

## Excel ソルバーを用いない定常帆走性能の推定計算 (V P P)

金沢工業大学 増山 豊

### 1 はじめに

第33回セーリングヨット研究会において“Excelを用いた定常帆走性能の推定計算(VPP)”<sup>1)</sup>を報告した。この報告におけるVPP計算の手段として、Microsoft Excelに組み込まれているソルバー機能を用いた。また、真風向を自動的に変化させて自動計算するために、やはりExcelに組み込まれているVBA機能を用いた。これらの機能を用いることによって、面倒なプログラミングをしなくても手軽にVPP計算を行うことが可能であった。

しかしながら、Excel2007のバージョンになって、ソルバーの格納フォルダ名が変化するなどしたため、円滑な使用ができなくなった。今後、さらなるバージョンアップ(?)などによってまた使い勝手が変わるのも困ると思い、この際原点に帰ってソルバーを用いずに全てプログラミングによってVPP計算するものに改めることにした。なお、ExcelのVBA機能だけは変わらないものと考えられるので、プログラミング言語として使わせてもらうことにする。

### 2 変更した点

VPPは基本的に、非線形の連立方程式を解くプログラムである。このような連立方程式を解く方法として、ニュートン・ラプソン法と呼ばれる手法が有名であり、これを用いることにした。

(なお、Excelソルバーでは準ニュートン法という手法を用いている。)これらのプログラミングは、かつてVPP解析を始めた頃にFortranやBasicで用いたものであり、今回、ExcelVBAに用いるために、古びたBasicのテキストをあらためて引っ張り出してきたという次第である。

また、以前の計算では、船体抵抗やセール流体力係数のグラフを、多項式で近似した式で求めていた。これについては、必ずしも厳密に元の曲線と一致しない場合もあったため、多項式近似をやめ、スプライン曲線で補間して求めることにした。さらに、以前のやり方ではExcelシートのセルの中に計算式を埋め込んでいたが、これも全てプログラムの中で計算することにした。これによって、うっかりセル内の式を消してしまうという恐れも無くなったものと考えている。

これらをまとめると、前報告からの変更点は以下のとおりである。

- (1) Excelソルバーを用いないで、ニュートン・ラプソン法で連立方程式を解く。
- (2) 船体抵抗やセール流体力係数のグラフの値を多項式近似で求めず、数表データを読み込んでこれからスプライン補間して求める。
- (3) Excelシートのセル内には式は埋め込まず、全てプログラム内で計算する。

### 3 解析対象艇や定式化

解析対象とするのは前報告と同じで、筆者が基本設計したKIT-34級艇“FAIR V”で、全長

10.6m、排水量 3.4ton の外洋セーリングヨットである。この諸元や帆装図などは、前報告を参照頂きたい。(前報告は、セーリングヨット研究会ホームページに掲載しています。) また、VPP の釣合式や、船体に作用する流体力の計算式などについても、前報告を参照頂きたい。

#### 4 Excel ファイルの使い方

VPP 計算に用いる Excel ファイルの“釣合計算”シートを図1に示す。この表示内容は、前報告のシート内容とまったく同じである。違う点は、上記のように前報告では、各々のセルの中に計算式が埋め込まれていたのに対し、今回のものは単に数値が表示されているだけである。したがって、前報告のシートでは VBA を用いないで単独でソルバー計算を行うことが可能であったが、今回のものではソルバーは使えず、プログラム計算しかできない。以下、図中の番号と対応させながら説明する。

##### 入力

- ① 真風速 $U_T$ の入力。(なお、下段の $\gamma_T$ の欄は真風向を表すが、入力する欄ではなくプログラム計算の終了時の値が出力される。)
- ② (これは入力欄ではなく、4つの解： $u$  (x方向速度)、 $\beta$  (横流れ角)、 $\delta$  (舵角)、 $\phi$  (ヒール角) が出力される欄。プログラム計算終了時は①の下段に表示された $\gamma_T$ 時の解が出力されている。)
- ③ 水密度、空気密度、船体諸元、セール面積などの入力。
- ④ 船体の流体力微係数の入力。

「計算条件」**A**において、真風向を指定する条件(計算開始、終了、変更間隔の角度)と、4つの解のための初期値を入力する。

**B**の「VPP 実行」ボタンを押すことによって計算がスタートする。

##### 出力

以下、⑤~⑬の欄には計算結果が出力されるが、プログラム計算終了時は①の下段に表示された $\gamma_T$ 時の結果が出力されている。ある $\gamma_T$ 時のこれらの値を知りたい場合は、**A**の計算終了の真風向の角度をその $\gamma_T$ にすればよい。

- ⑤ 船体直立抵抗計算結果。
- ⑥ 船体流体力係数。
- ⑦ 船体に作用する流体力。
- ⑧ ラダーに作用する流体力。
- ⑨ 相対風速、相対風向の計算結果。
- ⑩ セール流体力係数。
- ⑪ セールに作用する流体力
- ⑫ 船体復原モーメント
- ⑬ 船体とセールに働く X、Y 力と、K、N モーメントの合計値。計算が収束(釣合う)していればこれらの値はほぼ0となる。

⑭ 上記の合計残差。計算が収束していればほぼ0となる。なお、許容誤差はプログラム中で指示している。

以上の計算結果のまとめは真風向ごとに[C]部分に出力される。ここで、[D]の「残差」は⑭の値が示されているが、これが十分小さくなっていない場合は、解が収束していないことを意味しているので、初期値を変えるなどして再度求める必要がある。

[A]の初期値の目安はほぼ次のとおりである。

$$u_0 = 4\text{m/s}、\quad \beta_0 = 5^\circ、\quad \delta_0 = -10^\circ、\quad \phi_0 = -30^\circ$$

計算では右舷側から風を受けた状態(スターボードタック)を考えているので、通常 $\beta$ は正の値、 $\delta$ と $\phi$ は負の値となる。(ヨットは通常、若干ウエザーヘルムとなる(風上へ切り上がろうとする、すなわちスターボードタックの場合は右回頭する)ように設定されている。これを抑えて釣合うように舵を切るため、 $\delta$ が負となる。図1内の図の定義参照)

なお、プログラム計算において[A]の初期値を用いるのは、計算開始時の真風向の時だけである。2回目以降の繰り返し計算では、その前の釣合状態の値を初期値として用いている。このため、まれに計算途中の真風向で収束しない場合があるが、このような場合は、その収束しなかった真風向から、初期値を変えて計算を開始してみるとよい。

図2の[E]~[G]部分は計算結果のグラフを表示している。(なお、これは図1のシートの右側部分である。)[F]はポーラーダイアグラムであり、[G]は、真風向に対する帆走状態量(リーウエイ角、ヒール角、舵角、艇速)の変化を示している。なお、ポーラーダイアグラム[F]はExcelのレーダーチャートグラフを流用しているため、ここでは $10^\circ$ 毎( $360^\circ$ 表示のためにデータが36個必要)しか表示できない。プログラム計算において真風向の刻みを $10^\circ$ 以下にすることは可能であるが、このレーダーチャートでは $10^\circ$ 毎の点のみプロットするようにしている。また同じ理由で、ポーラーダイアグラム[F]にはリーウエイ角は含まれていないので注意を要する。なお、[G]のグラフの横軸( $=\gamma_T + \beta$ )には、リーウエイ角を含めている。

図3は“係数”シートの内容を示しており、[H]に直立直進時の船体抵抗、[I]にセール流体力係数の表とグラフを示している。前報告では、これらの値は多項式近似した式で求めていたが、ここではこれらの表の値を読み込んで、スプライン補間して任意の相対風向における値を求めている。したがって船体抵抗やセール流体力を変更して計算を行いたい場合は、これらの表の値を変更すればよい。なおこの時データ数を変更する場合は、“データ数”欄の数値を変更する必要がある。またこの表ではセール流体力係数中の $C_Y$ と $C_K$ は正の値で表示しているが、スターボードタックの計算を行うため、プログラム中で負にしている。(入力ではこれらを正の値で入力のこと)

## 5 プログラム内容

このプログラム計算は、このシートに含まれているVBAプログラム(図4)によって行って

いる。プログラムは次の手順で表示させることができる。(なお、以下は Excel2003 以前のバージョンの場合である。)

- (1) 図 1 を表示させる。
- (2) 「ツール」→「マクロ」→「マクロ」→「マクロ」ウインドウの表示。
- (3) 「マクロ」ウインドウの中に「FAIRVPPbyNR」が表示され、すでに選択されているので、「編集」ボタンを押すと、「コードウインドウ」と呼ばれる画面が現れ、プログラムが書き込まれている。
- (4) なお、プログラムの実行は「マクロ」ウインドウの中の、「実行」ボタンを押すことによってもできる。

以下、図 4 のプログラム中の番号と対応させながら説明する。

#### (1) 計算条件および初期値の入力

1. “係数”シートの **H** から船体直立抵抗データと、**I** からセール流体力係数データを読み込む。なお、ここでは確認のためプリントアウトするようにしている。各々のデータ数も D3、N3 から読み込むことに注意。
2. “釣合計算”シートへ戻って、初期値を **A** から読み込む。(なお、ここで読み込んだ値を 1 回目の初期値とするが、これらのセルの値は変更しないので、**A** の値は変化しない。また、実行開始後の 2 回目以降の初期値は、前回の収束結果を初期値として用いている。)
3. ③、④から船体データ、船体流体力係数などを読み込む。

#### (2) ポーラーダイアグラム入力用 **E** 表のクリア

#### (3) 繰り返し計算の設定と開始

#### (4) 各回の計算結果の出力

#### (5) ポーラーダイアグラム入力用 **E** 表への出力

#### (6) メインプログラムの終了

#### (7) ニュートンラプソン法

#### (8) ガウス・ジョーダン法 (連立方程式の解法)

#### (9) 釣合状態の計算

#### (10) 船体に作用する X 力の計算

#### (11) 船体に作用する Y 力の計算

#### (12) 船体に作用する K モーメントの計算

#### (13) 船体に作用する N モーメントの計算

#### (14) セールに作用する力とモーメントの計算

#### (15) スプライン補間

## 6 結言

以前の手法に比べて VPP 計算を全プログラム化しただけで、船体データやセール流体力係数は同じものを使っているため、当然計算結果にほとんど変化はない。しかしながら、以前はこれ

らのデータを多項式近似して求めていたのに対し、今回はスプライン補間して求めているので、多少の違いが見られる。このようにすることによって、船体抵抗やセーリング流体力係数を変化させたい場合は、Excelシート上の表の値を変えるだけでよいので、より汎用性が高まったものと考えている。

なお、船体データの表現には未だ水槽実験から求められた流体力微係数を用いており、水槽実験を行わないで性能推定を行うレベルには至っていない。今後、Delftシリーズのデータなどを参考に、船体形状データさえあれば実験を行わなくても性能推定計算ができるような形へ発展させたいと考えている。

### 参考文献

- (1) 増山 豊：Excelを用いた定常帆走性能の推定計算(VPP)、第33回セーリングヨット研究会配布資料、(2007)

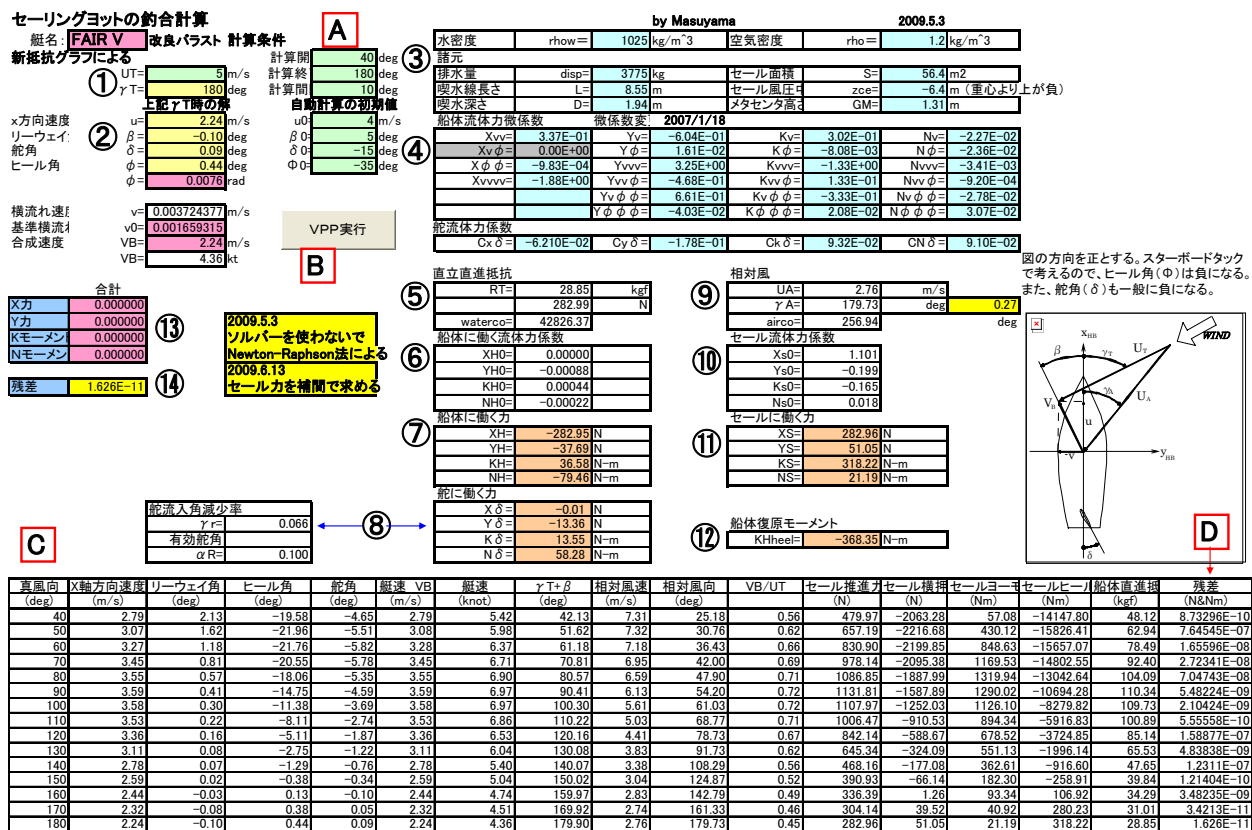


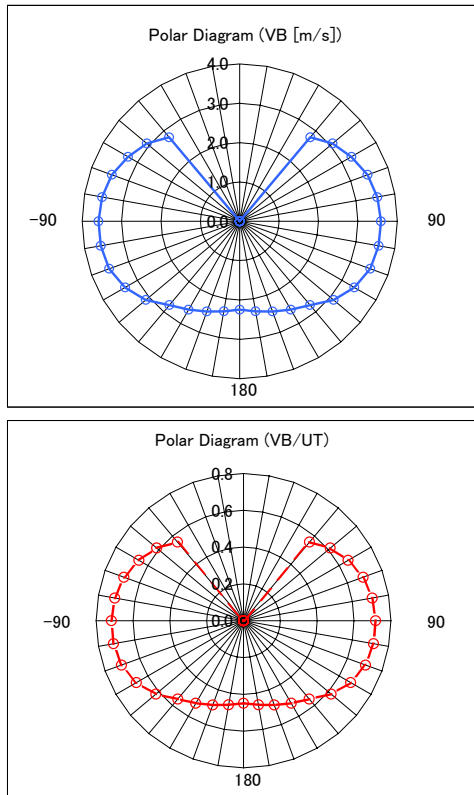
図1 “釣合計算”シートの左側(入力データと計算結果)

VBAによる帆走性能表

Gamma	VB [m/s]	VB/UT
0	0.000	0.000
10	0.000	0.000
20	0.000	0.000
30	0.000	0.000
40	2.789	0.558
50	3.076	0.615
60	3.276	0.655
70	3.454	0.691
80	3.549	0.710
90	3.587	0.717
100	3.584	0.717
110	3.530	0.706
120	3.361	0.672
130	3.109	0.622
140	2.777	0.555
150	2.591	0.518
160	2.439	0.488
170	2.322	0.464
180	2.245	0.449
190	2.322	0.464
200	2.439	0.488
210	2.591	0.518
220	2.777	0.555
230	3.109	0.622
240	3.361	0.672
250	3.530	0.706
260	3.584	0.717
270	3.587	0.717
280	3.549	0.710
290	3.454	0.691
300	3.276	0.655
310	3.076	0.615
320	2.789	0.558
330	0.000	0.000
340	0.000	0.000
350	0.000	0.000
360	0.000	0.000

艇名: FAIR V UT= 5[m/s]

Polar Diagram には、リーウェイ角を含んでいないことに注意



G

下記の図には、リーウェイ角を含んでいる

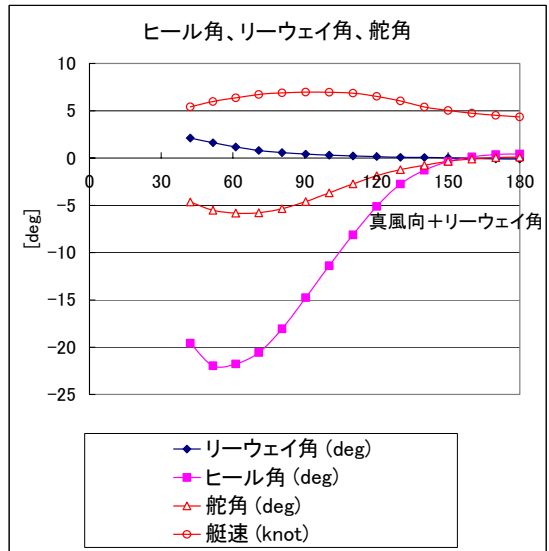
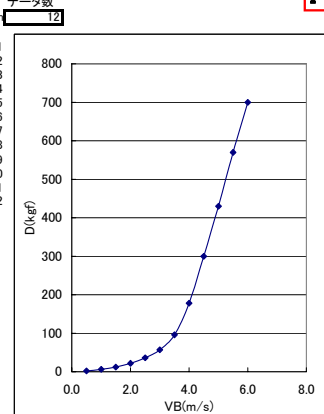


図2 “釣合計算” シートの右側 (ポーラーダイアグラムと帆走パラメータのグラフ)

艇名: FAIR V

VB(m/s)	D(kgf)
0.5	2.0
1.0	6.0
1.5	12.0
2.0	22.0
2.5	36.0
3.0	57.0
3.5	96.0
4.0	178.0
4.5	300.0
5.0	430.0
5.5	570.0
6.0	700.0



I

gamma	CX	CY	CK	CN
10	0.034	0.260	0.200	0.000
15	0.107	0.700	0.600	-0.015
20	0.195	1.060	0.930	-0.040
25	0.295	1.280	1.100	-0.080
30	0.404	1.415	1.248	-0.097
35	0.519	1.480	1.285	-0.100
40	0.636	1.470	1.294	-0.098
45	0.753	1.452	1.280	-0.092
50	0.866	1.400	1.217	-0.078
60	1.068	1.243	1.074	-0.040
70	1.220	1.065	0.911	0.003
80	1.303	0.890	0.736	0.048
90	1.312	0.688	0.565	0.092
100	1.272	0.500	0.403	0.110
110	1.200	0.450	0.298	0.100
120	1.243	0.280	0.162	0.080
130	1.250	0.138	0.055	0.060
140	1.240	0.023	-0.032	0.050
150	1.230	-0.076	-0.105	0.043
160	1.200	-0.190	-0.144	0.029
170	1.150	-0.198	-0.162	0.022
180	1.100	-0.199	-0.165	0.018

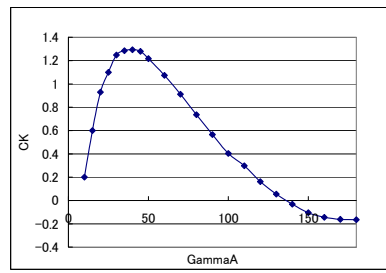
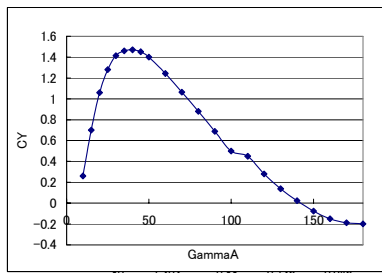
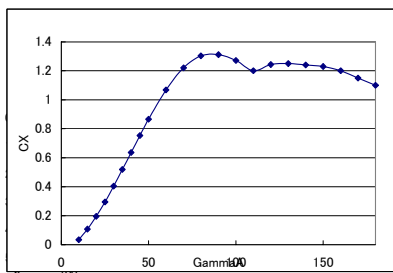
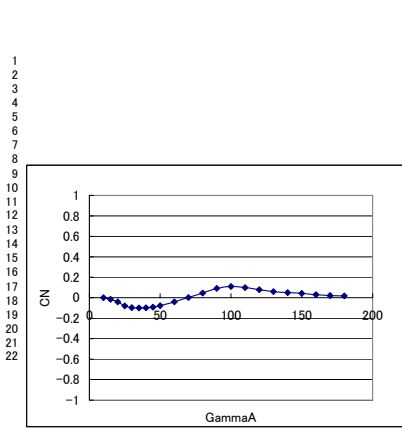


図3 “係数” シート (船体抵抗とセール流体力係数の表とグラフ)