

世界測地系と21世紀測量の新技術

藤井 陽一郎

1. 世界測地系(地心測地系)の意義

- ◎局所測地系→世界測地系⇒地心測地系
- ◎地心測地系の必要の代表例が航空機の衛星航法
- ◎世界測地系の時代に公共測量も変革の時。高い精度の地心座標が決定できることは公共測量も多面的に社会開発や環境保全・防災に貢献。

すでにお話がありましたように測地系は局所的な、つまり一国にしか通用しない測地系から世界測地系と新しい測地系が確立しつつあるわけですが、その一番大きな特色は、私の理解では地心測地系、つまり英語ではジオセントリックですが、もともと地球上の位置を表す座標系として、座標系の原点が地球の重心に一致しているような座標系でした。たとえばZ軸は地球の平均的な自転軸に一致しているという座標系が一番シンプルで、理論的にも明快でよろしいのですが、実際にそれを実現することは、近代的な測地学が始まって18世紀の終わりごろからと考えてもだいぶ年数がたっていますが、いまではなかなか実現しなかったわけです。それが最近実現して、しかも運用という言葉を使いますと、世界測地系を実際に運用していくという条件も出てきた。では測地系の中心は実際の地球の重心とどのくらい一致するかということですが、いろいろな文献を見ますと、2ないし3センチぐらいの精度で地球の重心に一致しているということです。

これになるのにずいぶん時間がかかってしまったのですが、現在では世界のいろいろな国がそういう測地系の確立に努力している。いわゆる先進国だけではなくて、今まで発展途上国と言われたような国や地域でも、韓国や台湾はいまでも発展途上と言うかどうかわかりませんが、アジアの中では韓国も台湾も、また中国の全般的なところはよくわかりませんが、香港といったところでも、基本的な測地の枠組みとしては世界測地系が確立しています。これはまさに新しくつくるということであって、旧の測地系を何か変換してできるとか、測地系の移行ということも言えますが、移行と言うと質的な向上というところがうまく表現されていないような感じで、国際的にそういう言葉を使っている国はありません。世界的な測地系の確立です。そういうものの一つの中心的な技術として宇宙技術は先ほど小牧さんからいろいろな説明がありました、とりわけGPSです。実際に、世界測地系が運用されていく。その中でGPSといふものがなかったらそういうことはほとんど實際上はできない。GPSの持っている役割は非常に大きくなってきたと思います。

原理的な例でそういう測地系が持っている意味を説明しますと、たとえば海面の上がり下がり、潮位の観測ですが、陸地に検潮儀を設けて上がり下がりを見る。陸地のある点と海面の間の距離を測っているわけです。そういう結果から海面の変動が本当に議論できるかというと、陸地のほうも変動しますし海面も変動する。その間の距離を測っているだけであって、陸地のほうを固定して考えれば海面の変動、海面の変動を固定して考えれば陸地の変動ということ

で、原理的にはどっちがどっちかわからぬ。地球温暖化に関連して平均海面の変動は非常に重大な問題ですが、従来の方法ではたぶん、いままでもいろいろな数字が出たのですが、あまり信用できる数字ではなかったような感じがして、GPS検潮儀がこれから大いにデータを蓄積して、やがてそういうことについても答えが出てくるのだろうと思います。

地球の重心から海面の変動を見る。それはいろいろな衛星測地学でもいままである程度やられていたと言えばやられてきたわけで、そういう成果の上に世界の海面の変動、ジオイドがどのくらい変わるのが、去年あたりIAEの学会がハンガリーでありましたが、海面上昇が1年間0.2mmという数字で、これはかなり信頼できる数字がようやく出てきたという感じが私はしました。そういうことも大きな意味を持ってきています。

2. GPS Industry の可能性

- ◎座標の四次元管理ができるので公共測量も地殻変動や地盤変動の監視に役立てられる。
- ◎「空港座標管理システム」は、航空機の衛星航法実現のために、連続GPS観測により日本列島内部の各空港の座標値（WGS-84系）を決定し、その時間変化を追跡していくことを目的とする。全国43の空港で正式運用に入っている。位置の四次元管理の先端的な例。
- ◎「MSAS」は、衛星航法のみならずその1周波受信機への補正情報は他の分野でも利用可能である。

こういう測地系を実際上、必要とするのはいろいろな分野でニーズがあるわけでしょうが、歴史的な経過も見て、私は一つ非常に大きな意味があると思うのは、航空機

のナビゲーションに関連することだと思います。海のほうのナビゲーションももちろん重要ですが、航空機のナビゲーションです。ICAO（国際民間航空機関）は国連のNGOの一つで、政府機関ではありませんので、何か勧告してもそれを拘束するような意味合いはないのだと思いますが、そういう機構が、たとえば1998年1月1日から世界の空港の位置表示はWGS84という世界測地系によって表示されなければならないということを勧告しました。これは1998年1月1日で、勧告はそれより前に出ているわけですから、その勧告が出た時点では、日本での世界測地系の話は地理院内部では検討していたかもしれません、公になって議論されてはいませんでした。そのころにもうすでにそういう要求が出てきて、日本でそれをどうやって実現するか。そうすると在来的な測量では簡単に答えは出ないです。

英語では世界測地系をリアライズしているという言い方をしますが、実際に実現する地球上の点がいくつかあって、それに準拠してGPSなどで測量して座標位置を決める。そういうことをしなければいけないのですが、これは当時としてはかなり重い宿題だったと思いますが、いくつかの会社が集まってそれは何とか切り抜けてきているという状態です。

測量に関連する一つの分野ですが、そういう要求があって今後とも航空機の運航については全地球衛星航法システム、GNSSという略称で言っている分野がありますが、それを具体的に実現するのはアメリカのWAAS、それから先ほど小牧さんがちょっと触れられましたヨーロッパ中心の現在ではEGNOS、いざれガリレオですが、ガリレオは構想が具体化しています。日本ではMSAS、そういう三つが代表的な衛星航法の現在進行中の計画です。これらが一つの大きなインパクトを与えていくと思います。

G P S に関連しては実際に測量を実行するときに、あるいは皆さんには必ずしもそのことを意識しないで普通は使っているかもしませんが、暦をつくるとか、そういう基本のバックボーンになっている仕事があるわけで、いわゆる精密暦みたいなものも含めてG P S の作業をしやすくするサービス機構で I G S が国際的にあります。 I G S 点が世界中にはばらまかれていて、これは現在では二百数十点もあるものですから、実際にはそれが世界の一等三角点の役割を果たしていると思いますが、こういう機構の成果を使うことによって新しい技術、新しい分野の測量も大いに可能性が開けてきたし、今後もたぶんそうだと思います。国際的にはG P S と結びついているW A A S とヨーロッパのガリレオは、日本のマーケットも対象にしてお互いにしのぎを削って競争しているという状況だと思いますが、その中で I G S はやはりG N S S を中心にして今後発展していくだろう。 I G S の将来計画でもそういうことがうたわれています。

世界測量系による位置を決める仕事の持っている意味みたいなことと、それによってどういう分野で応用が進んだかということを一つの例でお話ししましたが、もう一つ世界測地系の持っている意味は I T R F という座標系が世界測地系の座標系の一つですが、それはある時点の、先ほどのような意味を持っている座標系で見たときのある点のX Y Z が数字的にはっきり決まっているというだけではなくて、時間的に1年間のうちにXはどれだけ変化するか、Yはどれだけ変化するか、Zはどれだけ変化するかという数字も与えられて I T R F は構成されているわけです。

X Y Z の決定精度は最近数年間にG P S はまた一段とよくなり、丁寧な測量をすれば水平では2ないし3ミリ、高さ方向でも6ミリぐらいの精度で、世界測地系に立脚した位置の決定ができるというところまで来ています。そういう数字になってくると

地球のプレートの動きが短い時間に計測できてしまうという精度です。いつも申し上げるのですが、筑波山に立って伊豆の大島を見ていると、伊豆の大島は年間4センチの割合で関東地方のほうに近づいてきますから、先ほどのような精度ですと、1年間に伊豆の大島が近づいてくるのが見えるということであり、いま私が強調しようと思っているのは、測量の大きな可能性として、まずはX Y Z というと三次元ですから、経度、緯度、高さで三次元と考えてもいいのですが、それに時間の要素を加えて四次元的な管理の測量がもう始まっているし、これからも大きな技術革新の基本的な内容として発展していくのではないか。これもまた飛行場に関するお話になってしまいますが、現在同じ国土交通省の航空局のほうは、全国の飛行場43にG P S の連続観測の装置を設けて、時々刻々飛行場の位置の変化を測るようにしたのです。

I C A O の基準では将来、飛行機は水平飛行もちろん離着陸自動化ということを考えているわけで、それらに必要な滑走路センターラインの精度は世界座標系で30センチ、それを常時保持するためには、少なくとも3センチの精度で、空港の中の基準になる点は一応決めておかなければならない。それを連続的にやる。すでに稼働しているわけですが、今までの例ではこの間の三宅島の火山活動とか鳥取県西部地震など火山活動、地震活動で土地が変動しているときには間違いなく43の空港にあったいくつかの点は、そういう突発的な変化を、当然ですが検出しました。それがある以上になるとアラームが鳴って、そのあと人間がしかるべき対処するというシステムがスタートして動き始めています。そういう考え方方に立ったほかの分野のいろいろな四次元的な管理システムは、これから測量の大きな分野として発展していくのではないかと思います。

3. 今後の展望

◎マーケットは探すものではなく作り出していくものである。

提案型の業務開発を進め、発注→受注
⇒提案→発注→受注という変革が必要である。

◎業界の体質改善でネットの一つは測量の高等教育の問題。この点では日本は後発発展途上国なみである。アジアの発展途上国（韓国、香港、台湾、マレーシヤ）の世界測地系確立の成功の基礎にはその国での測量の高等教育の整備がある。

時間を厳守したいと思いますので、これでやめなければいけないのでしょうが、もう少し時間があれば、最後に今日どうしても言いたいと思うのは、日本はこれから国際競争に本当に勝っていく上で必ずやらなければいけない大きな仕事として、測量の高等教育という問題がどうしてもあると思います。これはいろいろな歴史的な経過があって、日本は全部だめだというわけではないのですが、ヨーロッパでは工科大学で5年、修士に相当するそういう測量教育をやっている国が多いのです。最近ではアジ

アの発展途上国でも、中国はだいぶ前からそうですが、香港、台湾などで工科大学の測量教育の内容が充実しています。ちょっと悪口を言いますと、残念ながら日本の大学卒の人を探るよりは、そういうところの卒業生を探ったほうがいいような状態になっていると思います。

国債のランクづけや、銀行も昨日あたりの読売新聞ではDからさらにEに下がってしまうという時代ですが、先ほどから言ったようなことを実際に見当をつけて、各分野でマーケットを広げていくという視点から実現していくためには、高級技術者をつくらなくてはいけない。その高級技術者の養成機関が日本は非常に寒い状態だ。それを何とか打開していくことは業界としても大きな課題ではないか。途中飛ばしましたが、以上です。

伊理 どうもありがとうございました。業界の活動を超えて、教育もしっかりとしなくてはならないというお話は私などは大変同感です。そういうことで、次の九州大学の江崎先生は現在学生教育に携わっておられるお立場でもありますが、別にそれにこだわらないでたくさんお話になりたいことがあると思いますが、要点を絞ってお願ひします。