

## エピソード

### 6.1.3 解析のあれこれ

高橋幸雄

解析において記憶に残ることとしていくつか書いておきたい。

#### (1) 解析方法 1

CDPプログラムとして協力していた米国GSFCのChopo Ma博士が日本を訪れた1985年ころであるが、当時基線解析を主に行っていた中で、大気の推定において、私が6時間毎に解析していた。当時は、基本的には1実験で1パラメータの推定をとり、仰角の依存性と遅延残差を見ながら、特にずれが大きい区間に大気推定を入れていた。個人の解析感覚に依存していたが、そこに6時間毎に、入れた推定をしていたことを、話したところ、その方法については一定の評価はもらった。その後、2時間毎に変化率を自動推定する方法が主流になる数年前のことで当たった。大気の本質が、時間的に日変化などが大きな要因であることが分かったが、その先駆けの推定であったが、その本質をもう少し探究すれば、日本から新しい解析が提案できたかもしれないことは残念である。

#### (2) 解析方法 2

当時解析は最小2乗法を用いることが多くあった。米国のJPLがカルマンフィルタを用いた解析方法を行い、日本でもその方法の解析ソフトを作成して行ったが、結果としては大きな違いはなかったが、微妙な違いがあり、この違いは気になっていた。それ以外に、新しく独自に差分による解析方法を提案した。これは、VLBIでは、同時には複数の電波源を観測できないが、連続した複数の観測値では、時刻やその変化率が共通であることから、近隣のデータ間の差分を取る方法である。これにより、近隣のデータで共通な要素はキャンセルされ、推定する必要はなくなると同時に、推定したいモノだけが際立つ効果が得られる。この方法のいい面は、後で分かったことだが、物理モデルの誤差以外に、システム誤差は完全にランダムではなく、近隣のデータでは共通性がある傾向があったため、その後さ要因も来てくれたことで、完全にランダムな誤差要因だけが残ることになった。途中でこの解析システムの開発を止めたが、もう少し続けていればよかったかもしれない。

#### (3) 地球回転パラメータの日変化

地球回転パラメータの日変化を見つけた時である。1990年ころであるが、地球回転の実験を国立天文台の緯度観測所と一緒にやり、我々が地球回転に力を入れていた時期である。当時は、日本主導の地球回転観測を数多く行ってきた。その時に、地球回転パラメータの中で、自転軸の方向の動きを示す極運動(WOBLLE)のXY成分を、細かく分析したところ、日変化が見られた。研究会などには報告したが、原因まではわからなかった。しかし、

それが、実は歳差・章動のモデルからのずれであることがあとでわかる。歳差・章動と地球回転軸の方向は、深く関係していて、式で見ると地球自転の日変化が間に挟んだ関係になっていて、それが日変化を表していたのである。当時は、歳差・章動を推定することは一般的でなく、位置変化を中心に推定していたが、歳差・章動を推定するには、いくつかの局位置が既知であるなどの条件が必要であった。そのため、推定されていなかった。マルチ実験の解析（複数の実験を用いた解析）を行い、位置関係が変化しにくい観測局の位置を固定したり、個々の実験での位置変化ではなく、連続した観測局の速度変化を推定するというように、観測局の位置推定パラメータの自由度を減らすことで、地球回転パラメータの推定を安定して実施することができるようになったが、当時はそこまでの解析はできていなかった。そのため、日変化の理由までには至らなかったのも残念である。

#### （４）日本初の VLBI 電波源カタログと電波源解析

星の位置に関しては、日本で最初の高精度な電波源位置カタログを作成したが、その後も電波源の位置についての研究を進めていた。当時電波源の位置推定は、特に星によって残差が大きいものだけを推定していた。こうして星の位置が高精度に決めることはできたが、そのデータがたまったところで、時間変化を見た。すると多くの電波源で、位置が一定の速度で変化する傾向と、不規則であるが変動をしている傾向が見られた。この変化が何なの、2つの解釈をしていて、歳差のパラメータの変化によるもの、もう一つは地球から見た電波源の位置が変化していると考えた。歳差は、電波源に対して一定の規則での変化を示すが、それ以上に電波源の位置変化を示すものがあつた。これは電波源の構造が見えるものほど大きいということもあり、これが、我々の観測している位置は、電波源の構造の平均的な位置であるという解釈を得た。物理的な中核の動きは小さくても、実はほとんどすべての電波源は、周りにジェットや電波を発する構造を持っており、それが数か月単位で変化しているので、平均的な位置が動いているように見える。ただし、その動きは不規則である。動かないとしていた電波源も、歳差や章動のモデルが正しくないことで位置が動いているように見えるが、それは推定で求めることができる。一方、星の構造変化による動きは不規則であり、推定はできないので、区別してみることができる。その電波源位置変化は、電波源の構造が見える場合には大きくなる傾向にある。

その当時の基準電波源 3C273B などの星の構造に関する解析を行った。当時は、計算機はパーソナル的に開いている時間を費やすことができ、多くの時間を計算にかけることができた。データが多くないことや、他の物理モデルの影響などがあつたこともあり、当時の電波源の解析を行う AIPS というソフトでは解析できず、独自に構造を簡単なパラメータにして、いくつかの構造でどのような一致をするかを、時間をかけて推定した、その結果 3C273B などのいくつかの構造の変化を求めることはでき、論文にすることはできた。

## (5) 電波源の強度変化の解析と構造

こうした電波源の構造は、実は、電波源の観測される電波の強さの変化を及ぼす。観測したデータを見てみると、電波源の強度すなわち信号の強さが同じ条件でも違っていることを感じていた。そこで、おそらく初めてのころみであったと思うが、電波源の強度の事案変化を調べてみた。そのためには本来アンテナ性能の攻勢が行われたいけないが、当時はまだ不十分で、それをできるだけ除く方法を考え、案恵那性能以上に大きな変化をしていることを示した。これは非常に面白い発見であり、かつ電波源の強度喧嘩が構造によりダイナミックに変化していることが分かったのは面白い発見であった。

## (6) ケーブル遅延

ケーブル遅延の符号の話がある。ケース類遅延は、温度によって変化し、それを補正する手間にケーブル遅延補正のデータを取っていた。これは、ほぼ同じ経路に人工的な信号を入れて、信号ケーブルなどを通るときのその温度変化などの変化を補正するものである。この補正を、プラスにするかマイナスにするかという問題があった。実はケーブルの誘電体の温度変化によって発生するのであるが、誘電体は温度にチャイしてプラスとマイナスの変化をするものがある。それが局毎ごとに代わっていて、その符号がどちらかであるかを、確認することも行った。これは観測当初に確認することであり、今では決まっているが、実験当初は、この問題は結構大きな話であった。やり方は、プラスとマイナスを入れてみて残差が小さくなるほうをとっていたが、この時間変化が時刻の時間変化や大気遅延の時間変化などと推定上では干渉して、なかなかむづかしいことであった。

## (7) 地球回転の観測

地球回転だけを目的にショート解析を行う観測も 1990 年行った。恋の解析を担当し、当時は 5 日に一回程度の地球回転観測を、毎日の変化を観測できることを示した。それによりショート観測の重要性を国際的にもしめし、その後の地球回転の短時間変化」を求める観測につながっていったのではないかと考えている。

## (8) システムレベル実験の解析

本格的な観測は、1984 年 1,2 月のシステムレベル実験の位置解析である。これは、実は、10 c m 精度の日本の位置を正確に初めて決めたものである。幸いにもその解析を担当させてもらった。当時は、はじめ手の本格的な解析のため、その方法なども手探りでやっていたが、それなりの推定はできた。問題は、1 回目の実験の基線が東西の 1 基線で、成分によっては推定精度が悪いものがあり、2 回目の複数実験との違いが出たことである。いろいろな解析方法をとって、どれが正しいかを決めていく時に葛藤があった記憶がある。

### (9) 初めてのプレート運動解析

1985年の日本で初めてのプレート運動すなわち日本とハワイの位置変化を求めることであった。その担当も私が行う機会に恵まれた。当時は、解析をしている中で、いくつかの解析方法によって異なった結果が出てきた。特に大気や時刻の推定方法で変わってくる。一方、その結果が、当時数百万年の地質学的データから出したプレートモデル (Minster&Jordan) のモデルでの1年間の変化に比べて、遅い数値が出た。推定誤差から見ても1 $\sigma$ という67%の信頼度よりも大きな差であった。どの数値を公表すべきかという話もあったが、最終的にはもっとも正しいと思われる方法で出したが、あとで見ると、モデルは現在ではあり程度だとゆであることが分かったので、当時の実験は、ある誤差の中での違いであったということであるが、統計上の3 $\sigma$ で見ればその範囲になっており、プレート運動の最初の瞬間的な変化を観測したことができたことになる。すなわちプレート運動のハワイと日本の変化を最初に高精度に測定し実証した。これは非常に記憶に残ることであり、誇りに思うことである。これらを踏まえて、日本から最初に論文として世の中に出したのも、1985年の日米資源会議での報告であった。残念なのは、そうした成果を、日本側で論文にして発表が遅れたことである。当時は自転車操業的に、開発を進め日米尾実験を行い、解析をするだけに追われていて、論文にまとめる雰囲気になかったこともあったと思う。