

LabVIEW Community Edition でプログラミングを楽しもう

別冊：データ処理の話 シリーズ その1

内容

- ✓ 地震の観測データから震度を計算するプログラムを作る
- ✓ 技術資料から算出方法を読み取ってプログラムに落とし込む
- ✓ LabVIEW のフーリエ変換と逆フーリエ変換を検討する
- ✓ 四捨五入のナゾを解く

この本について

- ✓ LabVIEW コミュニティ版を活用するための情報を書き記した e-Book です
- ✓ 「プログラミングを楽しもう」本文から派生した内容+筆者の思いつきからできています
- ✓ わからないところは知っていそうな人に聞くか Web で調べてください（他力本願）



2020 年 6 月 11 日 初版発行

2021 年 5 月 12 日 説明を追加・修正

著者：渡島浩健（日本 LabVIEW ユーザ会）

ワカリヤスイ セツメイハ ムズカシイ

クリエイティブコモンズライセンスにて配布します

（詳しくは右のバナーをクリック）



1. 震度を計算するプログラム

NI のコミュニティで、[地震の観測データを視覚化する VI](#) が公開されていて、P 波と S 波の時間と震源からの距離を確認して記録できます。同じデータから「震度」が計算できるはずなので、作者（ユーザ会の仲間）に許可をもらって機能を追加してみました。

気象庁の資料に書かれている処理方法をプログラムに落とし込むのに少し手間取ったので、詳細を説明しておきます。これ以外でも技術資料をプログラミングするときに役に立つかもしれません。

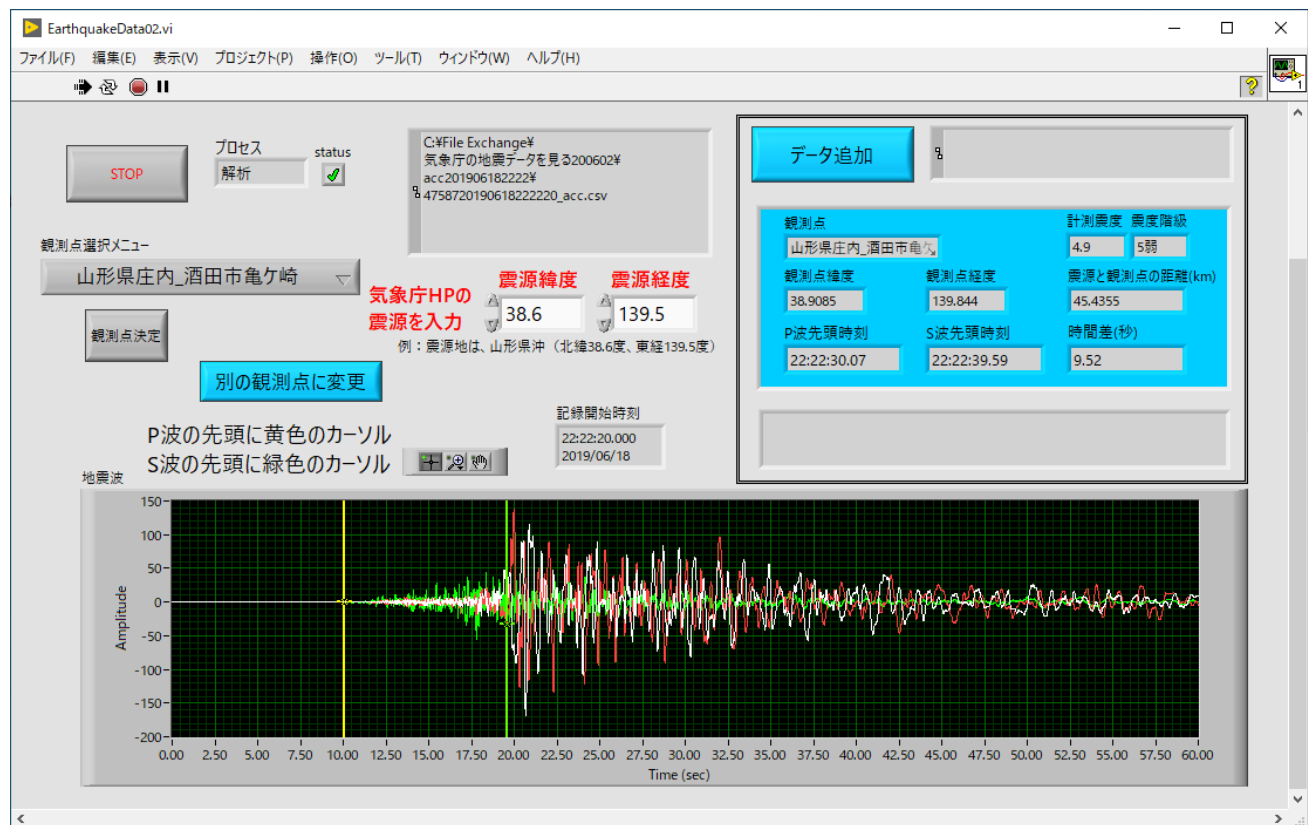


図 1-1 地震の観測データを視覚化する VI（+震度計算）

Web で“震度 計算方法”で検索したところ、3 つほど見つかりました。

- ・ 資料 1：[計測震度の算出方法](#)
- ・ 資料 2：[気象庁震度階級の解説](#)の最終ページ「気象庁震度階級表」の気象庁告示（抜粋）
- ・ 資料 3：[ウィキペディアの気象庁震度階級](#)

それぞれのリンク先を見ながら以下の説明を読んでください。（以下口語）

資料 1 から読み取れるのは、

- (1) デジタル加速度データ 3 成分（水平 2 成分と上下 1 成分）をフーリエ変換する；
デジタル＝離散的＝時間が飛び飛び＝時系列（時刻歴ともいう）データ。ファイルに記録されているのはまさしくこれ。それを周波数スペクトル（周波数ごとの強度）にするのだな。
- (2) 地震波の周期による影響を補正するフィルタをかける；
フィルタの特性図（グラフ）は載っている（図 1-2）。3 種類のフィルタをかけて総合特性を得るようだけれど、それぞれの計算式が書いていない。

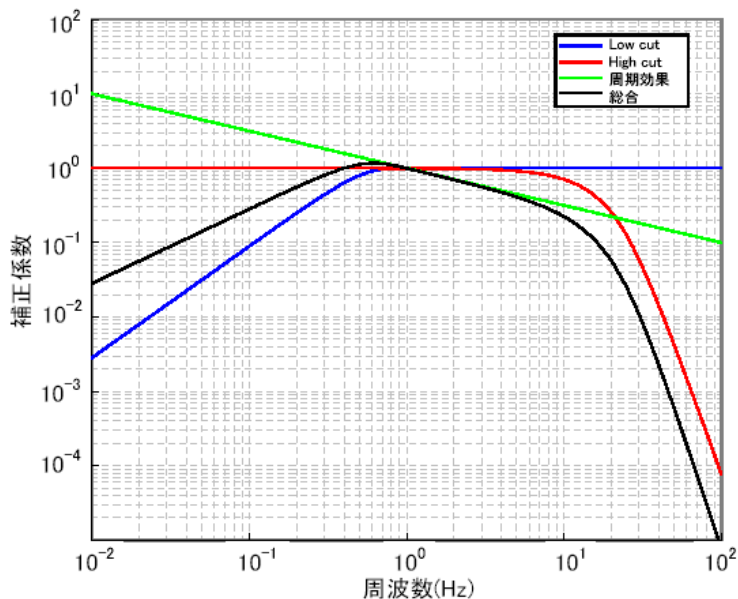


図 1-2 フィルタ特性（気象庁の資料より抜粋）

- (3) 逆フーリエ変換して、時刻歴の波形に戻す；
簡単に言ってくれるけど、いろいろ考えなくちゃいけないことがある。
- (4) 得られたフィルタ処理済みの 3 成分の波形をベクトル合成する；
X,Y,Z（東西、南北、上下）方向の揺れの成分だから、二乗平均すればいいのだろう。
- (5) ベクトル波形の絶対値がある値 a 以上となる時間の合計を計算したとき、これがちょうど 0.3 秒となるような a を求める；
…なるほどわからん！
- (6) (5)で求めた a を使って計測震度 I を計算する： $I=2\times\text{Log}(a)+0.94$ 。そして小数第 3 位を四捨五入し、小数第 2 位を切り捨てる；
計算式はわかるが、実は四捨五入が意外と面倒くさかったりする。
- (7) 計測震度 I と震度階級（ニュースで発表される震度 3 とか震度 5 弱とかいうやつ）の関係が載っているんで、素直に変換すればよさそう。

現時点で不明なのは(2)の数式と、(5)の意味するところ。

資料 2 から読み取れることは、

- (1) フィルタの計算式が書いてある。周波数の関数なので、周波数ごとに計算して強度に掛ければいい。
 $1/2$ 乗ってルートだよな。 $-1/2$ 乗って何だっけ？ \exp は指数関数で Log の底は 10 でいいのか？
- (2) 加速度データの単位は cm/s^2
- (3) 計測震度の計算に ao という変数を導入し、 $I=2\times\text{Log}(ao)+0.94$ としたとき…
 ao は、 $\int w(t,a)dt \geq 0.3$ を満たす a の最大値。この場合において積分範囲は地震動が継続している時間とする。 $v(t)$ はベクトル波形で、 $w(t,a)$ は $v(t) < a$ のとき 0、 $v(t) \geq a$ のとき 1 の値を取る関数。

こういう資料で困るのは文章や数式で説明されること。適当な関数を定義しているのは説明のためと理解できるけれど、数式も一種の言語なので得意じゃない人も多いよね。積分範囲はまあそうだな。

a を境に 0 または 1 になる関数を時間積分した結果が 0.3 以上…時間方向に離散的なデータを積分するには、強度に dt （時間分解能）を掛けて足し算すればいいのだが、その結果が 0.3 以上って何だ？

資料 3 はウィキペディアで、一番わかりやすい。数式も記号で書いてあるのでボクにもわかる。

(1) 合成加速度の絶対値がある値 a 以上になる時間の合計がちょうど 0.3 秒であるような a を求める。

これは震度の算出基準となる揺れの大きさ a を、0.3 秒間断続した揺れに統一することで、実際の揺れによる被害と算出される震度を近づける狙いがある。

ああ、わかった。 a のレベルを上から下げてきたとき、 a 以上大きいデータの合計時間がちょうど 0.3 秒になる a を求めればいいのか (図 1-3)。プログラムでやるなら簡単な方法が思いつく。

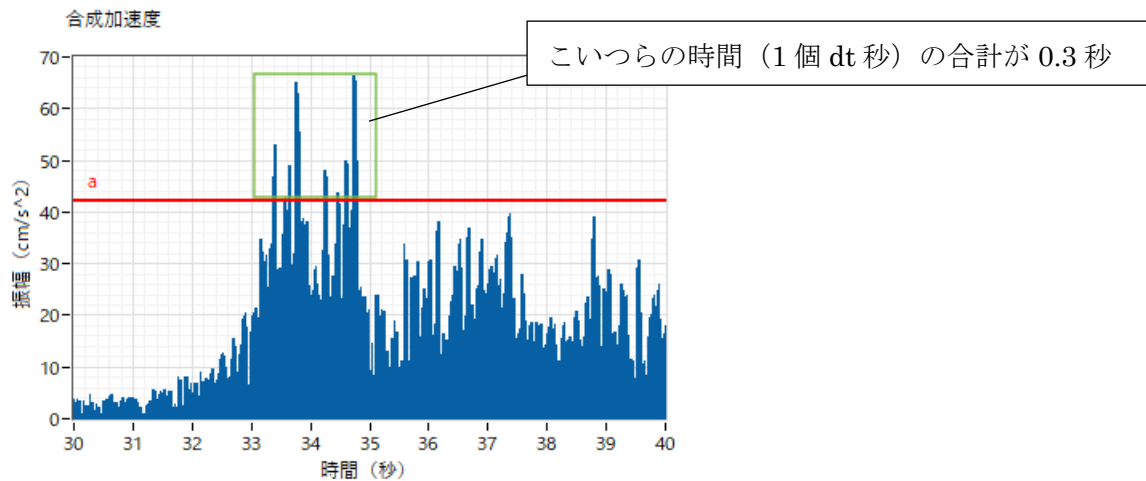


図 1-3 合成波から a_0 を求める意味

ここからプログラムの内容を説明するケロ、前提として知っておくことは；

- ・ 加速度データは元の VI で読み込んでくれている。単位は gal (ガル) だがこれは cm/s^2 と同じ。
- ・ フーリエ変換は LabVIEW の得意分野。変換後の周波数分解能 df は、サンプリング周波数の $1/N$ (N はポイント数)。解析できる周波数の上限はサンプリング周波数の $1/2$ 。
- ・ 時系列の時間は等差で連続している。時間分解能 dt はデータのサンプリング周期とイコール。周期と周波数は互いに逆数の関係なので、サンプリング周波数からも dt は求まる。

Calc JMA Seismic Intensity Scale.vi（気象庁震度階級計算 VI）の解説

この計算方法は日本の気象庁（JMA）の規格なので VI にも JMA という名前を付けたけど非公式（笑）。これは多態性 VI として作ってある。興味があれば File>>New...メニューで探してみて（わりと簡単）。

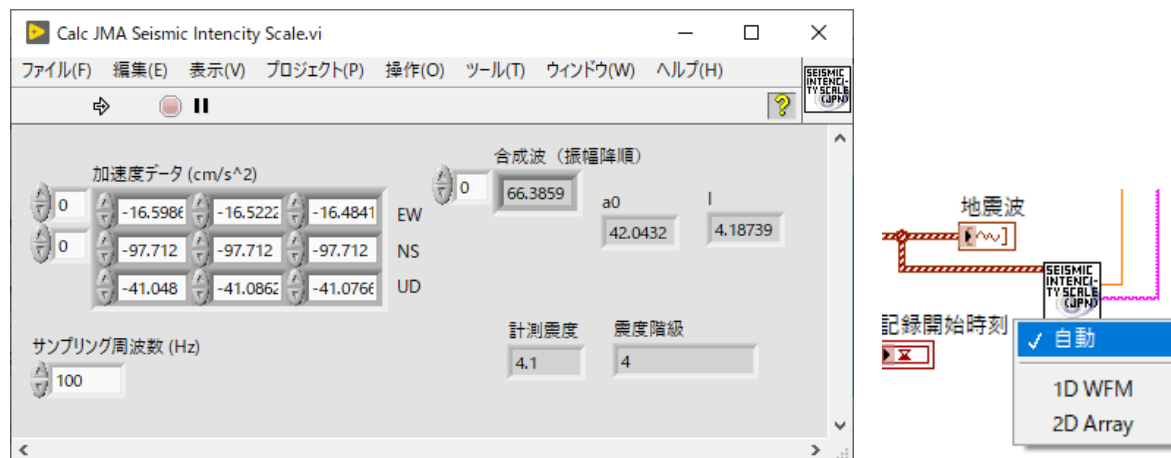


図 1-4 Calc JMA Seismic Intensity Scale.vi のフロントパネルとアイコン

2D DBL のほうは、3 成分の加速度データを 2 次元配列にして、サンプリング周波数と一緒に入力。1D WFM のほうは波形データタイプに dt が含まれているのでサンプリング周波数はなくて OK。



図 1-5 Calc JMA Seismic Intensity Scale.vi の詳細ヘルプ

ブロックダイアグラムは以下のとおり。とりあえず 2D DBL のほう。手順 1～8 のコード部分をフリーラベルで示したので、それらを見ながら説明を読んでください。

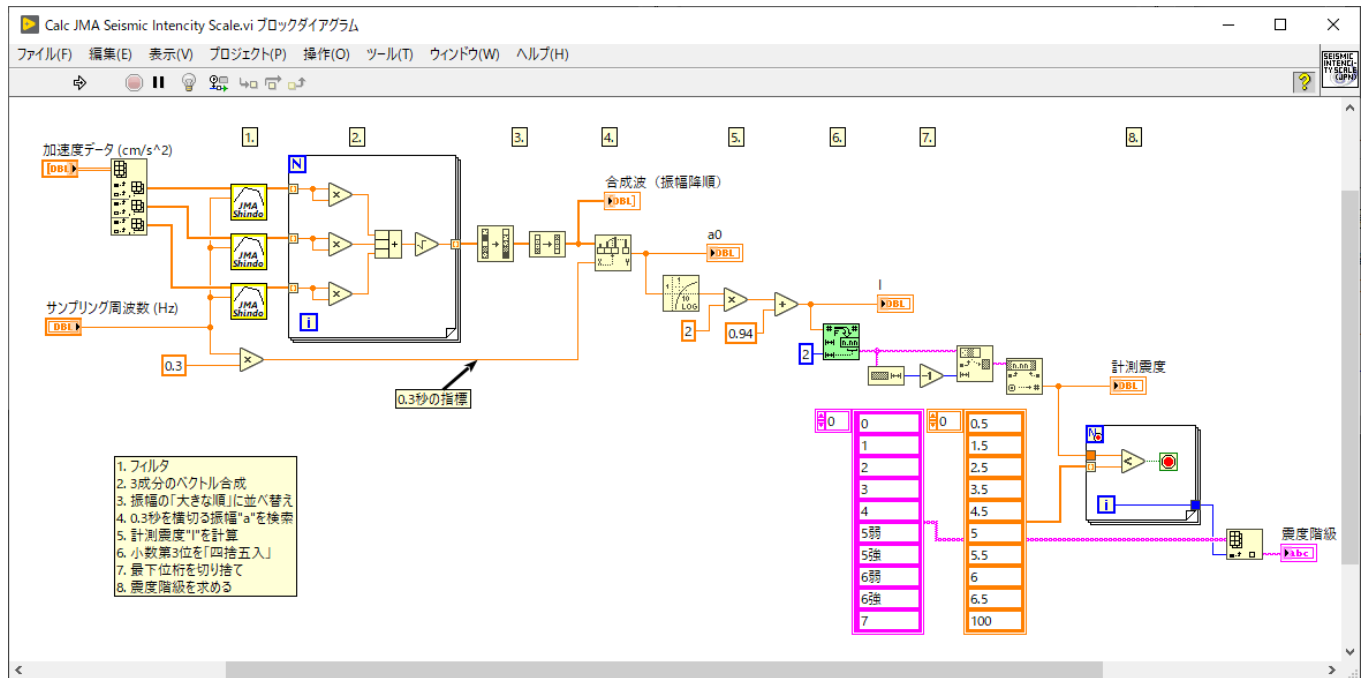


図 1-6 Calc JMA Seismic Intensity Scale.vi のブロックダイアグラム

1. フィルタ

3 成分それぞれにフィルタをかける。フィルタはサブ VI にしてあるのでこのあと解説。

2. ベクトル合成

フィルタ後の 3 成分を合成する。二乗平均でいいはずだから、それぞれを二乗して加算してルートで開く。資料には「合成加速度の絶対値」とあるが、この計算結果がマイナスになることはないと思う。

3. 強度データの並べ替え

振幅の「大きな順」に並べ替える。「1D 配列ソート」関数は小さい順に並ぶから「1D 配列反転」関数で順番を反転する。すると、先頭から 0.3 秒経過した位置の強度が **ao** に相当するはず。

4. ao の検索

0.3 秒にサンプリング周波数を掛ける（＝時間分解能で割る）とインデックス（配列の指標）になる。その位置の強度 ao を検索する。「1D 配列補間」関数はインデックスが整数でなければ直線補間して中間値を割り出してくれる。

5. 計測震度"I"を計算

常用対数を使い優先順に計算： $\text{Log}_{10}(\text{ao}) \times 2 + 0.94$ 。

6. 小数第 3 位を「四捨五入」

LabVIEW の丸めは「最近接丸め」や「JIS 丸め」と呼ばれる方法を採用している。これだと端数が 0.5 より小さければ切り捨て、0.5 より大きければ切り上げ、0.5 ちょうどときは結果が“偶数になるほうへ”丸められる。手計算の四捨五入と微妙に違うので比較検証してみた。

検証用 VI のダイアグラムは図 1-7。小数点 1 桁のデータを指定個数作り、手計算の四捨五入（緑色のサブ VI）と「最も近い値に丸め込み」関数の結果をグラフに表示している。あと平均誤差も計算。

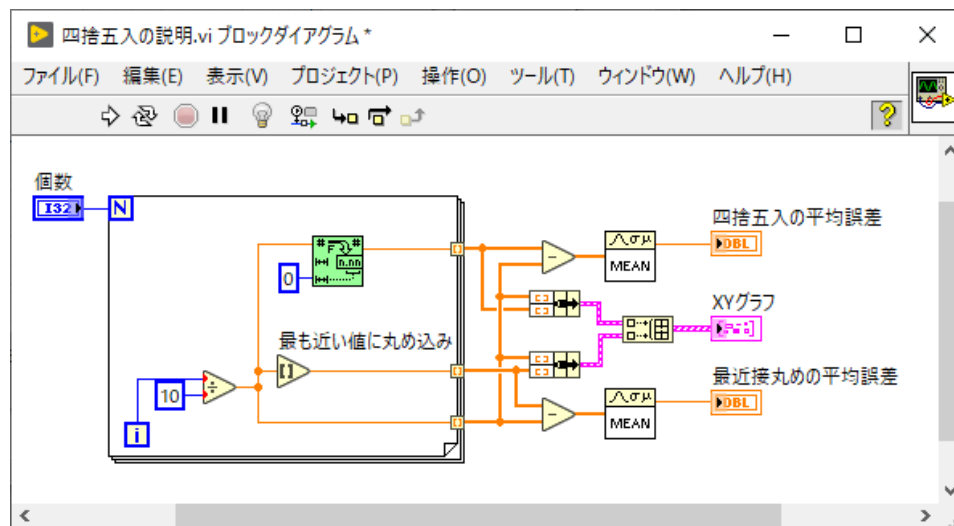


図 1-7 端数の丸め方式の違いを比べる VI のブロックダイアグラム

実行後のフロントパネルが図 1-8。グラフの赤いトレースが LabVIEW 標準の丸め方で、1.5→2、3.5→4 なのに、0.5→0、2.5→2 になっている。でも丸めによる誤差を平均するとゼロ。

算数の授業で習った四捨五入は青いトレースで、いつもの四捨五入と同じ結果になっているが、平均誤差に 0.05 の偏りが出ている。

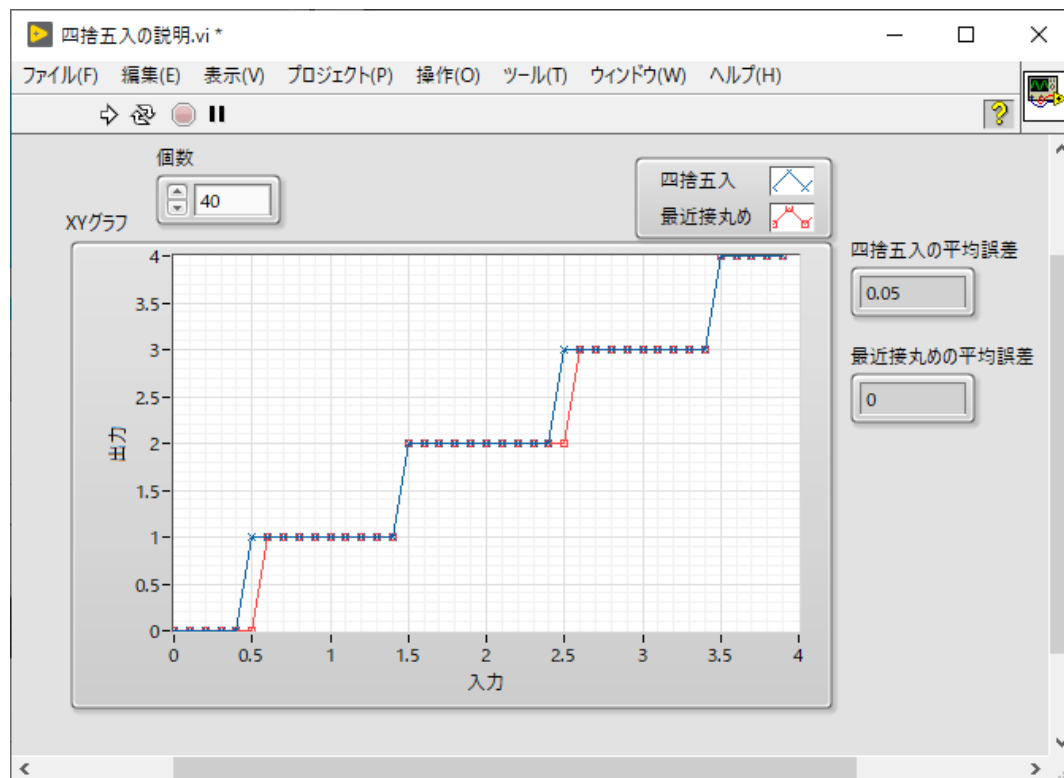


図 1-8 端数の丸め方の違いを調べる VI のフロントパネル

必ずプラス方向に偏るので、例えばコンピュータで金利計算をするとき、一件ずつは気がつかない程度でも大量にやると大きな金額になって、銀行が利息をつけすぎて損をしてしまう。

LabVIEW に限らず、プログラミング言語の丸め方はたいてい「最近接丸め」なので、注意が必要。資料の四捨五入は手計算のほうを指していると思われるので、サブ VI (緑色のアイコン) を作った。手計算と同じ結果になる丸め関数で、小数点以下の桁数も指定できるぞ (図 1-9)。

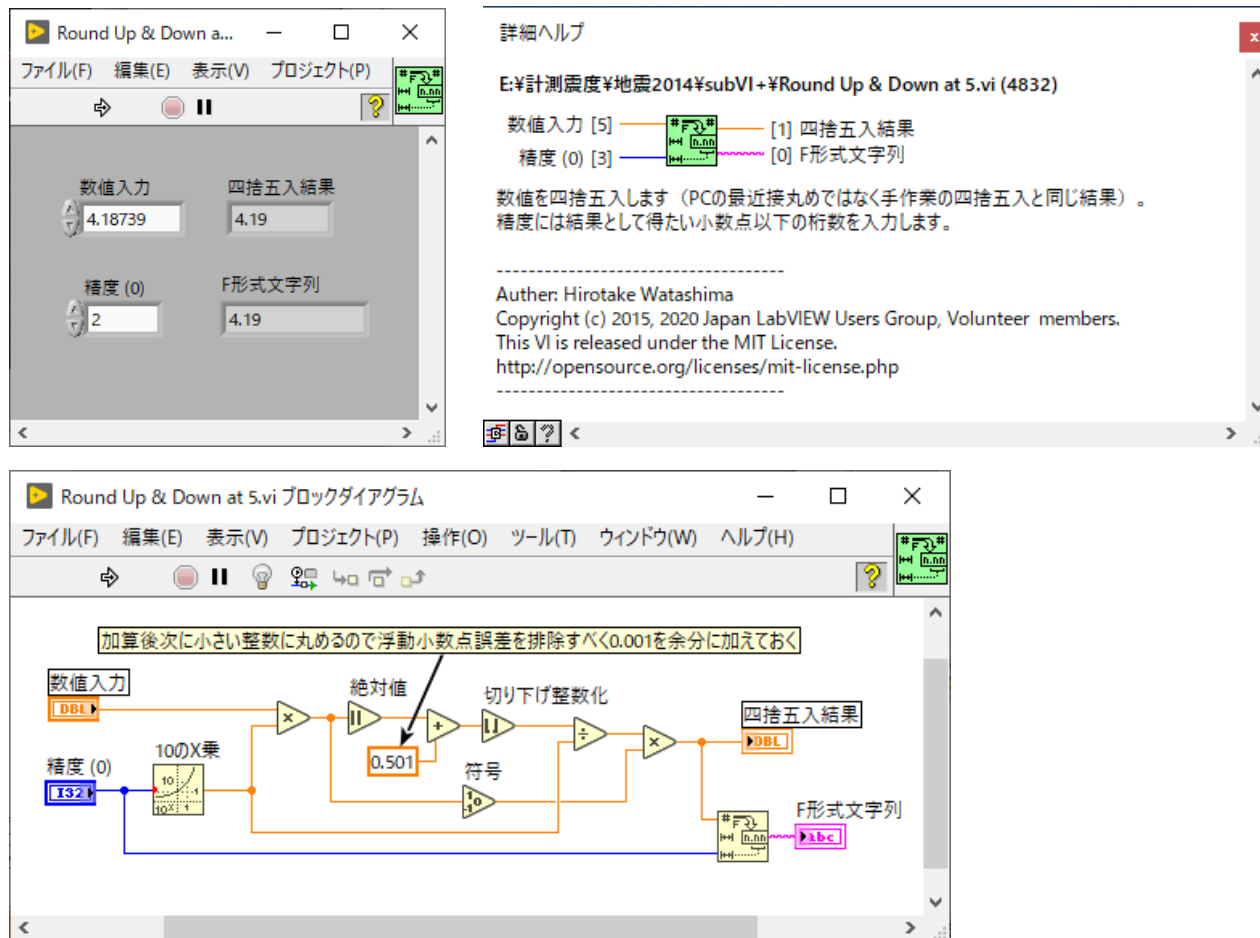


図 1-9 手計算と同じ四捨五入 VI

7. 最下位桁を切り捨て

小数第 2 位を切り捨てるために、四捨五入した小数 2 桁の文字列から右端 1 文字を切り捨てる。

8. 震度階級を求める

計測震度 I と震度階級の対応を配列にして置き、 I が条件に合ったインデックスと同じ震度階級を取り出すループを回す。For ループに条件端子を付けて途中で抜けられるようにしてある。

Shindo Filter.vi (フィルタ関数サブ VI) の解説

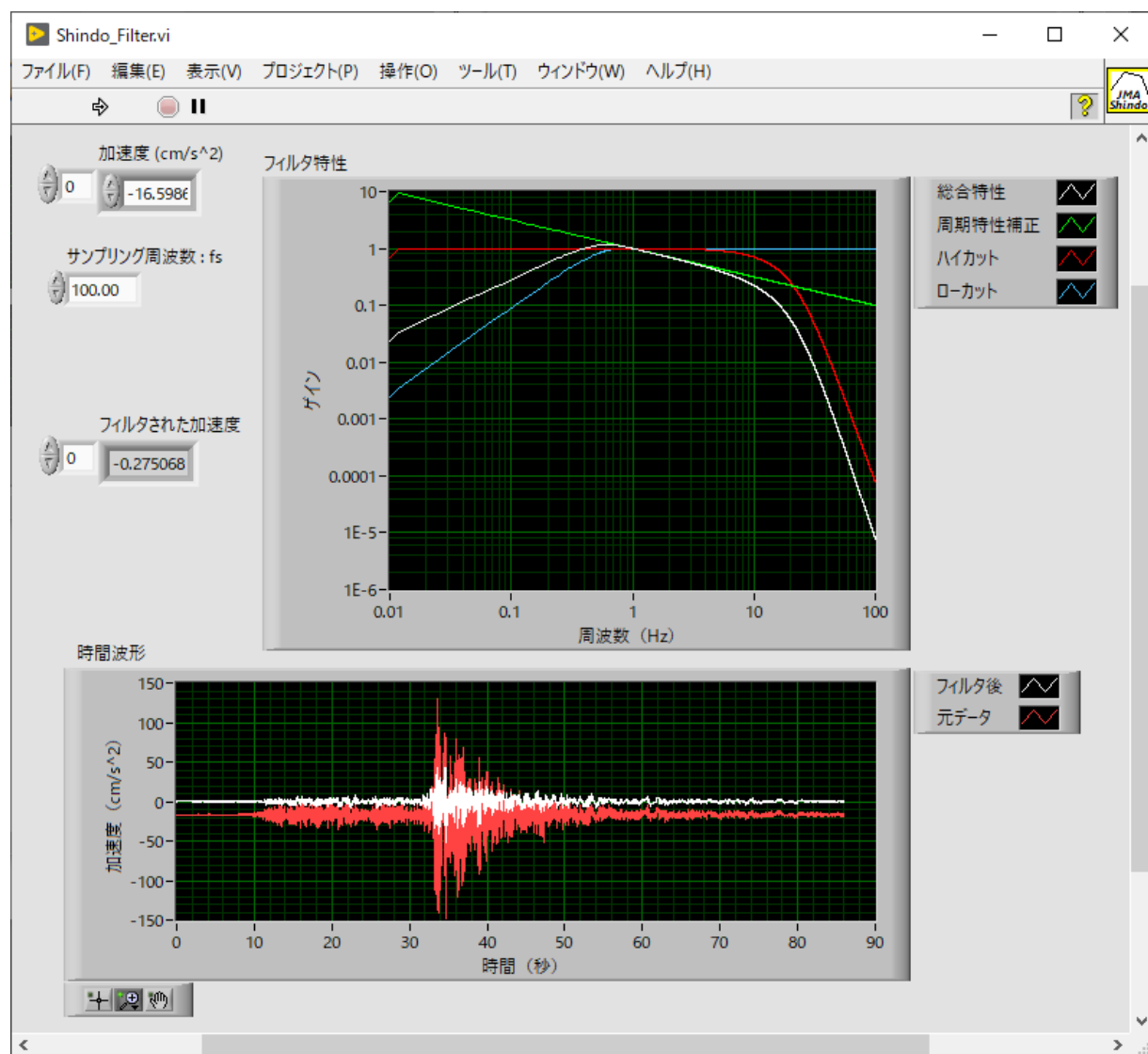


図 1-10 フィルタ VI の実行結果

サブ VI としての入力は加速度データ配列とサンプリング周波数、出力はフィルタされた加速度だけあればいいけど、フロントパネルにはフィルタ特性やフィルタ前後の時間波形などもグラフ表示してある。

LabVIEW はサブ VI（自作関数）が単体でも実行できるのでデバッグがしやすい。超便利！

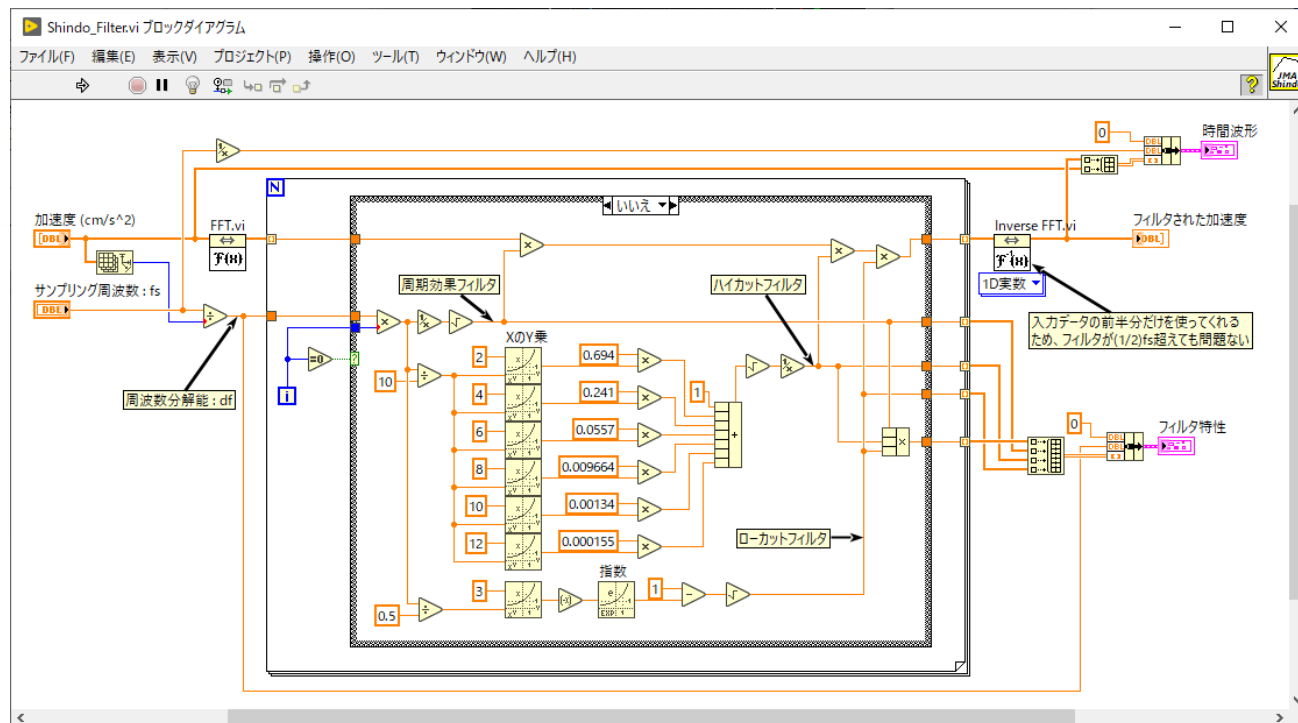


図 1-11 フィルタ VI のダイアグラム

1. フーリエ変換

実数の FFT 関数を使う。正確に言うなら DFT（離散フーリエ変換）。FFT はデータ長が 2 のべき乗のときに計算回数を減らして速く（Fast）する手法のことだが、LabVIEW では条件によって自動的に処理されるので区別せず FFT と呼んでる。出てくる結果は複素数…オイラじゃ荷が重い。

ええと、複素平面の振幅は実部と虚部を二乗平均だったっけ。フィルタは振幅だけで位相は変えちゃいけないよな。サンプリング周波数の 1/2 までが有効だから…

そもそも LabVIEW の FFT ってどうなってるんだろう？

ということで FFT 関数を少し調べてみる。いろいろ細かいことは置いておくことにしてあるので、突っ込みは却下。テスト用 VI のダイアグラムは図 1-12。

Absolute (絶対値) 関数は複素数を渡すと実部と虚部を合成した振幅を返してくれるので便利。

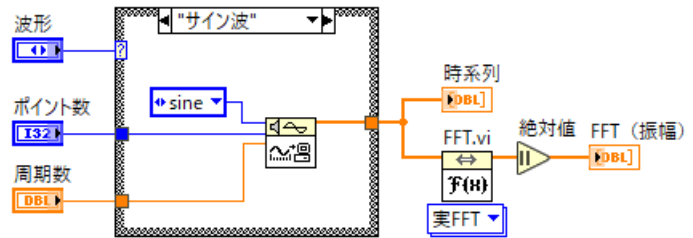


図 1-12 FFT 関数のテスト

まずは演算でピュアな正弦波を作って FFT した場合；

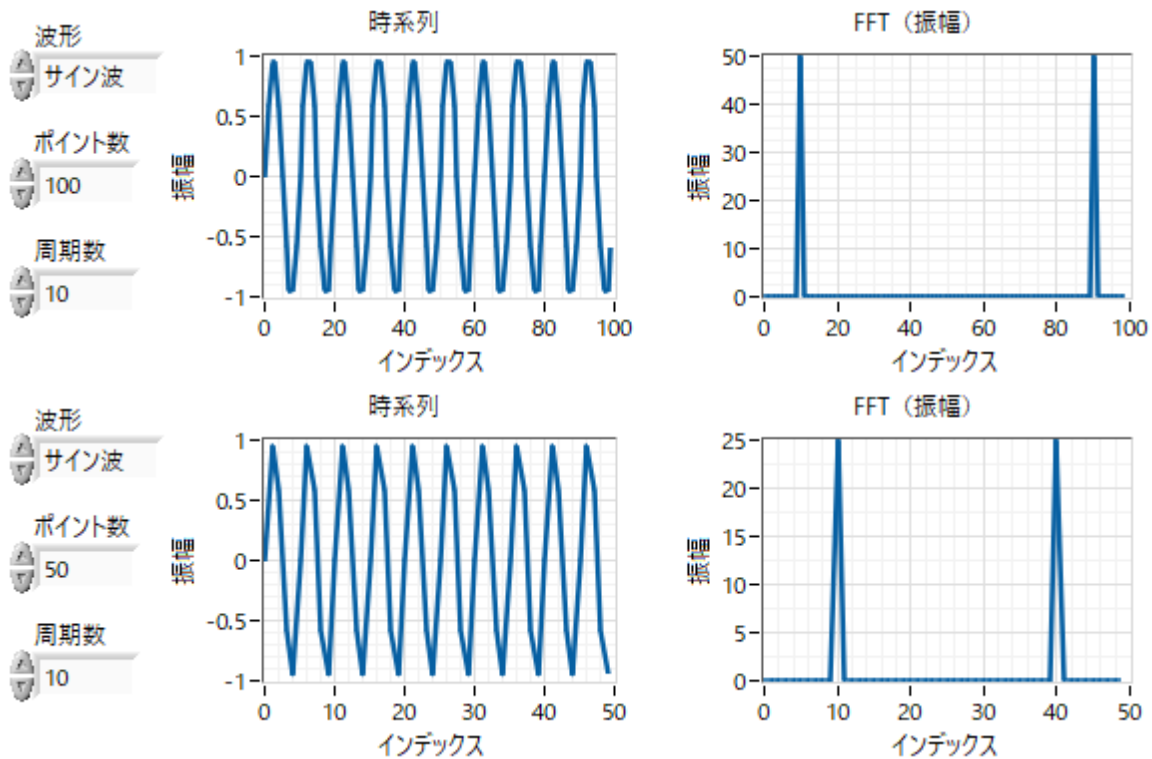


図 1-13 サイン波（100 および 50 ポイント、ともに 10 周期）の FFT 振幅

ピュアな正弦波は単一の周波数成分だけだから、周波数領域では 1 本だけピークが立つはずなのに、なんか右側にもある。正確に見ると 100 ポイントのときはインデックス 10（インデックスは 0 から始まるから 11 個目）とインデックス 90（最終の 99 から 10 個前）。50 ポイントのときはインデックス 10（11 個目）とインデックス 40（最終の 49 から 10 個前）。

次に DC（直流）波形を FFT すると、ピークはインデックス 0 のところ一つだけ（図 1-14）。

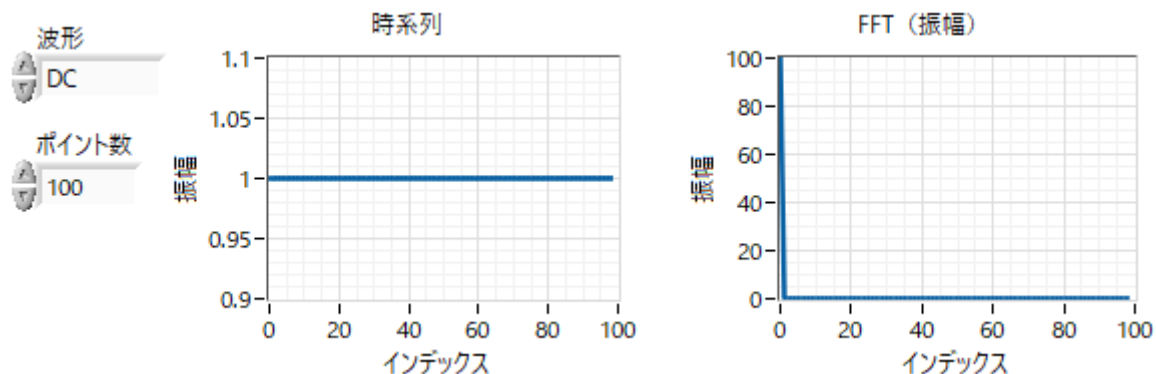


図 1-14 DC 波形の FFT 振幅

今度は矩形波を FFT すると、真ん中で左右反転してる（図 1-15）。正弦波も反転してたんだ！

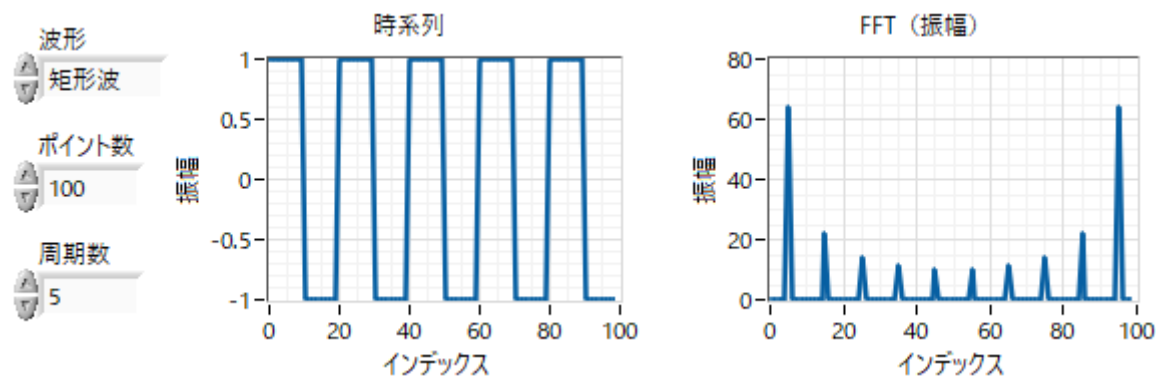


図 1-15 矩形波（100 ポイント、5 周期）の FFT 振幅

ボクらがいつも見ている周波数グラフは FFT した結果の左半分だけだ。解析できる周波数の上限がサンプリング周波数の $1/2$ というのと理屈が合う。だって $df \times N = \text{サンプリング周波数}$ だもの。

DC は周波数がゼロと考えられインデックス 0 にしか現れない。インデックス 1 から $N/2$ までのデータが反転して後ろに続く。N が偶数か奇数かで接続点が一つずれるけど絵的には必ず線対称。

図 1-13 でもインデックス 0 を除外すれば左右のピークはそれぞれの端からの位置が同じになる。そういえば左右とも 10 個目なのは全体に含まれる周期の数と同じで全体のポイント数には無関係。

フィルタをかけた後もインデックス 0 を除いて左右対称じゃないとうまくいかないかも。

フィルタの式に $1/f$ の項があるので $f=0$ は特異点として振幅ゼロに (DC カット) するのがよからう。

観測データに DC 成分が含まれているとすれば、揺れている間に地震計の位置が動いたか、測定系のオフセット信号の可能性はあるけど、たぶんそれは被害の尺度とは別の情報。

2. dt、df の計算

サンプリング周波数を N で割って周波数分解能 df を、サンプリング周波数の $1/x$ を計算してサンプリング周期 dt を求める。

3. フィルタ

For ループで配列をばらして要素毎に計算している。毎回のインデックスは i 端子から得られる。

i=0 のときはデータをゼロにして DC 成分をカットする。i=1 以降は df を掛ければ周波数 f になるので、資料 3 の式を参考にして係数 (データ表記は実数) を計算している。LabVIEW は複素数に実数を掛けると自動的に振幅だけを変化してくれる (実数部と虚数部それぞれに同じ値を掛ける)。

3 種のフィルタ係数を順に掛ければ (畳み込み?) OK。フィルタの特性を確認するため 3 種それぞれと総合特性をグラフに表示させている。

さて、本来は $i=N/2$ 以降はフィルタも周波数を反転しなければならないのだが、実は大丈夫なことがわかった (次項を参照)。

4. 逆フーリエ変換

実数への逆 FFT 関数を使う。ヘルプには「入力複素数の配列で、その最初の要素 (DC 成分) を除いて中心対象に共役転置される。」と書いてある。つまり前半部分だけを使ってもうまくやってくれる

ということだ。たとえば図 1-15 の FFT 結果を実数部と虚数部に分けるとこうなる（図 1-16）。

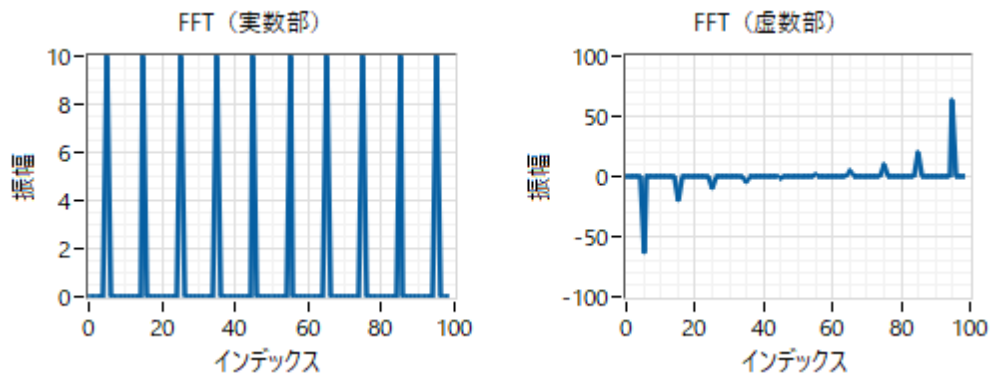


図 1-16 矩形波（図 1-15）の実部と虚部の波形

実部は線対称で左右の符号は同じ、虚部は点对称で左右の符号が変わっている。このデータを作るには、DC を除く前半分の“複素共役”を作って後端から逆方向に埋め直す必要がある。

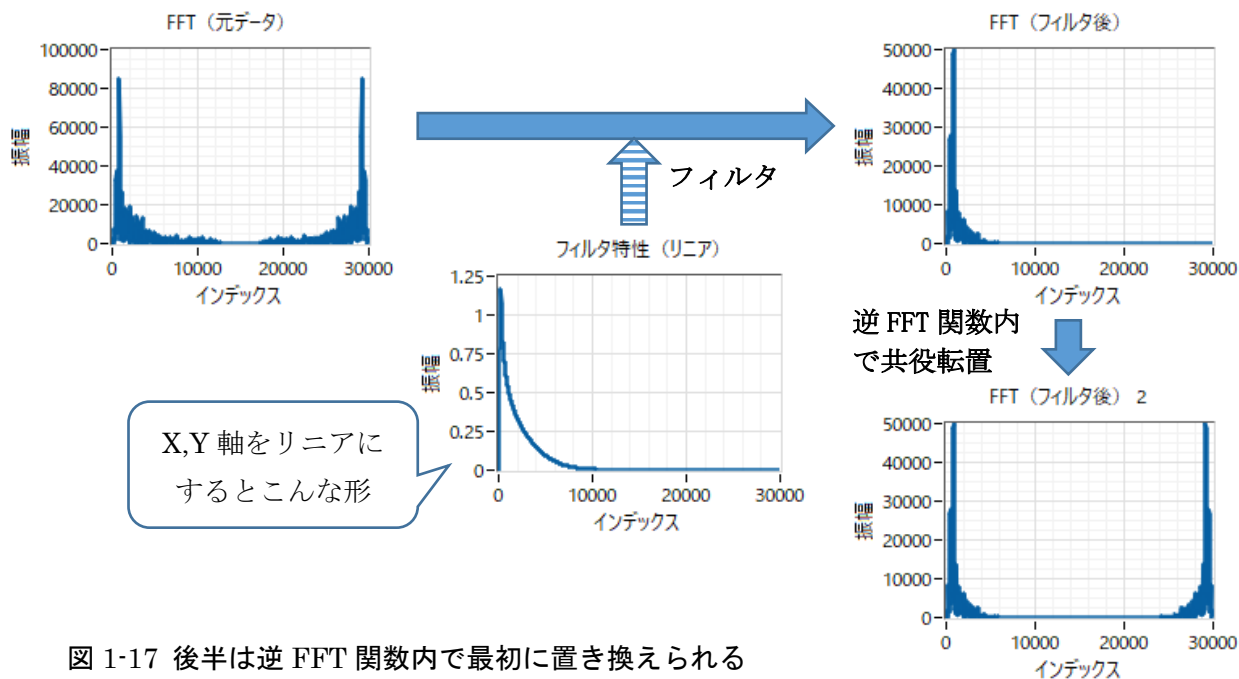


図 1-17 後半は逆 FFT 関数内で最初に置き換えられる

これを逆 FFT 関数が自動的にやってくれる（図 1-17）から、フィルタは $N/2$ でやめてその後をスルーしても結果は変わらない。そのほうが演算時間も短縮できるだろうが、サンプリング周波数が 100Hz だったので、フィルタ特性グラフを 100Hz まで確認する目的で最後まで演算した。

ちなみに共役転置を自動的にやってくれるのは最近の LabVIEW からのはず。記憶が定かではないが、少なくとも LabVIEW8.2 にはなかったと思う。周波数成分をいじる用途にうってつけの仕様。

5. 時間波形の表示

フィルタ前とフィルタ後の時系列波形をグラフに表示する。フロントパネルにある時系列波形のグラフで、赤いトレース（元のデータ）の DC オフセットが、白いトレース（フィルタ後）でキレイになっているのがわかりいただけるだろうか。

[気象庁の Web サイト](#)から計測震度と震度階級がわかっているデータをダウンロードして計算させてみたところ、完全に・一致・しました（サイトの表に書いてある最大加速度はフィルタ前の値ですね）。

同梱の「震度計算 VI のテスト.vi」を実行して確認できます。サブ VI を開いたまま親 VI を実行するとフィルタ VI のグラフなども更新されます。

ちなみにマグニチュードは地震計のデータだけでは算出できないのでパスしました。