

1.はじめに^{1) 2)}

全国の自治体では、大縮尺の図面を用いて、地理情報システム(GIS)を整備する動きが急速に高まってきている。この背景には、全庁型基図の利用により業務の効率化および経費の削減を期待し、さらにデータの共有化により住民へのサービスを向上させるという目的がある。しかし、これまでのGISにはいくつかの問題点がある。

個々に利用している図面の更新時期が異なるため、個別のシステムでしか利用できない

全庁で利用する基図の更新期間が長いと庁内で流通しない

最短の更新期間は随時更新も必要とする部署がある、などである。

さらに、これまでのGISシステム整備の多くは、補助金等による初期導入までは順調に実施されるが、その後のメンテナンス(更新作業)については ~ のような問題点が障害となり、うまく活用されないのが現状である。

このような問題を解決できる技術の1つがGPS(汎地球測位システム)を利用したリアルタイムキネマティック(RTK)測量である。RTK-GPSの利点は、高精度の測位を即時に実施でき、通信インフラによりリアルタイムに測量結果を図面に反映できる点である。

既に国土院ではRTK-GPSを公共測量に用いることを許可し、今年5月から一部の電子基準点リアルタイムデータの民間開放もおこなっている。これに伴い、VRS(仮想基準点方式)技術の構築など、広範囲におけるRTK-GPS測位を行うための環境も整備されてきている。

一方、我々は高精度で即時性のあるRTK-GPSを用いて即時にGISの電子地図に反映させる技術を提案している(従来のGISと区別するため、我々はこれを「リアルタイムGIS」と定義した)。これらの技術の活用により、上述の更新作業が格段に改善されることが期待できる。

自治体では公共工事や地籍調査のためにさまざまな測量を行い、独自の基準点を設け、基本図・主題図といった電子地図を作製し利用しているが、このような「公共測量」の過去の成果も平成14年4月1日の測量法の改正に伴い、世界測地系へ切り替えていく必要が生じている。現在、世界測地系へ移行するための変換プログラム等も公開されているが、旧座標系(日本測地系)で作成されている基本図や主題図等の大縮尺(1/500レベル)に適応可能な程度の精度が得られないのが現状である。このため、RTK-GPSの測位結果を即時に自治体の保有する大縮尺電子地図に反映するためには、GPS測位データと地図データ上の座標の整合性が問題となってくる。

そこで本調査では、RTK-GPSを用いた「リアルタイムGIS」の実現について考察すると共に、GPS測位データと自治体が保有する大縮尺電子地図を正確に重ね合わせる座標の変換方法について検証をおこなった。また、特に即時性の問われる施設管理部門を例としてリアルタイムGISモデル実験を行い、更新手順についてのモデルを提案し、導入した際の費用軽減効果について報告する。

2. 自治体における図面更新の現状³⁾

現状の地図作成・更新過程における問題点を把握するため、平成12年11月より地元自治体の協力の下「RTK-GPS利用におけるリアルタイム地図更新に関する基礎調査」として、アンケート・ヒアリング調査をおこなった。調査項目を表-1に調査結果の一例(建設改良課)を表-2に、更新時期に関する結果(抜粋)を表-3に示す。

表-1 調査項目

調査内容	作成状況	管理状況	その他
調査項目	地図名称 作成課・係 作成年度 作成目的 データの精度(解像度) 縮尺 作成方法 作成時間 地図の主題項目(レイ デジタル化の有無	管理課・係 保管方法 最終更新日 更新サイクル 更新所要時間 更新方法	問題点 要望 データ公開の可否 データ入手方法 等

表-2 調査結果の一例 - 水道台帳図 - (平成12年11月に調査)

	調査項目	調査内容
作成 状況	作成目的	水道管路の管理、現況の確認(閲覧など)
	縮尺	1/500
	データの精度(解像度)	・地形データ...金沢市基本図と同じ ・施設データ...原則1/500
	作成方法	道路台帳をベースに空白部分を測量したものに水道管網図を入れる。
	作成時間	竣工年度の翌年
	作成年度	平成12年3月
	地図の主題項目(レイ ヤ)	・データの概要 - 水道管路データ ・データの品質 - 地形データ...金沢市基本図と同じ ・データの活用方法 - 管路の維持管理として利用 - 管路問い合わせ資料として利用 ・データの利用の制限事項 特になし。
	デジタル化の有無	デジタルデータなし
管理 状況	最終更新日	平成12年3月
	更新サイクル	毎年
	更新時期	竣工年度の翌年
	更新方法	新規追加
その 他	問題点・要望	・検索時間がかかる ・新規台帳の作成が遅い
	データ公開の可否	可
	データ入手方法	

表 - 3 自治体における地図の更新時期(抜粋)

図面名称	縮尺	更新サイクル	更新所要時間
ガスマッピング	1/500	3回/年	竣工後2～5ヶ月
水道マッピング	1/500	1回/年	竣工後2～5ヶ月
水道台帳図	1/500	1回/年	竣工年度の翌年
ガス・給水CADシステム	1/200	随時	竣工後1ヶ月

調査は全部で、7課・係を対象に14種類の図面に対しておこなわれた。表 - 2 より更新サイクルは各課・各図面によって異なり、最終成果である竣工図が出来上がるまでに時間を要していることが明らかとなった。多くの部署で問題点・要望の項目に「検索時間がかかる」、「地形データの更新時期と主題図設備データ更新時期の整合性」について挙げられていた。また、更新サイクルの項目について、将来は随時更新を望む部署がほとんどである。

今回調査を実施した自治体では、地形データとして自治体が独自に作成した基本図、あるいは民間会社の作成する住宅地図が用いられていた。しかし、基本図の全域更新は、航空写真によって3年ごとに計画されている。このことから、自治体は明らかに最新の地図を利用していないことが分かる。また、同時に現状の地図作成・更新過程についての調査をおこなった。その結果を図 - 1 に示す。

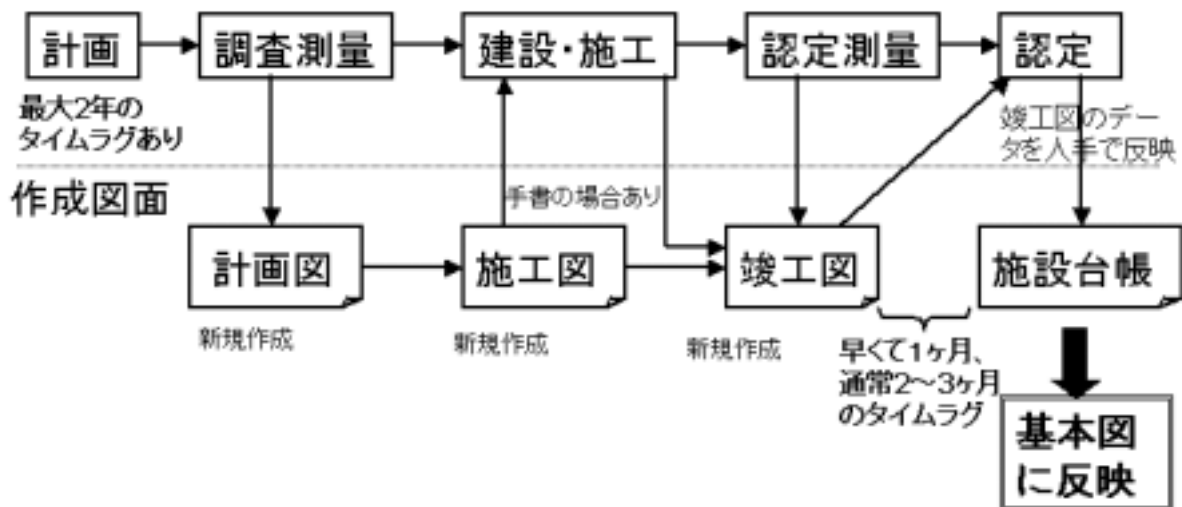


図 - 1 現在の図面作成・更新過程

図 - 1 では上段に作成・更新過程の作業の流れを、下段に作業に伴って作成される図面を示した。作業のほぼ全ての過程で紙媒体の図面が利用され、新規に作成される図面が多く、人手でデータを図面に反映するため竣工後、施設台帳が出来上がるまでに早くても1ヶ月、通常2から3ヶ月のタイムラグが生じている。また、ヒアリング調査より計画段階においては必要な情報を得ることができず、図面の作成には最大2年のタイムラグがあることが明らかとなった。このため、全過程を通しては地図作成・更新にはかなりの遅れがあると考えられる。この更新時期の問題を解消するために、本報告ではRTK-GPSを用いた「リアルタイムGIS」を提案する。

3. リアルタイムGIS^{1) 4) 5)}

本報告で提案する、「リアルタイムGIS」とは、リアルタイムキネマティック方式(RTK-GPS)により絶対座標(緯度・経度)で測位されたデータを即時に自治体の保有する地図に反映させ、地図の即時作成・更新を可能にすることである。RTK-GPSは位置情報に加え、時間情報も得ることができるため、時系列での地図管理が可能になると考えられる。そのため、本報告で試験的に適応する施設管理等の部門で有効であると思われる。この方法を自治体の地図管理に取り入れることによって、更新時期の問題は解決できると思われる。

「リアルタイムGIS」による地図更新の概念を図-2に示す。本報告ではガス管を例に挙げて説明する。

管の敷設と同時に位置をRTK-GPSで測位し、その位置情報を通信手段(実証実験では携帯電話を使用)を用いて地図サーバーへ送信する。

地図サーバーから自治体のサーバーへインターネット等を介してデータを転送する。

地図データが即時に更新される。

従来のRTK測位は基準局と移動局間の通信回線の問題、基準局設置の数などの問題からローカルな地域では可能であるが、広域を対象とした測位には問題があった。特定小電力無線を基準局、移動局間の通信手段として用いると、基線長は無線機の電波の届く約300m～500mの範囲に規制される。しかし、現在は仮想基準点(Virtual Reference Station:VRS)方式によるRTK-GPSの実現に向けて(社)日本測量協会主催の実験も行なわれているなど、国内における測位インフラの整備が進められている。現在、国土地理院により設置されている電子基準点(947点)のうち200点は既にリアルタイム化され、1秒間隔で記録された観測データは常時接続回線を通じて国土地理院に収集されている。このデータは平成14年5月27日より配信機関である日本測量協会を通じて民間会社への提供が開始されており、国内における高精度リアルタイム測位の基準網としての役割を果たしている。この方式は自治体地図データのリアルタイム更新を実現する有力な手段となるであろう。

平成12年8月に国土地理院は、「RTK-GPSを利用する公共測量マニュアル」を公表し、RTK-GPSを公共測量に利用するための一つ的手段として推奨している。今後、RTK-GPSが自治体の公共測量に用いられるのは間違いない。

第4章では、リアルタイム地図更新実現のために設けられた「リアルタイムGIS実証実験コンソーシアム」(産官学の研究会)におけるRTK-GPSを利用したリアルタイム実験結果について報告する。

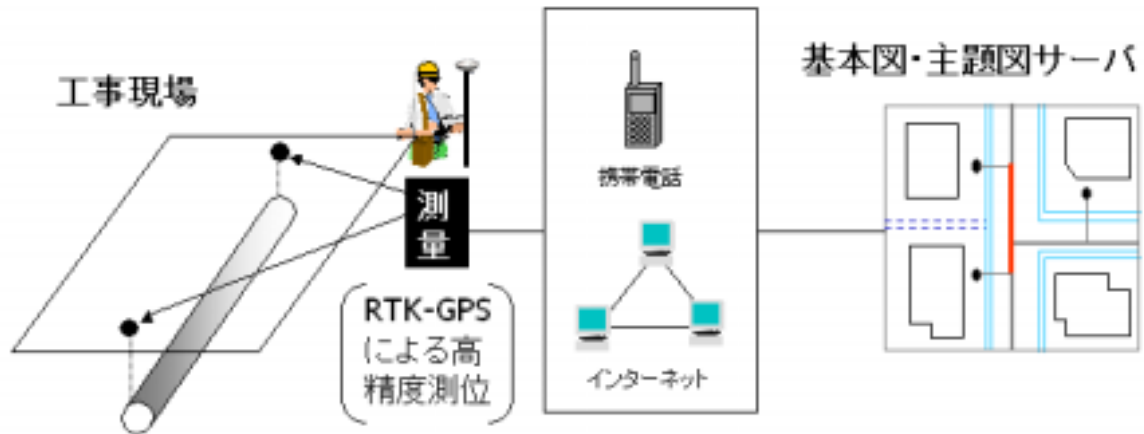


図-2 リアルタイムGISの概念

4 . RTK-GPSを用いた実証実験^{1) 4) 5)}

リアルタイムに地図を更新する技術(リアルタイムGIS)を実現させるために、産官学による実証実験が行なわれている。ここでは、第1回目の実証実験(平成13年3月に実施)と第2回目の実験(平成13年4月に実施)について報告する。まず、第1回目の実験では、地元自治体基本図データとRTK-GPS測位データの重ね合わせを行ない、どの程度のずれが生じるか確認することを目的とした。ここで用いた基準局はGPS単独測位によって求められた座標値を用いた。その結果、移動局において南西方向に約2mの誤差が確認された。実験当時は、測量法の改正が行なわれておらず日本測地系(Bessel楕円体・日本平面直角座標系)で作成されている基本図にRTK-GPS取得データを反映させる際に、一般に提供されていたソフトウェア「TKY2WGS」を用いて変換を行なった。

第2回目の実験では市内3箇所の座標値が既知の基準点を基準局として使用し、さらに実験地域に含まれる既知点(国家三角点)のデータを用いてアフィン変換した基本図を用いた。この実験では、通常の特小電力無線を用いたRTK-GPS測位を行ない、下水マンホールの位置、道路境界、歩道線等を測位し、測位データを仮想的に作成した地図サーバーへ携帯電話で情報を送信し、リアルタイムに測位データを基本図に反映した。実験の様子を図-3に、データの重畳結果を図-4に示す。その結果、既知点を囲む実験エリアの中では、数cmの誤差となり、この時点で主題図におけるリアルタイム地図更新に十分適応できるデータとして扱うことが可能となった。

第2回目の実験では、第1段階として国土地理院が公表するパラメータを用いて変換し、さらに第2段階として測定エリア内の基準点を利用し再変換を行なう手法を採用したことにより、基本図データとの重畳が可能となった。このことから、全庁基本図や公共測量への「リアルタイムGIS」利用を考えると、地域性を考慮した変換方法が必要になるとこの時点で考えた。今回行なった実験範囲は半径約2.5kmに収まる狭域での実験・座標変換であった。本報告では、座標の変換方法についての検討もリアルタイムGIS実現のためには必須であると考え、その変換方法についても検証を行っている。この変換方法については第6章で述べる。



図-3 実験の様子

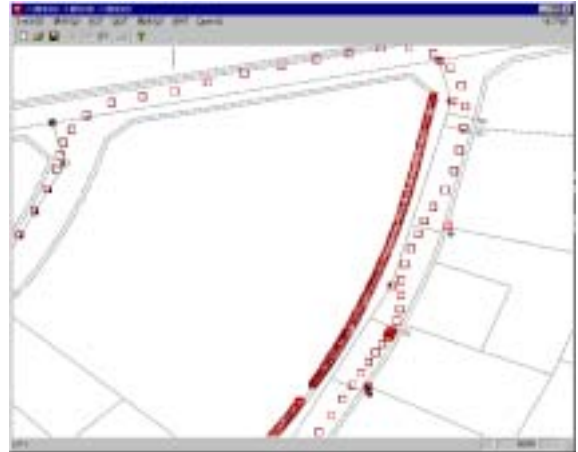


図-4 データの重畳結果

5 . 費用軽減分析^{2) 5)}

「リアルタイムGIS」を利用することにより地図更新過程において期待できる効果を、実証実験およびアンケート調査を実施した地元自治体施設管理部門のうちガス管理を例に調査した。今回、調査対象とした地元自治体では既にGISが構築・運用されている。

(1) 分析の流れ

分析の流れは、まず、現行の業務内容についてアンケートおよびヒアリング調査をし、現業務の所要経費を分析する。分析の際には、自治体が外部委託している民間の測量会社にも協力を得た。次に、「リアルタイムGIS」導入後の新業務フローを想定し、現行のものと比較し軽減される業務についてシミュレーションした。以上の調査・分析結果をもとに所要経費を現状と導入後それぞれ算出し、差を導入効果、差の合計を費用軽減効果として求めた。

(2) 現行と導入後の業務比較

埋設管(ガス管)工事業務と主題図更新業務の現行と導入後の業務内容を表-4に、業務比較を図-5に示す。現業務での問題点では、

- リアルタイムに地図が更新できず、現状を把握できない
- 地図の認定まで時間がかかる
- 現状に即した情報分析・計画が困難
- 各部署で個別に地図情報を保有しているため基本上で未確認の場所に情報反映ができない

部署毎に更新頻度が異なるため更新費用がかさむ

などである。特に主題図の更新に関しては、各工程で紙媒体の地図を人手で新規作成し、2～3か月分のデータをまとめて外部発注し更新している。そのため竣工後、主題図が更新されるまでに4～6か月もの時間を要している。

これが、新業務フローではRTK-GPSを利用することにより地図が即時更新されるので、更新過程においてかなりの効果が期待される。また、現在紙媒体で作成されている図面のほとんどが電子媒体に移行することが予想される(表-4中の内部処理、外部委託は現在のフローによるものを示す)。

表 - 4 業務内容

フロー	内部処理	外部委託	業務内容	
			現在	導入後
実施設計	事前調査	(工事規模による)	主題図をもとに現場踏査を行い実施計画図を作成する	
	実施設計		実施計画図をもとに発注設計図を新規作成する	既存施設情報を活用し、GIS上で設計図を作成
施工	現場踏査		試掘・敷設設計を行い施工図を作成する	現場踏査の結果を元にPC上で施工図作成
	設計変更		変更がある場合、設計変更を行い施工図を完成させる	
	出来形測量		埋設管の位置・深さ等を計測し出来形図を作成する	設備埋設後、RTK測量し最終的位置を登録
	竣工		竣工図の作成	RTK測量結果を基に竣工図をPC上で完成させる
承認	竣工検査		現地におもむき、検査を行い、竣工図を認定する	竣工結果をPC上で確認し、検査後に地図サーバに登録
計画	主題図更新計画		一定の工期(2~3ヶ月)分の主題図更新の計画・発注	RTK測位により即時更新
更新	主題図更新作業		資料をもとにデータを入力し、納品	
認定	主題図更新認定		納品されたものを検査・認定し、主題図を更新する	PC上で確認・審査し、自治体のサーバに登録(更新)

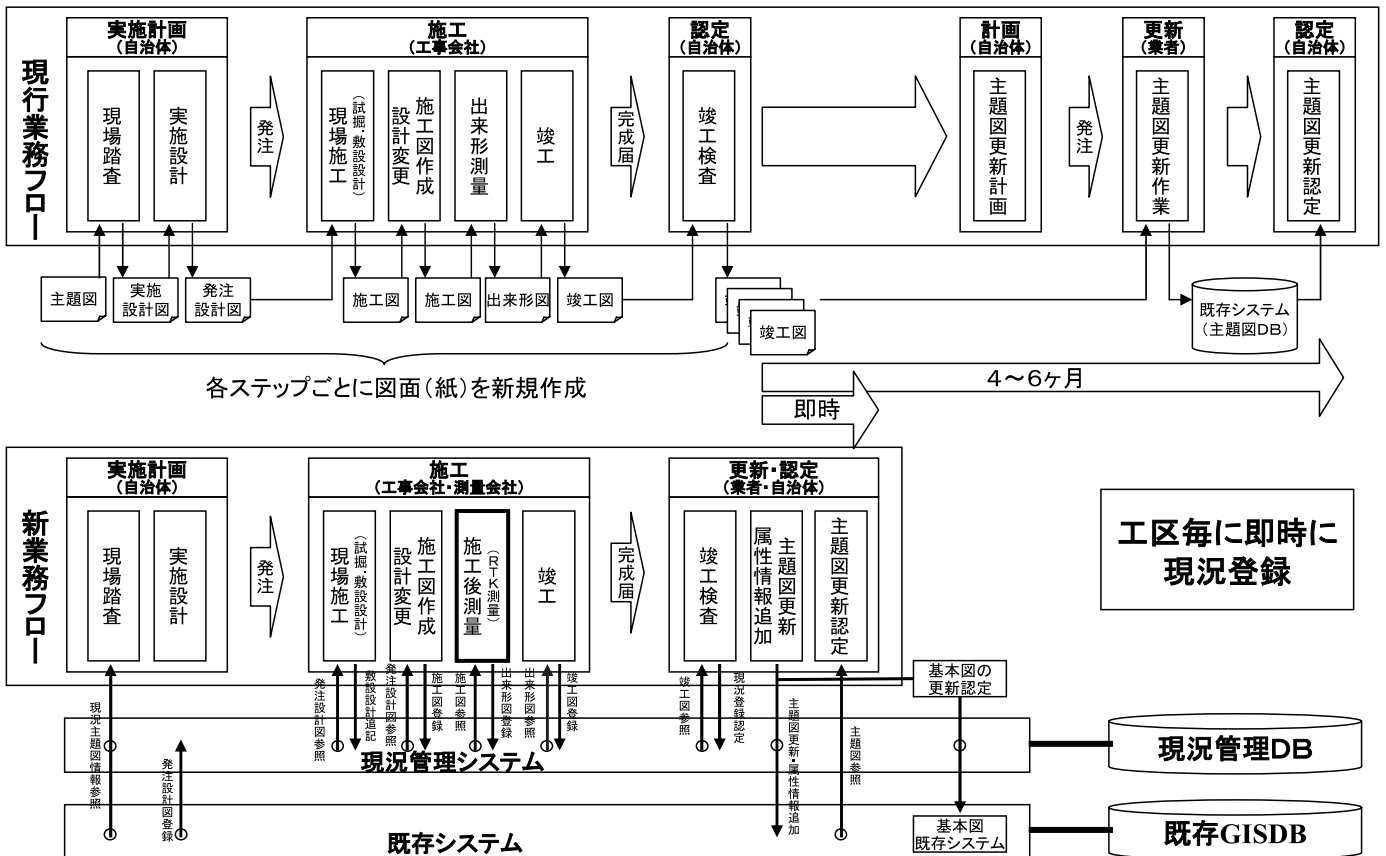


図 - 5 現行と新業務における地図更新過程の比較

(3) 業務効果と費用軽減効果

今回の調査より「リアルタイムGIS」の導入効果が最も現れるのは、主題図の更新過程であることが調査より明らかになった。この理由は、RTK-GPSにより施工後の測量結果を反映した電子地図を、そのまま主題図の更新に活用可能であり、主題図更新に要する工数を低減することが可能であるからである。ヒアリング調査より、現在行なわれている更新作業の約6割が削減できることが明らかとなった。また、埋設管工事は、外部に発注して行なっているが、工期を短縮することは不可能であり、作業時間の短縮は望めない。しかし、敷設後測量等でRTK-GPSを使用することにより、従来、測量に費やしていた人数や時間を削減することが可能になるので、実施設計の外部発注費用が低減されると考えられる。そのうえ、発注計画図から施工図まで電子化した図面を流通させることで、従来工程毎に新規作成していた図面の作成に要する工数が低減されるであろう。以上より、主題図の更新過程の各工程でどの程度費用削減が見込めるか検討し、昨年度の費用を元に費用軽減分析を行った。その際、現在の管理設工事に係る費用と主題図更新に係る費用をそれぞれ100として算定した。調査結果を表-5に示す。

表-5 費用軽減効果

業務工程	現在		導入後		導入効果	費用軽減効果
	費用	費用の合計	費用	費用の合計		
実施設計	2	100	1	99	1	1
施工	83		83		0	
承認	15		15		0	
更新計画	15	100	0	45	15	55
更新	70		40		30	
認定	15		5		10	

本調査では、自治体における現行のGISと「リアルタイムGIS」導入後の費用軽減効果を分析した結果、管敷設工事工程(表-4の実実施設計・施工・承認)における効果は主に施工に要する費用であり、図化に関する軽減は少ないといえる。主題図更新に関しては55%の効果が望めることがわかった。ただし、リアルタイム地図更新技術は現在構築段階であるため、導入費用が不明である。本研究では、今回主題図の更新に着目して算出を行ったため、リアルタイムGIS導入による管敷設工事工程における効果、すなわちRTK-GPSそのものの利用による費用軽減効果が現れないという結果になった。導入費用の算出、RTK-GPSの利用による工事工程への直接的効果について、また直接的効果により現れる間接的効果について調査・検討が必要であると考えられる。

6. ローカルな地域を対象とした地図の座標変換^{6) 7) 6) 9) 10) 11)}

前述したように、自治体では公共工事や地籍調査のためにさまざまな測量を行い、独自の基準点を設け、基本図・主題図といった電子地図を作製し利用している。このような「公共測量」の過去の成果も平成14年4月1日の測量法の改正に伴い、世界測地系へ切り替えていく必要が生じている。

第4章で説明した計2回の実証実験の際には測量法の改正が行なわれておらず、国

土地院が公開しているパラメータを用いて座標系を統一し、アフィン変換を行い、許容できる誤差の範囲で重ね合わせができた。現在は、世界測地系へ移行するための変換プログラム等も公開されており、このプログラムを用いて変換をおこなったが、旧座標系(日本測地系)で作成されている自治体の基本図や主題図等の大縮尺(1/500レベル)に適応可能な程度の精度が得られなかった。この原因として、実証実験で用いた基準点は公共基準点(公共測量のため国家基準点から独自に作成した点)であり、座標変換が正確にできなかったためであると考えられる。また、国土地院の公開する変換プログラムでは10mオーダーの誤差は残るが、1/25000より小さい縮尺で利用するような背景データであれば図上0.4mmの許容誤差の範囲で十分に実用になると思われる。しかし、大縮尺で使う場合いには座標を修正する必要がある。

そこで、GPS測位データと自治体が保有する電子地図とを正確に重ね合わせるために、広域を対象とした変換パラメータではなく、一市町村単位のローカルな地域(例えば、縮尺1/25000図葉単位程度以上)でのパラメータ作成が必要であるのではないかと考えた。本調査では自治体が独自に利用する狭域における地域パラメータ(高精度地域パラメータ)の決定方法について、検証をおこなった。

(1) 一般的な幾何変換方法による検証

まず、座標変換方法についての検証を行なった。検証に用いた範囲を図 - 6 に、それぞれの座標値を表 - 6 に示す。なお、この座標値は民間の測量会社より提供されたものである。検証範囲は矩形の一边が約 5 kmの地域L、約16kmの地域Wとした。いずれも1/25000 ~ 1/50000図葉単位程度の領域となる。

表 - 6 検証に用いた座標値 単位：m

地域L			地域W <small>*()内の数字は三角点の等数</small>		
No	日本測地系 公共座標	世界測地系 公共座標	No	日本測地系 公共座標	世界測地系 公共座標
既3	x 65937.996	66278.359	末(3)	x 57156.690	57498.123
	y -48101.512	-48363.958		y -41993.050	-42256.436
既5	x 61079.067	61420.044	小原谷(3)	x 66346.130	66686.392
	y -48745.469	-49007.903		y -37917.210	-38180.999
標10	x 63006.333	63347.088	大根布(3)	x 72670.080	73009.585
	y -52325.260	-52587.212		y -46141.220	-46403.834
標11	x 62626.410	62967.211	八田(3)	x 62473.410	62814.233
	y -50641.926	-50904.089		y -54384.180	-54645.891
標12	x 63044.220	63384.951	額中(4)	x 56497.960	56839.490
	y -48396.966	-48659.418		y -48403.320	-48665.866
中屋(4)	x 61039.340	61380.351	諸江小(4)	x 65132.810	65473.263
	y -51979.960	-52241.975		y -46133.190	-46395.910

注) 日本測地系座標値 : 自治体が保有する公共座標値(Bessel楕円体)

世界測地系座標値 : 変換パラメータを用いて各点のGPS観測値(WGS 84)を公共座標系に変換した値

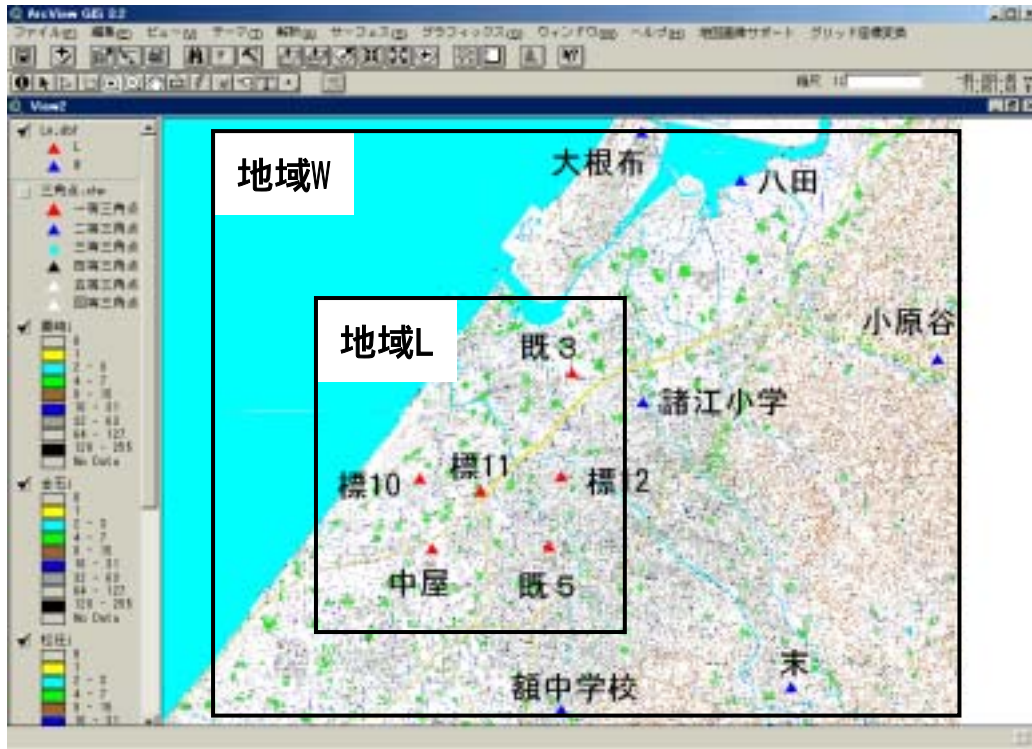


図 - 6 検証地域

最初に地域Lの座標値を用いて、一般に幾何変換に用いられている変換方法を用いて検証をおこなった。座標の変換は変換する2つの座標系の関係式を仮定して、その関係式の係数である変換パラメータを求める。本調査では単純な平行移動、およびGIS、写真測量やリモートセンシングで広く利用されているヘルマート変換、アフィン変換を適用した。変換式は次式で表される。

$$\begin{aligned}
 \text{平行移動} \quad x' &= x_0 + x \\
 y' &= y_0 + y
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ヘルマート変} \quad x' &= x_0 + kx - \theta y \\
 y' &= y_0 + \theta x + ky
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 \text{アフィン変換} \quad x' &= x_0 + k_x x - \theta_x y \\
 y' &= y_0 + \theta_y x + k_y y
 \end{aligned} \tag{3}$$

ただし、 (x, y) は日本測地系座標、 (x', y') は世界測地系座標、 (x_0, y_0) は平行移動、 k はスケール、 θ は回転、 k_x はx軸のスケール、 k_y はy軸のスケール、 θ_x はx軸の回転、 θ_y はy軸の回転である。

ヘルマート変換とアフィン変換は解を得るために、最小二乗法を使って未知数である変換パラメータを求めた。上式を用いて得られた変換前後の値から標準偏差を求めた結果を表 - 7 に示す。

表 - 7 標準偏差

単位: m

	X軸方向	Y軸方向	平均
平行移動	0.232	0.230	0.231
ヘルマート変換	0.007	0.008	0.008
アフィン変換	0.004	0.004	0.004

表 - 7 よりアフィン変換の標準偏差が最も小さいが、ヘルマート変換よりアフィン変換の方が幾何変換パラメータが多く、あてはめ誤差(残差平方和)は小さくなったと考えられる。そこで、単に標準偏差の大きさを比較するだけでなくパラメータ数も考慮した以下の式で変換方法を検証した。AIC(Akaike's Information Criteria, 赤池の情報量基準)は、回帰分析などの場合に、観測データがモデルにどの程度一致するかを表す基準である。

$$AIC \text{モデル検定式} \quad AIC = n \cdot \ln \sigma^2 + 2(m+1) \quad (4)$$

ただし、nは観測値数、mはパラメータ数である。検定結果を表 8 に示す。

表 - 8 検定結果

変換式	AIC
ヘルマート変換	33.3509
アフィン変換	30.6355

2つの差が1を超えれば有意とされているので、表 - 8 よりこの場合もアフィン変換の方がヘルマート変換よりも適していることが分かる。そこで、本調査ではローカルな地域における大縮尺地図の変換にはアフィン変換を用いることとした。

(2) 高精度地域パラメータを利用した座標変換

本調査ではアフィン変換で求めたパラメータを「高精度地域パラメータ」と称することにする。ここでは、高精度地域パラメータを用いると、どの程度精度良く座標変換できるか調査するため図 - 6 におけるW地域で検証をおこなった。その手順を以下に示す。

本測地系座標値を国土地理院の提供する変換プログラムを用いて世界測地系に変換(表中「日本測地系2000」と表示)する。計算結果を表 - 9 に示す。

地域で表 - 9 の座標値を用い、ローカル(大縮尺)な地域における座標変換を行う。結果を表 - 10 に示す。

2で作成したパラメータをパラメータ作成に寄与しないL地域に適応し変換を行う。結果を表 - 11 に示す。

表 - 9 国土地理院が提供する変換パラメータによる計算結果

地域L			地域W <small>*()内の数字は三角点の等単位：m</small>		
No	日本測地系2000 公共座標	世界測地系 公共座標	No	日本測地系2000 公共座標	世界測地系 公共座標
既3	x 66284.940	66278.359	末(3)	x 57503.733	57498.123
	y -48370.098	-48363.958		y -42261.621	-42256.436
既5	x 61426.142	61420.044	小原谷(3)	x 66693.052	66686.392
	y -49013.991	-49007.903		y -38185.834	-38180.999
標10	x 63353.396	63347.088	大根布(3)	x 73016.844	73009.585
	y -52593.716	-52587.212		y -46409.654	-46403.834
標11	x 62973.486	62967.211	八田(3)	x 62820.448	62814.233
	y -50910.399	-50904.089		y -52652.628	-54645.891
標12	x 63391.256	63384.951	額中(4)	x 56845.092	56839.490
	y -48665.500	-48659.418		y -48671.893	-48665.866
中屋	x 61386.480	61380.351	諸江小(4)	x 65479.759	65473.263
	y -52248.449	-52241.975		y -46401.716	-46395.910

表 - 10 W地域のアフィン変換結果

単位：m

No.	内挿結果		観測結果		残差	
	x	y	x	y	dx	dy
末	57498.079	-42256.388	57498.123	-42256.436	0.044	-0.048
小原谷	66686.428	-38181.021	66686.392	-38180.999	-0.036	0.022
大根布	73009.559	-46403.815	73009.585	-46403.834	0.026	-0.019
八田	62814.241	-54645.880	62814.233	-54645.891	-0.008	-0.011
額中	56839.511	-48665.900	56839.490	-48665.866	-0.021	0.034
諸江小	65473.268	-46395.932	65473.263	-46395.910	-0.005	0.022

標準偏差(m)	x	y
	0.030	0.031

変換パラメータ	
x方向並進(x0) (m)	0.371
y方向並進(y0) (m)	0.219
X軸スケール	0.9998948
y軸スケール	0.9998808
X軸回転 (秒)	1.48
y軸回転 (秒)	1.36

表 - 11 パラメータ作成に関与しない点での変換結果

No.	内挿結果		観測結果		残差	
	x	y	x	y	dx	dy
既3	66278.365	-48364.074	66278.359	-48363.958	-0.006	0.116
既5	61420.079	-49007.925	61420.044	-49007.903	-0.035	0.022
標10	63347.132	-52587.209	63347.088	-52587.212	-0.044	-0.003
標11	62967.261	-50904.095	62967.211	-50904.089	-0.050	0.006
標12	63384.986	-48659.461	63384.951	-48659.418	-0.035	0.043
中屋	61380.423	-52241.997	61380.351	-52241.975	-0.072	0.022

標準偏差(m)	x	y
	0.049	0.057

表 - 9 において、変換した座標値とGPS測位した座標値の間の誤差は平均8.5m(ベクトル差)、標準偏差はL地域で0.2m、W地域で0.6m程度であった。この誤差は、1/25000より小さい縮尺で用いる背景データであれば図上0.4mmの許容誤差の範囲で十分に実用になるとと思われる。

表 - 11より当然ながらパラメータに関与していない点を用いてアフィン変換を行うと誤差が大きくなる。ここでは、地域Lを1/25000、地域Wを1/50000地形図に相当させ変換を行なったが、広域(地域W)よりも狭域(地域L)における方が標準偏差は小さくなり、より正確に2種類のデータを重ね合わせることができる。

本報告では、自治体単位で作成されている極めてローカルな数値地図を、RTK-GPS観測のような即時性のある方法で更新していくために必要な既存デジタル地図の簡易的な変換方法について検証を行なっている。

自治体が保有する地図は、先にも述べた通り、独自に設けた基準点(図 - 7 参照)等を用いて作製されているものも少なくない。そこで、公共基準点でGPS測位を行い基本図が持つ座標値との整合性を検証した。測位した点は計10点で、基本図が持つ座標値(日本平面直座標系・Bessel楕円体)は民間の測量会社から提供していただいた。測位は平成14年7月下旬から8月上旬に行い、測位時間は各点2時間で、4つの電子基準点を用いて基線解析を行い、整合性を検討した。測位の様子を図 - 8 に、整合性検討結果として、平行移動結果を表 - 12に、アフィン変換結果を表 - 13に示す。



図-7 公共基準点



図-8 測位の様子

表 - 12 平行移動の結果

単位: m

No	点名称	公共座標 Bessel	GPS観測値 GRS-80	平行移動		残差		ベクトル差	
				x_0	y_0	x	y		
1	標1	x	70420.857	70767.554	346.697		-0.383	438.451	
		y	-43043.792	-43312.195		-268.403			-0.002
2	標2	x	70634.622	70981.352	346.730		-0.351	438.488	
		y	-40680.634	-40949.055		-268.421			-0.020
3	標3	x	68706.398	69053.147	346.749		-0.332	438.486	
		y	-44018.802	-44287.196		-268.394			-0.007
4	標7	x	65961.750	66309.213	347.463		-0.383	438.688	
		y	-40047.902	-40315.702		-267.800			-0.601
5	標11	x	62626.388	62974.372	347.984		-0.904	439.443	
		y	-50641.911	-50910.271		-268.360			-0.041
6	標12	x	63044.228	63391.25	347.022		-0.059	438.701	
		y	-48396.961	-48665.353		-268.392			-0.009
7	標15	x	61161.622	61508.66	347.038		-0.042	438.839	
		y	-42184.721	-42453.318		-268.597			-0.196
8	標16	x	58811.408	59158.457	347.049		-0.032	438.846	
		y	-42641.189	-42909.783		-268.594			-0.193
9	標17	x	58501.268	58848.288	347.020		-0.060	438.828	
		y	-41469.449	-41738.052		-268.603			-0.202
10	既5	x	61079.067	61426.12	347.053		-0.028	438.756	
		y	-48745.469	-49013.911		-268.442			-0.041
平均					347.081	-268.401	1.3531	0.4816	438.753
								残差の二乗和	
標準偏差 (m)					x	y			
					0.388	0.231			

表 - 13 アフィン変換結果

No.	内挿結果		観測結果		残差		変換パラメータ	
	x	y	x	y	dx	dy	x方向並進 (x0) (m)	y方向並進 (y0) (m)
1	70767.737	-3312.065	70767.554	-3312.195	-0.183	-0.130	346.884	269.543
2	7.981.402	-0948.897	70981.352	-0949.055	-0.050	-0.158	0.9999502	0.9999860
3	69053.359	-4287.111	69053.147	-4287.196	-0.212	-0.085	X軸回転 (秒)	0.41
4	66308.619	-0316.255	66309.213	-0315.702	0.594	0.553	y軸回転 (秒)	0.42
5	62973.763	-0910.358	62974.372	-0910.271	0.609	0.087		
6	63391.503	-8665.393	63391.25	-8665.353	-0.253	0.040		
7	61508.694	-2453.174	61508.66	-2453.318	-0.034	-0.144		
8	59158.556	-2909.689	59158.66	-2909.783	-0.099	-0.094		
9	58848.377	-1737.952	59158.457	-1738.052	-0.089	-0.100		
10	61426.404	-9013.941	61426.12	-9013.911	-0.284	0.030		
標準偏差 (m)					x	y		
					0.328	0.212		

表 - 13に示すように、高精度地域パラメータを作成するために公共基準点を用いてアフィン変換を行なったが、平行移動結果と比べても標準偏差もほぼ変化なく、許容できる誤差内に収まらなかった。この原因として、検証範囲が広すぎる事が挙げられる。また、市全域で地図の幾何変換のために10点の基準点では少なすぎる事が考えられる。今後はこの点を踏まえて、さらに座標変換方法について検討を行う予定である。

また、2002年9月25日に実際の水道管理設工事現場で、リアルタイム地図更新の実験を行なった。その際用いた地図は自治体の基本図と水道管のレイヤである。実験範囲は半径約250m程度の範囲で、極めてローカルな地域である。実験の概要を図 - 9

に示す。第3章で説明したように、管が埋設されると同時にRTK-GPSを用いて埋設管位置の測位を行ない、そのデータを仮想的地図サーバーへ携帯電話を用いて送信し、地図の更新実験をおこなった。



図 - 9 測位実験の様子

7. おわりに¹¹⁾

本報告では、RTK-GPSを用いた即時地図更新方法である「リアルタイムGIS」の実現について考察すると共に、GPS測位データと自治体が保有する大縮尺電子地図を正確に重ね合わせる、座標の変換方法について検証をおこなった。また、特に即時性の問われる施設管理部門を例としてリアルタイムGISモデル実験を行い、更新手順についてのモデルを提案し、導入した際の費用軽減効果について調査をおこなった。

「リアルタイムGIS」を用い電子地図を即時に更新することができれば、精度のよい位置情報が自治体において全庁的に流通し、常に最新の地図を用いることができる。現状では地図の認定の問題等もあるが、業務の効率化および経費の削減を期待でき、さらにデータの共有化により住民サービスの向上につながる。

一方で、RTK-GPSで取得したデータと自治体が持つ大縮尺基本図との厳密な整合性を得ると言う大きな課題をクリアする必要がある。本報告では、第6章において自治体単位で作成されているローカルな数値地図を、RTK-GPSのような即時性の確保できる方法で更新するために必要な既存デジタル地図の簡易的な変換方法についての手法を提唱し考察した。

国土地理院が提供する変換ツールは、原則として国家基準点を対象としており、面積が狭い一市町村単位での図面区画では変換に必要な点数を確保することは困難である。

今回、本報告で検証したような1/500～1/1000で作成された大縮尺基本図や主題図では、国土地理院が提供する変換プログラムを用いてもGPS観測値と自治体の持つデータの間には無視できない程度の誤差があることが示された。したがって、大縮尺で正確に重ねあわせるためにはさらに細かく分類した地域ごとの「高精度地域パラメータ」の作成が必要不可欠であると言える。また、一市町村内でも座標変換に必要な基準点の確保ができず、正確に変換が行なえないことが明らかになった。現在、この高

精度地域パラメータ作成に関して、さらに基準点を確保(測位)するための実験を行い、自治体の持つ既存電子地図をRTK-GPS測位データにより即時に更新するための高精度地域パラメータ作成のプロセスを考案中である。

最後に、本報告で実施した実験ではデータの提供、実験の支援等について、金沢市企業局、日立製作所、セントラル航業株式会社の多大なるご協力をいただいた、記して感謝の意を表します。

また、本報告は金沢工業大学大学院工学研究科修士課程に在籍している新井智恵子氏の修士論文研究テーマの一環として実施されたものであり、実証実験・解析等の多くは氏の研究成果から引用した。新井氏の多大なる協力と本報告の取りまとめに対して深甚なる謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 社団法人測量協会：測地成果2000導入に伴う公共測量成果座標変換マニュアル、2001
- 2) 鹿田正昭 新井智恵子 富田仁志 岩村一昭：リアルタイム更新を目指した全庁型GISの効果的導入について、電気学会産業システム情報化研究会、IIS-01-19～28、pp.47～52、2001
- 3) 新井智恵子 鹿田正昭 総田与志光 富田仁志 岩村一昭：RTK-GPSを利用した地図更新に関わる費用軽減効果について - 施設管理における地図更新を例として -、日本写真測量学会平成13年度秋季学術講演会発表論文集、pp.247～250、2001
- 4) 株式会社日立製作所 他：仮想基準点方式によるRTK実験計画書、2000
- 5) 新井智恵子 鹿田正昭 岩村一昭 藤井健二郎 総田与志光：RTK-GPSの利用によるリアルタイム地図更新の可能性について、全国測量技術大会2001学生フォーラム発表論文集、pp.119～123、2001
- 6) 大滝三夫 他：測量計算、(株)東洋書店、2000
- 7) 日本リモートセンシング研究会：画像の処理と解析、共立出版(株)、1981
- 8) <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/Yougoshu/1.html>
- 9) 飛田幹男：世界測地系と座標変換、社団法人日本測量協会、2002
- 10) 鈴木義一郎：情報量規準による統計解析入門、(株)講談社、2001
- 11) 新井智恵子 田口智子 鹿田正昭：自治体が保有するデジタル地図の有効利用について、全国測量技術大会2002学生フォーラム発表論文集、pp.1～5、2002
- 12) C.Arai, M.shikada et al. : Research on Real-Time Revision of Base Map using Remote Sensing and RTK-GPS、IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium、0-7803-7033-3/1、2001
- 13) C.Arai ,M.shikada et al. : Management of Mapping in Local Government using Remote Sensing and the REAL TIME GIS、IEEE 2002 International Geoscience and Remote Sensing Symposium、0-7803-7537-8/02、2002
- 14) 新井智恵子 鹿田正昭：自治体が保有するデジタル地図の有効利用について、日本写真測量学会平成14年度秋季学術講演会(投稿中)、2002