



Surveying the Earth to Create the Future

**「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）・自動走行システム」
基盤地図情報を活用したダイナミックマップの
精度向上手法及び補完手法の検討に係る調査**

報告書 概要版

2019年3月29日

株式会社パスコ

本調査の目的・課題とねらい

[目的]

- ✓ ダイナミックマップの多用途活用
- ✓ 新たなデジタルインフラ産業の創出等

[課題]

- ✓ トンネル内や高架下など、GNSSの受信状態が不良な区間においては、ダイナミックマップの精度が高くない箇所が存在する
- ✓ ダイナミックマップの整備エリアは全国シームレスではない

[本調査手法]

- ✓ 電子地図上の位置の公的な基準であり、また全国網羅的に整備されている基盤地図情報を活用し、ダイナミックマップの精度向上及び補完手法を検討する

調査内容

- ダイナミックマップの静的情報である白線、標識、路肩縁等（以下、「道路ベクトルデータ」という。）やダイナミックマップを整備する際に得られる点群データを調査対象とし、絶対・相対精度の定量的な評価を行ったうえで、以下項目について検討を行った。

1. 道路ベクトルデータのひも付け手法の検討

- 道路ベクトルデータを基盤地図情報にひも付ける最適なアルゴリズムを検討し、道路ベクトルデータと基盤地図情報との位置整合処理のためのデータ処理プログラム（以下、「位置整合プログラム」という。）を作成した。また、ひも付け後の道路ベクトルデータの精度についても定量的な評価を行い、許容される精度の基準を検討した。
 - ✓ 道路ベクトルデータのフォーマット変換およびフォーマット変換プログラムの作成
 - ✓ 道路ベクトルデータの絶対精度の定量的な評価
 - ✓ 道路ベクトルデータを基盤地図情報にひも付ける最適なアルゴリズムの検討
 - ✓ 道路ベクトルデータを基盤地図情報にひも付けるプログラムの作成
 - ✓ 道路ベクトルデータのひも付け済みデータの作成と最適パラメータの設定
 - ✓ 道路ベクトルデータのひも付け精度の定量的な評価

2. 点群データの基盤地図情報へのひも付け手法の検討

- 「1. 道路ベクトルデータのひも付け手法の検討」での検討過程及び結果を参考とし、基盤地図情報にひも付けるアルゴリズムを検討する。
 - ✓ 道路ベクトルデータと点群データの違いの整理
 - ✓ 点群データの絶対精度の評価
 - ✓ 上記過程で得られるノウハウを基にしたひも付け手法の方針検討
 - ✓ ひも付けのためのアルゴリズムの提案

スケジュール

調査内容	平成30年度					
	10月	11月	12月	1月	2月	3月
a. 道路ベクトルデータの基盤地図情報へのひも付け手法の検討						
i. 道路ベクトルデータのフォーマット変換						
ii. 道路ベクトルデータの絶対精度の定量的な評価						
iii. 道路ベクトルデータを基盤地図情報にひも付ける最適なアルゴリズムの検討						
iv. 道路ベクトルデータを基盤地図情報にひも付けるプログラムの作成						
v. 道路ベクトルデータのひも付け済みデータの作成と最適パラメータの設定						
vi. 道路ベクトルデータのひも付け精度の定量的な評価						
b. 点群データの基盤地図情報へのひも付け手法の検討						
i. 点群データを基盤地図情報にひも付ける最適なアルゴリズムの検討						
報告書作成						
関係者との会議（地図構造化タスクフォース）		★11/22		★1/23		★3/14

道路ベクトルデータのひも付け手法の検討

■ 道路ベクトルデータのフォーマット変換

ダイナミックマップ(XML)をシェープファイルに変換するプログラムを開発した(図1)。プログラムは、汎用的なGISソフトウェアで動作するアドイン機能として作成した。

◆ 動作環境

- OS : ArcGIS10.6.1の動作環境

Windows 10 (64-bit)、Windows 8.1 (32-bit、64-bit)、Windows 7(32-bit、64-bit)、Windows Server 2016 (64-bit)、Windows Server 2012 R2 (64-bit)、Windows Server 2012 (64-bit)、Windows Server 2008 R2(64-bit)

- ArcGIS 10.6.1 ● Microsoft .NET Framework 4.5 以上、C# 2017

◆ 変換対象

- 図2に示す範囲のXMLデータ
- XML内に含まれる地物の出力を実施

001101※1 : 道路縁(路肩縁)	002000※1 : 信号機
011050※1 : 最高速度	012030※1 : 停止
012040※1 : 進行方向	012082※1 : 導流帯

...などXML内に含まれる85地物の変換を確認した

※1 数値はダイナミックマップの地物種別コード

※2 未変換の地物についても自動走行システム向け地図データ符号化仕様への提案(試作データ用符号化仕様) Ver.1.0に従っていれば変換可能

◆ プログラム動作イメージ

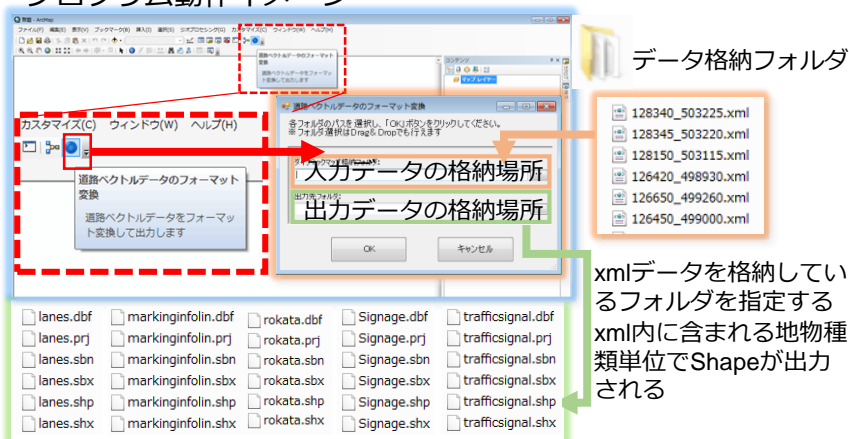


図1 フォーマット変換プログラムによる変換イメージ

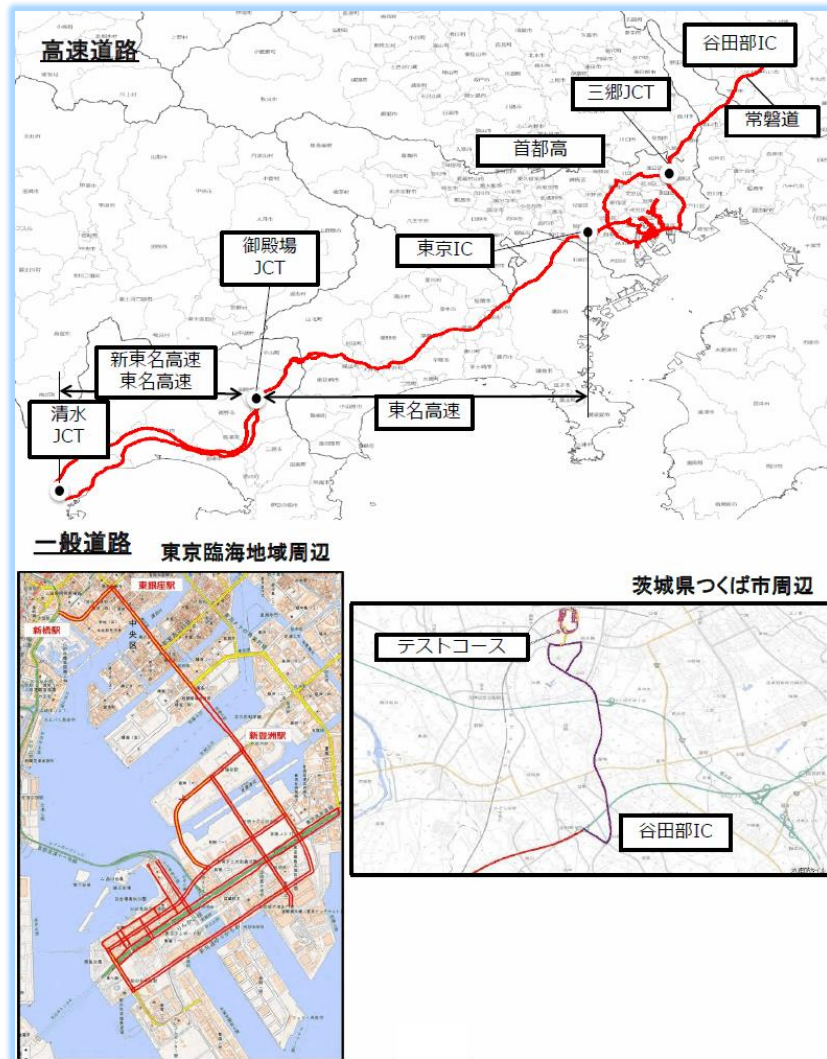


図2 使用したダイナミックマップ(XML)データ範囲(出所)内閣府プレスリリース(平成29年10月3日)より抜粋

道路ベクトルデータのひも付け手法の検討

■ 道路ベクトルデータの絶対精度の定量的な評価

図3のフローに従い、道路ベクトルデータの絶対精度の定量的な評価を行った。

◆ 特徴的な区間の分類

図1に示す範囲において、一般道、自動車専用道路に分けて特徴を分類し、表1及び表2に示した。

表1 一般道の特徴的な区間

No.	特徴的な区間種別	延長	箇所数
1	上空視界良好	約 38.9 km	154
2	ビル間	約 4.2 km	12
3	トンネル内	-	-
4	ビル間	-	-
5	高架下	約 5.5 km	15
計		約 48.6 km	181

表2 自動車専用道路の特徴的な区間

No.	特徴的な区間種別	延長	箇所数
1	上空視界良好	約 363.6 km	470
2	山間部	約 10.0 km	16
3	トンネル内	約 35.2 km	38
4	ビル間	約 6.1 km	15
5	高架下	約 15.3 km	69
計		約 430.2 km	608

◆ 一般道の特徴の検証

一般道においては、歩道やバス停により上下線が非対称であったり、交差点の多さなど、自動車専用道路と異なる特徴が考えられることから、次に示すような道路ベクトルデータと基盤地図情報のズレの量について検証を行った。

- ✓ 歩道及びバス停などが存在することにより上下線が非対称となることに起因するもの（図4）
- ✓ 交差点の多さに起因するもの（図5）
- ✓ 道路のネットワークが複雑なことに起因するもの（図6）
- ✓ 植樹帯や防音壁による影響

検証の結果、上記のいずれの箇所においても大きなズレの量は見られず、一般道特有の特徴は抽出されていない。

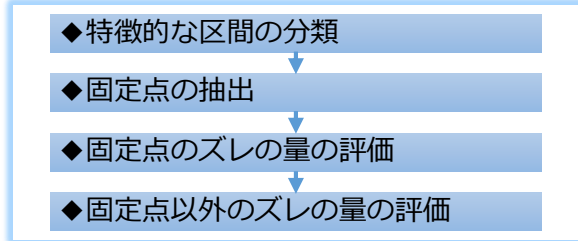


図3 定量的な評価フロー

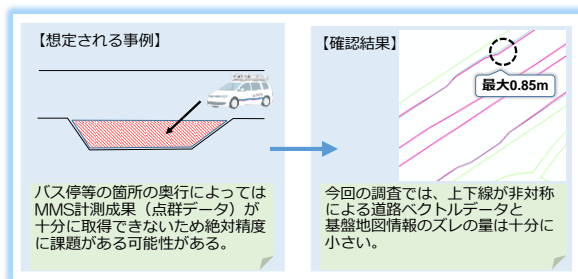


図4 上下線非対称事例の検証

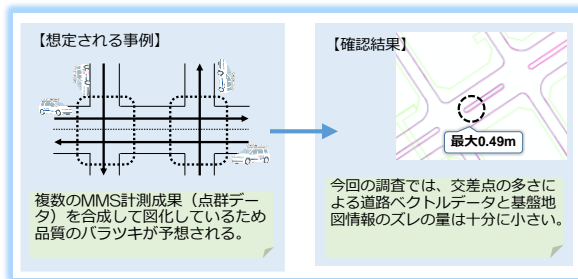


図5 交差点箇所の事例の検証

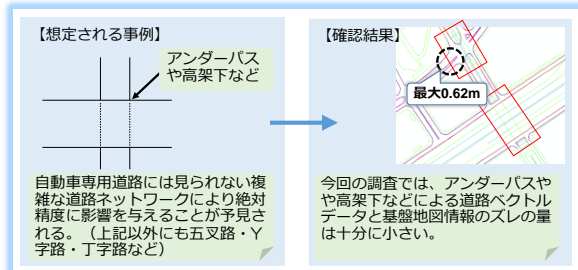


図6 道路ネットワークが複雑な事例の検証

道路ベクトルデータのひも付け手法の検討

◆ 固定点の抽出

表1及び表2の特徴的な区間について、一般道、自動車専用道路における同一地物（分岐点など）と判断できる地点（図7）を調査した。調査の結果、230点の固定点を抽出した。但し、自動車専用道路については交差点が無いなど抽出可能な固定点が少ないことから図8に示すズレの量も計測することとした。

◆ 固定点のズレの量の評価

図7に示す固定点の座標のズレの量を調査し、特徴的な区間ごとに最大値、最小値、平均値、標準偏差を表3及び表4のように整理した（除外要件は※1の通り）。

表3 一般道のズレの量（固定点）

特徴的な区間	固定点の数	ズレの量 (m)			
		最大	最小	平均	標準偏差
上空視界良好	128	1.66	0.03	0.41	0.33
山間部	-	-	-	-	-
トンネル内	-	-	-	-	-
ビル間	25	0.54	0.06	0.22	0.13
高架下	4	0.85	0.15	0.35	0.34

表4 自動車専用道路のズレの量（固定点）

特徴的な区間	固定点の数	ズレの量 (m)			
		最大	最小	平均	標準偏差
上空視界良好	56	2.56	0.07	0.77	0.44
山間部	3	2.21	0.25	1.36	0.82
トンネル内	52	1.91	0.01	0.84	0.50
ビル間	9	1.18	0.08	0.54	0.35
高架下	30	3.72	0.16	1.06	0.81

◆ 固定点以外のズレの量の評価

図8に示す固定点以外のズレの量について、固定点を含めて特徴的な区間ごとに1kmあたり10点以上となるようにズレの量を計測し、特徴的な区間ごとに最大値、最小値、平均値、標準偏差を表5及び表6のように整理した（除外要件は※1の通り）。

表5 一般道のズレの量（固定点以外）

特徴的な区間	固定点の数	ズレの量 (m)			
		最大	最小	平均	標準偏差
上空視界良好	90	1.74	0.02	0.59	0.41
山間部	-	-	-	-	-
トンネル内	-	-	-	-	-
ビル間	14	0.33	0.00	0.14	0.10
高架下	35	1.81	0.05	0.57	0.41

表6 自動車専用道路のズレの量（固定点以外）

特徴的な区間	固定点の数	ズレの量 (m)			
		最大	最小	平均	標準偏差
上空視界良好	105	2.13	0.10	0.76	0.39
山間部	32	1.85	0.08	0.59	0.56
トンネル内	152	9.08	0.02	1.33	1.20
ビル間	35	1.47	0.19	0.76	0.36
高架下	37	2.34	0.07	0.74	0.51

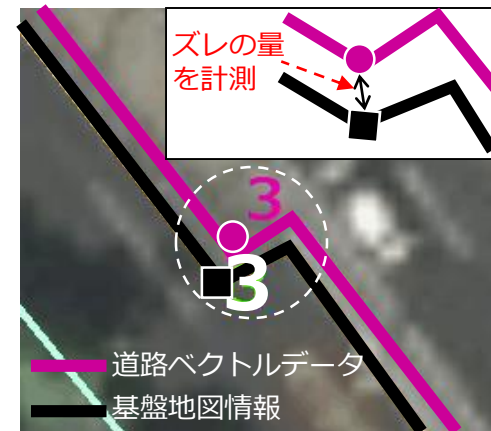


図7 固定点の抽出イメージ
出所 地理院地図（空中写真）

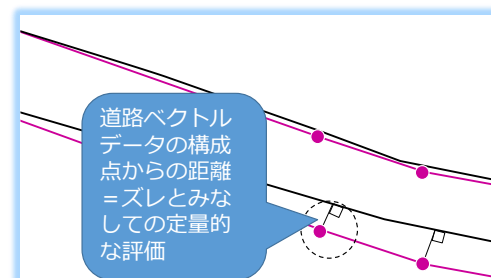


図8 固定点以外のズレの量の評価

※1 下記の箇所はズレの量の評価対象から除外している

- ・ 基盤地図情報の地図情報レベル25000の箇所
- ・ 仕様通りで想定されるズレの箇所

道路ベクトルデータのひも付け手法の検討

■ 道路ベクトルデータを基盤地図情報にひも付ける最適なアルゴリズムの検討

平成29年度ひも付け報告書で提案されたアルゴリズムを参考に、道路ベクトルデータを基盤地図情報にひも付ける最適なアルゴリズム（図9）として整理した。

◆ 特徴的な区間の設定

ひも付け対象とする道路ベクトルデータについて、上空視界良好、山間部、トンネル内、ビル間、高架下の特徴に分類し、これらの特徴ごとの区間を図10の流れで設定する。



図9 最適なアルゴリズム

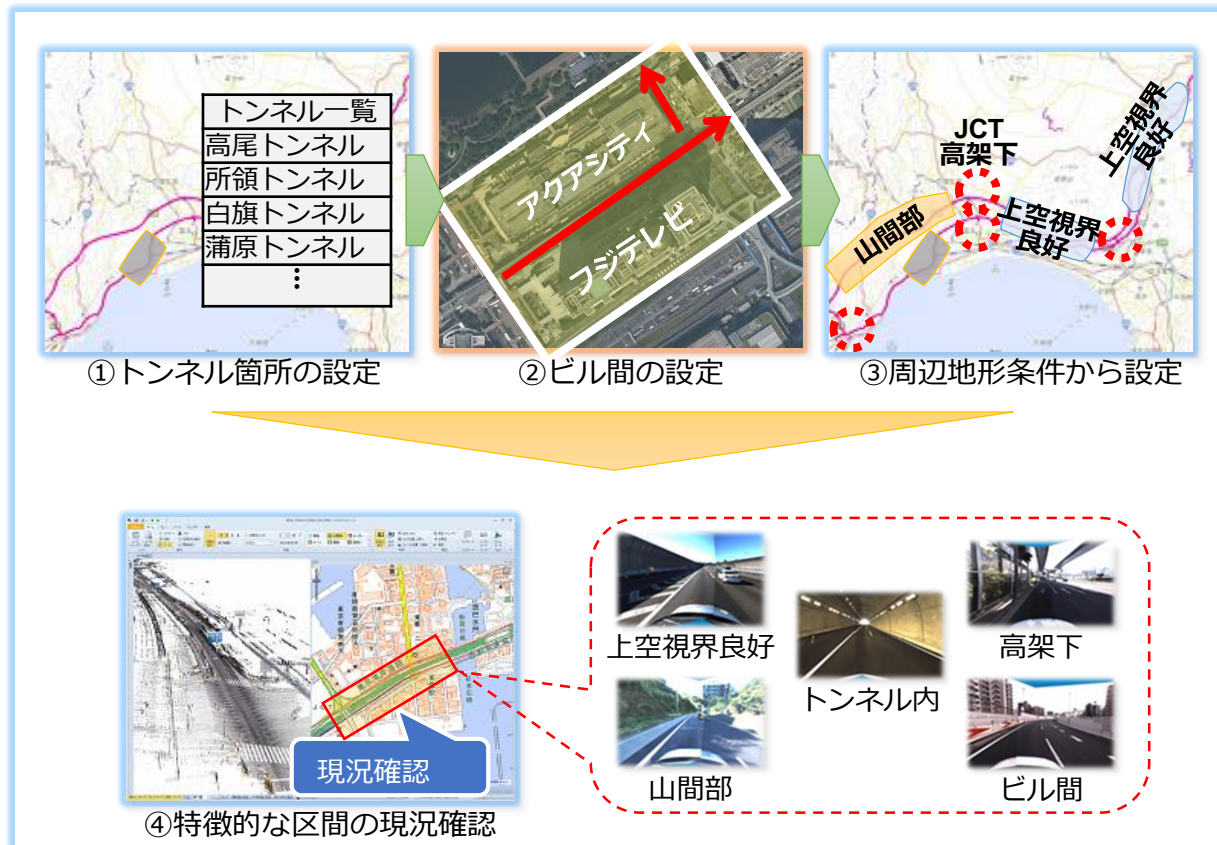


図10 特徴的な区間の設定の流れ

道路ベクトルデータのひも付け手法の検討

◆ 固定点の設定

道路ベクトルデータ及び基盤地図情報の同一地物（分岐点など）と判断できる地点を抽出し、固定点として設定する（図11）。

道路ベクトルデータは路肩縁、基盤地図情報は道路構成線・道路縁が対象となる地物であることに留意する。

◆ 処理区画の設定

ひも付け処理をより効率的に行うため、特徴的な区間でグルーピングし処理区画を構成する（図12）。

◆ 対象地物の選択

道路ベクトルデータの絶対精度を下げないこと、道路ベクトルデータ、基盤地図情報の対象地物が異なっている点を考慮し、図13のフローに従い対象地物を選択する。その際のズレの量の計測には固定点を用いるが、固定点が取得できない箇所は図14に従い対象地物を選択する。

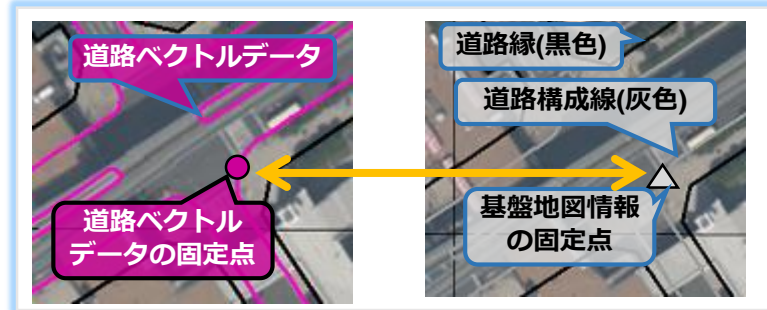


図11 固定点の設定

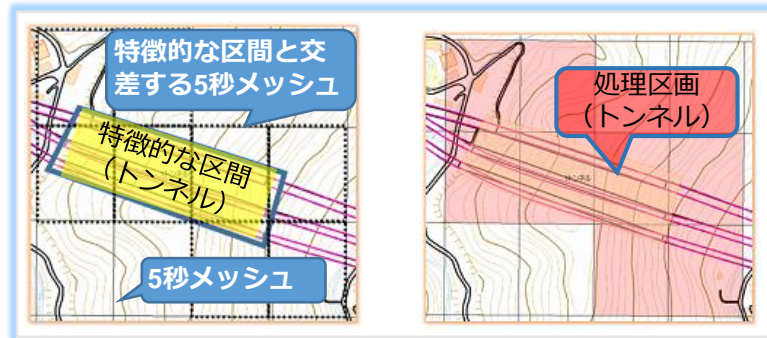


図12 処理区画の設定

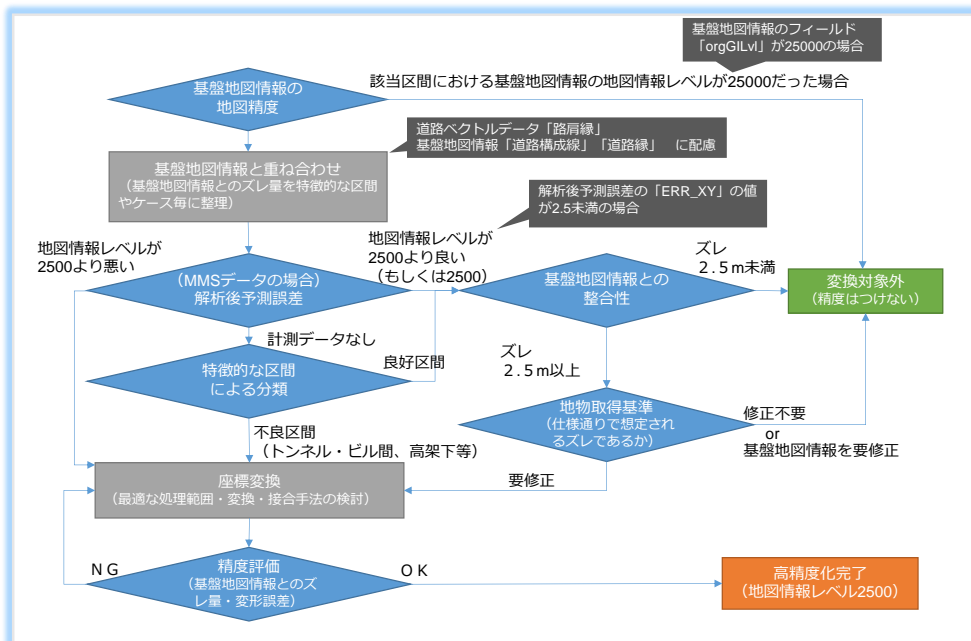


図13 対象地物選択フロー

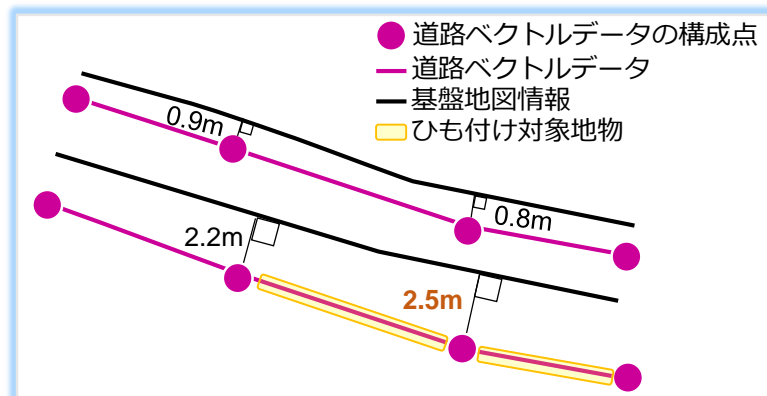


図14 固定点以外の対象地物の選択

道路ベクトルデータのひも付け手法の検討

◆ パラメータの設定

固定点のズレの量をパラメータとして設定する。図15のようにパラメータとする固定点を、処理区画の四隅等に分散させて選択する。選択したパラメータは、図16のように基盤地図情報、道路ベクトルデータの固定点の座標として登録する。

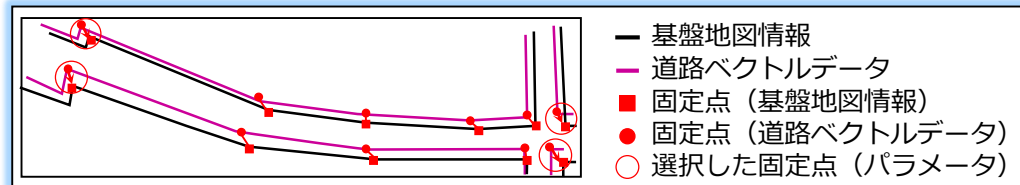


図15 パラメータとする固定点の選択

ID	X座標(ソース)	Y座標(ソース)	X座標(ターゲット)	Y座標(ターゲット)	残差エラー
1	-31627.613060	-54402.590004	-31600.306373	-54402.690292	0.000001
2	-31607.613060	-54512.590000	-31699.306370	-54512.690290	0.000000
3	-31607.613060	-54442.590004	-31699.306373	-54442.690292	0.000000
4	-31627.613060	-54512.590004	-31699.306373	-54512.690292	0.000001

図16 パラメータ登録画面

◆ 座標変換

本調査で対象としているひも付け方法は、道路ベクトルデータと基盤地図情報の位置整合を図るものである。位置整合を図るための座標変換方法には、ヘルマート、アフィン、疑似アフィン、多項式アフィンなどが用いられている。

本調査における位置整合の変換方法を表7にまとめるとともに、最適な変換手法を検討した。

表7 位置整合のための座標変換方法

No.	座標変換方法	特徴
1	ヘルマート変換 (相似変換)	変換対象の図形の形状を維持しながら、位置の整合を取る図形に合わせることができる。
2	アフィン変換	変換対象の図形の形状を移動・回転・伸縮等により変形させながら、位置の整合を取る図形に合わせることができる。
3	疑似アフィン変換 多項式の変換	リモートセンシングの画像処理で三次元の航空写真や画像の歪みの補正などを考慮した変換方法である。

道路ベクトルデータは、基盤地図情報とは形状が不一致であるため、相似変換（変換により図形の形状が変わらない）による位置整合処理は適していない。形状が不一致なデータの位置整合処理はアフィン変換が適している。

本ひも付けで対象としていない高さを含めた三次元の航空写真や画像を平面に変換する場合は疑似アフィン変換や多項式の変換も検討対象となる。

道路ベクトルデータのひも付け手法の検討

◆ 接合処理（処理区画間）

解析後予測誤差情報を利用し、図17①に示すように、ひも付け対象地物の方を位置精度が悪いと見なし、ひも付けしない地物の終点に接合させる。但し、両方をひも付けている場合は、中間点で接合させる。選択した接合方法を図形に登録する。

◆ 接合処理（基盤地図情報）

解析後予測誤差情報を利用し、図17②に示すように、道路ベクトルデータと基盤地図情報の位置精度を考慮してどちらに接合させるかを判断する。但し、両者に差が見られない場合は、中間点で接合させる。また、道路ベクトルデータの地図情報レベルが2500より良い場合は接合しない。選択した接合方法を図形に登録する。これによりダイナミックマップが存在しない箇所を基盤地図情報で補完することが可能となる。

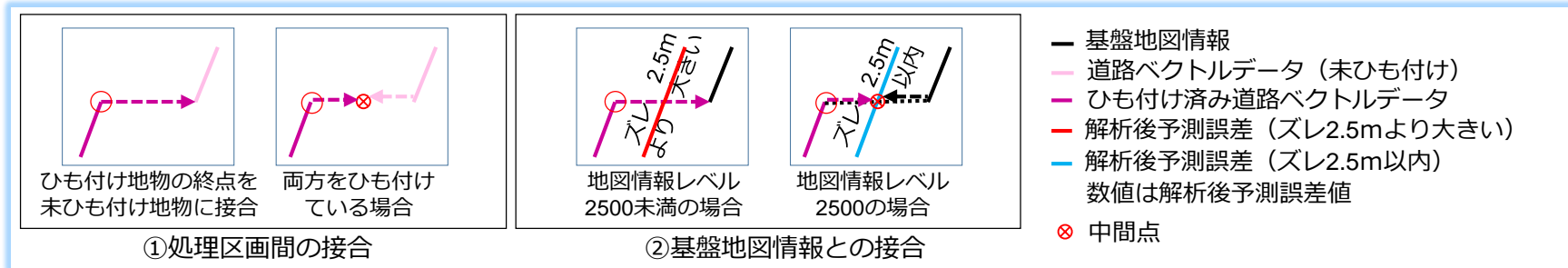


図17 接合処理方法

■ 道路ベクトルデータを基盤地図情報にひも付けるプログラムの作成

プログラムは、道路ベクトルデータのフォーマット変換プログラムと同様に、汎用的なGISソフトウェアで動作するアドイン機能として作成した。

- ◆ 動作環境・・・道路ベクトルデータのフォーマット変換プログラムと同様
- ◆ プログラム動作イメージ

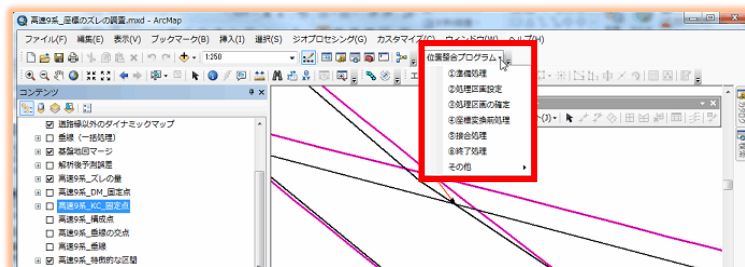


図18 位置整合プログラム

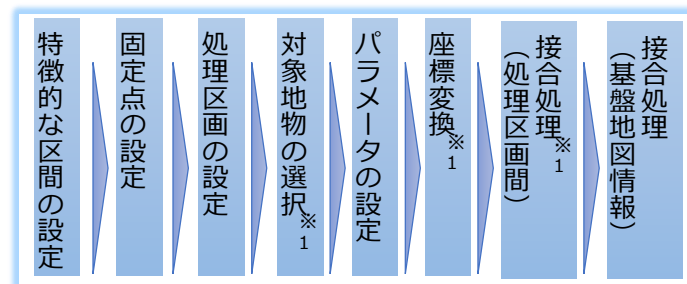


図19 プログラムによる処理

※1 自動処理プログラムにより省力化を図っている機能

道路ベクトルデータのひも付け手法の検討

■ 道路ベクトルデータのひも付け済みデータの作成と最適パラメータの設定

道路ベクトルデータを基盤地図情報にひも付ける最適なアルゴリズムに従い、ひも付け済みデータの作成と最適パラメータの設定を行った。作成したデータは、図13「対象地物選択フロー」に従って設定した表8に示す5箇所である。

表8 ひも付け対象データ作成箇所及び最適パラメータ

No.	箇所	特徴の分類	延長 (m)	移動 種別	パラメータ				
					X1,Y1	X2,Y2	X3,Y3	X4,Y4	X5,Y5
1	レインボーブリッジ付近	上空視界良好	180	元	-5,234.2, -40,342.0	-5,302.9, -40,358.6	-5,248.7, -40,344.3	-5,303.5, -40,356.2	-
				先	-5,231.7, -40,342.1	-5,302.8, -40,358.8	-5,247.8, -40,344.5	-5,303.1, -40,356.7	-
2	新都夫良野トンネル付近	トンネル内	80	元	-69,918.0, -70,054.4	-69,878.9, -70,087.6	-69,905.3, -70,065.8	-69,856.4, -70,104.7	-69,770.2, -70,116.7
				先	-69,918.1, -70,054.5	-69,876.6, -70,090.6	-69,905.2, -70,066.5	-69,855.9, -70,104.3	-69,770.9, -70,118.5
3	吾妻山トンネル	トンネル内	380	元	-69,519.8, -70,302.8	-69,572.9, -70,286.9	-69,662.8, -70,257.1	-69,718.1, -70,234.1	-
				先	-69,518.5, -70,299.1	-69,570.5, -70,280.4	-69,659.7, -70,248.5	-69,716.1, -70,228.4	-
4	和田島トンネル	トンネル内	1,105	元	-2,255.1, -100,720.5	-2,178.0, -100,595.9	-2,115.9, -100,488.9	-2,059.5, -100,386.1	-2,004.8, -100,280.1
				先	-2,258.1, -100,718.6	-2,181.1, -100,594.0	-2,118.7, -100,487.3	-2,062.0, -100,384.8	-2,006.7, -100,279.2
5	富士川トンネル	トンネル内	4,500	元	6,837.9, -92,838.6	6,974.9, -92,805.7	7,096.8, -92,776.6	7,243.2, -92,741.7	7,361.7, -92,713.4
				先	6,838.5, -92,841.2	6,975.6, -92,808.7	7,097.6, -92,779.9	7,244.0, -92,745.0	7,362.6, -92,716.8

■ 道路ベクトルデータのひも付け精度の定量的な評価

道路ベクトルデータのひも付け済みデータを利用して、ひも付け後の道路ベクトルデータと基盤地図情報のズレの量を評価した(表9)。

表9 道路ベクトルデータのひも付け精度の定量的な評価

No.	箇所	評価点数	ズレの量 (m)	備考
1	レインボーブリッジ付近	1	1.25	ひも付け後の図形の固定点と基盤地図情報の固定点のズレの量で評価
2	新都夫良野トンネル付近	1	0.24	ひも付け後の図形と基盤地図情報のズレの量で評価
3	吾妻山トンネル	4	0.00	ひも付け後の図形と基盤地図情報のズレの量で評価
4	和田島トンネル	5	0.12	ひも付け後の図形と基盤地図情報のズレの量で評価
5	富士川トンネル	7	0.07	ひも付け後の図形と基盤地図情報のズレの量で評価

道路ベクトルデータのひも付け手法の検討

■ ひも付けによる道路ベクトルデータ変換状況

表8及び表9に示した箇所でのひも付け前後の変換状況を図20に示した。図20は本線とジャンクションなどによる交差点を固定点として抽出した箇所であり、道路ベクトルデータと基盤地図情報の形状が異なっていることから構成点が一致しないもののズレの量は2.5m以内となっている。

一方トンネルについては形状が一致していることからほぼズレの無い状況となっている。

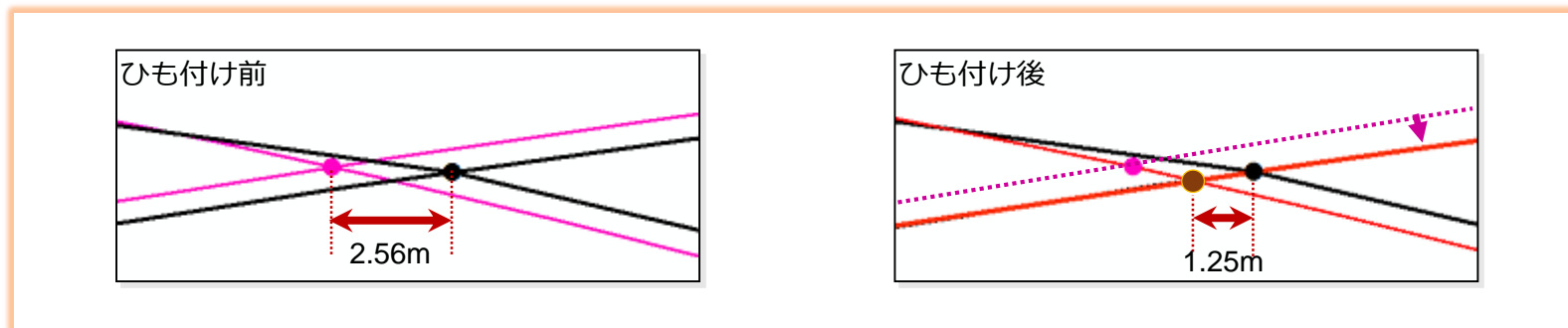


図20 レインボーブリッジ付近のひも付け状況

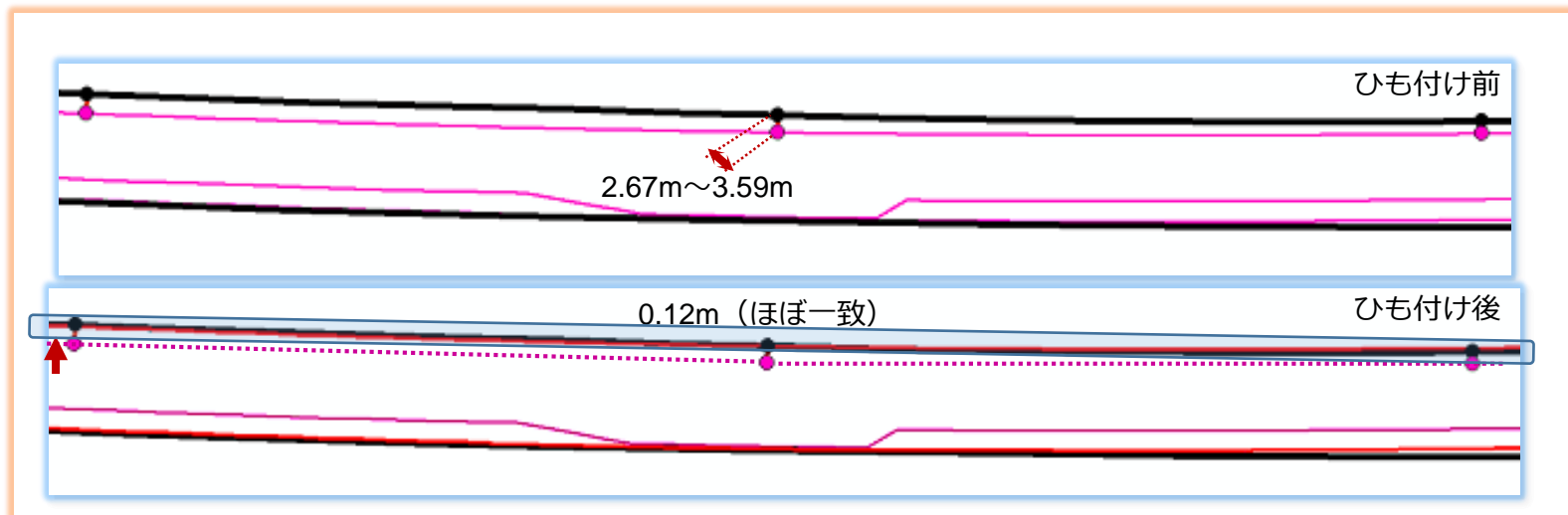


図21 和田島トンネル付近のひも付け状況

点群データの基盤地図情報へのひも付け手法の検討

■ 道路ベクトルデータと点群データの違いの整理

地理空間情報の特性として、データのフォーマットや形式、データ性質等の項目について道路ベクトルデータと点群データに分類し、道路ベクトルデータと点群データの違いを整理した。

表9 道路ベクトルデータと点群データの違い

	道路ベクトルデータ	点群データ
データフォーマット	XML、Shape	CSV、Las等
データの形式	点、線、面	点
データ容量	小	大
地物の分類	有り（路肩縁、白線、標識等）	無し
データの取得方法	点群データを使用し図化	MMS計測による
データの位置精度	点群データに準拠	使用機器、計測仕様、周辺地形、計測時間帯による
データの性質	<ul style="list-style-type: none">地物ごとにデータ分類されている	<ul style="list-style-type: none">点群データそのものには地物の情報が無い位置座標に加え、R,G,B(色)、Intensity(反射強度)

■ 点群データの絶対精度の評価

三次元点群データの絶対精度の評価を行うため、三次元点群データから路肩縁及び道路縁の図化（約100m）を実施し、道路ベクトルデータ、基盤地図情報のそれぞれの位置を比較し絶対精度を評価した。

表10 点群データの絶対精度の評価

No.	評価箇所	路肩縁とのズレの量(m)	道路縁のズレの量(m)
1	レインボープリッジ付近	0.058	0.505
2	横浜町田IC付近	0.053	2.085
3	一般道（お台場周辺）	0.037	0.608

点群データから図化した路肩縁と道路ベクトルデータは整合している。
道路ベクトルデータが存在している箇所では点群データの参考位置として道路ベクトルデータを利用できる。
点群データから図化した道路縁と基盤地図情報は、基盤地図情報と道路ベクトルデータのズレの許容範囲で整合している。

点群データの基盤地図情報へのひも付け手法の検討

■ 検討過程で得られたノウハウを基にしたひも付け手法の方針検討

- 三次元点群データの基盤地図情報へのひも付けには道路ベクトルデータを活用できる
- 三次元点群データを用いて道路縁を図化することで基盤地図情報へのひも付けが可能である
 - これらに留意し、道路ベクトルデータのひも付け手法を参考に点群データの基盤地図情報へのひも付け手法を検討する

■ ひも付けのためのアルゴリズムの提案

これまでの調査結果及び道路ベクトルデータのひも付け手法を参考に三次元点群データの基盤地図情報へのひも付け手法を図22に示した。

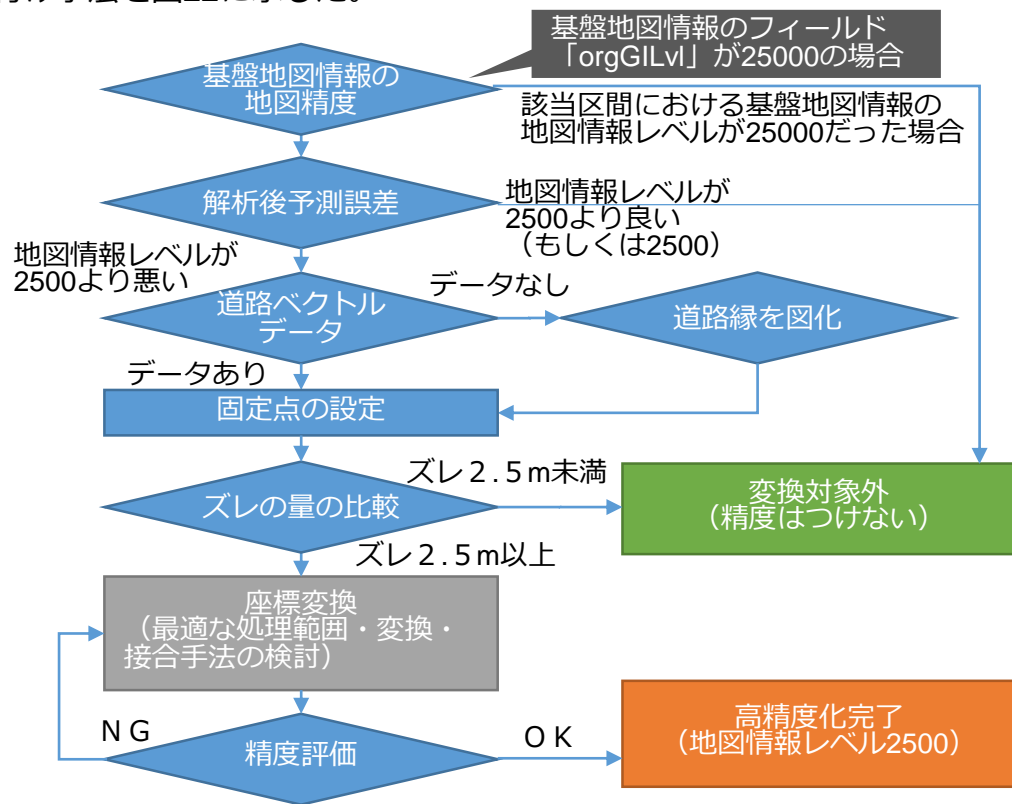


図22 提案するアルゴリズム

- ◆ 基盤地図情報の地図精度
 該当区間における基盤地図情報の地図情報レベルを確認する。25000の場合は変換対象外とする。
- ◆ 解析後予測誤差
 XY軸方向の予測誤差が2.5m未満の場合は変換対象外とする。
- ◆ 道路ベクトルデータ
 三次元点群データから取得できる道路縁の形状を基準とするため、該当する形状のデータが存在しない場合は三次元点群データから道路縁を図化する。
- ◆ 固定点の設定
 道路ベクトルデータのひも付け手法と同様に固定点を設定する。
- ◆ ズレの量の比較
 道路ベクトルデータのひも付け手法と同様にズレの量を比較する。
- ◆ 座標変換
 道路ベクトルデータのひも付け手法と同様に座標変換を行う。
- ◆ 精度評価
 基盤地図情報とのズレ量・変形誤差を確認し、ズレの量が2.5m未満になるまで繰り返す。