

# 東京工業大学土木工学科における測量教育

盛川 仁

## 1. はじめに

東京工業大学(以下,東工大)の工学部土木工学科は,東海道新幹線が開通した1964年に設置された学科です。東工大は大岡山とすずかけ台の2つのキャンパスから構成されていますが,土木工学科は,大岡山キャンパス内の北西,緑が丘地区と呼ばれる地域を中心に配置されています。

東工大では,学部の入学試験において類別入試を実施しており,土木工学科を含む第6類の新入生として入学した学生は,1年次は教養科目を中心としたカリキュラムに従って勉強します。その後,2年生への進級時に学科振り分けがあり,土木工学科,建築学科,社会工学科,開発システム工学科(土木コース)のいずれかの学科,コースに配属されます。

東工大では大学院重点化により教員のほとんどが学部ではなく,大学院に所属しています。そのため,土木工学科を本務とする教員はいませんが,土木工学科と直接的な関係を持つ理工学研究科土木工学専攻に所属する教職員をはじめとして,学外に本務をもつ客員・連携教員や,大学院大学を含む他研究科の関連専攻の教員が土木工学科を兼担して,学部の講義や卒業研究の指導を担当しています。以上のような体制により,土木工学科の教育カリキュラムは非常に充実したものとなっています。

なお,このような教育体制が高く評価され,東工大土木工学科は日本技術者教育認定機構(JABEE)による教育プログラム審査を受け,2005年5月に土木および土木関連プログラムとして同機構により認定されました。

開発システム工学科は化学工学,機械工学,電気工学および土木工学の4つのコースからなる横断的な学科で,アジアを初めとする発展途上国の開発に貢献できる日本及び発展途上国等の専門技術者・研究者を育てることを目的として1995年に設置されました。開発システム工学科の土木コースに所属する各学年10名弱の学生は,土木工学科とほぼ同じカリキュラムに従って教育を受けています。

以下では,土木工学科と開発システム工学科の土木コースをまとめて東工大土木と呼ぶことにします。

## 2. 測量学

東工大土木では,測量学に関する科目は「測量学」(1コマ,2年次後期,2単位)と「測量学実習」(2年次の春期休暇中の集中講義,1単位)の2つが開講されています。前者は選択科目ですが,履修することが推奨されている科目,後者は必修科目です。

「測量学」の受講生のほとんどは,土木工学科と開発システム工学科土木コースの2年生ですが,過年度生や建築学科をはじめとする他の学科の学生も受講しており,例年,60人前後が受講します。

東工大には,測量学を専門とする講座もありませんし教員もいませんので,測量学の講義のうち半分は測量会社に勤務しておられる,実務や測量技術の専門家に非常勤講師をお願いして,講義をしていただいています。測量学の講義内容は表-1に示す通りですが,前半の7回を東工大の教員が担当し,測量に関する基本事項を述

表-1 「測量学」の授業計画

週	内容
1.	測量とは何か。測量と地球環境。土木技術のなかでの測量の位置づけ。測量の歴史。
2.	地球の形状。平面座標系。測量学の基本要素。
3.	測定の種類と誤差の種類。偶然誤差の数学的取り扱い。
4.	確率・統計の基礎。誤差の伝播の法則 (1)
5.	誤差伝播の法則 (2)
6.	最尤法。最小 2 乗法 (1)
7.	最小 2 乗法 (2)
8.	投影法
9.	空中写真測量 (1)
10.	空中写真測量 (2)
11.	GPS 測量
12.	リモートセンシングとは
13.	リモートセンシング技術の利用
14.	地理情報システム (GIS) の応用
15.	期末試験/レポート試験提出

べた後、残りを誤差論の講義にあてています。東工大土木では、確率論および統計学が必修科目でないこと、他学科の受講生が少なくないこと、などから、確率論の基本知識を前提知識として持っていなくても、理解できるように確率論の基礎から述べています。特に、誤差論においてもっとも重要となる正規分布については、実際に、紙に印刷された線の長さを学生に測らせて、各人の計測値がばらつくことを示したうえで、誤差とは何か、正規分布はどのようにして誘導されるのか、を述べています。また、適宜、演習問題を解いたり、クイズを行ったり、宿題を出したりして、理解が深まるように配慮しています。

後半の 7 回では、非常勤講師の先生に現在の最新の測量技術について解説をお願いしています。内容は、空中写真測量、GPS、GIS、リモートセンシングなどです。単なる「お話」だけでなく、リモートセンシングや GPS のデータの解析手法について具体的な計算過程を示して、実際にどのような解析が行われて結果が得られるのかを述べています。これらの内容は、実際の測量の現場で最前線に触れておられる方の講義ですので、常に新鮮かつ最新の情報を含んでおり、学生にはよい刺激を与えています。

### 3. 測量学実習

測量学実習は、従来から 2 年次の春期休暇中

(2 年生と 3 年生の間の春休み中) の 3 月末に合宿をして集中講義形式で行っていました。ただし、2003 年度からは、場所および内容を大きく変更しています。以下では、測量学実習の内容を変更するに至った経緯、および新しい実習内容について少し詳しく述べたいと思います。

他大学の多くの土木系学科で行われている測量学実習と同様に、東工大土木でも、トランシット、ティルティングレベル、巻尺、アリダード等、旧来のアナログ主体の読み取り装置を有し、各種の自動化が導入される以前の測量機器 (以下、旧式機器) を用いていました。実習ではこれらの機器を用いて、トラバース、水準、平板の各測量を行い、最終的に一枚の詳細地図を作製するということを目的としていました。

旧式機器を用いた実習は、測量の原理を理解するためには適しているのですが、現在の測量現場でこれらの道具が実際に使われることは極めて稀で、通常はトータルステーションや GPS が使われています。測量学実習も、昔ながらの実習スタイルを改め、時代の実情や要請に対応して変化することが必要となってきました。

また、学内的な事情で、合宿に利用していた大学の研修施設の老朽化が年々進行し、多くの学生の生活様式や要求に耐えられないものとなってきていること、国立大学法人への移行にあわせて大学所有の研修施設の統廃合が議論されるに至って、将来にわたって安定的に実習を続けられるかどうか、不透明な状況になったこと、なども、測量学実習を見直すきっかけとなりました。

以上のような問題意識のもとで、東工大土木では、2003 年度以降、実習の進め方を大きく変更し、株式会社ソキア・ソキアスクールと協働して新しい試みをはじめました。

#### 3.1 教育目標の設定と実習先の選定

実習の方法を変更するに先立ち、大学における測量学実習の意義や位置づけについて改めて検討し直しました。そして、実習を行う上での教育目標を明確にすることが、実際の実習計画を立てる上で重要である、という極めて当たり前な認識に基づき、改めて以下のような目標を

表-2 「測量学実習」の実習内容

日程(場所)	午前	午後	夕食後
1日目(東工大)		トラバース測量(トランシット, 巻き尺), 水準測量(ティルティングレベル)	
2日目(ソキア)	開校式(11時集合)	水準測量(自動レベル)	データ処理
3日目(ソキア)	トラバース測量(トータルステーション)		データ処理
4日目(ソキア)	GPS概論~最新技術に関する講義	GPS測量実習, 基線計算演習	交流会
5日目(ソキア)	測量史, 測量機器等に関する講義	閉校式(昼食後解散)	

設定しました。

1. 従来の旧式機器を用いた実習を, 一部, 最新のトータルステーション, GPSによる測量に置き換えることで, ものを「はかる」技術の最前線に触れる。
2. 旧式機器による実習を残すことで, 測量の際の誤差発生の原因や処理法についても同時に理解する。
3. 旧式機器と最新機器の併用により, 機材の特徴の違いを正しく理解し, 新しい機器の有効性を体験する。
4. チームワーク作業の重要性を認識させ, コミュニケーション能力を高めることについては, 従来どおり。

実習は例年どおり3月末に行うという前提で, 5月頃から準備をはじめ, 学科会議などでの議論を経て, 学外の測量機器メーカーの研修施設を利用させてもらう, という案に落ち着きました。具体的には, 学生教育にも意欲的なソキアスクールと協働することとなりました。ソキアスクールは, 意欲だけではなく, 企業研修の実績があること, 測量機器メーカーであるため実習用の測量機器が常に最新のものにリプレースされること, 測量の実習に特化した研修施設を有すること等が考慮された結果です。

ソキアスクールは, 測量のプロ及びセミプロに対する教育については非常に豊富な経験を持っていますが, 受講者が全くの素人でしかもそれが学生である, という特殊な状況下での教育は, 初めての経験でした。また, 東工大のスタッフにとっても, 学外でのこのような形で行う実習の経験は過去に無かったため, 頻りに打ち合わせの機会を設け, 約一年をかけて入念に計画を詰めていきました。このように, 両者共にノウハウの蓄積が全く無かったため, 初年度(2003

年度)は, 実習内容の深化によるメリットよりも, 新しい事業を行うという意味での困難さの方が大きかったように思います。しかし, 2年目(2004年度)には, 実習のマネジメントも大幅に改善され, 効率化, ルーティン化が着実に進み, スタッフ, 受講生の両者共に, 余裕を持って実習を行うことができました。

### 3.2 新たな実習内容

上に示した学習目標を達成でき, さらに, 金銭的負担(宿泊費として受講生が負担する分や, 測量機器使用料として大学が負担する分)が従来の大学の研修施設を利用する場合に比べて極端に大きくならないという制約条件のもとで, 表-2に示すようなスケジュールを組んで実習を実施しました。

2004年度の場合, 受講生は50名で, これを10班に分け, 1~3日目を通して同じ班構成で実習を行いました。各班5名で構成されていますので, 全員が積極的に実習に参加しないと作業が捗らないようになっていきます。

1日目には, 東工大構内の広場において, 旧式機器を用いて, 距離測量, 水準測量, 角測量を実施し, トラバースの閉合誤差の計算, トラバースの座標調整などを行います。旧式機器を知る, というだけでなく, 2日目以降の実習の準備段階として, 機器を扱うときに注意すべき点, 三脚のたてかた, 計算のプロセス等を理解することも目的としています。従って, 精度が悪くても測量をやりなおしたりはしませんし, 5班毎に1つのトラバース(五角形)を構成(各班がトラバース中の1点, 1測線を担当)するという非常に雑駁な作業を行っています。

2日目以降は, 表-2に示す計画にしたがって実習を進めます。ソキア研修所敷地内の研修用



写真-1 トータルステーションを使う

基準点については、公共測量基準点相当の測量成果が予め得られていますので、実習での測量結果とを比較して、精度に関する議論を行うことができます。この点は、教育的な観点からも特筆すべき特徴と言えるでしょう。

実習期間中には、誤差の計算結果(閉合比等)を班ごとに比較できる形で公開して競争意識を高め、実習に積極的に参加する動機を高めるようにしました。このようなコンペティション的な要素を授業に採り入れることについては賛否の別れるところです。しかし、学生の食い付き、という点からはたいへん有効であるようです。

### 3.3 成績評価

2004年度の場合、成績評価は、学習目標に準拠して、(1)出席、(2)測量結果の精度、(3)個人レポート、という3つの軸で行いました。レポートの評価方法を書いた印刷物を配布し、何がレポートとして求められているか、を明確にしています。実習ですから、出席が絶対に必要ですが、出席するだけで単位をとれる、というのでは実習に対する内発的な動機付けが難しいと考えられます。そこで、上記3つの項目間での配点のバランスを配慮し、トラバースの閉合誤差、トラバースの測点の位置座標誤差等で相対的に劣っている班に所属していても、個人での考察(レポート)をしっかりと書けば、よい成績がとれるように配点を工夫しています。

### 4. おわりに

講義の最後に集める授業の感想などを読むと、測量学のほうは、座学としてほかの科目同様退屈している学生の割合が少なくない、という反省を毎年することになるのですが、その一方で、実習の感想では、今までにない体験ができたことを素直に喜んでいる受講生が多いようです。

東工大土木では、測量学と測量実習の位置づけを明確に分離し、それぞれにおいて適切と考えられる内容を盛り込むよう工夫をしてきました。特に、測量学実習については、これまでにはなかった大胆な方法で実習を実施することで、良い教育効果を得ています。民間企業と協働することで、大学組織だけでは絶対に実現できないと言っても良い充実した実習環境を学生に提供できたこと、すなわち、将来を背負って立つであろう若い人材の育成活動が産学の別なく重要であるとの共通認識のもとで、それぞれの得意分野を活かし、測量という枠組みのなかで最善の実習を実現できたこと、が大きいと考えています。

ただ、デジタルはアナログよりも優れている、と何の疑問も持たずに決めつけている考察(?)が多数見られ、機器の仕組みや、計測の基本原則を確実に理解させることの重要性を改めて認識させられました。土木工学に関連する多くの実験・演習科目が、時代のニーズに対応して進化的に内容を変えているように、測量学/測量学実習の内容も時代と共に進化すべきものです。測量の実習方法自体は、まだまだ試行錯誤の段階ですが、これまでに浮き彫りになった問題点を改善しつつ、今後の実習および講義にフィードバックしていきたいと考えています。

(もりかわ ひとし・

東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授)