

ARMA解析と加工診断

(株)数理設計研究所 菅正信 2008/2/21

□ ARMA解析とは

当研究室では、ARMA解析を使った加工状態診断（工具摩耗診断・工具破損診断・機械異常診断）の研究をしています。ARMA解析とはシステム同定的一种です。システム同定というのは、システムの出力信号を手掛かりにして、システムの状態を推定することです。システム同定とひとくちに言ってもその方法は何通りもありますが、私たちが研究しているARMA解析では、ARMAモデルを使ってシステムを同定する手法を用いています。このARMAモデル（Auto Regressive Moving Averageモデル：自己回帰移動平均モデル）とはどういうものかという、ひとことで言えば、システムを極零モデルの伝達関数で表したモデルのことです。

ARMA解析は、まず、極零モデルの伝達関数を構成する係数（ARMAパラメータ）を推定すること（1次解析）から始まります。次に、推定されたARMAパラメータを使ってさらなる解析（2次解析）を行います。従来は、ARMAパラメータを使った2次解析としては、伝達関数の周波数応答解析（スペクトル解析）が主でした。しかし、私たちが研究を進めてきた2次解析手法は、ARMAパラメータを使ってシステムの出力信号を推定し、それをシステムの実際の出力信号と比較する、というものです。ただ、システムの出力信号を推定するにはシステムへの入力信号を知る必要がありますが、実際にはシステムの入力信号は測定できません。そこで私たちは、まず、ARMAパラメータとシステムの実測出力信号から入力信号を推定し、それからシステムの推定出力信号を求めることにしました。

おそらく、ここで多くの方が疑問に思われることでしょう。その疑問とは、「もともとシステムの出力信号が測定できているのに、なぜ改めてシステムの出力信号を推定する必要があるのか。推定精度が高ければ推定出力信号は実測出力信号に一致するはずであり、逆に言えば、推定出力信号が実測出力信号とかけ離れているということは、単に出力信号の推定精度が低いだけなのではないか。つまり、推定出力信号と実測出力信号がどれくらい違うかは、推定処理の精度に依存するだけであって、解析対象となるシステムの状態には関係ないのではないか。とすると、そのやり方ではシステムの状態を判定することはできないだろう」というものではないでしょうか。

その疑問はもっともです。私も最初はそう思っていましたし、この解析手法を初めて聞く人は、必ずと言っていいほどこの疑問をぶつけてきます。しかし、私たちが採用している手法は、実際の出力信号を忠実に再現しようとしているわけではありません。もう少し具体的に言うと、線形要素も非線形要素も含んだ実測出力信号に対して、その線形要素のみを再現しようとしている手法なのです。この方法では、実測出力信号に含まれる非線形要素が多くなるほど、実測出力信号と推定出力信号との差が大きくなります。そして、その差を利用してシステムの状態を判定しよう、というのが私たちが採用している手法の趣旨なのです。

□ ARMA解析の一般的な使い方

実は、ARMA解析に関して言うと、このように実測信号と推定信号を比較する手法は現在のところほとんど実用化されていません。ARMA解析そのものは新しいことではないのですが、もっぱら、ARMAパラメータから周波数応答を求めるスペクトル解析が主流になっています。確かに、スペクトル解析は強力な解析手法として様々な場面で使われています。スペクトル解析は非常に普及していて、その道の専門家でなくとも、スペクトル解析またはFFT解析という言葉を知っている人は多いことでしょう。

スペクトル解析とは、簡単に言うと、測定した信号を「周波数成分の集合」で表現する手法です。周波数成分の集合とは何か。それは、振幅や周波数の異なった様々な正弦波（sin波）の集まりのことです。そして、その集合を構成する個々の正弦波が「周波数成分」です。つまり、複雑な信号を構成するひとつひとつの周波数成分（正弦波）を調べることで、その信号がどのような性質を持っているかを知る方法がスペクトル解析なのです。例えば、車をタイヤやエンジンなどの部品に分解し、「この車はCVTを使っているから変速ショックが無い」と判断するようなものです。

□ 当方で採用している手法

これに対して私たちが研究している手法、すなわち実測信号と推定信号との差を見る方法では、信号を構成要素に分解することはせず、複雑な信号を複

雑なまま扱います。ではどうやって解析するかというと、ある信号が得られたときに、その信号に対する理想信号を推定し、その差を見るのです。これは例えて言えば、書道の師範が生徒の作品に朱を入れるようなものです。作品に朱を入れるかどうかは、作品が出来上がる前に決まっているわけではありません。出来上がった生徒の作品を見て、それから「この右払いはもう少し大胆に書いたほうがいいですね」とか言いながら、師範の考える理想形を朱色で書き加えるのです。ただ、「理想信号を推定する」と言うと、あたかもピシッとした理想信号が最初から用意されていて、型にはめるがごとく実測信号と理想信号を比較するように思われてしまうかもしれませんが、実際はそうではありません。先程の書道の例で言えば、（師範や流派によって考えはそれぞれかもしれませんが）ある程度生徒の書き方を尊重する場合、生徒の作品の悪いところだけを修正し、その他の大枠については型にはめるような教え方はせずに生徒の自主性を尊重します。当方で研究している手法もこれと同じで、あくまでARMAモデルで表しきれない非線形要素を、実測信号と推定信号との差の形で検出し、その差がどうなのかによって解析対象となるシステムの状態を判定するのです。

□ 溶鉱炉と量子仮説

19世紀後半、ドイツとフランスの国境にあるアルザス・ロレーヌ地方では製鉄業が盛んに行われていました。当時、溶鉱炉内の温度は、溶けた鉄の色を熟練技術者が目で見て、彼らの経験と勘とで判断していました。しかし、熟練技術者の勘と経験に頼らずに溶鉱炉の温度を知る方法はないものか、という要望の声があがり、溶鉱炉の温度を知る方法についての研究が行われるようになりました。その結果、溶けた鉄から放射される光のエネルギーは光の振動数に比例することが発見され、さらには光のエネルギーはとびとびの値しかとらないというプランクの量子仮説に結びいたのです。

当方で研究している加工状態診断手法も「熟練技術者の経験と勘に頼らずに工具の摩耗・破損や機械の異常を知る方法」を提供するものです。もしかしたら、これがきっかけで量子仮説のようにとんでもない発見があるかもしれない、と私はひそかに期待しています（といっても、それは百年も二百年も先のこともかもしれませんが）。本当は大発見の可能性を大いに信じているのですが、その信念（信仰？）を周囲の人間に触れ回ると「そんな大それたことできるわけがない」と言われるのがおちなので、「ひそかに」期待することにしていきます。