

ライジング ナロウイング  
上昇と狭まり：16世紀ポルトガル船の船底設計  
に用いられた幾何学的アルゴリズム

フィリッペ・カストロ

国際海事考古学ジャーナル  
2007年、36.1、148-154 ページ

翻訳：山田義裕（訳者所蔵：no.1242）

**Rising and Narrowing: 16<sup>th</sup>-Century Geometric Algorithms  
used to Design the Bottom of Ships in Portugal**

**Filipe Castro**

The International Journal of Nautical Archaeology  
(2007) **36.1** : 148-154

船殻の底を設計する方法は 16 世紀と 17 世紀初頭のポルトガルにおける肋骨・基盤<sup>スケルトン・ベースド</sup>の船を建造するプロセスの小さな部分にすぎなかったが、注意深く見てみるのに値する。15 世紀のイタリアの船大工達にはすでに良く知られていた多くの幾何学的なアルゴリズムを使い、ポルトガルの船大工達は、図面を作る必要なくして、事前に設計された中央の諸肋骨<sup>デザイン</sup>のビルジの点における湾曲<sup>ターン</sup>の上手い組み合わせを手に入れた。

キーワード: 地中海、16 世紀、ホール・モールドイング、船の設計、狭まり<sup>ナロウイング</sup>、上昇<sup>ライジング</sup>

昔、私は作曲家のジョルジュ・ビゼーがジプシー音楽を愛した話を聞き、忘れたことがない。ある日、スペインの演奏家達と歌手達のあるグループを聞いた後で、彼は年配の歌手にこう言ったという。「私はリズム、半音階の効果、そしてハーモニーは理解するが、どうやって皆が一斉に止まれるのか分からない！」

この話が本当かどうか知らないが、16 世紀の船大工の気持ちを理解しようとする時、この作曲家と似たような思いをすることがしばしばある。ただ、私の方がそれよりもちょっと悪いかもしれないのは、これらの問題を同僚や生徒達と話す時に、この分野でのほとんどの専門家達は極めて良く理解しているにも関わらず、全ての生徒達がこのテーマの研究を始めるに当たって、彼らが十分かつ明確に理解するように、基本的な概念がわずかにでも、全体を通して述べられたことがなかったからである。この小論を完璧なものとする意図は全く無く、16 世紀を通して船殻の中央の諸肋骨のビルジの点における湾曲<sup>ターン</sup>を手に入れるために、ポルトガル、そして多分イタリア、スペイン、フランス、ギリシャ、モロッコ、そしてトルコで使われた幾何学的なアルゴリズムを説明することだけである。

(Damianidis,1998)

航洋船は 16 世紀のイベリア半島で、二つの目的を持つ一つの箱として思いつかれた (Loewen,1998)。船殻の中心の部分<sup>フレーム</sup>を構成した諸肋骨は、地中海において、多分ガレー船の建造のために開発された極めて単純で古い非図形的システム<sup>ノン・グラフィック</sup>によって設計され、建造された。(Anderson,1925; Lane,1934; Bellabarba,1933)。造船所で竜骨、船首材、船尾材を据え付けた後で、船大工達は 1、2、あるいは 3 本の最大横断面<sup>ミッドシップ</sup>の肋骨を立て、それに続いて、それぞれが 1 本の肋根材<sup>フロアー・チンバー</sup>と 2 本のフトックから成る、事前設計され、事前組立され、そして事前に立てられた多くの肋骨<sup>フレ・エレクト</sup>によって定まる船殻の中心部分の建造を行った。これらの肋骨の形状は、基本的に最大横断面肋骨<sup>ミッドシップ・フレーム</sup>、しばしば主の肋骨と呼ばれた一形状であったが、船大工達が船の中央からその両端へ向かって動かして行くに連れて、各肋骨の底が、前のものよりも少しずつ上昇させられ、かつ狭められた。各肋骨のビルジの湾曲<sup>ターン・オブ・ザ・ビルジ</sup>点は、一船の底<sup>ボトム</sup>が終わり、両船側<sup>サイド</sup>が始まる肋骨の外側の表面上の点、一連の幾何学的なアルゴリズムの一つによって上昇させられ、かつ狭められた。事前設計された全ての肋骨が竜骨の上に嵌め込まれた後で、一最前及び最後のものは末尾肋骨<sup>テイル・フレーム</sup>と呼ばれた一船の両端である船首と船尾の形状が、複数のリバンド、即ちアルマドウラ

(armadoura)の助けでもって得られた。これらは、<sup>システム</sup>船首材から<sup>スターン・ポスト</sup>船尾材に張り渡され、<sup>プレ・デザイン</sup>事前設計された肋骨上に正確に決められた点の上を<sup>ストレッチ</sup>通って行き、上記した幾何学的なアルゴリズムによって作り出された複数の<sup>カーブ</sup>曲線が<sup>エクステンド</sup>伸ばされている。(Fig.1)

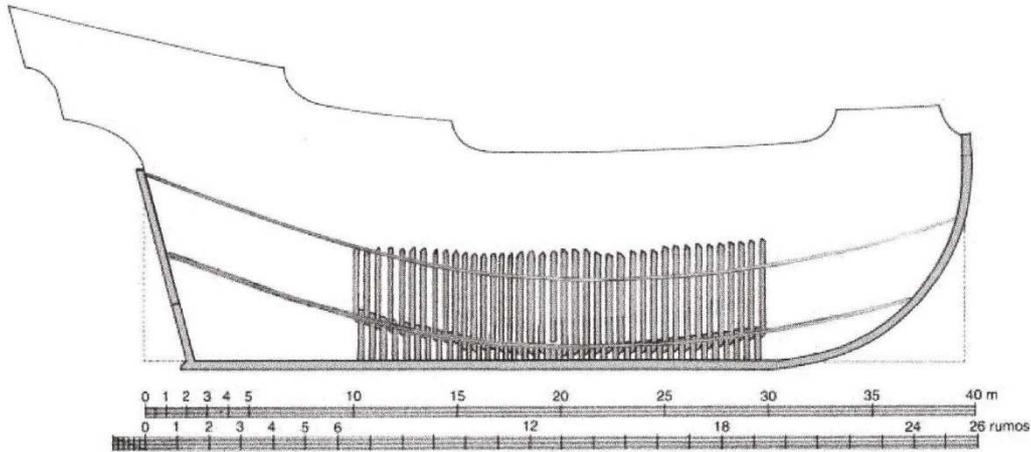


Fig.1 <sup>プレ・デザイン</sup>事前設計された肋骨上を走っているリバンド、即ちアルマドウラ(フィリッペ・カストロ)

一般的なルールとして、船殻の基本的な寸法は、単純な比率で得られ、<sup>ボトム</sup>底の上昇と<sup>ライジング</sup>狭まりの合計の<sup>ヴァリュー</sup>値は、しばしば最大横断面肋骨、あるいは<sup>ミッド・シップ・フレーム</sup>ルーム・アンド・スペース (room and space, 訳注：2列の肋材で1組の肋骨における肋材が有る部分が「ルーム」で、何も無い空間の部分が「スペース」)の基本的な<sup>ヴァリュー</sup>値の分数であった。<sup>ボトム</sup>船の底の<sup>ライジング</sup>上昇と<sup>ナロウイング</sup>狭まりは実際には幾何学的な抽象概念で、<sup>ターン・オブ・ザ・ビルジ</sup>垂直面と水平面における、<sup>ビルジ</sup>湾曲点の座標の<sup>プロジェクション</sup>射影で成り立っている。(Fig.2)

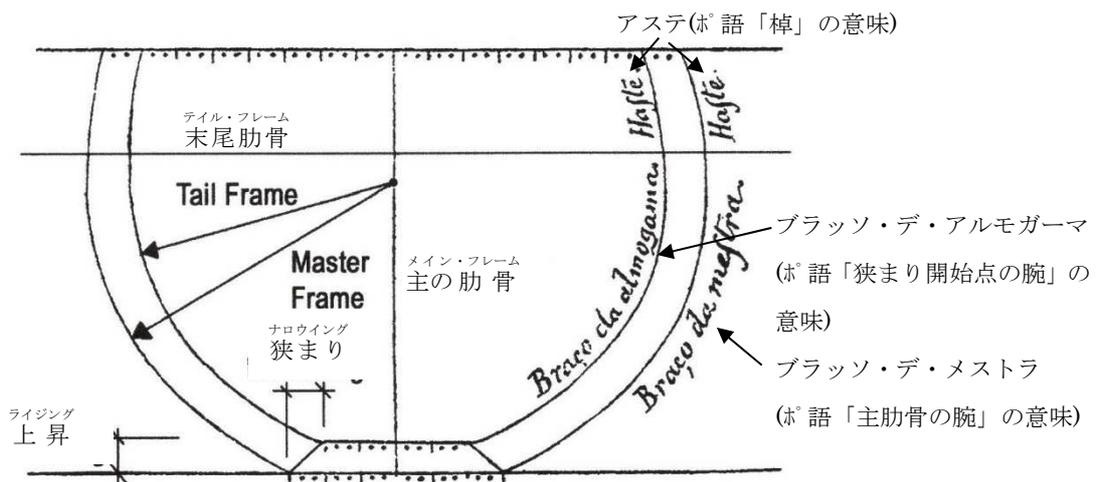
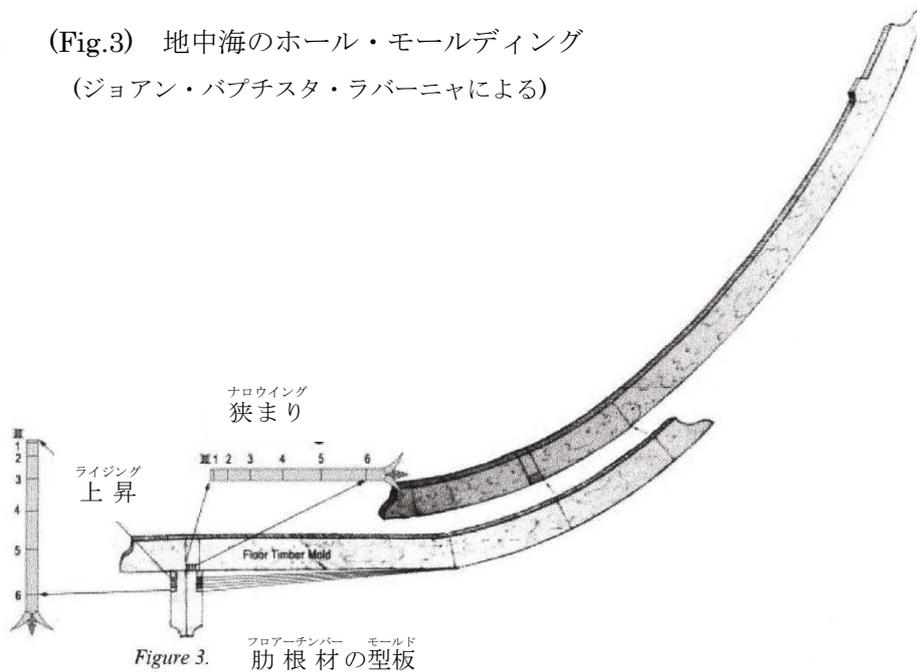


Fig.2 <sup>ライジング</sup>上昇線と<sup>ナロウイング</sup>狭まり線 (フェルナンド・オリヴェイラによる)

この方法の具体的に興味深い点は<sup>ノン・グラフィック</sup>非図形的であるという事実である。言い換えれば、船大工達が事前設計された肋骨の各々の形状を得るためにいかなる<sup>デザイン</sup>図面をも必要としなかつ

たことである(Rieth,1996)。全作業が、二つの<sup>モールド</sup>型板といくつかのゲージでもって行うことが出来た(Fig.3)。

(Fig.3) 地中海のホール・モールドイング  
(ジョアン・バプチスタ・ラバーニャによる)



ミッドシップ・フレーム 最大横断面肋骨の形状から船大工達は、<sup>ターン・オブ・ザ・ビルジ</sup>ビルジの湾曲点の全ての<sup>ライジング</sup>上昇を加え、全ての<sup>ナロウイング</sup>狭まりを減じることによって、諸末尾肋骨の形状を推測したのであろう。事前設計された肋骨に分配されるべき全ての<sup>ライジング</sup>上昇、あるいは<sup>ナロウイング</sup>狭まりの長さはポルトガル語でコンパルティエーダ(*compartida* 訳注:「分割された」という意味)と呼ばれた。諸肋骨の各々に加えるか、あるいは減じられるかする<sup>ヴァリュー</sup>値が増加するゲージはグラミーニョ(*graminho*)と呼ばれた。グラミーニョという言葉そのものは、混乱を招くかもしれない。何故ならば、<sup>カーブ</sup>曲線の増加する<sup>ヴァリュー</sup>値、即ち座標を得るために使われたゲージと方法、即ちアルゴリズムの両方を指したからである。

これらの幾何学的アルゴリズムのいくつかは、16-17世紀のポルトガルの造船についての論文に、<sup>インクレメンタル・トライアングル</sup>メイア・ルア(*meia lua*, 訳注:半月の意味)、ベスタ(*besta*, 訳注:弩弓の意味)、サルタレーリャ(*saltarelha*, 訳注:小幅の一跳びの意味)、ブルスカ(*brusca* 訳注:意味不明)、ハーボ・デ・エスパーダ(*rabo de espada*, 訳注:剣の尾という意味)等の呼称で記述された(Barata,1989)。しかし、これらの方法が最初に書き物に現れたのは15世紀のイタリア語の文書である。最初期のものは1445年のジオルジオ・トロンベッタ(Giorgio Trombetta)の手写本のように、メツア・ルーナ(*mezzaluna*, 訳注:半月の意味)と増加三角形と呼ばれるこれらの方法の二つに言及している。ポルトガルにおけるイタリア人船大工達の影響は文書によく残されており、ポルトガルの文書が、<sup>ミッドシップ・フレーム</sup>最大横断面肋骨と末尾肋骨の間の距離に、或る長さ、コンパルティエーダ(*compartida*)を関連させる滑

らかな 2 次元の<sup>カーブ</sup>曲線を創り出す、似たやり方に言及していることは驚くにあたらない (Ciciliot,1998; Ciciliot,2000; Barker, 2001)。これらの方法は、極めて単純で、このテーマを研究している大部分の学者達によく理解されている事実にも関わらず、ポルトガル語を除いて (Barata,1989)、いかなる他の言語でも詳細に記述されたことがないと思われる。したがって、出来るだけ簡潔かつ明快に下記に紹介する価値がある。

## メリア・ルア

メリア・ルアの方法は、フェルナンド・オリヴェイラはベスタと呼んだ、15 世紀以降のイタリア語の文書 — そこではメツア・ルーナと呼ばれた — に言及されており、コンパ<sup>オフセット</sup>ルティエダと同じ半径の円の 4 分の 1 から成る。この四分円は、必要な<sup>ベッセル</sup>分派の数、言い換えれば、全ての特定の<sup>ミッドシップ・フレーム</sup>船体中の最大横断面肋骨から<sup>テイル・フレーム</sup>末尾肋骨までの間に置かれるべき<sup>プレ・</sup>事前<sup>デザイン</sup>設計された肋骨の数と同じ数に分割されている。<sup>オフセット</sup>分派は、次の数式によって得ることが出来る： $X_i=1-\text{SIN } \alpha_i$ 、 $\alpha_i$ はその円の 4 分の 1 上の  $i$  点で接する半径の角度である。しかしながら、これらの<sup>ヴァリエー</sup>値を得る伝統的なやり方は、最初の円の 4 分の 1 を鏡に映したように、もう一つの円の 4 分の 1 を加え、複数の線を水平に横切らせ、対応する諸点を結ぶことから成る<sup>グラフィック</sup>図形的でずっと単純なものである。結果として得られた<sup>スケール</sup>尺度は 1/1 のスケールの<sup>ドローイング</sup>図から直接に木製のゲージに刻まれる (Fig.4)。

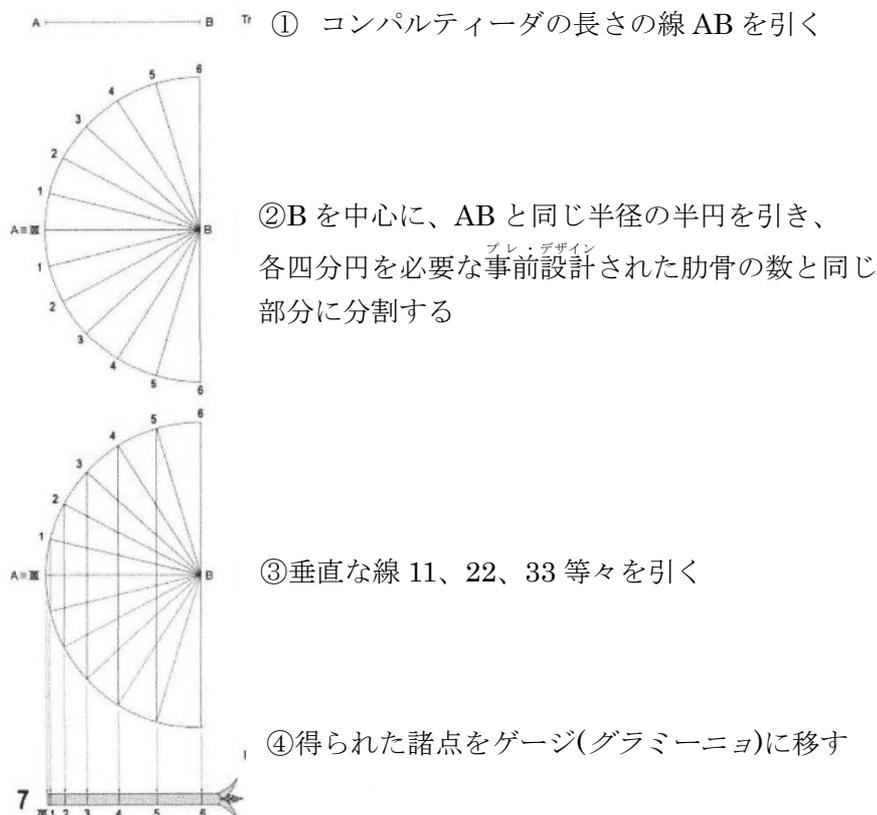


Fig.4 メリア・ルア即ちメツア・ルーナの方法(フィリッペ・カストロ)

## サルタレーリヤ

オリヴェイラがブルスカと呼びイタリアで示されたサルタレーリヤ方法は、英語で「無限の棒」と呼ばれることがあり、コンパルティータが印され、次のようなやり方で事前設計された肋骨と同じ部分に分割されている：ディバイダーでもって、それらは、最初の肋骨のために一つのスペース、第2番目の肋骨のために二つのスペース、第3番目のために三つという具合に<sup>アリスメチック・プログレッション</sup>算術数列で、全ての事前設計された肋骨に印が付けられる(Fig.5)。

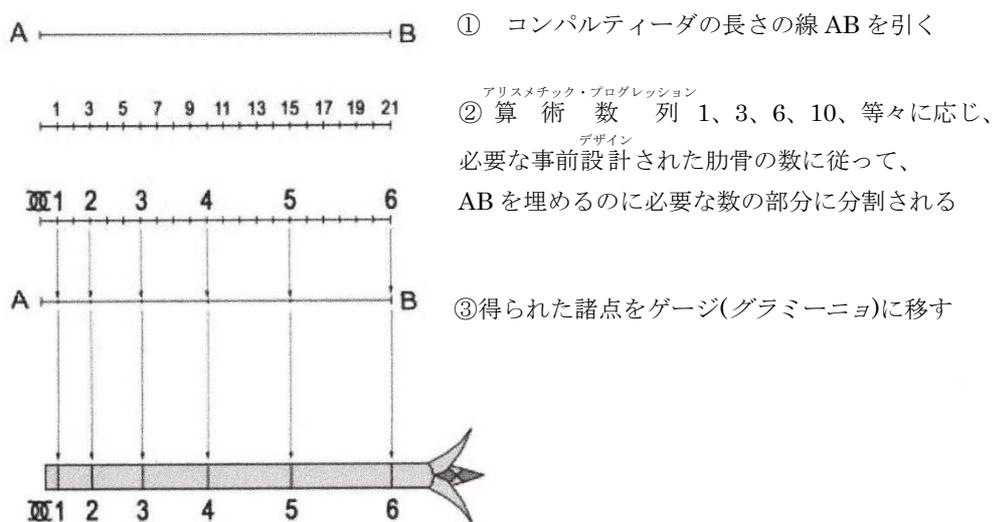


Fig.5 サルタレーリヤあるいはブルスカの方法(フィリップ・カストロ)

<sup>アリスメチック・プログレッション</sup>算術数列にはいくつかがあるが、最も一般的なものは、単純に増加する値を、 $N_{(i+1)}=N_i+(i-1)$ で、1、2、4、7、11、16、等々、あるいは $N_{(i+1)}=N_i+i$ で、これは1、3、6、10、15、等々になる。もし全長に最後の間隔を加えて、必要な全上昇あるいは狭まりの長さ(コンパルティータ)との関係で、短過ぎたり長過ぎたりした時は、船大工達は再び同じことを始め、完全に見合うまで繰り返したのであろう。

経験を積んだ船大工にとっては、今日我々が思うよりもずっと単純な手順であったにもかかわらず、これらの初期の論文のいずれにも、<sup>スケーリング・トライアングル</sup>定規三角形が示されていないのは不思議である。バラータ(1989)はそれがポルトガルで使われていたと考えるが、彼はその考えを得た出典を示していない。17世紀の間、この<sup>スケーリング・トライアングル</sup>定規三角形はあらゆる種類のゲージの尺度を増大することと縮小することに広く使われていた(Fig.6)。フェルナンド・オリヴェイラは、ブルスカ方法は急なカーブを創り出し、小さな<sup>ライジング</sup>船<sup>ナロウイング</sup>に向いているだけであると言っている。しかし、ポルトガルにおいてグラミーニョという単語がそうであるが、ポルトガルとイタリアの両国において、サルタレーリヤとブルスカは、しばしば一般的なテンプレート、即ち木製のゲージの意味で使われていることを考えると、この言葉の意味を限定的に(訳注：ゲージを作る方法だけに)使うことが何らかの混乱を招いているようだ。

訳者挿入図1：バルトロメオ・クレッセンチオ著：地中海の海事(1607)

メッツア・ルーナの図とブルスカに言及しているガレー船の部、17 ページ



「メッツア・ルーナからブルスカを分割する方法」

奇妙なことに、バルトロメオ・クレッセンチオは、彼の地中海の海事(1607)の中で、メッツア・ルーナでは正しい曲線は得られなく、末尾肋骨の前と船尾方向においてリバンドの曲がり具合に匹敵する正しい曲線を創り出すためにはブルスカが適しているとしている (Crescenzio, 1607; Bloesch, 1983)。(訳注：この指摘は訳者挿入図1の原典の16-17ページの記述には表れていない。ガレオン船の記述の部にあるのかもしれないが、訳者は確認していない。フィリペ・カストロの指摘は、ブルスカがメッツア・ルーナとは異なった方法であるがために、クレッセンチオが言う両者の優劣の差異が生じたことにあり、両者が同一のものであれば差異を俎上に乗せることにはならない。訳者挿入図1でクレッセンチオはメッツア・ルーナから、目盛りをいかにしてブルスカに移しているかを示しており、ブルスカはそもそものゲージの作り方の方法ではない。カストロがブルスカは「一般的なテンプレート、即ち木製のゲージの意味で使われている」と上述していることに合致する。) この方法について彼らが意見を表明する時、まずラウンド・シップのことを考え、ガレー船のことは二の次であることを覚えておく必要がある。

## 増加三角形

ブルスカの良く知られた一つの変形が、トロンベッタの手写本に記された

「増加三角形」である。これはブルスカあるいは無限の棒と全く同じ曲線を作り、一連の同じ頂点を有する二等辺三角形から成り立っていた(Fig.7)。三角形の底辺はコンパルティエーダと同じ長さで、高さは、ゲージを作るのに選ばれた数列によって創り出された増加する値全ての合計に等しかった。次のステップは数列の値を高さ方向に印すことであり、そうした後では、水平の諸線は高さの各値で辿ることになった。これらの水平の諸線はゲージ上に印された増加であった。

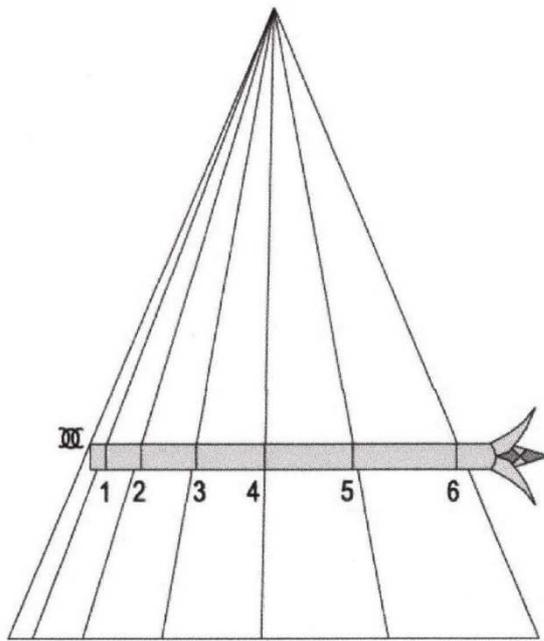


Fig.6 定規三角形(フィリップ・カストロ)

## ハーゴ・デ・エスパーダ

オリヴェイラによって示された第3の方法は、他の何処にも示されていないようなものであり、彼によってハーゴ・デ・エスパーダと称された。これもまた、実践に依拠するもので、最終的なゲージは試行錯誤によって得られた。コンパルティエーダの正確な長さを伴った1本の水平線を引いた後で、船大工はその線の両端の一つで、選んだ長さを持つ1本の垂線を引き、そこから彼はゲージ全体を創り出すことになった(Fig.8)。もう一つの端で、彼はもう1本別の垂線を引き、より長い方の垂線に達するまでこのステップを繰り返した。もしも、得られた長さがコンパルティエーダよりも短過ぎたり、長過ぎたりしたならば、彼はこのプロセスを最初から繰り返す必要があった。

- ① コンパルティータの長さの線 AB を引く
- ② アリスメチック・プログレッション 算術数列 1、3、6、10、等々に応じ、  
フレ・デザイン 必要とされる事前設計された肋骨の数に従って、  
インフィニット・スティック 垂線 CD(無限の棒)を引き、その中に必要な  
 だけの数の間隔の印を付ける。
- ③ 線 AB と CD によって作られた三角形の頂点を  
 線 AD と BD に結合し、点 1,2,3 等々を通る水平な  
 諸線を引く
- ④ 得られた高さをゲージ  
 (グラミーニョ)に移す。  
バリュー インフィニット・スティック  
 得られた値は無限の棒  
 の向きによって別個のものとなる。

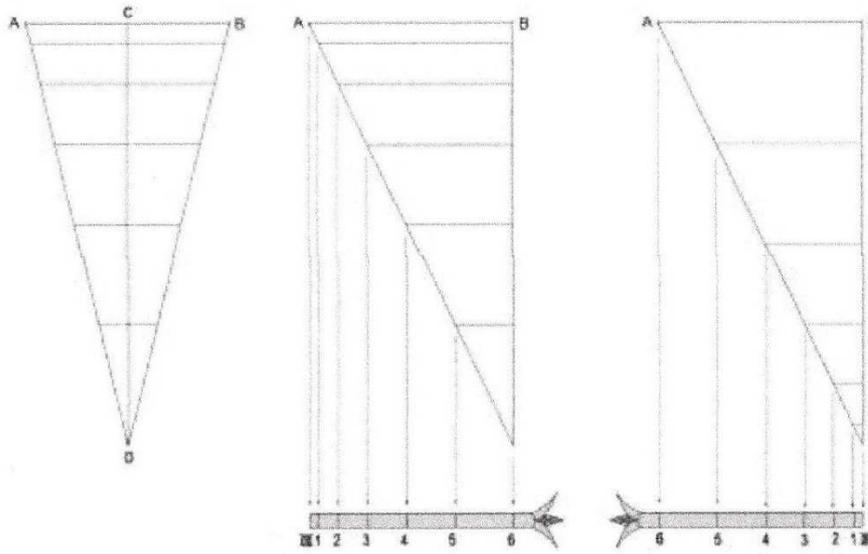


Fig.7 インクレメンタル・トライアングル 増加三角形 (フィリップ・カストロ)

### 諸方法の比較

地中海全体に渡って使われたアルゴリズムは、多分これらだけではなく、それぞれに多くの変形があったに違いない。また、船大工達が自分自身のゲージに常に忠実であった保証はない。リチャード・ステッフィー(Richard Steffy)は、バイア・デ・トードス・オス・サントス(Baia de Todos os Santos)においてサヴェイロス(Saveiros, 訳注: 小舟の種類)を建造しているブラジル人の船大工達の一人が、「彼は、ゲージが示すところよりもちょっとライジング上昇を多めにする」とパトリック・サースフィールド(Patrick Sarsfield)に語ったと私に言ったことがある。(Sarsfield,1985; Sarsfield,1991)。三つの方法で得られたバリュー値の比較は、正確に 100cm のライジング上昇あるいはナロウイング狭まりの固定したバリュー値(コンパルティータ)をベースにして、6 個の事前設計された肋骨上に配布した。その結果はバラータ(1989)によって分析的

に得られた結果をほぼそのまま写したものであり、ハーゴ・デ・エスパーダ方法がどのように他の二つと異なるかを見せている(Fig.9)。

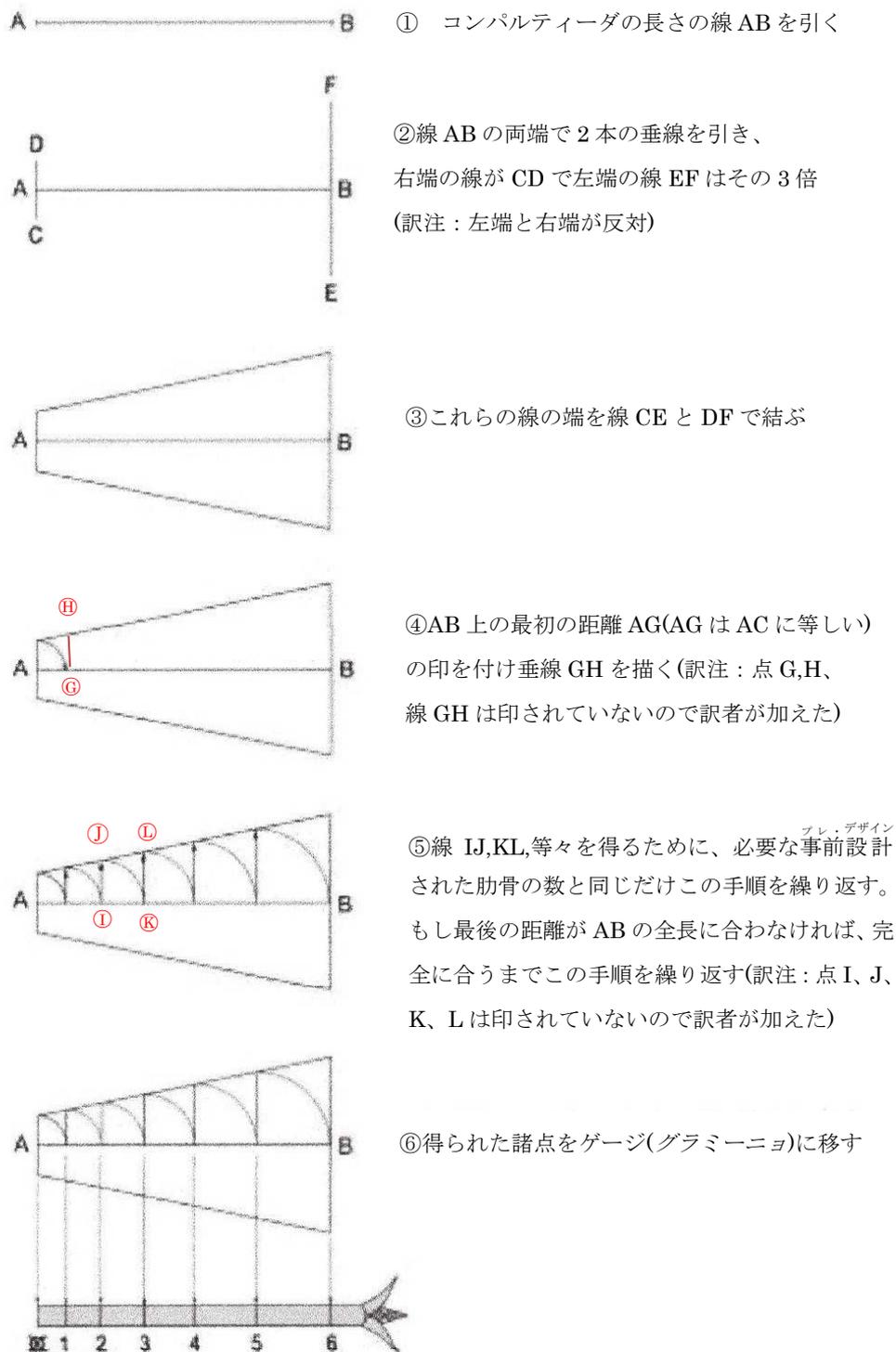


Fig.8 ハーゴ・デ・エスパーダ方法 (フィリッペ・カストロ)

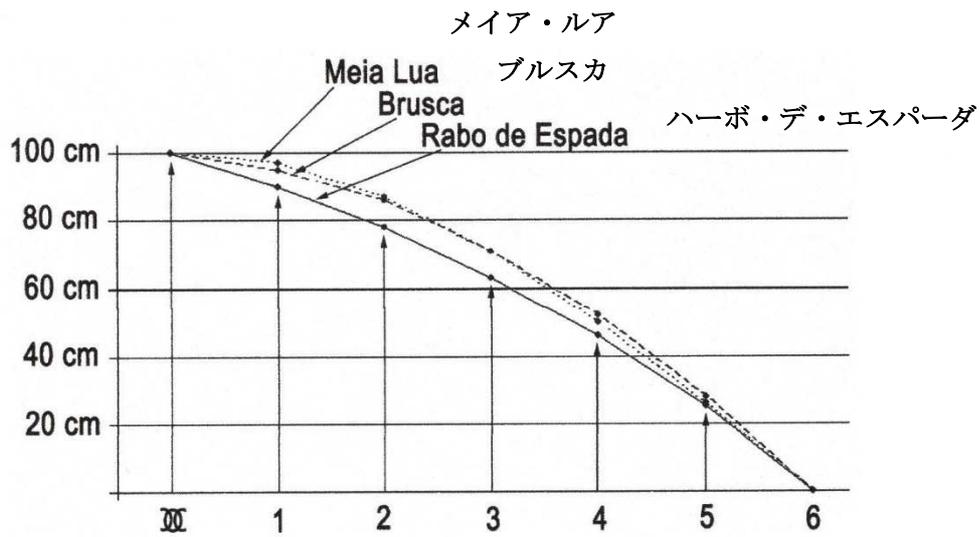
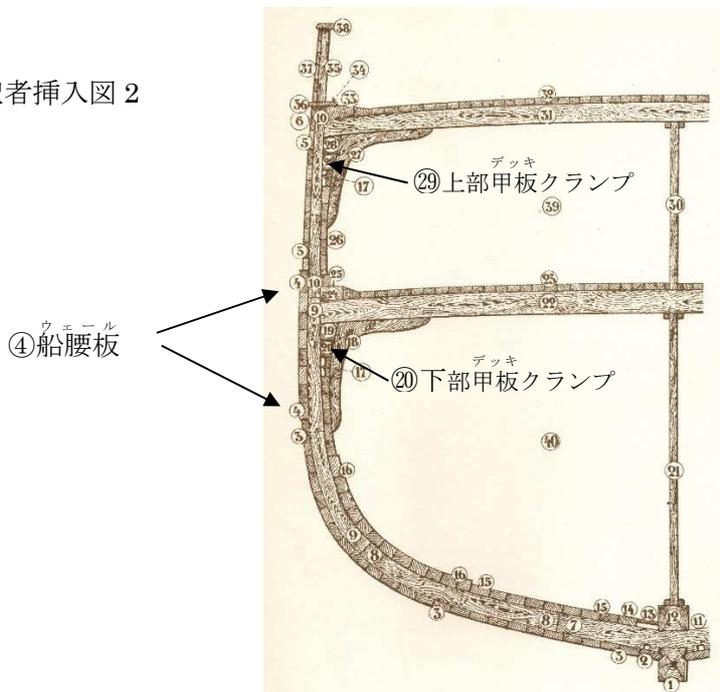


Fig.9 3方法の比較 (フィリッペ・カストロ)

### 結論

船底の<sup>デザイン</sup>設計は、16-17世紀のポルトガルにおける航洋船の概念と建造の小さな部分にすぎなかった。同様に船底の狭まりと上昇は、<sup>ナロウイング</sup>輪郭線中の二つにすぎなかった。地中海のガレー船においても、<sup>ライジング</sup>ビルジの湾曲点は船殻の底の下部の一部分を<sup>ディファイニング</sup>決めただけであった。甲板クランプも、肋骨に<sup>ターン・オブ・ザ・ビルジ</sup>しっかりと<sup>ボトム</sup>取り付けられていなかった<sup>ディファイン</sup>上部フトックを支えた<sup>ウエール</sup>船腰板と共に、船殻の形状の決定に当たり、長さ方向の別の重要な線であった。

訳者挿入図 2



竜骨上に据えられた<sup>プレ・デザイン</sup>事前設計された肋骨の数においても、また船殻の底の上昇と狭まりを<sup>ライジング</sup>ナロウイング

決めるために使用された幾何学的アルゴリズムにおいても、船大工が居る数ほどそれらのレシピの数もあったであろうことが、証拠から伺われる。歴史的及び考古学的な両方の証拠が、正しい船殻の形状の<sup>デザイン</sup>設計のためにありとあらゆる方法が勢ぞろいしていたことを示している。

今のところ発掘された大部分の沈船には、僅かな船殻しか残されていないので、船殻上部の形状において用いられた方法の考古学的な証拠はずっと少ない。しかし、当時の書き物による情報源から、イタリアではラーモ(*ramo*)、ポルトガルではエスパリヤメント(*espalhamento*)、スペインではジョーバ(*joba*)と呼ばれたプロセスにおいて、最大横断面肋骨の船首方向と船尾方向に更に甲板のスペースを創り出すために、最初の諸フトックが外側へ傾けられたことが分かっている。このプロセスの変形がイタリアではスコレール・デル・セスト(*scorer del sesto*)、フランスではトレブシュマン (*trébuchement*) 英国では「フトックの引き下げ」として知られた。このプロセスのもう一つの変形は、サーズフィールドによってブラジルで記録されたもので、<sup>フロアー・チンバー</sup>肋根材を前方に傾けて、<sup>ボウ</sup>船首に向かって更に甲板のスペースを創り出すために、<sup>マスター</sup>主肋骨の前に位置させる諸肋根材の基部に斜角を付けるものであった(Bellabarba, 1993; Reith, 1996; Loewen, 1998)。

しかし、我々は、全ての概念、大雑把な<sup>ルール・オブ・サム</sup>ルール、建造のシーケンス、<sup>コントロール・マネジメント</sup>測定管理、そしてその他商売上の仕掛けを十分に理解するには未だほど遠い。これからの数十年間に多くの造船に関する文書が現れることはなさそうであり、考古学だけが我々に、技術の歴史のこの重要な部分へのより良い洞察を与えることが出来るのである。

## 謝辞

私は、ポルトガル、リスボン技術大学上級技術院及び USA、テキサス A&M 大学の博士学生エンルケ・ボラーリョ(Henrique Borralho)の、これらの方法の研究に対する貴重な助力に感謝したい。

## References

- Anderson, R. C., 1925, Italian Naval Architecture about 1445, *Mariner's Mirror* 11.2, 135–63.  
Barata, J. G. P., 1989, *Estudos de Arqueologia Naval*, 2 Vols. Lisbon.  
Barker, R., 1988, 'Many may peruse us': Ribbands, Moulds and Models in the Dockyards, *Revista da Universidade de Coimbra* 34, 539–59.  
Barker, R., 2001, Sources for Lusitanian shipbuilding, in F. Alves (ed.), *Proceedings of the International Symposium 'Archaeology of Medieval and Modern Ships of Iberian-Atlantic Tradition'*, Lisbon, 1998, 213–28. Lisbon.  
Bellabarba, S., 1993, The Ancient Methods of Designing Hulls, *Mariner's Mirror* 79.2, 274–92.  
Bloesch, 1983.  
Ciciliot, F., 1998, Metrologia delle imbarcazioni genovesi medievali e postmedievali, in M. Marzari (ed.), *Navi di legno. Evoluzione tecnica e sviluppo della catieristica nel Mediterraneo dal XVI secolo a oggi*. Grado.  
Ciciliot, F., 2000, Genoese shipbuilders in Portugal ed in Asia (early 16th Century), in *Fernando Oliveira e o seu tempo. Humanismo e arte de navegar no Renascimento Europeu (1450–1650)*, *Actas da IX Reuniao Internacional de História da Nautica e da Hidrografia*, 153/161. Cascais.  
Crescenzo Romano, B., 1607, *Nautica Mediterranea*. Rome.  
Damianidis, K. A., 1998, Methods used to Control the Form of the Vessels in the Greek Traditional Boatyards, in E. Rieth (ed.), *Technologies / Ideés / Pratiques: Concevoir et Construire les Navires*, 217–44. Èrès.  
Lane, F. C., 1934, Naval Architecture about 1550, *Mariner's Mirror* 20, 24–49.  
Lavanha, J. B., 1996, *Livro Primeiro de Architectura Naval*, Facsimile, transcription and Eng. translation. Lisbon.  
Loewen, B., 1998, The Morticed Frames of the 16th-Century Atlantic Ships and the 'Madeiras de Conta' of Renaissance Texts, *Archeonautica* 14, 213–22.  
McManamon, J., 2001, The 'Archaeology' of Fifteenth Century Manuscripts on Shipbuilding, *INA Quarterly* 28.8, 17–26.  
Oliveira, F., 1991, *O Livro da fabrica das naos* (1580), Facsimile, transcription and Eng. translation. Lisbon.  
Rieth, E., 1996, *Le Maître-gabarit, la Tablette et le Trebuchet. Essai sur la conception non graphique des carènes du Moyen-Âge au XXe siècle*. Paris.  
Sarsfield, J. P., 1985, Survival of Pre-Sixteenth Century Mediterranean Lofting Techniques in Bahia, Brasil, *Fourth Meeting of the International Symposium on Boat and Ship Archaeology*. Lisbon.  
Sarsfield, J. P., 1991, Master Frame and Ribbands in Carvel construction technique: skeleton-first, shell-first, in R. Reinders and P. Kees (eds), *Fifth International Symposium on Boat and Ship Archaeology. Amsterdam 1988*. Oxford.  
Trombetta, G., 1445, *The Trombetta Manuscript*, Cottonian manuscripts, *Titus A. 26*, British Library, London.