

「測量近代化研究会」 第3回

2021.12.2 9:30~11:00

日本測量協会・web 会議

1. 開会

事務局 時間となりましたので、第3回研究会を開催いたします。まだお二人ほど会議に参加いただけていないようでございます。〇〇委員、それと〇〇委員が確認できておりません。それから、〇〇委員から欠席と連絡をいただいております。時間が来ておりますので、議事を進めます。ご了承ください。

事務局 研究会の議事を進めます。本日、先ほど申しあげました通り、18名のうち1名が欠席という状況でございます。それとオブザーバーとしまして、全国測量設計業協会の〇〇技術部長にご参加いただくことになっております。配布いたしました資料1の委員名簿ご確認いただければと思います。

続きまして、資料の確認をいたします。今申しあげました資料-1「委員名簿」の他に、本日の議事資料としまして、資料-2～資料-5を配布しております。ご確認いただければと思います。よろしくお願いたします。それでは委員長に議事の進行をお願いしたいと思います。どうぞよろしくお願いたします。

2. 議事

委員長 はい、承知いたしました。皆さん、お早うございます。よろしくお願いたします。本日は議事次第の通り、四つの議事を行う予定でございます。事務局からはこの議事のうち、「3) マニュアル作成に向けての検討について」に質疑の時間を割きたい、というご意向を伺っておりますので、そのように議事を進めますことをご了承いただきたいと思います。ご協力をよろしくお願いたします。

それではまず議事の一つ目、「1) 座標観測の考察」について、〇〇委員からご説明をお願いいたします。

1) 座標観測の考察

委員 皆さん、お早うございます。〇〇でございます。前はシステムがうまく働かなくて今回になってしまいましたが、さっそく始めたいと思います。

ここにありますように、現在の作業規程というのは、三角測量時代の基準になっています。例えば、今盛んに CLAS の精度基準というのを、標高は 95% の不確かさが 12 cm なのに対して、準則では 95% の不確かさが 40 cm という状況でございます。これは計測の精度というより目測の精度だと思います。こういうものが未だにずっとある。その他の精度基準というものははっきりしない。200m の三級基準点間を測って 19 cm も誤差が許されるという状況でございます。そういうのがどうして出たかという根拠が不明であって、まったくわかりません。基本的に現代の測量の品質管理というのは 19 世紀の記述統計学を基礎としております。現在は 21 世紀にもなっている

わけですから、20世紀に発達した推測統計学というものを導入すべきではないか、という感じがします。車に喩えるなら、新幹線に対して現在の測量全体の品質管理というのは馬車や駕籠で行っているような感じでございます。

これは実際の観測として、どうしたらよいかという具体的な問題を国土地理院のホームページにある草加地区のGPS観測の例をもとにしてお話ししてみたいと思います。現在は観測値という座標を固定値として扱っているのです。座標というのは観測値ですから、誤差を持ったものとして扱うのがよろしいのではないかと、ということで、〇〇さんの教科書などでもそのように出ております。それについて、私が1995年に開発した異種観測値を三次元で処理するプログラムを使って処理した結果を次に示します。

その品質管理の一つとして「 χ^2 検定」というものを提案したいと思います。 χ^2 というのは、この左上にありますように重量と残差の平方をかけたものの総和が χ^2 でありまして、それを χ^2 分布という、右側にあるような正規分布は左右対称ですが、左右対称でないものがこれですね。引数としては、有意水準だいたい5%……95%の有意水準5%。それから自由度です。自由度というのは、観測値から未知数を引いた自由度を引数にして評価するわけですが、重量として、重量が大きいと上方に棄却される。だから観測値が悪いと v が大きくなるために上方に棄却。二乗が大きくなって棄却される。現在作業規程では重量として、基線解析の結果から得られた共分散行列を使う方法が示されていますが、これは標本分散であって非常に小さい。従って重量が大きくなる。結果として χ^2 検定が棄却されるという結果になります。それに対してもう一つの重量としては、GNSSの観測から推定した水平4mm、高さ7mm。これはだいたい母分散に相当するものとして、よいのではないかとと思うのですが、この当時に推定したデータというのがちょうど太陽の静穏期に当たっているんで、ちょっと小さいのではないかと印象を持ちます。もうちょっと大きくしてもよいのではないかと思います。次お願いいたします。

これはその結果でございます。1~6がありますが、2、3の共分散を使ったものは棄却されます。特に3番の5点固定、これは既知点誤差も入って χ^2 は58~107.9の間に入る χ^2 が2万という大きなものになって、もう制御不能の状態になってしまいます。従いまして現在の作業規程の準則では、GNSS観測の網平均計算の分散の検定というのは評価していません。「していない」と言うより、このように制御不能の状態なので「できない」というのが実際だと思います。5番目に、これは5点固定なのですが、既知点を1cmぐらいの標準偏差を持った観測値として評価すると、 χ^2 が58~107の間にうまく入って採択される。こういう結果になります。この結果から見ますと、座標値というのは固定するのではなくて、適当な観測値として、重量を持った観測値として処理するのがよろしいのではないかと。念のため6番目に座標に大きな誤差を故意に入れてやると棄却されます。これは残差が大きいうことで棄却されます。そういう結果、残差がどう評価されるか、という問題も統計的な検定があるのですが、これにはBaardの方法とPopeの方法があります。Baardの方法というのは標準正規分布を仮定したものです。Popeの方法というのはt分布を仮定したものです。こういうものもあるのですが、これはまた別の機会にしたいと思います。次をお願いいたします。

その中で「今後の課題」としてはいろいろあるのですが、現在トータルステーションで三次元データを得ながら、わざわざ二次元と一次元に分離して処理という無駄なことをやっている。こ

それは三次元で処理するとかですね。それから 20 世紀の推測統計学というのも導入すべきではないか。それからもう一つは、今日本の座標系というのは二つですから、それを統一する必要があると思います。それから 4 番目には CLAS の観測値を JDG2011 と整合する。ここに CLAS (ITRF2005) とありますが、これは古い話でこの前の 4 月から 2014 になっていますので、これは誤りです。それから標高について非常に問題がありますが、これは今後この研究会で議題になると思います。それはそれとして今後も話したい。私も生きていれば参加したいと思います。次が最後になります。次をお願いいたします。

私はこの会には測技協から参加しているわけですが、測技協は約 100 の株式会社で組織されています。株式会社というのは儲けて株主に配当を与えなければいけないわけです。そうでないと経営者は株主総会で罷免される可能性があるわけですから、やはりちゃんと儲ける、株主のためにも儲けなければいけない。儲けるという意味で、測量行政が非常に重要な役割を果たしてくると思います。国土地理院の役割は大きい。例えば 21 世紀に入って世界測地系が導入されました。1990 年代にバブルが弾けて不況が起きて、引き続き建設不況が起きて、そのあおりを食らってアイサンテクノロジーなどは収入が激減して、2000 年には大リストラをするような、それでも赤字が続きました。が、この世界測地系の導入にあたって、いろいろな開発によって非常に、一時期はお客さんにソフトを手渡せないほど忙しい注文がやってきて、それで当社は黒字になった。当時、当社は「測地成果 2000 の神風が吹いて、当社の黒字化ができた」という具合に、測量行政というのは、非常に私たちへの影響がある。その後も国土地理院は積極的に新技術の導入を、マニュアルを通じて業界に入れてきております。例えば具体的に、当社では MMS を導入して、それを自動運転と結びつけて、額面 1000 円の株価がめちゃくちゃに上がって 2000 円、3000 円、4000 円などと上がったのです。そのために億万長者の株主が何人も出現するということが起きてきた。このように測量行政の中で新技術導入ということが非常に重要なことであると思います。

それから国土地理院の事業として測量事業があるわけですが、1000 年に 1 度というような大震災に対して、わずか 7 カ月で修正するというのをやり遂げたのは、非常にすごいことです。例えば南海地震の場合は復旧測量に 4 年余りかかりました。それに比べると大変な国土地理院の職員の……。当時、今日ご出席の川本さんなどは課長で、管理職手当をもらっていて日曜出勤しても残業手当も出ないで、非常に大変な仕事をしたと思います。そういう成果が今、生きていると。

それから 3 番目の国土地理院の役割として、測量研究というのがありますが、先月測地学会が行われまして、67 の口頭発表がありました。測地に関するものはわずか一つです。あと圧倒的多数が地殻変動なのです。国土地理院の発表も、七つありましたが、四つも地殻変動だということで、どうも国土地理院の研究者というのは、測量というものを学問として見ていないのではないかと。最初に私は申し上げましたが、トータルステーションの誤差構造についての論文を書いたら、それは学問ではないから測地学会としては認めない、と。こういうことを言ったのは国土地理院の職員なのです。ですから、どうも測量研究という点ではちょっと問題がある。ただ当研究会が唯一公的機関としてあるので、この研究会がうんと発展することを願って、私のお話としたいと思います。以上でございます。ご静聴ありがとうございました。

*

委員長 ○○委員、ご説明ありがとうございました。それではただ今のご説明に対して、ご質問あるいはご意見がありましたらご発言ください。

●測量研究の重要性／GNSSの重量の測量

委員 ○○から、よろしいでしょうか。

委員長 はい、お願いいたします。

委員 ○○委員、ご発表ありがとうございました。非常に幅広い論点がありますので、すべてについてちょっと議論はできないのですが、最後に当研究会に対してご期待いただいているというご意見、ありがとうございます。私も同じような思いを持っておりまして、トータルステーションについての研究論文を探すと、あまり出てこないのです。今日もちょっと資料を用意しましたが、単路線ですと延ばしていくと誤差がどうなるかというのは、教科書を探してもあまり出てきません。○○委員もトータルステーションについて研究されているということであれば、ぜひまた発表をお願いいたします。これが1点目です。

2点目ですが、先ほどGNSS測定の重量の測定がありました。これは第1回の研究会で私のほうから発表した資料がありますので、確認のためもう一度お示ししたいと思います。ちょっと資料を共有させていただきます。

委員 GNSSの誤差構造なども距離に比例するかどうかという、そういう問題もあると思いますが、こういう研究も世界でなされていくし、日本でもなされているのです。そういうことを……だから「測定は学問ではない」と言わずに、しっかり研究していく必要があると、つくづく感じているわけでございます。今日も、このようなことをよろしくお願ひしたいと思ひます。以上です。

委員 はい。これは第1回研究会でお示しした資料ですが、見えていますか。

委員長 見えています。

委員 大丈夫ですね。先ほど○○委員から4mm、4mm、7mmは小さすぎるといふお話がありました。

委員 すみません。私、ちょっと耳が難聴のもので、聞き取りづらひ点がありますので、マイクの近くに……。

委員 はい。このグラフをご覧くださいとわかりますように、当協会で行っております検定のデータから見ても、水平6mm、垂直に関しては23mmという標準偏差が出ておりますので、4mm、4mm、7mmといふのは少し小さ過ぎると。これは電子基準点を使った測定ですので、このような数字になっています。ネットワーク型RTKを使って短距離200mぐらいだったと思ひますが……。これですね。ネットワーク型RTKで単点観測はまた後ほど紹介しますが、相対的な観測をすると、4mm、6mmといふことで、(このくらの)距離であれば標準に載っているような標準偏差ではほいけると。ただ今は電子基準点から直接基準点を作るといふ状況になっていますので、その場合にはこのくらの大きさはある。特に鉛直方向が大きいといふ結果が出ています。これは第1回研究会資料です。私からのコメントは以上です。

委員長 どうもありがとうございます。○○委員、よろしいでしょうか。

委員 どうもありがとうございます。

*

委員 よろしいでしょうか。

委員長 はい、どうぞ。

委員 ○○委員がおっしゃっているのは、三次元網平均にかける時の重量の話をおっしゃっていると思います。多分比較している標準偏差というのが違うのではないかなど。

委員長 比較している標準偏差が違うと。

委員 ○○委員の資料の中で出てきた4mm、7mmというのは、三次元網平均にかける時の分散の重量になっていると思います。その4mm、7mmを○○委員がおっしゃっているのでしょうか。

委員長 というご質問ですが、○○委員、いかがでしょうか。

委員 ○○委員のご指摘されたのは、この4mm、7mmの根拠が今は通用しないのではないかと、ということだと思うのです。網平均に使う重量をどこから持ってくるかということ、これは先見的に与えなければいけないわけですから、何らかの根拠がいます。そうしますと実測のデータから持ってくるという、推測統計学からするとそういった考え方になるわけです。昔、4mm、7mmと決めたのは、恐らく地上で比較的短基線で測量をやって出てきた、その実測の数値をアプリアリに与えてやる、網平均の時に与える。そういう考え方になっていると思いますので、これを現状で一から見直すと、やはり4mm、7mmでは小さ過ぎる。こういうのが私の主張です。

委員長 ○○委員、よろしいですか。

委員 わかりました。ありがとうございます。

委員長 はい。ありがとうございます。よろしいでしょうか。それでは○○委員の発表はここまでといたします。ありがとうございました。

委員 どうもありがとうございました。

*

委員長 では、続きまして次の議事、「2）ネットワーク型RTK法（単点観測法）精度検証結果」について、事務局からご説明をお願いいたします。

2）ネットワーク型RTK法（単点観測法）精度検証結果

事務局 それでは資料-3について説明いたします。

委員長 すみません。発表者モードになっているのですが、全画面にならないでしょうか。はい、なりました。ありがとうございます。

事務局 それでは説明いたします。資料-3です。これから説明しますのは、前回、第2回で中間報告として説明したもののその後の追加した資料と、新たに観測したものについて説明をしたいと思います。これは前回、中間報告として説明いたしました5カ所の単点観測法の比較の観測でございます。これは飛ばします。これも説明したものです。

その結果を各成分で分類しまして表にしたものがこれです。XとYと楕円体高とに整理しています。FIX解で得られたすべてのデータをこの成分ごとに表示して、グラフ化しています。縦に破線が見えていますが、これはスタティックで得られた座標値を表しています。これを観測点ごとに整理しています。今お見せしているのが、位置情報サービス事業者のA社のものです。A社、

B社、C社と整理していますが、これについては時間がございませんので、後でご覧いただくということにしたいと思います。

この情報の較差を求めるために、先ほどご覧いただきました各成分の座標値を平均し、スタティック法で得られたものと比較をして数値を出しています。このスタティック法の説明いたします。左上に3カ所の観測点の地図を示しています。左がつくば、真ん中が「北海道」、「九州」です。赤い三角は電子基準点の位置を示しており、各点の位置を求めて使ったものを線で結んでいます。各点3点の電子基準点を使い、日々座標値を出しています。その下に表を示していますが、9月7日に得られた座標値をベースにし、各日の比較をしたものがこの表です。各点を示していますが、X、Y、楕円体高を示しています。大きい数字が出ているものを赤く示しておりますが、X、Yとだいたい1cm近くの差が出ていることと、楕円体についても15mmほどの較差が出ています。スタティック法というのはこのくらいの差を持っているということを念頭に置きつつ、単点観測法で得られた結果と比較したということです。

今お示しているのが単点観測法で得られた数値の平均値とスタティック法で得られた数値の差を求めて表にしたものです。赤く示しているのが最大値です。A社、B社、C社というふうに、配信事業者ごとに整理して示しています。左の図は、得られたX、Yの座標値をプロットしたものです。つくばは安定した結果を得ておりますが、他の観測点に比べて「九州」については各社ともX方向が大きく乖離しています。

それからこれは、各X、Y、楕円体高の標準偏差を求めましたので、それを一覧にまとめたものです。右の図は各点の標準偏差を示しており、その標準偏差を左の図でまとめています。これも九州が悪い結果が出ています。

続きまして、10月に観測を行いました。この観測は、1日に各点で同時に観測し、配信事業者間の差を見ようと観測を実施いたしました。観測を実施したのは、北海道、つくば、九州です。この3カ所としたのは、1カ所の観測で3台を必要としますが、受信機の調達が難しく、つくばと北海道と九州での実施となったということです。3カ所を1日で実施する計画でしたが、トラブルがありまして、2日に分けて実施したということです。

その結果を表したのがこの図です。これは各点の状況を示したものです。A社、B社、C社ごとに、X、Y、Zと楕円体に分けてグラフを作成しています。これが先ほどお示ししましたFIX解で得られた座標値を表にしたものです。破線もスタティック法で得られた座標値を表しています。つくばは安定しそれほど大きな乖離は見られません。九州につきましては、A社、B社、C社ともX座標がスタティック法と大きく乖離しています。次に10月26日に観測したつくばと北海道の、A社、B社、C社を表しています。B社とC社は楕円体高に若干差が見られます。A社につきましてはY座標で若干乖離しているのが見られます。北海道については、C社についてY座標が大きく、楕円体高が大きいという結果です。

配信業者ごとのスタティック法の観測値とFIX解のデータの平均値との較差を示したものです。左図はこのX、Yの座標値をプロットしたものです。9月の観測と同じ状況ですが、3社とも九州がX座標で乖離が見られること、つくばは安定していること、北海道については3社ともにY座標に差が見られます。つくばについては1cmぐらい、北海道については2cmの範囲内に入っている状況です。繰り返しになりますが、九州だけは差が大きいということです。

次は9月と10月の観測の標準偏差を1つにまとめた資料です。つくばについては安定し、九州については3社ともX方向に差が見られるという結果があるということです。これを地域差と評価できるかはまだ結論は出ていません。1月につくばと九州でもう一度観測をする予定にしており、その結果を見つづ判断していこうかと考えているところです。次は今後の観測についてのご紹介です。報告は以上です。

*

委員長 はい。どうもありがとうございました。それではただ今のご説明について、ご意見やご質問がございましたら、お願いいたします。

●試験観測の評価法

委員 ○○ですけれど、よろしいですか。

委員長 はい。○○委員、どうぞ。

委員 私どももこういう試験観測を会社でやったのですが、評価として精度ではなくて、正確度で評価すると非常にわかりやすいと思うのです。つまり今、準則などでも使われていますが、RMS誤差という手法ですね。スタティックと平均値がどのくらいあるか。それから平均値からのバラツキの標準偏差がどのくらいあるかという、そういうRMS誤差という正確度の統計量を使って評価すると、問題の本質が非常によく見えてくると思います。以上です。

委員長 ありがとうございます。事務局、いかがでしょうか。

事務局 はい。今後まとめることになっていくと思いますので、今のご意見を参考にしながら、まとめていきたいと思っております。ご意見、ありがとうございます。

委員長 ありがとうございます。それでは○○委員から手が上がっています。○○委員、お願いいたします。

●観測環境の差

委員 ○○です。九州の結果があまりよくないというのは、これは多分福岡の近辺ではないかと思うのですが、最近ちょっとCLASの評価などをしていると、福岡空港あたりで電波障害の問題があったりして、福岡の近辺はちょっと観測環境が悪い所がある。測量協会さんがやった所がどうか、ということもちょっと思うのですが、ある時には障害電波が出ていると品質が悪くなることもあり得ます。地域的な差というのがいわゆる日本列島の東西南北ではなくて、観測点環境の差という問題もあると思うので、これを評価する時に北海道だからどうだ、九州だからどうだという意味では実はないということも、視点に入れておいていただいたほうがいいのではないかと思います。以上です。

委員長 ありがとうございます。事務局のほう、いかがでしょうか。

事務局 はい。ありがとうございます。おっしゃる通り、環境というものが何か影響しているのではないかなと思っております。ただ電波というところには視点をおいていなかったのも、今後、どういうやり方がいいのか考えたいと思っておりますが、参考にさせていただきたいと思っております。

*

委員長 私もそこが気になっていて、3社とも同じようにズレているので、スタティックの点に

何かそういう影響があるのか、基準としているですね、そういったところも調べていただけないかなと思いました。

事務局 はい、わかりました。ありがとうございます。

委員長 他にいかがでしょうか。〇〇委員、手が上がっていましたね。

●スタティックの基準値

委員 はい。やはりここはスタティックの基準値にあまり引っ張られるべきではないな、というのは、〇〇委員のお話と似ていると思うのですが。ちょっと確認ですが、スタティックの取り付けですね、近辺の電子基準点3点から結合させていると思うのですが、この後、網平均を取っていますか。

事務局 網平均はしておりません。各座標値を平均化しております。

委員 そうすると、その較差ができてはいるはずですね。

事務局 較差は出ております。

委員 できればその値も表示していただければと思います。どのくらいの精度——精度という言葉を使うとよくないですね——確からしさを基準が設置されているかということになります。あともう一つ、これはセミダイナミック補正がかかっているのか、あるいは与点の値はF5解を使っているのか。ちょっとその基準の取り方が不明確ですので、そこも追記していただければと思うのですが、いかがでしょうか。

事務局 はい、わかりました。そこを整理しておきたいと思います。ありがとうございます。

*

委員長 どうもありがとうございます。他にいかがでしょうか。よろしいですか。

委員 すみません、〇〇ですけど。

委員長 〇〇委員。はい、どうぞ。

●電波障害

委員 〇〇委員への質問になってしまいますが、先ほど「九州で大きく外れているのは電波環境のせいかもしれない」というお話でしたが、これは3社とも同じようなズレ方をしていて、なおかつ日を変えても同じように出ている。つまり再現性が結構高いということが非常に気になっています。電波障害であれば、日を変えた場合に違う様相で見えるのかなと思うのですが、そのようになっていない。このへんはどう考えたらいいのでしょうか。

委員 今、〇〇委員からもご指摘があったように、ズレているのはスタティックのほうがよくないのかもしれないですね。

●統計的検定による評価

委員 〇〇ですが、よろしいですか。

委員長 はい。

委員 私どもも先ほども申しましたように試験観測をやったのですが、例えばスタティックと平均値の差が出るわけですね。そうした場合に、そのスタティックと平均値の差が有意であるか

どうかというのは、統計的な検定によって評価できるのです。それから各社いろいろな分散が出るわけですが、各社の分散、あるいは地域によって分散が変わるわけですが、その分散が地域によって違うのかどうかというのも、先ほど言った χ^2 検定みたいなものでできるわけですから、ただ出た結果がこうだと言うだけではなくて、統計的な検定に基づいて科学的に有意性を示すということを、せっかくそこまでおやりになったなら、最後のその解析までやられたらいかがかなという意見でございます。

委員長 はい。ありがとうございます。〇〇委員、いかがですか。

委員 〇〇委員がおっしゃる通り、数字で示すことは必要だと思いますが、今回の九州のデータに関して言いますと、標準偏差がスタティックの場合でも、単点観測の場合でも非常に小さいので、この5 cm近い較差は有意なものだ、というのは計算しなくてもわかるわけです。ただきちんと検定の結果を示したほうがいいというのは確かですので、そういった数字も整理していきたいと思います。

委員長 ありがとうございます。〇〇委員も……。

●元データの評価

委員 もう一つ。観測のやり方について、いろいろと事前にご相談申し上げた時に、こちらから申し上げたのは、後でちゃんと評価し直すために生データをちゃんと記録しておいて、リアルタイムのものだけでなく、後処理でも確認して……ということをお願いしました。例えば今回スタティックもやられているので、スタティックの結果を出した時のデータですね。これはリアルタイムでやった時と別の時のデータを使っていると思うので、それがどれくらいちゃんとした観測なのか、さっき言った電波障害等の影響を受けているかどうかというのは、完全にエポックかもしれませんが、後処理で全エポック……要するにそれをキネマティックの後処理で解析して、時々とんでもないノイズが入っていて、スタティックの値にも影響が出ているとか、そういうことがないかどうか確認をすると。〇〇委員がおっしゃるような統計的な検定だけではなくて、元データに遡った衛星測位の解析の妥当性の検討という、そちらも必要なのではないかという意見です。以上です。

委員長 ありがとうございます。〇〇委員、よろしいですか。

委員 はい。ご意見、ありがとうございました。今後また引き続き、続けたいと思います。

委員長 では、続けてやっていただきたいと思います。

●受信機と受信のしかた

委員 すみません。一点ちょっと初歩的なところを伺いたいのですが、よろしいでしょうか。

委員長 はい、どうぞ。

委員 基準として取られたスタティックというのは、一つの受信機で取られているのでしょうか。

委員長 受信機の種類ということですね？

委員 はい。三つ受信機がある。それに対してこのスタティックというのはどのような立場と言うか、その三つの中の一つがスタティック法として取られたのか、それともそれぞれの受信機の

同じ A 社 B 社 C 社に対してスタティックと RTK がそれぞれ存在していたのか。

事務局 10 月の観測の件で、私のほうからご説明いたします。3 台の受信機のうち、機種は全部同じ機種ですが、1 台だけスタティックと RTK と同時受信というか、同時にデータを取ります。スタティックのほうは受信機にそのまま記録させて、RTK のほうはパソコンに NMEA 形式で出力させるという手法をとって、3 台で同時受信しているということになります。スタティックは 1 台だけです。

委員 この A 社、B 社、C 社の中の 1 台がスタティック法を使われていた？

事務局 そうです。受信機 1 台でスタティックと RTK と両方を観測、あとの 2 台は RTK のみということです。

委員 他の観測の時も同様に、どれか 1 台がスタティック法を使われていたという形で？

事務局 3 台で同時受信の時はうち 1 台でスタティック法の観測も実施しています。9 月の試験観測時は、受信機 2 台で実施したので、片方がスタティック、片方が RTK での観測です。

委員 2 台の場合は……。

事務局 9 月の実験は 2 台のうち 1 台はスタティック、1 台は RTK 観測を実施し、3 日間で配信事業者 3 社を日ごとに変えて実施。10 月の観測の時は、1 台のみスタティックと RTK を同時受信して、その他の 2 台は RTK のみで、配信事業者 3 社のデータを同時に使用した試験観測を実施しています。

委員 なるほど。わかりました。

委員長 よろしいでしょうか。

委員 ありがとうございます。

*

委員 ○○ですが、今のコメントに一つ追加で申し上げますと、スタティックでいわゆる観測点側ですね、新点側と言うのか、そちらのほうは 1 台なのですが、スタティックは 3 点間取り付けられているので、そうすると電子基準点側に電波障害があるかもしれないから、そういう意味で、さっき言った後処理キネマティックの時系列を作る時には、その 3 カ所から取り付けた後処理キネマティックの全エポックのデータを見て、どれくらいそれが荒れているか、ということも見ると……と、そういうことが言いたかったのです。以上です。

委員長 はい。ありがとうございます。よろしいでしょうか。では、次の議題に進みたいと思います。今日のメインのテーマなのですが、「3) マニュアル作成に向けての検討事項について」ということで、ご説明をお願いいたします。

3) マニュアル作成に向けての検討事項について

事務局 事務局から説明いたします。時間が押しているようなので、肝心なことのみの説明になると思いますが、よろしくお願ひいたします。資料は 4.1 ですが、この資料を作成した経緯ですが、第 2 回研究会終了後に委員の方から、研究会の検討の方向性がよく見えないというご意見をいただきました。事務局としまして、準則のどこに課題があるかを、あるいはそれをどう消化するか、またこれまでの研究会の報告事項がどの課題に対応しているのかをまとめることで、委員からのご指摘に答えようと考えました。今回作成しました資料ですが、これはあくまでもベース

的なものでして、完成したものではありません。委員の方々から課題として、その解決の方向性のご提案をいただきながら充実させていきたいと考えております。前触れなしに意見照会をしたけれど、今後ご議論いただきながら充実させていきたいと思っております。

この資料 4.1 は、いただきました意見を青文字で記入しています。長い意見もございますので、そこは割愛させていただきます、この検討事項について説明します。

「1. 基準点の種類」ですが、これはこの間、区分を 2 階層にとご提案した。2 階層の基準点の名称をお示ししましたが、これについてご意見をいただいたということです。

「2. 基準点測量の方式」ですが、結合方式と単路線に加えまして単点観測方式を加えたい、ということです。単点観測方式につきましてはご意見をいただいておりますが資料 4.2 に書いてございますのでそこで紹介したいと思っております。単路線についてご意見をいただいておりますので、実務を実際にやられている方がいらっしゃいますので、この点についてご意見をいただきたいと考えております。

「3. 路線の変数、路線長」の数値につきましては、準則をそのまま示していますが、ここについてご意見をいただいたということです。「4. 測量標」については割愛いたします。

「5. 観測」は、「(1) 使用機器」について、2 級トータルステーションと 1 級 GNSS 測量機を使用機器として定めたいと考えていることを説明してきていますが、2 級トータルステーションについて意見をいただきました。これは機器の性能にかかる事項で、観測にも関わり大事なご指摘をいただいたと考えています。「(2) 観測の実施」ですが、意見照会をしておいて何ですが、想定内のご意見をいただいたな、と思っています。それと③にご意見をいただいております。「軸補正機能を使用した場合は 1 対回でよいと思っております」というご意見をいただいておりますが、事務局としても 1 対回でよいのではないかと考えているところです。

続きまして「(GNSS)」です。これはトータルステーションと同じようなご意見をいただきました。②～④に関わりますが、③の方法についてスタティック、RTK 法、ネットワーク型 RTK 法。現状ではこのネットワーク型 RTK 法に単点観測法を含んでいますが、この三つの方法で考えているということです。これについてはご意見がありませんでしたが、現状では 3 級などに短縮スタティックが使われていますが、これについてご意見をいただいているということ。次に衛星数ですとか観測時間については今定められているものをそのまま書いています。これについてご意見をいただいております。なかなか斬新的なご意見をいただいたと思っております。それから標高については、第 1 回において標高差がある時のご意見をいただいたと認識しております。それにかかわる内容を書きましたが、これについて意見をいただいたということです。「規定にそぐわないのではないかと」いうことですが、簡単に申し上げれば「時間を長くすればいいものじゃないよ」というご意見かと認識しております。

「(3) 観測値の点検」については準則と若干数値を変えていまして、この間の検証から得られた値を書いています。特段ご意見はございません。「(4) 点検計算」についても若干数値を変えていまして特段根拠がございません。厳しい方がいいのではないかとということですが、今後ご議論いただきながら考えていきます。標高差の正反格差につきまして、20 mm と書いてございますが、これについては公共測量のデータを調べまして、そのデータを参考にしました。20 mm を超えるような格差が見られなかったことからこの数字にしているということです。GNSS については

現状の電子基準点の閉合差より厳しい数値を書いています。これについては、数値に加えて網の形成について考えるべきではないか、というご意見をいただいております。これについても今後検討しなければいけない、という認識ですが、ご意見をいただければと思っております。

「6. 平均計算」については厳密網だけにするという事で考えていることと、**重量も**今後整理したいと考えています。それについてご意見をいただくということです。新点の精度についてもご意見をいただいておりますが、こういう状況も踏まえながら今後検討していきたいと考えています。

*

事務局 続いて、資料-4.2 も併せて説明しておきたいと思っております。これは資料-4.2 でございます。意見照会ではこれについてもご意見がいただければということで、照会させていただきました。一部いただいております。

委員長 発表者モードになっていますので、スライドショーにしてください。ありがとうございました。

事務局 失礼いたしました。これも意見照会させていただいた資料です。これについては一部ご意見いただきましたので、後で説明したいと思っております。検討事項はいろいろございますが、検討事項 (1) につきましてはこの間議論してきた内容でございますので、ここでの説明を割愛いたします。「検討事項 (2) : 基準点測定の方式」です。ここでは先ほどふれました、単点観測法の導入をと考えているということで、これについて「論点」のところにご意見をいただいております。要は後続の事業では相対精度が重要になってくるので、単点観測法ではその担保ができないのではないかとということで、それをクリアと言いますか、これまでの検証結果も踏まえてということだと思いますが、点間距離の検討ができないか、というご提案をいただいたということです。これについても引き続き検討していこうか、と考えております。

「検討事項 (3) : 観測の実施」です。これについてはこの間の実証を踏まえまして、致心誤差と**気象**補正の影響が大きいということがわかってきたので、これについて見直す必要があるのではということです。方向性としては、観測点検を確実に行うということと、自動処理を考えたほうがいいのかということです。一部修正がありますが、GNSS のところですが、観測の方法について GNSS はスタティック、RTK 法、ネットワーク型 RTK 法を示していますが、この資料にはキネマティックが入っております。想定をしていませんので、訂正をしておきたいと思っております。

「検討事項 (4) : 点検計算及び再測」についてです。これは、一番下の現状と課題に書いてありますが、許容範囲が精度管理の役目を果たしていないのではないかと考えておりますので、これについて電子基準点のみを既知点とする場合も含めまして、許容範囲を見直す必要があるだろうと思っております。方向性については、1 層目の電子基準点のみを既知点とする測量としていきます。これについての精度管理の検討ですね。それと 2 層目についても同様に精度管理を検討しまして、体系に則した許容範囲を設定する方向で検討していきたいと考えています。

また「検討事項 (5) : 平均計算 (GNSS 測量)」です。準則では仮定網平均の方法が二つ示されており、「二つ必要なの?」ということ、あまり多くはありませんが、「こちらの方法では許容範囲に入るが、こちらでは許容範囲を超過する、どうしましょうか」というご相談を受ける場

合もございますので、この際、整理したほうがいいのではないかと考えています。ということと、重量の問題です。これについて〇〇委員からご指摘をいただきましたが、そういうことも含めながら検討していきたいと考えています。方向性につきましては、現状に則した許容範囲の設定と、仮定網平均計算の整理について行っていきたいということです。

「検討事項(5)：平均計算(トータルステーション)」についても同様で、精度管理の許容範囲です。これについても整理していきたいということです。それと網平均計算につきましては、簡易網ではなくて、厳密網に統一していきたいということです。ここまで検討をしてきていますが、手が着いていないということでございますので、今後、今日も含めましてご議論いただきつつ充実させていきたいと考えております。最後のところですが、検討事項の中でもご意見いただいているところに当たりますけれど、これをどう普及していくかということも課題になって参りますし、計画機関についてどう利用していただくかということが重要になってまいりますので、「論点」に書いてございますが、国土地理院への説明を行いながら、このマニュアルが公共測量に適用できる方向で進めていきたい、そういう議論をしていきたいと考えております。この点にもご協力、ご意見をいただければと思っております。

それと、この資料の意見照会をさせていただいた中で、口頭によるご意見も可能だと申し上げましたので、今日、この点について具体的にご提案いただければと思います。その点も含めましてよろしく願いいたします。説明は以上です。

*

委員長 はい。どうもありがとうございました。ただ今ご説明いただきました資料-4.1につきましては、事前に皆様から提出いただいた意見を反映したとのことでした。まず、この他に検討事項の追加がありましたら、ご発言いただきたいと思っております。いかがでしょうか。事前に提出いただいた意見を一応反映させていただいておりますけれど、この他に検討事項を追加したいということがございましたら、ご発言ください。よろしいでしょうか。では、ないようですので、他になければ検討事項に関する意見、あるいは質問がございましたら、ご発言いただきたいと思っております。では〇〇委員。

●検討事項(2)——座標変換によって世界測地系に当てはめるプログラム

委員 〇〇と申します。「検討事項(2)」の測量方式ということで、ちょっと意見を述べたいと思っておりますが、よろしいでしょうか。

委員長 はい、お願いいたします。

委員 測量方式ですね、TSの精度を保って、それとあとRTK、ネットワーク型を融合させるという、そういう方式を検討してはどうかというのがあったと思います。実は当社のほうでかつてそういうプログラムを開発して、今もあるのですが、そういうものがあるというのをちょっとご紹介したいのです。このプログラムは地籍測量図で、それで世界測地系の座標を与えるということなのですが、地籍測量図のほうは非常に境界点を精密に測らなければいけない、ということでTSで測ります。それに世界測地系を当てはめる時は、直接境界点をGNSSで測るのではなくて、その周りの点——引照点と呼んでおります——をネットワーク型RTKの単点で測りまして、その座標を地籍の境界点のほうに付与する。そういうプログラムでございますが、その時に座標値

をそのまま境界点に与えるのではなくて、境界点のほうは TS の座標を保ったまま、それから周りの点は座標変換をしてそこに与えるという。そういう形で地籍のほうの境界点の面積とか距離とか、それはそのまま保ってですね、座標変換でうまく世界測地系のほうに当てはめるとい、そういうプログラムがございます。参考として、もしそういうものがあればということで、こちらのほうでも開発したものがございますので、ちょっと紹介したまででございます。もし詳しいことがあれば、またご紹介したいと思います。以上です。

委員長 座標変換によって世界測地系に当てはめるソフトウェアがあるということですね。

委員 そうですね、はい。

委員長 ご紹介いただいたということです。事務局のほうから何か関連して、コメントがございますか。

事務局 はい。ありがとうございます。今のご説明で、私はイメージがつかめなかったのも、また連絡させていただきご紹介いただければと思っております。よろしく願いいたします。

委員 はい、わかりました。

*

委員 ○○ですが、○○委員に追加の質問ですが、よろしいでしょうか。

委員長 はい。

委員 以前に何か論文にされていたような記憶もあるのですが……。

委員 ええ、そうです。これは私が書いていませんで、○○さんのほうで論文にしていると思うのですが、そういうものがあります。それもどこかの論文……ちょっと○○さんに聞いてみないとわからないのですが、それはありますので、もしそういうのも。

委員 はい。事務局で勉強したいと思いますので、どんな論文だったか教えていただければ……。

委員 はい、わかりました。

委員 お願いいたします。

*

委員長 ありがとうございます。では、他にご意見やご質問がございますか。では、○○委員。

●検討事項(2) —— 網構成の再検討

委員 ○○ですが、基準点測量の方式のところ、単路線と結合とかあるのですが、そのものの網構成ですね。外周 50 度とか、そういうところが今の技術で本当に影響するのかどうかを、もう一回確認していただければと私は思っているのです。今の状況の中で作業する側にとっては、50 度出てくることは結構あるもので、そのへんのところも検討していただけないかな、と思っておりますが、いかがでしょうか。

委員長 はい、ありがとうございます。網構成のところをもう一度検討していただけないか、ということなのですが、事務局のほう、いかがでしょうか。

事務局 網構成についても今、細かく説明できなかったのですが、検討することとしています。これも GNSS を含めてですが、その中で当然角度というのは今規定されており、それは本当にいるの？ というところも多分にありますので、検討していきたいと思っております。またその際には、いろいろとご協力いただくこともあろうかと思っておりますので、その節はよろしく願いいたします。

す。

委員長 ○○委員、よろしいですか。

委員 はい。ありがとうございます。

*

委員長 では、○○委員。

●提出意見について

委員 これはお願いなのですが、今回意見をいただきましたが、かなりはしょって説明いたしましたので、ご意見を提出していただいた方から、ここだけは強調しておきたいということを、ちょっとご説明いただければと思います。

委員長 はい、どうでしょうか。ちょっと時間がきておりますので、この後、この議論についてはブレイクアウトルームに移行して、改めてやっていただければと思うのですが、○○委員、よろしいでしょうか。

委員 はい、承知しました。それでお願いいたします。

委員長 すみません。ちょうど予定の時間が来ていますので、このマニュアル作成に向けての検討事項についてはブレイクアウトセッションのほうで、先ほど○○委員からお話がありましたように、ご提案いただいた方に強調したいところをお話しいただいて、その後議論をしていただければと思います。では、すみません。続けて、次の話題に進めます。「4) TS を用いる多角測量の位置の決定の不確かさ (その 2)」について、○○委員から説明をお願いいたします。

4) TS を用いる多角測量の位置の決定の不確かさ (その 2)

委員 はい。では資料を共有いたしますので、少々お待ちください。トータルステーションを用いて「多角測量」と書いておりますが、「単路線でどこまで延ばしていくと、不確かさがどうなるか」ということを検討いたしました。まず誤差累積のモデルというのは、教科書を見てもあまり書いてありませんので、今回新たに計算をしてみました。測角の不確かさであるとか、あるいは測距の不確かさ。これは前回、あるいは前々回に発表いたしました検定データですとか、野外の実験データからある程度仮定をしております。一つ一つの数字については省略いたします。

単路線についてはこのような仮定を設けております。 x_0 、 y_0 というところが始点になりまして、ここだけが**固定され**、それでその後単路線でつないでいく。で、定式化するとこのような形になります。ちょっと計算の過程は省略いたしますけれど、このような形の式が出ました。これだけ、真ん中のこの式だけを見てもイメージがわきませんので、点間の基線長が等しく、さらに直線上の路線であるとする、式が単純になりまして、位置の標準偏差というのはこういう単純な形になります。第 1 項が距離の誤差、 ds というのは測距の誤差です。 n が辺数になりますが、距離の誤差に依存するところ。それから第 2 項について、 $d\beta$ というのは夾角の不確かさですが、夾角の不確かさに起因する誤差と二つに分かれます。ちょっとこのスライドは今日は省略いたしますが、角度の誤差の意味を書いております。結果のほうを示しますと、距離に依存する項の誤差は辺数が増えてもそんなに増えない。これは \sqrt{n} で増えていくわけですから、そんなに大きくなりませんが、角度のほうに依存する項は辺数が増えるとどんどん大きくなると、こうい

う性格がわかります。

これは直線上の単純な場合ですが、もう少し一般的な形にしたのがこれです。屈曲の効果というものを考えてみる。路線が曲がっている場合はどうか。これもあまり一般化するとよくわからなくなりますので、進行方向に向かって角度 t で行ったり来たりと折れ曲りを繰り返すような場合を想定します。そうしますと、このような想定なのですが、点間距離を 200、500、1000m と変えた場合にどうなるのか。それからこの角度を 0 度、30 度、60 度と変えた場合にどうなるか、というのを計算してみました。

結果はこれになります。この色の違いが角度の違いを表しています。青い 0 度というのは直線上です。30 度というのは進行方向に向かって 30 度、夾角でいうと 120 度。この 60 度、グレーの部分は夾角でいうと 60 度という形になって、角度の効果というのはあまり出ない。むしろ辺数が増えることによる効果で、1000m (1 km) まで延ばすと標準偏差で 60 mm を超えてしまう。これはセンチメートル級の測量をするにはちょっと使えないかな。でも 500m ぐらいの点間距離であれば 20 mm ですから、まあまあセンチメートル級と言ってもいいかな。右側のグラフはこれを X、Y のそれぞれの成分に分けたものです。Y 成分というのは進行方向。X 成分が角度の方向、視線に垂直な方向です。やはり距離に関連する分はそんなに大きくなりませんが、角度に関連するところで大きくなってしまふ、という傾向がわかります。評価はこのような形ですが、視線と垂直方向が大部分の標準偏差を占めているということと、既知点の間隔が 500m までであればまあまあセンチメートルの測量ができる。角度についてはそんなに影響しないかな、ということがあります。

致心誤差について、これまでの実験で反射鏡の致心誤差は、そんなに慎重にやらなくても 0.6 mm ぐらいの致心誤差で設置できることがわかっています。これが 1 mm になると結構影響してくる。がんばって 0.3 mm ぐらいにするとかなり小さくなる、ということがわかります。これは既知点間距離を変えると、その分だけ大きくなりますが、傾向としては同じです。もう一つ 5 秒読みと 1 秒読み。これはちょっと想定を入れていますので、必ずしも正しいとは限らないのですが、5 秒読みを 1 秒読みに変えてもそんなに大きな効果が得られない。これは視準の誤差、人間が目標を視準する誤差というのがまだ結構大きいせいではないか、と考えています。読みの誤差が大きいので 1 秒読みにしても、その効果が得られないという形です。これは (目標までの) 距離が近いということが影響していると思います。試算結果の評価ですが、今申し上げました通りでございます。

では、こういう理屈の計算が実際に合うかどうか、ということでございます。これは測量協会が検定を行った、4 級基準点測量の実データを使っております。その測量網の中から、ある路線だけを切り取って表示するとこのような較差が出ます。これは平均計算を行った座標に対して、1 点固定の開放単路線で計算した場合の較差を示したもので、X 方向があまり伸びずに、Y 方向がかなり大きくなる。これは X 方向が必ずしも路線の方向に向いておりませんので、ちょっと加工しまして座標軸を回転させますとこういう結果になります。進行方向はほとんど誤差が累積していませんが、進行方向と垂直な方向、角度の方向については大きくなっている。ということで実測のほう (上のグラフ) は較差、それから下のほう (グラフ) は標準偏差でちょっと性質が違うのですが、計算した標準偏差から期待されるような較差が出ているということになります。

他の路線はどうかというので、見たのですが、これはちょっと意外な結果が得られました。最近の4級基準点測量は既知点（出発点）で方向角の取付観測をしていないものが多い。方向角の取付をせずに始点と終点を結ぶ方向に合うように、ということで（方向角が推定）されています。つまり終点での較差がほぼゼロになるような計算を最初からやっているわけです。そうしますと角度の方向は途中で較差が大きくなるのですが、終点に向かってほとんどゼロに近づくと。別の例ですが、これは河川沿いの4級基準点測量で、こういうカーブを描くという結果が出ています。

これは一体何だろうということで、結果は出ていないのですが、「実例（1）」は取付観測をやったものです。それを取付観測がない場合をシミュレートして較差を計算すると、向きは違いますが、やはり同じようなカーブが得られます。実測において視線方向の成分よりも、視線と垂直な方向の較差が大きくなるのですが、方向角の取付観測を行わなかった観測、つまり終点において較差がゼロになるような計算をしているものについては、ちょっと想定していなかったような較差の様子になっています。これは恐らく見かけ上のもので、真ん中で拘束するものがないのに、平均計算で平らになってしまうというのは、これは何か見かけ上の効果ではないかなと考えて、計算をしようとしているのですが、まだ結論が出ておりません。ちょっと中途半端ですが、もし「こんなのを知っているよ」という方がいらっしゃいましたら、なぜこういう較差が出るのか、そのへんについてのご示唆をいただければと思います。

結論としては500mくらいの開放単路線であれば、そんなに誤差が大きくなる。ということは、終点で押さえて平均計算をすると、1 cm程度の測定の誤差で単路線の結果が出そうだという、そういう見通しを持っています。以上でございます。

*

委員長 はい。どうもありがとうございました。それでは、ただ今のご説明に対してご質問ご意見、ございましたらお願いいたします。

●衛星測位と多角測量

委員 よろしいでしょうか。

委員長 ○○委員、どうぞ。

委員 測定の作業規程とか測量法を見ていて、建て付けが望遠鏡測量だとか、対数計算を前提にせずと成り立ってきているわけですね。多角測量などというのもその方法なのです。三角測量で見えないから、平地など地べたをはいずり回って多角測量をやるという手法をとってきているわけですが、現在は多角測量なんてやる必要はまったくないわけです。多角測量というのは非常に図形が悪いから、未知点の精度がよくないのです。今の言葉で言えば、多角測量における未知点のDOPというのは非常によくないのです。ですからこの問題を見直す時に、やはり衛星測位とか電子計算機で有効であるという、そういう立場で、あるいは理論的には統計学が19世紀から20世紀へ変わって来ているという、そういう従来の19世紀あるいは三角測量、対数計算の建て付けで成り立ってずっときている現在の作業規程というのは、もう真っ向から見直して、新しい技術の立場で問題を見直す必要があるのではないかと。多角測量そのものをもう止めるべきではないかと、というのが私の意見でございます。

委員長 はい。ありがとうございます。ご意見をいただきましたが、○○委員、いかがでしょう

か。

委員 私はちょっと〇〇委員とは違う意見を持ってしまして、衛星測位である程度まで正確な座標が出るようになった時代だからこそ、その正確な衛星測位の既知点間を結ぶ多角測量というのが重要になってくるのではないかと。実際、今出てくる測量成果の検定を見ても、やはり中間を多角測量でつないでいる。先ほどの河川の例で言いますと、2 kmぐらいずっと多角でつないでいるというのが実態としてあるわけです。そうするとこれが、どのくらいきちんと測量の精度が出ているのか、不確かさという観点で評価してやるのが重要ではないかな、と思っております。多角測量がなければ、なかなか現状の測量というのは難しいのではないかと考えています。

委員長 はい、ありがとうございます。まあ、ご意見はご意見として承りたいと思います。ありがとうございました。

委員 はい、ありがとうございました。

委員長 それではそろそろ……。

*

委員 すみません。〇〇ですが、いいですか。

委員長 では、手短かにお願いいたします。

委員 はい。私も〇〇委員と、どちらかと言うと近い考え方で、私は衛星測位万能という考えはちょっと危険だと思っていて、短距離で測距するほうが衛星測位で短距離を取るよりも、ずっと精度がいいはずなので、そこはやはりそれぞれの特徴に応じた手法を、組み合わせてやるというのが適切だと思います。以上です。

*

委員長 はい。どうもありがとうございます。それではちょうど時間が来ましたので、今の議論につきましては以上とさせていただきます。〇〇委員、どうもありがとうございました。

委員 ありがとうございました。

委員長 それでは時間になりましたので、議事進行を事務局にお返ししたいと思います。どうもありがとうございました。

3. その他・閉会

事務局 委員長、議事進行をありがとうございました。それでは事務局から二つ連絡いたします。第4回については1月の開催と考えておりますが、日程についてはまた今回と同様に調整させていただきたいと思っております。2点目ですが、この後、ブレイクアウトセッションにおきまして、ご案内しておりますが、単点観測法に関する案件の調査について、ご報告をいただくことにしています。それとまだ検討事項について、議論が不十分なところがございますので、ご意見のある方はブレイクアウトセッションにご参加いただきまして、ご意見をいただければと思っております。ご参加をよろしくお願いいたします。ただ今の連絡事項に何かご質問がございますか。なければ、第3回の研究会をこれで閉会したいと思います。委員の皆様、どうもありがとうございました。