

470 級の帆走性能解析（その 2）

金沢工業大学 増山 豊

1 はじめに

約 1 年前に「470 級の帆走性能解析」¹⁾ならびに「Excel を用いた 470 級の帆走性能解析手法」²⁾というレポートを示し、470 級の走らせ方の参考にしてもらえればと願った。その後 470 級の曳航試験を再度実施するとともに帆走性能の推定法（VPP）の見直しを行って、強風域を含む帆走性能予測ができるよう改良を加えた。これによって、上り性能に関して新しい知見が得られたので報告する。また 470 級レース時の、帆走速度の実測データの提供を受けたので、予測値との比較についても示す。改良を加えた Excel VPP についても、変更点や使い方などを示すとともに Excel ファイルをダウンロードできるように添付するので、興味のある方はぜひお試しください。

2 470 級実船の曳航試験再実験

金沢工業大学学生セーリング部部員の協力を得て、470 級の実船曳航試験の再実験を行った。曳航方法や艇体の状態は前回の曳航試験時とほぼ同様である。曳航点はコクピット床面から 1.5m の高さのマストからであり、ラダーはセットしてスキッパーが操作しているが、センターボードは上げた状態としている。今回は、中風から強風域の帆走速度と考えられる、2.5m/s (4.9kt) ~ 5.5m/s (10.7kt) を中心に計測を行った。なお、計測時はほとんど無風であり、海面はほぼフラットであった。

測定結果を図 1 に示す。図中の●点が前回の実船曳航試験結果であり、○点および△点が今回の実験結果である。3m/s (5.8kt) ~ 4m/s (7.8kt) で今回の抵抗値が低くなっていることがわかる。これは今回、曳航艇（モーターボート）の作る波に気を付けて実験を行ったことにより（曳航艇が作る波のどこに実験艇が位置するかによって抵抗

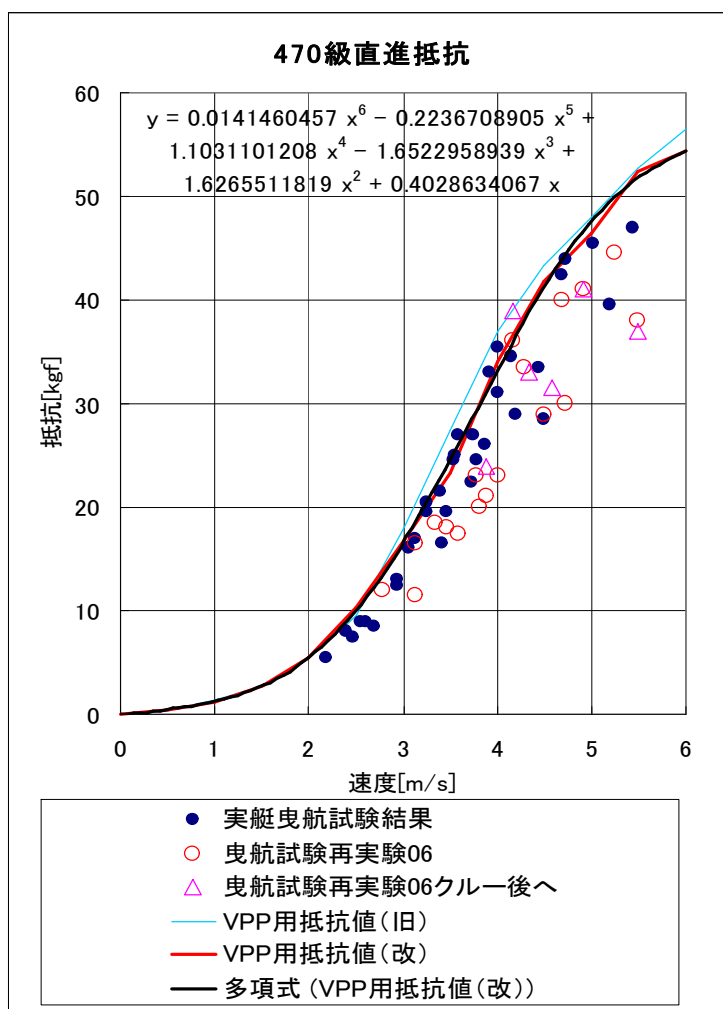


図 1 470 級の直立抵抗値（再実験を含む）

値がかなり変わるため)、プレーニングの効果がよく表れたためと考えられる。一方、クルーの乗艇位置を前後に移動してもそれほど大きな違いは見られなかった。

これをもとに、帆走性能推定計算 (VPP) 用の新しい抵抗値を、図中の太実線のように設定した。前回の VPP に用いた抵抗値は図中の細実線であるが、3m/s (5.8kt) ~ 5m/s (9.7kt) の範囲で抵抗が低くなっていることがわかる。なお、VPP ではこの速度と抵抗の関係を、図中に示す多項式で近似して求めている。

3 帆走性能の推定

前回の帆走性能推定計算 (VPP) では、前進方向 (x 方向) と横方向 (y 方向) の力とヨーモーメント (z 軸まわりの回頭モーメント) に関する、3 自由度について釣合いを求めた。すなわち、ヒールモーメント (x 軸まわりの横傾斜モーメント) は、トラピーズによってあらかじめ釣合っているものとして考慮しなかった。しかしながらこれでは、強風時には実現不可能なトラピーズを仮定して計算を行っていることになり、正しい結果は得られなかった。

そこで今回は、ヒールモーメントを含めた 4 自由度の釣合い計算を行って性能を求めることにした。ここでは以下のような条件で計算を行った。

- (1) クローズホールド状態の性能を明らかにするために、真風向の範囲を 30° ~ 60° とする。
- (2) クルーが風上側へトラピーズすることによって、船体中心から 1.7m の位置に体重(80kgf とする) が作用するものとする。
- (3) ヒール角が 20° になるまでは、セールはフルセール状態とする。
- (4) ヒール角が 20° を越えるような風速になったら、 20° に収まるようにセール流体力係数を減少させる。(これは自動的には行えないので、適宜、手で入力する。)
- (5) この時、例えばセールパワーを 0.8 (20%の減少) とすると、 C_x (推進力係数)、 C_y (横押し力係数) と C_N (ヨーモーメント係数) は 0.8 倍し、 C_K (ヒールモーメント係数) は 0.8^2 倍するものとする。 C_K を 0.8^2 倍とするのは、セールを開いてパワーダウンする効果と、特にセール上部が開くことによって着点力が下がる効果のため、ヒールモーメントが二重に減少することを考慮したものである。

このような条件の下で計算すると、真風速 6m/s まではフルセール (100%) で帆走でき、真風速 8m/s では 80%、風速 10m/s では 65%にパワーダウンしなければならないという結果となった。この時の VPP 計算用 Excel シートの例を図 2 に、また、真風速 5m/s~10m/s の計算結果一覧を図 3 に示す。図 3 の艇速 VB と VMG の変化、ならびにリーウェイ角と舵角の変化をグラフにしたものを図 4 に、ポーラーダイアグラムを図 5 に示す。なおここではスターボードタックの例で計算しており、ヒール角のマイナスとリーウェイ角のプラスは、ともに風下側へのヒール (正ヒール) と横流れを表している。また、舵角のマイナスはティラーを風上側へ引くことを意味しており、ウエザーヘルムを示している。前回の VPP 結果 (ヒール角 0°) ではほとんどジャストヘルムであったが、今回は舵角が -4° ~ -5° 程度のウエザーヘルムとなっている。これは、ヒールすることによってセールが風下側へ振り出され、セールに作用する推進力によって風上側へ切り上がるヨーモーメントを発生するためである。

図4より、VMGはリーウェイ角を含めた真風向($\gamma_T + \beta$)で $40^\circ \sim 50^\circ$ の範囲で、あまり大きく変わらないことがわかる。なお、タッキング時のコンパス角度変化(タック角)の1/2が 50° だからといって、上記の範囲に入っているとは思ってはならない。タック角の1/2はたしかに真風向 γ_T と考えてよいが、この中にリーウェイ角は含まれていない。例えば $\gamma_T = 50^\circ$ の場合は、図4より $\beta = 3^\circ$ 程度であることがわかるので、実際には $\gamma_T + \beta = 53^\circ$ 程度となってVMGの低い領域に入ってしまうので注意が必要である。

ただし、本計算ではこれまで同様、水面の波浪影響は考慮していない。風速6m/sを越えるとかなり波浪影響があると考えられ、ぎりぎりクローズホールドで上るほど抵抗が大きくなるので、実際には上記よりも多少下し気味に走った方が良いかもしれない。波浪による抵抗増加の影響は今後の課題としたい。

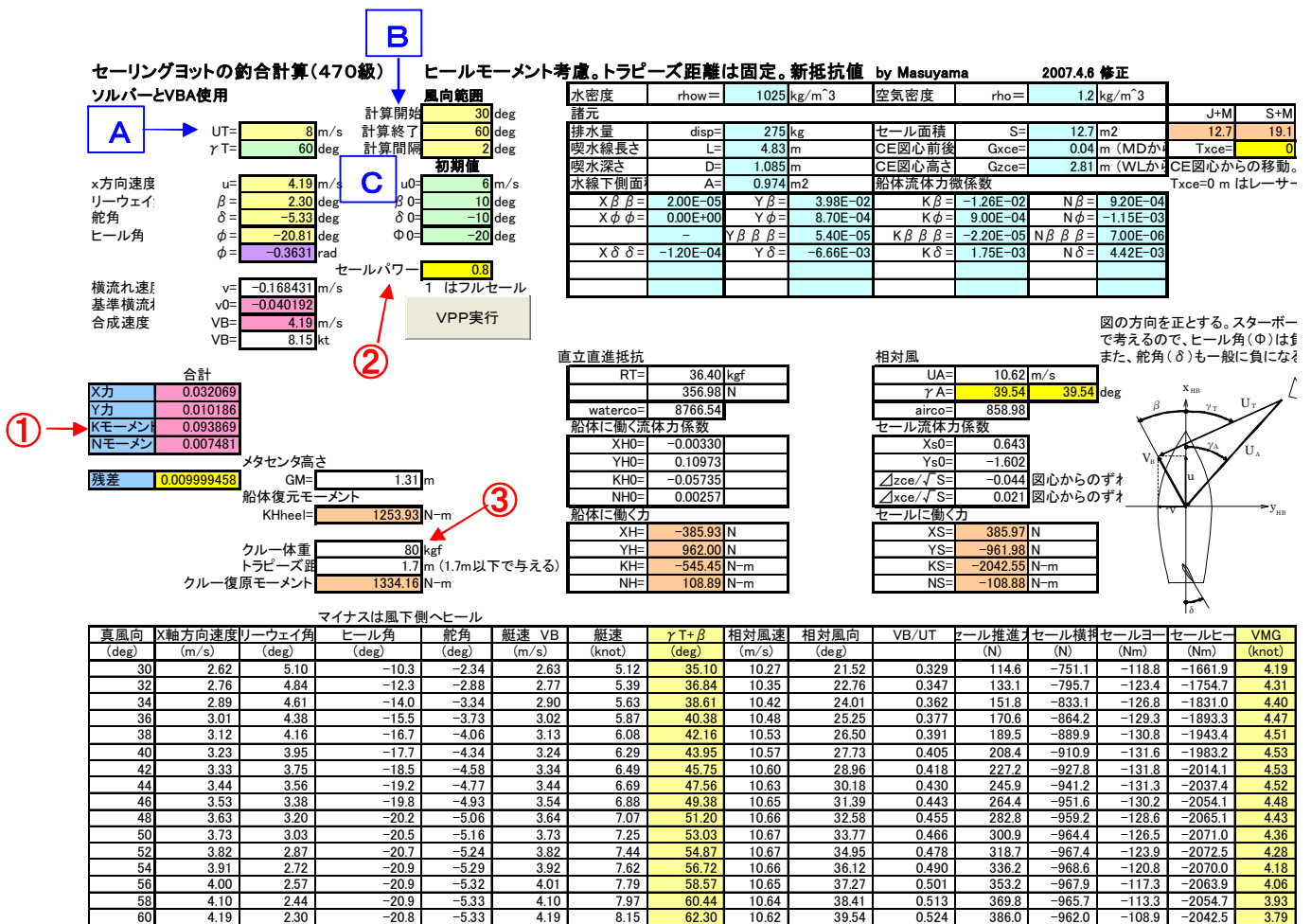


図2 VPP計算用Excelシート(風速8m/sの例)

470級 新VPP結果

真風速 5m/s セールパワー 1 (1 はフルセール)

真風向 (deg)	軸方向速 (m/s)	ローウェイ角 (deg)	ヒール角 (deg)	舵角 (deg)	艇速 (m/s)	艇速 (knot)	$\gamma T + \beta$ (deg)	相対風速 (m/s)	相対風向 (deg)	VB/UT	セール推進 (N)	セール横引 (N)	セールヨーク (Nm)	セールヒール (Nm)	VMG (knot)	残差 (N&Nm)
30	2.00	4.81	2.0	0.80	2.01	3.90	34.81	6.75	20.22	0.401	53.6	-390.0	-63.0	-1082.6	3.20	0.010000
32	2.13	4.59	0.2	0.33	2.14	4.16	36.59	6.84	21.25	0.428	63.4	-424.4	-67.4	-1174.8	3.34	0.009999
34	2.25	4.39	-1.4	-0.10	2.26	4.39	38.39	6.91	22.29	0.452	73.6	-455.5	-71.2	-1257.2	3.44	0.010000
36	2.36	4.21	-2.8	-0.48	2.37	4.60	40.21	6.98	23.34	0.474	84.1	-483.1	-74.3	-1329.5	3.52	0.010000
38	2.47	4.04	-4.0	-0.82	2.47	4.81	42.04	7.03	24.39	0.494	94.8	-507.5	-76.9	-1392.9	3.57	0.010000
40	2.56	3.89	-5.1	-1.11	2.57	4.99	43.89	7.08	25.44	0.513	105.6	-528.6	-78.9	-1446.8	3.60	0.009999
42	2.65	3.73	-6.1	-1.37	2.66	5.16	45.73	7.11	26.49	0.531	116.4	-546.7	-80.4	-1492.5	3.60	0.009999
44	2.73	3.59	-6.8	-1.58	2.74	5.33	47.59	7.14	27.54	0.548	127.2	-562.1	-81.4	-1530.3	3.59	0.010000
46	2.82	3.45	-7.5	-1.77	2.82	5.48	49.45	7.16	28.59	0.564	138.0	-574.8	-82.1	-1561.2	3.56	0.009999
48	2.89	3.32	-8.0	-1.91	2.90	5.63	51.32	7.18	29.64	0.579	148.6	-585.2	-82.3	-1585.3	3.52	0.010000
50	2.96	3.19	-8.4	-2.03	2.97	5.77	53.19	7.18	30.68	0.594	159.1	-593.2	-82.1	-1603.3	3.46	0.010000
52	3.03	3.07	-8.7	-2.12	3.04	5.90	55.07	7.18	31.72	0.607	169.4	-599.2	-81.5	-1615.6	3.38	0.010000
54	3.10	2.95	-8.9	-2.19	3.10	6.03	56.95	7.18	32.76	0.621	179.4	-603.3	-80.6	-1622.9	3.29	0.010000
56	3.16	2.83	-9.0	-2.23	3.17	6.15	58.83	7.17	33.80	0.633	189.2	-605.5	-79.4	-1625.2	3.18	0.010000
58	3.22	2.73	-9.0	-2.24	3.23	6.27	60.73	7.15	34.84	0.645	198.6	-606.0	-77.8	-1623.0	3.07	0.009999
60	3.28	2.62	-8.9	-2.23	3.28	6.38	62.62	7.13	35.88	0.656	207.7	-604.8	-75.9	-1616.5	2.93	0.009999

真風速 6m/s セールパワー 1 (1 はフルセール)

真風向 (deg)	軸方向速 (m/s)	ローウェイ角 (deg)	ヒール角 (deg)	舵角 (deg)	艇速 (m/s)	艇速 (knot)	$\gamma T + \beta$ (deg)	相対風速 (m/s)	相対風向 (deg)	VB/UT	セール推進 (N)	セール横引 (N)	セールヨーク (Nm)	セールヒール (Nm)	VMG (knot)	残差 (N&Nm)
30	2.29	4.99	-6.5	-1.37	2.30	4.46	34.99	7.99	20.51	0.383	77.4	-549.9	-88.4	-1525.4	3.66	0.010000
32	2.42	4.76	-8.7	-1.93	2.43	4.72	36.76	8.08	21.64	0.404	90.8	-589.8	-93.1	-1630.8	3.78	0.009999
34	2.54	4.55	-10.5	-2.42	2.54	4.95	38.55	8.15	22.78	0.424	104.5	-624.1	-96.8	-1720.2	3.87	0.010000
36	2.65	4.35	-12.1	-2.84	2.65	5.16	40.35	8.20	23.91	0.442	118.3	-653.3	-99.6	-1795.3	3.93	0.010000
38	2.75	4.16	-13.4	-3.21	2.75	5.36	42.16	8.25	25.05	0.459	132.2	-678.1	-101.7	-1857.8	3.97	0.009999
40	2.84	3.97	-14.5	-3.52	2.85	5.54	43.97	8.29	26.19	0.475	146.1	-698.8	-103.2	-1909.0	3.99	0.010000
42	2.93	3.80	-15.5	-3.78	2.94	5.72	45.80	8.32	27.32	0.490	160.1	-716.0	-104.1	-1950.5	3.99	0.009999
44	3.02	3.63	-16.3	-4.00	3.03	5.89	47.63	8.35	28.45	0.505	173.9	-730.1	-104.4	-1983.4	3.97	0.010000
46	3.11	3.47	-16.9	-4.18	3.11	6.05	49.47	8.36	29.58	0.518	187.7	-741.4	-104.3	-2008.8	3.93	0.010000
48	3.19	3.32	-17.4	-4.32	3.19	6.20	51.32	8.37	30.69	0.532	201.3	-750.2	-103.8	-2027.5	3.88	0.010000
50	3.26	3.17	-17.8	-4.44	3.27	6.36	53.17	8.38	31.80	0.545	214.8	-756.9	-102.9	-2040.4	3.81	0.010000
52	3.34	3.03	-18.1	-4.52	3.34	6.50	55.03	8.38	32.91	0.557	228.0	-761.5	-101.5	-2047.9	3.73	0.009999
54	3.41	2.89	-18.2	-4.58	3.42	6.64	56.89	8.37	34.00	0.570	241.0	-764.3	-99.8	-2050.6	3.63	0.009999
56	3.49	2.76	-18.3	-4.62	3.49	6.78	58.76	8.36	35.09	0.582	253.8	-765.4	-97.7	-2049.0	3.52	0.009999
58	3.56	2.64	-18.3	-4.64	3.56	6.92	60.64	8.34	36.17	0.593	266.2	-765.0	-95.3	-2043.4	3.39	0.010000
60	3.62	2.52	-18.2	-4.63	3.63	7.05	62.52	8.32	37.25	0.604	278.2	-763.1	-92.5	-2034.1	3.25	0.009999

真風速 8m/s セールパワー 0.8 (1 はフルセール)

真風向 (deg)	軸方向速 (m/s)	ローウェイ角 (deg)	ヒール角 (deg)	舵角 (deg)	艇速 (m/s)	艇速 (knot)	$\gamma T + \beta$ (deg)	相対風速 (m/s)	相対風向 (deg)	VB/UT	セール推進 (N)	セール横引 (N)	セールヨーク (Nm)	セールヒール (Nm)	VMG (knot)	残差 (N&Nm)
30	2.62	5.10	-10.3	-2.34	2.63	5.12	35.10	10.27	21.52	0.329	114.6	-751.1	-118.8	-1661.9	4.19	0.009999
32	2.76	4.84	-12.3	-2.88	2.77	5.39	36.84	10.35	22.76	0.347	133.1	-795.7	-123.4	-1754.7	4.31	0.010000
34	2.89	4.61	-14.0	-3.34	2.90	5.63	38.61	10.42	24.01	0.362	151.8	-833.1	-126.8	-1831.0	4.40	0.010000
36	3.01	4.38	-15.5	-3.73	3.02	5.87	40.38	10.48	25.25	0.377	170.6	-864.2	-129.3	-1893.3	4.47	0.009999
38	3.12	4.16	-16.7	-4.06	3.13	6.08	42.16	10.53	26.50	0.391	189.5	-889.9	-130.8	-1943.4	4.51	0.010000
40	3.23	3.95	-17.7	-4.34	3.24	6.29	43.95	10.57	27.73	0.405	208.4	-910.9	-131.6	-1983.2	4.53	0.009999
42	3.33	3.75	-18.5	-4.58	3.34	6.49	45.75	10.60	28.96	0.418	227.2	-927.8	-131.8	-2014.1	4.53	0.009999
44	3.44	3.56	-19.2	-4.77	3.44	6.69	47.56	10.63	30.18	0.430	245.9	-941.2	-131.3	-2037.4	4.52	0.009999
46	3.53	3.38	-19.8	-4.93	3.54	6.88	49.38	10.65	31.39	0.443	264.4	-951.6	-130.2	-2054.1	4.48	0.010000
48	3.63	3.20	-20.2	-5.06	3.64	7.07	51.20	10.66	32.58	0.455	282.8	-959.2	-128.6	-2065.1	4.43	0.010000
50	3.73	3.03	-20.5	-5.16	3.73	7.25	53.03	10.67	33.77	0.466	300.9	-964.4	-126.5	-2071.0	4.36	0.009999
52	3.82	2.87	-20.7	-5.24	3.82	7.44	54.87	10.67	34.95	0.478	318.7	-967.4	-123.9	-2072.5	4.28	0.010000
54	3.91	2.72	-20.9	-5.29	3.92	7.62	56.72	10.66	36.12	0.490	336.2	-968.6	-120.8	-2070.0	4.18	0.009999
56	4.00	2.57	-20.9	-5.32	4.01	7.79	58.57	10.65	37.27	0.501	353.2	-967.9	-117.3	-2063.9	4.06	0.010000
58	4.10	2.44	-20.9	-5.33	4.10	7.97	60.44	10.64	38.41	0.513	369.8	-965.7	-113.3	-2054.7	3.93	0.010000
60	4.19	2.30	-20.8	-5.33	4.19	8.15	62.30	10.62	39.54	0.524	386.0	-962.0	-108.9	-2042.5	3.79	0.009999

真風速 10m/s セールパワー 0.65 (1 はフルセール)

真風向 (deg)	軸方向速 (m/s)	ローウェイ角 (deg)	ヒール角 (deg)	舵角 (deg)	艇速 (m/s)	艇速 (knot)	$\gamma T + \beta$ (deg)	相対風速 (m/s)	相対風向 (deg)	VB/UT	セール推進 (N)	セール横引 (N)	セールヨーク (Nm)	セールヒール (Nm)	VMG (knot)	残差 (N&Nm)
30	2.89	5.15	-11.6	-2.69	2.90	5.65	35.15	12.49	22.30	0.290	150.1	-927.6	-144.9	-1664.0	4.62	0.009999
32	3.04	4.88	-13.5	-3.20	3.05	5.93	36.88	12.58	23.63	0.305	173.4	-976.5	-149.5	-1745.5	4.75	0.010000
34	3.18	4.62	-15.1	-3.64	3.19	6.20	38.62	12.65	24.94	0.319	196.9	-1017.0	-152.8	-1811.7	4.85	0.009999
36	3.31	4.36	-16.5	-4.01	3.32	6.46	40.36	12.72	26.25	0.332	220.5	-1050.3	-154.9	-1864.7	4.92	0.010000
38	3.44	4.12	-17.6	-4.32	3.45	6.71	42.12	12.77	27.56	0.345	244.1	-1077.3	-156.1	-1906.5	4.98	0.010000
40	3.57	3.89	-18.6	-4.58	3.57	6.95	43.89	12.82	28.85	0.357	267.6	-1099.1	-156.3	-1939.0	5.01	0.010000
42	3.69	3.67	-19.4	-4.81	3.70	7.18	45.67	12.86	30.14	0.370	291.0	-1116.2	-155.8	-1963.4	5.02	0.010000
44	3.81	3.45	-20.0	-4.99	3.81	7.42	47.45	12.89	31.41	0.381	314.2	-1129.5	-154.5	-1981.0	5.01	0.009999
46	3.93	3.25	-20.5	-5.15	3.93	7.65	49.25	12.92	32.66	0.393	337.2	-1139.3	-152.5	-1992.6	4.99	0.010000
48	4.04	3.05	-20.9	-5.27	4.05	7.87	51.05	12.94	33.90	0.405	359.8	-1146.2	-149.9	-1999.3	4.95	0.010000
50	4.16	2.87	-21.3	-5.38	4.17	8.10	52.87	12.95	35.13	0.417	382.1	-1150.4	-146.7	-2001.6	4.89	0.009999
52	4.28	2.69	-21.5	-5.46	4.29	8.33	54.69	12.96	36.34	0.429	403.9	-1152.3	-143.0	-2000.0	4.82	0.010000
54	4.40	2.51	-21.7	-5.52	4.41	8.57	56.51	12.96	37.53	0.441	425.1	-1152.2	-138.6	-1995.2	4.73	0.009999
56	4.53	2.35	-21.8	-5.57	4.53	8.80	58.35	12.96	38.70	0.453	445.8	-1150.3	-133.8	-1987.5	4.62	0.010000
58	4.65	2.19	-21.9	-5.61	4.65	9.05	60.19	12.96	39.85	0.465	465.7	-1146.7	-128.5	-1977.2	4.50	0.009999
60	4.78	2.04	-21.9	-5.63	4.78	9.29	62.04	12.95	40.97	0.478	484.9	-1141.8	-122.7	-1964.7	4.36	0.009999

図3 VPP計算結果一覧 (風速 5m/s ~ 10m/s)

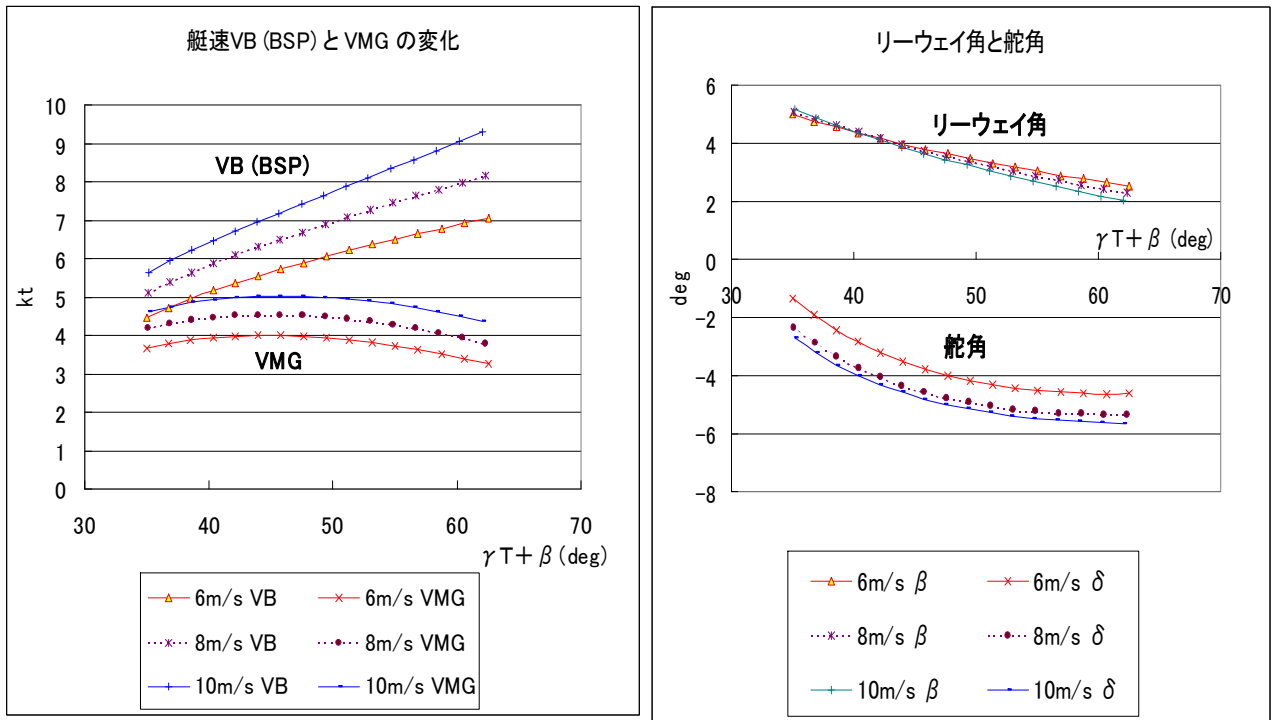


図4 真風向 ($\gamma_T + \beta$) に対する、艇速、VMG、リーウェイ角、舵角の変化

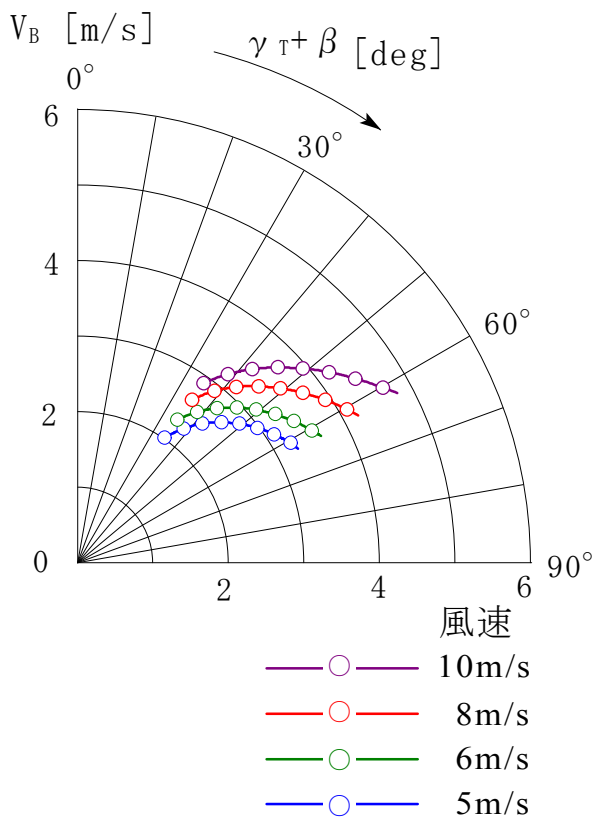


図5 ポーラーダイアグラム

4 470 級レース時の実測データとの比較

江ノ島でヨットレースのデータ解析をしておられる、“デジタル・データ・サプライ”の松崎孝男氏より、2004年のオリンピック壮行レース時の解析結果を頂いたので、VPP結果と比較してみた。データは470級の上りレグにおける艇速と風速の関係であり、乗艇者は世界のトップクラスを含む上級者である。風のデータはレース海面から約1km離れた、江ノ島ヨットハーバー常設の風向風速計によるものである。

風速に対する艇速 (BSP) と VMG の変化を図6に、風速に対する上り真風向 (TWA) の変化を図7に示す。なお図7の TWA は、航跡の GPS データから得られたものなので、実際には $\gamma_T + \beta$ の値を表している。世界のトップクラスの選手のデータを A として小白抜き点で示し、レース艇全体の平均値を中実点で示している。図6の艇速 (BSP) や VMG からは、やはり A が非常に良い結果を示していることがわかる。また図7からは、A と他のレーサーとの走らせ方の違いを見ることができる。

図7の A の TWA の値を、図3に示した VPP 計算結果の $\gamma_T + \beta$ の値に対応させて求めた艇速と VMG の値を、図6の小白抜き点で示す。真風速 5m/s ではやや計算値が低めであるが、真風速 6m/s ではほぼ A の値と一致している。真風速 8m/s 以上になると計算値が大きめの値となっている。これは、波浪の影響を考慮していないことと、セールのパワーダウンの仮定が実際と合っていないことなどによるものと考えられる。しかしながら、今回の4自由度を考慮した VPP によってある程度のレベルの帆走性能予測が可能になったものと考えられる。

なお、上記のレースデータは松崎氏らが開発したソフトウェア「どこでもヨットレース」³⁾ を用いて解析されたものである。上記を含む種々のヨットレースの GPS データを、動画として見ることができるフリーソフトが下記の URL からダウンロードできるので、興味ある方はぜひお試しください。(<http://www.e-yacht.net/e-yacht/index-j.html>)

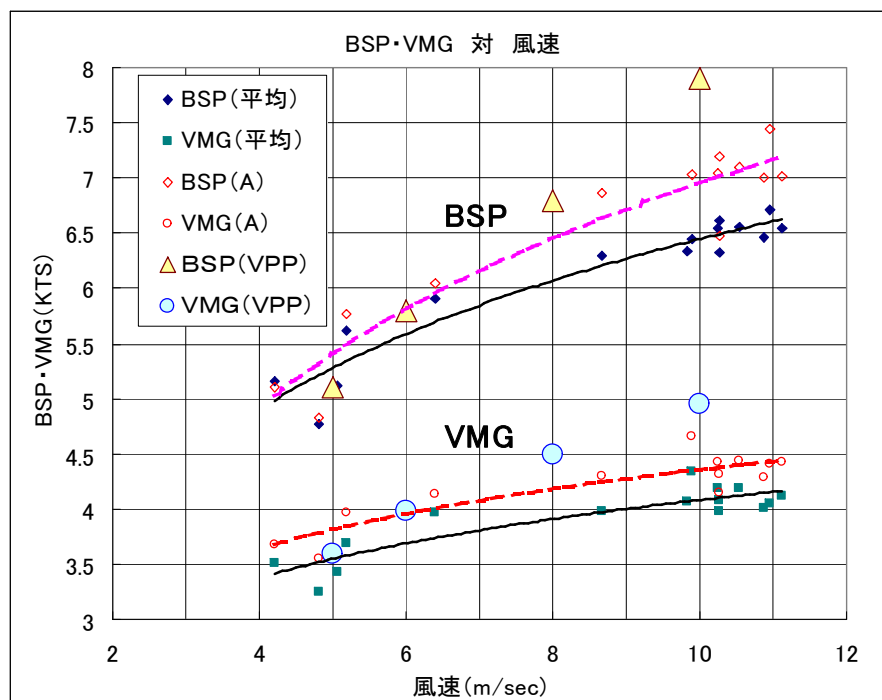


図6 風速に対する艇速 (BSP) と VMG の変化 (実測値と VPP との比較)

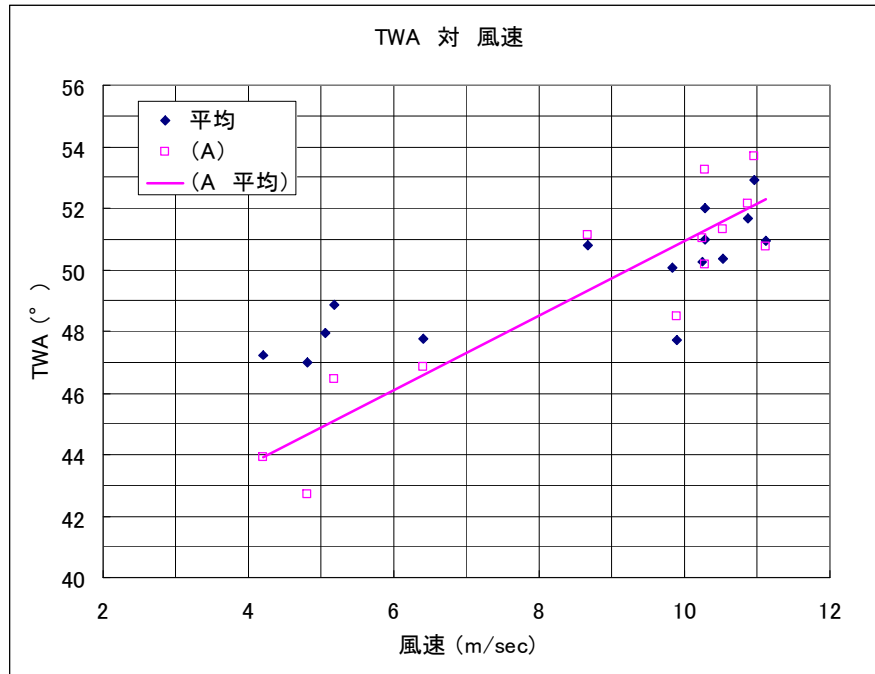


図7 風速に対する上り真風向 (TWA) の変化 (実測値)

5 Excel VPP の使い方

添付の Excel シートを用いて上記の VPP 計算を行うことができる。基本的な使用法は、以前に示した「Excel を用いた 470 級の帆走性能解析手法」²⁾ (以下、「前レポート」と呼ぶ) の手順と同じである。計算を実行するには、あらかじめ Excel の中で“ソルバー”を使えるようにしておく必要があるが、その設定の仕方については前レポートを参照頂きたい。前レポートからの主な変更点は、図 2 において以下のようなものである。

- (1) ヒールモーメント (K モーメント) の計算結果を①に示す。(以前はあらかじめ 0 として、釣合計算から省いていた。なお、ユーザーがこの部分を入力操作する必要はない。)
- (2) ヒール角が 20° を越える場合は、②のセールパワーを 1 以下の値にして、20° 以下に収まるようにする。②をどれくらいの値にするかは、トライアンドエラーで決める。ヒール角 20° は一応の目安なので、ユーザーの目標値で設定頂きたい。
- (3) クルーの体重やトラピース距離を変更したい場合は、③の値を変更する。

なお、真風速の変更は **A** の “UT=___m/s” 欄の値を変更する。真風速とセールパワーのみを変更して計算を実行するのであれば、**A** と ②のみを変更し、それ以外は変更する必要はない。後は「VPP 実行」ボタンを押して、ソルバー探索結果ウィンドウで「最適解が見つかりました。～」と表示されれば、OK ボタンを押して終了まで繰り返す。もし、最初から「仮の解が見つかりません」という表示が出て残差が大きな値になる場合は、初期値が適切でないと考えられるので、**C** の初期値を適宜変更して再計算して頂きたい。プログラムを強制終了させる時は、**Esc** ボタンを何度か押せばよい。

計算する真風向範囲を変更する場合は、**B** の “計算開始、計算終了、計算間隔” 欄の数値を

変更する。図 2 の例では真風向 30° ～ 60° の範囲で、 2° 間隔で計算しているが、もちろん前レポートのように 30° ～ 180° の範囲で計算することもできる。この場合、セールがメイン+ジブから、メイン+スピンへ切り替わる風向域 (相対風向 100° 、真風向 130° 付近としている) で計算がうまくいかず、“残差” が大きな値になる場合がある。この時の値は正しい結果を示していないので省き、前後の真風向時の値を滑らかにつなぐ必要がある。

Excel シートの右側に示すポーラーダイアグラム (図 2 には現われていない。Excel シート参照) は、前レポートで述べたようにレーダーチャートグラフを流用している (角度設定が自由にできないため)、リーウエイ角は含まれていない。またこの図は、図の左横の表 (前レポートの図 5 に示す表 **E** に相当) の数値を用いて描いており、この数値は計算を行う毎に書き換えられる。しかしながら、風向範囲を変更した場合は以前の結果が残っていることがあり、グラフが正しく表示されない可能性がある。このため風向範囲変更時は、あらかじめこの表の VB 欄をクリアしておく方が良い。

6 おわりに

470 級の曳航試験の再実験を行うとともに、ヒール角を考慮した VPP 解析を行って、クローズホールド時の帆走性能を求め直した。また 2004 年のオリンピック壮行レース時の実測データと、VPP 結果を比較してみた。その結果、ある程度のレベルの帆走性能予測が可能になったものと考えられる。ぜひ 470 級に乗っている人自身で VPP を計算し、自艇の調整や走らせ方の参考にして頂ければと再度願うものである。

最後に、貴重なレース時の実測データを提供頂いた、松崎孝男氏に深甚の謝意を表します。

参考文献

- (1) JSAF ホームページ : 470 級の帆走性能解析
- (2) JSAF ホームページ : Excel を用いた 470 級の帆走性能解析手法
<http://www.jsaf.or.jp/gijyutu/2006/sim470/index.html>
- (3) 「どこでもヨットレース」 ホームページ :
<http://www.e-yacht.net/e-yacht/index-j.html>