

ポ - ランドの練習帆船「Dar Młodzieży」と 「日本丸」の帆走性能

正会員 芳村 康男*

Comparison of sailing performance between "Nippon-maru" and "Dar Młodzieży"

by Yasuo Yoshimura, Member

Key Words: Sail Training Ship, Sail & Hull plan, Sailing Performance

1. はじめに

わが国の洋式帆船の歴史は極めて浅い。幕末から明治時代にかけての多くの洋式帆船はオランダやイギリスからの購入であり、わが国で建造された船であっても設計は西洋に頼るしかなかった。わが国の練習帆船の初代「日本丸」「海王丸」も同様である。その後、船は帆船の時代から動力船へと急速に移行し、わが国が大型洋式帆船を独自に設計する機会はほとんど無かった。

1980年に入って「日本丸」の代船計画が浮上した際、この空白の技術をうめるべく、当時の技術者は必死に残された過去の建造記録、設計書などを紐解いた。幸い著者もこれに参画する機会を得た。何よりも参考になったのが、半世紀に渡る「日本丸」「海王丸」の運航経験であった。これらが代船設計の大きな原動力となり、わが国独自の代船が建造されることとなった。しかし、基本計画においては初代「日本丸」「海王丸」の影響が色濃く残らざるを得ないのも事実であった。

一方、この頃海外でも大型練習帆船が幾つか建造された。ポーランドで建造された「Dar Młodzieży」¹⁾は、3マスト・シップ型帆船であり、ポ - ランドのグジニア商船大学の練習帆船である。その後、姉妹船でロシア籍の「Parada」, 「Nadezhda」といった同形船も就航し、この帆走性能は最高レベルにあると伝えられている。本報では、これら大型練習帆船の概要と性能について対比して検討する。

2. 「日本丸」と「Dar Młodzieży」の要目

2.1 船体形状

「Dar Młodzieży」の主要目を Table 1 に「日本丸」と比較する。また、一般配置図³⁾を Fig.1 に示す。「Dar Młodzieży」は L/B が小さく幅広で、Fig.2 のフレームラインに示すように船底傾斜が大きく、このため C_b , C_p が小さい。また、プリズマカーブは「日本丸」に比べて船体前後部がかなりやせており、計画喫水の水線面形状は後部については「日本丸」とそれほど変わらないものの、前部はかなり細くなっている。船型は在来帆船の中でもスリムな船型に属しているが、これを全体のフレ - ムラインを見ると、Fig.2 に示す如く、19 世紀中頃のティ-

クリッパー「Themopylae」や「Cutty Sark」に類似し、初代「日本丸」や「日本丸」2 世が現在の貨物船型に近いのと対照的である。中でも決定的に異なるのが船底傾斜の採り方である。過去の帆船の船底傾斜を年代順に調べてみると、Fig.3 に示すように、19 世紀の始めは Baltimore Clipper に代表される 20° 以上の大傾斜を持つ帆船が主流であったが、それが 19 世紀の終りから 20 世紀には 5° ~ 10° に減少し、今日の商船に受け継がれている。すなわち、前者が船体のスリムなグループであり、後者は太ったグループとなるが、この変化の第一の要因は船の目的に依存している。19 世紀中頃までの積み荷は茶・綿といった、かさばるものの軽量で、かつ迅速に運ぶほど付加価値の高いものであったのに対し、19 世紀後以降は産業の発達と共に重量のある原材料・製品を多量に輸送する時代となり、排水量の大きい太った船型に変遷していったと考えられる。また快適さ追求するための乗員の居住空間の確保といった時代の要請も無視できない。

しかし、スリムな船型のグループも依然練習帆船として存続し、20 世紀後半の西ドイツの練習帆船「Gorch Fock」、そしてこの「Dar Młodzieży」に継承されている。「Dar Młodzieży」の船底傾斜は約 22° で「日本丸」の 4 倍程大きく、その値は「Gorch Fock」とほぼ同程度になっている。また、船底には 1,100 mm × 600 mm (船体中央部) の断面を持つボックスキールがあり、これが船体の横流れ抵抗を増すと同時にその作動中心である CLR を後方にする作用を持たせている他、このボックスキールの内部は固定バラストが詰められていると推測され、これが船全体

Table 1 Principal particulars of two sailing ships.

		Nippon-maru	Dar Młodzieży
L_{pp}	m	86.0	79.4
B	m	13.8	14.0
d	m	6.2	6.0
	m^3	4,517	2,948
C_b		0.614	0.442
L/B		6.232	5.671
B/d		2.226	2.333
d/L		0.0721	0.0756
keel		bar keel	box keel
propeller		twin	Single
A_R/Ld		1/39.5	1/32.7
A_S/Ld		4.11	5.33

* 東京大学大学院新領域創成科学研究科

原稿受付 平成 28 年 3 月 25 日

春季講演会において講演 平成 28 年 5 月 26, 27 日

©日本船舶海洋工学会

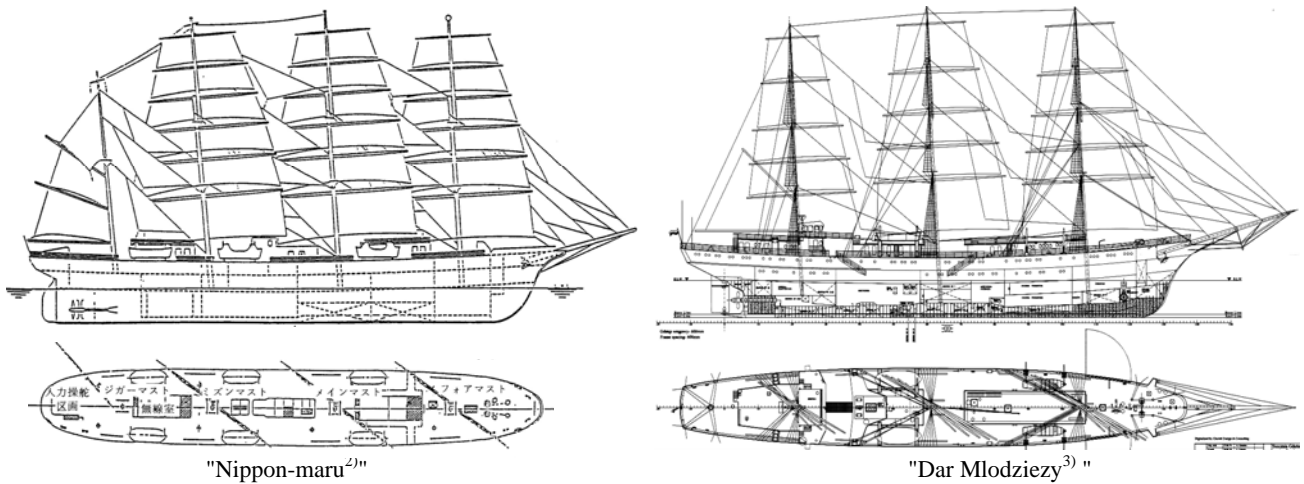


Fig.1 General Arrangement of two sailing ships.

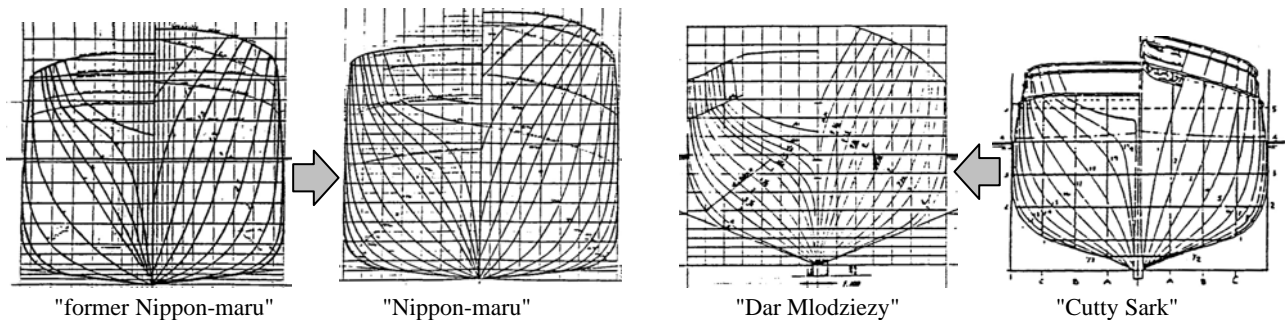


Fig.2 Frame lines of sailing ships.

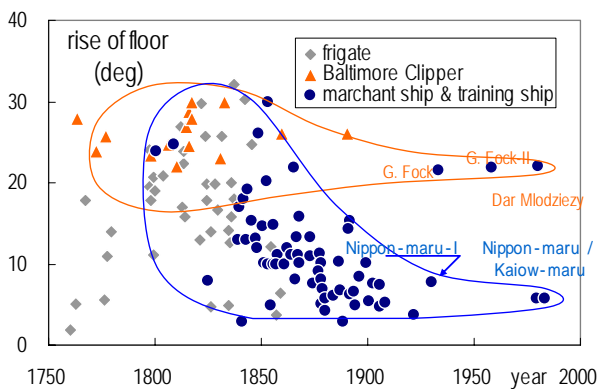


Fig.3 Transition of rise of floor for sailing ship.

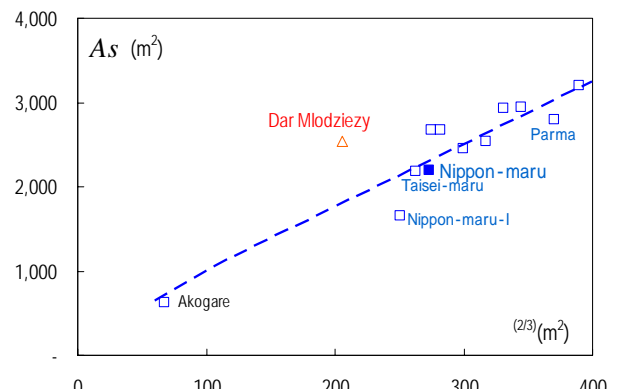


Fig.4 Plain sail area against $\frac{2}{3} A_s$

の重心を下げ、軽排水量の割には広い居住空間を確保している。「日本丸」では初代に倣ってパーキールを採用したが、後の姉妹船「海王丸」においてはボックスキールが採用された。軸数については、「日本丸」「海王丸」は2軸1舵であるが、「Dar Mlodziezy」は1軸1舵で、上記のボックスキールの後方はシュピースへつながら、大きい舵を支えている。また、スクリュウアパーチャーの空間を補償するためか、舵上部のスケグで船尾横投影面積の減少を防ぐ工夫もなされている。

2.2 帆装

帆走時の推進力となる帆の総面積は「Dar Mlodziezy」で約 3,000m²、マスト間のステ - スルを除いた帆面積 A_s (plain sail area) も 2,500 m²で、このクラスの帆船としてはかなり大きい。Fig.4 に横軸を排水容積の $\frac{2}{3}$ 乗に対して A_s をプロットするが、帆走速力を左右する船体帆面

積比 ($A_s / \frac{2}{3} V$) は在来大型帆船と比べても格段に大きく、帆走速力重視の傾向が強い。また、Fig.1 のデッキプランに示すように、ヤードをシャープに絞れる配置になっており、風上への帆装性能に有利なことが伺われる。

3. 船体流体力の比較

3.1 抵抗試験結果

抵抗試験を解析し造波抵抗係数 r_w の比較を Fig.5 に示す。フルード数が 0.2 以下では両船にほとんど差はないが、「Dar Mlodziezy」の C_b や C_p が小さいためか、速度の増加と共に抵抗係数が減少しており、全抵抗係数が小さく帆装性能を有利にしている。

3.2 斜航・舵角試験結果

斜航試験や舵角試験を実施し流体力微係数などを解析した結果を Table 2 に示す。

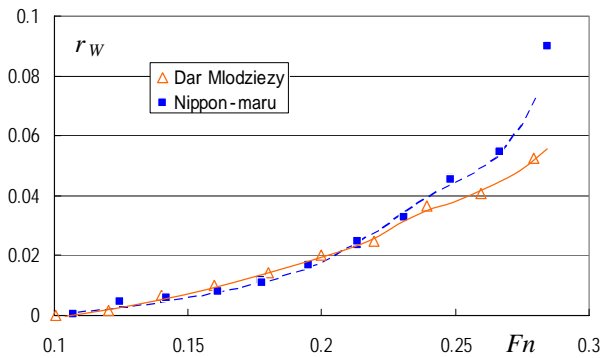


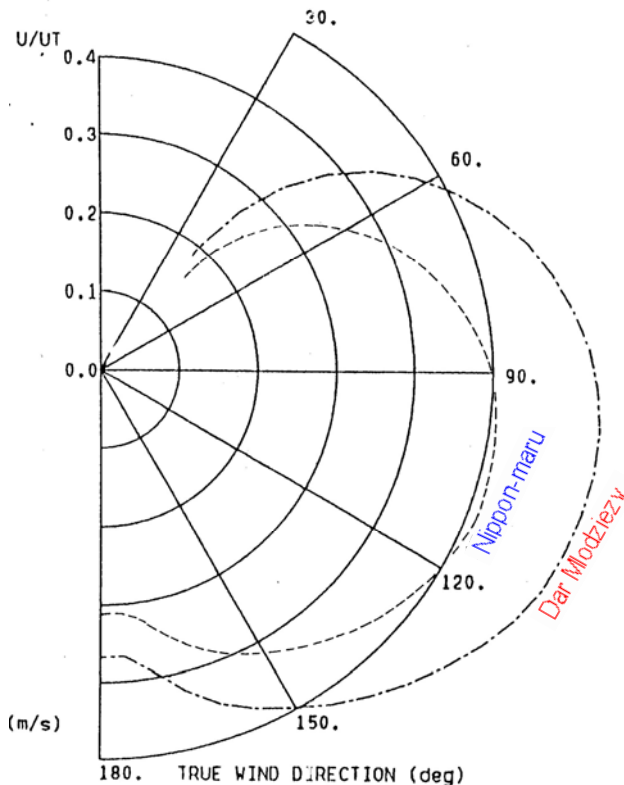
Fig.5 Comparison of wave making resistance coefficient.

Table 2 Comparison of hydrodynamic derivatives and coefficients.

	Nippon-maru	Dar Mlodziezy
Y'_β	0.425	0.489
N'_β	0.115	0.151
CLR	0.271	0.310
$1-w_R$	0.539	0.705
a_H	1.849	0.432
x'_H	-0.473	-0.432
γ_R	0.057	0.263

Y'_β, N'_β は横流れに対する船体横抵抗 Y'_H と回頭モーメント N'_H の線形部係数である。すなわち,

$$\left. \begin{aligned} Y'_H &= Y_H / \left(\frac{\rho}{2} L d U^2 \right) = Y'_\beta \beta \\ N'_H &= N_H / \left(\frac{\rho}{2} L^2 d U^2 \right) = N'_\beta \beta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$



帆船の場合 Y'_β が大きいほど帆走中の横抵抗が大きく、横流れが小さくなるので帆走に有利になる。また、横流れによるモーメントレバーを船体中央から CLR(center of lateral resistance) までの距離 (L に対する無次元値) で表しているが、この位置に帆の空力中心を合わせると帆走中の当舵が小さくなる。これらの値について「日本丸」と「Dar Mlodziezy」を比較すると、「Dar Mlodziezy」は船体のアスペクト比 d/L が大きく、この分 Y'_β も大きくなっているが、スクリューアパーチャーなどで横力作用中心が船首側となるためか N'_β がやや大きく、CLR も大きくなっている。舵直圧力 F_N は、

$$F'_N = F_N / \left(\frac{\rho}{2} L d U^2 \right) = \left(\frac{A_R}{L d} \right) f_\alpha (1 - w_R)^2 \sin \alpha_R \quad (2)$$

で表され、

$$\left. \begin{aligned} Y'_R &= Y_R / \left(\frac{\rho}{2} L d U^2 \right) = -(1 + a_H) F'_N \cos \delta \\ N'_R &= N_R / \left(\frac{\rho}{2} L^2 d U^2 \right) = (0.5 - a_H x'_H) F'_N \cos \delta \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

($1-w_R$) や a_H が大きいほど舵による船体横力やモーメントが強くなる。「Dar Mlodziezy」は通常の1軸1舵であることから通常船舶と大差はない。一方、「日本丸」は船尾後端に密着した不平衡舵であるため、 a_H が極端に大きい値となっているが、逆に ($1-w_R$) が小さくなり、これらが互いに相殺して同程度の舵力となっている。なお、「日本丸」の船体整流係数 γ_R が極端に小さいのも船尾後端に密着した不平衡舵に起因している。この値は舵の有効迎角に影響し、これが小さいと船体の整流効果が強く、有効迎角は船の横流れの影響を受けにくくなり、帆走中の操船が容易になると思われる。

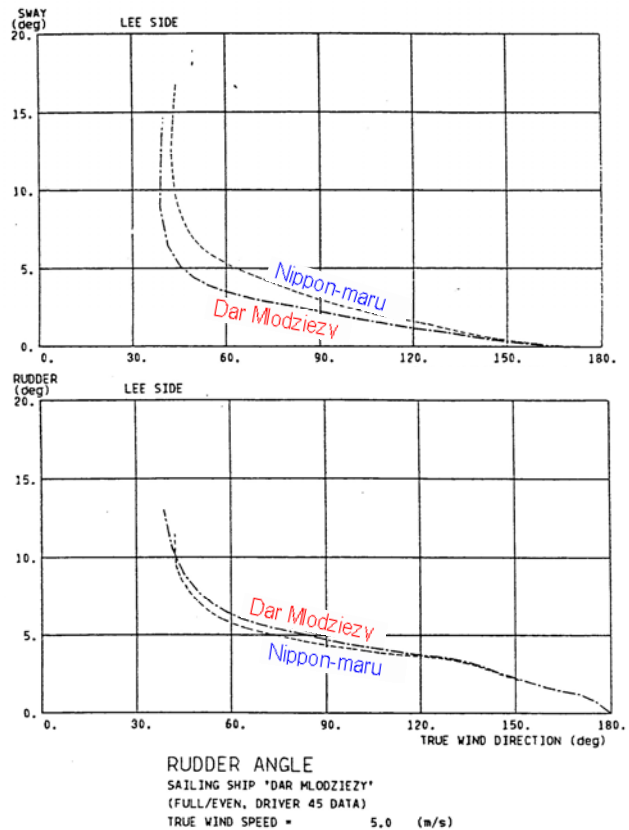


Fig.6 Comparison of predicted sailing performance

4. 帆走性能

前述の水面下の流体力特性に水面上の空力特性を加え、「日本丸」と「Dar Młodziezy」の定常帆走性能を計算した。計算方法は文献 2)の方法に従った。4 マスト・バークと 3 マスト・シップでは帆の空力特性が若干異なるが、ここでは無次元空力係数は便宜的に同一とし、モーメント係数のみ帆の空力中心の補正を行った。また、本格的な帆走性能の計算には横傾斜を考慮する必要があるが、「Dar Młodziezy」の復原性などのデータが不明のため、横傾斜が大きく発達しない低風速時に限って比較する。

真風速が 5 m/s という比較的低風速で種々の真風向に対する帆走性能の計算結果を Fig.6 に示す。風速船速比 U/U_T を各真風向についてポーラーカーブで示すが、「Dar Młodziezy」では風上から 45°の帆走でその真風速の 0.33 倍、60°では 0.48 倍、更に abeam ~ quarter lee では真風速の 0.64 倍の速度で帆走できることを示している。また、当舵は、風上から 45°で 10°、abeam で 5°となり、「Dar Młodziezy」のヘルムバランスが比較的良好であることを示している。これを「日本丸」と比較すると、帆走速度は風上から 45°では「Dar Młodziezy」が 50%速く、60°では 34%、そして abeam から風下では 24.8%それぞれ速度が大きく、「Dar Młodziezy」の帆走速度がかなり上回っている。横流れ角は abeam から風上にかけて「Dar Młodziezy」が小さい。また当舵は「日本丸」より若干大きいものの、ヘルムバランスも比較的良好である。

帆走速度について、「Dar Młodziezy」が速い原因はとりもなおさず、帆面積が排水量に対して大きいことによる。すなわち、「日本丸」の船体帆面積比(帆面積 / $\nabla^{2/3}$)は 8.08 であるのに対して、「Dar Młodziezy」は 12.34 と大きく、この違いが上記速度の差となっている。特に abeam から quarter lee にかけて帆装速度が最大になるが、この時の帆走速度 U を真風速 U_T で除した風速船速比 U/U_T を船体帆面積比の平方根に対して Fig.7 に示す。 U/U_T は $\sqrt{A_s/\nabla^{2/3}}$ にほぼ比例しており、次式で概略推定できる。

$$U/U_T = 0.182\sqrt{A_s/\nabla^{2/3}} \quad (4)$$

この推定式は帆船の基本計画の段階で活用できるものと思われる。ただし、風上への切り上がり性能などは、斜航・当舵の影響を無視できず、この場合は本論のような流体力をベースにした計算が必要になる。

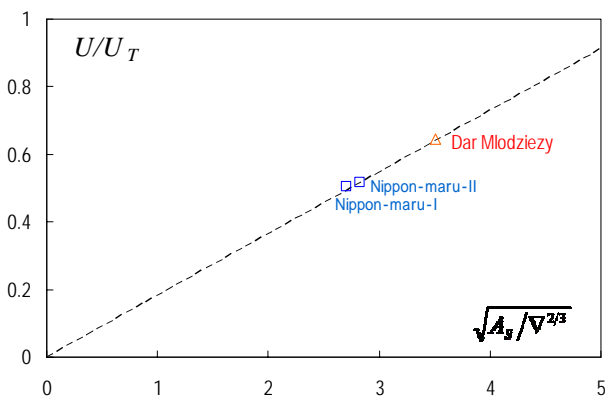


Fig.7 Predicted maximum sailing speed against sail area ratio.

5. おわりに

ポ - ランドの練習帆船「Dar Młodziezy」と「日本丸」の主要目と帆走性能の関係について検討を行った。以下に、本報の結論を要約する。

- 1) 「Dar Młodziezy」はドイツの練習帆船「Gorch Fock」と同様、19 世紀前半の船底傾斜の大きい船型を踏襲し、軽排水量型で C_b , C_p が小さいが、帆面積はかなり大きく、「日本丸」の船体帆面積比 ($A_s/\nabla^{2/3}$) は 8.08 であるのに対して、「Dar Młodziezy」は 12.34 とかなり大きい。
- 2) 「Dar Młodziezy」は軽排水量船型であるため船体抵抗が小さい。また、推進器が 1 軸であることから、シャフト・ブラケット等の付加物も無く、また、プロペラの遊転抵抗も小さくなり、本船の抵抗を小さくしている。また、スクリュウアパーチャーの存在は CLR を前方に移動させ、帆走中のヘルムバランスを悪くするが、本船は大きな舵とその上部のスケグでこれを補償している。
- 3) 帆走性能の推定計算を行った結果は、abeam から風下への帆走では、「Dar Młodziezy」の速度が「日本丸」より約 24%大きい。また、風上への帆走においては、横流れも少ないため、帆走速度の低下が少ない。
- 4) 帆船の最大帆走速度は $\sqrt{A_s/\nabla^{2/3}}$ にほぼ比例し、本文に示した(4)式で概略推定することができる。

「Dar Młodziezy」と「日本丸」の帆走性能について以上述べたごとく、低風速時を中心に検討を行った結果、軽排水量で帆面積の大きい「Dar Młodziezy」の帆走性能が優れていることがわかった。しかし、実海域では風速が 15m/s を超える場合も少なくない。大型練習帆船では、いかに長時間にわたる強風・荒天に耐えられるかも重要な要素である。

ISTA が 1964 年から毎年与える「ボストン・ティボット・トロフィー」は、その年の訓練航海 (25 歳以下の実習生が半数以上が参加条件) で 124 時間の最長帆走距離をマークした船に贈られることになっているが、「Dar Młodziezy」クラスの帆船の受賞回数は少なく、その記録も見栄えしない。これに対して「日本丸」「海王丸」は、就航してからほぼ毎年のように、いずれかの船が受賞し、特に「海王丸」は 1990 年の処女航海で、1966 年に記録された「Libertad」の歴代帆走記録を 20 数年ぶりに塗り替える快挙を達成した他、1995 年には 1394 マイル(平均 11.24kt)を達成し、自己の持つ最長記録を更新した実績をこの報告の最後に付記したい。本報が将来の「日本丸」3 世の設計に資することができれば幸いである。

参考文献

- 1) https://en.wikipedia.org/wiki/Dar_M%C5%82odzie%C5%BCy
- 2) 芳村康男, 田辺 穰, 大杉 勇, 雨宮伊作, 多田納久義: 大型練習帆船の帆走性能の推定, 日本航海学会論文集, Vol.84, pp.19-27, (1991).
- 3) <http://www.am.gdynia.pl/sites/default/files/ilustracje/DM-jpg.jpg>