

茨城大学工学部 正員 星 仰
茨城大学大学院 正員 堀 勝也

1. はじめに

沿岸測量や湖沼測量の主目的は、水深を測定することであるが、大きな水深変動がなければ、定期的観測が多くなる。しかし、最近の環境問題では、水質管理が重要視され、年間変動、季節、月間、時間といった各時系列データの観測が実施されるようになった。とくに、わが国の湖沼では流入してくる水質の悪化が湖沼全体の環境を左右するケースが多く、流入物質が流出物質に等しくならず、湖沼内に蓄積もしくは停滞することが多い。そこで、湖沼内の水質測定や水温測定が不可欠であるが、これらの測定方法が科学的に進展しているとはいえない。最近のグローバル・ポジショニング・システム (GPS) はこれらの問題に対応可能な新測量システムを築きつつある。そこで、本研究は湖沼内の水温測定を事例に取り上げ、実用性のある場合とない場合を示し、GPS の実利用のために誤差分析をしつつ、測定位置 (X, Y) の同定の条件を示す。

2. 測点情報と GPS 誤差

グローバル・ポジショニング・システム (GPS) の装置を用いて測点 (λ, ϕ) を求め、この位置での水質や水温の測点情報 $I_{\lambda\phi}$ を抽出することを考える。測点 (λ, ϕ) の誤差を $\varepsilon_\lambda, \varepsilon_\phi$ とすると、測点情報 $I_{\lambda\phi}$ を平面 (λ, ϕ) に分布表示したとき、 $\varepsilon_\lambda, \varepsilon_\phi$ の影響があり、 $\varepsilon_\lambda, \varepsilon_\phi$ 内での測定は GPS の測量自体が適用されにくいことを意味する。一般に等高線は等高線間隔の $1/m$ ($m=3$) 以内に位置誤差が納まる必要があるから、この概念を等水温線にも適用するならば、等水温線間隔 ΔI_i ($i=1 \sim n$) に対して、次式が成り立つ。

$$\Delta I_i = m \sqrt{\varepsilon_\lambda^2 + \varepsilon_\phi^2} \quad (m=3) \quad (1)$$

ここに、 i は等水温線 j と $j+1$ に挟まれる間隔 ΔI の順序を示したもので、 m は等水温線間隔 ΔI と GPS の位置誤差の比から求められる値である。これらのことから、GPS 測点 P_k と P_{k+1} ($k=1 \sim \ell$) の間隔 ΔP_k は ΔI_i より大きくなる必要がある。すなわち、

$$\Delta P_k^2 = (\lambda_{k+1} - \lambda_k)^2 + (\phi_{k+1} - \phi_k)^2 > \Delta I_i^2 \quad (2)$$

式 (1), (2) をまとめると次の関係が求められる。

$$\Delta P_k^2 > \Delta I_i^2 > m^2 (\varepsilon_\lambda^2 + \varepsilon_\phi^2) \quad (3)$$

これらの関係式が満足されるとき、GPS による測位システムが有効といえよう。

3. 水温観測事例

3.1 五色沼の測位観測

五色沼は環境庁の管理下にあり、水質調査や測量もその機会が少ない地域である。このため、観測方法や水の採集に対しても環境保護面を十分配慮する必要がある。1991 年、1992 年の夏期において環境庁の許可を得て、水温、水質調査を実施してきた。まず 1991 年において、毘沙門沼 (面積約 0.2 km^2) にて実測を行い、観測位置は目視にて地図 (縮尺 $1/25,000$) 上にプロットした。実測内容は測点 P_k で 1 測定でなく各項目測定のため、潮水の流れによる位置ズレを生じている。これはゴムボートの移動量に相当するが、その量は $\Delta \lambda = \pm 2 \text{ m}$, $\Delta \phi = \pm 2 \text{ m}$ と推定される。

次に第 2 回観測時 (1992 年夏期) では、第 1 回観測点と思われる位置にて、時系列データの抽出を試みた。各測点 P_k にゴムボートを固定するには、1991 年の野帳記録情報に頼るしかなく、観測位置を決定するのに、およそ $\Delta p_k = \pm 2.5 \text{ m}$ 程度の誤差が含まれるものと推定される。湖岸から 20 m 程度離れ、確かな目視視点がないと測点 P_k を再現するのに $\Delta E_k = \pm 3 \text{ m}$ の位置誤差があるといえよう。ところで第 2 回観測時 (1992 年夏期) ではグローバル・ポジショニング・システム (GPS) を用いて、各観測点 (λ, ϕ) の値を計測しておいた。GPS による位置誤差 $\varepsilon_\lambda, \varepsilon_\phi$ は ΔE_k , $\Delta \lambda$, $\Delta \phi$ より大きく、測点間の検証を GPS で実施することは困難といえる。しかし、毘

沙門沼と他の湖沼を連絡するような利活用であれば十分実用性がある。ここで、GPS 装置にて測点 (λ, ϕ) の相互利用をするための誤差の関係をまとめると式 (4), (5) となる。

$$\varepsilon_{\lambda}^2 + \varepsilon_{\phi}^2 < \Delta E_k \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\lambda}^2 + \varepsilon_{\phi}^2 < (\Delta\lambda)^2 + (\Delta\phi)^2 \quad (5)$$

3.2 諏訪湖の測位観測

諏訪湖は周長 18km、面積 14.1km²(海拔高度 759m) と毘沙門沼と比べて広く、水上の位置決定に GPS 利用が可能である。諏訪湖の環境監視は長野県、諏訪市、信州大学などで個別に、水温・水質観測が長期に実施されてきている。しかしながら、長期的モニタリングでは同一地点の異時期の同定が困難な上に、データ量が多くなると経費面でも問題となり、必ずしも十分な観測点を選定するに至らず、最小限の選点となっている。しかしながら、リモートセンシング技術で用いるシートゥルースデータとなるとリモートセンシング画像データが面的分布している情報のために、真値の代用が多いほど正確に表現でき、必ずしも長期モニタリングされている観測位置がシートゥルースの選定に適しているとは限らない。このため、一般には衛星や航空機調査日にシートゥルースデータを収集することが通念化してきている。本研究では湖上の水温のシートゥルースの選点に GPS を活用することを念頭におき、測点 P_k の λ, ϕ の観測を行った。この時の湖上測点 (λ, ϕ) を通常の測量法の前方交会法で決定するには、基線 B を陸上に定める。基線 $\vec{a_1 a_2}$ の方向を X 軸とし、これに直交する軸を Y とする。セオドライトにて湖上のポート位置 (X, Y) を a_1, a_2 より観測して位置 (X, Y) と基線とのなす角を α, β とするとき、 X, Y は次の関係となる。

$$X = B \sin \beta \cos \alpha / \sin(\alpha + \beta), \quad Y = B \sin \beta \sin \alpha / \sin(\alpha + \beta)$$

測点 (X, Y) の誤差 m_{xy} とすると誤差伝播の法則により式 (6) が得られる。

$$\begin{aligned} m_{xy}^2 &= m_x^2 + m_y^2 \\ &= \left\{ \left(\frac{\partial X}{\partial B} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial B} \right)^2 \right\} m_B^2 + \left\{ \left(\frac{\partial X}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \alpha} \right)^2 \right\} m_{\alpha}^2 + \left\{ \left(\frac{\partial X}{\partial \beta} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \beta} \right)^2 \right\} m_{\beta}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

4 等三角測量以下では、 $m_B = \pm 1\text{mm}$ 、 $m_{\alpha} = m_{\beta} = \pm 20''$ 程度であるから、基線長 $B = 20\text{m}$ とすると、湖中心付近でも $m_{xy} < \varepsilon_{\lambda}^2 + \varepsilon_{\phi}^2$ となる。GPS 観測では $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon_{\phi} \div 30\text{m}$ 程度¹⁾であるから、前方交会法で位置決定するより誤差量が少なくてすむことになる。

4. 結 語

GPS 装置を用いて湖上位置の同定をする事例として毘沙門沼と諏訪湖を取り上げ、GPS 観測誤差 $\varepsilon_{\lambda}, \varepsilon_{\phi}$ 以内での測点事例から、等水温線の描く場合、測点間をどの程度必要とするかを式 (1) ~ (3) で明らかにしてきた。また、測点間が十分長い事例として諏訪湖の水温観測事例を取り上げ、GPS 測定が前方交会法観測より湖中心に近くなるにつれ、高精度が得られることを示してきた。また、前方交会法測量では、セオドライト器材が 2 台必要な上に観測者 2 名、記帳者 2 名が必要である。これ以外に水温観測と記帳者 2 名が不可欠である。GPS 測量の場合、水温観測者が GPS 装置にて λ, ϕ 観測が十分可能なのですべての観測と記帳を 2 名で実施できる。このことから、広い湖上観測では人材だけでも約 1/3 となり、かつ精度面でも GPS 観測が優れている。以上のことから広い湖沼では水温測定位置の同定には GPS 測量を活用すべきである。また、狭い湖沼での位置決定には式 (1) ~ (6) の条件が参考になると確信している。なお、本稿は水温測定を例に挙げたが、一般の水質観測に対しても当然応用することができよう。

参 考 文 献

- 1) 星 仰、穂積伸一: 小型 GPS による標定点抽出精度、計測自動制御学会第 18 回リモートセンシングシンポジウム資料、pp. 13-16, 1992.10.