17' 24.91"	-0° 42' 22.17"		

分散・共分散行列

	DX	DY	DZ
DX	7.5841742E-004		
DY	-6.4989697E-004	6.2865776E-004	
DZ	-7.0327317E-004	6.4763351E-004	7.3495554E-004

使用したデータ数 : 4200 棄却したデータ数 : 21 棄却率 : 0.5 %
 使用したデータ間隔 : 30 秒

図 3.3-41 GNSS 観測記簿-Fix 解

表 3.3-4 三次元網平均計算-精度管理表（初期状態）

基線解析辺			仮定三次元網平均						三次元網平均計算	
測点名		辺長 (斜距離)	ΔX		ΔY		ΔZ		斜距離の残差	
自:	至:		残差	許容範囲	残差	許容範囲	残差	許容範囲	残差	許容範囲
富岡	901	11002.144							0.034	0.080
903	904	49.977							0.125	0.080
902	901	236.599							-0.010	0.080
902	903	1066.733							-0.042	0.080
901	904	1312.588							-0.051	0.080
902	904	1101.636							-0.024	0.080
軽井沢	903	10671.117							0.107	0.080
軽井沢	904	10627.005							0.030	0.080
軽井沢	901	11858.855							0.023	0.080
群馬	902	24468.932							-0.046	0.080
群馬	901	24439.066							0.016	0.080
群馬	903	25099.039							0.194	0.080

新点位置の標準偏差				
新点名	水平位置		標高	
	標準偏差	許容範囲	標準偏差	許容範囲
901	MB 0.080		MH 0.139	0.200
901	MT 0.080			
	MS 0.113	0.100		
902	MB 0.095		MH 0.166	0.200
902	MT 0.095			
	MS 0.134	0.100		
903	MB 0.091		MH 0.159	0.200
903	MT 0.091			
	MS 0.128	0.100		
904	MB 0.095		MH 0.166	0.200
904	MT 0.095			
	MS 0.134	0.100		

① 斜距離の残差が許容範囲を超えている

② そのため水平位置の標準偏差が許容範囲を超えてしまった。

③ ①の超過した基線ベクトルを除去して再度、3次元網平均計算を行う。

表 3.3-4 は、Float 解を含む初期状態の基線解析で得られた基線ベクトルで 3 次元網平均計算を行った結果である（精度管理表の一部）。表の右端に示される斜距離の残差を見ると 1 級図根点測量許容範囲 0.080m を超過した箇所が 3 か所あり、左下に表示されている新点位置の標準偏差も 1 級図根点測量許容範囲である 0.100m を超過している。

そこで、3 点の中から精度の悪い基線ベクトルを除去して編集を行い、再度 3 次元網平均計算を行った結果が表 3.3-5 である。全て許容範囲に収まり、標高値の精度も向上している。

以上のように上空視界が 30% と悪い状況でも、悪い基線の除去等の編集を行うことにより高精度の結果を得ることができた。取付け観測としては十分な精度である。

表 3.3-5 三次元網平均計算-精度管理表（編集後）

基線解析辺			仮定三次元網平均						三次元網平均計算	
測点名		辺長 (斜距離)	ΔX		ΔY		ΔZ		斜距離の残差	
自:	至:		残差	許容範囲	残差	許容範囲	残差	許容範囲	残差	許容範囲
富岡	902	11212.314							-0.008	0.080
富岡	901	11002.144							-0.003	0.080
富岡	903	12278.593							-0.020	0.080
富岡	904	12312.575							-0.026	0.080
902	901	236.599							0.002	0.080
903	901	1280.962							-0.010	0.080
902	903	1066.733							0.004	0.080
901	904	1312.588							-0.006	0.080
902	904	1101.636							0.010	0.080
軽井沢	903	10671.117							-0.006	0.080
軽井沢	904	10627.005							-0.078	0.080
軽井沢	902	11684.880							-0.004	0.080
軽井沢	901	11853.855							-0.012	0.080
群馬	902	24468.932							-0.008	0.080
群馬	901	24439.066							0.008	0.080

新点位置の標準偏差				
新点名	水平位置		標高	
	標準偏差	許容範囲	標準偏差	許容範囲
901	MB 0.005		MH 0.033	0.200
901	ML 0.005			
	MS 0.007	0.100		
902	MB 0.005		MH 0.033	0.200
902	ML 0.005			
	MS 0.007	0.100		
903	MB 0.010		MH 0.043	0.200
903	ML 0.009			
	MS 0.013	0.100		
904	MB 0.007		MH 0.047	0.200
904	ML 0.008			
	MS 0.011	0.100		

上空視界 30%程度でも、
許容範囲に収まり
一定水準の精度を得た

なお、同様の検証を上空視界 10%の境界点上でも行い解析を試みたが、許容値内の精度を得ることはできなかった。

3.3.3.3 スタティック観測以外の観測方法の検証

GNSS によるスタティック法は高精度の成果を得ることができるが、観測時間が 1～2 時間必要となる。そこで、スタティック法よりも観測時間の短いその他 4 種類の GNSS 観測手法で検証を行った。



図 3.3-42 ①デファレンシャル GNSS



図 3.3-43 ②ネットワーク型 RTK(VRS 方式)



図 3.3-44 ③④後処理解析（短時間計測）

検証を行った観測点と観測手法と特徴を整理すると以下の表（表 3.3-6）となる。

表 3.3-6 GNSS の手法と特徴

機器・手法	スタティック法 GNSS	①デファレンシャル GNSS	②ネットワーク型 RTK-GNSS	③後処理-GNSS (仮想基準点使用)	④後処理-GNSS (電子基準点使用)
測点の計測時間	2 時間	1 分	10 秒	20 分	20 分
1 日の作業量	8 点	40 点	40 点	20 点	20 点
必要な上空視界	30%以上	10%以上	80%以上	20%以上	20%以上
特 徴	長時間受信機を設置して観測を行う。主に図根点測量に使用する方法。	上空視界が悪い林内でも観測できる。	通信回線を使い、仮想点のデータを作成して座標成果を得る。	②で通信回線が使用できない場合の手段。②より長く観測し、仮想基準点のデータを入手して解析を行う。	手法は③と同じだが解析には電子基準点のデータを使用する。解析距離は③より長い、衛星の種類が多くなる。

作業量については、スタティック法 GNSS は 1 班で複数の GNSS を使用する。①～④は 1 班で 1 台の GNSS を使用する。1 日の作業量には、計測時間のほかに移動、設置時間を含んでいるので観測点数が少なくなる。

③後処理-GNSS(仮想基準点使用)・④後処理-GNSS(電子基準点使用)は、林野庁測定規程・公共測量作業規程に記載されていない方法で正式な名称ではないが、国土地理院で認められた観測手法である。森林地域で GNSS の受信状況が不良な場合でも、後工程の計算処理により座標値を求める手法として紹介した。

計測する点は、上空視界が 10%（林の中）、20%（林道脇）、80%（原野）の境界点で行う（図 3.3-45、図 3.3-46、図 3.3-47）。



図 3.3-45 GNSS 計測点（上空視界 10%）

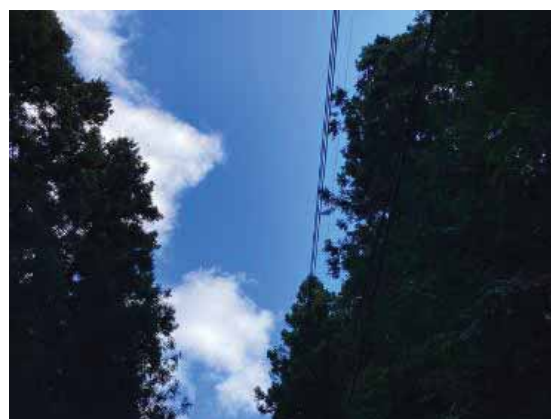


図 3.3-46 GNSS 計測点（上空視界 20%）



図 3.3-47 GNSS 計測点（上空視界 80%）

GNSS の各方法による観測結果としてトータルステーション (TS) による計測値との較差を表 3.3-7 に示す。なお、トータルステーションの既知点座標はスタティック法 GNSS により求めた値である。

表 3.3-7 GNSS とトータルステーション(TS)観測の較差

① デファレンシャル GNSS と TS の較差					
測点	dx	dy	dh	ds	上空視界
43	-1.262	2.719	2.850	2.997	10%
	2.754	0.641	-1.567	2.828	
44	-7.429	-3.602	-11.129	8.257	20%
	0.269	-0.531	-0.047	0.595	
8	-2.586	2.087	-4.284	3.323	80%
	-2.583	1.624	-3.796	3.051	

② ネットワーク型 RTK と TS の較差					
測点	dx	dy	dh	ds	上空視界
43	VRS 測定不可				10%
44	VRS 測定不可				20%
8	-0.048	0.012	-0.028	0.049	80%

③ 後処理解析（仮想基準点使用）と TS の較差					
測点	dx	dy	dh	ds	上空視界
43	1.316	-0.504	-2.137	1.409	10%
44	-0.041	-0.067	0.198	0.079	20%
8	-0.009	-0.001	0.013	0.009	80%

④ 後処理解析（電子基準点使用）と TS の較差					
測点	dx	dy	dh	ds	上空視界
43	0.487	-0.191	-0.488	0.523	10%
44	-0.157	0.181	0.065	0.240	20%
8	0.018	-0.013	-0.017	0.022	80%

- ① デファレンシャル GNSS は森林の中でも観測はできたが、TS との較差が数 m と大きかった。1 測点で 2 回の観測を行ったが森林内ではその較差も大きく安定性に欠く結果となった。
- ② ネットワーク型 RTK は解が Fix しないと観測できないため、上空視界が悪いといつまでたっても観測が終了しない。測点 8 は上空視界 80% の原野のため TS との較差が数 cm と高精度の値が得られた。森林内の境界点をネットワーク型 RTK で観測する場合は、上空視界の良好な地点でネットワーク型 RTK で計測を行い TS で座標を取付ける方法が考えられる。
- ③ 後処理解析法（仮想基準点使用）はネットワーク型 RTK がネットワークにつながらない場合に想定された手法である。②のネットワーク型 RTK より長い時間の観測ができるため、計算に利用できるデータを選択することができる。そのため、森林の中の観測でも計測値を得ることができた。測点 43 では TS との較差が 1m を超える結果となった。これは上空視界が 10% であったためである。
- ④ 後処理解析法（電子基準点使用）は仮想基準点を使用せず電子基準点を使用して解析する。電子基準点からの観測距離に応じ精度が劣化するため上限は 10 km 以内とされている。ネットワーク型 RTK が使用できる衛星は GPS・GLONASS・QZSS なのに対し、電子基準点を直接使用する場合はネットワーク型 RTK では現在未対応である Galileo もあわせて使用することで解析を行うことができる。仮想基準点を使用した場合は状況により Fix しないことがあるが、電子基準点を使用しているため解析は安定している。③と比べ測点 43 は上空視界 10% では精度が良いが 50 cm 程度である。上空視界 20% の測点 44、80% の測点 8 で④より③の較差が小さいのは、観測距離が短いためと考えられる。

3.3.3.4 GNSS・トータルステーションの観測方法検討の検証結果

各計測手法と特徴をまとめたものが表 3.3-8 である。

表 3.3-8 GNSS と TS 観測の較差

手法項目	①トータルステーション	②GNSS スタティック	③ネットワーク型 RTK-GNSS (単点観測法)	④後処理-GNSS (仮想基準点・電子基準点使用)	⑤デファレンシャル GNSS
観測精度	20～30mm	20～30mm	50mm 程度	数 10cm	数 m
1 測点の計測時間	20 分	2 時間	10 秒	20 分	1 分
1 日の作業量	20 点	8 点	40 点	20 点	40 点
必要な上空視通	水平の視通	20%以上	80%以上	20%以上	10%以上
最低作業人数	3 名	2 名	2 名	2 名	2 名
基準点計測	○	○	△	×	×
境界点計測	○	△	△	△	×
備考	基準点・境界点両方に使用できる。作業には複数名必要	観測時間が長いので主に基準点に使用 林野庁測定規程-図根点測量	観測時間が短い が森林内では観測できない。 林野庁測定規程-境界測量	ある程度森林内でも観測できるが、③⑤よりは観測時間がかかる。	森林内でも観測できるが、観測値のばらつきが大きい

国有林野での境界点計測は上空視界の確保が難しいため、観測可能な場所まで移動し②の GNSS スタティックまたは③のネットワーク型 RTK-GNSS(単点観測法)で図根点を設置して①の TS で境界点を観測する方法が一般的である。GNSS で境界点を直接観測できれば作業効率が良くなる。但し②は 1 回の観測時間が長く、受信機 1 台では 1 日数点しか観測できない。③は観測時間が短く精度も良好だが森林内では使用できない。④の後処理-GNSS(仮想基準点・電子基準点使用)法は数 10cm の精度でよければ森林内での観測も可能であることが分かった。⑤のデファレンシャル GNSS に関しては QZSS の整備・運用に伴い補正データの配信が終了する可能性がある。将来的には受信機の感度が上がり森林の中でも十分な精度が確保できるようになれば、③ネットワーク型 RTK-GNSS (単点観測法) が最も有効な手段と考えられる。



図 3.3-48 トータルステーションによる観測

3.3.4 再計算・座標変換の検討

各森林管理局のヒアリングとアンケートにより、境界点座標が任意座標の状態が存在する可能性があることがわかっている。

任意座標は図 3.3-49 のように切りの良い座標値で始まることが多く、これを現在の地図（地理院地図）にプロットしてみることで判断できることがある。事例として今回の検証地区である群馬県安中市の国有林が 100 km 以上離れていることを示したものが図 3.3-50 である。

群馬県安中市 国有林 座標及び高低計算簿												
測点番号	測点名称	方位角		水平距離		座標差		高低差		算出座標		備考
		真方位	方角	距離	方位	ΔX	ΔY	ΔH	方位	Ym	Xm	
		°'"	°'"	m	°'"	m	m	m	m	°'"	m	
8補1	801	(246-00)	246-00							1000.00	1000.00	390.73
8補1	8	204-35	150-35	11.84	6.80	-12.06	6.08	4	□	-993.23	587.94	390.73
8	8	0-18	330-51	62.00	-30.20	64.15	-6.15	4	⊕	-1023.43	1042.09	390.58
8	9	180-08	330-55	35.40	-18.67	33.05	6.22	9	⊗	-1042.07	1075.75	390.80
8	10	108-09	319-08	11.28	-2.49	14.03	-3.77	10	⊗	-1044.75	1080.77	390.83
10	10a	108-04	328-55	17.43	-9.23	14.79						
10a	11	190-57	339-36	25.09	-10.67	26.21						
11	11補1	140-27	299-28	29.56	-25.74	14.51						
11補1	12	179-58	299-24	29.56	-25.77	14.51						
12	13	185-44	312-08	26.75	-21.32	19.25						
13	14	170-21	302-25	18.94	-15.98	10.11						
14	15	160-20	282-45	32.07	-31.86	7.21						
15	16	168-25	271-14	27.30	-27.29	0.01						
16	17	141-58	333-12	3.32	-7.46	-5.88	1.50	17	□	-1219.48	1191.55	433.51
8補1	8								⊕	-1000.00	1000.00	390.73
8	8								□	-993.23	587.94	390.73
8	8								⊕	-1023.43	1042.09	390.58
9	9								⊗	-1042.07	1075.75	390.80

図 3.3-49 任意座標の計算簿の例（群馬県安中地区国有林）

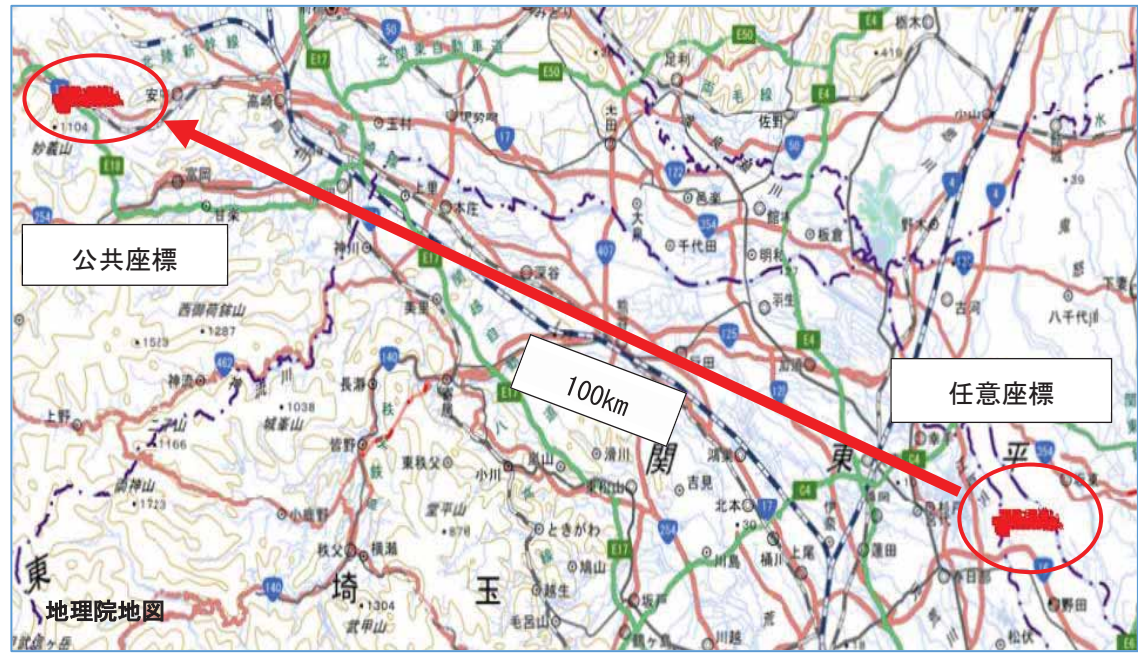


図 3.3-50 公共座標と任意座標（群馬県安中地区国有林）

これを解消するためには任意座標に公共座標を取付けて、再計算または座標変換を行う必要がある。先の章では現地での取付け観測について検証・検討の報告を行ったが、この章では再計算・座標変換について報告を行う。

3.3.4.1 再計算による検証

任意座標の状態は、地形図との位置関係の整合を取ることができないため、白い図面に境界点が点在する状態となる（図 3.3-51）。

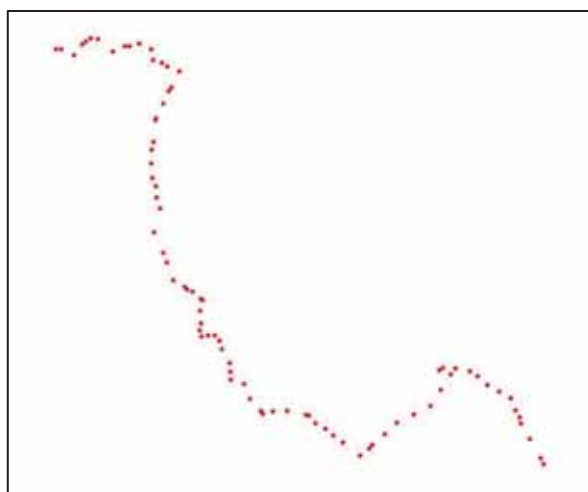


図 3.3-51 任意座標のイメージ（群馬県安中地区国有林）



図 3.3-52 座標の取付け（群馬県安中地区国有林）

これを路線の起点側①と終点側②で各 2 点の境界点に座標を取付けた (図 3.3-52)。

実際の取付け観測は検証用の点も含め、起点側で 15 点、終点側で 6 点の観測を行っている。この間で路線の境界点数は 82 点、路線長は 2.1 km である。

検証のためには起点・終点の中間点付近で取付け観測を行うのが良いが、この中間点付近が深い森林で GNSS による観測ができなかった。今後の実際の取付け観測でもこのような状況が考えられる。森林樹林帯での作業は多大な労力を必要とするため、今回の検証で行ったように林道に近く上空視界が良好な場所を選点することが重要である。

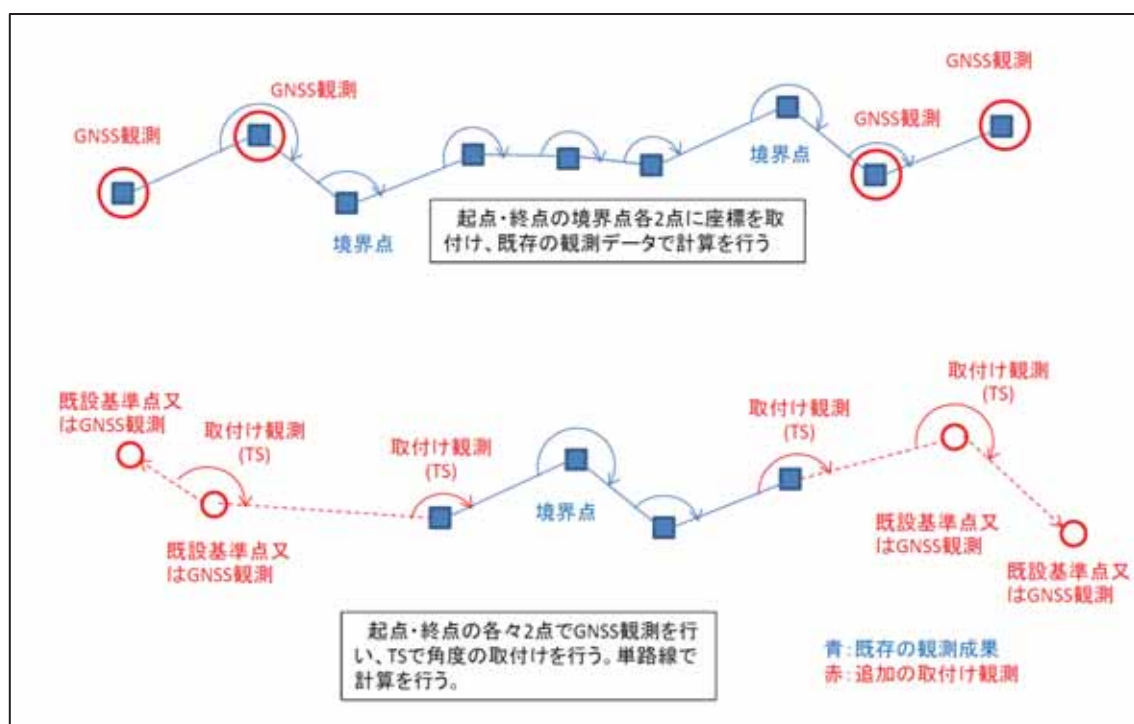


図 3.3-53 取付け観測の模式図

図 3.3-53 は取付け観測の模式図で、青い表示が境界点とデータであり赤の表示が取付け観測のデータである。図の上段のように境界点で直接 GNSS 観測を行うことができれば、最も作業効率が良い。但し、森林で GNSS による直接観測が困難な場合は下段のように、上空視界の良好な場所で GNSS 観測を行い TS 観測で境界点に座標を取付けることになる。

安中地区の取付け観測は起点側については図 3.3-54、終点側については図 3.3-55 の手法で行った。図中の△で GNSS 観測を行い、○は TS で取付けた境界点である。林野庁の観測手簿では、観測起点は 8 補 1 で 8-1 を方向点とし、8→8 イ→9.....と続く。終点は 49、50 となり、51 からは別の路線となる。

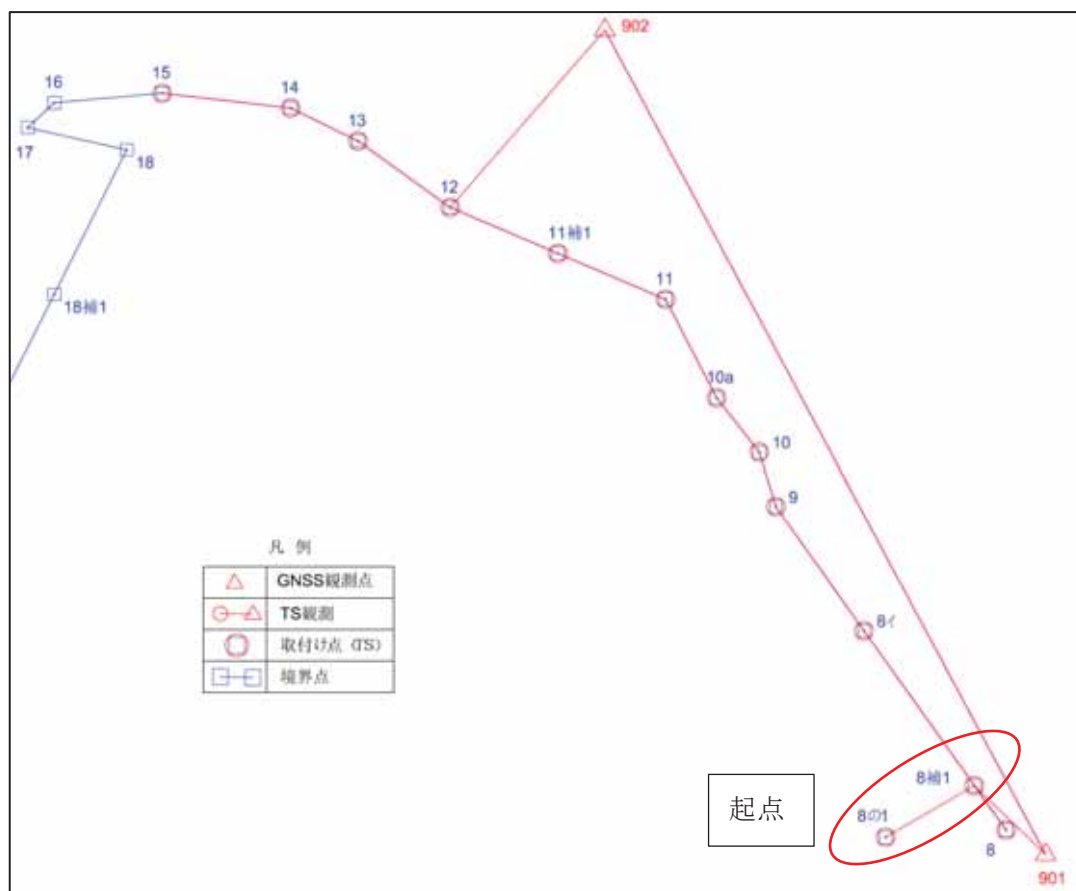


図 3.3-54 取付け観測-起点側

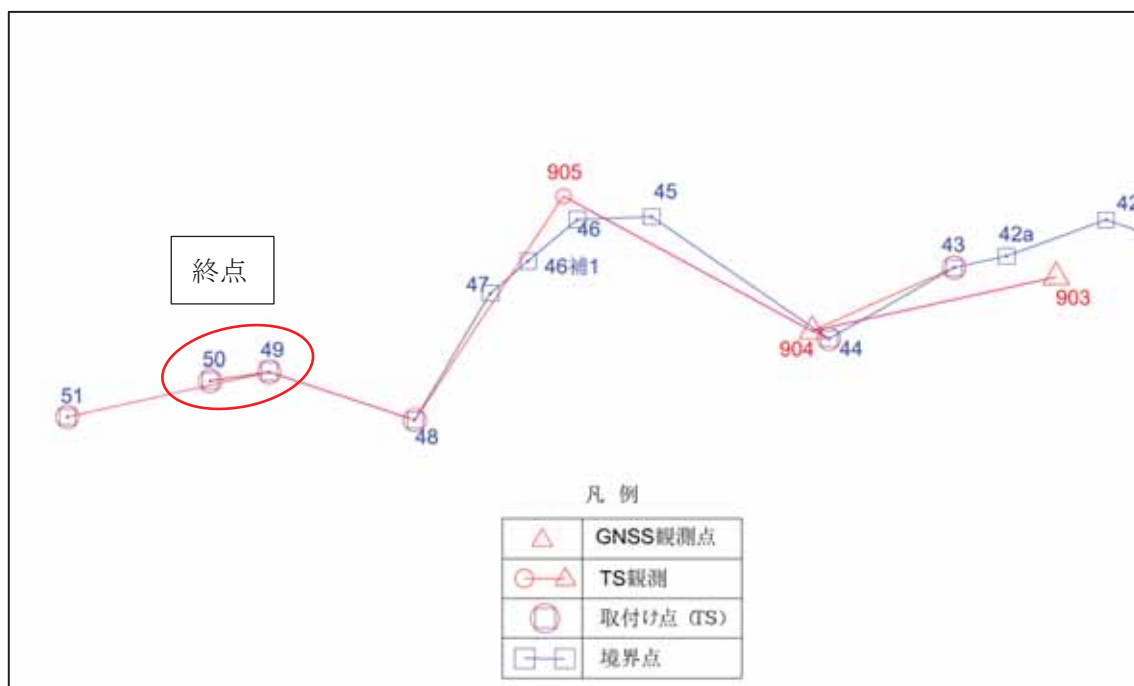


図 3.3-55 取付け観測-終点側

表 3.3-9 高低計算書・距離補正計算書（一部）

観測値							高低計算		距離補正計算		
測点	視準点	夾角	鉛直角	斜距離	器械高	測的高	高低差	標高	水平距離	球面距離	平面距離
		° ' "	° ' "	m	m	m	m	m	m	m	m
8補1	8の1		8.03	26.17	1.30	1.30		391.980	25.912	25.910	25.911
8補1	8	264.35	-0.23	13.84	1.30	1.21	-0.003	391.977	13.840	13.839	13.839
8	8イ	0.16	0.00	62.00	1.21	1.36	-0.150	391.827	62.000	61.996	61.997
8イ	9	180.08	0.13	38.49	1.36	1.29	0.216	392.043	38.490	38.487	38.488
9	10	198.09	-12.39	14.64	1.29	1.35	-3.266	388.777	14.285	14.284	14.284
10	10a	158.54	8.57	17.65	1.35	1.47	2.626	391.403	17.435	17.434	17.434
10a	11	190.57	-1.32	28.10	1.47	1.17	-0.452	390.951	28.090	28.088	28.088
11	11補1	140.27	0.06	29.56	1.17	1.35	-0.128	390.823	29.560	29.558	29.558
11補1	12	179.58	3.14	29.63	1.35	1.11	1.911	392.734	29.583	29.581	29.581
12	13	192.44	3.11	28.79	1.11	1.37	1.339	394.073	28.746	28.744	28.744
							ジオイド高	42.77	縮尺係数	1.000015	

表 3.3-10 座標計算書（一部）

点名	夾角	平面距離	方向角	DX	DY	X	Y	点名
8の1			239.453			35391.207	-96095.474	8の1
8補1						35404.256	-96073.092	8補1
8	264.35	13.839	144.203	-11.244	8.067	35393.012	-96065.025	8
8イ	0.16	61.997	324.363	50.536	-35.906	35443.548	-96100.930	8イ
9	180.08	38.488	324.443	31.425	-22.217	35474.973	-96123.147	9
10	198.09	14.284	342.534	13.651	-4.202	35488.623	-96127.349	10
10a	158.54	17.434	321.474	13.698	-10.783	35502.322	-96138.132	10a
11	190.57	28.088	332.444	24.968	-12.863	35527.290	-96150.995	11
11補1	140.27	29.558	293.114	11.640	-27.169	35538.930	-96178.164	11補1
12	179.58	29.581	293.095	11.634	-27.197	35550.563	-96205.361	12

表 3.3-9、表 3.3-10 は、公共座標の取付け成果で再計算を行った計算書の一部である。

任意座標では水平距離を使用しているが公共座標では座標系（平面直角座標系）ごとに設定された投影面上の距離（平面距離）を使用するため（図 3.3-56）、標高・ジオイド高・縮尺係数が必要になる。 の箇所が取付け観測より得られた成果（図 3.3-57 距離補正計算）である。

 は林野庁の観測手簿の値である

ジオイド高は、取付け点の緯度経度と国土地理院のパラメーター「日本のジオイド 2000 ver2.1」で提供される。縮尺係数は、公共測量では GNSS で取付け観測を行うことにより基準点成果表（図 3.3-56）が作成されるので、この表で算出される値を使用する。

基準点成果表					
(AREA 9)					
901					
	°	'	"		
B	36	18	50.9578	X	35386.793
L	138	45	49.1257	Y	-96055.051
N	0	38	0.71	H	389.874
				シオイド高	42.755
				柱石長	
				縮尺係数	1.000014

図 3.3-56 基準点成果表（公共座標）

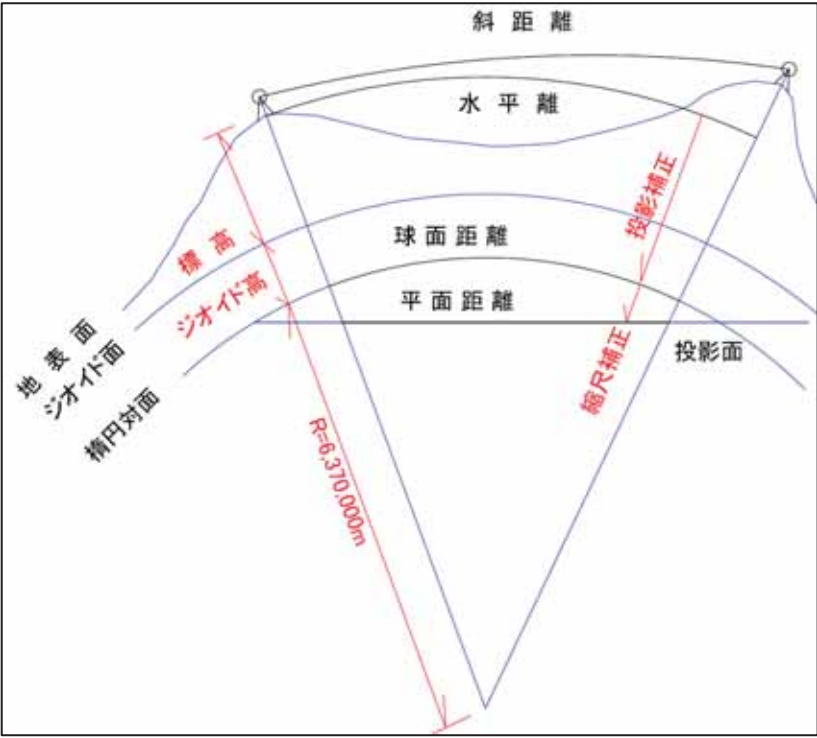


図 3.3-57 距離補正計算

再計算結果の点検結果は、表 3.3 11 と表 3.3 12 となる。

表 3.3-11 は、起点を固定とした開放多角計算による終点付近の計算値と、TS で実際に計測した値との比較である。これらの較差は補正されていない値との較差で、観測値の点検となる。境界測量のため、距離と点数は 82 点 2.1km と 4 級図根点測量の基準（20 点 1km）より大幅に多くなるが、座標値と標高値は 4 級図根点測量の許容範囲内であった。

表 3.3 12 は結合多角計算（単路線）を行った結果である。結合差で、4 級図根点測量・境界測量いずれの許容範囲を満たす結果であった。

表 3.3-11 開放多角計算による点検

高低計算				方向角			
測点	TS 成果	開放標高値	較差	測点	TSによる	開放方向角	較差
43	375.00	374.67	0.32	43			
44	377.68	377.36	0.32	44	240.1816	240.1326	0.0450
48	377.24	376.91	0.33	48			
49	376.57	376.23	0.34	49	288.1740	288.1326	0.0414
50	376.10	375.78	0.33	50	261.3807	261.3426	0.0341

4 級図根点測量での許容値 1.493m 方向角の許容値の設定は無し

座標計算						
TS 成果		開放座標値			較差	
測点	X	Y	X1	Y1	dx	dy
43	36197.529	-97068.584	36197.327	-97069.110	0.202	0.526
44	36183.233	-97093.652	36182.995	-97094.159	0.238	0.507
48	36167.108	-97176.697	36166.775	-97177.173	0.333	0.476
49	36176.745	-97205.846	36176.377	-97206.336	0.368	0.490
50	36175.002	-97217.700	36174.622	-97218.185	0.380	0.485

4 級図根点測量での許容値 2.503m

表 3.3-12 結合多角計算による点検

結合多角計算（測地成果 2011）		閉合差		
		測点	82	点
		観測距離	2,101.762	m
	点名	x	y	h
結合座標	50	36,175.002	-97,217.700	375.775
観測座標	50	36,175.163	-97,217.696	376.104
結合差		-0.161	-0.004	-0.329
		0.161		
結合比		1/13,042		
許容範囲（4 級図根点測量）		2.053		1.493
許容範囲（境界測量）		1/1,000		1.811

3.3.4.2 精度区分に関する考察

今回再計算を行った林野庁のデータは任意座標系であったが、ごく最近観測されたものはトータルステーションで行われていたため精度が良好であった。

古い任意座標観測ではコンパスで観測された測量のため、距離と角度の精度が当時のままである。その後、トータルステーションが出現して角度と距離の精度が向上した。

GNSS の出現により座標精度は与点の精度が向上したためトータルステーションだけの時代よりさらに向上している。測量方法・年代により精度の異なる成果が混在すると、境界点を管理する上で隣接地域と整合が取れない問題が発生している。

この問題を回避するために当面の対応として、境界座標を精度ごとにランク分けして管理しておき、将来的に全体の精度の向上と統一を図る考え方が検討会の委員より提示された（図 3.3-58）。現在の GNSS 測量やトータルステーションを用いた測地成果 2000、2011 の成果は精度が確保されていることが示唆されている。

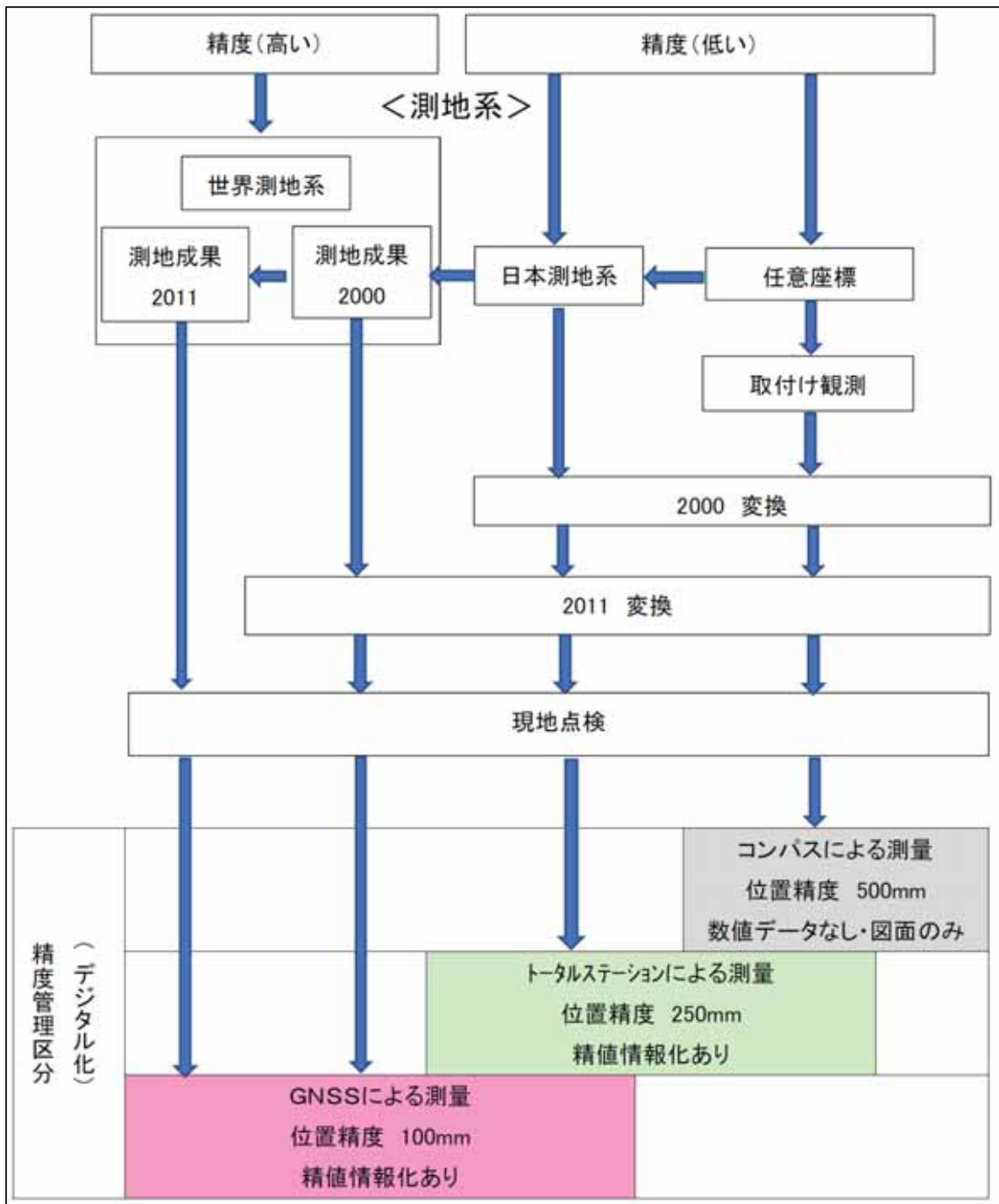


図 3.3-58 境界点の精度区分

3.3.4.2 座標変換による検証

任意座標を公共座標に変換する主な手段として、ヘルマート変換とアフィン変換がある(図 3.3-59)。さらに TIN アフィン変換と呼ばれる手法もあるので参考として紹介する。

i. ヘルマート変換

縮尺率、回転、平行移動の組み合わせによる変換である。変換前後の図形が相似形になる。

ii. アフィン変換

ヘルマート変換に軸のゆがみを考慮した変換になる。正方形の区画を変換した場合には長方形・菱形・平行四辺形に変形する。

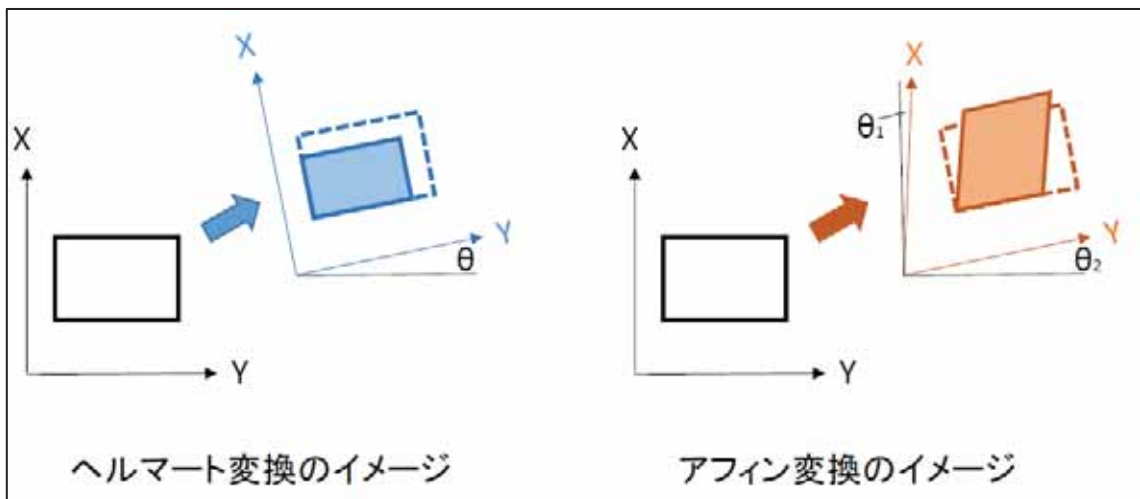


図 3.3-59 ヘルマート変換とアフィン変換

用地測量で一般的に使用されているのがヘルマート変換である。変換前後が相似形のため縮尺率を 1.0 に固定すれば面積に影響が出ない。なお、距離補正計算を行っていない場合は準拠楕円体面に投影する分の縮尺率がかかるので相殺される場合がある。図形のゆがみには対応していないため、局所的な地盤変動には対応できない。

一方、アフィン変換では軸のゆがみの要素があるため局所的な変動がある場合に対応できるので、主に面的に配置された境界点の変換に使用される。



図 3.3-60 ヘルマート変換の参照点の配置

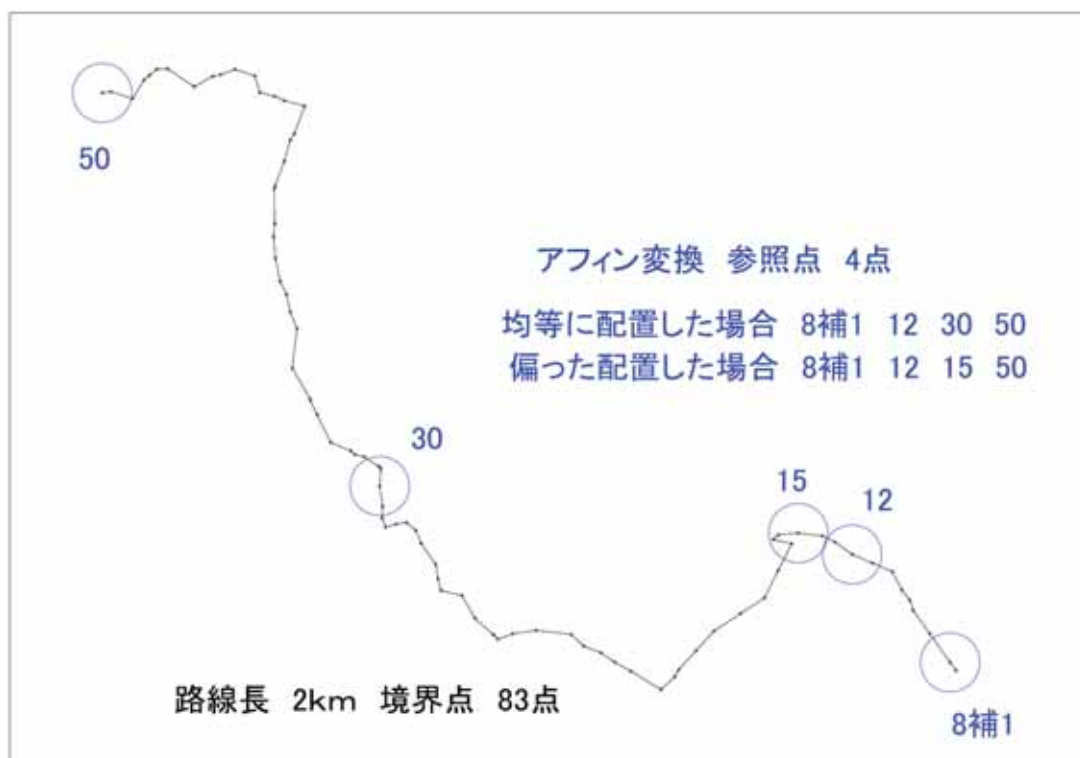


図 3.3-61 アフィン変換の参照点の配置

ヘルマート変換の場合は前後と中間付近に 3 点以上、アフィン変換の場合は 4 点以上配置する（図 3.3-60、図 3.3-61）。境界測量の測系区間（路線長）が長いと中間でたわみが生じることがあるので、中間付近には参照点を設ける必要がある。特にヘルマート変換は参照点間が偏ると短い区間の影響を受けるため、参照点配置によっては誤差が大きくなる場合がある（表 3.3-13）。

表 3.3-13 ヘルマート変換の精度比較

参照点を均等に配置した場合

変換元測点名	旧 x	旧 y
8補1	1000.000	-1000.000
	24	18
30	1321.430	-1739.660
	-34	-54
50	1890.360	-2054.520
	10	36
平均中等誤差	43	67

参照点が偏った場合

残存点の残差		
変換元測点名	旧 x	旧 y
8補1	1000.000	-1000.000
	-38	-67
12	1159.840	-1115.570
	48	76
50	1890.360	-2054.520
	-9	-9
平均中等誤差	62	102

表 3.3-14 アフィン変換の精度比較

測点名	均等に配置		偏った配置	
	dx1	dy1	dx2	dy2
23 イ	0.260	0.230	0.844	1.065
24	0.268	0.241	0.886	1.123
25	0.273	0.241	0.886	1.118
25a	0.272	0.245	0.877	1.109
25b	0.262	0.239	0.836	1.059
26	0.269	0.249	0.862	1.096
26a	0.268	0.241	0.839	1.057
27	0.258	0.237	0.802	1.014
27 補 1	0.247	0.236	0.766	0.979
27 補 1a	0.250	0.226	0.748	0.940
28	0.244	0.232	0.739	0.941

また、アフィン変換の場合でも参照点の位置により結果が大きく変わるため、十分に検討して参照点を決める必要がある（表 3.3-14）。

巻末資料 3-3 に検証地区の境界点全体のヘルマート変換とアフィン変換の結果を添付した。

iii TIN アフィン変換

ヘルマート変換・アフィン変換のほかに TIN アフィン変換と呼ばれる変換方法も存在する。この手法は TIN（Triangulated Irregular Network）とアフィン変換による部分的線形変換である。

TIN を構成する単三角形毎に変換パラメータを求めることができるので隣接する三角形毎にパラメータが異なることとなる。この方法は空間的に分布する複雑な境界を有する都市地籍での座標変換に用いられることがあるが、本来直線であるべきものが隣接三角形で折れ線に変換されることもある（図 3.3-62）。

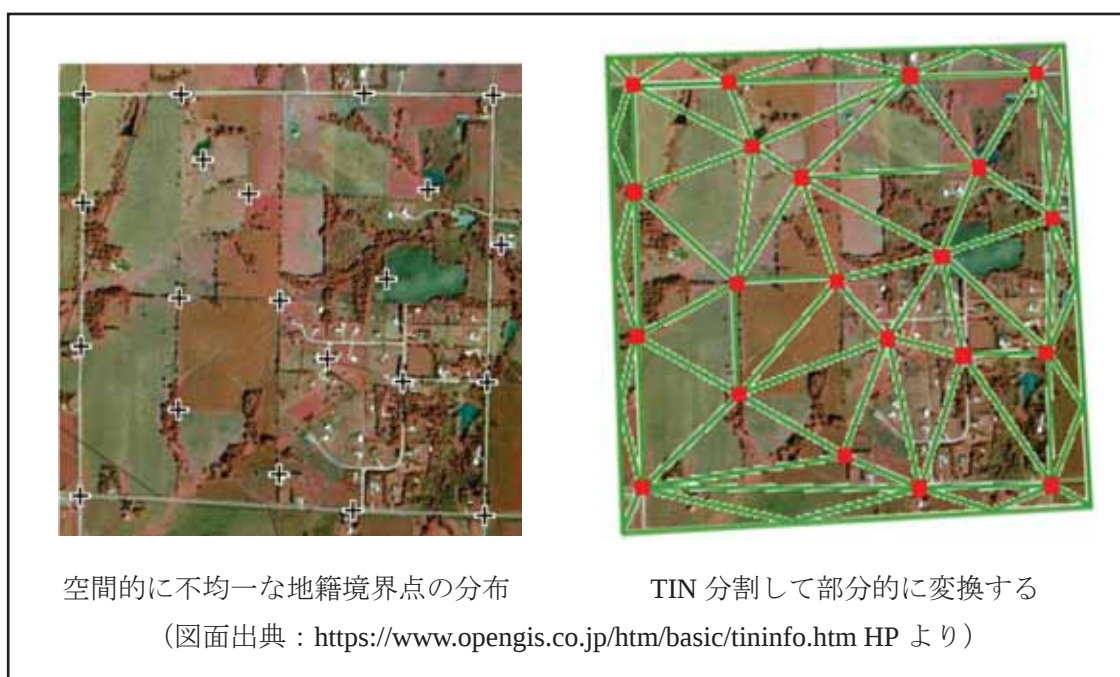


図 3.3-62 TIN アフィン変換

線状に配置される国有林野境界の座標変換で TIN アフィン法を選択することについては慎重に行う必要がある。

座標変換によって公共座標に変換された任意座標の境界点は、GIS データ・電子地図との連携が取れるようになる。以下の図は今回の検証地区の任意座標データを GIS・電子地図に重複表示した事例である（図 3.3-63、図 3.3-64）。



図 3.3-63 ヘルマート変換後の任意座標データと地理院地図



図 3.3-64 ヘルマート変換後の任意座標データと林野庁境界デジタルデータ

3.3.5 取付け観測・再計算・座標変換の作業規程での位置づけ

- 1) 「取付け観測」は林野庁測定規程には無い項目である。そのため、既存の作業規程の中で準拠出来そうな該当項目を抽出すると以下となる。

A. 林野庁測定規程・公共測量作業規定 図根点測量・基準点測量 : 1・2級図根点・基準点の観測 (GNSS スタティック) では電子基準点のみを既知点とすることができる。

3・4級図根点・基準点測量では付近にある同級以上の既知点が必要で、電子基準点のみを既知点とする GNSS 観測ができない。

また、ネットワーク型 RTK 法は 3・4 級図根点・基準点測量で利用できるが、直接観測法または間接観測法で既知点に結合する方法が記載されている。短時間で観測できる単点観測法の記載はない。

B. 林野庁測定規程 境界測量 : TS、GNSS キネマティック法、GNSS-RTK、GNSS ネットワーク型 RTK (VRS) の単点観測法記の載あり。但し GNSS スタティック法は記載なし。

C. 林野庁測定規程 標定点測量 126 条 : 水平位置は図根点測量に準じた測量 又は境界点測量の TS 等による観測に準じた観測→ GNSS ネットワーク型 RTK (VRS) の単点観測法の記載なし。

D. 公共測量作業規程 標定点測量 256 条 : 水平位置は基準点測量または TS 点の設置に準じた測量→ TS、GNSS スタティック法、GNSS キネマティック法、GNSS-RTK、GNSS ネットワーク型 RTK (VRS) の単点観測法の記載あり。

取付け観測では、観測が簡単で観測時間が短いネットワーク型 RTK (VRS を含む) 法の単点観測法がかなり有効な方法なので、この方法が使用できる規程に準拠した方がよい。また、GNSS スタティック観測では電子基準点を既知点とする観測であれば 1 台単独での観測が可能である。1 測点での時間はかかる (10km 以上は 2 時間) が、上空視界が狭く VRS での観測が難しい場合は有効な手段である。

既存の規程でこの両方の方法を記載しているのは、上記 D. の公共測量作業規程標定点測量である。

- 2) 「再計算」「座標変換」についても林野庁測定規程には無い項目である。類似・参照できそうな項目は、以下の表 3.3-15 になるが、境界測量には路線長に関する標準値が示されていない。検証作業での路線長・点数はいずれも規程の数値より多くなった。

急峻な林地では、観測の条件が悪く路線長・点数が多くなることが考えられる。

路線長が長すぎる（10km 以上）場合、見かけの精度は悪くないが、途中でたわむため精度を落とす可能性がある。10km の場合、境界測量の精度（1/1000）では中間で最大 5m の誤差が考えられる。一方、路線長が短い（1km 程度）場合、上空視界が良好な観測できる場所が少なくなる。

今回の検証： 路線長 2km 82 点 再計算の閉合差 $x=161\text{mm}$ $y=4\text{mm}$

結合比 1/1300

ヘルマート変換の中等誤差 $x=62\text{mm}$ $y=102\text{mm}$

結論： 2km～3km 区間で再計算の場合は、両端と方向角の取付け
変換計算の場合は 3 点以上の取付けることが望ましい。

表 3.3-15 林野庁測定規程の計測条件

区分 項目	図根点測量				境界測量
	結合多角方式		単路線方式		
	3 級	4 級	3 級	4 級	
既知点数	3 点以上	3 点以上	---	---	
方向角の取付け	簡易水平網平均 計算では行う		1 点以上で取付け る	---	原則として行う
路線の辺数・点数	7 辺以下	10 辺以下 (15 辺以下)	10 辺以下	15 辺以下 (20 辺以下)	おおむね 50 点以内
点間距離の標準	200m	50m	---	---	---
節点間の距離	70m 以上	20m 以上	---	---	---
路線長	1km 以下	500m 以下 (700m 以下)	1.5km 以下	700m 以下 (1km 以下)	---
※4 級図根点測量のうち、電子基準点のみを既知点とした三角点、1・2 級基準点、1・2 級図根点 又は電子基準点を既知点に使用し、かつ 2 級以上トータルステーションで観測する場合は 路線の辺数及び路線長について（ ）内を標準とすることができる					

4. 追加検討

4.1 森林管理局が整備中の XY データの検証

林野庁では、作成・管理する基本図（紙）からデジタイズして作成した測地成果 2000 の境界点の座標値データ（以降「デジタイズ化境界点」とする。）を保有している。この既存デジタイズデータと、2.1.2 にて中部森林管理局が整理した境界情報に記載されている座標データ（XY 座標）との比較検証を行った。

また、検証結果を整理した上で、その作業・確認方法について別途マニュアルとして取りまとめた。

表 4.1-1 検証に利用したデータ

No	森林管理局	計画区	データ
1	中部	宮・庄川	基本図（紙）からデジタイズ化された境界点
2			中部森林管理局が整理した境界情報（2.1.2 参照）のうち XY に関する情報を抽出したもの。

4.1.1 世界測地系の場合

中部森林管理局にて整理した境界情報のうち XY 座標が世界測地系で管理されているデータについて GIS データ（ポイント）に変換し（以降、「境界点データ」という。）、地図上に表示した。次に、デジタイズ化境界点も重ねて表示した（図 4.1-1）。図のように境界点データとデジタイズ化境界点がおおよそ一致していれば、境界点データに誤りがなく、XY 座標値が正しく世界測地系で管理されていると判断できる。

（補足）既存図面をデジタイズして作成した「デジタイズ化境界点」の精度は、元図面の作成時の精度やデジタイズ作業での読み取り誤差が含まれるので、境界点データとの数 m のズレは「予想される誤差範囲」といえる。



図 4.1-1 境界点データとデジタイズ化境界点を重ねて表示した例
(GIS ソフトウェアは ArcGIS を利用、背景地図は地理院地図)

一方で、境界点データとデジタイズ化境界点（または地理院地図）にズレがある箇所も存在した。このズレが南東方向に約 400m 程度であったことから、日本測地系のデータが誤って世界測地系として管理されていた、と推測した（図 4.1-2）。



図 4.1-2 日本測地系と世界測地系の取扱い誤差

日本測地系と想定したうえで、再度境界点データを世界測地系に変換すると、先ほどのずれが解消された（図 4.1-3）。



図 4.1-3 日本測地系から世界測地系への変換で整合した事例

4.1.2 日本測地系の場合

日本測地系として管理されている XY 座標値については「TKY2JGD」「PatchJGD」を用いて変換を行った後、GIS データ（ポイント）を作成し（以降、「変換後境界データ」という。）、地図上に表示した。次に、デジタル化境界点も重ねて表示した（図 4.1-4）。



図 4.1-4 変換後境界データとデジタル化境界点を重ねて表示した例
（GIS ソフトウェアは ArcGIS を利用、背景地図は地理院地図）

変換後境界データとデジタル化境界点を重ねて、おおよそ重なっていれば、日本測地系の境界点データに誤りがなく、世界測地系に変換されたと判断できるが、一部の箇所にて変換後境界データとデジタル化境界点にズレがあった。

このズレは北西方向に約 400m 程度であったため、既に世界測地系であったものを二重で変換した可能性が想定された。

変換前のデータにて再度 GIS データ（ポイント）を作成したところ、先ほどのズレが解消された。すなわち、すでに世界測地系に変換していたにも関わらず誤って日本測地系のままで管理していたことになる（図 4.1-5）。



図 4.1-5 誤変換した日本測地系データの表示例（世界測地系データ混入の事例）

4.1.3 考察・課題

GIS ソフトウェアを用いた既存 GIS データの重ね合わせにより、誤って入力・管理されている境界点の座標データを、簡易かつ視覚的に判別することができた。一方で、今回利用したデジタル化境界点は、基本図（紙）からデジタル化されたものであるため、基本図作成時の誤差、デジタル化誤差が含まれている。また、デジタル化境界点には、実際の位置と大きく外れた箇所にデータが位置することも、事例として報告があったため、利用には注意が必要である。

今回の検証には、GIS ソフトウェアが必要となるため、森林管理局にて確認を実施する場合は、GIS ソフトウェアの環境整備や技術習得が必要となる。