

特別
講演「測位のシームレス化の動向と
測量分野での展開」

日本大学理工学部 社会交通工学科 教授 佐田 達典

ただいまご紹介いただきました日本大学の佐田でございます。本日はこのように大勢の皆様方の前でお話させていただく機会をいただき、まことにありがとうございます。

先程ご紹介いただいたように、私は理工学部社会交通工学科で測量学、測量実習、空間情報工学などを教えております。また、ポジショニングをキーワードに、動くものを測る、あるいは動いているものから測る研究をしています。

本日は「測位のシームレス化の動向と測量分野での展開」の題目でお話しをさせていただきます。

まず、屋外での測量あるいは測位というのは、GPSが登場したことによりまして、非常に簡単に実施できるようになりました。しかしながら、GPS衛星からの電波は、屋内とか地下街あるいは森林の中といった所では届きませんので、そこでは汎用的な測位技術がなかったというのが今までの状況ではないかと思えます。しかし、近年、屋内での測位技術が各種提案されてきております。そして、屋内、屋外を問わず、いつでも、どこでも、時間的、空間的に切れ目のない測位を目指した、いわゆるシームレス化が進んでおります。

そこで、本日の内容としましては、二つに分けて、一つはGPSの単独測位に代表されるメートル精度の標準測位とそれに関する動向を、二つ目はRTK測位のようなセンチメートル精度の高精度測位の二つに分けて技術の動向を紹介させていただきます。

シームレス化を目指す多様な標準測位技術

まず、最初に標準測位の技術をIMES、無線LAN、RFID、可視光通信の四つに絞ってご紹介したいと思います。最初にIMESという技術でございます。

これはIndoor Messaging Systemの略です。宇宙航空研究開発機構(JAXA)殿と測位衛星技術株式会社殿が共同で開発して提案している技術です。準天頂衛星が今年打ち上げる予定ですが、衛星から送信する測位信号の受信機開発の一環として屋内での正確な位置や情報を得ることができる地上補完装置として開発されてきました。したがって、準天頂衛星とは対になっているシステムです。

ここからは、測位衛星技術株式会社殿の資料でご紹介していきます。まず、IMESが開発された背景です。米国のE911、日本でも緊急通報位置義務というのがありますが、GPS携帯電話からの発信が急増してきた状況において、特にGPS信号の届かない屋内測位というのが非常に重要になってきたことが挙げられます。

これまで屋内で位置決めをしようとする、反射波の影響など技術的な課題が多くありましたが、衛星からの距離を測るということではなくて、単にメッセージによって位置を決めようということがIMESの基本的な理念かと思えます。

JAXA殿がIMES方式をアメリカに提案され、地上の補完装置としてPRNというGPS

の衛星番号に相当する信号番号を、10 衛星分割り当てを受けたことから具体化が始まりました。IMES のユーザーインターフェースの仕様も公開されていまして、非常に広範囲に使える技術であり展開が期待されています。

GPS 衛星の PRN は 1 番から 32 番まで割り当てがあります。IMES は PRN の 173 から 182 の 10 個が割り当てられています。GPS は CDMA 方式で、同じ周波数で各衛星ごとに割り当てられたパターンの信号を送信し、それで衛星が識別されております。PRN というのはこの信号パターンの番号であり、そのうちの 10 個を IMES 用に割り当ててもらっているということです。

IMES とは GPS 衛星と同じ信号を屋内送信機から送信して、位置情報をメッセージとして情報送信する技術です。通常の GPS 衛星を使った携帯電話での測位は、衛星軌道とかクロック情報等を衛星電波から受けて、それをもとに位置計算をしています。その場合、4 衛星以上の衛星から電波を受けないと三次元測位ができないので、ある意味非常に制約が多いということです。

それに対して IMES はいきなり位置情報としてメッセージを受けています。緯度、経度、高さ、フロアー情報などです。その際、GPS・準天頂衛星と同じメッセージ構造を使う、要するに同じ携帯電話で受けることができます（図 1）。

GPS あるいは準天頂衛星からは航法メッセージという衛星の軌道情報が出ていますが、メッセージ内容は衛星の軌道情報、エヘメリス、アルマナック、あ

るいは衛星時計誤差といったものが放送されています。IMES はそういう情報はなくて、位置情報、フロアー情報、2 種類の ID という構造になっています。

実際どのような位置情報が送られているかということですが、位置情報として 2 種類あります。一つは緯度・経度が 2.4 メートルの分解能、階数の表現は 1 階単位です。二つ目は緯度・経度の分解能が 1.2 メートルで標高が 1 メートル、階数の表現は 0.5 階単位です。さらにショート ID とミディウム ID の 2 種類の情報が受信できるというように言われております。IMES の送信機から携帯電話で IMES の信号を受けると絶対位置である緯度・経度・高さがわかります。そうすると例えばそれを使って緊急時の位置情報通知ですとか、位置情報の検索、経路案内といった ASP を介した情報提供を受けることができるだろうと言われています。あるいは、その場所ならではの情報受信が容易であり、ショート ID、ミディウム ID を介して様々な情報コンテンツを取り出すことができます。例えば特定の場所で、「このビルのこの階で今からタイムサービスを始める」というように、情報をその場で受けることができるという使い方が想定されているということです。

それで、最初に申し上げましたように、

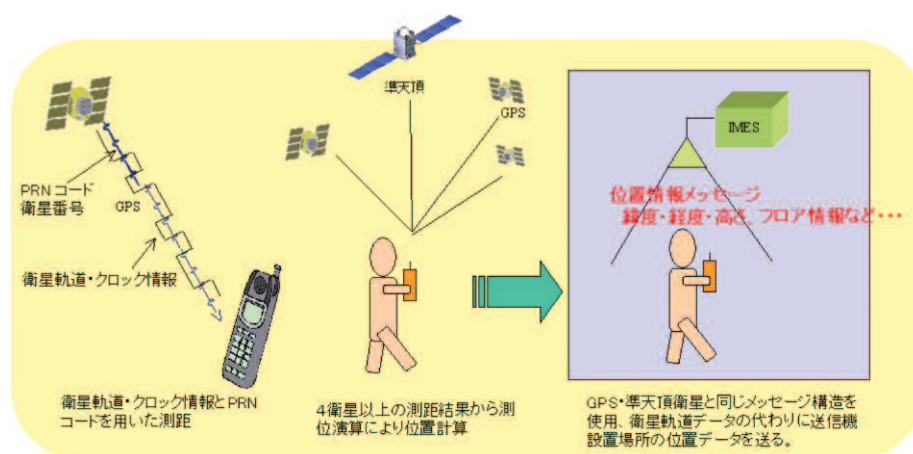


図1 IMES のしくみ（測位衛星技術株式会社 提供）

IMES というのは準天頂衛星と対になっているということです。GPS の規格というのは IS-GPS ということで決まっていますが、準天頂衛星と IMES は IS-QZSS というユーザーインターフェース仕様書で規定され公開されています。屋外は準天頂衛星による測位、屋内は IMES による測位という屋内外でシームレスに測位を行うことを目指しています。

IMES の送信機は、すでに普及型のプロトタイプが出ています。測位衛星技術株式会社殿の送信機を今日お持ちしましたが、これを天井に設置して使用します。

IMES の送受信には実際にはまだいろいろと課題があります。まず屋外での GPS 衛星サーチと屋内での IMES サーチを効率的に行う必要があります。屋外ですと上空を見回して高速に移動する GPS 衛星を捕捉して衛星電波をキャッチしなければなりません、屋内の IMES ですと天井部分に固定された送信機を探すだけでよいというように、衛星のサーチを切り替える必要があります。以上が最初の IMES という技術の紹介です。

二つ目が無線 LAN を用いた測位です。最近の新しい技術ですが、Wi-Fi という IEEE が標準化した高速無線 LAN の仕様で、これに対応した端末を使って位置を測るという技術です。この Wi-Fi のアクセスポイントが定期的に発信するビーコンパケットをクライアント機器が受信する、その際に得られるアクセスポイント ID と受信信号強度値を位置推定に用いるといった仕組みで無線 LAN を使って測位をしようという技術です。例としてクウジット株式会社殿の PlaceEngine※という技術を紹介します。(※「PlaceEngine」は、クウジット株式会社の登録商標です。※「PlaceEngine」は、株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所が開発し、クウジット株式会社がライセンスを行っている技術で

す。)これはノート PC やスマートフォンなどの無線 LAN 搭載機器で現在位置を求めることができる技術で、概ね 5 メートルから 100 メートルの範囲で位置が推定できます。

測位の手順ですが、周囲の Wi-Fi アクセスポイントを検出し、Wi-Fi の電波情報を測定します。次に測定した Wi-Fi 電波情報を基に PlaceEngine サーバーに現在地を問合せます。このサーバーは予め蓄えられている Wi-Fi 電波情報のデータベースを元に位置を推定します。「あなたはたぶんこの辺にいますよ」と返していくわけです。もしサーバーから位置情報が返ってこなかったらその場で測定した Wi-Fi 電波情報を新しく登録することができます。するとその情報がどんどんたまっていて、登録されたデータはほかのユーザーが利用できるようになります。そして、最終的にはこのサービスは、多くのユーザーが位置を登録し、使えば使うほど精度が向上し利用地域が拡大していくというユーザー参加型の測位システムということです。非常に面白い仕組みだと思います。

技術的には無線 LAN だけで位置取得が可能であり、屋内や地下街などの GPS の機能しない場所でも位置特定が可能です。それから、GPS とのハイブリット化も可能だということです。また、位置測位が速い、緯度、経度に加えてフロアー情報も取得できる、などのメリットがあるということです。

次に、RFID による測位をご紹介します。Radio Frequency Identification の略で、皆様よくご存知の技術と思います。IC タグとリーダー間の無線通信により個体の識別を行う技術の総称です。Suica とか PASMO に使われています。IC タグには 2 種類あります。アクティブ型とパッシブ型です。アクティブ型は電池を内蔵して自ら電波を発し、IC タグの情報を送信します。パッシブ型は電池を内

蔵しません。アンテナから受けた電波によって起電して IC タグの情報を送信します。アクティブ型は通信距離が 10 メートル程度までと非常に長いものです。パッシブ型は基本的には数センチから長いものでも 2 メートル、3 メートルくらいだと思います。RFID による測位は、この IC タグに位置情報を記録して現地に設置します。そして利用者はリーダーによって現地の IC タグの位置情報を読み取るということです。

国土交通省の自律移動支援プロジェクトで、2004 年度から 2008 年度まで、RFID を用いた様々なプロジェクト活動が行われています。その中で、測量関係ではインテリジェント基準点が国土地理院により設置されています。IC タグには場所情報コードと U コードと呼ばれるものと、緯度、経度、標高が記録されています。それから、有名なところでは、東京都の東京ユビキタス計画という参加型のプロジェクトがあります。2005 年度から上野、銀座、新宿といった所で店舗、天候情報、道案内、障害者移動支援といった各種の社会実験が行われています。上野動物園で情報端末を使った動物情報サービスでは、このような端末を手首につけて、檻の前に行って IC タグを近づけると、様々な情報が出てくるというシステムで、ユビキタスコミュニケーターと呼ばれ非常に好評のようです。

そして、標準測位の最後になりますけれど、可視光通信という技術があります。これは最近の技術なので、まだご存知でない方もいらっしゃると思います。この技術は、目に見える光、すなわち可視光を利用して高速で通信を行う、日本発の最先端通信技術と呼ばれています。LED などの照明機器を目には感じられないほどの高速で点滅させ、それによって大容量のデータ通信をします。この特長は、通常の照明機器に通信機能を付加するだけで通

信環境ができる、そして通信範囲が目で確認できることです。光ですから、電磁波などのように人体に影響を与える心配がありません。また、精密機械への影響もありません。病院などでも使用できます。このあたりは大きな特長かと思います。この技術は可視光通信コンソーシアムを中心に研究、開発、標準化、普及活動などが行われています。

基本的には LED などの照明から情報を得るということですが、手法として四つあります。一つは照明光通信で、白色発光ダイオードいわゆる LED を用いた照明を利用して様々な情報通信を行います。二つ目はユビキタス可視光通信です。これは PC、テレビ、携帯電話、電光掲示板といった機器端末を可視光通信によって連結しようといった試みです。三つ目は、信号機や自動車のライトへの利用であり、ITS、交通がらみのシステムに使っていこうということです。そして四つ目に、イメージセンサー通信というのがあります。これはカメラを使って様々な情報をやり取りしようということです。

以上、標準測位をご紹介しましたが、簡単にまとめてみます。

位置特定精度でみますと、IMES は 10 メートル、無線 LAN は 5 メートルから 100 メートル、RFID はインテリジェント基準点等では数センチでしょうが、アクティブ型だと 10 メートル、可視光通信も 1、2 メートルで位置が特定できそうということです。そして、送信条件、受信条件など、使い勝手がどうかということです。まず送信条件ですが、IMES の場合は電源とアンテナが必要です。無線 LAN は、無線 LAN の基地局があればよく、屋内で増設ができます。それから RFID では、アクティブ型は電源、アンテナ両方要りますが、パッシブ型はアンテナだけでよい。可視光通信は照明器具を交換すれば使えるという特長が

あります。

やはり一番の問題は、受信側の条件、使う側がどのように対応できるかということです。ここでは携帯電話に対応できるかということで考えてみます。そうしますと、IMES の場合は基本的に使えますが、若干ファームウェアを変更しなければいけない。無線 LAN は、一部の機種では搭載されていますが、Wi-Fi という機能が搭載されなければならない。RFID と可視光通信は、リーダーの機能を携帯電話に付け加えなければいけない。この辺が非常に難しいところなのかなと私自身は感じています。

以上がシームレス化を目指す標準測位技術のまとめです。

シームレス化が進む高精度衛星測位

次に、皆様の専門分野でもあり、私も主に研究対象としている「高精度衛星測位」もシームレス化が進んでいると言えるのではないかと思います。その辺の話題をお話ししたいと思います。

まず、ネットワーク型 RTK-GPS は実用化されて 10 年近くなるかと思いますが、VRS 方式や FKP 方式により、電子基準点からの補正情報をリアルタイムに受けてどこでも測位できます。電子基準点からの距離に制限されずに RTK 測位ができるということです。そして、基地局を自分で用意する必要がなく、1 台の GPS 受信機で測位できます。これはある意味で一つのシームレス化であると私自身は思っています。

一方、GLONASS というロシアの衛星が最近増強され、利用環境も整ってまいりました。今運用している数が GPS は 31 機ですけれども、GLONASS は 21 機あります。そして測位方式は GPS が CDMA で、GLONASS は FDMA ということで、GLONASS の方は周波

数が衛星ごとに違っているのが特徴です。ただし、両方を使って測位ができる受信機がすでに多数出てきていまして、GPS に GLONASS を併用した測位ができるようになったということです。

GLONASS を併用するとどの位の効果があるのかをお話しします。私が勤務している日本大学理工学部の船橋キャンパスに測量実習センターという建物があります。その周りを移動しながら RTK を行って、RTK の解がどのように変化するかという実験を行いました。トプコンの LEGACY-E+ という受信機を使用し、パーソナル・トランスポーターのセグウェイに受信機とアンテナを積んで、周回して RTK 測位を実施しました。5 階建てくらいの建物が周りをぐるりと囲んでいるのですが、そういう中で動きながら測位して、どれだけ精度の良いフィックス解が取れるかという実験をしたところでは、

その結果が図 2 です。上が GPS のみ、下が GLONASS を併用した場合ということで比較したものです。赤色が単独測位、これは 10 メートル精度です。緑がフロート解で数十センチ精度です。青がフィックス解で数センチの精度ということです。上の GPS の場合は、赤の単独測位解と緑のフロート解が多く、フィックス解が少ない。一方、GLONASS を追加した下の図は、GPS だけでは緑のところは GLONASS を追加した場合では青になっているので、かなり切れ目なくフィックス解が取れるということがお分かりになるかと思います。表 1 の測位解の割合で見ますと、GPS のみの場合、フィックス解が約 30% しかありませんが、GLONASS を追加すると 60% で倍になります。GLONASS の効果は非常に大きいことがわかります。それから、こうした高精度測位をする際は、初期化という問題があります。これは精度が良いフィックス解が得ら

れていても、受信が中断しますと、受信不能になって、再び接続してからは単独測位解、フロート解を経てフィックス解に復帰します。この間、精度の悪い状態が続きます。これを初期化時間と呼んでいます。この時間が短いほど作業はやり易いと思いますので、GLONASSを入れた場合、どれくらい時間が短縮できるかといった実験をしております。GPS だけですと 30 秒くらいかかりますが、GLONASS を入れるとだいたい 20 秒くらいで終わります。初期化時間についても GLONASS の効果があります。

次に、準天頂衛星も高精度測位に関わってくるだろうというお話しをしたいと思います。

準天頂衛星初号機の「みちびき」という衛星が、今年上がる予定ですが、その衛星から送信されますのは、GPS と相互運用性のある 4 種類の補完信号が放送されます。従いまして、これが上がると GPS が 1 機増えることに相当する考えられるわけです。それから 2 種類の補強信号も放送されます。準天頂衛星が上がるとどれだけ効果があるかを RTK 測位に関してシミュレーションした例がありますので、ご紹介したいと思います。なお、これは（財）衛星測位利用推進センターからの委託研究成果の一部です。

シミュレーションといっても、そんなに難しいことをやっているわけではありません、衛星数と衛星の幾何的配置による精度劣化度を示す DOP を各エポックで計算して、初期化ができるか、できないかとか、フィックス解を維持できるか、できないかといったアルゴリズムで処理をしたものです。その際、準天頂衛

星が 3 機打ち上がっている状態を想定し、衛星軌道を設定してシミュレーションを行いました。どういことをやったかという、2010 年 1 月 8 日の 1 日分の市街地、住宅地、山間部という設定で、札幌、東京、明石、福岡、那覇の 5 地域で、GPS だけの場合と GPS プラス準天頂衛星 3 機場合どれだけ RTK ができる時間帯が変わってくるかというシミュレーションをしました。例えば住宅地の場合は、幅 15 メートルの道路上で高さ 6 メートルの住宅に囲まれたエリアを 1 分間に 80 メートルの速度で動いた場合に、どのように衛星の観測条件が変わって RTK の解がどうなるかといったことをシミュレーションしました(図 3)。例えば、札幌の GPS のみの場合ですと、1 日に 1,292 分 RTK ができますが（利用可能率 89.7%）、準天頂衛星が加わりますと 1,382 分となり（利用可能率 96.0%）、約 90 分増える

表 1 測位解の割合

測位解	GPS のみ		GPS+GLONASS	
	データ数	測位割合 (%)	データ数	測位割合 (%)
受信不能	5	0.2	0	0.0
単独測位解	338	16.3	219	10.8
Float 解	1120	54.0	593	29.2
Fix 解	610	29.4	1216	60.0
合計	2073	100.0	2028	100.0

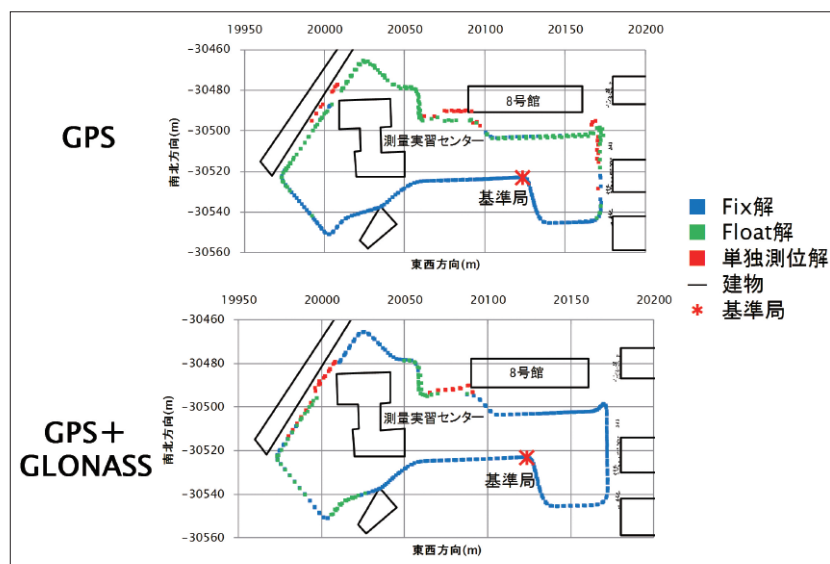


図 2 GPS のみと GPS+GLONASS での RTK 測位解の比較

というように分かりました（図4）。那覇では準天頂衛星が加わることにより利用可能率が99.9%になりました。これを全体で見ますと、GPS のみの場合は、RTK の利用可能率が約 86.8%、これに準天頂衛星が加わりますと 98.1%となり非常に安定した RTK ができることになります。初期化の回数も GPS のみだと 90 回必要ですが、準天頂衛星が入ると 15 回で、ほとんど途切れずに、シームレスに測位ができると期待される結果が出ています。

それから、四つ目のテーマが IMU であります。Inertial Measurement Unit、慣性計測装置です。GPS の電波が受信できないところで高精度な測位をするために使用されます。これは 3 軸の光ファイバージャイロと高精度加速度センサを内蔵しています。この IMU と GPS の 2 つのアンテナの対で、シームレスな高精度測位を行います。

実験例ですが、インターチェンジの立体交差をくぐって走行した際の RTK-GPS の結果と IMU を使った場合の比較を示します。立体交差の所では RTK は測位できなくなっていますが、IMU を使うと非常になめらかな測位結果が得られました。

測量分野での展開

それでは最後のテーマについて、測量分野での展開をご紹介します。

可視光通信を使った例をまずご紹介します。これは三井住友建設株式会社と慶應義塾大学院システムデザインマネジメント研究科、株式会社の中川研究所の共同開発した「可視光通信 3 次元位置計測システム」です（図5）。橋梁の変位を測るために基準点用の光源と、実際に測るところにも光源をおいて、これをステレオカメラで観測していくというシステムです。使っているのは普通の一眼レフのカメ

ラ、パソコンであり、それから LED 光源を橋梁に設置しています。この LED 光源から固有の ID 番号がずっと送信されています。これを使うと三次元座標を完全に自動的に抽出、計測できます。それから夜間の無人測量が可能です。精度的には 1200 万画素のデジタル一眼レフを使って 40 メートル×40 メートルの範囲であれば 1 ミリの分解能で計測できるといったシステムです。

最後ですが、先ほどもモバイルマッピング

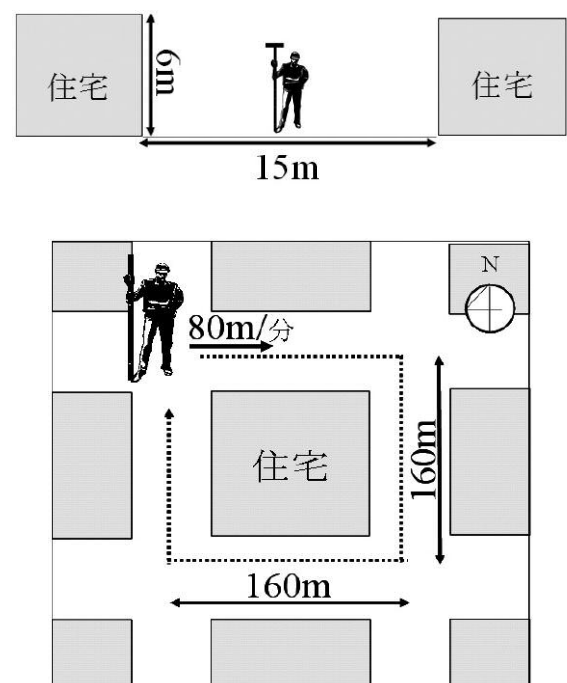


図3 観測点の周辺状況と受信機の移動ルート（住宅地）

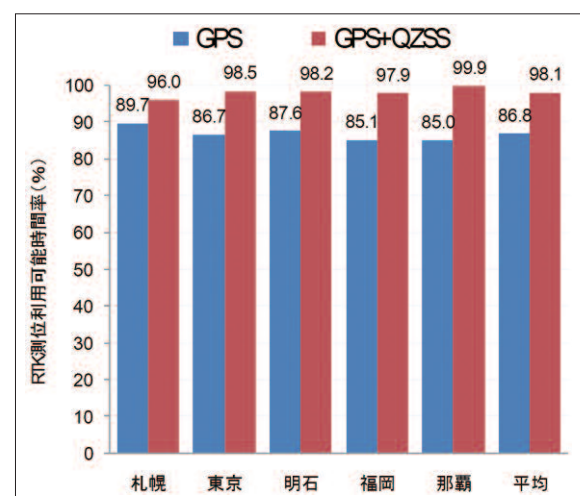


図4 RTK 測位利用可能時間率（住宅地）

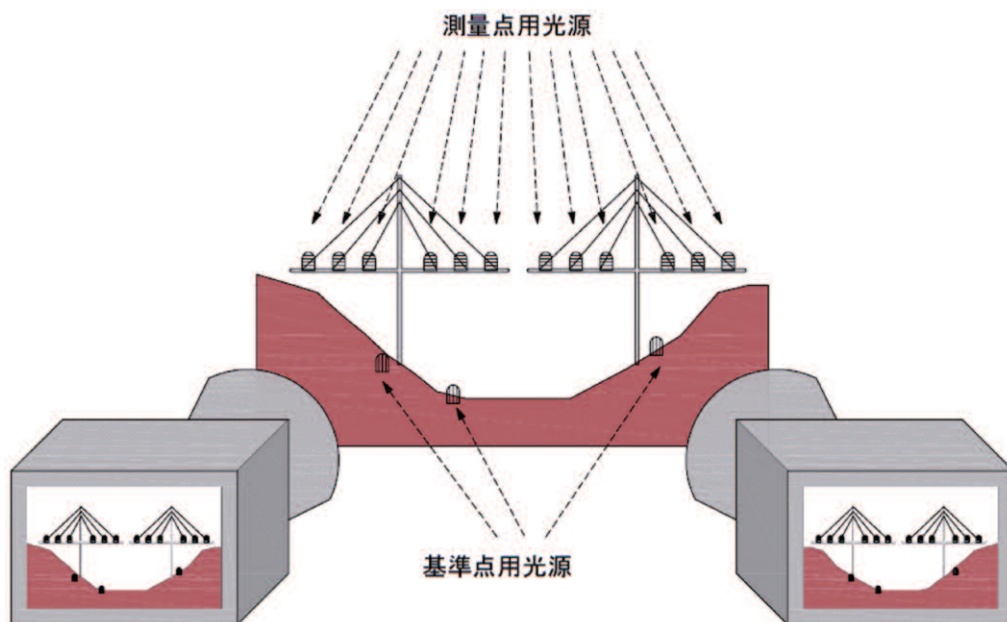


図5 可視光通信 3次元位置計測システムのイメージ（橋梁への適用）（三井住友建設株式会社 提供）



図6 モバイルデータ計測システム（ニコン・トリンブル社）

システムのご発表がございましたが、私共も同様の研究をしています。使用しているのはニコン・トリンブル社殿のモバイルデータ計測システムです。このシステムを使って GPS と二次元レーザースキャナー、デジタルビデオカメラ、IMU と DMI という距離計を使ってシームレスな道路空間の測量をします（図6）。GPS の電波が届かないところでは IMU と DMI で測位を補完します。

日本大学理工学部船橋キャンパスに延長 600 メートルの交通総合試験路というのがありまして、そのコースを走りながら、まず路面がどのように測れるかという実験をして

います。

速度を 20km、40km、60km、80km まで上げた時にどうだったかということですが、図7の上は縦断面図ですが、3センチくらいの精度でセンターラインが出ています。図7下の横断面図も非常に良く出ています。これは路面を千点ほど水準測量を行った結果と比較しています。図8は計測実験の結果で、3次元的に路面を表現したものです。

それからバリアフリー関連で道路の段差がどのくらい検出できるかという実験もやっています。試験路に 1センチ、2センチ、3センチと高さを変えて発泡スチロールを固定して、それをこのシステムで測りました。1センチでも段差の形がある程度わかり、3センチだとかなり明確に分かります。

おわりに

今日ご紹介したのは、測位のシームレス化の進展ということで、メートル精度の標準測位、センチメートル精度の高精度測位に分けてお話ししました。今後の測量分野の役割として、やはり、どの測位についても我々が基盤

をしっかり整備していかなければならないのだらうと思います。標準測位は今から様々な新しいビジネスが展開されると思いますので、いろんなアイデアを出してやっていければ面白いのではないかと思います。そして、先ほどご紹介したように高精度測位を利用しやすい環境になってきますので、積極的にこの技術を使っていくという姿勢がすごく大事だと思います。

それでは時間でございますので、これで終わらせていただきます。ご静聴いただきましてどうもありがとうございました。(拍手)

本稿は2010年6月1日、測技協「第32回測量調査技術発表会」において、特別講演をしていただいた日本大学理工学部社会交通工学科佐田達典先生のご講演を、先生のご監修にもとづきとりまとめたものです。

■講演者

佐田 達典 (さだ たつなり)

日本大学理工学部

社会交通工学科 教授

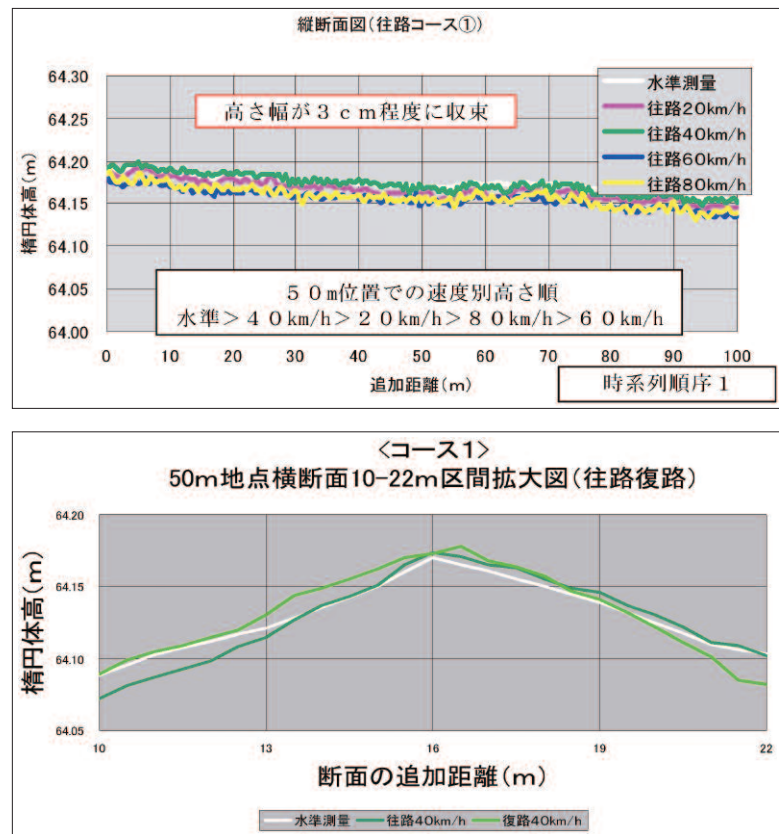


図7 路面計測結果(縦断面(上)と横断面(下))

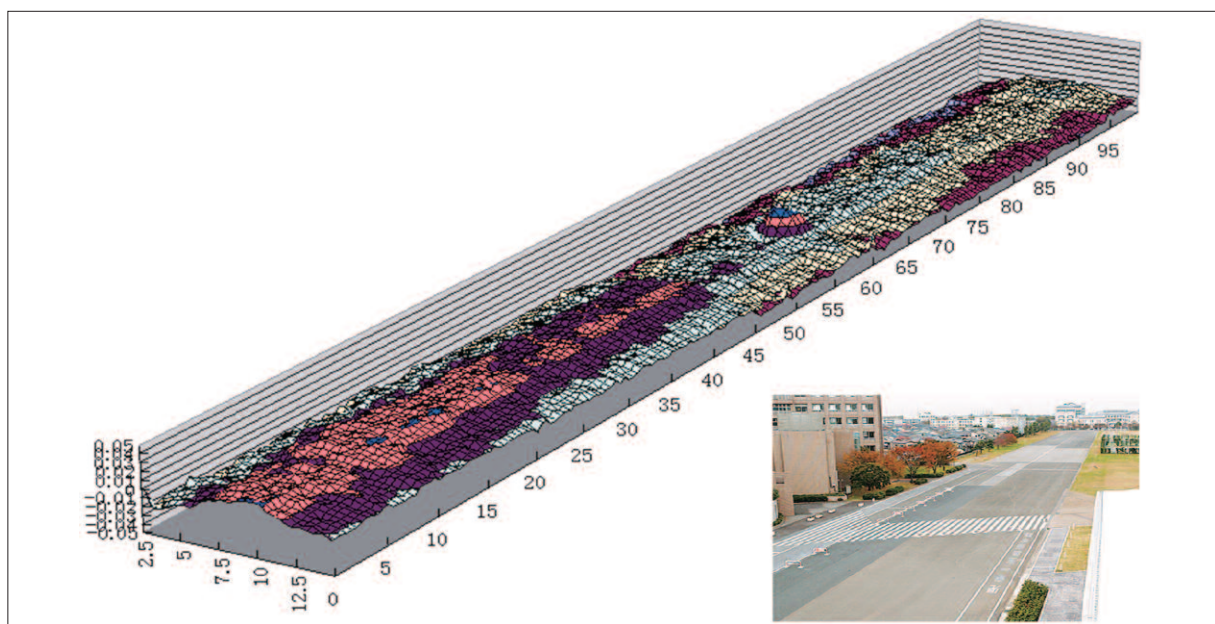


図8 路面計測結果(3次元表示)