

# 測定の基礎と 先端計測

Foundation of Measurement and  
Advanced Measurement

キーワード

測定工程, 測定の目的, 測定の意味, 測定可能性,  
順序測定, 測定の限界, 生物センサ, フォトン測定,  
Global Positioning System

東京大学 工学部  
教授 工学博士  
太園成夫

## 1. はじめに

機械工業において加工と測定はしばしば表裏一体のものとして扱われる。というより機械工場などにおいてややひがみを持って見てみると、測定工程は加工工程に申訳程度に付随していることが多い。このことは測定工程に携わっている者にとってはもちろん、私のような測定工学を看板に掲げて研究している者にとっても不本意なことである。私は昔ある工場管理者が、工場のラインについて語っているときに、できることなら測定をしないで済ませたい、と言ったのを聞いて、そのうちにこの工場が潰れてしまえばいいのと思ったことがある。現実には、その工場はその後発展を続け、米国から貿易不均衡の張本人であると攻撃を受けるほどになった。

確かに測定工程はものを生産しない。生産が無ければ価値の創造はなく、したがって利益は産まないということで、不景気になると真っ先に経費削減の対象に仕立てられる。しかも、景気が回復する過程では設備投資の最後に回されるのが測定工程である。落ち目の時は先陣に立たされ、昇り目の時は殿軍を務めるのでは浮かばれない。

測定をしない工程と、する工程とでは最終的にはする工程の方が利益を生むということは確実であるが、差し迫っていないという理由かどうか後回しにされることが多いのは残念なことである。

しかし泣き言をいっていても仕方ないので、本稿では測定に従事しておられる方の励みに少しはなるようにと願いながら、測定がどんなに重要な人間の活動であるかについて述べてみたい。

## 2. 測定についてのいくつかの問題

### 2.1 何故測定をしなければならないのか

測定することの意味は一言でいえば相手（対象）を知るためということに尽きる。当たり前と言ってしまうと蓋もないが、われわれが測定をするのは対象について何か知りたいからである。ロボット的设计者、製作者にとって、アームに取り付けられたエンドエフェクタが所定の運動をしているかどうかは是非知りたいことであろう。ボールベアリングの製造工程の担当者は、ラインを流れている内、外輪の寸法がばらついていないか常に気になる場所

である。もし関心がある何かが存在すれば、それについて知りたいという欲求が必ず存在する。というより、何か知りたいから関心があるのである。

測定を行なうには、測定の対象が存在しなければならない。そして測定の対象が一般の対象と違う点は、その対象が人から関心を持たれているということである。関心を持たれている対象はすべて測定の対象になりうる。なりうるというのは、関心ある対象であっても必ずしも測定ができるとは言えないからである。このことについては後で述べる。

もし、測定することをやめるとしたら何が起こるだろうか。当然知りたい情報は得られなくなる。知りたい情報が得られなくてもいいのは、その情報が無くてもかまわないからであろう。情報が無くてもいいというのは、すなわち対象にたいする関心が無いのと同じことである。これはすなわち生産工程において製造される製品に関心が無いというのと同じで、これでは生産に携わる者としては失格といわざるをえない。

## 2.2 何を測定するのか

測定を行なう対象はそれこそ森羅万象で、人間活動のすべての分野にわたっているといえるが、それぞれの対象はまた多くの性質を持っている。たとえば単純な円筒形部品を、それがどういうものであるかを説明する時には、円筒の直径、長さ、質量、材質、色、表面性状、その他いろいろな特徴について説明する。このような性質を属性と呼ぶ。一般には一つの測定では関心ある対象について一つの属性に対して行うのが普通である。すなわち軸物部品では、その一つの属性であるたとえば軸の直径を測定対象として測定を行なう。

このことから測定で重要なことは、関心ある対象を的確に代表する属性をいかに選択（抽出）するかということになる。この選択（抽出）は一般には簡単ではない。というより、知りたい情報を得るには何を（どんな属性を）測定すれば良いかを定めることが測定の中心問題でもあるが、残念ながらこの問題を一般的に解く方法はまだ無い。測定工学を研究する者として何とも歯がゆい気がするが、逆にいえばこの点に測定に携わる者の経験と知識を發揮する舞台があるともいえる。

上に述べたように、一つの円筒はいくつかの属性によっ

て説明されるが、もしある対象について、一つないし少数個の属性により代表されるならば、その属性を測定すれば対象について効率良く知識を得ることができる。このような属性をその対象の代用特性ということがある。たとえば、人の肥満度を知りたいときに体重を測定するのは、体重が肥満度の代用特性と考えられるからである。もちろん体重だけでは不十分で身長、皮下脂肪の量、脂肪と筋肉の比率など、肥満の程度は人のいろいろな属性によって総合的に判断される。しかし体重は肥満かどうかを判断する時の代表的な人の属性であることに変わりはない。

## 2.3 測定できないもの

代用特性を測定することによって関心ある対象についての知識が得られる。このときその代用特性は測定可能であることが前提である。上に述べた肥満の程度を知りたいときに体重の他に身長、脂肪量（脂肪層の厚み）などを測定するが、これらの量はみな測定できる量である。ここで測定できるといっているのは測定するための測定機があるということであるが、肥満の程度にはこの他にもあんこ型をしているとか、腹が出っ張っているというような測定機で測れない体形のような属性もある。このような量を測定する測定機は無い。

われわれは何かを測定するとき、測定しようとしている物が測定可能かどうかにはふつうあまり関心を持たないようにみえる。それは測定する前に測れるかどうかを無意識のうちに判断してしまい、測れないと判断した物は初めから測ろうとしないからである。しかし考えて見ると、この世の中には測れるものより測れないものの方が多い。むしろ測定機があって測れるものは限られている。工場で測定技術者がいろいろ頭を絞るのも知りたいことを何とかして測れるようにできないかということであろう。ここで区別をしておかなければならないことは、同じ測れないといっても、技術的な困難さによるもので将来新しい技術が開発されれば測れるようになると思われるもの、たとえば、定盤の平面度をナノメータオーダで測ることなどと、たとえばピカソの絵の美しさなどのように測りようがないと思われるものの2種類あることである。画商がつける絵の売買価格は絵の値打ちの一つの代用特性と考えられなくもないが、少なくとも絵の美しさとはあまり関係がない。

## 2.4 測定するとはなにをすることか

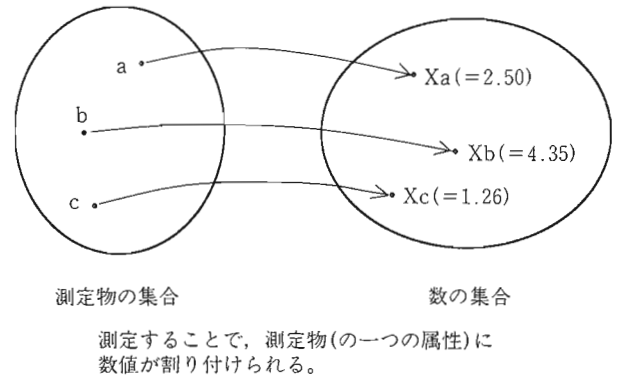
測定すると普通は結果として測定値が得られる。測定値は一般に数値で表される。これから考えて、測定するということは図に示すように対象に一つの数値を割り当てることであるということができる。測定とは何かということについての考察は前世紀の中頃ドイツの物理学者ヘルムホルツが行い、それ以来いろいろの人が研究をしているが、数値で表わすことが測定の基本的な特徴であるということに変わりはない。

測定することが、われわれの対象を数値に対応づけることであるとすれば、つぎの問題は測定できる対象とできない対象があるのは何故かということであろう。軸受の内径の大きさは25mmというように数値で表されるのに、ピカソの絵の美しさは数値で表すことができない。

今測定をしようとする対象の集まり、たとえば工場で生産される転がり軸受を考え、いまその内径に関心があるとすると測定対象としての内径の集合ができる。内径はもちろん適当な測定機を用いて測定することができて、一個一個の内径の大きさをそれぞれ対応する数値に割りつけることができる。一方軸受内径を研削した内径研削盤を考えると、1台1台微妙に個性があり、経験的に良い機械とそうでない機械がある。そこで研削盤の良さを測定できれば工程管理に役に立つと思われるが、残念ながらそれはできない。しかし現場の経験から研削盤を良きの順にならべることはできる。これは任意の2台の研削盤について比較を行い、それを他の研削盤についても繰り返して順位をつけていけば良い。しかしこの場合は人により順位づけが同じになるとは限らない。順位付けはオリンピックの体操競技、フィギュアスケート競技をはじめ世の中で比較的多く行われている。

## 2.5 測定できる量とできない量の違い

測定できる量である内径と順位付けしかできない研削盤の良きの違いは何かというと、内径の大きさは加法的につ



なが(連結する)ことができるが、研削盤の良さは加え合わせるができないということである。われわれは子供のときから学習によりいろいろな量のうちで連結できるものとできないものを直感的に区別できる。世の中にはいろいろな量が存在するが、測定の立場から分類すると以上のように、連結できる量とできない量に分けられ、前者を外延量、後者を内包量ということがある。

ピアノコンクールで演奏の技量を競う場合、技量は測定できない(内田光子と中村紘子の演奏の技量を加えた技量がどんな技量なのか想像できるだろうか)から順位をつけて競う。この場合公平であることが重要であるが、これは審査員の審査技量に依存し、もし審査員の審査技量が不十分のときは審査結果の順位が異なる。一般にオリンピックなどの一流の競技では審査員の技量は競技者の技量に比べ不十分なことが多いので、複数の審査員による審査を行うことにより公平を期することになっている。

品質管理では工程を厳しく管理して品質を作りこむということがいわれる。このとき工程の管理状態を数値で表せる(測定できる)ならば便利であるが、工程の状態はいろいろな特性を総合したものであることが多く、単純な数値で表すことはできない。しかし現場的にはいろいろな指標を経験的に定めて工程管理が実行されている。このような現場の技術状況をまとめると新しい測定の研究分野が開けるのではないかと期待される。

# 3. 測定技術の横断的性格について

## 3.1 先端計測シンポジウム

日本学会会議に計測工学研究連絡委員会という委員会があり、この委員会では毎年春に「先端計測XX」(XXは開催年、今年の場合は94)というシンポジウムを開いている。

このシンポジウムを開くにたったそもそもの動機は、測定技術が横断的に非常に広い分野にわたっており、技術が個々の分野で埋没し、他への波及が難しかった。そこで計測に関係深い関連学会の協力を得て広い分野に共通する計

測理論, 手法, 装置などについて最新の技術を発表して討論することにより, 計測技術を共通の技術資産とすることを目的としてシンポジウムを年1回企画することになり, 今年はその第5回目が開かれた。

これまでに企画発表されたテーマは表のとおりであり, これからも測定にかかわる技術分野が広範囲にわたっていることが窺える。大きく分類すると,

表 先端計測シンポジウムにおける話題

テーマ	講演者	所属
第1回 (1990年)		
各種走査型顕微鏡による極微小領域の評価	市の川竹男	早稲田大学
超純水技術と超微量分析の限界	合志陽一	東京大学
低温核融合と計測技術	中澤正治	東京大学
フォトン測る (*)	土屋 裕	浜松フォトニクス
オゾンレーザーレーダーに関連する計測技術	中根英昭	公害研究所
光学的方法による中枢神経系電位活動の多チャンネル測定	神野耕太郎	東京医科歯科大学
運動蛋白質分子の超微操作と超高度計測	柳田敏雄	大阪大学
脳磁波の計測	賀戸 久	電子技術総合研究所
光計測と信号回復論	河田 聡	大阪大学
画像処理エキスパートシステム	長谷川純一	中京大学
第2回 (1991年度)		
測定の限界 (*)	森村正直	OMTEC
味とにおいの計測	都甲 潔	九州大学
水の性質と科学	上平 恒	北海道大学
半導体ガスセンサによるにおいの認知と識別	佐藤 元	科学警察研究所
極微弱生物フォソンの計測	稲葉文男他	東北大学
Polymerase Chain Reaction法による微量の病原細菌の検出	竹田美文	京都大学
ピコ秒およびフェムト秒分子分光	吉原経太郎	岡崎分子科学研究所
GPS-人工衛星を利用した精密測量技術 (*)	土屋 淳	宇宙開発事業団
大口径パラボラアンテナの精密計測	片木孝至他	三菱電機
大寸法の標準	大石忠尚他	計量研究所
第3回 (1992年)		
地球環境の計測	田中正之	東北大学
海洋環境の計測	野尻幸宏	環境研究所
地球物理学的手法を用いた地球環境の評価	原 徹夫	応用地質院
診断と計測	竹本忠良他	山口労災病院
ピコ秒分光法と光CT	田村守他	北海道大学
血液の化学分析	中山年正	虎ノ門病院
メソスコピック系の物理	小林俊一	東京大学
フォトン走査トンネル顕微鏡と単原子操作	大津元一	東京工業大学
マイクロマシニング	江刺正喜	東北大学
コンピュータビジョンにおける復元問題	杉原厚吉	東京大学
生体組織のキャラクタライゼーション	椎名 毅	東京農工大学
計測制御における逆問題とニューラルネット	北村新三	神戸大学
第4回 (1993年)		
量子力学における観測問題	並木美喜雄	早稲田大学
電子線ホログラフィと磁束電子の観測	外村 彰	日立製作所

テーマ	講演者	所属
量子非破壊測定とスクイズド光発生技術	井元信之	NTT
生体磁気計測	上野照剛	九州大学
生体現象のゆらぎの計測と解析	佐藤俊輔	大阪大学
動物のセンサ	下沢橋夫	北海道大学
異常現象の予知	萩宏美他	東京電力
気象予測	立平良三	電気通信大学
生物に学ぶ法則の発見 (*)	土屋喜一	早稲田大学
Drop Measurement for Bubbie Jet Printers	W. J. Lloyd	Hewlett Packard
圧電音叉型振動ジャイロ	中村 武	村田製作所
測長SEMによる微細計測	大林秀仁他	日立製作所
ジョセフソン電圧標準	吉田春雄	アドバンテスト
シングルチップ電子計測技術	藤野健治	横河電機
第5回 (1994年)		
測定精度の量子的限界	江沢 洋	学習院大学
単一電子トンネルリングの計測への応用	吉広和夫	電子技術総合研究所
電子波の制御, 測定とデバイス応用の可能性について	古屋一仁	東京工業大学
脳研究における光学的計測法	外山敬介	京都府医大
脳活動の光計測	松本 元	電子技術総合研究所
立体聴の仕組み	大西 昇	名古屋大学
カオスにおける計測と予測	合原一幸	東京大学
生体運動システムにみる物理法則	石渡信一	早稲田大学
やる気の脳科学	大木幸介	信州大学
Image Sensor Testing	Mani Balaraman	テラダイン
液晶表示素子の製造プロセスと検査	庄野裕夫	東芝
大画面高精細カラーブラウン管製造における計測技術	火原辰則	三菱電機

\*印は本文で説明したもの

- (1) 計測の限界に関する問題
- (2) 生命体に関する計測
- (3) 環境問題にかかわる計測問題
- (4) 極微細量の計測問題
- (5) 計測アルゴリズムに関する問題
- (6) 個々の分野における最先端の計測技術になる。

ここでは過去5年間のシンポジウムで発表された話題の中から幾つかを取り上げることにより, 測定の分野が広い範囲に亘っていること, またその中に異分野に対する有効な示唆を与えるものがあることを紹介したい。

### 3.2 測定の限界について

この話題は, 光計測技術開発院の森村正直氏から紹介されたもので, 測定に限界がある理由をいくつかの要因に分けて分析している。

第1は量の概念による測定の限界で, これは2.4節に述べたこととも関係するが, 測定を行うためには測定の対象の属性が概念としてはっきり定義されていることが必要であ

り、そうでないと測定法から逆に量を定義するなどの約束が必要になり、客観性に問題が生ずる。たとえばピッカーズ、ロックウェルなどの金属の硬さは、測定法を規定して硬さの値を定義している。さらに、量の概念として定義が明確であっても、それを現実を求める方法が明確になっていないと、高い精度で測定することができない。軸受の内径の例でいえば、内径（直径）は幾何学的には明快な定義（円の半径の2倍）があるが、現実の軸受けの内輪は真円ではないので直径測定は厳密にはできない。

第2は理論検証の限界で、物理学における理論は、実験とそれに基づく考察により導かれるが、逆に導かれた理論は実験によって検証される。このとき実験には誤差を伴うので検証を完全に行なうことはできない。測定によって理論を検証するのに限界があることになる。二個の物体に働く万有引力はその距離の二乗に反比例することを主張しているが、 $1/r^{(2+\delta)}$ に比例すると考えたとき、 $\delta$ は $(0.7 \pm 2.9) \times 10^{-3}$ の範囲にあることが得られているが、0であるという保証は無い。

第3は信号再現の限界で、測定結果は測定機を通して得られるが、測定機は一般に不完全で誤差や雑音の混入により情報が汚染される。このため測定値は真の値と一致しない。不一致の生じる要因として、リニアリティ、量子化誤差、信号帯域の制限、測定機の不完全性（環境条件の影響を受けやすいなど）などがある。

第4は検出の限界で、センサで測定するとき対象から情報を正しく検出しなければ、その後いかに処理しても無意味であるが、正しく検出することを妨げる原理的に避けられない要因として、不確定性原理、雑音がある。不確定性原理の測定の立場からの解釈は、「どんな測定においても偏りを0にすることはできない」ということになる。雑音はセンサが物理系である場合本来的に雑音を伴い、これが対象に影響を与えて測定結果に偏りを生じる原因となる。

測定の限界は誤差の大きさがどの程度あるかということであり、誤差の大きさより分解能の高い測定は不可能である。

### 3.3 生物に学ぶ法則の発見

これは早稲田大学の土屋喜一教授の発表になるもので、生物の機能をセンサに応用する話である。古来工学技術に貢献した偉大な科学者は同時に生物や医学にも関心を持ち

立派な業績を挙げている例が多い。しかし生物の持つ複雑さ、および当時の測定技術の貧弱さにより工学的応用は限られていたが、1960年代になり急速に両分野の結合が見られるようになった。これは丁度産業革命以来の機械重視の考え方が生物中心の考えに代わってきた時代、公害、エネルギー問題などの発生、高効率化への反省、行き詰まった工学技術ブレイクスルーのアイデアの宝庫としての生物が注目された、などの理由が考えられる。

自然界にはその理由が良く分かっていないが、極めて巧みな営みが多々あり、センサの立場から見ておもしろいものが少なくない。たとえば、(1)桜の花が一斉に開花するのは樹木同志に信号の伝達の仕組みがあるのだろうか。

(2)夜になると花卉が閉じる花があるが、折り畳み傘に比べそのメカニズムは巧妙で決して纏れることはない。

(3)虫食いで葉脈が切断された木の葉の切断された先が枯れないのは虫食い孔を検出しているのだろうか。(4)樹木の葉が繁り過ぎて自重で枝が折れることがないのは何か荷重センサが働いているのだろうか。(5)回遊魚や海亀が大洋を一周してもとの場所に戻って来るのはどのような仕組みになっているのか。(6)群れをなして行動する魚や渡り鳥は俊敏に隊列を整えかつ変化させるが指揮官がいて命令伝達をしているのだろうか。(7)樹木や血管の枝別れ構造は末端部に酸素や養分を供給するのに最適な構造にするためにどのような信号伝達仕組みが機能しているのだろうか。(8)コオロギやゴキブリは超微風を検知するがその仕組みは。(9)髪の毛は先端部を触られると根本で感じるがその仕組みが分かれば高感度タッチセンサができる、など。

生体を観察すると個々の細胞などは工学的に見て、極めて高度な仕組みを持ち神秘的でさえあるが、これを何十兆個と集めた人間自体は必ずしも性能がいいとはいえない。これまでの科学技術の方法論では全体が分からないときは、サブシステムを調べ、それが分からないときはさらに構成エレメントを調べるというようにして、構成エレメントから全体像を明らかにして行くというデカルト流の手法であった。この西洋科学の手法は過去400年に亘り目覚ましい成果を挙げたが、現代はこの方法でうまく対応できない対象が出てきている\*1。

\*1 吉川弘之東大総長はこの新しく発生した問題を現代の邪悪なるものとして捉え、これに対処する方法論を展開しておられる（筆者注）。

### 3.4 フォトンを知る

これは浜松フォトニクス(株)の土屋裕氏の発表によるもので、量子効果を持つ基本粒子であるフォトンの計測についてのものである。光が波動性と粒子性を示すことは良く知られており、前者は光の回折や干渉があり、後者は光電効果が代表例である。フォトン個々に計測することによってフォトンの挙動を調べたり、フォトン媒体とする極微弱光情報を得ることができる。

フォトンを検出する方法には、光電効果を含む光電変換原理を利用したものに限られており、何れもフォトンの粒子性を利用している。計測されるのは個々のフォトンの空間位置(光電変換面への入射位置)、入射時刻、また変換面の前に波長や偏光を選択するフィルタなどを配置すれば波長などである。

すでに、フォトン計測において単一光電子の検出、波長と同程度の空間分解能、500fs ( $5 \times 10^{-13}$ 秒)の時間分解能、0.1nmの波長分解能、また $\gamma$ 線から赤外領域における計測が可能である。

フォトンの持つエネルギーは微弱であり、それを計測する手法には(1)フォトンカウンティング、時間相関フォトンカウンティング(PMT, APD, MCP-PMT)\*2、(2)フォトンカウンティングイメージング(2次元フォトン検出管)、(3)フォトンカウンティングストリーク(フォトンカウンティングストリーク管)、(4)フォトンカウンティング内部計測(シンチレータ+PMT)などがある。

(1)はフォトンを検出する基本的な方法でフォトンカウンタなどに利用されている1次元センシングである。

(2)、(3)、(4)は画像的にフォトン計測する方法で、(2)は2次元フォトン検出デバイスによるフォトンイメージング(光子計数撮像)、(3)は高時間分解フォトンカウンティング、(4)は多数のPMTを配置して内部情報を計測するX線CTなどである。

光電変換面には測定する波長に応じてCsTe, CsI(紫外領域)、SbCs, SbRbCs(可視領域)、AgOCs(赤外領域)などが用いられるが、フォトン計測ではとりわけ光電変換効率が重要である。

フォトンにより光電変換面から放出された電子はPMT

やMCPを用いて増倍される。この電子増倍は感度とSN比を同時に向上させることができる基本的なデバイスである。MCPは内径6~12 $\mu$ mの細いガラス管を100万本束ねて厚さ0.5~1mmの円盤状にしたもので、個々のガラス管の内面が適当な抵抗値を持つ2次電子放出材料となり1本1本が独立した光電子増倍器として作用する。空間分解能は6 $\mu$ m程度、ゲインは10,000、応答性は150~300psの特性を有しかつ低雑音である。

フォトン自由にコントロールすることによりフォトンの持つ粒子性と波動性の両面を実験的に確かめることができる。その1例として毎秒100個程度のフォトン密度にしてフォトンが互いに干渉しないようにして2重スリットを通過させ、スクリーン上に干渉縞を作りだすことができる。スクリーンに到達するフォトンが1,000個位でははっきりした縞は観察されないが、数万個のフォトンがスクリーンに到達するとはっきりした縞模様が観察される。

### 3.5 人工衛星を利用した精密測量技術(GPS)について

これは東京天文台におられた土屋淳氏の発表によるもので、今では民生用として廉価に求めることができるGPS(本来は人工衛星利用の航法システム)について、とくに大規模計測という観点から解説されたものである。GPSというのはGlobal Positioning Systemの略称で、人工衛星からの電波を受信して、船舶、航空機などの位置決定を行なうシステムであり米国により開発されたものであるが、その特徴から一般に測量に利用することができる。

従来行われている測量方法には、トランシットを用いる光学的な方法が一般的であるが、鉛直線に準拠しているために地球の重力場の不均衡のため最大で数100mの誤差を生じる。最近では光波測距儀により三角測量が三辺測量となり鉛直線に準拠しない方式が可能となった。これらの方式の測定誤差は近距離では機器の精度に依存するが、大規模測定では大気層の屈折、光路長の変動により $10^{-6}$ の相対精度が限界である。

鉛直線に準拠しない測量方式としては電波を利用した方式、慣性航法原理を利用した方式、人工衛星のレーザ測距方式および電波干渉方式とGPSがある。このうち、電波利用法は装置が複雑な割りに精度が良くない。慣性航法方式はジャイロの精度が測量に要求される精度にたいしては不

\*2 PMT: 光電子増倍管, APD: アバランシェフォトダイオード, MCP: マイクロチャンネルプレート

十分でまだ実験開発段階である。人工衛星レーザ測距はレーザ光反射器を搭載した人工衛星をレーザレーダにより追跡するもので、主として天文学、学術研究に利用される。精度は大陸間にまたがるような測距でも1cmのレベルであり、長距離の測距基準点の位置決定、大陸プレート運動の検出、地殻変動の測定に利用されている。地球の公転軌道直径を基線として利用するVLBI (very long baseline interferometry) は、天体を観測対象とし、地球規模の基線を1cmの精度で測定できる。しかし装置が複雑で経費がかかることから、短い距離ではGPSが有利になる。

GPSは、原理的にはVLBIと類似しているが、人工衛星の電波を基線の両端で受信して双方のデータを処理する方式であり、数100km程度までの基線を1cmから数cmの精度で測定できる。装置はVLBIに比べはるかに簡単に内蔵電池

による携帯型が実用されている。GPSは高度20,000kmの円軌道の24個の衛星と管制地上設備からなる。利用形態は1点測位 (実時間測定可) と相対測位 (オフライン測定) および時刻同期である。精度は1点測位でC/Aコード利用で、数100m、Pコード利用で16m、相対測位では2点における誤差を相殺できることから、数cmも可能である。

1点測位の利用分野は船舶、航空であるが、一般市民の利用も可能で自動車のナビゲータとして普及が進んでいる。相対測位に用いられる干渉測位法は、既に地震予知や火山噴火の観測に用いられており、また一般の測量用にも車載用機器が販売されている。精度に与える要因に衛星の位置計算誤差がありこれにたいして国内に独自の衛星追跡網を構築すれば相対精度は $10^{-7}$ が得られる。

## 4. むすび

測定に従事しておられる方を励ますつもりで書き始めたが、書いて見るとそのようにならなかったことを反省している。測定はすべての科学の基礎であるといわれるが、研究において測定をしないで済ますことは難しい。工学においても事情は同じであるはずであるが、さらに工学は人間の意図が絡んでくるので測定は一層複雑になる。しかし残念ながら、測定を統一的に論じる、いわば一般測定学といったものはまだない。3章で紹介した先端計測シンポジウムは、異なる分野で別個に研究開発が進められている測定法、測定技術を横断的に貫く一般原理を見出すのが究極の目標であるが、現在までのところ道は遠いというのが偽らざる現実である。測定に携わる人々が少しでもこのような意識を持って頂くことを願いつつ筆を置くことにする。

なお、先端計測シンポジウムの次回は1995年6月に行われる予定である。

## 文 献

- (1) FOUNDATION OF MEASUREMENT Vol.1 1971, Krantz, D. H. 他
- (2) 計測の科学的基礎 1987, 高田誠二 コロナ社
- (3) ミニ特集 計測アルゴリズム 計測と制御 Vol.27, No.5 (昭和63年5月)
- (4) 計測工学連合シンポジウム 先端計測'XX (No. 1 - No. 5) 1990 - 1994, 日本学術会議計測工学研究連絡委員会 (なお、先端計測'95 シンポジウムについての情報は筆者までお問い合わせ下さい。)