

地図の精度とGPSの精度の捉え方

赤沢正晃*

技術には、基礎的な事柄に対して研究・開発により新しい何かを生み出すものと、いくつかの技術の成果や方法を組み合わせてさらに新しい仕組みで成り立つ技術とがある。地図は、交通の歴史とともに現在の姿があり、将来に向かい変化していくと考えられる。1980年代になって現れて、近年急速に普及しつつあるGPSとGISについては、交通基盤や交通機関にとって大きな期待の持てる後者の技術と考えられる。一般のユーザーに普及しているカーナビゲーションシステムなどは、すでにGPSやGISを意識しないで利用されている。本稿では、一測量業者が、GPSとGISに対してどのように考えるかを述べる。

Map Accuracy and GPS Precision

Masaaki AKAZAWA*

Technology incorporates new technology born from research and development of fundamental aspects and technology created from new mechanisms combining the results of several technologies and methodologies. Maps comprise both chronicles of transport in the past and their present form as guides, and we can assume that they will continue to evolve in the future. GPS and GIS emerged in the 1980s and have grown rapidly in popularity in recent years. For transport infrastructure and transport organizations, these technologies created from new mechanisms combining several technologies and methodologies hold enormous potential. Yet, users of these technologies in popular car navigation systems are unaware of GPS and GIS. This paper discusses a surveyor's perceptions of GPS and GIS.

1. はじめに

21世紀を迎えようとする今日、私たちの生活基盤は、この100年で劇的な完成率を見ることとなった。特に今世紀終盤においては、ほとんどの生活基盤が、さまざまな分野のテクノロジーの組み合わせによって支えられ進められて、来世紀に向けてその技術の進歩は、さらに加速されることと思われる。また最近のテクノロジーの傾向としては、「自然の仕組みに学ぶ」考え方や「自然の型に近づく」という方向性が見られるようになってきた。

このような背景の中で、交通基盤を運営・管理する場合に、用いられるようになった最新技術としてGPS (Global Positioning System : 汎地球測位システム) とGIS (Geographic Information System : 地理情報システム) がある。

GPSは自身の位置を人工衛星によって知り、人工衛星はその情報をネットワークを通じて他のものに知らせることも行う。

GISはデータベース化された地図と、データベース化されたさまざまな情報を組み合わせた仕組みになっていて、電子地図上のある位置をクリックするとそこがどこなのか (住所・緯度・経度・座標値等)、どのような場所なのか (建物・道路・川・海等) が表示され、さらに学校・駅・レストラン・コンビニなど具体的な事柄までわかるようになっている。さ

* 赤沢測量設計株式会社代表取締役
Representative Director,
Akazawa Surveying & Planning Co., Ltd.
原稿受理 2000年4月18日

らにこの逆も可能であって、電話番号や名称などからその位置を検索して表示することができる。この仕組みは、交通に関わるメディアとして今後ますます進化して、より使いやすくより安価になり、普及率も上がってこれからの常識になると思われる。

現在私たち測量に従事する者にとってもGPS・GISの両技術は日常の業務として欠かせないものとなりつつあり、これからもさらに関わりを深めるであろう。

2. メディアとしての地図

2-1 地図の誤差と精度

日本で最初の本格的な地図といえば、まず伊能忠敬の地図があげられる。伊能忠敬は、実際に全国を歩き、地図を作製した。現在でも現地を直接測量する場合には、この手法は変わらない。しかし日本全国をカバーする地図を考えたとき、話は違って来る。それは50年ほど前から急速に普及した航空機による写真測量に係る。また地図を作製するための周辺機器や技術は、誤記・誤差・精度等の点において何の問題もなくできあがるようになった。

「昔の地図だから誤差が大きい」「最近の地図は精度が高い」という言葉の誤差と精度とはどういうことを指しているのだろうか。

かつての測量はすべて地上を歩き、人が行けない所や見通しの悪い所も工夫をして何とか作業を行ってきた。角観測機は分度器が読みづらく熟練が必要で、巻尺は材質が悪く2m程度でも高低差がある場所では水平距離を測ることが困難であった。このような機材しかない時代では、10kmの測量をした時に10cmとか1mといった違いが出て、累積すればさらに誤差が増えてしまう性格をもっている。これがかつての誤差である。

最新の観測機では1kmを計測して、±5mmの仕様であれば、5kmを計測しても±5mmの違いで計測できる機器を使用しているので、正確で累積による誤差もきわめて少ないと言えるだろう。こうした誤差の性格を含めた比較をするときに精度が「高い」または「低い」という使い方をしている。

さらにこれから普及すると思われるGPSは、100kmに及ぶ測点間の相対的な位置関係を1cm程度の誤差で計測することができる方式で、精度は格段に上がっている。

次に精度を考慮しながら地図に書かれている「線」を思い浮かべてほしい。線には幅があり、0.05、

Table 1 地図上の線の実測幅(m)

mm	100万	50万	20万	10万	5万	2.5万	2,500	1,000	500
0.15	150	75	30	15	7.5	3.75	0.375	0.15	0.075
0.2	200	100	40	20	10	5	0.50	0.20	0.100
0.4	400	200	80	40	20	10	1.00	0.40	0.200
0.5	500	250	100	50	25	12.5	1.25	0.50	0.250
1.0	1,000	500	200	100	50	25	2.5	1.00	0.500

0.10、0.15、0.20、0.30、0.50mmがよく使われる太さで、誤差はそれぞれの太さにつき±0.025mmとなっている。なかでも0.1~0.2mmの線が多く使われている。地図上で0.1~0.2mmの大きさは実際にはどの位になるのだろうか。1/50,000と1/10,000の地図で0.1mmの線は10mと2mの幅になる。図面表記を考えた時、今日の技術では地図作製に必要な精度に全く問題はないといえるであろう(Table 1)。

現在流通し供給されている地図は、地形・地物・ある地点間の距離のどれをとっても精度に対して気にしなければならないものはないと思われる。もし表記の誤記・誤差と思われるものがあつた場合、そのほとんどが経年変化による地物の違いである場合が多いのである。

この50年間に日本の経済は急速な発展を遂げ、それに伴い、都市部やその周辺での著しい開発が進められてきた。それにより地図上の地形や地物は日々変わりつつある。このような変化に対して地図のユーザーは敏感になっている。それは自動車を利用して移動することが多くなり、地図の使用が日常化されたために現地との違いが見つけやすくなったためであろう。もともと地図がアバウトで誤記・誤差が多ければ地図への期待は少ないはずで、それだけ現在の地図は正確で信頼できるものが多いと言える。

2-2 最近の地図

30年以上前の書店では、地図のコーナーはごくわずかであった。1枚地図のマップで、県、市町村単位のものが中心に販売されていて、地図帳となるとほとんどが注文して取り寄せる状態だった。

最近の書店での地図のコーナーはかなりの面積を占め、多種多様な地図が驚くほど棚を埋めている。しかもすべて民間の地図会社のもので1社につき数10種類発売されているのが当然で、その内容もレジャー用のものから精密な道路地図帳まで数え切れないほど並んでいる。そのどれもが正確で精密に作られていて、経年変化による更新も頻繁に行われて常に新刊を発行している。このような民間会社発行の地図の例は、他国ではほとんど目にする事ができない

といえる。

日本の地図を発行する会社はその製品が特に正確であることを競っているようには見えない。各社ともどのような付加価値を持たせるかが競争の焦点になっている。町丁名や番地が100%表記されたものは以前から見られたが、今ではすべての信号や交差点、ガソリンスタンドやコンビニ、スーパーやファミリーレストランなどの目標となるものや一方通行や右左折規制、車線数などの交通規制までがほとんど正確に表現されている。こうした精密な情報は調査員が現地に足を運び、詳細な調査を行い、車で走行して実際の渋滞の状況や時間帯、所要時間が記載されるのである。

少し特殊な例にゼンリン住宅地図がある。特色としては町丁名、住宅の型、門札情報が100%表記されている。発行当初は地図としては精度をもたないとの評価で扱われていたが、門札情報においては比類なく正確なため、長年支持を受けてきた。どの自治体でも住民台帳は完備しているが地図上に整理された物は見あたらない。しかも民間の地図としてこのような住宅地図に類した地図を世界的に探してもその例は確認できない。この住宅地図はあらゆる企業や商店や自治体での需要が大変高い地図となっている。精度においても最近のものは国土基本図(1/2,500)をベースに作られて、道路情報・電柱・消火栓・カーブミラー等の詳細な情報も表記され、電子化された商品には、NTTの電話帳とリンクしたのも販売されている。

2-3 電子地図

かつて一般向けの地図は20万分の1または10万分の1位で十分であったものが、今日では2万分の1または1万分の1の需要が多くなっている。表記される情報量が日々多くなるとともに、縮尺も大きくして対応しているようだが、紙に描く地図としてはほとんど限界になっている。そこで電子地図に情報を託し、その種類や数も年々増えている。ただし価格が割高なため常に新しいものを購入するには、費用の面で問題があり、さらに情報量が多い分データも重く、2ギガバイトまたはそれ以上のものもあり、少し以前に買ったパソコンではインストールできない場合もある。

電子地図はおおむね二種類に分けられる。初めに紙地図をそのままパソコン等で見られるように作られたものでスキャナーを使いラスターデータのままで町丁名程度の検索が出来るもの、又はCADを使い

ベクタデータであってもどちらもレイヤー構造は少ないもの、ただし縮小・拡大は自在にできてプリンターでの印刷も簡単にできる。これらはデータ量も少ないので使い勝手が良く、価格も比較的安くおさえられている。各メーカーが最初に発売したのがこのタイプである。

次に地図自身に属性を持たせて知りたい情報やあると便利な情報など紙地図では表現しきれない情報を備えておいて、必要な情報だけを地図と同時、または別々に好きなように検索・表示出来る仕組みになっているものがある。今までの地図の概念である土地の形や地名・番地から使う人が判断するのではない需要に応えようとするためであろう。私たちが書店の地図コーナーに立つ目的は、精度の高い地図を買うときだけではない場合が多くなっている。現在の地図には、レジャーガイドを初め、食べ歩き・アミューズメント・駐車場・デートスポット・温泉・ラーメン店など得られる情報が数え切れないほどある。ガイドブックには地図による案内をはじめ店の住所・電話番号・セールスポイント、写真は店内・商品・店主までも載っている。これらの情報と地図を一緒にしておけば目的に応じた用途や使い勝手は大きな可能性を持っていてCDやDVD1枚で使えるので目的別の地図帳を何冊も持ってページを開く必要もないのである。ガイドブックの情報が入っていれば、行きたい店の情報だけをプリントして使ったり、地図の必要な場所や地図と情報を一緒にプリントする事もできるであろう。また、地図と同じスケールの航空写真を重ねて使ったり、白地図にしてオリジナルな地図を作るのも可能である。

3. GIS

3-1 GISへの取り組み

私が地図や地物(施設)のデジタル化に取り組み始めた出発点はもともと業務として行われていた自治体の各種施設管理台帳にある。自治体はほとんどの課、または係において業務上必要となる台帳を備えている。そのうちの建設関係の課では、主立ったものとして道路・水路・上水道・下水道などがあるが集計された台帳と共に管理図面も備えている。これらの台帳を整備するときには現地を測量・調査し、集計して作成するために測量会社が作業を受け持つ場合が多い。その場合に使われる図面は1/500あるいは、1/1,000平面図がそのほとんどで、一般的な地図としては見られない大縮尺となっていて当

然市販されてもいない。当社の所在地である埼玉県においても道路台帳で使われる1/500平面図はその他の台帳にも流用されている。緑地・橋梁・舗装などかなり細かな分野において備えられ、本誌の目的と関係する安全施設・照明灯・事故なども台帳化されて管理運営されている。内容としては実に細かく分類され集計してあり、例えば、ガードレールの設置状況が何処に何メートルありそれが片側か両側かどれがいつ設置されたのか、といった具合に集計され年度毎に更新しているので次年度の設置計画にも運用されている。事故台帳は本来警察が備えているが、道路の安全管理上、県庁と出先の土木事務所にも備えて安全施設の計画や充実に役立てられている。

図面が1/500である理由を考えてみよう。先ほどガードレールがどのように集計されているかを紹介したが、道路は多くの構造物から成り立っている。ガードレール(約20cm)、L型・U型側溝(40~60cm)をはじめ、信号・電柱・横断歩道・停止線・センターライン等の地物全てを地図上に表現しようとすると1/500でないとは判別できなくなる。言い換えれば0.15mmの幅の線は1/500では7.5cmの幅を持つことになるが、その程度であれば微小な地物を表現するのにも支障はなく、全ての地物を表現できることになるのである。

3-2 AM/FMとGIS

これら施設管理台帳をデジタル化したシステムをAM/FM(Automated Mapping/Facility Management)と言う。手法としてはCADの技術を使い、地図や施設を図形化して属性を持たせて主題毎のレイヤー構造にし、これを図形ファイルとして扱う。また、施設の内容を集計したものを調書としてファイルする。調書には先ほどのガードレールの例などの内容等が全て書かれていて、この調書のファイルと図形ファイルを関連付けて運用できるシステムの構成になっている。

また、最近よく聞かれるGISはデータベース化された地図と図形ではない情報をリンクさせて検索・表示する方法で、今まで紹介した例と同じである。他との違いは地図上の地物の位置や形を表現するだけでなく、その地物がどのように置かれているのか、どのように繋がっているのかを認識させる必要があるという点にある。

図形(地物)は点と線と面で表現される。GISではそれぞれノード(ポイント)・ライン(アーク)・エリア(ポリゴン)という用語を使う。

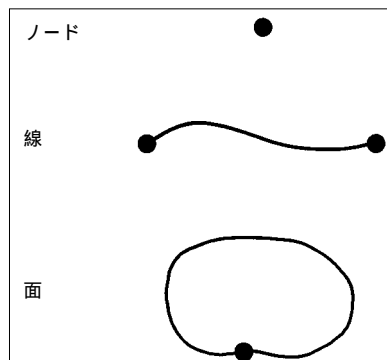


Fig.1 GISの基本的なデータ要素

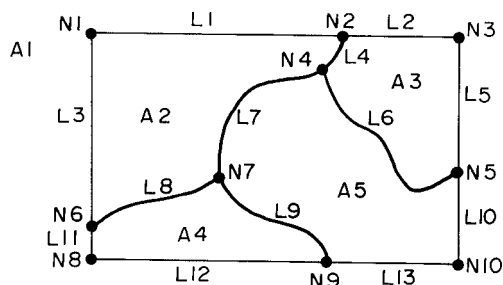


Fig.2 構造化された地図

ノードとは独立した記号で表す地物や線の交点や端点を表し、その全てに番号を振って管理する。

ラインとは始点と終点、また、進行方向に対して左面・右面を認識させる。

エリアとは町丁界や建物など、面として表現するものを必ず閉塞した多角形として認識させる(Fig.1)。

こうした捉え方をすることによってある面は、ある面のどちら側にあるのかとか、ある線はある面のどちら側にあってどの面とどの面を通り何処から何処まで繋がっているのかが分かるようになる。全ての点・線・面に認識番号を振り、属性を持たせた地図はその他の図形でないデータと詳細にリンクし、GISは快適に機能するのである(Fig.2)。

さまざまな検索・表示・シミュレーションを行おうとすると、こうした考え方でデータを整理しなければならないために、デジタル地図やAM/FMといった分類のシステムも年を追う毎にGISのデータ構造を持ったシステムが目立つようになってきている。

どのシステムも使用者の要望が高度化していることに応じて、近年のパソコンやその周辺機器の進歩、扱いやすいアプリケーションが目立つようになったことから、GISの構築をしやすくなってきた。こうして地図データとその他のデータベースをリンクさせたシステムを総じてGISと呼ぶことに抵抗がなく

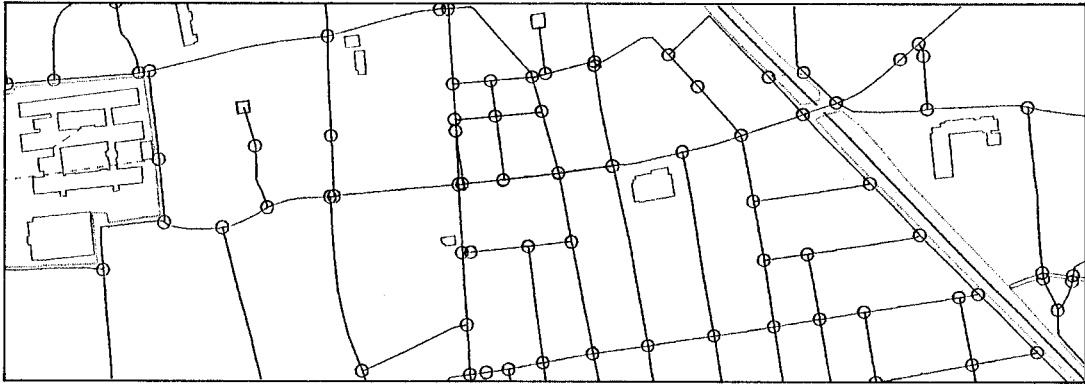


Fig.3 ネットワーク化されたデータ例

なってきたように思われる(Fig.3)。

GISの地図の精度は、地図データがデジタル化される時の方法に左右される。もともとデジタルマッピングとして作成されたデータはその精度と同一の地図として考えられるが、既製図をデジタル化する場合、かつては紙地図をそのままデジタル化したため作業者の熟練度によって線や直角であるべき建物が少々ゆがんでいたり、原図と微妙にずれたように感じられる事が見受けられたが、現在では既製図をスキャナーで読み込んでラスター地図を背景にしてデジタル化するとともに建物のような直角であるべき構造物は直角であることを認識させながらデータを生成する方法で行われているため、精度上原図と変わらないデータに仕上がっている。

4. GPS

4-1 GPSとは

GPSは人工衛星の電波を受信することによって、対象物の地球上の位置を知ることができるシステムである。

このシステムの誕生と実用化の歩みは、人工衛星の誕生と実用化の歴史と同じものである。人工衛星とは、もともと軍事衛星として誕生し、実用化されてきた。つまり米国の国防総省が開発したもので、1960年半ばに軍事衛星の実用化とともにGPSの前身となるものが開発された。その後1970年半ば頃にGPSとして実用化されたが、民間用としてのGPSが使用可能になったのは1980年代に入ってからのことである。ただしこの時点では、衛星の数が足りないために時間帯によっては、電波の受信できない状態があった。いつでもどこでも電波を受信できるようになったのは、1990年代になってからで、衛星の数も24個となっている。

GPSは衛星が私たちの位置を観測して、そのデータを送ってくれるシステムではない。地上部では各地に制御局を設置してある。制御局では、常に衛星の軌道計算と衛星が発信するためのデータを衛星に送信する作業を行っている(Fig.4,5)。

衛星の位置を特定する考え方は、複雑な形をした地表面からではなく地球の中心を固定点とした楕円体面に基づいている。衛星は、高度約20,000kmに位置する。この位置関係は、電波を送信した時刻と受信した時刻が計算上大変重要な要素となる。そこで現在もっとも正確な時計とされている誤差100万分の1秒の原子時計(ルビジウムまたはセシウム時計)を使用する。地上部の制御局、人工衛星、利用者の受信部はこのように構成されている。ユーザーにとってGPSはとても簡単で、便利な道具である。いろいろな方式があつてメーカーによってデータが異なることもなく、受信機さえあればいつでも自分がどこにいるのかを人工衛星が教えてくれるのである。

一番よく知られているものにカーナビゲーションシステムがある。現在では価格も15~50万円での価格の差は地図ソフトや検索表示ソフトそしてハードウェアによるものである。その他には山などをトレッキングする時に持って行ける携帯用がある。大きさはおよそシステム手帳くらいで緯度、経度が表示される。この表示をもとに地図上で自分の位置を確認することができる。このタイプのものは日本ではあまりなじみがないようだが、米国などでは以前から通信販売で、また現在ではインターネットによって簡単に入手でき200~300ドルで販売されている。

4-2 受信方法によるGPSの精度の差

GPS測位法の分類はFig.6のようになる。

GPSは地図上で位置を確認するのであるが、リアルタイムで位置を知ることができるので航空機や船

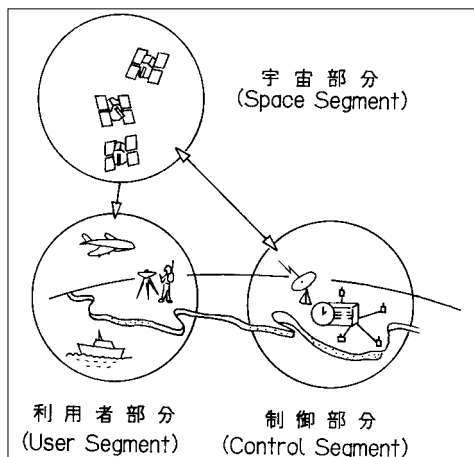


Fig.4 GPSの仕組み

船にも急速に普及してきた。このような使い方は、受信機1個で行われるので精度としては、約30mまたは100mとなるが、100mを10万分の1の地図上にプロットすると1mmになるので使用上ほとんど問題なく使用されている。

ただし測量用の基準点やある位置を精密に知りたい時には受信機は1個ではなく2個以上使用し、組み合わせにより精度をミリ単位まで上げることが可能である。価格は、発売当初受信機1セットが2,000万円以上で、データを解析するハード、ソフトも1,000万円位であったが、現在では約200~400万円になっているようである。

このような高価な受信機を、複数台使って行われる作業は国が規定する基準点測量でも認められている。観測方法としては、複数台の受信機を測定点に設置して、一定時間以上同時に観測を行う。この時、各地点で同じ衛星を4個以上とらえて電波を受信する。受信したデータは、コンピュータにより解析ソフトを使用し精密な位置決定をする。測量においては1個の受信機を固定して、その他複数の受信機を移動させながらデータを連続して取得する方法など、目的によりさまざまに工夫して作業が行われている。

こうした組み合わせによる実用例は測量作業だけではなく、次にいくつかの例をあげてみる。

GPS受信機を各地に固定的に設置し、連続して観測することによって観測地点の1年間の移動量がわかる。この観測結果により地盤や地殻変動がわかり、火山活動の監視にも応用されている。

また国際的に通用するような大型電波望遠鏡は構造物としても巨大なものになるが、この場合材料が

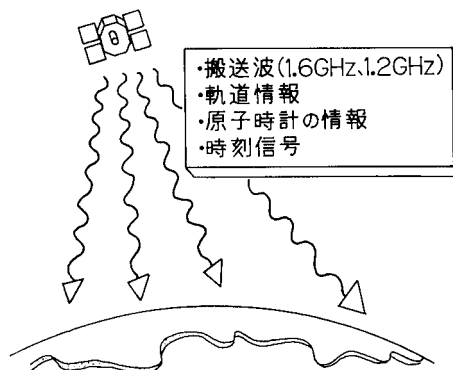


Fig.5 GPS衛星が送り出す信号

金属を多用するため、昼夜また季節による温度差等も観測に影響する。アンテナ内には空調設備も整えられているが、本体があまりにも大きいため、さまざまな誤差が生じる。こうした複雑な誤差を少なくするためにもGPS受信機を備えて、望遠鏡の精度を高める用途にも使用されている。

交通機関の利用例として先ほど船舶をあげたが、安全に航海し目的地に到着するためにGPSが有効な手段であることはもとより、特に大型船においては港に着いてから桟橋に接岸するには多数の熟練した乗組員と作業員による慎重な作業が必要である。この場合、固定された桟橋の座標値と船舶の形の座標値をコンピュータにインプットした上でGPSを組み込む。このシステムを利用して、巨大な船舶が桟橋に接岸する時の傾きや距離を刻々と解析し、姿勢を制御してスムーズにしかも安全に接岸することが可能になった。

GPSが一般に認知されたのはカーナビゲーションシステムの普及によるものであるが、このシステムはGPS全体の中では精度的には最も良くない仕組み

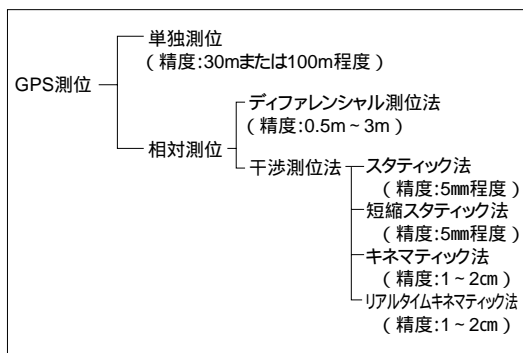


Fig.6 GPS測位法の分類

の部類に属してしまう。1台の自動車には1個の受信装置だけであり、移動することが目的のため定点観測は当然できない。しかも比較的高速移動しながら、都市部においては高速道路や建築物の陰になったり、地下や屋内駐車場など衛星の電波をとらえにくい悪条件下での利用が頻繁にあり得る。そのため初期のシステムではたびたび道路から進路がはずれてしまうか、位置の確認が不可能になり所在の検索中になってしまうことが多く見られた。もともと受信機単体で、移動中位置精度に半径数十メートルの誤差が生じ、しかも受信状態が悪ければ、位置の特定ができなくなるのは当然のことである。この大きな誤差を縮めるには固定局を一カ所設け、電波を受信し計測誤差を半径数メートルまで精度的に上げる方法がある。これがディファレンシャル測位法であり、通常D-GPSと表現する。D-GPSはほとんどの場合カーナビゲーションの個人ユーザーが行える方式ではない。これは固定局・送信装置・受信装置だけでもかなり規模の大きな設備となり、技術的にも費用的にも大がかりなものになるからである。

現在メーカーでは固定局に公共的なものを利用し、送信も公共的なFM放送局の音声多重放送を利用し

てサービスを実現している。カーナビゲーションシステムは、このD-GPS方式を採用することにより誤差数メートルの精度を実現し、これまで測位したデータと地図データのマッチングが困難だった住宅密集地のような細かい道路が多くある場所での利用を可能にしている。

5. 終わりに

私たちがGPSやGISに関わろうとしたとき、その基本的な技術は、国や研究者グループの20年以上にわたる開発によって常に提供され続けられ今日に至っている。GPSや今後の需要が期待される人工衛星からの写真データ、そして近年利用が増え続けているインターネット等に関わる基盤は、ほとんどアメリカの物を使用するが、使い方は国内で自由に行える。これらの技術を使おうとするときの道具はほとんど電子機器であり、最近では購入しやすい価格になっている。このような状況は、個人レベルでの需要の増加に繋がり、気が付いてみるとGPSやGISを特別なものと意識しないでさまざまな用途に利用する時代に入っているのではないだろうか。